

業務用VRF空調機の運用データ分析による 省エネルギーソリューション創出技術

Energy-Saving Solution Development for Commercial VRF Systems
Based on Operational Data Analytics

*先端技術総合研究所

要 旨

業務用VRF(Variable Refrigerant Flow)空調機を対象に、クラウドに蓄積される多物件運用データの横断分析と、物件ごとの建物モデルを要さない軽量なLo-Fi(Low-Fidelity)モデルによる省エネルギー効果事前見積り技術を開発した。この技術は、年間の運用データを複数パターンに自動分類して改善余地の大きい運転状態を特定し、対応する省エネルギー制御ソリューションの導入効果を運用データから算出する。海外オフィスのPoC(Proof of Concept)で、冷房運用の代表パターンで期間平均15.3%の消費電力削減見込みを事前見積りで示し、実機実証を進めている。この技術は、ソリューション適用判断を“検証してから効果を示す”順序から“効果見積りを先に提示してから検証する”順序へ組み替える道筋を拓く。

1. ま え が き

建築物の脱炭素化要請が世界的に高まる中、業務用ビルのエネルギー消費の半分近くを占める空調設備⁽¹⁾の運用最適化は中心課題の一つになっている。三菱電機が世界市場に展開する業務用VRF空調機の事業モデルも、機器売り切り型から、多数物件のクラウド監視・分析を通じて運用効率を継続的に改善するLCS(Life Cycle Service)型へ移行しつつあり⁽²⁾、制御導入前に省エネルギー効果を顧客に提示する機能への要望が高まっている。

特に中小規模のボリュームゾーン物件では、物件ごとの詳細モデリングやBEMS(Building Energy Management System)の新規導入は費用面で見合いにくく、クラウドで収集した運用データから、運用課題と省エネルギー効果を直接見極める技術が求められる。

当社は業務用VRF空調機を世界主要市場へ展開し、国内のIoT(Internet of Things)機器データ統合分析基盤“KOTOLiA”⁽²⁾、欧州の“MELCloud”，北米の“KENZACloud”を通じて多数物件の運用データを継続的に蓄積する基盤を構築してきた。

本稿では、これらのデータを活用してVRF空調機の省エネルギー価値を顧客へ届けるソリューション創出技術について述べる。この技術は、LCS型事業の運用最適化機能を加速する基盤技術と位置付けられる。

2章では、業務用VRF空調機の運用最適化に共通する構造的特性を整理し、今回の技術の3指針とソリューション創出サイクルを述べる。3章では、多物件運用データの横断分析と、物件ごとの建物モデルを要さないLo-Fiモデルによるエネルギー効率指標・省エネルギー制御導入効果の事前見積り技術を述べて、4章で海外オフィスでの実機適用PoC結果、5章で今後の展開について述べる。

2. 運用最適化の課題とソリューション創出指針

この章では、運用最適化の課題とソリューション創出指針について述べる。

2.1 運用最適化の構造的特性とソリューション創出3指針

業務用VRF空調機の運用最適化は、事業展開の前提として、次の四つの構造的特性を同時に踏まえる必要がある。すなわち、多物件性(世界各地に分布する大規模稼働母集団)、多様性(業種・規模・気候・運用方針)、クラウド接続化(運用データの継続的蓄積)、工数制約(中小規模物件1件当たりに割ける工数が限られる)の四つである。業界の先行取り組みは多物件データ活用やクラウド化を起点とするものが多いが、多様性と工数制約を同時に解いた運用最適化技術は限られる。当社はこれら四つの特性を同時に成立させるため、今回の技術の方針を次の3指針に整理した。

- ①多物件運用データの横断分析(診断)：個別ヒアリングや個別モデリングに依存せず、クラウドに蓄積される多物件の運用データを横断分析することで、業種共通課題と物件固有課題を切り分けて、多物件性と多様性を同時に扱う。
- ②Lo-Fiモデルによる効果事前見積り(提案)：物件ごとの詳細モデリングを回避し、クラウドに蓄積される空調機モニタリングデータだけで稼働状態・エネルギー効率指標COP(Coefficient of Performance)及び省エネルギー効果を推定するLo-Fiモデルを採用し、コスト制約下でも適用可能な事前見積りを実現する。
- ③統合管理システムの有無を前提としない制御(実装)：空調機・現場側コントローラー・当社クラウドの組合せで制御を完結させて、中小規模物件まで含めたボリュームゾーンに展開する。

