

技術研究所展示実験棟の省エネ化

－省エネ化改修概要と省エネ技術の運用結果－

小座野 貴弘* 塚本 隆史*

要 旨

気候変動問題の解決に向け、2050年カーボンニュートラル化宣言を契機に多くの企業が脱炭素経営に舵を切り始めている。その中で建物の建設や運用に伴い排出される年間のCO₂量は、国内全体の3割近くを占めていることから建物省エネ化のニーズが高まり、今後一層の省エネ化対応要求が強まると考える当社では、省エネ設計技術の高度化を目的として自社施設を中心に各種省エネ技術を導入し省エネ効果把握に努めている。その一環として2019年技術研究所内の展示実験棟に省エネ技術を導入した改修を行った。2年間の運用中にBEMSに蓄積したデータ分析を行った結果、導入技術により想定した省エネ効果を発揮しているもの、今後の運用で更なる効果が期待できるものなど各技術の特性把握ができた。また当該建物は、計画時と同程度もしくは上回る高い省エネ性能を有していることも確認した。今後も省エネ技術の効果検証を継続し、検証結果をもとに建物の省エネ化提案・設計に活かしていくとともに、より効果的な技術となるよう研究開発に力を注いでいく。

1. はじめに

2020年10月、政府は「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年、脱炭素社会の実現を目指すこと」を宣言した。

これは、地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けて、2015年に採択されたパリ協定の中で打ち出された世界の平均気温上昇を大幅に抑制するための方策を受け、その目標期限を明確に打ち出したもので大きな反響があった。これら一連の動きを契機に、気候変動に対応した経営戦略の開示(TCFD)や脱炭素に向けた目標設定(SBT、RE100)などを通じ、脱炭素経営に舵を切る企業が多くなっている。

建物の建設や運用に伴う年間のCO₂の排出量は、日本国内全体の中で3割近くを占めている。排出源は、石油など化石燃料を原料とするエネルギー消費によるところが大きく、我々は、建物を利用する中で日々多くのエネルギーを消費している。これらを背景に建物の省エネ化のニーズが高まり、新築に限らず既存の建物においても省エネ化の対応が求められてきていると考える。

当社は、カーボンニュートラル化に向け、TCFD提言に賛同しており、その中でZEB化推進等お客様のニーズに対応し建物の省エネ化に関する提案活動を積極的に進めている。建物の省エネ化においては、快適な室内環境を維持しながら建物内の各種設備を効率よく運転することが重要であり、そのため各種の省エネ技術をどのように組み合わせたら高いパフォーマンスが得られるかについて設計技術の高度化を進めている。高度化に必要なノウハウ蓄積のため、各種の省エネ技術を導入した自社施設において、データを収集、分析し、省エネ効果の把握に努めている。

これらの一環として技術研究所内にある展示実験免震棟で多くの省エネ技術を導入した改修を行った。本報では、省エネ化改修の概要と、導入した省エネ技術の運用結果について、その一部を紹介する。

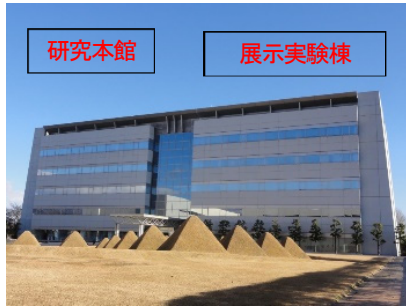
2. 建物概要

省エネ化改修を行った展示実験棟免震棟(以下、展示実験棟と称する)は、栃木県那須塩原市に位置する当社技術研究所内にあり、主に執務を行う研究本館に付属している。同建物は、当社技術研究所が那須地域に移り開所した1994年に竣工した。表-1に建築概要を、写真-1に外観、図-1に平面図を示す。

