



三菱電機技報

2

2024
Vol.98 No.2

カーボンニュートラル, サーキュラーエコノミー

No.2

特集	カーボンニュートラル, サークュラーエコノミー	Carbon Neutrality and Circular Economy
巻頭言		
カーボンニュートラル社会の実現に向けた、 エネルギー&カーボンマネジメント技術と三菱電機への期待 …	1-01	Expectations for Energy & Carbon Management Technology and Mitsubishi Electric towards Achieving Carbon-neutral Society Yukitaka Kato
巻頭論文		
三菱電機グループのカーボンニュートラル、 サーキュラーエコノミー……………	2-01	Mitsubishi Electric Group's Carbon Neutrality and Circular Economy Michio Murai
低GWP冷媒R290採用ATW室外機 ……………	3-01	ATW Outdoor Unit Using Low GWP Refrigerant R290 Shinichi Uchino, Naoki Nakagawa, Keisuke Takayama
REACT：離島での持続可能な 再生可能エネルギー利用……………	4-01	REACT: Renewable Energy for Self-Sustainable Island Communities James Freeman, Jahedul Chowdhury, Christopher Olkis
製造業向けカーボンニュートラルソリューション…………	5-01	Carbon Neutral Solutions for Manufacturing Naotoshi Sakamoto
家電リサイクルで回収した再生プラスチックを センサー用無線通信端末に初採用……………	6-01	First Use of Post Consumer Recycled Plastic to Wireless Communication Edge, Gathered by Home Appliance Recycling Law Daisuke Kamei, Hayato Kuzuma, Yutaka Iwamitsu
製品環境データ収集システム(e-Proシステム)…………	7-01	System for Environmental Data of Products (e-Pro System) Yasuo Fukai

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集では全エリアを支える基盤となる“カーボンニュートラル, サークュラーエコノミー”をご紹介します。

巻頭言

カーボンニュートラル社会の実現に向けた、 エネルギー&カーボンマネジメント技術と三菱電機への期待

Expectations for Energy & Carbon Management Technology and
Mitsubishi Electric towards Achieving Carbon-neutral Society



加藤之貴 Yukitaka Kato

三菱電機エネルギー&カーボンマネジメント協働研究拠点 拠点長

Director, Mitsubishi Electric Energy & Carbon Management Collaborative Research Center

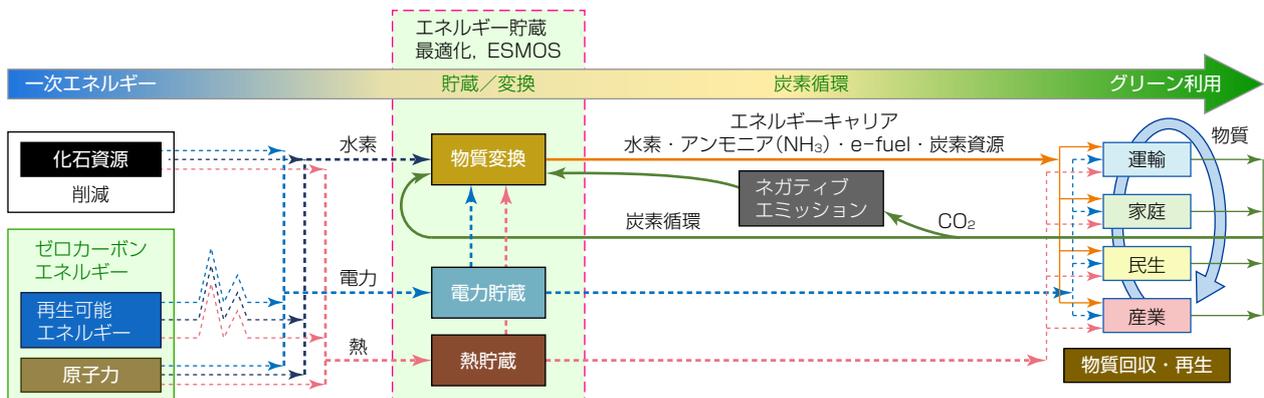
東京工業大学 科学技術創成研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所長, 教授

Director, Laboratory for Zero-Carbon Energy, Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology, Professor

2050年カーボンニュートラル(CN)の実現に向けて正念場が続いている。COP(Conference Of the Parties)28の結果が重要であるが、地球温暖化抑止のため二酸化炭素(CO₂)排出の抑制に向けての努力が続く一方で、実現に向けての困難さの理解も進み、当初からの変容が進んでいる。国際社会の中の日本、また日本企業の立ち位置、行く末を的確に捉え、対策を取る必要がある。

三菱電機は日本の電機産業分野を先導し世界のCNへの貢献が大きい。2023年度から東京工業大学で三菱電機エネルギー&カーボンマネジメント協働研究拠点が活動を開始し、2050年を見据えたCN技術開発が進められている。筆者はこの拠点の拠点長として、三菱電機と共に拠点運営を進めている。軌を一にして東京工業大学では2022年度からグリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ(Tokyo Tech GXI)を文部科学省事業として開始した。三菱電機にはGXI産官学連携委員会に参画してもらい三菱電機エネルギー&カーボンマネジメント協働研究拠点を通してGXI活動との連携を深めることができ、大変嬉しく思っている。

GXIが目指すカーボンニュートラル社会ビジョンを図1に示す。一次エネルギーからエネルギー貯蔵/変換を経て、グリーン利用社会までの道筋を示している。一次エネルギーはゼロカーボンエネルギーである再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)及び国際的には原子力に遷移が進む。再エネの導入が進むと、その出力変動が増大し、過剰な発電を抑制するために発電を計画的に停止する出力抑制が増えている。近年、国内の電力会社各社で出力抑制が発生し、今後の再エネ導入が進むほどに抑制量は増大する。よって再エネの大量利用にはエネルギーの貯蔵、変換操作が一層重要になる。一方で利用側はゼロカーボンエネルギーからの電力、熱供給だけであるとエネルギー利用システムの変化が急激となり混乱を招く。例えば運輸部門の重機、船舶などのヘビーデューティー用途ではディーゼルエンジンは信頼性、経済性があり転換が困難である。そこで合成燃料によるエンジン利用を許容し、かつ排出したCO₂を全量回収し燃料に再資源化する炭素循環が進むと既存インフラを活用してのGXが実現できる。このビジョンの成立によって社会は大きな行動変容を伴わずグリーン社会へと変換できる。一次エネルギーとグリーン社会をつなげるためにエネルギー貯蔵ミックスの最適化(Energy Storage Mix Optimized System: ESMOS)が必要である。蓄電、蓄熱、物質変換技術の高度化、新開発及び統合最適化のためのマネジメントが必要である。



出典: Overview of ZC, Tokyo Tech
http://www.zc.iir.titech.ac.jp/events/publications/files/Overview_ZC_2021.pdf

図1-Tokyo Tech GXIのカーボンニュートラル社会ビジョン

図1からも、三菱電機エネルギー&カーボンマネジメント協働研究拠点そして三菱電機が目指すエネルギー&カーボンマネジメント技術が正にこのCN社会実現のための基幹となることが理解できる。

大事な点はCN実現のための社会課題の正確な抽出、視覚化と考える。特に世界に日本の手本が見当たらない時代になったことを自覚する必要がある。CN実現で世界は揺らいでいる。日本の指標であったある国、地域のある時点での決定方針が、数年後に変更される事態が頻発し、日本のGXの大きなリスクとなっている。例えば2021年に欧州が2035年に内燃エンジン自動車(ICEV)生産を禁止し電気自動車だけと定めたが、2023年3月にe-fuel^(注1)を用いたICEVを許容すると変更した。2023年11月にはイギリス、フランス、イタリアはカタールとLNG(Liquefied Natural Gas)の2053年までの長期かつ大量の購入契約を行い、2050年CN達成と矛盾した行動に進んでいる。EU(European Union)はEU独自の事情、戦略があり、日本と環境が違うことを理解する必要がある。

日本は中世以前は中国の社会制度、技術を手本として社会の進展を図り18世紀までの持続可能な社会の形成を成し遂げた。19世紀以降は欧米を手本に工業・科学を取り入れた発展を成した。21世紀を迎え、失われた30年との指摘がある、しかし日本の社会安全性、産業力、経済力の安定性は国際的に評価でき、国内各分野の当事者の現在に至る努力がそれを実現していることを忘れてはならない。日本は日本独自のCNに向けての進化が必要であり、各分野の連携によって目標を実現できるポテンシャルがあると考えられる。

図1に立ち返れば二次エネルギーの水素、アンモニアの利用にはゼロカーボンエネルギーの供給安全保障が必須である。そしてゼロカーボンエネルギーの有効利用のためにはESMOSの確立が必要である。先に述べたとおり、三菱電機エネルギー&カーボンマネジメント協働研究拠点が目指すエネルギー&カーボンマネジメント技術はESMOSの中心をなし、国、時代が変わろうとも必ず必要な技術分野である。日本に適したESMOSの確立に向けて三菱電機エネルギー&カーボンマネジメント協働研究拠点及び三菱電機の活動は一層重要であり、確立実現に向けてGX1及び本学との連携を更に深めることができれば嬉しく思う。

(注1) 非化石電源を用いた水の電気分解(electrolysis)で得たグリーン水素と二酸化炭素から合成された炭素燃料でありメタン、メタノール、エタノール、ディーゼル油などがある。例えばe-fuelメタノールはe-methanolと呼称され流通が始まっている。

三菱電機グループのカーボンニュートラル、サーキュラーエコノミー

Mitsubishi Electric Group's Carbon Neutrality and Circular Economy



村井道雄*
Michio Murai

*環境推進部長

要 旨

三菱電機グループは、サステナビリティの実現を経営の根幹に位置付けて、環境課題の解決に率先して取り組むことを定めた“環境ビジョン2050”に基づいて、中期的な環境計画を策定してカーボンニュートラル及びサーキュラーエコノミーへの取組みを進めている。カーボンニュートラルでは排出削減に対する責任と貢献の両立を図り、サーキュラーエコノミーでは環境配慮設計やプラスチックのリサイクル等を通じて取り組んでいる。また、グループ内の取組みだけでなく、社外との連携も進めている。このような取組みは社会の一員としての責務であるとともに、更に新しい技術や価値を生み出す機会になる。

1. ま え が き

企業がカーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーなどの環境問題に取り組む理由は、経営の守りと攻めの両面から様々なものがある。守りの側面では、気候変動や自然災害、資源の枯渇などの環境問題に対して、企業は環境に配慮したビジネスモデルを採用することで、持続可能性の確保やリスク軽減を図ることができる。さらに、資源の効率的な利用や廃棄物の削減によってコストを削減することも可能である。また昨今、多くの国や地域で環境に関する法律や規制が増えているが、企業は様々な環境問題への取組みによって法的なリスクも低減できる。

一方、攻めの側面では、自社の製品やサービスを通じて環境問題の解決に貢献する取組みは、企業の競争力を高めるだけでなく、イノベーションや新たな事業創出の機会になり得る。さらに、先に述べたビジネスモデルや環境への取組みは、企業のブランド価値やイメージの向上にもつながる。このように、カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーなどの環境問題への対応は企業にとって重要な経営課題であり、これらに対する取組みは、社会全体の持続可能な発展に貢献するだけでなく、企業の持続可能性や競争力を高めるものになる。

本稿では、これらの視点を踏まえた当社グループのカーボンニュートラル及びサーキュラーエコノミーへの取組みについて述べる。

2. 当社グループの取組み

2.1 経営戦略とマテリアリティ⁽¹⁾⁽²⁾

当社グループは、“成長性”“収益性・効率性”“健全性”の三つの視点によるバランス経営に加えて、“事業を通じた社会課題の解決”という原点に立って、サステナビリティの実現を経営の根幹に位置付けている。

また当社グループは、図1に示すように、サステナビリティの実現に向けて注力する5つの課題領域を設定しており、これらの課題領域で、事業を通じた社会課題解決による持続可能な社会への貢献を中心に、サステナビリティの実現を目指している。



<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability/download/pdf/sustainability2023.pdf#page=29>

図1-5つの課題領域

さらに当社グループは、経営レベルでサステナビリティに取り組んで、長期的に推進していくため、“事業を通じた社会課題解決”“持続的成長を支える経営基盤強化”の二つの面から“持続可能な地球環境の実現”“安心・安全・快適な社会の実現”“あらゆる人の尊重”“コーポレート・ガバナンスとコンプライアンスの持続的強化”“サステナビリティを試行する企業風土づくり”の五つをマテリアリティ(重要課題)として特定している。カーボンニュートラルとサーキュラーエコノミーはマテリアリティの一つである“持続可能な地球環境の実現”の取組み項目である。

