

ZEB 化と快適性の両立

— 窓・開口部と空調・照明の一体的な省エネ評価 —

国立研究開発法人 建築研究所環境研究グループ長 三木保弘

1. はじめに

2050年カーボンニュートラル達成に向け、建築物省エネ法による住宅・建築物の省エネ対策が強化されている。2025年4月より、すべての新築の住宅・建築物を対象とした省エネ基準への全面適合義務化が始まり、2030年までに中大規模の新築建築物についてZEB基準への適合も義務化されることになっている¹⁾。本稿では、快適性を確保したZEB化を実現するために、先進的な建築物で採用されている窓・開口部における日射遮へいおよび昼光利用の工夫について、その省エネ効果を空調・照明設備と一体的に評価する手法を構築した研究開発の成果²⁾を紹介する。

2. ZEBとWebプログラムによる省エネ評価

ZEB²⁾は、Net Zero Energy Building (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)の

略称で、建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物を指す(図-1左)。建物内で人が活動する以上、エネルギー消費量を完全にゼロにすることは難しいが、省エネによりエネルギー消費を削減し、太陽光発電などの創エネで不足分を補うことで、エネルギー消費量を正味(ネット)でゼロにすることは可能である。

ただし、住宅とは異なり、規模が比較的大きく用途も多様な建築物では、ネットでエネルギー消費量をゼロにするZEBの実現は容易ではない。そのため、ZEBには「ZEB Ready」や「Nearly ZEB」など、いくつかの達成レベルが設定されている(図-1右)。2030年以降のZEB適合義務化では、最低限「ZEB Oriented」の基準を満たすことが求められる。この基準(ZEB基準の水準)では、省エネルギー性能をBEI (Building Energy Index) で評価し、例えばオフィスビルではBEIを0.6以下にする必要がある。

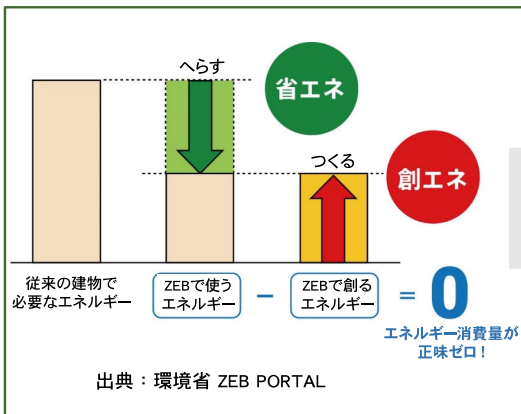
ZEBの評価は、(国研)建築研究所のホームページ上で省エネ基準に関する技術的な情報とともに公開されているWebプログラムを用いて行われる³⁾。評価者によらず一貫した結果が迅速に得られるよう、省エネ効果が実証された規格等に基づく算定法を技術解説として整備し、ユーザーが使いやすいWebプログラムとしている。確実な効果を評価可能な技術を対象としているため、ZEBで採用される先進的な技術に対し対応できない場合がある。

3. 快適性を前提としたZEB化における窓・開口部の設計と省エネ評価の課題

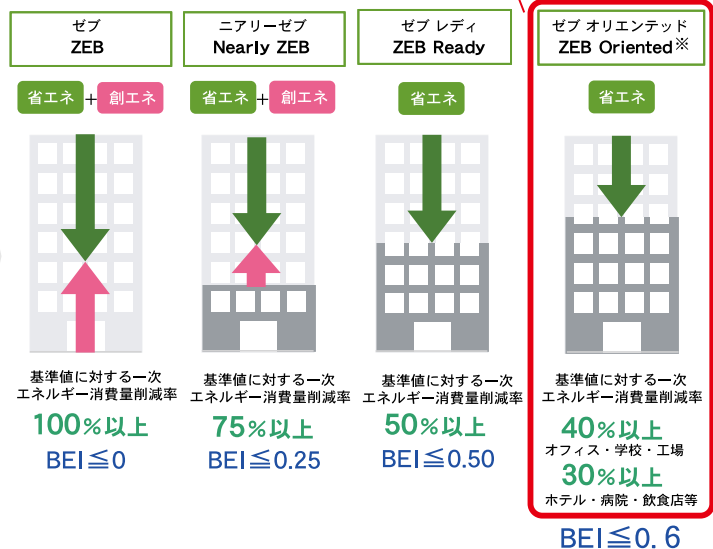
ZEBでは、人が活動するという点で室内環境の質(快適性)の維持を前提としている。ZEBを実現する技術の考え方も含め、ZEBの定義⁴⁾は以下の通りである。

