北九州市におけるゼロ・エネルギー・ビルを目標とするオフィスビルの計画と性能評価

～再生可能エネルギーを積極的に活用した環境配慮技術の導入～

Design and Performance Validation of the Office Building in Kitakyushu aiming at Zero Energy Building

～Installation of environment considering technologies utilizing renewable energy～

中村　　靖*　Yasushi Nakamura
建築・鋼構造事業部
建築プロジェクト部
建築設備室　シニアマネージャー

抄　録

自然換気システム、地中熱ヒートポンプ(GSHP)システム、太陽光発電システムなどの省エネルギー設備システムに、高断熱化や、Building and Energy Management System (BEMS)を活用した省エネチューニングなどの技術を組み合わせることにより、従来のオフィスビルと比較してCO_2排出量約35%削減を期待できるオフィスビルを計画・施工した。また、BEMSの計測データを用いて建物全体および各項目(空調・照明・換気など)の性能検証を行うとともに、運用改善を実施した。さらにはエネルギーシミュレーションBESTを用いて、建物の運用条件に合ったベースラインを算定した。その結果から本建物のエネルギー消費量削減効果は39.3%と推定し、計画時の目標を達成していることを示した。そして、BEMSによる実測データやBESTによるシミュレーション結果をもとに省エネルギー技術別の効果を算出した。

Abstract

Nippon Steel & Sumikin Engineering Co., Ltd designed and constructed the new of fice building which enables to reduce the CO_2 emission by 35% comparing to the conventional office building. The energy saving facilities such as hybrid ventilation system, ground source heat pump, photovoltaic system and building energy management system were applied to the new building. Operating conditions for each parameter related to the energy saving facilities are monitored and evaluated for further improvement. In addition, the baseline of energy consumption of the office building was calculated by applying the building energy simulation tool (BEST) program. The result shows that the reduction of CO_2 emission was estimated as 39.3% and the target of the reduction of 35% was achieved.

*〒141-8604　東京都品川区大崎1-5-1　大崎センタービル　Tel：03-6665-4180

1 緒言

近年、地球温暖化防止の観点から、温室効果ガスの排出削減が求められており、オフィスビルなどの民生部門での省エネルギー化が必要不可欠となっている。しかしながら、我が国における民生部門でのエネルギー消費量は1990年度から2000年度までの間に約３割増加した後、高止まりの状態にある。国際エネルギー機関(IEA)は建築物の年間の一次エネルギー消費量を正味でゼロとするゼロ・エネルギー・ビル(以下 ZEB とする)への取り組みを進めるように勧告し、その結果、我が国においても ZEB 化の実現に向けた取り組みが本格化しつつある。

一方で、ZEB 化の実現とは、単なる省エネ性能の追求ではなく、「そこで働く人や住む人の快適性や安全性、生産性、経済性等と省エネ性能を高いレベルで融合させるエンジニアリング」とも位置づけている。建物の低炭素化・省エネ化に寄与する技術は既に多数存在しているが、快適性や安全性、生産性、経済性を犠牲にすることなく高い省エネ性能を継続的に実現するためには、新しい技術と既存技術の組み合わせの効果を、実験・実証フィールドで定量的に把握・評価し、改善を行う事が必要と考えられる。

2010年12月に北九州市戸畑区に建設された新日鉄エンジニアリング(株)(2012年10月より新日鉄住金エンジニアリング(株))北九州技術センターＥ館では、2030年の ZEB 化を目標とし、その第一段階として ZEB 化検証の実証事業を実施している。具体的な内容については、省エネルギー技術を導入することにより、省エネルギー技術を導入しない場合(以降、「ベースライン」とする)と比較してエネルギー消費量および CO_2 排出量が３分の２以下となるように計画・施工を行い、運用段階でそれを実証することとなっている。また、本建物においては、建物自体の低炭素化・省エネ化の実現に加え、今後の ZEB 化への展開に欠かせない実験・実証フィールドとしての活用も念頭に設計・建設を進めてきた。そのため、建物全体のエネルギー消費量のみならず、極力各省エネルギー設備システムの性能を検証可能な計測システムの導入も行っている。

本計画では、企画・設計・工事・運用まですべて自前で行う自社ビルであるという特長を最大限に生かし、計画するだけでなく、実際に新しい技術や既存技術の組み合わせ効果を、実証フィールドで定量的に把握・評価し、改善することにより計画時に掲げた省エネルギー性能を達成できるオフィスビルを構築した。

2 建築概要

図１に建物外観を、表１に建物概要を示す。建物は５階建てであり、１階はエントランスや会議室、２～５階は執務空間となっている。図２に基準階(２階～５階)の平面図を、図３に執務スペースを示す。執務空間は全体を見渡せる風通しの良い空間となっている。また、風通しの良い空間とすることは、後述する自然換気システムの効果を促進させる役割も果たしている。

図１　建物外観
Fig. 1　Kitakyusyu Technical Center Office Building

3 省エネルギーシステム概要

図４に建物に導入されている省エネルギー設備システムの概要を示す。自然換気システムや、太陽光発電システムや地中熱利用システム等の数多くの環境配慮技術を導入している。また BEMS(Building and Energy Management System)を活用して、建物の環境・エネルギーの各種制御を行っている。具体的には、屋外・室内センサー情報に基づいて室内環境を制御すると共に、建物の機器・設備等を自動管理することで、それらのエネルギー消費量の削減を図っている。以下に各省エネルギーシステムの概要について示す。

表１　建物概要
Table 1　Building Specification

建築名称		新日鉄エンジニアリング株式会社　北九州技術センターＥ館
工場場所		福岡県北九州市戸畑区大字中原46－59
竣工		2011年６月30日
発注者		新日鉄住金エンジニアリング株式会社
設計・監理		新日鉄住金エンジニアリング株式会社
施工者	建築	新日鉄住金エンジニアリング株式会社九州支社（一括発注）
	電気	株式会社日鉄エレックス
	空調衛生	高砂熱学工業株式会社
建築概要	敷地面積	6, 649. 401㎡
	建築面積	2, 169㎡
	延床面積	10, 388㎡
	構造	Ｓ造
	階級	地上５階建て
	高さ	27. 40m
外部仕上	外壁	アルミ製カーテンウォール＋LOW-E ガラス
		押出中空セメント板 t=60＋アルミスバンドレル
	屋根	コンクリートの上段熱アスファルト防水＋押えコンクリート
		グリッドシェル構造＋複層ガラス（太陽光パネル挟み込み）
内部仕上	事務室	床：OA フロア H=100＋タイルカーペット t=７
		壁：石膏ボード２枚張り＋塗装
		天井：システム天井（岩綿吸音板 t=15）
	エントランス	床：外国産大理石
		壁：特殊鋼板パネル他
		天井：金属ルーバー天井他
空調設備概要	空調	ヒートポンプビルマルチ方式（空冷・地中熱併用）
	換気	個別全熱交換器方式
給排水衛生設備概要	給水	直結増圧方式
	排水	寮室内汚染水・雑排水分流　建屋内合流（集合管）
	消火	屋内小河川連結送水管

