

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2022

建設機械施工 10

Vol.74 No.10 October 2022 (通巻872号)

特集 エネルギー， エネルギー施設



新しい風力発電システム“レンズ風車”を搭載した
浮体式再生可能エネルギーファーム

巻頭言 ゼロエミッションに向けた社会の改造

技術報文

- 残コン・戻りコンゼロとCO₂削減を建設現場で同時に実現する炭酸ガスを利用した残コン処理システム
- カーボンニュートラルに向けた発電装置における水素利用
- 「国内における地熱開発」の現状
- 洋上風力発電事業における海底地盤調査の最新技術
- ZEBをもっと身近に[®] 他

交流の広場

- ゼロカーボン・チャレンジ2050の達成に向けた取組み
- 日本が最先端 究極の再エネ?!

行政情報

- 下水道政策研究委員会 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会 報告書
- グリーン成長のカギを握る木材産業の競争力強化と木材需要拡大
- 【特別寄稿】 あんぜんプロジェクト「見える安全活動コンクール」と厚生労働省における労働災害防止に向けた今後の取組

すいそう

- 写真の楽しみ
- 料理と私

KOBELCO

掘削サイクル
タイムアップ

↑
8%

従来機とのHモードでの比較



新型13t 特設サイト

Performance X Design



それは未来に挑むための 次世代のパフォーマンス。

サイクルタイムを8%向上させた掘削性や NETIS に新規登録された先進技術。
快適性、操作性を高めたインテリアデザイン。
数々の技術を磨き上げ、進化を遂げたSK135SRの誕生です。

NETIS登録

省エネ技術搭載型バックホウ
登録番号:KT-200147-A

イーグルアイビューステム
登録番号:KT-200085-A

2020年燃費基準達成建設機械 ★★★
国土交通省 燃費基準達成建設機械認定制度



SK135SR

SK125SR SK130SR+

コベルコ建機株式会社

東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15 ☎03-5789-2111 www.kobelco-kenki.co.jp

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会費：年間 9,000円(不課税)

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

★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

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

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

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

【会費について】年間 9,000円(不課税)

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

- 個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。○入会手続きは本協会会長宛に入会申込書を提出する必要があります。
- 会費額は総会の決定により変更されることがあります。○次の場合、会員の資格を喪失します: 1.退会届が提出されたとき。2.後見開始又は保佐開始の審判を受けたとき。3.死亡し、又は失踪宣言を受けたとき。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/> をご覧ください。

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <http://www.jcmanet.or.jp>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289



一般社団法人日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和4年10月現在) 消費税10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	送料
1	R 4年 10月	道路除雪施工の手引 (第16版 2022 一部改訂)	4,950	3,960	700
2	R 4年 6月	日本建設機械要覧 2022 電子書籍 (PDF) 版	42,900	36,300	-
3	R 4年 6月	建設機械スペック一覧表 2022 電子書籍 (PDF) 版	42,900	36,300	-
4	R 4年 5月	よくわかる建設機械と損料 2022	6,600	5,610	700
5	R 4年 5月	橋梁架設工事の積算 令和4年度版	11,000	9,350	900
6	R 4年 5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和4年度版	6,600	5,610	700
7	R 4年 4月	令和4年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
8	R 4年 3月	日本建設機械要覧 2022 年版	53,900	45,100	900
9	R 3年 5月	橋梁架設工事の積算 令和3年度版	11,000	9,350	900
10	R 3年 5月	令和3年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
11	R 3年 1月	情報化施工の基礎 ~ i-Construction の普及に向けて~	2,200	1,870	700
12	R 2年 5月	よくわかる建設機械と損料 2020	6,600	5,610	700
13	R 2年 5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和2年度版	6,600	5,610	700
14	H31年 3月	日本建設機械要覧 2019 年版	53,900	45,100	900
15	H30年 8月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	700
16	H29年 4月	ICT を活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,100	700
17	H26年 3月	情報化施工デジタルガイドブック 【DVD 版】	2,200	1,980	700
18	H25年 6月	機械除草安全作業の手引き	990	880	250
19	H23年 4月	建設機械施工ハンドブック (改訂4版)	6,600	5,604	700
20	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300		700
21	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷 【CD】	3,300		250
22	H22年 7月	情報化施工の実務	2,200	1,885	700
23	H21年 11月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,200	700
24	H20年 6月	写真でたどる建設機械 200 年	3,080	2,608	700
25	H19年 12月	除雪機械技術ハンドブック	3,143		700
26	H18年 2月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,933	700
27	H17年 9月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,048		250
28	H16年 12月	2005「除雪・防雪ハンドブック」(除雪編)【CD-R 販売】	5,238		250
29	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)【CD-R 販売】	3,520		250
30	H15年 7月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,540	700
31	H15年 6月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル (案)	1,980		700
32	H15年 6月	機械設備点検整備共通仕様書(案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領(案)	1,980		700
33	H15年 6月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550		250
34	H13年 2月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック (第3版)	6,600	6,160	700
35	H12年 3月	移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル (第2版)	2,724	2,410	700
36	H11年 10月	機械工事施工ハンドブック 平成11年度版	8,360		700
37	H11年 5月	建設機械化の50年	4,400		700
38	H11年 4月	建設機械図鑑	2,750		700
39	H10年 3月	大型建設機械の分解輸送マニュアル 【CD-R 販売】	3,960	3,520	250
40	H 9年 5月	建設機械用語集	2,200	1,980	700
41	H 6年 8月	ジオスペースの開発と建設機械	8,382	7,857	700
42	H 6年 4月	建設作業振動対策マニュアル	6,286	5,657	700
43	H 3年 4月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,266	9,742	700
44	S63年 3月	新編 防雪工学ハンドブック 【POD 版】	11,000	9,900	700
45	S60年 1月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック 【CD-R 販売】	6,600		250
46		建設機械履歴簿	419		250
47	毎月 25日	建設機械施工	880	792	700
			定期購読料 年12冊 9,408円(税・送料込)		

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

特集	<h2>エネルギー，エネルギー施設</h2>
巻頭言	4 ゼロエミッションに向けた社会の改造 大和田野芳郎 (特非) 再生可能エネルギー協議会 理事長, (国研) 産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
行政情報	5 下水道政策研究委員会 脱炭素社会への貢献のあり方 検討小委員会 報告書 脱炭素社会を牽引する「グリーンイノベーション下水道」の実現に向けて 藤岡 勝之 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
	10 グリーン成長のカギを握る木材産業の競争力強化と 木材需要拡大 令和3年度森林・林業白書より 加藤 靖之 林野庁 林政部 企画課 課長補佐
行政情報	16 あんぜんプロジェクト「見える安全活動コンクール」と 厚生労働省における労働災害防止に向けた今後の取組
特別寄稿	野口 史温 厚生労働省 労働基準局 安全衛生部 安全課 業務第一係
特集・ 技術報文	22 残コン・戻りコンゼロとCO₂削減を建設現場で 同時に実現する炭酸ガスを利用した残コン処理システム 渡邊 賢三 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ グループ長 坂根 英之 鹿島建設(株) 機械部 機械技術イノベーショングループ 担当部長 吉田 祐麻 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 研究員
	27 脱炭素に寄与するエネルギー生産型の下水処理技術 下水からメタンが生成可能な新しい下水処理システム 渡邊 亮哉 大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 環境研究室 課長代理
	31 嫌気排水処理における新しいエネルギー回収技術の紹介 清川 達則 住友重機械工業(株) 技術本部 技術研究所 環境・エネルギーグループ
	36 カーボンニュートラルに向けた発電装置における水素利用 堂浦 康司 川崎重工(株) エネルギーソリューション&マリンカンパニー エネルギーディビジョン エネルギーシステム総括部 ガスタービン技術部 中安 稔 川崎重工(株) エネルギーソリューション&マリンカンパニー エネルギーディビジョン エネルギーシステム総括部 発電プロジェクト部 営業技術一課 岡 伸幸 川崎重工(株) エネルギーソリューション&マリンカンパニー エネルギーディビジョン エネルギーシステム総括部 発電プロジェクト部 営業技術一課
	40 「国内における地熱開発」の現状 上滝 尚史 日本地熱協会 顧問 工学博士
	46 “クラスタ” レンズ風車じわり普及 大屋 裕二 九州大学名誉教授, 応用力学研究所元所長, (株)リアムウィンド代表取締役
	51 木質バイオマスの半炭化物を使ったガス化発電の開発 多樹種の半炭化物を使った小型の木質バイオマスガス化発電 柳 博文 鉄建建設(株) 土木本部 エンジニアリング企画部
	57 洋上風力発電所建設案件 基礎工事において使用される 各種施工機器の開発 和泉 伸明 IQIP Japan (株) セネラルマネージャー

64 洋上風力発電事業における海底地盤調査の最新技術

平出 亜 応用地質㈱ エネルギー事業部 技術長
 岡村 健 オーシャンエンジニアリング㈱ 事業本部 本部長
 村上 文敏 総合地質調査㈱ 顧問

71 ZEBをもっと身近に[®]

特別な技術や高額な設備を用いず、ZEBと脱炭素を実現
 白石 晃平 ㈱竹中工務店 東京本店 設計部 設備部門 シニアチーフエンジニア

交流のひろば

77 ゼロカーボン・チャレンジ2050の達成に向けた取組み

瓜生 季邦 東日本旅客鉄道㈱ グループ経営戦略本部 経営企画部門 ESG・政策調査ユニット 副長

81 日本が最先端 究極の再エネ？！

宇宙太陽光発電の実用化に向け、2022年度から本格実証はじまる
 本橋 恵一 ㈱afterFIT afterFIT 研究所 シニアリサーチャー、Energy Shift シニアマネージャー

ずいそう

86 写真の楽しみ

関野 広光 JCMA 東北支部 専門技術員

88 料理と私

穴井 秀和 鹿島建設㈱ 機械部 技師長

部会報告

90 西尾レントオール(株)東日本テクノヤード見学会報告

機械部会 基礎工事事用機械技術委員会

94 新工法紹介 機関誌編集委員会

97 新機種紹介 機関誌編集委員会

統計

98 建設企業の海外展開 機関誌編集委員会

102 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

103 行事一覧 (2022年8月)

106 編集後記 (穴井・宮川)

◇表紙写真説明◇

新しい風力発電システム“レンズ風車”を搭載した
 浮体式再生可能エネルギーファーム

写真提供：九州大学応用力学研究所

風エネルギーを集中させて風力発電の効率を飛躍的に高めた新しいタイプの風力発電システム（レンズ風車）は、同径ロータの通常風車と比べ、2～5倍の発電出力の増加を達成し、福岡市博多湾に直径18m程度、排水量140トンのコンクリート製浮体を浮かべ、3kWレンズ風車2基および太陽光パネル2kWを搭載した浮体式再生可能エネルギーファームを実現しました。

2022年(令和4年)10月号PR目次
 【ア】朝日音響㈱……………後付1
 【カ】コスモ石油ルブリカンツ㈱…後付7

コベルコ建機㈱……………表紙2
 【サ】サイテックジャパン㈱……………表紙4
 【タ】デンヨー㈱……………後付6

大和機工㈱……………表紙3
 ㈱鶴見製作所……………後付5
 【マ】マルマテクニカ㈱……………後付8
 三笠産業㈱……………後付4

㈱三井三池製作所……………表紙3
 【ヤ】吉永機械㈱……………後付2

巻頭言

ゼロエミッションに向けた社会の改造

大和田野 芳郎



昨年, IPCC (気候変動に関する政府間パネル) から, CO₂ 排出実質ゼロの今世紀半ば実現が必須との報告が出された。直後の COP26 (国連気候変動枠組条約締結国会議) では, 気温上昇 1.5°C を目標に, 2030 年までに CO₂ 排出を 45% 削減, 2050 年に実質ゼロ実現, が各国共通の目標として示され, これに合わせるべく日本のエネルギー基本計画も改定された。

実現のためには, 徹底した再生可能エネルギーの導入と省エネルギー実施は当然だが, 社会実装のためには, 単なる機器の製造だけでなく, 大規模な設置工事や既存インフラの改造も必須である。以下に風力発電を例に挙げる。

風力発電の導入では, 風況の良い日本海側の沿岸や洋上を中心に多数のウィンドファームの建設が予定されている。2040 年までに出力の合計 30 GW-45 GW (世界的には控えめな値) を目標にしているので, 現在最大の出力 20 MW の風車をベースに考えると, ブレードの長さ 135 m, タワーの高さ 165 m 程度の風車を 1,500 から 2,250 本設置することになる。海底に固定する着床式の場合は, 2,000 トンを超える吊り上げ能力を持つ作業船が必要になる。また, 浮体式の場合には, 同規模の風車と浮体をドックで組み立て, 現場まで曳航し繫留する必要がある。このような大量の大型風車製造と輸送のためには, 製造工場と一体の港湾設備の整備も必要になる。

洋上, 陸上を問わず, ウィンドファームで発電した電力を, 蓄電池や変電設備を介して既存の電力系統に繋ぐ連系線や海底ケーブルの敷設も必要である。さらに, 風力発電のように時間的に大きく変動する電力の大量導入には, 全国規模のスムーズな電力融通も必須になるため, 北海道から関東圏への送電を中心に, 大容量送電網の整備, 関西と関東の間の周波数変換所や海底送電の出入り口の交流直流変換所の容量拡大も計画されている。また, 送電に対するオプションとして水素による輸送もあり, 海外から大量に輸入する場合

には, 液体水素タンカーから受け入れ国内に供給するインフラが必要になる。国内でのグリーン水素製造のためには, 再エネ発電と一体の水電解・水素製造施設が必要で, 輸送手段に応じた貯蔵設備が必要である。

ここまでは風力発電を例に大型の供給設備について述べたが, ゼロエミッション実現のもう一つの大きなカギは, 工場, ビル, 住宅などの建物 (製造や空調用) や運輸分野への再エネ導入にある。現在化石燃料に強く依存しており (運輸エネルギーは 95% 以上), 一次エネルギー総計の約半分 (他の半分は発電) を占めているからである。

建物では, ゼロエミッションを目標に, 太陽光, 太陽熱, 地中熱, 省エネなどを最大限導入し, 蓄電池, 水素貯蔵と一体で運用する必要があり, これらを後付けの設備としてではなく, 当初から当然必要な機能として建物と一体で設計し建設することが標準となりつつある。運輸分野では, 効率の良い電気モーターを再エネ由来の電力や水素で駆動することが基本になり, 電気自動車に対して高速充電ポイント, 燃料電池バス, トラックに対して水素ステーションの多数設置が急がれている。大規模駐車場にはメガワット級の太陽光発電設備と一体で充電ポイントや水素製造・供給ステーションを設置するなど, 中規模だが自立した供給施設の設計, 設置が必要になる。

以上のように, ゼロエミッションの達成に向けて, 社会とインフラの大改造という今後数十年以上にわたる大きな市場があり, そのための技術力と人材を育成することは急務である。現在, 多くの新規製造分野で日本の技術が対外競争力を失っており, これに伴って, 建設, 運用の経験も海外が先行して蓄積しつつある。自国の発展を自力で担える力強い日本の将来のため, 総力を挙げた取り組みが加速されることを期待する。

——おおわだの よしろう (特非) 再生可能エネルギー協議会 理事長,
(国研) 産業技術総合研究所 名誉リサーチャー——

行政情報

下水道政策研究委員会 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会 報告書 脱炭素社会を牽引する「グリーンイノベーション下水道」の実現に向けて

藤岡 勝之

国土交通省と公益社団法人日本下水道協会は、脱炭素社会の実現に向けた今後の下水道分野の政策検討のため、令和3年10月に下水道政策研究委員会「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会」を立ち上げ、令和4年3月に報告書を取りまとめた。同報告書では、今後、我々の社会の脱炭素・循環型への転換を先導する『グリーンイノベーション下水道』を目指すべき姿とし、実現に向けた取組事項が取りまとめられたところ、本稿ではその内容について紹介する。

キーワード：下水道、カーボンニュートラル、資源循環

1. はじめに

我が国は2050年カーボンニュートラルの実現と共に、2030年度の温室効果ガス削減目標について2013年度比46%削減を目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けていくことを表明した。2021年10月に改定された『地球温暖化対策計画（令和3（2021）年10月22日閣議決定）』において、下水道分野では、2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で208万t-CO₂削減する目標が掲げられている。

これらの動きも踏まえ、2050年カーボンニュートラルに向けて、国土交通省と公益社団法人日本下水道協会は下水道政策研究委員会「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会」（委員長：東洋大学 花木教授）

を立ち上げた。同委員会での審議を経て、脱炭素社会の実現に貢献する下水道の将来像を定め、関係者が一体となって取り組むべき総合的な施策とその実施工程表を報告書としてとりまとめた。

2. 下水道における現状／ポテンシャル

下水道は、年間約600万t-CO₂の温室効果ガスを排出しており、地方公共団体の事務事業から排出される温室効果ガスの大きな割合を占める。一方、下水汚泥が有する有機物の全エネルギーを熱量として換算した場合、下水処理場の年間電力消費量の約1.6倍にも相当する約120億kWhにも上る（図-1）。

また、リンの年間需要量（約30万t）のうち、約2

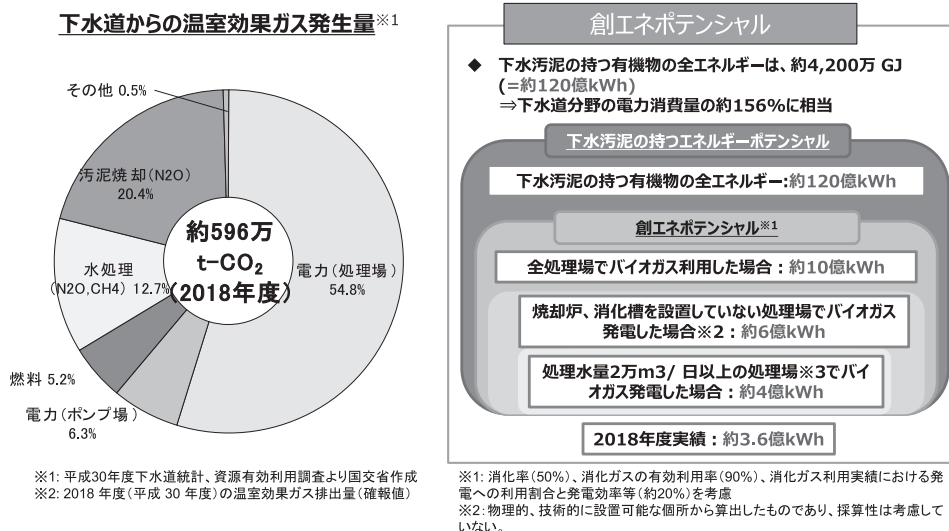


図-1 下水道における温室効果ガス排出量と下水汚泥の持つエネルギーポテンシャル

割に相当する約5万tが下水汚泥に含まれており、さらに、国内で生産・輸入される窒素の約50%に相当する量が下水として流入するなど、持続可能な物質循環に対しても高い貢献ポテンシャルを有している。

下水道施設の省エネ化や資源・エネルギーの利活用は、維持管理費の削減等による下水道経営改善や地域活性化に資する。また、下水道が有する高いポテンシャルを活用し、脱炭素地域の形成に貢献することは、下水道のプレゼンス向上につながり、地域から海外までの人材や資金を惹きつける好循環を生み出す。

3. 脱炭素社会の実現に貢献する下水道の目指すべき姿

これまでも下水道は、平成26(2014)年7月に下水道政策研究委員会がとりまとめた「新下水道ビジョン」に基づき、持続的発展が可能な社会の構築に貢献することを究極の使命として、下水道システムを水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化することを目標として各種取組を進めてきた。

下水道の目指すべき姿を定めるにあたっては、下水道事業における脱炭素化についてはもちろん、下水道が有する高いポテンシャルを活用し、如何に社会全体に貢献するかという視点で議論が行われた。委員からは、これまでの雨水排除や汚水処理の静脈機能に加え、下水道の有する水・資源・エネルギーの回収・供給を通じ、動脈機能を強化させ、下水道システムを高度な循環システムに進化させていくことについて提案された。

これらの議論を踏まえ、下水道施設自体の省・創・再エネ化を進めるとともに、多様な主体と連携等を進めることで、「今後、我々の社会の脱炭素・循環型への転換を先導する『グリーンイノベーション下水道』」を、下水道事業の目指すべき姿として位置づけた(図-2)。

4. 脱炭素化を進めるための費用負担の考え方

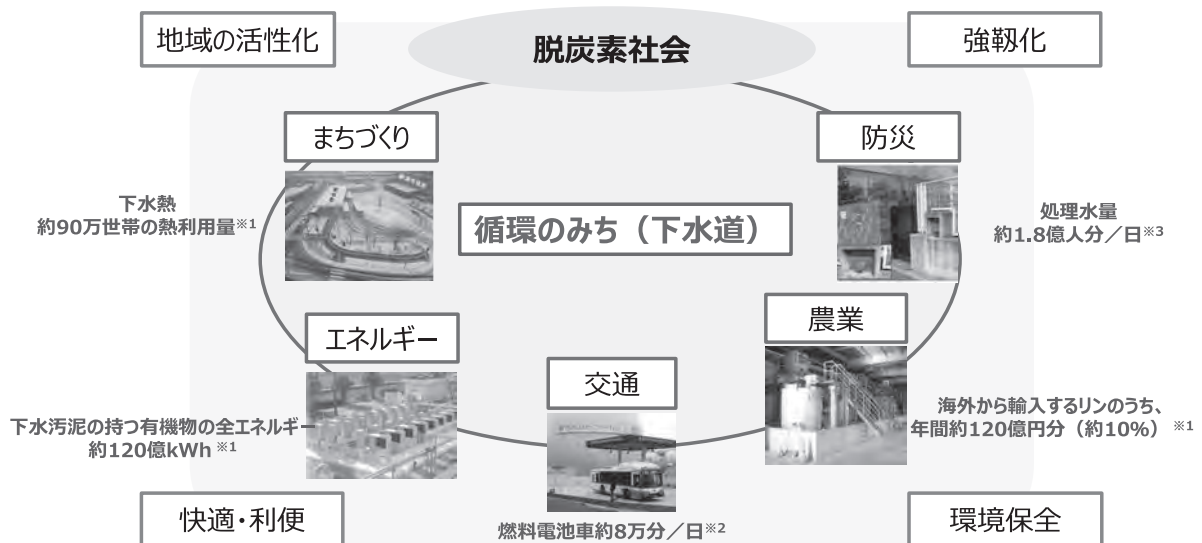
自治体委員からは脱炭素化の取組による下水道使用料への負担に対する懸念の声もあがり、それを踏まえ、下記の費用負担の基本的考え方が報告書に整理された。

「地球温暖化対策は、総力を結集すべき公益性の高い取組である。このため、各主体が対策に必要となる施設整備や維持管理について、あらゆる財源を活用しつつ、適切な費用分担の下、実施すべきである。」

具体的には、下水処理工程において実施される施設整備等は下水道管理者が、下水道事業の一環として進め、地域バイオマスの受入等の施設を最大限活用する取組については、その内容に応じ、一般会計や関係省庁予算をはじめ、様々な財源を効率的に活用し、推進するべきとしている。

5. グリーンイノベーションを実現するための3つの方針と施策展開の視点

グリーンイノベーション下水道の実現に向けては、次の3つの方針が掲げられた。



※1：第1回 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会 資料より

※2：下水汚泥を全てバイオガス利用(約300万m³)し水素として活用したケースとして、H26 B-DASHプロジェクトの実績(下水道バイオガス2,400m³/日 → 水素 3,300m³/日(燃料電池約65台分))から算出

※3：H30年度の処理水量(約14,400,000千m³)に対し、一人あたりの水使用量216L/日(東京都水道局HPより)として算出

図-2 脱炭素社会に貢献する下水道の将来像

脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書(概要①)

- 脱炭素社会の実現に貢献する下水道の将来像を定め、関係者が一体となって取り組むべき総合的な施策とその実施工程表について、最新の知見や下水道関係者の意見、政府目標及び関連計画等を踏まえた上でとりまとめたもの
- 今後、関係者が戦略的に行う取組を定める際の指針として利用されることを期待するもの

脱炭素社会の実現に貢献する下水道の目指すべき姿	
地球温暖化対策計画の2030年度目標達成及び2050年カーボンニュートラルの実現に向け、下水道施設自体の省・創・再エネ化を進めるとともに、多様な主体と連携を進めることが重要である。それによって、下水道が有するポテンシャルを最大活用して、スケールメリットはもちろん、これにとどまらず下水道を拠点とした新たな社会・産業モデルを創出するなど、環境・エネルギー分野の新展開、まちづくりや国際社会の脱炭素化、地域の活性化・強靱化等を牽引することが可能になる。これらを踏まえ、今後、我々の社会の脱炭素・循環型への転換を先導する「 グリーンイノベーション下水道 」を、下水道事業の目指すべき姿とする。	
グリーンイノベーション下水道を実現するための3つの方針	
①下水道が有するポテンシャルの最大活用、②温室効果ガスの積極的な削減、③地域内外・分野連携の拡大・徹底	
施策展開の5つの視点	
①ポテンシャル・取組の見える化、②戦略的な脱炭素化、③イノベーションへの挑戦、④多様な主体との連携、⑤デジタル技術の活用	
下水道分野における現状	関係者による取組を進める上で前提とすべき考え方
<ul style="list-style-type: none"> ◆下水道事業は大量の電気を消費しており、排出される温室効果ガスは年間約600万t-CO₂。 ◆水・資源・エネルギーが集約される下水道では、脱炭素社会に貢献し得る高いポテンシャルを有するが活用は一部にとどまっている。(下水道バイオマスリサイクル率は約34%) ◆下水道の対策や目標を位置づける地方公共団体実行計画は一部にとどまり戦略性に欠ける。(一般市では51市のみが目標を位置づけ) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆カーボンニュートラルの実現に向けては、誰もが無関係ではなく、あらゆる主体が総力を結集して取り組むべき。 ◆下水道施設の省エネ化、資源・エネルギーの利活用は維持管理費軽減等の下水道経営改善や地域活性化に繋げるべき。 ◆下水道が有する高いポテンシャルを活用し、脱炭素地域の形成に貢献することにより、下水道のプレゼンス向上を図り、国内外の人材や資金を惹きつける好循環を生み出す取組を目指すべき。

図—3 報告書概要①

- (1) 下水道が有するポテンシャルの活用
- (2) 温室効果ガスの積極的な削減
- (3) 地域内外・分野連携の拡大・徹底

特に、温室効果ガスの積極的な削減にあたっては、処理水質と消費エネルギーがトレードオフの関係にあることから、水環境の状況に応じて適切な運転管理・水質管理を行う必要性が委員会の中でも議論になった。また、技術革新の加速をはじめ、人口減少が進展する中であっても効率的・効果的な取組や新たな貢献を追求するため、地域内外・分野連携の必要性が示された。

また、3つの方針の下、総合的な施策展開を実施するにあたり、「ポテンシャル・取組の見える化」をはじめとした5つの視点が示された(図—3)。

6. カーボンニュートラル実現に向けた計画と取組の時間軸

(1) 2030年目標達成に向けて

2030年までは10年も残されていないことから、温室効果ガス削減効果の高い事業の集中的な実施等、脱炭素化に資する新技術を総動員して計画的に取り組んでいくことが必要である。

このためには、国が定めた目標等を参考に、地方公

共団体実行計画等に下水道分野の目標を掲げるとともに、目標や取組の「見える化」等による取組の加速化及び関係者間の連携強化を図り、計画的な省エネ化及び創エネ・再エネ設備の導入、並びにデジタル技術を活用した効率的な維持管理を進めるべきである。

(2) 2050年目標達成に向けて

2050年カーボンニュートラルの実現に向けては、従来の下水処理方式のみにとらわれず、2050年を待たずに技術の実装、取組の拡大を図っていく必要がある。特に、大規模改築には時間を要するため、改築更新期を的確に捉えて抜本的な温室効果ガス排出削減を進めていく必要がある。

7. 目標実現に向け強化すべき施策

2030年度目標の達成、2050年脱炭素社会実現のための貢献に向け、これまでの取組を着実に進めるとともに、今後さらに強化して取り組むべき施策(図—4)と具体的な取組事項のロードマップが示された。

ロードマップにおいては、今後取り組むべき施策と共に、誰が主体的に取り組んでいくかについてもまとめられている。

脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書(概要②)

- 地球温暖化対策計画等の2030年度目標の達成、2050年脱炭素社会実現のための貢献に向け、これまでの取組を着実に進めるとともに、今後、施策をさらに強化して取り組むべき施策は以下の通り。

目標実現に向け強化すべき施策（見せる、繋げる、活かす）

1.地域の活性化・強靱化に貢献する循環システムの構築

- (1) 地方公共団体実行計画等における下水道の施策と削減目標の設定
- (2) 案件発掘から施設整備まで一体的・集中的な支援
- (3) 環境省と連携した地域バイオマスや廃棄物処理システムとの連携
- (4) 関係省庁が連携した予算支援や地方財政措置の充実

2.効率的なエネルギー利用と良好な水質確保との両立

- (1) 流域の水環境状況や人口減少、エネルギー消費を踏まえた水質管理・処理方法の選定※
- (2) 省エネ診断に基づく処理規模・方式に応じた技術の普及促進
- (3) ICT・AI等も活用した効率的な運転管理の実施促進
- (4) 汚泥焼却に伴う N_2O 排出の抑制促進
- (5) 水処理工程での N_2O 、 CH_4 の排出メカニズム・対策の研究※

3.取組の加速化・連携拡大に向けた環境整備

- (1) 具体化、数値化、客観化、標準化等によるポテンシャル・取組の「見える化」
- (2) 知見の共有・人材育成
- (3) 社会全体の削減に資する貢献の追求と評価
- (4) 農林水産省、地方公共団体農政部局等との連携による汚泥の肥料利用等の促進
- (5) PPP/PFI等の積極的な推進

4.脱炭素化を支えるシステム・技術のイノベーション

- (1) カーボンニュートラル地域モデル実証処理場の整備
- (2) 下水道の脱炭素化に資する技術・資器材の認証、省エネ・創エネ仕様などの検討による導入加速
- (3) 技術開発の重点化
- (4) 研究開発イノベーション整備等オープンイノベーションによる技術開発の加速※

5.本邦技術の競争力強化と戦略的な国際展開

- (1) 国際標準化活動等による本邦優位技術の展開促進
- (2) 官民協議会等を活用した戦略的な国際展開

※：2030年までに取組を進めつつも2050年までの実装を目指す

図－4 報告書概要②

8. グリーンイノベーション下水道の実現に向けた国の取組

本報告書では、グリーンイノベーション下水道の実現に向け、下水道関係者それぞれが果たすべき役割が整理されている。その中で、国については、温暖化対策に関する国際的な動向や人・モノ・カネといった下水道が抱える課題を把握し、「制度的枠組み」等の各主体が効率的な取組を進めるための環境整備を行うとともに、省庁の枠を超えてカーボンニュートラル推進に必要な支援や実行に向けたリーダーシップを発揮することが求められている。

上記の役割も踏まえ、今後国が主体的取り組んでいくべきとされた施策について、現在進めている取組支援の一部を以下に紹介する。

(1) 下水道脱炭素化推進事業

地域の活性化・強靱化に貢献する資源・エネルギー循環システムに向けて、取組の検討と計画的な施設更新等を、一つひとつ着実に具体化していくためには、案件発掘段階から施設整備まで一体的・集中的な支援が必要とされている。

これに対し、国土交通省では令和4年度より下水道脱炭素化推進事業を創設し、温室効果ガス削減効果の高い先進的な創エネ・一酸化二窒素(N_2O)事業への



図－5 下水処理場における地域バイオマス集約と検討課題

集中的・優先的な支援を開始している。

(2) 下水道エネルギー拠点化コンシェルジュ事業

資源・エネルギーの利活用に向けて事業採算性を確保するためには、地域における廃棄物処理システムをはじめ各分野等との連携により、スケールメリットを活かすことが重要な手法の一つとされている。一方、これらの取組を進めるに当たっては、各地域のバイオマス利活用や汚泥処理等における課題整理、廃棄物行政との連携等を行う必要があるところ、報告書においては、国として案件形成から施設整備までの支援を行うべきと整理されている。

これに対し、国土交通省では「下水道エネルギー拠点化コンシェルジュ事業」を通じ、これらの取組を積極的に検討する自治体にアドバイザーを派遣することで、案件形成支援を行っているところである(図－5)。

(3) 下水処理場におけるエネルギー消費分析，省エネルギー対策の実施支援事業

下水道の省エネを進めていく上で、例えば、都市と地方では処理場の規模や処理方式等が異なるため、効果的に温室効果ガス排出を削減していくためには、省エネ診断に基づく有効な技術選定とともに、処理規模・方式に応じた取組を進めていくべきとされている。報告書においては、本取組の推進においても、国として省エネ診断等のプッシュ型支援を進めるべきと整理されている。

これに対し、国土交通省では、令和4年度より、「下水処理場におけるエネルギー消費分析，省エネルギー対策の実施（省エネ診断）支援事業」を立ち上げ、支援を開始したところである。

9. おわりに

本報告書では、「地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律（令和3年法律第54号）」が令和4年4月1日から施行されるにあたり、下水道管理者が定めるべき具体的な目標設定や、費用負担も含めて、下水道のカーボンニュートラル実現にあたっての基本的考え方が掲載されているところであり、関係者が取組を定める際の指針として利用することが期待されている。

地球温暖化は国民が共有すべき社会課題として、誰

もが無関係ではなく、あらゆる主体が総力を結集して取り組むべきであるとともに、2050年カーボンニュートラル実現への脱炭素化の取組は持続可能な経済社会に作り変える絶好の契機である。

国土交通省としては、脱炭素社会への貢献に向けて、地方公共団体、公的機関、民間企業、研究機関等の様々な関係者と議論を深めながら、報告書で提案された施策について詳細な制度設計等の検討を進めるとともに、取組の進捗や技術の実装状況を継続的に検証し、必要に応じて新たな定量的な目標の設定、施策自体の見直しを行う予定である。

本稿では紹介できなかった様々な施策やロードマップ、委員会での議論過程については、国土交通省ホームページを参照されたい。

(https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000734.html)

(https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html)

JCMA

[筆者紹介]

藤岡 勝之（ふじおか まさゆき）

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



行政情報

グリーン成長のカギを握る木材産業の競争力強化と木材需要拡大 令和3年度森林・林業白書より

加藤 靖之

日本の人工林は利用期を迎えている。木材利用は、二酸化炭素の吸収・排出削減の両面からカーボンニュートラルへ貢献しており、「森林・林業基本計画」では、森林の適正な管理を図りながら、林業・木材産業の成長産業化に取り組むことにより、「グリーン成長」を実現していくこととしている。このためには、造林及び素材生産コストを低減させるとともに、木材の安定的な需要を確保していくことが重要である。

本稿では、令和3年度森林・林業白書の特集2を元に、木材利用の意義や建築分野における木材需要の状況、木材産業の競争力強化の動向を紹介し、最後に木材需要拡大と木材産業の競争力強化に向けた課題と対応を記述する。

キーワード：カーボンニュートラル、森林、林業、木材産業、製材工場、木造建築物

1. はじめに

(1) 木材利用の公益的意義

我が国は、国土の約3分の2を森林が占める世界でも有数の森林国である。特に森林面積のうち約4割を占める人工林は、50年生を超える人工林面積が10年前の2.4倍に増加し過半となっており、利用期を迎えている。

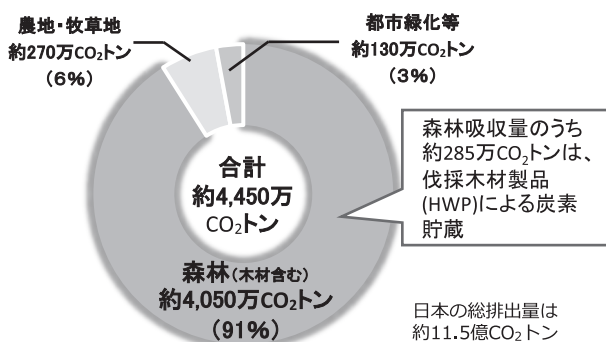
森林の樹木は、大気中の二酸化炭素を吸収し、炭素を貯蔵しているが、人工林の高齢化に伴い、森林吸収量は減少傾向で推移している。今後、森林吸収量を確保していくためには、利用期を迎えた人工林について「伐って、使って、植えて、育てる」ことにより、炭素を貯蔵する木材利用の拡大を図りつつ、成長の旺盛な若い森林を確実に造成していくことが必要である(図-1)。



図-1 森林資源の循環利用 (イメージ)

また、森林から搬出された木材を建築物等に利用することにより、炭素を長期的に貯蔵することが可能である。木材には再加工しやすいという特徴もあるため、建築物等として利用した木材をパーティクルボード等として再利用すれば、再利用後の期間も含めて炭素が貯蔵される。

その際、建築物等に利用される国産材は、伐採木材製品（HWP）として国連気候変動枠組条約の京都議定書第二約束期間以降、パリ協定においても森林の二酸化炭素排出・吸収量の算定に計上できることとされている。我が国の令和2年度の二酸化炭素吸収量において、HWPを含む森林吸収量は91%を占めており、地球温暖化防止対策の中で森林は重要な役割を果たしている（図—2）。



図—2 我が国の二酸化炭素吸収量（令和2年度）

また、木材は、製造・加工時のエネルギー消費が鉄やコンクリート等の建築資材よりも比較的少ないことから、建築物に木材を利用することは、建築に係る二酸化炭素の排出削減に貢献する。例えば、建築物の床面積当たりの二酸化炭素排出量を木造、非木造で比較すると、木造は、鉄筋コンクリート造や鉄骨造等の非木造よりも少ないことが知られている。

さらに、資材として利用できない木材を化石燃料の代わりにエネルギー利用すれば、化石燃料の燃焼による大気中への二酸化炭素の排出を抑制することにつながる。

二酸化炭素の吸収・排出削減、ひいてはカーボンニュートラルの実現に貢献する木材利用の公益的な意義は、令和3年6月に改正された「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」に新たに法定されるとともに、令和3年10月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」にも反映されている。

このほか、国産材が利用され、森林所有者が収益を上げることによって、再造林を始めとした安定的・持続的な森林整備が可能となり、この森林資源の循環利用を通じて、地域経済の活性化や、国土の保全、水源涵養等の森林の有する多面的機能の発揮にもつながる。

(2) グリーン成長の実現に向けて

(a) 平成28年の森林・林業基本計画の成果と課題

平成28年5月に閣議決定された「森林・林業基本計画」では、我が国の豊富な森林資源を適切に活用し、循環利用していくことで、林業・木材産業の成長産業化を実現することとしていた。

この間、木材の総需要量は、平成26年の7,580万m³から、新型コロナウイルス感染症の影響を受ける前の令和元年には8,191万m³まで増加した。特に燃料材の需要量は、同計画における令和2年の見通しを上回る増加をしている。また、令和元年の国産材の利用量は3,099万m³まで増加し、同計画における令和2年の目標値である3,200万m³をおおむね達成した。一方で、国産材の製材用材の利用量は微増しているものの、令和2年の1,500万m³の目標値に対し、令和元年は1,288万m³にとどまっている（表—1）。

また、林業経営体の規模拡大や生産性の向上は徐々に進み、伐採と造林の一貫作業等の造林コストを低減する取組も拡大し、原木（丸太）生産量も増加した。一方で、近年の主伐面積に対する再造林面積の割合は低位にとどまっている。このため、我が国の木材利用ニーズに照らして森林資源の循環利用を進めていくことに加え、森林の二酸化炭素吸収量の目標を達成するためにも、再造林の推進が課題となっている。

(b) 新たな森林・林業基本計画

令和3年6月に閣議決定された新たな「森林・林業基本計画」では、再造林等により森林の適正な管理を図りながら、引き続き林業・木材産業の成長産業化に取り組むことにより、「グリーン成長」の実現を志向している。

この実現に向けては、「新しい林業」等の取組により造林及び素材生産コストを低減する取組に加え、木材、特に製材用材の安定的な需要をいかに確保し拡大していくかもポイントとなる。

新たな森林・林業基本計画では、期待する機能の発揮に向け森林の整備・保全が行われた場合の木材の供給量と、それに対応した用途別の利用量の目標を定めており、令和7年の木材の総需要量を8,700万m³と見通した上で、国産材の利用量について4,000万m³

表一 森林・林業基本計画における国産材利用量の目標と実績

(単位:百万 m³)

用途区分	総需要量					国産材利用量				
	平成26年 (実績)	令和元年 (実績)	令和2年 (見通し)	令和7年 (見通し)	令和12年 (見通し)	平成26年 (実績)	令和元年 (実績)	令和2年 (目標)	令和7年 (目標)	令和12年 (目標)
建築用材等計	40	38	-	40	41	16	18	-	25	26
製材用材	28	28	28	29	30	12	13	15	17	19
合板用材	11	10	11	11	11	3	5	5	7	7
非建築用材等計	36	44	-	47	47	8	13	-	15	16
パルプ・チップ用材	32	32	31	30	29	5	5	5	5	5
燃料材	3	10	7	15	16	2	7	6	8	9
その他	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2
合計	76	82	79	87	87	24	31	32	40	42

注1: 令和2年の見通し及び目標は、前基本計画における見通し及び目標。建築用材等と非建築用材等に分けた数値は設定していない。

- 2: 燃料材とは、ペレット、薪、炭、燃料用チップである。
- 3: その他とは、しいたけ原木、原木輸出等である。
- 4: 四捨五入の関係により、内訳と合計は必ずしも一致しない。

資料:「森林・林業基本計画」(平成28年5月24日及び令和3年6月15日閣議決定)

を目指すこととしている。特に建築物等に用いられ、比較的価格の高い製材用材の利用拡大を進めていくことが重要となっている。

グリーン成長の実現に向けた木材利用の拡大に当たっては、関係者が協力し、効率的なサプライチェーンを構築して相互利益を拡大しつつ、再造林につなげるとの視点を共有し努力していくことが期待される。

木材産業は、マーケットニーズに応じて山元から原木を購入し、木材を加工・販売して需要先につなぐ存在であり、森林・林業の持続性の確保と木材の適切な利用の推進の両面から重要な存在であり、その競争力強化は、「グリーン成長」実現のカギである。

このため、令和3年度森林・林業白書では、特集2のテーマを、「グリーン成長のカギを握る木材産業の競争力強化と木材需要拡大」とし、現状や課題を整理した。

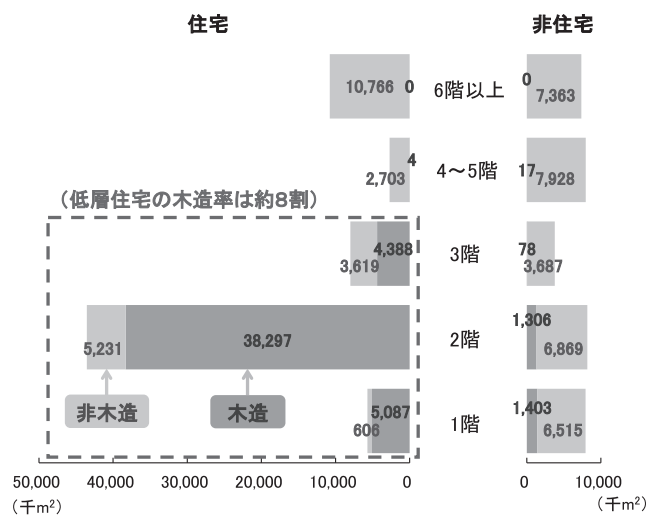
2. 建築分野における木材利用の動向

(1) 住宅における木材利用の動向

低層住宅の木造率は8割であり、住宅は、我が国の木材、特に国産材の仕向先として重要である(図-3)。

阪神・淡路大震災における被害等を受け、建築物に関する制度改正が行われ、瑕疵担保責任の明確化や住宅の性能表示等が進み、住宅の品質・性能の明確化が強く求められるようになった。

また、大工技能者が減少する中、工期短縮・コスト削減の要求等から、木造軸組住宅等を現場で建築しや



注: 住宅とは居住専用住宅、居住専用準住宅、居住産業併用建築物の合計であり、非住宅とはこれら以外をまとめたものとした。
資料: 国土交通省「建築着工統計調査2021年」より林野庁作成。

図-3 用途別・階層別・構造別の着工建築物の床面積

すいように、部材同士の接合部分等を工場加工したプレカット材が普及している。

このような変化を背景に、住宅に用いられる木材製品について、寸法安定性や強度等の品質・性能が確かな製品が求められており、人工乾燥材の割合が上昇している。

さらに、大手住宅メーカーでは、寸法安定性の高い集成材の利用が進んでいる。この中で、柱材ではスギ集成柱の利用も増加する一方、横架材では、強度に関するニーズから輸入材の集成材が高い競争力を持つ状況となっている。

大手住宅メーカーに対し、一部の工務店は、国産材

を積極的に利用している。その中では無垢材が多く、横架材においてもスギ等が使用されている。

(2) 非住宅・中高層建築物における木材利用の動向

令和3年に着工された非住宅・中高層建築物の木造率は6%と低い状況であり、これらの木造化・木質化を進め、新たな木材需要を創出することが重要となっている。

公共建築物の木造率は、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行された平成22年度の8.3%から令和2年度の13.9%まで上昇し、特に積極的に木造化を図ってきた低層の公共建築物については、29.7%となった。

民間建築物についても、人口減少予測を踏まえた住宅市場の見込みや、持続可能な資源としての木材への注目の高まりなどを背景に、建設・設計業者や建築物の施主となる企業が、非住宅分野・中高層分野で木造化・木質化を志向している。

特に低層非住宅建築物で床面積の小さいものについては木造率が比較的高く、500 m^2 未満の木造率は約4割となっており、店舗や事務所等の様々な建築物が木造で建築されている。

中高層建築物については、CLTや木質耐火部材等に係る技術開発の進展、建築基準の合理化など、技術的・制度的に利用環境の整備が一定程度進み、11階建ての木造研修施設等の先導的な建築が進展している(写真-1)。



写真-1 11階建ての木造研修施設

3. 木材産業の競争力強化

(1) 木材製品製造業における動向

(a) 国際競争力の強化

製造工場等は、それぞれの規模の強みを活かしてニーズに対応する取組を進めている。

輸入材、他資材との競争がある中、大手住宅メーカーへの木材供給を行う工場は、規模拡大による収益の確保を進める必要があり、各地で国産材を利用する大規模工場が稼働している。

製材工場では、年間の原木消費量が1万 m^3 以上の工場数と原木消費量が増加するなど、大規模化が進展している(表-2)。大規模工場は、規模拡大等による低コスト化に加え、製材と集成材の複合的な生産や木質バイオマス発電等の複合経営を行うことなどにより、コスト競争力を確保している。

合板工場においても、年間の原木消費量が10万 m^3 以上の工場数と原木消費量が増加するなど、大規模化が進展している。構造用合板を中心に国産材利用率が向上しており、輸入材製品のシェアが高いフロア台板用合板、コンクリート型枠用合板においても国産材利用の取組が進んでいる。

表-2 製材工場の規模別工場数と原木消費量

工場の規模 (国産原木消費量)	工場数(原木消費量計)	
	平成16(2004)年	令和元(2019)年
10万 m^3 以上	0(0)	12(243万 m^3)
5~10万 m^3 未満	13(85万 m^3)	31(224万 m^3)
1~5万 m^3 未満	194(370万 m^3)	209(430万 m^3)
1万 m^3 未満	9,213(692万 m^3)	4,130(390万 m^3)

資料：林野庁木材産業課調べ、農林水産省「木材需給報告書」。

(b) 地場競争力の強化

地域の製材工場等では、地域の工務店等の関係者の様々な個々のニーズにも対応した優良材を提供する例もあり、例えば、森林所有者から住宅生産者までの関係者が一体となって家づくりを行う「顔の見える木材での家づくり」の取組は、令和2年度には540団体、供給戸数は19,898戸となっている。

内装や家具等の木材需要について、需要者の要望に合わせた製造を行う取組等も見られる。国産材の家具建具用材向けの製材品出荷量は、家具全体の需要に対し小さいが、資源的制約や自然保護の観点等から、海外から広葉樹の大径材の安定的な確保が難しくなっている中、平成27年の3.0万 m^3 に対し令和2年には4.9万 m^3 と徐々に拡大している。

(c) 木材輸出の取組

木材輸出額は増加傾向であり、令和3年は前年比33%増の475億円となった。輸出先は中国向けが約5割と最も多く、その8割が丸太で輸出され、梱包材、土木用等に利用されている。また、米国向けは、フェンス材として使用されるスギ製材の輸出が増加している。

令和2年12月に決定された「農林水産物・食品の輸出拡大実行戦略」では、製材及び合板を重点品目とし、中国、米国、韓国、台湾等をターゲットに、建築部材、高耐久木材の海外販路の拡大やマーケティング等に取り組む方針としている（写真—2）。



写真—2 上海のショッピングモールの外壁飾り（スギ・ヒノキ）
（写真提供：越井木材工業株）

(2) 木材流通業の動向

(a) 安定供給体制の構築

住宅メーカー等の需要に対し、製材工場等が安定的に製品を供給するためには、原木を大ロットで安定的に調達することが必要となる。

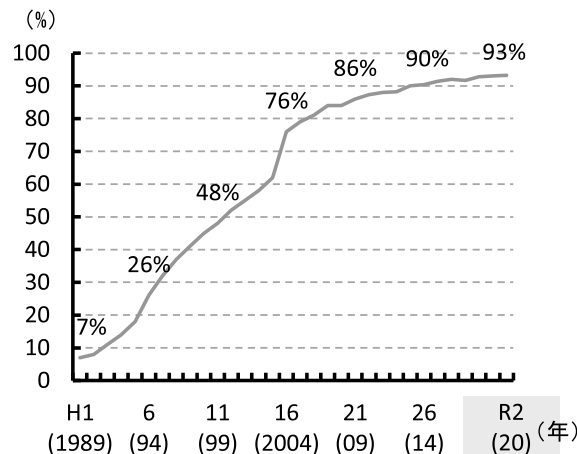
製材工場等は、安定供給体制の構築に向け、森林組合連合会等との間で協定を結ぶことで、供給量及び取引価格を安定させる取組を進めている。協定取引の進展等により素材生産者から製材・合板工場等への原木の直送量も増加している。

また、川中の原木市売市場や製材工場等では、原木を安定的に確保するため林業へ参入するなど、林産複合型経営に取り組む動きも見られる。

(b) プレカット工場の役割の拡大

製材工場からの木材製品の出荷先としては、約半数は木材市売市場や木材販売業者等に販売されている。一方で、プレカット工場や集成材工場への出荷割合が増加傾向にある。

木造軸組構法におけるプレカット率は年々上昇し、2020年には93%となった。プレカット工場が設計の一部や木材の調達・品質管理を担う場面も多く、木材製品の流通においてプレカット工場の役割が拡大している（図—4）。



資料：一般社団法人全国木造住宅機械プレカット協会調べ。

図—4 木造軸組構法におけるプレカット率の推移

このプレカット工場についても、規模拡大・集約化が進展している。

4. 課題と対応

(1) 山の資源のフル活用

森林資源の循環利用を進めていくには、材の品質や特性に合わせた利用がなされるよう需要先を開拓し、原木をフル活用することができる環境整備が重要である。その際、丸太価格は、製材用、合板用、チップ用の順に低下するため、どれだけ製材で利用できるかは、再造林をするための費用を得るためにも重要となる。

製材工場では、原木の利用率を上げるため、小径から大径まで幅広い径の原木を受け入れ、製材品と併せて集成材ラミナを生産し、低質材や端材等を製品乾燥やバイオマス発電の燃料用に利用する取組もみられるようになっており、こうした取組の横展開が重要である。

