

一般社団法人  
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2021

# 建設機械施工 **11**

Vol.73 No.11 November 2021 (通巻861号)

## 特集 地球温暖化対策 環境対策



ブレード起立装置と自走式台車による風力発電用ブレード輸送

### 巻頭言 地球温暖化を正しく恐れる

技術報文

- 地球温暖化の抑制策の考察と提言
- 建物及び街区における水素普及展開を目指した低圧水素配送システム実証事業
- カルシア改質土による地球温暖化対策への展望
- ブレード起立装置と自走式台車による風力発電用ブレード輸送
- 横浜市役所のZEBの実現 他

行政情報

- 国土交通省におけるカーボンニュートラルに向けた取組
- みどりの食料システム戦略
- 建設施工における地球温暖化対策

ずいそう

土木の生物屋として40年

一般社団法人 日本建設機械施工協会

# ダム工事に用いたコンクリート運搬テルハ (クライミング機能付)

## 重力式コンクリートダム等の新しいコンクリート運搬装置

コスト・安全・環境に配慮した最適な施工が行えます。

### 特長

- **コストパフォーマンスに優れる。**  
機械重量が比較的軽量で、構造がシンプルなので運搬能力に対して安価である。
- **安全性に優れる**  
コンクリートバケットが堤体上空を横切らないので安全性に優れる。
- **環境に優しい。**  
河床に設置されるので、ダム天端付近の掘削を少なくできる。
- **大型機材の運搬も可能**  
専用吊り具で車両等の大型機材の運搬が可能。



## 吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 TEL. 03-3634-5651  
URL <http://www.yoshinaga.co.jp>

### 建設機械用 無線操作装置

## ダイワテレコン



ICT施工や自動制御に対応可能

### ダイワテレコン872

- 最大72点の操作点数を持ち、比例制御にも対応いたします。
- 指令機操作パネルはレイアウトフリーで用途に合わせた実装部品が選択可能。
- 特定省電力無線429MHz帯域および1200MHz帯域選択可能。
- 外部接続用ポート(オプション仕様)より、LAN通信制御が可能。

#### 取付改造実績

油圧ショベル, ブルドーザ, 振動ローラ  
クローラダンプ, 鑿岩機, その他特殊専用機など

無線遠隔装置だけでは終わらない  
弊社では制作から取付改造工事までを完全サポート  
大型機対応屋内工場完備(100tクラスまで対応)



ハンディータイプ  
使いやすさを極めた高機能・高性能  
**ダイワテレコン810**

用途  
インバータ制御機器  
エンジン制御  
油空圧比例制御

## DAIWA TELECON 大和機工株式会社

常滑工場 〒479-0002 愛知県常滑市久米字西仲根227番  
TEL: 0569-84-8582 (直通) FAX: 0569-84-8857  
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>  
e-mail [mekatoro@daiwakiko.co.jp](mailto:mekatoro@daiwakiko.co.jp)

# 第15回 一般社団法人日本建設機械施工協会 研究開発助成 対象者の募集の告知

一般社団法人日本建設機械施工協会（以下「JCMA」という）は、第15回 研究開発助成対象者を下記のとおり公募します。詳細は、募集要綱を参照して下さい。

## 1. 実施スケジュール

- (1) 公募期限は、令和3年11月30日までです。
- (2) 助成対象者の決定は、令和4年2月上旬頃の予定です。
- (3) 助成期間は、助成決定年度の年度末から令和5年3月31日までです。
- (4) 研究成果報告書を、令和5年6月30日までに提出して頂きます。
- (5) 研究成果を、JCMAへ論文として投稿して頂き、「令和5年度 建設施工と建設機械シンポジウム（例年11月中旬～12月上旬開催）」での積極的発表をお願い致します。

## 2. 研究開発助成の対象

建設機械又は建設施工（施工に伴う調査を含む）に関する技術開発若しくは研究であって、以下のいずれかをその目的として、新規性・必要性・発展性が高いと判断されるものを助成の対象とします。

- ① 施工の合理化、生産性向上
- ② 施工の品質管理
- ③ 建設工事における安全対策
- ④ 建設工事における環境保全
- ⑤ 災害からの復旧及び防災
- ⑥ 社会資本の維持管理・保全技術の向上又は合理化
- ⑦ 建設事業におけるデジタルトランスフォーメーション対応及び／又は脱炭素化対策
- ⑧ その他建設機械又は建設施工に関する技術等の向上と普及

助成件数は、1～2件を予定しております。  
(審査の結果、助成対象となるテーマがない場合もあります)

## 3. 研究開発助成の金額及び期間

①金額：1件当たり200万円以内

②期間：1年間（令和4年3月末から令和5年3月末）

複数年に渡る同一の研究テーマは助成を2回受けることが可能です。

但し、二期続けて助成を受けたい場合であっても二期目は新たに申請を行う必要があり、かつ、一期目の中間報告書を提出し審査を受ける必要があります。

詳細は募集要綱「Ⅱ 3. 研究開発助成の方法、額及び期間」を参照して下さい。

## 4. 研究開発助成の対象者

JCMAより研究開発助成を受けることができる方(以下「助成対象者」という)は、原則として以下のとおりです。

- ① 大学、高等専門学校及びこれらの附属機関に属する研究・開発者及びグループ
- ② 法人格を有する民間企業等の研究・開発者及び研究・開発グループ

## 5. 申請手続きと注意事項

- (1) 助成を希望する研究者、開発者、研究グループの代表者、又は開発グループの代表者は、申請書（様式-1①②④⑤）（共同研究・開発の場合は様式-1③を追加）に必要な事項を記入のうえ、正本1部及び電子データ（Word形式とPDF形式の両方）を記録した媒体（CD、DVD、USBメモリ、SDカードのいずれか）を、期限まで（当日消印有効）にJCMAへ郵便または信書便で配送の確認ができるものにより提出するものとします。（なお、セキュリティ上の都合から電子メールによる受付は行っておりません。）また、申請の際に、説明に必要な範囲で参考資料を添付することは差し支えありません。
- (2) 申込件数は1人（共同研究・開発の場合は1グループ）あたり1件とします。
- (3) 所属される機関において助成等の申請、受入れ機関が指定されている場合等は指定された機関の長又は代表者が申請することができます。
- (4) JCMA以外の補助制度、助成制度との重複申請は可能です。但し、JCMAの助成において実施を予定する内容と他の制度もしくは助成によって実施する技術開発若しくは研究の内容の全てが重複しないようにして下さい。
- (5) 助成対象とならなかった場合には申請書及び添付資料等は審査終了後に返却します。
- (6) 申請書の作成にあたり、申請者の押印が必要となる様式については、申請者が押印する箇所において押印省略を明記し、当該様式の余白に本件責任者及び連絡担当者の所属、役職、連絡手段（電話）を記入することにより、押印の省略を行うことができます（ただし、請書を除く）。

## 6. 申請書に記載された個人情報及びその他技術情報の利用目的について

申請書に記載された個人情報は、申請者への連絡、情報提供のために使用いたします。

また、取得した個人情報のうち、氏名、所属機関名、役職名、申請書に記載された技術開発名（若しくは研究名）及びその概要等については、当事業の広報のために刊行物、報告書、ホームページ等で公表し、第三者に提供することがあります。

これに同意した上で申請を行っていただきますようお願い申し上げます。

## 7. 助成金交付手続き

- (1) 助成が認められた申請者（以下「助成研究者」という）は、助成決定通知受領後、JCMAに請書等の手続き書類（様式-2①～④）を提出して下さい。必要な審査・手続きを経て、速やかに全額を交付します。
- (2) 助成金は手続き終了後に助成研究者の指定する金融機関の口座（助成金振込先通知書（様式-2②）に記載された口座）に振り込みますが、助成金の受け入れ方法については、予め申請書（様式-1①）にも明記しておいて下さい。

## 8. その他

採否の理由等に関しましては、お問い合わせに応じかねますので、ご了承下さい。

(参考) 助成実績

| 年度     | 申請数 | 採択数 |
|--------|-----|-----|
| 平成28年度 | 8件  | 1件  |
| 平成29年度 | 6件  | 1件  |
| 平成30年度 | 5件  | 1件  |
| 令和元年度  | 2件  | 1件  |
| 令和2年度  | 3件  | 1件  |

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2階

(一社)日本建設機械施工協会 研究開発助成事務局 担当：野村

TEL:03-3433-1501

FAX:03-3432-0289

ホームページ（募集要綱・様式のダウンロード）はこちらから

<https://jcmanet.or.jp/>

# 令和4年度 日本建設機械施工大賞の公募について

本協会では、平成元年度に一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞を創設し、建設事業の高度化に関し顕著な功績をあげた業績について表彰して参りました。また平成27年度の募集から表彰内容を拡充したことに伴い、表彰名称を『会長賞』から『日本建設機械施工大賞』に変更いたしました。

令和4年度の表彰につきましても、下記により公募いたしますので、内容検討の上、奮ってご応募いただきますよう、ご案内いたします。

## 1. 表彰の目的

**大賞部門**は、我が国の建設事業における**建設機械及び建設施工に関する技術等に関して、調査・研究、技術開発、実用化等**により、その**向上・普及**に顕著な功績をあげたと認められる業績を表彰し、**地域賞部門**は、従来の施工方法・技術を**改良あるいは普及**させるなどの**取り組み**を通じて、**当該地域の事業者等で建設事業の推進に寄与したと認められる業績**を表彰し、もって**国土の利用、開発・保全及び経済・産業の発展に寄与**することを目的とします。

## 2. 表彰対象

本協会の団体会員、支部団体会員、個人会員又は関係者のうち表彰目的に該当する業績のあった団体、団体に属する個人及びその他の個人を対象とします。

## 3. 表彰の種類

表彰は、**各部門とも最優秀賞、優秀賞**とします。最優秀賞は総合的な評価の最も高かったもの、優秀賞はそれに準ずるものに与えられます。なお、ユニークなアイデアあるいは特に秀でた特徴を有するような提案があれば、選考委員会賞として表彰することもあります。

受彰者には賞状及び副賞として1件につき下記の賞金を授与します。

|      |       |        |      |
|------|-------|--------|------|
| 副賞賞金 | 大賞部門  | 最優秀賞   | 30万円 |
|      |       | 優秀賞    | 15万円 |
|      |       | 選考委員会賞 | 5万円  |
|      | 地域賞部門 | 最優秀賞   | 20万円 |
|      |       | 優秀賞    | 10万円 |
|      |       | 選考委員会賞 | 5万円  |

## 4. 表彰式

本協会第11回通常総会（令和4年6月16日（木）予定）終了後に行います。

## 5. 応募

「日本建設機械施工大賞応募要領」に基づく応募用紙の提出により行われます。大賞部門と地域賞部門の両方へ応募することもできますが、同一内容の業績では、両部門へ重複して応募することはできません。なお、**自薦、他薦を問いません。**

応募の詳細についてはホームページ（<http://jcmnet.or.jp>）を御覧下さい。応募の締め切りは、**令和4年2月28日（月）（必着）**です。（申し込みアドレス：nomura@jcmnet.or.jp）

## 6. 選考

本協会が設置した「**日本建設機械施工大賞選考委員会**」で選考いたします。なお、該当する業績が無い場合は表彰いたしません。

## 7. その他

受賞業績は、概要を本協会機関誌「**建設機械施工**」及び本協会**ホームページ（HP）**に、応募業績は本協会**HP**に一覧表として掲載いたします。

以上

関係部署にも回覧をお願いします

橋梁架設工事及び設計積算業務の必携書

# 橋梁架設工事の積算

令和3年度版

∞∞∞ 改定・発刊のご案内 ∞∞∞

一般社団法人 日本建設機械施工協会

謹啓、時下益々ご清祥のこととお喜び申し上げます。

平素は当協会の事業推進について、格別のご支援・ご協力を賜り厚く御礼申し上げます。

さて、このたび国土交通省の土木工事積算基準が改定され、令和3年4月以降の工事費の積算に適用されることに伴い、また近年の橋梁架設工事の状況、実績等を勘案し、当協会では「橋梁架設工事の積算 令和3年度版」を発刊することと致しました。

なお前年度版同様、橋梁の補修・補強工事の積算に際し、その適用範囲や積算手順をわかりやすく解説した「橋梁補修補強工事積算の手引き 令和3年度版」を別冊（セット）で発刊致します。

つきましては、橋梁架設工事の設計積算業務に携わる関係各位に是非ご利用いただきたくご案内申し上げます。

敬具

## ◆内容

令和3年度版の構成項目は以下のとおりです。

- 〈本編〉 第1章 積算の体系
- 第2章 鋼橋編
- 第3章 PC橋編
- 第4章 橋梁補修
- 第5章 橋梁架設用仮設備機械等損料算定表
- 〈別冊〉 橋梁補修補強工事 積算の手引き  
(補修・補強工事積算の適用範囲・手順の解説)

## ◆改定内容

国交省基準の改定に伴う歩掛等の改定のほか、令和2年度版からの主な改定事項は以下のとおりです。

1. 鋼橋編
    - ・架設用仮設備機械組立解体歩掛の諸雑費率の改定
    - ・現場溶接用ストロングバックの名称、形状の改定
    - ・鋼製橋脚工現場溶接工歩掛の一部改定
  2. PC橋編
    - ・ポストテンション桁製作工歩掛の改定
    - ・プレキャストセグメント主桁組立工7分割歩掛の策定
    - ・ポストテンション場所打ホロースラブ橋工、ポストテンション場所打箱桁橋工、横組工のPCケーブル工歩掛の改定
    - ・セラミックインサート設置工歩掛の策定
  3. 橋梁補修編
    - ・疲労き裂の諸雑費率内訳と1箇所定義を掲載
    - ・湿式剥離剤工法における環境対策資機材及び安全衛生保護具の説明文と使用数量の改定
    - ・積算例の改定
- 別冊「橋梁補修補強工事 積算の手引き」
- ・本編改定内容を反映



● A4判／本編約 1,050 頁（カラー写真入り）  
別冊約 200 頁 セット

### ●定価

一般価格：11,000 円（本体 10,000 円）  
会員価格：9,350 円（本体 8,500 円）

- ※ 別冊のみの販売はいたしません。
- ※ 送料は別途。
- ※ また、複数または他の発刊本と同時に申込みの場合についても送料は別途とさせていただきます。

●発刊予定 令和3年5月26日

関係部署にも御回覧をお願いします。

大口径・大深度の削孔工法の設計積算に欠かせない必携書

# 大口径岩盤削孔工法の積算

## 令和2年度版

∞∞∞ 改訂・発刊のご案内 ∞∞∞

令和2年5月 一般社団法人 日本建設機械施工協会

謹啓、時下益々ご清祥のこととお喜び申し上げます。  
平素は当協会の事業推進について、格別のご支援・ご協力を賜り厚く御礼申し上げます。  
本協会では、令和元年9月に「大口径岩盤削孔工法の積算 令和元年度版」を発刊し、関係する技術者の方々に広くご利用いただいております。

さて、このたび国土交通省の土木工事積算基準が改正され、令和2年4月1日以降の工事費の積算に適用されること等に伴い、当協会では、これまで隔年で発刊しておりました大口径岩盤削孔工法の積算を改定し「大口径岩盤削孔工法の積算 令和2年度版」を発刊することと致しました。

つきましては、大口径岩盤削孔工事の設計積算業務に携わる関係各位の皆様には是非ご利用いただきたくご案内申し上げます。 敬具

### ◆ 内容

令和2年度版の構成項目は以下のとおりです。

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 第1編 適用範囲             | 第2編 工法の概要            |
| 第3編 アースオーガ掘削工法の標準積算  | 第4編 パーカッション掘削工法の標準積算 |
| 第5編 ケーシング回転掘削工法の標準積算 | 第6編 建設機械等損料表         |

### ◆ 改訂内容

令和元年度版からの主な改訂事項は以下のとおりです。

#### 国土交通省土木工事標準積算の改正に伴う改訂

アースオーガ掘削工法に用いるクローラ  
クレーンの排出ガス対策型への移行  
標準積算例に解りやすく解説  
国土交通省基準に準拠した機械等損料表の改定  
最新の施工実績に更新

● A4判／約230頁（カラー写真入り）

● 価格

一般価格：本体6,000円＋消費税

会員価格：本体5,100円＋消費税

※ 送料は一般・会員とも

沖縄県以外 700円

沖縄県 450円（但し県内に限る）

※ なお送料について、複数又は他の発刊本と同時に申込みの場合は別途とさせていただきます。

● 発刊 令和2年5月15日



# 令和3年度版 建設機械等損料表

- 発売日 : 令和3年5月7日
- 体裁 : A4判 モノクロ 約480ページ
- 定 価 : 一般価格 8,800円 (本体8,000円+税10%)  
          会員価格 7,480円 (本体6,800円+税10%)  
          【郵送を希望される場合は、送料別途となります】

## ■ 内容

- I. 機械損料の構成と解説
- II. 関連通達・告示等
- III. 損料算定表の見方(要約版)
- IV. 建設機械等損料算定表
- V. 船舶損料算定表
- VI. ダム施工機械等損料算定表
- VII. 除雪用建設機械等損料算定表



一般社団法人 日本建設機械施工協会

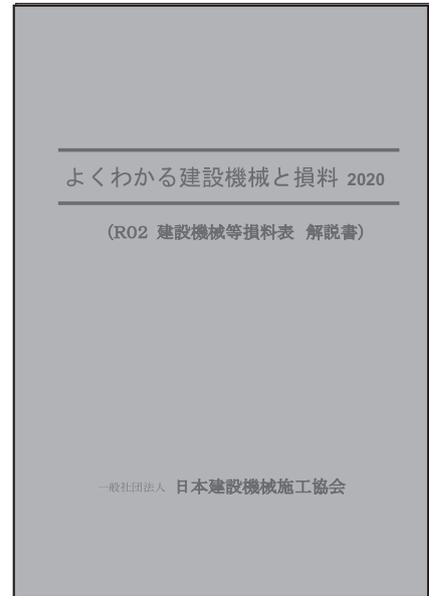
## 「令和2年度版 建設機械等損料表」の解説書 「よくわかる建設機械と損料 2020」の発売について

一般社団法人 日本建設機械施工協会(会長:田崎 忠行)は、5月下旬に書籍「よくわかる建設機械と損料 2020」を下記の通り発売します。

本書は先に発刊した書籍「令和2年度版 建設機械等損料表」の記載・掲載内容をわかりやすく解説したもので、多くの特長を持っています。

単に損料に関する理解を深めるだけでなく、機械そのものに対する幅広い知識を得るという点においても有効・有益な資料と考えます。是非ご活用下さい。

なお今回、解説文の文字を大きくしています。



書籍の表紙イメージ

\*\*\*\*\* 記 \*\*\*\*\*

■発売日：令和2年5月

■体裁：A4判、一部カラー、約330ページ

■本体価格(税別・送料別)

一般：6,000円 会員：5,100円

■内容・特長

- (1) 損料用語を平易な表現でわかりやすく解説
- (2) 換算値損料や損料補正值の計算例を紹介
- (3) R02損料算定表の主な改正点を表にして紹介
- (4) 19件の関連通達・告示類の位置付けと要旨を解説
- (5) 建設機械器具のコード体系を大分類別に図示
- (6) 損料算定表に掲載の大半の機械器具について、その概要・特徴を写真・図を添えて紹介
- (7) 主要な建設機械については、メーカー・型式名を表にして紹介
- (8) 索引でヒットしない機械について、その要因と対処方法を表にして紹介

\*\*\*\*\* 以上 \*\*\*\*\*

■お問い合わせ先

東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館内)

一般社団法人 日本建設機械施工協会 (TEL:03-3433-1501)

# 2019年版 日本建設機械要覧 電子書籍(PDF)版 発売通知

当協会では、国内における建設機械を網羅した『日本建設機械要覧』を2019年3月に刊行し、現場技術者の工事計画の立案、積算、機械技術者の建設機械のデータ収集等に活用頂き、好評を頂いております。

このたびこの建設機械要覧に関して更に便利に活用いただくよう新たに次の2種類の電子書籍（PDF）版を発売いたしますので、ここにご案内申し上げます。

是非とも活用いただきたく、お願い申し上げます。

|    |   |   |   |             |
|----|---|---|---|-------------|
| 1  | 商品名                                       | 日本建設機械要覧2019<br>電子書籍（PDF）版  | 建設機械スプッカー一覧表、<br>電子書籍（PDF）版             |             |
| 2  | 形態  | 電子書籍（PDF）   | 電子書籍（PDF）                               |             |
| 3  | 閲覧  | Web上で閲覧<br>パソコン、タブレット、<br>スマートフォンからアクセス   | Web上で閲覧<br>パソコン、タブレット、<br>スマートフォンからアクセス |             |
| 4  | 内容  | 要覧全頁  | spec一覧表                                 |             |
| 5  | 改訂  | 3年毎   | 3年毎                                     |             |
| 6  | 新機種情報                                     | 要覧クラブで対応  | 要覧クラブで対応                                |             |
| 7  | 検索機能                                      | 1.単語検索  | 1.単語検索                                  |             |
| 8  | 附属機能<br>注) タブレット・スマートフォンは、<br>一部機能が使えません。 | ・しおり ・拡大・縮小 ・付箋機能<br>・ペン機能 ・目次からのリンク ・各<br>章ごと目次からのリンク ・索引からの<br>リンク ・メーカーHPへのリンク | ・しおり ・拡大・縮小 ・付箋機能<br>・ペン機能 ・メーカーHPへのリンク |             |
| 9  | 予定販売<br>価格<br>(円・税込)                      | 会員  | 55,000（3年間）                             | 49,500（3年間） |
|    |   | 非会員   | 66,000（3年間）                             | 60,500（3年間） |
| 10 | 利用期間                                      | 3年間   | 3年間                                     |             |
| 11 | 同時ログイン                                    | 3台  | 3台                                      |             |
| 12 | 認証方法                                      | ID+パスワード  | ID+パスワード                                |             |
| 13 | 購入方法                                      | WEB上にて申込み（HP参照下さい）  | WEB上にて申込み（HP参照下さい）                      |             |

## 発売時期

令和元年5月 HP : <http://www.jcmanet.or.jp/>

様々な環境で閲覧できます。  
タブレット、スマートフォンで外出先でもデータ  
にアクセスできます。

## Webサイト 要覧クラブ

2019年版日本建設機械要覧およびスプッカー一覧表電子書籍（PDF）版購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から、2016年版日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2019年版を含めると1998年から2018年までの建設機械データが活用いただけます。

また、同じ要覧クラブ上で新機種情報も閲覧およびダウンロードできます。



お問合せ先：業務部 鈴木英隆 TEL：03-3433-1501 E-mail：suzuki@jcmanet.or.jp

# 2019年版 日本建設機械要覧

## 発売のご案内

本協会では、国内における建設機械の実態を網羅した『日本建設機械要覧』を1950年より3年ごとに刊行し、現場技術者の工事計画の立案、積算、機械技術者の建設機械のデータ収集等に活用頂き、好評を頂いております。

本書は、専門家で構成する編集委員会の審査に基づき、良好な使用実績を示した国産および輸入の各種建設機械、作業船、工事用機械等を選択して写真、図面等のほか、主要緒元、性能、特長等の技術的事項、データを網羅しております。購読者の方々には欠かすことのできない実務必携書となるものと確信しております。



### 発刊日

平成31年3月

### 体裁

- ・B5判、約1,276頁／写真、図面多数／表紙特製
- ・2016年版より外観を大幅に刷新しました。

### 価格（消費税10%含む）

一般価格 53,900円（本体49,000円）

会員価格 45,100円（本体41,000円）

（注）送料は1冊900円（複数冊の場合別途）

### 特典

2019年版日本建設機械要覧購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から2016年版までの全ての日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2019年版を含めると1998年から2018年までの建設機械データが活用いただけます。

なお同じ要覧クラブ上で2019年版要覧以降発売された新機種情報もご覧いただけます。

### 2019年版 内容

- ・ブルドーザおよびスクレーパ
- ・掘削機械
- ・積込機械
- ・運搬機械
- ・クレーン、インクラインおよびウインチ
- ・基礎工事機械
- ・せん孔機械およびブレーカ
- ・トンネル掘削機および設備機械
- ・骨材生産機械
- ・環境保全およびリサイクル機械
- ・コンクリート機械
- ・モータグレーダ、路盤機械および締固め機械
- ・舗装機械
- ・維持修繕・災害対策用機械および除雪機械
- ・作業船
- ・ICT建機、ICT機器（新規）
- ・高所作業車、エレベータ、リフトアップ工法、横引き工法および新建築生産システム
- ・空気圧縮機、送風機およびポンプ
- ・原動機および発電・変電設備等
- ・建設ロボット
- ・WJ工法、CSG工法、タイヤ、ワイヤロープ、燃料油、潤滑剤および作動油、検査機器等

# 論文投稿のご案内

日本建設機械施工協会では、学術論文の投稿を歓迎します。論文投稿の概要は、以下のとおりです。なお、詳しいことは、当協会ホームページ、論文投稿のご案内をご覧ください。

当協会ホームページ <http://www.jcmanet.or.jp>

## ★投稿対象

建設機械、機械設備または建設施工の分野及びその他の関連分野並びにこれらの分野と連携する学際的、横断的な諸課題に関する分野を対象とする学術論文(原著論文)の原稿でありかつ下記の条件を満足するものとします。なお、施工報告や建設機械の開発報告も対象とします。

- (1) 理論的又は実証的な研究・技術成果、あるいはそれらを統合した知見を示すものであって、独創性があり、論文として完結した体裁を整えていること。
- (2) この分野にとって高い有用性を持ち、新しい知見をもたらす研究であること。
- (3) この分野の発展に大きく寄与する研究であること。
- (4) 将来のこの分野の発展に寄与する可能性のある萌芽的な研究であること。

## ★部門

- (1) 建設機械と機械設備並びにその高度化に資する技術部門
- (2) 建設施工と維持管理並びにその高度化に資する技術部門

## ★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

## ★原稿の受付

随時受け付けます。

## ★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

## ★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : [ronbun@jcmanet.or.jp](mailto:ronbun@jcmanet.or.jp)

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

## ◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会費：年間 9,000円(不課税)

個人会員は、日本建設機械施工協会の定款に明記されている正式な会員で、本協会の目的に賛同し、建設機械・建設施工にご関心のある方であればどなたでもご入会いただけます。

### ★個人会員の特典

- 「建設機械施工」を機関誌として毎月お届け致します。(一般購入価格 1冊800円＋消費税/送料別途)  
「建設機械施工」では、建設機械や建設施工に関わる最新の技術情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告などのほか、新工法・新機種の紹介や統計情報等の豊富な情報を掲載しています。
- 協会発行の出版図書を会員価格(割引価格)で購入することができます。
- シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新の建設機械・建設施工の動向にふれることができる協会行事をご案内するとともに、会員価格(割引価格)でご参加いただけます。

この機会に是非ご入会下さい!!

## ◆ 一般社団法人 日本建設機械施工協会について

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、建設事業の機械化を推進し、国土の開発と経済の発展に寄与することを目的として、昭和25年に設立された団体です。建設の機械化に係わる各分野において調査・研究、普及・啓蒙活動を行い、建設の機械化や施工の安全、環境問題、情報化施工、規格の標準化案の作成などの事業のほか、災害応急対策の支援等による社会貢献などを行っております。

今後の建設分野における技術革新の時代の中で、より先導的な役割を果たし、わが国の発展に寄与してまいります。

### 一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

- 建設機械及び建設施工に関わる学術研究団体です。(特許法第30条に基づく指定及び日本学術会議協力学術研究団体)
- 建設機械に関する内外の規格の審議・制定を行っています。(国際標準専門委員会の国内審議団体(ISO/TC127、TC195、TC214)、日本工業規格(JIS)の建設機械部門原案作成団体、当協会団体規格「JCMAS」の審議・制定)
- 建設機械施工技術検定試験の実施機関に指定されています。(建設業法第27条)
- 災害発生時には会員企業とともに災害対処にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
- 付属機関として「施工技術総合研究所」を有しており、建設機械・施工技術に関する調査研究・技術開発にあたっています。また、高度な専門知識と豊富な技術開発経験に基づいて各種の性能試験・証明・評定等を実施しています。
- 北海道から九州まで全国に8つの支部を有し、地域に根ざした活動を展開しています。
- 外国人技能実習制度における建設機械施工職種の技能実習評価試験実施機関として承認されています。

#### ■会員構成

会員は日本建設機械施工協会の目的に賛同された、個人会員(建設機械や建設施工の関係者等や関心のある方)、団体会員(法人・団体等)ならびに支部団体会員で構成されており、協会の事業活動は主に会員の会費によって運営されています。

#### ■主な事業活動

- ・学術研究、技術開発、情報化施工、規格標準化等の各種委員会活動。
- ・建設機械施工技術検定試験・外国人技能評価試験の実施。
- ・各種技術図書・専門図書の発行。
- ・除雪機械展示会の開催。
- ・シンポジウム、講習会、講演会、見学会等の開催。海外視察団の派遣。

#### ■主な出版図書

- ・建設機械施工(月刊誌)
- ・日本建設機械要覧
- ・建設機械等損料表
- ・橋梁架設工事の積算
- ・大口径岩盤削孔工法の積算
- ・よくわかる建設機械と損料
- ・ICTを活用した建設技術(情報化施工)
- ・建設機械施工安全技術指針本文とその解説
- ・道路除雪オペレータの手引き

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<http://www.icmanet.or.jp/>

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

### 【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係  
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F  
TEL:(03)3433-1501 FAX:(03)3432-0289

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

個人会員入会申込書

|             |                             |                |
|-------------|-----------------------------|----------------|
| ふりがな        |                             | 生年月日           |
| 氏名          |                             | 昭和<br>平成 年 月 日 |
| 勤務先名        |                             |                |
| 所属部課名       |                             |                |
| 勤務先住所       | 〒<br>TEL _____ E-mail _____ |                |
| 自宅住所        | 〒<br>TEL _____ E-mail _____ |                |
| 機関誌の送付先     | 勤務先 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。) |                |
| その他<br>連絡事項 | 令和 年 月より入会                  |                |

【会費について】年間 9,000円(不課税)

- 会費は当該年度前納となります。年度は毎年4月から翌年3月です。
- 年度途中で入会される場合であっても、当該年度の会費として全額をお支払い頂きます。
- 会費には機関誌「建設機械施工」の費用(年間12冊)が含まれています。
- 退会のご連絡がない限り、毎年度継続となります。退会の際は必ず書面にてご連絡下さい。また、住所変更の際はご一報下さるようお願い致します。

【その他ご入会に際しての留意事項】

- 個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。○入会手続きは本協会会長宛に入会申込書を提出する必要があります。
- 会費額は総会の決定により変更されることがあります。○次の場合、会員の資格を喪失します:1.退会届が提出されたとき。2.後見開始又は保佐開始の審判をうけたとき。3.死亡し、又は失踪宣言をうけたとき。4.1年以上会費を滞納したとき。5.除名されたとき。○資格喪失時の権利及び義務:資格を喪失したときは、本協会に対する権利を失い、義務は免れます。ただし未履行の義務は免れることはできません。○退会の際は退会届を会長宛に提出しなければなりません。○抛出金の不返還:既納の会費及びその他の抛出金品は原則として返還いたしません。

【個人情報の取扱いについて】

ご記入頂きました個人情報は、日本建設機械施工協会のプライバシーポリシー(個人情報保護方針)に基づき適正に管理いたします。本協会のプライバシーポリシーは <http://www.jcmnet.or.jp/privacy/> をご覧下さい。

| No. | 発行年月     | 図 書 名                                 | 一般価格<br>(税込)             | 会員価格<br>(税込) | 送料  |
|-----|----------|---------------------------------------|--------------------------|--------------|-----|
| 1   | R 3年 9月  | 道路除雪施工の手引                             | 4,950                    | 3,960        | 700 |
| 2   | R 3年 5月  | 橋梁架設工事の積算 令和3年度版                      | 11,000                   | 9,350        | 900 |
| 3   | R 3年 5月  | 令和3年度版 建設機械等損料表                       | 8,800                    | 7,480        | 700 |
| 4   | R 3年 1月  | 情報化施工の基礎 ～i-Constructionの普及に向けて～      | 2,200                    | 1,870        | 700 |
| 5   | R 2年 5月  | よくわかる建設機械と損料 2020                     | 6,600                    | 5,610        | 700 |
| 6   | R 2年 5月  | 大口径岩盤削孔工法の積算 令和2年度版                   | 6,600                    | 5,610        | 700 |
| 7   | R 2年 5月  | 令和2年度版 建設機械等損料表                       | 8,800                    | 7,480        | 700 |
| 8   | R 元年 9月  | 大口径岩盤削孔工法の積算 令和元年度版                   | 6,600                    | 5,610        | 700 |
| 9   | R 元年 6月  | 日本建設機械要覧2019年電子書籍(PDF)版               | 66,000                   | 55,000       | -   |
| 10  | R 元年 6月  | 建設機械スペッカー一覧表2019年電子書籍(PDF)版           | 60,500                   | 49,500       | -   |
| 11  | R 元年 5月  | 令和元年度版 建設機械等損料表                       | 8,800                    | 7,480        | 700 |
| 12  | H31年 3月  | 日本建設機械要覧 2019年版                       | 53,900                   | 45,100       | 900 |
| 13  | H30年 8月  | 消融雪設備点検・整備ハンドブック                      | 13,200                   | 11,000       | 700 |
| 14  | H30年 5月  | よくわかる建設機械と損料 2018                     | 6,600                    | 5,610        | 700 |
| 15  | H29年 4月  | ICTを活用した建設技術(情報化施工)                   | 1,320                    | 1,100        | 700 |
| 16  | H26年 3月  | 情報化施工デジタルガイドブック【DVD版】                 | 2,200                    | 1,980        | 700 |
| 17  | H25年 6月  | 機械除草安全作業の手引き                          | 990                      | 880          | 250 |
| 18  | H23年 4月  | 建設機械施工ハンドブック(改訂4版)                    | 6,600                    | 5,604        | 700 |
| 19  | H22年 9月  | アスファルトフィニッシャの変遷                       | 3,300                    |              | 700 |
| 20  | H22年 9月  | アスファルトフィニッシャの変遷【CD】                   | 3,300                    |              | 250 |
| 21  | H22年 7月  | 情報化施工の実務                              | 2,200                    | 1,885        | 700 |
| 22  | H21年 11月 | 情報化施工ガイドブック2009                       | 2,420                    | 2,200        | 700 |
| 23  | H20年 6月  | 写真でたどる建設機械200年                        | 3,080                    | 2,608        | 700 |
| 24  | H19年 12月 | 除雪機械技術ハンドブック                          | 3,143                    |              | 700 |
| 25  | H18年 2月  | 建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説                | 3,520                    | 2,933        | 700 |
| 26  | H17年 9月  | 建設機械ポケットブック(除雪機械編)                    | 1,048                    |              | 250 |
| 27  | H16年 12月 | 2005「除雪・防雪ハンドブック」(除雪編)**              | 5,238                    |              | 250 |
| 28  | H15年 7月  | 道路管理施設等設計指針(案)道路管理施設等設計要領(案)**        | 3,520                    |              | 250 |
| 29  | H15年 7月  | 建設施工における地球温暖化対策の手引き                   | 1,650                    | 1,540        | 700 |
| 30  | H15年 6月  | 道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル(案)               | 1,980                    |              | 700 |
| 31  | H15年 6月  | 機械設備点検整備共通仕様書(案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領(案) | 1,980                    |              | 700 |
| 32  | H15年 6月  | 地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル                    | 550                      |              | 250 |
| 33  | H13年 2月  | 建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック(第3版)              | 6,600                    | 6,160        | 700 |
| 34  | H12年 3月  | 移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル(第2版)         | 2,724                    | 2,410        | 700 |
| 35  | H11年 10月 | 機械工事施工ハンドブック 平成11年度版                  | 8,360                    |              | 700 |
| 36  | H11年 5月  | 建設機械化の50年                             | 4,400                    |              | 700 |
| 37  | H11年 4月  | 建設機械図鑑                                | 2,750                    |              | 700 |
| 38  | H10年 3月  | 大型建設機械の分解輸送マニュアル**                    | 3,960                    | 3,520        | 250 |
| 39  | H9年 5月   | 建設機械用語集                               | 2,200                    | 1,980        | 700 |
| 40  | H6年 8月   | ジオスペースの開発と建設機械                        | 8,382                    | 7,857        | 700 |
| 41  | H6年 4月   | 建設作業振動対策マニュアル                         | 6,286                    | 5,657        | 700 |
| 42  | H3年 4月   | 最近の軟弱地盤工法と施工例                         | 10,266                   | 9,742        | 700 |
| 43  | S 63年 3月 | 新編 防雪工学ハンドブック【POD版】                   | 11,000                   | 9,900        | 700 |
| 44  | S 60年 1月 | 建設工事に伴う濁水対策ハンドブック**                   | 6,600                    |              | 250 |
| 45  |          | 建設機械履歴簿                               | 419                      |              | 250 |
| 46  | 毎月 25日   | 建設機械施工                                | 880                      | 792          | 700 |
|     |          |                                       | 定期購読料 年12冊 9,408円(税・送料込) |              |     |

購入のお申し込みは当協会 HP <http://www.jcmanet.or.jp> の出版図書欄の「ご購入方法」から「図書購入申込書」をプリントアウトし、必要事項をご記入のうえ、FAX またはメール添付してください。

※については当協会 HP <http://www.jcmanet.or.jp> の出版図書欄をご参照ください。

|             |   |
|-------------|---|
| 特集          | <h3>地球温暖化対策, 環境対策</h3>  |
| 巻頭言         | 4 地球温暖化を正しく恐れる<br>深川 良一 立命館大学 特命教授  |
| 行政情報        | 5 国土交通省におけるカーボンニュートラルに向けた取組<br>吉田 真人 国土交通省 大臣官房 技術調査課 課長補佐  |
|             | 10 みどりの食料システム戦略<br>食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現<br>久保牧衣子 農林水産省 大臣官房 環境バイオマス政策課 地球環境対策室長   |
|             | 16 建設施工における地球温暖化対策<br>守田 銀二 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 環境技術係長  |
| 特集・<br>技術報文 | 21 地球温暖化の抑制策の考察と提言<br>大川 聡 博士 (システムエンジニアリング学), 『建設機械要覧』編集委員会委員, 元慶応義塾大学 SDM 研究所, 元コマツ   |
|             | 31 再生可能エネルギーと水素を利用したスマートエネルギー社会の構築への取り組み<br>島 潔 ㈱大林組 技術本部 スマートエネルギー・ソリューション部 部長<br>油島 栄蔵 ㈱大林組 技術本部 技術ソリューション部 副部長<br>伊藤 剛 ㈱大林組 技術本部 統括部長  |
|             | 40 建物及び街区における水素普及展開を目指した<br>低圧水素配送システム実証事業<br>環境省委託事業 地域連携・低炭素水素技術実証事業<br>酒井 佳人 大成建設㈱ エンジニアリング本部 産業施設プロジェクト部 エネルギー・インフラプロジェクト室 専任部長代理   |
|             | 46 いま, 建設業に求められるサプライチェーン CO <sub>2</sub> 削減<br>吉村 美毅 鹿島建設㈱ 環境本部 地球環境室 室長  |
|             | 51 高炉スラグ微粉末を用いた環境配慮型コンクリート<br>ゼネコン 13 社による CELBIC の共同開発<br>河野 政典 ㈱奥村組 技術研究所 企画管理グループ グループ長<br>金子 樹 ㈱長谷工コーポレーション 技術研究所 建築材料研究室<br>高橋 祐一 五洋建設㈱ 技術研究所 建築技術開発部 専門部長<br>古川 雄太 東急建設㈱ 技術研究所 構工法・材料グループ 研究員 |
|             | 59 夜間工事照明への LED 採用による周辺環境への影響予測と<br>CO <sub>2</sub> 排出量削減効果<br>加藤 雄大 清水建設㈱ 技術研究所 環境基盤技術センター 研究員   |
|             | 63 カルシア改質土による地球温暖化対策への展望<br>カルシア落下混合船と浅場・藻場造成への取り組み<br>中川 雅夫 五洋建設㈱ 土木部門 顧問<br>田中 裕一 五洋建設㈱ 土木部門 環境事業部 専門部長   |
|             | 69 ブレード起立装置と自走式台車による風力発電用ブレード輸送<br>Goldhofer 社製 ブレード起立装置 FTV550 と自走式モジュールトレーラー<br>PST/SL-E<br>梶原 克弘 伊藤忠 TC 建機㈱ 建機・仮設第二事業部 大阪支店 支店長代行  |
|             | 74 プラズマ式イオン乾燥技術の開発による資源循環型事業の展開<br>プラズマ式イオン・活性酸素種等発生装置 (MIRA (MixedIonReactiveApproach) システム) の概要とその展開<br>宮崎 龍司 鉄建建設㈱ 経営企画本部 新事業推進室長, グレンカル・シナリー㈱ 取締役<br>鈴木 尊 鉄建建設㈱ 経営企画本部 広報部長, 元グレンカル・シナリー㈱ 執行役員  |
|             | 79 バッテリー駆動式ミニショベルの開発 PC30E-5<br>永嶋 芳明 コマツ 開発本部車両第四開発センタ ミニ建機開発グループ チームマネージャー<br>野村 真 コマツ 開発本部 ICT システム開発センタ 電動化システム開発グループ<br>シニアエキスパートエンジニア<br>広田 崇 コマツ 開発本部電動化開発センタ 電動化企画グループ エキスパートエンジニア          |

|        |     |  |
|--------|-----|--|
|        | 85  | マイニングダンプトラック<br>トローリー受電式マイニング用ダンプトラックにおける<br>二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> ) の低減<br>堀井 泰 日立建機(株) マイニング事業本部 営業技術サポート部 技術課長                 |
|        | 88  | ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」リニューアル<br>内海 曉人 東亜建設工業(株) 土木事業本部 機電部機械グループ   |
|        | 92  | 防音ハウスの換気エネルギーマネジメントシステム<br>全体換気から「立体メッシュ換気」への転換<br>小堀 孝之 ヤクモ(株) 第二事業部 次長<br>齋藤由美子 ヤクモ(株) 第二事業部 技術開発課 係長<br>飯島 陽介 デービー(株) 那須工場 工場長  |
|        | 97  | SDGs に寄与する革新的な水処理装置<br>新膜ろ過装置「ECO クリーン」の開発<br>西村 章 (株)流機エンジニアリング 代表取締役会長<br>西村 聡 (株)流機エンジニアリング 代表取締役社長<br>林 正也 (株)流機エンジニアリング 常務取締役 |
|        | 101 | 自走式バイブロードリルマシンで高速施工可能な注入管<br>および観測井の開発<br>高畑 陽 大成建設(株) 技術センター 主幹研究員  |
|        | 107 | 環境低負荷資材を利用した土壌固化・地盤改良技術の<br>開発とその可能性<br>中村 孝道 (株)熊谷組 技術本部 技術研究所 循環工学研究室 主任研究員  |
|        | 112 | 横浜市役所の ZEB の実現<br>左 勝旭 (株)竹中工務店 東京本店 設計部 設備部門 設備 2 グループ長   |
| 交流のひろば | 118 | 環境エネルギービジネスと環境対応型電力分野への<br>事業展開のご紹介<br>山下 英峰 オリックス(株) 環境エネルギー本部 副本部長   |
| ずいそう   | 121 | 土木の生物屋として 40 年<br>中瀬 浩太 五洋建設(株) 環境事業部シニアエキスパート専門部長   |
|        | 123 | 「土里居夢」シリーズ 第二弾 憧れのツリーハウスをセルフビルド<br>横澤圭一郎 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 技術顧問   |
|        | 126 | 新工法紹介 機関誌編集委員会   |
| 統計     | 127 | 建設工事受注額・建設機械受注額の推移 機関誌編集委員会  |
|        | 128 | 行事一覧 (2021 年 9 月)  |
|        | 132 | 編集後記 (赤坂・松澤)   |

◇表紙写真説明◇

ブレード起立装置と自走式台車による風力発電用ブレード輸送

写真提供：伊藤忠 TC 建機(株)

ヨーロッパでのブレード輸送風景

使用機材：GOLDHOFER PST/SL-E10(4+6)+FTV500

ブレード起立状態

10 軸編成にすることで縦方向の安定性を高め、荷台上にカウンターバラストを積載することで車両全体の安定度を高めている。

車両全体の重量を増やすことは、駆動車軸への確実な動力伝達にも寄与している。

## 巻頭言

# 地球温暖化を正しく恐れる

深川 良一



地球温暖化が加速している。それに伴って、これまでであればイメージしにくいような大規模災害が頻発している。カナダでは最高気温が49.6℃に達し、熱波のため233名が亡くなった(6月)。ドイツとベルギーで河川氾濫・土砂災害が発生し、200名を超える人が犠牲になった(7月)。イタリア、フランス、ギリシャなどの地中海沿岸国が50℃近い熱波に襲われ、大規模な山火事が発生した(8月) ニューヨーク市を含むアメリカ北東部でハリケーン襲来に伴う洪水が発生し、46名が犠牲になった(9月)等、枚挙にいとまがない。

地球温暖化に関しては、元々多くの研究者、ジャーナリストが警鐘を鳴らしてきた。ただし、地球温暖化は多くの要因の影響を複雑に受けるため、大半の研究者は地球温暖化と人間活動との間の因果関係をかなり慎重に評価してきたというのが実情であろう。地球温暖化の進展に警鐘を鳴らす最近の本として、例えば「地球に住めなくなる日：デイビッド・ウォレス・ウェルズ著、NHK出版」を挙げることができる。この本は2020年3月に出版されたが、今年起こったいろいろな事象を見ていると、ウェルズ氏の主張は正しいように思える。

国連の「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」第1作業部会は今年8月、各国が最善の地球温暖化対策を講じても、世界の平均気温が今後約20年で産業革命前比で1.5℃上昇すると報告した。また、IPCCは、今回初めて「気温上昇は人が原因である」と断定した。報告書は世界の750名以上の専門家が最新の研究成果や調査結果に基づいて作成したものであり、いわば科学界の総意とでも言うべきものである。この事実を重く受け止める必要がある。また、1.5度の平均気温上昇がもたらすことについても我々はもっと想像力を働かすべきであろう。熱波がさらに頻発する。山火事も増える。飢餓に苦しむ人が増える。海水面の上昇により水没する国が増える。台風などが激化、大規模化する。早魃も頻発する。感染症も拡大する。等々。気温

上昇と以上の結果との因果関係については続々とデータが蓄積されてきている。また、気温上昇が地球上で一律に起こるわけではないことに注意する必要がある。より過酷な地域が出現し、それこそ「住めなくなる」のが現実になる恐れがある。

このような状況に対して、我々は何をなすべきであろうか。国土交通省は、「国土交通省における地球温暖化対策について【概要】」において推進策を提示している。それは1) 低炭素都市づくりの推進、2) 環境対応車の開発・普及、最適な利活用の推進など10項目からなる。その中の項目の1つとして、9) 建設機械の環境対策の推進がある。具体的な活動の柱は、燃費基準達成型建設機械および低炭素型建設機械の促進である。燃費基準を導入することで建機メーカーの技術革新を促すという効果が期待できる。また、ハイブリッド式や電動式等の先進的技術を組み込んだ低炭素型建設機械の導入も促している。各建機メーカーの取り組みが加速されることを期待したい。さらに、通常の施工時におけるCO<sub>2</sub>削減の取り組みも重要である。即ち、アイドリングストップ、省燃費運転、車両の適正整備点検、無駄な動きや作業の削減等である。加えて、ICTの積極的活用により、作業効率の最大化、CO<sub>2</sub>発生最小化という2つの課題を高いレベルでもクリアするような施工システムの開発が期待される。

地球温暖化の問題は、我々の体で言えば生活習慣病に似ている。日々の生活の影響はすぐには現れないが、じわじわ我々の健康をむしばんでいく。手遅れになる前に対策を講じなければならない。地球温暖化によって引き起こされる惨劇は今やかなりリアルであり、我々の子や孫の世代が影響をまともに受ける。そういう事態を避けるため、国～個人のあらゆるレベルでの対応が求められている。今がまさに正念場である。

## 行政情報

## 国土交通省におけるカーボンニュートラルに向けた取組

吉田 真人

国土交通省では、2050年カーボンニュートラルの実現に向け、社会資本整備審議会・交通政策審議会に「グリーン社会ワーキンググループ」を設置し、グリーン社会の実現に向けた施策・プロジェクトについて議論を進めてきた。本稿では、カーボンニュートラルの実現に向け取り組むプロジェクトを「国土交通グリーンチャレンジ」としてとりまとめたので紹介する。

キーワード：カーボンニュートラル、グリーン社会、脱炭素、地球温暖化、グリーンチャレンジ

## 1. はじめに

国土交通省では、令和2年10月26日の菅内閣総理大臣所信表明演説における「2050年カーボンニュートラル」発言等を受け、2050年のカーボンニュートラルの実現、気候危機への対応など、グリーン社会の実現に貢献するため、我が国のCO<sub>2</sub>排出量の約5割を占める運輸、家庭・業務部門の脱炭素化等に向けた地球温暖化緩和策、気候変動適応策等に戦略的に取り組む国土交通省の環境分野でのグリーン技術を含めた

施策・プロジェクトをとりまとめることとした。この調査審議のため、社会資本整備審議会、交通政策審議会の技術部会、環境部会の下に合同会議として「グリーン社会ワーキンググループ（以下、「WG」という。）」を設置し、令和3年3月から6月にかけて計5回議論を行い、令和3年7月6日に「国土交通グリーンチャレンジ（以下、「グリーンチャレンジ」という。）」として施策・プロジェクトをとりまとめ、公表をした（図1）。本稿では、「グリーンチャレンジ」の概要について紹介する。

## グリーン社会の実現に向けた国土交通分野の施策・プロジェクトに関する検討について

## 社会資本整備審議会・交通政策審議会

## 環境部会・技術部会合同の「グリーン社会WG」の開催について

## ○趣旨

2050年カーボンニュートラルの実現、気候危機への対応など、グリーン社会の実現に貢献するため、我が国のCO<sub>2</sub>排出量の約5割を占める運輸、家庭・業務部門の脱炭素化等に向けた地球温暖化緩和策、気候変動適応策等に戦略的に取り組む国土交通省の環境分野でのグリーン技術を含めた施策・プロジェクトのとりまとめに向けた調査審議を行う。

## ○グリーン社会WGの開催

社会資本整備審議会及び交通政策審議会交通体系分科会の環境部会及び技術部会合同で、有識者による「グリーン社会WG」を開催する。

## ○検討スケジュール及び調査審議の成果

本年夏頃を目途に調査審議の成果をとりまとめ、骨太方針・成長戦略、令和4年度概算要求等への反映を図るとともに、本年11月のCOP26に向けて改定予定の政府の地球温暖化対策計画や国土交通省環境行動計画等にも反映する。

## 【委員】

|        |                    |        |                          |
|--------|--------------------|--------|--------------------------|
| ◎石田 東生 | 筑波大学名誉教授           | 田中 充   | 法政大学社会学部教授               |
| 伊藤 香織  | 東京理科大学理工学部建築学科教授   | 谷口 守   | 筑波大学システム情報系社会学域教授        |
| 越塚 登   | 東京大学大学院情報学環教授      | 二村 真理子 | 東京女子大学現代教養学部教授           |
| 小林 潔司  | 京都大学経営管理大学院特任教授    | 村山 英晶  | 東京大学新領域創成科学研究科教授         |
| 塩路 昌宏  | 京都大学名誉教授           | 屋井 鉄雄  | 東京工業大学副学長、環境・社会理工学院教授    |
| 高村 ゆかり | 東京大学未来ビジョン研究センター教授 | 山田 正   | 中央大学研究開発機構教授             |
| 竹内 純子  | 国際環境経済研究所理事・主席研究員  | 山戸 昌子  | トヨタ自動車(株)先進技術開発カンパニー環境部長 |

## 【開催スケジュール】

|     |          |             |                         |
|-----|----------|-------------|-------------------------|
| 第1回 | 3月3日(水)  | 16:30~18:30 | 検討の視点等、港湾・海事分野における取組    |
| 第2回 | 3月19日(金) | 10:00~12:00 | くらし・まちづくり、グリーンインフラ関係の取組 |
| 第3回 | 4月16日(金) | 10:00~12:30 | 自動車、交通・物流、インフラ関係の取組等    |
| 第4回 | 6月1日(火)  | 15:00~17:00 | とりまとめに向けて               |
| 第5回 | 6月18日(金) | 15:30~17:30 | とりまとめに向けて               |

図1 グリーン社会ワーキンググループの概要

## 2. 「グリーンチャレンジ」の基本的な取組方針

基本的な取組方針として、(1) 分野横断・官民連携による統合的・複合的アプローチ、(2) 時間軸を踏まえた戦略的アプローチの2点を挙げている。

### (1) 分野横断・官民連携による統合的・複合的アプローチ

#### (a) 分野横断・官民連携の観点からの取組強化

カーボンニュートラルの実現、気候危機への対応など、我が国が直面する重要課題に国土交通省として貢献できるよう、省内の関係部局間の連携、省庁の垣根を越えた連携、官民の適切な役割分担に基づく連携の観点を重視し、「グリーンチャレンジ」としてとりまとめる6つの分野横断的な重点プロジェクトを中心に主体や手段の総力を挙げ、また、6つの重点プロジェクト相互の連携の視点も含めて取り組む。

#### (b) 緩和策・適応策等の一体的推進

国土交通省として、現場を持つ強みや技術力を活かしつつ、国土・都市・地域空間において、グリーン社会の実現に貢献できるよう、地球温暖化緩和策や気候変動適応策等に、一体的にかつ相乗効果が発揮できるよう取り組む。

#### (c) 環境と様々な地域・社会課題の同時解決

環境問題と人口減少や少子・高齢化に伴う諸課題、生産性向上、気候変動に伴う災害の激甚化・頻発化や切迫する巨大地震・津波等に対応したレジリエンス強化等の各種の地域・社会課題の同時解決を図る観点から、環境改善の取組と様々な課題対応との多面的なクロスセクター効果が広がるよう、グリーン社会の実現に統合的・複合的に取り組む。特に、経済と環境の好循環を構築する観点から、社会経済活動の活性化を図りつつ、省エネ・省CO<sub>2</sub>の効果をもたらす取組を推進する。

#### (d) 革新的技術開発とその実装のための社会システムの整備推進

グリーン技術の研究開発の加速化とその実装のための社会システムの整備を一体的に推進する。その際には、性能・効用、コスト、社会的受容性の観点、サプライチェーンやライフサイクル全体の観点、行動変容の促進の観点等も含めて検討を行う。特に、新技術の社会実装に向けては、時間軸の観点も踏まえて、コスト構造やその低減方策も含めて検討する必要がある。

### (2) 時間軸を踏まえた戦略的アプローチ

2050年カーボンニュートラルに向けては、インフラ

や住宅・建築物は、今施工するものが2050年にも残るものであること、また、災害の激甚化・頻発化など気候変動リスクの高まりを踏まえ、緩和策・適応策両面で長期的視点から今とすべき対策に戦略的に取り組む。

また、我が国の社会経済活動を支える基盤として蓄積されてきた膨大なインフラストックについて、今後増大する維持管理・更新のタイミングにおいて脱炭素化、強靱化の取組を進めるなど、長期的な視点から、息長くかつ着実に対応していくことが重要であり、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、官民の連携により、戦略的なストックマネジメントを強化していく必要がある。

特に、脱炭素社会の実現に向けては、2050年カーボンニュートラルを目指し、当面2030年度の新たな野心的な排出削減目標の達成に向け、様々な分野における脱炭素化に向けた具体的な目標を可能な限り示しつつ、フォアキャストとバックキャストの組み合わせにより各般の施策に総力を挙げて取り組む。

地域脱炭素化の取組など、現状活用可能な技術の社会実装を含めた対策を今後10年間重点的・集中的に全国展開する。

2050年カーボンニュートラルの実現に不可欠な革新的イノベーションについては、グリーン成長戦略を踏まえ、2050年の長期を見据えつつ、今後10年間の研究開発・実証・実装の加速化を戦略的に推進する。その際には、現時点で技術的に実用化が見通せる技術の研究開発・実証に取り組む、今後10年間で社会実装を図るとともに、2050年カーボンニュートラルの実現に貢献しうるものの現時点で技術的に確立されていない新たな技術の研究開発についても長期的な視点から取り組む必要がある。

また、特に、気候変動適応社会の実現に向けては、気候変動リスクの高まりなど、不確実性の中で、最新の科学的な知見に基づき、柔軟な取組の見直しを図る。

## 3. グリーン社会実現に向けた横断的視点

国土交通分野における環境関連施策・プロジェクトの充実強化に向け、6つの横断的視点を挙げている(図一2)。

- ①イノベーション等に関する産学官の連携
- ②地域との連携
- ③国民・企業の行動変容の促進
- ④デジタル技術・データの活用
- ⑤グリーンファイナンスの活用
- ⑥国際貢献・国際展開

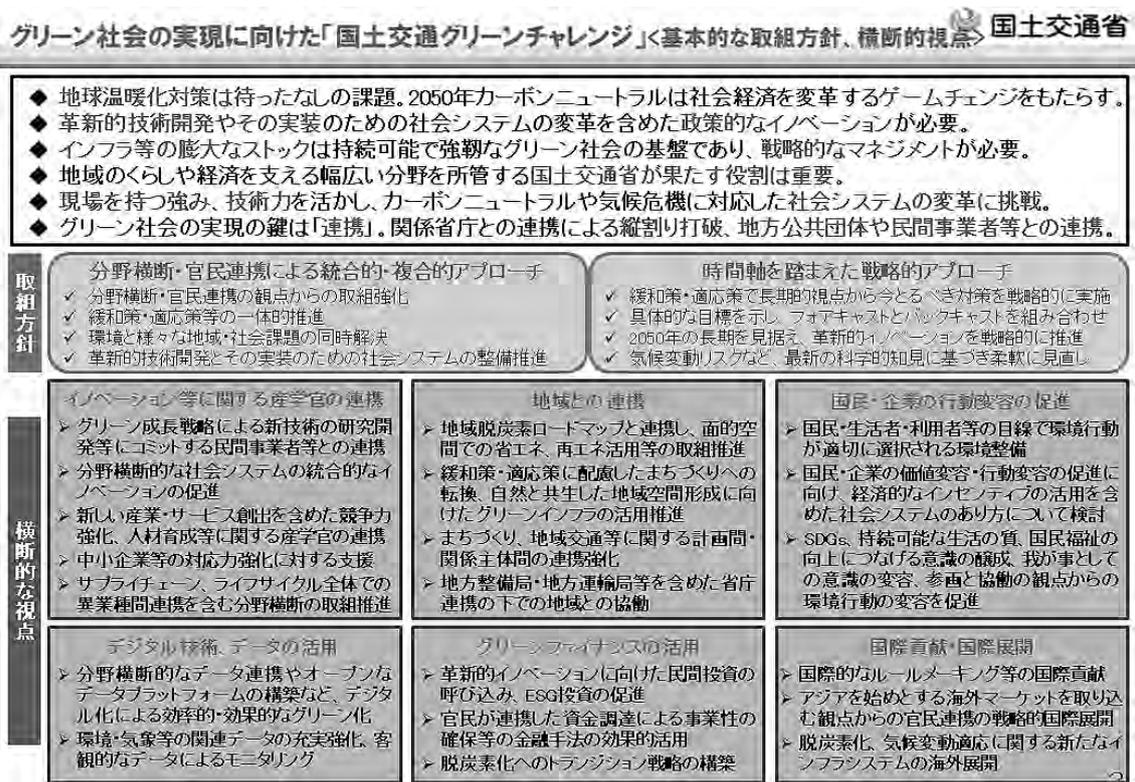


図 ー 2 基本的な取組方針・横断的視点

#### 4. 分野横断・官民連携により取り組む重点プロジェクト (図ー3)

以下では、国土交通省が取り組む6つの重点プロジェクトのうち、インフラ分野に焦点を当てて今後の取組について紹介する。その他の分野については国土交通省HP ([https://www.mlit.go.jp/report/press/sogol0\\_hh\\_000252.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/sogol0_hh_000252.html)) に掲載されているので、そちらも参照してほしい。

一旦整備されると長期間にわたって供用されるインフラ分野において、供用・管理段階でのインフラサービスにおける省エネ化のみならず、ライフサイクル全体の観点から、関係省庁とも連携したCO<sub>2</sub>排出の状況把握にも努めつつ、計画・設計、建設施工、更新・解体等の各段階において、省CO<sub>2</sub>に資する材料活用や環境負荷低減に係る研究開発等も含め、脱炭素化に向けた取組を強化する必要がある。省CO<sub>2</sub>に資する材料として、例えばCO<sub>2</sub>吸収型コンクリートの実用化が図られているが、コストが高く(既製品の約3倍の100円/kg)、コンクリートの中の鉄骨が錆びやすいため、用途が限定されるなどの課題があり、性能向上に向けた技術開発や低コスト化の動向を踏まえつつ、建設業や建設素材製造業と連携して、活用促進に向けた検討を進める必要がある。建設施工分野におけるCO<sub>2</sub>排出量は、産業部門の約1.4%(我が国全体の

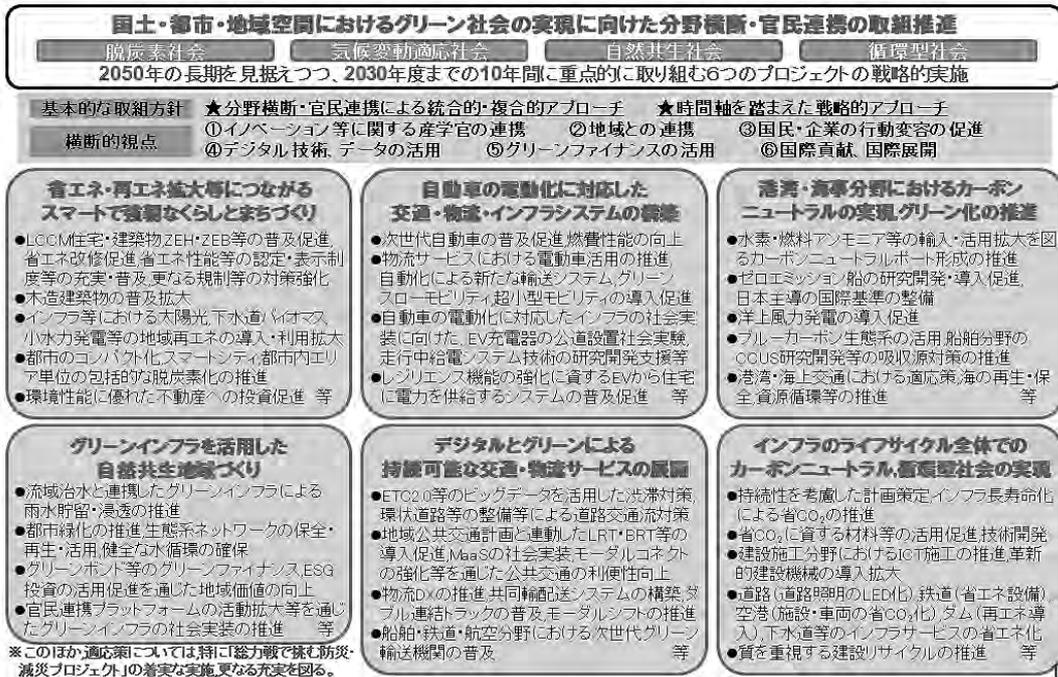
約0.5%)を占めている。その削減に向けては、ICT施工による建設現場の作業時間の短縮を進めていく必要があるが、直轄の建設現場での実施率は約8割に達している一方、地方公共団体における実施率は約3割にとどまっており、ICT施工の更なる普及が必要である。さらに、カーボンニュートラルの実現に向けては、建設機械について、化石燃料を使用するディーゼルエンジンからの転換を図る必要がある。我が国の社会経済活動を支える基盤として蓄積されてきた膨大なインフラストックの老朽化が加速する中、今後増大する維持管理・更新における戦略的なインフラ長寿命化や省エネ・再エネ設備の導入を図ることにより、ライフサイクル全体での省CO<sub>2</sub>化を推進する必要がある。

建設廃棄物のリサイクルについては、多様な関連事業者の参画・連携による建設副産物の再資源化やモニタリング等のシステムの高度化等の成果により、建設廃棄物全体の再資源化・縮減率が約97%まで向上している。今後、インフラの維持管理・更新時代の到来を踏まえ、循環型社会の形成への更なる貢献に向けて、「建設リサイクル推進計画2020～「質」を重視するリサイクルへ～」(令和2年9月)に基づき、質を重視しつつ施策の着実な推進を図る必要がある。

##### 【主な施策】

- (1) 持続性を考慮した計画策定、インフラ長寿命化による省CO<sub>2</sub>の推進

## グリーン社会の実現に向けた「国土交通グリーンチャレンジ」の概要



図一 重点プロジェクトの概要

- 社会面、経済面、持続可能性を考慮した環境面等の様々な観点から行う総合的な検討の下、計画を合理的に策定する取組を積極的に実施する。
- インフラ分野におけるライフサイクル全体の観点からのCO<sub>2</sub>排出状況の把握手法に関する調査検討を進める。
- (2) 省CO<sub>2</sub>に資する材料等の活用促進及び技術開発等
- CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートなど、新技術に関する品質・コスト面等の評価を行いつつ、公共調達による低炭素材料や工法の活用促進を図る。
- 直轄工事において企業のカーボンニュートラルに向けた取組を評価するモデル工事等を行い、更なる取組の推進を図る。
- インフラ・建設分野での環境負荷低減に係る技術・研究開発等を推進する。
- (3) 建設施工分野における省エネ化・技術革新
- 短期的には、燃費性能の優れた建設機械の普及を図り、長期的には、動力源を抜本的に見直した革新的建設機械（電気、水素、バイオマス等）の認定制度を創設し、導入・普及を促進する。
- 地方公共団体の工事を施工している中小建設業へのICT施工の普及など、i-Constructionの推進等により、技能労働者の減少等への対応に資する施工と維持管理の更なる効率化や省人化・省力化を進めるとともに、建設機械の普及等によるコスト縮減を含め

た建設現場の生産性向上の取組を進める。

- (4) インフラサービスにおける省エネ化の推進
- 道路インフラの省エネ化等のため、道路照明灯のLED化の推進、新たな道路照明技術の開発促進・技術検証等を通じた道路照明施設の高度化を図るとともに、道路管理に必要な電力の再エネ導入を推進する。
- 鉄道施設における脱炭素化に向け、省エネ設備等によるエネルギー消費効率の向上を図る。
- 空港における脱炭素化に向け、空港から航空機への電力・空調供給施設（GPU54）導入の促進、空港施設のLED化の促進、空港車両のEV・FCV化の促進等による空港の施設・車両のCO<sub>2</sub>排出削減に取り組むとともに、太陽光発電等の導入促進による空港の再エネ拠点化を推進する。また、航空機の地上走行時の排出削減の取組を推進する。
- 港湾の脱炭素化に向け、カーボンニュートラルポートの形成を推進する。（再掲）
- ダム管理における省エネ化に向け、施設管理用の消費電力を賄うための小水力発電等の再エネ設備等の導入・改修を推進する。
- 砂防施設整備における省CO<sub>2</sub>化に向け、CO<sub>2</sub>排出量がより少ないような構造・材料・工法による砂防施設の整備・改築を推進する。
- 下水道の脱炭素化に向け、施設の更新や集約・再編等の計画も踏まえつつ、省エネ設備の導入や再エネ

電源の導入、水処1理の省エネ化等の省エネ技術の普及を推進するほか、下水道施設管理の高度化・効率化を目指し、データ利活用の基盤となる共通プラットフォーム構築に向けた実証等を行うとともに、ICT・AIによる広域管理・運転支援技術の確立に向けた実証を行う。

#### (5) 質を重視する建設リサイクルの推進

- 廃プラスチックの分別・リサイクルの促進等の建設混合廃棄物等再資源化のための取組、建設発生土の有効利用及び適正な取扱いの促進など、建設副産物の高い再資源化率の維持を図る。
- リサイクル原則化ルールの改定等の社会情勢の変化を踏まえた排出抑制に向けた取組等を推進する。
- 建設副産物のモニタリングの強化、建設発生土の適正処理促進のためのトレーサビリティシステム等の活用等の取組を推進する。
- 北海道の優れた資源・特性を活かし、多様な主体との連携・協働により、我が国の環境政策の先駆的取組のモデルとなる施策を展開する北海道環境イニシアティブの一環として、循環型社会を形成する「北海道エコ・コンストラクション・イニシアティブ」等を推進する。

## 5. おわりに

グリーン社会の実現の鍵は、「連携」である。「グリーンチャレンジ」の実施に当たっては、政府一体となって取り組むグリーン成長戦略や地域脱炭素ロードマップ等と軌を一にし、経済産業省や環境省等の関係省庁との連携により、縦割りを打破し、最大限の効果を発揮できるよう取り組んでまいりたい。また、地方公共団体や地域の各種団体、そして、国土交通分野に関わる多種多様な民間事業者や公的機関等との連携に加え、国民・企業等による主体的な取組とも相まって、国土交通省に期待される大きな役割と責任を果たせるよう、カーボンニュートラルや気候危機に対応した社会システムの変革に挑戦し、持続可能で強靱なグリーン社会を将来世代に引き継いでいけるよう、総力を挙げて取り組んでいく。

JICMA

#### 【筆者紹介】

吉田 真人 (よしだ まさと)  
国土交通省 大臣官房 技術調査課  
課長補佐



## 受章のお知らせ

### 金井 道夫会長が、令和3年秋の叙勲 瑞宝中綬章を受章

当協会 金井 道夫会長が、令和3年秋の叙勲 瑞宝中綬章（国土交通行政事務功労）を受章いたしました。

この勲章は、国家または公共に対して功労があるものを対象として、公務等に長年にわたり従事、成績を挙げた方に授章されるものです。



## 行政情報

## みどりの食料システム戦略

## 食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現

久保 牧衣子

本年5月12日、農林水産省は、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現するための新たな政策方針として、「みどりの食料システム戦略」を発表した。本戦略は、世界的に関心の高まる気候変動への対応や生物多様性の保全といった地球環境問題やSDGsへ我が国食料・農林水産業としての的確に対応するとともに、今後見込まれる農林水産業の担い手の減少等幅広い持続可能性と、生産力向上を同時に達成しようとするものである。本戦略では2050年に目指す姿として14のKPIを定め、調達、生産、加工流通、消費の各段階での行動変容と技術革新により達成することとしており、今後、これを後押しするための法制化も検討されている。

キーワード：食料システム、持続性、カーボンニュートラル、Farm to Fork 戦略、  
プラネタリー・バウンダリー

## 1. 我が国の食料・農林水産業が直面する課題

## (1) 気候変動・大規模自然災害の増加

日本の年平均気温は、100年あたり1.26℃の割合で上昇しており、世界平均の2倍近い上昇率で温暖化が進んでいる。農林水産業は気候変動の影響を受けやすい産業であり、高温による品質低下や、降雨量の増加や災害の激甚化により、様々な被害が発生している。昨年12月に公表された「第2次気候変動影響評価報告書」（環境省）においても、農林水産分野における気候変動の影響として、大豆、麦の減収、品質低下、病害虫の発生地域拡大等が記載されている(図-1)。

## (2) 世界全体と日本の農林水産分野の温室効果ガス(GHG)の排出

世界の温室効果ガス排出量は、520億トン(2007-2016年平均、CO<sub>2</sub>換算(以下同じ。))となっており、このうち、農業・林業・その他土地利用からの排出は世界の排出全体の約4分の1を占めている。我が国は多くの食料や原材料を海外から輸入しており、輸入品を通じて原産国の環境に悪影響を与えないことも重要になりつつある。一方、日本の温室効果ガス排出量は12.12億トン(2019年度)で、このうち農林水産分野は約4,747万トン(約3.9%)となっている(図-2)。農林水産分野の排出の内訳を見ると、施設園芸や農業機械、漁船における化石燃料由来のCO<sub>2</sub>のほか、水田、

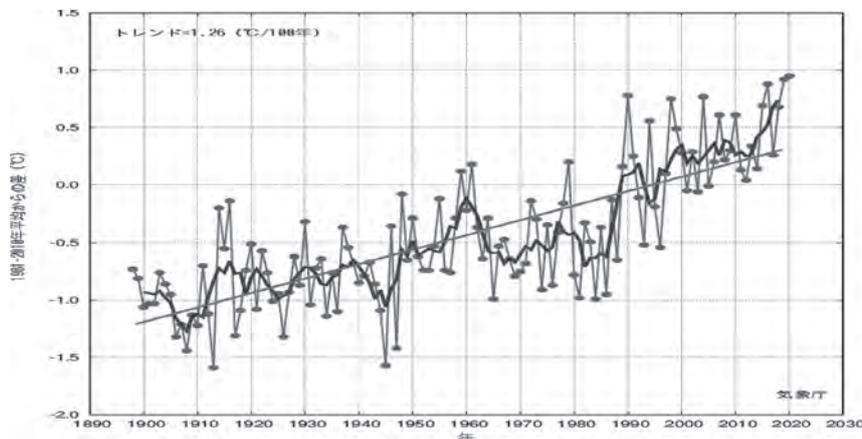
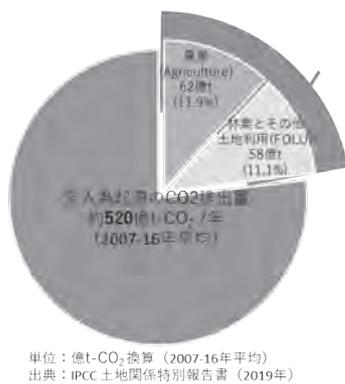
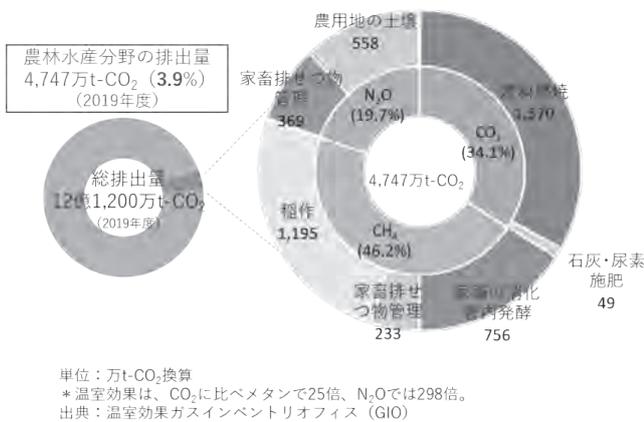


