

三菱電機技報

11

2023

Vol.97 No.11

昇降機・ビルシステム

No.11

特集	昇降機・ビルシステム	Elevators, Escalators and Building Systems
巻頭言		
昇降機・ビルシステム特集に寄せて……………	1-01	Foreword to Special Issue on Elevators, Escalators and Building Systems Hideki Mori
森 日出樹		
快適空間エレベーター……………	2-01	Elevator for Health and Well-being Kengo Yoshida, Masayuki Kondo, Masami Aikawa, Reiko Sakata
吉田謙吾・近藤真行・相川真実・坂田礼子		
クライミングエレベーター工法……………	3-01	Climbing Elevator with Mechanism for Extending Ropes Daito Kodaira, Satoshi Kikuchi, Mitsuyoshi Imura, Takayuki Asai
古平大登・菊池 哲・井村光芳・浅井貴行		
既設エレベーター向けロボット連携……………	4-01	Elevator Call System with Robot for Existing Elevators Yasuhisa Asai, Yuki Terada
浅井康久・寺田有希		
クラウド型VPN接続機能： クラウドを利用した汎用機能のコンポーネント化……………	5-01	Cloud-based VPN Connection Function: Componentization of Generic Functions Using Cloud Computing Keigo Negishi
根岸啓吾		
ビル空調自動省エネルギーソリューション “スマート・省エネ・アシスト”……………	6-01	Solution of Automatic Energy Conservation for Building Using Air Conditioners "Smart Energy Conservation Assist" Shuichi Murayama, Kazuyuki Nagahiro, Toshihiro Mega, Fuyuki Sato
村山修一・長廣憲幸・妻鹿利宏・佐藤冬樹		
既存ビルZEB化に向けた取組み……………	7-01	Initiatives for ZEB Conversion of Existing Buildings Yasuhiro Ogata, Kiyohiko Suzuki
小形安弘・鈴木清彦		

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集ではライフ領域の“昇降機・ビルシステム”をご紹介します。

巻頭言

昇降機・ビルシステム特集に寄せて

Foreword to Special Issue on Elevators, Escalators and Building Systems



森 日出樹 *Hideki Mori*

三菱電機ビルソリューションズ(株) 代表取締役 常務執行役員 日本事業統括本部長

Representative Executive Officer, Group President, Domestic Business Group, Mitsubishi Electric Building Solutions Corporation

エネルギー問題、資材高騰、少子高齢化(人手不足)、地政学的リスクなど社会情勢を取り巻く環境が厳しくなる中、ビル内では安全性／快適性／利便性を低資源(人・物・費用・時間)で実現することがビルオーナー、居住者の要望になっています。SDGs(Sustainable Development Goals)への配慮に対する動きが拡大している中、ESG(Environment, Social, Governance)投資の観点からも、構造物であり居住空間である“ビル”は環境や社会に関する課題解決に貢献できるポテンシャルが高く、投資対象として重要な位置付けにあります。そのためにもIoT(Internet of Things)、AIなど高度な技術を活用し、省エネルギー／省人化を行いながら居住者が安全で安心できる環境、さらに効率的な仕事をできる空間を提供していく必要があります。

三菱電機ビルソリューションズ(株)(MEBS)は、昇降機、空調機やビルマネジメントシステムを始めとしたビル内設備の販売・製造・施工・保守・リニューアルという循環型エンジニアリングを実行しており、ビル計画時から運用に至るまで、長い期間を通じて、ビルに関わる多くのステークホルダーの要望に対応しています。

ビル居住者が昇降機を“安全”に“安心”して利用できるよう、システム開発や保守・リニューアルを継続しており、さらに昇降機に乗っている短い時間でも、圧迫感を感じず“快適”に利用できるように、青空をイメージできる照明や立体的な音響を感じる技術を開発しています。

また、昇降機を活用した“省人化”ソリューション例として、ロボットが昇降機を利用するIoTプラットフォーム“Ville-feuille(ヴィルフィーユ)”を展開しています。近年、警備・清掃・搬送などで人手不足の対策として、ビル内でもロボットが活躍していますが、上下階移動のためには昇降機を利用する必要があります。ロボットはVille-feuilleを活用することで、昇降機に乗り降りできます。このサービスを利用できるロボットの種類も増えて、昇降機メーカーも三菱電機製だけでなく、他社製昇降機もVille-feuilleを介して利用可能になっており、ビルオーナーの選択肢が広がっています。

省エネルギーを実現するため、MEBSはZEB(net Zero Energy Building)プランナーとして、ビル全体の設備計画の提案を行っています。また、ビル管理システム“facima BA-system”と三菱電機製ビル用マルチエアコンを対象に“スマート・省エネ・アシスト”というサービスを提供しており、空調のエネルギー使用量や温湿度のデータを収集・分析しながら、ビルの省エネルギーが実現できるようサポートしています。これらは需要側であるビルの“省エネルギー”ソリューション例ですが、近年、スマートシティなど広域視点で、需要側のエネルギー予測と連動しながら供給側のエネルギーを効率良く利用する、すなわち地域全体でカーボンニュートラルを実現するニーズが高まっています。三菱電機グループでは再生可能エネルギーを含めて供給側のエネルギーをコントロールする技術を持っており、需要側(ビル)のエネルギー制御と連動することによって、カーボンニュートラルに貢献できるよう提案活動・開発を進めています。

ビル的一生が50年から100年へと長くなっていく中、ビルのライフサイクルコスト(LCC)を低減しながら、居住者が快適に安心して働き、暮らすことができるために、これまで培ってきた製品技術力とフィールド技術力の強みに機械学習など新しい技術を掛け合わせて、ビルオーナーや居住者の要望に対応できるソリューションの提供を進めていきます。

快適空間エレベーター

Elevator for Health and Well-being

*三菱電機ビルソリューションズ㈱
†三菱電機㈱ 統合デザイン研究所(工博)

要旨

従来の三菱電機のエレベーターは、高速、高揚程、制振性など定量的な製品価値で業界をリードしてきた。しかし、競合他社の性能向上や超高層ビルの世界的市場縮小によって他社との差別化が困難になってきている。

また、アフターコロナの働き方変容、リモートワークの普及など、ニューノーマル時代での集客力減少への歯止め、ビルの集客増加につながる新たなソリューションが求められている。

そこで居心地や使い心地といった定性的な“意味的価値”による差別化に着目し、“開放感”“リラックス”“集中力の回復”を訴求力とした“快適空間エレベーター”を開発した。

1. ま え が き

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)による急速な社会変化の一つとして、人々が活動を行う場所が移ったことが挙げられる。これまで実空間で行われていた仕事、買物といった活動がオンライン空間に移行する“オンラインシフト”によって、街に出ずに様々な活動が行われることが盛んになった。このニューノーマル時代でのビルの集客につながる新たなソリューションが求められる中で、建築業界で“ウェルビーイング”への着目が始まっている。このような時代に適したエレベーターとして、快適性の訴求に着目し、建物の価値と利用者の満足度を高める快適空間エレベーターを提案する。快適空間エレベーターを実現する主な三つの要素を図1に、快適空間エレベーターのイメージを図2に示す。本稿では、エレベーターの乗車時のペイン(きまざさ・閉塞感)解消を図ることで快適性を追求したソリューション及び効果測定結果について述べる。



大自然の中のような“さわやかさ”“開放感”を青空、木漏れ日を想起させる“misola”“陽(ひ)ざしコーニスデザイン”、広がりを感じる立体音響システム“DIATONE Ambience”の三つの要素で再現することで快適な空間を実現する。

図1. 快適空間エレベーターを実現する主な三つの要素



図2. 快適空間エレベーターのイメージ

2. 快適空間エレベーターを構成する主な三つの要素

各機器要素の狙った効果は、表1のとおりである。この章で詳細を述べる。

表1. 構成要素とその効果

構成要素	狙った効果
青空照明misola	実際のエレベーター天井高さより感覚的に広がりある空間を演出
意匠“陽ざしコーニスデザイン”	かご正面～天井に見どころを作り視線を誘導 屋外の木漏れ日の差す自然の樹木のそばに在るような印象を演出
立体音響システムDIATONE Ambience	広がりのあるサウンドによって実空間より広い印象 かご内のどこにいても均一に聞こえる音で閉塞感を緩和

2.1 青空照明misola⁽¹⁾⁽²⁾

一般的な居室に比べて、エレベーターのかご内は天井が低く閉塞感につながっている。misolaではレイリ－散乱を用い開放的で奥行き感のある青空を再現したパネルと、自然な太陽光が差し込むような日なたと影を表現したフレームによって、閉塞感を緩和し、開放的で快適な空間を実現した。

また、図3に示すように、時間による空の移り変わり(昼、朝夕、日の出／入り、夜)や季節による日の出／入りの時間変化を再現した。体内時計に働きかけるサーカディアンリズム制御を備えることで、実際に屋外の実空間とつながっているかのように錯覚し、やすらぎのあるかご内空間を実現した。

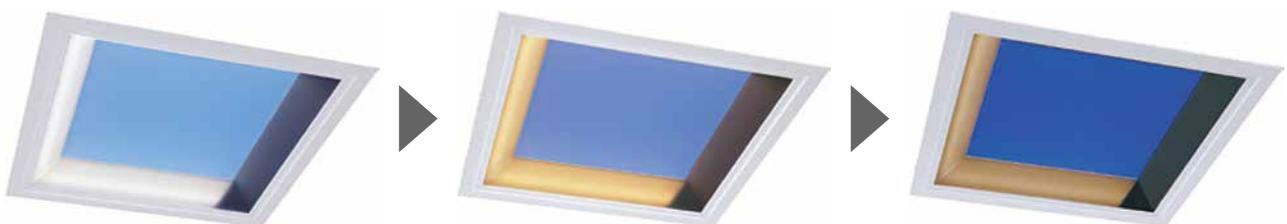


図3. 青空照明misolaのシーンの移り変わり

2.2 意匠“陽ざしコーニスデザイン”

陽ざしコーニスデザインを青空照明misolaと組み合わせることで、より開放感を感じることができる意匠にした(図4)。



図4. 陽ざしコーニスデザインのイメージ

次の(1)と(2)の組合せによって、開放的な屋外の自然を感じて、リラックスした心理状態への誘導を狙った。

(1) コーニス照明

照明を天井の内側に設置し、正面壁との隙間から陽ざしが差し込んでいるかのように想起させる効果を狙った。光の差し込む方向を青空照明misolaの日なたと影を表現したフレームにそろえることで、実空間とのつながりを錯覚し、より開放的な空間を演出した。

(2) 壁面意匠

正面壁には従来に比べて大柄な木目柄を配して、自然を想起させるとともに、側面壁はマットな白にすることでコーニス照明の差し込む影の視認性を高めて光の方向を強調した。

2.3 立体音響システムDIATONE Ambience

立体音響システムDIATONE Ambienceの概要を図5に示す。実空間より広く感じるサウンドが、かご内のどの場所に乗車しても均一に聞こえることで、閉塞感の緩和を狙った。

(1) コンテンツ

ホテル／オフィス、自然音／音楽、昼／夜を組み合わせたコンテンツ音源を作成し、適用する物件ごとに最適な選択を可能にした。

(2) 音響制御技術

スピーカーから再生される音がかご内で伝播(でんぱ)や残響することを考慮し、音源と人の関係を表した伝達関数を基に、音響信号処理技術によって音波を適切に制御することで、閉塞感のない心地よい音場を実現した。

(3) スピーカー

エレベーターでは、物件によっては省スペースが求められるため、より小型で音響制御技術を適切に動作させることが可能な専用スピーカーを開発した。

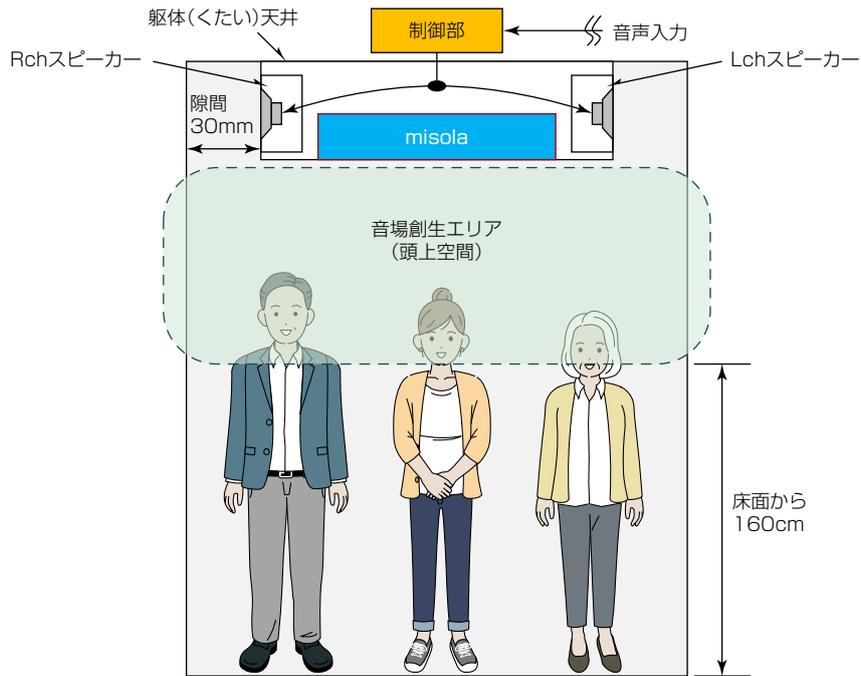


図5. 立体音響システムDIATONE Ambience

3. 効果測定実験

快適空間エレベーターの照明・デザイン・音による快適性や、エレベーター内での気まずさ解消効果を検証するため、お茶の水女子大学 長澤夏子教授監修の下、感性実験を実施した⁽³⁾。

3.1 実験方法

模擬エレベーターで快適空間エレベーターと一般的なエレベーターの移動を順不同で体験してもらい、アンケートやインタビューを行った。快適空間エレベーターは図1に示した三つの要素を備えたものであり、一般的なエレベーターはエレベーター内にダウンライト照明を設置し白壁で音がないものにした。計測項目は、エレベーター内での主観的な“すがすがしさ”“広さ感”“気まずさ”“快適感”“リラックス感”“気分転換”“疲労感の回復”を5段階評定尺度法で聴取し、自由回答で意見を聞いた。実験対象者は健常者23人で実施した。内訳は、性別：男性12人／女性11人、年代：35歳未満11人／35歳以上12人である。エレベーター体験時は同乗者がおり、見知らぬ他人がいる状況を再現した。実験環境と実験の様子を表2に示す。

表2. 実験環境と実験の様子

快適空間エレベーター	一般的なエレベーター	実験の様子

3.2 実験結果

全項目で快適空間エレベーターがポジティブな結果になった(図6)。23人中22人が鳥のさえずり等の自然音にポジティブな意見を述べ、自然音によって青空照明へ視線が誘導されるなど、乗車中の充実感・リラックスにつながる良い効果を感じることで、“同乗者に対する気まずさを感じにくかった”とコメントされるなど評価が高かった。一方、一般的なエレベーターは23人中16人が“同乗者に対する気まずさ・不快さ”を感じて評価が低く、ストレス感も高かった。

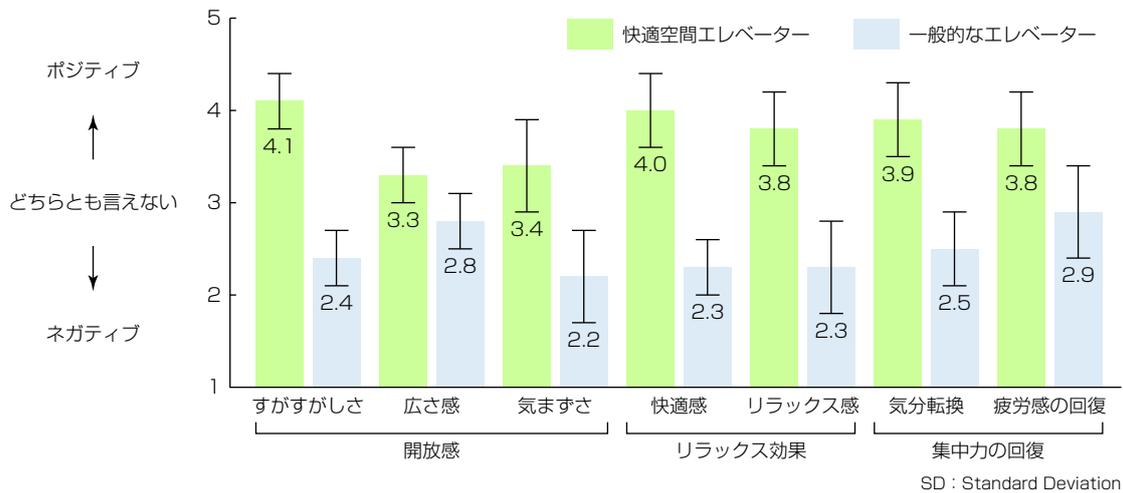


図6. 主観評価結果(平均±SD, n=23)

