

# スマート化技術で進化する未来のビル

三浦健次郎\* 神田準史郎†  
鈴木直彦\*\* 小林信博†  
澤 良次\*\*\*

## Smart Technologies for Future Buildings

Kenjiro Miura, Naohiko Suzuki, Yoshitsugu Sawa, Junshiro Kanda, Nobuhiro Kobayashi

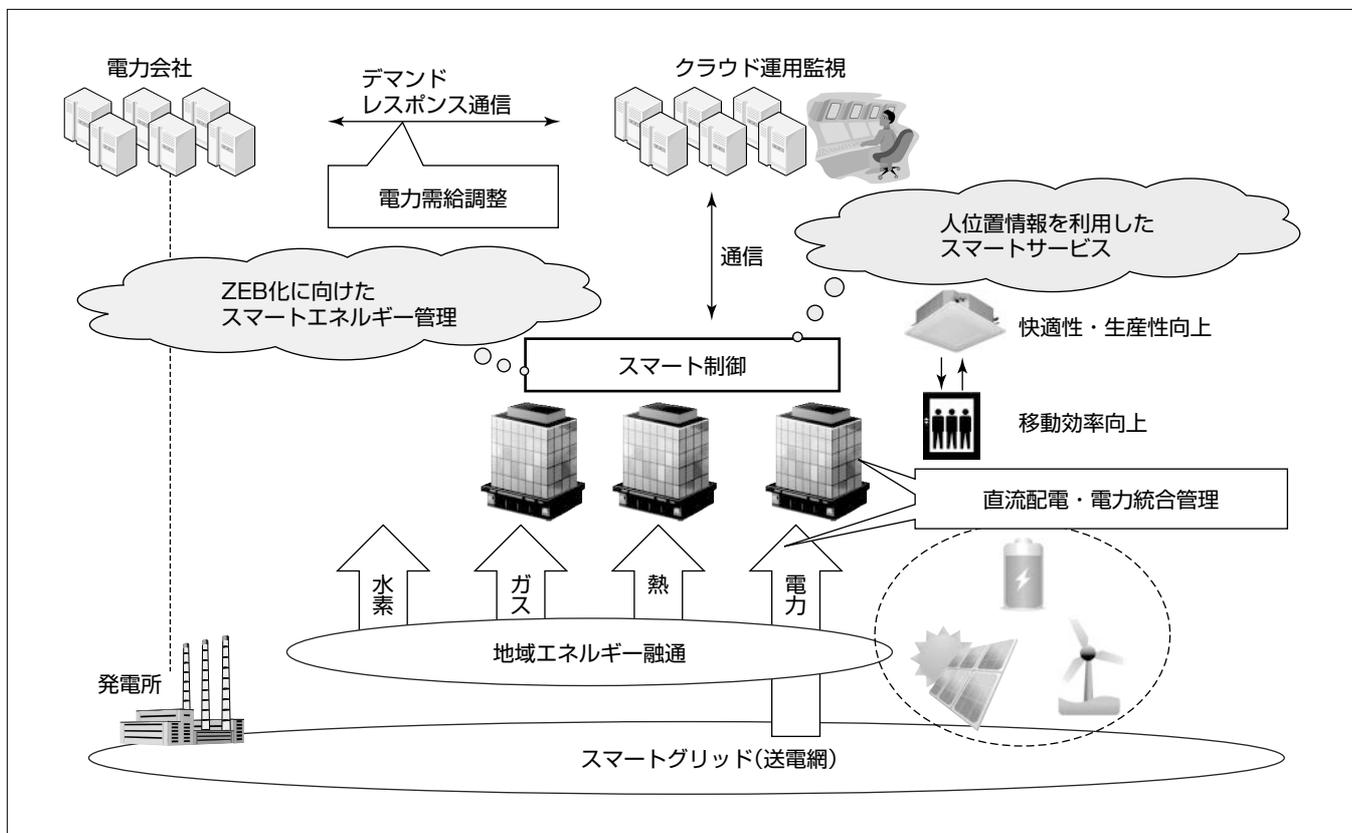
### 要 旨

今後、世界的な人口増大と都市への集中が進み、2050年には世界人口91億人の約7割が都市に住むと予想されている。都市への人口集中によってビルの高層化が進むため、ビルのエネルギー使用量や環境負荷(CO<sub>2</sub>)の低減が課題となる。このため、未来のビルでは、ZEB(Zero Energy/Emission Building)を目標に、エネルギー使用量や環境負荷を低減する技術が重要になる。具体的には、スマートグリッド技術や、交流・直流のハイブリッド管理技術、さらに、未利用熱(排熱等)、コジェネレーションシステム(ガス等)、燃料電池(水素)等のエネルギーを総合的に管理・融通する技術が鍵になる。エネルギー管理のスマート化技術でビルのエネルギー使用量や環境負荷を減らし、再生可能エネルギーを利用したエネルギーの地産地消費を進めていくことが重要と考える。

また、未来のビルを利用者視点で考えてみると、屋内の人位置情報を利用したスマートなサービスの実現が鍵になる。入退室管理システムの人位置情報や、スマート端末の位置情報などを統合管理し、セキュリティ・防災対策や、人位置に応じた設備制御によって快適性・生産性を向上させる技術が求められると予想する。また、ビル内のナビゲーション実現や人位置情報とエレベーターの連携によってビル内移動や保守の効率化が実現される。

三菱電機は、スマートグリッドなどのエネルギー管理のスマート化技術及び人位置情報を利用したビル内環境の快適性、移動の効率性等を向上させるスマート設備制御の研究開発を進めていく。