図-1 日本の年平均気温偏差(気候変動監視レポート2020)

■ 世界の農林業由来のGHG排出量



■ 日本の農林水産分野のGHG排出量



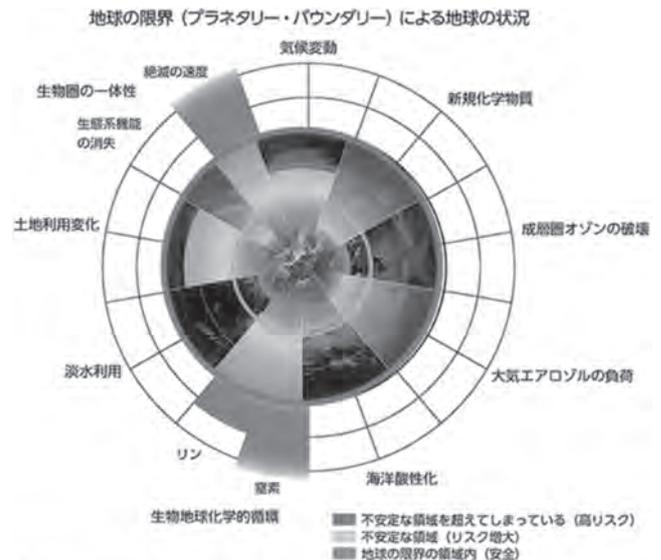
図一 世界の農林業由来の GHG 排出量, 日本の農林水産分野の GHG 排出量

家畜の消化管内発酵 (げっぶ), 家畜排せつ物管理, 施肥に伴う農用地の土壌から, メタンや一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) が排出されている。

一方で, 日本の CO<sub>2</sub> 吸収量約 4,590 万トンのうち, 森林が 4,290 万トン, 農地・牧草地は 180 万トン (2019 年度) となっており, 農林水産業は, 吸収源として温室効果ガスの削減に大きく貢献している。

(3) 生産基盤の脆弱化, 地域コミュニティの衰退

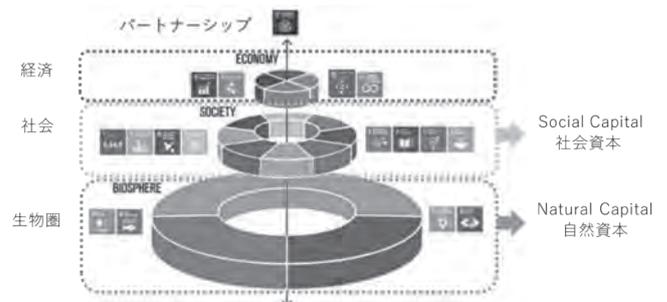
2015 年の国連総会で採択された持続可能な開発目標 (SDGs) に多大な影響を与えた考え方に, 地球の限界 (プラネタリー・バウンダリー) というものがある。プラネタリー・バウンダリーは, 気候変動, 窒素とリンの循環, グローバルな淡水利用, 土地利用変化, 生物多様性の損失, 化学物質による汚染など, 人類が今後何世代にもわたって発展・繁栄を続けるための定量的な地球の環境許容量のことであり, この境界を越えると, 大規模で急激な, あるいは不可逆的な環境変化が発生するリスクが高まるという考え方を示したものである。既に, 種の絶滅の速度と窒素・リンの循環については, 高リスクの領域にある (図一 3)。



図一 3 プラネタリー・バウンダリー (Stockholm Resilience Centre (illustrated by Johan Rockstrom and Pavan Sukhdev, 2016) に環境省が加筆)

SDGs の 17 のゴールを階層化したとき, 森林, 土壌, 水, 大気, 生物資源など自然によって形成される資本 (自然資本<sup>\*1</sup>) は他のゴールを達成するための土台となり, そこから生み出される生態系サービス<sup>\*2</sup>により食料産業をはじめとして私たちの社会は様々な便益を受けている (図一 4)。農林水産業は, 適切に行われなければ生物多様性を含めた自然資本の劣化を引き起こす原因にもなるが, やり方次第でその維持・増大に貢献することも可能である。生物多様性を含む自然資本に配慮した農林水産業は, その維持・増大を通じて, 社会・経済・環境の持続可能性の向上に貢献することができる。

一方, 食料・農林水産業の存立基盤ともいえる生態系サービスは世界的に劣化しており, 人類史上類をみないスピードで生物多様性が減少している。このた



図一 4 自然資本と SDGs (Stockholm Resilience Centre (illustrated by Johan Rockstrom and Pavan Sukhdev, 2016) に加筆)

※ 1 自然資本 (ナチュラルキャピタル): 自然環境を国民の生活や企業の経営基盤を支える重要な資本の一つとして捉える考え方  
 ※ 2 人々の暮らしを支える食料や水, 気候の安定など, 「自然」がもたらすさまざまな恵みのこと。

め、「今までどおり」から脱却し、社会変革が必要とされている。

#### (4) 新型コロナウイルス感染症を契機とした生産・消費の変化

新型コロナウイルス感染症の拡大により、約4割が「自宅で食事を取ることが増えた」と回答（第一生命総研、2020年4月調査）するなど、消費者の内食や国産食材への関心が高まっている一方、拡大による影響で19カ国が穀物等の輸出を制限するなど（2020年3～11月）、世界的には食料分野でもサプライチェーンの混乱が生じた。我が国でも、工業製品の分野では、新型コロナの感染拡大に伴い、一部の物資が不足するなど深刻な影響が見られた。我が国は、食料・農林水産物のみならず、食料生産を支える肥料原料である尿素、塩化カリウム、リン酸アンモニウムなどの化学原料やエネルギーも定常的に輸入に依存していることから、資源循環や安定調達という面からも、農林水産物や肥料、飼料などを輸入から国内資源へ転換していくことが求められている。

## 2. 課題解決に向けた取組の現状

### (1) 気候変動や異常気象に対応した農林水産業

農林水産省では、気候変動に適応する持続的な農業の実現に向け、にこまる（米の品種）等の高温耐性品種の開発・普及、ブラッドオレンジ等、温暖な気候を好む作物への転換、施設内での散水や換気などの対策（気候変動適応策）を講じている。また、気候変動に伴い、これまでにない病害虫の侵入リスクも拡大することから、これらに対応する品種開発の需要が高まりつつあるが、農作物のゲノム情報や生育等の育種に関するビッグデータを整備し、これをAIや新たな育種技術と組み合わせて活用することで、従来よりも効率的かつ迅速に育種をすることが可能となる「スマート育種システム」やゲノム編集作物の開発などの技術開発が進められている。

また、気候変動への適応に加えて、施設園芸や農業機械、漁船の省エネ対策や森林・農地土壌吸収源対策などの温室効果ガスの排出削減の取組も進めている。

### (2) スマート農林水産業の推進

高齢化の進行とともに、農林水産分野における労働力不足が深刻化し、今後一層の担い手の減少が見込まれている。特に農業の労働特性としては、足腰の弱い高齢者が多いにもかかわらず、急斜面での除草作業が

必要だったり牛の発情管理や田んぼの水管理など朝から晩まで現場に張り付くことが必要な作業もある。しかし、今後、一層の担い手の高齢化・減少を考えると、このような危険な作業や現場の張り付きからの解放が、担い手のすそ野の拡大の観点からも必要である。このため、急傾斜地に人が入って作業しなくても済むリモコン草刈機や、水田の給排水をスマホ等遠隔または自動で行う水管理システムなど、高齢化や担い手の減少に対応して生産性を飛躍的に高めるような技術開発が進められている。このようなロボット、ICTなどの先端技術を活用した技術は、環境負荷の軽減にも寄与することが期待されている。例えば、カメラを搭載したドローンが圃場を撮影し、AIが害虫被害箇所の特定制を行い、被害株にピンポイントで農薬を散布することで、農薬使用量を10分の1程度（企業公表値）に低減できる技術も開発されている。このような技術は、作業の負担軽減や現場での張り付きからの解放に加え、安全性向上、環境負荷軽減など様々な効果が期待され、そのメリットは大規模農業経営だけでなく、中小家族経営や若者・高齢者など様々な者が享受可能であり、農林水産業における新たな働き方や生産者のすそ野の拡大にも貢献すると期待されている。

### (3) 消費者が求める食品等の安定供給

我が国は肥料原料を輸入に依存しているが、国内には、リサイクルしうる窒素、リン資源が存在する。国内で調達可能な産業副産物を活用した肥料は、土壌改善に資するだけでなく、家畜排せつ物の処理や食品リサイクル等にも貢献する。例えば、リン酸やカリを多く含む鶏ふん燃焼灰や、消化汚泥から回収したリンを使用した配合肥料、窒素を多く含むなたね油かす・粉末の活用が行われている。このように国内にある未利用資源を活用することは、地域資源の循環利用を通じた地域経済循環にも資するほか、輸入に依存しない肥料の製造にもつながることから、肥料の安定調達という面でも期待される。

## 3. SDGsや環境をめぐる課題と国内外の動向

世界に目を向けると、2050年に世界の人口は97億人に達すると見込まれ、深刻な水不足や経済活動に伴う環境破壊の拡大、気候変動の更なる進行により穀物価格の上昇による食料不安等のリスクが増大し、生物多様性の危機が深刻化するとして様々な国内外の関係機関が警鐘を鳴らしている。このため、世界的に人口増加が続く中、農林水産業の生産方式のみならず、食

生活や環境負荷といった多角的な視点から食料システム全体を俯瞰し、持続的な食料システムを構築していくことが求められている。一方、食料システムは、気候条件や食文化により課題も多様であることから、画一的な解決方法はなく、日本においても農林水産業や地域の将来も見据えた持続可能な食料システムの構築が急務となっている。他方、新型コロナウイルス感染症によって経済・社会が大きく変容しつつある中、経済復興に気候変動対策を融合させる「グリーンリカバリー」という考え方が世界中で注目されている。我が国でも、「2050年カーボンニュートラルを目指す」旨総理が表明し、温暖化への対応を経済成長の制約ではなく産業構造や経済社会の変革をもたらす大きな成長につなげていくよう呼びかけている。

また、持続的な生産・消費、地域への関心が高まる中、ESG投資が拡大し、持続性への取組がビジネスに直結する時代となっている。さらに今後は、持続性への適切な対応が必須になると考えられ、諸外国でも、環境や持続性等に関する戦略を策定する動きが出ている。例えば、欧州委員会は、2020年5月にFarm to Fork戦略を公表し、2030年を目標年とする農薬や肥料、抗菌剤の使用削減に係る数値目標を設定するなどしている。また、欧州委員会はEUの食料システムをグローバル・スタンダードにすることを目指している。米国も、2021年1月にバイデン大統領が就任会見において、「米国の農業は世界で初めてネットゼロ・エミッションを達成する」と表明し、化石燃料補助金の廃止、気候スマート農法の採用奨励など意欲的な動きを見せている。

また、世界的にも本年は、9月の国連食料システムサミットをはじめとして、食料・農林水産分野に関連の深い環境関係の国際会議が多数開催される年である。このような世界的な流れも踏まえ、我が国として、乾燥した気象条件の下で大規模な畑作や畜産が営まれている欧米とは気象条件等が異なるアジアモンスーンの持続可能な食料システムのモデルを構築し、世界に発信していく必要がある。

#### 4. みどりの食料システム戦略の策定に向けて～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～

上記の状況を踏まえて、農林水産省では、昨年10月に野上農林水産大臣から、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現させるための新たな政策方針として本戦略の検討指示があり、大臣を本部長とする「みどりの食料システム戦略本部」を立ち上げ、本年5月12日、同本部において、みどりの食料システム戦略を決定した。検討に当たっては、本年1月から4月にかけて、大臣や副大臣、政務官も参加し、各品目の生産者、若手の新規就農者、中山間、中小・家族経営等の生産者の方々や食品事業者・メーカーの皆様、消費者団体等の幅広い関係者と22回（計127名）にわたり意見交換を行った。また、このほかにも有識者等との意見交換、審議会、パブリックコメントも行い、これらを通じていただいた御意見を踏まえて、戦略を策定した（図—5）。

「みどりの食料システム戦略」では、2050年までに、

**みどりの食料システム戦略 (概要)**  
 ～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～  
 Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI)

**現状と今後の課題**

- 生産者の減少・高齢化、地域コミュニティの衰退
- 温暖化、大規模自然災害
- コロナを契機としたサプライチェーン混乱、内食拡大
- SDGsや環境への対応強化
- 国際ルール・メーキングへの参画

**「Farm to Fork戦略」(20.5)**  
 2030年までに化学農薬の使用及びリスクを50%減、有機農業を25%に拡大

**「農業イノベーション戦略」(20.2)**  
 2050年までに農業生産額40%増加と環境フットプリント半減

**農林水産業や地域の将来も見据えた持続可能な食料システムの構築が急務**

**持続可能な食料システムの構築に向け、「みどりの食料システム戦略」を策定し、中長期的な観点から、調達、生産、加工・流通、消費の各段階の取組とカーボンニュートラル等の環境負荷軽減のイノベーションを推進**

**目指す姿と取組方向**

**2050年までに目指す姿**

- 農林水産業のCO2ゼロエミッションの実現
- 低リスク農業への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により化学農薬の使用量を(リスク換算)を50%低減
- 輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減
- 耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大
- 2030年までに食品製造業の労働生産性を最低3割向上
- 2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原料調達の実現を目指す
- エリートツリー等を林業用苗木の9割以上に拡大
- ニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現

**戦略的な取組方向**

- 2040年までに革新的な技術・生産体系を順次開発(技術開発目標)
- 2050年までに革新的な技術・生産体系の開発を踏まえ、今後、「農業手法のグリーン化」を推進し、その社会実装を実現(社会実装目標)
- ※政策手続のグリーン化: 2030年までに施策の支援対象を持続可能な食料・農林水産業を行う者に集約
- 2040年までに技術開発の成果を踏まえ、補助事業としてカーボンニュートラルに対応することを目指す。
- ※補助金活用: 産学官連携による共同研究や人材育成、産学官連携による共同研究や人材育成
- ※革新的技術・生産体系の社会実装: 持続可能な取組を産学官、関係者から、その取組において必要な情報も活用し、地域地産型モデル・システムの構築に向けて必要と理解を促進し、

**期待される効果**

- 経済** 持続的な産業基盤の構築
  - ・輸入から国内生産への転換(肥料・飼料・原料調達)
  - ・国産品の評価向上による輸出拡大
  - ・新技術を活かした多様な働き方、生産者の就業の拡大
- 社会** 国民の豊かな食生活、地域の雇用・所得増大
  - ・生産者・消費者が連携した健康的な日本型食生活
  - ・地域資源を活かした地域経済循環
  - ・多様な人々が共生する地域社会
- 環境** 将来にわたり安心して暮らせる地球環境の継承
  - ・環境と調和した食料・農林水産業
  - ・化石燃料からの切り離しによるカーボンニュートラルへの貢献
  - ・化学農薬・化学肥料の削減によるCO2削減

アジアモンスーン地域の持続可能な食料システムのモデルとして打ち出し、国際ルール・メーキングに参画(国連食料システムサミット(2021年9月)など)

図—5 みどりの食料システム戦略 (概要) (農林水産省)

- ①農林水産業のCO<sub>2</sub>ゼロエミッション化の実現,
- ②化学農薬の使用量をリスク換算で50%低減,
- ③化学肥料の使用量を30%低減,
- ④耕地面積に占める有機農業の取組面積を25%, 100万haに拡大,
- ⑤エリートツリー等を林業用苗木の9割以上に拡大,
- ⑥ニホンウナギ, クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現,
- ⑦2030年までに食品製造業の労働生産性を最低3割向上,
- ⑧2030年までに持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現,

といった14の意欲的なKPIを掲げている(図-6)。これらの実現には、調達・生産・加工流通・消費の各段階での行動変容とともに、革新的な技術・生産体系の開発、その後の社会実装が鍵となる。このため、本戦略には、個々の技術の研究開発・実用化・社会実装に向けた2050年までの工程表を掲載し、従来の施策の延長ではない形で、サプライチェーンの各段階における環境負荷の低減と労働安全性・労働生産性の大幅な向上をイノベーションにより実現していくための道筋を示している(図-7)。さらに、審議会や意見交換での議論及びパブリックコメント等を踏まえ、当面の各技術の開発・実装の状況を見据え、施策の計画

| 「みどりの食料システム戦略」が2050年までに目指す姿と取組方向 |   |
|----------------------------------|---|
| 温室効果ガス                           | ・2050年までに農林水産業のCO <sub>2</sub> ゼロエミッション化の実現を目指す。  |
| 化学農薬                             | ・2040年までに、ネオニコチノイド系農薬を含む従来の殺虫剤を使用しなくともするような新規農薬等を開発する。<br>・2050年までに、化学農薬使用量(リスク換算)の50%低減を目指す。   |
| 化学肥料                             | ・2050年までに、輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量の30%低減を目指す。  |
| 有機農業                             | ・2040年までに、主要な品目について農業者の多くが取り組むことができるよう、次世代有機農業に関する技術を確認する。<br>・2050年までに、オーガニック市場を拡大しつつ、耕地面積に占める有機農業※の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大することを旨とする。(※国際的に行われている有機農業)  |
| 園芸施設                             | ・2050年までに化石燃料を使用しない施設への完全移行を目指す。  |
| 農林業機械・漁船                         | ・2040年までに、農林業機械・漁船の電化・水素化等に関する技術の確立を目指す。  |
| 再生可能エネルギー                        | ・2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を目指す。   |
| 食品ロス                             | ・2030年度までに、事業系食品ロスを2000年度比で半減させることを目指す。さらに、2050年までに、AIによる需要予測や新たな包装資材の開発等の技術の進展により、事業系食品ロスの最小化を図る。  |
| 食品産業                             | ・2030年までに食品製造業の自動化等を進め、労働生産性が3割以上向上することを旨とする(2018年基準)。さらに、2050年までにAI活用による多種多様な原材料や製品に対応した完全無人食品製造ラインの実現等により、多様な食文化を持つ我が国食品製造業の更なる労働生産性向上を図る。<br>・2030年までに流通の合理化を進め、飲食料品卸売業における売上高に占める経費の割合を10%に縮減することを旨とする。さらに、2050年までにAI、ロボティクスなどの新たな技術を活用して流通のあらゆる現場において省人化・自動化を進め、更なる縮減を目指す。 |
| 持続可能な輸入調達                        | ・2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現を目指す。  |
| 森林・林業                            | ・エリートツリー等の成長に優れた苗木の活用について、2030年までに林業用苗木の3割、2050年までに9割以上を目指すことに加え、2040年までに品種木造の技術の確立を目指すとともに、木材による炭素貯蔵の最大化を図る。<br>(エリートツリーとは、成長や収穫等の効果が高い樹種を用いた人工設備により適切に世代交代の管理が行われる、高品質が求められる樹種を指す)  |
| 漁業・水産業・養殖業                       | ・2030年までに漁獲量を2010年と同程度(444万トン)まで回復させることを目指す。<br>(参考：2018年漁獲量331万トン)<br>・2050年までにニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現することに加え、養殖飼料の全量を配合飼料給餌に転換し、天然資源に負荷をかけない持続可能な養殖生産体制を目指す。  |

図-6 「みどりの食料システム戦略」が2050年までに目指す姿と取組方向(農林水産省)



図-7 農林水産分野でのゼロエミッション達成と持続的発展に向けた取組(農林水産省)



図一八 イノベーションによる持続的生産体制の構築（農林水産省）

的な具体化や現場での技術普及を進められるよう、直近5年程度の技術の開発方向を示した「技術の工程表」についても作成した。

### 5. みどりの食料システム戦略の実現に向けて

本戦略は、生産・流通・加工・消費に関わる様々な関係者それぞれの理解と協働の上で実現するものである。このため、現場の方々への分かりやすい情報発信、関係者との意見交換等を通じた理解促進に取り組んでいくため、6月から9月までを「戦略集中周知期間」と位置付け、本戦略の考え方や目指す姿、方向性について本省のみならず農林水産省の地方支分部局の総力を挙げて、あらゆる機会を捉えて発信に取り組んだ。

また、欧米とは気候条件が異なるアジアモンスーン地域の新しい持続的な食料システムの取組モデルとして、本年7月にイタリアで開催された国連食料システムサミットプレ会合（閣僚級）で野上農林水産大臣自ら本戦略を発信するとともに、9月の国連食料システムサミット（首脳級、オンライン）では菅総理のビデオメッセージとして発信した。さらに、9月にイタリアで開催されたG20農業大臣会合でも、野上大臣自ら本戦略を各国の農業大臣に直接紹介した。今後も、気候変動枠組条約COP26（10/31～11/12 於：英国）や生物多様性条約COP15など、農業にも関連の深い国際環境会議が立て続けに予定されている。持続可能な食料システムの構築に向けて、画一的な解決策はないことから、このような場でも、本戦略をアジアモンスーン地域の持続可能な食料システムのモデルとして発信し、国際ルールメイキングに参画することを

目指していく。

また、本戦略は、本年6月18日に閣議決定された「経済財政運営と改革の基本方針2021」（いわゆる「骨太の方針」）や成長戦略実行計画等の政府方針にも位置付けられた。このため、今後は本戦略の実現に向けて、関係省庁と連携して政府方針として進めていくとともに、令和4年度予算要求にも所要の額を計上している。さらに、本戦略の実現に必要な後押しの仕組みについて法制化を含めて検討している。

本戦略は、食料・農林水産業の生産力向上と持続性を両立させるための新たな政策方針であり、これまでにない戦略である。近年、持続可能性は国際的な潮流となっている。我が国食料・農林水産業もこれら環境やSDGsへの確に対応することで、我が国食料・農林水産物の価値を高め、農林水産物・輸出の後押しになることが期待される。気候変動をはじめとする環境対策を「コスト」とネガティブに捉えるのではなく、こうした取組を成長への機会と捉え、我が国の食料の安定供給・農林水産業の持続的発展と地球環境の両立を目指すことが重要であり、農林水産省としても現場の関係者と一丸となって、全力で取り組んでいきたい。

※本稿中の肩書は2021年9月受稿当時のもの

JCMA

【筆者紹介】

久保 牧衣子（くぼ まいこ）  
農林水産省 大臣官房  
環境バイオマス政策課  
地球環境対策室長



## 行政情報

## 建設施工における地球温暖化対策

守田 銀二

国際的な地球温暖化対策の動向として、COP21において採択されたパリ協定（2016年11月）がある。この中では、「世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも2℃高い水準を十分に下回るものに抑えるとともに、1.5℃高い水準までのものに制限するための努力を継続すること。このために、今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡（世界全体でのカーボンニュートラル）を達成することを目指す」と定めている。我が国のパリ協定に対するCO<sub>2</sub>削減対策については、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（2019年6月閣議決定）に定められ、この中で、「最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げており、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指す。」としている。また、建設施工分野においては、「建設施工分野において、省エネルギー性能の高い設備・機器の導入を促進する」としている。

国土交通省では建設機械の環境対策を促進しており、具体的には、1976（昭和51）年から騒音・振動対策、1991（平成3）年から排出ガス対策、1998（平成10）年からの地球温暖化対策などがある。

本稿では、建設機械の地球温暖化対策の一環として取り組んでいる「燃費基準達成建設機械認定制度」において、燃費性能の優れた建設機械の差別化や、メーカーによる更なる燃費性能の向上に資する技術開発の促進を図るため、新たな燃費基準値を策定したので紹介する。

キーワード：燃費基準達成建設機械認定制度、地球温暖化対策、カーボンニュートラル

## 1. はじめに

国土交通省では、地球温暖化対策の一環として、建設施工現場における省エネルギー化の推進や低炭素型社会の構築に取り組んでいる。

平成22年度には、先進技術であるハイブリッド機構や電動機構等を搭載し省エネ化を達成した建設機械の普及のため、「低炭素型建設機械認定制度」を創設し、平成25年度には建設機械ユーザーが省エネ効果を数値的に判断できるように、統一的な燃費の測定方法と目標となる燃費基準値（最も燃費値の良い値（トップランナー値））を世界で初めて定め、「燃費基準達成建設機械認定制度」を創設した。

また、これら燃費性能の優れた建設機械等の普及を促進するため、低利融資制度等の金融支援措置を設けている。

## 2. 燃費基準の概要

## (1) 制度の目的・概要

燃費基準達成建設機械への関心と理解を深め、二酸

化炭素排出低減に資する燃費基準達成建設機械の普及促進を図るとともに、地球環境保全に寄与することを目的に燃費基準達成建設機械認定制度を運用している。

燃費基準達成建設機械認定制度の燃費基準値を達成した建設機械を型式認定しており、認定された建設機械はラベル表示が可能となる（図-1）。

## (2) これまでの取り組み

平成25年4月より油圧ショベル、ブルドーザ、ホイールローダの認定制度を開始した。その後平成30年4



図-1 燃費基準達成のラベル

月よりミニショベルの認定を開始した（図—2）。以上4機種については、令和3年8月時点で計139型式を認定している状況である。

### 3. 次期燃費基準策定

現行燃費基準値（2020年基準値）においては、各クラスにおけるトップランナー値を採用した。次期燃費基準値（2030年基準値）においては、従前のトップランナー値を考慮しつつ、普及台数等を考慮して燃費性能が良くかつ普及しやすい、バランス（燃費性能、導入コスト、施工性等）のとれた基準値を設定した（図—3、表—1～4）。

表—1 燃費基準値 油圧ショベル

| 区分                | 現燃費基準                |                                | 次期燃費基準               |
|-------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
|                   | 燃費基準値                | 燃費基準値を0.85で除した値                | 次期燃費基準値              |
| 標準バケット山積容量 (m³)   | 2020年燃費基準値 (kg/標準動作) | 2020年燃費基準値を0.85で除した値 (kg/標準動作) | 2030年燃費基準値 (kg/標準動作) |
| 0.085 以上 0.105 未満 | 2.0                  | 2.4                            | —                    |
| 0.105 以上 0.130 未満 | 2.1                  | 2.5                            | —                    |
| 0.130 以上 0.150 未満 | 2.6                  | 3.1                            | —                    |
| 0.150 以上 0.200 未満 | 2.8                  | 3.3                            | —                    |
| 0.200 以上 0.25 未満  | 3.2                  | 3.8                            | —                    |
| 0.25 以上 0.36 未満   | 4.3                  | 5.1                            | 4.30                 |
| 0.36 以上 0.47 未満   | 6.4                  | 7.5                            | 6.21                 |
| 0.47 以上 0.55 未満   | 6.9                  | 8.1                            | 6.21                 |
| 0.55 以上 0.70 未満   | 9.2                  | 10.8                           | 8.10                 |
| 0.70 以上 0.90 未満   | 10.8                 | 12.7                           | 9.29                 |
| 0.90 以上 1.05 未満   | 13.9                 | 16.4                           | 10.70                |
| 1.05 以上 1.30 未満   | 13.9                 | 16.4                           | 12.09                |
| 1.3 以上 1.70 未満    | 19.9                 | 23.4                           | 15.72                |



図—2 燃費基準達成建設機械認定制度設定・認定の経緯

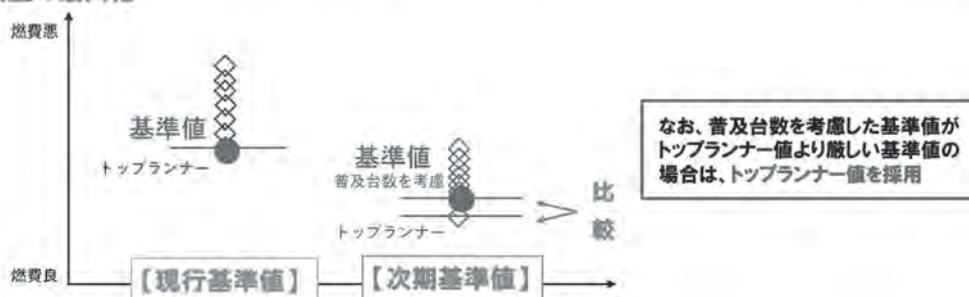
#### 【現行燃費基準値】

トップランナー値を燃費基準値として採用

【課題】燃費性能のみに着目すると、普及する際に重要な導入コストや施工性等が考慮されない場合があり、トップランナー値がバランスが取れていない型式であると、各社が次期燃費基準値達成に向けた開発を断念する可能性

#### 【次期燃費基準値】

建設機械単体の削減量のみを追求するのではなく、普及台数全体を考慮したトータルの削減量の最大化



図—3 現行の燃費基準値（上）と次期燃費基準値（下）の考え方の違い

表一 燃費基準値 ブルドーザ

| 区分            | 現燃費基準              |                              | 次期燃費基準        |
|---------------|--------------------|------------------------------|---------------|
|               | 燃費基準値              | 燃費基準値を0.85で除した値              | 次期燃費基準値       |
| 定格出力* (kW)    | 2020年燃費基準値 (g/kWh) | 2020年燃費基準値を0.85で除した値 (g/kWh) | 次期基準値 (g/kWh) |
| 19 以上 75 未満   | 568                | 668                          | 511           |
| 75 以上 170 未満  | 530                | 624                          | 466           |
| 170 以上 300 未満 | 508                | 598                          | 437           |

表一 燃費基準値 ホイールローダ

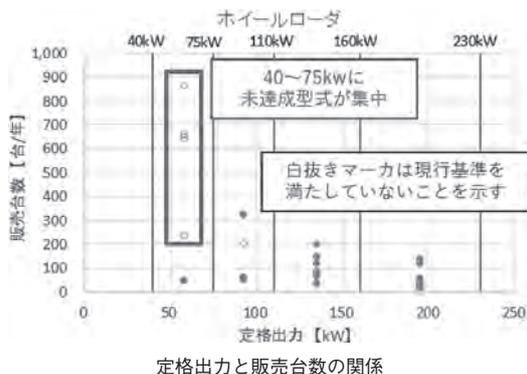
| 区分            | 現燃費基準            |                            | 次期燃費基準      |
|---------------|------------------|----------------------------|-------------|
|               | 燃費基準値            | 燃費基準値を0.85で除した値            | 次期燃費基準値     |
| 定格出力* (kW)    | 2020年燃費基準値 (g/t) | 2020年燃費基準値を0.85で除した値 (g/t) | 次期基準値 (g/t) |
| 40 以上 75 未満   | 21.3             | 25.1                       | 23.0        |
| 75 以上 110 未満  |                  |                            | 18.1        |
| 110 以上 230 未満 | 27.9             | 32.8                       | 23.7        |

表一 燃費基準値 ホイールクレーン

| 区分           | 現燃費基準               |                               |
|--------------|---------------------|-------------------------------|
|              | 燃費基準値               | 燃費基準値を0.85で除した値               |
| 最大吊り荷重 (ton) | 2020年燃費基準値 (kg/ton) | 2020年燃費基準値を0.85で除した値 (kg/ton) |
| 5 以上 15 未満   | 3.05                | 3.59                          |
| 15 以上 25 未満  | 4.73                | 5.56                          |
| 25 以上 50 未満  | 4.73                | 5.56                          |
| 50 以上 150 未満 | 8.19                | 9.64                          |

(1) ホイールローダの出力区分について

現行燃費基準値では、40 kW 以上 110 kW 未満の定格出力区分において、75 kW 未満の認定型式が少ないため燃費基準値の区分を見直した。区分を細分化することで、各出力区分に適切な燃費基準値を設定し燃費基準値の達成に向けた開発を促進する (図一 4)。



図一 4 ホイールローダの出力区分

(2) 次期燃費基準値 (案) の達成表示について

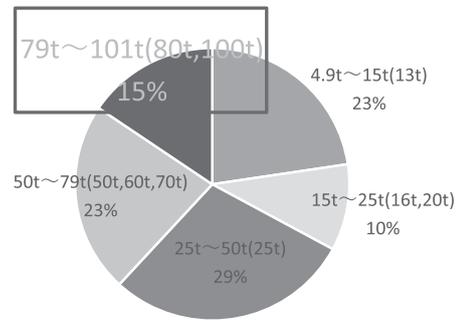
現行の2020年燃費基準値達成においては、2020年燃費基準100%達成建設機械を「☆☆☆」、85%達成建設機械を「☆☆」として表示している。次期燃費基準値 (案) の85%は現行基準値を下回る区分もあることから設定せず、次期燃費基準として2030年燃費基準を「☆☆☆☆」として表示する予定である。

(3) ホイールクレーンの区分拡大について

ホイールクレーンの燃費基準達成建設機械認定制度への追加は、平成28年度の「建設施工の地球温暖化対策検討分科会」において了承されており、令和4年4月より認定開始予定である (表一 4)。

ホイールクレーンの作業燃費基準値の最大吊り荷重区分は、燃費基準値策定時において最大吊り荷重79t未満 (2011年規制車) ですべての型式を網羅できたため、50t以上79t未満としていた。

しかし、ホイールクレーンのオフロード法の2014年規制車では、近年のビル、マンションなどの高層化や耐震構造強化に伴う建設部材の重量増加により、ブームが長く吊り上げ能力の高いクレーン需要が高まっていることを背景に80t以上の型式が販売されていることから、80t以上のホイールクレーンについても燃費基準値の検討が必要となった (図一 5)。



図一 5 ホイールクレーンのオフロード法 (2014年規制車) において認定されているホイールクレーンの販売台数比率

| 定格出力区分         |                               |
|----------------|-------------------------------|
| 現行             | 次期                            |
| 40kW以上110kW未満  | 40kW以上75kW未満<br>75kW以上110kW未満 |
| 110kW以上230kW未満 | 110kW以上230kW未満                |

2区分に分割

表—5にあるように、50t以上79t未満の範囲にある対象機種種の燃費評価値は、最大吊り荷重に差があっても評価値への影響が大きい仕様が同等であり、最大吊り荷重の大型化に伴う評価値の増加はみられなかった。

また今回新たに追加検討する80t以上の区分においても、評価値への影響が大きい仕様は50t以上79t未満と同等であるため、最大吊り荷加重が増加したことの評価値への影響は小さく、50t以上79t未満と同様の燃費基準値とすることが適当であると判断した。

(4) 認定開始までのスケジュールについて

次期燃費基準値(表—1~4)における認定開始は、開発期間を考慮し令和9年(2027年)4月を予定している。開発期間は以下の観点から算出した。

①現行燃費基準(2020年基準値)は、モデルチェンジを考慮した開発期間を設定してから認定を開始していることから、次期燃費基準値(2030年基準値)においても、同様に開発期間を設定する。

②次期燃費基準値の公表を2020年度と見込んだと

き、最も進んだ欧州排出ガス規制における継続販売終了時期(次期を記載)を考慮した開発開始時期とした。

③開発期間は、調査結果より、油圧ショベル平均4年程度、ブルドーザ平均5.5年程度、ホイールローダ平均5年程度であることから、開発期間を5年間とした。

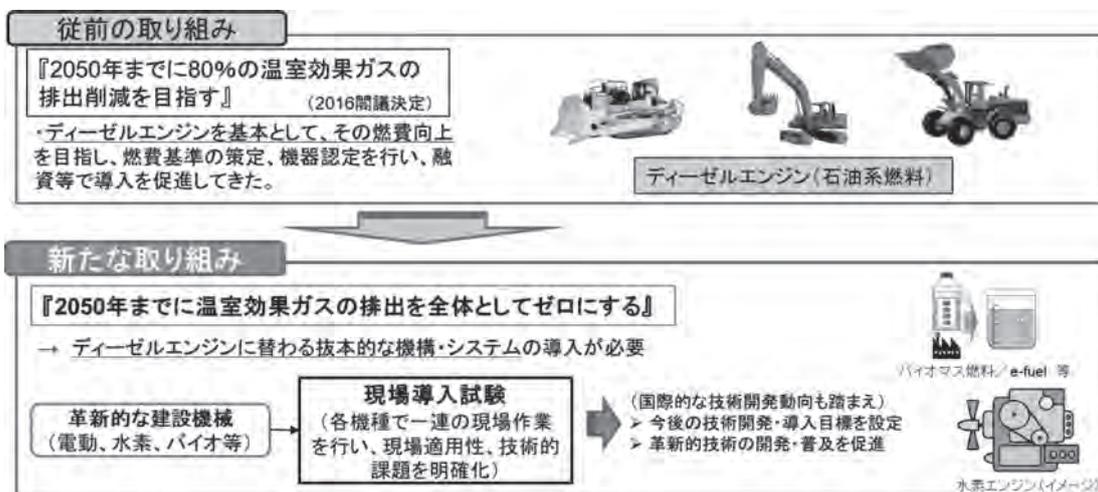
4. 今後の取り組み(温室効果ガス削減に向けた革新的建設機械導入・支援事業)

国内の産業部門におけるCO<sub>2</sub>排出量の1.4%を占める建設機械としては、地球温暖化対策としてCO<sub>2</sub>排出量削減のため、従前のディーゼルエンジンによる燃費向上を進めてきたところであるが、「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」との目標の実現に向けては、建設機械の動力源の抜本的見直しが必要である。そのため、建設現場におけるCO<sub>2</sub>排出量の実質ゼロに向け革新的な建設機械(電動、水素、バイオマス等)の現場適用性等を確認し、普及・支援策を講じる(図—6)。

表—5 最大吊り荷加重区分別の仕様の比較

| メーカー<br>(排ガス規制年次) | 最大吊り荷重区分   | 最大吊り荷重 | 補巻許容荷重 | 車両総重量(kg) | 作業時出力(kW/min-1) | 作業時無負荷最低回転速度(min-1) | ブーム70度全伸姿勢 |        | 補巻速度(上げ)(m/s) | ブーム上げ速度(度/s) | 旋回速度(度/s) | 油圧ポンプ                        |
|-------------------|------------|--------|--------|-----------|-----------------|---------------------|------------|--------|---------------|--------------|-----------|------------------------------|
|                   |            |        |        |           |                 |                     | 補巻作業半径     | 補巻揚程   |               |              |           |                              |
| A社(2014)          | 50t以上79t未満 | 60t    | 5t     | 36,195    | 256/1500        | 700                 | 約12m       | 約40.5m | 1.9           | 1.7          | 13.2      | 型式:C<br>形式:可変容量P<br>回転数:cccc |
|                   |            | 70t    | 5t     | 41,295    | 256/1500        | 700                 | 約13m       | 約43.3m | 2.0           | 1.4          | 12.6      |                              |
| A社(2014)          | 80t以上      | 100t   | 5t     | 41,295    | 256/1500        | 700                 | 約14.5m     | 約47.0m | 1.9           | 1.3          | 11.1      |                              |
| B社(2011)          | 50t以上79t未満 | 75t    | 5t     | 41,035    | 228/1450        | 700                 | 約14m       | 約44.2m | 2.0           | 1.3          | 10.8      | 型式:D<br>形式:可変容量P<br>回転数:dddd |
| B社(2014)          | 80t以上      | 80t    | 5t     | 41,155    | 228/1450        | 700                 | 約14m       | 約44.2m | 2.0           | 1.3          | 10.8      |                              |

□: 評価値への影響が大きい仕様



図—6 温室効果ガス削減に向けた新たな取り組み

## 5. おわりに

今後はCO<sub>2</sub>削減促進のため、次期燃費基準の2027年度認定開始を目標とするとともに、建設機械分野の2050年カーボンニュートラル実現に向けて、革新的建設機械の普及促進に力をいれていく。

JCM/A

---

### [筆者紹介]

守田 銀二 (もりた ぎんじ)  
国土交通省  
総合政策局 公共事業企画調整課  
環境技術係長



# 地球温暖化の抑制策の考察と提言

大川 聡<sup>1</sup>

<sup>1</sup>博士 (システムエンジニアリング学), 『建設機械要覧』編集委員会委員,  
元慶応義塾大学 SDM 研究所, 元コマツ (〒 251-0037 神奈川県藤沢市鵠沼海岸 5-3-10-307)  
E-mail: ohkawakmt@gmail.com

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が2021年に地球温暖化は人間の活動によると断定したことが世界中に大きな波紋を呼んでいる。本稿では当協会として実行可能な地球温暖化の抑制策について考察して提言する。世界の建設で発生する炭酸ガス(以下CO<sub>2</sub>)はセメント、鉄鋼と供給エネルギーから排出される。セメントは製造時にCO<sub>2</sub>を大量に排出するため、新たにCO<sub>2</sub>排出量を減らすセメントやコンクリートが開発されている。日本の鉄鋼業界のCO<sub>2</sub>排出は産業界で最大であり日本の全排出量の約17%に上る。鉄鋼製造時のCO<sub>2</sub>排出量を減らすプロジェクトはあるが実用化はまだ先である。このため解体した鉄骨構造物の鋼材をリユースしてCO<sub>2</sub>の排出を減らす研究や、耐火集成材と限られた鋼材だけで高層ビルを作る計画もある。鉄筋コンクリートや鉄骨構造物の寿命延長もCO<sub>2</sub>の低減に寄与する。これらの統合したCO<sub>2</sub>削減による地球温暖化抑制策が必要である。一方、世界的に大規模な森林火災が増えており世界のCO<sub>2</sub>排出量の20%以上に達することが分かった。森林火災に対応する消防車はないため、建設機械を改良した専用の消防車を作り森林火災の多発地域に導入すると地球温暖化抑制が期待できる。これらの抑制策についてシステムズエンジニアリングの手法や記述を用いて考察して提言をまとめる。

キーワード: *global warming, CO<sub>2</sub>, systems engineering, SysML, steel, cement, forest fire, fire engine*

## 1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が2021年8月に地球温暖化は人間の活動によると断定した<sup>1)</sup>。筆者はシステムズエンジニアリング(以下SE)の手法を用いて、建設業や建設機械製造業が地球温暖化防止に貢献する方法を大学院のゼミなどで検討してきた。しかし、トランプ前米大統領が地球温暖化はないと断言して以来、地球温暖化を根拠なく否定する雰囲気アカデミックな人々にさえも残っている。そこで、地球温暖化のさまざまな要因をSEのアーキテクチャーの分解と定義(Decomposition Analysis and Resolution Process; DAR)<sup>2)</sup>により図-1のよう改めて整理した。地球温暖化という問題(クリティカル・イシュー)の発生原因については、大嶋<sup>3)</sup>が地球46億年間の8つの気候変動原因説について紹介している。これらの説に基づいて太陽系と地球系の二つのシステムに分けていくつかの要因に階層化して、それらのリスクとリスク発生の有無を解析する。年代を20世紀以降と限定すると、太陽系システムでは現在の急激な地球温暖化を起こす大きな要因はない。11年周期の太陽活動も地球温暖化に直接的な影響はない。地球系システムでは宇宙線増加によるオゾン層破壊、海洋自体の発熱、地球内部からの火山活動からの熱やガスの放出は多いとは言えない。それよりも人類の産業活動による次の要因

が地球温暖化に大きな影響している。

- (1) 特定フロン(CFC)の排出によるオゾン層破壊とこれによる地表への紫外線到達量増加で、地球温暖化の可能性があった。しかし、モントリオール条約により2010年にCFCは世界中で生産が中止されている<sup>4)</sup>。ただし、2020年生産全廃のハイドロクロロフルオロカーボン(以下HCFC)はまだオゾン層への悪影響がある<sup>5)</sup>。HCFCや規制のないハイドロフルオロカーボン(以下HFC)でも地球温暖化係数<sup>6)</sup>がCO<sub>2</sub>の1万倍もあるものがある。これらフロン類ガスが冷媒や洗浄剤として今後も使用される。
- (2) 産業起源の温暖化ガス(CO<sub>2</sub>, メタンガス, 一酸化窒素N<sub>2</sub>Oとフロンガス)排出の内、CO<sub>2</sub>の量は65%を占める<sup>7)</sup>。南極氷床中のCO<sub>2</sub>量の分析では、65万年前から産業革命が始まる前まではCO<sub>2</sub>濃度は200~280 ppmであったが<sup>3), 8)</sup>、1900年以降に急増して<sup>9)</sup>、2018年には410 ppmとなっている<sup>10)</sup>。地球46億年間の気候変動の原因はCO<sub>2</sub>の影響をはじめ諸説があるが、350 ppm以上になったのは過去16万年間で一度もない<sup>3)</sup>。
- (3) 産業活動からの熱の放出は太陽熱に比べると小さいが、都市のヒートアイランド化など局所的な影響は大きい<sup>11)</sup>。

ちなみに2018年に日本が排出した温暖化ガスの温室

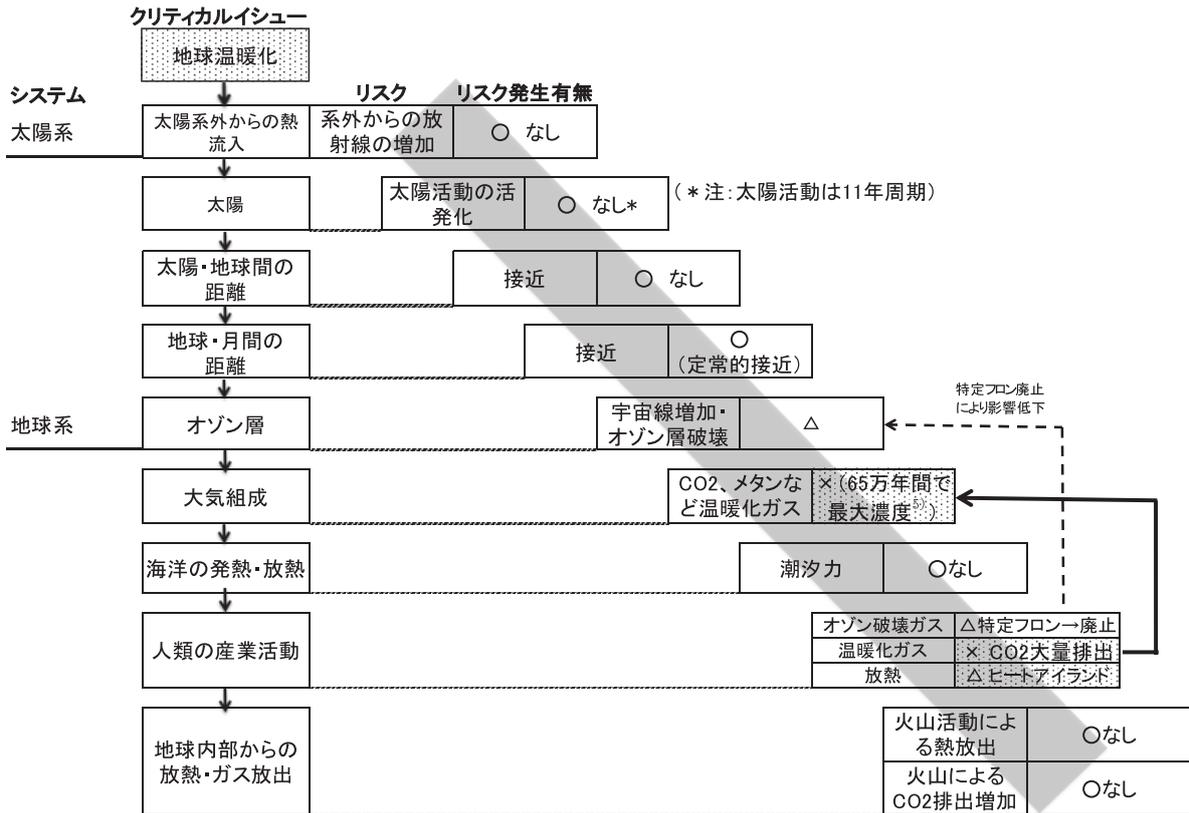


図-1 20世紀以降の地球温暖化の要因のDARを用いた分解と解析

効果への(日本分の)寄与度は、CO<sub>2</sub>が91.7%、メタンが2.4%、N<sub>2</sub>Oが1.6%でフロン類は4.3%である<sup>12)</sup>。そこで、本稿ではCO<sub>2</sub>削減に絞り削減方法を新しい視点から考察して提言する。

## 2. 世界の人為的なCO<sub>2</sub>排出量の再検討

従来は森林火災は人為的でないとしてCO<sub>2</sub>排出防止策として取り組まれていなかった。しかし、南米・東南アジア・アフリカなどの密林の乱開発(焼き畑農業、農地拡大、木材伐採、鉱山開発など)を原因とする火災、あるいは地球温暖化による過去に例を見ない大規模な森林火災(北米、欧州、豪州、ロシアなど)が頻発することは無視できなくなっている。なお、森林の1haの消失によりCO<sub>2</sub>が180~370ton排出されるとされる<sup>13)</sup>。図-2は2016年の各国産業によるCO<sub>2</sub>排出量<sup>14)</sup>に、福田<sup>15)</sup>による森林火災によるCO<sub>2</sub>排出量の2011年見積もりを重ね合わせものである。森林火災によるCO<sub>2</sub>排出を見積もった資料は少ない。近年の増加する森林火災で排出されるCO<sub>2</sub>は、中国の排出量を超えることも予想される。例えば2015年に発生したインドネシアの森林火災はわずか2ヶ月の間に日本の1年分に相当するCO<sub>2</sub>を排出したとされる<sup>16)</sup>。この火災の原因は石炭露天掘りなどによるジャングル伐採で地表の落葉・落枝(リター)

層や地下の泥炭層が乾燥して、焼畑や自然着火によりリター層や、まれに地中の泥炭層まで地中で燃え続けるためである(図-3)<sup>17)</sup>。インドネシアの泥炭地火災はその後も度々起こっている。CO<sub>2</sub>排出量の抑制には大規模森林火災への対策が必要となっている。そこで、本稿では森林火災用の消防車についても検討する。

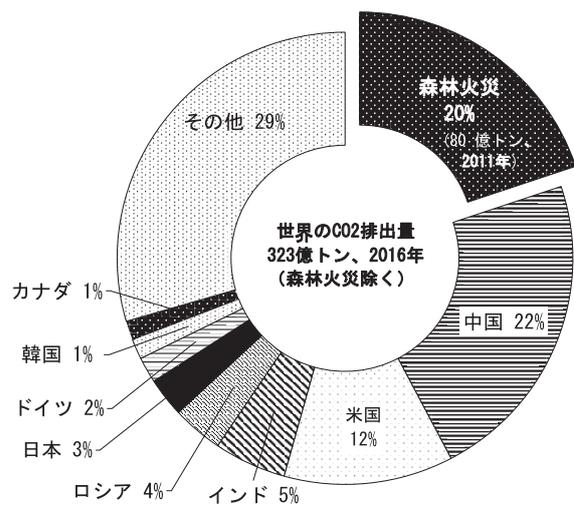


図-2 世界の産業活動によるCO<sub>2</sub>排出量<sup>14)</sup>と森林火災によるCO<sub>2</sub>排出量<sup>15)</sup>



図-3 排水された泥炭地で発生した火災 (原口<sup>18)</sup>)  
リター層から炎が出ている状態

### 3. 国内の産業界で発生する CO<sub>2</sub> の抑制

日本の産業と家庭の各セクターに入る燃料が CO<sub>2</sub> に変換される全体の振る舞いを、SysML (Systems Modeling Language<sup>19)</sup>) のアクティビティ図 (図-4) として示す。SysML の英語表記のため、日本語も付記する。各燃料の各セクターへの動きは資源エネルギー庁の資料エネルギーバランス・フロー概要 (2016 年度)<sup>20</sup> ならびに全国地球温暖化防止推進センタの日本の部門別二酸化炭素排出量 (2018 年度)<sup>21</sup> を基にした。図左枠から石炭 (Coal)、石油 (Oil) と天然ガス (Gas) が供給され、最終的に CO<sub>2</sub> として右の大气側 (Air) に排出される。図中の線の太さはそれぞれの量に比例させている。発電所などエネルギー変換セクター (Energy Conversion Sector) は石炭、石

油と天然ガスを電気に変換する時 (Produce Electricity) に CO<sub>2</sub> を日本の全排出量の 41.3% 排出する。このため石炭や石油から CO<sub>2</sub> 排出量の少ない天然ガスへの転換がなされている。一方、CO<sub>2</sub> 排出がゼロの原子力は 2011 年の福島原発事故、使用済み燃料の廃棄手段の欠如、あるいは安全性のために停止せざるを得ない状況が続いている。

産業・商業セクター (Industrial & Commercial Sector) の CO<sub>2</sub> 排出量は、エネルギー変換セクターなみに 36.3% と多いが、これは産業、業務その他、工業プロセスと廃棄物の各部門合計である。産業・商業セクターはまた電気の最大消費者 (73.4%) である。製造販売時 (Produce and Sell Products) に多くの CO<sub>2</sub> を排出している。このセクターは今まで以上の何らかの新しい対策が必要である。運輸セクター (Transportation Sector) では製品・人の輸送 (Transport Product and Person) が産業・商業セクターの約 1/2 の CO<sub>2</sub> 排出であり、今後は自動車や電車がハイブリッド化や電池駆動により排出量が低減される方向に向かっている。家庭セクター (Household Sector) では全ての製品・サービスを使用 (Use All Product & Service) しても、低電力型の家電普及などで排出量は 5% に留まっている。

電力購入量消費の内訳を、新電力ネット<sup>22)</sup> のまとめた産業別電力購入量ランキングから整理すると図-5 のようになる。ここでは上位 49 業種だけを取り上げて、その合計を総電力購入量としている。小売業とサービス

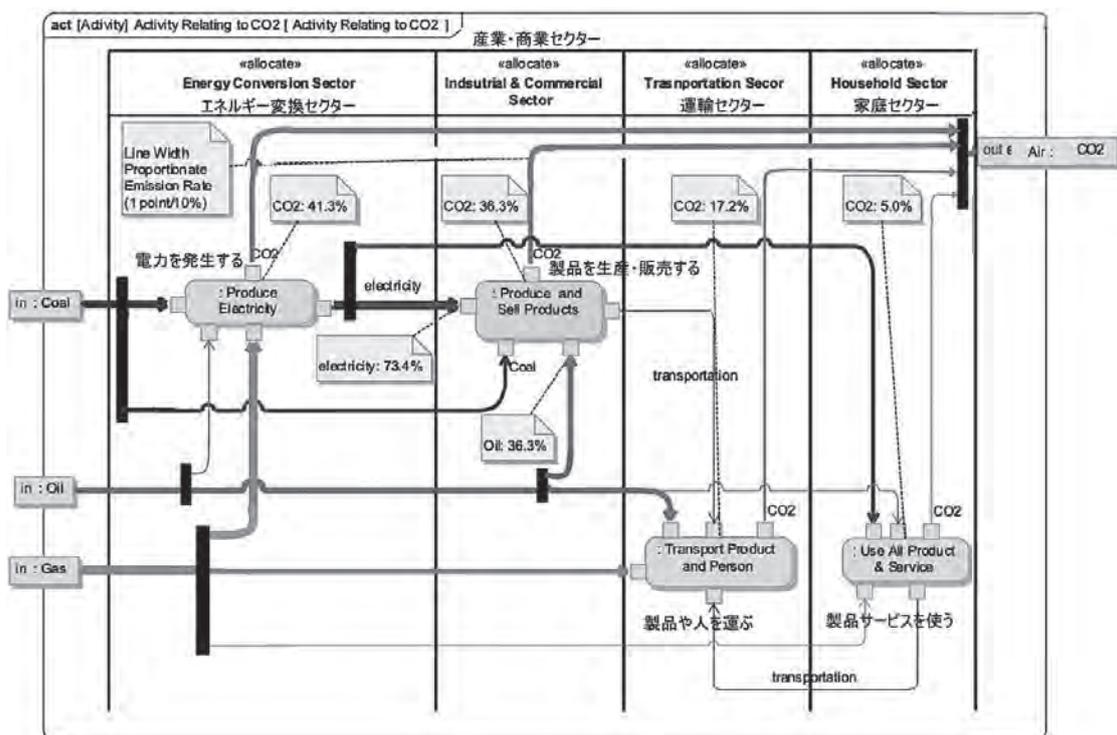


図-4 CO<sub>2</sub> の排出に関する国内の各セクターの振る舞いを表すアクティビティ図

業は合わせて40%強であるが、有効なCO<sub>2</sub>排出低減の対策は各企業の省燃費化に期待するしかない。同じく製造業(工業)は16業種合わせて計43%であり、同様に各企業の省燃費化が唯一有効な手段である。

一方、産業・商業セクターのCO<sub>2</sub>排出量は前述のように日本全体の36.3%にも上り、石炭と石油の消費も多い。図-6に示すとおり、製造業の主要6業種に限ると鉄鋼業が全排出量の48%を占めている。これは製鉄所の高炉からCO<sub>2</sub>が大量の排出されるためである。日本鉄鋼連盟は製鉄所から排出されるCO<sub>2</sub>を30%削減するプロジェクトを進めているが、実用化目標は2050年まで先である<sup>23)</sup>。

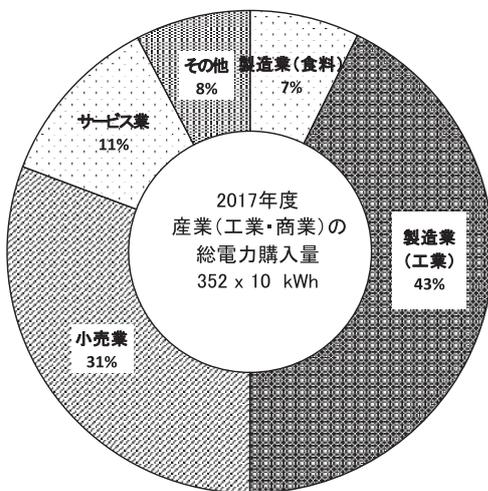


図-5 国内の産業・商業部門の電力購入量の内訳 (文献 22 に基づき作成)

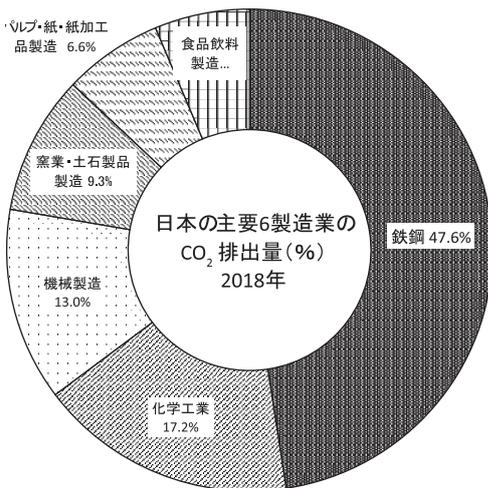


図-6 国内の主要6製造業のCO<sub>2</sub>排出量 (文献 32, 33 に基づき作成)

## 4. 地球温暖化防止への貢献策

### 4.1 建設業の貢献策

近年建設業では、建設機械の燃費低減や電動化の推進、あるいは情報化施工で施工効率を上げてCO<sub>2</sub>抑制を進めている。建設業各社ではさらに掘削土量の低減、建設残土のリサイクルや建設廃棄物の低減を進めている。建設物についても省エネ建物やゼロエネルギービル(ZEB)などによるCO<sub>2</sub>低減を進めている。

欧州連合(EU)が公表している世界の建設におけるCO<sub>2</sub>排出はセメント、鉄鋼とエネルギー供給が原因である<sup>24)</sup>。前述の建設機械の低燃費化や情報化施工などは建設へのエネルギー供給に関する対策である。セメントのCO<sub>2</sub>排出対策として新しいセメントやコンクリートの開発が盛んになっている。通常のセメントは原料に石灰石(CaCO<sub>3</sub>)が用いられるが、ロータリーキルンで焼成時に石灰石が熱分解してCO<sub>2</sub>を排出する。これはセメント製造時に排出されるCO<sub>2</sub>の60%にもなる<sup>25)</sup>。そこで、最近では石灰石の代わりに製鉄所の高炉スラグを使ったセメントでCO<sub>2</sub>を低減することが実用化されている。また、セメントを使わずに合成炭酸カルシウム(石灰石と同じCaCO<sub>3</sub>)を主原料とするコンクリートも開発中である<sup>26), 27)</sup>。セメントに2CaO・SiO<sub>2</sub>(ビーライト, Belite)を加えると、セメント製造時のCO<sub>2</sub>排出量を半減できる上、コンクリートにするとCO<sub>2</sub>を吸収して耐久性が上がる性質もある<sup>28)</sup>。このコンクリートを火力発電所のCO<sub>2</sub>吸収に実用している例がある<sup>29)</sup>。柳橋<sup>30)</sup>はすでに推定寿命500年以上の超高耐久性コンクリートを使って宗教建築物を建造した例を報告している。また、阪田<sup>31)</sup>はコンクリート成分の改良と共に、コンクリート構造物の耐久性照査して寿命を延長している。

火力発電以外では鉄鋼製造のCO<sub>2</sub>排出量が最も多い部類であるため、建築・土木構造物(以下構造物)への鉄筋や鉄骨の使用を削減することで日本のCO<sub>2</sub>排出量を削減可能である。図-7に国内の鉄鋼の購入先とその量を示す。これから建設用鋼材の製造によるCO<sub>2</sub>は国内排出量の約2.8%にも達する計算になる。陣内ら<sup>34)</sup>は高耐久性鉄筋コンクリートを用いて、46年程度と言われる分譲マンション寿命を500~1,000年に延長する可能性を検討している。このコンクリートは水セメント比を変更して、ステンレス鉄筋または防錆コーティングを施した鉄筋を使い、コンクリート表面に適切なタイルなどの仕上げ材を施してコンクリートの中性化や乾燥収縮を防ぐことで実現可能としている。藤田ら<sup>35)</sup>は構造物解体で出る建築用鋼(H型鋼など)のリユースについて実際の竣工例も調査するなどして、解体方法、鋼材の選定方

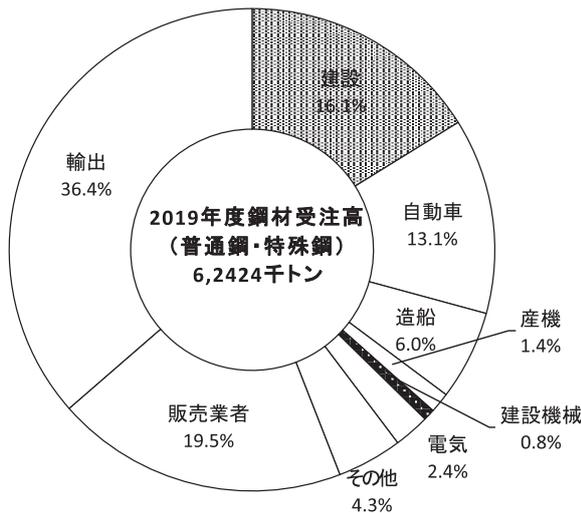


図-7 国内各業種の鋼材購入量の比率 (文献 36 に基づき作成)

法そして強度変化や構造設計方法を明らかにしている。これによりスクラップとして溶融再利用するよりも CO<sub>2</sub> 排出量が低減することを示している。一方、耐火集成材と限られた鉄骨<sup>37)</sup>だけで作る 17 階建ての木造建築が計画されている<sup>38)</sup>。これら CO<sub>2</sub> 削減の多くの新技術が開発されて一部はすでに実用化も進んでいるが、日本の建設分野の方針が一般には伝わっていない。統合された方針が明らかになれば、国内製鉄会社の CO<sub>2</sub> 低減プロジェクトの前倒し実施や、発展途上国の製鉄会社の CO<sub>2</sub> 低減を促すことになるとと思われる。

そこで、建設分野とセメント・鉄鋼産業の CO<sub>2</sub> 排出に関する従来の振る舞いと、今後の期待される振る舞いをアクティビティ図で記述して考察する。

図-8 は現状の鉄鋼業(Steel Industry), セメント産業(Cement Industry), 他の建材産業(Other Material Industry), 建設業(Construction Industry)と解体業(Demolition Industry)における原料, 製品と CO<sub>2</sub> の流れとそれぞれの振る舞いを表す。コンクリート製造は建設業に含め、解体業は実際には建設業であるが振る舞いを明確に記述するために分けている。建設業が構造物を受注(図中●)すると、鉄鋼業とセメント産業に注文(Order)が行く。建設業が受注しないと建設は中止される(⊗, Cancel Order)。鉄鋼業は石炭(Coal), 鉄鉱石(Iron Ore), 石灰石(CaCO<sub>3</sub>)と生石灰(CaO)を用いて建設用鋼材を製造する(Produce Steel for Construction)。この際に日本の CO<sub>2</sub> 排出量の約 2.8% を大気中(Air)に放出する。セメント産業は石灰石, 石油(Oil), 粘土(Clay)と水(Water)からセメントを製造する(Produce Cement)。その際に石灰石が熱分解して炭酸ガスを発生し(CaCO<sub>3</sub> → CaO + CO<sub>2</sub>)、日本の全 CO<sub>2</sub> 排出量の 3% を排出する<sup>39)</sup>。一部のセメントは鉄鋼業から高炉スラグ(Slag)を購入して低 CO<sub>2</sub> セメントを製造している。セメントは建設業に近い場所で水, 砂と砂利(Sand & Gravel)を混ぜて(Mix Concrete)コンクリートとして建設業に渡る。構造物は建設された(Construct Architecture)後, 50 年前後に(図中の砂時計マーク)解体される(Demolish Architecture)。解体時に発生するコンクリート塊(Waste Concrete)は中の鉄筋が引き抜かれてスクラップ(Steel Scrap)となり、コンクリート分は道路用などにほぼ 100% リサイクルされている<sup>40)</sup>。

図-9 は前述の新しいセメント, 耐火集成材あるいは

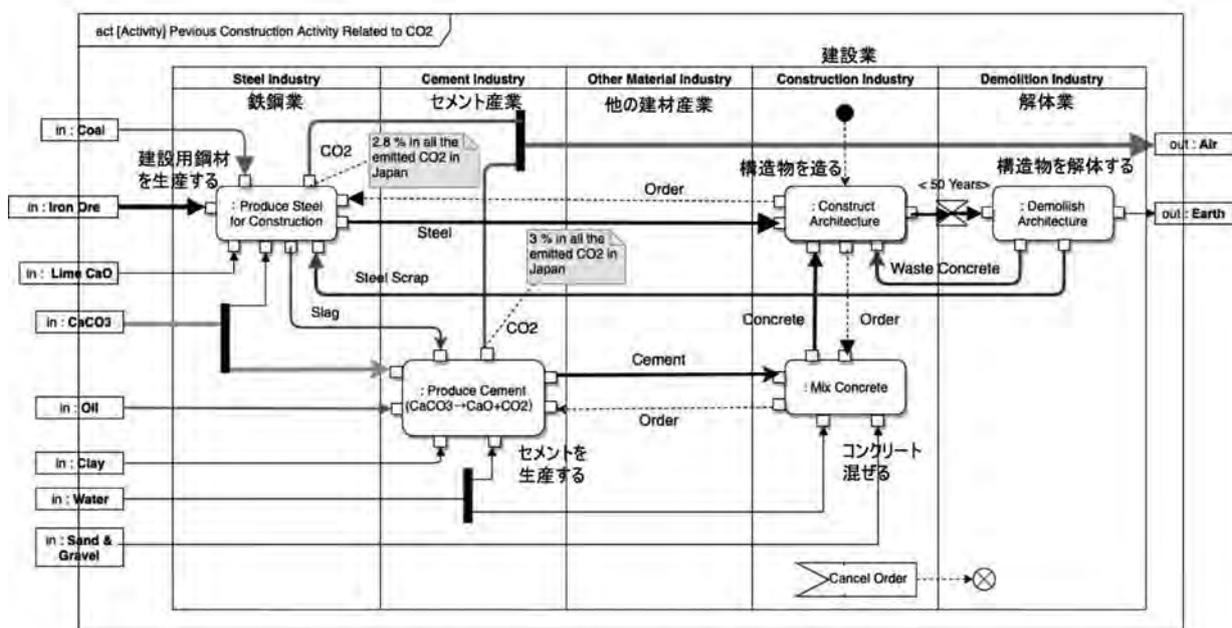


図-8 従来の建設業と関連業界の CO<sub>2</sub> 排出に関する振る舞いを表すアクティビティ図

構造物の寿命延長などを統合した CO<sub>2</sub> 抑制方法について、建設業を主体とした振る舞いをアクティビティ図を用いて記述しながら考察した。この図の流れや数値は文献<sup>25, 26, 34, 35, 37, 40, 42 ~ 46)</sup>に基づいている。鉄鋼業(Steel Industry)は現状維持の状態であるが、型鋼や鉄筋については構造物の寿命延長のために今後防錆処理(Treat Steel for Rust-Proof)が必要となる。セメント産業(Cement Industry)は CO<sub>2</sub> 低減が可能となる3種の低 CO<sub>2</sub> あるいは CO<sub>2</sub> 吸収セメントの製造(Produce Slag-Cement, CaCO<sub>3</sub> Cement absorbing CO<sub>2</sub> and Belite-Cement absorbing CO<sub>2</sub>)が開発されている。CO<sub>2</sub> 低減効果、耐久性とコストの比較(図中◇, Low Cost)で採用が決められる。耐火集成材の製造(Laminate Lumber with Refractory)は CO<sub>2</sub> 排出がなく高層ビル建設まで可能な新材料であるが、全ての建造物に使える訳ではなく一部には鉄骨の使用が必要である。鉄骨は電気炉用のスクラップ(Scrap)せずに切断加工してリユース(Reused Structural Steel Bar)し、鉄鋼使用量を減らして CO<sub>2</sub> 発生を減らす。全ての構造物は長寿命設計(Construct Long-life Architecture)として、全ての鋼材は500年以上の使用を可能とする。人口の大きな増減や大きな仕事形態の変化(テレワークなど)にも対応できるように、100年位に(図中の砂時計型マーク)の大きな構造物改良(Renovation/Improve Architecture)が可能な設計をする必要がある。

本図の例に示すような統合的な将来像を作成して実行

することで、日本の全 CO<sub>2</sub> 排出量の 5.8% に達する建設からの排出を大きく低減できる。EU の発表<sup>24)</sup>によれば世界 40ヶ国の建設部門の排出量は全体の 20% も占める。この中で中国 36%、インド 25% などアジア諸国が多い<sup>24)</sup>。日本の建設業界がセメントの低 CO<sub>2</sub> 化と、鉄鋼使用の削減策ならびに構造物の長寿命化のビジョンを世界に示すことが必要と思われる。これにより日本の建設技術やセメント技術の海外輸出や、世界の鉄鋼業の低 CO<sub>2</sub> 化を促すことも期待できる。

4.2 建設機械メーカーの抑制策

世界的に消防車は都市部の火災向けに設計してあり、高速で走行できる道路があり、消火栓があることが前提となっている。大規模な森林火災では道路は十分に整備されておらず、森林全体が火に包まれ、さらに泥炭や枝葉・落枝の堆積層が地面から燃える状況では一般消防車では消火は困難である。日本の通常の消防車は水タンク容量が 2.0 kL であり、森林消火には不十分である。一方、米国では放水装置を持たない消防車は水タンク容量が最大で 15.0 kL もあるが、放水装置を持つ消防車は最大 7.6 kL である<sup>47)</sup>。このため、航空機からの空中消火に頼るのが世界の現状である。しかし、消防用の飛行機は夜間、天候不良あるいは煙が著しい場合には消火活動ができない問題がある。

