

# 建築物のZEB化と快適性の両立に向けて

～窓・開口部と空調・照明の一体的な  
省エネ性能評価手法の開発～

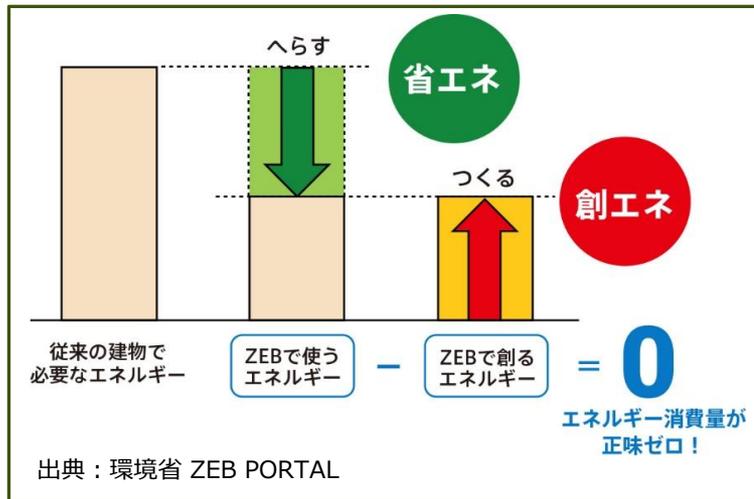
三木 保弘  
環境研究グループ長



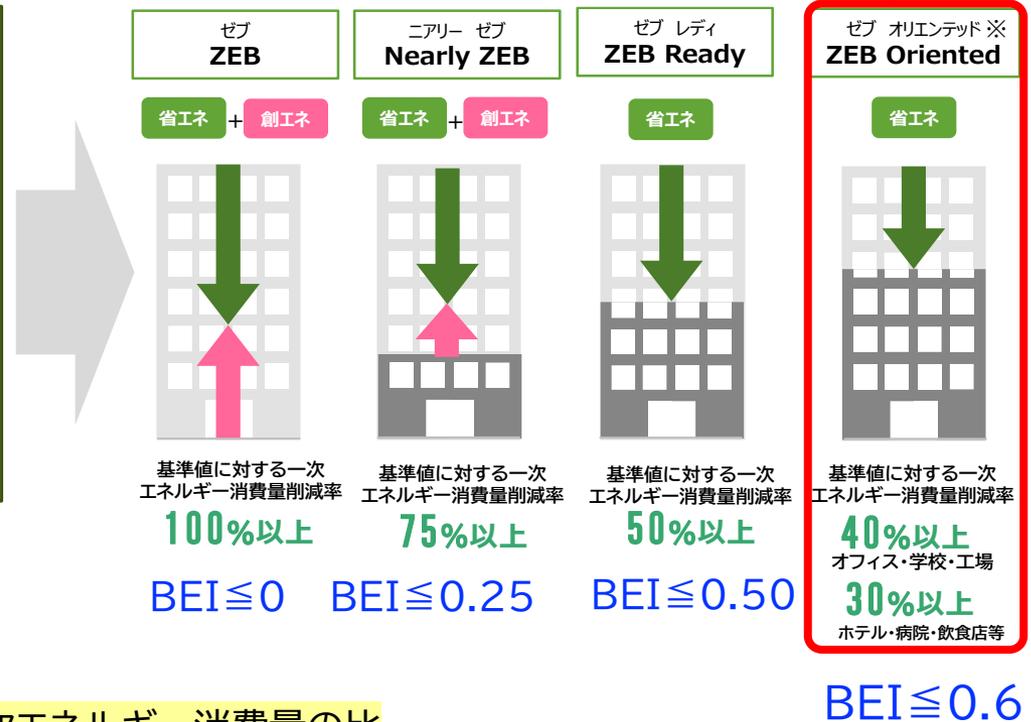
# 背景：2030年に建築物のZEB化が必要

- 2050年のカーボンニュートラルに向け、2030年までに建築物（新築）のZEB基準の水準の達成が求められる。
- 2030年までの省エネ基準強化で、建築物は、オフィス等で一次エネルギー消費量4割以上削減（BEI※ ≤ 0.6）が必須となる。

『ZEB基準の水準』  
2030年以降の新築が満たすレベル



## ZEB（ネット・ゼロエネルギービル）



※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

# 背景：ZEBの評価に必要な省エネ基準のWebプログラム

- ZEB評価は、建築研究所が提供するWebプログラムでBEIを算出して行われている。（<https://www.kenken.go.jp/becc/>）
- Webプログラムは、省エネ基準の評価として、多くの建物において、誰が評価しても正しく同様な結果が迅速に得られるように作成されている。



ZEBのBEI評価

BEI（設計一次エネルギー消費量/基準一次エネルギー消費量）が必要



算定方法の技術解説書

・誰が評価しても正しく同様な結果が得られるよう、省エネ効果を実証された規格等に基づく算定法を技術解説（現在はオンライン）として整備し、ユーザーが使い易いWebプログラムとして提供



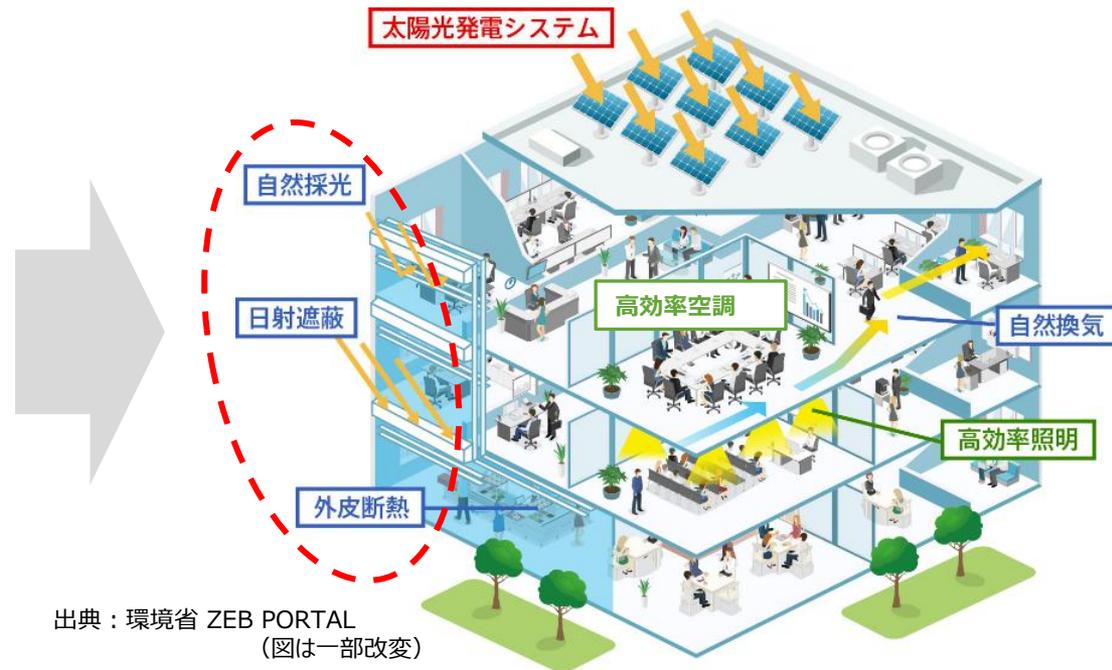
Webプログラム

# 背景：快適性を前提としたZEB化で重要なパッシブ技術

- ZEBは室内環境の質（快適性）の維持が前提（ZEBの定義より）
- 今後、新築のZEB達成率を上げるため、パッシブ技術の採用で設備の負荷を減らして快適性を確保し、設備と一体的に評価することでエネルギーを削減する手法を、Webプログラムに導入する必要がある。
- パッシブ技術で熱的な弱点となる窓・開口部では、断熱と日射遮へい、自然採光（昼光利用）で空調・照明エネルギーを減らす技術が重要

