



Title	空気調和設備のコミッショニング：解析事例とBEMS援用ツールの評価
Author(s)	伊藤, 嘉奈子; 村山, 俊尚; 濱田, 和康 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム（平成13年11月1日（木）-2日（金） 北海道大学学術交流会館） . 1 建築環境とエネルギー利用 . 1-14
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 68-73
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7146">https://hdl.handle.net/2115/7146</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-1-14_p68-73.pdf



1-14

空気調和設備のコミッションング：解析事例と BEMS 援用ツールの評価

○ 伊藤 嘉奈子、村山 俊尚、濱田 和康、廣岡 正 (山武ビルシステム(株))

はじめに

近年、省エネルギーおよび空気調和設備の品質保証の手段として、性能検証—コミッションングが注目されている。本稿では、試行事例から、特に受け渡し段階およびその後実施した性能検証の概要、性能検証を行うために採用した解析手法、および診断・改善に至った事例を紹介する。また、事例を通してコミッションング援用ツールとしての BEMS の有用性・課題について考察する。

1. 試行事例の概要

1.1 性能検証試行建物の概要

試行は 2000 年 3 月から 2001 年 9 月にかけて (株)山武 環境技術センターにおいて実施されている (2001 年 9 月現在継続中)。

対象となった建物の概要は以下の通りである。

- 所在地 : 東京都大田区
- 構造 : 鉄骨造 鉄骨ブレース構造
- 階数 : 地上 4 階
- 建築面積 : 702.67 m<sup>2</sup>
- 延床面積 : 1695.75 m<sup>2</sup>
- 用途 : 事務室および研究施設
- 竣工 : 2000 年 9 月 14 日

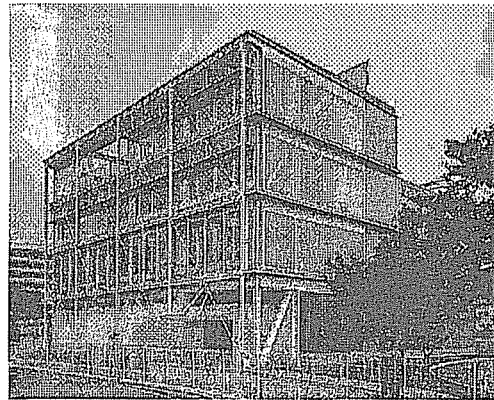


図-1 建物外観

1.2 コミッションング試行の目的

性能検証基本指針<sup>1)</sup>では性能検証の目的を以下のように定義している。

「性能検証の目的: 建築設備システムが建物の生涯にわたって、環境・エネルギー並びに使い易さの観点から、使用者にとって最適な状態に保たれるように、求めに応じて性能を診断・検証し、必要に応じて発注者・所有者或いは使用者に性能改善法を提示することを目的とする。ここに環境とは、第一に室内環境の健康・快適性の保持を言い、第二にエネルギーおよび排出物質を最小限にして地域・地球環境保全に貢献することを意味する。検証の目的を全うするためにはこれを建物の生涯にわたって行うことが望ましい。この場合それを生涯性能検証(ライフサイクルコミッションング)と呼ぶ。」

本試行においては、コミッションング本来の目的である上記を達成すると同時に、コミッションングシステム確立のための実践研究を大きな目的とした。また、ビルディングオートメーションに携わるものの立場から、①性能検証業務についての一般的な知見を深めること、②性能検証業務の援用ツールとして BEMS に必要とされる機能の確認、③被検証対象に適用される試験内容の確認、なども目的としている。<sup>3)</sup>

1.3 設備構成

本施設は温熱環境の研究を主目的としており、空気調和設備としては、温熱環境の基礎的研究を行う実験室系統と研究員が執務する事務室系統の 2 つに分かれる。

また、事務室系統においては、各階異なる空調システムとすることで、執務者の環境を整備するとともに各空調システムの実験・検証の場としても利用することが可能となっている。