2.2 当社グループの環境活動：環境ビジョン2050と環境計画

当社グループの長期環境経営ビジョンである“環境ビジョン2050”は、当社グループが環境貢献を重要な経営課題と位置付けて、環境課題の解決に率先して取り組むことを定めたものである。2050年に向けたあるべき姿を明確にし、“環境宣言”“3つの環境行動指針”“重点取組み”を示している。

当社グループは“環境ビジョン2050”に基づいて中期の環境計画を策定しており、現行の計画は環境計画2023(2021～2023年度)になる。環境計画2023では“脱炭素”と“サーキュラーエコノミー”の実現に向けて、研究開発でのイノベーションを促進し、製品のライフサイクル全体での環境負荷低減を加速することを主眼に置いている。

環境計画2023の目標と、2022年度の実績を表1に示す。製品でのCO₂削減貢献と工場・オフィス等自社からのCO₂排出削減を着実に進めているほか、サーキュラーエコノミーの実現のため、プラスチックの有効利用を推進している。

表1-環境計画2023の目標と2022年度実績

活動項目	評価指標	環境計画2023目標	2022年度実績
製品・サービスによる環境貢献			
新製品でのCO ₂ 削減貢献拡大	新製品における前モデル比改善率	2023年度時点で1%以上	2.8%
再生プラスチック利用率向上	再生プラスチックの使用率(成形用材料)	2023年度時点で10%以上	8.1%
事業活動における環境負荷低減			
自社排出CO ₂ 削減	CO ₂ 排出量(Scope1及びScope2)	2013年度比30%以上削減	27%削減
プラスチック排出物の有効利用率向上	廃プラスチックの有効利用率(国内)	90%以上	92.5%
水の有効利用	高リスク拠点の水使用量の売上高原単位	2019年度比で4%以上削減	16%削減
新しい価値観・ライフスタイルの発信			
みつびしでんき野外教室・里山保全活動の推進	活動地区数	39地区	38地区

<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability/download/pdf/sustainability2023.pdf#page=70>

また2024年度から始まる新しい環境計画である“環境計画2025”では、カーボンニュートラルとサーキュラーエコノミーの取組み強化に加えて、ネイチャーポジティブに関する取組みを新たに加えている(表2)。カーボンニュートラルへの取組みでは2030年度に工場・オフィスからの温室効果ガス排出量実質ゼロを目指す目標に整合した2025年度時点での削減目標を設定するとともに、Scope3の削減目標を新たに定めている。またサーキュラーエコノミーへの取組みとして、製品のライフサイクルCO₂の算定に関する目標を新たに設定している。

表2-環境計画2025の取組みと目標値

	取組み	目標値
CN	温室効果ガス排出量(Scope1, 2)の削減	2013年度比53%以上削減
	温室効果ガス排出量(Scope3)の削減	2018年度比17.5%以上削減
CE	製品の簡易ライフサイクルCO ₂ 排出量の算定	当社製品の2024, 2025年度新規モデル(最終製品)を算定
	プラスチック排出物の有効利用率向上(国内)	92%以上
NP	高リスク拠点での水使用量の売上高原単位削減	2019年度比6%以上削減
	ネイチャーポジティブへの貢献	当社の製作所の機能緑地を自然共生サイトに登録

CN：カーボンニュートラル，CE：サーキュラーエコノミー，NP：ネイチャーポジティブ

なお、これまで環境計画は3年ごとに策定していたが、環境計画2025は2か年計画になっている。これは環境計画と中期経営計画の策定期を合わせるためである。したがって次々期の環境計画は次の中期経営計画に合わせた5か年計画である“環境計画2030”になる予定である。

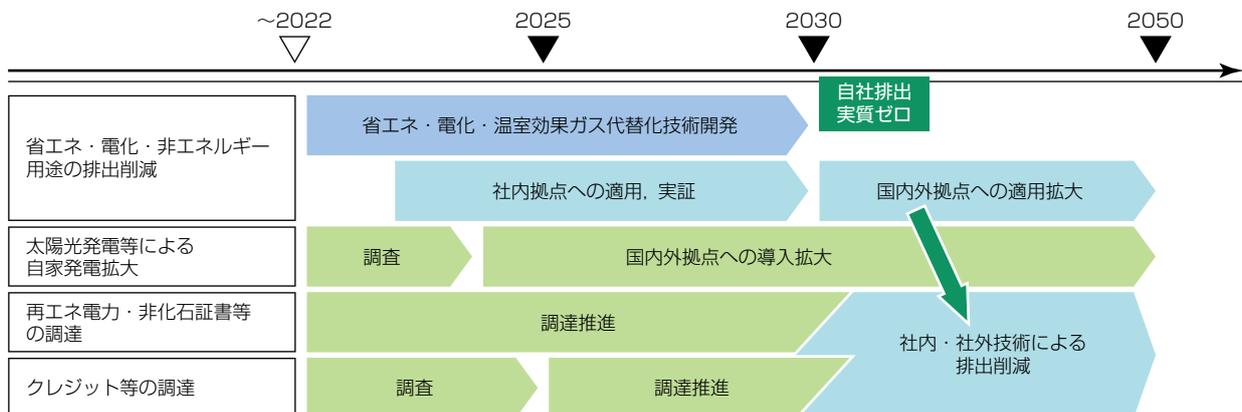
2.3 当社グループのカーボンニュートラル

当社グループのカーボンニュートラルは“責任”と“貢献”の二面から取り組んでいる。企業の社会的責任として自社やバリューチェーン全体での温室効果ガス排出量の実質ゼロを目指すとともに、カーボンニュートラルの実現に貢献する事業の創出・拡大を図っている。

2.3.1 責任についての取組み

当社グループは、2050年にバリューチェーン全体での温室効果ガス排出量実質ゼロを掲げているが、中でも工場・オフィスでの温室効果ガス削減に向けた取組みとして、①省エネルギー・電化・非エネルギー用途の排出削減、②太陽光発電等による自家発電拡大、③再生可能エネルギー電力・非化石証書等の調達、④クレジット等の調達の四つの取組みを進めている(図2)。

②、③に関わる再生可能エネルギーについては現在、103事業所で活用している。また、2022年度末時点で19事業所(国内9事業所(当社7、関係会社2)、海外10事業所)で、使用電力を全て再生可能エネルギーに切り替えている。



<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability/download/pdf/sustainability2023.pdf#page=63>

図2-工場・オフィスからの排出量削減に向けたロードマップ

2.3.2 貢献についての取組み

カーボンニュートラルの実現に貢献する事業の創出・拡大、社会全体のカーボンニュートラルに向けて、2050年までの開発ロードマップを定めて、“グリーンbyエレクトロニクス”“グリーンbyデジタル”“グリーンbyサーキュラー”の三つのイノベーション領域での研究開発を加速している(図3)。

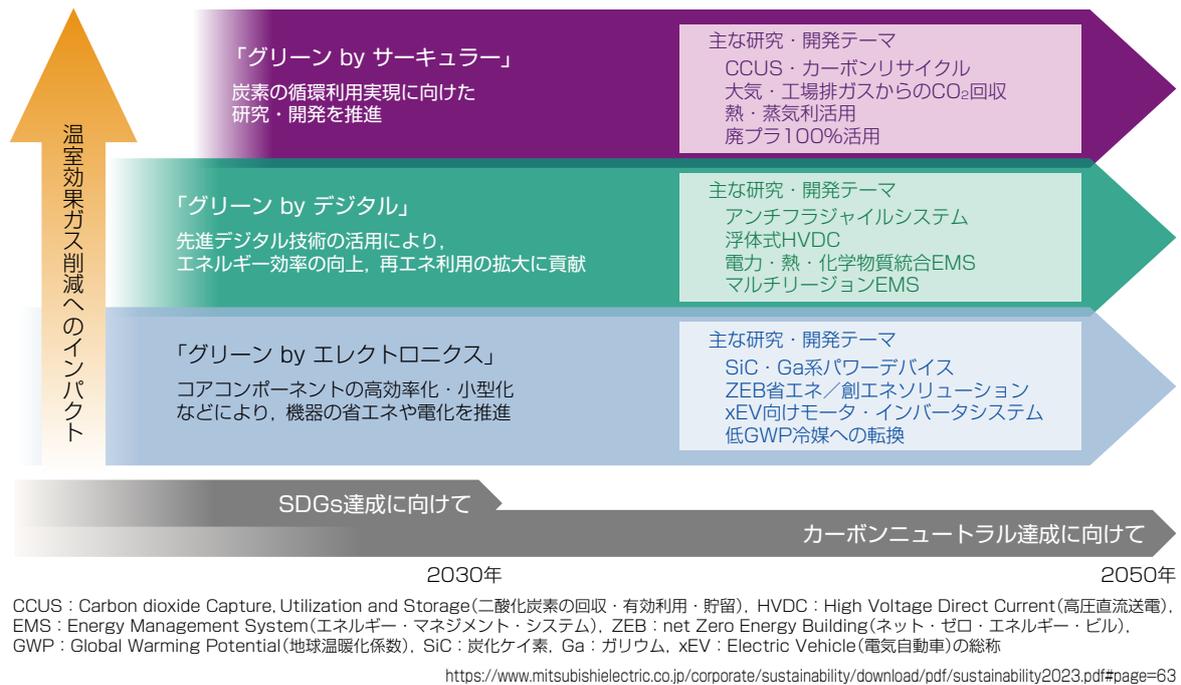


図3-カーボンニュートラル達成に向けた開発ロードマップ

2.3.3 社外との連携

当社グループは、カーボンニュートラルの実現に向けて、社内の取組みに加えて、社外との連携も進めている。2023年4月に東京工業大学と“三菱電機エネルギー&カーボンマネジメント協働研究拠点”を設置した⁽²⁾(本号巻頭言参照 <https://www.giho.mitsubishielectric.co.jp/giho/pdf/2024/2402101.pdf>)。設置した協働研究拠点では、電力・熱・化学物質などのエネルギー・物質視点での環境価値取引を含むエネルギー&カーボンマネジメント、カーボンリサイクルなどのGX(グリーントランスフォーメーション)関連技術等の研究開発に取り組んでいく。また当社は、2023年度から経済産業省の“GXリーグ”に参画している⁽²⁾。“GXリーグ”とは、GXに積極的に取り組む企業が、行政や大学・公的研究機関、金融機関でGXに向けた挑戦を行うプレイヤーとともに、一体として経済社会システム全体の改革のための議論と新たな市場の創造のための実践を行う場であり、当社のサステナビリティ経営と方向性が合致することから参画を決定したものである。

2.4 当社グループのサーキュラーエコノミー

2.4.1 環境配慮設計

製造業でサーキュラーエコノミーに貢献するには、提供する製品のライフサイクル全般にわたって環境への影響を考慮した設計を行うことが重要である。

当社では、製品群(システム・ソリューションを含む)ごとに、環境性能を評価する際の製品稼働条件や評価項目を定義するとともに目標を設定し、開発・設計段階(デザインレビュー時)で達成状況を評価している。評価項目の一例を表3に示す。

表3-環境性能評価項目の一例

分類	評価項目
①温暖化(必須)	・削減貢献量 ・稼働時電力
②省資源(必須)	・再生プラスチック使用量 ・製品/部品重量
③リサイクル性	・部品点数 ・解体性の向上 ・材料の共通化 ・材質表示 ・難燃剤の不使用 ・取扱説明書の削減
④化学物質	・含有懸念物質の削減
⑤包装材	・包装材質(プラスチック他) ・包装材重量と容積

2023<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability/download/pdf/sustainability2023.pdf#page=71>

また社外への製品環境情報開示や各国環境法規への対応を目的に、製品環境データ収集システム(e-Proシステム)を構築し、製品使用時CO₂排出量、使用素材、包装材などの製品環境データを一元管理している。e-Proシステムの詳細については本号“製品環境データ収集システム(e-Proシステム)”を参照されたい(<https://www.giho.mitsubishielectric.co.jp/giho/pdf/2024/2402107.pdf>)。

2.4.2 プラスチックのリサイクル

当社グループは、2010年から、使用済み家電から回収したプラスチックを再び当社の家電に用いる“自己循環リサイクル”を本格化している⁽³⁾。(株)グリーンサイクルシステムズで、当社が開発した独自技術を用いて破碎混合プラスチックの高度選別を行い、バージン材同等の高純度プラスチックを再生している(図4)。



使用済みの家電製品を破碎して生じる破碎混合プラスチックは、比重選別、静電選別、X線選別などの選別過程を経て、プラスチックの種類ごとに高純度で回収され、再び家電製品に使用される。

PP : Polypropylene, PS : Polystyrene, ABS : Acrylonitrile-butadiene-styrene

<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability/download/pdf/sustainability2023.pdf#page=83>

