

ライフソリューションの最新技術

Latest Technologies for Life Solutions



野本 宗*
So Nomoto

*住環境研究開発センター長

要 旨

三菱電機は、ライフビジネスエリアの事業を通じて、あらゆる生活空間で、快適で安全・安心な環境を創造するソリューションプロバイダーになることを目指している。

環境負荷を低減し、資源を効率的に循環させるサーキュラーエコノミーへの取組み強化で、社会課題の解決を目指す。空調システムの保守・省エネルギー運用・リニューアルといった商品のライフサイクルを通じて、顧客価値の提供を目指す。持続可能な社会の実現、カーボンニュートラルとウェルビーイングの実現に貢献していく。

1. ま え が き

社会課題の一つとして資源枯渇が挙げられる。既に各所で素材リサイクルは進められているが、持続可能な社会実現に向けては、更に環境負荷を低減し、資源を効率的に循環させるサーキュラーエコノミーへの取組み強化が求められている。資源有効利用の観点から、省エネルギー性や耐久性、修理性、長寿命化などを考慮した製品設計に加えて、機器の運転状態を監視し、故障の予兆を早期に検知して修繕や部品交換することで、機器の省エネルギー性の回復や改善を図るとともに、長寿命化につなげる運用面での取組みも重要である。

エネルギー資源の観点では、空調機器の省エネルギー化に加えて、複数の空調機器を連携した空調システムの省エネルギー運用が重要である。あらゆる生活空間で居住者の快適性の確保も求められており、エネルギーマネジメントと快適空間創造を両立する取組みが重要である。

本稿では、当社ライフソリューションを実現するため、サーキュラーエコノミー、遠隔保守、エネルギーマネジメント、快適空間ソリューションの取組みと最新技術について述べる。

2. サークュラーエコノミー

この章では、サーキュラーエコノミーに関する事項として、関連法規制の動向、素材のリサイクル、製品の長寿命化について述べる。

2.1 サークュラーエコノミー関連法規制の動向

近年の世界的資源枯渇に歯止めをかけるため、EU(European Union)エコデザイン規制をはじめ、国内でも資源有効利用に関する法規制が進みつつある。エコデザイン規制では、製品設計段階から、省エネルギー性や耐久性、修理性、リサイクル性等の基準が定められて、これら法規への対応は、持続可能な社会の実現に向けた重要なステップになる。当社も、製品設計や製造プロセスの革新によって、環境負荷の低減と資源の効率的な利用を目指している。

2.2 再生プラスチックの活用

当社は、国内関連会社の㈱ハイパーサイクルシステムズ(HCS)及び㈱グリーンサイクルシステムズの高精度な分別技術と再生処理によって、自己循環型の素材リサイクルを進めている。家電4品目については、リサイクル法によって回収された製品を分解、分別・洗浄、粉碎・溶融して再生プラスチックを製造し、新しい製品の素材に利用するプロセスを確立している(図1)。更なる再生プラスチック適用拡大のため、家電や住設機器の意匠面への適用を目指して、外観品質を確保しつつ、環境配慮を想起するデザイン案を検討している。



図1-意匠面への再生プラスチック適用イメージ

2.3 保守・メンテナンスによる製品長寿命化への取組み

製品の長寿命化もサーキュラーエコノミーで重要な柱である。当社では空調機器をはじめとする製品に対して、機器の運転状態を示すデータを遠隔監視し、冷媒漏えいや機能変調等を早期に検知する技術を導入している(図2)。これによって、製品使用中の適切な時期にメンテナンスや部品交換をすることで、製品を長く使い続けることができる。換気機器の業務用ロスナイではパーシャルリノベーションを展開しており、既存機器の主要部品を部分更新することで、製造や運搬、機器の付け替えから廃棄時の資源削減等に伴うCO₂排出の削減、さらに省エネルギーや機能向上も同時に実現してい

