

コミッショニング(性能検証)過程によるビル環境の高性能化

中原 信生
環境システック中原研究処
名古屋大学名誉教授

はじめに - コミッショニングNPO 設立趣旨から

「はじめに」に代えて、このたび設立したコミッショニングNPO(特定非営利活動法人)建築設備コミッショニング協会)の内閣府に届け出た設立趣旨が、コミッショニングの目的を要約しているので以下に書き出しておきたい。

「環境問題が深刻化する中で、室内外空気質や温熱感などの室内環境や省エネルギー性の確保には、空気調和設備を中心とする建築設備の設計・生産・維持保全を通じたライフサイクルに亘る品質確保が必要で、循環型社会への移行を目指す我が国における健全な社会的ストックの確保の上からも極めて重要な課題となってきている。この様な状況の中で、新築や改築する建物の建築生産過程における建築設備の品質確保には、建物オーナーをはじめとする建築関係者が持つ従来の曖昧性を許す慣行を排除し、各工程で文書化を行って環境品質とエネルギー性能とを的確に検証していくことが必要であり、そのためには建築設備の性能検証を行うことの社会的評価の確立が急務となりつつある。

性能検証(コミッショニング)とは、室内環境や省エネルギー性、ならびに建物の使い易さの観点から、建物使用者が求める要求性能を取りまとめ、設計・施工・竣工引渡し時の各過程をとおして、その性能実現のために建築関係者の判断・行為に対する助言・査閲・確認を行い、必要かつ十分なる文書化と機能性能試験とを実施して、受け渡される建築設備システムの適正な運転保守が可能な状態であることを検証することである。つまり、コミッショニングの実施により、室内環境の衛生的・健康的な快適性の保持を図りながら、必要とするするエネルギーおよび排出物質を最小限にして省エネルギー化と地域・地球環境保全に貢献すると共に、建物の使いやすさと保守性とを確保し、長寿命化への貢献を確実にすることが可能となる。

このような状況から、我々は住宅や一般建物におけるこうした性能検証を定着させて社会ストックとしての良質な建築設備の確保のために、建物使用者層、設

計者層、請負業層、維持管理技術者層への啓蒙普及活動とその規約や技術基準の実務的な確立、人材育成活動の実施、普及を目的とした非営利で活動する法人の必要性を感じるものである。建築設備の性能検証のための規定化についてはISOなどの世界的な流れもあり、我々は日本の建設過程における慣行をも十分に吟味し、日本独自の建築設備の性能化粧過程指針¹⁾などの諸文書をまとめてきた。ここに実施段階に入った建築設備の性能検証を行うための諸組織や諸団体を支援するために、これらの趣旨に賛同する市民をはじめ建築設備技術者や研究者、団体などによる非営利活動法人の設立を提案する。」

この最終段落において「我々は・諸文書¹⁾をまとめてきた」とあるところの実質作業は空気調和・衛生工学会(以下、空衛学会と呼ぶ)コミッショニング委員会であり、NPOはそれを引き継いで実務的資料の展開、人材育成、社会啓発等を責務とするものである。

コミッショニングとコミッショニング過程

Commissioningを英和辞書で引いても出てこないから動詞commission(任命する、委託する、注文する)の動名詞であろう。ここに「(軍艦を)就役させる」という意味があり、良く言われるようにコミッショニングの語源が造船業界にあったということを窺わせる。即ちこの意味ではビルをオーナー・運転管理者に引き渡すということに焦点が置かれる。しかし今日の当面の話題であるビルコミッショニングとは、引き渡す建物ないし設備が真に当初発注者が望んだ性能を有するかどうかを、生産過程全体を通じて行う性能規定と性能発現の推進・検証行為である、という風に拡張される。即ち、発注者の企画段階から参入しなければ引き渡し段階では既に遅すぎる、さらには引き渡した後も継続的に性能保持のための検証をしなければ最適運営は覚束ない、従ってコミッショニングは企画に始まってリニューアル或いは再建にいたるライフサイクルに亘る、という意味で、ライフサイクルコミッショニングを提唱する。そしてこのような全体像を制度的・技術的観点から捉えるときに、これをコミッショニング過程(commissioning process)と呼ぶことにより意味を把握しやすくなる。これにより、あるポイントにおいて実施される検査(inspection)や引渡し時に行われる検収に係る行為(receiving, acceptance, また inspection, verificationとも呼ばれる)とも意味が異なることが理解できよう。

コミッショニング(プロセス)と性能検証(過程)

そのような意味のコミッショニングを和訳するのもまた困難であったが、空衛学会では筆者の立案で「性能検証」という用語を当てはめ、それがポイントではなく継続的プロセスであることを認識させるために性能検証過程と呼ぶことにした。Commissioning が辞書に見当たらないのに反して「性能検証」は普通名詞であり、ほかの現象やプロセスにも用いられる。然し、とくに性能検証過程と称して定義づけを明確にしておけば、むしろどのような内容かイメージしやすいという思いが有つてのことである。また既設建物に適用するレトロコミッショニング(後述)のように当初の性能規定が不明確なものの性能をまさに「検証する」というときの適訳もある。逆説的には性能を定義するというニュアンスに欠けるので異論も生じ得る。

さて、コミッショニングがポイントではなく線で繋がるプロセスであると強調してきたが、性能検証という訳語だけでなく「コミッショニング」という用語も実は長年(特に英国において)試験調整的なニュアンスの強い性能検証業務を指していた。米国ではTAB(Testing, Adjusting and Balancing)と呼ぶ行為

であるが、建設慣行の違いがあるからまったく同じものではない(同様に日本で言うところの試験調整、試運転調整ともまた内容がかなり異なる)。さらに、新築ビルの場合はプロセスであることを明確に定義できるが、省エネルギー診断や室内環境衛生管理に関連の深い既設ビルの性能検証(レトロコミッショニング、復性能検証)の場合はどちらかといえば点的な要素が強い。

それでもコミッショニングという以上は、オーナーないし居住者が、真にどのような性能(環境・エネルギー等の便益性)の建物・室内環境を望んでいるか、という性能規定を明確にして、それに照らしての性能検証であるという視点が無ければならない。そのところが単なる省エネルギー診断やESCO事業や、また室内環境管理・エネルギー管理とも異なるところである。

コミッショニングプロセスのフェーズと種類

図1は当初コミッショニングの建物企画段階より受渡し後1年までのフェーズ・段階区分に、各段階の区切り事象と主要手続、コミッショニングの種類を書き加えたものである。「Cx」はコミッショニングの略号である。性能検証過程は発注者の企画フェーズ(program phase, pre-design phase)に始まり、設計

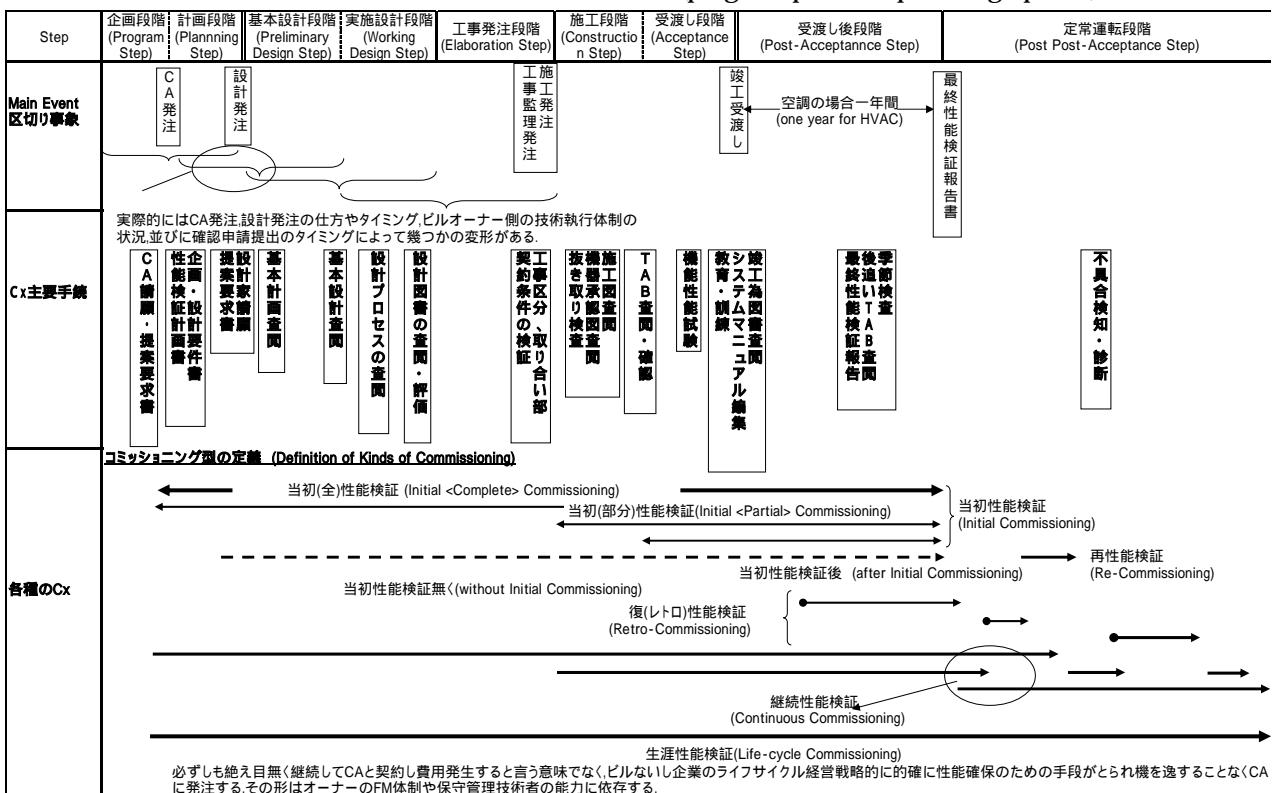


図1 当初コミッショニングのフェーズ・段階分類と区切り事象、主要手続 2)3)

