

# 官庁施設におけるBEMS有効活用のための調査研究

三ツ木 浩剛<sup>1</sup>・東出 光央<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大臣官房官庁営繕部 設備・環境課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

空調システムのライフサイクルにおいて、常に最適な状態で運用することは、システム全体の長寿命化及び省エネルギー化を図るうえで重要なことである。そのためには、空調システムのエネルギー消費傾向及び運転状態、室内環境等を把握・解析する必要がある。

近年、BEMS は、エネルギー解析を行ううえで有効なツールとして、官庁施設にも導入が促進されているところであるが、具体的かつ有効な活用方法については整理されていない。

本調査研究では、官庁施設に導入した BEMS の実態調査等を行い、エネルギー解析事例を収集、データベース化、BEMS の有効活用方法について提案する。

## 空調システムの最適化、エネルギー解析、BEMS

### 1 はじめに

#### (1) 建築物における空調システムについて

一般的な庁舎の用途別エネルギー消費比率を図-1に示す。

照明・コンセントの消費比率が全体の 34%と大きく、次に熱源が 27%、熱搬送が 18%と続いている。建築物の省エネルギーを考えるうえで、この上位3項目についての対応が重要であることが伺える。

照明・コンセントについては、現段階での分析は困難であると判断し、本調査研究においては、熱源と熱搬送との合計が 45%に及ぶ空調システムについて着目し、調査研究をすることとした。

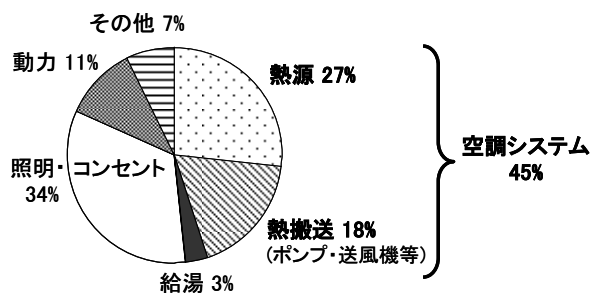


図-1 庁舎のエネルギー消費構造  
(出典：(財)省エネルギーセンター)

#### (2) 空調システムの最適化について

空調システムは、主に熱負荷計算等により選定した熱源機及び熱搬送機器、それらをコントロールする制御装置を組み合わせた現場施工形システムである。

新しく空調システムを構築した場合は、運用前に機器及び制御装置を設計仕様に合わせて試運転調整が必要がある。

しかし、実際の運用段階では、必ずしも設計時に想定した条件での運転とはならないため、熱の需要と供給とのバランスが取れず、出力過剰となっている場合も見られる。また、機器の経年劣化による効率低下もあることから、試運転調整時の設定のままでは、適正な運転状態を得られない恐れもある。

従って、継続的に空調システムの運転状態を把握、その状態に合わせて調整 (チューニング) し、空調システムの最適化を図ることが重要となる。

空調システムの運転状態を把握するためには、そのエネルギー消費傾向等のデータを長期的かつ継続的に計測計量し、解析することが有効である。本調査研究で取り上げる BEMS は、そのための支援ツールとして導入が進められているものである。

#### (3) BEMS について

BEMS とは、Building Energy Management System の略語で、一般的に中央監視盤のエネルギー解析機能又はその機能を有する装置のことをいう。

エネルギー解析機能とは、中央監視盤の監視制御機能により収集した各機器の運転状態、電気・ガス消費量、水温等の多様な計測計量データを、時系列に従い長期的に収集・保存するとともに、蓄積したデータについて、並び替え、抜き出し、演算等の加工を行い、エネルギー解析用の各種グラフを作成する機能 (ツール) である。

