E－10

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）性能検証実施の目的・実施体制

正会員○廣岡 正（山武ビルシステム㈱）・玉置 進 ・正会員 末岡 直彦（㈱山武）
特別会員 中原 信生（環境システック中原研究処）

はじめに

建築・設備、とくに空調設備のコミッショニング(性能検証,以下,Cx と略す)は省エネルギー・地球環境保全の観点から欧米では極めて重要視され、制度化と実務的技術資料の整備が着々と行われており[1)2)]、既設建物のCx は民生用エネルギー消費量低減に顕著な効果を上げるとされている[3)]。一方、空調設備の生産過程と維持管理過程を通して技術の高度化はめざましいが、最終品質については未だ改善が明確に現れていない。さらに,従来の生産・管理体制だけでは、いろいろな側面で十分な透明性が得られにくくなってきている。これらの課題を解決するのに Cx の導入が必須であり、このことは国際的な共通認識である。

中原は、本学会の委員会内に Cx の指針作りを提案、1998年に基本指針案[3)]を作成し、さらに本格的指針を策定するためにコミッショニング委員会を設立して検討を開始すると共に,実効ある指針を作るためには実際のビルでの実証が必要であることを痛感し、折から施工段階に入ろうとしていた廣岡の所属する㈱山武ビルシステムの環境技術センター新築工事にて試行することを玉置と共に提案した。同社及び㈱山武(オーナー)の同意を得て実現し、わが国で最初のケーススタディーとなった。

本Cxプロジェクトにおいては Cx 生産段階(企画～受渡し)のプロセスに必要とされる過程と文書化、技術的検証ツールの立案・試行・実証を兼ねる事として参加各位に絶大なワークを要請した。本連報の連名者に限らず,直接・間接に本 Cx プロジェクトに携わってくださった方に先ずもって謝意を表明しておきたい。

1 環境技術センターの概要

対象となった環境技術センターの概要を以下に示す。

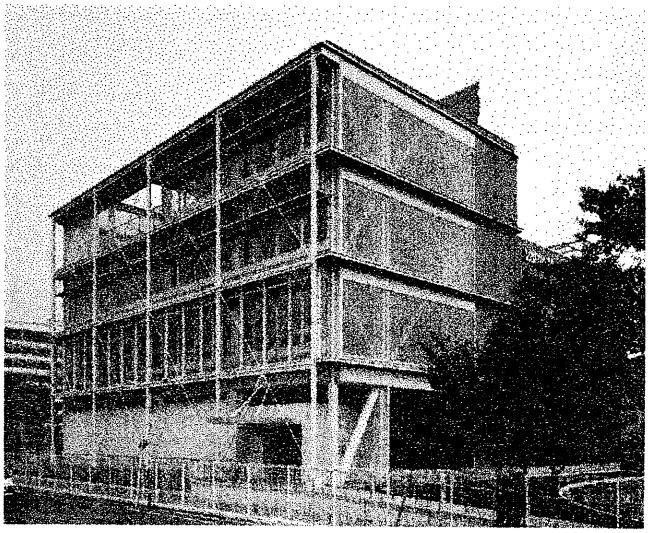


図-1 環境技術センター外観

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 ㎡
延床面積	:1695.75 ㎡
用途	:事務室および研究施設
竣工	:2000 年 9 月 14 日

2 コミッショニング実施の目的

2.1 建築計画時の建築主としての要望

環境技術センターの計画において、建築主として期待した機能・性能の一部を以下に示す。

① 省エネルギー、省資源の徹底
② オフィス各階で異なる空調方式をとる。
③ 実験室では周囲温湿度を-5℃～60℃の範囲で自由に変更が可能で、かつ動的な環境が再現可能であること。
④ 設備の維持保全条件を考慮した設計・施工であること。

これらの要求を満たすためには必然的に複雑な設備構成（第二報参照）となり、また、それに対して短工期の計画であったため、システムとしての性能評価が必要であると判断された。また、建築主としての経験に不安があり、第三者のコンサルティングも必要としていた。

Study on Initial Commissioning Process for Actual HVAC System of a New Building
Part-1 : Objects and an Organization of the Commissioning Project.

HIROOKA Tadashi et al.

2.2 コミッショニング採用の目的

性能検証基本指針[3]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亙って、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亙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ニング)と呼ぶ。」

上記にある性能検証の目的は、建築主要望の実現性を確実にするものであり、また不安材料を軽減できるものであると判断された。

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は、欧米において採用事例が見られる性能検証業務についての一般的な知見を深めるとともに、ＢＥＭＳに援用ツールとしてどのような機能が必要とされるのか、逆に被検証対象としてどのような試験が適用されるのか、という技術的な課題を解決することも性能検証を実施する目的となった。

3　性能検証作業の概略工程

性能検証の概略工程を図-２に示す。

建築工事の着工は 2000 年 2 月であり、その１ヶ月後に正式に性能検証作業の依頼がなされた。その後、次項に示す体制づくりが開始された。そのため、設計性能検証は事後に行われることとなり、施工に対して影響を与えない範囲での検証作業にとどまった。また、入居と引き渡し検収の日時が前後しているのは、入居段階での残工事が終了するのを待って検収作業を実施したためである。

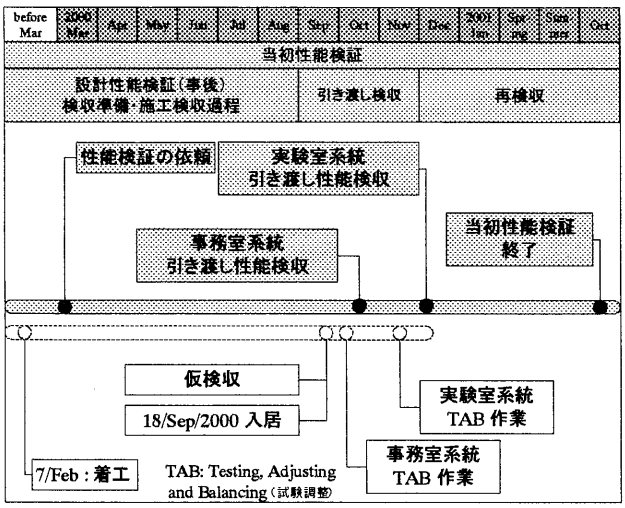


図-2:性能検証 概要工程

4　性能検証の体制と役割分担

性能検証を行うに当たって、まず組織構築が行われた。性能検証者には、技術的な資質・第三者性が必須である。本プロジェクトでは性能検証者の大半を本学会コミッショニング委員会のメンバーで構成することで条件を満たしている。また、各々の責任分担を明確に定義することで、確実な検証作業が実施されるよう計画された。

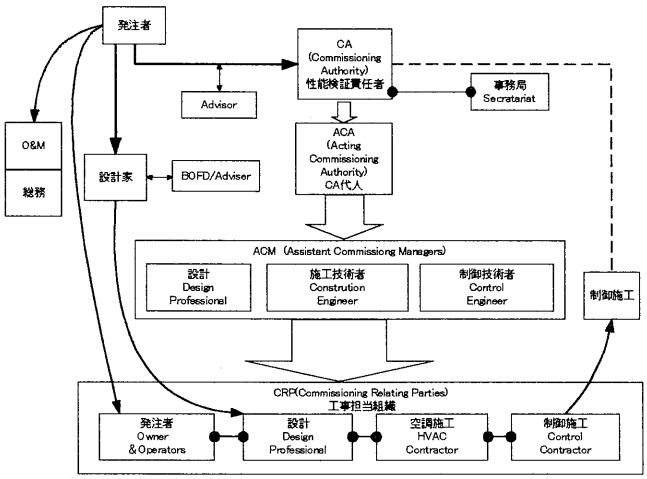


図-3:性能検証体制

4.1 性能検証体制（図-3 参照）

性能検証の体制として、２つのチームが結成され、各々チームのメンバーが選出された。

（1） 性能検証管理チーム(CMT)
- 性能検証責任者(CA、総括)
- 性能検証責任者代人（ACA、現場総括）
- アドバイザー（情報収集、FDD 解析）
- 管理補助者(ACM,設計・施工・制御)
- 事務局

（2） 性能検証関連担当組織(CRP)
- 発注者組織(発注者・O&M・総務)

・設計家
・工事担当組織
(発注者・設計監理者・空調/制御施工者)

注) CMT :Commissioning Managing Team
CA :Commissioning Authority
ACA :Acting Commissioning Authority
ACM :Assistant Commissioning Manager
CRP :Commissioning Relating Party

4.2 各チームの責務

当初設定された各チームの責務は以下のように定義された。但し,発注者及び設計家の責務のうち Cx に係るとされる文書化については)CMT が代行した(斜体のもの).

(1) CMT の責務

1) 当初性能検証計画書の作成
2) 性能検証(コミッショニング)全体計画・日程の立案
3) 委員会の運営
4) 文書化の計画,文書化のフォーマット、データベースフォーマットの作成
5) 性能検証方法の決定・周知
6) 性能検証項目の作成と指示
7) 各段階の性能検証の実施と文書化
8) 性能検証確認計画
(Commissionability 確認を含む)
9) 各チームの性能検証作業の実行と文書化の指示
10) 検証指示項目に対する性能検証の立会い・試験・校閲・承認
11) 総合機能性能試験の計画と実施
12) 受渡し
13) 保守管理員の訓練計画と監督

(2) CRP の責務

a 発注者

1)設計趣旨の記述
2)性能検証要望書の作成
3)設計変更の認可
4)早期における運転保守要員の選定と参加の促進
5)施工文書の認可
6)映像記録の作成

b 設計家(HVAC)

1)設計趣旨文書の展開,特に性能表記について留意をする.
2)初期性能検証計画書を展開して性能検証仕様書の作成
3)運転操作説明書の作成
4)設計図書(設計図,仕様書,設計概要書,当初運転操作説明書)
5)システムマニュアルの編集
6)施工業者からの設計変更への初期対処案を作成
*7)発注者(性能検証責任者を含む)からの設計変更要望*に対する回答の明示と経過の確認(情報連絡シート及び工事連絡書による)
8)工事業者の試験調整計画の適正化の判定,性能検証計画仕様書との整合性確認,確認と校閲
9)性能検証に関する工事業者との各文書の作成指示,校閲,性能検証責任者への引渡し.
10)性能検証仕様書に基づき,最終設計趣旨文書,*最終システムマニュアル*(運転操作説明書)の作成ないし校閲
11)竣工図書の確認,校閲
12)受渡しに関する助言

c 工事担当組織

1)対象設備の性能検証可能性のチェックと確立
2)性能検証計画に基づき校閲用図書の作成
(品質管理計画書,TAB 項目表,同日程表,立会い検査工目標,同日程表,性能検証手法の提案書,等)
3)試運転調整,TAB 結果データ・報告書の文書化
4)CA の指示に従い立会い試験
5)必要に応じ性能事前検証のシミュレーション
6)竣工図書,システム運転操作マニュアル作成
7)竣工後 1 年間の性能検証計画(各季節ごと)

4.3 会議体の構成・および情報の伝達方法

各担当者間・およびチーム間での情報連絡を円滑に行うために、定例全体会議(CMT・CRP 合同)を開催することとし、原則的に施工期間中は月 2 回開催された。また、引き渡しの直前直後については 3 回実施されている。さらに分科会として、CMT 内での会議が 4 回実施された。

また設計変更が決定される前段階である質疑レベルでの情報交換を文書化するために、情報連絡シートと呼ばれるフォーマットと、情報伝達のルートも事前に定義された。質疑が対策を要する事項となった場合には、別途工事連絡書が発行され、施工者に正式に伝達される形式をとった。

これらの情報連絡シートについては、利用開始直後に、回答者・回答先に一部の混乱が見られた。しかし、定例会議・および情報連絡シートは、最終的には、変更理由についてのコンセンサスづくり・および責任の所在の明確化に有効に機能した。

5. 検証作業内容

詳細な作業内容については第 2 報以下にて記述されるが、実施された、あるいは予定されている作業概要の一覧を図-4 に示す。

試行は竣工後 1 年間を予定しており、本年度 10 月に終了の予定である。現在も継続作業中であるため、本報告では 2001 年度春期までの実

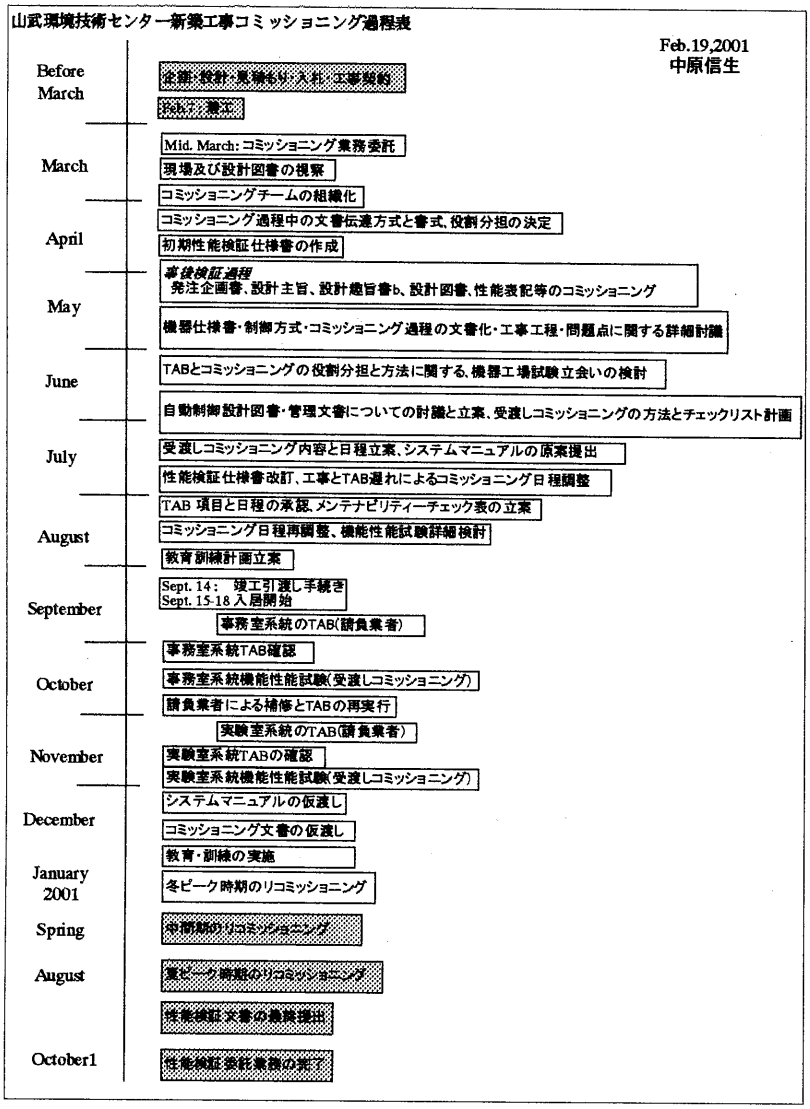


図-4 検証作業の全体概要

証報告を扱うものとする。

おわりに

複雑なｼｽﾃﾑは、その完成時におけるﾃｽﾄだけでは性能を保証することは極めて困難である。それは、1970 年代の“ｿﾌﾄｳｴｱの危機”に直面し、“ﾃｽﾄによって、ﾊﾞｸﾞの存在は発見できても、ﾊﾞｸﾞのないことを証明することは出来ない”とｵﾗﾝﾀﾞの Dijkstra 教授が語った課題でもある。生産過程と維持管理過程の適切な実施を確認することにより品質を保証するという、主に製造現場で確認された手法（今では ISO9000 として定着している）がある。これを一品生産的な特徴があり、その生産過程における関与者の数と種類が多く、かつその間に情報が引き継がれていく建築物の生産過程においても適用するというのが Cx の基本概念であると考えられる。

研究施設という複雑な機能を有する建物でありながら与えられた工期は 7 ヶ月という短い期間であり、さらに、当初は計画にはなかった我が国初の第三者による Cx の試行であったため、関係者の努力は大変なものとなった。その結果として、広く課題を捉えて明確化すること、また多くの知見を得ることができたと確信している。今回の成果を、空気調和・衛生工学会の Cx 委員会などで活用いただけたらと思う。

Cx は建築物の、特に設備の性能確保の切り札として、米国において注目されて着実に定着化してきており、我が国の遅れが懸念される。しかし、生産の品質は我が国が世界に誇り得るものの 1 つであることは間違いない。今回の活動が、Cx の和魂洋才形の定着化と、結果として我が国における高品質な建築物の確保に、若干でもお役に立てることがあれば幸いである。

【参考文献】

1) ASHRAE GUIDELINE 1-1996 : The HVAC Commissioning Process, (1996)

2) Portland Energy Conservation, Inc. (PECI), Model Commissioning Plan and Guide Specifications, Ver. 2.05, 1998

3) D. Clough, et al.: Draft National Strategy for Building Commissioning, 6th National Conference on Building Commissioning, 1998, Florida

4)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

5)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

E－11

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 (第二報)空調設備の概要と企画・設計段階の事後性能検証

正会員　○湯澤　秀樹（㈱日建設計）　　正会員　笠置　徹　（(有)日本空調システム）
正会員　村山　俊尚（山武ビルシステム㈱）　正会員　近本　智行（㈱日建設計）
正会員　廣岡　正　（山武ビルシステム㈱）　特別会員　中原　信生（環境システック中原研究処）

はじめに

本報では、コミッショニングを実施した空調設備の概要と建築主・設計者・施工者といった工事関係者に対する第３者性を有したコミッショニング組織が企画・設計の内容を確認・検証した内容について報告する。本来、企画・設計に関する性能検証は工事条件となる発注仕様の変更を伴う可能性が高いため、施工前に実施されることが望ましいが、今回は設計完了・施工開始途中からの実行となったため、既成事実を再確認し、適宜建築主に助言を行い、建築主から設計者・施工者に対して設計変更指示を行う形態とした。

１．環境技術センターの空調設備概要

コミッショニング対象建物は、建築の室内環境研究分野の研究開発施設であり、実験室系統と研究オフィス系統で構成し、各種省エネルギー手法を採用している（図-1、２参照）。

(1)空調設備

実験室系統は、天井高と空調吹出方式が可変の温熱実験室と１日の外界条件の変動を再現できる外気チャンバー及び隣室チャンバーで構成され、各室毎に空調機を設置している。オフィス系統は、多様な空調方式とその制御性を実験可能とするために各階で異なる空調方式を採用している（図-1 参照）。２階及び３階で採用している空調システムのフローと計測ポイントを図-3、４ に示す（図中のｾﾝｻｰの記号は、T:温度、H:湿度、F:流量を示す）。