3.3 実験結果まとめ

図7に、快適空間エレベーターの利用者が取る代表的な行動や自由回答で得られた印象の傾向をまとめる。

快適空間エレベーターの利用者は、かご内に流れる自然音によってリラックス感を得て、青空照明など自然を模した空間に視線を向ける。それによって同乗者への意識が軽減し、気まずさを感じにくくなることで、移動時間の経過が早く感じられる効果を得ていた。

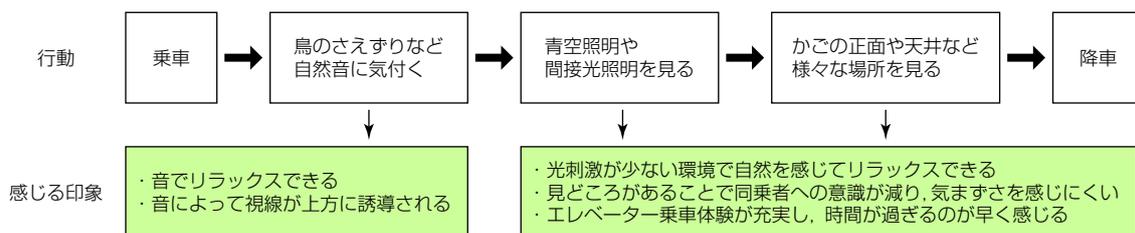


図7. 快適空間エレベーター利用者の行動・印象

4. む す び

快適空間エレベーターは、照明・デザイン・音の複合的な要素によって、“快適さ”を提供する製品である。従来のエレベーターが持つネガティブな“閉塞感”“気まずさ”といった空間の印象を、“開放感”“さわやか”といったポジティブな印象に置き換えることができた。初回案件として採用された田町センタービル(図8)で好評を得ている。



図8. 初回納入案件(田町センタービル)

参考文献

- (1) 成田瑞恵：屋外と屋内の境界をなくす、青空を再現した照明器具“misola”，三菱電機技報，**94**，No.10，598～601（2020）
- (2) 小松琢充，ほか：青空を再現した照明“misola”，三菱電機技報，**95**，No.9，588～591（2021）
- (3) 坂田礼子，ほか：EV内の照明・音を用いた自然空間演出が同乗者に対する気まづさにも与える影響—生体計測・時間の知覚評価を用いた快適性・居心地評価—，人間・環境学会第30回大会，A-1（2023）



クライミングエレベーター工法

Climbing Elevator with Mechanism for Extending Ropes

*三菱電機ビルソリューションズ㈱

要 旨

建築業界で、建築工期を短縮するための技術のニーズが高まりを見せている。建築工期の短縮にはエレベーターで作業員や資材を効率良く運搬することが効果的であるが、通常エレベーターは昇降路が完成する建築工事の中盤以降しか利用できない。三菱電機ビルソリューションズ㈱(MEBS)は建築工事の初期からエレベーターを利用可能にする、クライミングエレベーター(以下“クライミングエレ”という。)と呼ばれる技術を持っていたが、サービス階を増加するための工事によってエレベーターを停止させる期間が長期化する等の課題があった。

そこで今回、それら課題を解決する新たな工法を開発した。これまで必要としてきた、サービス階増加工事ごとの巻上ロープ交換を不要にし、巻上ロープの延長利用を実現することで、エレベーター停止期間を従来比で約70%に短縮した。

1. ま え が き

近年、建築資材の高騰や人手不足によって、建築のコスト低減や工事効率化の動きが加速している。特にクライミングエレの技術は、主に高層ビルで需要の高まりを見せている。クライミングエレとは、建築工事の初期段階から作業員や資材をエレベーターで運搬可能にする工法であり、一般的な工事用リフト(ラック&ピニオン方式の低速仮設リフト)と比較して、昇降速度が速く輸送効率が高いこと、及びエレベーターの昇降路をそのまま用いることでビル外壁部や内部の手直し工事が少ないこと等のメリットを持っている。そのため、建築工期短縮の一つの解決策として適用されているが、昇降行程延長作業時のエレベーター停止期間が長い等の課題があった。

そこで、従来技術の課題を解決することで、より効率的かつ安全にエレベーターの工事使用ができる技術を確立した。本稿では新規開発したクライミングエレ工法の概要、開発機器及び開発課題とその対応策について述べる。

2. クライミングエレ工法

クライミングエレ工法とは、図1に示すとおり、将来エレベーターが設置される昇降路内に、“巻上機・制御盤・調速機等をユニット化した機械室(以下“MRユニット”という。)”を設置して、低層階の工事中の段階からエレベーターサービスを行い、建築工事の進行に合わせて、MRユニットを上方へ移設し、サービス階を徐々に増加していく工法である。揚重装置を用いてMRユニットを上層階へ移設する作業をクライミングと呼ぶ。

3. 開 発 機 器

MEBSの従来のクライミングエレでは、MRユニットを上層階へ移設するたびに、昇降行程に合った巻上ロープ長さに変換する必要があったため、その間のエレベーター停止期間を短縮することが課題になっていた。

そこで今回、巻上ロープを連続して繰り出し可能な機器をMRユニットに搭載し、ロープ交換を不要にすることで、エレベーター停止期間を従来比で約70%に短縮した。次に新規開発した機器の概略を述べる。

3.1 MRユニット

全体構成を図1に示す。巻上機、制御盤、調速機、ロープ繰り出し装置等を枠組み内に収納することで昇降路の上部に容易に収められる高さとし、上方に延伸していく昇降路内を通過可能な平面サイズの両立を図った。さらに、分割輸送できる構造にすることで運搬搬入作業も効率化した。

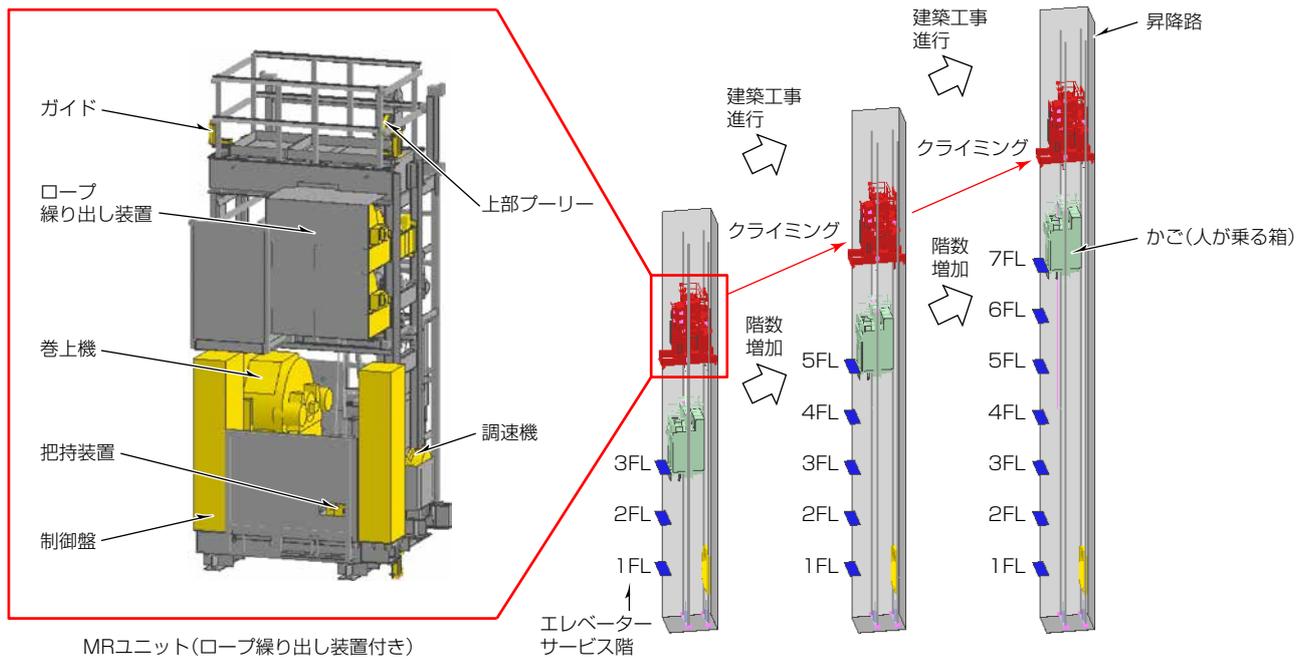


図1. MRユニット構成及びクライミングによるエレベーターサービス階増加

MRユニットの枠組みは、かごを吊(つ)り下げた状態でタワークレーン等の揚重装置で吊り上げ可能な構造にし、揚重時はガイドでガイドレールに案内を取ることで、移動中の揺れを防ぎ新しい設置階までのスムーズな移動を可能にした。

3.2 ロープ繰り出し装置

MRユニット内には、対象工事の昇降行程に対応する長さの巻上ロープを巻き付けた複数のロープドラムと、ロープ自重でドラムが慣性回転し過剰にロープが繰り出されないようにする制動ブレーキ機構を持つロープ繰り出し装置を搭載した。ロープドラムのMRユニット内への搭載によって、昇降行程を延長するごとにロープを取り替える必要がなく、停止期間の大幅な短縮が可能である。さらに、昇降路外にロープドラムを設置するスペースが不要になり、省スペース化が可能である。

3.3 把持装置

必要な長さの巻上ロープをロープドラムから都度繰り出すため、ロープドラムからかごに向かうロープを任意の場所で固定する必要があるが、ロープの端部を固定するための一般的なロープ固定具の構造は使用できない。

そこで、ロープを両側から低硬度材料で挟む圧縮止め構造を採用した。破断試験や疲労試験等の試験を実施して、ロープ端末に求められる把持力、及び把持装置で固定後のロープについて十分な性能を持つことを確認した。

3.4 ロープ繰り出し手順

今回、MRユニット内部にロープ繰り出し装置を実装したことで、ロープがMRユニットより下の位置になるため、ロープが自重で意図せずドラムから出ていく過繰り出し事象の懸念が生じた。そこで、先に上方向へロープを繰り出すことで過繰り出しを防止し、繰り出しと分けて揚重作業を行う新たなロープ繰り出し方式を考案した。クライミング手順を図2に示す。

エレベーターサービス中に、次の移設で使用する上層階分のガイドレールや乗場機器等を取り付ける(図2(1))。次に、MRユニット頂部に設置されMRユニットと分離して昇降路内を上下に移動可能なプーリー(以下“上部プーリー”という)の揚重工程によって、ロープを事前に上方向へ延長する(図2(2))。次に、MRユニットの揚重工程で前工程で延長したロープを下方側に移行させていくことで、ロープの延長を可能にした(図2(3))。MRユニットを所定の位置に固定後、再びエレベーターサービスを開始する(図2(4))。

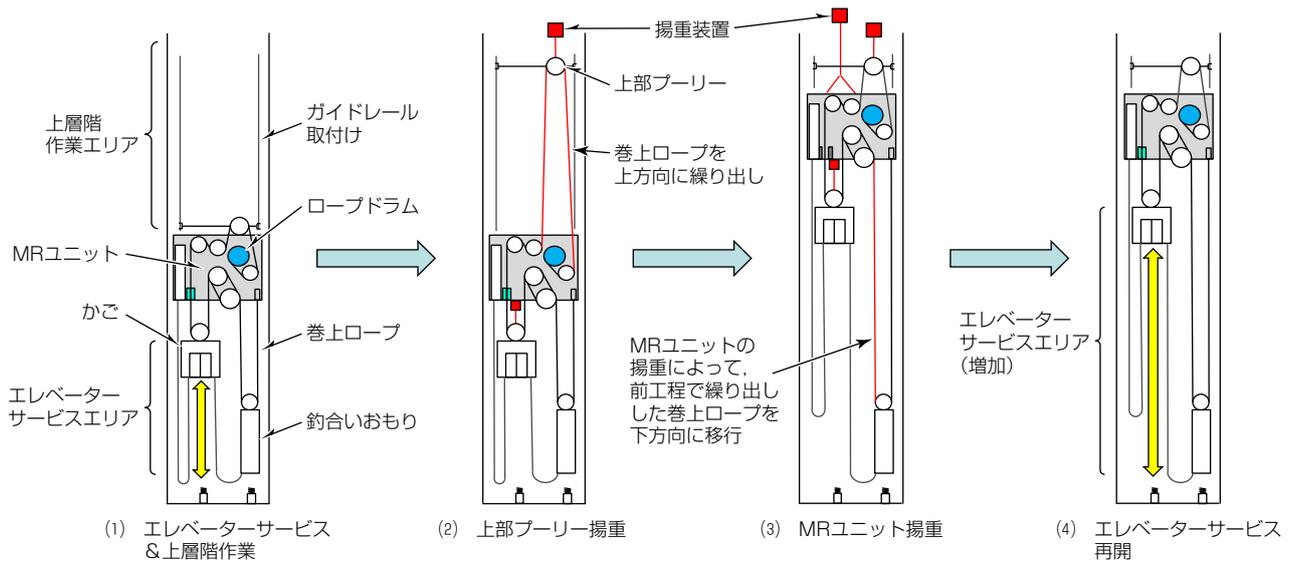


図2. クライミング手順

4. 開発課題と対応策

複数本のロープが懸架され重量物でもあるMRユニットの揚重時は、様々な事象を想定する必要がある。そのため、ロープ挙動の原理原則を把握し、システム開発として多岐にわたる課題解決を図った。

次に主要な課題と対応策について述べる。

4.1 複数本ロープ繰り出し時の課題と対策

MRユニット揚重時は、複数本のロープを一度に繰り出す必要があるため、実機による複数本同時のロープ繰り出し検証を行った。図3の左側グラフは、複数個のドラムを回転しないように固定した状態でMRユニットを昇降路内上下に1往復動かしたときのドラム側ロープ張力の変化を示している。MRユニットをアップ方向に移動後間もなく複数本のロープのうち1本のロープ張力が高負荷に変化し、ダウン方向へ移動後も1本のロープが高負荷状態を継続していることが分かった。

この要因を、ロープが複数個のシーブを通過することで生じる摩擦力によるものであるとロープ張力変動解析から確認し、他の4本のロープに比べて、最大で数倍のロープ張力がロープ1本に生じ得ることを特定した(図4)。

ロープ張力を均一に保ってクライミング動作をするためには、各ドラムに制動ブレーキ機構を実装し、一定以上の荷重が印加された場合にはドラムを回転させることで複数本のロープに張力を分散する対策を行った。図3の右側グラフに対策後のロープ張力を示す。制動ブレーキ機構を設置することで、MRユニットのアップ方向、ダウン方向共に、継続してロープ張力が均衡化されたことを確認した。

