

建築設備のコミッショニング

京都大学名誉教授 吉田 治典
(NPO法人建築設備コミッショニング協会前理事長)



1. はじめに

建築設備のコミッショニングは品質確保の手法として最近世界標準となりつつあるが、多くの読者にとってまだ聞き慣れない用語だと思われる。現在、コミッショニングのISO化が進んでいて、そこでは、「コミッショニングとは、プロジェクトの引き渡し性能を高めるための品質に重点をおいたプロセスである。このプロセスは、システムや組立部品の全てが発注者要件を満たすように、企画・設計、施工、試験、運転、保守されていることを検証し、それを文書化することに重点をおいている。」と定義している¹⁾。本稿では、建築設備のコミッショニングと題して、背景、経緯、特質ならびに概要を述べ、なぜコミッショニングが必要なのか、具体的に何をすることなのか、どういう効果があるのかを、適用事例である京都駅ビル熱源システム改修プロジェクトの取り組みを通してその有用性を具体的に読者に知って頂きたいと思う。

2. コミッショニングとは

コミッショニングはcommissioningの外来語表記である。実際、commissioningを英英辞典で調べると、“専門性や責任ある人によって、ある機能や職務が達成されること”という長い定義となり、その概念を一言で訳す日本語は見当たらない。そこでまず、コミッショニングが発展してきた歴史、その必要性の背景と経緯ならびに特徴などについて述べ、コミッショニングとは何なのかを説明してみたい。

2.1 歴史

コミッショニング(以下Cxと略称する)は船舶が完成した後に操舵性能を試験し不具合があれば調整する業務として英国で始まったと言われる。その後1970年頃には、

この業務が、建築設備、特に空調設備に適用されるようになり、それが欧州全体にも広まった²⁾。当時のCxは空調設備の風量や水量のバランスを取る調整作業が中心で、現在これはTesting, Adjusting, and Balancing: TABと呼ばれ、Cxの前に実施する初期調整作業と位置付けられている。

1990年代になるとCxは米国に波及して展開し、そのガイドラインや手法が米国暖房冷凍空調学会(ASHRAE)によって整備されるようになった^{3),4)}。こうした世界の流れのなか、我が国でも2000年頃からCxの重要性が認識されるようになり、主として空気調和・衛生工学会を中心にCxに関する研究・開発と普及活動が展開され始め、2004年には学会指針(ガイドライン)「建築設備の性能検証過程指針」が発刊された⁵⁾。また、同年には、同学会と連携してCxを社会に広めることを目指す特定非営利活動法人(NPO法人)・建築設備コミッショニング協会(通称BSCA)が設立され、この協会により、指針に沿った具体的なCxの進め方や試験方法が「建築設備コミッショニングマニュアル」として発刊された。現在このマニュアルは、我が国においてCxを実施する際の拠り所となっている⁶⁾。

当初、英国でCxが導入され始めたときは、竣工後に建築設備の性能を試験し不具合があれば調整するという単発の検証試験であった(そのため最初、Cxは「性能検証」と訳されていた)。しかし、米国でCxが普及しだすとスコープが拡大する。その理由は、省エネルギービルと銘打って設計された建物が実は名ばかりというような事実が次々と顕わになり、これを回避するためには竣工後に検証をするだけでなく、設計が始まる前からの対応が不可欠とされたためである。具体的には、発注者が目指す要求事項を文書で明らかにして設計を進め、竣工後にこれが満たされていることを検証するという、設計

から施工に亘る一連の作業をCxとすることが必要と主張されるようになった。こうしてCxは、要求事項を達成するための“プロセス”と位置付けられるようになる。この要求事項をまとめた文書は発注者要件書 (Owner's Project Requirements: OPR) と呼ばれ、Cxを進める際の原点となるCx特有の文書である。このように、建築の企画段階におけるOPRの作成過程までを含めてCxと定義されるようになったことは大きな変化であった。

また米国では2010年頃から、それまで主であった省エネルギー・省CO₂から、トータル(またはwhole)ビルディングコミッショニングと称して、防災設備の信頼性、データセンターのBCP、建物外皮の気密性能などへとCxの対象が広がり現在に至っている。

一方、次のように、当初から一貫して変わらないポイントもいくつかある。

Cxを司るチーム(Cx管理チームCommissioning Management Team: CMTと呼ぶ)は、設計者・施工者に対して独立性(第三者性とも表現される)を保つ組織であるべきとされる。つまりCxでは、原則として、発注者がプロジェクトの要求事項をとりまとめ、それを達成するための検証・試験・調整などの作業を、CMTという“独立した専門家に委託する”。この点で、Cxは従来から実施されている、施工者が行うQCのための自主検査や設計監理者が行う試験、あるいはこれらと発注者が共同で行う竣工検査などは位置付けが異なっている。

機器単体やパーツの試験はメーカーや施工者によりなされているため、Cxが対象とするのは、“単体の機器ではなく、それらが結合して構成されたシステム”である。このシステム性能の試験のために、従来の検査や試験にはないCx特有の機能性能試験(Functional Performance Testing: FPT)と呼ばれる体系が開発されてきた。大まかに言えば、機能性能試験はシステムの総合性能試験である。

Cxでは、発注者・設計者・施工者などCxの関係者(これをCxチームと呼ぶ)が議論した経緯や結論を徹底して文書化して決定プロセスを透明化することが重視される。OPRを始めとする各フェーズで作られる文書名と記載すべき内容を定義し、CMTがこれらの文書の作成を各チームに促しながらアーカイブ化することがCxの特色である。これにより当該建物の発注者要件・設計意図・施工経緯などが集積され、いわば建築のカルテができあがり、以後の運用や改修の合理化が達成される。

以上では新築建物に対するCxの発展経過と特徴を述べたが、2000年頃から、膨大な建物ストックにおける

地球環境負荷の削減が急務であることが認識され始め、既存建物に対するCxの体系化も進んだ。断熱強化という建物の改修もあるが、特に建築設備は10~30年という短期間に改善・改修されるのが一般的であることから、このタイミングでCxを適用して省エネルギー・省CO₂を実現することの重要性が認識されるようになった。

既存建物のCxの特徴は、プロジェクトが建物の運用方法の改善という軽微なものから大規模な改修までありCxプロセスのバリエーションが多いこと、既存の建物や設備の現状調査とデータ分析がキーになること、新築建物とは違って設計者・施工者・機器メーカーなどCxの関係者が多く、それらの関係性が多様になること、などである。

2.2 背景と経緯

Cxが必要と考えられるようになった背景として、目標とした省エネ性能の未達という事態が多発したことを挙げたが、背景は他にもあり、国によっても時代によっても異なる。文献2)は古い調査結果で現状を反映してはいないが根源的で興味深い指摘を含んでいる。それによると、例えば、フランスでは性能未達(契約内容不適合:いわゆる瑕疵)の問題を処理するために保険制度が発達しており、まずは瑕疵を保険金で処理した後、保険会社がその責任を法廷で議論して解決する。イタリアでは、設計者に対して、“無罪と判るまでは有罪”という発注者心理があり、未達問題の解決方法が複雑である。ドイツではギルド制度のなごりで技能者のレベルが高い、地域に根ざす施工者が多く品質への責任感が強い、検査は設計者や施工者などのプロジェクト当事者ではなく第三者に任せなくてはならない、などという事情によって未達問題が他国より少ない、と概括されている。この調査の目的は、性能の未達問題を防ぐために各国でCxがどのように実施されているかを調べることにあるが、国による処理方法の違いがCxの実施状況に大きな影響を与えていると指摘している。