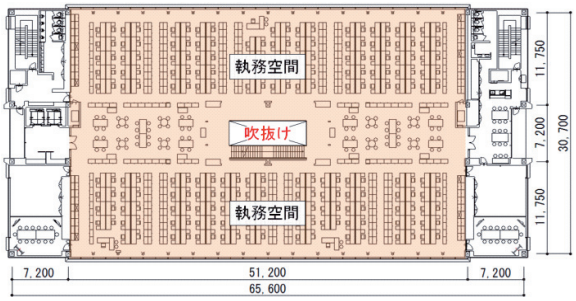

図２　基準階平面図
Fig. 2　Common Floor Plan

図３　執務スペース（写真）
Fig. 3　Working Space（Photo）

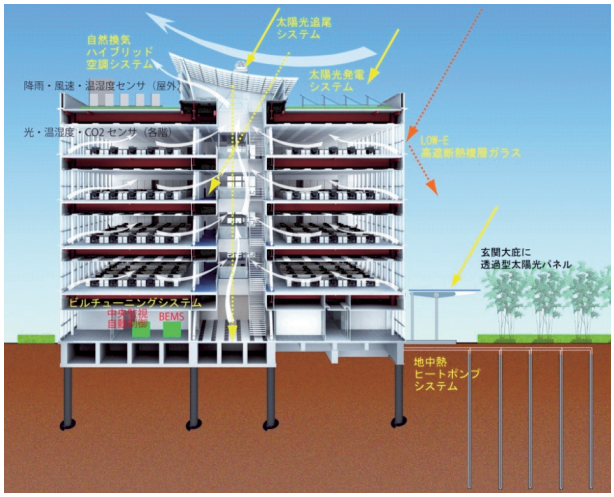

図４　北九州技術センターＥ館の省エネルギー設備システム
Fig. 4　Outline of Energy Saving Facilities

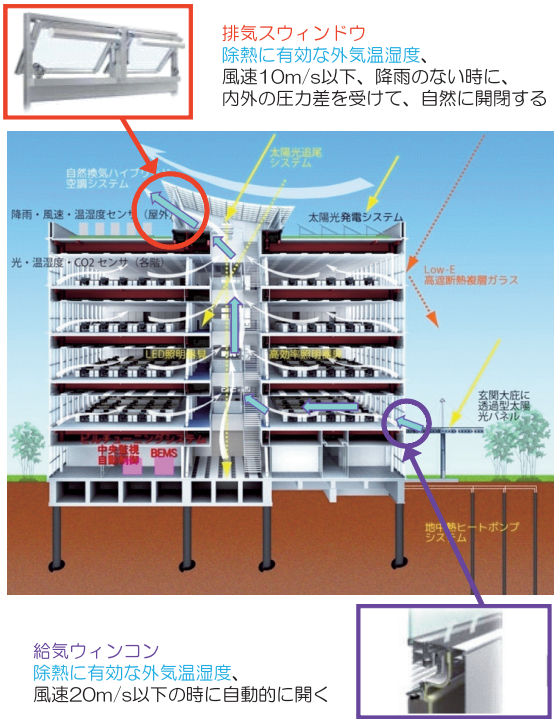

図５　自然換気システムの外気導入経路および吸排気口の詳細
Fig. 5　Natural Ventilation System

3. 1　自然換気システム

外気導入経路及び給排気口の詳細を図５に示す。建物周辺は、春から秋にかけてこの地区特有の南風と北風が吹く環境となっている。特に南風は当ビルの南面に遮蔽物がないことから、誘引効果による「風力換気」を意図した設計となっている。また、パソコンや人体など室内の発熱により生じる上昇気流を利用する「重力換気」も活用する。自然換気導入経路は、各階の全面ガラスカーテンウォールの床レベ

ルに設置されている給気口(定風量機能有り)から外気を導入し、執務空間中央にある吹抜けを経由し、トップライトの南北にある排気窓より排気する仕組みとなっている。

3.2　太陽光発電システム

本建物における太陽光発電システムの設置位置を図６に示す。屋上部分には、高効率の太陽光パネルを設置している。またトップライトのガラス部分の一部、既存建屋と結ぶ渡り廊下の屋根部分にはガラス組み込み型の太陽光パネルを設置している。さらに１階玄関の大庇には薄幕シースルー型の太陽光パネルを設置しており、これらを合計して約83.6kWの最大発電量を得ることができる。

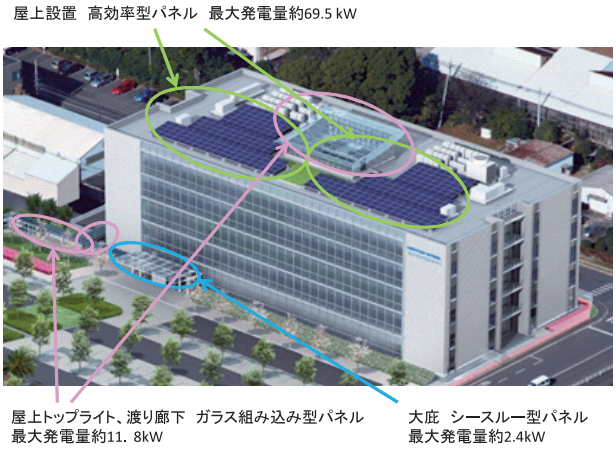

図６　太陽光発電システムの設置位置
Fig. 6　Layout of Photovoltaic Panels

3.3　昼光利用システムおよび照明設備

図７に昼光利用システムおよび照明設備を示す。

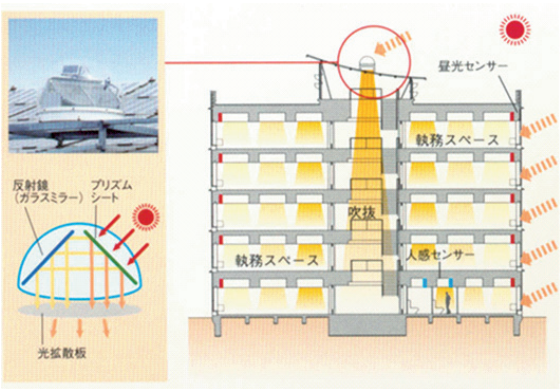

図７　昼光利用システムおよび照明設備
Fig. 7　Hybrid Lighting System

トップライトは、透明性を高めるためフレームレスの複層ガラスで構成(グリッドシェル構法)している。また、トップライトの屋外側に、太陽光追尾装置付き集光装置を設置しており、太陽の位置にかかわらず、自然光を建物１階の展示待合スペースまで採り入れることができ、各階執務室中央部などにも自然光を導くことが可能となっている。さらには、自然光を可能な限り多く取り込みながら、高い遮熱・断熱性能により室内への影響を最小化する高遮断熱複層 Low-E ガラスを全面的に採用している。