フェーズ (design phase) , 工事発注フェーズ (elaboration phase) , 施工フェーズ (construction phase) より運転フェーズ (operation phase) に至るものであり , その間に節目となる性能検証責任者への業務委託 , 設計家への業務委託 , 請負業者との契約 , 建物・システムの受け渡し , 性能検証最終報告書の提出 (空気調和システムにあっては原則として四季の負荷状態を体験する竣工一年後) を区切りとして , 図 1 に示すような , 企画段階 (program step) , 計画段階 (planning step) , 基本設計段階 (preliminary design step) , 実施設計段階 (working design step) , 工事発注段階 (elaboration step) , 施工段階 (construction step) , 受け渡し段階 (acceptance step) , 受け渡し後段階 (post-acceptance step) 及び定常運転段階 (post post-acceptance step) に細分される。実施する性能検証過程の範囲は発注者と性能検証責任者 (CA, Commissioning Authority コミッショニングオーソリティーと呼び , CA と略記する) との契約に基づく。各フェーズ・段階において CA が為すべき主要業務・手続き・文書化を「Cx 主要手続」に示している。

性能検証過程はその対象とする建物・システムが新設であるか既設であるか , 単発的なものであるか継続性を持つものかによって , 図 1 に示すように , 初性能検証 (initial commissioning) , 再性能検証 (re-commissioning) , 復 (または復帰) 性能検証 (retro-commissioning) , 継続性能検証 (continuous commissioning) , 生涯 (またはライフサイクル) 性能検証 (life cycle commissioning) に区分する。

コミッショニング過程適用の便益

上述によってコミッショニングの実行は建物発注者にとって , 要求品質の確実な実現という大きなメリットがあることは想像されるであろう。然しそれが投資コスト面の制約があるとなかなか説得力が無いのも事実である。コミッショニングにかかる費用は設計・施工・運転保守管理における各関連者 (これをコミッショニング関連組織と呼ぶ) のコストダウンを引出せなければ意味がない。エネルギー性能に重点を置いた場合は当然運転コストが低下するが , 初期建設費が高価になると困るという意識は抜けきらないであろう。その場合 , コミッショニング関連組織の業務効率化によるコストダウンが発生しなければならない。それでは各関連者に対していかなるメリットがあるのだろうか。一言で申すならば後戻り行為の低減 , 責務の明確化に

よる無料奉仕サービス行為の低減に集約できよう。以下にそれについて記す³⁾。

発注者にとっての意義と便益

発注意図と要求性能を明確にする事により , 要求にマッチした品質の良い完成物を入手できる。また , 建物・システム情報の充実 , FMへの貢献 , ライフサイクルに亘る経済的なビル運営 , テナントの受ける満足感 (居住環境など) により不動産としての評価が高まり正当な賃貸料収入に反映するであろう。そして省エネルギー・地球環境への貢献についての評価と満足感を得られよう。

設計者にとっての意義と便益

発注者の要求がより明確化することにより , 設計者の役割・責任範囲が明確となり , 結果として設計品質が向上するであろう。設計家としての評価も高まり , 品質に相応しい正当な設計料を主張する素地ができる。またクレームの減少から信頼性も高まり設計保険制度普及への基盤も整備されるのではないか。CA 事業そのものへの事業展開の可能性も生まれる。

工事請負業者にとっての意義と便益

米国などでは一つの業界を構成するほどに重要視される試験調整作業の内容と範囲が明確化しそれを実行する事に対する正当なコストを見積書に計上でき , また工事中のトラブル , 完成後のクレームの減少 , 責任範囲の明確化が達成される。CA の仲介による発注者との意思疎通が向上し , 設計支援作業の位置付け , 受渡し手続きが極めて明確となる。ここでも CA 事業そのものへの事業展開の可能性を孕んでいる。

運転保守管理者にとっての意義と便益

まず工事への初期からの参加が推奨され (この場合は運転技術者と言うより発注者側の FM またはそれに準じるセクションの担当者であろう) , メンテナビリティ (保守性) のチェックが先行し , デザイン優先・保守性無視の従来の悪弊を断ち切り , 保守性・保守品質を大幅に向上することになる。このことは保守管理技術者登用条件の向上により優秀な技術者をこの分野に引き入れる呼び水にもなろう。訓練・教育プログラムの効果とシステムマニュアルと言う形での保守管理文書整備が徹底整備されて管理対象情報の把握と管理対象のシステム操作の原理が明らかになる。生産サイドからの設計趣旨 , 操作指針の着実な授受は受渡しシステム機能の高品質化に貢献する。請負業者による試運転調

整の貫徹，コミッショニングによる FPT(Functional Performance Testing 機能性能試験)の徹底，リコミッショニング・継続コミッショニングの実行による年間品質の明確化により環境・エネルギー性能のベースライン(後述)が確定し，以降の保守管理を容易にする。またプロセスを通して制御管理・故障検知診断技術の指導を得る事もできる。

環境衛生管理技術者の得る便益をここに含めるるとすると，次のようになろう。管理対象の環境要素がコミッショニングの対象になって工事が完了し性能検証されて受け渡された場合は，規定性能が法の定める基準を下回る割合は僅少となり，確実に性能が充足する確率が高まる。そして工事と検査の情報が着実に受け継がれ，また BEMS 上で環境データが確実に収集解析されていれば，統計的にも信頼性が高い。こうした場合，不具合を示す要素や場所に焦点を当てて診断修復させることができるのであるから，平均的な環境の質は格段に高いものとなる。

コミッショニングと室内環境

ビル衛生管理法に基づく環境基準値は，執務環境において長期暴露状態において保健衛生的に安全でかつほぼ快適な状態を規定している。然しそれが時間平均か空間平均か，或いは代表点における一点値で良いのかは明確ではない。一方，空調設備の設計条件としての温湿度条件を取ってみても同様で，制御用センサーの値なのか，時間平均か空間平均か，などといった議論は恒温恒湿室でない普通の建物の部屋の場合では絶えて議論はなされていない。これが何を意味するかというと，設計条件とは空調装置の容量を決定するための計算条件に過ぎず，実際の運転条件において目的とする空間が所定の温度に落ちているというとの保証は一切無いのである。しかるが故に単純なセントラル式定風量方式では空間の温度偏差が著しく，一方分散ビルマルチパッケージ方式で著しい冷ドラフトや空気質低下による不快感が日常的に発生している。

コミッショニングではまさにここを問題とする。温度を例にとると性能規定の仕方には例えば以下のオプションがあろう。

空調制御ゾーンの制御用センサーの設置位置の温度。即ち人がどこに居ようと，センサーが扉近くにあればそこの，或いは窓の近くにあればそこの値で良しとするもの。還気ダクトの温度を用いる場合も多い。従来の 90%以上はこれである。ここで一つの制御ゾー

ンを決定するためのヒントを与えなければ実居住空間の温度分布はどうなっているのかまったく予測がつかない。このような結果となることをまったく自覚せぬままに発注すれば安からう悪からうになり兼ねない，或いはコストに相応しいシステムとは成り得ない事が多いし，逆に性能を棚上げにしたコスト縮減が粗悪品を生み，なおかつその責任を誰にも転嫁できないという結果を得ることになる。

