

# 3次元数値流体解析を用いた屋内温熱環境の 予測と改善検討

解析事業部 環境解析部 陸域解析課

池本 和生  
成 英恵

## 1. はじめに

近年、屋内における温熱環境が重要視されており、快適性を確保するとともに、省エネルギーも同時に実現できる屋内環境を求められている。しかしこれらは互いに影響する要素であり、屋内の設備や空調等、考慮すべき点も多い。この双方を満足させるため、屋内温熱環境の解析が注目されており、事前の屋内設備や空調等の影響の把握、対策検討に利用されている。

現在、高断熱高気密構造の建築物が年々増加し、屋内の環境の水準は大幅に向上している。しかし、本来ならば、快適性が向上するとともに省エネ効果も高いはずの高断熱高気密構造の建築物が逆にエネルギー消費量を増加させてしまうケースも見られる。例えば、窓の配置に対する日射の影響を十分に考慮しなかったために、夏季などに日射により室内の温度が上昇し、高い断熱性のため熱が逃げにくく、空調負荷が増加することとなる。このように省エネ効果を得る素材を用いても、適切に効果が得られるよう検討しなかったため、その効果を得られない場合がある。このような建築物を作り出さないため、或いは生じた問題への対策のため、事前の検討が可能となる屋内温熱環境の解析は有効であるといえる。

また、屋内温熱環境に影響を与える要素は多く、空調、排気口・換気口、机・椅子などの構造物、日

射・人体・OA機器・照明等の熱源、窓からの自然換気などの影響が複雑に作用し、屋内の温度や気流を変化させている。このように複雑な屋内温熱環境を把握するには、模型あるいは実際の屋内環境を作成し実験を行う方法や、数値流体解析を利用する方法が挙げられる。数値流体解析は屋内環境をコンピュータの中で作り出すことができるため、模型実験等に比べ、低コストで構造物の配置・熱源の強度や空調の風量等のパラメータについて何パターンもの組み合わせを考慮した解析を行うことができる。また、計算結果が数値的に得られるため、CGを用いた温度分布図、速度ベクトル図などを簡易な作業で作成することができ、結果の表示機能においても優れている。

本レポートでは、数値流体解析を用いた屋内温熱環境の解析の一例としてオフィス内を対象とした解析を行った結果を示す。また、屋内温熱環境について、一般的な評価手法を用いた評価を行った。

## 2. 屋内温熱環境解析事例

### 2.1 解析概要

屋内温熱環境の解析例として、夏季におけるオフィス室内をモデル化し、3ケースの温熱環境の解析を行った。解析モデル図を図1に、各ケース共通の解析条件を表1に示す。モデル化した空間に空調を設置し、室内に冷風を流入し、換気口と

空調のダクトから排気するように設定した。また、室内の熱源としては OA 機器、人体、日射を考慮した。以下に各ケースの条件について示す。

case 1)

窓ガラスをオフィスで一般的に使用されている複層ガラスとし、日射取得率<sup>1</sup>と熱貫流率<sup>2</sup>を解析条件として与えた。日射によって暖められた床面によって空気が暖められることを想定し、標準的な東京の7月における日中の日射量<sup>1)</sup>と窓ガラスの日射取得率より計算した熱量を床面に与え床面温度を算定し、床面からの熱量によって室内が暖められるよう設定した。また窓ガラスと外部との熱貫

流率を設定することで外気温の影響を考慮した(表 2)。

case 2)

日射取得率・熱貫流率を case 1で設定した複層ガラスより遮熱・断熱性の高い Low-e ガラスに変更し、日射取得率と熱貫流率を与え同様の解析を行った(表 2)。

case 3)

窓ガラスはcase 2と同様 Low-e ガラスとして設定し、室内に扇風機を設置した(表 2、図 2)。扇風機は高さ 1.5m の位置に設置し、図 2 の矢印方向に風を吹き下ろすよう設定した。

