

## 熱源システムのイニシャルコミッショニングの手法 に関する研究：受渡し段階と受渡し後段階における コミッショニングに関する課題

西山, 満  
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻：博士後期課程

住吉, 大輔  
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

山下, 周一  
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻：博士後期課程

赤司, 泰義  
東京大学大学院工学系研究科建築学専攻

<https://doi.org/10.15017/1462167>

---

出版情報：都市・建築学研究. 24, pp.89-96, 2013-07-15. Faculty of Human-Environment Studies,  
Kyushu University

バージョン：

権利関係：

# 熱源システムのイニシャルコミッショニングの手法に関する研究 — 受渡し段階と受渡し後段階におけるコミッショニングに関する課題 —

## A Means of Initial Commissioning of Heating and Cooling Plant Systems — Issues of Commissioning in Acceptance and Post-acceptance steps —

西山 満\*, 住吉大輔\*\*, 山下周一\*, 赤司泰義\*\*\*

Mitsuru NISHIYAMA, Daisuke SUMIYOSHI, Shuichi YAMASHITA and Yasunori AKASHI

This research aims at the proposal of the effective means which achieve the optimum operation by using simulation in the design step with inputting functional performance test data in post-acceptance step. There are various issues on testing, adjusting, start-up and functional performance test to be carried out in the acceptance step, and there are a lot of problems regarding the building energy management system (BEMS) under present conditions. In this paper, we describe both the tasks and problems to confirm the validity of the means.

**Keywords:** *Commissioning, Heating plant, Testing, adjusting and start-up, Functional performance testing, Optimization, Energy conservation*

性能検証, 熱源システム, 試運転調整, 機能性能試験, 最適化, 省エネルギー

### 1. はじめに

民生部門のエネルギー消費量は、漸増を続けている。その中でも業務用建築物全体のエネルギー消費量のおよそ35%を占める中央熱源システムにおけるエネルギー性能検証の重要性はいっそう高まりつつある。

しかし、現状の中央熱源の空調システムを有する工場・ビルは、所有者の利益に見合う設備投資という観点から積極的な省エネルギーへのインセンティブは生まれにくく、高性能機器を代表とした省エネルギー手法が既に取り入れられ一層の省エネルギー手法を採用できないこと、中央監視の膨大な運用データの分析・評価が不十分で省エネルギー計画が合理的に立てられていないこと、設備設計者がパターン化された安全設計を追及し余裕度の大きいシステムが運用されエネルギーロスが発生していること、等の問題を抱えている。

一方、建築設備性能を保証するプロセスにおいて、設計段階では建築主の要求事項が具現化された実施設計図書でレビューを実施し、その品質を確認した後、施工段階・受渡し段階では試運転調整および総合調整が実施されている。この総合調整の目的<sup>1)</sup>は、「施工が完了した時点において対象システム(装置)全体を稼動状態においた上で、契約図書が意図している機能を満足させるために、設計図書等と照合しながら各機器相互の関連を検討し調整を行う。」とあり、主に風量調整、水量調整、温度・湿度調整、気流・じんあい調整、

騒音・振動調整、飲料水の水質の測定および、初期運転状態(総合調整結果)の記録である。総合調整は、機器個別の試運転・調整、自動制御設備の個別調整、装置全体の調整を行った後、調整範囲と目標を設定し測定仕様を確認して調整結果を確認・評価するプロセスである。「設計図書等と照合しながら各機器相互の関連を検討し調整を行う」というシステムのバランスをとることが目的で、設備工事請負業者が工事範囲内で受渡し前のもっとも多忙な時期に行っている。一般に建物の完成・受渡し時期は建物負荷のピークとずれていることが多く、年間の負荷変動に対応できるよう各要素機器、サブシステム、そしてシステム全体が調和して動作しているかを確認する機能性能試験は行われていない。その結果、試運転調整および総合調整時の結果を維持したまま継続運用され、余裕度の大きいシステムが設計されていたとしても改善されることはない。建物の受渡し後は、設備の運用管理がオーナー側に移行し試験調整が難しくなる。

本研究は、受渡し段階の機能性能試験や初期の運用データを入力することで、設計段階のシミュレーションを用いて受渡し後の運用の最適化を図る方法を構築し、その有効性を明らかにすることを目指すものである。設計段階においてシミュレーションを用いて過渡的な非定常状態を想定してシステム効率を検証し、このシミュレーションプログラムと受渡し段階の機能性能試験データを用いて可能な限り実運用の最適化を図る方法を提案することの意義は大きい。

\*空間システム専攻 博士後期課程

\*\*都市・建築学部門

\*\*\*東京大学大学院工学系研究科建築学専攻

この方法では、シミュレーションと実際のシステムの運用と統合が取れていることを初期の段階で確認する必要がある。そのため、受渡し段階での試運転調整・機能性能試験が確実に実施され、システム上の基本的な不具合が解決されていなければならない。また、エネルギー管理システム（Building Energy Management System, 以下 BEMS と表記）においては、BEMS 自体が試験調整され、正しくデータが測定できていること、設備管理者が日常の運転管理のなかでシステムの不具合や問題点を的確に判断できることが必要である。そこで本報では、試運転調整・機能性能試験および、BEMS に関する現状の問題点と課題についてまとめる。