『先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率

『ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル)』 省エネ+創エネでBEIをゼロ以下にする



『ZEB基準の水準』 2030年以降の新築が満たすレベル



※BEI (Building Energy Index)

基準一次エネルギー消費量に対する設計一次エネルギー消費量の比

※延床面積が10,000㎡以上の建物。用途毎に基準は異なる。未評価技術(WEBプロにおいて現時点で評価されていない技術)を導入

図-1 ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) の概念とZEB基準の水準

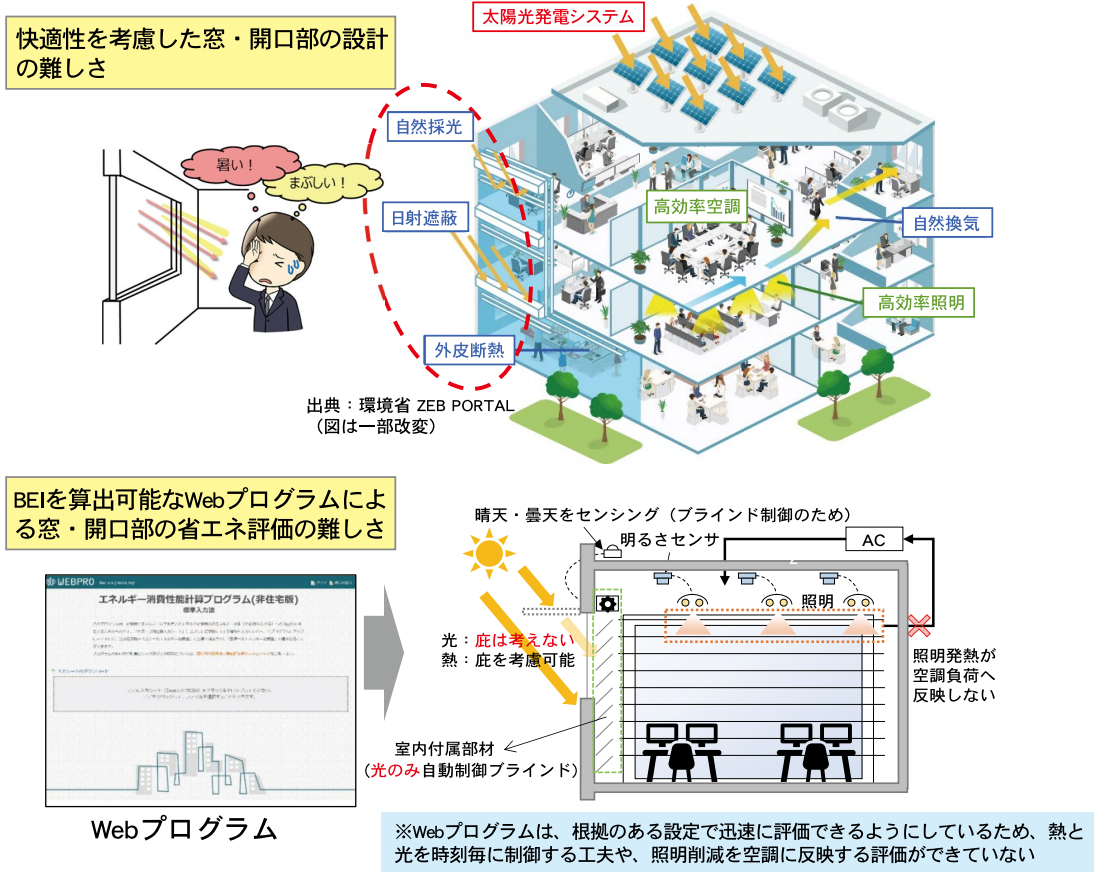


図-2 快適性を考慮した窓・開口部の設計と省エネ評価の難しさ

な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを旨とした建築物』

新築のZEB達成率を向上させるためには、パッシブ技術を活用して負荷を低減し、設備と一体的に設計することで、快適性を確保しつつエネルギー削減を実現する技術の効果を、Webプログラムで適切に評価可能にする必要がある。