表 1 解析条件

	解析条件
解析領域	13.5m × 13.5m × 2.5m
メッシュ分割	101(x) × 86(y) × 26(z)
乱流モデル	標準 k-モデル
流入条件	空調 吹出し口 速度 $U_{in}=4\text{m/s}$ 吹き出し口角度 $in=45^\circ$ (エアコンから外側へ下向き) 温度 $T_{in}=22.0$
流出条件	換気口 速度 $U_{out}=0.2\text{m/s}$ 面積 $A_{out}=0.4\text{m} \times 0.4\text{m}$ (上向き) 空調ダクト 自由流入境界 面積 $A=0.6\text{m} \times 2.25\text{m}$
発熱条件	人体 : 51W × 51人 パソコン : 100W × 51台

表 2 各ケースの条件

実験ケース	各ケースの条件	
case 1	日射が与える床面への熱量 熱貫流率(ガラス面からの熱移動)	1707w 3.4 W/m <sup>2</sup> ·K
case 2	日射が与える床面への熱量 熱貫流率(ガラス面からの熱移動)	843w 1.6 W/m <sup>2</sup> ·K
case 3	日射が与える床面への熱量 熱貫流率(ガラス面からの熱移動) 扇風機	843w 1.6 W/m <sup>2</sup> ·K 風速 1.2m/s

- 1 ガラス窓から入射した日射熱が室内側へ流入する割合
- 2 熱エネルギーが壁や窓ガラスを通して温度の高い空間から低い空間へ伝わる現象を熱貫流と呼ぶ。そのときに熱の伝わりやすさを表す数値

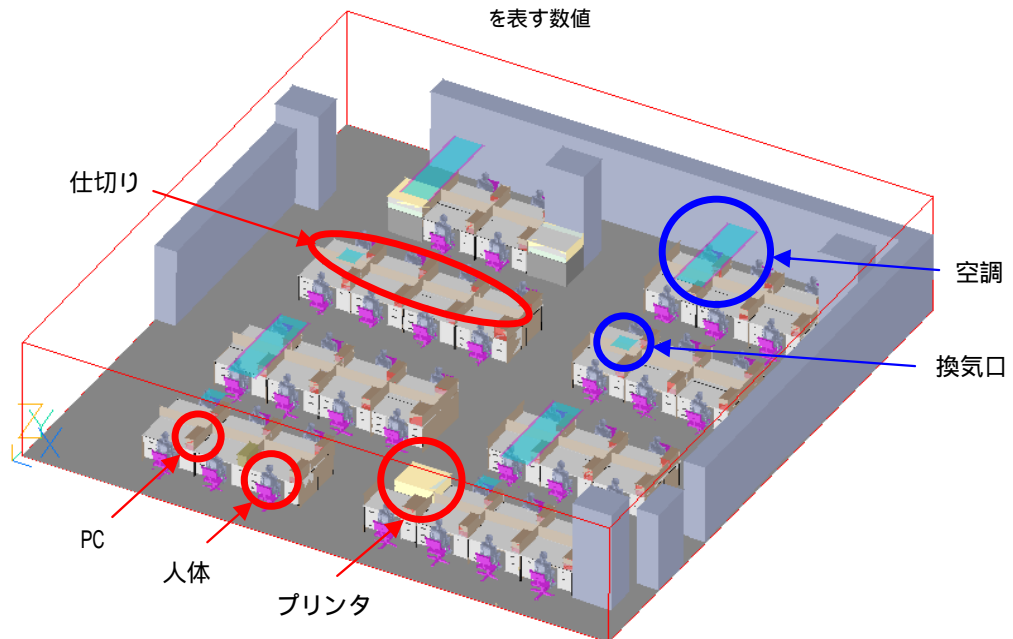


図 1 解析モデル図

## 2.2 解析結果・考察

各ケースについての結果を示す。

case 1)

温度分布を図 3、風速分布を図 5 に示す。窓際付近の温度が日射の影響により上昇しており、日射が室内の温度へ与える影響が大きいことがわかる。また、窓際付近でも温度分布の高低差が見られるが、これは風速分布から、空調から流入する冷気の影響であると言える。

case 2)

温度分布を図 4、風速分布を図 6 に示す。case 1より遮断率、断熱率の高い窓ガラスを設置した結果、case 1で高温であった窓際付近の領域が改善されているのがわかる。この結果から、窓ガラスを変えることで室内全体の温熱環境の向上と省エネルギー化が期待できると言える。

case 3)

