

## コミッショニングによる省エネルギー・光熱費削減サービス ～地方自治体の建物におけるサービス実施事例と 今後の展開について～

|            |       |        |
|------------|-------|--------|
| 四国電力(株)    | 土木建築部 | 松田 健太郎 |
| 四国電力(株)    | 土木建築部 | 天野 雄一朗 |
| (株)四国総合研究所 | 土木技術部 | 藤井 良平  |
| 四国電力(株)    | 土木建築部 | 石川 大   |

キーワード : コミッショニング  
省エネ  
無線式モニタリング

Key Words : Commissioning  
Energy saving  
Wireless monitoring

### **Energy saving and utility cost reduction services by commissioning - Examples of service implementation in local government buildings and future developments -**

Shikoku Electric Power Company, Civil Engineering and Construction Department  
Kentaro Matsuda, Yuichiro Amano, Masaru Ishikawa  
Shikoku Research Institute, Inc., Civil Engineering Department  
Ryohei Fujii

### **Abstract**

In this paper, we report the outline of this service, the contents of the implementation, and the results. At present, several years after the start of the service, not only the commissioning aimed at energy saving and cost saving in the local government buildings targeted at the start of the service, but also the visualization of the air environment in government buildings and schools and the commissioning of air conditioning and ventilation facilities in all-electric food service centers as measures against the new coronavirus.

In the future, in addition to the applications we have worked on, we would like to expand the service to include hot bath facilities and hospital facilities with high energy use density.

## 1. はじめに

2050年カーボンニュートラル宣言や近年改正された省エネ法などを背景に、企業や自治体の省エネ義務が強化されており、自治体におけるカーボンマネジメント事業や省エネ化に関する各種助成など、全国大での持続可能な循環型社会の形成への取り組みが一段と活発となっている。

このような背景の中、四国電力ではこれまで培ってきた建築技術を活用した新しい顧客サービスとして、自治体庁舎などの事務所ビル、オール電化給食センター、学校校舎などを対象とした「コミッションングによる省エネルギー・光熱費削減サービス」に取り組んでいる。コミッションング（以下、Cxとする）とは、空調設備や照明設備などの建物設備に対して「建物が持つ本来の性能を実現する」ため、運転データの分析やシミュレーションなどによる性能検証、設計意図などの見える化による適正な運用改善を実施することである。一般的に建物オーナーが気付かないままエネルギーの浪費を続けている建物が非常に多く、Cxは既存の建物に対する省エネ・省コストの有効な手段となる（図1）。

また、昨今の新型コロナ対策にもあるように十分な換気量を確保しながらも、過度な換気とならないように換気設備の運転の適正化を図り、空調設備の省エネを行う上でも、Cxは重要な要素となる。

本サービスは、ヨンデンビル新館で採用した冬期の冷熱を土壌にため夏期の冷房エネルギーとして使用する再生可能エネルギーを利用した季節間土壌蓄熱空調システムの運用最適化 Cx や高松電気ビルにおける設計から運用時に亘る継続的な Cx など、これまで培ってきた Cx 技術を初めてお客さまの建物に適用したものである。これは、設備の把握、データ計測・解析、運用改善、成果報告のサイクルをワンスルーで実施し、省エネルギーと電力デマンド低減を迅速に実現することで、顧客との更なる良好な関係の醸成や離脱防止等に寄与するとともに Cx 業務による収益獲得を図るものである。

## 2. Cxとは

本サービスにおける Cx<sup>1)</sup>では既設建物の空調設備や電気設備などを対象として、設計時における目標使用エネルギー量を満たすよう詳細なデータ分析等により設備の運転状況を検証し、エネルギー削減量やコスト削減の目標を OPR（発注者要件書：Owner's