さて我が国では、戦後、工業製品の品質が世界に先駆けて向上した。これがデミング博士による品質管理手法の導入のおかげであるというのは有名な話である。1970年代になると一品生産品である建築においても品質向上が進み、建設会社によるデミング賞受賞が話題になった。その後も我が国の建設会社はISO9000シリーズの導入にも熱心で、品質を担保することに自負心と責任を持って対応してきた。そのため欧米発のCxなど建築業界に不要だという主張が確かにある。では何故いまCxが必要なのか、その背景を建築設備に限定して考察してみたい。

建築設備を構成する、冷凍機・ポンプ・配管・空調機・ファン・ダクト・制御機器などのパーツはメーカーの品質・性能の検査が済んでいるため、現場で施工されるコンクリートのようにパーツの試験を施工時に実施する必要性は低い。しかし建築設備の総合性能は多くのパーツがアッセンブルされたシステムとして発揮されるので、例えば各パーツの品質・性能に問題がなくてもシステム性能（以下これを機能性能と呼ぶ）が適正であるとは限らない。これが建築設備の特質である。そのため、我が国では発注者に建物を引渡しした後も施工会社の技術者が駐在して（場合により設計者も加わって）、約1年間（ワンシーズン）は総合性能の調整を続けることがかつては一般的であった。

しかし近年こうした対応は希薄になっている。この理由として、コンプライアンス上、引渡し後は施工者といえども自社の財産ではない建物にタッチすべきでない、施工契約を終えたプロジェクトに人員を配置するのは会計上不適切である、激しい受注競争とプロジェクト毎の独立採算が求められサービスとして技術者を派遣する余裕がなくなった、そもそも技術者が不足して対応が困難、などが挙げられる。これらは総じてグローバル化による社会の規範や状況の変化によるもので建設会社が怠慢になった訳ではないが、残念なことに、最近、建設業界で色々な不祥事が起き始めているのも事実である。この理由の一つは、上記したような社会規範の変化に追従できず、未だ旧来型の対処による思考体系が残っているためではないかと思われる。

2.3 機能性能の試験と適正化

機能性能の試験と適正化には2つの観点がある。一つは、複数のパーツがシステムとして適切に連携動作しないことで生じる運転不具合（機能不全）の排除である。例えば、＜熱負荷が増す→熱源機の台数を増す→熱負荷が減じた→熱源機の台数が増えたまま減らない＝環境は維持できているが非省エネ＞という熱源機台数制御の不具合はその一例である。施工者は竣工前に設備の試運転調整を行い、その後竣工検査をして引き渡すが、まだ建物が実運用されていない状況で発見出来る不具合には限りがある。竣工後の1シーズンが過ぎると「顕在化した」不具合は契約内容不適合（瑕疵）として修復されるが「顕在化しなければ」放置される。空調設備では、室温や湿度といった環境条件が満たされていると不具合は顕在化しにくく不適切な運転が続く。こうした状況から、既存ビルに対してCxを適用し、顕在化していない

不具合をデータ分析により発見し適正化するという試みが研究され、これにより総じて20～30%の省エネが図られることが判ってきた（例えば文献7）。

これと同時に、事後処理では対策費用が高額になることから、トータルコストの削減には設計や施工の段階で不具合が起きないようにする事前対策が重要であるということも指摘されるようになった。前述したように、これが米国で設計段階からCxを導入する必要性が謳われるようになった主な理由である。

機能性能の適正化におけるもう一つの観点は、例えばBCP（事業継続計画）のための電源確保や省エネ・省CO₂のような発注者要件（OPR）を満たすためには、どのような機能性能が必要とされるのかという点である。竣工検査や試運転調整には設備のサブシステムごとにほぼ体系化された手法があるが、機能性能の試験と適正化は建物ごとにその内容が異なるため個別対応が必要となる。これからは、当該建築が求める機能性能の内容を関係者と文書で共有し、システムティックにかつできる限り上流側の対応によって性能を達成するという新しいアプローチを取ることが必要で、Cxはそのための有効な手法である。

2.4 発注者要件書（OPR）

発注者が建築設備に求める要件は設計を進める上で重要であるが、現実には要件が曖昧なことが多い。発注者は建設する建物にどのような資質や性能を持たせるべきかを明瞭に提示しなければ設計ができないのであるが、現実には設計者に要件を決めることを同時に任せたり依頼することもある。設計とは、発注者の要件を満たすように建物を図や文書で具現化する行為であるから、これでは矛盾する。最近、建築計画の分野では発注者の設計与件の整理作業をプログラミングあるいはブリーフィングと呼び、設計行為とは別の業務として位置付けるべきであるという提言が出されている⁸⁾。この提言書でも、「わが国における建築設計プロセスでの問題は、建築主の事業の目的、要求、制約条件等の課題の設定と提示が一般に極めて不十分で、漠然とした形でしか示されないことが多いことである。そのような状況を招いている主要な原因は、設計に必要な“課題設定・問題提示”それらに対する解を見出す“設計”、この二つが設計業務の中で一体不可分であると考えられていることにある。」と現状の問題点を指摘している。

建築設備設計の分野でも状況は全く同じである。そのためCxでは、発注者要件書（OPR）をCx管理チームの

援助を得て発注者が作成するとしている。なお、Cxで作成するOPRは建築計画における設計と件書と大きく異なる点がある。それは、基本設計、実施設計へと進むに従い元のOPRが追加・変更される点である。この理由は、建築設備には多くのシステムバリエーションがあるため、最初から全ての要件を明確にできず、当初のOPRでは大方針が要件となり、順次、技術的な要件が加わったり、コスト条件から、ある要件が抹消されたりして内容が充実・確定するためである。

3. Cxプロセスの概要

Cxは、新築建物のCx、既存建物のCx、継続Cxという3種類に大別される。継続Cxは新築建物や既存建物のCxの後に機能性能を維持するために実施するが、運転管理とは異なる業務として位置付けている(図-3.1)。本章では、Cxで作成される主な文書名を挙げてそのプロセスと作業内容を概括する。ただし、継続Cxについては我が国にまだ浸透していないので説明を省略する。

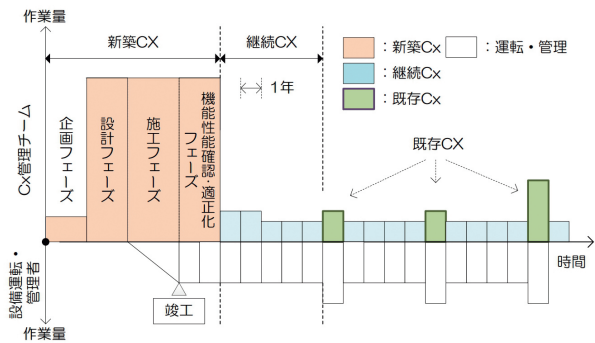


図-3.1 3種類のCx

3.1 新築建物のCx

新築建物のCxは、Cx企画、設計、施工、ならびに竣工後に実施する機能性能確認・適正化という4つのフェーズに分かれている。Cx企画フェーズはCx自体の企画をするフェーズであり、CxチームとCx管理チーム(CMT)を編成し、基本的な発注者要件書(OPR)をまとめる。CMTは、発注者、設計者から独立した第三者、あるいはインハウスのチームとするのが原則であり、設計・施工・運転管理などの経験のある技術者で構成することが望ましい。なお、Cxチーム(CT)は発注者、設計者、施工者、Cx管理チームなどからなり、これらが協力してCxプロセスを進める(図-3.2、図-3.3)。