部屋全体の温度分布及び風速分布について case 2の結果を図 7、図 9 に、case 3の結果を図 8 エラー! 参照元が見つかりません。、を図 10 に示

す。case 2 に比べ、扇風機からの風により、ほぼ無風状態の領域に流れが生じ、室内の空気の循環がよくなったため、室内の温度の高低差が小さくなった。室内のモデルは図 1 のように個人の机と机の間に床から高さ 1.0m(机から高さ 0.3m)の仕切りが設置してある。case 2 ではその仕切りによってはっきりと分かれていた温度の高低差も、case 3 では空気の流れができたことにより改善された(図 7、図 8)。扇風機を効果的に設置することにより、室内の温度のバラつきが解消されることがわかった。

## 3 . 屋内温熱環境解析の評価手法

数値流体解析の結果より得られる温度分布、速度分布から、屋内温熱環境を評価することができる。さらに、熱的不快感や空調による過度な冷感などの暑い寒いといった温熱感覚をよりわかりやすい表現で定量的に取り扱うことができる評価手法を導入することにより、屋内の居住者の実感により近い評価が可能となる。表 3にその評価手法を示す。

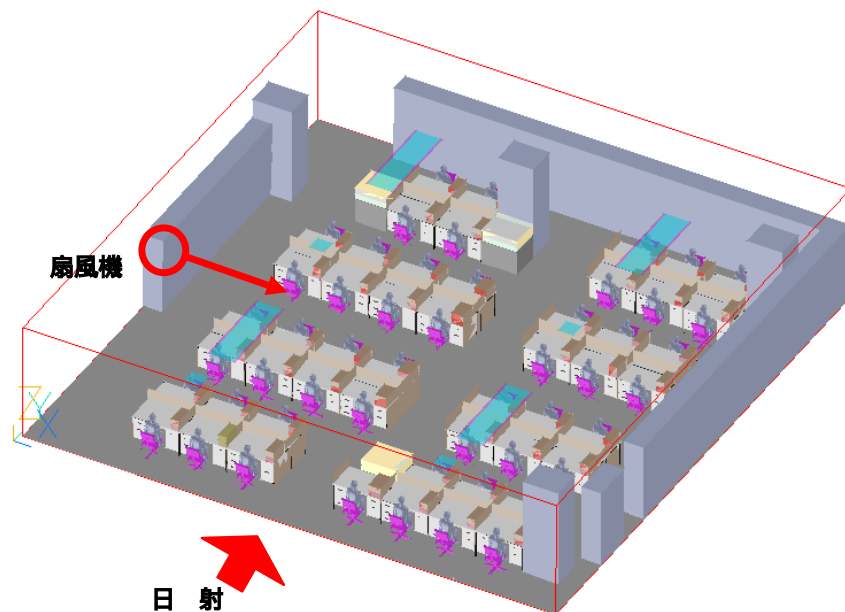


図 2 扇風機設置場所及び吹出し方向

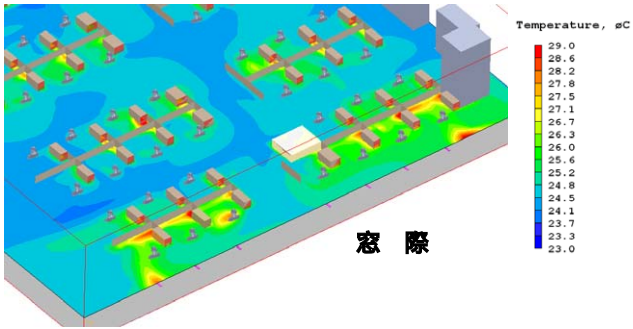


図3 case 1 複層ガラス  
温度分布(h=0.8m 平面分布図)