本稿では、スマート化技術で進化する未来のビルを30年程度のオーダーで検討した内容を述べる。



### 未来のビルのスマート制御

世界的な人口増大と都市への集中が進み、2050年には世界人口91億人の約7割が都市に住むようになる。ビルの高層化が進むため、ビル全体ではエネルギー使用量や環境負荷(CO<sub>2</sub>)低減、ビル利用者向けには位置情報応用サービスの実現が重要になる。当社は、スマートグリッドなどのエネルギー管理のスマート化技術及び人位置情報を利用したビル内環境の快適性、移動の効率性等を向上させるスマート設備制御の研究開発を進めていく。

## 1. ま え が き

インターネットを中心とした情報通信技術の進展はめざましい。スマートフォンとクラウドの連携で、いつでもどこでも必要な情報を手に入れられる時代が実現した。これは約30年前の1980年代半ばに実施された通信自由化の果実と言える。

今後30年、先進国、新興国とも都市への人口集中が続き2050年には約7割の人口が都市に住むようになる<sup>(1)</sup>。これに伴いビルの高層化が進むため、情報通信技術を活用したビルのエネルギー管理のスマート化が重要になる。

また、未来社会ではスマートフォンの進化型の端末(スマート端末)で、ビル内の自分の位置をシステムに知らせることによって、快適性・利便性を向上させるサービスが実現されるであろう。

本稿では、ビルのエネルギー管理のスマート化技術を中心に、ビル利用者の快適性、利便性や安全・安心を実現するスマート化技術についても展望する。

## 2. 将来のビル管理システムの概要

将来のビル管理システムの概念を図1に示す。ビルのデータ分析や運用計画を立案する機能は、クラウド上の機能として実現されるようになる。例えば、エネルギー管理の最適化を行う場合、天気予報などを利用して大量のデータを様々な観点で蓄積・分析することが容易だからである。

ビル管理システムはクラウドとの接続が前提になり、ビル側には運用計画を実行する制御機能と簡易なゲートウェイ機能を持つ機器を配置して管理・制御する。運用管理者のいない中小ビルでスマート制御を行う場合、特にこのようなシステム構成が適切である。