図-10 は SysML の要求図に、森林火災用消防車(以下森林消防車, Fire-engine for Forest)に必要とされる条

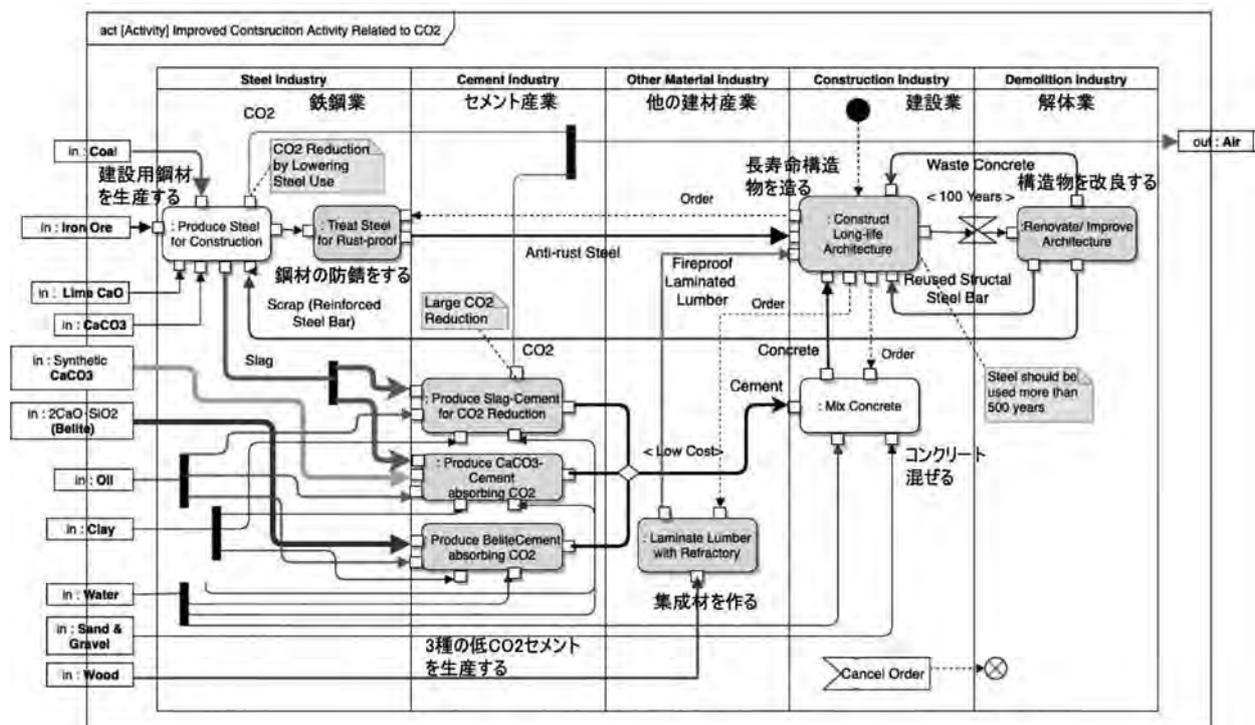


図-9 全ての CO<sub>2</sub> 低減方法を統合的に盛り込んだ場合の建設業と関連業界の振る舞いを表すアクティビティ図

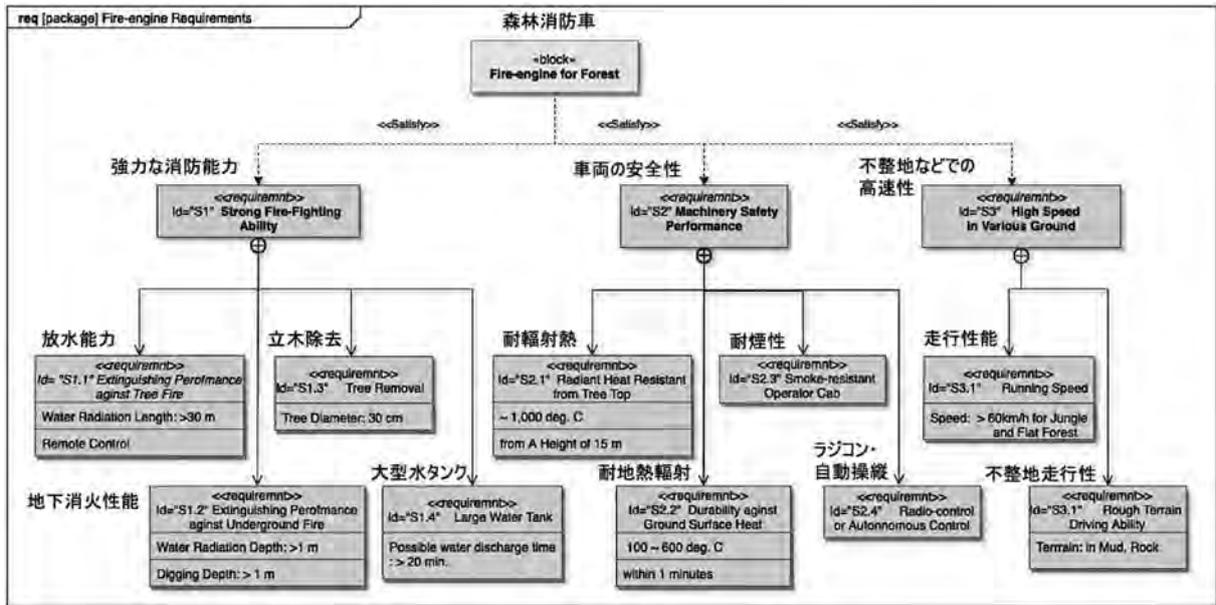


図-10 森林火災用の消防車の要求条件を表す要求図

件や装備の要求をまとめた。この要求図に示す数値は後藤<sup>48)</sup>と、筆者の製鉄所のスラグ処理用の建設機械開発の経験<sup>49)</sup>などに基づいている。

森林消防車は強力な消火性能(Strong Fire-fighting Ability)が必要である。これは遠隔操作可能な30m以上の放水能力(Extinguishing Performance against Tree Fire)、地面または地下1m位迄放水可能な消火能力(Extinguishing Performance against Underground Fire)で、破壊消火として30cm程度の立木・倒木の除去(Tree Removal)、20分以上放水できる大型水タンク(Large Water Tank)である。次に必要なのは車両の安全性(Machinery Safety Performance)であり、これには燃えさかる木々の上から来る1,000℃位の輻射熱対策(Radiant Heat Resistant from Tree Top)、地面からの600℃位の輻射熱(Durability against Ground Surface

Heat)、運転席などへの煙侵入防止(Smoke-resistant Operator Cab)、危険な場所への侵入などに備えたラジコン操作や自立運転(Radio-control or Autonomous Control)などである。また、不整地などで高速走行可能(High Speed in Various Ground)が必要であり、その条件として密林や森林で60 km/h以上の速度が出ること(Running Speed)、不整地走行能力(Rough Terrain Driving Ability)が必要である。

これらの要求から図-11の装備が導かれる。まずは放水銃(Water Gun)、リータ・泥炭層の地下火災用のリッパ先端に着けた放水銃(Ripper with Water Gun)、立木や倒木除去のためのブルドーザ式ブレード(Bulldozer's Blade)、大型水タンク(Large Water Tank)、輻射熱シールド運転室(Heat Shield Cab)、遮熱油圧ホースカバー(Heat Shield Hose)、車体や地面を冷やすスプリンク

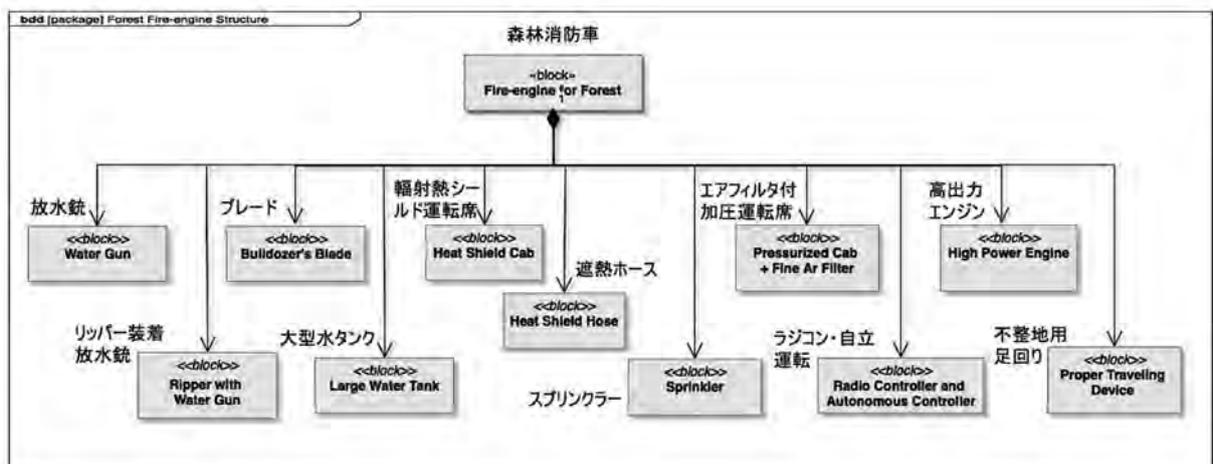


図-11 森林消防車に必要な装備を表すブロック定義図

ラー(Sprinkler), 煙対策として空気フィルタ付きの加圧運転席(Pressurized Cab+Fine Air Filter), ラジコン/自立運転システム(Radio Controller and Autonomous Controller), 高出力エンジン(High Power Engine)ならびに不整地用の走行装置(Proper Travelling Device)である。

これらの要求を満足し装備を搭載できる機種を, 様々な建設機械から選定すると図-12のようにアーティキュレート・ダンプトラック(以下 ADT)が適していると考えられる。40 トン積みの ADT は出力 350 kW エンジンを搭載している。ベッセルの代わりに 35 kL 程度の水タンクを取り付けられると考えられ, 満載時に 56 km/h で走行できる。火災が発生している森林内に入るため輻射熱対策, 車体冷却用のスプリンクラー, 道を塞ぐ倒木除去のためのブレードを装着する。地面や地下の火災に対しては下向きの散水装置と放水銃付きリッパを装着する。危険が大きい場合にはラジコンや自動運転で火災現場に進入あるいは退去する。

森林火災にしばしば使われる自衛隊の双発大型ヘリコプタ(63 人乗り)のバケット式水タンクは 7.5 kL の容量しかない。250-380 人乗りの大型ジェット旅客機の改造消防機では水タンク容量は 45 kL である<sup>50)</sup>。アメリカで一般的な軍用 4 発輸送機の改造消防機は水タンク容量 11 ~ 15 kL である<sup>51)</sup>。数台の ADT 改造の消防車を使えば大型消防機以上の消火能力になる。ADT は大型タイヤ(外径 1.8 m)の 6 輪駆動で中折式車体であり, 3 軸を別々にねじりながら走行できるように 50 cm 位の深さの泥濘地, 砂地あるいは岩場でも走行できる。密林を切り開いた場所, 平坦な森林で充分走行可能である。但し, 日本の急峻な山林火災には適していない。森林火災での輻射熱対策は建設機械メーカーが製鉄所内のスラグ処理用の建設機械の経験で対応できる。タイヤ式建設機械は赤熱したスラグが散らばっているところでも使用されている実績がある。

消防飛行機は前述以外にも次のような問題点<sup>50)</sup>があ



図-12 ADT 改造の森林消防車のイメージ

る。(1)近隣に飛行場が必要, (2)火災に対して有効な散水が難しい。ADT 改造の森林専用消防車はこれらを解決できる可能性がある。日本のような急峻な山林火災にはクローラダンプなどが利用できる可能性がある。

## 5. まとめ

地球温暖化は近年の夏場の異常高温, 集中豪雨あるいは台風大型化を起し, 生活, 経済, 社会と自然への深刻な脅威となっている。このため, 地球温暖化の対策にはより具体的アクションが必要になっている。そこで, 当協会とその会員が直ちに取り組むことができる地球温暖化の抑制策について, システムズエンジニアリングに基づく手法を用いて考察を行った結果, 以下の地球温暖化の抑制策案を提言する。

(1)建設分野では CO<sub>2</sub> 低減できる新セメントの実用化を進める。新セメントは鉄筋の中性化も遅らせることができるため, 構造物の寿命を現状の 50 年位から 500 年以上にする設計とする。長寿命構造物は社会変化に応じて改良可能な設計とする。耐火集積材の採用は CO<sub>2</sub> 低減に有効であるため普及を図る必要がある。これらにより鉄鋼の使用量を減らして CO<sub>2</sub> 低減をして地球温暖化を抑制する。

建設業界でこれらの対策を統合した地球温暖化の抑制策を国内外に公表することを提言したい。国内外の鉄鋼業も高炉の CO<sub>2</sub> 低減を前倒しする切掛けになる。

(2)建設機械メーカーは大容量の水タンクを搭載して不整地や山間部を自在に移動できる森林火災専用の消防車を開発することを提言する。これにより森林火災の早期消火を実現し地球温暖化抑制策の一つとする。

## 6. あとがき

世界中で地球温暖化防止が叫ばれても一向に CO<sub>2</sub> 濃度が下がる気配はない。2002 年に JCMAS H016「建設機械の環境負荷低減技術指針」<sup>52)</sup>を制定して以来, 建設機械メーカーは工場と建設機械自体からの CO<sub>2</sub> 排出を低減してきたが, 地球温暖化に対する実績は微々たるものであることを本研究で知った。多量の CO<sub>2</sub> を排出している鉄鋼業の一層の抑制努力に期待しなければならない。

地球温暖化対策として炭素税や排出権取引も議論されているが集まる金は, CO<sub>2</sub> 吸収源である森林に直接投資される訳ではないため実効性がない。森林の所有者や住民に炭素税などを還流して森林火災を防ぎ, 森林再生を

する仕組みが必要と思われる。

一方、日本では長い景気低迷が続き、会社活力も弱まっているように思われている。しかし、建設と建設機械の分野を見ればCO<sub>2</sub>低減に対して力強い研究開発がなされている。当協会が地球温暖化に果たす役割は大きいと実感している。

なお、本稿では異なる統計数値を組み合わせたために精度が低い部分がある。今後より正確な調査が期待される。

#### 参考文献

- 環境省ホームページ  
<http://www.env.go.jp/press/109850/116628.pdf> (20210810 閲覧)
- 大川聰：システムズエンジニアリングを用いた建設機械の故障解析，建設機械施工，2，6，p23-36，2020。
- 大嶋和雄：二酸化炭素濃度と気候変動史，石油技術協会誌，56，4，p300-309，(1991)
- [https://www.env.go.jp/press/cfc\\_conf01/mat03.pdf](https://www.env.go.jp/press/cfc_conf01/mat03.pdf) (20210811 閲覧)
- 経済産業省ホームページ  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo\\_sangyo/kagaku\\_busshitsu/flon\\_taisaku/pdf/003\\_s03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_busshitsu/flon_taisaku/pdf/003_s03_00.pdf) (20210712 閲覧)
- [https://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/ozone/files/freo\\_pamphlet.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/ozone/files/freo_pamphlet.pdf) (20210815 閲覧)
- 国土交通省気象庁ホームページ  
[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki\\_ondanka/p04.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html) (20210811 閲覧)
- 飯塚悟：地球温暖化研究の概要，日本風工学会誌，40，4，p375-379，(2015)
- 全国地球温暖化防止活動推進センターホームページ <https://www.jccca.org/global-warming/knowledge01> (20210811 閲覧)
- 「二酸化炭素濃度，初の410ppm突破 ハワイ観測所」CNN，05.04，(2018) <https://www.cnn.co.jp/fringe/35118686.html> (20210812 閲覧)
- 齋藤武雄：地球と都市の地球温暖化シミュレーション，日本機械学会誌，98，920，p563-566，(1995)
- 日本原子力文化財団 エネ百科ホームページ <http://www.ene100.jp/www/wp-content/uploads/zumen/2-1-2.pdf> (20210825 閲覧)
- 松岡譲，森田常幸：地球温暖化におけるモデルと予測，計測と制御，31，5，p577-585，(1992)
- [https://www.jccca.org/chart/chart03\\_01.html](https://www.jccca.org/chart/chart03_01.html) (20200709 閲覧)
- 福田正己：アフリカ南部の森林火災，都市経営，2，p141-148，(2013)
- 国立環境研究所ホームページ  
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20210715/20210715.html> (20210809 閲覧)
- インドネシア，大量CO<sub>2</sub> 焼き畑で泥炭火災相次ぐ，朝日新聞，10月06日，(2007) <http://www.asahi.com/special/070110/TKY200710060259.html> (20200105 閲覧)
- 原口昭：泥炭火災と地球環境，環境と消防，3，1，p2-7，(2014)
- 西村秀和(監訳)，S. Friedenthal, A. Moore, S. R. Streiner 著：システムズモデリング言語 SysML，東京電機大学出版局，p29，(2012)
- 資源エネルギー庁『平成29年度エネルギーに関する年次報告』(1918) p136，<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2018pdf/> (20210730 閲覧)
- 全国地球温暖化防止推進センター「すぐ使える図表集44 日本の部門別二酸化炭素排出量(2018年度)」[https://www.jccca.org/chart/chart04\\_04.html](https://www.jccca.org/chart/chart04_04.html) (20210729 閲覧)
- 新電力ネットホームページ <https://pps-net.org/industryenergy/page/4?industrykey=element11> (20210812 閲覧)
- 日本鉄鋼連盟「鉄鋼業の地球温暖化対策への取組」(2021) <https://www.jisfor.jp/news/topics/docs/200911262.pdf> (20210810 閲覧)
- 横山計三「各国の建築による Embodied Impact に関する研究」日本建築学会環境系論文集，86，779号，p101-109，(2021)
- 細谷俊夫「セメント産業におけるCO<sub>2</sub>排出削減の取り組み」コンクリート工学，48，9，p51-53，(2010)
- 兵藤彦次ほか「炭酸化によるセメント系材料のCO<sub>2</sub>吸収固定」TAIHEIYO CEMENT KENKYU HOKOKU，179，p15-30，(2020)
- [https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wa/2021/210216\\_5079.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wa/2021/210216_5079.html) (20210906 閲覧)
- 渡邊賢三，横関康祐，取達剛，坂田昇「炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化技術」コンクリート工学，45，7，p31-37，(2007)
- [https://www.kajima.co.jp/tech/c\\_eco/co2/index.html#body\\_02](https://www.kajima.co.jp/tech/c_eco/co2/index.html#body_02) (20210830 閲覧)
- 柳橋邦生「超高耐久性コンクリート」コンクリート工学，49，5，p122-127，(2011)
- 阪田憲次「地球温暖化時代のコンクリート技術」第94回土木学会通常総会(2008)
- [https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/material/yoin\\_2018\\_2\\_3.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/material/yoin_2018_2_3.pdf) (20210812 閲覧)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ [https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100923.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100923.html) (20210816 閲覧)
- 陣内 浩，杉本賢司「高耐久性鉄筋コンクリート構造と高耐久性住宅」Journal of the Society of In-organic Materials, Japan, 10, p426-431, (2003)
- 藤田正則「CO<sub>2</sub>排出量の削減を目指した鋼構造のリユースに関する研究」2016年日本建築学会賞(論文)(2016) [https://www.aij.or.jp/jpn/design/2016/data/2\\_laward\\_06\\_fujita.pdf](https://www.aij.or.jp/jpn/design/2016/data/2_laward_06_fujita.pdf) (20210901 閲覧)
- 日本鉄鋼連盟ホームページ <https://www.jisfor.jp/data/jikeiretsu/syuyoukoku.html> (20210825 閲覧)
- 岡日出夫，大橋宏和，山口純一，堀長生「モルタルを内蔵したスギ集成材の燃え止まりに関する研究」日本火災学論文集，58，1，p13-20，(2008)
- [https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20190723\\_1.html](https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20190723_1.html)
- <https://www.nedo.go.jp/hyoukoku/articles/201705ecm/index.html> (20210820 閲覧)
- 「建設廃棄物の現状」環境省ホームページ <https://www.env.go.jp/recycle/build/genjyo01.pdf> (20210907 閲覧)
- <http://www.env.go.jp/council/former2013/04recycle/y040-25/ref03.pdf> (20210831 閲覧)
- [https://www.jisfor.jp/business/lca/material\\_flow/index.html](https://www.jisfor.jp/business/lca/material_flow/index.html) (20210830 閲覧)
- 「低炭素形コンクリートの普及促進に向けて」日本建設連合会，237，(2016) <https://www.nikkenren.com/sougou/10thaniv/pdf/05-06-20.pdf> (20210816 閲覧)
- <https://www.kajima.co.jp/news/press/201201/30a1-j.htm> (20210816 閲覧)
- 北海道大学ホームページ [https://www.hokudai.ac.jp/news/pdf/210413\\_pr3.pdf](https://www.hokudai.ac.jp/news/pdf/210413_pr3.pdf) (20210722 閲覧)
- 三木千壽「橋の寿命：プラス100年プロジェクトの提案」コンクリート工学，50，7，p7，(2012)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Wildland\\_water\\_tender](https://en.wikipedia.org/wiki/Wildland_water_tender) (20210823 閲覧)
- 後藤義明「山火事と地域環境」森林科学，24，p14-21，(1998)
- 大川聰ほか「水グリコール仕様油圧シヨベル PC300LC-6 の開発」Komatsu Technical Report, 46, 1, p36-41, (2000)
- 根岸英一「世界の森林火災と航空消火について(第2報)」環境と消防，2，1，p1-9，(2013)
- 米農務省林野部ホームページ <https://www.fs.usda.gov/managing-land/fire/planes/maffs> (20210802 閲覧)
- 「建設機械の環境負荷低減技術指針」日本建設機械施工協会，JCMAS H016 (2002)

(2021.9.14 受付，2021.10.04 採用決定)

## Countermeasure Study and Proposal for Preventing Global Warming

Satoshi OHKAWA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doctor in System Engineering, Editor of JCMA Construction Machinery Directory, Former Researcher of Keio University SDM Research Institute, Retired from Komatsu Ltd.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has concluded in 2021 that global warming is generated by human activity. This has caused a great deal of ripples around the world. Therefore, the author studies possible approaches to the global warming as the JCMA. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) generated in the global construction is emitted from cement manufacturing, steel manufacturing and energy supply. In order to reduce CO<sub>2</sub> from cement manufacturing, new cements and concrete have been developed. Japanese steel industry has the largest CO<sub>2</sub> emissions in the industry, accounting for about 17% of Japanese total emissions. Although there is a project of CO<sub>2</sub> emissions reduction during steel manufacturing, its practical use is still a long way off. For this reason, there is research to reduce CO<sub>2</sub> emissions by reusing the steel materials from the dismantled steel structure, and there is also a plan to build a high building using only fire-resistant laminated lumber with a small amount of steel beams. Extending the life of steel structures and concrete with reinforcing steel bar also contribute to the CO<sub>2</sub> reduction. An integrated CO<sub>2</sub> reduction construction system is required. On the other hand, the number of large-scale forest fires is increasing worldwide, which is emitted more than 20% of the world's CO<sub>2</sub> emissions. Since there is no fire engine for the forest fires, it is expected to be effective if a dedicated fire engine with improved construction equipment is developed and introduced in areas where forest fires occur frequently. The countermeasure can be proposed from this study using the methods and descriptions of systems engineering.

# 再生可能エネルギーと水素を利用した スマートエネルギー社会の構築への取り組み

島 潔・油 島 栄 蔵・伊 藤 剛

目下、近年のカーボンニュートラル政策に向けた研究開発テーマとして、再生可能エネルギー（再エネ）の媒体としての水素社会の構築に向け、水素サプライチェーンの構築に取り組んでいる。水素技術を活用した事業として、水素を作る（製造）、運ぶ・貯める（搬送）、使う（消費）に関する様々な実証試験を行いながら、その製造起源となる再エネ事業、とりわけ地熱発電事業と組み合わせた新しいビジネスにも取り組んでいる。本稿では、これまでの国内外における水素関連の取り組みを紹介するとともに、実証試験を通して培った技術、開発したマネジメントシステム、水素と天然ガスや地熱とのコラボレーション、可搬形 FC 発電機の建設工事への活用などについて紹介する。

キーワード：グリーン水素、エネルギーマネジメントシステム、地熱発電、可搬形 FC 発電機

## 1. はじめに

水素は、我が国の政策において、発電、産業、運輸などに幅広く活用できるカーボンニュートラルのキーテクノロジーと位置付けられ、様々な政策や支援が実施されている。そこで、新しいアイデアから新たな社会的価値を創造できるよう、水素に関するさまざまな実証に関係省庁とも連携しながら取り組んできた。本稿では、これまでに関わってきた水素関連の主な取り組みと技術について紹介する。

## 2. 取り組み内容の概要

### (1) 背景

水素に本格的に取り組み始めたのは2013年で、当初は、水素社会の実現に対して、社内にも懐疑的な見方もあった。しかしながら、エネルギー自給率が低く、化石燃料への依存が高いという課題を抱えてきた日本が、原子力発電所の稼働率低下に直面したことで、多様なエネルギー源の活用がこれまで以上に求められることとなった。このような状況のなか、再エネと親和性の高い水素の本格利用に向け、インフラの構築企業として培ってきた知見やノウハウを活かしながら技術的課題を整理し、それらの課題解決に取り組む方向性に違和感はなかった。

### (2) 方針

水素の本格利用に向け、水素を「作って」「運んで」「貯めて」「使う」を、水素サプライチェーンを最適化するためのマネジメント技術の研究開発や社会実証の中で取り組んでいる。図-1に水素サプライチェーンのイメージを示す。



図-1 水素サプライチェーンのイメージ

これは、建設工事の設計施工一括請負で培ってきたプロダクトマネジメント能力を活かし、水素の製造、搬送から消費までの、サプライチェーンの最適化に貢献できると考えているからである。このため、都市のエネルギーとして水素を使うためのエネルギー・マネジメント・システム（EMS）や、水素を製造場から利用先まで効率よく搬送するための水素最適搬送管理システムなど、いわば水素の利活用を促すためのプラットフォーム開発に注力している。プラットフォームを軸に、水素関連の技術を開発し、付加価値の高い製品を創出することで、これからの水素社会のインフラ構築に貢献していきたいと考えている。

3章以降で、取り組み事例をいくつか紹介する。

### 3. 水素コージェネレーションシステムの実証

#### (1) 実証概要

2017年12月に、神戸市のポートアイランドにおいて、世界で初めて、市街地で、水素による熱と電気を近隣の公共施設に供給する「水素コージェネレーションシステム」(水素CGS)の実証試験を開始した。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成で、川崎重工業との協働で事業を進めている。実施体制は、大林組が幹事を担い、インフラ整備、「統合型エネルギーマネジメントシステム」(統合型EMS)、双方向蒸気融通技術の開発を担当し、川崎重工業が水素CGS、水素貯蔵供給設備の設置を担当している。水素CGSは、水素だけを燃料とすること(専焼)も、水素と天然ガスを任意の割合で混ぜ合わせたものを燃料とすること(混焼)も可能で、実証試験を通じて、運用の安定性を検証している。

本実証では、神戸市が実証フィールドの提供、関西電力が送電、岩谷産業が液化水素の提供、関西エネジーソリューションが実証設備の運転・維持管理、大阪大学が蒸気関連技術の検証を担当し、産官学が一体となって取り組んでいる。

写真一に神戸ポートアイランドの実証プラントを示す。



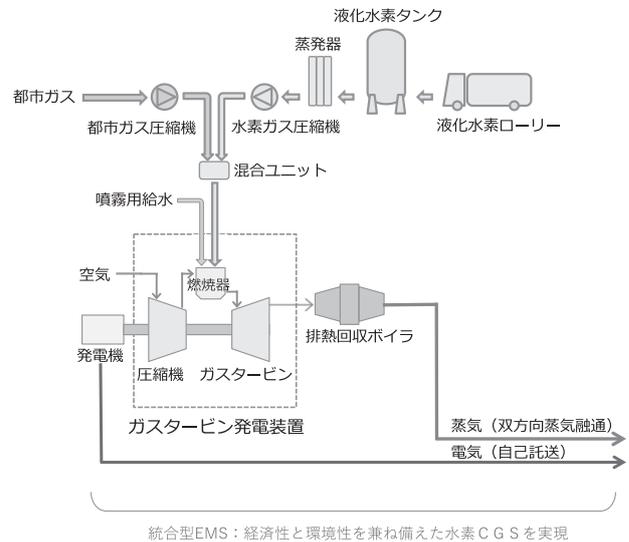
写真一 神戸ポートアイランドの実証プラント(川崎重工業提供)

#### (2) システム概要

本システムでは、ローリーで搬入される液化水素は液化水素タンクに貯蔵される。タンクの液化水素は、蒸発器で気化され、水素ガス圧縮機で所定の圧力にして、混合ユニットで都市ガスと混合されたあと、ガスタービン発電装置に供給される。水素は、水素貯蔵供給設備で運ばれたあと、水素CGSで電気と熱に変えられ、統合型EMSによる需要量、環境性、経済性の最適計画のもと、供給されるのである。

電気については、自己託送制度により、関西電力の送配電網を使って、近隣の公共施設に供給している。熱については、排熱回収ボイラで圧力10 kg/cm<sup>2</sup>の蒸

気を発生させ、実証で新たに設置した蒸気導管を使って、同じく近隣の公共施設に供給している。図一に水素CGSの構成を示す。本システムには、約1,100 kWの電力、約2,800 kWの熱を供給する能力がある。

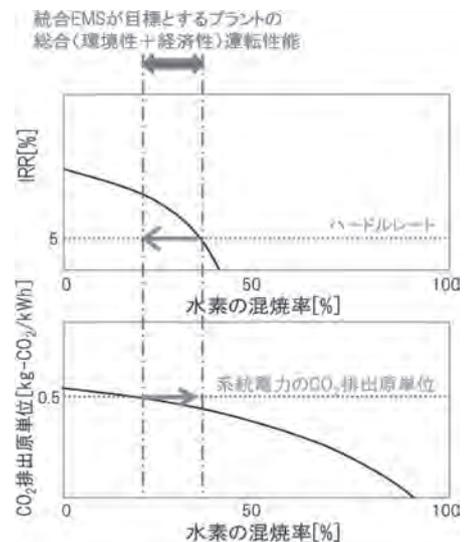


統合型EMS：経済性と環境性を兼ね備えた水素CGSを実現

図一 水素CGSの構成

#### (3) 統合型EMS

本実証では、これまでの電力と熱の利用状況や、水素と都市ガスの市場価格に基づき、プラントの環境性と経済性など、時々刻々と変化する運用条件を計算に入れ、水素CGSの最適運転パターンをオペレータに指示できる統合型EMSを開発した。統合型EMSの主な機能のうち、水素混焼率の最適化イメージを図一に示す。環境性を優先するのであれば水素100%で運転すれば良いが、水素単価の高い普及開始時期においては、水素と天然ガスを混焼させて運転する方が経済性に有利な運転となる。図一では、系統電力の



図一 統合EMSによる水素混焼率の最適化イメージ

CO<sub>2</sub> 排出原単位を下回り、15年の投資期間でIRR（内部収益率）がハードル・レートを上回る条件で運用する場合、水素の混焼率を $\leftrightarrow$ の範囲で決定すれば良いことを示している。

EMSの基本構成を図-4に示す。クラウド上のEMSサーバーから、各建物について、将来の電力・熱需要量に関する予測値を受け取り、BEMSでガスタービンの負荷率や水素混焼率などの前提条件を少しずつ変化させながら、全てのパターンについて年間光熱費、年間CO<sub>2</sub>排出量を算出し、最適運転パターンをシミュレートしている。その後、結果をEMSサーバーに戻し、CGSのガスタービンに運転パターンを伝える仕組みになっている。シミュレーションプログラムは、使いやすく汎用性に富んだシステムにするためExcelで構築し、計算条件のパラメータや近似式などをユーザーで容易に書き換え可能なものになっている。



図-4 EMSの基本構成

(4) 今後の展開

実証では、液化水素を気化させて利用しているが、プロパンガスなどの中間熱媒体を用いて、極低温の液化水素から、熱交換部分の着霜を回避しながら、媒体を凍らせることなく、液化水素が気化する際の冷熱を取り出す技術も研究している。図-5に冷熱取り出し

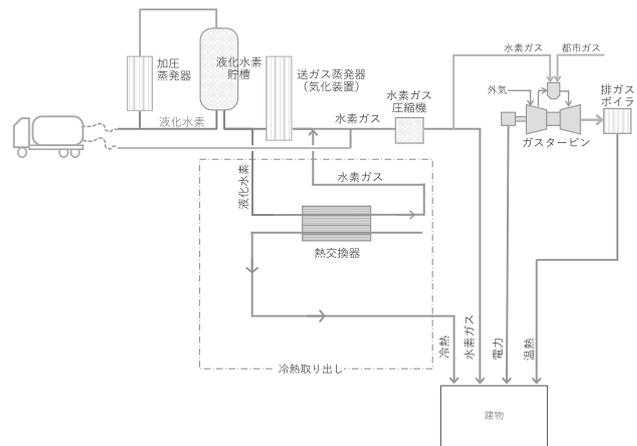


図-5 冷熱取り出しシステムの構成

しシステムの構成を示す。このシステムが実用化されれば、液化水素の冷熱を無駄なく活用して、水素CGS全体のさらなる高効率化につなげることが可能になる。また、液化水素を利用して、電力、温熱、冷熱、水素ガスを建物に供給することも可能になる。

4. 地熱発電によるグリーン水素サプライチェーン構築の実証

(1) 概要

地熱は、安定的な供給が可能な優れた再エネのひとつである。しかしながら、発電可能な場所が山間部に位置しているため送電網の容量が不十分であることや、開発期間が長いこと固定価格買取制度（FIT）を適用するための商用電力システムの容量が、開発期間が短い他の再エネによって先に埋まってしまう送電線への接続が困難になるといった課題があることから、事業化が遅れている。

そこで、地熱発電の開発と同時にグリーン水素の活用を促進することをめざし、大分県において地熱発電電力で製造した水素を九州各地へ陸送する実証を進めている。写真-2に地熱発電電力を活用したグリーン水素製造プラントを示す。



写真-2 グリーン水素製造プラント

(2) 地熱発電を利用した水素製造

再エネからの水素製造は、太陽光発電や風力発電の安価な余剰電力を利用することで、経済性が高まるだけでなく、系統電力の安定化にもつながると期待される。しかしながら、余剰電力の価格は、各自治体の補助金制度などに依存するため不安定である。また、大量の余剰電力が安価に調達できる状況は、再エネ事業者の投資回収が上手く進んでいないことを意味し、必ずしもその状況が長続きするとは限らない。

一方、蓄電池の価格が国のロードマップ通りに下がるとすれば、強力なCO<sub>2</sub>排出制約が制度設計されるなどの要件がないと、系統安定化対策としての水素製造は経済合理性の観点から難しい。

そこで、グリーン水素の経済合理性を向上させることを目的として、図-6に比べて地熱発電の変動量は小さいため、水素を安定的に製造し、遠隔地に搬送して利用することとした。図-7に地熱発電を利用

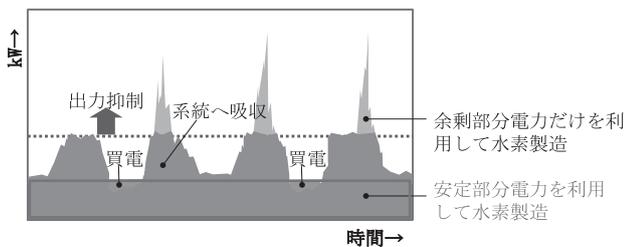


図-6 変動型再生可能エネルギーの発電量（太陽光発電）

した水素製造システムの構成を示す。

(3) 複数の運転モード

実証では、開発した複数の運転モードを備えた水素製造プラント向けEMSを利用し、水素製造を最適に行うための検証を行っている。水素製造プラント向けEMSの運転モードを表-1に示す。

(4) 水素搬送状況の考慮

EMSには、水素搬送車両に装着したGPS端末から搬送状況を把握し、車両の発着スケジュールに合わせてプラントを停止せずに効率よく連続運転できる制御機能も備えている。具体的には、年間の水素製造量が最大になる運転モード、水素製造単価が最安になる運

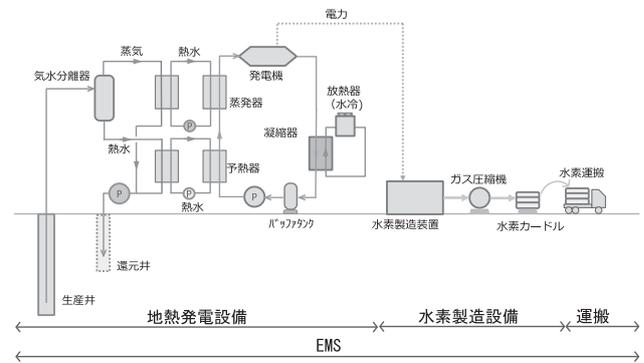


図-7 地熱発電を利用した水素製造システムの構成

表-1 水素製造プラント向けEMSの運転モード

| モード                   | 運転概要  |
|-----------------------|---|
| <p>水素製造量最大モード</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>年間水素製造量が最も多くなる運転モード（水素製造装置を負荷率および稼働率ともに100%で運転するモード）</li> <li>CertifHyプロジェクトのグリーン水素の定義<sup>*</sup>に収まる範囲で買電量を調整。</li> <li>水素製造装置は定格能力一定運転できるため製造効率および稼働率が向上。</li> </ul>  |
| <p>水素製造単価最安モード</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素の製造単価が最も安くなる運転モード（周辺機器を含めた水素製造装置の効率が最大となる運転モード）</li> <li>水素製造量最大モードや地熱発電電力で水素製造し、補機は買電でカバーするなど、様々な運転を検証し、最も安く水素製造できる運転パターンを探る。</li> <li>水素製造単価は、ライフサイクル費用を、総発電量で除して算出する方法や運転費用（施設維持費+燃料費）だけを除して算出する方法など、パターン別に検証する。</li> </ul> |
| <p>水素製造グリーン度優先モード</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素製造のための電力のうち地熱発電電力の割合が高くなる運転モード（できるだけ周辺機器動力+水素製造電力=地熱発電電力となるよう運転することで、系統電力からの買電電力を極力少なくする運転モード）</li> <li>逆潮流させることなく、地熱発電電力で、水素製造装置や補機をすべてまかなう運転（グリーン度100%）を目指す。</li> </ul>  |

※グリーン水素

欧州燃料電池水素共同実施機構が資金拠出する CertifHy プロジェクトでは、天然ガス改質による水素製造時のCO<sub>2</sub>排出量をベンチマークとして、60%以上低いものをプレミアム水素として認証、さらに再エネ由来のものをグリーン水素に分類している<sup>1)</sup>。

転モード，再エネ電力の割合が高くなるグリーン度優先モードなど，複数のモードでのコントロールが可能であり，水素搬送状況も考慮しながら，水素製造を一時停止したり，搬送車両が水素カードル充填完了まで待機したりといった無駄な作業が発生しないよう，時々刻々と変化する状況を Excel で計算しながら，プラントの最適な運転パターンを決定する機能も有している。図-8 に水素プラント向け EMS の運用イメージを示す。

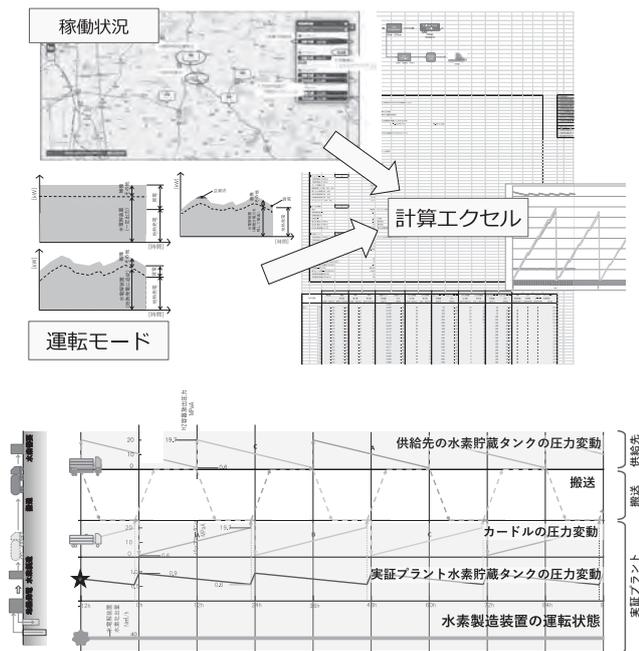


図-8 水素プラント向け EMS の運用イメージ

(5) 今後の展開

製造実証プラントでつくられたグリーン水素は，トヨタ自動車の水素エンジン車両の燃料とするなど，業界の枠を超えた供給先各社の協力のもと，比較的地熱資源量が多い地域の特性を活かした，地産地消のエネルギーとして，有効に活用されている。図-9 にグリーン水素の供給先を示す。グリーン水素活用の選択肢を



図-9 グリーン水素の供給先

増やしていくことで，地域住民をはじめ，できるだけ多くの方に再エネの利用や水素社会の到来を身近に体感してもらえるよう取り組んでいく。

5. 福島県浪江町における水素利活用の実証 (環境省委託事業)

(1) 概要

水素をエネルギーキャリアとして活用するためのビジネス環境やインフラは未だ十分に整備されておらず，特にグリーン水素の商用化はほとんど進んでいない。高圧ガス保安法や建築基準法等の法規が，水素を都市のエネルギーキャリアとして活用することを想定していないことも，利活用が進まない一因となっている。このため，水素関連商品やシステムの開発に競争原理が働かず，水素利活用拡大に向けた技術開発が急ピッチで進んでいない。

福島県浪江町では，「福島水素エネルギー研究フィールド」に建設された 10 MW の太陽光発電設備から得られる水素を有効活用する仕組みをつくることを目的として，環境省の委託事業として，既設の太陽光発電所の電力でつくった水素を，地域で有効に活用する水素サプライチェーンの実証事業を進めている。具体的には，地域の複数施設に設置した燃料電池と燃料電池自動車 (FCV) の水素ステーションをつなぐ水素サプライチェーンを最適化することを次のターゲットにしている。図-10 に福島県浪江町における水素利活用実証の概要を示す。

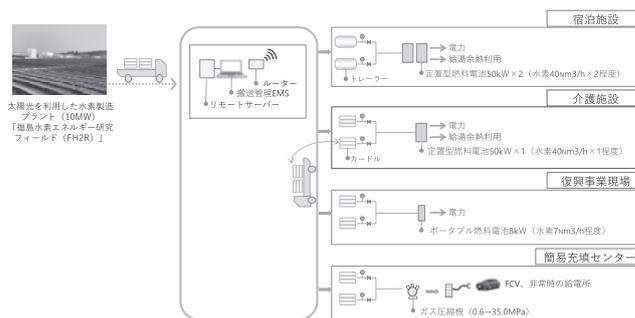


図-10 福島県浪江町における水素利活用実証の概要

(2) 最適搬送管理システム

水素サプライチェーンを最適化する仕組みとして，水素の需給量，搬送状況を考慮した最適搬送管理システムを浪江町の水素事業プラットフォームとして構築し，水素サプライチェーン全体のマネジメント最適化を目指している。この最適搬送管理システムを活用して，効率的かつ効果的に搬送するためのダイアグラム

をつくり、人件費や燃料代など、搬送にかかる費用の削減を図るのが狙いである。図-11に最適搬送管理システムの基本構成を示す。

カードルで水素を搬送する場合、供給先のカードルの水素残量が少なくなるたびに随時交換する方法、1台のトラックで複数のカードルをまとめて一括交換する方法、あるいは複数台のトラックで手分けして交換する方法など、様々な交換パターンがあり、供給先までの距離や供給量によっては、複数台での複雑な運用が必要となる場合もあり得る。図-12に最適な搬送パターンの選択肢を示す。

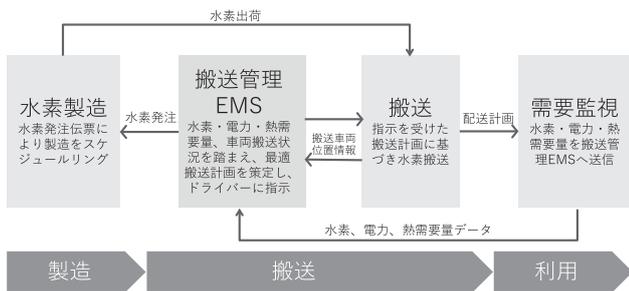


図-11 最適搬送管理システムの基本構成

| a. 随時交換   | b. 一括交換   | c. 一括交換（複数台）  |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>カードルが空になるたび交換</li> <li>延べ走行距離、延べ作業時間共に増える</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>できるだけまとめて交換</li> <li>※水素残量の供給先が発生するギリギリまで待って交換した場合、その後すぐに交換が必要になる供給先が発生する場合はかえって走行距離、作業時間が増える場合がある。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>できるだけまとめて交換（複数車両で手分けして交換）</li> </ul> |
|   |   |   |

図-12 最適な搬送パターンの選択肢

このため、搬送を最適化するためには、下記の機能を備えることが必要と考えられる。

- ①水素残量予測機能
  - 各拠点の電力需要、水素消費傾向を踏まえ、カードルの水素残量を予測できる機能
- ②最適デリバリー計画機能
  - 各拠点での水素残量、水素カードルの位置情報、搬送経路を基に最適デリバリーを計画できる機能
- ③計画変更機能
  - 需要先の状況により計画を変更できる機能
- ④リアルタイム伝達機能
  - 搬送車両のドライバに計画変更をリアルタイムに伝

達できる機能

最適化の計算では、単位水素当りの搬送費を最小化（コスト・ミニマム）する評価関数と、CO<sub>2</sub>の排出量を最小化（カーボン・ミニマム）する評価関数を組み合わせ、最適解を出し、最適な搬送パターンを導き出した。

水素カードルを積んだ車両の位置情報は、車両に搭載したポータブルなGPSトラッカーから送信される緯度経度の情報を車両マーカーとして確認できる仕組みになっている。

### (3) 今後の展望

プラットフォームを利用しながら、小規模な水素利用から着手し、順次、サプライチェーンのネットワークを広げていく。搬送はカードルからトレーラーへと規模を拡大し、最終的にはパイプラインを敷設して効率良く水素供給することも視野に入れている。図-13に搬送規模拡大のイメージを示す。

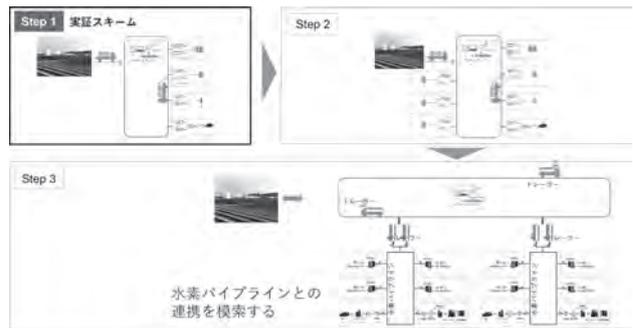


図-13 搬送規模拡大のイメージ

## 6. 海外における地熱電力によるグリーン水素製造事業

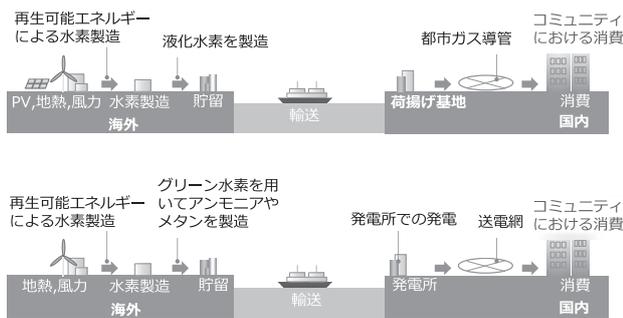
### (1) 概要

国内の水素サプライチェーンだけでなく国際水素サプライチェーンを創出することが、我が国のカーボンニュートラル達成のためには、喫緊の課題となっている。図-14に国際水素サプライチェーンのイメージを示す。

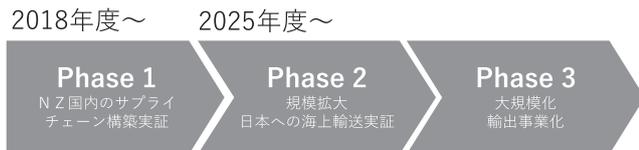
現在、ニュージーランドにおいて、地熱発電で得られた電力によるグリーン水素製造事業に取り組んでいる。図-15に実証ロードマップを示す。

### (2) 実証の計画

現在は、Phase1の段階で、ニュージーランド国内でのグリーン水素サプライチェーン構築を目指し、実証事業を進めている。2021年3月より、オークラン



図一 14 国際水素サプライチェーンのイメージ



図一 15 実証ロードマップ

ドとウェリントンの中間に位置するタウポのグリーン水素製造プラント（1.5 MW 規模）で水素製造を開始した。Phase2 では日本への海上輸送の実証，Phase3 では輸出の事業化を計画している。写真一 3 にタウポのグリーン実証プラントを示す。

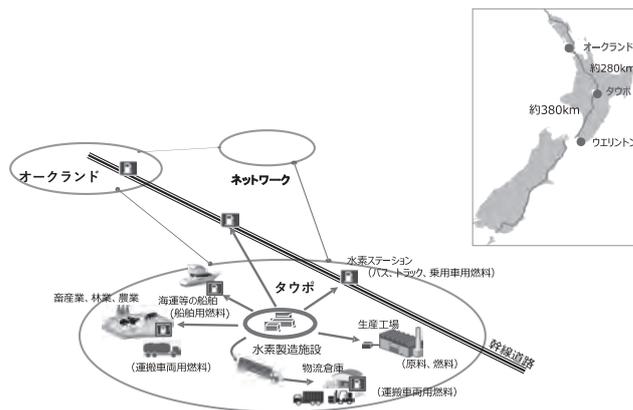
年間 100 t 程度のグリーン水素の製造からニュージーランド国内における流通まで，一連のサプライチェーン構築のための社会実装を実施し，各段階におけるノウハウを蓄積していく。また，この社会実装を通じて，サプライチェーンの経済面や環境面の評価を行うとともに，運用マネジメントシステムの開発を行いながら，将来の事業化の可能性を検討する。図一 16 にサプライチェーン構築のための社会実装イメージを示す。



写真一 3 タウポのグリーン水素製造プラント

### (3) 今後の展望

ニュージーランドは，再エネのポテンシャルが高く，すでに国内電力需要の約 8 割が再エネ由来電力で賄われている。地熱発電による水素の製造コストも日本よりかなり低く，将来的には，Phase2 の段階で規



図一 16 サプライチェーン構築のための社会実装イメージ

模を拡大しタンカーによる海外輸送の実証に取り組みながら，Phase3 の段階で，タンカーで日本への輸出をすることも視野に入れている。

## 7. 可搬形 FC 発電機の実証

### (1) 概要

燃料電池を使った発電装置は，様々なメーカーにより開発されているが，その大部分は建築設備の一部に設置して使用される定置式である。

これに対して，可搬形 FC 発電機は，エンジン式の発電機と同様，比較的移動が容易で，建設現場，被災地，イベント会場など，電気の供給が無い場所でも使用できるよう，コンパクトで機動性に優れた設計になっている。発電部には，FC フォークリフトの燃料電池システムを可搬形発電機用にカスタマイズしたシステムを搭載し，燃料電池から出力される直流電力は，新たに開発された燃料電池用パワコンで，交流電力に変換される。

この可搬形 FC 発電機は，環境省の委託事業\*で，デンヨーが技術開発を進められているもので，燃料電池システムは豊田自動織機が供給し，大林組は，燃料電池式可搬形発電装置の技術開発・実証の検討会の委員として連携・協働し，実証のサポートをしている。図一 17 に可搬形 FC 発電機の姿図を，表一 2 に可搬形 FC 発電機の基本スペックを示す。

### (2) 実証試験

大林組では，工事現場における可搬形 FC 発電機の使用を具現化するため，東日本ロボティクスセンターで，実際の使用に近い状況をつくり，ベビーコンプレッサ，電動チェーンブロック，シリンダーライト，水銀灯，LED 投光器，ドリル，サンダー，扇風機，スポットクーラー，溶接機，水中ポンプ，エアコンなど，建



図一 17 可搬形 FC 発電機姿図

表一 2 可搬形 FC 発電機の基本スペック

|       |      |   |
|-------|------|---|
| 発電出力  | 電力   | 7.0 kVA   |
|       | 電圧   | 100/200 V                                       |
|       | 電流   | 35.0 A × 2 / 35.0 A                             |
|       | 周波数  | 50, 60 Hz 切替                                    |
|       | 力率   | 1.0   |
|       | 相数   | 単相 3 線式   |
| 水素ガス  | 供給方法 | 発電装置本体とは別に用意する 14.7MPa 又は 19.6MPa の容器から減圧して供給する |
|       | 供給圧力 | 90 kPa  |
|       | 純度   | 99.97 %   |
| 寸法・質量 | 外形寸法 | L:1,800 mm、W:900 mm、H:1,500 mm                  |
|       | 整備質量 | 950 kg  |

※ CO<sub>2</sub> 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業

設現場で一般的に使われる機器を動作させ、負荷機器への影響を検証している。実証を通じて、開発にあたっての課題を抽出し、関係者で整理しながら、開発の方向性を確認している。なお、福島県浪江町で環境省から受託している実証事業への寒冷地での採用に向けた検証も行っている。

(3) ゼロエミッションと作業環境の向上

低騒音で発電可能な可搬形 FC 発電機は、夜間工事あるいは住宅地、病院周辺等の工事に適している。また、発電時に CO<sub>2</sub> や有害物質を排出しないことから、作業環境が良く、屋内工事で排気ガスがこもることも無い。

先に説明した大分県九重町の地熱発電水素製造プラントの工事現場では、試運転調整段階で製造したグリーン水素を、少し離れた場所に水素ボンベで運搬し、現場事務所の電源を可搬形 FC 発電機で供給する実証も行った。それまで使用していたエンジン発電機に比べて環境良好性を実感したところである。

(4) 今後の展開

今後も、工事条件の整理をしながら、可搬形 FC 発電機の普及に向けた開発につながる実証も行っていきたい。

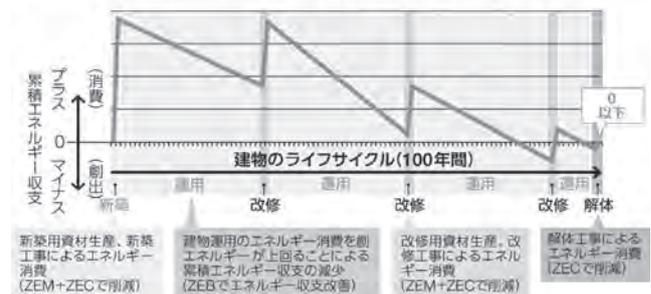
また、今後 FC 発電機を建設重機へ搭載するための技術的要件や法的要件を整理して、建設工事段階の CO<sub>2</sub> 排出量の削減に寄与する方策を検討していきたい。

8. 水素を活用した LCZ (ライフサイクル ZEB) に向けて

昨今、建物のエネルギー消費量を省エネで低減し、残りを太陽光発電等の再エネで相殺する ZEB (ゼロエネルギービル) への取り組みが活発化している。現在、材料調達のゼロエネルギー化「ZEM (ゼロ・エネルギー・マテリアル)」, 工事段階のゼロエネルギー化「ZEC (ネット・ゼロ・エネルギー・コンストラクション)」を推進しており、2050 年の実現を目指し、図一 18 に示す概念として、建物の材料調達から建設、運用、解体に至る生涯にわたるエネルギー収支をゼロにする「LCZ: ライフサイクル ZEB」を提案している。

これまで建設段階の ZEC は、省エネ施工やバイオ燃料の利用、またグリーン電力の購入等で進めてきたが、今後は工事現場の仮設電源の水素化、重機への FC 電源の搭載も選択肢として、グリーン水素の「使う」を拡大していきたい。

ライフサイクルにわたるエネルギー消費のイメージ



図一 18 ライフサイクル ZEB

9. おわりに

水素は、液化天然ガス (LNG) より、解決すべき課題が多いにも関わらず、その商用化プロセスは、LNG と同様となるのではないかと考えられる。LNG は、当初、熱量あたりの価格が原油と比べて割高であったが、優遇措置や制度設計により単価を下げる努力を続ける中、石油危機により原油が高騰したこともあり、石油より環境性と経済性の両方で優位なエネルギーとなった。

水素も、税制優遇、カーボンプライシング、排出規制などによって、他のエネルギーに対して競争力が高まり、商業ベースに乗る可能性が高いと考えられる。再エネと親和性の高い水素の本格利用に向け、国内外において、今後も技術的課題、経済的課題の解決を目指していく。

《参考文献》

- 1) グリーン水素の定義  
CertifHy 「CertifHy- Developing a European Framework for the generation of guarantees of origin for green hydrogen」

【筆者紹介】



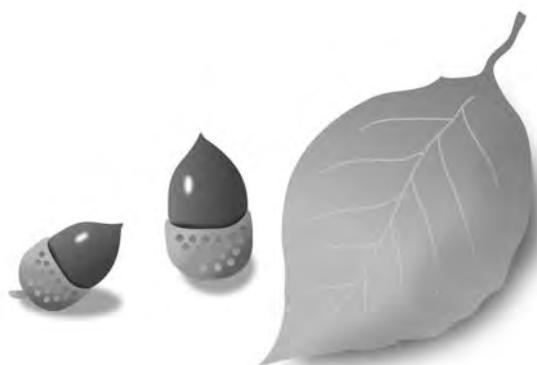
島 潔 (しま きよし)  
㈱大林組 技術本部  
スマートエネルギー・ソリューション部  
部長



油島 栄蔵 (ゆしま えいぞう)  
㈱大林組 技術本部  
技術ソリューション部  
副部長



伊藤 剛 (いとう つよし)  
㈱大林組 技術本部  
統括部長



# 建物及び街区における水素普及展開を目指した 低圧水素配送システム実証事業

環境省委託事業 地域連携・低炭素水素技術実証事業

酒井 佳人

環境省では来るべき水素社会に向けて「地域連携・低炭素水素技術実証事業」を平成 27 年度から推進している。この事業では全国 8 ヶ所でプロジェクトが進められており、我々が推進している室蘭市でのプロジェクトは平成 30 年度に 8 番目に採択されたものである。室蘭市の実証事業は水素吸蔵合金を使って貯蔵や運搬を行うことにより、水素の製造から貯蔵、運搬、利用までの全てのフェーズで低圧で水素を扱うサプライチェーンの実証を行なうものである。本稿ではサプライチェーンシステムの概要と要素技術及び各プロセスでの重要ポイントについて紹介する。

キーワード：水素、サプライチェーン、水素吸蔵合金 (MH)、熱のカスケード利用、水素無人製造、MH タンク間の水素移送

## 1. はじめに

深刻化する地球温暖化の主な原因と言われている CO<sub>2</sub> の排出は現在も増え続けている。一方、わが国は 2011 年以降、一次エネルギーのほぼ全量を海外の化石燃料に依存している。そのため、CO<sub>2</sub> 排出削減とエネルギーの安全保障を同時並行で解決していくことが極めて重要な課題となっている。

水素は利用時に CO<sub>2</sub> を排出せず、温暖化対策の上で重要なエネルギーである。また、電力と相互変換が可能であることから、再生可能エネルギー等のキャリアとして活用することができる。これらの水素エネルギーの特徴は、低炭素社会の実現とエネルギー安全保障の両面で切り札と考えられている。

わが国では、2017 年 12 月の「水素基本戦略」において、官民が共有すべき大きな方向性・ビジョンが示された。また、2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル」を宣言し、2020 年 12 月には「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、その中で水素産業はキーテクノロジーとして位置付けられている。

これらの背景の基、本事業では環境省の委託事業である「地域連携・低炭素水素技術実証事業」において、北海道室蘭市を実証フィールドとし低炭素な水素サプライチェーンの実証を行うプロジェクトに取り組んでいる。本実証事業のコンセプトは「水素の製造から運搬、貯蔵、利用までの全てのフェーズにおいて低圧で

水素を扱うサプライチェーンの構築」である。

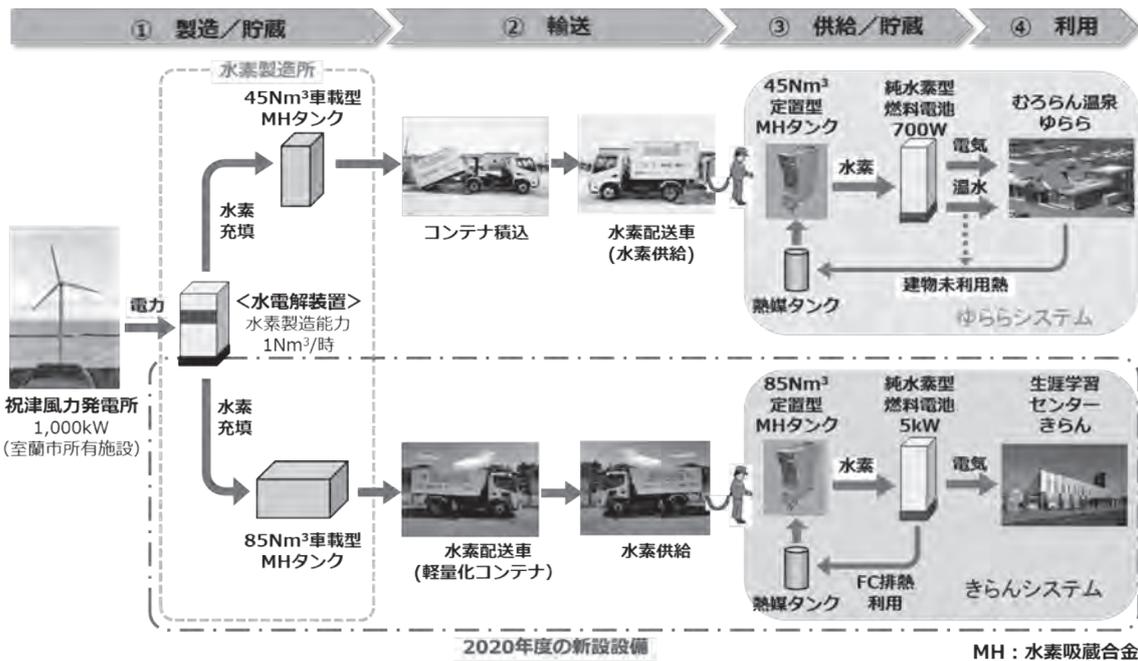
## 2. 事業概要

本事業で構築した水素配送システムの全体概要図を図-1 に示す。

サプライチェーンの主な流れを説明する。

- (1) 室蘭市所有の祝津風力発電所 (1,000 kW) の電力の一部を使って水電解装置で水素を製造する。
- (2) 製造した水素は水素吸蔵合金 (以下 MH = Metal Hydride と呼ぶ) タンクに貯蔵する。
- (3) MH タンクはコンテナ脱着式車両のコンテナ内に格納されており (車載型 MH タンクと呼ぶ)、コンテナごと水素利用施設まで運搬する。
- (4) 水素利用施設には定置型 MH タンクを設置し、車載型 MH タンクから定置型 MH タンクへ水素のみ移送する。
- (5) 水素利用施設 (むろらん温泉ゆらら) では、温浴施設の温排熱を使って MH タンクを加熱して水素を放出させ、燃料電池を稼働して、電気と温水を「ゆらら」に供給している。
- (6) 水素利用施設 (室蘭市生涯学習センター・きらん) では、燃料電池の温排熱を熱媒タンクに貯蔵し、その熱で MH タンクを加熱し水素を放出させ燃料電池を稼働して電気のみを「きらん」に供給している。

本システムの最も大きな特徴は、水素の貯蔵と運搬に MH を採用したことである。MH は水素と金属が



図一 水素配送システム全体概要図

原子レベルで結合するため、ガス状態では貯蔵しない。したがって、高圧ガス保安法などの法的規制から外れるため無人で水素製造・貯蔵が可能となり、夜間でも水素製造を行うことが可能である。

MHの取扱上、水素の吸放出に熱を必要とするが、これについては「熱のカスケード利用」を行って省エネルギーを行っている。「熱のカスケード利用」については後段で説明する。

### 3. 要素技術

本実証システムに使われている要素技術として「水素吸蔵合金 (MH)」と「熱のカスケード利用」の2点について詳細を説明する。

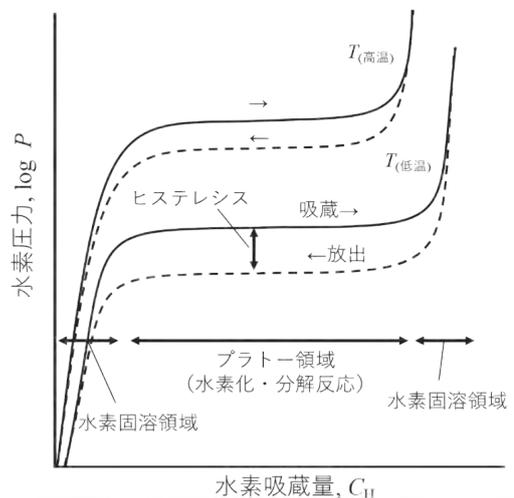
#### (1) 水素吸蔵合金 (MH)

MHは水素を加圧又は合金を冷却することにより水素を吸収し、減圧または加熱することにより水素を放出する。水素の吸放出に高い圧力や温度を必要とせず大量の水素（合金の体積の1,000倍以上）を吸放出することができる。今回は水素の吸放出に必要な圧力差が小さく、実用的で使いやすいAB5型を使用している。表一にMHの種類と比較表を示す。

水素吸蔵合金の特性を論じるうえで欠かせないのが圧力-組成等温線図 (PCT線図) である。模式的なPCT線図を図二に示す。合金の水素吸蔵量  $C_H$  を横軸に、平衡水素圧力  $P$  の常用対数を縦軸にとったグラフ上に等温線を描いたものであり、合金の水素吸

表一 水素吸蔵合金の種類と特性

| 合金タイプ       | AB5               | AB2               | AB   | BCC     |
|-------------|-------------------|-------------------|------|---------|
| 合金の例        | LaNi <sub>5</sub> | ZrMn <sub>2</sub> | TiFe | Ti-V-Cr |
| 耐久性         | ○                 | ○                 | △    | △       |
| 圧力設計のしやすさ   | ○                 | ○                 | ×    | △       |
| MH容器のコンパクト性 | ○                 | △                 | △    | ○       |
| 安全性の確保      | ○                 | △                 | △    | △       |



図二 水素吸蔵合金の模式的なPCT線図

収・放出挙動を示している。合金に水素ガス圧力を印加していくと、その初期において水素吸蔵量は圧力の上昇とともにわずかに増加し、この領域では水素原子の金属結晶格子内への固溶が生じている。さらに圧力を上昇させると圧力がほとんど上昇せずに吸蔵量だけが增加するプラトー領域が現れる。この領域は合金と

金属水素化物との二相共存領域に相当する。すべての合金が金属水素化物を生成すると、金属水素化物中への水素原子の固溶により、再び圧力の増加とともに水素吸蔵量がわずかに増加する領域に入る。水素の放出はこの逆の過程をたどるが、実在合金の場合は吸蔵曲線よりも放出曲線が低圧側にシフトするヒステリシスが存在する。

(2) 熱のカスケード利用

水素の移送を行う時、水素を放出する車上のMHタンクでは吸熱反応が起きるため加熱する必要がある。一方、水素を受け入れる施設側のMHタンクでは発熱反応であるため冷却する必要がある。これらの反応熱は車載タンクと定置型タンクの合金が同じ場合、それぞれの発熱量と吸熱量はほぼ同じである。そこで施設側MHタンクで発生する反応熱を、車上のMHタンクで必要とする反応熱として使うことにより、エネルギーの有効利用を行っている。理論的には外部からの熱の供給は不要であるが、系内の配管などからの放熱分の熱の補給は必要となる。図-3に熱のカスケード利用の模式図を示す。

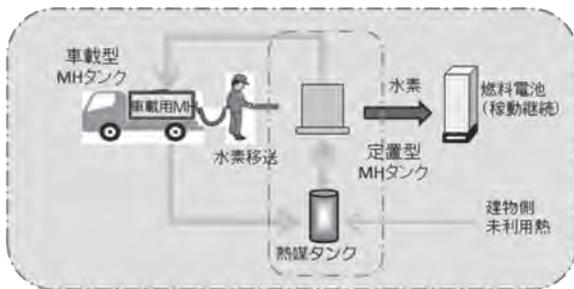


図-3 熱のカスケード利用の模式図

以降、60 Nm<sup>3</sup>/hの水素移送に必要な熱媒温度ならびに媒体流量の検討結果を記載する。

(a) MHタンクの必要熱量

MHタンクの反応熱は水素流量と合金のエンタルピー(ΔH)の積であり、それに容器の顕熱と熱ロスを合計したものがMHタンクの必要熱量(Q)となる。表-2にMHタンクの移送に必要な熱量を記載する。

表-2 MHタンクの移送に必要な熱量

|             | 車載型MHタンク | 定置型MHタンク |
|-------------|----------|----------|
| ΔH (kJ/mol) | 28       | 31       |
| 反応熱 (kW)    | 20.8     | 23.1     |
| 顕熱 (kW)     | 9.8      | 0        |
| 熱ロス (kW)    | 1.0      | 1.2      |
| Q 合計 (kW)   | 31.7     | 24.2     |

(b) カスケードシステム構築時の必要加熱量

図-4に熱のカスケード利用時の温度レベルを示す。この温度レベルを維持するために、外部から約8.4kWの熱を供給する必要がある。下記に媒体タンクの出入口の温度差から必要熱量を算定する式を示す(式1)。

$$Q = F \times \rho \times C \times \Delta T = 80 \times 1 \times 4.186 \times 1.5/60 \approx 8.4 \text{ (kW)} \dots\dots \text{(式1)}$$

- Q : 必要熱量 (kW = kJ/sec)
- F : 熱媒体流量 (L/min)
- ρ : 熱媒体の密度 (kg/L)
- C : 熱媒体の比熱 (J/g・K)
- ΔT : 熱媒体タンク出入口の温度差 (K)

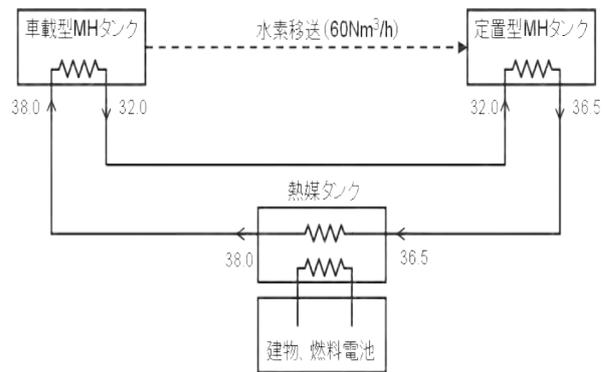


図-4 熱のカスケード利用の温度レベル

4. 各プロセス技術

本実証システムは下記のような4つのプロセスから構成されている。

- (1) 水素製造・充填プロセス
- (2) 水素運搬プロセス
- (3) 水素移送プロセス
- (4) 水素利用プロセス

各プロセスのポイントとなる技術について述べる。

(1) 水素製造・充填プロセス

このプロセスでは将来の分散化電源の普及を想定して、水素製造・貯蔵の無人化および施設のコスト低減を目指している。

MHは水素原子と金属原子が化学結合をして水素を吸蔵するため、低圧で水素を貯蔵することができる。高圧ガスの場合、有資格者の常駐が法律で定められているが、MHで水素を貯蔵することにより無人での水素製造と貯蔵が可能となった。

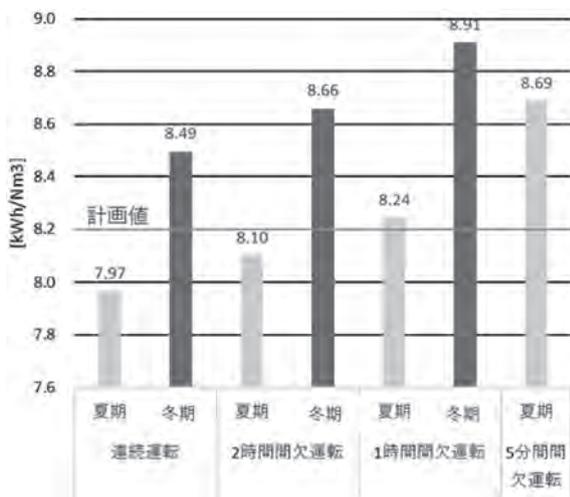
また、設備コスト低減のため風力発電と水電解装置の間に蓄電池を介さず直結させ、発電電力が50kW以上(水電解装置が稼働可能な電力)の時だけ水電解

装置を稼働させている。そのため水電解装置は間欠運転を行う。そこで間欠運転が水電解装置に与える影響の確認を行った。水電解装置に与える影響として消費電力が考えられる。そのため疑似的に複数の条件で間欠運転を行いそれぞれの消費電力を測定した。表一3に間欠運転の時間配分を示し、図一5に連続運転との消費電力の比較を示した。

表一3 間欠運転の時間配分

|         | 時間配分 |     | 水素製造量比※ |
|---------|------|-----|---------|
|         | 運転   | 停止  |         |
| 連続運転    | 連続   | 無   | 100%    |
| 2時間間欠運転 | 2時間  | 1時間 | 66%     |
| 1時間間欠運転 | 1時間  | 1時間 | 50%     |
| 5分間欠運転  | 5分   | 5分  | 50%     |

※：連続運転時の水素製造量を基準とする



図一5 間欠運転の消費電力比較

上記のグラフから水電解装置の発停の頻度が高い間欠運転ほど消費電力が増加することがわかる。また、発停頻度が多くなると、水電解装置の除湿器の劣化が進むという現象も見られた。

(2) 水素運搬プロセス

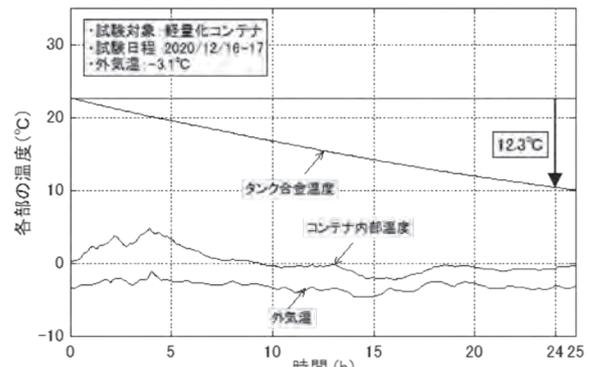
このプロセスのポイントはMHタンクの温度管理と運搬時の振動の影響である。

(a) MHタンクの温度管理

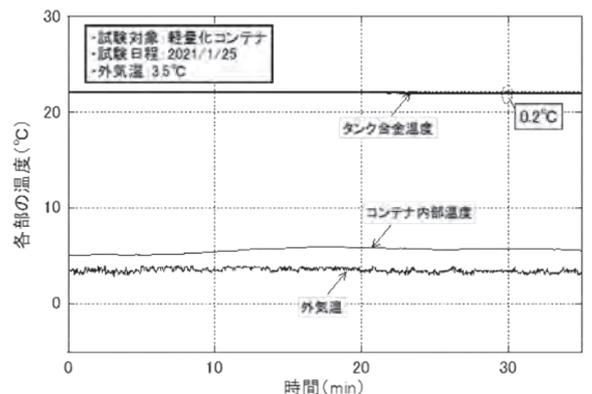
MHタンクを運搬中にMHタンクの温度が下がると水素を移送する時、タンクを加熱するエネルギーと時間が必要となる。つまりMHタンクの温度を下げないことが重要である。前述したように水素の運搬はコンテナ脱着式車両のコンテナの中にMHタンクを内蔵しコンテナごとMHタンクを運搬する。2018年度に製作したコンテナは鋼製のコンテナで内

面に厚さ20mmの断熱材を設置している。またMHタンクの外部も50mmの断熱材で覆っている。この鋼製コンテナで待機時と運搬時のMHタンクの温度変化を測定した結果、冬期の外気温1.1℃で24時間待機した場合約10℃低下した。また、外気温0.9℃で運搬距離約10km、運搬時間30分では0.3℃低下した。しかし、鋼製コンテナは自重が重く、一度に運ぶ水素量が少ないため2020年度に側壁と天井をアルミパネルと木材で作成し、幌で覆い内面に断熱材を張っていない軽量化コンテナを製作した。軽量化コンテナにおける冬期の24時間待機時と10kmの運搬時の合金の温度変化を図一6及び図一7に示す。