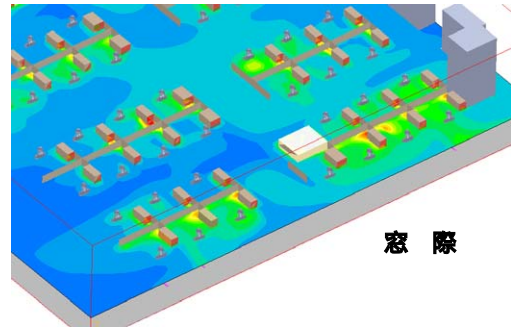


図4 case 2 Low-e ガラス  
温度分布(h=0.8m 平面分布図)

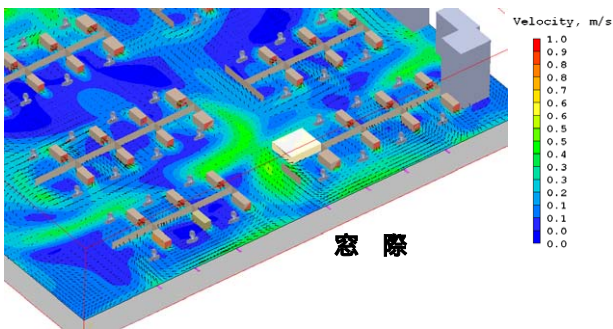


図5 case 1 複層ガラス  
風速分布(h=0.8m 平面分布図)

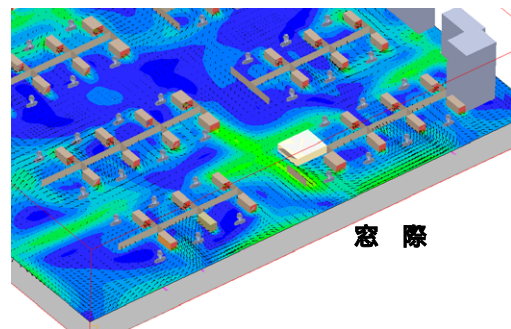


図6 case 2 Low-e ガラス  
風速分布(h=0.8m 平面分布図)

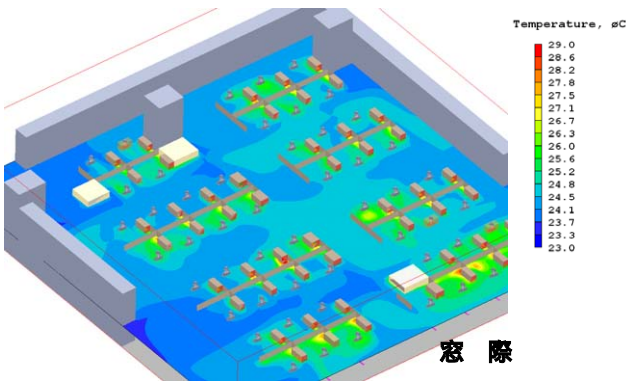


図7 case 2 扇風機無  
温度分布(h=0.8m 平面分布図)

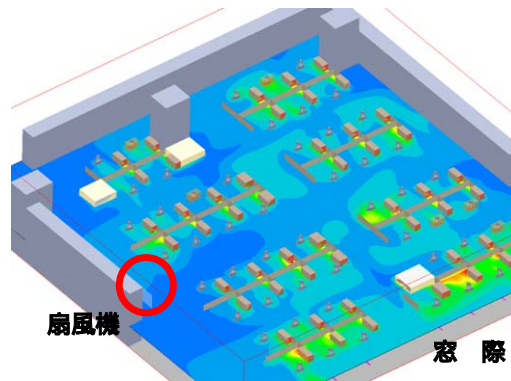


図8 case 3 扇風機有  
温度分布(h=0.8m 平面分布図)

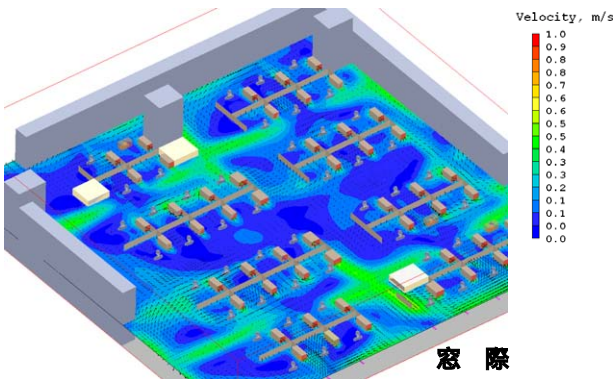


図9 case 2 扇風機無  
風速分布(h=0.8m 平面分布図)