執務室の照明は、初期照度補正を導入した Hf 高効率器具と LED 照明を採用しており、執務室の天井に設置する昼光センサーにより、昼光量に応じた照明器具の出力抑制と連続的調光制御を行っている。

3.4　地中熱ヒートポンプシステムおよび空調設備

本建物の一部の執務スペースには、地中熱ヒートポンプ(GSHP)システムが導入されている。GSHPシステムの概要を図８に、地中熱交換器の配置を図９に示す。本システムはボアホールダブルUチューブ型地中熱交換器80m×50本に、水熱源ヒートポンプビルマルチ熱源機(圧縮機：102馬力、暖房出力：320kW、冷房出力：287kW)を接続し、執務スペースの暖冷房を行っている。水熱源ビルマルチは地中熱利用や少水量化に対応可能な低水温・少水量仕様となっている。また、本システムはビルマルチ一次側の温度差を一定に保ち、循環ポンプの消費電力を最小限に抑える、温度差一定制御が組み込ま

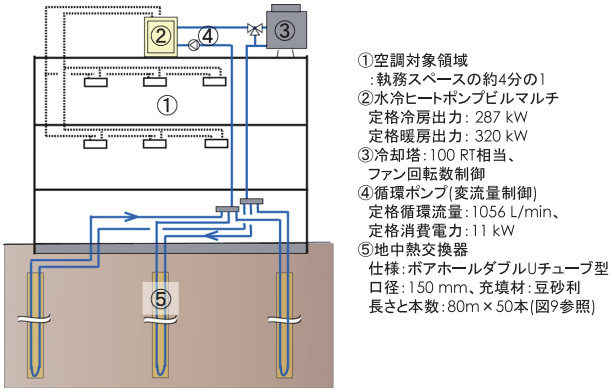

図８　地中熱ヒートポンプシステムの概要
Fig. 8　Ground Source Heat Pump System

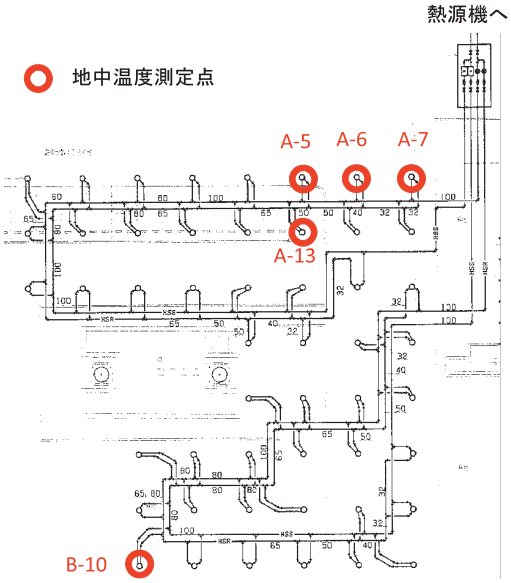

図９　地中熱交換器の配置
Fig. 9　Layout of Ground Heat Exchangers

れている、少水量対応地中熱ヒートポンプ(LF-GSHP)ビルマルチシステムとなっている。さらに、本システムは冷暖房負荷のアンバランスによる地中温度上昇を抑えるための密閉式冷却塔にも接続されている。LF-GSHP システムについては、実測した温度変化より地盤熱特性を把握し、運転制御を行う最適管理・運用システムも組み込まれている。

その他の執務スペースはエリア毎に適切な空調制御をするために、高効率空気熱源ヒートポンプビルマルチを導入している。更に、CO_2センサーを設置することで、執務人員の多少を計測しており、少ないエリアの全熱交換機による換気量を制御することで、電力消費の抑制を行っている。

3.5　BEMS と省エネルギー見える化設備

現時点(2013年７月)では、企画～施工までのプロセスが完了しており、運用段階に至っている。運用段階では、図10に示される可能な限り個別の回路毎や機器ごとに細分化された計量システムを導入したBEMS を駆使し、導入する省エネルギー設備のみならず、一般の建築設備を含めた全体のチューニングを行えるようにしている。また、LAN 回線を利用し、計測データを迅速に個別 PC でも把握できる環境を構築することや、一般者にも使える計測管理・分析ツールを導入することで、専門家＋運用者＋使用者の連携による省エネルギー推進体制を確立している。さらには、エントランスホールに省エネ効果見える化モニターやベンチを設置し使用者に省エネ活動参加を促すような配慮も行っている。

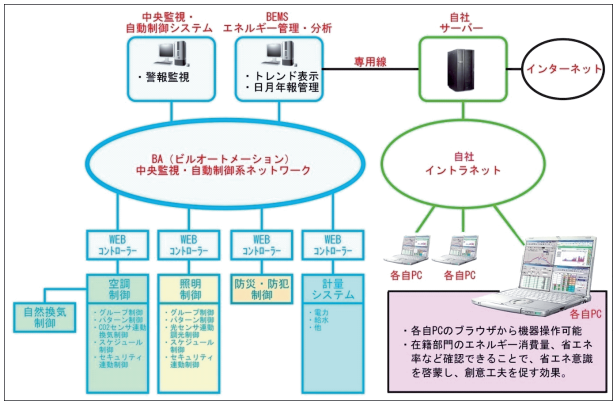

図10　BEMS の概要
Fig. 10　Outline of BEMS

4　建物全体および項目別の性能検証

4.1　建物全体の年間・月別消費電力

表２に2011年度(運用１年目)、2012年度(運用２年目)の機器別年間消費電力量を示す。2012年度の受電電力量は1,218MWh であり、2011年度と比較すると46MWh の削減となっている。項目別でみると室外機、照明、コンセントが10MWh 以上の減少となっている。これらの要因については後述する。また、2012年度の受電電力量から、電力の一次エネルギー消費量原単位換算係数を9.76GJ/MWh として一次エネルギー消費量原単位を計算すると1,218×9.76÷10,388＝1,145MJ/m²/年となった。

表２　機器別年間消費電力量
Table 2　Annual Power Consumption for each Facilities

	2011年 [MWh]	2012年 [MWh]
室外機	341	327
室内機	129	133
照明	412	399
コンセント	106	92
その他	359	354
合計電力量	1347	1305
受電電力量	1264	1218
太陽光発電	83	87

図11に2012年度の年間消費電力量の内訳を示す。この図に示されているその他とは BEMS により測

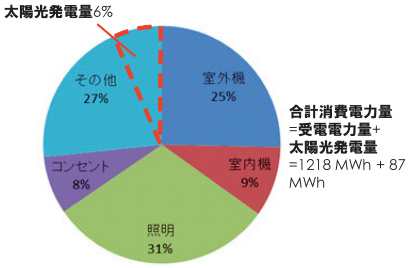

図11　年間消費電力量の内訳(2012年度)
Fig. 11　Annual Power Consumption for each Facilities in 2012FY

