

# AI技術“Maisart”を活用したビル用マルチエアコン

守安洋志\*  
Hiroshi Moriyasu  
佐藤 靖\*  
Yasushi Sato  
尾花弘章\*  
Hiroaki Obana

Multi Air Conditioners for Building Utilized AI Technologies "Maisart"

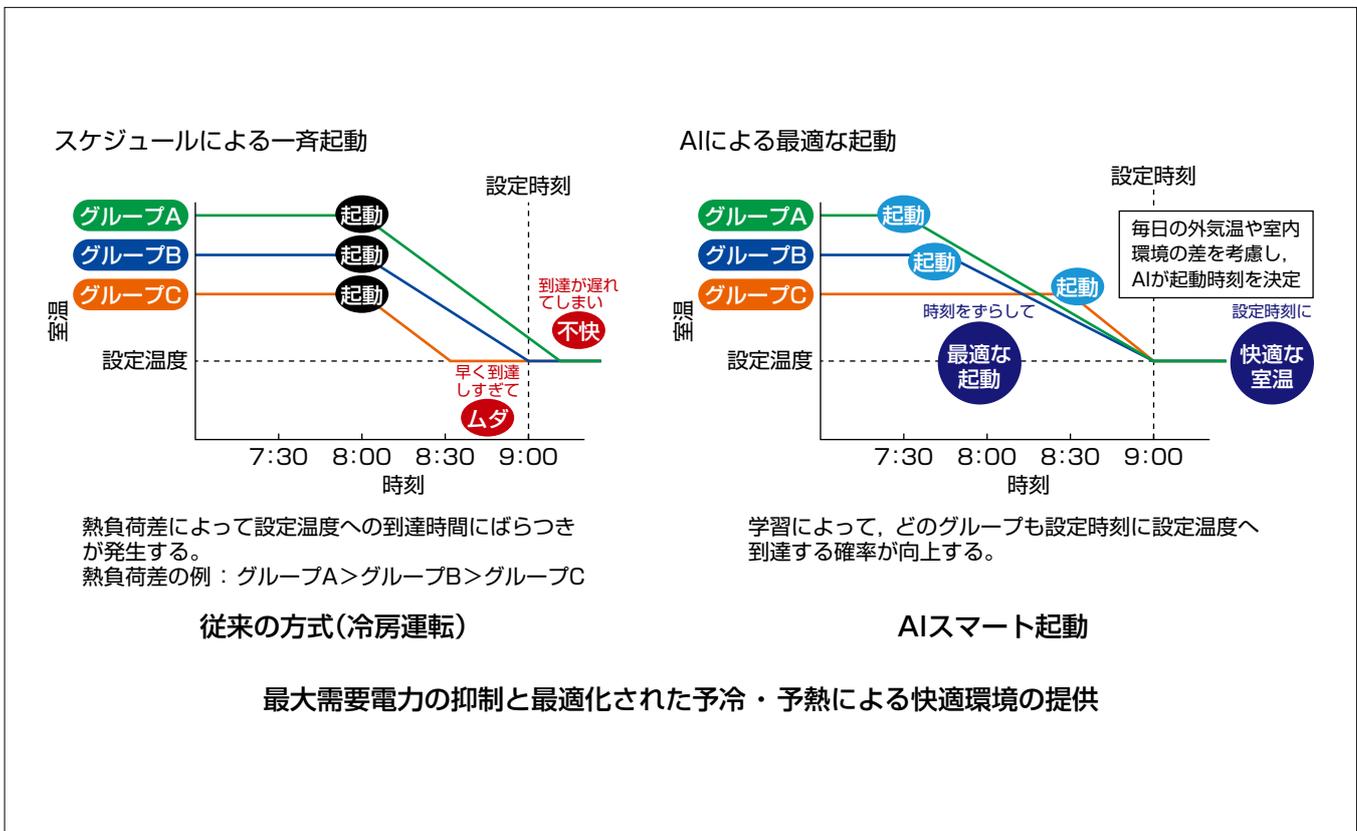
## 要 旨

三菱電機は、新築・既築を問わず空間や使用環境に合わせた最適空調を実現するビル用マルチエアコンを多数開発し、市場へ供給してきた。

省エネルギー性では、最高峰の“グランマルチ”と新提案の“シティマルチY GR[高効率EXシリーズ]”に、効率の優れたマルチポート機構圧縮機を搭載した。管理性では、空調冷熱総合管理システムとの連携によって手軽な省エネルギー・スケジュール管理等を実現した。快適性でも、ホテルに最適な“天井埋込形[低騒音タイプ]”に速冷・速暖機能をプラスした。高暖房能力で好評の“ズバ暖”シリーズも、寒冷地向けに-15℃でも定格暖房能力を発揮する“ズバ暖マルチ”に加えて、寒めの地域向けに-7℃でも定格暖房能力を発揮する“ズバ暖マルチ7”を展開している。