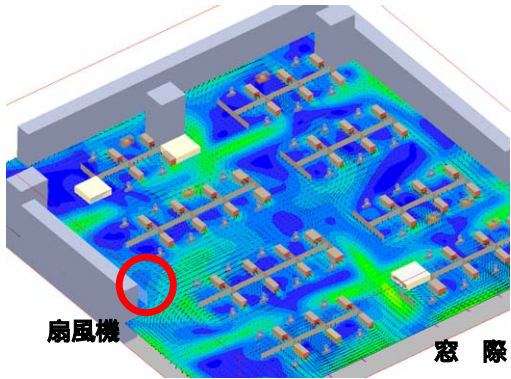


図10 case 3 扇風機有  
風速分布(h=0.8m 平面分布図)

表 3 屋内環境の評価手法

評価手法	内容
体感温度	体感温度とは、湿度や風速等によって影響されやすい人間の肌を感じる気温を、数値に表したものである。一般的には風が強いときほど体感温度は下がる。体感温度は、湿度に着目したミスナールの式と風速に着目したリンケの式等が存在する。
湿球黒球温度 (WBGT)	WBGT は ISO で定められた国際規格であり、作業者が労働環境において受ける暑熱環境による熱ストレスの評価を行う簡便な指標である。暑熱環境を評価する場合には気温に加え、湿度、風速、輻射(放射)熱を考慮して総合的に評価する必要があり、WBGT はこれらの基本的温熱諸要素を総合したものとなっている。これにより、労働者の活動環境としての適・不適切を判断することができる。
平均放熱温度 (MRT)	MRTとは暑さを示す体感指標の一つで、周囲の全方向から受ける熱放射を平均化して温度表示したものである。MRT値が気温よりも高いと、周囲から受ける放射熱による暑さを感じ、逆に気温よりも低いと涼しさを感じる。この指標はヒートアイランド現象の解析にも使われていることが多い。
快適指数 (PMV)	デンマークのフィンガーによって提案された指標で、温度環境に関する 6 要素(空気温度、平均放射温度、気温、湿度、着衣量、代謝量)の組み合わせで求めることができ、ISO-7730 として国際規格となっている。PMV は、-3 から 3 の数値によって表される。
新有効温度 ET*	ET*は気温・風速・湿度・熱放射・代謝量・着衣量の組み合わせを(気温=周囲面の温度(平均放射温度))、湿度 50% の時の気温で表現するものである。しかし、任意の代謝量、着衣量に対して定義され、同一着衣量、代謝量でなければ ET* の値の大小で温冷感、快適感を直接比較できない。ことから、ET*のみでその環境が温熱的に快適かどうかを判断するのは、難しいと言える。
標準新有効温度 SET*	SET*は周辺を取り巻く温熱環境との間の熱平衡式に基づいて定義される ET*を基にし、椅座位、着衣量 0.6clo の静穏な気流の場合を基準として、人体と環境との熱平衡式から導かれている。SET*では、着衣量を代謝量によって修正することによって、様々な代謝量における温冷感や快適感評価を可能にしている。

本レポートでは case 1 と case 2 の解析結果を用いて標準有効温度 SET\*を算出し、窓ガラスをより遮熱・断熱性の高いものに設定した場合の屋内環境における快適性への影響について検討した。

< 標準有効温度 SET\*の算出 >

標準有効温度 SET\*とは、気温、湿度、風速、輻射(放射)熱、代謝量、着衣量を考慮した温熱環境を示す体感指標である(表 3)。本レポートでは case 1 と case 2 の結果の値を用い、図 3 に示す日射を受ける場所(日射有)、受けない場所(日射無)について SET\*を算出し、快適性について評価を行った。SET\*の算定に必要なパラメータについては、気温、風速及び輻射(放射)熱については数値流体解析による計算値を用いた。湿度については一般的なオフィス内を想定し 60%とした。代謝量及び着衣量については、夏季の椅子座席時の事務作業を想定した値<sup>2)</sup>を用いた。