これらを見ると軽量化コンテナに変更しても待機時及び運搬時の合金の温度変化は鋼製コンテナと大差がないことが分かった。



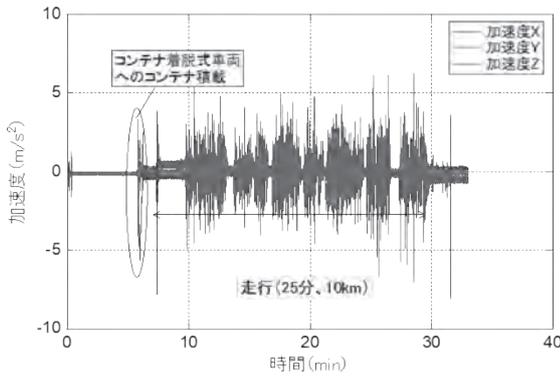
図一6 軽量化コンテナの待機時の合金温度変化



図一7 軽量化コンテナの運搬時の合金温度変化

(b) MHタンクへの振動の影響

MHは水素の貯蔵としての実績はあるが、水素を吸蔵した状態で運搬する事例は少ない。そこで走行時の振動などがMHに与える影響を確認する必要がある。運搬は水素製造所から室蘭市役所を経由し水素利用場所までの約10km、走行時間は約30分である。運搬時のタンクの振動を加速度センサーにより計測した。図一8に振動の計測結果を示す。



図一8 コンテナ脱着式車両の振動計測結果

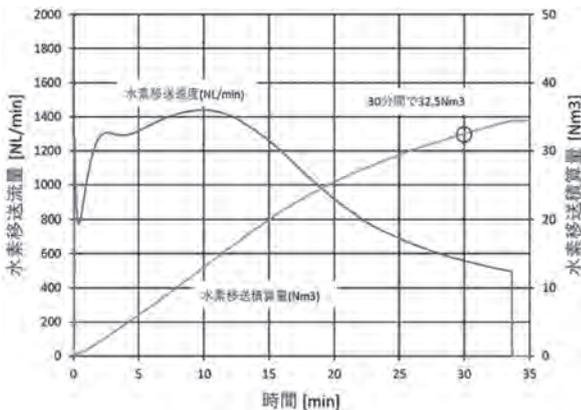
運搬中に MH タンクにかかる振動は 1G 以下であり、MH タンクの振動試験で使用するピーク加速度 8G に対して十分小さな値であることが確認できた。

(3) 水素移送プロセス

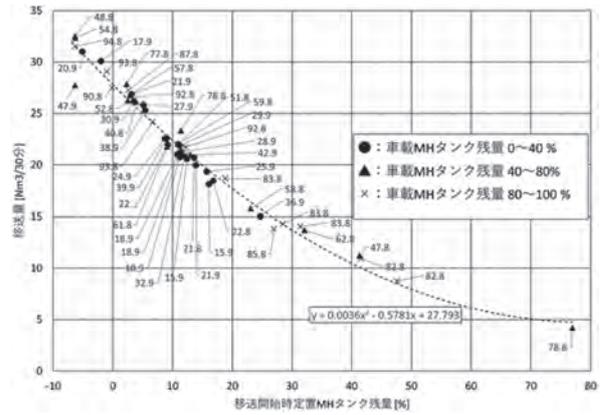
本実証システムにおける移送に係る時間は水素サプライチェーンの所要時間に影響し、ひいては水素の供給価格にも影響するため重要な要素である。

45 Nm<sup>3</sup> の車載型 MH タンクから 45 Nm<sup>3</sup> の定置型 MH タンクに移送する場合の移送速度の目標を 30 分で 30 Nm<sup>3</sup> と設定した。水素移送流量と移送積算量の時刻変化の例 (初期条件: 車載型 MH タンク残量: 約 50%, 定置型 MH タンク残量: 空) を図一9 に示す。移送流量は移送開始から約 10 分後に最大値 1,440 NL/min (86.4 Nm<sup>3</sup>/h) に達し、その後、徐々に低下する。移送積算量は 30 分後に 32.5 Nm<sup>3</sup> に達しており、30 分間の平均移送流量は 32.5 Nm<sup>3</sup>/30 min (= 65 Nm<sup>3</sup>/h) と目標を達成することができた。

ただし、この速度は複数のパラメータに影響されている。図一10 に移送量と定置型 MH タンクの移送前の残量のグラフを表しており、また図中の●▲×の点は車載型 MH タンクの移送前の残量を 3つのグループに分けて表している。



図一9 水素移送流量と移送積算量の変化



図一10 MHタンク残量と移送速度の関係

これを見ると水素の移送速度は定置型 MH タンクの移送前の残量と非常に明確な相関関係にあるが、車載型 MH タンクの残量とはあまり相関関係はないことがわかる。つまり移送速度は水素の受け入れ側のタンクの残量が少なければ速くなる。また、定置型 MH タンクの残量ほど顕著な相関性ではないが、車載型タンクの移送前の温度も移送速度に影響することがわかっている。移送前の温度が高いほど移送速度は速くなる傾向がある。

(4) 水素利用プロセス

水素利用プロセスでは需要家が MH タンクの残量を確認して水素を発注する必要がある。そのため残量計は、タンク残量が少ない場合に正確な機能が必要とされる。そこで FC で発電した時の定置型 MH タンクの残量計の挙動を確認し、残量計が定置型タンクの残量を正確に計測できるか否かを検証した。

(a) 試験条件

表一4 に残量計の試験条件を示す。試験には「ゆらら」に設置した 45 Nm<sup>3</sup> の MH タンクと 700 W の燃料電池を使用し、水素移送後、実際の運用条件で運用した時の水素残量計指示値と水素流量計から計算した水素貯蔵量の関係の評価した。なお、水素貯蔵量は燃料電池が供給下限圧力で停止した時の値をゼロと仮定し、水素流量計の積算値を足すことにより算出した。

(b) 試験結果

残量計の試験は 4 回行った。各試験の初期値は異なったが、残量計指示値が 20% 以下では概ね同じよ

表一4 残量計の試験条件

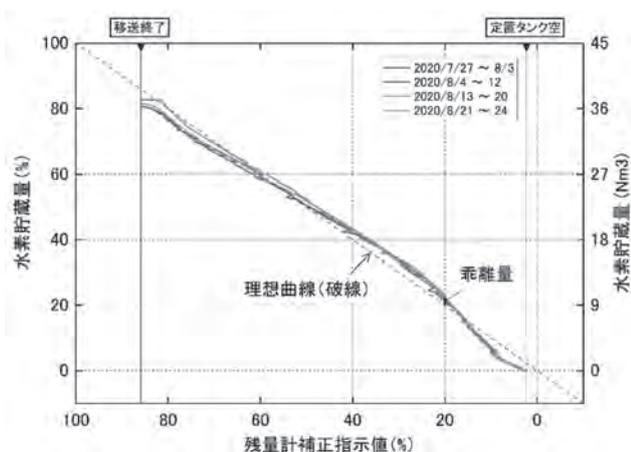
| 項目    | 仕様                 |
|-------|--------------------|
| 使用タンク | 45 Nm <sup>3</sup> |
| 使用 FC | 700 W              |
| 運用条件  | 水素移送後から FC が停止するまで |

うな挙動を示した。一方で理想曲線とは乖離が大きく、水素充填が必要な目安となる残量計指示値：20%のポイントでは水素全貯蔵量の40%以上の乖離があった。そこで、残量計指示値：20%のポイントで誤差が少なくなるような補正曲線（式2）を算出した。なお、計測装置の仕様上、補正曲線はxの3次式までの範囲での補正曲線とした。

$$y = 74.133x^3 - 163.37x^2 + 122.71x + 6.637 \dots\dots (式2)$$

y：水素貯蔵量, x：残量計指示値

PLCに補正式を入力し、水素残量計指示値と水素



図—11 残量計指示値と水素貯蔵量の関係（補正後）

貯蔵量の関係を測定した。図—11に試験結果を示す。

残量計出力に補正を実施し、補正出力を計測することにより、全領域にわたって乖離が少なくなり、水素充填が必要な目安となる低残量領域における指示精度も向上することが確認された。

### 5. おわりに

近い将来に構築される水素社会において、水素を一般ビルや一般家庭などの需要家に配送するシステムが必要不可欠となる。室蘭の実証事業はこの末端配送に焦点を当てた事業である。環境省の委託事業は本年度で終了となるが、この事業で取得した技術および成果を基に水素社会の実現に向けて、水素配送システムの構築の取り組みを継続したいと考えている。

JCMA

#### [筆者紹介]

酒井 佳人 (さかい よしひと)  
 大成建設㈱  
 エンジニアリング本部  
 産業施設プロジェクト部  
 エネルギー・インフラプロジェクト室  
 専任部長代理



# いま、建設業に求められる サプライチェーン CO<sub>2</sub> 削減

吉村 美毅

昨年、わが国は新たな脱炭素目標を策定した。その直後から、多くの企業が脱炭素に向けた取組みを加速し、建設業に対しても、施工時 CO<sub>2</sub> だけでなく、建材製造時 CO<sub>2</sub> や施設運用時 CO<sub>2</sub> の削減に向けた取組み強化を求め始めている。

本稿では、わが国の CO<sub>2</sub> 排出における建設業の位置づけを確認したのち、主に建材製造時 CO<sub>2</sub>、施工時 CO<sub>2</sub> の削減に向けた最新動向を報告する。

キーワード：脱炭素社会、サプライチェーン、建材製造時 CO<sub>2</sub>、施工時 CO<sub>2</sub>

## 1. はじめに

地球温暖化への取組みは、1997年の京都議定書によって本格化し、2015年のパリ協定では、主要排出国を含む多くの国と地域で「今世紀後半に温室効果ガスの人為的な排出と吸収を均衡させる」との長期目標を共有することができた。しかし、その具体的な取組みとなると、各国の国情により濃淡様々であり、当初のわが国の削減目標（2013年比で2030年26%削減）は消極的であると国際的な評価は低かった。

一方で、地球温暖化を起因とする異常気象により、ここ数年、わが国では毎年のように大きな水害や土砂崩れが発生し、国民も温暖化対策の必要性を認識するようになった。この意識変化を背景に、日本国政府は2020年に新たな脱炭素目標を定めた。わが国の新しい脱炭素目標は、2013年比で2030年までに46%削減、2050年には100%削減（カーボンニュートラル）を目指すというものである（図-1）。

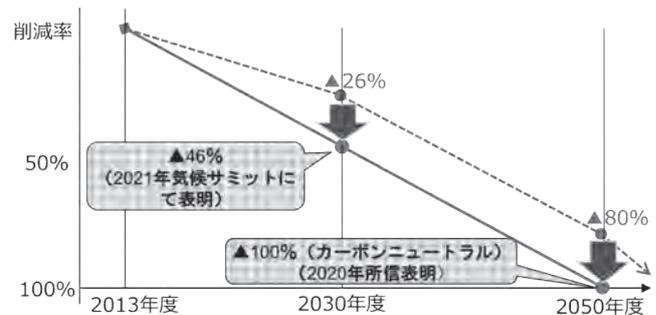


図-1 日本の新たな脱炭素目標

2050年カーボンニュートラルの目標は、全ての企業や人に例外なく CO<sub>2</sub> 排出実質ゼロの活動を求めるものであり、特に企業に対しては、自社排出だけでなく、自社製品の使用時の CO<sub>2</sub> 排出の縮減と CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与する調達が求められるようになった。

企業の事業活動によって排出される CO<sub>2</sub> を、スコープ1、スコープ2、スコープ3と区分することがある（図-2）。このうちスコープ1とスコープ2が自社排出



Scope1：事業者自らによる温室効果ガスの直接排出(燃料の燃焼、工業プロセス)

Scope2：他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出

Scope3：Scope1・2以外の間接排出(事業者の活動に関連する他社の排出)

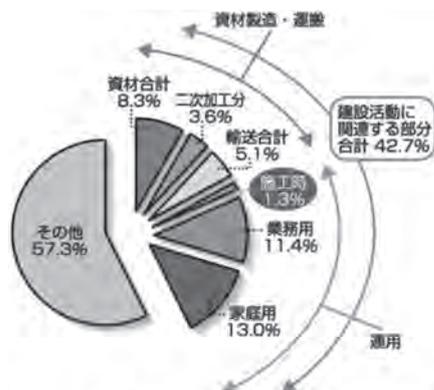
図-2 サプライチェーン CO<sub>2</sub>

分であり、その削減に企業は直接の責任を負っている。一方、スコープ3は自社事業の上流側（原材料の製造時や輸送・配送時）、下流側（自社製品の使用時や廃棄時）での他社排出分であるが、企業はその調達や製品開発を通じて他社排出分の削減に貢献することが重要視されるようになった。企業にスコープ3の削減貢献が求められる理由は、素材メーカーが低炭素素材を開発しても、それを使ってくれる需要者がいないと新製品が普及しないこと、あるいは、自動車メーカーが低炭素車両を販売しなければ、自動車使用時のCO<sub>2</sub>削減が進まないことから、容易に理解できるであろう。

わが国の脱炭素目標の見直しを受け、今、多くの企業では、自社排出分だけでなく、サプライチェーン全体のCO<sub>2</sub>排出量の削減に向けた目標を公表し始めている。

## 2. 建設業にとってのサプライチェーンCO<sub>2</sub>

日本全体のCO<sub>2</sub>排出のうち建設業に関連するものが占める割合は大きい。漆崎昇、酒井寛二が日本建築学会に報告した研究<sup>1)</sup>に拠れば、建設活動に関連するCO<sub>2</sub>排出量は日本全体の43%であった（図-3）。前述のスコープ1, 2, 3の区分を建設業に当てはめると、建設業の自社排出（スコープ1, 2）は、わが国の総排出量の1.3%と割合こそ大きくはないが、スコープ3のうち事業の上流部分は、建設資材製造時が8.3%、資材の2次加工時が3.6%、輸送時が5.1%の計17.0%、またスコープ3のうち事業の下流部分は、業務用建物の運用時が11.4%、家庭（住宅）の運用時が13.0%の計24.4%を占めている。なお、環境省が発表した日本の温室効果ガス総排出量（2019年度確定値）によれば、鉄鋼業が排出するCO<sub>2</sub>は日本全体の



出典：  
「産業連関表を利用した建設業の環境負荷推定」漆崎昇、酒井寛二  
日本建築学会計画系論文集 第549号（2001年11月）

図-3 日本のCO<sub>2</sub>排出量のなかで建設業が占める割合

約14%と製造業のなかの最大業種であり、セメントやガラスを製造する窯業も約5%を排出する業種である。

建設業のサプライチェーンCO<sub>2</sub>の日本のCO<sub>2</sub>排出量に占める割合が40%を超えるため、建設業が担う脱炭素社会実現に向けた貢献範囲（期待度）は大きい。建設業が取り組むべきCO<sub>2</sub>削減策は、施工時CO<sub>2</sub>の削減は当然のこと、建設資材製造時におけるCO<sub>2</sub>、建物運用時CO<sub>2</sub>の全てにわたる。本稿では、主に建設資材製造時CO<sub>2</sub>と施工時CO<sub>2</sub>について、削減に向けた取組み事例を紹介する。

## 3. 建設資材製造時CO<sub>2</sub>削減への取組み

建設資材のうち、製造時CO<sub>2</sub>が大きな建材としてまず挙げられるのが鉄であるが、製鉄プロセスのCO<sub>2</sub>削減については鉄鋼メーカーの技術革新を待ちたい。ここでは、もう一つの代表的建築資材であるコンクリートの低炭素化について紹介する。

コンクリートの製造時CO<sub>2</sub>は、その主要材料であるセメントの製法に由来する。セメントは製造過程において、主原料である石灰石（CaCO<sub>3</sub>）を1,400℃以上の高温で焼成するため、大量のCO<sub>2</sub>が発生する。そのセメントの一部を、産業副産物である高炉スラグに置き換えてCO<sub>2</sub>排出量を低減する高炉セメントは、低炭素コンクリート原料として今後の需要拡大が期待される製品である。

本稿ではその他の取組み事例として、「戻りコン再生セメント」と「CO<sub>2</sub>吸収コンクリート」を紹介する。

### (1) 戻りコン再生セメントを使用したコンクリート

建設業の現場では、受入検査に使用した生コンなど、注文したコンクリートの1~2%がやむをえない理由から使用できず、そのほとんどが再利用されずに処分されている。その量は全国で年間400万tに達するとされ、この「戻りコン」をもう一度、セメントとして再生することで（図-4）、コンクリート製造時CO<sub>2</sub>の削減に寄与できる。

戻りコン再生セメントを使用したコンクリートによるCO<sub>2</sub>削減効果は、再生セメントの使用割合等により異なってくるが、詳細については、本誌Vol.71（2019年2月号）に「乾燥スラッジ微粉末を用いた低炭素コンクリートの開発」で紹介されているので、参照いただきたい。

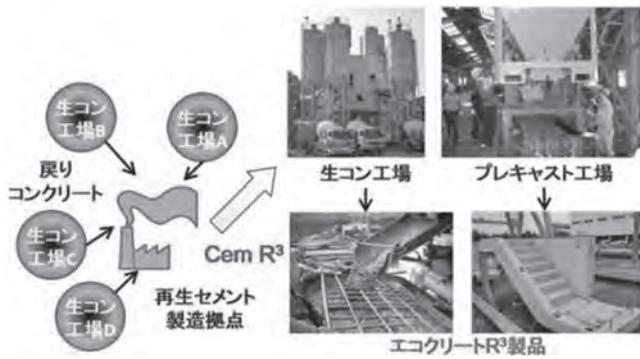


図-4 戻りコンクリートを再利用した「エコクリートR3」

(2) CO<sub>2</sub> 吸収コンクリート

セメントと基本的に同じ成分である特殊混和材(γ-C<sub>2</sub>S)は、水ではなくCO<sub>2</sub>と反応して硬化する性質を持つ。そこでこの特殊混和材(γ-C<sub>2</sub>S)の利用方法をセメントメーカーと共同開発し、セメントの半分以上をγ-C<sub>2</sub>Sや産業副産物に置き換えることで、製造時CO<sub>2</sub>がマイナスになる「CO<sub>2</sub>-SUOCOM」(以下、本開発コンクリートという)を開発した。

一般的なコンクリートブロック製造時のCO<sub>2</sub>排出量は288 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>であるのに対し、本開発コンクリートでは、セメント代替に特殊混和材、高炉スラグ、フライアッシュを使うことでCO<sub>2</sub>排出量を197 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>削減、さらにコンクリートの炭酸化反応によるCO<sub>2</sub>固定量が109 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>あることから、合計で306 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>の削減となり、本開発コンクリートの製造時CO<sub>2</sub>は18 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>のマイナスとなる(図-5)。

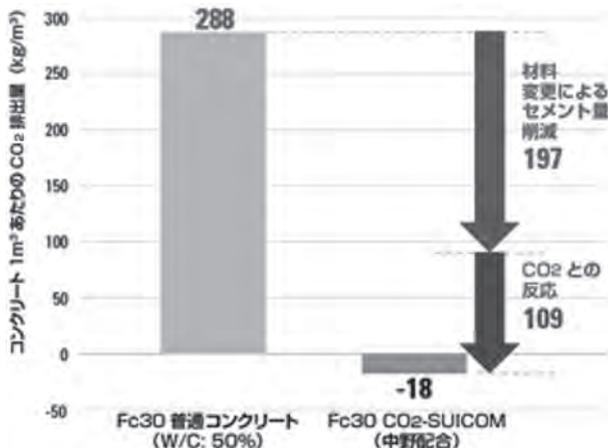


図-5 一般的なコンクリートと本開発コンクリートのCO<sub>2</sub>排出量比較

4. 施工時CO<sub>2</sub>削減への取り組み

前述のように建設業が施工中に排出するCO<sub>2</sub>量は、他産業と比較すると大きくはないが、この削減は他社に頼るのではなく、建設業が主体的に取り組みなければ

ならない排出削減である。

(1) 施工時CO<sub>2</sub>の内訳

施工時CO<sub>2</sub>の排出源内訳について、過去の実績から把握を試みる。データからみると土木工事と建築工事で若干の違いはあるものの、概ねCO<sub>2</sub>排出量の25%が現場での消費電力に由来するもの、残りが燃料由来となるが、全体の7割超が軽油(現場が使用する建設機械の燃料)に由来していた(図-6)。

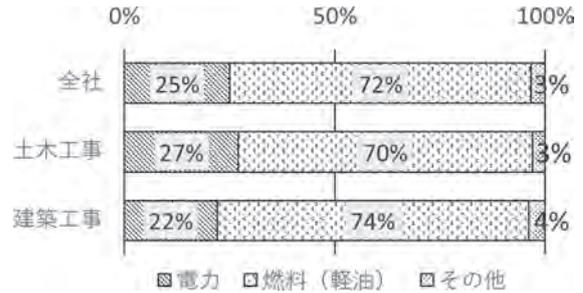


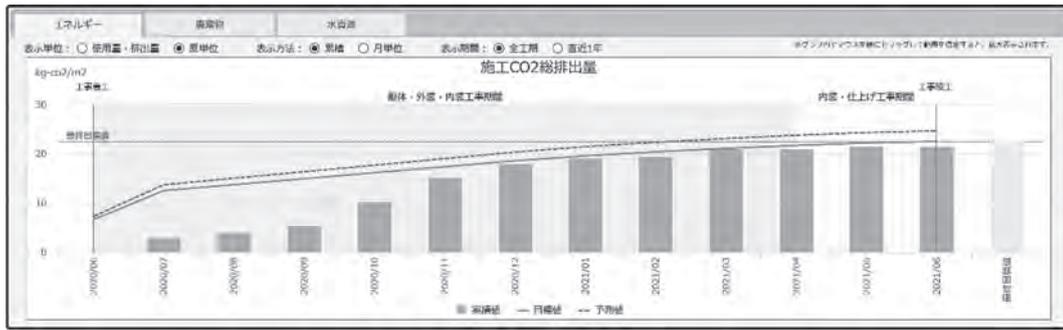
図-6 過去の実績からみる施工時CO<sub>2</sub>の内訳

- 施工時CO<sub>2</sub>の削減策には、切り札的なものではなく、
- ①建設現場の消費エネルギー量そのものの縮減(省エネ)
  - ②燃料(主に軽油)の使用量削減
  - ③建設現場で使用する電力の脱炭素化
- の3つを愚直に進めることとなる。

(2) 省エネ施工の取り組み

建設現場における省エネ施工への取り組みについては、これまでも「高効率照明」「アイドリングストップ」「省燃費運転」等が推奨されており、(一社)日本建設業連合会(以下、日建連)の報告書<sup>2)</sup>によれば、その取り組みは既に現場に定着しているとみることができる。これは、従来からの取り組みだけでは、これまで以上のCO<sub>2</sub>削減は進まないことを意味しており、省エネ施工の新たな着眼点が求められている。

建設現場でのさらなるCO<sub>2</sub>削減のためには、排出実態の正確な把握が不可欠である。そこで、各現場のエネルギー消費量を把握分析する環境データ評価システム「edes」(イーデス)(以下、本評価システム)を昨年4月から全社で運用開始し、約700現場のデータを得る体制を構築した。本評価システムの導入により、各現場ではエネルギー消費量の内訳を月単位でモニタリングすることができるようになり、自社のCO<sub>2</sub>排出量のより詳細な集計を行うとともに、今後は、各現場の工種や工程進捗データと組み合わせて分析することで、有効なCO<sub>2</sub>削減策の抽出や検証に活用する



図一七 現場での施工時 CO<sub>2</sub> 排出量を見える化する「edes」の画面（イメージ）

予定である（図一七）。

建設現場の CO<sub>2</sub> 排出量の 1 年間のデータ蓄積から、削減に向けたいくつかのヒントを得ることができている。全現場のデータが得られることで、工種によるエネルギー消費量（施工高 1 億円あたりの CO<sub>2</sub> 排出量。以下、CO<sub>2</sub> 排出原単位）が明らかになりつつある（図一八）。CO<sub>2</sub> 排出原単位の差は、特に土木工事において顕著であり、工種によって数倍も異なることが分かった。また、同一工種であっても、CO<sub>2</sub> 排出原単位の大きな工事現場と小さな工事現場があり、今後、それぞれの工事現場の特色を詳細に分析することで、省 CO<sub>2</sub> 施工への有効策の抽出が期待される。

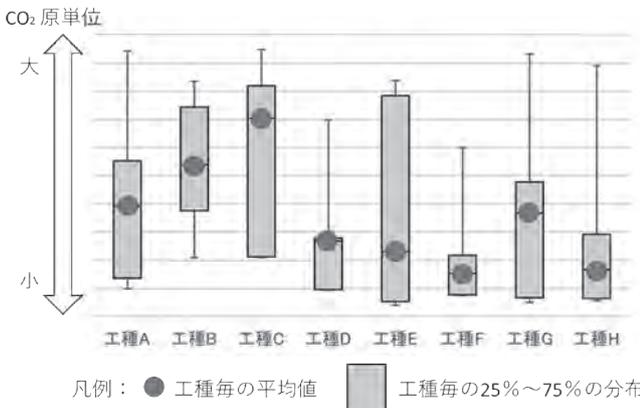
一方で、建築工事では着工直後の基礎工事と竣工間際の内装仕上げ工事とではそれぞれの CO<sub>2</sub> 排出原単

位が大きく異なっており、昨年 1 年間のデータからその違いを定量的に把握することができた（図一九）。着工直後は基礎工事が大きな CO<sub>2</sub> 排出源となるとすれば、CO<sub>2</sub> 削減策の検討は施工計画の初期段階から組み入れることが重要であることを示している。

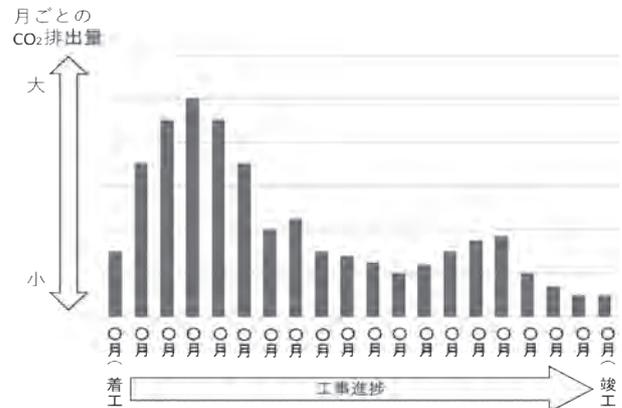
また、各社で取組みが本格化している自動化施工も、作業効率が向上し CO<sub>2</sub> 削減に寄与するものと期待している。

(3) 燃料（主に軽油）の使用量削減

建設現場で使用する機械の燃料を低（脱）炭素燃料に切り替えることで、現場で使用する化石燃料を削減することが可能となる。現場で消費される燃料のほとんどが軽油であることから、現在、わが国で利用可能



図一八 土木工事の工種毎の CO<sub>2</sub> 排出原単位の違い（イメージ）



図一九 建築工事の工事進捗による CO<sub>2</sub> 排出量（イメージ）

表一 軽油代替燃料の種類と特徴

|                      | バイオディーゼル燃料                |                        | GTL                                     |
|----------------------|---------------------------|------------------------|---|
|                      | B100                      | B5                     |   |
| 概要                   | 廃食用油から製造する燃料              | 軽油に B100 を混合させた燃料      | 天然ガスから製造する燃料                            |
| CO <sub>2</sub> 削減効果 | 100.0%<br>カーボンニュートラル      | 5.0%                   | 8.5%                                    |
| メーカーの対応              | なし                        | あり                     | ほぼあり                                    |
| 特徴                   | 地産地消エネルギー<br>B100 専用オイルあり | 品確法で品質基準あり、軽油<br>同等の扱い | NETIS 登録<br>KT-190065-A<br>軽油 JIS 規格に合致 |

な軽油代替燃料の種類と特徴をまとめた(表—1)。

軽油代替燃料のうちB100の原料は廃食用油(バイオマス)のみであるため、CO<sub>2</sub>削減効果100%が期待できるが、廃食用油の供給量に限りがあるため、建設業全体が必要とする量は確保できない。最近では、化学メーカーが非化石燃料由来の原材料としてB100に注目しており、供給量の奪い合いも予想される。また、製造施設による品質のばらつき等から、建設機械メーカー(エンジンメーカー)の保証が得られないため、使用にあたっては機械保有者(レンタル会社、サブコン等)との協議が不可欠となる。現在、日建連等からレンタル会社や行政への働きかけ(軽油代替燃料の利用拡大)を行っており、今後の関係者の理解醸成や具体的支援策を期待する。

GTLは化石燃料(天然ガス)が主原料でありCO<sub>2</sub>削減効果も限定的なため、2050年カーボンニュートラルに向けた橋渡しの代替燃料ではあるが、供給量の制約は小さく、国内需要が拡大すれば、輸入量や販売網(供給施設)の拡大も期待できる。また、軽油JIS規格に合致しているため、建設機械メーカー(エンジンメーカー)の保証も得やすく、当面の代替燃料として有望と考える。

燃料使用量削減のもう一つの手段が、建設機械の燃費向上である。これまでも機械メーカーは排ガス規制に合わせてより低燃費な建設機械の開発・販売を進めており、その歩みは今後も継続される。一方で2050年カーボンニュートラル実現のためには、化石燃料に代わる新たな脱炭素エネルギーを燃料とする新たな建設機械の実装が不可欠である。一部で実用化している「電動化」については機種拡大を、また稼働中にCO<sub>2</sub>を排出しない「グリーン水素燃料」が利用できる機械の開発にも期待するところである。

#### (4) 建設現場で使用する電力の脱炭素化

これまでも建設現場に太陽光発電やミニ風力発電を設置する事例があった。関係者への意識付けやPRには有効だったが、発電量そのものを見ると現場で消費する電力を賄うにはほど遠いのが実態であり、建設現場で使用する電力の脱炭素化には、商用電力の脱炭素化が不可欠である。

全社の電力由来CO<sub>2</sub>は全体の1/4程度であるが、2050年のカーボンニュートラルを見据えると、建設機械の電動化はこれまで以上に進み、現場が消費するエネルギーの過半を電力に依存する状況も想定していなければならない。その時、商用電力の脱炭素化は建設業の脱炭素化のカギとなってくる。

商用電力の脱炭素化は、再エネ発電施設の拡充により自ずと達成されるものではあるが、建設業としてそれを待つだけでなく、積極的に100%再エネ電力(グリーン電力)を使用することにより、再エネ発電施設の拡充に寄与することも重要である。

工事用電力は仮設電源となる場合がほとんどであり「契約期間が短い」「電力消費量の変動が大きい」等の特徴から、一般需要家と比べると小売電気事業者にとって手間のかかる顧客である。また、グリーン電力の供給量には現状では限りがあるため、必ずしもすべての建設現場で利用できるわけではない。建築現場でのグリーン電力の使用については、本誌Vol.72(2020年4月号)「超高層ビル建築工事で工事用電力を100%再エネに」で紹介されているので、参照いただきたい。

## 5. おわりに

建設業におけるCO<sub>2</sub>削減の取組みを見てきたが、どれをとっても建設業単独でできることは少ない。施工時CO<sub>2</sub>の削減においても、燃料供給会社、建設機械メーカーの取組みが前提となり、再エネ電源の拡充についても、発電事業者に依存している。一方で、サプライチェーンCO<sub>2</sub>(他社排出分)については、最終的にはそれぞれの排出事業者の取組みに拠るところではあるが、例えば、低炭素建材の開発、ZEB(ゼロ・エネルギー・ビル)やZEH(ゼロ・エネルギー・ハウス)の設計など、建設会社の支援、貢献が不可欠な部分も多い。

脱炭素技術の社会実装には、技術(製品)が先か、実需要が先かという「卵・ニワトリ論」で進捗が遅かったところがあるが、これからは、業種を超えた連携を強化し、建設業もわが国の脱炭素をけん引する一員でありたいと考える。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 「産業連関表を利用した建設業の環境負荷推定」日本建築学会計画系論文集 第549号(2001年11月) 漆崎昇, 酒井寛二
- 2) 「2019年度CO<sub>2</sub>排出量調査報告書(2020年11月)」(一社)日本建設業連合会 環境委員会 温暖化対策部会

#### 【筆者紹介】

吉村 美毅(よしむら よしたけ)  
鹿島建設㈱  
環境本部 地球環境室 室長



# 高炉スラグ微粉末を用いた環境配慮型コンクリート ゼネコン 13 社による CELBIC の共同開発

河野 政典・金子 樹・高橋 祐一・古川 雄太

広く普及展開が図りやすく、CO<sub>2</sub>の排出量を抑制しつつも、コンクリート構造物に求められる品質を確保したコンクリートを開発コンセプトとし、一般流通する高炉スラグ微粉末を広範囲の使用率で使い分ける環境配慮型コンクリートをゼネコン 13 社の共同で開発することとした。開発にあたり、高炉スラグ微粉末の使用率等が品質におよぼす影響を把握する室内実験、およびフレッシュコンクリート性状の時間変化や構造体強度の特性を確認する実機実験を実施し、その結果に基づき、結合材の質量に対する高炉スラグ微粉末の使用率が 10～70% の範囲における環境配慮型コンクリート～CELBIC～の調合設計・施工マニュアルを整備し、第三者評価機関による技術性能証明を取得した。本稿では、この取組みで実施した室内実験、および実機実験の結果を示すことで、開発したコンクリートの特徴を紹介する。

キーワード：環境配慮型コンクリート、高炉スラグ微粉末、使用率、調合設計、CO<sub>2</sub>削減率

## 1. はじめに

近年、環境負荷低減の観点から、コンクリート業界では、セメントの一部を銑鉄の製造工程で生成される高炉スラグ微粉末（以下、BF）に置き換えて CO<sub>2</sub> の排出量を抑えるコンクリートが着目されている<sup>1)</sup>。

BF をセメント工場で混合した高炉セメントは、JIS R 5211（高炉セメント）において、結合材の質量に占める BF の割合（以下、BF 使用率）により A～C 種が規定され、それぞれコンクリート性状が異なることが知られている。このうち、高炉セメント B 種として一般流通する、BF 使用率が 40～45% のものについては、多くの生コン工場において調合が標準化され、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）への適合性が評価機関で認証された、いわゆる JIS マーク品のコンクリートとして取り扱われている。しかしながら、中性化の進行が速いとされることから、建築では地下構造物への使用に留まっているのが実情である。

高炉セメント A 種や C 種、および BF 使用率が 40～45% 以外の B 種については、流通が極めて少ない。そのため、コンクリートに求められる品質に応じた使用率で BF を使用するには、BF を生コン工場で混入する方法が現実的となる。そこで、普及展開を想定し、一般流通する BF を生コン工場で混入する方法で製造する環境配慮型コンクリートの開発に着手することと

した。このコンクリートを実用化し、現場適用を行うためには、使用する部材条件に応じたコンクリートの調合設計、施工方法のマニュアル整備が必要であり、加えて、実建物の構造部材へ適用するためには、監理者から承認を得る必要がある。

BF を生コン工場に混入する方法でコンクリートを製造、出荷した実績のある工場は少ないため、JIS マーク品として取り扱われているコンクリートも少ない。建築工事においては、JIS マーク品でない場合、監理者から承認が得られないことも多く、実現場への適用が容易ではない。このような場合において、監理者から承認を得る手段としては、第三者評価機関による技術性能証明の取得が有効となる。

以上から、本開発では、環境配慮型コンクリートの調合設計、施工方法のマニュアル整備、および技術性能証明の取得を目指し、BF 使用率や BF 種類の違いがコンクリートの諸性状におよぼす影響を把握するための室内実験、および現場適用を想定したフレッシュコンクリート性状の時間変化や、構造躯体に打ち込まれたコンクリートの強度特性を確認するための実機実験を行った。

この取組みにより開発したコンクリートを CELBIC（セルビック、Consideration for Environmental Load using Blast furnace slag In Concrete）と称し、取組みについては、広く普及展開が図れるよう、表 1 に示す筆者らを含むゼネコン 13 社で構成した CELBIC

表一 CELBIC 研究会の構成会社

|              |      |             |
|--------------|------|-------------|
| 青木あすなろ建設     | 浅沼組  | 安藤ハザマ       |
| ○奥村組         | 熊谷組  | 鴻池組         |
| ○五洋建設        | 銭高組  | 鉄建建設        |
| ○東急建設        | 東洋建設 | 矢作建設工業      |
| ◎長谷工コーポレーション |      | (◎:主査 ○:幹事) |

表二 環境配慮型コンクリート「CELBIC」の概要

|              |  |
|--------------|--|
| BF 使用率とクラス分け | A 種クラス：10%以上，30%以下<br>B 種クラス：30%超，60%以下<br>C 種クラス：60%超，70%以下         |
| 適用部位・部材      | A・B 種クラス：地下および地上構造物<br>C 種クラス：地下構造物または直接外気と接しない部位・部材，かつ，厚さが200 mm 以上 |
| 使用する BF の種類  | 高炉スラグ微粉末 4000 (JIS A 6206 適合品，せっこう添加あり)                              |
| 設計基準強度       | 18 ~ 36 N/mm <sup>2</sup>  |
| 計画共用期間の級*    | 短期，標準，長期   |

\*計画共用期間の級に対する期間  
：短期はおよそ 30 年，標準はおよそ 65 年，長期はおよそ 100 年

研究会で実施した。環境配慮型コンクリート「CELBIC」の概要を表二に示す。BF 使用率 10 ~ 70% の範囲とし，CO<sub>2</sub> の排出量を抑制しつつも，コンクリート構造物に求められる品質を確保したコンクリートの開発を進めた。本稿では，この取組みで実施した室内実験，および実機実験の結果を示すことで，開発したコンクリートの特徴を紹介する。

## 2. 室内実験

### (1) 室内実験の概要

室内実験では，BF 使用率や BF 種類，化学混和剤種類などの違いがコンクリートの諸性状におよぼす影響を確認するため，表三に示す要因と水準で，表四に示すフレッシュコンクリート，強度および耐久性試験を行った。

### (2) 使用材料および調合

コンクリートの水結合材比（以下，W/B）は，表二に示す設計基準強度の範囲を網羅するよう，BF 使用率 45% までは W/B 45 ~ 65%，BF 使用率 60 ~ 70% は W/B 35 ~ 55% とした。BF 種類は一般流通する 3 メーカーで，いずれも JIS A 6206（コンクリート用高炉スラグ微粉末）の高炉スラグ微粉末 4000 に適合するもので，比表面積は 4290 ~ 4390 cm<sup>2</sup>/g であった。目標スランプは，W/B が 55，65% では 18 cm と

表三 室内実験の要因と水準

| 要因                            | 水準   |
|-------------------------------|--|
| BF 使用率                        | 0%，A 種クラス：10%，20%，30%<br>B 種クラス：45%，60%，<br>C 種クラス：70%<br>[記号：BF00 ~ BF70] |
| 水結合材比 (W/B)                   | 45%，55%，65% (BF 使用率 0~45%)<br>35%，45%，55% (BF 使用率 60~70%)                  |
| BF 種類                         | a, b, c (3 メーカー)   |
| BF 三酸化硫黄 (SO <sub>2</sub> ) 量 | 約 2%，4% (無水せっこうの添加により調整)   |
| 化学混和剤種類                       | イ, ロ, ハ (3 メーカー)   |
| 環境温度                          | 20℃, 10℃, 5℃   |

注) 実験では，\_\_\_ の水準を基本とした。

表四 試験項目

| 試験項目 | 方法      |                                |
|------|---------|--------------------------------|
| フ    | スランプ    | JIS A 1101                     |
| レ    | 空気量     | JIS A 1128                     |
| ッ    | ブリーディング | JCI-S-015 φ 150 × 300 mm 容器    |
| シ    | 凝結時間    | JIS A 1147 環境温度 20, 10, 5℃     |
| ユ    | 断熱温度上昇  | φ400×400 mm 鋼製型枠, BF70, W/B45% |
| 強    | 圧縮強度    | JIS A 1108 標準養生供試体             |
| 度    | 静弾性係数   | JIS A 1149 材齢 28, 91 日         |
| 耐    | 長さ変化    | JIS A 1129 (乾燥収縮試験) W/B45, 55% |
| 久    | 中性化抵抗性  | JIS A 1153 (促進中性化試験)           |
| 性    | 耐凍害性    | JIS A 1148 (凍結融解試験) W/B45%     |

して化学混和剤には AE 減水剤を使用し，W/B が 35，45% では 21 cm とし，BF 使用率に応じて高性能 AE 減水剤を使用した。なお，化学混和剤は 3 メーカーとした。

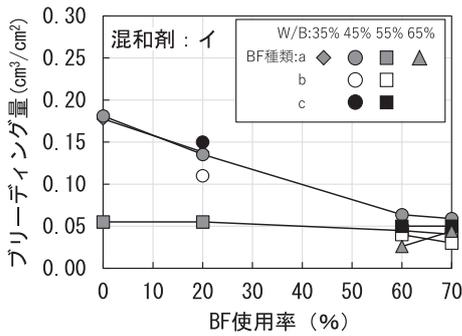
骨材は JIS A 6204（コンクリート用化学混和剤）のコンクリート試験に用いる品質に適合するもので，細骨材には砂（山砂または陸砂），粗骨材には硬質砂岩碎石を，セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。

コンクリートの調合は表三の要因と水準の組合せで，全 40 調合とし，単位水量は各調合で標準的な単位量を採用した。なお，目標空気量はいずれも 4.5% とした。

### (3) フレッシュコンクリート試験結果

フレッシュコンクリートの状態は，いずれも目標のスランプ，空気量を満足し，良好であった。

図一に，BF 使用率とブリーディング量の関係を示す。ブリーディング量は，BF 使用率の増加に伴い減少した。また，BF メーカーによるブリーディング量の違いは小さく，いずれの条件でも 0.3 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup> 以下

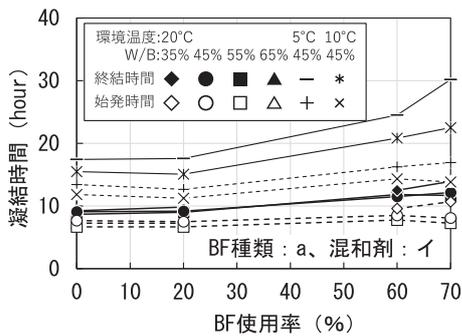


図一1 BF使用率とブリーディング量

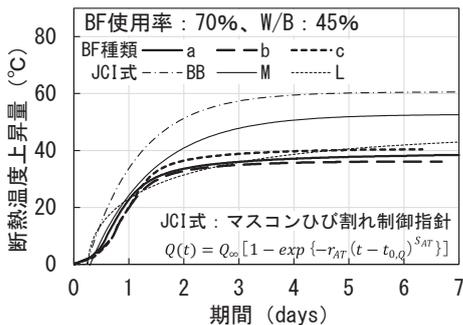
であることから、BFの使用によるブリーディングへの特段の配慮は不要と判断できる。

図一2に、BF使用率と凝結時間の関係を示す。20℃における凝結の始発時間は、W/B35%を除き、BF使用率やW/Bによる違いは小さいが、終結時間は、BF使用率60%（以下、BF60）およびBF70では、BF00やBF20よりも約3時間遅延した。また、環境温度による影響はさらに大きく、BF00やBF20でも20℃より遅延するものの、BF60およびBF70ではBF20に比べ、10℃では始発で約3時間、終結で6～7時間、5℃では始発で約4時間、終結で7～13時間の遅延となった。なお、環境温度にかかわらずSO<sub>3</sub>量2%と4%の違いは見られなかった。

図一3に、各BFを用いたコンクリートの断熱温度上昇の試験結果を示す。各BFメーカーによる断熱温度上昇量は同程度だった。また、図中に併記した日本コ



図一2 BF使用率と凝結時間



図一3 断熱温度上昇量

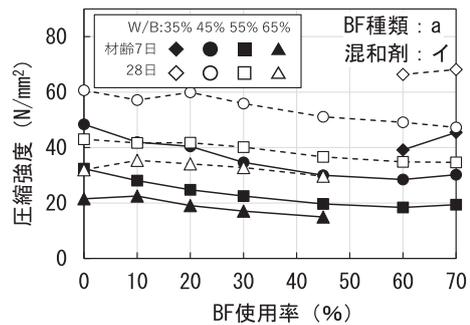
ンクリート工学会「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」の予測式（JCI式）との関係では、低熱ポルトランドセメント（L）の予測値と3.5日以降の温度上昇量が近い傾向を示すものの、初期の温度勾配はLより大きく、そのため材齢1～3.5日程度の期間では温度上昇量が大きい。中庸熱ポルトランドセメント（M）の予測値を用いることで、安全側の評価となる。

(4) 強度試験結果

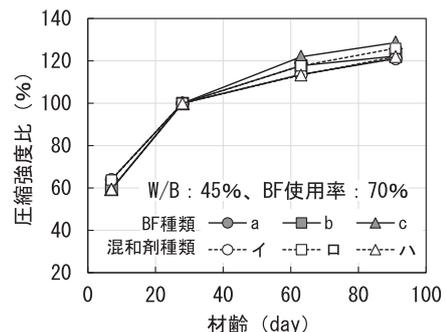
図一4に、BF使用率と材齢7日、28日の圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は、材齢7日においてBF使用率が増加するほど低下したが、BF70の圧縮強度はBF60よりも大きかった。材齢28日では、BF使用率0～30%まで同程度の圧縮強度を有しているが、30～70%では使用率の増加に伴い緩やかに低下した。

BFおよび混和剤メーカーの違いによる強度発現傾向については、材齢28日の圧縮強度を基準とした圧縮強度比との関係から検討した。BF使用量の多い調査としてW/B45%、BF70における圧縮強度比を図一5に示す。各メーカーの違いによる強度の差は小さく、いずれも同様な強度発現性を示した。なお、SO<sub>3</sub>量の違いによる強度については、SO<sub>3</sub>量4%では材齢7日の初期強度は大きい、長期材齢での強度増進が低下した。

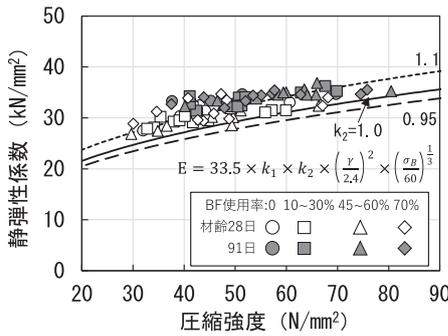
図一6に、圧縮強度と静弾性係数の関係を、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンク



図一4 BF使用率と圧縮強度



図一5 材齢28日を基準とした圧縮強度比



図一6 圧縮強度と静弾性係数

リート工事 JASS5」(以下, JASS5) に示されている推定式と併せて示す。静弾性係数は, 圧縮強度の増加に伴い推定式に沿い, 大きくなる傾向を示した。推定式の混和材の種類による係数  $k_2$  は, BF を用いる場合, 0.95 と示されているが, 本実験では BF00 に対して 0.97 ~ 1.02 となり, 混和材を使用しない場合と同程度の静弾性係数であった。

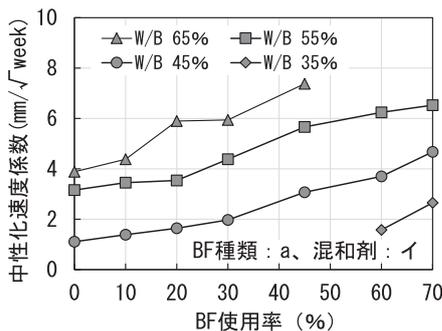
(5) 耐久性試験結果

(a) 中性化抵抗性と耐久設計強度

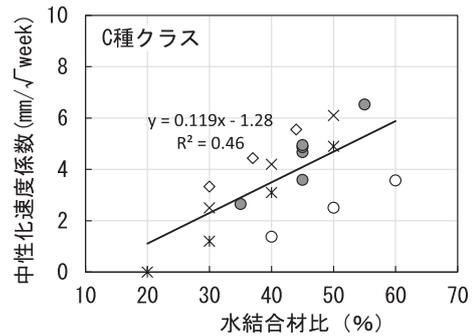
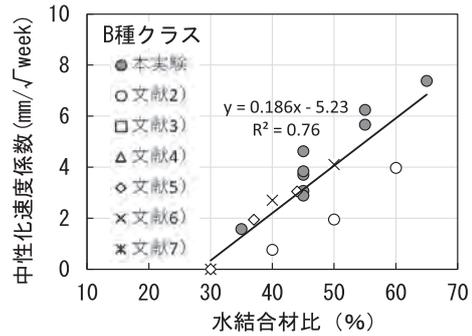
図一7 に, BF 使用率と促進中性化試験の結果から得られた中性化速度係数の関係を示す。いずれの W/B でも BF 使用率の増加に伴い, 中性化速度係数は大きくなることから, W/B および BF 使用率から中性化深さを評価できると考えられる。

中性化試験の結果から, A ~ C 種クラスに応じた耐久設計基準強度の検討を行った。検討にあたっては, 妥当性を確認する目的で, BF 使用率 10 ~ 75% の既往の研究結果<sup>2) ~ 7)</sup> を含めた。図一8 に, B 種, C 種クラスの W/B と中性化速度係数の関係を示す。既往研究とは使用材料の品質が必ずしも一致せず, また, BF 使用率の範囲に幅があるものの, 得られたデータは既往のデータの範囲内にあることが確認できる。A 種の結果も同様であった。

図一8 に示す近似式より, 日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」(以



図一7 BF 使用率と中性化速度係数



図一8 水結合材比 (W/B) と中性化速度係数

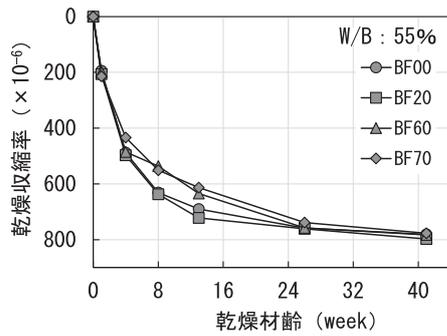
下, 耐久指針) に倣い, 屋外の CO<sub>2</sub> 濃度を 0.05%, 屋内を 0.10% とし, 鉄筋腐食確率 20% となる W/B を求め, 同会「コンクリートの調査設計指針・同解説」に示されている呼び強度に対する水セメント比の調査データと, 求めた W/B を照らし合わせ, W/B が確保される呼び強度から耐久設計基準強度を導いた。その結果を表一5 に示す。A 種および B 種クラスは, JASS 5 に示される耐久設計基準強度と同値となった。すなわち, 普通ポルトランドセメントのコンクリートと同じ耐久設計基準強度を満足する調査であれば, 同等の耐久性を有するコンクリートとして使用できることが確認された。なお, C 種は 3 または 6N/mm<sup>2</sup> を上乗せした値となった。

(b) 乾燥収縮

図一9 に, 長さ変化試験の結果として W/B55% の乾燥材齢と乾燥収縮率の関係を示す。長期材齢においても乾燥収縮が進行すると考えられたため, JIS の測定期間よりも長い 41 週まで測定を行った。同一の W/B では, 乾燥材齢 4 ~ 13 週において BF60, BF70 の乾燥収縮率が BF00, BF20 よりも 50 ~ 100 × 10<sup>-6</sup> 程度小さくなるものの, 26 週以降でいずれも同程度

表一5 計画供用期間の級と耐久設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

| 計画供用期間の級 | A 種クラス | B 種クラス | C 種クラス |
|----------|--------|--------|--------|
| 短期       | 18     | 18     | 24     |
| 標準       | 24     | 24     | 27     |
| 長期       | 30     | 30     | 33     |

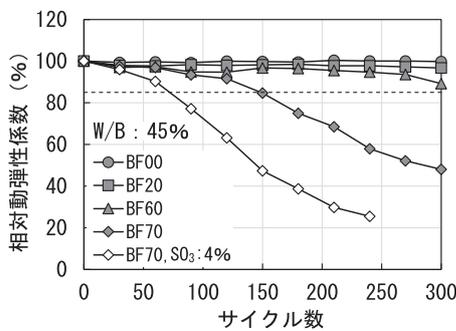


図—9 乾燥材齢と乾燥収縮率

の乾燥収縮率に収束し、この関係は W/B45% も同様であった。

(c) 耐凍害性

図—10 に、凍結融解試験における W/B45% のサイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。BF20, BF60 では、大きな変動はなく BF00 と同様の傾向であったが、BF70 では、耐久指針で維持管理限界状態の相対動弾性係数である 85% を大きく下回った。BF 使用率が高い場合、本結果と同様の報告とそれとは異なる報告<sup>8)</sup>の両者があるので、凍結融解作用を受ける場所に使用する場合には、より詳細な検討が必要である。また、SO<sub>3</sub> 量 4% では、2% よりもさらに相対動弾性係数の低下は顕著であった。



図—10 サイクル数と相対動弾性係数

(6) 室内実験のまとめ

室内実験で得られた BF 使用率と各種コンクリートの性状は表—6 のとおりとなる。A 種クラスでは BF00 と同等程度の品質を有する。B 種および C 種については耐久設計基準強度などの設定により所定の品質が確保されることを確認した。

3. 実機実験

(1) 実機実験の概要

フレッシュコンクリート性状の時間変化および構造体強度を確認するため、3 工場（記号：X, Y, Z）で

表—6 室内実験のまとめ

| 項目        | クラス・BF 使用率 (%) |                |     |             |       |    |
|-----------|----------------|----------------|-----|-------------|-------|----|
|           | A 種            |                | B 種 |             | C 種   |    |
|           | 10             | 20             | 30  | 45          | 60    | 70 |
| ブリーディング   | —              | 同等             | —   | —           | 減少    |    |
| 凝結時間      | —              | 同等             | —   | —           | 遅延    |    |
| 凝結時間 (低温) | —              | 同等             | —   | —           | 著しく遅延 |    |
| 温度上昇量     | —              | —              | —   | —           | —     | 減少 |
| 圧縮強度      | 7 日            | BF 使用率の増加に伴い低下 |     |             |       |    |
|           | 28 日           | 同等             |     | BF の増加に伴い低下 |       |    |
|           | 91 日           | 同等             |     | BF の増加に伴い低下 |       |    |
| 静弾性係数     | 同等             |                |     |             |       |    |
| 乾燥収縮      | —              | 同等             | —   | —           | 同等    |    |
| 中性化抵抗性    | BF 使用率の増加に伴い低下 |                |     |             |       |    |
| 耐凍害性      | —              | 同等             | —   | —           | 微低    | 低下 |

注) 表内は、BF00 と比較した場合のコンクリートの性状を示す。

実機実験を実施した。実験の組合せは表—7 に示すように、3 工場それぞれにおいて室内実験で用いた 3 メーカーの BF および混和剤の組合せとした。コンクリートの調査は、BF 使用率を A 種クラスで 15% (BF15) および 30% (BF30), B 種クラスで 60% (BF60), C 種クラスで 70% (BF70) とした。

(2) 呼び強度と水結合材比 (W/B) の設定

W/B の設定では、まず各工場ですし練りを実施し、得られた圧縮強度と工場が運用する JIS の強度算定式との関係を確認した。次に、BF15 および BF30 は普通ポルトランドセメントの算定式を、BF 60 は高炉セメント B 種の算定式を、BF70 は高炉セメント B 種の算定式から 3 または 6N/mm<sup>2</sup> をマイナス側に平行移動した式を用いて、呼び強度 21, 33 および 42 相当の W/B を設定した。

(3) 使用材料および調査

コンクリートに使用した普通ポルトランドセメント、練混ぜ水、および骨材は、各工場ですべて通常使用して

表—7 実機実験の組合せ

| 項目      | 工場：X       | 工場：Y                     | 工場：Z               |
|---------|------------|--------------------------|--------------------|
| BF メーカー | c          | b                        | a                  |
| 混和剤メーカー | イ          | ロ                        | ハ                  |
| 季節区分    | 標準期：S      | BF15, BF30<br>BF60, BF70 | BF15<br>BF15       |
|         | 夏期：H       | BF15                     | BF30, BF60<br>BF70 |
|         | 冬期：W       | BF15                     | BF70<br>BF30, BF60 |
| 呼び強度    | 21, 33, 42 |                          |                    |

いるものとした。BFはJIS A 6206に適合するせっこう添加タイプを用いた。化学混和剤は、原則として呼び強度21ではAE減水剤を、呼び強度33および42では高性能AE減水剤とし、BF60、BF70ではフレッシュ性状の保持性を確保するためBF高含有タイプを用いた。スランプは、いずれのBF使用率においても、呼び強度21および33では $18 \pm 2.5$  cm、呼び強度42では $21 \pm 2.0$  cmを管理範囲とし、実際の運搬時間を想定して、練上がりから60分で目標値を満足するよう化学混和剤の添加量を調整した。

(4) フレッシュコンクリート試験結果

図-11に、呼び強度33のBF30、BF60のスランプの時間変化を示す。スランプは時間経過とともに低

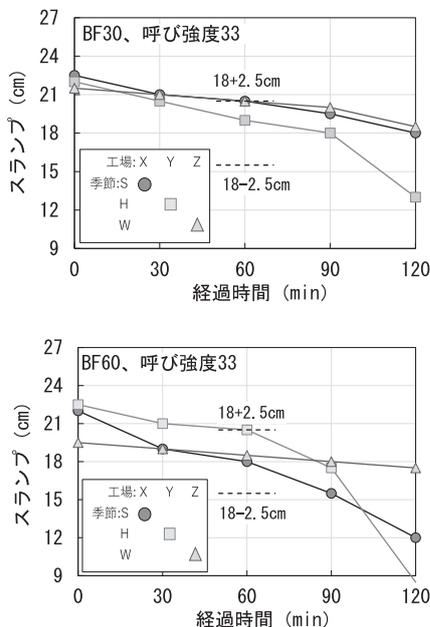


図-11 スランプの時間変化

下する傾向で、特に、夏期では90分から120分での低下が大きく、60分以降では管理値を外れるものも見られた。なお、空気量については、スランプと同様にBF使用率にかかわらず、60分で $4.5 \pm 1.5\%$ の管理値を満足した。

(5) 圧縮強度試験結果

(a) 生コン工場の強度算定式との関係

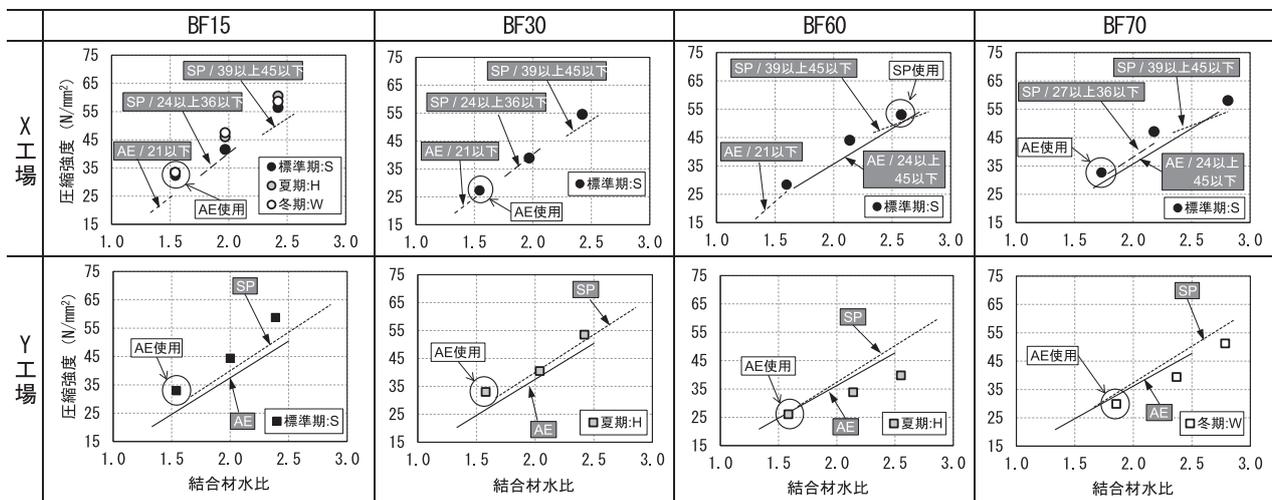
標準養生材齢28日の圧縮強度と生コン工場の強度算定式との比較の一例を図-12に示す。実機実験にあたって採用した強度算定式は前述のとおり、生コン工場が運用する普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の強度算定式をベースに、事前に実施した試練りの結果を考慮して決定している。

BF15、BF30の標準28日の圧縮強度は、いずれの生コン工場においても採用した強度算定式と同等か上回る結果となった。一方で、BF60、BF70では、X工場では同様に強度算定式と同等か上回る結果であったが、Y工場では強度算定式を下回る結果となった。なお、Z工場はX工場と同様の傾向であった。結合材水比と圧縮強度の関係をみると、いずれのBF使用率、生コン工場においても強度算定式と同等の傾きである。

実物件への適用にあたっては、実際に採用されるBF使用率を考慮し、実機実験を実施したうえで、生コン工場の強度算定式の関係把握し、必要に応じて傾きを保持したまま負側に平行移動する方法により、安全を考慮した適切な強度設計ができるものと考えられる。

(b) 構造体強度補正值 ( $_{28}S_{91}$ )

標準養生材齢28日の圧縮強度と構造体コンクリー



図中「AE」はAE減水剤を使用した場合、「SP」は高性能AE減水剤を使用した場合、数値は呼び強度

図-12 標準養生材齢28日の圧縮強度と生コン工場の強度算定式との比較の一例

トの材齢91日の圧縮強度の差である構造体強度補正值  $_{28}S_{91}$  の標準値については、建設省告示第1102号およびJASS 5でそれぞれ3または6N/mm<sup>2</sup>と示されている。実機実験の結果から得られた材齢91日のコア強度と  $_{28}S_{91}$  の関係を図-13に示す。また、建設省告示第1102号の根拠資料となった実験結果<sup>9)</sup>を併記した。全体的な傾向として、一般的に知られるように、コア強度が大きいほど  $_{28}S_{91}$  が大きくなる傾向が確認できる。季節の影響としては、標準期が小さく、冬期、夏期の順に大きくなる傾向がみられる。また、設計基準強度18~36N/mm<sup>2</sup>の範囲では、おおむね3または6N/mm<sup>2</sup>を満足していた。

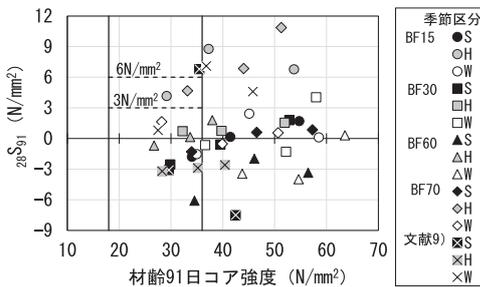


図-13 材齢91日のコア強度と構造体強度補正值  $_{28}S_{91}$

(6) 実機実験のまとめ

荷卸し60分を目標にしたフレッシュ性状は、所定の品質を満足し、通常のコンクリートと同様、出荷時にスランプ等を化学混和剤の添加量で調整することにより、現場適用可能であることが確認できた。また、調査設計は生コン工場の強度算定式をベースに算定が可能で、構造体強度補正值  $_{28}S_{91}$  は、建設省告示第1102号およびJASS 5の標準値である3または6N/mm<sup>2</sup>と同等であった。

4. CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果

実機実験を行った調査設計に基づき試算した呼び強度33におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果について、BF使用率と普通ポルトランドセメントを基準としたCO<sub>2</sub>の削減率の関係を図-14に示す。CO<sub>2</sub>排出量の削減率は、普通ポルトランドセメントのコンクリート調査に対して、A種クラスで約9~28%、B種クラスで18~51%、C種クラスで53~63%となる。また、呼び強度21および42においてもCO<sub>2</sub>排出量の削減率は強度レベルによらず、おおむね同様な値となった。

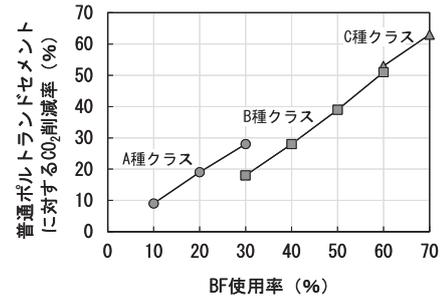


図-14 BF使用率とCO<sub>2</sub>削減率の試算結果

5. おわりに

本稿ではBF使用率やBF種類の違いがコンクリートの諸性状におよぼす影響を把握するための室内実験と、フレッシュコンクリート性状の時間変化や構造体強度の特性を確認するための実機実験のそれぞれの結果、ならびにCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を示し、開発した環境配慮型コンクリート「CELBIC」の特徴を紹介した。

CELBIC研究会では、これらの実験結果に基づき、本コンクリートの調査設計・施工マニュアルを整備し、「CELBIC-環境配慮型BFコンクリート」として、(一財)日本建築総合試験所から建設材料技術性能証明(GBRC材料証明第20-04号)を取得した。

近年では、ゼネコンが主導となり、主に高炉スラグ微粉末を高炉セメントC種相当や、それ以上の分量で高含有した環境配慮型コンクリートの開発・実用例も報告されている。これらのコンクリートはいずれも、高炉スラグ微粉末などの混和材料をポルトランドセメントの代替として使用するという概念は同じものの、混和材料の種類や量などの仕様が異なり、生コン工場においては、各ゼネコンに応じた材料の手配や調査設計、サイロや貯蔵ビンの確保といった煩雑な管理が負担となる面もある。

本稿で紹介したコンクリートは、一般的に普及している同一の高炉スラグ微粉末を用いており、このようなデメリットを軽減し、高炉スラグ微粉末を幅広く適用できるものと考えられる。現在、CELBIC研究会の構成会社の各社において、整備した調査設計・施工マニュアルおよび取得した技術性能証明を携え、普及展開を進めているところである。

JICMA

《参考文献》

- 1) 日本建設業連合会, 「低炭素型コンクリートの普及促進に向けて」, 2016.4
- 2) 辻大二郎ほか, 「混合セメントを用いたコンクリートの耐久性(そ

- の7)], 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016.8, pp.49-50
- 3) 小林利充ほか, 「高炉セメント A 種相当品を使用したコンクリートの基礎的性状に関する検討」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.8, pp.61-62
  - 4) 金子 樹ほか, 「セメント混合における高炉セメント A 種相当のコンクリートの諸性状 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.8, pp.63-68
  - 5) 溝淵麻子ほか, 「混和材を高含有したコンクリートの基礎的性状 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8, pp.185-188
  - 6) 大岡督尚ほか, 「高炉スラグ微粉末を高含有した環境配慮型コンクリートの基礎物性 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016.8, pp.79-84
  - 7) 辻大二郎ほか, 「高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの基礎物性 (その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8, pp.205-210
  - 8) 日本建築学会, 「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状」, 1992
  - 9) 棚野博之ほか, 「型枠の取り外しに関する管理基準の検討」, 建築研究資料, No.168, 2016.3
  - 10) 日本建築学会, 「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針 (案)・同解説」, 2017.9

## [筆者紹介]

河野 政典 (こうの まさのり)  
 ㈱奥村組 技術研究所  
 企画管理グループ  
 グループ長



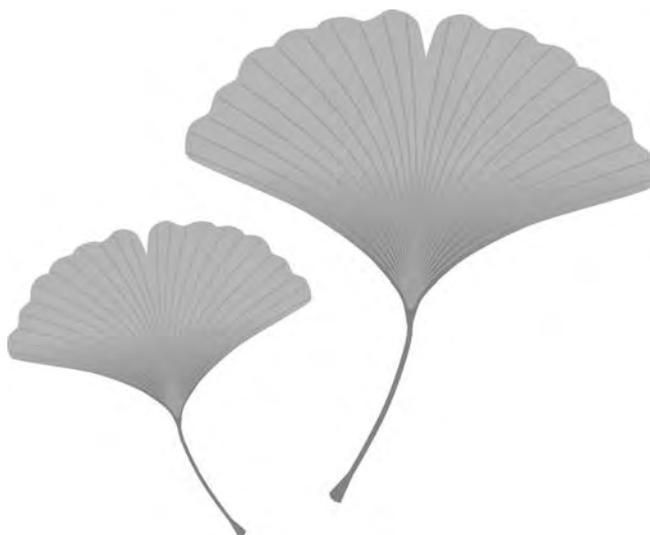
金子 樹 (かねこ たつき)  
 ㈱長谷工コーポレーション 技術研究所  
 建築材料研究室



高橋 祐一 (たかはし ゆういち)  
 五洋建設㈱ 技術研究所  
 建築技術開発部  
 専門部長



古川 雄太 (ふるかわ ゆうた)  
 東急建設㈱ 技術研究所  
 構工法・材料グループ  
 研究員



# 夜間工事照明への LED 採用による周辺環境への影響予測と CO<sub>2</sub> 排出量削減効果

加藤 雄大

ダム等の自然豊かな環境の工事現場で利用される夜間照明は、周辺の生態系に大きな影響を与える。夜行性の昆虫の照明への誘虫は、食物連鎖を通して生態系に影響を与える。今回は工事現場周辺の環境区分と、使用する照明の種類に着目した実験を行い、その実験結果に基づく影響の予測を行った。結果、Hg 灯を使用する照明計画よりも LED 灯を使用する計画の方が 94.2% の誘虫量の減少が予測された。本稿ではこの予測に基づいて全面的に LED 照明が導入された岩手県・築川ダムにおいて LED 灯導入による CO<sub>2</sub> 排出量削減量を試算したところ、約 68% の削減が予測されたので、その結果を紹介する。

キーワード：生態系保全, 夜間照明, LED, CO<sub>2</sub>, 誘虫

## 1. はじめに

あらゆる企業に生態系保全への取り組みが求められる昨今、建設業のように自然環境に与える影響が大きな業種は率先した対策が求められる。その中でも環境影響評価法での環境アセスメントの対象となるダム工事や高速道路などは、環境に大きな影響を与えるために様々な対策が求められ、その一例として夜間工事に使用される照明の影響を低減することが挙げられる。

夜間照明は夜行性の生物にとっては Ecological Light Pollution として生活を攪乱する要因となることが知られている<sup>1)</sup>。夜間照明は様々な生物種の分布や生理に影響するため、シミュレーションによる必要最低限の照明の設置、ルーバーや指向性照明の採用などによって対策されている。影響を受ける生物の中でも、生態系において重要な餌資源である昆虫は、照明に大量に誘引されることで、生態系全体の餌資源の欠乏や偏りが生じると考えられている。生態系保全の観点では、照明の過剰な使用を控える必要がある一方で、工事現場では作業箇所の安全確保のためには十分な明るさを確保する必要がある。

土木工事現場などではその初期費用の安さから水銀灯（以下、Hg 灯）が一般に利用されてきた。Hg 灯は紫外線の発生量が多く、昆虫の多くは紫外線に強く誘引されることから、誘虫量の観点からはナトリウム灯（以下、Na 灯）や LED 灯を利用することが望ましい。水銀灯は 2013 年に締結された国際条約「水銀に関する水俣条約」に伴い、2020 年 12 月からは一般

照明用の高圧水銀ランプの製造および輸出入が禁止となったが、レンタル品としては未だに利用可能である。今後は電力消費量、誘虫量低減の観点から Na 灯や LED 灯の利用が拡大していくと考えられるが、今回は Na 灯や LED 灯の導入によってもたらされる効果を正しく評価するために誘虫試験に基づく誘虫量予測を実施した。さらに、この予測に基づいて岩手県の築川ダムにて LED 灯を全面採用したので、その周辺環境への影響量の予測および CO<sub>2</sub> 排出量削減効果を算出した事例を紹介する。

照明に用いる光源の誘虫性はスペクトルから推測することが出来る。この時の誘虫性の評価には、主にキイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* の分光感度が利用されているが<sup>2)</sup>、実際の工事現場では周囲が様々な環境に囲まれており、様々な種類の昆虫が誘引される。また、この方法で算出された誘虫性は紫外線の影響を強く反映している一方で、一部の農業害虫等は紫外線だけでなく青色や緑色の光に誘引されることが知られている<sup>3)</sup>。そのため、本稿では照明を設置する周辺環境と光源の種類を考慮し、実際のダム現場で 3 種類の光源を用いた誘虫試験を実施し、その結果に基づいた予測を実施した。なお、本稿の試験方法や試験結果は参考文献<sup>4)</sup>にて報告されているので、詳細はそちらを参照されたい。

## 2. 照明影響評価のための誘虫試験

### (1) 異なる環境区分での灯火誘虫試験

照明設置個所の周辺環境を考慮した誘虫量の予測を実施するために、周辺環境を水田、畑地、常緑樹林、落葉樹林、河畔林、草地、河川敷、流水域、住宅地の9種類に区分し、誘虫試験を実施した。試験には採集調査用機材(写真-1)を用いて、光源には全て6Wのブラックライトを用いた。日没後の18時半から日の出後の6時半まで光源を点灯し、誘引された昆虫を捕虫瓶によって捕獲した。捕獲した昆虫の科ごとの個体数を計測し、科ごとの代表種の体長を参考に重量を算出した。試験は愛知県、埼玉県、群馬県の三地点で、様々な季節に計118回実施した。

誘虫試験の結果概要を図-1に示す。流水域、落葉樹林、常緑樹林の順に単位時間当たりの誘虫量が多かった。昆虫の種類に注目してみると、落葉樹林と広葉樹林ではチョウ目が多く、流水域では水生昆虫が多い傾向が見られた。