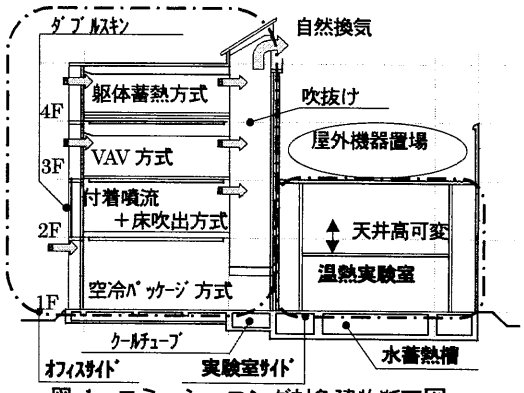


図-1　コミッショニング対象建物断面図

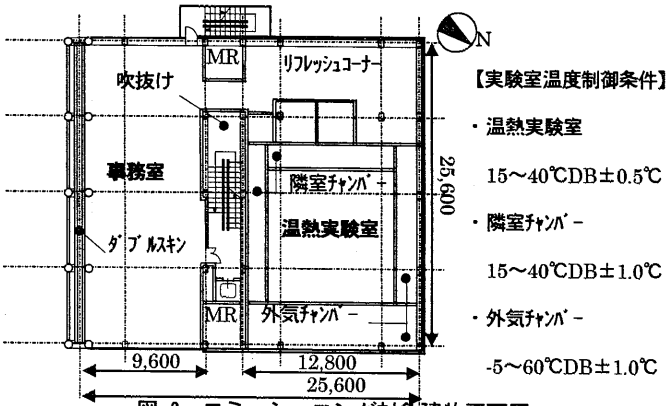


図-2　コミッショニング対象建物平面図

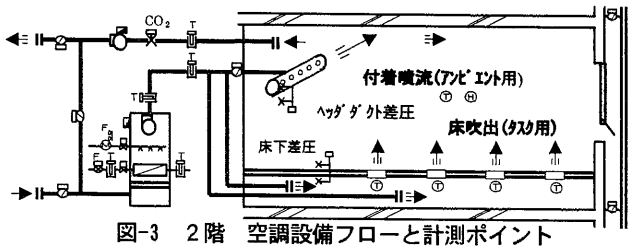


図-3　２階　空調設備フローと計測ポイント

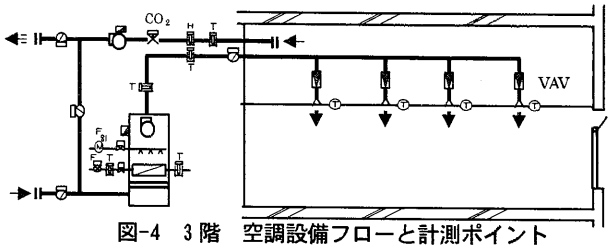


図-4　３階　空調設備フローと計測ポイント

Study on Initial Commissioning Process for Actual HVAC System of a New Building
PART 2.　Outline of HVAC System and Post- Commissioning of Program and Design Stage

Hideki YUZAWA et. al

空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 {2001.9.26～28 (京都)}

(2)熱源設備

熱源設備はオフィス系統と実験室系統に区分している。各系統の主要構成機器を表-1に示す。オフィス系統は空冷ヒートポンプチラーと水蓄熱槽（配管誘導式　図-6,7参照）で構成し、冷温水をオフィス系統空調機に供給する。また、クローズ系統とオープン系統を切替えて実験可能な配管系統としている（図-5 参照）。実験室系統は空冷ブラインチラー、氷蓄熱槽、水冷ブラインチラー、ガス焚蒸気ボイラーで構成し、実験室系統空調機にブライン、冷水、温水及び蒸気を供給する。（図-8 参照）。

表-1　熱源機器構成

系統	主要熱源機器構成
オフィス系統	・空冷ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟﾁﾗｰ　×1台 （冷却能力 58.6kW　加熱能力 67kW） ・熱交換器（水－水）　×1台 （交換熱量 107.48kW　） ・水蓄熱槽（容量:60m³）
実験室系統	【冷水熱源】 ・空冷ﾌﾞﾗｲﾝﾁﾗｰ（冷却能力 50kW　）　×1台 ・氷蓄熱槽　×1台 （外融式、容量:7.36m³、冷水取出温度:2℃） 【ﾌﾞﾗｲﾝ熱源】 ・水冷ﾌﾞﾗｲﾝﾁﾗｰ（冷却能力 250kW　）　×1台 ・開放式冷却塔（冷却能力 407.1kW）　×1台 【蒸気ﾝ熱源】 ・ガス焚き蒸気ボイラー（加熱能力 157kW）×1台 【蒸気熱源】 ・熱交換器（蒸気－水）　×1台 （交換熱量 69.8kW　）

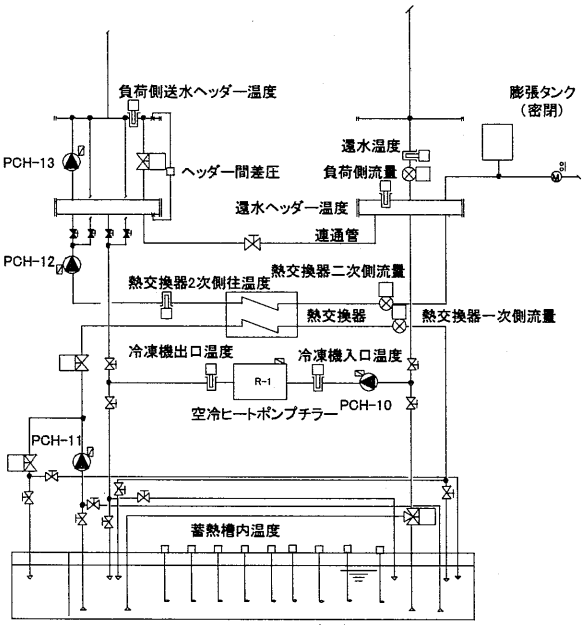


図-5　オフィス系統熱源系統図

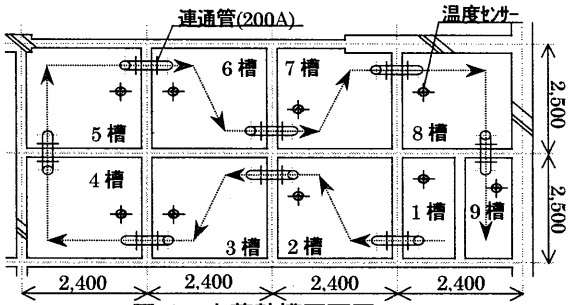


図-6　水蓄熱槽平面図

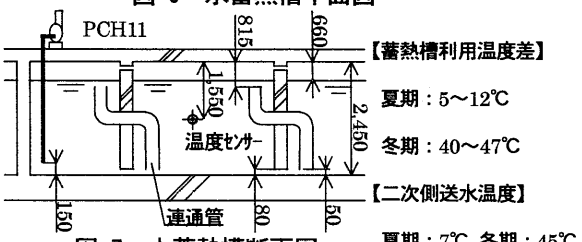
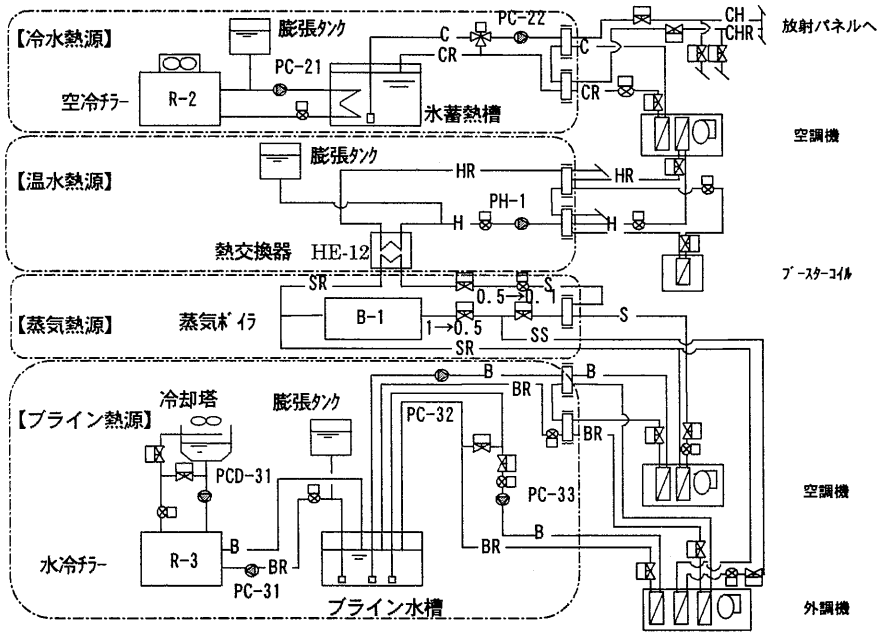


図-7　水蓄熱槽断面図



[凡例]

- ⊗ ：流量計
- C ——：冷水往配管
- CR ——：冷水還配管
- H ——：温水往配管
- HR ——：温水還配管
- S ——：蒸気往配管(0.1MPa)
- SS ——：蒸気往配管(0.5MPa)
- SR ——：蒸気還水配管
- B ——：ﾌﾞﾗｲﾝ往配管
- BR ——：ﾌﾞﾗｲﾝ還配管

図-8　実験室系統の熱源系統図

2．企画・設計段階の事後性能検証

企画・設計段階の性能検証の目的は、建築主の企画意図が設計に反映されていることはもちろん、設計内容がライフサイクル的視点からみて費用対効果上バランスのとれたものであるかを設計者以外の第３者が確認することにある。米国暖房冷凍空調工学会ASHRAEのガイドライン[1]および空気調和・衛生工学会による建築設備の性能検証（コミッショニング）基本方針（案）[2]に示された設計性能検証（デザインコミッショニング）の指針に倣い表-2に示す性能検証を実施した。

表-2　企画・設計段階の性能検証内容

No.	性能検証項目
1.	要求性能の確認と文書化
2.	設計組織の監査
3.	設計手法の妥当性の検証
4.	設計の各段階における性能保証プロセスの監査
5.	メンテナビリティーの確認
6.	設計図書の内容確認と発注者への助言

(1)要求性能の確認と文書化

企画・設計段階における性能検証者の役割の第一歩は、発注者の要求性能を確認し、設計与件として文書化し、設計者に対して提示することである。この文書は「設計趣意書（design intent)」と呼ばれ、設計段階の性能検証のベースとなる。設計趣意書に記載される項目を表-3に示す。今回は事後確認であるため、企画・設計段階で発注者と設計者の間で交わされた議事録、基本設計書などを確認し、発注者の要求性能を性能検証者側で文書化して発注者と設計者に再確認した。

表-3　設計趣意書の記載項目

項目	概要
1.基本理念	発注者が抱いている理念を文書化する。
2.基本方針	設計の基本方針を文書化する。
3.環境性能	室内外温湿度条件、内部発熱条件、許容騒音値等の設備容量決定用条件、温度制御幅などの制御条件及び熱負荷計算手法などの設計手法について文書化する。
4.ｴﾈﾙｷﾞｰ性能	年間一次エネルギー消費量など設計目標とするエネルギー性能を文書化する。
5.性能検証事項	設計趣意書に記載した環境性能、ｴﾈﾙｷﾞｰ性能を検証するための計測計量計画を設計者が立案し発注仕様に明記する旨を文書化する

(2)設計組織の監査

米国暖房冷凍空調工学会ASHRAEのガイドラインでは性能検証者の業務に設計組織の選定に係る発注者への助言が定義されている。今回のコミッショニング対象建物は温熱実験室を有する研究施設であり、研究施設の設計に関する実績と設計品質を保つ組織体制が明確になっていることを監査対象とした。設計組織体制表と品質保証に関する考え方の提示を受け、今回の設計組織は研究施設設計経験者を中心に構成され、かつ、ISO-9001を取得した品質保証システムを有していることから、設計組織選定上問題ないことを確認した。

(3)設計手法の妥当性の検証

設計者が行った設計手法が設計趣意書に記載された事項を実現する上で適切であるかを設計図書などで検証した。設計手法を検証する上でのポイントは、設計条件の明確な定義、適切な設備容量の設定、適切な容量分割や系統区分など年間を通じた運用への配慮を確認することである。指摘内容の中で設計者として再考すべきことは設計条件の記述方法とその実現手段の現実性の検証及び設備運用方法に関する情報の充実である。設計条件の記述方法の例として温湿度条件に目をむけると、設備容量選定用条件と空間を制御する条件を区別する必要があるが一般的には前者のみ記述されており温度分布の考え方等は不明確になっている傾向が強い。今回もﾀｽｸｱﾝﾄﾞｱﾝﾋﾞｴﾝﾄ空調方式の温度分布の性能検証を行う際に問題点として指摘された。また、許容騒音値の様に空調設備のみでなく躯体や仕上げ等の建築的要素との整合により実現するものは空調設計者と建築設計者の十分な相互確認が必要である。今回は仕様の不調和があり、設計条件の一部見直しが必要となった。設備運用の考え方については設計図書から十分な情報が得られないため、性能検証過程で整理を行った。設備運用について工事関係者に共通認識がないと竣工後に大きな問題に発展する場

合が多い。自動制御図面の記載方法を含めて運用に関する情報充実の必要性を実感した。

(4)設計の各段階における性能保証プロセス妥当性の監査

設計内容に不具合がないか確認する上で、設計担当者以外の第３者による査図を設計の各段階で受けることが有効である。今回の設計組織は、企画・基本設計・実施設計の各段階で社内設計審査を実施することを品質管理マニュアルで規定しており、性能保証プロセスは妥当であることを確認した。

(5)メンテナビリティーの確認

ライフサイクル的視点から空調設備の性能が保証されるようメンテナンスの実務とそれをサポートするシステムが確保されていることを確認する。メンテナビリティーの検証項目は文献[2]を参考とした。対象建物ではBMSの導入等メンテナンスサポートシステムは確立しているが、屋上機械設置スペースの制約から、最小限のメンテナンススペースの確保となった（第三報参照）。

(6)設計図書の内容確認と発注者への助言

設計図書の内容確認は、図面確認と設計内容説明会開催の他、施工段階の施工図・承諾図確認と並行して実施した。確認事項は情報連絡シートに記録し、関係者で内容確認と不具合箇所に関する是正措置の助言を行った。表-4 に設計に関連する情報連絡シート一覧表の一部を示す。確認・助言項目は約 80、その約２割が工事変更処理され、今回の性能検証による効果は非常に大きいといえる。

おわりに

今回の試行では、性能検証者の関与により、発注者と設計者の意図がより明確となり、建物竣工までに必要に応じた軌道修正が行えた。発注者を含めた工事関係者にとって運用段階で顕在化する不具合を未然に防げたことのメリットは非常に大きい。今回試行で効果が得られた要因を以下に整理する。

1)発注者が性能検証の重要性を認識
2)性能検証者が経験豊富なエキスパート
3)設計者・施工者等工事関係者の多大な協力

特に、発注者が性能検証者に対してｺﾐｯｼｮﾆﾝｸﾞﾌｨｰという新たな費用を支払う必要性を感じるかがポイントである。これは2)と深く絡んでいる。性能検証者の関与により発注者が安心して設計図書の受領するためには、第３者性を有した経験豊富な性能検証者が必要である。また、性能検証の実施には検証期間と工事関係者の協力が必要である。最近は工事期間が短縮される傾向が強く、今回もその問題点が強く指摘された。性能検証の重要性が認識され、適正な工期設定が行える環境が整備されることを期待する。今後、性能検証が一般化するためには、性能検証による効果及び性能検証者の役割・責任範囲の設定などのフレームワークが整理され、性能検証の重要性が広く認識される必要があると考える。

【参考文献】

1) ASHRAE GUIDELINE 1-1996 : The HVAC Commissioning Process, (1996)

2) 空気調和・衛生工学会：シンポジウムテキスト　ライフサイクル性能検証のためのコミッショニングの必要性----日本版コミッショニングガイドライン作成に向けて---- 2000.9, pp.2-1～20

表-4 情報連絡シート一覧表の例

	懸案事項							決定事項				現場指示			備考
NO.	日付	記号	発	ｷｰﾜｰﾄﾞ	種別	内容	期限	日付	記号	発	決定事項	日付	記号	指示	
1	4/19	ST-01	CA	蓄熱槽	検討	蓄熱槽を２槽とする	普通	4/26	MEMO		蓄熱槽は原設計通り１槽。				
11	4/19	ST-02	CA	水蓄熱槽	検討	満蓄判断法	普通	5/19	ST-04	設計	水位による。				
12	4/19	ST-02	CA	水蓄熱槽	検討	実験による槽内温度分布	普通	5/19	ST-04	設計	別紙実験結果提示				
14	4/19	ST-02	CA	水蓄熱槽	検討	タンクの水密性	普通	5/19	ST-04	設計	別紙仕様書に記載				***仕様書***
15	4/19	ST-03	CA	蓄熱槽	検討	底盤に流路に沿った勾配	普通	5/20	ST-06	設計	勾配は設けない	***6/21***	***S14***		
16	4/19	ST-03	CA	蓄熱槽	検討	排水ピットを設ける	普通	5/20	ST-06	設計	30cm角×10cm深さの釜場を設置	***6/21***	***S14***		
17	4/19	ST-03	CA	蓄熱槽	検討	排水ポンプと汲上ポンプの兼用	普通	5/20	ST-06	設計	兼用とする。	***6/21***	***S14***		

E－12　　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
（第三報）施工段階性能検証と保守性能検証

正会員　○笠置 徹　(有)日本空調システム)　正会員　　小野島 一 (株)大林組)
正会員　　濱田 和康(山武ビルシステム(株)　正会員　　佐々木 繁 (山武ビルシステム(株)
正会員　　廣岡 正　(山武ビルシステム(株)　特別会員　中原 信生 (環境システック中原研究処)

はじめに

本報では、施工段階でのコミッショニングが建築主・設計監理者・施工者といった工事関係者とどのような関係で活動したかについて報告する。施工段階でのコミッショニング（以下、性能検証という)は、具体的には施工図の確認、および確認・調整に係る情報の文書化、メンテナビリティ、保守性能検証、運転保守要員の訓練計画書等の作成がある。本報では施工段階での施工図の確認、メンテナビリティおよび訓練計画について報告する。

終わりに、施工段階での工事関係者としての建築主の代行を勤める設計監理者と性能検証組織との役割について、性能検証作業を通して考えたことについて述べる。

1.施工段階性能検証

今回の性能検証は設計完了・施工開始途中からの実施となったことと、更に設計変更もあって、変更設計と性能検証に対応しての設計スケジュールは大変厳しいものであった。建築工期は2月7日着工の9月14日引渡しという工期ともあって、施工段階性能検証での施工図の確認は『性能検証計画書』に定められた関連文書の発行手順では処理が不可能との判断から、建築工程を考慮して設計監理者の監理体制下にある設備分科会（定例会議）に陪席することの許可を関係者に得て、機器製作図、空調（自動制御）設備生産設計図の性能検証を実施した。提出施工図枚数は空調（自動制御）設備生産設計図としては、空調45枚、主に1/20、1/50縮尺で作図されている。

施工図による性能検証は、毎回の分科会において、設計監理者の施工図他の確認・調整によって設計意図が施工図に反映されていること、および打合せ記録を確認することで検証とした。分科会出席毎に性能検証者としての報告書にまとめ、性能検証全体会議に報告、情報連絡シートに記入、文書化をはかりフォローアップに努めた。なお、分科会には設計者の出席もあり設計変更も含めて設計意図の説明が施工者に行われた。

性能検証側からの分科会への出席は単に施工図等の確認のみではなく、メンテナビリティについてのチェック項目と施工図チェック項目を現場から得るためにも必要なこととの性能検証責任者の判断も加わっていた。一方、性能検証全体会議として別途確認する図面を選定した。設計意図が反映されていることは勿論であるが、検証対象機器製作図、機器設置位置（特に3階屋上機械室を考慮して)、メンテナビリティの3つの観点から図面を確認することにあった。

性能検証全体会議において性能検証対象の図面として以下の図面が指定された。

（1）検証対象機器

・ヒートポンプチラー　(R-1)
・ブラインチラー　(R-2、R-3)
・ボイラ　(B-1)
・空調機　2階東・西系統　ﾀｽｸ/ｱﾝﾋﾞｴﾝﾄ空調機
・空調機　3階東・西系統　空調機
・　実験室空調機
　AC-J1 ｲﾝﾃﾘｱ系統空調機

Study on Initial Commissioning Process for Actual HVAC System of a New Building
PART 3. Commissioning of Construction Phase and Maintenability

空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 {2001.9.26～28 (京都)}

Toru KASAGI et.al.

