

BACS の基本構成と最新技術動向

(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

1 はじめに

ビルや工場の各種設備において、効率的で安全な運用を行うために、BACS (Building Automation and Control System) がある。近年、このBACSを活用したエネルギー管理や自動制御が、ビル施設の省エネに一定の効果を上げている。図1に現在のBACSの例を示す。

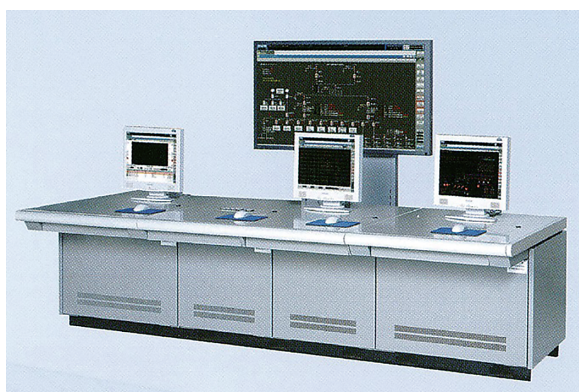


図1 BACSの例

BACSの構成はその時代のニーズや技術の進歩により構成形態を変え、進化してきた。そして、その進化の過程において、オペレーション機能、自動制御機能及びデータの管理機能の利便性、省力性が向上した。

また、平成22年の改正省エネ法施行以来、従来の大規模ビルだけでなく中小規模のビルにおいても、クラウドサービスを利用したエネルギー管理システムが普及し始めている。BACSの活用方法は時代とともに変わってきたが、その本質的な機能そのものは不変である。

本稿では、機能階層モデルを使いBACSの構成要素を定義して、システム構成の時代的変遷、クラウドを活用した次世代BACSの最新技術動向について紹介する。

2 システム構成の変遷

BACSにおける機器の構成と機能階層の対比は時代とともに変化してきた。そのシステム構成の変遷を図2に示す。

2.1. 1980年以前

当初の構成は、中央監視室に盤製の監視卓が設置され、設備からの信号がすべてこの卓に配線されており、また、表示はディスプレイでなくランプやメーター、操作はレバーで行っていた。70年代後半には、ミニコンと呼ばれる産業用コンピュータが採用され始めたが、演算装置／入出力装置一体で構成され、センサ・操作端層からの信号は直接入出力装置と接続し、ローカル制御層、データサーバ層、ヒューマンインタフェース層に相当する機能は一つのCPU装置で処理されていた。

2.2. 1980年代

ミニコンを使用したシステムにネットワーク通信の概念が導入された。また、入出力装置を分離し、設備機器側に設置することにより、直引きの信号配線と比べ大幅に工事費の低減が図られた。