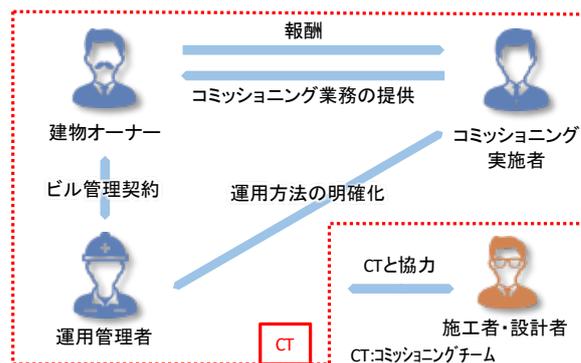


図1 Cx体制

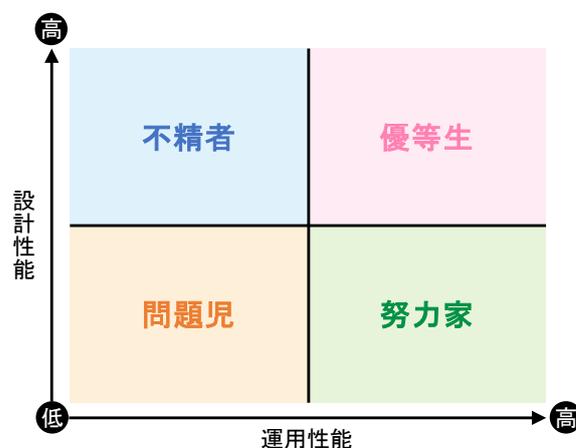


図2 Cxによる運用改善のイメージ

Project Requirement) としてまとめる。Cxを実施する会議体にはCMT (Commissioning Managing Team) だけでなく、建物オーナーも巻き込んだCxチームとして構成することが肝要である。このCxは、このように専門家や建物オーナーなど関係者による意思決定を行うことで、データの見える化による制御変更など専門的な運用改善を実施することが可能となり、本来設備が持つ性能を継続的に発揮させるプロセスのことを指す。

このような専門的な運用改善により、設計性能が良くても運用性能の悪い「不精者」を設計性能も運用性能も良い「優等生」としたり、両者とも悪く「問題児」とされる建物でも運用性能を向上させ「努力家」にできるような有効な手法である（図2）。

また、設計時には明確な意図があり導入した設備が、運用段階において担当者間でうまく情報が引き継がれないことが散見され「この設備は何のためにあるのか?」、「どのように使うのが適正か?」ということを明らかにし運用に反映するのも、本サービ

スにおける Cx の目的とした。

本報では、Cx の実施事例と進捗状況およびその成果、今後の展開等について述べる。

### 3. Cx 事例とその成果

#### 3.1 水蓄熱空調システムの Cx 事例

M 市庁舎（1989 年竣工：RC 造 5 階、地下 1 階、延床 4, 886m<sup>2</sup>）は、水蓄熱空調システムを採用しており、2018 年度から地方公共団体カーボンマネジメント強化事業の一環として、2 年間に亘りシステム全体のリニューアル工事を実施した（図 3）。省エネ設備として、高効率空冷ヒートポンプチラー（118kW×4 台）や高効率 AHU、高効率ポンプ設備などを導入することで、空調設備の年間使用電力量を約 20%削減することができた。しかし、リニューアル後の運転においては、適正な蓄熱温度帯や蓄熱量が定まっておらず、冷温水ポンプが 24 時間運転することや、夏期に加湿運転をするなどの制御上の不具合も散見されることから、更なる使用エネルギー低減を目標に、工事後の空調設備を対象とした既存 Cx を実施し、運用改善を図ることとなった。OPR として、「建物全体の使用電力量と電力デマンドを約 10%削減」とした。

はじめに、エネルギー削減の即効性の高い熱源システムから運用改善に取り組んだ。蓄熱温度については、データ分析から目標温度より約 3℃の乖離があることがわかり、調査により熱源の容量制御が原因ではなく、蓄熱時に 3 方弁が作動していないことが原因とわかった。また、蓄熱槽の容量は 550 トンだが、日空調使用熱量としては半分程度の容量で補えると推定できたため、目標温度で蓄熱することで必要な蓄熱量を確保する計画とした。さらに、熱源機が 2 台同時に動いて夜間デマンドとなっている状況を緩和するため、制御盤の改修計画に併せ熱源機の台数選択が可能となるように制御システムの変更を自治体担当者に提案し、具体的な設計仕様を工事業者に連携することで改修工事を円滑に進めることができた。これらの運用改善により、「熱源機の効率向上」、「搬送動力の削減」、「電力デマンドの削減」を同時に達成することができた（図 4）。