と同じであるが空調ゾーニングと制御センサー位置に要求を出す。例えば，「ペリメーターゾーンは柱型の内側で直射日光も冷気が直接当たることも無い位置とする。インテリアゾーンは冷風噴出し専用としてセンサーは天井取り付け，但しトロファー(照明組み合わせ噴出し口)からの噴出し気流が直接当たらない位置に設けたセンサーによる。」と規定すれば，多分インテリア空調は冷風噴出し専用の VAV 方式を採用することになるだろう。ペリメーター空調には FCU，パネルヒーター併用 或いはペリメタレス空調など，設計者の技量に応じたいいろいろの考案が為されるであろう。正当な要件を提出すればそれに相応しい設計が為され，そして予測不能な のような場合よりは初期コストは高価になるのは当然のことである。

と同じく制御ゾーンに関する要求を与えた上で，制御センサーではなく，制御ゾーンあたり居住域空間に一定個数設置した計測用センサーの平均値をもって評価用の性能値とする。この場合，設計者は当然このような良好な温度分布が要求室空間にて実現するような，適切なゾーニングと良好な空気分布方式を採用せねばならなくなる。冷ドラフトのきついビルマルチ方式の採用などは有り得ない。然しながらオーナーは に比してさらに初期コストは余計にかかることは覚悟せねばならない。

「各居住者個人のタスク域(定座位置の中心から半径 1m の空間の居住位置高さ(床 1.2m)において規定。但しこれは装置能力規定であって実現温度は居住者の好みに応じた温度で $ET^*26.5 \pm 1$ を実現可能とする。アンビエント域は居住域高さにおいてタスク域 ± 1.5 以内とする」といった規定をすれば，設計者は当然タスクアンビエント空調，或いはパーソナル空調を採用せねばならず，上記要件に見合った方式を考えねばならない。

このような要求条件(発注者要件書，Owner's Project Requirements，OPR と略称)を明確に示すことによって始めて性能検証が可能となる一方で性能とコ

ストの関係がオーナーに明確になっていき、予算に相応しい性能規定を作り上げて社会公正実現への大きなステップを踏み出すことができるようになる。そしてそれが着実に実現するためには、必然的に図1に示したような企画段階から竣工後1年間までの、生産過程から一部運転段階を含めた、プロセスとしてのコミッショニングが必要なことは容易に理解されるであろう。果たしてこのようなプロセスを適切な性能検証責任者或いはコミッショニングチームを得て実施した場合に、発注者・設計者・施工者・運転監理者の何れが不利を蒙るようなことがあろうか?そのようなことは起こり得ないはずである。

以上のこととは温度だけに限らない、湿度、或いは環境温度(体感温度、有効温度、PMVなど)、空気質(Indoor Air Quality、IAQ)など環境要素全般に通じることである。これを以てしてもビル環境衛生管理にコミッショニングが関連の深いことがよく理解されるであろう。

コミッショニングと省エネルギー管理

エネルギー性能もまたOPR文書の中に明記されるべき重要な要素である。わが国では設計期間の圧迫という外的要因 設計人材の不足ないし体系的教育・訓練の不足という内的要因のために、空調システムシミュレーションプログラムを動かして年間エネルギー計算を行い、設計内容のエネルギー性能の推定を行うことは極めて稀、というより、発注者との事前の談合によって何かの賞を得ることを最初からの目的としているとき以外、自発的に行われることは皆無といって良いのではないかと思われる。

米国では州にもよるが、省エネルギー性能を予め評価することが要求されるときにはDOE(エネルギー省)が主導して作成されたDOE-2が用いられ、その評価も行われてきたし評価用としてオーソライズされている。これに対しわが国では、わが国唯一の公的なシミュレーションプログラムであるHASP/ACSSが殆ど利用されないまま、従ってその内容を正当に評価されないままに20年経過したのである。これでは困るので、最近になって空衛学会のコミショニング委員会の活動の中で各種プログラムの国際的比較評価を行って学会等で発表⁴⁾した。もちろん、省エネルギー法の中で公用されるCEC計算用のBECSプログラムというのがあり、このプログラムは上記のACSSの発展系で本来の中身は極めて高度なものであるが、CEC計算用

に特定しているので任意の条件で計算することはできない。またこれを運転状況にて評価することもできない種類のものである(プログラムの性質ではなくCECの定義そのものによる制約である)。

エネルギー性能としては延床面積あたり年間一次エネルギー消費量(原単位)で与えるのが最もマクロな指標で、細部に修正用のパラメーターを導入すればOPR用の性能値として最小限設定可能なものである。勿論そういう目的のための標準原単位の体系を作らねばならないが、データはかなり多く整えられている。その他、建物の特性によっては用途ごとのエネルギー消費比率を制約したいこともあろう。一般事務所ビルでは空調用エネルギー消費原単位(1次エネルギー基準)は約50%と言われてきたが、最近のオフィスにおけるIT環境の進展と空調システムの省エネルギー化の普及によりコンセント負荷の割合が増大して空調用エネルギーの占める割合は40%以下に減ってきてはいる。さらに建物用途本来の目的によっては空調よりももっと重視したいものがあるであろう。一方、そのような建物は空調も必須条件と成ることが多いから結局のところ比率の傾向は多くは変わらないということも考えられる。要するにエネルギー性能規定の精度を上げ、検証が可能なようにするには、システムシミュレーションと実績とを用いて数多くのケーススタディーを行っておく必要がある。

ベースライン(環境・エネルギー)モデル

性能検証(コミッショニング)と唱える限りは完成物の性能(環境・エネルギー)がまさに発注者の期待通りに達成されていなければならない。それをいかに証明するかはなかなかの大問題である。取得時点においては当然、設計時のシミュレーションが性能の定規となる。然し施工中の設計変更ないし詳細設計の展開、竣工受け渡し時の性能検証結果、運転実績などが時には当初定規の補正項目となり時にはそれ自身が評価対象となる。施工中に一切の変更がなったとしてもコミッショニングデータ或いは実運転データは気象条件、室内実現温湿度、内部負荷など設計計算条件と異なる状態にあるから、それを設計条件に割り戻して比較評価せねばならない。こうしてシミュレーションに用いる基準計算条件、負荷計算や機器性能のパラメーターは当初コミッショニング期間中の要所において修正し再計算され、竣工引渡し時点においてエネルギー消費量予測のベースラインモデル(そのモデルに与条件を

入力すればエネルギー消費量が推測できる)が確立する。然しながらここに問題が三点存在する。

- 1) シミュレーションモデルの正確さ
- 2) 竣工直後の実績による評価をどう行うか
- 3) 竣工後の省エネルギー改修における省エネルギー効果の予測の方法

第一の問題はシミュレーションに含まれる要素機器、システムモデル、制御特性等のモデル化が実験・実証のプロセスを経て立証されていなければならない。HASP/ACSS や米国の代表的なプログラム DOE/2, BLAST などのいわゆる静的シミュレーションプログラム、動的特性を模擬できる TRNSYS, HVACSIM+ (及びその日本版である HVACSIM+(J)) の何れもそういう点から十分に実証されていると言う報告はないけれども、筆者らが行った比較計算⁴⁾では、入力条件が適切にシステムと制御、運転状態の実態を反映できるならば、何れもかなり似通った計算結果を示す、と言うことから、相対的には信頼性は高いと言えよう。

第二、第三の問題については、取得時に用いたシミュレーションに基づくベースラインモデルは、居住状態や建物パラメーターに実際値を入力せねばならないという点で活用が極めて困難である。新築時点においては要素機器モデルはほぼ確定しているので、困難ではあるが建物利用状態を詳細調査して入力すれば実績と計算との比較が出来ない事はない。保守状態が明らかでない既設建物の場合は機器やシステムの劣化による特性変化、さらに負荷計算用のパラメーターに至っては推定が極めて困難である。そこでシミュレーションに頼らず、実測可能な入力変数(気象データ、カレンダー、推測対象の実績値など)から数学的モデルを用い、対象建物・システムの特性を学習してベースラインモデルとすることによって、上記の入力変数を与えれば任意の月日時のエネルギー消費量が推測できる、という手法が実用的とされている。空衛学会で行った蓄熱システムのために熱負荷予測を対象とした予測モデルの開発コンペ⁵⁾と実証の成果は手法の精度に大いに期待をもたせた。ASHRAE が行ったエネルギー消費量そのものの推測のための予測モデルの推測コンペは負荷予測に較べればシステム雑音の影響が大きいので精度は落ちるが、少なくとも省エネルギー改修の効果予測においては、改修前後において一部の雑音は差引されるので有望な評価結果を与える、という報告がある。

以上はエネルギーモデルであるが、HVACSIM+等の

動的シミュレーションを用いれば環境や制御状態の評価も可能である。

当初コミッショニング過程の実施フロー

ここで当初コミッショニングの実施フローについて紹介しておこう。図1のフェーズ軸を縦に左端に並べ、次にCAの主要手続を縦に並べ、その後に右へ性能検証関連者と呼ばれる、発注者・設計者・工事監理者・工事請負者を順に並べて各者の役割分担、作成文書、情報交換のルートを簡略的に記載したのが図2⁶⁾である。ここではビル環境衛生管理に関連が深いと思われる計画段階と受渡し段階、受渡し後段階のプロセスの目的と作業概要について補足説明をする。

