

オフィスの空調方式に関する研究

塚本 隆史*

要旨

オフィスで用いられている空調方式について、空調空気の吹出しと吸込みの方式に着目し、天井吹出し方式、床吹出し方式、床吸込み方式の3つの空調方式について、快適性および効率について明らかにすることを目的とする。3つの空調方式について、実大実験室を用いた熱環境の計測と共に、消費電力量の計測を行った。夏季は3方式とも室内の上下の温度が設定温度となった。冬季は天井吹出し方式では上下温度差が大きくなった。床吹出し方式と床吸込み方式では上下温度差が緩和されており、快適性の高い空調方式であるといえる。3方式の空調の消費電力量を測定した結果、床吸込み方式空調は他の方式に比べ消費電力量が少なく、より効率的な空調方式である可能性がある。数値解析によるシミュレーションでの温熱解析は実大実験室での計測と同様の傾向を示しており、空調効果の予測に数値解析が有効であるといえる。

1. はじめに

温暖化ガス削減、節電等建物における省エネが強く求められている。中でも建物で消費されるエネルギーの約3割を占める空調は、方式、機器効率、制御方法等を含めて様々な手法が提案、開発されている。一方、空調手法はオフィスを対象に快適性を高めて知的生産性を向上する取組みにおいても大きな関心テーマであり、空調方式と快適性の評価についても研究が行われている¹⁾。

現在オフィスで多く利用されている空調方式の中で多く用いられている天井吹出し天井吸込み方式（以下、天井吹出し方式）に比べ、床吹出し天井吸込み方式（以下、床吹出し方式）は快適性、省エネルギー性において優れているという報告がされている²⁾。しかし、スペースや階高等の建物側やその他の制約等により、実際の適用にあたって同手法が選択されるとは限らない。

一方、天井吹出し床吸込み方式（以下、床吸込み方式）空調についての熱性能評価も行われており³⁾、天井吹出し方

式に比べ快適性に優れていることが報告されている。床吹出し方式に比べスペースを必要とせず、天井吹出し方式に送風ファンを追加することで空調方式を床吸込み方式に変更できるといった特徴があるが、床吸込み方式については省エネルギー性についての評価が十分に報告がされていない。

そこで本研究では、空調空気の吹出しと吸込みによる違いに着目し、天井吹出し方式、床吹出し方式、床吸込み方式の3つの空調方式（図-1）について、快適性と効率性において優れた方式を明らかにすることを目的として、実大実験室を用いた熱環境の計測と消費電力量の計測を行うこととした。またこれらの空調方式を用いた際の室内の空調効果を予測する方法として、数値解析によるシミュレーションが有効であるか確認するため、実験室での熱環境計測と、熱環境解析によるシミュレーションの結果を比較することとした。