AC-J8 ｲﾝﾃﾘｱ系統外調機
AC-J2 ﾍﾟﾘﾒｰﾀ系統空調機
AC-J3 隣室ﾁｬﾝﾊﾞｰ系統空調機
AC-J31～33 隣室用ﾌﾞｰｽﾀｰｺｲﾙ×3台
AC-J37 外気ﾁｬﾝﾊﾞｰ空調機
AC-J34 外気ﾁｬﾝﾊﾞｰ空調機
AC-J35 外気ﾁｬﾝﾊﾞｰ空調機

（2）検証対象施工図

- 氷蓄熱槽関連施工図
- 配管系統図
- ダクト系統図
- 熱源廻り配管系統図
- 中央監視システム図
- 中央管理点入出力一覧
- 計装フロー図

施工図の確認において得られた情報から性能検証者用の施工図チェックリストを作成し、工図について試用した。施工図チェックリストの項目の一部を図-1に示す。

5. 機器の配置とスペース
5-1 共通事項
(1). 機器の搬入・搬出スペースは確保されているか
(2). 諸法規上（ガス保安法他）問題のない配置か確認したか
(3). 屋上機械室設置機器、その他の重量が構造上問題のないことを確認したか
(4). 通路、保守・点検スペースは確保されているか
(5). 施工スペースは十分あるか
(6). 他設備との取合いは確認してあるか（扉の開閉方向、床マンホール、盤等）
(7). 機械室防音工事の施工順序は確認したか
5-2 屋上機械室
(1). 冷凍機のチューブ引抜きスペースは確保されているか
(2). 空調機の点検扉は開閉できるか
(3). 空調機のエアフィルタの交換は可能か
(4). 空調機のコイルの交換は可能か
(5). 送風機のベルト交換、プリー抜はできるか
(6). 防振対策はとられているか
(7). 冷却塔や空冷コンデンサーが煙突からのばい煙で影響されないか
(8). 冷却塔間の距離は確保されているか（ショートサーキット防止）
(9). 冷却塔の近くに給排気口があり影響されないか
(10). 冷却塔のキャリーオーバの恐れはないか
(11). 高所設置機器点検作業用器具が用意されているか
(12). 機器類他は屋外仕様と表示されているか。

図-1 施工図チェックリスト例

施工図性能検証で残念ながら見逃したことがあったので報告する。

4階空調機械室はシステム構成から機械室を還気チャンバーに使用するように設計されていた。建物は、鉄骨構造のため天井コーナー部の間仕切部分にシール性能の不足を生じて気密室とはならず、天井を経由しての還気となってしまった。関連設備との整合が不十分であったことに原因があった。

責任は全関係者にあるとは言え、性能検証者として適確に指摘し得なかったことは反省の材料である。仕事は最後まで気をゆるめてはならないとの戒めである。

2．保守性能検証

保守性能検証は施工図確認作業で得られた設計監理者の確認業務の中から該当項目を抽出して、メンテナビリティチェック項目とし整理し文書化を図った。文書化の過程では、『空気調和・衛生工学会：建築設備の性能検証（コミッショニング）基本方針（案）付録A．メンテナビリティ』からの検証項目を参照して、大枠を定め細部については性能検証責任者の意向を踏まえて内容は全般的な項目を盛り込んだ。また検証時期については計画設計時と施工・試運転時に分けて検証項目を盛り込んだメンテナビリティチェックリストを作成した。表1にチェックリストの一例を示す（次ページ）。

チェックリストは工事項目(例えば共通項目)一枚として、全部で１８項目について作成した。1項目あたり点数は計画・設計時で２～２３点（総点数１４４点)、施工・試運転時で５～２４点（総点数２２５点）となっている。メンテナビリティのチェック項目を整理すると計画・設計時でかなり考慮しなければならないことが存在することがわかった。よく言われることであるが、計画・設計時で重要な部分を作り込まなければならないといわれることが改めて文書化することで明らかになった。メンテナビリティ検証結果を総括すると、

・3階屋上機械室は設置機器数も多く、平面的には通路巾は最小限の巾しか確保できず、メンテナンススペースは厳しいものとなってしまった。
・事務室空調機械室については最小限のメンテナンススペースの確保ができた。

ここで経験したことは、例えば弁のハンドルの向きを変えただけで通路が楽になった。僅かなことであるが作図に際して、このような点に注意を払うことで意外な効果がひそんでいた。

表1 メンテナビリティーチェックリスト例

メンテナビリティチェック　結果　［共通項目］
［備考］　○　満足　　△　やや不満足　　×　不満足　　－　対象外

保全業務	検証項目	計　画・設　計　時	結果	工　事・試　運　転	結果
危険災害の防止	耐震性	・建築設備耐震設計・施工指針(1997)に準拠	○	・支持材の寸法、支持材、振れ止め取付け位置は適切か。	○
		・建築電気設備耐震設計・施工マニュアル参照	○	・支持材が弁類、点検口の操作を邪魔していないか。	○
	安全な作業通路	・機器の搬出入通路として十分な幅と動線が確保されているか。	×		
		・機器の搬出入口扉寸法は十分あるか。	○		
		・機械間またはこれと他の設備との間に設ける通路は80cm以上あるか。（労働安全衛生規則　第 543条）	△		
	防護カバー	・回転部分等危険な部分にはカバーが取付けてあるか。（労働安全衛生規則　第 101条）	○		
	防護柵	・防護柵の高さは床から1.1m以上あること。	○		
	作業床	・平坦ですべり等のないこと。溝蓋の取手は蓋の表面より出ないこと。（労働安全衛生規則　第 544条）	○		
	キャットウオーク	・歩道の幅は60cm以上あるか。	○		
	高所作業用機械器具	・脚立、梯子、足場を設けるスペースはあるか。	○	・脚立、梯子、足場を設けるスペースはあるか。	○
	安全標識、危険等の表示	・通路面から高さ1.8m以内に障害物が置かれていないか。（労働安全衛生規則　第 542条）	×	・危険箇所の立入り禁止、危険表示等は適切か。	○
作業の容易さ	動作のしやすさ	・機器類の分解点検スペースは考慮されているか。	×	・点検口、検査口、掃除口は対象物に対して適切な　位置に設けられているか。	○
		・目的物に容易に近付けるスペースが確保されているか。	○		
		・機器の近辺に操作用手元スイッチが設けられているか。	○	・手元スイッチにはロック機構が付いているか。	○
		・ポンプ、ヘッダー類は集中配置されているか。	○		
		・深さが1.5mをこえる所での作業を行う場合の昇降設備があるか。（労働安全衛生規則　第 526条）			
	取付け、取外し、交換のしやすさ	・点検口、盤類のキーの共通性はあるか。	×	・ヘッダー、機器まわり弁等の取付位置は人間工学を考慮して、床上 1.3 m程度にあるか。（公共建築協会機械設備工事標準図）	○
室内環境	静かさ	・ＮＣ値の設定。	∩	・規定値以下であることの確認。	○
	振動	・目標値（許容値）の設定。	○	・目標値（許容値）以下であることの確認。	○
保全業務用図書	装置の機能、性能保全資料	・竣工図面	○	・機器類、スイッチ類、監視計器等に名称 TAG No.が表示されているか	○
		・機器仕様書			
		・機器取扱説明書	○	・指示計器類には管理指針または表示があるか。	○
		・維持保全マニュアル	－	・保護装置等では設定値が確認できること。	○

3．運転保守員の訓練計画

設計者、施工者から保守管理者（マネージャー)、管理技術者への引継ぎにあたり、設計意図を含め設備について理解を含めるためのもので、設備機能が継続的に能力を発揮できるような内容を盛り込んだ計画書を作成した。内容としては、(カリキュラムについては第八報を参照)

（1） 建物システムの包括的な内容を適確に伝達する図書。

（2） 教育訓練個別プログラム

このような訓練計画書があることで保守管理者の交替、設備の改修などがあっても設備としての機能の維持がはかれると考える。

4．設計監理者の業務と性能検証業務

今回の性能検証実施にあたっては、綿密な性能検証計画に基づいて作業を開始したが、開始時期と建築工期の関係から施工段階性能検証を工事関係者の体制に入って進めることとなった。

一般的には設計監理者は工事発注者の代行として法的な責任を負っている。高度の専門知識と経験を持ち、その資格は業務独占・名称独占資格として、その責任は建築士法によって定められている。一方、性能検証業務は工事発注者の代理人として高度の知識と豊富な実績と洞察力を有する責任者が工事発注者の信頼のもとに委嘱を受け、責任者の推薦によって組織化されたチームで活動し自己責任を全うする。設計監理者は発注者の意図を契約図書類にもとづき、受注者へ監理業務を通じて適確に伝えることであって、契約図書類の範囲においての責任を負っている。現行建築士法の成立以降、技術分野の進歩発展はめざましく、必ずしも現在の社会の要請に適切に対応しうる法体系となっていないことは否めないともいわれており、制度のあり方に関する検討が加えられている。このような状況の中で建築主がよりよい資産形成および設計監理業務を通して建築にかかわるノウハウを得ようとした場合、今回の性能検証で計画・作成されたような各種文書についての資料は得にくいのではないだろうか。発注者が得ようする情報には、公的なものと私的なものがあると考えると、今回のような性能検証を行う意義が充分に見出されよう。

おわりに

施工途中の段階で割り込んだ形になってしまった今回の性能検証に対して、施工者側の、特に空調設備担当の方々は、当初はとまどわれた点も多かったと思う。

しかし、発注者・監理者・施工者・性能検証者が週例会議の場にあって、頻度・密度の高い技術的議論を行い、出席者の共通認識を深めつつ、さらに、結果として引渡し品質の向上に寄与できたことは、関係者の高い技術力、および技術的探求心に依存するところが非常に大きかったと思われる。

工事関係者の協力に対しては性能検証内容の公開をもって多少でも報いることが出来ればと考える。

またこの場を借りて、分科会にご一緒していただいた山武ビルシステム㈱ 伊藤嘉奈子氏、多大なご協力をいただいた㈱日建設計 川上隆士氏及び㈱大林組、㈱三晃空調の工事関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

1) ASHRAE GUIDELINE 1-1996：The HVAC Commissioning Process,（1996）

2) 空気調和・衛生工学会：シンポジウムテキストライフサイクル性能検証のためのコミッショニングの必要性‥‥日本版コミッショニングガイドライン作成に向けて‥‥2000.9，PP.2･1～20

E－13

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4報)試験調整作業(TAB)の確認と受渡し前性能検証プロセス

正会員　○小野島　一（㈱大林組東京本社）
正会員　笠置　徹（㈲日本空調システム）
正会員　廣岡　正（山武ビルシステム㈱）
堀内　史章（㈱大林組東京本社）
正会員　濱田　和康（山武ビルシステム㈱）
特別会員　中原　信生（環境システック中原研究処）

はじめに

前報に引き続き、本報では、近年、設備システムにおいてその設備の持つ性能を竣工時に確認・検証するコミッショニング（以降 Cx と略す）プロセスに関して米国暖房冷凍空調工学会 ASHRAE のガイドライン[1]および空気調和・衛生工学会による建築設備の性能検証（コミッショニング）基本方針（案）[2]に示された手順に基づいて実施された内容について報告する。

建物が竣工する前の受渡し段階においては、設備が設計図の仕様通りに動作していることを確認する TAB（Testing, Adjusting and Balancing）というプロセスが存在する。これは、日本における工事内容では試運転調整に当たり、機器単品の動作確認とその基本的性能を確認するものと考えられる。特に米国において TAB 業務は設備システムの請負者（Contractor）とは別の業種として確立している。この場合、設計図上の調整バルブの配置や作業性などまで確認した上で、施主と直接契約し、TAB 作業実施している。しかしながら、日本においては TAB を専業とする業者はなく、設備工事を請け負ったものが工事範囲内で機器類の試運転調整を行っていることが普通である。そこで、本プロジェクトにおいても TAB プロセスの実施は設備一括で請け負った総合請負者が中心となって Cx 管理チームの助言の下に TAB 計画を立てて作業を実施し、その結果を Cx 責任者（CA, Commissioning Authority）に報告するプロセスとした。なお、変則的ながら筆者は Cx 側に所属しつつ超短工期の工事工程に鑑み、工事消化側を支援する立場も兼ねた。

受渡し前性能検証（Pre-Acceptance Commissioning）は、TAB 終了後、竣工引渡し前にシステム全体を稼動して動作を確認するプロセスと考えられる。この時点で建物は使用されておらず実際の負荷はかかっていない状況であるが、全体としての自動制御システムの動作確認や各安全装置との連動確認など、引渡しに向けて確認しておくべき項目が存在する。本プロジェクトにおいては、空調稼動時の室内温湿度状況や騒音などを実際に測定し、その結果を文書化して CA に報告するものとした。

1.　TAB の内容と実施計画

一般の工事における試運転調整作業は、機器単品の運転を行って、通常設計図書に表記された能力を出せるかどうか、回転方向の異常、異常音や振動などの問題が無いかどうかを確認している。しかしながら、今回のプロセスにおける TAB 調整では、一般的な試運転調整を初期調整と位置付け、追加で必要となる調整項目をサブシステム毎に整理し、図－1に示すようなフローを作成して整理した。

配管関係は耐圧試験、フラッシング、ゲージ類の動作確認を行った。機器関係の初期調整は対向試験、相回転試験等を行い、定格運転時の電流値、風量・流量について目読計器を中心にデータを取って記録し、設計能力と比較して評価した。計装関係は初期調整、ループチェック、単体チェック、PID 設定チェックを行った。各空調機系統における、ファン定格時の風量について単体測定を行い設計値と比

Study on Initial Commissioning Process for Actual HVAC System of a New Building
PART 4.　TAB Verification and Pre-Acceptance Commissioning Process

空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 {2001.9.26～28 (京都)}

Hajime ONOJIMA et. al

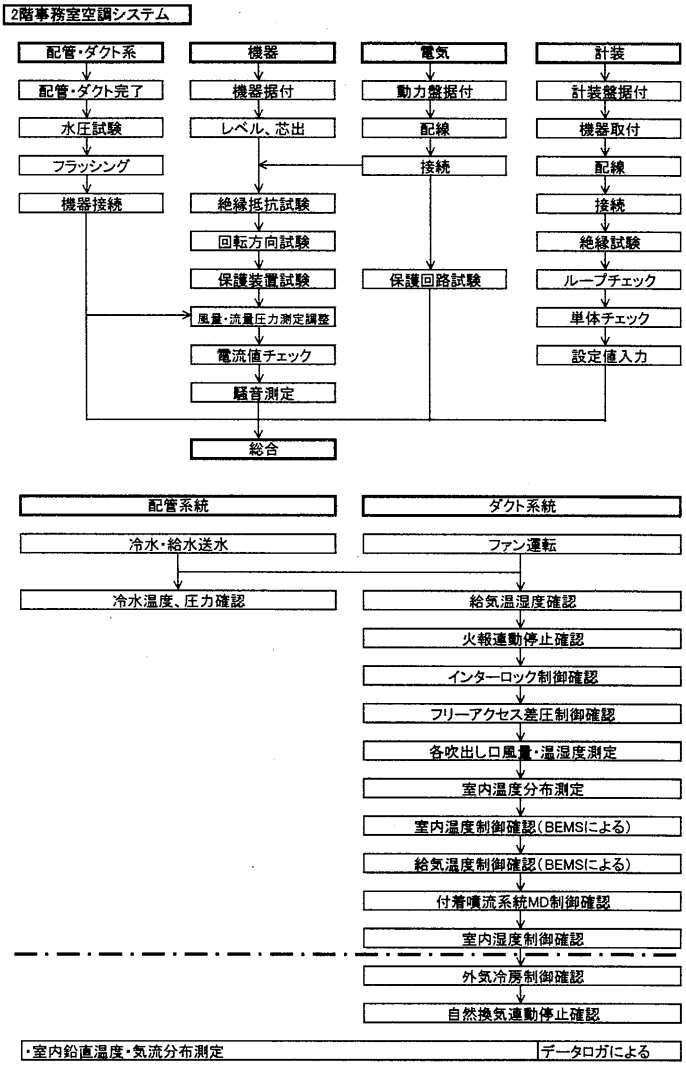
較して評価した。

これらの初期試験調整後、サブシステム毎に設計最大能力で運転させTABを行った。

冷温水配管系統においては設置された流量計の出力を基に配管系統単位の流量バランスを確認し、設計最大流量・最少流量を確保するようインバータの最少最大周波数を設定した。