グラフ形式は、評価項目に合わせて、トレンドグラフ、バーグラフ、積層グラフ、散布図等を選定する。

BEMS を用いた評価項目ごとのグラフ例を図-2 に示す。

グラフの作成にあたっては、設計段階から空調システムに応じて評価項目を定め、蓄積データの加工方法、グラフ形式（縦・横軸の設定）等を検討・決定しておく必要がある。また、作成するグラフに応じて必要となる計測計量ポイントの抽出、監視制御機能への取り込みも併せて検討する必要がある。

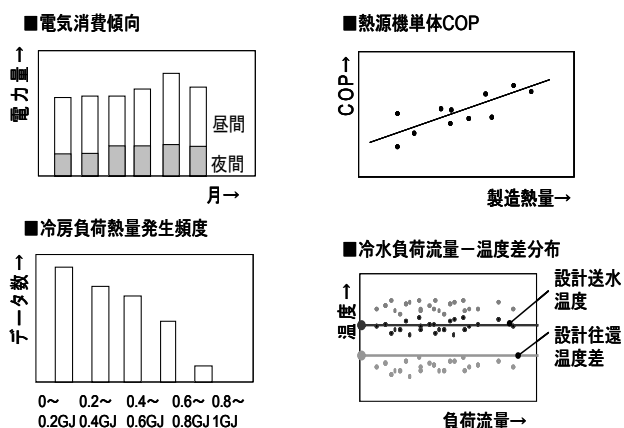


図-2 BEMS を用いたグラフ例

#### (4) 施設の運用改善と BEMS との関係

BEMS を用いた施設の運用改善サイクル（モデル）を図-3 に示す。

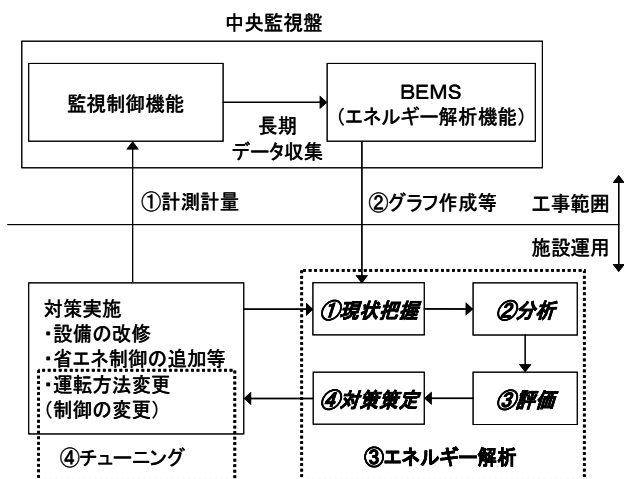


図-3 施設の運用改善サイクル（モデル）

中央監視盤を中心に、①計測計量→②グラフ作成等→③エネルギー解析→④チューニング→①計測計量というサイクルを形成する。

中央監視盤にあつて BEMS は、あくまでもエネルギー解析機能を担うツールであり、運用段階におけるエネルギー解析（①現状把握→②分析→③評価→④対策策定）の作業は、施設管理者等が行うものである。

従つて、エネルギー解析を効率的かつ正確に行うためには、BEMS により良質なグラフを提供することが不可欠

である。

※ BEMS を導入していないケースにおいても、中央監視盤等で計測計量しているデータを活用し、可能なレベルでのエネルギー解析を行い、運用改善（最適化）を図ることは必須である。

#### (5) BEMS の有効活用について

BEMS に蓄積されたデータを用いて良質なグラフを作成するには、設計段階において、蓄積データの加工方法、グラフ形式（縦・横軸の設定）等を検討・決定する必要がある。

しかし、検討にあつての具体的かつ有効な方法については整理されておらず、事案ごとに検討を行っているのが実状である。

そのため、導入された BEMS が有効に活用されているか正しく評価できないという課題が生じている。

## 2 調査研究内容

本調査研究では、官庁施設に導入した BEMS の実態調査を行うとともに、官庁施設に対して実施したグリーン診断（改修）、ESCO 導入に関するフェージビリティ・スタディ、コミッショニング等の業務に関して調査を行い、エネルギー解析事例（良質なグラフ事例）を収集する。