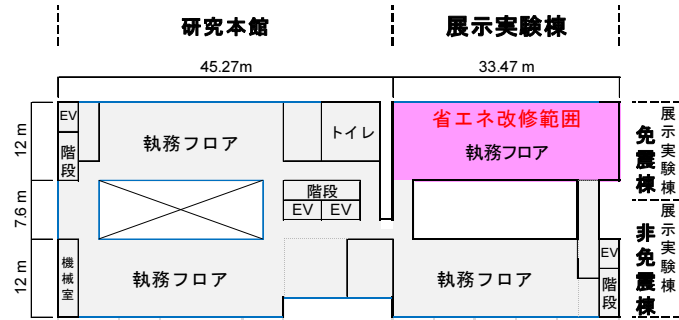
表-1 建築概要

所在地	栃木県那須塩原市四区町1534-1
建物用途	研究所(事務所)
敷地面積	39,663.425 m ²
建築面積	2,347.21 m ²
延床面積	10,729.16 m ² (うち展示実験免震棟 2,115.16 m ²)
階数	地上5階、地下1階、塔屋1階 (展示実験免震棟 地上5階)
構造	(展示実験免震棟) 鉄筋コンクリート造、一部鉄骨造)

* 技術研究所 建築技術開発部



写真一 技術研究所研究本館・展示実験棟



図一 平面図(4階)

3. 改修の概要

建物は、竣工から 25 年が経過し、設備の老朽化など改修が必要な時期に差し掛かっていた。また、建設時に計画された建物の利用環境も変わってきていることから現在の利用形態に合わせた設備の運用方法についても見直す必要があった。

そこで、これらの点を踏まえた上で省エネ技術を適切にあてはめた改修計画をすることになった。改修の目的は、省エネ性能の向上(外皮性能の向上、設備の更新)と、利用環境の整備(執務環境の整備、実験室の再整備)、そして、導入した省エネ技術の効果検証である。

改修計画において、まずは良好な室内温熱環境の確保と空調の省エネ化を図るため、外皮を高断熱化した。設備更新に際しては、積極的に高効率の機器を採用した。

もともと名称のとおり実験空間のほか、当社開発技術の展示空間を目的とした実験棟として整備されていたが、職員のコミュニケーションを活発化することを目的に、当該建物に隣接空間としてつながっている研究本館の執務フロアと同一階のフロアを執務室として改装した(図一参照)。

実験室の再整備の 1 つとして省エネ実験室を新たに設けた。実験室は、大きさや内装仕様が同じ 2 部屋で構成され、それぞれの部屋に、後述の太陽熱利用の空調システムなど空調方法や

制御方法など異なるシステムを導入し、省エネ効果の比較検証実験を行うことができるようにしている。

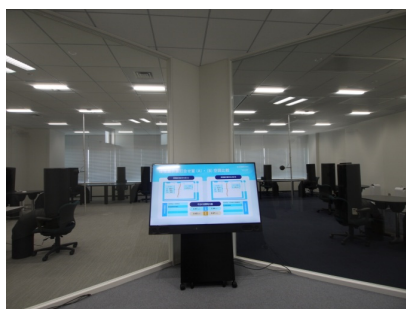
実験室の入口にはサイネージ用大型モニタを設置し、導入した技術の説明に加えて、BEMS で収集している館内のエネルギー利用や室内外の環境データをリアルタイムに表示することができ、来訪者への説明時に活用している。写真二に省エネ実験室を示す。

このように、実際にオフィスとして建物を利用する中で収集したエネルギーや環境データをもとにして、導入した各種技術について省エネ効果の検証、分析を行っている。

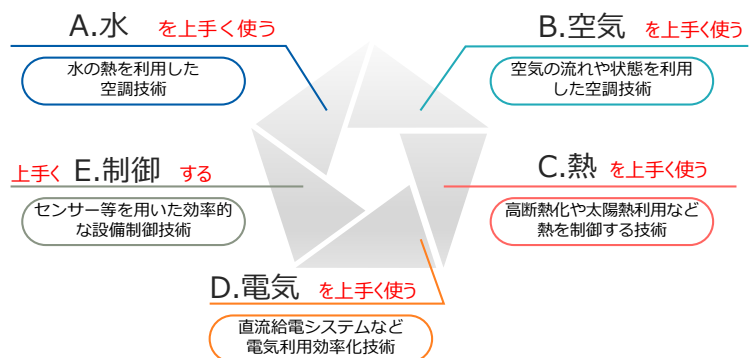
4. 省エネ化の基本コンセプト

今回の省エネ化にあたっては、図二に示す「5 つの要素を上手く使う」というコンセプトとし、自然エネルギーの有効活用を盛り込むことにした。5 つの要素とは、「水」、「空気」、「熱」、「電気」、「制御」である。要素の中には、太陽からの日射熱(取得)のように自然エネルギー由来によるものも多く、これらを上手く活用することで、よりエネルギー利用の効率化が図れると考えた。各要素に属する導入技術を合計すると約 30 になるが、その一部を紹介する。

