

本社ビル別館における消費エネルギーの分析

小座野 貴弘* 塚本 隆史*

要旨

地球温暖化防止に向けた国際的な枠組みの中で、エネルギー起源とされる CO₂ 排出量の抑制が必要となっている。国内では、エネルギー消費が増加傾向にあるオフィスビル等の業務部門への省エネルギー化の要求が高まっている。こうした状況に対し、省エネルギーを一層図るものとして、ZEB (Zero Energy Building) という考え方が謳われるようになってきた。建設各社では、省エネルギー技術の開発や自社建物で技術を導入し、効果検証を進めている。当社においても ZEB 実現に向けた取組みの中で、新設した自社施設に省エネルギー技術を取り込み、建物のエネルギー消費構造分析や導入した技術の効果検証を行った。その結果、当該建物は、既存省エネルギー技術の組合せにより、運用時においても ZEB Ready (省エネ率 50%以上) の省エネルギー性能を有していることがわかった。また、導入した技術の中で、単体として求められる省エネルギー性能を有している技術、および求められる省エネルギー性能を発揮するために設計や運用条件の改善が必要な技術等が明らかとなった。今後は、これらの成果をもとに ZEB 実現性を予測する技術の開発や運用条件を考慮した省エネルギー技術の改良を進めるとともに、これらを適用する設計手法を確立し、ZEB 実現をめざしていく。

1. はじめに

オイルショック以降、産業部門を中心に進んだ省エネルギーへの取組みは、地球温暖化防止を目的とした国際的な枠組みである気候変動枠組条約が世界各国で批准して以降、主にエネルギー起源とされる二酸化炭素 (CO₂) の排出量抑制について明示した、2005 年に発効した京都議定書¹⁾を機に一段と高まってきた。一方で、業務部門においては、産業構造の変化等によるオフィスビルの床面積の増加、エネルギー需要の増加に伴い、エネルギー消費が増加している傾向にある (図-1)¹⁾。日本の CO₂ 排出量削減目標は、2030 年度に 2013 年度比で 26%削減としている。エネルギー消費の増加を辿る家庭、業務である民生部門においては、この目標達成には、40%削減 (2013 年比) が必要となり、非常に高い削減目標となっている²⁾。

こうした中で、業務部門の建物において省エネルギーを一層図るものとして、ZEB (Zero Energy Building) という考え方が最近、謳われるようになり、2014 年のエネルギー基本計画の中にも組み込まれている¹⁾。ZEB は、これまでの個々の消費用途における省エネルギーをめざすものから建物全体で使われるエネルギー量を一次消費エネルギー量として統一した数値で表現し、その絶対量をゼロに近づけていこうという考え方である (図-2)。

これは、建物で使われるエネルギー量を設計段階で明確にするとともに、運用段階でその実現性を求

めることで確実にエネルギー消費を抑制することをめざしている。建物を設計、建設する立場である我々は、ZEB 実現に向けてさらに省エネルギー技術の開発、技術を組み合わせる設計手法、さらには、運用時のエネルギーの有効的な利用手法に至るまで、技術力を磨き、高める必要があり、多くの建設会社では、自社建物を利用してこれらの検証を進めている。

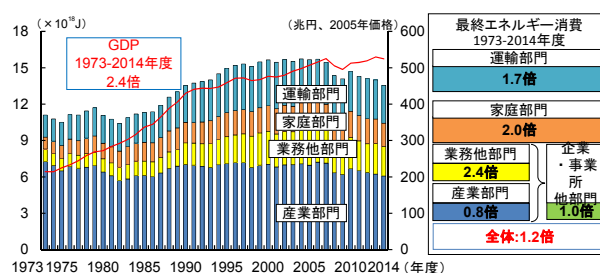


図-1 国内の部門別エネルギー消費の推移¹⁾

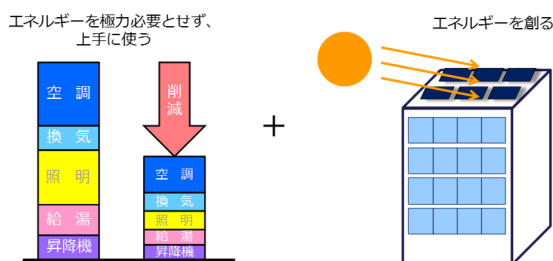


図-2 ZEB のイメージ¹⁾

* 技術研究所 建築技術開発部

当社においても ZEB 実現に向けての取組みの 1 つとして、自社の業務施設として計画した事務所用途の建物の中に、一般に多く用いられている省エネルギー技術を取り込み、各技術による省エネルギー効果を把握することにした。