表-1 空気調和設備構成

系統	空調設備 事務室系統	空調設備 実験室系統
熱源	空冷ヒートポンプ+蓄熱システム	水冷ブラインチラー、空冷ブラインチラー+氷蓄熱槽、蒸気式ボイラ
空調	1F 床置きパッケージ 2F タスク&アンビエント空調 3F VAV 空調方式 4F 躯体蓄熱放射冷暖房システム	実験室用空調機 3 台/チャンパー用空調機 4 台(実験室外周 6 面を個別チャンパーで制御)

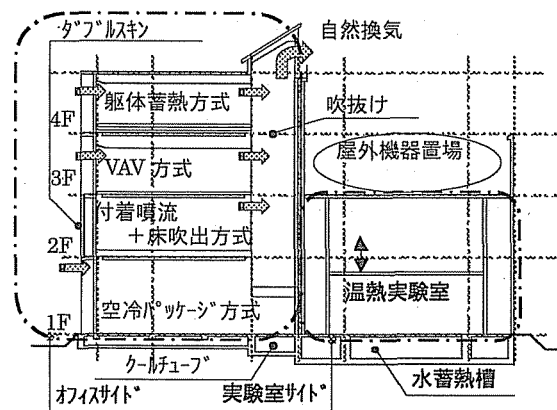


図-2 コミッションング対象建物断面<sup>4)</sup>

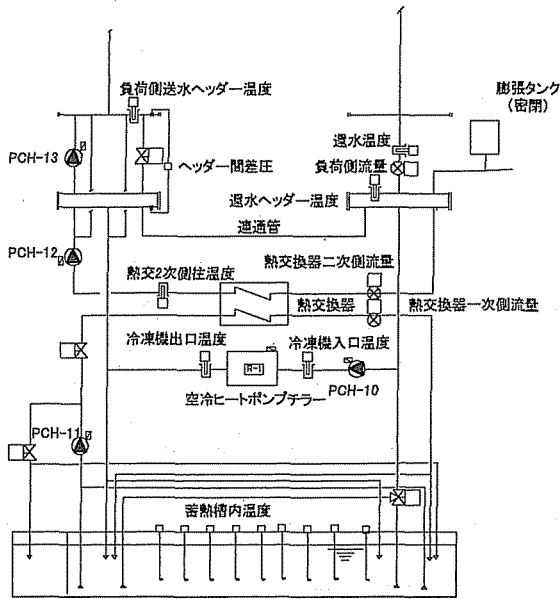


図-3 事務系統熱源フロー図<sup>1)</sup>

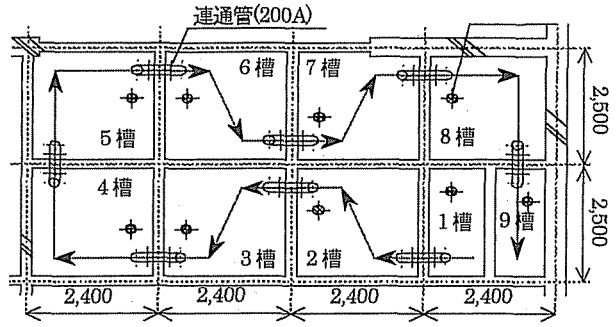


図-4 水蓄熱槽平面図<sup>1)</sup>

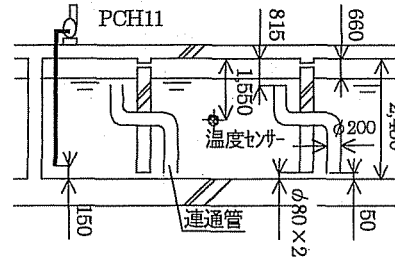


図-5 水蓄熱槽断面図<sup>1)</sup>

#### 1.4 コミッショニング作業体制

各検証作業は、図-6の体制で行われた。本試行においては、性能検証作業を実施・管理する、第三者の立場をとる性能検証管理チーム(CMT)と建設の各工程において性能検証に関わる性能検証関連担当組織(CRP)によって性能検証組織が構成された。