パッシブ技術において熱的な弱点となる窓・開口部では、断熱性の向上、日射遮へい、自然採光（昼光利用）を通じて空調・照明エネルギーを削減する技術が重要である。熱性能の高い窓ガラスを使用しても、日射遮へいや昼光利用を工夫しなければ、太陽位置の変化により暑さやまぶしさが生じやすく、快適性を考慮した設計が難しくなる（図-2上）。実際のZEBを目指した建物においても、暑さやまぶしさなどで快適性を損なう事例が見られる。省エネ基準の評価においても、先進的な窓・開口部の工夫と設備の組み合わせの効果は、Webプログラムで適切に評価できるようにはなっていない（図-2下）。

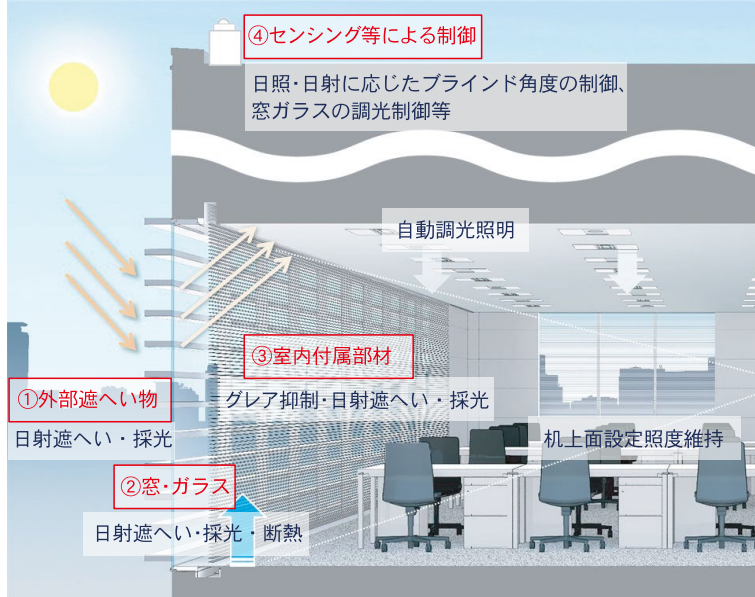


図-3 先進的な窓・開口部で採用される日照・日射制御技術

4. 先進的な窓・開口部で採用される日照・日射制御技術と採用実態

先進的な窓・開口部で採用される技術は、主に日射遮へいと昼光利用を両立させる『日照・日射制御技術』と呼ばれる。技術の内容は、図-3に示すような要素の組み合わせで構成される。オフィス等

の大きな窓は開放感等を得るために設置されることが多いが、熱的に弱点となるため、複層ガラスや庇を組み合わせで断熱性と日射遮へい性を高める。自然光を活用した採光は、室内奥まで光を届けると同時に、グレア（まぶしさ）を防ぐブラインド制御などを活用することで、照明エネルギーの削減（昼光利用）につながる。これらの日射遮へいと照明エネル

ギー削減の相乗効果は、オフィス等で消費が多い冷房エネルギーを削減し、快適性と省エネ性の両立につながる。

この日照・日射制御技術について、ここ十数年のオフィス等でどれくらい採用されているかを調べるため約50名の設計実務者（組織系設計事務所・総合建設会社の空調設備設計者等）にアンケート調査を実施⁵⁾したところ、以下のような結果となった。

- ・採用技術の組み合わせで最も多いのは外部遮へい物なしの「ガラス窓（Low-E複層）＋ブラインド」の組み合わせであった。
- ・外部遮へい物との組み合わせは、「水平ルーバー」「庇」、続いて「垂直ルーバー」「ボックス庇」「ライトシェルフ」が多い。
- ・ブラインドは、自動制御（太陽位置に応じたスケジュール制御や気象センサーで晴天・曇天を判断し、曇天ではブラインドを開ける制御）が一定程度採用されている。

5. 実験・シミュレーション再現に基づく評価手法構築

先進的な窓・開口部の工夫である日照・日射制御技術と空調・照明設備の組み合わせの効果の評価手法は、実験・シミュレーションに基づいて根拠を持った形で詳細に検討⁵⁾し、最終的にWebプログラムへ反映可能なように合理化して構築⁶⁾した。以下、その内容を示す。