図4-当社グループのプラスチック自己循環リサイクルの流れ

また従来のリサイクルの限界を超える技術として“マイクロ波加熱による廃棄物処理技術”の開発にも取り組んでいる⁽⁴⁾。先に述べた自己循環リサイクルは廃棄物を同じ原材料として再利用するマテリアルリサイクルであるが、プラスチックのリサイクルの手法にはマテリアルリサイクルのほかに、廃棄物を他の物質に転換して再利用するケミカルリサイクルがある。ケミカルリサイクルでは廃棄物が加熱分解処理されるが、従来の外部加熱方式では、多くの化石燃料を消費し、エネルギー効率やコストの面で大きな課題がある。それに対してこの技術は、マイクロ波を用いた内部加熱によって廃棄物を高温かつ効率的に加熱することで、これまでリサイクルが難しかった複合材を含む廃棄プラスチックなどから再生原料や再生ガスを取り出せる上に、リサイクル率も向上できる。

2.4.3 社外との連携

当社グループは、サーキュラーエコノミーに関しても様々な業界の企業と連携している。2022年10月に当社保有のプラスチック高度選別技術を活用し、他社から提供されるシャンプーボトル等、日用品プラスチック製品由来の混合プラスチックを、種類ごとに選別する試験を開始したほか、2023年4月に当社は海洋プラスチックごみ問題の解決に向けて“クリーン・オーシャン・マテリアル・アライアンス(以下“CLOMA”という。)”に加入している。社会全体での廃プラスチック有効利用率の向上を目指して、今回のCLOMAへの加入を機に、業界の枠を超えた企業間連携を促進する。

3. む す び

当社は、1921年の創立以降、“家庭から宇宙まで”幅広い領域で、顧客や社会の課題に真摯に向き合い、時代に先駆ける新たな技術や価値を生み出してきた。カーボンニュートラル，サーキュラーエコノミーなどの環境問題への関心が世界中で高まる中、これらへの取組みは当社グループにとって、社会の一員としての責務であるとともに、更に新しい技術や価値を生み出す機会となる。

ネイチャーポジティブなどの新たな課題の出現，安心・安全やウェルビーイングなどの社会課題や新たな価値観との相互作用によって、環境問題は日々多様化・複雑化し、解決がますます難しくなっている。

当社グループが100年以上にわたって培ってきた技術と想いを更に成長させ、より困難で複雑化したこれらの課題の解決に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機：三菱電機グループサステナビリティレポート2023（2023）
<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability/download/pdf/sustainability2023.pdf>
- (2) 三菱電機：統合報告書2023（2023）
https://www.mitsubishielectric.co.jp/ir/data/integrated_report/pdf/2023/integrated_report2023_jp.pdf
- (3) 三菱電機：SDGsへの取組事例 プラスチックリサイクル
<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/sustainability/management/sdgs/08/index.html>
- (4) 三菱電機：マイクロ波加熱による廃棄物処理技術
<https://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/randd/list/other/b261/index.html>

低GWP冷媒R290採用ATW室外機

ATW Outdoor Unit Using Low GWP Refrigerant R290

*静岡製作所

要 旨

欧州ではカーボンニュートラルを目指しており、燃焼式からヒートポンプ式への転換が進んでいる。一方でヒートポンプ式に使用されるHFC(ハイドロフルオロカーボン)冷媒に対してフッ素化ガス(以下“Fガス”という。)の総量が規制で強化されている。さらにFガス規制の改正によってGWP(Global Warming Potential)の数値での規制が強化され、HFC冷媒の使用継続が困難になる見込みである。自然冷媒であるR290は高温出湯が可能であり、ボイラーからの置換が有利である一方、強燃性冷媒であり、着火リスクを低減する必要がある。その着火リスクを低減するために省冷媒、着火源を隔離した新しい室外機を開発し、併せて流通、保管からリサイクルまでのライフサイクルでの着火リスク低減のための対応を行った。

1. ま え が き

欧州では、2050年までにカーボンニュートラルを目指しており、居住用の建物でエネルギー消費量の高い暖房、給湯設備では、燃焼式からヒートポンプ式への転換が進んでいる。継続的な高エネルギー価格と燃焼式からの置き換えに対するインセンティブによって、ヒートポンプ市場は更に拡大する見込みである。

一方で、ヒートポンプに使用されるHFC冷媒に対しては、Fガスフェーズダウンが実施され、Fガスの総量で規制が強化されている。さらにFガス規制の改正によって、GWPの数値で規制が強化され、現在のヒートポンプの主要冷媒であるHFC冷媒の使用継続が困難になる見込みである。

そこで、三菱電機は自然冷媒であるR290を用いた空気熱源のヒートポンプ温水暖房機(ATW(Air To Water)ヒートポンプ)を開発した。R290はHFCであるR32と比較して、より低い圧力で凝縮温度が上昇するため、高温出湯が容易でありボイラーの置き換えに有利である一方、強燃性のA3冷媒であるため、着火リスクを低減する対策が必要である。当社は2023年夏に“ecodan”PUZ-WZシリーズ(図1)として、R290ATWヒートポンプを欧州域に発売した。この製品では冷媒量の削減と、製品製造後の保管からリサイクルまでを見越した対策によって、冷媒漏洩(ろうえい)時の着火リスク低減を図っている。本稿ではこの二点を中心に述べる。



図1-“ecodan”PUZ-WZシリーズ

2. ATWヒートポンプシステム

ATWヒートポンプの概要を図2に示す。室外機では、冷媒は空気を熱源として蒸発し、圧縮されて高温になった冷媒と水を熱交換して温水を生成する。このシステムは、室外機と室内機間の熱搬送を水で実施する。室内機では、暖房回路と給湯回路が並列に設置され、バルブによってどちらか一方の回路に温水が循環される。暖房回路を循環する温水は、居室に設置された放熱器の輻射(ふくしゃ)放熱によって暖房を行う。給湯回路を循環する温水は、熱交換器で生活用水を加熱し、生活用水は貯湯タンクに貯(た)められ給湯に用いられる。

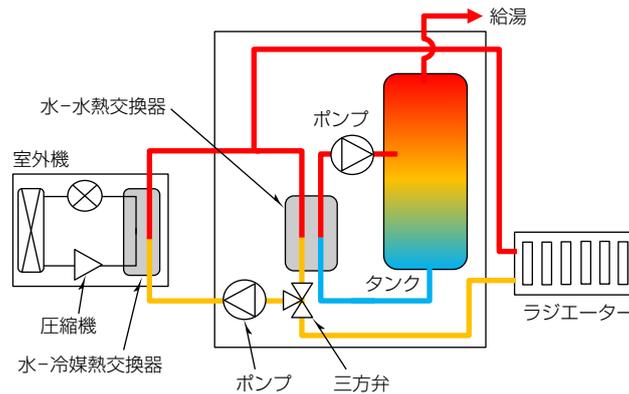


図2-ATWヒートポンプ概要

3. R290の特徴

R290の特徴をR32と比較して表1に示す。R290はGWPが低く、Fガスとしてみなされない一方、燃焼性はクラス3に分類され強燃性である。また、ガス密度が小さいため、圧縮機のピストン容積の大型化が課題になる。

表1-R290とR32の比較

	R290	R32
地球温暖化係数(GWP) ⁽¹⁾	< 3	675
燃焼性	強燃性 クラスA3	微燃性 クラスA2L
飽和ガス密度(0℃)	10.35	22.09

図3に凝縮温度に対する圧力の変化を示す。R290はR32と比較して、より低い圧力で高い凝縮温度を達成できるため、高温出湯が容易である。

図4に今回開発のR290モデルの外気温度に対する最高出湯温度について、従来のR32モデルと比較する。従来モデルの最高出湯温度60℃に対して、今回開発したR290モデルでは、最高出湯温度75℃を実現し、さらに外気温度-15℃まで75℃出湯を可能にした。

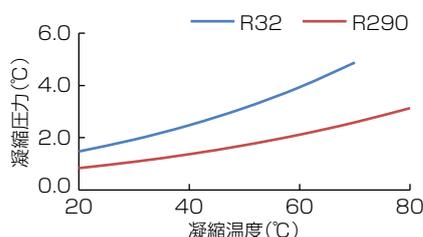


図3-凝縮温度に対する圧力の変化

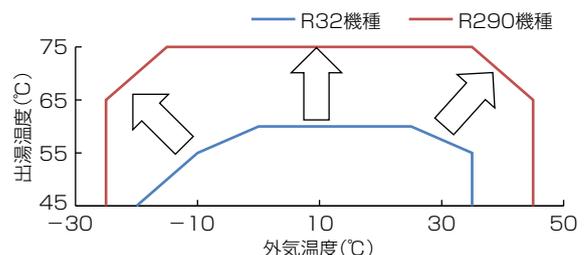


図4-外気温度に対する最高出湯温度

4. 開発機の技術と特徴

R290をヒートポンプに導入するに当たって、流通や据付での取扱いに適応するため、小容量機を対象とした。当社独自のリスク評価による許容可能な冷媒漏洩量から、目標冷媒量を0.6kg以下とし、比較的小さい容量の5～8kW機(暖房能力)を開発した。

4.1 2圧縮機冷媒回路採用

今回、インバーター駆動圧縮機1台を搭載する1圧縮機冷媒回路機種と、インバーター駆動圧縮機1台と一定速圧縮機1台の合計2台を搭載する2圧縮機冷媒回路機種を開発し、8kW機に2圧縮機冷媒回路を採用した。2圧縮機冷媒回路のメリットを述べる。

4.2 1回路当たりの冷媒量削減

2台の圧縮機を、それぞれ独立した二つの冷媒回路でシステムを構成する(図5)。これによって、室外機全体ではR290の充填量が1.0kgになるが、万が一、片方の冷媒回路からの冷媒漏洩が発生しても、漏洩量を最大0.6kgに抑制できる。

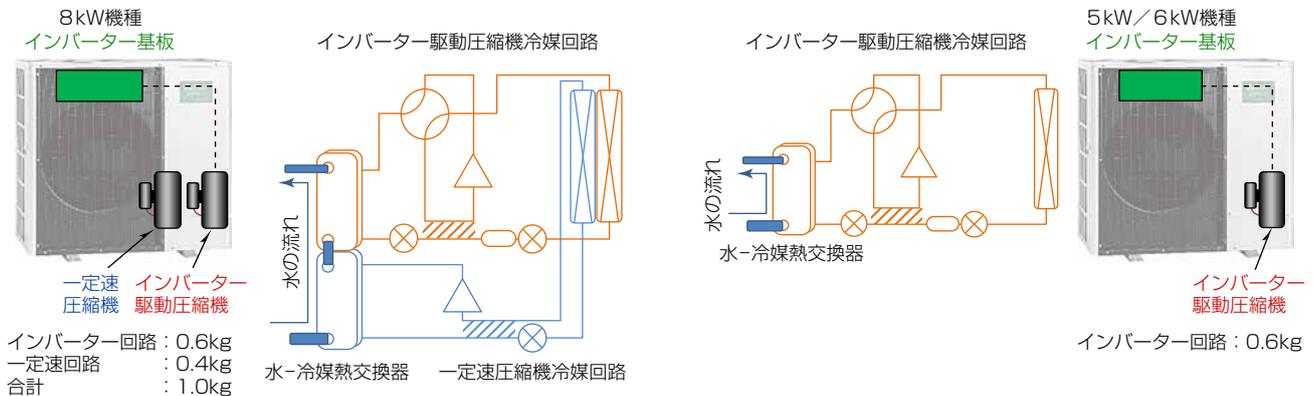


図5-冷媒回路図

4.3 圧縮機個別駆動による運転範囲拡大

片方だけの冷媒回路の運転を可能にするため、冷媒水熱交換器を水側で直列に接続している。外気温度が高く、暖房能力が小さいケースでは、インバーター圧縮機だけが駆動し、外気温度が低く、暖房能力が大きいケースでは、一定速圧縮機を追加で駆動する(図6)。一定速圧縮機のON/OFFと、インバーター駆動圧縮機の回転数制御で、従来のR32モデルと比較して、暖房能力の下限値を35%から18%に低減して、低負荷時の連続運転が可能な範囲を拡大した(図7)。

