

# 脱炭素・資源循環・自然共生

技術研究所 カーボンニュートラル技術センター 浅田 素之

## 1. はじめに

2023年は地球温暖化の影響を強く実感する夏となった。東京では、最高気温35℃以上の猛暑日が19日、最高気温30℃以上の真夏日が89日、最低気温25℃以上の熱帯夜が56日と、軒並み観測史上最高の日数を記録した（気象庁データより）。日本政府が2050年までにカーボンニュートラルを実現する方針を2020年に宣言するなど、社会全体で地球温暖化防止に向けた動きが加速している。一方、英国政府は2023年9月に、2030年に設定していたガソリン車とディーゼル車の新車販売を禁止する時期を2035年に延期すると発表した。世界的に脱炭素化を実現するための現実解を模索する日々が続いている。

こうした背景の下、当社は2021年6月に、持続可能な社会の実現に向けたグループ環境ビジョン「SHIMZ Beyond Zero 2050」を策定した。当社グループが目指す持続可能な社会を「脱炭素社会」「資源循環社会」「自然共生社会」と定め、2050年までに自社活動による負の影響をゼロにするだけでなく、お客様や社会にプラスの環境価値を積極的に提供していくことを目指すべき姿として掲げている。

ここでは、過去に技術研究所（技研）で取り組んできた先駆的な検討事例と、最新の研究開発動向を紹介する。

## 2. 脱炭素に資する技術開発（省エネ、蓄エネ、創エネ）

技研では、自社の作業所・オフィスからの“CO<sub>2</sub>排出ゼロ”はもとより、原材料から設計施工建物の省エネに至るサプライチェーン全体で脱炭素化へ貢献するとともに、再生可能エネルギーを活用する蓄エネ、創エネなど、脱炭素に資する技術開発を続けている。本章では、脱炭素に関するこれまでの研究開発成果と、現在推進している技術開発の状況について紹介する。

### 2.1 省エネに関する技術開発

建物のエネルギー使用量の多くを占める冷暖房負荷を平準化し、省エネルギーを図る技術については、古くは1981年に技研に建設された「たて型蓄熱槽（蓄熱塔）」から検討が始まった<sup>1)</sup>。なお、この蓄熱塔は40年以上経過した現在も引き続き現役で利用されている。同時期に櫻井らは、建築会館（1982年竣工）での空調システムの稼働実態調査として、当社開発のプログラム（SEES）を用いて実施したシステム・シミュレーション結果と実績データの比較検討を行った<sup>2)</sup>。

1980年代には、川島らは氷蓄熱式ヒートポンプユニットを開発<sup>3),4)</sup>、2002年のダイナミック型氷蓄熱ユニット開発につなげた。1990年代に竹林、秋元らは全面床吹出し空調システムを開発<sup>5),6)</sup>、2003年に竣工した技研本館に実装<sup>7),8)</sup>し、開発技術をアピールする場として活用された。本館にはほかにも、躯体蓄熱、パーソナル吹出し口によるタスク&アンビエント空調、PHSを用いた位置情報利用による空調制御、昼光利用グラデーショナルブランド等、当時最先端の「脱炭素に資する技術」を導入し、数多くの来訪者にご見学いただいた。

2012年に竣工した当社本社ビルでは、輻射空調、太陽光パネルを内蔵したハイブリッド外装など徹底した省エネ技術が導入され、ASHRAEの基準性能の建物に比べ41～43%のエネルギー削減率を維持して運用されていることが確認でき<sup>9)</sup>、LEED NC2.2でゴールド認証を受けた初の国内新築オフィスビルとなった。その後、当社施設である北陸支店、東北支店、NOVARE（東京都江東区）でも数多くの省エネ術が導入され、効果の検証に継続して取り組んでいる。



写真-1 技研たて型蓄熱槽



写真-2 氷蓄熱ユニット

## 2.2 建物における再生可能エネルギー活用に関する技術開発

### 1) マイクログリッドとスマート BEMS

マイクログリッドについては2003年ごろから、蓄電池、ガスエンジン、マイクロガスタービン、太陽光発電装置を組み合わせた複数分散電源による負荷追従制御技術の開発が進められた<sup>10),11)</sup>。太陽光発電や風力発電など、出力変動の大きい再エネを建物の負荷調整に活用しつつ、既存の電力系統から一定電力を受電することで、電力系統と再エネの協調を狙ったシステムである。マイクログリッドを社会実装するにあたり、建物向けエネルギー管理システム（スマート BEMS）を開発した。スマート BEMS は、技研を手始めに当社本社ビル（東京都中央区宝町）にも導入し、後述のグリーン水素活用システムにも応用されている。