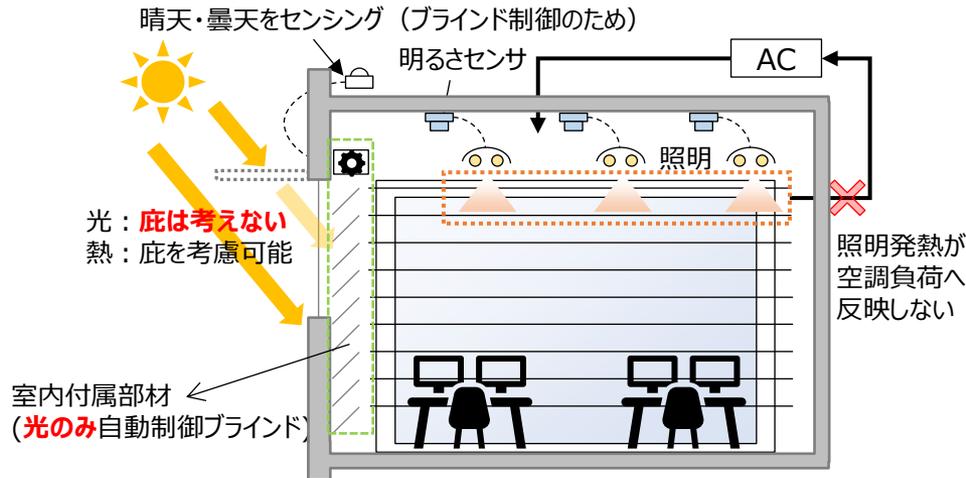
「先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した建築物」

## ZEBの定義



# 背景：ZEB化を目指す窓・開口部の設計と省エネ評価の難しさ

- 熱性能の高い窓ガラスを用いても、日射遮へいと昼光利用を工夫しないと時々刻々の太陽位置の変化で暑さやまぶしさが生じ易く、設計が難しい。
- ZEBを目指した実際の建物でも、そのような快適性を損なう事例がある。
- 省エネ基準の評価法でも、先進的な窓・開口部の工夫と設備の組み合わせは、Webプログラムで対応できていない※。



※Webプログラムは、根拠のある設定で迅速に評価できるようにしているため、熱と光を時刻毎に制御する工夫や、照明削減を空調に反映する評価ができていない

快適性が損なわれやすく設計が難しい！

先進的な取り組みの省エネ評価も難しい！

# 目的と内容

多くの建物での快適性を確保したZEB化の実現に向け、

- 先進的建物で見られる窓・開口部による日射遮へいと昼光利用の工夫の効果を、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プログラムへの反映想定）を構築するための研究開発の成果を示す。

## 以降の内容

- 1) 先進的な窓・開口部の技術の採用率に基づく評価すべき対象
- 2) 実験・シミュレーションに基づく評価手法の構築
- 3) 評価手法の試算
- 4) まとめ・評価手法の展望

※本講演は、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」の成果に基づいている

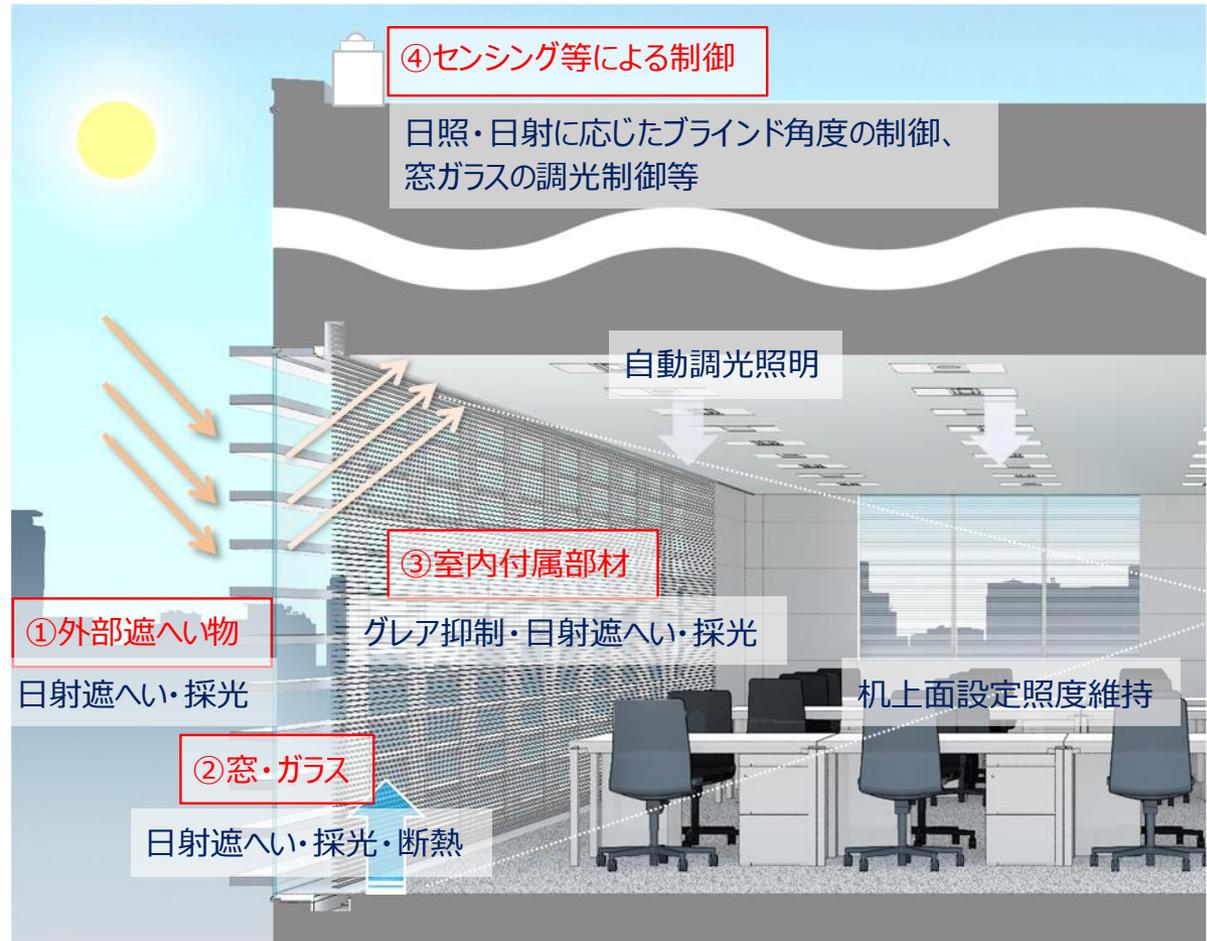
- 1) 先進的な窓・開口部の技術の採用率に基づく評価すべき対象
- 2) 実験・シミュレーションに基づく評価手法の構築
- 3) 評価手法の試算
- 4) まとめ・評価手法の展望