2.2 ソリューション創出サイクル

3指針を統合し、①運用パターン分類(診断)、②Lo-Fiモデルによる効果事前見積り(提案)、③空調機・現場側コントローラー・当社クラウド連携による制御(実装)から成るソリューション創出サイクルを構成した(図1)。診断・提案・実装の3段を同一の運用データ基盤上で接続し、共通前処理パイプラインで診断結果と効果見積りを一体出力するため、物件・期間・運転条件に応じた提案を短いターンアラウンドで顧客に届けられる。制御適用結果は再びクラウドに蓄積され、診断・提案レイヤーの精度向上に還元する。この構成によって、従来主流の“物件に深く入り込んでから効果を検証する”順序を、“効果見積りを先に提示して物件で検証する”順序へ組み替えることが可能になる。

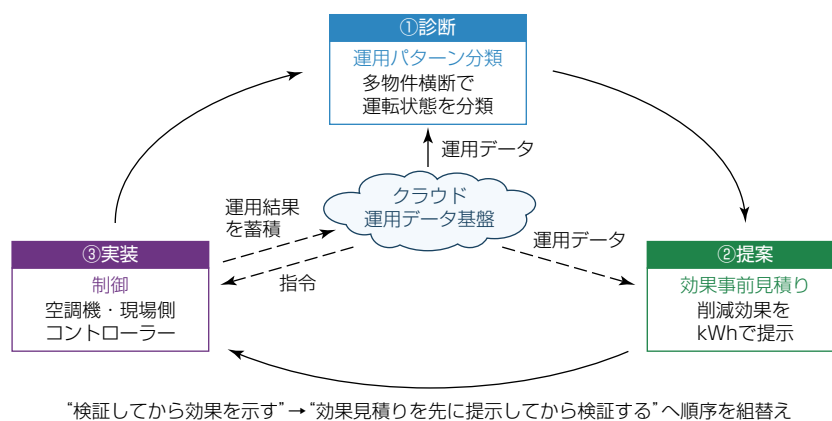


図1-業務用VRF空調機運用データ活用ソリューション創出サイクル

3. 多物件運用データの横断分析技術

クラウドに蓄積された運用データに対して業種・地域・運用条件を横断するパターン分類を適用し、運用課題を抽出する診断技術について述べる。

3.1 クラウド蓄積データに基づく可視化

当社クラウド基盤には、業務用VRF空調機の運転履歴・設定値・冷媒状態量等が蓄積されている。今回の技術はこれら既存データだけを入力とするため、物件側改修や追加センサーなしに分析を進められる。参考文献(3)の時系列データ分析技術は、連続運転と間欠運転のように出現頻度が大きく異なる運転状態も取りこぼさず同時に抽出できる。この分類アルゴリズムは、この技術をVRF空調機の運転モード・能力制御特性に合わせて発展させたものであり、室外機吸い込み温度、室内機稼働台数、冷暖房比率、負荷率など運用判断に用いる物理量を分類根拠として明示できる。これによって、運用条件の違いがCOPに与える影響を解釈可能な形で取り出せる。

3.2 Lo-Fiモデルによる省エネルギー効果事前見積り

2章で述べた3指針のうち、Lo-Fiモデルは、クラウドに蓄積される空調機モニタリングデータ(冷媒状態量・運転状態量・吸い込み／吹き出し温度等)と限定的な関係式だけで運転条件の変化が消費電力・COPへ与える影響を熱力学的関係から推定する。建物詳細モデルを要さず、新規物件への展開はデータ取り込みだけで適用可能になる。

省エネルギー制御の効果を、①能力適正化(過冷却・過加熱抑制)、②発停ロス低減(発停回数削減)、③熱交換効率向上(温度差・顕熱潜熱比の変化)の3要素に分解して算出する(図2)。各要素の寄与は3.1節の分類結果から代表運転条件・対象期間を選定してLo-Fiモデルで算出する。寄与率を物件別に把握できるため、主支配ロスに応じた施策優先度判断が可能になる。