そして、機能階層の対比ではローカル制御層が明確に独立した構成となった。

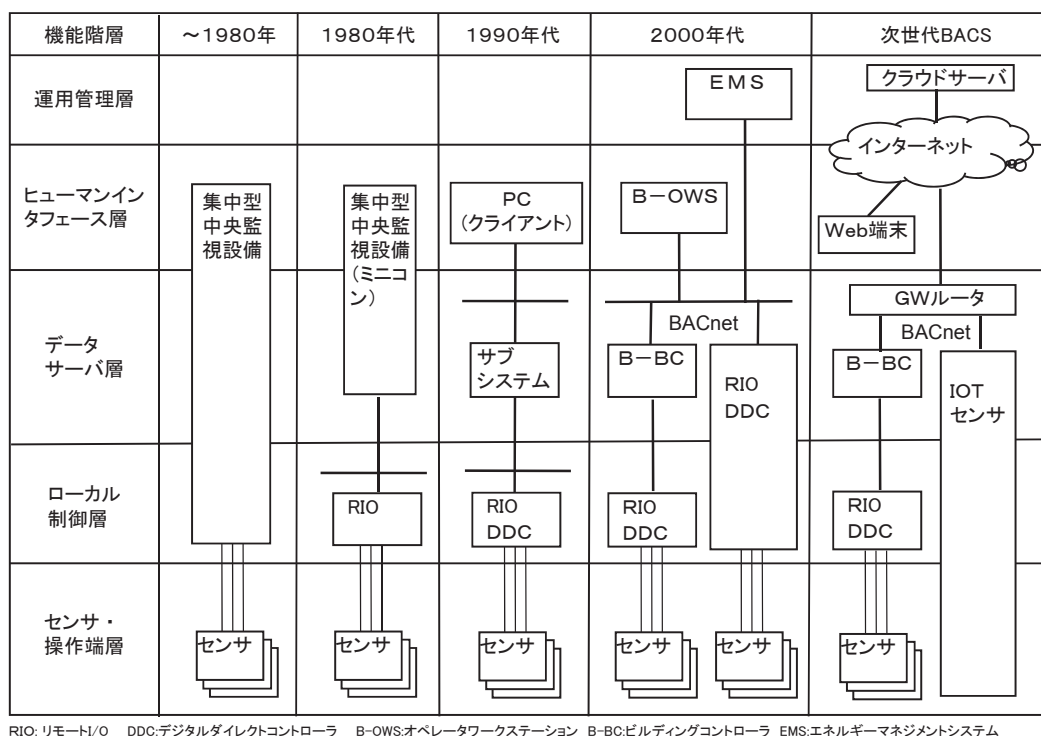


図2 BACSシステム構成の変遷

2.3. 1990年代

パーソナルコンピュータ(PC)が普及し、今では当たり前になった小型コントローラでの演算処理が可能となり、機能階層に則した装置の分離構成が初めて登場した。

この時代のシステムにて、オブジェクトデータをサーバに持つ、いわゆるクライアント/サーバモデルが導入され、この構成が現在のBACSの基本形となっている。

2.4. 2000年代以降

小型のデバイスでも高機能の処理が可能となり、データサーバ層の機能が、DDCやセンサ、操作端といった、より下位のデバイスにて個別に実現可能となった。そして、BACnetに代表されるようなオープンプロトコルが、データサーバ層～ヒューマンインタフェース層の標準プロトコルとして統一される構成となった。

2.5. 次世代BACS

最新のBEMS (Building Energy Management System) では、IoTセンサなどの通信機能を標準実装したデバイスの発達により、クラウド型サー

ビスと融合し、ビル監視の基本機能をデータサーバ層以下のデバイスに付加し、エネルギー管理などの付加価値機能をクラウドサーバ上に置くことで、Web端末などで誰でも監視しながら、高度な省エネサービスを提供することが可能になってきた。

3 機能階層モデル

BACSの機能階層モデルには、以下の機能階層がある。図3に機能階層モデルを示す。

3.1. センサ・操作端層

センサは、計測・計量のための対象物理量の検出装置である。温度検出素子は測温抵抗体やサーミスタが用いられることが多い。また、電気設備の電圧、電流、電力や、空調設備の湿度、圧力、流量、水位などは、変換器・トランスデューサと呼ばれるアナログ信号へ変換出力する検出器が用いられる。操作端としては冷温水の流量を制御する調節弁、空気の流量を制御するダンパ、電気の入/切を制御する遮断器や、ポンプ・ファンの運転/停止を制御する動力盤や制御盤が挙げられる。