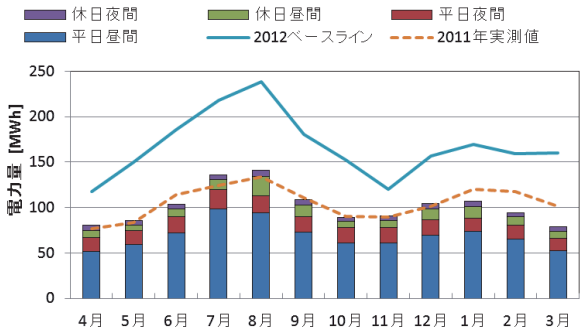

図12　2012年度月別・昼夜別受電電力量
Fig. 12　Monthly Power Consumption in 2012FY

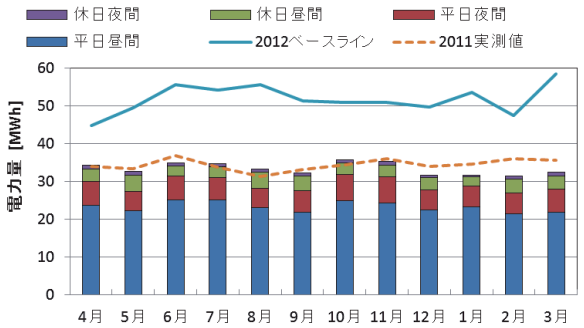

図13　2012年度月別・昼夜別照明消費電力量
Fig. 13　Monthly Power Consumption for Lighting in 2012FY

定を行っていない部分のことであり、その中にはエレベーターやトイレの換気、サーバー等の消費電力が含まれる。それぞれの機器をみると照明が全体の31％、室外機、室内機を合わせた空調が全体の34％を占めている。またコンセントはほかの機器に比べると８％と小さい値を示している。

図12に2012年度の月別・昼夜別の受電電力量を示す。昼夜別消費電力については、８時から22時までを昼間、それを除く時間帯を夜間とした。また、比較のため2012年度ベースライン値、2011年実測値についても図12に示す。なお、ベースライン値は建築物総合エネルギーシミュレーションツール BEST[1] によって計算した、北九州技術センターにおいて運用条件が変わらず、省エネルギー設備システムを導入しなかった場合の消費電力量である。ベースラインとの比較では夏期の削減効果が比較的高く、中間期、冬期はやや少ない。これは中間期、冬期は夏期と比較して空調のエネルギー消費量が小さいためと考えられる。また、夏期は内部発熱の削減の効果の寄与が大きいためと考えられる。2011年度との比較では、2012年度は２月、３月の値が小さくなっており、これは２月、３月が比較的温暖であったことに加え、照明の間引きなどを実施した効果が得られたためと考えられる。

4.2　項目別・月別消費電力

図13に2012年度の月別・昼夜別の照明消費電力量を示す。また、比較のため2012年度ベースライン値、2011年実測値についても図13に示す。2012年度は12月から値が小さくなっているが、これは照明の間引きを実施したためである(間引きの詳細については後述)。2012年度の照明の消費電力量は11月までが32～36MWh、12月以降が31～32MWh で月毎の大きな差は見られなかった。2011年度との比較では間引き前まではほとんど差が無く、ベースラインとの比較では23～45％の削減となり、年間ではベースライン値623MWh から実測値399MWh と約36％の削減効果となった。

図14に2012年度の月別・昼夜別の空調消費電力量を示す。また、比較のため2012年度ベースライン値、2011年実測値についても図14に示す。なお、ここでの室内機は室内機と全熱交換換気の消費電力の和となっている。図14より夏期の空調エネルギー消費量は冬期のエネルギー消費量よりも大きいことがわかる。2011年度との比較では、２月、３月の値が低くなっており、先述したが、2012年度が温暖であったためである。一方、８月は2012年度の方が高い値となっており、これは2012年度の方が暑かったためと考えられる。それ以外の月は顕著な差はないが、５月、６月、９月、10月は2012年度の方が、値が小さく、自然換気の運用改善によるものといえる。ベースラインとの比較では、５月、６月、10月が、自然換気の導入により各月で約49～53％の比較

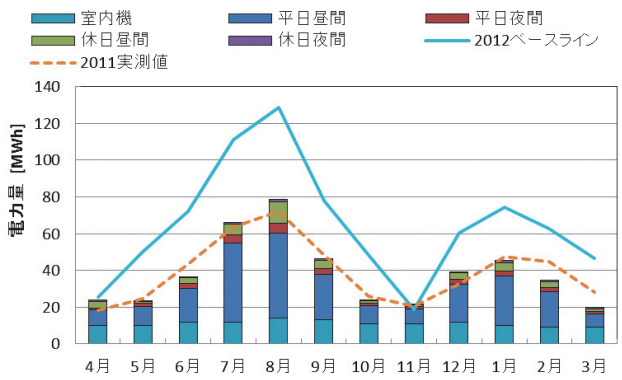

図14　2012年度月別・昼夜別空調消費電力量
Fig. 14　Monthly Power Consumption for Air Conditioning in 2012FY

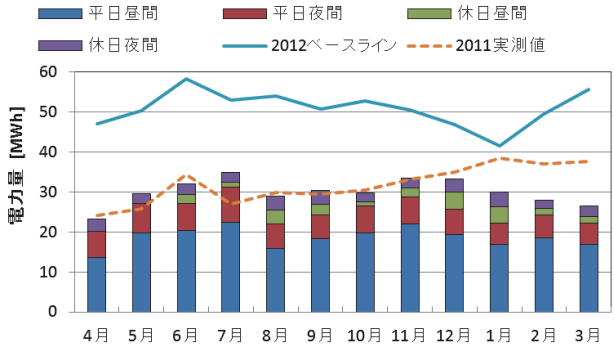

図15　2012年度月別・昼夜別サーバー・コンセント等消費電力量
Fig. 15　Monthly Power Consumption for Outlet in 2012FY

的高い削減効果が得られていることがわかった。それ以外の月についても空調の運転時間の極端に少ない４月、11月を除いては35～57％の削減効果となっており、年間ではベースライン値777MWh から実測値460MWh と約41％の削減効果となった。

また、図15に2012年度の月別・昼夜別のサーバー・コンセント等消費電力量を示す。また、比較のため2012年度ベースライン値、2011年実測値についても図15に示す。2011年度との比較では１～３月の消費電力量が小さくなっていることがわかった。また、ベースラインとの比較では、各月で28～53％の削減効果となり、年間ではベースライン値610MWh から実測値359MWh と約41％の削減効果となった。なお、ベースラインと比較した消費電力削減効果については、執務スペースのコンセント消費電力削減効果と、太陽光発電の導入による消費電力削減効果によるものである。