(2) 国産材製品の活用

(a) 住宅分野での木材需要拡大

令和3年は、米国や欧州における需要の高まりや海上輸送の混乱等により、特に輸入材比率の高い横架材等の需給が逼迫した。

横架材を国産材で代替した例もあり、住宅分野における国産材の需要拡大に向けて、このような事例の横展開が重要である。

(b) 非住宅分野・中高層分野における需要拡大

非住宅分野・中高層分野の木造化・木質化に必要な知見を有する設計者が不足しており、林野庁と国土交通省が連携して講習会開催等により設計者の育成を支

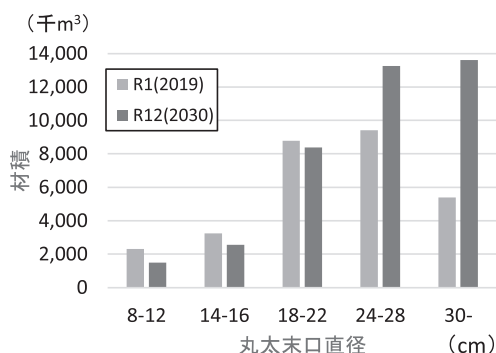
援している。

設計・施工コスト低減に向け、普及性の高い標準的な設計や工法等の横展開が必要であり、事例集の作成や標準化の取組等が進展している。

品質・性能の確かな JAS 製品の供給体制の構築が重要であり、林野庁は、利用実態に即した JAS 規格の区分や基準の合理化等を図るとともに、JAS 構造材の実証支援を行っている。

(c) 大径材の利用に向けた取組

直径が 30 cm を超える大径材の出材量の増加が見込まれる一方 (図-5)、大径材を効率的に製材する体制となっていない工場が多い状況となっている。そのため、林野庁は、製材工場に対し、効率的な木取りが自動でできる大径材用の製造ラインの導入を支援するなど、大径材の利用拡大に向けた取組を進めている。



資料：林野庁「森林・林業基本計画に掲げる目標数値について (案)」
(林政審議会資料(令和3(2021)年3月30日)資料1-4)

図-5 丸太末口直径別の供給量見込み

(3) 木材産業における労働環境の改善等

林業に加え、木材産業においても労働力不足への対応が必要である。

林野庁は、自動製材機等の省人化・省力化機械の導入を支援するとともに、労働安全対策を推進している。また、業界団体は、外国人技能実習二号への木材加工職種追加に向け、取組を進めている。

(4) 更なる国産材活用に向けた技術開発

横架材など国産材率の低い分野での利用拡大のため、大径木からの平角生産に必要な乾燥技術の確立に向けた技術開発が進められており、例えば国立研究開発法人森林研究・整備機構では技術開発を実施し、成果を公表している。

非住宅・中高層建築物の木材利用拡大に向け、CLT や耐火部材等の技術開発・普及が重要である。CLT は、令和3年4月には、計9工場で年間8万 m³ の生産体制となっている。

JCMA

【筆者紹介】

加藤 靖之 (かとう やすゆき)
林野庁
林政部 企画課
課長補佐



行政情報 特別寄稿

あんぜんプロジェクト「見える安全活動コンクール」と厚生労働省における労働災害防止に向けた今後の取組

野口 史温

人は働くことで生計を立て、人生の多くの時間を職場で過ごしている。国の社会や経済はこのような人々の労働によって支えられている。そのような状況の中で、令和3年における労働災害による死亡者数は867人、休業4日以上死傷者数は149,918人であった。

人の生命と健康はかけがえのないものであり、どのような社会であっても、働くことで生命が脅かされたり、健康が損なわれたりするようなことは、本来あってはならない。このような考え方の下、厚生労働省では、働く人の安全と健康を守るための取組を進めている。

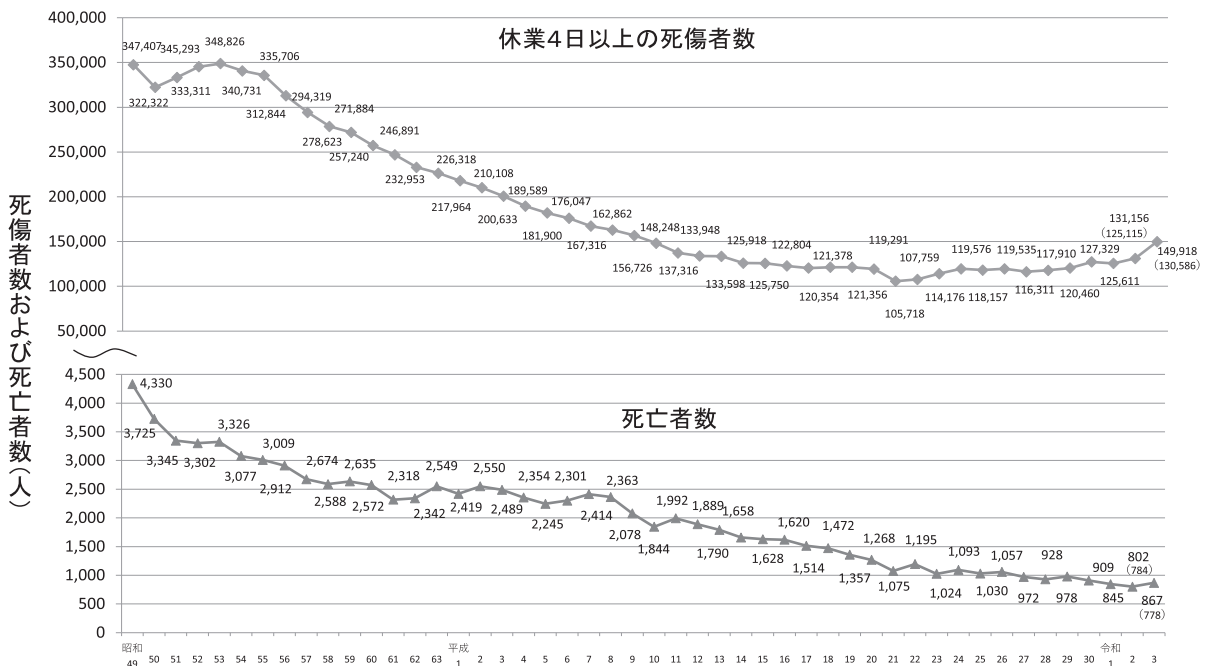
本稿では、労働災害の現状及び厚生労働省における労働災害防止のための取組とその展望について紹介する。

キーワード：労働災害、SAFE コンソーシアム、あんぜんプロジェクト、労働災害防止計画

1. はじめに

これまで、事業場においては、労使が協調して、労働災害防止に向け、たゆまぬ取組を展開してきた。この努力により死亡者数は減少傾向が続いており、労働安全衛生法が施行されてから今日までの約半世紀の期

間で死亡災害は約5分の1まで減少した。しかし、休業4日以上死傷災害については、長期的には減少傾向にあるものの、近年は、就業人口の高齢化や、転倒や腰痛といった、労働者の作業行動に起因する労働災害が顕著に増加していること等を背景に、災害件数が増加傾向にある（図-1）。



出典：平成23年までは、労災保険給付データ(労災非適用事業を含む)、労働者死傷病報告、死亡災害報告より作成
 平成24年からは、労働者死傷病報告、死亡災害報告より作成
 ※()内は新型コロナウイルス感染症のり患による労働災害を除いたもの。

図-1 労働災害による死亡者数、死傷者数の推移

近年の労働災害発生件数の業種別の数値を見ると、製造業や建設業では概ね減少傾向にある一方、陸上貨物運送事業や小売業、社会福祉施設、飲食店などでは増加が続いている。特に社会福祉施設については、ここ10年ほどで2倍以上に増加している。令和3年の全業種の休業4日以上の死傷災害者数は、平成10年以降最多の149,918人となっている。さらに、死亡災害も867人と増加に転じるなど、予断を許さない状況にある。

このような状況において労働災害を減少させるためには、働く高齢者の増加等の就業構造の変化や新型コロナウイルス感染症の感染拡大に伴う社会情勢の変化等に対応し、将来を見据えた持続可能な安全管理を継続して実施していくことにより、全ての労働者が安心して安全に働くことのできる職場の実現が求められる。

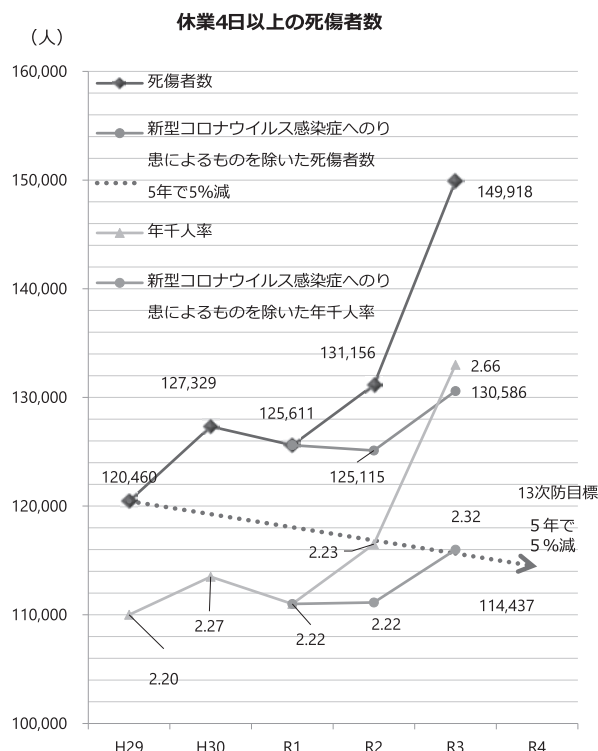
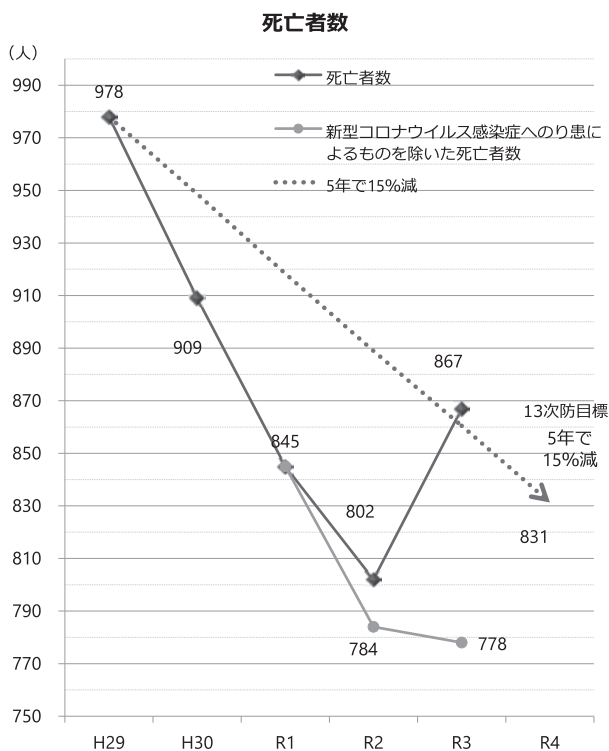
2. 第13次労働災害防止計画

厚生労働省では、平成29年の労働災害発生状況を基準に、平成30年～令和4年の5年間を取組期間として、第13次労働災害防止計画（13次防）を定めている。「労働災害防止計画」は、労働災害防止のための主要な対策に関する事項等を定めた計画で、労働費

策審議会の意見をきいて厚生労働大臣が策定するものである。

13次防においては、全業種における労働災害件数の目標と重点業種の目標を定めており、全業種では死亡者数を令和4年で831人以下（平成29年比15%減）、休業4日以上の死傷者数を114,437人以下（平成29年比5%減）としている。重点業種の目標は、建設業、製造業及び林業において死亡者数を平成29年比15%減少、陸上貨物運送事業、小売業、社会福祉施設及び飲食店において死傷年千人率^{*}を5%減少することとしている。

令和3年の労働災害発生状況は先述のとおり（死亡者数867人、死傷者数149,918人）で、今年度、13次防の最終年度を迎えているところであるが、死亡災害については概ね目標の達成に向かってのに対し、死傷災害は、災害を減少させるとの目標に対して、第三次産業の災害増加等の影響で増加傾向にある（図一2）。重点業種別に見ても、死亡災害の減少を目標としている建設業、製造業及び林業については、目標の達成が十分に目指せる状況にあるが、死傷年千人率の減少を目標としている陸上貨物運送事業、小売業、社会福祉施設及び飲食店においては、平成29年よりもその数字が大きくなっている状況である（図一3）。



図一2 13次防取組期間における労働災害による死亡者数、死傷者数の推移

^{*}：死傷年千人率＝ $\frac{1 \text{ 年間の死傷者数（労働者死傷病報告による休業4日以上の死傷者数）}}{1 \text{ 年間の平均労働者数（総務省「労働力調査」における役員を除く雇用者総数）}} \times 1,000$

計画の目標	目標を数値化したもの	2021年実績	(新型コロナウイルス感染症へのり患によるものを除く。)
【建設業】 労働災害による死者数を2017年と比較して、2022年までに15%以上減少させる。	(2017年) (2022年) 323人 → 274人以下	288人 (▲10.8%)	278人 (▲13.9%)
【製造業】 労働災害による死者数を2017年と比較して、2022年までに15%以上減少させる。	(2017年) (2022年) 160人 → 136人以下	137人 (▲14.4%)	131人 (▲18.1%)
【林業】 労働災害による死者数を2017年と比較して、2022年までに15%以上減少させる。	(2017年) (2022年) 40人 → 34人以下	30人 (▲25.0%)	30人 (▲25.0%)
【陸上貨物運送事業】 死傷者数を2017年と比較して、2022年までに死傷年千人率で5%以上減少させる。	(2017年) (2022年) 8.40 → 7.98	9.30 (+10.7%)	9.09 (+8.2%)
【小売業】 死傷者数を2017年と比較して、2022年までに死傷年千人率で5%以上減少させる。	(2017年) (2022年) 2.04 → 1.93	2.44 (+19.6%)	2.37 (+16.2%)
【社会福祉施設】 死傷者数を2017年と比較して、2022年までに死傷年千人率で5%以上減少させる。	(2017年) (2022年) 2.17 → 2.06	4.23 (+94.9%)	2.94 (+35.5%)
【飲食店】 死傷者数を2017年と比較して、2022年までに死傷年千人率で5%以上減少させる。	(2017年) (2022年) 2.16 → 2.05	2.51 (+16.2%)	2.34 (+8.3%)

図-3 13次防の重点業種の目標と直近の実績

3. あんぜんプロジェクト

厚生労働省では、労働災害防止の取組を推進するため、職場の安全衛生に関する情報の周知、意識の啓発を目的として、平成23年度から「職場のあんぜんサイト」を運営しており、そのホームページにおいて、労働災害発生状況の公表、労働災害事例やヒヤリハット事例の公表など、労使双方における労働災害防止に向けた取組のヒントとなる情報を公表している。

さらに、職場のあんぜんサイトの事業の中で、「あんぜんプロジェクト」を運営している。あんぜんプロジェクトでは、各事業場等の安全活動の状況、労働災害の発生状況などの安全情報をホームページで公開する等、職場の安全に積極的に取り組んでいる事業場・企業又は企業グループをあんぜんプロジェクトメンバーとして迎え、厚生労働省とともに働く人の安全に関する取組を推進している。メンバーとなった事業場等は、あんぜんプロジェクト公式ロゴマーク（図-4）の名刺への掲載等、あんぜんプロジェクトのメンバーとして、安全対策に積極的に取り組んでいる事業場や企業であることを広く世の中にアピールすることができる。あんぜんプロジェクトは、平成23年度に開設されてから、令和4年度で12年目を迎え、初年度は33事業場等であったメンバーが、現在は1,000を超える事業場等まで拡大し、現在も建設業や製造業を筆頭にメンバーは増加している。

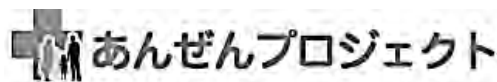


図-4 あんぜんプロジェクトロゴマーク

4. 「見える」安全活動コンクール

あんぜんプロジェクトの活動の一環として、「見える安全活動コンクール」を毎年度実施している。このコンクールでは、各事業場における労働災害防止のための取組のうち、危険性、有害性、その他情報の可視化を行った事例を募集し、一般の方の投票と有識者の審査により、優良事例を決定することで、事業場等の安全活動の「見える化」への取組を活性化することを目的としている。令和3年度から9つの分類で「見える化」の取組事例を募集しており、令和4年度も同様の分類で9月30日まで事例の募集を行った。

「見える化」の9つの分類は、以下のとおりである。

- ①転倒災害及び腰痛を防ぐための「見える化」
- ②高年齢労働者の特性等に配慮した労働災害防止の「見える化」
- ③ナッジを活用した「見える化」
- ④外国人労働者、非正規雇用労働者の労働災害を防止するための「見える化」
- ⑤熱中症を予防するための「見える化」
- ⑥メンタルヘルス不調を予防するための「見える化」
- ⑦化学物質による危険有害性の「見える化」
- ⑧通勤、仕事での健康づくりや運動の「見える化」

⑨その他の危険有害性情報の「見える化」

毎年、300件から800件ほどの応募があり、応募作品や優良事例については本コンクールホームページに掲載し、事例の水平展開を行っている。このコンクールは、各事業場において実行可能な効果的な取組を知るきっかけとなり、各事業場等における労働災害防止の取組につながっている。

以下3点、過去の優良事例に選出された取組事例を紹介する(図-5)。



図-5 見える安全活動コンクール

(1) ナッジを活用した「見える化」

ナッジを活用した「見える化」は、令和3年度のコンクールから新たに新設された分類で、「ナッジ」とは、行動科学の知見に基づく工夫や仕組みによって、人々がより望ましい行動を自発的に選択するよう手助けする手法である。

本事例は、段ボールで梱包している缶(充填量18kg)の持ち運びの際、側面を持って運ぶときに手を滑らせて足に落下する可能性があったものを段ボール上部に缶の持ち手が出るように改良し、持ち上げる際に自ずと缶の持ち手部分を使用するように改良した事例である。缶の落下による労働災害の防止に加え、製品の破損等を予防することにも効果的な事例であるといえる(図-6)。

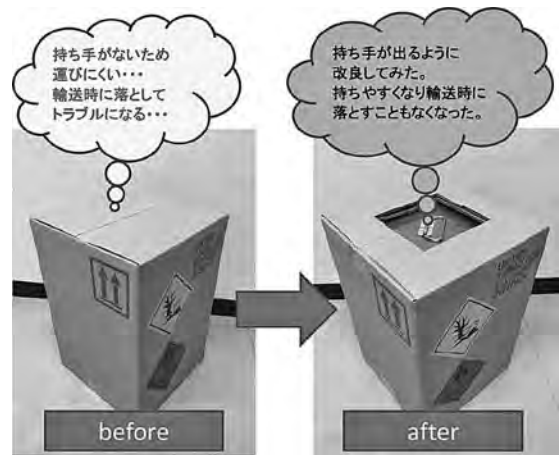


図-6 事例1

(2) 転倒災害及び腰痛を防ぐための「見える化」

昨今、転倒による労働災害件数は増加の一途を辿っており、対策が急務となっている。転倒災害を防止するための「見える化」は、業種を問わず発生する転倒による労働災害を防止するための事例である。

本事例は、段差部分にその高低差が分かるよう表示を行ったもので、高さの表示により、段差の高低差に合致しないスロープの使用がなくなり、段差付近での転倒防止につながっている事例である(図-7)。

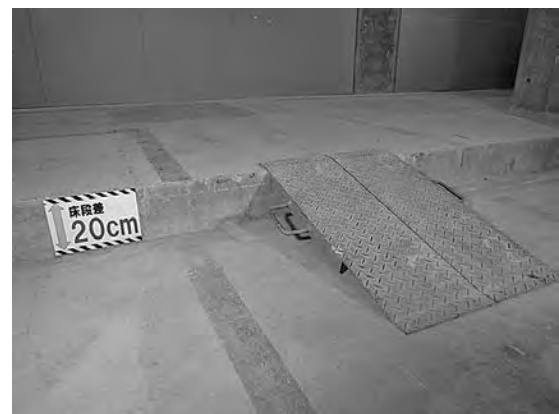


図-7 事例2

(3) その他の危険有害性情報の「見える化」

技術の進歩により、ウェアラブルカメラやドローン、BIM[※]など施工性や品質に寄与する技術が増えていますが、そのような技術を活用することで労働災害防止にも取り組むことが可能である。

本事例は、重機のアームにカメラを設置し、運転席からは見えない箇所をモニターに映し出すことで、重機災害の防止を図っている（図-8）。本事例の他にも、BIMによる工事着工前の安全パトロールなど、技術を活用した事例が多く寄せられている。



図-8 事例3

5. あんぜんプロジェクトの今後の展望 (SAFE コンソーシアム)

労働災害の発生件数が増加に転じる以前の労働災害の傾向としては、墜落・転落やはさまれ・巻き込まれといった、建設業、製造業での災害の割合が大きかった。しかし、今日の労働災害は、冒頭にも述べたとおり、転倒や腰痛といった、労働者の作業行動に起因するものが顕著に増加しており、それらを要因として、労働災害全体の件数が再び増加に転じている。このような状況の中で、職場の安全衛生に係る取組は更なる推進が求められている。

厚生労働省では、「従業員の幸せのための Safer Action for Employees (SAFE) コンソーシアム」を新たに立ち上げ、これまで安全衛生に関わりの少なかった業種を巻き込みながら、労働災害の防止に係る取組のより一層の推進を図る。SAFE コンソーシアムは、企業・労働者への取組の動機付けと行動変容を促し、幅広い関係者による自主的な取組の促進を目的として、労働災害に関する協議や取組事例の共有、事業連携による新たな取組の創出を促すシンポジウムの開催、優良事例の表彰（アワード）等を行っていく（図-9）。

SAFEコンソーシアム

【目的】 Safer Action For Employees (SAFE) を旗印に、

- 労働災害を自分ごととしてとらえ、解決策を考えていく 機運の醸成
- 顧客・利用者だけでなく、従業員の安全第一のための取組を、産業界を巡るステークホルダー全員で推進

【構成】

SAFE推進幹事会

・厚生労働省
・関係省庁
・労使団体

アンバサダー

一般企業・団体メンバー
あんぜんプロジェクトメンバー

SAFE推進アドバイザー

・労働安全衛生の専門家（資格者）団体
・防災防止ソリューション団体

地方協議会構成員メンバー
(小売・介護施設)

【企業における取組】

(例) 腰痛予防体感教育

(例) 転倒防止のための靴のすり減りの見える化

【取組】

- ① 労働災害問題の協議・周知（シンポジウム）
- ② 取組事例の共有、事業連携等による新たな取組の創出
- ③ 優良取組事例の表彰、コンソーシアム内外への発信（SAFEアワード）
- ④ 参画メンバー及びコンソーシアムの認知向上（ロゴマーク、バナー等）

【事業連携等による新たな取組の創出】

(例) フィットネス企業の監修による防災防止にも効果のある企業オリジナル体操の開発

(例) 大学と企業による社員食堂健康メニューの共同開発

図-9 SAFE コンソーシアム

※ BIM=「Building Information Modelling」の略称で、コンピュータ上に作成した3次元の形状情報に加え、室等の名称・面積、材料・部材の仕様・性能、仕上げ等、建築物の属性情報を併せ持つ建物情報モデルを構築すること。

工事種類	労働災害の概要	災害程度	損失額
1 橋梁河川工事	シートパイル引抜中、クリアパイラーが落下	死亡	1億4,323万円
2 下水道施設工事	ヒューム管を移動中、ヒューム管と覆工板の間に両足を挟まれる	休業59日 休業40日	1億3,742万円
3 地下鉄建設工事	鋼管柱の建て込み作業中、型枠支保工と鋼管柱の間に身体を挟まれる	休業73日	3,805万円
4 病院施設増改修工事	脚立上で、カーテンボックスの撤去作業中、誤って脚立から墜落	休業44日	3,502万円
5 駅本屋他建設工事	ダクト上での作業中に墜落	休業311日	4,580万円
6 老人福祉施設新築工事	分電盤に接続作業中に感電	休業60日	3,484万円

平成17年労働損失研究抜粋

労働災害の概要	災害程度	損失額
1 掘削床整地作業中、崩壊してきた土砂を手で止めようとして骨折	休業約80日	7,116万円 元請会社：直接費58万円、間接費2,978万円 下請会社全体：直接費0万円、間接費4,080万円
2 土のう袋を一輪車で運搬中、狭い箇所を通行した際にバランスを崩し、墜落して左右手首骨折	休業約150日	3,521万円 元請会社：直接費128万円、間接費2,979万円 下請会社全体：直接費10万円、間接費404万円
3 作業通路でない基礎梁上を移動中、肩が単管パイプにぶつかりバランスを崩し、耐圧盤上に転倒して頸椎骨折	休業約240日	10,151万円 元請会社：直接費923万円、間接費2,999万円 下請会社全体：直接費2,000万円、間接費4,228万円

直接費は、労災保険料の増加額や示談金。間接費は、被災者の稼働能力喪失等を含む。

平成19年労働損失研究抜粋

図一 11 個別災害の労働災害損失に係る研究例

	災害件数 (件)	総休業見込み日数 (日)
製造業	28,605	2,061,388
建設業	16,079	2,888,549
運輸交通業	17,867	1,529,869
農林業	2,795	452,937
商業	22,408	1,350,387
保健衛生業	29,153	1,080,363
全業種	149,918	11,839,852

令和3年労働者死傷病報告中休業見込み記載欄を積算 (死亡災害は7500日と換算)

図一 10 労働災害による損失

このSAFEコンソーシアムの設立に伴って、あんぜんプロジェクトは新たなフェーズへと進展し、あんぜんプロジェクトメンバーは、これまでも安全衛生の取組を進めてきた先進メンバーとして、SAFEコンソーシアムへ移行することとなる。

今後、厚生労働省は、あんぜんプロジェクトメンバーの協力を得ながら、SAFEコンソーシアムメンバーとともに労働者の安全衛生対策のより一層の推進を図っていく。

6. おわりに

労働者の安全衛生対策の推進は、災害が生じた場合の労働損失等 (図一 10) を考慮すれば、企業の経営

にも大きく影響するといえるほか、企業内の問題に留まらず、取引先や社会からの要請としてその実施が求められるつつある。例えば、休業見込み日数のみを積算したとしても全産業で約1,200万日の休業見込み (試算) となる。これは、年間 (240日) 約5万人の労働が失われたことに相当し、約46億ドル (約4,820億円) の損失に相当する。実際は、これら生産能力の喪失による損失のみならず、訴訟、物損等の補填や企業イメージ低下等による損失も加わると考えられる。このような間接的な損失も含めると1つの災害で、数千万円から1億円程度の損失があるという研究結果もある (図一 11)。

令和5年に新たに策定される第14次労働災害防止計画やあんぜんプロジェクトメンバーも参加するSAFEコンソーシアムなど幅広い施策により、厚生労働省では今後も労働災害の防止、労働者の安全衛生対策の推進を図っていく。

JICMA

【筆者紹介】

野口 史温 (のぐち しおん)
厚生労働省
労働基準局 安全衛生部 安全課
業務第一係



残コン・戻りコンゼロと CO₂ 削減を建設現場で同時に実現する炭酸ガスを利用した残コン処理システム

渡 邊 賢 三・坂 根 英 之・吉 田 祐 麻

建設業の工事現場で様々な理由から発生する残コン・戻りコンは、これまで大半が再利用されることなく処分されてきた。本報告では、大規模現場では一般的に設置されている濁水処理装置に、簡易な振動ふるいなどを追加することで構成した、残コン・戻りコンを処理するシステムについて紹介する。処理内容としては、再利用可能な粗骨材と CO₂ を吸収・固定して中和された処理土、そして pH と濁度を下げ放流可能な水に分離するものである。一連の分離・処理過程において液化炭酸ガスを使用して、残コン・戻りコンのセメント分に CO₂ を吸収・固定させることで、現場から出る残コン・戻りコンの削減と同時に CO₂ の削減を達成した。

キーワード：環境負荷低減、残コン・戻りコン、CO₂、炭酸カルシウム、濁水処理

1. はじめに

地球温暖化を要因とした気候変動により自然災害が激甚化する傾向にあり、その一因とされる CO₂ の排出量を減らすことは、世界的に喫緊の課題となっている。ここで、CO₂ 排出量を建設業との関わりで整理したのが図-1であり、実に日本の全 CO₂ 排出量の約 43% が建設業に関連する¹⁾。その内訳としては、建設重機などから排出される施工時の CO₂ は 1.3%、約 1,100 万 t²⁾ で比較的少ないものの、建物の運用時と建設資材の生産・運搬時に起因するものがその大部分を占めることが分かる。さらに、図-2 に示すように我が国の産業分野が排出している CO₂ 排出量約 3 億 9 千万 t のうち、鉄鋼業が 40%、窯業土石が 8% を占める³⁾。ここで、鉄とセメント・コンクリートを主

に取扱う材料としている建設業において、各種技術によって CO₂ 排出量を削減していくことが極めて重要である。

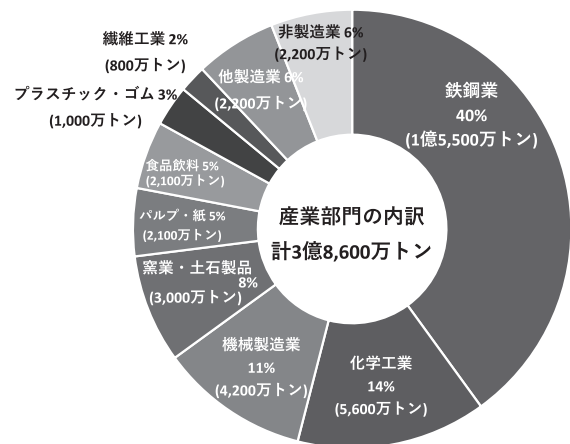


図-2 日本の産業別 CO₂ 排出量 (文献³⁾ に基づき作成)

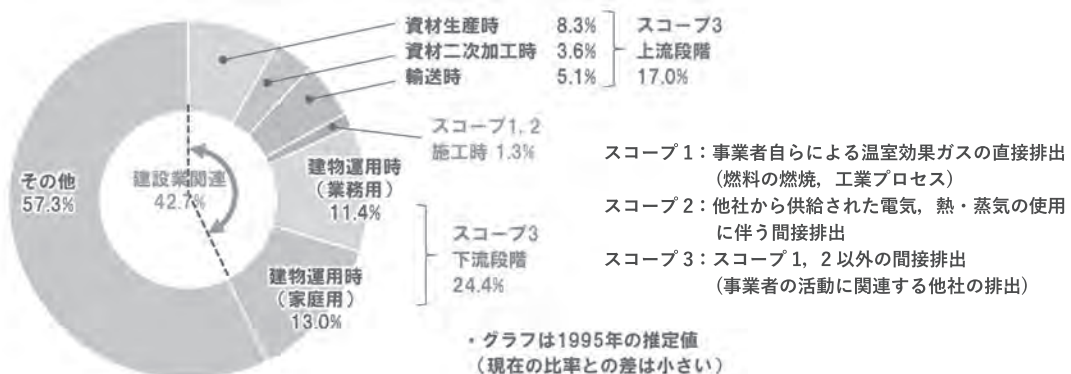


図-1 建設業に関連する CO₂ 排出割合 (文献¹⁾ に基づき作成)

そこで、鉄鋼業においては、従来のコークスを用いて鉄を還元する手法からの変革が研究されており、水素を活用して還元しつつ、排出したCO₂を分離回収する技術が開発され、実証実験レベルにまで至っている⁴⁾。また、セメント産業においては、エネルギー、原料、CO₂固定・再利用など環境負荷低減に関する複合的な取り組みが伝統的になされてきている⁵⁾。コンクリート業界についてもCO₂削減の技術開発は加速しており、CO₂をコンクリートが吸収・固定して、大気中からのCO₂の削減を実現する技術が開発され、実用化されている⁶⁾。

上述のとおり、コンクリートに関連するCO₂排出量が多いことから、建設に関係する各業界によって各種削減の技術開発が本格化してきているものの、建設現場において、そのコンクリートが使用されることなく常習的に廃棄されている。このようなコンクリートは、残コン・戻りコンと称され、その量は年間で150～200万m³と算定されている⁷⁾。一般的なコンクリートのCO₂排出量を約0.25t/m³とすると、実に50万tものCO₂を無駄に排出してしまっている計算となる。この理由として、受入れ検査に不合格になってアジテータ車から荷卸しされることなく返却されたり、打込み完了時にコンクリートポンプ車や圧送配管内に残ったコンクリートが、型枠の中に打ち込まれることなく、廃棄物として処理されたりしている。そこで、残コン戻りコンの現状を調査し、削減する技術や方策について多くの検討がなされている。例えば、これまでは、打込みの終盤に打設当番がコンベックスと目視にて、コンクリートの必要量を測っていたのに対し、携帯端末のカメラとAR技術で正確なコンクリート量を計算することが可能となっている⁸⁾。また、戻りコンから骨材などを取り除いた後、スラッジ水を脱水したスラッジケーキを含水率が1～2%程度となるまで破碎乾燥処理して製造する再生セメントが実用化されている⁹⁾。あるいは、全国で同じ形状の型枠に、残コンを用いて統一規格のブロックを製造する仕組みを構築することで、残コンを有効利用し、ブロック積みの擁壁やトンパクの代用など多様な用途に使用する取組が始まっている¹⁰⁾。さらに、セメント、コンクリートに関係する産官学が集い、地球環境に配慮した活動を行っていくことを目的とした団体が立ち上がり、残コン・戻りコンに関する各種情報提供などが行われている¹¹⁾。このような背景のなか、本報告では、残コン・戻りコンを現場で処理しつつCO₂を固定した材料循環メカニズムの確立の第一歩として、大規模現場では一般的に設置されている濁水処理装置に、簡易な振動

ふるいなどを追加することで構成した、残コン・戻りコンを処理するシステム¹²⁾について紹介する。

2. 残コン・戻りコン

(1) 残コン・戻りコンとは？

残コンとは⁷⁾、受入れ検査で合格となり、アジテータ車に積み込まれている一部が工場に戻ったもの、アジテータ車に積み込まれている全量が使用されずに工場に戻ったもの、および打設終了後ポンプ車のホッパや輸送管などに残ったものと説明される。また、戻りコンとは⁷⁾、受入れ検査で不合格となり生コン工場に戻ったものと定義され、残コン・戻りコンは現場で使用しなかったコンクリートの総称である。

(2) 残コン・戻りコンが発生する理由

残コン・戻りコンがなくなる理由として、現状の建設現場では残ったコンクリートを処理することができないことがある。また、コンクリート打設の終盤になり、コンクリートが打ち込まれていない体積を正確に測ることが難しく、多めに発注してしまうことが多い。

さらに、そもそも建設現場でコンクリートが残ってしまう理由の一つとして、施工者が型枠内の寸法を正確に測ってコンクリートの容積を算出したとしても誤差が生じることがある。例えば、コンクリートの空気量の基準値は4.5%±1.5%であり、最大3%の誤差が生じることになる。また、幅15m×長さ20mの構造物の高さが1mm低くなると約0.3m³のコンクリートが余ることになる。さらに、注文するコンクリート量のミスや、施工中のトラブルなどが原因で残コンが発生する場合もある。

これらに加えて、品質確保の観点で、打設の最後にコンクリートが不足することを避けるため、施工者があえて余裕を持たせてコンクリートを注文することがある。打込みの最後になってコンクリートが不足すると、コールドジョイントのような重要な問題が生じることになりかねない。そのため、施工者はコンクリートを多めに注文する傾向がある。たとえ、アジテータ車1台分(4.5m³)の生コンクリートを余らせて、かつ戻りコンの補償をしたとしても、施工したコンクリート構造物を造り直すよりも遥かに安くなるケースが多いのである。

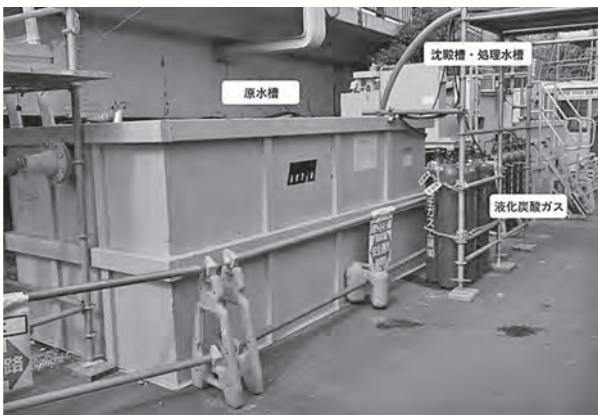
3. 建設現場で残コン・戻りコンを処理する方法

(1) 残コン・戻りコン処理システムの概要

建設現場においてコンクリートを余らせたとしても、これを建設現場内で処理することができれば、残コン・戻りコンは発生しないことになる。残コン・戻りコンを建設現場内で処理するため、比較的大規模な建設現場では一般的に行われている濁水処理の装置を活用する方法が考えられる。建設現場では、写真一1および図一3に示す濁水処理装置を用いて、泥水やコンクリートの洗い水などの濁水を炭酸ガスで中和し、凝集剤で濁度を下げたうえで、その処理水を排出

している。この濁水処理装置を応用して、残コンを建設現場で処理する方法を考案した。その全体システムを図一4に示す。

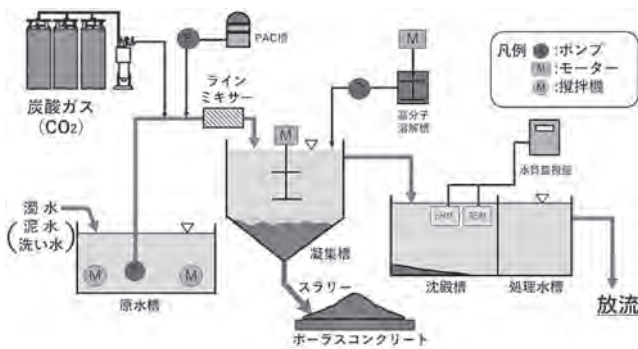
まず、アジテータ車に残ったコンクリートに必要な応じて超遅延剤を添加し、適量の水を加えて高速攪拌する。その後、アジテータ車から流動性の高いコンクリートを振動ふるいに入力する。コンクリートは散水装置が付いた振動ふるいの上を通過して、ふるい前面に、写真一2に示すように分離して洗われた粗骨材が排出される。建設現場においてアジテータ車に残ったコンクリートを振動ふるいに入れている状況を写真一



写真一1 濁水処理装置の全景



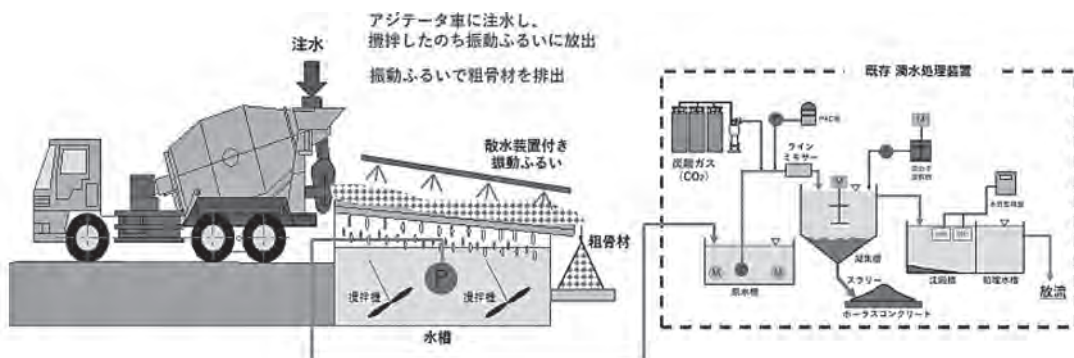
写真一2 散水装置付き振動ふるいの稼働状況



図一3 濁水処理装置の処理フロー



写真一3 アジテータ車からコンクリートを散水装置付き振動ふるいに入れている状況



図一4 建設現場での残コン処理システムの全体フロー

3に示す。写真に示すとおり、ふるい分けされた粗骨材は、洗浄された状態で前面のピットに排出される。

モルタル分は振動ふるいの下にセットした水槽に落ちる。水槽内に落ちたモルタル分は、水槽内に取り付けた攪拌装置で攪拌し、懸濁水状になったものを既存の濁水処理装置に送り込み、炭酸ガスで中和する。それにより高アルカリ成分が炭酸化するため、生成される炭酸カルシウムや骨材は一般残土として処理が可能となる。濁水処理装置内で、生成されたCO₂を吸収・固定した処理土を写真-4に示す。この処理土は炭酸カルシウムと細骨材の混合物であり、将来的に法規制を変えることができれば、この処理土を現場内で使うことも可能となる。処理された水は、pHと濁度が規準値以内であることを確認して河川などに放流する。放流水のpHの確認状況を写真-5に示す。



写真-4 炭酸カルシウムと細骨材の混合物



写真-5 pH測定状況

(2) 実験結果と課題および今後の方針

今回の実験において処理後の処理土を分析した結果、コンクリート1m³当たり約10kgのCO₂を固定化できていることを確認した。また、処理工程中のpHの経時変化を図-5に示す。図には、ふるい直下

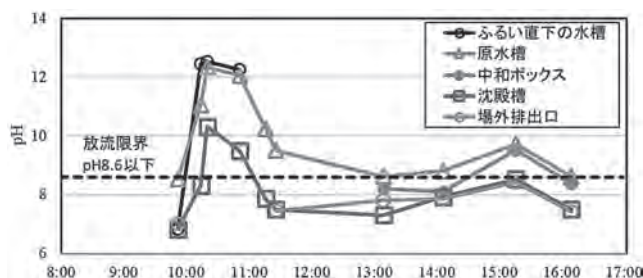


図-5 各場所でのpHの経時変化

の水槽、原水槽、中和ボックス、沈殿槽、場外排出口の各場所での結果を示す。図示するように、最終ノッチでのpHが処理開始から8時間後に規準値であるpH8.6以下になった。

今回の実験は、処理能力10t/hの濁水処理施設を用いて、コンクリート1m³当たり2m³の水を加水して処理を実施した。その結果、粗骨材のふるい分け、洗浄はコンクリートの投入と同時に比較的短時間で完了した。一方で、pHの低下を含む水処理には8時間を要することが分かった。

一方、この工程によって残コン・戻りコンにCO₂を吸収・固定することを実証できたため、今後、その値を定量的に評価することで、現場におけるCO₂の削減を見える化して貢献することも可能である。将来的には、濁水処理装置で使用する炭酸ガスに建設現場で排出される重機などの排ガスを用いることができれば、建設現場から排出されるCO₂も削減できるようになる。

4. おわりに

濁水処理装置に、簡易な振動ふるいなどを追加することで構成した、残コン・戻りコンを現場で処理するシステムについて紹介した。処理過程において液化炭酸ガスを使用して、残コン・戻りコンのセメント分にCO₂を吸収・固定させることで、現場から出る残コン・戻りコンの削減と同時にCO₂の削減を達成した。今後は、各種現場に適用し、建設現場からのCO₂排出量の削減と資源の有効利用による環境負荷低減に貢献していく所存である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 漆崎昇, 水野稔, 下田吉之, 酒井寛二: 産業連関表を利用した建築業の環境負荷推定, 日本建築学会計画系論文集, No.549, pp75-82, 2001.
- 2) 国土交通省: 建設施工分野における地球温暖化対策の推進, shiryout2.pdf (mlit.go.jp) 202208 確認
- 3) 経済産業省: 温室効果ガス排出の現状等, 003_03_00.pdf (meti.go.jp) 2022.08 確認

- 4) 例えば, 宇治澤優: 水素時代の鉄づくり, ゼロカーボン・スチールへの挑戦, 季刊新日鉄住金, Vol.25, pp.22-25, 2019 pdf用.indd (nipponsteel.com)
- 5) 例えば, 細谷俊夫: セメント産業におけるCO₂排出削減の取組み, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.51-53, 2010.
- 6) 例えば, 取達剛ら: コンクリート構造物への強制炭酸化技術の適用によるCO₂排出削減, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.39-42, 2010.
- 7) 日本コンクリート工学会, 残コン・戻りコンの発生抑制及び有効利用に関する技術検討委員会報告書, 2012
- 8) 大林組: コンクリートの残りの必要数量計算アプリ「ピタコン™」を開発しました | ニュース | 大林組 (obayashi.co.jp) 2022.8 確認
- 9) 大川憲, 青木真一, 関田徹志, 笠井哲郎: 戻りコンクリートから製造した低炭素スラッジ再生セメント, コンクリート工学, Vol.59, No.9, pp.801-806, 2021.9
- 10) 残コンブロック, 残コン, コンクリートブロック | 残コンブロック利用促進協議会 (zancon.jp)
- 11) 生コン・残コンソリューション技術研究会 RRCS_Association_生コン・残コン (rrcs-association.or.jp) 2022.07 確認
- 12) 野口貴文, 坂田昇: CO₂を削減しつつ, 残コン・戻りコンをゼロにする新たな方策, セメント・コンクリート, Vol.41, No.5, pp.10-16, 2022

[筆者紹介]

渡邊 賢三 (わたなべ けんぞう)
鹿島建設㈱
技術研究所 土木材料グループ
グループ長



坂根 英之 (さかね ひでゆき)
鹿島建設㈱ 機械部
機械技術イノベーショングループ
担当部長



吉田 祐麻 (よしだ ゆうま)
鹿島建設㈱
技術研究所 土木材料グループ
研究員



脱炭素に寄与するエネルギー生産型の下水処理技術

下水からメタンが生成可能な新しい下水処理システム

渡 邊 亮 哉

国内の多くの下水処理場で導入されている活性汚泥法は、曝気等の処理に係る電力量や処理に伴い発生する余剰汚泥量が多いことから、温室効果ガスの排出が多い処理方式である。一方で、カーボンニュートラル社会の実現に向けて、下水道事業の脱炭素化を加速させる必要があることから、脱炭素に寄与する技術が求められている。

そこでこれらの下水処理の課題を解決でき、またエネルギーであるメタンを生成することが可能な、メタン発酵技術と膜分離技術を組み合わせた嫌気性 MBR による下水処理への適用が期待される。本研究では、嫌気 MBR の特徴とラボスケールでの検討について報告する。

キーワード：下水処理, 嫌気 MBR, メタン発酵, 膜分離

1. はじめに

世界的な地球温暖化の進行に伴い、各国がカーボンニュートラル社会の形成を目指し、様々取り組みが進められるようになった。日本においては政府が「カーボンニュートラル 2050」を宣言し、下水道分野においてもカーボンニュートラル実現に向けた取り組みが求められることになった。下水道分野においては脱炭素・循環型社会構築に向けた産業構造の転換拠点となる「グリーンイノベーション下水道」を目指す取り組みを開始した¹⁾。グリーンイノベーション下水道を実現するための方針として、①下水道が有するポテンシャルの最大活用、②温室効果ガスの積極的な排出削減、③地域内外・他分野連携の拡大・徹底の3つが挙げられる。水・資源・エネルギーが集約される下水道は、脱炭素社会に貢献できうる高いポテンシャルを持っているが、下水汚泥のバイオマスリサイクル率が34%（エネルギー化率24%、緑農地利用10%）と活用は一部に留まっている²⁾。

下水道分野で消費される電力量は年間70億kWhといわれており、これは国内で消費される総電力量の約1%を占めている³⁾。また、下水道分野で排出される温室効果ガス（GHG）はCO₂換算で年間約600万t-CO₂である⁴⁾。その内の約55%が処理場内で使用される電力由来となっており、それに次いで汚泥焼却時に発生する亜酸化窒素（N₂O）由来が約20%を占めている。以上より、下水道分野の脱炭素化を目指すに

は、徹底した省エネ対策や下水汚泥の有効活用等が求められる。そこで本稿では、これらの課題を解決することに加え、創エネルギーの効果が期待できる新たな下水処理システムについて紹介する。

2. 従来の下水処理技術について

国内の多くの下水処理場で導入されている好気処理は、酸素が十分にある条件において好気性微生物の代謝作用により下水に含まれる有機物を分解するプロセスである。取り込んだ有機物は微生物の増殖に使われるため、好気性微生物の増殖速度は速い。また好気性微生物は互いが絡み合うことでフロックと呼ばれる塊を形成する特徴を持っており、処理した水との分離が容易に行える。

好気処理の代表的な技術である標準活性汚泥法のフローを図-1に示す。流入してきた下水は、最初沈殿池にて固液分離され、分離した上澄み水は好気微生物がいる反応タンクに流れていく。最初沈殿池で固液分離する理由は、フロックの沈降性を維持するためである。反応タンクには大量の酸素が送り込まれ、有機

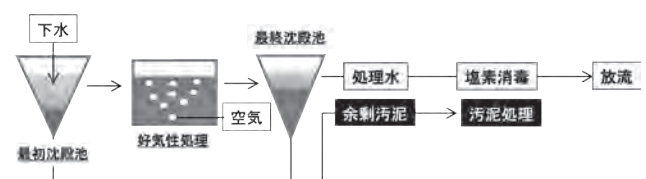


図-1 標準活性汚泥法のフロー

物等が分解・除去される。処理した水はフロックと共に最終沈殿池に流れ、処理水とフロックに固液分離される。固液分離された水は、病原微生物を殺菌するための塩素消毒を行った後に、河川等に放流される。また、最初沈殿池及び最終沈殿池で沈降したフロック等の沈殿物は汚泥として処分される。好気処理のメリットは、水質や水温等の外部環境の変化に強く、安定した処理水質が得られることや下水等の有機物濃度が低い排水処理に適用出来ることが挙げられる。一方でデメリットとしては、大量の酸素を供給するためのエネルギーがかかることや好気性微生物の増殖速度が速いことから発生する汚泥量が多くなり、処分に多大なコストがかかること、それらから排出される温室効果ガスが多いことが挙げられる。

3. 開発技術の概要及び特徴

排水処理には好気処理の他にメタン発酵(嫌気処理)と呼ばれる処理プロセスが存在する。メタン発酵は酸素がない条件下において嫌気性微生物と呼ばれる微生物群により排水中の有機物を分解し、メタンを生成するプロセスである。取り込んだ有機物は微生物の代謝によりメタンに変換されるため、好気性微生物と比較して増殖速度が遅いのが特徴である。メタン発酵のメリットは、酸素供給が不要のため消費エネルギーが少ないこと、発生する汚泥量が少ないため処分コストが小さい等が挙げられる。一方で、デメリットに関しては、水質や水温の変動による影響を受けやすく処理が不安定になりやすいこと、有機物濃度が低い排水処理に不適であること、フロックを形成しないため固液分離が難しく、その結果処理水質が悪いことが挙げられる。これらのデメリットを克服するには、反応槽内に嫌気性微生物を高濃度に保持することが重要となる。そこで、メタン発酵と物理的に固液分離が可能な膜分離技術を組み合わせた嫌気 MBR (Membrane Bio Reactor) が注目されるようになった。嫌気 MBR による下水処理のフローを図-2に示す。嫌気 MBR は、最初沈殿池が不要であり下水を直接反応タンクに流入することが可能である。流入した下水に含まれる有機

物は反応タンク内の嫌気性微生物により処理されると同時にメタンに変換される。処理した水は分離膜によりろ過されるため、最終沈殿池を経由しないで河川等に放流される。また、分離膜の作用により処理水から病原微生物の除去も可能であることから塩素消毒も不要となり、環境負荷の低減にも寄与する。また、発生したメタンに関しては専用のガスエンジンにより電気と熱に変換することが可能である。

ここで従来技術の好気処理(標準活性汚泥法)に対する嫌気 MBR システムの優位性を評価するために、10,000 m³/日の下水(人口規模:およそ4万人)に対して①消費エネルギー、②余剰汚泥量、③創エネルギー量及び④GHG 排出量に関するフィージビリティスタディを実施した。活性汚泥法の消費エネルギー及び余剰汚泥量は平成29年度下水道統計資料から10,000 m³/日前後の下水を処理している下水処理場の数値を引用して算出を行った。嫌気 MBR システムは、Kong らの論文⁵⁾を引用して試算を行った。GHG 排出量の算出には、下水道における地球温暖化対策マニュアル⁶⁾及び下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン⁷⁾を引用した。また、メタンの発熱量を55 MJ/kg、熱量からの電力換算値を0.278 kWh/MJ、発電効率を40%に設定して算出を行った。嫌気 MBR システムの数値は、活性汚泥法の消費エネルギー量、余剰汚泥量、GHG 排出をそれぞれ100とした場合の相対値を示す。その結果、嫌気 MBR システムの消費エネルギー及び余剰汚泥量は、活性汚泥法と比較して、各々30%、70%削減可能であることが示された(表-1)。また、回収したメタンガスをガスエンジンで発電した際に得られる創エネルギー量は、消費エネルギーを上回る結果となった。以上のエネルギー収支からGHG 排出量についても試算したところ、嫌気 MBR システムのGHG 排出量は、活性汚泥法と比較して86%もの削減が期待できる試算となった。以上の結果から、メタン製造システムは従来の活性汚泥法よりも消費エネルギー量、廃棄物量及びGHG 排出量において高い優位性を示すことが示唆された。

