




2017年度日本建築学会賞(技術) 受賞業績

多角的評価のための
建築熱シミュレーションエンジンの開発

宇都宮大学 教授 郡 公子
首都大学東京 名誉教授 石野久彌
建築環境・省エネルギー機構 理事長 村上周三

A tall, blue-tinted skyscraper stands prominently on the left side of the image, set against a hazy cityscape. The building has a grid-like facade of windows. The background shows a dense urban environment with various other buildings and a clear sky.

空調設計用最大熱負荷・年間熱負荷・エネルギー消費量の3つの計算用途に適する
計算法、最近注目される省エネルギー手法
を評価可能とする計算法を提案し、その
計算機能を実装する建築熱シミュレー
ションエンジンを開発した。

計算法の特徴

① エネルギー計算と熱負荷計算の両立

- ・ 熱平衡解法の切換えと計算時間間隔の変動設定により、エネルギー計算に対しては確実な求解、熱負荷計算に対しては効率的処理が可能になった。

① 実用性の高い熱計算法

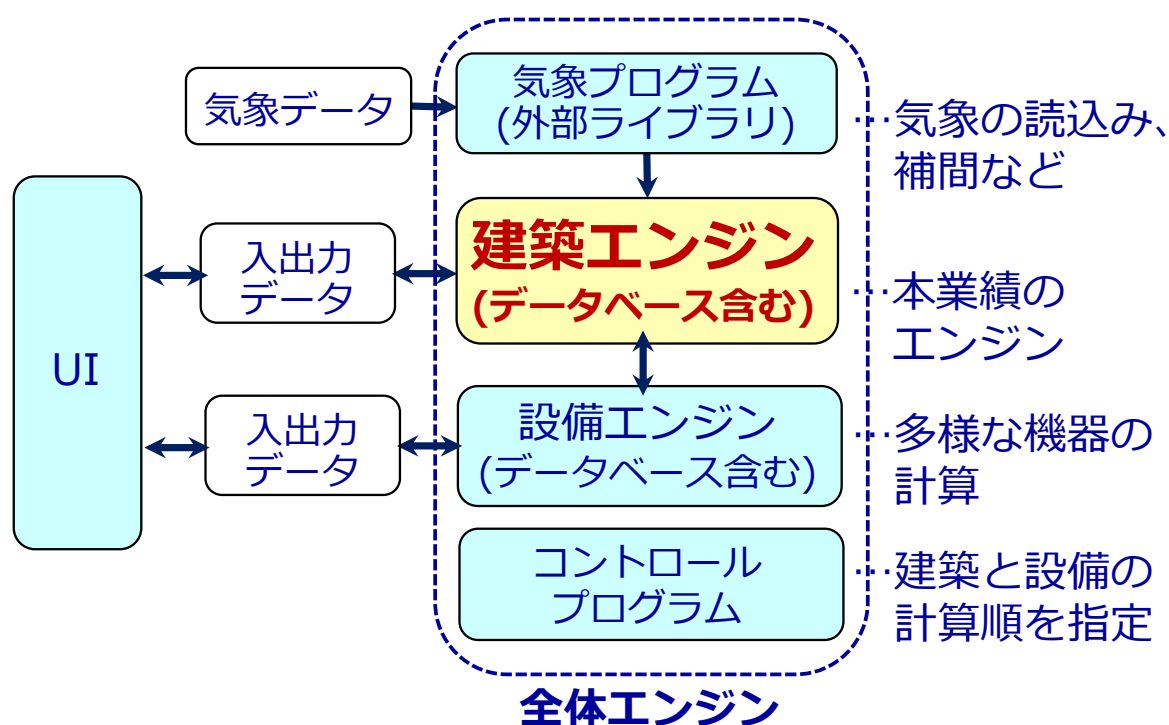
- ・ 対流放射近似分離法を発展させ、種々の放射冷暖房方式の効果を推定できるようにした。
- ・ 拡張アメダス設計用気象データを効果的に利用し、自由な予冷熱設定が可能な最大熱負荷計算法をもつ。

① 省エネ手法の新計算法

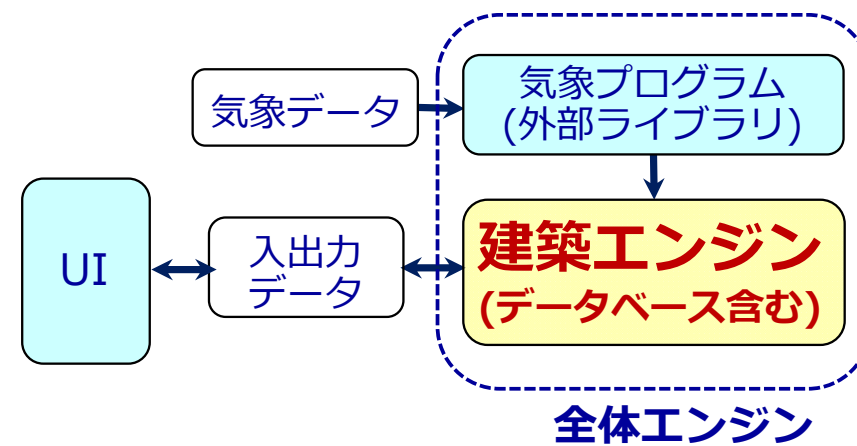
- ・ 高性能窓システムであるダブルスキンやエアフローウィンドウの熱性能理論式を誘導するとともに、計算に必要なデータベースを整備した。
- ・ 自然換気を含む外気導入制御の新計算法を提案した。

周辺プログラムとその構成

エネルギー計算のためには、本エンジンが提供するインターフェースを利用する設備シミュレーションエンジンが必要



エネルギー計算用の構成



*建築エンジンの入力データはXML形式で、直接編集も可能。出力データはCSV形式

最大・年間熱負荷計算用の構成

非定常熱平衡の解法切換え

① 解法の切換え

エネルギー計算

- ・空調時間帯には、多数の建築空間と多数の設備機器との平衡状態を解く必要がある。この建築・設備の連成に適する解法としてエクスピリシット法を利用する。
- ・連成が不要な非空調時間帯には、建築に適する解法であるインプリシット法に切換える。