## 2. 対象システムの概要<sup>1)</sup>

対象システムは、事務所・ホール・商業施設の複合用途ビルを対象とした地域熱供給プラントである。エネルギー使用に関する建築主の3つの要求性能を以下に示す。

- ① 安定供給・・・負荷特性の異なる需要家への安定した熱供給を実現する。
- ② 省エネルギー・・・一次エネルギー換算COP1.2以上で1.42を目指した高効率で、省エネ性の高いシステムを構築する。
- ③ 環境性・・・河川水の温度差エネルギーを冷暖房の冷却水・熱源水として100%利用し、大気への放熱を抑制することでヒートアイランド現象を防止する。

これらの要求性能を満足するシステムの設計がなされた。最大冷熱出力は、対象建物の冷熱ピーク45,972MJ/hを賄うことができ、想定される河川水の温度範囲（夏季最高：31℃，冬季最低：5.3℃）において安定して冷房運転および暖房運転が可能なシステムとなっている。

温度成層型水蓄熱槽（2,400m<sup>3</sup>）を採用し、部分負荷への対応および熱負荷増加への対応が容易である。熱源機は高効率機を採用し、部分負荷時にも効率を高く保つため、インバータターボ冷凍機を1台採用し、また冷暖同時負荷対応および小負荷対応用として、小容量の熱回収スクリーヒートポンプを設置する。二次側への供給は、一次ポンプ方式で全台インバータ制御とする。河川水ポンプも全台インバータ制御とする。

対象とする熱源システムフロー<sup>2)</sup>を図1に、主な熱源設備の仕様<sup>2)</sup>を表1に示す。

## 3. 試運転調整・受け渡し後の性能検証とBEMSの課題

本プロジェクトでは、建築主の上述の三つの要求性能を満足するため実施設計、施工、試運転、完成後の性能検証の各段階において重点項目を管理し品質を確保している。重点項目は、確認内容、確認段階、確認方法、判断基準を設けて品質管理チェック表により管理する。確認段階とその期間は、以下のとおりである。

- ① 実施設計 2009年12月1日～2011年2月18日
- ② 施工 2011年4月1日～2012年10月29日
- ③ 試運転 2012年4月23日～2012年10月31日
- ④ 性能検証 2012年11月1日～2014年10月31日  
2012年4月23日受電後の③試運転期間のうち、5月～7

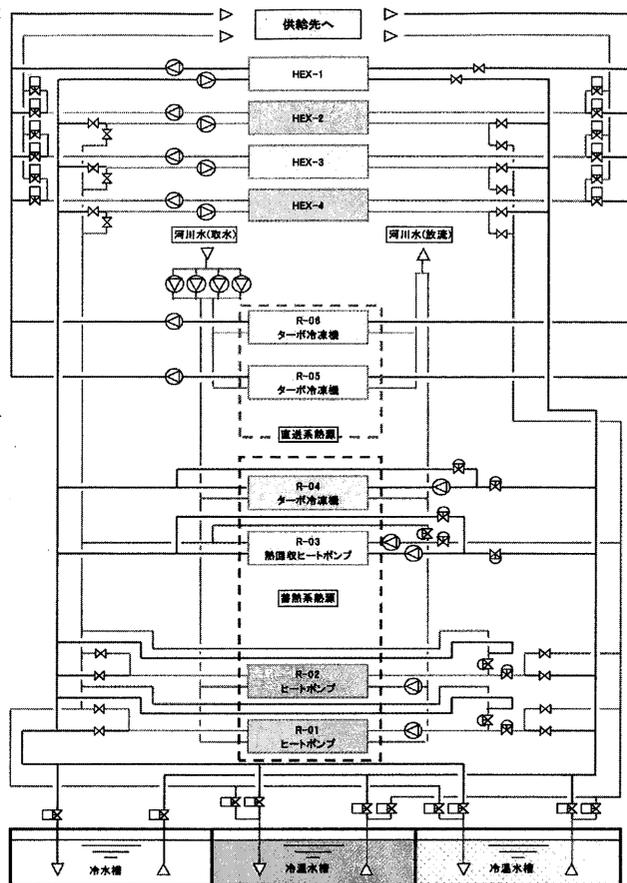


図1 熱源システムフロー<sup>2)</sup>

表1 主な熱源設備の仕様<sup>2)</sup>

機器番号	機器名称	冷却能力		加熱能力	
		kW	MJ/h	kW	MJ/h
R-01	ヒートポンプ	1,760	6,336	2,000	7,200
R-02	ヒートポンプ				
R-03	熱回収ヒートポンプ	350	1,260	450	1,620
R-04	インバータターボ	1,410	5,076	—	—
R-05	ターボ	3,200	11,520		
R-06	ターボ				
熱源機小計 (R-03除く)		11,330	40,788	4,000	14,400
CT-1	水蓄熱槽 (冷水槽)	640	2,290		
CHT-2	水蓄熱槽	950	3,416	1,898	6,832
CHT-3	(冷温水槽)	650	2,331	1,295	4,661
水蓄熱槽小計		2,240 (10Hz放熱)		3,193 (5Hz放熱)	
合計		13,570	48,825	7,193	25,893

月までは主として配管の水圧試験などの工程内検査および主な熱源機器、河川水関連機器、二次側機器などの試運転調整と開回路試験が行われた。8月1日に仮供給を開始し、8月1日から10月31日までは、需要側との調整を行いながら熱源システム全体の閉回路試験を中心とした機能性能試験が行われた。

表2に「②省エネルギー；一次エネルギー換算COP1.2以上で1.42を目指した高効率で、省エネ性の高いシステムを構築する」に対する熱源システムと熱源機器の品質重点管理項目チェック表を示す。判断基準は設計仕様を、100%以上満足＝“○”，部分的に満足＝“△”，100%未満足＝“×”とした判断基準としている。