また、運用計画と実績の誤差を小さくするために、運用シミュレーション機能も重視されるようになっていく。BIM(Building Information Model)を利用して、ビルの構

造や設備のモデル化を行い、空調や照明の運用シミュレーションによって計画を立案することが一般的になるだろう。

## 3. ビルエネルギー管理のスマート化技術

### 3.1 ZEBを目標にした技術開発の進展

今後30年はZEBを目標に、ビルのエネルギー使用量やコスト、CO<sub>2</sub>等の環境負荷を低減するスマート化技術の研究開発が進んでいく。電力系統との需給調整自動化、空調・照明等の動的制御によるピーク電力平準化や省エネルギー技術の進化、さらに、太陽光発電等による創エネルギー、蓄電池・給湯器等による蓄エネルギーを連携・統合管理するビル管理システムの開発が進む。

### 3.2 デマンドレスポンスへの対応とピーク電力平準化

政府の電力システム改革の工程表では2016年に小売完全自由化、2020年に発送電分離が予定されている。今後、電力需給の逼迫(ひっばく)度合いに応じ、系統側から節電要請がなされ、電気料金は需給の逼迫度合いに応じて変動することが想定される。このため、電力需給調整技術が重要であり、デマンドレスポンス通信の標準化、空調等のピーク電力抑制技術の研究開発が進んでいる。

電力需給調整を行うデマンドレスポンス通信は、国内ではOpenADR2.0b(Open Automated Demand Response)プロトコルを標準に位置付け、技術開発やピーク時間帯の節電実証実験が進められている。マルチベンダーの相互接続性実証試験は早稲田大学の新宿EMS(Energy Management System)実証センター<sup>(2)</sup>を中立的な機関として進められている。

当社は、OpenADR2.0b認証を取得したDRAS(Demand Response Automation Server)の他社相互接続性を新宿EMS実証センターで実証済みである。実証実験では、電力需給逼迫時の節電(ピークシフト、ピークカット)ユースケースの評価等を行っている。将来、太陽光発電や風力発電などの不安定電源が増加した際は、電力系統の安定化のためのプロトコルとして拡張されることも視野に入れ、今後も研究開発を進める。

また、実際に要請された節電を実行するには、各ビルの節電余力を事前に推定し、節電要請時間帯の電力需要を確実に下げる技術が必要になる。電力の需給逼迫は、夏期(又は冬期)の空調使用による需要増が大きな要因である。当社は、翌日の天気予報等から予測したフロアごと、ビルごとの空調熱負荷を基に、空調ゾーンごとに一時的に停止する時間を少しずつずらすことで、ビルやビル群全体で空調の電力需要を平準化し、節電余力を向上・推定する研究を行っている。ZEBを実現する技術の確立をめざし、空調を中心とした省エネルギー関連技術、太陽光発電等の創エネルギー、蓄電池・給湯器を利用した蓄エネルギーとの連携制御技術の開発を今後も進めていく。