空調系統では吹出風量、吸込風量を測定してエアバランスの調整を行った。外気を取り込む空調系統では外気ダクト内の空気流速を測定口から実測して風量を求め、設計最小風量時に外気用ダンパの開度を調整し最小外気量が確保できるダンパ開度を求めた。最終的にエアバランス・設計最大風量を基にインバータへのパラメータを設定した。特にインバータにより可変速に制御されるファンやポンプ類については、納入仕様書に回転数が変化した場合の性能曲線を提出するように製造者に対し要求し、回転数制御された場合の性能も確認している。

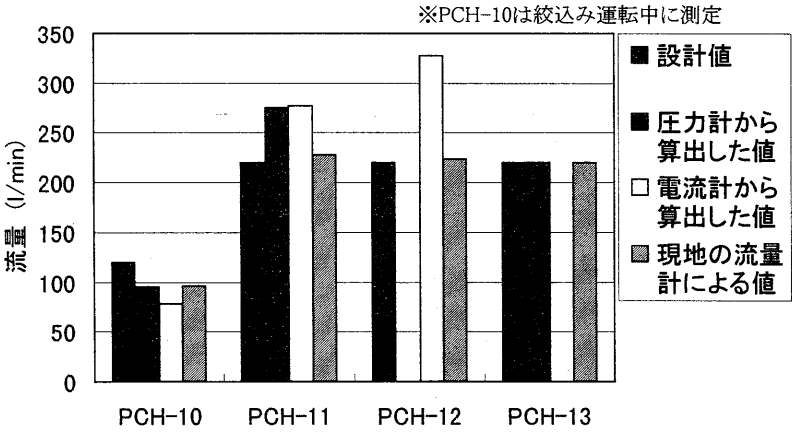
以上のTAB調整は基本的にシステムのバランスを取る事が目的であるため、各空調機やポンプに装備された自動制御システムを用いず、すべて手動運転として行った。



図－1　TABフローチャートの例

2.　TAB確認

構成されたTAB計画に基づき、実際の作業を行った。TAB作業の初期には中央監視装置が完成していないため、各機器の基本性能試験においては現場に設置された目読計器を中心に計測を行った。ポンプ等においては圧力計、電流計の読みからポンプ性能曲線を基に流量を推定すると共に、設置された電磁流量計の出力値と比較した。図－2にその一例を示す。ここでは、一部の測定値間に差はあるものの、ほぼ設計通りの仕様を満たしていると判断した。



図－2　ポンプ流量の検証結果

空調機他の送風機器についてはポンプ類と同様な機器性能の確認を行った上、給気吹出風量と還気吸込風量を実測し、系統毎のエアバランスを検証した。表－1に2階事務室におけるエアバランス検証の例を示す。これによれば、この階ではほぼ設計通りの風量を確保した上、わずかに正圧側に調整する事で隙間風等の問題を防止している。

冷凍機、熱交換器などの熱源機器についてもそれぞれ機器の設計性能の確認を行った上、文書化してCAへ報告を行った。

このようにTABプロセスにおける性能検証においては基本的な機器仕様とシステム性能を検証す

ることが主目的であり、機器類の納入仕様書や設計図書に記述された要求性能に合致したものである事を文書で確認する事が重要である。

3. 受渡し前性能検証

この後、自動制御システムを稼動して通常運転時の状態として室内温湿度や吹出温度、水温などを目読計器、実測計器および BEMS からのデータを基に確認した。ただし、この時点では、竣工前であるため、空調負荷はかかっていない状態である。

一般各室については室内温湿度を測定し、設計値との比較を行った。特に本プロジェクトにおいては一部に特殊な空調システムが採用されている。2階のタスクアンビエント空調に関しては、発注条件に規定された、垂直温度分布を測定してアンビエント空調として利用される天井面の付着噴流の状況を確認した。図－3に実測結果の例を示す。これでは付着噴流効果によって天井面に沿って吹出空気が流れ、ドラフトなどの問題が起きていない事がわかる。

図－4に水蓄熱槽への蓄熱状況の確認結果を示す。概ね期待した通りの温度プロフィールで蓄熱運転されている事を確認した。

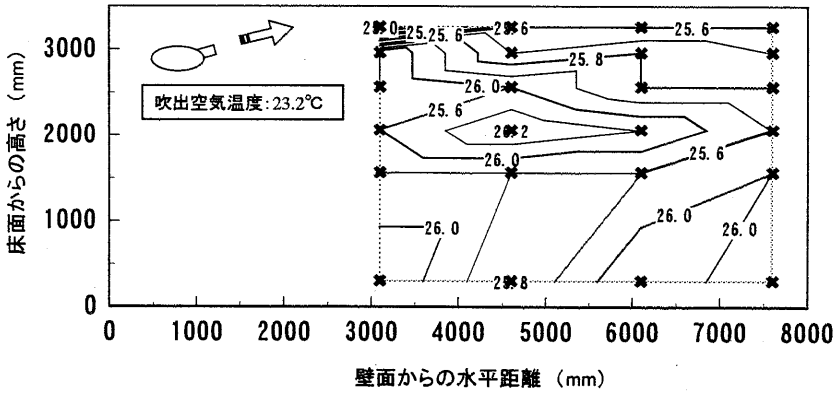
しかしながら、この時点で確認した結果は空調負荷が無い状態のものであり、実際の室内環境としては竣工後、各季節に行われる受渡し後性能検証（Post- acceptance Commissioning）において実際の環境測定が行われる。

このほか、蓄熱槽の水質変化の確認や室内及び敷地境界での騒音値の測定などが行われ、受渡し前性能検証として行われた。

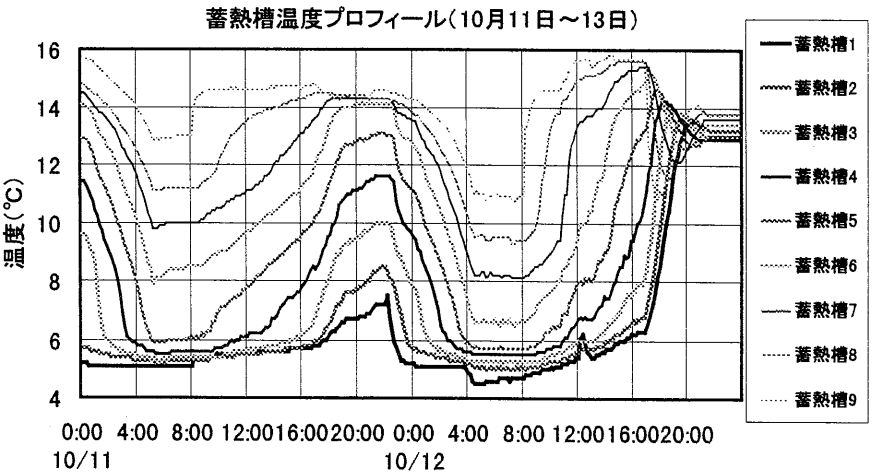
これらの結果、いくつかの問題点が明らかになり修正が行われた。表－2に性能検証プロセスにおいて発見され、対処された修正事項を示す。いくつかは明らかに設計時の性能記述不備や施工不備(管理・監理ミ

表－1　2階事務室エアバランスの検証（単位：m^3/h）

	設計値		実測値		
	給気	還気	給気	還気	バランス
事務室東側	6,000	6,000	6,014	5,983	31
事務室西側	6,000	6,000	5,739	5,726	13
男子トイレ	290	290	276	285	-9
女子トイレ	210	210	221	194	27
身障者トイレ	100	100	97	123	-26
リフレッシュコーナー	1,000	1,000	1,094	727	367
				階合計	403



図－3　2階事務室垂直温度分布の検証（単位：℃）



図－4　水蓄熱槽蓄熱運転の検証

表－2　TAB 及び受渡し前性能検証による修正事項

項目	原因
吹出方向の不具合	VHS 羽根角度調整不良
4階会議室エアバランス不良	機械室チャンバーからリーク。MD 制御追加
4階会議室ファン騒音大	防振追加
VAV 測定風量誤差	設置位置等による問題
蓄熱槽清掃	清掃不良
冷却水ポンプのエア抜き	鳥居配管による不具合が予想されるが、納まり上やむを得ず。
空冷 HPC フロースイッチ不具合	流量保護装置の仕様がフロースイッチ／圧力スイッチで食い違い。
空冷 HPC 出口温度リミット制御不具合	蓄熱運転時の装置保護用ボディサーモリレーの動作不整合
ブラインスクリューチラー起動不具合	保護協調不良

ス)もあるが、ほとんどのものは今回のTABや受渡し前性能検証プロセスを行ったからこそ発見された問題点であり、当初施工時からの性能検証プロセスと同時に、竣工前の確実な問題解決に大きな役割を果す事ができると考えられる。これらの過程で明らかになった事は性能検証のための設計図書における性能記述の明確化、施工図段階での再検討内容への監理責任体制あるいは設計体制そのもの、そして適切な工期設定がいかに重要であるかが痛感された。

4. 性能検証プロセスの評価

本来の性能検証プロセスを考えた場合、TAB作業においてまず問題となった点は、基本的な設計仕様及び要求仕様に対して、計測された機器性能がどの程度合致していたら「良」とするのか、を明確にする必要があった事である。一般の設計図書や契約文書では「室温が26℃±1℃」といった表記が良く行われるが、これでは室内の水平温度分布が「±1℃」なのか、代表点の時間変化が「±1℃」なのかが明確ではない。性能を評価する場合、その受渡し評価のための条件を明確にしておく事が重要であり、その条件には単なる理想論ではなく測定機器の精度も含めた評価がなされるべきである。

TABプロセスにおいては基本的な機器性能を把握することを目的とすれば(これに対してCxではシステムの機能的性能の検証を目的とするものとされる)、季節に関係なく実施する事が不可能ではなく、大型建物では仮設電源を用いて受電前に行う事も考えられる。しかし、受渡し前性能検証プロセスにおいては、システム全体を稼動させるために、冷房時期に暖房用のシステムを完全に稼動させる事は難しい。しかもメーカーから、中間期のデータからピーク負荷時の能力を推定得る技術資料が提出される事は稀である。すなわち、契約上の竣工時までに行われる受渡し前性能検証完了をもってすべての性能検証プロセスの完了とすると、受渡し前にはすべてのシステムの検証はできないことになる。最終的にすべて実負荷に合わせて性能を検証し調整しようとすれば、最低限1年間の各季節における試験調整を必要とすることから、性能検証プロセスは契約上の竣工からほぼ1年間は確実に実施する必要がある。

本建物での特徴は、一般の建物に比べて数多く配管系に電磁流量計が設置されていたために、TAB作業を著しく容易にした。VAVの普及によりダクト系では比較的風量を把握しやすくなったとはいえ、配管系に電磁流量計を多数設置する事は少ない。将来の性能検証のために少なくとも主要な各機器への配管には簡単な流量計測器と流量調整弁を設置する事が必要になると考えられ、最低限仮設で電磁流量計を設置できるように配管を準備しておくなどの対応が望ましい。工事費削減のためには欧米で活用されているCxバルブ(定流量弁、或いは可搬式流量系を取り付けて流量確認するもの)を取り付ける事を義務づけることも必要と思われる。

5. おわりに

今回、正式なCxプロセスに従った試行を行い、各種の問題点を確認し得たことは、より良い性能の設備システムを供給する上では重要な事であったと考える。しばしば、手間と労力のかかる試験調整作業は簡単に済まされてしまい、とりあえずクレームが無ければ良しとする傾向が散見されるが、確実な性能評価をするための境界条件の明確化、責任区分の明確化と共に、しっかりしたTAB作業が重要である。

今回の工事では非常に短工期であったために、一般的な施工手順でも非常に厳しい状況にあり、Cxプロセスの適用にも各種の抵抗があったうえ、実際のTAB作業も竣工後に行っている。施工中には現場サイドの要望とCxチームとしての義務が食い違う場面もあり、当初から明確なCx作業に関する目標と実行へのコンセンサスを設計、設計監理、施工チームに確実に浸透させる事が必要と感じられた。

参考文献

1) ASHRAE GUIDELINE 1-1996 : The HVAC Commissioning Process, (1996)
2) 空気調和・衛生工学会：シンポジウムテキスト ライフサイクル性能検証のためのコミッショニングの必要性----日本版コミッショニングガイドライン作成に向けて---- 2000.9, pp.2-1～20

E－14　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
第五報　受渡し段階性能検証プロセスと検証結果の概要

○正会員　村山俊尚(山武ビルシステム(株))　正会員　伊藤嘉奈子(山武ビルシステム(株))
関口　史(山武ビルシステム(株))　正会員　廣岡　正　(山武ビルシステム(株))
特別会員　中原信生（環境システック中原研究処）

1．はじめに

第四報で報告された試運転調整（ＴＡＢ）終了後に、空調システム性能検証（※以下検証とは受け渡し段階のものとする）を実施する上での検証手順とその結果についての報告を行う。また、受け渡し後段階の解析事例、使用したＢＥＭＳ援用ツールについての評価結果は第六報で報告を行う。

2．　受渡し段階検証の考え方と方法

空調システムがその運転性能を発揮する為の必要条件は、

1）機器能力
2）システムの機能・性能
3）運転性能（制御性能）

を充足することである。十分条件は、年間に渡ってこの性能が実現できることであり、受け渡し段階での性能検証実施は必要条件の確認行為である。

上記項目を確認する為には、性能を評価する判断基準が必要となる。その為、計画機器能力・システム性能（空調システムが作り出す環境条件、想定条件等）・自動制御の基準値・精度・一日の運転方法・年間の運転方法などを記述した管理文書の作成を行った。

この際、年間を通じた運転条件（季節別の想定蓄熱目標等）などは、設計時点で十分に考慮されていない状況であったことが判明した。

今回の設計では、中央監視システム（ＢＥＭＳ）を性能検証に最大限活用するよう、検証に必要な計測・計量計画が行われた。結果、中央監視実装監視ポイントは通常実装されるポイントより、ある系統を比較すると４０％程度多くなった。

検証方法は、検証手順（表-１参照）に従って機器の運転を行い、その状況を目視確認、記録をする。検証実施中は、中央監視システムでは自動的にデータ収集を行い、検査終了後詳細な解析を行う方式とした。これは、中央監視での表示・収集データでは確認できない音・臭い・現場計器の値などを検証手順で確認し、検証実施以降に中央監視データで解析する機能分担とすることで現場作業の最短化を計る為である。

3．　検証システム

検証に使用した、中央監視システムと概略機能分担を以下に示す(図-1)。

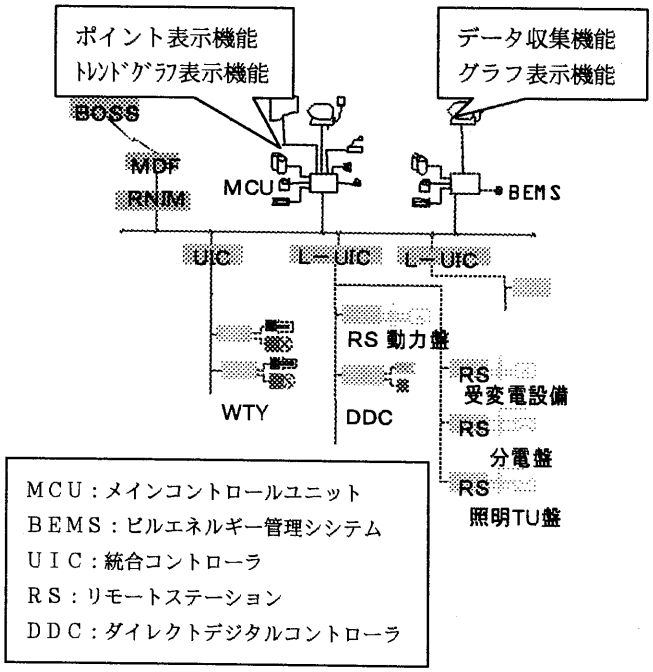


図-1　中央監視システム

具体的には、中央監視システムのポイント表示、トレンドグラフ（最小１分間隔）で状況を確認し、BEMS で収集したデータを（最小１０分間隔)、ＢＥＭＳの表示グラフ及び一般市販グラフソフトでグラフ化し状況分析を行った。

4．検証項目

検証項目は装置能力、機器の保護回路動作（リミット試験)、運転状況（制御性）とした（検証対象設備は第二報参照)。装置の能力検査、リミット試験は制御を働かせない状態（オープン試験)、運転状況は制御を働かせた状態（クローズ試験）で行った。

Study on Initial Commissioning Process For Actual HVAC System of A New Building.
Part－5 Planning , Process and Result of BEMS-assisted Commissioning for Acceptance Stage

5． 検証手順

検証手順概要を述べる。装置能力確認時のステップ応答から制御パラメータ（ＰＩ）を想定し、その結果のパラメータを設定した状態で、制御モードに変更して、運転状況（制御状況）の確認を行った。制御状況は、精度、追従性、安定性についての確認を行った。

5．1 空調機給気温度ＰＩの事例

空調機停止状況、送水温度が確立されている状況を確認し、制御弁を全開にする。この状態で空調機を運転しステップ応答データを収集する（図-２）。このデータから等価無駄時間、時定数を算出しＰＩ同定の経験式を参考にＰＩパラメータ算出を行った。