設計～施工～試運転調整～受渡しに至る建築設備の現場では、優れた設計・施工であってもその試運転調整と検証がうまく為されなければ多大なエネルギーロ

表2 品質重点管理項目チェック表 (抜粋)

項目	重点管理項目	確認段階	確認方法	判断基準	確認結果					
					確認段階(a) 実施設計	確認段階(b) 施工	確認段階(c) 試運転	確認段階(d) 性能検証		
システム性能	熱源システム	①システムCOP	(a) 実施設計	シミュレーション	一次エネルギー換算COP (SCOP) 1.2以上、1.42を目指す	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日:	確認日: 2012.11.01	確認日:   判定	
			(c) 試運転	試運転データ	①基本設計時熱負荷でSCOP=1.38を確認 ②さまざまな負荷変動 ③類似建物の実負荷 ④機器の能力低下など ⑤二次側往還温度差が低下した場合 ⑥熱源機器の運転順位を変更した場合 ⑦制御方法を変更した場合 ⑧さらなる省エネ対策 など	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(d) 性能検証 (総合運転)	実データ						確認日:   判定
機器仕様	熱源機器	①冷却能力 加熱能力 ②COP (定格) (部分負荷)	(a) 実施設計	メーカー仕様書	下記基本設計値以上(GOP) 1. R-01.02 ・冷却能力1,760kW(4.5以上) ・加熱能力2,000kW(3.9以上) 2. R-03 ・冷却能力340kW(3.0以上) ・加熱能力450kW(4.0以上) 3. R-04 ・冷却能力1,410kW(5.0以上) 4. R-05.06 ・冷却能力3,200kW(5.6以上)	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(b) 施工 (工場検査)	検査データ	(能力) メーカー仕様値(100%以上) 1. 定格(R-01.02) ・冷却能力1,760kW以上 ・加熱能力2,090kW以上 2. 定格(R-03) ・冷却能力359kW以上 ・加熱能力462kW以上 3. 定格(R-04) ・冷房能力1,410kW以上 4. 定格(R-05.06) ・冷却能力3,200kW以上 (COP) 1. 定格(R-01.02) ・冷却4.99以上/加熱4.94以上 2. 定格(R-03) ・冷却3.49以上/加熱4.49以上 3. 定格(R-04) ・5.00以上 4. 定格(R-05.06) ・5.71以上 (部分負荷) メーカー性能の予測範囲内	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(c) 試運転 (単体運転)	試運転データ		確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(d) 性能検証 (総合運転)	実データ						確認日:   判定
			(a) 実施設計	メーカー仕様書 計測ポイントリスト	計測(出力)が可能	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(c) 試運転 (単体運転)	試運転データ 不凝縮ガス混入	アプロー子温度: 仕様書とおり (汚れ係数: 8.6 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> K/W 以下) 不凝縮ガス: 混入のない (真空試験による異常がない)	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(d) 性能検証 (総合運転)	実データ (傾向監視)						確認日:   判定
			(a) 実施設計	メーカー仕様書 計測ポイントリスト	計測(出力)が可能	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(c) 試運転 (単体運転)	試運転データ 不凝縮ガス混入	アプロー子温度: 仕様書とおり (汚れ係数: 8.6 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> K/W 以下) 不凝縮ガス: 混入のない (真空試験による異常がない)	確認日: 2011.02.18   判定   ○	確認日: 2011.11.09   判定   ○	確認日: 2012.10.23   判定   ○	確認日:   判定	
			(d) 性能検証 (総合運転)	実データ (傾向監視)						確認日:   判定

スが発生することになる。設計で意図したシステム構築の仕上げとなる「試運転調整～完成後の性能検証」期間における品質確保の活動がシステムの優劣を決定づけることになる。この期間の試運転調整におけるそれぞれの試験結果と結果に基づく是正処置と、システム性能に係るビルオーナーや設備管理者の要望とこれに関する対応が重要となる。

他方、BEMS は設備管理の重要なツールとして多くの建物に導入され、空調システムなどの制御やエネルギー管理だけでなく、設備管理者の業務の効率化に貢献している。BEMS を利用したコミショニングでは、日常の運転状況でセンサや制御弁などの調節器からの信号を受け取りデータ処理して検査することになる。この検査では、監視点の適切な選択と多量のデータを設備管理者が判断しやすいようにグラフィカルに示すツールなど適切なデータの分析方法が重要となる。

シミュレーションを用いた受渡し後の運用の最適化を図る方法の提案とその有効性を明らかにする上で、試運転調整・機能性能試験の結果に基づく是正処置が確実にされているか、BEMS の機能が設備に適応しているか、BEMS データによるコミショニングが実施できているか、を評価しておくことが必要不可欠である。

### 3.1 ビルオーナーの要望事項とトラブル対応

2012年4月23日受電後から竣工・引渡し後の本供給期間の初期である2012年11月1日～2013年2月28日までのビルオーナーの要望は合計499件に上っている。空調設備は、一般に熱源設備、空調設備、配管設備、ダクト設備、自動制御設備、監視設備の категорияに大別される。対象システムは、河川水を利用した水蓄熱槽を持った地域熱供給プラントであるため、熱源設備を「熱源機器」、「蓄熱槽とその制御」、「河川水関連とその制御」に区別し、「配管」、「自動制御」、「監視」、「その他」を加えた7つの category に分類した。全要望事項をそれぞれの category に分けると、熱源機器 (64件)、蓄熱槽とその制御 (36件)、河川水関連とその制御 (68件)、配管 (17件)、自動制御 (141件)、監視 (160件)、その他 (13件) となり自動制御と監視に関するものが圧倒的に多い (図2)。