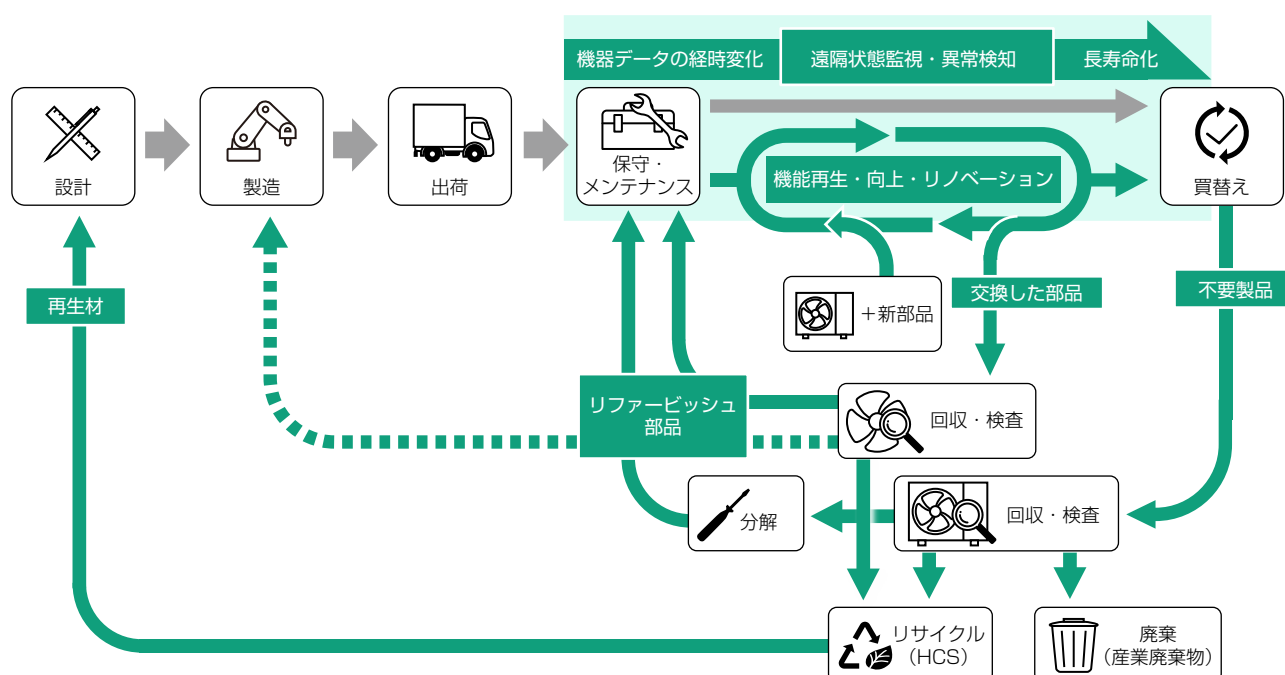


図2-サーキュラーエコノミーへの製品対応

る。これらの取組みは、持続可能な社会の実現に向けた重要なステップであり、資源投入と廃棄コストの削減、買替え費用の抑制やダウンタイムの最小化等、企業と消費者の双方にメリットをもたらして、社会課題の解決にもつながり得るサーキュラーエコノミーの新しい価値創造の形になる。

3. 遠隔保守

第一種特定製品（業務用冷凍空調機器）には、フロン排出抑制法によって3か月に1回以上の簡易点検が義務付けられている。一方、改正フロン排出抑制法で定められた基準に適合した遠隔監視システムは簡易点検の代替とすることが認められており、冷媒漏えいの早期発見や日常的な点検作業を減少させる目的で、遠隔監視システムの必要性が高まっている。

当社では2022年に、法律に定められた基準を満たす冷媒漏えい検知機能を搭載した遠隔監視システム“MELく～るLINK”をリリースした。遠隔監視システムは、**図3**に示すとおり、クラウドで空調設備から送信された運転データを用いて冷媒漏えいの有無を検知し、検知結果をWeb画面に表示する。冷媒漏えい検知方法については、検知指標があらかじめ決められたしきい値を超えた場合に冷媒漏れと判断するルールベース型を使用している。第一種特定製品のひとつであるビル用マルチエアコンでは、**図4**に示す冷媒回路の室外熱交換器の出口温度等から算出したものを検知指標として、検知指標が一定の回数以上しきい値を下回った場合に冷媒漏れと判断する仕様とした。しきい値は、冷房標準条件で冷媒漏えい率30%未満で検出できる設定とした。

