

# まるごと建物シミュレーションによる 環境配慮型建築・街区計画手法の開発

プロジェクト責任者

浦野 明 大成建設(株)技術センター

著者

浦野 明<sup>\*1</sup>, 七井 慎一<sup>\*1</sup>, 西川 憲明<sup>\*2</sup>, 廣川 雄一<sup>\*2</sup>, 森川 泰成<sup>\*1</sup>, 大黒 雅之<sup>\*1</sup>

\*1 大成建設(株)技術センター

\*2 独立行政法人 海洋研究開発機構

本研究は建築物の自然換気を取り上げ、屋外の風環境および室内の温熱環境についてCFD(数値流体力学)による気流シミュレーションを実施した。その結果、地球シミュレータによる大規模解析により詳細な物体形状が気流に与える影響を再現することが、建物の自然換気の検討に有効であることがわかった。

さらに、国立環境研究所等による温暖化予測結果を用いて、将来の温暖化の影響を考慮した空調熱負荷計算用の気象データを作成した。このデータを用いて空調熱負荷シミュレーションを行うことにより、50~100年後のオフィスビルに対する空調熱負荷の変化を予測した。

キーワード: 空調, CFD, 地球温暖化, 熱負荷シミュレーション, 自然換気

## 1. はじめに

日本の炭酸ガスの排出量の起源を調べると建築関連の割合が約3分の1を占めると推計されている<sup>1)</sup>。その内訳は建設段階よりも建物が完成した後の運用段階の排出が多くなっている。中でも建物の空調エネルギー消費量は日本の民生部門エネルギー消費の中で30%以上と大きな割合を占めており、かつ一貫して増加している。

建物の省エネルギー対策として、さまざまな方策が検討されている。建物の外側の壁を2重にして壁の内外の熱の出入りを効果的にコントロールするダブルスキン、屋上などを緑化して蒸発散による冷却効果を利用する建物緑化、屋外の自然の風を利用して建物内の冷房エネルギーを削減する自然換気などがその例である。

省エネのための建設時のコスト削減方策は、その後の運用時のエネルギーコストよりはるかに少ない若干の投資により、大きな効果が得られる可能性がある。

このため、計画段階で省エネルギーの効果を正確に予測

し、実際の建築への採用につなげていくことが、温暖化の抑制策として重要と考えられる。ところが、省エネルギー技術の採用の有無による建物内外の気流分布の変化など、その効果を予測することは容易ではない。計算機の性能の限界により、限られた範囲でしか正確な予測がなされていないのが現状であった。ここで地球シミュレータによる大規模な解析が現実のものになったため、さまざまな省エネルギー技術の効果予測が可能になることが期待される。

一方、地球シミュレータの利用法として、シミュレータを利用して新たな解析を行うことだけでなく、既往研究による解析結果を有効に活用することも重要である。地球シミュレータセンターをはじめとする世界の複数の研究機関による地球温暖化予測結果によると、100年後の時点で数度程度の温度上昇が予測されている。建築物の寿命と比べて、温度上昇が現実のものとなる時期は遠いものではなく、現在建設される建物についても将来の温度上昇を前提とした設計にすることの必要性も検討する必要がある。このように、地球シミュレータによる温暖化予測シミュレーションとその結果を有効に利用した温暖化対策は、車の両輪として協調して研究開発を推進する必要があると考えられる。

本研究では、建築物の空調消費エネルギーの削減を念頭において、省エネルギー技術として自然換気を取り上げ、CFDによる気流シミュレーションを実施した。さらに、国立環境研究所等による温暖化予測結果を用いて、将来の温暖化の影響を考慮した空調熱負荷計算用の気象データを作成した。このデータを用いて熱負荷シミュレーションを行うことにより、50~100年後のオフィスビルに対する空調熱負荷の変化を予測した。

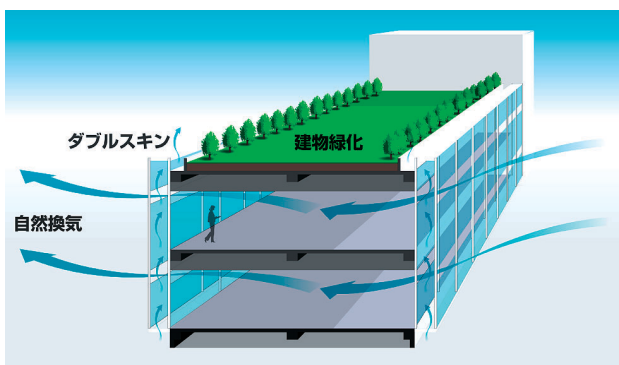


図1 建物の省エネルギー技術の例。

## 2. 気流シミュレーションの検証

自然換気の建物内外の気流を模擬した風洞実験を検証例として取り上げ、地球シミュレータを用いた大規模解析により、実験により得られた風速分布の再現がどの程度可能であるか把握した。