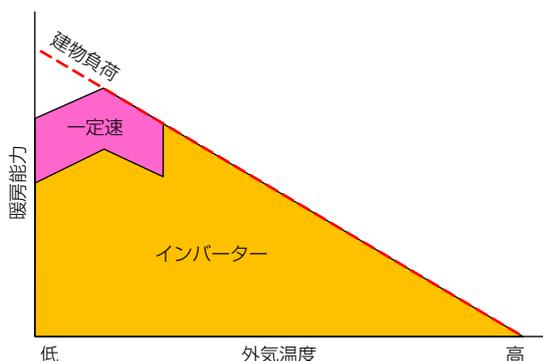


図6-圧縮機運転パターン

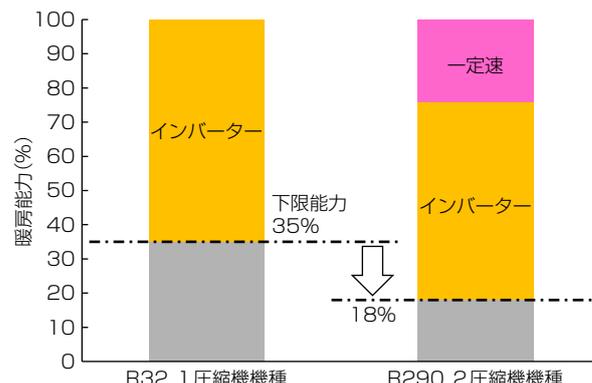


図7-最小暖房能力の比較

4.4 インバーター基板の風路設置

圧縮機を駆動するインバーター基板は、リレーを搭載している。R32モデルでは、冷媒回路部品を収納する機械室にインバーター基板を配置しているが、R290モデルでは、冷媒漏洩時にリレーが着火源にならないように、インバーター基板を基板ボックスに密閉して風路側に設置している。

基板ボックスを風路に置くと、空気熱交換器からファンへの風の通りを妨げて騒音の原因になるため、**図8**のようにユニットの背面に設置する熱交換器側に向けて、基板ボックスの底面を傾斜させる構造にして、風路抵抗を低減した。

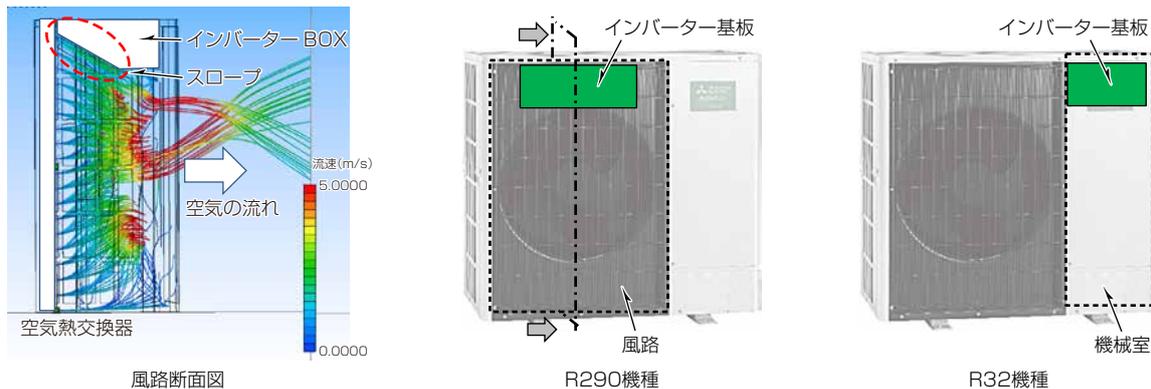


図8-基板ボックスのレイアウト

5. 保管からリサイクルまでの対策

製品を製造した後の保管からリサイクルまでを見越して、R290の漏洩に対する着火リスクを低減するため、製品仕様の改良に加えて、**表2**に示すような取組みを実施している。

表2-R290ユニットの保管からリサイクルまでの対策

	倉庫保管	輸送	据付	サービス	リサイクル
法規・規格	欧州の法規・規格調査と遵守				
安全教育	LMSを活用した安全教育と認定				
トレーニング	トレーニングの実施				
安全表記		車内換気指示 	据付制約 (図9)	R290使用を明示した刻印 	

LMS : Learning Management System

5.1 法律と規制の調査と遵守

イギリスを含む欧州地域と各国の保管・輸送・ビルディングコード・リサイクルの法律や規制を調査し、冷媒量申請など各国の法律・規制への遵守を実施した。

5.2 安全教育

LMSを作成し、販売各国で活用して、R290ユニットを扱う安全教育を行い、教育を受けたことによって販売が可能になる認定制度を導入した。

5.3 視覚的な表示

輸送時の車内換気の必要性を梱包(こんぼう)に印刷し安全に運搬できるように表示した。また、室外機周囲に設けた保護区域内に屋内への開口部を存在させないことを据付け時の注意喚起として表示し(図9)、R290を使用していることをリサイクル時まで半永久的に表示するために、作業者の目に留まりやすい機械室内部の板金に“R290”の刻印を加えた。

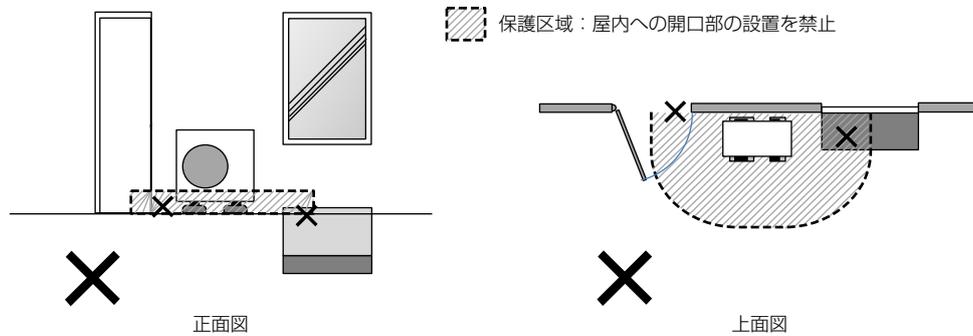


図9-据付制約

6. む す び

欧州で、居住用の建物のエネルギー消費量の高い暖房、給湯に対して、ボイラーからヒートポンプへ容易に置き換えができることを目的として、高温出湯と、Fガス規制への対応を両立するR290を用いたATWヒートポンプを開発した。R290の冷媒特性によって、最高出湯温度75℃を実現し、外気-15℃まで75℃出湯を可能にした。R290をヒートポンプに導入する上で、着火リスクを低減する対策として、当社独自のリスク評価による許容可能な冷媒漏洩量から、目標冷媒充填量を0.6kg以下として、暖房能力8kW機では、二つの独立した冷媒回路で構成することで実現した。また、圧縮機を2台独立して制御することで、暖房低負荷時の連続運転可能な範囲を拡大した。製品製造後の保管からリサイクルまでを見越した対策として、R290冷媒製品の取扱いに対する法規制の調査、LMS活用による安全教育と認定、視覚的な表示による周知方法について述べた。

今後は、ATWヒートポンプの低GWP化を更に進めるため、取扱いをより容易にするための冷媒充填量削減の方針を維持しつつR290ATWヒートポンプの容量ラインアップの拡充に取り組んでいく。また、今回の製品の市場投入後のフィードバックを受けて、教育や周知の方法をアップデートして、R290ATWヒートポンプの使用に対する更なる安全性を確保していく。

参 考 文 献

- (1) IPCC : Fourth Assessment Report (2007)
<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>

REACT：離島での持続可能な再生可能エネルギー利用

ジェームス・フリーマン*
James Freeman
ジャイドル・コードリー*
Jahedul Chowdhury
クリストファー・オルキス*
Christopher Olkis

REACT: Renewable Energy for Self-Sustainable Island Communities

*Mitsubishi Electric
R&D Centre Europe B.V.(Ph.D.)

要 旨

気候変動対策として、再生可能エネルギーの活用が強く求められている。気象条件で発電量が変動する再生可能エネルギーによって電力需要を100%満たすことは困難であるが、自給率は需要側の柔軟な対応で大きく向上させることができる。ヒートポンプは冷暖房や温水供給を高効率に行う技術であり、蓄電・蓄熱機器と組み合わせて柔軟な運転を行うことで、変動する再生可能エネルギーを有効活用できる。今回、欧州での分散型再生可能エネルギーの有効利用のため、コミュニティ規模でヒートポンプと蓄電・蓄熱機器を組み合わせた、クラウドベースのエネルギー管理技術を開発した。さらに、この技術を適用して欧州の離島での実証プロジェクト“REACT”に参画した。

1. Introduction

The transition to a low-carbon future depends on an increased penetration of renewable energy sources (RES) to displace the burning of fossil fuels. For remote geographic islands, the problem of energy security under increasing levels of electrification is particularly acute due to the limited interactions with the mainland electricity grid. This can result in high energy costs for consumers and an over-reliance on backup systems such as diesel generators ⁽¹⁾. Such challenges have inspired new approaches to energy infrastructure and planning that combine distributed generation and storage technologies with demand-side response.

REACT is an Innovation Action project funded by the European Commission Horizon 2020 programme, that focuses on a community-centric approach to energy management for off-shore islands. The main output of REACT is a scalable digital platform for the planning and management of renewable energy and storage-enabled infrastructures, which has been piloted at three island demonstration sites in Europe ⁽²⁾. The project objectives are to increase renewable energy generation capacity and enable distribution grid flexibility through automated demand response actions delivered by the cloud platform. End-users are also encouraged to participate in manual demand response actions based on recommendations delivered through a bespoke smart-phone application. In this paper, we will provide an overview of the REACT technology components and interfaces; with a particular focus on heating, ventilation and air conditioning (HVAC) equipment provided by Mitsubishi Electric, which serves as a key technology for demand-side flexibility.

2. REACT Platform Architecture

A simplified representation of the REACT platform architecture is shown in **Figure 1**. The core cloud-side components include a relational database, a time-series database and a semantic repository. Advanced services are deployed in the REACT platform as secure containerized applications, each running with its own schedule based on specific temporal triggers. These services include energy production and demand forecasting, energy optimization, distribution-grid state estimation (DGSE) and consumer-recommender services. Visualization services are provided in the form of a web dashboard and mobile phone application.

The REACT platform uses well-established communication structures based on Internet of Things (IoT) technology. The middleware core application is based on MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), a lightweight publish-subscribe protocol that runs over standard networking. The middleware application allows

the exchange of measurement data and control actions between all field devices and the cloud-level components using a common canonical data model (CDM) to ensure full interoperability. Field devices, which include heat pumps, battery systems and smart meters, are shown on the right-hand side of **Figure 1**. The field devices used in the REACT demonstration can be classed in two categories: assets that communicate via a local gateway device using open protocols, such as Modbus, and assets that use a proprietary cloud-based communication interface. For the former category, the local gateway device also provides CDM translation and MQTT publish and subscribe functions via the OpenMUC software.

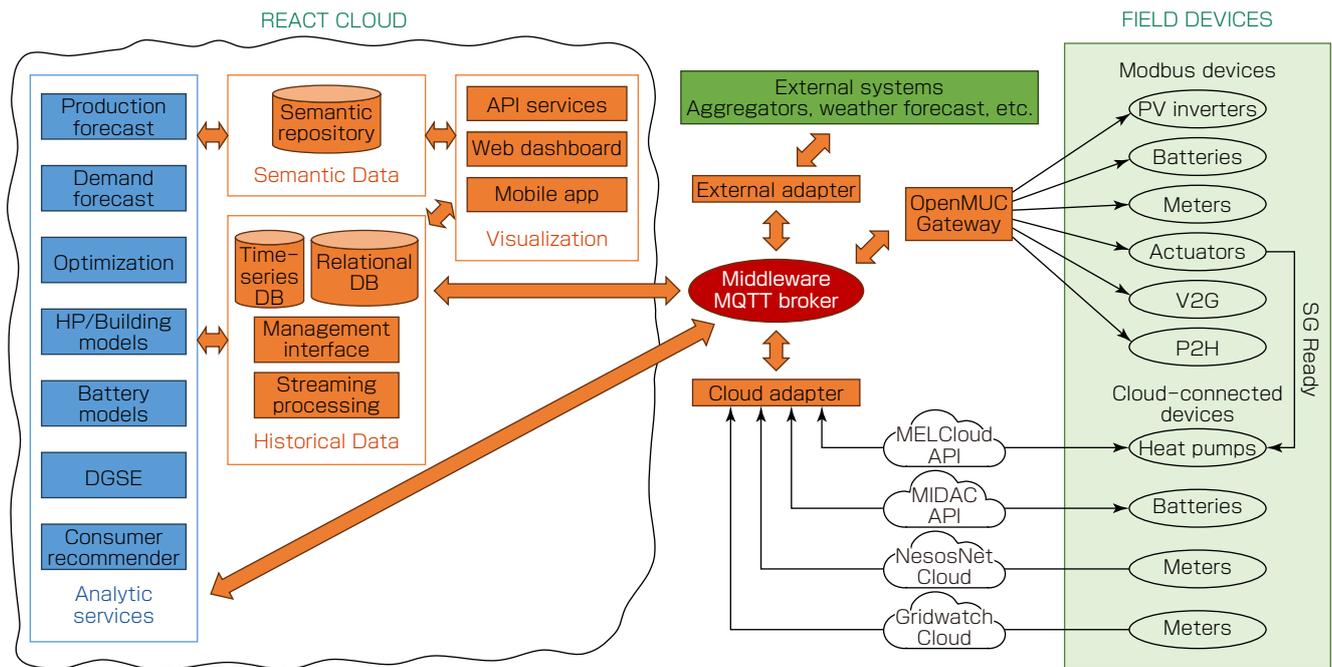


Figure 1-REACT platform architecture

3. HVAC System Interfaces

3.1 MELCloud

MELCloud is the Mitsubishi Electric cloud solution for monitoring and control of residential and commercial HVAC systems in the European region. MELCloud was chosen as the primary HVAC system interface for the REACT demonstration due to the simple installation procedure and reduced setup time compared to conventional building management system (BMS) solutions. The MELCloud interface is connected to a port on the heat pump controller board and paired to local Wi-Fi¹, with no requirements for complex wiring or network reconfiguration. An application programming interface (API) for MELCloud is used to send measurement requests and control actions from the REACT platform to individual heat pump devices. A cloud adaptor software component was developed for issuing the API calls and translating received messages to the REACT CDM format. Control actions available in MELCloud include forced domestic hot water (DHW) heating for air-to-water (ATW) heat pumps and temperature or fan speed adjustments for air-to-air (ATA) heat pumps. MELCloud also allows access to real-time operating status and energy data for individual heat pump systems.