また、空調機側の 2 方弁の不具合による冷温水ポンプの 24 時間運転や夏期の加湿運転、VAV の不具合、空調機の外気給気過多などについても定期的な Cx 会議で報告し、改善方法を提示することで運用改善に繋げた。これらの Cx による運用適正化を実施する



図3 M 市庁舎建物外観

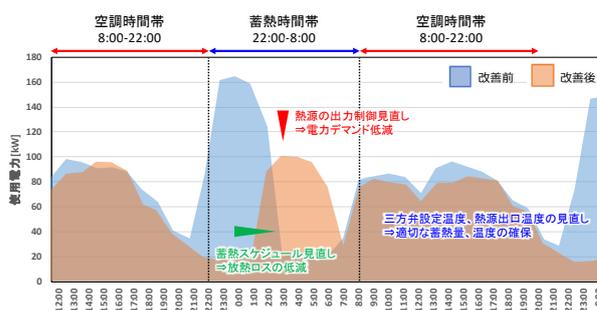


図4 水蓄熱の運用改善イメージ

ことで、空調設備の年間使用電力量を更に約 20%削減することができた。併せて、利用頻度の低かったクラウド BEMS を利用した見える化を提案することで、効果的なエネルギーマネジメントシステムを構築でき、運用時におけるデータの見える化と空調設備の一元管理が可能となった。

Cx を実施していなかった前年の実績と比較すると、建物全体の使用電力量を約 15%、電力デマンドは約 30%削減できており、OPR を達成した。

#### 3.2 氷蓄熱空調システムの Cx 事例

K 市庁舎（2011 年竣工、S 造 5 階、延床 6, 400m<sup>2</sup>）では、省エネ法対応、温暖化ガス排出抑制を目的とした省エネ施策として、高効率蛍光灯から LED 灯具への改修を検討していたが、BEMS データより導入されている設備が適正に運用されていないことが判明したため、2019 年より建物全体を対象とした既存 Cx を実施した（図 5）。この建物は、氷蓄熱ビルマルチ空調システム、自然換気システム、昼光利用型調光システムなどを導入している。OPR は「建物全体の使用電力量と電力デマンドを約 10%削減」とした。

空調設備について、各階の使用状況や人員密度が違っていることから時刻ごとの使用電力量や処理熱量等を計測し、氷蓄熱が必要な期間、システムを検討し

たうえで氷蓄熱の運用改善を行った。氷蓄熱ビルマルチ空調システムは、夜間氷蓄熱槽に製氷し冷媒を介して冷熱を取り出すことで、空調運転開始時の負荷を低減し電力のピークカットに寄与するシステムである。しかし、製氷による蓄熱は、水蓄熱の冷水蓄熱運転と比較すると効率が悪く増エネになる傾向がある。このため、電力ピークカットによるデマンド低減と省エネを両立する手法として、各階の空調系統ごとの氷蓄熱運転の必要性を空調負荷の観点から検討を行った。その結果、4階を除き氷蓄熱運転をしなくとも、負荷的に対応ができるということから氷蓄熱運転を停止することとした。また、氷蓄熱運転を停止することで、停止前の8月5日と停止後の8月13日を比較すると約30%省エネとなった(図6)。しかし、空調運転開始時のピークカットができなくなるため、系統ごとの空調の運転開始時をずらし、段階的に起動することで電力デマンドを低減することが可能となり省エネとの両立を図った。

換気設備については、職員の使用状況とCO<sub>2</sub>濃度の計測結果より、全熱交換器の適正な運転台数、スケジュールを設定した。また、自然換気システムに関しては、ビルコン上は中間期の運転を許可している設定になっているがBEMSデータを確認すると、竣工後一度も稼働していないことが判明した。自然換気システムにおいては設計図書にパラメータ設定などが一切記述されておらず、設定値も不明であった。建築工事で設置された屋上排気窓と各階のエコレータ、設備工事で設置された制御盤やセンサ類、ビルコンと多岐にわたっており、担当者やビル管理者も把握していない状況であった。このため、主制御盤から末端の制御盤までを現地で目視確認し、調査結果や設計図書から制御方法を推定し、パラメータを再設定することで設計思想に準ずる運転を試みた。結果としては、末端の制御盤内に設置されているデジタルコントローラ内に制御用のシーケンスが格納されているのを発見し、設定値が中間期の気象条件と大きく乖離していたため、実状の温度差で作動するようにチューニングを行った。このように、設計図から設備の詳細が読み取れず、高価な建設費をかけた設備が建物引き渡し時から一切利用されていない事例は他にも多く散見されており、Cxによる運用改善により適正な運転が行えるようになる場合がある。設計時からCxのプロセスにより設備ごとの機