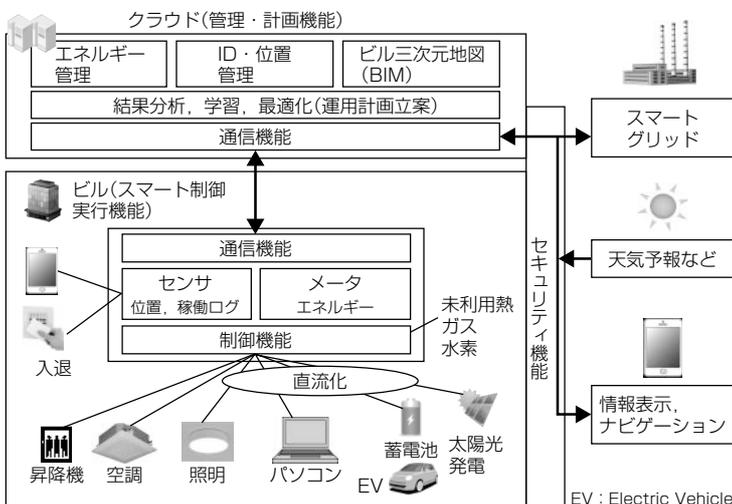


図1. 将来のビル管理システム概念

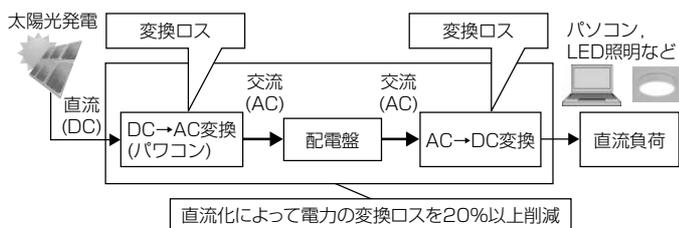


図2. 直流化によるエネルギー利用効率の向上

### 3.3 直流・交流を統合したエネルギー管理

ZEB実現には、電力の需給調整力を向上させるのみでなく、創エネルギー、蓄エネルギー、電力負荷(空調、照明などの設備)間の電力変換ロスを減らし、スマートにエネルギーを利用する技術も必要となる。

図2に示すように、太陽光発電で生じる電気は直流(DC)であり、大型の風力発電も同様に直流である。現在のビル設備は交流(AC)電源を前提としているため、太陽光発電システムではパワーコンディショナ(パワコン)で交流に変換している。

しかし、ビル内の設備機器はLED照明やパソコンなど、直流で動作可能な機器も多くなっている。ZEB実現に向け、直流動作可能な設備には直流で配電し、AC/DC変換ロスを減らしていくことも重要である。一般に、AC/DC変換で約10%の変換ロスが生じるため、将来ビル内の電源の直流化を進めることで20%以上の電力を削減することが可能であると考えられる。また、直流コンセントが普及すればACアダプタが不要となり、コンセント周りがすっきりするなど、利用者のメリットも大きい。

当面、サーバ室などの直流機器が集中したエリアを中心に直流化が進むであろう。これに合わせて、ビル全体で交流系統と直流系統を統合的にエネルギー管理し、全体の電力使用量を削減する研究を進める。

### 3.4 電力以外のエネルギーの利用技術

電気エネルギー(電力)のスマート制御のみではZEB化が困難なビルも多いだろう。このため、将来は、排熱、地熱などの未利用熱を利用したエネルギー管理によるZEB化も想定し研究開発を進めていく。地域冷暖房や、ガスなどのコジェネレーションシステムによるエネルギー効率向上、燃料電池(水素)の利用についてもビルの統合エネルギー管理の観点で検討していく。

## 4. ビル利用者に向けたスマート化技術

### 4.1 セキュリティ応用システムのスマート化

将来のセキュリティシステムは、ハンズフリー認証が普及し、利用者のスマート端末との連携や屋内位置管理システムとの統合が進み、ビル内の人位置が今より詳細に管理できるようになるであろう。位置情報はセキュリティシステムや災害時の安否確認などでの活用の他に、空調・照明のパーソナル制御、目的場所へのナビゲーションなど利用