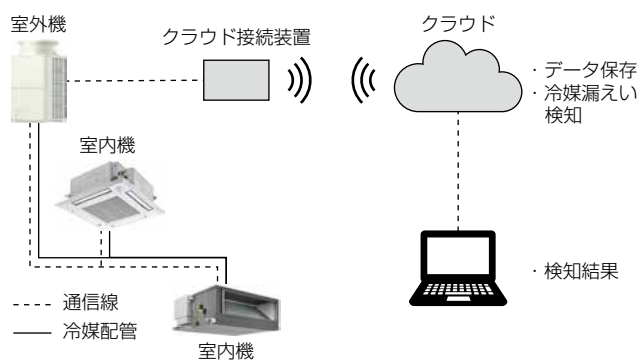


図3-遠隔監視システム(例)⁽¹⁾

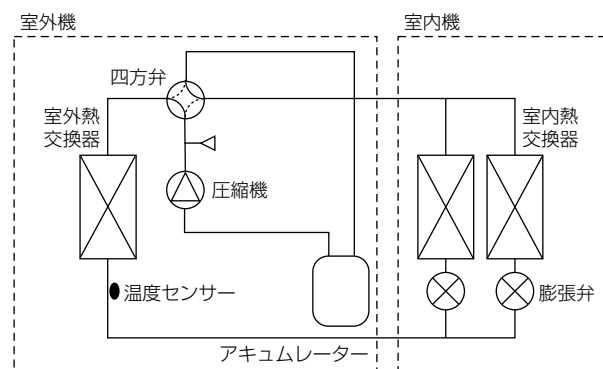


図4-ビル用マルチエアコン冷媒回路概略図⁽¹⁾

将来に向けて、機械学習を用いた検知技術の研究開発も進めている。機械学習はルールベース型と異なり、外気温度や空調機の動作に応じてしきい値が変化するため、真陽性率TPR(冷媒漏えいしているものを冷媒漏えいと判断する割合)が向上する(**図5**)。検知フローとしては、まず冷媒漏えい発生前の正常時に取得した運転データを用いて、検知指標を目的変数、圧縮機や膨張弁を含むアクチュエーターの制御信号値と空調機が取得した温度などを説明変数として学習し、目的変数の正常下限値を推論可能な推論モデルを作成する。学習には、決定木の勾配ブースティングの一種であるLightGBM⁽²⁾を使用した。推論モデル作成後、説明変数を使用して推論した検知指標の下限値をしきい値として、検知指標がしきい値を下回ったデータの比率(はみ出し率)が所定値になれば冷媒漏えいと判断する。冷媒漏えい率を0%(冷媒

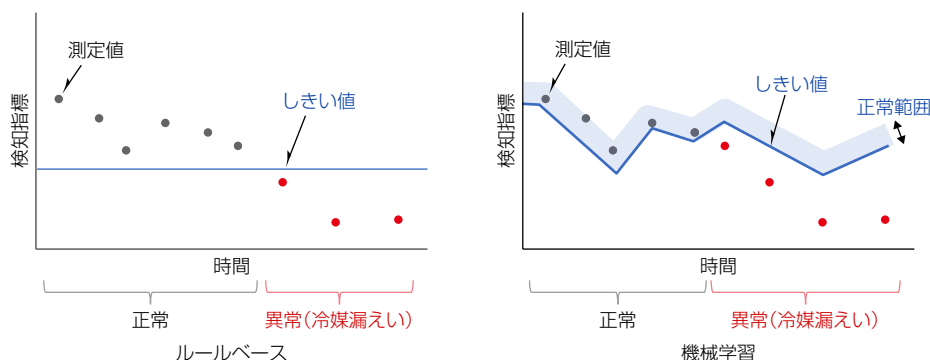


図5-ルールベースと機械学習の比較⁽¹⁾

漏えいなし=正常), 15%, 30%とした運転データを適用したところ, 冷媒漏えい率が大きくなるにつれてはみ出し率が増加した(図6)。冷媒漏えいと判定するはみ出し率を25%に設定することで, 冷媒漏えい率15%での早期検知ができる可能性が示唆された。今後, 機械学習による検知対象を室外熱交換器の劣化, 膨張弁の不良などに拡張し, 実用化を目指す⁽¹⁾。

