

建築設備分野のシミュレーション技術の利用と応用 空調・照明のシミュレーション

一ノ瀬雅之¹⁾，井上隆²⁾

Masayuki Ichinose, Takashi Inoue

1)東京理科大学，助教，博士(工学) E-mail: ichinose@rs.noda.tus.ac.jp

Tokyo University of Science, Assistant Professor, Dr. Eng.

2)東京理科大学，教授，工学博士

Tokyo University of Science, Professor, Dr. Eng.

省エネルギー技術の進歩とともに，建築と一体的に機能する先進的な設備システムなどが提案され，広く普及しつつある．これに伴ってシミュレーションに求められる機能は複雑化し，扱う事象の難易度も上がっている．

本報では，建築設備シミュレーションプログラムに関する動向について，最近注目されている BIM など分野を横断するような問題をトピック的に取り上げて昨今の状況をレビューする．また，空調および照明に関するシミュレーション技術の利用と応用例として，オフィスビルにおける実測を交えたシミュレーションの一例を示す．

建築と設備の一体化，空調，照明，ファサードエンジニアリング，熱と光の最適化

Integration of building and facilities, Air conditioning, Lighting, Façade engineering, Optimization of heat and light environment

1. はじめに

建築分野における省エネルギーの徹底が喫緊の課題である．オフィスビルのエネルギー消費量内訳によると，空調設備に係わる消費量が約 40%，照明・コンセントが約 40% であり，空調・照明に係わる省エネルギーが鍵となる．

本報では，空調・照明を中心に，エネルギーシミュレーション技術に関わる動向・諸問題や今後の展望について，実測事例とシミュレーション例を交えて述べる．

2. 建築設備シミュレーションプログラムの動向・展望

建築設備シミュレーションプログラムに関する動向について，トピック的に昨今の状況をレビューする．

2-1. 海外・国内の動向

空調設備はエネルギー消費量内訳に占める割合が大きいため，省エネルギー設計を検討するための高度なシミュレーション技術の開発が盛んな分野であり，建物の熱負荷と同時に設備機器を連成計算する動的シミュレーションプログラムが数多く開発されている．

海外で国際的に広く普及しているプログラムとしては，EnergyPlus，TRANSYS，ESP-r，HVACSIM+ など数多く

ある．国内においても，これらのプログラムの販売・サポートを行う会社が存在し，ユーザーは多い．

国内では，HASP/ACLD/ACSS，BECS，FACES，EESLISM など特徴あるプログラムが数多く開発され，実務においても長年にわたって使用されてきた実績がある．最新のものとして Popolo，LCEM，BEST 等が開発されている．しかしながら，国内で開発されたプログラムが海外で使用されている例はまだ少ない．

2-2. BESTEST

IEA では，シミュレーションプログラムの計算精度を検証するための，BESTEST (Building Energy Simulation Test)¹⁾を示している．初歩的な単純な室の室負荷計算や室温計算から，空調システムも含めた負荷計算などバリエーションがあり，TRANSYS などの世界的に広く使用されているプログラムとの比較を行う内容となっている．国際的な普及を目指すには，BESTEST の実施は必須事項であるといえる．

2-3. 気象データ

熱負荷計算においては外乱境界条件となる気象データは，必要不可欠であり重要度が高い．世界的には，EnergyPlus に対応した EPW (Energy Plus Weather Files) は

全世界各地の1時間間隔データが存在し、インターネットで入手することもできる。しかしながら、地域によってはごく限られた項目のデータしか存在しない。昼光利用計算を前提とした、時間間隔の短い詳細な気象データも存在する。

国内では、AMeDAS や SDP データに基づいた1時間間隔の気象データが熱負荷計算プログラムと共に各種のものが開発されてきており、それらのうち拡張アメダス気象データは国内842地点に対応している。IDMPに準拠した実測データに基づく、昼光利用シミュレーションに用いることが可能な気象データも存在する。また、BESTの開発と共に国内代表都市における1分値気象データが開発されており²⁾、時刻変動の影響を考慮した昼光計算の実施も可能となっている。

2-4. BIM とエネルギーシミュレーション

前述したように、エネルギーシミュレーションプログラムは多数存在するが、ユーザーは各プログラム毎に定められたフォーマットの入力データやデータベースを準備する必要が生じてしまう。このような問題を解決する方法として、普遍的なデータ記述形式であるXML(Extensible Markup Language)^{補足1)}の利用がある。

建築設備シミュレーションに関連する代表的な例として、図1に示すgbXML(Green Building XML)³⁾というXMLスキーマ(データフォーマット)があり、シミュレーションに係わる建物・設備機器・熱・光・空気といった要素からコストにいたるまで階層構造や関係性がモデル化されている。データを記述するタグ名、データ構造を規定するスキーマの普遍性が鍵となることから、このスキーマは常に内容が見直され、アップデートされている。gbXMLを利用することによって、図2に示すように3D建築CADとDOE2、Energy Plus等のシミュレーションプログラムの連携を実現している。