¹ Wi-Fi is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.

3.2 Smart Grid Ready

Smart Grid Ready (or "SG Ready") is a label that indicates specific devices, including heat pumps, that meet certain technical standards for operation in smart grid environments. Since 2016, Mitsubishi Electric have incorporated an SG Ready interface into Ecodan ATW heat pumps. The interface enables the heat pump operating state to be switched by an external signal, to boost or limit power consumption. SG Ready is used in limited cases in the REACT demonstration, for heat pump systems that include a supplementary thermal store for space heating, in addition to a DHW cylinder. SG Ready provides a means for direct integration with a PV or battery system, where the heat pump activation signal can be provided by a digital output or relay on the inverter device. This enables autonomous operation for PV self-consumption, in which the heat pump is operated to charge the thermal store when the electrical battery is fully charged.

4. REACT Energy Optimization

The energy optimization performed within the REACT platform is based on an Energy Hub approach, whereby each building is represented as a prosumer node, i.e., an entity that both produces and consumes energy⁽³⁾. For each prosumer node, a central energy converter device (e.g., a PV inverter or battery system inverter) is the local point for managing all energy flows in the building between the grid and the local storage, generation and electrical loads. Battery systems are useful for collectively shaping the load profile at the grid level, by operating at controllable charging or discharging rates or fixed set points for grid import or export. Meanwhile, heat pumps and smart appliances can be operated flexibly to increase or decrease household energy consumption at certain times of the day.

The REACT optimization methodology is performed at two levels. At the single-prosumer level, the Energy Hub optimization is implemented as a mixed-integer linear programming (MILP) model. A time-horizon of 24 hours is typically applied, in line with the day-ahead energy pricing and forecasting inputs. The optimization objective is to minimize operational costs to the end-user, within constraints that are implemented based on a selected Energy Hub control mode: e.g., constant battery operation, constant grid interaction, consumption peak shaving or reverse peak shaving. The output is a schedule of setpoints and optimal consumption curves for each node, which is stored in the database. At the distribution system level, grid capacity management (GCM) techniques are applied to optimize power flow across the network while avoiding voltage violations. This two-level approach allows the REACT solution to provide both grid-level services and savings to the end-user under a diverse range of operating conditions and grid configurations.

5. Demonstration Cases

The REACT solution was piloted at three European demonstration sites located on offshore islands: the Irish island of Inishmore, the Italian island of San Pietro and the Spanish island of La Graciosa. Each site consists of a cluster of 20-30 public and private buildings. The participating buildings have rooftop solar-PV installations, providing a total distributed generation capacity of 100-120 kW per demonstration site. Each site also has a distributed array of battery energy storage systems including lithium-ion, lead-carbon and sodium nickel-chloride technologies, with storage capacities between 4-16 kWh per building. At the Irish demonstration site, Mitsubishi Electric Ecodan ATW heat pumps are used to provide space heating and hot water for residential and small office buildings, with installed system capacities ranging from 8 kW to 24 kW (thermal). At the Italian demonstration site, the M-series ATA product range is used for residential air conditioning, with system capacities between 2-10 kW (thermal). Other state-of-the-art technologies include vehicle-to-grid (V2G) electric vehicle charging and a power-to-hydrogen (P2H) storage facility.

The demonstrations were designed around realistic use cases, with business models that can be adapted for large-scale replication. Battery system use-case objectives included minimizing grid import, minimizing grid export or managing reactive power. Heat pump use cases were designed to target load shifting using thermal storage. While previous studies have shown that heat pumps with thermal storage can be highly effective for reducing carbon emissions and energy costs at the single-household level ⁽⁴⁾, REACT also considers the influence that coordinated control of multiple heat pump systems can have on energy demand at the community level. Taking the Irish island as a case study, a future electrification of heat scenario was investigated where 200 dwellings (approximately two-thirds of all homes on the island) are heated with air-to-water heat pumps ⁽⁵⁾. A simulation model was used to evaluate novel control strategies based on flexible charging of DHW storage cylinders using the range of control functions available in MELCloud. Through coordinated use of the forced DHW heating function, it was predicted that a 23% reduction in daily maximum electrical load or an 18% reduction in curtailment of renewable energy could be achieved.

A further indirect form of load shifting using heat pumps can also be targeted through adjustments to space heating and cooling setpoints. Towards this aim, building simulation modules were developed in REACT based on reduced-order physical models of the demonstration site buildings, with machine-learning methods to calibrate the model properties and determine user preferences based on data collected in the REACT platform ⁽⁶⁾. For each forecast period, heating and cooling set point schedules were determined by an algorithm to match optimized power consumption profiles within the bounds of thermal comfort.

6. Future Outlook

In Europe, the framework for demand-side response at the household level is taking shape. In 2023, the European Commission Joint Research Centre is designing a Code of Conduct (CoC) for Energy Smart Appliances (ESA), which defines requirements for data sharing and interoperability ⁽⁷⁾. The CoC will describe mandatory and optional functions for different types of ESA, including HVAC systems, that may include use cases such as energy monitoring, flexible start time and incentive-based management of power consumption. Manufacturers that sign up to the code of conduct will be required to make their devices interoperable by adopting an open standard of communication that complies with the Smart Applications Reference (SAREF) ontology ⁽⁸⁾. Meanwhile, the British Standards Institute have published a publicly available specification on ESAs for the UK, that provides a reference architecture for implicit and explicit demand response services with defined interfaces between the electricity grid, energy management devices and smart appliances ⁽⁹⁾. To demonstrate the core principles, the UK government has funded several trial projects with HVAC and EV manufacturers as part of the Interoperable Demand Side Response programme ⁽¹⁰⁾.

For offshore islands and remote microgrids, the introduction of advanced RES and smart-grid technologies must be complemented with efforts to promote community engagement and provide improved access to technical support and maintenance infrastructure ⁽¹¹⁾. Demonstration projects like REACT are important for developing know-how and practical experience for local installers and technicians, while also exploring new ideas about how maintenance of RES and storage equipment can be managed at the community level. In the future, remote diagnostic capabilities of cloud monitoring services such as MELCloud can also support major advances in the efficiency of service and maintenance provision for remote locations.

Acknowledgement

This project has received funding from the European Union's H2020 programme under Grant Agreement No. 824395.

References

- (1) European Commission : Clean energy for EU islands (2017)
https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/initiatives-and-events/clean-energy-eu-islands_en
- (2) H2020 REACT : Renewable Energy for Self-Sustainable Island Communities
<https://react2020.eu/>
- (3) Jelić, M., et al. : REACT Deliverable 5.3: Integrative energy dispatching optimization (2021)
<https://react2020.eu/download/d5-3-integrative-energy-dispatching-optimisation/>
- (4) Olympios, A.V., et al. : Operational optimisation of an air-source heat pump system with thermal energy storage for domestic applications (2022)
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116426>
- (5) Freeman, J., et al. : Demand-side response for grid-independent islands based on flexible energy management using heat pumps (2023)
https://doi.org/10.2991/978-94-6463-156-2_11
- (6) Peretti Correa, D., et al. : Autonomous Demand Response Control using Heat Pumps in Residential and Commercial Buildings (2022)
<https://doi.org/10.1109/TELFOR56187.2022.9983741>
- (7) European Commission Joint Research Centre and Directorate-General for Energy : First draft of the European code of conduct for interoperability of Energy Smart Appliances (2023)
<https://ses.jrc.ec.europa.eu/>
- (8) ESTI : Smart Applications REFERENCE Ontology
<https://saref.etsi.org/>
- (9) BSI Group : PAS 1878:2021 Energy smart appliances-System functionality and architecture-Specification (2021)
- (10) UK Government Interoperable Demand Side Response Programme (IDSR)
<https://www.gov.uk/government/collections/interoperable-demand-side-response-programme>
- (11) Abi Ghanem, D., et al. : The Transition to Clean Energy: Are People Living in Island Communities Ready for Smart Grids and Demand Response? (2021)
<https://doi.org/10.3390/en14196218>



製造業向けカーボンニュートラルソリューション

Carbon Neutral Solutions for Manufacturing

*福山製作所

要旨

近年、サステナビリティに取り組むことが企業経営にとって極めて重要な要素になってきている。その中でも、気候変動は国際社会の共通の課題になっており、カーボンニュートラル実現に向けてGHG(GreenHouse Gas)を多く排出する製造業での取組みが重要になっている。

三菱電機は、エネルギーを効率的に利用できる高効率機器の提供に加えて、生産現場のエネルギーデータや生産に関するデータを収集・可視化・分析・診断するシステム・アプリケーションを活用したデータマネジメントによって、GHG排出量の削減とエネルギーコストの削減を両立し、企業のカーボンニュートラルの取組みに貢献する。

1. ま え が き

SDGs(Sustainable Development Goals)やESG(Environment, Social, Governance)などに見られるように、サステナビリティに取り組むことが企業経営にとって極めて重要な要素になってきている。その中でも、気候変動は待ったなしの深刻な国際社会の共通の課題になっており、2022年11月に開催された国連気候変動枠組条約第27回締約国会議(COP27)では、パリ協定の1.5℃目標達成の重要性が再確認され、その実現に向けて将来のカーボンニュートラル実現を表明する国・地域が増加し、世界的に脱炭素の機運がますます高まってきている。産業界でも、気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD: Task Force on Climate-related Financial Disclosures)や国際サステナビリティ基準審議会(ISSB: International Sustainability Standards Board)を中心に、企業に対して、気候変動への取組みに関する情報開示を求める動きが強まっている⁽¹⁾。こうした状況下で、GHGを多く排出する製造業での取組みが重要になっている。

当社は、ものづくりのリーディングカンパニーとして、カーボンニュートラルへの貢献を大きな使命と捉えて、FA機器・配電制御機器に加えて、IoT(Internet of Things)プラットフォーム、可視化・分析・診断アプリケーションを活用し、製造業のサステナブルな事業活動を支援する。

カーボンニュートラルの実現に向けた取組みの方向性としては、図1に示すとおり徹底的な省エネルギーの推進及び再生可能エネルギーの導入が挙げられる。省エネルギーの推進については、高効率機器の導入や運用改善によって、エネルギー効率を最大化することで、エネルギー消費量・CO₂排出量を削減する。また、エネルギー消費量を削減することで、割高な再生可能エネルギーの購入によって増えたコストを賄うことにも貢献する。再生可能エネルギーの導入については、太陽光などの再生可能エネルギーを作る設備を自前で導入する手段や、再生可能エネルギーを購入する手段によって、自



図1-カーボンニュートラルの実現に向けた取組みの方向性

らが排出したCO₂を再生可能エネルギーに代替することで、CO₂削減に貢献する。また、複数拠点間の電力融通・蓄電池運用の最適化などによって、再生可能エネルギーをムダなく使うことも重要になる。

本稿では、省エネルギーの推進によって“CO₂排出量の削減”と“エネルギーコストの削減”を両立するソリューションについて述べる。

2. 製造業向けカーボンニュートラルソリューションの概要

製造業向けカーボンニュートラルソリューションとは、エネルギーを効率的に利用できる高効率機器の提供に加えて、生産現場のデータを収集・可視化・分析・診断するシステム・アプリケーションを活用したデータマネジメントによって、生産現場の継続的な改善活動を支援するソリューションである。

2.1 工場の省エネルギーを実現する高効率機器

製造に関わる各種高効率機器として、トップランナーモーター、効率クラスIE(International Energy-efficiency Class)5を達成した同期リラクタンスモーター、インバーターFREQROLシリーズ、サーボシステムMELSERVO-J5シリーズ、スーパー高効率油入変圧器などを展開しており、工場の省エネルギー化を実現できる。

