

業務用空調・冷熱製品の 遠隔AI不調検知技術

Remote AI-Based Anomaly Detection Technology for Commercial
Air-Conditioning and Refrigeration Products

*IoT・ライフソリューション新事業推進センター

要 旨

業務用空調・冷熱製品では、機器停止による事業影響の回避、保守人材の不足、及びフロン排出抑制法(フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律)等の法規制対応といった観点から、遠隔監視による不調検知への需要が高まっている。従来のルールベース手法では、機器特性や配管長・高低差等の設置条件に応じてしきい値を調整する必要があり、機種・現場によっては調整に多大な工数を要する場合があることが課題であった。今回の研究では、運転データから正常範囲をAIで推定することで、機器・設置条件に依存せず相対的な性能低下を捉える不調検知手法を開発した。事前の詳細情報を必要とせず、不調を予兆段階で数値化することで、計画的な保守対応を可能とする。実機評価によって、ルールベース手法と比較して適用範囲の拡大を実現するとともに、予兆検知の有用性を確認した。

1. ま え が き

業務用空調・冷熱製品は、商業施設・事務所・工場・データセンターなど、社会の様々な現場で快適性と事業継続性を支える基盤設備である。これらの設備では、空調の停止が施設の運用や事業に直接影響を及ぼすため、故障を未然に防ぐ予防保全の重要性が高い。

一方、保守を担うサービス業者では人材不足が深刻化しており、限られた人員で多数の機器を効率的に維持管理することが求められている。また、フロン排出抑制法によって、業務用冷凍空調機器には定期的な点検や簡易点検が求められ、遠隔監視システム(図1)による機器の状態把握への期待が拡大している。こうした背景から、故障による設備停止を未然に防ぐ遠隔不調検知技術の重要性が増している。

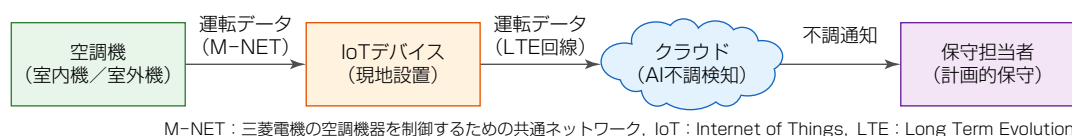


図1-遠隔監視システムの全体構成

当社はこれまで、冷凍サイクルの理論に基づくルールベース手法による冷媒漏えい検知技術を開発し、ビル用マルチエアコン、チラー及び冷凍機への搭載を進めてきた⁽¹⁾。この手法はビル用マルチエアコンで、JIS B8616で定められた試験条件下で冷媒量が30%減少するまでに漏えいを判定可能であり、フロン排出抑制法で義務付けられた簡易点検の代替手段として活用できることが認められている⁽²⁾。

しかしながら、ルールベース手法には機器特性及び設置条件に依存しない不調検知の実現という課題が残されていた。

本稿では、機械学習を活用することで機種・設置条件によらず運転データから不調を捉える検知技術(AI不調検知技術)と、事業化に向けた取組みについて述べる。

2. 従来のルールベース手法と課題

この章では、従来のルールベース手法と課題について述べる。

2.1 ルールベース手法による冷媒漏えい検知

冷媒が不足すると、冷凍サイクル内で冷媒が凝縮する熱交換器(凝縮器)に存在する液冷媒の量が減少し、凝縮器出口側の過冷却度(SubCool: SC)が低下する(図2)。当社のルールベース手法では、運転状態が安定している区間を抽出した上で、SCがあらかじめ設計したしきい値を下回る頻度に基づいて冷媒漏えいを判定する。冷凍サイクル理論に基づいて設計されたしきい値によって、運転条件のばらつきの影響を抑えつつ、安定した検知性能を確保している。

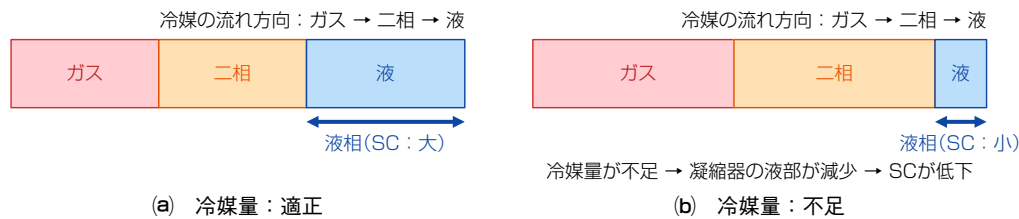


図2-凝縮器内の相状態とSC

2.2 ルールベース手法の課題

ルールベース手法には、次のような課題があった。

第一に、機器特性差への対応である。空調機の機種・容量・圧縮機構構成によって、SCを含む運転特性は異なるため、機種に応じてしきい値の調整が必要になる場合がある。

第二に、設置条件差への対応である。配管長、室外機と室内機の高低差、現地での冷媒追加充填(現地チャージ)量等は施工現場ごとに異なり、これらが運転特性に影響を与えるため、しきい値設計時に基準とした標準的な設置条件からの差が大きい場合に検知性能が低下する。