このような普遍性・再利用性の高いデータを用いることによって、設計(意匠、設備、構造)・施工・運用の各段階において、同一の仮想建物モデルデータで共有可能であり、建築設備シミュレーション以外の用途にも構築したモデルをそのまま利用することによって、プロジェクトの進行を円滑にすることが期待できる。gbXMLは最近注目されているBIM(Building Information Model)^{補足2)}のうち、グリーンビルディング設計および管理に特化したものである。BIMは、欧米では実プロジェクトにおいて採用される事例が増えている⁴⁾。

今後は、仮想建物モデルが設計・施工・運用の各段階で共有されていくようなプロジェクトが、国内でも見られるようになると思われる。従って、建築設備シミュレーションプログラムにおける、BIMへの対応が鍵となることは明らかである。

2-5. Web 利用

前述したgbXMLを用いるGreen Building Studioは、図2に示すようなWeb上でのエネルギーシミュレーション

サービスを提供している⁴⁾。このようなネットワークを中心としたコンピュータ利用の一形態はクラウドコンピューティングと呼ばれており最近注目されているキーワードではあるが実際にはGoogleの各種サービスなど我々の生活においても大分以前から馴染んでいる技術である。国内においてもWebを介したエネルギーシミュレーションサービスが、いずれ実用化されていくことが考えられる。

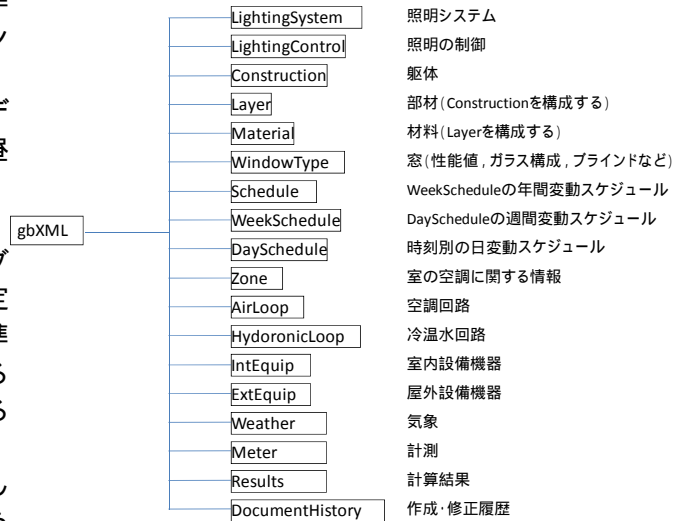


図1 gbXMLスキーマの概要³⁾

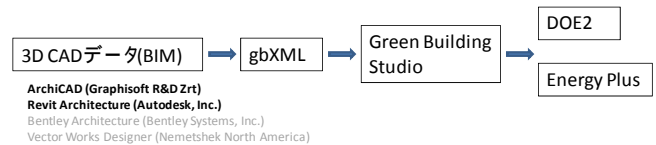


図2 BIM ~ gbXML ~ エネルギーシミュレーションの関係⁴⁾

3. 空調システムの制御とシミュレーション

先進的なオフィスビルにおいては、建築と設備が一体化した、高度な空調システムが導入される事例が見られる。このような空調システムの事前評価を行うためには、シミュレーションに反映させるべき事象も多岐にわたり、複合的な作用も加わって難度が高くなる。

ここでは、空調システムのシミュレーションにおける事例として先進的な空調システムが導入されているオフィスビルにおける、空調制御・室内環境の実態を踏まえた検討例を示す。

3-1. 検討対象建物概要

調査対象ビルは東京都心部に建つ、2003年3月に竣工したオフィスビルである(地上14階、地下1階、塔屋1階、延床面積20,000m²)。ペリメータレス化を実現する日射遮蔽性能の高い電動自動制御外ブラインドおよび冬季コールドドラフト防止効果を有する発熱ガラスによる高性能窓システムや、搬送動力を削減するソックフィ

ルターシステムによる低温送風，室内環境と連動する VAV 等の空調制御システムや，昼光利用による照明調光制御など個々の先進的な技術が導入されている。

基準階は図 3 に示すように東西に長い平面形状となっており，VAV ユニットが内蔵された 8 系統 16 本のダクトによって空調を行っている。空調機は西側 5 系統，東側 3 系統の 2 台で負荷分担している。

本建物における VAV 制御にはロードリセット制御が組み込まれている。ロードリセット制御は，低負荷時における極端な風量低下による温熱環境の悪化を回避するために，低負荷状態が一定時間継続した時に空調機の給気温度を自動変更する制御である。

3-2. 室温センサ位置による空調制御への影響⁵⁾

一般に空調制御用室温センサは室使用上に障害とならないことを優先して壁際等に配置される場合が多いが，日射の影響や機器発熱の影響を受けるといった原因によって空調システムの挙動に悪影響を与える事例は多い。特に，ペリメータレス空調システムでの VAV 制御では，熱負荷の空間的偏在および時刻変動性に適切に対応するために各 VAV が担当する領域における代表温度を正確に捉えることの重要性が高くなる。窓近傍の領域では，高性能窓システムであってもインテリアと比較して熱負荷が偏在し，変動幅も大きいことが予想される。