(1) 企画フェーズ計画段階

計画段階における性能検証過程の目的は、発注者が適切な設計家を選定することである。CAは、性能検証の枠組み確定と発注者が設計家を選定するための助言を行う。性能検証過程の枠組みは、CAが「企画書」と及び発注者へのヒアリングを基に、「性能検証計画書(計画段階)」に具体化する。この計画書はCAが委託された性能検証過程全てのフェーズにおける性能検証の骨格を明確にしたものであり、かつ、計画段階の記載事項は計画段階の性能検証過程の詳細版となっている。設計フェーズ以降は進捗状況に併せて更新することを前提とする。

設計家の選定のためには、そのプロジェクトに対する発注者の意図を設計家に伝達することが必要である。CAは、「企画書」と及び発注者へのヒアリングを基に、建物の使用条件、エネルギー性能と環境基準など設計に当たって必要とされる設備の基本性能条件を「設計要件書」としてまとめる。発注者は、「企画書」と「設計要件書」から「企画・設計要件書(OPR)」を作成し、これに設計提案を求める内容を付加して「設計提案要求書」にまとめ、設計家候補者から提出された「設計提案書」をCAからの助言を参考に評価して設計家の選定を行う。

(2) 施工フェーズ受渡し段階

受渡し段階における性能検証過程の目的は、工事完了時点において検証対象設備が適切に稼動し引渡しが可能であり、要求性能が確保されていることを機能性能試験によって確認すること、竣工引渡しに必要な関連図書の確認をすること、及び運転・保守管理要員の教育訓練である。この段階の終了後、建物が発注者に引き

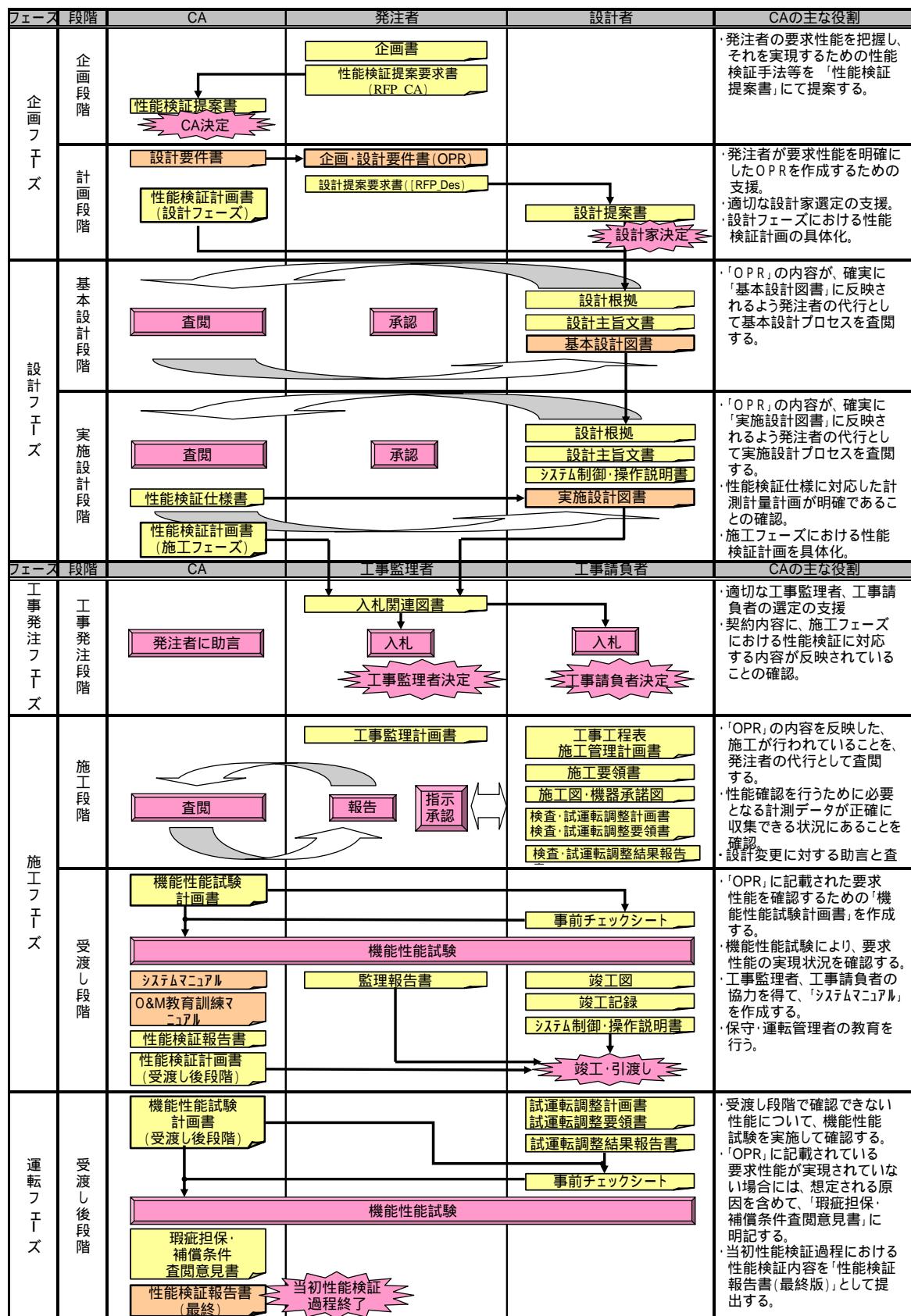


図2 当初コミッショニング過程の枠組み⁶⁾

渡されることになるが、この時点で設計性能に満たない場合は、CAを中心に関連者相互で協力して問題の解決にあたる必要があり、ここでCAには第三者として公平な判断をすることが求められている。

(3) 運転フェーズ受渡し後段階

空調設備においては年間を通してのシステム性能が重要であり、この段階無しには全体のシステム性能が検証されたとは言い得ない。とくにエネルギー性能は一年間を経なければ評価対象になり得ない。受渡し後段階における性能検証過程の目的は、季節条件等の要因によって受渡し段階で確認できなかった性能と建物が運用されてからある一定の期間経過した状況で所要性能を満足していることを確認することである。

性能検証業務では、竣工時点で確認されたデータとその後1年間の建物の空調システム運転状況を詳細に検討し、不具合があれば速やかに解消するなど、最適運転に向けて必要な手段を講じなければならない。保証及び準備予算外の大規模な改修が必要な場合や、季節的に休止して改修が行われ得ない場合、納期が長いものなど、この段階中に解決出来ないものは最終性能検証報告書の中に繰越課題を明記し、対策案を付して記述し、後日に備える必要がある。

性能検証責任者(CA)と当初コミッショニングの組織

空衛学会で制定した性能検証指針の中で CA については以下のように説明を施している。

性能検証責任者(CA)は新しい職能として定義され、性能検証過程を実行するために発注者から直接に雇用されて、その有する技術水準ならびに管理能力に関して然るべく認知された資格を有する個人、企業または機関であって、当該工事に関して第三者であるもの。わが国においては本制度が公的に確立するまでは建築士法による建築設備士資格者(建築設備士)またはこれと同等と認定された資格と経験を有し、さらに関連部門の技術士の資格を有する者が望ましく、性能検証責任者として社会的に認知され得るに相応しい経験の持主でなければならない。当初性能検証における性能検証責任者は第三者性を確保するために、当該工事の設計者及び工事請負者からは選ばれない。ただし、再性能検証、復性能検証にあってはその限りではない。発注者が性能検証責任者に対しては期待するのは、発注者が求める性能を実現するために建設プロセスを発注者の身になってチェックすることである。この点、設計候補者の提案コンセプトを評価する設計コンペ・プ

ロポーザルとは異なる。したがって性能検証責任者選定時の重要チェック事項は性能検証責任者の経験・実績、建設プロセスの確認手法の合理性及び関連者からの信頼を得る倫理感である。

性能検証責任者の基本的な役割は以下のとおりである。ここに、当初性能検証におけるコミッショニングチームの組織体制の例(企画フェーズ、施工フェーズ及び運転フェーズ)を示す図3～図5⁷⁾⁸⁾を参照されたい。

- 1) 性能検証チームを組織し、指揮する。
 - 2) 性能検証計画書を作成する。
 - 3) 性能検証会議を主催し、会議記録を迅速に作成・配布する。
 - 4) 企画・設計・施工・受渡し各段階の性能検証業務を推進する。それぞれの詳細は指針内にて述べられている。
 - 5) 竣工受渡し(検収)時の試験及び試運転調整結果の