熱負荷計算

常にインプリシット法を利用する。

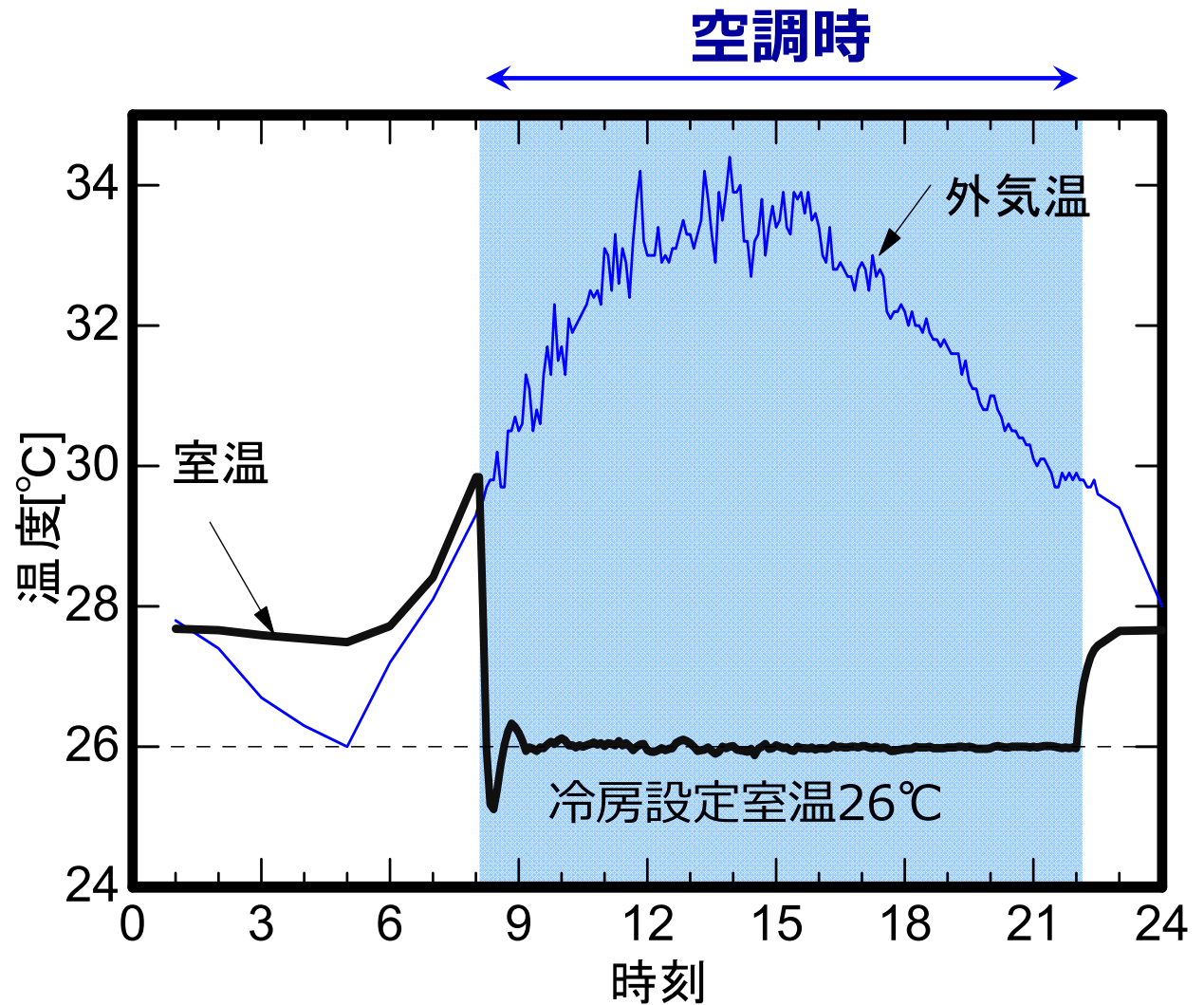
① 計算時間間隔

- ・解法や状態変化の急激さに応じて計算時間間隔を変動設定する。
- ・時間間隔変動を許容する計算体系とするため、壁体伝熱計算の改良、新しい予冷熱計算法の考案を行った。