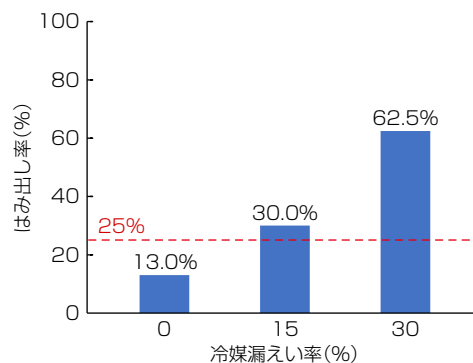


図6-はみ出し率変化⁽¹⁾

4. エネルギーマネジメント

ビル用マルチエアコンでは, 各種省エネルギーモードが搭載されており, 集中コントローラーで設定が可能になっている。冷房運転時, 負荷に応じて蒸発温度を上昇させて, 圧縮機入力を低減することによって運転効率を向上させて省エネルギーを実現するET(Evaporating Temperature)制御, 空調が低負荷, 高負荷の状態にかかわらず, 常に一定の割合で省エネルギーを実現するアドバンストパワーセーブ, 室外ユニットの運転能力の最大値を60/70/80/90%以内に抑えるように上限値を指定する能力上限セーブ制御などの省エネルギー機能が搭載されており, これらによって年間約15%^(注1)の省エネルギーを実現している。省エネルギーモードは集中コントローラーで設定が可能になっているが, 天候・外気温変化や建物躯体(くたい)蓄熱, 室内での人体や機器からの内部発熱などで, 空調負荷が時間経過によって変動するため, 最適な省エネルギーモードは状況によって異なる。また, 室内居住者の快適性もこの変動によって異なる。そのため, 現在の熱源機的能力を, 躯体蓄熱と内部発熱を含めた現在の空調負荷として, 過去データと天気予報に基づいて, 時間経過や外気温の変化による空調負荷変動を予測する。この予測された空調負荷に基づいて各省エネルギー機能を用いた場合の室温変動と省エネルギー率を推定し, 室温変動をユーザーが設定する許容範囲に収めつつ省エネルギー効果が最も高い制御を選定する自動省エネルギー制御を開発している(図7)。これによって快適性を損なわず, 省エネルギー効果を最大化することが自動で可能になる。この制御を用いて当社内のオフィスで実証運用し, これまでの運転と比較し, 冷暖房時に消費電力量16~20%の削減効果を確認している。

先に述べた制御技術とは別に, オフィス内執務者の快適性と空調の省エネルギーの両立を実現するため, 実際のオフィス環境で生成AIを活用する新しいサイバーフィジカルシステムを構築して評価している⁽³⁾。大規模言語モデル, マルチモーダル基盤モデル^(注2), 及びエージェントAI^(注3)を活用し, オフィス内の様々な環境パラメーター(例:室内/室外温度, レイアウト, 執務者の位置), 執務者の主観的な温熱快適性のフィードバック, これらのリアルタイムデータと過去のデータを生成AIモデルの入力プロンプトとして統合し, 最適な空調温度設定値を予測する。当社内のオフィスで実証運用し, これまでの運転と比較した場合, 大規模言語モデルを使用した方式では, 暖房時に消費電力量を最大約48%削減しながら, 執務者の快適性を最大約26%向上させることができています。さらに, エージェントAIを用いたシミュレーションでは, 暖房時の消費電力量を最大約51%削減することに成功した。オフィス内の空調機や執務者のデータを循環させて, 継続的に生成AIに最適な設定数値を求めさせるループは, 次世代型のサイバーフィジカルシステムとして国際的にも評価を得ている。今後も更なる省エネルギー化を推進するため, AIを活用したシステム構築を推進する計画である。