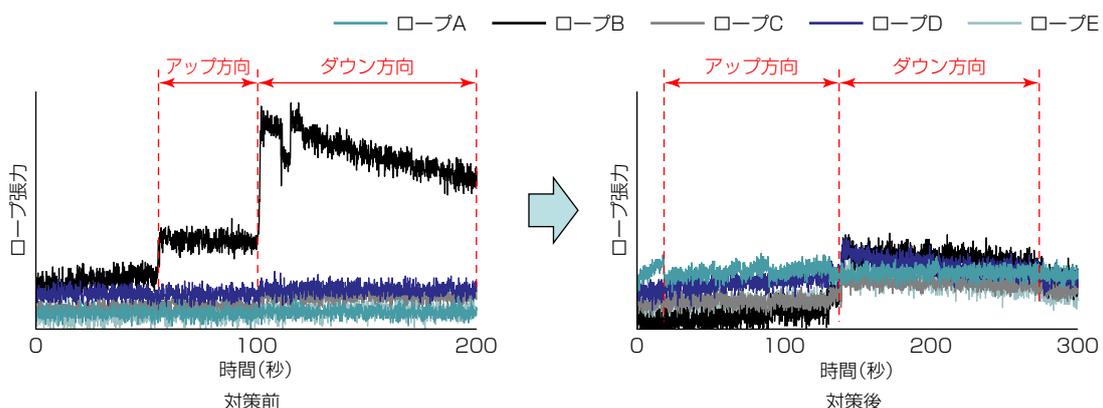


図3. 巻上ロープ張力の変化

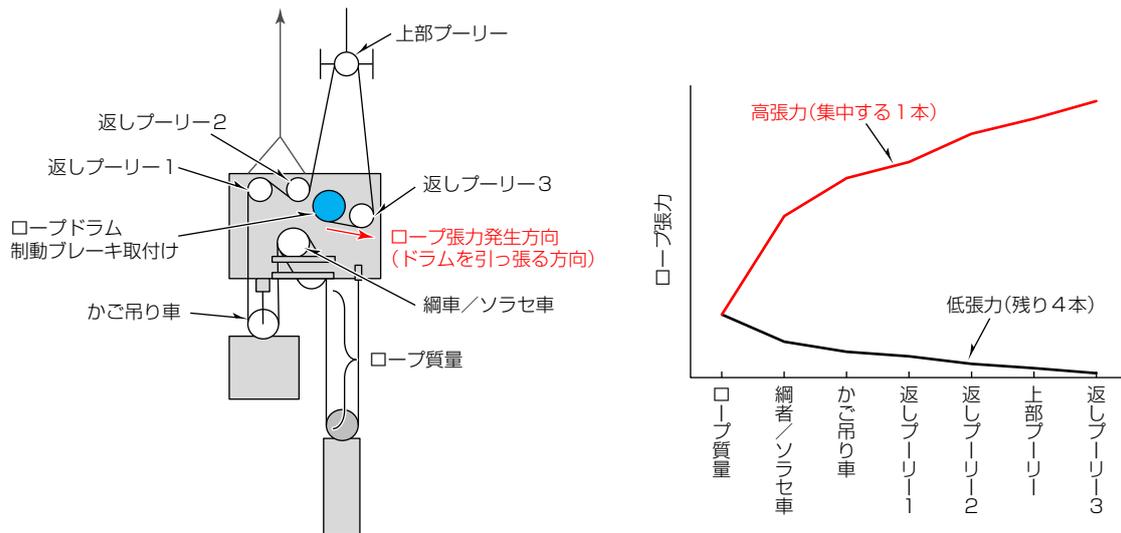


図4. 通過シーブとロープ張力解析結果

4.2 MRユニット揚重時での重心変化と対策

3章に述べたとおりMRユニット内には昇降行程分のロープが搭載されており、MRユニット揚重時にそれらロープが繰り出されることでMRユニット内のロープ質量が変わる等の影響を受けて、揚重物全体の重心位置が変化します。MRユニットはレールに案内されながら上昇するため、揚重物全体の重心位置と吊り位置がずれるとMRユニットに傾きが生じて、スムーズな上下動作に影響を与える。

そこで、揚重装置とMRユニットの間に専用吊り具(以下“トラバーサー”という。)を設けて、トラバーサーに“吊り位置可変機能”を持たせることで、重心位置の直上付近で揚重することを可能にした(図5)。

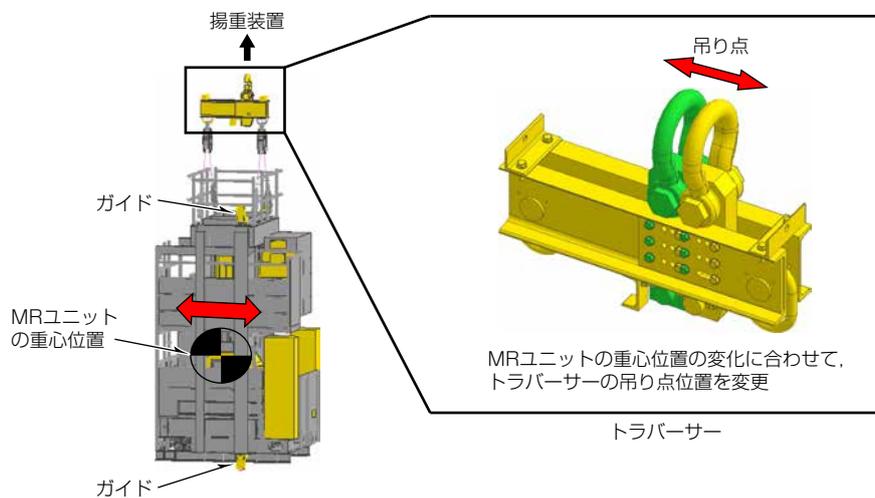


図5. トラバーサーによる吊り位置可変機能

4.3 MRユニット揚重時での動解析

MRユニット揚重時のスムーズな上下動作の実現のために、MRユニットに生じるガイド反力を算出した。ガイド反力は各機器の製作誤差や揚重装置の設置誤差に加えて、MRユニットの上下部のロープによって生じる張力の影響も考慮する必要がある。そこで理論値計算と簡易実機による試験に加えて、新たに動解析手法を用いたデジタル検証も取り入れた。

はじめに、動解析ソフトウェアから得られるMRユニット揚重時の姿勢変化及び上下ガイドから受ける反力の妥当性を確認するため、スケールモデルを用いた実験を実施した(図6)。ロードセルによって得られた反力値と解析値を比較し、動解析ソフトウェアの実用性及び動解析結果の特性について把握できた。

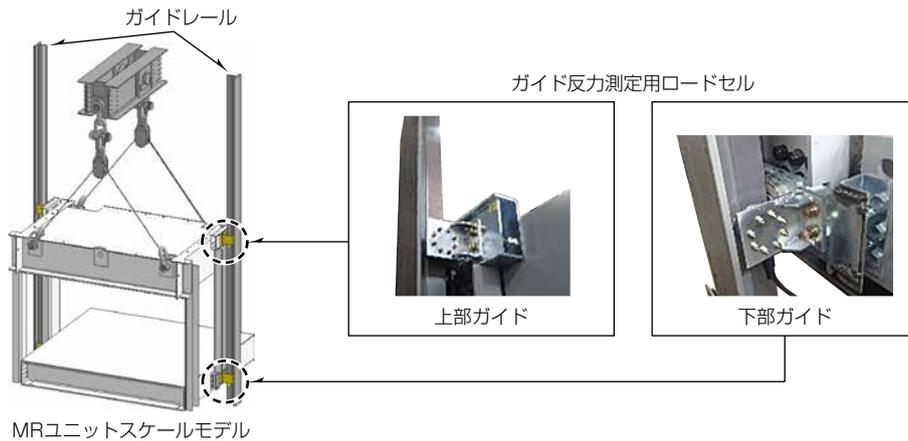


図6. 実験時のスケールモデル概略図

次に、1/1スケールでの動解析を実施した。図7のグラフはMRユニットの位置と各ガイド反力の時間変化を示している。各種パラメーターを変化させて、複数パターンの解析を実施し、ガイド反力が最大になる最悪条件の算出を実施した。デジタル検証を併用したことで、検証作業全体の効率化に加えて、理論値モデルに対する妥当性の検証や、簡易実機では再現困難な条件での動的な挙動の把握を可能にした。

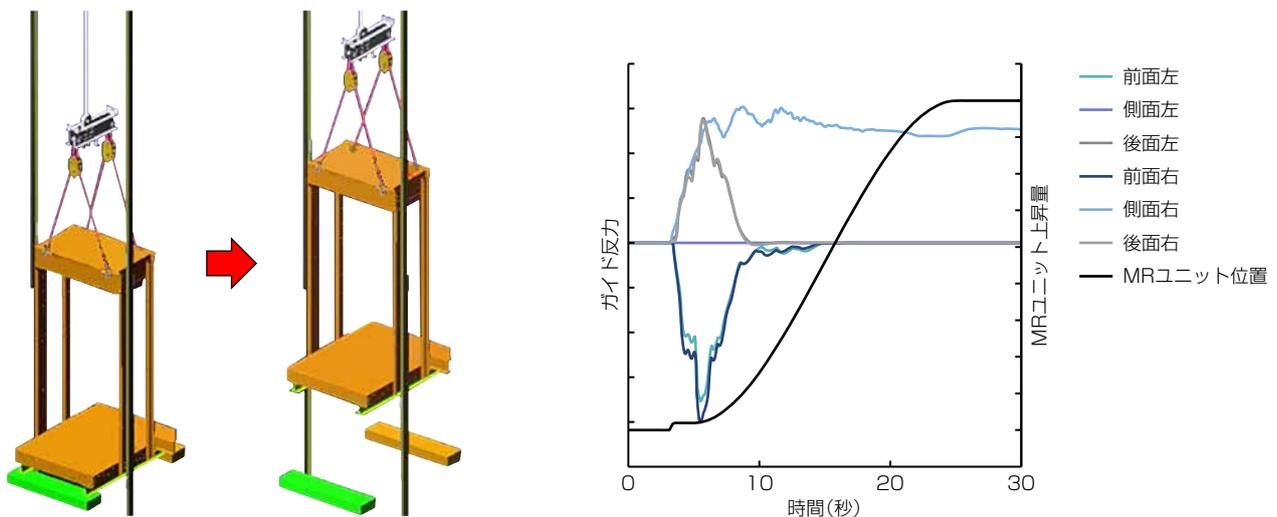


図7. MRユニット揚重時の動解析結果

4.4 揚重中の非常停止時でのシステム挙動解析

MRユニット揚重時で、機器への作用荷重が最も大きいと想定される、揚重装置の非常停止時で、全体システムを模擬した等価モデルによるシミュレーションを実施し、ロープドラムへ入力される最大荷重を特定した。これによって、ヒューマンエラーや落雷による停電等の外的要因によって発生し得る、揚重装置非常停止時のロープ荷重の最大値の定量化が可能になり、より信頼性の高い機器設計を行った(図8)。

4.5 3Dモデル及びVRを用いた作業性の確認

クライミングエレ工法は従来のエレベーター据付け方法とは大きく異なるため、特有の作業手順を確立する必要がある。そこで、3Dモデルや3D動画を用いて作業性について確認することで、効率的なMRユニットの組立て手順や配線方法を確立した。また、それら3DモデルはVR(Virtual Reality)を用いてレビューすることで、実機を製作せずに、作業スペースや、設計段階では発見できなかった部品の干渉やボルト締結作業の困難箇所について確認できた(図9)。

デジタル検証を用いることで、早期に課題が把握できただけでなく、安全で確実な作業を可能にした。

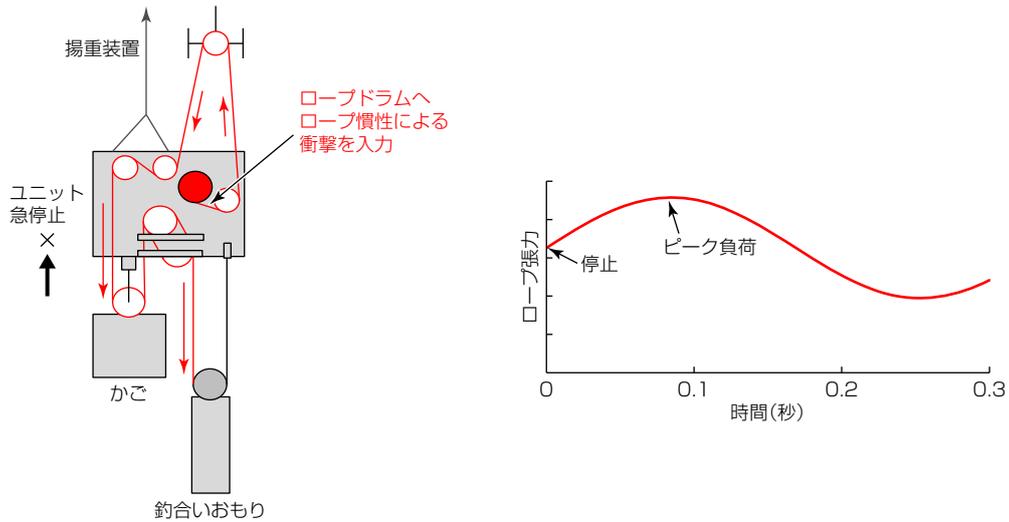


図8. 揚重装置非常停止シミュレーション

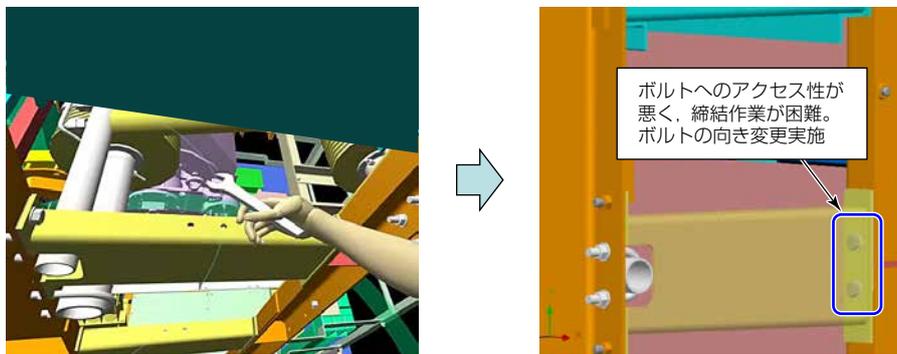


図9. VRによる作業性検証

5. む す び

新規開発したクライミングエレ工法の概要について述べた。これによって、サービス階増加時に必要なエレベーター停止期間を従来比で約70%に短縮できた。今後建築業界では、一層の資材高騰や人手不足によって、建築コスト削減や工事効率化の要求が加速すると予想され、本稿で述べたクライミングエレ工法の需要も増加が見込まれる。更に改善を加えて、建築業界の期待に対応していく。

既設エレベーター向けロボット連携

Elevator Call System with Robot for Existing Elevators

*三菱電機ビルソリューションズ株式会社

要 旨

三菱電機ビルソリューションズ株式会社(MEBS)は、エレベーターとロボットを連動させるために、スマートシティ・ビルIoT(Internet of Things)プラットフォーム(以下“Ville-feuille(ヴィルフィーユ)”⁽¹⁾という。)を活用した、エレベーターのロボット連携機能を2020年に発売した。Ville-feuilleとエレベーターは、エレベーター制御盤用インターフェース装置(以下“ELSGW”(Elevator Security Gateway)という。)を使用して通信する構成になっている。しかし、既設の古い機種のエレベーターは、ELSGWへの通信機能を持っていないため、物件ごとに特殊設計で対応する必要があり、ロボット導入のハードルになっていた。そこで古い機種のエレベーターでのロボット移動のニーズに対応するため、古い機種のエレベーターとの通信を可能にしてロボット連携機能の導入を円滑にするシステムを新たに開発した。

1. ま え が き

少子高齢化などを背景に、ビル管理業界でも労働力不足が課題になっているため、警備・清掃などの業務をサービスロボットで代替する動きが加速するなど、業務の省人化が求められている。一方、ビル管理業務の省人化に向けてサービスロボットを有効活用するには、ロボットが自律的にビル内を移動できる環境の実現が不可欠になる。MEBSは、設備やシステムを有機的に連携させ、ビルの全体最適を実現するためのVille-feuilleを開発し、ビル運用支援サービスの発売をしている。

Ville-feuilleでエレベーターとロボットを連携するには、ELSGWを介して通信する機能がエレベーター側に要求される。しかしながら、既に設置されている古い機種のエレベーターにはこの通信機能が備わっていないため、代替としてI/Oコンバーターを介しての入出力接点での対応になる。そのため、エレベーター側に入出力(I/O)基板の実装、多くの配線等、追加機器が多くハードウェアとして大きな変更が必要になる。ハードウェアに合わせてソフトウェアも大幅な変更が発生するため、既設のエレベーターに対するロボット連携機能の導入を阻害する要因になっていた。

この課題を解決するために、I/Oコンバーターを介しての入出力接点を使用する方式(I/Oコンバーター方式)に代わる手段として、プロトコルコンバーター(プロコン)を介して通信するシステム(プロコン方式)を開発した。

本稿では、ロボット連携(図1)の機能、I/Oコンバーター方式とプロコン方式を比較するとともに、ニーズや用途に合わせた二つのロボット連携機能“ロボット専用運転”と“人とロボットの同乗運転”について、その特徴を述べる。

ビル設備や人とつながり、
人とロボットが共存するビル、そして都市へ



図1. ロボット連携

2. ロボット連携の機能

Ville-feuilleを活用したロボット連携は、シームレスな連携によってエレベーターとロボット連携機能を実現する。乗車部分を抜粋した機能イメージを図2に示す。

- (1) ロボットから自分の位置情報(出発階)を提供、配車(行き先階含む)を要求する(図2①)。
- (2) Ville-feuilleからエレベーターを出発階へ配車させ、行き先階の呼びを自動登録する(図2②)。
- (3) エレベーターからVille-feuilleへ出発階の乗場に到着し戸開している状態を送信する(図2③)。
- (4) Ville-feuilleからロボットへ乗車指示を出す(図2④)(ロボットが乗降する際は、戸開状態を保持して安全にサポートする)。
- (5) ロボットがエレベーターに乗車完了したら、戸閉して行き先階へ走行する。
- (6) エレベーターからVille-feuilleへ行き先階の乗場に到着し戸開している状態を送信する。
- (7) Ville-feuilleからロボットへ降車指示を出す。