# 先進的な窓・開口部で採用される技術

## ■主に日射遮へいと昼光利用を時々刻々で両立させる技術

### 日照・日射制御技術

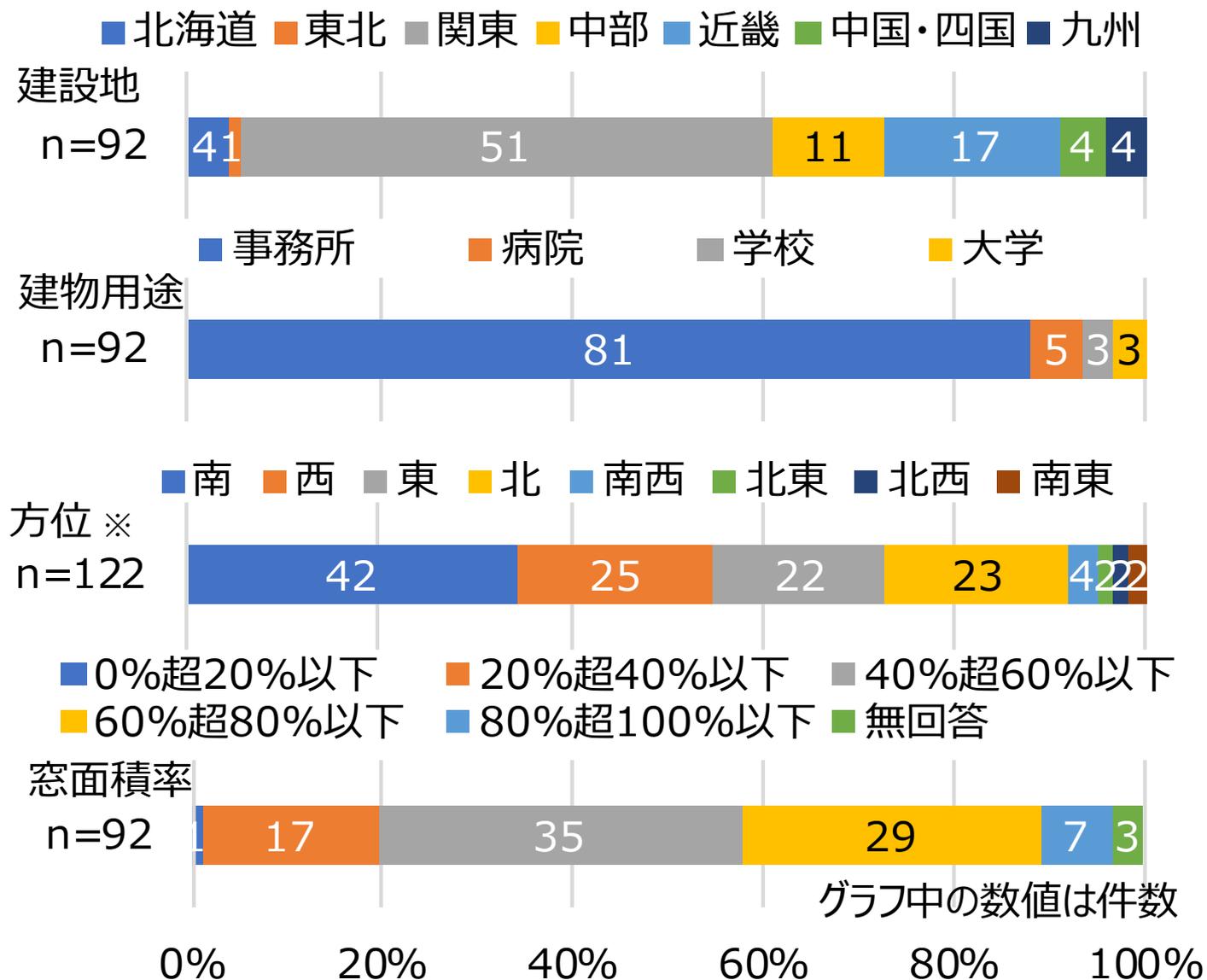
- オフィス等の窓は、開放感等から設置されるが、熱的に弱点になるため、複層ガラス等と庇等を組み合わせて断熱・日射遮へい
- 採光を室奥に届けつつグレア（まぶしさ）を防ぐブラインド制御等で照明エネルギー削減（昼光利用）
- 日射遮へいと照明エネルギー削減の相乗効果で、冷房エネルギーを削減



# 日照・日射制御技術の採用率等の実態調査

- 調査対象 組織系設計事務所：4社、総合建設会社：5社、  
各社空調設備設計担当5名程度に送付
- 実施時期 2020年11月～2021年1月
- 対象物件 直近十数年程度の日照・日射制御技術を採用した物件
- 設問内容 建設地域、建物用途・室用途、主方位、窓面積率、  
日照・日射制御技術（①外部遮へい物、②窓・ガラス、  
③室内付属部材、④ブラインド制御）の採用状況 等
- 回答数 92件 ※同じ建物でも方位で日照・日射制御技術の種類が異なる  
場合は、それぞれ1件とした

