

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2015

建設機械施工



Vol.67 No.2 February 2015 (通巻780号)

特集 エネルギー・エネルギー施設



連系変電所

丘陵地における大規模太陽光発電 メガソーラー

巻頭言 エネルギー問題の構図と解決の方向性

行政情報

- 小水力発電 (従属発電) の普及への取組
- 下水熱利用推進に向けた取組

JCMA報告 研究開発助成成果報告 (その1)

- 超広帯域通信ICタグと3次元モデルを用いた建設施工管理システム
- 無人化施工における環境カメラのための半自動制御システムの基礎研究

技術報文

- 世界・日本のエネルギー動向
- 水中浮遊式海流発電システム
- 省エネから、ゼロエネへ。ZEB 実証棟の建設
- バイオディーゼル燃料の普及に向けた排出ガス調査
- 管路更生と組み合わせた下水熱利用システムの開発 他

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

低燃費のコベルコ!
低炭素社会の実現へ

KOBELCO

低燃費の進化は、止まらない。

進化は、大胆に。次世代テクノロジーを結集した、コベルコの「新世機」。燃費の限界を超えて、低燃費の最先端へ。



オフロード法2011年基準適合
排気ガス後処理装置の搭載により
排出ガス中のPM(粒子状物質)を大幅削減。



2020年燃費基準値達成度★★★をクリア。



コベルコの
新世機

圧倒的な燃費性能で新たな世代をリードするコベルコの「新世機」。その技術で、低燃費のコベルコは、もっと低燃費のコベルコになる。

-18%の低燃費*1で、新登場。

新開発エンジンを搭載し、ECOモードで最大約18%の燃費を低減*1。さらに、3つのカメラで約270°の後方視界を提供する「イーグルアイビュー」を新採用*2。大胆な進化を遂げた、コベルコの次世代マシン。 *1. 従来機Sモード比/新ECOモード *2. オプション設定



ACERA
GEOSPEC

SK200

コベルコ建機株式会社

東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区東五反田 2-17-1 ☎03-5789-2111 www.kobelco-kenki.co.jp

第61回欧州建設機械施工視察団 団員募集のお知らせ

INTERMAT 2015(パリ)

本協会は毎年海外視察団を派遣し、海外の建設機械及び施工技術を見聞し、我が国の建設機械化の発展に寄与して参りました。本年度も関係各位のご要望にお応えして、下記要領により海外視察団参加者を募集し派遣することになりました。今回の視察の主旨は、フランス・パリで開催される国際的な建設機械及び建設資材等の展示会「INTERMAT 2015」の視察です。3年ごとに開催されるこの展示会は世界3大建機展の一つで、最新の建設機材、サービス、そして技術を一望することができます。そのほか、ミラノにおけるインフラ整備、都市再開発の工事現場視察等を予定しております。

関係各位におかれましては、最新の国際的な建設機械の動向をキャッチするとともに、ヨーロッパの基盤整備状況を視察することにより、今後の事業展開に役立ちうるものと思われまます。多数の方々にご参加賜りたく、ご案内を申し上げます。皆様のご参加をお待ち致しております。

【展示会概要】

【開催地】フランス・パリ 【期 間】2015年4月20日(月)～25日(土)
 【周 期】3年毎 【主 催】COMEXPOSIUM
 【会 場】パリ・ノール見本市会場 【出展社】1,350社(2012年実績)
 【入場者】145,082人(2012年実績)

【主要出展品目】

- 大型搬送機械 ●下準備機械 ●道路建設・メンテナンス機械 ●コンクリート製造・運搬・打ち込み用機材
- コンクリート製品製造機械 ●建設用ロボット ●ハンドリング機器 ●昇降機器 ●足場架設支柱 ●枠型
- 輸送機械 ●パイル・シートパイル打ち機 ●現場用給水設備 ●発電・変電設備
- その他現場用工具機器 他

日 程 表

日次	月日曜	発着地/滞在地名	発着現地時刻	交通機関名	摘 要
1	2015年 4月19日 (日)	東京(成田)発 パリ着	午前 夕刻	航空機 専用車	空路、パリへ 到着後、ホテルへ (パリ泊)
2	4月20日 (月)	パリ滞在	終日	専用車	◎INTERMAT 2015国際建設機械見本市視察 (パリ泊)
3	4月21日 (火)	パリ滞在	終日	専用車	◎INTERMAT 2015国際建設機械見本市視察 (パリ泊)
4	4月22日 (水)	パリ空港発 ミラノ空港着	午前 午後	航空機 専用車	空路、ミラノへ ◎工事現場視察又は企業訪問 (ミラノ泊)
5	4月23日 (木)	ミラノ滞在	終日	専用車	◎工事現場視察又は企業訪問 ◎市内視察 (ミラノ泊)
6	4月24日 (金)	ミラノ発 パリ発	午前 午後	航空機 航空機	空路、乗継パリへ 空路、帰国の途へ (機内泊)
7	4月25日 (土)	東京(成田)着	午前		到着後、入国審査及び通関手続終了後、解散

※発着地及び交通機関は変更になることがあります。

視察期間 平成27年4月19日(日)～4月25日(土) 5泊7日

視察地 パリ・ミラノ(2都市)

催行人員 最少催行人員15名(添乗員同行)

参加費 お一人様385,000円(1名1室)
(空港諸税・燃油サーチャージ、INTERMAT2015入場料・登録代行手数料 別途)

締切日 募集締切日は2015年3月13日(金)

募集パンフレット請求先⇒ 近畿日本ツーリスト(株) 第5営業支店 担当:古庄(フルジョウ)・宮(キューウ)
TEL03-6891-9305 FAX03-6891-9405

(なお、下記URLからインターネットにより直接申込みことができます。
URL: http://biz.knt.co.jp/worldtechnica/tour/JCMA_INTERMAT/index.htm)

●お問い合わせ先●

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3-5-8 機械振興会館2階
TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289
担当:小櫃(オビツ)

初の
実務者向け入門版!!

情報化施工 デジタルガイドブック

2014.3
発刊!

土木工事の施工現場においては、施工および施工管理の省力化、品質向上を目的として、モーターグレーダやブルドーザなどのマシンコントロール技術やトータルステーションを用いた施工管理・出来形管理技術をはじめ、ICT技術の活用事例が大規模工事現場はもちろんのこと、小規模工事においても適用されはじめています。

このような中、国土交通省は、平成25年3月に今後の情報化施工の普及促進のための新たな施策「情報化施工推進戦略」～「使う」から「活かす」へ、新たな建設生産の段階に挑む!!～を発表しています。

当協会では、情報化施工を考えておられる実務者の皆様のために新しい情報化施工入門書「情報化施工デジタルガイドブック」を刊行いたしました。本書によって、情報化施工技術を理解していただき、現場施工に役立てていただきたいと考えています。

特徴

本書では、情報化施工を担当する現場技術者の皆様を対象として作成したもので、DVD版の主な特徴は以下のとおりです。

- ★画像・映像による解りやすい技術紹介
- ★業務の流れに沿った解説
- ★導入効果の概説
- ★50項目以上の用語説明
- ★インターネット・エクスプローラ等のブラウザを使用して画面を切り替えながら見ることができる

主な内容

- | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------|------------|
| 1
情報化施工のあらし | 2
情報化施工技術の種類 | 3
情報化施工の適用工種 | 4
情報化施工の運用手順 | 5
建設機械・測量機器リスト | 6
情報化施工データ | 7
情報化施工の導入効果 | 8
導入事例 | 9
用語の説明 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------|------------|

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3-5-8 機械振興会館
TEL (03) 3433-1501 FAX (03) 3432-0289 <http://www.jcmanet.or.jp>

JCMA 図書 検索



情報化施工 デジタルガイドブック

JCMA 一般社団法人
日本建設機械施工協会

定価

一般価格
2,160円 (本体2,000円)

会員価格
1,944円 (本体1,800円)

※送料別途

Windows版

JCMA
一般社団法人 日本建設機械施工協会
(禁複製)

デジタルブックDVD版
(デジタル画像・動画等)

プレビューA4版冊子付

よくわかる建設機械と損料 2014

(平成26年度版 建設機械等損料表 解説書)

本書は当協会発行の書籍「平成26年度版 建設機械等損料表」で使用する用語や損料計算方法等を解説すると共に、前年度版からの主な改正点、機械損料を掲載している各種建設機械・器具の概要・特長、主要建設機械についてはメーカー・型式名等を紹介したものです。

機械損料に関する理解を深めるだけでなく、機械そのものに関する幅広い知識を得るという観点においても有効・有益な資料と考えます。詳細・申し込み方法は[当協会ホームページ](#)をご覧ください。

■**発刊** : 平成26年6月16日

■**体裁** : B5版、一部カラー、約400ページ

■**価格(送料別途)**

一般: 5,616円(本体: 5,200円)

会員: 4,752円(本体: 4,400円)

■**特長**

★損料表の構成・用語の意味、損料補正方法などを平易な表現で解説

★19件の関連通達の位置付けと要旨を解説

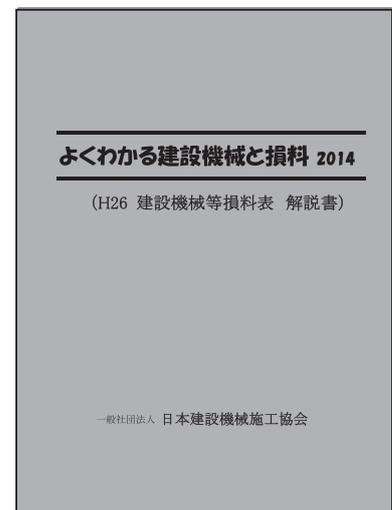
★H26損料表の主な改正・変更点を一覧表にして紹介

★損料表掲載の機械・器具等のコード体系を下記大分類別に図示

- | | |
|---------------------|-------------------|
| 01 ブルドーザ及びスクレーパ | 12 空気圧縮機及び送風機 |
| 02 掘削及び積込機 | 13 建設用ポンプ |
| 03 運搬機械 | 15 電気機器 |
| 04 クレーンその他の荷役機械 | 16 ウインチ類 |
| 05 基礎工事用機械 | 17 試験測定機器 |
| 06 せん孔機械及びトンネル工事用機械 | 18 鋼橋・PC橋架設用仮設備機器 |
| 07 モータグレーダ及び路盤用機械 | 20 その他の機器 |
| 08 締固め機械 | 30- 作業船 |
| 09 コンクリート機械 | 40- ダム施工機械等 |
| 10 舗装機械 | 50 除雪用建設機械 |
| 11 道路維持用機械 | |

★損料表掲載の機械・器具等の概要を写真・図入りで紹介

★主要建設機械のメーカー・型式名を表にして紹介



平成26年度版 建設機械等損料表

■発行：平成26年5月12日

■体裁：B5版 モノコ 650ページ

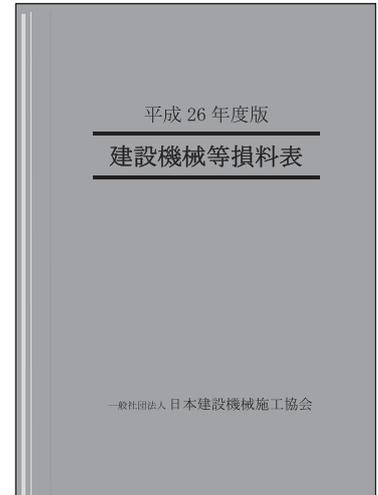
■価格(送料別)

一般：7,920円(本体 7,334円)

会員：6,787円(本体 6,285円)

■内容

- ・機械経費・損料等に関する通達・告示類を掲載
- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づき編集
- ・損料表の構成・用語や損料積算例を解説
- ・燃料・電力消費量(率)を掲載
- ・主要建設機械は写真・図で概要を紹介



<参考> 平成26年度版の主要改正点の一部を下表に示します。この表は平成26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2014」(6月16日発売)から抜粋、アレンジしたものです。

現行(旧)		変更箇所		改正			
		コード	名称				
0101	ブルドーザ	-	-	0101	ブルドーザ		
			(追加)			015	[普通・排ガス(OR2011)]
			(追加)			025	[湿地・排ガス(OR2011)]
			(追加)			055	[リッパ装置付・排ガス(OR2011)]
0104	スクレーブドーザ	-	-	0104	スクレーブドーザ		
			○			011	[普通型]
0106	被けん引式スクレーパ	-	-	0106	被けん引式スクレーパ		
			○			012	[油圧式]
0202	バックホウ(クローラ型)	-	-	0202	バックホウ(クローラ型)		
			(追加)			115	[標準型・排ガス(OR2011)]
			(追加)			135	[標準型・超低騒音型・排ガス(OR2011)]
			(追加)			714	[ディーゼル/電気ハイブリッド型・排ガス(3次)]
		(追加)	715	[ディーゼル/電気ハイブリッド型・排ガス(OR2011)]			
0204	ドラグライン及びクラムシェル	-	-	0204	ドラグライン及びクラムシェル		
			○			061	[油圧クラムシェル・テレスコピック式]

橋梁架設工事の積算

平成26年度版

∞∞∞ 改訂・発刊のご案内 ∞∞∞

平成26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。

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、平成26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 平成26年度版」を発刊致しました。

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 平成26年度版」を別冊(セット)で発刊致しております。

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

平成26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)



◆改訂内容

平成25年度版からの主な改訂事項は以下のとおりです。

1. 鋼橋編

- ・ 送出し架設 留意項目の追加
- ・ 橋梁補修 (掲載歩掛一覧表、塗替塗装用足場工、仮設ブラケットの設置・撤去、素地調整 (ブラスト工法、コンクリート補修歩掛) の追加
- ・ 積算例題の見直し

2. PC橋編

- ・ 工事中エレベーター運転費の電力設備に発動発電機を追加
- ・ 外ケーブル工予備孔の設置歩掛りを追加
- ・ 外ケーブルPE管グラウトタイプ PCケーブル工歩掛の変更
- ・ 重量型伸縮継手装置の設置歩掛りを追加
- ・ 検査孔蓋の設置歩掛りを追加
- ・ 複合損料の改定
- ・ 積算例題の見直し

- B5判/本編約1,100頁(カラー写真入り)
別冊約120頁 セット

●価格

- 一般価格: 8,640円 (本体 8,000円)
- 会員価格: 7,344円 (本体 6,800円)

※ 別冊のみの販売はいたしません。

※ 送料は一般・会員とも

沖縄県以外 600円

沖縄県 610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申込みの場合は別途とさせていただきます。

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

平成26年度版

∞∞∞ 改訂・発刊のご案内 ∞∞∞

平成26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、平成24年5月に「大口径岩盤削孔工法の積算 平成24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及び建設機械等損料算定表等が改正され、平成26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、内容をより充実し、また解りやすく説明した「大口径岩盤削孔工法の積算 平成26年度版」を発刊致しました。

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

平成26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3編 アースオーガ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2編 工法の概要

第4編 パーカッション掘削工法の標準積算

第6編 建設機械等損料表

◆ 改定内容

平成24年度版からの主な改定事項は以下のとおりです。

- ・国土交通省の損料改正に伴う関連箇所の全面改訂
- ・オーガ、パーカッション、ケーシング回転掘削工法の施工機械を最新情報に改定
- ・工法写真、標準積算例により解りやすく解説
- ・施工条件に対応した新たな岩盤削孔技術事例を追加
- ・施工実績の改定に伴う掘削工法の種類と選定資料の部分改定

● A4版／約250頁（カラー写真入り）

● 価格

一般価格：6,048円（本体5,600円）

会員価格：5,142円（本体4,762円）

※ 送料は一般・会員とも

沖縄県以外 500円

沖縄県 350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申込みの場合は別途とさせていただきます。

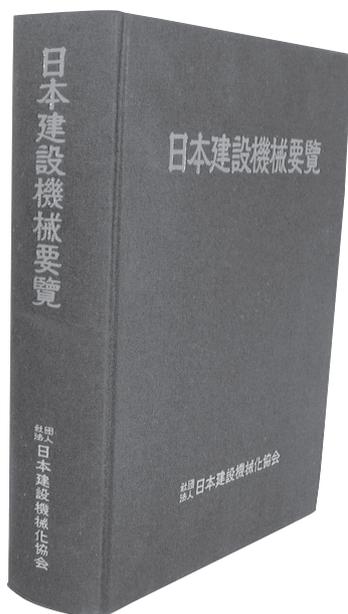


2013年版 日本建設機械要覧

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。



体 裁

B5判、約1,320頁／写真、図面多数／表紙特製

価 格

価格は次の通りです（消費税8%含む）

一般価格 52,920円（本体49,000円）

会員価格 44,280円（本体41,000円）

（注）送料は1冊900円となります。

（複数冊の場合別途）

特 典

2013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、2004年版、2007年版及び2010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2013年版を含めると1998年から2012年までの建設機械データが活用いただけます。

2013年版 内容目次

- ・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・災害対策機械
および除雪機械
- ・作業船
- ・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、情報化機器、ウォータージェット工法用機器、CSG工法用設備、タイヤ、ワイヤロープ、検査機器等

◆ 購入申込書 ◆

一般社団法人 日本建設機械施工協会 行

日本建設機械要覧 2013年版	冊
-----------------	---

上記図書を申込み致します。平成 年 月 日

官公庁名 会社名			
所 属			
担当者氏名	印	TEL	
		FAX	
住 所	〒		
送金方法	銀行振込 ・ 現金書留 ・ その他 ()		
必要事項	見積書 () 通 ・ 請求書 () 通 ・ 納品書 () 通 () 単価に送料を含む、() 単価と送料を2段書きにする (該当に○) お願い：指定用紙がある場合は、申込書と共に送付下さい		

◆ 申込方法 ◆

- ①官公庁：FAX（本部、支部共）
- ②民 間：（本部へ申込）FAX
 （支部へ申込）現金書留のみ（但し会員はFAX申込可）
- ※北海道支部はFAXのみ
- ※沖縄の方は本部へ申込

（注）関東・甲信・沖縄地区は本部へ、その他の地区は最寄の下記支部あてにお申込み下さい。
 [お問合せ及びお申込先]

本 部	〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館	TEL 03 (3433) 1501 FAX 03 (3432) 0289
北海道支部	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8 さっけんビル	TEL 011 (231) 4428 FAX 011 (231) 6630
東北支部	〒980-0802 仙台市青葉区二日町16-1 二日町東急ビル	TEL 022 (222) 3915 FAX 022 (222) 3583
北陸支部	〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1 興和ビル	TEL 025 (280) 0128 FAX 025 (280) 0134
中部支部	〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10 三愛ビル	TEL 052 (962) 2394 FAX 052 (962) 2478
関西支部	〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4 谷町スリースリースビル	TEL 06 (6941) 8845 FAX 06 (6941) 1378
中国支部	〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22 築地ビル	TEL 082 (221) 6841 FAX 082 (221) 6831
四国支部	〒760-0066 高松市福岡町3-11-22 建設クリエイティブビル	TEL 087 (821) 8074 FAX 087 (822) 3798
九州支部	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30 いわきビル	TEL 092 (436) 3322 FAX 092 (436) 3323

ご記入いただいた個人情報は、お申込図書の配送・支払い確認等の連絡に利用します。また、当協会の新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）送付に利用する場合があります。

（これらの目的以外での利用はいたしません）当協会のプライバシーポリシー（個人情報保護法方針）は、ホームページ（http://www.jcmanet.or.jp/privacy_policy.htm）をご覧ください。

当協会からのダイレクトメール（DM）送付が不要な方は、下記口欄にチェック印を付けてください。

当協会からの新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）は不要

増刷出来 !!

建設施工における地球温暖化対策の手引き

当協会では地球温暖化問題を学び、建設施工における本問題を理解し、実践するための必携書として、これらを簡潔に分かりやすく纏めた「建設施工における地球温暖化対策の手引き」を発刊しておりましたが好評を頂き御要望を多く頂いているため、この度急遽コピー版で増刷致しました。本書によって地球温暖化と建設施工における地球温暖化対策を理解し、建設現場での実践に役立てて頂きたく思います。

◇主な内容

- ・建設施工における工法、資材、建設機械及びその運転方法等について、CO₂の排出を削減するための一般的な対策手法や留意事項を示した。
- ・各工種の標準的な工法におけるCO₂排出量を算出すると共に、その排出量の削減が可能な対策と削減量を対策効果例として示した。
- ・国土交通省の土木工事積算システムにアクセスが多く、地球温暖化対策に関連する8工種を選定した。

◇掲載工種

土工／法面工／擁壁工／基礎工／仮設工（鋼矢板工）／道路舗装／トンネル工／橋梁工（参考資料のみ）

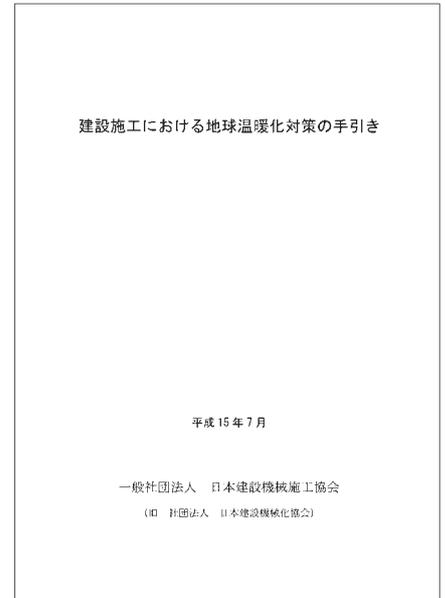
◇体裁・定価

A4判，85頁

価格 一般価格 1,620円（本体1,500円）

会員価格 1,512円（本体1,400円）

送料は一般，会員とも400円



「建設施工における地球温暖化対策の手引き」準拠 地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル

本書は「建設施工における地球温暖化対策の手引き」に準拠して作成・発行したもので、地球温暖化対策を実施する際に稼働する建設機械の省エネ運転のための操作方法を、具体的に簡便にイラストを使って分かりやすく記載したものです。是非とも上の「手引き」と併せて利用下さい。

◇主な内容

基本事項，油圧ショベル，ブルドーザ，ホイールローダ，ローラ，ホイールクレーン，クローラクレーン，ダンプトラック，点検整備

◇体裁・定価

B5判，50頁

価格 一般価格・会員価格共 540円（本体500円），送料250円



◆ 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

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され、建設機械・施工技術に関心のある方であればどなたでも入会頂けます。

★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864円/送料別途)。
「建設機械施工」では、建設施工や建設機械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・建設機械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)で参加できます。

今後、続々と個人会員の特典を準備中です。この機会に是非入会下さい!!

◆ 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年に設立された公益法人です。国土交通省および経済産業省の指導監督のもと、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…

- 建設機械及び建設機械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応にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
- 附属機関として「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。

■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(個人:建設施工や建設機械の関係者等)、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の実施。
- ・機関誌「建設機械施工」をはじめ各種技術図書・専門図書の発行。
- ・建設機械と施工技術展示会“CONET”の開催。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。 etc.

■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
- ・建設機械図鑑
- ・建設機械用語集
- ・地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル
- ・建設施工における地球温暖化対策の手引き
- ・建設機械施工安全技術指針本文とその解説 etc.

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.jcmanet.or.jp>

※お申し込みには次頁の申込用紙を使用してください。

【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
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。

平成 年 月 日

個人会員入会申込書		
ふりがな		生年月日
氏名 (自署)		大正 昭和 平成 年 月 日
機関誌の送付先	A. 勤務先 B. 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。) ※「勤務先」に送付の場合は下記(A)の項目に、「自宅」に送付の場合は下記(B)の項目にご記入下さい。	
(A) 勤務先名		
(A) 所属部課名		
(A) 勤務先住所	〒 _____ TEL _____ E-mail _____	
(B) 自宅住所	〒 _____ TEL _____ E-mail _____	
その他 連絡事項		
	平成 年 月より入会	

【会費について】年間 9,000円

- 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。○拠出金の不返還: 既納の会費及びその他の拠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.jcmanet.or.jp/privacy_policy.htm をご覧下さい。

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	送料
1	H26 年 6 月	よくわかる建設機械と損料 2014	5,616	4,752	500
2	H26 年 5 月	平成 26 年度版 建設機械等損料表	7,920	6,787	600
3	H26 年 5 月	橋梁架設工事の積算 平成 26 年度版	8,640	7,344	600
4	H26 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 平成 26 年度版	6,048	5,142	500
5	H26 年 3 月	情報化施工デジタルガイドブック【DVD 版】	2,160	1,944	400
6	H25 年 6 月	機械除草安全作業の手引き	972	864	250
7	H25 年 5 月	橋梁架設工事の積算 平成 25 年度版	8,640	7,344	600
8	H25 年 3 月	日本建設機械要覧 2013 年版	52,920	44,280	900
9	H23 年 4 月	建設機械施工ハンドブック (改訂 4 版)	6,480	5,502	600
10	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,240		400
11	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,240		250
12	H22 年 7 月	情報化施工の実務	2,160	1,851	400
13	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,376	2,160	400
14	H21 年 9 月	道路除雪オペレータの手引	3,085	2,057	500
15	H20 年 6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,024	2,560	500
16	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,086		500
17	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	3,456	2,880	400
18	H17 年 9 月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,029		250
19	H16 年 12 月	2005「除雪・防雪ハンドブック」(除雪編)	5,142		600
20	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)	3,456		500
21	H15 年 7 月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,620	1,512	400
22	H15 年 6 月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル(案)	1,944		400
23	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)	1,944		400
24	H15 年 6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	540		250
25	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)	6,480	6,048	500
26	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)	2,675	2,366	400
27	H11 年 10 月	機械工事施工ハンドブック 平成 11 年度版	8,208		600
28	H11 年 5 月	建設機械化の 50 年	4,320		500
29	H11 年 4 月	建設機械図鑑	2,700		400
30	H10 年 3 月	大型建設機械の分解輸送マニュアル	3,888	3,456	500
31	H9 年 5 月	建設機械用語集	2,160	1,944	400
32	H6 年 4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,172	5,554	500
33	H6 年 8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,229	7,714	500
34	H3 年 4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,079	9,565	600
35	S 63 年 3 月	新編 防雪工学ハンドブック【POD 版】	10,800	9,720	500
36	S 60 年 1 月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック	6,480		500
37		建設機械履歴簿	411		250
38	毎月 25 日	建設機械施工【H25.6 月号より図書名変更】	864	777	400

定期購読料 年 12 冊 9,252 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」の「図書購入申込書」をプリントアウトし、必要事項を記入してお申し込みください。

目次

エネルギー・エネルギー施設 特集

3	巻頭言	エネルギー問題の構図と解決の方向性	山地 憲治
4	行政情報	小水力発電（従属発電）の普及への取組	益子 修
10	行政情報	下水熱利用推進に向けた取組 都市に眠るエネルギー鉱脈	安陪 達哉
15		世界・日本のエネルギー動向	小林 幸三・村上 誠
26		丘陵地における大規模太陽光発電（メガソーラー） 加藤 博之・三浦 国春・島津 良邦	
32		既設港湾構造物を活用したPW-OWC 波力発電装置の開発 有孔ケーソンを利用した波力発電装置	木原 一禎・金谷 泰邦・増田 光一
38		水中浮遊式海流発電システム	長屋 茂樹
43		南あわじ太陽熱バイナリー発電 実証設備が稼動開始 沖田 信雄・小山 充彦・西村 和真	
48		温泉バイナリー発電の試み	秋田 涼子
53		省エネから、ゼロエネへ。 ZEB 実証棟の建設 梶山 隆史・山口 亮・田中 拓也	
60		バイオディーゼル燃料の普及に向けた排出ガス調査 車載型排出ガス計測装置による計測事例	杉谷 康弘・藤野 健一
65		管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用	田熊 章
70		管路更生と組み合わせた下水熱利用システムの開発	中井 健司
75		大深度立坑の施工	浜崎 尚・根岸 秀樹
81	交流の広場	水素社会の実現に向けた取組	江川 光
85	ずいそう	機械・産業遺産を巡る	溝口 孝遠
86		“被災者の立場”と“土木技術者の視点”から見た8・20広島市土砂災害 柳瀬健一郎	
87	JCMA 報告	平成 24 年度 研究開発助成 成果報告（その 1） 超広帯域通信 IC タグと 3 次元モデルを用いた建設施工管理システム	矢吹 信喜
92		無人化施工における環境カメラのための半自動制御システムの基礎研究 亀崎 允啓・岩田 浩康・菅野 重樹	
101	JCMA 報告	平成 26 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会 研究開発助成 助成対象研究開発 決定のお知らせ	小櫃基住
102	部会報告	除雪機械の変遷（その 4）ロータリ除雪車（4）	除雪機械技術委員会
109	部会報告	古河ロックドリル(株) 吉井工場見学会	トンネル機械技術委員会
112	新工法紹介	機関誌編集委員会	117 行事一覧（2014 年 12 月）
113	新機種紹介	機関誌編集委員会	120 編集後記
116	統計	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	立石・上田

◇表紙写真説明◇

丘陵地における大規模太陽光発電 メガソーラー

写真提供：(株)大林組

本写真は、竣工後に芦北太陽光発電所全体および敷地周辺部を撮影した航空写真です。敷地内には中間変電所

10ヶ所、連系用の特別高圧変電所を北側（写真左）に1ヶ所設置しました。また、写真右上（大）と左下（小）に、「柵」のようなものが見えるのが、流水中の土砂などを沈殿させて流れから除くための調整池です。なお、敷地南側（写真右）には、一般車両でも寄付き可能な観覧広場（展望台）を設けました。

情報化施工により東日本大震災の復興を支援

施工部会情報化施工委員会(委員長: 植木睦央 鹿島建設株式会社東京建築支店機材部)は、情報化施工を通じ災害に強く信頼性の高い復興事業を実現できるよう被災3県の施工者や発注者などを支援することとしました。

まずは、一般社団法人日本建設機械

施工協会のサイトに復興支援のためのホームページを立ち上げ、情報化施工に対する疑問や現場での困りごとについての相談に応じていくこととしました。次に、復興事業において情報化施工を取り入れ、自社のレベルアップを図ろうと考える施工者を、被災3県の

中から募り、業務受注後から竣工までをトータルサポートしていくこととしています。

<http://www.jcmanet.or.jp/sekou/hukkou/index.html>

第27回 日本建設機械施工大賞 ご案内

1. 表彰の目的

大賞部門は、建設機械及び建設施工に関連する技術等に関して、調査・研究、技術開発、実用化等により顕著な功績をあげたと認められる業績を表彰します。地域賞部門は、地域に根ざした独自の視点に基づき、従来の施工方法・技術の改良、地域普及などの取り組みを通じ、地域へ貢献している業績を表彰します。いずれも国土の利用、開発、保全並びに経済・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。

3. 表彰の種類

最優秀賞、優秀賞、地域貢献賞、選考委員会賞

4. 応募

1月30日(金);終了

5. 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」で選考致します。

6. 表彰式

本協会第4回通常総会(5月28日(木))終了後に行います。

詳細問い合わせ先:

一般社団法人日本建設機械施工協会
本部 阿部

TEL 03-3433-1501

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

「建設施工における地球温暖化対策の手引き」と 「地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル」のご案内

1. 建設施工における地球温暖化対策の手引き

建設施工における地球温暖化問題を理解し、実践するための必携書として建設現場で役立てて頂きたい一冊です。主な内容:

- 建設機械の運転方法における、CO₂排出削減のための対策手法や留意事項
- 各工種の標準的な工法におけるCO₂排出量を算出し、削減対策と対策効果例を掲載

掲載工種: 土工/法面工/擁壁工/基礎工/仮設工(鋼矢板工)/道路舗装/トンネル工/橋梁工(参考資料のみ)

体裁: A4判, 85頁

価格: 一般1,620円(本体1,500円)

会員1,512円(本体1,400円)

送料は一般、会員とも400円

2. 地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル

建設機械の省エネ運転のための操作方法を、イラストを使いわかりやすく記

載した一冊です。「建設施工における地球温暖化対策の手引き」に準拠。

体裁: B5判, 50頁

価格: 一般・会員とも540円(本体500円), 送料250円

詳細問合せ先:

一般社団法人日本建設機械施工協会

TEL: 03-3433-1501

FAX: 03-3432-0289

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

日本建設機械施工協会「個人会員」入会のご案内

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され、建設機械・施工技術に関心のある方であればどなたでも入会頂けます。

会費: 年間9,000円

★個人会員の特典

○機関誌「建設機械施工」を毎月お届け致します。

本誌では、建設機械・施工技術に関わる最新情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告等のほか、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)で購入できます。

○シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新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、会員価格で参加できます。

お問い合わせ・申込書の送付先

※お申し込みには本誌差込広告ページの申込用紙をご利用ください

一般社団法人日本建設機械施工協会
個人会員係

TEL: (03) 3433-1501

FAX: (03) 3432-0289

http://www.jcmanet.or.jp

巻頭言

エネルギー問題の構図と 解決の方向性

山地憲治



わが国のエネルギー政策の基本目標は、安全性の確保を前提として、安定供給（エネルギー安全保障）、コスト低減（経済効率性）、環境負荷低減（特に温暖化対策）の3つをバランスよく実現することである。これらの基本目標は、福島原子力事故後も一貫して維持されてきた共通認識である。2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画でも、この方針に沿って様々な取組が列挙されているが、数量的目標については、再生可能エネルギー発電について「これまでのエネルギー基本計画を踏まえて示した水準（前回2010年の基本計画では2030年の発電量構成において約2割）を更に上回る水準の導入を目指す」と記されているのみで、エネルギーミックスの全体像は明確にされていない。

一番の問題は原子力の扱いである。福島事故後長く続いた「決められない政治」の影響を受けて、原子力は事実上のモラトリアム状態に陥り、化石燃料消費の急増によって1日100億円に達する輸入増となり、CO₂排出量も急増している。現行エネルギー基本計画では原子力をエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源と位置付け、規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進めるとしているが、一方で、原発依存度は可能な限り低減させるとし、その方針の下で、今後確保していく規模を見極めると記されている。今後の地球温暖化対策目標を提示することを含め、原子力の将来像を明確にすることがわが国のエネルギー政策の基盤になる。

基本目標の実現に向けて、わが国のエネルギー政策においては政策の選択肢をできる限り広く維持することが重要である。原子力という選択肢を維持し、更なる省エネを進め、再生可能エネルギーを積極的に導入すると共にクリーンな化石燃料を安定的に利用する必要がある。再生可能エネルギーについては固定価格買取制度によって急速に導入が進んでいるが、太陽光発電に偏り過ぎており、賦課金を通した国民負担の抑制や自然変動電源を電力系統へ受け入れるための仕組み

の工夫など、課題も顕在化してきている。基本計画では再生可能エネルギーについて、「最大の利用促進と国民負担抑制を最適形で両立させる」として検討を進めている。太陽光だけでなく風力発電やバイオマス、さらに安定的な供給が期待できる地熱や中小水力など、再生可能エネルギーの中でもバランスよい構成を目指して推進を図る必要がある。

省エネルギーももちろん重要である。今までの省エネルギー政策ではエネルギー利用の効率化が中心であり、エネルギーの需要側におかれた電源やエネルギー貯蔵設備などを積極的にエネルギー需給調整に活用するという視点での検討はほとんど行われてこなかった。しかし、さらに一層の省エネを進めるためにも、出力が自然変動する太陽電池や風力発電の大量導入のためにも、そして東日本大震災のような大規模災害に対してエネルギー供給の強靭性を確保するためにも、エネルギー需給情報を社会全体で共有し、需要側におかれた種々のエネルギー機器をエネルギーシステム全体の運用に動員することが極めて重要である。

この需要側の能動化のためには、需要側と情報連携したスマートなエネルギーシステムを構築し、分散型コージェネ、電動自動車の発電機や蓄電池、給湯器の貯湯槽や空調システムの蓄熱設備など需要側にあるエネルギー機器を情報ネットワークを通してエネルギー需給制御に活用（エネルギー版クラウド化）する必要がある。これを通して、建物・都市構造などに高効率エネルギー利用のインフラを形成し、地域社会全体としてスマートコミュニティを作る。これは大きな挑戦であるが、新しい社会システムの展開として日本再興の糸口にもなると期待できる。

福島事故後の混乱を早期に収束させるとともに、エネルギーと情報の統合による需要と供給の連携協調など、新しい展開によってわが国のエネルギー政策が刷新されることを願っている。

—やまじ けんじ

(公財) 地球環境産業技術研究機構 (RITE) 理事・研究所長—

行政情報

小水力発電（従属発電）の普及への取組

益子 修

第183回国会において、平成25年6月に「水防法及び河川法の一部を改正する法律」が成立し公布された。同年12月に全部施行され、再生可能エネルギーの普及促進を図るため、既に許可を得ている農業用水などの水を利用して行う発電（従属発電という。）に関する登録制度を創設した。これまでは河川法第23条に基づく許可が必要であったが、今回の改正によって、許可に代えて「登録」により水利権が取得できるようになった。

キーワード：河川法、小水力発電、従属発電、水利権、登録制

1. はじめに

日本では、四季の恵みがもたらす雪どけ水や梅雨などから得られる豊富な河川水を利用して、古くから山間部等で水力発電が盛んに行われてきた。最近ではエネルギー自給率の向上や地球温暖化対策への関心の高まりから、温室効果ガスを排出しないクリーンな再生可能エネルギーの導入促進が図られている。特に小水力発電はクリーンかつ再生可能なエネルギーであり、大規模な投資が不要であるため、今後更なる普及が期待されているところである。また、新技術の開発により、平地部の水路等、既存の水路工作物を利用した小水力発電が多く計画されるようになった。

2. 河川の水の利用

河川を流れる水は公共のものであり、利用に当たっては、農業用水、水道用水、工業用水、水力発電などの目的ごとに河川管理者（国又は都道府県）の許可が必要になる（図—1）。

こうした目的に応じて河川の流水を利用することを「水利使用」と呼ぶ。水力発電は河川から取水し、利用後は全水量が河川に戻ることが一般的であるが、このように流水を消費しない場合においても河川の流水を利用する際には、河川管理者の許可が必要となる。

また、農業用水や水道用水など、既に許可を得ている流水を利用して従属発電を行う場合であっても、目的が異なるため河川管理者の許可が必要である（図—2）。

○水利権

【河川法】第23条（流水の占用の許可）

河川の流水を占有しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。

【定義】

流水の占有とは、ある特定目的のために、その目的を達成するのに必要な限度において、公共用物たる河川の流水を排他的・継続的に使用すること。

○水利権の内容

- ①目的・・・発電（水力）、かんがい、水道、工業用水、鉱業用水、養魚、し尿処理など
- ②占用の場所・・・取水口の位置、湛水区域（貯留）など
- ③占用の方法・・・自然流入による取水、堰上げ取水、ダム貯留水の取水、ポンプ取水など
- ④占用の量・・・最大取水量、年間総取水量、期別最大取水量など
- ⑤水力発電における落差・・・理論水力（＝使用水量（ m^3/s ）×有効落差（ m ）×9.8）
- ⑥流水の貯留における貯留量・・・貯水池の水位（常時満水位、最低水位）
- ⑦許可期間・・・発電（概ね20年）、その他（概ね10年）

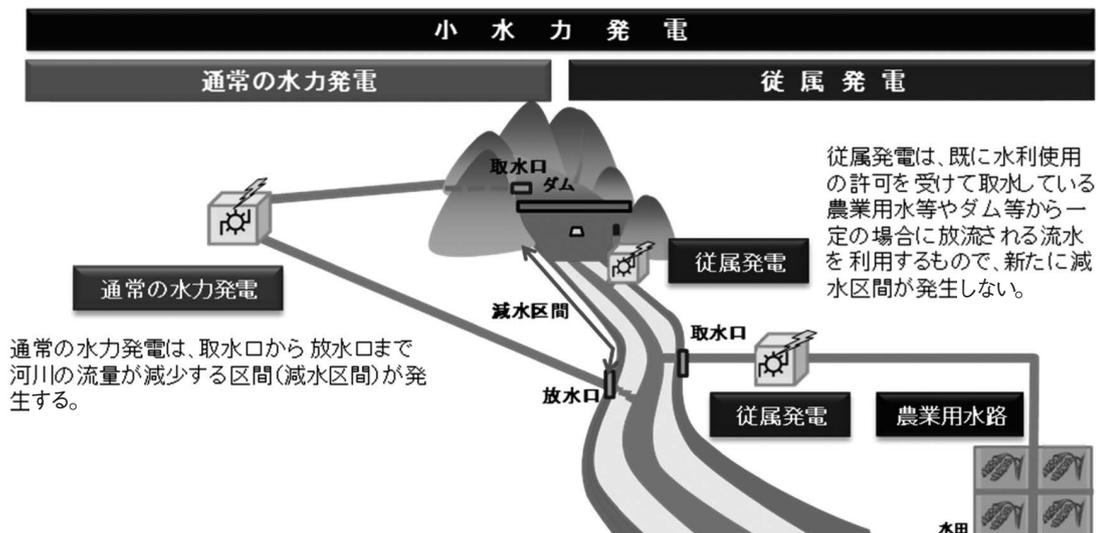


図-2 通常と従属の発電の概念図

3. 水利権の内容の制約

(1) 水利権の性格に由来する内在的制約

水利権は、河川の流水を直接支配する権利であって、河川管理者に対する債権ではないため、異常渇水のために、取水が不能になっても、その権利の内容の実現を河川管理者に要求することはできない。

また、河川管理者が行う河川工事は、水利権者を含めた公共の利益のために実施されるので、河川工事の実施によって生じる流水の汚濁による流水の占用への支障も、河川工事によって通常生じる程度の支障である場合は、これを受忍すべきものとされている。

(2) 水利権の許可の条件による制約

水利権の許可に当たって、河川管理者によって附される条件は、水利権の内容を制約する。水利使用許可の内容及び条件は、許可に際して附される水利使用規則において明らかにされている。通常、この水利使用規則においては、

- ①水利使用の目的
- ②取水口等の位置
- ③取水量等
- ④取水及び流水貯留の条件（取水制限、貯留制限、豊水条項、優先順位等）
- ⑤工作物及び土地の占用場所、占用面積
- ⑥許可期限
- ⑦工事の条件
- ⑧取水量の測定義務
- ⑨排水量及び排水の水質
- ⑩ポンプ施設の取水能力の変更承認などに関する事項が規定される。

なお、許可に当たっての条件は、適正な河川の管理を確保するため必要な最小限度のものに限り、かつ、水利権者に対し不当な義務を課すこととなるものであってはならないとされている。

4. 河川法改正

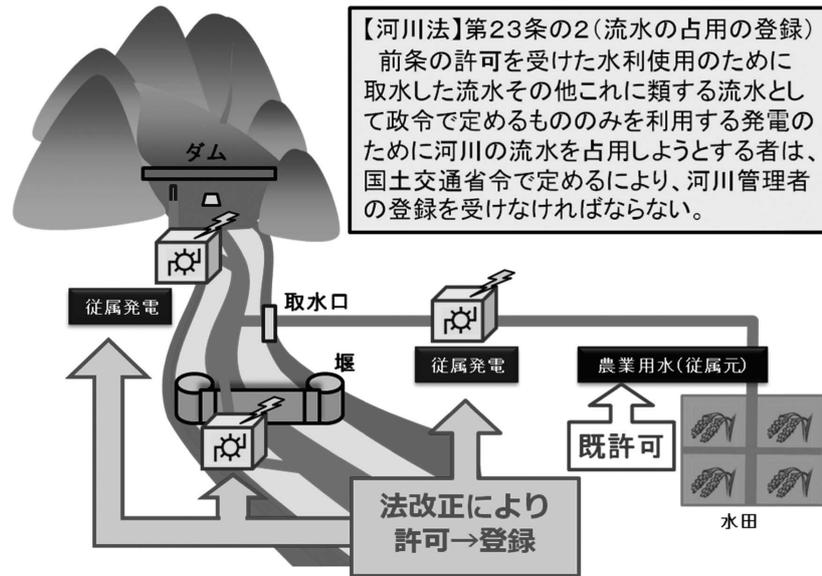
(1) 概要

こうした河川の流水の利用に当たっては、これまですべて許可となっていたが、河川法が改正され、農業用水や水道用水など、既に許可を得ている流水を利用して行う従属発電を行う場合は、許可ではなく、登録で足りることとなった。さらに、ダムや堰（以下「ダム等」という。）から放流される維持流量等を利用して新たに減水区間を生じさせることなく発電を行う場合についても、河川環境等に新たに影響を与えないことから、登録で足りることとなった（図-3）。これを「水利使用の登録」と呼ぶ。一方新たに河川から取水して発電を行う場合などは従前どおり許可が必要であり、これを「水利使用の許可」と呼ぶ。

(2) 登録の特徴・メリット

登録では、可能な限り監督処分等の事後規制によって河川の適正な管理を確保することとし、許可と比べて審査を簡素化して、拒否要件に該当しなければ登録することとしている。拒否要件としては、河川法の規定に違反して刑に処された者であること、従属元となる既許可水利権者の同意を得ていないことなどである。

また、通常の許可で必要な関係行政機関との協議や関係利水者の同意が不要になった。審査の結果、拒否



図一 3 従属発電の概要図

要件に該当しないことが確認され、水利台帳に登録、すなわち水利台帳の調書に記載されることによって、流水を占有する権利が発生する。

このように手続が簡素化・円滑化されることで、水利権取得までの標準処理期間も従来の5ヶ月から1ヶ月に大きく短縮されるので、小水力発電の更なる拡大が期待される。

5. 登録申請の方法

水利利用の登録申請は、既に許可を受けた農業用水等やダム等から許可を受けた水利利用のために放流される流水などを利用する場合には従属元水利利用の許可をした河川管理者が登録を行う。

一方、ダム等から放流される維持流量など河川環境や河川管理のために放流される流水のみを利用する場

合には、当該流水が放流される河川を管理する河川管理者が登録を行うこととなる。

なお、従属発電を行うために水利利用の登録以外に土地の占有の許可等が必要な場合には、原則、登録申請と同時に申請することが必要であり、同一の窓口申請を行う。

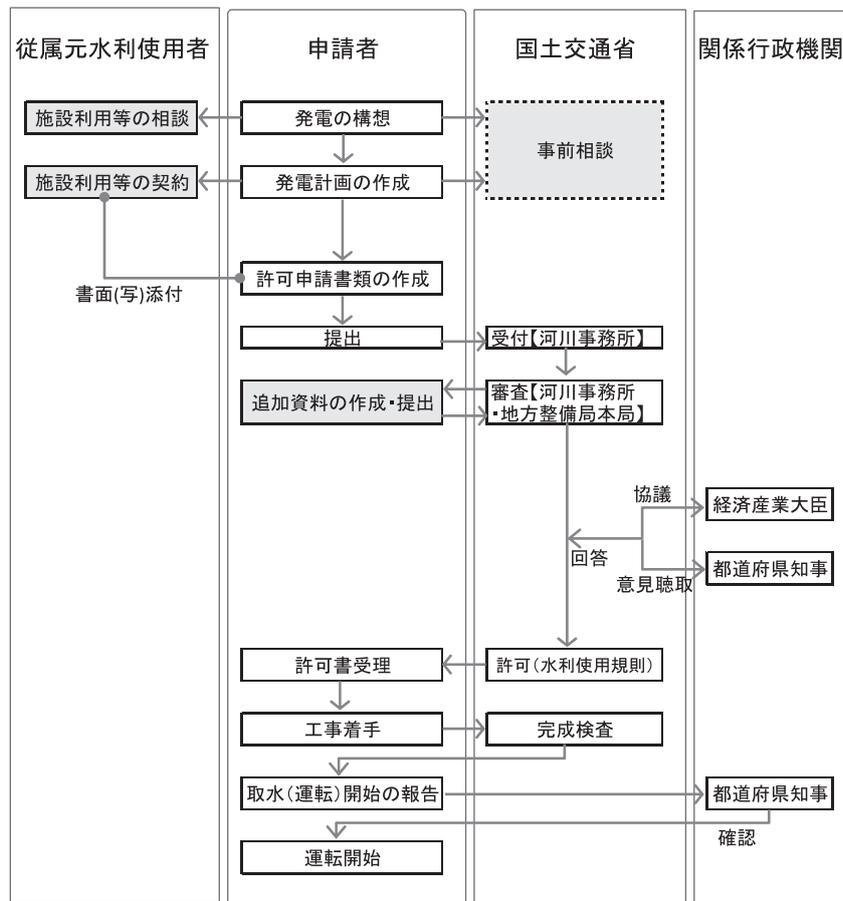
登録窓口は、河川の種類等によって異なり、一級河川では下流部を国土交通省が管理し、上流部は都道府県又は政令指定都市が管理していることが一般的である(図一4)。

6. 登録申請に係る河川法手続の流れ

登録までの所要日数は、申請の内容により異なる。また、小水力発電を行うに当たり、他の法令に基づく許認可等が必要な場合には、河川法に基づく手続と

河川の種類	登録申請の窓口
一級河川	国土交通省の河川事務所(地域により、河川国道事務所、ダム管理所など名称は異なる。)又は、都道府県・政令指定都市の土木事務所(地域により県土整備事務所など名称は異なる。)
二級河川	都道府県・政令指定都市の土木事務所(地域により県土整備事務所など名称は異なる。)
準用河川	市町村役場
普通河川	河川法の適用外だが、都道府県、政令指定都市又は市町村が管理条例などを定めている場合があるので、手続の方法はその普通河川の管理者に問い合わせる

図一 4 河川ごとの申請窓口



図一5 一級河川の国土交通省管理区間の場合の流れ図

同時に進める必要がある(図一5)。

関係法令

- ①河川法(国土交通省)
- ②電気事業法(経済産業省)
- ③その他法令

自然公園法, 自然環境保全法, 鳥獣保護及び狩猟に関する法律, 文化財保護法, 土地収用法, 農地法, 農業振興地域の整備に関する法律, 土地改良法, 森林法, 国有林野法, 水産資源保護法, 国土利用計画法, 国有財産法, 砂防法, 地すべり防止法などがある。

なお, 手続が必要かどうかについては関係機関への確認が必要である。

7. 登録後の留意点

- ①水利使用規則に定められた条件を遵守しなければならない

水利使用の登録時には, 登録書及び登録内容, 登録条件, 取水条件などを示した「水利使用規則」が発行される。水利使用を行う上で必要な手続等は全てここに書かれており, 水利使用者は, これを遵守しなければ

ならない。万一違反した場合, 登録の取消, 効力の停止又は工作物の除去等の監督処分の対象となることもある。

- ②従属発電は, 取水量の操作はできない

他の水利使用に従属することを前提に登録された水利使用においては, 水利使用規則に従属発電である旨が明記される。発電のために河川からの取水量を操作することは認められない。

また, 従属元である他の水利使用が変更等により, その取水量が減る場合には, 従属発電で使用できる水量も減ることとなる。

- ③従属元の取水量が変更された場合は登録の変更申請が必要

従属元の取水量が変更された場合は, 従属発電の登録の内容に変更が生じるため, 遅滞なく登録の変更申請が必要となる。

なお, 従属元の許可期限のみが変更された場合は, 登録の変更申請をすることにより, 従属元の新たな許可期限に登録の存続期限を合わせることができる。

- ④取水量報告は必要(実測以外の簡便な方法でも可能)

発電に使用した水量は, 毎日測定し, 年ごとにその結果を取りまとめて, 河川管理者へ報告する必要がある

る。(水利使用規則の条件により、毎月報告を求めるものもある。) 従属発電の場合には、発電出力からの換算による方法、あるいは従属元水利使用の取水量と発電使用水量が完全に同量であれば、同量である旨を報告することを以て取水量報告に代えるなどの簡便な方法での報告が可能になることもある。

⑤工事後は検査を受けなければならない

工事の完成時に、河川管理者が行う検査に合格した後でなければ、発電の運転(本格的な稼働)を行うことはできない。

なお、維持補修工事や、水車発電機の点検修理等に伴う作業は、河川区域内であれば手続が必要となるが、作業箇所が河川区域外や河川保全区域外であれば、基本的に手続は必要ない。

⑥流水占用料の納付義務の発生とその始期

発電のための水利使用を開始する際には、あらかじめ発電所の取水口所在地の都道府県知事にその旨を届け出る必要がある。その届出をもって、河川法に基づく流水占用料の納付義務が発生し徴収が開始される。流水占用料の額は、知事が決定し、水利使用者へ通知される。

8. 小水力発電のプロジェクト形成の支援

小水力発電事業者が円滑に河川法の申請手続を行えるよう、地方整備局等及び河川事務所に設置した窓口を通じて、小水力発電のプロジェクト形成を積極的に支援(図-6)。

9. 従属発電の事例

農業用水路に発電施設を設置(図-7)。

既存の農業用水路の落差を利用

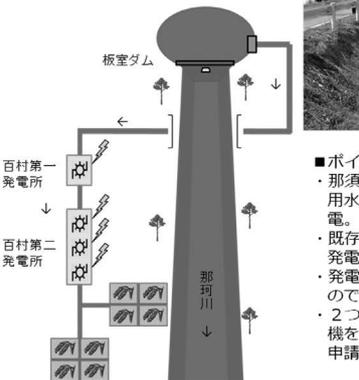
もむら
百村第一・第二発電所 (事業者: 那須野ヶ原土地改良区連合)
栃木県那須塩原市・関東地方整備局常陸河川国道事務所管内

那須野原開拓建設事業の農業用水路の落差を利用した発電。那須野ヶ原土地改良区連合により運用・管理される。発生電力は一旦電力会社へ送電され、同社の送配電線を利用して各土地改良区へ供給されている。



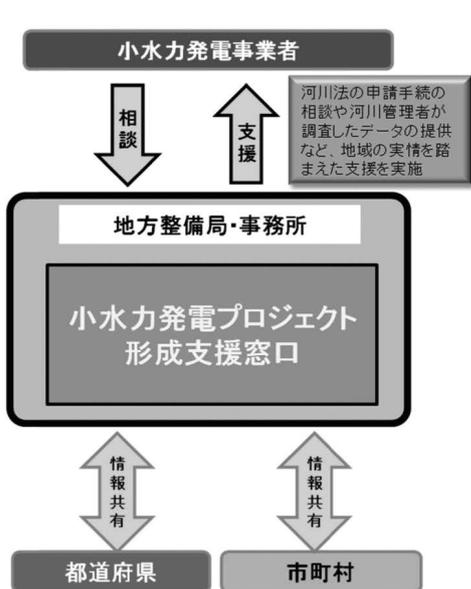
■諸元
河川名 那珂川水系那珂川
有効落差 2.0m
最大使用水量 2.4m³/s
最大出力 30kW
(両発電所4機、計120kW)
水車の種類 立軸カプラン
発電機の種類 誘導発電機
※ 発電機4機の諸元は全て同じ

▲ 発電所設置前の状況
▼ 発電所設置後の現況
▼ 概要図



- ポイント
- ・那須野原開拓建設事業(国営事業)農業用水利権の範囲内で発電を行う従属発電。
 - ・既存農業用水路の落差があるところに、発電施設を直接取り付けたもの。
 - ・発電のために新たに河川から取水するものではない。
 - ・2つの発電所(うち、第二発電所は発電機を3機設置)について、一本にまとめて申請がなされた。

図-7 事例: 百村第一・第二発電所(栃木県)



プロジェクト形成支援窓口

最寄りの地方整備局等や河川事務所に問い合わせ窓口を設置。国土交通省HPに掲載。
<http://www.mlit.go.jp/river/riyou/syosuiryoku/contact.html>

(例)

青森県	
一級水系(一級河川大臣管理区間)のお問い合わせ先	
県内の一級水系(一級河川大臣管理区間)について	
国土交通省 東北地方整備局 河川部 水政課	022-225-2171
岩手川水系	
国土交通省 東北地方整備局 青森河川国道事務所 河川管理課	017-734-4590
国土交通省 東北地方整備局 浅瀬石川ダム管理所 管理係	0172-54-8782
国土交通省 東北地方整備局 津軽ダム工務事務所 工務課	0172-85-3005
高瀬川水系	
国土交通省 東北地方整備局 高瀬川河川事務所 用地課	0178-28-7135
馬淵川水系	
国土交通省 東北地方整備局 青森河川国道事務所 河川管理課	017-734-4590
一級水系(一級河川指定区間)、二級水系のお問い合わせ先	
青森県 県土整備部 河川砂防課	017-734-9661

図-6 河川法の申請手続の相談窓口

10. おわりに

再生可能エネルギーの導入は、世界全体の課題である地球温暖化という重要課題への対策の一部である。今後は、「登録制」が導入されたことによる審査や手続の簡素化、河川法の申請手続の相談や河川管理者が調査したデータの提供等による小水力発電のプロジェクト形成のための支援、更に、従属発電の実施に必要な河川法の申請手続等を紹介する「小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」や、小水力発電の具体的な設置事例や登録制の内容など水利使用手続の簡素化・円滑化の内容を紹介する「小水力発電

設置のための手引き」も HP で公表していることから、小水力発電の更なる普及が期待できる。

(<http://www.mlit.go.jp/river/riyou/syosuiryoku/index.html>)

J|C|MA

【筆者紹介】

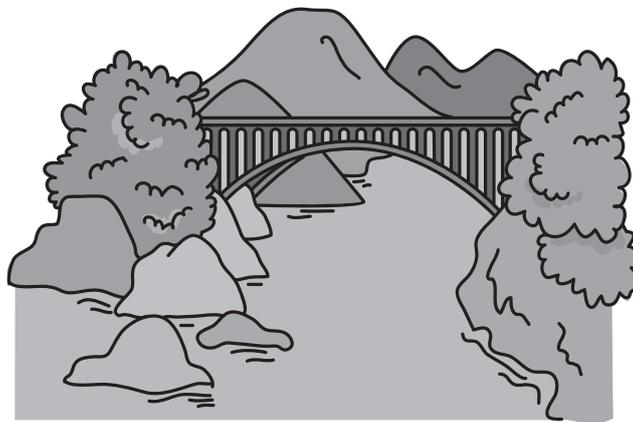
益子 修 (ますこ おさむ)

国土交通省

水管理・国土保全局

水政課水利調整室

水利企画係長



行政情報

下水熱利用推進に向けた取組

都市に眠るエネルギー鉱脈

安 陪 達 哉

下水熱は約1,800万世帯の年間冷暖房熱源に相当するポテンシャルを有するとの試算もある再生可能エネルギー熱であり、下水処理場外における利用も平成25年度現在で12箇所実施されている。特に、都市内に張り巡らされている下水管路や都市部の下水道施設から採熱すれば、都市域における熱需要家との需給マッチングの可能性が高く、下水熱の利用可能性が広がる。近年は、技術開発、制度整備、支援制度の充実等により、この利用の機会が増している。本稿では、下水熱利用に関する状況を俯瞰するとともに、国土交通省における推進施策を紹介する。

キーワード：下水熱、再生可能エネルギー熱、技術動向、規制緩和、ポテンシャルマップ

1. はじめに

下水熱は、下水・処理水が一般に夏は気温より冷たく冬は気温より温かいという特性による再生可能エネルギー熱であり、この大気との温度差を利用することで、省エネ効果、温室効果ガス削減効果がある(図-1)。さらに、採熱による環境影響が小さいなど、他の再生可能エネルギー熱(河川水、地下水等)と比べて複数のメリットがある。仮に全国の下水処理水量の全量を活用することを想定した場合、約1,800万世帯の年間冷暖房熱源に相当するとの試算もあり、今後、都市部に豊富に存在する下水熱のより一層の活用が期待されている。

国土交通省では、下水熱は下水道が有する資源の一つとして捉えている。平成26年7月にとりまとめられた「新下水道ビジョン」においては、下水道の長期ビジョンの1つの柱として、“水・資源・エネルギー

の集約・自立・供給拠点化”が掲げられており、下水道資源の有効利用促進の一つとして、下水熱利用を推進している。

2. 下水熱利用の現状

我が国における下水熱の利用事例は、下水処理場における利用が35箇所(平成24年度)行われていることに加え、下水処理場外における利用も進んでおり、平成25年度現在で12箇所実施されている(図-2)。

一方海外では、欧州地域が下水熱利用に先進的であり、国土交通省においても平成24年度にドイツ及びスイスにおける利用実態を調査した。ドイツにおいては約30件、スイスにおいては約300件(うち、大規模のもの約80件)、下水熱利用システムが稼働している状況である。また、熱利用システムとしては、管路内に熱交換器を設置して熱利用を行う方式が多く導入されている。加えて、管路外での熱交換方式としても二重管方式(二重管の内側に下水を通し、外側の冷媒と熱交換する方式)があり、未処理下水を利用する際に懸念される夾雑物による目詰まり等を防止するための工夫が行われている(図-3)。

3. 下水熱利用技術の動向

海外の事例からもわかるように、都市内に張り巡らされている下水管路から採熱すれば、都市域における熱需要家との需給マッチングの可能性が高く、下水熱

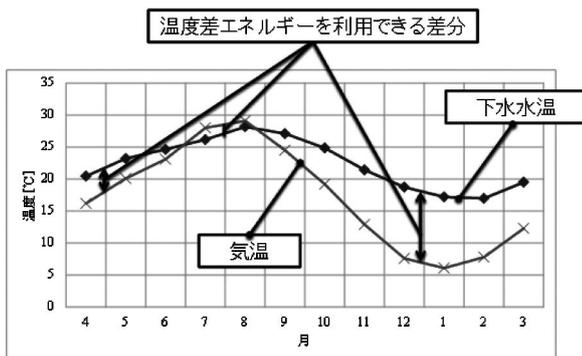
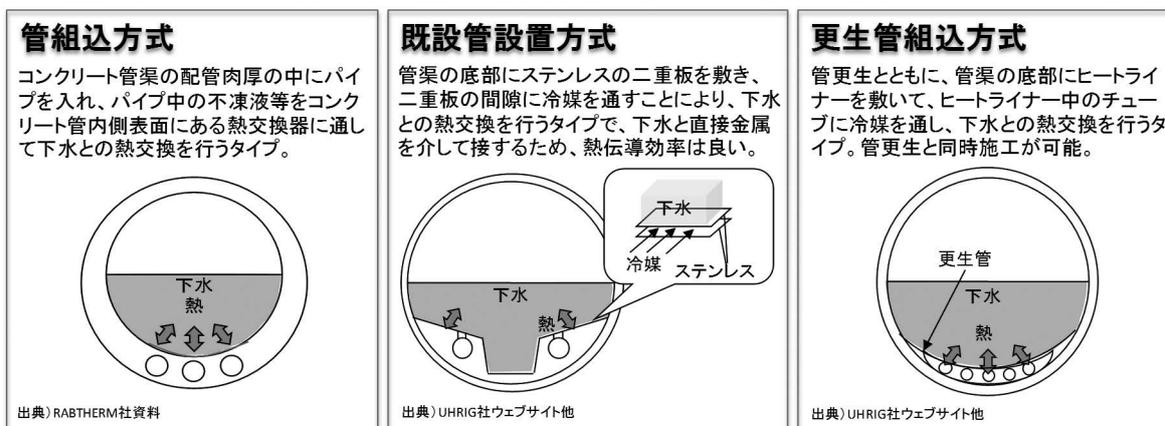


図-1 下水水温と気温との比較 (イメージ)



図一2 下水処理場外における下水熱利用の事例



図一3 ドイツ・スイスにおける下水管路内熱交換方式の例

の利用可能性が広がる。

国土交通省では、平成23年度より下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)を実施している。本事業では、下水道に係る革新的技術について、国土交通省が主体となって実規模レベルでの技術実証を行い、ガイドラインをとりまとめ、当該技術の全国的な普及を図ることを目的としている。さらに、実証技術を国際的な基準に反映したり、実証プラントをトップセールスの場として活用すること等により、世界の水ビジネス市場における市場拡大に寄与することも期待されている。