2.2 データマネジメントによる継続的な改善活動

データマネジメントによる継続的な改善活動のコンセプトを図2に示す。ステップ①では、生産現場にある工作機械・熱処理炉・コンプレッサーなどの様々な設備からエネルギーデータや生産に関するデータを収集する。ステップ②では、顧客や生産現場のニーズに応じて最適なシステムやアプリケーションを活用して、データを可視化・分析・診断する。ステップ③では、ステップ②で実施した結果から、データに基づいた改善を実施する。

ステップ②とステップ③は一度で完結するものではなく、改善結果の効果を確認し、同一設備への追加の改善活動や新しい改善箇所の発見・着手を実施することで、継続的な生産現場の改善活動として、省エネルギーによるCO₂排出量の削減とエネルギーコストの削減の両立を実現できる。



図2-データマネジメントによる継続的な改善活動のコンセプト

2.3 データマネジメントの重要性

データマネジメントによる可視化の重要性について、図3を例に示す。従来は、工場全体のエネルギー消費量の把握までにとどまっており、工場のどの建屋や設備でどれくらいエネルギーを消費していたかは分からないため、細かいデータの粒度でエネルギー消費傾向の把握が困難であった。そこで、データマネジメントによる可視化関係のソリューションを用いることによって、今まで把握できていなかった工場の建屋や設備、日・時間ごとといった細かいデータの粒度で

グラフ化などの機能によるエネルギー消費傾向の把握ができ、省エネルギー化すべき対象箇所の特定やエネルギーロスの分析が可能になる。

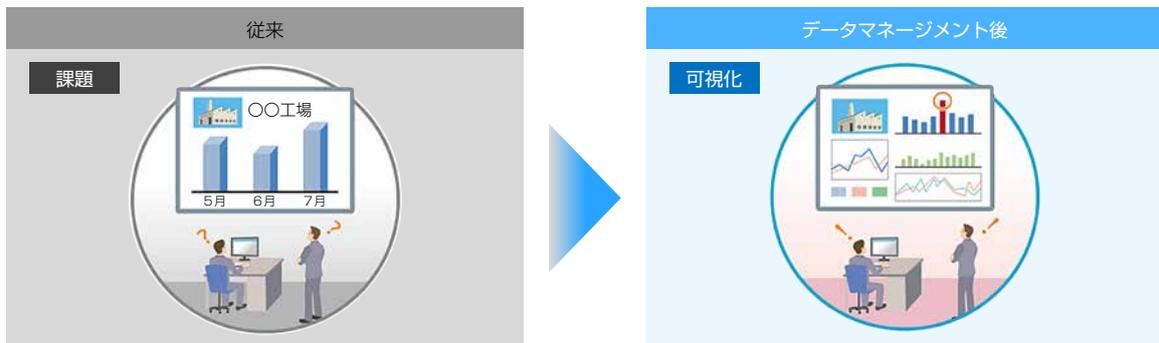


図3-可視化による現状の把握

次に、データマネージメントによる分析・診断の重要性について、図4を例に示す。従来は、生産情報とエネルギー消費量の紐(ひも)づけができていないため、エネルギーロスの分析やエネルギーロス発生要因の特定が困難であった。そこで、エネルギー消費量に加えて、生産情報も収集するシステムを活用したデータマネージメントによる分析・診断関係のソリューションを活用することによって、エネルギーロスの抽出やエネルギーロス発生要因の特定が可能になる。

それに加えて、当社のAI技術Maisartによって、エネルギーロスの分析やエネルギーロス発生要因の診断を自動化できるため、生産現場の改善活動の工数を大幅に削減し、効果的な改善活動を支援できる。

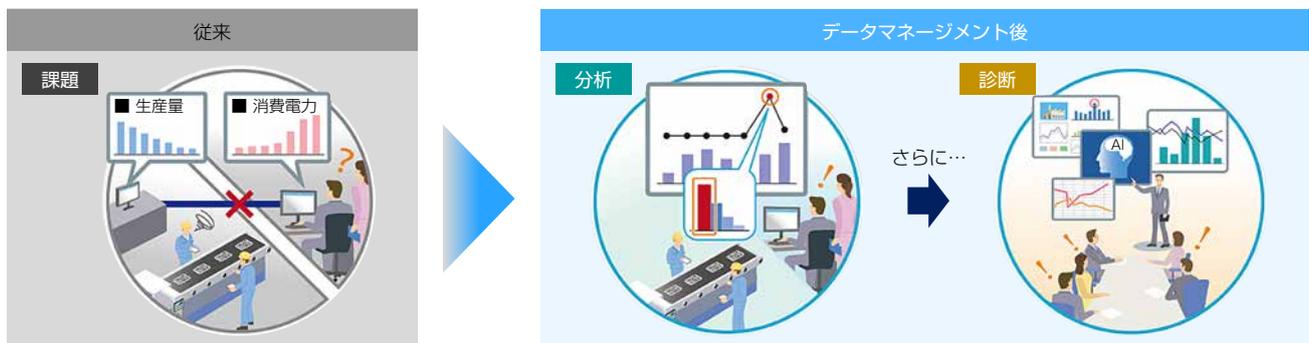


図4-分析・診断によるエネルギーロスの抽出とロス発生要因の特定

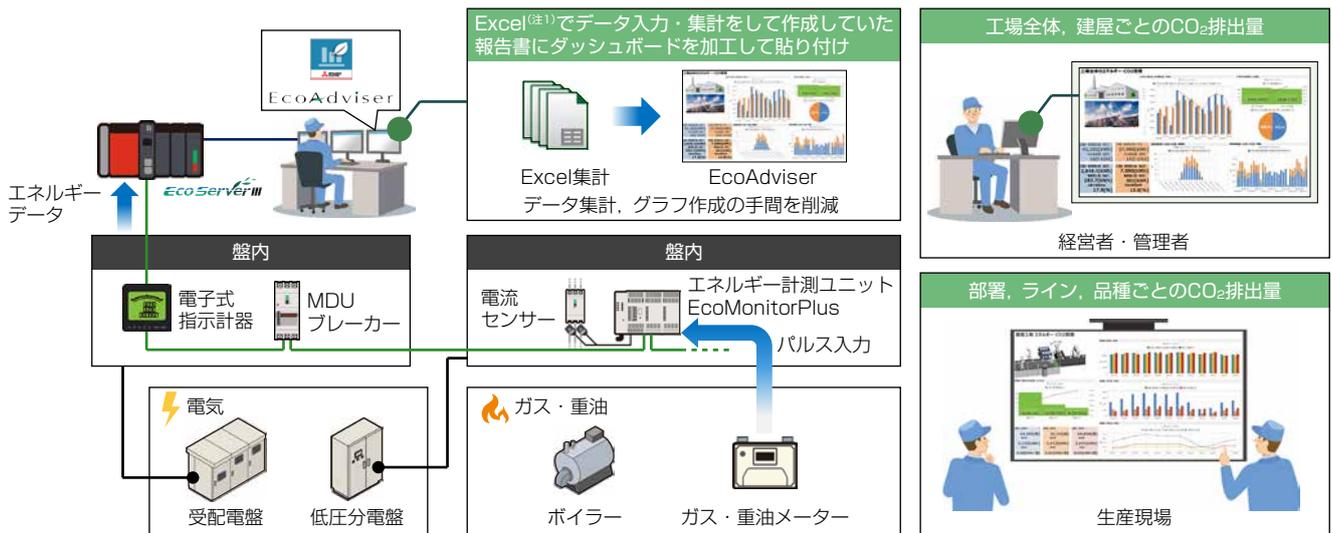
3. ソリューションによる課題解決ユースケース

製造業向けカーボンニュートラルソリューションによる課題解決に資するユースケースを三つ示す。

3.1 可視化関係のソリューションによるCO₂排出量の自動収集・管理、社内への報告・情報公開⁽²⁾

電気・ガス・重油などのエネルギー使用に伴うCO₂排出量の自動収集や収集したデータの管理、社内への報告業務の効率化、社員の省エネルギーに対する意識改革といった課題を持つ企業は少なくない。

このような課題に対して、受配電盤・低圧分電盤などの電気設備や、ボイラーなどで消費するガス・重油などを設置状況に適したエネルギー計測機器で計測し、計測したデータをデータ収集サーバーやシーケンサなどのシステムで自動収集し可視化することで、データ管理の効率化が図れる。さらに、省エネルギー支援アプリケーションによって収集したエネルギーデータをCO₂排出量に換算して一元管理することや、社内報告用のデータとして集計・ファイル出力することや、ダッシュボード画面によって経営者・管理者・作業員などの見る人に合わせた画面を作成して情報公開を行うことができる(図5)。



MDU : Measuring Display Unit
(注1) Excellは、Microsoft Corp.の登録商標である。

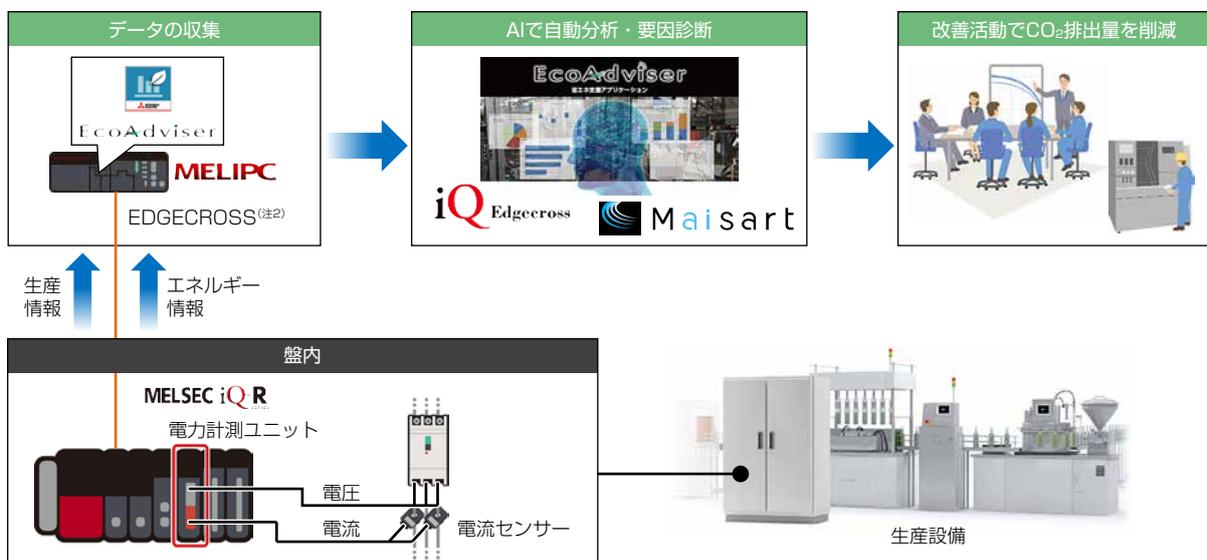
図5-ユースケースの説明図1

このソリューションによって、生産現場のニーズに応じて最適なシステムやアプリケーションを活用してCO₂排出量の自動収集・一元管理ができるため、CO₂排出量のデータ集計・管理に要する工数を削減できる。また、ダッシュボード画面を活用することで社員の省エネルギー意識の醸成にも寄与できる。

3.2 分析・診断関係のソリューションによる生産現場のCO₂排出量の削減⁽²⁾

生産現場のCO₂排出量を削減したいが、そもそもどのようにエネルギーロスを発見して改善活動を進めていけばよいか分からなかったり、データは収集できているが分析する時間がなかったりなどの理由で、改善活動がなかなか進まないといった課題を持つ企業は多い。

このような課題に対して、生産設備で消費するエネルギーに加えて、生産情報をシーケンサと電力計測ユニットなどのシステムで自動収集し、さらに、省エネルギー支援アプリケーションによって収集したエネルギーと生産数量などのデータから当社のAI技術Maisartによって、独自ノウハウの省エネルギー視点でエネルギーロスを分析し、エネルギーロス発生要因を診断することで、改善活動の時間を省力化できる(図6)。



(注2) EDGE CROSSは、一般社団法人 Edgecrossコンソーシアムの登録商標である。

図6-ユースケースの説明図2

このソリューションによって、エネルギーロスの発見や診断結果を基に改善活動の気付きを得て、効果的な改善活動を実施できる。

3.3 可視化関係のソリューションによる企業全体でのCO₂排出量の一括監視

各拠点からエネルギー情報を収集してクラウド上のSCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)で企業全体のCO₂排出量を一括監視できるため、情報開示などで必要になるCO₂排出量データの収集・集計に係る業務の効率化が可能になる(図7)。また、リアルタイムにデータ収集ができるため、エネルギー消費傾向や排出量削減状況などを各拠点へ迅速にフィードバックできる。