一つめの「水」には、水を媒体とした熱利用であり、井水の活用



写真二 省エネ実験室



図二 省エネ技術導入

が該当する。井水は、地中熱によって年間を通じて水温が安定しており、安定した水温の井水を各空調設備で利用することで、空調機はより効率的な運転が可能となる。

二つめの「空気」には、自然通風や放射整流吹き出し空調方式等が該当する。自然通風は、屋外の気候が穏やかな季節では、窓を開けて外の空気を取り込むことで空調機の運転を停止し、その間のエネルギー消費抑制の効果が期待できる。放射整流吹き出しユニットとは、空調空気の吹き出し方を工夫し、細孔のある大きな金属面にいったん空調空気を当てることで室内にゆっくり空気を拡散することが可能となり、金属面から室内全体に熱放射も起こすことができる新しい空調吹き出しユニットである。これによりドラフト感を緩和し、かつ、放射効果を得ることができる。

三つめの「熱」には、窓システムや太陽熱利用等が該当する。熱損失が大きい窓面には、熱の流入出を抑制するプッシュプルウィンドウやエアフローウィンドウの窓システムを導入している。また一部の部屋には、太陽の熱で温めた温水を利用して暖房する太陽熱利用の空調システムを導入している。

四つめの「電気」には、太陽光発電による直流給電システムが該当する。直流給電システムは、直流の電気を電気器具に直接給電するシステムで、太陽光で発電した直流電気をそのまま、LED 照明器具に給電することが可能である。直流から交流の変換が不要となるためエネルギーロスが少ない。

五つめの「制御」には、設備機器を効率よく制御する機能の高度化であり、導入する機器自体は高効率であるが、さらに、機器運転時に室内・外の温度や室内の CO₂ 濃度などの環境条件に応じて随時必要な出力に抑制する制御を行うことで、エネルギー消費の抑制が可能となる。

このような各要素の技術を適切に組み合わせた設計を行い、またそれを「上手く使う」ことで快適な室内環境を維持しながら高い省エネ効果を得られると考えた。以上の技術内容を盛り込んだ改修計画時の省エネ率に関する試算では、70%を超える省エネ化が図れると見込んだ。

5. 水・熱に着目した空調技術

ここでは、導入した技術のうち井水を利用した空調技術について詳細を説明する。空調設備は、異なる空調方式の効果を把握するため、フロア単位で水冷式ビルマルチ空調や空冷式ビルマルチ空調を導入している。また、館内の取入れ外気処理には水冷併用式アースチューブを導入した。これらの設備に対しては、自然エネルギーを利用した方法でエネルギー効率を高めるため、井水を活用している。井水の安定した熱を利用して熱交換を行うことにより空調に関わるエネルギーの消費を抑制することが可能となっている。

水冷式ビルマルチ空調は、熱源機の排熱交換に水を利用する方式である。排熱の処理には、通常、冷房時は冷却塔やチラー

で冷却、暖房時はボイラーで加熱した水を利用するが、今回は、年間を通して井水のみで運用を行うことで大幅にエネルギー消費を抑制している。

アースチューブは、地中に管(チューブ)を埋設し、その中に外気を通過させる際、外気に比べて温度変化が小さい地中熱と管面を通じて熱交換を行うものである。換気のために直接外気を取り入れるよりも安定した温度の地中熱を利用することで空気の温度を安定させ、空調にかかる負荷を軽減することができる。水冷併用式アースチューブは、チューブの外周にも水管をらせん状に巻きつけ、これにより管面において地中熱と空気との熱交換の効率をさらに高めるものである。今回はこの水管にも井水を利用している。

空冷式ビルマルチ空調では、室外機に対して散水を行っている。これは、室外機が吸込む空気に水滴散水を行うことで気化熱により吸込み温度を下げるもので、夏期の気温上昇に伴う空調機の運転効率低下を抑制することを目的とした設備である。この滴下水にも井水を利用している。