本報告では、この建物を対象に、運用時のエネルギー消費の実態把握、採用した省エネルギー技術の効果検証を行ったので、建物概要、計測・量概要を紹介した上で、エネルギー消費分析結果について報告する。

2. 建物の概要

建物は、当社の本社敷地内にある本社ビル(以下、本館と称す。)の奥に、本社の執務スペース増床を目的に建設した事務所ビル(以下、別館と称す。)である。

鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)で、規模は地上 4 階、建築面積(458.98 m²)、延床面積(1,661 m²)であり、2012 年 5 月に竣工した。1 階は、エントランスホールと喫煙室、倉庫、2~4 階が執務フロアとして使用している(図-3、写真-1)。

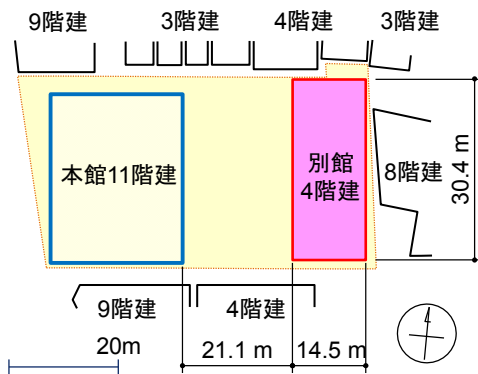


図-3 配置図



写真-1 本社ビル別館の外観

なお、別館で使用されるエネルギーはすべて商用電力により賅っている。

3. 導入した省エネルギー技術

図-4に、本社ビル別館に導入した技術を示す。外皮の断熱は、東京地域では一般的な現場発泡ウレタン(厚み 25 mm)とした上で、西面に向けた全面ガラス窓に対して、ガラス仕様をフロア毎に変えた。なお、窓は、手動による押し開きができる仕様で、東面に配置した押倒し窓と組み合わせて自然通風を誘導させる。

屋根は、構造計画との兼ね合いでオフィスビルには珍しいが金属折板サンドイッチ屋根(グラスウール:厚み 100 mm)としており、その日射熱侵入抑制対策として、高日射反射塗料、さらに散水システムを付け加えた。

空調は、ビル用マルチエアコンシステムでフロア共通としたが、3階は後述の調湿外気処理装置との組合せで高頭熱型とし、4階は氷蓄熱機能を付加したシステムを採用した。また、各階の室外機用に散水システムを付加した。

外気処理については、2、4階は全熱交換換気装置を採用し、3階は潜熱処理も可能な外気処理装置を採用している。また、2、4階は、換気装置の発停を室内の CO₂ 濃度の高低に基づき行う制御を連動させている。

次に照明については、全フロア LED 光源とし、エントランスホールには、建設当時、事務所ビルでは国内初の有機 EL 光源を採用した(写真-2)。各フロアでは、照度センサーを設置し、昼光差込み時の照明出力制御とした。

なお、建物周囲の舗装には、晴天時に舗装内に、保持された水が気化熱により周辺の空気を冷却する効果を有する保水性舗装を採用した。

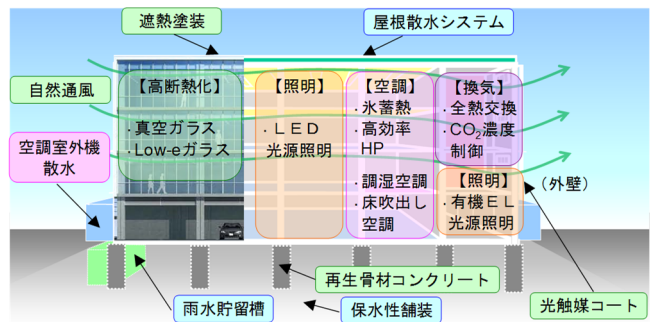


図-4 導入した省エネルギー技術一覧



写真-2 導入した有機 EL 照明



写真-3 見える化ディスプレイ

4. 電力計量、屋内外環境の計測

建物のエネルギー消費実態を把握し、また、導入した個々の省エネ技術の省エネ効果分析のため、屋外には、気象観測装置、屋内には、フロア毎に、室内温度、湿度、CO₂濃度、照度、風速の各センサーを設置し、空調・換気システムの給気・排気・還気各ダクトに、温度、湿度、風速センサーを設置した。各階の分電盤内に、空調、照明、OAコンセント等のシステム毎に電力計量用のセンサーを設置した。また、散水等の水の給水量把握のための水量計を併せて設置した。

これらのデータは、同敷地内に建つ本館ビル内の中央監視室に設置した BEMS (Building Energy Management System) に一定時間間隔で取り込めるようにした(図-5)。