エネルギー計算での解法切換え例

空調時

- ・ 解法：エクスピリット法*
- ・ 計算時間間隔：5分



*4次ルンゲクッタ法を用いて各ゾーン独立に熱平衡を解く。設備計算は、PID制御理論等を利用して操作量を決定

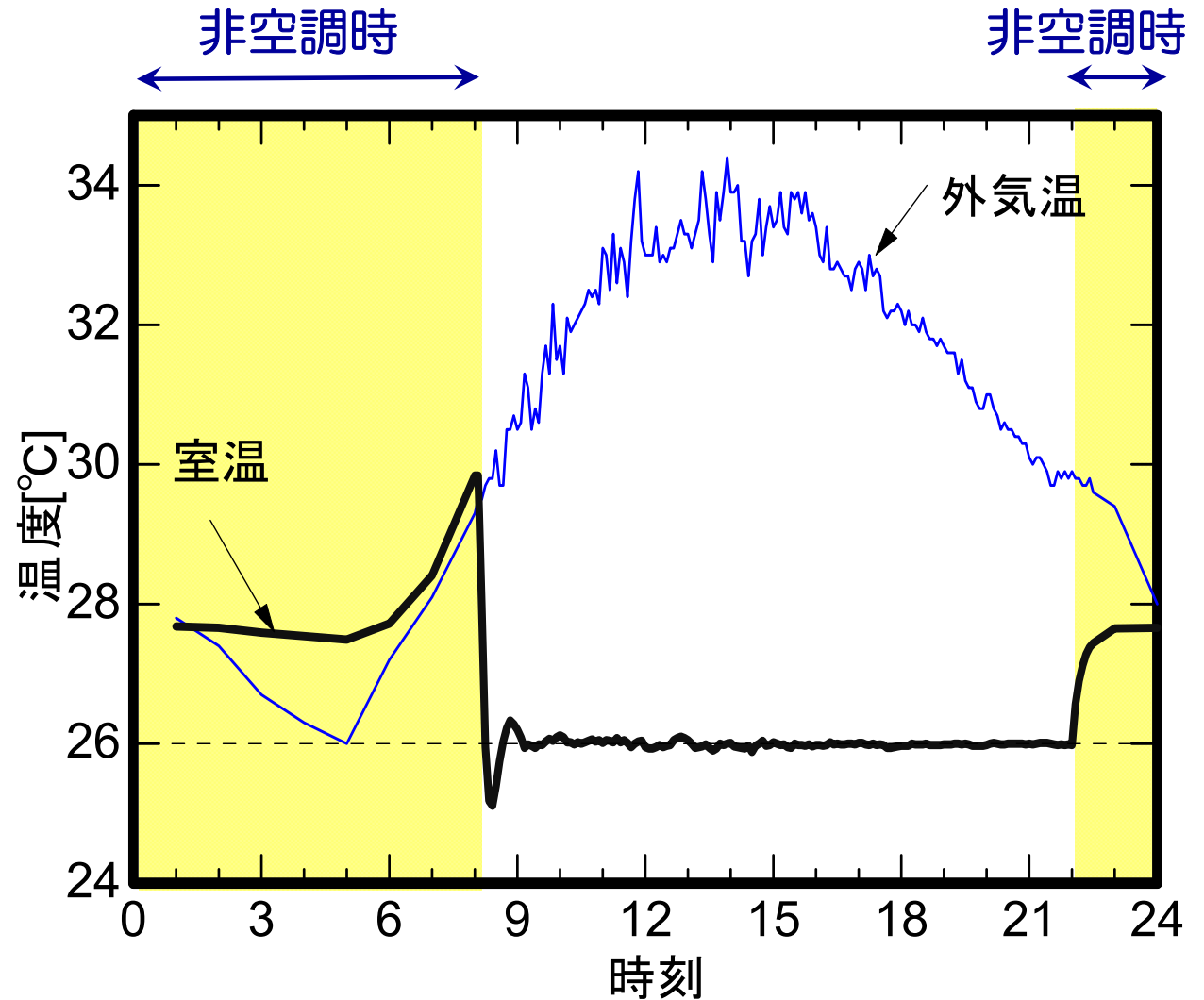
解法切換えと夏期室温変動

エネルギー計算での解法切換え例

非空調時

- 解法：インプリシット法*
- 計算時間間隔：解法切換え直後は5分、それ以降は1時間間隔

*1次後退差分の多ゾーン熱平衡式を連立させて解く



解法切換えと夏期室温変動

実用的な放射計算法

従来の対流・放射近似分離法を踏襲し改良した。

● 室に応じた放射の遅れ特性の考慮

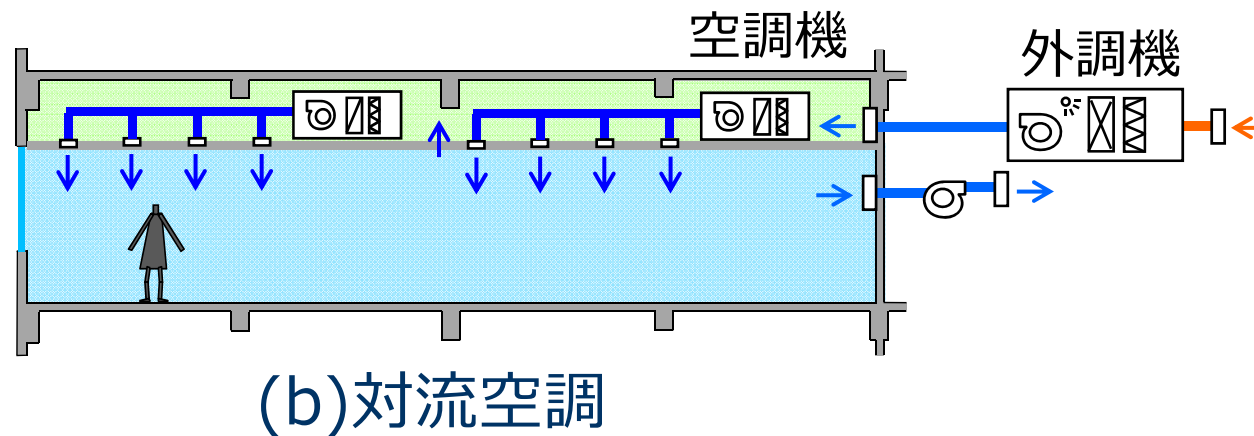
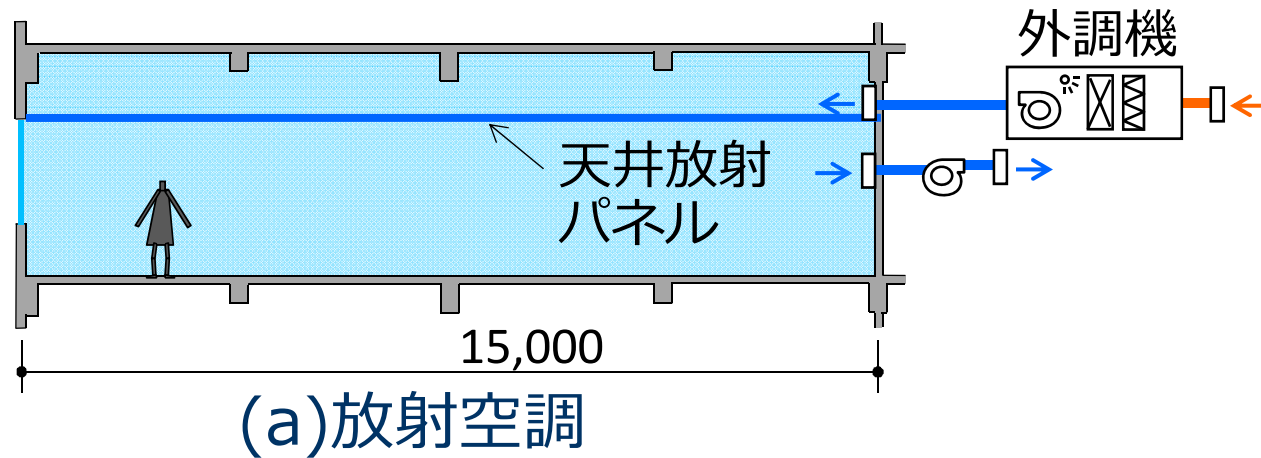
室吸熱応答をもとに熱取得に対する熱負荷応答を修正