### 2) グリーン水素活用システム Hydro Q-BiC

再エネを用いて製造されたグリーン水素は利用時に CO<sub>2</sub> を排出せず、クリーンなエネルギーとして脱炭素に大きく寄与すると期待されている。

技研では2015年ごろから、グリーン水素を建物内で活用するシステムの開発を開始し、2018年には産業技術総合研究所（産総研）とともに「ゼロエミッション・水素タウン連携研究室」を設立した。①再エネを建物において最大限に有効利用、②電力系統停電時などの非常時にも建物へ電力・熱供給を継続することを目的として『建物付帯型グリーン水素エネルギー利用システム』Hydro Q-BiC の開発・実証を行ってきた<sup>12),13)</sup>。2021年には初めての実建物として当社北陸支店に導入した。2023年には、急速充填して活用する機能を付加した新たな技術を NOVARE に実装、敷地外で製造されたグリーン水素を利用し、さらなる活用促進に向けた検証を行う。

産総研が保有する水素関連技術を含めた幅広い技術シーズと、当社が保有するエネルギーマネジメント技術が融合することにより、建物や街区の CO<sub>2</sub> 削減、安全な水素貯蔵による災害時のエネルギー供給など、環境にやさしく災害に強いレジリエントな次世代まちづくりの実現を目指している。



写真-3 技研マイクログリッド



写真-4 Hydro Q-BiC（北陸支店）

## 2.3 洋上風力に関する技術開発

脱炭素を実現するための切り札として欧州や、近年では中国で急速に導入量が増えている洋上風力の国内導入が本格化している。技研では2006年ごろから、事業部門と協力して浮体式洋上風力発電に関する研究を開始し<sup>14)</sup>、2013年～2018年まで参画した福島洋上風力コンソーシアムで、2MW、5MW、7MWの浮体式洋上風車の実証プロジェクトに貢献した<sup>15)</sup>。

2022年には世界最大級の揚重能力を有する SEP (Self Elevated Platform) 船である Blue WIND を建造<sup>16)</sup>、2023年から着床式洋上風車の施工に導入した。設計時、特に、暴風波浪時や地震時の着床式洋上風車の挙動を考慮した設計法の開発、基礎部とタワー部の接合部の強度検討、施工時における SEP 着底時の地盤挙動の解析等、様々な課題に対して、技研・全社のマンパワーを結集して対応している。数年にわたる技術開発の努力が実り、2023年には数多くの成果を、土木学会年次学術講演会等で対外的に発表することができた<sup>17)-23)</sup>。石井らは既往の遠心模型実験および野外実験における試験砂地盤中の単杭（モノパイル）の単調載荷に対して再現解析を実施し、着床式洋上風車の設計時に考慮しなければならない、暴風波浪時に単杭が繰返し載荷される際に生じる地盤の劣化効果を精度よく再現できる手法を確立した<sup>24)</sup>。その他、支持構造物を設計する際に用いられる外力条件を定めるための極値波向算定式を提案し、洋上風車の設計要件を定めた国際基準である IEC61400-3 に反映される成果をあげている<sup>25)</sup>。

今後、2030年までに1000万kWの政府導入目標に向けた10MWを超える着床式洋上風車の大型化、さらに2040年までに3000～4500万kWの導入目標に向けた浮体式洋上風車の本格導入が見込まれており、我が国における洋上風力の大量導入に向けた技術開発の努力を続けていく。



### 3. 資源循環に関する技術開発

建設廃棄物・オフィス廃棄物など自社事業による廃棄物の“最終処分量ゼロ”、建設資材の再生材料化など施設のライフサイクルにわたる資源循環、産業廃棄物のリサイクル技術開発を通じた社会全体での資源循環に関する技術開発に取り組んでいる。

高田らは1982年に、経年仮設材の品質管理に関する研究を行った。転用して利用される仮設材の強度をはじめとする品質の劣化度合を調査し、品質管理手法を提案している<sup>26)</sup>。その後、2000年には長年にわたり研究会で検討してきた「部品化建築生産システム」の実用化について取りまとめている<sup>27)</sup>。2007年には、循環型建築生産システムの実現に向けた「アダプタブルビル」を開発し、技研の環境実験棟に適用した。