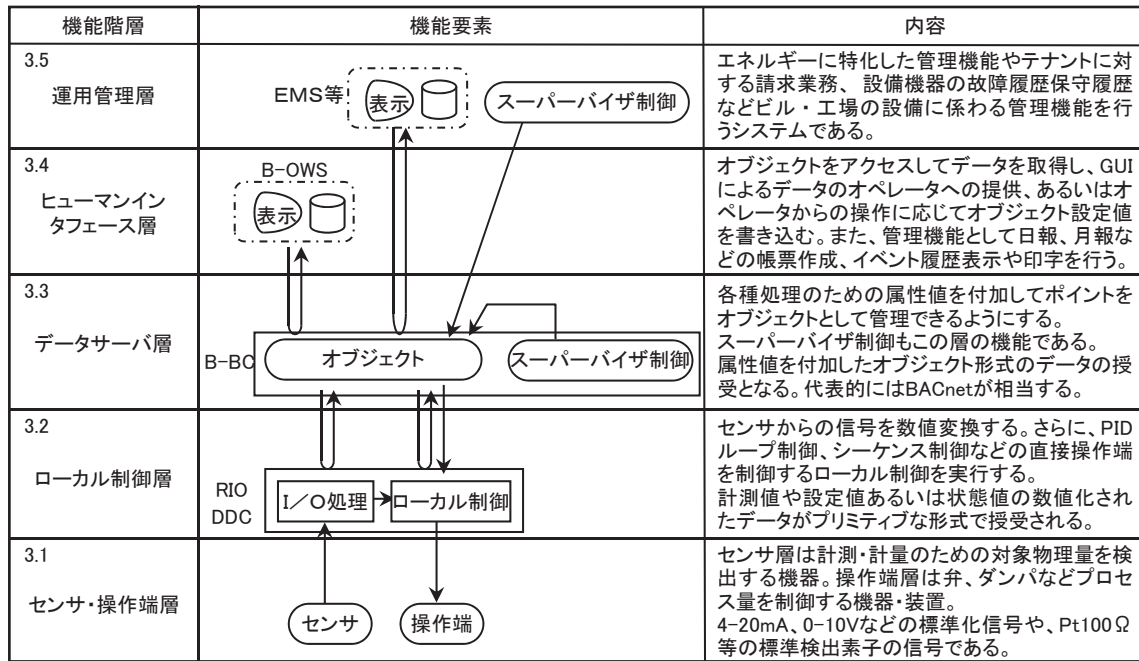


図3 機能階層モデル

3.2. ローカル制御層

I/O処理（入出力処理）では入力された電気信号をソフトウェアで扱えるように数値変換し、逆に出力信号は操作端が受け付けられるよう電気信号変換を行う。一例として計測は4-20mAの電流信号を3,200-16,000のカウント値へ、状態・故障信号はON状態を「1」、OFF状態を「0」へ変換する。

また、ループ制御、シーケンス制御などの直接操作端を制御するローカル制御を実行する。

実際にはPLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）や温度、湿度、流量等、各1種類を制御する指示調節計を用いて実現する。

ローカル制御層とデータサーバ層のインタフェースは、番地イメージの識別子と実際の値を示す数値データやバイナリデータでやり取りされる。

この層は現場の設備間を渡るフィールドネットワークとなる。日本ではメーカー独自ネットワークも多いが、表1に示すようなLonWorks、MODBUS、FL-netなどのオープンプロトコルも

表1 フィールドネットワークの例

名称	概要
Devicenet	デバイスレベルのPLC/DCS用ネットワークとして、FAを中心に世界的に普及している。
CC-link	デバイスレベル/センサレベルのPLC用高速ネットワークとして、FAを中心に広く普及している。
Profibus	デバイスレベル/センサレベルのPLC/DCS用ネットワークとしてヨーロッパを中心に世界的に普及している。
Modbus	あらゆる階層で使用できる、シンプルなプロトコルによる汎用のオープン・フィールドネットワーク。世界的に普及している。
LonWorks	コントローラ/デバイス/センサレベルで使用される自律分散型のネットワーク。ビルコンやFA、ホームオートメーションに広く普及している。
FL-net	日本のFAの分野で生まれたオープンネットワーク。マスタ局が必要のないトークン方式の通信プロトコルを採用し、EthernetのUDP/IPで動作する。
MECHATROLINK	フィールドネットワークの中の、モーションフィールドネットワークに位置付けられ、I/Oやアクチュエータなどの制御システムの操作端を駆動したり制御情報を入力するための機器が繋がる。
Hart	DC 4～20mAのアナログの統一信号にデジタル信号を重畳させて情報を伝送する、センサレベルのオープン・フィールドネットワーク。
RS-485	リモートI/OやPLCなどの計測・制御機器のデージーチェーン接続で使用される。昔から「RS-485」あるいは「EIA-485」と呼ばれる規格が広く用いられている。

一般的になってきている。

3.3. データサーバ層

ローカル制御層からのデータに、識別子や名前、単位、信頼度、あるいはデータの蓄積、警報発報などの各種処理のための属性値（プロパティ）を付加して、計測・計量ポイント、設定値ポイント、状態ポイント、操作ポイントをオブジェクトとして管理できるようにする。ヒューマンインタフェース装置や他の管理装置からのアクセスによりオブジェクトとして管理されたデータの集合としてそれらの装置に提供（サービス）する。表2にデータサーバ層で扱うオブジェクトの例を国際標準のオープンプロトコルであるBACnetを例として記載する。