また、より詳細なデータ収集のため、BEMS とは別に、期間を区切って屋内・外に各種の計測機器を設置した。

なお、これらのデータから当該建物で消費されている各用途のエネルギーを集計しグラフにしてモニターに映して「見える化」し、館内利用者の省エネ

ルギーに対する啓蒙を促すことも併せて実施をしている(写真-3)。

5. 導入した各技術による省エネ効果の分析

前述の BEMS と効果検証のために追加した計測機器から得られた電力量や温湿度、照度等のデータに基づき下記の項目について効果分析を行った。

- ①外皮:窓(ガラス)の断熱性能
- ②空調:システムの効率
- ③外気処理:
 - ・全熱交換換気装置の熱交換効率
 - ・換気装置の室内二酸化炭素(CO₂)濃度制御による効果
- ④照明:昼光照明出力制御による効果

5.1 窓の断熱性能

本社ビル別館の2~4階の執務フロアは、北面には窓がなく、東面は排煙窓以外の窓はなく、また壁面に書棚が配されており、南面はトイレ等のユーティリティを挟んでいるため、熱的影響を受けにくい平面配置となっている。一方、西面は全面ガラス窓となっており、熱的影響が大きい。その窓ガラス仕様をフロア毎に変えており、2階には普通ガラスの複層ガラス(熱貫流率 3.4 W/m²・K)、3階には複層 Low-e (Low Emissivity) ガラス(熱貫流率 2.7 W/m²・K)、4階には真空複層ガラス(熱貫流率、1.5 W/m²・K)となっている。そこで、ガラス仕様による熱的影響を確認した。

各窓面内側の一部に、温度センサーを兼ねた熱流センサー(江藤電気製 M55A)を貼り付け、計測を行った。

なお、各階は、8:00~20:00 の間、連続的に空

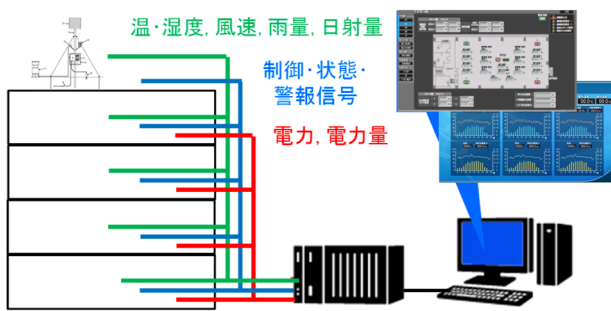


図-5 BEMS

調が行われている。

図-6に、冬季の日射による影響が少ない曇天日1日における室内窓ガラス表面温度の経時変化を示す。併せて、外気温度、各窓ガラスが設置された階の室内温度を示す。

室内側ガラス表面温度は、熱貫流率が小さい(熱が通りにくい)順に、温度が高くなっている。各窓面の温度差は時間に関わらず、一部を除き等間隔で推移している。

ここで、各窓面の温度と屋外温度との差をとると、平均して複層ガラス:1.17K、Low-e ガラス:1.80K、真空複層ガラス:3.15K で、この3つのデータ間の比率(複層ガラスの温度差を1として、1、1.53、2.69)は、各窓ガラスの熱貫流率の間の比率(複層ガラスの熱貫流率の逆数(熱抵抗)を1として、1、1.26、2.27)に近いものとなり、窓面の断熱性能の差が明確に示された。

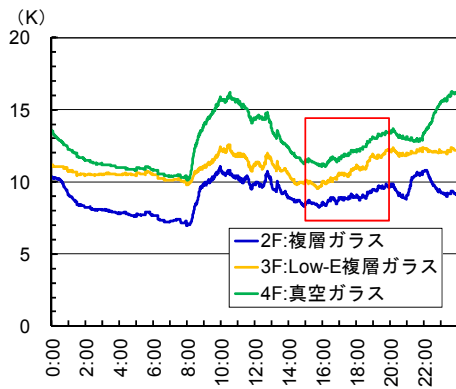


図-6 窓ガラス表面温度と屋外温度の1日の経時変化

なお、屋根については、夏季における日射熱侵入を抑制する目的で、貯留雨水を利用した屋根散水システムが設置されている。この効果検証についても実施しているが、その詳細については、参考文献を参照されたい⁴⁾。

5.2 空調効率

本社ビル別館は、最近の中小ビルでは採用の主流となっている⁵⁾。電気式ビル用マルチエアコンシステムによって空調が行われている。同空調方式は、製造メーカーによる改良、改善により機器単体の性能は年々向上している。しかし、それがシステムとして建物に導入された場合については、建物の仕様や運用方法等により、空調効率が大きく異なることが