これらの課題に対しては、現場ごとに機器情報を収集してしきい値を再設計する手段が考えられるが、機種・現場の多様性を考慮すると、運用上現実的ではない。そこで、機器・設置条件によらず運転データだけから不調を捉えるアプローチとして、機械学習を活用した検知技術の開発に着手した。

3. AI不調検知技術

この章では、AI不調検知技術について述べる。

3.1 設計思想

機器・設置条件への依存を排除するため、提案手法では運転データから正常範囲をAIで推定し、その範囲からの乖離(かいり)量を不調スコアとして数値化する方式を採用した(図3)。同一機器・同一現場での正常時データから当該条件固有の正常範囲を学習させることで、機器特性や配管長・高低差・現地での冷媒追加充填量等の設置条件の影響を学習データに自動的に取り込むことができる。

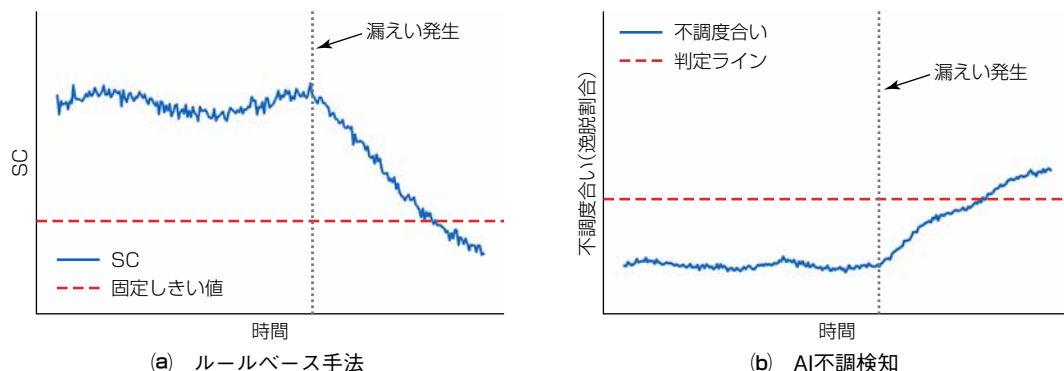


図3-ルールベース手法とAI不調検知の比較

3.2 処理フローと検知の仕組み

提案手法は学習フェーズと推論フェーズで構成される。

学習フェーズでは、正常運転時の運転データから、外気温度等の運転条件ごとに想定される検知指標(SC等)の正常範囲を機械学習によって推定するモデルを構築する。機械学習手法には勾配ブースティング決定木の一つであるLightGBM⁽³⁾を採用し、運転条件と検知指標の非線形な関係を効率的に学習できるようにした。

推論フェーズでは、運転中の測定値が、当該運転条件で推論された正常範囲からどの程度乖離しているかを算出し、不調スコアとして出力する。スコアの大きさが不調の進行度合いを表す指標になる。

3.3 機器・設置条件に依存しない仕組み

ルールベース手法では設計時に固定のしきい値を用いるのに対して、提案手法では学習データから現場固有の正常範囲を推定する。このため、機種差・配管長差・高低差・現地チャージ量差は学習過程で自動的に吸収され、現場ごとの個別調整を必要としない。事前に詳細な機器情報を収集することなく、汎用的に適用可能である。

3.4 検知対象の拡大

ルールベース手法は、冷凍サイクル理論に基づいて個別に設計するため、主に冷媒漏えいの検知を対象としてきた。これに対して提案手法では、説明変数及び目的変数を空調分野の技術知見に基づいて選定することで、冷媒漏えいに限らず、圧縮機の不調、室内機・室外機の伝熱不良、膨張弁等の動作不良といった多様な不具合の予兆検知へ適用範囲を拡大できる。これによって、原因を限定せず冷凍サイクルの動作点の変化として不調を捉えることが可能になる。

3.5 ユーザーへの提供価値

検知結果はダッシュボード上で不調スコアの時系列推移として可視化され、保守担当者は不調の予兆段階から進行状況を把握できる(図4)。これによって、突発的な機器停止を待たずに計画的な保守対応が可能になり、保守人員の効率的な配置と、エンドユーザーの事業継続性向上に寄与する。