● 放射冷暖房等の放射効果の推定

発熱体からの放射熱が特定面に吸収される現象を考慮する
伝熱計算とし、放射冷暖房効果の汎用計算を可能にした
(エネルギー計算用)。

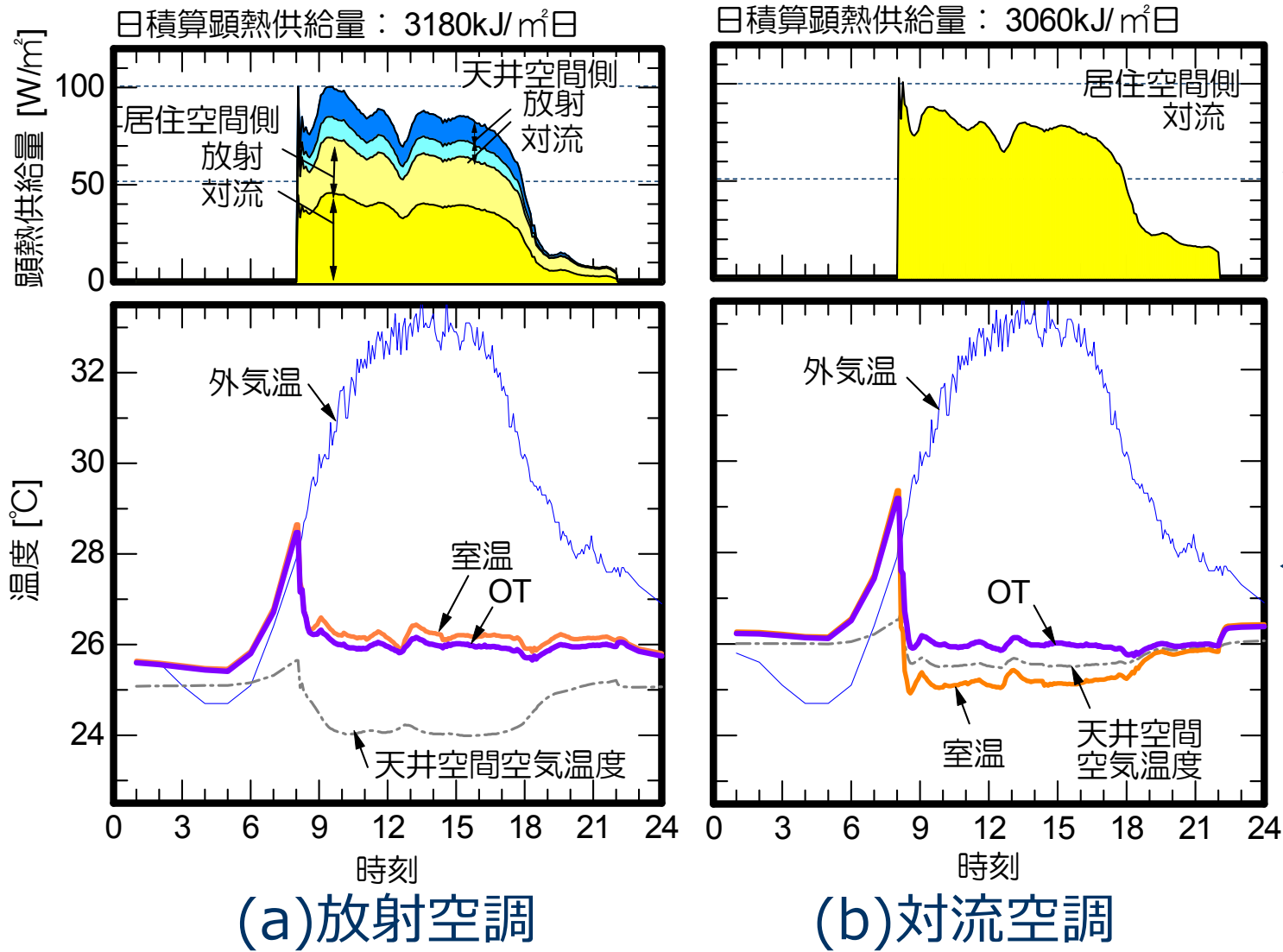
エネルギー計算例 放射空調と対流空調

OT(作用温度) 26°C制御の冷房オフィス



東京・南向きオフィス・外調機送風温度26°C
OTは、室温に放射の影響を加味した体感温度

エネルギー計算例 放射空調と対流空調



夏期代表日の空調運転状態

最大熱負荷計算法

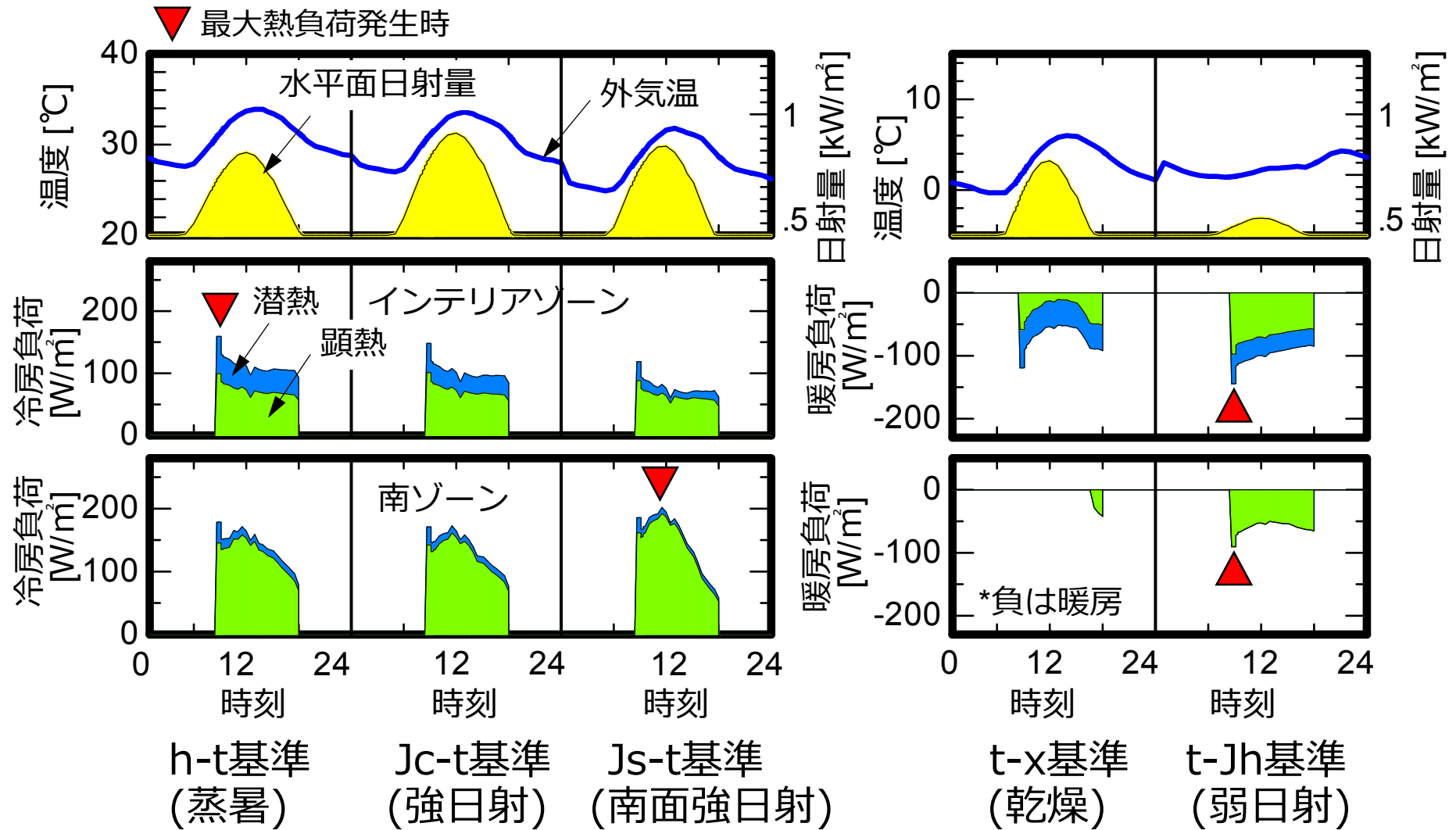
① 自由度の高い予冷熱計算法

- ・ 計算時間間隔の変動に対しても適用可能
- ・ 隣接する多ゾーンの熱的相互影響を考慮
- ・ 自由な予冷熱時間の設定が可能

① 拡張アメダス設計用気象データの効果的利用

- ・ 冷房設計用3タイプ、暖房設計用2タイプの気象を全て利用
(日周期定常計算を連続実行して最大値を検索)

オフィス冷暖房最大熱負荷計算



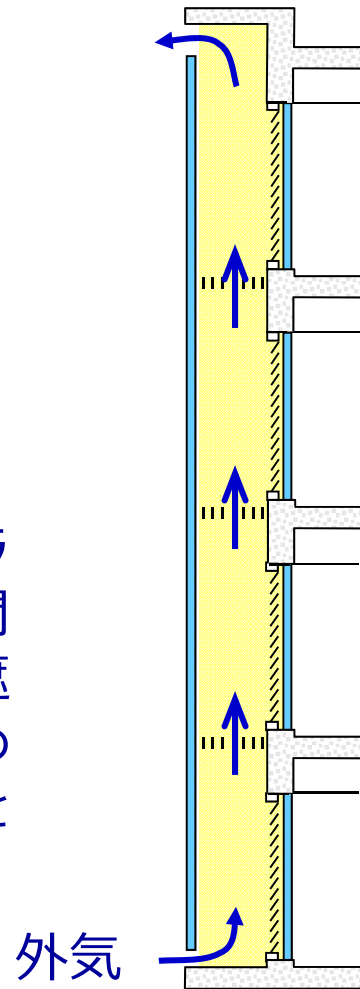
(a) 冷房設計気象日

(b) 暖房設計気象日

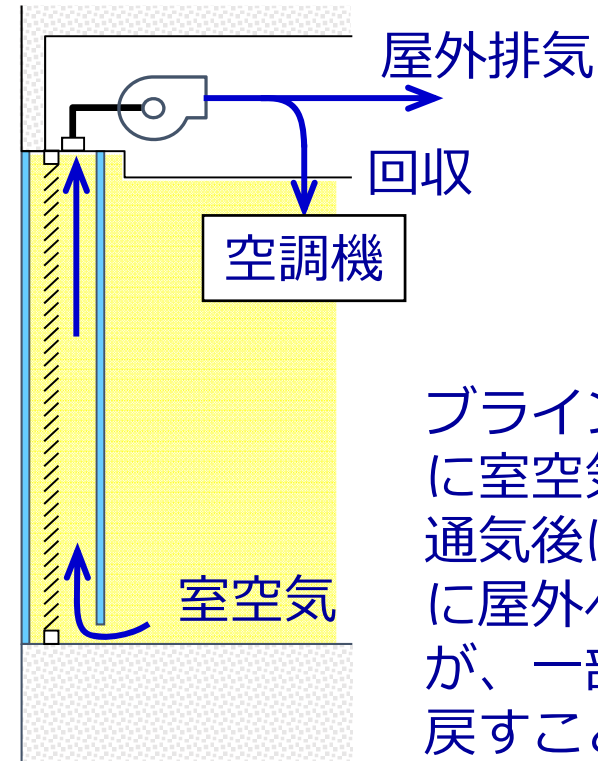
設計気象日のオフィス2ゾーンの装置負荷変動

計算可能な高性能窓システム

外皮の外側にガラスを張り温室空間をつくる。日射遮蔽性を高めるために、キャビティを自然換気できる。



ダブルスキン(DSF)



ブラインド内蔵窓に室空気を通す。通気後は、基本的に屋外へ排気するが、一部空調機に戻すこともある。

エアフローウィンドウ(AFW)

高性能窓システムの計算法

① 実用的・汎用的な熱性能式

- ・ 外気を通すDSF、室空気を通すAFWの熱性能推定に共通利用できる理論式を誘導した。
- ・ キャビティの上下温度分布の影響も考慮可能

① 窓システムの制御法・運転法の効果推定

- ・ DSFに対しては、キャビティ温度に応じた自然換気制御の効果を推定できる。自然換気が許可されると、DSFの熱・換気平衡を解き自然換気量の変動を求める。
- ・ AFWに対しては、窓排気の一部を空調機に回収するケースの計算も可能