各組織の詳細は表-2の通りとなる。  
 注) CMT :Commissioning Managing Team  
 CA :Commissioning Authority  
 ACA :Acting Commissioning Authority  
 ACM :Assistant Commissioning Manager  
 CRP :Commissioning Relating Party

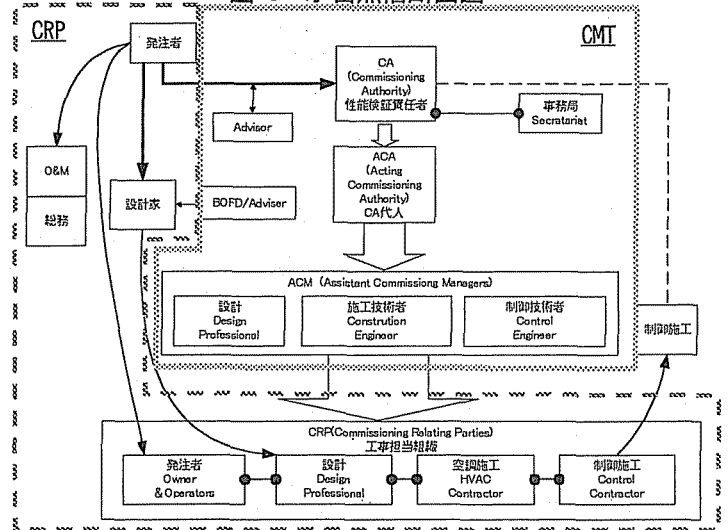


図-6 性能検証体制<sup>3)</sup>

表-2 各組織詳細

性能検証管理チーム(CMT)	性能検証関連担当組織(CRP)
<ul style="list-style-type: none"> <li>性能検証責任者(CA、総括)</li> <li>性能検証責任者代人(ACA、現場総括)</li> <li>アドバイザー(情報収集、FDD解析)</li> <li>管理補助者(ACM、設計・施工・制御)</li> <li>事務局</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発注者組織(発注者・O&amp;M・総務)</li> <li>設計家</li> <li>工事担当組織(発注者・設計監理者・空調/制御施工者)</li> </ul>

#### 1.5 コミッショニング作業の工程

生涯性能検証の実施段階は、性能検証基本指針<sup>1)</sup>によると、次の3つの実施段階にわたるものとしている。

- (1) 設計性能検証(デザインコミッショニング)  
設計内容そのものの妥当性を検証する過程を言う。
- (2) 建設性能検証(検収、狭義のコミッショニング)  
設計性能を実現すべく施工されたことを検証し、発注者に引き渡す過程。着工時から竣工後満1年までとする。
- (ア) 設計図書検収、(イ) 試験調整検収、(ウ) 引渡し検収、(エ) 竣工後1年以内の再検証
- (3) 運転性能検証(性能診断、リコミッショニング)  
建物やシステム・機器の性能変化或いは建物の使われ方の変化に伴い、システムの適合性、環境・エネルギー性能の実績の評価、機器の性能劣化、制御パラメーターの不適合などの不具合(フォルト)を検知・診断し、必要に応じて改修すべき点を検証依頼者に提言する。

本試行においては、(2)の建設性能検証を対象とした。(1)の設計性能検証については、性能検証の実施そ

のものが工事着工後のため、工事に手戻りのない範囲での事後検証にとどまった。

作業工程の概略を図-7に表す。

## 2. BEMS を利用したコミッシュニング<sup>5)</sup>

1.5 で述べた工程のうち、引渡し検収およびその後の再検収の過程では、①機器能力、②システムの機能・性能、③運転性能(制御性能)の3点において要求事項を満足するか、目視および収集したデータの解析によって確認した。その際のデータの収集・解析にはBEMS(中央監視システム)を利用した。今回検証に使用した中央監視システムは図-8の通りである。

目視では、音・臭い・現場計器の値などBEMSによる表示・データ収集対象でないものを確認し、その他の項目についてはBEMSデータで表示・収集を行って確認する、という機能分担とした。BEMSでは現在状況・リアルタイムトレンドグラフによる状況確認と、データ収集および収集データのグラフ化を行っている。また、BEMSの定型グラフでは対応できない内容については収集したデータを市販グラフソフトにより別途グラフ化することでより詳細な状況分析を行った。