図5 K市庁舎建物外観

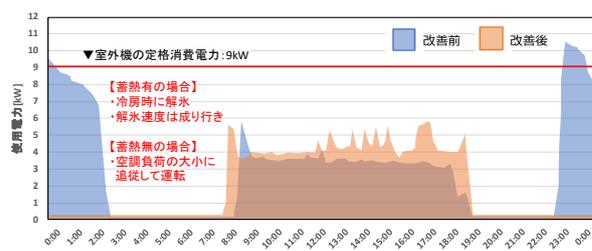


図6 氷蓄熱の運用改善イメージ

能性能確認を行い、設計思想通りの運転ができることを確認したうえで、建物所有者に引き渡しを行うことが肝要である。

電気設備においては、各部署によって照度設定が大きく違っており、高い箇所は1,000lxを越える場所も多く存在しており、基準照度を800lxから600lxに再設定することでエネルギー削減を試みた。本建物の照度制御は中央監視盤で建物全体を一括で設定できるようになっており、人間の感覚で暗くなったことがわからないよう1週間に50lxずつ照度を下げていき、1か月程度の期間をかけ徐々に照度変更を行った。この結果、照明設備に使用する電力量の10%を削減することができた。

これらの運用改善により、Cxを実施していなかった前年の実績と比較し、使用電力量を約10%、電力デマンドは約20%削減でき、OPRを達成することができた。運用担当者も各設備が何のために設置されてどのように運用するのが適正なのかということを理解しておらず、情報も引き継がれていなかったことから、建物全体の設備運用マニュアルを作成し、担当者が交代したとしても適正な運転が継続できるような仕組みを整備した。

### 3.3 新型コロナ対策としてのCx事例

新型コロナウイルスの影響により、換気量の増大、空調範囲の拡張など建築設備の運用は大きく変化し

ており、またこれに伴い執務者の生活様式も大きく変化している。いわゆる「3密」を避けるために換気行動が推奨されているが、窓開け等による過度な換気は空調の増エネにつながるだけでなく、夏期の熱中症リスクを高めることや冬期の湿度低下をまねく等、室内環境の悪化による在室者の健康への影響が懸念されている。このため、無線式環境モニタリングシステム Energy Minder<sup>2)</sup>を新規開発し、新型コロナ対策としてのCxに取り組んだ(図7)。対象施設は前項のM市庁舎とその附属建物とし、空調設備のCxに併せて2020年10月から実施した。このシステムは、親機となるデータ収集ユニットとセンサ子機で構成されており、無線通信により子機で計測したデータを親機に集約し、インターネットを通じて遠隔から監視ができる。子機にはCO<sub>2</sub>濃度の他に温度、湿度、体温、電流など任意のセンサを接続し、計測状況に応じたシステム構築することが可能である。

今回は、子機を各階1～2台ずつ設置し、子機表面にはLEDランプを設置することで職員に換気状況を示し、必要に応じて換気行動を促すこととした。Cxの目標として、CO<sub>2</sub>濃度を1,000ppm以下とするように風量やダンパーを調整し、換気量の確保と空調消費エネルギーの抑制の両立とした。

この建物では執務者密度を緩和するため土日も建物を通常通り使用する計画としており、空調の稼働時間が例年に比べ約40%増加したが、これらのCxの実施により前年の実績と比較すると、使用電力量を約2%の微増に抑えることができた。