試運転期間を2012年4月～7月までの試運転調整と要素機器およびサブシステムの最大能力を検証するために制御回路を外した応答試験を行う開回路試験の期間 (以下、期間③-1と表記) と2012年8月～10月までのシステムの制御性や部分負荷性能を検証するために行う制御回路を生かした閉回路試験の期間 (以下、期間③-2と表記) に分けて2012年11月～2013年2月までの本供給期間 (以下、期間④-1と表記) と合わせた3期間について、7つの category ごとの要望事項の出現頻度を図3に示す。これらの出現頻度とその時期をみると、期間③-1は、試運転調整と開回路試験期間であることで、熱源機器、河川水関連とその制御、自動制御に関するものが多い。期間③-2は閉回路試験を中心とした機能性能試験期間であるところから、自動制御と監視に関するものが多くなっている。期間④-1は同

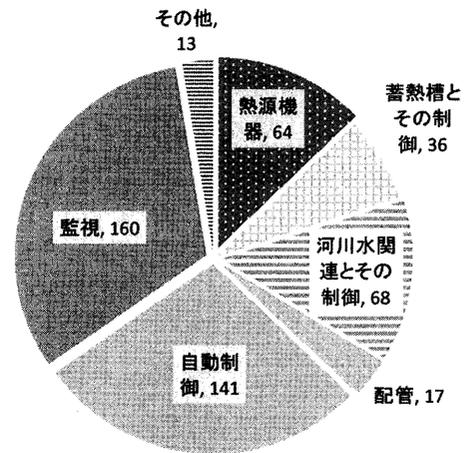


図2 要望事項の割合

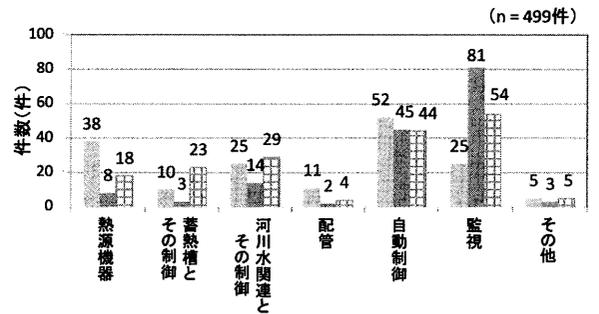


図3 要望事項の出現頻度

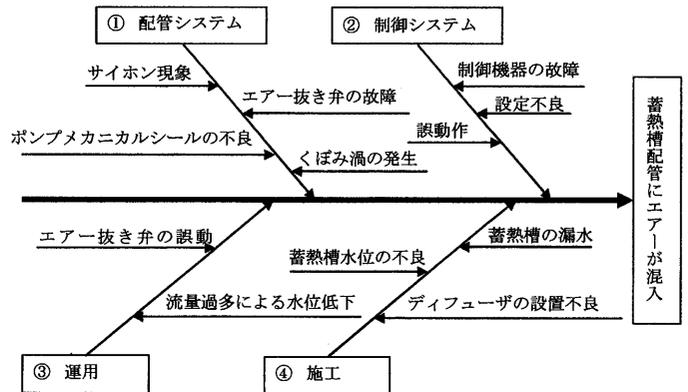


図4 トラブル事象とその特性要因

様に、自動制御と監視に関するものが多いが、熱源機器、蓄熱槽とその制御、河川水関連とその制御に関するものも比較的多い。この事象は、受電後に期間③-1と期間③-2で試運転調整と開回路試験や閉回路試験を実施しているが、工事期間中であるため電力デマンドの制限により熱源機すべてを運転する状態で試験できていないことに因るところが大きいと考えられる。期間④-1では、暖房負荷がピークを迎え全熱源機器が運転することで様々なトラブルなどが初期故障として発生し、その改善に対するオーナーの要望が多かったことも要因である。

この改善要望に対する対応を見てみると、ある一つのトラブルに対して対症的に対応した結果とし

て、図3に示すように期間③-2や期間④-1に要望が大きく増えたことにつながっていると考えられる。期間④-1に発生したトラブル「蓄熱系統配管に空気が混入し熱源機器・熱交換器に送水できなくなった。」を例に考察する。現象としては「蓄熱系統配管に空気が混入する」ことであるが、「一つの重大事故の背後には29の軽微な事故があり、その背景には300の異常が存在する」というハインリッヒの法則にあるように、一つの大きなトラブルの背後には軽微なトラブルや多くの異常が存在している。大きなトラブルに関連した軽微なトラブルごとに対応すると、真の解決とはならず、その対応が次のトラブルにつながることもある。

トラブルが発生した場合は、その要因をブレンストーミングにより分析し抽出する必要がある。この事例に関するブレンストーミングの結果を図4に示す。ここでは4つの代表的な要因をあげて、その要因ごとにさらに分析し計12の故障項目を抽出している。このような故障項目に対して、一つ一つに対応し正常に動作しているかを検証していくことにより、真の単一もしくは複合要因が発見されてトラブルが確実に解決していくことになる。

### 3.2 BEMSの課題

BEMSは、建物の運用段階で使用する全エネルギーを管理するシステムである。図5に示すようにビルにおける空調・衛生設備、電気・照明設備、防災設備、セキュリティ設備等の建築設備を対象に各種センサやメータにより、室内環境や設備の状況をモニタリングし、運転管理および自動制御が行われている。BEMSでは温度、湿度、流量、電力量などの何千点、何万点というデータが計測・監視、制御されており、建築設備システムの性能検証には有用である。しかし、現状では設備工事請負業者が工事範囲内で受渡し前のもっとも多忙な時期に試運転調整や機能性能試験を行っており、①時間の短縮、②コストの削減、③人的ミス、④経験豊かな技術者の削減などが重なって、一つ一つを正確に、アドレスを間違えずに計測し監視、制御するには非常な困難を伴っている。