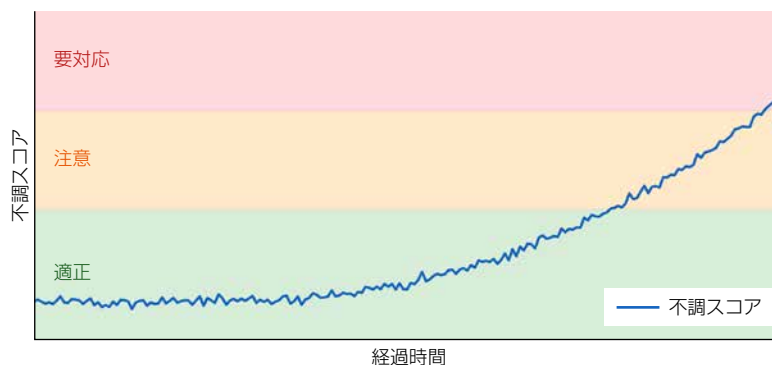


図4-不調スコアの時系列推移(可視化例)

4. 評価結果

実機を用いた評価で、提案手法はルールベース手法と同等の冷媒漏えいに対する検知性能を維持できることを確認した。それに加えて、ルールベース手法では標準的な設置条件からの差が大きい場合に性能が低下する配管長や設置高低差の異なる現場でも、提案手法では追加調整なしで不調検知が機能することを確認した(表1)。

また、不調スコアの時系列推移を確認することで、突発的な異常に至る前に段階的な性能低下を捉えることができ、計画的保守の起点になる予兆検知としての有用性が確認できた。

表 1-ルールベース手法とAI不調検知の比較

項目	ルールベース手法	AI不調検知
しきい値の設定	必要に応じて調整が必要	運転データから自動推定
設置条件への対応	想定範囲超で性能低下	学習によって自動吸収
事前情報の要否	機器スペック等が必要	不要
検知出力	漏えい有無の判定	不調スコア(予兆の数値化)

5. 事業化に向けた取組み

AIを活用した検知技術は、入力に対する出力の挙動が説明困難になりやすく、従来手法と同じ考え方で品質を保証することが難しいという特性を持つ。このため事業化に当たっては、AI特有の品質リスクを管理する新たな開発管理の枠組みが求められる。具体的には、研究開発・事業・品質保証の各部門が、顧客が許容できる検知性能を見据えた共通の判断基準の下で意思決定を行う必要がある。

当社では、社内のAI品質ガイドラインを適用し、AI開発ステージごとに役割と判断基準を整理した(図5)。これによって、研究フェーズから事業化、市場運用までを一貫した品質マネジメントの下で推進する体制を構築した。

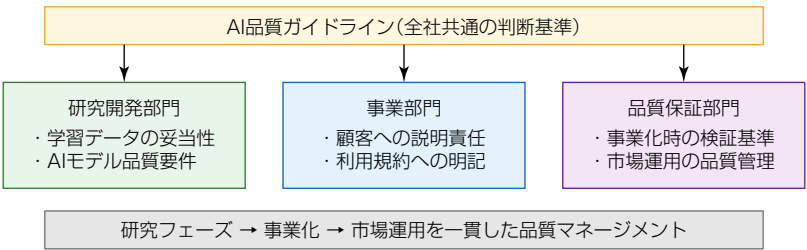


図5-AI品質ガイドラインに基づく開発体制

6. む す び

業務用空調・冷熱製品を対象として、機器特性及び配管長・高低差等の設置条件に依存しない遠隔AI不調検知技術を開発した。運転データから機器・現場固有の正常範囲をAIで推論することで、事前の詳細情報や個別調整を要さず、不調を予兆段階で数値化することが可能になった。

この技術は、遠隔監視サービスを通じて、検知結果に基づくサービス対応まで一貫して提供することで、エンドユーザーの安心・安全な空調運用に貢献していく。

今後はAIモデルの更なる高度化と、対象機種・検知対象の不具合の拡大に取り組んでいく。

参 考 文 献

(1) 加藤春実, ほか: 冷媒漏えい検知技術の現状と今後の展望, 環境と新冷媒 国際シンポジウム2023, TS23 (2023)
(2) 一般社団法人 日本冷凍空調工業会: JRA GL-17 業務用冷凍空調機器の常時監視によるフロン類の漏えい検知システムガイドライン (2021)
(3) Ke, G., et al.: LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree, NIPS' 17: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, 3149~3157 (2017)