表2 オブジェクトの代表例

オブジェクト名称	概要
Device Object	機器(デバイス)管理用オブジェクト
Analog Input Object	計測(アナログ)入力用オブジェクト
Analog Output Object	設定(アナログ)出力用オブジェクト
Binary Input Object	状態・故障入力用オブジェクト
Binary Output Object	操作・切替出力用オブジェクト
Accumulator Object	積算入力用オブジェクト
Schedule Object	スケジュール制御用オブジェクト
Trend Log Object	トレンドデータ格納用オブジェクト

また、スケジュール制御や連動制御、最適化制御など、ローカル制御層に対し、一括動作指令や最適設定値を与えるスーパーバイザ制御もこの層の機能として位置づけられる。

データサーバ層とヒューマンインタフェース層、運用管理層のインタフェースは、クライアントであるヒューマンインタフェース層の機器や運用管理層の機器からの要求に応じオブジェクトの属性値（プロパティ）を提供（リードサービス）したり、オブジェクトに属性値（プロパティ）を設定（ライトサービス）したりするインタフェースであり、国際標準のオープンプロトコルであるBACnetがこのインタフェースに相当する。また、運用管理層に相当する他のIT系システムとのインタフェースとしてGW（ゲートウェイ）を用いてBACnet/WSを使用することもある。

3.4. ヒューマンインタフェース層

各種データをGUI（グラフィカルユーザインタフェース）によりオペレータへの提供、あるいはオペレータからの操作に応じてデータを書き込む機能を有する。また、管理機能として日報、月報などの帳票作成、イベント履歴表示や印字を行う。オブジェクトより取得したトレンドデータの長期保存、発生したイベント履歴の保持も行う。図4にヒューマンインタフェース層の表示画面の例を記載する。

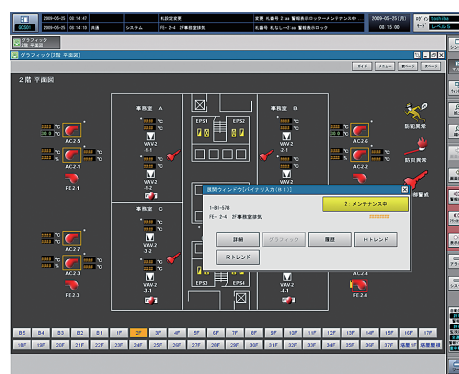


図4 ヒューマンインタフェース画面例

3.5. 運用管理層

エネルギーに特化した管理機能やテナントなどユーザーに対するサービス機能、設備機器の故障履歴・保守履歴などビル・工場の設備に係わる管理機能を提供するシステムである。

4 BACSの最新制御技術

ネットワーク技術やセンサ技術の進歩によって、最近までは取り込んでいなかったビル内の情報を簡単に収集できるようになり、従来から取り込んでいる設備の運転データと合わせて、次世代BACSにより統合管理することで、更なるビル性能の向上（省エネ性、快適性、安全性などの向上）が図れるようになってきた。ここでは、BACSによる最新制御技術を紹介する。

4.1. 画像センサによる設備連携制御

画像センサは、車載用カメラの画像認識技術を応用し、赤外線などを用いた従来の人感センサより検知範囲が広く、微細な動作も検知することが

できる。

また、単なる人物の在・不在だけでなく、おおよその人数や活動量まで認識することができるため、照明制御、空調制御、エレベータ制御などと連携することにより、ビル性能の向上を実現する(図5)。