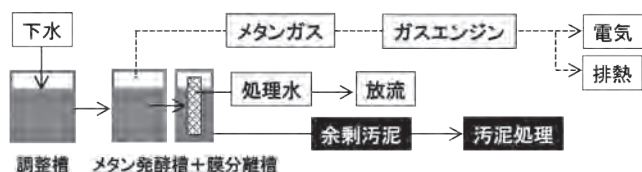


図-2 嫌気 MBR による下水処理のフロー

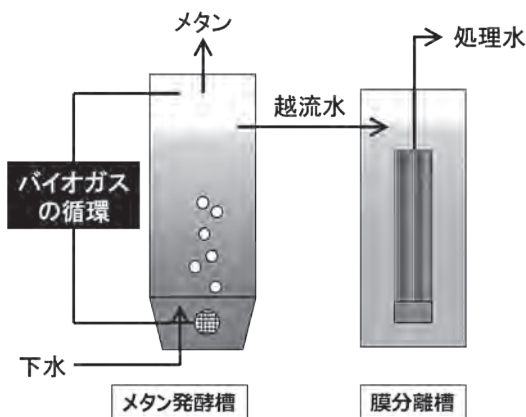
表-1 ケーススタディ試算結果 (10,000 m³/日処理)

設定条件 下水量:10,000m ³ /day		標準活性汚泥法	嫌気MBR法
消費エネルギー量		100	70(30%減)
余剰汚泥量		100	30(70%減)
創エネルギー量		0	71(消費エネルギーと同等)
GHG排出量	水処理	54	30
	汚泥焼却	46	14
	創エネルギー	0	-30
	合計	100	14(86%減)

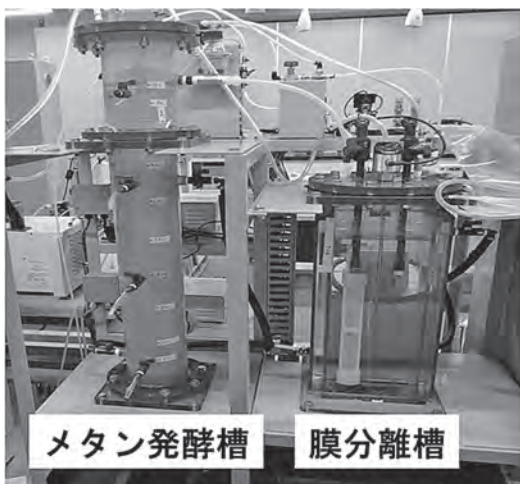
4. ラボ試験での検討

開発中の嫌気 MBR システムの概略を 図—3 に示す。開発システムはメタン発酵槽と膜分離槽の 2 槽式を採用している。メタン発酵槽の下部より供給された下水は、メタン発酵槽内で嫌気汚泥と混合される。この時、メタン発酵槽上部に溜まったバイオガスの一部をメタン発酵槽へ間欠的に循環することで下水と嫌気汚泥との接触効率を上げ、メタン発酵の立上げ期間の短縮とメタン生成速度を向上させることが期待できる。一方、膜分離槽ではメタン発酵槽からの越流水を分離膜にて汚泥と処理水に分離する。分離膜槽の汚泥濃度は、メタン発酵槽よりも低濃度に維持できるため、分離膜の目詰まり抑制も期待できる。そこで、バイオガス循環による効果を検証するために模擬下水によるラボ試験を実施した。

写真—1 に示すラボスケールの嫌気 MBR 装置（嫌気処理槽：有効容積 10 L、膜分離槽：有効容積 15 L）を示す。試験は、ガス循環を行わない系（Run1：循環無し）とガス循環を実施した系（Run2：循環有り）

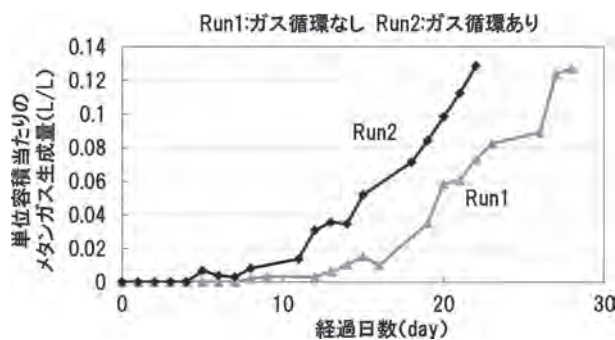


図—3 嫌気 MBR システムの概略

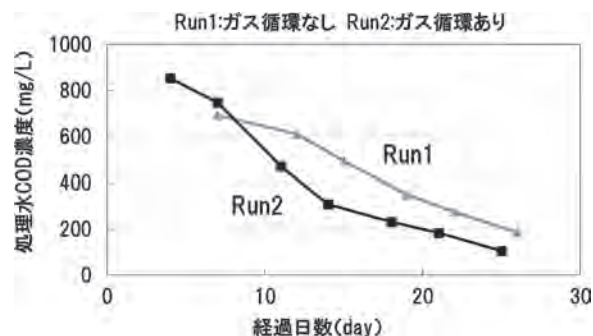


写真—1 ラボスケールの嫌気 MBR 装置

を行った。種汚泥は下水処理場の余剰汚泥を用いた。汚泥を投入後、30℃に維持しながら、一定期間静置させた。この間、メタン発酵槽上部のガスホルダーから随時ガスを採取し、ガス組成を TCD ガスクロマトグラフで分析した。採取したガス中にメタンが検出された段階で、模擬下水 (COD_C: 化学的酸素要求量、濃度: 500~600 mg/L、以下 COD と表記) をメタン発酵槽の下部から送液した。膜分離槽には、中空糸膜(住友電気工業製、膜表面積: 0.1 m²、膜孔径: 0.1 μm)を設置して膜ろ過を行った。水理的滞留時間は 24 時間に設定した。メタン発酵槽のバイオガス循環を行う試験では、図—3 に示すフローのようにメタン発酵槽上部のガスホルダーから処理槽下部に設置した散気管へ 1 時間当たり 5 秒間の間隔で 2 L/min のガス循環を行った。図—4 に各条件の単位容積当たりのメタンガス生成量の経時変化を示す。ガス循環を行った試験 (Run2) は、ガス循環無し (Run1) と比較して、メタンが生成する時期が早いことが明らかとなった。また、処理水の水質については、試験開始初期において、Run2 の方が COD 濃度が高い傾向であったが、時間の経過とともに処理水の COD 濃度は低下し、運転開始 5 日目以降では、Run1 よりも COD 濃度が低い値を示した (図—5)。この結果から、バイオガスの循環によりメタン発酵の立上げ期間を短縮できることが示唆された。



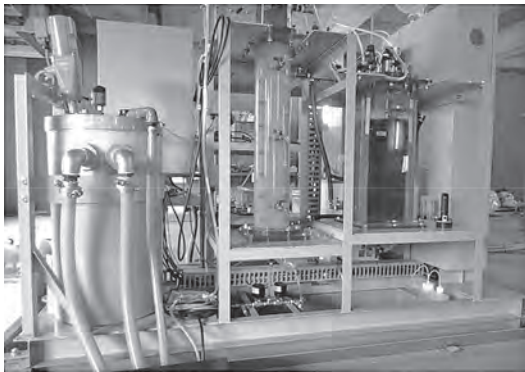
図—4 単位容積当たりのメタンガス生成量の経時変化



図—5 処理水 COD 濃度の経時変化

5. 実用化への展望・課題

現在、当社はNEDOの委託事業（プロジェクト名：生物メタネーションとバイオ燃料製造を可能とする新排水処理プロセスの開発）において、本技術の開発を進めている。このプロジェクトにおいて、実下水に対する本技術の適用性を評価するために、写真－2に示すラボ試験機（反応槽10L）を用いて実証試験（神奈川県三浦市東部浄化センター）を実施中である。本技術の課題として、水温による影響が挙げられる。前述したように嫌気性微生物は温度の影響を受けやすいことから、水温が低下する冬期に処理水の悪化が懸念される。そのため、本実証試験において、段階的に水温を下げていき水温による影響について評価する予定



写真－2 ラボ試験機による実下水を用いた実証試験

である。

今後、当社は水処理メーカー、大学、自治体らと連携し、本技術をエネルギー生産型の下水処理技術として確立させ、カーボンニュートラル社会の実現に向けて貢献したいと考えている。

JICMA

《参考文献》

- 1) 第5回脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会、脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書概要案、国土交通省、<http://www1.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/content/001466681.pdf>.
- 2) 下水汚泥中のバイオマス利用、国土交通省、https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/crd_sewage_tk_000124.html.
- 3) 下水道における資源・エネルギー施策の現状分析、国土交通省、<https://www.mlit.go.jp/common/001022698.pdf>.
- 4) 脱炭素に関する動向について、国土交通省、<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/content/001444668.pdf>.
- 5) A
- 6) 下水道における地球温暖化対策マニュアル～下水道部門における温室効果ガス排出抑制等指針の解説～、環境省・国土交通省、2016.
- 7) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン－平成29年度版－、国土交通省、2018.

【筆者紹介】

渡邊 亮哉（わたなべ りょうや）
大成建設㈱
技術センター 都市基盤技術研究部 環境研究室
課長代理



嫌気排水処理における 新しいエネルギー回収技術の紹介

清川 達 則

排水処理は古くから活用されている社会基盤技術であり、代表的な生物処理は100年以上の歴史を持つ。嫌気処理は省エネルギー性に優れた排水処理技術であるが、近年の環境意識の高まりに伴い、ますます高い性能が求められている。排水浄化後の嫌気処理水中には臭気物質が含まれ、酸化処理としてエネルギー消費が必要であった。そこで、臭気物質の酸化に燃料電池システムを用いることで脱臭と発電を両立し、エネルギー回収が可能な新技術開発を行った。本報では本技術の原理実証と低コスト化に向けた試みについて報告する。

キーワード：嫌気排水処理，微生物，電力回収，燃料電池，硫化水素

1. 背景

(1) 排水処理装置からの温室効果ガス排出

下水処理では国内で排出される温室効果ガスの0.5%にあたる627万t-CO₂（平成24年度）もの温室効果ガスが排出されている。そのうち6割は下水処理場で消費される電力に由来しており、特に水質浄化に必要な曝気動力の割合が大きい。排水処理で用いられる微生物処理では、排水中の有機物が微生物により低分子化され、浄化される。最も普及している微生物の活用法は活性汚泥法であり、微生物に空気中の酸素を供給することで、高い有機物の分解活性を得ている¹⁾。微生物は有機物分解に伴って水中の酸素を消費し続けることから、微生物の活性を維持するには排水中に空気を常に吹き込み続けなければならない。このことから、活性汚泥法では大量の曝気動力が必要となる。

また、残りの4割は排水処理の過程においてガスとして大気中に排出されている。排水中に含まれる有機物が二酸化炭素に変換されていることに加え、一酸化二窒素の排出も問題視されている。排水中に含まれる窒素源から微生物反応により一酸化二窒素が生成され、大気中へ放出される経路と有機物を消費した微生物が増殖して発生する余剰汚泥を焼却することで一酸化二窒素が発生する経路が存在する²⁾。一酸化二窒素は二酸化炭素の200倍以上もの赤外線吸収効果があるといわれ、さらには大気中の存在量も年々増加していることから、注目すべき温室効果ガスとして認識されている。

生産設備を持つ企業においても温室効果ガスの排出管理はますます重要な課題になるが、非生産設備である排水処理で多量の温室効果ガスが発生している状況に対して改善が望まれている。

(2) 排水処理の省エネルギー化に向けた取り組み

嫌気処理は微生物の嫌気反応を利用した排水の浄化方法である。嫌気反応とは酸素が断たれた条件下における反応方法であり、前処理において有機物が有機酸などの低分子化合物に分解された後、嫌気処理において酸素を嫌うメタン生成微生物の働きによりバイオガスが排水中から生成・分離される（図-1）。本手法は好気処理のように空気の曝気を必要としないことから非常に省エネルギー性の高い処理技術といえる³⁾。さらには、有機物分解で発生するバイオガスを用いて発電することも可能である。しかしながら、嫌気処理は好気処理と異なり、生物処理後の処理水中に窒素源に由来するアンモニアや硫黄源に由来する硫化水素が

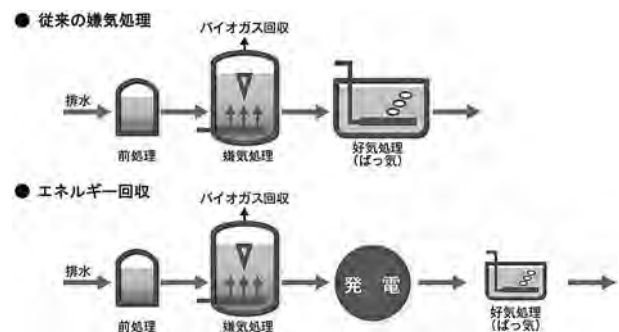


図-1 新しい処理フロー

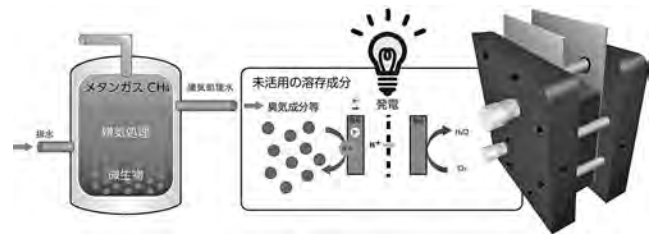
含まれ臭気が発生する。このことから、嫌気処理後の処理水は曝気などによる酸化処理の後に河川や下水に放流されている。つまり、嫌気処理後の処理水に対してエネルギーを投入して追加処理を行っている。排水処理のさらなる省エネルギー化に向けて嫌気処理水からのエネルギー回収技術の開発を行ってきた。本稿では、新技術の原理実証と開発への取組みについて紹介する。

(3) 処理水からのエネルギー回収

微生物燃料電池は微生物の代謝を利用して電力を回収する技術であり、排水処理に応用することで水質浄化と発電が両立できる技術として期待されている⁴⁾。有機物分解によって生じた電子を体外に直接放出できる特殊な微生物を電極表面に付着させ、その電極と外部回路で接続された対極で酸化反応を進めることで回路に電流が生じる。排水処理ではこの微生物が付着した電極を排水と接触させることで、排水中の有機物を分解すると同時に発電することができる。

特徴としては曝気動力を必要としない嫌気的な反応条件においても、電極を介して酸素を利用することで通常の好気処理に近い反応を進めることが挙げられる。さらに、発電にエネルギーを消費しているため微生物の増殖が少ない。これにより、微生物燃料電池を用いた排水処理は好気処理よりも投入するエネルギーが少なく、通常なら産業廃棄物として処理が必要な余剰汚泥（増殖した微生物）の発生も少ない技術として期待されている。しかしながら、浄化後の水質基準を満たすには、微生物が付着した大量の電極とその対極が必要になるというコスト面の問題に加え、対極を設置する方法や水圧への耐久性といった装置構造上の問題もあり、現状では実用化された例は限られている。

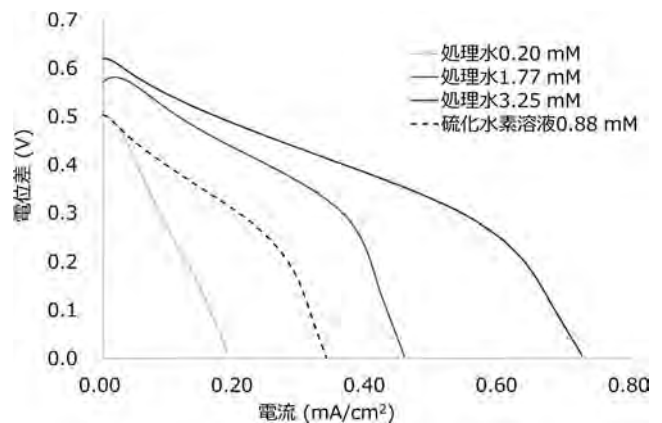
微生物燃料電池は、先に述べた特殊な微生物を介さずに微生物が生成した分子（代謝物）を介して電極へ電子を移動させることでも発電は可能である。たとえば、微生物反応で生じた硫化水素が発電に関わることについて言及されている⁵⁾。もし、嫌気処理水中に含まれている硫化水素を燃料に用いた発電が可能なら、今までエネルギーを消費して廃棄していた処理水に対して、新たなエネルギー資源としての付加価値を創出できる可能性があるといえる（図—1, 2）。そこで、嫌気処理水中に含まれる代謝物を用いた発電技術について原理実証を行った。



図—2 嫌気処理水を用いた発電技術

2. 実証試験

アノード及びカソードにカーボンペーパーを用いた微生物燃料電池セルを用意し、アノードセルには嫌気処理水を供した。通常の微生物燃料電池の電極であれば排水及び汚泥と長期間接触させて微生物の付着を促す必要があるが、ここでは新しいカーボンペーパーをそのままアノードとして使用した。嫌気処理水には人工排水をグラニューール（粒状の嫌気反応微生物）で処理した後の排水を用いた。このとき、嫌気処理水中の硫化水素が反応に関与することが予想されたので、人工排水の組成を調整し、異なる硫化水素濃度の処理水を作成した。カソードセルには酸化剤としてフェリシアン化カリウム溶液を供し、アノードとカソードはイオン交換膜で隔てた。ポテンショスタットを用いて電流電圧特性を調べたところ、嫌気処理水により電流が生じることが確認された（図—3）。このことから、特殊な微生物が付着した電極を用いなくても、嫌気処理水からの電気エネルギー回収が可能であることが明らかとなった。また、異なる硫化水素濃度の処理水を用いた試験では硫化水素濃度に応じて最大出力が向上した（図—4）ことから、嫌気処理水中の反応成分が硫化水素であることが示唆された。硫化水素が電極表面で反応しているのであれば、通電後の電極表面には反応産物として硫黄の蓄積が確認できるはずである。そこで通電後の電極を取り出してEDX（Energy



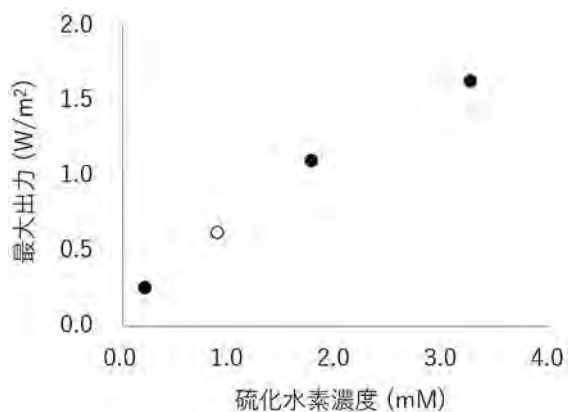
図—3 嫌気処理水および硫化水素溶液を用いたI-V値の測定

dispersive X-ray spectrometry) 分析した結果, 通電前後で硫黄元素の割合が増加した(表一1)。処理水中の硫化水素由来の硫黄が電極に蓄積しているのであれば, 処理水中の硫化水素濃度が減少していると推察されるので, 試験前後の硫化水素濃度を測定した。その結果, 通電後には硫化水素濃度の減少が確認された(表一2)。これにより嫌気処理水中の硫化水素が電極と反応して減少し, 反応産物が電極表面に付着したことが明らかとなった。

人工排水中には硫化水素の他にもアンモニアなど様々な溶存成分が含まれる。そこで, 通電前後の処理水中のアンモニウムイオン濃度を測定したところ, 濃度の減少は確認されなかった。さらに他の溶存成分の影響を除外すべく, 硫化水素を人工排水と同様の緩衝液に溶かした硫化水素溶液を用いて電流電圧特性の測定を行った。その結果, 硫化水素溶液からも電流が生じることが確認された(図一3, 4)。これにより, 嫌気処理水中で燃料として反応する主成分は硫化水素であることが示された。

3. 出力制御方法の検討

排水の性状にもよるが, 嫌気処理水中の硫化水素濃度は短期的にも長期的にも変動することが想定され



図一4 嫌気処理水(黒)および硫化水素溶液(白)を用いた際の最大出力

表一1 EDXを用いた電極表面分析

電極	硫黄 (%)
通電前	0.35
通電後	4.17

表一2 通電による硫化水素濃度の変化

処理水	硫化水素濃度 (mM)
通電前	3.25
通電後	0.29

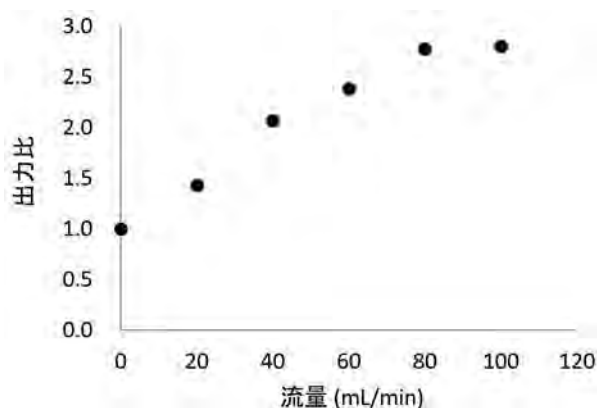
る。嫌気処理水からの発電技術の実用化に向けて, 硫化水素濃度が変動する条件下でも出力を安定化させる工夫が必要である。レドックスフローバッテリーはタンクに貯蔵した酸化還元物質(金属イオンなど)を含む電解液をセルを介して循環させる蓄電技術である⁶⁾。反応効率を高めることを目的としてセル内にバッフル板などを設置し, 電解液を強制的に対流させて電極表面における物質移動を促進している。通常の微生物燃料電池においても電極に供給する流量の増加などにより, 微生物の栄養源と生産物の交換が促進され, 出力が向上する。その一方で, 流量の変動などの強い剪断力により電極表面に付着した微生物が剥がれてしまう可能性があり, 電極に供給する流量の変動が装置の不安定な動作につながるというリスクが生じる。

レドックスフローバッテリーで用いられるセルに対して硫化水素溶液を供給し, 最大出力を調べた。その結果, セルに供給する流量の増加に従って最大出力が向上し, 流れのない状況から2.8倍の出力増加で頭打ちとなった(図一5)。当初の期待通り, 流量の増加に伴って物質移動が促進されたと考えられる。

嫌気処理水から発電を行う本技術は, 微生物による有機物分解と発電装置を分離したことで微生物付着電極が不要である。このことから, 電極に対する流量を変動しても装置への影響が少なく, 流入排水の性状に合わせて嫌気処理槽から供給される流量を調整することで, 出力制御が可能になると期待される。

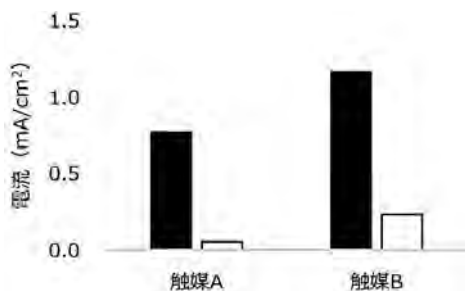
4. 低コスト化に向けた取り組み

カソード反応に用いてきたフェリシアン化カリウムは電気化学試験において一般的に用いられる試薬ではあるが, 排水への漏洩リスクや薬品コストの観点から現場で使用する事が難しい。実際に, 2週間程度継続して発電を続けた試験ではフェリシアン化カリウム



図一5 セル供給流量に応じた出力変化

溶液の変質が見られた。微生物燃料電池においては、エアカソードと呼ばれる空気中の酸素をカソード反応に用いる技術が広く使われている⁴⁾。そこで、本技術においてもエアカソードを用いて反応が進行するか確認した。触媒 A および触媒 B を担持した電極を作製しカソードに用いた。アノード溶液には硫化水素溶液を用い、アノードとカソードはイオン交換膜で隔てた。カソードに空気および窒素をそれぞれ供給した際の電流生成を検出することで、酸素中の空気を用いた反応が生じるか確認した。その結果、触媒 A および触媒 B それぞれにおいて、空気供給時に大幅な電流増加が見られた（図—6）。このように、フェリシアン化カリウムを用いなくても、空気中の酸素と硫化水素を用いて発電が可能であることが明らかとなり、薬品使用にかかるコスト削減や薬品の漏洩リスク低下につながることを期待された。触媒 A と触媒 B で比較すると触媒 B の方が 1.5 倍ほど大きな電流が生じ、優れた性能を示したが、今回調べた最大電流に限らず反応持続性やコストといった多角的な観点においても調査を進めている。



図—6 空気（黒）と窒素（白）供給時の電流生成

5. 展望と課題

微生物燃料電池の原理を用いた嫌気処理水からのエネルギー回収方法について原理実証を行った。排水処理に用いられる微生物燃料電池では電極表面に付着した微生物の代謝を利用して有機物分解と発電を同時進行させる。一方で、本技術では通常の嫌気処理において微生物による有機物分解を行い、処理水中に溶け込んだ代謝産物を用いて発電を行う。実際に、人工排水を用いた嫌気処理水から電流が発生することが確認され（図—3, 4）、本処理水中に含まれる硫化水素が電極と反応していることが示された（図—3, 4）。このように水質浄化と発電の機能を分離することの効果は長期信頼性の観点で大きい。通常の微生物燃料電池では、排水浄化に十分な反応速度を維持するには、電極面積を増大させることが必要となり、サイズやコスト

面が問題となる。また、反応槽の更新や新しい技術の運転管理にも対応しなければならない。これらの問題に対して、水質浄化と発電の機能を分離することで従来までの排水浄化設備および性能を維持したまま、必要な電力に応じた大きさの装置を設置することが可能になる。さらに、処理水の供給流量を制御するだけで、排水性状に依存した濃度変動に対して安定した出力が得られる可能性がある。ほかにも、通常の嫌気処理設備において脱臭装置として機能することがこの回収方法の利点として挙げられる。

嫌気処理では、処理水中に含まれる臭気物質を除去すべく、曝気処理などのエネルギーを投入している。本技術では嫌気処理水中の硫化水素が発電の燃料として使われ、反応後には硫化水素濃度の減少が見られた。このことから、本技術は嫌気処理水の脱臭装置としても機能すると考えられ、電力としてエネルギー回収ができ、同時に臭気除去に投入していた曝気動力の削減も期待できる（図—1）。

本技術で得られた電力の活用方法についても模索しており、例えば小規模電源としての活用に着目している。電極を排水と接触させるだけで、水質センサの稼働とデータの無線送信が実現できるため、施設の IoT 化や事故・災害時の対策に活用できないかと考えている。既に、排水から発電した電力を用いたセンシングとデータの無線送信には成功しており、具体的なアプリケーションを探索している。

本技術の別の展開として、バイオガスの脱硫装置への活用も考えられる。排水中に含まれる有機物は嫌気処理において微生物分解され、エネルギー資源であるバイオガスとして回収される。このとき、排水中に含まれる硫黄分も微生物の働きにより、硫化水素へ変換される。バイオガスにはメタンだけでなく、二酸化炭素や硫化水素が含まれることが一般的であるが、特に硫化水素はガスエンジンなどを腐食させることから、脱硫装置によって除去されている。一般的に普及している脱硫方法では、バイオガスをアルカリ溶液に吹き込むことで硫化水素を除去しているが、薬品コストが高いことが問題視されている。そこで、本技術を脱硫装置としてアルカリ溶液の再生に用いれば、発電によるバイオガスからのエネルギー回収と薬品コスト削減が両立するのではないかと考えている。

本報では、人工排水を用いた実証試験について報告したが、すでに実排水においても試験を進めている。本技術で注目した硫化水素は普遍的に発生することから、既存の嫌気処理設備へ広く展開できると期待されたが、実排水を用いた試験の結果、排水性状によって

は電極反応を阻害し、得られる出力が低下することも明らかになってきた。阻害要因の解明と対策について検討を進めている。また、低コスト化の取り組みにおいて、空気中の酸素を用いることでより薬品コストが抑えられるエアカソード技術を適用し、硫化水素の酸化反応が生じることを示した。より安価な触媒の探索や反応持続性については引き続き検討を進めている。このエネルギー回収技術の実用化に向けて、発電した電力の活用方法や装置のスケールアップについても順次検討を予定している。

JCM A

《参考文献》

- 1) Fuhs, G. Wolfgang, and Min Chen. "Microbiological basis of phosphate removal in the activated sludge process for the treatment of wastewater." *Microbial Ecology* 2.2 (1975): 119-138.
- 2) Peng, Yong-Zhen, et al. "Anoxic biological phosphorus uptake and

the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A2O process." *Desalination* 189.1-3 (2006): 155-164.

- 3) Leitão, Renato Carrhá, et al. "The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review." *Bioresource technology* 97.9 (2006): 1105-1118.
- 4) Du, Zhuwei, et al. "A state of the art review on microbial fuel cells: a promising technology for wastewater treatment and bioenergy." *Biotechnology advances* 25.5 (2007): 464-482.
- 5) Logan, Bruce E., and Korneel Rabaey. "Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies." *Science* 337.6095 (2012): 686-690.
- 6) Shigematsu, Toshio. "Redox flow battery for energy storage." *SEI technical review* 73.7 (2011): 13.

【筆者紹介】

清川 達則 (きよかわ たつり)
住友重機械工業㈱
技術本部 技術研究所
環境・エネルギーグループ



カーボンニュートラルに向けた 発電装置における水素利用

堂 浦 康 司・中 安 稔・岡 伸 幸

発電所やコージェネシステムで用いられる発電装置について、カーボンニュートラルに向けた水素利用の課題、システム等をガスタービン発電装置を例として説明する。都市ガスと異なる特性をもつ水素を利用するには、その特性に対応した燃焼システムの適用が必要となる。また、実証運用を行った水素専焼システムや既存設備からの改造が可能な水素混焼システムについても紹介する。

キーワード：水素、発電、ガスタービン

1. はじめに

気候変動問題への対策として、各国でカーボンニュートラルに向けた取組みが加速している。我が国においても日本政府が「2050年カーボンニュートラル」を宣言、「グリーン成長戦略」等によるカーボンニュートラル実現を後押しする政策がとられている。

電力については太陽光や風力を用いた再生可能エネルギーによる発電が注目されるが、その出力変動を補償する必要があるため、従来の内燃機関を用いた発電設備の役割は将来においても重要である。ガスタービンやガスエンジンといった内燃機関におけるCO₂（二酸化炭素）排出量削減のため、コージェネ利用等による省エネ化に加え、水素やアンモニアといった燃焼時にCO₂を排出しない燃料の使用や、排ガス中のCO₂を分離・回収するCCS（Carbon dioxide Capture and Storage）等の技術開発が進められている。本稿では、発電装置における水素利用について、実証事業等が先行しているガスタービン発電装置を例に説明する。

2. 水素サプライチェーン

水素を発電装置で用いるには、必要な水素量を安定して供給することが不可欠である。現状の産業界での水素製造は石油・化学工場や製鉄工場からの副生水素や天然ガス改質が主流であり、発電用途として十分な水素供給量とは言い難いが、国際水素サプライチェーンを構築することで水素供給量を増やしていく計画が進められている。

図-1は、川崎重工業が提示するCO₂フリー水素

チェーン構想である¹⁾。水素は豪州の褐炭をガス化・精製して製造後に液化され、液化水素運搬船で日本に海上輸送される。褐炭に限らず化石燃料をガス化・精製すると水素が得られるが、精製過程でCO₂が副生される。このCO₂を現地で回収して地中に貯蔵するCCS処理を行うことで、CO₂の大気排出を伴わない水素（CO₂フリー水素）が得られる。この水素は港近くに設置された水素液化機で液化水素に変換、液化水素運搬船に積み込んで日本に運搬され、利用される。

3. 水素燃焼技術

水素はメタンを主成分とする都市ガスや天然ガスとは異なる物性を有するため、内燃機関での利用には燃焼バーナ等の一部部品を水素特性にあわせたものに変更する必要がある。ガスタービンは圧縮機／燃焼器／タービンで構成されるエンジンであるが（図-2）、水素利用においては燃焼器の部品や燃料制御のみを変更する。

(1) 水素の特性

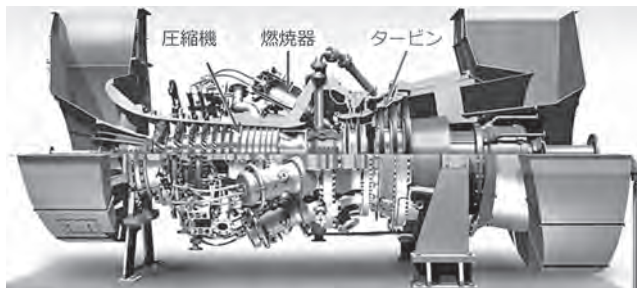
表-1に水素と都市ガス（13A）の比較を示す。水素は都市ガスに比べて可燃範囲が広い／燃焼速度が速いこと等から、燃焼バーナの高温化や火炎の燃焼バーナ内への逆流といった課題への対応が必要となる。

(2) 水素燃焼システム

具体例として、川崎重工業の3つの水素燃焼システム（図-3）を紹介する。



図一 1 CO₂フリー水素チェーン



図一 2 ガスタービンエンジン

表一 1 水素と 13A ガスの比較

項目	水素	13Aガス(参考)
低位発熱量, MJ/Nm ³	10.8	40.6
可燃範囲, vol%(大気中)	4.0~75.0	4.3~14.5
MCP, cm/s	282	37
最小着火エネルギー, 10 ⁻⁵ J	1.6	28(メタン)

* MCP (Maximum Combustion Potential) 燃焼速度の指標

① 拡散燃焼器

燃焼領域へ直接燃料ガスを噴射するコンベンショナルな方法で、燃焼安定性に優れることから様々な燃料に用いられる。

水素燃焼には、先端の冷却強化や水素噴射部を最適化した燃焼バーナを適用する。水素専焼、都市ガス専焼、水素/都市ガス混合ガスでの運転が可能で、都市ガス 100%から水素 100%までシームレスに運転中切替えが可能である。

一般的に、NO_x (窒素酸化物) 低減のため水または蒸気噴射が行われる (ウェット方式)。

② DLE (Dry Low Emission) 燃焼器

燃料ガスが希薄となるよう空気と混合させてから燃焼領域へ供給する希薄予混合燃焼方法を用いた燃焼器で、水や蒸気を噴射することなく低 NO_x 燃焼が可能である (ドライ方式)。現在の標準的な都市ガス燃焼

燃焼方法	① 拡散	② DLE	③ マイクロミックス
燃焼器	水素/都市ガス 水素焚き拡散バーナ	水素/都市ガス 希薄予混合バーナ 追焚きバーナ	水素 マイクロミックスバーナ
水素割合 %vol	0~100 (都市ガスと任意の割合可)	0~30 (都市ガスと任意の割合可)	(50~)100
NO _x 低減方法	水噴射/蒸気噴射 (ウェット方式)	希薄予混合燃焼 追焚き燃焼 (ドライ方式)	微小拡散火炎 (ドライ方式)

図一 3 水素燃焼システム

システムであり、多くのサイトにて稼働中である。

水素燃焼では予混合部分に火炎が逆流する事象が発生しやすく、使用可能な水素割合は制限される。一方で、既存設備のレトロフィットでCO₂排出量削減を実現できる水素混焼が可能であること、NO_x排出量は都市ガス時と同等または若干の増加で抑えられることが、大きなメリットである。

③マイクロミックス燃焼器

水素専焼においても水／蒸気噴射無しで低NO_x燃焼（ドライ方式）を実現する新しい燃焼方法で、現在開発・実証中である。極小径の孔から噴射される水素が直交する空気噴流と急速に混合して生じる微小な水素火炎を多数形成する。予混合部分を有しないため、火炎逆流等の異常燃焼は発生しにくい。

4. ガスタービン発電装置における水素利用例

前項で説明した水素燃焼システムを用いた例を以下に示す。

(1) 神戸水素 CGS (CoGeneration System)

新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO 助成事業「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」において、神戸ポートアイランドに川崎重工業製ガスタービン発電装置 PUC17 を用いた水素 CGS を設置し、2018 年に拡散燃焼器を用いた水素実証運用を行った²⁾。図-4 は設備全景であるが、水素は液体水素タンクから蒸発器にてガス化された後に水素ガス圧縮機にて加圧、都市ガスはパイプラインから都市ガス圧縮機で加圧されて、それぞれガスタービン発電装置に供給される。水素と都市ガスは混合装置にて混合されるが、水素専焼、都市ガス専焼、水素／都市ガス混焼それぞれのケースについて運用に問題ないことが実証された。図-5 に水素専焼時の運転監視装置モニタを示す。

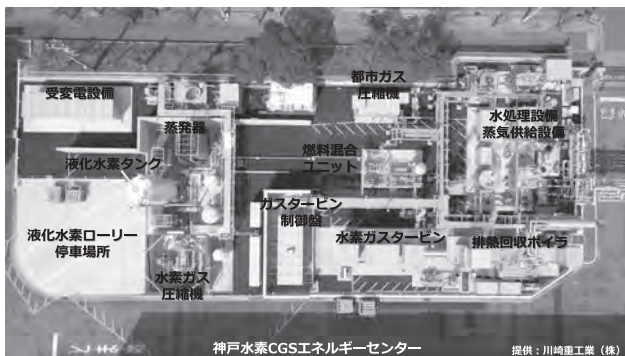


図-4 神戸水素 CGS

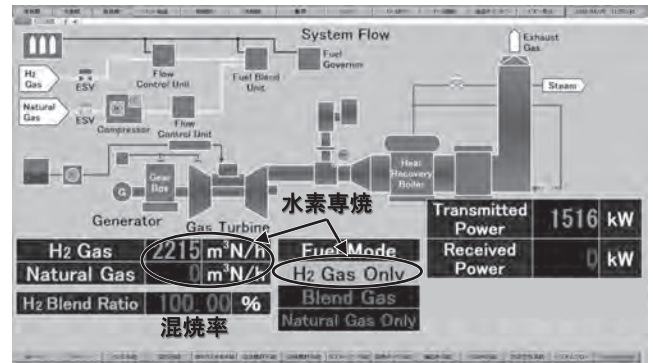


図-5 水素専焼運転

さらに 2020 年にはマイクロミックス燃焼器の実証運用を、NEDO 助成事業「ドライ低 NO_x 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」にて実施、他に先駆けてドライ方式の水素専焼を実現した³⁾。現在も事業を継続しており、水素高割合での運用や水噴射を行う拡散燃焼器より低い NO_x 排出量を達成する見込みを得ている。

(2) 水素混焼ガスタービンコージェネシステム

DLE 燃焼器を用いたシステムとして、川崎重工業製ガスタービン発電装置 PUC80D を用いた水素 30% 混焼ガスタービンコージェネシステムを紹介する（図-6, 7）。本システムは、既設の都市ガス専焼コージェネのガスタービンエンジンや燃焼器、発電装置、さらに都市ガスのガス圧縮機等の主要補機類は流用可能とし、燃料ガス供給設備と燃焼制御の改造のみで水素 30% 混焼を可能とする。2021 年度コージェネ大賞技術開発部門で理事長賞を受賞した⁴⁾。

5. おわりに

以上、カーボンニュートラルに向けた発電装置における水素利用について、ガスタービン発電装置を例に説明した。

最後に、発電装置における水素利用普及のひとつの

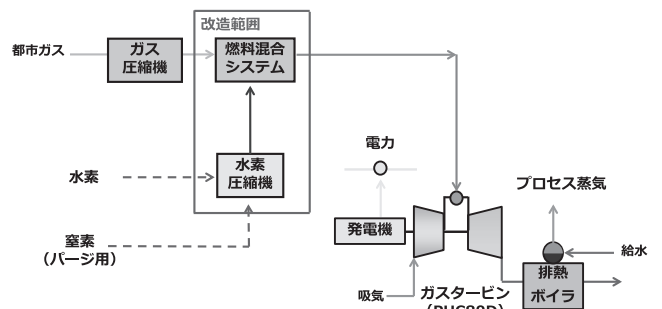
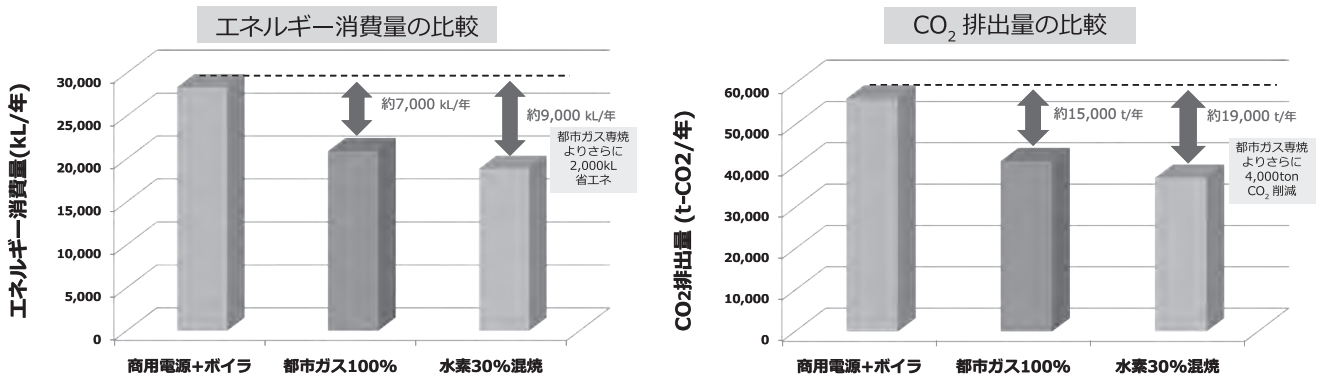
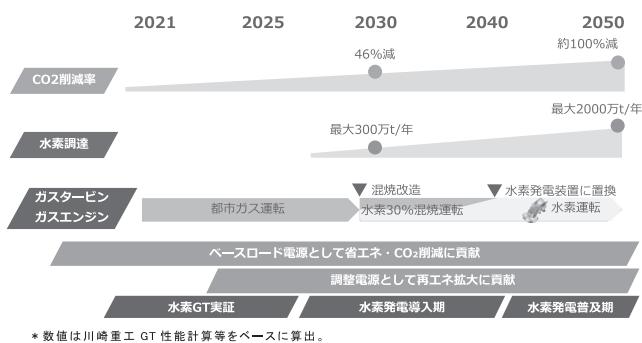


図-6 水素混焼コージェネシステム



* 数値は PUC80D 性能計算等をベースに算出。

図一 7 水素混焼による省エネ / CO₂ 削減効果例



* 数値は川崎重工 GT 性能計算等をベースに算出。

図一 8 発電装置における水素利用普及の見通し

見通しとして図一 8 を示す。2020 年代に実証設備や水素混焼設備の一部導入から始まり、2030 年代には水素流通量が増加して水素混焼設備が本格普及、2040 年代には更に水素価格が低下して水素専焼設備が普及すると考えられる。



《参考文献》

- 1) 西村他, 「国際液化水素サプライチェーン構築への取り組み」, 川崎重工技報, 182 号, 2020 年
- 2) NEDO ニュースリリース, 「世界初, 市街地で水素 100% による熱電供給を達成」 <https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100945.html> (2018 年 4 月 20 日)

- 3) NEDO ニュースリリース, 「世界初, ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンの技術実証試験に成功」 <https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101337.html> (2020 年 7 月 21 日)
- 4) コージェネ財団, <https://www.ace.or.jp/web/gp/gp_2021.html> (2022 年 1 月 28 日)

【筆者紹介】

堂浦 康司 (どううら やすし)

川崎重工(株)

エネルギーソリューション & マリンカンパニー

エネルギーディビジョン

エネルギーシステム総括部

ガスタービン技術部



中安 稔 (なかやすみのる)

川崎重工(株)

エネルギーソリューション & マリンカンパニー

エネルギーディビジョン

エネルギーシステム総括部

発電プロジェクト部

営業技術一課



岡 伸幸 (おか のぶゆき)

川崎重工(株)

エネルギーソリューション & マリンカンパニー

エネルギーディビジョン

エネルギーシステム総括部

発電プロジェクト部

営業技術一課



「国内における地熱開発」の現状

上 滝 尚 史

地熱発電は二酸化炭素排出量が少なく、昼夜や季節変動に影響を受けることのない我が国に豊富に賦存している再生可能なエネルギーであり、国内においては50年以上の操業実績を有している。しかしながら、地熱発電の設備能力は国内全体で約56万kWであり国内の総発電設備容量の僅か0.2%程度である。その原因としては地下の開発リスクがあることや調査から開発の期間に10年以上の長期間を要することなどがある。本稿では地熱発電の特徴、開発の現状及び課題などについて紹介する。

キーワード：地熱発電，貯留層，エネルギー自給率，フラッシュ発電，バイナリー発電，ライフサイクル CO₂ 排出量

1. はじめに

我が国は第6次エネルギー基本計画（2021年10月）において、2050年カーボンニュートラルに向けた長期的な展望とそれを踏まえての中間的な目標として2030年には既存の技術を最大限活用して温室効果ガスを2013年度から46%削減する方針を示している¹⁾。その中で日本は火山国であり、国内には豊富な地熱エネルギーが賦存していることから、それらを積極的に利用して目標を達成する努力が求められている。国内における本格的な地熱発電は、1966年に松川地熱発電所（岩手県・出力2.35万kW）、1967年に大岳発電所（大分県・出力1.45万kW）が運転を開始し、50年以上の長い歴史を有している。地熱を含む再生可能エネルギーの開発利用は2011年の東日本大震災を機に国のエネルギー政策の見直しにより全国で急速に進んでおり、本稿では地熱開発のしくみ、地熱発電の特徴、発電方式、国内外における開発の現状及び今後の課題について紹介する。

2. 地熱発電とは

我が国は火山列島と呼ばれているが、地熱発電は国内のどこでも建設できるものではなく、発電をするためには地下に3つの条件が揃う必要がある。その内の一つは熱であり、地熱発電には地下で200℃以上の温度が必要である。地球上ではどこでも地面を深く掘れば高温になるが、経済的に掘削ができる深度は限られ

ており（現在の地熱開発では3,000m程度が経済的に掘削のできる限界）、一般的に言われている3℃/100mの地温勾配では3,000m掘削しても200℃に到達することは困難である。そこで火山やマグマが浅部まで上昇し岩盤が温められている特殊な高温地帯を探すことになる。二つ目は水の供給である。発電には蒸気が必要なことから、高温の岩盤から熱を効率よく回収するための蒸気や熱水の供給が必要になる。蒸気や熱水の起源は基本的には天水であり、天水が長時間かけて地下に浸透したものが高温の岩盤に温められて蒸気や熱水になる。三つ目は温められた蒸気や熱水を閉じ込めることができるキャップロックと呼ばれる蓋のような構造を有する“地熱貯留層”という器が必要である（図-1）²⁾。

① マグマ溜まり

周囲の岩盤を熱します。

② 雨や河川の水の供給
雨や河川水が地下に入り込み、マグマ溜まりの周囲にある岩盤の熱によって高温の蒸気や熱水になります。

③ キャップロック

高温の蒸気や熱水を閉じ込めるための蓋の役割をします。

④ 地熱貯留層

高温の蒸気や熱水は、キャップロックの下に溜まり、「地熱貯留層」を形成します。ここから「生産井」を通じて蒸気を取り出し、タービンを回して発電します。



出典 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
図-1 地熱発電の成立条件

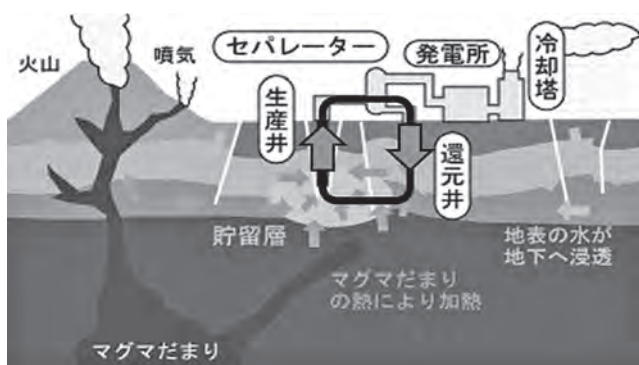
3. 地熱発電の特徴

地熱発電は無尽蔵なエネルギーを有するマグマを熱源としていることから、供給される天水や還元した熱水がその熱に温められて半永久的な利用ができるシステムである（図—2）。

そのシステムにおいて安定した発電をするためには、過剰な蒸気や熱水の採取、熱水の還元による貯留層岩盤の局所的な冷却を回避するなどの貯留層管理の工夫が必要である。このような地熱発電ではあるが、再生可能エネルギーの中でも下記に示すような特徴を有している。

(1) CO₂ 排出量の少ない低炭素エネルギー

今村・他（2010）は、電力中央研究所報告において電源別ライフサイクルCO₂排出量^{a)}を比較し、再生

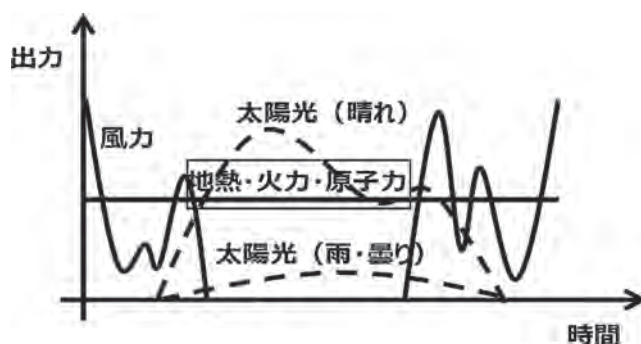


出典 経済産業省 資源エネルギー庁（2019）に一部加筆
図—2 地熱発電の概念

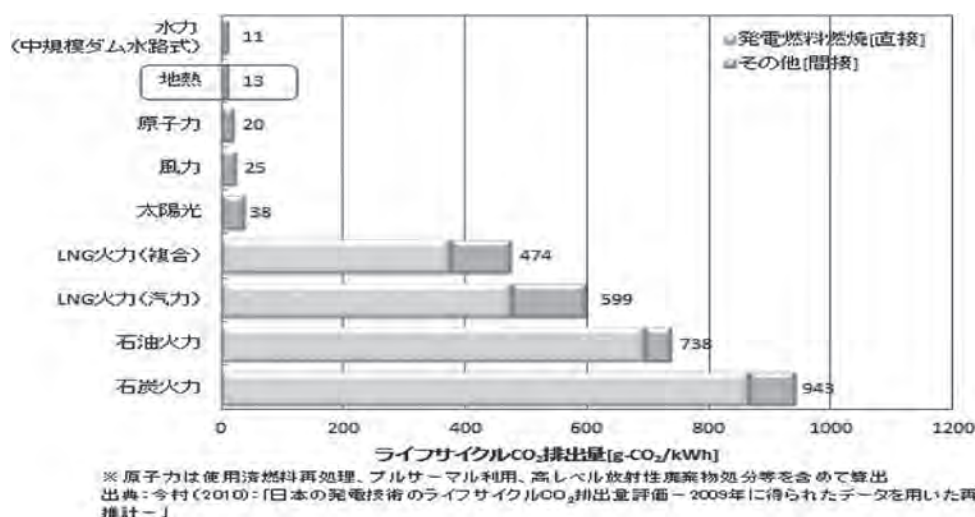
可能エネルギーである水力・風力・太陽光・地熱が化石燃料を焚く火力発電（石炭・石油・LNG）より排出量の少ないことを示した。その中でも地熱発電のCO₂排出量が、火力発電と比較して1/70~1/40と少ないことや再生可能エネルギーの中で風力発電や太陽光発電と比較しても1/4~1/3と少ないと評価された（図—3）³⁾。

(2) ベースロードとなる安定電源

地熱発電は火力発電や原子力発電と同じく一定出力を安定的に維持できるベースロード電源であり、再生可能エネルギーの中では昼夜や天候状態（晴雨・風の有無）に関係なく発電ができる（図—4）。日本地熱協会（出典 電気事業便覧 平成28年版）によると設備利用率^{b)}の指標として太陽光発電14%、風力発電21%、地熱発電57%と再生可能エネルギーの中では地熱発電の利用率は高い。