5．２検証手順事例

一般系設備で行った概要を以下に示す。

手順１．蓄熱システムを自動にし、蓄熱運転を行う。

手順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。

手順３．熱源機器保護回路動作試験を行う。

手順４．熱交換器能力確認。

手順５．ポンプ能力確認。

手順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※）、温度応答確認

※コイル能力、ＶＡＶ空調はファン能力含む

手順７．全て制御状況とし、設定変更をして追従性、安定性確認

．検証の現場作業には２日間を費やした。実際の検証計画事例を表-１に示す。

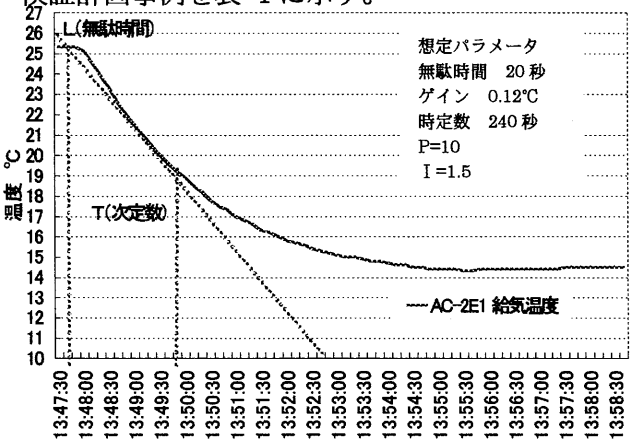


図-２ 給気温度ステップ応答

表-１ 検証計画事例

■ 空調システム

操作、値確認は全て中央監視盤より行い、目視確認項目（電流値、圧力、音等）は現場で確認し、ｲﾝﾀｰﾎﾝで中央監視室に連絡し、記録を行う。

検査項目	対象系統	検査手順	確認項目（目視）	評価項目
機器能力検査	一般系統熱源 2～４階空調機 ※蓄熱槽は満蓄状態 ※熱源運転手動ﾓｰﾄﾞ ※空調制御手動ﾓｰﾄﾞ ※蓄熱槽に貯えられた冷水熱量を全て放熱する。	① PCH-13運転（PCH-12,11連動） ② 送水温度確認状況 ③ 2～４階空調機自動弁全開 ④ 2階空調機起動 ⑤ 3階空調機起動（最大風量運転） ⑥ 4階空調機起動（放熱運転） ⑦ 蓄熱容量が0になるまで運転継続 ⑧ 蓄熱ｺﾝﾄﾛｰﾗ自動ﾓｰﾄﾞ確認 ⑨ R-1送水温度設定確認 ⑩ 蓄熱運転時間帯設定状況確認（22:00～8:00）	各ﾎﾟﾝﾌﾟ運転状況（圧力、電流値） 各ﾎﾟﾝﾌﾟ運転状況（圧力、電流値） 弁状態 各ﾌｧﾝ運転電流、周波数 ※詳細ﾁｪｯｸｼｰﾄ参照 22時に熱源の起動を確認し、三方弁動作状況目視確認を行う	HE-11の放熱特性 送水温度立ち上がり状況 空調系統室内，給気ゲイン 空調系統最大冷房能力
	一般系統熱源 2～４階空調機 ※熱源運転手動ﾓｰﾄﾞ（天候が晴れであること）	① 蓄熱状況確認 ② R-1を強制的に運転する。 ③ 2～４階空調機最大外気取り入れﾓｰﾄﾞに ④ 2～４階空調機自動弁全開 ⑤ 2～４階空調機運転 ⑥ PCH-13運転（PCH-12,11連動） ※ ﾎﾟﾝﾌﾟｲﾝﾊﾞｰﾀ周波数最大運転 ※ HE-11送水温度の変化がなくなるまで ※ 蓄熱容量が0になるまで運転継続 ⑦ 蓄熱ｺﾝﾄﾛｰﾗ自動ﾓｰﾄﾞ確認 ⑧ 空調機OSS登録 ⑨ 空調機ｽｹｼﾞｭｰﾙ設定	昨日蓄熱運転状況（機器運転状況（容量制御発生無し、蓄熱状況）をﾃﾞｰﾀで確認 保護回路動作状況 各ﾎﾟﾝﾌﾟ運転状況（圧力、電流値） 各ﾎﾟﾝﾌﾟ運転状況（圧力、電流値） 弁状態 各ﾌｧﾝ運転電流、周波数 ※詳細ﾁｪｯｸｼｰﾄ参照	送水温度立ち上がり状況 空調系統室内，給気ゲイン 空調系統最大冷房能力
制御状況検査	一般系統熱源 2～４階空調機 ※運転自動ﾓｰﾄﾞ	① 運転状況確認 ・ ｱﾝﾋﾞｴﾝﾄMD強制閉 ② 制御状況確認 （2階空調ｼｽﾃﾑ） ・ 温度設定変更 ・ Ｃｏ２濃度設定変更 ・ 自然換気窓操作（外乱） （3階空調ｼｽﾃﾑ） ・ 温度設定変更 ・ Ｃｏ２濃度設定変更 ・ 自然換気窓操作（外乱） 氷蓄熱自動運転で、実験室系統検査日までに満蓄とする。	（2階空調ｼｽﾃﾑ） 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 （3階空調ｼｽﾃﾑ） 空調機運転、室内状況目視確認 音 MD状況 （4階空調ｼｽﾃﾑ） 空調機運転、室内状況目視確認 音 MD状況	（一般熱源系統） 蓄熱特性／放熱特性 蓄熱効率 蓄熱槽内温度変化（ﾌﾟﾛﾌｨｰﾙ） 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 HE-11効率 ｴﾈﾙｷﾞｰ（電気、熱量） 冷凍機COP （一般空調系統） OSS状況 温度制御状況（外乱制定状況含制御機器動作 ｴﾈﾙｷﾞｰ（電気、熱量）
制御状況検査		通常運転継続・残事項検査 ※ ﾃﾞｰﾀ収集継続 2階室内温湿度分布測定実施		

6．検証結果

検証結果の一部を手順に従って報告する。

6．1　熱源運転状況（蓄熱）

1)　三方弁制御の動作検証

蓄熱運転の検証において三方弁制御が、正しく動作することは大前提となる。下記のグラフで、起動時から約10分以内で送水設定値(5.2℃)に達して、設計温度差7℃が確保されている状況が確認できる（図-3）。また、蓄熱時間を通じても熱源機器起動・停止に際して制御が追従している状況が確認できる（図-4）。

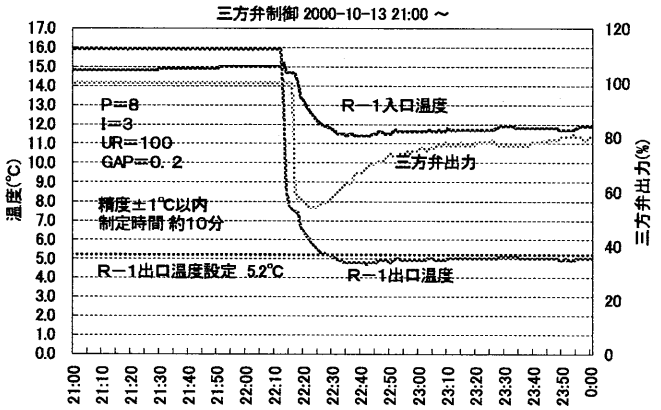


図-3　三方弁制御（スライド制御）立ち上り

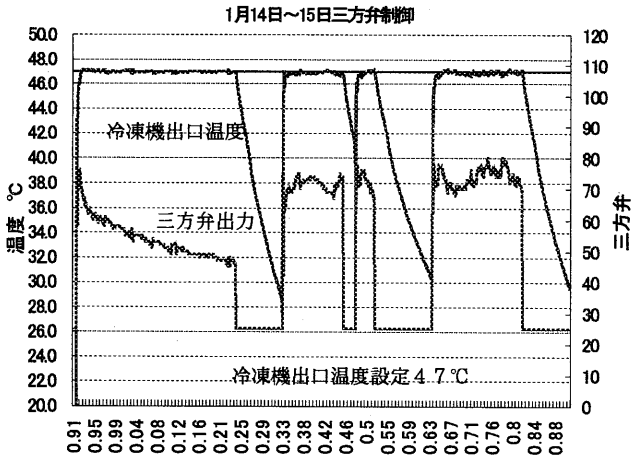


図-4　三方弁制御（スライド制御）暖房運転

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-5）で、蓄熱状況の確認ができる。各時間毎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．なお、温度計測は各槽の中間点を代表温度としている。

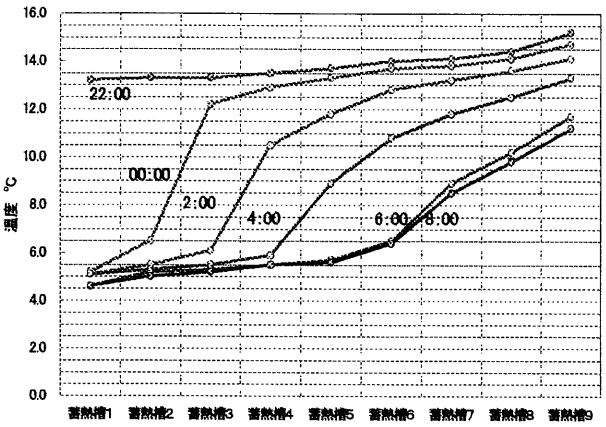


図5　蓄熱槽プロフィール

3)　冷凍機能力検証

蓄熱時の生産熱量と、冷凍機出入り口温度状況を図-6に示す。冷凍機能力 220 MJ/h に対して約15%程度能力が余分にでている状況が確認できる。外気温度低下によるものであることは明らかであるが冷凍機の性能変化線図が提出されておらず、検証に支障をきたした。また、蓄熱目標と蓄熱量のデータを確認した結果、蓄熱目標（100%）に達するまえに機器が停止している状況が判明した。これは蓄熱コントローラの送水温度停止機能が動作した為である（4℃で強制停止)。この機能は冷凍機の凍結防止機能（3℃）が働く前に機器を強制停止し、保護動作が動作しないようにする機能である。三方弁は高温槽から 100%汲み上げの状況であり、汲み上げ温度が満蓄温度 11℃以下にも関わらず運転した為に発生した状況である。終端槽 11℃で満蓄状況にならないのは設計想定上おかしいことで、これは蓄熱量演算値が低めに演算されていた為である。結果、演算パラメータの見直しを行った。

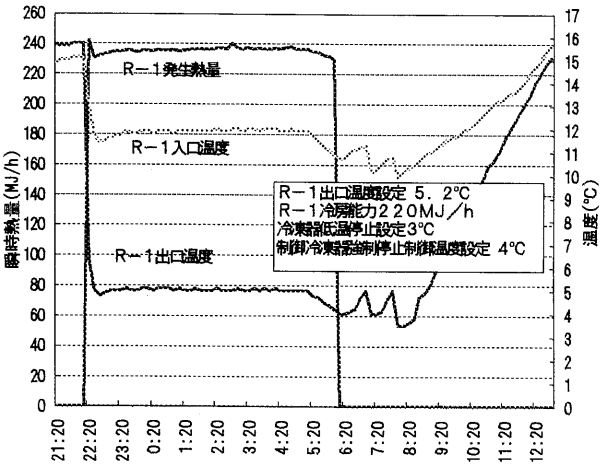


図-6　冷凍機運転状況

4) 保護回路動作状況検証

冷凍機入口温度を三方弁の手動操作により低下させ、保護回路動作の確認を行った（図-７）。

この結果、凍結防止設定になっても冷凍機は停止せずに、１段目コンプレッサーのみ停止した。その結果送水温度が上昇している。ここに、この保護回路動作は、要求仕様条件に合致していないことが明確になった。当面は蓄熱コントローラの強制停止機能で運転することとしたが、あきらかに設計･施工試運転の課題である。

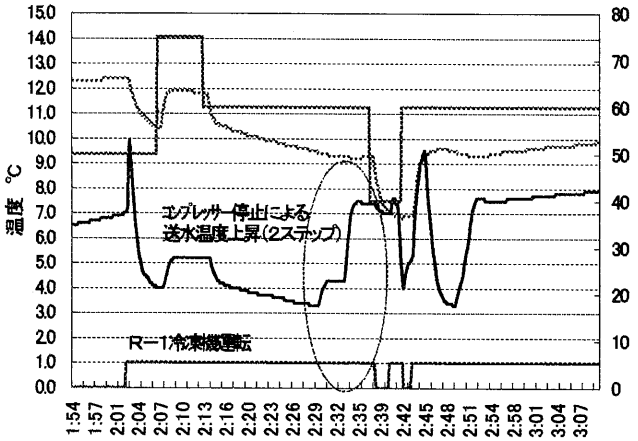


図-７　冷凍機リミット試験

６．２　空調機運転状況の検証

1) コイル能力

空調機のコイル熱量計測データにより、設計条件上でのコイル能力の推定を行った。方法は，収集したデータの、熱量と空気側･水側の出入口温度とから対数平均温度差と濡れ面係数を算出し、伝熱に係るKaANの推定を行い、最大負荷時の値を逆算して能力推定を行った。結果ほぼ設計要求仕様を満たしていることを確認した。

2) ＶＡＶ風量

ＶＡＶ空調システムを最大風量運転として、ＶＡＶコントローラからの計測風量データで、風量データの確認を行った（図-８）。

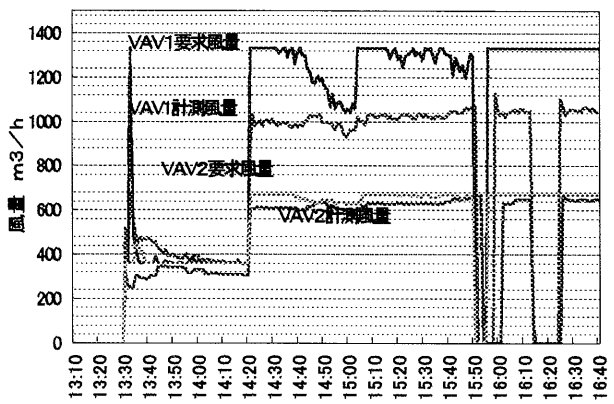


図-８　ＶＡＶ風量状況

結果、設計風量を満たしているというＴＡＢの報告に風量換算時のミスが見出された。なお、VAV の風量検証は同時生起率が設計書に明記されていなければ厳密な検証は不可能であるという問題点も浮かび上がった。

3) VAV 制御性（精度・安定性・追従性）検証

空調システムを自動運転とし、ＶＡＶ空調システムの給気温度制御状況の確認をおこなった。設定値を変更することで負荷状態の変更と追従性の確認を、あわせて、給気温度リセット機能の確認も行った。運転は、以前の能力確認で想定されたＰＩパラメータで運転されている。

結果、弁が低開度（低負荷）状態において振動する状況が確認された（図-９）。この状況下で最終制御対象の室温の変化はほとんど無くその視点からは合格であるが、弁振動による耐久性への影響を考察せねばならない。製品耐久寸動回数は 100 万回であり、中間期の全空調運転時間で発生すると仮定しても約 10 年の耐久実力はあるので、システム上この開度付近でのサイクリングは止む無しの判断とした。判断基準により見解が分かれるところであり、設計仕様に判断基準を明記することが望まれる所以である。

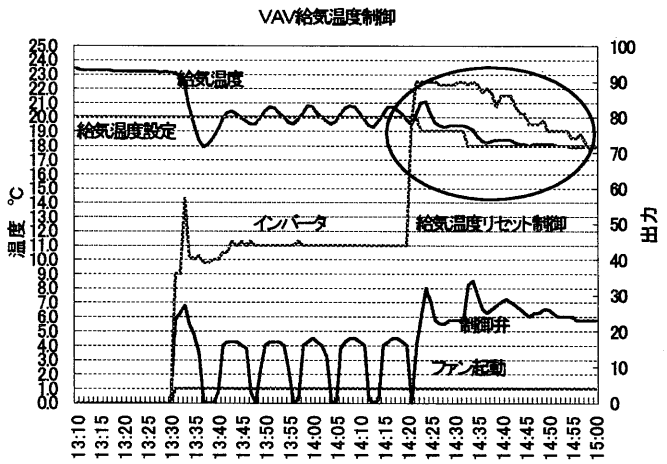


図-９　給気温度制御

７．おわりに

本報では環境技術センターの受け渡し段階の検証プロセスとツールによる検証事例の紹介を行った。性能検証を計画している実際のＪＯＢでの参考となれば幸いである。

E－15　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

○正会員　伊藤嘉奈子（山武ビルシステム(株)）　正会員　村山俊尚　（山武ビルシステム(株)）
関口　史（山武ビルシステム(株)）　正会員　廣岡　正　（山武ビルシステム(株)）
特別会員　中原信生（環境システック中原研究処）

はじめに

第5報では受け渡し段階の性能検証について詳細を述べた。本報では、受け渡し後段階に行った性能検証の概要、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ニ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。対象システム・設備についての詳細は第二報を参照。

1．受け渡し後検証の目的

第五報にあるとおり、受け渡し段階の検証は冷房時の軽負荷時に行った。そのため、本施設においては、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。受け渡し後検証は以下の事項を目的として実施されている。

1) 暖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

本報では、検証の終了した1)～3)についての報告を行う。但し3)については冷房モードは未完である。

2．受け渡し後段階の検証の手順とスケジュール

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。

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。

今後の予定も含め、検証工程を表-1に示す。また、それぞれの検証項目は表-2,3参照。

表-1　受け渡し後段階性能検証工程

項目＼期間		2000年 11月 12月	2001年 1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月
暖房運転切替		━	
暖房運転調整		━	
暖房運転調整内容確認		━	
暖房ピーク時検証	運用状況の確認		━
	オープン・クローズテスト		━
	運用状況の確認・改善項目実施		━
	実施内容確認		━
中間期検証	運用状況の確認		━
	改善項目実施		━
冷房ピーク時検証	運用状況の確認		･･･
	オープン・クローズテスト		･･
	運用状況の確認・改善項目実施		･･･
	実施内容確認		･･･

━ …実施済み　･･･ …実施予定

表－2　オープン・クローズテスト時の検証項目

検査項目	対象系統	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－3　運用状況確認時の検証項目一覧

検査項目	対象系統	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）

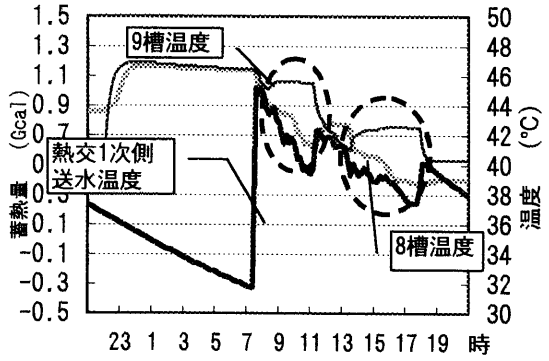
3．受け渡し後のデータ解析と性能検証事例

受け渡し後の性能検証でデータ解析した事例として、蓄熱性能、送水温度制御、暖房時の給気温度性能、外気冷房の4つについて解析の過程と指摘事項を述べる。熱源配管系統および蓄熱槽構造は第二報を参照されたい。

3.1　蓄熱性能関連

図－1に蓄熱槽の時系列型温度プロフィールの一

例を示す。これより、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－1　槽内温度と熱交換器入口温度

この現象の理由は、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のではないか?②蓄熱槽からの水の吸い込み位置が底部になっているのではないか?、と推定されたので施工図面上で確認したところ、まさにそのとおりになっていた。さらに、連結排水管の口径が太く、下から吸うことの問題点がより顕著になってしまった。これは連結温度成層型蓄熱槽であることを念頭に置かずに成されてしまった、設計･施工上のケアレス?ミスであるが、実はこの影響は蓄熱槽効率の確保と二次側送水温度制御への影響が極めて大きい重大なポイントなのである。