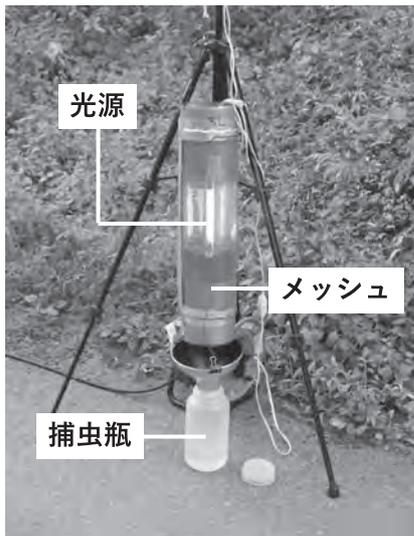


写真-1 採集調査用機材

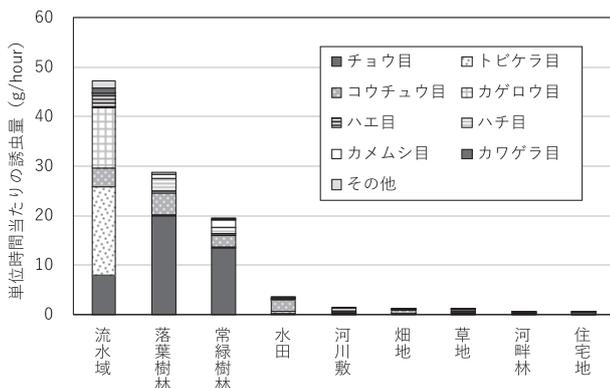


図-1 異なる環境区分での誘虫試験結果

### (2) 異なる光源を用いた灯火誘虫試験

Hg灯、Na灯、LED灯の誘虫性の違いを評価するための誘虫試験を実施した。機材は前述のものを使用し、光源としてHg灯、Na灯、LED灯を使用した。各光源は500lmとなるように調整した。各光源のスペクトルを図-2に示す。試験時間や捕獲した昆虫の計測は前述と同じとし、各光源は15m以上間隔を空けて設置した(写真-2)。試験は岩手県・築川ダム、兵庫県・与布土ダム、山口県・平瀬ダムの現場で複数日にわたって実施した。

誘虫試験の結果の概要を図-3に示す。カゲロウ目を除いてHg灯が最も誘虫量が多く、全ての目でLED灯が最も誘虫量が少なかった。コウチュウ目やチョウ目、ハエ目では特にLED灯への誘虫量が少ない傾向が見られた。

## 3. 誘虫量の予測

誘虫試験の結果に基づいて、築川ダムで夜間照明を使用した場合の誘虫量を予測した。Hg灯、Na灯、LED灯を使用した照明計画をそれぞれA案、B案、C案として、それぞれの光源を使用した場合の照度シミュレーションを実施し、1Lux以上の照度となる範囲を照明影響範囲とし、この範囲の航空写真に基づい

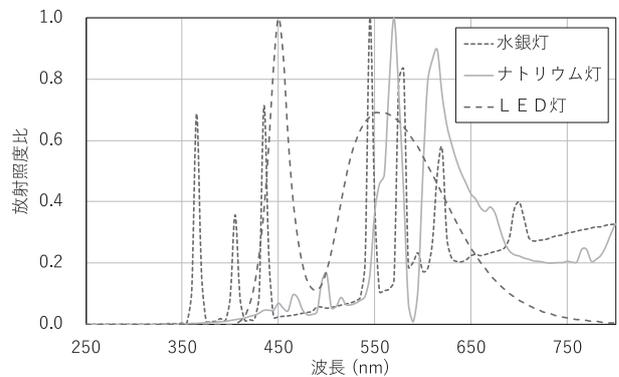


図-2 試験に使用した光源のスペクトル

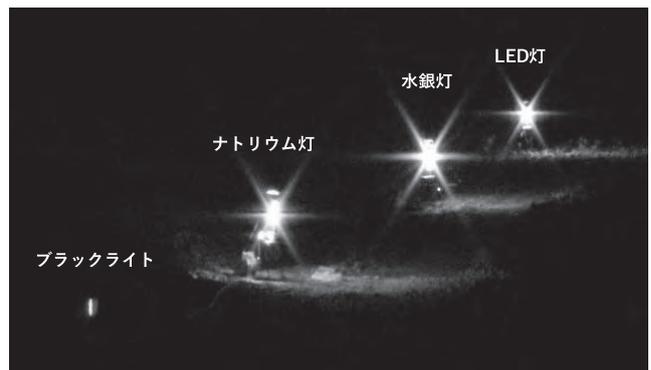
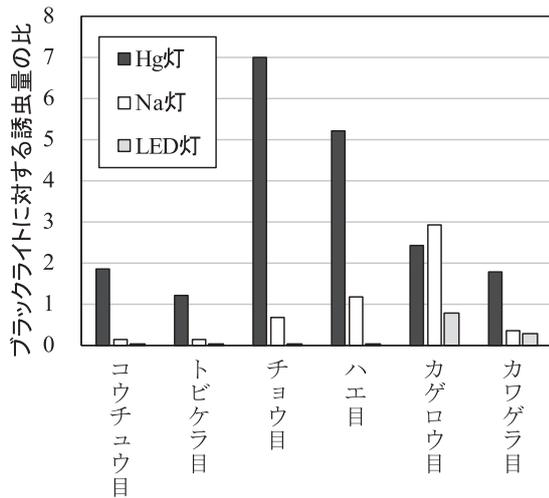
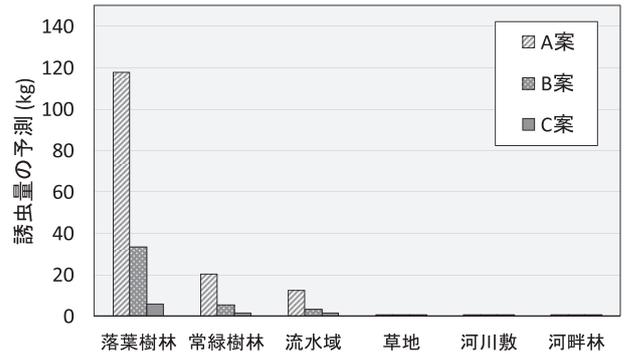


写真-2 異なる光源を用いた誘虫試験の様子



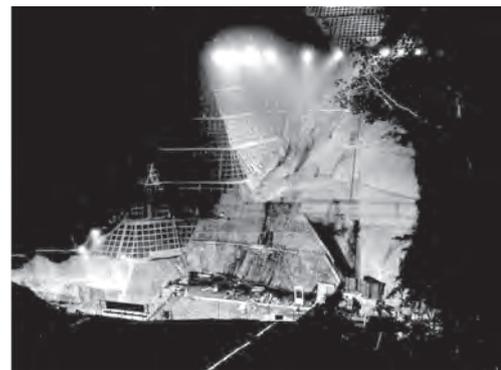
図一三 異なる光源での誘虫試験結果



図一五 各案での誘虫量の予測

て前述の九種の環境に区分した(図一四)。この環境区分の割合, 使用する照明の種類, 使用する照明の光度の合計値, 照明を使用する時間の合計などを考慮して誘虫量の予測を実施した。照明を一日8時間利用すると仮定し, 一年間のうちの照明稼働日を考慮して, 一年間あたりの誘虫量を算出した結果を図一五に示す。予測に利用した式や考え方の詳細については参考文献<sup>4)</sup>を参照されたい。

今回の予測では, A案では一年間で150.7 kg, B案では41.9 kg, C案では8.7 kgの昆虫が照明に誘引されると考えられ, LED灯を使用したC案では当初計画されていたHg灯を使用したA案よりも誘虫量が94.2%減少すると予想された。



写真一三 LED灯を採用した築川ダム工事現場の様子

表一 LED採用によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果

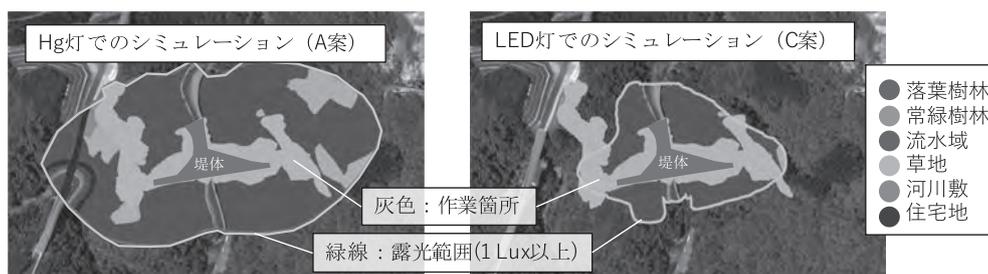
|      | 光源   | 設置台数 | 電力消費量     | CO <sub>2</sub> 排出量   |
|------|------|------|-----------|-----------------------|
| A案   | Hg灯  | 80   | 34.6万 kWh | 182 t-CO <sub>2</sub> |
| C案   | LED灯 | 32   | 8.3万 kWh  | 44 t-CO <sub>2</sub>  |
| 削減効果 | -    | 48   | 26.3万 kWh | 138 t-CO <sub>2</sub> |

#### 4. LED採用によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果

当初, 築川ダムでは夜間照明にHg灯を使用する計画(A案)となっていたが, 前述の予測を踏まえて全面的にLED灯を採用(C案)することになった(写真一三)。これによってもたらされる電力消費量とCO<sub>2</sub>排出量の削減量を算出した。LED灯はHg灯と比べて指向性が高いため作業箇所に効率良く照射でき, 一台当たりの光度が高いため設置台数を削減でき

た。A案ではHg灯を80台に設置する計画だったのに対して, C案ではLED灯の設置台数は32台だった。各照明の消費電力量に基づいて総電力消費量を算出し, 東北電力株の実績より実排出係数0.000591 t-CO<sub>2</sub>/kWhとしてCO<sub>2</sub>排出量を算出した。

表一に各照明計画で3年間使用した場合の算出結果を示す。A案と比較してLED灯を採用したC案ではCO<sub>2</sub>排出量が138 t-CO<sub>2</sub>, 割合にして約68%が削減できるという結果が得られた。



図一四 照度シミュレーションによる露光範囲の確認および環境区分の設定

## 5. おわりに

今回、夜間照明の影響を定量的に評価するための試験および予測を実施し、それによって得られたCO<sub>2</sub>排出量低減効果を試算した。生態系保全に関わる技術は、その導入による効果の定量的な評価が難しいことが多い。費用対効果の評価が困難であることから、対策の理解が得られなかったり、どの程度の対策が必要なのかの判断が難しいことも、生態系保全対策の導入の障壁となりやすいと考えている。今回の試験結果で得られた誘虫量の予測については、まだ季節や地域による変動、気温や照明利用時間帯の影響など様々な課題が残っているが、引続き調査を続けていき、より説得力のある評価方法としていきたい。

## 謝 辞

最後に、本試験を行うにあたって各ダム現場の関係者、特に築川ダムの関係者には多大なご協力を頂いた。ここに感謝の意を表す。

J|C|M|A

## 《参考文献》

- 1) Longcore T., Ecological Light Pollution, *Front. Ecol. Environ.*, 2 : pp.191-198, 2004.
- 2) Bertholf L. M., The extent of spectrum for *Drosophila* and the distribution of stimulative efficiency in it, *Z. Vergl. Physiol.*, 18 : pp.32-64, 1932.
- 3) 本多健一郎ほか、光を利用した害虫防除の手引き、国立研究開発法人農業・食品産業技術研究機構 技術紹介パンフレット、2014年7月1日発行、2021年9月16日参照。  
[http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pam-phlet/tech-pamph/053841.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pam-phlet/tech-pamph/053841.html).
- 4) 加藤雄大、林豊、宮瀬文裕、宇野昌利、小松裕幸、灯火誘虫試験に基づく夜間工事照明への飛翔性昆虫誘引量の予測、土木学会論文集G(環境)、第76巻、第7号、p543-552、2020年

## 【筆者紹介】

加藤 雄大 (かとう たかひろ)  
清水建設㈱  
技術研究所 環境基盤技術センター 研究員



# カルシア改質土による地球温暖化対策への展望

## カルシア落下混合船と浅場・藻場造成への取り組み

中川 雅夫・田中 裕一

浚渫土の有効利用技術として開発されたカルシア改質土工法の普及が全国各地で促進されつつある。

本稿では、まず、カルシア改質土の特徴、用途、施工法と建設機械について簡単に紹介し、次に、最近の施工事例として、護岸前面や、防波堤背面に水中盛土を施すことで大規模な浅場を造成し、その安全性や環境影響について長期間のモニタリングを行った事例を示した。

さらに、このような浅場を造成することによって、工事によるCO<sub>2</sub>排出抑制と、藻場造成によるCO<sub>2</sub>吸収（ブルーカーボン）による脱炭素効果について考察し、カルシア改質土で沿岸域に大規模な浅場を造成することで、地球温暖化対策にも資することを示した。

キーワード：カルシア改質土、浚渫土、落下混合工法、浅場、藻場、ブルーカーボン、脱炭素

### 1. はじめに

政府の2050年までにカーボンニュートラル（以下CN）を目指すとの方針のもと、国土交通省港湾局では沿岸域でのブルーカーボン（以下BC）生態系を活用した脱炭素化の推進を政策課題として掲げている。

また、港湾機能の維持拡大のために、航路・泊地浚渫が不可欠であるが、近年では土砂処分場の確保が困難となり、浚渫土の有効利用促進が課題となっている。

これらの背景を踏まえて、既存の防波堤背面に浚渫土で盛土をして浚渫土の受入れ場所を確保するとともに、防波堤の粘り強い化とBC等による脱炭素化にも資する浅場を造成する工事が函館港において進行中である。

ここで、浚渫土を盛土にするために、鉄鋼生産工程での副産物を製品化したカルシア改質材で改良し、カルシア改質土として利用する技術が適用されている。

本稿では、カルシア改質土と施工用建設機械の概要を紹介するとともに、沿岸域でのカルシア改質土による浅場・藻場造成による脱炭素効果について展望する。

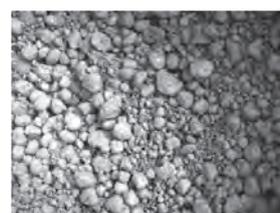
### 2. カルシア改質土と施工法の概要

#### (1) カルシア改質土の特徴

カルシア改質土は、浚渫土とカルシア改質材（転炉系製鋼スラグの成分・粒度を調整した材料）を混合した材料である（図-1）<sup>1)</sup>。強度発現、水中投入時の濁



浚渫土



カルシア改質材



カルシア改質土（混合直後）



カルシア改質土（固化後）

図-1 カルシア改質土の概要

り発生抑制等の特徴があり、浅場・干潟の造成材、埋立材、潜堤材、深掘跡の埋戻材等として使用されている（図-2）。

#### (2) カルシア改質土の施工法と建設機械

##### (a) カルシア改質土の施工フロー

カルシア改質土の施工では、浚渫、浚渫土運搬、浚渫土とカルシア改質材の混合、カルシア改質土運搬、海域投入の順で作業が進む（図-3、4）。このうち、施工効率やカルシア改質土の品質を確保する上で混合プロセスが重要となる。

##### (b) 混合工法

浚渫土とカルシア改質材の混合方法としては、バッ

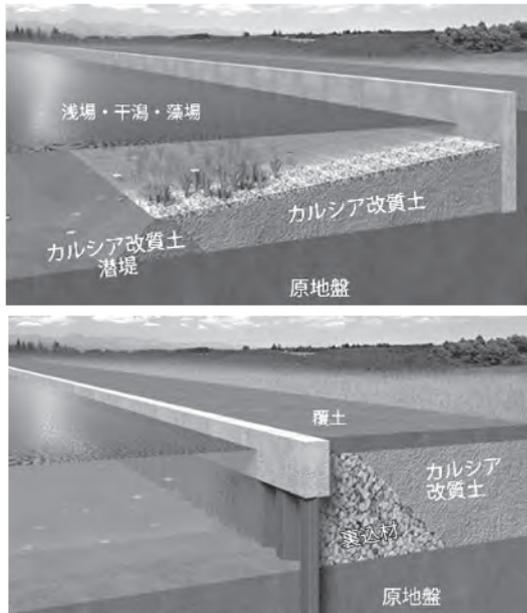


図-2 カルシア改質土の適用場所の例



写真-1 バックホウ混合の施工状況



写真-2 カルシア専用バケット



図-3 カルシア改質土の施工フロー



図-5 落下混合工法模式図



図-4 バックホウ混合とグラブ投入イメージ

クホウ混合，ミキサー混合，管中混合や落下混合等があるが，施工実績の多いバックホウ混合と落下混合の特徴を以下に示す。

＜バックホウ混合工法＞

浚渫土にカルシア改質材を投入した後，汎用的な建設機械であるバックホウにより混合する工法である(写真-1)。小規模施工に適した方法であるが，2m<sup>3</sup>以上のバケットを装着した大型のバックホウを複数台使用することにより，中～大規模施工にも対応可能である。

バックホウ混合では，カルシア改質材を均一に混ぜるために，長時間の混合作業が必要となるが，専用のバケット(写真-2)を使用することにより，混合時間を短縮することが可能である<sup>2)</sup>。

＜落下混合工法＞

リクレーマ船のベルトコンベアの乗継ぎ部やブームコンベアからの落下時に，浚渫土とカルシア改質材を混合する工法である(図-5)。埋立等の大規模施工に適した方法であり，500～600m<sup>3</sup>/hの実績がある<sup>3)</sup>。

しかし，リクレーマ船を使用して落下混合を行う場合，カルシア改質材の供給ホッパ，供給コンベアを艀装する必要がある。また，混合品質確保のためには2m以上3回の落下が必要であるが，既存船ではベルコン乗継時と排出時の2回となるため，陸上で積み替え，運搬後のダンプアップ時に3回目を確保するなど船外作業を追加する必要があった。

このため，リクレーマ船にカルシア改質材の供給ホッパ，供給コンベアおよび落下混合用コンベアを搭載し，コンベアの乗継時に2回，ブームコンベアからの落下時に1回，合計3回の落下混合が可能でカルシア落下混合船が建造されている(写真-3，図-6)。

カルシア落下混合船は，カルシア改質土として2,500



写真-3 カルシア落下混合船

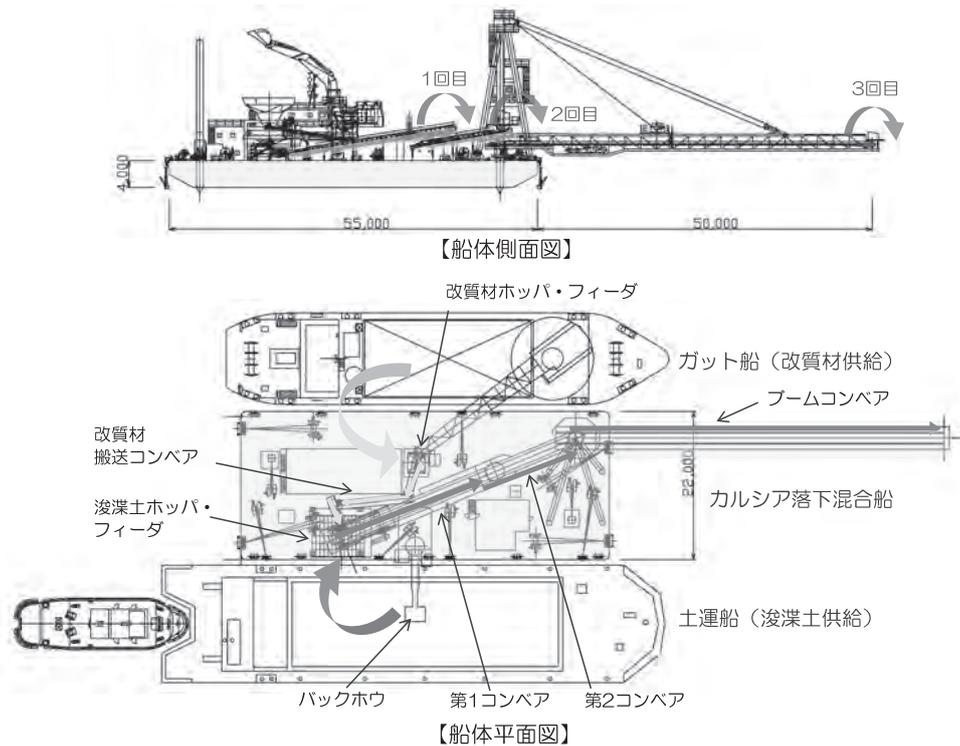


図-6 カルシア落下混合船概要図

～4,000 m<sup>3</sup> / 日程度の能力を有する他、以下の特徴がある。

- ・ 艀装が不要であり施工期間を短縮することが可能
- ・ 船からの落下時に3回の落下混合が完了するためその後の混合作業が不要
- ・ トレミー管を用いた直接水中投入により、浅場・干潟の造成や深掘部埋戻が可能
- ・ カルシア改質材の混合率やカルシア改質土の密度等をリアルタイムで確認でき、品質の良い改質土が製造可能

カルシア落下混合船は2020年の建造以降、カルシ

ア改質土16万 m<sup>3</sup>の施工実績があり、その有効性と混合性能が確認されている。

### 3. カルシア改質土を適用した浅場・藻場造成事例

#### (1) 姫路市網干沖浅場・藻場造成

##### (a) 浅場造成工事の概要

姫路市網干地区の土砂処分場護岸沿いに約2 haに亘って、水深7～9 mの海底を水深2.5～3.5 mまでカルシア改質土で水中盛土を施し浅場を造成した(図-7)<sup>4)</sup>。

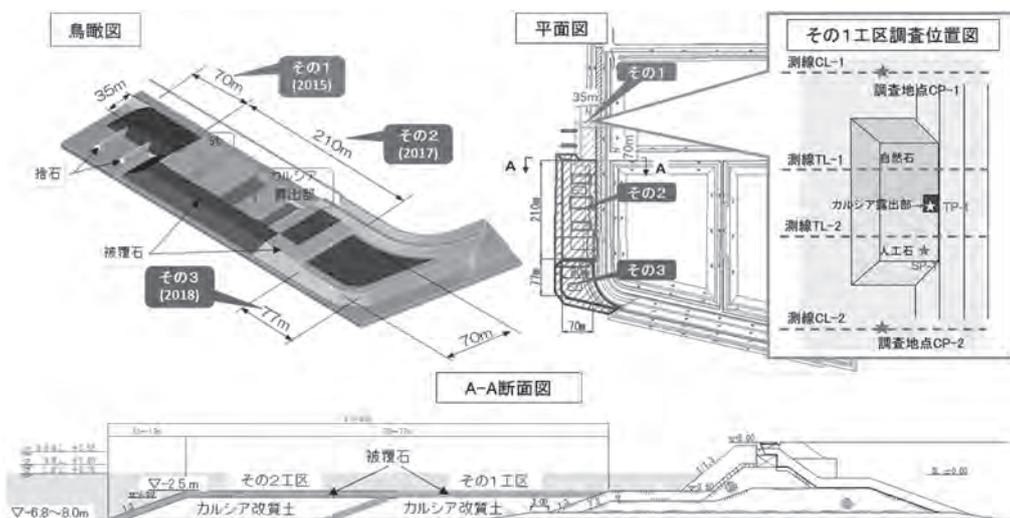


図-7 姫路市網干沖浅場造成の概要図

カルシア改質土による浅場造成の施工フローを図-8に示す。浚渫は、近郊の製鉄所の航路においてグラブ浚渫船で行い、これを土運船に載せて製鉄所岸壁に運搬し、岸壁上に配置した3.0 m<sup>3</sup>級のバックホウで、土運船内の浚渫土とカルシア改質材を混合した。混合後、土運船で運搬した改質土を浅場造成区にグラブで投入し、硬化後にスラグ人工石材等で被覆した。

(b) 造成後のモニタリング調査

浅場マウンドから定期的に改質土を採取して「水底土砂に係る判定基準」34項目の有害物質の溶出試験、直上海水を採取して「人の健康の保護に関する水質環境基準」27項目に関する水質試験を行ったが、全て基準値以下で、周辺環境に対する安全性を確認できた。

その1工区の側線TL-1, TL-2(図-7参照)に沿って浅場造成前と造成後32ヵ月後まで定期的にライン・トランセクト法により、海藻類の潜水目視調査を行った。海藻類の潜水調査の一例として、20ヵ月後の状況について、図-9に側線TL-2の観測スケッチと、写真-4に海藻の繁茂状況を示す。

また、図-10に海藻類の種数と被度の経時変化を示す。浅場造成前の海底部は泥場で海藻は全く存在していなかったが、カルシア改質土と自然石、人工石で嵩上げたTL-1, TL-2では、季節性はあるものの徐々に既設護岸と同様な海藻が着生し始め、20ヵ月経過以降ではケウルシグサやワカメが同様の被度で繁茂した。

また、別途実施した漁獲調査の結果から、浅場造成により、メバル、カサゴ、マアナゴ等の有用魚種の漁



写真-4 藻類の繁茂状況 (20ヶ月後)

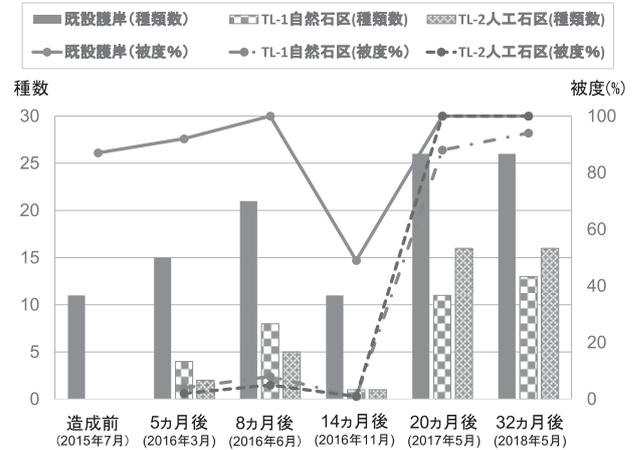


図-10 藻類の種数と被度

獲量の拡大も確認できた。

以上の結果から、カルシア改質土と石材で浅場を造成することにより、長期的にも安定で、環境安全性も満足し、CO<sub>2</sub>の吸収にも寄与できる藻場が形成可能なことを実証できた。

(2) 函館港防波堤背面での浅場造成

函館港では、北海道開発局が大型クルーズ船受入れのための岸壁整備と泊地の増深のための浚渫工事を実

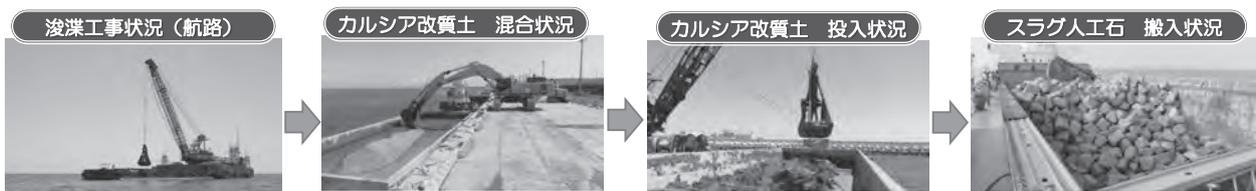


図-8 浅場造成工事フロー

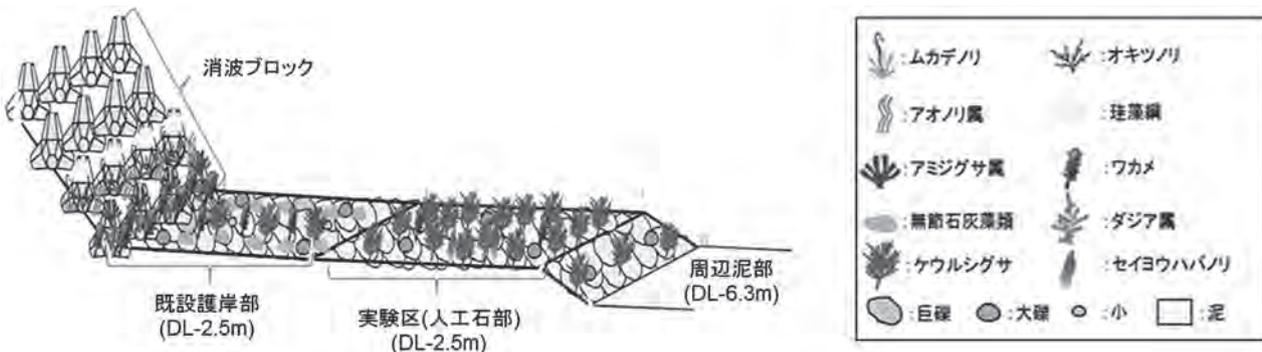
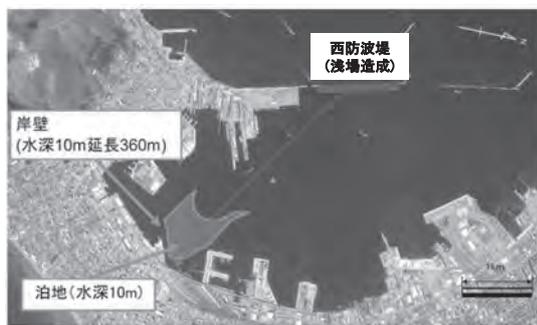


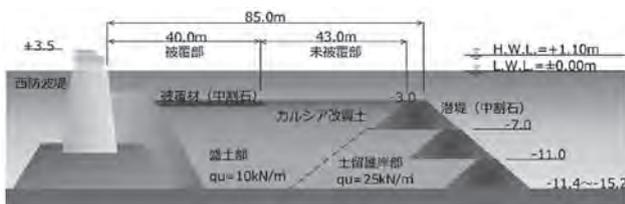
図-9 藻類の繁茂状況のスケッチ TL-2 (人工石区) 20ヶ月後

施中である<sup>5)</sup>(図—11)。函館港では、浚渫土の受入れ場所がないため、約37万m<sup>3</sup>の浚渫土をカルシア改質土に改良して、図—12に示すように、西防波堤背面の海中に8~12mの盛土をして浅場を造成することとなった。これにより、浚渫土の受入れ場所の確保に加えて、防波堤の粘り強い化や藻場の形成等の効果もあり、浚渫土有効利用のパイロット事業として期待されている。

工事は2019年から着手され、岸壁からのバックホウ混合工法で浚渫土をカルシア改質土に改良して水中盛土を造成する工事が進められており、完成時には約6haの浅場が形成される予定である。



図—11 函館港浅場の位置図(文献<sup>5)</sup>より引用)



図—12 西防波堤浅場の概要図(文献<sup>5)</sup>より引用)

#### 4. カルシア浅場造成による脱炭素効果

##### (1) カルシア改質土のCO<sub>2</sub>排出抑制効果

カルシア改質材は、鉄鋼製造工程において副産物として発生する転炉系製鋼スラグの成分・粒度を調整した材料である。このため、製造過程で大量のCO<sub>2</sub>を排出するセメントを使用して改良した場合と比較して、カルシア改質材を使用した場合は、CO<sub>2</sub>の排出を抑制したことになる。

セメント固化処理土とカルシア改質土の使用材料由来のCO<sub>2</sub>排出量を試算した結果を表—1に示す。なお、カルシア改質土の条件として、函館港の浅場造成におけるカルシア改質材の表乾密度2.91g/cm<sup>3</sup>、混合率20vol%を使用した。

カルシア改質土とセメント固化処理土(高炉セメントB種使用、セメント添加量100kg/m<sup>3</sup>と仮定)の

表—1 地盤改良材と改良土のCO<sub>2</sub>排出量の比較

| 項目                       | 単位                                 | セメント<br>固化処理土       | カルシア<br>改質土       |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|
| 地盤改良材                    |                                    | 高炉セメントB種            | カルシア改質材           |
| 添加量                      | kg/m <sup>3</sup>                  | 100                 | 582               |
| 改良材のCO <sub>2</sub> 排出量  | kg-CO <sub>2</sub> /t              | 440.3 <sup>6)</sup> | 2.8 <sup>7)</sup> |
| 改良土のCO <sub>2</sub> 排出量  | kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | 44.0                | 1.63              |
| 函館港浅場CO <sub>2</sub> 排出量 | t-CO <sub>2</sub>                  | 20,254              | 750               |

材料由来のCO<sub>2</sub>排出量を比較すると、1.63kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> ÷ 44.0kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> = 0.04であり、カルシア改質土の使用によりCO<sub>2</sub>排出量を96%削減できる結果となった。

函館港におけるカルシア改質土46万m<sup>3</sup>の浅場造成について、同じ方法でセメント固化処理土を施工したと仮定すると、表—1から20,254-750=19,504t-CO<sub>2</sub>の排出が抑制されたことになる。これは、軽油7,545kl燃焼時のCO<sub>2</sub>排出量(軽油の原単位を2.585t-CO<sub>2</sub>/kl<sup>8)</sup>として計算)や50年生スギ人工林31.3haのCO<sub>2</sub>固定量に相当する(1ha当りのCO<sub>2</sub>貯蔵量を623t-CO<sub>2</sub>として計算<sup>9)</sup>)。

##### (2) 藻場造成によるブルーカーボン(BC)吸収効果

BCとは「海洋生物により隔離、あるいは貯留された炭素」と定義され、2009年国連の環境計画部門(UNEP)等が発行した「BCレポート」の中で、地球上の生物が吸収するCO<sub>2</sub>の内、半分強が海洋で吸収されており、さらにその半分以上は沿岸浅海域の生態系が吸収しているとの見解が示され注目されることになった。

四方を海に囲まれ35,600kmという世界第6位の海岸線を有する日本では、2050年のCN達成のためには、発生するCO<sub>2</sub>の吸収源としてのBCは重要な意味を持つ。そこで、国際的な吸収源評価方法の確立に向けての研究開発が急速に進もうとしており、政府の「グリーン成長戦略」の中にも位置付けられている。

沿岸域の藻場がどの程度のCO<sub>2</sub>を吸収・貯留できるかについては研究中であるが、現在のところでは以下のような評価式が提案されている。

$$\text{炭素吸収量} = \text{吸収係数} \times \text{藻場面積} \quad (1)$$

$$\text{吸収係数} = \text{純1次生産速度} \times \text{残存率} \quad (2)$$

桑江ら<sup>10)</sup>は、浅海生態系の海草や海藻の種類別の

吸収係数の推計法を表一2のように提案している。

これらの数値を用いて、4章で紹介した函館港浅場6haをコンブ藻場にした場合のBC吸収量を試算すると、平均値で61 t-CO<sub>2</sub>/年（最大値214 t-CO<sub>2</sub>/年）、10年間で610～2,140 t-CO<sub>2</sub>のCO<sub>2</sub>吸収が可能と算定できる。

表一2 海藻種類別のBC吸収係数

|      | 純1次生産速度<br>(t-CO <sub>2</sub> /ha/年) |       | 残存率<br>(%) | 吸収係数<br>(t-CO <sub>2</sub> /ha/年) |      |
|------|--------------------------------------|-------|------------|-----------------------------------|------|
|      | 平均値                                  | 上限値   |            | 平均値                               | 上限値  |
| ガラモ場 | 24.0                                 | 44.7  | 11.3       | 2.7                               | 5.1  |
| コンブ場 | 90.8                                 | 318.1 | 11.3       | 10.3                              | 36.0 |
| アラメ場 | 36.9                                 | 69.6  | 11.3       | 4.2                               | 7.9  |

上記の試算では、コンブが枯れて分解されて排出されることを考慮した残存率を11.3%で評価しているが、コンブを刈り取って、工業的に利用する等の方策により残存率を向上させてBC吸収量を増大させることも可能と考えられる。

以上のように、浚渫土をカルシア改質材で改良して防波堤背面等に浅場を造成することによって、一般的な浚渫土改良工法であるセメント改良工法よりもCO<sub>2</sub>排出量を減少できるのみならず、造成した浅場に母藻等移植し、栄養分等を供給して積極的に藻場を形成させることでBCとしてCO<sub>2</sub>を吸収させることが可能になる。また、近年の研究では、浚渫土をカルシア改質土にすることで、浚渫土に含まれる炭素が有機分解されずに封じ込められるとの報告もあり、新たな炭素貯留効果としても期待できる。したがって、カルシア改質土は2050年にCNを目指す地球温暖化対策としても十分に意義があると考えられる。

## 5. おわりに

本稿では浚渫土にカルシア改質材を混合してカルシア改質土として浅場造成等に活用する技術と、施工方法・作業船の概要、実工事への適用事例を紹介するとともに、この技術により、脱炭素社会にも貢献できる

ことを述べた。

全国に100ヶ所以上ある重要港湾のうち、港湾機能の維持・拡大のための浚渫土の処分先が確保できない港湾が多くなってきていることや、老朽化や国土強靱化で防波堤の補強・粘り強い化が求められること、さらには浅場・藻場造成による地球温暖化対策が求められることを考えるとき、本技術を広く全国に普及を図っていく意義は高いと考えられる。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) (一社)沿岸技術研究センター：カルシア改質土利用技術マニュアル、沿岸技術ライブラリー No.47
- 2) 泉総・野中宗一郎・浜谷信介：カルシア改質土バックホウ混合専用バケットを用いた混合作業の効率化について、令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会、VI-66,2021
- 3) 田中裕一・高将真・今村正・渋谷貴志・山越陽介・赤司有三・北野吉幸・菅野浩樹：カルシア改質土による海面埋立、土木学会論文集B3（海洋開発）、vol.70,pp I\_888-I\_893,2014
- 4) 中川雅夫・安藤満・今村均・木曾英滋・眞鍋忠司：カルシア改質土を適用した大規模浅場造成工事の概要とモニタリング調査報告、土木学会論文集B3（海洋開発）、vol.76, No2,pp I\_834-I\_839,2020
- 5) 林誉命・水口陽介・佐々木実歩・早川哲也・寺島貴志・緒方修・山崎啓介・赤司有三：浚渫土砂を活用した防波堤背後盛土の築造、土木学会論文集B3（海洋開発）vol.76, No2, pp I\_546-I\_551,2020
- 6) セメント協会：セメントのLCIデータの概要、2021
- 7) 松永久宏・高木正人・小菊史男：鉄鋼スラグ水和固化体の基本特性と海洋環境下における生物付着性、鉄と鋼、Vol.89, No.4, pp.454-460,2003
- 8) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース（Ver.3.1）、2021
- 9) 関東森林管理局：森林の二酸化炭素吸収力  
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/ibaraki/knowledge/breathing.html>
- 10) 桑江朝比呂・吉田吾郎・堀正和・渡辺健太・棚谷灯子・岡田知也・梅澤有・佐々木淳：浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計、土木学会論文集B2（海岸工学）、vol.75, No1, pp I\_10-I\_20,2019

### 【筆者紹介】

中川 雅夫（なかがわ まさお）  
五洋建設㈱ 土木部門 顧問



田中 裕一（たなか ゆういち）  
五洋建設㈱ 土木部門 環境事業部 専門部長



# ブレード起立装置と自走式台車による風力発電用ブレード輸送

## Goldhofer 社製 ブレード起立装置 FTV550 と 自走式モジュールトレーラー PST/SL-E

梶原 克弘

風力発電用ブレードは、全長が長いだけでなく非常に繊細な製品であるため、これらの輸送において細心の注意を払う必要がある。

また、風力発電の特性上、建設用地への搬入道路は山間地の狭い林道であることが多く、輸送経路に曲線部、勾配、上空支障物等があり困難極まる輸送となる。

本稿で紹介したブレード起立装置(以下、起立装置という)と自走式モジュールトレーラー(以下、自走式台車という)の組み合わせによる風力発電用ブレード輸送は、これらの難題を解決する一助となるだろう。

キーワード：ブレード起立装置、自走式モジュールトレーラー、狭小道路、支障物の回避

### 1. はじめに

起立装置の運用方法として以下の2種類がある。

- ・自走式台車との組み合わせ(写真-1)



写真-1 自走式台車+起立装置での輸送例

ここでは自走式台車との組み合わせによる輸送を紹介したい。

主に風力発電建設用地付近の中継基地からの2次輸送での使用を想定している(図-1)。

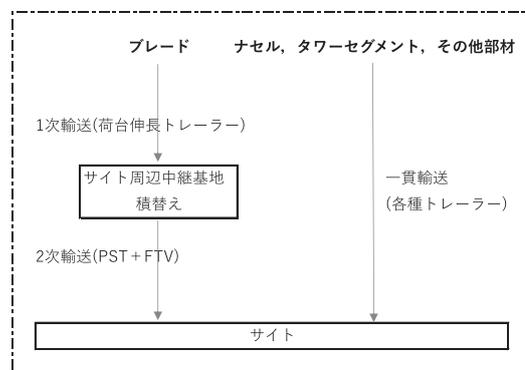


図-1 輸送概略図

- ・被けん引式モジュールトレーラーとの組み合わせ(写真-2)



写真-2 トラクター+被けん引式モジュールトレーラー+起立装置での輸送例(一貫輸送で使用可能な場合もある)

### 2. 製品の概要と特徴

輸送車両は、起立装置と自走式台車およびパワーパックで構成される。

パワーパックから供給される油圧により、自走式台車や起立装置の操作を行う。

4 MW クラス相当のブレード輸送を想定。

許容可能なロードモーメントは 550 mt。

ロードモーメントはブレード重量とその荷重中心位置の距離との掛け算で算出される。

(例えば、重量 20 t・荷重中心の位置 15 m のブレード)

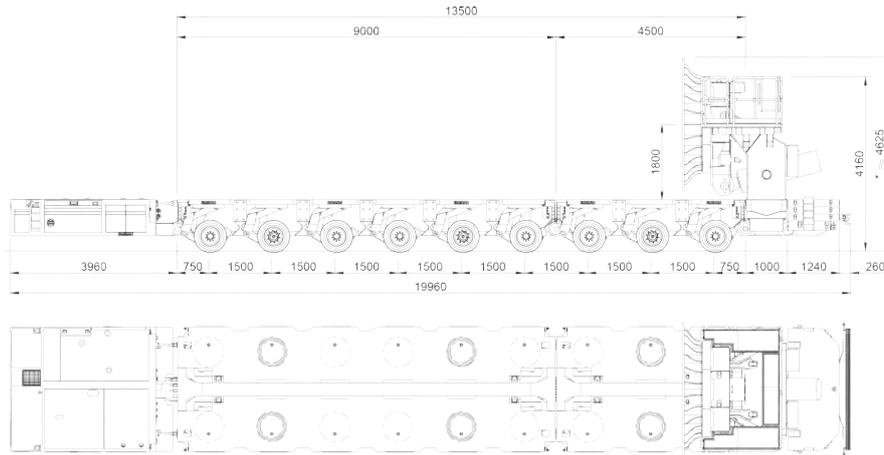


図-2 PST/SL E9+FTV550

表-1 起立装置の主要諸元

|              |              |
|--------------|--------------|
| 重量           | 約 15,700 kg  |
| 積載モーメント      | 550 mt       |
| 起立角度         | 60°          |
| 回転角度         | 360° 無制限     |
| カウンターウエイト 3枚 | 約 4,300 kg/枚 |

表-2 自走式台車の主要諸元

|                    |              |
|--------------------|--------------|
| 全長                 | 約 18,000 mm  |
| 全幅                 | 3,000 mm     |
| 車両重量               | 47,200 kg    |
| 最大積載量 (1 km/h 時)   | 約 357,000 kg |
| 最大積載量 (15 km/h 時)  | 約 210,000 kg |
| 車軸列数               | 9            |
| 油圧駆動車軸列数           | 3            |
| ステアリング角度           | ± 135°       |
| ステアリングシステム         | マルチウエイステアリング |
| 油圧サスペンション<br>ストローク | ± 300 mm     |
| 最高速度               | 15 km/h      |

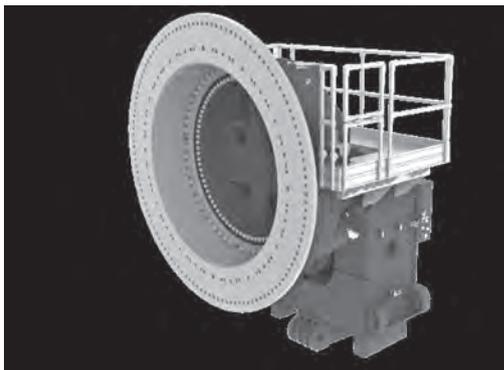


写真-3 起立装置 前面のリングが接続アダプター

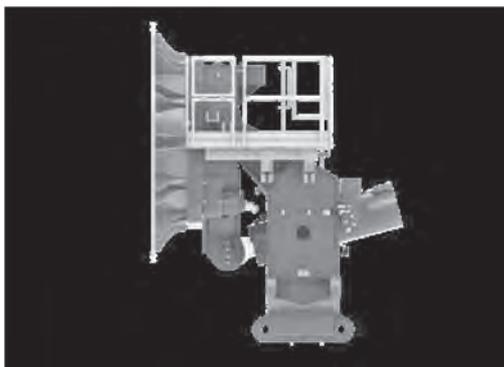


写真-4 起立装置 (側面)

で複数のブレードに対応可能)

ブレードのサイズや重量、および輸送経路の状況に適した自走式台車を編成し、安全かつ合理的に輸送を行う。

ブレードの起立や回転の操作により、ブレードが輸送経路へ及ぼす影響の範囲を変化させ、経路周辺の樹木や電線等の支障物の回避や狭小曲線部の走行を行う(写真-5, 6, 図-3)。

起立装置には起立と回転の機能があるが、左右への旋回機能はない。

一方、起立装置と組み合わせる自走式台車は、マルチウエイステアリング機能により、様々なステアリング操作が可能である(図-4)。

これらの複合操作により、急カーブが多い山間地の林道等での輸送を行う。

自走式台車は、パワーバックから供給される油圧による油圧モーター駆動で走行するため、最高速度が15 km/hと一般的な車両と比較してかなりの低速である。

また、現場での実稼働時は概ね0.5～1 km/h程度の車速で走行するため、建設サイト付近の2次輸送での使用に適していると言える。

ドの場合、 $20 \times 15 = 300$  mtとなる)

ブレードは、交換可能な接続アダプターを介して起立装置本体へ接続するため、様々な種類のブレードを輸送することが可能である。(一つの接続アダプター



写真一5 ブレードを起立させることで平面上の全長を短縮する



写真一6 ブレードを伏せることで上空の支障物を回避する

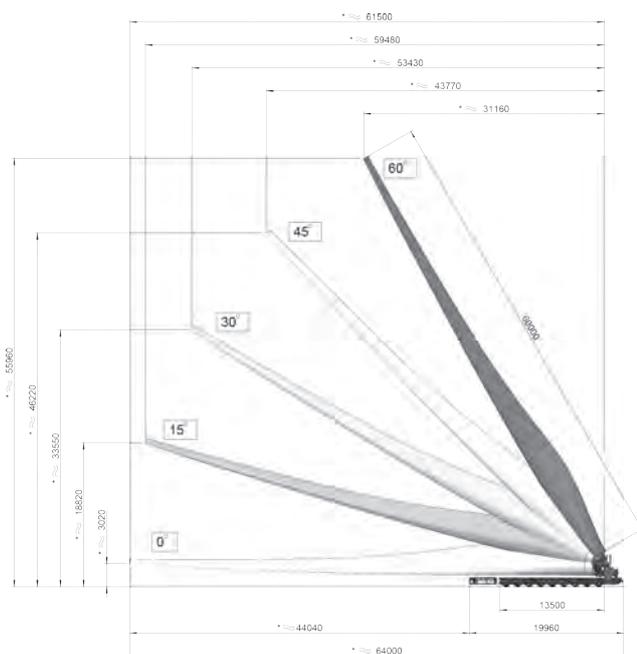


図-3 FTV ブレード起立角度

他のメーカーには、左右への旋回機能を備えより細かい支障物回避動作が可能なブレード起立装置もあるが、旋回機能を使用する場面では、ロードモーメントが下落する一面もある。

(例：通常時 650 mt 旋回時 350 mt)

許容ロードモーメントの維持と横方向の安定性を確保した運用のため、当該メーカーとしては自走式台車のカルーセルステアリングモードでの支障物回避操作を推奨している (図一5)。

現在日本国内では、300 mt、500 mt、550 mt の起立装置が稼働しているが、発電能力の増大に伴うブレードの長大化を見据え、850 mt クラスの起立装置を開発しており、国内導入が待たれるところである。

長大化したブレードを安全に輸送するため、組み合わせる自走式台車の車軸数の増加や、モジュールの横連結による車幅の拡幅等で、より安定性を高める運用方法を提案できる。

### 3. 起立装置の操作

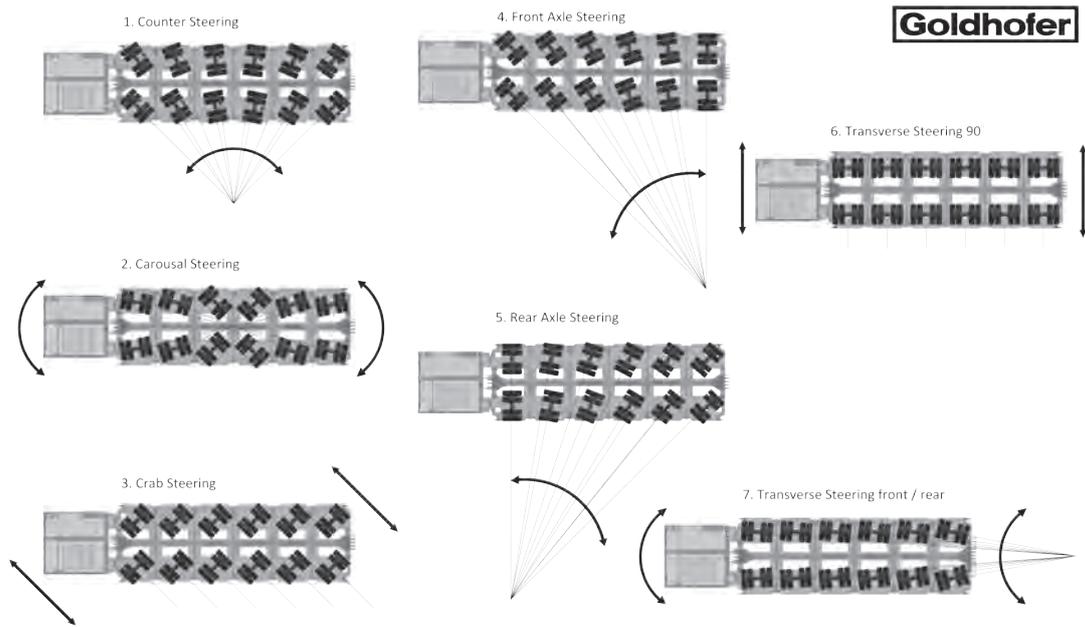
- ・輸送状況によっては、組み合わせる自走台車の安定性や駆動車軸の軸重確保のため、自走台車の荷台上に追加バラストを積載する必要がある。
- ・ブレードの種類や輸送経路の状況によっては、安全面の観点から最大起立角度 60° の操作をしない方が良い場合がある。
- ・ブレードの回転や風の影響でブレードの重心位置が変動することがあり、操作する上でこれらの変異値を常時観察する必要がある。
- ・ブレードの輸送開始前に現地の信頼できる天気予報データを収集することや、風速計を連続的に観察しながら作業を進めることが重要となる。

つまり、安全な運行を行うためには、低重心で自走台車の足元をしっかりと安定させ、周辺環境の変化に細心の注意を払いながら操作しなければならない。

### 4. 自走式台車の活用

自走式台車は、複数のステアリングモードによる急カーブの走行や支障物の回避等、繊細な操作が可能である。(前述、図一4のステアリングモードを参照)

また、起立装置を分離すると広く平らな荷台を利用可能なので、下の画像のようなタワーセグメントやナセルの2次輸送だけでなく、大型クローラークレーンを建設サイト間で移動させる時の重量部材輸送にも活用可能である (写真一7)。



Main steering modes  
PST/SL-E - PST/ES-E

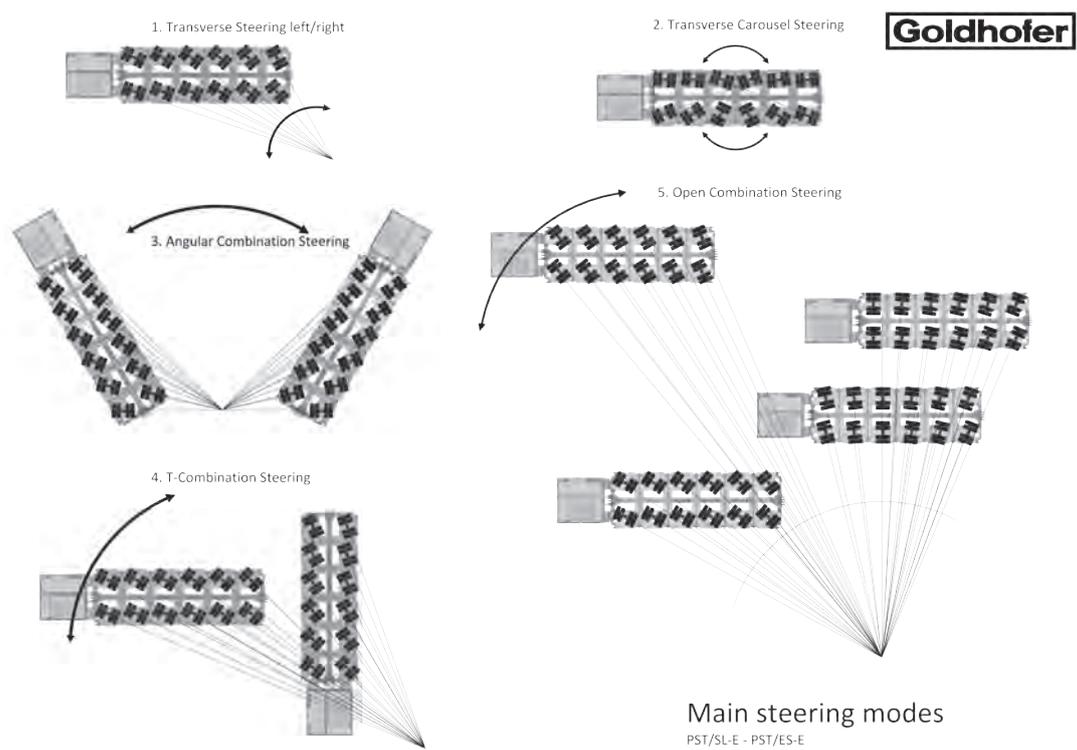


図-4 Steering modes PST-E

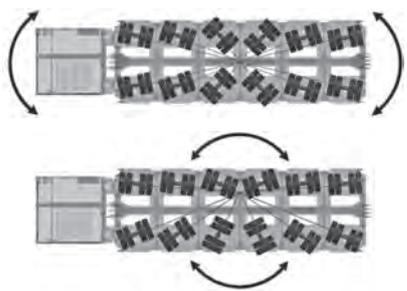


図-5 カルセルステアリング

5. おわりに

起立装置 FTV はブレード輸送での用途に限られるが、自走式台車 PST/SL-E は風力発電建設現場において様々な用途での運用が可能である。

- ・長尺重量物の輸送
- ・クレーンの大型コンポーネント輸送
- ・狭小曲線路の走行



写真一七 タワーセグメントの輸送例

- ・ 繊細なステアリング操作
- ・ 複数台での連携操作

JCM/A

これらの運用にあたっては、安定性や安全の確保のため、様々な情報収集やシミュレーションソフトによる技術的な検討を行い、卓越したオペレーション技術で対応することが重要である。

一般的にあまり目に付かない場所での稼働が多い車両ではあるが、特殊重量物の輸送において非常に重要な役割を担う車両なので、実際に工事や輸送で使用を検討される方々はもちろんのこと、読者各位に興味を持っていただければ幸いである。



【筆者紹介】

梶原 克弘 (かじはら かつひろ)  
伊藤忠 TC 建機株  
建機・仮設第二事業部 大阪支店  
支店長代行

# プラズマ式イオン乾燥技術の開発による資源循環型事業の展開

## プラズマ式イオン・活性酸素種等発生装置 (MIRA (MixedIonReactiveApproach) システム) の概要とその展開

宮 崎 龍 司・鈴 木 尊

筆者らは、プラズマ式イオン・活性酸素種等発生装置 (MIRA システム-MixedIonReactive ApproachSystem) を活用し、食物残渣等の廃棄物をバイオマスプラスチック等の有価物に変換する資源循環型事業を実現し、SDGs や ESG 経営の実現に貢献することを目的とした新会社を設立した。本稿では、MIRA システムを使用した極低エネルギープラズマ式イオン乾燥機による乾燥技術の概要と、その技術を活用した事業展開について紹介する。

キーワード：脱炭素化、CO<sub>2</sub>、乾燥、バイオマス、建設材料

### 1. はじめに

2015年9月の国連サミットで持続可能な開発目標 (SDGs: Sustainable Development Goals) が採択された。これは、2030年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標として、17のゴール・169のターゲットから構成され、「地球上の誰一人取り残さない (leave no one behind)」ために必要な行動の基準を明らかにしたものである。

この目標のうち、「13 気候変動に具体的な対策を」への対応として、近年異常気象による災害が多発している我が国においても、脱炭素や環境保全を目的とした様々な政策が検討、立案あるいは実施中であり、2021年6月に改訂されたコーポレートガバナンスコードでは、プライム市場上場会社に、TCFD (または同等の枠組み) に基づく開示の質と量の充実 (補充原則 3-1 ③) が求められるなど、社会基盤となる大企業に対しては、これまでより一段高い自然環境の保護や気候変動への具体的な対応が求められる状況となっている。

こうした環境下において、従来の熱源乾燥技術と比べて極めて少ないエネルギーで品質を劣化 (酸化・炭化) させずに乾燥対象物を乾燥する乾燥機を開発し、更にその技術を利用した資源循環型事業を行うことで、SDGs の達成を目的とする新会社を設立した。

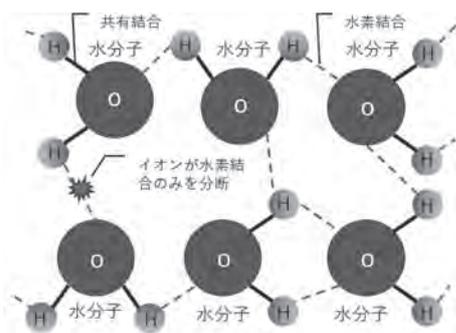
### 2. MIRA システム及びレドックスマスター乾燥機の概要

本乾燥機は、極低エネルギープラズマ式イオン・活性酸素種等発生装置 (MIRA システム) が発生させる複数種のイオン・活性酸素種により、水どうしの水素結合を分断して低クラスター化することにより乾燥促進を行う乾燥システムである。従来の熱源乾燥機と異なり 20℃～60℃程度の低温で処理するので、乾燥のために必要なエネルギー量が極めて低く、そのため処理コストも大幅に低減可能となる。(写真-1)

乾燥の仕組みは、MIRA システムを搭載したプラズマエンジンにより生成されたイオンを連続照射することにより、乾燥対象物に含まれる水分子に励起状態を惹き起こして、その水分子間の水素結合を分断・低クラスター化し、その結果、乾燥槽内に浮遊した水分子をサクシオンファンで機外に排出するというものである。図-1に、水素結合およびその分断の概念図を、



写真-1 プラズマ式イオン乾燥機全景 (RM22-16000 型×2 台、自動投入排出装置付)



図一 水分子 (H<sub>2</sub>O) の水素結合の概念図



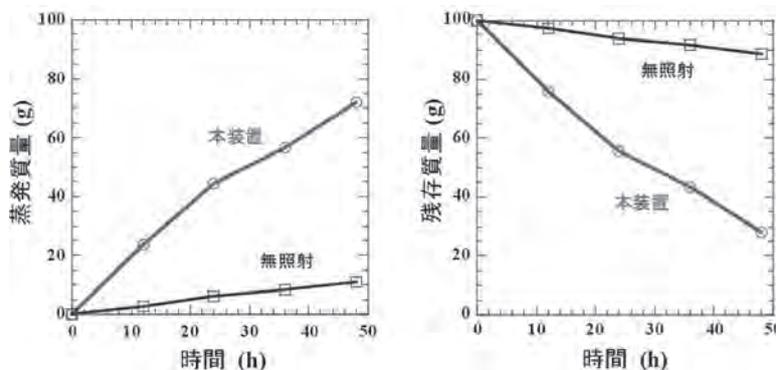
写真一 MIRA システムを搭載したプラズマイオンエンジン (輸出用・GLT 社製)

写真一に、本システムを搭載したプラズマイオンエンジンの外観を示す。

図一は、本技術開発時のプラズマイオン照射の有無に関する実験結果である。実験の概要は、2つの容器に水を100gずつ入れ、イオン射出口と水面の距離を5cm、10cm及び20cmとしてテスト用小型MIRAモジュール(消費電力0.1Wh以下)をセットした。発熱・加熱なし、送風なし、室温約25℃の条件下で、本装置において生成された各種イオンを、水100gに照射し、12時間ごとに48時間経過時まで残存質量を計測することにより、水の蒸発量を求め、乾燥促進能力を評価した。本装置の乾燥促進能力の高さが示されている(特許第6703671号他、関連特許取得済)。

### 3. プラズマ式イオン乾燥機的主要性能

本乾燥機では、MIRAシステムを搭載したプラズマエンジンを複数設置し、これにより生成されたイオンの乾燥促進効果を最大限発揮させるため、16,000Lの大型乾燥槽(RM-16000型汎用機の場合)に乾燥



図一 技術開発時のベンチテスト結果

表一 本乾燥機 基本スペック (RM-16000A 型)

|               |   |
|---------------|---|
| 型式            | RM16000A 型(野菜・果物・炭水化物・たんぱく質対応・バドル式)                               |
| 標準処理能力        | 2000kg~7000kg/日<推奨>   |
| 電源・消費電力       | 3相 200V・50/60Hz<br>15kw/時(定格)・約8kw~12kw/時(実測)                     |
| 減質量率          | 約60~約99%  |
| 機器サイズ・乾燥重量    | 幅6058×奥行2438×高さ2591(mm)・槽容量16000ℓ・乾燥重量約7トン                        |
| ランニングコスト      | 電気代:1日5トン処理の場合で概ね1日2000円~4000円(地域等による)                            |
| (1日5トン処理)     | 保温コスト:廃熱利用を推奨。ボイラー利用の場合、1日2000円~8000円程度                           |
| 使用可能温度範囲・設置場所 | -10度~50度(室温)/30℃~80℃(品温)/屋内設置推奨/<br>排気ダクトに接続/自動投入&排出可(オプション)      |
| 臭気            | 処理物の成分臭(脱臭能力有)  |
| ユーザーメンテナンス    | 1日~半年毎に処理済み資源取り出し(残存量最大10000Kg)<br>フィルター掃除(毎日~週一度程度)・1年毎の機械メンテナンス |

対象物を投入して密閉し、槽内で攪拌をしながら乾燥を行う装置である。その基本性能は表—1のとおり。

また、2021年6月に稼働を開始した群馬県の実機での乾燥実績数値の一例を示せば図—3のとおりである。

【乾燥条件および結果】

|       |                |             |
|-------|----------------|-------------|
| 処理日時  | 2021年6月15日～16日 |             |
| 乾燥対象物 | コーヒー豆粕（飲料製造残渣） |             |
| 総処理時間 | 17.5時間         |             |
| 対象重量  | 投入時 4.162 t    | 完了時 1.568 t |
| 含水率   | 投入時 68.0%      | 完了時 15.0%   |
| 消費電力  | 時間あたり 11.3 kWh |             |
|       | 総消費量 194.9 kW  |             |

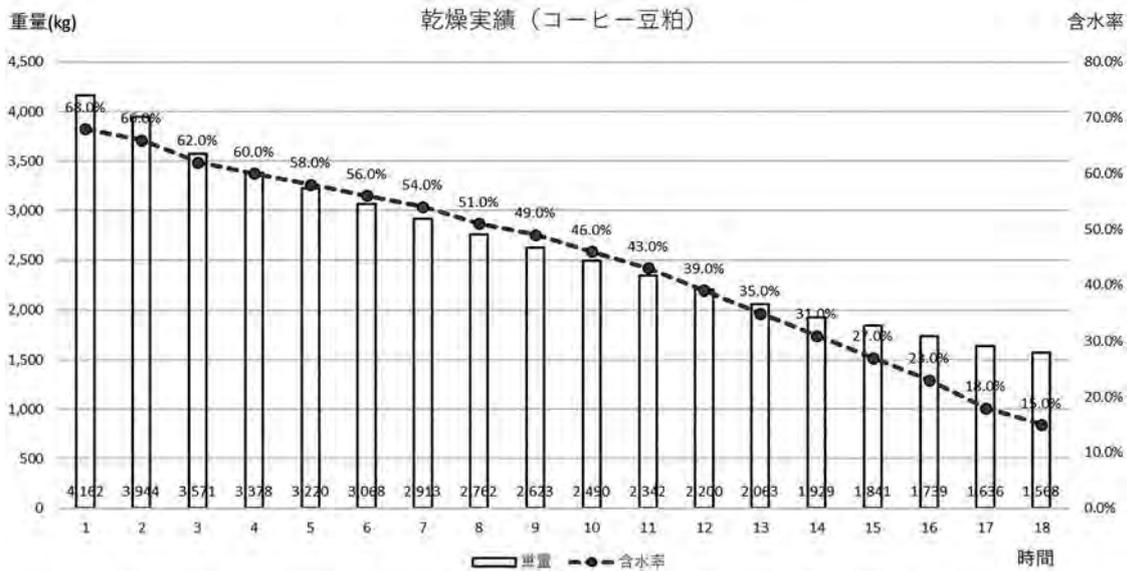
必要蒸気圧 0.05 Mpa（気化熱による温度低下を避けるため既存蒸気を供給）

平均槽内温度 58.1℃

（図—3）

4. プラズマ式イオン乾燥機による資源循環型事業の創出

本乾燥機は低温で乾燥を行うため、重油やガスなどを燃焼させて高温で乾燥を行う従来の熱源式の乾燥機と比較して、有機系乾燥対象物の多くは酸化・炭化をせずにその品質を保持することができる。酸化・炭化をしていない有機系乾燥対象物（食品残渣等）は、バ



図—3 実機による乾燥状態の推移

1. バイナル&リンゴ（約3:1）

| 項目     | 内容        |
|--------|-----------|
| 試験日    | 2021.2.10 |
| 投入数量   | 151.8kg   |
| 投入時含水率 | 83.0%     |
| 乾燥後数量  | 26.9kg    |
| 乾燥後含水率 | 8.0%      |
| 乾燥時間   | 25時間30分   |
| 減容量    | 124.9kg   |
| 減容量率   | 82.3%     |

| 成分                              | TON  | 水分   | 粗繊維  | 粗灰分  | 粗脂肪   | 粗糖類   | 可溶性糖質 |
|---------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| バイナル&リンゴ                        | 6.09 | 5.48 | 2.90 | 2.05 | 16.45 | 67.03 |       |
| 日本標準飼料成分表 (2009年度) バイナル&リンゴ (乾) | 52.0 | 12.3 | 4.1  | 3.6  | 12.1  | 18.1  | 58.8  |



2. コウモリ&人参（約1:1）

| 項目     | 内容        |
|--------|-----------|
| 試験日    | 2021.2.11 |
| 投入数量   | 150.1kg   |
| 投入時含水率 | 82.0%     |
| 乾燥後数量  | 29.3kg    |
| 乾燥後含水率 | 9.8%      |
| 乾燥時間   | 20時間30分   |
| 減容量    | 120.8kg   |
| 減容量率   | 80.5%     |

| 成分                 | TON  | 水分    | 粗繊維  | 粗灰分  | 粗脂肪   | 粗糖類   | 可溶性糖質 |
|--------------------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| コウモリ&人参            | 9.36 | 13.74 | 5.83 | 3.12 | 16.19 | 51.36 |       |
| 日本標準飼料成分表 (2009年度) | 未登録  |       |      |      |       |       |       |



3. カボチャ&人参（約7:3）

| 項目     | 内容       |
|--------|----------|
| 試験日    | 2021.2.8 |
| 投入数量   | 200.3kg  |
| 投入時含水率 | 83.0%    |
| 乾燥後数量  | 39.4kg   |
| 乾燥後含水率 | 13.3%    |
| 乾燥時間   | 19時間10分  |
| 減容量    | 160.9kg  |
| 減容量率   | 80.3%    |

| 成分                 | TON  | 水分    | 粗繊維  | 粗灰分  | 粗脂肪   | 粗糖類   | 可溶性糖質 |
|--------------------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| カボチャ&人参            | 9.50 | 14.68 | 6.37 | 5.99 | 13.93 | 49.53 |       |
| 日本標準飼料成分表 (2009年度) | 未登録  |       |      |      |       |       |       |



4. ポテト皮（ジャガイモの皮）

| 項目     | 内容        |
|--------|-----------|
| 試験日    | 2021.2.12 |
| 投入数量   | 103.7kg   |
| 投入時含水率 | 85.0%     |
| 乾燥後数量  | 18.1kg    |
| 乾燥後含水率 | 24.3%     |
| 乾燥時間   | 23時間30分?  |
| 減容量    | 85.6kg    |
| 減容量率   | 82.5%     |

| 成分                          | TON   | 水分   | 粗繊維  | 粗灰分  | 粗脂肪 | 粗糖類   | 可溶性糖質 |
|-----------------------------|-------|------|------|------|-----|-------|-------|
| ポテト皮                        | 21.22 | 9.11 | 5.51 | 0.76 | 3.9 | 59.50 |       |
| 日本標準飼料成分表 (2009年度) ポテト皮 (乾) | 80.1  | 13.4 | 5.5  | 2.0  | 0.4 | 13.8  | 64.8  |



図—4 家畜用飼料乾燥試験結果

イオマスプラスチック原料や図-4に示すように家畜用飼料として利用可能である。

また、開発した技術の市場展開にあたり、単純に乾燥機としてのみ上市してもその特性の理解や市場浸透には相応の時間を要するものと思われ、有効な用途開発がなされるかどうか心配された。よって、この特性を利用し、従来から社会問題化しているフードロス、プラスチック汚染、GHG排出量の削減、資源循環型社会の構築等の諸問題を解決する一策として、本乾燥機を単純に上市するのではなく、バイオマスプラスチック原料や家畜用飼料の製造・販売を行い、有効な用途開発を進めつつ市場の理解を深めたい。よって本乾燥機の販売を行う事業会社を設立し、その事業価値を最大化する施策をとることとした。

事業化にあたっては、原料の供給から製品の利用・

消費が可能な企業が出資を行い、それらの連携により、一定の取引量が確保できることを実現した。有効活用モデルの例を図-5に示す。

また、本プロジェクトによる製品事例を写真-3に示す。

### 5. 今後の技術開発と事業展開の方向性

MIRAシステムを利用した極低エネルギー・低温乾燥技術は、前述の食品残渣のみならず様々なものを乾燥させることができるため、国内外の幅広い業種・業態における様々な分野での活用が期待される。今後は建設分野も含め、更なる技術開発・用途開発を行い、新たな資源循環社会の構築に貢献していきたい。以下に、検討中の技術・製品開発分野、事業開発分野を示す。

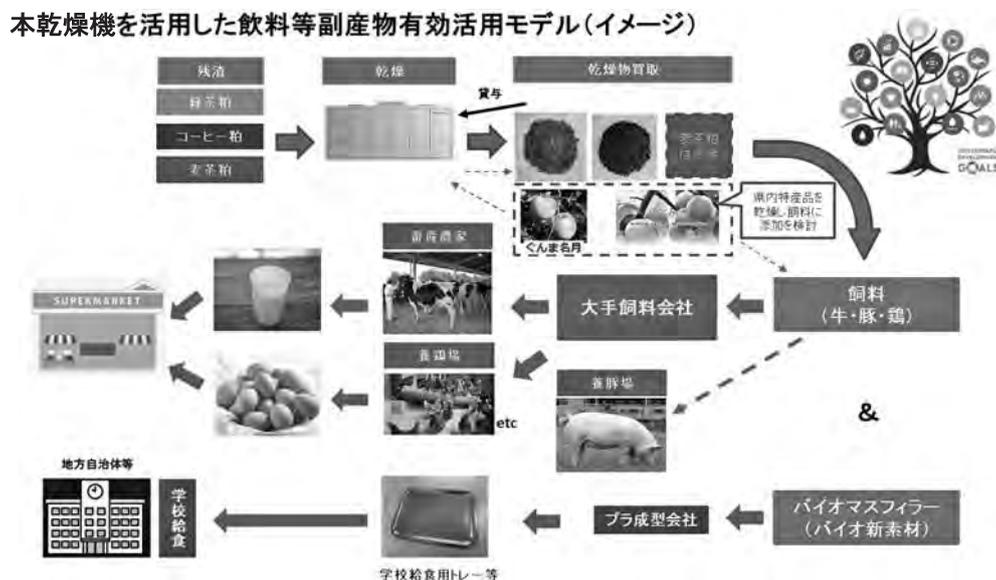


図-5 有効活用モデル

### 本プロジェクトの技術を活用して作られた成形製品の代表例

2021年8月上市予定のバイオ100%、95%、50%の緑茶殻ベースのマスターバッチ。バイオ100%で単体利用も可能なプラスチック用原材料。



2021年4月上市のレンタルパレット。当社製バイオマス原料10%配合。石油由来パレット比で、CO2約39%削減。再リサイクルも行う。



大手DIY店舗で販売中のファンター、JAアオレンで製造されたリングジュースの絞り粕を利用して製造された各種ケース、トレー

写真-3 バイオマスプラスチック原料(マスターバッチ)と成形製品の事例

- ・建設資材のバイオマスプラスチック化
- ・循環型バイオマス由来建材の開発
- ・メタン発酵消化液の減容化と乾燥残渣の有効活用
- ・バイオマスガス化発電燃料の製造
- ・食品残渣の効率的収集とメタン発酵バイオマスガス発電の効率化
- ・浚渫汚泥の脱臭・乾燥処理
- ・穀物など食材・食品の乾燥処理
- ・化粧品素材・医薬品素材の乾燥処理
- ・高分子吸収体の乾燥リサイクル
- ・プラスチック原料の予備乾燥効率化
- ・自動車ボディ等の塗装乾燥の効率化
- ・食品飲料等のエイジングへの応用
- ・低クラスター化冷凍技術への応用－体外受精卵保存
- ・プラズマ医療科学（がん治療）への応用