BEMSの調整・検証作業を担当した自動制御技術者に対するアンケート調査<sup>4)</sup>によると、作業時間のうち主作業である試験・調整は全体の53%でそれ以外は、情報収集・打合せ、文書・書類作成、オペレータの教育・訓練や待ち時間であり、20~30%が未完成で、1/3がうまく実施できなかったと回答している。検証がうまく出来なかった理由としては、スケジュール計画の問題が51%を占めている。このように20~30%が未完成で、1/3がうまく検証できていないBEMSが実際の建物で運用されていることから、設備システムの性能検証にはBEMS自身の性能検証を確実に実施することが重要と言える。

住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業（BEMS導入支援事業）「平成14~17年度補助事業者の実施状況に関する調査」成果報告書<sup>5)</sup>によると、システム毎のBEMSデータの収集時間間隔は熱源機や空調機器ではほとんど50%以上が1時間データである（図6）。

また、建物全体のエネルギー使用量や室内温度・湿度などの運用状態を把握するためのグラフは、多くの補助事業者が採用しているが、熱源機器単体COP、熱源機器システムCOP、ポンプ・ファン搬送効率など個別のシステム性能を評価するためのグラフを採用している事業者は少ない（図7）。

### 3.3 BEMSの選定とデータ監視

BEMSは、図5に示すように大きく4つに区別される。BEMSベンダーによる対応範囲の違いを表3に示す<sup>3)</sup>。

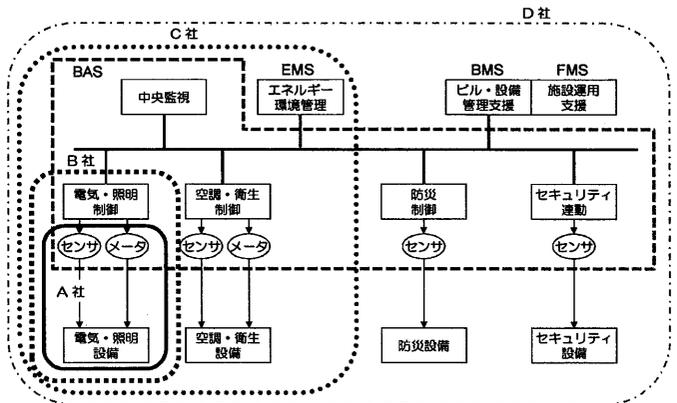


図5 BEMSのシステムとベンダーの対応範囲<sup>3)</sup>

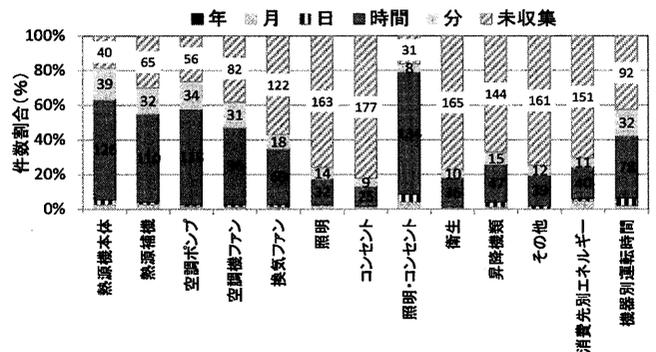


図6 システム毎のデータ収集時間間隔<sup>5)</sup>

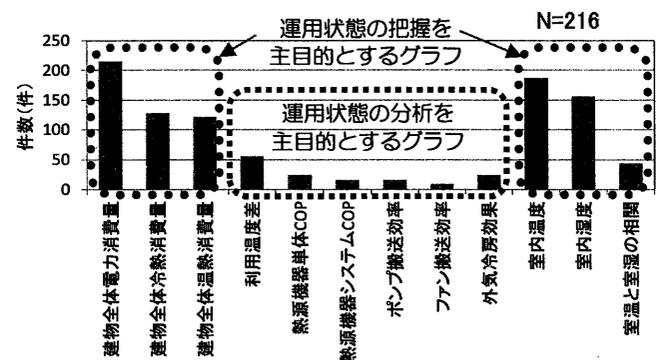


図7 BEMSで採用しているグラフの種類と補助事業者数<sup>5)</sup>

表3 BEMSの市場とメーカーの特徴<sup>3)</sup>

	特徴
A社系	電力や制御系の計測器センサを主とするデバイスメーカー
B社系	電力計測のほか、照明分電盤類までを管理する電気設備メーカー
C社系	中央監視設備を主力とした自動制御システムメーカー
D社系	電気設備から空調設備まで事業部を持った総合メーカー

表4 日報帳票 (抜粋)