(注1) JIS B 8616のデータに基づいた当社試算

(注2) テキスト・画像・音声など複数の異なる形式のデータを同時に学習し処理できるAIモデル

(注3) 自律的に意思決定を行い処理できるAIモデル

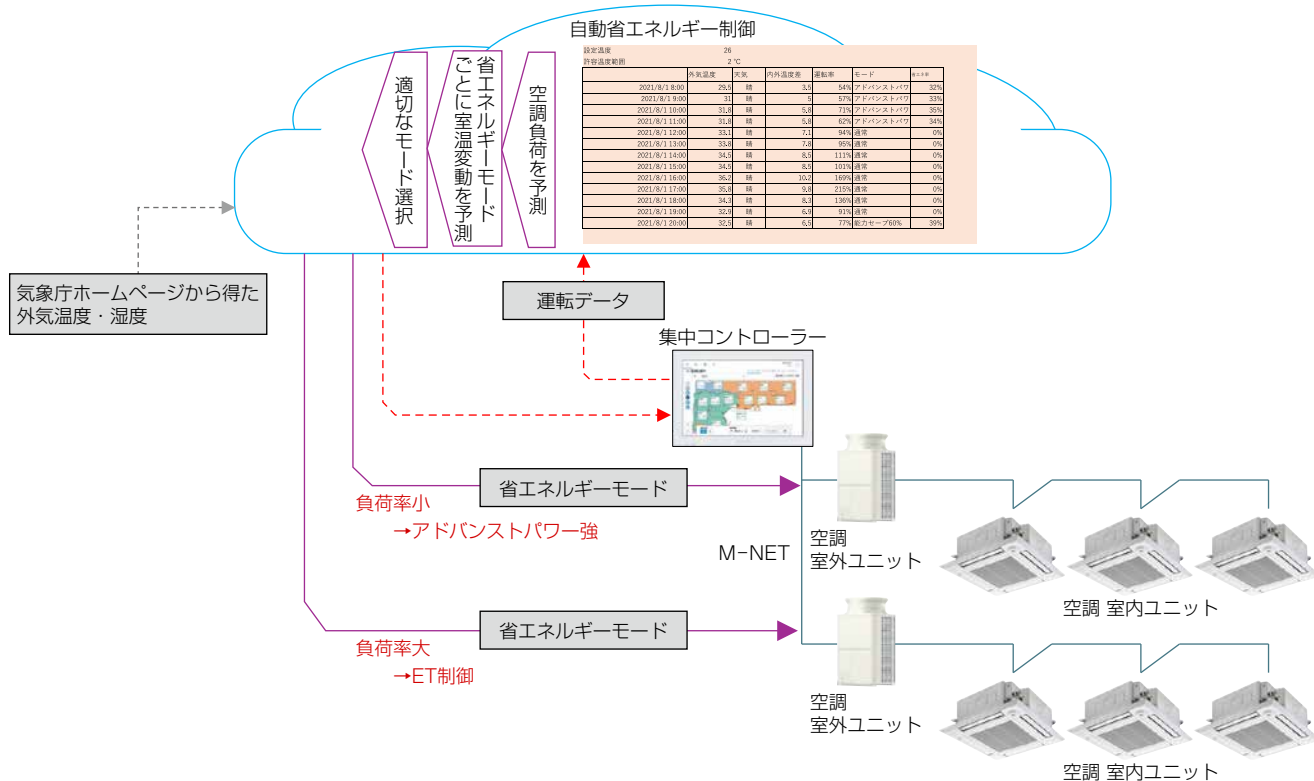


図7-最適省エネルギーモードの自動選択の例

5. 快適空間ソリューション

居住空間では、住宅の高性能化によって、必要なときに必要な部屋を空調することで十分に快適な住宅環境が構築できるようになってきた。そのため、必要なときに必要な部屋を空調するシステムとして、“Good Share!”(グッシェア)を2024年にリリースした。Good Share! は、リビングに設置されたルームエアコンとダクト式の送風装置を連携運転させて、リビングの空調空気を送風装置で玄関や脱衣所、ランドリールーム、ウォークインクローゼットなどへ送って、複数空間を空調する。ルームエアコンの高効率運転(室温安定時)を生かして、送風装置と連携することで、シンプルな機器構成及び気象情報に基づく自然エネルギー(日射)の活用によって“快適性”と“省コスト”を両立しながら、一年を通して心地よい環境を提供する。例えば冬季は、リビングのルームエアコンが停止中でも、ルームエアコンに搭載している温度センサーや送風先の空間に設置している環境センサーから得られる“室内の環境情報”と外部から得られる“気象情報”を基にクラウドが送風装置を自動制御し、自然エネルギー(日射)を活用して暖房する(図8)。リビングの空気をほかの空間に送ることで温度差を小さくするだけでなく、気流制御によって玄関の圧力を上昇させて隙間風を抑制し、玄関への花粉侵入を抑制する機能や、日中の日射熱や、冬の夜間、就寝中にリビングに残った暖気を利用した衣類乾燥アシストが可能である。今後もIoT(Internet of Things)を活用した住宅内の機器やセンサーとの連携によって、更に進んだ空間環境の構築を目指す。

非居住空間では、昨今のコロナ禍をきっかけに多くの企業で働き方改革が進められて、在宅勤務制度が広く普及し、それに伴ってオフィス環境への新しい取り組みも進められている。特に注目されて増えているのが、ABW(Activity Based Working)^(注4)である。ABWでは作業効率や生産性が高まる一方、誰がどこにいるか分からないなどの課題がある。こうしたABWの課題を解決するツールとして、当社では空調機の電波強度に基づいて、執務者が使用するパソコンの位置情報を検知し、クラウド上でデータ共有し、どこからでもオフィス利用状況を把握できる屋内環境可視化システム“MEL-IPS”を開発している。併せて、ビルの構造、断熱性などが異なる物件ごとにカスタマイズした設備機器制御を、誰でも簡単にノーコードで、居室環境の変化に応じた制御を試行できるテストベッドクラウドシステムを研究開発中である。このシステムでは、各種センサー値、設備機器の状態のほか、人の位置情報もクラウド上に集約し、環境データやエリア内の人数