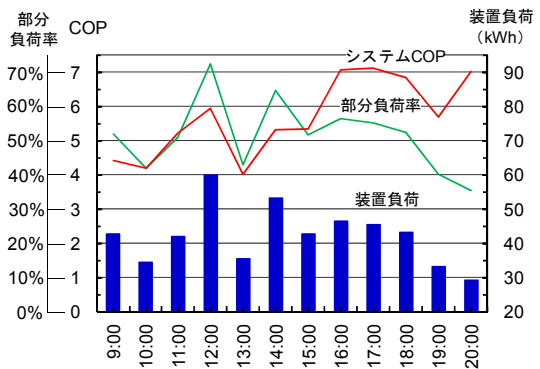
指摘され、機器性能が建物における空調の省エネルギーにどの程度反映されているのか不明なことが多い。

そこで、本報告では、建物が利用されている中の空調システムの性能を把握することを目的に、BEMSの収録データベースから分析を行った。分析対象は、2階執務室とした。

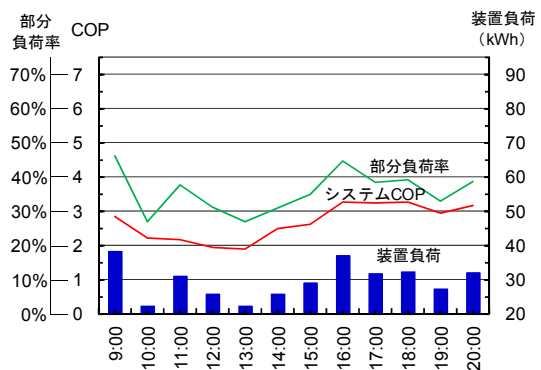
検証内容は、対象空調システムの部分負荷率、成績係数(COP)である。

ここで、部分負荷率は、空調室外機の定格能力に対する、室内に給気される空気の状態から求めた熱負荷との比率を示す。また、システムCOPは、空調室外機、室内機、換気システムを含み、室内に給気される空気の状態から求めた熱負荷に対する各機器の消費電力の合計で除した数値を示す。

BEMSの収録データベースから、空調室内機の給気、還気の温・湿度、風量、消費電力、空調室外機の消費電力の各データを取り出し、同機器のメーカー仕様書から定格の冷・暖房能力を読み取り、



(1) 夏季



(2) 冬季

図-7 部分負荷率、COPの1日の変化(夏季)、(冬季)

算出に用いた。

図-7 (1)、(2)に、夏季および、冬季それぞれのある1日の1時間ごとの装置負荷、部分負荷率、システムCOPを示す。

これをみると、夏季では総じて部分負荷率が高く、それに合わせてシステムCOPが高く平均5.7になっている。

一方冬季は、夏季に比べて負荷が少ないため、部分負荷率は自動的に低くなり、その結果システムCOPが低くなっている。

図-8に、年間の月別の装置負荷集計、負荷集計、消費電力集計に基づく平均部分負荷率、同平均システムCOPを示す。

これをみると、システムCOPは夏季が高く、冬季が低い傾向がみられる。この要因の1つとして夏季に比べて冬季の負荷が少ないことがあげられる。

年間を通じたシステムCOP向上には、機器容量の選定にあたり、冷房と暖房の負荷バランスを考え、冷房負荷をどの程度の安全率で見込むかが1つの鍵となると考えられる。

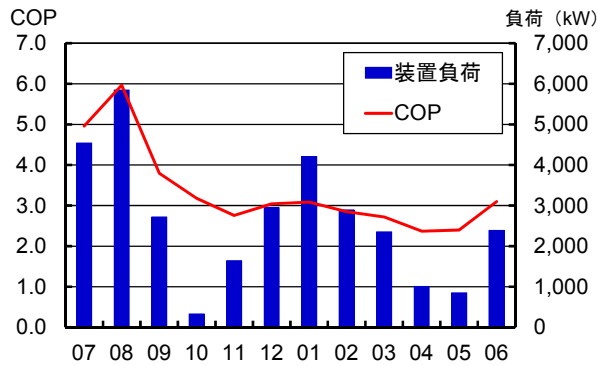


図-8 空調システムの月別積算負荷、平均COP

5.3 外気処理

①全熱交換換気装置

本社ビル別館では、2、4階の外気処理は全熱交換換気装置を採用している。全熱交換換気装置は、室内に取り込む外気と室内排気の間で熱の一部を交換することで、空調に要するエネルギーを低減させる効果を持つ。