今回、省エネルギー性、管理性、快適性といった従来の強みを更に結合・進化させて、新たな競争軸を創出していくためにビル用マルチエアコン向けAI(Artificial Intelligence)技術を開発した。当社のAI技術“Maisart (Mitsubishi Electric's AI creates the State-of-the-ART in technology)”を活用し、軽量化したアルゴリズムを空調冷熱総合管理システムへ実装したことによって、製品が使用される環境を現地システムだけで自己完結的に学習し、より最適化されたパフォーマンスを発揮できるビル用マルチエアコンを実現している。

これによって、より簡単に、各室内機の実際の熱負荷に基づくシステム起動と、最大需要電力の抑制を実現でき、最適化された予冷・予熱による快適環境を提供できる。



## AI技術“Maisart”によって最適な起動時刻を自動的に決定する“AIスマート起動”

機器の知見を用いて従来収集できているデータから学習に必要なパラメータを選別し、データ収集コストを下げながら課題を解決している。

## 1. ま え が き

ビルなどの大型施設では、一日を通じて快適な室内環境を提供するため、空調機器の予冷・予熱運転を考慮した起動時刻を手動で設定している。しかし、室温や外気温によって設定温度への到達時間が異なるため、空調機器の起動が早すぎると過剰な電力消費につながり、起動が遅すぎると施設の使用開始時刻までに設定温度に到達しないなど、省エネルギー性と快適性の両立に課題があった。

当社は今回、業界で初めて<sup>(注1)</sup>空調冷熱総合管理システムにAI技術を搭載し、AIが学習した過去の運転データから使用環境に合わせた最適な起動時刻を自動設定することで、電力消費の無駄がなく、室内機ごとに快適な室温を提供することを実現した。

本稿ではAI技術開発から、空調冷熱総合管理システムへ量産実装するまでのアプローチを述べる。

(注1) 2020年2月27日現在、当社調べ、ビル用マルチエアコンで。

## 2. ビル用マルチエアコンへのAI適用

### 2.1 従来の最適起動制御

これまでスケジュールを手動で設定することで、予冷・予熱の運転を実施してきたが、設定温度の到達時刻に差異が出るという問題点があった。

これを解決するため、当日の室温と設定温度の差異から設定時刻に設定温度になるように空調機の運転時刻を制御する最適起動制御を空調冷熱総合管理システムで実現してきた(図1)。この最適起動制御では、快適性の向上を主目的にして、過去数日の運転データから温度変化を算出して、当日の起動時刻を算出するという方式を採用している。

### 2.2 従来の最適起動制御の課題

ビル用マルチエアコンが利用されるテナントビルで、一年のピーク電力が冬期の朝一になる場合が報告されている<sup>(1)</sup>。ピーク電力が発生する日は長期休暇明けなどで、室内の

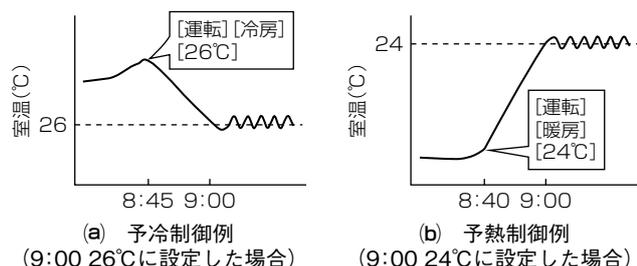


図1. 最適起動制御の動作

什器(じゅうき)が冷え込んでおり室内の熱負荷が大きく、外気温度が低いという場合が多い。この場合、従来の最適起動を活用して予暖運転を行っても、設定温度到達までに時間がかかり、消費電力が大きくなってしまいう課題があった。また、過去数日の温度変化とは異なる温度変化を行うために起動時間の追従性が低下する課題があった。