図—4 電源種別の一日の出力変動



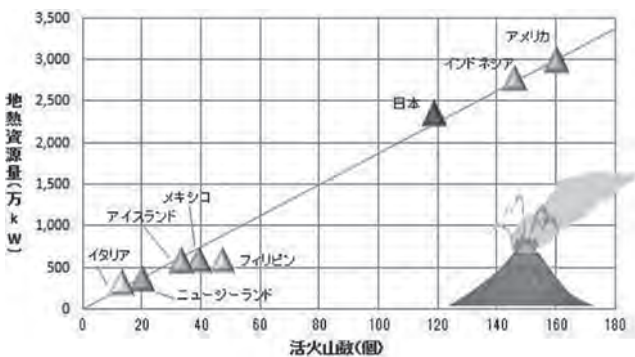
出典 日本地熱協会
図—3 電源種別平均ライフサイクルCO₂排出量

a) ライフサイクルCO₂排出量…発電する時の燃料などの燃焼に加え、原料の採掘から発電設備等の調査・建設・燃料輸送・運転・保守・撤去等に消費される全てのエネルギーを対象としてg-CO₂/kWhに換算して算出したもの。

b) 設備利用率(%) = 年間発電量 ÷ {発電端出力(認定出力) × 365(日) × 24(時間)} × 100 として計算。

(3) 国内での豊富な資源賦存量

我が国はエネルギー自給率が低く2018年の自給率は11.8%で、他のOECD諸国と比べると低水準であり、10年ほど前の2010年には自給率が20.3%あったものの、東日本大震災などの要因により現在の水準となっている⁴⁾。日本はエネルギー資源に恵まれない国であるが、「環太平洋火山帯」に位置していることから、地熱資源のポテンシャルは主要な地熱資源国との比較でアメリカとインドネシアに続く世界第3位の2,347万kWの地熱資源量を有している(図-5)⁵⁾。しかしながら、地熱発電への利用(地熱発電設備容量)を世界で比較すると2020年時点で第10位とあまり活用されていないのが現状である。



出典 村岡洋文(2009)パラダイム転換としての地熱開発推進
図-5 各国の活火山数と地熱資源量の関係

4. 地熱開発の進め方

地熱開発の調査から開発(発電所建設を含む)までのおおまかなフローを図-6に示す。このフローは環境アセスメントを必要とする出力10,000kW以上のものの例示である。地表地質調査～掘削調査～生産井・還元井掘削/実証試験/貯留層評価などに必要な期間は、開発予定地点の既存データの質や量により異なり、また開発規模によっても異なるが一般的には10



図-6 地熱開発の調査から開発までのフロー(概念図)

年以上掛かる。規模が大きくなれば掘削する坑井の本数や評価にも時間を要するため、開発期間はさらに長くなる。一方で小規模(出力数十～数百kW)な温泉を利用した地熱発電は、すでに坑井掘削が完了していることや環境アセスメントが不要なことから短期間での開発が可能なものもある。

(1) 地表地質調査のステージ(投資割合<1%, 期間1~2年)

- ①地表で見られる地質・断層・変質・噴気帯・温泉の分布などを調べる地質調査を実施。
- ②地下の比抵抗・密度分布・他を調べる物理探査を実施。
- ③既存坑井があればそれらの地質・変質や比抵抗・密度・温度などの物理データを解析。これらから地熱系概念モデルを作成する。特に規模が大きな地熱発電には一般的に200℃以上の貯留層温度が必要なことから、このステージでは高温が示唆される地域の選定が重要である。

(2) 掘削調査のステージ(投資割合10~15%, 期間3~4年)

- ①調査井を掘削して地下深部の情報を坑井内検層や坑井試験(小規模な噴出や還元)により取得。
- ②蒸気・熱水の噴出や汲み上げにより得られた流体の化学成分を分析。
- ③掘削により近傍の温泉への影響の有無や道路・基地造成・掘削工事により生態系に影響がないかなど環境モニタリングを実施。このステージで地熱貯留層の有無(温度・圧力・透水性)を判断し、次のステージへの進級を意思決定する。

(3) 生産井・還元井掘削/実証試験/貯留層評価、環境アセスメントのステージ(投資割合20~25%, 期間4~5年)

- ①このステージでは開発範囲が限定(絞り込みが完了)されていることから、実証(一斉噴気)試験～発電所建設などを考慮した基地配置や生産井及び還元井の掘削が必要。
- ②生産井及び還元井の確保(目標発電出力の50~100%)後、実証試験(一斉噴気試験)を3~6ヶ月実施して坑井特性や貯留層の安定性を調査。並行して観測井などで圧力干渉のデータの取得や温泉モニタリングなどを実施。
- ③実証試験後は得られたデータで貯留層シミュレーションや経済性評価などを総合的に行い、発電規

模を最終的に決定。

- ④発電所の規模を決めた段階で出力 10,000 kW 以上の地熱発電所は環境影響評価法に基づく手続き（環境アセスメント）を実施。

このステージで発電所の規模や運転開始時期の最終的な意思決定をすることになる。

(4) 発電所の建設（投資割合 60～70%、期間 2～3 年）

- ①建設工事は前ステージの環境アセスメントが完了し、各種許認可・届出（必要な土地の取得に伴う許認可、保安林の指定解除、電気事業法、他）を取得・提出したのち開始。
- ②許認可取得後は搬入路の整備や発電所・蒸気設備・掘削基地の土木造成工事を実施。
- ③前ステージで生産井や還元井が確保できていない場合はさらに生産井や還元井を掘削。
- ④造成工事完了後は蒸気設備（セパレータ・熱水タンク・サイレンサー・配管・他）や発電所建屋の基礎工事を実施。
- ⑤発電所建屋が完成すればタービンや発電機などの機械・電気の据付工事が始まり、並行して蒸気設備の設置が進行。

発電所及び蒸気設備の建設期間は地点による特性（豪雪地帯・追加掘削工事・他）により 2～3 年では不十分な場合もある。また、送電線の敷設工事は発電事業者が自ら施工する自営線や一般送配電事業者（大手電力会社）の送電網の増設があり、地点によってはこれらの工事が発電所の建設工程に影響を与える可能性があるので関係先とは十分に協議をしながら進める必要がある。

(5) 発電所の運転（操業）

操業が開始されれば環境アセスメントに則り、地元自治体との協定に基づく環境モニタリングや発電所の安定運転のための貯留層モニタリング（各坑井の生産量や還元量、圧力観測井の変動、地化学成分変化、他）を実施する。生産井や還元井の能力減衰に備えての生産・還元補充井の掘削地点の選定なども必要になる。

5. 地熱発電の種類

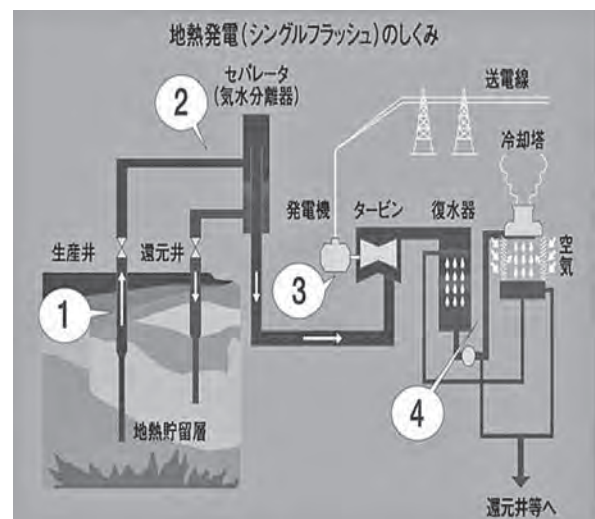
地熱発電の特徴は既に述べているように地熱貯留層から蒸気・熱水（多くの地点では地下深部では被圧された高温の熱水で賦存）から成る地熱流体を採取し、タービンを廻し発電をするものである。発電は高温蒸気を利用するフラッシュ発電と低温蒸気や熱水（温泉）

との熱交換により低沸点媒体を利用するバイナリー発電に大別される。

(1) フラッシュ発電

フラッシュ発電は図—7に示す①生産井から取り出した地熱流体を②気水分離器（セパレーター）で蒸気と熱水に分離し、③分離された蒸気でタービンを廻し発電機にて電気を発生させ送電線に流す、④発電に使用された蒸気は復水器で温水（凝縮水）になり冷却塔で空冷され循環再利用する方式である⁶⁾。

気水分離器で分離された熱水は地熱貯留層に還元され、冷却塔で凝縮された余剰水は還元井での地下還元や河川へ放流する。フラッシュ発電には図—7に示すセパレータで分離した蒸気を使用するシングルフラッシュ方式と分離した熱水をさらにフラッシャー（減圧容器）に導入して二次蒸気を採取するダブルフラッシュ方式があり、国内では多くの地熱発電所がシングルフラッシュ方式だが森発電所（北海道森町）、山葵沢地熱発電所（秋田県湯沢市）、八丁原発電所、大岳発電所（大分県九重町）はダブルフラッシュ方式を採用している。一般的にダブルフラッシュ方式はシングルフラッシュと比較して熱水の持つエネルギーの一部を蒸気化させて使用するため 20% 程度出力が向上するメリットがあるが、ダブルフラッシュ後の還元熱水温度低下によるスケール析出や貯留層の冷却などのデメリットもあり、それらを総合的に判断し選択されている。ニュージーランドでは分離した二次熱水をさらにフラッシュさせるトリプルフラッシュ方式の発電所も操業している。



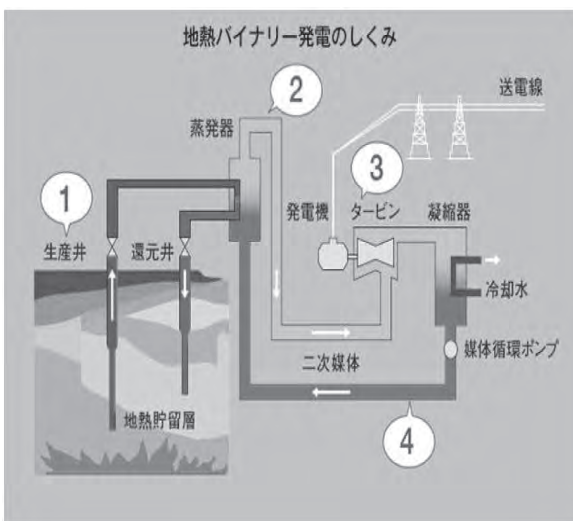
①地熱流体を取り出す生産井②蒸気と熱水を分離するセパレータ③分離された蒸気で発電するタービンと発電機④発電を終えた蒸気の復水器で温水になり冷却塔で空冷し循環再利用

出典 日本地熱協会

図—7 地熱発電（シングルフラッシュ）のしくみ

(2) バイナリー発電

地熱流体の温度が低い場合はフラッシュ発電に必要な蒸気を得ることができないことや100℃以下の熱水では蒸気が得られずタービンを廻すことができないことから、水よりも沸点の低い二次媒体（オゾン破壊係数の低い新代替フロン、ペンタンなどの炭化水素、水とアンモニアの混合物）を使用し、地熱流体から熱のみを回収して二次媒体を蒸気化させ、その蒸気でタービンを廻し発電する方式がある。地熱流体と低沸点の二次媒体の2つの流体を使用することからバイナリー発電と呼ばれている。バイナリー発電は図—8に示す①生産井から地熱流体を取り出すのはフラッシュ発電と同じであるが②地熱流体を蒸発させずに低沸点の二次媒体を加熱して二次媒体を蒸発器で気化させる③気化した二次媒体でタービンを廻し発電機にて電気を発生④発電に使用された二次媒体は凝縮器（水冷と空冷の両方がある）で液体に戻し、媒体循環ポンプで再利用する方式である⁶⁾。二次媒体の沸点は常圧で新代替フロン（HFC-245fa）15.4℃、ペンタン36℃、水とアンモニアは混合比により沸点が変化するが30℃前後である。このように地熱流体の温度が低くても二次媒体で発電ができることから80℃を超えるような温泉地では、その温泉を熱源として熱を回収してバイナリー発電を実施した後に温度の低下した温泉として浴用に使用するなどの小規模な地熱発電（温泉発電）が普及している。



- ①地熱流体を取り出す生産井
- ②地熱流体から蒸発器(熱交換器)で熱のみを採取し低沸点の二次媒体を蒸気にする
- ③二次媒体で分離された蒸気で発電するタービンと発電機
- ④発電を終えた二次媒体は凝縮器で冷却(水冷又は空冷)し液体に戻し循環再利用

出典 日本地熱協会

図—8 地熱バイナリー発電のしくみ

6. 国内の地熱発電所と新たな地熱資源調査実施地域

(1) 我が国の地熱発電所は、火山や地熱地域の分布から東北と九州に集中しており、国内の地熱発電所の設備容量を合計すると70地点92ユニットで約56万kW、電源構成比で0.2%となる。国内最大の発電所は八丁原発電所(大分県九重町)の11万kW(5.5万kW/ユニット×2ユニット)である。2020年10月時点で、国内における発電出力が1,000kW以上の地熱発電所は20地点23ユニットで発電出力は53.1万kWになる(図—9)⁶⁾。

(2) 第6次エネルギー基本計画(2021年10月閣議決定)では、2030年の発電目標を150万kWと示しており、その達成のために(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)は、企業による新たな地熱資源の調査・開発の支援を進めており、2012(平成24)年から2021(令和4)年3月までの助成金交付及び出資・債務保証を行った地点は91ヶ所に及び、この中から新たな地熱発電所が建設を予定されている(図—10)⁷⁾。

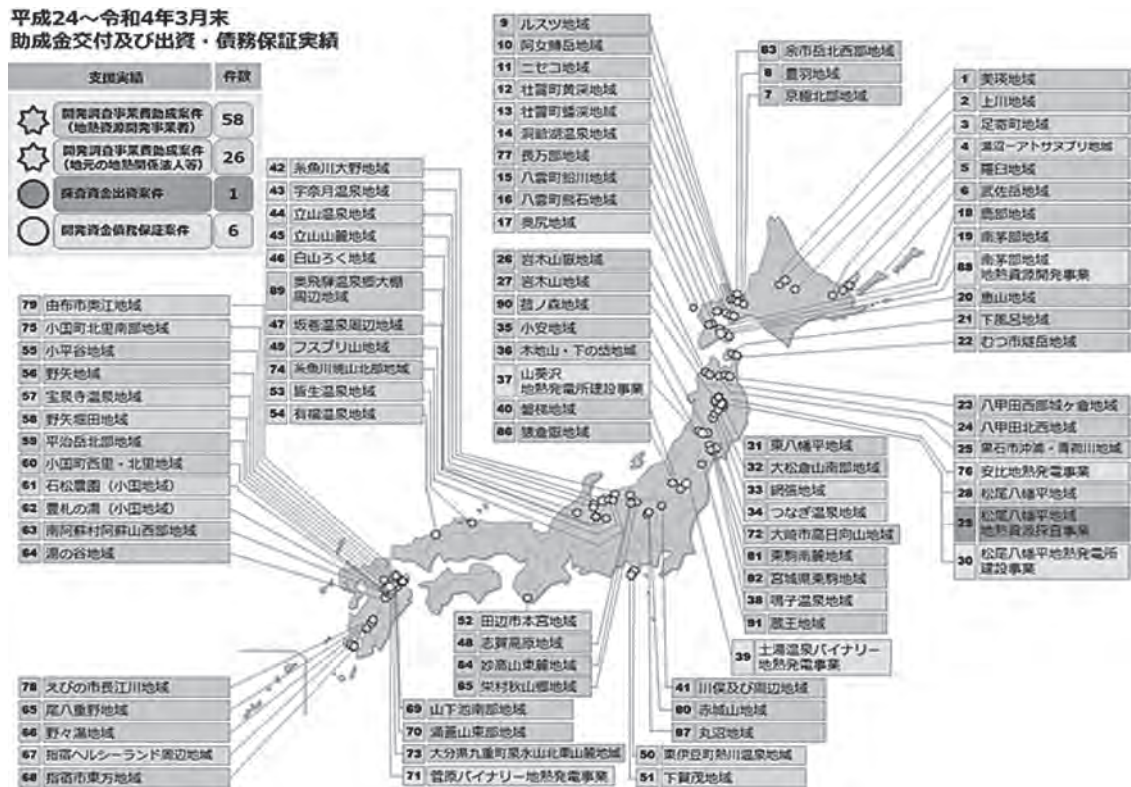
7. 今後の課題

国内に豊富にある地熱資源であり固定価格買取制度(FIT)や関係省庁による規制緩和などの政策的な後押しが行われているが、開発は必ずしも捗っていない。そこで日本地熱協会ではさらなる地熱発電の普及・拡大のため経済産業省、環境省、林野庁及び他の関係先



出典 日本地熱協会

図—9 日本の地熱発電所位置図(発電端出力1,000kW以上)



出典 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
図-10 国内における地熱発電の調査事業実施地域

に下記の7項目を課題として政策要望を行っている⁸⁾。

- ① 固定価格買取制度の改革に伴う「地熱発電開発拡大への配慮」
- ② 新規有望地点の発掘と開発支援策の継続・拡大
- ③ 系統制約を最小化する制度検討
- ④ 地域ステークホルダーの理解促進と地域共生を促す事業・制度の継続と拡充
- ⑤ 温泉法と調和的な地熱法の制定
- ⑥ 自然公園内での円滑な地熱開発に向けた自然公園法の適切な運用
- ⑦ 国有林野の貸付・使用等に関する手続きの弾力的かつ迅速な運用

これらの政策の支援と企業の努力により、我が国に豊富に賦存する地熱エネルギーの拡大に官民協力して取り組むことが急務である。



《参考文献》

1) 経済産業省 資源エネルギー庁 蓮沼佳和, 第6次エネルギー基本計画について, 地熱技術, Vol.47, Nos.1&2 (Ser.No.100), p.23-30, 2022

- 2) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 地熱-地域・自然と共生するエネルギー (パンフレット), p.6, 2020年9月, https://geothermal.jogmec.go.jp/library/pamphlet/file/jogmec_geothermal.pdf
- 3) 今村栄一・長野浩二, 電力中央研究所報告, 2010年7月
- 4) 経済産業省 資源エネルギー庁, エネルギー自給率の推移, 2019年3月, https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy_2021/001/
- 5) 村岡洋文・他, 日本の熱水系資源量評価 2008, 日本地熱学会 平成20年学術講演会 講演要旨集, B01, 2008
- 6) 日本地熱協会, 活かそう! 地熱発電! (パンフレット), 2021年11月, <https://www.chinetsukyokai.com/information/index.html>
- 7) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 地熱資源開発 これまでの支援プロジェクト, 2022年3月, https://www.jogmec.go.jp/geothermal/geothermal_10_000007.html
- 8) 日本地熱協会, 最新情報 令和4年度 地熱開発促進のための政策要望, 2022年5月25日, <https://www.chinetsukyokai.com/news/68/%92n%94M%94AD%93d%8AJ%94AD%91%A3%90i%82CC%82%BD%82%DF%82%CC%90%AD%8D%F4%97v%96%5D%81i%97DF%98a%82S%94N%93x%81j.pdf>

【筆者紹介】

上滝 尚史 (じょうたき ひさし)
日本地熱協会 顧問
工学博士



“クラスタ” レンズ風車じわり普及

大屋 裕 二

風エネルギーを集中させて風力発電の効率を飛躍的に高めた新しいタイプの風力発電システム（レンズ風車）を開発してきた。同径ロータの通常風車と比べ、2-5倍の発電出力の増加を達成し、1kW-20kWの小型と100kW中型のレンズ風車を開発した。風力エネルギーのより大きな獲得のため海上展開を図り、福岡市博多湾に直径18mの六角形浮体を浮かべ、レンズ風車と太陽光パネルを搭載した浮体式再生可能エネルギーファームを実現した。最近ではレンズ風車のマルチ化（クラスタ化）を試み、さらに発電性能が向上した。中型機のマルチレンズでMW級も実現できる。また、風力と太陽光を同時利用できる再生エネ機器「ウィンドソーラータワー」も開発中である。

キーワード：風力発電，分散型エネルギー，レンズ風車，マルチレンズ風車，浮体式エネルギーファーム，ウィンドソーラータワー

1. 日本における風力産業の現状

日本の大型風車製造は三菱重工業、日立製作所が相次いで撤退し、大きな風力市場が広がる日本のポテンシャルに対し、外国製風車の導入しかない。それでも最近、洋上風力には注目が集まっている。2020年秋、菅内閣の2050年カーボンニュートラル宣言、2020年12月の洋上風力産業ビジョンで、2030年目標10GW、2040年30-40GW導入という大胆な数値が謳われる。これにより、洋上風力産業は、風車本体の輸入、サプライチェーンへの波及、作業船の建造、港の整備、電気設備、送電設備の強化、全国の電力系統強化など活気づいてきた。洋上風力の産業形成は、脱炭素化のエース、エネルギー安全保障、製造業の活性化や地方創生をけん引する主力産業としての期待が大きい。海外メーカーは自前のサプライチェーンを伴って日本に進出する。これに対抗して国内部品メーカーの参入、さらに風車の再国産化は産業形成に欠かせない。

昨今、洋上風力は日本の再エネ比率を引き上げるキーテクノロジーとも言われる。しかし、上記のように、そこに建つ風車はすべて外国製ロゴである。小型風車も同じである。小型ではさらにたちが悪いことに外国製風車は壊れやすい。強風が吹くたびに起こる日本各地で報告される事故は外国製風車がほとんどである（というか小型風車市場も外国製風車に席卷されている）。なぜか？日本の風況と外国の風況は明らかに

違う。平野部が少ない日本では山の中、丘の上、海岸に迫る崖の上など複雑な地形の上に建てられる。その風は荒々しい。風速も風向も頻繁に変動する。欧米の広大な平野、緩やかな起伏地で決まった方向から風速変化も少なく吹く風の性質とは大きく異なる。大型から小型風車まで、日本の厳しい風況に耐える性能と価格競争力に優れた次世代風車とはどういう技術を持つべきか？新しい風車システムの登場は実現するのだろうか？これからは人材育成も非常に重要である。風力産業の再形成は製造業や地方経済を元気にする数少ない好機と言える。

2. 研究開発内容とその理念

1990年頃から世界は変化し始めていた。1962年に出版されたレイチェル・カーソンの「沈黙の春」による環境汚染への警鐘に始まり、2006年のアル・ゴアの「不都合な真実」などによる地球環境の保全意識の高まり、さらに世界のフラット化、人口増加におけるエネルギー供給の問題が、2009年のトーマス・フリードマンの著書「グリーン革命」に詳述されている。世界の環境・エネルギー問題は、理工学、農林水産、社会経済、政治、倫理を通して人々に意識の変換を迫り始めていた。現代は再生可能エネルギーへの大転換というエポックメイキング的な時代に突入しているが、それには30年ほどの時間を要したと言える。

本稿では、新しい集風タイプの風車システムとそのマルチ化、洋上浮体式エネルギーファーム、太陽光と風力を同時利用できるウィンドソーラータワーと呼ぶ再生エネ機器を紹介する。ここ数年、研究開発の基本コンセプトは「小は大を兼ねる」および「統合利用」というキーワードである。基本的には小・中スケールの風車を用いる。小・中スケールの浮体でよい。社会受容性に配慮し、これらを適切規模へクラスタ化し、あるいは統合化して、必要なスケール、必要な発電容量へ組み合わせるという発想である。

3. レンズ風車

風車ロータをディフューザで覆う風車を考案した(Diffuser Augmented Wind Turbine, DAWT)。ディフューザとは、入口から出口に向かって拡大する管である。さらにディフューザ出口周囲に「つば」と称して渦形成板を取り付けてみた。「つば」は、その強い渦形成のため背後に低圧部を生成し、風は低圧部をめがけて流れ込んでくる。そのためにディフューザ入口付近では大きな増速効果が得られる。図-1にそのメカニズムをスケッチする。このようにして集風加速体としての「つば付きディフューザ」(風レンズ技術)が生まれた^{1), 2)}。レンズ風車の長所をあげると、

- ①同じロータ径で2-5倍の高出力を達成(風エネルギーの集中「風レンズ効果」)を利用。発電出力は風速の3乗に比例(図-1)。増加率はディフューザの長さかつば高さに依存する。
- ②風車騒音の大幅低減(ブレード先端渦がディフューザ内部境界層と干渉し抑制される。空力音が大幅に低減して騒音は小さくなった)³⁾。
- ③優れた社会受容性: 静かであり、バードストライクなし、景観性に富む(丸い「輪」が「和」を呼ぶ)。図-2は3kW レンズ風車の野外実験結果を示す。

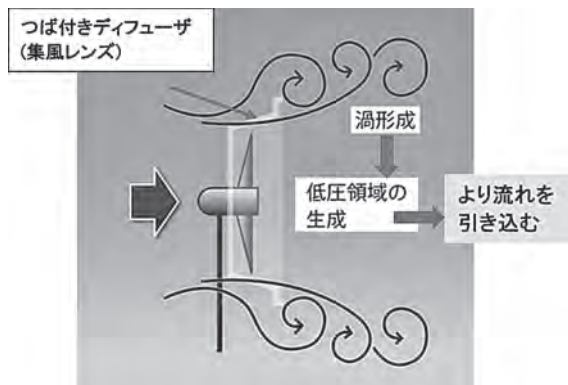


図-1 風レンズのメカニズム(集風型風車)。つば背後の渦形成で低圧部を生じ、風はその低圧部に向かって流れこむ。

C_w はパワー係数であり、近づいてくる風の運動エネルギーの何%を回転エネルギーとして取り込めるかという指標である。レンズ風車では通常風車と同じロータ掃引面積を基準としている。写真-1は九大伊都キャンパスの3kW レンズ風車群である。

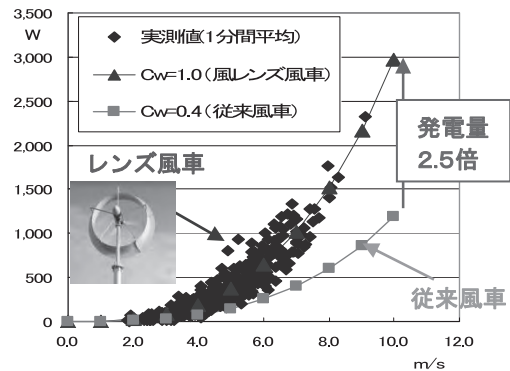


図-2 3kW レンズ風車の野外試験結果、ロータ径2.5m、レンズ径3.4m。図中、◆はレンズ風車の野外実測値、▲はレンズ風車の風洞実験値、■は風レンズなしの通常風車の風洞実験値。



写真-1 3kW レンズ風車群(九大伊都キャンパス)2018

4. 浮体式洋上エネルギーファーム

(1) 博多湾における浮体式風力発電施設の実証試験

2011年12月4日、博多湾に直径18m程度、排水量140トンのコンクリート製浮体を浮かべ、3kW レンズ風車2基および太陽光パネル2kWを搭載した浮体式複合エネルギーファームを実現した(写真-2)。風力、波浪、浮体動揺など種々のデータを取得すると同時に、この博多湾浮体サイトから東に約3km離れた海岸線に同型のレンズ風車を設置した。この海岸線サイトの風車に比べ、沖合約700m離れた海域での海上風は陸上に比べ1-2割強く、浮体上の風車では海岸線立地の同型風車と比べ、1年間の総発電量が2倍を超した(2012年11月~2013年10月計測)。この浮体は漁礁にもなっている。今後、海でのエネルギー利用は漁業協調のコンセプトのもと、漁業組合と共同で浮体を利用した牡蛎の養殖も開始している。

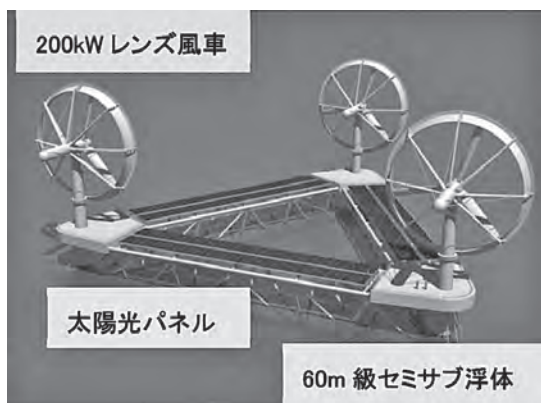


写真一2 博多湾プロジェクト(ステージI)18m直径の六角形コンクリート浮体。3kW レンズ風車2基と2kW 太陽光パネル搭載で計8kWのエネルギーファーム, 2011年12月。

(2) 第2ステージの浮体式洋上エネルギーファーム (漁業共存)

実用化規模の浮体式再生可能エネルギーファームを計画している。図一3に示すように一つの浮体規模は約60m長さのトラス構造物で連結された三角形を基本型とする。大きな多角形は3角形が基本要素となる。将来はこの3角形基本ユニットを複数連結し、大型浮体へ展開する。浮体に関しても「小は大を兼ねる」というコンセプトを適用する。この3角形浮体に200kWクラスのレンズ風車3基、200kWの太陽光パネルを設備し、0.8MWの浮体式エネルギーファームとする。

多目的洋上浮体として、その将来性、産業化への道筋を検証する。すなわち、MW程度の浮体エネルギーファームとして確立すると同時に、日本の漁業の一助となるように浮体エネルギーファームを利用した養殖施設を考案する。比較的沖合に設置した浮体周辺部に数10個規模の浮沈式生け簀を設備し、海洋牧場として漁業との共存を図る。自然エネルギー取得、洋上プ



図一3 浮き島式洋上エネルギーファーム

左図：浮体の一边が60mのトラス構造物で連結。200kW レンズ風車3基と200kW 太陽光パネルで約0.8MWエネルギーファーム。漁業協調として周辺に養殖施設を附設など。CG。

ラットホームの建設、そして漁業との確かな協調である。

5. レンズ風車のクラスタ化—マルチレンズ風車

超大型機へ向かう風力産業主流とは異なる方向を模索し、風力発電システムの新しい姿を開拓する。高効率、静粛なレンズ風車を適用し、レンズ風車を基本ユニットとしたマルチロータシステム (Multi Rotor System MRS, クラスタ風車) の可能性を研究する (マルチレンズ風車と呼ぶ)。マルチロータシステムとは基本ユニットの風車を複数個、同じ垂直面内にタワーで支持した集合風車システムで大きな出力を得るものである。

理論的には同じ定格出力の単体風車に比べ、重量比、発電コスト比で $1/\sqrt{n}$ (n はロータの個数)になる。風荷重変動が平滑化され、強風による局部疲労破壊が起こりにくくなると期待される⁴⁾。

基本ユニットにレンズ風車を適用すると、3基構成マルチレンズでは、全体発電出力が単独時の合計値よりさらに10%、5基構成で20%増加することがわかった⁵⁾。レンズ風車とマルチロータのシナジー効果である。北九州市響灘に2016年3月、世界初のマルチレンズ風車 (定格9kW機) が設置され、2020年には5輪のマルチレンズ風車が唐津市に設置され、様々な実証試験がなされつつある (写真一3)。多数ユニットのマルチレンズ風車のコンセプトは「風を集める木」である。



写真一3 唐津市、3kW×3基 (9kW)、および3kW×5基 (15kW) のマルチレンズ風車 (2020)

6. 中型レンズ風車とそのマルチ化でMW級へ

写真—4に示すようにレンズ風車のより大型化を目指してレンズ外径15.4mの100kWレンズ風車を開発した(2011年, 九大伊都キャンパス設置)。これはロータ直径が約13mで, 通常の100kW風車の3分の2の大きさである。したがって騒音源としての規模も小さく, レンズ集風体によるブレード先端渦の抑制とあいまって, 同出力の従来風車に比べ格段と低騒音になることが実証された。強風時の運転中에서도風切り音がほとんどしない。



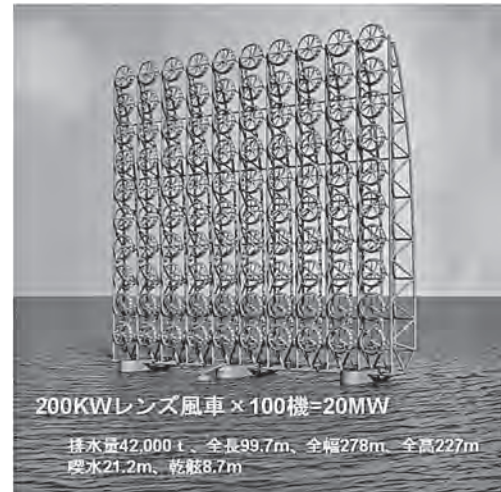
写真—4 100kWレンズ風車, 九大伊都キャンパス2011年3月。

レンズという構造物を装着する関係でロータ径は30m程度が限度であろう。その30mロータ径では約200–300kW風車が可能になる。現在, 200kW規模の中型レンズ風車を基本ユニットにしたMW級マルチレンズ風車を開発中である。このマルチレンズMW機では, 騒音面で, 通常シングルMW風車と比べ, 格段と静かなクラスタ風車が期待できる。大型機に伴う低周波騒音の問題からも解放される(図—4)。



図—4 200kWレンズ×5基のMW級風車 (CG)

洋上風力においては, 九州大学筑紫キャンパスに洋上風力研究教育センター(RECOW)がこの2022年4月に発足した。そのセンターが目指す20MW級のクラスタレンズ風車の予想図を図—5に示す。

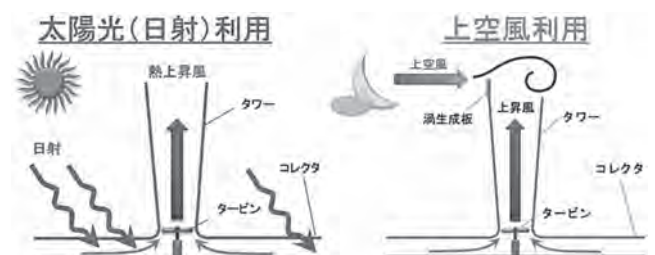


図—5 200kW×100基の20MW洋上クラスタレンズ風車 (CG)

7. ウインドソーラータワー (風力と太陽光を同時利用する自然エネルギー機器: WST)

従来のソーラータワーと称する自然エネルギー利用装置は, 地上に集熱部となる上面を閉じた大規模空間を設置し, その中央に円筒状のタワーを設ける。この大規模空間内において太陽光で暖められた空気は, 中央に設置したタワー内に収束し, 熱上昇気流となる。その上昇気流中に風力タービンを設置し発電しようとするものである(図—6左図)。単純でメンテナンスが楽であるが非常に低効率である。また高いタワーが必要である。

ソーラータワーに対する新しい試みは, 次の2点にある⁶⁾。1) 風レンズの原理を垂直構造体として適用する。すなわち, ディフューザ型タワーを採用し, 熱上昇風の増速を図る。2) 上空風の吸い上げ効果を利用する(図—6右図)。1)のディフューザ型タワーは写真—5の野外タワーでわかるように片開き4°で上方出口に向かって拡大している。2)の上空風の吸い上げに関して基本メカニズムを風洞実験で確かめた。その結果, タワー出口に風レンズ原理と同様に低圧域生成のため渦形成板をつけると, 直円筒タワーの10倍の発電出力増加を得た。



図—6 WSTが上昇風を発生するメカニズム
左図: 熱上昇風, 右図: 上空風による吸い上げ



写真—5 野外実験用の12m高さのWST（九大筑紫キャンパス，2022）

昼間は太陽光と風力の同時利用，夜間は風力発電ができるという発想でウインドソーラータワー（WST）と称する。太陽光と風力を共に利用できる世界で初めての自然エネルギー機器となる。数種のアイディアを盛り込んだ野外実験（写真—5）において，もし，スペインのソーラータワーと同規模の200m級タワーで建設すれば，効率50倍，発電量260倍のデータが得られつつある。上空風吸い上げの効果はまだ定量化していないが，この効果を加えるとさらに増加する。

以上，WSTの2つのメカニズムを実証してきたが，温度差を設ける方法は他にもある。近くに地熱源や工場排熱があれば，その排熱を積極的に利用する。その熱水や空気熱を集熱部のビニールハウスへ送り込む。太陽光の集熱と同じで熱上昇が発生しタービンが回る。他の熱排気風でもよい。24時間稼働の再エネ機器となる。

広い集熱部は温暖な空間として温室栽培に利用できる。農業と協調した再生エネ取得が可能である。また，大都市の大気汚染問題が深刻であるが，このWSTは大規模な低層汚染大気の換気装置にもなる。一石三鳥である。タワーをどのように製作するかが最重要課題となる。

8. おわりに

九州大学応用力学研究所とその大学発ベンチャーであるリアムウインド社における風力エネルギー研究を紹介してきた。小型風力の役割を認識し，その有用さを社会にアピールするため必要な技術開発は，風況予測の精度向上，ブレイクスルーとなる技術革新の両輪が必要である。それは一般の技術改良の延長線上には

ない。柔軟な発想とそれをすぐに具現化し，失敗を重ねて乗り越える物作りの心であろう。

最近の共通するコンセプトは「小は大を兼ねる」，および「農林水産業との協調」である。基本的には小・中スケールの風車を用いる。社会受容性に配慮し，これらを適切規模へクラスタ化し，あるいは統合化して，必要なスケール，必要な発電容量へ組み合わせるという発想である。

再生可能エネルギーはエネルギー密度が希薄である。ある面積エリアを与えられたら，そこにある種々の自然エネルギーを効率的，統合的に使いたい。そうすれば分散型エネルギー社会に近づく。あとはいかに有効に変換し，蓄え，送り，消費するかのシステムである。自然と融和した再生可能エネルギー社会の実現を期待する。

謝 辞

ここで紹介した研究は文科省機能強化経費「機能強化促進分等」「自然エネルギーの次世代取得技術とその統合的利用に関する事業」（2016-2021年度），NEDO新エネルギーベンチャー技術革新事業／新エネルギーベンチャー技術革新事業（フェーズB：2014年度と2015年度），およびフェーズD（2018-2020年度）の支援を受けた。ここに記して謝意を表します。

JCMA

《参考文献》

- 1) 大屋裕二，新型風車あれこれ—風レンズ風車—，ターボ機械，33（7）（2005），59.
- 2) Ohya Y., Karasudani T., A shrouded wind turbine generating high output power with wind-lens technology *Energies* 3（2010），634.
- 3) Takahashi S.・他4名，Behavior of the blade tip vortices of a wind turbine equipped with a brimmed-diffuser shroud, *Energies* 5（12）（2012），5229.
- 4) Jamieson P., *Innovation in Wind Turbine Design*, 2nd edition, *John Wiley & Sons, Ltd*, ISBN: 978-1-119-13790-0（2018）.
- 5) Ohya Y., Watanabe K., A New Approach Towards Power Output Enhancement using Multi-Rotor Systems with Shrouded Wind Turbines, *ASME J. Energy Resour. Technol.* Vol. 141（2019），051203-1.
- 6) Watanabe K., et al. An ignored wind generates more electricity -A solar updraft tower to a wind solar tower-, *Int. J. Photoenergy*, 2020, Article ID 4065359.

【筆者紹介】

大屋 裕二（おおや ゆうじ）
九州大学名誉教授，
応用力学研究所元所長，
（株）リアムウインド代表取締役



木質バイオマスの半炭化物を使ったガス化発電の開発

多樹種の半炭化物を使った小型の木質バイオマスガス化発電

柳 博文

木質バイオマスガス化発電において、間伐材等を利活用するにあたり、過熱蒸気によって半炭化熱処理された木質チップ（以下「半炭化物」と呼ぶ）に着目した。針葉樹、広葉樹、流木及び早生樹などの過熱蒸気による半炭化は有効であることを確認し、反応塔の下部よりスクリーフィーダで半炭化物を粉碎しながら供給する方式のガス化装置を提案した。ガス化装置内部に充填されたチップ間の空隙を減少させ、反応温度の低下を抑制し、酸化・還元反応領域の温度を高温に維持、タールやチャーの熱分解ガス化の促進をもたらすことを確認した。現在、実物大のガス化装置を製作し、半炭化物を使ったガス化発電の実証実験を行っているところである。

キーワード：バイオマス、半炭化、ガス化、間伐材、発電、過熱蒸気、地産地消、防災拠点

1. はじめに

木質バイオマス発電のうち、ガス化発電方式は、バイオマス燃料を化学反応（熱分解や酸化還元）により可燃性のガスを発生させエンジンやガスタービンを回して発電するため、小規模な発電所でも効率的に発電でき、市町村単位や特定の場所での電力供給や非常時電源として活用が図られているところである。

従来、ガス化発電方式は、安定的にガスを発生させるためには、燃料となる木の部位や乾燥度合いの条件が限定されるため、良質なチップやペレットが利用されており、森林間伐材の大部分は使用が困難とされてきた。今回、このような間伐材や果樹剪定枝等、幅広い原料の活用のために、半炭化技術に着目し、東京工業大学との共同研究により、様々な木質系バイオマスを半炭化し、ガス化試験を行った。その結果、半炭化することにより安定的なガスを得られることが確認できたため、実用化に向けて、半炭化装置および定格出力 200 kW 規模のガス化発電装置を製作し、実証検証を開始した。

2. 木質バイオマスガス化発電システムの基本コンセプト

木質バイオマスガス化発電システムとしては、図—1に示すような化石燃料を使わないガスエンジンによるガス組成の生成、小型で高効率、半炭化による多種

多様な原料に対応するシステムである。

このような技術を地域振興・地産地消・災害拠点などとして、小規模ながらも熱電併給も熱電併給が可能なシステムとして以下のようなところで活用していきたいと考えている。

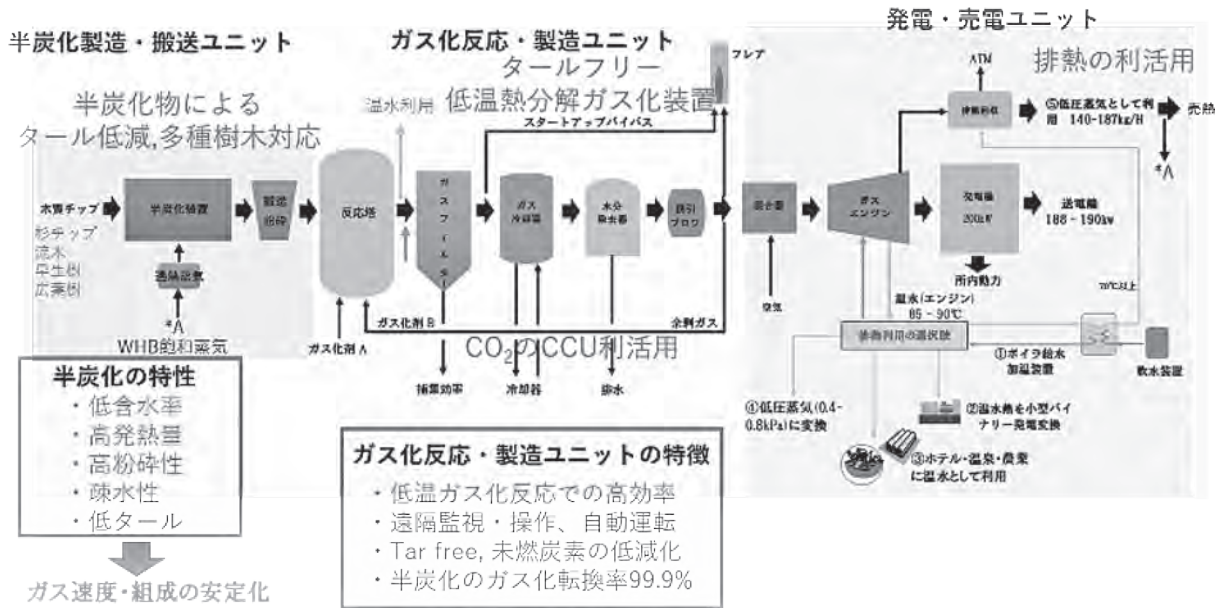
- ① 林業や農業などを地域で再生させることを目的に、間伐材などを原料とした小規模な熱電併給施設として市町村などの自治体と取り組む（地産地消・地域振興）
- ② 熱電併給施設を設置して、平常時だけでなく、災害時の避難場所としての役割を担う地域施設
- ③ 防災拠点としながらも、平常時も常に使用し、急な災害時にも即座に対応できる地域施設

3. 半炭化材料を用いた室内ガス化試験

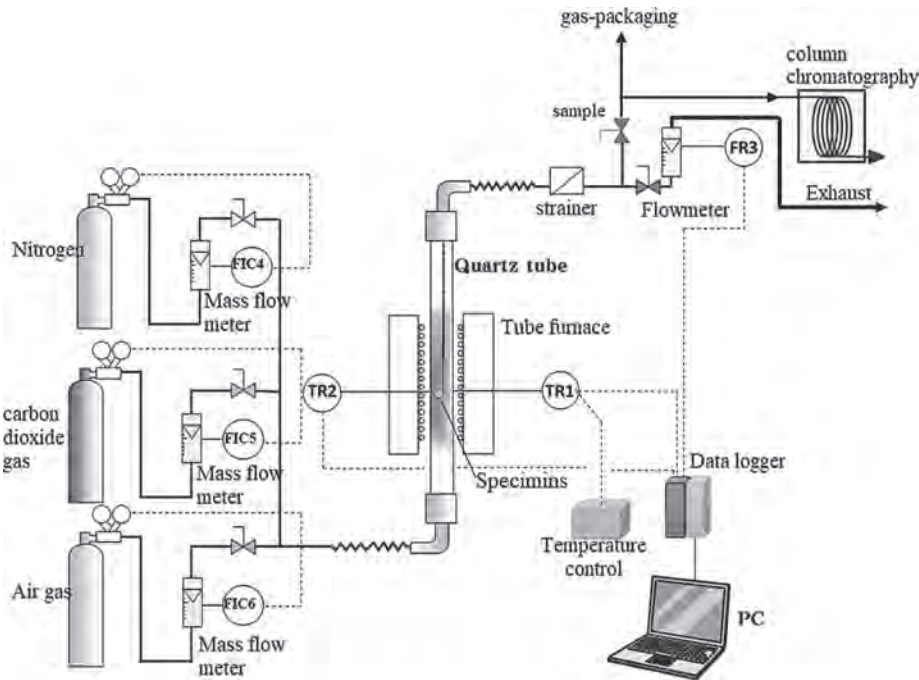
上記のようなコンセプトを基に、東京工業大学および DOWA サーモテック(株)と共同で研究開発を行ってきた。主に、ガス化装置システムの構築、過熱蒸気による半炭化熱処理の方法、多樹種の半炭化、ガス化などに関して試験を行ってきたが、その中からここでは、ガス化試験装置の概要、過熱蒸気による半炭化、多樹種に半炭化のガス化について述べる。

(1) ガス化試験装置の概要¹⁾

実験装置の概略図を図—2に示す。図—3に示すように実験用熱分解炉（(株)アサヒ理化製作所 ARF-



図一 木質バイオマスガス化発電システムの概要



図二 大学内に設置した試験装置概略図

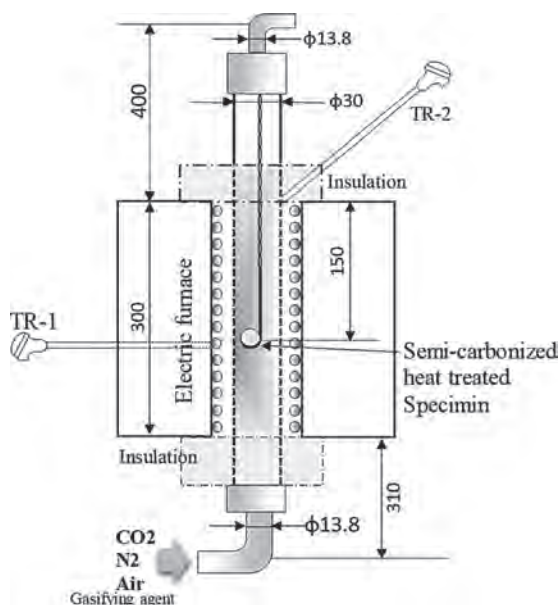
30KC, 内径 30 mm, 高さ 300 mm, 最高限界温度 : 1,200℃) の石英チューブ内に, 供試材 100 mg ± 10 mg が充填された計量器を吊るした状態としている。また, 計量器の直近には熱電対 (TR-1) が設置されている。ガス化剤を熱分解炉底部から供給し, 第 1 反応ならびに第 2 反応熱分解ガス化を促進させるために, 石英チューブ上部で発生ガスの滞留時間が 1 秒程度になるように石英チューブ出口管径 (OD Φ13.8) を小さくし炭酸ガス供給流量を制御した。本研究では, 木質バイオマスガス化反応塔からの生産余剰ガス (フレアー) 及びガスエンジ排ガスの CO₂ を循環再利用

(Carbon dioxide Capture Utilization) することで素反応の促進を検討するために, ガス化剤として CO₂ を用いた。実験中の外観目視観察では, 石英チューブ内の熱電対 TR-2 の取付位置近傍から旋回流の発生ガスが観察され, さらに滞留時間も 1 秒程 ~ 2 秒程度が保持されることも確認した。

(2) 多樹種の半炭化物のガス化¹⁾

(a) 4 種類のチップの半炭化

4 種類の木質チップの過熱蒸気による半炭化熱処理を行った。供試材は, 針葉樹 (供試材 No. A ; 300℃,



図一三 実験用熱分解炉の概略

No.B ; 350℃), 広葉樹 (供試材 No.D ; 300℃, No.E ; 350℃), 流木 (供試材 No.F ; 300℃, No.G ; 350℃) 及び早生樹 (供試材 No.H ; 300℃, No.I ; 350℃) と, 樹種と過熱蒸気の半炭化熱処理温度の組合せを示している (表一1)。また, 比較検討として針葉樹を過熱蒸気の供給なし (以下, 「非過熱蒸気」と呼ぶ) に熱処理した半炭化材 (供試材 No.C) と早生樹「桐」の生チップ (供試材 No.J) を用いた。半炭化の製造は, 木質生チップをトレイに乗せて過熱蒸気を温度 (300~350℃) で噴射し, 保持時間 (7 min~16 min) に制御, 搬送移動し半炭化にした。

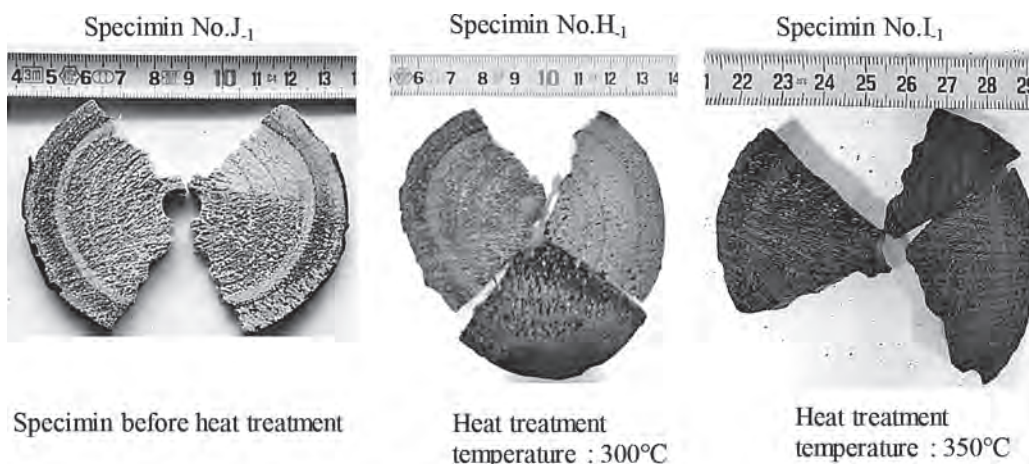
写真一1は, 木質チップの早生樹における半炭化物の過熱蒸気 300℃と 350℃での熱処理による表面の色彩変化を示している。熱処理前は白色系の色彩であるが, 半炭化温度が高くなるにしたがって褐色から黒色に色彩が変化していることがわかる。

表一1 多樹種の過熱蒸気温度, 熱処理時間及び熱処理前後における質量減少率

Category	Semi-carbonization heat treatment temperature (°C)	Average heat treatment time (min)	Mass reduction rate (%)	Sample No.	Number of samples
Softwood	300 ^{*1}	10.0	25 - 35	A-1~3	3
	350 ^{*1}	10.0	45 - 50	B-1	1
	350 ^{*1} or more	12.0	67.6 - 90	C-1,2	2
Hardwood (Fruit trees including)	300 ^{*2}	9.0	25.4	D-1-4	4
	350 ^{*2}	8.0	31.0	E-1,2	2
Driftwood	300 ^{*2}	7.0	28.9	F-1	1
	350 ^{*2}	7.0	28.9	G-1	1
Fast growing tree	300 ^{*1}	8.0	14.3	H-1,2	2
	350 ^{*1}	7.0	46.2	I-1,2	2
	-	-	-	J-1	1