なお、本試行では、BEMSを性能検証に最大限活用するよう、検証に必要な計測・計量点を計画したため、通常の中央監視より、ある系統では中央監視点数が40%程度多くなっている。

## 2. 受け渡し段階のコミッシュニング<sup>5)</sup>

### 2.1 受け渡し段階の検証項目

受け渡し時の検証項目は①装置能力、②機器の保護回路動作(リミット試験)、③運転状況(制御性)とした。装置の能力検査とリミット試験は自動制御を行わずに装置のフル能力を発揮させた状態で行い(オープン試験)、運転状況の確認は実運用時と同様、自動制御を働かせた状態で行った(クローズ試験)。装置能力確認時には、ステップ応答から制御パラメータ(P I)を想定した。運転状況(制御性)は、精度、追従性、安定性について確認した。検査手順の概要は以下の通り。検査項目詳細を表-3に示す。

- 1) 蓄熱システムを自動とし蓄熱運転を行う
- 2) 翌日BEMSデータで、蓄熱状況、三方弁制御状況、熱源機器能力の確認を行う
- 3) 熱源機器保護回路動作試験を行う。
- 4) 熱交換器能力を確認する。
- 5) ポンプ能力を確認する
- 6) 空調制御弁全開のまま、空調機を起動し(空調機能力確認※)、温度応答を確認する