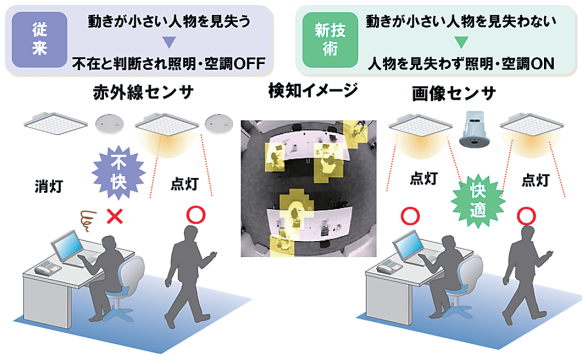


図5 赤外線人感センサとの違い

照明制御では、1台の画像センサで最大9エリアの在・不在情報と連携して照明の点灯・消灯を制御する(図6)。

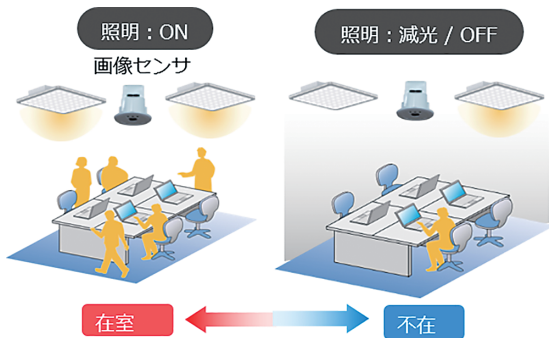


図6 照明制御への応用例

空調制御では、画像センサエリア内の人数情報を基に室内負荷を予測し、きめ細やかな空調制御を行う(図7)。

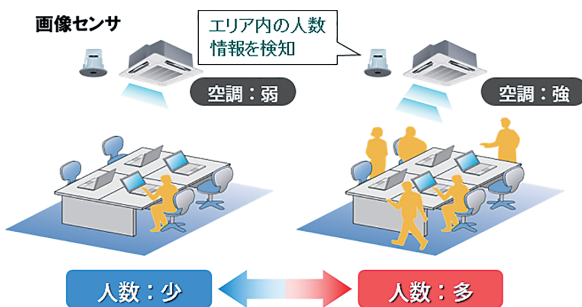


図7 空調制御への応用例

エレベータ制御では、乗り継ぎ階などに設置した画像センサから待ち人数を検知し、混雑度に応じた配車優先制御を行うことで利用者の待ち時間を短縮する(図8)。

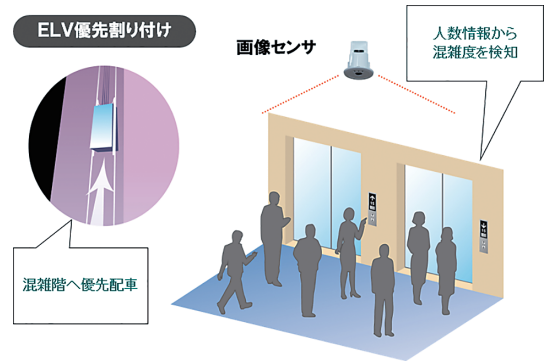


図8 エレベータ制御への応用例

4.2. 輻射温度予測PMV省エネ制御

輻射温度予測PMV (Predicted Mean Vote) 省エネ制御は、室温が設定された設定温度を維持するように空調制御する従来の制御方式とは異なり、居住者の快適／不快を左右する六つの要素(温度、湿度、平均輻射温度、気流速度、着衣量、活動量)を総合的にとらえた快適度 (PMV) により、室内が設定された快適度を維持するように設定温度を自動算出・変動させる制御である。

PMVとは、デンマーク工科大学のFanger教授が提唱した考え方で、ISO7730で規定されている。人の快適さを温度、湿度、平均輻射温度、気流速度、着衣量、活動量の六つの要素で指数化したものであり、PMVを±0.5以内になるように制御することで90%以上の人は快適と感ずると言われている。PMVの概念を図9に示す。

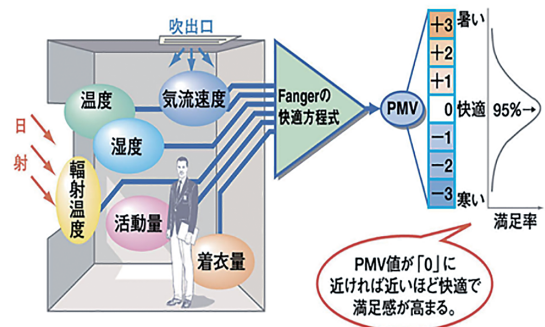


図9 PMVの概念

本制御の特徴は、従来のPMV制御では高価なセンサが必要であった輻射温度を、BACSで計測しているポイント情報を活用して、部屋の方角、窓面積、壁材質、隣室との位置関係などの建物パラメータと、コンピュータの内部時計から演算した太陽方位角及び外気温度、室内温度、隣室温度から演算で求める方式を取り、専用センサの設置を不要とした点である。