*1 The shape of the wood chip was 50mm x 50mm x 5mm

*2 Hardwood twigs had an average outer diameter of 16 mm and a length of 50 mm



写真一1 早生樹 (桐) における半炭化物の過熱蒸気 300℃と 350℃での熱処理による表面の色彩変化

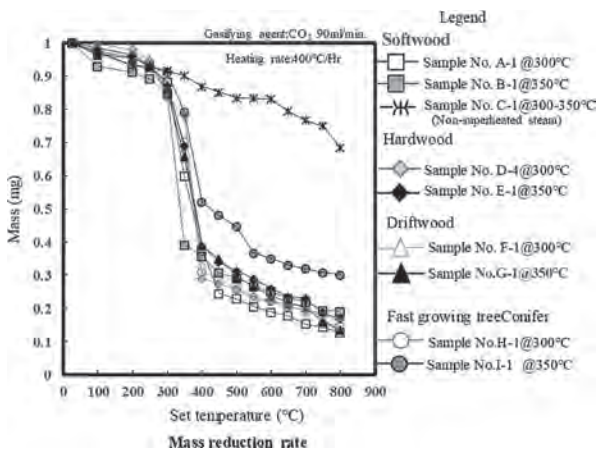
(b) 熱分解ガス化挙動

図一4は、針葉樹、広葉樹、流木及び早生樹の半炭化300℃と半炭化350℃の質量減少曲線^{2)~5)}の比較を示す。また、参考比較として非過熱蒸気による半炭化の質量減少曲線とガス化熱分解速度^{2)~5)}も示されている。針葉樹、広葉樹、早生樹及び流木ともに質量減少曲線のガス領域におけるガス化率は、半炭化300℃の方が高い挙動が見られた。さらに、アレニウスプロット²⁾より推算されるガス化熱分解速度も半炭化300℃の方が大きいことがわかった。なお、木質チップを非過熱蒸気での熱処理した場合は、質量減少率・ガス化熱分解速度ともに使用サンプル間のばらつきが大きく、非過熱蒸気による半炭化熱処理材の利用はガス化装置の安定的な運用に難しいという知見も得られた。

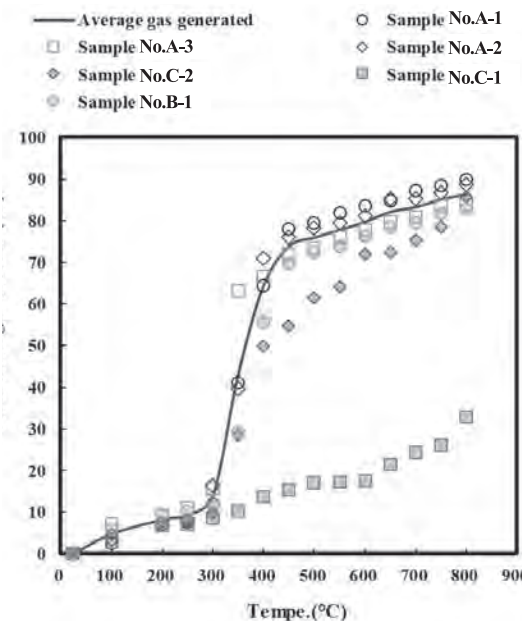
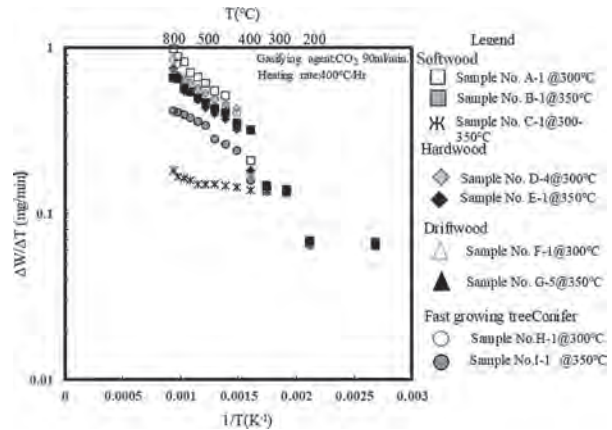
図一5~8に、針葉樹、広葉樹、流木及び早生樹を半炭化300℃または半炭化350℃で熱処理された供試材について、昇温速度400℃/H、設定温度800℃の条件下

で生成したガス量を比較した図を示す。発生ガス量が、セルロースの熱分解が始まる温度である300℃付近から急激に増加する挙動が見られた。図一6に示す広葉樹が最も生成ガス量が多い傾向を示し、熱分解温度300℃における熱分解ガス化反応初期のガス発生量は生成ガスの合計流量の19%に達している。そのほか、針葉樹(図一5)は17%、早生樹(図一8)は16%、最も生成ガス流量が小さいのは流木(図一7)の13%であった。さらに、広葉樹は合計生成ガス量約100mlと最も多く、初期ガス発生量が多い半炭化物は、合計生成ガス量も多く、未燃炭素の残渣も少ない傾向が見られた。

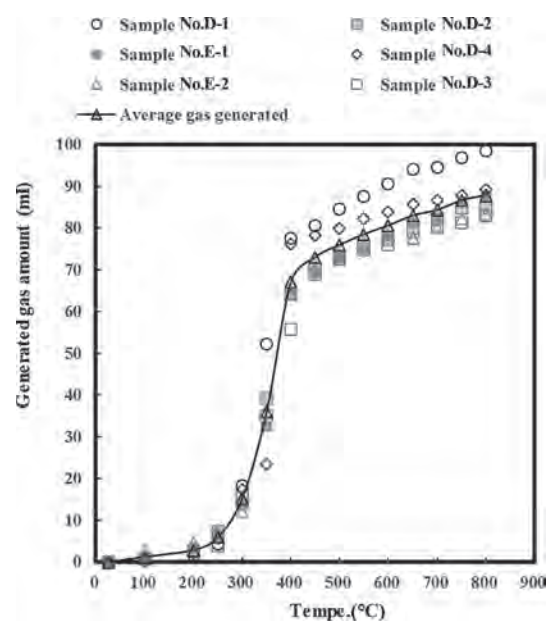
多樹種の半炭化燃料材利用における揮発分の熱分解反応モデル^{2)~5)}を使って、頻度因子と活性化エネルギーを用いた揮発分の全生成ガス量の推算を行った。図一9に、実験温度と揮発分の全生成ガス量との関係を示す。流木を除けば全揮発分の生成ガス量についての計算結果と実験結果との間に比較的に良好な一致



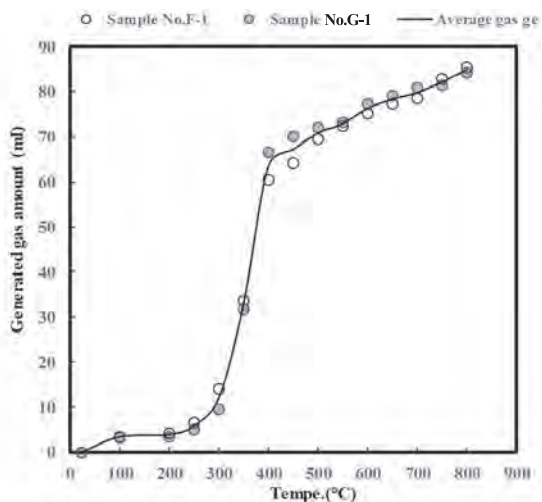
図一4 針葉樹、広葉樹、流木及び早生樹の半炭化300℃と半炭化350℃の質量減少曲線



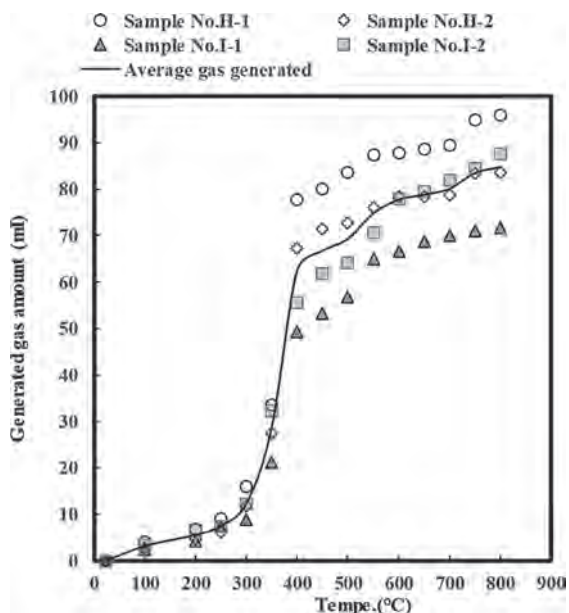
図一5 針葉樹の半炭化におけるガス生成量と温度の関係



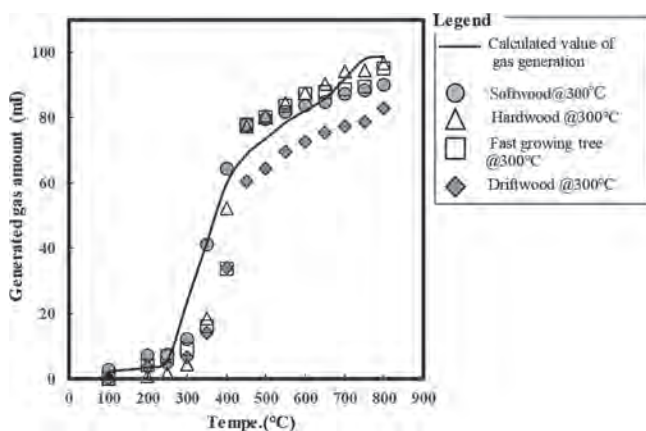
図一6 広葉樹の半炭化におけるガス生成量と温度の関係



図一七 流木の半炭化におけるガス生成量と温度の関係



図一八 早生樹の半炭化におけるガス生成量と温度の関係



図一九 実験温度と揮発分の全生成ガス量との関係

が見られた。つまり、樹木の種類の違いによる構成成分（セルロース、ヘミセルロース、リグニンなど）の含有比率と木質構造に相違があっても、過熱蒸気によ

る半炭化熱処理材にすることで、ガス化熱分解反応挙動の相違を小さくできることが今後期待される。

4. 実物大による実証実験

(1) 半炭化装置の実験仕様

半炭化の品質指標として、含水率10%以下、質量減少率20~35%以上を想定している。半炭化製造は、材料投入量160~180 kg/hに対し、128~144 kg/hの製造能力を見込んでおり、半炭化装置に投入される木質チップ条件は、投入チップ重量の80%以上が16~45 mmである。半炭化装置内の温度は、乾燥帯の過熱蒸気温度は、150~200℃、滞留時間10~15分、半炭化帯の過熱蒸気温度は300~350℃、滞留時間8~15分、冷却帯：100℃以下を考えている。図一10、写真一2に半炭化装置の概要を示す。今後、半炭化を製造していく中で、想定値を検証しながら指標としている品質を得られるよう改良していく予定である。

(2) ガス化ユニット・コンテナ式発電機の実験仕様

半炭化木質チップをスクリーンで反応塔内へ搬送し、反応塔内でバイオマス原料を熱分解・ガス化させる。さらに生成したガスを熱交換器で冷却し、ウェットスクラバー・熱交換器にて煤・灰分・凝縮水の回収を行う。不純物が除去された生成ガスは、送気ブロウによって発電ユニットに送り込まれる。写真一3、4にユニットの概要を示す。

今後、半炭化材を投入、ガス化、発電していく過程で、今回想定している発熱量に対して必要な半炭化量、ガス量を検証していく。その中で必要な改良は行っていく予定である。

5. おわりに

これまでの基礎実験、室内実験を通して、ガス化装置のシステム検証およびそれに伴う半炭化物に関する多くの知見を得てきた。今後、実物大による実証実験を通じて、稼働試験、連続運転等を行って、半炭化製造やガス化におけるエネルギー収支を明らかにし、システムの改良、改造を行っていく予定である。そして、発電システム全体、あるいは事業全体のシステム構築に活用していきたいと考えている。

これまでの開発に多大なるご協力をいただいた東京工業大学の松本秀行准教授、DOWAサーモテック(株)、鉄建建設(株)の鈴木茂雄氏には大変お世話になりました。ここに、謝意を表します。

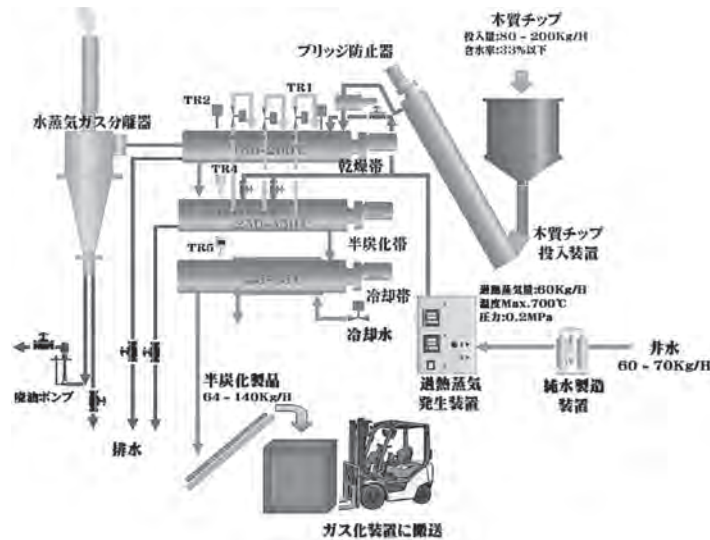


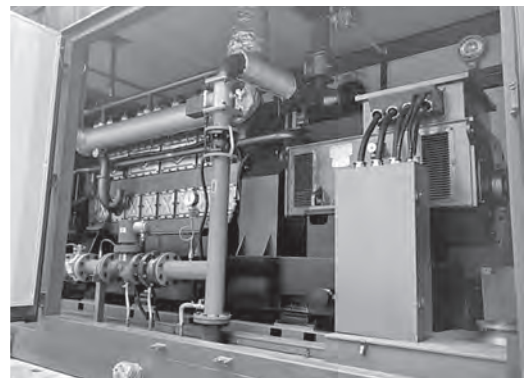
図-10 半炭化装置の概要



半炭化製造装置

- ・投入量：160～180 kg/h
- ・質量減少率：20～35%
- ・半炭化量：128～144 kg/h
- ・過熱蒸気温度：最大 650℃
- ・含水率：10%以下

写真-2 半炭化装置

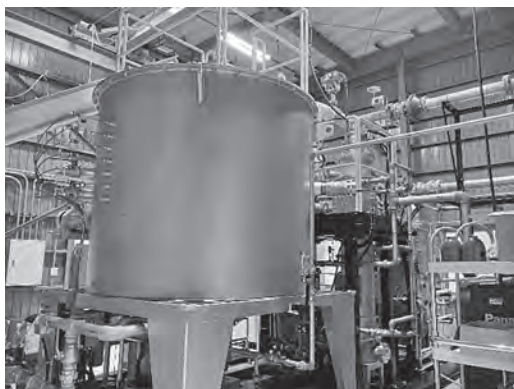


コンテナ式ガス発電機

- ・発電出力：200 kW
- ・最大燃焼噴射量：350 m³N/h
- ・燃料発熱量：6,000 kJ/m³N
- ・設備発熱量：2,100,000 kJ/h
- ・ガス専焼
- ・ガス 100%
- ・設備効率 35%

写真-4 コンテナ式ガス発電機

JCMIA



用途：木質バイオマスの熱分解・ガス化

稼働形態：24時間連続稼働

対象原料：半炭化木質チップ（含水率 5～9%）

原料消費量：120～160 kg/h

生成ガス量：220～350 Nm³/hr

生成ガス発熱量：4.0～8.0 MJ/m³

本体寸法：2,990 mm (W)×5,300 mm (L)×4,042 mm (H)

写真-3 ガス化ユニット

《参考文献》

- 1) 鈴木茂雄, 松本秀行, 猪塚武志: 多樹種のバイオマス資源の過熱蒸気による半炭化熱処理材のガス化熱分解挙動の解析, 木質炭化学会誌, Vol.18, No.1, 13-21, 2022.4
- 2) 森田明宏: 木質バイオマスのガス化過程における基礎熱分解特性とその予測手法, 高温学会誌, Vol.35, No.2, 85-90, 2009
- 3) 水野諭, 森田明宏, 井田民男, 難波邦彦, 瀧端学, 澤井徹: 多様なバイオマス資源の組成・熱分解分析から抽出した特性とその相関, 高温学会誌, Vol.34, No.4, 153-159, 2008
- 4) Blasi D. C.; Modeling and Simulation of Combustion Processes of Charring and Non-Charring Solid Fuels, Prog. Energy Combust. Sci., Vol.19, 71-104, 1993
- 5) 梅本賢, 梶谷史郎: 石炭からの揮発分生成挙動を表す初期熱分解モデル, 日本燃焼学会誌, Vol.58, No.185, 145-152, 2016

【筆者紹介】

柳 博文 (やなぎ ひろふみ)

鉄建建設㈱

土木本部 エンジニアリング企画部



洋上風力発電所建設案件 基礎工事において使用される各種施工機器の開発

和 泉 伸 明

脱炭素社会の実現に大きく貢献することが期待される洋上風力発電は、デンマークにおける世界初の洋上風力発電所建設から31年を数える。その歴史は、基礎工事の観点から言えば、風車の大型化・杭の大口径化への対応という課題克服の歴史でもある。欧州の建機メーカーは、かかる課題の克服を目指し、様々な施工機器の研究・開発に取り組んでいる。大型油圧ハンマーや特殊ハンドリング機器、気中・水中騒音低減装置等はその好例である。本稿ではかかる機器の技術特性について俯瞰的にふれると共に、近年開発された最新の据付技術についてもふれる。

キーワード：洋上風力，大口径杭，杭打ちハンマー，ハンドリング機器

1. はじめに

世界の洋上風力発電の歴史は、1991年にデンマークの Vindeby 沖 2 km 程、水深 4 m の洋上において、発電容量 0.45 MW という風力発電機 11 基によって産声をあげた¹⁾。日本では 2004 年に、北海道瀬棚町 (0.6 MW×2 基) と山形県酒田市 (2.0 MW×8 基) において建設されたものが先駆けである²⁾。31 年を経た今日、洋上風力発電業界は、欧州と中国のメーカーにより 14~16 MW の風力発電機試作機を稼働せしむるに至った。31 年間で実に 36 倍近い発電容量の増加である。

洋上風力発電所の建設初期において重要な作業となるのが、基礎施工である。基礎構造には大きく分けて着床式と浮体式の二種類があり、世界の洋上風力発電所の 9 割以上が前者である。浮体式については、2021 年よりスコットランド Hywind 洋上風力発電所で初の商業規模建設工事が開始された。

着床式基礎にはモノパイル式、ジャケット式、サクシオンバケット式、重力式といった種類がある。欧州のみの例となるが、全洋上風力発電所における基礎構造は、モノパイル式とジャケット式だけでそれぞれ 80%、13% を占める³⁾。特にモノパイル式は、水深 30~40 m 程度であれば比較的容易に据付が可能であるため、今後欧州域外でも同方式が主たる工法となることが予想される。

着床式基礎は、現在は主に SEP (Self-Elevating Platform) 船と呼ばれるクレーンおよび昇降用脚付き

作業船により据付作業が行われている。同作業船は、甲板の四隅に件の昇降用脚 (Spudcan) を有し、これらを海底に着床させ、本船自体を海面から嵩上げすることで安定した状態を形成し、クレーンによる揚重作業等を行うことが可能となる。

洋上風力発電所建設の歴史は、基礎工事の観点から言えば、風車の大型化・杭の大口径化への対応という課題克服の歴史でもある。欧州の建機メーカーは、かかる課題の克服を目指し、様々な施工機器の研究・開発に取り組んできた。本稿では、その中でも基礎工事に焦点を絞り、かかる機器の技術特性について俯瞰的にふれる。

なお、日本の洋上風力発電業界が初期の成長期にあること、報文の文字制限があることを鑑み、現在最もひろく用いられている着床式基礎のみを扱い、浮体式基礎については今回は割愛し、将来機会があれば扱うものとした。

2. 杭の大口径化

洋上風力発電機のタワーを単一の杭で支持するモノパイル構造が初めて導入されたのは、1994年にオランダで建設された Lely 洋上風力発電所 (0.5 MW×4 基) である⁴⁾。杭径はわずか 3.7 m、使用された油圧ハンマーは打設エネルギーも 150 kJ であった。その後、発電機は大型化の一途をたどり、今年 7 月に基礎の打設を終えた独 Arcadis Ost I 洋上風力発電所 (9.2 MW×28 基) においては、杭頭径 7 m、底部径

9.5 m, 長さ 100 m, 重量は 2,000 トンを超えた⁵⁾。

表一1は、既述の Lely 洋上風力発電所案件から約 5 年毎の区切りで、杭仕様と、使用された油圧ハンマーの種類を推移をまとめたものである。油圧ハンマーの選定基準は、杭の仕様と土質条件という二つの要素に大きく影響を受ける。杭が大型化すれば、据付場所の地層におけるその先端抵抗と周面摩擦は増加し、貫入に必要なエネルギーも増加する。90 年代の案件と直近の案件の間に 36 倍の打設エネルギーの開きがあることは、各ハンマー・メーカーの研究・開発努力の賜物であることは言うまでもないが、特筆すべきは過去 10 年間における風力発電機の発電容量の大型化と、それに伴う使用ハンマーの打設エネルギー増加のペースが著しいことである。

表一1 杭頭径とハンマーの打設エネルギーの推移⁶⁾

施工年	国・案件名・発電容量	杭頭径	使用機器打設エネルギー
1994	蘭 Lely (0.5 MW×4 基)	3.7 m	150 kJ
2006	蘭 Egmond aan Zee (3.0 MW×36 基)	4.7 m	1,200 kJ
2009	英 Thanet (3.0 MW×100 基)	4.9 m	1,400 kJ
2014	独 Borkom Rifgund I (4.0 MW×78 基)	4.8 m	2,000 kJ
2019	独 Borkom Rifgund I (8.0 MW×56 基)	6.5 m	3,000 kJ
2022	独 Arcadis Ost I (9.2 MW×28 基)	7.0 m	4,000 kJ
2024	英 Dogger Bank (13.0 MW×190 基)	8.0 m	5,500 kJ (推定値)

今後も風力発電機の大型化は 20 MW 程度までは進むと予想され、当然これを支える杭も大口径化し、これを打設するのに必要なハンマーの打設エネルギーも増加することになる。上記の数値を超える次世代型ハンマーが市場に登場するのは、時間の問題である。

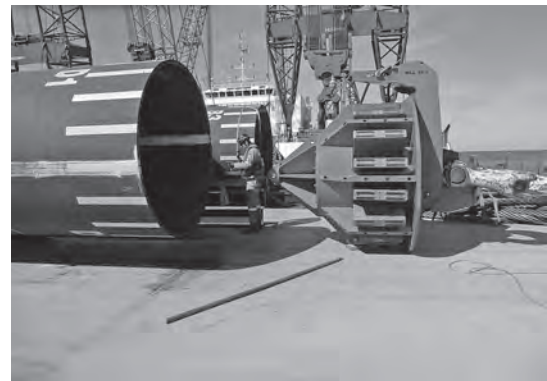
3. 基礎施工

本章では、洋上風力発電所の基礎工事において主に使用される建機、そしてその技術特性について概説する。洋上で作業船が据付工事を行う際の、物理的な作業順序になるべく合わせるかたちで説明する。

(1) 杭専用吊り具 (一般名称: Up-ending Tool)

作業船が据付場所に到着して作業可能状態 (昇降式の着床) となってから先ず行うのは、杭の揚重である。洋上風力発電機向けであるか否かによらず、基礎杭というものには、トラニオンやトップラグ、パッドアイといった吊りポイントが準備されているわけではなく、単

なる筒状の大型構造物である。従い、吊り具に特殊な設計を行うことで揚重する (写真一1~3, 図一1, 2)。



写真一1 ジャケット向けピンバイル用吊り具
杭の重量 1,200 トン程度まで対応可能



写真二2 グラウト式モノバイル用吊り具
既述のピンバイル用吊り具と設計原理は同じ。現在は 2,000 トンを超える杭の重量に対応可能

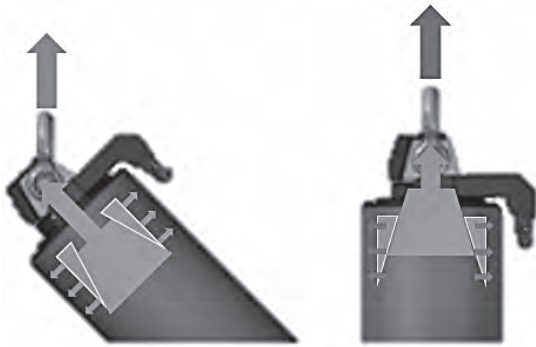


写真三3 フランジ式モノバイル用吊り具
こちらも 2,400 トンを超えるフランジ式杭の重量に対応可能



図一1 杭専用吊り具の稼働原理 (1)

手順1: 吊り具を機器に挿入
手順2: 油圧装置により、吊り具内のセンターピンを引っ張ることで、平板状の「楔」が押し出され、これらが杭を内部から押す力で杭と密着する



図一 杭専用吊り具の稼働原理 (2)

手順3：作業船のクレーンで揚重し、吊り具先端の可動部が立ち上がる
 手順4：立ち上がった状態。センターピンはこの間、上方向に引っ張られることとなり、下がることは無い。楔も外に押されたまま、内部に戻ることは無い。すなわち、油圧装置が万が一故障したとしても、重力により物理的に杭を放さない構造をしているため、事故を防止する設計となっている

(2) 杭立て起こし装置 (Up-ending Frame)

杭頭を専用吊り具で揚重する間、杭の底部を安定的に立て起こす必要があるが、これに対応するのがヒンジ構造を有する立て起こし装置である。主に二種類あり、作業船の甲板に設置し、クレーンが巻き上げ・旋回をしながら杭を立て起こすものと、装置自体を自走式多軸台車 (Self-propelled Module Transporter : SPMT) に積載し、クレーンは巻き上げのみを行い SPMT が前進することで立て起こすものがある (写真一4, 5)。



写真一4 作業船甲板に据え付けられた Up-ending Frame
 集中荷重となるため、甲板強度の詳細な安全性検討が肝要

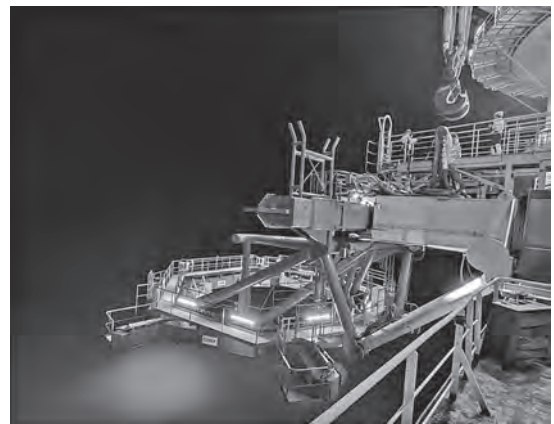


写真一5 SPMTに積載された Up-ending Hinge
 荷重はSPMTにより甲板に均等に分散される点の特長

(3) 杭鉛直度維持装置 (Pile Gripper)

立て起こした杭を多方向から加重しつつ文字通りグリップし、杭の鉛直度を維持しながら打設を行う機器である。建設時に必要となる杭の鉛直度誤差の許容範囲は、一般的に0.25度とされている。長さ70mの杭があった場合、根入れ深さから杭頭までのズレが305mmまでという精度である。鉛直度の維持は、精度を担保するために複数の機器を組み合わせで行う。

内部には杭を押さえつける油圧式ローラーを複数装備し、杭径の変化にも対応している。これは、杭径が頭部と底部で異なるもの (Tapered pile) を意図した機能である。グリッパーのローラーは先ず最大径に当たる底部径を複数の角度から同時に押さえつける。ハンマーによる打設作業が進むにつれ、杭径は小さくなり、これに合わせてローラーも内部に迫り出し、杭頭近くの小さい径を複数の角度から継続的に押さえる (写真一6)。



写真一6 作業船甲板に据え付けられた Gripper

(4) 杭打ちハンマー (Hammer)

ラムを油圧で持ち上げ、ガスで加速した状態で落とし、下部アンビルを打撃することで杭にエネルギーを伝達するという基本構造は、陸上用杭打ちハンマーと同じである。やはり特筆すべきは、洋上工事仕様の規模である。本邦で製造された最大の杭打ちハンマーの打撃エネルギーは、150kJ。現在、海外の洋上風力発電所建設の現場では、4,400kJの製品が存在し、来年には5,500kJを超える機種が稼働開始予定である。本邦案件、特に15MW級の風力発電機の採用が予想されるラウンド2以降の案件では、日本製最大機器の36倍以上の打撃エネルギーを有する機器が稼働することが見込まれる (写真一7)。



写真一七 打撃エネルギー 4,000 kJ の杭打ちハンマー

底部の平たい円柱状の部分が、杭に実際にエネルギーを伝達する Anvil を内蔵したスリーブと呼ばれる部位（直径 7m）。次世代型機器ともなると、ハンマー（5,500 kJ 級）とスリーブ（直径 8m）を併せた総重量は、900 トン近くになる

(5) 気中騒音・水中騒音低減装置 (Airborne Noise Reduction System/Underwater Noise Mitigation System)

欧州では 2008 年以降、海洋生物の生態系保護の観点から、工事中（特に杭打ち作業中）に発生する水中騒音を規制する法整備が進んでいる。各メーカーもこれらに対応し、水中騒音低減装置も、商品化から既に 10 年以上の実績がある。

同装置は、筒状の構造物で杭の海面下の部分をすべて覆うことで、杭の海中部分における騒音の発生を 98% 以上低減する機能を有する。但し、杭が海底に既に貫入した部分からは、地中を通じて海中に振動が伝わり、それが水中騒音に変容するため、追加の水中騒音低減装置（気泡発生装置 = Big Bubble Curtain）が別途必要となることが多い。

一方で、海洋工事中の気中騒音に関する法整備は、欧州でもほぼ皆無である。これは、欧州の洋上風力発電所のほとんどが沖合十数キロから数十キロの場所で建設されており、陸側で気中騒音が問題化する事例がほぼ無いことに関係している。本邦では、洋上風力発電所はそのほとんどが沖合 1 km 以下から 4 km 程度以内であることから、近隣住民の間で気中騒音が問題化する可能性が高い。本邦初の商業規模洋上風力発電所建設案件となった秋田港・能代港案件に関する昨年の報道は記憶に新しいところである。これに対応するため、欧州メーカーの間では、気中騒音低減装置の開

発が進められている。ちなみに、本邦における海洋工事に関する騒音規制法令は、気中・水中の如何によらず未整備である。

気中騒音低減装置も、構造や仕組みは水中騒音低減装置と似ており、杭の海面上の表面を覆うことで気中騒音を低減するもの。杭径 1.5m 程度までのいわゆる沿岸土木工事案件においては、既に製品化はされており、実績も多い。しかしながら、洋上風力案件で用いられるような大口径杭に対応した製品は未だ開発段階を超えておらず、製品化には数年を要する見込みである（写真一 8、9）。



写真一八 水中騒音低減装置

当該機器には、筒の内側に複数の油圧式ローラーが配置されており、杭を継続的に押さえつける鉛直度維持機能や、海底ケーブルの接続角度を正確に維持するための方向調整（回転）機能も有する



写真一九 気中騒音低減装置

蛇腹状の硬質ゴムを、カーテンのように下して杭を覆う洋上風力工用の杭径に対応した製品は、現在も開発段階にある

(6) アノード専用吊り具 (Anode Cage Lifting Tool)

杭の防蝕装置であるアノードは、軽量ながらも構造上専用の吊り具を要する。吊り位置を多くすることで、集中荷重を防ぎ、且つ杭に吊り具が接触することも防ぐ設計となっている（写真一 10）。

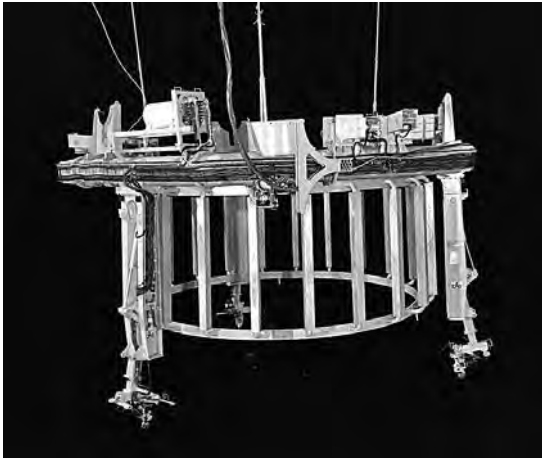


写真-10 アノード・ケージ据付治具

(7) トランジション・ピース専用吊り具 (TP Piece Lifting Tool)

杭とアノードの設置後に設置するのが、基礎と上部構造をつなぐトランジション・ピース (TP) である。これには、TP 上部の内部構造に楔を引っ掛けるかたちで吊り上げを行う油圧式吊り具が用いられる (写真-11)。



写真-11 トランジション・ピース専用吊り具

(8) ジャケット用据付テンプレート (Jacket Positioning Template)

ジャケット式の基礎構造物の場合、既述の機器に加えて、予めピンパイルを特定のジャケットの寸法に合わせて打設しておく (Pre-piling) ために、テンプレートと呼ばれる機器が用いられる。底部に設置された油圧装置が海底の地形に合わせて水平度を調整し、次に個々のピンパイルの差込部に設置された油圧装置がピンパイルの鉛直度を維持する機構を有している。通常、特定の案件のために専用のテンプレートが設計される (写真-12)。



写真-12 ジャケット用据付テンプレート

4. 最新技術

基礎施工機器のメーカーは、風力発電機器の大型化に加えて、据付作業可能時間 (Operational Window) の最大化と据付作業時間の短縮化を目指し、様々な技術革新に取り組んでいる。工期の短縮はそのまま建設費の低減に結びつき、電力事業者にとっては運転開始時期や売電利益のキャッシュフロー早期化に直結する、重要な要素である。ここでは、実用化が始まった最新技術を三例紹介する。

(1) 汎用型吊り具 (Combi Lifting Tool)

既述の主な基礎施工機器において、クレーンによる揚重を要するもの (第3章の機器 (3) を除くすべて) を、単一の吊り具で吊れるよう設計したものを、クレーンのフックそのものを、すべての機器に共通して挿入可能なソケット (オス: 図-3 左上の機器) に交換し、残りの機器にはすべてメスの構造を持たせている。従来はすべての吊り作業に個別の吊り具の段取りを要し、8名近くの玉掛け作業員がクレーン、高所作業車等を駆使して甲板上で作業をしていたものが、単一の吊り具のみで足り、遠隔操作により、作業開始・終了時を除き玉掛け作業員も不要となる。クレーンの巻上・巻下、旋回範囲も大幅に削減されることから、工期は従来と比して20%程度の短縮が可能となった実例も

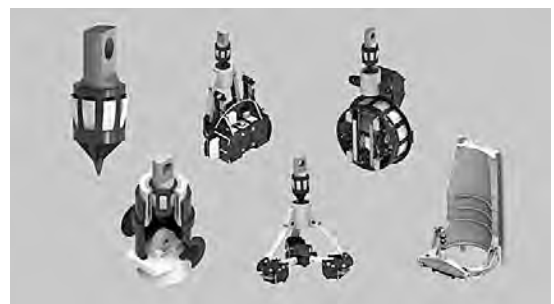


図-3 汎用型吊り具 一例

左上が共通ソケット (オス)。残りの機器にはすべてメスの構造を有しており、基礎施工に必要なすべての機器に対応している

ある。これは、従来工法であれば例えば約50日を要した杭打ち作業が、40日以下で完了することを意味する。SEP船の備船料が一日当たり数千万円を超える現在の市場において、大きな費用対効果を発揮する機器と言える（図—3、写真—13）。



写真—13 汎用型吊り具 作業風景
船上では、玉掛け作業員やその他機器は不要となる

(2) 自動船位保持装置（DPS）付き杭鉛直度維持装置

第3章の(3)にて既述の杭鉛直度維持装置（Pile Gripper）に、自動船位保持装置（Dynamic Positioning System：DPS）を内蔵させたもの。既にDP機能を有するクレーン船に設置することで、本船を海底に固定することなく動的に浮いたままでの杭打ち作業が可能となる。独 Arcadis Ost I 洋上風力発電所案件においては、M/V “Orion”（5,000トン吊り容量のクレーンを有する浮体式据付作業船）が、今年7月、商業規模案件としては初めて、当該技術を用いた杭打ち作業を成功裡に完遂した。当該技術は製品化されつつあり、SEP船に依存しない基礎施工を行う時代の幕開けを象徴する案件となった（写真—14）。



写真—14 M/V “ORION” 作業風景
DPS 付き杭鉛直度維持装置（Dynamic Outrigger）を搭載

(3) 水塊充填式騒音低減装置

既存の杭打ちハンマーに着脱可能なアタッチメントであり、筐体内部に1トン余りの水塊を充填したものの。ハンマーで水塊を叩くことで、打撃のインパクト時間を30ミリ秒程度まで延ばし（通常の杭打ち作業のインパクト時間は8～12ミリ秒）、瞬間最大荷重（ピーク・フォース）を、装置無しの状態と比して45%程度押さえる。杭の振動回数（周波数）は低くなり、人間の聴覚は低周波数の音を低音と感じる性質があることから、これを利用して6～10dB程度の騒音低減を実現する装置である。

従前の騒音低減装置としては、衝撃吸収板（ショックプレート）を多層で重ねたアタッチメントが存在する。ハンマーの打撃エネルギーを吸収することでピーク・フォースを押さえる仕組みであるが、打撃エネルギーが一部失われているため、固い地盤に到達すると、同装置を一旦取り外し、本来の打撃エネルギーで打設を行い、軟らかい地盤に再度到達した時点で同装置を再取付する、といった作業が必要であった。一回の作業は数時間であるが、杭を数十本据え付ける案件であれば十数日分の時間を要することになり、コスト増につながる。

件の水塊充填式装置は、水塊の量を調節できる点が特長である。水塊により打撃エネルギーを一部失うことにおいては同じだが、固い地盤に到達した時点で、筐体内に充填していた水を排し、本来の打撃エネルギーで打設を行い、軟らかい地盤に再度到達した時点で水を再度注入する、といった作業が可能となる。これは数十分で実施可能な作業であり、工期を長期化することなく気中・水中騒音の低減を実現できる新技術である。奇しくも、同装置も既述の独 Arcadis Ost I 洋上風力発電所において初めて実用化され、意図していた騒音低減効果を得られたことが確認されている（写真—15）。



写真—15 水塊充填式騒音低減装置
写真中央にあり、ハンマーとスリーブの間に装着されている

5. おわりに

成長の初期にある日本の洋上風力発電業界において、建設に関わる方々に対して、そもそも基礎工事においてはどのような機器が使用されるのかということにつき概説した。単一の製品について掘り下げるのではなく、最低でもこの程度の機器が使用され、その稼働原理といった基本的技術特性に的を絞った内容とした。実のところ、杭の滑落防止やクレーン保護装置、浮体式風力設備用機器等、洋上構造物の基礎工事に使用される機器だけでも40種類をゆうに上回る。今後機会があれば、幾つかの機器を深掘りした報文もご紹介したい。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) Siemens Gamesa Renewable Energy. 2021. "Celebrating 30 years of offshore adventure".
<https://www.siemensgamesa.com/en-int/explore/journal/2021/08/>

vindeby-30-anniversary-offshore, (参照 2022-08-12)

- 2) 川崎重工業. 「日本初の洋上風力発電所が完成」. Kawasaki News, Vol.134. 2004. 18-19 ページ
- 3) Reuter Events. 2019. "Offshore wind foundation shift hinges on serial build gains" (Reproduced from WindEurope).
<https://www.reutersevents.com/renewables/wind-energy-update/offshore-wind-foundation-shift-hinges-serial-build-gains> (参照 2022-08-12)
- 4) reNEWS. biz. 2016. "Nuon says bye to Lely".
<https://renews.biz/40655/nuon-says-bye-to-lely/> (参照 2022-08-12)
- 5) DEME. 2022. "Monopile installation completed at Arcadis Ost 1 offshore wind".
<https://www.deme-group.com/news/monopile-installation-completed-arcadis-ost-1-offshore-wind-farm> (参照 2022-08-12)
- 6) 各種案件の仕様や情報は、公開されている情報および洋上風力発電に関する市場情報サービス 4C Offshore (有償) より抜粋

【筆者紹介】

和泉 伸明 (いずみ のぶあき)
IQIP Japan (株)
ゼネラルマネージャー



洋上風力発電事業における海底地盤調査の最新技術

平出 亜・岡村 健・村上文敏

洋上風力発電事業の着床式風車を対象とした海底地盤調査の新技术（シングルパス・サーベイ，三次元音波探査，海底微動アレイ探査，海底逆PS検層，大孔径対応型サスペンションPS検層器）を開発した。海底微動アレイ探査は複数の特許を取得したほか，大水深にも対応できる機器を開発中であり，実証実験段階に入っている。大孔径対応型サスペンションPS検層器は，大孔径のCPT調査においても精度良くS波速度が測定できるよう開発した。これらは，コスト縮減および作業日数の短縮をはかるための新技术であり，いずれも今後の洋上風力発電事業に役立つものである。

キーワード：洋上風力発電事業，海底地盤調査，海底微動アレイ探査，サスペンションPS検層

1. はじめに

洋上風力発電事業では，洋上に設置する風車の基礎設計や発電施設のレイアウトデザインを検討するため，事業予定区域における海底地盤調査を行う必要がある。着床式風車の対象となる海域は，水深10～50m程度の一般海域で，この海域の特徴として，年間を通して厳しい海象条件にあり，海上作業が可能な期間に限られる。一方で風車は大型化し，風車に作用する外力として，波・風に加えて地震時の荷重を考慮する必要があり，風車設計には支持層のみならず，工学的基盤面の確認が必要である。海底地盤調査は，海底地形及び地層分布，工学的基盤面の深度などを調査する。調査は公募に応募するための基本設計に必要な概略調査と，発電事業者として選定されたのち，詳細設計を行うための詳細調査の2つに区分できる。

現在，経済産業省では洋上風力発電事業の入札制度見直しについて検討を行っており，事業実現性評価において迅速性が評価の対象として追加される可能性が高い。発電事業開始までの期間を短縮するには，基本設計段階から事業予定区域の地質データをより多く取得し，ウィンドファーム認証（NK審査）を受けておくことが望ましい。

主な海底地盤調査の内容を以下に示す。

(1) 面的調査

- ・海底地形調査（測深）
- ・海底面状況調査（サイドスキャンソナー（SSS））

- ・音波探査

(2) 地点での調査

- ・磁気探査
- ・ボーリング調査
- ・コーン貫入（CPT）調査
- ・物理検層（PS検層等）
- ・繰り返し载荷試験
- ・室内試験（物理試験，力学試験）
- ・海底微動アレイ探査

本稿では，このうち比較的新しい調査手法等について示す。



写真-1 自社製ボーリング用鋼製槽（15基保有）

2. シングルパス・サーベイによる測定

着床式の事業エリアは北海道から東北の日本海側にかけてが多く、気象・海象条件からこれらの海域で海底地盤調査ができる期間は概ね5月上旬から9月下旬までである。調査期間が約5ヶ月と限られており各海域で海底地盤調査が一斉に開始されるため、各種調査を短期間で実施することが求められる。このため、筆者らは、一度の航走で面的調査に必要な物理情報（マルチビーム音響測深（MBES）、表層音波探査（SBP）、海底面状況調査（SSS）、磁気探査（MAG）など）を全て同時に取得する高効率な測定方法（シングルパス・

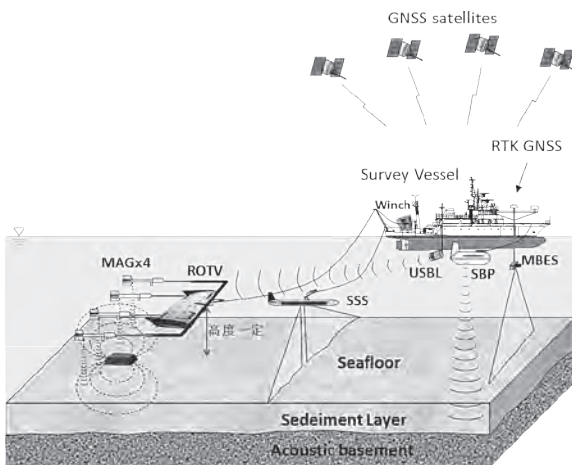


図-1 シングルパス・サーベイの概念¹⁾



EdgeTech 4205 (図-1 中の SSS)
300,600,900kHz のうち 2 周波同時測定
EdgeTech 社 HP より引用



Geometrics G882 全磁力計(図-1 中の MAG)
Geometrics 社 HP より引用



EIVA ROTV
1.7m 間隔で 4 つの全磁力計を同時曳航可能な ROTV
EIVA 社 HP より引用

写真-2 シングルパス・サーベイの使用機器

サーベイと呼ぶ)の実用を試みている(図-1)。本測定では、ROTV(Remotely Operated Towed Vehicle)によって4本の磁気探査器を海底から一定高度に保って曳航する測定システムを含んでおり、データ品質も向上する。また、水深300m程度まで適用できるため、大水深における浮体式の調査においても活用が期待される(写真-2)。

日本ではこれまで潜水による磁気探査が主流であったが、洋上風力発電が先行する欧州では人による潜水作業による事故を防ぐため、曳航式の磁気探査が主流になっている。洋上風力発電事業の共同事業体に欧州の企業が参画することが増えており、労働安全衛生・環境(HSE)も欧州と同等のものが求められ始めている。本測定で用いるセシウム磁力計などの各測定機器は、欧州仕様に適合しており、海域調査の安全性向上にも資するものである。

3. 三次元音波探査

村上らが開発した小型高分解能三次元音波探査システムによる地盤構造三次元化可視化の技術を紹介する。本システムは、船上の観測装置と船尾から曳航される装置に分けられる(図-2)。曳航装置は、音源と4本の受信ケーブルからなる。

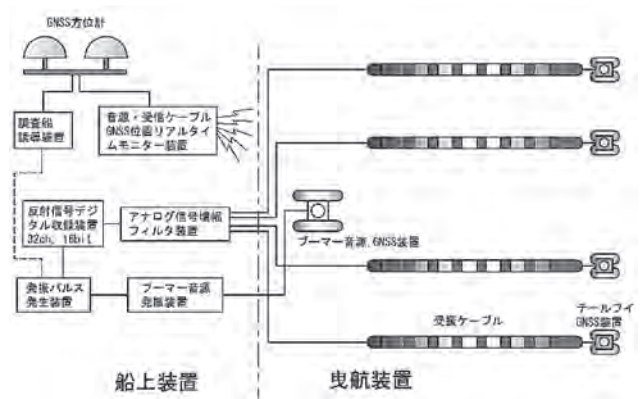


図-2 観測装置の概要

各受振ケーブルの端部には、GNSS受信機が設置されたブイが取り付けられ、音源が取り付けられたブイ上にもGNSS受信機が設置されている。音源ブイと受信ケーブルテールブイのGNSS受信データは、オフライン収録と同時に簡易無線送信機によって船上受信機に送られ、データを取録とともに音源と受信ケーブル位置をリアルタイムでモニターできる。音源の種類としては、ブーマー、スパーカー、エアガン・GIガン、ウォーターガン等があり、目的とする探査深度、

地層分解能等に応じて音源を選択する。船上観測装置は、GNSS 方位計、曳航装置位置リアルタイムモニター・データロギング装置、受振ケーブルで得られた反射記録のアナログ処理・デジタルデータ収録装置、音源の発振装置等からなる。

図-3 は、受振ケーブルと音源等の標準的な配置を示す。チャンネル間隔 2.5 m の 4 本の受信ケーブルは片舷 10 m 長のブームに取り付けられ、ブーマー音源と各チャンネルの midpoint が音波の反射点となる。反射点位置は、船上と受信ケーブルテールブイ上の GNSS 測位位置を基に計算される各チャンネル位置と音源ブイ GNSS の測位位置から計算される。

反射データの処理フローを図-4 に示す。調査海域はビンと呼ばれる矩形（本システムでは通常 2.5 m × 2.5 m）に細分され、反射点位置座標を使用したビンニング処理の後、速度解析と NMO 処理により一つのビンにおいて 1 本の反射トレースが得られ、すべてのビンの反射トレースから 3D ボリュームデータが作成される。反射データ解釈ソフトによって、海底下地盤構造の三次元可視画像を表示できる（図-5）。

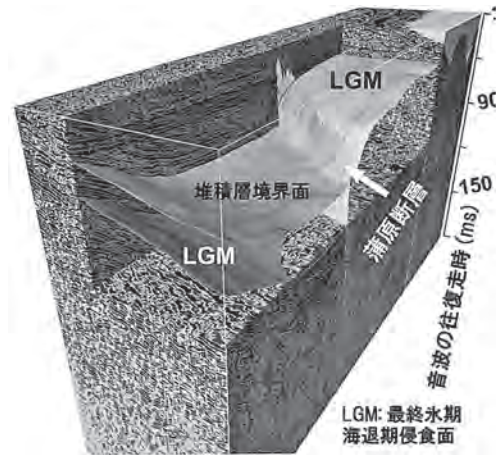


図-5 3D ボリュームデータの可視画像²⁾

4. 海底微動アレイ探査

ボーリング調査では、サスペンション PS 検層によって地盤の S 波速度と工学的基盤を把握するが、費用や調査期間の問題から概略調査段階において多数のボーリング調査を実施することは困難である。また、工学的基盤の深度が 100 m を超えるとボーリングによる調査も難しくなる。

そこで、陸上で使用されている微動アレイ探査を海底に適用し海底地盤の S 波速度を求めるのが、海底微動アレイ探査である（図-6）。

海底微動アレイ探査は、正三角形の頂点及びその重心に配置した微動計を海底に設置し、様々な方位からの微動を計測して、1 次元の S 波速度構造を推定する

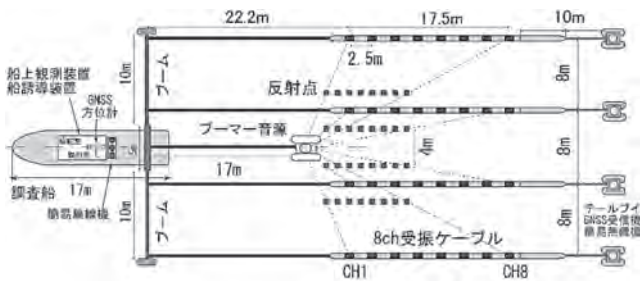


図-3 受振ケーブルと音源の標準的配置²⁾

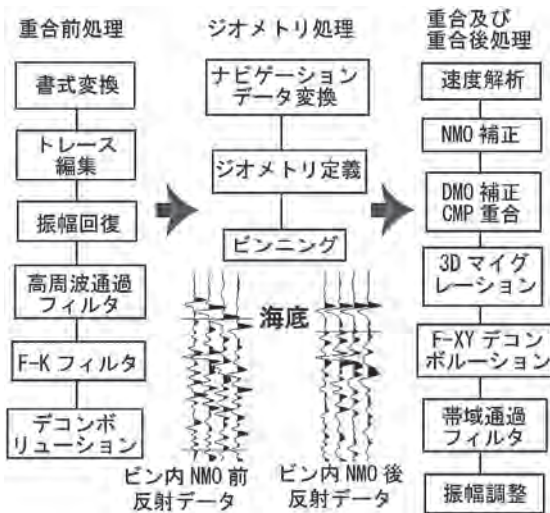


図-4 反射データの処理フロー

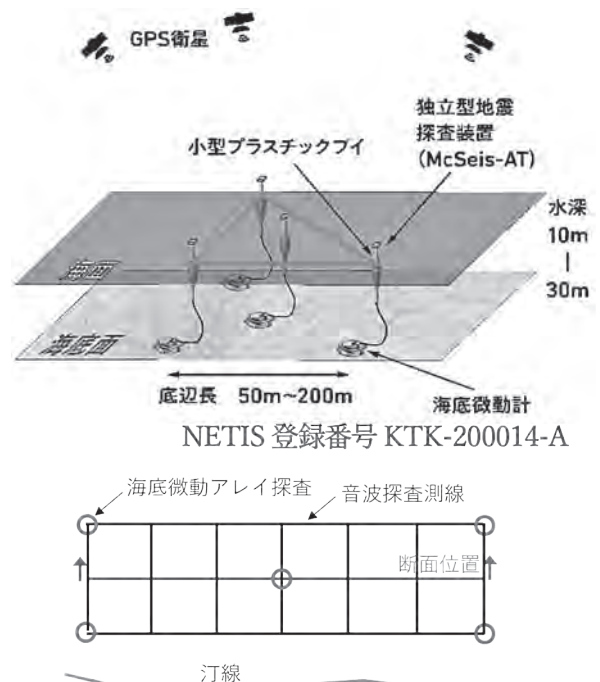
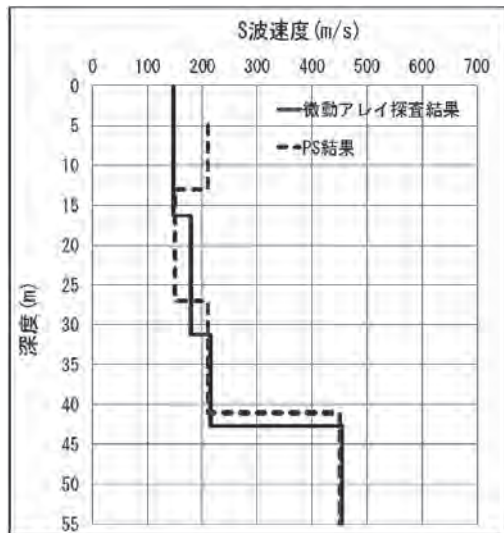