大場ほか(2002)<sup>2)</sup>の風洞実験を再現目標とする。図2に示す長さ300 mm、高さ150 mm、幅60 mmの中空の直方体に高さ30 mmの正対する開口部を2個有する通風模型が解析対象である。開口部と直交方向に気流を流した場合の、模型内外の風速分布の実験結果が図3、地球シミュレータによる約970万メッシュの気流シミュレーションの結果が図4である。なお気流シミュレーションには、汎用熱流体解析プログラムのSTAR-CD、乱流モデルは標準k-εモデルを用いた。

図3と図4を比較すると、シミュレーションは良好に実験結果を再現していることがわかる。

## 3. 現実的な建築空間のシミュレーション

屋外の自然の風を利用して建物内の冷房エネルギーを削減する自然換気を効果的に実施するためには、CFDによる

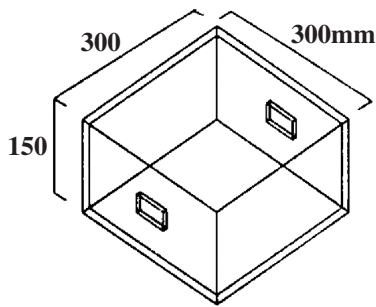


図2 解析対象の通風模型<sup>2)</sup>。

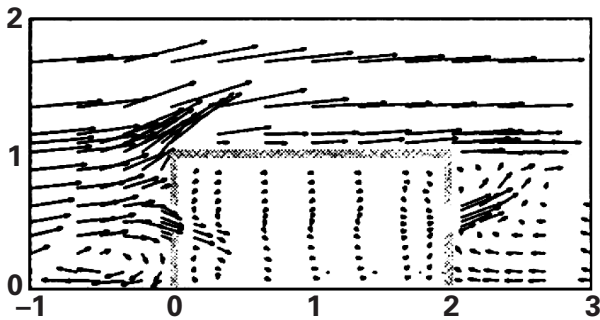


図3 大場他(2002)<sup>2)</sup>による中央断面の風速分布の実験結果。

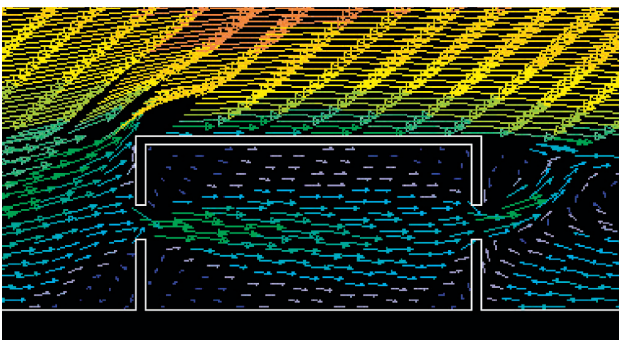
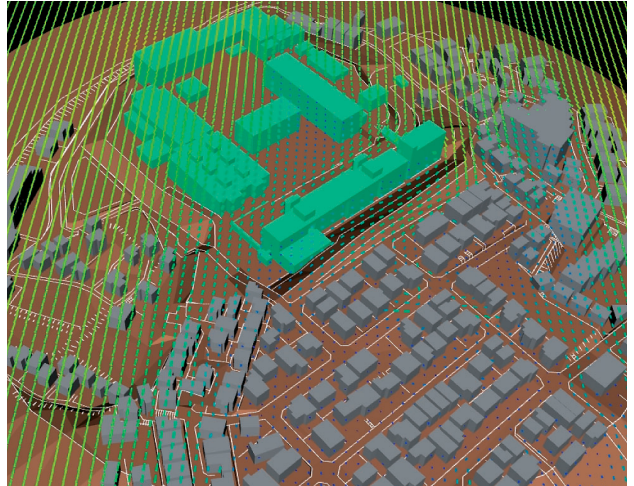
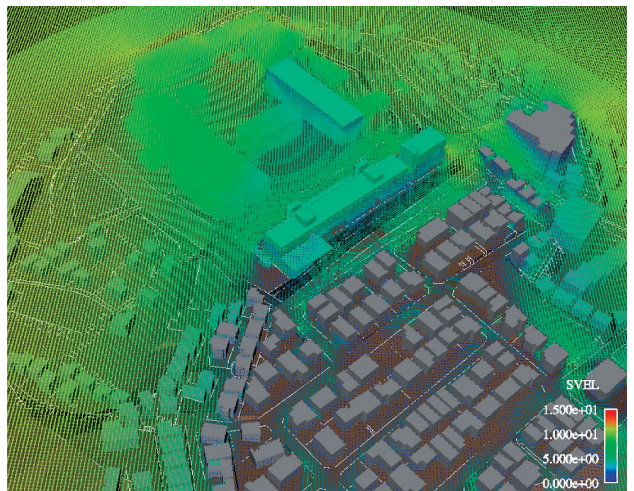