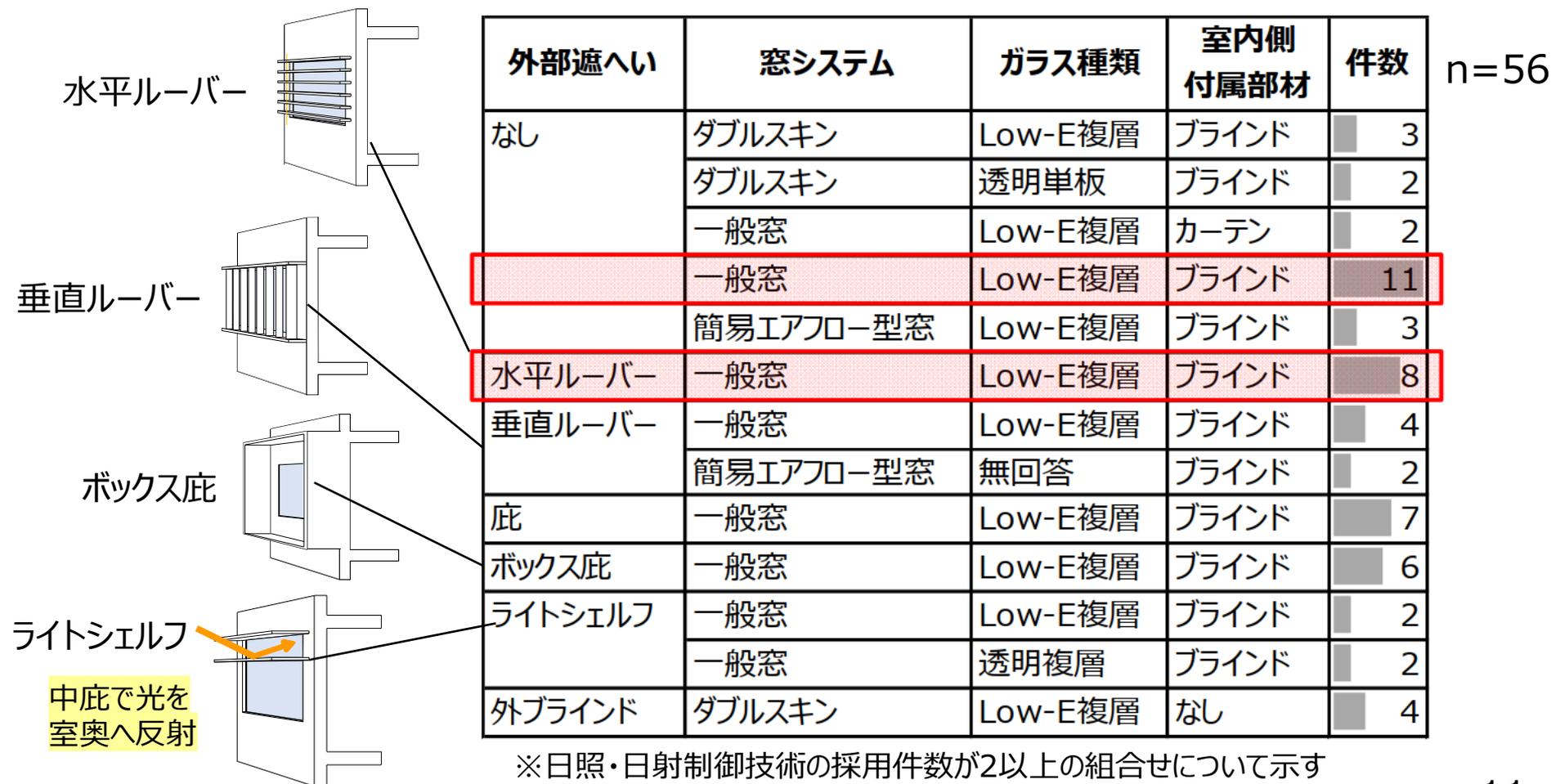
# 調査対象建物（92件）の概要



※日照・日射制御技術の種類が同じで複数方位の窓がある場合、各方位を1件として算定

# 調査結果より代表的な組み合わせを選定

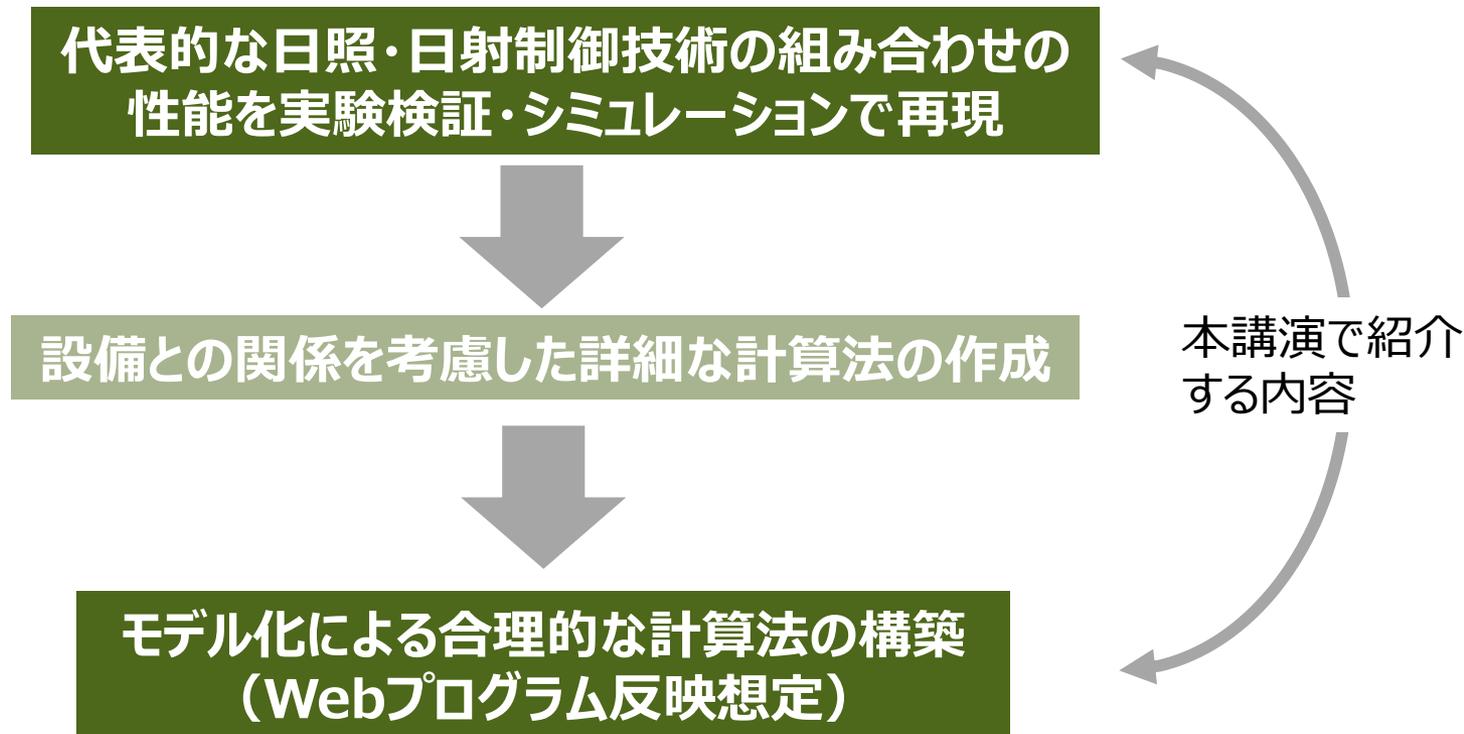
- 現行省エネ基準で評価される一般窓（Low-E複層） + ブラインドが多い
- 外部遮へい物は水平ルーバー、庇、垂直ルーバー、ボックス庇、ライトシェルフ等
- その他、ブラインド自動制御の結果等も含め、代表的な組み合わせを選定



- 1) 先進的な窓・開口部の技術の採用率に基づく評価すべき対象
- 2) 実験・シミュレーションに基づく評価手法の構築
- 3) 評価手法の試算
- 4) まとめ・評価手法の展望

# 実験・シミュレーションに基づく評価手法の構築方法

- 代表的な技術の性能を実験検証とシミュレーションで再現
- 設備との関係を考慮した詳細計算法をまず作成して、モデル化を通じWebプログラムへの反映を想定した合理的な評価手法を構築