図-6 海底微動アレイ探査の調査計画イメージ³⁾



図一七 PS 検層と海底微動アレイ探査結果の対比例³⁾

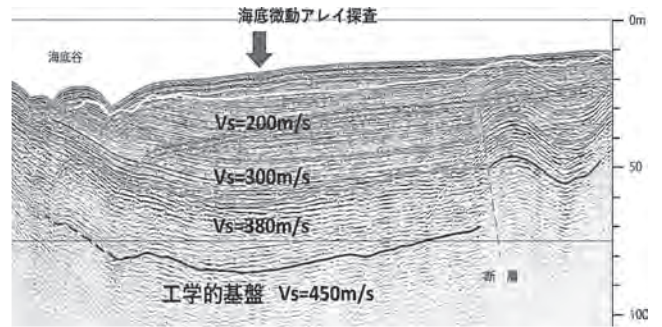
ものである。一般的には複数の底辺長のアレイ観測(たとえば 50 m, 100 m, 200 m)を行い、海底下 200 m 程度までの S 波速度構造を求める。また、地層境界深度の誤差は地盤深さの ±1 割程度で、解析結果による V_s の速度値の誤差も ±1 割程度である。

海底微動アレイ探査の測定は、小型船から海底微動計を投入し自由落下させて行うが、海底微動計の位置を正しく把握することが重要であるため、弊社では海面で発振した音波でその位置を把握する手法を開発した(特許番号 6766122)。

海底微動アレイ探査の利用例を図一八に示す。同図に示す通り、音波探査の結果と合わせて検討することにより、概略調査段階で開発エリアの地層構成及び、工学的基盤面の分布を把握することが可能となる。



写真一三 海底微動アレイ探査の作業状況³⁾

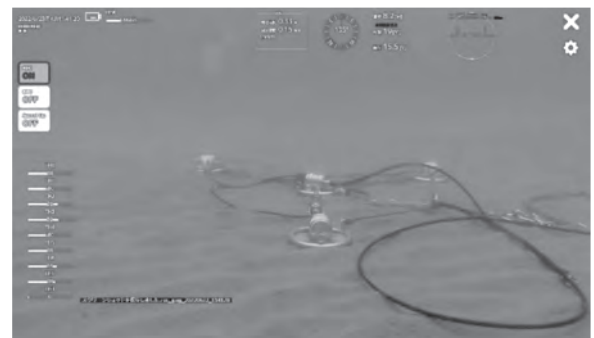


図一八 海底微動アレイ探査と音波探査の複合解析イメージ³⁾

現在の海底微動アレイ探査は、洋上における正三角形配置の取り回し上の問題から S 波速度を測定できる調査深度が G.L.-20~200 m 程度である。また、計測機器の耐水圧性能は、浮体式洋上風力の大水深(水深 50 m 以上)には対応できていない。

このため、浅層(G.L.0~20 m)の V_s を精度良く把握することに特化した極小海底微動アレイ探査を開発し、特許(特許番号 7082643)を取得した。この技術は、浅層地盤が対象となるジャッキアップ船(JUV)のレグ貫入支持力調査、ケーブルルート調査などに有効であると考え(写真一四)。

また、耐水圧性能を大幅に向上した大水深対応型の海底微動アレイ探査機器を開発中であり、現在、実証実験段階に入っている。



写真一四 極小海底微動アレイ実施例³⁾

5. 海底逆 PS 検層

洋上風力発電施設に係る地盤調査で実施されるボーリングや CPT の目的の一つは、掘削孔を用いて直接地盤の S 波速度を求めることにある。S 波速度はモノパイル基礎の耐震設計や地震動予測に必要不可欠であり、洋上ではボーリング孔を利用したサスペンション PS 検層(以下、SUS)が実施される。しかしながら良好なデータを取得するため SUS の条件として、掘削孔径が 150 mm 以下で、孔壁面の乱れが少なく、測定時に孔壁が安定していることがあげられる。さら

に、ボーリング孔の保護鋼管のない裸孔区間で計測することが必要となる。

このような状況の中、アップホールタイプのPS検層（海底逆PS検層と呼ぶ）を考案し実用化した。海底逆PS検層は上記のSUSで障害となる条件を考える必要はなく、保護鋼管挿入前の測定が可能であり、さらに調査孔の孔底においてSUS測定器の長さ相当分の余掘りの掘削も不要である。

測定は、S波発生の振動源として、ボーリング調査時の標準貫入試験（SPT）による孔底の打撃振動、あるいはトッププッシュ式CPTで併用されるパーカッションボーリング時の孔底の打撃振動を用いる。孔底を垂直打撃した際に生じるS波は図-9に示すように、水平方向に強い放射パターンを持っており、垂直上方にはほとんど伝わらない。したがって、S波測定用の海底地震計はボーリング孔よりある程度オフセットを取った海底面に設置して、S波が捉えられるようにしている。

図-10はパーカッションボーリングを使用してCPTを実施中に海底逆PS検層を同時に実施した事例である。

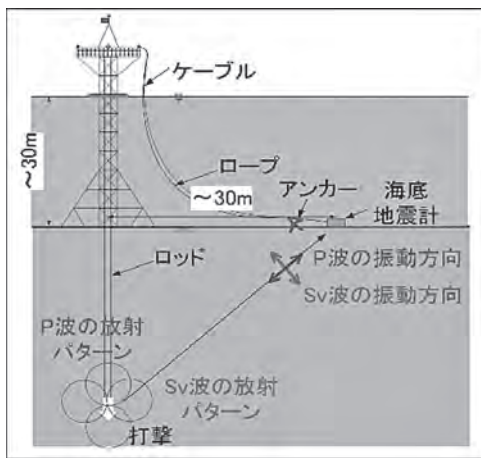


図-9 海底逆PS検層の模式図（ボーリング）³⁾

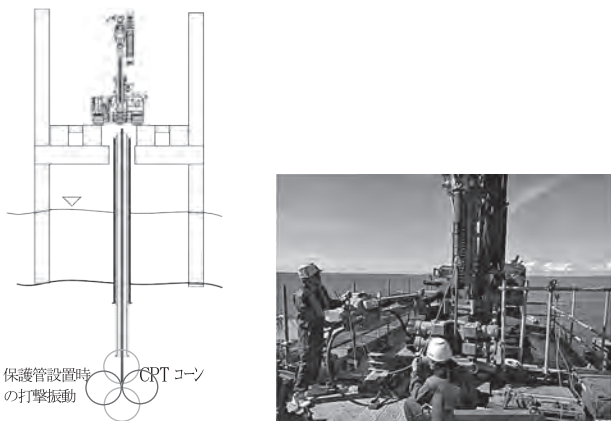


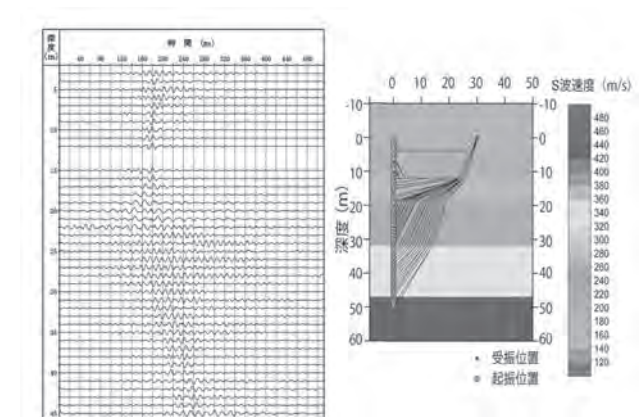
図-10 海底逆PS検層の実施状況例（CPT）³⁾

SPT実施時は、海底地震計での波形及びボーリングロッド上端に取り付けた加速度センサーの波形記録を取録し、その到達時間（走時）により地盤のS波速度を求める。またトッププッシュ式CPTで使用するパーカッション掘削時は、2つの波形記録のコリレーションを取ることで走時を求める。なお走時を導出する際は、ボーリングロッド中を伝わる弾性波速度を求め、その伝搬時間を差し引く必要がある。

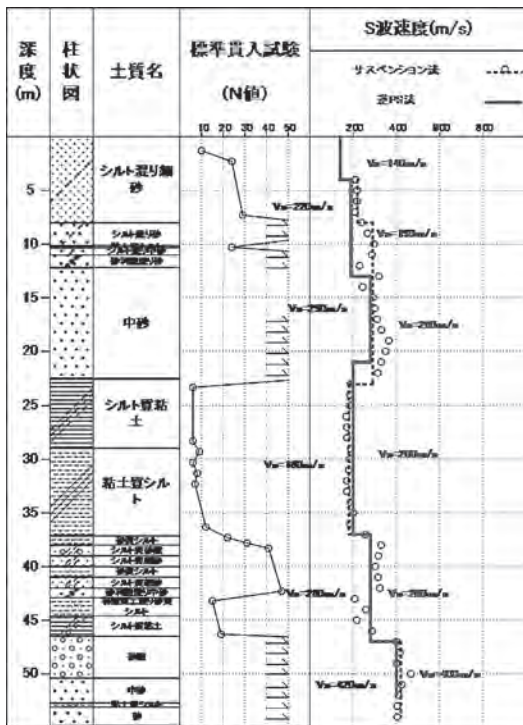
解析は、海底地震計をボーリング孔近傍に設置できれば、得られた走時は起振点から鉛直上方に到達する際の走時であり、縦軸に起振深度、横軸に走時をプロットするとその傾斜がそのままS波速度値になる。しかし、海底逆PS検層では海底地震計はオフセットを取って設置するため、図-11に示すように観測されるS波は地盤の速度構造に応じて屈折して伝わる。このため走時の傾斜から直接S波速度を求めることができない。

したがって、S波速度の導出に当たっては、例えば図-11 (b) に示すような水平成層構造を仮定し、レイトレーシングに基づく逆解析により観測走時を説明する速度構造を求めるといような工夫が必要となる。

洋上で測定を行った結果の例を図-12に示す。この地点では比較のため同一孔でSUSも実施している。屈折の影響が大きく現れる浅層部で両者の速度値がやや異なるが、深度20m以深では海底逆PS検層の速度値はほぼSUSと同じ値となっている。



(a) (b)
図-11 観測波形例（左）と波形例（右）⁴⁾



図一12 海底逆PS検層の測定結果例⁵⁾

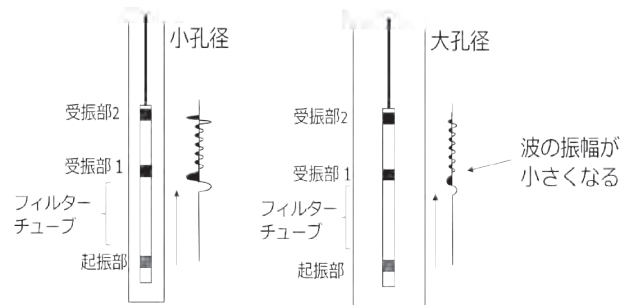
6. 大孔径対応型サスペンションPS検層

風車の耐震設計を行うためには、各地層のS波速度(V_s)と工学的基盤を把握する必要がある。海上ボーリング調査では、孔中に挿入した振源でP波、S波を発生させ、同じく孔中に挿入した受振器により地盤を伝搬した振動を受振することで、孔付近の地盤の弾性波速度(P波速度、S波速度)を把握することができるサスペンションPS検層が用いられる。

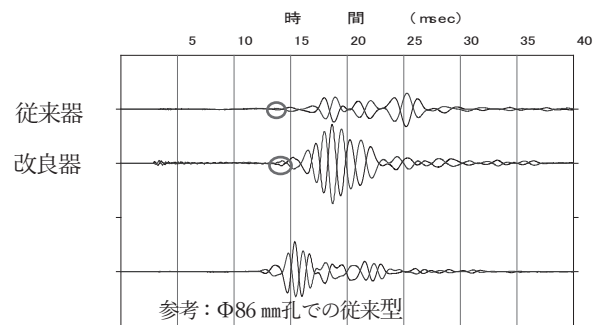
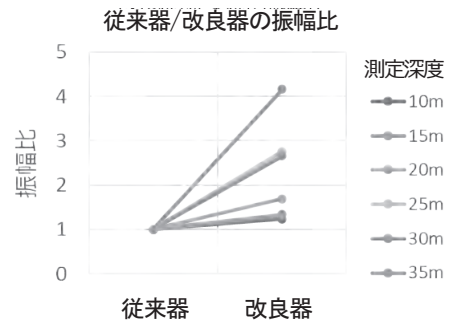
このときボーリング調査における掘削孔径は、通常φ100~150mmである。一方、短期間で多数の風車基礎を調査することになる詳細調査や大水深の浮体式調査では、専用の調査船(ドリルシップ)によるCPT調査が多くなるが、専用調査船における保孔管の外径は通常φ180~250mmである。

現在のサスペンションPS検層の適用限界はφ150mm(理論的にφ200mm程度以下)であり、これ以上の孔径では径が大きくなるほど正しいS波の波形が読み取りにくくなり測定精度が落ちる。特に工学的基盤となる更新世前期~鮮新世の地層は V_s が400m/s前後となるケースが多く、精度良く V_s を測定する必要がある。なお、言うまでもなく、孔内に保孔管として塩ビパイプを挿入しての測定では正しい結果は得られない。

そこで、弊社では従来のサスペンションPS検層器を改良し、新たにCPT調査向けに起振エネルギーを



図一13 大孔径におけるPS検層の模式図



※深度25m ○印の振幅値を比較

図一14 φ270mm孔でのサスペンションPS検層器の性能比較³⁾

大幅に増加させた大孔径対応型サスペンションPS検層器を開発し、性能確認を行った。試験結果を図一14に示す。孔径がφ270mm相当の試験孔で、従来型振源と改良型振源での比較測定を行い複数の深度で振幅の増加を確認した。

7. おわりに

ここ数年の間で、洋上風力発電設備のための海底地盤調査が本格的に実施されるようになったが、一般海域においては地盤調査の実績がほとんどなく、陸上とは異なる調査機材や調査手順が必要となることも多い。

洋上風車の実績は欧州で積み重ねられてきたことから、海底地盤調査においても欧州の実績を参照することが多い。しかしながら我が国の沿岸を構成する地盤は欧州北海の地盤と異なる点が多く、我が国は世界有数の地震国であることから、我が国に特有な設計施工

条件に適用する新たな調査方法や調査機材を開発していく必要があると考える。

J C M A

《参考文献》

- 1) オーシャンエンジニアリング(株)社内資料
- 2) 総合地質調査(株)社内資料
- 3) 応用地質(株)社内資料
- 4) 久住呂貴之, 松原由和, 山本正人, 平出亜, : 洋上ボーリング調査における新しいPS検層の実施例, 第56回地盤工学研究発表会, 2021
- 5) 川崎悠介, 信岡大, 松原由和, 久住呂貴之, 平出亜, 永島三雄: 洋上地盤調査への物理探査の適用～海底逆PS検層～, 物理探査学会第140回学術講演会論文集, 2019

【筆者紹介】

平出 亜 (ひらいで あけし)
応用地質(株)
エネルギー事業部
技術長



岡村 健 (おかむら けん)
オーシャンエンジニアリング(株)
事業本部
本部長



村上 文敏 (むらかみ ふみとし)
総合地質調査(株)
顧問



ZEBをもっと身近に[®]

特別な技術や高額な設備を用いず、ZEBと脱炭素を実現

白石 晃平

企業の脱炭素経営に不可欠な建築物のZEB化ニーズが高まっている。来たる脱炭素社会を見据え、ZEBの普及拡大を目指し、実用オフィスビルの新築において、ZEB実現の課題であるコストの克服をはじめ汎用性・快適性等をそなえることで、波及性の高いZEBを計画した。設計から運用まで設計者と建築主の一体となった取り組みで、運用実績としてNearly ZEBを達成し、オフィス運用の脱炭素化を実現した。国内の大半を占める5,000 m²以下の中小ビルのZEB化を、特別な開発技術や高い費用をかけず、汎用技術による設計の工夫と運用で、経済的に可能とすることを実証した。

キーワード：脱炭素，ZEB，普及，経済性，快適性，汎用性，簡便性

1. はじめに

2050年の脱炭素社会実現の取組が加速しているが、本プロジェクトの計画当時は(2016~17年)、パリ協定を受け、RE100参加企業の広がりなど企業活動における脱炭素化を見据えたZEBの民間ニーズが高まりつつあった。一方、ZEBの実現にはコストがかかり、投資に慎重になる事業者も多く、コストがZEB普及の課題となっている。

本建物は、市街地内に立地する、自動車内装部品の製造企業であるテイ・エス テック(株)の本社ビルの新築である(写真-1)。建築主とのパートナーシップにより、エネルギーデザイン&マネジメントのPDCAを設計から運用まで一貫して実施し、ZEBの社会普及と今後の脱炭素モデルの形成に資するZEBの実現に取り組んだ。



写真 小川重雄

写真-1 外観

表-1 プロジェクト概要

建物名	テイ・エス テック新本社ビル
建築主	テイ・エス テック(株)
設計施工	(株)竹中工務店
建物用途	事務所(新築)
建築地	埼玉県朝霞市
延床面積/規模	3,727m ² 、地上3階・棟屋1階、鉄骨造
工事期間	2017年5月~2018年3月
実績データ	2018年4月~2020年3月

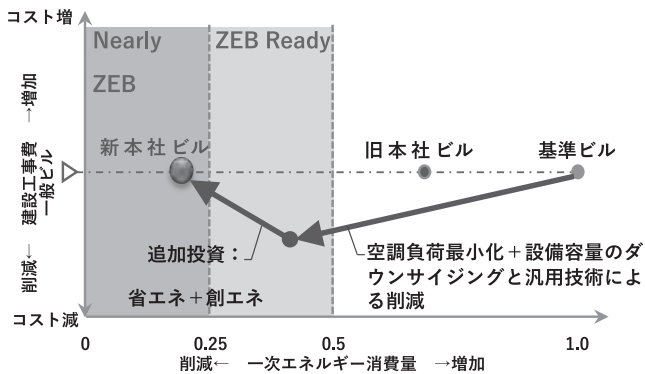
2. 取組概要

(1) ゴールの設定と達成ロードマップ

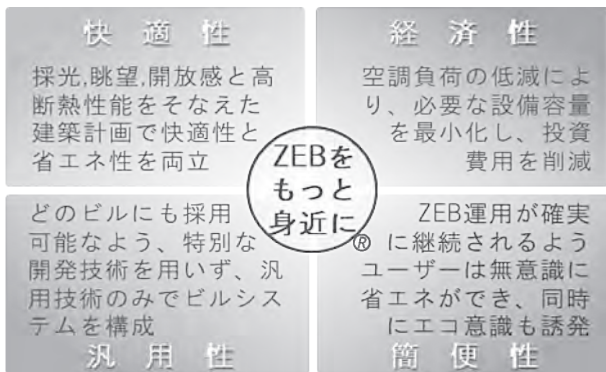
将来の脱炭素社会の姿を考えたとき、都市部や市街地では、最大限の省エネ・創エネによって建物のエネルギー収支を最小化したうえで、再生可能エネルギーを外部調達(買電等)する脱炭素モデルが主流となると考えられる。またZEBの普及には、一般ビルと同等以下のコストでZEB領域のビルを実現することがカギとなる。これら考察より本プロジェクトのゴールを「一般オフィスビルの建築費の平均以下でNearly ZEB オフィスを実現する」ことに設定した。達成ロードマップとして「建物負荷を最小化して設備容量をダウンサイジングしエネルギー消費量と投資コストの両方を削減→その削減費用で更なる省エネ+創エネを行う」計画とした(図-1)。

(2) 計画のコンセプト

ZEBの普及に向けて「ZEBをもっと身近に[®]」をテーマに掲げ、①快適性 ②経済性 ③汎用性 ④簡便性



図一 1 ゴールの設定と達成ロードマップ



図一 2 計画のコンセプト

の4つをそなえたZEBであれば、より多くの顧客に採用され広く社会に普及すると考え、この4点を普及型ZEBとしてのコンセプトに設定し計画した(図一2)。

(3) 運用時の取組み

ZEB運用の継続を目的とし、運用開始後1年間(2018年4月~19年3月)、設計者と建築主で「エネマネ会議」を月例で実施し、エネルギー実測データに基づき、目標値に対する達成度合いを管理した。目標値を超えた負荷を中心に、空調・照明の発停スケジュールや空調温度の再設定等、設備システムのチューニングとビルの運用改善にフィードバックするPDCAサイクルを回した。

3. 取組詳細と効果検証

(1) 負荷の最小化と空調機器のダウンサイジング

外皮負荷(外壁・窓からの熱貫流及び日射取得)、外気負荷、内部発熱(照明・コンセント)を低減することで(詳細下記)オフィスエリアの空調負荷を98.8 W/m²に抑制し(図一4)、エネルギー消費の主因となる熱源機器(高効率パッケージエアコン(以降PAC)屋外機)容量を113 W/m²(延床面積比)とした。同規模の一般オフィスビル比で機器容量を

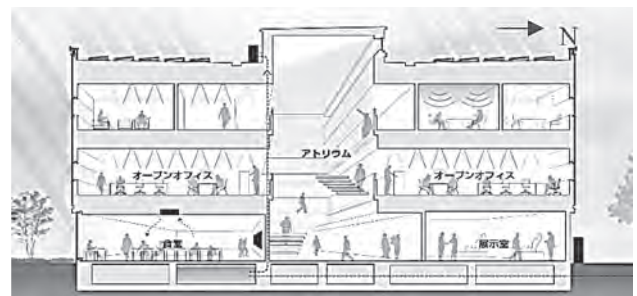
34%、空調設備工事コストを25%(当社比)それぞれ削減した(図一5)。省エネ効果は当対策が最も寄与度が高く、設計ベースで全体の37.4%のエネルギー削減に寄与した。以下に詳細を示す。

(a) 建築計画と高効率外皮(快適性と両立)

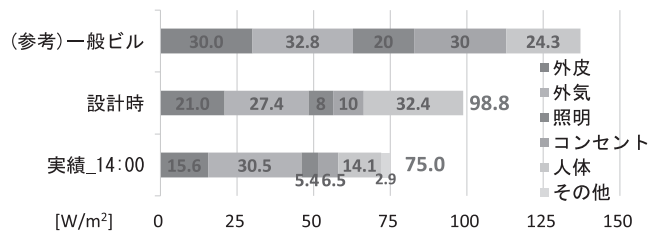
建物は南北面に間口を広げて配置し、外装は高性能断熱パネルと南北の横連窓(南面Low-E複層ガラス)で構成することで、外壁全体の熱貫流率を0.9 W/m²Kに抑制した。開口部はほぼ南北面のみとして窓面積は快適な眺望と十分な採光が得られるサイズに抑え、ピーク日射負荷を抑制した。ハイサイドライトより自然光を取込んだアトリウムでオープンオフィスを挟む内部空間とし、窓面積を抑えても開放感の感じられる快適な室内空間を生み出した(図一3)。眺望・採光・開放性を確保しつつ、ペリメータの外皮負荷を最小化し、BPI値0.7を達成している。

(b) 外気負荷の低減

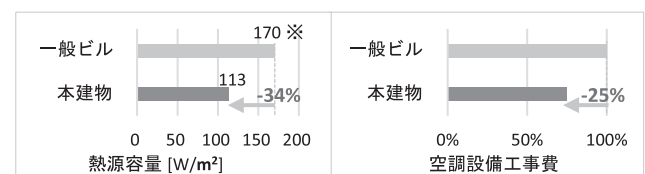
オフィスエリアは実使用人数150人であり将来最大200人にも対応を可能とする設計要件であった。建築主との討議により、将来200人収容の場合もほぼ在籍率100%とならない使い勝手が確認できたことから、実使用人数に対し30 m³/h人、最大人数で25 m³/h人がともに確保できる風量設定として、換気量が過大に



図一 3 新本社ビル断面イメージ



図一 4 オフィスエリア空調負荷 W/m² (延床面積比)



図一 5 熱源設備容量(延床面積比)と費用比較

ならないよう配慮し、空調負荷低減を図った。

(c) 照明負荷の低減

オフィスエリアは机上面設計照度 500 Lux とし、照明は全館 LED で高効率ライン型器具 (149 lm/W) を基本とした。昼光利用による照明の出力制御も行った。これによりオフィス部分の照明による空調負荷を 8 W/m² に設定し、運用実績は昼休みを除くコアタイム 9:00~18:00 で年平均 4.9~5.6 W/m² となった。

(d) コンセント負荷の低減

新本社への移転に伴う最新ノート PC への切替えを踏まえ、また類似オフィスのコンセント負荷の実態調査も行い、オフィス部分のコンセントによる空調負荷を 10 W/m² に設定した (一般には 30 W/m² 程度)。運用実績は、コアタイムで年平均 3.4~6.5 W/m² で推移した。

(e) ダウンサイジングによる省エネ効果の検証

今回、空調負荷を小さくした分、熱源容量をダウンサイズして実装したが、仮にダウンサイズしなかった場合を仮想 PAC として、電力消費量を比較した。PAC は負荷率が 20% を下回ると COP の悪化が実測から判り (図-6)、仮想 PAC では低負荷率運転時間が長くなることから (図-7)、結果、通年で 10%~17% 電力消費量の増加が認められた。空調負荷を削減し、それに応じて空調機器の容量も低減することで、機器の高効率運転につながり、効果的にエネルギー削減が行えることが確認できた。

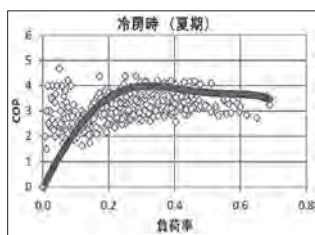


図-6 COP-負荷率相関実績

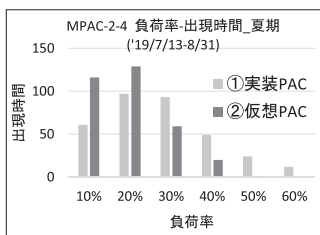
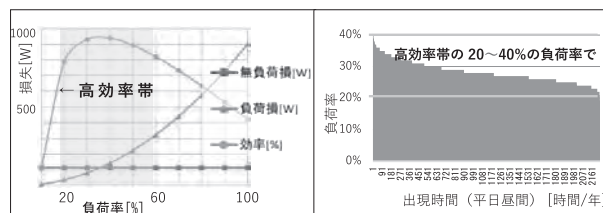


図-7 各負荷率帯の出現時間

(2) 変圧器容量のダウンサイジングと高効率運転

変圧器は超高効率型を採用し、上述の空調設備容量・照明・コンセント負荷の低減により、変圧器容量の適正化を図った (電灯 100 kVA, 動力 300 kVA, 延床面積比 107 VA/m²)。これにより平日昼間の電灯用変圧器の運転実績は、高効率帯である負荷率 20~40% で推移し (図-8)、年間を通して高効率運転が行えた。受変電設備全体における損失の年間実績は 3.6% で低水準となった。また、変圧器容量の低減で、受変電設備工事費は一般オフィスビル比で 31% 削減となった。



100kVA 電灯用変圧器 仕様 100kVA 電灯用変圧器 負荷率の実績 (平日昼間)

図-8 変圧器の高効率運転実績

(3) PAC 屋外機の潜熱冷却

PAC 屋外機に散水を行い (メーカー付属既製品)、潜熱冷却効果による高効率化を図った (外気温が 30℃ 以上で散水自動運転)。散水部分の屋外機表面温度は散水の無い部分に比べ 10℃ 程度低減され (図-9)、屋外機の処理熱量は 10% の処理熱量の増加が確認できた。散水には雨水再利用水を利用し、上水使用量も抑制した。

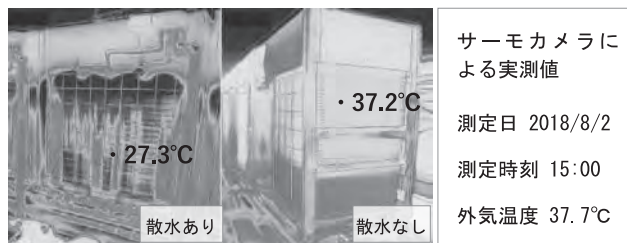


図-9 サーモカメラによる屋外機表面温度実測

(4) 空調・照明の在不在制御とワイヤレス化

フレックス制の導入など様々な働き方に対しても省エネ運用が可能なよう、赤外線アレイセンサ (市販の赤外線感知型画像センサ) を用い、人の在不在によって空調・照明を細かいエリアごとに自動発停し、ビルユーザーが無意識のうちに省エネ運用が行えるシステムとした。照明制御は全てワイヤレス化し、電気工事における労務工数を 18% 削減し施工の省人化にも寄与している。

(5) 外気導入制御

オフィスエリアは、全熱交換器の付属機能を活用して室内の CO₂ 濃度により外気導入量を抑制した。換気量が大きい厨房の給排気ファンはインバータを搭載して仕込みや片付け等の火気不使用時には換気風量を半減する運用とし、換気動力及び空調負荷を 54% 削減した。エネマネ会議を通じて風量半減モードの利用を定着させた。

(6) 積極的な階段利用の誘発

動線を中心となる建物中央部のアトリウム部分に

オープン階段を計画し、各階への移動はほとんど階段利用の運用となった。階段利用を誘発した建築計画により昇降機エネルギー消費量は基準ビル比 69%削減となった。

(7) 省エネ達成度と屋外快適性のリアルタイムモニタリング

確実に省エネ運用が継続されるよう、省エネ達成度をサイネージ画面とエコランプ(オフィス各所に設置)の点灯によってリアルタイムにワーカーに知らせ、省エネの目標値管理を行いやすくするほか、ワーカーに日頃から働き方とエネルギーの関係を意識してもらえよう省エネ行動を促している(図-10)。またサイネージには外の快適度も表示し、リフレッシュ等での屋外活用も促した。市販のマルチ気象計を用い、実測データ(温度・湿度・日射量・風向・風速・降雨)から演算したSET*(標準新有効温度)の値より屋外の快適度を表示する仕組みとし、どのビルにも導入可能なよう汎用化している(図-11)。



省エネ達成 目標オーバー
ECO I 節電してください
ランプ消灯 ランプ点灯

図-10 サイネージとエコランプ

図-11 屋外快適度お知らせ

(8) 太陽光発電量の最大化と経済性の両立

屋上に 87.9 kW の高効率太陽光発電パネルを設置して 88,000 kWh/年の発電量を計画し、2018年度は 101,432 kWh (273 MJ/m²) の実績を得、年間電力自給率は 44%となった。一般に設置角は 25°~30°が最も発電効率が良いが、発電量シミュレーションを行いパネル同士の陰の影響の少ない 5°で設置した(図-12)。屋根のシート防水と一体で溶着する専用ディスクを用いることで架台レス化した(図-13)。これにより、限られた面積で発電量を最大化しつつパネル設置費用を 20%低減した。架台レス化により耐風圧を軽減でき、外部からの視線カットにもなり、安全性と意匠性も向上している。

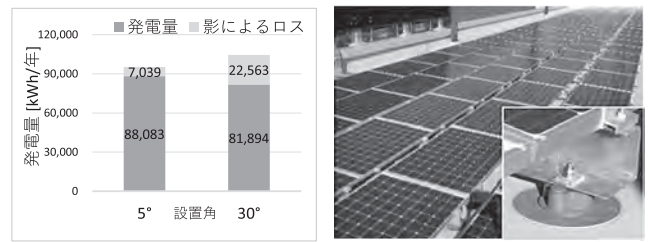


図-12 太陽光発電量シミュレーション

図-13 屋上の太陽光発電パネルと専用ディスクによる架台レス化

(9) ゼロウォータービルに向けて

エネルギーに加え水使用量の削減にも取り組んだ。屋外機散水、トイレ洗浄、外構散水は、雨水再利用水を濾過・滅菌して使用し、大便器は超節水型(3.8L/回)を採用した。2019年度の水使用量実績値は旧本社ビルから 35.5%削減、上水使用量は 63.5%の削減となった(図-14)。年間の上水補給水量は 1m³と、雑用水のほぼ全量を雨水利用できたことを確認した。

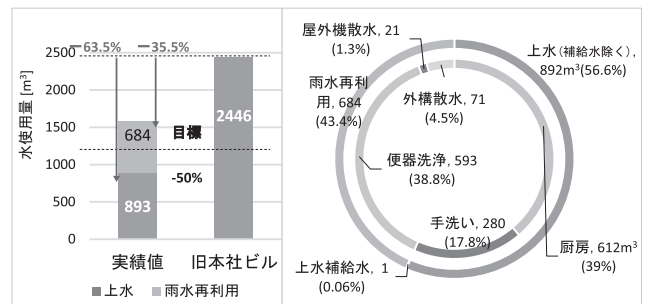


図-14 水使用量実績(2019年度)

4. コスト評価

本建物及び当社の類似規模・用途のビル(=ZEBでない一般オフィスビル)における、全体工事コストとそのうちの設備コスト(太陽光発電設備含む)を図-15に示す。設備機器のダウンサイジング及び汎用技術の展開を中心としたコスト低減の取組みにより、一般ビルの建設コスト以下でZEBを実現できたことを確認した。

本建物で採用した主要要素技術のうち導入費用としてコストインパクト(増または減)のあったものについて、設備工事費全体を1とした場合のインシヤルコスト指数を計算した(図-16)。マイナス値は削減効果を示す。熱源機器容量の削減効果が最も大きく*、当削減及び変圧器容量の削減分を太陽光発電や赤外線アレイセンサ等の各エネルギー削減技術の導入による

*熱源容量削減は、冷媒蒸発温度制御を含む高効率型機器の採用による増額分の相殺を導入費用に、同採用の効果を運用コストに、それぞれ算入。

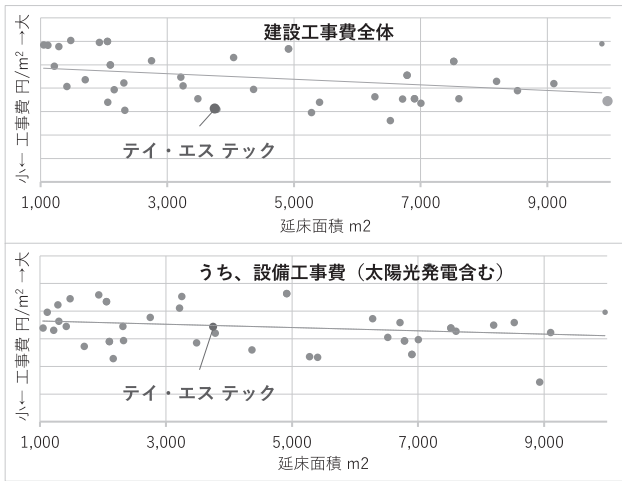


図-15 本建物と類似案件の工事費比較

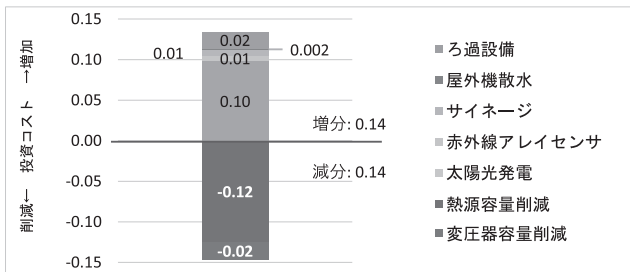


図-16 主要 ZEB 化設備のイニシャルコスト指数 (設備工事全体=1)

追加費用に充当し、コスト増減をバランスしていることを確認した。

5. エネルギー収支

(1) 設計時 (BELS 認証の取得)

以上の取組により年間一次エネルギー消費量 (建築物省エネ法評価分) は、基準ビル 1,107 MJ/m² に対し、新本社ビルは 234 MJ/m² となり 78.9%削減できた。建築物省エネルギー性能表示制度 (BELS) において、Nearly ZEB (BEI*5=0.22) を認証取得した (2018/1/4, 図-17)。更に、CASBEE 埼玉県において S ランクを取得し、総合的な環境性能においても



図-17 BELS 評価: Nearly ZEB

高い評価を得た。また CASBEE-WO (ウェルネスオフィス) 暫定版評価の試算においても S ランクとなり健康性指標でも高評価の結果を得た。

(2) ZEB の実証 (運用時評価) と脱炭素化へ

2019 年度の建物全体の年間一次エネルギーの収支 (消費 - 発電) 実績は 384 MJ/m², BELS 評価分で 133 MJ/m² (基準ビル比 87.9%削減) となり、運用実績としても Nearly ZEB (BEI=0.121) を達成したことを確認した (図-18, 19)。

設備容量のダウンサイジングや汎用技術による設計と運用で中小規模ビルの ZEB 化が経済的に達成可能であることを実証した点が評価され、2019 年度省エネ大賞の省エネ事例部門で経済産業大臣賞を、第 8 回カーボンニュートラル賞で大賞を、それぞれ受賞した。

本社ビルでは買電分をグリーン電力に切替え、本社業務の脱炭素化を達成し、汎用技術等を用いることで特別な初期投資を行うことなく本社業務の脱炭素化を実現した事例となった。更に、テイ・エス テックの国内全事業所にて ISO 50000 を取得し、本社ビルの ZEB 運用の継続に加え、国内外の各事業所において体系的なエネルギーマネジメントを展開している。

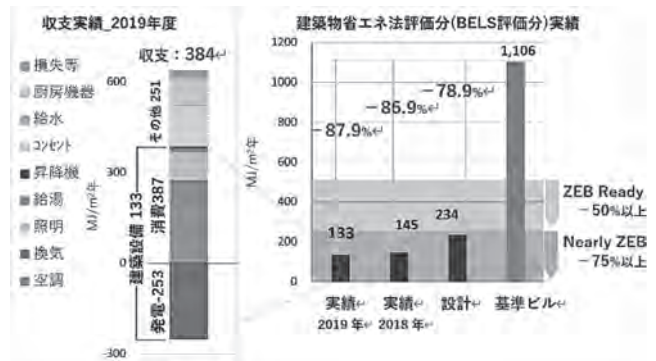


図-18 一次エネルギー収支実績 2019 年度

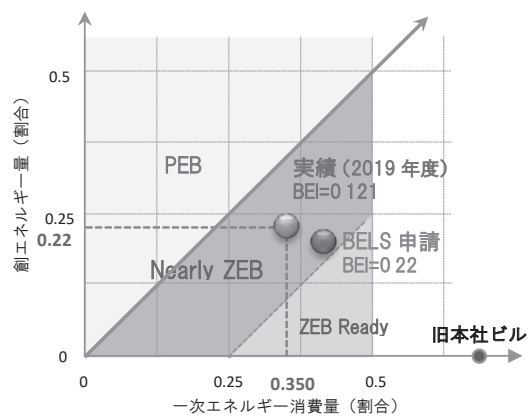


図-19 ZEB マップ

6. おわりに

我が国におけるエネルギーの海外依存率は90%を超え、その調達費用は税収の1/3にも相当する20兆円にのぼる。これは、企業活動や地域社会における持続可能性の低下、更には我が国の低い労働生産性を招く要因の一端となっていると考えられる。最近の不安定な国際情勢や為替変動による我々の暮らしへの影響を増幅する主因にもなっている。

これらの解決には短期長期ともに省エネが最も安価といわれている。一方、建築物や地域の省エネは、自動車や電化製品とは異なり、需要家（ビルユーザー）の努力による活動が中心となっており、専門でないことからその推進は進みにくく、民生部門のエネルギー削減の鈍化の要因となっている。建築物の設計者、特に設備設計者が専門的な見地に立ち、建築主とのパートナーシップにより、設計から運用までコストとエネルギーをデザイン&マネジメントし、経済的にZEBを実現していく本プロセスは、ZEBの普及と事業の脱炭素化における1つのモデルケースとなると実感している。建築物に留まらず、都市や地域のエネルギーの削減と自立に向けて積極的に関与し、持続可

能な脱炭素社会の構築に貢献していきたい。

設計時より運用時まで、多大なご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

JICMA

※ ZEB の定義（経済産業省資源エネルギー庁）

ZEB Ready：基準一次エネルギー消費量から50%以上削減（再生可能エネルギーを除く）

Nearly ZEB：上記に加え同75%以上削減

Net ZEB：上記に加え同100%以上削減

いずれもコンセント電力を除く数値で評価

《参考文献》

- 1) 白石, 他: 新築実用オフィスビルにおける「普及型 ZEB」に関する研究 (第1~第3報) 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2019, 2020
- 2) 田中, 他: 既存オフィスの ZEB 化に関する研究 (第1~第6報) 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2017
- 3) 藤川, 他: OA 機器更新に伴う内部発熱減少の実証と空調熱負荷の変動 日本建築学会技術報告集第21巻, 2015

【筆者紹介】

白石 晃平 (しらいし こうへい)
 ㈱竹中工務店 東京本店
 設計部 設備部門
 シニアチーフエンジニア





ゼロカーボン・チャレンジ 2050 の達成に向けた取組み

瓜 生 季 邦

JR 東日本（以下、当社）では、脱炭素社会への貢献とともに、鉄道の環境優位性のさらなる向上とサステナブルな社会の実現を目指すために、環境長期目標「ゼロカーボン・チャレンジ 2050」を策定した。目標達成のためには、当社が有するエネルギーネットワークの全てのフェーズにおいて新たな技術の導入や再生可能エネルギーの開発推進、水素社会の実現に向けた挑戦などを積極的に進めていく必要があるが、本稿ではそれらの具体的な取組みについて紹介する。

キーワード：ESG、鉄道、脱炭素化、水素エネルギー、再生可能エネルギー

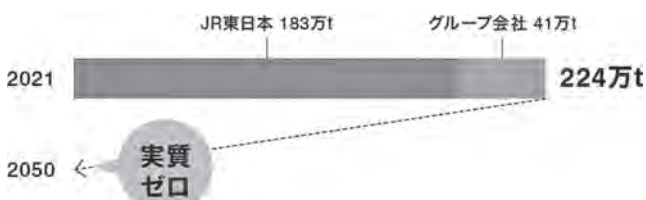
1. はじめに

当社はグループ経営ビジョン「変革 2027」において、「ESG 経営の実践」を経営の柱として掲げ、2020 年 5 月に環境長期目標「ゼロカーボン・チャレンジ 2050」を策定し、2050 年度の鉄道事業における CO₂ 排出量「実質ゼロ」(図—1)を目指すことを公表した。2020 年 10 月には、さらに「ゼロカーボン・チャレンジ 2050」を当社グループ全体の目標とし、グループ一体となって 2050 年度の CO₂ 排出量「実質ゼロ」に挑戦することを公表した。

当社では自営の発電所を有していることから、エネルギーを「つくる」から「使う」までの全てのフェーズにおいて脱炭素化に向けた取組みが求められている。本稿では、「ゼロカーボン・チャレンジ 2050」の達成に向けた各フェーズでの脱炭素化の取組みを紹介する。

り、火力発電所（神奈川県川崎市）と水力発電所（新潟県十日町市・小千谷市）から発電された電気で当社の消費電力の約 6 割を賄っている。川崎火力発電所(写真—1)には 4 台の発電機があるが、この内 1 号機の更新工事が 2021 年 6 月に完了した。従来 1 号機は灯油を燃料としていたが、更新後は環境性と供給安定性に優れた天然ガスに変更したことで、CO₂ 排出係数を約 40%改善することが出来た。また、本更新によって川崎火力発電所は全て都市ガスまたは天然ガスで運転することとなった。今後は 2 号機と 3 号機が更新を控えており、最新の発電設備を導入することで発電効率の向上を図っていくが、中長期的には水素発電を実現させることで川崎火力発電所の脱炭素化を目指していく。

信濃川水力発電所(写真—2)は千手発電所、小千谷発電所、小千谷第二発電所の 3 発電所の総称であり、CO₂ が発生しないクリーンなエネルギー電源とし



図—1 2050 年度 CO₂ 排出量削減目標

2. エネルギーを「つくる」取組み

(1) 自営発電所の高効率化・脱炭素化

当社は鉄道会社で唯一自営の発電所を保有してお



写真—1 川崎火力発電所



写真一 2 信濃川水力発電所



写真一 3 男鹿駅 小型風力発電機

て当社の鉄道輸送を支えている。現在はその中の千手発電所が運転開始後 80 年以上経過したことから、水車発電機の更新工事を進めている。2021 年 5 月には更新 1 台目となる新しい 2 号機の運転を開始しており、今後は残りの発電機を順次更新していく予定である。

(2) 再生可能エネルギーの導入推進

鉄道アセットを活用した再生可能エネルギーの導入事例としては、太陽光パネルをホーム上家や駅舎屋上、車両センター構内に設置し、自家消費する取組を行っているほか、配電線を介して鉄道運用に活用している。また、2018 年 7 月には男鹿駅に小型風力発電機（写真一 3）を設置し、駅で使用する電力を賄うとともに、電気の一部を交流蓄電池駆動電車 EV-E801 系（ACCUM）の運行に使用している。これらの取組みにより、2021 年度は約 190 万 kWh を自家消費した。

大規模開発については JR 東日本エネルギー開発(株)とともに、東北エリアを中心に各地で風力・太陽光・地熱の導入に向けて積極的に取り組んでいる。固定価格買取制度（FIT）を活用した取組みとしては、これまでにメガソーラーと呼ばれる太陽光発電所や大型の

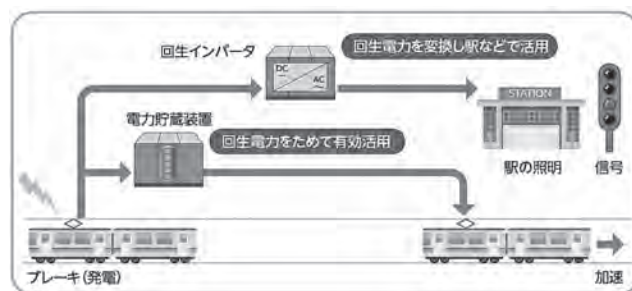
風力発電所を順次運転開始しており、2021 年度は約 13,270 万 kWh の電気を発電した。また、開発した再生可能エネルギー由来の非化石証書を活用し、CO₂ フリー電気を供給することで、2030 年度までに東北エリアの電車の運行に係る CO₂ 排出量実質ゼロを目指していく。2022 年度は福島県内の常磐線に非化石証書を導入し、通年ベースで 1.2 万 t の CO₂ 削減を見込んでいる。

今後も再生可能エネルギーの開発を進め、2030 年度までに 70 万 kW、2050 年度までに 100 万 kW の電源開発を目指す。

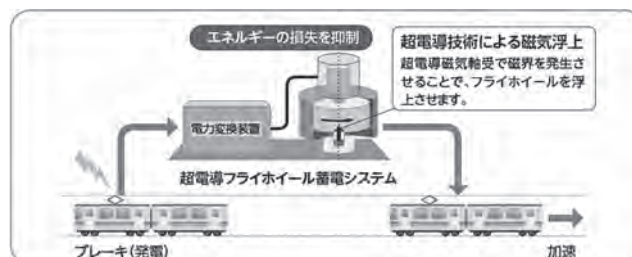
3. エネルギーを「送る・ためる」取組み

当社では電気を列車や駅などへ送るために、長大な送電線や多数の変電所などで構成された自営のネットワークを保有している。このネットワークで供給される電力を有効活用するために着目しているのが、回生電力（図一 2）である。回生電力とは、電車のブレーキ時に発生する電気エネルギーのことで、この電力を付近に走行している電車等に供給することで、運転エネルギーを削減することができる。当社ではこれまで回生電力を貯める電力貯蔵装置や、交流電力に変換して駅負荷等に融通する回生インバータ等を導入してきた。

また、既存の電力貯蔵装置は充放電を繰り返すと劣化してしまうという課題があるが、回生電力の新たな蓄電方法として、鉄道用超電導フライホイール蓄電システム（図一 3）の開発を行っている。これは大型の円盤（フライホイール）を回転させることによって、



図一 2 回生電力 イメージ図



図一 3 超電導フライホイールシステム イメージ図

回生電力を運動エネルギーとして貯蔵（充電）し、必要に応じてエネルギーを放出（放電）するシステムである。本システムは蓄電池と比較して充放電の繰り返しによって性能が劣化せず、有害物質を含まない構造のため、環境に優しい特徴がある。また、軸受部分に超電導技術を採用することで非接触とし、メンテナンスコストの削減、エネルギー損失の低減を図っている。試験設備が中央本線穴山変電所に完成し、2022年6月より実証実験を開始している。

4. エネルギーを「使う」取組み

(1) 水素エネルギーの利活用

脱炭素社会の実現に当たって、太陽光や風力等の再生可能エネルギーの導入を進めているが、安定的なエネルギー確保の観点からエネルギーの多様化を図ることが重要であると考えており、特に水素エネルギーに着目している。水素エネルギーは使用時にCO₂を排出しないため、「つくる」フェーズで紹介した水素発電をはじめ、多くのフィールドでの利活用が期待されている。例えば2020年から「Waters takeshiba」のまちびらきに合わせて、水素シャトルバス（写真—4）を浜松町駅周辺で運行しているが、今後は福島県内での運行を検討している。

また、軽油を燃料とするディーゼル車が走行する区間を脱炭素化するために、これまで水素ハイブリッド電車（愛称：HYBARI）（写真—5）の開発を進めて



写真—4 水素シャトルバス



写真—5 水素ハイブリッド電車 HYBARI

きたが、2022年3月より南武線、鶴見線および南武線尻手支線において実証試験を開始した。HYBARIの導入によって当社のCO₂排出量を削減するだけでなく、HYBARIをはじめとする多様なFCモビリティや周辺街区への水素供給を考慮した総合水素ステーションを整備することで水素社会の実現を目指していく。

(2) 「エコステ」の展開

「エコステ」とは省エネルギーや再生可能エネルギーなどの様々な環境保全技術を駅に導入する取組みのことであり、これまでモデル駅として12駅に整備した。具体的には4つの柱として「省エネ」「創エネ」「エコ実感」「環境調和」を掲げ、地域の特性に合わせた環境保全技術（エコメニュー）を盛り込むことを「エコステ」の基本方針とした。

モデル駅である前橋駅を例に挙げると、「省エネ」としては駅照明のLED化のほかに、前橋市の特徴である豊富な地下水を活用したヒートポンプ空調や放射冷暖房装置を整備した。また、ホーム外壁へ太陽光発電設備を導入し、発電した電気を駅負荷に供給することで「創エネ」を実現した。「エコ実感」と「環境調和」については、前橋の「水と緑と詩のまち」というキャッチフレーズになぞらえ、広瀬川の流れをイメージした蛍光灯再生ガラスや、ベンチと一体となったウォータースクリーン（写真—6）をコンコースエリアに導入した。