平成24年度から開始した事業の一つとして、「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業」(実施者：大阪市・積水化学工業株式会社・東亜グラウト工業株式会社 共同研究体、場所：大阪市海老江下水処理場)を採択し、平成26年8月にガイドラインを取りまとめて公表した。本技術は、管路更生用のプロファイル(帯状部材)に熱回収管が埋め込まれているため、従来の製管工法と比較して施工コストの大幅な増加はない。これにより、大規模な専用取水設備及び専用熱交換器を用いる従来技術(管路外設置熱回収技術)に比べ建設費を縮減できる。

また、平成 25 年度には「下水熱利用プロジェクト構想構築支援事業」を実施し、地域のニーズも踏まえた有識者の助言等、国と地域が協力して、各地における構想の実現に向けた支援を行った。本事業に採択した構想の一つとして、「特別豪雪地帯での下水道熱利用による空調利用」（実施者：新潟県十日町市・東亜グラウト工業株式会社）がある。本構想では、管路更生一体型採熱工法を用いた小口径下水管からの採熱、空調利用について、実フィールドでの実証試験を行い、採熱技術の実用化に向けた技術的課題や有効性を検証し、また、除雪費の削減、冬期における市民の暮らしの快適性向上など、特別豪雪地帯の抱える課題の解決に資する下水熱利用方策について検討を行うものである。

さらに、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、「次世代型ヒートポンプシステム研究開発」プロジェクト（平成 22～25 年度）のなかの 1 つのテーマとして、「都市域における下水管路網を活用した下水熱利用・熱融通技術」（公立大学法人大阪市立大学・(株)総合設備コンサルタント・中央復建コンサルタンツ(株)・関西電力(株)・三菱重工業(株)・(株)NTT ファシリティーズ総合研究所・(株)トヨックス）の研究開発を行っている。このプロジェクトにおいては、要素機器技術として、海外品と比べ低コストの流下液膜式等の熱交換器、下水管路内に夾雑物を残す方式により低コスト化を図るスクリーン、下水熱特性（流量・温度の実測結果）や需要家の特性などから下水熱利用に適したヒートポンプを開発している。さらに、大阪市千鳥下水処理場において未処理下水を用いた実環境試験を実施し、複数の熱需要における熱融通システムを実証し、システム全体としての効率向上を図っている。

4. 下水管路からの採熱に関する制度整備

下水道管理者（地方公共団体下水道部局）が下水管路に採熱設備等を設置することについては、施設の管理行為の範囲内であり、維持管理への影響を考慮しなければならないものの、設置の可否は下水道管理者の判断に委ねられている。実際に仙台市では、仙台市と積水化学工業株式会社の共同研究により、下水道管渠熱利用システムの実使用下における評価検討、及び下水熱利用事業の普及促進に向けた課題整理のため、スーパーマーケット内での給湯を対象に、らせん型熱回収更生管による下水熱利用実証事業を実施している。

一方、民間事業者が下水熱利用のために未処理下水

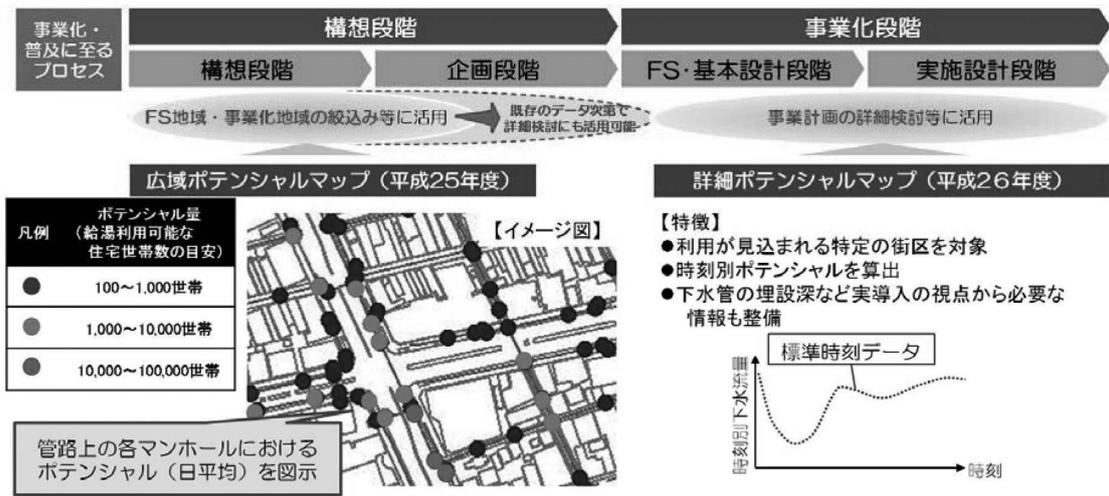
を取水することは想定されておらず、民間事業者による下水熱利用は限定的であったが、平成 23 年 4 月、「都市再生特別措置法」の改正により、民間事業者による下水熱利用のための下水の取水に関する特例が創設され、特定都市再生緊急整備地域の 11 地域で活用が可能となった。さらに、平成 24 年 8 月に成立した「都市の低炭素化の促進に関する法律」においても、同様の特例が創設された。本法により、市街化区域等を有する 1,190 市町村において、低炭素まちづくり計画を策定し、下水熱利用を計画に位置づけた場合に、民間事業者が未処理下水を取水して下水熱を利用することができる。

さらに、国土交通大臣の諮問機関である社会資本整備審議会では、民間事業者によるまちづくりと一体となった下水熱利用を促進するために、民間事業者による下水管渠への熱交換器等再生可能エネルギー活用に係る施設の設置を可能とするべきとの議論がなされており、年度内に答申が取りまとめられる予定である。

5. 下水熱利用推進協議会

国土交通省では、平成 24 年 8 月に「下水熱利用推進協議会」を設置した。本協議会は、下水熱利用システムの事業採算性の向上等に向けた情報・意見交換、各種課題の整理等を行うことにより、下水熱利用推進に向けて取組むべき施策の方向性についてのコンセンサスを形成するとともに、下水熱利用に向けた機運の醸成を図ることを目的としている。協議会には、有識者、地方公共団体、下水道関係団体、熱利用関係団体、関係省庁等の各ステークホルダーに参画頂いており、産学官が連携して下水熱利用を推進する体制を構築している。

また、下水熱利用に当たり、供給側・需要側双方にとってメリットが見える事業スキームは必ずしも確立していない。このため、平成 26 年度は、下水熱利用推進協議会の下に「下水熱利用事業スキーム検討分科会」（座長：長岡裕東京都市大学教授）を設け、下水熱利用事業を実施するに当たって課題となる、需給マッチングスキーム、下水熱利用の採算性の明確化、法令等の手続き、利用料金設定の考え方、契約形態、契約期間等の事業スキームについて、事業の普及展開に適した方向性を検討しているところである。先行事例に関するアンケート調査や関係業界等へのヒアリングを通じ、下水熱利用事業の普及展開に適した事業スキームの方向性を検討し、平成 26 年度内にガイドライン案をとりまとめることとしている。



図一4 下水熱ポテンシャルマップの種類

6. 下水熱ポテンシャルマップの開発

下水熱利用の普及に当たって、そのポテンシャルと、これを活用する民間の都市開発事業とのマッチングが課題である。このため、下水道管理者が提供する都市内に存在する未利用熱賦存量、存在位置等の熱ポテンシャル情報と下水熱に適応する可能性の高い民間の都市開発動向をマッチングさせ、都市開発構想段階において、下水熱活用の検討を活性化させることが有効である。しかしながら、現在、下水熱等の未利用熱ポテンシャルに関する情報は整備されておらず、下水熱等未利用熱の利用を検討するに当たっては、民間事業者が個別の事業ごとに一つ一つ調査しなければならない状況である。そのため、国土交通省では環境省と連携して、平成25・26年度で「下水熱等未利用熱ポテンシャルマップ策定事業」を実施し、下水熱等未利用熱の利用を促進するための情報基盤の構築を図っている。

下水熱ポテンシャルマップは、事業化・普及に至るプロセスに応じ2種類を検討している。事業者とのキッカケづくりから設備の種類等の選定を行う「構想段階」においては、既存のデータから簡易に作成できる「広域マップ」を使用する。採算性や環境性を定量化(FS調査)し、構想段階で決めた内容の実現に向けての検討から具体的なシステム諸元の検討を行う「事業化段階」においては、具体のプロジェクトにおける採算性・環境性の定量的な検討や実施設計を行うために必要な情報を提示し、事業者のコストを削減する「詳細マップ」を使用する(図一4)。

「広域マップ」の作成手法については、「下水熱ポテンシャルマップ(広域ポテンシャルマップ)作成の手

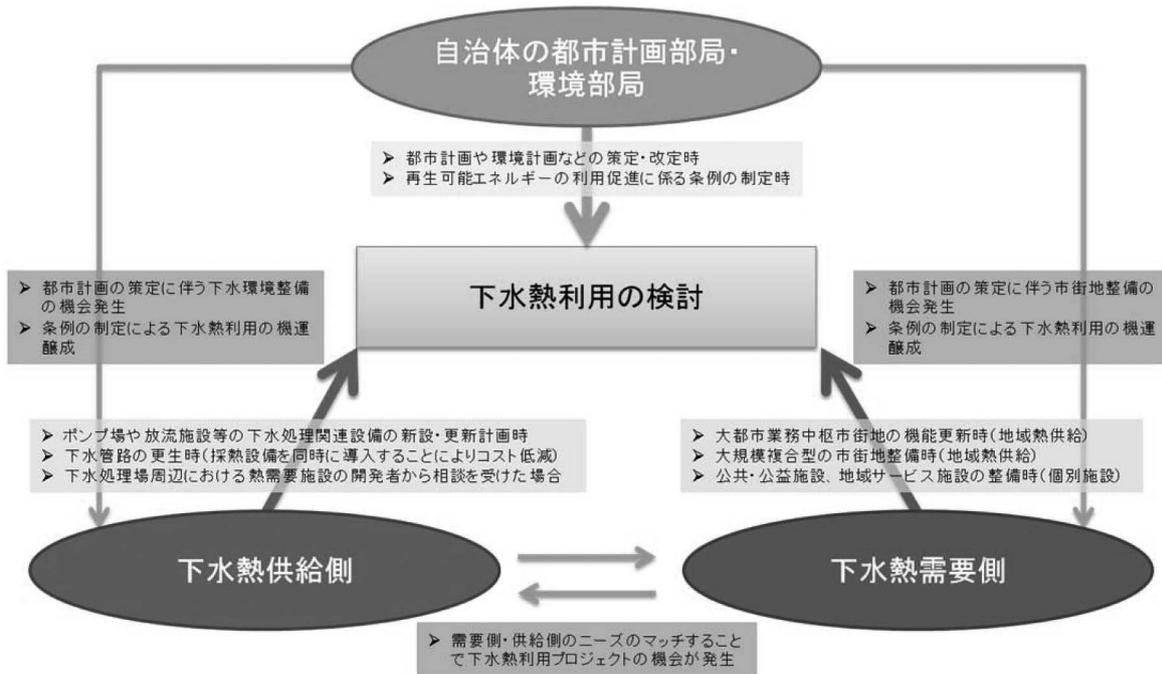
引き(案)」として取りまとめ、国土交通省のホームページにおいて公開している。また、「詳細マップ」については、平成26年度に作成手法を検討しているところであり、同年度内に手引きを取りまとめる予定である。

7. 下水熱利用に関する支援制度

国土交通省では、地方公共団体に対する財政措置として社会資本整備総合交付金を交付しており、このうち下水道事業に係る制度として「新世代下水道支援事業制度」を設けている。このなかで、下水及び下水処理水の熱等を有効利用し、環境への負荷削減、省エネルギー、新エネルギー対策等を図るため、熱利用に必要な施設のうち、下水又は下水処理水の流れる施設(熱交換施設、送水施設及びポンプ施設に限る。)及びその附帯施設の整備を交付対象としている。

また、平成25年4月から、「グリーン投資減税」の対象設備として新たに下水熱利用設備が対象とされた。対象範囲は、下水の採水装置(取水ポンプに限る。)並びに採熱用熱交換器及び配管(採水装置から電動熱源機までの間のものに限る。)を同時に設置する場合のこれらのもの(これらと同時に設置する管路若しくは人孔又は専用の搬送ポンプ、ストレーナ、生物付着防止装置、計量装置、貯水槽若しくは自動調整装置を含む。)である。減税措置として、取得価額の30%特別償却又は7%税額控除(中小企業者等のみ)が可能となっている。

このほか、関係省庁による補助制度とも連携し、下水熱利用事業の導入支援を行っているところである。



図一5 下水熱利用の契機と各主体の連携の重要性

8. おわりに

下水熱利用の事業化に向けては、地方公共団体の下水道部局のみならず、開発事業を所管する都市整備部局、都市計画部局や、地球温暖化対策を所管する環境部局との連携が重要となる。これらの部局と協力し、適切なタイミングで民間事業者へ情報提供し、これを接点として、開発計画の初期段階より密接な連携を実現することで、円滑な事業化が期待される(図一5)。

国土交通省としても、関係者の理解と協力を得

つ、引き続き、下水熱利用推進の環境整備に取り組んでいきたい。

J C M A



【筆者紹介】
 安陪 達哉 (あべ たつや)
 国土交通省
 水管理・国土保全局下水道部下水道企画課
 資源利用係長

世界・日本のエネルギー動向

小林 幸三・村上 誠

地球温暖化の原因は人間の活動に伴う温室効果ガスの増加によるものと言われている。このまま温暖化が進むと、海面上昇による水没地域の増加や農作物への悪影響等が指摘されている。化石燃料を大量に使用する事が大量の効果ガスを発生させている。本報文では、世界・日本のエネルギーの消費及び原子力発電、新エネルギー・省エネルギーについて纏めた。

キーワード：一次二次エネルギー、温室効果ガス、新エネルギー、省エネルギー

1. はじめに

産業革命後 100 年あまりの間に、世界の平均気温は 1 度弱の上昇が観測されている。今後、全世界的に温室効果ガスを削減する等の地球温暖化対策をとらずに放置すると、今世紀末には 2.6 度～ 4.8 度上がると予測されている。厳しい対策を取れば 0.3 度～ 1.7 度にとどまるという。

地球温暖化が原因と言われている最近の猛暑・暖冬、干ばつ・局地的な豪雨等の異常気象は、生物や社会に大きな影響をもたらす。

現在の衣食住等の経済活動やインフラ整備は、現在の気候に合わせて整備されている。気候が変化し温暖化すると新たな災害がおきる。地球が温暖化になると、全世界の水と海水のバランスが崩れ、氷の溶ける量が多くなる。海水面が上がれば、陸地が減ると共に現在住居としている場所の海拔が低くなり、高潮等の被害もでる。また、雨量が増えれば河川の氾濫が増える。これらを防ごうとすると新たなインフラ整備が必要になる。

農業も気温に合わせて作物を変えていかなければいけない。将来、東北地方で亜熱帯の作物が収穫されることも考えられる。気候の変化は社会的コスト増大をもたらすと考えられる。これは全世界的なスケールで考えなければならない課題である。その課題解決のためには、温室効果ガス（特に、二酸化炭素）削減を全世界的に長期間やり続けたいといけない。そのためには、温室効果ガス削減を持続できる仕組み、即ち、化石燃料を削減し、温室効果ガスを発生させない新エネルギー源の開発、再生可能エネルギーの導入、省エネ

ルギーの推進を経済発展の中に組み込んでいかなければならない。

簡単ではないが、新エネルギー・再生可能エネルギー・省エネルギーには温室ガス削減の大きな可能性がある。人々の生活が豊かになると共に温室ガスを削減する事が出来、地球温暖化問題を解決していれば地球の将来の為に価値のある事と考えられる。

ここで、各種エネルギーを語る前にエネルギーの定義を行いたい。辞書の解説によると以下に分類されている。

一次エネルギー：エネルギーのうち、変換加工する以前の、自然界に存在するもの。薪・木炭、石炭・石油・天然ガス、太陽放射・地熱・風力・水力、原子力など。

二次エネルギー：発電・精製・乾留などにより変換・加工したエネルギー。電力・燃料用ガス・ガソリン・コークスなどをいう。新エネ研究会東日本ではエネルギーを表 1 の様に分類している。

2. 世界の一次エネルギー需要動向

諸説あるが 10 万年前新人類が誕生したと言われている。過去の人口を含め、世界の人口を推定する事は非常に困難であるが、国連の 2011 年版『世界人口白書』や複数の研究者によってまとめられた推定値では、BC5000 年の世界の人口は大凡 500 万人、紀元 1 年 2 億～ 3 億人、1800 年 10 億人、1900 年 16 億人、1987 年 50 億人、1998 年 60 億人、2011 年には 70 億人を突破し、2050 年には大凡 95 億人、2100 年には 100 億人を超えると予測されている（図 1）。

一方、一次エネルギー消費量は蒸気機関の発明により産業革命がおこって以降、従来の風力・水力にとって代わり、石炭を使用した蒸気機関が輸送、工業化に活用され爆発的に増えた。その後も世界の一次エネルギーの消費量は人口増加と経済成長に伴い増加を続け

ており、1965年には原油換算で38億トン、2012年には125億トンに達した。また、近年その伸び方には、地域的な特徴があり、先進国(OECD諸国)では伸び率が低く、開発途上国(非OECD諸国)では高くなっている。先進国では人口増加率、経済成長率が開発途

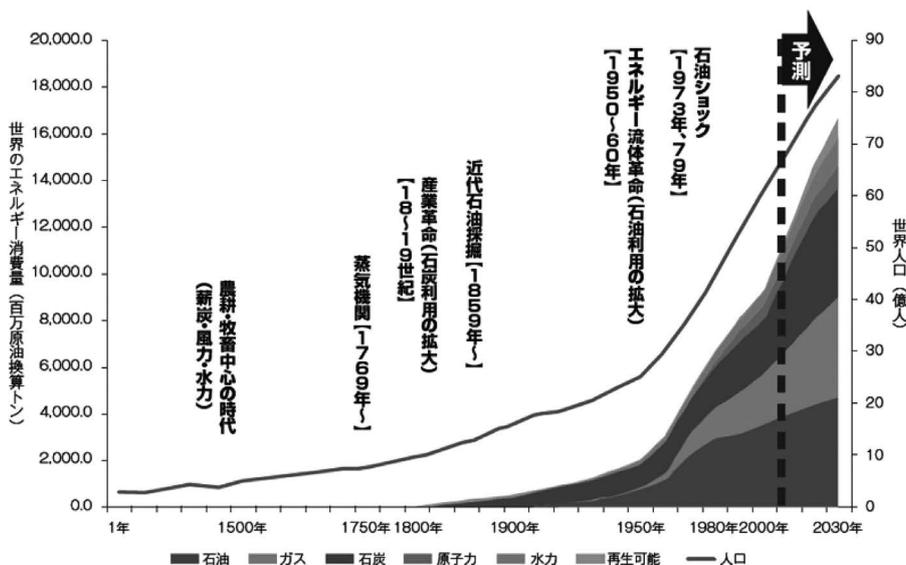
表一 一次エネルギーと二次エネルギー一覧

大分類	中分類	一次エネルギー		二次エネルギー	
		既存エネルギー	新エネルギー		
枯渇性エネルギー	化石燃料	石炭		電力 輸送用燃料 都市ガス 蒸気 水素 等	
		石油			
		天然ガス			
			シェールガス		
	原子力	核分裂	ウラン		
					トリウム
	核融合		重水素・トリチウム		
再生可能エネルギー	太陽起源		★太陽光・熱		
			★風力		
		大規模水力	★中小水力		
			★バイオマス		
			★温度差熱		
			★雪氷熱利用		
	太陽起源外	地熱(フラッシュ方式等)	★地熱(バイナリー方式)		
			海洋エネルギー		

注1) 本表は、新エネ研究会東日本分類

注2) ★印は、政令で指定されている新エネルギーで、発電分野・熱利用分野は統合している。

注3) 海洋エネルギー：波力・潮力・海流・潮汐を含む



(出典) United Nations, "The World at Six Billion"
 United Nations, "World Population Prospects 2010 Revision"
 Energy Transitions: History, Requirements, Prospects
 BP Statistical Review of World Energy June 2012
 BP Energy Outlook 2030: January 2013

図一 人類の歴史とエネルギー

上国に比べて低い事及び省エネが進んだことが原因と考えられる。発展途上国、特に経済発展の著しい中国・インド等のアジア大洋地区の増加が世界における一次エネルギー消費増加の大きな原因になっている。

一方、エネルギー源別にみると（図-2）、石炭を使用した蒸気機関による産業革命が起きて以降、石油掘削技術が1859年に開発され、1950年代に中東・アフリカに大油田が発見され、石炭から石油へと移行していった。使い勝手の良い石油は交通機関・発電の燃料や石油製品の原料として活用され、消費量は爆発的に増えていった。しかし、1970年代のオイルショックにより石油の枯渇が叫ばれ、石油代替え燃料として天然ガス・原子力が導入されていった。全世界の2012年度の一次エネルギー消費量をエネルギー源別にみても、石油33%、石炭30%、天然ガス24%と化石燃料が大凡87%を占める。このような中でまだまだ全体のシェアは低いが、低炭素社会の実現に

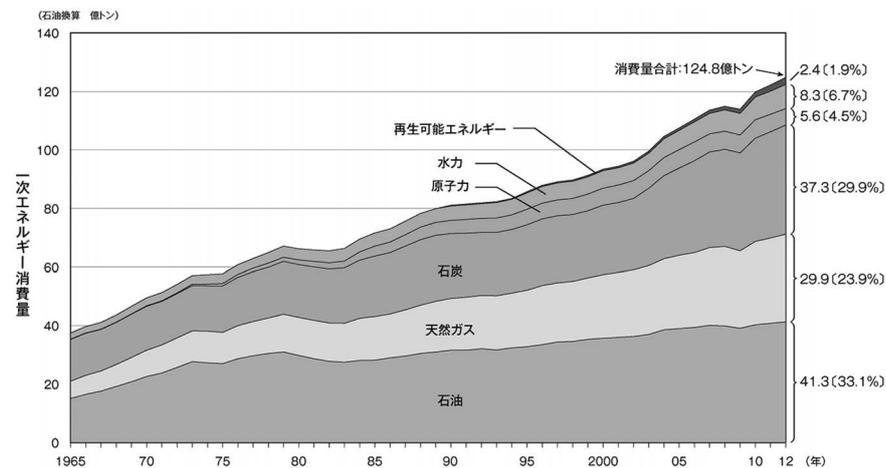
向けた太陽光等の再生可能エネルギーや原子力増加が目立っている。

3. 日本のエネルギー需要の動向

(1) エネルギー資源の乏しい日本

我が国は世界第3位のエネルギー消費国でありながら、2012年度では一次エネルギー自給率は6%（図-3）。国産エネルギーと呼ばれる原子力を加えても11%である。これは先進国の中でも極めて低く OECD で33位である。一次エネルギー資源のほとんどを海外からの輸入に頼っている状況であり、低いと言われている食料の自給率（カロリーベース）39%と比べても著しく低い。

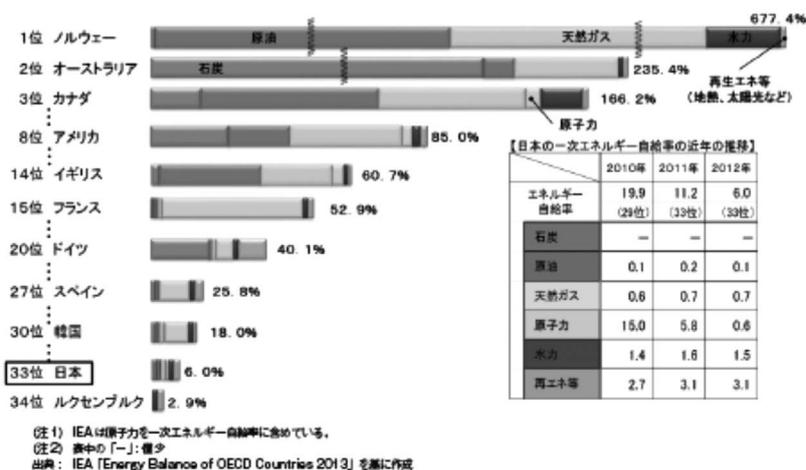
我が国では2度にわたる石油危機の経験から、石油への依存を改善するため、石油に代わる代替えエネルギー活用に取り組んできた。その努力もあり、一次エ



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
()内は全体に占める割合

(出典) BP 統計 2013

図-2 全世界のエネルギー消費量



(注1) IEAは原子力を一次エネルギー自給率に含まれている。
(注2) 表中の「-」: 最少
出典: IEA「Energy Balance of OECD Countries 2013」を基に作成

図-3 OECD 諸国の一次エネルギー自給率比較 (2012年：推計値)

エネルギーにおける石油の比率が（図—4，5），1973年75.3%，1991年55.1%，2010年度の時点では40%にまで減少してきていた。しかし，2011年3月の震災以降，原子力の停止もあり2012年度には44%と4.2%増加した。日本全体のエネルギー需要は増え続けており，依然として我が国のエネルギーは輸入の化石燃料に支えられている。因みに，2012年度我が国の化石燃料依存度は92.2%である。

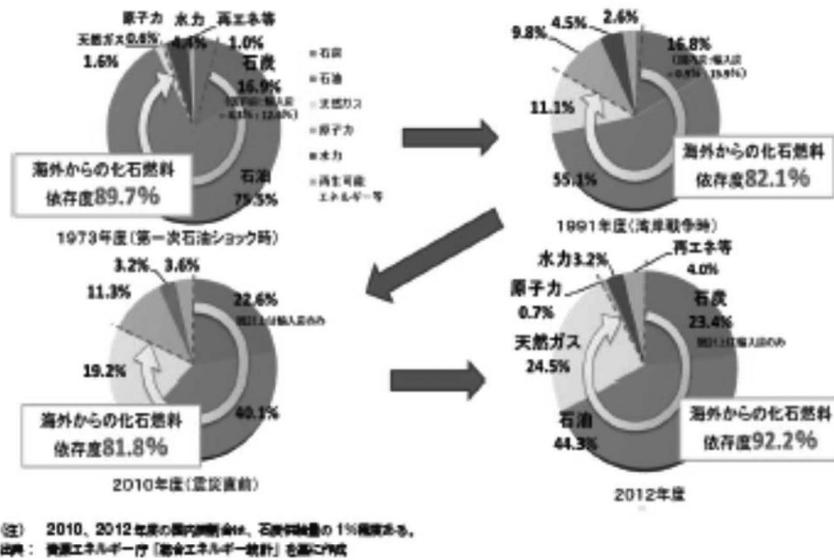
石油は原油価格の不安定さ（現在1バーレル60ドル以下に暴落）や産油国の政情不安等により，石油への依存は大きなリスクを抱えている。そのため，石油に代わる天然ガス（シェールガス）のさらなる導入や水素等の新エネルギー資源開発が急がれている。

(2) 蓄えることが難しい電気

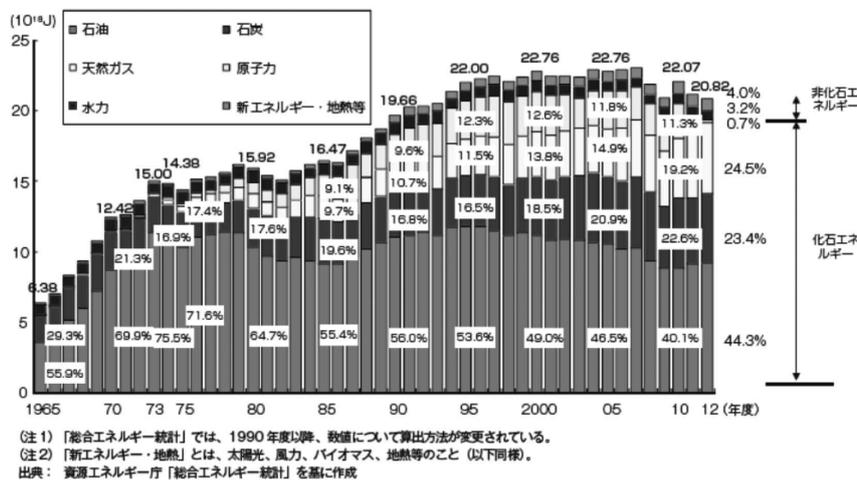
世界的に見ても日本の電力消費量はアメリカ，中国

に次いで第3位であり，1人当たりの電力消費量も世界第4位である。ここ数年日本では顕著な電力消費の増加は見られないが，インターネットをはじめとする情報化社会の進展・高齢化・オール電化等によって，家庭での使用量は増加傾向にある。図—4で分る様に2011年度一次エネルギーに占める電力の比率は大凡43%。しかも92%が化石燃料である。もし電気を効率よく大量に蓄えることが出来れば，化石燃料の使用量を減らす効果があると考えられる。

電気を蓄えるシステムとしては，原子力発電所の余剰電力を蓄える揚水式発電所，リチウムイオン電池システム，電気自動車等がある。現在，キャパシタと蓄電池，フライホイールと蓄電池等，複数の蓄電デバイスを組み合わせた長寿命型蓄電システムが開発されつつあるが，大容量の電力を長期に亘って蓄電できるシステムには至っていない。



図—4 日本の一次エネルギー供給構造の推移



図—5 一次エネルギー国内供給の推移

我が国では経済成長とともに、国民の生活水準は上昇し、生活の中で電気を必要とされる事が増えてきた(図一6)。テレビ、洗濯機、冷蔵庫、エアコン、電子レンジ等の家電製品は豊かな暮らしの象徴として普及してきた。それに伴って電気を利用する時間帯(昼間)と、あまり利用しない時間帯(夜間)の消費電力の差も拡大してきた。この差はエアコンを多用する夏と、あまり使わない春・秋でも大きく違う(図一7)。

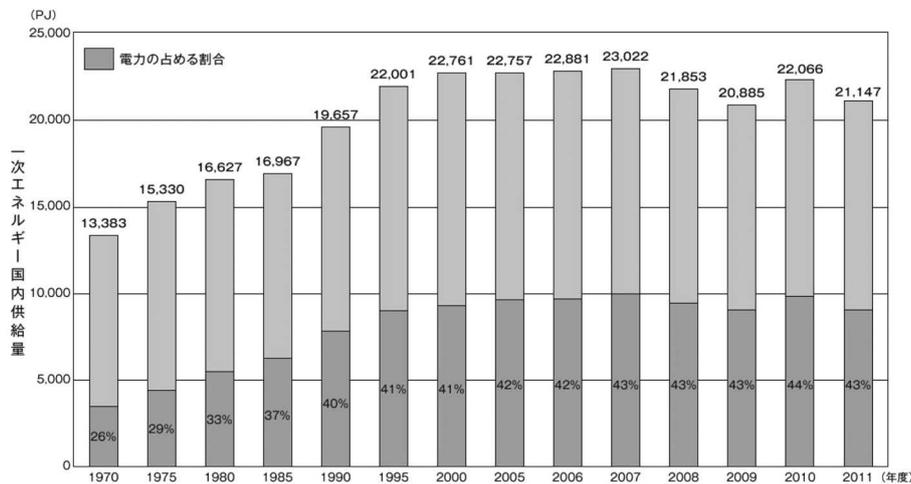
この一日の時間帯や、季節によって電力使用量に大きな差が生まれることを電力消費の“山と谷”と呼ぶ。そしてこの“山と谷”の差の拡大は、電気料金にも関係してくる。電気は蓄える事が出来ない為、発電設備は需要のピークに合わせて計画がされている。電気需要が低くなるとそれだけ、発電設備の利用効率は低下する。つまり、それだけ電気料金が割高になる。

2011年3月に起きた東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故以来、全ての原子力発電の稼働は停止している。発電電力量の約30%を占めていた原子力発電による供給力不足をカバーするために、火力発電所をフル稼働させる状態が続いている。高い化石燃料を使用してできた電気の料金は毎年上昇している。しかも、電力の予備力は十分に確保出来ない状況である。

4. エネルギーと地球環境問題

(1) 地球温暖化のしくみ

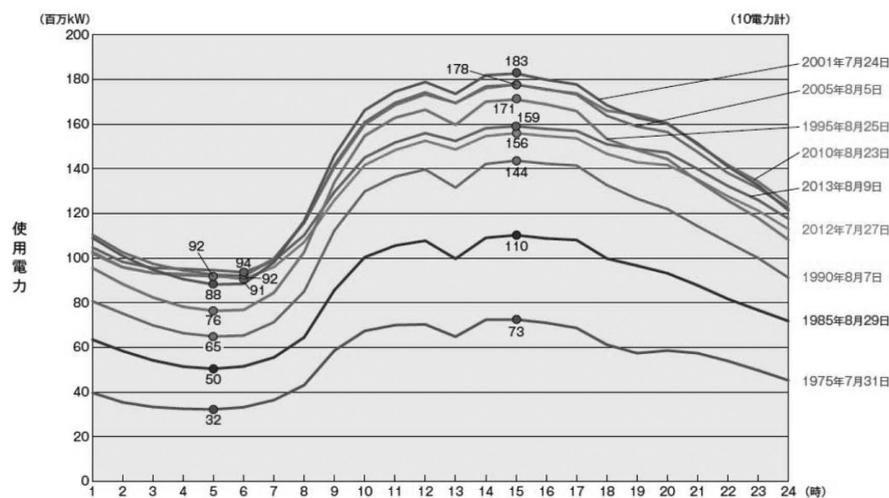
地球には本来温度の調節機構が備わっており、この役割をしているのが地球を取り巻く大気である。地球を大気の無い岩石の玉として考えると、太陽放射から



(注) 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800kLの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

出典：資源エネルギー庁(総合エネルギー統計)

図一6 一次エネルギーに占める電力の比率



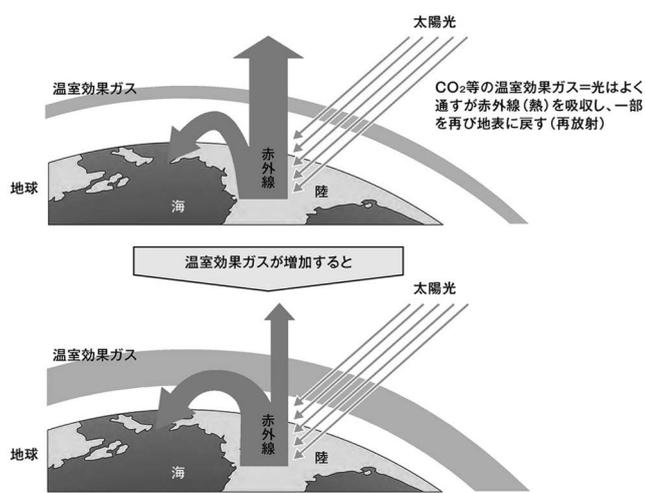
(注) 1975年のみ9電力計

出典：電気事業連合会調べ

図一7 最大電力発生日における1日の電気の使われ方の推移

計算される地球の黒体放射温度は 255 K (マイナス 18℃)になる。生物が生息できないほどの低温である。現在の地球の平均気温の 15℃と比べるとかなり低い温度であり、この差は、大気の保温効果によって熱が大気中に留まる事により生じると考えられる。この保温効果の一つが温室効果である。

地球の大気は、野菜の栽培などに用いられている温室の透明なガラスやビニールに例えられる(図-8)。日射による熱エネルギーを室内に入れる事ができる一方、空気の出入りを遮り、対流などによって熱エネルギーが室外に逃げる事を防ぎ空気を暖める特性がある。



出典：電気事業連合会

図-8 温室効果の仕組み

大気中でこの働きをする気体成分が、温室効果ガスである。自然に存在する温室効果ガスには、水蒸気、二酸化炭素、オゾン、メタン及び一酸化二窒素であり、これらが地球の自然の温室効果をつくりあげている。しかし、近年、人間の活動がこうしたガスを大気中へ放出し、増加させてきた結果、もともとの「自然の温室効果」に、さらに「人間活動に起因する温室効果(人為的温室効果)」が加わり地球の温暖化が引き起こされている。自然の温室効果ガスのみならず、フロン類など(製造抑制または中止)本来地球上に存在しなかったガスも加わっている。気候変動枠組条約国会議京都議定書で削減対象となっている温室効果ガスは6種類である二酸化炭素:CO₂ (95%),メタン:CH₄ (1.6%),一酸化二窒素:N₂O (1.7%),ハイドロフルオロカーボン類HFCXs,パーフルオロカーボン:PFCs,六フッ化硫黄:SF₆。

(2) 温暖化の影響

気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change)は、1988年に設立された独立した機関である。これは3つのワーキンググループ(WG I:気候変化, WG II:影響, WG III:削減策)から構成され、科学文献の評価に基づいて、1991年から現在まで5年ごとに気候変化に関するアセスメントレポートを発表している。2001年に第3次レポート(Third Assessment Report)が発表されている。WG1は「温暖化の科学的根拠(The Scientific Basis)」を取りまとめ、過去の観測データの分析に基づき地球環境の変化を分析している。さらに、21世紀を通して、人間活動が大気組成を変化させ続けることが予測され、人為起源気候変化は今後何世紀にもわたって続くものと見込まれることが報告されている。こうした地球環境の変化は、地域・地球規模での生態系のみならず、そこを生存基盤としている人間と人間の営む社会・経済活動にまで、広範囲に深刻な影響を及ぼす可能性がある。農業が深刻な打撃を受け作物の生産が減少すれば、食料としている人間の日常生活にも影響し、さらに作物取引がなされている経済市場にも影響を及ぼす。生態系の変化は、伝染病の感染範囲を広げる可能性もある。実例としては、近年増加している干ばつや洪水は、農業被害も含め社会経済に莫大な損失をもたらしている。我が国も地球温暖化に対する適応策を早急に考えなければならない。

5. 原子力に関する動向

(1) 世界の原子力発電状況

エネルギーの安定供給及び発電時のCO₂の発生が無いため、地球温暖化対策となる発電として注目されてきた原子力発電であるが、2011年の福島第一発電所の事故をきっかけに欧州では脱原発を目指し、原発停滞期に入るように見えた。しかし、2013年米国が許認可体制下で35年ぶりに4基新規着工(2014年12月現在、核燃料の処分地の問題、発電コストの問題などで建設は凍結中)、また、中国でも新規計画の審査・承認凍結を2012年解除し本格着工が開始した。

2014年1月現在、世界の原子力発電所は426基、総発電量は3億8,600万kW、国別ではアメリカが100基1億328万kW、フランスが58基6,588万kW、日本が48基と続くが、現在日本国内全ての原発は休止中である。

世界の原子力発電所で建設中は81基8,398万kW、中国が31基3,386万kW、ロシアが11基1,026万kW、

インドが7基530万kW、3か国で49基と全体の60%を占める。

世界の原子力発電所で計画中は100基11,292万kW、中国が23基2,616万kW、ロシアが17基1,744万kW、トルコが8基920万kW、インドが6基670万kW。建設中・計画中ともに中国・ロシアが旺盛な原発開発意欲をみせている。

(2) 日本の原子力発電動向

我が国の原子力発電所(建設中を除く)は48基4,426万kWで全世界第三位保有数の出力があるが、2011年の福島事故以来、現在全ての原子力発電所は停止中である。

最近の我が国の原子力発電所に関する動向をみると、政府は2013年12月『高レベル放射性廃棄物』の最終処分場を、国主導で選定する方針を決定。2014年4月 原発を『重要なベースロード電源』と位置づけ、原子力規制委員会の新規規制基準に適合する原発の再稼働を認める方向性を示した。

2014年8月現在、再稼働に向けた申請を行った原子力発電所は北陸電力志賀原子力発電所2号機を加えて20基2,010万kWである。

2014年11月九州電力川内原発の再稼働に立地自治体が同意した。九州電力は規制委の指摘を踏まえて修正し2012年12月中に再提出、認可後『使用前設備検査』の手続き(1~2ヶ月の再検査)を済ませ、再稼働は順調に行っても2月以降になるであろう。その他、12月16日電源開発が建設中の大間原子力発電所(138万kW)の運転開始が前提となる適合審査を申請、12月17日原子力規制委員会は高浜原子力発電所の安全対策が新規基準制を満たしているとして、安全審査の事実上の合格証にあたる「合格審査案」をまとめた。来年度にはその他の原子力発電所でも種々の動きが出ると考えられる。

国際エネルギー機関(IEA)は日本が現在のエネルギー政策を続けた場合2040年の電源比率の見通しを示した。二酸化炭素排出量の多い火力発電所が減る一方で、原子力が21%、水力を含む再生可能エネルギーが32%に増え、原発の再稼働と再生可能エネルギーの拡大で、発電方式の多様化が進むと分析している。

尚、新エネ研究会東日本では建設機械施工2014年10月号に於いて電力比率(電力ミックス)を、2030年原子力7%、火力70%、再生可能エネルギー23%、2040年原子力1%、火力74%、再生可能エネルギー25%と想定した(10月号執筆時点での再稼働申請の原子力は19基 島根・大間原発は含まず、稼働40年

で廃炉を想定)。

2015年のCOP21を踏まえ、政府は来年夏までにエネルギーベストミックスを作成する方針で、再生可能エネルギーの開発状況や原発再稼働の進み方、新エネルギー開発の見通しなどを見極めて決定するものと考えられる。

6. 日本の新エネルギー

(1) 微細藻類

燃料の常識を一変させるかもしれない研究が進んでいる。微細藻類である。旺盛な繁殖力を生かして大量に培養した藻類から油分を搾り出し、石油やガソリンを代替しようというのである。欧州で2012年1月から国際線の航空機に温暖化ガスの排出削減を義務つける規制がスタート。規制強化をにらみ、航空会社などはCO₂削減策として、これまでバイオ燃料を混合したジェット燃料による試験飛行を繰り返している。航空業界では品質とコストで競争力のあるバイオ燃料への期待が高まっている。トウモロコシなどを原料にしたバイオ燃料は良く知られている。だが、作物の場合、耕作面積を急激に増やすことは出来ない。限られた作物の中から燃料利用が増えれば穀物価格が高騰するなど食料供給不安につながる。そこで、バイオ燃料研究の主流が非食物系植物に移るなか、最有力候補に挙がってきたのが微細藻類だ。世界で最も燃料の生産性に優れる藻類を発見し、国内外の藻類研究をリードしている筑波大学の研究チームの中心メンバーの一人が彼谷邦光教授である。

藻類がバイオ燃料の原料として注目されるようになった理由は大量生産の可能性にある。筑波大学グループの試算によると、トウモロコシが1ヘクタール当たり年間に生産できる油分が172リットル、大豆が446リットルであるに対して、藻類の場合は、数万~10万リットル以上の大量生産が見込めるという。

仮にバイオ燃料で世界の石油需要をすべて置き換えるとしたら、トウモロコシの場合、現在の耕作面積の14倍の耕作面積が必要となる。これに対し藻類は、培養に必要な土地の広さは世界の耕作面積の数%で済ませられるというのだ。必要な面積当たりの生産量は藻類が他の植物を圧倒する。藻類の場合、実際には耕作地を使う必要がないため、食料生産への影響もほとんどないと言っていい。大量のバイオ燃料を生産できる意味は大きい。これまで産油国に依存してきた燃料調整を自国生産に切り替えられる可能性があり、今後の開発により我が国の一次エネルギーの自給率アップ

に繋がる事が期待される。

(2) メタンハイドレート

夢の国産資源として関心が高まっているメタンハイドレートが、実用化に向け着実に前進している。メタンハイドレートとは「燃える氷」とも言われ、天然ガスの主成分であるメタンが、高圧・低温の海底下や凍土下でシャーベット状に固まったもの。

1990年には日本の領海内に、日本で消費される天然ガスの約90年分に相当する埋蔵量があるとの研究報告も発表され、「日本資源大国論」が盛り上がる事もあった。だが、それは遥か彼方の深海の世界。数年前までは科学的な研究対象でしかなく、メタンハイドレートの採掘や商業利用は夢の領域だった。しかし、ここへきてメタンハイドレートをみなおす機運と期待が急速に高まってきた。背景にあるのは、経済環境の変化、豊富な資源量、技術の進歩の3点に集約される。まず、ここ数年来の資源の逼迫、世界中で起こった資源へのナショナリズムへの高まりが、国際資源の夢を現実に換える後押しとなった。

日本近海に想像以上の資源が眠っていたことの再認識も、夢の実現度を高めた。2007年に経済産業省が東部南海トラフ海域（静岡県～和歌山県沖）を本格調査したところ、日本の天然ガス消費量の14年分（東京ガスの販売量の約40年分）にあたる約1.1兆立方メートルの埋蔵量が確認された。採掘しやすい濃集帯に限っても同7年分はあるとみられている。「日本近海の一部を調査しただけなのに、こんなにも良質な資源が有ったことに改めて驚いた」（研究者）という。

そして、ここへ来て技術面でも”吉報”が相次いでいる。昨年カナダで行われた実証実験では、従来の石油・天然ガス掘削技術の応用である「減圧法」による

採取に成功。3月上旬にはロシアのバイカル湖で大手建設会社が、北見工業大学やロシアの研究機関と共同で、湖底（水深400メートル）の表層面から連続回収する実験に成功するなど、実用化へ向かって着々と開発が進んでいる。こうした実績を基に昨年、国は2018年をメドにメタンハイドレートの実用化技術を確立し、2019年から商業生産を開始する方針を打ち出した。

もちろん、メタンハイドレートに実用・商業化を狙っているのは日本だけでない。じつは日本が火をつけた格好で、メタンハイドレートに関する開発が世界でも始まっている。

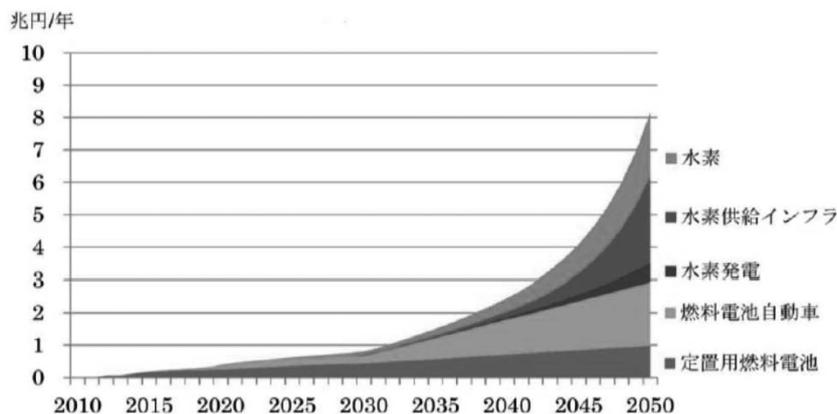
尚、2014年12月25日メタンハイドレートの日本海側での初採取が行われた。秋田・山形沖、新潟沖2つの海域で、3ヶ所のサンプルを採取。この2年間でメタンハイドレートが存在する可能性のある地質は971ヶ所になった。2015年度中に我が国の総埋蔵量が推計される予定である。

(3) 水素

現在最も注目されているのが水素エネルギーである(図-9)。

水素は石油精製や製鉄所の製造過程で大量に発生する使用用途の乏しい副産物であり、従来は発生する水素の大半が他の燃料と共に燃やされていた。

一般的には、水素を生成するには、化石燃料から改質するか、水を電力で電気分解する・光触媒や高温ガス炉で分解して作られる。水素は世の中で最も軽いガスで容易に燃焼する。液化するには-253℃に冷やすか、超高压にすることが必要である。しかし、水素を常温で液化し、液体より水素（気体）を取り出す新技術が開発された。即ち、水素を石化製品であるトルエ



出典: 経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(2014年6月)の図を一部修正

図-9 我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測

ンに溶かし込み、メチルシクロヘキサン（MCH）を製造。MCHは常温・常圧で液体であり輸送可能。そして、MCHから水素を取り出す新技術が開発された。この開発により温室効果ガスの発生の無い水素の使用範囲が爆発的に広がった。

燃料電池車は大手自動車メーカーが販売を開始。そして、石油販売会社や瓦斯会社や自動車メーカー等が水素ステーションの設置を発表している。政府もアベノミクスの成長戦略に取り上げ補助金でバックアップしている（燃料電池車購入補助、水素ステーション建設補助、その他に水素ステーション運営補助）。また、自治体でも大きな動きが始まっており、川崎市は建設会社と共同で水素供給基地と水素発電所を建設中である。そして、水素社会へ向かって戦略的な取り組みが望まれる。

NEDOの白書によると水素・燃料電池関連の市場規模は、我が国だけでも2030年に1兆円程度2050年度8兆円程度に拡大すると試算されており、今後10年～35年間で大きく成長する分野と期待されている。

7. 日本の省エネルギーへの取組み

1973年の第一次オイルショックでは原油価格が約3.9倍に跳ね上がり、1980年の第二次オイルショックでは2.8倍に跳ね上がった。エネルギー自給率6%の我が国、2014年4月、政府は第4次エネルギー基本計画を閣議決定し公表した。その中で、「徹底した省エネルギー社会の実現と、スマートで柔軟な消費活動の実現」をエネルギー政策の重要な課題として取り上

げている。具体的には業務・家庭部門、運輸部門、産業部門に分けそれぞれの部門ごとの各種の対策を定めた。また、電力平準化に向けた対策も検討されている。

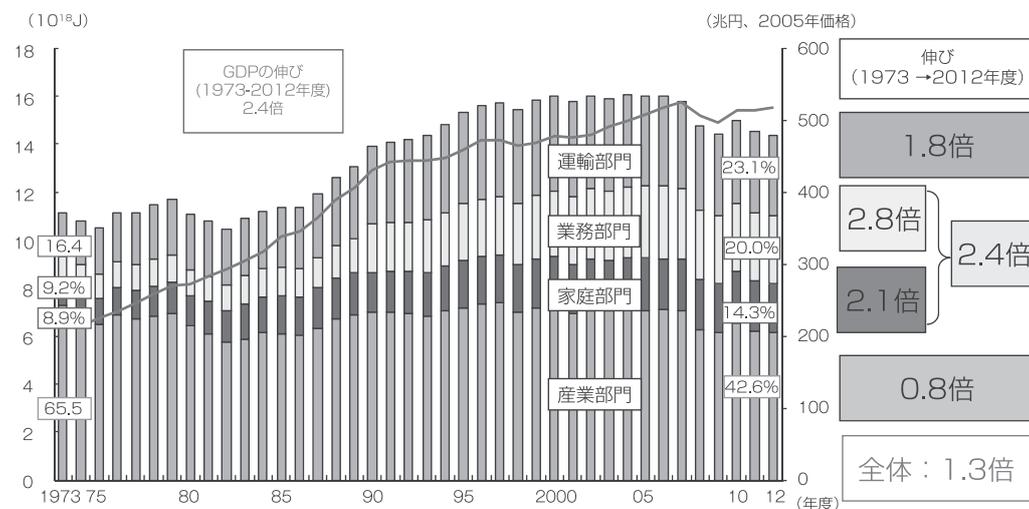
図10は1973年の第一次オイルショックから2011年までの各部門別のエネルギー消費量とGDPの変化である。GDPは2.4倍に増加したにも係わらず産業部門は20%減少、一方民生部門は2.4倍（業務部門2.8倍、家庭部門2.1倍）であった。

我が国では、第一次オイルショック、第二次オイルショックにより産業部門（製造業）が飛躍的に省エネ促進し国際競争力を高めた。また、産業構造の変化で、重厚長大からエレクトロニクスを中心としたハイテク・省エネ型産業が日本経済を牽引した。また、生活水準の向上に伴い、家庭部門や運輸部門では、自動車や家電の増加等でエネルギー消費量は増えた。

2050年には我が国のエネルギー消費量は人口の減少もあり現在より10%削減されると共に、製造業から非製造業への転換が図られれば40%削減の予測もある。

家庭部門でも2030年に現在のエネルギー使用量の28%（約1/4）までに減らす目標がある。主要手段としては以下である。

- * 家庭用燃料電池、住宅のヒートポンプ給湯による省エネ—15%
- * 太陽光による発電—15%
- * 次世代自動車による省エネ—18%
- * 家電の省エネ—24%
 - ・エネルギー効率の良いエアコン
 - ・LED電球による省エネ



(注1) J (ジュール) = エネルギーの大きさを示す指標の一つで、1MJ = 0.0258 × 10³ 原油換算 kl。
 (注2) 「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている。
 (注3) 構成比は端数処理 (四捨五入) の関係で合計が100%とならないことがある。
 出典: 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、内閣府「国民経済計算」、日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」を基に作成

図10 最終エネルギー消費と実質 GDP の推移

・エネルギー効率の良い冷蔵庫

8. 世界・日本の地球温暖化ガス CO₂ 削減の動向 (図— 11)

2014年11月温室効果ガスの45%を排出する米国・中国が削減目標に関する下記共同声明を発表した。

*米国：2025年までに2005年と比較して温室効果ガスを26～28%削減する

*中国：2030年までに全てのエネルギーにおける非化石燃料の割合を20%に高める

中国の目標設定は初めてである。

共同声明に続き、2014年12月ペルーのリマで、2020年以降の温室ガス削減の新枠組みについて話し合う第20回国連気候変動枠組国会議(COP20)が開催され終了した。

合意事項は、今世紀末の温度上昇を2℃以下に抑えるため、1年後にパリで開催されるCOP21に向け、全ての国が参加する枠組づくりに動き出す。骨子としては、可能な国は来年3月までに削減目標を国連に提出し、事務局は各国の目標を11月までにまとめるというものであった。

一方、我が国では現在、原子力発電の再稼働の状況が決定しておらず、国としての温室ガス削減の目標値は現在決定されていないが、COP20に於いて全世界の温室効果ガス排出量を2005年から2050年までに50%減、先進国全体で80%減を提唱している。

そして、この目標の達成のためには既存技術の延長でなく、革新的なエネルギー技術の開発が不可欠となってくる。このため、経済産業省は2050年に向け

てエネルギー分野における革新的な技術開発の具体的な取り組みや国際連携を推進し、エネルギー分野における革新的な技術開発を推進するために21の技術を選定し、確実に長期的に技術開発を進めている。

具体的には、エネルギー供給側の革新技術の例としては、高効率天然ガス火力発電、高効率石炭火力発電、二酸化炭素回収・貯留技術(CCS)、革新的太陽光発電等がある。例えば、高効率石炭火力発電では、石炭をガス化して高効率に火力発電し、さらに、発生したCO₂は二酸化炭素回収・貯留技術(CCS)により、CO₂排出をゼロにする。また革新的太陽光発電は新構造や有機材料のような新材料を活用した高効率・低コストの太陽電池技術や薄膜シリコン等の活用により自由に折り曲げることができ、あらゆる場所に設置可能な太陽電池技術である。

エネルギー需要側の革新技術の例としては革新的材料・製造・加工技術、省エネ住宅・ビル、超高効率ヒートポンプ、次世代高効率照明、省エネ型情報機器・システム等がある。

運輸では高度道路交通システム、燃料電池自動車、プラグインハイブリッド自動車・電気自動車等がある。

9. おわりに

本報文では、世界・日本のエネルギー動向、エネルギーの地球環境に及ぼす影響と取組等を主眼に述べてきた。これ等から、我が国のエネルギーに関連した課題も明らかになってきた。我が国のエネルギー問題点を大きく要約すると以下の通りである。

1) 一次エネルギーの自給率が6%と低く(OECD



出典：日本の温室効果ガス排出実績(環境省)、電気事業連合会「電気事業における環境行動計画」(2009年度版から2013年度版)を基に作成

図— 11 我が国の温室ガス排出量の推移

加盟国のうち 34 か国中 33 位)、我が国の安全保障上の問題を有する

- 2) 一次エネルギーの中で化石燃料依存率は 92%と高い
- 3) CO₂削減ができず増える傾向にある(図—11 参照)

これ等の対策への取り組みは、政府主導で産官学が一体になって実に活発に活動している。再生可能エネルギー買取制度を始めとして、新エネルギーの開発、実用化促進が着実に進んでいる。国では、再生可能エネルギーについては太陽光発電に集中した為、それを是正する方向で制度見直しを検討しているが、これがブレーキにならない様な制度とし、再生可能エネルギーのより一層の促進となる様に願いたい。

新エネルギーの本命として水素ガスの実用化開発が現実になってきた。政府の燃料電池車の普及促進のための支援(燃料電池車への補助 1 台 200 万円、インフラ整備で 1 ステーション当り建設費の 2 分の 1 補助、それらに加えて、運営費の 3 分の 2 補助を 14 年度補正で予算化(1 月 9 日閣議決定予定))等、また東京都は 5 年後のオリンピックに向け、燃料電池車の普及拡大を目指し 1 台 100 万円の補助を表明した。インフラ整備には、多くの関連企業が大きなビジネスチャンスと捉え多数の設置を計画している。

2020 年代には水素ガスの多様化が進み、各種自動車、航空機、エネファーム、大型発電などに適用拡大が進み、水素社会が現実のものになる事が期待出来る。

我が国では、水素ガスに加えて再生可能エネルギーやメタンハイドレートの実用化で、自給率の大幅な向上によりエネルギー安全保障上の問題解決を図り、地球温暖化ガスの CO₂ 大幅削減が進むと推測する。

これ等の背景を踏まえて国はエネルギー対策を進めているが、予算投入、燃料費削減、コスト競争力の強化などで経済復活へ繋げ、アベノミクスの 3 つ目の矢となり経済成長の起爆剤になってもらいたいものである。

COP20 に置いて我が国は、2005 年の二酸化炭素(CO₂)を基準として、2050 年までに全世界で 50% 減少と先進国全体で 80% 削減を提唱している。

国は出来るだけ早く、我が国の「エネルギーベストミクス」、「CO₂削減目標」を明確にすべきで、これが実現すれば産官学の活動が一層加速すると期待出来る。

尚、刻々と変化するエネルギー問題、当報文は 2014 年 12 月 26 日時点の状況であるとともに、二次エネルギーである水素を新エネルギーとして執筆した。

今後、NPO 新エネルギー研究会東日本では、会員各位が我が国のエネルギーの現状をよく認識し、新エネルギー・再生可能エネルギーの普及を促進し、エネルギー自給率を向上させると共に、省エネルギーを推進する事により地球温暖化防止に貢献して行きたい。

謝 辞

本資料作成にあたって、政府発表資料、経済産業省資源エネルギー庁、電気事業連合会、NEDO の白書等の資料を参照させていただいた。また、原稿作成にあたって新エネ研究会東日本の小島理事長、友延所長、福塚所長はじめメンバー各位にお世話になった。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

JICMA

[筆者紹介]

小林 幸三(こばやし こうぞう)
NPO 新エネ研究会東日本
副理事長



村上 誠(むらかみ まこと)
NPO 新エネ研究会東日本
理事



丘陵地における大規模太陽光発電（メガソーラー）

加藤 博之・三浦 国春・島津 良邦

起伏の富んだ広大な牧場の跡地（約 298,000 m²）に、大規模な太陽光発電所（21.5 MW）を EPC（設計：Engineering・調達：Procurement・建設：Construction）にて建設する取組みを紹介する。本工事の特徴は、大規模な造成を行うことなく、敷地形状を最大限利用し、太陽光パネルを設置するプロジェクトである。従来の太陽光発電所では、敷地をほぼ平坦に均し、パネルを設置するのが一般的な施工方法である。

本件では、パネルによる影の影響がないよう、段差なくパネルを並べるために地形の詳細な測量を行い、横断面を作成し、架台の柱脚高さを設定した。また、詳細な施工計画を作成することで、造成工事期間も不要となり、短工期で竣工に至った。以下に設計・施工要領等を詳述する。

キーワード：丘陵地、大規模太陽光発電、EPC、短工期、再生可能エネルギー

1. はじめに

2012年7月1日に「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT：Feed-in-Tariff）」が施行された。

そこで、持続可能な社会の実現に寄与することが社会的責任の一つと考え、中長期環境ビジョンのなかで「低炭素社会」「循環社会」「自然共生社会」を「2050年のあるべき社会像」として描き、その実現に向けて、本業である建設業はもとより、建設周辺の事業領域にもその活動を拡大している。その一環として、新会社（以下、OCEと呼ぶ）を2011年に設立し、再生可能エネルギーによる発電ならびに電気の供給および販売等を行っている。

一方、総合建設業としては、メガソーラー工事で蓄積したノウハウを活用し、EPCにて「風力発電」や「バ

イオマス発電」などの再生可能エネルギー事業を積極的に、全国展開中である。

本稿では、2014年4月に竣工した「芦北太陽光発電所（熊本県葦北郡）」を基に、丘陵地に設置する大規模メガソーラーの実施事例について紹介する。写真-1に発電所全景を示す。

2. 太陽光発電システム工事概要

(1) 施設概要

熊本県葦北郡芦北町の約 29.8 ha の広大な土地に、太陽光パネル容量で第1発電所が 658 kW、第二発電所が 20,862 kW、合計 21,520 kW の太陽電池を設置するメガソーラー事業である。表-1に施設概要を示す。

表-1 施設概要

稼働開始	2013年7月	2014年4月
系統電圧	6.6 kV	110 kV
敷地面積	0.8 ha	29.0 ha
太陽電池容量	658 kW	20,862 kW

(2) 発電システム概要

太陽光パネルは日射を受けると直流電流が発生する。その電流は接続箱へ集められ、接続箱から集電箱を経由してパワーコンディショナー（以下 PCS とする）へ集約される。PCS は、太陽光パネルから入力される電圧が、定格電圧以上になると自動起動する。



写真-1 発電所全景

逆に、太陽光パネルからの入力電圧が定格電圧以下になると自動停止する。なお、PCSが停止中は、所内負荷用電力を電力会社から買電することになる。

PCSへ集約された直流電力は、商用電源の電圧、周波数、位相と同期した交流電力に変換する。その後、昇圧トランスにて系統電圧に昇圧した後に連系し、電力会社へ売電する。なお、PCSおよび系統の異常時には、連系を遮断することができるよう連系保護装置を設置する。

3. 太陽光発電システムの設計

(1) 配置計画

事業計画および設計の方針として、20年後の発電所撤去後に現状復旧が可能なことと、地形条件を極力変化させない方針で配置計画を行った。敷地北側のほぼ半分のパネル配置は、南向きの傾斜のためにパネルの傾斜角度は 20° とし、敷地南側半分は、逆勾配になるため傾斜角を 10° とした。また、元々供用されていた農業用道路を10t車程度が通行可能な管理道路として整備した。さらに、雨水排水用として、管理用道路にW300～1,000の排水溝を設置した。なお、伐採等の影響などで降雨時の地区外への雨水流出量が増大する可能性があったが、敷地東側に大型の調整池を設置することにより、周辺地域への環境に配慮した。

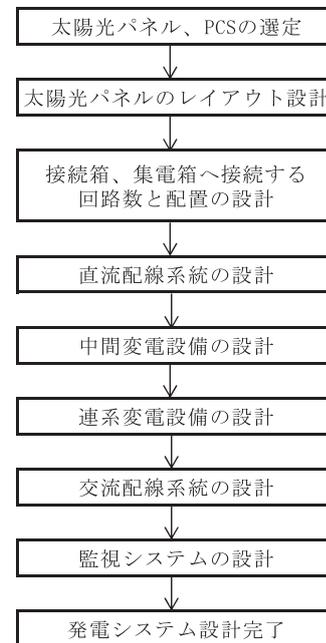
(2) 電気設備の設計

まずは、太陽光パネルやPCSについて、各メーカーの特性や形状、信頼性、価格、保証内容、メンテナンス能力などを確認のうえ選定する。また、太陽光パネルとPCSとの接続数は、パネルの定格電圧や温度特性とPCSの許容入力電圧の電気整合性を考慮し選定する。連系変電設備と中間変電設備、直流配線系統は、配線距離が短くなるように配置計画する。

発電システムは、太陽光パネル、接続箱、集電箱、PCS、昇圧変電設備、連系変電設備で構成される。これらの仕様は、電気設備技術基準等の関連法規・規格に準拠すると共に、信頼性、経済性、メンテナンス性を考慮する。また、遠隔監視設備としてストリング回