読込タグ	タグコメント	単位	22時	23時	24時	...	7時	8時	9時	10時	11時	12時	...	20時	21時	22時
COP-PA	プラント成績係数COP	-	26.2	203.0	220.0	...	214.6	90.3	79.2	223.0	218.8	220.0	...	1,995.1	1,662.6	1,995.2
WB-RUN-R1S	R1-運転時間	分	60.00	60.00	...	60.00	28.00	11.00	...	...	...	...	...	...	...	...
COP-S-R1A	熱源機器システムCOP R-01	-	12.6	11.9	...	13.2	3.8	2.2	...	...	...	...	...	...	...	...
COP-R1A	R1-COP	-	5.9	6.4	...	6.4	2.8	1.4	...	...	...	...	...	...	...	...
WTF-CHP1A	水搬送材料-消費量WTF CHP-1	-	14.1	16.1	...	15.6	5.0	1.8	...	...	...	...	...	...	...	...
WQ-R1S	R1-積算電力	kWh	260.0	270.0	...	270.0	100.0	40.0	...	...	...	...	...	...	...	...
WQ-CHP1-R1S	CHP1-R1冷温水P電力量	kWh	32.0	33.0	...	33.0	16.0	8.0	...	...	...	...	...	...	...	...
	R1-システム電力量	kWh	292	303	...	303	116	48	...	...	...	...	...	...	...	...
WT-R1A	R1-電力	kW	0.3	258.7	277.2	...	271.6	95.6	41.3	0.3	0.3	0.3	...	0.3	0.3	0.3
AI-R1A	R1-電流	A	26.2	27.9	...	27.3	10.0	4.1	...	...	...	...	...	...	...	...
JQ-R1S	R1-積算熱量	MJ	5,637.0	6,306.0	...	6,145.0	1,988.0	727.0	...	...	...	...	...	...	...	...
JQ-R1-CS	R1-冷水積算熱量	MJ	5,637.0	6,306.0	...	6,145.0	1,988.0	727.0	...	...	...	...	...	...	...	...
JQ-R1-HS	R1-温水積算熱量	MJ	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
F-RW-R1A	R1-RW流量	m3/h	29.8	345.1	364.1	...	357.4	153.8	80.8	...	...	28.7	...	39.4	22.3	11.1
F-CH-R1A	R1-冷水流量	m3/h	300.5	303.4	...	302.7	153.0	69.2	...	...	...	...	...	...	...	...
T-RW-R1DA	R1-RW本体出口温度	°C	22.1	25.3	25.7	...	25.9	24.5	22.7	23.6	24.7	22.9	...	22.7	22.3	22.1
T-RW-R1SA	R1-RW本体入口温度	°C	21.9	21.3	21.2	...	21.4	21.6	21.7	21.7	21.7	21.3	...	22.1	22.1	22.2
T-COND-R1A	R1-凝縮器アプローチ温度	°C	0.00	0.45	0.40	...	0.38	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00
T-EVA-R1A	R1-蒸発器アプローチ温度	°C	0.00	0.68	0.75	...	0.76	0.37	0.08	0.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00
T-CH-R1DA	R1-冷温水本体出口温度	°C	6.8	5.3	5.0	...	5.0	5.4	6.4	6.9	7.0	7.1	...	7.2	7.4	7.7
T-CH-R1SA	R1-冷温水本体入口温度	°C	7.9	9.8	10.0	...	9.8	7.2	7.3	7.4	7.7	8.0	...	9.4	9.6	9.8
FCV-RW-R1-VCA	R1-RW流量CV	%	3.2	34.9	35.5	...	35.1	14.6	8.1	...	...	3.2	...	4.1	2.4	1.0
VEEN-R1A	R1-ベーン開度	%	36.6	40.1	...	38.5	8.8	5.6	...	...	...	...	...	...	...	...
TCV-CH-R1Sa1-VCA	R1-冷温水入口TCV	%	69.6	64.3	...	84.2	46.6	6.1	...	...	...	...	...	...	...	...
TCV-CH-R1Sb1-VCA	R1-冷温水入口TCVバイパス	%	29.2	35.0	...	14.9	3.8	17.1	...	...	...	...	...	...	...	...
P-COND-R1A	R1-凝縮器圧力	kPa	279.617	565.000	581.100	...	584.417	410.433	317.833	278.783	280.800	282.650	...	285.060	287.050	288.883
P-EVA-R1A	R1-蒸発器圧力	kPa	281.083	243.650	238.800	...	238.167	251.350	270.150	280.183	282.250	283.867	...	286.200	288.350	290.317

建物内に計測器、サーバ、ソフトを装備し電力や制御系の計測・収集したデータをインターネット経由で管理するA社、B社に対して、C社は大規模ビルの中央監視設備を主力とし、D社は電気設備から空調設備まで総合的に管理する。

本プロジェクトでは、熱源プラントのエネルギー管理を対象とし、DCS方式(Distributed Control System)とPLC方式(Programmable Logic Controller)を比較しシステム選定している。SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)とPLCソフトで構成されるPLC方式は、導入費がDCS方式と比べ安価で、I/O装置も汎用性があり安定供給が可能である。一方、DCS方式は、大規模な連続製造プロセスのシステム制御に適し、二重化対応など信頼性が高くシステム制御やロジックの追加・変更が運用中に容易にできる。対象システムではD社系のDCS方式を採用した。

受変電関連の受電電力、高圧フィーダ盤ごとの電圧・電力量・各相間電圧など、熱源機器等の消費電力、積算熱量、出入口温度、流量などや需要側(二次側)への積算熱量、流量、往還温度などの計測値の帳票への出力が通常のビル建築で行われている。本プロジェクトで採用したBEMSで出力される日報帳票の出力事例を表4に、日報に添付されている代表的な管理グラフを図8、図9、図10に示す。