また、広く文献調査等を行い、収集データを整理（加工）するほか、エネルギー解析事例のデータベース化における考え方を整理し、BEMS の有効活用方法について提案する。

## 3 調査研究結果

### 3-1 エネルギー解析について

エネルギー解析を効率的かつ正確に行うためには、はじめに施設全体のエネルギーの消費傾向をマクロ的に捉え、続いて、用途別、系統別と細分化して解析を進めることが有効である。

エネルギー解析フロー例を図-4 に示す。

建築物の空調システムにおける  
エネルギー解析フロー

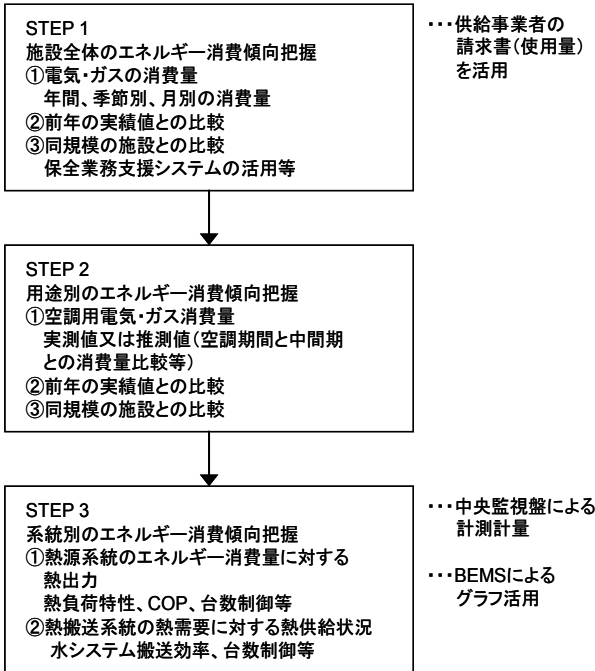


図-4 エネルギー解析フロー例

STEP1 では、電力・ガス供給事業者の月々の請求書等に記載された使用量(消費量)を用いる。

同規模の施設との比較を行う場合は、電力・ガス消費量を1次エネルギー消費量に換算することが有効である。

STEP2 では、空調用として個別に電気・ガス消費量を計量しておく必要がある。

なお、個別計量していない場合は、月々のエネルギー消費量から空調用エネルギー消費量を推測する方法がある。月々のエネルギー消費量のうち最低月の値を12倍したものを基準エネルギー消費量とし、年間エネルギー消費量との差を空調用エネルギー消費量とするものである。

基準エネルギー消費量と空調用エネルギー消費量の関係(イメージ)を図-5に示す。

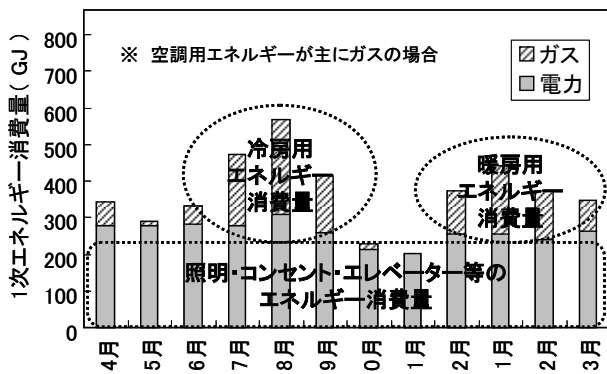


図-5 基準エネルギー消費量イメージ

STEP3 では、あらかじめ空調システムに応じた評価項目を定め、中央監視盤により必要なデータを計測計量しておく必要がある。

なお、中央監視盤により収集した計測計量データのグラフ化には、BEMSによる方法とデータをCSV形式等でダウンロードし、表計算ソフト(Excelなど)を用いて加工する方法とがある。