ダイレクトクーラーは、水を通すコイルとファンで構成されるシンプルな構造で、室内から取り込まれた空気が、水が通過するコイルに触れることにより水が持つ冷・温熱を得て室内を冷・暖房する。今回、コイルに通す水として、冷房時には井水を利用し、暖房時には太陽熱集熱パネルで温めた温水を利用するシステムを構成した。前述の省エネ実験室の空調には、水冷式ビルマルチ空調とこのダイレクトクーラーの両方を設置している。気象条件にもよるが、空調時間帯にはダイレクトクーラーが優先して単独で作動するようにシステム化している。それにより、自然エネルギーを有効利用した空調システムとなっている。

今回利用する井水は、1本の井戸で賅っている。一般的に井水を利用した空調システムの場合、設備の稼働に伴って常時井水を汲み上げる必要がある。そのため井戸から湧き出す水量が限定される場合には、複数の井戸を掘削し利用する必要があり、さらに、井戸が深い場合にはポンプ運転に要する消費エネルギーも大きくなる。

そこで、今回は、設置する井水設備能力を最小限にし、消費エネルギーを抑制することを目的に、井戸から汲み上げた井水をいったん井水タンクに貯留するシステムを構築した。井水タンクは、既存建物地下部の蓄熱槽を再利用している。図-3に、井水関連の空調システム図を示す。

水槽から各設備に供給した井水は、室外機の散水設備以外は、熱交換後の水を井水タンクに還流し再利用している。送水と還流水の温度差は、各設備における熱交換量に左右されるが井水タンク内の水温は大きく変化しないため、補給水無しで井水タンク内の水を各設備に送水することができる。

これにより、ポンプは常時運転する必要はなくなるが、長い期間井水補給がされないことによる水槽内での死水防止対策とし

て1日一定時間は運転するように制御している。

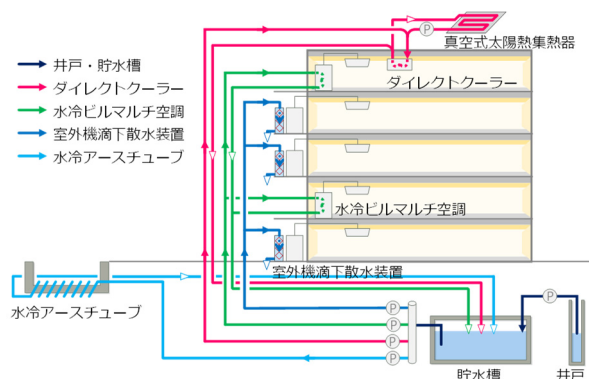


図-3 井水を積極的に利用している空調システム

6. 導入技術の省エネ効果検証

上述で紹介した省エネ技術の適用による省エネ効果について施設が日常運用中に収集したBEMSデータをもとに4つの項目に対し検証を行った。

(1) 水冷併用アースチューブ適用による効果

図-4に、年間の水冷併用アースチューブ出口の空気温度、及び、出入口の温度差の変化を示す。ここで、各温度は1日の中で外気取入れ用の送風機が稼働していた時間の平均値である。チューブ出口の空気温度は、外気温度に比べ冬期は2~3℃高く、夏期は逆に2~3℃低くなっており、外気取り入れにより生じる負荷を軽減できることが確認できた。この結果をもとに、水冷併用アースチューブを適用した場合の建物全体の省エネの効果(省エネ率)を算出した結果、年間で約4%の省エネとなることが確認できた。

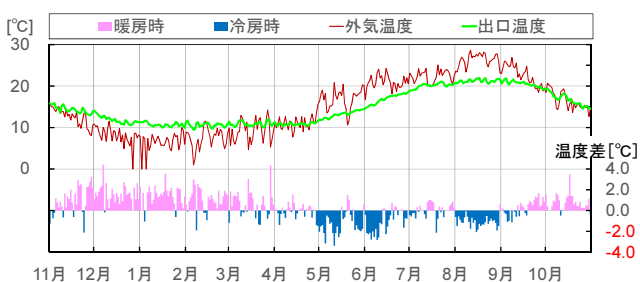


図-4 年間の水冷併用アースチューブ出口の空気温度、及び、出入口の温度差の変化

(2) 空冷式空調室外機の吸込み空気への散水による効果

検証は、同一床面積の2つの執務フロアの空調室外機(機種、容量は同じ)で散水の有・無により空調効率の比較をした。図-5上段に、夏期代表日における室外機の吸込み空気への散水の有・無による効率の差異を示す。また、下段には、散水装置通過後