路ごとに電圧・電流を測定するために計測ユニットを設置する。

最後に、JIS-C8907に準拠し発電量の予測を行う。これは、太陽光パネルの特性や所内損失を考慮し、算出する。図一1に電気設備設計フローを示す。



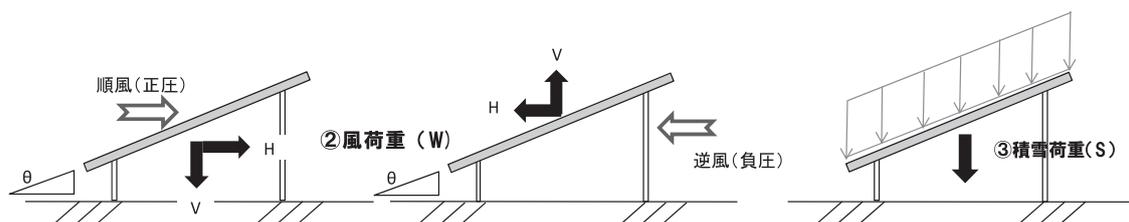
図一1 電気設備設計フロー

(3) 架台・基礎の設計

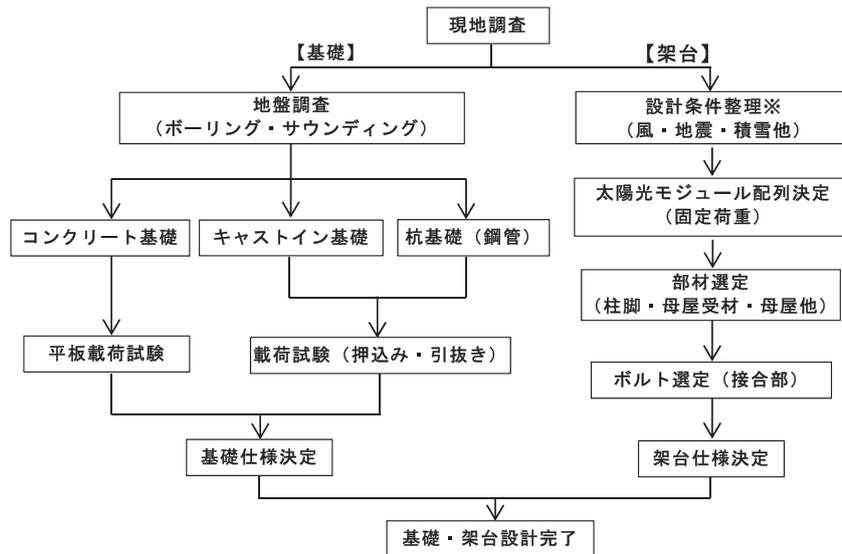
太陽光発電所の架台・基礎設計は「JIS C 8955 太陽電池アレイ用支持物設計標準」に準拠している。

架台への作用荷重は、①固定荷重、②風圧荷重、③積雪荷重、④地震荷重の4種類を考慮する。なお、架台の仕様は、②風圧荷重または③積雪荷重により決定することが多い。すなわち太陽光発電所の設置環境が、架台仕様に大きく影響することになる（図一2参照）。

本発電所のように傾斜を伴う複雑な地形では、風圧荷重は事業用地内で大きく変化することがある。このような状況が推測される場合は、技術研究所にて風況解析を実施し、その結果を架台・基礎設計に反映させる。また、事業用地内のエリア分けを行い、風況解析結果に応じ風圧荷重の割増しを行う。風圧荷重は2～3割程度割増すケースが多いが、極端な例では、7割



図一2 太陽電池パネルの架台検討



図一 3 架台・基礎設計フロー

※荷重条件
 地震荷重：国土交通省告示 第 1793 号
 積雪荷重：建築基準法施行令 第 86 条第 3 項，または国土交通省告示 第 474 号に定めるうち大きい方
 風荷重：建設省告示 第 1454 号

近くも割増したケースもある。

また丘陵地の勾配の状況により，設置場所の架台の柱脚長さや接合部のボルト孔位置が変化するので，こちらもエリア分けを行い，架台・基礎設計を実施する必要がある。

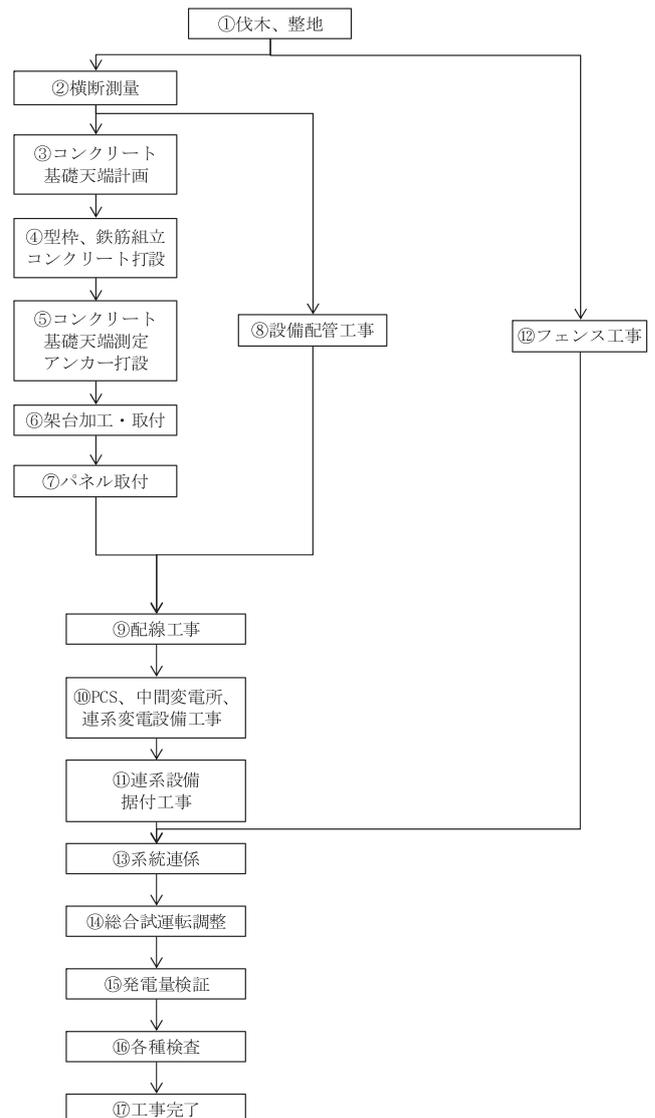
太陽光発電所は FIT により運用期間を 20 年とすることが多く，架台・基礎に関しては，メンテナンスフリーを基本としている。ここでは，架台鋼材は防食性能が高い Al, Mg, Si を添加したメッキ鋼板を採用した。このメッキ鋼板は軽量であり，施工性にも優れているという特徴がある。

基礎設計においては，事前に地盤調査を行い，架台設計時に算出される必要支持力により基礎形状を選択する。施工実績から，杭基礎構造の架台は，直接基礎構造の架台より比較的安価に施工できる。よって経済性の追求から，地盤調査結果を基にエリア分けを行い，同一発電所において複数の基礎タイプ（杭基礎・コンクリート基礎）を選定する場合もある。また，架台・基礎の設計フローを図一 3 に示す。

4. 太陽光発電システムの施工

(1) 丘陵地における太陽光発電システムの施工フロー

図一 4 に本発電所の全体施工フローを示す。



図一 4 全体施工フロー



写真一 2 施工終了時（敷地南側から撮影）



写真一 3 連系変電所全景

(2) 写真一 2 に施工終了時、写真一 3 に連系変電所全景を示す。

5. 太陽光発電システムの工事監理

(1) 太陽光発電システムの工事監理

メガソーラーは、土木工事（造成・基礎・架台）と電気設備工事（モジュール・接続箱・集電箱・パワーコンディショナー・キュービクル他）に大別される。一般的な建築物と違い、イレギュラーな工種の組合せであることから、次工程に入る前には、工事のフェーズ毎に施工品質の確認が重要となる。

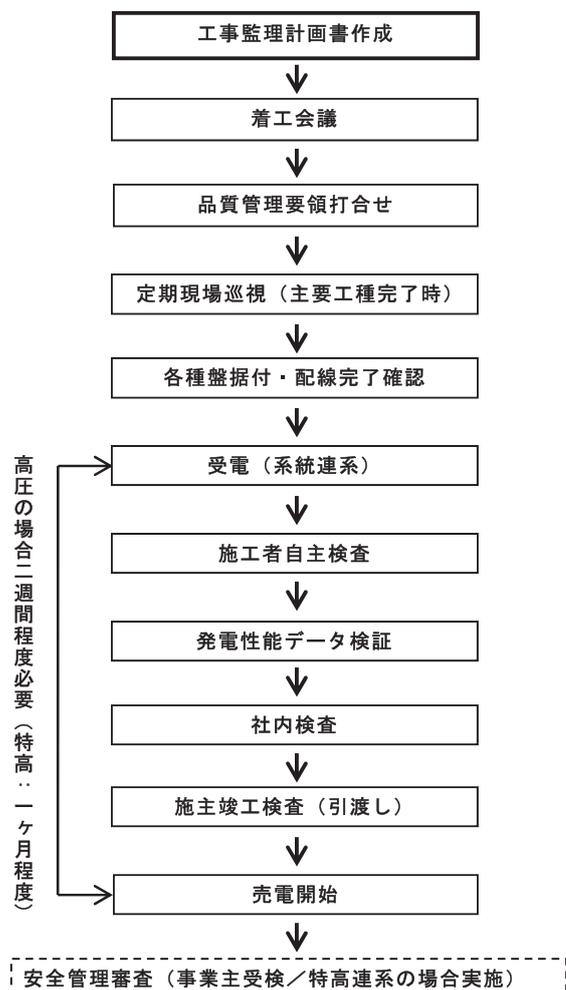
工事着工前には、設計・工事監理者、施工者等を集め着工会議を行う。ここでは、「工事監理計画書」に基づき、工事関係者の実施体制表および各担当者の役務範囲、さらに工事における設計上・施工上の注意点等について、関係者へ伝達し周知を図る。

着工時には、品質管理要領に関する現場打合せを行い、工種毎の品質管理目標（管理基準値）や測定頻度等を協議し決定する。具体的には、太陽光パネルの設置角度（傾き）や据付精度（段差・目地幅）や、アレイ間の距離（南北方向）やボルトの締付けトルクなどを測定し、品質管理を行う。

すべての設備機器（PCS・キュービクル等）の据付・配線が完了すれば、所轄の電力会社の立会いの下、系統連系作業（受電）を行う。その後、PCSおよび遠隔監視設備の微調整を実施後、実際の発電性能を満足しているか確認するために、性能検証作業を行う。さらに各種検査を経て、売電開始となる。

(2) 工事監理フロー

図一 5 に工事監理フローを示す。



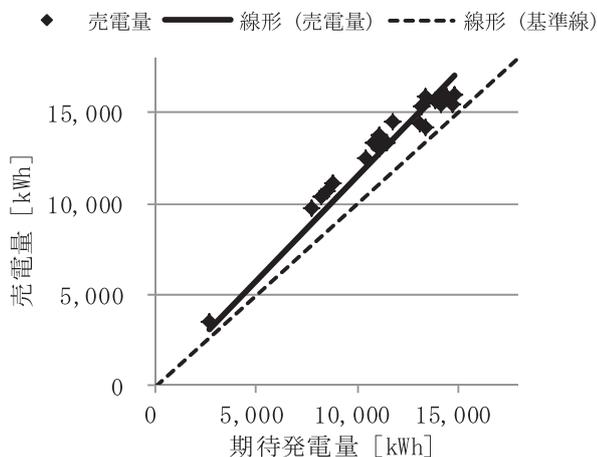
図一 5 工事監理フロー

6. 太陽光発電システムの発電性能検証

(1) 発電性能検証概要

発電性能検証とは、総合試運転調整が終了した後に、規定の発電量が出力されているかを検証するために行うものである。なお、本作業は、JIS-C8907-2005に準拠し計画した。検証方法は以下の通りである。

測定は、晴天日の数日間行い、この期間内で1時間毎にデータ集計を行う。判定基準は、売電電力量÷期待発電量 ≥ 1.0 （売電量が期待発電量を上回ることを合格とした。期待発電量とは、現地に設置した日射計および気温計の測定値と、JISによって定められた補正係数を用いて算出し、エアコンの使用やトランスの負荷損失などの所内負荷分を差し引いた発電量となる。売電電力量とは、実際に売電されている電力量を電力メータから読み取った実測データである。この売電電力量と期待発電量を比較することにより検証を行う。当発電所においては、第一、第二共に発電性能検証作業を実施しているが、本稿では第二発電所の測定結果を示す。図一六に売電量（縦軸）と期待発電量（横軸）の分布図を示す。図中の破線は基準線であり、基準線以上に売電量（◆）が重なれば売電量と期待発電量が等しいことを表す。また、実線は売電量と期待発電量の分布の近似値線を表す。この実線が、基準線より



図一六 売電量と期待発電量の分布

も傾きが大きい場合は、期待発電量以上の出力があることを示す。よって、本発電所は規定の発電量を満足していることが検証された。

7. 太陽光発電システムの運転管理・保守 (O&M)

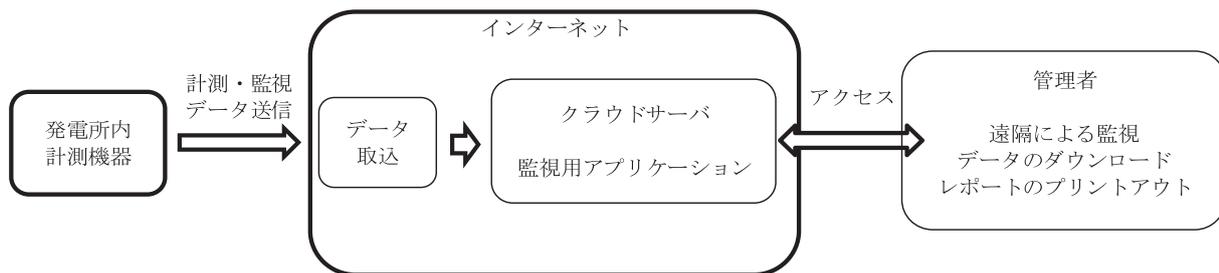
(1) 太陽光発電の運転管理

電気事業法では発電出力が50 kW以上のものは、自家用電気工作物に該当する。よって、自家用電気工作物保安管理規定（以下、保安規定とする。）に基づいた定期点検が義務付けられる。この点検は事業主が選任した電気主任技術者により実施されるが、発電出力2,000 kW未満の場合は、電気保安協会などに電気主任技術者を委託することができる。なお、本発電所は規模の大きい特高案件のため、電気主任技術者の選任が必要となる。

点検には日常巡視点検と定期巡視点検があり、各点検要領および点検周期などは保安規定に定められている。また、本発電所を含むすべてのOCE案件に関して、遠方でもモニターで発電量等を確認できる「遠隔監視システム」を構築した。

(2) 発電性能のモニタリング方法

当発電所の遠隔監視データは、所内に設置された計測機器からインターネット回線を経由して、クラウドサーバへ集約される。管理者は、インターネット回線よりサーバへアクセスすることにより、監視画面を確認することができる（図一七参照）。監視項目としては、連系点での売電、買電電力量の他に、各受変電設備の計測や各種保護継電器の状態、PCSにおいては状態確認や各種計測データ、機器の故障監視を行っている。また、日射量や気温、パネル裏面温度といった気象観測データ計測の他に、接続箱内に取り付けられた計測ユニットにより、各ストリングの計測も行っている。なお、監視画面上ではこれらの監視項目が各部位ごとにグラフィックで表示も可能である。これらの



図一七 遠隔監視構成図

計測データは、発電量確認などのデータ解析に活用できる。また、異常が発生した場合には、事前に登録された管理者へ異常発生メールを送信するシステムとなっており、迅速な対応が可能となる。さらに、当発電所内には監視用のカメラを8台設置している。このカメラは、ズームや首振り機能を備えており、現地を広範囲にわたり見渡すことができ、遠方からインターネット回線を通じて現場の状況を確認することができる。

8. おわりに

太陽光発電は、比較的シンプルな設備構造で、用途や地形に合わせて設置できるメリットがある。しかも、太陽光エネルギーは無尽蔵かつクリーンな発電方式で、そのうえ安全性の高い設備である。

一方、太陽光発電には大きな電力を発生させるために広大な面積のパネルが必要で、なおかつその出力が天候に大きく左右されるという問題点もある。そのため、定格出力（連続運転可能な最大発電力）に対する実際の発電量の比率である設備利用率は、一般的に13%程度である。よって、発電コストが割高になることが最大の弱点である。

しかしながら、太陽光発電は日射量の多い昼間に発電効率のよい設備であり、消費電力がピークになる夏期（昼間）に、電力の供給が期待できるので、補完性の高い設備ともいえる。

その他の再生可能エネルギーも含め、我が国のエネルギー自給率を高める有望な手段の一つであることは間違いない。現在、政府によって進められている固定価格買取制度（FIT）が転換期を迎えている中で、機械化施工の推進による建設コストの削減、さらには自立したエネルギー源として、発電能力の高効率化と信頼性の高い発電システムの構築や、ローコストな蓄電設備技術を確立することで、持続可能な社会に貢献できれば幸いである。

JCMA

【筆者紹介】

加藤 博之（かとう ひろゆき）

（株）大林組

本社 技術本部 エンジニアリング本部
環境施設エンジニアリング部 環境施設第四課
副課長



三浦 国春（みうら くにはる）

（株）大林組

本社 土木本部 生産技術本部 技術第一部
技術第四課
課長



島津 良邦（しまづ よしくに）

（株）大林組

本社 技術本部 エンジニアリング本部
環境施設エンジニアリング部 環境施設第四課
課長



既設港湾構造物を活用した PW-OWC 波力発電装置の開発

有孔ケーソンを利用した波力発電装置

木原 一 禎・金谷 泰 邦・増田 光 一

日本において、30年以上の開発実績がある振動水柱型空気タービン方式（Oscillating Water Column: 以下 OWC）に着目し、従来型 OWC の高効率化を目指し、プロジェクティングウォール付ユニット型発電装置（PW-OWC 発電装置）（以下「本発電装置」という）を提案した。OWC 発電装置は、水面変動を往復気流に変換し、空気流で発電タービンを回転させる。発電部が水上（気中）にあるため、維持管理が容易であり、既存の防波堤、護岸などを利用して後付けでユニットを設置することで、建造費を抑えることができる。本稿では、酒田港で実証実験に向けて準備中の消波ケーソン（有孔ケーソン）に設置した事例について紹介する。

キーワード：空気タービン，衝動タービン，振動水柱，OWC，波力発電

1. はじめに

日本では30年以上の研究実績がある振動水柱型空気タービン方式（Oscillating Water Column: 以下 OWC）に着目し、従来型 OWC の高効率化を目指し、プロジェクティングウォール（PW）付ユニット型発電装置（本発電装置）を提案した。本発電装置は、既存の防波堤、護岸などを利用して後付けでユニットを設置することで、建造費を抑えることができる。本稿では、平成23年からこれまで開発を行い、既に検証済みである本発電装置の安全性にかかる耐波性能の概要について報告し、本発電装置の一次変換係数（波エネルギーから空気エネルギー（往復流）への変換）に関する研究成果について詳述する。

そして、平成26年度から取り組んでいる、酒田港内の有孔ケーソンを活用した実海域実証実験に関するこれまでの成果を報告する。

2. 本発電装置の概要

開発する本発電装置は、**図-1**に示すような既設の防波堤や護岸に後付けのユニットタイプとし、建造・設置コストの低減化をはかり、発電単価40円/Kwh以下を目指している。

本装置は、海岸線の防波堤や護岸に設置されることを想定しているため、効率や発電コストの他、公共構造物として、安全性について特に慎重に検討する事が

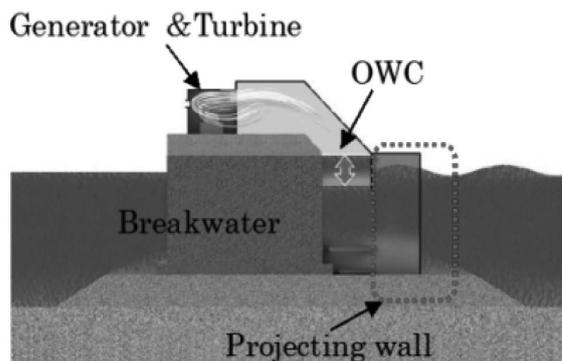


図-1 本発電装置のイメージ図

必要である。以下に技術課題を列記する。

- ①従来の OWC に比べて高効率であることの検証
- ②耐波安全性の確保
- ③発電単価 40 円 /kWh 以下

これらの技術課題に対し、まず、酒田港の第一線防波堤に波力発電装置を設置した場合の検討結果について報告する。続いて、発電装置の設置場所を種々の理由から消波型護岸に変更したので、消波型護岸への発電装置の装着をケーススタディとした実証実験の概要を述べる。

3. 安全性の検討

安全性の検証については、港湾空港技術研究所の2次元水槽および大規模波動地盤総合水路でそれぞれ、1/25, 1/6.7 縮尺実験（**図-2**）により、耐波性能の



図一2 1/6.7 モデルによる水槽実験

検証を行った。

結果、安定性は確保されており、設計法もこれまでの合田波圧（合田式）で評価すれば問題が無いことを確認した¹⁾。

4. 本発電装置の一次変換性能について

OWC の発電装置の一次変換の原理は、空気室内の水塊の振動水柱の周期が波の周期と共振することで、波エネルギーを吸収して空気エネルギーに変換することによる。そのため、従来の装置では、波エネルギーを吸収する空気室の水塊振動の周期が波周期との同調周期（共振周期）からはずれると発電効率が急減する。発電装置の固有周期は、空気室の形状で決定されるため単一周期となる。著者らは、より広い波周期レンジでのエネルギー取得が可能となるように図一1に示すようなPW付電装置を考案した^{1), 5)}。付設のPWの効果により空気室側の共振周期帯を拡大させることが可能となり、多様な入射波に対して広い周波数帯で空気流が形成され一次変換係数を向上させることができる。

(1) 一次変換係数 $\eta^{(1)}$ の試算

一次変換係数 $\eta^{(1)}$ は、入射波パワー変換量 P_A を入射波パワー P_I で除した値で表され、式 (1) のとおりである。このとき、入射パワー P_I は式 (2)、波パワー変換量 P_A は式 (3) で表される。

$$\eta^{(1)} = \frac{P_A}{P_I} \tag{1}$$

$$P_I = \frac{\rho g^2 a^2}{8\pi} \left(1 + \frac{2kh}{\sin 2kh}\right) (\tanh kh) TB \tag{2}$$

$$P_A = \frac{A_w}{T} \int_0^T P(t) \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} dt \tag{3}$$

ρ : 水の密度, a : 入射波振幅, B : 空気室幅,
 T : 周期, η : OWC の水面変動, h : 水深,
 k : 波数, A_w : OWC の水線面積,
 P : OWC 室内の圧力

次に、最終的な発電出力に関する比較を実施した。発電出力の比較は文献²⁾に記載される一次変換係数の実験結果を用い、日本周辺の5箇所の海域の周期別波浪頻度分布（喜屋武岬（沖縄）、江島（宮城）、佐多岬（鹿児島）、鹿島（茨城）、石廊崎（静岡）におけるNOWPHASの波出現頻度分布表データ）を適用し、5箇所の港湾での一、二次変換後の取得期待エネルギーを算定した。入射波エネルギーは、(4)式により算定した。

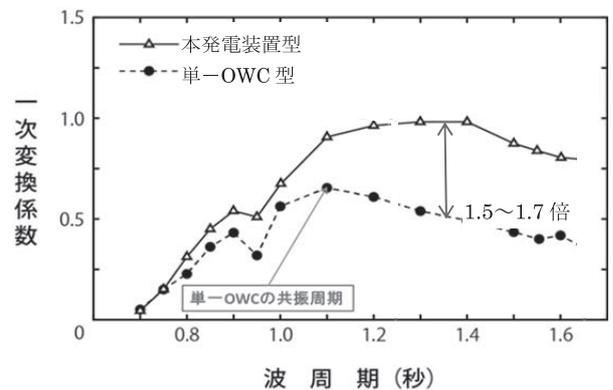
$$E[Wa] = 0.49 \int_0^x \int_0^x \varphi(H_{1/3} \cdot T_{1/3}) H_{1/3}^2 \cdot T_{1/3} \cdot \eta^{(1)} \eta^{(2)} dH_{1/3} dT_{1/3} \tag{4}$$

$H_{1/3}$: 有儀波高, $T_{1/3}$: 有儀周期,
 $\eta^{(1)}$: 1次変換係数, $\eta^{(2)}$: 2次変換係数

図一3は、本発電装置と従来型 OWC（単一 OWC）の1/25 実機スケール（酒田港第一線防波堤設置）の模型検証実験の結果である¹⁾

図よりPWの効果により発電電力が単一 OWC に比べて幅広い範囲で1次変換効率1.5～1.7倍向上する事がわかる。

なお、タービン、発電機の2次変換率（ $\eta^{(2)}$ ）は過去の実証実験（マイティホエール成果）^{3), 4)}より0.4として計算した。



図一3 OWC 本発電装置 効率比較

図一4は、上述した沿岸域での取得期待エネルギーの結果である。

以上のことから、本発電装置は、従来の単一 OWC

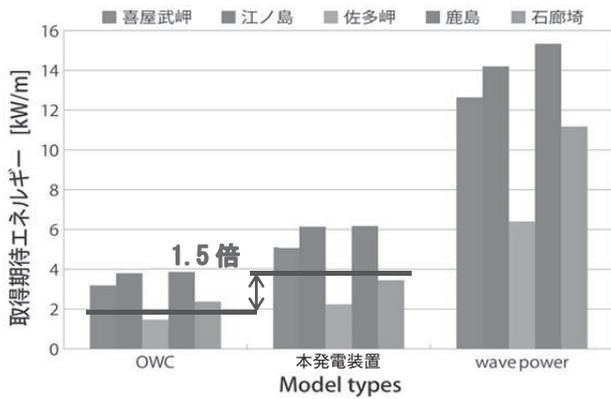


図-4 発電出力の比較

に比べて1.5倍以上のエネルギー取得が期待できる。

5. 酒田港一線防波堤設置モデルの一次変換係数

(1) 後付けユニット装置の特性

発電装置は、通常図-5のように防波堤に連続設置するが、実証実験を想定した場合、1基のみの設置となる。そこで、発電装置を防波堤に単一（1基のみ）で設置した場合（図-6）を想定し、水槽実験、著者らが開発した数値計算法⁵⁾を用い特性を確認した。シミュレーションと実験結果を図-7に示す。図より、波周期7.5秒程度の値で一次変換係数が著しく減

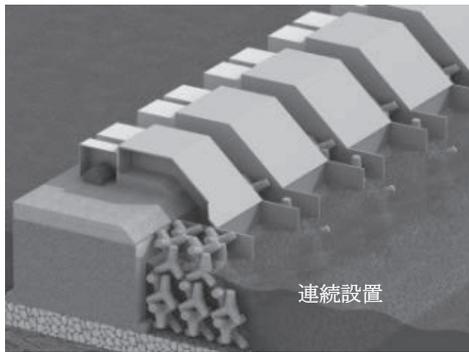


図-5 連続設置

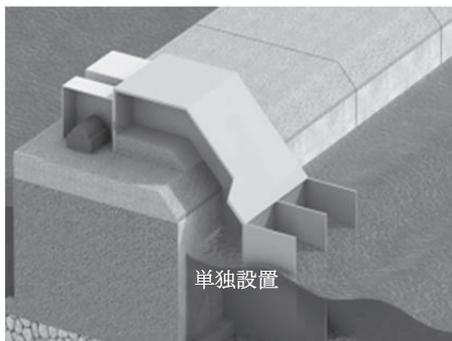


図-6 単独設置

少していることがわかる。この現象を説明するため、実験映像及びシミュレーションで検証したところ、背後の防波堤の反射波の影響でエネルギー変換係数が著しく低下する周期帯が存在することが判明した。

2012年大森⁶⁾は、反射波影響を調べるために防波堤埋め込み式について水槽試験及び数値解析を行い反射波の影響で変換効率が低下する現象を報告している。

図-8は、著者が実施した単一OWCにおける背後の防波堤がある場合と無い場合のOWC内部圧力の解析結果の比較グラフである。解析した諸元は、表-1のとおりである。このグラフの結果から、背後の反射波の影響が無い場合、図-7に示すような著しい変換係数の低下が生じないことがわかる。防波堤や護岸に後付けで設置するタイプの単独装置の場合、PW部、OWC部が防波堤や護岸の法線ラインから沖側に突出する。そのため、装置の空気室（OWC）への進

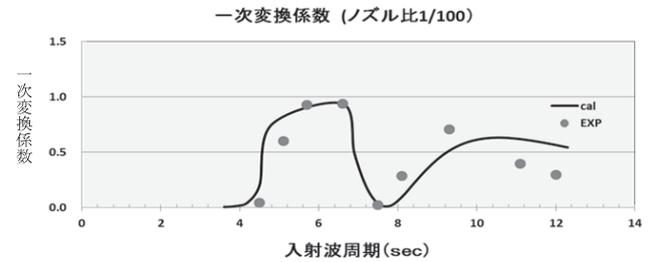


図-7 防波堤設置モデルによる一次変換係数

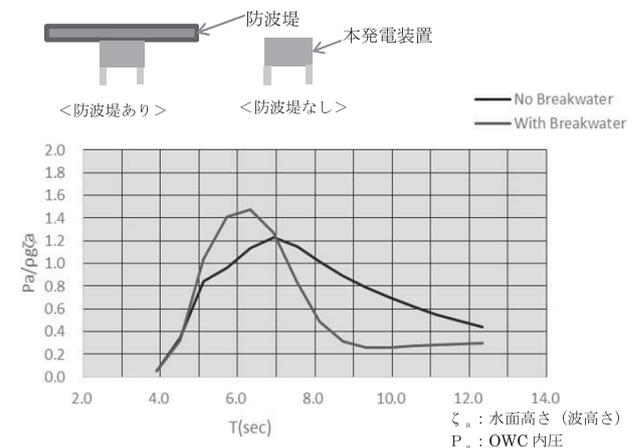


図-8 防波堤影響解析

表-1 モデル寸法

空気室長さ: La (m)	7.0
空気室幅: B0 (m)	11.6
空気室開口部深さ: d1 (m)	9.7
水深: h (m)	14.6
PW長さ: Lp (m)	7.0
装置側面ウイングタンク幅: W (m)	9.6

入波が、背後防波堤の反射波と干渉することで、ある周期で一次変換効率が低下すると考えられる。

以上のことから、既存の防波堤や護岸に装置を単独で一基設置する場合、反射波対策（消波工）をしたユニット装置を設置する必要がある。

(2) まとめ

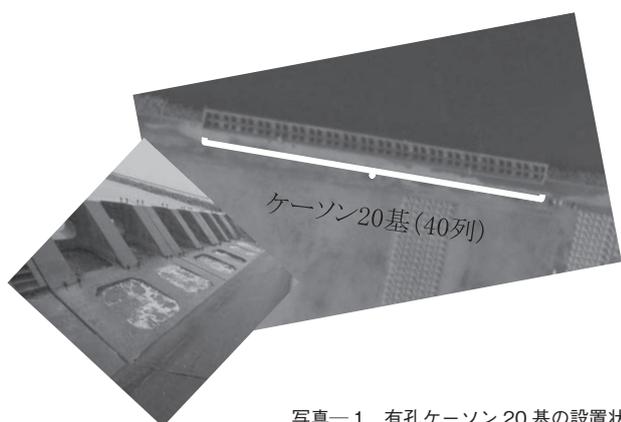
以上のことから、下記のことが分かる。

- ①後付けユニットを防波堤や護岸に設置する場合、背後壁の反射波影響を考慮し、構造体の寸法を決定する必要がある。
- ②消波工をPWの周辺に設置すれば、変換係数の低減が改善できる。
- ③ただし、発電装置を単独で設置する場合、上述の消波工を設置することは、発電単価の増大を招く。したがって、このような対策は、数十基設置する場合の端部の処理対策としての適用が有効である。

6. 消波（有孔）ケーソンを活用した本発電装置

上述したように防波堤や護岸など背後に壁がある構造部に発電装置を設置する場合、防波堤の反射波の影響を受け、発電装置の一次変換係数性能が低下する。

著者らは、山形県酒田市酒田港内にある消波ケーソンに着目した。着目した護岸には、写真一1のように2列4孔の遊水部を有する有孔式消波ケーソンが整備されており、防波堤背後壁の反射波の影響を受けにくい構造であると考えられる。



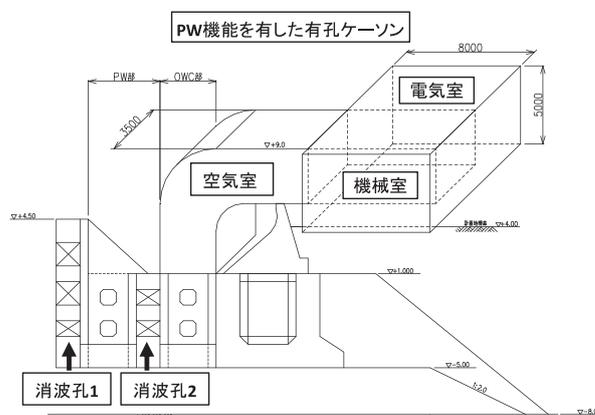
写真一1 有孔ケーソン 20基(40列)の設置状況

(1) 設置イメージ

消波ケーソンは、法線直角方向に2つの遊水室を持つ直立消波型ケーソンである。

有孔ケーソンは、入射波を最初に受け入れる前部遊

水室と水中孔でつながっている後部遊水室とで消波部が構成されている。両遊水室とも奥行きは3.5mである。図一9に発電装置の設置イメージを示す。前部の遊水室をPW部とし内側の遊水室をOWC部として、上述の設置タイプとほぼ同じ機構で発電が可能である。



図一9 本発電装置有孔ケーソン設置イメージ (構造物左が海側、右が陸側)

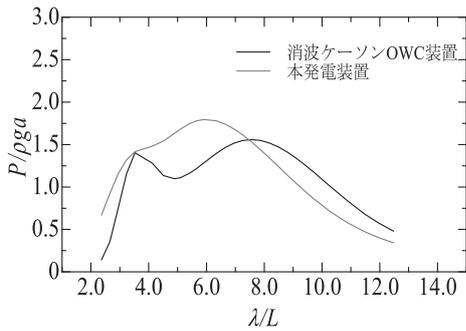
(2) 消波ケーソン設置による特性

消波ケーソンは、図一9に示すように消波孔1、2部が全開放の大口徑孔ではなく、消波を行うために小径孔となっていることから、一次変換係数が通常のOWCに比して低下する。そのため、消波孔を全開放と仮定した本発電装置（通常本発電装置）との一次変換特性の比較計算を行った。空気室高さは5mと設定し、着底式構造物であることから、水深は装置の喫水と同じ4.1mとした。波周期は実海域を想定し入射波は3.0～13.0秒とした。

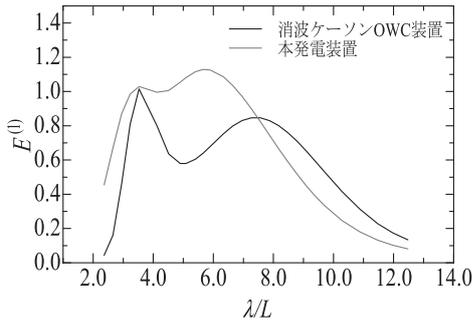
図一10に空気室内部圧力を、図一11に一次変換係数を示す。横軸は波長λを装置の全長L(10.0m)で無次元化した。図一10及び11の結果から、有孔ケーソンに設置した本発電装置は、二山型の応答を示し、多重共振系を形成していることが示唆される。また、短周期帯で通常の本発電装置より、内部圧力及び変換係数ともやや低い値を示した。長周期帯では、通常本発電装置よりもやや大きな値となった。短い周期帯においては、消波孔による渦の影響で波エネルギーロスが生じているためだと思われる。本来、有孔ケーソンは、3～5秒の短い周期帯の航走波などによる反射波に対して、最も有効に作用するように設計されていることから、この結果は妥当である。

一方、長い周期帯では、この消波ケーソン装置の固有周期が長周期側にシフトしているため、通常本発電装置より変換係数が向上している。

なお、7～8秒の長周期帯でのエネルギーロスは



図一10 空気室内部圧力



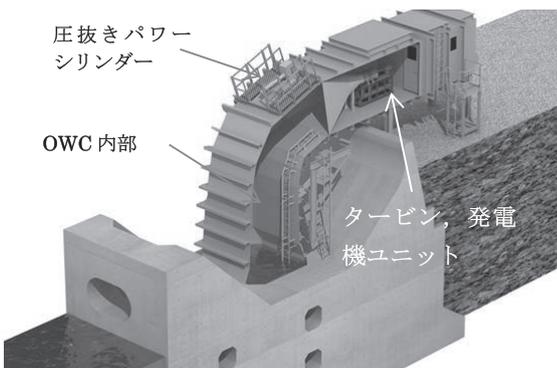
図一11 一次変換係数

20%前後であると想定される。

7. 有孔ケーソンを利用した装置の構造概要

上記を踏まえ、実際に酒田港で実験を行う場合の波力発電装置の設計を行った。構造概要を図一12に示す。発電装置の構造決定については、OWC内圧（波浪による）、風荷重、地震時慣性力を考慮し決定した。設計における詳留意点は以下の通りである。

- ①既設ケーソン（有孔ケーソン）の安全性
既設構造物への重量物搭載影響の照査
- ②本体鋼構造部の設計
鋼構造物の耐力照査
- ③カットオフ機構（安全装置）
圧抜き機構、回転ブレーキの設定



図一12 発電装置構造図

- ④タービン設計及び発電設備検討
タービン出力の検証，発電出力の想定
- ⑤現地架設方法の検討
- ⑥計測項目及び計測方法（適切な計測機器配置）

8. 酒田港における建造状況

平成14年12月より、酒田港において設置工事を実施している。ユニットは、富山の鉄構メーカーで7ブロックに分割製作し、大型トレーラーで現地に搬入し、順番に接合し設置工事を行った。

写真一2に現地の施工状況を示す。鋼殻ブロック基部から順番にブロックを積み上げ、最後に機械室、電気室を設置する。施工途中、日本海に停滞した大型低気圧による荒天に遭遇し、1週間工事を中断せざるを得なかったが、設置開始から、約14日間で無事設置を完了した（写真一3）。



写真一2 発電装置設置状況（H26年12月）



写真一3 発電装置設置完了（H26年12月11日）

躯体完成後にタービン、発電機制御設備の整備を行い、平成 27 年 1 月の調整運転に向けて準備中である。

9. おわりに

- ①発電装置を防波堤や護岸に単独で設置する場合、背後の防波堤や護岸の壁の反射波の影響で一次変換係数が低下する波周期帯が存在する。
- ②一次変換係数低下の対策として、消波工の設置が有効であるが、発電コストの増大に直結するため、発電装置を連続的に設置する場合の端部対策として有効である。
- ③酒田港の消波ケーソン（有孔ケーソン）に本発電装置 PW-OWC を想定した発電装置を設置する方策を提案した。
- ④有孔ケーソンを利用した本発電装置 PW-OWC は、ケーソンの消波孔の影響を受けて短周期帯で効率が若干低下する傾向が見られた。
- ⑤有孔ケーソンの一次変換におけるエネルギーロスについては、7～8 秒の長周期帯でのエネルギーロスは 20%前後である。
- ⑥平成 27 年 1 月発電開始予定である。

謝 辞

本研究の成果は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と冒頭記載の 2 社を含む 8 者の共同研究成果であり、(独)海洋研究開発機構 大澤弘敬氏、宮崎剛氏、(独)港湾空港技術研究所 下迫健一郎氏、日本大学 居駒知樹准教授、国立大学法人佐賀大学 永田修一教授、(株)本間組 笹木隆行氏、エイ・エス・アイ総研(株) 太田豊彦氏、三菱重工鉄構エンジニアリング(株) 細川恭史氏には多大な尽力を頂いた。ここに敬

意を表しお礼を申し上げる。

《参考文献》

- 1) 木原一禎, 細川恭史, 大澤弘敬, 下迫健一郎, 増田光一, 永田修一, 田口裕之: 空気タービン式波力発電装置の開発 沿岸域学会 研究討論会論文集, JULY, 2013
- 2) 高橋重雄, 安達宗, 中田博昭, 大根田秀明, 加藤久雄, 鹿籠雅純: 波力発電ケーソン防波堤の現地実証実験における観測データの解析結果, 港湾技術研究所報告 Vol.31 No.2, Jun, pp 21-54, 1992
- 3) 大澤弘敬, 鷲尾幸久, 宮崎剛, 堀田平, 宮崎武晃 (JAMSTEC): 波浪エネルギー利用技術の研究開発—沖合浮体式波力装置「マイティールホール」の開発—, 海洋科学技術センター, 2004
- 4) 海洋科学技術センター監修: 振動水柱型波力装置の技術マニュアル, 2004
- 5) 宮崎 剛, 大澤弘敬, 松浦 正己, 増田 光一, 居駒 知樹, 大森光, 木原 一禎, 金谷 泰邦: プロジェクティングウォール付振動水柱型波力発電装置の一次変換性能に関する検討, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 14 号, pp.337-340, 2013.
- 6) 大森光: OWC 型波エネルギー変換装置のプロジェクティングウォール効果に関する研究 日本大学理工学部修士論文, 2012

JCMMA

【筆者紹介】



木原 一禎 (きはら かずよし)
三菱重工鉄構エンジニアリング(株)



金谷 泰邦 (かなや やすくに)
東亜建設工業(株)



増田 光一 (ますだ こういち)
日本大学 理工学部

水中浮遊式海流発電システム

長 屋 茂 樹

持続可能なエネルギー供給や温室効果ガスの排出削減のために、黒潮に代表される海流を海洋再生可能エネルギーとして有効に利用することを目指して開発している、水中浮遊式海流発電システムの特長について紹介する。

キーワード：海洋再生可能エネルギー、黒潮、海洋構造物、タービン、浮体

1. はじめに

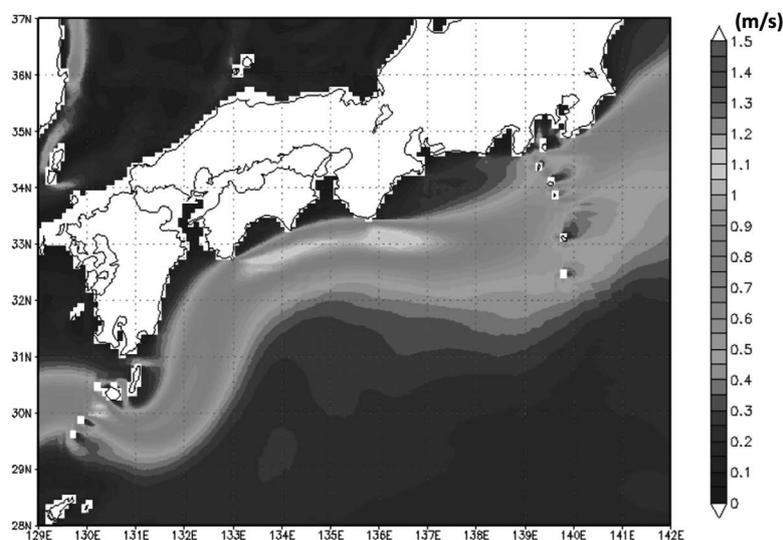
我が国が有する排他的経済水域(Exclusive Economic Zone, 以下 EEZ という)と領海は世界第6位の広さを誇り、この海域における海洋再生可能エネルギーの利用は、温室効果ガスの排出抑制や、エネルギー安全保障の面からも積極的な推進が求められている¹⁾。海洋再生可能エネルギーを利用した主な発電方法としては、①風力発電を沿岸や沖合で行う洋上風力発電、②波の上下に伴う運動エネルギーや位置エネルギーを電力に変換する波力発電、③潮の満ち引きによる流れが海峡などで速い流れとなるのを利用する潮流発電、④大洋を一定方向に流れる暖流や寒流の流れを利用する海流発電、⑤低緯度海域表層の温水を利用して沸点の低い媒体を気化させた蒸気でタービンを回して発電し、深層の冷水で蒸気を液化して再利用する海洋温度

差発電、⑥潮位差による位置エネルギーを電力に変換する潮汐発電等がある。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下 NEDO という)の調査では、日本の領海・EEZ には膨大な海洋再生可能エネルギーが賦存しており、そこから大きな電力の抽出が見込まれることが報告されている²⁾。一方、欧米や韓国、中国、豪州などでも、主として波力や潮流から発電する大型のデバイスの開発が盛んであり、実用化に近づいている¹⁾。

これを受け、NEDO による2011年度からの5ヵ年プロジェクトとして、海洋再生可能エネルギーからの発電デバイスの開発を推進する「海洋エネルギー技術研究開発」公募事業が実施されており、波力発電、潮流発電、海洋温度差発電、海流発電を対象としてさまざまな形式の発電デバイスの開発が行われている。

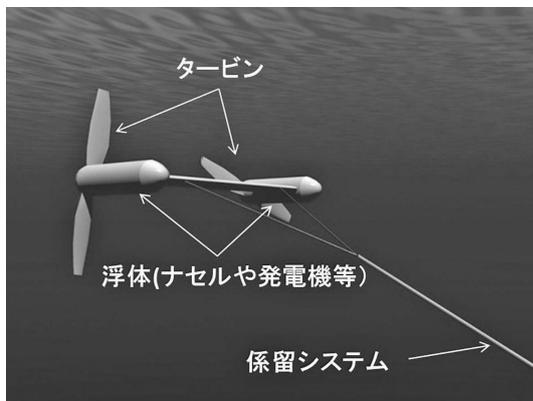
これらの海洋再生可能エネルギーの中でも、日本の



図一 黒潮流速予測例 (1992～2008年の平均, JCOPE2による再解析³⁾)

南岸を流れる黒潮（図—1）に代表される海流は、年間を通じて安定して流れているため、この巨大なエネルギーを利用することにより、我が国の自然エネルギーを利用したクリーンな安定電源を新たに構築することができる」と期待される。

筆者らは、この海流エネルギーを有効かつ経済的に利用するべく、水中浮遊方式の海流発電システム（図—2）の要素技術を開発することを目標として、前述のNEDOプロジェクトの委託先として、(株)IHI、(株)東芝、東京大学新領域創成科学研究科、(株)三井物産戦略研究所と共同研究コンソーシアムを組んで研究開発を実施している。本稿では、その技術的特徴について紹介する。

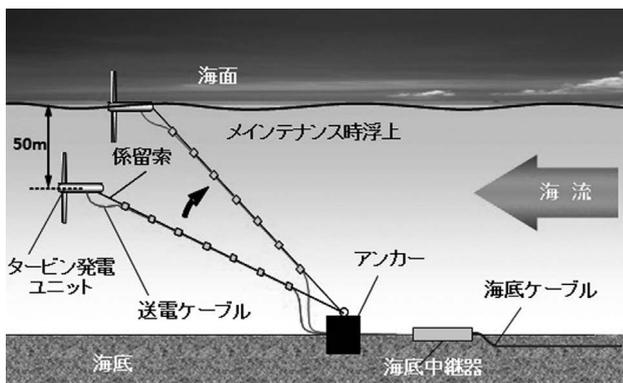


図—2 水中浮遊式海流発電装置

2. 水中浮遊式海流発電システムの特徴

本システムは以下の優れた特徴を有する³⁾。

- ①昼夜や季節による流れの速さ・向きの変動が少ない安定した海流エネルギーを、長期かつ連続的に利用できることから、高い設備利用率での発電が可能で、ベース電源として大きな発電電力量が期待できる。
- ②発電装置を海底から係留し、海中に浮遊させることで（図—3）、黒潮が流れるような水深200～1000mにおよぶ外洋の大水深域での設置にも対応



図—3 水中浮遊式海流発電システム 概念図

できるため、設置可能海域を広く取ることができ、多数の発電装置を設置する大規模発電ファームの展開が可能である。このことは陸域への送電に伴うコストを相対的に低下させることに有効である。

また、すべて海中にあるため波浪の影響を受けずに安定した水深での運用が可能となり、船舶の航行にも支障を及ぼさない。さらに簡便な係留が可能となることから設置が容易であることも、コスト低減に寄与する。

- ③互いに逆回転する水中タービンを連結することでタービンの回転に伴う回転トルクを相殺でき、海中で安定した姿勢を保持して効率的な発電が可能である。

- ④保守整備時には、タービンの向きと浮力を調整することで、必要に応じて海上に浮上させることができるため、メンテナンスや修理が容易である。

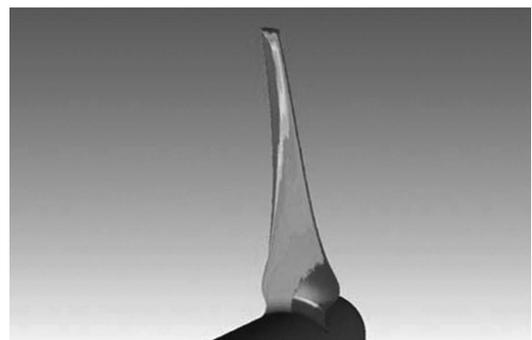
これらの特徴を生かして、本公募事業の設定目標である、他の発電方式とも発電コストで比肩し得る発電単価20円/kWhを達成可能な発電システムの実現を目指している。

以下にこの発電システムの実現のために必要な要素技術について述べる。

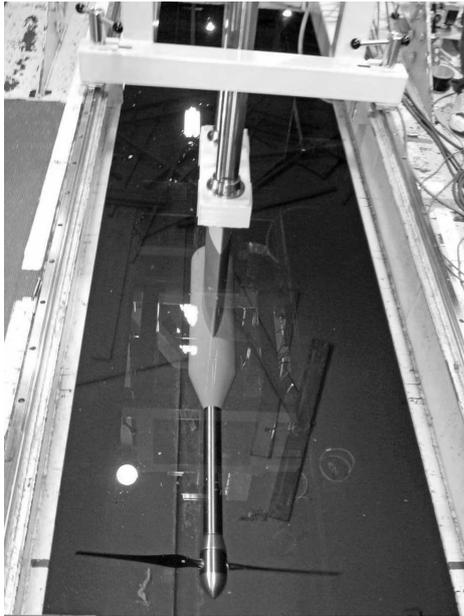
(1) タービンの開発

黒潮の流れは速い箇所でも平均流速が約1.5m/sであり、このような比較的ゆっくりとした流速から大きな電力を生み出すには、大口径かつできるだけ高速に回転する水中タービンの開発が必要である。本システムでは、大型風力発電のような水平軸揚力型タービンを用い、大型化により発電コスト低減がなされるように定格出力1MWの大型タービンを想定しており、その直径は約40mに達する。

タービンが発電を開始する低い流速から、最大流速までの幅広い運転状態において発電効率の高い水中タービンの開発には、タービン翼が発生するトルクや反力等の流体性能を正確に把握する必要があり、



図—4 タービン翼に作用する圧力分布解析例



図一五 曳航水槽でのタービン性能試験

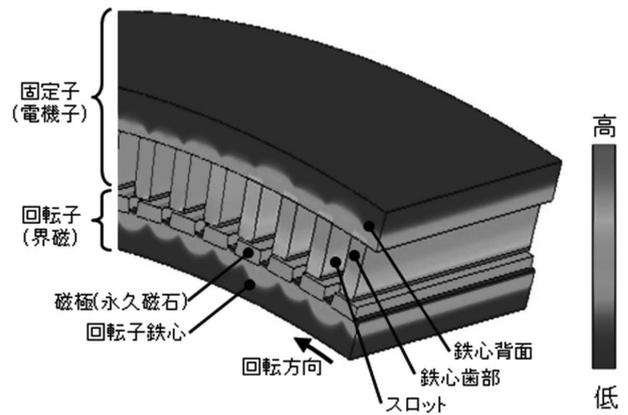
CFD（数値流体力学）による解析（図一四）と模型翼を用いた水槽試験（図一五）によって検証している⁴⁾。

また、直径約 40 m に達する水中タービン翼の実現には、翼に作用する荷重を精度よく推定し、それに耐える構造・材料の選定が重要となる。現在、変動荷重の設定と疲労強度評価、海水腐食環境下での耐久性を確保した高信頼性・低コストの大型翼構造・製造プロセス技術の開発と設計基準の作成を行っている。

(2) 発電機の開発

海流発電システムは、水面下約 50 m の海水中に発電機を設置することを想定している。発電単価低減のためにはメンテナンスの回数を抑制し運転コストを低減する必要があるが、風力発電システムで用いられているタービンと発電機の間增速ギアを入れる方式では、定期的なメンテナンスが必要であり、また、潤滑油による海洋汚染のリスクもあるため、海流発電システムではダイレクトドライブ方式の永久磁石発電機の開発を進めている⁵⁾。

しかし、海流の流速は遅く、一般的な風力発電機の約半分の定格回転数となり、発電機の大型化や重量増加が課題となる。また、発電機の高効率化には、低速回転の永久磁石発電機では電氣的損失の大半を占める固定子コイルで発生する銅損の低減が必要となるが、固定子コイルの断面積を増加し銅損を低減すると、固定子鉄心の磁束密度が高くなり鉄損が増加するなど、損失の低減は容易ではない。このような課題に対して、電磁界解析により回転子径や鉄心軸長等の基本寸法と磁極数、固定子スロット数、固定子コイル寸



図一六 発電機磁束密度分布

法などを最適化して、発電機の小型化と効率向上を達成した⁶⁾（図一六）。

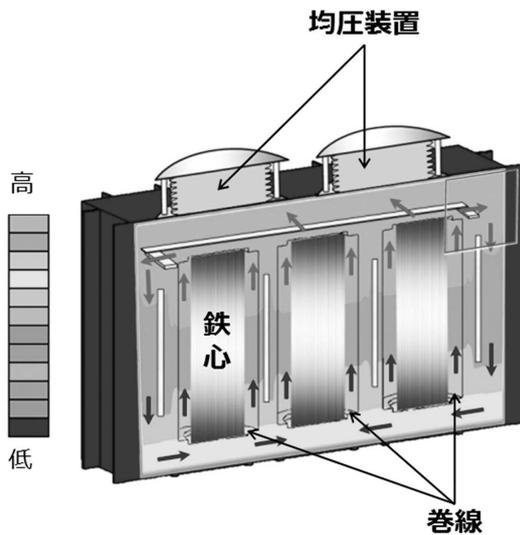
今後、製造性を含めた発電機構造の設計検討を進めるとともに、更なる小型化と高効率化を目指した設計検討を進めていく予定である。

(3) 送変電システムの開発

海流発電システムではナセル内で発電した電力を係留索に沿わせた電力ケーブルにて海底（200～1000 m）に送り、そこから陸上まで送電する。送電距離が長い場合には、変電所にて電圧を上げることで効率よく電力を送電することができるが、洋上風力のように海上に変電所を設置すると、海底から海上まで往復するケーブルで送電ロスが発生し、送電効率が悪化する。

そこで、海流発電システムでは変電所を海底に設置する海底変電所の開発を進めている。海底に変電所を設置することにより海底から海上への送電ロスがなくなるとともに、海上に変電所を設置するためのプラットフォーム建設も不要となるためトータル建設コストの削減が期待できる。

しかし、海底変電所は、高い水圧下に設置するためメンテナンスを頻繁に行うことが困難となる等、陸上設置の送変電機器と大きく構造が異なってくる。海底設置型の変圧器を考えた場合、ファンの停止による冷却不全などのリスク低減のための自然循環型冷却方式の採用が求められるが、筐体内外に冷却フィンを採用することにより所定の油温に保つ冷却性能を確保して、自然循環型冷却方式の成立性を確認している（図一七）。また、比較的容易に高水圧に対応するため、絶縁油と海水間の圧力を均圧する均圧装置を設置し、均圧装置の容積変化により圧力変化に追従することで、変圧器を陸上設置型と同様の筐体構成にすることが可能となった。今後は均圧装置や海中でケーブルと



図一七 海底設置型変圧器内の温度分布解析事例

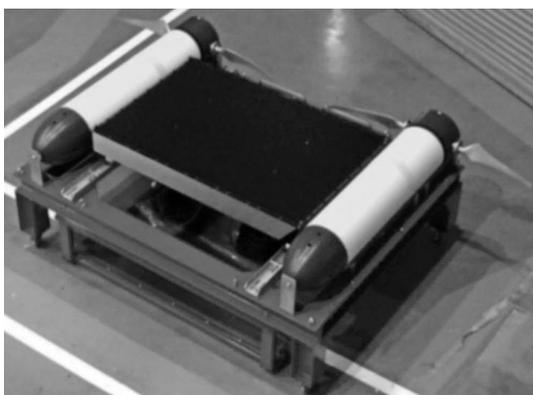
タンク間を接続する水中コネクタ、海底設置型の開閉器等の検討を進めていく予定である。

(4) 浮体・係留システムの開発

水中浮遊式海流発電システムは、黒潮が流れる大水深域でも設置が可能となるように、海底から係留索を伸ばし、その先にタービン発電装置を取り付けて、あたかも海中で風のように浮遊させて運用することを特徴とする。

本システムの運用時には、海面→水中に潜行→浮遊・発電→停止→浮上という状態変化が発生するが、どの状態にあっても安定性を確保する必要がある。そのためには、浮体安定性への影響を考慮した搭載機器の最適配置・形状の選定や、タービン翼の揚力などの下流方向への流体力、係留索の張力と浮力も含めたバランスの制御が非常に重要となる。

これらの要素が浮体運動へ及ぼす影響を評価するための浮体運動シミュレーションや模型水槽試験（図一8）によって、深度および姿勢安定性の確保のための



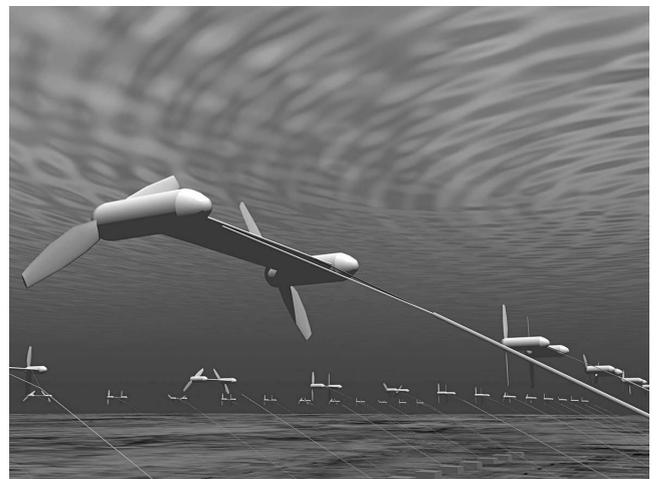
図一八 1/25スケール実験機

制御性検討や、スケールの異なる渦が海域を通過することによる浮体安定性への影響評価、故障発生等の非常時における安全性確保などの検討を行っている⁷⁾。

また、水深の変化に対応可能な耐圧構造の検討や、大きな張力に耐える高強度係留索、海底に設置するアンカー（錨）についても、本システムに適したものの選定が重要である。

(5) 海流の特性把握と事業性評価の実施

本システムの開発では、初期段階から海流発電による事業の成立性を考慮して技術開発を行っている。海流発電の事業性は、エネルギー源となる海流の流れの特性に大きく左右されるため、流れの把握が非常に重要となる。流れの特性把握は、海流の数値予測やADCP（超音波ドップラー式流速分布計測計）等を用いた海流実測によって実施している。これらの情報から発電量や浮体安定性を推定し、それに基づいて発電装置の設計仕様やコスト試算を行うことで事業性の評価を行っている。水中浮遊式海流発電システムは、その特徴を生かして大規模発電ファーム（図一9）を展開することで、目標発電単価を十分に達成可能と試算している。



図一九 大規模海流発電ファーム イメージ

3. おわりに

四方を海に囲まれた我が国にとって、海洋は資源やエネルギーが非常に豊富な、今後も挑みつづけるべきフロンティアである。その中で海洋再生可能エネルギーの利用は、将来の国産エネルギー源の選択肢の一つとして有望であるとの認識が高まってきている。しかしながら、技術開発は世界的にも端緒についたばかりであり、まだ成熟していない。海洋再生可能エネルギーが他の電源と比べても経済性の面でも遜色の無い

選択肢となるためには、大出力で効率の高い機器装置の開発だけでなく、海洋環境下での長期信頼性・耐久性・安全性の確保や、設置・メンテナンスのコスト低減など、克服しなくてはならない課題はまだ多いのが現状である。

その中で水中浮遊式海流発電システムは、1) 設置海域を選ばない低コストの浮体係留方法、2) 高い設備利用率をもたらす海流エネルギーと高効率の水中タービン発電装置によって、基幹電源の役割を担うことが可能な新しい発電技術である。今後は2015年までに本稿に挙げた要素技術の開発を行った後、実証機による発電実証実験を目指している。

謝 辞

本稿はNEDOから受託したプロジェクト「風力等自然エネルギー技術研究開発／海洋エネルギー技術研究開発／次世代海洋エネルギー発電技術研究開発（水中浮遊式海流発電）」の成果に基づいてまとめたものである。関係各位に感謝する。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：“NEDO 再生可能エネルギー技術白書 ―新たなエネルギー社会の実現に向けて―”，(2010)
- 2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：“風力等自然エネルギー技術研究開発／洋上風力発電等技術研究開発／海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務報告書”，(2011)
- 3) K. Takagi, T. Waseda, S. Nagaya, Y. Niizeki and Y. Oda: “Development of a Floating Current Turbine”, Proc. of OCEANS MTS/IEEE 2012, Hampton Roads, Virginia, USA, (2012)
- 4) 久保, 中村一, 中村高, 長屋：“海流発電用タービン翼の開発”，第69回ターボ機械協会総会講演会論文集，(2013)
- 5) 加幡, 久保, 上田, 「海流エネルギーを利用した水中浮遊式発電システム」, 東芝レビュー, Vol.68, No.6 (2013), pp36-39.
- 6) 長屋, 加幡「海流発電の最新動向」, 電気学会誌, Vol.134, No.6 (2014), pp346-349.
- 7) T. Gonoji, K. Takagi and K. Takeda: “Motion of Twin type Ocean Current Turbine at the time of startup and accident”, Proc. of OCEANS MTS/IEEE 2013, San Diego, California, USA, (2013)

【筆者紹介】

長屋 茂樹 (ながや しげき)

(株) IHI

技術開発本部 総合開発センター 機械技術開発部
課長



南あわじ太陽熱バイナリー発電 実証設備が稼動開始

沖田 信雄・小山 充彦・西村 和真

昨今の地球温暖化防止や化石代替エネルギーの推進に伴い、風車、太陽光、太陽熱、バイオマスなど各種再生可能エネルギーの開発が国内外で進められている。一方で、導入が進む再生可能エネルギーの電力変動が最近の課題となっている。また、地域によって間伐材や竹の廃材が再利用を求められている。

今般、環境省の補助事業として、太陽熱とバイオマスボイラーを組み合わせたバイナリー発電の実証試験設備を南あわじ市に建設する提案が2012年に採択され、その後、工事計画を届け出し、2013年9月に着工、2014年8月から本格稼動したので、その特徴及び据付試運転内容について報告する。