産業廃棄物である石炭灰や製紙スラッジ焼却灰の、地盤材料としてのリサイクル技術が、1980年代から検討されている<sup>28)32)</sup>。黒田らは、コンクリートの完全リサイクルを目指して、コンクリートリサイクルシステムの開発を行った<sup>33)</sup>。また、現場から発生する建設副産物の削減に取り組むため、各作業所における建設副産物を管理するシステム「Green Keeper」を開発<sup>34)</sup>、何度かのシステム更新を経て「新 Kan たす」として現在まで利用されている。

次に、脱炭素・資源循環社会に対応するための、最新の産学連携での取組みを2例紹介する。

東京理科大学と当社は、2023年3月に「みどりの機能建材研究開発プラットフォーム」を設立し、環境配慮建築の社会実装に向け、本格的な取組みを開始した。非構造部材のCO<sub>2</sub>排出量をライフステージも考慮して評価・可視化するシステムの構築に取り組むとともに、外装材、内装材、開口部材、下地材などを対象に製造・施工時のCO<sub>2</sub>排出削減に寄与する高機能材料・工法の研究開発を推進してゆく。

続いて、東京大学と当社は、2023年10月に地球資源を考慮したサーキュラーエコノミーに資する物質循環型建造物の構築を研究テーマとする社会連携講座「物質サーキュレーション建設学講座」を開設した。本講座では、大量の地球資源が投入される建設行為が地球上の元素・物質資源に及ぼす影響を定量化し、元素・物資の持続的循環に適した建設材料・建設工法の研究開発に取り組み始めた。

### 4. 自然共生に関する技術開発

技研では、1990年代から社内の各部署と連携し、生態系の保全・回復に関する研究開発に取り組んできた。2000年ごろには、大規模造成地であるパストラルびゅう桂台（山梨県大月市）を対象として、現場で発生する表土に含まれる埋土種子を用いた法面緑化工法を開発し<sup>35)</sup>、環境指標動物としてニホンリスを取り上げた地域生態系保全対策を実施した<sup>36)</sup>。2006年には、技研敷地内に「再生の杜」ビオトープを整備し<sup>37)38)</sup>、その後継続して生物相の変遷を調査している。また、横田らは、都市生態系ネットワーク評価システム（UE-Net）を開発し<sup>39)</sup>、高解像度人工衛星データをもとに、事業地周辺地域における指標種の生息適性と緑化による波及効果を定量評価した。



写真-5 「再生の杜」ビオトープ全景

近年は、ネイチャーポジティブや自然を活かした社会課題解決（Nature-based solution）が大きな潮流となるなか、生態系の保全・回復を基軸としつつ、生物生息機能の拡充、雨庭（レインガーデン）の実証<sup>40)</sup>、地域連携まちづくりへの展開等、多機能なグリーンインフラ技術への発展を目指している。

また、遊休農地であった八ツ堀のしみず谷津（千葉県）を、産官学民連携により湿地グリーンインフラとして再生、生物多様性や水循環、流域治水等、多様な効果を実証しており、遠隔臨場モニタリングや水のアクティブ制御等、ICT技術の導入検証も積極的に進めている。

### 5. おわりに

「SHIMZ Beyond Zero 2050」に先立つ、技研での先進的な技術開発の取組みを中心に紹介した。ほかにも紙面の都合により紹介できなかった取組みが多数あるが、ご容赦いただきたい。一方で、地球温暖化や生物多様性の保全等の課題は深刻度を増している。SDGsやESGに関する取組みにも積極的に関わることが企業の使命として重要であり、当社として技術開発に取り組むべき課題も広がってきている。とりわけ、施工時、建物運用時の

CO<sub>2</sub>削減、脱炭素化については、顧客のニーズもさらに高まっている。対策として2023年、当社は建築生産に伴うCO<sub>2</sub>排出量の自動算出プラットフォームを開発し、Embodied Carbon および Operational Carbon を含めた Whole Life Carbon の削減に取り組み始めている。

脱炭素、資源循環、自然共生に関する技術のマネタイズのハードルは高く、事業に結び付くには時間のかかる課題も多い。技研は「10年後を準備する」という使命のもと、今後も時代に先んじた技術開発に取り組むことで、社会全体、顧客、および自社のカーボンニュートラル実現に貢献していく所存である。