上記の取組みを通じて、「エコステ」モデル駅では整備前と比較して、平均で40%程度のCO₂排出量の削減が確認された。今後はこれまで得た知見を活かしながら「エコステ」の展開を目指していく。



写真—6 前橋駅 ウォータースクリーン

5. 全てのフェーズを横断する取組み

2022年4月に高輪ゲートウェイシティ（仮称）の概要やコンセプトを公表したが、その中では脱炭素社

会の実現に向けた取組みとして、まちのCO₂排出量「実質ゼロ」の実現を発表した。実現にあたっては、先進的な環境やエネルギー技術を取り入れ、「つくる」「送る・ためる」「使う」の全てのフェーズを横断して取組むことで、ゼロカーボンでサステナブルなまちづくりを推進していく。

まず「つくる」フェーズでは太陽光や風力による発電だけでなく、下水熱や地中熱等の未利用エネルギーの活用によるオンサイト型エネルギーの創出に取り組んでいく。また、食品廃棄物をエネルギーに変えるバイオガス発電は、東日本エリアでは初のビルインタイプを導入する予定である。次に、「送る・ためる」フェーズでは需給連携のエネルギーマネジメント（図-4）を実現することで、エネルギー効率の最大化を目指していく。具体的には複数の建物を熱導管や電力線で繋ぎ、需給を総合的に調整することで、エネルギーの面的利用を図っていく。また国内最大級の蓄熱槽を導入

し、熱の需要量に合わせた蓄熱・放熱を行うことでエネルギー効率を更に高めていく。最後に、「使う」フェーズでは高効率な空調設備や電気設備の導入や建物の高断熱化による省エネを図っていく。

高輪ゲートウェイシティ（仮称）では上記の取組みの他に水素利活用の取組みを推進し、水素ステーションの整備や定置式燃料電池の導入を検討していく。そして将来的には街の基幹インフラとしてロボットやドローン、更には燃料貯蔵などへの活用を実験的に取り組み、水素社会を先導するまちづくりを目指す。

6. おわりに

鉄道はエネルギー効率が高く、CO₂排出量も相対的に少ない輸送機関であるが、技術革新により自動車の環境性能が飛躍的に向上するなど、運輸部門を取り巻く環境は変化している。そこで今回紹介した取組みを通じて、環境優位性を更に向上させて「ゼロカーボン・チャレンジ2050」の達成を目指していく。どの取組みにも課題はあるが、社内外と連携してエネルギーを「つくる」から「使う」までの全てのフェーズでCO₂排出量「実質ゼロ」に向けたチャレンジを行っていく。

JCMA

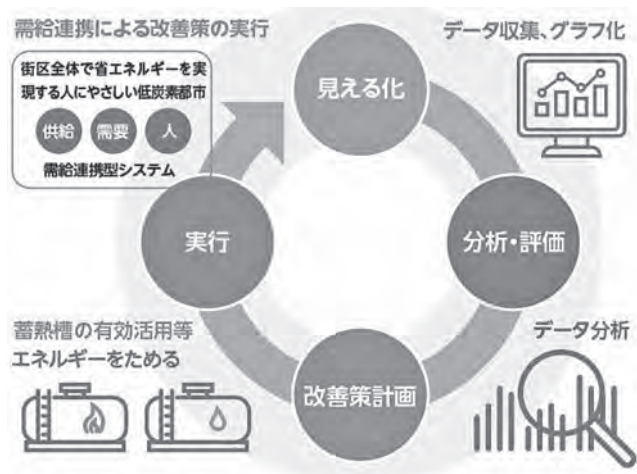


図-4 エネルギーマネジメント イメージ図

【筆者紹介】

瓜生 季邦（うりゆう としくに）
東日本旅客鉄道株
グループ経営戦略本部 経営企画部門
ESG・政策調査ユニット
副長





日本が最先端 究極の再エネ？！

宇宙太陽光発電の実用化に向け、2022年度から本格実証はじまる

本 橋 恵 一

宇宙太陽光発電は、静止軌道上に設置し、天候の影響を受けることなく、昼夜とは無関係に24時間365日安定した発電を行なう、再生可能エネルギー発電設備である。1968年には概念が論文として発表され、欧米では断続的に、日本でも継続して研究がすすめられてきた。人工衛星としての課題は、大規模な構造物を宇宙空間で建設し、静止軌道上に設置することであり、発送電の技術としてはマイクロ波を活用した無線送電だ。このうち、後者について、積極的な研究がすすめられている。概念設計の状況とマイクロ波送電について、時系列的に紹介する。

キーワード：宇宙太陽光発電、マイクロ波送電

1. はじめに

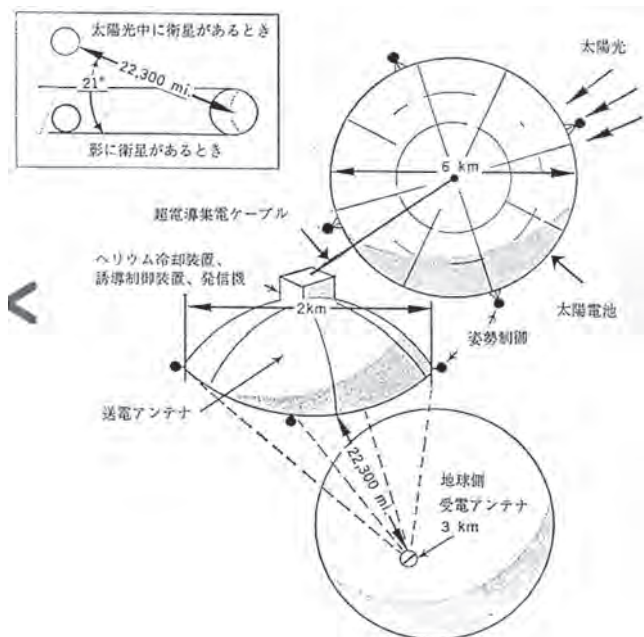
再エネといえば変動するエネルギーであり、安定した利用は難しいとされている。だが、そもそも太陽安定してエネルギーを放射している。宇宙で太陽光発電をおこない、電気を地上の送ることができれば、24時間安定したエネルギーとして利用可能となる。壮大なプロジェクトとなる「宇宙太陽光発電システム(SSPS)」だが、日本では継続的な研究が進められている。また、中国でも最近になって実験設備がつけられている。

鍵となる技術は、マイクロ波送電である。電気を電磁波の一種であるマイクロ波（波長で0.1mmから10cm、周波数では0.1GHzから100GHzくらいの電波で、FM放送やテレビ放送、電子レンジなどに利用されている）に変換して送るというものだが、長距離での正確な送電や損失の削減など、課題は少なくない。とはいえ、受電側の設備を複数の拠点に設置することができれば、ディスパッチ（必要に応じた給電）が可能な電源として活用可能という点でも期待されている。

2. 宇宙太陽光発電の概念の登場

宇宙太陽光発電のアイデアは、1968年まで遡ることができる。Peter E. Glaserが基本的なアイデアを論文として発表したということだ。“Science”に発表した論文では、地上3万6,000kmの静止軌道上に衛

星を打ち上げ、直径6kmの太陽電池で発電し、直径2kmのパラボラアンテナで送電、地上では直径3kmのアンテナで受電するという（図—1）。当時はまだ米国や旧ソビエト連邦が初めて人工衛星を打ち上げてから、わずか10年後のことだ。すでに人工衛星には太陽電池が搭載されていたとはいえ、アイデアの段階であったといえるのではないだろうか。また、それ以前には、SF作家のIsaac Asimovが1941年に発表した短篇『われ思う、ゆえに…』に登場しているという。なお、この作品は短編集『われはロボット』で読むこ



図—1 Glaserによる概念図のJAXAによる翻訳
出典：太陽光宇宙発電学会ホームページ

とができる。

その後、70年代の石油危機をきっかけとして、あらためて米国などで研究が進められるようになる。具体的な開発が優先されたのは、マイクロ波送電の技術の確立だった。そもそも、送電できなければ、宇宙に太陽光発電設備を打ち上げても、効果的な実証試験を行うことができない。

マイクロ波送電の研究そのものは、宇宙太陽光発電に先立つ形で行われていた。1904年には発明家のNikola Teslaが米国ニューヨーク州で実験を行なった。残念ながらこの実験は失敗に終わった。

1975年には米国でRichard M. Dickinsonが450 kWの送信機を用いて1.54 km先に送電している。このときは、30 kW以上の電力を受電できたということだ。

1978年には米国エネルギー省(DOE)とNASAがGlaserのアイデアに対し、概念設計と評価を行ない、リファレンスシステムを作っている。これは、10.4 km×5.2 kmの太陽電池パネルで発電し、2.45 GHzで6.72 GWのマイクロ波を放射する。受電部は直径10 kmにおよび、出力は5 GWとなる。これは原子力発電5基分に相当する。

国際宇宙ステーション(ISS)が幅約100 mであることを考えると、宇宙太陽光発電がいかに巨大な宇宙構造物かわかるだろう。また、ISSの軌道は地上約400 km上空となっており、距離の点でも、大きな差がある。

その後、米国でのSSPSの研究は下火になるが、日本では継続的な研究が続けられる。研究が下火となった背景には、石油危機から一転して、原油安の時代になったということがあると考えられる。

3. 日本におけるSSPSの概念研究

日本では、SSPSの研究は当初は宇宙科学研究所(ISAS)が行っていた。ISASは2003年に他の機関と統合され、現在は宇宙航空研究開発機構(JAXA)となり、SSPSの研究が続けられている。

ISASは90年代には、米国で作られたリファレンスシステムをもとに、技術的な可能性を示すため、設計要求などを分析し、仮想に基づく概念設計を行っている。実際には打ち上げないという前提で、1万kW=10 MWの太陽光宇宙発電所の打ち上げの概念上の計画が作成されたということだ。

そもそも、リファレンスシステムにおける5 GWの宇宙太陽光発電所は当時としては現実に打ち上げることは技術的にも予算的にも不可能だ(現在もだが)。

その上で、技術的に可能な範囲として、宇宙ステーションの技術を応用することで建設可能な10 MWの宇宙太陽光発電の概念設計を行なったことになる。ただしこれも、実際に製作して打ち上げるということは想定されていなかった。また、10 MWという規模となったのは、発電所としての特性を失わない規模ということである。これは最終的に「SPS2000」という名称がつけられ、1993年には概念計画書までまとめられている。形状は三角プリズム型というユニークな形をしている(図-2)。この計画書では、2000年までに組立が開始されることとされているが、そもそも打ち上げを前提としたものではなく、実際に打ち上げられたわけではない。

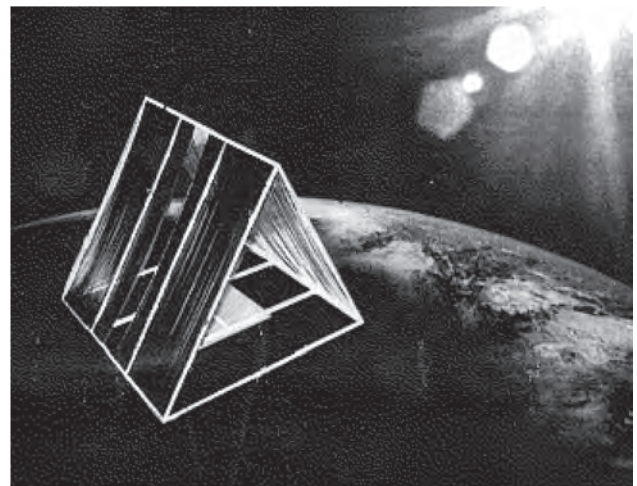


図-2 SPS2000の概念図の1つ
出典：Space Future ホームページ

その後2000年代には、JAXAなどにおいて、100万kW=1 GW級のSSPSの検討が行われている。JAXAが中心となって検討したのは、反射鏡を利用したモデルだ(図-3)。2.5 km×3.5 kmの2枚の反射鏡によって太陽光を集光し、直径1.25 kmの太陽電池で発電する。入射する太陽光のエネルギーが11.71 GW、発電電力が2.03 GWであるのに対し、地上で供給される電力が1 GWとなる。さまざまな変換ロスによる。建設コストはおおよそ1兆2,000億円と試算している。しかし、輸送コストは現状では1トンあたり10億円程度(H-IIAロケット)とされており、1万トンの構造物を運ぶとしたら、10兆円と試算され、建設コストだけでも目標の10倍以上となってしまう。そのため、輸送コストの削減が課題となってくる。1トンあたり1,700万円というのが、要求される輸送コストだ。

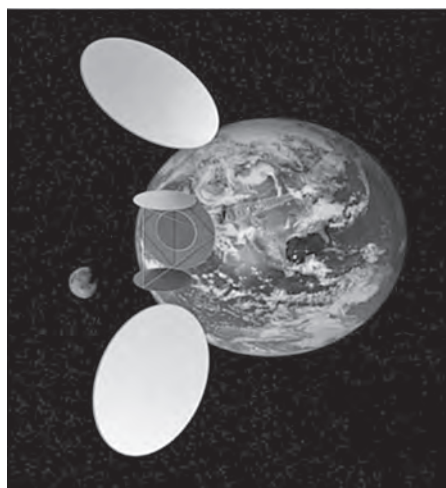
JAXAと平行して、経済産業省と無人宇宙実験システム開発機構(USEF)も同規模のSSPSのモデル

の概念設計を進めていた。こちらは、2.5 km×2.375 kmの太陽電池パネルで送電アンテナと一体型となったものが採用されている(図一4)。受電アンテナは3.5 km×4.0 kmだ。8 GWの太陽光エネルギーで2.75 GW発電し、地上で供給される電力は1GWとなる。建設コストは1兆2,716億円としているが、宇宙構造物は2万トンとなっており、JAXAのモデルの2倍だ。そのため、輸送コストがより大きな影響を与えることになる。

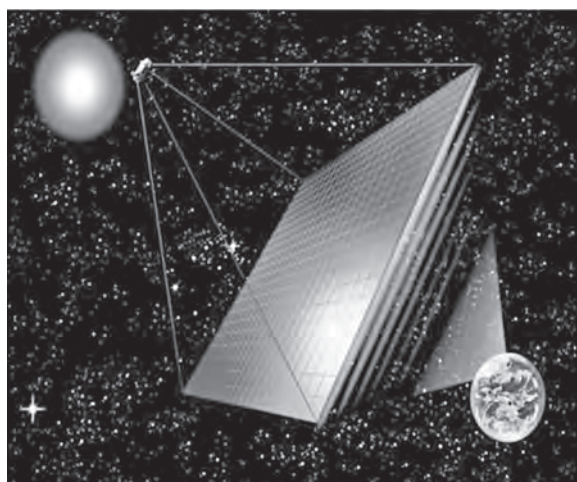
SSPSの研究プログラムは現在も進んでおり、2014年にスタートした現在のプログラムは、2023年度まで続く予定だ。主に、マイクロ波無線送電技術に係る研究開発が行われている。

4. マイクロ波送電技術の開発

宇宙太陽光発電の中核的技術となるのは、マイクロ波送電技術だといっていだろう。もちろん、資材を



図一3 反射鏡を利用したSSPS
出典：JAXA ホームページ



図一4 発電パネルと送電パネルが一体となったSSPS
出典：JAXA ホームページ

宇宙に送る技術の開発も必要だが、これは宇宙太陽光発電に限った課題ではない。

JAXAが宇宙システム開発利用推進機構(J-Spacesystems)と連携して行っている実証試験の装置は、最大1.8 kWの電力を55 m先にある受電部までマイクロ波によって送電するというものだ。受電側からのパイロット信号を受けて、高出力のマイクロ波が55 m先の受電設備に送られる(図一5)。2015年に行われた実用化実証の実績によると、約1.8 kWの送電電力に対し、受電電力は320~340 Wだった。送電ロスが80%を超えており、実用化まではまだ遠いという印象だ。

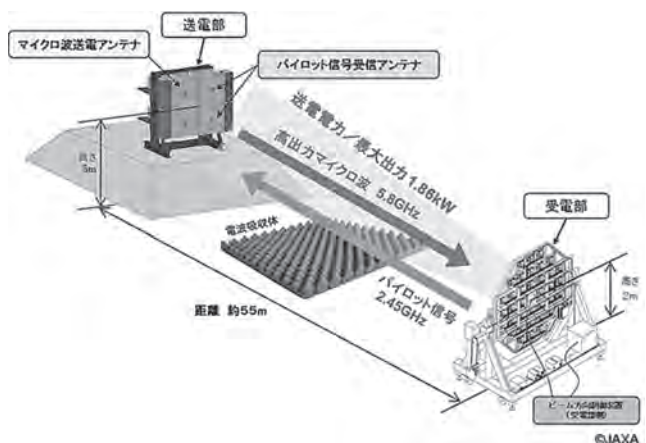
とはいえ、マイクロ波による送電技術は身近な利用も可能であり、これを目的とした開発もすすめられている。例えば、工場内のIoTセンサー向けの給電というのもその1つだ(図一6)。関西電力が出資するスタートアップ企業のSpace Power Technologiesがこうした技術の実用化に向けた開発を進めている。

宇宙太陽光発電には、この他にも課題となる技術開発は少なくない。そもそも、静止軌道上で大きくて軽量の構造物を運用することそのものが、これまで経験していないことだ。宇宙デブリ対策も必要となる。

マイクロ波による送電も、3万6,000 kmという距離ともなれば、高い精度が要求される。許容される誤差はわずか0.001°程度だ。

宇宙太陽光発電の設備内での有線送電も課題だ。宇宙の真空状態で高電圧を使用すると放電してしまうからだ。

2016年に策定されたロードマップでは、2030年以降に実用化フェーズに入るとされているが、現段階ではさらに先になると考えられる。



図一5 マイクロ波送電実証設備
出典：JAXA ホームページ



図一六 無線送電の身近な利用の可能性
出典：関西電力プレスリリース

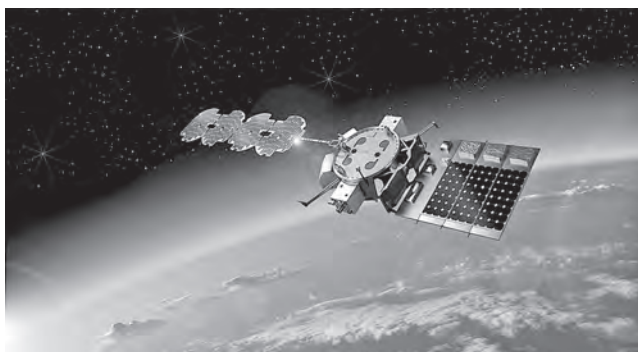
5. 欧米および中国の動向

2000年以降、欧米や中国でも再び宇宙太陽光発電の研究開発に取り組むようになってきた。

米国では2001年にNASAが宇宙太陽光発電の軌道上実証を検討していることが伝えられている。2020年にはISSにおいて、マイクロ波送電のデモも行っている。さらに、2021年には、空軍研究所 (AFRL) が軌道上実証試験を2023年～2024年に計画していることが発表された。プロジェクトはSSPIDRとよばれており、飛行実験はArachneと命名されている (図一七)。蜘蛛にかけられた命名だ。AFRLの研究の目的は、前線基地に電力を供給することだが、もちろん将来の宇宙太陽光発電所としての運用も視野に入っている。

欧州では、2020年に欧州宇宙機関 (ESA) が宇宙太陽光発電に関するアイデアを公募。同じく2020年に英国宇宙局 (UKSA) は2031年の衛星実証、2039年の初期運用、2043年の実用化を目指すということを発表している。

中国でも2018年に宇宙太陽光発電の実験基地の建設を開始しており、今年になってマイクロ波送電の実証試験が成功したことが報道されている。



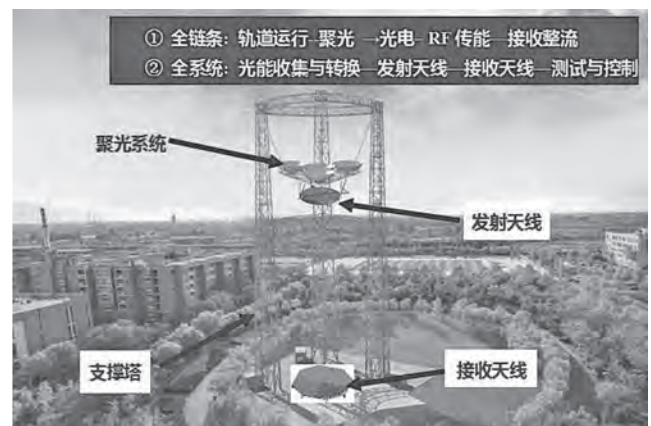
図一七 Arachne で運用される軌道上実証試験設備のイラスト
出典：AERL ホームページ

実証試験を行なったのは、西安電子科技大学のチームで、2022年6月5日に、地上55mの位置に設置した太陽光発電から、地上にマイクロ波で送電したという (図一八)。太陽光発電の電気をマイクロ波で送電したことは世界初だという。一方、電送効率は9.88%となっており、かなり低いものとなっている。

それでも、中国では今回の実験の成功を受けて、最初の宇宙太陽光発電の設置目標を、これまでの2030年から2028年に前倒ししたと伝えられている。

6. おわりに

宇宙太陽光発電そのもののアイデアは決して新しいのではない。最初の人工衛星が打ち上げられてからわずかに10年後にはそのアイデアが論文として発表されている。これを受けて米国などでは研究に着手、石油危機があった1970年代は研究が進められたが、1980年代に入り、日本以外では継続的な研究は途絶え、2000年代となって、欧米では研究が再開されたという状況だ。中国もこの時期から研究が活発化している。また、ビデオゲーム「シムシティ2000」という都市開発の



図一八 西安電子科技大学の実証試験設備
出典：西安電子科技大学ホームページ

シミュレーションゲームでは、発電所のオプションとして宇宙太陽光発電が取り入れられている。

概念設計としては、日本で1990年代に10 MW級の設備が概念設計されたが、さらに2000年代には1 GW級までスケールアップされている。ただし、実際に建設する計画にはいたっていない。コスト面では静止軌道に1万トンを超える物資を運ぶコストが膨大なものであり、実用化には50分の1まで低減する必要があること。技術的にはマイクロ波送電を含めた無線送電の技術の確立ということにある。このうち、技術開発は主にマイクロ波送電の技術開発にフォーカスされている。

現状では、わずか50 m程度の距離であっても、高い電送効率が実現されているとはいえない。それでも、中国では最初の宇宙太陽光発電衛星を2028年に打ち上げることを予定しており、米国では低い高度の衛星軌道における軌道上実証試験を2023年～2024年に計画しているという状況だ。

本格的な実用化・商用化はまだまだ遠い未来だといえるだろう。それでも、2040年以降、24時間安定して発電する再生可能エネルギーとして、静止軌道上に数多く設置されていくという可能性はあり、遠い将

来のカーボンゼロで大きな役割を果たすことが期待されている。

J C M A

《参考文献》

- ・ <https://www.sspss.jp/%e5%ae%87%e5%ae%99%e5%a4%aa%e9%99%bd%e5%85%89%e7%99%ba%e9%9b%bb%e3%81%a8%e3%81%af/%e5%b9%b4%e8%a1%a8/>
- ・ <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/ssps/ssps.html>
- ・ <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/ssps/pdf/discussion.pdf>
- ・ <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/ssps/150301.html>
- ・ <https://www.jspacesystems.or.jp/project/observation/ssps/>
- ・ https://www.jspacesystems.or.jp/jss/files/2021/07/SSPS_H28_Roadmap_a.pdf
- ・ https://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C000000R03/220114_space_1st/space_1st_08-6.pdf
- ・ <https://afresearchlab.com/technology/space-power-beaming/>
- ・ <https://news.xidian.edu.cn/info/2106/220926.htm>
- ・ https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2019/pdf/0605_2j_01.pdf

【筆者紹介】

本橋 恵一 (もとはし けいいち)

(株) afterFIT

afterFIT 研究所 シニアリサーチャー、

Energy Shift シニアマネージャー



ずいそう

写真の楽しみ

関野 広 光



昔々、写真は「真実を写す」などと言われていました。若かった彼は、白黒フィルムと印画紙を赤色の裸電球の明かりが頼りの暗室に持ち込み、フィルム(35mm, 6×4.5, 6×6, 6×9)をセットした引き伸ばし機のピント調整を慎重に行い、露光時間を決めるための試し焼きを行う。

鼻腔をくすぐる酢酸系の匂いが漂う中、現像液の中にある白い印画紙に徐々に黒い模様が現れてくる。暗室内の赤い光の中では妙に妖しげな雰囲気がある。

ここ、と言うタイミングで現像液が入ったバットから竹製のピンセットで印画紙を挟み、引き上げ停止液の入ったバットへ移す。その後、水を張ったバケツの中に放り込む。バケツの中で手洗いした紙片をつかみ暗室から明るい室外に出る。手の中にある印画紙をじっと見つめ、露光時間が適切か判断する。OK.であれば、第一段階終了です。

試し焼き後に、いよいよ本焼きです。自分の勘に従い、全体露光時間の微調整、部分的に覆い焼き、焼き込みを施しながら印画紙に願いを込めて露光する。印画紙サイズが大きくなればなるほど緊張する瞬間です。

学生時代は、大きくても「四つ切り」までがせいぜい、しかも白黒でした。部活動の中で特別などときには「半切版」,「全紙版」もありましたが、年に4~5枚程度でした。引き伸ばした大判の写真は、ほぼ50年を経過し多少の変色は勘弁してもらえば、まだ鑑賞に堪えるものと自負しております。



写真-1 50年経過した「修理を待つ」



写真-2 50年経過した「引き波の後」

フィルムからデジタルデータ画像になり、撮影機材の操作方法、撮影技術は多岐にわたり変化しています。しかし写真撮影はまず事象に感動し、その感動を一コマの写真に記録することに尽きると思います。その為従来通り、レンズの焦点距離、ISO感度、ホワイトバランス、ピントの位置、絞り値、シャッター速度を決定してシャッターを切る。複雑といえば複雑な作業ですが、それも楽しみの一つです。

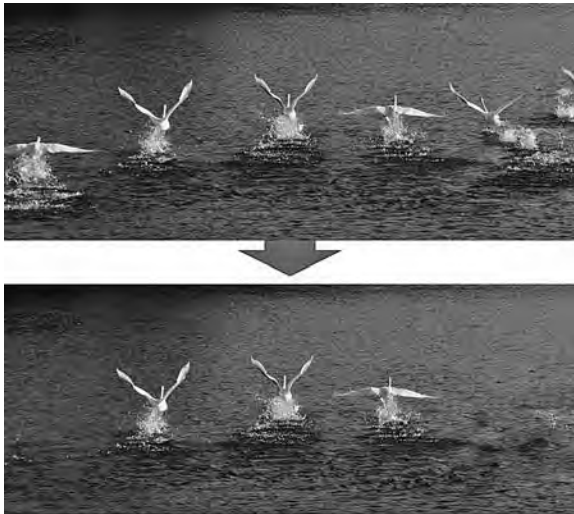
今はカメラが非常に賢くなっており、Autoモード等を活用し、シャッターボタンを押せば目を見張るような美しい写真が撮れます。中には新旧の機材を組み合わせ合わせてオールドレンズの描写力に心惹かれている撮影者もいます。またモノクロ写真も依然主張し続けている昨今で、某メーカー製フィルム写真カメラ『写るん○▲!』のファンも微増している模様です。

さて、暗室での作業から半世紀が経過し、今ではPC&ディスプレイ+プリンターを用いたデジタル環境の中での手軽な「明室作業」に代わり、デジタルカラー写真が主流となっています。

デジタル写真画像編集ソフトが多数存在し、プロアマ問わず多数のユーザーが利活用し、作品作りをしています。しかしながら過度の加工を施すことは如何なものかと思えるこの頃です。

例を挙げますと

①あるはずのものが消えてしまった。



写真—3 消えた白鳥

②無かったものが増えている。



写真—4 現れた航空機

③赤い花が黄色い花になっている。

④色彩が派手でキラキラしている。

⑤これは何????

まだまだあると思いますが、不自然・不可解な写真が多数見られるのが非常に気になります。

各種のコンテストでは、画像加工の有無を「自己申告」するのが通例（応募条件）となっています。

しかしあくまでも「自己申告」、中には「バレなければ何をしても良い。」と豪語する方もいらっしゃるようです。名のあるコンテストにおいても不可思議な応募写真が賞に入ることも珍しくないこの頃です。

私自身は通常のレタッチの範囲での作品作りを行っている次第です。

さて、通常の【レタッチ】と記述しましたが、それって何?と思われる方もおいでかと思えます。

レタッチについて私の持論を若干記述してみます。

元々写真の中にある明るさや、色合いといった情報を引き出し調整し、撮影時に自分の目で見ていた景色を再現、写真を仕上げていくのが、レタッチ作業になります。

レタッチ作業では主に露出（明るさ・暗さ）の調整で、写真全体の明るさはもちろんですが、部分的に明るく、または暗くすることも出来ます。コントラスト調整は明暗差をはっきりさせメリハリのあるキリっとした写真に、または、全体的に明暗差の少ない淡い印象の写真にしたいときに調整します。

市販されている画像ソフトではさらに細かな調整項目がありますが、私はこれらの代表的項目を実施することで、十分に作品作りを楽しんでいます。

プリントの作成に当たっても暗室現像作業から明室現像作業とアイテムや作業内容は変わり、覚えておくテクニック等は多数あります。でも皆がやり過ぎて、日本海側から太陽が昇る写真になっては困ります。ほどほどにお願いしたいものです。

是非皆さんも天気が悪くても悪くても、カメラを片手に撮影に出かけましょう。自分で感動した風景、気に入ったもの、気になったもの、人に伝えたいと思ったもの…花一輪、虫一匹で良いんです。撮影対象はどこにでもあります。

撮った後はプリントし、特に気に入ったものは大きなプリントにし、まず部屋に飾りましょう。そしてプリント写真を他の人に是非見てもらいましょう。

撮った作品に光を当ててあげましょう。



写真—5 最近水族館で撮影した写真「遊ぼうよ」

コンテストにも応募してみましよう。一度や二度落選しても、懲りず、尻込みせず、図々しく、堂々と応募し続けましよう。

何れ結果はついてきます。

—せきの ひろみつ JCMS 東北支部 専門技術員—

ずいそう

料理と私

穴井 秀和



「奥さんが初めて作ってくれた料理って忘れられないよね？」と同僚がつぶやいた。忘れられないって、そんなに重要なことなの？忘れられないどころか、私は思い出せない。「なんだっけ？」。懸命に当時のことを思い起こそうとしても、全く記憶にない。こんなことだから愛想をつかさされるのか。女房に聞くわけにもいかず、手がかりもないので悶々としながら、現実逃避を図り始めた。

「自分で最初に作った料理はなんだろう？」。これは、自分のことだからすぐわかる。小学校の家庭科の授業で作った「こふき芋」。ジャガイモの皮をむいて、一口大に切り、鍋に入れて茹でる。茹であがったら、鍋の蓋を少しずらして湯を捨て、そのまま鍋をゆすり、ジャガイモの角を取って塩コショウで味付ける。これが料理なのか微妙だけど、多分これが最初に私が作った料理だ。いや、もしかするとインスタントラーメンか？段々、自信が無くなってきた。

それでは、「人に教えた最初の料理は何だろう？」。これは自信がある。ピザだ。中学校の時に母に教えた。母は自分のお店を持つ料理人なので、プロに教えたことになる。

50年前にはピザそのものが珍しく、食べたことがない人は多かった。私は春休みにイタリアンレストランで皿洗いのバイトをしているときに、メニューにあったピザの作り方を習得した。まず、小麦粉の強力粉と薄力粉を半分ずつ混ぜ合わせて中力粉をつくる。パンのようにふっくらとした生地にはないためだ。これにイーストと水を加え、発酵させて生地を作る。生地ができたら丸く広げ、その上にトマトピューレを塗る。今のようにピザソースなど販売されてなかった。具は、サラミと輪切りしたピーマンとスライスされたマッシュルーム。マッシュルームは生ではなく水煮缶のものだ。チーズは、ゴーダチーズ。今ではモッツァレラチーズをよく使うが、当時の日本にはゴーダチーズさえもあまり流通してなかった。あとは高温のオーブンで焼くだけだ。このようにして作ったピザは、実家では好評で時々作った記憶がある。

それ以来、私は学生時代や結婚してからも時々料理をしてきた。最初のうちは年に数回程度で自家製ソー

セージやスパイスだけで作ったカレーなどハードルの高い料理ばかり挑戦していて失敗することが多く、不評続きだった。

その甲斐があったのか、それとも私の素質が元々よかったのか、今では夏休みなどの長期休暇はもちろん、土日は私が料理するのが当たり前になっている。逆に料理しないときは申告しなければならないほどだ。

最近は何を作ったか記録するために毎回スマホで写真を撮影している。先日スマホを確認したら、この1年で500皿以上の写真がたまっていた。つまりは、1日1皿以上作っていることになっている。作るときは大体4皿以上つくっているの、土日の2日間で8皿。長期休暇も含めると年間500皿以上になる。

ジャンルは、和食、中華、イタリアンを中心にして韓国料理やインドカレー、鍋、フレンチなど多彩である。ただ、作り方を全て覚えているわけではなく、レシピ通りに作るだけである。近頃ではスマホなどで検索すれば簡単にレシピを教えてくれるようになったが、私はレシピ本を見るのが好きだ。本屋でレシピ本を立ち読みし、おいしそうだと思ったらつい買ってしまふ。いまでは、100冊を超えてしまっている。

そのレシピ本も昔と今ではだいぶ様変わりしている。例えば、昔は中華料理のレシピ本は少なく、やっと見つけた本は料理のプロを対象にしているためなのか不親切だった。内容も分量や作り方を示しており、コツに触れることはない。一方、現在のレシピ本は一般向けとプロ向けと二極化しており、一般向けで



写真-1 ある日の夕飯（中華料理）

部 会 報 告

西尾レントオール(株)東日本テクノヤード見学会報告

機械部会 基礎工事用機械技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会基礎工事用機械技術委員会では、年間行事として現場見学、工場見学を実施している。令和4年5月18日(水)西尾レントオール(株)様の東日本テクノヤードにて見学会を実施した。参加者は事務局を含め17名が参加したので、その内容について報告する。

2. 東日本テクノヤード

(1) 概要

東日本テクノヤードは千葉県佐倉市太田にあり西尾レントオールの東京機械センターに隣接している。

マシンコントロールマシンガイダンスや各種施工管理システムの提供と知識だけの習得でなく体験型学習を提供している。

研究開発の試験フィールドとしても活用されている。

そのほかに、施工会社向け、国交省職員向け、各自治体職員向けにICTセミナーを実施しており、安全研修として、ユーザー会社向け、新人研修や西尾レントオールの社員研修にも利用されている。

座学ができる建物とICT建機や測量機器、ドローンなどの操作ができる屋外ヤードがある。



写真-1 座学ができる建物

(2) 実機見学

①バックホウ排土板マシンコントロール

Trimble 製品の排土板のマシンコントロールの実演
(バックホウ本体はヤンマー製)



写真-2 ヤンマーのバックホウ



写真-3 Trimble3D コントロールの画面

②グレーダーの3Dマシンコントロール

BobCat のコンパクトトラックローダーグレーダー仕様の3Dマシンコントロールを実演

③バッテリー駆動ミニバックホウ

竹内製作所製 TB20e は1回充電で約8時間運転可能、バケットは0.038 m³

西尾レントオールが唯一のレンタル窓口



写真-4 トラックローダーのグレーダー仕様

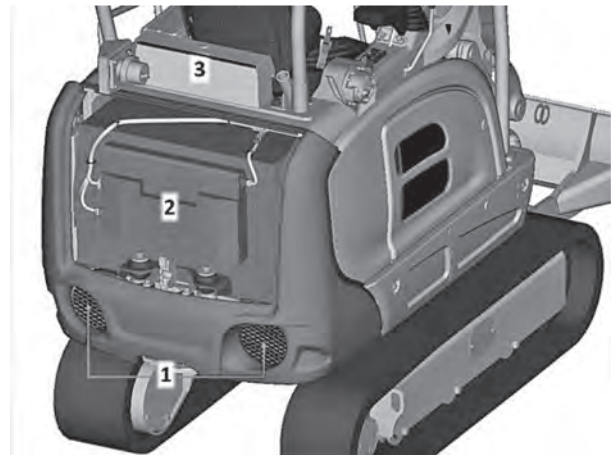


図-1 バッテリー位置図



写真-5 トラックローダーのグレーダー仕様



写真-7 バックホウ 3DMC 仕様



写真-6 竹内製作所製電動バックホウ



写真-8 運転席のモニター (日立建機純正)

④ 3DMC バックホウの法面掘削

3D マシンコントロールによる日立建機製バックホウ (0.45 m³) の法面掘削

⑤ ドローンの実演

あらかじめプログラムされた飛行ルートを実行し、着陸は手動操作

高度は飛行体装備の気圧計で測定

撮影間隔は 2 秒毎

⑥ Geo Scan

LiDER スキャナー付きタブレット等を活用した 3D 測量システム

iPhone の LiDER スキャナー + GNSS レシーバーで台形盛り土を測定。盛土上部面は測定できないが側面を点群データ化できる



写真-9 ドローン本体



写真-11 iPhone13とGNSSレシーバー



写真-10 ドローンコントローラー+表示画面



写真-12 GNSSレシーバー

点群データは市販ソフトで対応可

測定距離は5mまでは可能だが3mまでが良い

⑦杭ナビ

一人で位置出しを行えるシステム，スマホにプリズムを移動すべき方向が表示される

3. 所感

建機メーカーのICT建機関係を実演および展示ヤードを訪問したことや，現場施工時のバックホウの表示画面も見たこともあるが，ドローンの操作モニターを見ることは今まではなかった。

杭ナビの実演も初めて見て，20年以上前にPHC杭600本打設したことを思い出した。

当時は杭芯のマーキングをバックホウで踏まれてしまったところをやり直していた。「杭ナビ」があれば事前のマーキングが必要ないので，「杭ナビ」は商品名称通り，現場での余分な手間を減らしてくれるシステムである。

ゼネコン職員としては，現場職員，作業員の負荷を



写真-13 一人位置出し実演中

減らし，業務を効率的に行えるシステム・機器を紹介および安価にレンタルしていただくレンタル会社には今後も期待をしている。

謝 辞

今回の施設説明，案内をしていただきました西尾レントオール(株)東日本テクノヤード各位には，当委員会



写真-14 集合写真

見学を快くお受けいただきましたこと心より感謝し御礼申し上げます。



〔筆者紹介〕
越田 健（こしだ たけし）
㈱安藤・間
建設本部 土木技術統括部 機電部
機電部長
（一社）日本建設機械施工協会 機械部会
基礎工事用機械技術委員会 委員

新工法紹介 機関誌編集委員会

03-192	合成桁橋における架設機を用いた床版取替工法	三井住友建設
--------	-----------------------	--------

▶ 概要

橋梁の大規模更新事業の床版取替工事において、合成桁橋での鋼桁または大型クレーンを配置する橋梁端部の構造物の補強を不要とした施工方法として、架設機を用いた床版取替工法を開発し、中国自動車道（特定更新等）蓼野第二橋他3橋床版取替工事のうち、蓼野第四橋下り線の一部の鋼単純合成桁橋の床版取替において適用した。



写真一 施工状況全景

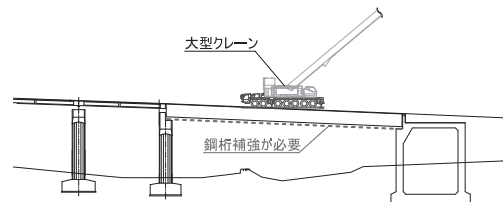
▶ 特徴

合成桁橋は鋼桁とコンクリート床版が一体となって荷重に抵抗する構造で、床版取替の施工において既設床版コンクリートの撤去後には合成効果を失った状態となる。既設床版コンクリートが撤去された鋼桁の上フランジは剛性が小さく、橋梁上に大型クレーンなどによる大きな荷重が作用した場合、鋼桁が座屈する恐れがある。そのため、合成桁橋の床版取替においては、鋼桁上に大型クレーンを設置せず、橋梁の片側、もしくは両側の端部に大型クレーンを配置して既設床版の撤去とプレキャストPC床版の架設を行うことが一般的である。一方で、大型クレーンを配置する橋梁端部が、交差道路でボックスカルバートがある場合や、河川などの直上で橋梁となっている場合がある。それらの橋梁端部の構造物が、大型クレーンの重量に耐えられない場合は、鋼桁を補強して橋面上に大型クレーンを配置するか、橋端部の構造物を補強する必要があるが、床版取替の施工前にそれらの補強が必要なのが課題となる。

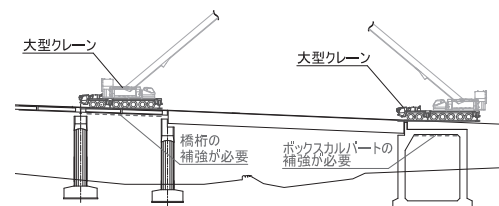
上記の課題に対し、鋼桁に荷重を作用させない床版取替方法として架設機を使用する方法を開発した。本工法で使用する架設機は、架設桁と橋梁の両端部に設置した支持材で構成されている。架設桁は支持材の上部に設けられた横行レールで移動し、架設桁に設置した床版吊り装置を作業場所まで移動させて床版の撤去・架設を行う。撤去、架設時において鋼桁に荷重が作用しないことから鋼桁の補強が不要となる。また、架設機から作用する荷重を支える両端部の支持材は、橋梁の支点上やボックスカルバートのウェブ上など剛性が大きい箇所に配置することで、橋梁端部の構造物の補強も不要となる。

【従来の施工方法】

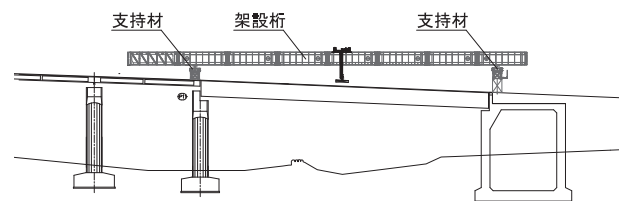
- ・鋼桁上に大型クレーンを設置した場合



- ・橋端部に大型クレーンを設置した場合



【架設機を用いた施工方法】



図一 施工方法の比較

▶ 用途

- ・橋梁の両端部に構造物がある合成桁橋の床版取替

▶ 実績

- ・中国自動車道（特定更新等）蓼野第二橋他3橋床版取替工事

▶ 問合せ先

三井住友建設(株) 土木本部 機電部
〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号
TEL：03-4582-3051

04-443	さくさく JAWS 工法	戸田建設
--------	--------------	------

▶ 概 要

近年、都心部において、地上部に制約があっても地下空間を構築できる非開削技術への需要が高まっている。その目的はライフラインの地下化や地下鉄・地下街の整備、水害や地震への安全対策としての地下利用など多岐にわたり、目的に応じた断面の大きさや形状への対応が求められている。しかし、一般的に地下トンネルの構築に用いられるシールド工法や山岳工法等ではこれらの要求に対応することは困難である。

上記を踏まえ、当社は(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構および神奈川東部方面線の都市トンネル技術委員会の協力・指導のもと、外殻先行型の非開削トンネル構築技術(さくさく JAWS 工法: Joint All Water Shutting)を開発した。本工法は、施工性と止水性に優れた独自の JAWS 継手(図-1)と密閉型矩形推進機によって、トンネル外殻構造部材を先行して構築する地下空間構築工法であり、大断面および矩形や円形に限らず任意な断面形状のトンネルに対応できる。

本工法の施工手順は、まず推進工法により小断面の継手付き鋼製エレメント(図-2)を順次掘削・連結した後、鋼製エレメント間の土砂を内側から除去して、継手を拘束ボルトで固定する。次に継手間および鋼製エレメント内に高流動コンクリー

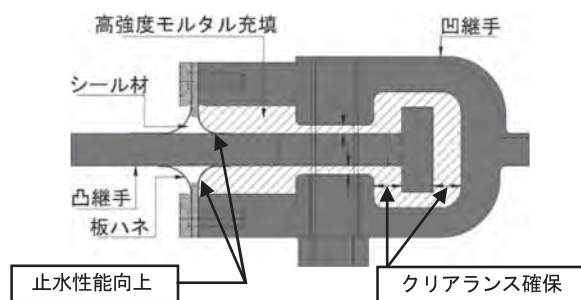


図-1 JAWS 継手

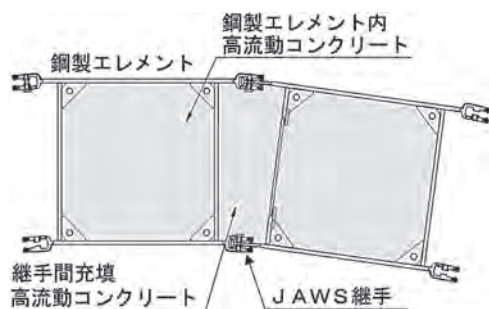


図-2 継手付き鋼製エレメント

トを打設し、継手内にモルタルを充填して、外殻構造部材を形成する。最後にトンネル内部の地山を掘削除去して、トンネル構築物を構築する(図-3)。

▶ 特 徴

本工法は、以下の4つの特徴を有し、周辺環境への影響低減や施工の効率化、工程短縮、適用範囲の拡大が期待できる。

① 周辺地盤への影響低減

対象となる地下空間が大断面であっても、個々のエレメントの施工断面が小さいため、推進施工時の周辺への影響を抑制することができ、都心部においても安全に施工ができる。

② 補助工法の省略

凹継手の開口部に取り付けた板ハネ・シール材により止水性を向上したことで、薬液注入工等の補助工法を省略できる。

③ 内部構築の省略

拘束ボルトによる継手部の曲げ耐力の強化等により、本体構築物としての利用を可能とし、これによりトンネル内部の構築工程を省略できる。

④ 複雑な断面形状への対応、長距離化の実現

継手内のクリアランスを大きく確保したことで、構築するトンネル断面形状の自由度を向上し、さらに推進時の継手抵抗力の低減により施工距離の長距離化が図れる。

▶ 用 途

・地上からの施工が制約される非開削トンネル構築物

▶ 実 績

・相鉄・東急直通線 綱島トンネル他工事

▶ 問 合 せ 先

戸田建設(株) イノベーション本部 技術研究所社会基盤構築部
〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-9-1 RBM 東八重洲ビル 6階
TEL: 080-2013-7348

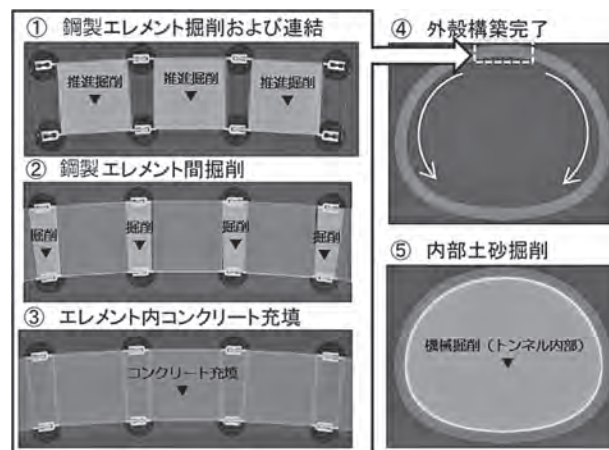


図-3 トンネル構築物構築手順

新工法紹介

11-124	AIによる車両走路侵入者検知システム	熊谷組
--------	--------------------	-----

概要

建設現場内は、車両走路と安全通路を区分することが望ましいが、作業環境によっては区分できない場合がある。

車両が一般道から現場内に入場する際には、走路の幅員変化等周辺環境の変化により人の見落としや接近・接触等のヒューマンエラーが発生する可能性が高くなる。

そこで車両走路内に人が侵入している場合には、車両運転手に直ちに侵入者がいることを知らせ、危険予知ができるシステムを開発した。基本構成は、ネットワークカメラの映像をAIが搭載されている推論マシンに送信し、AIがその危険判定を行う。その判定結果をシグナルとして電源制御装置へ送信し、警報装置の動作を制御する（図-1, 2）。

特徴

本AIシステムは、事前に収集した現場内の映像から独自に作成した教師データを用いることで、検知エリアに関わらず、映像中の建設現場作業員の姿勢・服装の変化や現場環境の変化にも柔軟に対応し、正確かつリアルタイムに人物を検知し、矩形（バウンディングボックス）で囲うことや、その人物の特徴から個人を特定し追跡することも可能である（図-3）。

車両走路内への侵入者検知は、AIによる人物検知アルゴリズムにより人物に囲った矩形と人物検知エリアとの重なり度合いで判定を行う。その際、矩形の足元に対して判定の重きを置くことで人物検知エリア境界線付近における侵入者の検知漏れを防ぐことが可能である。映像のコマ落ちに対しては時系列的に人物を追従することで検知漏れを防ぐことができる。この人物検知エリアは容易に設定することができ、様々なシーンへの対応が可能である。

用途

建設現場内の車両走路内（監視区域）等への侵入者検知

効果

監視員なしでも車両走路上の侵入者との接触事故を未然に防ぐことが可能となり、生産性の向上が行えた。

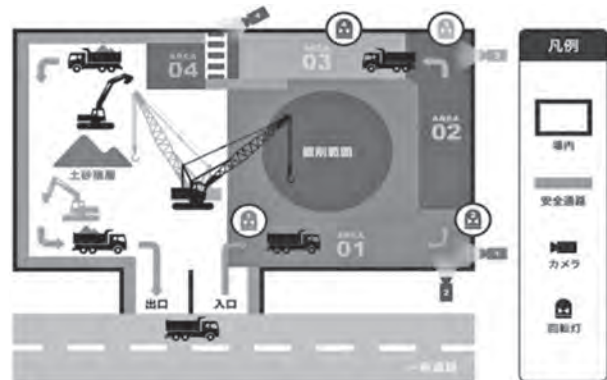


図-1 AI検知エリア図

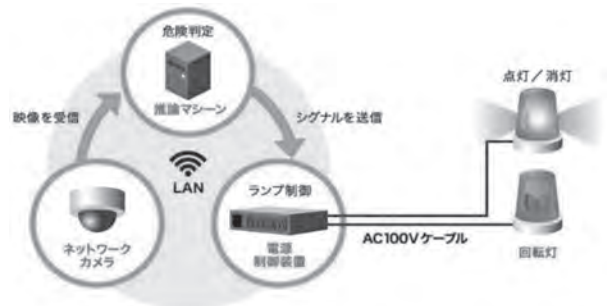


図-2 AIによる車両走路進入者検知システムの構成

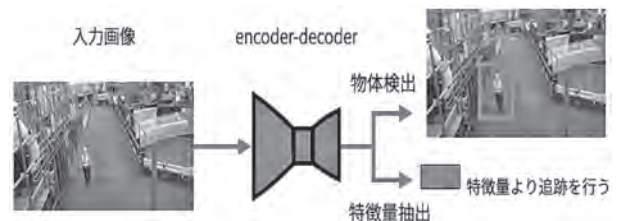


図-3 AIによる人物検知および追跡モデル

実績

熊谷組・大豊建設中央新幹線東雪谷非常口新設工事共同企業体東雪谷工事所

問合せ先

(株)熊谷組 土木事業本部 ICT推進室
〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1
TEL：03-3235-8627

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈12〉モータグレーダ、ロードスタビライザ、
締固め機械およびソイルプラント

22-〈12〉-01	日立建機 土工用振動ローラ ZC120S-6	'22.6 発売 新機種
------------	------------------------------	-----------------

ZC120S-6は、オフロード法2014年基準に適合した新型の土工用振動ローラである。

運転席の窓を大きく、車体後方のエンジンカバーは傾斜をつけた造形とすることで、オペレータが運転席から機械周辺を幅広く見渡すことができる。直接の視認が難しい車体後方や後端の下部は、標準装備の車体後方カメラの映像を、運転席内のモニターで確認することが可能(写真-1)。

運転席内のモニターには、駐車ブレーキの解除のし忘れやニュートラルスタートといった注意喚起、排出ガス後処理装置の再生手順などを表示させることで、オペレータを支援し、安全性向上に寄与する(写真-2)。

地上から日常的にメンテナンスや作業を行うことができるよう、燃料給油口、尿素水補給口、エンジンオイルレベルゲージ、エアクリーナーなどを車体の低い位置にレイアウトした。また、「自動逆転クーリングファン」により、ラジエーターの清掃頻度を低減している。作業者の負担低減や作業工数低減に配慮している(写真-3)。