長期データを扱うことになるため、中央監視盤内において、収集したデータをダイレクトに取り込み、処理することができるBEMSが優位であるといえる。

3-2 エネルギー解析事例

本調査研究では、一般的と思われる空調システムをモデルとして、エネルギー解析事例を取りまとめた。

収集したエネルギー解析事例は、事例ごとに特色があるため、データベース化するにあたり、着目点が明確となるようにデフォルメしている。

空調システムのモデルを図-6に示す。

- (1) 熱源系統 : 熱源機2台・台数制御方式
- (2) 冷温水系統 : 2次ポンプ4台  
台数制御(インバータ無)方式
- (3) 冷却水系統 : 熱源機-冷却塔1対1  
冷却水バイパス制御方式

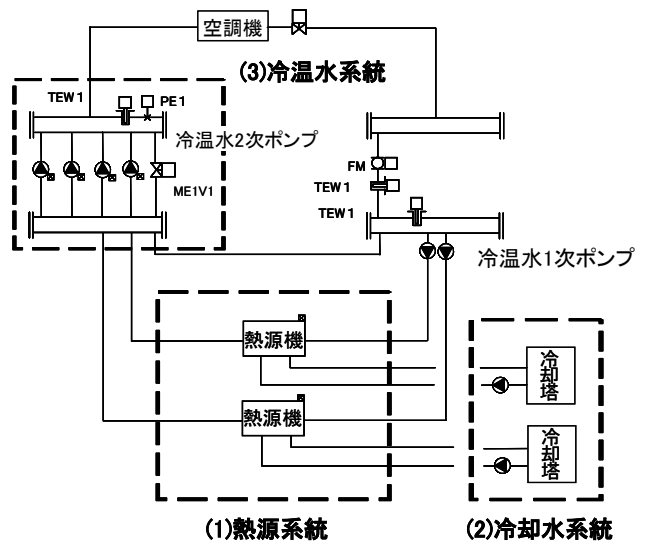


図-6 空調システムモデル

- (1) 熱源系統について
- ① 熱負荷特性についての解析例

冷房期間における冷房負荷とその発生頻度を図-7に示す。

※ 評価指標：2次側冷温水積算熱量

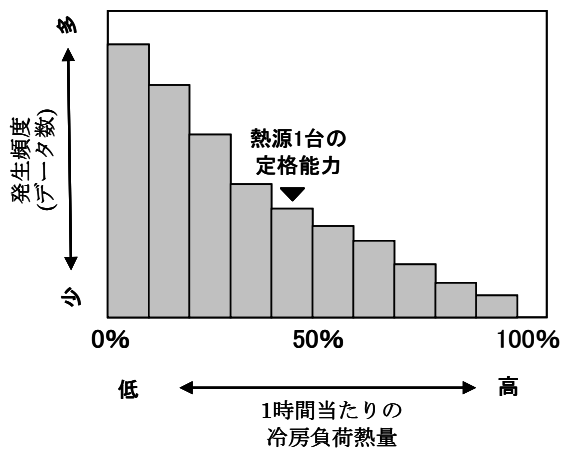


図-7 冷房負荷と発生頻度

■解説

冷房負荷熱量の最低値から最高値の間を10等分し、それぞれの範囲に入る1時間当たりの冷房負荷の発生頻度をグラフ化したものである。

低負荷の発生頻度が多く、高負荷の発生頻度が少ない傾向であることが判る。

1台運転の場合でも低負荷運転の発生頻度が多くなるため、熱源機の部分負荷特性を確認しておく必要がある。

【参考】

熱源負荷率と熱源機効率 COP の関係を図-8 に示す。

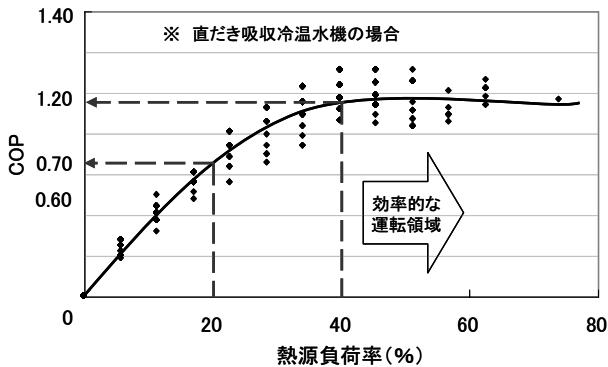


図-8 熱源負荷率と COP (例)