# 実験検証とシミュレーションによる再現性の検討

- 採用率調査で設定した代表的な日照・日射技術等の組み合わせ36通りについて、光・熱の同時測定で実験検証（方位の異なる建物、季節を考慮）
- 実験値をシミュレーションで再現可能か検討

晴曇判断による  
自動制御ブラインドも考慮



建築研究所環境実験棟4F：模擬オフィス南面の例



光環境測定側



熱性能測定側

光環境・熱性能の同時測定



庇



ライトシェルフ



水平ルーバー



垂直ルーバー

実験で用いた外部遮へい物の種類

# 実験とシミュレーションの結果（光環境）

- 気象データを用いた昼光シミュレーションソフトRadianceにより、照度や輝度等の実測値を高精度で再現可能

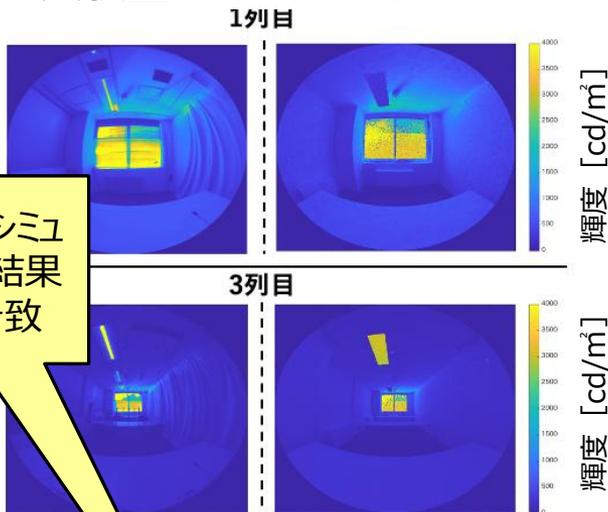


実験室

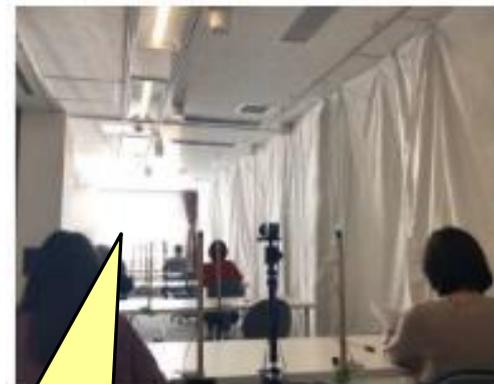
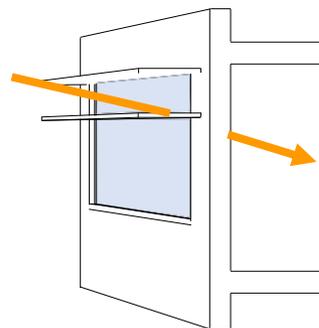


モデル

- 主観評価とグレア予測値でライトシェルフの冬期の不快なまぶしさを確認

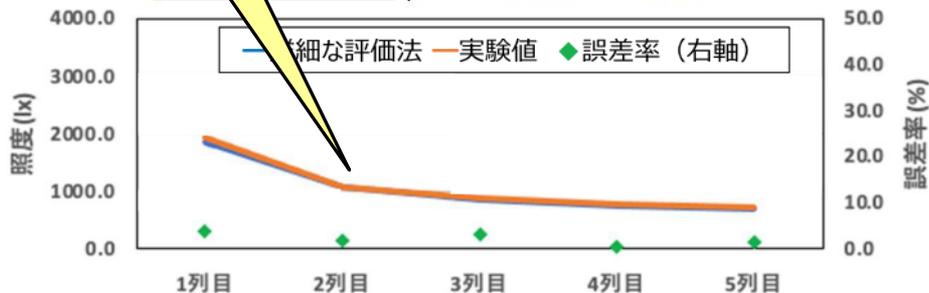


実測値とシミュレーション結果はほぼ一致



被験者実験風景

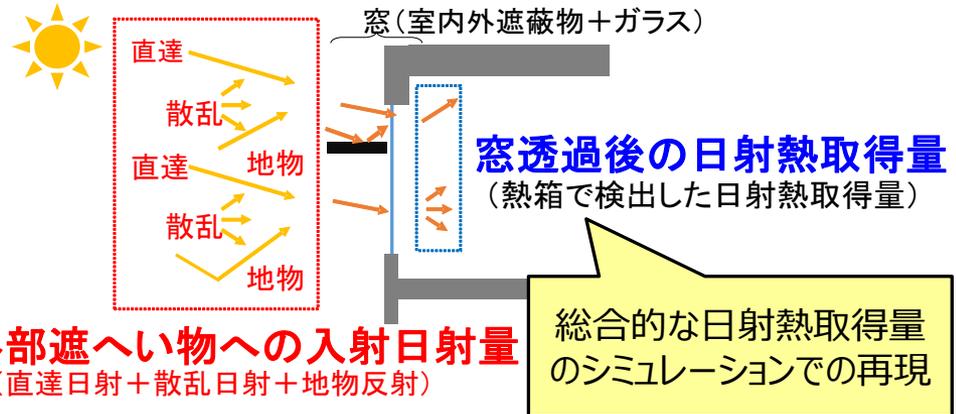
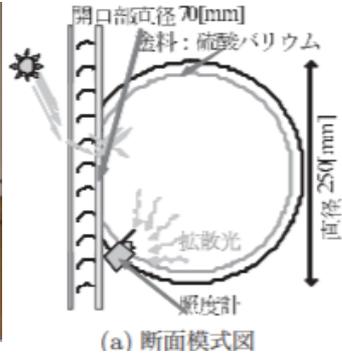
室内の内庇がないと、冬季には太陽光が直接入射



実験と計算の机上面照度の比較

# 実験とシミュレーションの結果（熱性能）

- 外部遮へい物、窓ガラス、室内ブラインド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再現可能



簡易積分球(左：実物 右：断面模式図)