4.3　照明・空調の運用改善

2012年度は2011年度よりも高い省エネ効果を得るために、照明・空調の運用改善策を実施した。

照明については執務スペースの照度を800lx 以上に保つように調光制御を行っているが、照度を700～750lx の範囲に制御し、それにより更なる照明の省エネルギー効果を得ることを目指した。ただし、現在の調光制御の出力がほぼ下限値となっており、これ以上出力を下げることが難しかったことから、照明の間引きを実施し、それにより照度を下げ、消費電力量を減らすこととした。照明の間引きは図16に示すように執務スペースの端で実施した。

照明の間引きについてはBEMS の計測データを用いて検証を行った。図17に2012年４月～11月および12月～３月の時刻別照明消費電力の平均値（４階）を示す。間引き後である2012年12月～３月の消費電力は全体的に間引き前より下がっており、特に日中の削減率が高かった。間引き後は１日を通じて約10％の削減効果が見られた。また、図17に示すように、建物全体では１月あたりで平均約７％の削減効果となった。

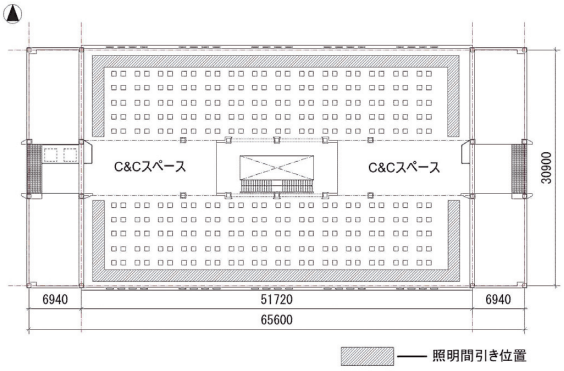

図16　執務スペースにおける照明間引き位置
Fig. 16　Lighting Pattern at Energy Saving Mode

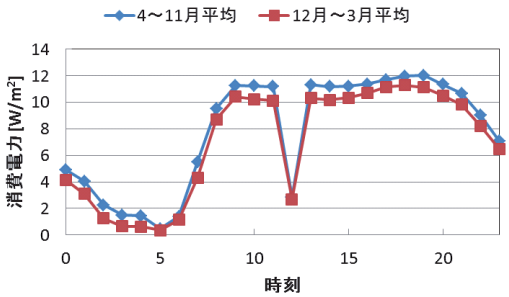

図17　時刻別照明消費電力の平均値（４階）
Fig. 17　Hourly Power Consumption for Lighting（4th FL）

図18　温度センサー設置の概要
Fig. 18　Installation of Thermometer

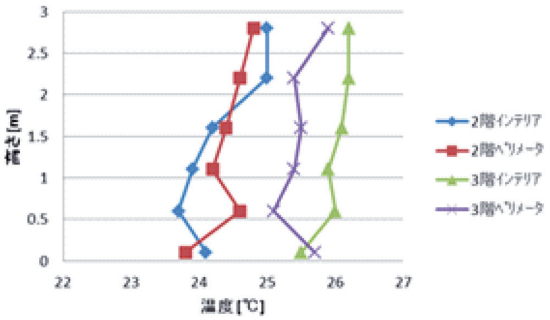

図19　室内温度分布の測定結果（９月４日15時）
Fig. 19　Temperature Profile in Office

また、空調については、実測結果から過剰な空調が行われていることが伺えた。原因として、室内機側の温度を感知する部分である温度センサーがレタンチャンバーとなっている天井内に設置され、これにより室温変化の感知が遅れていると考えたため、図18に示すように天井内の温度センサーを天井面に張り付ける形で設置しなおした。

温度センサーの移設の効果については９月４日に温度分布測定を行い、検証した。図19に９月４日15時の温度分布を示す。図を見ると温度センサーの移設を行った３階の方が、２階よりも温度が高い傾向にあり、過剰な冷却が無く、移設効果が得られた。しかしながら、外気温度の違いなどにより、図14に示すように2012年度の空調消費電力の大きな削減効果にはつながらなかった。

4.4　建築物総合エネルギーシミュレーションを用いたエネルギー消費量ベースラインの算出

計画段階において、本建物のエネルギー消費量およびCO_2排出量削減効果を計算する際のエネルギー消費量ベースラインを九州地区の事務所ビルの平均的なエネルギー消費量と設定したが、実測結果から本建物の稼働時間が一般の事務所ビルよりも長いことが明らかとなった。そこで、建築物総合エネルギーシミュレーションツールBESTを用いて本建物と同様の運転条件におけるベースラインを算出した[2)]。以下にBESTで計算されるエネルギー消費量から、実測データを用いて簡易的に上記の非測定部や夜間・休日の空調運転を考慮したベースラインを算出する方法を示す。

まず、空調の計算値$E_{best,ac}$には休日・夜間消費電力補正値E_h/E_tを乗じる。照明・コンセントの計算値$E_{best,L}$、$E_{best,O}$は休日・夜間の消費電力をスケジュールで考慮しているため、補正値は乗じず、そのまま空調の消費電力量に足し合わせる。

$$E_{hc,i} = E_{best,L} + E_{best,O} + \frac{E_h}{E_t} E_{best,ac} \qquad (1)$$

次に、(1)式で求めた休日・夜間を考慮した空調・照明・コンセントの消費電力量$E_{hc,i}$を、実測から得られる全階中の消費電力量に対する基準階消費電力量の比a_iで除して、全階の測定部の消費電力量$E_{mc,i}$を求める。

$$E_{mc,i} = \frac{E_{hc,i}}{a_i} \qquad (2)$$

さらに、式(2)で計算した、全階測定部消費電力量$E_{mc,i}$に実測で得られる非測定部消費電力量$E_{nmc,i}$と太陽電池発電量$E_{sp,i}$を足し合わせる。そして１次エネルギー原単位換算係数eを乗じて面積Sで除することで、１次エネルギー消費量E_iを算出する。

$$E_i = (E_{mc,i} + E_{nmc,i} + E_{sp,i}) \times \frac{e}{S} \qquad (3)$$

最後に、(3)で求めた各月の１次エネルギー消費量を合計して、ベースライン値を算出する。

$$E_{base} = \sum_{i=1}^{12} E_i \qquad (4)$$

表３にＥ館及びＥ館ベースラインの計算条件を示す。なお、空調機器の性能については、九州地区の事務所ビルの平均的なエネルギー消費量1630MJ/m^2を算出する対象となった事務所ビルの竣工年数(1985年)を参考に1990年度のものを設定した。BEST計算値からベースラインを算出するためのE_h/E_t、a_i、E_{nmc}の値についてはそれぞれ実測値を与えた。