一般的に、熱源負荷率が40%より低下すると、熱源機効率 COP も低下することが知られている。

各熱源機がなるべく高負荷運転の状態を維持するように台数制御を調整することが重要である。

② 熱源機の運転状態についての解析例

冷房期間における1日の熱需要(冷房負荷)と熱源機出力の関係を図-9 に示す。

※ 評価指標：2次側冷温水積算熱量、熱源機出力

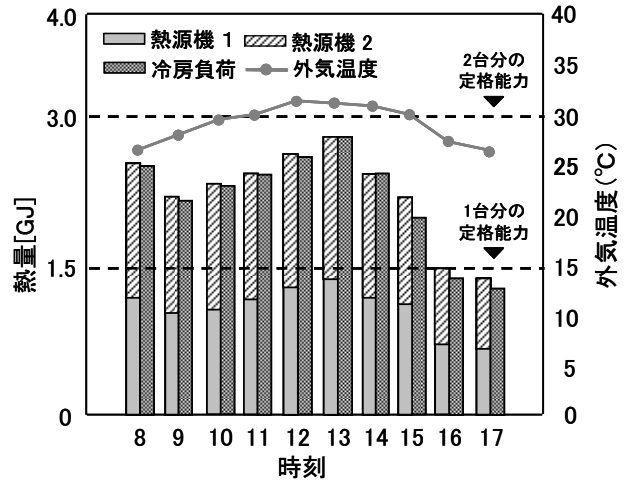


図-9 熱需要と熱出力

■解説

熱需要に対する熱源機出力は満足しているものの、熱源機1台分の定格能力以下の熱需要に対して2台運転を行っている時刻(16~17時)がある。

台数制御装置が正常に機能していない恐れがあり、制御機能について調査する必要がある。

(2) 冷却水系統について

① 冷却水の温度状態についての解析例

冷房期間における熱源機の冷却水出入口温度とその温度差の関係を図-10 に示す。

※ 評価指標：冷却水出入口温度

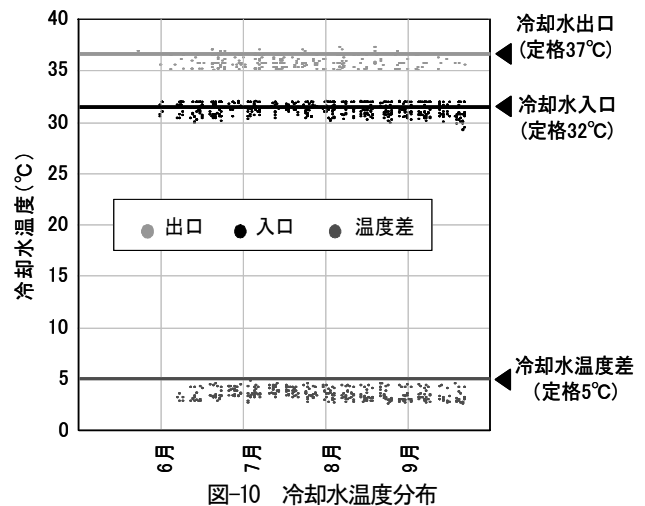


図-10 冷却水温度分布

■解説

冷却水の入口温度は、定格値32°C付近を推移しているが、出口温度が定格値37°Cを下回っており、出入口温度差は定格5°Cに対し、4°C以下となっている。

熱源機の運転に支障はないが、省エネルギーの観点

から、出入口温度差が5°Cになるように冷却水量を低減（搬送動力を削減）する必要がある。

### (3) 冷温水系統について

#### ① ポンプの運転状態についての解析例

冷温水2次ポンプの搬送熱量と消費電力量の関係を図-11に示す。

※ 評価指標：2次側冷温水積算熱量、2次ポンプ消費電力量

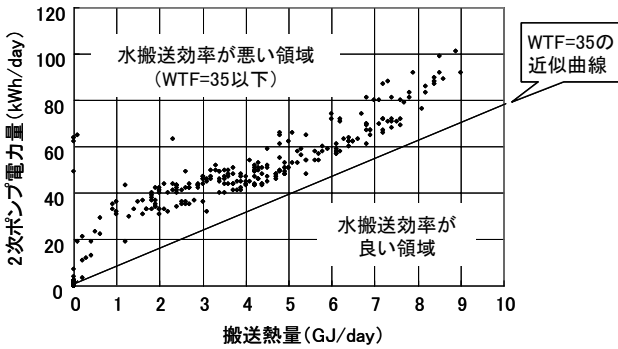