温度変化への追従性向上及び起動時間重複によるピーク電力の削減のため、“AIスマート起動”を実現した。

## 3. AIスマート起動

空調機が設置される環境は多岐にわたり、それぞれの環境に最適化させた空調機の製造は困難である。空調機が設置された後に最適化する手段として、機械学習を適用した。

### 3.1 パラメータの選定

機械学習へ入力すべきセンサデータの選定を行った。空調システムへの導入を前提にした場合、学習負荷の削減、データ保存容量の削減を行う必要がある。

空調システムとして、保持するデータの洗い出しを実施後に、その中から空調空間の温度変化に影響を与えるパラメータ、空調機が発揮可能な能力に影響を与えるパラメータの選定を行った。それぞれのパラメータを入力にした場合、各パラメータのとり得る範囲が大きく、学習までの時間がかかって、目的の精度を達成するまでに時間がかかってしまうという課題があった。図2に示すように、データをそのまま利用するのではなく、機器知見を基に、データに合わせた前処理を実施することで、入力データの圧縮を行って、学習負荷の削減を実施した。

### 3.2 学習の前処理

予冷・予熱を正確に実施するためには、熱負荷を推定する必要があるが、設置されるビルの断熱性能や室内環境の利用方法によって熱負荷が大きく変わる。そのため、事前学習ができず、設置された後に学習を行う必要がある。しかし、機械学習にはある程度のデータの取得が必要であり、すぐに安定して機能が使えないという課題がある。これを解決するために、学習データの拡張を行った(図3)。

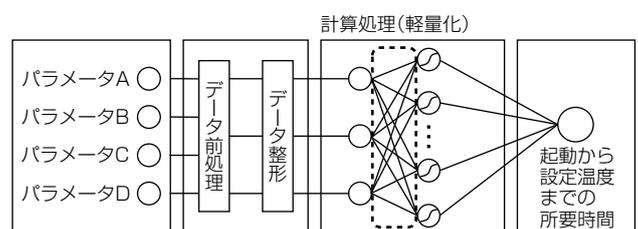


図2. パラメータ選定フロー

数日分の起動データから空調機の動作特性に合わせた仮想データを生成し、空調機の使用環境の特性を学習させる。この場合、精度の低下が懸念されるが、実データがたまることと実データを正として学習を進めることで、素早く学習して徐々に精度が向上する学習の構築を実現した(図4)。

### 3.3 空調制御内容

朝の快適性を保ちながら、冬の朝一のピーク電力を抑えたいというユーザーのニーズに合わせて、設定時刻に設定温度になるように起動時間を制御しつつ、運転能力を抑えて高効率帯で動作させることでピーク電力を削減する制御方式を検討した。設定温度まで温度を変化させていくには、室内の内部負荷と室外から流入する外部負荷を取り除く必要がある。この制御では、空調機が保持するパラメータを用いて、この熱の量を間接的に予測している(図5)。

予測した空調負荷を活用し、空調機の起動タイミング、動作させるアクチュエータを決定することで、空調能力を決定して制御を実現している(図6)。

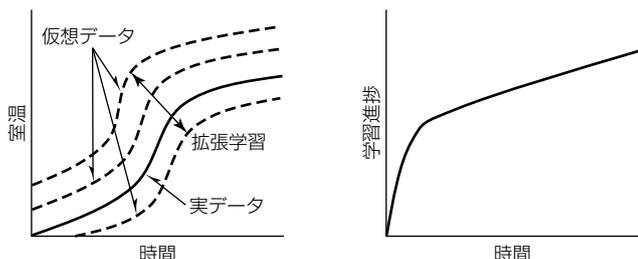


図3. 学習データの拡張

図4. 学習進捗

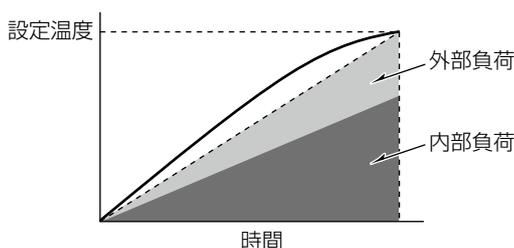


図5. 熱負荷の推定

## 4. 空調冷熱総合管理システムへの量産実装

### 4.1 空調冷熱総合管理システム“AE-200J”への実装

3章で述べた先行開発フェーズでは、パソコン上でAIスマート起動の動作検証を行っていたが、量産展開するに当たってAIスマート起動を空調冷熱総合管理システムAE-200Jに実装する必要がある。図7に動作イメージを、図8にAE-200JのAIスマート起動設定画面を示す。具体的には、AE-200J上でAIの推論処理と学習処理を実施するほか、量産品の品質保証手法を確立する課題があった。これらの実装の中で直面した二つの課題について述べる。