図8は、蓄熱時と放熱時の蓄熱槽内垂直方向の温度プロフィールである。データは1分データから1時間ステップで抜き出したもので、温度プロフィールはデータのマーカもなく縦長のグラフとなっているため比較的なめらかである。この日報データを、図11に示すようにデータのマーカ付で再グラフ化すると、8時の蓄熱槽高さ4m以下や21時、22時の蓄熱槽高さ1.5m以上の温度には槽の高さによって0.5°C程度のばらつきがあることが見て取れる。温度検出用測温抵抗体は、JISC1604A級

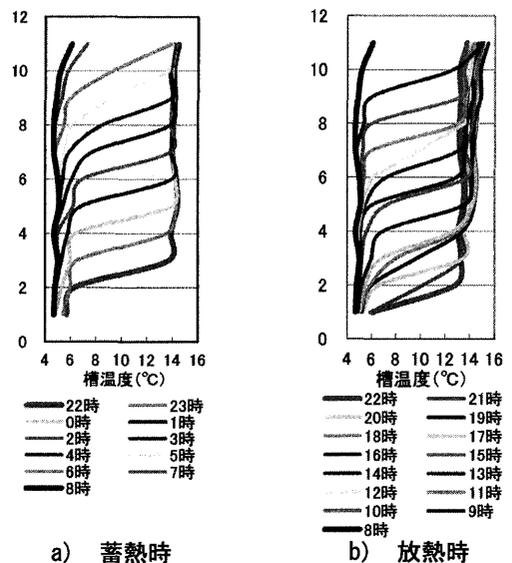


図8 蓄熱槽 (CT-1) 温度プロフィール (日報表示グラフ: 2012年10月2日)

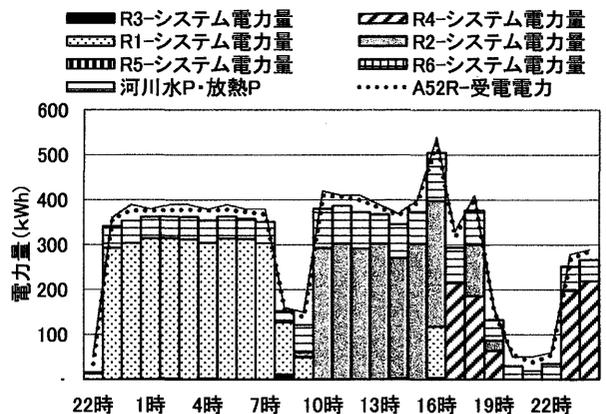


図9 時間別電力量 (2012年10月2日)

Pt100Ω 白金測温抵抗体を使用しその誤差は±0.15℃, I/Oユニットの測温抵抗体入力モジュールはレンジ100℃～650℃で誤差 0.1%FS 以内と、それぞれはメーカーの工場検査で品質が保証されている。BEMSではこれら温度検出用測温抵抗体と測温抵抗体入力モジュールの誤差の和を確認し校正して、計測温度を補正して表示する必要がある。現地にてこれらの誤差を確認した結果を図12に示す。誤差の確認は、信号発生器から0℃、10℃、40℃、100℃の計4点の模擬信号を入力しその値と信号発生器の入力値を比較して行っている。0℃、10℃、40℃、100℃の計4点の模擬信号の温度に対して最大+0.7℃、最小-0.5℃の測定誤差が存在していることがわかる。

蓄熱時と放熱時の蓄熱槽内垂直方向の温度プロフィールを見ると、10月はまだ仮供給期間ではあるが翌8時には満蓄状態となり、22時においても90%程度まで放熱している(図8)。しかし、放熱完了時間である22時の時点では、熱交換器の制御下限値以下の部分負荷運転となることで温度制御用二方弁では制御しきれず流量過多となる。その結果、熱交換器出口温度が下がり、設計温度15℃より低い冷水が蓄熱槽高温部に入り込み、高温槽の温度がおよそ1℃低下している。設計温度差10℃が確保できず、温度差は高温側14℃、低温側5℃の9℃となっている。この事象の対策には熱交換器周りの温度、流量および温度・流量制御の分析が別途必要となる。

図9は時間別電力量を示し、図10は時間別製造熱量を示す。対象システムでは夏期は定速ターボ冷凍機を、冬期はヒートポンプをそれぞれベース運転し残りの負荷熱量を蓄熱槽に蓄えた熱量の放熱で処理するシステムとしている。10月2日の熱源機の運転状況を見ると、ヒートポンプR-01、R-02をベース運転しておりほぼ100%の定格運転となっている。熱源機単体COP、システムCOP、水搬送エネルギー係数WTFなどは日報帳票(表4)から読み取るのみでグラフ化されておらず、図9と図10からは熱源機の運転状況と合わせた時間別電力量や時間別製造熱量との相関を評価することはできない。また、17時以降にインバータターボ冷凍機R-04が追従運転しているが、この運転が設計で意図したものとなっているかを読み取ることができない。これらを実評価するには計測されたBEMSデータから必要なデータを抽出し、別途にグラフ化し分析する必要がある。

従って、熱源機器や水搬送エネルギー係数WTFなど個別のシステム性能を評価するには、時間データだけでなく分データも収集しBEMSに必要な分析グラフを追加して、それぞれの機器の運用状態および制御状態を分析・評価することが重要となる。これらの分析と評価によりシステムの運用を的確に改善できる可能性がある。

#### 4. おわりに

本報では、対象システムの試運転・性能検証期間におけるビルオーナーの要望事項を分析し、その要望やトラブルへの対応と、対象システムで採用したBEMSにおける管理上の課題について述べた。ビルオーナー