図-11 ポンプの搬送熱量と消費電力量

#### ■解説

熱搬送系ポンプの効率を図る目安として、水搬送システム効率WTF (Water Transportation Factor) という指標がある。

WTFは、次式で定義される。

$$WTF = Q / (3.6 \times M)$$

ここに、Q：搬送熱量[MJ]

M：ポンプ合計消費電力量[kWh]

ポンプの運転状態は、WTFが35以上であれば効率的、35未満であれば非効率的といわれている。

本事例では、WTFが35未満の領域に多くの分布が見られることから、冷温水2次ポンプの運転状態は、非効率的であるといえる。

#### ② ポンプの運転（台数制御）状態についての解析例

冷温水流量と2次ポンプ動力の関係を図-12に示す。

※ 評価指標：2次側冷温水流量、2次ポンプ動力

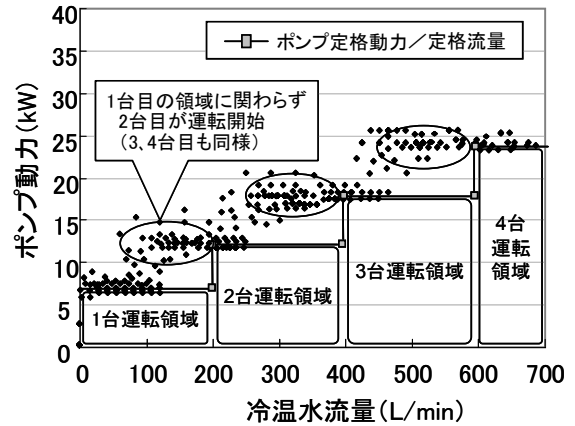


図-12 冷温水流量と2次ポンプ動力

#### ■解説

2次ポンプは、負荷流量（空調機の要求流量）の変動に追従するように台数制御（増段・減段・バイパス）されている。

ポンプの台数制御は、次による。

負荷流量を計量し、その流量を満たすようにポンプの運転台数を増段又は減段する。

負荷流量の変動により、ポンプの吐出流量が負荷流量を上回った場合（ヘッダー圧力が設定値を上回った場合）、バイパス弁制御によりバイパス量を増加させる。バイパス弁制御の限界にてポンプの運転台数の減段を開始する。

また、ポンプの吐出流量が負荷流量を下回った場合（ヘッダー圧力が設定値を下回った場合）、バイパス弁制御によりバイパス量を減少させる。バイパス弁制御の限界にてポンプの運転台数の増段を開始する。