図7-ユースケースの説明図3

4. む す び

省エネルギーを中心とした製造業向けカーボンニュートラルソリューションについて述べた。今後もステークホルダーからの要求は更に高まり、それに応じて企業での取組みニーズも高度化かつ多様化することが予想される。省エネルギーに加えて再生可能エネルギーを含めたデータマネジメントを高度化することで、課題解決に寄与するソリューションの創出に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 環境省：SBT等の達成に向けたGHG排出削減計画策定ガイドブック(2022年度版)(2023)
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/guide/SBT_GHGkeikaku_guidebook.pdf
- (2) 松本裕樹, ほか：省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”省エネ分析・診断アプリケーション, 三菱電機技報, 95, No.3, 204~207 (2021)

家電リサイクルで回収した再生プラスチックを センサー用無線通信端末に初採用

亀井大輔*
Daisuke Kamei
久津摩勇人†
Hayato Kuzuma
岩満 豊†
Yutaka Iwamitsu

First Use of Post Consumer Recycled Plastic to Wireless
Communication Edge, Gathered by Home Appliance Recycling Law

*先端技術総合研究所(博士(工学))
†コミュニケーション・ネットワーク製作所

要 旨

三菱電機は環境ビジョン2050^(注1)で提起している資源循環の取組みでプラスチックの自己循環リサイクルを本格化させ、家電製品を中心に再生プラスチックの使用を進めている。しかしながら、ポリカーボネート/アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン(PC/ABS)については安定した耐久性と難燃性を持つ再生プラスチックを生成することが困難で、これまで採用に至らなかった⁽¹⁾。

今回、該当プラスチックだけを回収する工程を構築し、長期間使用する製品に必要な強度寿命と難燃性を持つよう回収したプラスチックに改善を加えることで、センサー用無線通信端末に採用が可能になった(図1)。家電リサイクル由来の再生PC/ABSを製品に適用するのは当社初である。

今後、再生PC/ABSを適用する製品及び部材を増やすことで、サーキュラーエコノミーの構築に貢献する。

(注1) 三菱電機グループの長期環境経営ビジョン

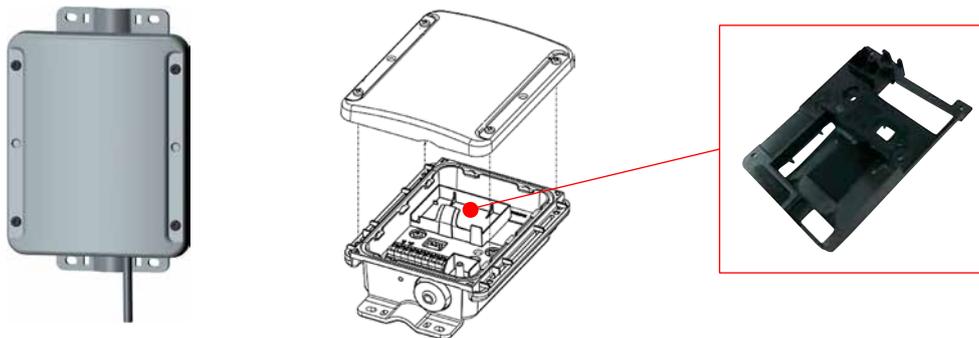


図1-センサー用無線通信端末と再生プラスチック適用部品

1. ま え が き

近年、社会的・経済的な問題からバージンプラスチックの価格上昇及び入手方法に影響が出ている。近い将来、環境負荷だけでなく製品の生産に影響が出ることも危惧し、この活動を開始した。

当社では、使用済み家電製品由来のポリプロピレン(PP)、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン(ABS)、ポリスチレン(PS)を高純度を選別し、家電製品等への適用を進めている。しかし、PC/ABSは回収品によって物性の劣化の程度や難燃剤等の特性が様々で、これまでは当社が目指す安定した耐久性と難燃性を満足できず、従来は当社で製品に適用されずにカスケードリサイクル^(注2)されていた。

(注2) 低品位な製品へリサイクルされること

2. 家電リサイクルで回収したプラスチックの再生

回収したPC/ABSは初期強度については必要な値をほぼ満足していたが、今回適用する製品に必要な強度寿命や難燃性(UL94 V-0^(注3))について未達であることが分かった。回収したプラスチックの物性改善を目的として、添加物を加えて混練する処方を選定した。複数の高温高湿試験結果から想定使用環境での強度寿命を算出した結果、再生PC/ABSは回収PC/ABSと比較して強度寿命が3.7倍であり、この製品で想定される使用環境での強度寿命を満足することを確認した。また、再生PC/ABSは回収PC/ABSの複数の回収ロットでの物性を確認し、ばらつきを踏まえて難燃性を確保できることを確認した。回収したPC/ABSと再生PC/ABSの物性を図2に示す。

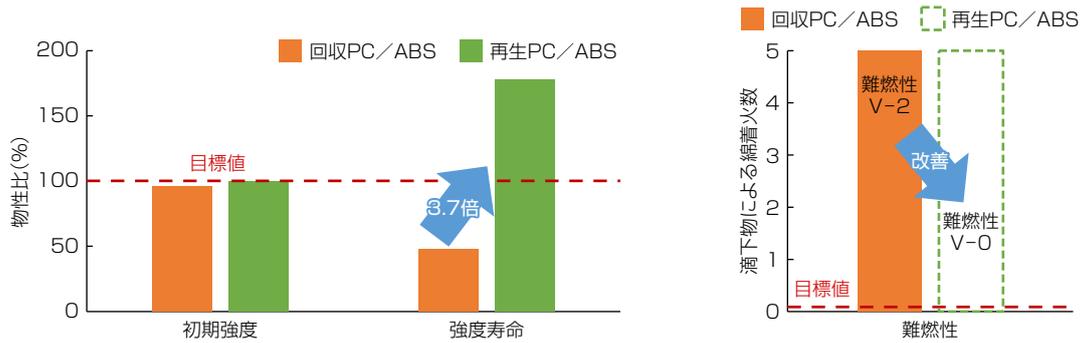


図2-回収PC/ABSと再生PC/ABSの物性比較

他の回収プラスチックの混入による物性のばらつき抑制や幅広い製品への適用を目指す上で、RoHS(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)規制物質の混入を防止するため、該当材だけを回収する工程を構築し、異種プラスチック混入率0.5%未満を実現した。この工程改善によってRoHS規制物質含有濃度を大幅に改善でき、安定して回収プラスチックを供給可能になった。工程改善前後での異種プラスチック混入率とRoHS規制物質含有濃度を図3に示す。

(注3) UL規格での難燃性の等級

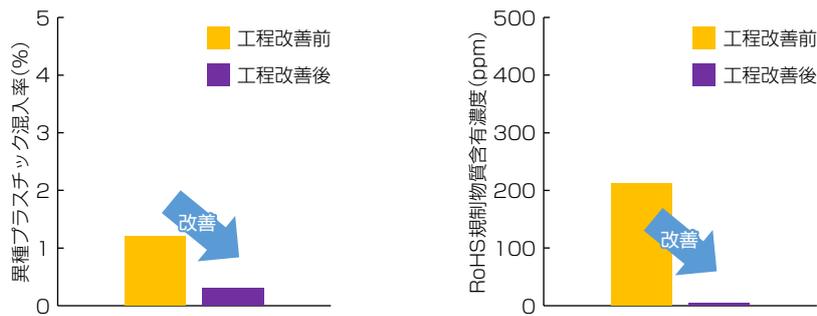


図3-工程改善前後での異種プラスチック混入率とRoHS規制物質含有濃度

3. む す び

再生PC/ABSを適用した部品のバージンプラスチック使用量を約70%削減し、CO₂排出率を57%削減可能になった。また主原料になる回収プラスチックを国内で調達することによって、為替や国際情勢の影響を受けにくい持続的な素材の供給体制を構築した。

当初はリサイクル材ということもあり、意匠面での要求レベルが厳しくない内部部品への適用から開始した。今回の適用部品の複数回成形を経て、異物混入・シルバーストリーク⁽⁴⁾等の外観不良も発生しにくいことが分かって、現在、屋内有線通信端末の外装への適用に向けて製品評価中である。引き続き再生PC/ABSを適用する製品及び部材を増やしていき、サーキュラーエコノミーの構築に貢献する。

(注4) 樹脂から発生したガスが部品表面に銀色の模様となって現れる外観不良

参 考 文 献

- (1) 井関康人, ほか: 混合プラスチック高度選別技術の進展と自己循環リサイクルの拡大, 三菱電機技報, 94, No.7, 402~406 (2020)

製品環境データ収集システム (e-Proシステム)

System for Environmental Data of Products (e-Pro System)

*環境推進部

要旨

三菱電機グループはカーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーをマテリアリティ(重要課題)と位置付けている。カーボンニュートラルでは、Scope3排出量の大部分を占める製品関連の取組みがキーになって、製品ライフサイクル視点でのCO₂排出抑制が必要である。また、サーキュラーエコノミーでも、製品に投入された多くの部材を資源循環させるため、グループ全体で製品の環境配慮設計の推進が必要になる。それらの取組みの基礎になる製品に関する環境データを迅速かつ正確に収集・一元管理できるe-Proシステムを構築した。現在、このシステムを中心に、環境配慮設計や製品環境法規の対応を推進している。

1. ま え が き

製品に関する環境業務は、環境データ(消費電力、温室効果ガス排出量、製品・包装材の素材別質量など)の収集、それらを基にした温室効果ガス(GHG: GreenHouse Gas)排出量や資源投入量などの算定・開示、製品アセスメントやライフサイクル全体でのCO₂排出量の評価による環境配慮設計の推進など、多岐にわたる。また、昨今は、製品環境法規や外部認証機関、取引先から、様々な環境データの開示が求められており、データの収集・算定・開示の作業は、増加の一途をたどる。そこで、当社グループでは、製品に関する環境データを一元管理し、効率的に業務を推進するために、e-Proシステムを立ち上げた。三菱電機技報2023年1月号⁽¹⁾ではe-Proシステムの概要を述べたが、本稿ではe-Proシステムの機能をより詳しく述べる。

e-Proシステムは、図1に示すように、各製作所が登録した環境データを登録し、社外からの要求に応じて、必要なデータを算出、出力する。

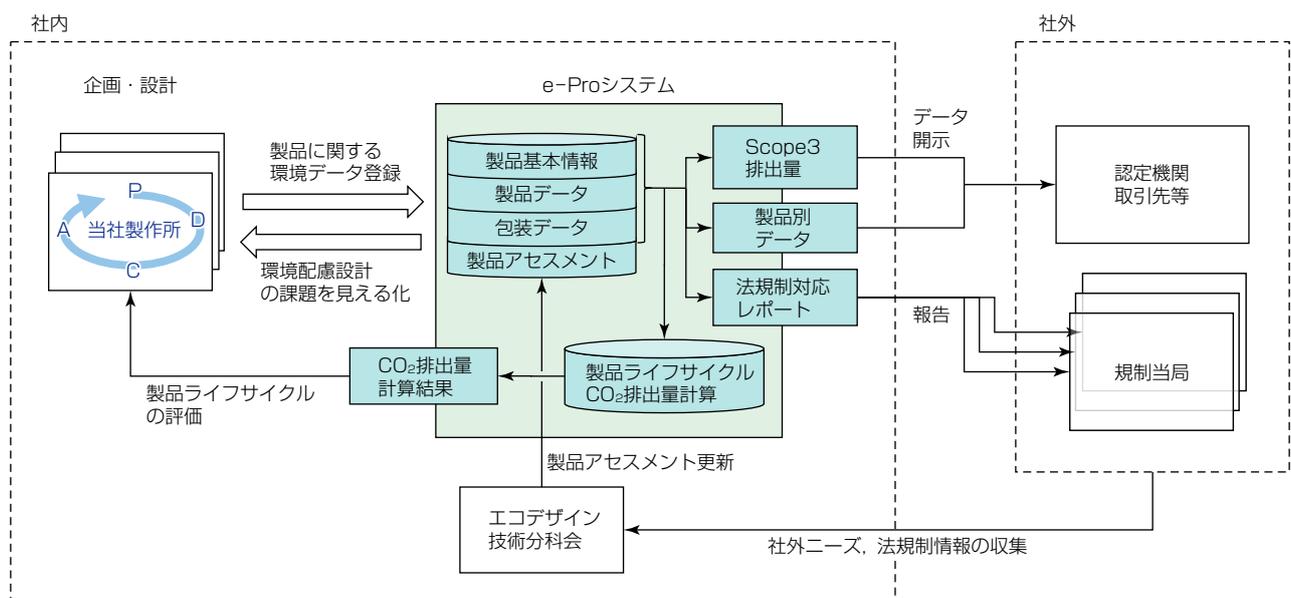


図1-e-Proシステムを活用したデータ等の流れ・業務運用のイメージ

当社グループのような総合電機メーカーでは、多種多様な製品があり、環境データを一元管理するためには多くの課題がある。例えば、製品の年間消費電力量を算定する場合、製品群別に使用時間が異なるため、複数の計算式が必要になる。2章では、それらの課題に対応した管理方法について述べる。