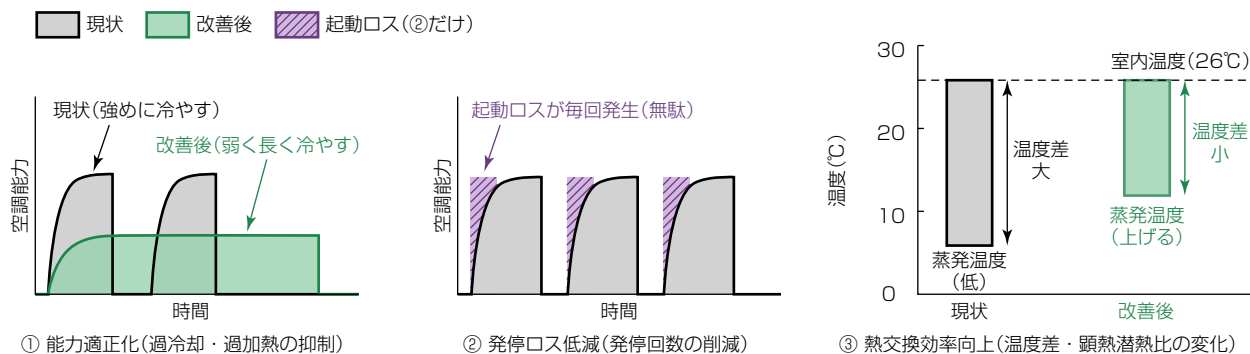


図2-Lo-Fiモデルによる省エネルギー制御効果推定

3.3 業種・地域横断COP可視化

今回の技術を当社クラウド基盤に蓄積された多数物件の運用データに適用した。分析結果は、横軸を消費電力量、縦軸をLo-Fiモデルで算出した消費電力の削減可能率(省エネルギー余地)で整理し、各点色を主支配エネルギーロス区分(発停ロス/能力ロス/熱交換ロス)で示した(図3)。断続運転中心の物件群は発停ロス支配で改善余地が大きい傾向にあり、連続運転中心の物件群では能力ロス又は熱交換ロスが主支配になり、省エネルギー余地は相対的に小さい。一方、同一消費電力帯でも運用実態によって主支配エネルギーロスは異なり、物件別に異なる施策提案が必要である。業種・地域情報と掛け合わせれば、業種・地域横断の運用課題と物件固有の運用課題を切り分けることも可能になる。これによって、どの物件のどの運用課題に提案リソースを優先配分すべきかを事前に判断できて、限られた提案工数を改善余地の大きい対象に集中させることができる。

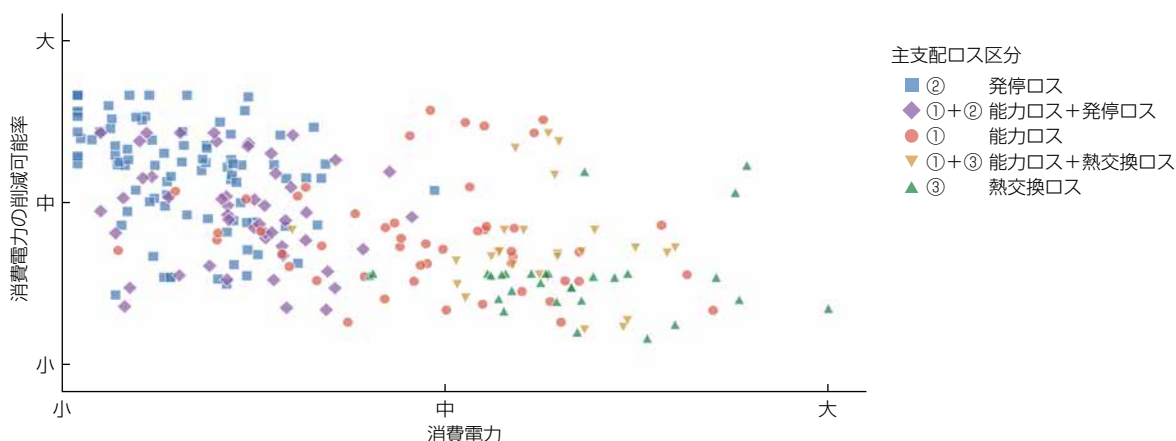


図3-業務用VRF空調機多物件運用データの省エネルギー余地分布(主支配エネルギーロス区分による色分け)

4. PoCによる多面的効果検証

海外オフィスでのPoCでは、3章で述べた診断・事前見積り技術を適用し、運用課題の可視化と省エネルギー余地・改善手段の提示、さらにクラウドから制御設定値を送信する制御の試験適用までを検証している。現地チームと連携し、ダッシュボードによる診断・事前見積りの運用評価から制御適用までを一貫して確認できる構成とした。

4.1 Lo-Fiモデルによる省エネルギー効果の事前算定

中規模ビル向けVRF空調機の、代表運用パターンに属する冷房運用データに対して、現状運転と省エネルギー制御適用後の改善効果をLo-Fiモデルで算出し比較した。期間平均15.3%、最大24.2%の消費電力削減見込みを事前見積りできることを確認し、運用データだけを入力とした物件単位の省エネルギー効果を制御導入前に把握できることを実環境で示した。