図4 中央断面の風速分布のシミュレーション結果。

大規模シミュレーション技術を利用して屋外の風の分布を予測することにより、建物の壁面の風圧分布を把握することと、壁面の風圧分布の影響を受けた建物の室内空間の気流分布を把握することが必要である。これらのシミュレーション結果を建築設計に反映することにより、環境負荷を低減した計画が可能になる。本研究では現在現実的な建築空間を対象とした建物内外の気流解析を実施した。解析には前節と同様、STAR-CDの標準k-εモデルを用いた。



(1) case-1 (汎用的なコンピュータで解析可能な規模)

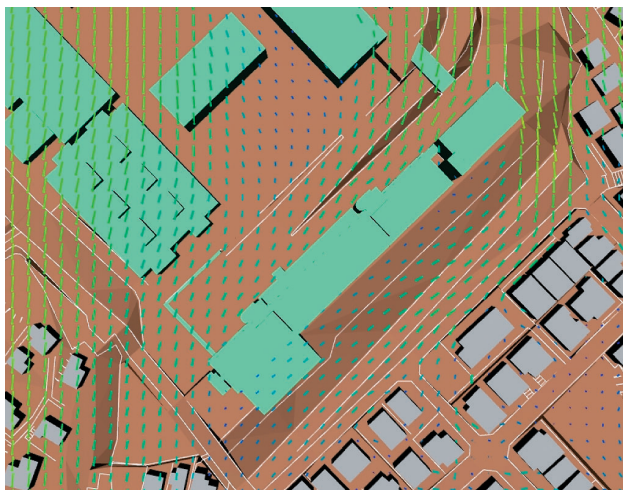


(2) case-2 (地球シミュレータにより解析可能な規模)

図5 解析領域全体の風速の水平分布。  
(屋外の気流解析)

屋外の気流解析(case-1, case-2)は、半径200 mの範囲内の建物形状・地形を再現した。case-1 (汎用的なコンピュータで解析が可能な規模)が格子数115万・水平方向の格子間隔5 m、case-2 (地球シミュレータにより解析が可能な規模)が格子数1,920万・格子間隔1.5 mである。

図5に解析領域全体、図6に解析領域の一部の風速の水平分布を示すが、建物周辺の気流の細かな分布がcase-2によりはじめて解析可能になったことがわかる。また、このような細かな分布は、建物の窓面から室内に入り込む通風量に大きく影響するものと思われる。



(1) case-1 (汎用的なコンピュータで解析可能な規模)