多様な窓の熱特性値整備

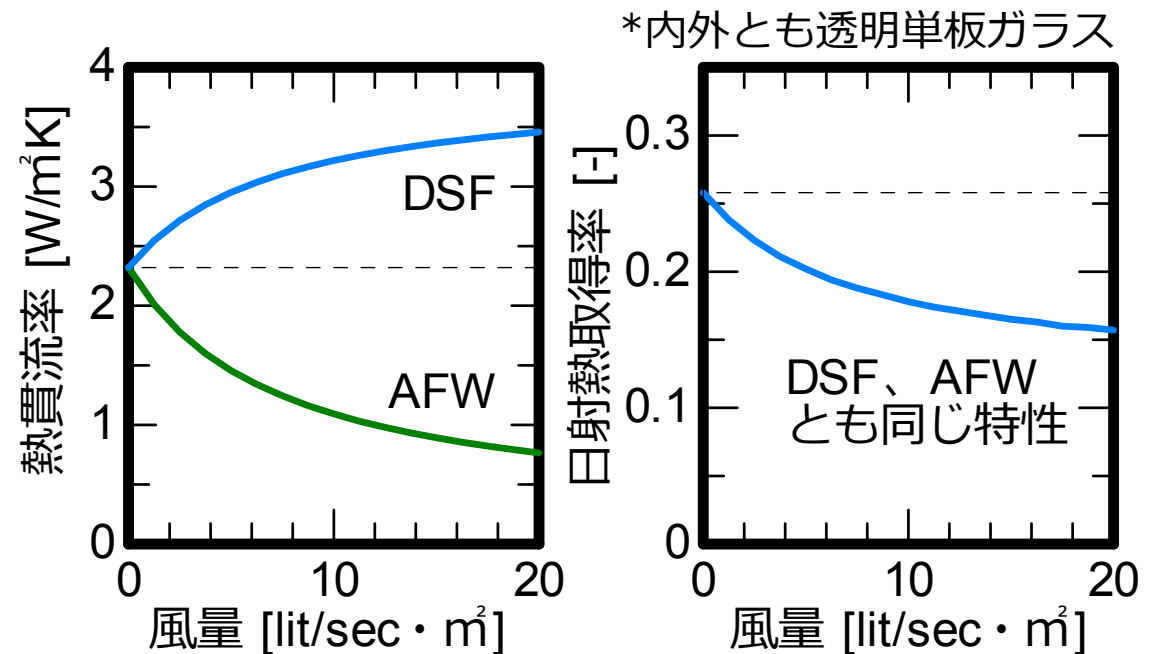
DSFやAFWの性能推定に必要な熱特性値を、一般の窓の特性値とともに整備した。

● 一般窓

ブラインド内側窓、内蔵窓それぞれ約2500種、約1700種の熱特性値を精算により求め、データベース化した。

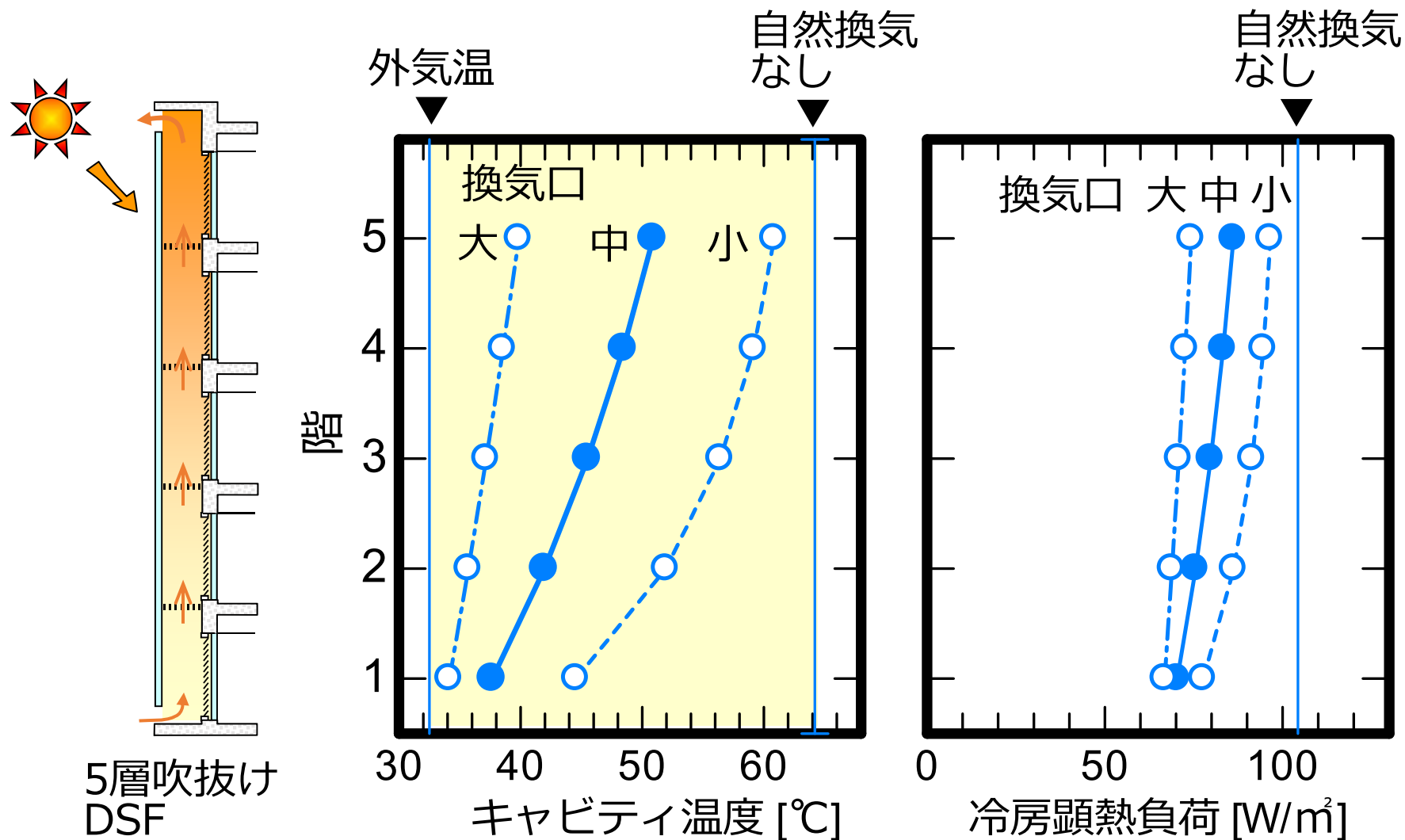
● DSFとAFW

ブラインド内蔵の一般窓に外気を通すとDSF、室空気を通すとAFWととらえ、3者共通の特性値を用意



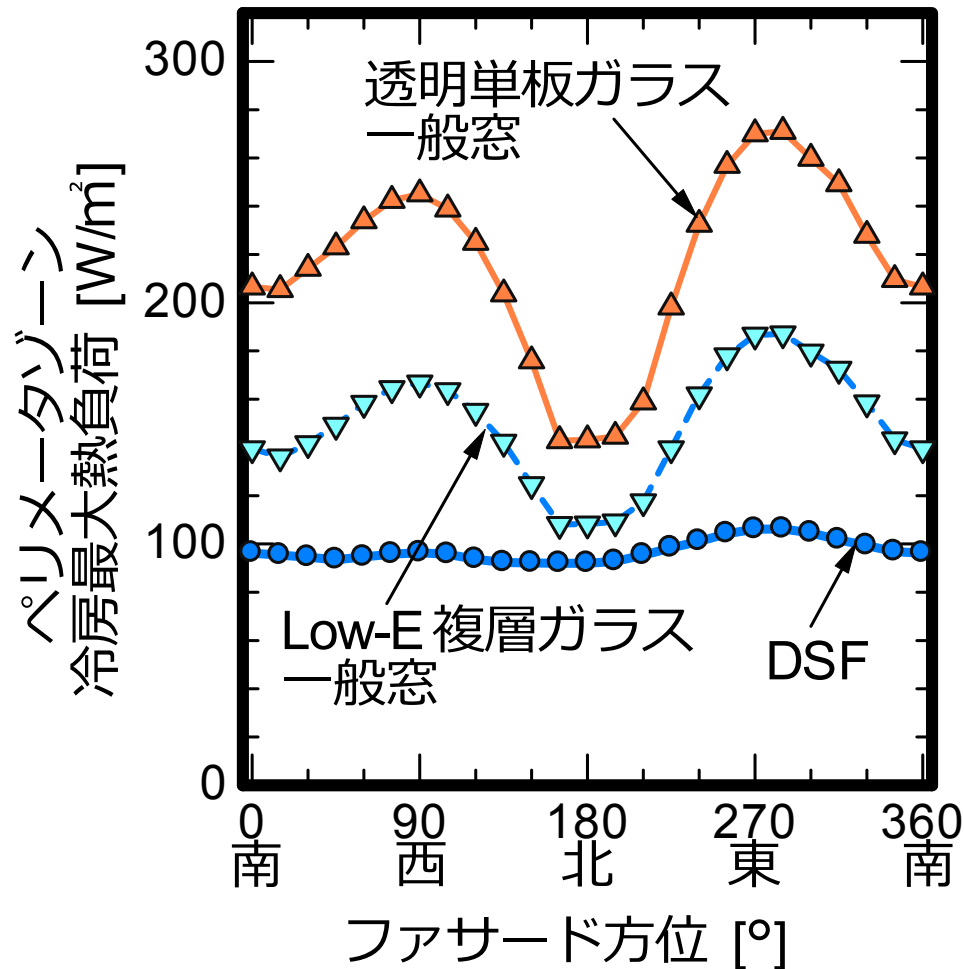
DSFとAFWの熱性能風量特性の例

ダブルスキンの上下温度分布の影響



夏期のDSFキャビティ温度と各階の冷房負荷

ダブルスキンの日射遮蔽性