4.2 運用課題の可視化と改善余地の提示

省エネルギー効果の事前算定結果と運用パターン分類結果を統合可視化する手法を構築した(図4)。図4の左図からは、夏期の高COP帯(緑)から冬期のCOP低下(橙(だいだい)～赤)へ至る季節変動と、稼働時間帯(おおむね7～18時)の日々のばらつきを俯瞰(ふかん)できる。図4の右図では、図4の左図に示した運用パターンごとの年間効率指標^(注1)への寄与を冷房・暖房別に定量提示しており、代表的な冷房運転パターン(P3)が年間効率改善への寄与が最大であることが読み取れる。これによって“どの運転パターンが年間効率を下げているか”“改善時にどの程度の年間効率向上が見込めるか”を顧客と段階的に共有できて、現地担当者とともに物件特性に応じた改善策の組成プロセスを検証中である。

(注1) 通年運用データから算出した季節積算COP(実運用ベースSEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio)/SCOP(Seasonal Coefficient of Performance))

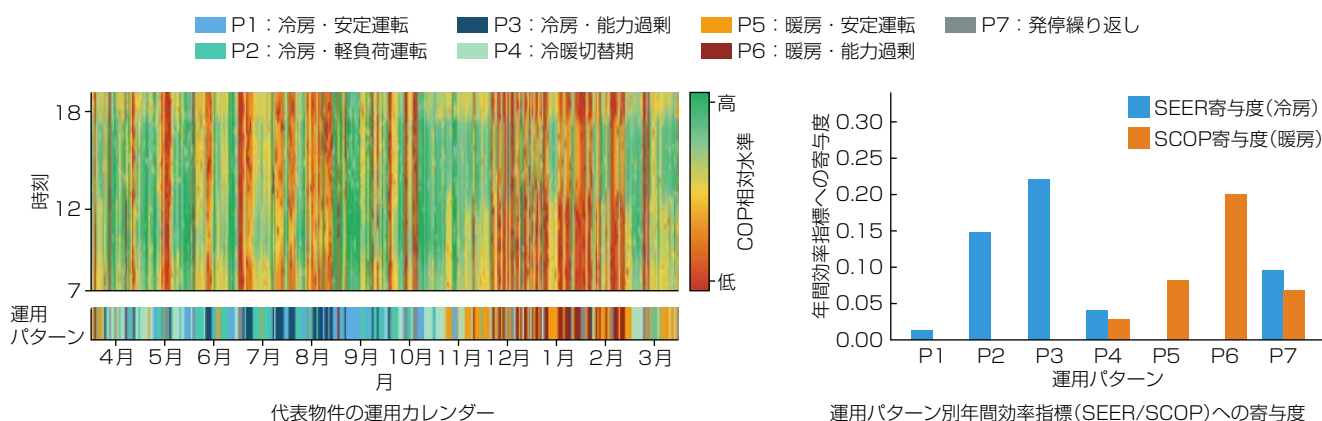


図4-代表物件の運用カレンダーと運用パターン別年間効率指標寄与度

4.3 制御による効果検証

事前見積りの事後検証は、通常制御、省エネルギー制御適用、改善見込みの三者間で、同一の能力・吸い込み温度・外気温条件下での消費電力量を比較する評価手法を構築中である。連続運転時間が短い場合の誤差や起動直後の能力推定誤差への対処を含めて、冷房期・暖房期の実機運用データに基づいて継続的に評価を進める。

5. む す び

業務用VRF空調機のクラウドデータ分析による省エネルギーソリューション創出技術について述べた。この技術は、①横断パターン分類(診断)、②Lo-Fiモデルによる効果事前見積り(提案)、③空調機・現場側コントローラー・当社クラウドによる制御(実装)の3段から成るサイクルを構成し、追加センサーや個別モデリングを要せず制御導入前に省エネルギー効果を事前見積りできる点に特長がある。海外オフィスでのPoC(中規模ビル・冷房期)では、代表運用パターンで期間平均15.3%・最大24.2%の消費電力削減見込みを事前見積りできることを確認した。

今後は、対象機種・地域の拡大に加えて、スケジュール運転・デマンド応答等への展開と、運用パターンに応じた制御アルゴリズムのチューニングを進めて、“効果を後で測る”から“効果を先に示して、顧客とともに育てる”運用最適化の姿を築いていく。

参考文献

- (1) 国際エネルギー機関：The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning, IEA Publications (2018)
- (2) 石原 鑑：ライフソリューションを実現するIoT基盤の進化, 三菱電機技報, **98**, No.10, 2-01～2-07 (2024)
- (3) 今井 健, ほか：監視制御データからのプラント運転パターン分類手法および分類パターンの解釈支援手法の検討, 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会, OS1-18 (2021)

~~~~~