(1) 日照・日射制御技術による光環境・熱性能の実験検証

日照・日射制御技術の採用実態より代表的な技術の組み合わせを選定し、快適性を考慮した性能の実験検証を実施した(図-4)。同じ気象条件で同じ窓・開口部となる部屋において、光環境と熱性能を同時測定した。異なる建物での方位の違いと季節の違い、4つの外部遮へい物(庇、水平ルーバー、垂直ルーバー、ライトシェルフ)や晴曇判断による自動制御ブラインドの有無等の組み合わせ36通りについて実測を行った。

(2) 実験結果とシミュレーションによる再現(光環境・熱性能)

実験の実測結果(図-5)より、快適性を確保しつつ光環境・熱性能が高い場合(庇・水平ルーバーの日射遮へい性能



図-4 日照・日射制御技術による光環境・熱性能の実験検証

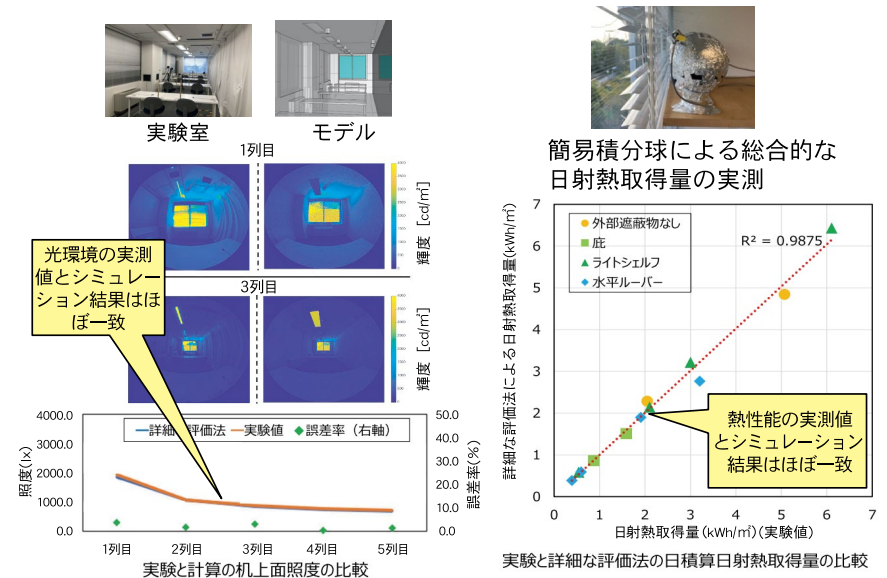


図-5 光環境と熱性能の実測値のシミュレーションによる再現

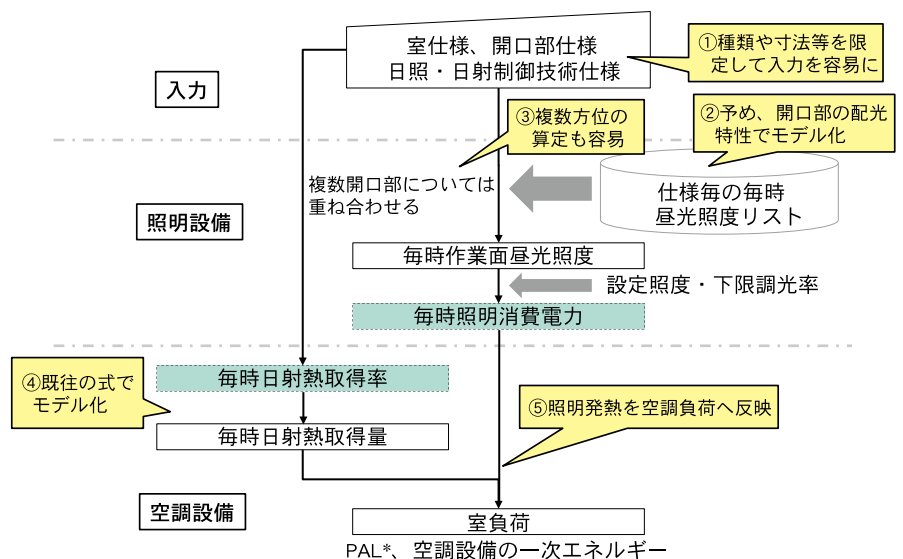


図-6 Webプログラム反映を想定した合理的な評価手法の構築

が高く快適性につながりやすいこと、自動制御との組み合わせの効果が昼光利用効果が高いこと等)が確認された。光環境は、気象データを用いた昼光シミュレーションで、照度や輝度等の実測値を高精度で再現可能であり、熱性能も、技術の組み合わせを総合した日射熱取得量の実測値をシミュレーションでほぼ再現可能であることが示された。