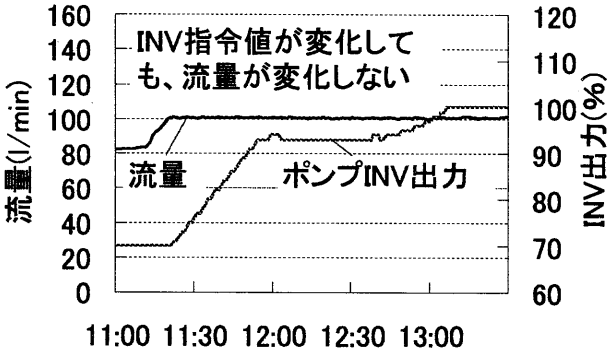
冷房運転への切替時に蓄熱槽の水を抜き、蓄熱槽への給水・蓄熱槽からの取り出し位置を確認し、図面どおりとなっていたため、各配管の取り出し位置等を変更した。この結果はリコミッショニングとして次期暖房運転で効果の検証をする必要がある。

3.2 熱交換器まわり制御

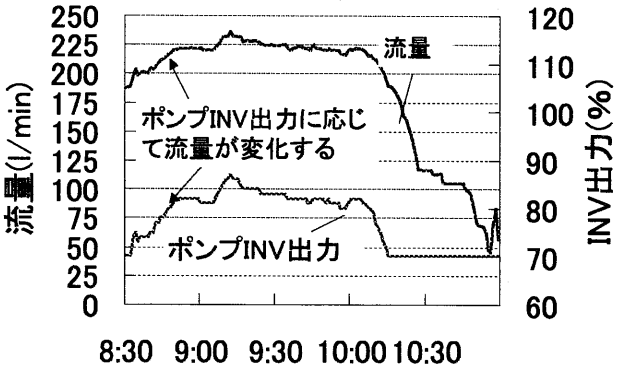
（1）負荷側送水温度とポンプインバーター制御

熱交換器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状況と、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こととが併せて確認された。熱交換器のポンプインバータ制御の不備では無いかと危惧されたので、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を行った。図-2によると、インバーターへの制御指令値は最大に達しており、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、それにも関わらず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-3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－2　INV出力と流量　対策前（2月6日）



図－3　INV出力と流量　対策後（2月20日）

このように、設備制御系の動作の不具合が実は納入機器の初期設定の問題である、と言う現象は前報におけるチラ-のリミット制御にも現れており、性能検証の果たすべき役割を示唆する。

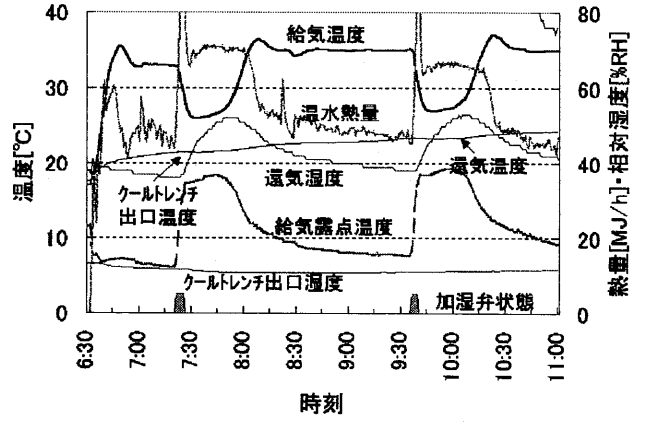
(2)熱交換器二次側還り温度確保

第二報における配管系統図から判るように、二次側ポンプは熱交換器循環ポンプと送水ポンプの直列運転となっており、その間に流量バランスのためのバイパス管がある．これはクローズド回路における常套手段であるが一次側が蓄熱系である場合はバイパスによる熱交換器で出入口温度の変化が蓄熱槽への大温度差還水を阻害する事となる。これが確認されたので連通管を全閉とし、直列の２台のポンプ回転数を連動として改善できたが未だ改善の余地を残している。

3.1　暖房時の給気温度性能

設計上の必要送風温度は30℃,冬季の負荷処理は床吹き出し系のみで空調機使用風量の約半分,さらに(設計変更により)将来のOA機器増設対応として低温送風を考慮し加湿の飽和効率を高める,等の条件で選ばれた気化式加湿による設計外気量取入れ運転制御状態を図-4に示す。加湿能力が30℃の送風条件

において明らかに加湿量過大,そのために大きな室内相対湿度の変動と加湿時の潜熱を賄い切れないための給気温度の低下が観察される。そのため、暫定的に調整不足であった加湿用給水弁を絞り込み加湿量を調整した結果、図-5に示すように一応は送風温度維持が可能となった。このときの温水弁の制御特性を図6に示す。これによれば加湿弁動作時の温水弁



図－4　加湿量対策前　空調機制御

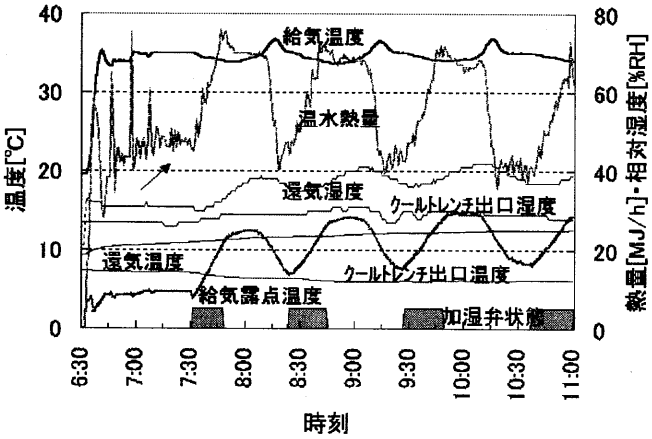
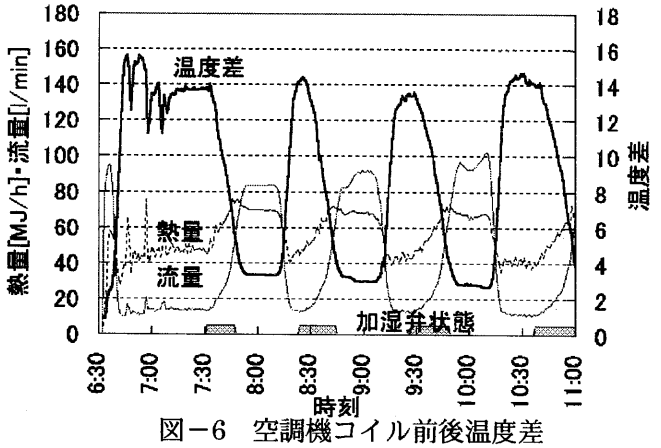


図-5　加湿量調整後　空調機制御



図－6　空調機コイル前後温度差

全開時にコイルで入口温度差が十分に確保できず、これは送水温度の最適化の問題との関係が有り、蓄熱槽の効率運転問題と絡めてなお検討の余地を残している。

また、今回の検証により、これまで評価の定まらなかった自然気化式加湿器の実際的な加湿特性が明らかになった。即ち、①同加湿器は加湿能力は小さいと言われるがそれは選定の問題である、②然し十分な加湿能力を持たせれば加湿オンオフ時の室内相対湿度変化は±10%前後の変動をきたす、③給水方式に特別の配慮を(複数弁を設置して多位置制御)しなければ±5%レベルの比例制御は不可能である、などである。

3.4 外気冷房とクールトレンチ

図-7 に温水モード時期における外気冷房運転モード実績を示す。室内温度制御・給気温度制御は適正範囲内となっており、外気冷房ダンパ制御は妥当と判断した。また、外気冷房時期は外気湿度が高くなっているので、全外気としても加湿能力が不足することも室内湿度が急激に下がることがないことも、図中の外気冷房～加湿＋暖房の切替時の現象から確認できる。但し、前項と同じく加湿時には給気温度が僅かながら変化し、それを検知してダンパ制御に大きな外乱を与えていることが判る。従って加湿オンオフが頻繁なときや給気温度制御の感度が敏感なときはダンパの大周期のハンチングが生じることになるが一般には実質的な障害にはならない。

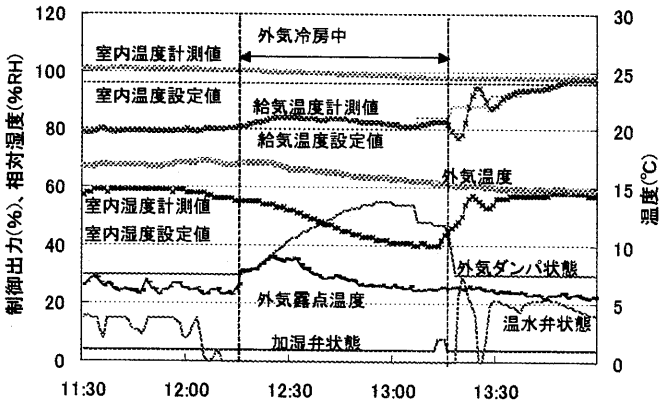
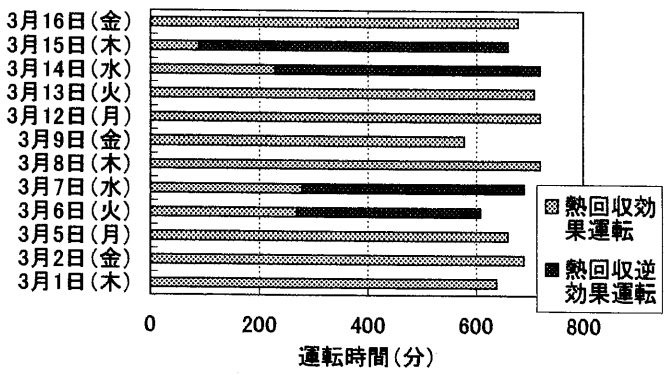


図-7 外気冷房状況

なお、本施設では外気導入時にクールトレンチを通過させ地中蓄熱冷熱の有効利用が図られている.その効果の検証結果の総括を図-8 に示す。



図－8　熱回収効果時間

図は空調運転時間中で、熱回収効果が発揮された時間の割合を示す。即ち、①ピーク負荷時は熱回収効果が発揮されている②温水モード中間期で外気温度が高いときにはでは逆効果になる、③同じく冷水モード中間期で外気温度が低いときは逆効果になるであろう、ということが検証できる。中間期のバイパス回路が考慮されていればより効果的であった。

4.BEMS 援用性能検証の評価と必要とする機能

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下記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てオンライン表示できる。
2) 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。
3) 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
4) 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、データ解析を行う上では、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。（制御フォルト検知の試みが第七報に示される）

3) シミュレーションツールの適用

今回は自社での試行のため、データ検証のために設定値や制御パラメータを変更し、居住環境へ影響を与える操作を行うこともできたが、通常はやはり居住者の環境が優先となる。今後、年間を通した性能検証を行う場合、設定値または制御パラメータによる挙動の違いや、制御項目の違いに応じたエネルギー・環境への影響などをシミュレーションできるツールが必要になろう。

4) 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。

5) 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。

5)に関しては、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

本報では暖房ピーク時・暖房モード中間期の事務室系統のデータ解析について述べた。暖房ピーク時・中間期の性能検証では、第五報の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、受け渡時だけでなく、年間を通した性能検証であることが改めて確認できた。本試行性能検証では今までの実施内容を生かして、引き続き冷房ピーク時の制御性の解析、エネルギーデータ解析、蓄熱システムなどの最適化制御アルゴリズムの開発・適用、実験室系統の性能検証、などを実施する予定である。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。

E－16　**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**
（第七報）　検証データとシミュレーションに基づくFDDの試み

学生会員　○松岡　一平（京都大学）
正会員　　廣岡正（山武ビルシステム（株））
正会員　　吉田　治典（京都大学）
特別会員　中原　信生（環境システック中原研究所）

1.　はじめに

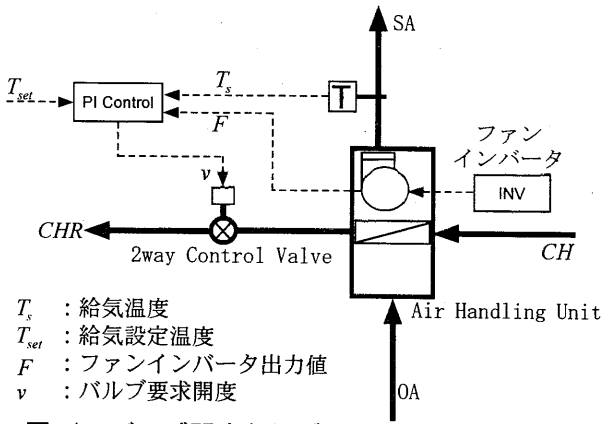
本報では、空調制御システムのコミッショニングにおいて、特に検証の困難な制御システムに焦点をあて、制御状態をシミュレートすることで、コミッショニングをアシストする手法を検討した。

2.　検証実験

実験はYBS社のオフィス（３F）で実施した。ここで採用されているVAVシステムは東西２系統ある。本研究は東側系統を研究対象とした。この系統には（インテリアに最大風量1330m³/hのVAVが2台、ペリメータに最大風量670m³/hのVAVが２台）合計４台のVAVがある。実験は３種類実施した。以下に各実験の概要を示す。

2.1.　冷房時のバルブ制御

供給風量をインバータによりステップ状に変化させて，冷水コイルの二方弁の給気温度制御が適正に作動するかどうかを検証する（図-1参照、ただし具体的な制御法は３章で説明する。以下同様）。



T_s　：給気温度
T_{set}　：給気設定温度
F　：ファンインバータ出力値
v　：バルブ要求開度

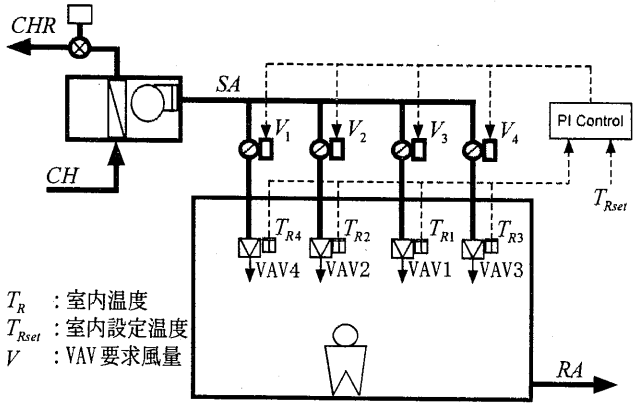
図-1　バルブ開度制御ブロックダイアグラム

2.2.　冷房時のVAV制御

VAVが受け持つ室内の設定温度を強制的にステップ状に変化させ、風量制御が適正に行われるかどうかを検証する（図-2参照）。

2.3.　外気冷房時のダンパ制御

外気温が十分低い時期に外気冷房モードで運転し、外気ダンパの給気温度制御が適正に作動するかどうかを検証する（図-3参照）。



T_R　：室内温度
T_{Rset}　：室内設定温度
V　：VAV要求風量

図-2　VAV要求風量制御ブロックダイアグラム

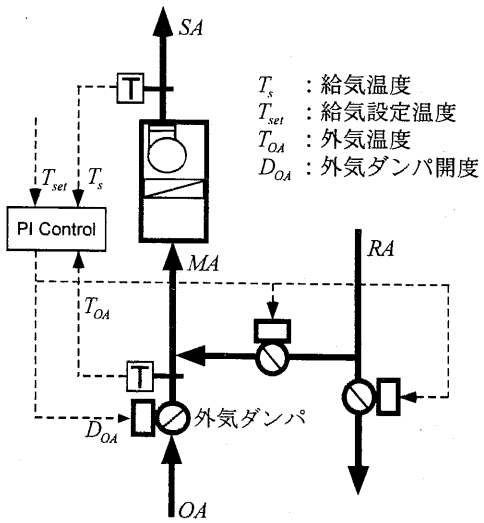


図-3　外気ダンパ開度制御ブロックダイアグラム

3.　シミュレーション支援による検証

以下に示す制御式のパラメータに設定値（設定値は引渡し時に実際に性能が発揮されるように設計値を調節・変更した値）を用いて、バルブ開度、VAV要求風量、ダンパ開度の制御状態をシミュレートした結果、実測値と相当異なった。そこで、本研究では、制御式のパラメータ値に不具合の原因があると推測し、制御対象のシミュレート結果と実測値の誤差の二乗和を目的関数Eとし、これを最小にする非線形最適化によって、パラメータ値を推定した。

$$E=\sum_{i=0}^{N}(X_{sim,i}-X_i)^2 \qquad (1)$$

$X_{sim,i}$　：シミュレーション値
X_i　：実測値

Study on Initial Commissioning Process for Actual HVAC System of a New Building
PART7.Study on FDD with Commissioning data and Simulation

Ippei Matsuoka et al.

i ：制御周期おきの時間を表す添え字
ただし、制御周期とは制御演算を行う時間間隔のことである。

3.1. 冷房時の冷水バルブ制御の検証

冷水バルブ開度の制御は，制御周期tが10secで、比例帯が給気ファンのインバータ出力値F[%]によって変化する速度形PI制御である。以下にバルブ開度の制御式と合計8個の推定すべきパラメータを示し、各パラメータにいかなる不具合を仮定したかを説明する。

$$Z = T_s - T_{set} \quad \text{ただし} \quad -L \le Z \le L \tag{2}$$

Z：偏差[℃]　T_s：給気温度[℃]　T_{set}：給気設定温度[℃]

パラメータの不具合として、(2)式の給気温度$\hat{T}_s$に誤差$T_{s,e}$[℃]があると仮定する。つまり$T_s = \hat{T}_s + T_{s,e}$となる。$Z$に比例して出力する操作信号を比例動作$P = KZ$ [%]という。ここでは、比例動作の変化分ΔP[%]が制御に用いられる。(VAV要求風量、外気ダンパ開度の制御も同じである)

$$\Delta P = K(Z - Z_{pre}) \tag{3}$$

Z_{pre}：t 秒前の偏差[℃]

$$K = \frac{100}{L} \tag{4}$$

K：比例動作係数[1/℃]　L：比例帯[℃]

$$L = \frac{L_{100} - L_0}{100} F + L_0 \tag{5}$$

L_0：$F = 0\%$ 時の比例帯[℃]　L_{100}：$F = 100\%$ 時の比例帯[℃]