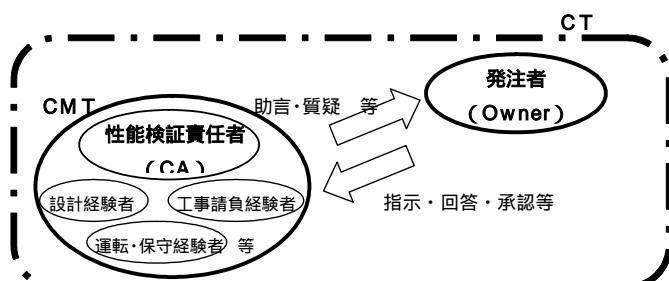


図3 企画フェーズのコミュニケーション組織

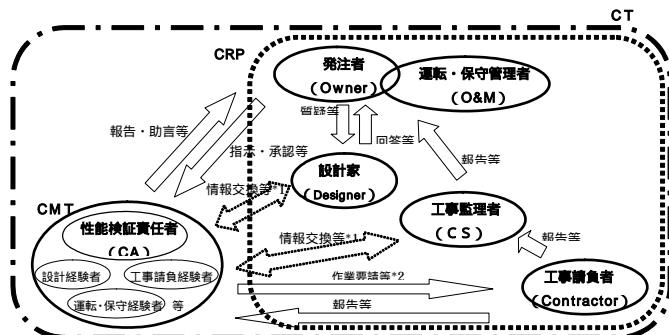


図4 施工フェーズのコミッショニング組織

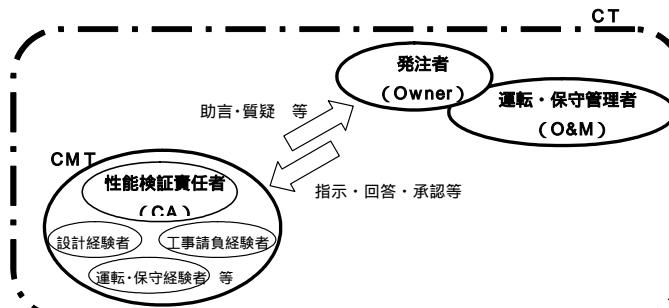


図5 運転フェーズのコミッショニング組織

確認を行い、機能性能試験の実行を指揮し、これを総括する。

- 6) 運転・保守管理者の教育訓練計画を立案し実行する。
- 7) 受渡し後段階の機能性能試験を指揮し、性能評価を確定する。
- 8) 過程報告書およびシステムマニュアルをまとめて発注者に提出する。

ここに、CTはコミッショニングチームを、CMTはコミッショニング管理チームを意味する。

Yビルのコミッショニングプロセスの経験から

(1) オーナーの期待⁹⁾

Yビルの計画において、建築主が期待した主たる機能・性能は以下の通りである。このビルは空調制御の施工者・メーカーである建築主の技術センターであり、ビル内に実験室を含むほか、事務室空間自体も研究の対象とする意図が含まれている。

省エネルギー、省資源の徹底

オフィス各階で異なる空調方式をとる。

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。

設備の維持保全条件を考慮した設計・施工。

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となり、また、それに対して短工期の計画であつたため、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。折から筆者は空調学会のコミッショニング委員会にて指針作りをしていた最中であり、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同ビルの建設責任者に提案し、以前から性能検証に興味を抱きかつ上述の要望を抱いていた同社の採用するところとなった。これがわが国で最初のケーススタディーとなった。

(2) 建築と空調設備概要⁹⁾¹⁰⁾

建築規模等は以下の通り。

構造 : 鉄骨造 鉄骨プレース構造

階数 : 地上 4 階

建築面積 : 702.67 m²

延床面積 : 1695.75 m²

用途 : 事務室および研究施設(図 7 参照)

竣工 : 2000 年 9 月 14 日

コミッショニングの主対象となった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された(図6 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8、図9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)。オフィス系統の熱源設備(図10)は空冷ヒートポンプチラーと水蓄熱槽(配管誘導式 図11,12 参照)で構成し、冷温水をオフィ

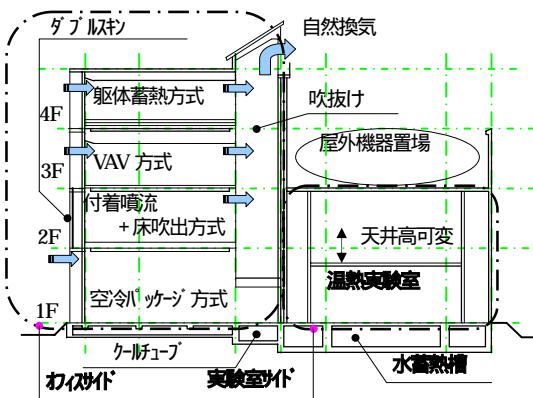


図6 コミッショニング対象建物断面図

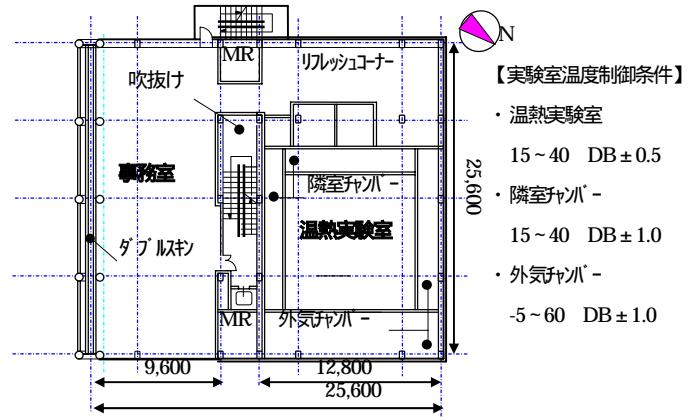


図7 コミッショニング対象建物平面図

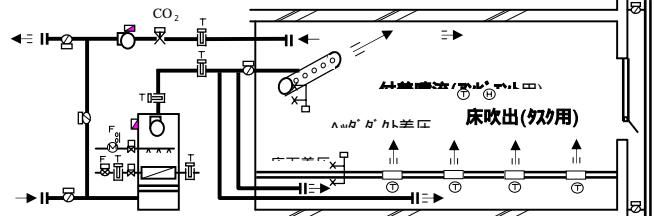


図8 2階 空調設備フローと計測ポイント

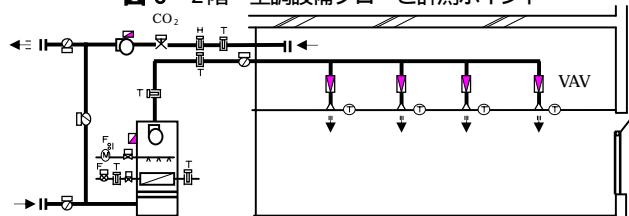


図9 3階 空調設備フローと計測ポイント

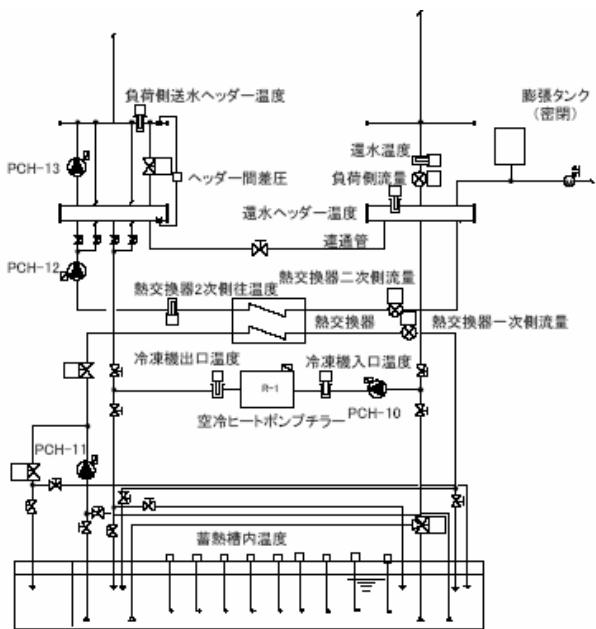


図-10 オフィス系統熱源系統図

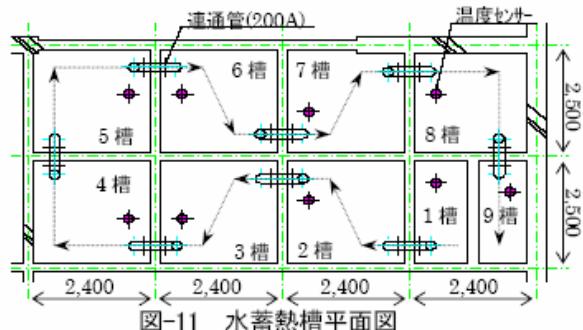


図-11 水蓄熱槽平面図



図-12 水蓄熱槽断面図

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運転が可能な配管系統としている。(実験室系統については説明を省略)。システムについての詳細な説明はここでは省略する。