3.1.1 設計フェーズ

設計フェーズは、基本計画、基本設計、実施設計に細分されるがCxの流れはどのフェーズでもほぼ同じであ

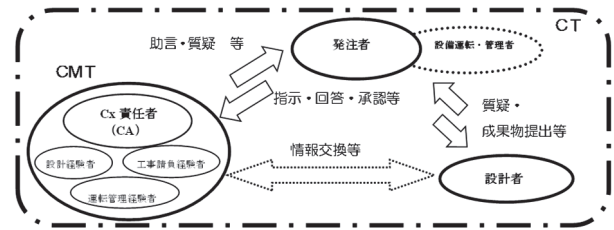


図-3.2 設計フェーズの標準的な実施体制

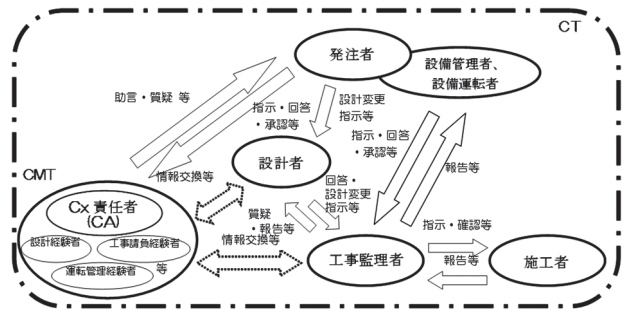


図-3.3 施工フェーズの標準的な実施体制

る。設計フェーズで作成される重要な文書は、設計Cxレビュー書、設計主旨文書、特記仕様書(Cx)である。

設計Cxレビュー書は、設計者が作成する設計図書、OPRを満たしているかどうかという観点でCMTがレビューし助言としてまとめる。なおこれは設計組織内で行うデザインレビューとは目的が異なる。設計主旨文書は、設計がどのようにOPRを満たしているかを設計者が書き下した文書である。従って、これも一般の基本設計図書に記される設計主旨とはスタンスが異なる。特記仕様書(Cx)は、CMTが作成する文書で、設計者が作成する特記仕様書に付加する。これには、機器の性能検査方法、計測センサーの精度確認方法など、Cxを実施するために必要な、施工者に向けた特記事項が記される。機能性能の達成には、この文書で指示する内容が重要となる。

3.1.2 施工フェーズ

施工者が設計図書通りに施工すれば性能不達が発生しても責任はない。欧米ではこれが当然とされている。しかし我が国の場合、慣習的にそれでは優秀な施工者とは評価されず、施工者にも性能達成への努力(半ば責任)が期待される。また施工者には、設計の主旨や意図を設計図書から読み解き、効果的な設計変更の提案が期待されることもある。これは我が国の設計図が欧米のように施工図に近いレベルにないことも関係している。変更提案は通常、Value Engineering (VE) 案として出されるが、なかにはコスト優先で性能低下を伴うCost Down (CD) 提案もある(これが大半だという人もいる)。そこで、変更提案をOPRに照らして精査・判断して適切な助言をすることはCMTの重要な役目である。

また、CMTは、設計変更に関する、議論、決定事項、判断根拠などの経緯をCx記録書として作成し当事者間の義務と責任を明確にする。

施工中に作成される他の主な文書は、機能性能試験計画書、制御動作説明書、運転操作説明書である。機能性能試験計画書は、竣工後にどのような機能性能試験を行うかを施工者に伝えその準備を促す文書でCMTが作成する。制御動作説明書、運転操作説明書は施工者が運転管理者向けに作成する文書である。CMTは、これらを運転管理者が理解しやすく要点が判りやすい文書となるようにレビューする。

DX時代になり、中央監視盤（通称BASやBEMSと呼ばれる）が収集するデータ数は飛躍的に増え数万点に及ぶことも珍しくない。データに信頼性がなければ竣工後に行う機能性能試験は水泡に帰すのでデータの信頼度を高めることは非常に重要である。しかし実態は多くの建物でこれが悩ましい問題となっていて、接続ミス、単位換算ミス、精度不足などの不具合が多々見られる。そのためCxでは、施工者が実施する初期調整の前に、データのネーミング、対向試験、測定精度試験などにCMTも関わって信頼性の向上を図るようにする。機能性能には自動制御の性能が関係することが多く、短時間サンプルのデータが大量に必要となるが、最近、急速にBASやBEMSのビッグデータ化が進み、サンプリング間隔が1分のデータも一般化し、ハードウェアとしての障害は余りなくなっている。

3.1.3 機能性能確認・適正化フェーズ

機能性能試験と適正化は、建物の引渡し後、原則として1年間（ワンシーズン）実施する。通常、施工者は竣工前と1年目の冷房・暖房運転の切り替え時期に試運転調整を行うが、それは熱源機器、ポンプ、ファンなどの機器単体の始動試験や定格性能の確認が主である。一方CxではCMTが主導して、特記仕様書（Cx）で規定した機能性能試験と適正化を、施工者、設備管理者、設備運転者と共に竣工後最低一年かけて実施する。その結果、不具合があれば修正し、性能が未達であれば調整して適正化する。

3.2 既存建物のCx

既存建物のCxは、運転管理方法の見直しや改修によって省エネを図りたい、などといった発注者の意向により実施される。世界は膨大な建築ストックを抱えるため、既存建物のCxは地球環境負荷削減の観点から重要である。本Cxは、Cx企画、計画、調査、対策実施、最終確認という5つのフェーズに別かれるが、調査フェー

ズとそれをベースにした対策実施フェーズが主な作業になるため、以下ではこの2つについて概説する。なお、既存建物のCxではCMT自らが対策案を提案するという、設計業務に近い作業にタッチする。この点が新築建物のCxとの大きな違いである。

3.2.1 調査フェーズ

既存建物のCxでは現状の調査・分析作業がキーとなる。調査・分析には過去の計測データを活用するが、必要なデータ項目がなければ臨時計測をすることも考慮する。CMTは、分析結果から不具合・改善策一覧表を作成し、OPRを満たす上でどの改善事項が費用対効果が高いかを判断して総合的な改善提案書を作成する。対策の実施方法は、チューニング対策で十分なケース、劣化した機器や配管・ダクトの改修が必要なケース、設計者や施工会社への依頼を伴うケースなど様々あるので発注者と協議して選択する。なお、大規模で根本的な変更を伴う改修案が採用されると新築建物のCxに移行する。

3.2.2 対策実施フェーズ・最終確認フェーズ

調査フェーズで決定した対策内容と実施方法により設計や工事の発注を行う。特殊な方法としてESCO事業として発注することも選択肢となる。施工が終われば新築建物のCxと同じく機能性能試験と適正化を実施する。

4. Cxの実施例（京都駅ビル）

本章では上記したCxプロセスのほぼ全てを実施した京都駅ビルの熱源システム改修プロジェクトについて、その実施内容と成果について解説する。

4.1 建物・設備の概要

現京都駅ビルは、平安建都1200年の記念事業の一環として1997年に竣工した四代目の駅ビルで、駅舎の他、百貨店、ホテル、劇場、専門店が一体となった、延床面積235,942m²、地上16階・地下3階、高さ60m、東西470mの大規模な複合用途ビルである（表-4.1）。

表-4.1 建築概要

名称	京都駅ビル
所在地	京都市下京区烏丸通 塩小路下ル東塩小路町901
用途	駅舎、百貨店、ホテル、劇場、専門店
敷地面積	38,000m ²
建築面積	32,000m ²
延床面積	235,942m ²
構造	地上：鉄骨造、地下：鉄骨鉄筋コンクリート造
階数	地下3階、地上16階
高さ	60m
長さ	470m(東西方向)