本制御により、図10に示すとおり、従来の設定温度一定制御方式による過剰冷房、過剰暖房を削減でき、PMVを一定に保ちながら空調エネルギーを5～20%削減する効果を上げている。

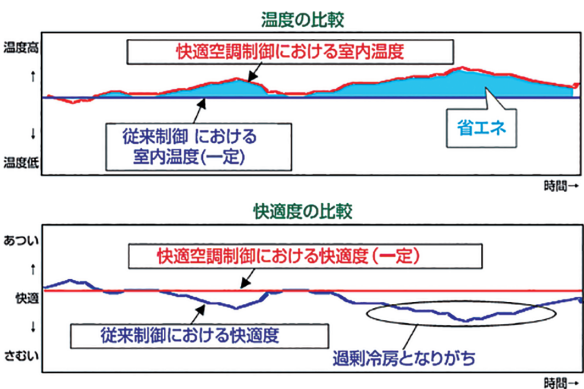


図10 輻射温度予測PMV制御による効果

4.3. 需要予測型空調省エネ制御

需要予測型空調省エネ制御は、熱源設備と空調設備を適切な温度設定値に変化させ、快適性を維持しながら熱源・空調システムの消費エネルギーを削減する。ここでは、図11で示すとおり、外気処理するセントラル空調系統と室内負荷を処理するビルマルチ系統から構成される空調システムを例に制御動作を説明する。

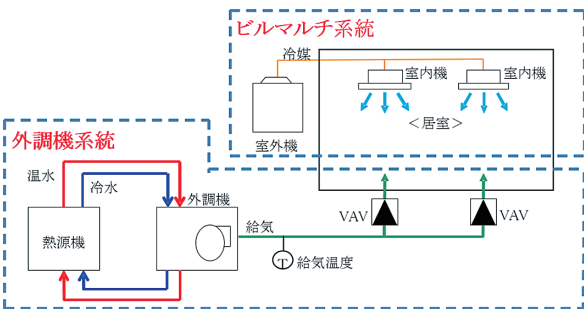


図11 空調システム例

外調機系統は、熱源機から外調機に冷水または温水が供給され、外気を冷却または加熱して居室に給気する。ここで、外調機は居室のCO₂濃度が基準値を超えないように、VAV（可変風量制御装置）により給気風量を変えることで換気を行う。ビルマルチ系統は、室外機と室内機を循環する冷媒によって、居室からの空気を冷却または加熱して居室に給気する。本制御は、熱源機の冷水または温水の温度設定値、外調機の給気温度設定値、ビルマルチの室内温度設定値をそれぞれ変化させ、外調機系統とビルマルチ系統の負荷分担を調整し、消費エネルギーを削減する。

省エネとなる空調制御の演算手法は、季節によって制御方式を自動的に切り替える。外気温湿度等の現在値から、外気等のエンタルピー（熱含量）を計算し、夏期モード、冬期モード、中間期モードを自動判別し、各季節に合った最適な省エネ制御を行う。

例として、夏期モードの省エネ制御動作について説明する。まず、居室に設置された画像センサで計測した居室の在室人数、照明等を含む、居室の消費エネルギー及び最大室内負荷（設計値）を用いて室内負荷率の演算を行う。そして、室内負荷率の演算結果や外気温湿度等を用い、PMVを一定範囲内に維持しながら、外調機系統とビルマルチ系統との空調負荷の分担を最適化して消費エネルギーを最小化するように、それぞれの温度設定値を演算する。