本製品は、2021年4月より日本国内でレンタルを開始しており、2022年6月から一般販売を開始した。標準小売価格は1,870万円(税抜き)。



写真-1 日立建機 ZC120S-6 土工用振動ローラ

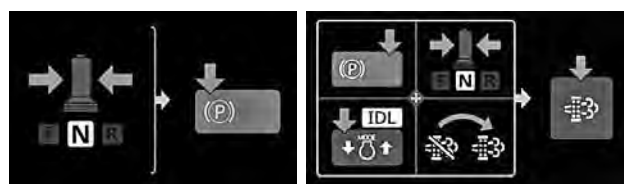


写真-2 モニターでの操作ガイダンスや注意喚起の例



写真-3 エンジンカバーを開けた際のイメージ

表-1 ZC120S-6の主な仕様

運転質量	(kg)	12,400
前軸質量	(kg)	6,400
後軸質量	(kg)	6,000
全長	(mm)	5,860
全幅	(mm)	2,290
全高	(mm)	3,095
最大起振力(理論値)	(kN)	300
最大振幅(理論値)	(mm)	1.95
大振幅周波数	(Hz)	30.5
前後走行速度	(km/h)	0~11
登坂能力(理論値)	(度)	28.8
エンジン最大出力グロス・ネット	(kW/min ⁻¹)	108/2,000・102/2,000
エンジン最大出力グロス・ネット	(PS/rpm)	146/2,000・138/2,000
標準小売価格(税抜き)	(万円)	1,870

執筆者：(株)日立建機カミーノ
 マーケティング本部 セールスサポート部
 道路機械グループ 海藤 勉
 〒 999-3737 山形県東根市大字若木字七窪 5600-1
 問合せ先：日立建機(株)ブランド・コミュニケーション本部
 広報・IR部 広報グループ
 〒 110-0015 東京都台東区東上野二丁目16番1号

建設企業の海外展開

1. はじめに

昨今、少子高齢化が急激に進行しているわが国においては、新興国を中心とした世界の膨大なインフラ需要を取り込むことが重要な課題となっている。2020年12月に、経協インフラ戦略会議において決定された「インフラシステム海外展開戦略2025」では、官民連携の下、我が国企業が2025年に34兆円のインフラシステムの受注を目指すことが目標として設定された。この目標の達成に向け、毎年内容の見直し及び追補が行われている。本年6月3日には、「ポストコロナを見据えたより良い回復の着実な実現」、「脱炭素社会に向けたトランジションの加速」、「『自由で開かれたインド太平洋(FOIP)』を踏まえたパートナーシップの促進」が追補された。国土交通省は、政府の新戦略を遂行するため、昨今の競争環境の変化、脱炭素社会実現に向けた世界の取組の加速化、経済安全保障の重要性の高まり等直近の情勢変化、包摂性や強靱性などを踏まえて「国土交通省インフラシステム海外展開行動計画2022」を策定した。この計画の中には、インフラシステム海外展開を取り巻く情勢と課題、今後の海外展開の方向性等に加え、今後注視すべき主要プロジェクトなどが取りまとめられており、わが国の持続的な経済成長の実現に貢献していくこととしている。

このような状況の中、2021年度の建設企業の海外展開の状況、今後注視すべきプロジェクト等について、海外進出の歴史を踏まえて紹介する。

2. わが国の建設業における海外進出の歴史

わが国の建設業における海外進出の歴史について、国土交通省「わが国建設業の海外展開戦略研究会中間報告書」(2005年)をみると、初めて商業ベースで海外に進出したのは、1897年(明治30年)に始まった京城と仁川の間を結ぶ京仁鉄道工事からであるとされている。その後、1901年には京城と釜山の間を結ぶ京釜鉄道工事、1937年にはメキシコでの道路舗装工事、1939年にはブラジルでの水力発電工事を実施したという記録が残されている。この間、これら商業ベースの工事とは別に、わが国の領土拡大等を背景とした海外進出も少なくなかった。台湾縦貫鉄道建設(1898年—1908年)などの工事が行われたが、1945年の太平洋戦争に敗戦したことにより、中断することとなった。

戦後、我が国建設業の海外進出は、東南アジアや韓国における賠償工事という形で再開されたと言われている。賠償工事は、1955年度の当時ビルマ(現ミャンマー)における水力発電所建設が最初であった。本工事は、1954年11月に署名されたわが国とビルマとの賠償及び経済協力に関する協定に基づく賠償工事の第1号であっ

た。賠償工事から商業ベースへと移行していったのは1960年代に入ってからと言われている。

また、「海外建設協会30年の歩み」を見ると、1960年代の現地法人での受注は1966年度にタイ国での1件のみであり、他の受注はすべて本邦法人での受注であった。以降、1972年まで現地法人による受注はなかったと記されている。わが国建設企業の海外進出が本格化したのは1970年代に入ってからである。(一社)海外建設協会(以下「海建協」という。)の資料によると、海外受注実績はオイルショックを背景とした中東における受注により1970年代から急伸し、1980年代に入っても伸び続け、1983年度に初めて1兆円を超えることとなった。1996年度には過去最高額の1兆5,926億円を記録したが、1997年のアジア通貨危機の影響により1999年度は7,297億円まで下落することとなった。2000年度に入ると1兆円台に回復したが、2001年度には再び1兆円を割り込み、以降3年間1兆円を超えることはなかった。再び1兆円台を回復したのは、2004年度になってからである。

昨今では、2017年度以降伸び続け、2019年度には2兆570億円となり初めて2兆円を超えて過去最高額を更新した。2020年度においては前年度を大きく下回る1兆1,142億円という結果となったが、2021年度は大きく上昇し、1兆7,855億円となった(図—1参照)。

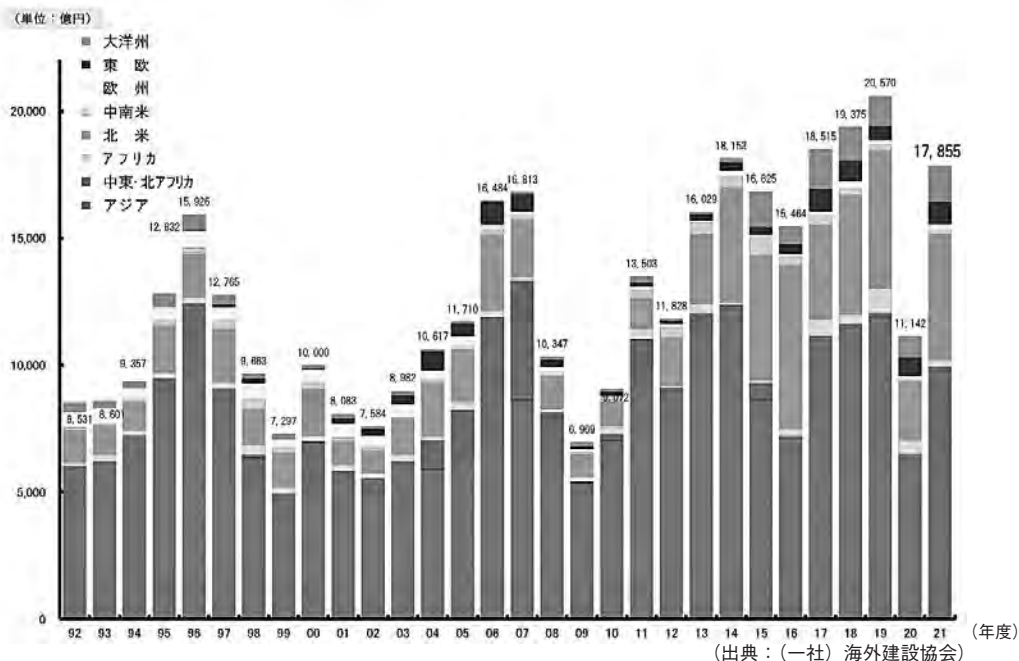
3. 2021年度の海外建設工事受注実績について

2021年度におけるわが国建設企業の海外建設工事受注実績について、海建協のデータを用いて紹介する。この受注実績は、同協会会員企業51社が受注した海外建設工事(1件1,000万以上)を取りまとめたものである。なお、集計は会員各社間(海外法人を含む)および自社の本邦法人と現地法人間の契約案件(元請・下請による重複分)は除外されており、また共同企業体(JV)による受注については各社の出資比率分が計上されている。

(1) 2021年度の海外建設工事受注額及び受注件数について

2021年度の海外建設工事受注額は、前年度の受注額1兆1,142億円と比べ6,713億円増の1兆7,855億円であった。受注件数についても、前年度の1,691件と比べ175件増の1,866件であった。受注額は、前年度に大きく減少したが、2年振りに上昇する結果となった。

また、2021年度の海外建設工事受注状況を法人別にみると、本邦法人の受注額は3,902億円であり、前年度の3,448億円と比べ454億円(13.2%)増加した。件数についても459件となり、前年度の359件に比し100件増加する結果となった。現地法人の受注額については、1兆3,953億円であり、前年度の7,694億円と比べ6,259

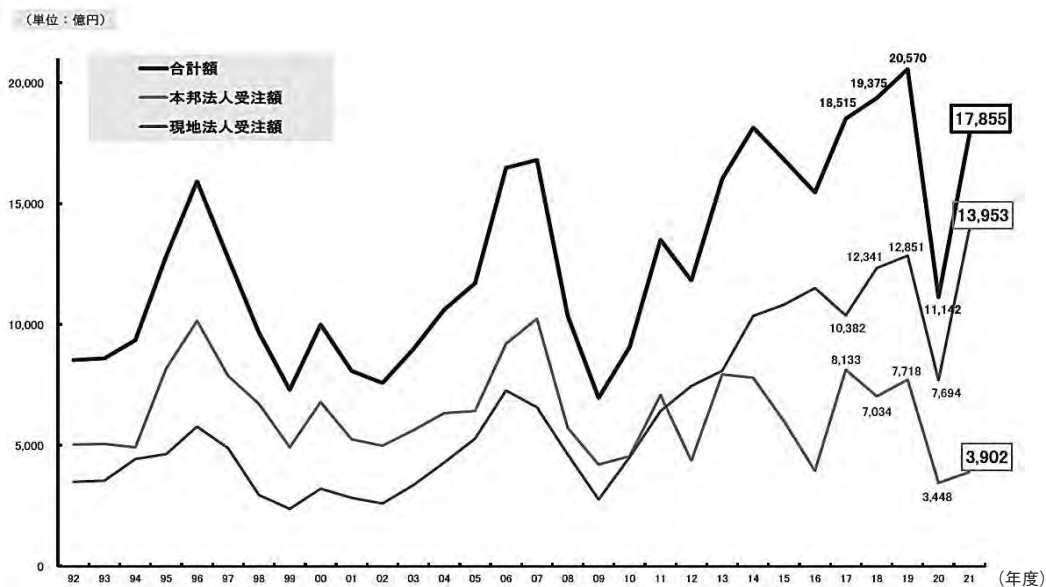


図一 海外建設受注額（地域別）の推移（1992年度～2021年度）「海建協調べ」

表一 2020, 2021年度の海外建設工事受注額の対比「海建協調べ」

(単位：億円)

法人種別	2021年度		2020年度		対前年度比：増減	
	件数	金額 (構成比率)	件数	金額 (構成比率)	件数	金額 (前年度比率)
本邦法人	459	3,902 (21.9%)	359	3,448 (30.9%)	100	454 (13.2%)
現地法人	1,407	13,953 (78.1%)	1,332	7,694 (69.1%)	75	6,259 (81.3%)
合計	1,866	17,855 (100.0%)	1,691	11,142 (100.0%)	175	6,713 (60.2%)



図二 海外建設受注額の推移（1992年度～2021年度）「海建協調べ」

／ 統 計

億円（81.3%）の増加となった。件数についても1,407件となり、前年度の1,332件に比し75件増加する結果となった（表—1、図—2参照）。

（2）2021年度各地域における建設工事受注状況について

2021年度の受注状況を各地域別にみると、アジア、中東・北アフリカ、北米、中南米、欧州、東欧、大洋州の7地域において、前年度より受注額が増加する結果となった。それぞれの地域の受注件数と受注額は、アジアが1,340件で9,846億円（前年度比52.5%増）、中東・北アフリカが18件で120億円（前年度比66.6%増）、北米が256件で5,021億円（前年度比115.3%増）、中南米が83件で145億円（前年度比64.7%増）、欧州が20件で202億円（前年度比90.5%増）、東欧が73件で903億円（前年度比18.8%増）、大洋州が53件で1,420億円（前年度比72.1%）となった。

増加した7地域を上昇率の高い順にみると、北米が最も上昇しており、次いで欧州、大洋州の順であった。

一方、前年度より減少となった地域は、アフリカのみであった。受注件数は23件、受注額は198億円であり、前年度と比べ60.6%減少する結果となった（表—2参照）。

4. 今後注視すべき主要プロジェクト

国土交通省の「インフラシステム海外展開行動計画2022」をみると、「インフラシステム海外展開行動計画2021」において今後3～4年間に注視すべきプロジェクトとして選定した88件のプロジェクトのうち、「ボスボラス第2大橋補修事業」、「タジュラ湾海上輸送能力強化事業」、「カイロ地下鉄4号線第一整備計画」については、わが国企業が受注することとなった。また、「チンギスハーン国際空港運営事業」については、昨年7月に運営を開始した。一方で、「リママトロ3号線、4号線整備事業」については2021年5月、リマ・カヤオ都市交通機構から在バレー大使館に、G2G契約相手国選定プロセスを一時中断する旨の通知があり、計画が凍結される。

受注に至った「カイロ地下鉄4号線第一整備計画」は、エジプト初のSTEP円借款事業であり、2021年11月にわが国企業が契約額約400億円で車両パッケージを受注するなど、わが国が有する質の高い技術を活かした案件形成の例となった。また、同じく受注に至った「ボスボラス第二大橋補修事業」は、わが国の円借款によって建設された橋梁の補修事業であり、橋梁劣化に伴うハンガーロープ等の補修工事を実施する事業となっている。

「インフラシステム海外展開行動計画2022」における今後注視すべきプロジェクトについては、行動計画2021で選定した88プロジェクトのうち5件が削除され、新たに4件が追加され、87プロジェクトが選定されることとなった。

ベトナムにおいては、南北高速鉄道整備事業等12事業、カンボジアではシハヌークビル港新コンテナターミナル整備事業等3事業、タイではバンコク～チェンマイ間高速鉄道整備事業等9事業、フィリピンでは南北通勤鉄道事業等11事業、インドネシアではジャカルタ都市高速鉄道事業（フェーズ2）等10事業、マレーシアではイスカンダルバス高速輸送システム開発事業の1事業、シンガポールではチャンギ国際空港第5ターミナル建設事業等2事業、インドではムンバイ～アーメダバード間高速鉄道計画等2事業、スリランカではバンダラナイケ国際空港改善事業の1事業、バングラディッシュではダッカ都市交通整備事業（1号線）等6事業が選定された。

また、アメリカではワシントンDC～ボルティモア間の超電導リニア計画等3事業、イギリスではHigh Speed 2高速鉄道計画の1事業、オーストラリアでは西シドニー新空港周辺開発計画の1事業、中東ではアブダビメトロ整備事業（アラブ首長国連邦）の1事業、中央アジア・コーカサスでは国際幹線道路改善計画（キルギス）等2事業、アフリカ地域ではアビジャン三交差点建設事業（コートジボワール）等9事業、太平洋島嶼国ではトクア空港整備事業（パプアニューギニア）の1事業、東欧ではポルトニッチ下水処理場改修計画（ウクライナ）の1事業、台湾ではAIオンデマンド交通サービス等提供事業（台北市）等2事業、ミャンマーではヤンゴン～マ

表—2 2020、2021年度の地域別建設工事受注額の対比「海建協調べ」

（単位：億円）

地域	2021年度		2020年度		対前年比：増減	
	件数	金額 (構成比率)	件数	金額 (構成比率)	件数	金額 (前年度比率)
アジア	1,340	9,846 (55.1%)	1,146	6,457 (58.0%)	194	3,389 (52.5%)
中東 北アフリカ	18	120 (0.7%)	10	72 (0.7%)	8	48 (66.6%)
アフリカ	23	198 (1.1%)	8	501 (4.5%)	15	-304 (-60.6%)
北米	256	5,021 (28.1%)	310	2,332 (20.9%)	-54	2,689 (115.3%)
中南米	83	145 (0.8%)	76	88 (0.8%)	7	57 (64.7%)
欧州	20	202 (1.1%)	16	106 (1.0%)	4	96 (90.5%)
東欧	73	903 (5.1%)	67	760 (6.8%)	6	143 (18.8%)
大洋州	53	1,420 (8.0%)	58	825 (7.4%)	-5	595 (72.1%)
合計	1,866	17,855 (100.0%)	1,691	11,142 (100.0%)	175	6,713 (60.2%)

ンダレー鉄道整備事業等9事業が選定された。

なお、ミャンマーに関しては、行動計画2020（2020年7月策定）記載のプロジェクトについて、現下の情勢を踏まえ、今後の事態の推移を注視し検討していくこととしている。

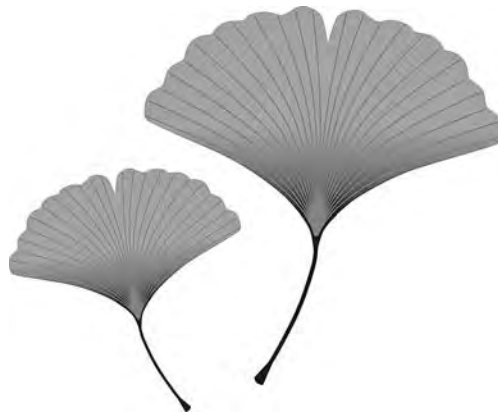
5. おわりに

2020年度の海外工事受注は、新型コロナウイルス感染症の世界

的なまん延による景気停滞の影響を受け、大幅な減少となった。しかし、2021年は新型コロナウイルスの感染が一時的に落ち着きを取り戻したこと、世界的にワクチン接種が進んだこと、コロナ禍にあっても経済活動が継続的に行われたことなどにより、大幅に上昇した。

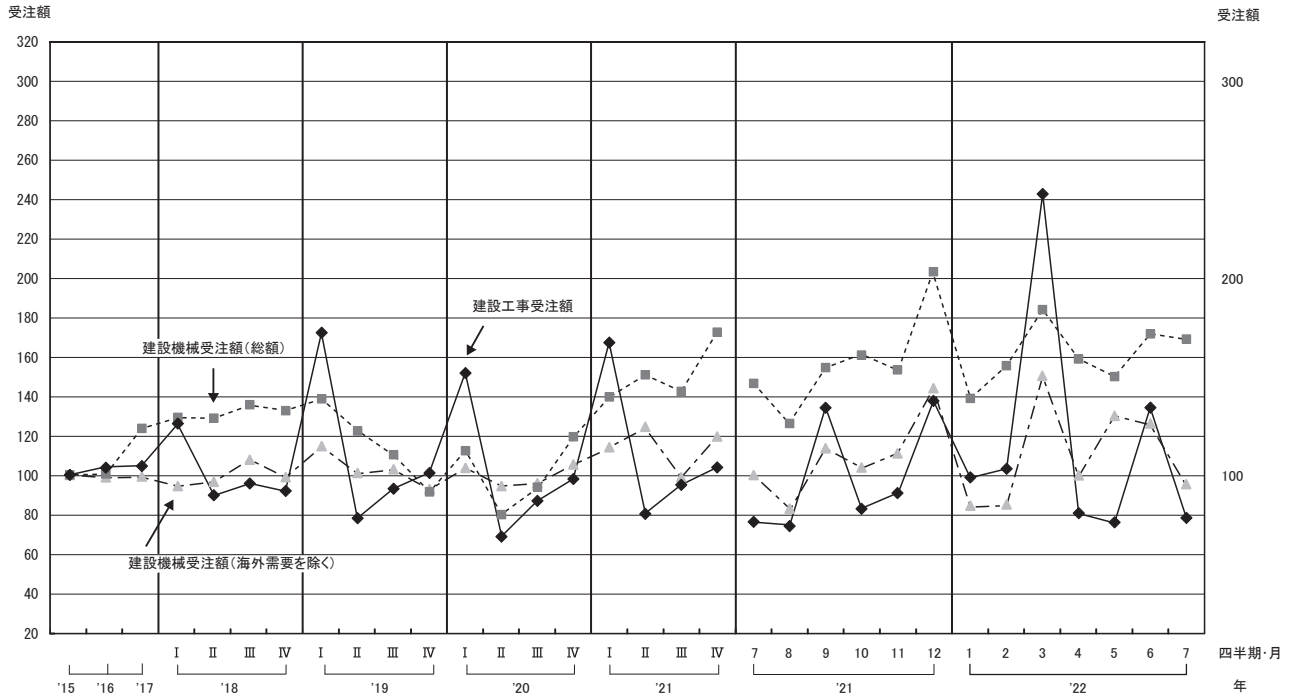
2022年度の見通しについては、円安が一層進むことになれば大きな影響を受けることになると考えられるため、円相場にも注視していきたい。

（文責：清水）



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 2015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 2015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							
2015年	141,240	96,068	19,836	76,235	35,633	4,993	4,546	95,959	45,281	141,461	141,136
2016年	146,991	99,541	17,618	81,923	38,894	5,247	3,309	98,626	48,366	151,269	134,037
2017年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2021年 7月	8,925	6,244	2,042	4,202	2,324	305	51	6,069	2,855	188,502	8,489
8月	8,766	6,304	2,156	4,149	2,059	370	32	6,285	2,481	187,177	10,180
9月	15,826	12,449	1,698	10,750	2,780	419	179	11,984	3,842	188,820	14,729
10月	9,753	7,135	2,003	5,132	2,202	360	57	6,806	2,947	190,874	8,975
11月	10,676	7,495	2,213	5,282	2,269	351	561	6,782	3,894	191,232	10,790
12月	16,208	12,569	2,335	10,235	2,841	371	427	12,316	3,892	192,900	15,433
2022年 1月	11,656	7,955	1,408	6,547	2,892	322	487	8,014	3,641	194,534	9,787
2月	12,152	9,464	2,400	7,065	2,280	365	43	8,766	3,387	193,576	11,606
3月	28,665	21,001	4,095	16,906	6,090	496	1,078	18,978	9,687	202,497	20,607
4月	9,462	6,623	2,182	4,441	2,268	490	81	6,347	3,114	201,690	9,341
5月	8,930	6,695	2,012	4,683	1,038	386	812	6,290	2,640	201,369	8,812
6月	15,741	11,290	3,252	8,038	2,525	465	1,462	11,414	4,327	202,288	14,177
7月	9,176	6,529	2,073	4,456	1,839	348	460	6,310	2,865	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	15年	16年	17年	18年	19年	20年	21年	21年 7月	8月	9月	10月	11月	12月	22年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
総 額	17,416	17,478	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	2,132	1,833	2,245	2,341	2,229	2,955	2,017	2,263	2,675	2,310	2,177	2,498	2,457
海 外 需 要	10,712	10,875	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	1,574	1,371	1,611	1,762	1,609	2,150	1,546	1,789	1,834	1,753	1,450	1,791	1,926
海外需要を除く	6,704	6,603	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	558	462	634	579	620	805	471	474	841	557	727	707	531

(注) 2015～2017年は年平均で、2017～2020年は四半期ごとの平均値で図示した。
 2021年7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

(2022年8月1日～31日)

機械部会



■コンクリート機械技術委員会

月日：8月3日(水)(会議室, Web 並行開催)

出席者：角南大輔委員長ほか10名

議題：①前回の議事録確認 ②技術発表：エクセン(株)「NETIS登録内部振動機の紹介」 ③南摩ダム施工現場見学会(6/7(火)開催)の報告書の内容確認 ④その他：・JIS定期見直しの件、・委員名簿更新の件

■情報化機器技術委員会

月日：8月5日(金)(Web会議で開催)

出席者：白塚敬三委員長ほか7名

議題：①ホームページに掲載する用語集について掲載する用語に関する討議 ②ジック(株)社デモ見学会(7/20(水)開催)の情報共有と報告書作成について ③CSPI-EXPO 2022の情報共有 ④規制・規格の最新情報の共有

■機械整備技術委員会

月日：8月23日(火)

出席者：小室実委員長ほか9名(Web会議で開催)

議題：①整備作業の法規制、規格に関する調査について：各社提出の必要資格調査結果のまとめ ②(株)JALエンジニアリング社整備工場見学会(6/15(水)開催)の報告書の内容確認

■ダンプトラック技術委員会

月日：8月25日(木)(Web会議で開催)

出席者：渡辺浩行委員長ほか6名

議題：①各社トビックス：日立建機(株)「マイニングトラックEH4000-AC3新オプション仕様の紹介」 ②生産性向上に関する輪講：キャタピラージャパン(同)「CAT COMMANDによる無人化施工について」 ③R4年度活動計画に関する討議

標準部会



■JIS原案作成分科会

月日：8月2日(火)

出席者：高山剛(日立建機)委員ほか8名

場所：Web上(Zoom)

議題：①JIS原案作成の進捗報告

②JIS原案検討(3件)JIS A 8340-2 土工機械-安全-第2部：ブルドーザの要求事項, JIS A 8340-3 土工機械-安全-第3部：ローダの要求事項, JIS A 8408 土工機械-遠隔操縦の安全要求事項 ③今後の予定

■ISO/TC 23/SC 19/JWG 10-ISO 23285 極低電圧電機駆動の安全 国際WGバーチャル会議

月日：8月2日(火)深夜・3日(水)深夜

出席者：WEIRES, Rick氏(米国ディア社嘱託)主催, 日本からは事務局1名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①いったん取り下げ後再開の新業務提案投票時の各国意見の検討 ②その他 ③次回会合

■ISO/TC 195/SC 1 委員会

月日：8月3日(水)

出席者：川上晃一(日工(株))委員長ほか11名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①TC 195国際会議[バーチャル開催]対応協議 ②SC 1/WG 4 CD 19711-2「トラックミキサー-安全要求」対応協議 ③SC 1/WG 9 DIS 6085「セルフローディングモバイルコンクリートミキサー-安全要求事項及び検証」対応協議 ④SC 1/WG 5 SR 19720-1「コンクリート及びモルタル準備用プラント-第1部：用語及び商業仕様」定期見直し投票 対応協議 ⑤SC 1/WG 2 ISO 13105-1, -2「コンクリート表面こて仕上げ機械-第1部：用語及び商業仕様」, 「同一-第2部：安全要求事項及び検証」状況報告 ⑥SC 1/WG 7 ISO 18650-2「コンクリートミキサー-第2部：混練効率の試験要領」対応協議 ⑦SC 1/WG 6 ISO 21573-1「コンクリートポンプ-第1部：用語及び商業仕様」状況報告 ⑧ISO 18651-1「コンクリート内部振動機-第1部：用語及び商業仕様」対応準備 ⑨TC 195 CIB 案件[議長任期延長・WGコンピナー再任]対応協議/状況報告

■ISO/TC 127/SC 4/WG 6-ISO 7334 自動運転の分類 国際WGバーチャル会議

月日：8月22日(月)夜・25日(木)夜

出席者：TAHA コンピナー(米国Deere社)主催, 日本からは片桐顕SC 4委員長(日立建機)ほか4名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①(ISO 7334)案文の検討及び

検討方針再考 ②日程 ③その他

■ISO/TC 127/CAG 1 議長諮問グループバーチャル会議

月日：8月23日(火)

出席者：ISO/TC 127 国際議長のCROWELL氏(米国Caterpillar社)主催, 海外からはほか11名出席, 日本からは間宮崇幸ISO/TC 127/SC 3 国際議長(コマツ)ほか2名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①次回ISO/TC 127及び各分科委員会総会日程及び場所(来年インドにて) ②ISO専門業務用指針の改訂 ③親委員会及び各分科委員会の要対処事項など ④今後のWG会合日程 ⑤審議・検討案件での重要対処事項 ⑥新業務候補案件 ⑦業務の効率改善について ⑧次々回以降の総会に関して ⑨その他 ⑩次回CAG会合

■ISO/TC 127/SC 2/WG 15-ISO/AWI 13649 火災予防 国際WGバーチャル会議

月日：8月24日(水)午前, 25日(木)午前

出席者：米国NEVA コンピナー(斗山Bobcat社)主催, 海外からはほか8名出席, 日本からは植田洋一委員(コベルコ建機)ほか2名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①前回議事録確認 ②(再開の新業務提案時)案文に対する意見の検討 ③まとめ及び結論 ④その他 ⑤次回会合(10月下旬)

■ISO/TC 82/SC 8/JWG 4 - ISO/PWI 3510 遠隔運転・自律運転・有人運転鉱山機械の相互運用性の仕様 国際WGバーチャル会議

月日：8月24日(水)深夜・31日(水)深夜

出席者：日本の岡ゆかりコンピナー(コマツ)主催で, 日本からはほか4名出席, 海外からは17名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①コンピナー及びプロジェクトリーダー報告 ②PL提案の検討 ③適用範囲及び新業務提案に向けての論議 ④当面の作業など

建設業部会



■機電交流企画WG

月日：8月4日(木)

出席者：本多茂主査ほか8名(内Web参加者4名)

議題：①9/27(火)『令和4年度若手現場Web見学会-谷沢川分水路工事』準備報告 ②10月2022年度機電職

Web講演会の準備報告 ③『建設業界(機電職)就職活動用ガイド』改訂作業:未着手ページの再考等 ④その他

■クレーン安全情報 WG

月日:8月30日(火)

出席者:久田英貴主査ほか8名(内Web参加者1名)

議題:①「ML(過負荷防止装置)の設定方法のヒアリング」(6/30コベルコ建機・8/10タダノ報告)今後の進め方(部会会社への報告展開について含む) ②事故事例発表 ③『建設業界(機電職)就職活動用ガイド』改訂に伴う「08 建築工事について」の改訂意見について ④その他(「支持地盤養生マニュアル」の改訂等)

レンタル業部会



■レンタル業部会

会議:コンプライアンス分科会

月日:8月2日(火)(Web会議併用)

出席者:飛山分科会長ほか13名

議題:①部会長・分科会長挨拶 ②レンタル業としてのトラック輸送業における運賃について ③「お客様の安全技術情報の集約とプラットフォーム化の検討」の進め方等について ④各社からの報告事項・情報交換 ⑤その他連絡事項等

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月日:8月3日(水)

出席者:中野正則委員長ほか28名

議題:①令和4年11月号(第873号)計画の審議・検討 ②令和4年12月号(第874号)素案の審議・検討 ③令和5年1月号(第875号)編集方針の審議・検討 ④令和4年8月号~令和4年10月号(第870~872号)進捗状況報告・確認
※通常委員会及びZoomにて実施

■新工法調査分科会

月日:8月31日(水)

出席者:石坂仁分科会長ほか5名(内Web参加1名)

議題:①新工法情報の持ち寄り検討 ②新工法紹介データまとめ ③その他

支部行事一覧

北海道支部



■第2回施工技術検定委員会

月日:8月19日(金)

場所:北海道建設会館F会議室

出席者:伊藤正樹総括試験監督者ほか18名

議題:建設機械施工管理技術検定第二次検定(実技)試験の実施要領について

■建設機械施工管理技術検定(実技)試験

月日:8月26日(金)~28日(日)

場所:石狩市(株)PEO建機教習センター 北海道教習所

受検者:実人数1級64名,2級372名
延人数1級95名,2級439名

東北支部



■令和4年度i-Construction(ICT活用工事)セミナー

内容:①令和4年度のICT活用工事東北地方整備局の取組み ②令和4年度のICT活用工事 県の取組み ③施工者による事例発表 ④ICT活用工事の実践...その1:3次元計測の精度管理,その2:ICT建設機械施工の精度管理,その3:3次元データの実務的運用手と活用

主催:東北地方整備局(青森県・秋田県・岩手県・山形県・宮城県・福島県),東北建設業協会連合会,JCMA東北支部

講師:①東北地方整備局 ②各県担当者 ③各県の施工者 ④JCMA東北支部 情報化施工技術委員会メンバー

①宮城会場

月日:8月2日(火)

場所:仙台市 フォレスト仙台

受講者:31名

②秋田会場

月日:8月3日(水)

場所:仙台市 フォレスト仙台

受講者:52名

③山形会場

月日:8月10日(水)

場所:山形市 山形ビッグウイング

受講者:31名

■令和4年度1・2級建設機械施工管理技術検定第二次検定(実技)試験の試験監督者打合せ

月日:8月24日(水)

場所:宮城県仙台市 西尾レントオール(株)東北テクノヤード

出席者:阿曾貢貴事務局長ほか22名

内容:新規試験監督者講習, CMI制作DVD視聴, 実技試験実施要領, 出題・採点基準の説明と打合せ

■令和4年度1・2級建設機械施工管理技術検定第二次検定(実技)試験

月日:8月25日(木)~30日(火)

場所:宮城県仙台市 西尾レントオール(株)東北テクノヤード

受験者数:	種別	1級	2級	合計
	1種	45	67	112
	2種	61	447	508
	3種	12	13	25
	4種	45	40	85
	計	163	567	730

北陸支部



■外国人技能評価試験(8月期)

月日:8月25日(木)

場所:CAT北陸教習センター

出席者:堤事務局長ほか2名

受検者:

専門級	掘削	学科及び実技	11名
		実技のみ	10名
	締固め	学科及び実技	4名
		実技のみ	2名

■建設機械施工管理技術検定(実技)実施試験

月日:8月26日(金)~28日(日)

場所:石川県小松市 コマツ教習所栗津センタ

受検者:

1級	1種	18名	2級	1種	24名
	2種	14名	2種	121名	
	3種	2名	3種	6名	
	4種	6名	4種	11名	

中部支部



■建設インフラDXソリューションセミナー

月日:8月5日(金)

会場:愛知県産業労働センター

参加者:会場参加85名, Web参加150名

内容:福井コンピュータ(株)と共催で建設インフラDXについてのセミナーを開催

関西支部



■令和4年度1・2級建設機械施工管理技術検定(第二次検定)試験監督者打合せ

月日:8月5日(金)

場所:エル・おおさか

出席者:松本克英事務局長以下11名

議題:①実地試験実施要領について
②その他

■広報部会現地取材

月日:8月8日(月)

場所:大阪市住之江区咲洲

出席者:木村泰男広報部会長以下7名

内容:「鴻池テクノセンター」取材

■令和4年度1・2級建設機械施工管理技術検定試験(第二次検定)

月日:8月25日(木)~28日(日)

場所:キャタピラー教習所(株)

延受検者数:314名(1級48名,2級267名)

中国支部



■第1回部会長会議

月日:8月3日(水)

場所:広島YMCA会議室

出席者:玉田一雄企画部会長ほか11名

議題:①令和4年度の活動状況について
②今後の活動計画について
③その他懸案事項

■令和4年度1・2級建設機械施工管理技術検定試験 第二次検定(実技)

月日:8月24日(水)~26日(金)

場所:土師ダム上流

受検者:1級45名 2級223名(1種22,2種208,3種7,4種31)

九州支部



■試験監督者説明会

月日:8月23日(火)

場所:(株)リファレンスはかた近代ビル107会議室

出席者:試験監督者A ①10名

内容:試験実施要領等の確認

■企画委員会

月日:8月24日(水)

場所:(株)リファレンス駅東ビル貸会議室 会議室V-5

出席者:原尻克己企画委員長ほか11名

議題:①令和4年度i-Construction(活

用編)技術講習会の開催について

②令和4年度建設機械施工技術検定試験(実地試験)計画について
③建設行政講演会の開催について
④その他

■i-Construction 施工による九州支部生産性向上推進会議 幹事会

月日:8月26日(金)

場所:リファレンスはかた近代ビル貸会議室104会議室

出席者:鈴木勇治幹事長ほか10名

内容:①開催スケジュール
②実施内容(カリキュラム)
③講義内容
④その他

■試験監督者説明会

月日:8月29日(月)

場所:コマツ教習所(株)九州センタ

出席者:試験監督者B 10名

内容:試験実施要領等の確認

■建設機械施工技術検定試験(実地試験)

月日:8月30日(火)~9月8日(木)

場所:コマツ教習所(株)九州センタ

受検者:1級-127名

2級-608名

編集後記

秋の気配が感じられてきましたが今年にはラニーニャ現象のせい、平年より気温が高めの予想がされています。とはいえ本誌が発刊される頃には紅葉前線も南下して見頃を迎えている所もあるかと思えます。

今号の特集は「エネルギー、エネルギー施設」です。新型コロナによる経済活動の停滞とウクライナ情勢により、世界的なエネルギー供給の不安定化への可能性が懸念されるなか、日本はエネルギー白書2022が閣議決定されカーボンニュートラル実現に向けた課題と対応、ウクライナ情勢などにより不確実性が高まったエネルギー問題についての分析などを行っています。巻頭言でも、日本のエネルギー基本計画を実現するため徹底した再生可能エネルギーの導入と省エネルギー実施のみならず、社会実装のためには単なる機器の製造だけでなく、大規模な設置工事や既存インフラの改造が必須であると指摘されています。

行政情報2件は、1件目が「グリーンイノベーション下水道」を目指すべき姿として位置づけ、下水道が有する高いポテンシャルを活用し、脱炭素社会への貢献に向けて検討を進めている下水道政策です。これに関連した技術論文1つが脱炭素メタン発酵技術と膜分離技術を組み合わせた下水嫌気処理で、従来の汚泥処理よりも消費エネルギー量、廃棄物量等において高い優位性を示したラボ

研究。もう1つも同様の嫌気処理で排水浄化後の嫌気処理水中の臭気物質からエネルギー回収が可能となる新技術の開発についてでした。2件目は、森林・林業白書を元に木材利用の意義や建築分野における木材需要の状況、木材産業の競争力強化の動向並びに課題と対応です。これに関連した技術論文では、木質バイオマス化発電で従来では大部分が使用困難とされてきた間伐材や果樹剪定枝等幅広い原料の活用を目指した実験報告でした。その他広範囲に亘る技術論文は、コンクリートの残コン・戻りコンを簡易な設備増加で現場で発生した残コン・戻りコンの削減と同時にCO₂の削減を達成した報告や、我が国での豊富な資源賦存量を有しベースロードとなる安定電源である地熱発電の特徴と開発の現状と課題についての紹介。また、風力発電に関しては3つの技術で、風エネルギーを集中させて風力発電の効率を飛躍的に高めた新しいタイプの風力発電システムであるユニークなレンズ風車の開発。洋上風力発電事業での基礎工事では風車の大型化、杭の大口径化に伴う施工機器や据付け技術のスケールの大きい紹介。海底地盤調査ではコスト縮減と作業日数の短縮を図った我が国独自の新技術開発です。最後は建築物のZEBの社会普及と今後の脱炭素モデルの形成に資するZEBの実現への取り組み実証についてでした。

ご執筆頂いた皆様にはご多忙中にもかかわらず当誌に執筆頂き感謝とともに御礼申し上げます。

(穴井・宮川)

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	佐野 正道
新開 節治	関 克己
高田 邦彦	田中 康之
田中 康順	中岡 智信
渡邊 和夫	見波 潔

編集委員長

中野 正則 日本ファブテック(株)

編集委員

菊田 一行	国土交通省
垂井 保典	農林水産省
細田 豊	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
穴井 秀和	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
宇野 昌利	清水建設(株)
阿部 靖	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
川崎 智博	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
飯田 宏	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
上田 哲司	コベルコ建機(株)
石倉 武久	住友建機(株)
小黑 誠	(株)加藤製作所
本間 正敏	古河ロックドリル(株)
松本 正徳	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

11月号「道路特集」予告

- ・道路のメンテナンス等における新技術の活用促進に係る取り組み
- ・橋梁等の2020年度(令和2年度)点検結果をとりまとめ
- ・新型除雪グレーダ用可変幅型ブレードの開発
- ・高速大師橋更新事業の工事進捗状況
- ・道路上の泥土をいち早く撤去する機械の開発
- ・ゲースアスファルトフィニッシュ
- ・シールドマシンのカッタービット交換ロボットを開発
- ・熱風循環式路面ヒータ車を有効活用した既設ゲースアスファルト混合物の撤去
- ・スタティックフォームドアスファルトを用いた再生アスファルト混合物の特性
- ・CO₂半減アスファルト混合物
- ・塵ペットボトルを利用した高耐久舗装の開発と適用事例
- ・トンネル坑内自動巡視システムの開発

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
- ②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 9,408円(税・送料込)

建設機械施工

第74巻第10号(2022年10月号)(通巻872号)

Vol.74 No.10 October 2022

2022(令和4)年10月20日印刷

2022(令和4)年10月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501; Fax (03) 3432-0289; <http://www.jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所	〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154	電話 (0545) 35-0212
北海道支	部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18	電話 (022) 222-3915
北陸支	部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1	電話 (025) 280-0128
中部支	部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10	電話 (052) 962-2394
関西支	部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4	電話 (06) 6941-8845
中国支	部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22	電話 (082) 221-6841
四国支	部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22	電話 (087) 821-8074
九州支	部 〒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

FA機器の 最適無線化提案

クレーン, 搬送台車, 建設機械, 特殊車輛他
産業機械用無線操縦装置

㊦微弱電波 ㊧429MHz帯特定小電力 ㊨1.2GHz帯特定小電力
㊩315MHz帯特定小電力 ㊪920MHz帯特定小電力

スリムケーブルレス 5000型

緊急停止スイッチの オプション対応スタート!

- ・微弱、429MHz特小、1.2GHz特小 全て対応
- ・8点、12点、16点仕様 全て対応
- ・表示用LED取付他、従来のオーダー対応可

プッシュロック、
ターンリセット型
キノコスイッチ



充電台に置いて充電

ご希望の多かったクレードルタイプを
オプションにてご用意!



ハンディタイプ シリーズ

タフケーブルレス 《RC-8600N/U/G》



チップケーブルレス 《RC-3205M・3212M・3208N》



マイコンケーブルレス 《RC-6000N/U/G》

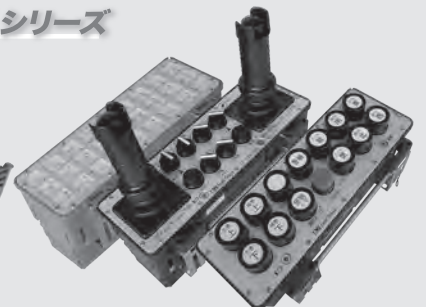


ケーブルレスミニ 《RC-4400N》



ショルダータイプシリーズ

MAXサテレータ 《RC-9300U/G》



マイティサテレータ 《RC-7100・7200N/U/G》



RC-5800U/G 2段押3組 準標準型 好評発売中!

- ・インバーター制御のクレーンに最適!
- ・クリック感ハッキリのロングストロークスイッチ

429MHz・1216MHz(送信出力1mW)
の2種類の周波数から選択可能

429MHz、1216MHzが
同価格!!

データケーブルレスシリーズ

双方向データケーブルレス 《TC-1000808S》



データケーブルレス 《TC-1300・1400N/U/G》



常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1(本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
<http://www.asahionkyo.co.jp/>

無線化工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索



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>

印刷を核とした「総合サービス企業」です。

大会等の開催運営でお困りになられているお客様に対し、
当社では、資料、要旨、フライヤー等の印刷物だけではなく、
『ライブ・オンデマンド配信』、『会員限定の動画ポータル
サイトの設営』さらには、Zoom等「ハイブリット配信」、
「フルリモート配信」の運営サポートも行っております。



NPC 日本印刷株式会社

営業部 / 〒170-0013
東京都豊島区東池袋4-41-24 東池袋センタービル
電話03(5911)8660(代) <https://www.npc-tyo.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

サンタナアートワークス

広告営業部・田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F



建設機械施工 カタログ資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カタログ/資料はメーカーから直送いたします。 ※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お名前: _____ 所属: _____

会社名(校名): _____

資料送付先: _____

電話: _____ F A X: _____

E-mail: _____

	広告掲載号	メーカー名	製品名
①	月号		
②	月号		
③	月号		
④	月号		
⑤	月号		

FAX 送信先: サンタナアートワークス 建設機械施工係 FAX:03-3664-0138

Mikasa

http://www.mikasas.com

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

バイプロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH-120015-VE

タンピングランマー

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL: 06-6745-9631
札幌営業所 TEL: 011-892-6920
仙台営業所 TEL: 022-238-1521
新潟出張所 TEL: 090-4066-0661

北関東営業所 TEL: 0276-74-6452
長野出張所 TEL: 080-1013-9542
中部営業所 TEL: 052-504-3434
金沢出張所 TEL: 080-1013-9538

中国営業所 TEL: 082-875-8561
四国出張所 TEL: 087-868-5111
九州営業所 TEL: 092-431-5523
南九州出張所 TEL: 080-1013-9547

沖縄出張所 TEL: 080-1013-9328



電極式自動運転ポンプ

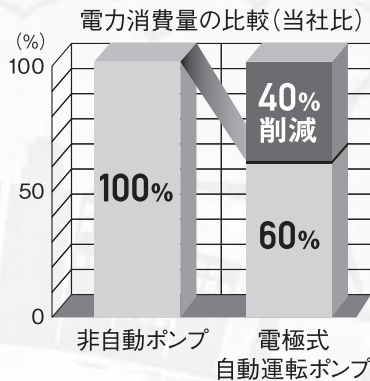
水位に応じて必要な時にだけ自動で排水！

省エネ・長寿命化・低騒音

不要な時は自動停止し省エネに貢献！無駄な運転をしないので**部品寿命の向上**に繋がります。また停止中は**運転騒音が発生しない**ため、夜間の住宅密集地などでの作業にも適しています。

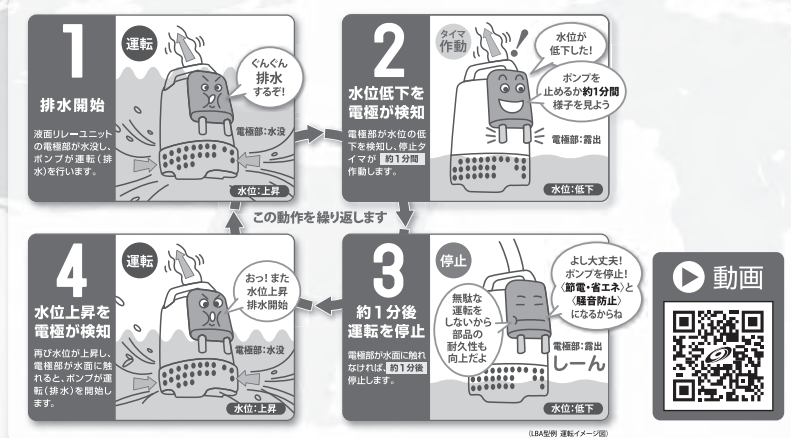


約40% 電力削減



必要な時だけ！効率的な運転！

確かな信頼と豊富な実績！



株式会社 鶴見製作所

大阪本店: 〒538-8585 大阪市鶴見区鶴見4-16-40
東京本社: 〒110-0016 東京都台東区台東1-33-8

TEL.(06)6911-2351 FAX.(06)6911-1800
TEL.(03)3833-9765 FAX.(03)3835-8429

北海道支店: TEL.(011)787-8385 東京支店: TEL.(03)3833-0331 北陸支店: TEL.(076)268-2761 近畿支店: TEL.(06)6911-2311 四国支店: TEL.(087)815-3535
東北支店: TEL.(022)284-4107 北関東支店: TEL.(028)613-1520 中部支店: TEL.(052)481-8181 中国支店: TEL.(082)923-5171 九州支店: TEL.(092)452-5001

www.tsurumipump.co.jp

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



50Hz-7m
43dB

DCA-25MZ

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A
(炭酸ガス/カウジング/手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

DCW-500LSE

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D



●技術で明日を築く

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 東京支店 03(6861)1122 大阪支店 06(6448)7131
東北営業所第1課 019(647)4611 横浜営業所 045(774)0321 広島営業所 082(278)3350
東北営業所第2課 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

コスモECOディーゼル

DH-2 対応ディーゼルエンジンオイル
SAE10W-30 / SAE15W-40

それはいつまでも
青い空のために



★**光星**

DH-2F 対応ディーゼルエンジンオイル
SAE5W-30



★**新星**



★**彗星**



★**快星**

美しい地球、豊かな環境を目指して
ひた走るパワー、コスモルブ・ウェイ

コスモ石油ルブリカンツの 環境対応潤滑油



省電力型油圧作動油

コスモ
スーパーエポック **UF**



省電力型工業用ギヤー油

コスモ
ECOギヤー **EPS**

それはいつまでも
蒼い地球のために

地球環境へ、

さらに新しい対応を求められている今、オイルもまた、次の課題をクリアする進化が問われます。
コスモ・ルブは、地球に、人に、優しい環境LUBEソリューションを提案してまいります。

確かな技術で世界を結ぶ *Attachment Specialists*

可動式ハイキャブ



任意の高さに停止可能

油圧式マグネット



産廃物からの金属片取り出しなどに効果を発揮

自動車解体機



車の解体・分別作業を大幅にスピードアップ

ラバウンティシア サーベルシリーズ



船舶・プラント・鉄骨物解体に威力を発揮

マテリアルハンドラ



ワイドな作業範囲で効果の良い荷役作業

ウッドシア



丸太や抜根を楽々切断



マルマテクニカ株式会社

■ 名古屋事業所

愛知県小牧市小針2-18 〒485-0037
電話 0568(77)3312
FAX 0568(77)3719

■ 本社・相模原事業所

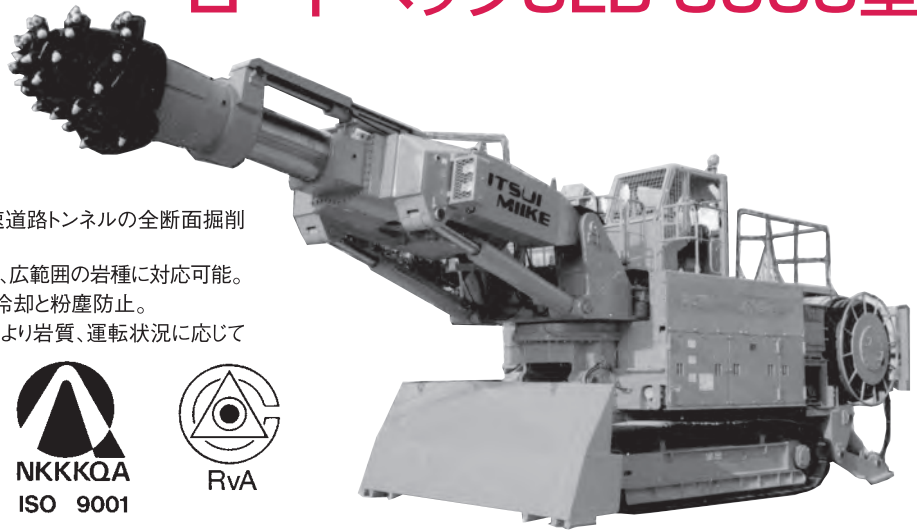
神奈川県相模原市南区大野台6丁目2番1号 〒252-0031
電話 042(751)3800
FAX 042(756)4389

■ 東京工場

東京都世田谷区桜丘1丁目2番22号 〒156-0054
電話 03(3429)2141
FAX 03(3420)3336

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 ロードヘッダ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



ICT施工や自動制御に対応可能

ダイワテレコン872

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

取付改造実績

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

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



ハンディータイプ
使いやすさを極めた高機能・高性能
ダイワテレコン810

用途
インバータ制御機器
エンジン制御
油空圧比例制御

DAIWA TELECON 大和機工株式会社

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

つながる 建設DX

Realize your
INTEGRATION
2022



Trimble Business Center
ICT活用建設総合ソフトウェア

SiteCompactor
締固め管理ソフトウェア

3D Survey
建設ポジショニングソリューション

Trimble EARTHWORKS
MC/MGプラットフォーム

Trimble Roadworks
舗装工ソリューション

Trimble Earthwork AR
MC/MG 仮想現実ソリューション

Trimble WorksOS
施工履歴クラウド

 **Trimble**
Authorized Dealer

 **SITECH**

SITECH-JAPAN.COM

サイテックジャパン株式会社 info@sitechjp.com
東京都大田区南蒲田2-16-2テクノポート大樹生命ビル
TEL:03-5710-2594 FAX:03-5710-2731

雑誌 03435-10



4910034351022
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)