

# ※1 ZEB (net Zero Energy Building)

(バックステージ)

## 実現を、舞台裏で支えた技術を探る。

※1 ビルの快適な室内環境を保ちながら、高断熱化・日射遮へい・自然エネルギー利用・高効率設備などによる省エネと、太陽光発電などによる創エネにより、年間で消費する一次エネルギー消費量がゼロ、あるいは概ねゼロとなる建築物のこと。

三菱電機は、2020年10月 情報技術総合研究所(神奈川県鎌倉市)にZEB関連技術実証棟『SUSTIE®(サスティエ)』を竣工。『SUSTIE』は中規模オフィスビルにおいて日本で初めて、建物の創エネルギー量が消費エネルギー量を上回る『ZEB』を設計段階で達成。以来、運用開始から1年を経て、運用段階での『ZEB』を達成した。今回は、その実現に貢献したキー技術をリードする2名の技術者に話を聞いた。



※2 Mitsubishi Electric's AI creates the State-of-the-ART in technology の略。全ての機器をより賢くすることを目指した三菱電機の AI 技術ブランド

### ビル設備の省エネによる社会貢献度

『SUSTIE』は、新開発の事前計画型ZEB運用技術によって、竣工直後の運用開始から最適運転を実施。年間の一次エネルギー消費量を、建築物省エネ法が定める基準値から15%削減した。情報技術総合研究所・監視メディアシステム技術部・空間管理制御技術グループ・太田恵大は、その意義をこう語る。

「日本の住宅・非住宅建築物のエネルギー消費量は、全産業の約34%とされています。中でも空調・換気照明・給湯・昇降機設備のエネルギー消費量が6〜7割を占めており、建築設備のエネルギー消費量の削減は、そのまま日本全体のエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量削減につながるのです」

そこで『SUSTIE』では高効率機器の導入によりエネルギー消費量を削減。さらに、太陽光発電による創エネに加え、自然換気、自然採光、クール・ヒートチューブ(ヒートポンプ給湯器の冷排気を地中のチューブに通してさらに冷却)を導入するなど自然エネルギーを積極的に活用した省エ

### 『Maisart』の支援でさらに高精度な最適化計画が実現

今回のZEB実現の大きな要因に、ビル諸設備の運転状態と室内環境を解析するシミュレータの存在がある。「あらかじめ1年先までのエネルギー消費量収支と快適性を予測し、実稼働に先だって、快適性の維持とエネルギー消費量削減の両立に向けた運用法が検討できるようになりました。

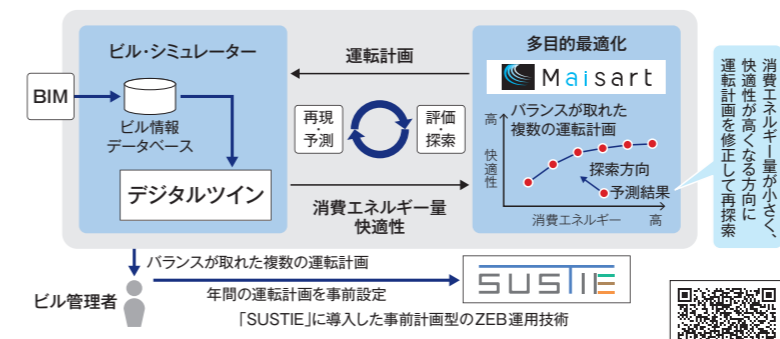
もう一つの大きな要因に、当社のAI技術『Maisart®(マイサート)』を用いた多目的最適化技術があります。シミュレーターとの組み合わせで、『快適性維持と消費エネルギー量の最小化』という相反する目標の同時達成を実現するビル設備運転計画を、自動的に導出してくれるのです」

多目的最適化技術とは、トレードオフ関係にある複数の目的関数を同時に満たす解を求める最適化法だ。従来、

ビル設備のパラメータ設定変更プロセスは、トライ＆エラー的な傾向も否めなかった。そこで今回は『Maisart』の活用で、厳密解ではなく近似解を求める「メタヒューリスティクス」という手法を適用。あらかじめストライクゾーンを絞り込んだ運転計画遂行が、実現できたのである。というのも、ビルの全設備の運転を考慮しようとする、変更可能な項目が多く、演算負荷も膨大になる。通常の最適化法で

ビル設備のパラメータ設定変更プロセスは、トライ＆エラー的な傾向も否めなかった。そこで今回は『Maisart』の活用で、厳密解ではなく近似解を求める「メタヒューリスティクス」という手法を適用。あらかじめストライクゾーンを絞り込んだ運転計画遂行が、実現できたのである。というのも、ビルの全設備の運転を考慮しようとする、変更可能な項目が多く、演算負荷も膨大になる。通常の最適化法で