調査対象建物においては東西全面が開口部で南北全面が書棚として利用される大空間となっているという空間構成上の制約から，空調吸い込み口に近い壁面近傍の床上高さ約 3m 程度の空間上部に空調制御用の室温センサが配置されており，居住域温度に対する空間的・時間的な乖離が懸念された。そこで，図 4 に示すように，当初の設置位置から居住域に近い場所へセンサ位置を変更し，空調制御用センサと居住域温度の乖離，それに伴う室温変動および制御状況，VAV 出力の状態や室温の平面分布状況などについて，その前後の変化を検討した。

図 5 に移設前後での代表日の制御用センサと居住域室温，給気風量の推移を示す。移設前ではセンサが室温変動を捉えられずに風量の変動が大きくなっていたが，移設後は制御用センサが室温の変動を適切に捉えており風量が負荷に応じた変動を示し，室温の変動幅も小さくなっている。また，センサ値と居住域温度の間に生じていた 2K 程度の温度差も減少し，熱環境が改善される結果となった。

また，図 6 に示すセンサ移設前後の室内平面居住域温度分布によると，センサ移設前はペリメータにおいて室温が過剰に低下していたが，移設によってペリメータにおける室温低下が改善され，インテリアとペリメータの居住域温度差が小さくなっている。

ペリメータレス空調での VAV 制御においては，室温センサの設置位置の選定がシステム全体の性能に影響するため，放射環境・熱溜り等を考慮した設置位置の検討・調整が不可欠である。