### 3.4 小学校教室の換気の見える化事例

新型コロナのオミクロン株による学校施設でのクラスターが全国的に発生していたこともあり、教室において適正な換気量を確保し「密閉」を防ぐことが重要とされている。しかし、地方自治体の小学校では、機械換気設備が無く窓開け換気のための校舎もまだ数多く存在しており、このような校舎では、室内温熱環境の悪化や大幅な空調エネルギー増加となるような窓開け換気、また窓開けの抑制による換気不足などの問題が危惧される。このような背景から、文部科学省の周知<sup>3)</sup>では、CO<sub>2</sub>濃度のモニタリングシステムを利用した換気状況の見える化と換気設備の運用の適正化が推奨されている。

本事例<sup>4)</sup>では、換気設備の無い教室に Energy Minder を導入し、全教室のデータ計測と各教室にお

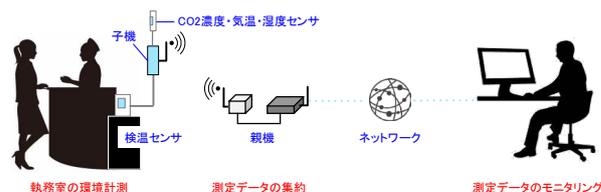


図7 無線式環境モニタリングシステム

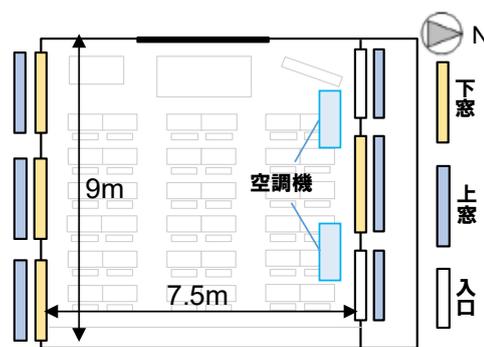


図8 教室の平面図



図9 センサの取付状況例

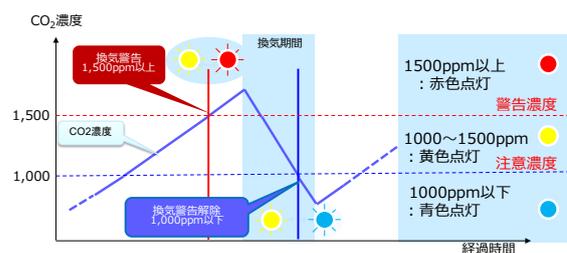


図10 LED点灯色

けるLED表示を利用したCO<sub>2</sub>濃度表示による換気行動変容を促すことで、換気状況の改善と省エネルギー化を試みた。また、データ分析やアンケート調査を通じて、各教室における窓開け換気の定量化と教職員および児童の換気行動の状況を把握し、同様の校舎に対しても水平展開できるような知見を収集することとした。

対象とした学校は高松市立K小学校とした。校舎

は南北2棟あり、南校舎は昭和30年代竣工のRC造3階建、北校舎は昭和50年代竣工のRC造4階建である。各学年3学級の編成となっており、全18学級と職員室の計19室を計測対象とした。なお、1学級あたり30～35名程度の児童が在籍しており、教室の大きさは7.5m(幅)×9m(奥行)×3m(高さ)である(図8)。センサ位置は、教室後方の中央部分の高さ約2mの1か所とした(図9)。

なお、換気行動変容を促すために、子機は3色LEDランプを具備しており、今回はCO<sub>2</sub>濃度の変化によって、青(1,000ppm以下)、黄(1,000ppm～1,500ppm)、赤(1,500ppm以上)に点灯するようにした(図10)。

冬期の計測期間は2021年12月2日～2022年2月17日とした。LED表示の有無による窓開け換気の状態と行動変容の差異を評価するため、約3週間ごとに①LED表示無(12月2日～12月27日)、②LED表示有(12月28日～1月21日)、③LED表示有:蔓延防止適用期間(1月22日～2月17日)の3期間とし、各学年3学級の平均値を算出した結果を図11～13に示す。なお、この3期間中の在室児童数に大きな変動はなく30名前後であった。