パラメータの不具合として、(5)式のファンインバータ出力値$\hat{F}$に誤差F_e[%]があると仮定する、つまり$F = \hat{F} + F_e$となる。以下同様にL_{100}の設定値15℃に誤差$L_{100,e}$[℃]があると仮定し、$L_{100} = 15 + L_{100,e}$となる。L_0の設定値8℃に誤差$L_{0,e}$[℃]があると仮定し、$L_0 = 8 + L_{0,e}$となる。

$$G_Z = \begin{cases} L & \text{ただし } Z \ge L + g \\ Z - g & \text{ただし } g \le Z \le L + g \\ 0 & \text{ただし } 0 \le Z \le g \\ Z & \text{ただし } g - L \le Z \le 0 \\ -L & \text{ただし } Z \le g - L \end{cases} \tag{6}$$

G_Z：偏差ギャップ[℃]　g：偏差不感量[℃]

Zが0℃付近でのPI制御出力値のハンチングを防ぐため、G_Zを導入する。

パラメータの不具合として、(6)式の偏差不感量gの設定値0.2℃に誤差g_e[℃]があると仮定し、$g = 0.2 + g_e$となる。

Zを積分した値に比例して出力する操作信号値を積分動作$I = \frac{K}{T_i}\int Z dt$ [%]という。今回の実験で用いた積分動作は、Zを積分するのではなくG_Zを積分した積分動作の変化分ΔI[%]が制御に用いられる。(VAV要求風量、外気ダンパ開度の制御も同じである。)

$$\Delta I = \frac{Kt(G_Z + G_{Zpre})}{2T_i} \tag{7}$$

ΔI：積分動作の増加分[%]　T_i：積分時間[sec]
G_{Zpre}：t 秒前の偏差ギャップ[℃]

パラメータの不具合として、(7)式で、積分時間T_iの設定値180secに誤差$T_{i,e}$[sec]があると仮定し、$T_i = 180 + T_{i,e}$となる。また、制御運転スタート時（実験スタート時）は積分動作は0%となるが、実際はスタート時に誤差I_e[%]の値をとると仮定する。

PI制御出力値とバルブ開度とPI制御出力のスケジューリングを以下に示す。

$$\begin{aligned} U &= P + I \\ &= U_{pre} + \Delta P + \Delta I \quad \text{ただし } 0 \le U \le 100 \end{aligned} \tag{8}$$

U：PI制御出力値[%]　U_{pre}：t 秒前のPI制御出力[%]

$$v = \begin{cases} 7.5U & \text{ただし } 0 \le U \le 2 \\ 0.32U + 14.36 & \text{ただし } 2 \le U \le 30 \\ 1.09U - 8.57 & \text{ただし } 30 \le U \le 100 \end{cases} \tag{9}$$

v：バルブ開度出力値[%]

パラメータの不具合として、(9)式のPI制御出力値$\hat{U}$に誤差U_e[%]があると仮定、$U = \hat{U} + U_e$となる。

バルブ開度の制御状態をシミュレートした結果を図-4、変動的な値をとるパラメータI, T_s・・の平均値とその誤差I_e, $T_{s,e}$・・を表-1、一定の値をとるパラメータT_i，g・・の設定値とその誤差$T_{i,e}$, g_e・・を表-2に示す。ただし表-1の平均値は、全実験時間帯でのデータ値の総和をデータの総数で割った平均値である。

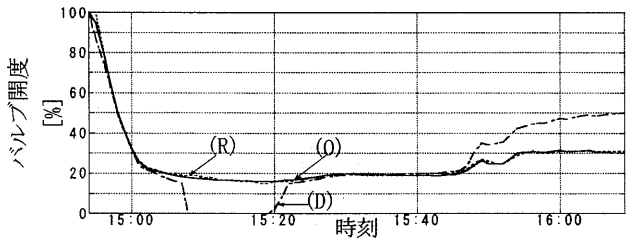


図-4　バルブ制御シミュレート結果

表-1　変動的な値をとるパラメータの平均値と誤差

	I	T_s	U	F
平均値	35.1	16.4	26.6	55.9
誤差(%)	-0.14(-0.4)	0.7(4.3)	4.85(1.8)	-0.3(-0.6)

表-2　一定の値をとるパラメータの設定値と誤差

	T_i	g	L_{100}	L_0
設定値	180	0.20	15.0	8.00
誤差(%)	20(11)	0.7(350)	1.74(11.6)	-3.0(-37.5)

図-4をみると、設定値を用いてシミュレートした結果（以後(D)と呼ぶ）は、時刻15:08～15:22で開度0%となっているが、実測値（以後(R)と呼ぶ）は15%程度の開度を示している。また(D)は時刻15:50以降、開度が30%から50%へと増加するが、(R)は30%台の値にとどまっている。不具合の原因と仮定した8個のパラメータに対する最適値を(1)式を用いて推定し、推定した値を基にシミュレートした結果（以後(O)と呼ぶ）は、(R)とよく合致している。これより、制御運転時に、設定値に誤差が生じていたことが推定できる。

表-1、表-2をみると、誤差が際立って大きいものがgであり、誤差の大きさは設定値の3.5倍に相当する。

3.2. 冷房時のVAV制御の検証

VAV要求風量の制御は比例帯Lが一定値1.5℃、制御周期tが2secの速度形PI制御である。以下にVAV風量の制御式と合計5個の推定すべきパラメータを示し、各パラメータにいかなる不具合を仮定したかを説明する。

$$L = 1.5 \tag{10}$$

パラメータの不具合として、(10)式の比例帯Lの設定値1.5℃に誤差L_e[℃]があると仮定する。つまり、$L = 1.5 + L_e$となる。

$$Z = T_R - T_{Rset} \tag{11}$$

T_R：室内温度[℃]　　T_{Rset}：室内設定温度[℃]

パラメータの不具合として、(11)式の室内温度$\hat{T}_R$に誤差$T_{R,e}$[℃]があると仮定し、$T_R = \hat{T}_R + T_{R,e}$となる。比例動作の変化分は(3)・(4)式、積分動作の変化分は(6)・(7)、PI制御出力値は(8)式と同じである。

他は、3.1.で仮定した不具合と同様に積分時間T_i，偏差不感量g，そして積分動作Iのスタート値に、誤差$T_{i,e}$，g_e，I_eがあると仮定する。要求風量とPI制御出力のスケジューリングを(12)式に示す。

$$V = \begin{cases} V_{\max} & \text{ただし } U \geq 100 \\ V_{\max} U & \text{ただし } 30 \leq U \leq 100 \\ 0.3 V_{\max} & \text{ただし } 0 \leq U \leq 30 \end{cases} \tag{12}$$

V：VAV要求風量[m³/h]　　$V_{\max}$：最大風量[m³/h]

各VAV風量の制御状態をシミュレートした結果を図-5～図-8、変動的な値をとるパラメータI，T_Rの平均値とその誤差I_e，$T_{R,e}$を表-3、一定の値をとるパラメータT_i，L，gの設定値とその誤差$T_{i,e}$，L_e，g_eを表-4に示すに示す。ただし表-3の平均値は、全実験時間帯でのデータ値の総和をデータの総数で割った平均値である。

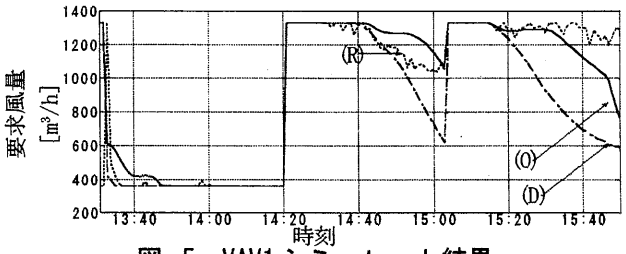


図-5　VAV1シミュレート結果

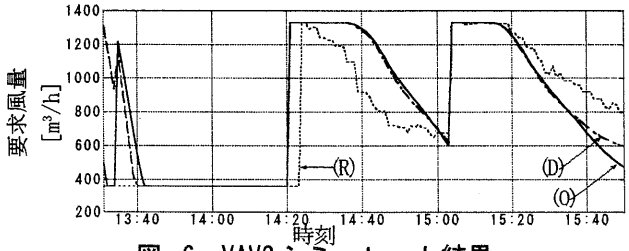


図-6　VAV2シミュレート結果

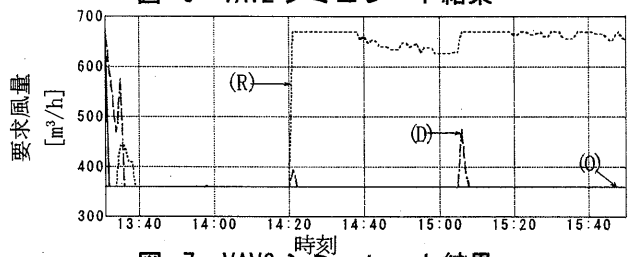


図-7　VAV3シミュレート結果

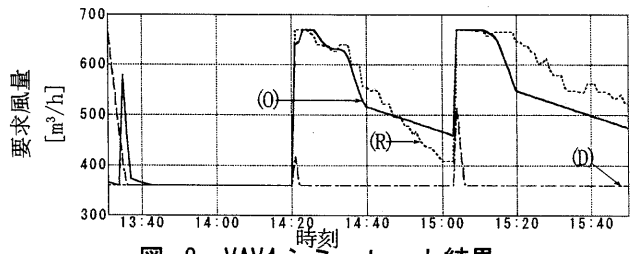


図-8　VAV4シミュレート結果

表-3　変動的な値をとるパラメータの平均値と誤差

	I	T_R
平均値	-414	22.8
誤差_VAV1(%)	0.1(0.02)	0.2(0.9)
誤差_VAV2(%)	-50(-12.1)	-0.08(-3.5)
誤差_VAV3(%)	0.3(0.07)	-0.4(-1.8)
誤差_VAV4(%)	-0.04(-0.01)	0(0)

表-4　一定の値をとるパラメータの平均値と誤差

	T_i	L	g
設定値	600	1.5	0.2
誤差_VAV1(%)	9(1.5)	-0.1(-6.7)	0.5(250)
誤差_VAV2(%)	-100(-16.7)	-1.1(-73)	0(0)
誤差_VAV3(%)	49(8.2)	1.5(100)	0(0)
誤差_VAV4(%)	0(0)	2.1(140)	0.15(75)

(R)と(D)を比較すると、VAV1(図-5)は時刻14:40～15:00と時刻15:15～15:50の二ヶ所の時間帯で(D)が1330m³/hから600m³/hに減少していくのに対し、(R)は減少していかない。他のVAVも同様に、数ヶ所の時間帯で、(R)が(D)と相当異なる結果と

なった。不具合の原因と仮定した5個のパラメータに対する最適値を(1)式を用いて推定し、推定した値を基にシミュレートした結果、図-5～図-8の(0)となる。

VAV要求風量制御のシミュレーションに用いたモデルは室内モデルから出力される室内温度を制御入力にするクローズドモデルであり、室内モデルの室内温度と実測の室内温度に誤差が生じるため、実測値と合致しなかった。

表-3、表-4をみると、各VAVごとに誤差が際立って大きいものは、VAV1はgであり、設定値の2.5倍に相当する。VAV2はIのスタート時の出力値であり、本来0%の値をとるべきだが-50%の値をとっている。VAV3はLであり、設定値と同じ値に相当するが、最適値を用いた結果(0)が実測値(R)にフィットしておらず、推定した誤差は、実際に起こり得た可能性が低いと思われる。VAV4もVAV3と同様にLであり、設定値の1.4倍に相当する。

3.3. 冷房時の外気ダンパ制御の検証

外気ダンパ開度の制御は，制御周期tが10secで、比例帯Lが外気温度で変化する速度形PI制御である。以下に外気ダンパ開度の制御式と合計8個の推定すべきパラメータを示し、各パラメータにいかなる不具合を仮定したかを説明する。

$$L=\begin{cases}4 & \text{ただし } T_{OA}\geq T_{OA1}\\ -1.78T_{OA}+46.7 & \text{ただし } T_{OA2}\leq T_{OA}\leq T_{OA1}\\ 20 & \text{ただし } T_{OA}\leq T_{OA2}\end{cases} \quad (13)$$

T_{OA}：外気温度[℃]

パラメータの不具合として、(13)式のT_{OA1}[℃]の設定値24℃に誤差$T_{OA1,e}$[℃]があると仮定する。つまり、$T_{OA1}=24+T_{OA1,e}$となる。同様に、T_{OA2}[℃]の設定値15℃に誤差$T_{OA2,e}$[℃]がある、つまり$T_{OA2}=15+T_{OA2,e}$となる。また、偏差は(2)式、偏差ギャップは(6)式、比例動作の変化分は(3)・(4)式、積分動作の変化分は(7)式、PI制御出力値は(8)式と同じである。また、ダンパ開度[%]はPI制御出力値と同じ値をとる。

他は、3.1.で仮定した不具合と同様に給気温度T_s，積分時間T_i，偏差不感量gそして積分動作Iのスタート時の値に誤差$T_{s,e}$、$T_{i,e}$、g_e、I_eがあると仮定する。

外気ダンパ開度の制御状態をシミュレートした結果を図-9、変動的な値をとるパラメータI、T_sの平均値とその誤差I_e、$T_{s,e}$を表-5、一定の値をとるパラメータT_i、g・・の設定値とその誤差$T_{i,e}$、g_e・・を表-6に示す。ただし表-5の平均値は、全実験時間帯でのデータ値の総和をデータの総数で割った平均値である。

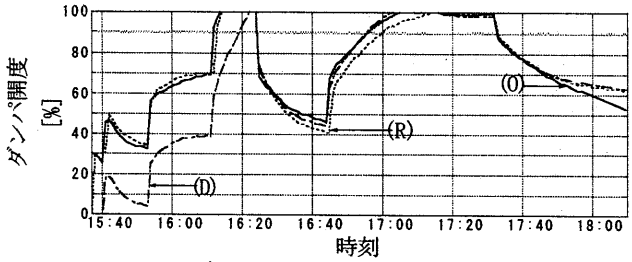


図-9 ダンパ開度シミュレート結果

表-5 変動的な値をとるパラメータの平均値と誤差

	I	T_s
平均値	49.5	22.2
誤差(%)	-0.6(-1.2)	2.9(13)

表-6 一定の値をとるパラメータの設定値と誤差

	T_i	g	T_{OA1}	T_{OA2}
設定値	180	0.2	24	15
誤差(%)	87(48)	1.1(550)	1.2(5)	-4(-26.7)

図-9をみると、時刻15:40～16:20にかけて、(R)は(D)よりも30%程上回る。不具合の原因と仮定した6個のパラメータに対する最適値を(1)式を用いて推定し、推定した値を基にシミュレートした結果(図-9中の(0))は、(R)とよく合致している。これより、制御運転時に設定値に誤差が生じていたことが推定できる。

表-5、表-6をみると、誤差が際立って大きいものがgであり、設定値の5.5倍に相当する。

4. 結論

空調システムの制御性能は、制御に用いられるパラメータがいかに適正かが大きく関係する。そこで、本報ではパラメータが適正に設定されているかどうかのコミッショニングにシミュレーションを利用する方法を示した。つまり、制御パラメータに不具合があると仮定してその真値を実測データから推定し、不適正と思われるパラメータを特定する試みを示した。

しかしながら、実際に本報で推定したようなパラメータ値の設定ミスがあるかどうかは検証していないので、今後、これを実験的に調べる予定である。

参考文献

1)Yoshida, H., Kumar, S., Morita, Y., :Online fault detection and diagnosis in VAV air handling unit by RARX modeling, Energy and Building 33 pp391～401, 2001

2)Haves, P., Dexter, A., Jorgensen, D., Salsbury, T., :Development and Testing of a Prototype Tool for HVAC Control System Commissioning, ASHRAE Tran, Vol102 Part1, 1996

E－17

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
(第八報) 性能検証(コミッショニング)の総括と提言

特別会員　○中原　信生 (環境システック中原研究処)

はじめに

本報は本連報の締めくくりとして性能検証(コミッショニング,以下の文中では Cx と略記)過程実施に関して何かに付け議論の対象となりやすい課題の要諦となるところを述べて締めくくるものとする.紙数の関係で定性的な表現に終始せざるを得ないことをご了承いただきたい.定量的な詰めは筆者の主宰する当学会のコミッショニング委員会や今年度から」発足した IEA-Annex 40 国内委員会などで検討を進めていくつもりである.なお,3.1 の教育・訓練に関しては玉置進氏のカリキュラム企画担当によるが、本報全般に亘って筆者の主張を色濃くにじませており、記述内容に関しては筆者が全責任を負う.

1.　企画・設計図書とコミッショニング文書

1.1 性能表示の課題

性能検証の基礎は発注者の要望に合致する設計図書(設計趣旨書・仕様書・運転操作説明書を含む)に記述された性能表示である.従来快適空調用の空調設備は人体生理心理の許容する範囲で有れば良い、と言う曖昧な暗黙の性能要求が支配しているがこれでは性能検証が出来ない.かといって一部の産業環境のようにリジッドな性能規定をしては徒らに紛争とコストを増大せしめるだけであろう.この点に十分に配慮した性能表示を確立せねばならない.

従って一般的な健康人(重症病人などを除く)対象の快適空調の,例えば温熱環境に関して言えば,筆者がつとに主張するように[1],制約条件付の体感温度指標によるべきである.同時にその分布を規定しなければ検証が出来ない.例えばタスク・アンビエント空調では少なくとも居住域が性能表示の対象であろうし,それもアンビエント条件とタスク条件とがある.平面的分布においても然り,厳密には制御用センサー位置における指標値,ということになりそうであるがそれでは分布はどうでも良いのかということになり,営々と積み上げてきた空調設計の本質を見誤る事になる.これは例えば空気分布設計を過度に CFD に頼ろうとするあり方と、それの裏返しとしてのラフな気流設計(室内機を適当にばら撒いたり,意匠設計の言うがままの吹出し口の位置・形状に甘んじたり)といった傾向のある最近の空調設計への警鐘ともなすべきで,性能記述のあり方が向後の設計技術の展開を支配しそうな予感がする.

1.2 企画・設計段階のコミッショニングの役割

さて歴史的に考察すると本来西欧文化の下に発達してきた建築家という職能は(領主・貴族のお抱え建築師という側面も有ったであろうが)発注者の要望に完全に沿ったものを設計し監理し検証して引き渡す事を約束されたものであろうと思う.ところが建築家がその芸術的センスを押し付けたり,これを甘んじて受ける(或いは任せっきりにする)ことが建築主の資格であるような誤解を強制したり,日本の現状のように有りもしない建築技術の総合的能力を持つとして作られた建築(設備を含む)設計の資格権限を駆使するが故に設備技術的には人任せになったり非合理を押し付けたりする.或いは欧米のように技術者資格が別体系に存在する一方,建築総合教育が不十分なために調和のある建物が出来ない.そして居住環境の複合多様化と設備技術の高度化に建築家が対応し切れない,設計料の圧迫,人材の払底,などの各種の要因が重なって建築家に期待された役割が果たされなくなった,建築家(設計家)に任せきりに出来なくなったという世界的現象を素直に認めなければ,重要な社会資本である建築物の低質化,エネルギーや環境排出物を極小化すべしという社会的要望,そしてそれがまさに建築主のために(意識的にもコストーライフサイクルー的にも)なる、と言う国際的共通認識が Cx の必要性を正当化するのである.