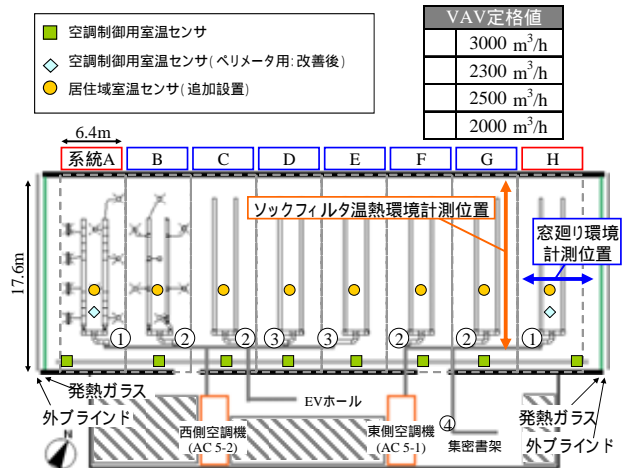


図3 検討対象 N ビルの空調系統概要平面図

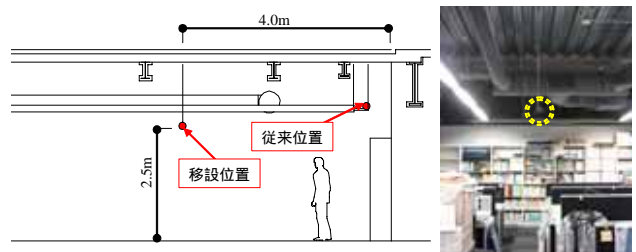


図4 室温センサ位置の変更

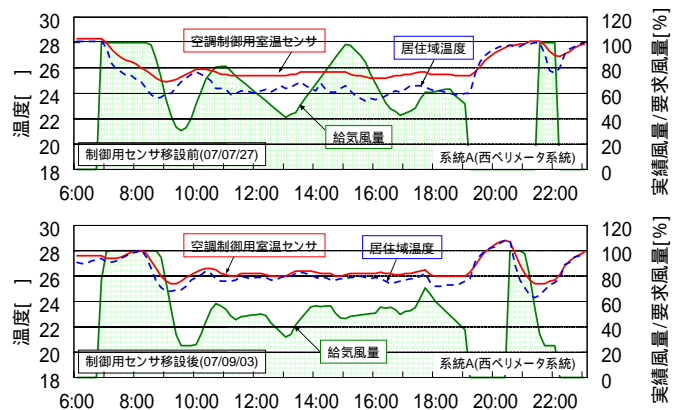


図5 センサ位置の変更前後における空調・室温変動の比較

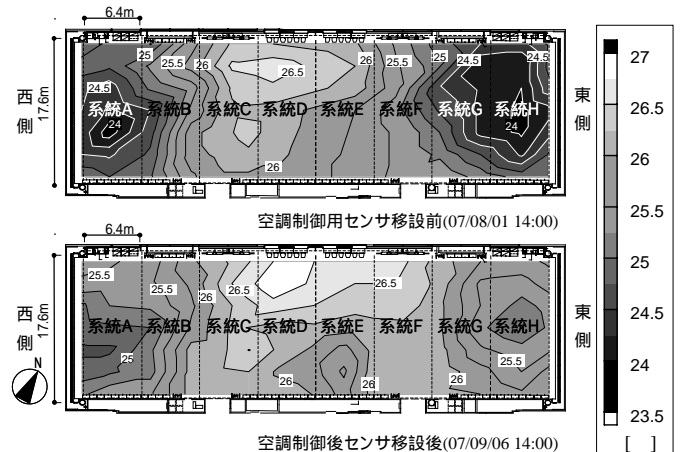


図6 センサ位置の変更前後における室温平面分布の比較

3-3. 室温センサ・空調制御のシミュレーション

前節での実測結果より、システムが相互に影響する状況下において、空調制御を意図どおりに動作をさせることは実態として難しいことが示された。ここでは、動的シミュレーションプログラム TRNSYS を用いて、対象ビルにおける空調制御での、制御パラメータおよび室温センサが与える影響についてのシミュレーション例を示す。

計算モデルは図7に示すようなUI上でグラフィカルに構築することができる。TRNSYSでは、室モデルや各種の設備機器だけでなく、計算処理プロセス自体もモジュール化されており、高い柔軟性を有している。表1に示すように、空調機器について、実建物を反映した入力条件を作成した。空調制御方法についても、仮想間仕切りによる多数室の空調ゾーンを構築して、VAV制御モジュールを組み込んだ。ここでは、夏期代表日における系統A（西側ペリメータ）を検討対象とする。

まず図8に空調制御シミュレーション上におけるPIDパラメータの設定による計算結果の違いを示す。CASE1では空調立ち上がり時の供給熱量が過多となり、室温の変動は小さいものの空調機の動きは安定していない。CASE2では室温・空調機ともに短い周期でのハンチングが発生している。CASE3では、室温・空調機ともに安定した変動となっている。このように、動的シミュレーションにおいては、計算を安定させるための制御設定の試行錯誤が必要となる。

次に、実測において懸案となった室温センサがもたらす空調制御への影響について、シミュレーション上で再現を試みた例を示す。TRNSYSでは空調ゾーン内における室温の空間的・時間的偏在をそのまま再現することはできないため、ここでは計算対象ゾーンと相互移流する熱的に軽い仮想の閉空間を室温センサボックスに見立て、仮想閉空間の室温を計算対象ゾーンの空調制御に用いる信号として接続することによって、模擬的に再現した。図9は、仮想閉空間との換気回数を変化させた場合の、室温変動を比較した結果である。室温センサの遅れが、空調制御および室内環境に大きな影響を与える様子がシミュレートされている。

3-4. 空調システムシミュレーションの展望

空調設備とその制御の高度化によって、シミュレーションが扱う題材の難易度も上がっている。また、計算を収束させるための技術も必要となっており、高度なシミュレーションを誰でも実施できるとはいえない。また、タスクアンビエント方式、置換換気方式といった多様な空調システムのシミュレーションへの対応していくためには、CFDと多数室モデルの中間となるブロックモデルのように、空間的・時間的な室内環境の分布を考慮することが必要である。ここで実測事例と併せて示したように、室内環境を検知するセンサの空間的・時間的な特性も、空調システムの動的な評価においては無視できない要素である。

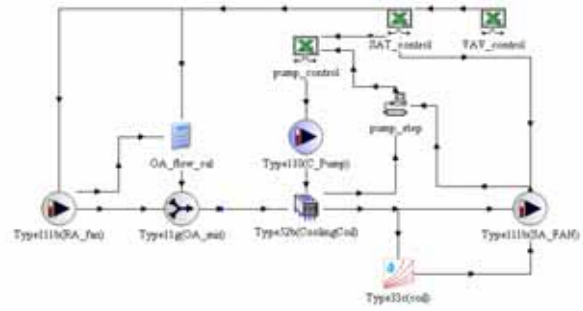


図7 TRNSYS 上での空調システムの入力（一部）

表1 コイルおよびファンの入力パラメータ（一部）

項目	冷水		温水		電動機				
	静圧	回転数	静圧	回転数	電流	入力	出力		
コイル外径mm	15	15	Pa	CMH	/min	A	kW	kW	
コイル内径mm	13.8	13.8	1	973	1860	1576	11.7	1.46	1.16
コイル厚mm	0.6	0.6	2	923	3720	1572	12.9	2.08	1.71
列数	10	2	3	988	5520	1567	14.1	2.74	2.33
段数	32	36	4	960	7380	1560	15.8	3.56	3.1
バス数	20	12	5	888	9300	1550	18.4	4.65	4.1
水量L/min	110	56	6	792	11100	1537	22.1	6.02	5.29
コイル内水圧m/s	0.77	1.04							