(3) コミッショニング組織⁹⁾

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管理チームメンバーの大半を空衛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この条件を満たしている。各々の責任分担を明確に定義することによって確実な検証

作業が実施されるように計画された。図 13 はコミッショニング組織を示す。ここに CA は筆者が勤めた。

(4) 当初コミッショニングの経過概要⁹⁾

図 14 はコミッショニング業務遂行、キーとなるイベントと文書化等の経過の概要を示す。図 1、図 2 と対照して見られるとよい。この間、情報交換・意思確認とマネージメントのための性能検証会議は 17 回、現場会議への陪席が十数回行われ、極短工期の工事におけるコミッショニング過程を恙無く終えた、と言いたいところであるが、企画フェーズにコミッショニングが入っていなかったことによって性能規定が不十分であったこと、また試運転調整・機能性能試験を明確に位置づけた工期設定が為されていなかったことにより、これらの業務が竣工・入居後にずれ込んだ。また設計フェーズにコミッショニングが行われなかつたことによって運転制御管理への見通しが十分でなく、設計の事後コミッショニングの指摘では時既に遅しとする場面がしばしば起こった。オーナー自身が制御の具体的設計者であり施工者であり運転管理者であるという事実にもかかわらず、である。もちろんここには技術コンサルの側面と営業・経営的側面との避けられない非整合が存在していることも確かである。

(5) 竣工後機能性能試験による加湿不具合の一例¹⁰⁾

受渡し時及び受渡し後の機能性能試験の中からビル環境衛生技術者に興味のありそうな課題を拾い上げてみよう。それは温湿度制御に関するものである。図 8 の 2 階空調機系統に関するもので、冬季の加湿量過大の為に空調機からの吹出し温度が設定値に達せず大幅に低下するという現象である。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化水式加湿による設計外気量取入れ運転制御状態を図-15 に示す。加湿弁が開いたとき、明らかに加湿量が過大で室内相対湿度が大きく変動し、また水加湿時の蒸発潜熱を貯い切れないための給気温度の異常低下が観察される。幸い室温には大きく影響していない。対策として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-16 に示すように加湿量が減って弁の開閉時間が長くなり、送風温度維持が可能となった。また、今回の検証により、これまで評価の定まらなかつた自然化水式加湿器の実際的な加湿特性が明らかになった。即ち、

Before March	企画・設計・見積もり・入札・工事契約 Feb.7 : 着工
March	Mid. March: コミッショニング業務委託 現場及び設計図書の視察 コミッショニングチームの組織化
April	コミッショニング過程中の文書伝達方式と書式、役割分担の決定 初期性能検証仕様書の作成
May	事後検証過程 発注企画書、設計主旨、設計趣旨書b、設計図書、性能表記等のコミッショニング
June	機器仕様書・制御方式・コミッショニング過程の文書化・工事工程・問題点に関する詳細討議
July	TABとコミッショニングの役割分担と方法に関する、機器工場試験立会いの検討 自動制御設計図書・管理文書についての討議と立案、受渡しコミッショニングの方法とチェックリスト計画
August	受渡しコミッショニング内容と日程立案、システムマニュアルの原案提出 性能検証仕様書改訂、工事とTAB遅れによるコミッショニング日程調整 TAB項目と日程の承認、メンテナビリティチェック表の立案
September	コミッショニング日程再調整、機能性能試験詳細検討 教育訓練計画立案 Sept. 14 : 竣工引渡し手続き Sept. 15-18 入居開始
October	事務室系統のTAB(請負業者) 事務室系統TAB確認
November	事務室系統機能性能試験(受渡しコミッショニング) 請負業者による補修とTABの再実行 実験室系統のTAB(請負業者)
December	実験室系統TABの確認 実験室系統機能性能試験(受渡しコミッショニング) システムマニュアルの仮渡し
January 2001	システムマニュアルの仮渡し 教育・訓練の実施 冬ビーグル時期のリコミッショニング
Spring	中間期のリコミッショニング
August	夏ビーグル時期のリコミッショニング 性能検証文書の最終提出
October1	性能検証委託業務の完了

図 14 Y ビルの当初コミッショニング過程の経過概要

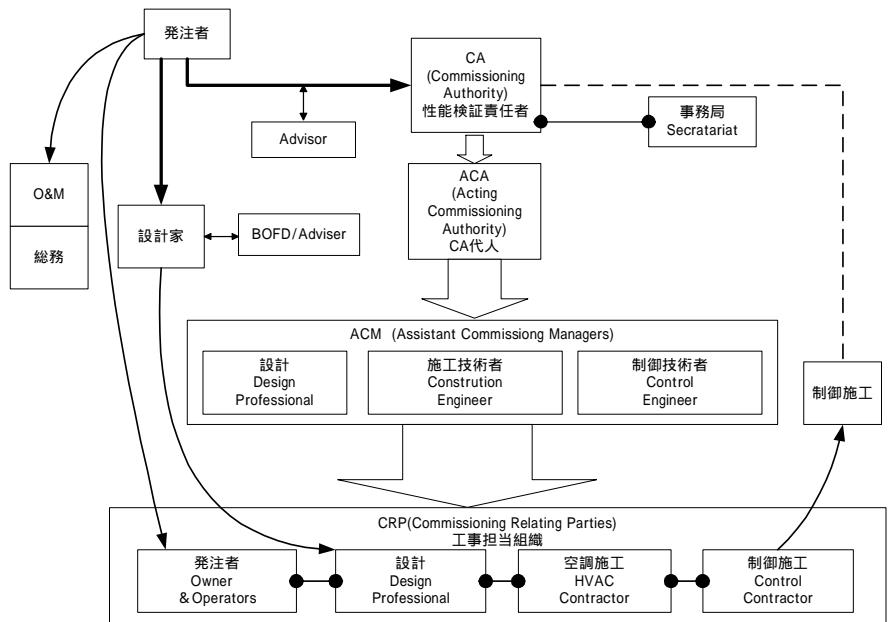


図 13 Y ビルの当初コミッショニング組織

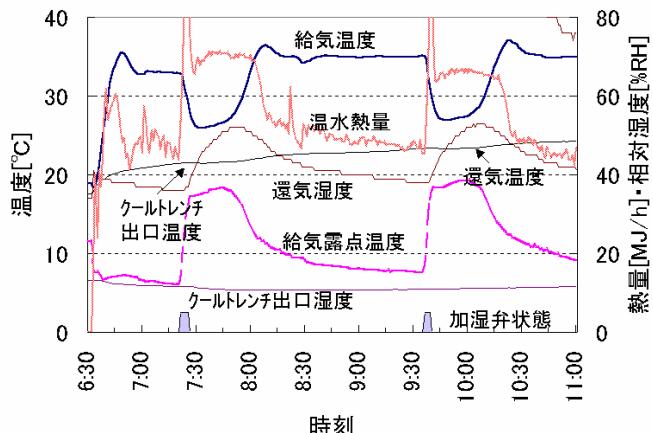


図-15 加湿量対策前 空調機制御

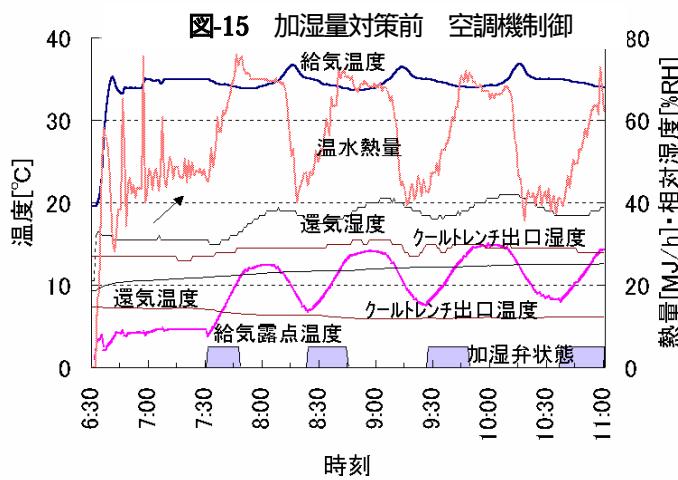


図-16 加湿量調整後 空調機制御

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。

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。

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。などである。

秋期に竣工して引渡しされたこのような建物に竣工後の季節性能検証がなされなければ、冬季や夏季における、さらには中間期においても温水蓄熱と冷水蓄熱の両時期に対し、また外気冷房時の状況などの観察がなければ不具合現象は見逃され、環境並びに省エネルギー上の問題を残したまま運転管理者に引き継がれ、問題解決が図られず仕舞いになるケースが多く、環境管理上の問題となる。