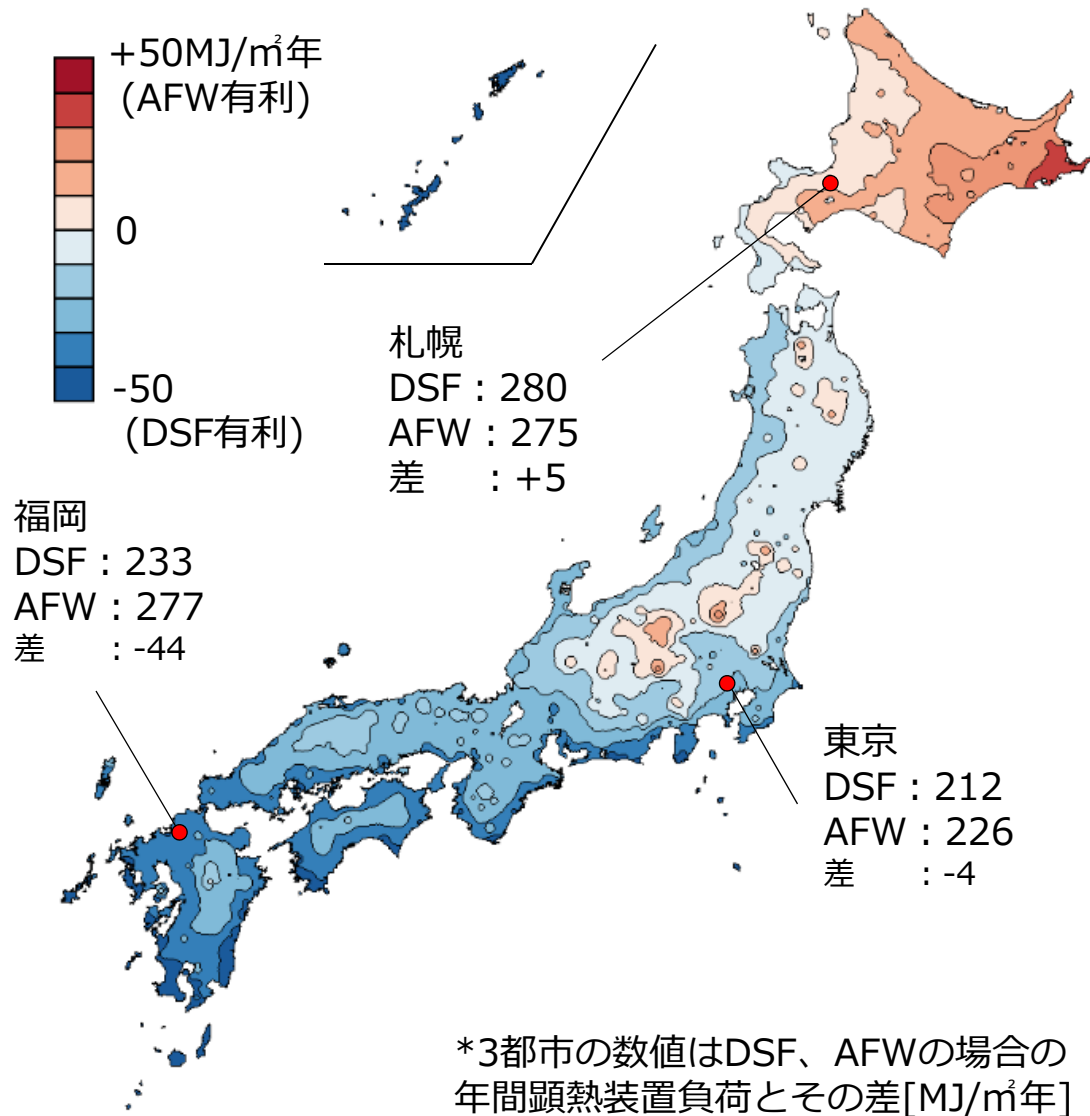
DSFは、キャビティ内に配置したブラインドの吸収日射を自然換気で排出するので、日射遮蔽性が高い。また、日射が強いほど自然換気が促進され日射遮蔽性が向上するという特長をもつ。

● 計算条件

- ・ DSF：外側は透明単板ガラス、内側は Low-E複層ガラス、単層タイプで自然換気あり
- ・ 一般窓：ブラインド内側

ガラス建築の冷房最大熱負荷

ダブルスキンとエアフローウィンドウの地域適合性



● 計算条件

- 対象室：4方位にガラス面のある中規模ビル基準階オフィス、窓面積率70%
- 気象：標準年842地点
- DSF：外側は透明単板、内側はLow-E複層ガラス、単層タイプで自然換気制御あり
- AFW：外側はLow-E複層、内側は透明単板ガラス、少風量(30CMH/m)で全て屋外排気