(3) モデル化等による合理的な評価手法の構築

実験・シミュレーションを踏まえ、空調・照明設備との関係を考慮して作成した詳細な計算法を基に、Webプログラム反映を想定したモデル化等を検討した(図-6)。入力・計算過程の工夫や、効率化された照明発熱の空調負荷への反映により、入力しが易く迅速に適切な結果を得るための合理化を行っている。詳細な計算法との比較により、安全側で一定の精度が得られることも確認している。

6. 評価手法の試算

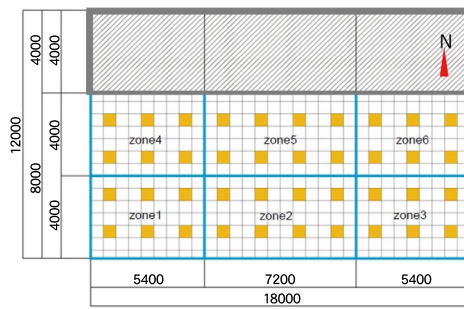
構築した評価手法を用い、外部遮へい物がない場合、ある場合の段階的な試算を行い、ZEB化に向けた快適性も考慮した省エネ性能向上の可能性を検討⁶⁾した。

(1) 試算のモデル建物と評価の条件

小規模オフィスのパッシブ技術を想定したZEB設計として、小容量の空調機器で試算した。図-7にモデル建物と評価の条件を示す。開口はフルハイット窓で、1方位の場合は南面、2方位の場合は南・西面の窓とした。空調設備はビル用マルチ空調+全熱交換換気とし、照明設備は昼光に応じた明るさ検知制御でLEDを制御することとした。室負荷・空調一次エネルギーの計算は、現行Webプログラムの計算方法を別途再現して計算できるようにした。熱源容量は、代表条件で最大負荷計算し、実際に入手可能な機器より、小容量のものを選定した。日照・日射制御技術の組み合わせは、代表的な外部遮へい物として庇、水平ルーバーの有無、窓は熱性能の高いLow-E複層ガラス、室内付属部材はブラインド角度45度固定の場合と自動制御ブラインド(晴曇判断)とした。

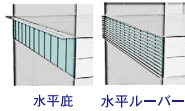
(2) 外部遮へい物なしの空調・照明一次エネルギー消費量削減結果

外部遮へい物なしの場合の空調・照明



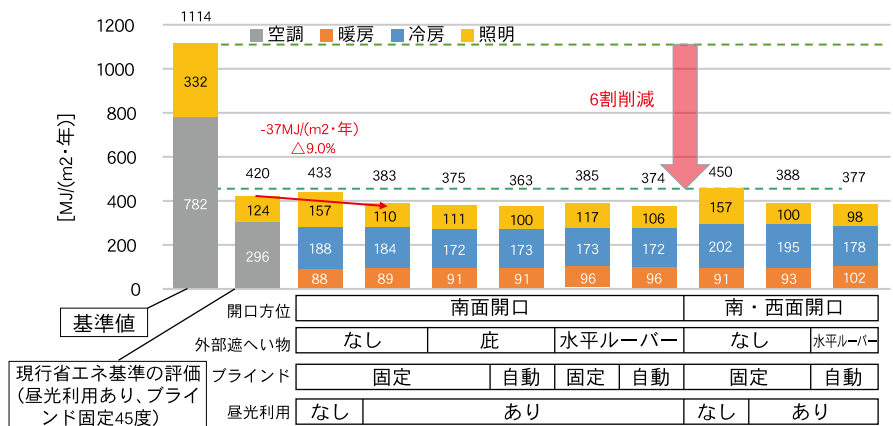
地域：東京
 基準階面積：216㎡(執務室144㎡)
 階：中間階、階高：4m
 天井高：2.8m、窓高：2.8m(フルハイット窓)
 空調設備：ビル用マルチ空調+全熱交換換気
 照明設備：LED(100lm/W)、明るさ検知制御
 室負荷・空調設備一次エネルギーの計算方法：現行Webプログラム相当の計算方法
 熱源容量選定：代表条件で最大負荷計算し実機より選定(5馬力、97W/㎡)
 <最大負荷計算の条件>
 設定照度：750lx、機器発熱：9W/㎡
 人員密度：0.15人/㎡