上記の条件でシミュレーションを行い、計算結果より算出式を用いてベースラインを算出した。図20

表３　Ｅ館およびベースラインの計算条件
Table 3　Conditions of Baseline Calculation

		Ｅ館	Ｅ館ベースライン
BEST 計算条件	形状・壁体構造	Ｅ館条件と同じ	
	窓面積率	Ｅ館の条件と同じ	67%（一般の事務所）
	窓ガラス	Low-E ペア	単板ガラス
	全熱交換換気	あり	なし
	照明スケジュール	Ｅ館の実測結果	
	照明消費電力最大値	12W/m²	20W/m²
	コンセントスケジュール	Ｅ館の実測結果	一般の事務所
	コンセント消費電力最大値	4.5W/m²	10W/m²
	空調スケジュール	8：00～22：00	
	空調機定格 COP 設定値	冷房：3.53	冷房：2.5
		暖房：2.86	暖房：2.5
BL 計算条件	Eh/Et	1.37（実測値）	
	ai	0.20（実測値）	
	Enmc	267MWh（実測値）	

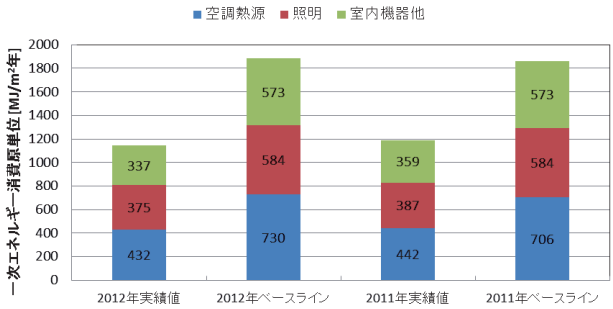

図20　Ｅ館とベースラインの一次エネルギー消費量
Fig. 20　Comparison between Primary Energy Consumptions of Technical Center and Baseline

に一次エネルギー消費量原単位比較を示す。計算結果より、Ｅ館ベースラインの2012年度の一次エネルギー消費量原単位は1887MJ/m²年となり、Ｅ館の一次エネルギー消費量原単位1145MJ/m²年と比較すると削減率は39.3%となった。なお、Ｅ館のエネルギー消費量は、九州地区事務所の単位平均値1630MJ/m²年と比較すると約30%の削減率となるが、実際の運用に基づいたベースラインを算出することで、本来の省エネルギー性を確認することができた。

5 省エネルギー技術別の効果

ここでは、BEMS による実測データや BEST によるシミュレーション結果をもとに省エネルギー技術別の効果を算出した。以下にその結果を示す。

5.1　自然換気システムの省エネルギー効果

自然換気の冷房負荷削減による省エネ効果については、自然換気による処理熱量を図21のように推定し[3]、合計値（58MWh）から、一般的な空冷ヒートポンプの冷房 COP＝2.6を割った値より消費電力量の削減値（22MWh）を算出した。これを面積あたり CO_2 削減量に換算すると22×1,000×0.375÷10,388＝0.798kg-CO_2/m²となった。

換気動力の削減による省エネ効果については、通常機械換気時の消費電力から、通常機械換気を行った場合の換気消費電力量を114MWh と推定し、実測値105MWh と比較して削減量を９MWh（面積あたり CO_2 削減量0.32kg-CO_2/m²）と推定した。

5.2　太陽光発電システムの省エネルギー効果

太陽光発電の省エネルギー効果は BEMS で計測した発電量より算出した。図22に2012年度の太陽光発電システムの月別発電量を示す。発電量は若干の差はあるものの、予測値と同程度となっていること

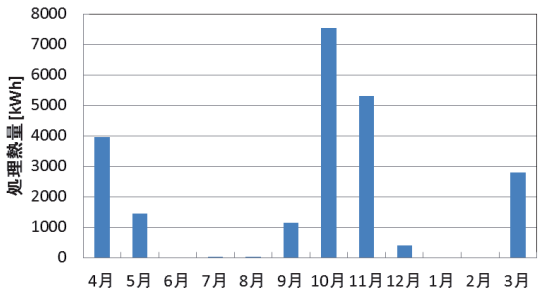

図21　自然換気による処理熱量月別変化
Fig. 21　Monthly Removal Cooling Load by Natural Ventilation

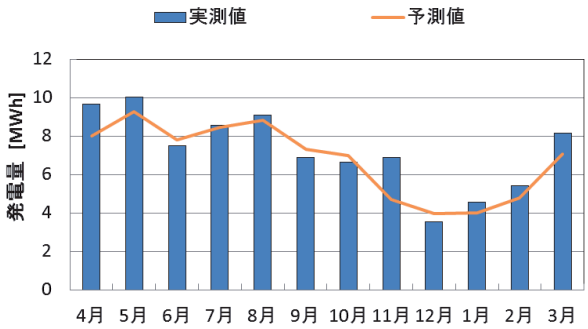

図22　太陽光発電システムの2012年度発電量実測値と予測値
Fig. 22　Power Generation by Photovoltaic System

がわかる。また、年間の発電量は87MWhとなり、建物面積あたりのCO_2排出量削減効果に換算すると3.14kg-CO_2/m^2であった。

5.3　地中熱ヒートポンプおよび高効率空冷ヒートポンプの省エネルギー効果

地中熱ヒートポンプおよび高効率空冷ヒートポンプの省エネルギー効果はダイキン工業(株)のヒートポンプ空調の計測システムエアネットⅡサービスシステムにより計測された室外機の出力(処理熱量)・消費電力と、BEMSで計測された循環ポンプなど補機の消費電力をもとに推定した。

まず、エアネットにより計測された2012年度の地中熱ヒートポンプおよび高効率空冷ヒートポンプの暖房出力・冷房出力を図23に示す。地中熱ヒートポンプの暖房出力、冷房出力は49MWh、128MWhであり、高効率空冷ヒートポンプの暖房出力、冷房出力は177MWh、617MWhであった。この値から、ベースラインとなる一般的な空冷ヒートポンプの期間平均COP(暖房＝2.0、冷房＝2.6)を除して一般的な空冷ヒートポンプを用いた場合の室外機消費電力を算出し、地中熱ヒートポンプの室外機と循環ポンプの消費電力の実測値、高効率空冷ヒートポンプの室外機の実測値と比較を行い、省エネルギー効果の算出を行った。

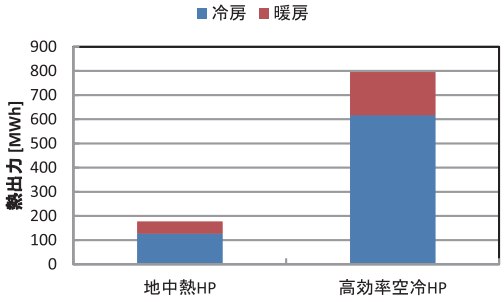

図23　地中熱HPと高効率空冷HPの熱出力
Fig. 23　Heating and Cooling Output from GSHP and High Efficiency Air Source Heat Pump (ASHP)