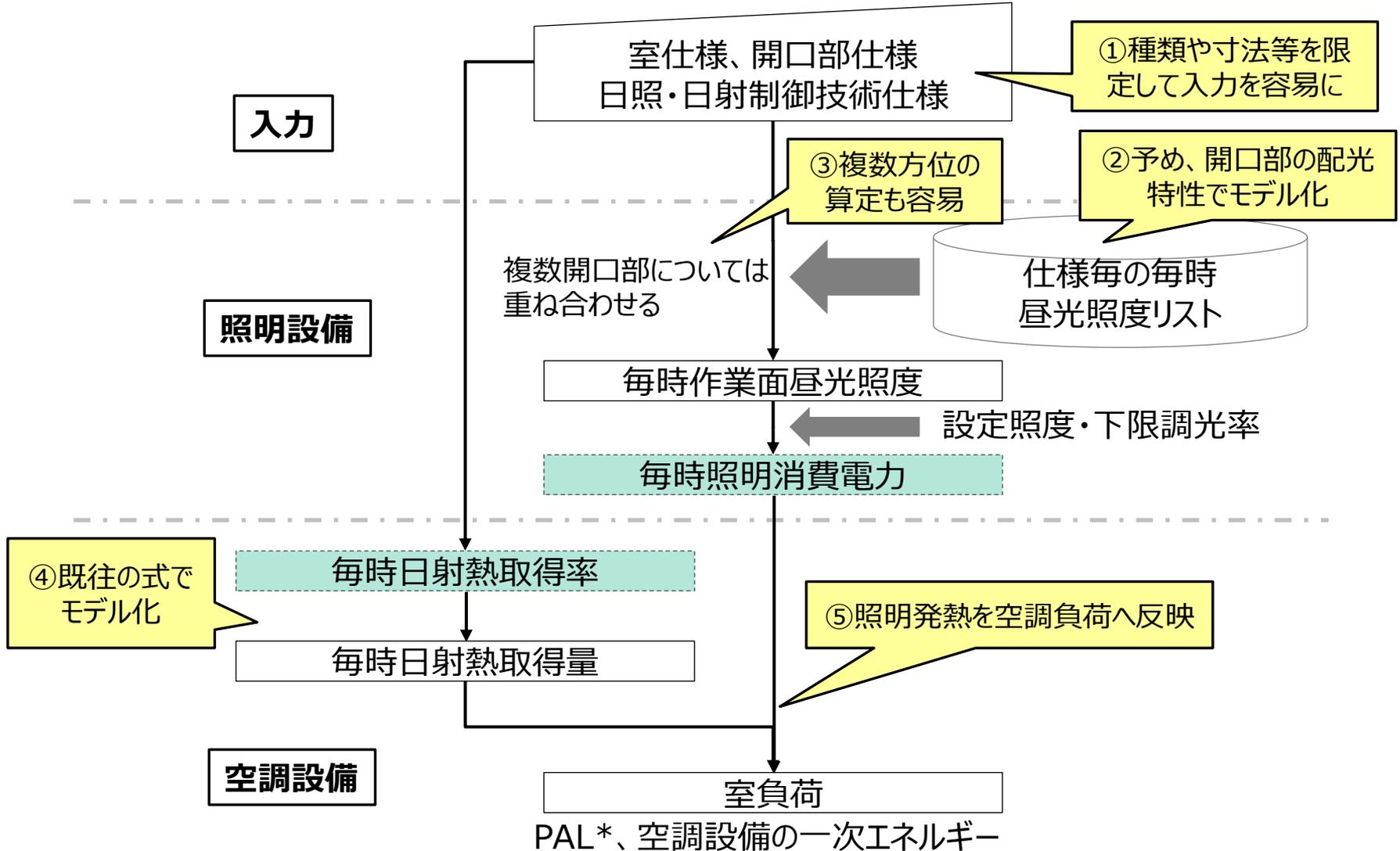
## 実験とシミュレーションの日射熱取得率の比較

|    | 日射制御技術条件 |                        | 晴天代表日       | 実験値               |      | シミュレーション値 |      |  |
|----|----------|------------------------|-------------|-------------------|------|-----------|------|--|
|    | 外部遮へい物   | 室内付属部材                 |             | 9時～15時平均日射熱取得率[-] |      |           |      |  |
| 夏期 | なし       | なし                     | 2020年10月 7日 | 0.86              |      | 0.81      |      |  |
| 冬期 |          |                        | 2020年12月 1日 | 0.92              |      | 0.85      |      |  |
| 夏期 | 庇        | ブラインドなし                | 2020年 8月22日 | 窓上部               | 0.26 | 窓上部       | 0.26 |  |
| 冬期 |          |                        | 2020年12月13日 | 窓上部               | 0.42 | 窓上部       | 0.42 |  |
| 夏期 | ライトシェルフ  | ブラインド<br>上：なし<br>下：45° | 2020年 9月18日 | 窓上部               | 1.05 | 窓上部       | 1.06 |  |
| 冬期 |          |                        |             | 窓下部               | 0.17 | 窓下部       | 0.18 |  |
| 夏期 |          |                        | 2021年 1月 1日 | 窓上部               | 1.02 | 窓上部       | 1.03 |  |
|    |          |                        |             | 窓下部               | 0.35 | 窓下部       | 0.32 |  |
| 夏期 | 水平ルーバー   | ブラインドなし                | 2021年 8月 6日 | 0.30              |      | 0.29      |      |  |
| 冬期 |          |                        | 2021年12月20日 | 0.51              |      | 0.51      |      |  |
| 夏期 |          |                        | ブラインド45°    | 2021年 7月31日       | 0.23 |           | 0.25 |  |
| 冬期 |          |                        |             | 2021年12月28日       | 0.29 |           | 0.30 |  |

実測値とシミュレーションの値はほぼ一致

# モデル化等による合理的な評価手法の構築

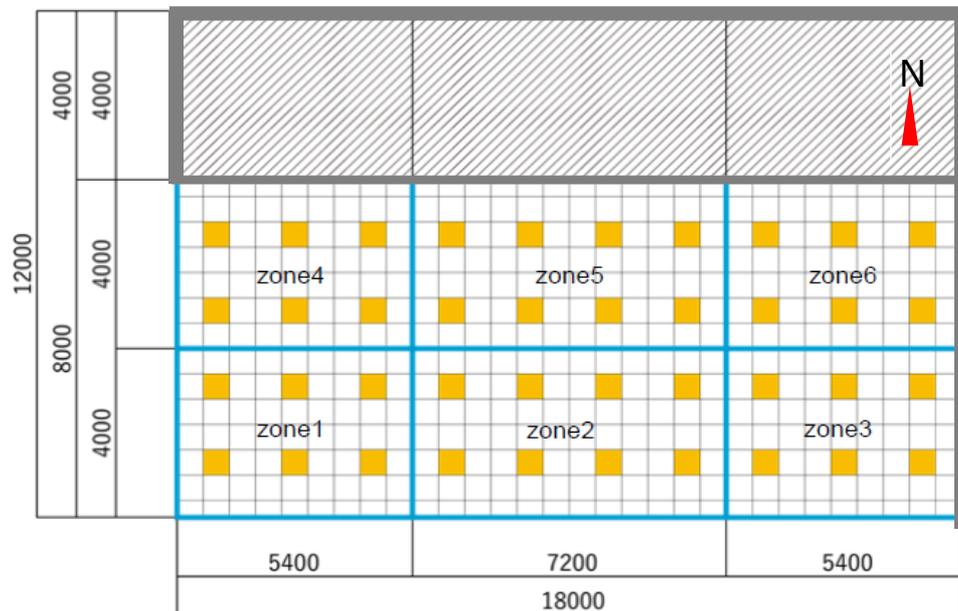
- 実験・シミュレーションより作成した詳細計算法をもとにモデル化等を検討
- 入力や計算過程で合理化の工夫



- 1) 先進的な窓・開口部の技術の採用率に基づく評価すべき対象
- 2) 実験・シミュレーションに基づく評価手法の構築
- 3) 評価手法の試算
- 4) まとめ・評価手法の展望