(6) 継続性能検証の実施¹²⁾

継続性能検証(Continuous Cx, on-going Cx, CCx)はビル環境衛生管理に深い関係のあるところである。これは既設ビルの最適環境・エネルギー管理に関する

ものだからである。空衛学会コミッショニング委員会で策定した性能検証指針では継続性能検証を以下のように定義付けている。「システムの重大な性能低下や異常が進行する前に、当初性能検証や復性能検証の後に、システム性能の維持や改善、最適化を目的に継続的に行われる性能検証過程である。継続性能検証と繰り返される再性能検証との大きな違いは、再性能検証が元來のビル性能を参照するのに対して、継続性能検証は性能の最適化に重点を置いている点である。継続性能検証過程は、運用上の問題を解決し、快適性を改善し、エネルギー消費を最適化して、必要であれば改修を提案するための、現在進行形の性能検証過程である。」

この意味におけるCCxは当初の設計意図には必ずしもこだわらずビル・システム使用の現状分析の下に最適運転をを目指すものである。しかしYビルのケースのように当初性能検証に引き続いて行われる継続性能検証においては、まずは設計趣旨の実現を第一眼目とし、その上で実際のシステム性能や使われ方の同定した上で、省エネルギーと最適環境のための最適運転方策を確立すると共にシステムの改良を続けていく、というのが本筋となる。そうでなければ一体設計とは何ぞや?という疑問が生じることになる。言い換えれば、設計趣旨が少なくとも竣工後数年以上はまさしくそのビルの目指すところであるような設計をせねばならないということでもある。

次に継続性能検証を過程として認識し、当初工事の責任範囲の中には含まれて居ないと認識する以上は、そこに第三者による有料の検証サービス過程が無ければならない。同様の効果を上げる内容が例えば引き続く工事を餌にした施主の強要によったり、学会賞等の表彰を目指して設計施工業者が自主的に費用を負担して行ったり、或いは建物所有者と運転管理者の努力範囲で実行されることがあるのも事実であり、必ずしもそれを排除せねばならないものではない。そういう意味では本建物の場合は、建物とシステム自体が研究目的を兼ねていることもあって、建物使用者(居住者)の研究目的を兼ねた継続性能検証研究チームとそれを統括するCAにあたる筆者がアドバイザーとしてサービスを行った。従って完全に第三者で実施するCCxの場合とは異なって検証・研究対象の興味と重要性に応じてテーマが選択され、全体としての性能検証はエネルギー消費量にサムアップされるということとなった。

表1に上記の意味において取り上げられた継続性能検証課題とその研究ないし解決の現況を示す。この中

表1 繼続コミュニケーションのテーマ

No.	項目	内容	実施項目	残件
(1)	VAVシステムの給気温度設定方式改善	ロードリセット制御による給気温度設定のふらつきの改善	投票式制御を投入し、データ計測を実施した。	データ整理未実施。
(2)	2階空調方式の最適運転制御	・床吹き空調システムの暖房時コールドドラフト ・省エネルギーのための、運用方法変更検討	床吹き出しについては、ダクトの吹き出し位置・床の断熱性能に問題があることを指摘。また、夏期において、付着噴流のみ・床吹きのみの運転を実施し、その快適性・省エネ性を確認した。	報告書による建物管理者への運用変更・設備改造提案
(3)	R1性能確認	夏期ピーク時に設置周辺の日射による温度上昇でR-1が設計仕様を発揮できない。	周辺環境の外気の影響を確認し、改善対策を試行。	報告書による建物管理者への対策提案。また、効果の再確認が必要。
(4)	R1のCOP改善	コンプレッサのINV化	冷房時のINV運転は有効であることを確認。	報告書による建物管理者への装置運用提案
(5)	暖房時の蓄熱槽温度プロフィール不適切の改善	暖房放熱時に始端槽の温度と次槽の温度関係が逆転することの改善	蓄熱槽配管に問題があると推測し、改善工事を実施、ある程度の改善は確認できた。	なし
(6)	熱交換器まわりの改善	負荷側ヘッダー間バイパスによるエネルギーロス、二次側送水温度・蓄熱槽還水温度が不満足であることの改善	定流量バイパス弁を設置し、制御を変更することで対応	PCH13吐出圧ゲージの交換(最大圧を今より大きくする)INV下限値設定変更のための調整とその効果の確認
(7)	エネルギー消費量と効率分析	建物全体のエネルギー消費の変動と原因分析	2002年度のデータで確認。詳細報告未着手。	2004年度としては、建物全体のエネルギー消費傾向についての報告を作成予定。
(8)	風量計測方法の改善	環境維持のために、外気導入量の計測手法を確立する必要がある。	風速計測手法についての議論があった。議論の経過について報告する。	なし

表2 2階空調システム検証活動と検証結果の概要

活動時期	実施項目	検証結果	現状課題や対策など
2000年12月	BAnetからの問題発見とBEMSデータの解析	2台エアハン送風温度の違いによって床フリーアクセス内及び部屋内の温度分布が生じた。	床吹出口温度のばらつきはあるかを確認必要
2001年02月	暖房時床吹出口温度分布の検証及び室内温熱環境のアンケート調査	床吹出口温度のばらつきや及びそれによる室内温度の分布があることを確認し、また、ドラフト感は2割弱であることが分かった。	冷房時同様の問題はあるかを把握、その原因を解明
2002年08月	冷房期床吹出のみ及び床吹出+付着噴流を運転した場合の各吹出温度・風量分布の検証	吹出口温度のばらつきが確認され、また床吹出口シャッターの開閉がフリーの場合では風量のばらつきは大きい、シャッターが全開の場合では風量はほぼ均一である。	出口温度のばらつきが生じた原因是床の断熱性や送風温度の違いによるものではないか、CFD解析により検討を必要
2003年03月	CFD解析により吹出温度分布差が生じた原因の検討	断熱性や送風温度の違いによる吹出口温度の差が生じることが分かった。	床の断熱改善とエアハンの送風温度なるべく一致する様になる工夫は必要
2003年08月	冷房期付着噴流のみの空調運転方式を用いた場合の温熱環境と省エネ性の検証	付着噴流のみの空調方式を用いた場合、温熱環境は特に問題なくて、さらに従来の(床吹出+付着噴流)運転方式より省エネ性はあることが分かった。	省エネ性と快適性の面から、付着噴流のみの空調運転方式は実行性が充分ある