キーワード：再生可能エネルギー、太陽熱、バイオマス、バイナリー発電、熱媒油、低沸点媒体、パラボラ・トラフ型、集熱管、チップ、ペレット

1. はじめに

我が国は燃料自給率が低く、地球温暖化防止の観点からも化石燃料に代わる二酸化炭素を発生しない代替エネルギーとして、再生可能エネルギーの開発・導入が進められている。

2012年に環境省の補助事業として「地球温暖化対策技術開発・実証研究事業」の公募があり、兵庫県淡路島が「あわじ環境未来島地域活性化総合特区」であったため、県や市のバックアップを受け、太陽熱とバイオマスを組み合わせて、低沸点媒体の蒸気でタービンを回して発電するバイナリー発電サイクルを提案して、2012年末に採択された。開発・試験期間は2014年度末までの約2年3ヶ月である。

太陽熱発電は太陽光発電(PV)と異なり、電気事業法に記載がないため、2013年後半にようやく分割申請で工事計画が受理され、その後順次着工して2014年8月から本格稼動を開始した。

本稿では、南あわじ太陽熱バイナリー発電設備の特徴を述べるとともに、据付・試運転の概要を報告する。

2. 試験設備の構成と特徴

(1) 全体システムの構成

図1に全体システムの構成を示す。太陽熱集熱装置で集めた熱は、蒸気発生器で熱交換して蒸気を生成し、バイナリー発電機で発電する。また、太陽熱装

置と併設したバイオマスボイラーからも蒸気を供給できるように構成している。燃料は淡路島で不要となっている竹チップや木質ペレット等を使って燃焼試験を行う。

特徴の一つは太陽熱を吸収する熱媒油と、水・蒸気と、低沸点媒体からなる発電サイクルであり、さらに発電と熱供給もできるようになっていることである。

バイオマスボイラー、バイナリー発電装置と太陽熱サイクルを分担して、高効率のバイナリー発電ユニットの開発と世界最大級と最小級の太陽熱集熱装置を採用した。

また、試験用の電気を受電するため、風車の送電ライン(22kV特別高圧)から試験所まで約900mの配電線を引いて電柱・電線や変圧器などの高圧受電設備を設置した。

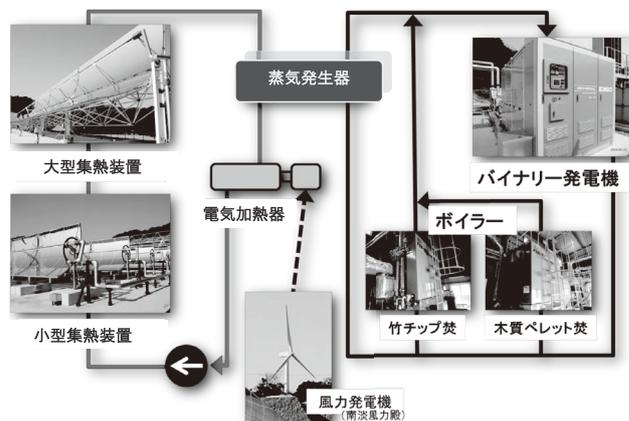


図1 全体システムの構成

(2) 太陽熱装置の特徴

本試験設備では、実績が多数あるパラボラ・トラフ型¹⁾を採用し、大型と小型の集熱装置を2種選択した。熱媒体には熱媒油を使用して太陽熱を集め、蒸気発生器で熱交換して、バイナリー設備へ蒸気を供給する。この熱媒油は油移送ポンプにて16基ずつ4列に並ぶ小型トラフを通り、次に6基1列の大型トラフで更に温度を上げ蒸気発生器へと循環運転される。

本設備には試験のため蒸気発生器と並列に空気式冷却器を設置し、太陽熱集熱装置単独でも各種試験が出来る様な構成となっている。また、設備起動時の熱媒油の温度を規定温度まで昇温するためと風力発電から取り除いた短周期電力分を熱媒油に熱として取り込むために、蒸気発生器出口に電気加熱器が設置されている(図-1)。

(3) バイオマスバイナリー発電の特徴

バイナリー発電装置は加熱源により沸点の低い作動媒体を加熱、蒸発させてその蒸気でタービンを回して発電する装置であり、水蒸気の熱を加熱源として発電する。使用する水蒸気の温度は110℃～130℃で、これまで未利用であった低位熱を利用することができる。本試験設備では、太陽熱で加熱された熱媒油の熱、およびバイオマス燃料を燃焼させた熱から水蒸気を生成し、最大70kWまで発電できるように設計している。また、発電後の高温蒸気ドレン水を利用して、間接熱交換器を通じて模擬温浴槽の水を温めることができる。

バイオマスボイラーは、チップを燃料とするボイラーとペレットを燃料とするボイラーの2基を準備し

た。毎時80kg程度の竹や間伐材由来の燃料を消費し、各々毎時400kg程度の水蒸気を発生させることができる。

3. 据付工事

(1) 太陽熱装置の据付

まず、太陽熱集熱装置の据付の基準となる柱の位置を敷地基準点から計測し基礎の位置を決定し、太陽熱集熱装置の組立に当たっては、組立マニュアルをベースに試行錯誤しながら独自で組立を進めた。

小型集熱装置の組立状況を写真-1に示す。小型集熱装置はまず反射パネルを組み、次にフレームで枠を押さえ1基ずつ組み合わせてから柱に取り付けていった。1列に16基の反射パネルを並べて設置するが、5ヶ所にパネル駆動用の歯車を取り付けながら全体を組み立てた。

一方大型集熱装置の組立は、集熱パネルも一段と大きくなることから、フレームを地上で組み上げ、1基ずつクレーンでつり上げながら最後の組み付け後に、柱に取り付けていった。写真-2に大型集熱装置の組立状況を示す。全体のフレームが全て柱に固定された後、最後に反射パネルを下からはめ込んでいった。上反面のパネルはフレーム全体を反転して全ての反射パネルを取り付けた。

大型集熱装置はパネルが立ち上がると9m前後の高さになるが、軽量に製作されているためつり上げての作業では重量というより風の影響に注意しながらの作業が続いた。



写真-1 小型集熱装置の組立



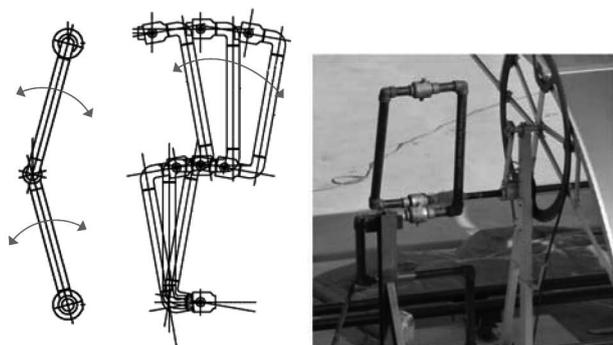
写真-2 大型集熱装置の組立

次に、大型・小型の反射パネルを組み立てた後、集熱管を取り付けた。

集熱管には反射パネルからの太陽光が集まり、内部を熱媒油が流れ計画温度 300℃程度までになるため、集熱管は集熱が進むにつれ温度上昇し熱膨張で長手方向に伸びる。

一方集熱装置は運転中太陽を追尾して動くため、地上に固定された熱媒油の配管と集熱パネルと共に動く集熱管と接続するには、集熱管軸周りに回転する動きと集熱管長手方向に熱伸びする動きを吸収しなくてはならない。そこで、集熱管は地上配管との接続部に両方の動きを吸収するためにそれぞれ3個の球形継ぎ手(ボールジョイント)が取り付けられている。図一2に集熱装置の球形継ぎ手の動きと写真を示す。

また、本設備の集熱管は直線で70mほどになるため複数の集熱管を真直ぐに溶接しながら接続して行かなくてはならない。これは集熱管のセンターがずれる



図一2 集熱装置の球形継ぎ手

と太陽追尾動作の時にスムーズに動作せず集熱管が振れ廻ることになり、集熱特性や機器の破損などに繋がるため、最後の集熱管取付には細心の注意が必要であった。

(2) バイナリー発電装置の据付

バイナリー発電装置の据付状況を写真一3に示す。バイナリー発電装置は、W2,250 mm × H2,379 mmのサイズに抑えたコンパクトユニットになっており、トラックでの輸送が可能で、配管取合いは蒸気と冷却水の出入口のみとなっており、現地施工を極力少なくした設計である。また、周辺装置もユニット化し、基本的に、搬入して据えつけるのみの工程で作業完了、その後現地で連絡配管を施工した。

(3) バイオマスボイラーの据付

バイオマスボイラーの据付、ボイラー建屋の建設状況を写真一4に示す。バイオマスボイラーは、装置の高さ、幅が大きく、そのままでは搬入できないため、分割して搬入した。ただ、分割を考慮された設計になっているため、最小の分割点数で搬入し据付けた。

また、燃料を湿らせない、燃焼器や缶体を冷やさない、雨天時でも運転するために、バイオマスボイラーの建屋を建築した。建屋は、建築基準法に従い建築し、バイオマスボイラーへ燃料を供給しやすくするため、ホイストクレーンを取り付けてある。サイロ投入口の位置関係から、適切な建屋の大きさを設計した。



写真一3 バイナリー発電装置の据付



写真一4 ボイラー据付, 建屋建設

4. 耐圧力検査と油張り

(1) 系統内圧力検査とフラッシング

各機器の組立、据付を終えると、系統内の耐圧力検査の実施と、系統内へ熱媒油や低沸点媒体を受け入れる前に系統内の清掃のためにフラッシングを実施した。

太陽熱系統で使用する熱媒油は消防法で規定する第4類第4石油類に該当するため、少量危険物貯蔵届出が必要であり、耐圧力検査は南あわじ市の条例に従い、最高使用圧力の1.5倍の空気圧で実施した。一方、バイナリー発電設備は、電気事業法に従って、最高使用圧力の1.25倍以上の空気圧で実施した。

また、耐圧力検査合格後に系統内のフラッシングを実施したが、熱媒油系統は系統内のゴミを取り除き水分を除去しないと、集熱運転で熱媒油が高温になった時点で残存水分が蒸気となり急激な体積膨張で機器の破損などの事故に繋がるため、加熱空気によるブローを実施した。加熱ブローの実施に当たっては、本設備に常設している電気加熱器を使用して空気を加熱し、仮設の空気圧縮機でブローする方法を採った。

(2) 熱媒油の系統内張り込み

系統内のフラッシングが終了したことを受け、機器の試運転に先立ち太陽熱系統への熱媒油の張り込みとバイナリー発電系統へ低沸点媒体をそれぞれ受け入れた。

太陽熱系統の熱媒油に先の水分と共に空気が残ったままになることは、水分と同じく集熱運転時の高温時に温度上昇で急激に体積膨張することから、熱媒油張り込み中に、時間を掛け循環運転を続けながらベント弁を開けて少しずつ系統内の残存空気を抜き取った。

そして、膨張タンクの液面の変化なども合わせ監視しながら、空気が抜けたことを確認して加熱運転に入った。

5. 試運転の概要

据付および各種検査を終え、いよいよ試運転に入った。ここではその一例として、発電運転および太陽熱とバイオマスによる複合運転の概要を示す。

(1) 発電運転

ボイラーの2基の蒸気を使用して、蒸気バイナリー発電機の運転を実施した。図-3に、発電運転におけるバイオマスボイラーの蒸気量と発電出力の推移を示す。

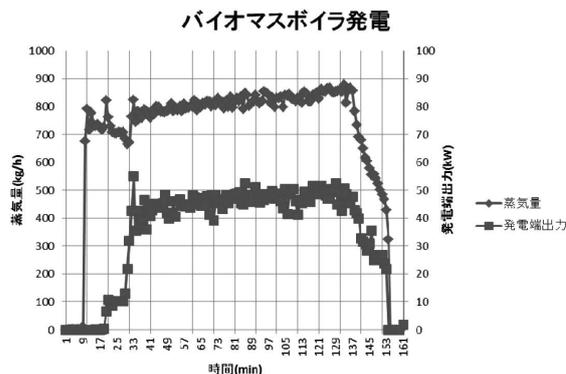


図-3 発電運転の一例

バイオマスボイラーが定格状態になったのを確認してから、蒸気バイナリー発電機を起動。発電機内の機器を暖める準備運転を行い、その後徐々にタービンにも低沸点媒体を流し始め、蒸気量に応じた発電運転に移行する。

発電出力は、蒸気量の増減に対応し増減する。蒸気量、発電量が安定していることを確認した。

(2) 太陽熱とバイオマスによる複合試験

太陽熱とバイオマスを組み合わせた試験を、複数のパターンで実施しており、図-4にその一例を示す。太陽熱集熱装置を起動して太陽熱収集を開始すると同時に、ペレットボイラーを起動し蒸気を生成し、バイナリー発電装置を起動した。太陽位置の変化や雲がかかることによる日射量の変化に応じて、バイオマスボイラーの出力を変動させ、発電出力を50 kW程度に安定して取り出すことができた。

今後はさらに、熱を供給しながらの複合運転や、風車からの変動電力を吸収する組み合わせ運転を行う予定である。

6. おわりに

本試験設備は環境省の補助事業で、平成26年度末で一旦終了するが、これまでの工事計画、据付、試運転で、再生可能エネルギーである太陽熱とバイオマスバイナリー発電の組合せの有効性を実証中である。

太陽熱は、太陽光発電(PV)と異なり、雲で太陽光が遮られてもすぐには出力ゼロにはならない³⁾。また、発電だけでなく、熱利用もできる点が強みでもある³⁾。さらに、バイオマスボイラーと組み合わせることで、負荷変動を補い、熱電併給もできる。

バイオマスボイラーは、再生可能エネルギーの中でも安定した運転ができ、地産・地消で不要となっているバイオマス燃料を利用できる。

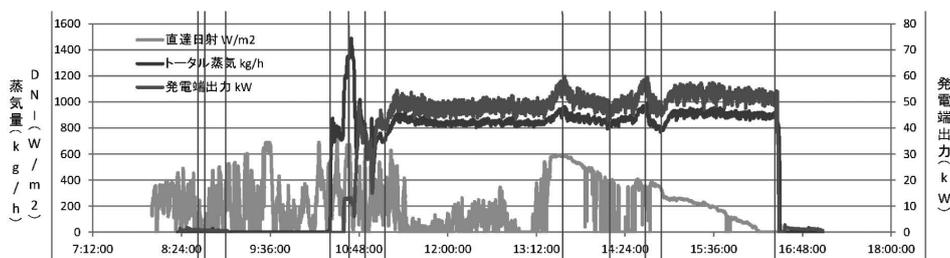


図-4 複合発電試験の一例

今後の試験の中で、太陽熱とバイオマスボイラーの複合運転、熱供給の有効性や季節変化に対する集熱特性を検証する予定である。

本設備での試験結果により、日照の比較的弱い日本においても太陽熱とバイオマスバイナリー発電の有効性が示され、今後の再生可能エネルギーの選択肢として、燃料の収集から熱電併給までを、地産・地消で活用されることを期待する。

謝 辞

本研究の実施にあたり、兵庫県と南あわじ市から「あわじ環境未来島地域活性化総合特区」の一環として、候補地の調査や地元のご協力・ご理解に対して支援を受けた。また、本研究に関して、環境省の「地球温暖化対策技術開発・実証研究事業」の補助金を受けた。付記して謝意を表する。



《参考文献》

- 1) 渡辺, 沖田 「5. 再生可能エネルギーの導入 5-2 太陽エネルギー」, 火力原子力発電, No.673 Vol.63, 2012-10
- 2) 吉村省二 「スクリュウ圧縮機用歯形の研究」, 日本機械学会論文集 64巻 627号 C編 (1998) p.4380-4387
- 3) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 「第5章 太陽熱発電・太陽熱利用」, NEDO 再生可能エネルギー技術白書 (第2版), 2013-12

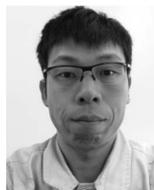
【筆者紹介】



沖田 信雄(おきた のぶお)
 (株)東芝 電力システム社
 火力プラント技術部
 主幹



小山 充彦(こやま みつひこ)
 (株)東芝 電力システム社
 南あわじ太陽熱バイナリー発電試験所
 所長



西村 和真(にしむら かずまさ)
 (株)神戸製鋼所
 南あわじ太陽熱バイナリー発電試験所
 副所長

温泉バイナリー発電の試み

秋田 涼子

地熱発電の開発の試みとして、温泉地での活用が注目されているバイナリー発電について、現状と課題、今後の可能性について考察する。

キーワード：再生可能エネルギー、地熱発電、バイナリー発電、温泉バイナリー

1. バイナリー発電について

(1) バイナリー発電の特徴

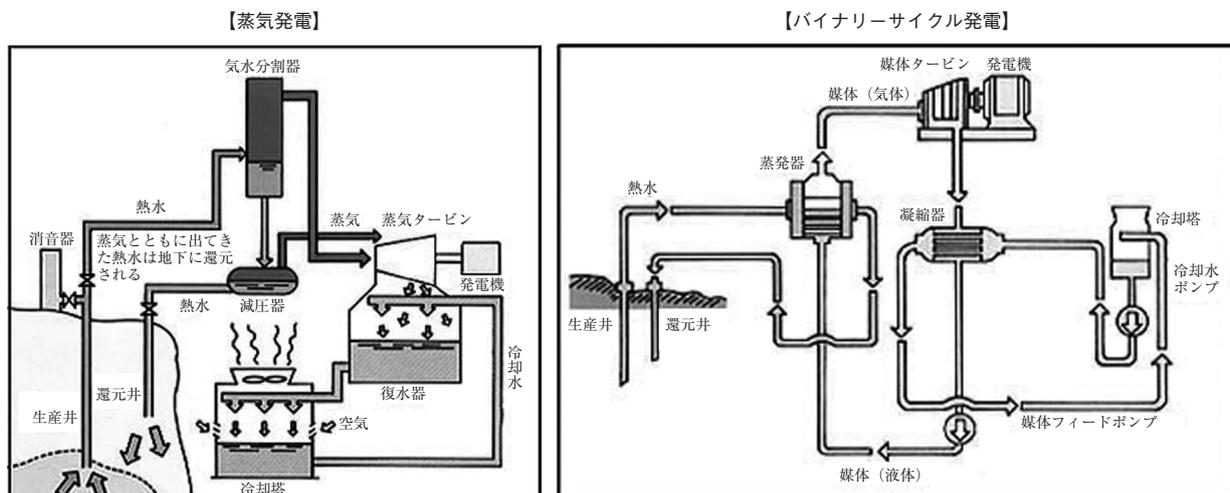
地熱発電は地下 1000 ～ 3000 m 程度の場所にある高い温度の熱水や蒸気が溜まっている地熱貯留層に向けて井戸を掘る。地下の熱水は地中の圧力がかかっているために、沸点が高くなっており、200℃以上であっても蒸気になっていない。この熱水が井戸を上昇する間に沸騰して発生する蒸気を気水分離器（セパレーター）によって蒸気と熱水に分離し、蒸気でタービンを回すという仕組みが基本である（シングルフラッシュ方式という）。蒸気でタービンを回して発電機で電気を起こすという点は、火力発電や原子力発電の仕組みと同じである。

最近、従来発電に利用されてこなかった温度帯の高温熱水の発電利用への道が大きく展開している。それは高温熱水を用いて、水より沸騰温度が低い媒体（例：

ペンタンやアンモニアなど）を加熱し、これによって作られた高圧の蒸気によりタービンを回して発電を行うバイナリー発電という仕組みである。我が国でも、九州電力八丁原発電所に設備 2000 kW の熱交換媒体としてペンタンを使ったバイナリー発電システムがある（熱源としてはタービンに導入できない圧力の低い蒸気を活用）。

(2) バイナリー発電のメリット

バイナリー発電のメリットは、低温でも発電できることである。従来の地熱発電より浅い熱源を利用できることから、その探査・掘削が容易になり、初期投資負担が軽減される。また、一度発電や熱供給に使った熱を二次利用する、熱供給で使いきれない熱水を利用することもできる。一般にバイナリー地熱発電といった場合は、そのための探査・掘削を伴う新規開発事業を意味するが、我が国では、当初からバイナリー発電



出典：資源エネルギー庁 HP¹⁾

図一 地熱発電の仕組み

を目的とした地熱開発は現状、ほとんど行われておらず、既存の温泉源や地熱発電所内の未利用エネルギーを活用することから始められている。

独立行政法人産業技術総合研究所によると、温度150℃以上の地熱資源量は、約2347万kWと試算されている一方、より低い温度領域での温泉バイナリー発電の開発に有望な資源量(53～120℃の熱資源量)は833万kWとされている²⁾。このうち、開発可能と考えられる(あまりにも小規模な源泉を除く)温泉についてカーナサイクル(アンモニアを媒体とするバイナリー発電の仕組み)を前提として設備容量の算定を行うと、我が国の温泉の熱を利用した発電の導入ポテンシャルは72.2万kWと推計されている³⁾。

近年、我が国で注目されているのが温泉バイナリー発電である(図-2)。

既存の温泉を活用してのバイナリー発電は、すでに噴出している熱源があるため、開発リスクもなく、その探査・掘削コストがかからず、蒸気と熱水を分離し、熱交換後の温水は還元する仕組みとすれば温泉の枯渇懸念も少ない、何よりも既存の温泉と共存できることから、地熱発電開発の大きな課題である地元の反対も少ない等の利点がある。温泉旅館など熱利用設備が存在する温泉地では、電熱併給(コージェネレーション)による熱の有効利用も可能となる。

温泉事業者側では、すでに噴出している温泉を活用し、温水を還元するので枯渇の懸念が少ないこと、噴出する源泉の温度が高温で、温泉の成分を薄めずに浴用温度に下げる苦慮をしているところでは、高い温度のエネルギーをバイナリー発電に活用し、泉温を低下させ、その後浴用に使うことができるというメリット

が考えられる。

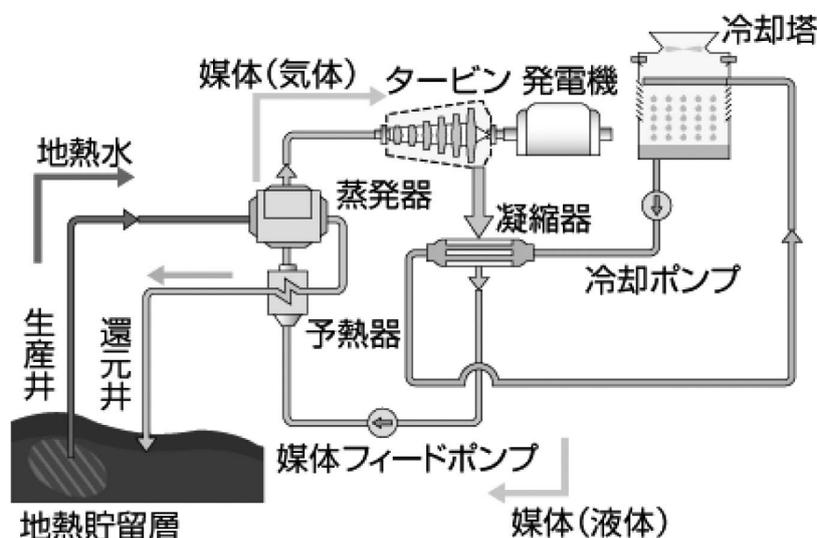
(3) 制度や規制緩和

バイナリーサイクルの地熱発電は2008年の新エネルギー法の政令改正により、新エネルギーに指定され国の補助事業として導入が推進されることとなった。さらに、経済産業省は「再生可能エネルギー固定価格買取制度」の平成26年度価格で、地熱発電の買取り価格が1万5000kW以上で26円/kWh(税別)、比較的小規模なバイナリー発電の多くが該当する1万5000kW未満で40円/kWh(税別)と高水準に設定している。

また、バイナリー発電に関しては、規模等に関わらず火力発電設備として、技術基準の適合維持、保安規定の届出、主任技術者の選任、工事計画の届出等の義務がある上に、液化ガス設備があることから、離隔距離を設ける必要が省令によって規定されていたが、経済産業省が平成23年に規則改正を行い、代替フロン等の不活性ガスを媒体としたバイナリー発電で300kW以下のものについては、ボイラー・タービン主任技術者の選任工事計画届出、溶接事業者検査及び定期事業者検査を不要とした。また、媒体に不活性ガスを用いる液化ガス設備については、離隔距離の規制を適用しないこととするなど、バイナリー発電導入のコスト削減につながる規制緩和がなされている。

(4) 温泉地側のメリット

温泉地から見ると、噴出する温泉の温度が高温すぎる場合、温泉の成分を薄めずにお湯を適温まで冷ます工夫が必要となる。これを「湯もみ」として観光資源



出典：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 HP⁴⁾

図-2 温泉バイナリー発電の仕組み

にしている温泉地もあるが、お湯の高温部分をエネルギーとして活用できることは、温泉地側からのメリットであろう。温泉旅館など熱利用設備が存在する温泉地では、電熱併給（コジェネレーション）による熱の有効利用も可能となり、融雪や暖房に熱を活用することもできる。

環境省の温泉利用状況調査によると⁵⁾、全国の温泉地はこの10年の間に合計で、宿泊施設数や延宿泊利用人員を約1割減らしている。長引く不況や、旅行形態や趣向の変化等に対応しきれず、顧客を減らしている温泉地も多い。

こうした温泉地の苦境の中で、地域分散型エネルギーとしてCO₂の排出の少ないバイナリー発電の導入は、エネルギーコストの削減はもちろん、イメージアップやPRに繋がり、温泉への悪影響の懸念がなければ歓迎される可能性がある。

2. バイナリー発電の現状

平成24年の固定価格買取制度導入以前に、我が国で商業運転している地熱バイナリーは、九州電力の八丁原地熱発電所（2000kW）だけであったが、（平成18～21年度に鹿児島県霧島観光ホテルで地熱バイナリー発電の実証実験が行われた。実証実験終了後は、蒸気フラッシュ方式の100kWの地熱発電に戻している）規制緩和と固定価格買取制度の導入を受けて、各地で検討が始まっている。新潟県松之山温泉では、環境省委託事業で、定格出力：87kW（年間発電量は一般家庭100世帯分程度の使用電力量に相当）の温泉バイナリー発電装置を設置して、2011年12月から実証実験が行われた（写真—1, 2）。

固定価格買取制度の導入により、多様な業種や企業が高温の温泉資源を活用したバイナリー発電に着目することとなった。

大分県別府市では、4社が出資して設立した西日本地熱発電株が手掛けた第1号の温泉発電施設「五湯苑地熱発電所」（91.6kW）が平成26年1月に稼働を開始している。これは、年間売電収入に対して総投資額が大きい温泉を利用したバイナリー発電を個人や小規模な旅館が負担して実現させることの困難性に着目し、会社設立により対応した事例である。また、北海道摩周湖温泉では、都内の出版社が計画した温泉バイナリー発電が道内初の経済産業省の設備認定を受け、稼働に向けた工事が行われている。



写真—1 松之山温泉バイナリー発電実証実験設備



写真—2 実証施設内部の発電システム

(1) 温泉バイナリー発電の採算性

地熱技術開発株が、固定価格買取制度の下での温泉バイナリー発電事業の事業性を検討している。図—3は、平成24年時点における検討結果である。

温泉バイナリー発電の採算は、使う媒体により設置が義務づけられるボイラー・タービン主任技術者の要否、温泉の湯量によってきまる発電規模により異なるが、温泉バイナリー発電事業の設備投資単価がkWあたり100万円台になれば、ボイラー・タービン主任技術者の必要なアンモニアやペンタンを媒体とした発電も、一定の採算が取れると試算されている（内部利益率15年間のIRRを6.0%として設定）。

温泉バイナリー発電は、太陽光や風力と比べると、発電機だけでなく、図—2でわかるように蒸発器、再生器、凝縮器等、周辺機器が多い。また、温泉地は山あいなどが多く、源泉の場所に即して高低差のある場所や、狭隘な用地に設置する場合の設置費用等も必要である。これら設置費用等を含めた全体の設備投資費用が100万円台/kWになれば、発電事業として固定価格買取制度の下で事業の採算性が確保されるとい

発電機出力 (kW)	送電端出力 (kW) =発電機出力 ×75%	年間売電電力量(kWh) 利用率=90%	固定価格買取制度による売電収入 (万円) 40円/kWh	設備投資 (100万円/kW、工事を含む)の場合の税引き後内部収益率(IRR, 15年間)		引き後内部収益率(IRR, 15年間)6%時の設備投資単価 (万円/kW)		必要な温泉の湯量 (95℃の場合, kg/min)	
				ボイラータービン主任技術者		ボイラータービン主任技術者		アンモニア水の実績平均	他の媒体の実績平均
				あり	なし	あり	なし		
50	37.5	295,650	1,183	-	17.2	44	121	239	551
100	75.0	591,300	2,365	-7.7	18.3	86	125	478	1,103
150	112.5	886,950	3,548	6.0	18.7	100	125	718	1,654
200	150.0	1,182,600	4,730	10.2	18.8	107	126	957	2,205
250	187.5	1,478,250	5,913	12.3	18.9	111	126	1,196	2,757
300	225.0	1,773,900	7,096	13.7	適用外	114	適用外	1,435	3,308
400	300.0	2,365,200	9,461	15.2	適用外	117	適用外	1,913	4,411
500	375.0	2,956,500	11,826	16.1	適用外	119	適用外	2,392	5,514

出典：地熱技術開発機資料

図一3 温泉バイナリー発電の採算性の試算

うことである。温泉バイナリー発電用の国産の小型発電機はまだ開発途上であり、コンパクトで、オールインワン構造の製品開発が進んでいるところである。

(2) 温泉との共存の問題

温泉バイナリー発電は、新たな掘削をする必要がなく既存の高温温泉を活用するため温泉の枯渇の懸念がないこと、また、そのままでは高温で浴用に適さない温泉の熱エネルギーを活用することになるので、温泉地側にも湯を冷ます必要がなくなることから、温泉地のメリットもあると考えられる。

一方、温泉バイナリー発電は、太陽光や風力と比べて、すでに活用されており複雑な権利関係にある温泉という資源を使うという点が特徴であり、このため複数の利害の異なる温泉事業者間の調整が不可欠となる。

温泉には、源泉所有者と温泉供給事業者がおり、自治体や温泉管理組合（または会社）等が該当する。また、温泉の供給を受ける個別のホテル・旅館等の温泉利用者がおり、それらは同じ温泉を利用している組合の構成員でありながら、宿泊客等を争奪するライバルの関係にあり、一部で温泉の熱を暖房等に利用している場合もある。1つの温泉に源泉が複数ある場合も多く、それぞれに利害関係が異なる場合も多い。前述の五湯苑地熱発電所の場合は、源泉の所有者、土地所有者とも個人であり、スピーディな事業化が可能となった一因と考えられる。

また、温泉バイナリー発電事業を行うとすれば、温泉事業者、発電事業者、またそれに出資する者という

3つの立場が生じるが、すべてを温泉事業者が単独で行う場合もあれば、温泉を提供するだけの場合もあり、様々な事業の構造が想定できる（図一4）。

温泉バイナリー発電を行う場合には、固定価格買取制度でも15年が設定されているように、長期的な事業となる。事業期間中には、温泉井や配管の老朽化による修繕費の増大、あるいは温泉井の減衰や損傷による温泉供給量の減少、温泉関連事業者の破綻など、様々な事業上のリスクも想定される。

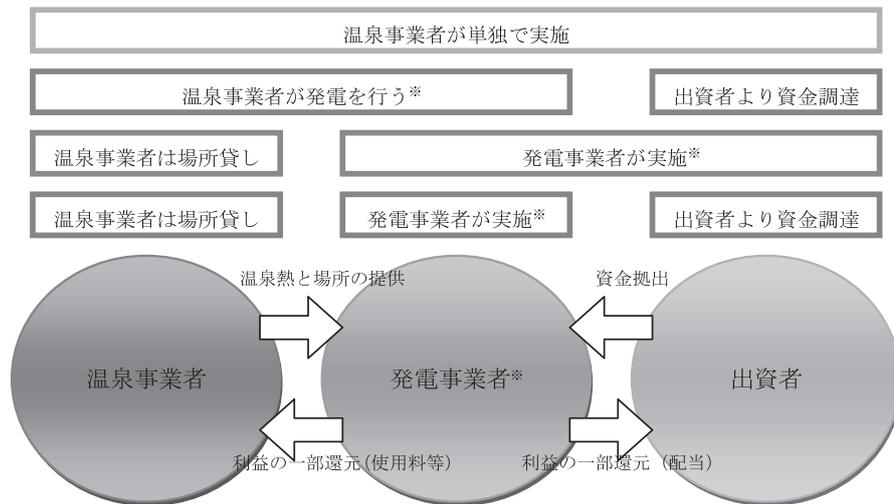
温泉地での発電事業の実現のためには、各々の温泉地の権利関係や利害関係を把握した上で、それらの事情にふさわしい事業の分担とリスクの分担を実現できるような事業スキームを作り上げることが必要である。

(3) 導入のための課題

温泉を活用したバイナリー発電を、温泉地に導入していくためには、技術面での課題と事業実施面での課題が考えられる。

技術面については、環境省の委託事業で実施されている実証実験等で徐々に明らかになると想定されるアンモニア水を媒体とした発電の長所、短所などを踏まえ、温泉の湯量や温度により適切な発電規模と媒体を計画できるような、データやノウハウの蓄積という課題である。

事業実施面では、温泉地の権利関係や利害関係、源泉の所有・利用状況、熱利用状況等を踏まえた上で、その温泉地の事情にふさわしい事業やリスクの分担の仕方、事業実現のために必要な手続き等についてのノウハウが求められている。



※温泉事業者と発電事業者が共同出資する中間的なケースもあり

出典：地熱技術開発(株)資料

図一 温泉バイナリー発電事業のステークホルダー

(4) 温泉バイナリー発電の発展のために

我が国には、多くの温泉地があり、温泉旅館やホテル、日帰り入浴施設等が経営されているが、利用客の減少で厳しい経営状況にある事業者も多い。

温泉バイナリー発電の導入については、源泉の湧出量や泉温の精密な調査、権利関係や源泉の利用方法・利用状況の把握を踏まえた上での、当該温泉地にふさわしい発電システム（規模や媒体）の検討、事業手法や事業スキームの検討が必要である。現状、厳しい経営状況にある温泉地で、自らの費用でこれらの検討を行うことを期待することは現実的ではないと思われる。

温泉バイナリー発電は、電気事業用の掘削型の地熱発電とは別に、地域の地熱資源を有効活用し、地域分散型のエネルギー供給の一端を担うものであり、地産地消の有力な発電源ともなり得るものである。温泉バイナリー発電の可能性のある地域の多くは、山間地で日照時間が少なく積雪もある地域であり、国が積極的に導入を図っている太陽光発電の導入には不利な地域も多い。温泉バイナリー発電は、そのような山間部や寒冷地等でも導入が可能な再生可能エネルギーの一つであることを踏まえ、国や地方自治体が、高温の源泉のある温泉地についての、温泉バイナリー発電の導入可能性の検討の費用を負担し、技術面での検討と合わせて事業化のための手法の検討を進めていくことが、温泉バイナリー発電事業の実現と、そのためのデータや手法の蓄積に有効と考える。

また、温泉地にとっても、温泉バイナリー発電の導入を検討することは、歴史的な経緯から複雑になっていた権利関係や、温泉の共有状況を見直し、より効率的な温泉利用や熱利用を検討することに繋がると考えられる。また、温泉関係者が温泉バイナリー発電の導入を検討することは、すなわち温泉地の将来、魅力づくりの面、地域のエネルギー問題、災害時のエネルギー確保の面などについて、真剣に考えることであり、温泉地の再生、再活性化の契機になる可能性もあろう。

温泉バイナリー発電は、地域の貴重なエネルギー資源である温泉を活用し、地域の活性化を図り、温泉とともに共存共栄していく1つの手段となる可能性があり、今後の普及が期待される。

JCMA

《参考文献》

- 1) http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/mechanism/
- 2) 産業技術総合研究所の地熱資源量評価による。
- 3) 平成22年「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」（環境省）<https://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/>
- 4) <http://geothermal.jogmec.go.jp/geothermal/type2.html>
- 5) 環境省
<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/#onnseinnohogotoriyou>より

[筆者紹介]

秋田 涼子（あきた りょうこ）
 ㈱日本経済研究所
 社会インフラ本部
 主任研究員

省エネから，ゼロエネへ。 ZEB 実証棟の建設

梶山隆史・山口 亮・田中拓也

当社技術センター ZEB 実証棟（以降，ZEB 実証棟）は，今や世界的潮流となりつつある ZEB（net Zero Energy Building）の国内での実現・普及を目的とした「都市型 ZEB」（都市部のオフィスビルをターゲットとした ZEB）の第一号プロジェクトである。

本プロジェクトの役割は大きく分けて 2 つある。1 つめは本建物自体が年間の一次エネルギー収支で 0（ゼロ）を達成し，「都市型 ZEB」のプロトタイプを示すこと。2 つめは，今後急速に進歩するであろう超省エネルギー技術・創エネルギー技術を常に取入れその効果を検証し，さらにコストの低廉化や施工性向上等，汎用化の為の技術実証を行うことである。本報では，「省エネから，ゼロエネへ。」の第一歩として建設した ZEB 実証棟の概要を紹介する。

キーワード：ZEB，再生可能エネルギー，太陽光発電，省エネルギー，空調設備，照明設備

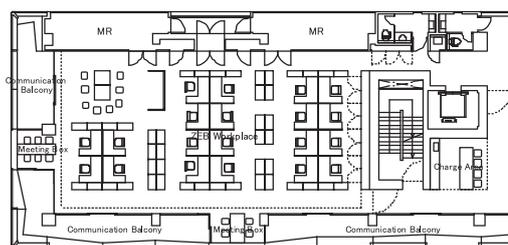
1. はじめに

近年，世界的に ZEB の実現に向けた取組みが活発化してきている。国内でも，2010 年に閣議決定された「エネルギー基本計画」において ZEB の具体的な目標が示されたことや再生可能エネルギー利用事業の拡がりなどを受け，ZEB が注目され始めている。

この状況をふまえ，日本国内での ZEB の実現・普及に向け，「都市型 ZEB」（都市部のオフィスビルをターゲットとした ZEB）を目標とし，その第一号プロジェクトである ZEB 実証棟を建設した（写真一1）。



写真一1 建物全景



図一1 基準階平面図

2. 建物概要

(1) 建築概要（図一1）

建物名称	ZEB 実証棟
所在地	神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1
敷地面積	34,821.92 m ²
建築面積	427.57 m ²
延床面積	1,277.32 m ²
構造	鉄筋コンクリート造（一部 PC 造）
階数	地上 3 階，塔屋 1 階
用途	事務所
工期	2013 年 8 月～2014 年 5 月

(2) 建築的特徴

本建物は研究施設敷地内のほぼ中央に位置し，研究員の事務所棟および新規開発技術の実用化に向けた実証実験棟の役割を持っている。1 階は会議室と展示スペース，2，3 階は研究員の事務室を備えている（図一2）。

一般的なオフィスと比較して，バルコニーを設けている点が大きな特徴であり，日射制御，自然換気，採

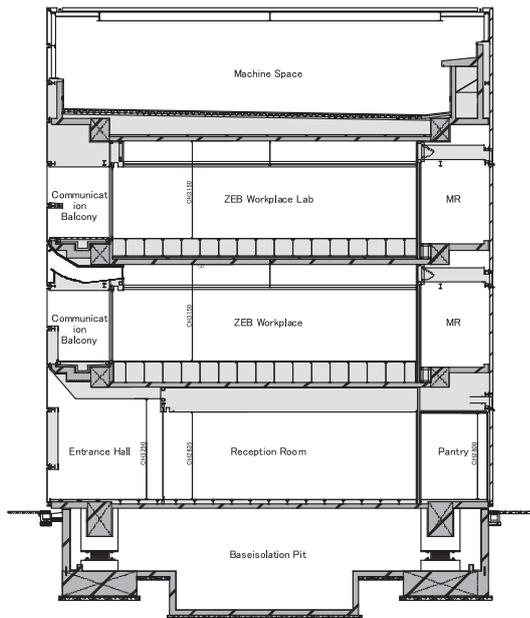


図-2 断面図

光装置など省エネルギーを目的とした装備のみならず、知的生産性を向上させる屋外のワークスペースとしての機能を有している。

また、建物自体のサステナブル性に配慮し、建築・構造分野の技術として以下の3つを採用した。

①都市型小変位免震

都市型小変位免震は、一般的な免震装置である積層ゴム支承に新開発のパッシブ切替型オイルダンパー(写真-2)を組合せ、免震層の変位を制御することで建物周囲のクリアランスを従来の半分以下(200~300mm)に抑える技術である。敷地の狭い都市部においても建築面積を最大限に活用することができる(図-3)。

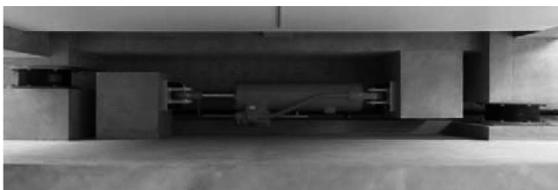


写真-2 切替型オイルダンパー

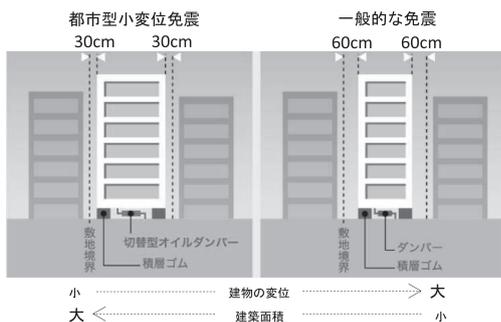


図-3 都市型小変位免震

②フラットで天井レスの執務空間

梁が天井面に出ない逆梁構造を採用したフラットな天井面により、天井高を確保するだけでなく、自然採光による光の拡散や放射空調の放射面としての機能を持ち、天井材の落下の心配も解消される(写真-3)。



写真-3 フラットで天井レスな執務空間

③環境配慮型コンクリート

建物の大部分を占めるコンクリートには、副産物混合セメントを使用することで建物製造時のCO₂排出量の削減に努めた。

3. 設備設計コンセプトとエネルギー予測

(1) 設備設計コンセプト

設備分野のテーマとして、①自動化・高効率化による徹底的な負荷削減と、個別調節機能(自己選択性)による満足感を組合せた「超省エネと知的生産性の両立」、および②敷地等の制約条件を考慮した「適切な創エネ設備の計画とその効果の最大化」の2つが、ZEB普及の鍵となると考えている。

(2) エネルギー予測

年間1次エネルギー収支で0(ゼロ)を実現するため、一般ビル比で▲75%の超省エネルギーを目標とし、残りの25%の消費エネルギーを屋根および壁面に設置した太陽光発電による創エネルギーで相殺する計画である(図-4)。

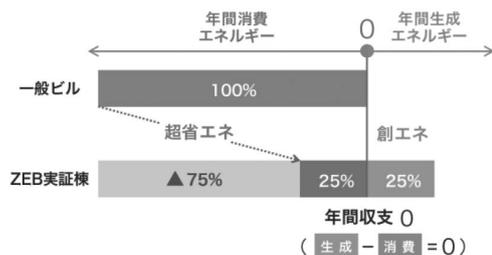


図-4 年間1次エネルギー収支

4. 設備計画概要

(1) 自然換気・空調設備

空調設備の計画は、タスク&アンビエントの思想(室内空間を作業空間(タスク域)と周辺空間(アンビエント域)に分け、全体を均一環境とするのではなく、タスク域のみを最適な環境に制御することで省エネと快適性の両立を図る考え)に基づいている。自然換気の積極的利用と内部発熱の減少により空調負荷を削減し、更にコージェネレーションシステムによりアンビエント空調の高効率化を図っている。また、パーソナル空調は、人検知センサーを利用した自動化をベースに個人に自己選択性(調整機能)を付加することで必要なところに適量のサービスを提供し、満足度の最大化を図る(図-5)。

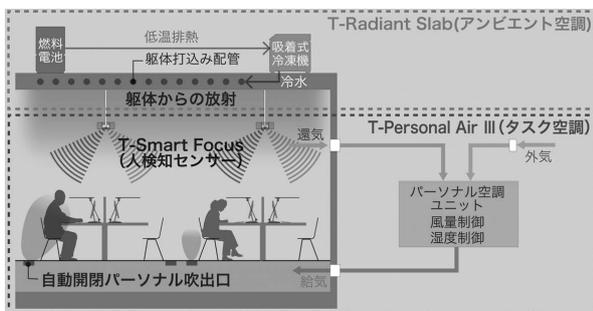


図-5 熱源・空調システム概念図

(a) 自然換気システム (T-Fresh Air)

屋外の気温が適切な時期には、風の力を利用して外気を室内に取り込み空気の流れを作ることにより、快適な空間を実現しながら空調に要するエネルギーを削減するシステムを開発・導入した。

従来、測定した屋外の気象条件に基づき、執務室のすべての自然換気口・窓の開閉の判断が一律に行われていた。このため、一部の自然換気口では適切な風を取り込める状況でもすべての自然換気口が閉鎖されたままになることがあった。また、手動の窓の場合は、窓をどの程度開放したら適切な外部風を室内に取り込めるのか在室者にはわからず、風が比較的強い状況では、窓をどの程度開けたらよいか在室者が試行錯誤する必要があった。

本システムは、風・気温・室温などの気象・環境条件、室内の人の在席情報に基づき、室内環境を快適にする自然換気口・窓の開閉を個別に判定する。その結果に基づき、自動開閉の自然換気口をコントロールし、窓などの手動の開口は、どの程度開けたらよいかを在室者にパソコン画面を利用して伝える。

(b) 排熱利用躯体放射冷暖房 (T-Radiant Slab)

本技術は、建物で使われずに捨てられてしまいがちな排熱を、事務所ビルで需要の多い冷房のエネルギー源として有効活用するために開発した熱源・空調システムである。

従来から、排熱エネルギーは暖房や給湯に使われてきたが、年間を通じて温熱を使う設備の少ない事務所ビルでは適用事例は少なく、排熱利用率が低いのが実情である。

今回開発したシステムは、60℃程度の低温排熱をエネルギー源として中温冷水(16℃程度)を製造するとともに、冷水をコンクリートスラブに埋め込まれた配管に通水することで、躯体そのものを冷却し、天井面からの放射効果により空間全体を安定的に冷房するTABS (Thermo Active Building System) である。なお、冬期には排熱温水を直接配管に通水することで暖房も可能である(写真-4)。



写真-4 床打込み配管敷設状況

ZEB 実証棟では、高効率燃料電池のコージェネ利用と低温排熱で冷水製造が可能な吸着式冷凍機を組み合わせ、システム効率の飛躍的な向上を図っている。

(c) パーソナル空調 (T-Personal Air III)

本技術は、空調の主な役割の一つである外気処理機能を主体として、風量の個別調整機能を兼ね備えたタスク空調システムである。

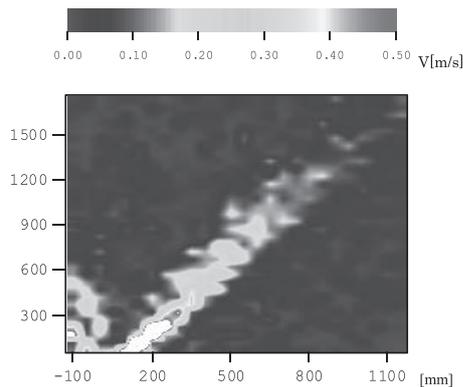
従来から、外気処理のための空調機や風量調整機構を備えたパーソナル空調システムは数多く存在するが、二つの機能を兼ね備えたシステムは機器の大型化や制御の複雑さ等の理由により採用事例は少ない。

今回開発したタスク空調システムは、汎用外気処理パッケージ空調機を利用した湿度調整が可能なパーソナル空調ユニットと自動で開閉するパーソナル吹出口により構成され、コンパクトながら確実な除湿機能と風量個別調整機構を併せ持つ。

省エネの観点では、次世代人検知センサーにより人がいる場所のパーソナル吹出口が自動的に開き、必要な外気導入量を適正に制御するシステムを組み込んでいる。また、暑いと感じる人は自席 PC からの操作で吹出風を強くすることができ、個人の好みに応じた空調ができるので、執務者の満足感が向上する（写真—5、図—6）。



写真—5 パーソナル吹出口の気流可視化



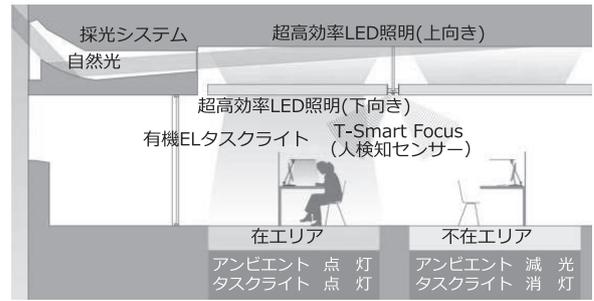
図—6 パーソナル吹出口気流性状 (60 m³/h, 等温)

(2) 自然採光・照明設備

照明設計のコンセプトは、4つの光の組み合わせによる低照度タスク & アンビエント照明システム（アンビエント照明で室全体の最低限の明るさを確保しつつ、作業に必要な机上面のみにタスク照明を用いる照明手法）である。新規開発の自然採光装置、上向き設置された天井面を照らすLED照明、下向き設置された床面を照らすLED照明、及び机上面に設置された手元を照らす有機ELタスク照明、の4つの光から構成されている。これらの光に加えて、高精度の人検知センサー・明るさセンサーを利用した最適照明制御を組合せることで、低照度でも十分な明るさ感を確保しつつ、照明エネルギーを最小化している（図—7）。

(a) 自然採光システム (T-Light Cube)

照明消費エネルギーは一般オフィスで消費されるエ



図—7 低照度タスク&アンビエント照明システム

ネルギーの約 20% を占めている。東日本大震災後の節電により、照明の低照度化が進み、照明エネルギーの削減効果だけでなく、照明の発熱低減による空調エネルギーの削減効果が確認された。また、昼光利用が可能である場合、消灯時にも継続的な執務作業が可能であることも確認されている。さらに、近年では調光制御や LED 照明などの照明設備の普及にとともに、昼光利用による照明エネルギー削減の重要性が見直されている。一方で、従来の主な昼光利用手法はブラインドを使用するものが多く、窓面で眩しさを生じること、室内へ昼光を導く効果が低いこと、眺望が確保されないことが課題であった。

本採光装置は、1) 都市型 ZEB を実現させる各階の窓面への採光装置の配置、2) メンテナンスが不要な固定式構造でのあらゆる太陽高度の直射日光の採光、3) 室内全体の明るさを向上させる室内の天井面への自然光の導入、をコンセプトとして開発した。

本建物ではバルコニーを採用しており、庇で直射日光を遮りつつ眺望を確保し、バルコニー上部に設置された採光装置で自然光を導入している。

採光装置の断面は放物線を組合せた特殊な曲面を用いることで、様々な季節・時間の太陽高度に対応して採光できるように工夫している。室内に導入される自然光は常に天井面を照らすことで室内空間の明るさ感をもたらし、眩しさのない拡散した柔らかい光を机上面に与えることで、昼光利用における室内の光環境の質と照明エネルギーの削減を両立させることができる（図—8）。



図—8 自然採光システム (T-Light Cube)

(b) 高効率 LED 照明の明るさ制御・人検知制御

採光装置により天井面の室奥まで導かれる自然光と上向きの超高効率 LED 照明により、アンビエント照明制御を行う。上向きの明るさセンサーで自然光の採光量を計測して調光制御され、十分に自然光が得られる日中には上向きの LED 照明は自動消灯される。下向きの超高効率 LED 照明は、人検知制御システムにより制御され、人がいる場所のみ在席に適した照度を提供する。これらによる机上面照度は 200 lx の低照度であるが、天井面の輝度を確保し、室内に十分な明るさが提供される。

(c) 有機 EL タスクライト

紙面作業や個人毎の好みに応じて、有機 EL タスクライトを使用する。タスク照明とアンビエント照明の組合せで机上面照度 700 lx を確保することができる。

従来の省エネを目指した多くの照明計画は、タスクライトを活用し天井照明の照度を抑制することでエネルギー削減を行ってきた。一方で、LED などのコンパクトで高輝度な光源を採用した場合、執務者に対して眩しさ感や手暗がりをもたらすなど、オフィス空間の光環境の快適性を損ねてしまう場合があった。また、有機 EL 照明パネルは、面発光における光のやさらかさと薄さの特徴を活かした演出照明を中心に普及しつつあるが、これまでにオフィスのタスクライトに必要な明るさ、演色性、寿命の条件を満たす有機 EL 照明パネルを用いたライトは実用化されていなかった。

今回共同開発した「有機 EL タスクライト」は、現時点でオフィス等での実使用に必要な明るさと寿命、演色性を兼ね備えた、世界最高水準の性能を持つ有機 EL 照明パネルを使用した最高出力 500 lx の器具で、個別に調光可能な仕様となっている。極薄の光源の特徴を活かし、机周りで邪魔にならないデザインとしたものである。

タスクライトにより眩しさ感を執務者に与えると、相対的にオフィス空間の明るさを損ねてしまう場合があり、従来はオフィス空間の低照度化に限界があった。有機 EL タスクライトは面発光光源で眩しさ感を排除したやさらか配光となっている。本タスクライトにより、室内空間の明るさ感を確保して光環境の質を維持しつつ、オフィス空間全体を低照度化してエネルギーを最小化する室内照明環境の実現が可能となる(図-9)。

(d) 無線調光制御 (T-Green Wireless)

最近のオフィス空間では「省エネ」と「光環境の快適性」を両立できるきめ細やかな調光制御による照明

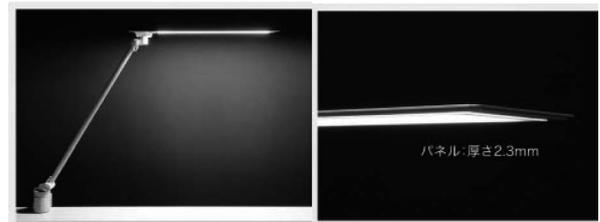


図-9 有機 EL タスクライト

計画の構築が重要である。これらを両立できる独自の照明最適化ソリューションとして、無線調光制御を開発し、1階会議室に採用した。

本システムは、照明電源の ON/OFF 制御と調光設定の2つの機能を備えた小型無線制御ユニット(子機)と統合管理を行う無線制御親機から構成されており、子機を照明器具1灯毎に設置することにより、従来、レイアウト変更時に必要であった配線工事を一切不要とすることができる。また、このシステムは照明メーカーを問わず、様々な照明器具への制御も可能となっている(図-10)。

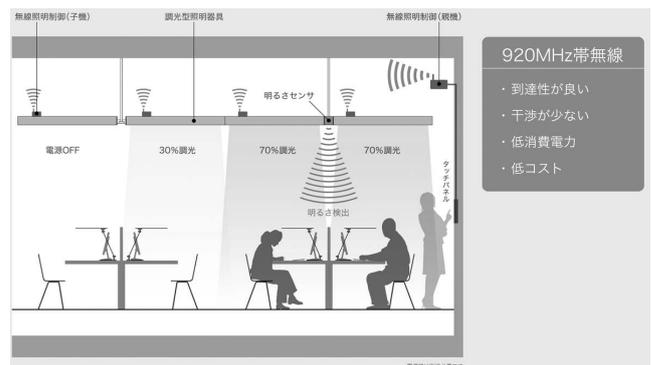


図-10 無線調光制御 (T-Green Wireless)

(3) 太陽光発電設備

建物の屋上だけでなく、壁面部分も有効に利用し、最大限の太陽光発電が得られる計画とした(図-11)。

(a) 単結晶型太陽電池パネル

屋上には発電量を重視し、単結晶型の太陽電池パネルを設置した。定格の発電効率が20%を超える高効率のパネルを採用し、設置角度を水平にすることで影を考慮しつつ発電量を最大化した。発電した電気は商用電力と系統連系して建物内で利用するだけでなく、敷地内他施設へ送電し利用することも可能である。

(b) 有機薄膜太陽電池外壁ユニット

都市部において建物単体を ZEB 化するためには、屋上での発電だけでは不十分で、壁面で発電する必要がある。そこで、将来の発電技術として有望な「有機

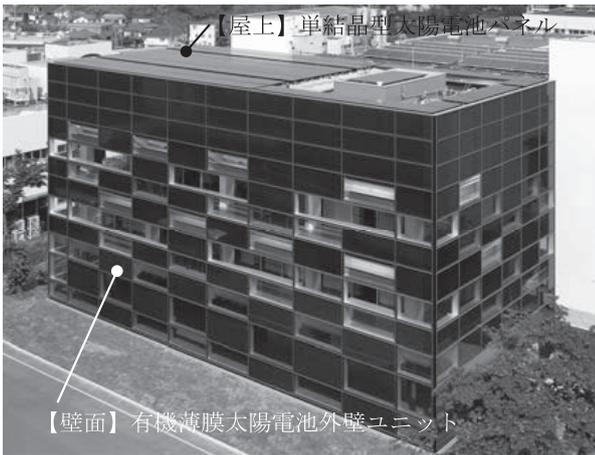


図-11 ZEB 実証棟外観と太陽電池の配置

「薄膜太陽電池」に着目し、有機薄膜太陽電池を用いた発電する建物外壁ユニットを開発し、実証試験を兼ねて導入した。

特長は下記の3つである。

1つめは、有機材料のため色の選択・変更が可能である。現在、最も普及している結晶系太陽電池(以降、結晶系)の色は黒や濃紺であるが、有機薄膜太陽電池はその他の色に変えることが可能である。今回は緑を選択した。建築デザインの自由度が高まるというメリットがある。

2つめは、形・寸法の自由度が期待できる。結晶系パネルは形や寸法の制約がある。従って、任意の窓幅に合わせて結晶系パネルを設置しにくいという課題があった。一方、本パネルは形や寸法の制約が少なく、要求される建築モジュールに最大限近づけることが可能になり、設計の自由度が高まる。

3つめは、軽量で施工性が向上し、建材一体化が可能である。最も軽い結晶系パネルに比べても軽いので、室内側からの取付けと取り外しに柔軟に対応しやすくなった。一般的な太陽電池パネルを壁に取り付ける場合、屋外に足場組みする必要があったが、室内からの取付けであれば足場が不要になるので、施工コストの削減が期待できる。

日射量の低い曇天日でも発電を行えるなど、他にも優れた特徴を有する本ユニットについて、発電量をはじめとする各種データを計測しその特性を検証中である(図-12)。

(4) エネルギーマネジメント

エネルギーマネジメントには、データを一元的に管理し継続的にビル運用を支援することや省エネチューニングや省エネ改修提案を行う仕組みを提供すること、ユーザーにわかりやすくエネルギーの見える化を

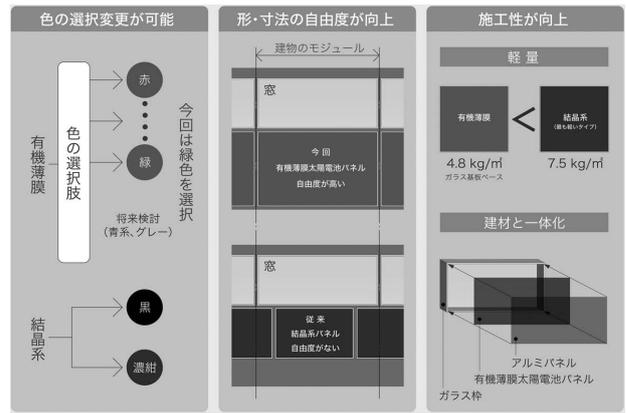


図-12 有機薄膜太陽電池外壁ユニットの特徴

することなどが求められる。そこで独自のエネルギーマネジメントシステム(EMS)としてT-Green BEMSの開発をすすめている。ZEB実証棟においても、エネルギー管理の中核システムとして、本システムを導入し、日々のエネルギーマネジメントに活用している。また、T-Green BEMSの見える化ツールとして、建物のエネルギー収支をわかりやすく表示し、ZEBの達成状況を表示する「ZEB navi」を開発し、ZEB化達成のプロセス改善に役立てている(図-13)。



図-13 ZEB navi

5. おわりに

本実証により得られたBEMSデータや環境実測結果は、今後詳細な分析・評価を行い、日本のZEB普及の一助となるような形で報告できればと考えている。

謝 辞

最後に、本プロジェクトでは企画・設計から施工・運用までの全般にわたって千葉大学の川瀬貴晴教授に、照明分野の評価は千葉工業大学の望月悦子教授にご指導・監修を頂きました。また、各メーカー様をはじめ、設計、施工にあたり、様々な方々のご協力を頂きました。この場を借りて、心より厚く御礼申し上げます。



[筆者紹介]

梶山 隆史 (かじやま たかふみ)
大成建設㈱
設計本部
室長



山口 亮 (やまぐち あきら)
大成建設㈱
設計本部
シニア・エンジニア



田中 拓也 (たなか たくや)
大成建設㈱
技術センター
主任



バイオディーゼル燃料の普及に向けた排出ガス調査 車載型排出ガス計測装置による計測事例

杉谷 康弘・藤野 健一

バイオディーゼル燃料を使用した場合の排出ガス調査を行った。計測には、FTIR方式の車載型排出ガス計測装置を使用し、建設機械の排出ガス規制物質である窒素酸化物、一酸化炭素、炭化水素、ディーゼル黒煙の他、PRTR制度（化学物質排出移動量届出制度）対象物質、温室効果ガスについても解析を行った。バイオディーゼル燃料は5種類を調査し、軽油との比較を行った結果、バイオディーゼル燃料を使用した場合に、軽油と比較して際立って濃度の高い排出ガス成分は計測されなかった。

キーワード：地球温暖化、温室効果ガス、バイオディーゼル燃料、排出ガス、車載型排出ガス計測装置

1. はじめに

地球温暖化を抑制するための取り組みは、全ての業種、全ての分野の関係者が、それぞれできる限りのことを実施することが求められている。建設工事現場においても、温室効果ガスの削減のため、多くの対策が実施されている。建設機械に関連する対策としては、省燃費型の建設機械の使用や、省燃費運転の励行、情報化施工等とともに、本稿で対象としているバイオディーゼル燃料の使用がある。これらは、直ぐにできるものもあれば、相応の初期投資が必要なものもあるが、工事業者、建設機械メーカ、行政がそれぞれ積極的な役割を果たすことにより、建設工事現場における温室効果ガスの削減が進められている。例えば、一般社団法人日本建設業連合会では、施工段階における二酸化炭素排出量を1990年度を基準に2020年度までに20%削減することを目標に掲げ、2012年度は約13%の削減を達成している。また、建設機械メーカでは、排出ガス規制への対応と同時に、ハイブリッド型建設機械を始め、燃費性能を高めるための技術開発を進めており、二酸化炭素削減に直結する燃費性能は年々高まっている。行政においては、国土交通省が燃費性能の高い建設機械の普及を促進するため「燃費基準達成建設機械認定制度」や「低炭素型建設機械認定制度」を定めて運用を行っている。また、環境省や経済産業省では、ハイブリッド型建設機械等への購入に際して補助金の交付を行っている。

一方、バイオディーゼル燃料の使用に着目した場合には、各工事業者や現場担当者の熱意や決断により、

自主的に使用する現場が見受けられるようになってきてはいるが、行政が積極的な後押しをするまでには至っていない。それには、幾つかの理由があるが、その一つは、排出ガスである。本稿では、バイオディーゼル燃料の普及を目的に、その排出ガスを測定したことを中心に報告するものである。

2. バイオディーゼル燃料普及の課題

バイオディーゼル燃料は、温室効果ガスの削減に資する燃料である一方、軽油を使用する場合と比較して幾つかの問題点が指摘されている。例えば、エンジンシステムに発生する不具合の問題、実際に排出される排出ガスの問題、供給価格や供給量に関する問題等である。これらの問題点は、バイオディーゼル燃料の成分である脂肪酸メチルエステル（FAME）の性質そのものに起因するもの、生産方法・生産過程の違いによる燃料の品質に起因するもの、使用者の知識不足に起因するもの、行政の制度上に起因するもの等、原因は様々である。