# 評価手法による試算：モデル建物と評価時の条件

- ▶ 小規模オフィスのZEB設計として、大開口の代表的遮へい物等の組み合わせとし、空調機器は最大負荷計算より、実機で小さな容量のものを選定



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/㎡)

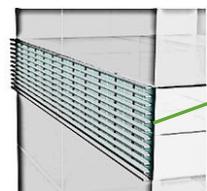
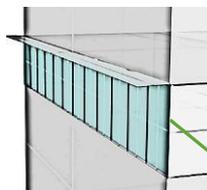
<最大負荷計算の条件>

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%）

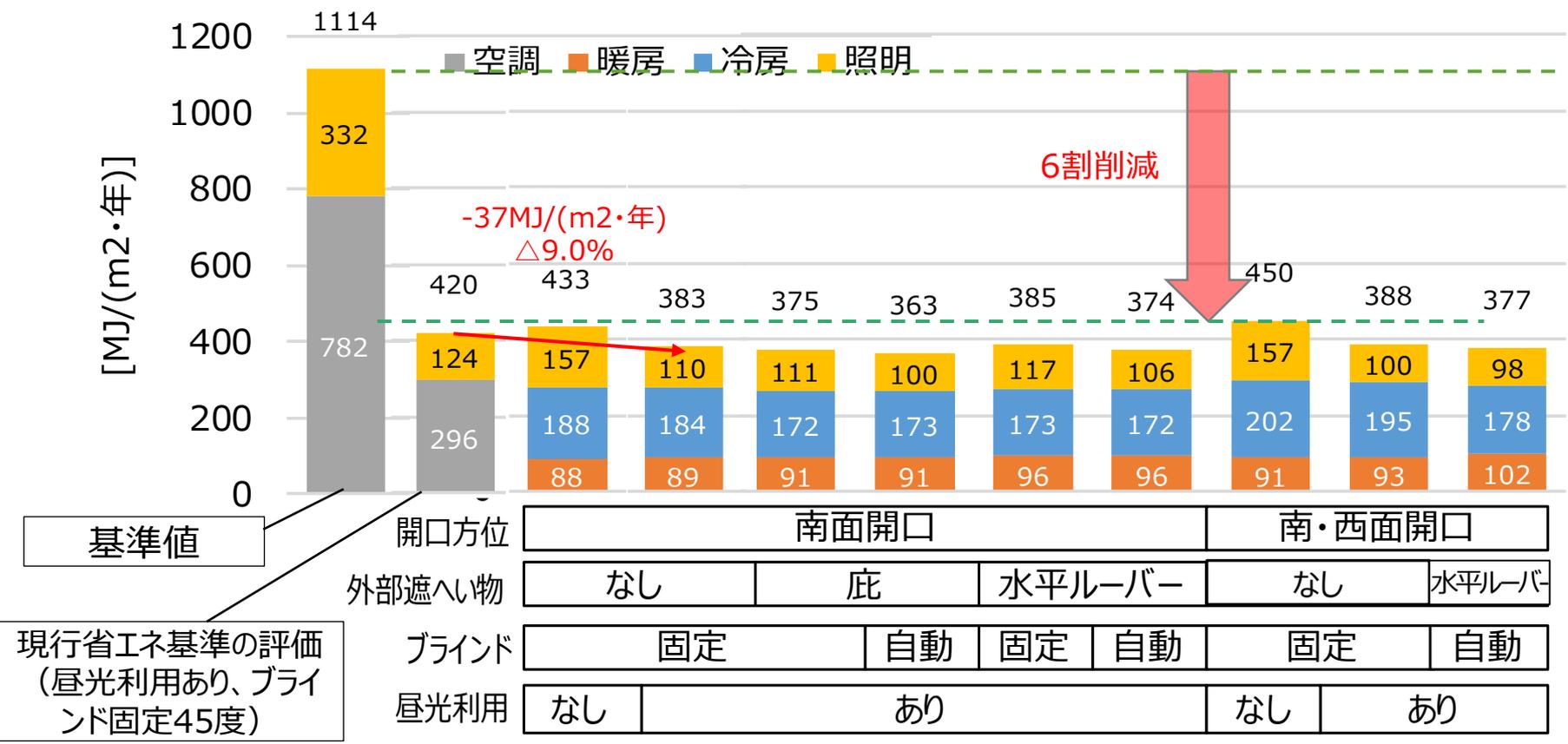
○2方位 南面・西面（床面比開口率34%）



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

# 試算結果：外部遮へい物なしの空調・照明一次エネ削減効果

- Low-E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て6割以上削減。
- 現行評価(昼光利用あり・ブラインド固定45度)に対し、照明・空調連成で約10%削減

