

論文の内容の要旨

省エネルギー・サービスプロバイダにおけるモニタリングデータ分析に関する研究

迫 博司

1. 研究背景

既存建物の省エネルギー化をより広く実践するための課題として、特に以下の社会的、及び技術的課題があると考えられる。

- ・省エネルギー診断事業者の診断結果の実行性の課題
- ・市場が拡大しない ESCO 事業の動向と課題
- ・普及が進まない BEMS アグリゲータの動向と課題
- ・ベンチマークの設定に関する課題

2. 研究の目的と構成

本研究は、はじめに既存建物の省エネルギー化の普及に向けて、ESCO 事業と異なり、普及性の高いと考えられるモニタリングデータを活用した省エネルギー・サービスプロバイダを定義した。そして、省エネルギー・サービスプロバイダに用いるモニタリングツールを活用し 137 棟の 1 分データを収集し、制御や改修による省エネルギー手法と省エネルギー量の定量化により既存建築設備の省エネルギー化の余地を明らかにすることを目的とした。さらに、省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルを電力・熱のデマンドレスポンスに適応するためのベンチマークの考え方を明らかにすることを目的とする。

3. 設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルの考え方と ESCO 事業との違い

設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルは、建物所有者以外の動産所有会社が、建物所有者の設備に対して、省エネルギー制御の導入または省エネルギー改修を自社負担で実施し、改修後のエネルギー削減実績と契約条件の報酬割合に基づき、報酬を建物所有者から受け取るモデルである。

エネルギー削減実績の算出に際しては、1 分毎のエネルギー・モニタリングデータに基づき、省エネルギー改修の有無及び制御の有無によりその差異を演算する。そのため、気象変動や建物稼働率及び室内利用方法などの変動要因によりエネルギー消費量が削減した場合でも、エネルギー削減量が過剰に演算されることはない。一方、建物稼働率の上昇などによりエネルギー消費量が多くなった場合には、制御による削減量と稼働率の上昇によるエネルギー消費量の上昇分が明確に区別される。

また、ESCO 事業は、1 建物に対して省エネルギー改修投資を実施することを原則としている。しかし、省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルは、インターネットを介して

同時に複数建物に対してモニタリングを実施できるため、電力や熱のデマンドレスポンスの制御、効果検証を行うことが可能である。

4. 建築設備のエネルギー利用効率の分析によるエネルギー削減余地の分析と結論

地域冷暖房（DHC）3 建物、空調熱源 3 建物、空調 2 次側機器 2 建物、ビル用マルチエアコン 9 建物の合計 17 建物を対象に、エネルギー利用効率の分析とエネルギー消費量削減余地を分析した。

地域冷暖房（DHC）デマンド分析と評価では、3 つの建物毎に熱需要が異なるため、省エネルギー化の手法も異なる。冷熱の低負荷運転時間の存在や年間を通じた蒸気消費量の存在、通常消費量に対して大きな冷水デマンドの存在などに省エネルギー化の余地が大きいことが分かった。

空調熱源運転効率の分析と評価では、熱源容量に対して実際の熱負荷は、いずれの建物においても 50%未満であり、既存建物の熱源容量が過大であることが分かった。また、熱負荷が熱源容量に対して小さいために、熱源の COP が定格より大幅に小さいことが分かった。特にガス焚冷温水機の冷房時の実績 COP は、定格 COP の 43~60%という低い値であった。また、ヒートポンプチラーの冷房時の実績 COP は、定格 COP の 80%であった。

空調 2 次側機器運転効率の分析と評価では、空調機の省エネルギー運転制御において、1 次エネルギー換算で 33%程度の省エネルギー化が可能、また外調機の省エネルギー制御も 54%の省エネルギー化が可能であった。

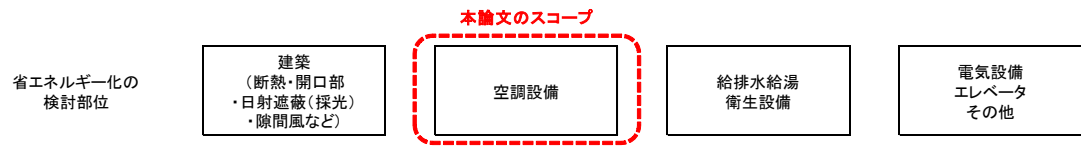
ビル用マルチ運転効率の分析と評価では、空調動力負荷の 19%程度の削減が省エネルギー制御で可能であることが分かるが、中央熱源のように設備容量が過大である可能性は低いと考えられる。

これらケーススタディーから、既存建物における非効率な設備としては、

- ①ガス焚冷温水機：COP が 43%~60%低い
- ②ヒートポンプチラー：COP が 80%低い
- ③外調機：必要外気量との比較からは、54%の 1 次エネルギーの抑制が可能
- ④空調機：必要動力との比較からは、35%の 1 次エネルギーの抑制が可能
- ⑤ビル用マルチエアコン：約 20%の省エネルギー制御が可能

と考えられる。

以上の検証結果を、省エネルギー化の余地として体系的に下図にまとめた。本論文の Scope である空調設備の熱源・空調 2 次側・デマンド毎に省エネルギー化の余地の検証項目、検証結果の判断指標、省エネルギー化の余地、そして省エネルギー化の手法例を記載した。この体系を用いることで、建築設備に精通していないエンジニアでも、既存建物の空調設備の省エネルギー化を実践可能となる。