一つ目の課題はAE-200Jの処理性能である。技術確立のフェーズではパソコン上でAIを動作させていたため、高性能なCPUや大容量のRAM(Random Access Memory)、ストレージを用いることで、演算能力や運転データの保存領域を確保することが可能であった。一方、AE-200Jは、空調機器の監視操作に特化した組み込み機器であるため、パソコンのように十分なリソース確保はできない。実際に、AE-200J上でAIの学習処理を動作させると、液晶画面の描画やタッチ操作などに影響が出ることが分かった。AIの学習処理の処理負荷は、“学習回数”と“学習処理時間”の組合せによって決まる。学習回数を多くするとAIの推論精度が向上するが、学習処理時間は長くなる。AIスマート起動はオフィスビルなどの環境下で毎朝、予冷・予熱運転を実施することを想定した機能であるため、翌日までに

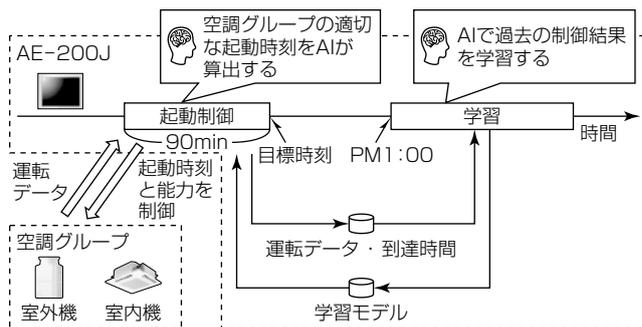


図7. AIスマート起動の動作イメージ

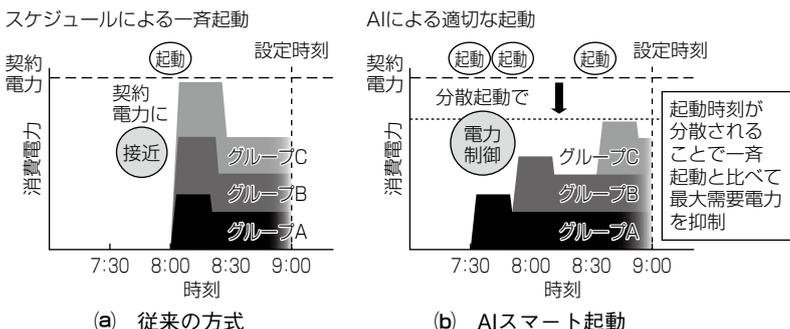


図6. 制御時動作イメージ

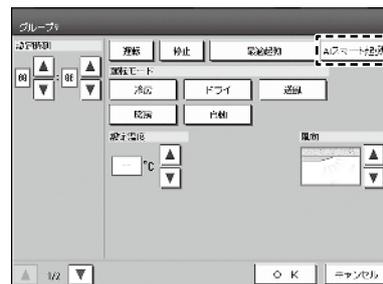


図8. AIスマート起動の設定画面

学習処理を完了しておく必要がある。そのため、AE-200Jの動作に影響を与えない処理負荷で学習処理を実施しつつ、一定の推論精度を確保できる学習回数と学習処理時間を検討した。

学習回数を決定するに当たって、一回の学習処理の中で実行されるミニバッチ単位の学習回数の違いによって損失関数(誤差関数)の値がどのように変化するか調査した。その結果、先行開発フェーズの10分の1程度の学習回数でも損失関数の値が同程度に収束することが分かった(図9)。そのため、学習回数を削減した場合でも一定の推論精度を確保できて、かつ学習処理時間の短縮によって翌日までに学習処理を完了できた。

二つ目の課題は、非正常時の運転データの扱いである。AIは空調ユニットの運転データを基に学習するが、万が一、図10のように正常な運転データが収集できない場合、AI自身はその運転データが正常か異常か判断できないため、推論精度の低いAIモデルになってしまう。そのため、一定の推論精度を確保するためには、非正常時を想定し、その運転データを除外する必要がある。