BEMSの収録データベースから、全熱交換換気装置の給・排気の温・湿度、風量のデータを抽出し、全熱交換換気装置の熱交換率を求めた。

図-9に、年度の年間の全熱交換装置の熱交換率の推移を示す。

熱交換率は、夏季で70%、冬季は80%超と、高

い値を示しており、今回採用したメーカーのカタログに示されている熱交換率70%と同等の性能が示されていることが確かめられた。

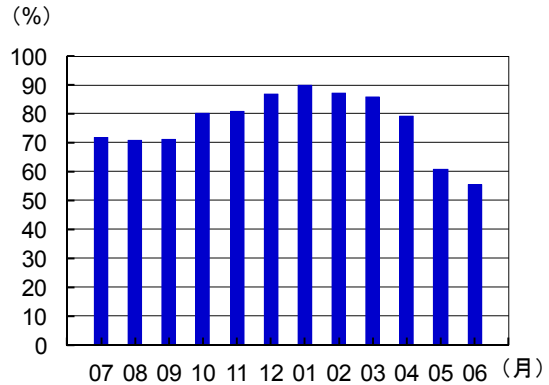


図-9 全熱交換換気装置の月別平均熱交換率の推移

②室内二酸化炭素(CO₂)濃度による換気制御

全熱交換換気装置の運転制御は、室内の二酸化炭素(CO₂)濃度により制御する仕組みを採用し、これにより、室内がビル管理基準⁶⁾の許容CO₂濃度を満たす1,000ppm未満であれば、換気を停止することで、その間の換気装置の動力エネルギー消費を減らすことができる。

そこで、同換気装置と発停制御が運用時にどの程度効果を発揮されているかについてデータから分析を行った。分析対象は、4階執務室とした。

BEMSの収録データベースから、全熱交換換気装置の電力と、4階の室内CO₂濃度のデータを抽出した。

図-10に、夏季における当該1日の室内CO₂

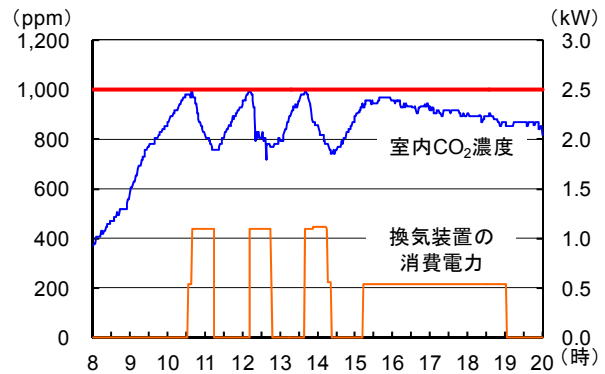


図-10 室内CO₂濃度と換気装置の消費電力の1日の変化

濃度と、全熱交換換気装置の消費電力量の経時変化を示す。

室内 CO₂ 濃度は、室内に設置した CO₂ 濃度センサーに設定した上限値 1,000 ppm を上限に増減していることがわかる。換気装置は、室内 CO₂ 濃度が 1,000 ppm に到達する直前で運転が開始される。それに伴い室内 CO₂ 濃度は低下し、下限値である 800 ppm 前後になると、消費電力の値から、やはり換気装置が停止していることが読み取れる。

この結果、1 日の中で換気装置の運転時間が低減され、換気装置が 1 日連続して運転されていた場合に比較して約 68%の省エネルギーになる結果が示された。

5.4 昼光照明出力制御

昼光照明出力制御は、予め設定した室内照度に対しセンサーで感知した照度に応じて照明出力を増減させる制御技術である。晴天の昼間など、外が明るいときは、出力を絞ることができ、その結果、消費電力の低減が可能となる。

そこで、照明器具と照度感知センサーが設置された室内で、その効果が発揮されているかについて、休日に実験を行い、データから分析を行った。分析対象は 4 階執務室とした。

実験は、陽が入り込む西面窓内側に設置されている短冊形の手動ブラインドを全開、半開、全閉の 3 段階に切り替え、各状態における机上面照度と照明の電力を BEMS の収録データベースから抽出した。

図-11 に、4 階の照明器具、照度感知センサー、計測用机上面照度センサーの設置位置を示す。

図-12 に、実施した実験から、ブラインドの各開閉状態における 1 日の机上面照度、照明の消費

電力の経時変化を示す。併せて、日常執務時の机上面照度と照明消費電力の経時変化を示す。

机上面照度は、どの条件においても設計照度 500 lx 以上を保持している。実験時の日照の関係で必ずしも、ブラインド全開時がブラインド半開時よりも机上面照度が上回っている訳ではないが、机上面照度と照明消費電力の間には相関がみられ、照度センサーによる日中の照明消費電力の低減に明確に効果が表れている。なお、日常執務時の 12 時の照度低下は、省エネ活動の「休憩時消灯」に伴う現象である。