< SET\*を用いた快適性の評価 >

SET\*の算定結果を表 5に示す。また、表 4 に

SET\*と温熱環境の快適性の関係について示す。

case 1において、日射を受ける場所ではSET\*は38 と非常に不快な環境となったが、日射を受けない場所では23 と快適な環境を示す結果となり、日射の有無による快適性への影響は非常に大きい結果となった。

遮熱・断熱性の高いガラスに設定した case 2 においては、日射を受ける場所ではSET\*は33 とcase 1から改善されたものの、依然として不快な環境を示す結果となり、快適な環境とするには日射へのさらなる対応が必要であることがわかる。

一方で、case 2の日射を受けない場所についてもSET\*が21 と、case 1に比べて-2 となり体感温度においてより涼しく感じられる結果となった。このことから、開口部の遮熱・断熱性を高めて日射熱を室内にとりこまないように配慮することにより、日射を直接に受けない地点についても室内冷却効率を上げることで空調負荷を減らし、快適性を保ちつつ省エネにつなげることが可能であることがわかる。

このような評価手法を用い、温熱環境を定量的に把握し、評価することで、作業者の快適性と省エネルギー対策の両立について検討を行うことが可能となる。

表 4 SET\*と温熱環境の快適性との対応

SET* ( )	[温冷感]	[快適感]
	45	非常に暑い
40	暑い	
35	暖かい	不快
30	やや暖かい	
25	なんともない	快適
20	やや涼しい	
15	涼しい	やや不快
10	寒い	不快
5	非常に寒い	

表 5 SET\*算定結果

	SET* ( )	
	日射有	日射無
case1(複層ガラス)	38	23
case2(Low-E ガラス)	33	21

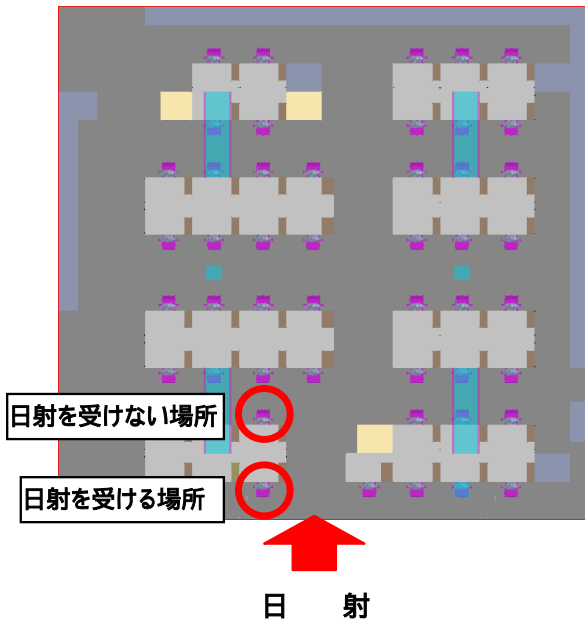


図 3 SET\*評価地点

#### 4. 終わりに

数値流体解析は、本レポートで示した事例以外にも、床面積が数万平方メートルにも及ぶ工場のような大規模空間の解析や、人体周辺のみを考えた狭い空間内の小規模な空間の解析などさまざまなスケールでの解析、また、屋内・外の連成解析も可能である。さらに数値流体解析の結果を用いて、屋内温熱環境の快適性を詳細に評価・検討することができる。当社では屋内温熱環境の向上のために、常に新しい解析・評価手法などの知見を収集し、解析技術に取り入れている。これら最新の解析技術を用い、屋内環境の快適性の確保及び地球環境の保全という双方の目的を満足させる環境の創造に携わることで、社会に貢献していきたい。

#### <参考文献>

- 1) 空気調和・衛生工学便覧(第 13 版)  
空気調和・衛生工学会編
- 2) 新版 快適な温熱環境のメカニズム  
空気調和・衛生工学会編(1997 年 12 月)
- 3) 建築・都市の環境設計工学 村上周三著
- 4) 地表面に近い大気の科学 近藤純正著
- 5) 国立環境研究所 地球温暖化と健康  
<http://www.nies.go.jp/impact/>