そのため、非正常時になるケースを分類分けするためにFMEA(Failure Mode and Effect Analysis)を活用し、発生し得る現象とその影響、その現象を特定する手段と対策を整理した。その結果、空調ユニットの異常や特定のタイミングでのユーザー操作、火災等による緊急停止が発生した場合を非正常時として、該当する運転データを学習処理に使わないようにし、一定の推論精度を確保できた。

## 4.2 AIの品質保証

AE-200JにAIを採用する場合、そのAIが想定どおりに動作するかソフトウェア試験を実施する必要がある。しかし、AIは従来のアルゴリズムとは性質が異なるため、従来の試験方法を適応できないという課題がある。

従来のアルゴリズムは、設計者が入力値に対する出力値を仕様書に定義し、ソフトウェア試験では仕様書を基に動作確認を実施することで一定の品質を確保できるが、AIは入力値と出力値を基にAI自らアルゴリズムを動的に作成するため、仕様書との動作一致確認が不可能である。そ

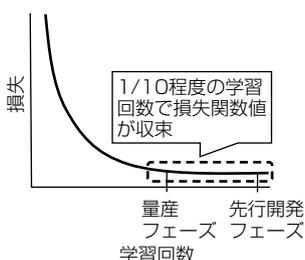


図9. 損失関数値と学習回数の関係

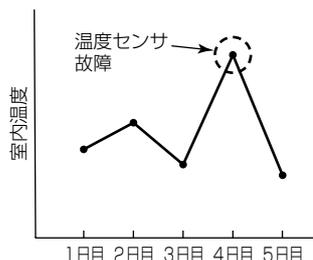


図10. 非正常時の運転データの例

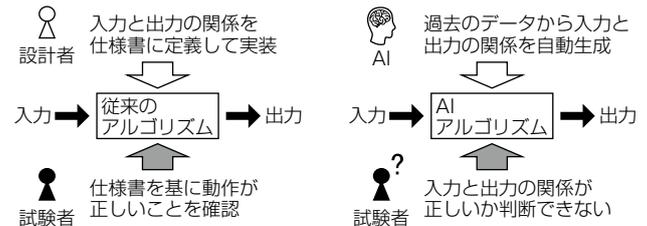


図11. 従来のアルゴリズムとAIアルゴリズムの違い

表1. ユーザーがAIに対して期待する動作と利用シーンの例

| カテゴリー  | 詳細                           |
|--------|------------------------------|
| 期待する動作 | 学習済み環境で、一定の推論精度が出ていることを確認    |
|        | 未学習環境で、学習が進むこととロバスト性があることを確認 |
| 利用シーン  | 比較的暑い環境での利用                  |
|        | 比較的寒い環境での利用                  |
|        | 突発的な気候変動が発生しやすい環境での利用        |

のため、AIの品質を保証するためのソフトウェア試験方法を一から検討する必要がある(図11)。

AIのソフトウェア試験方法の検討に当たって、AIの動作にユーザーが満足できるかどうか品質担保の鍵であると考えた(表1)。例えば、ユーザーはAIに対して利用シーンや屋内空間・気候変動の違いがあっても、一定の推論精度で制御する機能を求める。そのため、AIプロダクト品質保証ガイドライン<sup>(2)</sup>や社内向けガイドラインを参考に、ユーザーがAIに期待する動作や利用シーンなどを整理し、そのパターンを組み合わせることで様々なシナリオを想定したソフトウェア試験を実施した。その結果、AIが一定の推論精度を担保できることを確認した。また、AIの特性や注意点、一定の推論精度を確保するための使用方法などをカタログやマニュアルに記載することで、ユーザーが製品を正しく使えるような取組みを実施した。

## 5. むすび

ビル用マルチエアコンのAI技術Maisartを活用した最適起動技術と量産実装プロセスについて述べた。複雑系であるビル用マルチエアコンの完成度を高めるために許容度の大きな制御パッケージ化が進んできたが、現地での使われ方を学習したAIが制御を実行することで、現地環境に最適化したシステムを提供できるようになった。学習・推論を実施する演算処理を現地システムで実現するためにMaisartのニューラルネットワーク技術を活用したが、今後は現地システムで提供する機能に加えて、クラウド等の新たなインフラを活用した機能の検討が必要になる。

### 参考文献

- (1) 東京都環境局, ほか: 平成25年度 テナントビルにおけるデマンドレスポンス実証事業 報告書 (2014)
- (2) AIプロダクト品質保証コンソーシアム, AIプロダクト品質保証ガイドライン (2019)