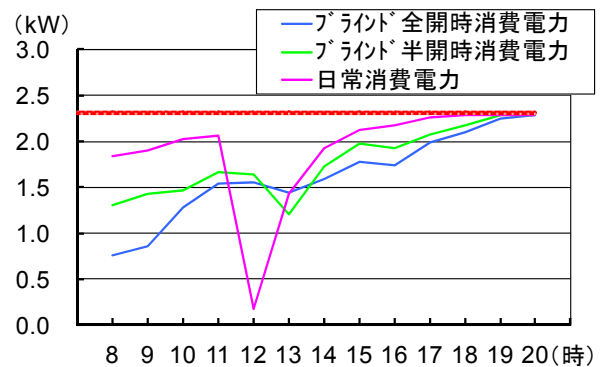


図-12 机上面照度と照明消費電力量の 1 日の変化

6. 建物 ビルのエネルギー消費量

6.1 月別の推移

図-13 に、計量した個々の電力量より集計して求めた 2012~13 年 1 年間の月別の一次エネルギー消費量の推移を示す。一次エネルギー消費量は、空調・換気、照明、OA コンセント、その他の消費用途に区分して表示した。

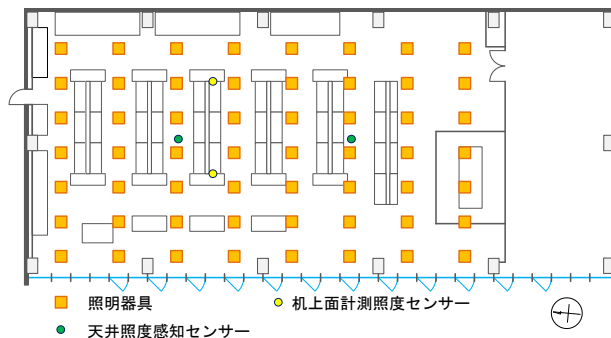


図-11 照明器具、照度感知センサー、計測用照度センサーの配置

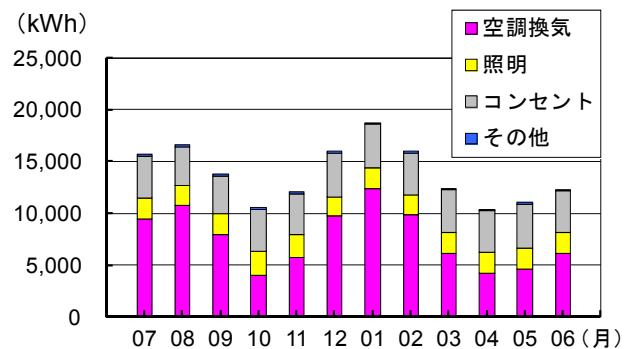


図-13 建物全体の月別消費電力量の推移

これから、エネルギー消費量のピークは、1月にあり、空調以外の消費用途は年変化が少ないことから、冬季の空調のエネルギー消費が大きいことがわかる。これは、上述したように、冬季における空調機効率の低下による影響である。

この傾向は、冬季よりもはるかに発生する熱負荷が小さい中間期に顕著に表れている。これに対する解決策の1つは、空調効率を向上させることである。例えば、設置する空調室外機を大型1台ではなく小型2台にする台数分割により、1台にかかる負荷率を高める。逆に、建物各階の負荷に対応して処理する空調室外機で、個々の室外機の負荷率が低い場合に、建物全体の負荷を処理する空調室外機とし、台数を集約するなど、空調室外機の部分負荷率をあげていくことが考えられる。

解決策のもう1つは、通風など自然エネルギーの有効活用により、中間期における空調機の稼働停止、ないし同低減等が考えられる。

6.2 エネルギー原単位の年別推移

建物の年間のエネルギー消費量を他の建物と比較する上で現在、一次エネルギー消費量原単位がある。これは、建物で空調、照明等の用途で使われるエネルギー量を熱量に換算した一次エネルギー消費の年間合計量をその建物の延床面積で除した値を示す。建物の規模によるエネルギー消費量の差異を標準化することで建物の省エネルギー性能を比較しやすくした指標である。

省エネルギー法では、この一次エネルギー消費量原単位の対象となる消費用途を「空調」、「換気」、「照明」、「給湯」、「昇降機」、「その他（事務機器等の消費電力）」の6つとし、建物が建つ地域、建物用途、建物内の室の用途ごとに単位床面積当たりの基準値を設定している。