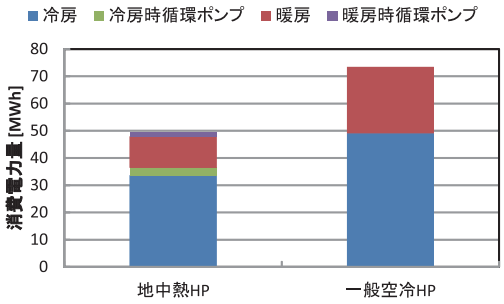

図24　地中熱HPと一般空冷HPの年間消費電力量
Fig. 24　Annual Power Consumption for GSHP and typical ASHP

地中熱ヒートポンプと一般的な空冷ヒートポンプの年間消費電力の比較を図24に示す。地中熱ヒートポンプの出力から室外機と循環ポンプの消費電力量合計値を除して求めた暖房期間平均COP、冷房期間平均COPはそれぞれ3.7、3.5であった。また、暖房時、冷房時の省エネ効果はそれぞれ46%、26%であった。地中熱ヒートポンプの年間消費電力削減量は24MWh(面積あたりCO_2削減量0.86kg-CO_2/m^2)であり、省エネ効果は35%となった。

高効率空冷ヒートポンプと一般的な空冷ヒートポンプの年間消費電力の比較を図25に示す。高効率空冷ヒートポンプの出力から室外機の消費電力量を除して求めた暖房期間平均COP、冷房期間平均COPはそれぞれ2.0、4.0であった。また、暖房時、冷房時の省エネ効果はそれぞれ0%、35%であった。高効率空冷ヒートポンプの年間消費電力削減量は84MWh(面積あたりCO_2削減量3.05kg-CO_2/m^2)であり、省エネ効果は26%となった。

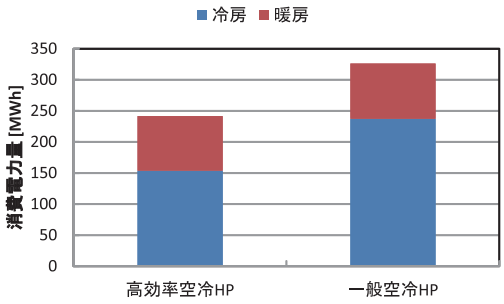

図25　高効率空冷HPと一般空冷HPの年間消費電力量
Fig. 25　Annual Power Consumption for High Efficiency and Typical ASHP

5.4　照明の省エネルギー効果

まず、照明間引きの省エネルギー効果について算出した。照明間引きによる削減効果は4月～11月までの照明消費電力量が2011年と2012年で同程度(272MWhと273MWh)であったため、12月～3月の消費電力量削減値である13.2MWh(面積あたりCO_2削減量0.47kg-CO_2/m^2)と推定した。

次に、間引き以外の省エネルギー効果を算出するため、間引きを行わない場合の執務スペースの消費

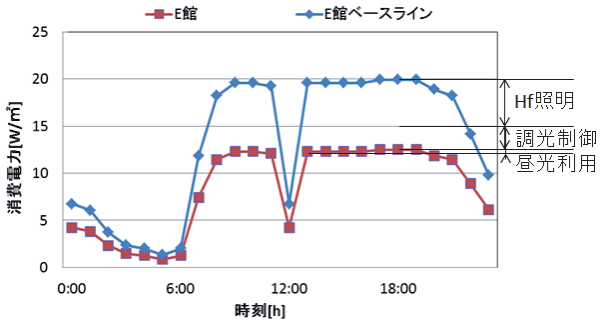

図26　E館とベースラインの照明消費電力時刻別変化
Fig. 26　Hourly Energy Consumption for Lighting in Office Space of Technical Center and Baseline

電力量実績値をと算出した。年間の照明電力消費量の実測値に間引きによる削減値を足した値(412MWh)に、執務スペースの消費電力量の全体に占める割合(0.65)を乗じて268MWhとした。

さらに、昼光制御による年間消費電力量の削減を、図26に示される調光制御のみを行った照明消費電力から、昼光制御を行った場合の照明消費電力を引き(0.9W/m²)、それに執務スペースの合計面積と昼間の時間(9h/日とする)と日数(245日)を乗じて求めた。

①昼光制御による削減効果＝0.9W/m²×4813m²×9h/日×245日＝10MWh(面積あたりCO_2削減量0.36kg-CO_2/m²)

そして、調光なしの照明消費電力量実績値は、間引きを行わない場合の執務スペースの実績値268MWhに上記①を加えた値278MWhに、調光なしの照明消費電力(15W/m²)に対する調光制御のみを行った照明消費電力(12.1W/m²)の比を除して求めた。

調光制御なしの照明消費電力量＝278MWh÷12.1×15＝342MWh

これより、

②調光制御による照明消費電力量削減効果＝342MWh－278MWh＝64MWh(面積あたりCO_2削減量2.29kg-CO_2/m²)

となる。

また、通常の蛍光灯を使用した場合の照明消費電力量は、間引きを行わない場合の執務スペースの実績値に上記①と②を加えた値342MWhに通常の蛍光灯を使用した場合の照明消費電力(20W/m²)に対する、調光制御なしの照明消費電力(15W/m²)の比を除して求めた。

通常の蛍光灯を使用した場合の照明消費電力量＝342MWh÷15×20＝453MWh

以上より、

③Hf照明導入による照明消費電力量削減効果＝453MWh−342MWh＝111MWh(面積あたりCO_2削減量3.98kg-CO_2/m²)

となる。

なお、執務スペース以外の省エネルギー効果は、執務スペース以外の照明エネルギー実績値144MWhを執務スペース以外のCEC/Lの値0.76で除した値189MWhを、省エネ手法を用いなかった値として採用し、189－144＝46MWhと求めた。

5.5　低消費電力OA機器の省エネルギー効果

低消費電力OA機器の省エネルギー効果は、実測によって得られたOA機器の年間消費電力量(92MWh)と、標準オフィスビルのOA機器スケジュールとして考えられる建築物総合エネルギーシミュレーションツールBESTで採用されている機器スケジュール(図27参照)より計算される年間消費電力量(＝257MWh)の差より167MWhを算出し、それに補正値0.85を乗じ142MWhとした。

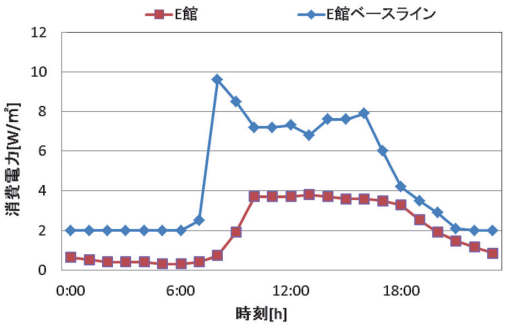

図27　E館とベースラインのOA機器消費電力時刻別変化
Fig. 27　Hourly Energy Consumption for Outlet in Office Space of Technical Center and Baseline

5.6　熱負荷削減・換気量制御による省エネルギー効果

照明発熱量・コンセント機器発熱量の削減による負荷低減の効果については、執務スペースの照明電力削減効果185MWhのうち冷房期間(5月～10月)