JCM A

## 《参考文献》

グレンカル・シナリー(株) ウェブページ  
[\(https://www.glencalsenary.com/\)](https://www.glencalsenary.com/)

## 【筆者紹介】



宮崎 龍司（みやさき りゅうじ）  
 鉄建建設(株) 経営企画本部 新事業推進室長、  
 グレンカル・シナリー(株) 取締役



鈴木 尊（すずき たける）  
 鉄建建設(株) 経営企画本部 広報部長、  
 元グレンカル・シナリー(株) 執行役員



# バッテリー駆動式ミニショベルの開発

## PC30E-5

永 嶋 芳 明・野 村 真・広 田 崇

近年、各地で熱波や集中豪雨、冷夏、暖冬などの異常気象が原因と思われる自然災害が多くなってきており、これらは石炭や石油などの化石燃料を燃やしエネルギーに変換する際に発生するCO<sub>2</sub>による地球温暖化の影響と考えられている。

建設業界でも環境に対する関心が高まってきており、建機の稼働中のCO<sub>2</sub>排出量低減が求められている。また、住宅地や屋内で稼働することが主流であるミニショベルのユーザからは排気ガスや騒音の問題改善を求める声も多い。

本稿ではこれまで培ってきたハイブリッド建機やバッテリーフォークリフトの技術をベースに、エンジン式ミニショベルと同等の掘削性能を発揮しつつ、使用中のCO<sub>2</sub>排出量の低減を可能とし、排気ガス“ゼロ”や騒音の大幅低減を実現した電動式ミニショベル「PC30E-5」（以下「バッテリー駆動式ミニショベル」という）を開発し、2020年春に市場導入したのでその概要をここに報告する。

キーワード：ゼロエミッション、排気ガス、排熱、騒音、バッテリー駆動式ミニショベル、環境、安全

### 1. はじめに

政府は温室効果ガス排出量を2030年度までに2013年度比で46%以上削減する目標を打ち出し、私たちの生活も脱炭素社会に向けた活動が浸透し始め、再生可能エネルギーを活用し、排気ガスの発生が少ない電気自動車やハイブリッド自動車へ徐々にシフトするなど生活環境が変化している。

建設業界においても、ユーザの環境に関する意識は高く、建機のライフサイクルでのCO<sub>2</sub>排出量の大半を占める、現場での稼働中のCO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。

また、ミニショベルは公園や住宅地、管工事など、私たちが日常生活している環境の周辺で稼働することが主である。動作している車両のすぐそばに別の作業員がいるような状況もよく見られる。そのため、排ガス、騒音、排熱の発生は「周辺住民からの苦情」や「健康被害」の原因になりやすく、ユーザや車両メーカーにとって長年の課題でもあった。

本稿で紹介するバッテリー駆動式ミニショベルは、ハイブリッド式油圧ショベルやバッテリーフォークリフトで培われた技術をベースとしたクリーンで静寂性に優れた電動式ミニショベルである（図-1）。更に再生可能エネルギーなどの電源を組み合わせ使用すこ

とで、ライフサイクルでのCO<sub>2</sub>排出量を大幅に低減可能である。また、“排気ガスゼロ”や騒音・排熱の低減を実現することで作業現場の安全性・環境を改善するだけでなく、オペレータのストレス低減にもつながる。



図-1 バッテリー駆動式ミニショベル

### 2. 車両の概要と特長

#### (1) 車両概要（表-1）

本稿バッテリー駆動式ミニショベルはエンジン式ミニショベルPC30MR-5（以降、エンジン式ミニショベルという）をベースに、内燃装置を電動モータに置き換え、燃料をイメージメンテナンスバッテリーに置き換えた車体で構成されており、油圧システムは従来機と同じ

構成にすることにより、従来機と遜色のない操作性と作業性や耐水性を実現し、より優れた耐塵性を実現した。

車体を駆動するイー ジメンテ ナンス バッテリ はシー ル式鉛電池である。

表一 1 主な仕様

| 項目      | 単位  | バッテリー駆動式<br>ミニショベル |
|---------|-----|--------------------|
| 全長      | mm  | 4,950              |
| 全幅      | mm  | 1,740              |
| 全高      | mm  | 2,580              |
| 機械質量    | kg  | 4,730              |
| 後端旋回半径  | mm  | 1,420              |
| モータ出力   | kW  | 18.2               |
| バッテリー容量 | kWh | 36                 |

(2) 特長

(a) 環境対応

- ①作業現場での排気ガス“ゼロ”
- ②車体/周囲騒音を大幅低減
- ③排熱低減

(b) 作業性

- ①エンジン式ミニショベルと遜色ない作業性
- ②稼働現場に合わせた2タイプの充電方式
  - ・車載式普通充電器
  - ・可搬式急速充電器

(c) 安全性・信頼性

- ①信頼性に優れた高電圧変換コンポーネント
- ②イー ジメンテ ナンス バッテリ
- ③充電プラグの二重監視
- ④防水性・耐水性

(d) 整備性

- ①高電圧部を完全分離
- ②日常点検、定期メンテナンスを大幅削減

3. 主要性能

(1) 環境対応

エンジン式ミニショベルが化石燃料を動力源とするエンジンをういて油圧ポンプを駆動しているのに対し、電気駆動の永久磁石モータにより油圧ポンプを駆動している。この電動モータは、ハイブリッドショベルの旋回モータをベースとして開発したものである。

この電動モータは、バッテリーの電力を電力変換する装置であるインバータによって、その回転数・トルクを制御している(図一2)。本インバータも電動モータ



図一2 インバータ/電動モータ

と同様、ハイブリッドショベルの技術を応用した社内開発品である。

(a) 作業現場での排気ガス“ゼロ”

本稿バッテリー駆動式ミニショベルが稼働時に消費する電力を生成する際に発生するCO<sub>2</sub>排出量は同クラスのエンジン式ミニショベルに比べ約40%低減される(表一2)。脱炭素社会に貢献するだけでなく、バッテリー駆動式ミニショベルは、電動モータ駆動のため、稼働時に車両から排出されるガスが“ゼロ”になる。稼働時の排気ガス“ゼロ”は、クリーンな作業環境を作り出すことができ、換気が必要な密室作業や車両周辺の人手作業員の健康被害の防止に役立ち、現場の負担が軽減される。

表一2 排出ガスの比較

| 項目                           | バッテリー駆動式<br>ミニショベル | エンジン式<br>ミニショベル              |
|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 規制(出力区分)                     | -                  | 国土交通省<br>排ガス3次規制<br>(8~19kW) |
| Nox(窒素酸化物)<br>NMHC(非チタン酸化水素) | 0                  | 7.5<br>(Nox + NMHC)          |
| CO(一酸化炭素)                    | 0                  | 5.0                          |
| PM(粒子状物質)                    | 0                  | 0.4                          |
| ディーゼル黒煙                      | 0                  | 40%                          |

CO<sub>2</sub> 排出量：40%減(令和2年の排出係数で算出)

(b) 車体/周囲騒音を大幅低減

エンジンに代わり電動モータを搭載したことで、エンジンによる騒音がなく、圧倒的に騒音を低減した。

油圧システムは変更していないため、オペレータに聞こえるポンプリリーフ時の騒音は同レベルであるが、作業時で4dB、アイドリング時で6dB以上低減した。これは大声で話す必要があったレベルから普通

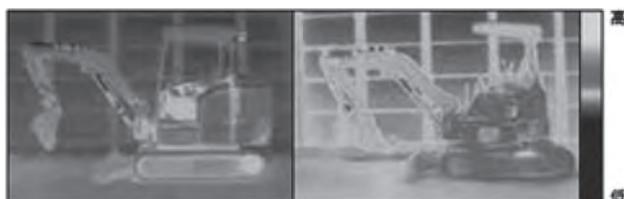
の声で話せるレベルに匹敵し、オペレータの作業環境は大幅に改善される。また車体周囲の騒音も約5dB低減され、場所によっては13dBもの差があり、40mほど離れると静寂な住宅地の昼間と同等の騒音になり稼働していることがわからないレベルになる。

(c) 排熱低減

ミニショベルは車体を小さくするため、一番の熱源であるエンジンを運転席下に配置する構造であり、運転席が窓ガラスなどで囲われていないキャノピーが主流である。そのためオペレータは熱の影響を受けやすく作業中のストレスがかかりやすかった。これに対し、本稿バッテリー駆動式ミニショベルは電動モータで油圧ポンプを動作させているため発熱量が少なく運転席や車両周辺の熱の影響が小さくなる。

図-3はバッテリー駆動式ミニショベルとエンジン式ミニショベルを外気温10℃で一定時間同一作業したときの状況である。

エンジン式ミニショベルは車両全体の温度が高いだけでなく周囲温度までも上昇させてしまうが、バッテリー駆動式ミニショベルの排熱が少ないことは明確である。



バッテリー駆動式ミニショベル エンジン式ミニショベル

図-3 排熱比較

(2) 作業性

(a) エンジン式ミニショベルと遜色ない作業性

本稿バッテリー駆動式ミニショベルはエンジン式ミニショベルと同じ油圧システムを、エンジンではなく電動モータで駆動している。制御系については、エンジン式ミニショベルでは、「車体コントローラ」と「エンジンコントローラ」でポンプ制御とエンジン制御を実現していた。バッテリー駆動式ミニショベルでは、「エンジンコントローラ」の代わりに、高電圧系を制御する「電気コントローラ」と電動モータを制御する「インバータコントローラ」を設けて同等の作業性を実現した。運転操作もエンジン式ミニショベルと変わらない。

「作業モード選択」によって長時間稼働とパワフルな作業を選択することができる。また作業機レバー中立時に電動モータ回転数を自動的に低減する「オートデセル」機能や、設定した時間ロックレバーがロック

状態になると自動的に電動モータが停止する「オートアイドリングストップ」機能を備えており、消費電力の低減をはかることができる。

(b) 稼働現場に合わせた2タイプの充電方式

夜間などの休車中に時間をかけてバッテリーを満充電にする普通充電と、稼働時間の長い現場などで昼休みなどの休憩時間に短時間でバッテリー容量の80%まで回復できる急速充電を用意した(図-4)。



図-4 充電パターン

普通充電は、家庭用の单相200Vを電源とし、車載の普通充電器で充電する。急速充電は、電気自動車用で一般的なCHAdeMO(※1)方式を採用した(写真-1)。

普通充電、急速充電とも電気自動車と同様の操作で充電を開始することができる。

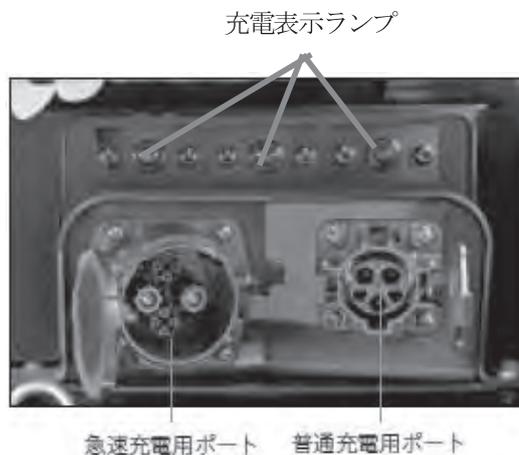


写真-1 充電ポート

①車載式普通充電器

家庭用電源からの充電を可能とし、安全に充電制御を実施するための特許を出願中であり、定電流充電および定電力充電を行うことを可能とした。

自社で設計した力率改善回路とDC/DCコンバータの二段構成としており、EN61204-3の欧州EMC規格にも適合させている。

力率改善回路は、普通充電器を高調波イミュニティ規制へ適合させ、DC/DCコンバータは、バッテリーの幅広い電圧範囲にて電流・電圧制御を可能とした。

また、系統の電力異常に対して、フィードフォワード制御を採用することで、充電品質のロバスト性を高めた。

## ②可搬式急速充電器

バッテリーの消費量はその日の使用頻度や作業負荷によってかわるため、フル充電状態で稼働し始めてもバッテリー切れによる不安はつきものである。そのような不安を払拭するため、昼休みや休憩時間を活用して充電が行える急速充電タイプを準備した。

電気自動車用の急速充電器はサービスエリアや商業施設駐車場などに設置してあることが普通であるが、ミニショベルの稼働現場は日々移動するため車両とともに移動可能な可搬式急速充電器を準備した。充電時の電力を 20 kW 以下にすることにより充電器の固定を不要にした（写真—2）。



写真—2 可搬式急速充電器

※ 1 CHAdeMO は CHAdeMO 協議会の登録商標

## (3) 安全性・信頼性

### (a) 信頼性に優れたパワーデリバリユニット

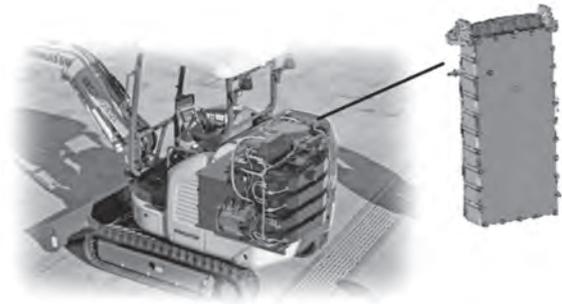
本稿バッテリー駆動式ミニショベルに使用する高電圧部品は、建設機械の振動や、耐水性、など過酷な使用条件下でも、電氣的に安全に機能するよう、自社で新開発したパワーデリバリユニットに搭載した。

パワーデリバリユニットは、上記の普通充電器のほかに、電装部品用コンバータや、高電圧の切り替えを行う高電圧制御回路、絶縁劣化検出回路を内蔵している（図—5）。

電動部品用コンバータは、電動車がエンジンの代わりに電動モータを動力源とするため、電装部品用バッテリーを充電することができる。

高電圧制御回路は、稼働中は、電動モータを制御するためのインバータへバッテリーの電力を分配し、充電中は、周囲の安全を担保するため、電動モータが駆動しないよう、バッテリー電力を内部で遮断する機構を有している。

絶縁劣化検出回路は、ハイブリッドショベルで車載していたものをベースに検出レベルを改善して電気自



図—5 パワーデリバリユニット

動車と同等とし、絶縁劣化を確実に検出・通知するシステムとした。

### (b) イージメンテナンスパッテリーを採用

バッテリーフォークリフトに搭載されており、安全性について市場実績の高いイージメンテナンスパッテリーを採用した（図—6）。イージメンテナンスパッテリーは作業中の過酷な使われ方に耐えられるとともに、従来の液式鉛バッテリーで必要であった面倒な補水が不要であるのでメンテナンス性がよく、また充電中に発生するガスが内部で水に還元されるため安全性にも優れている。



図—6 バッテリー Ass'y

バッテリー車両での一般的な懸念項目として、長期間の使用に伴うバッテリー容量の低下があげられる。鉛バッテリーの場合、「サルフェーション（充電不足や過放電の繰り返しによるバッテリー内の極板に硫酸鉛が蓄積される現象）」によって、化学反応が阻害されバッテリー容量が低下することが知られている。「サルフェーション」の対策としては、硫酸鉛を極板から除去する押込充電を行う必要がある。

しかし、押込充電＝過充電を頻繁に繰り返すと活物質や格子が劣化し、こちらもバッテリー容量の低下につながる。

最適な状態でバッテリーを使用するため、バッテリー残量、放電量、充電量、温度などのバッテリー状態や、充電回数、充電時間などの充電状況を取得・解析し、充

電パターンのコントロールを実施するようにしている。

また、遠隔地でも、CO<sub>2</sub> 排出量，ランニングコストを管理，確認することができ，よりバッテリーを長持ちさせるための情報も活用することができる。

(c) 充電プラグの二重監視

普通充電，急速充電とも，電気コントローラとインバータコントローラの2つのコントローラにより充電プラグの接続状態の監視を行っている。

稼働中に充電プラグが接続された場合には電動モータを確実に停止し，充電中においては電動モータへバッテリーの電力が供給されない仕組みとすることで，安全性を担保している。

(d) 防水性・耐水性

バッテリー・車載ハーネス・コネクタ等の主要な電装品には水が入り込まない構造とすることで，エンジン式ミニショベルと同等の環境下でも稼働することを可能にした（写真—3）。



写真—3 社内試験風景

(4) 整備性

(a) 高電圧部の分離

日常点検部を前方に集中させることにより，メンテナンスに要する時間を短縮するとともに高電圧部は車体後方に集中配置し，日常電源部と完全に分離した構造であり，技能資格者以外がアクセスできない構造で安全なメンテナンスが可能である（図—7）。

(b) 日常点検，定期メンテナンスを大幅削減

エンジンや燃料に関する項目が無いため，日常点検項目や定期メンテナンス項目が大幅に削減された（表—3）。

点検時間の削減だけではなく，エンジンオイルの交換が無くなることにより環境への負荷も低減される（表—4）。



図—7 メンテナンス

表—3 日常点検表

【日常点検項目】(9→5項目) ●：実施要，－：不要

| 交換部品                      | バッテリー駆動式<br>ミニショベル | エンジン式<br>ミニショベル |
|---------------------------|--------------------|-----------------|
| 燃料タンク混入水，沈殿物排出            | －                  | ●               |
| ダストインジケータ点検               | －                  | ●               |
| ウォータセパレータ点検，<br>水抜き，沈殿物排出 | －                  | ●               |
| 作動油タンクの油量点検，補給            | ●                  | ●               |
| 冷却水量の点検，補給                | ●                  | ●               |
| 電気配線の点検                   | ●                  | ●               |
| 燃料量（バッテリー残量）の点検           | ●                  | ●               |
| ホーンの点検                    | ●                  | ●               |
| フロアチルト固定ボルトの点検            | －                  | ●               |

表—4 定期交換部品表

【油脂類交換部品】(9→6項目) ●：実施要，－：不要

| 交換部品               | 推奨<br>交換<br>時間<br>(h) | バッテリー<br>駆動式<br>ミニショベル | エンジン式<br>ミニショベル |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|
| グリス                | 300                   | ●                      | ●               |
| エンジンオイル            | 500                   | －                      | ●               |
| エンジンオイルフィルタ        | 500                   | －                      | ●               |
| 燃料フィルタ             | 500                   | －                      | ●               |
| 作動油タンクブリーザ         | 500                   | ●                      | ●               |
| ファイナルドライブ<br>ギアオイル | 1,000                 | ●                      | ●               |
| 作動油フィルタ            | 1,000                 | ●                      | ●               |
| 作動油タンクストレーナ        | 2,000                 | ●                      | ●               |
| 作動油                | 2,000                 | ●                      | ●               |

## 4. 市場からの反響

2020年春より多くの業種のユーザの現場で稼働し始め、ねらいでもあった「ゼロエミッション」、「騒音・排熱」、「エンジン振動」は現場環境の改善だけではなく、現場の安全性や作業効率にも寄与する結果となっている。

### (1) 騒音低減

オペレータは車両周辺で作業する作業員の安全を確保しながら車両を操作する必要があり、これまでクラクションやブザーなどを用いて注意喚起を行っていた。

電動化したことによりエンジン騒音がなくなったことで、特に屋内作業では反響音も低減し、作業環境が改善するだけでなく、オペレータと車両周辺の作業員の会話でのコミュニケーションも容易になり、ストレス緩和にも効果があった。

### (2) 排熱

付帯設備や作業員の確保などの対策を施さずに済むため屋内の解体現場や果樹園、造園現場などの排熱による悪影響を懸念していた現場で稼働し、オペレータの健康被害を改善、屋内作業空間の温度上昇の抑制、車両周辺にある樹木枯れなどの対策にも効果があった(写真—4)。



写真—4 作業現場での稼働風景

## 5. おわりに

本稿で紹介したバッテリー駆動式ミニショベルは2019年ドイツ・ミュンヘンで開催された建設機械の見本市である「Bauma2019」に出展し、多くのお客様から電動化に対する期待の声を頂いた。展示会全体としても電動化に対する出展は多く、業界全体でも電動化が進んでいることを肌で感じた。

本稿では化石燃料を用いない電気エネルギーで駆動するミニショベルについて紹介した。しかし建設現場での稼働時間に大きく影響するバッテリーや電力インフラの普及についてはまだまだ課題が残されている。

今後、このバッテリー駆動式ミニショベルで得られた技術や課題を多様な電動建機の開発に展開し、建設業界での環境改善に貢献していきたい。

JICMA

### 【筆者紹介】



永嶋 芳明 (ながしま よしあき)  
コマツ  
開発本部車両第四開発センター  
ミニ建機開発グループ  
チームマネージャー



野村 真 (のむら まこと)  
コマツ  
開発本部 ICT システム開発センター  
電動化システム開発グループ  
シニアエキスパートエンジニア



広田 崇 (ひろた たかし)  
コマツ  
開発本部電動化開発センター  
電動化企画グループ  
エキスパートエンジニア

# マイニングダンプトラック

## トロリー受電式マイニング用ダンプトラックにおける二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の低減

堀 井 泰

マイニング機においては生産性の向上が重要視されていたが、昨今二酸化炭素排出量の増加に起因する地球温暖化などの気候変動問題が大きく取り上げられてきたこともあり、マイニング機においても環境に配慮した機械を求める声が大きくなっている。

本稿では、環境に配慮したトロリー受電式マイニング用ダンプトラック（以下、トロリートラックという）に焦点を当て、作動原理の説明や二酸化炭素排出量について紹介する。

キーワード：二酸化炭素, CO<sub>2</sub>, 排出ガス, 燃費, ゼロエミッション, トロリー

### 1. はじめに

2015年に合意に至ったパリ協定以降、各国・各企業から排出ガスの削減目標が公表されている。弊社のある顧客を例にとると、2030年までに二酸化炭素排出量を33%低減（2017年比）し、2050年にカーボンニュートラル（二酸化炭素排出量ゼロ）を掲げている。また、製造業者に対しても、各顧客より削減目標に貢献できる製品の供給を求められている。

弊社としても、鉱山業界や顧客が環境問題を継続的な重要課題として取り組んでいること、排出ガスを低減できる製品の供給を求められていることを認識している。本稿で紹介するトロリートラックは、架線下ではエンジンによる発電ではなく架線からの給電で走行でき、二酸化炭素排出削減を実現できる手段として注目されている。

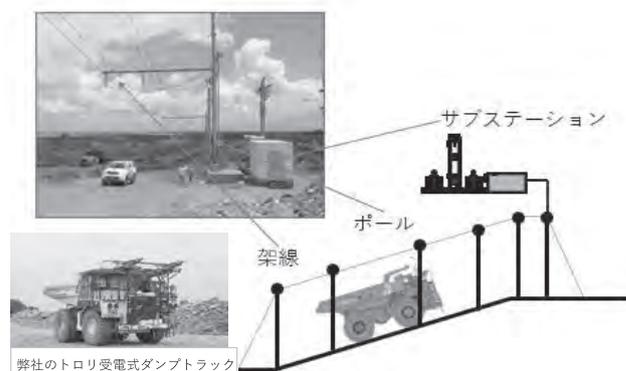
本稿においては、トロリートラックに焦点を置き二酸化炭素排出量がディーゼル仕様ダンプトラック（以下、ディーゼルトラックという）と比較しどの程度低減できるかについて紹介する。

### 2. トロリートラックとは？

従来のマイニング用ダンプトラックは、自動変速機を用いた機械式か、エンジンで発電機を駆動し電動モーターを駆動するDCもしくはAC駆動の電動式がある。近年はインバータ技術を駆使したAC駆動式が主流になりつつあるが、いずれの方式も効率の違いはあれどもディーゼルエンジンにて全動力を賄っている。

これに対しトロリートラックは、図—1のように設置された架線（主に積載時の登坂路に設置）からパンタグラフを経由して電力の供給を受けて電動モーターを駆動する。架線からの電力は2,400V-2,600Vであり、これは発電機からの供給（2,000V）より高く、架線からの給電時はディーゼルトラックに比べ走行が速くなり、生産性が向上する。

併せて、架線下では車載のディーゼルエンジンを使わずに電動モーターを駆動するためディーゼルエンジンの回転数が1,900rpm→1,200rpmに制御され、これにより大幅な燃費低減すなわち二酸化炭素排出低減が可能となる。これらがトロリートラックの特徴である。



図—1 トロリー受電式ダンプトラックに必要な設備

### 3. トロリートラックの利点

トロリートラックにおいては、車体上部の架線から電力を取り込むためのパンタグラフを搭載している。

架線下ではトロリーモード、架線下外ではディーゼルエンジンモードで走行するため、運転席内にモード切り替えスイッチが搭載されている。トラックのオペレータは、架線下でキャブ内に設置されている切り替えスイッチを操作することでパンタグラフが上がり、トラックが架線からの給電を検知するとトロリーモードに切り替わる。トロリーモードにおいては、エンジン回転数が1,900 rpm から1,200 rpm に制御され、左右の走行モーターには架線からコントロールキャビネットを経由して直接電力が供給される(図-2参照)。

トロリーの利点としては下記があげられる。

1. トロリー走行時の速度アップによる生産性向上
2. 燃料消費量低減によるコスト低減
3. 燃料消費量削減による二酸化炭素排出量の低減

トロリートラックの導入により生産面と環境面の双方において大きな利点を得ることができる。トロリートラックの導入には、架線やサブステーション(変電設備)などの電力設備の新規投資が必要になるが、(トロリーでの稼働割合にもよるが)一般的に数年でその投資回収が可能となる。

過去のトロリートラックにおいては架線からの電圧が1,700 V-1,800 Vであった主流の時代があり、それよりも昔になるとさらに低い電圧のトロリートラックも稼働していたようであるが、近年は技術の進歩により高電圧化が主流となっており2,400 V-2,600 Vの電

圧を採用したトロリートラックを開発している。

#### 4. ディーゼルトラックとトロリートラックにおける二酸化炭素排出量, サイクルタイム(一工程に要する時間を指す: 積み込み場所→放土場所→積み込み場所へ戻る一工程を指す), 燃費, 生産量の比較

過去に引き合いのあった鉱山情報を基に、二酸化炭素排出量をはじめ燃費, サイクルタイム, 生産量においてディーゼルトラックとトロリートラックとの比較結果を紹介する。

##### (1) 現場情報の仮想化

自社開発の生産量試算ツール(Mining Production Calculator, 以下MPC)内に現場の道路状況(距離・高低差等)を仮想的に構築し(図-3), 生産量, サイクルタイム, 燃料消費量, 二酸化炭素排出量をシミュレーションした。

- ・全長: 5,320 m
- ・掘削鉱物: 金
- ・トロリーライン1: 長さが1,325.3 m, 平均勾配は8.4%
- ・トロリーライン2: 長さが491.5 m, 平均勾配は8.4%

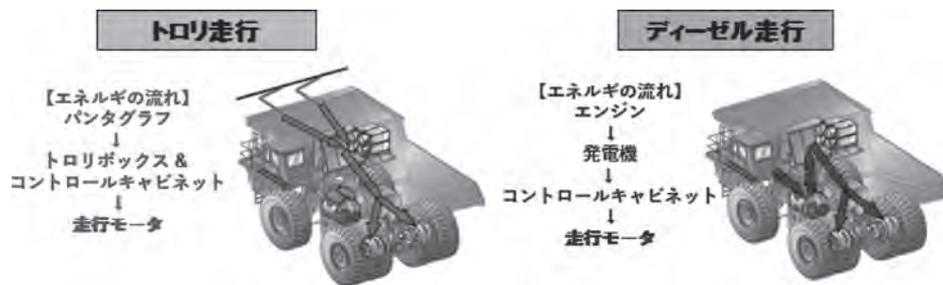


図-2 トロリー受電式ダンプトラックのエネルギーの流れ

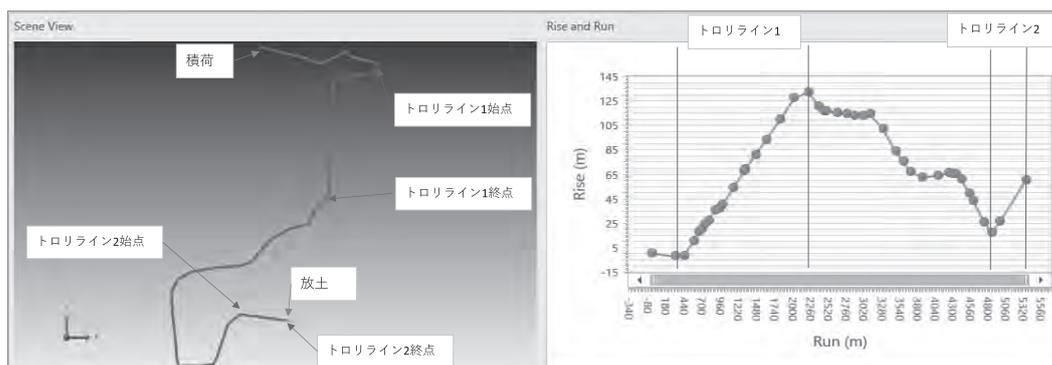


図-3 ホールロードとトロリーラインの可視化

| Run Number | Fleet Configuration Name | 二酸化炭素排出量 (kg/h) | 燃費 (L/h) | サイクルタイム (min) | 必要台数 (台) |
|------------|--------------------------|-----------------|----------|---------------|----------|
|            | トロリ機の結果                  | 359.59          | 143.26   | 24.61         | 10.00    |
|            | ディーゼル機の結果                | 613.46          | 244.41   | 29.84         | 12.00    |

図一4 MPCによる二酸化炭素排出量などの計算結果

- ・走行抵抗：2%勾配登坂路相当
- ・年間目標生産量：54,000,000 メトリックトン
- ・年間目標稼働時間：6,000 時間
- ・目標稼働率：90%

## (2) MPCでのシミュレーション比較結果

試算時使用した機械はいずれも自社のトロリートラック EH4000AC-3（許容積載重量：214 トン）とマイニングショベルである EX5600-7（ローダーバケット仕様）である。

比較対象機種として、ディーゼルトラック EH4000AC-3（許容積載重量：221 トン）を用いた。

図一4が計算結果である。

### (a) 二酸化炭素排出量 & 燃費の比較

二酸化炭素排出量：約 41%低減

燃費比較：約 41%低減

トロリー走行時はエンジン回転数を 1,900 rpm から 1,200 rpm に下げて走行できることが低減に寄与している。トロリーラインの長さが長いほど低減が可能。

### (b) サイクルタイムと生産量の比較

サイクルタイム：約 18%低減。

年間目標生産量における必要トラック数：ディーゼルトラック 12 台に対してトロリートラックは 10 台で達成可能

トロリーライン 1, 2 においては、走行速度がディーゼルモード時に比べ約 2 倍の速度で走行可能であり、これによりサイクルタイムが低減でき、生産量の増加に寄与している。

## 5. おわりに

今後、マイニング機械においては電動化がさらに加速し、二酸化炭素排出量を完全に抑えることのできるゼロミッションを謳った機械、例えばバッテリートラックやショベル等が開発されてくるものと考えられ、顧客においてもそのような機械を求める声も強くなると思われる。そのため、エンジンレス・フル電動ダンプトラックの ABB 社との共同開発契約をプレスリリースしている（2021 年 6 月 23 日）。

今後ともその流れに遅れを取ることなく、環境にやさしく顧客の満足や社会貢献できるマイニング製品の開発・製造を、一層積極的に行っていく所存である。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) バリ協定に関するホームページ  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.html>
- 2) 建設機械施工誌（2012 年 12 月発行）：マイニング市場の動向と機械の電動化
- 3) 弊社発行プレスリリース（バッテリートラック）に関するホームページ  
[https://www.hitachicm.com/global/jp/news-list\\_jp/21-06-23j/](https://www.hitachicm.com/global/jp/news-list_jp/21-06-23j/)

### 【筆者紹介】

堀井 泰（ほりい やすし）  
日立建機㈱  
マイニング事業本部 営業技術サポート部  
技術課長



# ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」リニューアル

内 海 曉 人

ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」は近年の環境負荷低減の声に応えるべく、IMO（国際海事機関）排ガス2次規制に対応した最新型の主機関に換装するなどの大規模リニューアル工事を行った。このリニューアル工事で主要な浚渫設備の更新も行っており、浚渫・排送能力が大幅に向上すると同時に、CO<sub>2</sub>排出量を始めとした環境性能についても改善した。また、各設備がネットワーク化され、運転状態の一元管理による保守管理の効率化・省力化を実現している。本稿ではこのリニューアル工事の内容を紹介する。

キーワード：ポンプ浚渫船, 環境負荷低減, 長距離排送, 省力化, AI船舶監視システム

## 1. はじめに

近年、環境保全への意識が高まり、IMO（国際海事機関）による船用ディーゼルエンジンに対する排ガス規制が強化されるなど、世界的に船舶のクリーン化が進むなか、国内でも作業船における環境負荷低減への取組が急務となっている。

ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」は、心臓部である主機関と浚渫ポンプを、IMO 排ガス2次規制に対応した最新型の主機関と海外製の高効率浚渫ポンプに換装することで、従来設備と同等の機関出力でより大きな浚渫能力を発揮し、高いポンプ効率と低燃費化によるCO<sub>2</sub>削減と排気ガスのクリーン化を実現した。

現状、国内において10 km程度の距離を排送する場合、土砂が詰まらないように中継船を必要とするが、今回のリニューアルにより国内で唯一、対象土砂がシルト、粘土質であれば1隻で排送が可能となり、長距離排送が必要な工事では大幅な省エネルギー化が実現できる。

また、船内各設備とシステム面の更新により、省エネルギー化だけでなく、施工効率化や省力化、安全性の向上など、船全体の機能が大幅にリニューアルした。

写真-1に第三亜細亜丸の全景、図-1に一般配置図を示す。

## 2. 本船主要目

### (1) 浚渫能力

浚渫能力 600 ~ 2,200 m<sup>3</sup>/h



写真-1 ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」全景

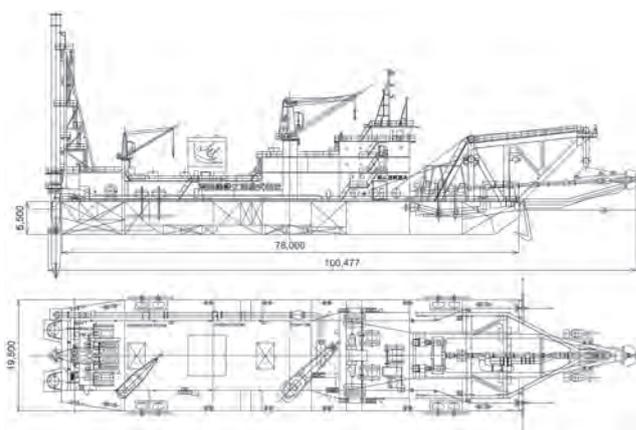


図-1 ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」一般配置図

|        |                  |
|--------|------------------|
| 排送距離   | 6,000 ~ 10,000 m |
| 最低浚渫深度 | 5.0 m            |
| 最大浚渫深度 | 25.0 m           |
| 排砂管径   | 0.76 ~ 0.86 m    |

### (2) 船体部

全長 78.0 m

|       |         |
|-------|---------|
| 全幅    | 19.5 m  |
| 深さ    | 5.5 m   |
| 喫水    | 4.1 m   |
| 排水トン数 | 6,000 t |

### (3) 浚渫設備

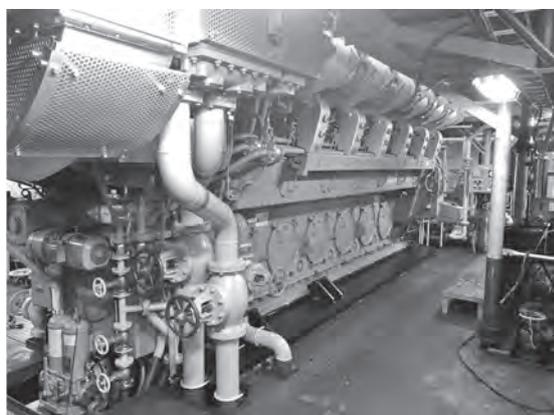
|         |             |
|---------|-------------|
| 浚渫用主機関  | 6,600 kW    |
| カッターモータ | 600 kW × 2基 |

## 3. リニューアルの特徴

### (1) 環境負荷の低減

最新型の浚渫ポンプ用主機関（写真—2）はIMOが定める排出ガス2次規制に対応しており、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）等の人体へ悪影響を与える大気汚染物質の排出量が低減されている。また、燃費についても旧型機と同負荷時と比べ、平均8%程度向上している。加えて、換装したポンプ効率の高い浚渫ポンプ（写真—3）との併用で、必要な浚渫能力に対して主機関の出力を下げることができるため、CO<sub>2</sub>排出量の更なる削減を可能としている。

さらに排送距離10 km程度までの長距離排送工事



写真—2 浚渫ポンプ用主機関



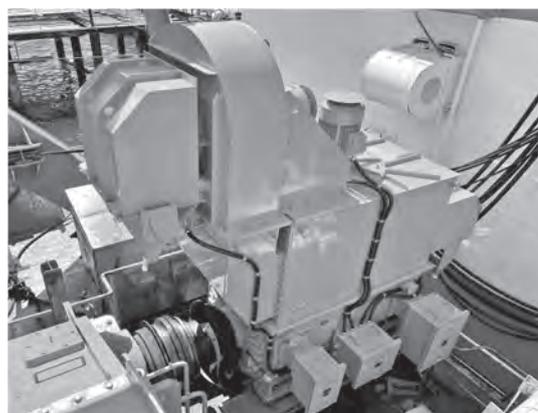
写真—3 浚渫ポンプ

において、通常は必要とされていた中継船を使用せずに施工を行えるため、中継に使用されるポンプ船等の作業船1隻分に相当するCO<sub>2</sub>の削減効果が望める。

スイングウインチモータ（写真—4）、カッターモータ（写真—5）等の電動機についても直流電動機から交流電動機に換装し、速度制御がスムーズで電力損失の少ないインバータ制御にすることで、大幅な省エネルギー化を実現している。



写真—4 スイングウインチモータ



写真—5 カッターモータ

### (2) 浚渫能力

浚渫ポンプ用主機関の出力を5,880 kWから6,600 kWへ増強し、浚渫ポンプについてもポンプ効率・流量・揚程等の能力が大幅に向上している。リニューアル前の公称能力が1,200 m<sup>3</sup>/h × 4,000 mに対し、リニューアル後は600 ~ 2,200 m<sup>3</sup>/h × 6,000 ~ 10,000 mと、リニューアル前と比べて、倍近い浚渫能力を発揮することができる。そのため、長距離排送への対応だけでなく、時間当たりの浚渫土量を多くできるため、一度に浚渫する土厚を高く維持した状態での高効率な浚渫が可能となる。

### (3) 施工の効率化

#### (a) 浚渫ポンプ用主機関の最適制御

浚渫ポンプ用主機関の制御にマイクロコンピュータによる制御方式を採用しており、運転状態に応じた最適な制御を自動的に行っている。

施工時においては土質や土厚の変化による、急激な負荷変動に対して自動で主機関の回転数を制御するため、過掘りの防止と安定した施工が行える。また、無駄な燃料の消費を抑えることができるため、CO<sub>2</sub>排出量の削減にも寄与している。

#### (b) 施工管理システム

浚渫土砂の含泥率や、水中ソナーによる3次元地形データをリアルタイムに可視化する施工管理システム(図-2)により、オペレーターが常に最新の情報を確認できるようにしている。また、掘削状況と連動したラダー制御の支援機能を搭載しており、オペレーターに最適な運転方法を指示することで、常に効率的な浚渫を行えるようになっている。



図-2 施工管理システム画面表示例

### (4) 設備の見える化

各設備の制御盤に制御用CPUを搭載し、それぞれを光ケーブルで接続することでネットワークを構築している。これにより、これまで個別で管理していたカッターモータ等の電動機や浚渫ポンプ、主機関及び発電設備等の運転状態を管理用PCで一元管理することが可能となっており、運転・保守管理における大幅な効率化・省力化を実現している。また、外部との通信設備を増設し、クラウドの活用と各設備状態のデータベース化によって、設備の寿命判断や維持管理支援機能の付与、異常検知システムや遠隔監視システムの構築などを進めており、更なる効率化を目指している。図-3に船内設備ネットワーク概念図を示す。

### (5) AI船舶監視システム

船舶レーダーと船舶識別装置AISに加えて、人工

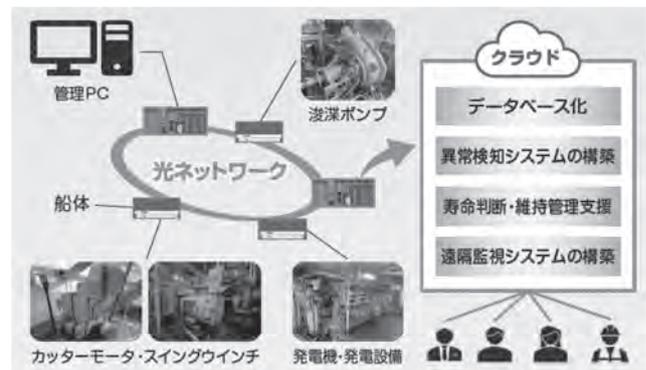


図-3 船内設備ネットワーク概念図

知能(AI)と4K高感度カメラを活用したAI船舶監視システムを装備しており、接近する船舶に対して、大型船・小型船の識別だけでなく、作業船や潜水士船、警戒船等の工事用船舶と一般船舶との識別を行い、映像と警報で操船者にいち早く知らせることができる。特に小型の一般船舶が多く航行する現場において、航行監視の効率化と負担軽減が期待できる。図-4にAI船舶監視システム画面例を示す。



図-4 AI船舶監視システム画面例

## 4. 今後の展開

現在、環境保全活動は世界的な流れであり、CO<sub>2</sub>や大気汚染物質の排出に対する規制が世界中で展開され、船舶においても外航船の排出ガスに対する新たな規制が次々採択されている。国内の作業船においては、新造船に環境負荷を低減する技術が取り入れられていることは多いが、既存作業船については対策がされていない船も多く、対応が求められている。

第三重細垂丸は今回のリニューアルでポンプ浚渫船として十分な環境性能を発揮できるが、環境への負荷を更に低減していくためにも、リニューアルによって換装した設備と構築した船内設備ネットワークを活用して、施工をより効率化するシステムを開発し、引き続きCO<sub>2</sub>排出の低減に取り組んでいく予定である。

## 5. おわりに

国内の港湾では、世界的に進んでいる貨物船等の大型化に対応し、効率的な物流を維持するため、船の安全な航行に必要な水深の確保が求められており、浚渫工事の重要性は今後も継続すると思われる。

本船は、今回のリニューアルによりシステム面を含め、浚渫能力や環境性能の大幅な能力向上を果たしたが、環境対策を始めとした社会全体の声に応えるべく、今後も新たな技術を取り入れながら、浚渫工事を通してカーボンニュートラルの実現に貢献していきたいと考えている。

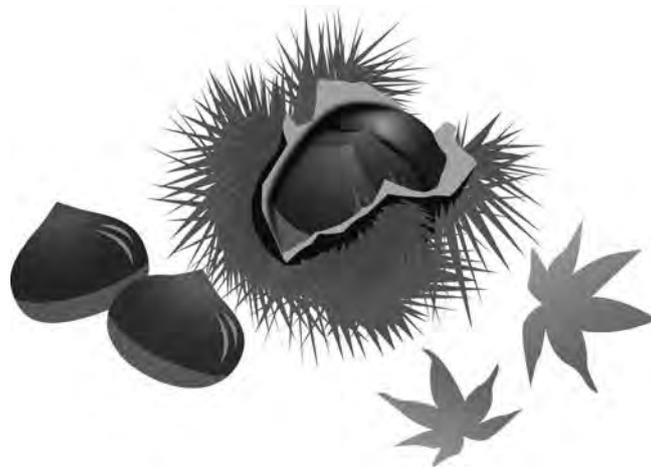
## 謝 辞

最後に本船のリニューアルに当たり、多大なご尽力をいただいた、(株)IMC、(株)JMU アムテックをはじめ、関係の方々に心から感謝し、誌面をお借りして謝辞を申し上げます。

JCM A

### 【筆者紹介】

内海 暁人（うつみ あきひと）  
東亜建設工業(株)  
土木事業本部 機電部機械グループ



# 防音ハウスの換気エネルギーマネジメントシステム 全体換気から「立体メッシュ換気」への転換

小堀 孝之・齋藤 由美子・飯島 陽介

防音ハウス内ではさまざまな作業があり、個々の作業で発生する有害ガス、蒸気、粉じん、機械設備の発生熱、坑内換気の送排気等があり換気が必要である。また安衛法令等の諸規則に基づく空気環境を維持しなければならない。本稿では、さまざまな作業エリア別に最適な空気環境を確保し時間経過、工種の進捗に合わせた効率的な換気を行うために開発した「立体メッシュ換気システム」と省エネルギー化について報告する。また、製作した大型プッシュファン（口径φ2,500 mm）を紹介する。

キーワード：防音ハウス、作業エリア、空気環境、換気、省エネルギー化、プッシュファン

## 1. はじめに

安衛法では快適職場づくりが事業者の努力義務とされ快適な職場環境の形成のための措置として、厚労省告示の指針では作業環境の管理として空気環境、温熱条件、視環境、音環境、作業空間等が示されている。

シールド工事の立坑基地は防音ハウスで覆われることが多い。空気環境は換気により維持され、今までは全体換気（換気回数5回/h）により行われてきた。防音ハウス内では掘削土の搬出、セグメントシール貼り等の作業があり、換気量、方法には関係法令等の規則が適用される作業もある。

そこで、防音ハウス内の各種作業内容と作業エリア別に必要な換気を効率的に行うため、作業空間の換気気流（方向、風量）を立体的に管理する「立体メッシュ換気システム」を開発した。作業に合わせて換気するため換気エネルギーの省エネルギー化にも寄与する。最も換気量を必要とするセグメントシール貼り作業には大型プッシュファン（口径φ2,500 mm）を製作し作業を可能とした。

本稿ではこれらについて報告する。

## 2. 技術の概要

シールド径φ3,000 mm、泥土圧シールドの発進立坑基地設備例を図-1に、換気の対象となる主な作業を図-2に示す。

- (1) セグメントシール貼り作業（有機溶剤作業）
- (2) 掘削土搬出作業（内燃機関使用作業）

- (3) 資機材搬出入作業
- (4) 裏込・添加材作業（地上）
- (5) 坑内排気

「立体メッシュ換気システム」は、各種作業内容と作業エリア別に作業空間を立体的に換気気流の方向、風量を給気ダクト、プッシュファン、プルファン、排気ファンの配置により管理するものである。

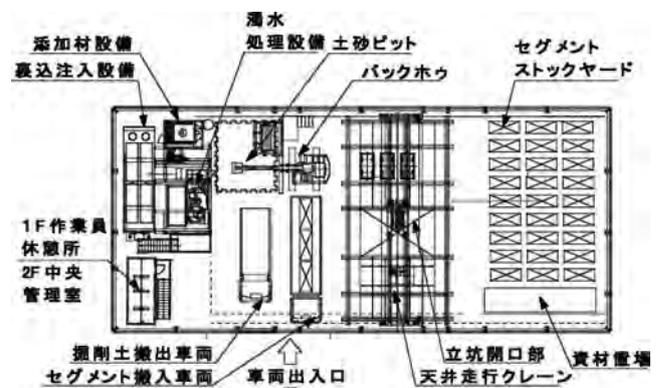


図-1 設備平面図

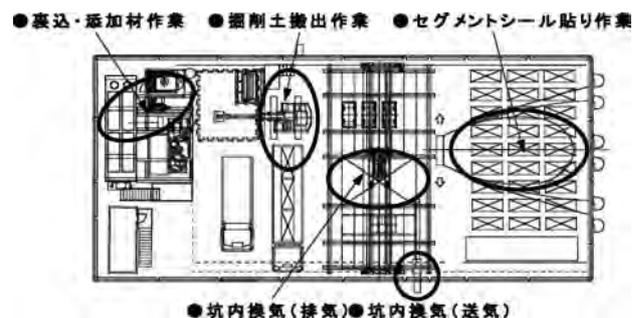
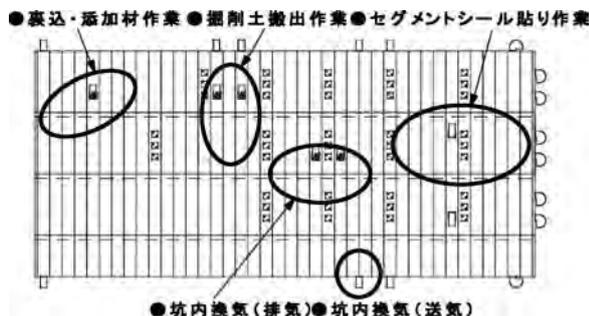
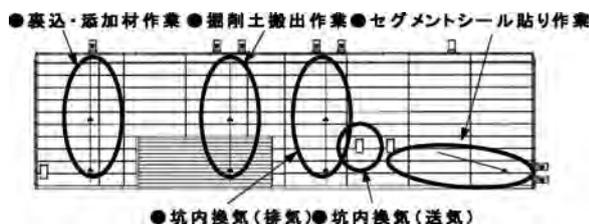


図-2 換気対象作業

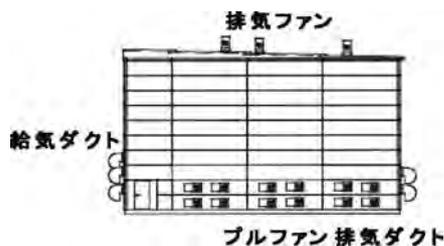
作業エリア別の気流の方向と給気ダクトと排気ファンの位置を示す（図—3～5）。



図—3 ダクト位置図（屋根）



図—4 ダクト位置図（正面）



図—5 ダクト位置図（側面）

### 3. 作業別エリア換気

主な作業別換気方法を示す。

#### (1) セグメントシール貼り作業（有機溶剤作業）

##### (a) 作業内容

一般にセグメントに使用される水膨張シール材は水膨張樹脂とクロロプレンゴムを主材とした合成ゴムである。接着剤にはトルエンを主成分としたクロロプレンゴム系溶剤型接着剤が使用される。セグメントに小分けした容器に接着剤を入れ、はけで塗布しシール材を貼る作業である。

##### (b) 接着剤成分

- ・クロロプレンゴム系溶剤型接着剤（混合物）  
トルエン，n-ヘキサン，シクロヘキサン等

##### (c) 作業環境管理の適用法令

- ・労働安全衛生法—有機溶剤中毒予防規則（有機則）
- ・区分 第2種有機溶剤

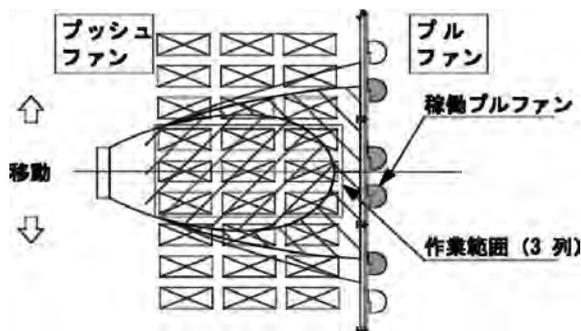
#### (d) 発散源対策

屋内作業では、設置すべき設備として次の3つの設備が定められている。

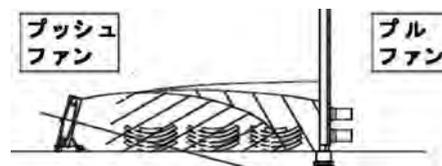
- ・密閉設備
- ・局所排気装置
- ・プッシュプル型換気装置

#### (e) 開放式（斜降流型）プッシュプル換気の採用

セグメントはストック状態に対応可能なプッシュプル換気とした。セグメント（有機溶剤蒸気の発散源）をはさんで片方を吹出し用（プッシュファン）、もう片方を吸込み用（プルファン）とする方式である。2つの間につくられた気流によって発散した蒸気をかき混ぜることなく流して吸引、排気する。計画例を（図—6, 7）に示す。プッシュファンを移動式とし、プルファンを固定型としている。この方式は従来も考えられていたが、開放式の場合にはプッシュ気流が吹出し開口を離れるに従い周囲の空気を誘い込んで流量が増加するためにプルファン設備が大きくなり実用上不可能とされてきた。また、国内にはプッシュファンとなる大型ファンはなかった。筆者らは必要なプッシュ気流速度範囲をコアとしてその先端にプルファンを配置し捕捉して流量増加を抑制する方式とした。大型プッシュファンは国内製作した。



図—6 プッシュプル換気計画例（平面）



図—7 プッシュプル換気計画例（立面）

#### (f) 計画条件

- ・蒸気発生速度 0.1～0.2 m/s
- ・乱れ気流 0.1 m/s
- ・プッシュ気流速度 0.3～0.5 m/s

厚労省告示（開放式）ではプッシュ気流速度を作業位置の乱れ気流速度+0.2としている。上制限速度は

有害物質の飛散，作業者の身体の風下に渦流が発生し呼吸域に舞い戻る危険があるため0.5 m/sとしている。

(g) プッシュファン

プッシュファンはセグメント幅1 m, 3列程度カバーできてプッシュ気流0.3 ~ 0.5 m/sを20 m程度確保できることが望ましい。口径2,500 mm, 風速はインバータ制御による任意設定とした。風速分布曲線を図-9に示す。重量560 kgで車輪により移動を容易にした。騒音レベルは54 dBである(図-8, 写真-1, 表-1)。

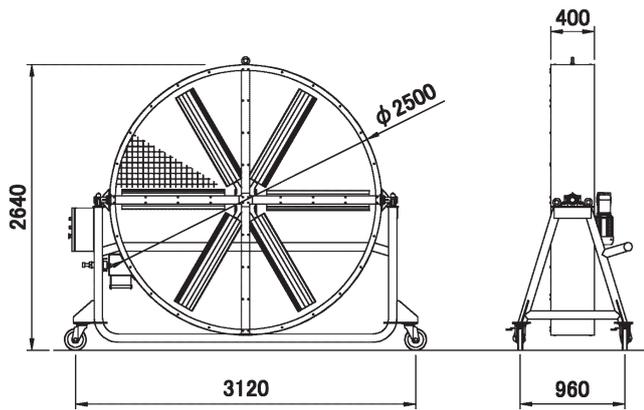


図-8 プッシュファン全体図

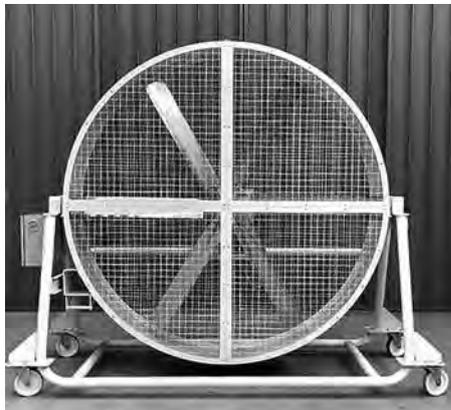


写真-1 プッシュファン正面

表-1 プッシュファン仕様

|         |                       |              |
|---------|-----------------------|--------------|
| 呼称 (口径) | (mm)                  | 2,500        |
| 羽根数     |                       | 6 枚          |
| 仰角      |                       | ±10° (5° 刻み) |
| 電力      | (V)                   | 3 相 200      |
| 出力      | (kW)                  | 15           |
| 回転数     | (rpm)                 | 10 ~ 227     |
| 風量      | (m <sup>3</sup> /min) | 風速と広がり幅より算定  |
| 風速      | (m/s)                 | 図参照          |
| 騒音レベル   | (dB)                  | 54           |
| 重量      | (kg)                  | 560          |

回転数：インバータ任意設定

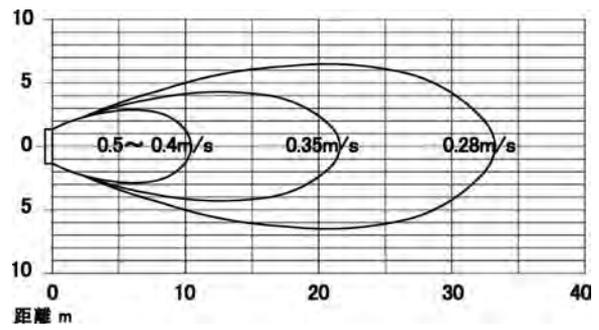


図-9 風速分布曲線 (30rpm)

(h) 装置計画

基本機能はセグメントを配置しない空間として計画し，セグメント配置後は配置状況（間隔，高さ等）により気流速度が変化するのでプッシュファン回転数を設定し管理する。計画風速分布曲線は30 rpmとする。

① プッシュ気流距離

プッシュ気流下限速度を0.3 m/sとすれば風速分布曲線より20 m程度となる。

② プルファン配置水平距離

水平距離はコア気流を捕捉する距離とする。

- ・ 10 m 未満 2D 以上
  - ・ 10 ~ 20 m 2D ~ 3D 以上
- D：プッシュファン径

③ プルファン配置垂直距離

- ・ 1 D 以上
- D：プッシュファン径

水平距離に応じてプッシュファンを傾斜して使用する。

④ プッシュ気流風量  $Q_1$  (m<sup>3</sup>/min)

$$Q_1 = A \times V \times 60$$

A：捕捉面積 (m<sup>2</sup>)

稼働プルファン配置面積とする。

V：捕捉時気流速度 (m/s)

捕捉時気流速度は図-10, 11より求める。

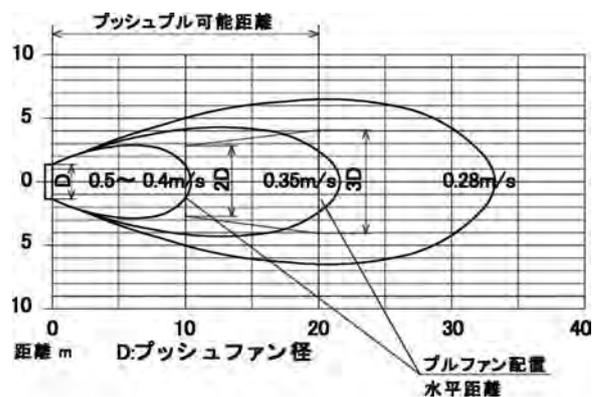


図-10 プッシュ気流速度性能線図

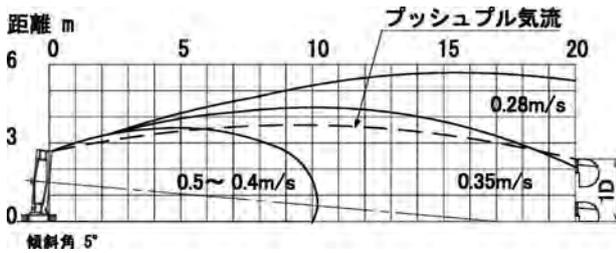


図-11 プッシュブル気流 (30 rpm)

⑤ プル気流風量  $Q_2$  ( $m^3/min$ )

$$Q_2 = Q_1 \times K$$

$Q_1$ : プッシュ気流 風量 ( $m^3/min$ )

$K$ : プッシュブル流量比

風速分布曲線はプルファンのない自由空間である。プルファンがある場合、外周気流は中心に向かって収束する。外周部気流を捕捉するため、プッシュブル距離、補正面積（プルファン配置）を考慮しプッシュ気流風量に対し余裕をみる。

$K = 1.2 \sim 1.5$  とする。

⑥ プルファン、給気ダクト

壁面にプルファン (81  $m^3/min$ , 0.4 kW), 給気ダクトを配置する。

(2) 掘削土搬出作業 (内燃機関使用作業)

(a) 作業内容

一般に掘削土の搬出作業にはバックホウが使用され内燃機関使用作業となる (図-12)。

(b) 作業環境管理の適用法令等

- ・労働安全衛生法—安衛則第 578 条
- ・建設業労働災害防止協会：ずい道等建設工事における換気技術指針

(c) 換気量

0.7  $m^3$  級バックホウのエンジン出力を 110 PS として許容濃度である 25 ppm に希釈するためには 160  $m^3/min$  程度の換気が必要である。

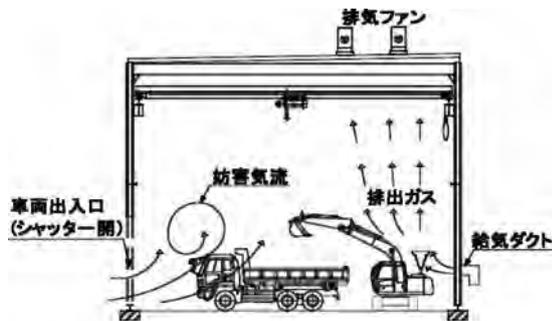


図-12 掘削土搬出作業エリア気流

(3) 坑内排気

坑内に送気された風量は立坑から排気され、ハウス内に拡散、滞留させることなく直接排気する (図-13)。

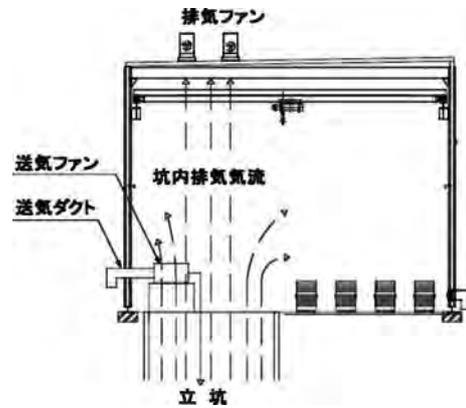


図-13 坑内排気気流

4. 換気ファン稼働管理

(1) 作業形態

シールド掘進工1日の主な作業形態と作業時間を示す。

① 昼勤

- ・掘進 + 掘削土搬出 + セグメントシール貼り 5h
- ・掘進 + 掘削土搬出 4h

② 夜勤

- ・掘進 9h

(2) 稼働管理 (図-14 ~ 16)

作業形態と換気装置のプルファン、排気ファンの稼働状況を示す。セグメントシール貼り作業のプッシュ

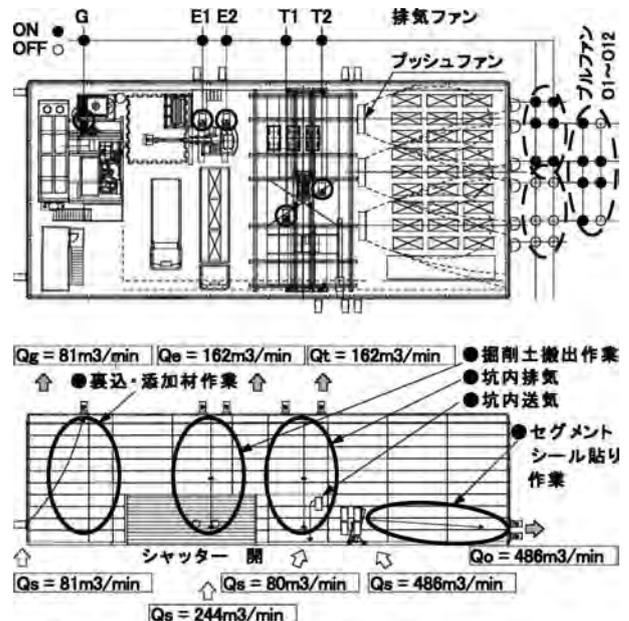
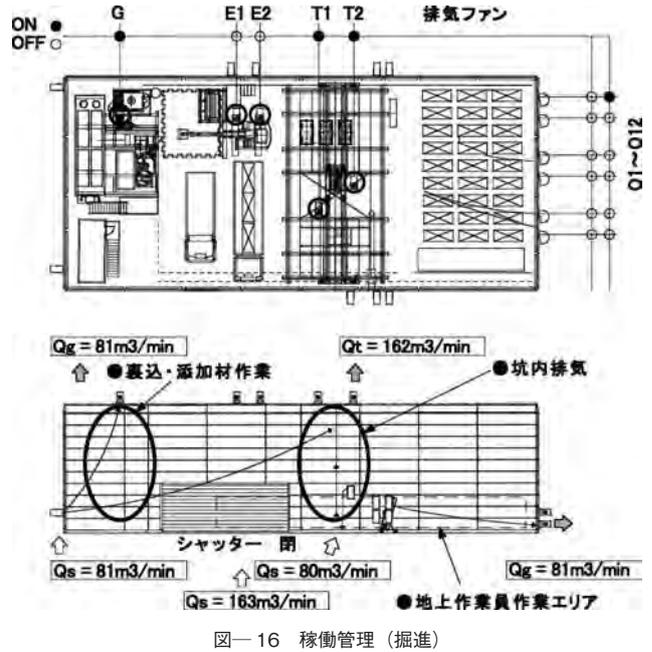
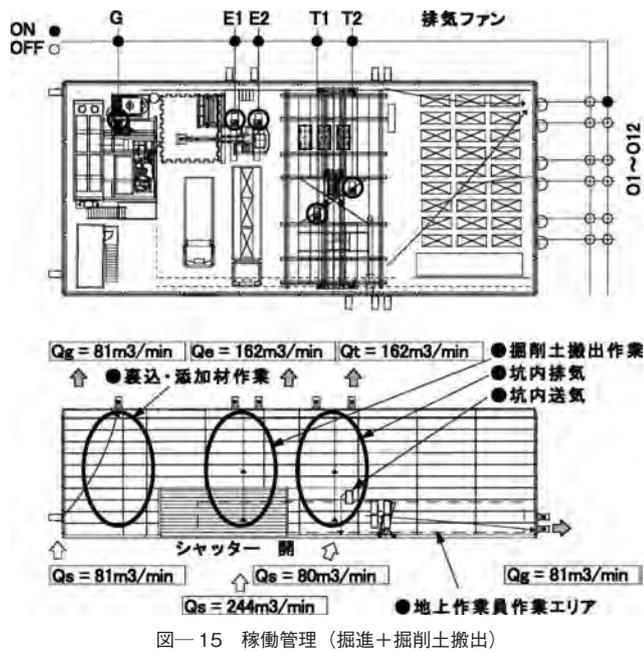


図-14 稼働管理 (掘進+掘削土搬出+セグメントシール貼り)



表一 省エネルギー効果

| 作業形態                      | 時間 (h) | 換気装置    |         | 全体換気 |           | 立体メッシュ換気 |              |
|---------------------------|--------|---------|---------|------|-----------|----------|--------------|
|                           |        | ファン名    | 出力 (kW) | 稼働台数 | 電力量 (kWh) | 稼働台数     | 電力量 (kWh)    |
| <b>昼勤</b>                 |        |         |         |      |           |          |              |
| ・掘進 + 掘削土搬出<br>セグメントシール貼り | 5      | 換気ファン   | 0.4     | 17   | 34.0      | 5        | 10.0         |
|                           | 5      | プルファン   | 0.4     |      |           | 6        | 12.0         |
|                           | 5      | プッシュファン | 1.5     |      |           | 1        | 7.5          |
| ・掘進 + 掘削土搬出               | 4      | 換気ファン   | 0.4     | 17   | 27.2      | 6        | 9.6          |
| <b>夜勤</b>                 |        |         |         |      |           |          |              |
| ・掘進                       | 9      | 換気ファン   | 0.4     | 17   | 61.2      | 4        | 14.4         |
| 計                         |        |         |         |      | 122.4     |          | (▲ 56%) 53.5 |

ブル換気ではプルファンを12台配置し、プッシュファンを移動しながらセグメント3列を一作業として6台稼働とする。

### 5. 省エネルギー効果

全体換気と比較した場合の省エネルギー効果を表一2に示す。全体換気(換気回数5回/h)とした場合の排気ファンは17台となり、「立体メッシュ換気システム」の設備台数と同じになる。掘進日1日(昼夜)の電動機定格出力と稼働時間の電力量(kWh)比較である。56%の省エネ効果がある。

### 6. おわりに

「立体メッシュ換気システム」により、作業工程に応じた換気管理ができた。客先のご協力により施工例は3件となり、省エネ効果と空気環境の改善効果とと

もに好評をいただいている。今後もより良い防音ハウスを提供できるように努めていきたい。



【筆者紹介】

小堀 孝之 (こほり たかし)  
ヤクモ(株)  
第二事業部  
次長



齋藤 由美子 (さいとう ゆみこ)  
ヤクモ(株)  
第二事業部 技術開発課  
係長



飯島 陽介 (いいじま ようすけ)  
デービー(株)  
那須工場  
工場長



# SDGs に寄与する革新的水処理装置

## 新膜ろ過装置「ECO クリーン」の開発

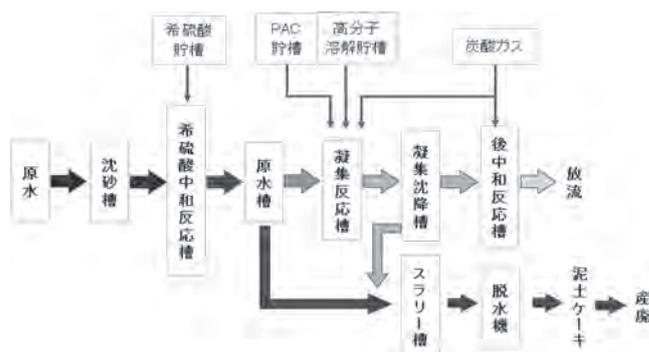
西村 章・西村 聡・林 正也

SDGs（持続可能な開発目標）では、水資源の有効活用が求められている（ゴール6：水資源へのアクセス・水質・価格の改善）。水処理プロセス上流の濁質除去では、現在ほとんど凝集沈降（浮上）処理で行われている。研究開発の成果として、大面積プリーツフィルターによる濁水処理技術を独自開発し、新膜ろ過装置 ECO クリーン（以下「本システム」という）では従来のろ過装置では不可能とされていた粘土質高濃度濁水の安定的な清澄化が可能など、これまでにない画期的な性能・水質・省スペース・省コストを実現した。本稿では、その開発概要と今後の展望について報告する。

キーワード：SDGs, 利水, 通水性テフロン膜, コンパクト, 低コスト化

### 1. はじめに

近年、排水基準の強化、水循環利用によるコストダウン、再利用水質の要求向上など水処理装置への性能要求が高まっている。一方、ほとんどの水処理装置では「凝集沈降方式」が主流であり、中和剤・凝集剤・キレート剤・吸着剤など薬品を多用している。また、高度処理では砂ろ過装置・バグフィルター等使い捨てフィルターが必要である。水質、価格の改善の要求に応えるために、「凝集沈降方式」や「従来の精密ろ過(MF)」に代わる、新しい水処理技術が期待されていた。それら課題の解決策として、大容量ろ過が可能なプリーツフィルター技術の応用研究に取り組み、開発の成果を得ることができた。本稿では、その開発概要と今後の展望について報告する。



図一 一般的な建設濁水処理の簡易フロー

### 2. 開発背景

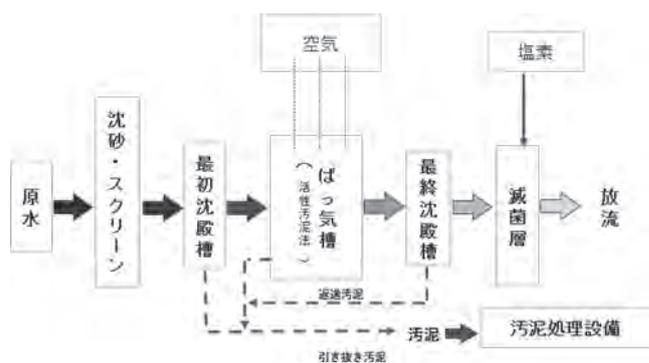
#### (1) 開発背景

当社では、大面積プリーツフィルターの技術を保有しており、濁水・微粒子ろ過装置への応用研究を進めてきた。それにより、表面ろ過による目詰まり防止と高澄清化を両立し、長期運転を可能とする開発に成功した。

#### (2) 従来の濁水処理装置の課題

##### 凝集沈降方式

一般的な凝集沈降方式のフロー（図一1, 2）およ



図二 一般的な下水処理の簡易フロー

び認識している課題を以下に示す。

#### (a) 凝集沈降方式の課題

- ①薬品コストが高い、また濁度・流量の増加に追従できず、排水基準をオーバーする。
- ②シクナー等装置が大きく、フットプリントが大きい、基礎工事費・設置費が高い。

- ③高度清澄処理では、砂ろ過・使い捨てフィルターが必要でランニングコストが高い。
  - ④凝集スラリーの脱水絞り性が悪く、居着き・目詰まり等のトラブルがある。
  - ⑤脱水ケーキは産業廃棄物となるため運搬・処分コストが大きい。
- (b) 下水処理の課題
- ①バイオ反応のため、長時間処理になる。
  - ②臭気対策が必要。
  - ③ばっ気など大量の電力消費。
  - ④ N<sub>2</sub>O 温暖化ガスの発生がある。
  - ⑤災害（浸水）リスクがある。
  - ⑥マイクロプラスチックの流出がある。
- (c) MF ろ過装置の課題
- ①目詰まり防止対策およびフィルター交換など維持管理が困難である。
  - ②中空糸・平膜など MF は活性汚泥処理 MBR で普及しているが、粘土質高濃度濁水や工業用排水処理では、膜付着物の目詰まり再生に課題があり採用が難しい。
  - ③一般的な MF の処理濃度の上限は 500 mg/L 前後で Flux 50LMH と処理能力が低い。
  - ④精密ろ過膜や装置システムが高価である。

### 3. 本システム概要

#### (1) 基本原理・構造

濁質の粒子をフィルター膜面でトラップし、微粒子を物理的に除去することで清澄化する。フィルターの付着物を間欠的に洗浄除去し安定した運転ができる。

#### (a) 大容量プリーツフィルター

プリーツフィルターは山折りした襞が放射状に開い

た円筒型の成形フィルターで、1本あたり 50 m<sup>2</sup>である。襞内部には通水用のスペーサー(プラスチックメッシュ)、及び中心部にはインナーチューブが配置され流水路を形成している。インナーチューブはフィルターのろ過によって発生する、中心方向への圧力を受ける。プリーツフィルターは通水ろ過の高差圧に耐える構造で 0.3 MPa の耐圧を有する。