注) 通気後に屋外排気できるAFW風量を増量できるとAFWが有利なエリアは拡大する

DSF建築とAFW建築の年間負荷の差

外気導入の省エネ手法の計算法

外気の冷却作用を積極利用する自然換気・外気冷房、抑制する全熱交換器・最小外気量制御の効果を熱負荷計算で推定し評価できるようにした。

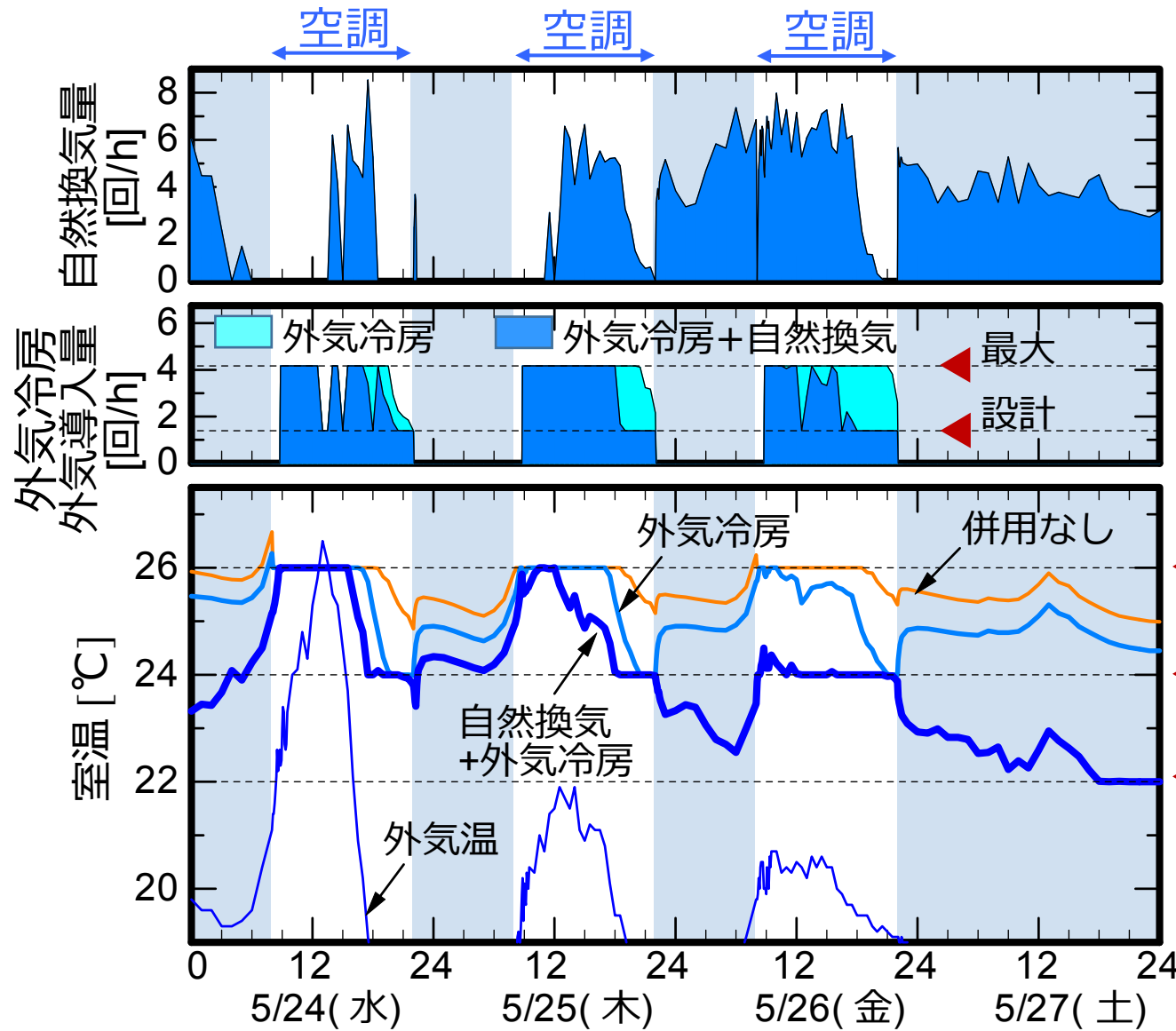
① 外気導入量調節による室温制御の新計算法の提案

- ・ 自然換気量・外気導入量による調整を仮想ヒータによる調整等に置換
- ・ 自然換気計算は中性帯高さを仮定する簡易な方法とし、入力条件も簡単化

① 種々の運転許可条件の効果推定

- ・ 室内快適性と省エネ性を損なわないための屋外条件、室内条件を想定可能

自然換気・外気冷房を併用するオフィス空調



- 運転を許可する屋外条件 (自然換気)
 - 下限温度 空調時18℃・非空調時15℃、
 - 上限相対湿度90%、
 - 上限露点温度19℃、
 - 上限風速10m/s
- (外気冷房)
 - 下限温度8℃、
 - 上下限露点温度19℃・0℃

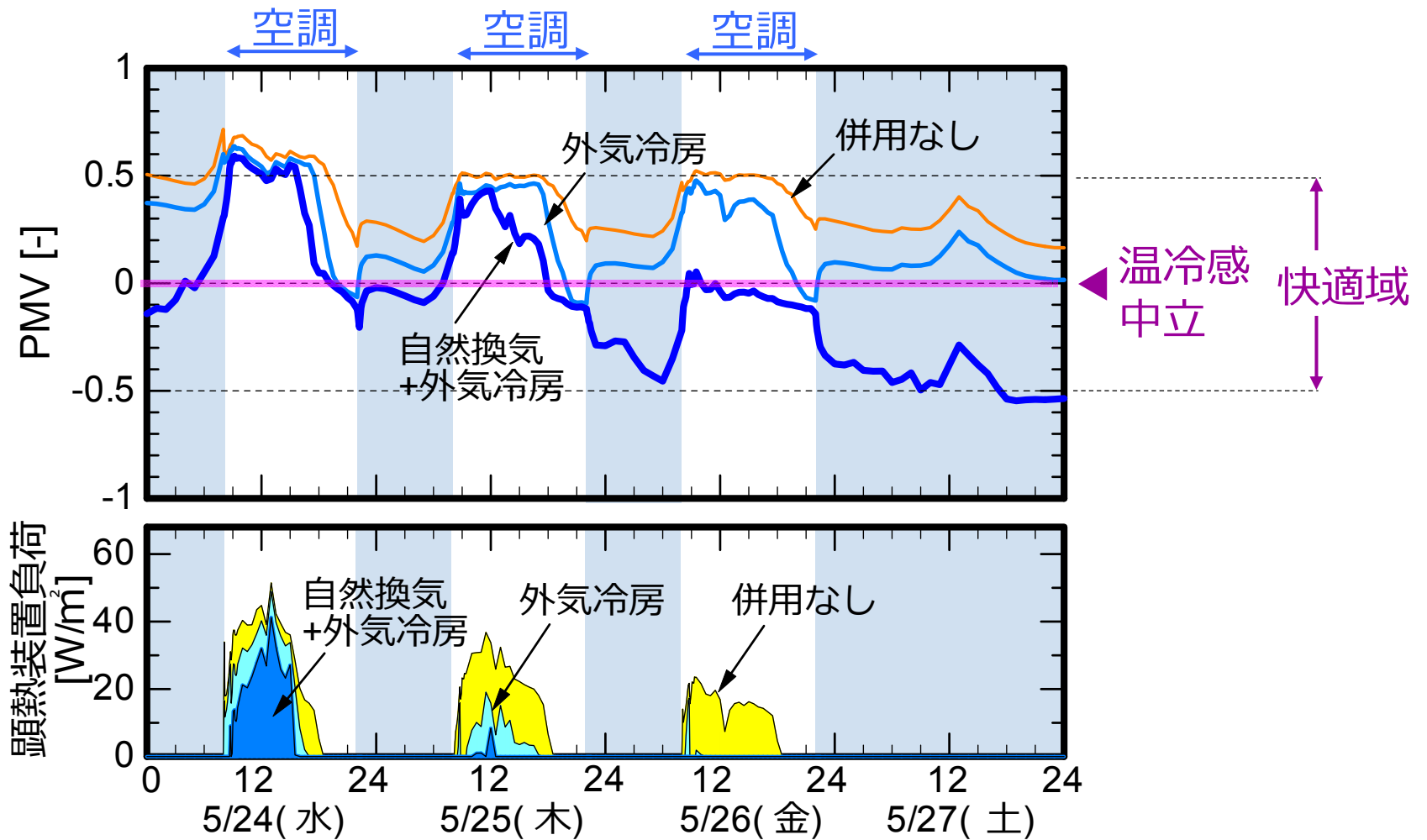
- ◀ 冷房設定
- ◀ 外気冷房・自然換気 下限(空調時)
- ◀ 自然換気下限 (非空調時)