その中で、不具合や供給に関する問題が発生した場合には、主に燃料を使用するユーザ自身がその被害を受けることになるが、排出ガスの問題については、生活環境、従って一般の住民の方々に被害が及ぶ問題である。また、建設機械に使用する燃料については、排出ガス抑制の観点から、法令に基づく「建設業に係る特定特殊自動車排出ガスの排出の抑制を図るための指針」により、軽油を使用するように指導されている。さらに、国土交通省の直轄工事においては、共通仕様書により、軽油を使用しなければならないように規定

されている。そのため、少なくとも排出ガスについては、軽油と比較した場合の増減の程度を確認しておかなければ、例えば温室効果ガスの削減に寄与するという環境に対するメリットがあるとしても、行政が積極的に普及を促進することは難しい。

また、ユーザの知識不足により生じる問題は、逆に解決可能な問題でもある。まず、バイオディーゼル燃料は軽油とは異なる燃料だということをよく理解する必要がある。一般にガソリンや軽油の品質については、法令により厳しく規定されているとともに、その品質のガソリンや軽油が使用される範囲においては不具合が生じないようにメーカーは車両を生産しているため、燃料に起因して不具合が生じることは少ない。しかし、バイオディーゼル燃料を使用する場合には、単に軽油の代わりに入れるだけでよいわけではない。軽油と同じ感覚で使用すると問題が生じる可能性が高まるが、こうした感覚で使用したことにより不具合が生じ、バイオディーゼル燃料の評判が下がるのは不幸なことである。幸いにも、現在自主的に工事現場で使用されている工事業業者や現場担当者の方々は、使用前に十分に知識を習得してから使用されていることが多いようである。ただし、今後、積極的にバイオディーゼル燃料の使用を推奨するようになった場合に、こうした知識を習得せずにバイオディーゼル燃料を使い始める使用者が出るのが懸念される。そのため、行政や業界団体において、バイオディーゼルを使用する場合の手引き等の作成が望まれる。現時点においては、全国バイオディーゼル燃料利用推進協議会が作成した「バイオディーゼル燃料の製造・利用に係るガイドライン」、自動車分野における国土交通省自動車交通局が作成した「高濃度バイオディーゼル燃料等を使用される皆様へ」と題した手引き、農業機械分野における一般社団法人日本農業機械化協会が作成した「地域において生産されたバイオディーゼル燃料の農業機械における長期・安定利用技術に関するガイドライン」等が公表されており、これらが参考になるとと思われる。

3. バイオディーゼル燃料の排出ガス計測

(1) 計測の概要

排出ガスの評価をするに当たっては、軽油と異なる点として、次の2点を考慮した。1つ目は、工事現場で使用されているバイオディーゼル燃料が廃食用油を原料にしたものあり、生産者により、その品質が異なるため、排出ガスもそれぞれの燃料で異なる可能性があることである。そのため、計測対象とするバイオディー

ゼル燃料は、生産者の異なる5種類を用意した。2つ目は、軽油と成分が異なることから、排出ガス規制で指定されている物質以外にも、有害な物質が排出される可能性があることである。そのため、排出ガス規制物質だけでなく、PRTR制度（化学物質排出移動量届出制度）対象物質についても測定を行い、合わせて温室効果ガスも含め17種類の物質について測定を行った。

(2) バイオディーゼル燃料

工事現場で使用されているバイオディーゼル燃料は、ほとんどがバイオディーゼル燃料100%（通常B100と呼ばれる。）である。しかしB100の強制規格は定められていないため、市場には低品質なものも含め、様々な品質のバイオディーゼル燃料が存在している。計測する燃料の選定に当たっては、燃料使用者が低品質の燃料を使用することは考えにくいいため、生産者にヒアリングを行い、ある程度の使用実績があり、大きな不具合が発生していないことを確認したものから選定した。また、バイオディーゼル燃料は、原料となる廃食用油の回収や販売先への輸送費の観点から地産地消の傾向が強い。そのため、生産者の地域については一部に固まらないように、5つの地方整備局の管内からそれぞれ1つを選定した。

(3) 排出ガス計測物質

計測を行った排出ガス物質を表1に示す。排出ガス計測装置は岩田電業㈱の車載型FTIR排出ガス分析装置（機種名FAST-2200）を使用した。表1の右欄の数字は、今回使用した車載型排出ガス計測装置の各物質に対する検出濃度限度の目安（値は目安であり、混合するガス種と濃度により上下する場合がある。）を示している。パソコンに取り込んだサンプルスペクトルデータを解析することで、排出ガスに含まれる240種類以上の物質を分析することが可能である。なお、ディーゼル黒煙については、別途、オパシメータ（光透過式スモークメータ）（株式会社堀場製作所MEXA-600SW）を使用して計測した。

(4) 不整地運搬車

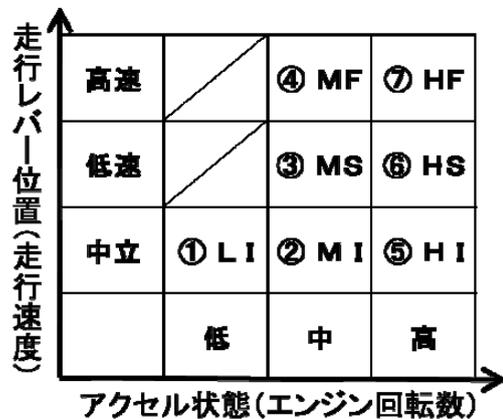
計測には、ヤンマー建機㈱ゴムクローラキャリア（機種名C30R）を使用した。搭載エンジンは、平成18年排出ガス規制対応の定格出力25.4kW/3000min⁻¹、自然吸気3気筒直噴型（名称3TNV88-BDFW）のもので、コモンレールやEGR、酸化触媒、DPF等は装備していない。写真1に不整地運搬車に計測装置を搭載した状況を示すが、車載型排出ガス

表一 1 排出ガス計測物質

項目	排出ガス成分	検出濃度 限度目安	項目	排出ガス成分	検出濃度 限度目安
排出ガス規制物質	窒素酸化物 (NOx)	7 ppm	P R T R 制 度 対 象 物 質	アクロレイン	13 ppm
	一酸化炭素 (CO)	4 ppm		アセトアルデヒド	13 ppm
	炭化水素 (HC)			エチルベンゼン	6 ppm
	ディーゼル黒煙	(オパシメータ)		キシレン	9 ppm
温室効果ガス	二酸化炭素 (CO ₂)	0.30 %		スチレン	7 ppm
	メタン (CH ₄)	2 ppm		1,3,5-トリメチルベンゼン	5 ppm
	亜酸化窒素 (N ₂ O)	1 ppm		トルエン	8 ppm
				1,3-ブタジエン	3 ppm
				ベンズアルデヒド	10 ppm
				ベンゼン	30 ppm
				ホルムアルデヒド	2 ppm



写真一 1 計測装置の搭載状況



図一 1 不整地運搬車の運転条件

計測装置の他に、排気ガス流量計、燃料流量計、発動発電機等も搭載している。

(5) 運転方法

排出ガスの計測は、不整地運搬車を平坦なアスファルト舗装の上を走行させて行った。今回使用した不整地運搬車では、操作条件が変わる要因として、アクセルペダルによるエンジン回転数の変更と、レバーの切り替えによる中立 (ニュートラル)・低速走行モード・高速走行モードの変更がある。これらを組み合わせた不整地運搬車の運転条件 (エンジンの運転条件) を図一 1 に示すが、図中の運転条件の記号 (例えば「LI」, 「MI」等) は、次章以降で示す測定結果のグラフとも対応している。それらの運転条件を図中の①から⑦の順に一通り行い、最後の運転条件⑦が終わったら、再度最初の運転条件①から繰り返すことで、それぞれの運転条件につき 3 回分の排出ガス計測データが得られるようにした。なお、ディーゼル黒煙については、レバー位置が中立の状態、アイドリングの状態から

アクセルを急に全開にすることを 3 回繰り返す方法 (排出ガス規制で規定されている方法。) により行った。

4. 測定結果

(1) 排出ガス規制物質

窒素酸化物 (及びその内訳である一酸化窒素、二酸化窒素)、一酸化炭素、炭化水素の排出ガス濃度を図一 2 に示す。横軸の各記号は図一 1 の運転条件の記号で、縦軸は各物質の濃度である。各プロットは燃料毎の値を示しており、凡例の FK は軽油を、F1 ~ F5 は各バイオディーゼル燃料である。なお、軽油との比較をわかりやすくするため、軽油については各プロットを線で結んでいる。

窒素酸化物 (図一 2) については、5 つの燃料とも同様の傾向を示し、軽油とも同様の傾向であった。ただし、負荷を大きくかけた場合 (記号 HF: アクセル全開で高速走行させた場合) に軽油よりも高い濃度値を示し、最も濃度が高くなるバイオディーゼル燃料では

軽油と比較して約14%高くなった。それ以外の運転条件では同程度の濃度である。窒素酸化物を構成する一酸化窒素(図-3)と二酸化窒素(図-4)を見た場合にも、軽油と同様の傾向を示しているが、無負荷時(記号LI:アイドリング状態)においては、バイオディーゼル燃料の二酸化窒素濃度が低くなっている。

一酸化炭素(図-5)については、5つの燃料とも同様の傾向を示し、軽油とも同様の傾向であった。ただし、窒素酸化物とはむしろ逆で、高速走行時を含むエンジンが高回転の運転条件で軽油よりも濃度が低くなった。

炭化水素(図-6)については、5つの燃料とも同様の傾向を示すが、高速走行時に軽油では濃度が下がるが、バイオディーゼル燃料では逆に上がるという、軽油とは異なる傾向が見られた。ただし、どの運転条

件においても軽油よりも濃度は低かった。

ディーゼル黒煙の値(光吸収係数)を図-7に示す。横軸の各記号は各燃料を示している。光吸収係数は、値が大きいほどディーゼル黒煙濃度が高いことを意味する。ディーゼル黒煙については、5つの燃料とも軽油よりも濃度が低くなるという同一の傾向であった。

(2) PRTR 制度対象物質

ホルムアルデヒドの排出ガス濃度を図-8に示すが、5つの燃料とも同様の傾向を示した。軽油との比較では運転条件により濃度が高い場合と低い場合があり、全体としてどちらかが高いかは判断しづらい程度の差であった。また、図-9に各燃料に含まれるメタノールの濃度(横軸)に対するホルムアルデヒドの濃度(縦軸)を示す。凡例に示す運転条件毎に近似直

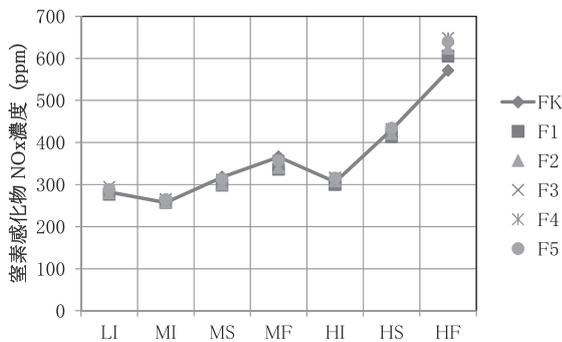


図-2 窒素酸化物濃度

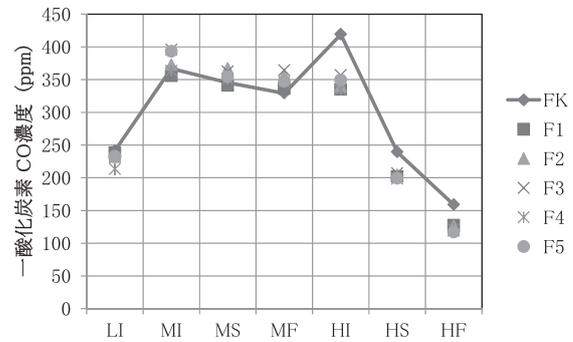


図-5 一酸化炭素濃度

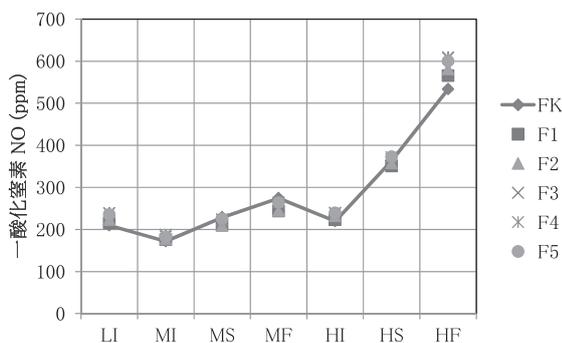


図-3 一酸化窒素濃度

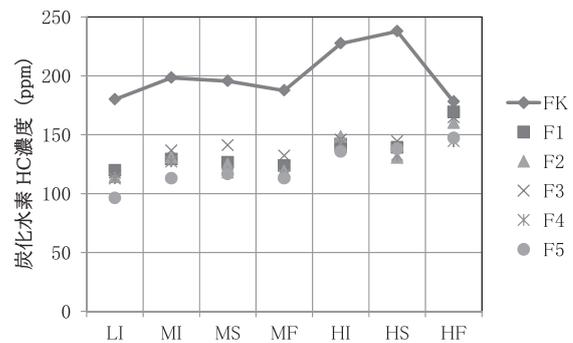


図-6 炭化水素濃度

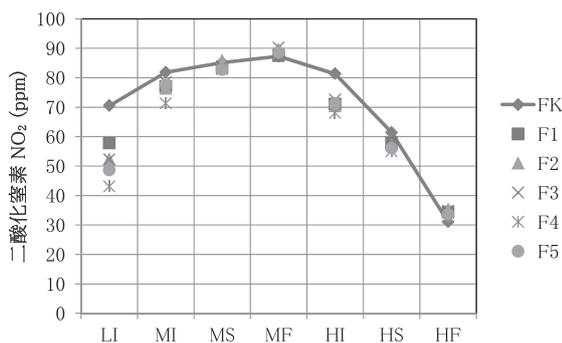


図-4 二酸化窒素濃度

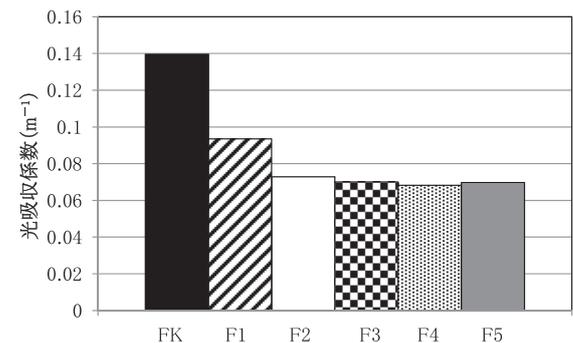


図-7 ディーゼル黒煙濃度

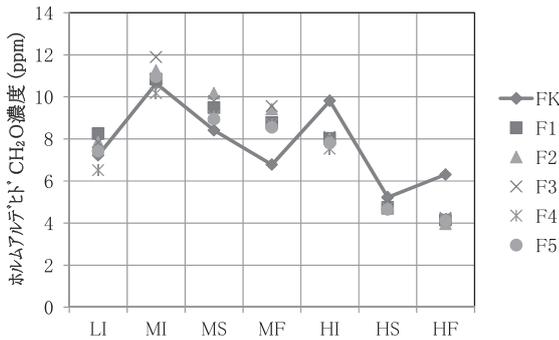


図-8 ホルムアルデヒド濃度

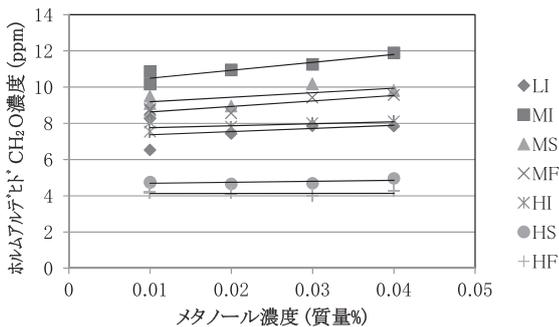


図-9 メタノール濃度とホルムアルデヒド濃度の相関

線を記入しているが、直線が右肩上がりとなっており、メタノール濃度とホルムアルデヒド濃度において正の相関を示した。バイオディーゼル燃料は、廃食用油とメタノールを化学反応させて作製するが、精製が不十分な場合、未反応で残ったメタノールがそのまま残留し、排出ガス中のホルムアルデヒドを増加させると言われており、その傾向が出たものと思われる。

なお、ホルムアルデヒド以外のPRTR制度対象物質については、今回使用した計測装置の検出濃度限度を超えた値は計測されなかった。そのため、これらの物質が高濃度で排出されるバイオディーゼル燃料は無かったと判断しているが、軽油との比較という観点では評価することができなかった。

(3) 温室効果ガス

二酸化炭素及びメタンの排出ガス濃度については、5つの燃料で同様の傾向を示した。亜酸化窒素は検出濃度限度である1 ppm以下であった。軽油との比較では二酸化炭素が同等で、メタンでは軽油よりも1 ppm弱高い濃度を示した。メタン、亜酸化窒素の地球温暖化係数はそれぞれ二酸化炭素の21倍、310倍であるが、二酸化炭素濃度が%オーダーであるため、温室効果ガス全体としてはバイオディーゼル燃料と軽油では同等と判断される。従って、植物由来の分だけ、化石燃料のように温室効果ガスを増加させることはないということが言える。

5. おわりに

バイオディーゼル燃料の普及の前提として、バイオディーゼル燃料を使用した場合の排出ガスについて計測を行った。その結果、今回計測に使用した5つのバイオディーゼル燃料については、どの燃料においても同様の排出ガス特性を示し、軽油と比較して際立って濃度の高い排出ガス成分は計測されなかった。そのため、今回の計測結果で市場にある全ての燃料について証明されたわけではないが、バイオディーゼル燃料の品質が今回使用した燃料と同程度のものであれば、同様の排出ガス結果が得られるものと予想される。ただし、不整地運搬車以外の建設機械、またコモンレールやEGRを装備したエンジンを搭載した建設機械での評価も行った上で、最終的な判断をする必要があると考えている。

また、今後、工事現場でバイオディーゼル燃料の普及を進める上では、バイオディーゼル燃料の使用者、生産者だけでなく、建設機械メカ、レンタル会社、行政、発注者等の各ステークホルダーの理解・協力が不可欠である。一般社団法人日本建設機械施工協会には、これらの関係者が集っており、各委員会活動等での検討や、シンポジウム・本誌等での発表^{1)~3)}もされているところである。今後もそのような活動が継続されることを期待するとともに、本研究がその一助となるように進めていきたいと考えている。

JCMMA

【参考文献】

- 1) 齊藤栄一, 長谷川博一, 副島幸也: 大規模道路土工工事にバイオディーゼル燃料(B100)を使用, 建設の企画施工, No.754, pp.23-29, 2012
- 2) 一柳成幸, 東間敬造, 林まゆ: バイオディーゼル燃料100%(B100)の工事車両への適用: 建設機械施工, No.776, pp.42-47, 2014
- 3) 藤井攻, 前田全規, 小豆嶋和洋: 建設機械へのバイオディーゼル燃料(B100)の使用と取組, 平成25年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.173-176, 2013

【筆者紹介】

杉谷 康弘 (すぎたに やすひろ)
 (独)土木研究所
 技術推進本部先端技術チーム
 主任研究員



藤野 健一 (ふじの けんいち)
 (独)土木研究所
 技術推進本部先端技術チーム
 主席研究員



管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用

田 熊 章

エネルギー資源の乏しい日本では、限りある資源の有効活用化を考えることが重要である。水力発電や原子力発電等に代表されるように遠隔地にて生産された莫大な電力は、送電線を伝わり、転送中に電気を失いながら各家庭まで伝わってきている。その意味で地産地消は、非常に効率の良いものである。私たちの身近に存在する下水道は、水インフラとして既に管路が張り巡らされており、その管路からエネルギーが回収できれば新たな熱エネルギー供給源として期待できる。しかも、下水道の管路網は、人口密集地に集結しており多様化する人々のライフスタイルから下水の流下があるならば長時間にわたって採熱(排熱)することが可能である。採熱システムを構築すれば、従来ならば排出していたエネルギーを半永久的に回収し続けることが可能となるのである。また、下水道管路は、敷設後50年を経過した物が増加しており、老朽化による陥没事故が増加しているため、インフラを守るためにも早急に管路更生を施し延命するべきとの声が年々高まってきている。下水道熱を利用しながらインフラの更生が行える画期的な管内設置型熱回収技術を紹介する。

キーワード：下水熱，ヒートライナー，融雪，空調，十日町市，東亜グラウト工業，B-DASH，管路内設置型熱回収，下水熱利用プロジェクト構想構築支援事業

1. 平成24年度B-DASHプロジェクト

(1) はじめに

国土交通省(国土技術政策総合研究所)により実施された平成24年度のB-DASHプロジェクト(下水道革新的技術実証事業)のうち、「下水熱利用技術」として、大阪市、熱回収配管メーカーの三者にて共同研究を行っている。この技術の概要は、**図-1**下水熱利用の概要に示すとおり、下水道管路を用いた熱の運用である。研究によって熱利用が確立されれば老朽化した管路を更生しながら下水道の熱を活用することが可能となる画期的な技術である。

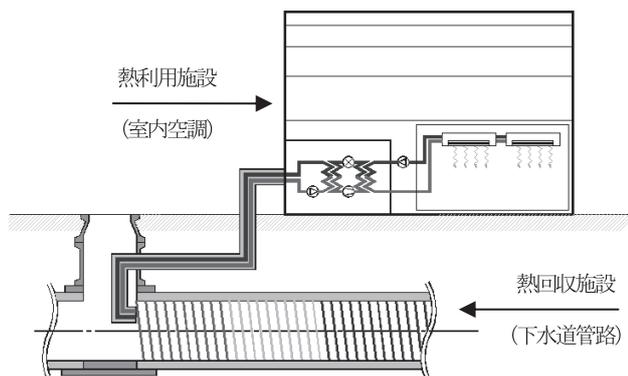


図-1 下水熱利用の概要

(2) 下水熱利用の仕組み

下水道管路は、地中内に埋設されているため太陽による熱の影響を受けにくく**図-2**下水と外気の平均温度比較に示すとおり外気温に比べて下水温度が安定している。しかも、年間を通じて変動幅が小さく、冬は暖かく夏は冷たい傾向にある。従来の空気型熱交換器は、外気を利用するため気温の変動幅が大きく、その分熱交換器に負荷がかかるため消費電力が大きくなってしまふのである。利用する熱の移動は、冬季と夏季によって異なり、冬季は下水から熱を採取し暖房として利用し、夏期には熱を放出することで冷房とし

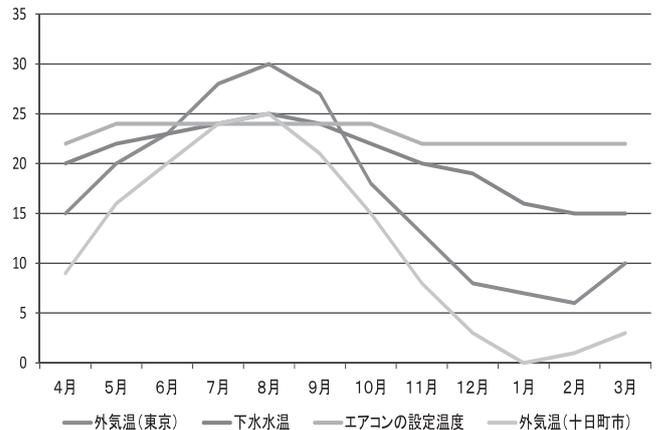


図-2 下水と外気の平均温度比較

て利用するのである。つまり、下水道は、外気と比較して安定した温度である特性を活かすことで、高効率でヒートポンプの運転が可能となり消費電力を抑制することが可能なのである。この傾向は、外気温が低い地域である程に下水温との差が開くため顕著となる。

この様に、安定した温度の下水を利用する合理的な構想は、過去にも活用されることがあったのだが、下水処理場やポンプ場の近傍での利用が中心となり、離れた場所では送水管路などの施設が必要となることから、建設コスト等が増大するという懸念があった。また、処理水とはいえ、下水そのものを利用することから脱臭設備等の対策が必要であった。

現在研究中の管路内設置型の熱回収技術は、熱交換専用の熱交換器および熱輸送専用の一次循環配管が施されており、下水温度のみを循環水に置換してクリーンに輸送して空調等に利用することができるのである。

(3) 共同研究について

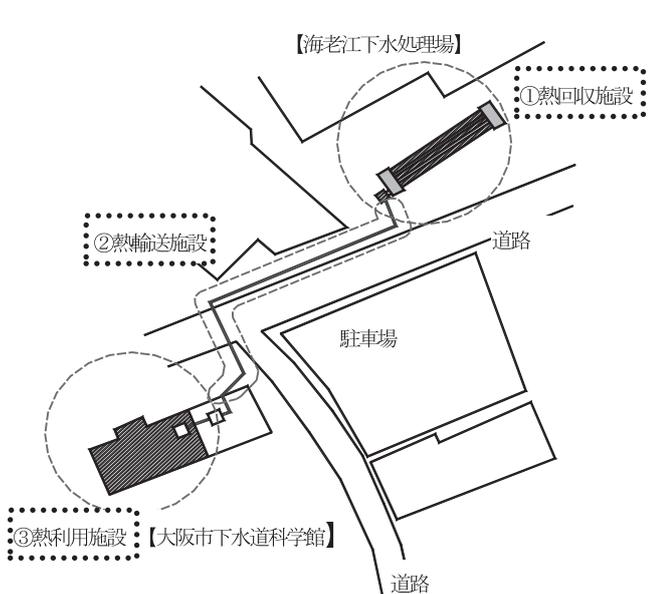
B-DASH プロジェクトは、国総研からの委託研究で有り三者共同体が受託して研究を進めた事業である。この三者の共同体は、下水から熱を交換して施設の空調に利用し、日々のデータを計測する実規模の研究を行った。実証事業は、平成 24 年 6 月より計画および実証施設の建設を行い、平成 25 年 2 月中旬から平成 26 年 3 月までに本格的な計測研究を行った。

実証設備は、図一 3 実証試験の位置図に示すとおり①熱回収施設、②熱輸送施設、③熱利用施設の三施設から構成されており、熱回収施設にて下水熱の採熱(排熱)を行い、熱輸送施設にて熱の伝達が行われ、

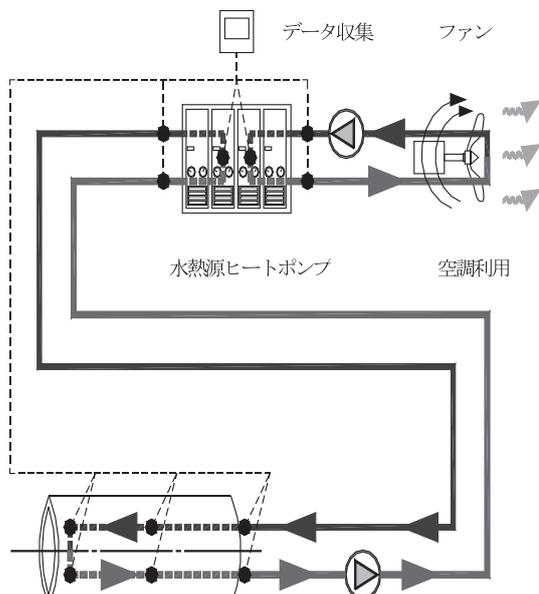
実際の施設で空調に利用したのである。熱回収施設は、阪神電鉄淀川駅西側に存在する海老江下水処理場(大阪市此花区, 処理能力 32 万トン/日)の敷地内に、老朽管を想定した内径 900 mm の実験用下水道管路を延長 L = 80 布設している。そして、その内面に耐震性を有する管路更生と同時に熱交換器を設置し、既設の沈澱池から分配槽を経由した生下水を実験用下水道管路内へ流下させる実現場を再現したのである。熱交換器の内部は、不凍液が流れており下水温度のみを置換して輸送するのである。熱輸送施設は、ポリエチレン管で構成されており海老江下水処理場から約 100 m 離れた下水道科学館の地下 1 階の機械室に設置するヒートポンプ設備まで、道路横断部を含む地下に埋設されている。熱利用施設は、下水道科学館の地下 1 階 515 m² を対象としており、海老江下水処理場からヒートポンプ設備までを循環する一次配管と、ヒートポンプ設備から地下 1 階の既設空調設備を循環する二次配管で構成されている。

(4) 計測内容と中間結果

実験の概要は、図一 4 実証試験のフローに示すとおりである。研究は、実際に開館中の下水道科学館(9:00 ~ 17:00)の空調を利用しながら行われ、各施設および配管の重要な箇所に計測機器が取り付けられている。これらの計測機器は、流量計や温度計、圧力計を 30 箇所以上設置しており、1 分間隔にてデータを計測し常に仮設事務所へ転送しながら管理を行っている。特に、ヒートポンプの前後のデータは重要であり、消費電力量を計測することで、回収熱量、消費電力、加



図一 3 実証試験の位置図

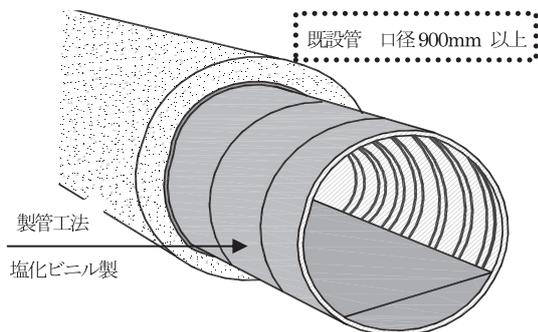


図一 4 実証試験のフロー

熱能力（回収熱量と消費電力の和）を求めており、成績係数（COP）にて評価を行った。研究結果は、日平均 COP として 4.3 と良好な運転（空気熱源式 3.3）であることを確認している。また、従来方式の管路外設置方式と比較して建設費で 39% 削減、維持管理費で 23% 削減、CO₂ 排出量・エネルギー使用量で 14% 削減が可能となる結果を得ている。

(5) 熱回収技術について

平成 24 年度の B-DASH プロジェクト（下水道革新的技術実証事業）は、熱回収施設に熱回収配管メーカー保有の更生技術「製管工法」を用いて計測研究を行った。この更生技術は、図一 5 熱回収施設（更生技術「製管工法」）に示すとおり、塩化ビニル製帯状更生材を管路内へ螺旋状に巻き立てることで新設管を構築する仕組みである。この更生材にポリエチレン製熱回収管が埋め込まれているため、更生工事と同時に熱交換器を設置することができるのである。熱回収管は、同様に螺旋配置しているため管周方向へ回りながら熱の伝達が行われる。



図一 5 熱回収施設（更生技術「製管工法」）

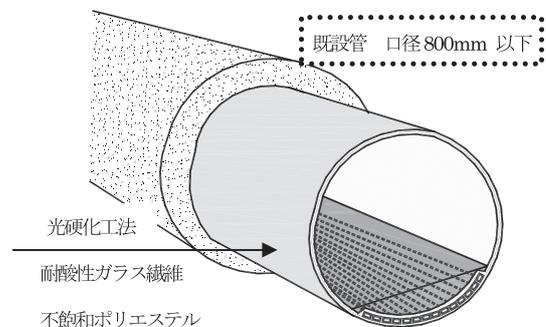
2. 小口径型の下水道熱利用技術

(1) ヒートライナー工法

前章で紹介した製管工法による採熱技術は、設置するために口径 900 mm 以上の埋設された既設管を対象としている。そのため、下水道管路として非常に多い小口径には自社技術の「ヒートライナー工法」（以下「本工法」という）を用いることで対応することができると考えている。この技術は、管路内設置型熱回収技術の口径 800 mm 以下の既設管を対象とした技術であり、管更生技術を「光硬化工法」にて行うのである。これら、既設管径に応じて適用する熱回収技術は異なるが、両工法とも更生工法として確立されている工法であり老朽管を更生することが可能となっている。

本工法とは、800 mm 以下の小口径管路を対象とし

た管路更生および下水熱利用の技術であり、自社技術の更生技術「光硬化工法」を用いている。特徴は、照射された光にて更生材を硬化させる方式であるため温度にて硬化させる方式と異なり湧水等の現場環境に左右されず、また硬化時間がφ 200 で約 1m 程度と速いため施工時間が短縮される工法である。この更生技術は、図一 6 熱回収施設（更生技術「光硬化工法」）に示すとおり、耐酸性ガラス繊維と光硬化性不飽和ポリエステル樹脂で構成されており、更生材を管路内へ引き込み、空気圧にて拡張させた後に紫外線照射によって確実に硬化させることで新設管を構築する仕組みである。熱回収管は、管底部にあたる更生材と下水道管路の隙間に配置しているため管軸方向へ熱の伝達が行われる。「製管工法」による採熱技術と同様に実証規模にてデータを取得していく計画である。



図一 6 熱回収施設（更生技術「光硬化工法」）

この本工法の原理は、採熱先進国のドイツで生まれ既に研究されている技術である。日本の下水道におけるφ 800 以下の小口径管路が占める割合は、80%以上と言われており日本でも実用性が高く開発が急がれる技術である。大口径管路の場合は、下水と接する面積が大きいため熱の運用が安定する点で有利であるが、実用が求められている小口径管路にこそ技術を確立する必要がある。下水道管路は、満水で流下することは少ないため、如何に効率よく熱の伝達を行えるのかが重要である。

本工法は、図一 7 システム概要図に示すとおり下水管路を流下する水深の変化に影響せず常に安定して管底から熱の採取（排出）が行えるため、大口径と同等程度の評価が得られると考えている。

また、管内面の状況は、付属品等の新たな設置の必要がなく通常の更生管と同様であるため流下阻害の影響が無い点も特長がある。

(2) 本工法の実証試験計画

管路内設置型熱回収技術の 1 つである「本工法」に

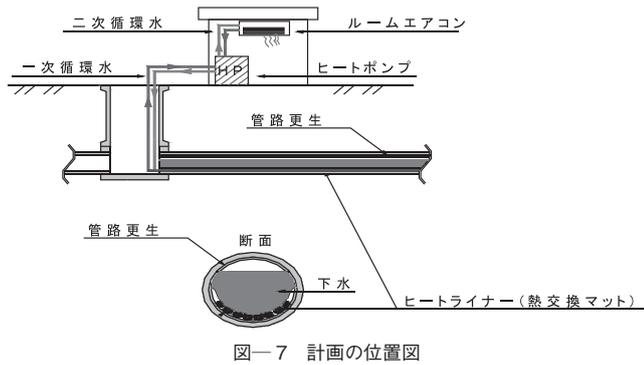


図-7 計画の位置図



図-8 十日町市の位置図

ついて、実運用を通じて技術的課題や有効性を検証するため、新潟県十日町市の協力を得ることにした。そして、平成25年度に国土交通省の「下水熱利用プロジェクト構想構築支援事業」を活用することで具体的な計画を立てることとした。

この支援事業では、計画から運用に至るまで有識者から適切な助言を頂くことにより、小口径管での下水熱利用に関する計画を策定したのである。具体的な内容は、下水道から熱を利用するための手順として、利用施設側の必要負荷を設定しヒートポンプの選定を行い、下水熱から得られる熱量との検証を行うことで実際の需要側の要求に適合する施設の建設を計画したのである。

翌年度に十日町市とは、下水熱利用プロジェクト構想構築支援事業にて計画した内容で実証施設の建設を目指すこととなった。その目的は、空調利用の実証研究のみならず、将来の融雪分野での活用を視野に入れた研究とするための基本データとするためである。そして、26年10月には、この実証施設の建設に着手し12月から1年間の運用データを得ることで本工法にて得られる下水熱の有効性を判断する計画である。

(3) 本工法の実証試験

十日町市は、図-8 十日町市の位置図に示すとおり新潟県の南部に位置し周囲は山に囲まれており冬には3mの積雪となる程の「特別豪雪地帯」である。また、市域内に流れる信濃川と渋海川水系沿いに水田が広がるため米作が盛んな地域であり、織物や着物の日本有数の産地としても有名である。

今回の研究に使用する実証施設は、十日町市が管理する施設であるため採熱する下水道管路からの距離も近く、実証と検証を確認する目的として最適な位置関係にある。この施設の位置は、図-9 計画の位置図に示すとおり JR 飯山線・ほくほく線の線路付近であり、最寄駅の「しんざ駅」からは、徒歩約12分程度の距離に位置している。この施設内の事務室（約



図-9 計画の位置図

25m²)を下水熱にて賄う計画である。既設管は、管径Φ800であり人孔間の距離は56.7mである。

実証試験施設の概要は、図-10 実証試験施設の概要図に示すとおり、B-DASHプロジェクトと同様の考えであり①熱回収施設、②熱輸送施設、③熱利用施設の3つの施設にて構成されている。①熱回収施設とは、道路下のΦ800下水道管路内に新規に敷設される熱源システムのこと、②熱輸送施設とは、熱源システムから利用施設までに熱を輸送する一次配管システムのことである。また、③熱利用施設とは、ヒートポンプ(熱変換装置)、室内の二次配管と空調システム

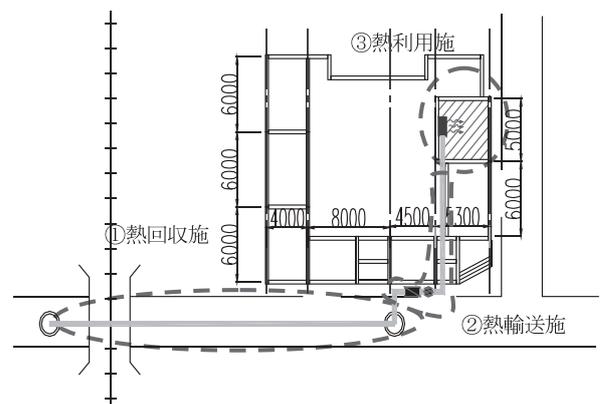


図-10 実証試験施設の概要図

である。

熱利用施設は、事前に熱負荷の状況を調査し計算を行った上で熱運用の計画を立てている。本計測研究では、下水熱源の他に空気熱源式の空調機を設置し同一施設内にて水熱源式と空気熱源式の比較を行える様にする事で有効性を判断できる様にした。また、平成27年4月までの計測結果から融雪への有効性を判断する予定である。

3. おわりに

管路内設置型の熱回収技術は、期待されている技術であるが年間を通した長期計測と運用実績を増やすことで実用できる技術であることを確認することが重要である。これらの研究を進めることで変動する外気温と運転効率について検証されることとなり、管路内に付着するバイオフィルムの影響も明らかとなってくる。また、従来式技術は、室外機を設置するので外気へ熱を放出するため温暖化への影響があると言われている。この技術は、下水道管路内へ熱のやり取りが行われるため、ヒートアイランド効果の抑制にも期待されている。また、下水道から得た熱は、ヒートポンプを介して利用するため、給湯やロードヒーティング、

融雪等への応用も考えられる。管路内設置型の熱回収は、老朽管路更生と熱エネルギー利用といった現在の日本にとって有益な技術であるため本研究にて技術を確立し全国へ普及されていくことを期待している。

JCMA

《参考文献》

- 1) 水窪俊博「大阪市における下水熱活用プロジェクトについて」、公益社団法人日本下水道協会 8月号 特集
- 2) 水窪俊博, 中井健司, 川口敏彦, 松橋学「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業」, 公益社団法人日本下水道協会 第50回下水道研究発表会講演集
- 3) 第24回非開削技術研究発表会
管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用について (東亜グラウト工業株)
- 4) 日経コンストラクション (2014.2.24)
シリーズ: 成長分野で強くなる。活用に動き出す都市の“埋蔵熱源”
空調から路面融雪まで多様に展開
- 5) 岡田和貴, 松本真輔, 田熊章, 川住亮太「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業 (第2報)」, 公益社団法人日本下水道協会 第51回下水道研究発表会講演集

【筆者紹介】

田熊 章 (たぐま あきら)
東亜グラウト工業株
管路メンテグループ 技術開発室
課長



管路更生と組み合わせた下水熱利用システムの開発

中 井 健 司

東日本大震災の発生以後、省エネルギー・創エネルギー対策は、社会的に大きな課題となっており、再生可能エネルギーの利活用がより一層求められている。下水熱利用はこうしたエネルギー対策の一つと考えられており、下水道管路から直接熱を回収して有効に活用する技術を確認することで大きな効果が期待できる。

また、下水道管路は、敷設後50年を経過したものが近年増加しており、老朽化による陥没事故や破損事故が増加している。下水道事業においては、ストックマネジメントの実践により、維持管理・改築・修繕の一体的な最適化を図り、計画的に改築（更新・長寿命化対策）を実施していくことが求められている。

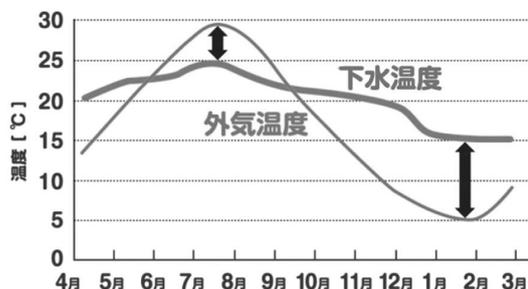
この度、管路更生の技術に熱回収の機能を付加したシステムを開発した。管路更生用部材に集熱用配管を組み合わせることで、安定した熱源である下水から直接熱を採取する。採取された熱は、ヒートポンプを組合せ、冷暖房、給湯等の熱源として高効率で利用することができる。

本稿では、上記下水熱利用システムを用い、仙台市との共同研究事業として平成25年度より行っている実証研究について紹介する。

キーワード：再生可能エネルギー、下水熱、熱回収、ヒートポンプ、エネルギー効率、ストックマネジメント、下水道管路、管路更生

1. はじめに

東日本大震災の発生以後、省エネルギー・創エネルギー対策は、社会的に大きな課題となっており、再生可能エネルギーの利活用がより一層求められている。下水熱利用はこうしたエネルギー対策の一つと考えられており、下水道管路からの直接熱を回収して有効に活用する技術を確認することで大きな効果が期待できる。



図一 下水温度と外気温度の例

2. 下水熱の利用状況と課題

下水温度は、年間を通して安定しており、夏場は外気温度より低く、冬場は高いという特性があり、都市内に豊富に存在している（図一）。ヒートポンプを組み合わせることにより、回収された下水熱は、室内冷暖房等の熱源として高効率で利用することができる（表一）。

具体的な事例として、幕張新都心や名古屋市などで処理水を熱源とした熱利用が行われている他、東京の後楽1丁目や盛岡西口地区などでは、未処理下水を熱源とし特殊な熱交換機を用いた下水熱利用が行われて

表一 下水熱利用事例（国内）

	下水種類	熱供給対象	延床面積	供給開始
幕張新都心 ハイテクビジネス地区	処理水	オフィスビル、ホテル	932,000㎡	平成2年4月
後楽一丁目地区	未処理水	娯楽・業務施設、ホテル	242,000㎡	平成6年11月
盛岡駅西口	未処理水	複合ビル、テレビ局	56,000㎡	平成9年11月
江東区 新砂三丁目地区	処理水	病院、オフィス	62,000㎡	平成14年4月
芝浦 ソニーセンター	処理水	オフィス、会議室、店舗	163,000㎡	平成18年10月

いる。しかしまだ活用実績は少なく、今後の利用拡大が期待されている。

一方、海外の下水熱の利用動向を見てみると、処理水を熱源とするものは、大型のものがドイツ・スイスの他ノルウェー・カナダで採用されている。未処理下

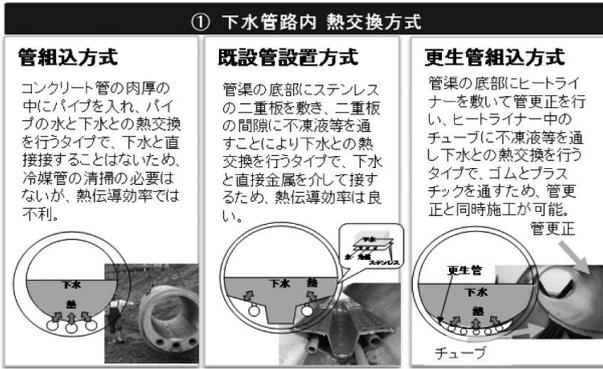


図-2 海外における下水熱交換方式の事例

水を熱源とするものは、ドイツ・スイスで導入されており、下水道管路に熱回収パネルを設置するもの（既設管設置方式）や管自体に熱回収管を組み込んだもの（管組込方式）などのシステムにより熱を回収するのが多数採用され、導入実績が増えている（図-2）。

熱回収技術の進んだ海外と比較すると我が国の下水熱利用は、いずれも下水処理施設・ポンプ場敷地内建築物内とその周辺に限られた熱利用であることから、下水道管路で熱を回収するシステムを一般化し、下水処理施設・ポンプ場の周辺以外の場所でも下水熱利用を可能にするなど、汎用性を高める必要がある（図-3）。

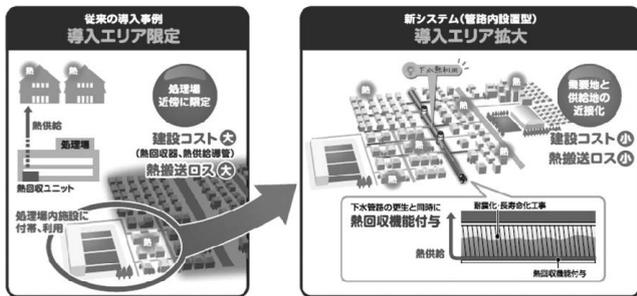


図-3 下水熱利用の導入エリア拡大イメージ

3. 管路更生に合わせた熱回収技術の開発

我が国の下水道管は、戦後都市部を中心に整備が進

■ 管路施設の年度別整備延長(H24末現在)

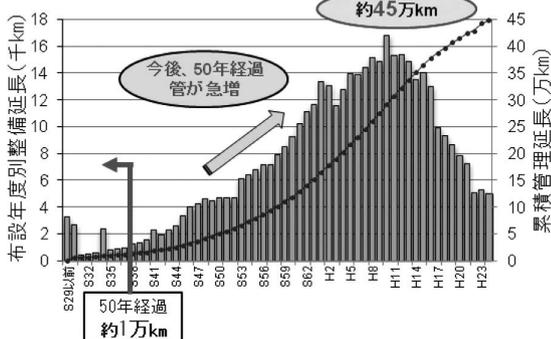


図-4 年度別下水管整備延長

んできた。現在敷設後50年以上経過した管路が11,000 km、30年以上が84,000 kmとなっており、その老朽化が深刻な問題となっている（図-4）。

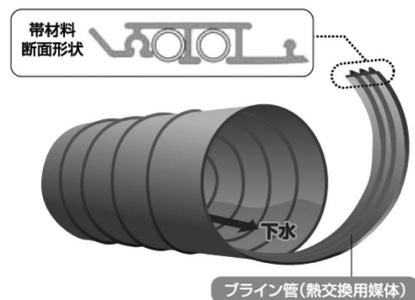
老朽化した下水道管路をリニューアルする工法は、管路条件に合わせていくつかある。その一例を以下に示す（図-5）。この工法は、製管工法のひとつで、既存の管路を開削することなく、その内側に新たに管路を構成するものである。施工は、マンホールからプロファイルと呼ばれる塩ビ帯状部材をスパイラル状に製管し、既設管路と更生管（製管した管）の間隙に特殊裏込め材を充填し、既設管路と一体化した強固な複合管としてリニューアルするものである。



図-5 製管工法の一例

近年の下水熱利用ニーズの高まりに対応すべく、この度、管路更生と同時に熱回収の機能を付与できるシステムを開発した（図-6）。管路更生部材に集熱用配管を組合せることで、通常の製管工事と同時に集熱用配管を敷設できる。その集熱用配管に熱交換用媒体としてブライン（不凍液）を使用し、ブラインを循環させることで、下水から直接熱を採取する。この熱回収技術の特徴としては、以下があげられる。

- ① 更生工事と同時に熱交換器の設置が可能で建設コストの低減を図れる。
- ② 熱回収管が下水と直接接触する構造で熱回収性能が



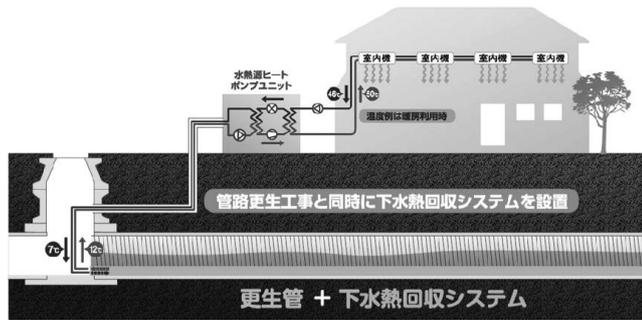
らせん更生管内部にブライン管を配置

図-6 集熱器組込型更生管

高い。

③熱回収管が樹脂製であるため耐食性、耐久性に優れる。

採取した熱は、ヒートポンプの熱源として利用され、空調や給湯、融雪などに使用される。この熱回収技術を用いた下水熱利用システムは、専用の取水設備などを必要とせず、管路外方式と比較して建設費や維持管理費などのコスト縮減を期待できる（図一七）。



図一七 下水熱利用システムの概念図

4. 仙台市における下水熱利用実証研究事業

次に仙台市との共同研究事業として平成 25 年度に行った実証研究について紹介する。今回仙台市での下水熱利用システム導入にあたり、下記関係者に協力いただいた。

- ・仙台市（共同研究パートナー、対象管路提供）
- ・地権者
- ・スーパーマーケット（店舗内給湯利用）

本事業は、震災後の平成 23 年度に国土交通省により立ち上げられた「下水道地震・津波対策技術検討委員会 復興支援スキーム検討分科会」の中で「管路の下水熱利用システム」を仙台市に提案し、国土交通省

下水道部の業務として事業可能性検討を実施したものがベースとなっている。下水管渠からの下水熱利用の実用化は本件が本邦初となる。

(1) 共同研究の概要

本事業は、仙台駅から車で 10 分程の、広瀬川沿いにある工場跡地開発区域（ゼライスタウン）内に建設されたスーパーマーケットを熱需要家として給湯利用を行うものである（図一八）。

開発区域の北側には、既存合流式下水道管の南小泉幹線（φ 1,200 mm）が埋設されており、そのうち 45 m の 1 スパンに対して管路更生および熱回収管を設置した。また、下水から取り出した熱をヒートポンプまで運ぶラインを循環させるための配管を、民間敷地内の緑地帯に約 95 m 埋設し、店舗脇にヒートポンプを設置した。

利用用途は、スーパーの惣菜、精肉、鮮魚コーナーのバックヤードでの使用とし、1 日の給湯量を 4,600 リットルとした。

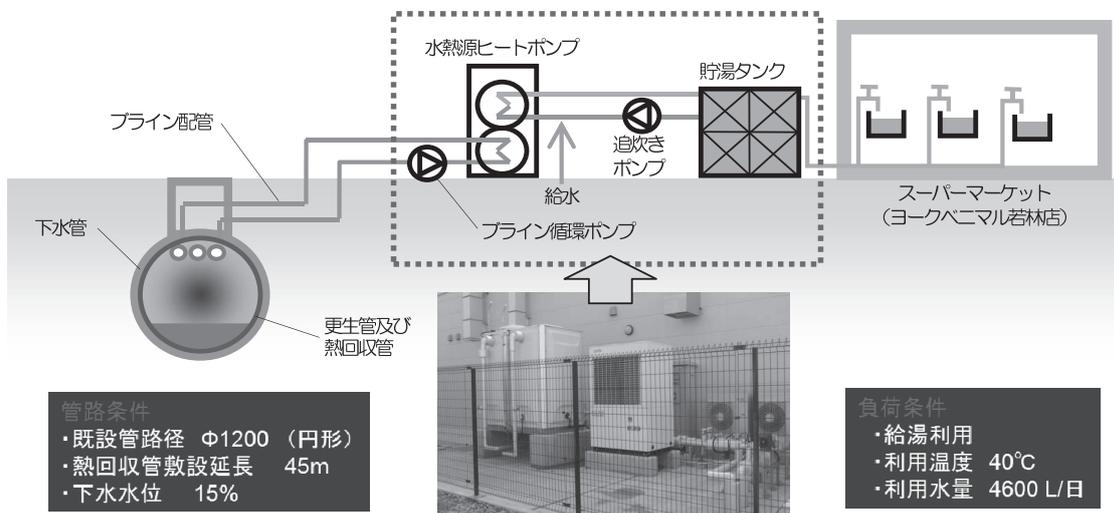
(2) 施設施工時における実証

施設の区分は、公道下を下水道事業とし、民間敷地内を民間熱利用事業として実施した。

(a) 下水道事業

公道下部分の施工は、下水管内の更生工事と熱回収機器設置及び民間敷地までのライン配管埋設が対象となる。

対象管路延長は 45 m で、熱回収配管は全 45 m の管路において 3～4 m のユニットに分割しており、それぞれのユニットにラインを投入一返還するための熱回収本管に接続される。すなわち熱回収本管は、



図一八 システム概略図



写真-1 製管状況

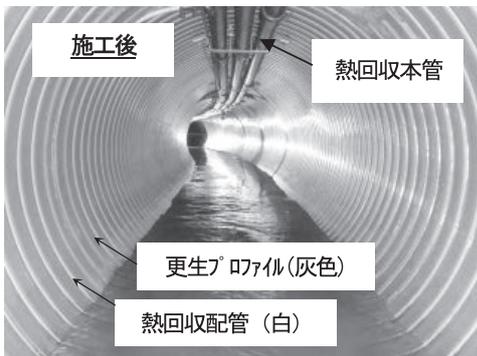


写真-2 施工前後状況

各ユニットのヘッダー管として機能する。
 製管完了後、熱回収本管を設置し、個々のユニットの熱回収配管と熱回収本管を接続する。すべてのユニットを熱回収本管に接続し、ブラインを投入して循環確認を実施した。接続部からのブライン漏れなどがないことを確認して管路内作業は完了となる（写真-1, 2）。

(b) 民間熱利用事業

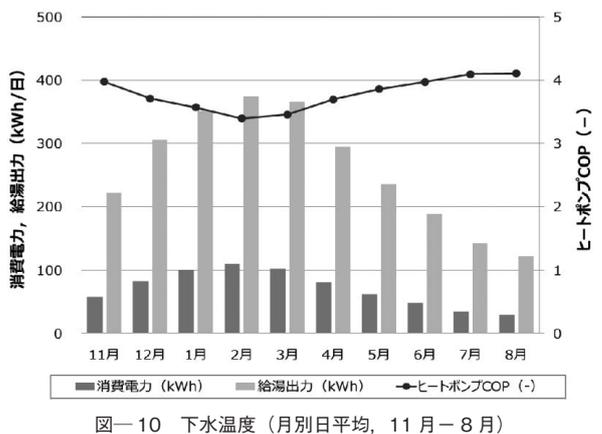
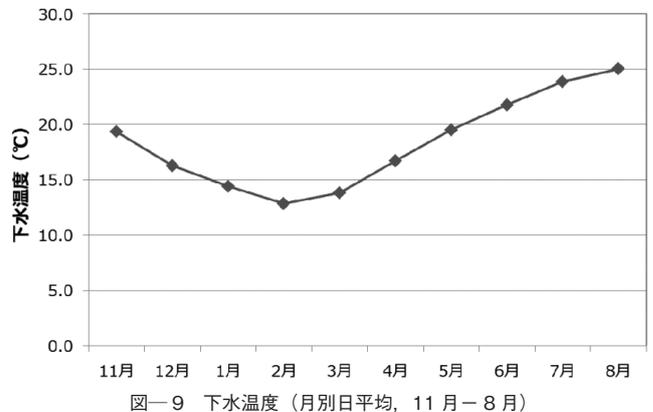
民間熱利用事業については、民間敷地内の配管埋設、ヒートポンプ及び付帯設備機器設置、データ計測器設置が対象となる。

すべての機器を設置、接続後ヒートポンプの運転チェックを実施しスーパーマーケットへの給湯を開始した。

(3) 施設施工時における実証

本システムは、工事期間約3ヶ月（2013年8月～10月）で、11月より下水熱利用にて給湯運転を稼働している。共同研究は平成27年3月までとしており、その中で実使用下での環境性能評価、維持管理上の課題整理、季節や天候の影響評価などを実施していくこととしている。

運転状況の参考として、平成25年11月から平成26年8月までの下水温度の測定結果を図-9に、ヒートポンプの消費電力、給湯出力、エネルギー効率(COP)の結果を図-10に示す。冬季の2月に下水温度が最も低下しており、エネルギー効率(COP)も2月で最も低くなっている。期間中のエネルギー効率(COP)は3.5～4.1であった。



5. 今後の普及に向けて

今回紹介した老朽化した下水道管路の更生工事と、下水熱回収システムの設置工事を同時に行う下水熱利用システム「エスロヒート下水熱-らせん型」の事業を2013年に開始した。

また更生工事が必要のない下水道管路における熱回収のニーズも高いことから、昨年「エスロヒート下水熱-管底設置型」をラインナップに加え、更生工事が



写真-3 管底設置型の設置例

不要もしくは更生後の下水道管路にも幅広く対応できる体制が整った。

6. おわりに

今後の下水熱利用の普及に向けては、多様な下水管の現地条件に対応して設置・熱回収が可能なシステム

の拡充、機器類の低コスト化による経済性の更なる向上への取り組みなどが求められる。下水熱の普及拡大に向けて、更なる商品開発・ランナップ拡充に取り組み、導入促進に尽力していきたいと考えている。

謝 辞

今回の下水道管路から直接熱を回収して有効に活用する技術の開発にあたり、共同研究のパートナーとして管路提供を頂いた仙台市、地権者のゼライス(株)、店舗内の給湯利用を頂いたスーパーマーケットの(株)ヨークベニマルの各社には、この場を借りて謝辞を申し上げます。

JCMA

【筆者紹介】

中井 健司 (なかい けんじ)
積水化学工業(株)
環境・ライフラインカンパニー
熱エネルギープロジェクト
担当部長



大深度立坑の施工

浜崎 尚・根岸 秀樹

北海道電力(株)京極発電所新設工事は北海道虻田郡京極町に純揚水式発電所を新設するものである。そのうち当社は、深度 462.5 m の大深度立坑掘削を含む水圧管路工事を担当した。当初計画ではレイズボーリング工 (φ 1,500 mm) を行い、掘削ズリはそのボーリング孔を利用して下部水圧管路より搬出を行う予定であった。しかしながらレイズボーリング孔壁の崩落により孔内が閉塞し、ズリ搬出方式の変更を余儀なくされた。レイズボーリング工に計画工程以上の日数を要したことが、ズリ搬出方法の変更に伴う掘削サイクルの増加によって、工程を遵守することが厳しい状況となったが、施工計画の変更および冬季施工の実施により、最終的には工程を確保することができた。本報文では、立坑掘削における設備の概要と工程確保の為にに行った施工計画の変更について報告する。

キーワード：大深度立坑、槽設備、水圧管路、純揚水式発電所、NATM 工法

1. はじめに

北海道電力(株)京極発電所新設工事は、北海道虻田郡京極町 (図-1 参照) の北部に、プール形式の上部調整池、尻別川水系ペーペナイ川上流部に京極ダム (下部調整池) を新設し、この間の総落差約 400 m を利用して、最大出力 60 万 kW (20 万 kW × 3 台) の純揚水式発電所を新設するものである。揚水式発電所とは、発電所の上部と下部に調整池を持ち、電力需要の少ない時に下部調整池から上部調整池へ水をくみ上げておき、電力需要の多いピーク時に発電する方式であ

る。また、純揚水式は、上部調整池へ河川からの自然流入がなく下部調整池からの揚水分のみで発電する方式である。京極町の気象は、年間平均気温 7℃、最低平均気温 -12.2℃で、上部調整池付近は積雪 5 m に及ぶ道内でも有数の豪雪地帯である。

当社は、上部調整池から発電所までの上部水圧管路および水圧管路立坑と上部水圧管路にアクセスするための水圧管路管理トンネルの掘削と水圧鉄管周辺の充填コンクリートを担当した。

2. 工事概要

工事件名：京極発電所新設工事のうち
発電所基礎他工事

発注者名：北海道電力株式会社

工期：平成 15 年 6 月 23 日～平成 25 年 11 月 20 日

施工場所：北海道虻田郡京極町

水路管路立坑工事数量：

立坑延長 L = 462.5 m 掘削内径 φ 6.1 m

断面積 A = 29.2 m² 掘削土量 16,126 m³

掘削工法 NATM 工法

当初の施工計画では、立坑掘削範囲内に径 1,500 mm のレイズボーリング工を行い、そこへ掘削ズリを投下し、施工済みの下部水圧管路より二次運搬することで立坑掘削を行う計画であった。立坑掘削完了後、槽設備を使用し最下部より順次水圧鉄管を据付ける計画で



図-1 位置図

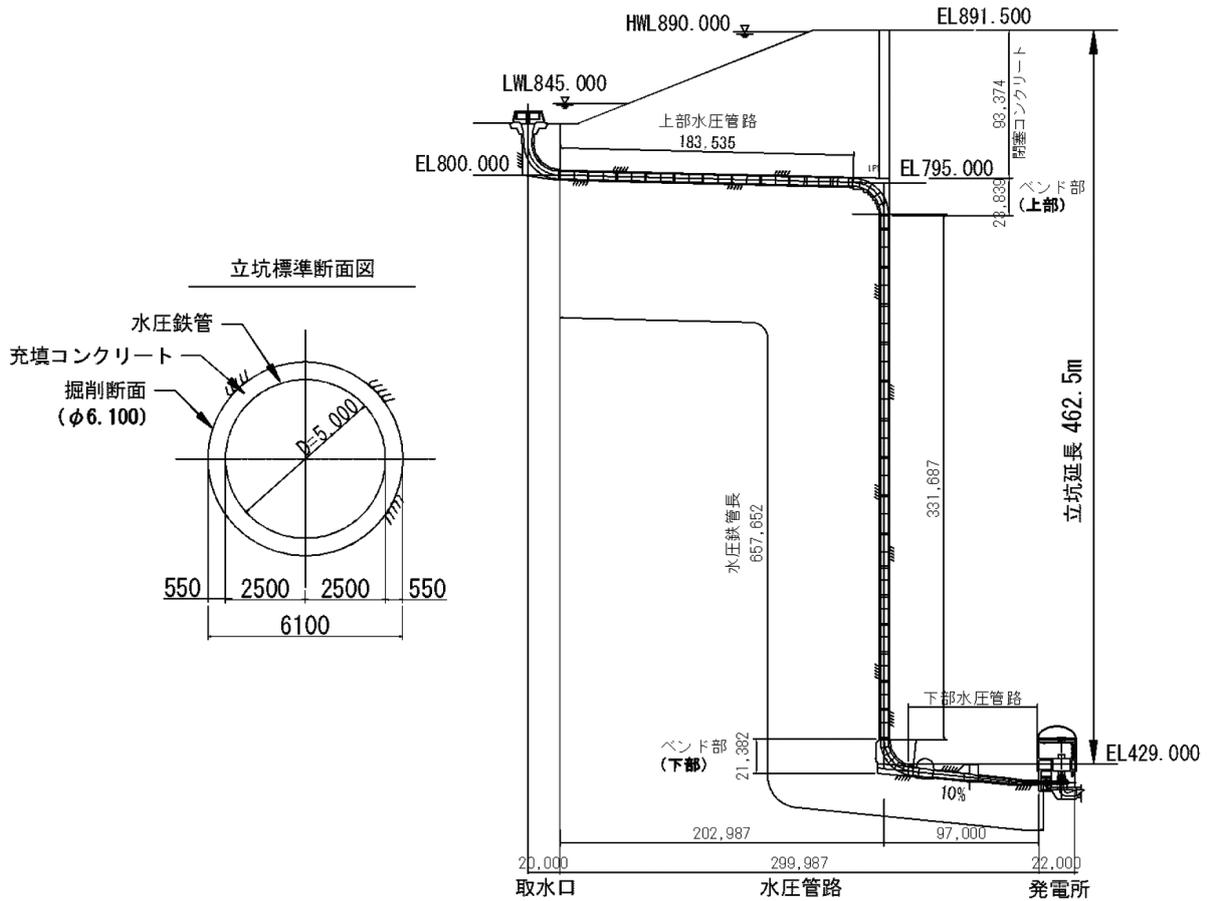


図-2 水圧管路立坑設計図

ある。水圧鉄管周辺の充填コンクリートは、水圧鉄管2管据付後、2管分を充填する施工サイクルを基本として槽設備で運搬打設した。また、施工場所は道内有数の豪雪地帯であるため、冬季間は休工する計画としていた。水圧管路立坑設計図を図-2に示す。