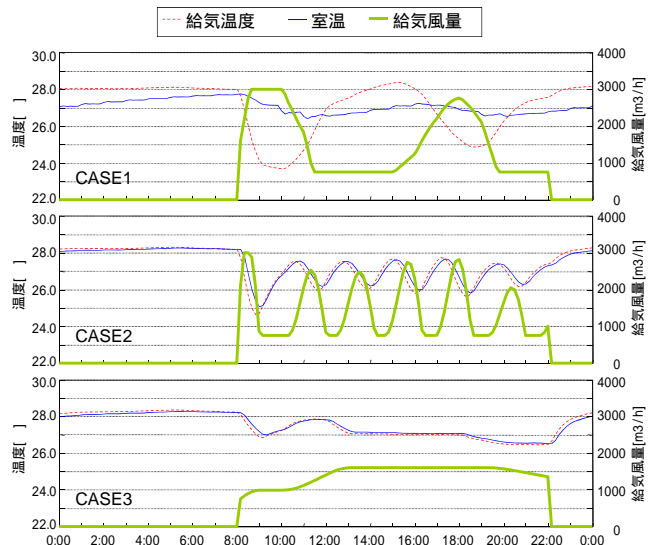


図8 PIDパラメータの設定による空調・室温変動の比較

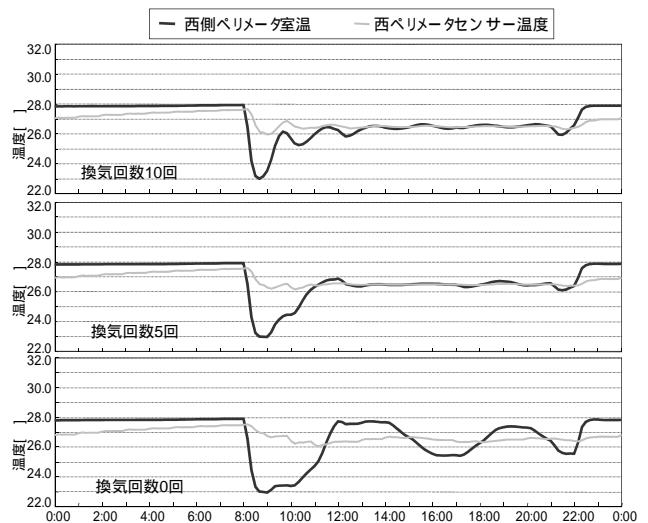


図9 室温センサの遅れによる室温変動の比較

4. 窓システムの熱・光シミュレーション

近年の建築物の傾向として、アトリウムのような特殊な建築空間に限らずオフィスビル等においても、外観意匠上の要件に加えて室内視環境・開放感の向上や昼光利用の観点から、開口部を大きくする事例が増えている。ここで、日射遮蔽や熱抵抗に不利な開口面積の増加に対して、快適な室内環境の形成とエネルギー消費量の低減を同時に実現するために、単に空調設備の能力増強に頼るのではなく、エアフロー型窓やダブルスキンなどの外皮性能向上によって空調システムのペリメータレス化を図るなど、建築と設備が一体化した高度なファサードエンジニアリングが導入されるようになってきた。

ここでは、窓の熱・光の制御とエネルギーシミュレーションの事例について、実測を交えて示す。

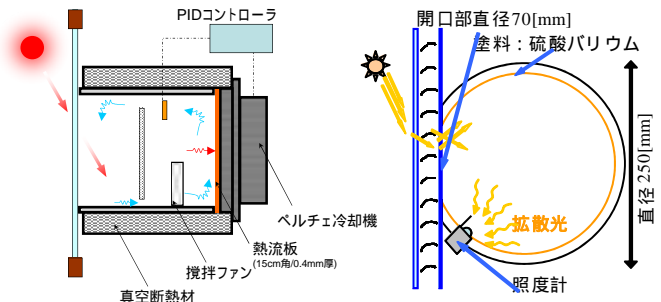
4.1. 窓システムの熱・光性能の現場測定法による窓の年間計算モデルの検証⁶⁾

筆者らは、図 10 に示す、実際に建物に導入された実使用状況下で、窓システムの光学特性および窓面流入熱量を、伝達率などの想定を行うことなく直接に計測可能な方法を開発した。これらを用いて、都心部のオフィスビルの西方位窓面にて長期連続的に実測を行い、既往の窓の熱・光の年間計算モデル^{7) 8)}との比較検証を行った。

自然採光においては日射の遮蔽と昼光利用を両立させることが要である。それを実現させる方法として、気象状況に応じてブラインドを自動制御するシステムが提案され、窓システムに内蔵されるケースが多くなっている。空気調和・衛生工学会では、本格的な普及に向けた規格化が行われている⁹⁾。図 11 に中間季晴天代表日におけるブラインド内蔵窓の透過光束量および光束上下比を気象状況と併せて示す。光束量について見ると、スラットが水平状態になっている正午前後と比較して、自動的にスラットが被る 13 時以降は直接昼光として寄与する下向き光束量が大幅に減少するが、間接的に寄与する上向き光束量は確保されている。また、光束上向き比は、スラット角の変化と共に大きく変化しており、ブラインド併用窓での昼光利用効果の評価においては入射角特性に伴う透過光束量に加えて透過指向性を考慮する必要がある。