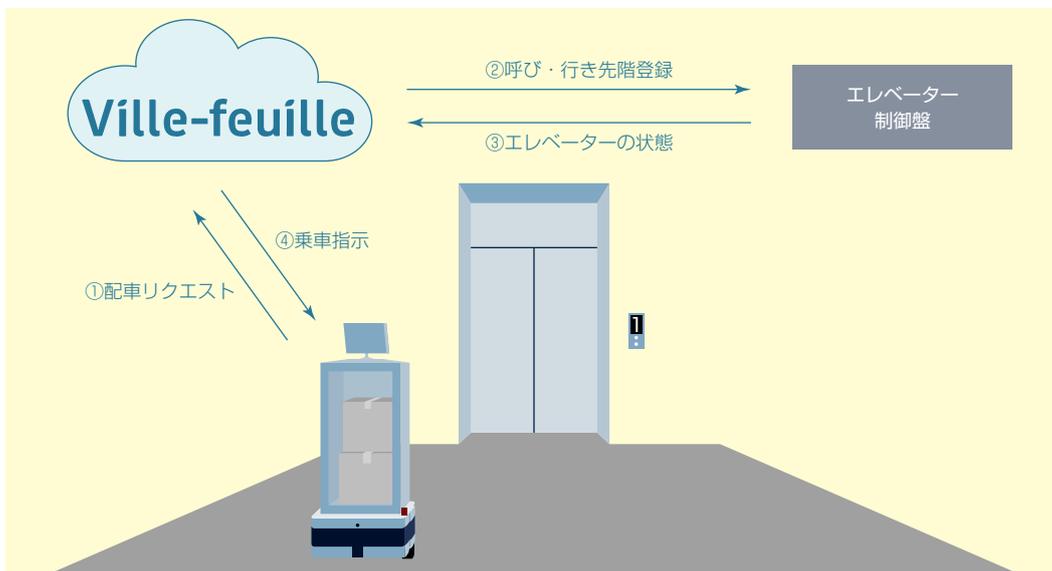


図2. Ville-feuilleを活用したロボット連携(乗車部分)の機能イメージ

3. I/Oコンバーター方式とプロコン方式の比較

3.1 システム構成

I/Oコンバーター方式とプロコン方式ではエレベーターとIoTGW(Internet of Things Gateway)(インターネット経由でVille-feuilleクラウドサーバーとエレベーター間の通信を変換するルーター装置)間の接続が図3のように異なる。I/Oコンバーター方式からプロコン方式へ変更になることで、制御盤からELSGW-R(Elevator Security Gateway for Robot)の配線が大幅に削減可能になっている。

3.2 特徴

I/Oコンバーター方式とプロコン方式の特徴について表1に示す。ELSGW-Rは、IoTGWに対してELSGWと同様のインターフェースを提供する役割を果たす。制御盤に実装されるプロコンは、ELSGW-Rと既設エレベーターとの通信のための共通のインターフェースを提供する役割を果たす。これらの通信制御機器の開発によって、既設でも物件によらず、エレベーター外部及びエレベーター内部に共通の機能を提供することが可能になり、物件ごとに必要とされていた特殊設計が大幅に削減されることで、ロボットの導入が容易になった。

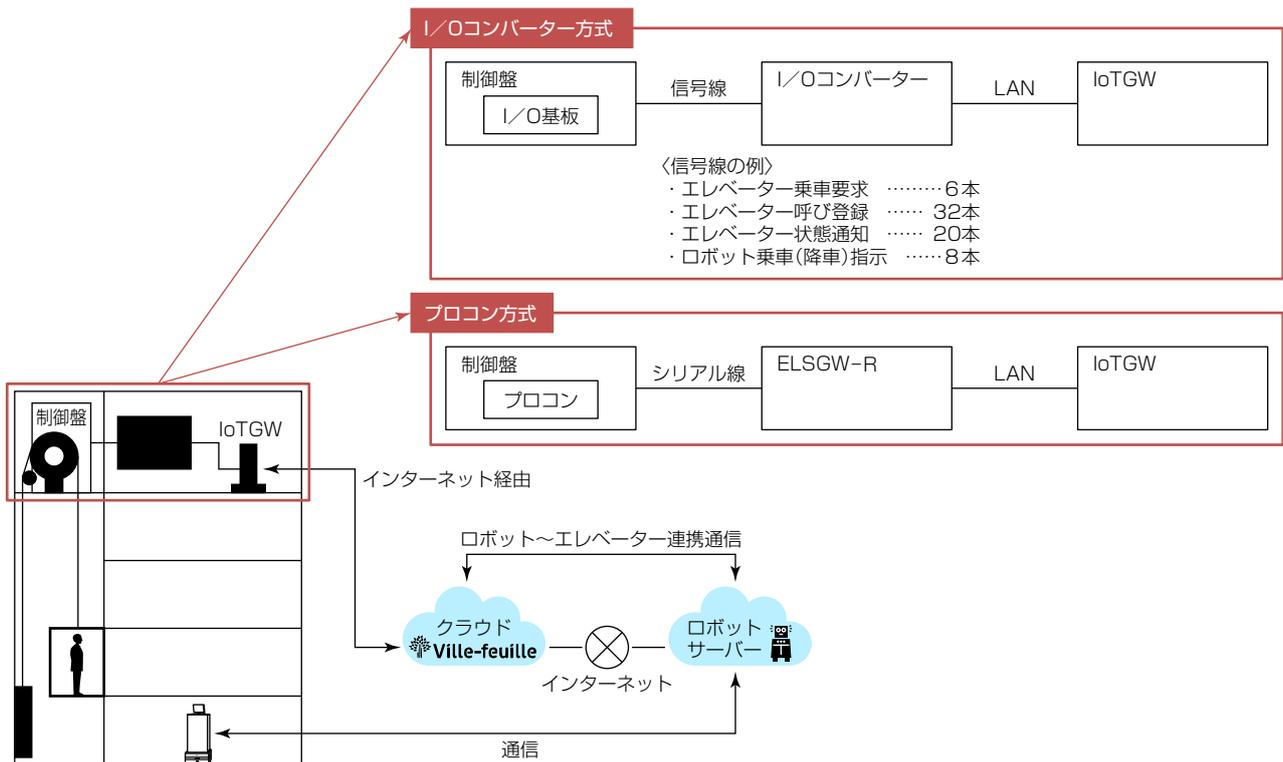


図3. Ville-feuilleを接続するシステム構成の相違点

表1. 特徴の比較

	I/Oコンバーター方式：従来	プロコン方式：今回開発
機器	<ul style="list-style-type: none"> ・I/Oコンバーター ・物件ごと検討した制御盤内追加機器(I/O基板) ・信号数分の配線 	<ul style="list-style-type: none"> ・ELSGW-R ・全物件同一の制御盤内追加機器(プロコン) ・シリアル通信ケーブル
ソフトウェア	変更大	変更小

4. ロボット連携に対応したエレベーター用の運転

ロボット連携に対応したエレベーター用の運転として“ロボット専用運転”と“人とロボットの同乗運転”を開発した。

ロボットがエレベーターを専用で使用できる“ロボット専用運転”では、ロボットから配車リクエストを受けて選択されたエレベーターは、まずエレベーター内の人の行き先ボタン登録に全て応答する。このとき、登録済みの行き先ボタンを解除することはない。これには二つの理由がある。一つ目は、エレベーター内の人の運行を優先するためである。ロボットからの配車リクエストがあった場合でも、通常と変わらないエレベーター運行を行うことで、人に違和感を覚えさせないようにしている。二つ目は、人とロボットの干渉を未然に防ぐためである。エレベーター内の行き先ボタン登録を優先することで、目的のフロアに人を降ろして、エレベーターの中に人が取り残されることを防ぐ。その結果、人とロボットが鉢合わせる可能性を下げ、接触事故を低減する。人を目的のフロアに送り届けた後、ロボットの出発階にエレベーターを走行させ、ロボット乗車～降車まで、ロボット専用でエレベーターは動作する。このように、人とロボットの干渉が最小限になるように制御しており、人の安全性を第一に考えた動きになっている。

一方“人とロボットの同乗運転”は、図4のように人とロボットが同時に乗車することを前提としている。ロボットから配車リクエストを受けると、通常のエレベーター運行の中でロボットの出発階から行き先階に移動できるように、人の呼びと独立してロボット用の呼びを作る仕組みである。ロボット用の呼びを作成するタイミングは、運行効率の観点から大変重要である。エレベーターの位置・走行方向・ドアの開閉状態などの情報を駆使し、状況によってはロボットからの呼び登録タイミングをエレベーター側で追加制御することで、運行効率を極力落とさないよう調整している。このように、エレベーター側でロボット連携用の信号を能動的に補正するような作りをすることで、エレベーターとロボット間の通信を簡素化し、エレベーターとロボットの連携ハードルを下げることに寄与した。このシステムでは人も通常どおり利用

できるため, “ロボット専用運転”と比較してエレベーターの運行効率を低下させることなく, ロボット連携することが可能である。既に稼働しているビルへの導入を考えて, 可能な限りエレベーターの運行効率を下げることなく連携できる点で優位性を持つ。



図4. エレベーターへの人とロボットの同乗(イメージ図)

これら“ロボット専用運転”と“人とロボットの同乗運転”との比較を表2に示す。それぞれ動作は異なるが, 各仕様で, エレベーターとロボット間の通信プロトコル及びエレベーターの動作を規格化したという点では共通している。物件ごとの対応と比較すると, ロボットメーカーとしてはより安全・迅速に, ビルオーナーとしてはより信頼でき・安価にエレベーターとロボットの連携を実現できる。

表2. “ロボット専用運転”と“人とロボットの同乗運転”との比較

	ロボット専用運転	人とロボットの同乗運転
機能	人が同乗できない専用運転を実施し, ロボットを出発階から行き先階まで移動させる。	人との同乗を前提に, 通常のエレベーター運行の中で, ロボットを出発階から行き先階まで移動させる。
特徴	ロボットから配車リクエストを受けた際, まずエレベーター内の人の行き先ボタン登録を優先する。全て応答完了してからロボット専用運転へ移行するため, 人と干渉する可能性が低い。	エレベーター側で呼び登録のタイミングを制御し, 運行効率を極力落とさないよう調整する。
利点	人への安全性に優れている。	ロボットによる運行効率低下を低減できる。

5. む す び

労働人口の減少や新型コロナウイルス感染症による非接触などの背景から, エレベーターを利用したフロア間のロボット移動のニーズは高まっており, このニーズは新設ビルだけでなく既設ビルにも同様に高まることが予想される。後付けに特化したMEBSのシステムは, ビルとロボットの親和性を高めるだけでなく, 既設ビルへの付加価値向上の観点でも貢献できる。また, “ロボット専用運転”“人とロボットの同乗運転”の適用拡大を検討することで, 更なるロボットフレンドリーな環境構築を支援する。エレベーター内での人とロボットの共存に向けて, 実証実験を継続的に実施し, 安全性や運行効率の向上などの改善に努める。

今後もMEBSは, ビル設備に関する様々な顧客のニーズに対応するため, 最適なソリューションの研究開発・提供を行うとともに, 安全・安心・快適なビル空間の創造に貢献する。

参 考 文 献

- (1) 根岸啓吾, ほか: “Ville-feuille”スマートシティ・ビルIoTプラットフォーム, 三菱電機技報, 95, No.10, 638~641 (2021)

クラウド型VPN接続機能：クラウドを利用した汎用機能のコンポーネント化

Cloud-based VPN Connection Function:
Componentization of Generic Functions Using Cloud Computing

*三菱電機ビルソリューションズ(株)

要 旨

“クラウド型Virtual Private Network(VPN)接続機能”は、クラウドコンピューティング技術を活用し、三菱電機ビルソリューションズ(株)(MEBS)稲沢ビルシステム製作所製ビルマネジメント製品(以下“MEBS製システム”という。)のVPN接続機能を汎用的に利用できるようなコンポーネント化したものである。クラウド型VPN接続機能が提供可能なサービスとして、“VPN接続サービス”“メール送信サーバーサービス”の二つが挙げられる。VPN接続サービスは“通信経路暗号化機能”“複数拠点(注1)間の通信制御機能”及び“拠点への遠隔接続機能”を備える。メール送信サーバーサービスは“メール送信機能”及び“過剰送信の通知機能”を備える。これらのサービス・機能をMEBS製システムに利用できる汎用機能として開発した。クラウド型VPN接続機能は今後もクラウド上に構築されているシステムである点を生かして、汎用的な機能を取り込みながら、コストや汎用性の面でMEBS製品の価値向上に寄与していく。

(注1) ここで“拠点”とは、MEBS製システムが納入された、顧客の所有する拠点のことを指す。ただし、1拠点当たりVPNルーターを1台設置する前提とするため、VPNルーターが複数設置された拠点はVPNルーターの台数分の拠点として数える。

1. ま え が き

近年、パブリッククラウドの市場規模が初めて1兆円を超過したが、2026年には4兆円を突破するとの推計⁽¹⁾⁽²⁾が出ている。市場規模の増大に伴い、パブリッククラウド上で提供される機能は年々多様化・高度化している。また、パブリッククラウド上で実現可能な技術が多様化・高度化したことと、提供されるサービスが市場競争によって安価になったことに伴い自社のサービスや製品をクラウド化することで、開発コストや運用コストを低減しようとする動きも活発化している。クラウド型VPN接続機能(図1)はこうした動きに追従するとともに、今まで製品ごとに開発されていた汎用機能をどのMEBS製品でも利用可能な形でクラウド上に構築することによって、開発コストの低減ひいては顧客が負担するコストの低減に寄与する。

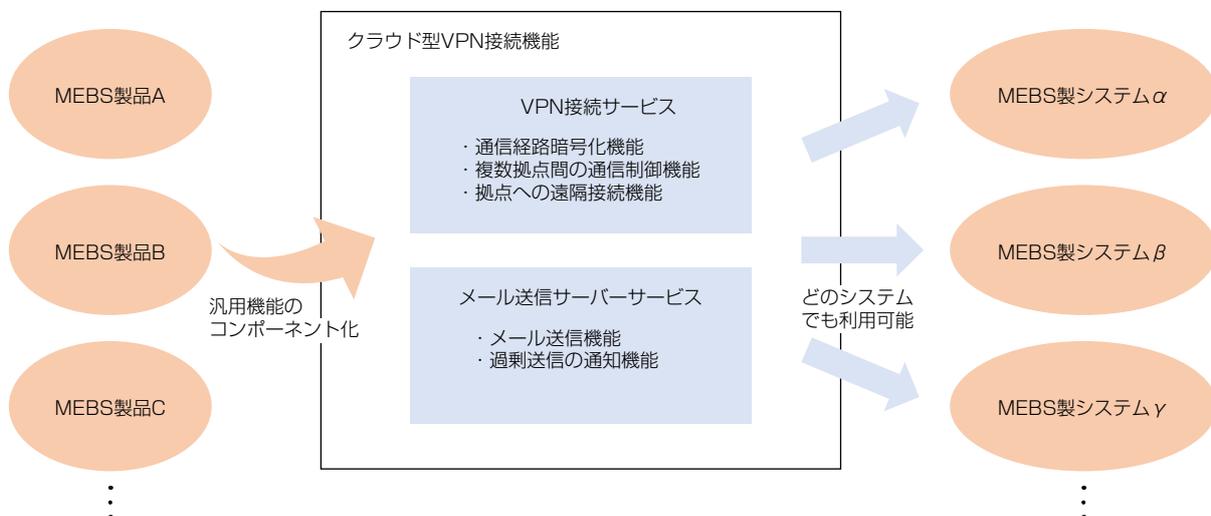


図1. クラウド型VPN接続機能の概念図

本稿では、始めにクラウド型VPN接続機能のシステム構成と特長を述べる。次に、具体的なサービスとして、VPN接続サービスとメール送信サーバーサービスについて述べて、最後にクラウド型VPN接続機能の今後の展望を示す。