※ここではコイル能力を指す。ただし、VAV空調システムはファン能力含む

- 7) 全て制御状況とし、設定変更をして追従性、安定性を確認する

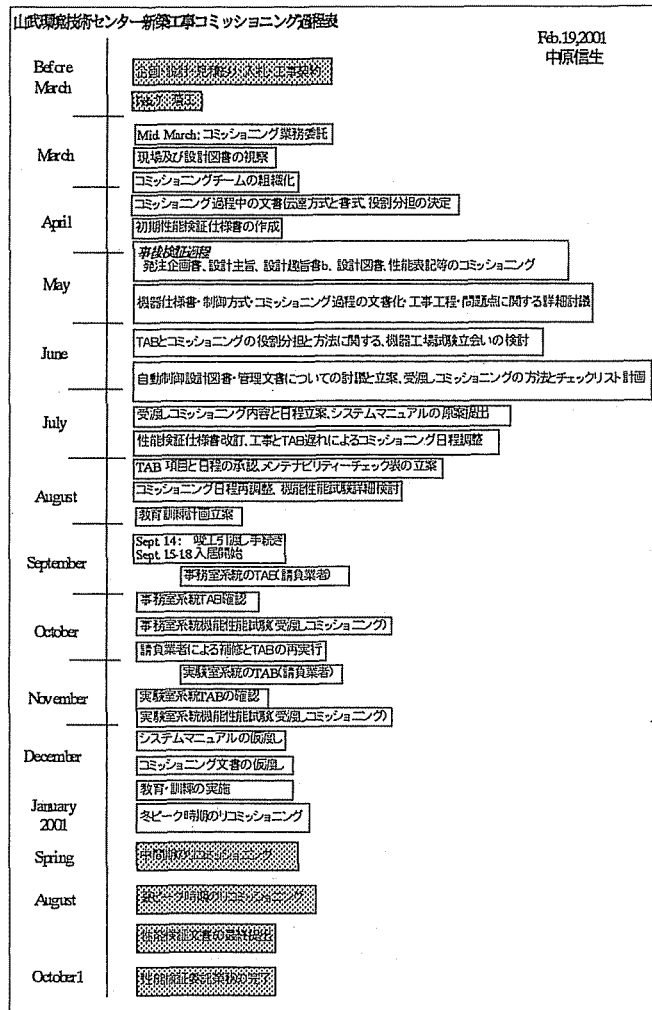


図-7 検証作業の全体概要<sup>3)</sup>

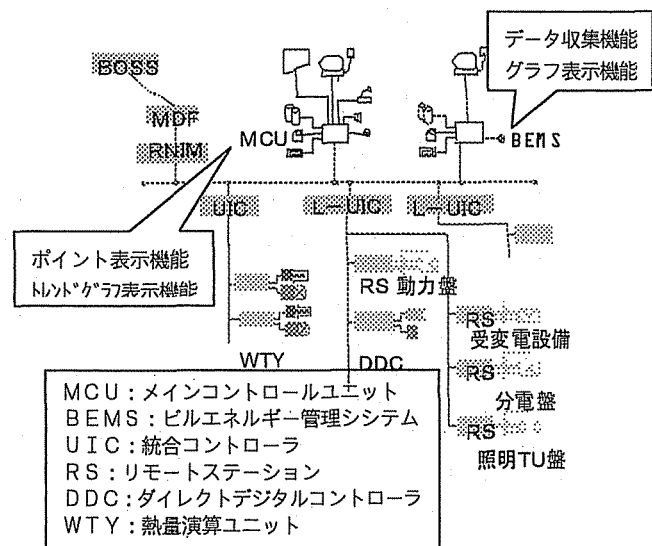


図-8 中央監視システム<sup>5)</sup>

表-3 受け渡し時性能検証検査項目

検査項目	対象系統	検査項目
機器能力検査	一般系統熱源	各7F <sup>2</sup> °運転状況（圧力、電流値） 送水温度立ち上がり状況 熱交換器の放熱特性
	2~4階空調機	弁状態 各7F <sup>2</sup> °運転電流、周波数 空調系統室内、給気ゲイン 空調系統最大冷房能力

検査項目	対象系統	検査項目
制御状況検査	一般系統熱源	蓄熱特性/放熱特性 蓄熱効率 蓄熱槽内温度変化（7°プロフィール） 三方弁制御状況 送水温度応答 還水温度制御状況 差圧制御状況 熱交換器効率 エナジー（電気、熱量） 冷凍機COP
	2~4階空調機	空調機運転、室内状況目視確認 吹き出し口風量、差圧、音、MD状況 温度制御状況（外乱制定状況含む） 制御機器動作 エナジー（電気、熱量）

## 2.2 受け渡し段階の性能検証事例

ここでは性能検証の事例として、熱源の事例を紹介する。

### 1) 三方弁制御の動作検証

グラフより、起動時から約10分以内で送水設定値（5.2°C）に達して、設計温度差7°Cが確保されている状況が確認できる（図-9）。また、熱源機器起動・停止に際して制御が追従している状況が確認できた（図-10）。