夏季モードで消費エネルギーを削減する概念を図12に示す。

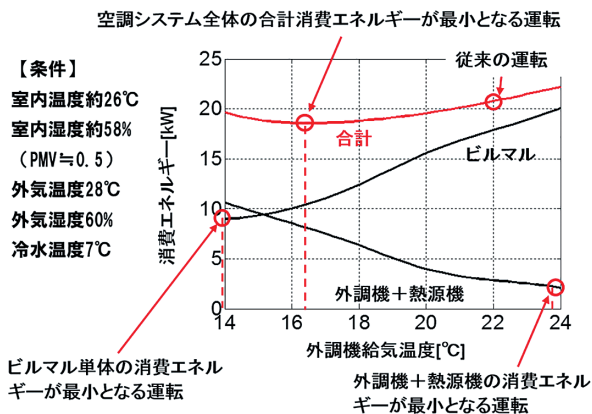


図12 消費エネルギー削減の概念

この例では、外調機給気温度が14℃～24℃の範囲において、居室のPMVが約+0.5となる消費エネルギーを表している。従来制御の場合、外調機の給気温度は一律に設計値の22℃と設定しているため、消費エネルギーはこの設定値で決まり一定となる。これに対して、本制御の場合、外調機の給気温度を約16.5℃に下げ、外調機システムの負荷分担を増加させる代わりに、ビルマルチシステムの負荷分担を減少させることで、熱源・空調システム全体の消費エネルギーを削減できる。つまり、外気温湿度、室内負荷率等の状況に応じて、外調機システムとビルマルチシステムの効率が良くなるように負荷分担を調整することで、空調システム全体の効率が最も良いところで運転できる。

4.4. BCP対応制御

災害発生時にもビルの機能を最低限維持しながら企業活動を早期に再開するためには、非常用回路だけの電源復旧ではなく、OAコンセントなど一般電源の復旧も不可欠である。

ここでは、従来の自家発負荷制御を、様々なBCPに対応できるように機能強化し、電源の確保をサポートする最新のBACSによるBCP対応負荷制御機能について説明する。

この制御は、電源回路としてはすべての系統に非常電源設備からの給電を可能な回路設計とした上で、自家発や蓄電池など創エネ設備の発電余力を計算しながら、照明、空調、昇降機、OA機器などの設備を優先度に応じてきめ細かく負荷制御する。図13に本制御の概念図を示す。

単なる機器のON/OFF制御だけでなく、照明

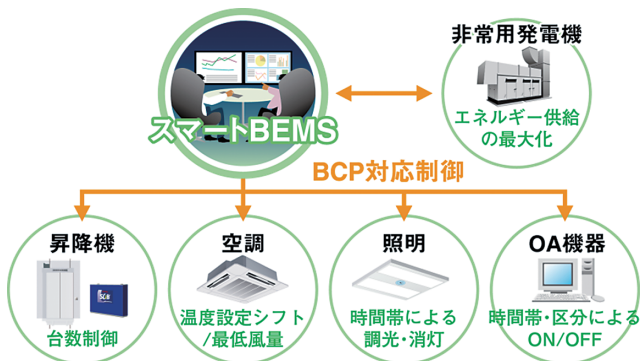


図13 BCP対応負荷制御の概念図

の減光、空調機の風量抑制、昇降機の台数制御などボリュームを絞るようなきめ細やかな負荷容量制御を行うことで、負荷容量を最小化する。

例えば表3のような負荷容量制御を行い、平常時の半分の負荷になるように制御することで、受電電力の半分の容量の自家発で非常時の企業活動を最大72時間継続することができる。

表3 BCP対応負荷制御の例

負荷設備	負荷容量制御内容
照明	照度25%に減光
外調機	ナイトモードに変更し最低風量に調整
パッケージエアコン	発電余力内でゾーン毎に運転 設定温度は上限まで上げる(夏)/下限まで下げる(冬)
OAコンセント	発電余力内で各階2ゾーンまでの電源供給制限
エレベータ	運転台数を1/3に削減

5 BACSによるクラウドサービス

5.1. エネルギー管理サービス

ここではクラウドサービスを応用したエネルギー管理サービスの例を紹介する。これは、管理したい各拠点のリアルタイムの使用電力量を、クラウドサーバにて一括管理・監視し、使用電力量と目標電力量との関係を即座に掌握すると同時に、各拠点の削減の効果等を評価及び削減量の指示等を行えるような支援を行うサービスである。構成としては図14のように、BEMSがない拠点も含み各拠点にデータ変換装置（GW）を設置し