4.2 熱源システム改修工事プロジェクトの背景

当ビルでは、熱源機器の劣化が顕在化してきたことから空調・給湯設備に関わる熱源システムの改修工事の検討が2010年に始まった。京都市は、観光都市としてだけでなく、地球温暖化防止のための京都議定書でも海外に名を知られ、政府から環境モデル都市に認定された2009年には、60年間で温室効果ガス60%減という高い目標を定めている。しかし当ビルの同年のCO₂排出量は4.8万tonCO₂/年と、京都市の民生・業務部門における排出量の3%（市全体では0.72%）を占めており、機器効率だけを向上するという単純更新を繰り返すのでは（図-4.3左）、この目標達成は困難であろうと判断された。

そこで、既存建物の熱源システムの綿密な現状調査から始め、基本設計、実施設計、施工、運用に至る改修工事全体にCxプロセスを適用して京都市目標を上回る大幅な温室効果ガス削減を達成し、環境モデル都市京都の玄関口にある建物に相応しい100年建築を実現するという目標を設定して改修工事がスタートした（図-4.3右）。

その結果、24時間稼働する駅ビルの機能を維持しながら工事を進め、改修対象の設備において約60%（ビル全体では約30%）におよぶ一次エネルギー消費量の削減（266.8TJ/年）を達成した。（注：TJ=テラ・ジュール）

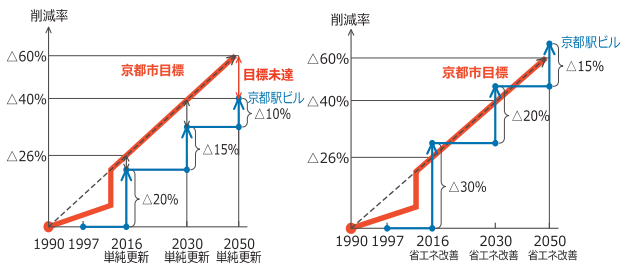


図-4.3 温室効果ガス削減スキーム

4.3 Cxを全フェーズに適用した改修工事

本改修は大規模建築において我が国で初めて全フェーズにCxを適用したプロジェクトである。図-4.4に本改修工事のスケジュールを示す。

I. 調査フェーズ (2010年)

プロジェクトに“既存建物のCx”を適用し、既に収集されていたBEMSデータを活用して設備性能を定量的に調査・分析した上で課題を抽出した。その結果、大規模な改修が必要と判断し“新築建物のCx”に移行し、発注者要件 (OPR) を定めた。

II. 設計フェーズ (2011~14年)

設計者からの設計案を、OPRが達成されているかどうかという視点で第三者であるコミッショニング管理チーム (CMT) がレビューした。基本設計は2011年に終えたが、東日本大震災 (3.11) が起きてエネルギーの需給状況の変革が起きたため、この動向も勘案して軌道修正を加え実施設計がなされ2014年に完了した。

III. 施工フェーズ (2015~16年)

性能が担保された施工であるか、機器性能が適切であるかについて、また施工中に発生したVE (Value Engineering) に対してはOPRを保持し性能低下のない変更であるかについてCx会議で精査し助言した。

IV. 機能性能確認・適正化フェーズ (2016~19年)

竣工後3年間、機能性能試験を実施し不具合があれば適正化した。また、Cxの経緯を文書化してビル管理者に伝達し省エネ性能が継続できるようにした。

Cxは、発注者、運転・管理者、設計者、施工者ならびCMTで構成されるコミッショニングチーム (CT) が協働して推進し、その推進役はNPO法人建築設備コミッショニング協会が組織したCMTが果たした（図-4.5）。

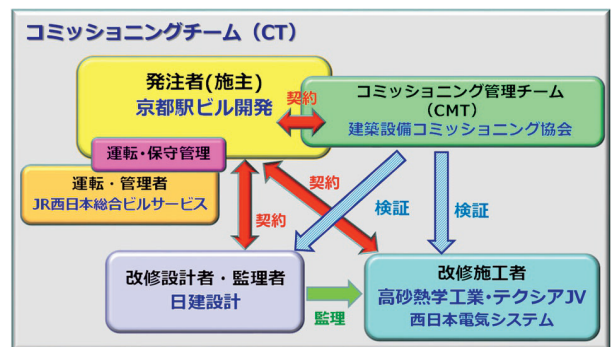


図-4.5 Cxチーム (施工フェーズ時点)

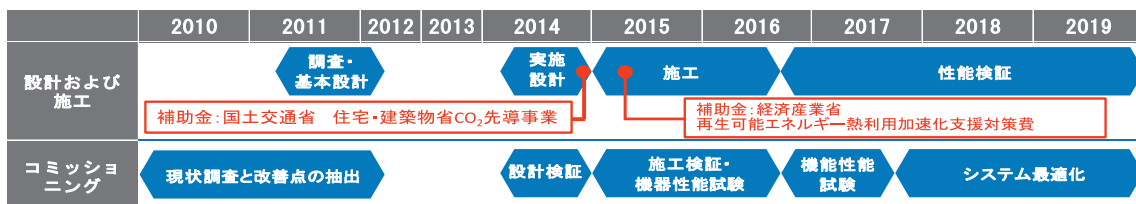


図-4.4 改修工事全体スケジュール

4.4 既存ビルとしてのCx

既存の熱源設備は、冷熱供給が蒸気吸収冷凍機と氷蓄熱用のプラインターボ冷凍機、温熱供給が蒸気を末端で温水に変換するシステムであった。調査フェーズでは、過去に収集されたBEMSデータを分析して既存システムの課題を抽出すると共に、これらを解消するための改善方策について議論し整理した。なお、不足するデータは現場調査や追加計測を実施して補完した。分析の結果、主として以下のような課題が抽出された。

1. 年間の冷熱負荷は温熱負荷の約3倍であるため、温熱源よりも冷熱源の効率向上が重要である。
2. コージェネレーションシステムの排熱回収ボイラの効率が低い。
3. 蒸気配管からは約30%の熱が失われ、一方では配管が通る空間を冷房するという2重の無駄が生じている。
4. 氷蓄熱システムの効率が低く省エネに寄与していない。
5. 空調冷水の往還温度差が小さく2次ポンプが過流量である。圧力バランス調整も不適切でポンプが不必要に高圧で運転されている。インバータ制御が不適切かつ限定的でエネルギー消費が大きい。
6. 冷却塔にスケールが付着し放熱性能が劣化していて、冷却水システムの搬送エネルギー消費も過大である。
7. 空調機の外気取入量が総じて過多である。デパートの大きな吹抜け空間の煙突効果によって生じる多大な自然換気ドラフトも外気取入量の過多を助長している。

上記のような種々の課題の解決を目指すために、設計者に提示する具体的なOPRを発注者とCMTとで作成した。また実現可能な要求を提示するために、エネルギーシミュレーションツールを用いて省エネ削減量を推算した。OPRは多岐に亘り数十の項目となったが、主要な要件は、1) 2009年をベースラインとした改修対象設備の省エネ率を60%とし、環境都市・京都における100年建築への道筋をつけること、2) 既存のシステムにこだわらずにシステムを抜本的に見直すこと、3) 既存設備が持つ種々の課題や不具合を解決すること、の3点となった。

4.5 設計フェーズのCx

OPRを軸にして基本設計と実施設計が進んだ。以下に設計フェーズでCxが果たした役割と意義を説明する。

基本設計フェーズでは、設計者からOPRを満たすための熱源システム提案が総計15種類示された。Cx会議では、これらを、省エネ性能、施工性、建設コスト、運用性といった様々な観点から検討して案を絞り込んだ。

なお、最終的に残った数件は省エネ性能をエネルギーシミュレーションツールにより検討したが、この効果推定は重要であるため設計者とは別にCMTがシミュレーションツール(ACSES/Cx)でダブルチェックした^{9),10)}。また、基本設計、実施設計それぞれにおいてCMTは設計Cxレビューを行った。