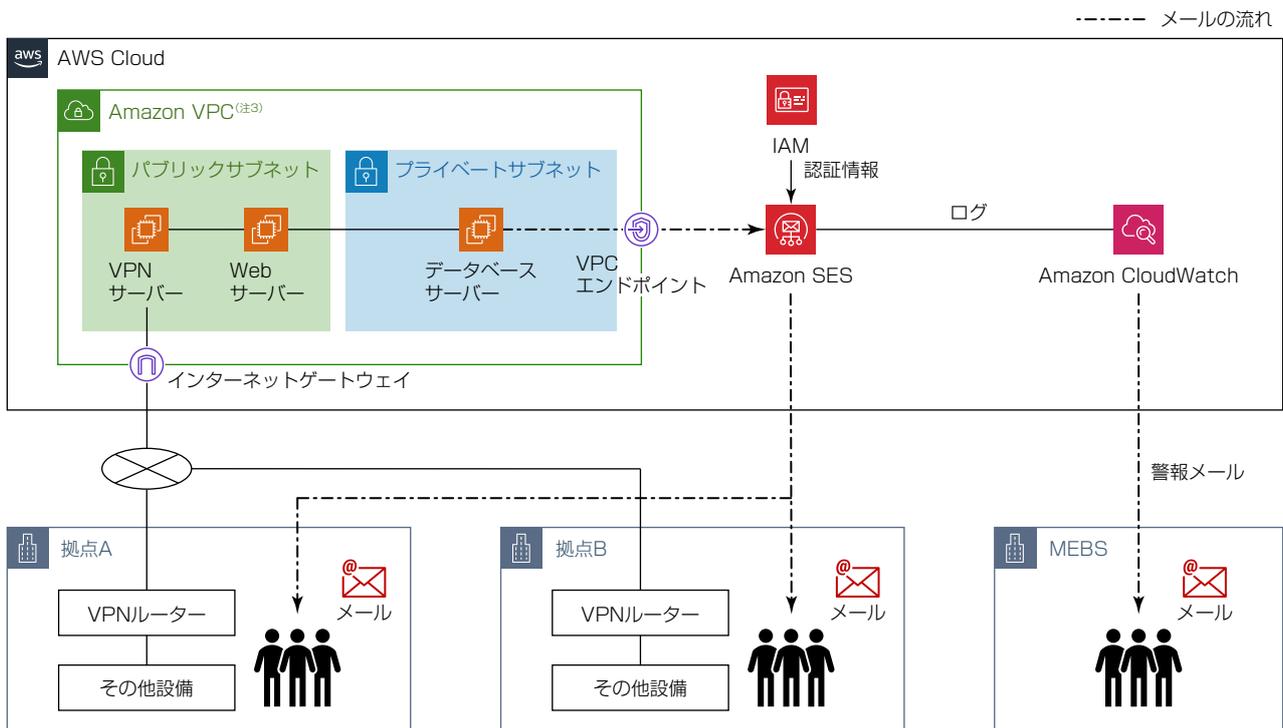
2. クラウド型VPN接続機能のシステム構成

この章では、クラウド型VPN接続機能のシステム構成を述べた上で、その特長について述べる。

2.1 システム構成

図2にクラウド型VPN接続機能の持つ二つのサービスのシステム構成を示す。クラウド型VPN接続機能はインターネット回線を利用して、AWS(Amazon Web Services)^(注2)上に構築されたシステムである。クラウド型VPN接続機能を利用するMEBS製システムがそのシステム内の拠点間で通信する必要がある場合に、外部ネットワーク上の通信経路暗号化を提供する。また、MEBS製システムが外部へメールを送信する必要がある場合、メール送信サーバーを提供する。クラウド型VPN接続機能で接続される各拠点には3G通信モジュール内蔵VPNルーター(以下“VPNルーター”という。)が設置されており、VPNルーターのLAN側に接続された設備とクラウド上のサーバーを接続する。クラウド型VPN接続機能は、クラウド上にあるデータベースサーバーやWebサーバーの前段にVPNサーバーを構築することによって、これらと各拠点に設置された設備の通信経路を暗号化する。また、拠点が複数存在する場合には、拠点間通信の制御も実施する。さらに、VPNルーターのLAN側に接続された設備又はクラウド上のサーバーがメールを送信する場合、AWSのAmazon SES(以下“SES”という。)を利用することによって、設備が接続するメール送信サーバーを提供する。

(注2) AWS, Amazon Web Servicesは、Amazon Technologies, Inc.の登録商標である。



(注3) Amazon VPCは、Amazon Technologies, Inc.の登録商標である。
VPC : Virtual Private Cloud, SES : Simple Email Service

図2. クラウド型VPN接続のシステム構成

2.2 システム構成上の特長

クラウド型VPN接続機能は、汎用機能をクラウド上に構築することによって、当該の汎用機能を利用するシステムごとに構築しなければならなかったという従来の課題を解決している。例えば、従来製品ではVPN接続機能を実装しよう

と考えた場合、高額なVPNサーバーを構築するか、又は、パブリッククラウドのVPN接続サービスを利用する必要があった。パブリッククラウドのVPN接続サービスを利用する場合、拠点間の通信制御を実施するためには、別途中継サーバーも構築する必要がある。また、メール送信機能を実装しようと考えた場合、別途、高額なメール送信サーバーを構築する必要があった。この場合、システムに改善や改修が発生したとすると、メールサーバーも改修する必要がある可能性があり、保守員が現地を訪れる必要がある点や顧客との日程調整が必要な点から保守性・経済性を損なっていた。さらに、VPNサーバーやメール送信サーバーのような物理サーバーは導入時の初期費用が高額であり、顧客の負担も大きかった。

一方で、クラウド型VPN接続機能はクラウド上に構築されているため、システムの改修等が発生した場合でもローカルコントローラーやローカルサーバーに手を加える必要はなく、遠隔作業によって改善点をスムーズに顧客へと提供できる点で優れている。さらに、従来必要であった高額なVPNサーバーの導入費用や割高なVPN接続サービスの利用料が不要になり、安価な月額費用だけで安全な通信経路を提供可能である。

3. クラウド型VPN接続機能のサービスと特長

この章では、クラウド型VPN接続機能のサービスとして挙げた“VPN接続サービス”と“メール送信サーバーサービス”の2点について、それぞれの機能と特長を述べる。

3.1 VPN接続サービス

VPN接続サービスの機能と特長を述べる。

3.1.1 VPN接続サービスの機能

VPN接続サービスは“通信経路暗号化機能”“複数拠点間の通信制御機能”“拠点への遠隔接続機能”の三つの機能を持つ。まず通信経路暗号化機能では、AWS上にAmazon EC2^(注4)というサービスを利用して仮想のLinux^(注5)サーバーを構築し、そこにオープンソースのVPNソフトウェアであるstrongSwanを動作させることで、L3-VPNであるIPsec(Security Architecture for Internet Protocol) VPNを使用し、VPNルーター-VPNサーバー間の通信をAES(Advanced Encryption Standard)暗号化する。

また拠点間の通信制御機能では、顧客が複数の拠点を所有していた場合に、その各拠点間のIP(Internet Protocol)アドレスベースでのアクセス制御を実施する。

最後に拠点への遠隔接続機能では、遠隔地に存在する顧客の拠点へ、調整作業のためMEBSから接続することを可能にする。このとき、VPNルーターの持つモバイル回線機能を利用することで、ネットワーク回線が敷設されていない拠点でも外部からのアクセスも可能にしている。

(注4) Amazon EC2は、Amazon Technologies, Inc.の登録商標である。

(注5) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

3.1.2 VPN接続サービスの特長

VPN接続サービスでは、オープンソースソフトウェアを利用することによって、開発負荷を軽減している。

また、顧客が拠点に敷設している回線では一般に固定IPアドレスが付帯していないことを鑑みて、VPNサーバーに固定IPアドレスを付与し、VPNルーター側をVPN接続の起点としている。これによって顧客に固定IPアドレスを新たに取得させることなく、VPN接続サービスの提供を実現している。

さらに、顧客が複数の拠点を持つ場合、拠点同士での通信を実施したいケースや、反対に特定の拠点同士では通信を実施したくないケースが発生する。しかし、VPNの機能では、クライアント同士の通信の制御はできないため、このケースでは、VPNサーバーのOSであるLinuxに実装されているファイアウォール機能であるiptablesを利用することで拠点間の通信制御を実現している。

最後に、拠点への遠隔接続機能では、実際に拠点へ赴くことなく、VPNルーターのファームウェアのアップデートや設定値の変更、ログファイルの取得等が可能である。また、VPNルーター自体だけでなく、そのLAN側に接続されたシステムへ接続し、設定を施すことも可能である。これに加えて、VPNルーターの持つモバイル回線機能と拠点への遠隔

通信機能を合わせることによって^(注6)、従来であればネットワーク回線が敷設される前の拠点で不可能であった、ネットワークを利用するシステムの施工や調整作業を可能にしている。

(注6) モバイル回線を利用した拠点への遠隔接続機能は、無線特有の不安定性等を鑑みて、工事・調整用途でだけ利用を許可する。

3.2 メール送信サーバーサービス

この章では、メール送信サーバーサービスの機能と特長について述べる。

3.2.1 メール送信サーバーサービスの機能

メール送信サーバーサービスは“メール送信機能”と“過剰送信の通知機能”の二つの機能を持つ。まずメール送信機能では、その名前のとおり、MEBS製システムに対してメールを送信するためのSMTP(Simple Mail Transfer Protocol)サーバーを提供する。また過剰送信の通知機能では、メールの送信数が事前に設定した値を超えていないか監視し、超えた場合はMEBSの担当者へ通知が送られる。

3.2.2 メール送信サーバーサービスの特長

メール送信サーバーサービスでは、SESに備えられているSMTPエンドポイントを利用してメールの送信を実現している。ここで、メール送信機能を提供する上で避けられないのがエラーメールである。このサービスでは、エラーメールが発生した場合、Return-Pathと呼ばれるメールヘッダの一部に返信先のメールアドレスを記載することで、記載したメールアドレスへとエラーメールが返信される仕組みを提供している。これによって、送信エラーが発生した場合にも、送信者がそのエラーに気が付くことができる。

また、過剰送信の通知機能によって、不正アクセス等による認証情報の流出を原因とするメール送信サーバーの踏み台利用を検知するとともに、SESの1日当たりのメール送信上限数に到達していないかを監視している。

4. 今後の展望

VPN接続サービスは、**図3**に示すように、VPNサーバー二重化による通信の冗長化を含めた機能の拡張を検討している。

図3に示した構成で、平時はLVS(Linux Virtual Server)という、Linux OSに搭載されたロードバランサーを利用することで、待機サーバーとの間で負荷分散を図る。これによって、待機系サーバーが稼働していない時間を減らし、コスト

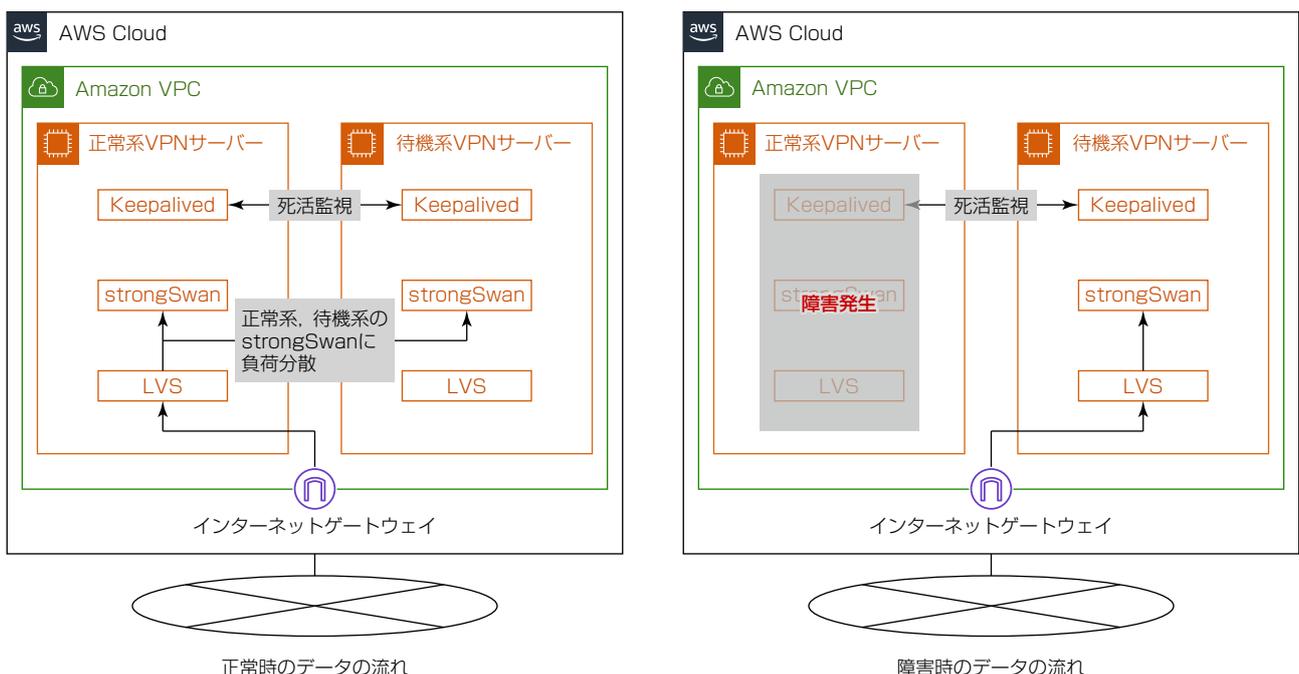


図3. VPN接続サービス冗長化検討

ト面での無駄を削減している。また、常に待機系サーバーを起動しておくことによって、切替え時に待機系サーバーが起動するまでの時間を短縮している。さらに、図3に示した構成で、同一サブネット上のルーター装置間での冗長化を実現するプロトコルであるVRRP(Virtual Router Redundancy Protocol)をLinux上で実装したモジュールのKeepalivedを利用することによって、正常系と待機系のVPNサーバー間での死活監視を実施する。この死活監視によって、正常系のサーバーに問題が発生した場合は即座に待機系のサーバーだけの運用に切り替えることができ、システムの稼働を維持することが可能である。

5. む す び

クラウド型VPN接続機能の持つサービスである、安全な通信経路と通信の制御を提供するVPN接続サービスと、新規開発不要でメールの送信機能を提供するメール送信サーバーサービス、及びその機能と将来展望について述べた。クラウド型VPN接続機能は今後も自社製品向けの汎用的な機能を取り込んで、製品及び運用コスト・開発コストの両面から製品の価値向上を支えていく。

参 考 文 献

- (1) 株MM総研：パブリッククラウドの国内市場は1兆円を突破 (2021)
<https://www.m2ri.jp/release/detail.html?id=500>
- (2) IDC Corporate：国内パブリッククラウドサービス市場予測を発表 (2022)
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prJJP49684222>



ビル空調自動省エネルギーソリューション “スマート・省エネ・アシスト”

村山修一*
Shuichi Murayama
長廣憲幸*
Kazuyuki Nagahiro
妻鹿利宏†
Toshihiro Mega

佐藤冬樹†
Fuyuki Sato

Solution of Automatic Energy Conservation for Building Using Air Conditioners "Smart Energy Conservation Assist"

*三菱電機ビルソリューションズ㈱
†同社(博士(情報工学))
‡三菱電機㈱(博士(工学))

要旨

ビルの省エネルギーを実現する際、省エネルギー制御を実行した場合の削減効果を精緻にシミュレーションすることは難しい。また、削減目標を達成するための省エネルギー制御計画を作成しても、目標と実績のずれを踏まえながら日々省エネルギー制御を調整するのは非常に労力を要するという課題がある。ビル設備運用システム“facima BA-system”(以下“facima(ファシーマ)”という。)向けに提供しているクラウドサービス“スマート・省エネ・アシスト”(以下“スマート省エネ”という。)では、facimaで記録した受電メーターの計量値やビルマルチエアコンの稼働実績に基づいた省エネルギー制御から得られる効果を推算する“省エネシミュレーション”機能と、あらかじめ設定した削減目標の達成に向けて自動で遠隔から空調機器を省エネルギー制御する“アクティブ省エネ制御”機能を提供し、課題の解決を図っている。

1. ま え が き

地球温暖化を防止する世界的な潮流を受けて、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて国内の全産業で、徹底した省エネルギーの取組みが求められている。2015年パリ協定の中期目標で、日本は2030年度までに温室効果ガス排出量を2013年度比で26%削減することが目標として定められ、2021年4月には46%削減に引き上げられた⁽¹⁾。この目標を達成するためには、国内全体で原油換算値5,030万kl相当、ビルでは原油換算値1,227万kl相当の省エネルギーが必要とされている。

ビルの消費電力のうち約40%を空調機器が占めており、空調機器に対する省エネルギー制御はビルの省エネルギーに大きく寄与する。しかし過度な省エネルギー制御はビル居住者の環境に悪影響を及ぼす可能性があるため、省エネルギーと快適性を両立可能な製品・サービスへの関心が高まっている。

そこで三菱電機ビルソリューションズ㈱(MEBS)が培ってきた省エネルギーノウハウを活用して、顧客ビルごとに適した省エネルギー制御を自動実行するクラウドサービス“スマート省エネ”を展開している。本稿では、スマート省エネが提供する“省エネシミュレーション”機能と“アクティブ省エネ制御”機能について述べる。