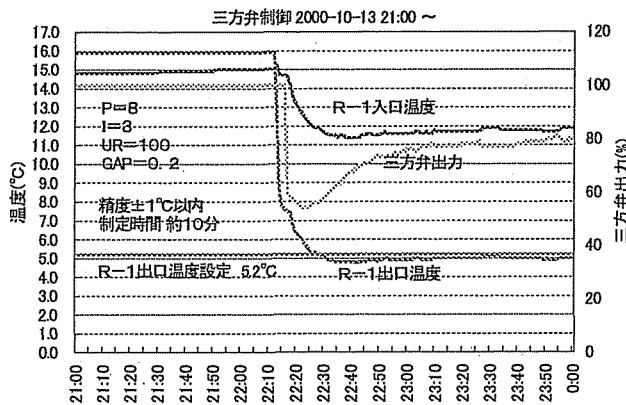


図-9 三方弁制御（スライド制御）立ち上り

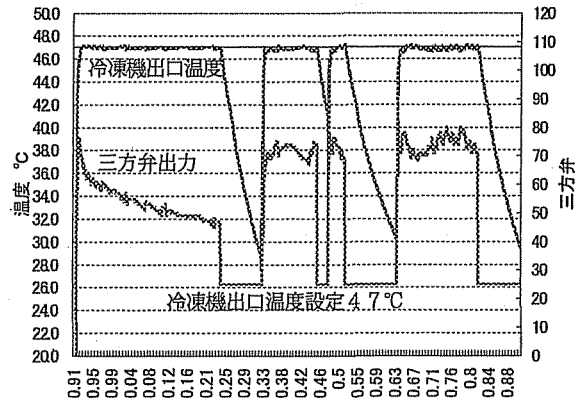


図-10 三方弁制御（スライド制御）暖房運転（1月14日～15日）

### 2) 蓄熱運転状況の検証

任意に定められた初期温度分布から蓄熱運転を開始した時の蓄熱槽の温度プロフィール（図-11）で、蓄熱状況の確認ができる。各時刻間の面積がほぼ同じであることから、冷凍機は容量制御が働かず全能力運転していることが推定できる。また、6時と8時のプロフィールに変化がないことから6時近辺に熱源機器が停止していることが推定できる。プロフィールの推移は妥当であると判断した。なお、温度計測は各槽の中間点を代表温度としている。

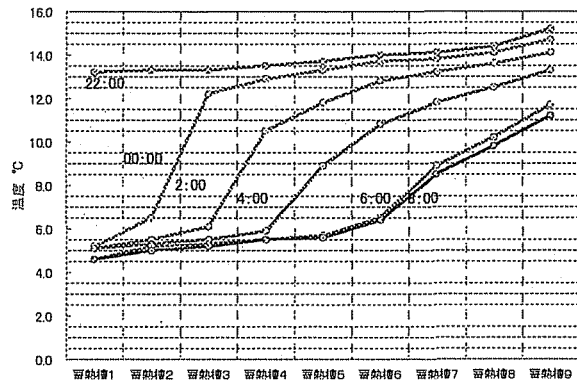


図-11 蓄熱槽プロフィール

## 3. 受け渡し後段階のコミッショニング

### 3.1 受け渡し後段階の検証工程と検証項目

年間の性能検証のために受け渡し後も運用時のデータを継続して収集し、受け渡し時と異なる季節での機器能力、制御状況、および運転状況について検証している。受け渡し後検証は①冷房運転切替時の調整内容の確認、②暖房ピーク負荷での性能確認、③中間期での性能確認、④冷房ピーク負荷での性能確認、を目的とした。

2001年9月現在、検証作業は④まで終了しているが、④についての最終報告および③の冷房時期の検証については未完である。

現在までの検証は、以下の手順で行った。

- 1) 事前に暖房運転切替時の調整内容を確認する
- 2) 暖房ピーク負荷と想定される時期にオープンテスト・クローズテストを実施し、改善項目の実施と改善効果の確認を行う。その際、運用状況の検証も平行して行う。

- 3) 中間期について、運用状況の検証を行う。
- 4) 冷房ピーク負荷と想定される時期にクローズテストを実施し、改善項目の実施と改善効果の確認を行う。その際、運用状況の検証も平行して行う。

なお、運用状況の検証は、機器能力が診断されたサブシステム毎に制御状況を一定期間毎に確認し、異常・改善要素を確認したあと、各設備の調整を実施してその後のデータを再確認する、というサイクルで行っている。

表-4 オープン・クローズテスト時の検証項目

検査項目	対象システム	検証項目
機器能力検査	2階空調機	空調機コイル能力 加湿器能力
制御状況検査	2、3階空調機	給気温度制御

表-5 運用状況確認時の検証項目一覧

検査項目	対象システム	検証項目
制御状況確認	熱源	蓄熱槽プロフィール 送水圧力制御 三方弁制御
	2階・3階空調機	給気温度制御 室温制御
運用状況確認	2階空調機	室内環境 (POE, 空気線図)

### 3.2 受け渡し後段階の性能検証事例

ここでは受け渡し後の性能検証事例として暖房ピーク時の熱源の事例を紹介する。

#### 1) 蓄熱性能関連

蓄熱槽の時系列型温度プロフィールから、槽内温度と熱交換器の1次側入口温度を比較すると、第9槽から汲み上げた熱交換器の1次側入口温度が第8槽・第9槽（高温槽）よりもかなり低くなる場合があることを確認した（図-12）。