①の期間において、5、6年生の教室では学校環境衛生基準である1,500ppmを超える場合が散見された。各学級のデータでは最大2,552ppmを計測する教室もあった。4年生以下では、1,500ppmは超えないものの新型コロナウイルス対策として厚生労働省が推奨する建築物衛生法等で定められる1,000ppm以上となる時間帯もみられた。②の期間においては、①の期間と比べ全学年において明らかに平均濃度が低下しており、概ね1,000ppm以下となっていることがわかる。③の期間においては、②よりも更に低くなる傾向がみられた。この結果より、LED表示により何らかの換気行動変容が起きたと推測される。③の期間における換気回数をCO<sub>2</sub>濃度から逆算すると4回程度と推定され、機械換気設備が無い教室においても、厚生労働省が推奨する2回以上を満たす結果となった。

また、空調用ガス使用量は、前年度同時期より12月は65%増加していたにも関わらず、1月は平均気温が1℃以上低かったが25%低減されており、各教室の換気状況とエネルギー消費量についても、今後詳細に分析したい。



図11 室内CO<sub>2</sub>濃度の推移(1、2年生)

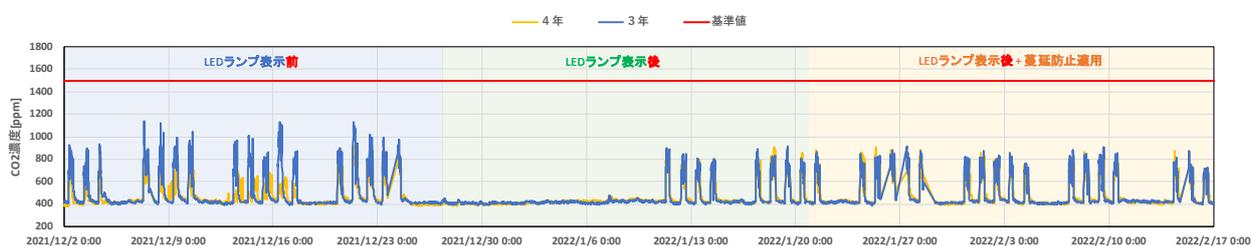


図12 室内CO<sub>2</sub>濃度の推移(3、4年生)

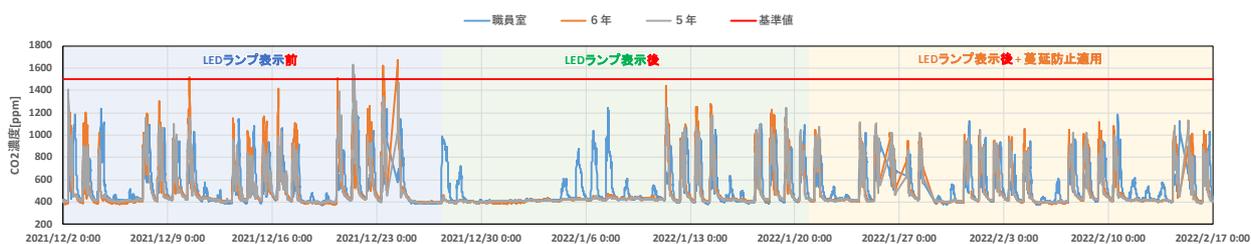


図13 室内CO<sub>2</sub>濃度の推移(5、6年生)

### 3.5 給食センターにおけるCxの事例

K市給食センター（2014年竣工：S造2階、延床2,023m<sup>2</sup>）は、電気式厨房設備を採用しているオール電化給食センターである（図14）。「建築設備設計基準」による設計では、電気式厨房設備の換気量基準が場合によっては有毒ガスが発生する燃焼式厨房設備とほぼ同等であり、運用上過大設計となることが散見されている。換気量の増大は空調エネルギーと建設費用の増大と関係しており、換気の増大が、ときにHACCPなどの管理基準温度に達することができないなどの調理環境上の弊害も引き起こすことが指摘されている。平成30年度版までこの基準が採用されてきたが、令和3年の改訂では記述が変更され、電化厨房は「厨房の使用条件、厨房器具、フード形状等に応じた換気量の算定が可能」となる旨のただし書きが追加されることとなった。

以上の背景から、K市給食センターにおいても、Cxによる換気量の適正化と換気空調エネルギーの削減が可能と考え、OPRを「建物全体の使用電力量の約10%削減および電力デマンドの30kW削減」とし、2022年6月より計測を開始した。