フィルター膜はポリエステル基材に親水性 PTFE メンブレンをラミネートされており、そのろ過精度は、0.15 μm × 99.95 % となっている。また、耐熱 120℃、pH3 ~ pH11.5 の液が処理できる。図-3、4、写真-1 にプリーツフィルター形状を示す。

#### (b) フィルターベッセル

大容量プリーツフィルターを格納する耐圧容器で耐圧は 0.3 MPa、上部はフェールフランジになっており、フィルターの交換が容易にできる。またフェールフランジにはフィルターに回転導入するサーボモーター



写真-1 プリーツフィルター

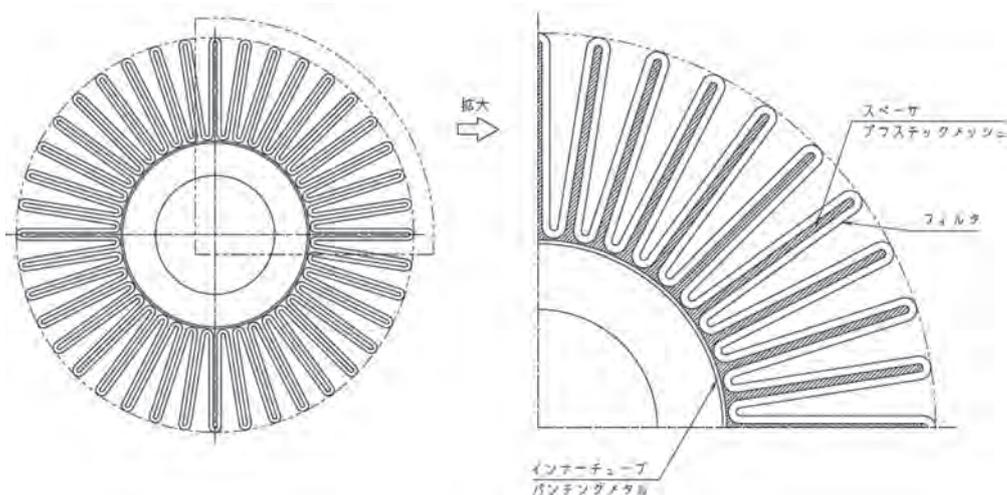


図-3 フィルター断面図

ターを備える。

ベッセルには、原水入口・スラリー排出・清澄水出口があり、フィルターの洗浄再生用スリットノズルを備える。図-4にベッセル単体図を示す。

(2) 処理フロー (図-5)

- ①原水ポンプにより、ストレーナーを介して、フィルターベッセル内に押込まれた内部のフィルターで微粒子を除去・清澄化して排出される。
- ②ろ過が進むとフィルター膜面に微粒子が凝集し、ケーキ層に成長する。
- ③ケーキ層は通水を阻害するので、定期的にフィルター再生を行う。フィルター再生モードでは、原水入口・清澄水出口を閉じ、洗浄水入口、スラリー排出口を開け洗浄モードに入る。
- ④ビーズタンクの洗浄ポンプで樹脂ビーズが混合した原水を吸引しベッセル内スリットノズルによりフィルターに吹付、同時にフィルターを回転させ

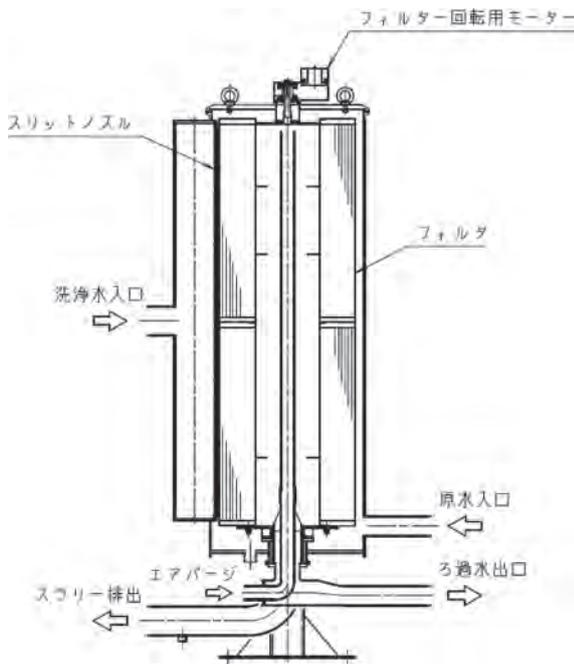


図-4 ベッセル単体図

ることでフィルターの全表面を洗浄し、付着物を剥離・再生する。洗浄モードは3分で完了する。

- ⑤洗浄が完了すると、ろ過モードに戻る。
- ⑥洗浄で回収したフィルター付着物スラリーはサイクロンで樹脂ビーズを分級し、濃縮スラリーのみ排出される。

4. 本システムの特徴

- ①独自のプリーツフィルターにより、ろ過通水性・洗浄排出性が良く、高濃度濁質ろ過に耐え、高Fluxを実現(中空糸の10倍)  
※ Flux = フィルター 1m<sup>2</sup> 当たり、時間当たり流量  $l/H = LMH$
- ②親水性テフロンメンブレンにより、高澄清度で水質を保持
- ③独自のビーズ混合洗浄方式により、膜面付着物を完全に除去し、連続安全運転が可能
- ④フィルターはベッセルに密閉収納され、コンパクトで設置場所を選ばない
- ⑤メンテナンスが容易でフィルター交換は10分以内で可能
- ⑥耐熱 120℃, pH3 ~ pH11.5, SS0 ~ 10,000 mg/L(最大) と原水の適用範囲が広い

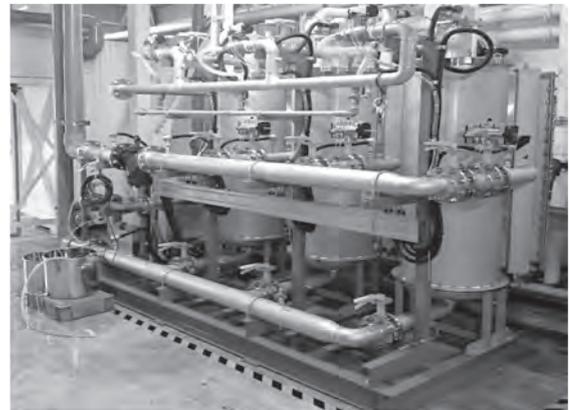


写真-2 本システム全体写真

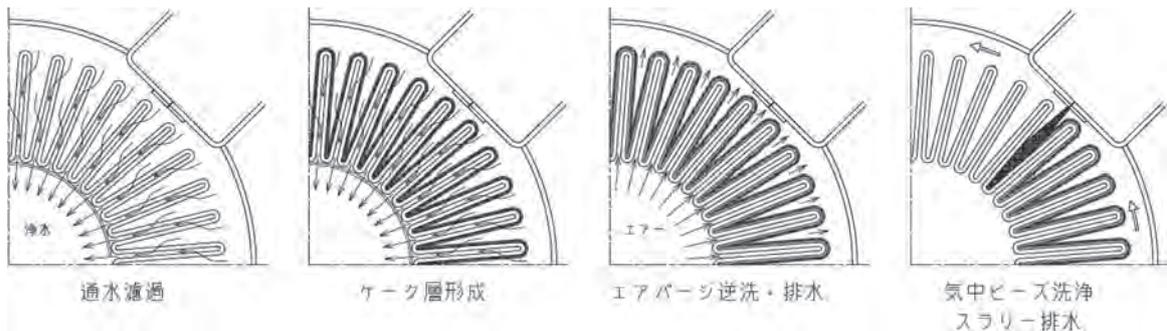
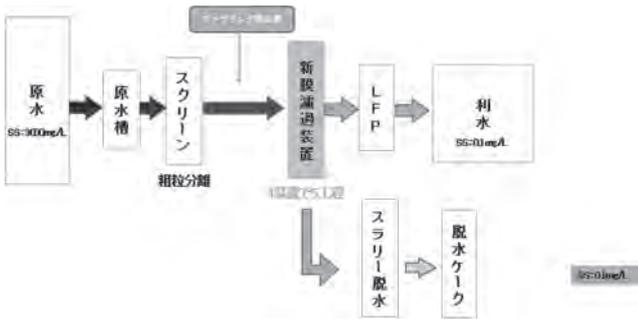


図-5 膜処理フロー



図—6 本システムの簡易フロー



図—7 膜ろ過の区分

表—1 MF膜処理比較

|          | 中空糸 | 平膜 | プリーツ |
|----------|-----|----|------|
| SS 濃度許容性 | △   | ○  | ◎    |
| 膜洗浄性     | △   | △  | ◎    |
| 比表面積     | ◎   | △  | ◎    |
| 膜寿命      | ○   | ◎  | ○    |
| 交換容易性    | △   | △  | ◎    |
| Flux     | △   | △  | ◎    |
| 膜コスト     | △   | △  | ◎    |
| 装置コスト    | △   | △  | ◎    |

### 5. 高度処理

本システムは高濃度 SS を許容し幅広い原水の清澄化が可能になった。

ただし原水の状況や処理水質の課題は多様で + α 機能を付加し対応する必要がある。高度処理により有機物や有害物質を効率的に除去し安全な水に再生する技術を確立した。

#### (1) 本システム LFP

大面積プリーツフィルターに活性炭などの機能性粉体を添着し機能性粉体の持つ吸着能力を最大化した。重金属イオン化合物・VOCs・COD・BOD・TOC な

どの吸着除去が可能、特に微量有害物質トリクロロエチレン・テトラクロロエチレン・PFOS・ジオキサンも検出限界まで除去清浄化できる。

#### (2) オゾンマイクロバブル

オゾンガスをマイクロバブル化し完全溶解することで効率の良いオゾン処理ができる。有機物分解・脱色・除菌・脱臭に効果がある。

### 6. おわりに

本システム革新的な水処理装置「ECO クリーン」は建設工事に伴うあらゆる排水処理に適用でき、河川湖沼などの環境修復・地下水汚染浄化・浚渫ダム工事排水浄化などに大きいメリットを提供できる。また LFP 法 / オゾン法を組み合わせ高度処理することにより例えば活性汚泥に比べ CO<sub>2</sub> を 60% 削減できる試算がある、地域分散型浄水設備・小規模下水処理・産廃処分場滲出浄化・放射能 / ダイオキシン系排水浄化・災害時の生活用水など、ほとんどの水処理課題に応えられると自負している。SDGs では水処理の CO<sub>2</sub> 削減をはじめ、安全な水をすべての人に、水資源の再生活用などを目標としており、本システムが目標達成に寄与貢献できることを願っている。

なお、本システムはその独創性革新性が認められ日本産業機械工業会「第 46 回優秀環境装置表彰」日本産業機械工業会会長賞、日本発明振興協会「第 46 回発明大賞」本賞を受賞している。

JICMA

#### 【筆者紹介】



西村 章 (にしむら あきら)  
 (株)流機エンジニアリング  
 代表取締役会長



西村 聡 (にしむら さとし)  
 (株)流機エンジニアリング  
 代表取締役社長



林 正也 (はやし まさや)  
 (株)流機エンジニアリング  
 常務取締役

# 自走式バイブロドリルマシンで高速施工可能な 注入管および観測井の開発

高 畑 陽

有害物質で汚染された土壌や地下水を非掘削で浄化する技術（原位置浄化技術）を行う場合、空気や浄化材を含む液体を汚染地盤まで供給するための注入管や、浄化状況を確認するための観測井は、浄化を行うために必要不可欠な設備である。本稿では、機動性が高く狭隘な場所でも作業可能な自走式バイブロドリルマシンを用いて注入管や観測井を迅速に設置する方法について、浄化工事への適用例を含めて紹介する。これらの注入管や観測井は掘削時にほとんど汚染土が発生しないため安全性が高く、引き抜きが容易で管材を繰り返し使用できるため、リサイクルの視点からも環境負荷が低い技術である。

キーワード：土壌・地下水浄化、原位置浄化技術、自走式バイブロドリルマシン、打ち込み式注入管、電極兼用注入管、打ち込み式簡易観測井

## 1. はじめに

国内における有害物質による土壌および地下水汚染は1990年代に顕在化し、2003年に土壌汚染対策法が施行されると土壌汚染に対する調査や対策件数は飛躍的に増加した。また、同年に宅地建物取引業法の不動産鑑定評価基準が改正され、土壌汚染の有無を重要事項として記載する義務が課せられるようになった。そのため、土壌汚染調査は法の対象になる場合だけでなく、土地取引等を行う場合に普遍的に行われており、土壌や地下水汚染が確認された場合には適切な措置が必要となっている。

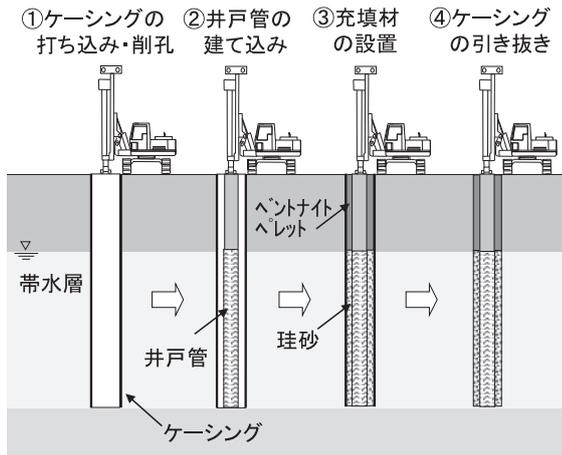
土壌汚染調査を目的とした試料採取では、掘削時に採取試料が二次汚染することを防ぐために無水で掘削作業を進める必要がある。また、比較的狭隘な場所で複数の地点を調査する機会が多いため、移動が容易な機械を用いて短時間で試料を採取できる方法が求められている。そこで、ロータリー方式と比較して機動性が高い自走式バイブロドリルマシン（以下、バイブロドリル）が開発され、多くの土壌汚染調査や観測井の設置に使用されている。

近年、有害物質で汚染された地中深くに存在する土壌・地下水汚染の浄化対策として、コストや環境負荷の小さい原位置浄化技術を適用する事例が増えている。環境省は区域内措置優良化ガイドブックの中で土壌汚染対策を行う場合の標準的な原位置浄化技術を提示しているが、その多くは地盤に様々な浄化用井戸を

設置して行う技術である（表1）。浄化用井戸には、汚染地下水や地盤中のガスを回収するための揚水井戸や吸引井戸、浄化に必要な空気や浄化材（化学的な分解剤、または浄化菌を活性化させるための栄養剤を含む溶液）を供給するための注入井戸（注入管）が多く使われているが、浄化用井戸は地下水を採取するための観測井（以下、従来型観測井）と同様の施工方法で設置される事例が多かった。従来型観測井は、1) ケーシング削孔、2) 開口部（スクリーン）を持つ井戸管の建て込み、3) 井戸管周りの珪砂やベントナイトペレットの充填、4) ケーシング回収、の複数の工程が

表1 浄化用井戸を用いる原位置浄化技術

| 原位置浄化技術        | 浄化用井戸               | 地上施設                      |
|----------------|---------------------|---------------------------|
| 土壌ガス吸引法        | 吸引井戸                | 吸引フロア<br>ガス処理装置           |
| 地下水揚水          | 揚水井戸                | 揚水ポンプ<br>水処理装置            |
| エアースパーキング      | スパーキング井戸<br>吸引井戸    | コンプレッサ<br>吸引フロア<br>ガス処理装置 |
| 加熱脱着           | 加熱井戸（電極）<br>吸引・揚水井戸 | 吸引装置<br>水／ガス処理装置          |
| 化学処理<br>（薬剤注入） | 注入井戸                | 送液ポンプ                     |
| 生物処理           | 注入井戸                | 送液ポンプ                     |
| 原位置土壌洗浄        | 揚水井戸<br>注水井戸        | 送液ポンプ<br>揚水ポンプ<br>水処理装置   |



図一 従来型観測井の設置手順

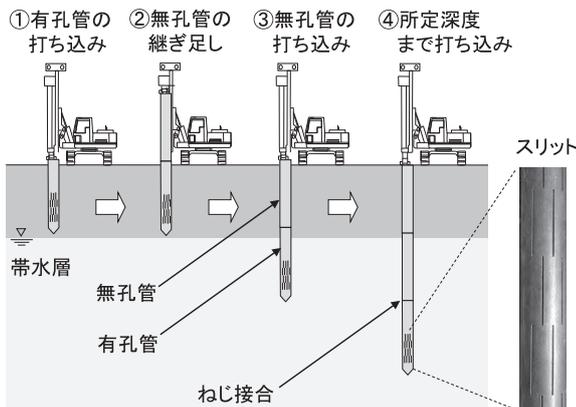
必要であり（図一1）、集水機能に優れている一方で、設置時間が長くなる課題があった。

汚染地盤を確実に浄化するためには、単位面積当たりにはできるだけ多くの浄化用井戸を設置する必要がある。そこで、パイプロドリルを用いて従来よりも短時間で設置可能な浄化用井戸および簡易観測井を開発した。本稿では、打ち込みにより設置する注入管および簡易観測井について概説すると共に、浄化工事および実規模試験への適用事例について紹介する。

## 2. 打ち込み式注入管

### (1) 打ち込み式注入管の概要

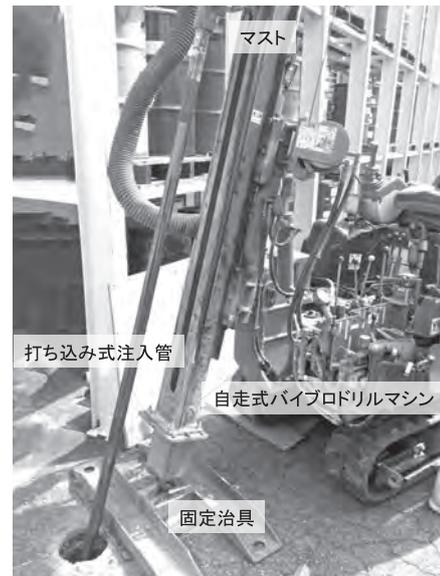
打ち込み式注入管の先端は、コーンとフリクションカットを備えた長さ約1mの規格品のガス配管用鋼管であり、打設とねじ接合を繰り返しながら所定の深度まで到達させる（図一2）。浄化に必要な空気や浄化材の供給量に応じて設計されたスリットを持つ有孔管を使用し、適切な深度に配置する。スリットは管内への土砂の侵入を防ぐ加工をしているため、排土・洗浄作業が不要で、設置直後から注入管を使用できる。



図二 打ち込み式注入管の設置手順

打ち込み式注入管は空気供給を行うバイオスパーキングによる原位置浄化工事<sup>1)</sup>を中心にこれまでに5,000本以上の実績がある。

打ち込み式注入管はパイプロドリルのマストの角度を自由に調整できる機能を利用して、斜め方向への打設が可能である。建屋直下の汚染地盤に対して、斜め方向に打ち込み式注入管を設置して浄化材を注入する浄化工事を過去に実施している<sup>2)</sup>（写真一1）。



写真一1 打ち込み式注入管の斜め方向への設置状況

### (2) 打ち込み式注入管を用いるガソリンスタンド跡地の浄化事例

ベンゼンおよび油による帯水層汚染が生じているガソリンスタンド跡地に対して打ち込み式注入管を用いるバイオスパーキング（帯水層に空気を供給して、汚染地盤に存在する好気性浄化菌を活性化させることによりベンゼンや油を分解する浄化技術）を行った。土壌汚染対策法に準じた調査を実施した結果、図一3に示す約100m<sup>2</sup>の①～⑦の7区画にベンゼンおよび油による汚染が存在することを確認した。土壌中のベンゼン溶出量および油分濃度はそれぞれ最大で0.13mg/L、8,100mg/kg（いずれもGL-2.0mの深度）であり、地下水中のベンゼン濃度は最大で5.1mg/Lであった。過去に実施したバイオスパーキングでは注入管（スパージング井戸）として従来型観測井を用いたため、設置本数をできるだけ少なくできるように注入管の間隔を約5m、スパージング風量を100～150L/minとして浄化を実施した<sup>3)</sup>。しかしながら、この条件では帯水層に大量の空気を供給する必要があるため、敷地外に空気が拡散しないように遮断措置として鋼矢板などを設置する必要があった。

短時間で設置できる打ち込み式注入管の特長を活かすため、帯水層の最下層に位置にスリットを設けた打ち込み式注入管(図-3)を1.73m間隔で設置した(図-4)。注入管からの空気到達範囲が1.0mとなる空気供給量は、1本あたり5L/minで十分であることを原位置試験により確認した。また、本浄化エリアは早急な浄化が不要な土地であったため、図-3に示す7つの区画を1区画ずつ浄化し、打ち込み式注入管の打設と引き抜きを繰り返しながら浄化を行った。②区画から④区画にかけて実際に打設した注入管の配置を図-4に示す。本サイトでは、注入管の引き抜きおよび次の区画への設置を3日間で行えた。また、単位面積あたりの空気供給量を従来技術より1/3以下に減らせたことにより、本サイトでは0.45kWの汎用性の高い小型のコンプレッサ6台を用いることで空気供給が可能となり、遮断措置も不要となった。

微生物浄化に必要な栄養塩(窒素、リン)を含む浄化材を浄化開始前に各注入管から供給後、約3ヶ月を目安に各注入管から空気供給を行った。土壤のベンゼン溶出量および地下水中のベンゼン濃度が環境基準値(0.01mg/L)以下となり、土壤の油臭・油膜が無くなっ

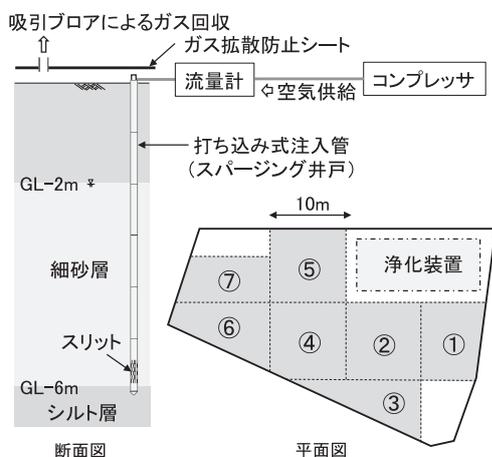


図-3 汚染サイトの平面図および断面図

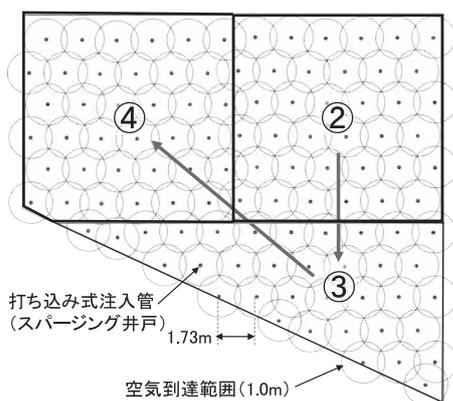


図-4 打ち込み式注入管の平面配置

ていることを確認後、次の区画に浄化装置を移設して順次浄化を行った。いずれの区画でも、浄化達成までの期間は3~4ヶ月間となり、計画した期間内に浄化を完了した。

### (3) 打ち込み式注入管を用いたトリクロロエチレン汚染地下水の浄化事例

汚染帯水層に有機物を主成分とする浄化材を供給してトリクロロエチレンなどの塩素化エチレン類で汚染された地下水を浄化する技術が広く普及している<sup>4)</sup>。本浄化技術では浄化材を供給するための注入管を帯水層に設置し、地上から送液ポンプ等を利用して溶液の浄化材を供給する。打ち込み式注入管のスリットの開口率は1~2%程度であり、従来型観測井(約10%)と比較して小さいため、注入管を多く設置して複数の注入管から同時に浄化材を供給することにより浄化の効率化を図っている。

近年、浄化期間を短縮するため、浄化材に加えて有用な浄化菌を含む菌液を汚染帯水層に供給する技術が着目されている。筆者らが単離した浄化菌(UCH007株<sup>5)</sup>)は嫌気性細菌であるため、菌液は約20L容の密閉性の高い耐圧容器で培養したものを浄化サイトまで輸送し、酸素に触れないように窒素ガスを用いて地盤に供給する方法を開発した<sup>6)</sup>。トリクロロエチレンで汚染された帯水層に耐圧容器1本あたり約10分(約2L/min)でUCH007株を含む菌液を供給した結果、菌液を供給した汚染帯水層では同一サイトでの浄化材のみを供給した帯水層と比較して、地下水の浄化期間が約2ヶ月短縮できることを確認した<sup>7)</sup>(図-5)。

## 3. 電極兼用注入管

### (1) 電気発熱法の概要

揮発性有機化合物(以下、VOCs)が地盤に漏洩した場合、汚染物質が地盤内に長期間滞留することによりVOCsがシルト層や粘土層などの難透水層に含浸

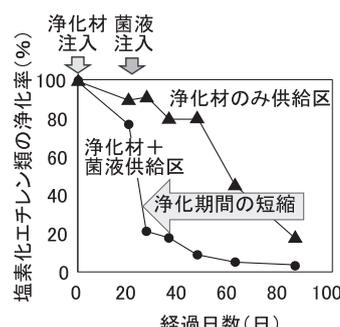
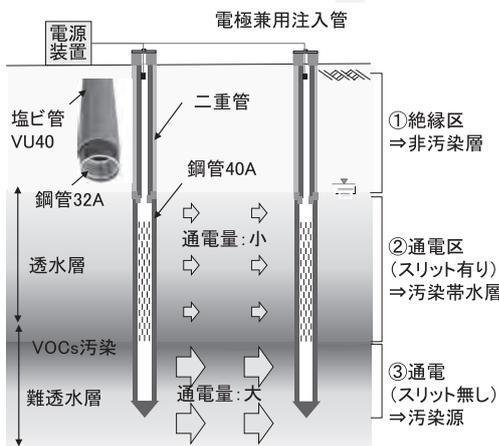


図-5 実汚染サイトでの浄化菌液の供給状況と浄化効果

する場合がある。難透水層に含浸した VOCs は長期間地盤に滞留して地下水への長期的な汚染源となる。そのため、砂層などで構成される帯水層だけでなく、その周囲の難透水層に存在する VOCs を浄化することが、浄化措置後に地下水中の汚染物質濃度が再上昇する現象（リバウンド現象）を防止するために重要である。

難透水層に存在する VOCs に対して機械混合や噴射攪拌を行わずに原位置浄化を適用する方法として加熱脱着（表—1）があり、その中でも電気発熱法<sup>8)</sup>が着目されている。電気発熱法は汚染物質が存在する地盤に電極を設置して地盤に電流を流すことにより土壌を抵抗体として発熱させる方法である。砂層のような透水層よりもシルトや粘性層などの難透水層の方が電流が流れやすく温まりやすいという性質を利用し、難透水層の土粒子間に強く吸着した VOCs の透水層への溶出や気化を促進することで、透水層だけでなく難透水層に存在する VOCs を同時に浄化することが可能な技術である。

加熱脱着法は透水層に溶脱した VOCs を抽出もしくは分解できる原位置浄化技術と組み合わせて浄化を行うが、特に生物処理（微生物浄化）と組み合わせることによりコストや電気使用量を小さくすることができる。微生物浄化を行うには透水層へ空気や浄化材を供給する必要があるため、打ち込み式注入管の技術を応用して図—6 に示す電極兼用注入管を開発した。地上付近の汚染が存在せず浄化が不要な土層には鋼管の周囲に塩ビ管を被せた二重管を配置して絶縁し、空気や浄化材を供給する必要がある汚染帯水層にはスリットを持つ有孔管、難透水層には無孔管をそれぞれ浄化対象とする地盤の汚染状況に合わせて配置することで、これまで別々に設置されていた電極と注入管を1本の浄化用井戸で行うことが可能である。二重管部



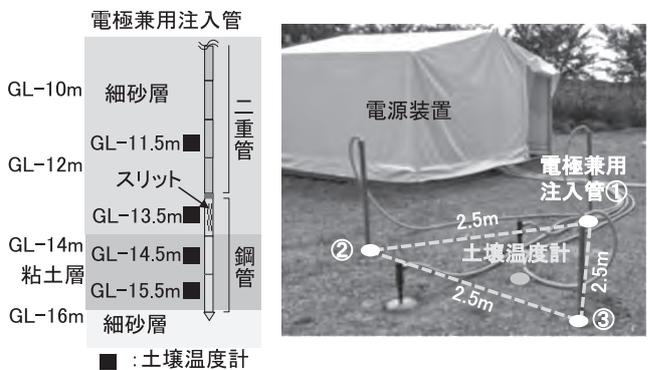
図—6 電極兼用注入管の概念図

と鋼管部はほぼ同一の外径であり、図—2 で示した工程とほぼ同様に施工できる。本管を用いることにより、必要な深度のみに電流を流して地盤を発熱することが可能である。

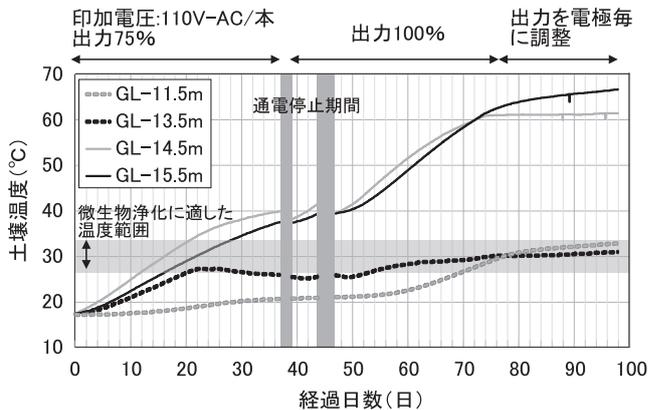
(2) 電極兼用注入管を用いた地盤の加熱試験

加熱試験を実施した地盤の土質柱状図、温度計設置位置、電極兼用注入管および温度計の平面配置を図—7 に示す。GL-14 m ~ GL-16 m の粘土層を VOCs が含浸した汚染源、GL-10 m ~ GL-14 m の砂層を VOCs 汚染帯水層と想定し、GL-13 m ~ GL-16 m の3 m を通電区間、地上部から GL-13 m までは絶縁区間とした。電極兼用注入管は一辺 2.5 m の正三角形の頂点にあたる3箇所に設置し、正三角形の重心の直下にあたる砂層と粘土層に対して2深度ずつ土壌温度計を設置した。

3相交流、200 V、50 A の電流を電極兼用注入管から流して土壌温度を測定した結果を図—8 に示す。通電前の土壌温度は17℃~18℃であったが通電後に粘土層の温度は砂層より大きく上昇し、砂層の温度を30℃前後の微生物分解に適した温度に管理した状態で粘土層の温度は60℃以上に上昇した。このような温度管理を行うことで、粘土層から砂層への VOCs の



図—7 加熱試験実施サイトの断面図および地上部の全景



図—8 各深度における土壌温度の推移

溶脱を促進させると共に、帯水層に溶脱した VOCs は浄化菌によって速やかに浄化可能である。

#### 4. 打ち込み式簡易観測井

##### (1) 打ち込み式簡易観測井の概要

観測井は地下水の汚染状況や地下水流向などの管理に必要な不可欠な観測ツールであり、よりの確な調査や浄化措置を行うためには観測井をできるだけ多く配置して管理を行うことが望ましい。土壤汚染対策法ガイドラインには長期的に観測を行う観測井に求められる条件として、1) スクリーンは適切な開孔率を有すること、2) 汚染物質と反応しない材質を使用すること、3) 内径を 25～50 mm 程度とすること、4) 雨水等の侵入を防止するために観測井上部に適切なシールを施すこと、と定めている。

打ち込み式簡易観測井は、鋼製のコーンを先端に配置した井戸管の外側に鋼管を挿入し、バイプロドリルを用いて鋼管と井戸管が一体化した二重管を所定の深度まで打設後、井戸管を地盤に保持したまま外側の鋼管を順次引き抜いて観測井を残置させる方法である(図-9)。

観測井は VP25 と小孔径であるが、井戸管のスクリーンの集水機能を損うこと無く施工が可能であるため井戸洗浄が不要である。鋼管の回収後に井戸管と地盤に約 4 mm の小さな隙間ができるが、時間と共に周囲の土砂によって隙間が埋められる。そのため、管頭部において適切な雨水の浸透防止対策を行えば、従来型観測井とほぼ同様の水質データを取得できる。また、グラベルパッキングが無い小孔径の観測井であるため、従来井戸より寿命は短くなる可能性があるが、地下水採取時のパージ量を減らすことができる。

##### (2) 打ち込み式観測井の適用事例

地下水が酸性化したサイトの中和対策として、地下水流向に対してほぼ垂直方向に総延長約 250 m のトレンチを帯水層上面(地下水位: GL-1 m 程度)まで削孔して構築し、個々のトレンチから pH 中和用の

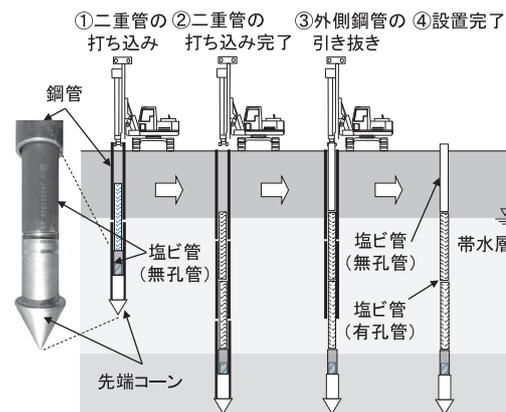


図-9 打ち込み式簡易観測井の設置手順

薬液を供給した。中和作業の効果を詳細に把握するため、図-10 に示す地点に打ち込み式簡易観測井を 26 箇所設置した。全ての観測井の設置作業は 2 日間で完了し、打設直後から井戸洗浄を行うことなく個々の観測井から地下水を採取して pH 等の測定を行うことにより、詳細な中和状況の管理を行うことが可能となった。

これまでに本サイトを含めて地盤条件の異なる 3 つのサイトで打ち込み式簡易観測井の施工実績があり、いずれのサイトでも地下水観測が長期的に実施可能であることを確認している。

#### 5. おわりに

本稿では、土壤および地下水汚染に対する原位置浄化工事に用いる注入管、電極、観測井をバイプロドリルの振動貫入による打ち込みを利用して地盤に設置する技術について紹介した。本施工技術の共通の特長を以下に示す。

- ・小型のバイプロドリルで施工でき、騒音や振動の発生が比較的小さく、都市部や稼働中の工場内などの狭隘な場所でも施工できる。
- ・従来技術と比較して約 1/10 の短時間で注入管や観測井を設置できる。
- ・鋼管や井戸管の引き抜き作業が容易であり、破損が無ければ繰り返し使用できる。

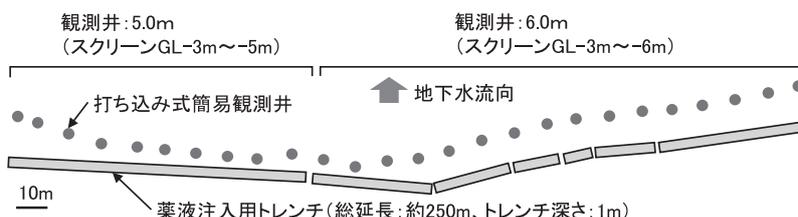


図-10 酸性地下水の中和作業の管理に用いる打ち込み式簡易観測井の配置状況

・施工時に汚染土壌や地下水が地上部においてほとんど発生しない。

今回紹介した技術が原位置浄化を行う場合の工期短縮と品質管理の向上に役立つことを期待する。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 高畑陽, 伊藤雅子, 太田綾子, 大石力, 高橋由布子, 松尾寿峰: 都市部における土壌・地下水浄化対策の工期短縮への取り組み, 大成建設技術センター報第48号, No.4, pp.1-6, 2015.
- 2) 高畑陽, 伊藤雅子: 帯水層に対する高比重微粉末樹脂の注入試験, 第73回土木学会年次学術講演会概要集(Ⅶ部門), pp.183-184, 2018.
- 3) 桐山久, 高畑陽, 大石雅也, 有山元茂, 今村聰, 佐藤健: ベンゼン汚染帯水層に対する揚水循環併用バイオスパーキング工法の適用と効果の検証, 土木学会論文集F, Vol.66, No.4, pp.612-622, 2010.
- 4) 高畑陽: 有機化合物による環境汚染の現状とその対策-4 バイオレメディエーションの実際: 揮発性有機塩素化合物による土壌・地下水汚染と対策技術, 化学と生物, Vol.49, No.4, pp.256-260, 2011.
- 5) Uchino, Y., Miura, T., Hosoyama, A., Ohji, S., Yamazoe, A.,

Ito, M., Takahata, Y., Suzuki, K. and Fujita, N.: Complete genome sequencing of *Dehalococcoides* sp. strain UCH007 using a differential reads picking method, Standards in Genomic Sciences, Vol.10, 102, 2015.

- 6) 高畑陽, 伊藤雅子, 内野佳仁, 山副敦司: *Dehalococcoides* 属細菌 UCH007 株の汚染帯水層への導入方法の検討, 令和2年度第75回土木学会年次学術講演会, Ⅶ-77, 2020.
- 7) 伊藤雅子, 高畑陽, 内野佳仁, 山副敦司: *Dehalococcoides* 属細菌 UCH007 株を用いる塩素化エチレン類汚染地下水の浄化実証, 令和2年度第75回土木学会年次学術講演会, Ⅶ-78, 2020.
- 8) 佐藤徹郎, 長曾哲夫: 電気発熱法を用いたハイブリッド原位置浄化, 環境浄化技術, Vol.14, No.5, pp.51-55, 2015.

【筆者紹介】

高畑 陽 (たかはた よう)  
大成建設(株) 技術センター  
主幹研究員



# 環境低負荷資材を利用した土壌固化・地盤改良技術の開発とその可能性

中村 孝道

土壌固化や地盤改良には、セメント系の改良資材を使用するのが一般的である。セメント系資材は、六価クロムを含む重金属汚染や高アルカリ成分の溶出などの問題を孕んでいるため、周辺地盤環境の保全という観点からは環境非配慮型の資材であると言わざるを得ない。そこで、環境配慮型および調和型土壌固化方法および改良施工法を開発を目的に、微生物と農業用肥料といった環境低負荷資材のみを用いた土壌固化技術を開発した。改良体からの環境汚染の懸念がないため、改良土の用途に拡張性があると考えられる。さらには、重機による施工が不要と想定されることから、施工過程におけるCO<sub>2</sub>排出量を大きく削減できる可能性がある。本稿では今回開発した土壌固化技術の全体像について紹介する。

キーワード：環境配慮型, 環境調和型, 微生物, 農業用肥料, 土壌固化, 緑化資材

## 1. はじめに

建築物や土木構造体などの躯体を始め、それを支える地盤の改良や盛土や切り土のり面の保護など、建設業の現場にはコンクリートを始めとするセメント系の資材がありふれている。強度発現性、安定供給性、経済性の側面からセメント系資材は建設業において重要な材料であり、インフラ整備を始めとする国土の開発と発展の礎であることに疑問はない。しかし、セメントの特性である高アルカリ性に起因する安全性の問題、セメント製造過程で発生するCO<sub>2</sub>排出量の問題や六価クロム含有のための重金属汚染など、周辺環境への影響を考慮すると問題を孕んでいる資材といえる。また、老朽化等により不要となった際、セメント系資材の撤去は作業性および経済性の面から困難な場合が多い。そこで、セメント系資材を使用しない環境配慮型および調和型土壌固化・地盤改良技術の開発に着手した。持続可能な開発目標 (SDGs) の17の目標のうち特に、「目標12：つくる責任 つかう責任」・「目標15：陸の豊かさを守ろう」に対し、目標達成に寄与できる技術開発を目指した。

## 2. バイオミネラリゼーション (MICP法) の適用

微生物機能による鉱物化反応(バイオミネラリゼーションあるいは Microbial-Induced Carbonate Precipitation

(MICP法))を土壌固化の核技術として適用した。微生物機能を利用したバイオミネラリゼーションとは、微生物の代謝によって炭酸塩を生成し結晶化することで炭酸岩化を促進させることである(図1)<sup>1)</sup>。最も有用な微生物は、尿素分解菌 *Sporosarcina pasteurii* が有名である<sup>2)</sup>。尿素分解菌は、尿素分解によってCO<sub>2</sub>とアンモニアを生成することで、炭酸塩の基を供給するとともに鉱物化反応に有利な弱アルカリ環境を整備することができる。高強度コンクリート並の固化が可能という報告<sup>3)</sup>もあるものの、アンモニア発生による悪臭や土壌の窒素汚染といった問題があるため、環境における実用には難がある。他にも硝酸還元菌による脱窒反応を利用した方法<sup>4)</sup>があるが、反応速度が極めて遅いため実用的な方法ではない。さらにはパン酵母の発酵による炭酸供給を利用した方法<sup>5)</sup>も検討されたが、アルカリ環境の形成に課題があり実

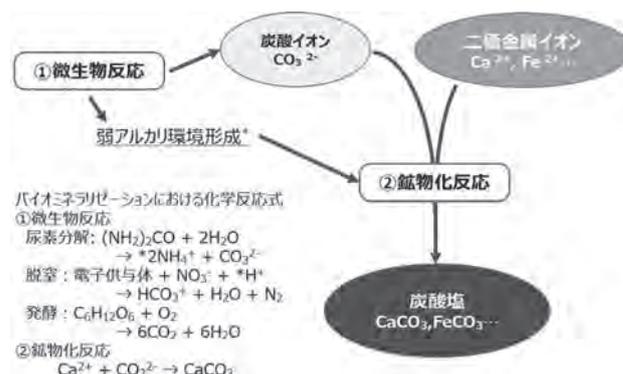


図1 微生物機能を利用したバイオミネラリゼーションのメカニズム

用的ではないと考えられた。しかしながら、パン酵母はドライイーストとして広く流通しており入手が容易であること、微生物学等の専門的な知識がなくても取扱いが容易で高い発酵能力を発現できることから、バイオミネラリゼーションに高い有用性があると考えた。そこで、アルカリ環境の形成が可能となれば実用性が高くなると考え、パン酵母によるバイオミネラリゼーションを利用した土壌固化技術の開発を行った。

### (1) パン酵母とスラグ肥料の利用

パン酵母は発酵によって糖を分解してCO<sub>2</sub>を発生させるが、中間代謝物として乳酸や酢酸などの有機酸を生成するため発酵過程においてpHが下がってしまう。酸性条件下では鉱物化反応が起こらないため、炭酸塩の基であるCO<sub>2</sub>が安定的に供給されてもミネラリゼーションには不利な条件である。そこで、アルカリ状態を保持安定させる資材として、酸性土壌の改良資材であるスラグ肥料に着目した。スラグ肥料は、鉄鋼製造工程において副産物として発生する鉄鋼スラグ(高炉スラグと製鋼スラグ)を原料に製造されている。鉄鋼スラグは様々な用途に応じ製造・品質管理が行われており、各種環境基準を満たした環境配慮型リサイクル資材として利用されている。高炉スラグは肥料成分であるCaO, SiO<sub>2</sub>, MgOを、製鋼スラグはさらにFeO, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などを含んでおり、稲作、畑作および牧草用の肥料として利用されている。いずれも石灰分(アルカリ分)を含むことから酸性土壌の矯正剤としても機能する。この機能をアルカリ安定剤として活用することにした。

砂質土(山砂)を母材として固化実験を行った。pH調整剤としてスラグ肥料を母材に対し重量1%程度配合し、炭酸塩の基としてのカルシウムイオン供給源としてやはり肥料として利用される硝酸カルシウムを添加、それにドライイーストと水道水を混合し30℃の恒温室内で養生した。その結果、固化体を形成することに成功した(写真-1)<sup>6,7)</sup>。試験体のpHを8.0~8.5に安定させ鉱物化反応に有利な環境を整備することができ、また、固化の進行とともに試験体中のカルシウムイオン濃度が減少しており、炭酸カルシウムが析出していることが示された。スラグ肥料の配合によってパン酵母の反応による固化体の形成は出来たものの、強度発現には養生5日程度を要し、固化体の強度(一軸圧縮強度換算値として0.1N/mm<sup>2</sup>以下)も十分ではなかった。

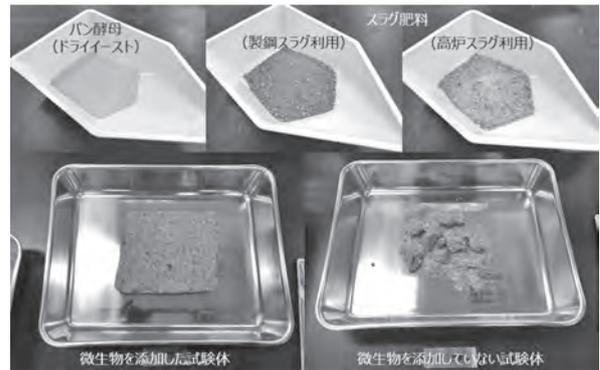


写真-1 パン酵母とスラグ肥料を利用した固化試験体

### (2) 貝殻資源配合による強度発現

強度発現に日数を要しかつ十分な強度が得られないことは、固化技術としては致命的といえる。この重要課題の克服には鉱物化反応のさらなる促進が必須であると考えた。鉱物化反応は、物質中に炭酸塩が存在することで、その炭酸塩を核として結晶化する<sup>8)</sup>。それを利用し炭酸塩を対象土壌に事前に配合しておくことで、土壌固化における鉱物化反応の促進が可能ではないかと考えた。そこで鉱物化反応の結晶核として、ホタテ貝殻を脱塩・粉砕し再利用した未焼成ホタテ貝殻資源(写真-2、以下貝殻資源)に着目した。貝殻の主成分は炭酸カルシウムの結晶である。複数の炭酸塩結晶がタンパク質を接着剤として結合して複雑な構造を形成している。この結晶構造が鉱物化反応の結晶核として機能するものと考えた。なお、貝殻資源もスラグ肥料同様、農業用肥料としてされている環境配慮型リサイクル資材である。



写真-2 貝殻資源と固化供試体

砂質土に加え、粘性土（赤土）を母材として固化実験を行った。なお、粘性土は pH が 6 台と比較的低いため、スラグ肥料の配合だけでは固化することができなかった。砂質土の場合は母材重量に対し 10% 程度、粘性土の場合は 50% の貝殻資源を配合し、先の実験同様硝酸カルシウムとスラグ肥料を添加しドライイーストと水道水を混合し 30℃ の恒温室内で養生した。その結果、砂質土では養生 2 日程度と強度発現を早めることができた。また、強度発現には養生 3～4 日程度かかるものの貝殻資源の配合により粘性土の固化に成功した。貝殻資源の添加により、種結晶として機能し結晶化を促進し、貝殻資源間の結合がより進行したものと考えられる。すなわち、土壌粒子間と貝殻資源間で起きた二つの鉱物化反応の相乗効果によって土壌固化が促進され効果的に強度が発現したものと考えられる<sup>9)</sup>。貝殻資源を配合した試験体はかなりしっかりと形状が保持され、写真—2 に示すような供試体の作成ができた。粘性土を母材とした供試体の一軸圧縮強さは、物によっては  $1 \text{ N/mm}^2$  以上を示しセメント改良土並の強度となった。

### (3) 表層地盤改良の検討

上記固化に成功した粘性土は、熊谷組技術研究所敷地内の屋外実験ヤード内の土壌であった。この土壌を現場発生土と見立て、セメント系資材を使用せず環境低負荷資材を配合することで、現場発生土を対象とした表層地盤改良の屋外施工試験を実施した。1 m 四方の試験区を深さ 1.5 m 掘削し（写真—3 ①）、掘削土に貝殻資源、硝酸カルシウム、スラグ肥料、ドライイースト、水道水を添加した（写真—3 ②）。50 cm ごとに混合攪拌（写真—3 ③）と転圧（写真—3 ④）を行い、浅層混合処理工法を基本とした簡易的な表層地盤改良試験を行った。施工中に改良土をサンプリングし供試体を作成した。目標設定強度は  $0.1 \text{ N/mm}^2$  以上としたが、35 日後の供試体の一軸圧縮強さは  $0.60 \sim 0.99 \text{ N/mm}^2$  と残念ながら目標を達成することはできなかったが、パン酵母による固化反応は起こり改良体が形成されているものと考えられた。改良体形成を確認するために、施工試験から 18 ヶ月後に試験場所を掘削し改良体を掘り起こした（写真—4）。地中に改良体を確認され、軟岩用の針貫入試験器（軟岩ペネトロ計）を用いて強度を測定した結果、約  $1.5 \text{ N/mm}^2$  の一軸圧縮強さ換算値が得られた。一軸圧縮強さの実測値としては  $0.2 \sim 0.3 \text{ N/mm}^2$  と予想され、地中においてもパン酵母による土壌固化反応によって改良体形成が可能であることが分かった。



写真—3 屋外施工試験における工程



写真—4 屋外施工試験と掘り起こした改良体

しかしながら、改良体の形成および強度に大きなばらつきが観察され、地盤改良技術として 2 つの大きな課題がある。1 つ目は、1 m 以深では改良体が形成されていなかった。深部で改良体形成がなされないのは酸素供給不足が原因であると考えられる。地中では酸素が少なくなり深部においては無酸素状態になっている。無酸素条件下ではパン酵母による土壌固化が進行しにくいことを室内実験で確認しており、地中深い場所での固化に限界があると予想されていた<sup>9)</sup>。したがって、1 m 以深ではパン酵母による土壌固化は適用不可であることが示された。2 つ目は、改良体内部に十分な強度を持たない脆弱な部分が混在している状況であった。これは、単純に資材の混合攪拌が不十分であったのが原因と考えられる。試験区が非常に狭かったため小型とはいえバックホーでの混合攪拌による資

材の均一化が困難であったものと考えられる。また、資材が複数あることも原因と考えられる。予め各資材を混合しプレパック資材とする方法が有効であると考えられる。プレパック資材と現場発生土をモルタルミキサーなどでよく混合し埋め戻しするという施工法が、実用性が高いものと考えられる。地中深部では適用が難しいことやプレパック資材を混合する現場施工性の観点からは、1 m 以浅の表層面の舗装に最も適用性があると考えられる。

### 3. 地盤改良以外の展開の検討

以上の取組により、微生物と農業用肥料といった環境低負荷資材のみを用いた土壌固化技術を開発した。本技術の一番の特徴は改良体からの環境汚染の懸念が極めて低いことである。この特徴を生かした有効活用方法としては、緑地や公園内の通行路の舗装や建設現場の仮設通路の簡易舗装、のり面の保護などに本技術の適用性が高いのではないかと考えている。また、地盤改良や舗装以外の用途に改良土自体が有効利用できるのではないかと考えている。例えば、本技術によって砂質土を植生に適した土壌に改良することで緑化技術への転用可能性がある。現在、簡易舗装の実用化を目指した技術開発および緑化技術転用の検討を進めている。

#### (1) 舗装用成形材の作成

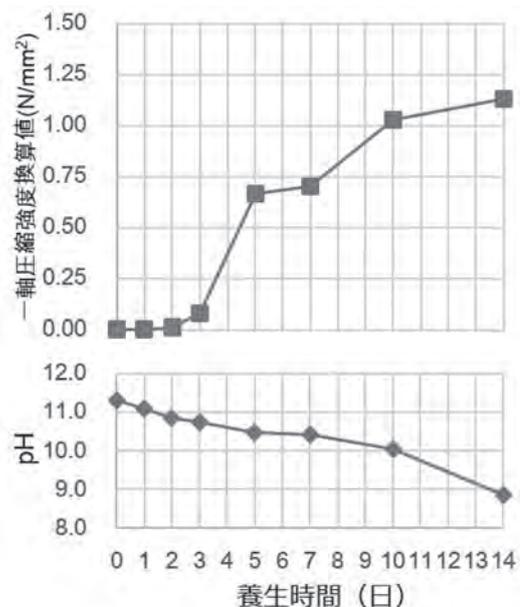
インターロッキングブロックのような舗装用成形材をイメージし、砂や土壌を母材とした成形材の作成を検討している。安定して  $1 \text{ N/mm}^2$  以上の強度を発現させるために貝殻資源を多めに配合する以外は先にした実験と同様の方法により固化実験を行っている(写真—5)。図—2に実験時のデータの一例を示すが、2～3日目で強度発現が見られ、最終的に  $1 \text{ N/mm}^2$  以上の強度が再現性良く得られている現状にある。pHについては9近くで安定し弱アルカリ性である。このような舗装用ブロックを作成することができるが、現場発生土を用いた舗装技術としての実用化を考えている。今後は、現場にて資材を混合し舗装する現場施工法を検討していく方針である。

#### (2) 緑化技術への転用

植物の生育に有利な土壌の条件として有機的で肥沃であること、つまり生物学的および化学的な特性が重要であると考えられるが、保水性や根張りをよくするためには物理性も重要である。パン酵母とスラグ肥料を

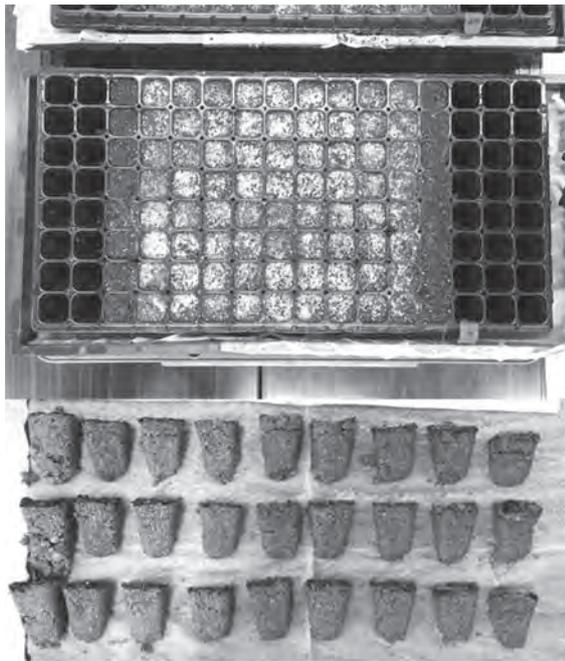


写真—5 砂を母材とした成形材試作品



図—2 試験体の強度発現と pH の推移

利用した土壌固化技術には、パン酵母利用による生物性改善、肥料成分添加による化学性改善、固化による物理性改善の効果があるといえる。pH を上げすぎず緩やかな固化状態が保持できれば砂質土を植生に適した土壌に改良できるのではないかと考えた。現在、砂を対象として固化培土作成の検討を始めたところである(写真—6)。のり面保護工や近年の豪雨災害により増加している土砂崩れに起因する崩壊地の復元といった現場への適用を想定し、実用化を検討していく方針である。



写真一6 固化培土試作品

#### 4. おわりに

セメント系資材を使用しない環境配慮型および調和型土壌固化技術を開発した。本技術は、重金属汚染などの環境影響や製造工程におけるCO<sub>2</sub>排出量の多いセメント資材を、環境低負荷資材で代替することで環境影響の懸念が極めて低く、さらには大型重機による施工が不要と想定されることから、製造から施工過程を含めてCO<sub>2</sub>排出量を大きく削減できる可能性がある。コンクリートやセメント資材の役割を代替することはできないが、本技術の用途によっては、地球環境の保全に対し責任を持ちその土地の豊かさを守ること

ができる、サステイナブルな土壌固化・地盤改良・土壌改良技術となる可能性がある。

JCMA

#### 《参考文献》

- 1) 川崎了：微生物機能を利用した地盤改良技術の現状，資源素材学会誌，131，155-163，2015。
- 2) DeJong, J.T., Fritzges, M.B. and Nusslein, K.: Microbial induced cementation to control sand response to undrained shear. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(11), 1381-1392, 2006.
- 3) van der Star, WRL., Taher, E., Harkes, M.P., Blauw, M., van Loosdrecht, MCM. and van Paassen, L.A.: Proc. Int. Symp. on Ground Improvement Technologies and Case Histories (ISGI2009), Ed. by C. F. Leung, J. Chu and R. F. Shen, 177-182, 2009
- 4) Martin, D., Dodds, K., Butler, I. B., and Ngwenya, B. T.: Carbonate Precipitation under Pressure for Bioengineering in the Anaerobic Subsurface via Denitrification, Environmental Science and Technology, 47, 8692-8699, 2013.
- 5) 川崎了，村尾彰了，広吉直樹，恒川昌美，金子勝比古：微生物の代謝活動により固化する新シグラウトに関する基礎的研究，応用地質，47，2-12，2006。
- 6) Nakamura, T., Endou, M. and Taniguchi, E.: Solidification of soil using microbial function. 32nd annual meeting of Japanese society for microbial ecology & 10th Asian symposium on microbial ecology, 06-7, 2018.
- 7) 中村孝道：地球環境問題解決に寄与する技術開発を目指した研究開発の取組－持続可能な循環型社会を実現のための基礎技術開発，実験力学，19（4），269-275, 2019.
- 8) Akiyama, M. and Kawasaki, S.: Improvement in the unconfined compressive strength of sand test pieces cemented with calcium phosphate compound by addition of calcium carbonate, Ecological Engineering, 47（3），264-267, 2012.
- 9) 谷口恵梨，中村孝道，遠藤正美，阿部磨弥，川崎了：パン酵母と農業用肥料を使った環境調和型地盤改良技術の開発，第14回地盤改良シンポジウム論文集，p. 213-220，2020。

#### 【筆者紹介】

中村 孝道（なかむら たかみち）  
 ㈱熊谷組 技術本部 技術研究所 循環工学研究室  
 主任研究員



# 横浜市役所の ZEB の実現

左 勝 旭

横浜市役所は、ZEB Ready を目指して 2020 年 5 月に竣工した。竣工時の BELS 評価では BEI 値 0.48 を取得し、計画当初から目標としていた大都市庁舎の ZEB を実現した。本稿では ZEB を実現した都市型市庁舎の計画概要、環境・設備計画概要、基準階執務室計画、空調設備計画、運用と検証について報告する。

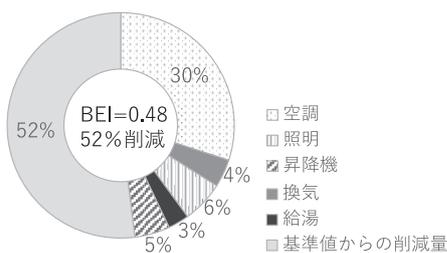
キーワード：ZEB、市庁舎、輻射、自然換気、地中熱、デシカント、環境センシング、RFID タグ

## 1. はじめに

SDGs 未来都市である横浜市は 2030 年のあるべき姿の実現に向けた優先的なゴール、KPI を設定し取り組んでいる。横浜市役所（以降、本建物）の計画と建設は、横浜市の設定した KPI に貢献するために、本建物の計画及び建設に関する課題を掲げ取り組んできた。また、ZEB Ready を目指し基本計画から積極的に取り組み、2020 年 5 月竣工を迎えた。竣工時の BELS 評価にて BEI 値 0.48（**図一**）を取得し ZEB ready となり、計画当初からの目標である大都市における市役所の ZEB を実現した。



写真一 横浜市旧市役所



図一 エネルギー削減量

## 2. 計画概要

開港百周年（1959 年）を記念に建てられた村野藤吾設計による旧市役所（**写真一**）は、横浜市の人工増加や社会状況の変化に伴う業務範囲の拡大により執務スペースは不足し、庁舎機能は約 20 の民間ビルや市所有施設に分散していた。執務環境の改善と災害時対応などが課題となっていた。一方、横浜市は SDGs 未来都市に選定され、環境モデル都市として環境負荷

を抑えながら、市民生活の質を向上させるまちづくりを進めている。8 代目となる新市庁舎は上記目標を達成するため、豊かな市民力を活かす開かれた市庁舎、国際都市に相応しいホスピタリティにあふれる市庁舎、危機管理の中心的役割を果たす市庁舎、低炭素型市庁舎、長期間に使い続けられる市庁舎の実現を基本理念として進められた。

計画地は横浜アイランドタワーに隣接し、北仲・馬車道地区の中央に位置する。みなとみらい 21 地区の都市景観は、ランドマークタワーをピークとするなだらかなスカイラインを形成している。新たに街が開かれる北仲・馬車道地区においても、みなとみらい 21 地区と対をなすスカイラインを形づくり、新たな港まち横浜の景観に寄与することを目指した（**写真二**）。

旧市庁舎で村野が提示した「行政・市会棟と対等に位置づけられる市民広場」という空間構成を受け継ぎ、アトリウムが開かれた市庁舎の核となり、水辺の回遊性と快適性の高い空間とあいまって、内外部空間を自由に往来する歩行者ネットワークによる街のにぎわいの創出を目指した。



写真—2 横浜市役所鳥瞰

BCPの観点において、危機管理諸室整備、ハイブリッド中間層免震、主要設備機械室の免震層の上階設置、地震・構造モニタリング、緊急離着陸場など、レジリエンスを重要視した。免震層は高潮・津波の浸水リスクを避ける2～3階間に配置することで、行政執務階昇降機の運行継続を確保している。また、6,000人以上の市職員が執務する大規模施設ゆえ、積極的な環境配慮技術の導入を試みた。

本プロジェクトは設計・施工一括発注方式の高度技術提案型総合評価落札方式であった。当チームは当初よりデザイン監修者に横文彦、設計に竹中工務店および横総合計画事務所、監理にNTTファシリティーズも参画し、第三者性の高い設計・監理体制を組成した。公告前から設計両者の細部に亘る勉強会を開き知識を深め、基本設計着手後は建築文化の浸透を意図するシンポジウムや「ひろば」を考える市民ワークショップを企画するなど、新たな市庁舎の姿を探った。施工者とは技術情報の早期共有を实践することで、高い目標を実現可能な要素に落とし込むことが可能となった。

### 3. 建物概要

建物概要を表—1に建物外観を写真—3に示す。低層部（1-3階）には、オープンな賑わいの場として、商業スペースや、市民協働スペース、多様な活動や賑わいを創出する3層吹抜けのアトリウムを設けている。

中層部（5-8階）には議会機能、高層部（9-31階）には行政機能を配置し、これらの機能を分節化することで独立性を象徴している。耐震性能・業務継続性は、中間層免震と制振構造併用によるハイブリッド免震の採用により確保する。中間免震層（2～3階の間）より上階に基幹設備室（4階）を配置し、津波の浸水に対する機能保護と安全性を確保している。また、非常電源の確保等による災害後の迅速な建物機能回復、傾斜地盤・液状化に対して安全性の高い基礎計画を行っている。

表—1 建物概要

|      |                        |
|------|------------------------|
| 所在地  | 神奈川県横浜市                |
| 建物用途 | 市庁舎・議会・商業              |
| 竣工   | 2020年5月                |
| 敷地面積 | 13,143 m <sup>2</sup>  |
| 建築面積 | 7,941 m <sup>2</sup>   |
| 延床面積 | 142,582 m <sup>2</sup> |
| 規模   | B2・F32・P2              |
| 高さ   | 155.4 m                |



写真—3 建物外観

### 4. 環境・設備計画概要

#### (1) 建築・設備・IoTをインテグレートした快適な低炭素型市庁舎の実現

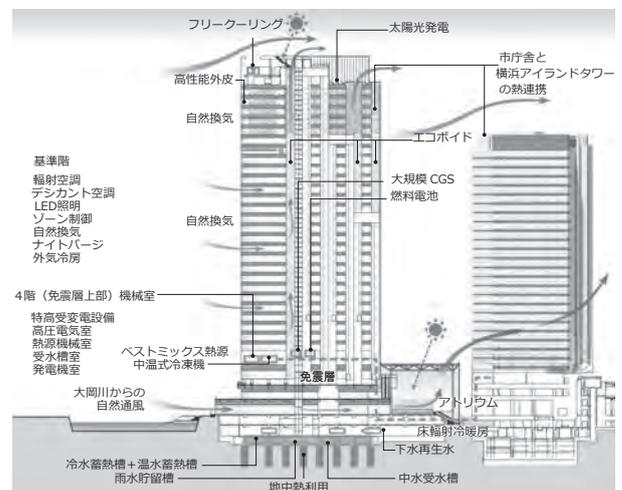
低炭素型市庁舎、環境建築を目指し、様々な先進的な技術を導入した（図—2）。年間を通して太陽光・自然採光、中間期は自然換気、夏期・冬期は地中熱、冬期・中間期はフリークーリングなどを併用することで、一年を通じて自然エネルギーを活用する。屋上塔屋には太陽光発電パネル約100kWを設置した。地中熱は基礎杭に挿入した熱交換ホースにより採放熱し、アトリウム冷暖房及び高層部空調に利用している。

外装はダブルスキン（図—3）とし且つ、南北を執務ゾーン、西面に非執務ゾーンを配置することで建物方位を最適化し空調負荷を低減している（図—7）。

外皮負荷を削減することで輻射主体の空調を可能とし、デシカント空調機により外気を含む潜熱処理を行う。デシカントロータはDHCのCGS排熱を主熱源とする温水にて再生する。

手動自然換気パネルとエコボイドを利用した自然換気・ナイトパージを実践し空調負荷の削減を図る。

机上にRFIDタグを活用した環境センサを配置し、



図—2 環境・設備計画 概念図

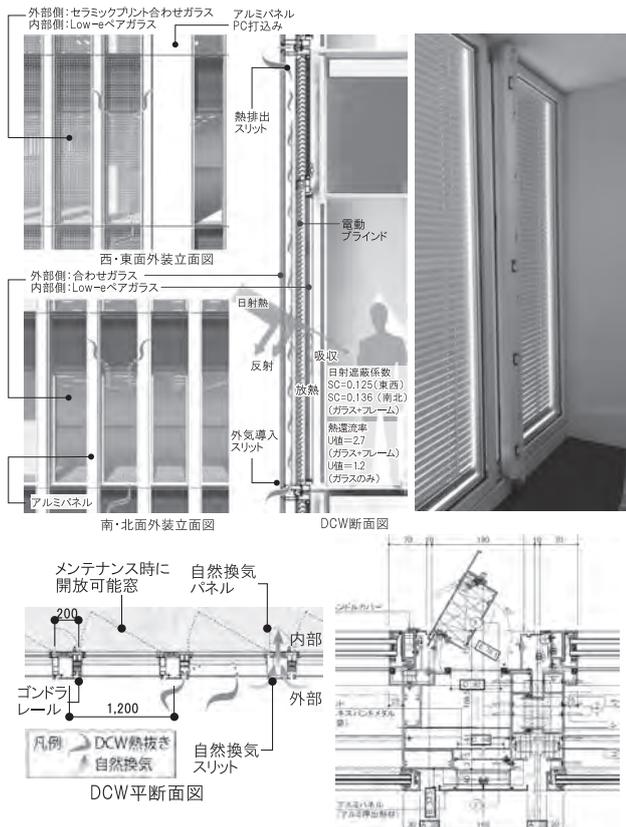


図-3 自然換気パネル一体型ダブルスキン

居住域の環境を正確に把握し空調制御の精度を向上する。更に等価温度制御にて輻射成分の効果を制御に反映し更なる省エネを実現している。

(2) 自然換気・ナイトパーズ

5～31階の外装に1フロアあたり約80箇所の手動自然換気パネル(図-3)を配置し、北東、南西の2箇所のコーナーエコボイド(写真-4)、特別避難階段、EV上部のセンターエコボイドを使用した自然換気、ナイトパーズを行う。室内の時計の下には自然換気有効時を光と音で知らせるランプ(図-4)を配置し、ランプ点灯時には執務者が手動で換気パネルを開け、エコボイドのダンパが自動で開く。外部からの気持ち良い風を取り込みながら空調負荷を低減させる。



写真-4 コーナーボイド内観

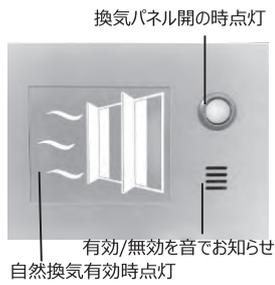


図-4 自然換気ランプ

(3) 市庁舎のレジリエンス

(a) インフラ停止リスクの軽減と非常電源の確保  
特別高圧スポットネットワーク受電、中圧ガス引込みにてインフラ停止の際のリスクを軽減する。発電機の燃料備蓄により、停電時に重要機能へ7日間電力を供給する。太陽光発電・電気自動車・蓄電池を用いた自立電源供給システムにより発電機停止時でも一定の電力を供給可能なシステムとした。

(b) 上下水インフラ停止時も水を確保

トイレ洗浄水の水源として蓄熱槽熱源水を活用し、7日間のトイレ利用を可能とする。受水槽は4階及び32階(免震層より上部)に設置し上水を継続供給する。

(c) 市民にひらかれたアトリウムの災害時対応

市民の憩いの場であるアトリウムの空調は、地中熱を利用した自己熱源で且つ、燃料電池で電源を供給し停電や災害の際にも空調を可能とする(図-5)。

(d) 災害時にも有効に機能する自然換気システム

基準階の自然換気パネルは手動操作であり、エコボイドと居室を繋ぐダンパなどは非常電源で稼働するため災害時にも換気を可能とする。

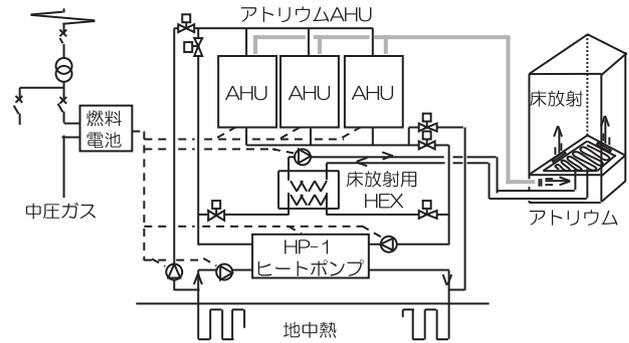


図-5 アトリウム空調概念図

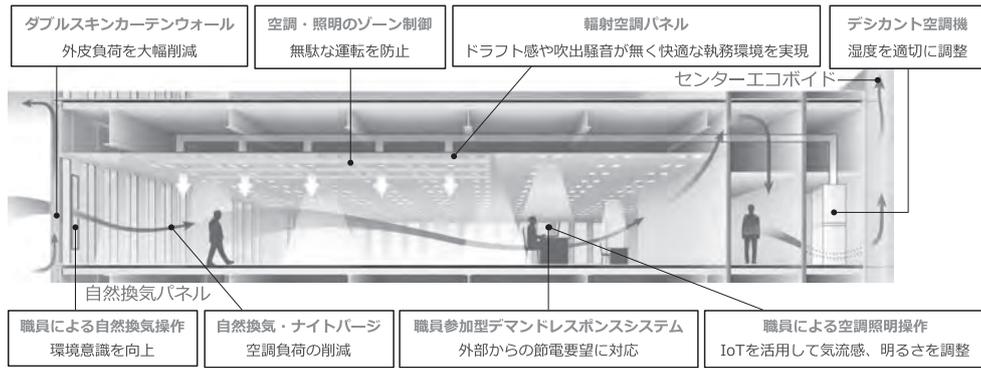
5. 基準階執務室計画(図-6)

基準階プランは図-7に示すように、東側にコアを配置した逆コの字型の執務室である。設備エリア区分としては北、南、西の3つに分割し、エリア毎にMR、EPS、DPSを配置した。

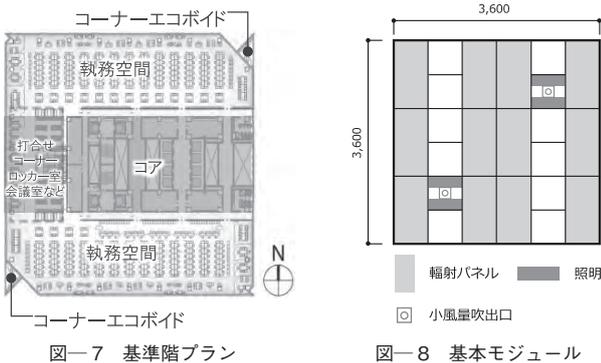
執務室は図-8に示すような3.6m×3.6mを基本モジュール単位とし、システム天井面積の約60%に輻射パネルを敷設し、システム照明2灯、小風量吹出口2個を配置した。

(1) 空調設備

執務室は輻射とデシカント空調機による潜熱・顕熱分離方式とした。顕熱を主に天井輻射パネルにて処理

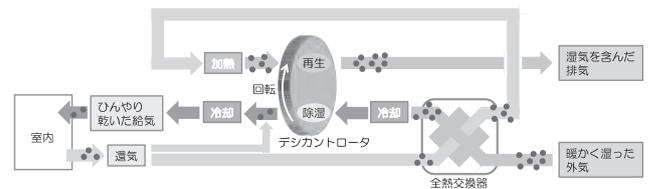


図一六 環境・設備計画（基準階）



図一七 基準階プラン

図一八 基本モジュール



図一九 低温再生型デシカント空調機の処理プロセス

し、外気負荷、室内潜熱、輻射空調パネルで賄えない残りの顕熱をデシカント空調機にて処理する計画である。

執務室の熱負荷計算は夏期 26℃、人員 0.15 人 / m<sup>2</sup>、照明 10 W / m<sup>2</sup>、機器 25 W / m<sup>2</sup> で算出した。輻射パネルとの併用により必要空調風量が少なくなるため、60 m<sup>3</sup> / h の小風量吹出口を開発し照明に組み込み、室内に均等に新鮮外気を含んだ空調空気を供給している。小風量吹出口のコーンはモーターで上下できる機構とし、冷房時は自動的にコーンを下げて水平吹出、暖房時にはコーンを上げて垂直吹出となる。

制御は等価温度制御または温度制御を選択することができ、CO<sub>2</sub> 制御、外気冷房などにより快適な空間を創出しながらエネルギー削減を実現する。

デシカント空調機は、高温高湿の外気を冷却加熱兼用のプレコイルにて予冷・予除湿させた後、デシカントロータを通過させることで更に低湿な処理外気を生成する。室内還気と混合させ、冷却専用のアフターコイルにて温度のみ調整し、室内へ給気する。室内の還気露点温度を設定値に保つようにプレコイルの冷却量は調節され、アフターコイルでは室内温度を設定値に保つように冷却量が調節される。デシカントロータの再生は、DHC から供給されるコジェネ排熱や熱回収ヒートポンプによる冷房排熱を利用した温水 45℃ を利用するシステムとした (図一九)。