2. スマート省エネの概説

2.1 システム構成と制御イメージ

ビルの省エネルギーによってビルオーナーが享受できる直接的なメリットの一つとして電気料金の低減がある。電気料金は基本料金と従量料金から構成され、基本料金は契約電力を基に、従量料金は電力使用量を基に算出される。契約電力は30分単位で計測した消費電力のうち過去1年間での最大値を示すピーク電力によって決定されるものであり、従来のビル管理システムではピーク電力の抑制を目的としてデマンド制御を備えている。しかし、一定期間での消費電力の総量である電力使用量の管理についてはビル管理システムの得意とするところではなかった。そこでスマート省エネでは電力使用量の管理も可能とし、ピーク電力と電力使用量の双方の削減を実現する(図1)ことで、ビルオーナーもメリットを感じられやすい形での省エネルギーソリューションを提供する。

スマート省エネは顧客ビルに設置されている設備を管理するビル設備運用システムfacima、三菱電機製ビル用マルチエアコン、空調集中コントローラーAE-200J、設備の運転状況・計測データ等の各種データを蓄積・分析するファシリティーセンター(MEBSクラウド)の構成で実現する(図2)。

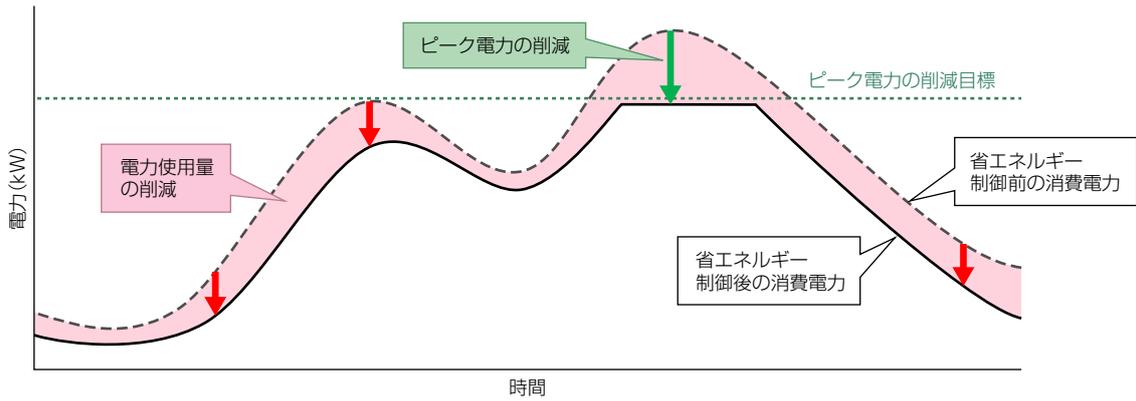


図1. ピーク電力と電力使用量の削減イメージ

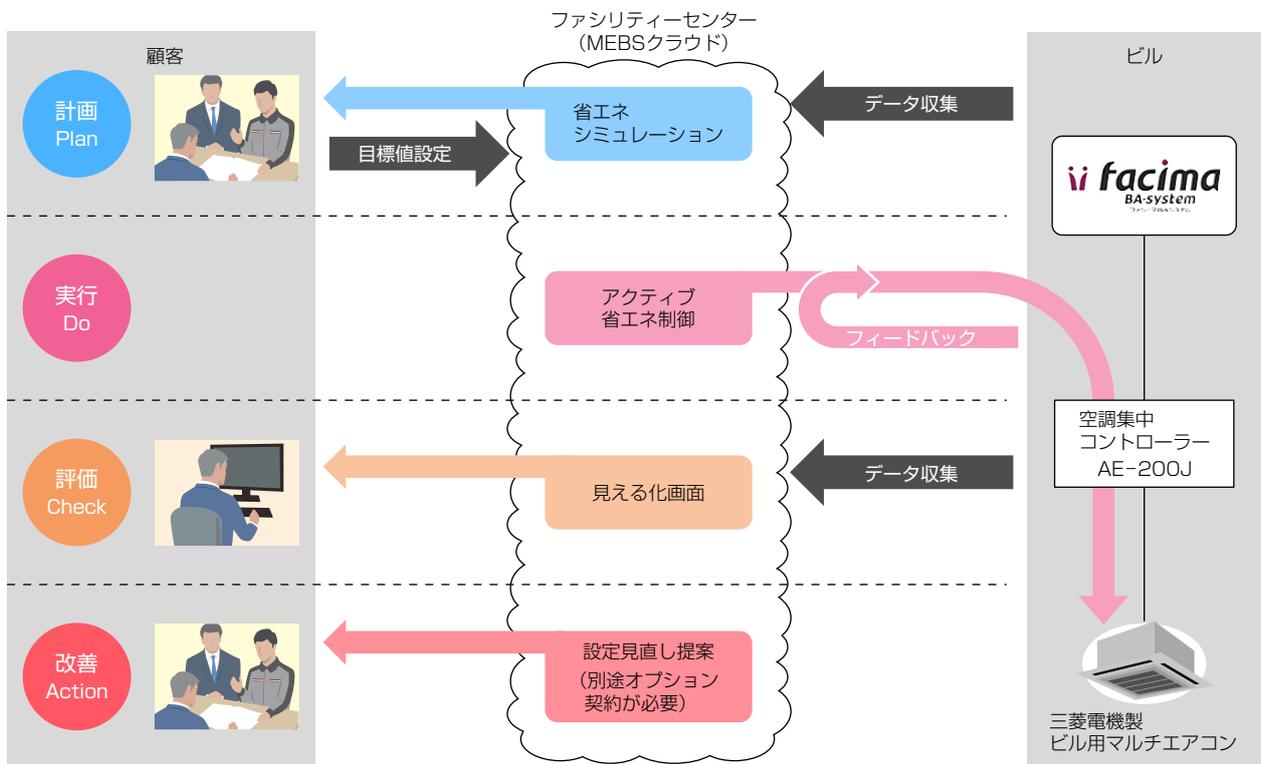


図2. スマート省エネのシステム構成及び提供するPDCAサイクルをサポートする機能

2.2 スマート省エネが提供する機能

スマート省エネではビルの省エネルギーを実現するために、次のPDCA(Plan, Do, Check, Action)サイクルをサポートする機能を提供している(図2)。

- (1) 計画(Plan)フェーズでは、“省エネシミュレーション”機能によって省エネルギー制御を適用した場合の削減効果を推算し、年間の目標値設定や省エネルギー制御の対象設備選択を補助する。
- (2) 実行(Do)フェーズでは、計画フェーズで設定した目標値を達成するために、自動で日々の省エネルギー制御を管理する“アクティブ省エネ制御”機能を提供する。この機能によって、ビル管理者など人手を介さずビルの省エネルギーを実現している。
- (3) 評価(Check)フェーズでは、時間ごとの電力量実績や省エネルギー制御による削減効果の表示画面をWebで提供し、目標値に対する達成状況を確認可能にしている。
- (4) 改善(Action)フェーズでは、年間通しての省エネルギー制御の結果や空調機器の運転状況を踏まえた設定の見直しを提案する。

3. 課 題

ビルの省エネルギーPDCAサイクルを実現する上で解決が必要であった課題2点について述べる。

1点目の課題は、年間の目標を計画するための、省エネルギー制御を実行した場合に見込まれる削減効果の算出が困難なことである。空調機器に対する省エネルギー制御による削減効果を精緻に得るためには、空調機器ごとに省エネルギー制御実行前の消費電力を把握する必要がある。しかしながら、空調機器ごとに計測機器を設置することは設置スペースやコストの制約によって現実的ではない。

2点目の課題は、目標と実績のずれを踏まえながら日々省エネルギー制御を調整することは非常に労力を要することである。計画時に設定したとおりに省エネルギー制御を実行したとしても、実際には気象変化や居室の在室人数等の要因によって想定どおりの削減効果が得られないことがある。そのため年間の目標値を達成するためには、目標の達成状況に応じて日々省エネルギー制御を調整することが必要になる。

4. 解 決 策

3章で述べた2点の課題をそれぞれ解決する機能“省エネシミュレーション”と“アクティブ省エネ制御”について述べる。

4.1 “省エネシミュレーション”機能

“省エネシミュレーション”機能は1点目の課題を解決する機能であり、省エネルギー制御によって得られる削減効果を推算する機能である。この機能は受電電力から空調機器ごとの消費電力への分解と、省エネルギー制御によって得られる効果の推算の2ステップによって実現する。

4.1.1 空調機器ごとの消費電力の分解

空調機器ごとの消費電力への分解では、facimaが記録しているビル全体の電力使用量の計量データ(受電電力の推移データ)と設備ごとの稼働実績データを用いた機械学習によって、受電電力の増減と設備の稼働状況の変化との相関を抽出する。これによって受電電力の推移から、設備ごとの消費電力への分解を実現する(図3)。

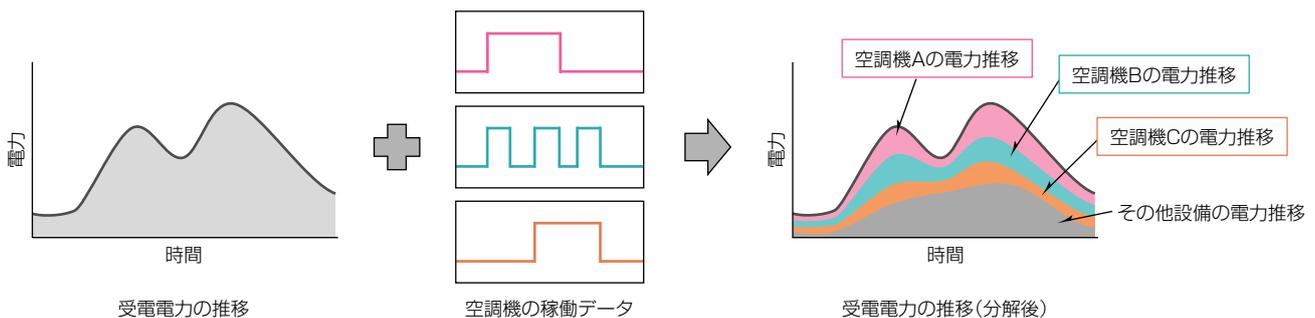


図3. 電力分解イメージ

しかしながらビルの受電電力を構成する要素には空調機器以外の設備の消費電力も含まれているため、受電電力の推移が空調機器の消費電力だけで構成されると仮定し分解してしまうと、空調機器の消費電力として過大な値が推算されてしまう。そのため空調機器以外の設備の電力推移についても考慮する必要があるが、ビル設備運用システムであるfacimaでは、コンセントに接続されるOA機器のように稼働実績データを記録していない設備が多く存在する。

そこで空調機器以外の設備は、特定の基準パターンに準じて稼働する仮想的な設備の集合であるとみなして推算する⁽²⁾。ここで基準パターンとは午前中だけ稼働、午後だけ稼働のようにあらかじめ用意する複数の稼働パターンを示す。

この手順によって、空調機器ごとに計測機器を設置せずとも、受電電力から空調機器ごとの消費電力とその他設備の消費電力への分解を可能にする。

4.1.2 省エネルギー制御によって得られる効果の推算

省エネルギー制御によって削減できる効果を推算するために、省エネルギー制御の対象とする空調機器、空調機器に対して実施する省エネルギー制御を選定する。この選定結果と、4.1.1項で推算した空調機器ごとの消費電力によって削減効果の推算を可能にする。

4.2 “アクティブ省エネ制御”機能

“アクティブ省エネ制御”機能は、2点目の課題を解決する機能であり、年間の目標達成に向けてビルの空調機器に対する省エネルギー制御を遠隔から自動で実行・調整する機能である。この機能は年間の目標値の細分化、目標値を達成するように省エネルギー制御の実行、及び目標達成状況のフィードバックの3ステップによって実現する。

4.2.1 目標値の細分化

スマート省エネでは顧客が設定すべき目標値は年間の目標だけにしている。設定した年間の電力使用量の目標値を、過去の実績や気象情報を利用して算出した需要予測を基に、月単位、月単位を日単位、日単位を30分単位と順に細分化する(図4)。

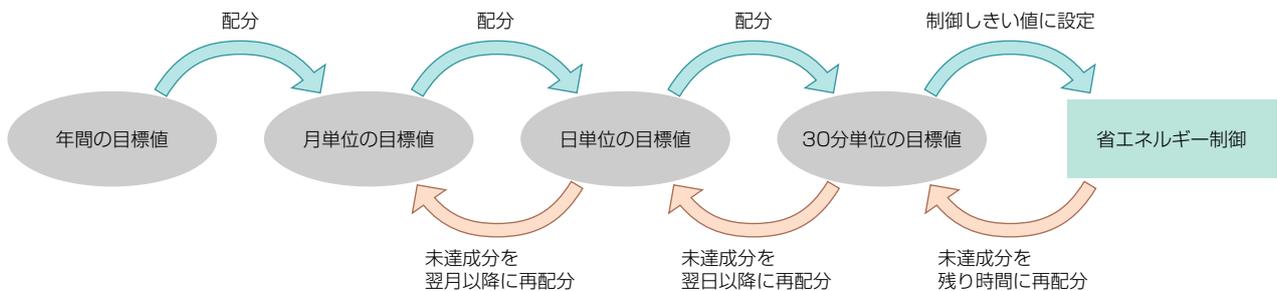


図4. 目標分配イメージ

月単位への細分化では、前年度の月ごとの実績値から各月の重みづけを行い年間の目標値を配分する。続いて日単位への細分化では、月初めに前年と当年の実績値から日単位の需要予測を算出する。この日単位の需要予測を基に月単位の目標値を日単位へ配分する。さらに30分単位への細分化では、各日の初めに前年と当年実績値と、外気温の実測値及び予報値を基に30分単位の需要予測を算出する。この30分単位の需要予測を基に日単位の目標値を配分する。

4.2.2 省エネルギー制御の実行

4.2.1項で細分化した目標値はビルのfacimaに送信し、facimaでは30分経過時点の予測値を算出し1分ごとに目標の達成見込みを判定する。ここで目標未達の見込みになる場合に、あらかじめ設定した省エネルギー制御を実行することで目標達成を目指す。

なお、あらかじめ設定する省エネルギー制御として空調の室内機に対する6分間の送風ローテーション制御を多く採用している。これは、30分間のうち合計6分間だけ室内機の運転状態を冷暖房運転から送風運転に変更する制御であり、グルーピングした室内機の中で、送風運転が重ならないようにタイミングをずらして制御するものである。

4.2.3 目標達成状況のフィードバック

目標の達成状況に応じて未来の目標値を修正するために、30分ごとに実績値を収集・確認する。このとき、確認した時点までの目標が未達成である場合、日単位の目標値が達成できるよう、同じ日の残りの時間で30分単位の目標値を再配分する。また、各日の初めにも同様に前日までの実績値を確認し、前日までの目標に対して実績が未達成である場合は、月単位の目標値が達成できるよう、その月の残りの日で目標値を再配分する。さらに、月の初めには月単位での未達成分の目標値を未来の月に再配分することで、年間としては目標を達成できるよう補正し続ける。

5. む す び

ビルの省エネルギーに関わる課題とそれを解決するスマート省エネの基本機能について述べた。本稿で述べた機能のほかにも、“省エネシミュレーション”機能で使用する設備の稼働データとして単純なON/OFF情報ではなく、室内温度等を基に推定した空調機器の負荷状況を用いてより精度の高いシミュレーションを実行する機能など拡充を進めている。

またこのサービスを運用している顧客では、設定した削減目標などの条件によっても差異はあるが、1年間省エネルギー制御を実施することで削減した電力量として、前年の電力量実績比で1～5%程度の効果を得られている。さらに昨今の省エネルギー需要の急激な高まりに対応するため、今後も“省エネシミュレーション”や制御の精度の向上を図っていく。

参 考 文 献

- (1) 経済産業省：主要国の約束草案(温室効果ガスの排出削減目標)の比較
- (2) 佐藤冬樹, ほか：日周期性を持つ線形基底関数モデルによる非監視設備を含むビルの消費電力内訳推定, 電気学会論文誌C, **140**, No.2, 137～144 (2020)



既存ビルZEB化に向けた取組み

Initiatives for ZEB Conversion of Existing Buildings

*三菱電機ビルソリューションズ(株)

要旨

脱炭素社会の実現に向けた活動は世界的な高まりを見せており、2050年カーボンニュートラルの達成は官民を挙げて取り組む社会課題である。SDGs(Sustainable Development Goals)達成に向けた活動や、ESG(Environment, Social, Governance)投資を目的としてZEB(net Zero Energy Building)が注目されている。2023年現在、バブル期に竣工(しゅんこう)したビル物件群が、大規模改修の時期を迎えている。既存ビルのZEB化は、資産価値向上の点で市場ニーズが高い一方で、新築ビルと比較すると制約事項が多いため実現事例はまだ少ない。

三菱電機ビルソリューションズ(株)(MEBS)は総合電機メーカーである三菱電機グループの強みを生かし、プランニングから設計・施工・保守まで一気通貫した対応で既存ビルのZEB化を実現している。