3章では、e-Proシステムの製品アセスメントの機能を述べる。製品アセスメントは新製品の企画／設計段階で実施することで、環境配慮設計での課題が見える化されて次の設計改善につながっていく。製品アセスメントの評価項目は、社外からのニーズや法規制情報に基づいて随時更新される。

4章では、CFP(Carbon Footprint of Products)開示の法制化に備えて、e-Proシステムに新たに追加した製品ライフサイクルのCO₂排出量を計算する機能を述べる。

2. e-Proシステム

e-Proシステムのデータ登録機能は、“製品基本情報”“製品データ”“包装材データ”“製品アセスメント”の4区分から成る。製品基本情報では、製品の形名、製品群、環境配慮設計の改善を評価するための比較モデル、使用地域(仕向地)などの情報を収集する。製品データでは、年間消費電力量、製品に封入する温室効果ガスの種類や質量、製品の全体質量やプラスチック部品の質量、電池の種類や質量などの数値データを収集する。包装材データでは、素材別の質量データを収集する。収集したデータを基に、Scope3排出量や資源投入量などを算定する。e-Proシステムの導入によって集計作業が自動化され、社外へのデータ開示などの作業が迅速化、効率化できた。

2.1 環境データの入力と算定の方法

当社グループの製品には、発電設備、空調機器、自動車部品、半導体などの製品があり、大型や小型、また産業用や民生用など、様々な形状や用途を持つ。また、同じ製品群の中でもさらに、製品の仕向地などによって、標準になる使用条件が異なる。このため、e-Proシステムでは、製品の特徴や仕向地などに合わせて、登録するデータや計算式が設定される。例えば、製品の年間消費電力量の場合、表1に示すメニューから適切な計算式が選択され、電力量が計算される。また、新規製品群の立ち上げや年間消費電力量の公的規格の改訂があった場合には、環境部門や製品設計部門が、その妥当性を検証して、メニューを更新する。

表1-“製品群”と“年間消費電力の計算式”のメニュー

製品群名	計算式名	年間消費電力の計算式	耐用年数
空調機器(家庭用)	国内向け	トップランナー制度の計算式を使用	yy
空調機器(家庭用)	マレーシア向け(1)	ラベル表示値(CSEC/1817)*aa[hrs]	yy
空調機器(家庭用)	マレーシア向け(2)	消費電力(冷房定格*365日)*aa[hrs/日] ^(注1)	yy
空調機器(家庭用)	フィリピン向け	PELP CSPF(Power Input×Daily Operating Hours(aa[hrs])×bb×F(cc)×dd)	yy
空調機器(家庭用)	中国向け	GB21455の計算式を使用	yy
空調機器(家庭用)	インド向け	インド期間エネルギーISEER(Bin aa[hrs/yr])	yy
空調機器(家庭用)	タイ向け	タイ年間消費電力SEER((CSEC/aa)×bb[hrs/yr])	yy
換気扇	循環ファン	(強消費電力[W]×aa[時間/日]+弱消費電力[W]×bb[時間/日])×cc[日/年]	yy
換気扇	有圧換気扇	風量換算消費電力[W]×aa[時間/日]×bb[日/月]×cc[月]	yy
換気扇	プロペラ	消費電力[W]×aa[時間/日]×bb[日/年]	yy

(注1) マレーシア規格(EER)

CSEC : Cooling Seasonal Energy Consumption, EER : Energy Efficiency Ratio, PELP : Philippine Energy Labeling Program, CSPF : Cooling Seasonal Performance Factor, ISEER : Indian Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER : Seasonal Energy Efficiency Ratio

2.2 環境配慮設計の取組みと目標設定

当社グループでは、環境計画2023を策定した2021年度から毎年、製品群別に定量目標を設定して、環境配慮設計に取り組んでいる。

取組みメニューは、表2に示すように、カーボンニュートラルとサーキュラーエコノミーの中で、それぞれ複数用意している。カーボンニュートラルには、年間消費電力量の削減、CO₂削減貢献量(日本LCA学会のガイドライン⁽²⁾)を基に算定の向上、製品使用時のGHG漏洩(ろうえい)量低減の三つの取組みがある。一方、サーキュラーエコノミーには、製品全体の軽量化やプラスチック使用量の削減、包装材の全体質量やプラスチック使用量削減など六つの取組みがある。

表2-環境配慮設計の取組みメニュー

取組みメニュー						
カーボンニュートラル	年間消費電力量の削減	CO ₂ 削減貢献量の向上	製品使用時のGHG漏洩量の低減			
サーキュラーエコノミー	製品全体の質量削減	製品のプラスチック使用量削減	製品の再生プラスチックの使用向上	包装材全体の質量削減	包装材のプラスチック使用量削減	包装材の再生プラスチックの使用向上

表2のメニューから製品群別に取組みが選択され、取組みごとに定められた指標に従って、目標値が設定される。例えば、年間消費電力量の削減では、次のとおり、新規開発モデルと前モデル(一つ前の旧モデル)の年間消費電力量の差分から導びき出される改善率が指標に用いられて、目標値が設定される。

$$\text{前モデル比改善率(\%)} = \frac{(\text{前モデルの年間消費電力量(kWh)} - \text{新規開発モデルの年間消費電力量(kWh)})}{\text{前モデルの年間消費電力量(kWh)}} \times 100$$

また、目標設定での製品の対象区分は、表3に示すように、製品群の中でも細分化される。このため、同じ製品群の中で、優れた環境性能を持つモデルだけを限定し、より高い目標値を設定することもできる。

表3-目標設定の対象区分と目標値

製品群名	目標設定の対象区分	目標値 年間消費電力量(改善率)
換気扇	換気扇(国内)	xx(%)
	換気扇(海外)	xx(%)
	浴室乾燥機	xx(%)
業務用・産業用換気送風機	有圧換気扇	xx(%)
パワーモジュール	DIIPM	xx(%)
	DIIPM+	xx(%)
	SLIMDIP	xx(%)
ディスプレイウォール	エンジン	xx(%)
	キューブ	xx(%)
	コントロールユニット	xx(%)
	プロセッサ	xx(%)
	DWコントロールユニット	xx(%)

DW : Display Wall

当社グループの環境計画2023では、2021年度以降の新規開発モデルを対象として、“製品使用時のCO₂削減量”と“製品使用によるCO₂削減貢献量”で、前モデル比で平均1%改善する目標を掲げて取り組んでいる。2021年度からは、e-Proシステムを導入して環境配慮設計を推進しており、図2に示すとおり、2022年度時点で2023年度の最終目標を上回る成果を挙げている。

今後も引き続き、e-Proシステムを活用しながら目標管理を実施し、省エネルギーや資源効率の向上に努める。

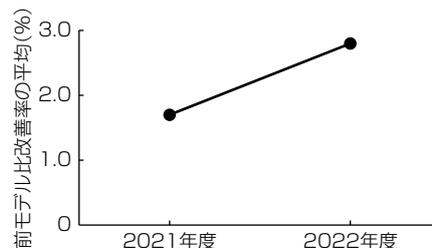


図2-新規開発モデルでの年間消費電力及びCO₂削減貢献量の前モデル比改善率の平均

3. 製品アセスメント

e-Proシステムは、新製品の企画／設計段階で、環境配慮設計を評価するための“製品アセスメント”機能を持つ。また、製品の特徴に応じた評価を行うために、異なるアセスメントシートを持つ。例えば、家電製品などの量産製品用のアセスメントシートには製品個別包装の評価項目があり、一方、大型製品用のアセスメントシートには輸送梱包(こんぼう)を対象を絞った評価項目がある。また、半導体製品の場合は、製造工程でのCO₂排出量が多いため、製造プロセスの効率化を評価する項目が追加されている。

これら環境配慮設計の評価項目は、当社の各製作所の代表者が集まるエコデザイン技術分科会で、定期的にレビューを行う。その際は、製品環境法規の情報や社外からのニーズなど、様々な情報が考慮される。2023年は、EU(European Union)の包装材と包装廃棄物の指令の改訂動向などを踏まえて、包装材の空間比率を評価する項目を追加した。今後も、法規制の動向を含めて社外の変化を予見しながら、評価項目を更新する。

また、図3に示すように、製品アセスメントの評価項目ごとにリンクが貼られており、製品設計者はその項目に該当する環境配慮設計の良好事例を閲覧できる。製品アセスメントのページでは、環境配慮設計の課題を見える化し、同時に、他製品の良好事例を表示することで、製品設計者が環境配慮設計に取り組みやすくなっている。



図3-e-Proシステムの製品アセスメント(左)と良好事例(右)の画面

4. 製品ライフサイクルのCO₂排出量

EUではサーキュラーエコノミー関連の法制化が進んでおり、2023年7月には電池と電池廃棄物の規則が公布された。その中には、CFPの開示要求も含まれている。EUを発端に、ますますCFPの開示を義務化する国が増える可能性がある。また、取引先などからも、製品ライフサイクルでのCO₂排出量データの提供依頼が増加している。しかしながら、ライフサイクル全体にわたって、CO₂排出量を計算するための一次データ取得は難しい。そこで、e-Proシステムでは、簡易的に製品ライフサイクルのCO₂排出量を計算する機能を設けた。

e-Proシステムは、登録された年間消費電力量、仕向地、製品や包装材の質量データなどを活用し、簡易的にCO₂排出量を計算する。製品使用段階の計算では、登録された年間消費電力量と仕向地のデータを活用する。年間消費電力量に、仕向地データを基に選択された地域別の電力排出係数をかけることで、CO₂排出量を自動計算する。また、製品使用段階以外でも、代表モデルのデータを引用しながら、簡易的にCO₂排出量を計算できる。

図4に示すように、製品ライフサイクルのCO₂排出量を表示させることで、製品設計者が、製品1台当たりのCO₂排出量や、環境配慮設計の改善によるCO₂排出削減量を、e-Proシステムで確認できるようになった。

段階	CO ₂ 排出量	
	(kg-CO ₂ eq)	(%)
調達	182.2	7.1
製造	100	3.9
製品輸送	50	2.0
使用	2,204.2	86.2
廃棄・リサイクル	20	0.8
リサイクル控除	-154.6	-6.0
合計(リサイクル控除考慮なし)	2,556.4	100.0
合計(リサイクル控除考慮あり)	2,401.9	94.0

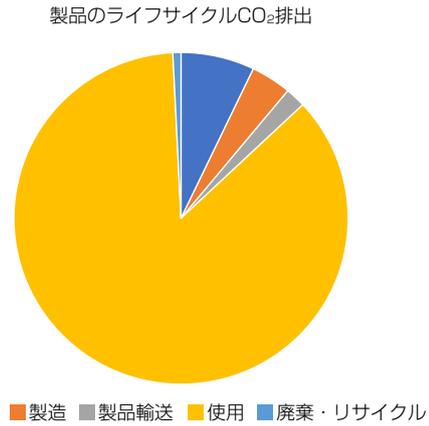


図4-e-Proシステムから出力された製品ライフサイクルのCO₂排出量計算結果

現在e-Proシステムでは、代表モデルのデータを引用して、簡易的に製品ライフサイクルのCO₂排出量を計算しているが、ライフサイクルの各段階でのCO₂排出量を算出するために必要になるデータを実測値に置き換えることで、より厳密な計算も可能である。今後は、CO₂排出量算出で必要データの実測値入力も進めながら、より正確な環境配慮設計の評価を進めていく。

5. む す び

カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーの関心の高まりによって、社外から様々な環境データの開示を求められるケースが増えており、当社グループはe-Proシステムを立ち上げた。e-Proシステムでは、製品に関する環境データの一元管理、開示データの算定・出力の自動化を行い、業務の効率化を図った。

また、当社グループは、e-Proシステムを活用して、カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミーに関する製品の目標管理や、環境配慮設計の課題の見える化を実施している。環境計画2023のスタートからは、e-Proシステムを導入して環境配慮設計を推進しており、2022年度時点で2023年度の最終目標を上回る成果を挙げることができた。

社外からのCFPの開示要求に対応するため、当社グループでは、e-Proシステムを使って、製品ライフサイクルのCO₂排出量の計算を始めている。また、製品設計者はe-Proシステムを使って、環境配慮設計の改善による製品ライフサイクル全体でのCO₂排出削減量を定量的に確認できるようになった。

当社グループでは引き続き、e-Proシステムを活用して製品の環境配慮設計を進めて、環境負荷のより少ない製品・サービスを社会に普及させていく。

参 考 文 献

- (1) 当社グループの環境規制対応力強化のための製品環境情報収集システム構築, 三菱電機技報, 97, No.1, 9 (2023)
- (2) 日本LCA学会: 温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン第2版 (2022)
https://www.ilcaj.org/lcahp/doc/guideline_ver2_.pdf

三菱電機株式会社