

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

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

01

計算法の特徴

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や工夫を提案し、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。

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。

② 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可能にした。
・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で最大熱負荷計算法をもつ。

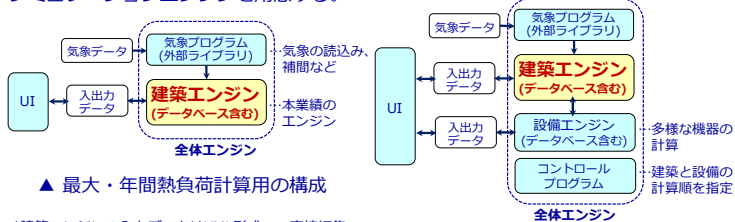
③ 省エネ手法の新計算法

・高性能窓システムであるダブルスキヤ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。
・熱負荷計算用の自然換気を含む外気導入制御の計算法を提案した。

02

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できる設備シミュレーションエンジンを用意する。



▲ 最大・年間熱負荷計算用の構成

▲ 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

03

解法の切換えと計算時間間隔の変動設定

① 非定常熱平衡の解法の切換え

エネルギー計算

空調時間帯に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ット法(4次元ゲクッタ法)を利用し、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ット法(1次元後退差分法)に切換える。

熱負荷計算

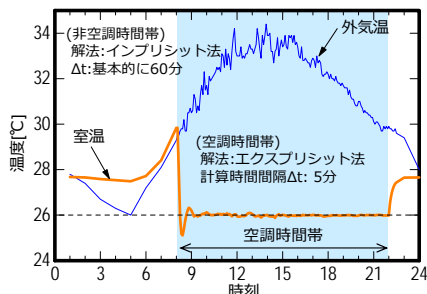
常にインプリット法を利用する。

② 計算時間間隔

解法や計算対象の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。壁体伝熱計算は、項別比法を拡張し時間間隔変動を許容する方法とした。

エネルギー計算と解法切換え

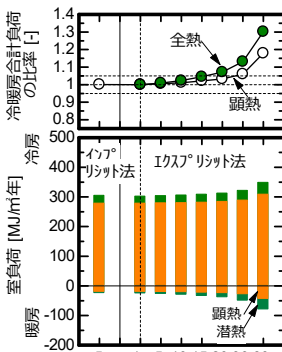
エネルギー計算における空調時間帯の解法はエクスピリット法とし、精度を確保するために短い計算時間間隔とする。設備エンジンは、PID制御理論等を応用して操作量を決定する。非空調時間帯の建築の解法はインプリット法に切換える。計算時間間隔は、基本的に1時間で十分である。



▲ 解法切換えと夏期室温変動(エネルギー計算)

エクスピリット法に 適する計算時間間隔Δt

エクスピリット法に対しては、Δtを5分以下にすることが推奨される。



▲ 計算時間間隔の検討

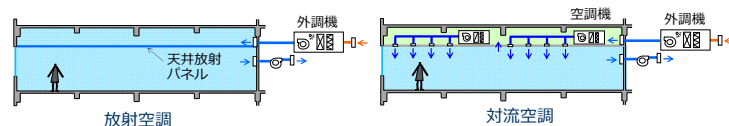
04

実用的な放射計算法

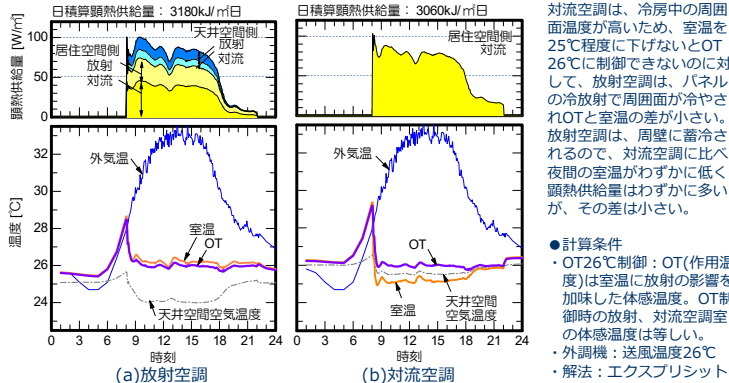
① 放射計算の改良

・室吸熱応答をもとに熱取得に対する熱負荷応答を修正する。
・発熱体からの放射熱が特定面に吸収される現象を考慮し、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)。

放射空調と対流空調の比較 OT26℃制御の冷房オフィス



▲ 空調システム



▲ 放射空調と対流空調の室内環境と熱量(夏期代表日)