表-1 槽設備諸元表

槽設計条件				
1)	掘削径	φ 6.4m		
2)	仕上径	φ 6.1m(一次吹付け)		
3)	立坑延長	462.5m		
4)	水圧鉄管仕様	長さ12m、重量61000kg		
5)	荷重条件		最大吊り荷重	最大速度
	キブル設備	200m迄	12300 kg	216 m/min
		200m以降	11100 kg	216 m/min
	スカホード設備	43000 kg	7.5 m/min	
エレベータ設備	500 kg	63 m/min		
設備仕様				
1)	スカホード設備	φ 5.6m、3床式		
2)	エレベータ設備	500kg(7人乗り)		
3)	マッカー設備	0.35m ³ ズリ積み機		
4)	キブル設備	ズリ用:4.5m ³ (転倒式)		
		吹付けコンクリート用:2.5m ³ (エアース)		
		充填コンクリート用:4.0m ³ (エアース)		
5)	シャフトジャンボ	2ブーム油圧式		
6)	吹付け機械	アリバ(湿式)		
7)	巻上機	キブル設備	600kW	
		スカホード設備	75kW×2台	
		エレベーター設備	30kW+15kW	
8)	坑口設備	ジャンボ搬入出装置、坑口ドア、2.8tクレーン ズリシュート、ズリキブル自動転倒装置		

3. 槽設備概要

水圧管路立坑は槽設備を用いて掘削を行う。なお、掘削終了後は、水圧管路搬入に伴い、ズリシュート、ズリキブル転倒装置、シャフトジャンボ搬入出装置を取外す等、水圧鉄管搬入仕様に改造を行う。

(1) 槽設備

槽設備は鉄骨構造の槽に、巻上設備、ズリキブル転倒装置、ズリシュート等を装備し、スカホード(吊り足場)、シャフトジャンボ、ズリキブルを坑内に吊り込んで掘削作業を行う設備である。

当工事は、立坑掘削完了後に水圧鉄管(最大L=12m)の吊り込みを行うため、槽全体高さが38mとなっている。これは過去の槽設備の中で最も高い設備となっている(メーカー談)。

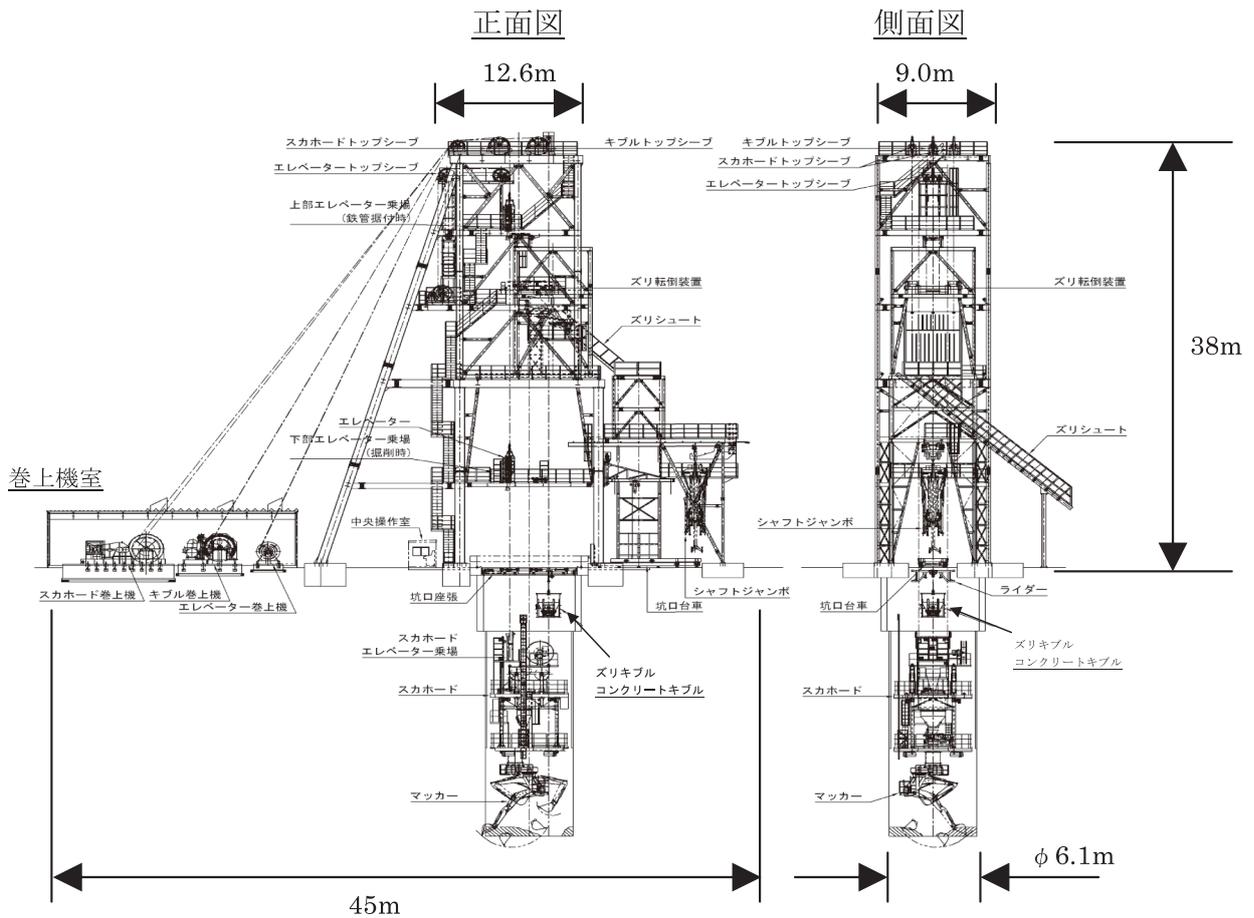


図-3 槽設備全体図



写真-1 槽設備全景

槽設備諸元表を表-1, 槽設備全体図を図-3, 槽設備全景を写真-1に示す。

(2) スカード

スカードは立坑内を上下移動する吊り足場で、φ5.6mの3床構造からなる。スカード上または中央操作室より操作して最大7.48m/minの速度で移動す

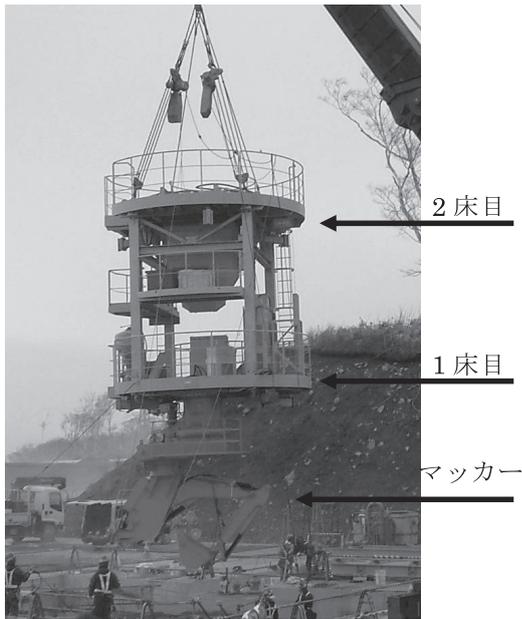
ることができ、分類は懸垂式 Gondola (ケージ式) となり、所轄機関への設置届けおよび使用検査を実施している。スカード上には吹付機 (アリバー), 急結材添加装置等の機材を設置しており、また坑口から切羽へ降ろす資機材の通過位置にはφ2.2mのベルマウス (開口) が開いている。地上からスカードまでは7人乗りエレベータで移動し、切羽へは電動梯子を使用して昇降する。スカード外観を写真-2,3に示す。

(3) マッカー

スカード1床目下部に設置している掘削ズリ積込機 (0.35m³積) である。駆動方式は油圧式で、これを操作して発破後の掘削ズリをズリキブルに積込む。マッカーを写真-2に示す。

(4) キブル

切羽への資機材搬入出や、坑外へのズリ搬出を行うための設備で、分類はガイドロープ式バケット型建設用リフトとなる。掘削ズリ搬出用のズリキブル (4.5m³積), 吹付コンクリート搬入用のコンクリートキブル (2.5m³積) の2種類のバケットの他、鋼製支保工等



写真一2 スカホード外観 (1床目, 2床目)



写真一3 スカホード外観 (3床目)



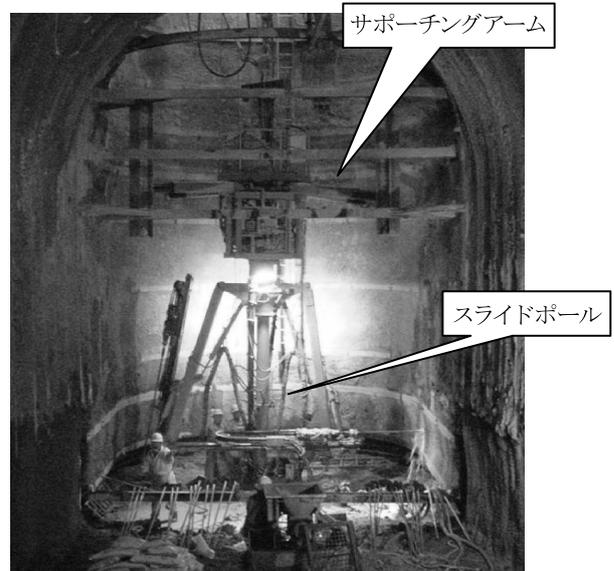
写真一4 ズリキブル外観

の資材、シャフトジャンボ等の機材もこの設備を使用して搬入出する。キブル巻上機で上下させ、最大速度は217 m/minである。ズリキブルを写真一4に示す。

(5) シャフトジャンボ

2ブーム油圧式のシャフトジャンボで、発破時の削

孔及びロックボルトの削孔に使用する。スカホード1床目下部に吊り下げ、サポーティングアーム (側方, 4箇所) 及びスライドポール (下方, 1箇所) をトンネル壁面に張って固定し、削孔を行う。シャフトジャンボ外観を写真一5に示す。



写真一5 シャフトジャンボ外観

(6) 巻上機

スカホード用、キブル用、エレベータ用の3種類がある。巻上機は巻上機室に設置されており、槽設備頂部に設置されているトップシーブを介してワイヤーが各々の設備に接続されている。巻上機は全てインバーター制御を採用している。

4. 計画変更

(1) 掘削ズリ搬出方法

水圧管路立坑の掘削ではレイズボーリング終了間際に湧水に起因する孔壁の崩落により孔内が閉塞し、下部水圧管路に掘削ズリを落とすことが不可能となった。このため、掘削ズリを切羽から坑外へ搬出するため、槽設備に以下の改造を行った。

- ・掘削ズリを坑外に搬出するために、ズリキブル (4.5 m³積) とズリキブル転倒装置、及びズリシュートを追加設置した。
- ・ズリ搬出時間を短縮するために、キブル巻上機を変

表一2 巻上機の変更内容

項目	変更前	変更後
電動機	160 kW	600 kW
最大巻上速度	68 m/min	217 m/min

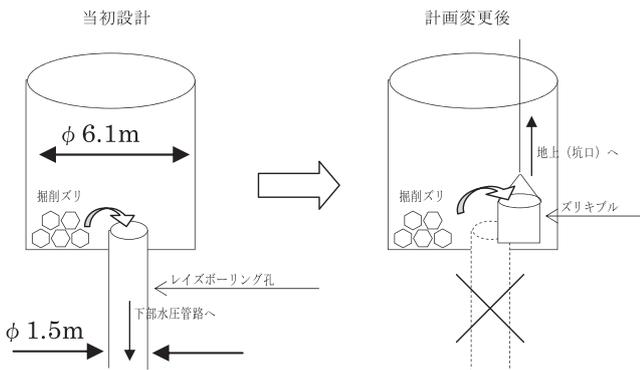


図-4 ズリ搬出方法概要図



写真-6 ズリシュート外観

更した。変更内容を表-2に示す。

ズリ搬出方法概要図を図-4に、ズリシュート外観を写真-6に示す。

(2) 支保形式

当初設計では掘削工法はNATM工法を採用していた。しかし立坑坑口部の掘削時は、湧水や玉石交じりの岩の為にロックボルト挿入に時間がかかり、1断面当たりの施工に5時間近く費やしてしまうこともあった。そのため標準断面部において、ロックボルトのない支保形式を採用して工程確保を図ることとした。支保形式は鋼製支保工および吹付けコンクリートとD10鉄筋金網の組合せで鉄筋コンクリートとして評価した。施工方法の変更によりCL級のサイクルタイムで4.4時間程度の短縮となった。支保パターンの代表例としてCL級の支保パターンの変更経緯を表-3に示す。

表-3 支保パターンの変更経緯 (CL級)

項目	ピッチ	鋼製支保工	吹付けコンクリート	金網	ロックボルト
当初設計	1.5 m	H100	10 cm	なし	3.0 m 12本
変更後	1.2 m	H100	10 cm	D10	なし

※岩級区分は電研式岩盤分類に基づく。

(3) 冬季施工

当現場は北海道の中でも有数の豪雪地域であり、現場までの通勤路も急勾配の山道で除雪の困難さや雪崩等の危険性により、当初計画では12月上旬から4月までは施工を中断する予定であった。しかし、レイズボーリング工に時間を要し立坑掘削工開始時期がずれたことや、ズリ搬出方法の変更に伴う掘削サイクルの増加に対して工程確保が課題となった。そのため冬季の作業環境を考慮した、安全管理計画を入念に検討した上で冬季施工に取り組んだ。具体的には、除雪体制を整備し通勤路を確保したほか、槽設備全体を建屋で囲い冰雪の付着による設備不具合を防止し冬季間作業に対応した。また、最も懸念されたのが吹付けコンクリートの運搬である。吹付プラントから立坑までの運搬路が片道10km程の急勾配の狭小路であり、積雪のために吹付コンクリートの安定的な運搬が困難となることが予想された。そこで冬季間の施工についてはライナープレートによる支保構造に変更した。CL級のライナープレートの支保パターンを表-4に示す。

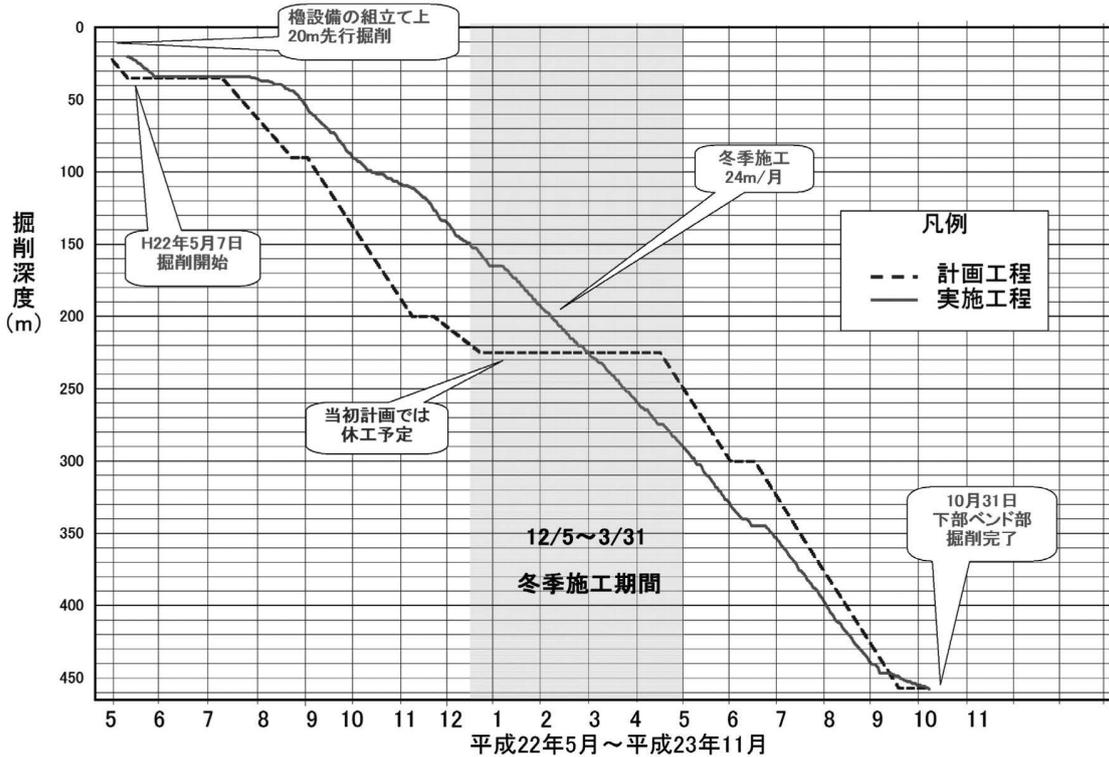
表-4 ライナープレート支保パターン (CL級)

ライナープレート	t = 2.7 mm H = 500 mm
補強リング	H100 @1.5 m

施工にあたり、ライナープレート背面の空隙充填および空隙背面土圧を受けた際の地盤改良を目的とする裏込め注入工を採用した。ライナープレートは立坑ヤードに設置した冬季用の資材倉庫に保管し、裏込め充填材および注入機材は、立坑ヤード近傍で施工済みの上部水圧管路にストックして対応した。

5. おわりに

今回の大深度立坑の施工では、工程確保に向けて掘削ズリ搬出方法や支保パターンの計画変更に取り組んだ。また、有数の豪雪地帯でありながら冬季施工に取り組み、安全面に対しても万全を期した結果、平成23年10月31日に無事掘削を完了した。図-5に水圧管路立坑掘削工程表を示す。



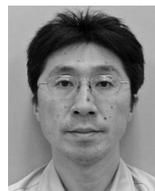
図一五 水圧管路立坑掘削工程表

謝 辞

大深度立坑の施工は、「トンネルの佐藤」としても、社運をかけたプロジェクトであった。様々な困難を現場担当者、作業員の不屈の努力と、協力会社、発注者様のご協力をえて、無事平成 25 年末に竣工を迎える事ができた。関係各位のご尽力に深く御礼申し上げます。



【筆者紹介】
 浜崎 尚 (はまさき たかし)
 佐藤工業(株)
 東京支店 京極作業所



根岸 秀樹 (ねぎし ひでき)
 佐藤工業(株)
 東京支店 京極作業所



水素社会の実現に向けた取組

江川 光

水素は利用段階で温室効果ガスの排出が無い、燃料電池を活用することによって高いエネルギー効率が期待される、様々な資源から製造出来るという特徴を有している。また日本の産業界が強みを有する分野であり、日本の課題であるエネルギー・セキュリティの確保、環境対策及び産業競争力の強化に向けて、水素をエネルギーとして日常の生活や産業活動で利活用する社会、すなわち“水素社会”の構築が期待されている。

世界に先駆けて販売された家庭用燃料電池の普及台数が10万台を超え、2014年12月に燃料電池自動車の一般販売が開始される中、燃料電池・水素エネルギーに注目が集まっている。一方で、本格的な水素社会の実現に向けては、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題が存在している。

本稿では、水素エネルギー社会の実現に向けた政策、課題、今後の方向性について紹介する。

キーワード：燃料電池、水素、産学官連携

1. はじめに

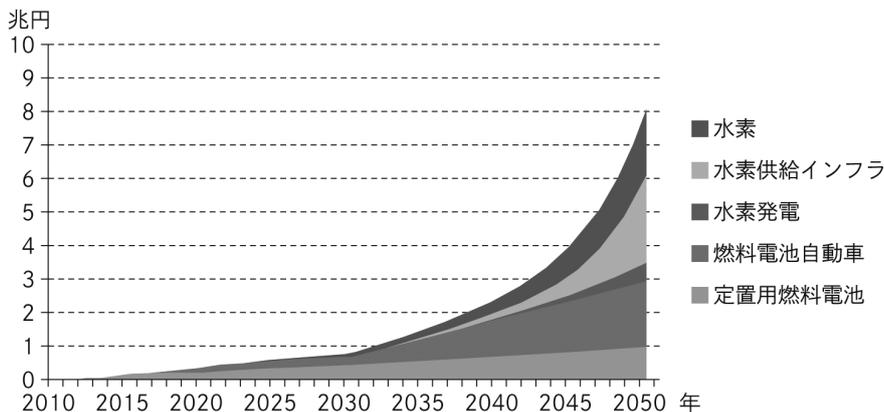
地球環境問題やエネルギー問題の解決及び産業競争力強化の観点から、水素エネルギーを大きく利用する水素社会への期待が高まっている。

水素の特徴のひとつはクリーンであること、すなわち使用段階であれば二酸化炭素を発生しない、また再生可能エネルギーを用いるなどCO₂フリーな水素によって、大きく温暖化対策に貢献出来るポテンシャルを有している。また、水素エネルギーを利用するアプリケーションである燃料電池は、燃料である水素と、空気中の酸素との電気化学反応から電気エネルギーを直接取り出すため発電効率が高い。また、電気と熱の両方を有効利用することで、さらに総合エネルギー効

率を高めることが可能である。このため、燃料電池の活用を広げることで、大幅な省エネルギーにつながり得ると考えられる。

次にエネルギーの多様性という観点が挙げられる。水素自体は様々な資源から製造することが可能であり、現在は、化石燃料の改質や工業プロセスの副生物として製造されているが、再生可能エネルギーの電力を用いた水電解にて製造することも出来る。この水素エネルギーを利用する観点では、燃料電池を使ったコジェネレーションや、ガスタービン等による大規模の発電、乗用車や大型のバス、トラック、燃料電池船といった移動体への利用と多用途に展開可能であり、製造と利用、両方で多様性を有している。

さらにエネルギー・セキュリティ確保の観点からも



図一 我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測

重要である。海外の褐炭や原油随伴ガス，再生可能エネルギーなどの未利用エネルギーを調達することが検討されており，これが実現すれば，エネルギーに関する地政学的リスクの低減が期待される。

さらに，日本の燃料電池分野の特許出願件数は世界1位で，2位以下の欧米をはじめとする各国と比べて約5倍と諸外国を大きく引き離している。また，水素・燃料電池関連の市場規模は，我が国だけでも2030年に1兆円程度，2050年に8兆円程度に拡大するとの試算もあり（図—1），今後10～35年間で大きく成長する分野と期待されている。燃料電池・水素の領域で世界をリードしていくことは，産業競争力確保の観点からも重要である。

2. 国の政策における位置づけ

2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」においては，水素の特徴を踏まえて，水素を日常生活や産業活動で利活用する社会（水素社会）を目指した取り組みを加速することが示された。具体的には，従前より取り組みが進められている定置用燃料電池（エネファームなど）の普及・拡大，燃料電池自動車の導入加速に向けた環境の整備といった取組に加え，水素の本格的な利活用に向けた水素発電などの新たな技術の実現，水素の安定的な供給に向けた製造，貯蔵・輸送技術の開発の推進が追加されるとともに，水素の製造，輸送・貯蔵，利用までを俯瞰した，“水素社会”の実現に向けたロードマップの策定が示された。

この基本計画を受けて，2014年6月23日には，経済産業省によって「水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取組の加速～」が策定，公表された。このロードマップでは水素の利用について，

技術的課題の克服や経済性の確保に要する期間の長短に着目し，3つのフェーズに分けて取組を進めていくことが示された（図—2）。

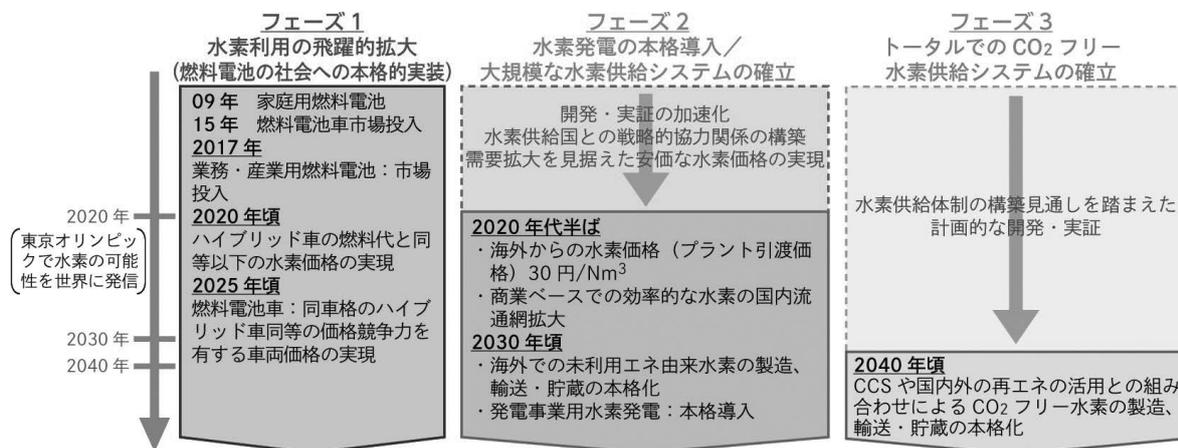
これらの政策において，家庭用燃料電池システムについては，2020年に140万台，2030年に530万台の普及を目標としている。また，燃料電池自動車についても，2015年度までに水素ステーションの場所を100カ所程度確保することなどが，目標として掲げられている。

3. 水素社会実現に向けた取り組み状況

(1) 定置用燃料電池

燃料電池・水素エネルギー技術の研究開発は，30年以上にわたり国家プロジェクトとして推進されてきた。この技術の社会実装の先駆けとなったのが，家庭用燃料電池システム「エネファーム」である。家庭用燃料電池システムは，2009年に我が国が世界に先駆けて商用化し，現在までに10万台以上が普及している。早期の商用化・普及に成功した要因としては，産学官が連携して，技術開発，実証研究および法規制の見直しの三位一体の取組を推進したことが大きい。主な例は以下の通りである。

- ・燃料電池の実用化には，高効率・低コスト・高耐久化に必要な不可欠な材料，触媒反応，高分子，電気化学等の幅広い分野の専門知識が必要であった。この多様な学問分野にわたる大学・研究機関が，国の一貫した政策支援を受けて研究開発を推進した。
- ・燃料電池だけではなく，システムとしてのコスト低減のため，補機類（空気ブロワ，ポンプ，弁類，圧力計，流量計，水処理装置，熱交換器，電力変換装置等）の仕様を共通化した。これにより，周辺機器のコストを約1/4まで削減し，さらに機器開発に取



図—2 経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の概要

り組む新規企業の参画を促した。

- ・当初の電気事業法や消防法などでは、燃料電池の家庭での使用は想定されておらず、厳しい規制が設けられていたが、家庭用のガス消費機器と同等の取り扱いを目指した安全基準の整備や信頼性等に関する試験方法の検討を行うことで、規制の再点検が行われた。
- ・2005年から全国の一般家庭に約3500台の燃料電池システムを設置した大規模な社会実証を実施。実際の運転データ、不具合データ、効率データ等を取得し、運転制御の改良、故障情報の整理分析、運転実績の開発へのフィードバックによる信頼性の向上、これらを踏まえたコストダウンを推進した。さらには、大規模な実証試験により各企業が商用化時に必要な量産体制の準備を可能とした。

定置用燃料電池システムの更なる普及に向けて、今後はコストのより一層の低減と、集合住宅や業務用・産業用へのユーザーの拡大、さらに、日本が技術的に先行しているこの時期に、海外展開を積極的に進めることによる市場の拡大が必要である。

(2) 燃料電池自動車

燃料電池自動車は、走行時に排出されるのは水のみであり、究極のエコカーとも呼ばれ、期待が高まっている。2014年12月15日には、トヨタ自動車が一覧販売を開始しており、その価格は約723万円、経済産業省の補助金202万円により、実質は約521万円となっている。

この燃料電池自動車の普及に向けた取り組みであるが、国家プロジェクトとしては1990年代から研究開発、更に2002年度からは公道での実証研究が進められてきた。この間、コアとなる燃料電池技術には大きな進展があり、例えば燃料電池の耐久性については、当初の5年程度から現在は15年程度、また低温始動性に関しても現在では -30°C での始動が確認されている。また、燃料電池自動車に不可欠な水素ステーションについて、ユーザーニーズを踏まえ、70 MPaの水素ガスへの対応、3分間で満充填(5 kg)、1時間に6台充填を実現するための技術開発を進め、2013年4月には、実際にガソリンスタンド併設型の水素ステーションを設置(海老名水素ステーション)、実用化に向けた技術的な検証を行ってきた。

一方、燃料電池自動車を導入させるためには規制や基準の策定といった社会基盤の整備が不可欠であった。車両の火災試験といった安全に関する研究などが実施され、この結果を踏まえ、2005年に世界で初め

ての燃料電池自動車の安全基準が日本で策定された。現在、世界共通の安全基準が策定されているが、この基準は、多くが日本の基準がベースとなっている。加えて、従来、工場などで使用されていた水素を、市中で使用するための規制見直しも必要であった。関連する高圧ガス保安法、消防法、建築基準法などの見直しを実施され、例えば2012年度には市街地への70 MPa水素ステーション建設が可能となり、ガソリンスタンドと水素ステーションの併設が可能となった。今後は、水素ステーションにおける水素貯蔵量上限の引き上げや、水素利用設備に使用可能な鋼材の種類拡大、さらには液化水素ポンプや新たなタイプの容器(フープラップ式複合容器)等、新たな技術の活用に向けた規制の見直しを進めることになっており、官民が連携して安全データの取得等に取り組んでいる。

現在、2015年度中に100カ所の水素ステーションを目標に、国の補助金制度のもと整備が進められている。コスト低減等の課題はあるものの、燃料電池自動車の一般販売が具体的に変わったことを受けて、その整備がさらに加速していくことが期待される。

4. 今後の取組の方向性

家庭用燃料電池による燃料電池の市場創出や、燃料電池自動車及び水素ステーションによる水素エネルギー利用のための社会基盤整備が進められているが、水素社会の実現に向けた次のステップは、水素エネルギー利用を大幅に拡大し、日本のエネルギー・システムにおける水素の位置付けを高めることであろう。

水素エネルギーの利用として期待されるのは、ガスタービン等により水素を直接燃焼して発電する水素発電である。水素発電では、一基で年間数億 Nm^3 の水素を消費するとの試算もあり、大量の水素需要の創出とスケールメリットを活かした水素コストの低減が期待される。一方で、この水素発電で大量の水素需要が創出されると、これに対して安定的に水素を供給するサプライチェーンの構築が不可欠となる。海外の未利用の資源を水素に転換し、これを大量かつ長距離で輸送するための検討が進められているが、今後は、水素発電といった新規需要の創出とも併せて、これを具体化するための取り組みの加速が必要である。

また、水素が持つエネルギーを大量かつ長期間貯蔵可能であるという特徴を活かし、再生可能エネルギーからの電力を水素に転換し利用するシステムについても技術開発が進められている。このシステムはPower to Gas (P2G)とも呼ばれ、特に風力発電の大量導入

が進むドイツを中心に実証研究が進められている。再生可能エネルギーは地球温暖化対策の観点からも更なる導入が期待されているが、時間的・地理的な遍在性から系統接続における課題が顕在化している。水素と再生可能エネルギーを組み合わせたシステムの構築は、この課題解決に向け大きく貢献出来るポテンシャルを有しており、今後、この分野における研究開発の取り組みが必要である。

5. おわりに

現在は長年にわたる研究開発によって水素社会の実現に向けた入り口に到達したという段階であり、今後はこれを本格的な水素社会の実現に結実させていくための絶え間ない取り組みが必要である。その際、産学

官の関係者間で目標と時間軸を共有した上で役割分担を明確化し、優先順位を付して資源を重点配分しながら、協力して取り組んでいくことが不可欠である。特に、民間企業を刺激し、積極的な参画やチャレンジを称揚するためには、水素エネルギーに対する社会の理解や期待を、より一層高める必要がある。

JCMA

【筆者紹介】

江川 光 (えがわ ひかる)

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

新エネルギー部



ずいそう



機械・産業遺産を巡る

溝口孝遠



私は人様にお話しできるほどの趣味は持ちあわせていないのですが、敢えて言えば、子供のころから考古学的な事柄や地理的な事柄に何となく興味を持っております。考古学は大変幅が広いと思いますが、文学的・文化的・民俗学的な歴史や古代ロマンに通じる領域も興味深いですが、技術を基にした産業の成り立ちに関わる事柄により関心があります。

一昨年より日本機械学会 関西支部のシニア会が開催する機械・産業遺産ツアーの世話役を仰せつかっています。これは、遺産的な価値がある機械・設備・構築物などを訪ねて、当時の技術を知り、どのような経過を辿って現在に至っているか、その栄枯衰勢を見て今後の在り方を考えることが目的です。見聞を広めるために、近畿産業考古学会にも加入させていただきました。

産業遺産とは何か、産業考古学とは何を目的として何をすることかの定義付けについては、専門家の間で色々と議論があるようです。その辺りの事は専門誌などにお任せしますが、産業革命で生まれた遺物が第二次大戦後の英国の経済復興とともに取り壊されて行くことに危機感を覚えて、価値あるものを残す目的で1974年に英国産業考古学協会が生まれたのが、系統的な取り組みの最初ようです。

産業遺産と言っても、橋梁、ダム、トンネルなど土木・建築構造物、社会インフラ設備、鉄道・道路、工場・プラント、機械設備・器具、医療機器、情報通信関連…等々、多岐にわたっています。日本にある世界遺産では、石見銀山と富岡製糸場が産業遺産に該当すると思います。

日本機械学会が指定している機械遺産は現在69件あります。土木・建設施工や産業用車両に関連するものとしては、コマツブルドーザ G40 (コマツ所蔵)、三池港水圧式閘門と蒸気式浮クレーン (三井鉱山所蔵)、内燃機関式フォークリフト (TCM 所蔵)、油圧ショベル UH03 (日立建機所蔵) などが指定されています。勿論、これ以外にも多くの機械遺産がありますが、産業遺産の中でも機械遺産に限ると、その探訪ツアーを企画するのは少々骨が折れます。

土木・建築・社会インフラ関係の遺産は元々数十年、百年単位の耐久性を持っており、現存するものが多い

のに対して、機械となると種類も多く、性能競争もあって、耐用年数が相対的に短く、現物が残っていることが少ないことです。更に、当時の技術・製品がどのような技術的背景の基に製造され、如何なる経過を経て現在の技術・製品につながっているか、歴史を語る人や記録が少ないのが現実です。この状況にあって、当時の(社)日本建設機械化協会が2008年に発行した大川聰氏著の「写真でたどる建設機械200年」は大変貴重で、改めて敬意を表する次第です。

最近、訪問した例では、滋賀県犬上郡豊郷町にある龍が池・砂山池揚水機場の日本で最初の灌漑用動力式揚水ポンプがあります。揚水機場は土木学会の推奨土木遺産に指定されており、当時の蒸気ボイラ室跡や現在でも使用されている取水井戸などの構築物が残されています。機械屋にとってはそこで使用されているポンプに関心がある訳です。駆動用蒸気機関とポンプは豊郷町の八幡神社と廃校後にも保存されている豊郷小学校に地域の宝物として良好に保存されています。

銘板等によりますと、1910年に英国 Bedford の W. H. Allen Sons & Co. Ltd. で製造された遠心型ポンプです。英国より輸入された後、1910年6月には龍が池および砂山池で試運転され、1913年11月に竣工式を迎えています。同社は1880年に設立されたメーカーで、1909年にはタイタニック号の蒸気発電装置を受注したようです。タービン、ポンプ、ディーゼルエンジン等を生産していましたが、1989年には Rolls-Royce の傘下となったようです。

機械遺産を訪ねていますと、人力、牛馬の力、水流や風など動力源を自然に任せていた時代から産業革命以後の蒸気、電気、ガソリンおよびディーゼル内燃機、原子力から再び自然の力を制御しながらエネルギーを確保する時代への流れ、動力を制御しながら目的とする作業を行う機構の進化を改めて感じます。また、明治のころの日本人の外向きの国際感覚と好奇心、追いつき追い越そうとする執念を感じ取れます。成熟した現代の日本の今後の在るべき姿を考える上でも歴史を振り返る重要性を認識する次第です。

訪問すべき機械遺産 (出来れば近畿地方の) をご存じの読者がおられましたら、教えていただくと幸甚です。

ずいそう

“被災者の立場”と “土木技術者の視点”から見た8・20 広島市土砂災害



柳瀬 健一郎

『青天の霹靂』（せいいてんのへきれき）とは、まさにこのことである。

平成26年8月20日、まだ夜も明けぬ午前5時前。広島に家族を残し、山陰の実家に身を寄せ、単身勤務をしている私の下にかかった家内からの携帯電話で飛び起きた。

「家の前の駐車場が泥と水で埋まった。車も見えない。今、マンションの人達みんなで屋上に避難している。」



写真—1 自宅マンション前（右側）を覆う土石流・ガレキ

滅多に電話を寄せさない家内から、しかもこんな時間に携帯が…。ただ事ではないことは即座に判った。が、それにしても「泥と水で車が埋まる?」、「マンション屋上に、みんな避難?」…。

崩れるような“裏山”や、溢れるような川なんか、ないけどなあ…。さっぱり状況が理解出来ないまま、とりあえず、安佐南区八木の自宅に戻ることにした。

広島に向かう道すがら聴いていたカーラジオからは、安佐南区八木・緑井・山本、安佐北区可部、といった聞き覚えも土地勘もある場所での「土砂崩落」・「住宅崩壊」・「3人が生き埋め」・「2名の死亡を確認」といったショッキングな報道が続き、これが前日の深夜から当日未明にかけて広島市北部地区を襲った記録的な豪雨による、同時多発的な大規模土砂災害であることを、時間の経過と共に刻々と詳細に報じ続けた。

そして家内の言う「泥と水」とは、マンション背面に遠くそびえる標高約600mの阿武山（あぶさん）の、幾つもの沢からの土石流であることを、夕方に辿り着いた自宅の惨状を目の当たりにし、ようやく実感した。

幸いなことに家族に被害はなく、安否も早い段階か

ら確認できていたことから、大災害であった割には比較的落ちついて行動出来たのは不幸中の幸いであった。ただ、住居を失うということは、大きな負担と心労の種となる。結局その夜からの仮の住まいでの生活は、半年近く続くこととなった。

テレビや新聞、あるいは支援業務で訪れた、阪神淡路大震災や東日本大震災（東北地方）で被災された皆さんの気持ちを初めて実感し共感もした。やはり生活の拠点・ベースが定まらないと、精神的に落ち着かず、生活のリズム全てを乱すものである。

一方、私は地方の建設コンサルタントに勤務する土木技術者でもある。今回の災害に直面し、技術的な事象分析や工学的評価を行い、「人々の安全や安心を守る」という土木技術の本分を果たすことが、まず、我々に出来る「復興支援」と考え、社内の土質・地質を専門とする技術者（技術士・地質調査技師）に声を掛け、現場の救助・復旧作業が落ち着いた9月10日に、社員5名による現地調査を実施し、被災状況や発生メカニズム、今後の望ましい復旧・復興計画案等を取りまとめ、社内研修会の場で調査報告・討議を行った。

今後、同様の計画・設計等業務に従事する際には、今回の経験を活かし、エンドユーザーである住民の生命を守ることを基本姿勢とし臨みたいと考えている。

文末になるが、この度の災害で犠牲となり、凶らずも尊い命を落とされた74名の方々のご冥福を心よりお祈りすると共に、ご家族の皆様に対し、深い哀悼の意を表するものである。



写真—2 社内研修会：「現地調査報告会」の様子

JCMA 報告

平成24年度 研究開発助成 成果報告 (その1)

超広帯域通信 IC タグと 3次元モデルを用いた建設施工管理システム

矢吹 信喜

1. はじめに

建設生産プロセスにおいて、生産性の向上や品質の確保を図るため、国土交通省は、情報化施工を推進している。情報化施工では、GPS (Global Positioning System) などのGNSS (Global Navigation Satellite System) により位置情報を自動的に取得して利用する。しかし、トンネルや岩盤貯蔵施設などの地下構造物や建物内部では衛星からの電波が届かないため利用できない。一方、UWB (Ultra Wideband, 超広帯域通信) のICタグを用いることにより、閉鎖空間でも位置情報の取得と個体識別情報を取得できる¹⁾。建設施工現場において、各施工機械、作業員、重要資材にUWB-ICタグを取り付け、3次元モデルと連携させることで、これらの各種建設資源を安全かつ合理的に管理することができるようになると考えられる。しかし、UWB-ICタグは米国やカナダでは幅広く研究されているが、日本ではUWBの製品が少なく高価であり、ほとんど研究されておらず、特に建設分野への利用は進んでいない。

そこで本研究では、まずUWB-ICタグの屋内測位の精度に関する基礎的な実験を行い、UWBの送受信を行うアンテナを大規模な閉鎖空間の現場に適切に配置するための研究を行った。次に、建設作業員のヘルメットやバックホウ、ダンプトラック等の建設機械にUWB-ICタグを取り付けることを想定し、今後CIMで作られる施工現場の3次元モデルの中で、各UWB-ICタグの位置情報を基に、これら対象物の3次元モデルをリアルタイムに表示するプログラムを開発し、遠隔の工事事務所でも施工や安全の管理が行えるシステムを構築することを目的とした。

2. 超広帯域通信 (UWB)

超広帯域通信 (UWB) を用いたICタグは、米国で軍事的な目的で開発された技術である。ICタグは、バーコードに取って代わる可能性のある技術であり大いに期待されているが、これまでのICタグは、移動

する物体に取り付けた場合、アンテナに近づいた時、そのアンテナの近くにいることは認識できる。また、アンテナを持った物体が固定物に取り付けたICタグに近づいた時、その物体の位置情報は概ね把握することはできる。しかし、GPSのように移動物体の位置情報をリアルタイムに得ることはできない。ところが、UWBは、周辺に3個以上のアンテナを設置することによって、cm級の比較的高精度の測位を屋内でもリアルタイムに行うことが期待できる。さらに、ICタグには個体識別情報が付加されているため、ICタグが貼り付けてある各々の物がどこにあり、どの方向にどれだけの速度で移動しているかを、建設施工現場の事務所などで把握することができるようになる。

わが国で利用されているICタグは、125 GHz帯、13.56 GHz帯、950 MHz帯、2.45 GHz帯が中心であり、アクティブ・タグではこれに加えて300～400 MHz帯の利用が可能である。一方で、UWBは、マイクロ波と呼ばれる3～30 GHzの周波数帯のうち、3.1～10.6 GHzの非常に広い周波数帯を利用する通信方式である²⁾。FCC (Federal Communications Commission) の定義によると、帯域幅が500MHz以上または帯域幅の中心周波数に対する比が20%以上の通信方式がUWBである³⁾。

UWBにはインパルス無線方式、MB-OFDM (Multi Band-Orthogonal Frequency Division Multiplexing, マルチバンド直交周波数分割多重方式)、DS-UWB (Direct Sequence-UWB, 直接拡散UWB) の3つの方式が存在する。測位を行う際には、インパルス無線方式が利用される。インパルス無線方式は、搬送波による変調を用いず、1ナノ秒以下という非常に短いインパルス状のパルス信号列を無線で送受信する方式である。この方式は短いパルス波を利用するので時間分解能が高く、高精度な測位を行うことが可能となる。

米国において、UWBは、周囲のシステムに影響を与えないために、3.1～10.6 GHzの範囲で-41.3 dBm/MHz以下の出力に制限されている。また、利用に免許は不要で、屋外での利用も可能である。

一方で、わが国においては、3.4～4.8 GHzでは-41.3

dBm/MHz 以下, 4.8 ~ 10.25 GHz では -70 dBm/MHz 以下の出力に制限されているほか, 利用には総務省に実験局の申請及び陸上特殊無線技士 3 級の免許が必要であり, 屋外利用も不可であり⁴⁾, 米国と比較して厳しい規制が行われている。さらに, UWB を利用する商品が少なく, 高価なこともあり, 特に建設分野での利用に関して, 日本ではほとんど研究がなされていない。

海外では, Zhang ら⁵⁾ はクレーンのアームに UWB-IC タグを取り付け, リアルタイムに位置情報を取得し, 効率的なクレーン操作を計算するシステムの開発を行った。Cheng ら⁶⁾ は, UWB 測位システムを利用して, コンピュータが自動的に作業員に指示するシステムを提案した。

3. UWB を用いた屋内測位に関する基礎的実験

UWB-IC タグを用いた測位システムを利用したシステムを開発するに当たり, 屋内での UWB-IC タグを用いた測位精度の調査を行った。本研究では, UC テクノロジ社によって開発された UWB-IC タグの UWB dice を用いて実験を行った。このシステムは, UWB-IC タグ, 基地局, 基準局, 測位サーバ PC, 無線 LAN アクセスポイントから構成される。測位には, TDOA (Time Difference of Arrival) 方式が利用されている。具体的には, 図-1 に示すように, IC タグから測位信号が発信され, 測位信号は位置が既知の基地局及び基準局において受信される。測位信号を受信した基準局からは基準信号が発信され, 基準信号は基地局において受信される。基地局のアンテナは測位信号と基準信号という 2 つの信号が受信し, 基地局内部においてこれらの 2 つの信号の到着時間差がピコ秒単位で計算され, 無線 LAN アクセスポイントを通じてサーバ PC にアップロードされる。この到着時間差

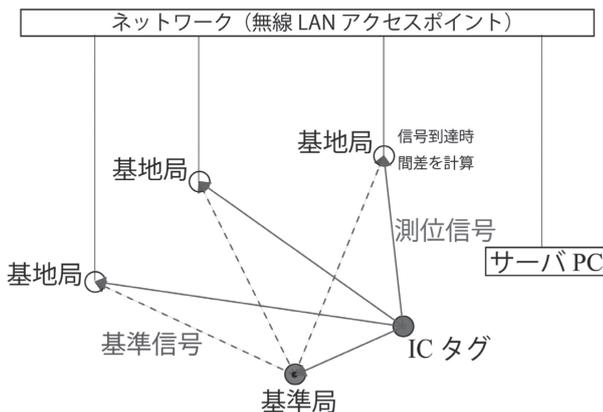


図-1 UWB の測位システム

を基に, 基地局から IC タグまでの距離と, 基準局から IC タグまでの距離の差を計算するサーバ PC は測位サーバがインストールされたコンピュータで, 基地局及び基準局の位置は予めサーバ PC に入力されており, 基地局からアップロードされた 2 つの信号の到達時間差から三辺測量方式を用いて IC タグの位置座標を特定する。測位を行うためには, 基地局及び基準局は無線 LAN アクセスポイントを通じてネットワークに接続されている必要がある。また, このシステムでは三辺測量方式を用いるので, 測位を行うためには基地局 3 台以上及び基準局 1 台以上が IC タグとの間で電波のやり取りを行える 30 m 以内の場所にあることが必要だ。

実験は, 大阪大学吹田キャンパス S4 棟 1 階 111 講義室において, 図-2 に示すように 4 台の基地局を部屋の四隅に, 中央に基準局を中央に設置し, 60 cm 間隔の 9 × 9 の格子交点上の高さ 1.5 m の地点に UWB-IC タグを制止させた状態で測位し, その精度を求めた。実験結果を表-1 に示す。平均誤差は, 24 cm であり, メーカーの仕様 (30 cm) と同程度であった。

本研究では, 静的精度実験の他に, 動的精度実験, アンテナ指向性実験, 静的遮蔽影響実験を行ったが, 誌面の都合で本稿では省略する。

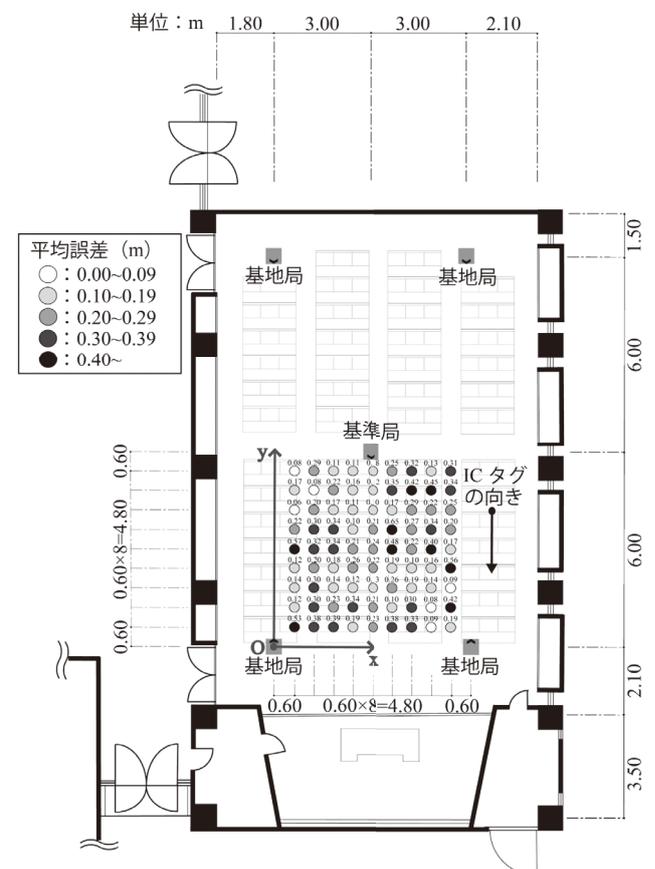


図-2 実験を実施した講義室における機器類の配置及び測位点の位置

表一 静的精度実験結果

項目	計測結果 (m)
平均	0.24 m
最大	0.65 m
最小	0.06 m
標準偏差	0.13 m

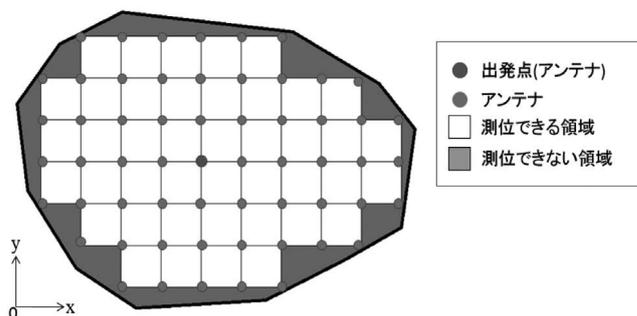
4. UWB のアンテナ設置最適化システムの開発

前述のように UWB-IC タグで測位するためには、平面上であれば、3 台以上のアンテナ基地局と同時に交信できる必要がある。地下空洞などの施工現場において、できるだけ少ない台数のアンテナで、できるだけ広い範囲において測位できるようにしたい。そこで、電波の到達範囲から最少の個数のアンテナで、現場のほとんどの範囲をカバーする最適に近いアンテナ配置方法を求める手法を開発した。

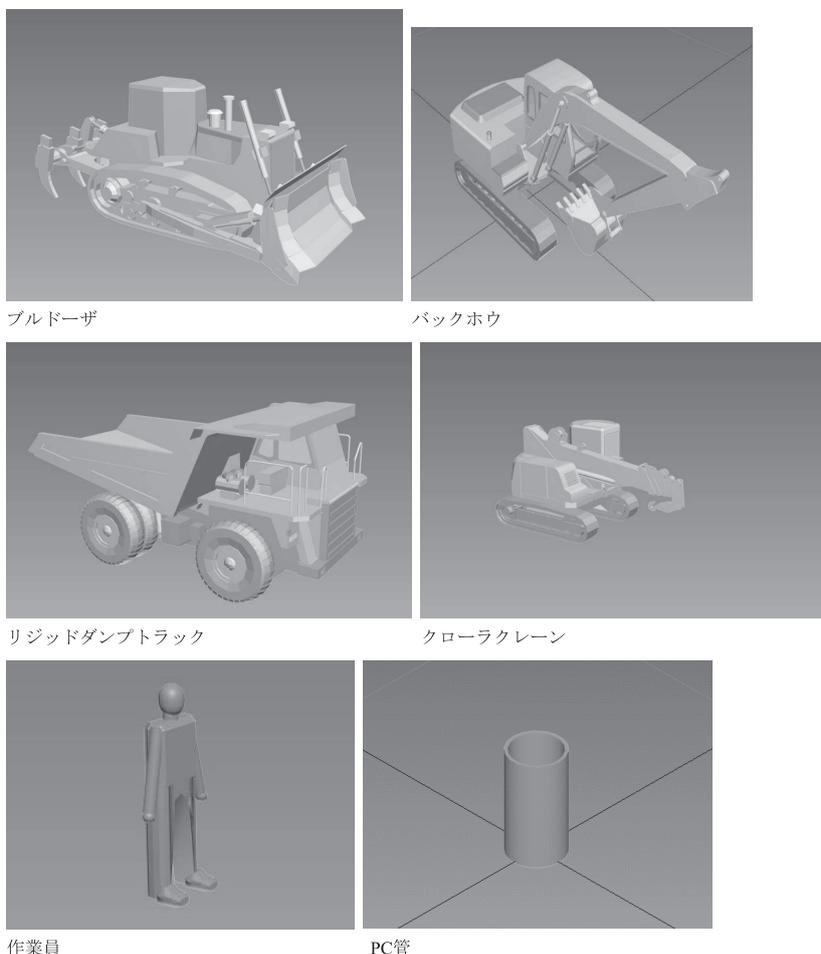
本研究では、簡略化のため、3 台ではなく 4 台のアンテナを、最大可能通信距離を対角線とする正方形の頂点に配置し、この正方形を施工現場領域内に最大数配置できる最少のアンテナ個数を求めるアルゴリズム

を開発した。

具体的には、図一 3 に示すような領域を与えられた場合、領域内の任意の位置に出発点を設け、アンテナを置く。次に、X 軸方向に直線を引き、正方形の一辺の長さ毎に領域内に点をプロットし、各点から Y 軸方向に直線を引き、同様に点をプロットし、正方形を描き、正方形の個数とアンテナの台数を求める。正方形の個数の最大値とその場合のアンテナの台数を求めるために、モンテカルロ法により出発点をランダムに発生させるようにした。



図一 3 領域内に正方形を配置したサンプル



図一 4 UWB-IC タグを取り付けた建設機械、作業員、重要建設資材の 3 次元 CG



図一5 空間内に表示された建設機械，作業員，重要建設資材の3次元CG

5. UWB-IC タグを用いた現場状況のリアルタイム3次元表示システム

3次元表示システムは、建設施工現場において作業員、各種建設機械、重要資材等にUWB-ICタグを取り付けて位置情報と個体識別情報を同時に取得し、それらの情報を基に、コンピュータ上の3次元空間に建設施工現場を再現するシステムである。本システムの利用により、見通しの悪く、全体を一望することが困難な地下空間でも建設施工状況の全体を把握することが可能となり、より効率的な指示を出し、安全確認を行うことができるようになると考えられる。

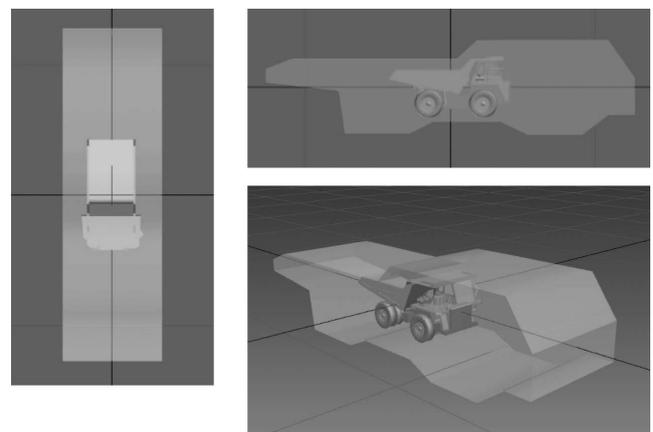
本システムでは、UWB-ICタグの測位データと個体識別番号から、対応する建設機械、重要建設資材、作業員などの位置情報をリアルタイムに得て、予め作成してあるそれらの3次元CGオブジェクト（図一4）を地下空洞あるいは建物の3次元モデル内に表示するものである（図一5）。

6. UWB-IC タグを用いた自動警告システム

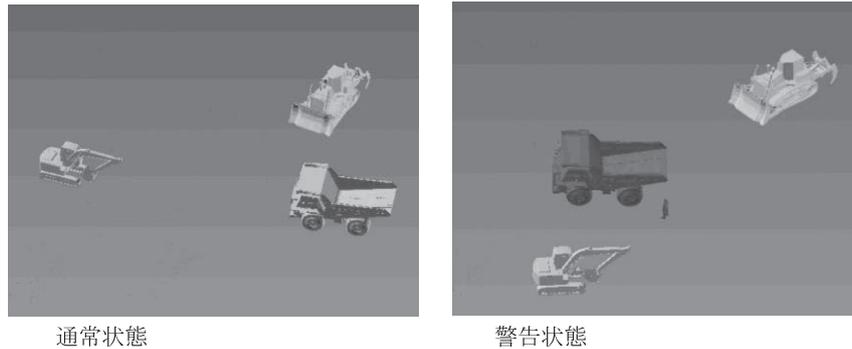
本研究で開発した自動警報システムは、建設施工現場においてUWB-ICタグを用いて取得した作業員、各種建設機械、重要資材等の位置情報を基に、作業員が建設機械や資材とぶつかりそうになったときに自動的に危険を知らせるシステムである。本システムは前節で記した3次元表示システムを動作させることによって自動的に起動し、3次元表示システムが動作している間、機能する。現状の本システムでは、オブジェクト同士が一定の距離以上に近づいた場合にオブジェ

クトの色の変化によって危険を知らせるだけであるが、実際の建設現場に適用する際は、作業員と建設機械のオペレータに直接、警告するようにする予定である。本システムの利用により、見通しが悪い、あるいは大きな音により危険に気づきにくい場所であっても、危険を把握しやすくなると考えられる。また、事務所のモニター上でも危険な状況をリアルタイムに確認することができ、より安全性を向上させることに役立つと考えられる。

本システムの方法は、お互いの接近状態を判別するために、UWB-ICタグが設置してある各種オブジェクトの3次元モデルの周囲に判定領域を設置し、それらが少しでも触れるか、重複した場合を危険状態と考え警告を行うものである。判定領域の考え方としては、図一6に示すように、各3次元オブジェクトを前後、左右、上下方向にそれぞれ一定の倍率で拡大した範囲を危険領域としている。



図一6 リジッドダンプトラックの危険領域



図一七 自動警告システムの動作状況のサンプル

自動警告システムの動作状況のサンプルを図一七に示す。通常の状態では色が変わっていないが、作業員がダンプトラックの近くにいるため、両者が赤色に変化し、警告状態となっている。

7. おわりに

本研究では、UWB-IC タグの測位精度の調査実験を行い、UWB-IC タグの利用のために必要なアンテナの設置の最適化を行うシステム、UWB-IC タグから得た情報を基に建設施工現場をコンピュータ上に再現する3次元表示システム、現場に危険が生じている場合に自動的に知らせる自動警報システムの3つのシステムの開発を行った。

将来的に、建設施工現場にある全ての建設機械、作業員や技術者、部材や資材にUWB-IC タグを取り付けて本研究で開発したシステムを用いることによって、事務所のコンピュータのみならず、無線LANでつながっている全てのタブレットPCやスマートフォンなどで、3次元モデル内をUWB-IC タグが取り付けられている全てのモノが動いている様子を、目視できない場所であっても確認することができるようになる。また、3次元モデルは、オブジェクト指向技術によるものであるから、各部材には様々な属性データが埋め込むことが可能である。こうした属性データを持つオブジェクトとUWB-IC タグを取り付けた機械、人、部材などの距離や位置関係、あるいは軌跡などの情報から、自動的にコンピュータが指示を出すことによって、生産性や安全性をさらに向上させることができるようになると思われる。さらに、UWB-IC タグに各種セ

ンサーを埋め込むことによって、UWB-IC タグから得られる位置情報と個体識別情報に加え、機械の温度や音響、振動、加速度などをモニタリングして、さらに高度な判断の自動化につなげ、建設現場のみならず、工場、建築、都市空間等様々な環境に応用する可能性も考えられる。

謝 辞

本研究は、一般社団法人日本建設機械施工協会の研究助成により実施した。尚、本稿の成果の一部は一般財団レントオール奨学財団の研究助成によるものを含む。ここに謝意を表する。

JCMA

《参考文献》

- 1) 神谷泉：測位技術の調査とICタグ、UWBの測位への応用、国土地理院時報、第106集、pp.31-36、2005。
<http://www.gsi.go.jp/common/00004817.pdf>
- 2) 阪田史郎：UWB/ワイヤレスUSB教科書、インプレス、2006。
- 3) Gary Breed: A summary of FCC rules for ultra wideband communications, High frequency electronics, pp.42-44, 2005.
- 4) 東芝：ウルトラワイドバンド技術と動向、2009。
http://www.cistec.or.jp/service/iinkaidayori/houkokusho2009/data_kamotsu/kamotsu5-1.pdf
- 5) C. Zhang, A. Hammad, S. Rodriguez: Crane Pose Estimation Using UWB Real-Time Location System, J. Comput. Civ. Eng., 26, pp.625-637, 2012.
- 6) Tao Cheng, Jochen Teizer, Giovanni C. Migliaccio, Umberto C. Gatti: Automated task-level activity analysis through fusion of real time location sensors and worker's thoracic posture data, Automation in Construction, Vol.29, pp.24-39, 2013.