の空気温度の経時変化を示す。

上段のグラフ横軸は、各時間帯における空調機の部分負荷率(定格能力に対する熱負荷の比率)を示し、縦軸は、空調機のカタログ記載のCOP値に対する実データに基づくCOP変化率を示す。ここで、その比率が1であるということは、カタログ性能値と同じパフォーマンスであることを意味する。

グラフ下段をみると、散水を行っている室外機の吸込み温度は、散水を行っていない室外機よりも最大で8℃程度低いことが分かる。吸込み温度が低く抑えられることで、グラフ上段に示すように、散水を行っていない場合に比べて部分負荷率によらず、平均して約15%高い効率で空調機が運転できていることを示しており、同技術が省エネに寄与することを確認した。

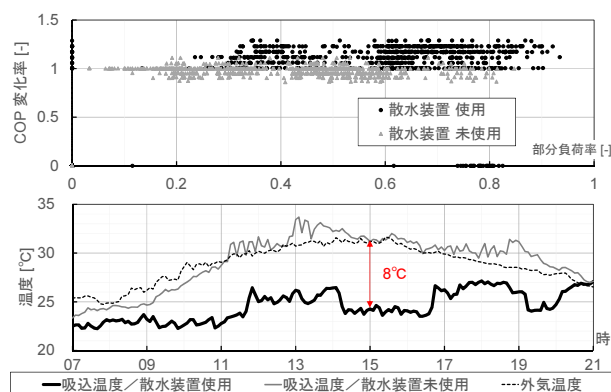


図-5 室外機の吸込み空気への散水の有・無による効率の差異、及び、散水装置通過後の空気温度の経時変化

(3) ダイレクトクーラー利用による運用結果

冬期の7日間におけるダイレクトクーラー稼働状況について、図-6に示す。上段に、太陽熱による集熱・タンク内蓄熱、ダイレクトクーラーでの熱利用量、下段に同期間中の屋内外温度、及び同装置の消費電力の経時変化を示す。空調機は、平日の9~20時に運転している。検証期間中は、週初めの月・火曜日の天候が悪く集熱できていなかったが、休日の土・日曜日の集熱により、タンク内に蓄熱貯湯された温水を利用して、所定の室内温度で暖房ができていた。水曜日以降は、日照があり、水曜日朝の立ち上がりこそ前日までにタンク内の温水が無くなったため室内温度は低下したが、その後は、金曜日までに所定の室内温度を保つことができていた。この結果、日照に恵まれた冬季であれば、主暖房源としてダイレクトクーラーを活用できる可能性を確認できた。

この結果をもとに、同システムによる検証期間中における省エネの効果(省エネ率)を算出した結果、空冷ヒートポンプ空調機で処理する際の消費エネルギーに比べ、約20%の省エネとなることが確認できた。日照の割合により、その効果は異なってくる

が、自然エネルギーの活用により、高い省エネ効果が見込めることを確認した。

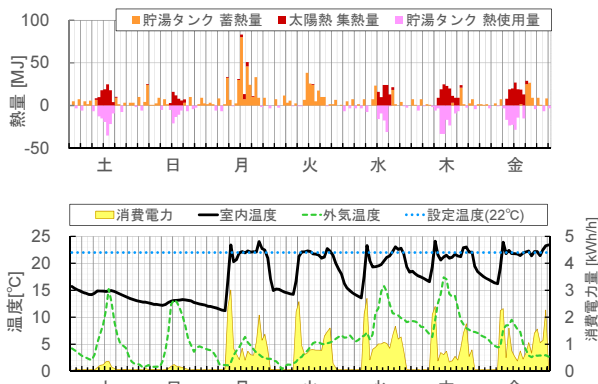


図-6 検証期間中のダイレクトクーラーに関する諸計測の結果

(4)蓄熱槽を活用した井水利用による省エネ効果

図-7上段に、井水、井水槽内温度、下段に井水槽への供給量と井水槽から各設備への供給水の年間の積算量を示す。参考までに水温のグラフには上水の温度も合わせて記載している。