結果として、既存システムを大幅に改変して脱蒸気化を行い、冷熱にはインバータターボ、温熱には空気熱源ヒートポンプを主熱源とするシステムがベストな案とされた。しかし本案は2次側空調システムの改修が必須となり工費が予算の3倍近くになるため実施困難とされた。これに対しCMTは、2次側システムの改修時期が来るまでは空調機の冷水コイルを冷温水コイルとして流用し、ホテル・文化ゾーン系統の脱蒸気を一部先送りする減額提案を出したところ、省エネのペイバック効果を勘案すれば、予算的にも実現可能であることが確認され、**図-4.6**に示す案で実施設計が始まった。

実施設計フェーズのCx会議では、各機器の適正な容量の選定と制御方法の検討を重点的に行った。特に、本建物は年間にわたって様々なバランスで冷温熱が要求されるために部分負荷時の効率を高めることと、冷・温熱負荷を適切に処理する機構と容量を検討した。その結果、冷熱源の全最大容量は既設容量の約20%減である6,956Rtとなった。この冷熱源の容量削減は、調査フェーズの定量的な分析結果があっただけでなく、はじめてなし得たものであり、Cxの有効性が際立った一例である。

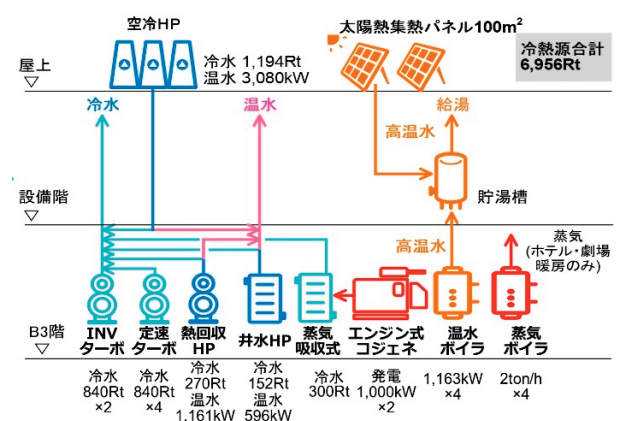


図-4.6 改修後の熱源システム

都市型ビルでは再生可能エネルギーの利用に限界があるなか、ホテル給湯の給水予熱への太陽熱利用と井水から冷温熱を採取するヒートポンプの導入価値が高いことをCx会議で確認し、採用が決まった。

東日本大震災による状況変化を受け、多数の観光客が

訪れる駅ビルとしての災害時BCPや、今後重要になる電力のデマンド制御などについて再検討し、ガスエンジン駆動のコージェネレーションシステムの導入が決まった。

以上のように、通常の既存改修工事ではハードルが高く殆ど実施されることのないシステムの大変革がなされ、図-4.7に示すように、改修後1年間の熱源総合システムCOPは既存の0.73から1.47(2年目は1.56)へと2倍以上に改善された。これが本プロジェクトの省エネ率60%の根幹になっている。実施設計中、2011年に東日本大震災が発生したため、OPRでは、約15,000点という大量のデータを誤差なく収集し、かつ迅速・円滑にデータを取り出すBEMSの構築を求め、設計図書に、仕様、システム構成、測定ポイントの誤差確認方法などを綿密に記載することを求めた。

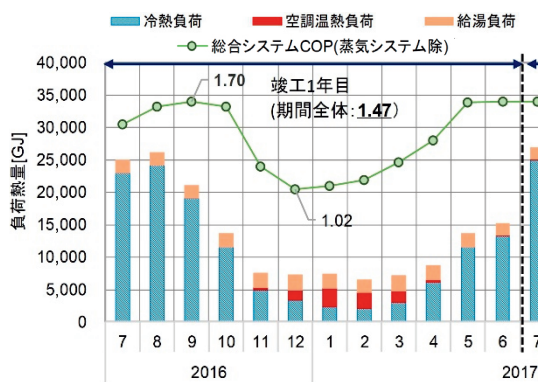


図-4.7 改修後の熱源システム

4.6 施工フェーズのCx

施工フェーズは、24時間稼働する熱源設備を、その機能を維持しながら短工期(2015年冬~16年夏)で改修するというハードルの高いものであった。一般に改修工事は、設計時に想定し得ない障害が施工時に生じることが避けられず流動的である。そこで本プロジェクトでは、施工者の変更提案を柔軟に受け入れるインセンティブ契約がなされた。しかしこの変更提案が性能低下を招くようなCost Down (CD) にならず、真のValue Engineering (VE) となるようにウォッチしOPRを達成することが重要であった。そこでCMTは変更案を慎重に検証し、発注者に提案項目について諾否のアドバイスをした。以下に、採用されたVE案のうち重要な2件と施工時のCxによる対策とその効果を説明する。

4.6.1 主熱源ターボ冷凍機のVE

原設計の主冷熱源はインバータターボ冷凍機840Rt×6台であったが、このうち4台を固定速機に変更する

VE提案がなされた。しかし、図-4.8に示すようにインバータ機と固定速機は効率特性が大きく異なるため、同時運転時の最適な制御方法が無いとシステム性能が低下する。そこで最適制御ロジックを実システムに実装するという条件でVE案が認められた¹¹⁾。具体的には、台数制御の増減段閾値とインバータ機と固定速機への負荷配分比を外気湿球温度と冷熱負荷に応じて最適に決める制御ロジックと、集合冷却塔の運転セル台数とファンの回転数を外気湿球温度と負荷熱量に応じて最適に決める制御ロジックとを実装した。検証の結果、ターボ冷凍機の平均COPは夏期6.5、中間期9.4、冬期17.3と、高い値で運転できることが実証された。

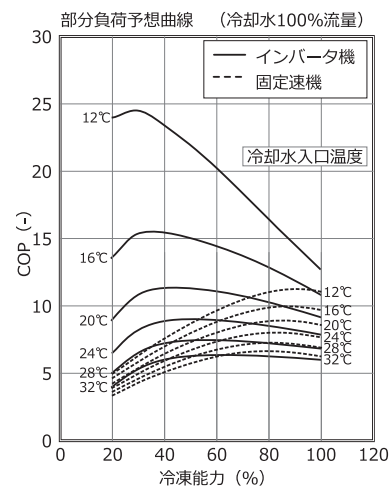


図-4.8 冷凍機の特異差

4.6.2 熱回収ヒートポンプのVE

本建物では季節を問わず様々な比率で冷温熱負荷が同時に発生するため熱回収ヒートポンプが採用された。この熱源機は能力が適切でかつ蓄熱槽を持たず冷温同時運転時に10.0近い総合COPが出せる。しかし、施工者から、施工期間や工事上の制約から蓄熱槽をなくすVE案が出された。そこで、蓄熱槽なしに小さな温熱負荷(主に夏期・中間期)でも安定・高効率に運転できるように、放熱とダミー負荷を加える制御ロジックを考案した(特許6964041)。その結果、冷温合わせた総合COPは平均で9.3という高い値が達成できた¹²⁾。

4.6.3 二次ポンプ搬送動力の削減検討

一般に、冷温水搬送ポンプの能力が過大で効率の低下を招くことがよくある。そこで施工フェーズでは原設計を再検討し、実際に施工される配管の経路で配管系の抵抗を精査して、過去の実最大流量をもとにポンプ容量と揚程を決めた結果、定格流量は既存に比して平均34%減った。また、全台をインバータ化して末端差圧で回転

数を制御し、インバータの最低周波数も12Hzまで下げて最大限の省エネを図った。その結果、**図-4.9**に示すように、ポンプの消費電力量は既往に比して年間80.4%減という大幅な省エネが達成できた¹³⁾。