開口：○1方位 南面(床面比開口率23%)
 ○2方位 南面・西面(床面比開口率34%)



- ①外部遮へい物 a.なし b.水平庇(奥行1m) c.水平ルーバー(奥行0.22m、ピッチ0.2m)
- ②窓 a.Low-E複層ガラス+アルミサッシ(Uw=2.5W/(㎡・K)、ηW=0.38)
- ③室内付属部材 a.ブラインド(35mm幅)
- ④制御 a.ブラインド角度45度固定 b.自動制御ブラインド(屋上センサの晴曇判断)

図-7 評価手法による試算：モデル建物と評価時の条件



※昼光利用あり：昼光の明るさを検知して照明を調光制御

図-8 外部遮へい物なしの空調・照明一次エネルギー消費量削減効果

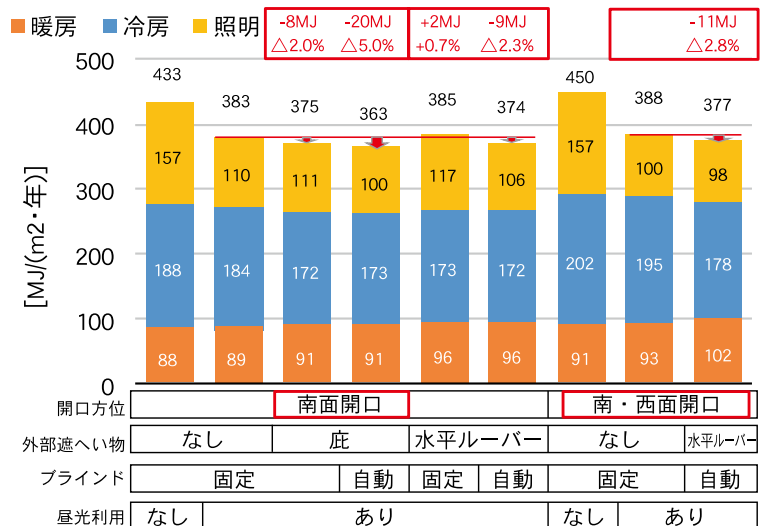


図-9 外部遮へい物とブラインド制御有無の空調・照明一次エネルギー消費量削減効果

一次エネルギー消費量の削減効果を図-8に示す。図の左は省エネ基準の基準値である。Low-E複層ガラス採用の負荷削減効果と設備容量の関係で、外部遮へい物なしでも、空調・照明一次エネルギー消費量は基準値に対し6割以上削減され