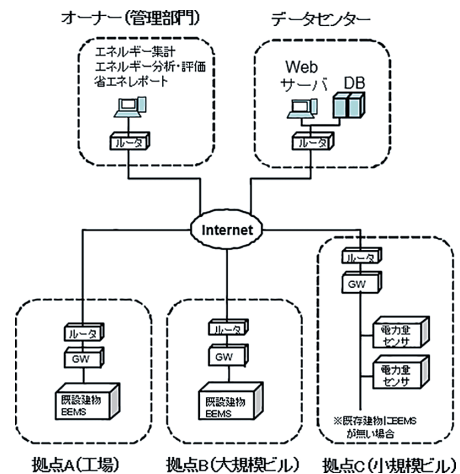


図14 クラウドサービスのシステム例

て、インターネット経由で電力量情報を収集し、データセンターのサーバにて一括管理するものである。

クラウドによるエネルギー管理サービスには、図15に示すような各拠点の使用電力表示、デマンド監視や、超過アラームのメール発報、CSVファイルダウンロードなどが行える。



図15 使用電力表示の画面例

5.2. 遠隔空調省エネサービス

クラウドサービスを応用した遠隔空調省エネ制御に関して紹介する。本制御は、インターネット回線を使用することで、遠隔地のクラウドサーバから、拠点毎の最適な空調温度設定を行うサービスである。

本サービスの特徴は、前述したBACSによる省エネ制御機能の一つである輻射温度予測PMV制御機能を遠隔地にあるサーバ内に実装し、インターネットを通じてオープンプロトコルであるBACnet技術により空調の設定温度を最適に制御するものである。これによりBACnetに対応していれば、どのメーカーのBACSでも接続可能なため、既設ビルへの導入が容易で、初期導入コスト負担も少ない。

遠隔空調省エネ制御の実施結果は、モニタリング機能として、図16に示すWebサイトの画面にて、対象エリアの現在の温湿度、PMV及びこれらのトレンドグラフを表示する。この他に、トレンドグラフのデータを任意選択して、指定区間のデータをCSVファイルダウンロードなどが行える。

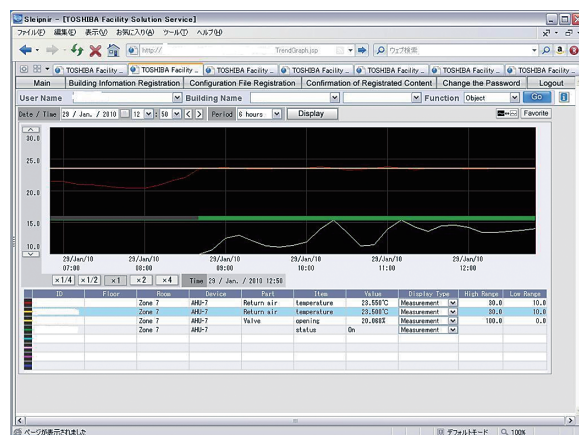


図16 温湿度のトレンドグラフ画面表示例

6 おわりに

今回紹介したBACSの最新技術を導入することにより、高い省エネ性能と、非常時の安全を確保することができ、ビルの付加価値向上に寄与する反面、BACSのコスト増により、建築時のインシヤルコストは増大する。

しかしながら、低炭素社会実現のため、2017年4月に適合義務が施行された建築物省エネ法など、今後ZEBを義務化する規制も増えてくることが予想される。これらの最新BACSの付加価値機能をクラウドサービスで提供することで、インシヤルコストを抑えて、ランニングコストを上回る省エネ効果がある技術の開発が進み、導入が進んでいくことに期待したい。

最後に本稿をまとめるにあたり、東芝インフラシステムズ(株)ビル・施設ソリューション推進室戦略部参事 朝妻智裕氏に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) 島立敦「BACSの構成技術とオープン化」『電気設備学会誌』2015-9, pp.7-11
- 2) 田丸慎悟他「スマートBEMSのモデルベース空調制御によるビルの省エネ効果検証」『東芝レビュー』Vol.70, No.2, pp.22-26, 2015
- 3) 朝妻智裕「クラウド活用サービスと需要家協調型スマートグリッド」『電気設備学会誌』2012-8, pp.35-38.