なお、本稿をまとめるにあたり、名知博司さん、中村卓司さん、瀬川裕太さん、嶋田健司さん、渡部陽介さんには、貴重なアドバイスをいただいた。ここに記して、謝意を表します。

#### <参考文献>

- 1) 小西康之, 小林昌弘, 永田耕治, 川島実: “たて型蓄熱槽(蓄熱塔)の開発”, 清水建設研究報告 Vol.37, 93-104, 1983
- 2) 櫻井翰, 竹林芳久, 川井昌裕, 矢花吉治: “新建築会館における空調システムの稼働実態調査”, 清水建設研究報告 Vol.41, 91-101, 1985
- 3) 川島実, 竹林芳久, 五十嵐征四郎, 若王子高広, 郷正明: “氷蓄熱式ヒートポンプユニットの研究開発と実証(その1)”, 清水建設研究報告 Vol.47, 69-77, 1988
- 4) 川島実, 若王子高広, 五十嵐征四郎, 郷正明, 竹林芳久, 中辻哲也: “氷蓄熱式ヒートポンプユニットの研究開発と実証(その2) 冷・暖房期の実用試験評価”, 清水建設研究報告 Vol.49, 81-86, 1989
- 5) 竹林芳久, 小林昌弘, 野部達夫: “全面床吹出し空調システム”, 清水建設研究報告 Vol.60, 111-122, 1994
- 6) 秋元孝之, 野部達夫, 竹林芳久: “異なる熱負荷条件における全面床吹出し置換空調システムの室内熱環境に関する実験研究”, 清水建設研究報告 Vol.68, 35-42, 1998
- 7) 川島実, 中村卓司, 佐藤文人: “次世代技術を導入した環境配慮型建築(その1) 技術研究所本館の計画”, 清水建設研究報告 Vol.80, 55-62, 2003
- 8) 中村卓司, 川島実: “次世代技術を導入した環境配慮型建築(その2) 運転実績に基づく各種技術の効果の検証”, 清水建設研究報告 Vol.82, 53-60, 2005
- 9) 川村聡宏, 川島実: “高層オフィスビルに導入した省エネルギー技術の効果に関する計測と検証”, 清水建設研究報告 Vol.93, 155-160, 2016
- 10) 森野仁夫, 沼田茂生, 傳田篤: “分散型電源によるマイクログリッドシステムの開発(その1) 小規模実験システムによる負荷追従制御技術の開発”, 清水建設研究報告 Vol.82, 45-56, 2005
- 11) 杉本貴之, 下田英介, 山根俊博, 沼田茂生: “ビーク電力削減量の最大化を実現するマイクログリッドの蓄電池制御手法”, 清水建設研究報告 Vol.90, 101-106, 2013
- 12) 下田英介, 山根俊博, 野津剛: “建物の再エネ余剰電力を有効活用する水素エネルギー利用システムの開発”, 清水建設研究所報 Vol.96, 109-115, 2018
- 13) 瀬川裕太, 下田英介: “再エネ余剰電力を有効活用する水素利用システム「Hydro Q-BiC<sup>®</sup>」の実証と商品化”, 清水建設研究所報 Vol.99, 105-110, 2021
- 14) 嶋田健司, ファブソック, 石原孟, 福本幸成: “浮体式洋上風力発電に関する研究 その3 水理実験”, 土木学会第61回年次学術講演会, I-095, 189-190, 2006
- 15) 福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業総括委員会, “福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業総括委員会最終報告書”, 2022
- 16) 白枝哲次, “着床式洋上風力発電施工技術の最新動向と清水建設の取り組み”, 日本風力エネルギー学会誌 Vol.43, No.4, 565-569, 2019
- 17) 田中颯馬, 村瀬史弥, 西山恒平, 石井大吾: “モジュール式洋上風車グランド接合部の挙動に関する研究(その1 静的繰返し載荷実験)”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 I-174, 2023
- 18) 古宇田剛史, 西山恒平, 石井大吾: “モジュール式洋上風車グランド接合部の挙動に関する研究(その2 3次元FEM解析)”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 I-175, 2023
- 19) 李懿栄, 古宇田剛史, 和田智之: “洋上風車基礎のグランド接合部を対象とした3次元FEM解析における要素分割による応力集中係数への影響検討”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 I-176, 2023
- 20) 和田智之, 田中樹植, メンチャカサ アルター: “洋上モジュール基礎の減衰の設定に関する検証”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 I-332, 2023
- 21) 山本康之, 新田康男, 池田竜介, 河本悠歩, 石原孟: “洋上風力発電モジュール基礎の地震時の地盤減衰評価(その1: 逸散減衰降下の検討)”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 I-334, 2023