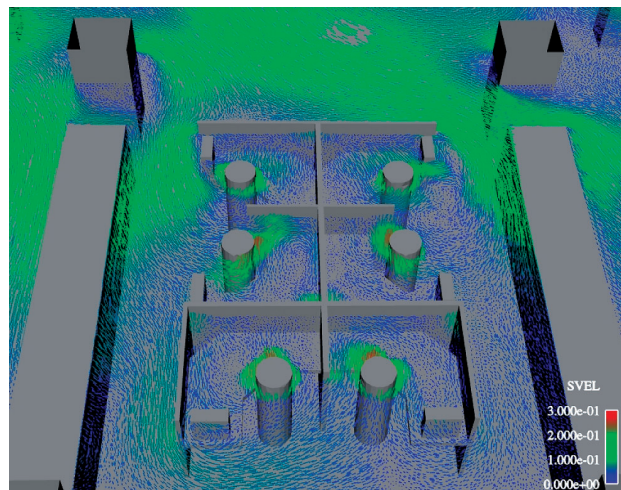
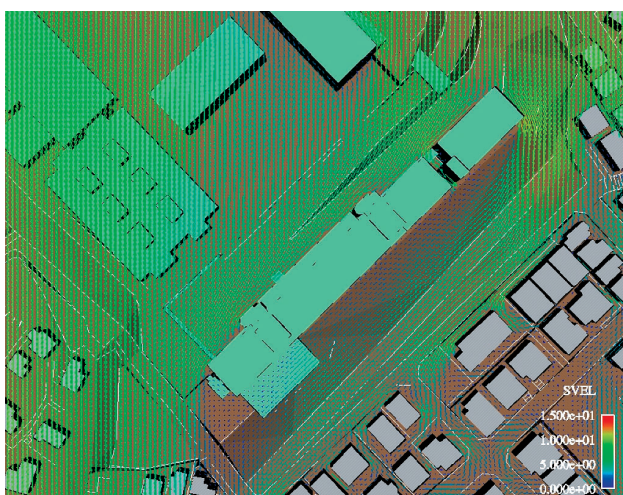


図8 case-3 (室内)の解析領域の一部の風速分布。



(2) case-2 (地球シミュレータにより解析可能な規模)

図6 解析領域の一部の風速の水平分布。  
(屋外の気流解析)

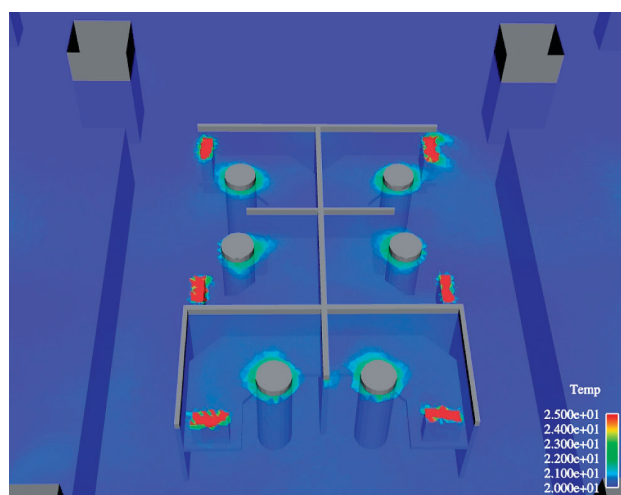


図9 case-3 (室内)の解析領域の一部の温度分布。

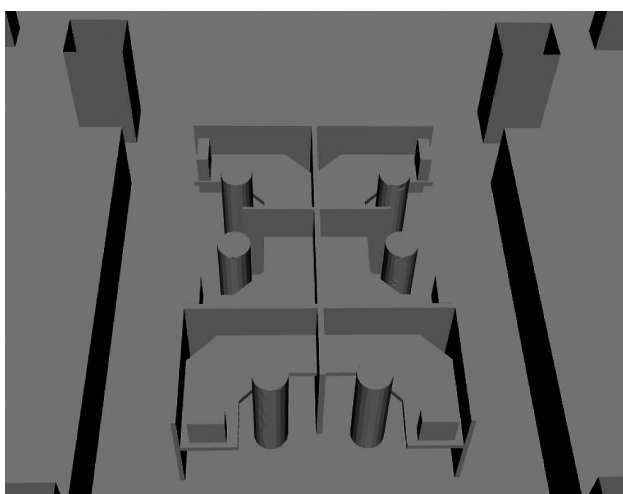


図7 解析領域の一部の形状。  
(室内の気流解析; case-3)