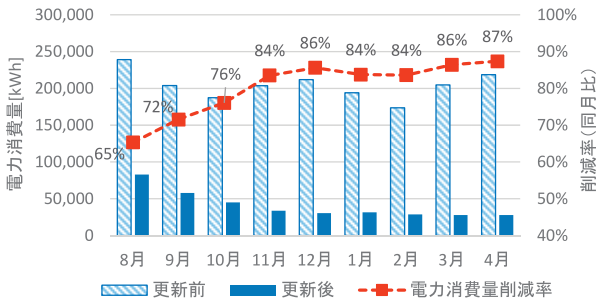


図-4.9 冷温水二次ポンプの電力量削減

4.6.4 計測データの精度向上

機能性能試験に用いる計測データは精度が担保されていないなければならない。そこで、通常、試運転調整で行われるポイントの相対チェックとは別に、特記仕様書(Cx)で、単位、表示桁数、計測レンジ、パルスレート、測定精度、機器の出入口温度が逆などの矛盾、熱量やCOPの演算式などについて全点自主検査することを求め、CMTは抜き打ち検査を実施して精度を担保した¹⁴⁾。

4.6.5 クラウドBEMSの導入

本建物のエネルギー管理システム(BEMS)では約15,000点のデータを1分間隔で収集している。機能性能試験では、これを遠方からタイムリーかつ迅速にデータ分析できると便利である。

そこで、施工者から**図-4.10**に示すようなクラウド化したBEMSデータシステムを構築する提案があり採用された。これにより性能分析から適正化にいたるPDCAサイクルが効率的に回せた¹⁵⁾。

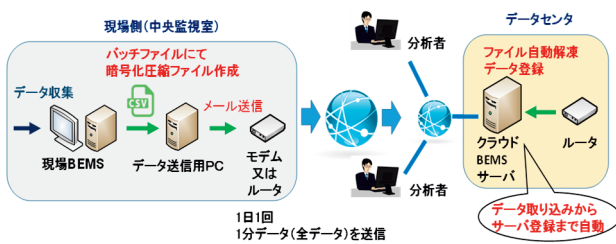


図-4.10 クラウドBEMS

4.7 機能性能確認・適正化フェーズのCx

竣工後は、運転性能や機能が設計性能を満たしているかどうかを機能性能試験を実施して評価・確認し、必要に応じて適正化を実施した。試験は特記仕様書(Cx)に記した判定基準を用い、これを満たさないシステムはCx会議で改善方針を検討し試行運転を通して適正化した。以下ではその例を示す。

4.7.1 給湯用ボイラシステムの機能性能試験と適正化

給湯用の高温水熱源は竣工後1年目の試験の結果、負荷率50%以下での運転が多く、かつボイラ効率が設計値より低いことが明らかになった。分析の結果、この原因はボイラの燃焼On-Off時の過大なパーズ損失にあることが判った。そこでOn-Off回数を減らす対策を試行しステップバイステップで適正化を図った。これによりボイラ単体の効率が改善し、2年目には**図-4.11**に示すように高温水熱源システム全体の効率が0.71から0.74へと4%程度上昇した¹⁶⁾。

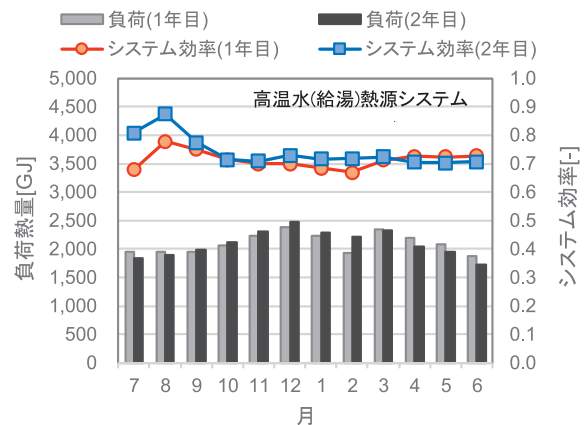


図-4.11 ボイラ効率の推移

4.7.2 コージェネレーションシステムの運用適正化

駅ビルとしての災害時BCP、ならびに電力のデマンド制御や将来のネガワット契約への対応のためにコージェネレーションシステム(CGS)が採用された。既往のCGSは排熱(特に蒸気排熱)の有効活用ができていなかったため、容量と方式をCx会議で再検討し、容量は旧設備の2/3とし方式はガスエンジン式を採用した。機能性能試験では、発電効率、蒸気排熱を利用する蒸気吸収冷凍機の効率、温水排熱の利用率などを確認した。その結果、排熱蒸気の圧力が低く、吸収冷凍機の能力ができていないことが判ったのでこれを改善し適正化した。

CGSは最適な運転スケジュールを決めることが常に課題となる。そこでCGSのライフサイクルコスト(LCC)の評価ができるツールをCMTが開発した。こ

のツールを用いて、運転期間などに関し5つのシナリオを作って検討した結果、図-4.12に示すように、現在のエネルギー価格体系なら夏期の電力負荷ピーク期(7~9月)のみ運転するのが省エネかつLCCが最も安価であることが判った。このツールは、将来エネルギー価格が変動したときに運転管理者が最適な運転方法を見いだすのに役立つ。

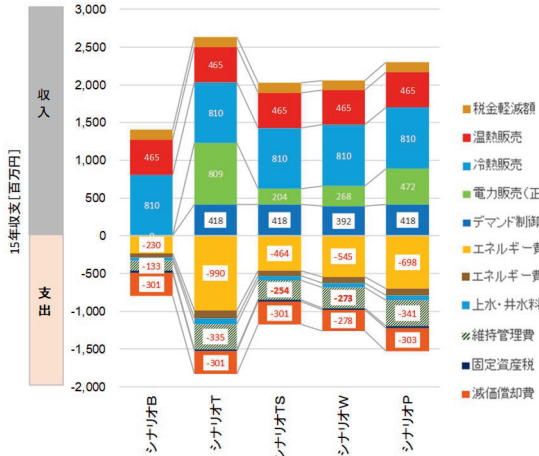


図-4.12 CGSのLCC最適運転

4.7.3 冷却塔の水質管理

冷熱源の効率維持には冷却塔の性能保持が必須である。開放式冷却塔は、冷却水の水質管理が不適切であったり、低負荷時に充填材の濡れ・渴きを繰り返したりすると充填材にスケールが堆積し性能が劣化する。実際、本建物でも、旧システムでは充填材への藻やスケールの蓄積で風量低下による性能不足が起きていた。そこで機能性能確認フェーズでは、薬注量の適正化による水質管理、冷却塔内部構造の改良による散水状況の適正化、冷却水ブロー方式の見直しと改良、ファンベルトの新たな管理方法、冷凍機凝縮器の伝熱性能劣化予測方法の開発、など様々な検討・改良を行い適正化した。その結果、冷却水の最適な濃縮倍率や薬剤の適正濃度を見出すことができ、補給水・薬剤コストも38.5%削減できた¹⁷⁾。

4.8 省エネルギー効果のまとめとその後

Cxプロセスを適用した熱源・空調設備の改修により、図-4.13(左)に示すようにエネルギー削減率は2年目に58.6%、3年目に59.8%となりOPRはほぼ達成された²¹⁾。これによるエネルギーコスト減による経済効果は約5.9億円/年である(2019年)。図-4.13(右)に示すように、改修費用の全額は72.9億円であるが、設備の老朽化による取替えがプロジェクトの主目的なので、その

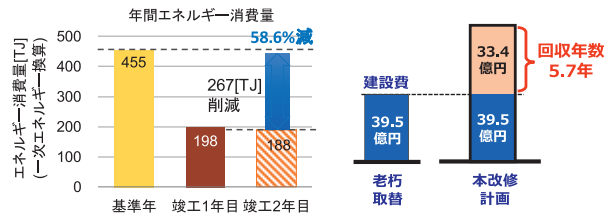


図-4.13 改修前後の1次エネルギー消費量比較(左) プロジェクトの経済効果(右)