本事例では、ポンプの運転台数の増段が早めに、減段が遅めに開始されており、非省エネルギーとなっていることが判る。

ポンプ単体の吐出流量の確認、バイパス弁制御、台数制御（パラメータ等）の確認が必要である。

#### ③ ポンプの回転数制御の解析例

冷温水2次ポンプの台数制御を行う場合、ポンプの回転数制御（インバータ制御）を併用する場合がある。

通常の台数制御に比べ、バイパスロスが減少するほか、負荷流量への追従性も向上することが期待できる。

ここでは、近年、多用されている回転数制御に関するエネルギー解析事例を取りあげ、解説する。

暖房期間における1日の冷温水2次ポンプのヘッダー圧力とインバータ出力との関係を図-13に示す。

※ 評価指標：2次ヘッダー圧力、2次ポンプインバータ出力

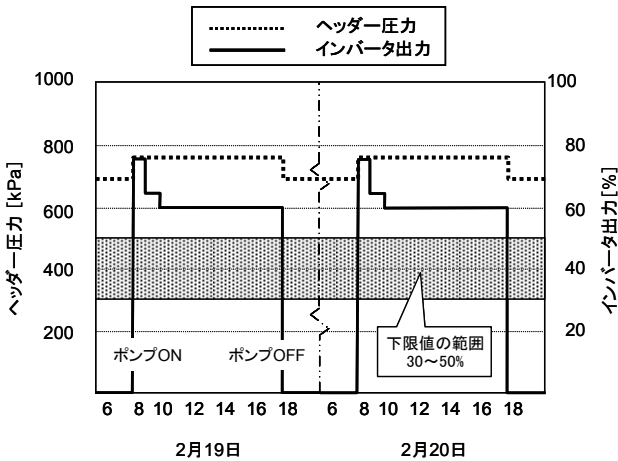


図-13 ヘッダー圧力とインバータ出力

■解説

回転数制御を導入した場合のポンプの台数制御は、次による。

負荷流量を計量し、その流量を満たすようにポンプの運転台数を増段又は減段する。

負荷流量の変動により、ポンプの吐出流量が負荷流量を上回った場合（ヘッダー圧力が設定値を上回った場合）、①回転数制御によりポンプの吐出流量を減少させる。②バイパス弁制御によりバイパス量を増加させる。①、②の制御限界にてポンプの運転台数の減段を開始する。

また、ポンプの吐出流量が負荷流量を下回った場合（ヘッダー圧力が設定値を下回った場合）、③バイパス弁制御によりバイパス量を減少させる。④回転数制御によりポンプの吐出流量を増加させる。③、④の制御限界にてポンプの運転台数の増段を開始する。

本事例では、ポンプ起動から停止までの間、ヘッダー圧力が一定に制御されており、台数制御の基本動作は正常であるといえる。

また、インバータ出力が、ポンプ起動時付近（8～10時）を除き、下限値60%で横這い状態となっていることから、ポンプ吐出流量が過流量であることが判る。

一般的にインバータ制御の下限値は、約30～50%まで設定可能であるといわれていることから、ポンプの運転状態を再度確認し、下限値の設定変更を行う必要がある。

3-3 データベース化について

本調査研究において収集したエネルギー解析事例は、空調システムの構成の違い、運用状況の違いがあり、事例ごとの特色が強く、データベース化は容易でないことが判った。

エネルギー解析事例のデータベース化にあたっては、各事案に広く適用できるように、事例から、なるべく基礎的なもの、共通的な要素（汎用性があるもの）を抽出

し、モデル化することが重要である。

本調査研究では、3-2で紹介した事例をもとにデータベース化にあたっての事例の整理方法を提案する。

データベース化のイメージを表-1、表-2に示す。

表-1 エネルギー解析事例

<p>評価項目：2次ポンプ台数制御</p> <p>対象システム</p>
<p>グラフ：散布図</p>
<p>評価指標(計測計量ポイント)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2次ポンプ動力</li> <li>・2次側冷水流量</li> </ul>
<p>解説</p> <p>2次ポンプの台数制御について 本事例では、ポンプの運転台数の増段が早めに、減段が遅めに開始されており、非省エネルギーとなっていることが判る。ポンプ単体の吐出流量の確認、バイパス弁制御、台数制御(パラメータ等)の確認が必要である。</p>