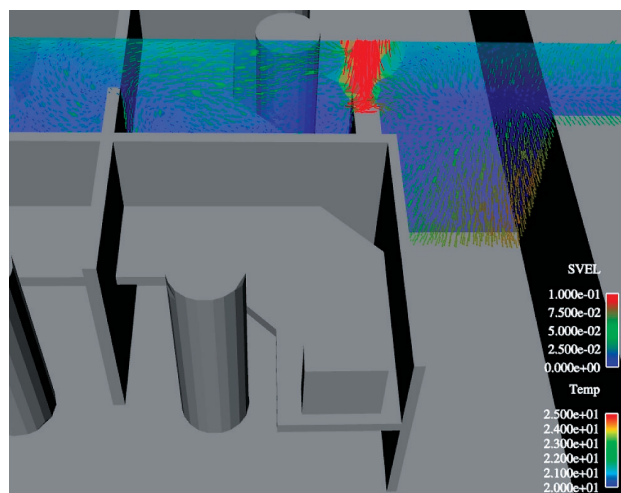


図10 case-3 (室内)の解析領域の一部の風速・温度の鉛直分布。

室内の気流解析(case-3)は、事務所建物の一部の56人が執務する空間を対象に、家具・パソコンの形状を再現し、建物の他の部分と窓から気流が入ってきた場合の解析を行った。人体の形状は円柱で模擬しており、机上のパソコン・人体からの発熱を考慮している。

メッシュ数約1,648万であり、格子のサイズは9cm以下である。解析領域の一部の図7に示す6人分の机が配置された場所の風速・温度分布を図8, 9に示す。人体・パソコンの影響を風速・温度が影響を受けていることがわかる。図10に鉛直分布を示す。パソコン上部の上昇気流を受けた熱の拡散の様子が詳細に再現された。

図7に示す6人分の領域が解析領域の全体であれば、従来の汎用的なコンピュータで解析が可能と思われるが、本解析では56人分の空間を解析領域としている。図には示さないが、風速分布も一様ではなく、領域内の位置によって大きく変化している。このように人体周囲の影響と室内空間全体の分布を同時に考慮して詳細に解析することは、地球シミュレータを用いることにより、初めて現実的になったと考えられる。

#### 4. 地球温暖化の進展が空調負荷に与える影響

既往研究により地球シミュレータ上でMIROC3.2-hires<sup>3)</sup>を用いて解析され、IPCC AR4 に提出されたシナリオ A1B のシミュレーション結果<sup>4)</sup>を利用した。また、解析対象とする地域は東京(北緯35.687°東経139.765°)とし、その近傍の格子(北緯35.327°, 東経139.50°)のデータを用いた。

将来の気候を反映した熱負荷計算用のデータを作成するため、拡張アメダスによる標準年気象データ<sup>5)</sup>を用いた作成方法を検討した。すなわち、予測された10年平均値を用いて、現状の標準年気象データを改変することを試みた。予測された最近の10年間と将来の10年間それぞれの毎日の日平均気温を算出し、将来と最近の平均気温の差を最近の気象観測データに基づいて作成された建築熱負荷計算用の東京の年間気象データ(拡張アメダスによる標準年気象データ<sup>6)</sup>)に加えることにより、将来の気象データを作成した。

現状に対する上昇値を計算すると、年平均によると50年後の気温上昇は2.7°C、100年後は4.8°Cになった。日平均による50年後、100年後の温度差の季節変化を図11に示す。夏季に比べてそれ以外の季節で温度上昇の変化が大きいくことがわかる。

本研究では地球温暖化予測データの空調熱負荷計算の第一歩として、気象データの物理要素のうち、気温のみ検討対象とした。すなわち、気温以外の要素の空調熱負荷への影響は無視した。

以上のデータに基づき、空調熱負荷シミュレーションを行った。計算に利用したプログラムはHASP/ACLD8501である。

計算対象の建築データは、滝沢(1985)<sup>5)</sup>によるオフィス用標準問題をを用いた。同問題は、地下1階、地上8階、延床面積7583.44m<sup>2</sup>、空調面積5331.76m<sup>2</sup>のRC造のオフィスビルを対象としている。