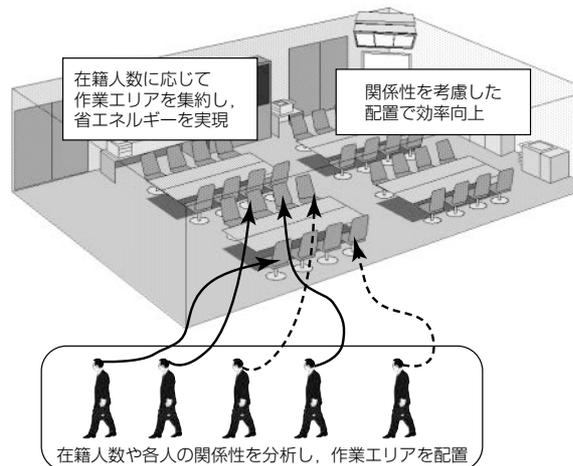


図3. 位置情報を利用した最適座席配置の例

者の快適性、利便性向上に役立つ。

現在のハンズフリー入退室管理システムは、出入口に認証装置を設け、通過する際に、個人を無線認証することでセキュリティを担保するシステムである。ハンズフリーで鍵となる技術は、個人が確実に出入口に存在することを検知する無線測位技術である。現在の製品では、専用のセミアクティブタグを用いて、無線通信エリアを出入口に限定することで無線測位を実現している。

しかし、屋内無線測位技術としては、無線LANや屋内GPS(Global Positioning System)送信機を用いたIMES(Indoor Messaging System)方式の測位技術など様々な方式が開発されており、今後は、各方式を連携・統合することで位置の高精度化やインフラコストの低下が進むと予想される。インフラコストの低下が進むと、ビル内全域に導入が可能となり、ビル内の人の位置を完全に把握できるようになり、セキュリティ用途だけでなく、省エネルギーと個人の快適性を両立できる空調や照明等のビル設備のパーソナル制御へとつなげることが可能となる。

更に一歩進んで、オフィスビルではオフィス内で作業場所が自由に変更できるフリーアドレスを併用することで、その日の在籍人数と各人の関係性に応じて、最適な配置に誘導し、作業エリアの集約による省エネルギーとコミュニケーション向上による作業効率の改善が実現可能となる(図3)。また、商業ビル等では、顧客の行動履歴や顧客の登録情報等から、好みにあった店舗へ誘導するコンシェルジュ機能のようなことも実現可能となるだろう。

### 4.2 エレベーター制御・保守のスマート化

#### 4.2.1 エレベーター制御のスマート化

先に述べたように、世界的な都市への人口集中によって、中東、アフリカなどの新興国を中心に1,000m級の高層ビルが出現し、1つのビルが街となる。高層化が進むと、ビル内移動の利便性向上や効率化が必須となる。このため未来のビルでは、エレベーター制御によるビル内交通の効率化、スマート化が重要になる(図4)。

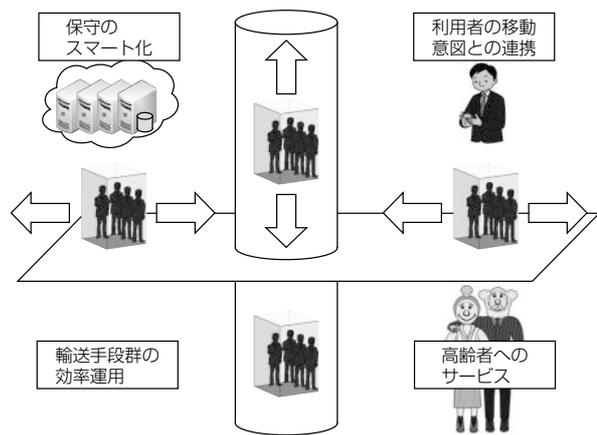


図4. エレベーターのスマート化

第1のスマート化は、利用者の移動意図との連携である。未来のビルでは、移動意図から移動開始位置と目的地点を把握し、開始位置まで輸送手段が迎えに行く形になるだろう。この際、利用者のエージェントとなるスマート端末と利用者の位置を把握する屋内測位技術が基本技術となる。ビル管理システムでは、利用者の行動パターンを学習し、移動意図を把握するエージェントソフトウェアを搭載したスマート端末との連携によって、利用者の移動意図を即座に読み取り、エレベーター等の配車制御を行う。