中間期の外気導入状態と室温

東京・オフィス南ゾーン

自然換気・外気冷房を併用するオフィス空調

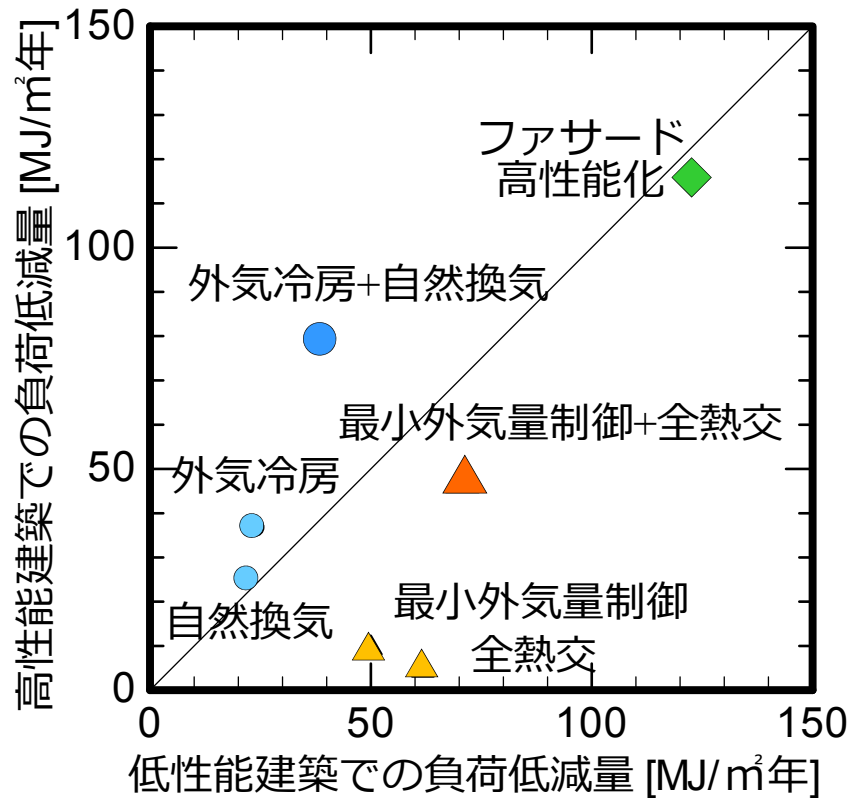
PMV : 温冷感予測値



中間期の空調装置負荷と熱的快適性 東京・オフィス南ゾーン

年間熱負荷計算例 省エネ手法の交互作用

省エネ手法の交互作用の効果を熱負荷計算で評価可能



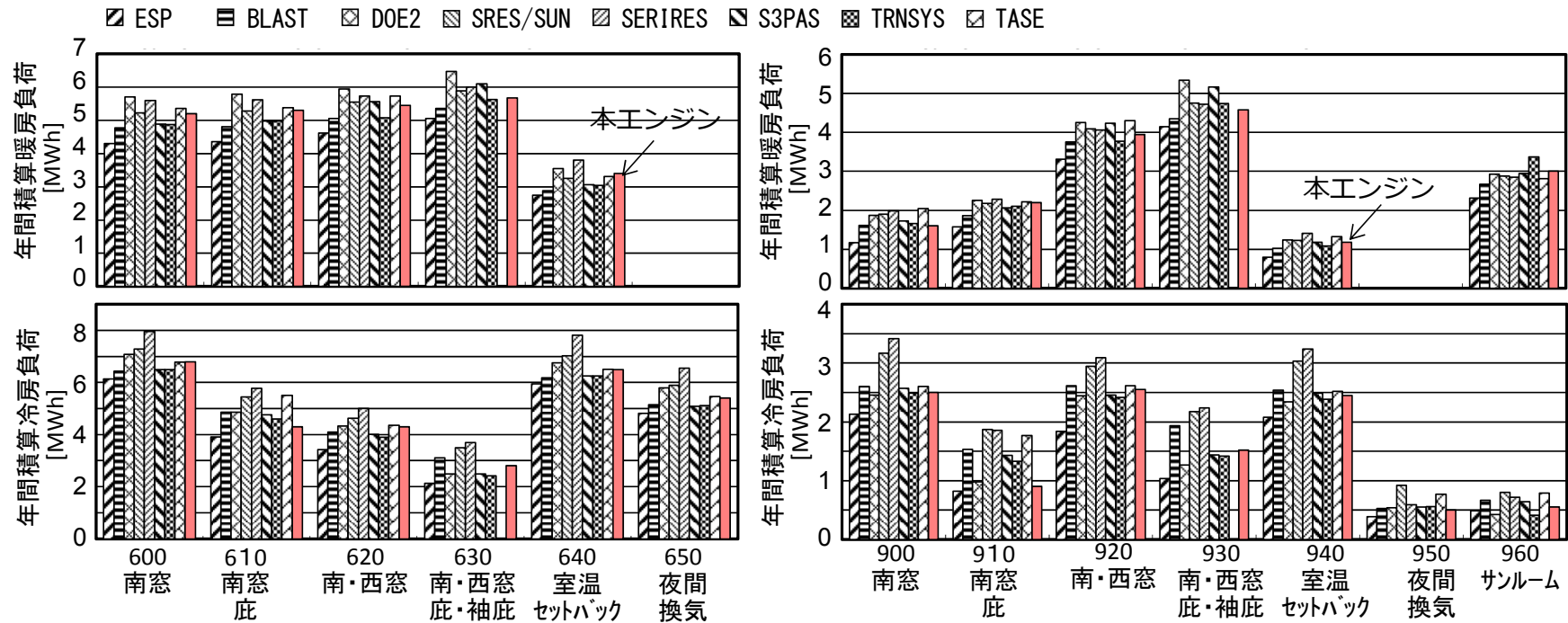
- 省エネ手法による負荷削減量の定義
 - 低性能建築：
手法の追加による負荷減少量
 - 高性能建築：
手法の削除による負荷増加量
- 計算条件
 - ・対象室：東京のオフィス南ゾーン
 - ・高性能建築：Low-E複層ガラスDSF、外気導入制御(外気冷房・自然換気・最小外気量制御・全熱交換器)あり
 - ・低性能建築：透明単板ガラス一般窓、外気導入制御なし

低性能建築・高性能建築と省エネ効果

妥当性の検証

国際的な検証法BESTESTによる妥当性確認

海外の主要なエネルギーシミュレーションツールの結果と比較する検証法を利用




(a) 熱容量小のケース

(b) 熱容量大のケース

BESTESTによる他ツールとの比較例（年間負荷）

種々の視点からの実測値照合による妥当性確認

通常空調オフィス、自然換気ビル、天井放射空調や躯体蓄熱空調の実験室、DSF、AFWの実例等について、実測値との照合を行い妥当性を確認

A tall, slender skyscraper with a grid-like facade of windows, standing prominently in a dense urban skyline. The building is the central focus on the left side of the image. The background shows a vast cityscape with numerous other buildings, some with distinctive architectural features like a tower with a spire and a circular structure in the foreground. The sky is a clear, light blue, suggesting a bright day. The overall scene is a panoramic view of a modern city.

本技術開発にあたり、ご支援頂いた
皆様に感謝致します。