金額39.5億円を差し引いた33.4億円が省エネへの投資といえ、この投資は5.7年で回収できると推定された(近年のエネルギー価格の高騰で更に短くなっている)。

機能性能確認・適正化フェーズは竣工後3年間続けられ、その間にエネルギー消費量が着実に減じ、3年間の適正化による効果は8%に及ぶ(図-4.14)。その後も継続Cxとして分析が続けられており、その分析によると竣工4~6年目はコロナ禍のため消費量が減じたが、本年(8年目)からは以前と同じ状況になると予想され、今後、リバウンドもなく性能の維持が続くものと予測している。

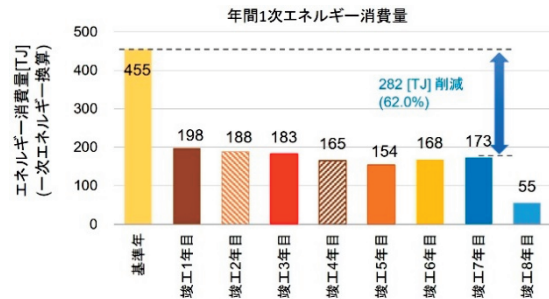


図-4.14 竣工後の1次エネルギー消費量推移

竣工後6年間の各月の総合エネルギー効率の推移を図-4.15に示す。これから冬期の省エネ率が低いことが判る。この原因は、脱蒸気が図れなかったホテル・文化

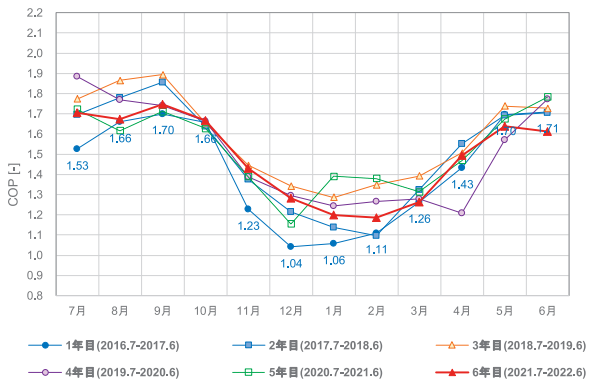


図-4.15 各月総合エネルギー効率(縦軸)の推移

施設系統に短期的に新設した蒸気システムの効率が良くないためである。

既に2次側空調システムの改修設計が始まっており、ホテル・文化施設系統に残された蒸気システムの撤去や冷水の往還温度差を6℃から10℃とする大温度差冷水供給による設計が予定されている。これにより一層の効率向上や搬送動力の削減が期待されている。

本プロジェクトは上記した成果により、以下の賞を受賞した。1) 空気調和・衛生工学会 特別賞リニューアル部門, 2019²²⁾、2) 第3回「京(みやこ)環境配慮建築物」優秀賞, 2017、3) 省エネ大賞(省エネ事例部門支援・サービス分野) 経済産業大臣賞, 2019、4) 建築設備技術者協会カーボニュートラル大賞, 2019、5) ASHRAE Technology Award First Place, 2021²³⁾

【参考】熱源設備の概要

熱源設備は、主熱源機が建物中央の地下3階に、コージェネレーションシステムが2階の西端に、冷却塔、ヒートポンプ、太陽熱パネルは屋上にある。

冷熱源システムを図-4.16に示す。主冷熱源機はインバーターターボ冷凍機(840RT×2)と固定速ターボ冷凍機(840RT×4)、並びに予備機としてのモジュール型空冷ヒートポンプ(1,194RT)である。なお冬期には、これが空調温熱源の主熱源機となる。これら以外に、熱回収ヒートポンプ(270RT)、井水利用ヒートポンプ(152RT)、電力デマンド制御用のコージェネレーションシステムに付随する蒸気吸収冷凍機(300RT)がある。冷却塔は、低負荷時に冷却水温度を極力下げて運用できる共用集合冷却塔である。

温熱源は、温度レベルが40～50℃の空調用と80℃の給湯用とに分けて効率向上を図った。空調用の主温熱源機はモジュール型空冷ヒートポンプ(3,080kW)であり、これ以外に熱回収ヒートポンプ(1,161kW)、井水ヒートポンプ(596kW)、給湯用熱源から空調用に熱を供給するための熱交換器(1,800kW×2)がある。給湯用の主温熱源は温水ボイラ(1,163kW×4)で、これ以外にコージェネレーションの排熱を利用する熱交換器(675kW)と電気室の排熱を回収する高温水ヒートポンプ(48kW)がある。将来の2次側システム改修時まで脱蒸気が図れないホテル・文化施設の系統には蒸気ボイラ(1,254kW×4)を新設した。これは主たる温熱源システムと独立している。なお、温熱源システムの図は省略。

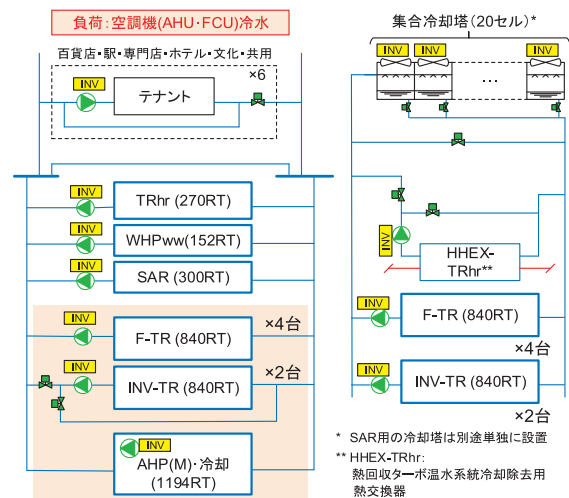


図-4.16 冷熱源システム

5. Cxに関わる技術者

Cxは品質確保のための管理プロセスであり、それを司るのは専門的な技術・倫理観・経験を有する技術者である。特にCMTには特別の資質が必要になるためNPO法人・建築設備コミッションング協会では講習会などを通じてCxPE(性能検証技術者)とCxTE(性能検証専門技術者)という技術者を養成すると共に、こうした人材の資格者認定や登録事業を行っている¹⁸⁾。なお筆者は、このNPO法人の設立に関わり2012～23年の11年間、理事長としてCxの社会への普及、マニュアルの整備、先導的なCx事業の推進などに関わった。

6. Cxと研究開発

本稿では建築設備のCxについて解説したが、Cxは研究開発においても興味深い領域である。筆者がCxに興味を持つようになったのは1990年代である。当時は、冷凍機、ヒートポンプ、蓄熱槽などで構成される複雑な熱源群を最小のエネルギーで運転するための最適運転手法の研究に興味を抱いていた(例えば文献19)。もう一つの研究は空調システムの不具合発見・診断(Fault Detection and Diagnosis: FDD)の研究である(例えば文献20)。両方ともCxを実施するために必要な技術であるため筆者は違和感なくCxを受け入れることができた。

最適運転手法は時間的応答に遅れを有する非線形システムの最適化問題として今でも最前線の研究テーマである。FDDはかなり以前から取り組まれているが、データ不足とハンドリング技術が貧弱だったため大きな進展がなかった。しかし最近、ビッグデータとAIを活用し自動化する研究が始まっており新たな展開を迎えている。これらはまだ応用が始まったばかりであるが、今