1. ま え が き

コロナ禍の反動もありエネルギー需要は高まりを見せているが、一方で緊迫した世界情勢からエネルギーコストは上昇しており、この状況は長期化が懸念されている。こうした社会情勢の中、ZEBはSDGsやESG投資だけでなく、ビルのランニングコスト低減という実利上の効果の点でも期待が高まっている。

日本でのZEBの定義⁽¹⁾は、2019年に確立した。ZEBを取得するためには、図1に示すとおり、建築的手法と高効率機器の導入、及び適切な設備制御によって、基準一次エネルギー消費量の50%以上の削減が求められる。

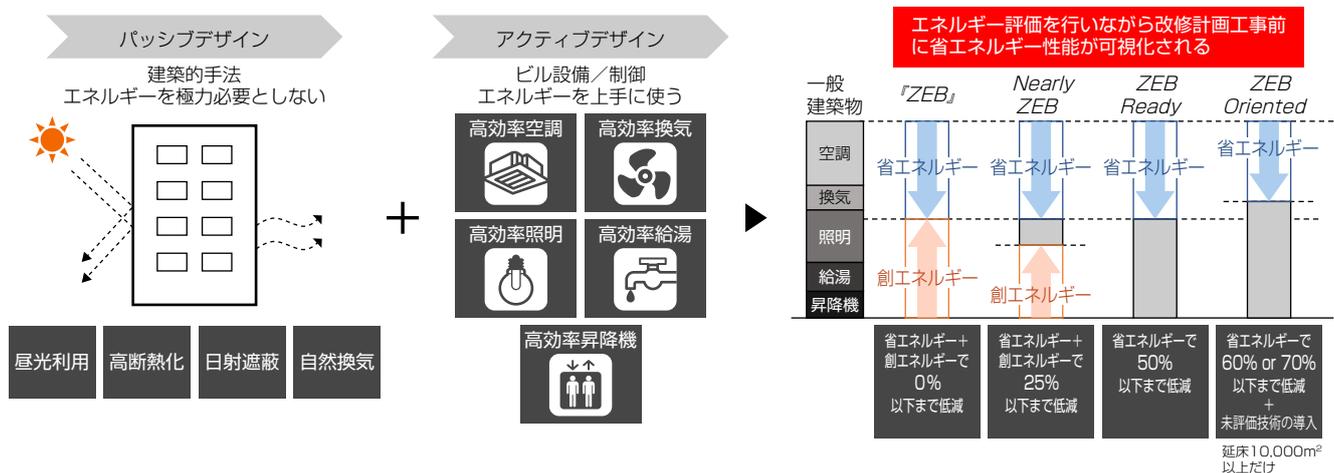


図1. ZEBの設計手法

図2に新築建築物・既存建築物別のZEB建築累積件数⁽²⁾を示す。2017年度以降、新築建築物件数が年100件程度の増加に対して、既存建築物件数は年20件前後の増加にとどまる。国内の非住宅建築物に占める既存建築物は99%以上⁽³⁾であることを鑑みると、既存ビルのZEB化こそが喫緊の課題であり、また、有望な市場であることは明らかである。

このような状況下で既存ビルのZEB化が進まない一因には、建物オーナーに知識・ノウハウがない⁽²⁾ことが挙げられる。ZEB化を成功させるためには、外皮・各種設備の改修範囲や、採算・工期を含めた改修事業の判断、改修後の運用まで見据えた検討が必要である。既存ビルという制約事項が多い中で、各内容に結論を出すことは容易ではない。そこで改修ノウハウ・ZEB化ノウハウを持つMEBSが、計画段階から改修検討に参画することによって、建物オーナーの負担

を減らしつつ既存ビルのZEB化が可能になる。

2章から既存ビルのZEB化に関する市場ニーズと課題、及びMEBS参画事例を挙げる。

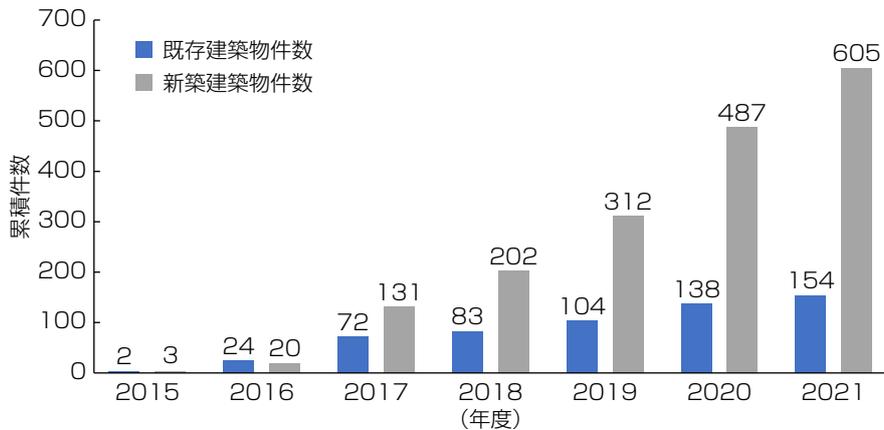


図2. 新築・既存建築物別のZEB建物累積件数⁽²⁾

2. 既存ビルのZEB化ニーズ

エレベーターの寿命や空調冷媒配管の引き直しなどの設備改修が重なる要因から、ビルの大規模改修時期は竣工後30年前後である。国内での竣工年別の非住宅床面積を図3に示す。2023年時点で築30年前後になる1986～1996年の竣工の床面積は、1993年を除いて毎年1億m²以上あり、新耐震基準以後では突出している。この時期に竣工した建物が大規模改修時期を迎えており、既存ビルの改修需要は増大が見込める。併せて東京都心5区(千代田区、中央区、港区、新宿区、渋谷区)の環境認証取得^(注1)による賃料上げ効果を図4に示す。環境認証で認証評価5 (BELS認証では、★5 (ZEB Ready) 以上)を取得することで、取得前と比べて4.6%の賃上げ効果が報告されている。この結果から、主要都市部で今後の増加が見込まれる既存ビルの大規模改修案件では、ZEB化改修の需要が高まると予想される。

(注1) 本稿では、CASBEE(建築環境総合性能評価システム)、DBJ Green Building認証、BELS(建築物省エネルギー性能表示制度)の3種類の認証制度を指す。それぞれの認証は5段階評価であり、評価のランクを認証評価として記載している。

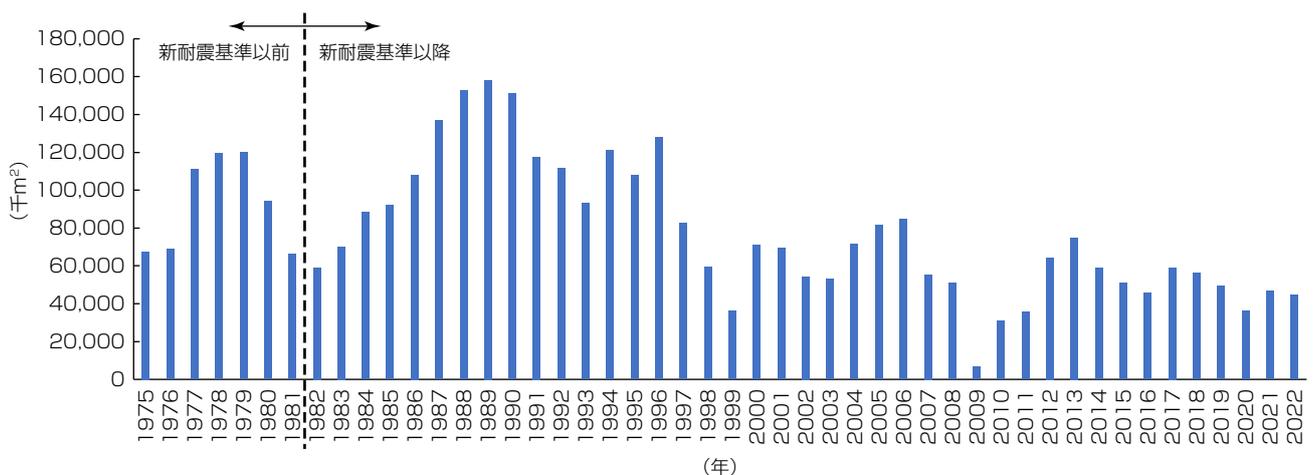


図3. 竣工年別の非住宅床面積⁽⁴⁾

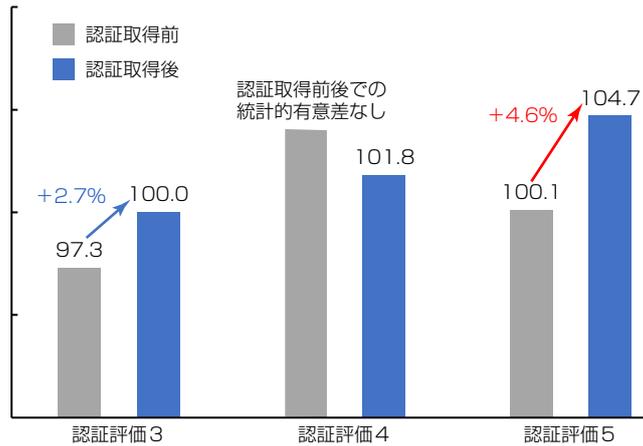


図4. 環境認証取得前後の賃上げ効果⁽⁵⁾

3. 既存ビルZEB化の課題

この章では、明らかに需要増が見込めるはずの既存ビルのZEB化で、市場事例に乏しい理由を挙げる。新築ビルでは、建物の間取りから機器の設置箇所までZEBを意識した構成にも自由度がある。一方で既存ビルでは、ビルの建物・設備が構築されている状態(以下“既存状態”という。)が制約事項になり、解決すべき課題が多くなる。次に主な課題を列挙する。

3.1 外皮性能の評価

既存ビルをZEB化するに当たり、いち早く外皮性能(建物構成と断熱性能)を評価する必要がある。断熱性能が足りず、外皮改修工事が必要な場合、コスト・工期面で事業計画に与える影響は大きい。そのため、図面を用いて断熱材を確認するとともに、エネルギー消費性能計算を実施し、既存状態を評価することが求められる。

3.2 設備選定・流用範囲の検討

ZEBに関わる設備ごとに、改修・流用の判断が求められる。ZEB化だけの視点で、全て最新の高性能設備に新調できればよいが、予算面で建物オーナーの負担が大きくなる。また、改修する設備についても、配管・配線・電源構成など、どこまでを改修・流用するか検討が必要になる。

この判断に向けて、既存状態の把握と適切な設計手順での検討が一助になる。まずは既存状態でのエネルギー消費性能を計算して、エネルギー状況を明らかにすることで、改修する設備の目星を付ける。その後、改修予定の内容をエネルギー消費性能計算に反映することで、ZEB化の到達状況を確認する。こうした手順を踏むことで既存の設備を生かしたZEB化検討が可能になり、過剰な予算を見込むことなく既存ビルのZEB化を達成できる。

3.3 改修後の既存ビル運用を考慮した設計

ビルの省エネルギー化だけを考慮する場合、表1に示す施策を基本に改修計画を立案するが、過剰に取り組むことでビル利用者の快適性低下や過剰な設備投資を招く。それに対して、設計評価段階からZEBを目指したエネルギー計算を実施することで、定量的な評価ができ、過剰な取組みを抑えることにつながる。建物のエネルギー評価を実施し、目指すZEBランクに見合った最適な設備を選定することで、快適性を保ちつつZEB達成も見込むことができる。

表1. 省エネルギー施策と過剰投入時の弊害

No	省エネルギー化施策	過剰な施策を行った場合の弊害
1	空調能力を下げる	利用者の快適性を損なう
2	換気量を下げる	室内環境の悪化・健康への悪影響のおそれ
3	高性能設備の導入	過剰設計による採算の悪い設備の導入
4	太陽光パネルの大量導入	余剰電力の廃棄・採算の悪い設備の導入

そこで、既存ビルでの設備設計内容が“過剰”又は“妥当”をいかに判断するかが重要な要素となる。一般的に新築ビル竣工時は空調負荷が過大に導入されているため、設備更新時にZEB化を目指す場合は、しばしば空調負荷の低減を要する。その際、計画する空調負荷で年間を通じた空気調和が可能であることをシミュレーション等で示して、併せてPMV (Predicted Mean Vote)などの快適性指標を提示するといった設備負荷の妥当性を定量的に示すことで関係各者と合意する必要がある。快適な範囲でZEBの達成が困難である場合は、改修事業でZEB化が必達か施主と協議することも必要であり、“建物の具体的な運用・用途をヒアリングし、適切な設備設計を行う”プランニング業務が重要になる。

この章で述べた課題を解決し、既存ビルのZEB化に至った事例を4章に述べる。

4. 実案件事例

4.1 西新宿三晃ビル

“西新宿三晃ビル”(図5)は、不動産投資信託の物件で、築34年目となり空調更新時期を迎えていた。設備改修を目的に幾つかのメーカー系施工会社との相談を開始した。テナント入居者に魅力ある価値を提供・不動産価値向上につながる施策を目指して、ZEB化の可能性検討の要望を受けた。

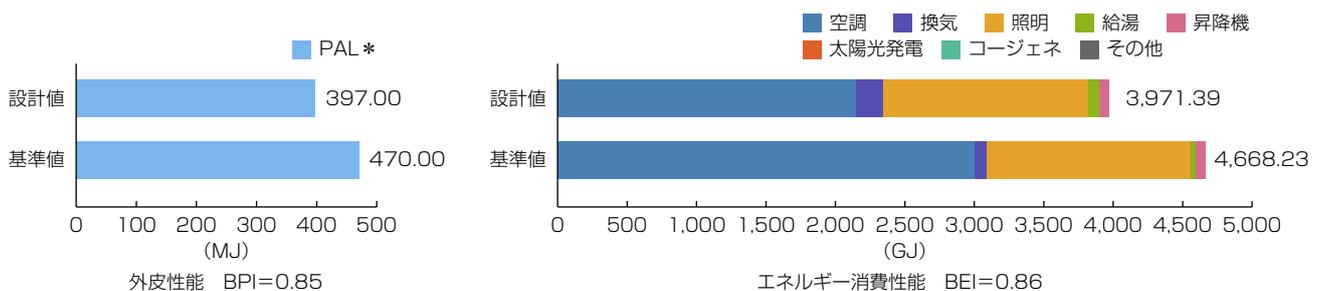


- 案件情報
- ・ 建築用途 : 事務所(オフィスビル)
 - ・ 所在地 : 東京都新宿区
 - ・ 竣工 : 2022年1月
 - ・ 延床面積 : 3,809.80m²
 - ・ ZEBランク : ZEB Ready (BEI=0.38)
 - ・ 導入設備 : 空調・換気・照明・BEMS

図5. 西新宿三晃ビル(外観・BELS認証結果)

4.1.1 ZEBプランニング対応

現地調査を経て改修前のエネルギー消費性能計算を実施した結果を図6に示す。外皮性能(BPI(Building Palstar Index))は1.0以下であり、改修不要と判断できた。他方、エネルギー消費性能(BEI(Building Energy Index))は0.86であり、空調設備と照明設備が支配的であることが明らかとなった。照明設備は蛍光灯からLEDに更新することで、空調設備は次の施策で、省エネルギー化を図った。



空調	換気	照明	給湯	昇降機	太陽光発電	コージェネ
BEI/AC 0.72	BEI/V 2.23	BEI/L 1.03	BEI/HW 1.97	BEI/EV 1.00	- MJ	- MJ

図6. 改修前のエネルギー計算結果(西新宿三晃ビル)

図7に示すとおり、ビル全館の全熱交換を一か所で実施することに替えて、各階機械室に全熱交換器を導入することで空気の搬送動力を低減した。また、空調をパッケージ型からマルチ型とし、熱源負荷に応じて熱源の稼働ユニット数が増減する台数制御を導入した。これによって中間期の低負荷時でも熱源機は常に効率の良い負荷で稼働でき、年間を通じた大幅な省エネルギー化を達成した。エネルギー消費性能計算と併せて年間の空調負荷率を計算し、導入設備で空気調和可能であることを確認した。この結果、ビル全体のエネルギー消費性能結果は改修前BEI=0.86からBEI=0.38へ改善した(図8)。