図12に現状と100年後の冷房負荷の日積算値の差を示す。年間の冷房負荷は現状が152 MJ/m<sup>2</sup>に対して、図には示さ

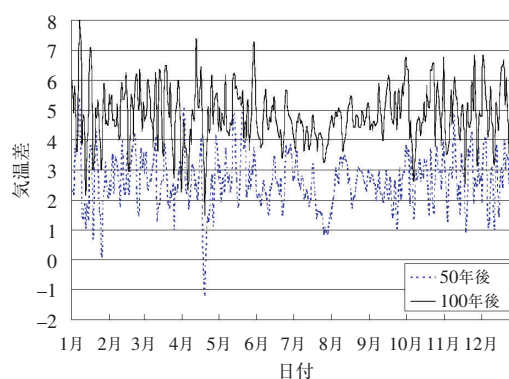


図11 現状と将来の日平均気温の差(°C)。

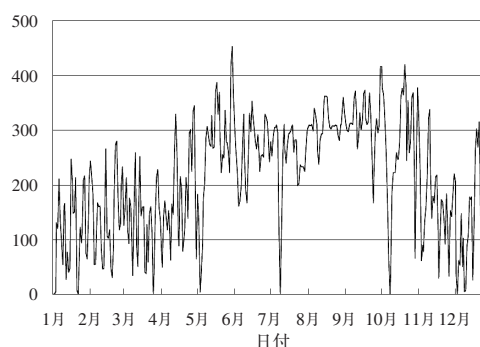


図12 現状と100年後の冷房負荷の日積算値の差(kJ/m<sup>2</sup>·day)。

ないが50年後が188 MJ/m<sup>2</sup>であり、現状に対して約20%の増加である。また100年後は年間を平均すると230 MJであり、約50%の増加である。50年後は現在新築されている建物の寿命から考えても遠い将来ではなく、将来の地球の温暖化を考慮した建築・空調計画の必要性が示唆される。

#### 5. おわりに

本研究によって、地球シミュレータによる大規模解析が建築の省エネルギーを目的とした建物内外の自然換気の検討に有効であることがわかった。

また、地球シミュレータを用いた既往研究による地球温暖化予測データを用いて熱負荷シミュレーションを行うことにより、50~100年後のオフィスビルに対する空調熱負荷の変化を予測し、50年後は約20%、100年後は約40%の日積算負荷の増大が見られた。

今後は、大規模解析による詳細な省エネルギー効果予測を踏まえた上で、将来の地球の温暖化を考慮した建築・空調計画をしていく必要性が示唆される。

#### 謝辞

地球温暖化予測データの解析では、国立環境研究所・江守正多室長にたいへんお世話になりました。

本研究は文部科学省平成17年度先端大型研究施設戦略活用プログラム「まるごと建物シミュレーションによる環境配慮型建築・街区計画手法の開発」(プロジェクト責任者: 浦野明)の一環として行われた。

## 参考文献

- 1) 伊加賀俊治：建築物のライフサイクルとサステイナブルデザイン, 生産研究, 50巻12号, pp.27-32, 東京大学生産技術研究所所報, 1998.
- 2) 大場正昭ほか：通風開口部の流入気流と圧力損失に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, 552, 21-27, 2002.
- 3) K-1 Model Developers: K-1 coupled model (MIROC) description. K-1 Technical Report 1 [Hasumi, H. and S. Emori (eds.)], Center for Climate System Research, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 34pp., <http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/kyosei/hasumi/MIROC/tech-repo.pdf>, 2004.
- 4) 江守正多・住明正ほか：地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了, 地球環境研究センターニュース, Vol.15, No.6, 6-8, 2004.
- 5) 日本建築学会設計気象データ小委員会：拡張アメダス気象データ1981-2000, 日本建築学会, 2005.
- 6) 滝沢博：標準問題の提案(オフィス用標準問題), 第15回熱シンポジウムテキスト, pp.35-42, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会, 1985.

# Development of Environment Symbiosis Urban Planning Method with Whole Building Environment Simulation

Project Representative

Akira Urano                      Technology Center, Taisei Co. Ltd.

Authors

Akira Urano <sup>\*1</sup>, Shin-ichi Nanai <sup>\*1</sup>, Noriaki Nishikawa <sup>\*2</sup>, Yuichi Hirokawa <sup>\*2</sup>,  
Yasushige Morikawa <sup>\*1</sup> and Masayuki Oguro <sup>\*1</sup>

\*1 Technology Center, Taisei Co. Ltd.

\*2 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

This study simulated the air flow of natural ventilation of the building with C.F.D. (computational fluid dynamics) in outdoor wind environment and indoor thermal environment. As the result, that the effect of the detailed object shape on air flow was reproduced by the large-scale analysis using the earth simulator. The analysis proved the effect for the examination of the natural ventilation of the building.

In addition, we made typical year meteorological data for air-conditioning thermal load calculation considering the effect of climate change under global warming using the warming prediction output of existing research. With that data, it is simulated that air-conditioning thermal load of the office building after 50 or 100 years was increased.

**Keywords:** air-conditioning, C.F.D., Global warming, heat load simulation, natural ventilation