変化に応じて、クラウドベースで設備機器を制御する構成にした。制御シナリオは、各機能ブロックをドラッグ&ドロップで配置して設定可能にすることで、誰にでも容易に扱えるユーザーインターフェースにしている。両システムは、現在当社のオフィスで実証運用中であり、今後執務者の状態(集中度、温冷感等)の検知“HMS”(Human Monitoring System)や好みの温度範囲に基づく最適な空調自動制御“POE(Post-Occupancy Evaluation)最適制御”などの開発中の内容と併せて、新たな機能を順次追加し、市場展開を検討していく予定である。

(注4) 仕事の内容に応じて執務者が効率的に業務するため、いつ、どこで、どのように働くかを自律的に選ぶ働き方

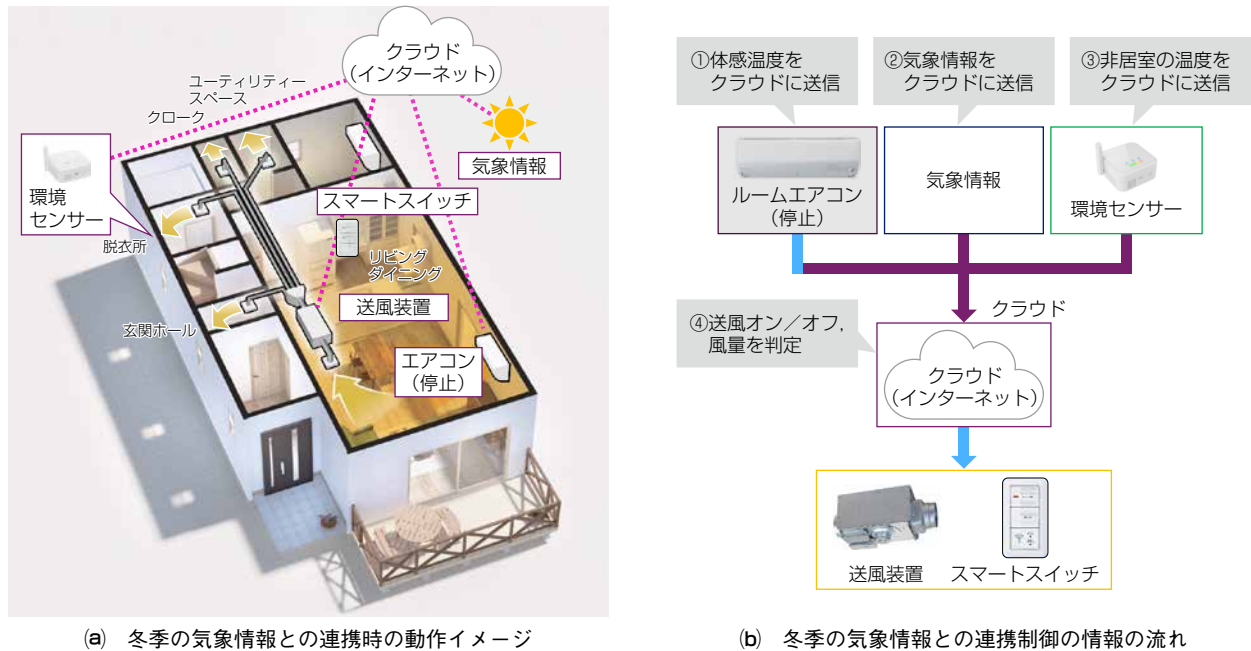


図8-Good Share! 冬季連携動作例

6. む す び

ライフソリューションの最新技術として、サーキュラーエコノミー、遠隔保守、エネルギーマネジメント、快適空間ソリューションの取組みを述べた。今後も当社は、あらゆる生活空間で、快適で安全・安心な環境を創造するライフソリューションを提供し、カーボンニュートラルとウェルビーイングの実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) Kato, H., et al. : Current Status and Future Outlook of Refrigerant Leakage Detection Technologies, The International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2023 (2023)
- (2) Ke, G., et al. : LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree, the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, 3149~3157 (2017)
- (3) Sawada, T., et al. : Office-in-the-Loop: an investigation into Agentic AI for advanced building HVAC control systems, Data-Centric Engineering, 6, e31 (2025)