(2) 環境センシング (図一十)

省エネ性、執務者の快適性や知的生産性等の更なる向上を目的に、居住域の環境をより細かく正確に把握し、空調制御等に反映するために RFID 技術を利用した環境センシングシステムを構築した。

本システムは、居住域の環境を計測できるだけでなくセンサの配置の自由度が高く、維持管理が容易で拡張性が高いシステムとなっている。本システムにより、居住域の温度を空調制御に反映したり、在不在を検知し照明制御に反映したりすることで、省エネ性、快適性の向上を目指している。手動開閉式の外装自然換気パネルの開閉検知にも RFID システムを利用している (特許出願中)。

(3) クラウド BEMS

クラウドプラットフォームを利用し、照明や吹出口の個別操作、電力負荷予測、デマンドレスポンス対応、執務室の環境状況の見える化を可能とするクラウド BEMS を構築した。環境センシングなどのビッグデータの効率的かつ安定的な処理と一括管理、他設備システムとの適切な連携を図っている。空調制御や照明制御へのセンシングデータの活用、リアルタイム性を持つ室内環境の見える化等を可能としている。

通信幹線として設備統合ネットワークを構築し、適切な通信設定によりセキュリティレベルを高めている。通信プロトコルは BACnet IPv6 をベースに、一部に MQTT などの IoT に適したプロトコルを採用した。これにより他設備システムとクラウドとの柔軟で

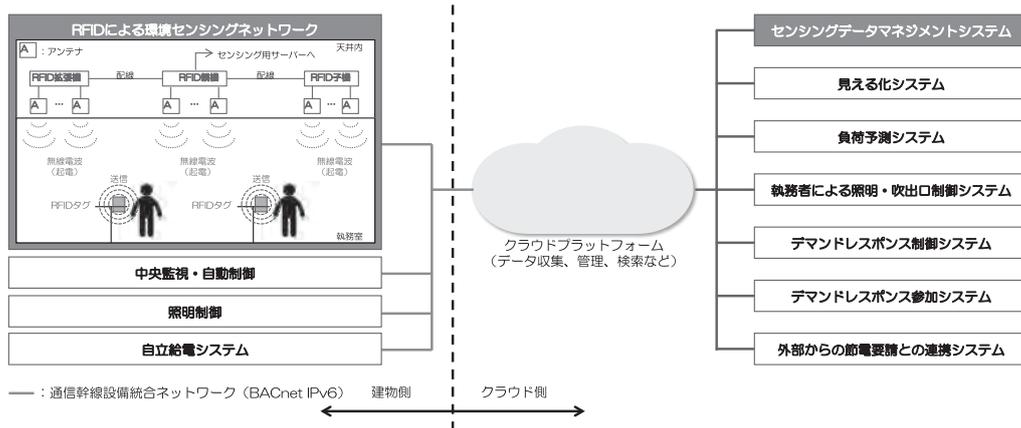


図-10 クラウドを利用したデータ処理及びデータ連携システム

拡張性のある効率的なデータ連携を実現している。

### 6. 空調設備計画

本建物は、本建物内に構築されるDHCより熱供給を受ける。DHCはエネルギーの高効率利用を行うシステムとするために、蓄熱システム・コージェネレーションシステム・未利用エネルギー（下水再生水）を活用する電気・ガス複合システムが採用されている。

本建物は冷水7℃と中温水11℃、温水45℃の3種類の熱媒の供給を受ける。冷水7℃は一般空調機、デシカント空調機（プレコイル）、中温水11℃は輻射空調、デシカント空調機（アフターコイル）、温水45℃は輻射空調、一般空調機、デシカント空調機さらにデシカント吸湿剤の再生に用いる。中温水は6月～9月は11℃、10月～5月は14℃にて供給を受ける計画である。

吸湿剤の再生は主にDHCプラント内に設置されたCGSからの排熱と熱回収ヒートポンプによる冷房排熱活用にて賄い、輻射空調、デシカント空調機に活用する。中温水は、フリークーリング及び中温水製造により高COPとなるターボ冷凍機より供給を受ける計画である。DHCプラントと本建物の空調計画は総合的に高効率で省エネを実現する計画となっている。

### 7. 運用と検証

#### (1) 横浜市の取組

横浜市、設備管理会社と共に竣工後も最適な運転を目指し取り組んでいる。2020年度は横浜市の意欲的な次の取組の実践にて使用電力の再生可能エネルギー100%（RE100）を実現している。

- ・横浜市内の焼却工場にて発電された再生可能エネ

ルギー電力を、自己託送制度を活用し本建物に供給。

- ・市内の卒FITを活用したメニューを採用し、電力小売事業者から本建物へ供給。
- ・焼却工場のバイオマス発電の環境価値を、市が留保して本建物にて使用。
- ・DHCの為に利用する電力はグリーン電力証書を活用し、国内トップ水準の低炭素熱供給により、地域全体での大幅な低炭素化を実現。

#### (2) 検証

横浜市と共に竣工前より検証に取り組んでいる。BEMSを活用した継続的なデータ収集と期間を限定した詳細測定やアンケートの実施により、最適な運用のためのチューニングを実践している。図-11に代表的な執務室1フロアの2020年5月の空調エネルギー消費におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減率を示す。自然換気の利用等により約49%のCO<sub>2</sub>排出量の削減を実現している。自然換気はBELS評価において未評価技術の一つであるが運用時に効果の検証に取り組んでいる。今後も運用実績と更なる運用改善に取り組み、快適な低炭素型市庁舎を実現する。

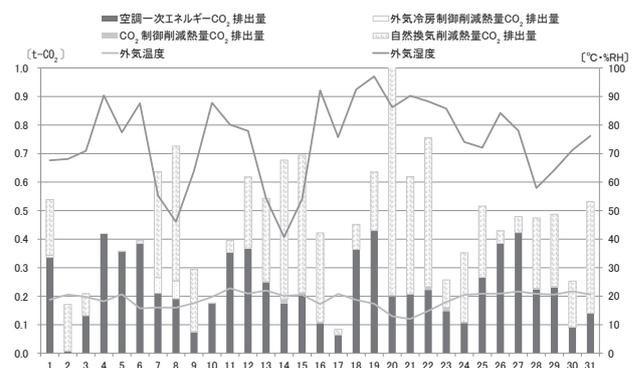


図-11 代表フロアの5月の空調エネルギー消費におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減率

## 8. おわりに

### 謝 辞

計画時から竣工に至るまでご指導、ご協力いただきました横浜市新市庁舎整備担当の皆様をはじめ、施工者他多くの関係者の皆様に、この誌面をお借りして心より謝辞を申し上げます。

JCM A



#### [筆者紹介]

左 勝旭（ひだり かつあき）  
㈱竹中工務店 東京本店  
設計部 設備部門  
設備2グループ長





# 環境エネルギービジネスと環境対応型電力分野への事業展開のご紹介

山下 英 峰

日本政府が掲げた 2050 年のカーボンニュートラル宣言以降、各企業における環境対応に向けた動きが日に日に活発化しています。一方で、どのような目標にするのか、あるいは、どのような手段を選択すべきかなど、各企業ごとに状況も様々でオリックスグループへご相談いただくことも増えて参りました。オリックスにおける環境エネルギー事業の成り立ちや、ここのところお問い合わせの多い「環境対応型電力」についてご紹介いたします。

キーワード：サステナビリティ、環境エネルギー事業、再生可能エネルギー、RE100、電力

オリックスは、1964年にリース事業からスタートして隣接分野に進出し、新たな専門性を獲得することにより事業を進化させてきました。その結果、現在は法人金融、産業／ICT 機器、環境エネルギー、自動車関連、不動産関連、事業投資・コンセッション、銀行、生命保険など多角的に事業を展開しています。

リース事業は「金融」と「モノ（物件）」の2つの専門性を必要とします。リースを起点とした「金融」の専門性は、現在では融資、事業投資、生命保険、銀行、資産運用事業へと拡大しています。「モノ」の専門性は、産業／ICT 機器、自動車、不動産、環境エネルギー事業へと広がっています。

また、1971年の香港進出を皮切りに世界 31 カ国・地域に拠点を設け、グローバルに活動しています(2021年3月末現在)。

## 1. 企業のサステナビリティ

創業時より企業は、事業活動を通じて新しい価値を提供し、社会に貢献することを基本と考えてきました。企業というのは利益を生むことが重要だと考えていますが、利益を生み出すことがすべてではありません。社会に新しい価値を提供し、社会に必要とされる存在となることが重要であり、その結果として利益を生み出すことが企業の持続的な成長を可能にすると考えています。

また、気候変動による自然環境の劇的な変化とそれらによる経済への影響、企業の社会的責任などの企業と社会との関係性の変化など、変化を続ける経済や社会、地球環境の中で企業が存続していくためには、「サステナビリティ」(持続可能性)を意識して経営に臨



図-1

むことが企業活動の基本であると考えています。こうした考えのもと、経済・社会・環境の変化がもたらすチャンスとリスクを的確に捉え、社会やステークホルダーとともにグローバル社会の経済的発展や持続的成長に寄与し、またそれらを考慮した企業経営を行うことを目指しています。

サステナビリティをグループ全体に結び付けていくための原則を定めた「サステナビリティポリシー」では日々の業務で実行すべき基本原則の一つとして「自然環境への配慮」を掲げております。自らの事業活動に関する環境負荷低減に努めるだけでなく、お客さまや社会のニーズを捉え、ビジネスを通じて環境・エネルギー問題の解決に貢献することを目指しております。

世界各国で急速に進む脱炭素社会への移行に貢献すべく、環境エネルギー事業では再生可能エネルギー事業での多様な発電所の開発・運営による普及、電力供給事業では「環境対応型電力（低CO<sub>2</sub>・再生可能エネルギー由来の電力メニュー）」の供給に注力しています。（詳細次項ご参照）

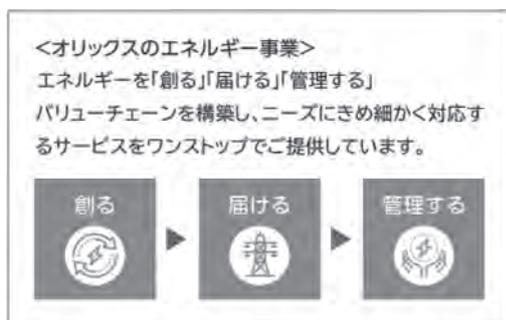


図-2

## 2. 環境エネルギー事業

1995年からスタートした環境エネルギー事業は、エネルギー分野では再生可能エネルギー事業・電力小売事業・省エネルギーサービスなど、環境分野では廃棄物の再資源化や処理等、幅広い領域で事業を展開しています。

再生可能エネルギー事業では、多様な電源を対象としてバランスの取れた再生可能エネルギーの普及に貢献しております。国内最大規模（約1,000 MW<sup>1</sup>）を有

する太陽光発電事業ではメガソーラー発電所の開発・運営とコーポレートPPA (Power Purchase Agreement<sup>2</sup>) 事業を推進。地熱や風力発電事業では現在全国で複数の開発を行っています。また、バイオマス発電事業では建設廃材・間伐材由来の木質チップ専焼発電所の運営と一般廃棄物を活用した国内最大級規模となる乾式バイオガス発電施設の建設を進めております。

また、太陽光などの再生可能エネルギー発電所の運営・管理・保守会社<sup>3</sup>を設立し、長期に亘る発電所の安全な運営のための保守点検業務、障害発生時の迅速な復旧対応による発電ロス低減、遠隔監視やデータ分析を用いた発電量の最大化を図っております。

四ツ郷屋発電所  
(新潟県新潟市)秋田新屋ウインドファーム  
(秋田県秋田市)吾妻木質バイオマス発電所  
(群馬県吾妻郡)寄居バイオガスプラント  
(埼玉県大里郡寄居町)

図-3

### 【再生可能エネルギー発電所の事例】

電力小売事業では安定した電力供給サービスに加え、豊富な電力メニューのご提供により、お客さまの環境経営をサポートしております。2009年の小売電気事業への新規参入以降、民間の施設・事業所約10,000施設を対象に電力を供給しております。

また、安定した電力供給のため、前述の木質チップ専焼発電所（出力13.6 MW）に加え、石炭・木質バイオマス混焼発電所2か所（計224 MW）を合わせた計3か所のバイオマス発電所の運営も担っております。石炭・木質バイオマス混焼発電所では環境への配慮として木質バイオマス燃料を30%以上（熱量ベース）混焼させることで同規模の石炭火力発電所対比でのCO<sub>2</sub>排出量の低減を図ったうえ、木質バイオマス30%以上の混焼を可能とする発電設備の採用により、高効率な火力発電所と同等の発電効率を実現しております。

1 2020年3月末時点において確保済み容量約1,000 MW、稼働中約910 MW

2 お客様の保有する施設に太陽光発電設備や蓄電設備を設置し、同設備から発電される電力をお客様に供給するサービス

3 オリックス・リニューアブルエナジー・マネジメント(株) (2018年設立)

表-1

|      | 再エネ由来   | 低 CO <sub>2</sub>   |
|------|---|---|
| 導入目的 | 再エネ導入率の向上                                     | CO <sub>2</sub> 排出係数の低減   |
| 特徴   | 3段階の再エネ比率<br>トラッキング付き非化石証書の付与<br>RE100 への報告可能 | 5段階の CO <sub>2</sub> 排出係数<br>地球温暖化対策の推進に関する法律(温<br>対法) における排出削減 |

### 3. 環境対応型電力について

日本国政府による 2050 年カーボンニュートラル宣言、RE100 や Science Based Target (SBT) 等の国際的なイニシアチブの浸透、脱炭素に向けた企業の自主目標の策定等、環境意識の高まりにより電力の CO<sub>2</sub> 低減や再エネ化のニーズは日を追うごとに強まっております。そのようなニーズにお応えすべく「環境対応型電力」のご提供を推進しております。

ご提供する「環境対応型電力」は再エネ由来と低 CO<sub>2</sub> をラインアップし、それぞれ豊富なメニュー設定をすることでお客さまの達成計画や目標に併せたメニュー選択を頂いております。

なお、再エネ由来電力はトラッキング付非化石証書を付与しており、国際的なイニシアチブである RE100 が再エネ電力調達手段として求める「再エネ属性証明」を充足することに加え、付与する再エネ属性証明は自社で運営する再生可能エネルギー発電所にて創出する

ことから、再エネ価値の長期安定供給の機能をご提供することが可能です。

### 4. おわりに

オリックスでは今後も再生可能エネルギー普及、エネルギーの効率的な利用と供給、循環型・ストック社会の形成等により脱炭素社会への移行に貢献し、将来的には自社で開発した再生可能エネルギーを活かし、日本国内で供給するエネルギーを全て再生可能エネルギーで賄うことを目指して参ります。

JICMA

【筆者紹介】

山下 英峰 (やました ひでたか)  
オリックス㈱  
環境エネルギー本部 副本部長



ずいそう

## 土木の生物屋として40年

中瀬浩太



私は1982年に大学の水産学科を卒業後、五洋建設に入社し、一貫して生き物関係の仕事を担当してきた。現在では雇用延長の身では有るが、来年では40年間も生物屋の道一筋でやってくることができた。

現在では多くの建設会社で生物や環境を専攻してきたエンジニアが活躍しているが、当時は業界内でも数少ない存在であった。このため、会社側でも非土木系エンジニアをどう扱えば良いかわかっていなかったようだ。もちろん私も戸惑うことが多かった。生物と土木では使う言葉も違えば、考え方のロジックも違うような感じであった。それでも土木技術者がよくわからない生物・環境に係わる問題には容赦なく対応を求められ、その結果、今では各地で行われているような生物や環境対策の仕事は一通り経験することができた。

この間、社会情勢や政策もいろいろと変わっており、生物対応の仕事もそれにつれて変化していった。

そもそも私が採用されたのは人工魚礁の事業を推進するのに生物を勉強したエンジニアが必要だったと聞いている。実際入社後数年間は人工魚礁などの漁場造成に関連する調査や計画に携わってきた。1980年代は漁場造成に大きな予算が付いており、ビジネスチャンスと考えられていた。網の無い漁場として音響馴致海洋牧場や、海中に衝立を設けて“湧昇流”を発生させるなどの、生物屋から見ると「ホントカイナ？」と思うようなプロジェクトがたくさんあり、日々忙しく対応していた。しかし、水産事業は県発注が大部分となり大手の受注機会が減少していった。

1980年代半ば頃からは、エネルギー立地に関連した環境対策が増えてきた。このころはポンプや配管の付着生物対策、構内浚渫土砂の脱塩や植生も対応した。このころ、様々なジャンルの生物や環境対策業務が膨大にあり、生物のことを聞かれたとき知らないとは言わせてもらえなかった。さらにせっかちな発注者やキビシイ先輩方に鍛えられたことが、現在まで生物屋としてやってこられた要因と思っている。「24時間戦えますか」の時代で、とにかく早く！発注者や土木担当者にもわかるように！資料をまとめることが要求されていた。

このころはバブル期でもあったため、ウォーターフロント開発にも対応した。これらはどこも似たような計画でマリーナ・フィッシャーマンズウォーク・ボードウォークの三点セット、これに加えて養殖施設の検討や植生検討などがあった。現在はこのような計画はほとんど無くなってしまった。

バブル崩壊後、環境基本法成立に前後して各省庁が環境共生を打ち出すようになる。港湾局ではシーブルーやエコポートが、河川局では多自然型川造りが打ち出された。これに前後して国土交通省関係の藻場や干潟のマニュアル作成への協力や、港湾計画にかかわる人工干潟や藻場造成の計画に携わるようになった。

このころ人工干潟が多数造成されたイメージがあるが、確かに計画にはたくさん関わったが、実際に干潟造成工事に至る案件は10年に1回くらいの経験だった。なお、このころ、力を入れて対応していた自然再生としてアマモの移植工法がある。これは大規模な特殊バケットでアマモを一挙に移植するという機械を用いる工法で1998年～2002年頃活躍したが、その後、水質改善によりアマモ場が拡大したことで、およびアマモ移植が市民活動の対象となったので、現在この機械はスクラップになっている。こんな時代の流れもあった。

このころよく言われていた自然再生の考え方や制度は、1990年代のミチゲーションからはじまり、アダプティブ・マネジメントなど10年ごとにアメリカから新しい概念が取り入れられ、その都度海外視察などの恩恵に浴した。残念ながら、現在ではミチゲーションもアダプティブ・マネジメントもあまり聞かれなくなってしまった。今後これに替わるのがグリーンインフラであろうか？

すべてが大きく変わってしまったのは3.11の東日本大震災である。これ以降は国土強靱化が重視されるようになり、自然再生の動きは減速したように思われる。生物屋の役割も、積極的に自然を再生することを提案すると言うより、工事に対して希少生物が影響を受ける場合の対応が増えて現在に至っている。稀少な鳥類や造礁サンゴ等も適切に対応しなければ工事が止まってしまう。総合評価方式で周辺環境対策として稀

少生物等の保全対策を提案・履行することもある。こういう時、学会等で、商売抜きで知り合った研究者の皆さんとの付き合いが大きな助けになっている。

近年は二酸化炭素固定という新たな目標が出てきて、ブルーカーボンとしての藻場造成は干潟造成の計画が散見されるようになった。もっとも干潟造成の本当の目的は、浚渫土砂の処分をかねての造成というケースが多い。これは1980年代から変わらない。

藻場造成にしても、各種副産物を活用し、藻場造成により二酸化炭素を固定しようという計画が散見されるようになった。

私は約40年の土木の生物屋として、非常にラッキーだったと思っている。少なくとも生物や環境に係わる仕事は常にあったからである。もちろん、生物や環境に関する情報を常に仕入れて、現場や設計・計画担当者に「こんなことが問題になるよ」と積極的に情報や対応策をインプットして、仕事を創ってきた。

私は、すでに第一線から離れて、社内ではアドバイザー的な立場にいる。約40年前の入社時には五洋建設には純粋な生物屋は私一人であり、環境関連の組織も無かったことから、施工や設計のグループに混じって仕事に対応していた。土木バリバリの仲間と日常的に議論や相談をすることで、土木の知識・思考法・修辭法が身についていった。現在は生物系など非土木系出身者でも組織が作れるほどで、専門性も深まっているが、生物と土木を互いに摺り合わせる議論ができていくかが少々心配ではある。

私は、リタイア後は今まで携わってきた干潟や海の生き物の知識を活用して、干潟の観察案内や環境管理に取り組んでゆくつもりだ。コロナ収束後は干潟の観察会などが増えてくると期待している。



写真一 アマモ採取・移植バケット（現在アマモ移植は市民活動が担い、移植関係装置はスクラップとなった）



写真二 干潟観察会で案内する筆者

— なかせ こうた

五洋建設(株) 環境事業部シニアエキスパート専門部長 —

ずいそう

## 「土里居夢」シリーズ 第二弾 憧れのツリーハウスをセルフビルド

横澤 圭一郎



実は、5年前の2016年に「私のガーデニング（土里居夢園）」というタイトルで投稿した。今回は、私の信念である土に足をつけて里山に居ながら自給自足の生活をする夢、つまり「土里居夢」シリーズの第二弾として、以前からの憧れだった私のガーデンにある大木にツリーハウスを自分で作り上げた（セルフビルド）ことについて投稿する。

16年前に一目で気に入って購入した1,200坪の畑の中には、いろんな木々が既に林立していた。その中の1本に、幹の周囲3m、高さ約25mに成長した楠木が天に向かって聳え立っていた。まさしく存在感のあるシンボルツリーである（写真-1）。見た瞬間に、この楠木に何時かツリーハウスを作りたいという夢を抱いたのである。



写真-1 シンボルツリーの楠木

その夢が現実味を帯びてきたのは、私の友人の材木店が閉店することになり、在庫の材木を処分したいので、無償で提供してくれるという話が舞い込んで来たことから始まった。軽トラ4台分の材木は、いろんな種類があり、私の描いているツリーハウスを作るには十分な材料であった。

ツリーハウスの建築は、4年前の2017年5月から始め、8月のお盆前までには完成させる計画で作業を進めていった。それは、千葉にいる孫がお盆休みに帰省するまでに作ろうという単純な理由に過ぎなかった。この時には、まだ仕事をしていたので、農業とガーデニングを継続しながらツリーハウスを作るとなる

と、作業をやる日は土日しかなかった。

設計図などは描かずに、ただ楠木の形状を見ながらあとは感性で作るしかない。作るための条件としては、①柱となる材木の長さが最大で4mであること、②台風のような強風にも十分耐えることができること、③楠木の高さ約6m横から出ている頑丈な枝に床の桁を乗せること、④できるだけ広い空間を確保して屋根を付けることである。

当然、私1人で作業は行う（セルフビルド）しなく、6mの高い箇所（屋根を葺く作業は8m以上）の作業を妻が手伝ってくれるはずがない。逆に、妻からは「また病気が始まった」と言わんばかりで、あきれたような態度で無視されたことを覚えている。

まず、ツリーハウスを建築するため最初に始めた作業は、長さ4mの4本の柱を鉛直に建てた。それから、お互いの柱を繋ぐ水平材と筋交いを組み合わせて直径が1m以上ある楠木の太い幹の周りに抱かせるようにして土台を据え付けた。こうすることで楠木と土台が一体となり、頑丈な構造が出来上がった（写真-2）。また、柱に梯子の機能を持たせることで、高さ4m以上の作業をするための足場として利用することにした。

4mの高さまで辿り着いたら、次は、楠木の幹が2本に分かれたり、数箇所から水平に出ている枝を利用して、床を設置する6mの高さにある横に伸びた直径約50cmの枝まで辿り着かなければならない。そのためには、最終的にツリーハウスにどのようなようにして



写真-2 楠木と土台が一体

辿り着くかをいろいろ模索した。例えば、階段で登る方法、梯子で登る方法、ロープで登る方法などである。しかし、それでは、物理的に辿り着くのは難しく、誰でも登ることができないことや安全とは言えないのではないかということで、閃いたのが近くにあるベランダから高さ4mのところの木橋を架けることだった。木橋は、不要になった梯子を利用し、その梯子を補強して楠木の4mの高さに架けるようにした(写真—3)。辿り着く木橋ができた段階で、資材を運ぶことができるようになったので、今までよりは、作業の効率が良くなった。木橋から上の2m分は、楠木の枝を利用して階段を作ってハウスに辿り着くことにした。



写真—3 土台にかけた木橋と床用の桁

作り始めてから約2か月、いよいよ床の桁を設置する作業となる。6mの高さの作業は、まさにとび職、材木を上げることも重労働であった(写真—3)。また、桁の設置は、現場合わせで行うしかなく、水平や鉛直を見るのは、長さ30cmの水準器のみで行った。

このようにして最大の難関をクリアし、床面積3m×3mの桁の設置が完成した。その床には楠木の幹が突き抜けている。屋根まで行くとその幹がさらに2つに分かれているので、屋根には2つの穴が開いていて幹が突き出ているような状態になっている。これで、完全に楠木とツリーハウスが一体になった(写真—4)。このツリーハウスは、楠木が倒れない限り、倒壊することはないはずである。

床ができると、足場も広がって下が見えないので、ハウスの柱を立てて屋根を葺くのは、高所で作業している感覚はなかった。このツリーハウスは、前にも話したように、材木は無償で提供してもらったので、釘ねじ代位でほとんど費用が掛かっていない。ただ、唯一お金が掛かったのは、屋根材として購入した杉皮である。これは、ツリーハウスのイメージに拘っ



写真—4 屋根に登る開口部と2本の楠木

て杉皮にしたかったためであるが、出来上がった後に気が付いたことは、屋根の位置が地上から約8mの高さにあるので、地上からは全然見ることができないという空しい現実であった。悔しいので屋根に登り、杉皮の屋根を1人で見て思いに慕っていた。

屋根に登るのは、外側から登れないために1箇所楠木の幹の近くの屋根に50cm角の穴をあけて、そこから昇り降りをするようにした(写真—4)。本当に屋根から眺める景色は、伊豆半島や駿河湾を一望でき解放感を味わうことができた。

屋根ができた後は、風通しが良くなることとハウスになるべく風が当たらないようにするため、腰壁だけにして壁や窓を作るのを取返して辞めた。腰壁ができるとほぼハウスは完成である(写真—5)。



写真—5 完成した腰壁

しかし、地上に立っているハウスとの違いに気が付いたのは、床下面に吹き上げた風が当たるということで、その対策として、楠木の枝と桁をベルトで締め付けて下からの風に耐えるようにした。

最後に、腰壁や木橋と階段にペンキを塗って約9m<sup>2</sup>の広さのツリーハウスが完成した。このツリーハウスは、土里居夢シリーズとして「土里居夢庵」と



写真-6 完成したツリーハウスに立つ筆者



写真-7 ハンモックに腰掛ける孫たち

命名した（写真-6）。

完成後は、ツリーハウスの噂を聞きつけ、興味ある人や登りたい人などいろんな人が見に来た。もちろん孫たちもツリーハウスに取り付けたハンモックに座ったり、寝転んだり、外を見て喜んでくれた（写真-7）。私も農作業やガーデニングの合間にハンモックで昼寝をしているが、特に夏の暑い時は、ツリーハウスで寝ると涼しい風が吹いてぐっすり眠れ、まさしく天国にいるような夢心地になるのである。ただ1つ問題なのは、ハウスが腰壁だけなので、風通しが良すぎて冬の寒い時期には昼寝ができないということである。

また、大型の台風が来た時には、やはり心配でツリー

ハウスを見守っていた。しかし、この楠木は、風速30 m/sの暴風雨でも枝は大きく揺れていたにもかかわらず、幹はびくともしなかった。当然、ツリーハウスも無事で、何もなかったように楠木に抱き添っていた。

このように、夢に見たツリーハウスをセルフビルドで完成させた時には、想像以上の出来栄に、満足感と達成感を味わうことができた。これは、私の人生の1ページとして心に残る思い出である。

—よこざわ けいいちろう

（一社）日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 技術顧問—

# 新工法紹介

機関誌編集委員会

|        |                             |      |
|--------|-----------------------------|------|
| 02-152 | 打設杭トータル施工管理システム<br>「Pile T」 | 東洋建設 |
|--------|-----------------------------|------|

## 概要

既成杭打撃工法の施工フローは、杭の建込みからハンマによる打込み、支持層到達の確認、打止めまでの工程から構成される。従来方法では、杭の誘導に2名、高さ管理に1名、打止め管理に1名の合計4名以上の技術者を要し、将来的な技術者不足を補うためにも作業の省人化・効率化が必要である。また、いずれの管理も目視による確認や計測であり、インフラ分野のデジタル・トランスフォーメーション(DX)が推進されるなか、杭の建込みから打込み、支持層到達の確認、打止めまでの施工管理や記録がデジタル化されておらず、デジタルデータが現場の安全性、効率性の向上や働き方の変革などへ活用されていないのが現状である。

そこで、東洋建設は、「打設杭トータル施工管理システム Pile T (以下、Pile T)」を開発した。Pile Tは、建込みからハンマによる打込み中の杭の位置、高さ、傾斜を自動ガイダンスするシステムと、支持層での打止め管理において、打止めの目安として現場で採用された打止め管理式から求まる算定値を自動計算するシステムの2種類で構成され、杭の打設管理を合理化・デジタル化できる総合的な施工管理システムである。

## 特徴

杭の位置、高さ、傾斜の誘導は、3台の自動追尾式トータルステーションによる計測情報をもとに、3Dモデルで表現した杭の打設状況をパソコン画面内のVR(仮想現実)空間上にリアルタイムに表示する(図-1)。

VR空間上においては、杭の天端と先端の2箇所に対して杭心のずれを修正するように向きと誘導量を表示するので、所定位置への誘導と傾斜の修正をリアルタイムに行えると同時に、オペレータは、杭の打設状況を360度の自由視点で確認しながら、実際の杭を打設できる。また、杭の高さ管理では、油圧ハンマに取付けたプリズムを自動追尾トータルステーションにより計測することで、支持層や打止めまでの杭先端の距離をリアルタイムに表示する。

VR空間上には、杭だけではなく既設構造物や土質調査結果に基づく地盤構成(地層・層厚など)などの3Dモデルや測量した現地盤高の点群データも登録でき、デジタルデータを用いた高精度な施工管理が可能となる。

支持層での打止め管理では、デジタル画像処理技術によるサ

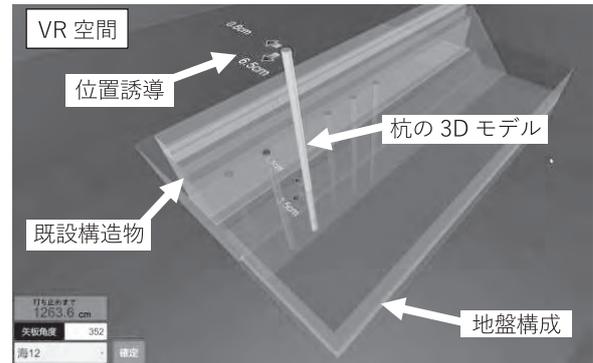


図-1 杭の誘導画面

ンプリングモアレ法により構造物の微小変位を高精度に計測できるサンプリングモアレカメラを使用している。杭頭に貼り付けた格子シートの撮影映像から杭の1打撃ごとの貫入量、リバウンド量をリアルタイムに計測するとともに、打止め管理式の算定値をリアルタイムに自動計算する。

自動計測・計算したリバウンド量、貫入量および打止め管理式の算定値は、その場で帳票出力できるので、打込み完了後は速やかに打止めの判定を判断できる。また、打撃中の杭直下に人が立ち入る必要がないため、安全性も向上する(図-2)。

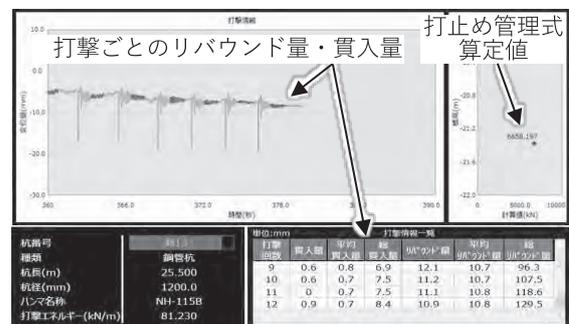


図-2 杭の打止め管理画面

Pile Tの採用により、計測機材やパソコンを1箇所配置し、技術者1名により杭の打設管理を行えるので、省人化に繋がる。

## 用途

・打撃杭の誘導から打止めまでの打設管理

## 実績

・岸壁改良工事の鋼管杭打設

## 問合せ先

東洋建設(株) 土木事業本部技術営業部

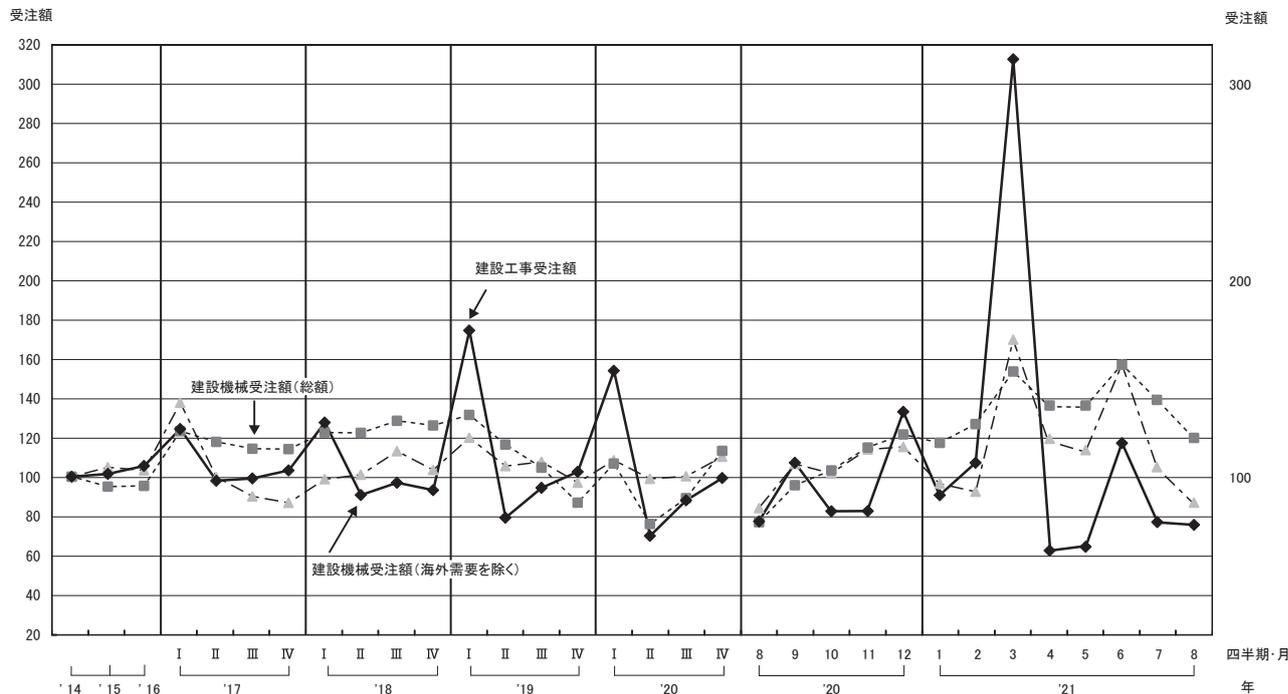
〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地

TEL: 03-6361-5463

# 統計 機関誌編集委員会

## 建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2013年平均=100)  
 建設機械受注額：建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2013年平均=100)



建設工事受注動態統計調査 (大手 50 社)

(単位：億円)

| 年 月      | 総 計     | 受 注 者 別 |        |        |        |       |        | 工 事 種 類 別 |        | 未消化<br>工事高 | 施工高     |
|----------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|-----------|--------|------------|---------|
|          |         | 民 間     |        |        | 官 公 庁  | そ の 他 | 海 外    | 建 築       | 土 木    |            |         |
|          |         | 計       | 製 造 業  | 非製造業   |        |       |        |           |        |            |         |
| 2014年    | 139,286 | 80,477  | 16,175 | 64,302 | 43,103 | 4,822 | 10,887 | 86,537    | 52,748 | 138,286    | 125,978 |
| 2015年    | 141,240 | 96,068  | 19,836 | 76,235 | 35,633 | 4,993 | 4,546  | 95,959    | 45,281 | 141,461    | 141,136 |
| 2016年    | 146,991 | 99,541  | 17,618 | 81,923 | 38,894 | 5,247 | 3,309  | 98,626    | 48,366 | 151,269    | 134,037 |
| 2017年    | 147,828 | 101,211 | 20,519 | 80,690 | 36,650 | 5,183 | 4,787  | 99,312    | 48,514 | 165,446    | 137,220 |
| 2018年    | 142,169 | 100,716 | 24,513 | 76,207 | 30,632 | 8,561 | 5,799  | 95,252    | 46,914 | 166,043    | 141,691 |
| 2019年    | 156,917 | 114,317 | 24,063 | 90,253 | 29,957 | 5,319 | 7,308  | 109,091   | 47,829 | 171,724    | 150,510 |
| 2020年    | 143,170 | 97,457  | 19,848 | 77,610 | 35,447 | 5,225 | 4,175  | 91,725    | 51,443 | 171,740    | 14,287  |
| 2020年 8月 | 8,945   | 6,618   | 1,032  | 5,586  | 1,878  | 382   | 66     | 5,914     | 3,031  | 171,851    | 10,264  |
| 9月       | 12,429  | 8,684   | 2,148  | 6,536  | 3,235  | 416   | 95     | 8,327     | 4,102  | 171,010    | 13,923  |
| 10月      | 9,550   | 6,408   | 1,298  | 5,109  | 2,756  | 395   | -872   | 6,500     | 3,050  | 171,551    | 8,961   |
| 11月      | 9,564   | 6,486   | 1,782  | 4,704  | 1,895  | 418   | 764    | 6,111     | 3,452  | 170,235    | 10,572  |
| 12月      | 15,466  | 10,468  | 2,390  | 8,078  | 4,191  | 526   | 281    | 10,863    | 4,603  | 171,740    | 14,287  |
| 2021年 1月 | 10,502  | 6,174   | 1,004  | 5,171  | 3,886  | 337   | 105    | 5,667     | 4,835  | 173,721    | 8,776   |
| 2月       | 12,435  | 8,190   | 1,257  | 6,932  | 3,293  | 431   | 521    | 7,719     | 4,716  | 174,626    | 10,895  |
| 3月       | 36,395  | 26,029  | 3,932  | 22,097 | 8,640  | 499   | 1,226  | 24,517    | 11,879 | 191,713    | 18,787  |
| 4月       | 7,252   | 4,965   | 1,141  | 3,824  | 1,711  | 396   | 181    | 4,239     | 3,014  | 188,230    | 8,931   |
| 5月       | 7,470   | 4,666   | 940    | 3,726  | 2,440  | 332   | 33     | 4,576     | 2,894  | 186,346    | 8,999   |
| 6月       | 13,631  | 9,020   | 1,807  | 7,213  | 3,611  | 500   | 501    | 9,074     | 4,557  | 187,713    | 12,869  |
| 7月       | 8,925   | 6,244   | 2,042  | 4,202  | 2,324  | 305   | 51     | 6,069     | 2,855  | 188,502    | 8,489   |
| 8月       | 8,766   | 6,304   | 2,156  | 4,149  | 2,059  | 370   | 32     | 6,285     | 2,481  | -          | -       |

建設機械受注実績

(単位：億円)

| 年 月     | 14年    | 15年    | 16年    | 17年    | 18年    | 19年    | 20年    | 20年<br>8月 | 9月    | 10月   | 11月   | 12月   | 21年<br>1月 | 2月    | 3月    | 4月    | 5月    | 6月    | 7月    | 8月    |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 総 額     | 18,346 | 17,416 | 17,478 | 21,535 | 22,923 | 20,151 | 17,646 | 1,173     | 1,462 | 1,577 | 1,756 | 1,859 | 1,793     | 1,940 | 2,351 | 2,089 | 2,080 | 2,405 | 2,132 | 1,833 |
| 海外需要    | 11,949 | 10,712 | 10,875 | 14,912 | 16,267 | 13,277 | 10,966 | 726       | 894   | 1,035 | 1,149 | 1,245 | 1,279     | 1,448 | 1,444 | 1,450 | 1,477 | 1,562 | 1,574 | 1,371 |
| 海外需要を除く | 6,397  | 6,704  | 6,603  | 6,623  | 6,656  | 6,874  | 6,680  | 447       | 568   | 542   | 607   | 614   | 514       | 492   | 907   | 639   | 603   | 843   | 558   | 462   |

(注) 2014～2016年は年平均で、2016～2019年は四半期ごとの平均値で図示した。  
 2020年8月以降は月ごとの値を図示した。

出典：国土交通省建設工事受注動態統計調査  
 内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査

## 行事一覧

(2021年9月1日～30日)

### 機械部会



#### ■コンクリート機械技術委員会

月 日：9月2日(木)(会議室, web 並行開催)

出席者：木下洋一委員長ほか11名

議題：①前回の議事録確認 ②技術発表：鹿島道路㈱「コンクリート舗装現場の紹介」 ③今年度の活動計画についての討議 ④JIS定期見直しについて：「コンクリートミキサ及びプラントの安全要求事項について」討議

#### ■油脂技術委員会

月 日：9月3日(金)(会議室, web 並行開催)

出席者：豊岡司委員長ほか28名

議題：①燃料エンジン油関係：バイオ燃料に関する最近の話題 ②高粘度指数油関係：「高粘度指数作動油の規格案」についての討議 ③規格普及促進関係：・マイクロクラッチ摩擦代替材の検討 ・JCMAS オンファイル状況の報告 ④その他：・油脂技術委員会ホームページ更新の件 ・油脂技術委員会の副委員長の選出について

#### ■基礎工事用機械技術委員会

月 日：9月8日(水)(会議室, web 併行開催)

出席者：樗沢淳一委員長ほか12名

議題：①下期の活動スケジュールの確認 ②下期活動内容についての討議

#### ■トンネル機械技術委員会

月 日：9月14日(火)(会議室, web 併行開催)

出席者：丸山修委員長ほか22名

議題：①委員および関係者からの情報・話題提供：・㈱三井三池製作所「小断面掘削機「MRH-SS100型 ロードヘッダー」の紹介」・岐阜工業㈱「セントルの最新技術について」 ②小断面トンネル工事における機械、設備調査について：保有機械、設備調査結果報告書の公開 ③令和3年度技術講演会について ④見学会について：見学場所と実施日の決定 ⑤次回の情報・話題提供についての連絡

#### ■路盤・舗装機械技術委員会 総会

月 日：9月16日(木)(会議室, web 並行開催)

出席者：山口達也委員長ほか会場参加者

14名, web参加36名

議題：①委員長挨拶 ②R3年度活動経過報告と進捗状況説明 ③機械及び施工技術の普及：建設機械最新技術の動向に関する発表(3件) ④安全の推進：建設機械・施工に係る安全対策の向上に関する発表(4件) ⑤JCMS標準部から：TC195国際バーチャル会議報告

#### ■ショベル技術委員会

月 日：9月17日(金)(web会議で開催)

出席者：西田利明委員長ほか16名

議題：①エネルギー消費試験方法\_油圧ショベル編のISO化について：標準部会からの国際WG会議に提案する規格案の説明と規格案に対する意見交換 ②小型ショベルクラス(ミニショベル)の次期燃費基準の件：今後の活動についての討議 ③革新的建設機械に関する情報提供についての討議

#### ■情報化機器技術委員会

月 日：9月24日(金)(web会議で開催)

出席者：白塚敬三委員長ほか7名

議題：①建機の遠隔操作の通信方式の調査結果のまとめについて ②規制・規格の最新情報の共有 ③上期活動報告について確認 ④下期の活動内容について討議

#### ■建築生産機械技術委員会(ラフテレーン作業燃費分科会)

月 日：9月27日(月)(会議室, web 併行開催)

出席者：石倉武久委員長ほか6名

議題：①ラフテレーンクレーンの次期作業燃費基準の件：・進め方についての討議 ・スケジュールについて ②日本建設機械要覧の編集作業について：作業分担, 提出日決定

#### ■機械部会 幹事会

月 日：9月28日(火)(web会議で開催)

出席者：阿部里視副部長ほか18名

議題：①副部長より挨拶 ②各技術委員会委員長よりR3年度上期の活動報告, 下期の活動についての説明と審議 ③事務局からR3年度上期の機械部会の活動実績(数値データ), 各委員会のトピックスについて報告

#### ■原動機技術委員会

月 日：9月30日(木)(web会議で開催)

出席者：工藤睦也委員長ほか19名

議題：①前回の議事録確認 ②海外排出ガス規制の動向に関する情報交換：・UK Brexit 英国におけるノンロードエンジン排ガス規制対応(欧州NRMM)についてのアップデート ・チリ発電機排ガス規制案について

・中国PCD/NCD団体基準について  
③その他：今後の活動として「カーボンニュートラルに関する情報交換(仮)」を行う件

### 標準部会



#### ■ISO/TC 127/SC 3/JWG 16 (セキュアな車載高速通信システム) 国際作業グループ会議

月 日：9月1日(水)夜, 2日(木)夜  
出席者：海外から19名, 日本から正田明平部会長ほか8名, 計28名出席(Web参加)

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：ISO予備業務PWI 23870(セキュアな車載高速通信システム)を, 案件が複雑で, 予備業務としての3年の期限が迫り自動廃案を避けるためもあり, パート制に分割し, また, 適用範囲を他の路外作業機械にも拡大して新規の予備業務提案として投票に付す件

#### ■ISO/TC 195/SC 1 (コンクリート機械) 委員会

月 日：9月2日(木)

出席者：川上晃一(日工㈱)委員長ほか14名(Web参加)

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：①SC1バーチャル総会(10/19)及びTC195バーチャル総会(10/22)対応協議 ②SC1/WG4AWI19711-2トラックミキサー-安全要求バーチャルWG会議対応協議 ③SC1/WG9CD6085「セルフローディングモバイルコンクリートミキサー」対応協議 ④SC1/WG8PWI5342「コンクリート機械-施工現場情報交換」対応協議 ⑤JIS A 8613「コンクリートミキサ及びコンクリートプラントの安全要求事項」定期見直し

#### ■ISO/TC 214/WG 1 (高所作業車) 国際作業グループ会議

月 日：9月3日(金)昼, 8日(水)夜, 16日(木)早朝, 21日(火)夜, 30日(木)夜  
出席者：海外から最大24名, 日本から1名, 計25名出席

議題：ISO/PWI16368(高所作業車-設計, 計算, 安全要求事項及び試験方法)改正案検討

#### ■ISO/TC 195/SC 1/WG 4 トラックミキサー-安全要求 専門家会合

月 日：9月7日(火), 27日(月)

出席者：清水弘之(KYB㈱)コンピナーほか2名(Web参加)

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：国際バーチャルWG会議(9/13・

9/28・9/30・10/8) 対応協議

■ ISO/TC 195/SC 3/WG 1 穿孔及び基礎  
工用機械 - 用語及び定義 国際バーチャル  
WG 会議

月 日：9月8日(水)夜, 15日(水)夜  
出席者：山本卓也(株技研製作所) 委員  
ほか11名(Web参加)

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：① WD 11886 コメント審議(続  
き) ② NP 21467 コメント審議

③今後のWeb会議日程(10月20日)

■ JIS 原案作成委員会 (分科会)

月 日：9月9日(木)

出席者：大本康隆(コベルコ建機株) 委  
員ほか8名(Web参加)

場 所：Web上 (Zoom)

議 題：「JIS A 8340-4 安全-油圧ショ  
ベル」の原案作成協議

■ ISO/TS 15143-4 (施工現場情報交換一  
第4部施工現場地形データ) サーバー  
間通信特設チーム Web 会合

月 日：9月9日(木) 昼

出席者：海外から約7名, 日本から青木充  
広氏(コマツ) ほか約2名, 計約10名

議 題：サーバー間通信のためのアクセス  
管理に関して OAuth の拡張である User  
Managed Access UMA 2.0 を適用する  
か, 或いは, RFC 8693 など OAuth の  
別の手法によるかの件

■ ISO/TC 127/WG 17 (二次電池などの再  
充填可能エネルギー貯蔵システム) 国際  
作業グループ Web 会合

月 日：9月9日(木) 夜

出席者：海外から15名, 日本から正田明  
平部会長(コマツ) ほか4名, 計20名

議 題：①蓄電池に関する定義について検  
討 ②英国 BSI の公開仕様書について  
の紹介 ③蓄電池関連の規制動向につ  
いての検討 ④自動車関連の動向及び新技  
術の動向をどの程度見通すのか? の件

■ ISO/TC 195/SC 1/WG 4 トラックミキ  
サー - 安全要求 国際バーチャル WG 会議

月 日：9月13日(月) 夜, 28日(火) 夜,  
30日(木) 夜

出席者：清水弘之(KYB株) コンピナー  
ほか8名(Web参加)

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：日本提案 WD 19711-2 コメント  
審議

■ 国内標準委員会 (JIS 原案作成委員会)

月 日：9月16日(木)

出席者：高橋弘(東北大学大学院) 委員  
ほか13名(Web参加)

場 所：Web上 (Zoom)

議 題：① 2021 年度 JIS 原案作成状況  
の報告 ② JIS 原案(4件) の原案審

議 ・ JIS A 8509-1 (定期見直し) 基  
礎工事機械 - 安全 - 第1部：くい打機  
の要求事項 ・ JIS A 8334 (改正) 土  
工機械 - 取扱説明書 - 内容及び様式  
・ JIS A 8321 (改正) 土工機械 - 油圧  
ショベル及びバックホウローダの降下  
制御装置 ・ JIS A 8339 (新規制定)  
土工機械 - クイックヒッチ (クイック  
カプラ) - 安全性

■ ISO/TC 23/SC 19/JWG 10 極低電圧電  
機駆動国際合同作業グループ会議

月 日：9月17日(金)夜, 24日(金)夜

出席者：海外から約14名, 日本から1名,  
計約15名

議 題：ISO/DIS 23285 (農業機械及びト  
ラクタ並びに土工機械の直流 32-75V 及  
び交流 21-50V で作動する電気及び電子  
機能部品及び装置の安全) 各国意見の検  
討の件

■ ISO/TC 195/WG 9(自走式道路建設機械  
- 安全要求) 国際バーチャル WG 会議

月 日：9月21日(火) 夜~23日(木)  
夜の3日間

出席者：小倉公彦(JCMA 標準部) ほか  
14名(Web参加)

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：① ISO/DIS 20500-4, -6, -2, -5  
コメント審議 ② HAS コンサルタン  
ト (EU 機械指令・EU 騒音指令) コ  
メント審議 ③今後のWeb会議日程  
(11月30日~12月2日)

■ ISO/TC 195/AG 1 諮問グループ 国際  
バーチャル WG 会議

月 日：9月29日(水) 夜

出席者：川上晃一(日工株) 委員長ほか  
11名(Web参加)

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：① 2021 年 TC 195 国際バーチャ  
ル会議 日程確認 ② TC 127/SC 2/  
JWG 28-TC 82/SC 8-TC 195 ジョイン  
ト WG の関係整理 ③ 2022 年 TC  
195 国際会議 開催時期・場所の検討

■ ISO/TC 127/SC 2/WG 32 (ローダ及び  
バックホウローダの荷扱いアーム 一般  
要求事項) 国際作業グループ会議

月 日：9月30日(木) 夜

出席者：海外から7名, 日本から間宮崇  
幸委員長(コマツ) ほか1名, 計9名  
出席 (Web参加)

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：ISO/WD 5953 (ローダ及びバック  
ホウローダの荷扱いアーム 一般要  
求事項) 案文検討

## 製造業部会



■ 製造業部会 作業燃費検討 WG

月 日：9月21日(火) (会議室, web  
並行開催)

出席者：阿部里視主査ほか20名

議 題：「JCMASに基づく「エネルギー  
消費量試験方法」のISO化」に関して、  
国際WG会議に提案する規格案の状  
況について標準部会からの説明と意見  
交換：① WG 主査挨拶 ② 標準部会  
からの説明：・現在までの経緯説明  
・「ISO 11152 への JCMAS H 020 適  
用検討 (燃費基準達成建設機械認定制  
度への影響)」の説明 ③ 意見交換

## 建設業部会



■ 建設業 ICT 安全 WG

月 日：9月7日(火)

出席者：岩下正剛主査ほか8名(内  
WEB参加者4名)

議 題：① 「建設施工への ICT 活用に  
よる安全施工に関し取り組むべき課題  
に対するアンケート調査」の取り扱い  
(回答者への報告等) ② アンケート結  
果のHP公開について ③ 日建連との  
連携状況途中報告 ④ その他

■ 三役会

月 日：9月13日(月)

出席者：鈴木士部会長ほか8名(内  
WEB参加者1名)

議 題：① 「貨物自動車運送事業法の一  
部を改正する法律の概要」説明(レン  
タル業部会) ② WG 報告・8/30 ク  
レーン安全情報WG・9/7 ICT 安全  
WG・機電交流WG(次回9/16) 10/8  
機電技術者のための講演会準備状況  
③ 10/1 建設業部会議議題検討 ④ その  
他

■ 機電交流企画 WG

月 日：9月16日(木) WEB 会議

出席者：本多茂主査ほか8名

議 題：① 機電技術者のための講演会に  
ついて ② その他

## レンタル業部会



■ 会議レンタル業部会

月 日：9月9日(木) (web 会議併用)

出席者：平部会長ほか13名

議 題：① 部会長挨拶 ② 建設機械自動  
化・自律化・遠隔化に係る産学官協議  
会について(情報提供) ③ コンプ  
ライアンス分科会活動報告(レンタル業

としてのトラック輸送業における運賃について) ④ R3 年度レンタル業部会現場見学会について ⑤ 各社からの報告事項・情報交換

## 各種委員会等



### ■機関誌編集委員会

月 日: 9月1日(水)

出席者: 中野正則委員長ほか 27名

議 題: ①令和3年12月号(第862号) 計画の審議・検討 ②令和4年1月号(第863号) 素案の審議・検討 ③令和4年2月号(第864号) 編集方針の審議・検討 ④令和3年9月号～令和3年11月号(第859～861号) 進捗状況報告・確認 ※通常委員会及び Zoom にて実施

## 支部行事一覧

### 東北支部



#### ■令和3年度 総合防災訓練

月 日: 9月1日(水)

場 所: 支部会議室

出席者: 小野由則技術部会長ほか 9名

内 容: 東北地方整備局主催「令和3年度総合防災訓練」の情報伝達訓練に参加

#### ■第2回 広報部会

月 日: 9月13日(月)

場 所: 支部会議室

出席者: 浅野公隆広報部会長ほか 5名

内 容: ①「支部たより182号」の編集計画について ②原稿執筆依頼について ③表紙写真について ④本部機関誌「建設機械施工」令和4年2月号ずいそう原稿執筆者について

#### ■除雪講習会

①青森(1)会場

月 日: 9月21日(火)

場 所: 青森市 青森産業会館

受講者: 206名

②青森(2)会場

月 日: 9月22日(水)

場 所: 青森市 青森産業会館

受講者: 174名

③弘前会場

月 日: 9月24日(金)

場 所: 弘前市 岩木文化センター あそべる

受講者: 157名

④山形(1)会場

月 日: 9月28日(火)

場 所: 山形市 山形ビッグウイング

受講者: 181名

⑤山形(2)会場

月 日: 9月29日(水)

場 所: 山形市 山形ビッグウイング

受講者: 165名

⑥新庄(1)会場

月 日: 9月30日(木)

場 所: 新庄市 新庄市民プラザ

受講者: 115名

#### ■ICT, UAV (i-Construction) 基礎技術講習会 (主催: 東北土木人材育成協議会)

【座学】・東北地方整備局における i-Construction の取り組み ・各県・仙台市における取り組み ・3次元測量の概要と留意点(3次元測量の基礎知識, 安全対策, 事例等) ・ICT 活用工事の監督・検査の留意事項 ・点群ソフト, 3D 設計データ ・ICT 建機 ・TS, GNSS 3次元計測(検査等現場計測)

①宮城県会場

【座学(Web)】

月 日: 9月29日(水)

受講者: 66名

### 北陸支部



#### ■建設機械施工管理技術検定(後期)実施試験

月 日: 9月3日(金)～5日(日)

場 所: 石川県小松市 コマツ教習所粟津センタ

受検者: 1級1種10名 2級1種17名  
2種12名 2種120名  
3種1名 3種5名  
4種7名 4種10名

#### ■専門技術研究会(機械技術) 機械設備の設計・施工計画に関する検討会

月 日: 9月8日(水)

場 所: 横川ダム管理支所(羽越河川国道事務所)

出席者: 堤雄生事務局長(座学講師)

議 題: ①横川ダム機械設備の維持管理状況について ②横川ダム機械設備の設計・施工について ③機械設備現場見学

#### ■JCMA 北陸支部 親睦ゴルフ大会

月 日: 9月16日(木)

場 所: ノーブルウッドゴルフクラブ

参加者: 北陸支部会員 19名

### 中部支部



#### ■建設機械施工技術検定実地試験

月 日: 9月3日(金)～6日(月)

場 所: 愛知県刈谷市「住友建機販売(株)

愛知教習センター」

受験者: 1級延べ受験者 210名, 2級延べ受験者 589名

#### ■広報部会

月 日: 9月8日(水)

出席者: 濱地仁広報部会長ほか 8名

議 題: 「中部支部だより」第81号について

#### ■技術・調査部会

月 日: 9月21日(火)

出席者: 青木保孝部会長ほか 6名

議 題: 技術講演・発表会の発表テーマの選出について

#### ■建設施工研修会(映画会)

月 日: 9月22日(水)

場 所: 名古屋市中心企業振興会館

参加者: 約 50名

### 関西支部



#### ■令和3年度 建設機械施工管理技術検定(第二次検定)

月 日: 9月6日(月)～11日(土)

場 所: コベルコ教習所(株)

延受検者数: 479名(1級189名, 2級390名)

#### ■「建設技術展 2021 近畿」主催・共催者会議(第2回)

月 日: 9月15日(水)

場 所: 大阪マーチャングイズ・マートビル

出席者: 桐野尚子

議 題: ①「建設技術展 2021 近畿」のプログラム及び全体概要について ②開会式出席依頼について ③注目技術賞の審査員について ④当日の動員体制について

#### ■建設用電気設備特別専門委員会(第469回)

月 日: 9月15日(水)

場 所: 中央電気倶楽部 会議室

議 題: ①「JEM-TR121 建設工事用電気設備機器点検保守のチェックリスト進捗報告 ②「JEM-TR104 建設工事用受配電設備点検補修のチェックリスト」審議 ③その他

### 中国支部



#### ■第1回企画部会

月 日: 9月9日(木)

場 所: 広島 YMCA 会議室

出席者: 塩形幸雄部会長ほか 5名

議 題: 令和3年度中国地方整備局との意見交換会について

## 四 国 支 部



### ■令和3年度建設機械施工管理技術検定

#### 【実技】試験

月 日：9月4日（土）～5日（日）  
場 所：日立建機日本(株)四国支店構内  
（善通寺市）  
受験者：1級：48名，2級：244名 計  
292名（延べ人数）  
試験監督者：小松修夫総括試験監督者ほ  
か9名

### ■協賛事業「四国建設広報協議会」WG

月 日：9月21日（火）  
場 所：Web会議  
出席者：協議会を構成する27の団体・  
組織のうち24団体・組織から31名が  
参加，JCMA四国支部からは事務局  
長が参加  
内 容：建設フェア（建設フェア四国  
2021in徳島）にかかる準備状況，出  
展者マニュアル（案）の説明等

## 九 州 支 部



### ■企画委員会

月 日：9月22日（水）  
場 所：九州支部 会議室  
出席者：原尻克己企画委員長ほか8名  
議 題：①令和3年度i-Construction（活  
用編）技術講習会の開催について  
②建設機械技術検定試験（二次検定）  
の開催報告 ③第2回運営委員会の開  
催について ④建設行政講演会の開催  
について ⑤その他



## 編集後記

本号の編集終盤の10月5日に今年のノーベル物理学賞に、地球温暖化を予測する地球気候モデルを開発した真鍋淑郎博士ら3人が選ばれたことが発表されました。地球温暖化という気象学の分野で物理学賞を受賞したことも話題となりましたが、国連の「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」が1990年に発表し、温暖化の科学的知見を初めてまとめた第1次評価報告書にも博士らが開発した気候モデルが引用されていたことも話題になりました。そのIPCCの第6次報告書が今年8月に発表され、人間の影響が大气、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がないと初めて断定し、CO<sub>2</sub>やその他温室効果ガスの排出を直ちに急速かつ大規模に削減しない限り、温暖化を抑えることができないと報告しています。国内でも菅前首相の2050年カーボンニュートラル宣言と今年4月の2030年CO<sub>2</sub>排出量を2013年比46%削減発言もあり、対策が待ったなしの大きな転換期を迎えています。

本号の特集テーマ「地球温暖化対策、環境対策」は、前回からおよそ2年半ぶりとなりますが、このような変化に対応していく読者の方々に

ご参考となれば幸いです。

巻頭言は、立命館大学の深川教授にご執筆いただき、地球温暖化を正しく恐れると題してIPCCの内容や建設機械に関わる我々が何をなすべきかについて触れていただきました。

行政情報では、「国土交通省におけるカーボンニュートラルに向けた取組」と、農林水産省で取り組まれている「みどりの食料システム戦略」、「建設施工における地球温暖化対策」についてご紹介いただきました。

特集報文では、当協会の活動にも携わる大川博士に地球温暖化の抑制策について考察と提言をいただきました。そのほかにも水素やサプライチェーン、環境配慮型コンクリート、生態系保全、ブルーカーボン、風力発電、バイオマス、バッテリー駆動、トrolley受電、作業船リニューアル、換気、水処理装置、原位置浄化、環境配慮型土壌固着、ZEBといった特集テーマに関連した幅広い分野から取組みや新技術について紹介していただきました。

最後に、本号への執筆時期はコロナウイルスの第5波と重なりました。感染拡大防止で何かと制限や影響のある中、また、ご多忙にもかかわらずご寄稿いただきました執筆者の皆様とご協力いただいた関係者各位にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。(赤坂・松澤)

## 機関誌編集委員会

### 編集顧問

|       |       |
|-------|-------|
| 今岡 亮司 | 加納研之助 |
| 後藤 勇  | 佐野 正道 |
| 新開 節治 | 関 克己  |
| 高田 邦彦 | 田中 康之 |
| 田中 康順 | 中岡 智信 |
| 渡邊 和夫 |       |

### 編集委員長

|       |             |
|-------|-------------|
| 中野 正則 | 日本ファブテック(株) |
|-------|-------------|

### 編集委員

|       |              |
|-------|--------------|
| 菊田 一行 | 国土交通省        |
| 大森 茂樹 | 農林水産省        |
| 細田 豊  | (独)鉄道・運輸機構   |
| 岡本 直樹 | (一社)日本機械土工協会 |
| 穴井 秀和 | 鹿島建設(株)      |
| 赤坂 茂  | 大成建設(株)      |
| 宇野 昌利 | 清水建設(株)      |
| 佐藤 誠治 | (株)大林組       |
| 内藤 陽  | (株)竹中工務店     |
| 宮川 克己 | (株)熊谷組       |
| 松本 清志 | (株)奥村組       |
| 京免 継彦 | 佐藤工業(株)      |
| 竹田 茂嗣 | 鉄建建設(株)      |
| 副島 幸也 | (株)安藤・間      |
| 松澤 享  | 五洋建設(株)      |
| 飯田 宏  | 東亜建設工業(株)    |
| 佐藤 裕  | 日本国土開発(株)    |
| 斉藤 徹  | (株)NIPPO     |
| 室谷 泰輔 | コマツ          |
| 山本 茂太 | キャタピラー・ジャパン  |
| 花川 和吉 | 日立建機(株)      |
| 上田 哲司 | コベルコ建機(株)    |
| 石倉 武久 | 住友建機(株)      |
| 小黑 誠  | (株)加藤製作所     |
| 五味 敏彦 | 古河ロックドリル(株)  |
| 太田 正志 | 施工技術総合研究所    |

### 事務局

(一社)日本建設機械施工協会

### 12月号「先端土木・建設技術の開発特集」予告

・国土交通省におけるデータ活用取組の取組 ・「国土の長期展望」最終とりまとめ ・GNSSを活用した高精度施工管理技術 ・点群データを活用した公共事業の高度化 ・現場で使える公共構造物デジタルツインの構築 ・点群データを用いた時空間解析の最新動向 ・仮想県土「VIRTUAL SHIZUOKA」構築に向けた取り組み ・建設DX実現に向けて ・SLAMを用いた3次元測量 ・自動建機群の協調制御システムの実証 ・水中作業のICT技術 小型水中バックホウの開発 ・簡単に素早く設置できる防音壁の開発 ・ビーコンを活用した安全な施工管理 ・2層式鋼製伸縮装置による桁端部漏水対策技術 ・点群データを用いた道路防災点検の高度化と災害査定への支援

### 【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。  
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 9,408円(税・送料込)

## 建設機械施工

第73巻第11号(2021年11月号)(通巻861号)

Vol.73 No.11 November 2021

2021(令和3)年11月20日印刷

2021(令和3)年11月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

## 発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話(03)3433-1501; Fax(03)3432-0289; <http://www.jcmanet.or.jp/>

|           |                            |                 |
|-----------|----------------------------|-----------------|
| 施工技術総合研究所 | 〒417-0801 静岡県富士市大淵3154     | 電話(0545)35-0212 |
| 北海道支      | 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8    | 電話(011)231-4428 |
| 東北支       | 〒980-0014 仙台市青葉区本町3-4-18   | 電話(022)222-3915 |
| 北陸支       | 〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1     | 電話(025)280-0128 |
| 中部支       | 〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10 | 電話(052)962-2394 |
| 関西支       | 〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4    | 電話(06)6941-8845 |
| 中国支       | 〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22    | 電話(082)221-6841 |
| 四国支       | 〒760-0066 高松市福岡町3-11-22    | 電話(087)821-8074 |
| 九州支       | 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30 | 電話(092)436-3322 |

本誌上への広告は  有限会社 サンタナ アートワークス までお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: [san-mich@zam.att.ne.jp](mailto:san-mich@zam.att.ne.jp) 担当: 田中

KOBELCO

掘削サイクル  
タイムアップ

↑  
**8%**

従来機とのHモードでの比較



新型13t特設サイト

Performance **X** Design

## それは未来に挑むための 次世代のパフォーマンス。

サイクルタイムを8%向上させた掘削性やNETISに新規登録された先進技術。  
快適性、操作性を高めたインテリアデザイン。  
数々の技術を磨き上げ、進化を遂げたSK135SRの誕生です。

**NETIS登録**

省工率技術搭載型バックホウ  
登録番号: KT-200147-A

イーグルアイビューステム  
登録番号: KT-200085-A

2020年燃費基準達成建設機械 ★★★

国土交通省 燃費基準達成建設機械認定制度

SK125SR-7は申請予定。

特定特殊自動車  
適合車  
排出ガス2014年基準  
燃費 燃費改善率 認定済



# SK135SR

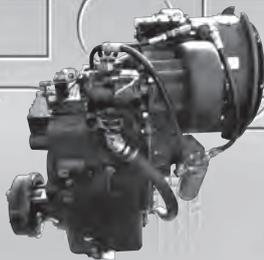
SK125SR SK130SR+

コベルコ建機株式会社

東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15 ☎03-5789-2111 [www.kobelco-kenki.co.jp](http://www.kobelco-kenki.co.jp)

あらゆる建設機械／シールドマシン・・・  
**油圧機器の整備・再生**

各種トランスミッション整備で相談に応じます。



建設機械用ZFトランスミッション

点検・整備は、日本ではマルマのみが対応



建設機械のあらゆる油圧機器

斜板式ダブルポンプ



斜板式ピストンポンプ



斜軸式ピストンモータ



シールドマシン用油圧機器



シールド用ジャッキ

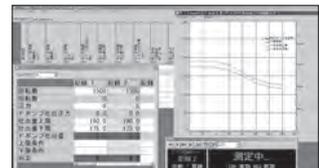
電動モータ付ピストンポンプ

**建機と共に半世紀以上。確かな「信頼」をお届けします！**

整備・再生された各Ass'yは、自社独自開発の多機能油圧機器試験機により性能を確認。各テストのデータはデータベースとして保存され、出荷後、マッチング調整や、搬送されてきた同等品の確認テストに活用します。この万全を期した体制がマルマの高い信頼性の由縁です。



MH-R220は従来の油圧ドライブ型油圧機器試験機に比べ、インバータ制御電動モーター駆動、及びエネルギー回生回路の採用により大幅な消費電力量の削減を実現しました。大型油圧ポンプの試験も可能です。



**マルマテクニカ株式会社**

本社・相模原事業所 営業部 整備油機課  
 〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台6-2-1  
 TEL042 (751) 3809 FAX042 (756) 4389  
 E-mail:yuki@maruma.co.jp

東京工場 〒156-0054 東京都世田谷区桜丘1-2-22  
 E-mail:tokyo@maruma.co.jp TEL03 (3429) 2141 FAX03 (3420) 3336  
 名古屋事業所 〒485-0037 愛知県小牧市小針2-18  
 E-mail:n-service@maruma.co.jp TEL0568 (77) 3311 FAX0568 (77) 3719

URL <http://www.maruma.co.jp/>

# 建設機械施工 広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

## ■職業別 購読者

建設機械施工 / 建設機械メーカー / 商社 / 官公庁・学校 / サービス会社 / 研究機関 / 電力・機械等

## ■掲載広告種目

穿孔機械 / 運搬機械 / 工事用機械 / クレーン / 締固め機械 / 舗装機械 / 切削機 / 原動機 / 空気圧縮機 / 積込機械 / 骨材機械 / 計測機 / コンクリート機械等

広告掲載・広告原稿デザイン — お問い合わせ・お申し込み

## サンタナアートワークス

広告営業部・田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F



## 建設機械施工 カタログ資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カタログ/資料はメーカーから直送いたします。 ※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お名前: \_\_\_\_\_ 所属: \_\_\_\_\_

会社名(校名): \_\_\_\_\_

資料送付先: \_\_\_\_\_

電話: \_\_\_\_\_ F A X: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

|   | 広告掲載号 | メーカー名 | 製品名 |
|---|-------|-------|-----|
| ① | 月号    |       |     |
| ② | 月号    |       |     |
| ③ | 月号    |       |     |
| ④ | 月号    |       |     |
| ⑤ | 月号    |       |     |

FAX 送信先: サンタナアートワークス 建設機械施工係 FAX:03-3664-0138

# Mikasa

http://www.mikasas.com

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

バイプロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH-120015-VE

タンピングランマー

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

## 三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL:06-6745-9631  
札幌営業所 TEL:011-892-6920  
仙台営業所 TEL:022-238-1521  
新潟出張所 TEL:090-4066-0661

北関東営業所 TEL:0276-74-6452  
長野出張所 TEL:080-1013-9542  
中部営業所 TEL:052-504-3434  
金沢出張所 TEL:080-1013-9538

中国営業所 TEL:082-875-8561  
四国出張所 TEL:087-868-5111  
九州営業所 TEL:092-431-5523  
南九州出張所 TEL:080-1013-9547

沖縄出張所 TEL:080-1013-9328

# FA機器の 最適無線化提案

クレーン、搬送台車、建設機械、特殊車輛他  
産業機械用無線操縦装置

①微弱電波 ②429MHz帯特定小電力 ③1.2GHz帯特定小電力  
④315MHz帯特定小電力 ⑤920MHz帯特定小電力

## スリムケーブルレス 5000型

### 緊急停止スイッチの オプション対応スタート!

- ・微弱、429MHz特小、1.2GHz特小 全て対応
- ・8点、12点、16点仕様 全て対応
- ・表示用LED取付他、  
従来のオーダー対応可

プッシュロック、  
ターンリセット型  
キノコスイッチ



### 充電台に置いて充電

ご希望の多かったクレードルタイプを  
オプションにてご用意!



## ハンディタイプ シリーズ

タフケーブルレス  
《RC-8600N/U/G》



チップケーブルレス  
《RC-3205M・3212M・3208N》



マイコンケーブルレス  
《RC-6000N/U/G》



ケーブルレスミニ  
《RC-4400N》

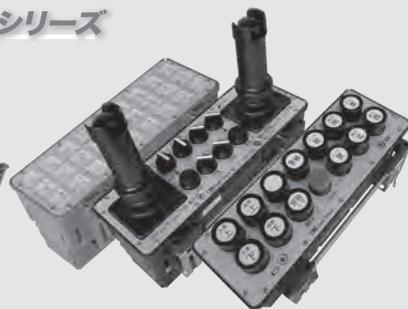


## ショルダータイプシリーズ

MAXサテレータ  
《RC-9300U/G》



マイティサテレータ  
《RC-7100・7200N/U/G》



## データケーブルレスシリーズ

双方向データケーブルレス  
《TC-1000808S》



データケーブルレス  
《TC-1300・1400N/U/G》



RC-5800U/G  
2段押3組 準標準型  
好評発売中!

- ・インバーター制御のクレーンに最適!
- ・クリック感ハッキリの  
ロングストローク スイッチ

429MHz・1216MHz(送信出力1mW)  
の2種類の周波数から選択可能

429MHz、1216MHzが  
同価格!!

常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1(本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411  
http://www.asahionkyo.co.jp/

無線化工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索



# KOMATSU

## 建設現場のデジタルトランス フォーメーション実現を加速。

### SMART CONSTRUCTION Retrofit スマートコンストラクション・レトロフィット

既存の従来型建機に、3D-マシンガイダンス機能や  
ペイロード機能(オプション)などのICT機能を提供する  
後付けキットをご用意しました。



### 従来型建機のデジタル化を促進し 「安全で生産性の高い、スマートで クリーンな未来の現場」の実現を サポート

コマツカスタマーサポート(株)

〒108-0072 東京都港区白金 1-17-3 TEL:050-3486-7147