第2のスマート化は、利用者の移動意図情報を活用した輸送手段群の効率的運用である。従来のエレベーターは縦方向移動+時間の二次元空間で最適な運行解を探索していた。未来の輸送手段では自由な移動に対応するため、縦方向移動+横方向移動+時間の三次元空間で運行解を探索する。複雑な問題空間における最適化技術も重要なキー技術となる。

第3のスマート化は、高齢者に対する様々なサービスの実現である。30年後には日本・中国などでは超高齢化社会が到来している。高齢者にとってはマンションなどにおけるビル内輸送手段は生活に欠かせないものである。輸送手段に乗降車しようとしている高齢者・身障者に対し、自動で乗降車動作をアシストする機能が求められる。センシングを含むロボティクス技術も輸送手段のスマート化の重要な技術となってくる。

#### 4.2.2 エレベーター保守のスマート化

ビル内輸送手段としてエレベーターの重要性が増すことで、エレベーターのサービス停止時間がゼロとなることが望まれる。現在はエレベーターを維持管理するために、定期的な点検・保守を行っているが、これが自動的に行われ、人間による保守不要の機構に変わっていく。ここで重要になるのが、大量のセンサデータをリアルタイムに処理して故障予兆を検出する技術と、オイル補充などの軽微な問題修正を自動的に実行する技術と考える。前者はビッグデータ解析に代表される技術であり、後者はロボティクス技術を活用したものになる。点検を行うアルゴリズムや各種診断機能はクラウドサーバに配置され、性能向上や、機能追加を容易にできるようになる。また、新素材の採用による

メンテナンスフリー化も考えられる。

### 5. ビルネットワークのセキュリティ

未来のビルシステムでは、スマート端末を始めとする情報通信システムとの連携によってビルサービスが提供される。今後、ビル内ネットワークのオープン化の流れが加速する。これはビル設備のネットワークにITシステムと同等のサイバーセキュリティ対策が求められることを意味する。

近年、ビル管理の標準プロトコル“BACnet (A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks)<sup>(注1)</sup>/IP (Internet Protocol)”で利用するUDP (User Datagram Protocol)ポートに対する不審な通信が検知され注意喚起がなされている。重要インフラや産業プラントの制御システムにおけるセキュリティ向上のための取組みとして、“技術研究組合 制御システムセキュリティセンター (CSSC)”は、研究開発や検証、人材育成と啓蒙(けいもう)、国際標準化活動などをおこなっている。

将来は、ビルシステムを構成する機器及びシステムが、それぞれセキュリティの国際基準に基づく認証を取得するとともに、脆弱(ぜいじゃく)性が発見された機器やサブシステム内の機能モジュールを遠隔からアップデートする仕組みが必要になっていくと考える。

(注1) BACnetは、米国冷暖房空調工業会の登録商標である。

### 6. むすび

30年前の通信の自由化によって、ビルの通信インフラとしてイーサネット<sup>(注2)</sup>や光回線、無線LAN等が普及し、ビル管理システムもIP通信ベースの管理システムに進化した。

今後30年は電力システムの改革が進むと考えられ、当社はスマートグリッドのインフラ整備、ビル内外の直流化の進展とAC/DC統合エネルギー管理、熱を含めたエネルギー融通など、エネルギー管理のスマート化技術の研究開発を進める。また、ビル内の位置情報を応用し利用者の快適性、利便性、安全・安心を実現する技術の研究開発も進め、ビルオーナーや利用者のメリット向上とともに、循環型社会の構築に貢献していく。

(注2) イーサネットは、富士ゼロックス株の登録商標である。

### 参考文献

- (1) 渡邊 宏：スマートコミュニティの現状と将来展望、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (2011)  
<http://www.purekyo.or.jp/pdf/NEDO111117.pdf>
- (2) 林 泰弘：早稲田大学 EMS新宿実証センター、早稲田大学大学院 先進グリッド技術研究所 (2012)  
<http://www.hayashilab.sci.waseda.ac.jp/RIANT/WEMS.pdf>