建物を設計する場合、建物の一次エネルギー消費量原単位が、上記の基準値に基づいて算出される一次エネルギー消費量原単位を下回ることが求められる。

なお、「その他」については、一般に建物性能として制御することが難しいため、設計段階で使用する原単位は基準値と同値として評価するとしている。

また、ZEBを評価する場合も、設計する建物について、この省エネルギー法に基づいて算出される基準一次エネルギー消費量原単位との比較が必要である。ただし、一次エネルギー消費量原単位算出において、その他の消費用途を除いたものとする。

そして、ZEBの対象となるには、対象となる建物の一次エネルギー消費量原単位が基準一次エネルギー消費量原単位に対して50%以下となる必要がある。

別館は、平成23年に設計されたもので、現在の建築物省エネ法⁷⁾の対象ではないため、まず、基準一次エネルギー消費量原単位の算出を行った。

また、本建物は「概要」で紹介したように、1階がエネルギーをほとんど消費しない倉庫が大部分を占めていることから、一般の事務所ビルと比べた場合、原単位が見かけ上、小さな値となるため、今回は、集計に用いた1階の床面積は、エントランスホール、喫煙室、一部倉庫を含む範囲として、1階の床面積の5分の2とした。

一次エネルギー消費量原単位の算出にあたり、1年の対象期間は、計測を開始した当該年の7月から翌年6月までとした。

図-14に、基準一次エネルギー消費量原単位、電力消費量のデータに基づいて算出した年別の一次エネルギー消費量原単位を示す。

4年間のエネルギー消費量は、基準の消費量に対して、48%、45%、47%、50%で推移している。設計段階でZEBを意図した訳ではないが、結果として年によりZEB Readyレベルの省エネルギーとなっている。

ただし、一次エネルギー消費量原単位は、年度により変動しており、ZEBを意図した設計を考えた場合には、運用段階における変動を見込み安定した省エネルギー（効果）量を確保する設計手法の検討が必要と考える。

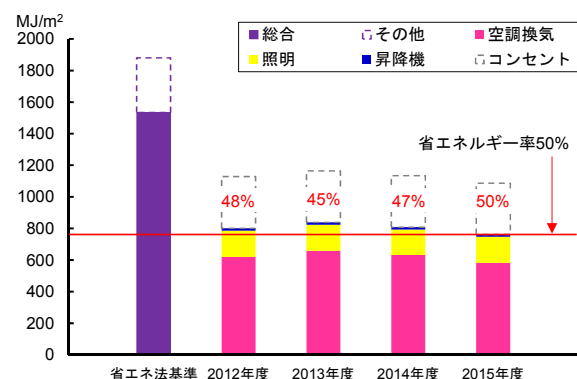


図-14 年度別の一次消費エネルギー原単位の推移

7. 寄与率の算出

建物全体の省エネルギー化の検討にあたっては、どの技術がどの程度、省エネルギーに寄与するのかについて把握しておくことが重要である。

今回導入した技術が、当該建物の省エネルギー化に対して、どの程度寄与したかについて、分析を行った。

各手法に対して省エネルギー率を求める際の分母となる比較対象は、省エネルギー法で定めている基準とした。

図-15に、省エネルギー技術毎の建物全体の省エネルギー量に対する寄与率を示す。これをみると、空調用途においては、当該建物の窓は1面だけであるものの、その断熱性能向上が寄与していること、機器容量や運用における改善の可能性があるものの、機器の効率向上が大きく寄与していることがわかる。また、エネルギー消費に換気用途の割合が大きく、その制御方法が省エネルギーに寄与していることがわかる。照明用途においては、光源がLEDになったことにより、大幅にエネルギー消費が削減されていることがわかる。

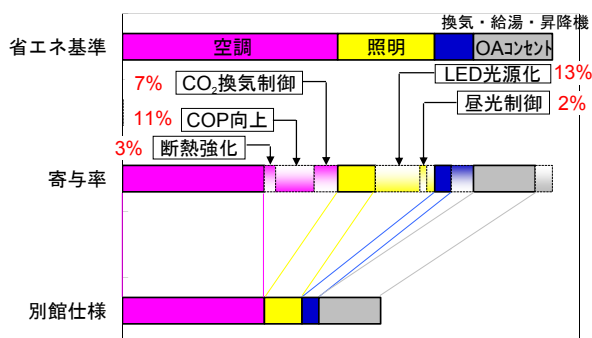


図-15 技術毎の省エネルギーの寄与率

8. 『ZEB』の可能性

上述の結果から当該建物は、基準一次エネルギー消費量原単位 766 MJ/m²・年に対して、50%以上の省エネルギーである ZEB Ready、もしくはそれに準ずるレベルであることがわかった。当該建物は、創エネに関する技術は導入していないため、このままでは、『ZEB』の実現はできず、また基準値に対して、エネルギー生成成分を含んだ省エネルギー率 75%以上である Nearly ZEB に近づけることも困難である。