図 12 に透過光束量の時間変動について、実測値と計算値を比較した結果を示す。晴天日における計算値と実測値は同様な時刻変動性を示している。曇天日では実測値に比べてやや高い値で推移するものの、変動性は概ね再現されている。

熱取得について実測値と計算値の比較を行った結果を図 13 に示す。非定常計算値と実測値を比較すると、日射量が小さい午前および日没近くの時間帯では、実測値との差が大きいが、日射が安定している時間帯は取得熱量、時刻変動性ともに同様の推移を示した。図 14 に示す天候別の長期比較結果によると、日射が不安定な曇天日では相関性が低いが、日射量が安定している晴天日には比較的良好な相関性を得た。



(a) ペルチェ冷却器を利用した熱取得測定装置 (b) 積分球を応用した透過日射測定装置

図 10 窓の熱・光性能の現場測定装置 断面模式図

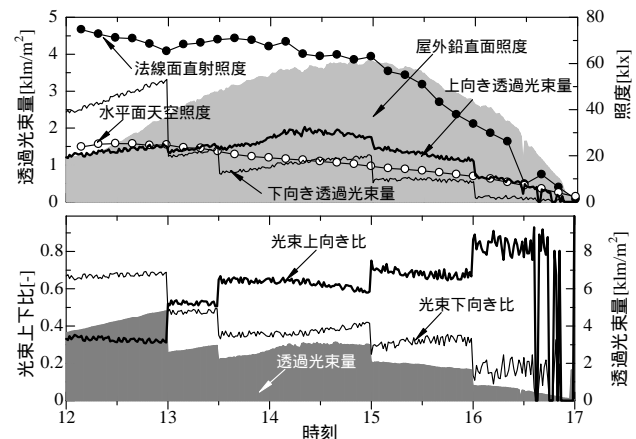


図 11 自動制御ブラインド内蔵窓における透過光束の時刻変動(晴天 2006.10/10)

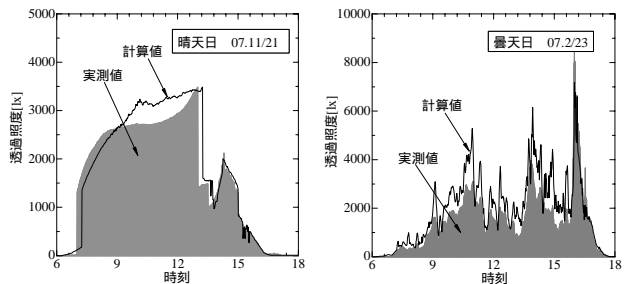


図 12 透過光束量の実測値と計算値の時刻変動比較

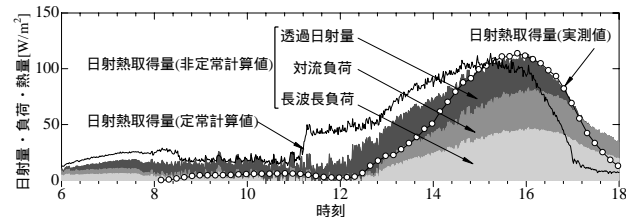


図 13 窓面熱取得の時間変動(晴天 2008.10/2)

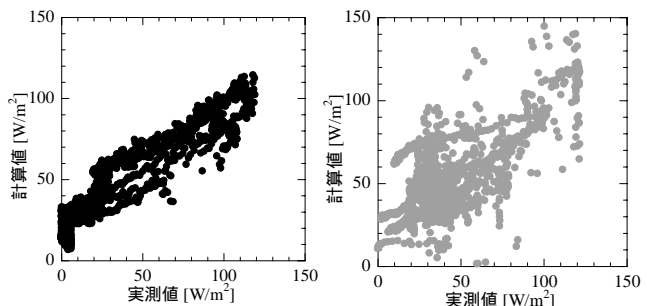


図 14 熱取得の実測値と計算値の比較(2008.9~12)

4.2. 自然採光による省エネルギー効果の計算¹⁰⁾

建築空間内における光環境の予測評価を目的としたシミュレーションプログラムは数多くあり、高い精度で視環境を予測することも可能である。しかしながら、省エネルギーに関わる年間計算に用いることはできない。BESTでは、自然採光による省エネルギー効果に関する、建築・空調・電気を横断する検討を、比較的簡単な入力で、実用的な精度・計算コストで、定量的に実施することができる数少ないプログラムの1つである。なお、BESTにおける自然採光の計算手法は、HASP-Lを拡張させたものである。

ここでは、表2に示す性能値の異なる代表的な4種類のガラスについて、ガラス面積による空調・照明電力量への影響度を感度解析した事例について紹介する。計算対象建物モデルおよび年間計算条件の一覧を図15に示す。評価対象は南ペリメータゾーンとした。外壁にしめる窓面積率を0.3~92.5%まで変化させた。ブラインドは自動制御を行う条件として、スラットは白色とした。照明は主方位窓面から奥行方向に1.5m間隔で配置し、調光制御時は床面高さ75cmの机上面照度を750lx以上に保つように連続調光を行う設定とした。