熱源

	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 中央式熱源 </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 個別熱源 (ビル用マルチエアコン) </div>
省エネルギー化の 余地の検証項目	①製造熱量の発生分布 ②最大製造熱量 ③平均COP		①消費電力の発生分布 ②最大消費電力
検証結果の 判断指標	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> ①ガス熱源 (ガス焚冷温水機 ガス吸収式冷凍機など) </div> ①定格出力と最大製造 熱量の乖離 ②定格COPと平均COP の乖離	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> ②電気熱源 (ヒートポンプチラー ターボ冷凍機など) </div> ①定格出力と最大製造 熱量の乖離 ②定格COPと平均COP の乖離	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> ⑤個別熱源 (ビル用マルチエア コン) </div> ①定格出力と最大出力 の乖離(機器容量の余裕 がある場合インターバル 運転が可能)
省エネルギー化の 余地	40%程度可能 (小型熱源導入時)	25%程度可能 (小型熱源導入時)	*本論文対象外
省エネルギー化 手法例	<ul style="list-style-type: none"> ・台数制御改善 ・熱源一時停止 ・低負荷用小型熱源の導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・台数制御改善 ・熱源一時停止 ・低負荷用小型熱源の導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・間引き運転(インターバル運転)

	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 空調2次側設備 </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 電力・熱のデマンド </div>
省エネルギー化の 余地の検証項目	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> ④空調機 </div> ・室内CO2濃度経時変化	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> ③外調機・換気 </div> ・室内CO2濃度経時変化	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 電力デマンド </div> ・電力デマンド降順
検証結果の 判断指標	・室内CO2濃度と管理基準との乖離	・室内CO2濃度と管理基準との乖離	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 熱デマンド </div> ・冷熱デマンド降順 ・温熱デマンド降順
省エネルギー化の 余地	30%程度可能	50%程度可能	・24時間電力消費量と電力デマンドの面積当たりの原単位の相関 ・ピーク発生傾向により異なる。
省エネルギー化 手法例	<ul style="list-style-type: none"> ・インターバル運転制御 ・低負荷時運転停止制御 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO2濃度制御 	・24時間熱消費量と熱デマンドの面積当たりの原単位の相関 *第5章参照 ・ピーク発生傾向により異なる。 ・各種デマンド制御(外調機・ファン類停止等) ・各種デマンド制御(外調機停止など)

省エネルギー化の余地検証のためのストラクチャー

5. エネルギー・モニタリングデータに基づく熱源設備の設計仕様と実負荷の差異分析

熱源仕様と実負荷の差異分析により、既存建物の熱源容量は、実負荷に対して過大である可能性が高いことが分かった。このことは改修時の熱源容量のダウンサイジングの可能が高いと言える。改修時に熱源容量のダウンサイジングを行う場合、以下の差異要因を明

確にして、建物所有者と合意しておく必要がある。

- ① 建物の各室の利用用途（将来の用途変更の有無を含む）
- ② 照明の照度の考え方（センサーを設置している場合は、調光後の電力消費を利用）
- ③ コンセント負荷の負荷率の考え方
- ④ 建物内の人員の移動を考慮した人体発熱のあり方
- ⑤ 設計外気条件の見直し

6. 電力デマンドのベンチマークの考察と結論

東京電力・東北電力管轄の契約電力 50kW 以上高圧受電建物 120 棟の建物を対象に、電力デマンドの抑制結果の特徴を分析し、建物群で電力デマンドを取扱う場合の抑制効果について考察した。その結果、電力デマンドの発生傾向は、1 日あたりの最大電力消費量と電力デマンドに強い相関があるため、1 日あたりの最大電力消費量から電力デマンドの予測であり、この値を電力デマンドのベンチマークとして取り扱うことが可能と考えられる。

契約電力 500kW 以上の建物の電力デマンドのベンチマーク

最大電力デマンド kW = 0.0631 × 最大電力デマンド発生日の日電力消費量 kW + 3.0223

契約電力 500kW 未満の建物の建物の電力デマンドのベンチマーク

最大電力デマンド kW = 0.0662 × 最大電力デマンド発生日の日電力消費量 kW + 7.3929

7. 熱デマンドの簡易予測手法の検討と熱デマンドのベンチマークの考察と結論

簡易予測手法として、外気温度を説明変数とした空調エネルギー消費量の予測を検討した。その結果、曜日・時間による層別を行うことで、空調エネルギーの予測は、下記のように取扱うことの可能性があることが分かった。

電気式熱源においては、建物の利用状況による層別を行うことで、冷房・暖房ともに、電力消費量・エネルギー消費量の予測精度が高い。一方、ガス式熱源においては、熱源の COP の影響もあり、ガス消費量の予測は難しい。また、エネルギー消費量の予測値も、電気式熱源程は高くない。電気式ヒートポンプエアコンにおいては、建物の利用状況による層別を行うことで、冷房・暖房ともに、電力消費量の予測精度が高い。これらの予測値は、蓄熱負荷を考慮できないため、時刻別予測には適さない。特に、暖房時の時刻別予測には適用すべきではないことが分かった。

また、熱デマンドのベンチマークの検討では、最大冷房負荷は 24 時間の冷房負荷と強い相関があり、冷房開始後の冷房負荷の積算値により、その日の最大冷房負荷の予測が可能であり、この値を熱デマンドのベンチマークとして取り扱うことが可能と考えられる。

Y（延床面積あたりの最大冷房熱量 kJ/m²）

$$= 0.0945x \text{（延床面積あたりの日合計冷房熱量 kJ/日} \cdot \text{m}^2\text{）} + 18.258$$

建物毎に一日の合計冷房熱量から最大冷房熱量をベンチマークとし設定することで、複数建物において熱融通した場合の最大冷房熱量の削減効果が定量化できると言える。