矢吹 信喜 (やぶき のぶよし)

大阪大学 大学院工学研究科

環境・エネルギー工学専攻 教授

無人化施工における環境カメラのための半自動制御システムの基礎研究

亀崎 允啓・岩田 浩康・菅野 重樹

複雑作業への適応を目的とした無人化施工における環境カメラの自動制御手法の基礎検討として、カメラに持たせるカメラロールを状況ごとに選定し、それらを適切なカメラに割り当てる方法を開発した。カメラロールをより汎用的に定義するため、撮像対象と撮像モードの組み合わせによるものとし、本研究では、車体俯瞰追従、手先拡大追従、マニピュレータ姿勢保持、マニピュレータ軌道モードを定義した。次に、障害物やカメラの可動角限界などを考慮した線型計画法を利用し、カメラロールを環境カメラに割り当てるロールアサインメント手法を開発した。仮想現実シミュレータを用いた瓦礫撤去作業を、固定カメラ、手動制御、半自動制御を比較して行った結果、半自動制御では、作業効率・作業品質ともに改善されること、アンケート結果からオペレータの主観的な使いやすさが向上することが示唆された。

キーワード：unmanned construction, tele-operation, environmental camera, autonomous control

1. はじめに

油圧ショベルをはじめとする建設機械には、より安全で効率的な災害対応作業への適応が期待されている¹⁾。通常の建設機械では、キャブにオペレータが搭乗して操縦（以下、搭乗操作）を行うのだが、災害現場では、二次災害などの危険性が存在することから、遠隔操作技術を導入した無人化施工（遠隔操作）が利用されている^{2), 3)}。遠隔操作により物理的な安全が確保される一方、遠隔操作時の操縦環境は、搭乗操作時のものと根本的に異なるため、違和感や不慣れさによって作業効率が低下してしまうことが問題となっている⁴⁾。この効率低下は、視覚提示内容の不完全性、操作・画像情報の通信遅延、体感・触覚情報の欠落の3つの要素が主な要因であると報告されている⁵⁾。これらの課題に対処すべく、通信周期や遅延が操作に与える影響の調査⁶⁾、3D映像や拡張現実感を使った視覚提示システム⁷⁾、力覚フィードバックシステム⁸⁾など、さまざまな技術開発が行われている。

複雑な災害環境における災害対応作業の効率化を考えた場合、既述の3つの主要課題のうち、遠隔操縦の計画や判断の基本情報となる映像情報そのものへの要求が厳しくなると予想される。現在、オペレータの視覚情報は、建設機械に搭載された車載カメラやカメラ移動車などに搭載された環境カメラから得ることができる。大規模な作業現場の一部では、環境カメラの向きや画角を調整するためのカメラ操作専用オペレータが導入されることがあるが、多くの現場においては、環境カメラの向き・画角は固定されているのが現状である。

心的回転や視点取得を含む空間認知能力は、遠隔操作を行うオペレータにとって極めて重要な能力であり⁹⁾、オペレータによって差異があることが分かっている¹⁰⁾。国際宇宙ステーションにおいて船外ロボットアームを遠隔操作するオペレータには、当該作業の遂行に効率的と考えられるカメラを選択する技能も要求される¹¹⁾。このように、要求される視覚情報の質は、作業内容や現場環境、オペレータの技能によって大きく変わることが予想される。現無人化施工システムにおけるカメラ映像の有用性は、アンケートによって是非が分かれているが、既述した使用条件の多様性に起因していると考えられる⁵⁾。

カメラの向きや画角を自動的に制御し、作業の状況に応じた適応的なカメラ映像を提供することができれば、オペレータは、精神のおよび身体的な負担を減らしつつ、より正確な遠隔操作が可能になると考えられる。これによって、リスクを伴った操作と過度に慎重な操作の双方が低減され、高効率化につながると期待される。そこで本研究では、無人化施工の高度化のための基礎研究として、作業状況の識別に基づき環境カメラの向き・画角を自動的に調整する手法を開発する。評価実験は、仮想（VR：Virtual Reality）空間上に模擬された災害現場で無人化重機を操作するVRシミュレータを用いてを行う。

2. 環境カメラの制御モジュール：カメラロール

環境カメラの設置位置や個数によらず、共通かつ簡

易的に実装できるように、自動制御の基本モジュールとなるカメラロール R を定義する。

(1) カメラの向き・画角の調整が必要となる状況

第1章で既述のように、作業状況に応じて求められる映像が変わると考えられるため、作業状況を車体移動（クローラ操作）とマニピュレータ作業（上部旋回体を含めた腕部操作）に大きく分割した。さらに、建設機械を使った作業の共通シーケンスを参考に、マニピュレータ作業をリーチング、アタッチメントを使った作業（以下、把持とする）、運搬、リリースの4つの状況に分割した。それぞれの状況において必要な映像を分析した結果、以下のことが分かった。車体移動時には、進行方向の路面状況や作業現場における自己位置や障害物情報が必要になる。リーチング時には、マニピュレータと周辺的环境情報が有用になる。把持時には、手先が対象物に近くなることから、対象物と手先間の詳細な位置関係が必要になる。この情報は、リリース時にも同様に有用になると考えられる。運搬時には、慎重かつ安全な操作が求められるため、移動方向の詳細な情報を事前に知ることが重要になる。

(2) カメラロールの定義

自動制御の基本モジュールとなるカメラロールを任意に定義できるように、構成要素である撮像対象 O と撮像モード M に分割する。2. (1) 節の状況分析に基づき、最も基本的と考えられる撮像対象および撮像モードを定義した上で、これらに基づき、カメラロール R を定義する。

(a) 撮像対象

カメラの画角中心に捉える対象のことである。撮像対象の定義には、パラメータとなる撮像中心および撮像範囲の決定が必要となる。2.1 節の分析から、3つの撮像対象を定義した（図-1）。

- ・作業機 O_1 . 撮像中心は、上部旋回軸中心、撮像範囲は、作業機全体とした。
- ・マニピュレータ O_2 . 撮像中心は、マニピュレータの幾何中心、撮像範囲は、マニピュレータ全体とした。
- ・グラップル O_3 . 撮像中心は、グラップルの形状中心、撮像範囲は、グラップル全体とした。

(b) 撮像モード

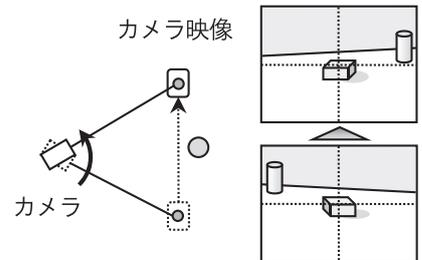
撮像対象に対する映像制御方法のことである。本研究では、基本的なカメラ制御パラメータであるピッチ・ヨー軸および画角を調整する（カメラ自身の位置調整に関しては考慮しないが、今後扱う予定である）。2. (1)



図-1 撮像対象

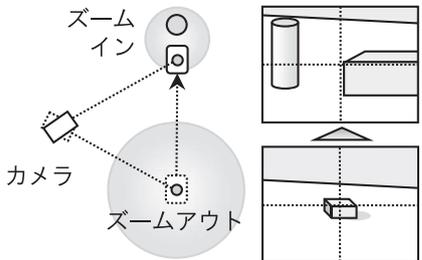
(a) 追従 M_1

撮像範囲が保持されるように撮像対象をトラッキングする



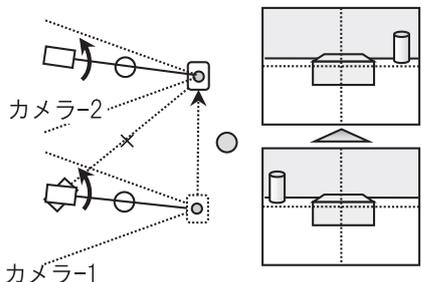
(b) 画角調整 M_2

作業状況に応じて適応的なズーム率の調整を行う



(c) 姿勢保持 M_3

撮像対象に対して垂直方向からの映像を提供する



(d) 軌道 M_4

撮像対象の動作方向に撮像中心をオフセットさせる

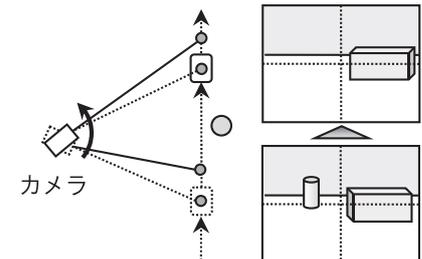


図-2 撮像モード

節の分析から、4つの撮像モードを定義した（図-2）。

- ・追従モード M_1 . 撮像対象の状況を常にモニタリングできるように、カメラの向きを調整する。
- ・画角調整モード M_2 . 俯瞰映像や詳細映像を状況に応じて提供するため、画角を調整する。
- ・姿勢保持モード M_3 . 奥行き感の補助のため、撮像対象と直角になるようにカメラの向きを調整する。
- ・軌道モード M_4 . 効果的な操作計画のため、撮像中

心を撮像対象の移動方向へオフセットさせる。

(c) カメラロール

前項で定義した撮像対象と撮像モードを組み合わせることでカメラロールを定義する。本研究では、最も基本的

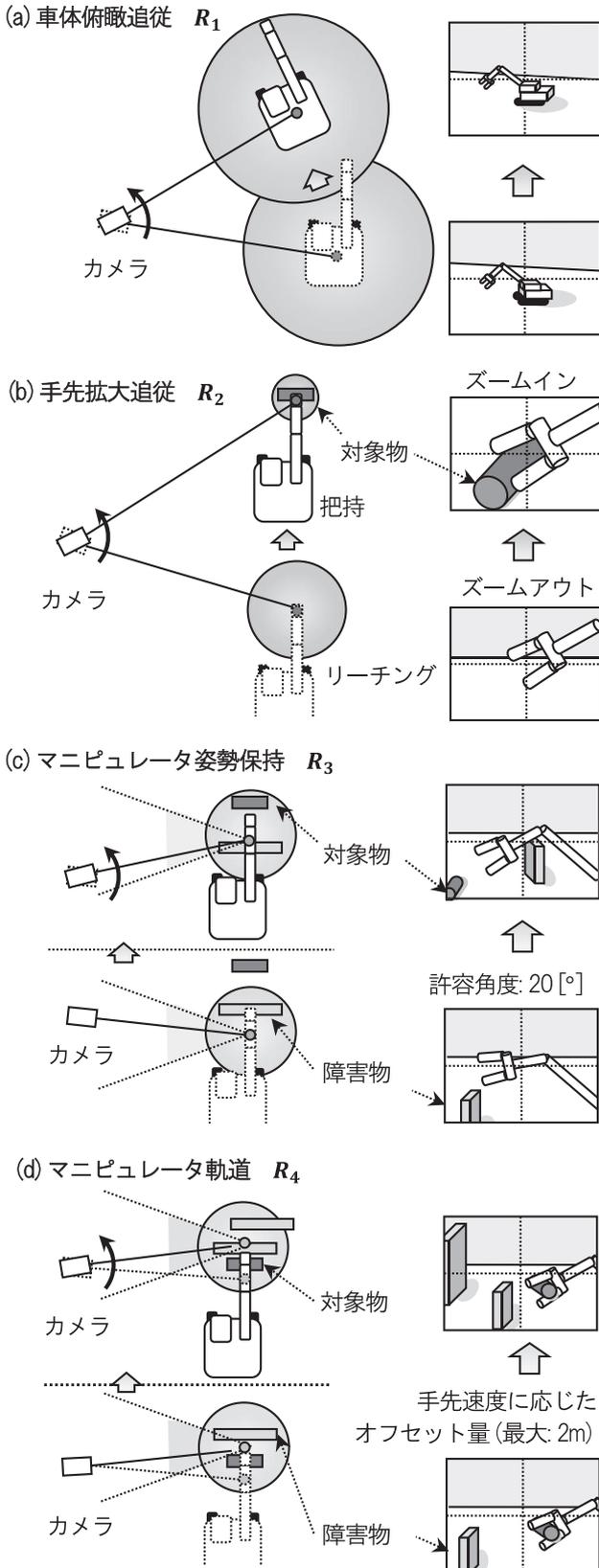


図-3 カメラロール

な構成と考えられる4つのカメラロールを定義した(図-3)。

- ・車体俯瞰追従 R_1 ($O_1/M_1, M_2$). 作業機全体を俯瞰映像で追跡する最も基本的な映像である。これにより、近くの物体や地面状況、他車体の接近を把握できるようになる。
- ・手先拡大追従 R_2 ($O_3/M_1, M_2$). 識別された作業状況に応じて画角を調整しながら手先を追従する。環境との接触時(把持など)における安全かつ効率的な作業が可能になる。作業状況と画角(撮像範囲)の関係性は、視認性を調査したプレ実験に基づき、図-4右側のように設定した。

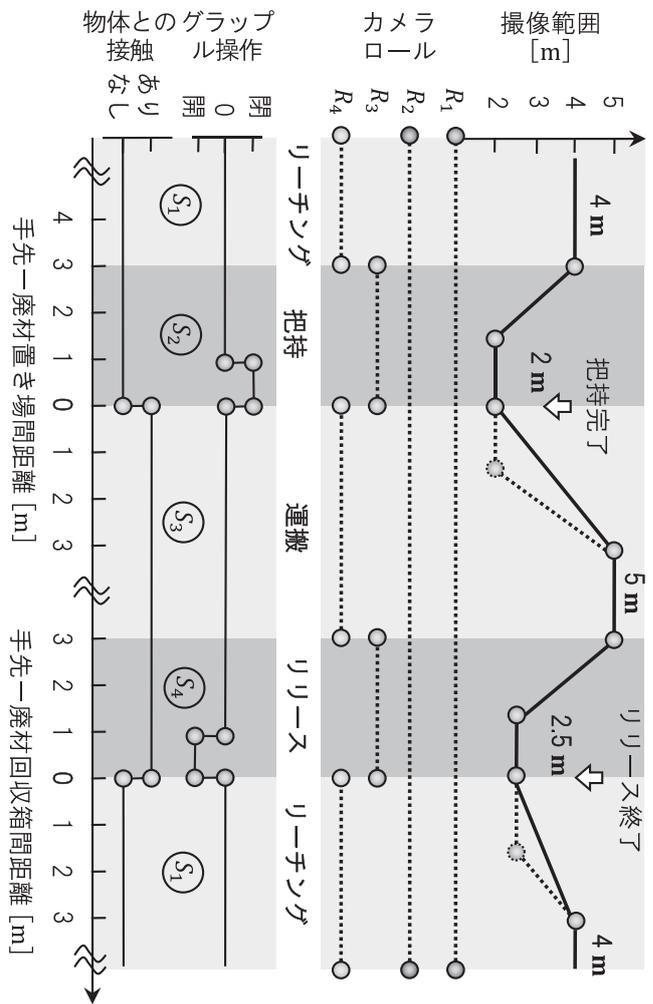


図-4 作業状況識別・カメラロール・撮像範囲

- ・マニピュレータ姿勢保持 R_3 ($O_2/M_1, M_3$). マニピュレータの長手方向と直角になるカメラを利用して、マニピュレータの奥行き情報を提供する。環境との予期せぬ接触を低減できる。直角という条件は、現実的に厳しいため、本実験では、 $\pm 20 [^\circ]$ の許容角度を設けた。
- ・マニピュレータ軌道 R_4 ($O_2/M_1, M_3, M_4$). マニピュ

レータ姿勢保持 R_3 を行いつつ、手先の移動方向に画角中心をオフセットさせる。進入する環境の映像情報を事前に視認できるため、安全かつ効率的な操作ができる。オフセット量は、最大速度にて 2 [m] とし、手先速度に比例して線形補間させる。

以上に定義した撮像範囲と撮像モード、カメラロールは、共通的かつ基本的なものであるが、用途に応じて任意に追加することが可能である。

(3) 作業状況識別と利用されるカメラロール

上記のカメラロール群は、作業状況に応じて利用される。筆者らは、これまでに建設機械に特化した作業状況識別手法を開発している¹²⁾。これをベースに作業状況識別手法を開発した。建機作業の性質上、対象物が置かれている場所と対象物を回収する場所は、必ず定義できることから、廃材置き場・廃材回収箱の位置を特徴量として利用する。本研究では、2. (1) 節の分析を踏まえ、5つの作業状況に分類した(図—4左側)。

- ・車体移動 S_0 . リーチング状態において、クローラ操作のみがある状態。
- ・リーチング S_1 . 手先と廃材置き場間の距離が 3 [m] より大きく、対象物との接触がない状態。
- ・把持 S_2 . 手先と廃材置き場間の距離が 3 [m] より小さく、対象物との接触がない状態。グラップルの閉操作により把持が完了すると S_3 に遷移する。
- ・運搬 S_3 . 手先と廃材回収箱間の距離が 3 [m] より大きく、対象物との接触がある状態。
- ・リリース S_4 . 手先と廃材回収箱間の距離が 3 [m] より小さく、対象物との接触がある状態。グラップルの開操作により解放が完了すると S_1 に遷移する。

状況分類のための近接条件 (3 [m]) は、本実験環境における探索的実験により決定した。利用するカメラロール、撮像範囲、および作業状況の関係性を図—4右側に示す。危険状況を確認できる俯瞰映像は常に監視が必要なため、 R_1 は作業状況によらず提供し続ける。さらに、環境と物理的に接触する手先の情報は、安全性と効率を大きく左右すると考え、 R_2 も常に提供する。 R_3 は主に障害物回避に利用するため、把持とリリース時、 R_4 は主に空間認知に利用するために、リーチングと運搬時に利用する。 R_2 における撮像範囲は、 $S_0 \cdot S_1$ では 4 [m]、 S_2 では 2 [m]、 S_3 では 5 [m]、 S_4 では 2.5 [m] とし、各状況間で線形補間を行った(図—4右側)。これらのパラメータも同様に探索的実験から十分な視認性が得られるように設定した。作業状況識別やカメラロールの定義に利用するパラメータの効果は、実験の章にて考察する。

(4) 実環境への実装に必要な技術

本節では、カメラロールと作業状況識別を実環境に実装するにあたり必要となる技術について触れておく。まず、環境における対象物、障害物、回収箱などの位置を取得する技術が重要になる。そのためには、取得された映像から、地面、対象物、障害物などの意味に応じた領域にカテゴリ化する技術が必要となる。現在、このようなシステムは実装されていないが、GPS データや 3 次元マッピング技術、物体認識や画像のセグメント化技術を利用することで取得できると考えている。また、カメラをより安定的かつ効率的に制御し、振動やオプティカルフローなどを補償する技術が必要である。現存の映像安定化技術や画像処理技術を利用する予定である。関節の可動角やズーム限界などを考慮した制御手法も必要となる。本実験環境では、VR シミュレータを用いるため、以上に示す情報は取得できるものとして扱っている。

3. ロールアサインメントシステムの開発

カメラロール R を環境カメラ C に実時間で割り当てていくロールアサインメントシステムを開発する。

(1) カメラロールの担当可能性チェック

はじめに、当該カメラにおけるカメラロールの担当可能性をチェックする。図—5 (a) に環境カメラの配置図例を示す。カメラと撮像対象の間に障害物がなく、当該カメラロール特有の動作がカメラパラメータの制御限界下で実現できれば、担当可能となる。前者では、撮像中心とカメラのレンズ中心とを結ぶ線分上における障害物の有無を確認する。後者では、既知のカメラ制御限界値を用いた数値シミュレーションにより確認する。カメラロールが m 個、環境カメラ数が n 個の場合 ($0 < m \leq n$)、 $m \times n$ のロール可能性行列 A が式 (1) で与えられる。

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix}, \quad A_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (1)$$

担当が可能であれば 1、不可能であれば 0 となる。例えば、 $A_{11} = 0$ では、 C_1 は R_1 を担当できない、 $A_{23} = 1$ では、 C_3 は R_2 を担当できる、という意味になる。

割り当てを適切に行うには、優先度の設定が必要となる。カメラロールの優先度を考えると、高いズーム率を有する詳細映像は、作業を効率的かつ効果的に進める上で重要になる一方、ズーム率の低い俯瞰映像は、

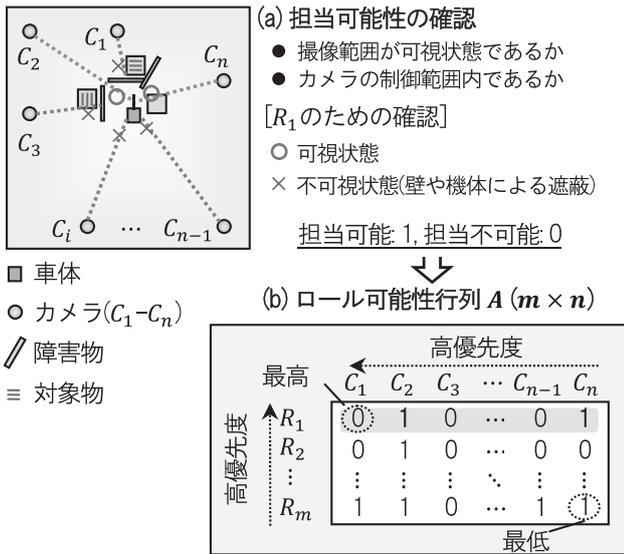


図-5 担当可能性の確認とロール可能性行列

情報の緊急性が低いことから、ズーム率は、優先度の設定に効果的と考えられる。しかしながら、優先度は、用途や環境に応じて適応的に設定すべきである(4. (1) 節にて設定する)。ここでは、割り当ての簡易化のために、行および列を優先度順に配置する(図-5 (b))。最上行ロールと最左列カメラは最も高い優先度をもつこととなる。

(2) ロールアサインメントルール

アサインメントシステムは3. (1) 節で作成したロール可能性行列を基に、カメラロール R をカメラ C に割り当てる。割り当てルールを図-6 に例示しながら説明する。

(a) 基本ルール

優先度の高いカメラロールから順に、担当可能なカメラの確認を行う。カメラロールは、その中で最も優先度の高いカメラに仮割り当てされる(図-6 (a))。同様にして残りのカメラロールも優先度順にカメラに仮割り当てして行く。次に、多重割り当て(1つのカメラに複数のロールが割り当てられている状態)をカメラの優先度順に確認していく。多重割り当てがない場合、当該時刻のロールアサインメントは完了となる。多重割り当てがある場合は、以下の手順で他のカメラに再割り当てする(図-6 (b))。重複したロールのうち優先度の低いロールについて、ロール未担当カメラへの移行可能性を確認する。候補カメラがない場合、当該ロールより優先度の低いロールを担当しているカメラへの移行可能性を確認する。この手順により、映像の切り替え頻度を低減させることができる。同様にして、他の多重割り当てを優先度順に確認し、必要に

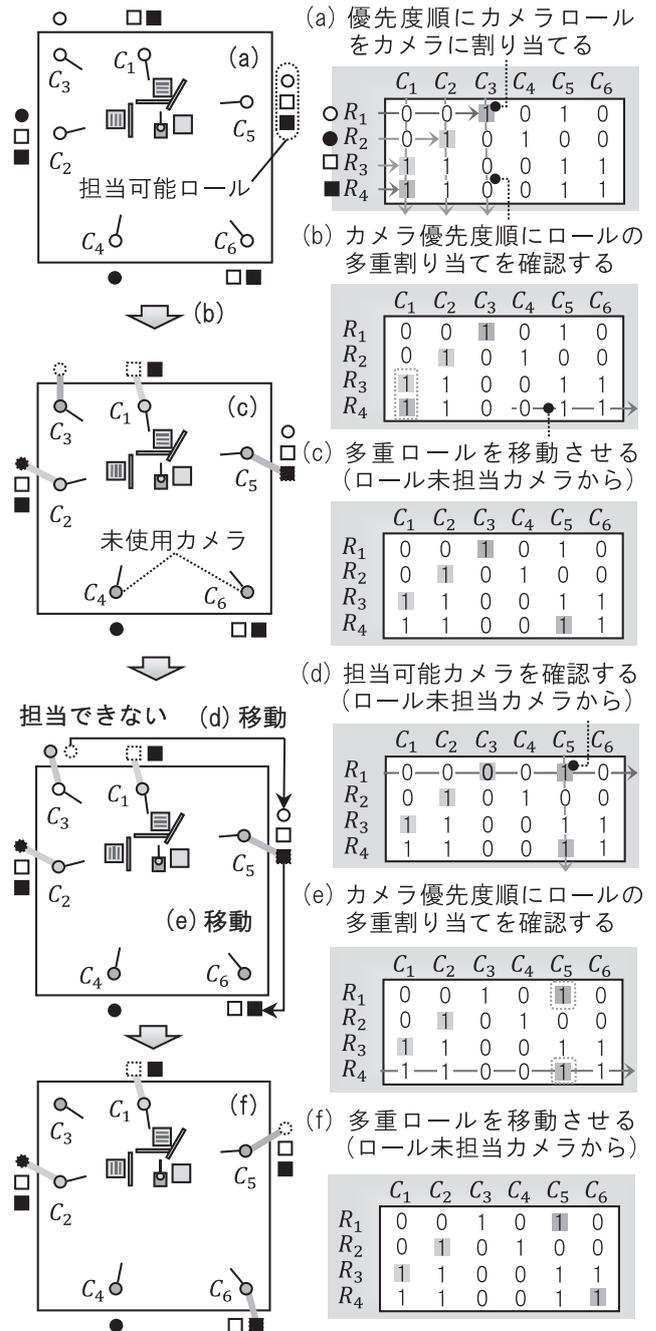


図-6 カメラロールアサインメントルール

応じて移行させる。このプロセスを通じて、 m 個すべてのカメラロール (R_1-R_m) が、 n 個の環境カメラ (C_1-C_n) のうち m 個に割り当てられる(図-6 (c))。カメラロールを担当できるカメラが見つからない場合は、現担当カメラを継続して利用する。

(b) リアサインメントルール

作業が進むにつれて、カメラ・作業機・障害物の位置関係は変化していく。当該カメラが、割り当てられたロールを担当できなくなった場合、そのロールは、全体のバランスを考慮しながら他のカメラに移行させる必要がある。この場合、まず、ロール未担当カメラ

の中から、担当可能なカメラを探索する。候補カメラがない場合、ロール担当済カメラの中から候補を探す。割り当てようとしているカメラロールの優先度が、候補カメラが担当しているカメラロールより高い場合、ロールの移行が成立する。これによって移動を余儀なくされた旧カメラロールは、上記と同じプロセスで別のカメラに移行される(図-6 (d) (e))。移行不可能な候補カメラが見つからない場合、割り当てようとしているカメラロールより優先度の高いロールを有するカメラが探索されることになる。以上のロール移行を反復的に行うことで、図-6 (f) のようなアサインメントが可能となる。

(c) 線型計画法を用いた実装

上記のアルゴリズムの実装には、実用性の高い線型計画法¹³⁾を利用した。目的関数は式(2)で得られる。

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot X_{ij} = m. \quad (2)$$

ここで、 m はロールの個数、 A は、ロール可能性行列である。 X はロール割り当て行列(0:割り当てなし、1:割り当てあり)であり、式(3)で得られる。

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}, X_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (3)$$

各ロールは1つのカメラに割り当てられること、各カメラには、2つ以上のカメラロールが割り当てることがないことから、式(4)に示す拘束条件を設ける。

$$\begin{cases} A_{11}X_{11} + A_{12}X_{12} + \dots + A_{1n}X_{1n} = 1 \\ A_{21}X_{21} + A_{22}X_{22} + \dots + A_{2n}X_{2n} = 1 \\ \vdots \\ A_{m1}X_{m1} + A_{m2}X_{m2} + \dots + A_{mn}X_{mn} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} A_{11}X_{11} + A_{21}X_{21} + \dots + A_{m1}X_{m1} \leq 1 \\ A_{12}X_{12} + A_{22}X_{22} + \dots + A_{m2}X_{m2} \leq 1 \\ \vdots \\ A_{1n}X_{1n} + A_{2n}X_{2n} + \dots + A_{mn}X_{mn} \leq 1 \end{cases}$$

提案するアサインメントシステムは極めて簡易的なルールに基づいているが、全体的なバランスを考慮したロバストなアサインメントが実時間で可能になる。

4. 評価実験

瓦礫の運搬作業を実験タスクとして、環境カメラの半自動制御システムの評価を行った。実験は、筆者らが開発したVRシミュレータ¹⁴⁾を用いて行った(図-7)。

(1) ロールアサインメントのためのパラメータ設定
 マニピュレータ姿勢保持 R_3 および軌道 R_4 は、作



図-7 VRシミュレータ

業状況の変化に伴い順次利用されることから、割り当ての簡易化のため、 R_{3-4} という1つのロールとして再定義する。また、死角を効果的に削減するため、車体俯瞰追従 R_1 をカメラの向きが直角になるような2つのカメラに割り当てる。そこで、 R_{1A} および R_{1B} という2つのロールに分割する。カメラロールの優先度を考えると、 R_2 および R_{3-4} は、 R_1 と比べて条件が厳しいこと、物体把持は環境接触を伴う高難易度の操作であることから、 R_2 の優先度は最高に、 R_1 は最低とした。以上より、優先度の高さを R_2 、 R_{3-4} 、 R_{1A} 、 R_{1B} の順に設定した。

環境カメラ用のモニタ数は、カメラ/モニタシステムの複雑性とオペレータの認知限界の双方を考慮して決定する必要がある。本研究では、カメラロールと同数のモニタを設置した。また、より適切な映像選択の可能性をもたせるために、環境カメラ数をモニタ数よりも多い6個 (C_1-C_6) とした。カメラの優先順位は、簡単のためカメラの番号順 (1→6) とした。

(2) 実験環境および実験条件

(a) VRシミュレータ

図-7に実験に利用するVRシミュレータを示す。

作業機には、把持機構を備えた解体機を再現し、4本の作業機操作レバー（左右クローラ、上部回転軸、ブーム、アーム、バケット、グラブプル）および4本の環境カメラ操作レバー（ヨー・ピッチ・ズーム）を配置した。また、自動制御時にカメラを手動操作した場合、自動制御に戻すための自動制御復帰レバーを2本用意した。2本の上下方向が、4つの環境カメラ映像にそれぞれ対応している。さらに、42インチの2次元モニタの表示領域を6分割し、車載カメラ映像、4つの環境カメラ映像、状態提示（作業状況、ロール割り当て状況など）をそれぞれ表示した。VR環境は、描画エンジンとしてOpenGL、物理エンジンとしてOpen Dynamics Engine (ODE) を利用した。これにより、任意の点の位置、速度、力などが計測可能になる。

(b) 実験条件

作業環境、作業機、対象物、環境カメラは、図-8のように設定した。2つの廃材置き場に3つずつ配置された合計6つの廃材円柱棒を1つずつ運搬して廃材回収箱に設置する作業を行う。環境には、車載カメラ映像から廃材が直接見えないように視界を遮る壁を設置した。オペレータには、できる限り早く、環境との過負荷接触を避け、把持時の掴みミスをせず、廃材棒の中央を把持し、運搬中に物体を落下させないことを

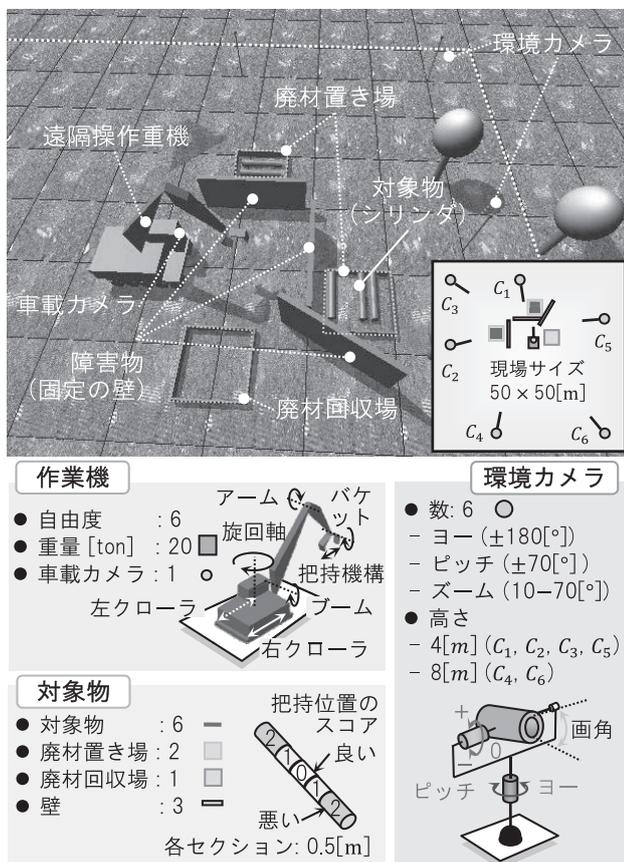


図-8 実験環境

指示した。

半自動制御システム（オペレータの手動操作介入を受容した自動制御システム）の有用性を評価するために、固定カメラ（制御なし）、オペレータによる手動制御を含めた3システムにおいて、作業効率（遂行時間）、安全性（過負荷回数、把持失敗回数、物体落下回数）、作業品質（把持位置）を評価項目として計測した。さらに、主観的な使いやすさを計測するために、タスクの難易度、死角の出現頻度、奥行き感の認識容易性を項目として4段階評価を行うアンケートを実験後に実施した。6つの廃材棒運搬を1セットとし、3システムで4セットずつ行った。オペレータは、実機操作経験はないが、シミュレータ操作には十分に慣れた成人男性4名とした。

(c) システムの詳細設定

固定と手動制御（初期位置）における環境カメラは、図-7左上部に示すモニタ番号1から4において、 C_3, C_2, C_5, C_4 の映像をそれぞれ提示した。そのときのピッチ角度は、 $-4, -3, -16, -0.8 [^\circ]$ 、画角は、 $40, 30, 38, 31 [^\circ]$ 、ヨー角度は、図-8右側中央に示す線分の角度にそれぞれ設定した。これらのパラメータは、車載カメラの映像を強化するためのプレ実験から探索的に設定した。自動制御では、モニタ1から4の順に $R_2, R_{3-4}, R_{1A}, R_{1B}$ の映像をそれぞれ提示した。

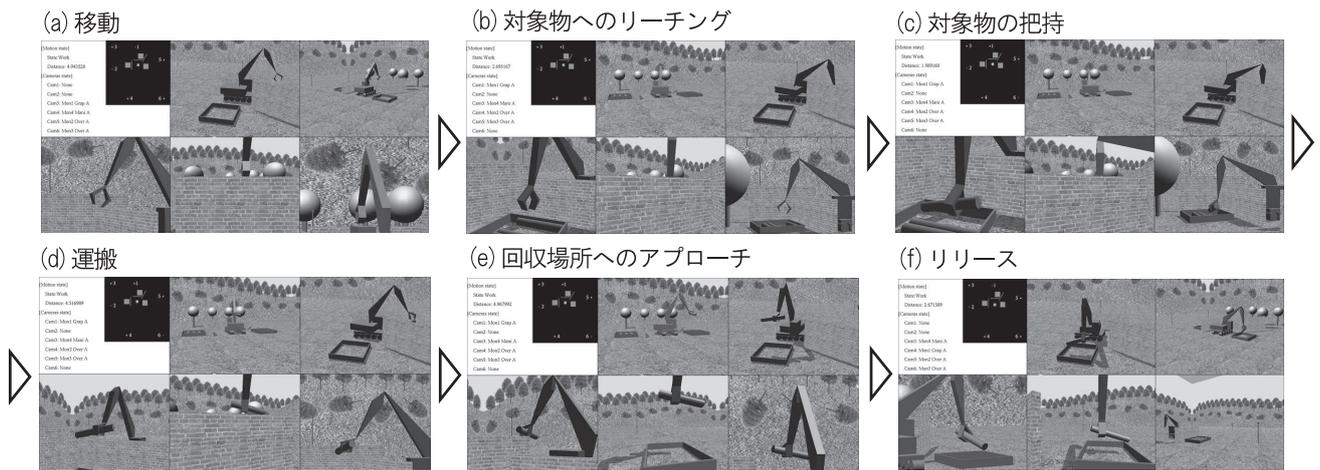
(3) 実験結果

3つのシステムにおける時間効率、安全性、作業品質、主観的使いやすさの評価結果を表-1に示す。半自動制御システムにおけるタスクイメージを図-9に示す。

表-1 実験結果

平均（全操作者）	半自動	手動	固定
(a) 作業効率			
● 作業時間 [s]	395.1	427.7	414.3
(b) 安全性（セットあたりの回数）			
● 把持の失敗	0.5	0.94	1.17
● 物体の落下	0.06	0.25	0.19
● 物体への過負荷	0	0.06	1.19
(c) 質（良い: 0↔悪い: 2）			
● 把持位置のスコア	0.55	0.54	0.95
(d) 主観的な使いやすさ（良い: 1↔悪い: 4）			
● タスクの難しさ	1.25	1.75	2.75
● 死角の発生頻度	1.75	2.25	2.5
● 奥行き間認知の難しさ	2	2	2.75

■: ベスト □: ワースト



図一9 半自動制御システムにおける作業シーケンス

(a) 時間効率

各セットの平均タスク時間を表一1 (a) に示す。半自動制御では作業時間が減少している一方、手動制御では固定と比べて作業時間が増加していることが分かる。これは、手動によるカメラ制御では、カメラを操縦する時間が必要となることに起因すると考えられる。半自動制御では、カメラ操縦に費やす時間分を削減するだけでなく、固定カメラに比べより効率的な作業が可能となった。

(b) 安全性

1セットあたりの把持失敗回数、運搬時の把持物体の落下回数、誤接触時の過負荷回数を表一1 (b) に示す。自動制御では、3指標それぞれが、他の2システムより少なくなっていることがわかる。物体落下の原因について観察した結果、固定では、物体の端を掴んでしまったこと、手動制御では、適切に物体中心を掴んでいるものの、運搬時に上部旋回体を過剰な速度で回転させてしまったことに起因していることが分かった。これは、運搬に伴って変えるべき映像の視点固定になってしまっていた（機械操作中には同時にカメラ操作ができない）ために、物体の把持状態やその安定性を十分に確認できなかったと予想される。半自動制御での視点は、機体の移動に伴い自動的に追従することから、固定や手動制御に比べて、誤操作を大幅に低下させることができたと考えられる。

(c) 作業品質

対象物の把持位置を評価するためのスコアを設定した（図一8 下部中央）。中心から両側に0.25 [m] の範囲をスコア0、その両端から0.5 [m] の範囲をスコア1、残りの0.75 [m] をスコア2とした。表一1 (c) に把持位置評価スコアの結果を示す。物体の中心部を掴むとき、スコアは0、棒の端を掴むと2となる。可

動カメラ（手動制御および半自動制御）を使った方法では、同じ程度の低いスコアが得られた。一方、固定の場合では、可動カメラの場合と比べ約2倍のスコアとなっている。オペレータが望む映像を提供することで、廃材棒の中心を把持できたことから、作業品質向上への寄与が示唆された。

(d) 主観的使いやすさ

表一1 (d) にスコアリングの結果を示す。数値が小さいほど使いやすいことを示している。すべての指標において、固定よりも手動制御のほうが良いスコアとなったことから、カメラを可動化するだけでも使いやすさが向上することが確認された。さらに、可動化カメラを半自動的に制御することで、死角の発生を効果的に抑え、タスクの主観的難易度が低下することが分かった。これらの結果は、3つの指標の平均値（3.58（半自動）、3.25（手動）、2.33（固定））からも分かる。以上より、半自動制御を行うことで、オペレータの主観的な使いやすさが向上することが示唆された。

5. おわりに

現場環境や作業内容、オペレータの技能によって映像情報の性質が変わってくることを考慮し、適応的な映像を提供するために環境カメラの半自動制御手法を開発した。共通的な作業シーケンスにおいて、オペレータに提供すべき映像を分析した結果、3つの撮像対象（作業機、マニピュレータ、手先）4つの撮像モード（追従、ズーム、姿勢、軌道）を案出した。撮像対象と撮像モードの組み合わせにより定義される自動制御の基本モジュールとして4つのカメラロール（車体俯瞰追従、手先拡大追従、マニピュレータ姿勢保持、マニピュレータ軌道）を定義した。次に、これらのカメラロー

ルを適切にカメラに割り当てるため、ロールアサインメントシステムを開発した。障害物位置やカメラの制御限界などから当該カメラが役割を満たせない場合にも、線型計画法を用いたカメラロールの再割り当てを行うことで、さまざまな状況に対してロバストな映像提供を行うことができる。制御対象のカメラは車載カメラ1台と環境カメラ6台とし、VRシミュレータを用いた瓦礫撤去作業を模した評価実験を行った。固定(制御なし)、手動制御、半自動制御、の3システムにおける作業効率、作業品質、および主観的な使いやすさを評価した結果、半自動制御では、固定や手動制御で実現が難しかった作業効率と作業品質の両立が可能となること、オペレータの主観的な使いやすさが向上することが示唆された。以上の実験結果から、提案した半自動制御システムは、見えないがゆえの無駄な動き直しや過度に慎重な動き、疲労などの低減に寄与し、遠隔重機作業におけるオペレータの視覚情報の強化を担う有力なツールの1つになることが期待される。

今後は、実環境での実証実験を行うとともに、実験的に定義した各種パラメータの調整方法の検討を行う予定である。また、手動操作を受容する半自動制御としたにも関わらず、手動操作回数が少なかったことから、半自動制御の有用性について再検討を行う。

謝 辞

本研究の一部は、(社)日本建設機械化協会「平成23年度研究開発助成」、JSPS 科研費(26870656)、文科省グローバルCOEプログラム「グローバルロボットアカデミア」ならびに、早稲田大学理工学研究所の支援を受けて行われました。ここに謝意を表します。

JCMA

《参考文献》

- 1) Y. Hiramatsu, T. Aono, and M. Nishio, "Disaster restoration work for the eruption of Mt Usuzan using an unmanned construction system," *Advanced Robotics*, vol. 16, no. 6, pp. 505-508, 2002.
- 2) 大内田聖和, 岩倉淳一, 渡部文人, "普賢岳における無人化施工の現状と課題", 国土交通省九州地方整備局九州国土交通研究会, paper no.

018, 2010.

- 3) S. Nishigaki, K. Saibara, S. Kitahara, H. Iwasaki, K. Yamada, and H. Satoh, "ICT-based work management to support unmanned construction for post-disaster restoration," in *Proc. Int. Symp. Automation and Robotics in Construction*, pp. 508-513, 2011.
- 4) T. Xinxing, Z. Dingxuan, H. Yamada, and N. Tao, "Haptic interaction in tele-operation control system of construction robot based on virtual reality," in *Proc. Int. Conf. Mechatronics and Automation*, pp. 78-83, 2009.
- 5) 山口崇, 吉田正, 石松豊, "遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスに関する実態調査", 土木学会第59回年次学術講演会論文集, pp. 373-384, 2004.
- 6) 林宏樹, 田村隆幸, 三鬼尚臣, "無人化施工における通信遅延と通信周期が施工効率に与える影響の分析と改善提案", 建設の施工企画, pp. 119-124, 2009.
- 7) 古屋弘, 栗生暢雄, 清水千春, "次世代無人化施工技術の開発-3D映像及び体感装置を用いた遠隔操作-", 第13回建設ロボットシンポジウム論文集, pp. 109-116, 2012.
- 8) D.B. Kaber, Y. Lee, M. Clamann, and Y.S. Lee, "Investigating human performance in a virtual reality haptic simulator as influenced by fidelity and system latency," *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, vol. 42, no. 6, pp. 1562-1566, 2012.
- 9) T. Fukuda, S. Yamamoto, T. Kaga, and F. Arai, "A preliminary study on cooperative visual support by mobile camera for mobile robot teleoperation," in *Proc. 26th Annual Conf. IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 46-51, 2000.
- 10) S.P. Lajoie, "Individual differences in spatial ability: developing technologies to increase strategy awareness and skills," *Educational Psychologist*, vol. 38, no. 2, pp. 115-125, 2003.
- 11) A.M. Liu, C.M. Oman, R. Galvan, and A. Natapoff, "Predicting space telerobotic operator training performance from human spatial ability assessment," *Acta Astronautica*, vol. 92, no. 1, pp. 38-47, 2012.
- 12) 岩田浩康, 亀崎允啓, 菅野重樹, "双腕建機のための操作者支援システムの開発設計", 建設の施工企画, 12月号 (Vol. 706), pp. 60-66, 2008.
- 13) T. Ibaraki and S. Muroga, "Adaptive linear classifier by linear programming," *IEEE Trans. Syst. Sci. and Cybernetics*, vol. 6, no. 1, pp. 53-62, 1970.
- 14) M. Kamezaki, J. Yang, H. Iwata, and S. Sugano, "A basic framework of virtual reality simulator for advancing disaster response work using tele-operated work machines," *J. Robotics and Mechatronics*, vol. 26, no. 4, pp. 486-495, 2014.

亀崎 允啓 (かめざき みつひろ)

早稲田大学 理工学術院総合研究所 研究院講師

岩田 浩康 (いわた ひろやす)

早稲田大学 創造理工学部 教授

菅野 重樹 (すがの しげき)

早稲田大学 創造理工学部 教授

JCMA 報告

平成 26 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会 研究開発助成 助成対象研究開発 決定のお知らせ

平成 26 年度研究開発助成担当 技師長 小櫃基住

I. はじめに

一般社団法人日本建設機械施工協会は、平成 26 年度の研究開発助成対象研究開発を決定しましたのでお知らせいたします。

この「研究開発助成」は、建設機械及び建設施工に関する技術等の向上と普及を図り、もって国土の利用、開発及び保全並びに経済及び産業の発展に寄与することを目的として優れた研究開発・調査研究に対して助成する制度で、本年度は第 8 回目となります。

本年度は、研究開発助成審査委員会（委員長 太田秀樹 中央大学 研究開発機構教授）において過日厳正な審査を行い、今般応募 7 件の中から『山留め壁施工時に発生する地盤の摩擦音を活用した難透水層の判別技術（日本大学生産工学部：助教 下村修一氏）』の 1 件に対し助成することに当協会会長が決定しました。

なお、研究期間は平成 27 年 2 月以降から平成 28 年 3 月末で、研究開発成果は平成 28 年 11 月開催予定の「建設施工と建設機械シンポジウム」、機関誌「建設機械施工」で発表される予定です。

II. 助成研究開発の概要

今回助成を決定した研究開発の概要は以下のとおりです。

○山留め壁施工時に発生する地盤の摩擦音を活用した難透水層の判別技術

日本大学生産工学部 助教 下村修一氏

山留め工事で止水工法を採用する場合、ソイルセメント壁を難透水層に到達させ、根切り場内の地下水位を低下させることが多い。しかしながら、施工時における壁長の管理は地盤調査結果に基づく長さ管理であり、施工時に難透水層への着実な根入れを客観的に確認する技術は確立していない。本研究では、施工時に得られる施工機械と地盤間の摩擦音を用いて難透水層の有無をリアルタイムに判別する施工管理技術を開発し、この技術の確立により施工の合理性ならびに品質の向上を図るものである。

JCMA

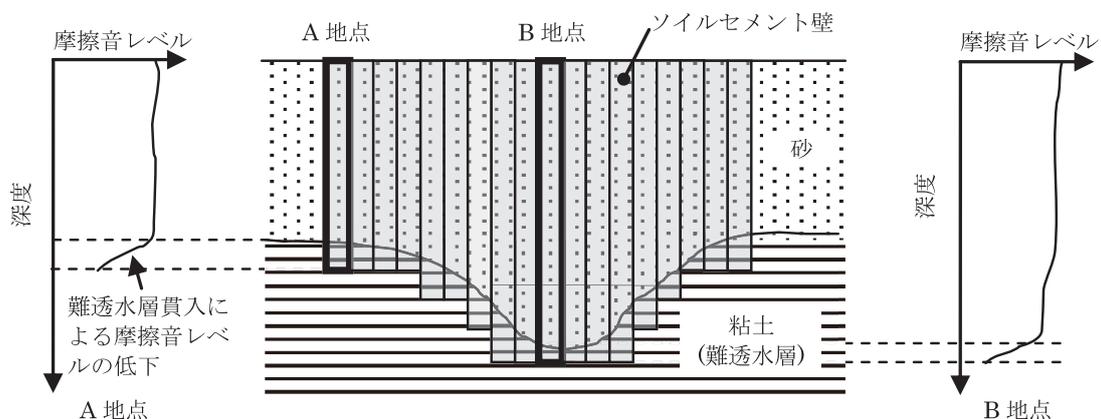


図-1 リアルタイムで収録する摩擦音のイメージ

部 会 報 告

除雪機械の変遷（その4）ロータリ除雪車（4）

機械部会 除雪機械技術委員会

2-4-5 平成13年以降（国土交通省排出ガス第2次基準適用年代）

1) 汎用及び、大型ロータリ除雪車

排出ガス規制への対応としては、旧建設省の「建設機械の排出ガス第2次基準値」及び旧運輸省の「道路運送車両の保安基準」による排出ガス規制への対応が求められた。

第2次基準値は、「2010年までに建設機械の年間窒素酸化物排出量を1993年レベルより30%以上削減する」という目標に基づき策定され、規制対象も560kW（762PS）まで拡大された。また、「道路運送車両の保安基準」による排出ガス規制は、大気環境改善のために新たに導入される規制であり、当時規制の対象外となっていた特殊自動車の自動車全体における窒素酸化物などの排出割合が高かった。基準値は欧米とほぼ同水準となっており、平成15年10月1日以降は、この基準をクリアしなければ新型自動車登録がで

きないとされた。

平成15年、(株)日本除雪機製作所は、二つの排出ガス規制に対応するため、適合エンジンの装着及び、主要機器の変更により多くの機種モデルチェンジを行った。（例：HTR262を263、HTR300を301、HTR403を405、HTR602を603に変更）

また、平成15～17年、TCM(株)^(注2)は、国土交通省排出ガス2次規制に伴い、250PS級JR180-2、300PS級JR220-2、400PS級JR300-2、600PS級JR440-2を開発した。

平成15年、同じく新潟トランス(株)も排出ガス2次規制エンジン対応のため、NR281、NR300、NRNS301、NR400を開発した。

平成19年度より新千歳空港では、第一優先区域の滑走路における除雪作業の目標時間を作業開始後、概ね20分間を予定し、この体制を確立するため幅60m、長さ3000mの滑走路を全幅一方向より一気に



HTR405



HTR263

写真 2-92 (株)日本除雪機製作所 HTR405, HTR263 平成15年



JR180-2



JR220-2



JR300-2

写真 2-93 TCM(株)^(注2)製 JR180-2, JR220-2, JR300-2 平成15～17年



写真 2-94 (株)日本除雪機製作所 HTR800 平成 17 年



写真 2-95 (株)日本除雪機製作所 HTR801 平成 19 年

除雪可能な大型除雪車が必要になった。

平成 17 年、(株)日本除雪機製作所は、新千歳空港に高性能除雪車として HTR602 を基本に国内最大級のロータリ除雪車 HTR800 を開発した。主な特徴は、除雪速度 40 km/h、エンジン馬力 800 PS、オーガ車速同調式油圧駆動方式などである。

また平成 19 年度、(株)日本除雪機製作所は、HTR800 の後継機として HTR801 を開発した。

2) 大型多機能型ロータリ除雪車

平成 15 年度、国土交通省北海道開発局は、除雪機械の効率的配置・運用による除雪費縮減を目的として新型の多機能型ロータリ除雪車の開発検討を行った。これは、ロータリ除雪車と除雪トラックの機能を兼用したものであった。

平成 16 年、(株)日本除雪機製作所は、国土交通省北海道開発局と多機能型ロータリ除雪車 HTR300M を共同開発した。その特徴として、車体本体のホイールベース間に路面整正装置を取付けるため、フレーム地



写真 2-96 (株)日本除雪機製作所 HTR300M 平成 16 年

上高を高くすると共に走行駆動推進軸は中央部分を迂回する形で配置されていることが挙げられる。ホイールベースは4.2mで、同出力クラスのロータリ除雪車に比べ1.4m長くなっており、プラウ作業時の走行安定性が確保されている。ステアリング機構は、ロータリ除雪作業時は車体屈折式、プラウ作業時はフロントステアリング方式の2系統を装備し運転室内で切替操作ができる。車体前部に装着されているロータリ装置とIプラウは、短時間での交換取り付けが可能となるよう簡易着脱機構を採用し、これにより2名作業で10分以内に装置交換が可能となった。

2-4-6 平成18年以降（国土交通省排出ガス第3次基準適用年代）

1) 汎用及び、大型ロータリ除雪車

平成18年、第3次基準排出ガス対策型建設機械指定制度が創設された。窒素酸化物（NO2）、微粒子物質（PM）が1次規制と比較すると共に約6割の削減となっており、厳しい規制となった。

平成18年より（株）日本除雪機製作所は、この排出ガス規制に対応するため、適合エンジンの装着及び、主要機器の変更により多くの機種モデルチェンジを行った（例：HTR263を265、HTR300を305、HTR405を406、HTR603を605に変更）。

平成18年、TCM（株）^(注2)は、250PS級JR180-3、300PS級JR220-3、400PS級JR300-3を開発した。

平成18年、同じく新潟トランス(株)も排出ガス3次規制エンジン対応のため、NR282、NR301、NRNS302、NR401を開発した。



写真 2-99 新潟トランス(株) NR601 平成 21 年



写真 2-100 新潟トランス(株) NR800 平成 23 年



HTR406



HTR265

写真 2-97 (株)日本除雪機製作所 HTR406, HTR265 平成 18 年



JR180-3



JR220-3



JR300-3

写真 2-98 TCM（株）^(注2) 製 JR180-3, JR220-3, JR300-3 平成 18 年

平成 21 年，新潟トランス(株)は，排出ガス 3 次規制エンジン対応のため，NR601 を開発した。

平成 23 年，新潟トランス(株)は，空港向け高速ロータリ除雪車として NR800 を開発した。

2-5-1 動力伝達装置の変遷 (トルコン, HST)

ロータリ除雪車の動力伝達系統を図 2-1 に示す。

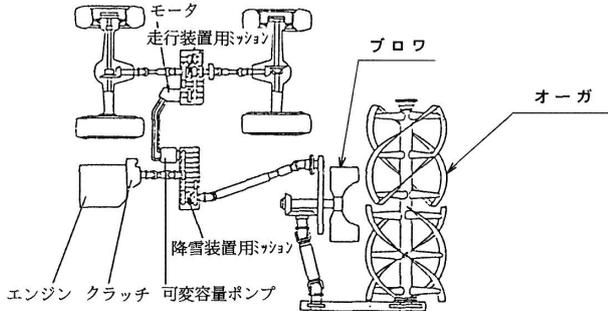


図 2-1 ロータリ除雪車の動力伝達系統

昭和 40 年代前半までは，2 エンジン方式で，昭和 40 年代後半から 1 エンジン方式になった。この 1 エンジン方式の走行動力系統は，歯車変速方式，トルコン式，HST 方式と変遷している。

現在では主に，HST 方式に加え機械式変速装置としてパワーシフトと呼ばれる油圧湿式多板クラッチによる変速装置の組み合わせが殆どである。

ロータリ除雪車は作業系と走行系，2 つの動力系統を有しかつ独立して回転数 (除雪装置側回転数，走行装置側回転数) の制御が必要である。

初期モデルである 2 エンジン方式は，これを作業，走行用と独立したエンジンにて行っていたが，この方式は，イニシャルコストが高価なわりにエンジンの稼働効率が悪いこと，さらに 2 つのエンジンのメンテナンスが必要等のデメリットが多く，次第に 1 エンジン方式に移行していった。

主な 1 エンジン方式は，走行動力系統にトルコンを採用した方式であるが，作業系のエンジン回転数を確保しつつ走行速度を変えるためには，ブレーキにて調整せざるをえず，操作性に問題があった。

HST 方式はこれを改善したもので，エンジン動力は作業機用変速機と平行に可変容量ポンプも回転させる構造の変速機を有し，この可変容量ポンプの押し分け容積を連続的に可変させモータを駆動することにより，エンジンの回転数とは別に走行速度を変更することができる構造である。

2-5-2 除雪装置

昭和 30 年代，海外より多くの除雪車が輸入，使用さ

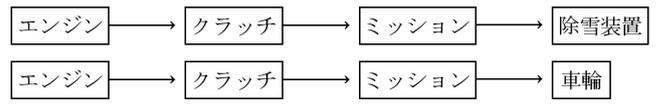


図 2-2 2 エンジン式

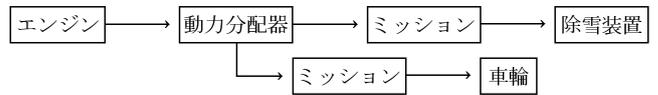


図 2-3 1 エンジン・歯車変速方式

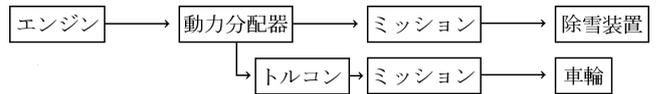


図 2-4 1 エンジン・トルコン式

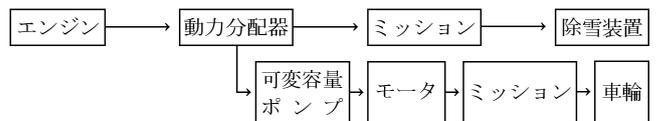


図 2-5 1 エンジン・油圧式 (H.S.T)

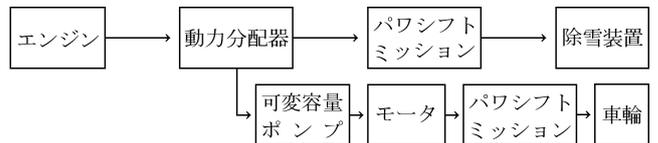


図 2-6 1 エンジン・パワーシフト方式

れた。その機種は多様であり，以下にその例を示す。これらの機種は，海外では現在でも使用されているが，日本では最終的に，日本の特徴である様々な雪質に適応可能なツーステージ，リボンスクリューオーガ形が生き残った。

1) スクリュー形 (2 軸) ツーステージ

昭和 31 年に，旧建設省北陸地方建設局に三菱重工業(株)，スクリュー形ツーステージが道路除雪用に導入された。海外製品をモデルに製作されたようである。

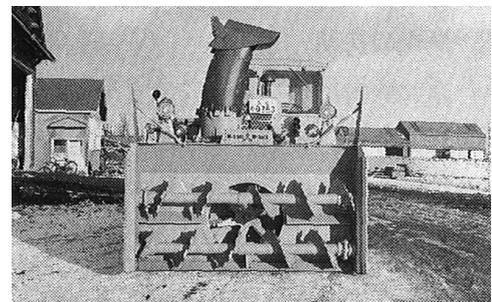


写真 2-101 スクリュー形ツーステージ 三菱重工業(株) 昭和 31 年³⁾

2) ブロア形ワンステージ

ブロア形ワンステージは，PTO 駆動ワンブロア形除雪装置で主に拡幅除雪に使用された。

昭和 37 年に旧建設省東北地方建設局にシュミット社 (西ドイツ) ブロア形ワンステージが導入された。



写真 2-102 ブロア形ワンステージ 32PS シュミット社 昭和 37 年²⁾

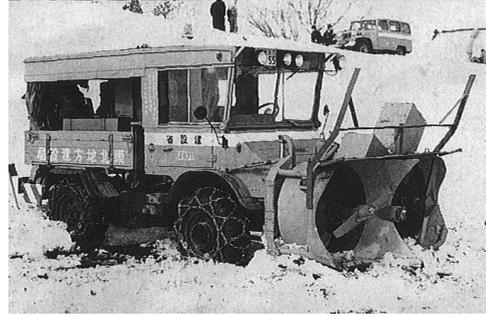


写真 2-104 ブロア形 (2 ブロア) ワンステージ 走行動力 32PS, 作業動力 110PS シュミット社 (西ドイツ) 昭和 38 年²⁾

ベースマシンは、ウニモグ (32 PS) であった。

3) カッター形ワンステージ

カッター形ワンステージは、硬度の高い雪堤除雪に対応可能な装置で作業用エンジンが搭載されており導入台数も比較的多い。

昭和 37 年に旧建設省東北、北陸地方建設局にシュミット社 (西ドイツ) シュミットカッター形ワンステージが導入された。ベースマシンはウニモグで、走行動力が 32 PS, 作業動力が 110 PS であった。



写真 2-103 シュミットカッター形ワンステージ 走行動力 32PS, 作業動力 110PS シュミット社 昭和 37 年²⁾

4) ブロア形 (2 ブロア) ワンステージ

ブロア形 (2 ブロア) ワンステージは、走行しながら雪をかき込みブロアで飛ばすもので、軽い雪には有効だが硬度の高い雪堤には不向きであった。

昭和 38 年に旧建設省東北、北陸地方建設局にシュミット社 (西ドイツ) ブロア形 (2 ブロア) ワンステージが導入された。ベースマシンはウニモグで、走行動力が 32PS, 作業動力が 110 PS であった。

北陸地方建設局では、ブロア形 (2 ブロア) ワンステージ、バイルハック形も導入された。

5) リボンスクリュー、ツーステージ (ロールバ形)

リボンスクリュー、ツーステージは、昭和 38 年に旧建設省北陸地方建設局と北海道開発局に、昭和 39 年に旧建設省東北地方建設局にロールバ社 (スイス) リボ



写真 2-105 ブロア形 (2 ブロア) ワンステージ バイルハック社

ンスクリュー、ツーステージ川崎ロールバ、KRH800 が導入された。ベースマシンはウニモグで、走行動力が 32 PS, 作業動力が 113 PS 又は、125 PS であった。

この構造は除雪能力が高く、我が国の重い雪質にも適していたため、国産機は、このタイプになっていった。



写真 2-106 リボンスクリュー、ツーステージ川崎ロールバ、KRH800 ロールバ社 (スイス) 昭和 38 年²⁾

6) 立軸オーガ形、ツーステージ

昭和 62 年に旧建設省東北地方建設局にシュミット社 (西ドイツ) 立軸オーガ形、ツーステージ 450 PS が導入された。

2-5-3 ステアリング機構

1) 後輪ステアリング方式

後輪ステアリング方式は、前輪がフレームに固定され、後輪が操舵する方式である。常に、前輪が内側にトレース、後輪が外側に張り出すため、前輪より前に



写真 2-107 立軸オーガ形、ツーステージ 450PS シュミット社 (西ドイツ) TS-4 昭和 62 年²⁾

ある除雪装置が雪堤へ食い込みやすい。反面、回送時等、比較的高速時の車体安定性に劣るため現行のロータリ除雪車には、ほとんど使用されていない。



写真 2-108 HTR41 (後輪ステア) (株)日本除雪機製作所

2) アーティキュレート (車体屈折) 方式

アーティキュレート (車体屈折) 方式とは、昭和 29 年頃、米国で開発されたもので、通常は一体の車体フレームを前軸が装着されるフロントフレーム、後軸が装着されるリアフレームへ分割し、これをセンタピンと呼ばれる垂直方向のピンで連結した方式で、通常は油圧シリンダによりフレームを屈折させることにより操舵を行う方式である。油圧シリンダへ作動油を供給するステアリング機構本体部の構造 (フィードバックリンケージの有無等) については、インテグラル形、セミインテグラル形、全油圧形等があるが、現在では全油圧形が一般的である。

この方式は、センタピンの位置より前軸、後軸まで距離が同じ場合は、旋回時前後輪が同じ位置をトレースするため内外輪差が発生せず、またロータリ除雪車の場合は、雪堤への切り込みをした状態で旋回動作が可能、雪堤への食い込みが容易というメリットがあり、ロータリ除雪車への採用は、昭和 44 年に(株)日本除雪機製作所が MR12 形で初めて行った。

また昭和 50 年代になってから普及し、昭和 51 年に(株)日本除雪機製作所の HTR200 形、昭和 52 年に(株)新潟鐵工所^(注3)の NR653 形、昭和 53 年に東洋運搬機^(注1) R400 形に採用された。



写真 2-109 R400 (車体屈折式) 東洋運搬機^(注1) 昭和 53 年

その後、ロータリ除雪車の標準的な操舵方式となっている。

3) 前輪操舵-アーティキュレート切換方式

前輪操舵-アーティキュレート切換方式は、スイッチ操作により、前輪操舵と、アーティキュレートステアリングを切り替えることができる方式である。前輪操舵選択時はセンタピンが、アーティキュレートステアリング選択時は前輪がロックされる構造である。

平成に入り本格的な高速交通時代を迎え、回送では高速安定性に優れた前輪操舵により回送作業の高速化・迅速化と交通支障緩和の目的とし、除雪作業ではアーティキュレート方式のメリットである雪堤への食い込み、前輪と後輪が同じ場所をトレースする良好な車体取り回し性能を生かすことを目的に開発された方式である。

本方式は、主に平成 4 年より数年間、(株)日本除雪機製作所のロータリ除雪車 HTR411S, 412 に採用された。



写真 2-110 HTR412 (前輪操舵-アーティキュレート切換) (株)日本除雪機製作所

4) 4 輪操舵方式

4 輪操舵方式は、前輪、後輪が単独または同時に操舵可能な方式である。なお、同時操舵の場合、前輪と後輪が同じ方向に操舵される同位相方式、前輪と後輪が逆に操舵される逆位相方式がある。

平成 5 年、(株)新潟鐵工所^(注3)のロータリ除雪車 NRS400 に採用された。



写真 2-111 ロータリ除雪車 NRS400 (4輪操舵) (株新潟鐵工所^(注3))



写真 2-114 スイングオーガ付ロータリ除雪車

2-5-4 オプションの変遷 (高雪堤除去装置, 雪切板など)