図16に計算結果を示す。一次エネルギーは空調負荷および照明電力量から簡易的に換算した¹¹⁾。

暖房負荷は遮蔽性能が高い高性能熱反SS8が窓面積の拡大に伴う増大傾向を示している。冷房負荷においては、SS8が最も窓面積の拡大影響が少ない。その他は、透明単板、透明複層、Low-E複層の順番である。透明単板において調光有無により1割程度の差が見られる。照明電力量では、可視光透過率が最も低いSS8は、窓面積を拡大させても殆ど昼光利用効果を得られていないことがわかる。その他のガラスでは昼光利用効果を得られるが、電力量の低減程度は若干異なっている。

1次エネルギーで比較すると、調光を行うことによってエネルギー消費量の増大を大幅に低減できることがわかる。調光を行う場合も各ガラスが有する可視光透過および熱性能によって、窓面積率の拡大に対する変化傾向が大幅に異なっている様子が見られる。可視光を殆ど透過しないSS8は窓面積が拡大しても殆ど増減がみられない。熱性能が低い透明単板においては、開口率20%程度までは昼光利用効果でエネルギーが削減されるが、それ以降は熱取得が卓越して急な増大となる。高い可視光透過性能と日射遮蔽性能・断熱性能を有するLow-Eガラスは、開口率40%までエネルギーは低下し、それ以降は増加傾向となるが、低く抑えられている。

4.3. 窓システムシミュレーションの展望

自然採光による調光制御は比較的容易に導入可能でありながら、直接の照明電力量削減と間接的な熱負荷低減の相乗的な省エネルギー効果が期待できる実効性有る省エネルギー手法である。ここでは、窓の熱・光性能を実用的に年間評価可能な計算モデルを、実測によって

表2 検討対象ガラス性能値

	可視光特性		熱性能	
	[-] 透過率	[-] 反射率	[W/mK] 熱貫流率	[-] 日射熱取得率
透明	0.88	0.08	5.8	0.82
透明複層	0.79	0.15	2.9	0.73
高性能熱反(SS8)	0.08	0.41	4.6	0.22
Low-E(Ag2)複層	0.67	0.12	1.6	0.39

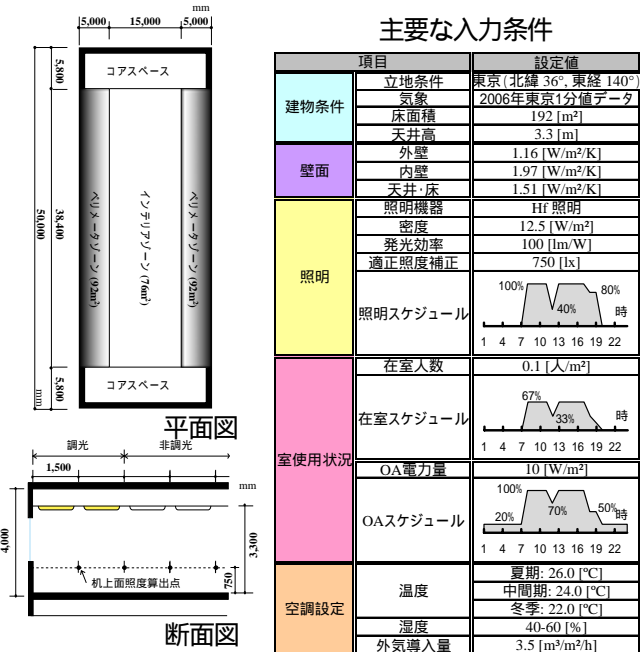


図15 計算対象オフィスおよび入力条件の概要

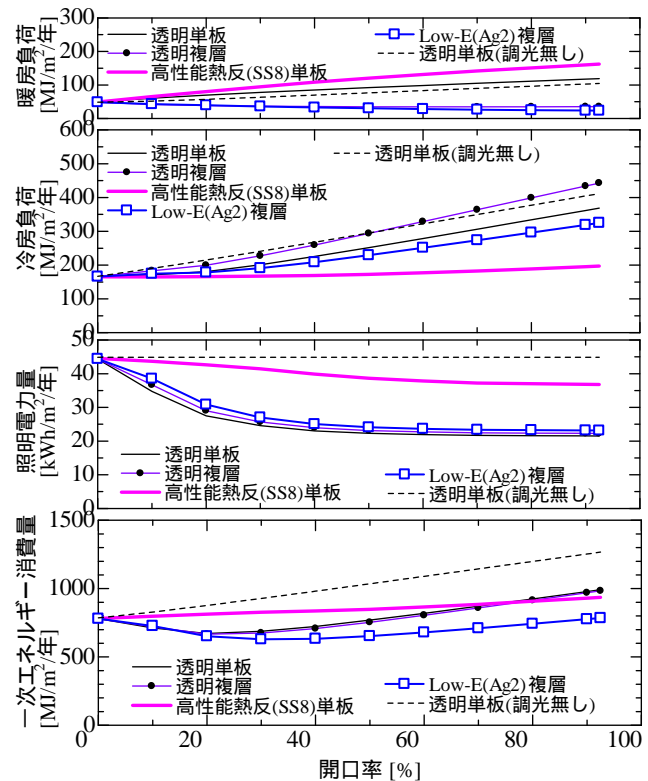


図16 ガラス種別の開口率の拡大による熱負荷・照明電力への影響(南面、ブラインド自動制御・調光あり)