にあたる半年間において負荷低減効果があるとすれば、185×0.5(半年間)＝93MWhの削減となる。ここで、一般的な空冷ヒートポンプの冷房COPを2.6とすれば削減効果は36MWh(面積あたりCO_2削減量1.29kg-CO_2/m^2)となる。さらに、コンセント機器発熱量の削減による負荷低減の効果はコンセント機器の電力削減効果167×0.5(半年間)×0.6(負荷率)÷2.6＝19MWh(面積あたりCO_2削減量0.70kg-CO_2/m^2)となる。

断熱性能向上・日射遮蔽による省エネ効果については、北九州技術センターE館の熱負荷と、一般的な壁性能・日射遮蔽を有するベースラインを想定し、下記①～②の変更を行った場合の熱負荷をBESTによって計算し、それらを比較することによって行った。

①窓面積率を日本建築学会の標準オフィスビルの値と同じ68%に変更する。

②窓ガラスを6mmの単板ガラスに変更する。

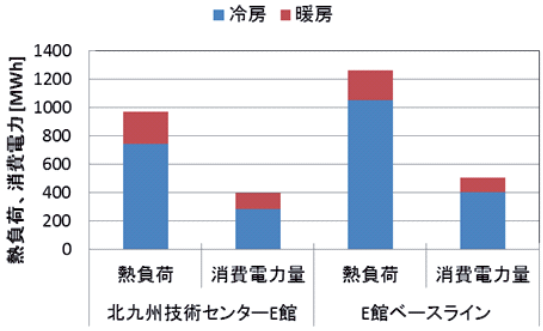

図28　E館およびベースラインの熱負荷と空調消費電力量
Fig. 28　Heating and Cooling Load and Power Consumption for Air Conditioning of Technical Center and Baseline

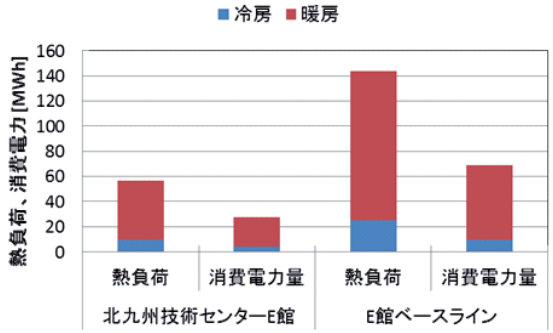

図29　E館とベースラインの外気熱負荷と外気処理による消費電力量
Fig. 29　Heating and Cooling Load for Ventilation and Power Consumption for Ventilation of Technical Center and Baseline

BESTによって計算されたE館およびベースラインの年間熱負荷を図28に示す。なお、E館の熱負荷はエアネットにより算出した空調機の熱出力と同じ値となるように補正を行い、ベースラインについてはBESTによって計算されたE館の熱負荷に対する空調機の熱出力の比を乗じる補正を行った。この結果に一般的な空冷ヒートポンプの暖房COP＝2.0、冷房COP＝2.6を割って空調電力消費量を算出した。計算結果は図27に示す通りであり、この結果より削減量は110MWhとなる。この値から、照明・コンセント発熱の削減による熱負荷削減の省エネ効果分55MWhを差し引くと55MWh(面積あたりCO_2削減量2.00kg-CO_2/m^2)となる。

さらに、全熱交換器設置による省エネ効果についてもBESTを用いて計算した北九州技術センターE館の外気負荷より算出した。外気負荷および削減効果は図29に示す通りであり、電力消費量の削減効果は42MWh(面積あたりCO_2削減量1.50kg-CO_2/m^2)となった。

また、CO_2濃度による換気量制御の省エネ効果については、CO_2濃度による換気量制御により換気動力のうち約30%の削減効果が得られたため、平日昼間の換気動力実績値(＝66MWh)に0.7を除して、その値から実績値を差し引くことにより求めることとした。

CO_2濃度による換気量制御の省エネ効果＝66MWh÷0.7－66＝28MWh(＝1.02kg-CO_2/m^2)

5.7　省エネルギー効果のまとめ

以上の省エネルギー効果をまとめると図30に示す通りとなる。削減量の合計は791MWh、削減率は39.3%となり、空調・照明・コンセント各項目の削

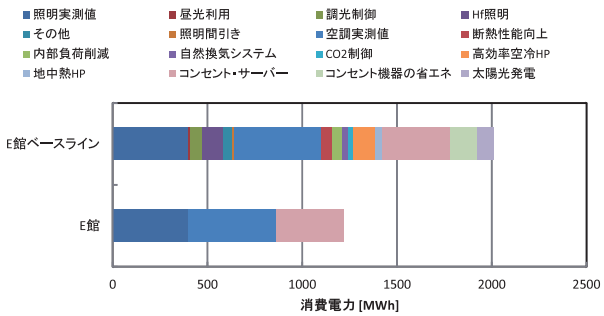

図30　E館とベースラインの消費電力量まとめ
Fig. 30　Summary of Energy Saving

減量はシミュレーション結果と若干差があるものの、概ね一致しており、また合計値は同じ値となっているため、これより各省エネルギー機器の効果が算出できたものと考えられる。また、照明、空調、コンセント機器＋太陽光発電の項目別の削減率はそれぞれ、12.1%、15.9%。11.4%であった。省エネルギー技術別に削減率をみると、地中熱HPと高効率空冷HPの導入による空調機器の省エネ効果(7.5%)、コンセント機器の省エネ効果(7.1%)、Hf照明の導入による省エネ効果(5.5%)、太陽光発電の導入による省エネ効果(4.3%)の順に大きい結果となった。

6 結言

以下に本報告のまとめを示す。

①自然換気システム、GSHPシステム、太陽光発電システムなどの省エネルギー設備システムに、高断熱化や、BEMSを活用した省エネチューニングなどの技術を組み合わせることにより、従来のオフィスビルと比較してCO_2排出量約35%削減を期待できるオフィスビルを計画・施工した。

②BEMSの計測データを用いて建物全体および各項目(空調・照明・換気など)の性能検証を行うとともに、運用改善を実施した。その中で照明の間引きについては月平均７%程度の照明エネルギー消費量の削減効果を得ることができた。また、エネルギーシミュレーションBESTを用いて、建物の運用条件に合ったベースラインを算定した。その結果から本建物のエネルギー消費量削減効果は39.3%となり、計画時の目標を達成していることが示された。

③BEMSによる実測データやBESTによるシミュレーション結果をもとに省エネルギー技術別の効果を算出した。

参考文献

１）BEST-P　プログラムマニュアル
２）葛隆生、中村靖、山口峻：建築物総合エネルギーシミュレーションツールの検証と活用方法の検討、平成25年度　空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集(2013)
３）安永龍一、白石靖幸、中村靖、打川芳恵他：流量制御機能を有する吸排気口を設置したオフィスビルにおける自然換気及び空調システム併用手法に関する研究(第１報～第２報)、日本建築学会環境系論文集