対流空調は、冷房中の周囲面温度が高いため、室温を25℃程度に下げないとOT26℃に制御できないのに対して、放射空調は、パネルの冷放射で周囲面が冷やされOTと室温の差が小さい。放射空調は、周壁に蓄冷されるので、対流空調に比べ、夜間の室温がわずかに低く顕熱供給量はわずかに多いが、その差は小さい。

●計算条件
・OT26℃制御：OT(作用温度)は室温に放射の影響を加味した体感温度。OT制御時の放射、対流空調室の体感温度は等しい。
・外調機：送風温度26℃
・解法：エクスピリット

05

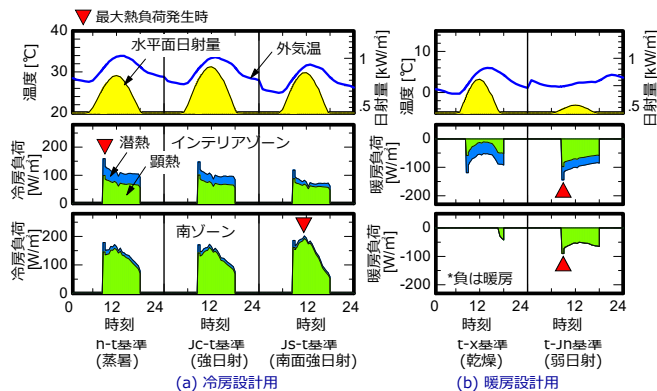
拡張アメダス設計用気象データ と最大熱負荷計算法

① 自由度の高い予冷熱計算法

・変動する計算時間間隔に対して適用可能で、隣接ゾーンの熱的相互影響を考慮する予冷熱計算法を考案した。
・自由な予冷熱時間の設定が可能。

② 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タイプの気象を用いる日周期定常計算を連続実行。



▲ オフィス最大熱負荷の計算例

有用性を高める機能

- ▶ 多数ゾーンの熱平衡計算機能
ゾーン数の制限はない。
- ▶ 多種の気象データを利用可能な機能
国内外の気象データを利用できる。
- ▶ 温熱環境指標の計算機能
PMV(平均温冷感申告予測値)やOT(作用温度)を計算する。エネルギー計算の場合には、これらを制御対象に利用することも可能。

▼ 利用できる気象データ

種類	名称	気象の特徴
年間用	BEST1分値	東京実在年(2006年)
	EA標準年	国内約840地点
	EA実在年	国内約840地点 1981~2010年
	EPW標準年	世界約2000地点
	ユーザ作成	EPWフォーマット
設計用	EA	国内約842地点
	WEADAC	世界約3700地点
代表日	WEADAC	同上、12ヶ月代表日

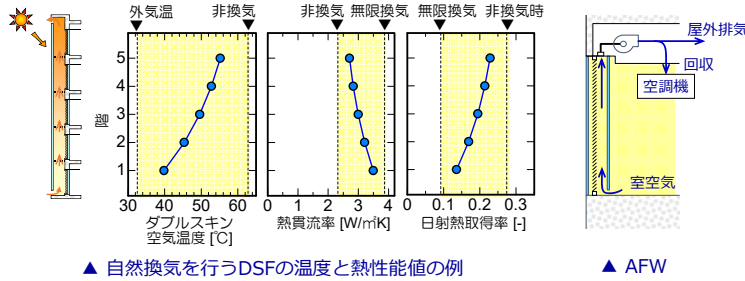
*設計用と代表日は日周期定常計算用

06

高性能窓システムの計算法

① 実用的・汎用的な熱性能式

キャビティを自然換気するダブルスキン(DSF)、室空気を通すエアフローウィンドウ(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



② 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計算も可能。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。

07

多様な窓の熱特性値整備

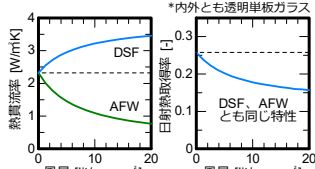
DSFやAFWの性能推定に必要な熱特性値を、一般の窓の熱特性値とともに整備した。これらは、本エンジンでの利用にとどまらず、広く実務・研究に利用されている。