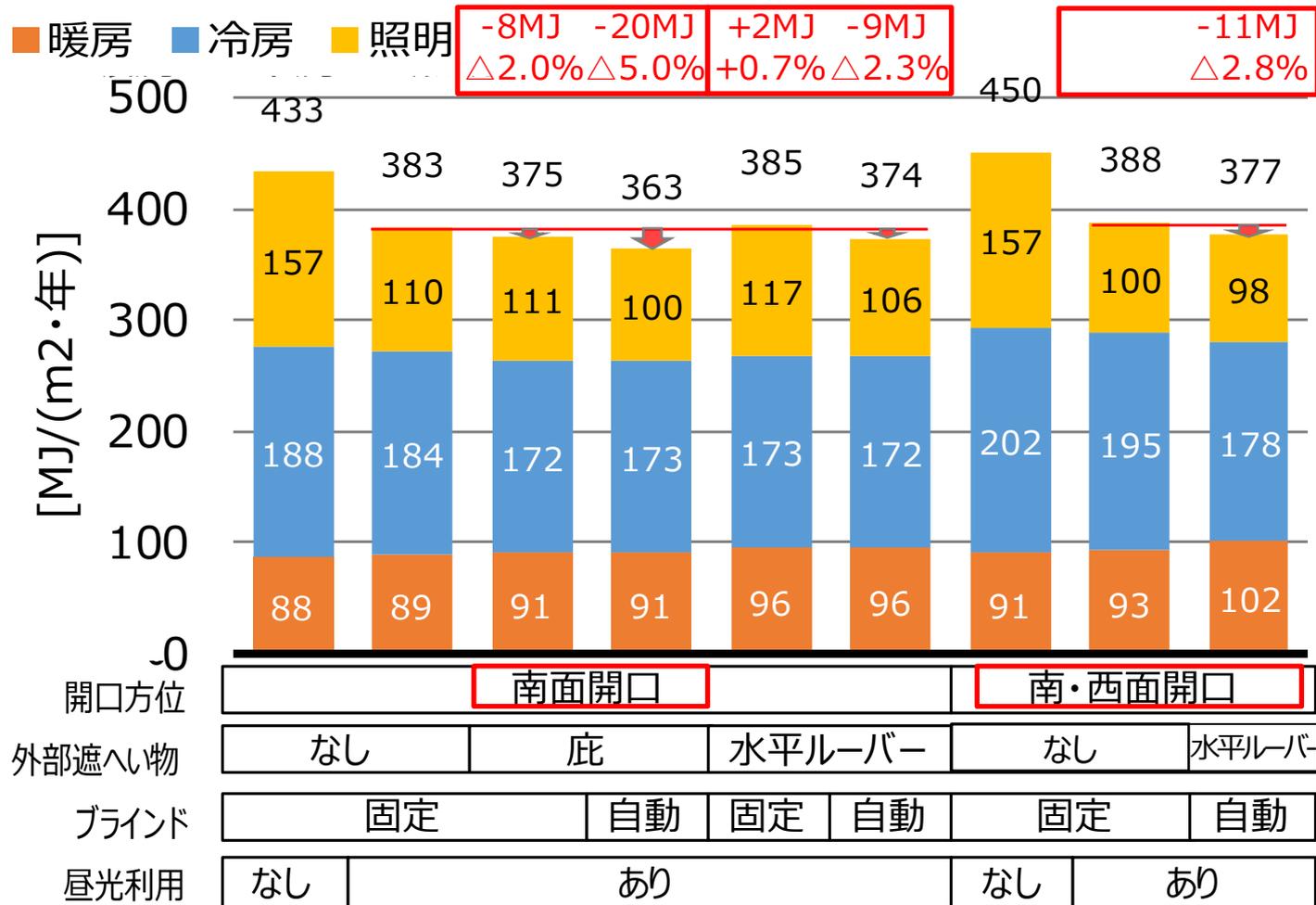


現行省エネ基準の評価  
(昼光利用あり、ブラインド固定45度)

※昼光利用あり：昼光の明るさを検知して照明を調光制御

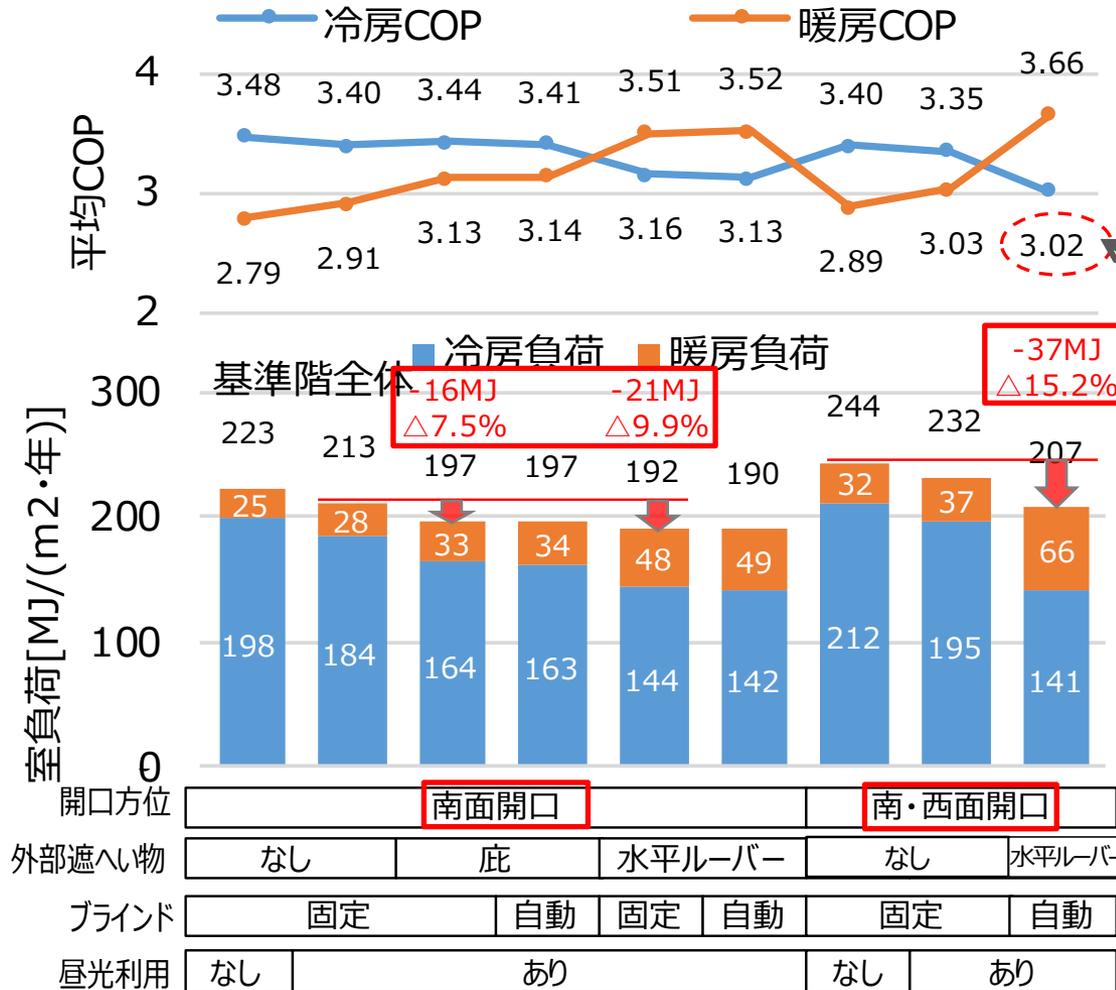
# 試算結果：外部遮へい物とブラインド制御有無の削減効果

- 南庇：空調＋照明一次エネが2.0%削減、自動制御を加えて5.0%削減
- 南水平ルーバー：昼光導入減で照明増、空調＋照明は0.7%増、自動制御2.3%減
- 南・西水平ルーバー：空調＋照明は自動制御で2.8%減



# 試算結果：年間室負荷と平均冷暖房システム効率の関係

- 南庇：室負荷削減率7.5%、南水平ルーバー：固定9.9%削減、自動制御で更に削減
- 南・西水平ルーバー：自動制御で削減率15.2%



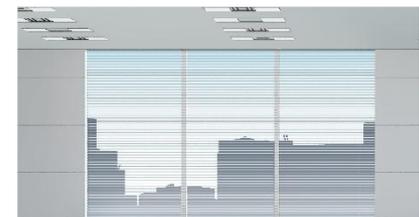
・水平ルーバーの冷房システム効率が高い

- ・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
- ・容量の最適化で負荷に応じたエネルギー消費量削減となる可能性

# 試算よりわかること：窓・開口部と設備の一体的工夫の効果

- 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、最大負荷計算で実際に選定可能な小容量の空調機器（ビル用マルチ）で試算した。
- 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率は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。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。

ブラインドが開いたことで得られる自然光と眺望・開放感



- 1) 先進的な窓・開口部の技術の採用率に基づく評価すべき対象
- 2) 実験・シミュレーションに基づく評価手法の構築
- 3) 評価手法の試算
- 4) **まとめ・評価手法の展望**

# まとめ・評価手法の展望

## まとめ

- 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。

## 評価手法の展望

- 今後、導入可能な部分からWebプログラムに順次反映
- 西面などで有効な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
- 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、PV（太陽光発電パネル）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。

ご清聴ありがとうございました