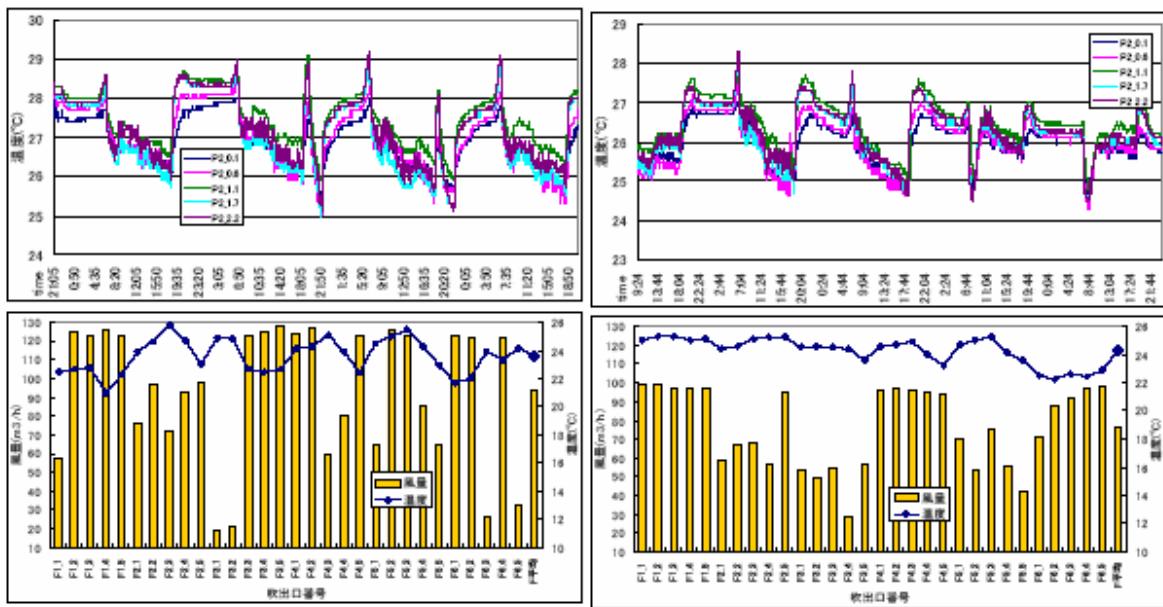


図17 夏季床吹出し単独モード(左)と天井吹出し併用モード(右)における室温変動と吹出し口開度状況

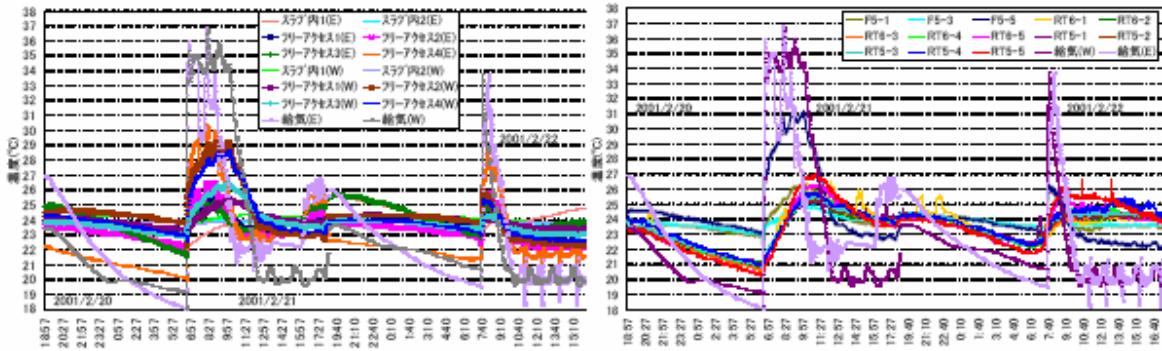


図18 冬季床チャンバー内温度分布(左)・室温分布(右)・吹出し温度の変動状況

でビル環境衛生管理に関係の深いのは(1)(2)(6)(7)であるが、ここでは前述の当初コミッショニングで取り上げた2階空調システムに関する課題である(2)について述べよう。表2にはこの部分の検証活動の経過と検証結果についての概要を纏めている。この中からいくつかの現象を取り上げてみよう。

1) 3.1 夏季の空調運転方式と環境性能

図17は2002年8月に行った床吹出し単独モードと天井付着噴流+床吹出し併用モードにおける室温分布と、居住者の任意に任せたままのときの床吹出し風量と吹出し温度を示す。これと同時に温熱感のアンケートも行った。詳細は略すが夏季は床吹き出しのまでも天井吹き出しのまでも能力的には問題なく、しかし床吹出しにあっては足冷感を訴える者があり、天井吹出しモードを採用することとした。

2) 床チャンバー内分布問題

図18は2001年冬季の床チャンバー内温度、スラブ内温度、空調機吹出し温度及び室温分布の時系列変化を示す。これから以下のことがわかる。

吹出し温度が朝の予熱時と午後などで最大20度近く変動している。これは混合損失の原因にも、コールドドラフトの原因にもなる。

床チャンバー内に最大6度近くの温度分布がある。

室温は最大1.5度の変動がある。

運用と今後の最適運転への方向性としては、課題として挙げられた(1)の内容である投票式VAV制御の導入、タスクとアンビエントの系統分離、そしてチャンバー内断熱強化と空気分布の改善があるが、この程度の風速の偏差はタスク調節が容易に出来れば吸収できると思われる。

コミッショニング技術者の育成と資格

以上、コミッショニング(過程)に関する大方の紹介を実例を含めて行った。お読み頂ければ、コミッショニングにはプロセスの体系的管理の側面と、技術的項目の指導・査閲管理の側面とがあることが明白になったと思う。さらに後者の側面においては空調のみに絞っても技術の幅が極めて広く、空調技術自身と作業管理ないし工程管理の側面とがあり 加えて工程内検査、試運転調整並びに機能性能試験といった検査・試験項目がある。直ちに想定されるようにかかる広範な技量を1人の人間が全範囲にわたって指揮を取るのは困難である。たとえ万能の人材が指揮が取れたとしても、小規模なYビルの例でさへそうであったように 建物・システム規模と工期に応じて各分野の専門技術に長けた人材をチームに含めたチームプレーを行うことになるのは当然である。

ここに性能検証責任者(CA)を頂点とする階層化されたコミッショニング技術者の資格体系の整備と人材育成とが焦眉の急となる。ところで米国においては¹³⁾、1980年代の初めからコミッショニングが話題となり、1989年にASHRAE(米国冷凍空調技術者協会)から最初のコミッショニング指針が発行され、1996年に改訂を経た後、コミッショニングの適用対象を空調設備のみでなく、建築設備と建築工事全般に拡張したトータルビルコミッショニングの概念が浮上して 2004年現在 NIBS(国立建築基準研究所)の体系化の中に組み込まれた新しいコミッショニング共通指針が制定され、その中の空調設備に関する新しい指針も遠くない時期に発表されるだろう、という状況にある。

ここに、コミッショニング技術者の資格制度は五つの団体によって体系化されており、そのうちの二つの、1970年前後に発足した試験調整請負業者団体から立ち上げられたものが先行し、ウィスコンシン大学及びビルコミッショニング協会(Building Commissioning Association, BCA)によるものが前記のトータルビルコミッショニングの視点からの資格認証を整備し2003~2004年に成立したばかりである。米国におけるこのタイムラグはコミッショニング制度とビジネスの長年の懸念を意味するものであるが、省エネルギーの国家戦略とグリーンビル(持続可能建築)認証制度の発足によって本格的な展開を開始した、まさにその時期に資格認証制度の全体像が日の目を浴びたと考えられる一方、今後この五つの資格制度がどのように纏められていくか、このまま共存していくのが注目すべき

ところである。

わが国では冒頭に述べたように本年8月に生まれた建築設備コミッショニング協会(BSCA)において国際的動向に十分に留意しつつ、空調学会その他関連学協会との協調の下に、人材育成と資格認証制度を整備していきたいと思う次第である。

おわりに - 環境衛生管理技術者へのメッセージ

かなりの紙数を割いてコミッショニング(性能検証)過程とその制度と技術的動向について解説を行ったが、本誌読者対象である環境衛生管理技術者の守備範囲とは重ならないにしても、その業務の質と成果とに及ぼす影響は大きいはずであることが認識されたであろうか。与えられたビル環境の計測と管理と評価、これを法律のもとに行うのが環境衛生管理技術者の責務であるが、性能検証技術者の責務はその上流に在って、建物の企画の時点から要求性能を明らかにして生産の全フェーズを通してその性能実現のために発注者を助言・支援しつつ 強い正義感と公平さを以て査閲と調整と文書化を徹底して実行する、そういう業務である。そしてそれこそが、法律的に整備されてきた省エネルギー・環境保全の課題を根源的に解決に導くための、NGO/NPO的な任意性を保つつゝ、かつ新しい職能を確立し、新しいビジネスモデルをも提案するものである。環境衛生管理技術者もまたこの業務を行つ一方の有資格群であることをお伝えして協力を仰ぎたい。

文献

- 1) 空気調和・衛生工学会コミッショニング委員会: 建築設備の性能検証過程指針並びにその付属文書, 2004.3
- 2) 同上付属書 1, 2004.3
- 3) 中原信生: 日本におけるコミッショニングの動向と展望, 空気調和・衛生工学 2003.7
- 4) 中原信生・丹羽英治ほか: コミッショニングツールとしてのシミュレーションプログラムの比較 第1~7報, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2003.9
- 5) オープンフォーラムテキスト: 蓄熱システムの最適化と負荷予測, 空気調和・衛生工学会蓄熱最適化委員会, 1998.12
- 6) 湯澤秀樹・柳原隆司・中原信生: 当初性能検証過程の枠組み, 空気調和・衛生工学会大会講演論文集, 2003.9
- 7) 空気調和・衛生工学会コミッショニング委員会: 建築設備の性能検証過程指針付属書 3, 2004.3
- 8) 柳原隆司・湯澤秀樹・中原信生: 性能検証責任者と性能検証関連者の役割 空気調和・衛生工学会大会講演論

文集,2003.9

- 9)廣岡正・玉置進・末岡直彦・中原 信生：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) , 空気調和・衛生工学会学術講演論文集,2001.9
- 10)湯澤秀樹・笠置徹・村山俊尚・近本智行・廣岡正・中原信生：同上(第二報) , 同上
- 11)伊藤嘉奈子・村山俊尚・関口史・廣岡正・中原信生：同上(第六報) , 同上
- 12)中原信生・伊藤嘉奈子・徐国海・神村一幸：空気調和設備の継続性能検証の実践研究 第1報 , 空気調和・衛生工学会大会講演論文集,2003.9
- 13)中原信生・杉原義文・湯澤秀樹・上谷勝洋・安田拓史・岸本知子 ,ビルコミッショニング米国事情調査報告書 , 建築設備コミッショニング協会 , 2004.10