① 一般窓

ブラインド内側窓、内側窓それぞれ約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。

② 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と見え、3者共通の熱特性値を用意

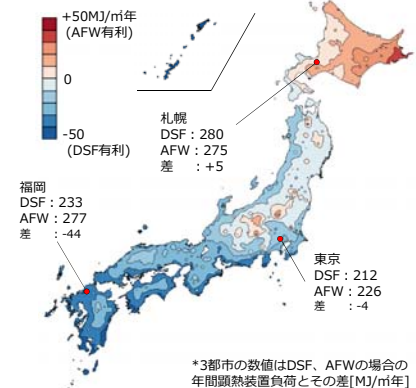


ダブルスキンの日射遮蔽性

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、ブラインドを室内側に配置する一般窓に比べて、日射遮蔽性が高い。さらに、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
 - ・対象室：全面ガラスのオフィスのペリメータゾーン
 - ・気象：東京冷房設計用気象条件
 - ・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あり
 - ・透明単板、Low-E複層ガラス一般窓：ブラインドは室内側

ダブルスキンとエアフローウィンドウの地域適合性



▲ 高性能DSF建築と高性能AFW建築の年間負荷の差

08

外気導入制御の計算法

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も熱負荷計算で推定し評価できるようにした。

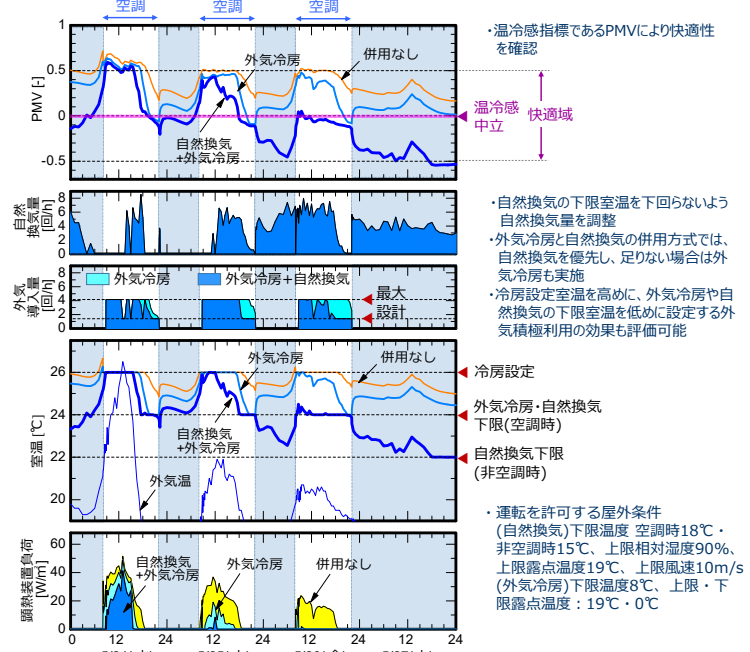
① 外気導入量調節による室温制御の新計算法の提案

- ・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

② 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ハイブリッド空調

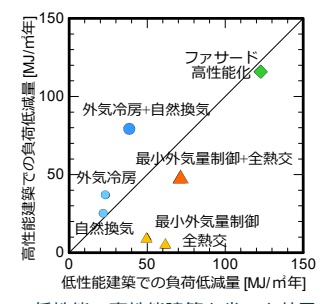


▲ 外気冷房・自然換気の併用効果 (東京・オフィスペリメータゾーン)

省エネ手法の交互作用

省エネ手法には交互作用をもつものがある。多くの省エネ手法を導入するようになった現在、ある手法の省エネ効果も、低性能建築に導入したときと高性能建築に導入したときとでは限らない点に留意することが重要といえる。

- 負荷削減量の定義
 - ・低性能建築：省エネ手法の追加による負荷減少量
 - ・高性能建築：省エネ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

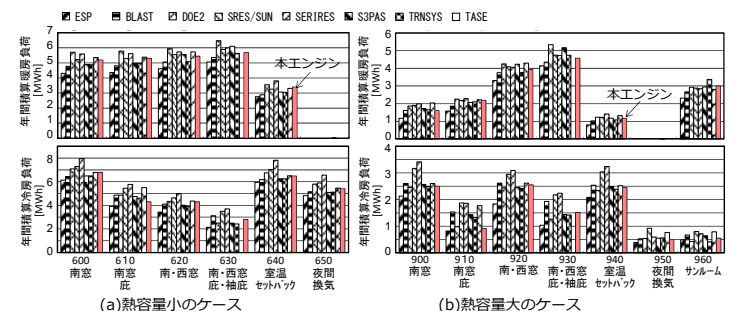


09

妥当性の検証

① 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



② 種々の視点からの実測値との照合

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