### 事前計画型ZEB運用技術



協力/三菱電機 ZEB関連技術実証棟 SUSTIE



4

- ①SUSTIEの外観
- ②エントランスの壁面緑化。水やりは自動
- ③青空を模した照明 [misola] が設置された小部屋。打ち合わせやランチミーティングにも使用
- ④SUSTIEのビル管理を行うオペレーションセンター。温度、湿度などのセンサー約330点以外にも電力量計などの情報もあり、データ点数は2500以上に及ぶ。

### 「快適さ」の実現を「快適さ」の実現を

は計算量が爆発的に増えてしまつて、現実的ではないからだ。「これに対して『メタヒューリスティクス』は、大規模な問題でも現実的な演算時間で、しかるべき解を求めることができるので、ビル設備運用計画の最適化問題に対して、非常に有効だったのです」

「ZEBという設備の省エネ運用は、温熱環境、光環境、空気質環境や音環境などの多数の室内環境の変化を伴います。これが『快適さ』を悪化させる要因となります。『快適さ』に関しては、共同研究先の大学の協力を得て、膨大な室内環境実測とアンケート調査結果のデータベースを活用して数値化を試みました。なるべく同じアンケート項目と尺度を使った結果を抽出して、物理環境実測値と多数の室内環境に対する『満足度』との関係を分析。回答数の大小も考慮しながら、『満足度』を推定する指標を構築しました」

もちろん『満足度』を評価するアンケートは主観的な回答となり、性別・年代などさまざまな属性によって差異が生じる点は否めない。例えば多くの人に快適な環境が実現できても、異なる属性や特性の人にとっては逆に不快になることも十分考えられる。「そこで『SUSTIE』では、ABW(Activity Based Working)という考え方を採用しました。つまり、居住者が自分の働き方を基軸として、適切な空間を選択できるようにしたので、部屋ごとに室内環境を微調整することで、満足度に関して少数派の人も、自分に合った空間で働くことができる環境を実現しています。さらに、目下そこで仕事をする人たちに快適性や不快感を申告してもらい、それを反映して設備制御する仕組みや、個々人に合わせた満足度の指標を構築するなどの施策も検討しています」

また、実際の運用にはビル内外のセンシング情報を統合する必要がある。ここでは、三菱電機のスマートシティ・ビルIoTプラットフォーム『Vileifueille(ヴィルフィーユ)』が活躍。各センシングデータをクラウド上で二元的に管理・活用し、設備やシステム間を連携させることで

満足度を表す指標構築に関しては、早稲田大学・田辺新一教授との共同研究が大きな力となった。同教授は『SUSTIE』のコンセプト段階から監修役を担い、ZEBに関する取り組みに対して多様な角度から尽力。さらに多目的最適化アルゴリズムの検討には、進化計算を用いた多目的・多数目的最適化分野の旗手、電気通信大学の佐藤寛之



情報技術総合研究所 監視メディアシステム技術部 空間管理制御技術グループ 太田 恵大 博士(工学)

「考慮すべき要素も拡大し、その目的も省エネ、快適性だけでなく、しなやかなレジリエンスや持続可能性など多岐にわたります。目的数が4以上に増えるとアルゴリズムによる探索が困難になることが知られていますが、このような困難な問題に対しても、すべての目的を満足させるエネルギー管理が実現できるように、技術を開発していきたい」と思っています」

先の頁でも紹介したように、今回のZEB実現を可能にした要素の中で、三菱電機のAI技術「Maisart」が果たした役割は極めて大きい。そこで本項では「Maisart」のR&D最前線を担う技術者にフォーカスして、その背景や魅力を概観していきたい。

## 機器の「賢さ」を支えるAI技術「Maisart」

三菱電機が提供するAI技術「Maisart」は、さまざまな機器に組み込まれることで、機器自体が自己完結的に、またある時にはネットワークの向こう側にある大きなシステムとのやりとりで、卓越した機能を発揮する。そんなコンパクト性や省エネ性、コストパフォーマンスが特長だ。さらに、「Maisart」が組み込まれたFAロボットや自動車、家電製品やビル設備、住宅機器などの製品は、設置環境や使



情報技術総合研究所  
知能情報処理技術部  
機械学習技術グループマネージャー  
穂山 利貞 博士(理学)

ないことはサーバ側で実行するという基本的な枠組みが大切なのです。しかし、それを実施するた

われ方を自ら学習し、よりパーソナルに最適化されたパフォーマンスを発揮する。そんな成長性も大きな魅力である。

もちろん、製品に組み込まれて機器のエッジ側で行う処理と、クラウド上のサーバとのやりとりをする場合の切り分けは重要なポイントだ。しかし、いずれの場合にもエッジ側の「賢さ」がポイントになる。情報技術総合研究所・知能情報処理技術部・機械学習技術グループ・穂山利貞は、こう語る。

「例えば、クラウド上のサーバを紹介して処理を行う場合にも、データを機器領域で必要な形態に落とし込む必要があります。一方、機器によってあるは、あるいはそれ以下のさらには短い周期で、情報を収集しています。それらを逐「サーバ側」に上げていたのでは、データ容量は膨らむばかりです。だからこそ、エッジ側でやるべきことはエッジ領域で、システム全体としてみなければなら