とすれば Cx に求められる役割は,発注者の要望を専門的言葉や数値に置き換えて設計家に伝える,一方では専門知識から来る制約を公平に判断して発注者に伝える、と言う仲介者の立場であり,両者に対して利益を齎す物で無ければならない.そしてその線に従って設計組織が妥当に構築され,妥当なツールを用いて妥当な設計期間で必要かつ十分な内容のある設計図書を作成する事を監督ないし助言(この二つの用語の意味の差は大きいが)することである.

今回の例で言えば,企画・設計期間と施工期間の配分のアンバランスは明らかでありながら,Cx の視点から見た時の設計図書の完成度に疑問が生じるところが無い訳ではなかった.これを施工段階から参入した Cx で事後的に検証するには如何に情報連絡網を徹底しても実態としてタイムフレーム的に追随し得ないところも多かった.例えば設計発注上の疑問を提示してメーカーに質問し回答が未着のうちに実物が出来てしまった,と言う事も一再ならず生じた.

Study on Initial Commissioning Process for Actual HVAC System of a New Building
PART 8. Discussions and Conclusions

空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 {2001.9.26~28 (京都)}

Nobuo NAKAHARA

1.3 運転・制御管理のためのドキュメント

性能表示と共に,本来設計者に求められるべきは設計対象を如何に使用すべき,空調の場合は如何に運転制御すべきかを保守管理者に引き継がなければ設計意図と異なる使われ方がしても仕方が無い.また,その事に対して一向に意にも介して居ないことが殆どである.実はその以前にもっと重要な事は年間性能(環境・エネルギーの)を保持し,運転管理に直結すべき自動制御・BEMS の設計を自らやっていないという公認の事実がある.そしてそれを復権する事が如何ににしても不可能であるかどうかをじっくり見極めねばならないが,事の実態は,Cx が設計職能とは別に必要とされるがごとく,自動制御・BEMS の設計を(詳細ではなく概念設計すら)空調設計者に依存する事を過度に期待すべきでないという認識に筆者もなりつつある.筆者が編集に携わった当学会出版されたBEMSの書物[2]においてはこの事情を踏まえて設計者の果たすべき範囲を規定しようと試みた.

すなわち,①設計趣旨書(発注者の設計意図文書を設計内容に併せて展開したもの),②各サブシステム自動制御の概念設計(それで見積もりは出来ないが制御コンセプトは把握でき制御設計専門家が詳細設計に展開可能である)及び③運転操作説明書が設計家の役割として作成するもの,②に関してはさらに受託業者の詳細展開が必要でこれを②'とすれば,①②'③が保守管理者のバイブル的存在となる(べきである).今回は発注者自体が制御・BEMS のメーカー・工事業者であり,設計図書に②'が記載されているがこれでは制御機能と設定条件,季節変動等への対応記述が不十分であり,さらにこれを展開した②"自動制御管理ドキュメントを Cx 作業の一部として作成した.ここに至って初めてこのドキュメントが施工段階,TAB,受渡し段階・受渡し後段階の Cx ならびに運転管理者に十分に活用されるに至るであろう.

1.4 情報連絡シートの役割

第一,第二報に述べたように,施工段階から入った本 Cx の最初の技術的作業は設計図の事後検証であった.検証に当たっては発生した疑問点を公知し,それに対する討議を関連者注視の下に行い変更の有無を含めて結論を出し,早急に施工チームに伝達する必要がある.これを齟齬無く行うためには先ず情報伝達の指令のルートの確立,設計家・Cx チーム・発注者の討論の場を提供(情報連絡シート),結論を施工チームに伝達(工事連絡書),検討案件の結末を追及整理(案件処理記録表,議事録や現場打合せ内容を含む)すると言う、四段階の体制を整備し有効に作用した.これに基づく発行シート枚数は竣工前 24 枚,竣工後 3 件,検討案件数は重複を含めて 400 を越えた.

2. 施工・TAB とコミッショニング

2.1 設計監理とコミッショニング

施工段階の Cx については第三報に記述されており,内容的には①施工図・承認図の承認過程,②メンテナビリティーのチェック,③施工状況の監査,④試験調整(TAB)作業の監査と確認が有る.②については本質的には設計段階で事前になされるべきであるが,施工進行に応じて発注者側との共同確認が必要である.本節では①③に焦点を当てる.

①③は本質的には(設計)監理者の役割であり業務と指示系統の重複を避けねばならない.現実的には監理者の手不足,また人間のする事であるから看視者の目が多ければ多いほど欠陥を予防する事ができるし,今回は設計の事後検証を行った関係で施工図も同時にチェックせねばならないという事態も数多く生じたし,非常駐の監理者に代わって Cx チームにも組み入れられているオーナー側代人と CA 代人との間で検討するという事態もまま生じたものの,本来的な役割分担は認識する必要がある.

それは第一に企画・設計段階の Cx と同じく,発注者の要望変更を如何に設計・施工チームの言葉で伝え,コストと技術問題をスムーズに解決していくか,が最も大きな役割であろう.第二に受渡し段階で Cx を行うための準備が設計仕様に従って間違いなく行われているかどうか(その準備設備－計測装置など－が十分であるかどうかについては設計段階で Cx しなければならない)を確認する事であろう.第三には設計・施工内容や機材の仕様に発注者の意図と異なるところが発見された場合の助言と解決への助力である.設計図どおり工事が行われているかどうかの確認・指示については飽くまで(設計)監理者の役割である.もちろん、Cx における巡回監督における発見事項は適切に処置すべき事は言うまでも無い.

2.2 TAB と機能性能試験

この両者の役割の相違については第四～第七報を熟読すればおのずから判明するものと思われるが,具体的に定義するのがなかなか困難である.機能性能試験(Functional Performance Test, FTP)[3]が Cx の役割とされるが FTP とは何か?それは居住空間の空気調和という最終機能を発揮するために各要素機器・サブシステムそしてトータルシステムが「調和」して動作し,その結果予定されたエネルギー消費の下に設計意図の目的環境を実現し得ることを確認する事であるといえよう.「調和して」の意味に動作の安定性,機器の耐久性の確保も入る.「目的環境」は年間を通して設計性能を満足する必要がある.「エネルギー」は運転の時点時点のものではあるがトータルには年間値,年間原単位で勝負される.然し年間値は瞬時値の集積であるから動的・静的な部分負荷特性が大きな役割を演じる事は言うまでも無い.「要素機器」が入るが故にこれは TAB と重複する所があるが,Cx においてはシステム動作の中で如何に調和して要素機器が性能を発揮するかに重点がおかれる.

以上によって TAB と FTP の役割分担の大方の姿が見える,その上で今一度四,五報を読み返していただきたい.初めての試みである事と人格は別でも同一人物が両方に関わっているという点で必ずしもすっ

きりしないかもしれないけれども.

3. 竣工・受け渡しとコミッショニング

3.1 教育・訓練

第三報で簡単に触れた保守監理者のための教育・訓練は 2 日を費やして行った. ここでは参考のためにカリキュラムを以下に紹介する.

(1) システムマニュアルの構成と保全管理
(2) 設計意図と設計内容 (設計趣意書)
(3) 運転操作概要 (運転操作説明書)
(4) 自動制御システムについて
(5) 試験調整 (TAB) 総括と竣工図書リスト
(6) コミッショニング経過と結果
(7) 保守管理上の各種指針・最適運転指針
(8) 質疑とまとめ

これまで保守管理に設計内容及び TAB 内容の説明は殆ど為されていない。今回の設計意図・内容・施工内容・機能試験内容・性能検証評価の一連の流れで説明した事は保守管理者にとつては大変有意義であつたとの報告も受けている。

3.2 システムマニュアルの集成

システムマニュアルとは ASHRAE[3] による定義であり, システム運転保守のためのすべての情報を集めた文書とされる. とすれば当然, 竣工図書や機器の運転操作説明書・性能検査書なども入ってくるが, これらはリストのみ掲げて別冊保管されることになる. 残念ながら本報執筆段階ですべての文書がまとまってはいないが予定目次は以下の通りである

1. はじめに
2. 設計趣旨に関するもの関連文書
2.1 発注企画要望書
2.2 設計趣意書
2.3 設計趣旨文書(最終版)
2.4 設計図書, 概要とリスト(本体は別冊)
2.5 竣工図書, 概要とリスト(本体は別冊)
2. システムの運転制御・保守管理に関するもの
2.1 空調・熱源設備操作説明書
2.2 自動制御管理ドキュメント
2.3 BEMS 操作説明書
2.4 空調機器納品文書リスト(本体は別冊)
2.5 自動制御・BEMS 納品文書リスト(本体は別冊)
2. 不具合対策指針
2.1 蓄熱システム
2.2 空調機周り
2.3 ＶＡＶ周り
2.4 空気分布・温度分布
2.5 外気取入れ・換気
2.6 主要連絡先リスト
3. 性能検証関連文書
3.1 性能検証計画書(最終版)
3.2 設計・施工情報連絡書
(1) 情報連絡シート
(2) 実施・決定・確認事項総括表
3.3 TAB(試験調整)確認文書
(1) TAB 実行記録文書リスト(本体は別冊)
(2) TAB 結果の考察と総括書
(3) TAB 確認結果報告書]
3.4 メンテナビリティーチェック結果報告書
4. 受渡し性能検証結果のまとめ
4.1 事務系統
(1) 竣工時点冷房運転(中間期, 冷房モード)
(2) 暖房ピーク時点
(3) 中間期(暖房モード)
(4) 冷房ピーク時点
4.2 実験系統
(1) 暖房ピーク時点
(2) 冷房ピーク時点
4.3 FDD 解析例
5. 結語
付録 ASHRAE Guideline によるシステムマニュアルの内容に関する記述

別冊
A. 当初設計図・仕様書(設計図中に記載されたものを含む)
B. 竣工図・竣工仕様書(竣工図中に記載されたものを含む)
C. 計算書(負荷計算書、エネルギー予測計算書
D. 自動制御・BEMS 納品文書(機器使用・取扱説明書・保守管要綱など)
E. 事務系統 TAB 実行記録文書
F. 実験系統 TAB 実行記録文書

3.3 受渡し後コミッショニングの必要性・位置付け

一言に言えば当学会の学会賞に応募する場合に 1 年間の実績追求が必要とされる, まさにその作業を行わねば空調設備の正当な機能を発揮できないし, 以後の保守期間を通しての定規となるべき初期性能が定まらないという事である. これは空調技術者の常識で無ければならないにも関わらず, 上記のようなインセンティブの存在, 或いは一部の不動産系オーナーのように厳しく要求する場合を除き, 殆ど全く行われず, 冷暖房に何らかのクレームがあったときにのみ対症療法が行われるに過ぎない. 第六, 七報に垣間見られるように, 受渡しに十分な検証作業を行ったときでさへ, 受渡し後の検証においても幾つかの重要な課題が発見されている. もしこの作業を行わなければどうなったものかとさへ思う. Cx と言わずとも, 発注者は須らく竣工後 1 年間の, 少なくとも継続 TAB を業者に要求し, 代りにそれに対する正当なコストを支払うべく契約する必要がある. しかしながらそれが真の目的を全うするか否かはまさに機能性能試験を継続する事によって確認されるのであり, 然るがゆえに受渡し後 Cx が必要なのである.

4. コミッショニングの周辺

4.1 BOFDD とコミッショニング

BOFD (ビル最適化と故障検知・診断) の前半 BO は後半 FDD の機器レベルとサブシステム最適制御レベルの健康な運転状況を前提にして始めて実現の資格があるもの, 指標はエネルギー原単位の極小化と環境満足度の極大化である. 「資格がある」との謂いは本来的に設計の質が規定する枠を越え得ないからであるが, 設計の改良を含めればそれもまた最適化の範囲であるとも言えよう.

Cx をライフサイクル視点で把握するときこれをライフサイクルコミッショニングと呼ぶ. そしてこれと BOFDD とは同一の体系の中に記述される[4] が, BOFDD, 特にその後半部の FDD はツールであり, Cx はプロセス・制度である. ツールは故障検知診断のみでなく, 負荷やエネルギー予測或いは制御として応用可能であるが, それが Cx のなかで体系化されるとき, ビル最適化のツールとも性能検証のツールともなる. 第七報でのシミュレーションをツールとした FDD を組み込んだことに Cx との関連を確かめ得る.

4.2 ESCO とレトロコミッショニング

これは何れも既設建物の性能向上に係るものであるが、ESCO の行う業務内容は結局レトロ Cx (以下 RCx とする) と同じベクトルを指向している事は確かで

ある.根本的な違いは RCx は報酬を支払われる職能であり,事業として定義される ESCO は利益追求の事業である.いま一つ,ESCO では環境性能は現状維持が制約条件なるが,BOFD/RCx では環境フォルトの改良も大きな役割である.これらの相違が結果に大きな影響を及ぼす事になる.ESCO 事業ではオーナーには何らの金銭的負担も無く完了後のある時点からはまるまるの利益が積み重なるが,RCx はオーナーが第一段階としては無償の費用を支払う.

誰が見ても ESCO の方が実行に伴う省エネ・省コストの実が挙がる故オーナーに有利であろう.RCx の結果,効果無しとなれば出費分だけ損になるからである.しかしこれには落とし穴がある.ESCO は評価の時点での最小コスト最大利益を上げる対象が優先され易いから,今すぐにドラスティックな省コストは実現しなくても長期的に重要性の高い対象を見逃しがちである.また,根本的に何が原因でどのようなオプションがあるか,といった点をライフサイクル視点で解明し判断を下す,というプロセスが欠け兼ねない.また検証に莫大な費用は掛けられないから効果検証の精粗にも大きな違いが出てくる.その故に ESCO 事業者にとってもオーナーにとってもリスクが伴う.前者には検証不足から来る実効不足,後者には公平な効果の監査が困難である事である.そこで ESCO では効果を明示し易い,照明器具の取替えや低効率機器の取り替えなどに焦点が行く事になる.

但し,仮にコストを気にせずに本質的視点から性能検証して提案をするものとすれば検証技術そのものは両者でかなり似通ったものになるはずである.

4.3 省エネルギー診断とコミッショニング

省エネルギー診断はESCOとRCxの中間的存在といえよう.実態として省エネルギー診断は,省エネルギーセンター等の無料の診断に依存するか,然らざれば改修工事に費用を含める事を前提で業者に無料で診断依頼をする.ここでは本格的診断ではない前者は検討の埒外に置こう(その意義は十分に認めるものの職能としての RCx とは,検証レベルからもコスト負担という点からも比較し得ない).従って後者の場合は性能の劣化がかなり明白で回収必須の状況下に業者に省エネルギー診断を依頼する,のが実態であろう.診断・検証技術の適用という意味でも中間的存在であり,オーナーの理念,普及効果,発注形態など種々のレベルと形があり得る.その最たるものでは研究と並行して行われ,むしろ報酬ベースの RCx よりも高度な技術が適用される事も有り得よう.

4.4 BEMS の役割ーコミッショニングツール

第五,六報に見られるように,本プロジェクトでは受渡し Cx,受渡し後 Cx に BEMS の活用が前提となっている.それは発注者の性格上,性能評価のためのツールとして通常よりかなり多く(第一報参照)センサーと計量器を取り付けているからである.一般には新築の建物といえども Cx に十分な計測が行われていないし,その精度情報も不明である事を考えると,BEMS 無しでも Cx が可能であるよう考慮せねばならない事も確かである.然しここでは立証しないけれども,無駄を排し実行のある BEMS 計画を施し,環境・エネルギー性能検証に必要な計測点を設置することは十分にペイするし,またそういう建物が評価されて何らかのインセンティブ(米国のエネルギースターなど)が与えられる時代に,そのような方向の社会制度が早急に整備されるべきである.Cx のための BEMS 計測・計量点の推奨は文献[2]に記されている.然し少なくとも年代の古い建築設備の Cx には搬入式の計量器によって行う方法論を確立せねばならない.次章の Annex40 の研究にはこれも含まれている.

5. 国際的動向

5.1 米国の動向

米国においては周知のASHRAE基準[3]があるが実態はさらに進んでいて,各種機関から実務的なコミッショニング実行指針(例えば PECI[5])がある.1994 年以来,NCBC と称する国内会議が毎年開催されており,2001年度は約350人が参加,日本からも筆者を団長とする25人の参加団が出席し交流を深めた.また GSA の提唱する Rebuild America による省エネルギー計画が進行し既設建物の RCx が増加している.

5.2 ヨーロッパ及び IEA の動向

ヨーロッパでは実務ベースでは日本と共に遅れをとっているが,英国は BSRIA/CIBSE による Cx コードがあり,TAB 寄りのガイドラインが整備されている.オランダでは品質保証の観点からのモデル(MQC)が作られてビルに適用しようとしている.IEA-ECBCS の Annex 研究活動では,Annex-16, 17, 25, 34 と続いてきた省エネルギーのための BEMS/BOFD の研究活動の最先端に Cx を位置付け,2001 年 4 月より,EU 以外では米国・カナダ・日本・韓国も参加して活動を開始した.研究内容は Cx プロセスの記述,BEMS 援用及び非援用の Cx 技術開発(非住宅・住宅対象),シミュレーションモデルの評価,デモンストレーションとなっており,成果が期待されている.ここでは性能発注/請負形態の将来的普及が一つの視点でもある.

おわりに

終わりに当たって本プロジェクトに誠意を持って参加・協力を賜った各位・各社(特に Cx を施工者の立場で最終的に受け止める立場にあった㈱三晃空調の現場担当の方々)に絶大な謝意を表する次第である.

文献

1) 中原信生:空気調和設備,新建築学体系 27 設備計画、彰国社,1982
2) 中原信生ほか編集:BEMS ビル管理システムービルの環境・エネルギー性能の最適化のために一、空気調和・衛生工学会,2001
3) ASHRAE Guideline 1-1996, HVAC Commissioning Process
4) 中原信生:コミッショニングによるライフサイクル性能検証-その概念,必要性とプロセスについて,BE 建築設備,No. 594, 2000. 9
5) **Model Commissioning Plan and Guide Specification, PCEI (Portland Energy Conservation, Inc.)**