ている。また、図の左から2番目の現行省エネ基準で標準的な設定(昼光利用あり・ブラインド固定45度)に対し、照明発熱を空調負荷に反映させると約10%削減となる。

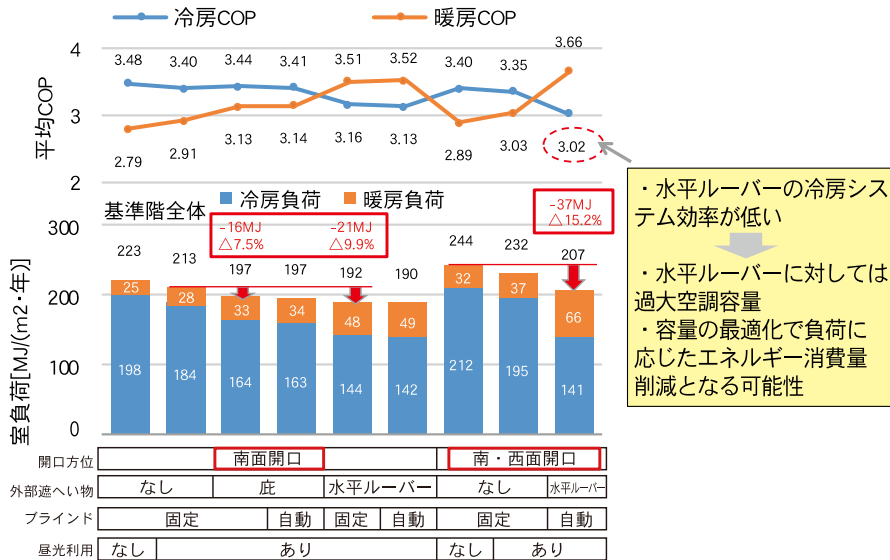


図-10 年間室負荷と平均冷暖房システム効率の関係

(3) 外部遮へい物とブラインド制御有無の空調・照明一次エネルギー消費量削減効果

外部遮へい物とブラインド制御の有無の削減効果を考慮した結果が図-9である。図-8で照明発熱を空調負荷に反映した場合の消費量に対し、南面の庇では、ブラインド固定で消費量が2.0%削減、ブラインド自動制御を加えると5.0%削減される。南面の水平ルーバーでは、昼光導入が減り照明が増えるため消費量は0.7%増えるが自動制御を加えると2.3%削減される。南・西面の水平ルーバーでは、自動制御を加えると2.8%削減となる。さまざまな組み合わせにおいて、外部遮へい物と自動制御の組み合わせの効果があることがわかる。

(4) 空調容量の最適化による一次エネルギー消費量削減効果向上の可能性

前章の外部遮へい物の実測結果等より、外部遮へい物の種類に応じてエネルギー消費量削減効果はかなり異なると推測されたが、図-9のエネルギー消費量の削減ではそれほど大きな違いが見られなかった。そこで年間の室負荷と平均の冷暖房システム効率の関係を確認した(図-10)。その結果、南面の庇の場合は室負荷が7.5%削減、南面の水平ルーバーは9.9%削減、自動制御で更に削減される。南・西面の水平ルーバーは自動制御で削減率15.2%と、かなり削減される。一方で平均冷暖房システム効率では、水平ルーバーの冷房システム効率が低くなっている。この理由として、全てのケー

ス共通で最大負荷計算し、機種を実機より選定したため、過大容量となったと考えられる。従って、熱源容量の最適化を行うことで、負荷に応じたエネルギー消費量削減となる可能性がある。

(5) 試算よりわかること

フルハイトのような大きな窓・開口部でも、Low-E複層ガラスの断熱・日射遮へいと昼光利用の照明エネルギー削減を空調負荷へ反映する効果は大きく、空調・照明の一次エネルギー消費量の削減は6割となった。外部遮へい物の庇・水平ルーバーと自動制御ブラインドを加えることで、日射熱の暑さやグレアを抑制した昼光導入で快適性が確保され、空調・照明エネルギーもさらに削減される。窓全面を遮へいする水平ルーバーの負荷削減効果は高いため、空調容量の最適化が重要といえる。ブラインドとの組み合わせで昼光導入量は減るが、自動制御の採用でブラインドを開ける時間帯が増え、照明エネルギー削減のみならず、開放感等の快適性の確保にもつながる。

7. おわりに

多くの建物でのZEB化と快適性の両立に向け、窓・開口部による工夫の効果を、空調・照明設備との一体的な省エネ性能として評価する手法(Webプログラムへ反映を想定)を開発・試算した。窓・開口部の日射遮へいと昼光利用の時々刻々の制御、照明削減を通じた負荷の削減と空調容量の最適化が、暑さやまぶしさなどを防ぐ快適性を確保したZEB化に繋がると。Webプログラムには順次反映してい

く予定で、垂直ルーバーやライトシェルフ等も快適性を確保する設置仕様の検証がなされれば導入可能である。将来的には、エレクトロクロミックガラス(調光ガラス)、可動式の外部遮へい物、BIPV(建材一体型の太陽光発電パネル)等と組み合わせた開口部等の評価手法への導入にも応用可能と考えている。

【注釈】

注) 建築研究所との共同研究による建築基準整備促進事業の課題E14「非住宅建築物の開口部に係る先進的な技術と空調・照明設備との一体的な省エネ性能の評価手法の検討」(令和2~4年度)の成果に基づいている。

【参考文献】

- 国土交通省「脱炭素社会に向けた住宅・建築物における省エネ対策等のあり方・進め方に関するロードマップ」(2021.8)
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001419725.pdf>
- 環境省ZEBポータル <https://www.env.go.jp/earth/zeb/index.html>
- 建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報 <https://www.kenken.go.jp/becc/>
- 経済産業省資源エネルギー庁「ZEBロードマップ検討委員会とりまとめ」(2015.12)
- 三木他:非住宅建築物における開口部と空調・照明の一体的な省エネ性能評価に関する研究その1~5、日本建築学会大会学術講演梗概集、2021.9
- 佐藤他:非住宅建築物における開口部と空調・照明の一体的なエネルギー消費性能評価法に関する研究-評価法の概要及び空調・照明エネルギーの試算-、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2023.9