「AIに求められるものとして、『現実の使用環境に柔軟に適応しながら、その中で最適な動きをできるだけ時間かけずに実現する機能』への期待が非常に大きいのです。その意味において『メタヒューリスティクス』は、各機器が使用環境に応じて良いパラメータを導きだすための手法として、非常に重要なものです。実は、この考え方に基づく手法は、かなり以前から存在してました。しかし、実際にAI開発を進めていく中で、『使用環境への柔軟な適応性をスピーディに提供して欲しい』という現場の声が、予想以上に強いことを改めて痛感しました」

用した「メタヒューリスティクス」がパワーを発揮したのも、前ページで述べた通りだ。この点に関して穂山は「現実問題として、人の感性に基づいた評価を含んだこの課題に対して、厳密な意味での最適解を求めることは難しい」と語る。逆に言えば、厳密な意味での最適解を理論的に求めることが難しい問題だからこそ、厳密な最適解ではないが満足できる準最適解を導き出す「メタヒューリスティクス」が有効なのである。

ちなみに「メタヒューリスティクス」には、さまざまなアプローチがあるが、今回は生物の自然淘汰をモデルにした「遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm)」が用いられた。ダーウィンが言うように「生物は環境に適応した個体が生き残り、環境に適応できない個体は淘汰される」というプロセスを繰り返して進化を遂げてきた。「遺伝的アルゴリズム」とは、この生物の環境適応度や遺伝的進化をもとに、生き残るべき個体を次世代に継承させ、適応力のない個体は排除するという概念が利用されており、世代を重ねることで、より良い解が導き

## さらに多様な眼差しで「Maisart」の進化を追求

「すべてのモノを賢くする」というコンセプトによる「Maisart」は、これまで以下の4分野におけるテーマの深耕が追求されてきた。すなわち、①【ディープラーニング】：アルゴリズムのコンパクト化。②【強化学習】：機器の知見を活かした学習の効率化。③【ビッグデータ分析】：機器の知見を活か

めにもエッジ側自体を賢くしておく必要があります。その役割を担うものが「Maisart」なのです」

## 難しいトレドオフ問題に対して「準最適解」を導く

前ページでも「SUSTIE」がZEBとWellnessを軸とした多目的最適化を図る上で、「快適さ」という属人性の高い官能的要素を扱うことの難しさが指摘されていた。

「実は多目的最適化問題であっても、目的のポイントをはずり絞り込めば、単目的に落とし込むことができま。世の中の多くの問題は、単目的に落とし込むことで、解へのハードルを低くすることができます。ところが、例えば「効率性」などは、ある基礎で数値化が図れるのに対して、「快適さ」のように属人性が強い要素は、そう簡単にはいかなない課題のひとつです。というのも、人の感性や官能は、単目的化することが困難な分野だからです」

さらに「快適性維持と消費エネルギー量の最小化」というトレードオフ関係の解決に際しては、「Maisart」を活



9

⑤館内の中央にある吹き抜けの大階段スペース。社内のイベントやセミナーで使用 ⑥～⑧フロアごとにテーマ分けされた実証室(執務室)を用意し、従業員が個々の働き方に適した執務空間を自由に選択できる。⑥が「集中」、⑦が「リラックス」、⑧が「対話」 ⑨踊り場などに壁面緑化のちょっとした作業スペースも。



Maisart



5



6



7



8

すべてのモノを賢くするAI技術「Maisart」が、ZEB実現への難題を解く。

かした時系列データ分析の効率化。④【知識処理】：推論アルゴリズムのコンパクト化——である。


今回さらに、問題解決や意思決定支援のために、膨大な組み合わせの中から解を求めるときに、「あらゆる機器やシステムを稼働させるパラメーターの組み合わせを効率的に探索しよう」という新たなフィールド「メタヒューリスティクス」が追加された。特に、機器・システム知見の融合により演算回数を削減するコンパクト化が強みだ。今後、この分野には、どんな課題の解決が期待されて

いるのだろうか？


「メタヒューリスティクス」は、組合せの最適化を図る場面で活用されるケースが多く、非常に幅広い分野への適用が可能になります。例えば、FA機器のパラメータ調整など、何らかのパラメータの最適化が求められる分野がコアターゲットになるでしょう。実際三菱電機でも、すでに生産性の向上や設計の効率化・自動化などの一部で活用され始めていますが、今後さらにバラエティ豊かな製品への適用が拡大していくはずだ、と期待を膨らませています」


**Maisart**


ディープラーニング	アルゴリズムのコンパクト化
強化学習	機器の知見を活用した学習効率化
ビッグデータ分析	機器の知見を活用した時系列データ分析の効率化
知識処理	推論アルゴリズムのコンパクト化
メタヒューリスティクス	探索アルゴリズムのコンパクト化

  
認識・識別

  
原因推定

  
予知検知

  
最適制御

  
自動化