後、大きな進展があるのではと期待している。

7. 今後の課題

グリーンビルディングの国際的な認証プログラム（環境性能評価認証システム）であるLEED（Leadership in Energy and Environmental Design）ではCxの実施が義務づけられている。国際的な優良企業はSDGsの取り組みのためにLEED認証を得たビルへの入居を選ぶため、世界中の多くの建築でCxが実施されている。しかしビルのオーナーは少ないコストで認証を得たいので、最近米国ではコスト重視の安直なCxが進み、本来の堅実なCxとの2極化が懸念されている。これはCxのcommodity化（一般化あるいは形骸化）と呼ばれる。どの国でも認証業務は常に形骸化し本来の効力を失う危険性に晒される。これを防ぐには、建物オーナーに省エネ性能の量的なエビデンスを出させたり社会に公表させたりし、性能をガラス張りにすることが一つの解決策になるであろう。

建築は一品生産品のため、国によって品質管理の手法も不具合への対処方法も異なることを前段で述べた。従って、我が国に西欧式のCxプロセスをそのまま導入するのは適切でない。今後は、本稿で示した京都駅ビルの先導的Cxなど、既往のCx事例の経験を活かし、我が国に適したプロセスを徐々に確立してゆくことが求められる。実際、最近、我が国で展開されているCx事業ではその模索が進んでいる。こういう努力により、commodity化することなくコストを抑えて確実な品質確保ができる、有効性と便益性の高いCxにできるであろう。

8. まとめ

世界がグローバル化するなか、Cxは建築設備における品質確保の標準手法になりつつありISO化も進んでいる¹⁾。本稿ではコミッショニング(Cx)の歴史とそれが求められるようになった背景、経緯、特質ならびにCxプロセスの概要を述べ、その適用例として60%もの省エネを達成した京都駅ビル熱源システム改修プロジェクトの取り組みについて述べた。

Cxは品質確保のプロセスであるが、研究的にも技術的にも興味ある課題が多く、不具合発見・診断技術、システムの最適運転、ビッグデータの処理や分析、など、DXの適用が必須とされながらもまだまだ未開の領域である^{24),25)}。今後も、多くの若い研究者や技術者が興味をもって研究・開発に取り組んで頂くことを期待したい。

なおCxは当初、空調設備の省エネを目的にして進展

したが、最近では、適用の対象が外壁の気密性、照明設備など空調設備以外にも広がり、その目的も防災設備や非常用電源の信頼性確保、BCPなど、省エネに限らなくなってきた。また、最近、地球環境保護がようやく社会で本格化し、SDGsへの対応が必須となっている。その一環として、気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD: Task force on Climate-related Financial Disclosure）は、企業にESGの定量的評価とその開示を推奨している。つまりカーボンニュートラルは設計（絵に描いた餅）ではなく実績値で示すことが不可欠とされるようになってきた。このように、今や、建物のオーナーはCxを適用して自らの責任で性能を検証し維持することが必要な時代になっていると筆者は考えている。

【謝辞】

京都駅ビルCxプロジェクトの成果は、京都駅ビル開発(株)、(株)JR西日本総合ビルサービス、(株)日建設計、高砂熱学工業(株)、(株)JR西日本テクシア、西日本電気システム(株)ならびにNPO法人建築設備コミッショニング協会京都駅ビルCMTに所属する多くの方々の協働によって成し遂げられた。ここに関係者の方々の努力に感謝の意を表します。

京都駅ビルのCxプロジェクトは実施スキームに対して2014年の国土交通省の住宅・建築物省CO₂先導事業の補助金を、2015年には経済産業省の再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策費の補助金を得た。

【補足】Cxプロセスの定義 ISO/WD 24359-1¹⁾

A quality-focused process for enhancing the delivery of a project. The process focuses on verifying and documenting that all of the commissioned systems and assemblies are planned, designed, installed, tested, operated, and maintained to meet the owner's project requirements during the commissioning performance period.

【参考文献】

- 1) ISO/WD 24359-1, Building commissioning process planning — Part 1: New buildings, 3.4 Commissioning process (Cx), 2023. (現在審議中)
- 2) C. J. Parsloe : ヨーロッパにおけるコミッショニング方法, 空気調和・衛生工学会学会誌(井口悠哉・吉田治典訳), 第75巻第6号, pp.52~60, 2001.
- 3) Guideline 0-2019 -- Commissioning Process, ASHRAE, 2019.

- 4) Standard 202-2018 -- Commissioning Process for Buildings and Systems, ASHRAE, 2018.
- 5) 「建築設備の性能検証過程指針」, 空気調和・衛生工学会, 2004.
- 6) 「建築設備コミッショニングマニュアル」第三版, NPO 法人・建築設備コミッショニング協会, 2016.
- 7) Evan Mills, et al.: The Cost-Effectiveness of Commercial Buildings Commissioning: A Meta-Analysis of Existing Buildings and New Construction in the United States, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.
- 8) 「より良い建築をつくるための提言～建築企画書(ブリーフ)の活用に向けて～」, 社団法人 日本建築学会・建築設計ブリーフ特別調査委員会, 2007.
- 9) Yoshida, H., Asada, M., Matsushita, N., "Application of the air-conditioning system energy simulation for commissioning (ACSES/Cx) tool to HVAC simulation commissioning Part 1, Part 2", Proceedings of BS2013, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 2013.
- 10) 吉田治典他: 空調システムエネルギー計算シミュレーション (ACSES) のCxへの応用 第1～7報 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2012.9 (第1～6報), 2013.9 (第7報)
- 11) 松下直幹他: 同第15報 冷熱源システムの最適運転法・実装システムの各種検証, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2018.
- 12) 安井亮人他: 同第8報 熱回収ターボ冷凍機システムの機能性能試験・適正化, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2017.
- 13) 矢野真也他: 同第9報 搬送システムの機能性能試験・適正化, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2017.
- 14) 青山博昌他: 大規模複合用途建物の熱源・空調設備改修プロジェクトのコミッショニング 第3報 コミッショニングのためのBEMS構築と計測データポイントの管理・確認方法, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2016.
- 15) 山口淳志他: 同第7報 CxのためのBEMSのデータ設計と測定ポイント確認試験, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2017.
- 16) 西山 満他: 同第10報 高温熱源システムの機能性能試験, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2017.
- 17) 山本雄二他: 同第16報 冷却水のブロー・給水方式の改善による水質管理コスト削減効果の検証, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, 2018.
- 18) 特定非営利活動法人 建築設備コミッショニング協会ホームページ, <http://www.bsca.or.jp/outline/contact.html>
- 19) Yoshida, H. and Inooka, T. : Rational Operation of a Thermal Storage Tank with Load Prediction Scheme by ARX Model Approach, IBPSA, pp. 79～86, 1997.
- 20) Yoshida, H., et. al. : Typical Faults of Air Conditioning Systems and Fault Detection by ARX Model and Extended Kalman Filter, ASHRAE Transactions, Vol.102 Part 1, pp. 557～564, 1996.
- 21) 「熱源光熱費を年間で6割削減」, 日経アーキテクチュア, 2017-8-10号, 2017.
- 22) 吉田治典他: 京都駅ビル熱源・空調設備改修工事におけるコミッショニング, 空気調和・衛生工学, No.96, vol.11, pp.11～19, 2022.
- 23) Ushio, T., Yoshida, H., Mori, S., Retrofit Creates Kyoto Energy Showcase, ASHRAE Journal, vol. 63, no. 9, 2021.
- 24) IEA-ECBCS Annex 40 Report, 「Commissioning Tools for Improved Building Energy Performance (ビルのエネルギー性能向上のためのコミッショニングツール)」, 2010.
- 25) IEA-ECBCS Annex 47 Report, 「Cost-Effective Commissioning of Existing and Low Energy Buildings (既存ビルと低エネルギービルの経済的なコミッショニング)」, 2008.