その精度を実証した。また、この窓の年間計算モデルに基づいた、熱・光を連成計算可能な BEST を用いた年間エネルギーシミュレーションの一例を示した。

窓の設計は意匠・構造・設備が融合したファサードエンジニアリングであり、建築設計において最も魅力的で重要な部位であるといえる。設備技術者が想像しないような素材やガラス（たとえば自律応答ガラス¹²⁾）、遮蔽装置の組み合わせ（たとえば斜めルーバー）など、多様な構成に対応可能な柔軟なシミュレーション上の枠組みを構築することも一つのあり方と考える。前述の BIM との関係が深い。

5. まとめ

建築設備分野のシミュレーション技術に関する最近の動向として、国境を越えた拡がり、経済発展が見込まれる地域における気象データの整備、インターネットの活用、XML スキーマの活用、BIM との連携、ユーザーの利便性を高める入力データ・データベースの共有化、といったことが課題として挙げた。また、実測を交えた空調・電気に関するシミュレーション事例を示した。

日本の優れた省エネルギー技術、シミュレーション技術を世界的に発信するためには、経済発展が著しいアジア諸国への技術提供による日本によって建築環境技術を主導するといった、戦略性を考えることも必要なのではないだろうか。アジア地域は日本と気象・地理的に比較的近く、欧米は断熱を重視するがアジアにおいては遮熱の重要度も高い、といった違いは明白である。

補足

- 1) XML は、「タグ」と呼ばれる特定の文字列で情報の意味や構造・装飾などを埋め込んでいく言語で、ユーザーが独自のタグを指定できる。データの構造そのものを反映させることが可能であり、データの中身だけを分析すれば他の補助資料を必要とせずに全内容を解読することができるようになっている。汎用的なテキストデータであり、言語や処理系に依存することなく、データを利用することができる。
- 2) BIM は、1970 年代後半に発案されたといわれており、建物形状・地理情報、数量・構造・設備・コストの属性情報を含んだ、建物のライフサイクル全体を表現するものであり、線の集合体として表現する CAD とは大きく異なる。建設プロジェクトにおいて、各関係者が BIM モデルに対して作業する間、入手した全ての情報を追加および参照することができるため、設計・施工・管理者間の情報共有、施工管理・コスト管理への効果が期待されている。

参考文献

- 1) R. Judkoff, J. Neymark: Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, International Energy Agency, February 1995
- 2) 二宮秀與, 村上周三, 赤坂裕, 井川憲男, 永村一雄, 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 21) 1 分値気象データの開発, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1085-88, 2008 年 8 月
- 3) <http://www.gbxml.org/>
- 4) 足達嘉信, 建築・建設分野に関する国内外の XML 活用事例, 製造業 XML フォーラム 2007 報告 ~ XML によるリアルな見える化の実現 ~, 2007 年 6 月
- 5) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 関佑介, 横田雄史: 建築と設備が一体化したペリメータレス空調システムの性能および省エネルギー効果の実測評価, 日本建築学会環境系論文集 第 639 号, pp.651-658, 2009 年 5 月
- 6) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 齊藤寛: 高性能窓システムの熱・光性能の現場測定法, 日本建築学会環境系論文集 第 641 号, pp.845-851, 2009 年 7 月
- 7) 郡公子, 石野久彌: 熱負荷計算のための窓性能値に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.600, pp.39-44, 2006 年 2 月
- 8) 石野久彌, 伊藤直明, 須永修通, 三浦満雄: 開口部の熱遮断機構に関する研究(第 1 報) ブラインドの熱遮断特性の基礎理論, 空気調和・衛生工学会学術論文集, pp.393-396, 1982 年 10 月
- 9) SHASE-M-1008-2009 「省エネルギーと快適な熱・光環境の両立を図る自動制御ブラインドの仕様と解説」
- 10) 一ノ瀬雅之, 村上周三, 井上隆, 石野久彌, 郡公子, 木下泰斗, 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 48) 昼光利用効果の感度解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 投稿中, 2009 年 9 月
- 11) 建築物における昼光利用照明と省エネルギー, 板硝子協会, 2007.3
- 12) Takashi Inoue, Masayuki Ichinose, Naoyoshi Ichikawa: Thermotropic glass with active dimming control for solar shading and daylighting, Energy and Buildings, Elsevier, pp.385-393, Vol.40, Issue3, 2008 (doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.006)