ただし、ZEB を実現するための省エネルギーとエネルギー生成量のバランスを把握する目的に、ここで

は、創エネルギーとして当該建物に太陽光発電を設置することでエネルギーバランスがどうなるか、シミュレーションを行った。

想定した太陽光発電設備は、当該建物の屋根面、南壁面、及び西壁面の全面に設置し、モジュール発電効率を現在市場にある製品の平均的な18%として行った^{注)}。図-16に、当該建物に太陽光発電を設置した外観想像図を示す。

図-17に試算結果に基づく当該建物の ZEB の達成レベルを示す。この試算結果からは基準に対して80%である Nearly ZEB という評価であり、『ZEB』には到達しない。『ZEB』達成には、太陽光発電のモジュール発電効率として30%超が必要という計算になる。

この結果より、現状の適用技術、および適用条件では、『ZEB』到達は極めて難しく、特に、都市部における創エネルギーについては、周辺環境の影響が大きく、対応が限定されることが明らかになった。

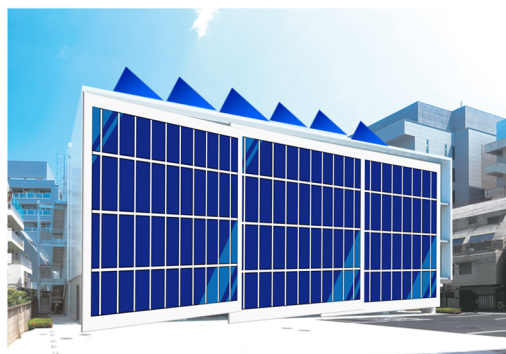


図-16 太陽光発電パネル設置の想定外観

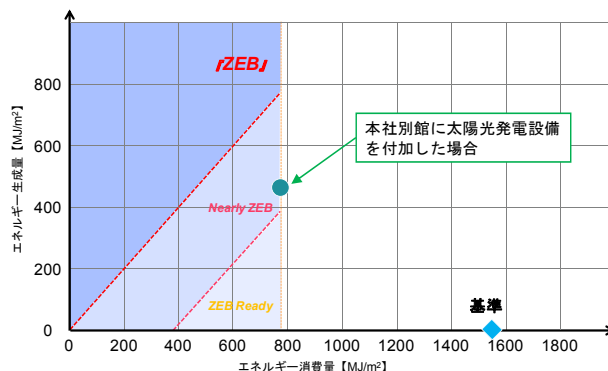


図-17 想定される ZEB 達成度

9. まとめ

ZEB 実現の試みの1つとして、新築した自社建物

に、各種の省エネルギー技術を適用し、各手法による省エネルギー効果を把握した。

今回の結果から、当該建物は、既存技術の組み合わせにより、運用時においても *ZEB Ready* の省エネルギー性能を有していることがわかった。

導入した技術の中で、技術単体として予測される省エネルギー性能を有している技術、想定される省エネルギー性能を発揮するためには、設計、運用条件の改善が必要な技術など、それぞれについて把握した。

同建物において、立地条件からエネルギー生成技術を導入したとしても、現時点においては『*ZEB*』実現は困難であることが示された。

今後は、今回の成果をもとに、*ZEB* の実現性を予測する技術の開発、運用条件を考慮した省エネルギー技術の改良を進めるとともに、これらを活かした設計手法を確立し、*ZEB* 実現をめざしていきたい。

注) 執筆時、太陽光発電を製造・販売している国内の代表的なメーカー 6 社のカタログからモジュール変換効率を抽出し、平均したものをを用いた。

【参考文献】

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 省エネルギー対策課：ZEBロードマップ検討委員会におけるZEBの定義・今後の施策など、pp.2、2016
- 2) 環境省地球環境局地球温暖化対策課：COP21合意を受けた日本の今後の地球温暖化対策について、地球温暖化フォーラム、2015
- 3) 経済産業省 資源エネルギー庁：エネルギー基本計画、pp.33、2014
- 4) 小座野、芝：屋根散水を導入した建物における熱環境実測、日本建築学会大会学術講演会梗概集 環境工学 II、pp.201～202、2013
- 5) 空気調和・衛生工学会：ビル用マルチパッケージ型空調システム計画・設計から性能評価まで、pp.15、空気調和・衛生工学会、2014
- 6) 厚生労働省：建築物衛生法 建築物環境衛生管理基準
- 7) 国土交通省：建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（平成 27 年法律第 53 号）（略称：建築物省エネ法）、2015