表-2 評価項目とグラフ例

評価項目	グラフ例	評価指標
熱負荷特性・熱源運転状況評価	<p>熱発生強度 0.2~ 0.4~ 0.6~ 0.8~ 時間当り 0.4GJ 0.6GJ 0.8 1GJ 負荷熱量</p>	2次側冷水積算熱量
熱源機運転状態	<p>熱源出力 ↑ 外気温度 時刻・日・月→</p>	2次側冷水積算熱量 熱源出力
冷却水温度状態	<p>設計出口温度 設計入口温度 設計出入口温度差 時刻・日・月→</p>	冷却水出入口温度
空調熱搬送システム運転状況・搬送効率評価	<p>冷温水ポンプ運転状態 電力量↑ 搬送熱量→</p>	2次ポンプ消費電力量 2次側冷水積算熱量
ポンプ台数制御状態	<p>ポンプ動力↑ 冷温水流量→</p>	2次ポンプ動力 2次側冷水流量
ポンプの回転数制御状態	<p>ヘッダー圧力↑ ヘッダー圧力インバータ出力 時刻・日・月→</p>	ヘッダー圧力 インバータ出力

表-1は、エネルギー解析事例をデータベース化の際の整理イメージである。事例ごとに評価項目（対象システム図を含む）及びそれに対するグラフとその解説、必要な評価指標を記載している。

これにより、設計担当者や施工担当者、施設管理者等の共通認識のもと、評価項目ごとの解析手法を確認し、運用改善に活用することが可能となる。

なお、表-1のグラフは一例を示したものである。同じ評価項目でも、複数の解析手法が考えられ、グラフもその数だけ存在することになる。また、計測計量ポイントを増やし、解析を詳細に行う場合は、使用するグラフも異なってくる。従って、一つの評価項目に対して複数のグラフとその解説等という構成になる。

表-2は、表-1の基本的な事項を抜粋し、一覧にまとめたものである。主に設計段階において、空調システムに応じて設定する評価項目、グラフ形式、計測計量ポイント等の情報を設計担当者間で共有化する際に活用することを想定している。

このように、エネルギー解析事例をデータベース化することによって、解析を行うべき評価項目の設定、その解析に必要なグラフ、評価指標（計測計量ポイント）の選定が統一的に行え、エネルギー解析の効率化が図れるものと思われる。

#### 4. おわりに

本調査研究では、おもにエネルギー解析について解説してきたところであるが、エネルギー解析は、運用改善サイクルの1要素であり、サイクル全体を滞りなく回すことが重要である。

従って、最も煩雑かつ膨大な作業であるエネルギー解析を効率的に行うことが、強いては運用改善を推進することにつながる。

そのためにもBEMSが有効なツールとして機能するように、継続してエネルギー解析事例を収集し、データベース化を推進することが急務である。

また、エネルギー解析事例は、BEMSを有効活用するための基礎情報となるものであり、BEMSに関わる各担当者は、基礎知識として習得しておくべきものである。

本論文は、次の地方整備局等の協力により作成しています。

北海道開発局営繕部設備課  
東北地方整備局営繕部設備課  
関東地方整備局営繕部設備課  
北陸地方整備局営繕部設計課  
中部地方整備局営繕部設備課  
近畿地方整備局営繕部設備課  
中国地方整備局営繕部設備課  
四国地方整備局営繕部設計課  
九州地方整備局営繕部設備課  
沖縄総合事務局開発建設部営繕課

#### 参考文献

- 1) 建築設備の省エネルギー技術指針  
（社）空気調和・衛生工学会