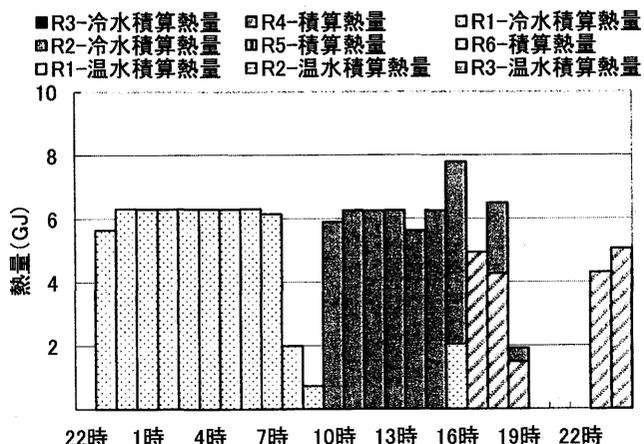


図10 時間別製造熱量 (2012年10月2日)

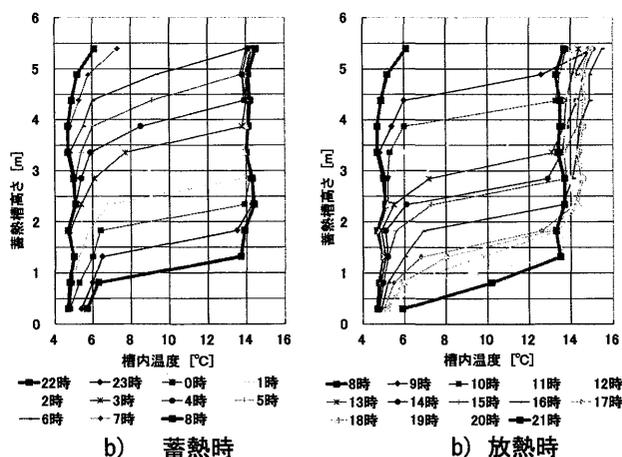


図11 蓄熱槽 (GT-1) 温度プロフィール (日報データの再グラフ: 2012年10月2日)

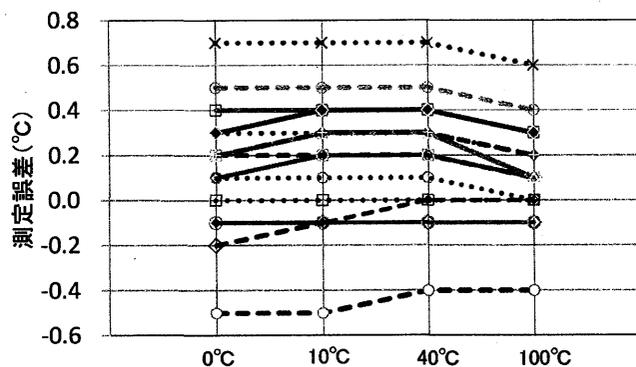


図12 模擬信号による計測値のばらつき

の要望事項やトラブル対応について、以下の5つのポイントが確認された。

1. ビルオーナーの要望は、自動制御と監視に関するものが圧倒的に多い。
2. 試運転の初期期間は、熱源機器、河川水関連とその制御、自動制御に関するものが多い。
3. 仮供給後の試運転期間は、自動制御と監視に関するものが多くなっている。
4. 本供給後の性能検証期間は、様々なトラブルなど

が初期故障として発生し、その改善に対するオーナーの要望が多く、自動制御と監視に関するものが多い。

5. トラブル改善の対応は、トラブルの要因をブレンストーミングにより分析・抽出し対応することで、真の要因を発見し解決することが重要である。

対象システムで採用した BEMS では、受変電関連の受電電力、高圧フィーダ盤ごとの電圧・電力量・各相間電圧など、熱源機器等の消費電力、積算熱量、出入口温度、流量などや需要側（二次側）への積算熱量、流量、往還温度などの計測値の帳票への出力方法に関して、以下の5つのポイントが確認された。

1. 蓄熱槽内の温度プロフィールでは、データのばらつきの有無が分からず、再グラフ化することでそのばらつきが明確になった。
2. 日報の帳票と代表的な管理グラフの出力のみに留まっている。
3. 熱源機単体 COP などは日報帳票から読み取るのみでグラフ化されておらず、熱源機の運転状況と合わせて評価することができない。
4. インバータターボ冷凍機 R-04 の追従運転が設計で意図したものかどうか、読み取ることができない。
5. システムの運用状況を総合評価するには、BEMS データから必要なデータを抽出し、別途にグラフ化して分析する必要がある。

このような課題のなかで、受渡し後の運用の最適化を図ることを目指し、システムの運用状況を的確に判断できる手法を検討し提案していく。

#### 【参考文献】

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：機械設備工事監理指針 平成 19 年版，社団法人公共建築協会，2007 年 9 月
- 2) 山下周一ほか：シミュレーションを用いた熱源システムのイニシャルコミッショニング手法に関する研究，都市・建築学研究，九州大学大学院人間環境学研究院紀要，第 20 号，pp89-99，2011 年 7 月
- 3) 西端康介ほか：エネルギーマネジメントサービスとユーザー参加 (1) エネルギーマネジメントサービスに関する調査とサービス簡素化の試案，空気調和・衛生工学，Vo.86，No.1，pp.63-69，2012 年 1 月
- 4) 吉田治典：ビル エネルギー管理システム (BEMS) の動向，建築設備と配管工事，Vo.41，No.9，pp.40-45，2003 年 8 月
- 5) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業 (BEMS 導入支援事業)「平成 14～17 年度補助事業者の実施状況に関する調査」成果報告書，2008 年 1 月

(受理：平成 25 年 5 月 23 日)