現状の風量を把握するために、フード面での面風速とフード式風量計による風量計測を行った。Cxによる運用改善後の面風速が、エレクトロヒートセンターの推奨値である0.25[m/s]程度の範囲となるように、INV値の設定値を決定した。なお、面風速はINV値に比例、エネルギーは3乗に比例することから、面風速から逆算して求めた。

換気設備の消費電力について、換気能力の高い洗浄室（定格電力合計：7.2kW）、調理室（15.0kW）、炊飯室（7.7kW）の電力量を運用改善の前後で比較する（図15）。代表週における月～水の3日間で3系統とも50%以上の削減を確認した。計測しているファン12系統の合計では、48.1%（68kWh）の削減を達成した。

空調設備の消費電力について、空調能力の高い洗浄室（定格電力：15.4kW）、調理室（22.8kW）、炊飯室（15.4kW）の電力量を運用改善の前後で比較する（図16）。代表週における月～水の3日間の日中平均気温は運用改善後の方が0.6℃高いにも関わらず、洗浄室は16.9%減、調理室：13.1%減であった。

また、炊飯室は12.3%増となっていたが、炊飯メニューによっても稼働時間の差が大きいことによるものと考えられる。この稼働時間の観点は換気設備



図14 K市給食センター建物外観

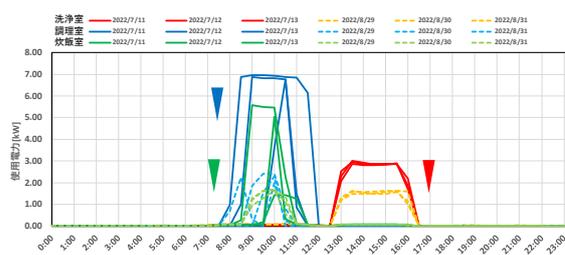


図15 換気設備消費電力の変化

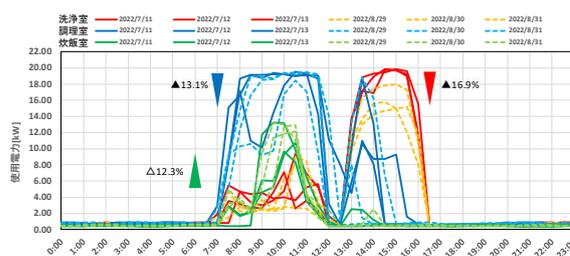


図16 空調設備消費電力の変化

についても同様である。計測している8系統のビルマル空調合計では約9%（111kWh）の減であった。

本施設のCxは2年間の計画となっており、デマンドが発生する冬期に関しても、空調、換気設備だけでなく給湯設備を併せた運用改善など引き続き検証を行う予定としている。

## 4. おわりに

本報では、本サービスの概要と実施内容、その成果について報告した。サービルを開始し数年経った現在では、サービス開始時に対象とした自治体の庁舎における省エネルギーおよび省コストを目標としたCxだけでなく、新型コロナ対策として庁舎や学校の空気環境の見える化、オール電化給食センターの空調・換気設備のCxなど様々な用途の施設に取り組んでいる状況である。

今後は、これまで取り組んだ用途以外にも、温浴施設やエネルギー使用密度の高い病院施設などを対

象としたサービスとして展開していきたい。

#### **[謝辞]**

本サービスの実施にあたり、(株)四国総合研究所  
中西美一氏には多大なるご支援・ご協力をいただき  
ました。ここに謹んで謝意を表します。

#### **[参考文献]**

- 1) 建築設備コミッショニングマニュアル（第3版）、NPO 建築設備コミッショニング協会、2016
- 2) 松田、天野、藤井：無線式環境モニタリングシステムの開発、空気調和・衛生工学会大会学術論文集（福島）、2021.9
- 3) 小学校、中学校及び高等学校等における新学期に向けた新型コロナウイルス感染症対策の徹底について、文科省、2021
- 4) 天野、松田、藤井、田島：小学校を対象とした環境モニタリングシステムによる換気行動の変容に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術論文集（神戸）、2022.9