この現象は①温度成層式蓄熱槽の上下温度分布の存在が計測温度と汲み上げ温度とで異なっている②蓄熱槽からの水の吸い込み位置が底部になっている、という2点が原因ではないかと推定し、施工図面上で確認したところ推定どおりとなっていることが確認できた。さらに連結排水管の口径が太いことも確認した。そのため、吸い込み位置が底部となっていたために発生した現象が、より顕著に表れたと思われる。これらは蓄熱槽効率の確保と二次側送水温度制御に対して大きな影響を与えている。

この問題に対しては、冷房運転への切替時に蓄熱槽の水を抜いて、蓄熱槽への給水・蓄熱槽からの取り出し位置が図面どおりであることを確認した後、各配管の取り出し位置等を変更するという対策を行った。対策結果はリコミッショニングとして次期暖房運転で効果の検証をする必要がある。

#### 2) 熱交換器まわり制御（負荷側送水温度とポンプインバータ制御）

熱交換器について、①二次側送水温度がほぼ設計温度であるにも関わらず負荷側送水温度が極端に低い②熱交換器一次側・二次側流量と負荷側流量を比較すると後者が2倍程度となっている、という2点をグラフより確認した。これより熱交換器のポンプインバータ制御に不備があるのではないかと判断し、熱交換器二次ポンプのインバータを調整している送水温度制御回路の動作を次のようにして検証した。図-13によると、インバータへの制御指令値は最大である。また、インバータとの取り合い信号も正常動作であることを確認したが、実際の流量は一定であった。そこで、インバータ本体の設定を確認したところ外部信号のインバータ出力への変換テーブルの設定が誤っている事がわかり、この設定を正常状態に戻した結果、図-14のように流量がINV出力に応じて変化するようになり、負荷側送水温度も改善された。