昭和 62 年に旧建設省北陸地方建設局にスイングオーガを装備した(株新潟鐵工所^(注3)) NR653 形 (ツーステージ形, 260PS エンジンを搭載) ロータリ除雪車が導入された。

同様に昭和 51 年に旧建設省東北地方建設局に(株新潟鐵工所^(注3)) の NR652 形が導入されている。また, 昭和 51 年に東北技術事務所開発のノコギリ形高雪堤処理装置が導入されている。

昭和 62 年に旧建設省北陸地方建設局に(株日本除雪機製作所(北陸地方建設局と共同開発)の段切り用ロータリ除雪車が導入された。これは, トラクタショベルに除雪装置を架装し, 段切りのため 1m 左へ移動できるものである。

昭和 59 年に旧建設省北陸地方建設局に(株新潟鐵工所^(注3)) (北陸地方建設局と共同開発) の高所運転室付ロータリ除雪車が導入された。これは, ロータリ除雪車の運転室を高くして, 雪の落下地点を確認できるものである。



写真 2-115 東北技術事務所開発のノコギリ形高雪堤処理装置

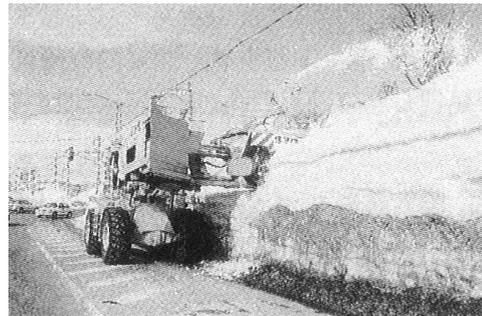


写真 2-116 段切り用ロータリ除雪車 (株日本除雪機製作所 昭和 62 年)

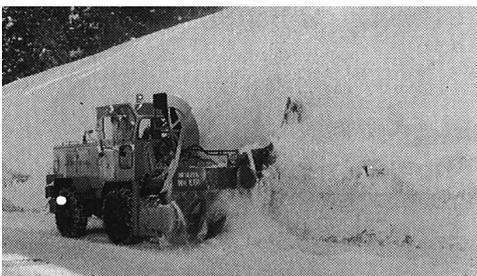


写真 2-112 NR651 形 (高雪堤処理装置付) (株新潟鐵工所^(注3))



写真 2-117 高所運転室付ロータリ除雪車 (株新潟鐵工所^(注3)) (北陸地方建設局と共同開発) 昭和 59 年

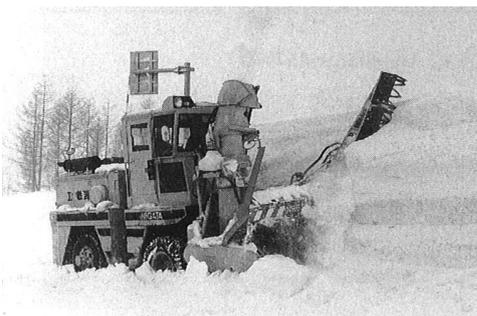


写真 2-113 NR652 形 (高雪堤処理装置付) (株新潟鐵工所^(注3))

注 1 : TCM (株)をへて現日立建機(株)
 注 2 : 現日立建機(株)
 注 3 : 現新潟トランス(株)

《参考文献》

- 2) 道路除雪 30 年史 平成 3 年 3 月 30 日 編集 建設省東北地方建設局 道路部道路管理課・機械課 発行 社団法人東北建設協会
- 3) 除雪機械の歴史 平成 3 年 3 月 監修 建設省北陸地方建設局 発行 社団法人日本建設機械化協会北陸支部

部 会 報 告

古河ロックドリル(株) 吉井工場見学会

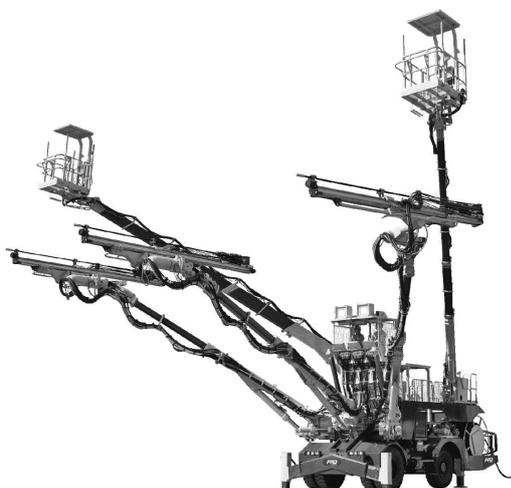
機械部会 トンネル機械技術委員会

1. はじめに

トンネル機械技術委員会は平成26年12月5日、群馬県高崎市に所在する古河ロックドリル(株)吉井工場にて、トンネルドリルジャンボの見学研修会を開催した。参加者は、事務局を含めて16名であった。

2. 会社概要

古河ロックドリル(株)は昭和36年(1961年)、古河機械金属(株)(旧社名:古河鋳業(株))の機械部門より、さく岩機類の専門販売会社「古河さく岩機販売(株)」として分離し、その後何度かの統合を繰り返しながら現在の社名となり、常にさく岩機の国内トップメーカーとして君臨している。トンネル機械を製造する同社のメイン工場“高崎吉井工場”は、足尾銅山で使用した機械類の修理工場に源を発し、そのノウハウや技術力をさく岩機の製造に活かすことにより、今から100年前の大正3年(1914年)に国産初のさく岩機を開発し、以後さく岩機専門工場として成長を続けている。今回見学した吉井工場は、昭和46年(1971年)さく岩機製品の増産・大型化に対処するため現在の場所に新設され、研究開発とドリルジャンボ、油圧クローラドリル等大型製品の組み立てを行っている機械製造工場である。



写真一 トンネルドリルジャンボ全景

3. 見学概要

(1) 今回の見学目的

今年度、当委員会は会員の機械化施工技術の向上・育成をめざし、研修見学会の開催をトンネル関連現場見学3回、機械関連工場見学1回とする計画を定めた。そして工場見学会場の提供を、大断面長大トンネル向け新規機械を開発した古河ロックドリル(株)に依頼した。

国内のインフラ整備、特にリニア中央新幹線山岳トンネル工事では、断層地帯で土被りが大きく難工事が予想されながらも、大断面での急速施工が求められている。「安心して、速くて確実に、安全に」を追及して新たに開発された新型3ブーム『リニアドリルジャンボ JTH3200R-Ⅲ PLUS』の実機見学と主要開発構造部“高出力ドリフタ”、“全断面自動追尾式穿孔誘導システム”の構造説明及び実演動作見学という技術研修である。

(2) 構造説明

機械の仕様は、全長15,500mm、全幅3,140mm、全高4,190mm、総質量48.5ton、水平穿孔範囲(幅×高さ)16,000mm×10,460mm、3ブーム2ケージのジャンボであり、リニア中央新幹線トンネルや幹線道路トンネルの様な大断面に対応できる機械である。

大断面での急速施工に対応する主要3要素について、説明を受けた事項をまとめる。



写真二 操作席(オペレータ席) NAVI画面



写真—3 構造説明状況



写真—4 実機見学風景

(a) 高出力ドリフタ「油圧ドリフタ HD220」

従来からの 55 kW 油圧パックを使用しているが、高効率コンパクトバルブの採用及び大口径穿孔対応を実現することによりクラス最高出力 20 kW を達成できた。大口径穿孔対応実現のため回転部の更なる強化対策として次のような改良を行った。①シャंकロッドを 3 点支持とする、②耐摩耗性向上をめざしてチャックサイズをアップする、③ギアの減速比を替えることにより回転トルクの向上を図る、という 3 要素である。さらに高出力を有効に穿孔速度に活かすデュアルダンパシステムを搭載しているため、クラス最高の穿孔性能を得られるドリフタとなった。

(b) 統合穿孔支援システム「ドリル NAVI」

穿孔作業時にトータルステーションでドリルジャンボ後部、ガイドシェル後部のプリズムを測量することによりドリルジャンボ全体の位置・姿勢、及び切羽の正確な位置を把握する。あらかじめ穿孔計画やトンネル線形データを入力したパソコンモニタに表示された穿孔位置と差角に合わせ、オペレータがレバーを操作してガイドシェルを誘導することで、簡単、正確に穿孔作業を行うことができ、外周孔の余掘り低減に効果を発揮する。

(c) 統合穿孔支援システム「全穿孔データ記録システム」

穿孔時のドリフタにかかる作動圧や穿孔エネルギーなどのパラメータを自動的に記録する。そのデータから各切羽の直近の性状分析ができ、前方探査データによる施工計画作成に加え切羽の更なる安全管理や発破パターンの改善に役立てることができる。これらのデータを無線 LAN にて外部に送信することにより、切羽最前線のデータを関係各所で共有することができる。

(3) 実機動作見学

ドリルジャンボの機能、統合穿孔支援システム（ドリル NAVI）の実演及び全穿孔データ記録システムに

ついて実機を用いて研修するという内容であった。

最初にジャンボのセットアップの確認。場内敷地に仮想切羽及び目標切羽を想定した模擬トンネルを作成し実演会場とする。ジャンボを所定の位置に移動させた後、トータルステーションでジャンボ後部に取り付けた 3 点のプリズムを自動測量することにより、ジャンボの正確な位置と姿勢を測定した。その後仮想切羽位置をジャンボに認識させた。

次に穿孔作業の実演。穿孔オペレータ席ナビシステム（全断面追尾式穿孔誘導システム・穿孔 NAVI）にあらかじめインプットしてある穿孔位置、差角、穿孔深さとドリフタ穿孔位置が合致するようにレバーを操作することで穿孔計画に合わせる。穿孔作業を開始するとあらかじめ設置した目標ターゲット板にロッド先端に取り付けた朱色のインクでマーキングを行い、穿孔深さ及び差角精度を検証した。今回の朱色マーキングの精度誤差は、目標切羽面で 50 mm 以内であり施工精度の高さを実証した。次に花崗岩塊の実穿孔作業を実施。穿孔速度と穴尻調整の精度を測定した。最後に実演データをオペレータナビ画面に表示して計画と実穿孔データの違いを検証した。

各実演によりトンネル掘削工事において本機を使用することで施工精度の向上が図られること、特に統合穿孔支援システム採用による操作の簡略化は、オペレータのさく孔技術に関して経験の少ないオペレータと経験の積んだオペレータとの技能差が縮まることが想定された。また、孔曲りが少なく、孔荒れの少ないさく孔が可能となることを理解できた。

4. おわりに

トンネルドリルジャンボによる実作業を工事現場で見学する場合は安全管理上、離れた位置からの見学となることが多い。今回、実機による実演見学というこ



写真—5 工場見学研修会 集合写真

とで作業ステップ毎の操作を間近で見学・説明を受けることができ、その施工管理技術について直接理解することができた。また、オペレータ席にも搭乗することができ普段体験することのできない機械見学研修会であった。見学後の質疑応答も活発な意見交換が続き、あっという間に所定の時間が過ぎてしまった。

今回の見学は機械要素技術の復習、今後発注される大断面長大トンネル施工計画検討に大変参考になると

思われる。

最後に、大変お忙しいなか見学会を準備していただいた皆様、当日丁寧に案内、説明をしていただいた金子副工場長ならびに村上課長、宮越課長、工場実演に携わったスタッフの皆様に厚く御礼申し上げます。

JCMA

(文責：委員長 赤坂)

新工法紹介 機関誌編集委員会

04-352	ツインアーチフォーム (TAF) 工法	鹿島建設
--------	---------------------	------

▶ 概 要

近年、社会的要請を背景にトンネルの覆工コンクリートの品質向上に対する要求が高まっている。

トンネルの覆工コンクリートは、通常のコンクリート構造物と比較した場合、部材厚が薄いうえに、トンネル内が遮光、恒温、多湿であり養生環境が屋外とは異なることから、自重に対する支持強度が十分発現すれば脱型することが許容されており、一般的な2車線道路トンネル断面では2日に1回の打設により平均18時間程度で脱型することが通例となっている。

このため、覆工コンクリートの品質をさらに向上させるには、打設工程に影響を与えることなく型枠存置期間を長くして、脱型時に発生するコンクリート内部の収縮ひずみを低減するとともに、コンクリート表面の緻密化を図る必要があった。

今回開発したツインアーチフォーム (TAF) 工法は、従来の打設サイクルを変えることなく養生時間を大幅に増やすことにより、覆工コンクリートの品質を格段に向上させた。



写真-1 施工状況

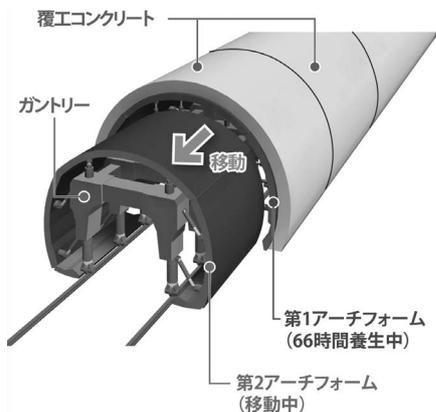


図-1 TAF 工法施工概念図

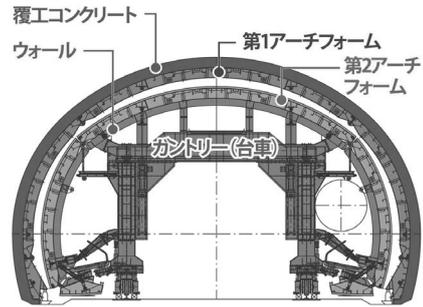


図-2 TAF 工法セメント構造図

▶ 特 徴

(施工の特徴)

① 2日に1回の打設サイクルを維持

1台のガントリーが2台のアーチフォーム (型枠) を交互に移動させ、打設と脱型を繰り返すことが可能となるテレスコピック構造である。養生完了部のアーチフォームはガントリーと接合後に縮径し、存置された養生中のアーチフォームの内側をくぐり抜け、次の打設位置へ移動することができる。

② 66時間の養生時間を確保

1台目のアーチフォームをガントリーで支持してコンクリートを打設している間、先行打設した2台目のアーチフォームは自立させて存置可能である。

(品質の特徴)

① 圧縮強度の向上

66時間脱型にすることで従来施工サイクルの18時間脱型と比べてコンクリート強度が4倍に向上する。

② コンクリート表面の高い緻密性

材齢7日で脱型した場合と同等の緻密性が確保されるため、構造物の劣化を防止し、長期耐久性が向上する。

③ 収縮ひずみの低減

保温・保湿効果があるため、覆工コンクリート内外の温度差がほとんどなく、脱型後の収縮ひずみを約40%に抑制できる。また材齢初期における覆工表面の乾燥収縮ひずみも小さくなるため、覆工表面の初期ひび割れが抑制できる。

▶ 用 途

・トンネルの二次覆工コンクリート

▶ 実 績

・国道473号線 岩古谷トンネル (愛知県)

・新東名 徳定トンネル (NEXCO 中日本)

▶ 問合せ先

鹿島建設(株) 土木管理本部

〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11

TEL : 03-5544-0499

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈02〉 掘削機械

14-〈02〉-11	コベルコ建機 小型油圧ショベル (後方超小旋回型/超小旋回型) SK75SR-3E, SK80SR+-3E, SK80UR-6E	'14.11 発売 新機種
------------	--	------------------

後方超小旋回型のコンパクトな機体により、作業占有幅3m (SK80UR-6Eは2.55m)での180°旋回が可能であり、道路、都市土木などのスペースの限られた現場においても安全に効率よく重機作業を行うことができる小型油圧ショベルである。

燃費性能向上のため、従来から標準装備しているAIS(オートアイドリングストップ)機能に加え、新作業モード「ECOモード」を設定し、従来機のSモード(省エネ・燃費重視モード)に対して、約27%の燃費低減を図っている。

特定特殊自動車排出ガス2011年基準適合のエンジンを搭載しており、電子制御3ポンプ油圧システムの採用により、燃費性と作業性の向上を両立させている。また、独自のエンジン冷却システムiNDr(アイ・エヌ・ディー・アール)により、エンジンルーム内の防塵性とメンテナンス性を確保し、超低騒音型建設機械の基準値(93dB)をクリアしている。

ROPS(転倒時保護構造)規格に適合(SK80UR-6Eは除く)した新型キャブを採用し、キャブ内空間を拡大すると共に、右中央ピラー廃止によりワイドな作業視界を確保し、運転時の安全性と快適性の向上を図っている。

表一 1 SK75SR-3Eの主な仕様

標準バケット容量(山積)	(m ³)	0.28
運転質量	(t)	7.44
定格出力	(kW/min ⁻¹)	41/2,000
最大掘削半径	(m)	6.48
最大掘削深さ	(m)	4.16
最大掘削高さ	(m)	7.41
最大ダンプ高さ	(m)	5.34
旋回速度	(min ⁻¹ rpm)	11.5 11.5
走行速度 高速/低速	(km/h)	5.3/2.6
登坂能力	% (度)	70 (35)
クローラ全幅	(m)	2.30
標準シュー幅	(m)	0.45
全長×全幅×全高(輸送時)	(m)	5.83×2.30×2.55
価格(税抜き)	(百万円)	11.5

表一 2 SK80SR+-3Eの主な仕様

標準バケット容量(山積)	(m ³)	0.28
運転質量	(t)	8.35
定格出力	(kW/min ⁻¹)	41/2,000
最大掘削半径	(m)	6.48
最大掘削深さ	(m)	4.30
最大掘削高さ	(m)	7.50
最大ダンプ高さ	(m)	5.43
旋回速度	(min ⁻¹ rpm)	11.5 11.5
走行速度 高速/低速	(km/h)	5.3/2.6
登坂能力	% (度)	70 (35)
クローラ全幅	(m)	2.30
標準シュー幅	(m)	0.45
全長×全幅×全高(輸送時)	(m)	6.15×2.30×2.58
価格(税抜き)	(百万円)	12.8

表一 3 SK80UR-6Eの主な仕様

標準バケット容量(山積)	(m ³)	0.28
運転質量	(t)	8.12
定格出力	(kW/min ⁻¹)	41/2,000
最大掘削半径	(m)	6.48
最大掘削深さ	(m)	4.30
最大掘削高さ	(m)	7.50
最大ダンプ高さ	(m)	5.43
旋回速度	(min ⁻¹ rpm)	11.5 11.5
走行速度 高速/低速	(km/h)	5.3/2.6
登坂能力	% (度)	70 (35)
クローラ全幅	(m)	2.30
標準シュー幅	(m)	0.45
全長×全幅×全高(輸送時)	(m)	6.15×2.30×2.62
価格(税抜き)	(百万円)	12.9



写真一 1 コベルコ建機 SK75SR-3E 油圧ショベル(後方超小旋回型)

コベルコ建機(株) 営業促進部

〒141-8626 東京都品川区東五反田2丁目17番1号
(オーバルコート大崎マークウエスト)

新機種紹介

▶ 〈02〉 掘削機械

14-(02)-12	日立建機 ミニショベル (後方超小旋回型) ZX17U-5A	'14.10 発売 新機種
------------	--------------------------------------	------------------

一般土木工事をはじめ、設備管工事、造園工事、解体工事など、幅広い用途で使用される1.5トンクラスの後方超小旋回型ミニショベルであり、国土交通省第3次排出ガスおよび、超低騒音型建設機械の基準値に適合している。

機能面では、「ユーザーフレンドリーなミニショベル」をコンセプトとしている。

全操作油圧パイロット式および狭い所を通過できる可変脚式クローラ&ブレードにより操作性の向上を、ゆったりと座れる運転席、雨溝付きの大型ルーフにより居住性の向上を図っている。大きく開くメンテナンスカバーにより整備性を向上し、燃料給油口を大きくして迅速な給油を可能とし、および冷却装置(ラジエータ、オイルクーラ)の並列配置により埃やごみの除去を容易にしている。

また、作業現場への移動の際に、2トン車への積み込みが可能な機械質量(標準仕様装着時)であることや、クローラ全幅を1,000mm以内に伸縮できる「可変脚式クローラ&ブレード」を標準装備している。狭い現場への移動や輸送時は縮めて使用し、掘削時は拡張して使用することで、高い安定性を発揮する。



写真-2 日立建機 ZX17U-5A ミニショベル

問合せ先：日立建機(株) 経営管理本部 広報戦略室 広報グループ
〒112-8563 東京都文京区後楽二丁目5番1号

▶ 〈03〉 積込機械

14-(03)-09	コマツ ホイールローダ WA270-7	'14.09 発売 モデルチェンジ
------------	---------------------------	----------------------

オフロード法(*1)2011年基準に適合し、NOx(窒素酸化物)とPM(粒子状物質)の排出量を従来機に比べて大幅に低減し、日本(特定特殊自動車排出ガス2011年基準)・北米(EPA Tier4 Interim)・欧州(EU Stage 3B)の排出ガス規制に対応している。油圧システム・走行システム・エンジンを最適にコントロールする協調制御システム「コマツ スマートローダロジック」や2モーター方式「新電子制御HST」により、生産性と燃費性能の両方で高いレベルを達成し、燃料消費量を従来機に比べ8%低減(*2)している。

車両後方確認用のリヤビューカメラ・モニター、前面下部のガラスエリアを拡大した大型ビラーレスROPSキャブにより、良好な視界を確保し、安全性を高めている。運転席には高精細7インチLCDモニターを装備し安全かつ正確で円滑な作業を実現するとともに、エコガイダンス等の表示により省エネ運転のサポートを行っている。

さらに、国内で初めてパワーラインの保証延長と無償メンテナンスを取り入れた、サービスプログラム「KOMATSU CARE(コマツ・ケア)」を提供している。これは購入時に自動的に付帯されるもので、トータルライフサイクルコストの低減を図っている。

*1. 特定特殊自動車排出ガスのNOx(窒素酸化物)、PM(粒子状物質)排出量の規制等に関する法律。

*2. 従来機との比較(コマツテスト基準による)。実作業では作業条件により異なる場合がある。

表-4 ZX17U-5Aの主な仕様

標準バケット容量	(m ³)	0.044
最大掘削深さ	(mm)	2,190
最大掘削半径	(mm)	3,810
最大掘削高さ	(mm)	3,540
機械質量	(kg)	1,620
エンジン定格出力	(kW(PS)/min ⁻¹)	10.6 (14.4) /2,400
走行速度 高速/低速	(km/h)	4.2/2.4
登坂能力	(度)	25
接地圧	(kPa)	27
最低地上高	(mm)	165
クローラ全幅	(mm)	収縮時 980/拡張時 1,280
シュー幅	(mm)	230
全長 × 全幅 × 全高(輸送時)	(mm)	3,500 × 990 × 2,370
価格	(百万円)	2.85

注) 単位は国際単位系によるSI単位表示。消費税別。寸法、価格は2柱キャノピ仕様となります。

新機種紹介

表—5 WA270-7の主な仕様

運転質量	(t)	12.61
エンジン定格出力 ネット	(kW [PS])	111 [151]
バケット容量		
ルーズマテリアル用 (BOC 付)	(m ³)	2.5
最大けん引力 (前進時)	(kN [kg])	116 [11860]
全長/全幅 (バケット幅)/全高	(m)	7.445/2.685/3.200
ダンピングクリアランス (45度前傾 BOC 先端まで)	(m)	2.875
ダンピングリーチ (45度前傾 BOC 先端まで)	(m)	1.03
最小回転半径 (最外輪中心)	(m)	5.175
価格 (工場裸渡し消費税抜き)	(百万円)	22.8



写真—3 コマツ WA270-7 ホイールローダー (一部オプションが含まれる)

問合せ先：コマツ コーポレートコミュニケーション部
〒107-8414 東京都港区赤坂2-3-6

▶ 〈06〉基礎工事機械

14-〈06〉-03	加藤製作所 全回転式オールケーシング工法アースポーリングマシン KB-1500R II	'14.09 発売 新機種
------------	---	------------------

全回転式オールケーシング工法用の大口径掘削機である。
ウィンチ及びブーム (マスト) を装備し本機のみで掘削作業を行うことが可能であり、油圧ユニットが不要である。
作業用エンジンユニットやケーシングドライバー (全回転装置) がクローラ式の走行装置に一体架装されているため、現場内の移動が容易である。またファーストケーシングを抱いたままの移動も可能である。

フロントアウトリガー内にサブバンドを装備し、ケーシングの引抜き作業時の安全を確保できるとともに、従来機に比べ小型の相判クレーンでの作業が可能である。

輸送時の本体幅を 2,980 mm、質量を 28,000 kg とし、従来機と比べ輸送を容易にしている。

エンジンは、2011 年基準の特定特殊自動車排出ガス規制に係る少数特例、及び国土交通省指定の低騒音型に適合している。

表—6 KB-1500R IIの主な仕様

最大掘削径	(mm)	φ 1,500
最大回転トルク	(kN-m)	1,275
回転数	(min ⁻¹)	0 ~ 2
引抜き力	(kN)	1,275
最大ウィンチ巻上力	(kN)	69
作業時機械質量	(kg)	56,500
輸送時本体質量	(kg)	28,000
定格出力	(kW/min ⁻¹)	2,000
価格 (税抜き)	(百万円)	165

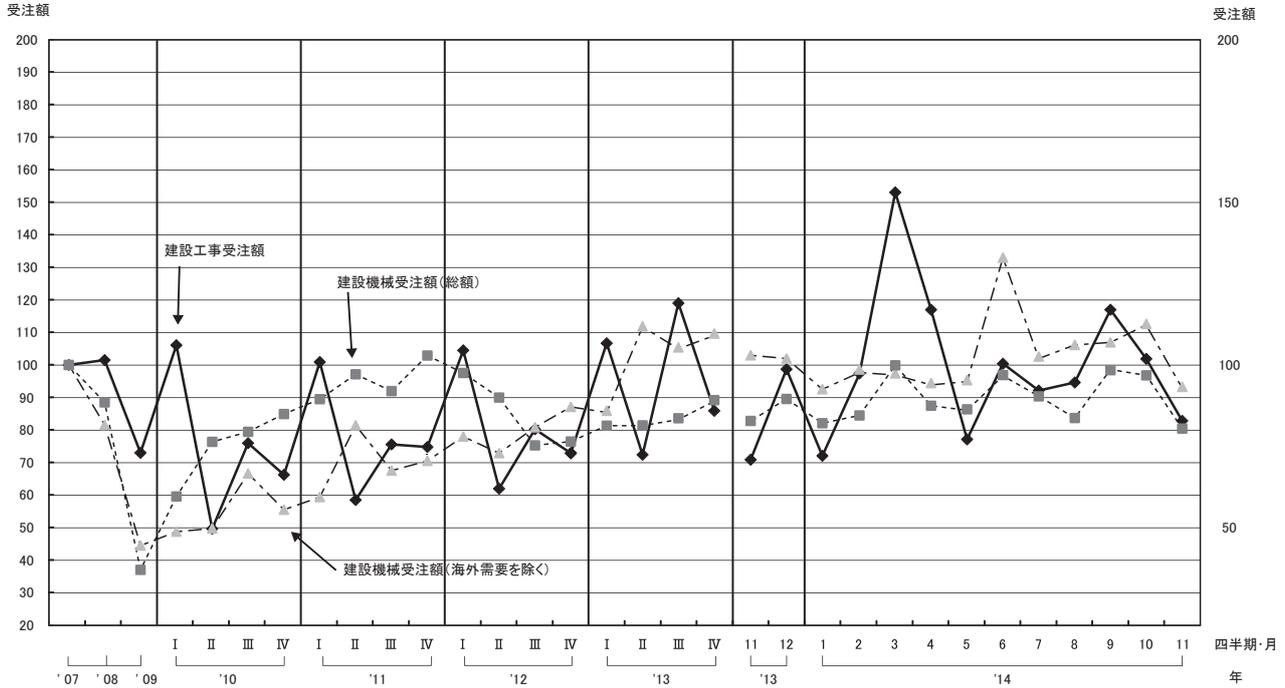


写真—4 加藤製作所 KB-1500R II アースポーリングマシン

問い合わせ先：(株)加藤製作所 営業本部
〒140-0011 東京都品川区東大井1-9-37

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 2007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 2007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 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							
2007年	137,946	103,701	21,705	81,996	19,539	5,997	8,708	101,417	36,529	129,919	143,391
2008年	140,056	98,847	22,950	75,897	25,285	5,741	10,184	98,836	41,220	128,683	142,289
2009年	100,407	66,122	12,410	53,712	24,140	5,843	4,302	66,187	34,220	103,956	128,839
2010年	102,466	69,436	11,355	58,182	22,101	5,472	5,459	71,057	31,408	107,613	106,112
2011年	106,577	73,257	15,618	57,640	22,806	4,835	5,680	73,983	32,596	112,078	105,059
2012年	110,000	73,979	14,845	59,133	26,192	4,896	4,933	76,625	33,374	113,146	111,076
2013年	132,378	89,133	14,681	74,453	31,155	4,660	7,127	90,614	41,463	129,076	120,941
2013年 11月	8,130	4,788	988	3,800	2,026	369	947	4,784	3,346	130,327	11,403
12月	11,351	6,929	1,329	5,600	3,493	383	545	7,109	4,242	129,076	12,518
2014年 1月	8,264	5,240	1,033	4,207	1,946	353	725	5,827	2,438	129,300	7,914
2月	11,197	5,220	1,233	3,987	3,777	390	1,810	7,264	3,933	129,390	9,523
3月	17,633	9,106	1,680	7,426	6,849	580	1,098	8,844	8,789	129,364	17,517
4月	13,465	6,581	1,403	5,179	6,417	376	91	6,208	7,256	134,351	7,979
5月	8,849	5,100	1,158	3,942	2,700	345	705	5,540	3,309	135,057	8,332
6月	11,538	7,114	1,385	5,729	3,782	361	281	7,615	3,922	135,239	11,171
7月	10,588	6,435	1,187	5,247	2,864	373	916	6,605	3,983	138,035	7,882
8月	10,877	5,546	1,194	4,352	3,247	336	1,749	7,446	3,431	138,708	9,176
9月	13,461	9,484	1,926	7,557	2,855	466	657	9,250	4,211	139,433	13,045
10月	11,711	7,083	1,417	5,666	2,927	471	1,231	7,219	4,492	140,773	8,915
11月	9,504	6,319	1,225	5,095	2,449	385	350	6,602	2,902	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	07年	08年	09年	10年	11年	12年	13年	13年 11月	12月	14年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
総 額	20,478	18,099	7,492	15,342	19,520	17,343	17,152	1,412	1,528	1,399	1,441	1,705	1,492	1,473	1,653	1,541	1,427	1,679	1,652	1,370
海 外 需 要	14,209	12,996	4,727	11,904	15,163	12,357	10,682	874	995	916	926	1,196	999	975	957	1,005	872	1,120	1,063	883
海外需要を除く	6,269	5,103	2,765	3,438	4,357	4,986	6,470	538	533	483	515	509	493	498	696	536	555	559	589	487

(注) 2007～2009年は年平均で、2010～2013年は四半期ごとの平均値で図示した。
2013年11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

行事一覽

(2014年12月1日～31日)

機械部会



■路盤・舗装機械技術委員会 アスファルトプラント変遷分科会 代表打合せ

月日：12月2日(火)

出席者：戸川裕文分科会長ほか5名

議題：①アスファルトプラントの変遷収集資料の内容確認と編集作業について ②その他

■第2回 機械部会・製造業部会 合同技術連絡会

月日：12月4日(木)

出席者：大野俊弘部会長ほか40名

議題：①機械部会の平成26年度上期事業報告と下期の事業計画について ②製造業部会の平成26年度上期事業報告と下期の事業計画について ③国土交通省公共事業企画調整課の平成26年度の重点取組の中間報告について ④ミニ油圧ショベルの燃費基準達成建設機械認定制度への追加および油圧ショベルの国際規格化に向けたクラス分けの検討状況について ⑤コンクリート吹付機の変遷について ⑥基礎構造物の基礎の健全性の維持・補修方法・品質測定方法の調査と適応性について ⑦高効率油圧作動油の紹介と検討取組について ⑧ISO 16001 危険検知装置および視覚補助装置の国際会議での状況報告について ⑨意見交換その他

■トンネル機械技術委員会 工場見学会

月日：12月5日(金)

出席者：赤坂茂委員長ほか15名

場所：古河ロックドリル(株)吉井工場
概要：“高出力ドリフタ”及び“全断面自動追尾式穿孔誘導システム”を装備した新型3ブームジャンボの実演見学と穿孔機械に関する技術研修

■建築生産機械技術委員会 移動式クレーン分科会 WG

月日：12月10日(水)

出席者：石倉武久委員長ほか6名

議題：①25tクラスのラフテレーンクレーンの作業燃費測定試験実施結果を踏まえた試験方法の見直しについて ②ラフテレーンクレーンのクラス分けについて ③その他

■ダンプトラック技術委員会

月日：12月11日(木)

出席者：岡本光正委員長ほか6名

議題：①各社トピックスについて

②品質確保・人材育成のテーマについての討議 ③日本機械土工協会への安全作業ガイドの報告説明・意見交換会の日程について ④12/4開催の機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告

■コンクリート機械技術委員会

月日：12月11日(木)

出席者：大村高慶委員長ほか7名

議題：①前回(10/16)委員会の議事録内容の確認 ②12/4開催の機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告について ③ISO/TC195/SC1でのトラックミキサの各国意見を反映した修正について ④機関誌連載を終了した「コンクリート機械の変遷」の全体まとめと保存について ⑤その他

■原動機技術委員会

月日：12月12日(金)

出席者：六本木明人委員長ほか22名

議題：①前回(10/10)の議事確認について ②12/4開催の機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告 ③バイオディーゼル燃料を使用した場合の車載型排出ガス計測装置を使用した計測事例 ④オフロード法2014年排出ガス規制の各実施要領等についての情報交換 ⑤海外排出ガス規制の動向についての情報交換 ⑥オバシメータによる実機排気管計測についてのトラックメーカー・建機工との意見交換の報告 ⑦国交省 排ガス対策型建設機械指定制度におけるInterim Tier4, Stage III Bエンジン搭載機の扱いについて ⑧その他

■基礎工用機械技術委員会

月日：12月17日(水)

出席者：山下高俊委員長ほか15名

議題：①12月4日(木)開催の機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告 ②次年度活動テーマを選定 ③その他

■トラクタ技術委員会

月日：12月19日(金)

出席者：阿部里視委員長ほか7名

議題：①各社のトピックス ②12/4開催の機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告 ③経産省エネルギー型建機導入補助事業におけるホイールローダ、ブルドーザの燃費差評価方法について ④JCMAS H022 ホイールローダ燃料消費量試験方法について、ハイブリッド式・バッテリー式等への適用に向けた改訂の検討 ⑤その他

建設業部会



■三役会

月日：12月2日(火)

出席者：鈴木嘉昌部会長ほか3名

議題：①建設業部会 冬季現場見学会について ②各WG報告 ③合同部会の議題について ④その他

■クレーン安全情報 WG

月日：12月15日(月)

出席者：坂下誠主査ほか5名

議題：①改訂原稿の校正確認 ②掲載決定の事故事例8件の原稿確認 ③「災害事例の要因と対策」修正確認 ④表紙写真の選定 ⑤その他

レンタル業部会



■コンプライアンス分科会

月日：12月2日(火)

出席者：中島嘉幸委員ほか2名

議題：①建設工用車両レンタルの法規制等について ②その他

■レンタル業部会

月日：12月4日(木)

出席者：隼直毅部会長ほか12名

議題：①分科会活動状況の報告 ②現場見学会、合同部会等のあり方などについて ③各社の取組事項、部会員共通の問題、課題について ④その他

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月日：12月3日(水)

出席者：田中康順委員長ほか19名

議題：①平成27年3月号(第781号)の計画の審議・検討 ②平成27年4月号(第782号)の素案の審議・検討 ③平成27年5月号(第783号)の編集方針の審議・検討 ④平成26年12～平成27年2月号(第778～780号)の進捗状況の報告・確認

■建設経済調査分科会

月日：12月17日(水)

出席者：山名至孝分科会長ほか4名

議題：①平成27年2月号以降のテーマ決定(持ち寄り情報の検討) ②その他

■新機種調査分科会

月日：12月24日(水)

出席者：江本平分科会長ほか3名

議題：①新機種情報の持ち寄り検討 ②新機種紹介データまとめ ③その他

支部行事一覧

北海道支部



■北海道支部親睦会

月 日：12月5日（金）
場 所：センチュリーロイヤルホテル
出席者：熊谷勝弘支部長ほか68名

■平成26年度第3回除雪機械技術講習会の打合せ

月 日：12月8日（月）
場 所：北海道支部 会議室
出席者：北海道開発局事業振興部機械課
山口洋士計画係長ほか11名
議 題：①平成26年度実施結果 ②平成27年度実施計画について

■「情報化施工とCIM シンポジウム北海道」事務局会議

月 日：12月19日（金）
場 所：北海道開発局 17階 会議室
出席者：熊谷一男一二三北路代表取締役ほか5名
議 題：①実施案に関する協議 ②リーフレット・パンフレット等について
③その他

東北支部



■平成26年度第2回支部運営委員会（企画部会）

月 日：12月4日（木）
場 所：KKR ホテル仙台
出席者：高橋弘支部長ほか19名
議 題：①平成26年度上半期事業報告について ②平成26年度上半期事業決算状況について ③その他

北陸支部



■ゆきみらい2015 in 長岡除雪機械展示会 出展者会議

月 日：12月3日（水）
場 所：アオーレ長岡会議室
出席者：出展予定者及び事務局16名
議 題：除雪機械展示会出展要領等

■新潟市中央区小型除雪機安全操作研修会

月 日：12月6日（土）
場 所：新潟市役所 会議室
出席者：講師派遣 宮村兵衛事務局長
受講者：新潟市中央区町内会などの小型除雪機運転予定者34名

■平成26年度北陸ICT講習会

月 日：12月16日（火）
場 所：北陸地方整備局北陸技術事務所

構内
内 容：①マシンガイダンス技術・バックホウ ②トータルステーションによる出来形管理技術 ③TS・GNNSを用いた締め固め管理技術・ローラ
受講者：60名

■新技術活用評価会議

月 日：12月16日（火）
場 所：北陸地方整備局会議室
出席者：藤田明施工技術部長
議 題：新技術の活用評価

■ゆきみらい2015 in 長岡事務局会議

月 日：12月25日（木）
場 所：北陸地方整備局会議室
出席者：宮村兵衛事務局長
議 題：①各イベントの内容確認 ②今後の予定等

中部支部



■技術講演会及び技術発表会

月 日：12月3日（水）
場 所：名古屋市中小企業振興会館
参加者：約80名

■道路除雪講習会

月 日：12月5日（金）
場 所：名古屋市中小企業振興会館
参加者：63名

■「建設技術フェア2014 in 中部」事務局会議

月 日：12月18日（木）
出席者：大久保企画部会員
議 題：「建設技術フェア2014 in 中部」実施報告について

■情報化施工出前授業

月 日：12月19日（金）
場 所：名城大学
講 師：中部地方整備局企画部施工企画課課長補佐 勅使河原雅敏氏、(株)ニコン・トリンプル 鈴木勇治氏
受講者：約130名

関西支部



■建設インキュベーション委員会（「海底資源開発」講演会）

月 日：12月1日（月）
場 所：大阪産業創造館
出席者：小林泰三委員長以下20名
内 容：「海底資源開発を海洋新産業創生に繋げるために」
講 師：大阪府立大学大学院 工学研究科 海洋システム工学分野 山崎哲生教授

■広報部会

月 日：12月10日（水）

場 所：関西支部 会議室
出席者：高橋通夫広報部会委員以下5名
内 容：「JCMA 関西」第106号の発行について

■建設業・リース・レンタル業合同幹事会

月 日：12月11日（木）
場 所：関西支部 会議室
内 容：合同討論会の開催について

■建設用電気設備特別専門委員会（第414回）

月 日：12月17日（水）
場 所：中央電気倶楽部 会議室
内 容：①前回議事録確認 ②「JEM-TR236 建設工事用400V級電気設備施工指針」の審議

■平成26年度施工技術報告会第4回幹事会

月 日：12月19日（金）
場 所：関西支部 会議室
出席者：松本克英事務局長以下7名
内 容：①講演プログラム ②まえがき ③査読担当 ④役割分担

中国支部



■第5回広報部会

月 日：12月2日（火）
場 所：中国支部事務所
出席者：松村邦則部会長ほか4名
議 題：①広報誌（CMnavi）41号について ②支部ホームページの改訂等について ③支部パンフレット等改訂・改善について ④その他懸案事項

■第4回施工技術部会

月 日：12月15日（月）
場 所：中国支部事務所
出席者：齋藤実部会長ほか5名
議 題：①情報化施工関係行事（案）について ②道路除雪講習会の開催結果について ③その他懸案事項

四国支部



■協賛事業「四国建設広報協議会・平成26年度第2回WG」

月 日：12月2日（火）
場 所：高松サンポート合同庁舎アイホール（高松市）
出席者：岩澤委式事務局長ほか加盟27団体・組織から24名
内 容：①平成26年度建設フェア開催結果に関する各種報告 ②建設フェアに於ける来場者及び出展社アンケート結果 ③次回建設フェアの方針 ④新年度役員改選（案）

■ CIM・情報化施工最新情報セミナー in 松山

月 日：12月5日（金）

場 所：愛媛県生涯学習センター（松山市）

参加者：27名

内 容：① CIM 及び情報化施工に関する最新情報について ② CIM 試行案件の事例紹介について ③ 情報化施工の事例紹介について ④ CIM・情報化施工の業務プロセスとツールの紹介について

■ 情報化施工出前セミナー・四万十市

月 日：12月10日（水）

場 所：四万十市立文化センター（四万十市）

参加者：14名

内 容：① 建設 ICT の概要と情報化施工に関する最新情報 ② 動画で学ぶ情

報化施工（ブルドーザ、モーターグレーダ、ローラ、バックホウ） ③ 締固め管理の実務紹介 ④ 設計データ（TS 出来形 & MC/MG）作成上の手順と注意点

■ 協賛事業「平成 26 年度第 2 回四国建設広報協議会」

月 日：12月16日（火）

場 所：高松サンポート合同庁舎アイホール（高松市）

出席者：岩澤委式事務局長ほか加盟 27 団体・組織から 21 名

内 容：① 平成 26 年度建設フェア開催結果に関する各種報告 ② 平成 26 年度収支及び監査報告 ③ 建設フェアに於ける来場者及び出展社アンケート結果 ④ 次回建設フェアの方針 ⑤ 新年度役員改選（案）

九州支部



■ 建設行政講演会

月 日：12月4日（木）

出席者：江崎哲郎支部長ほか 69 名

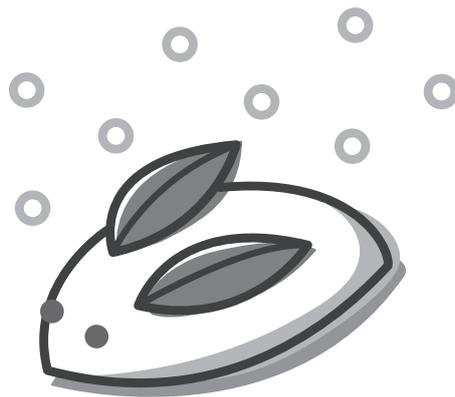
議 題：① 国土交通行政における最近の話題…九州地方整備局 平井企画部長 ② 河川行政の現状…九州地方整備局 古賀河川部長 ③ 道路行政の現状…九州地方整備局 喜安道路部長

■ 企画委員会

月 日：12月10日（水）

出席者：久保田正春企画委員長ほか 8 名

議 題：① 施工技術検定試験実施結果について ② 建設行政講演会の結果について ③ 情報化施工技術講習会の結果について



編集後記

新しい年を迎えて、今年はどうな年になるのかな？と種々思いを馳せながらこの原稿を書いている。昨年の国土交通省職員が選ぶ十大ニュースには、広島県で土砂災害発生、長野・岐阜県境の御嶽山が噴火等全国各地で災害が第一位に選ばれ、第三位には関東甲信地方で記録的大雪、5位に長野県北部の地震、8位にも西ノ島、火山活動続く等となっており、自然災害の発生が非常に多かったことが思い出される。思えば2011年に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）により発生した巨大津波による災害以降にも、毎年のように自然災害が発生して、その都度多大な被害が発生しており、今年こそは、そういうことのないように願うばかりである。

さて今回の特集テーマは「エネルギー・エネルギー施設」ということであるが、先の大震災により発生した福島原子力発電所の事故等の影響もあり、電力の基幹を担ってきた原

子力発電所の稼働がない中で、いかに電力不足をカバーしていくのかという観点で省エネ技術にも焦点を与えていきたいと思い、技術報文に省エネ技術も掲載することにした。

最初の行政情報では自然エネルギーへの取り組みとして「小水力発電の普及への取り組み」と「下水熱利用 活用に動き出す都市の埋蔵熱源」ということを執筆していただきました。そして技術報文としては、まずは世界・日本のエネルギー動向をとりあげ、太陽光発電や波力・海流発電、バイナリー発電等の新しい発電施設にも焦点を当てました。また下水熱利用についても実施の施工例に関して執筆していただきました。また、交流の広場では、燃料電池や水素技術という新しいエネルギー分野の話もあり、普段はあまりなじみのない分野の話も多かったように思います。

最後になりますが、お忙しいなか快く執筆・ご寄稿をいただきました関係者の皆様に心より御礼を申し上げます。

(立石・上田)

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
塚原 重美	中岡 智信
中島 英輔	橋元 和男
本田 宜史	渡邊 和夫

編集委員長

田中 康順 鹿島道路(株)

編集委員

吉田 潔	国土交通省
三浦 弘喜	農林水産省
伊藤 健一	(独)鉄道・運輸機構
篠原 望	鹿島建設(株)
立石 洋二	大成建設(株)
藤内 隆	清水建設(株)
赤井 亮太	(株)大林組
久保 隆道	(株)竹中工務店
安川 良博	(株)熊谷組
川西 健之	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
岡田 英明	五洋建設(株)
齋藤 琢	東亜建設工業(株)
赤神 元英	日本国土開発(株)
相田 尚	(株)NIPPO
岡本 直樹	山崎建設(株)
太田 順子	コマツ
大塚 清伸	キャタピラー・ジャパン(株)
小倉 弘	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)
原 幹生	(株)KCM
江本 平	範多機械(株)
竹本 憲充	施工技術総合研究所

事務局

日本建設機械施工協会

3月号「災害対応、災害復旧・復興特集」予告

- ・ Tec-Force (緊急災害対策派遣) について
- ・ 道路啓開について
- ・ 東日本大震災により被災した三陸鉄道の復旧状況 (続編)
- ・ 米国ハリケーン・カテリーナ被害 復旧・復興からの教訓
- ・ JR九州豊肥線盛土構造の災害復旧工事の施工管理
- ・ 災害復旧を支援する遠隔操作型ロボット
- ・ 機械自体が判断・作業する次世代無人化施工システムの実証実験に成功
- ・ 災害対応作業ロボット“Super Giraffe”の開発
- ・ レスキューロボットコンテスト
- ・ 情報化施工の展望と新技術

建設機械施工

第67巻第2号(2015年2月号)(通巻780号)

Vol.67 No.2 February 2015

2015(平成27)年2月20日印刷

2015(平成27)年2月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 辻 靖三

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 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 札幌市中央区北三條西2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	〒980-0802 仙台市青葉区二丁目16-1	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
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 担当: 田中

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

今や、業界唯一。
日本国内 自社自力生産・直接修理を实践中!

ポケットサイズ ハンディ～ショルダー機 フルラインアップ!!

ケーブルレス サテレタ リンナー
離操作

Nシリーズ 微弱電波
Rシリーズ 産業用ラジコンバンド
Uシリーズ 429MHz帯 特定小電力
Gシリーズ 1.2GHz帯 特定小電力
ポーバ 防爆形無線機

- ◆ 業界唯一のフルラインの品揃えとオーダー対応制度で多様なニーズに対応!
- ◆ 常に! 業界一のコストパフォーマンス!
- ◆ 迅速なメンテナンス体制!
- ◆ 未来を見据えた過去の実績を見て下さい! 日々互換性を継承、補修の永続制

新 スリムケーブルレス より安価なオーダー対応を実現!

N/U/Gシリーズ

微弱電波・特定小電力
両モデル対応
2段階押しスイッチ
装着可能

モデルチェンジ!
内部設計を一新

全ての
互換を優先
しました

自由度の高い
多様なオーダー対応
ボタン配置自在/最大32点

優れた
耐塵・防雨性能
送信機はIP65相当

自社開発 高耐久性
2段階押しスイッチを
装着可能

パネルゴム突起で
操作クリック感が
向上

8操作標準型
RC-5808N

- 8操作8リレー
- 軽量コンパクト受信機

セットで
15万円
(税別価格)

12操作標準型
RC-5812N

- 12操作12リレー
- 照明出力リレーの保持を標準採用

セットで
17万円
(税別価格)

16ボタン
モデル

16操作標準型
RC-5816N

- 16操作16リレー
- 同じ外形で16個のボタンをコンパクトに配置

マイコンケーブルレス

N/U/Gシリーズ

標準型

RC-6016N
● 16操作16リレー
最大25リレーまで
対応可能

セットで
20万円
(税別価格)



防爆形 対応可能 (N/Uシリーズ)

微弱電波・特定小電力
両モデル対応
2段階押し・特殊
スイッチ装着可能

モデルチェンジ!
内部設計を一新!!
全ての互換を優先しました。

頑強
ケーブルレス

N/U/Gシリーズ

標準型
RC-8616N

● 16操作16リレー
最大32リレーまで
対応可能

堅牢なボディ
耐衝撃性能が向上

優れた
耐塵・防雨性能

送信機はIP65相当

自社開発 高耐久性
2段階押しスイッチを
装着可能

ハンディなのに
特殊スイッチを
装着可能

特殊スイッチ
オーダー対応例

セットで
22万円
(税別価格)



裏面
スイッチ

送信機はIP65相当

防爆形はTX-8400型送信機で対応 (Nシリーズのみ)

オーダー対応例

マイティサテレタ

N/U/Gシリーズ

● 操作信号数 最大32点
(またはプロボ最大6項目と入出力信号26点以下)

微弱電波・特定小電力
両モデル対応
ジョイスティック
特殊スイッチ装着可能

防爆形 対応可能 (Nシリーズのみ)

3ノッチジョイスティック型
RC-7132N

セットで
90万円
(税別価格)

全押しボタン
RC-7126N

セットで
45万円
(税別価格)

ジョイスティック
2本装着オーダー例

ジョイスティック
2本装着オーダー例

旧アンリツ製 デジタルテレコン 入替専用モデル

RC-7233UAN

RC-7215U

チップケーブルレス

Nシリーズ

コンパクトという選択肢!!

微弱電波モデル
対応

標準型
RC-3208N

● 8操作
8リレー

セットで
12万円
(税別価格)

片手で握り替えずに
正確操作が行えます!

チップ部品採用で
ポケットサイズ化

トコトコ機能を絞って
コストダウン

アルカリ乾電池なら
連続使用60時間以上

高い防水性能
送信機はIP65

従来の機と
信号互換あり!

受信機は既設のまま送信機のみ取替も可

ボタン部の突起
ボタン間の仕切
一体型の
シリコンカバーで
操作性が向上

送信機はIP65相当

送信機はIP65相当

送信機はIP65相当

送信機はIP65相当

送信機はIP65相当

ケーブルレスミニ

ポケットサイズの本格派!

微弱電波・ラジコンバンド
両モデル対応

N/Rシリーズ

● 3操作 3リレー
最大5リレーまで対応可能

● 2段階押しスイッチ追加可能! (オプション)

セットで
10万円
(税別価格)

標準型
RC-4303N/R

セットで
10万円
(税別価格)

セットで
10万円
(税別価格)

● 微弱Nシリーズは240MHz化でより安定した電波の飛び!

● 2段階押しスイッチ追加可能! (オプション)

● 2段階押しスイッチ追加可能! (オプション)

特記!

ケーブルには
ゼロ線電源*で
電気配線工事 不要!!
更におんぶ! だっこ金具*で
取付簡単!! (*オプション)

取付例

取付例

取付例

離操作

N/U/Gシリーズ

価格もサイズも
ハンディー並み!

微弱電波・特定小電力
両モデル対応

標準型
RC-2512N

● 12操作12リレー
最大32リレーまで対応可能

● 見易くなった電池残量告知ランプ付

セットで
22万円
(税別価格)

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

データケーブルレス

工夫次第で用途は無限!

微弱電波・特定小電力
ラジコンバンド
両モデル対応

N/R/U/G
シリーズ

● 機器間の信号伝送に!

● 多芯の有線配線の代わりに!

標準型 セットで
TC-1305R 20.5万円 (税別価格)

TC-1308N(微弱電波) 22万円 (税別価格)

送信機
(外部接続入力型)

7100型

6300型

5700型

3200型

写真は
Uシリーズ

受信機

受信機

MAXサテレタ

Uシリーズ
Gシリーズ

特定小電力
専用モデル

RC-9300U

● 多機能多操作
(比例制御対応も可)

金属シャーシの
多操作・特注仕様専用機!!

全押しボタン
装着タイプ

セットで
95万円
(税別価格)

無段変速ジョイスティック
2本装着例

無段変速ジョイスティック
2本装着例

無段変速ジョイスティック
2本装着例

無線式火薬庫警報装置

標準付属品付
セットで
40万円
(税別価格)

発破番 ES-2000R

ER-2000R(受信機) ET-2000R(送信機)

2km~(6km)

● 長距離伝送
到達距離約 2km~(6km)

● 受信機から
電話回線接続機能

● 高信頼性
異常判定アルゴリズム

● 音声メッセージで
異常箇所を連絡(受信側)

● 大音量警鳴音発生
110dB/m

無線化工事のこならフルライン、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



朝日音響株式会社

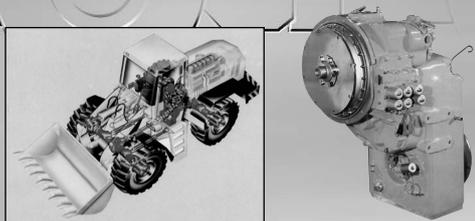
〒771-1350 徳島県板野郡上板町瀬部
FAX: 088-694-5544(代) TEL: 088-694-2411(代)
http://www.asahionkyo.co.jp/

MARUMA

あらゆる建設機械／シールドマシン・・・ 油圧機器の整備・再生

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ゆえんです。



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丁目2番1号
TEL042 (751) 3809 FAX042 (756) 4389
E-mail:yuki@maruma.co.jp

東京事業部 〒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/>

Denyo



NETIS登録製品活用で 貴社の公共工事受注を有利に!

NETIS登録発電機は、圧倒的な発電性能と耐久性を誇るデンヨーで。



NETIS登録製品の活用で工事成績評定の
加点対象になります。



環境保護ベース一体型発電機

DCA-B シリーズ <10.5kVA~220kVA>

■大容量燃料タンクで一度の
給油で最大約3日間運転可能!



■万一のオイル漏れ発生時でも
外部流出を防止します。



登録番号:KT-100042-V

有用な新技術のうち「設計比較対象技術」
に指定されました。



DCA-45USKB3
発電出力(50/60Hz):37/45kVA



DCA-100LSIB
発電出力(50/60Hz):80/100kVA

●技術で明日を築く
デンヨー株式会社
本社:〒103-8566 東京都中央区日本橋堀留町2-8-5
TEL:03(6861)1122 FAX:03(6861)1182
ホームページ: <http://www.denyo.co.jp/>

札幌営業所 011(862)1221 横浜営業所 045(774)0321 広島営業所 082(278)3350
東北営業所 022(254)7311 静岡営業所 054(261)3259 高松営業所 087(874)3301
信越営業所 025(268)0791 名古屋営業所 052(856)7222 九州営業所 092(935)0700
北関東営業所 027(360)4570 金沢営業所 076(269)1231
東京営業所 03(6861)1122 大阪営業所 06(6448)7131

ダム工専用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、構造がシンプルな為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



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

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はメール、FAX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：

所属：

会社名(校名)：

資料送付先：

電話： FAX：

E-mail：

広告掲載 メーカー名	製品名

FAX
送信先

サンタナアートワークス
建設機械施工係

F
A
X

03-3664-0138



吸塵式乾式カッター
MCD-RY14



低騒音型
 プレートコンパクター
MVC-F40S
 NETIS No.TH-100006



低騒音型
 バイブレーションローラー
MRH-601DS
 低騒音指定番号5097

未来へ伸びる、三笠の技術。



転圧センサー

バイプロコンパクター
MVH-308DSC-PAS
 NETIS No.TH-120015



防音型

タンピングランマー
MT-55L-SGK
 NETIS No.TH-100005



高周波バイブレーター
FX-40/FU-162

三笠産業株式会社

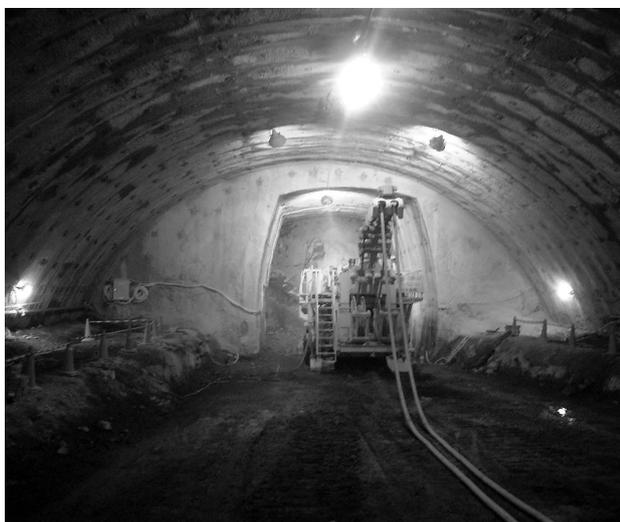
MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 / 〒101-0064 東京都千代田区猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL:06-6541-9631	北関東営業所 TEL:0276-74-6452	中国営業所 TEL:082-875-8561	沖縄出張所 TEL:090-7440-0404
札幌営業所 TEL:011-892-6920	長野出張所 TEL:080-1013-9542	四国出張所 TEL:087-868-5111	
仙台営業所 TEL:022-238-1521	中部営業所 TEL:052-451-7191	九州営業所 TEL:092-431-5523	
新潟出張所 TEL:090-4066-0661	金沢出張所 TEL:080-1013-9374	南九州出張所 TEL:080-1013-9558	

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー



主な特長

- カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- 機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- 定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- 高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

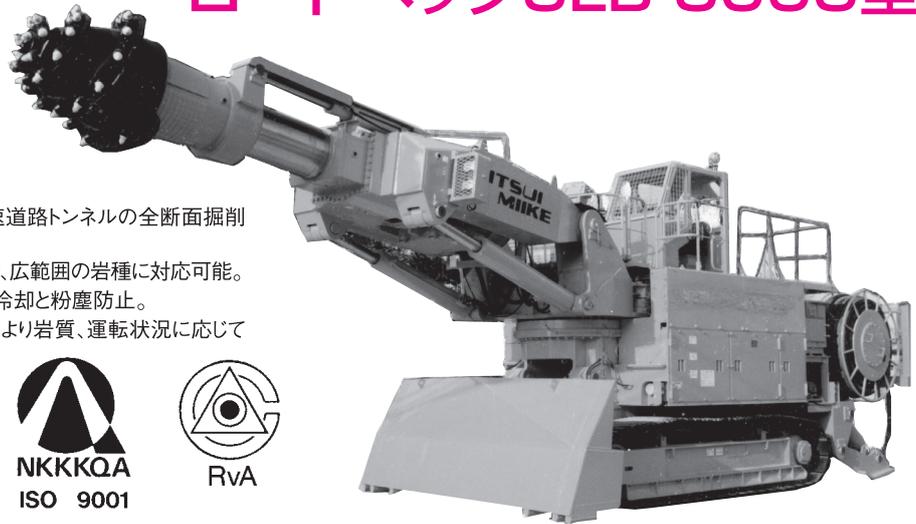
KAYABA SYSTEM MACHINERY CO., LTD

<http://www.kyb-ksm.co.jp>

本社・営業	〒105-0012	東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル	TEL. 03-5733-9444
カスタマーサービス相模事業所	〒252-0328	神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号	TEL. 042-767-2586
大阪支店	〒564-0063	大阪府吹田市江坂町1丁目23番20号 TEK第二ビル	TEL. 06-6387-3371
西部支店	〒812-0016	福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多	TEL. 092-411-4998
三重工場	〒514-0396	三重県津市雲出長常町1129番地11	TEL. 059-234-4111

安全・高能率な掘削を実現!

全断面对応中硬岩用トンネル掘進機 ロードヘッドSLB-300S型



特長

1. 最大8.8mの掘削高さで、新幹線、高速道路トンネルの全断面对掘削が可能。
2. 300kW:2速切換型電動機の採用により、広範囲の岩種に対応可能。
3. ピック先端に高圧水を散水させ、ピック冷却と粉塵防止。
4. モード切換式パワーコントロール装置により岩質、運転状況に応じて作動設定の変更が可能。
5. 運転操作が優れ、全操作がリモートコントロールで運転可能。
6. ケーブルリール装置により、電源ケーブルの取扱いが容易で移動が迅速。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

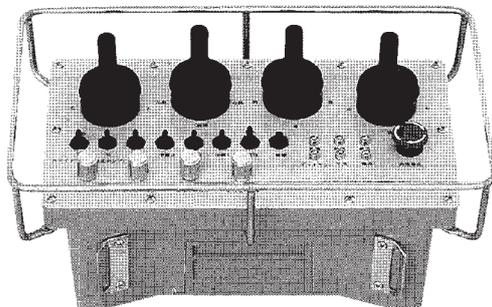
<http://www.mitsumiike.co.jp>

E-mail : sanki@mitsumiike.co.jp

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン

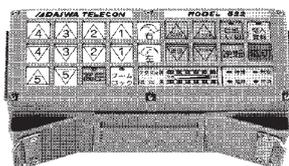
あらゆる仕様に対応
指令機操作面はレイアウトフリー



ダイワテレコン 572 ※製作例 比例制御4本レバー仕様



受令機



ダイワテレコン 522

《新電波法技術基準適合品》

- スイッチ・ジョイスティック・その他、混在装備で最大操作数驚異の**96CH**。
- コンパクトな指令機に業界最大**36**個の押しボタンスイッチ装着可能。
- 受令機の出力はオープンコレクタ（標準）リレー・電圧（比例制御）又は油圧バルブ用出力仕様も可能。
- 充電は急速充電方式（一△V検出+オーバータイムタイマー付き）
- その他、特注品もお受けいたします。お気軽にご相談ください。

DAIWA TELECON

大和機工株式会社

本社工場 〒474-0071 愛知県大府市梶田町 1-171
TEL 0562-47-2167 (直通) FAX 0562-45-0005
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>
e-mail mgclub@daiwakiko.co.jp
営業所 東京、大阪、他

進化した、 本物の ハイブリッド。

2008年から発売を開始した
コマツハイブリッド油圧ショベルは、
国内で1,200台を超える実績を重ね、
確かな信頼を得ました。
さらなる進化を遂げて誕生した
コマツ第三代ハイブリッドHB205-2は、
油圧ショベルのスタンダードとなります。

NEW

- 特定特殊自動車排出ガス2011年基準適合車
- 低炭素型建設機械
- 超低騒音型建設機械
- NETIS登録商品(登録番号KT-120070-A)



- 燃料消費量

PC200-8N1 比 **30% 低減/時間**
PC200-10 比 **20% 低減/時間**

※ KOMTRAXの解析による平均作業パターン時。
実際の作業では、作業内容により上記以下に
なる場合があります。



KOMATSU

コマツ 国内販売本部

〒107-8414 東京都港区赤坂2-3-6 <http://www.komatsu-kenki.co.jp>

「建設機械施工」

定価 本体八〇〇円(税別)

雑誌 03435-2



4910034350254
00800