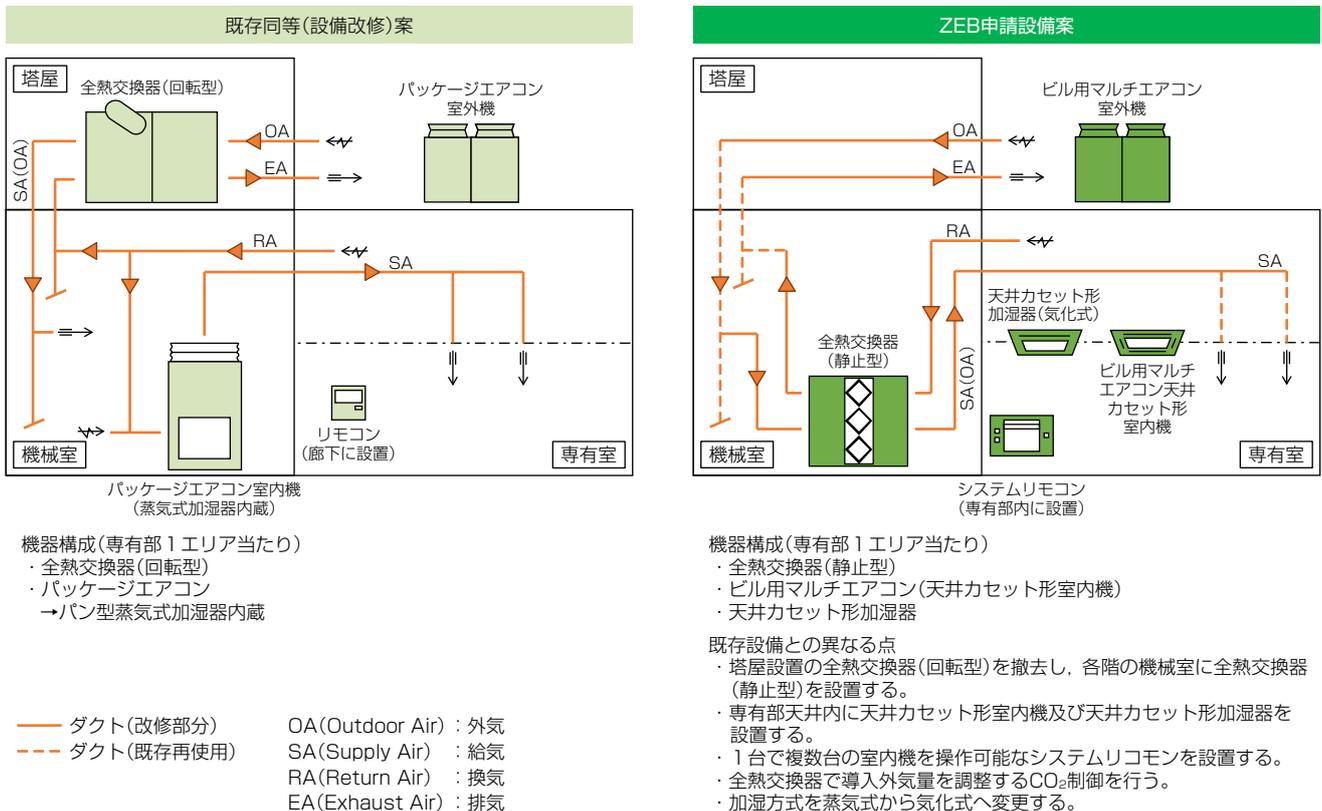
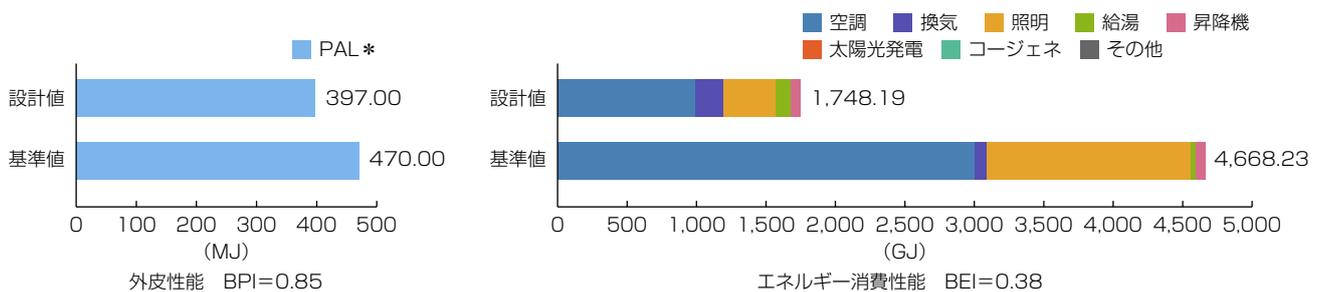


図7. 空調設備の更新構成



空調	換気	照明	給湯	昇降機	太陽光発電	コージェネ
BEI/AC 0.34	BEI/V 2.23	BEI/L 0.26	BEI/HW 2.60	BEI/EV 1.00	- MJ	- MJ

図8. 改修後のエネルギー計算結果(西新宿三晃ビル)

4.1.2 案件固有の検討事例：入居済みテナントの負荷低減“居ながら改修”

テナントエリアの改修工事は、通例、テナント退去→工事→テナント入居の段取りで実施する。しかし、入居テナントへ負担がかかるほか、退去・入居の時間確保による改修工期が延びる点が課題である。また、テナント居室が満室の場合は、そもそもビル内でのテナント入退去ができず、建物オーナーの改修計画に影響が出る。

この案件では、MEBS、建物オーナー及びビル管理会社が一丸となり、工期調整・設備納期調整・施工方法検討を実施した。その結果、テナントの入退去は行わず、毎週末に集中的に工事を行う“居ながら改修”を実現した。通常の改修に比べて工期はおよそ半分に、入居テナントに負担をかけずにZEB化改修工事を完遂した。

4.2 鉄建建設(株)成田研修センター

鉄建建設(株)では、ビルのZEB化に対する知見を深める施策として、成田研修センター(図9)ZEB化事業の検討を開始した。利用用途が研修センターであるため、新しい省エネルギー関連技術の導入についても積極的な案件であった。MEBSではBEMS(Building Energy Management System)設備を中心にZEB化に関わる設備提案を実施し、採用いただいた。また、設備設計者が標準入力法によるエネルギー計算を実施し、提案力の強化に取り組んだ案件である。



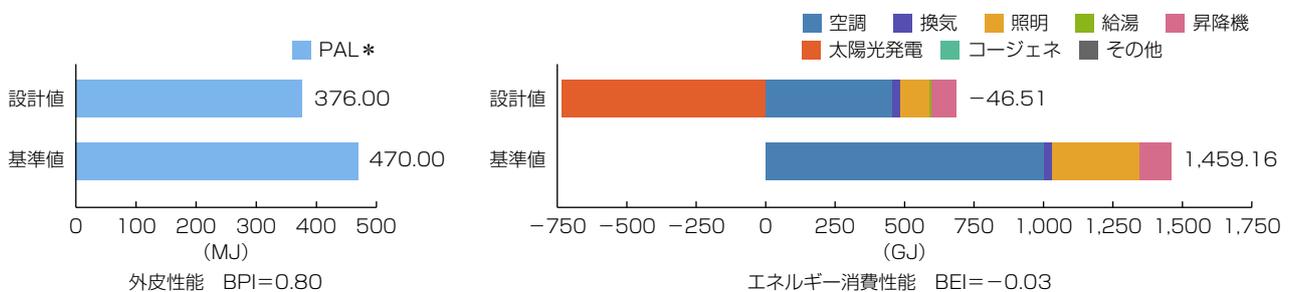
- 案件情報
- ・建築用途 : その他(研修施設)
 - ・所在地 : 千葉県成田市
 - ・竣工 : 2023年8月
 - ・延床面積 : 1,135.95m²
 - ・ZEBランク : 『ZEB』(BEI=-0.03)
 - ・導入設備 : 空調・換気・照明・太陽光・BEMS・昇降機

図9. 鉄建建設(株)成田研修センター(外観・BELS認証結果)

4.2.1 ZEBプランニング対応

この案件では、鉄建建設(株)で外皮性能を検討し、MEBS側では設備関連の選定・制御方式を提案した。

改修後のエネルギー計算結果を図10に示す。エネルギー計算結果上、空調設備・照明設備が支配的であり、全体の8割超を占めている。空調設備については、高効率空調の導入・断熱性能の改善を実施し、改善が見込めた。更なる低減のためには空調負荷を下げる方策も考えられたが、空気調和が十分できずに快適性を損なうおそれがあった。そのため、空調設備以外の設備更新によって、省エネルギー化を目指す方針とした。最終的に、照明設備の高効率な制御導入によって更なる省エネルギー化を提案(図11)し、部屋ごとに運用用途を確認しつつ、機器選定・制御提案を実施した。制御なしと比べて、年間12.4GJの低減(照明全体4%・建物全体1%の削減)を実現した。



空調	換気	照明	給湯	昇降機	太陽光発電	コージェネ
BEI/AC 0.46	BEI/V 1.09	BEI/L 0.35	BEI/HW 2.24	BEI/EV 0.81	732.593.80 MJ	- MJ

図10. 改修後のエネルギー計算結果(鉄建建設(株)成田研修センター)

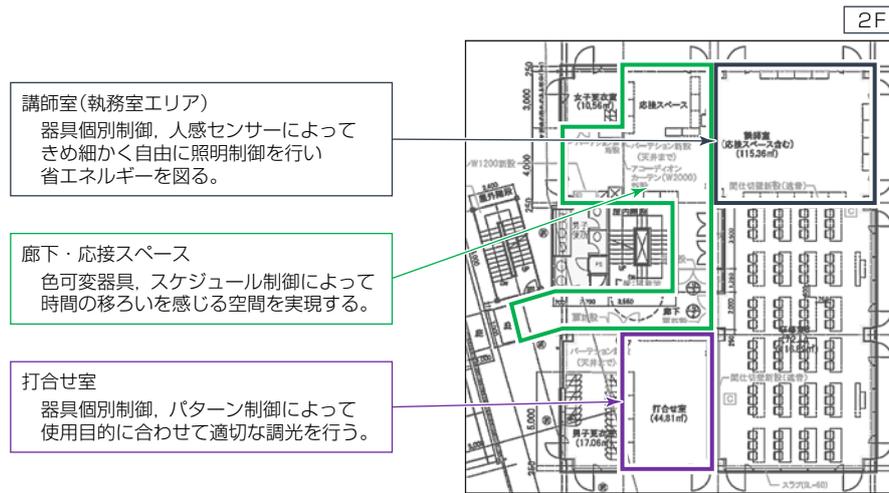
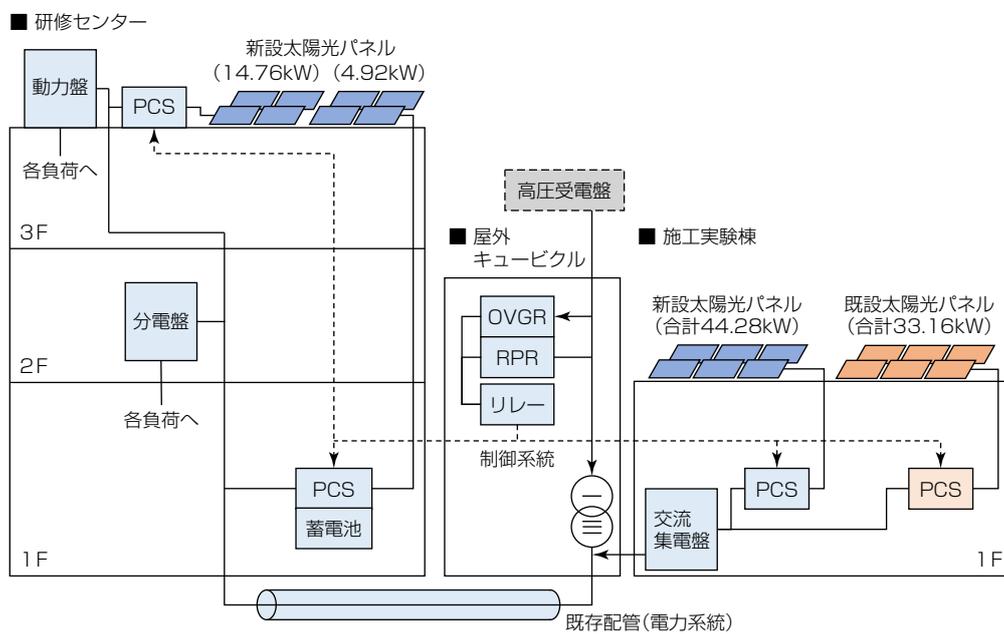


図11. 照明制御エリアの概要

4.2.2 案件固有の検討事例：既存太陽光発電パネルの流用

太陽光発電による創エネルギーによって高ランクのZEBを目指したが、当該の建物屋上では必要な容量を賄うほどの設置面積を確保できなかった。そのため、他棟で利用していた太陽光発電パネルを本棟に流用できるよう構成検討し、施工を行った。現場調査の結果、他棟と本棟間の配管系に制限があり、既設・新設システムをそれぞれ準備できないことを確認した。図12に示すとおり、制御系統と電力供給系統を分けて、電力供給系統だけ既存の集電盤へ接続する構成として、省配線化を実施した。導入の結果、この建物で利用する太陽光発電量の3割以上を賄う構成になり、『ZEB』達成に寄与した。



PCS : Power Conditioning System, OVGR : Over Voltage Ground Relays, RPR : Reverse Power Relay

図12. 太陽光設備・計量設備のシステム構成

4.2.3 案件固有の検討事例：新技術の導入提案と設備担当者によるプランニング業務

省エネルギー施策につながる新技術導入の要望を受けて、CO₂濃度による外気量制御を導入した。この構成にしたことで、CO₂濃度から適切な換気量での動作を可能にした。居室内の人数・CO₂濃度が少ない場合に外気量を減らし、部屋内の温度(エネルギー)を維持することで、省エネルギー効果が期待できる。新技術である一方、導入に当たっては一般的な指標が少なく、センサー設置位置や外気量設定など、実運用に即した構築が求められた。

この案件では、計画段階から設備設計担当者がターゲットとなる居室の運用をヒアリングし、人の動線や混雑位置を検討した。CO₂センサーや人流センサーのプロットと実動作要件を見込んだ提案を可能にした(図13)。提案段階から実施設計や施工を見据えた構築を実現したことで、建物オーナーの事業判断を容易にし、採用となった。

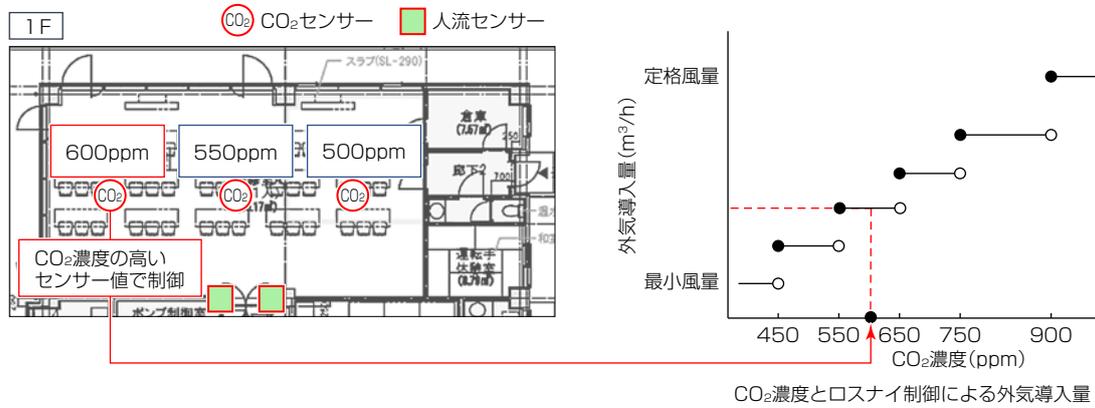


図13. CO₂濃度による外気量制御

5. む す び

MEBSのZEBプランナー実績と設備改修ノウハウを生かした、既存ビルのZEB化でのプランニング実績について述べた。MEBSではクラウド上でビルのエネルギー管理を行うことができる“Ville-feuilleエネルギー管理サービス”も提供している。また、プランニング業務での実績から更なる省エネルギーサービスの提供も検討している。事業計画から設計・施工、実運用中の保守対応・エネルギー分析を経て、より最適なエネルギー活用を提案し、建物オーナー向けの省エネルギー化サポートを目指す。これによって更なるプランニング力の向上とZEBの普及を進めて、建物オーナーと協調して脱炭素化社会へ向けて貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 環境省：ZEB PORTAL
<https://www.env.go.jp/earth/zeb/index.html>
- (2) 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課：既存建築物のZEB説明会等について
<https://www.env.go.jp/earth/zeb/news/220125.html>
- (3) 国土交通省 総合政策局 建設経済統計調査室：建築物ストック統計の公表について (2022)
<https://www.mlit.go.jp/common/001254410.pdf>
- (4) 国土交通省 総合政策局 建設経済統計調査室：建築着工統計調査(令和4年計) (2023)
- (5) 三井住友信託銀行㈱『不動産の環境認証の取得状況および経済価値の調査』の実施について (2022)
<https://www.smtb.jp/-/media/tb/about/corporate/release/pdf/220720.pdf>

三菱電機株式会社