- 22) 田中栄次, 新田康男, 池田竜介, 河本悠歩, 石原孟: “洋上風力発電モジュール基礎の地震時の地盤減衰評価 (その2: 薄層法及びFEMの適用)”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 I-335, 2023
- 23) 前田裕一, 桐山貴俊: “観察実験に基づくスラットが貫入時の砂地盤の変形挙動”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 III-25, 2023
- 24) 石井やよい, 杉山博一, 桐山貴俊, 嶋田健司, 石原孟: “砂地盤中の単杭の単調・繰返し載荷時の地盤ばね評価”, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会 I-333, 2023
- 25) 嶋田健司: “洋上風力発電設備支持構造物のための極値波向算定式”, 清水建設研究報告 Vol.95, 153-161, 2018
- 26) 高田博尾: “経年仮設材の品質管理に関する研究”, 清水建設研究報告 Vol.35, 43-50, 1982
- 27) 高田博尾, 三根直人, 梶隆: “部品化生産システムの開発と実用化”, 清水建設研究報告 Vol.72, 21-46, 2000
- 28) 堀内澄夫, 玉置克之, 尾上篤生, 後藤茂: “フライッシュの強度特性に関する研究”, 清水建設研究報告 Vol.39, 1-9, 1984
- 29) 浅田素之, 小川重道, 堤博恭, 浦野真次, 沢田英一, 堀内澄夫: “PS灰と採石粘土を用いたリサイクル地盤材料の活用”, 清水建設研究報告 Vol.80, 7-16, 2004
- 30) 川口正人, 堀内澄夫, 佐藤厚子, 西本聡: “石炭灰スリ工法による埋め立て地盤の強度と環境に関する長期評価”, 清水建設研究報告 Vol.82, 15-21, 2005
- 31) 村田博一, 浅田素之, 川口正人, 大野文良, 栃山広幸: “エージング石炭灰の活用に向けた重金属溶出抑制に関する基礎的検討”, 清水建設研究報告 Vol.94, 149-154, 2017
- 32) 浅田素之, 村田博一, 川口正人, 栃山広幸: “エージング石炭灰を用いたリサイクル材としての力学特性”, 清水建設研究報告 Vol.95, 93-102, 2018
- 33) 黒田泰弘, 橋田浩, 山崎庸行, 坂詰義幸: “コンクリート資源循環システムの開発・実用化”, 清水建設研究報告 Vol.74, 1-12, 2001
- 34) 菊楽洋子, 加藤博巳, 深井日出男: “建設副産物管理システム「Green Keeper」の開発”, 清水建設研究報告 Vol.71, 1-8, 2000
- 35) 米村惣太郎: “埋土種子を用いた法面緑化工法の開発 (その1) 埋土種子から得られた植生とその特徴”, 清水建設研究報告 Vol.70, 55-62, 1999
- 36) 橋大介, 那須守, 薬師寺圭, 米村惣太郎, 小田原卓郎, 中村健二, 林豊, 横田樹広: “都市域に造られた大型ビotope「再生の柱ビotope」の果たす役割”, 清水建設研究報告 Vol.85, 29-40, 2007
- 37) 米村惣太郎, 林豊, 中村健二: “都市型ビotope「再生の柱」における竣工後10年目の生物生息状況”, 清水建設研究報告 Vol.94, 141-148, 2017
- 38) 中村健二, 岩橋基行, 小田信治, 小松裕幸, 円満隆平, 塚原成樹: “環境指標動物を用いた地域生態系保全一歩: スラッピゅう桂台におけるモニタリングの保全一”, 清水建設研究報告 Vol.74, 87-94, 2001
- 39) 横田樹広, 林豊, 那須守, 米村惣太郎, 小田信治, 小松裕幸, 神成篤司, 渡辺高史: “都市生態系ネットワーク評価システム「UE-Net®」の開発と緑化計画への適用”, 第41回環境システム研究論文発表会講演集, 189-196, 2013
- 40) 渡部陽介, 平野堯将: “実測モニタリングに基づく雨庭の雨水流出抑制効果の評価”, 清水建設研究報告 Vol.98, 129-135, 2020