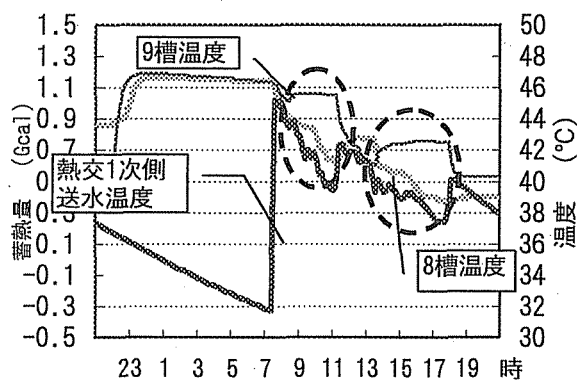


図-12 槽内温度と熱交換器入口温度

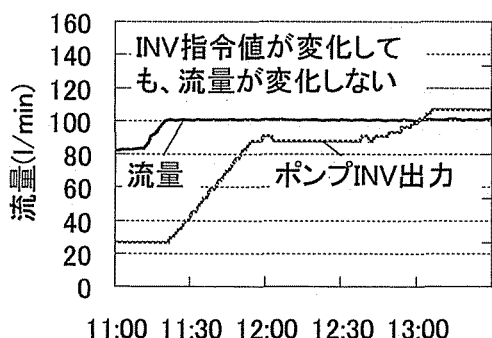


図-13 INV出力と流量 対策前（2月6日）

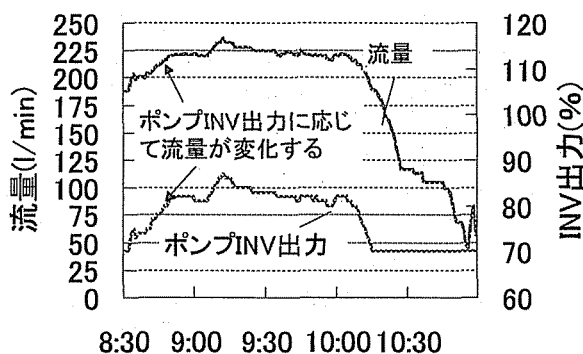


図-14 INV出力と流量 対策後（2月20日）

#### 4. BEMSによるコミッショニングの評価と今後必要な機能

本事例より、現状のBEMSを性能検証に利用する際のメリットと、さらに拡張が必要な機能を次の様に確認する事が出来た。

##### (1) メリット

- 1) 分散する関連データを、目的により組み合わせることでオンライン表示できる。制御状態がリアルタイムで確認できるため、あらかじめ想定された異常原因を確認することが容易である。
- 2) データ収集機能をもつ場合は、過去のデータを蓄積しているため、動作の異常が見られたとき発生時点および類似データを確認することができる。
- 3) データを汎用グラフソフトで処理できるため、扱いが容易である。グラフは表示フォーマットを一度決めれば繰り返し作業で作成できる。

##### (2) 拡張が必要な機能

###### 1) 履歴の記録と自動表示

設備変更や機器操作の履歴は通常建物管理者による記録であり、電子化されていたとしても監視システムとは別のシステムになっている。しかし、性能解析を行う上では、管理者の操作が制御結果に影響していることが多々ある。また、性能の改善実施時内容も同様である。そのような履歴を一元管理し、データ解析時に解析対象日の前後の履歴が自動的に表示される仕組みが望ましい。

###### 2) フォルト検知・診断機能

現状では警報にいたらないフォルトの検知機能がないため、すでにフォルトが発生していても、データの確認を行うまでは異常と認識されない。タイムリーなデータ検証のためには自動的に異常を検知する仕組みが必要であり、さらには診断する機能が必要である。

###### 3) ローカル機器状態監視機能

監視システムでは全ての機器の操作値・パラメータまで監視できていないため、INV設定のフォルト事例のように、データではなく、最終的に現場確認をしなければならない場合がある。機器類全ての操作・パラメータ監視が可能となることが望ましい。監視が不可能としても、少なくとも機器の設定値等の現状を管理して、必要時にBEMS監視データとともに確認できるしくみが必要である。

###### 4) 機器性能データの電子的な管理

性能検証を行うために最初に確認しなければならない各機器の性能は、図面（紙およびCAD情報）での受け渡しのため、チェックもれ・古い図面の情報の利用により、数値の間違いなどが発生するおそれがある。今回も一部の空調機のコイル流量と全体の搬送流量の整合性がとれず、設計仕様を満足する性能か、再確認が必要となる場面があった。機器性能等を数値データで設計の場面から施主への引渡しまで管理できれば、最新の性能確認や各サブシステム毎の機器性能の整合性チェックが容易となるし、性能検証時の機器性能検証基準を正しく取得できるようになり、その結果、性能検証工程の作業時間低減や確実な基準の設定を実現することとなる。

#### おわりに

本試行では、受け渡し後の性能検証において受渡し時性能検証で検知できなかった異常が確認できており、受け渡し時だけでなく、年間を通じた性能検証が必要であることが改めて確認できた。また、BEMSを性能検証に利用することで、得られるメリットを確認できた。今後はBEMS援用のコミッショニングおよびBEMS自体のコミッショニングにおける課題を抽出し、性能検証に必要な知見の蓄積を目指すこととしている。

#### 参考文献

- 1) 委員会報告：建築設備の性能検証(コミッショニング)基本指針(案) (1997) 空気調和・衛生工学会 ビル管理システム委員会 コミッショニングワーキンググループ
- 2) 廣岡 他：2001 建築設備技術会議配付資料：コミッショニングの実施例 (株)山武環境技術センター
- 3) 平成13年度空気調和・衛生工学会学術講演会論文集：空気調和設備の当初性能検証(コミッショニング)の実践研究 (第一報)当初性能検証実施の目的・実施体制
- 4) 平成13年度空気調和・衛生工学会学術講演会論文集：同上(第二報) 空調設備の概要と企画・設計段階の事後性能検証
- 5) 平成13年度空気調和・衛生工学会学術講演会論文集：同上(第五報) 受け渡し段階性能検証プロセスと検証結果の概要
- 6) 平成13年度空気調和・衛生工学会学術講演会論文集：同上(第六報) 受け渡し後段階性能検証における解析事例とBEMS援用ツールの評価