グラフ下段からもわかるように、井水供給量は、空調の各設備で使用している水量に比べて少ない。井水槽が無い場合には、空調設備で利用する水量とほぼ同量の井水を汲み上げる必要があるため、汲み上げポンプ運転にかかるエネルギーが大きくなるが、それを大幅に削減することができ、省エネにつながることを確認できる。

井水の供給量が減ることで、井水槽内の水温が還流水温の影響を受け易くなる。しかし、本施設においては井水槽内の水温変化は、年間を通して比較的安定して推移しており、井水の補給をほとんど必要としないため、システム全体で省エネ化が図れていることが改めて確認できた。

このほかにも紹介ができなかった個々の省エネ技術についても省エネ効果の検証を実施している。

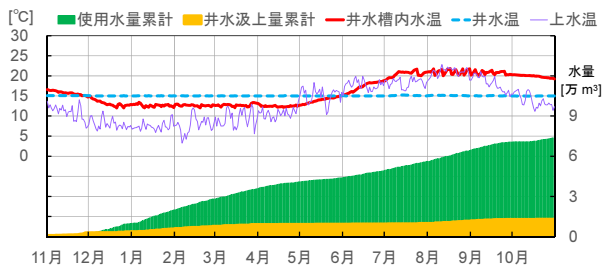


図-7 井水利用各所の水温及び、井水供給水と各設備へ供給水の日積算量

7. 建物全体の省エネ効果

今回の改修工事は、展示実験棟に各種の省エネルギー技術を導入し、個々に省エネ効果の検証を行うことを計画し、これらの技術導入により、建物全体で想定した高い省エネ率が得られるかについて、運用効果の検証を行うこととした。竣工後2年が経過し、運用効果を検証するため、エネルギーデータの集計を行った。改修完了後から現在までの2年間の展示実験棟全体の省エネ率の推移を図-8に示す。

ここで説明する省エネ率は、建築物省エネ法(建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律)に準拠した。省エネ率の分母となる消費エネルギーは、当該建物の各室に対し、同法の建物用途・室用途別標準使用条件をもとに設定されている基準消費エネルギーを実際の個々の室使用条件に合わせて補正して集計したものとし、同分子は、実測データから分母と同じように室使用条件で定められている使用時間帯の個々の室における消費エネルギーの集計値としている。

なお、先述のように個々の技術検証を行う中で、技術適用したエリアの比較対象としたエリアでは、省エネ効果の差異を比較するためにあえて導入した省エネ設備を稼働させていない期間もある。そこで、今回の省エネ率試算においては、導入した個々の省エネ設備を稼働しているとして算出している。

計画時71%とした省エネ率は、運用開始1年目74%、2年目72%と計画と同等の省エネ効果が得られており、導入した個々の省エネ技術が想定したとおりの効果を発揮していると判断している。

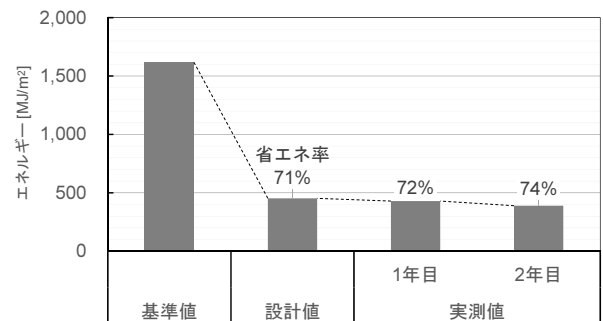


図-8 展示実験棟における省エネ率の推移

8. まとめ

本報では、当社技術研究所の展示実験棟の省エネ化改修の概要と省エネ化にあたり導入した省エネ技術、その効果について紹介した。供用開始から2年が経過したが、執務において室内の環境を体感しつつ、環境計測やエネルギー計量のデータを確認する中で、設備の運転条件設定の変更により、さらに効率的な運転ができるのではないかと気づかされることもある。これらの気づきは、この建物における更なる省エネ化につながることも

に、お客様の建物運用における改善の提案にもなる。

今後も導入した省エネ技術の効果検証を継続し、より効果的な技術となるよう研究開発に力を注いでいきたい。