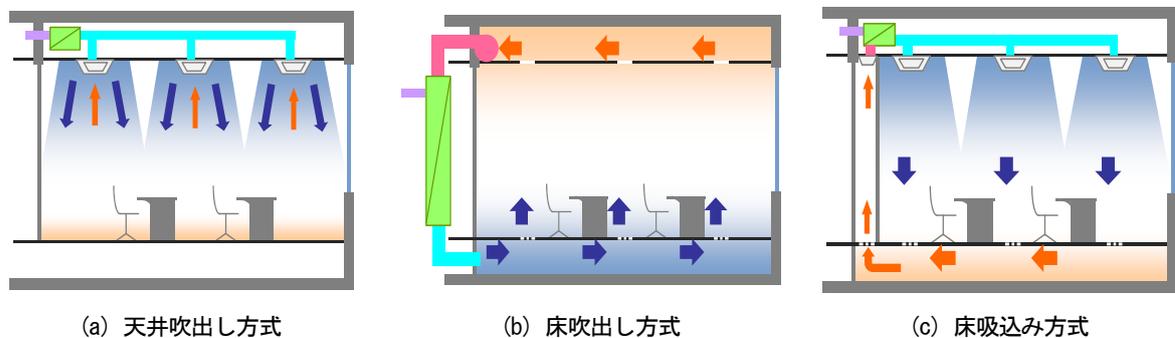


図-1 空調方式

*技術研究所 建築技術開発部

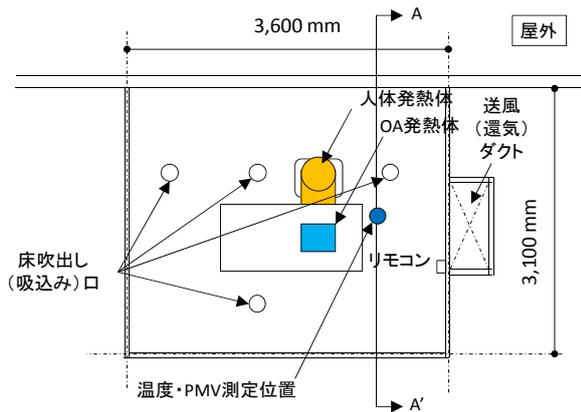


図-2 実験室平面図

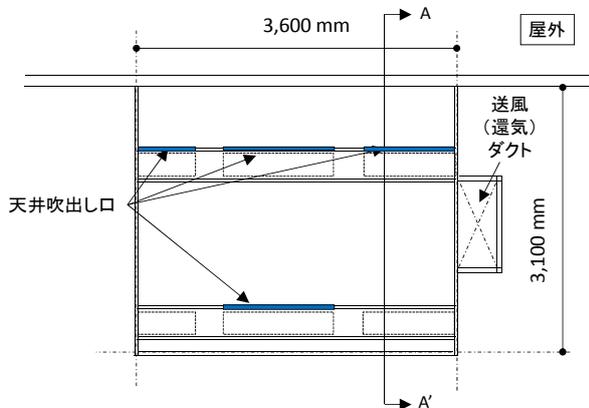


図-3 実験室天井見上げ図

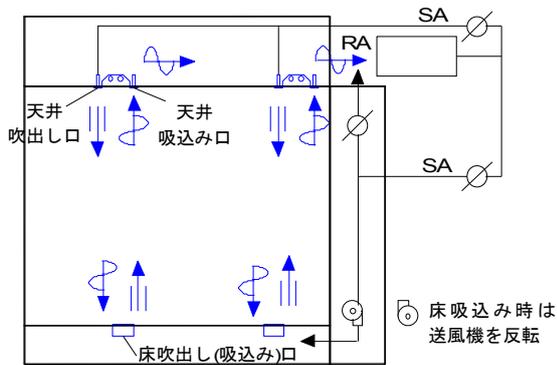


図-4 実験室 A-A'断面図

表-1 空調設定条件

| 空調方式 | 室温設定 | 顕熱負荷 (W) | | | | 給気 | |
|-------|----------|----------|------|---------|------------|------------------------|---------|
| | | 照明 | 室内機器 | 人体 | その他 | 風量 (m ³ /h) | 温度 (°C) |
| 天井吹出し | 夏季: 26°C | 310 | 100 | 夏季: 58 | 外部熱伝達 (※1) | 484 | ※2 |
| 床吹出し | 冬季: 22°C | | | 冬季: 102 | | | |
| 床吸込み | | | | | | | |

※1 外気温と日射量により変化

※2 空調機により熱量がバランスするように設定

2. 実験室の概要

図-2、3、4に実験室の概要を示す。既存のOAフロアになっている事務室内の一部を断熱の壁パネルで囲い3.6 m×3.1 m×2.4 mの寸法とした。室内の天井には照明器具の片側にライン型の吹出し口、吸込み口をそれぞれ3ヶ所設けられている。また、床吹出し、床吸込み方式の実験用に床には、吹出し口(吸込み口)を計3ヶ所設置した。床吹出し方式、床吸込み方式の実験用に、実験室の外にインバーター制御の送風機を設置し、床吸込み方式と床吹出し方式とでファンを反転させることで両方式に対応することとした。室内には、オフィス机と、机上にノートPC、椅子上に人体を模擬した発熱体を設置した。なお、天井面の照明は面積あたりの負荷に合わせ既設蛍光灯の間引きを行った。室内温度設定、吹出し・吸込み風量、内部発熱負荷は表-1に示すとおりである。

3. 温熱環境測定

3.1 測定概要

図-2に示す床上から0.1 m、0.3 m、0.6 m、0.9 m、1.2 m、1.5 m、1.8 m、2.4 mの各高さにて熱電対を設置した。さらに、空調制御盤の設置位置(床上1.2 m)、および吹出し温度、床面の吸込み口にも熱電対を設置し空気温度を計測した。また床上1.2 mの高さにPMV計(AM101)を設置し、温度、輻射温度、湿度、風速を計測しPMV値を求めた。外気の温・湿度は、敷地内の百葉箱に設置した温湿度計で計測した。オフィスでの空調運転時間を想定し、7時から21時の間に空調を運転することとした。なお、測定は10分間隔で行った。

3.2 温熱環境測定結果

夏季(15時)の室内高さ別の温度を図-5に、冬季(15時)の室内高さ別の温度を図-6に示す。

(1) 夏季

窓からの日射熱と貫流熱により冷房空調負荷が大きくなるよう、日照時間が長く気温が上昇した条件で比較を行った。空調を開始してから3時間後(10時)と、8時間後(15時)での室内高さ別の温度を図-5に示す。

天井吹出し方式では、3時間後、8時間後ともに上下温度差は小さく、室内全体の温度は、設定温度に対して低い傾向であった。

床吹出し方式では、3時間後、8時間後ともに上下温度差が小さく、室内温度は概ね設定温度付近であった。

床吸込み方式では、他の2方式に比べるとやや上下温度差がみられた。室内温度は設定温度に対してやや低かった。3時間後は設定温度に対し1°Cから2°Cほど低い温度であったが、8時間後は設定温度からの差が小さくなった。

天井吹出し方式では設定温度を下回っていることから、室内の熱負荷に対して過剰に吹出し温度が低くなっている可能性がある。床吸込み方式では時間経過とともに設定温度との差が小さくなったことから、室内の熱負荷に対する吹出し温度の制御が空調の初期段階で良好に動作していなかった可能性がある。

(2) 冬季

窓からの日射熱が小さく、暖房空調負荷が大きくなるよう、各条件において日照時間が短く日中の気温上昇が小さい条件において比較を行った。空調を開始してから3時間後(10時)と、8時間後(15時)での室内高さ別の温度を図-6に示す。

天井吹出し方式では、床上高さ0.3mと1.2mでの上下

温度差が3時間後に1.8℃、8時間後に1.2℃と大きかった。温度差が3時間後と8時間後ともに0.1℃であり、天井吹出し方式に比べ緩和した。床上高さ1.2mでの温度は、3時間後は20.3℃、8時間後は21.3℃となり、時間経過とともに設定温度に近づいた。

床吸込み方式では、床上高さ0.3mと1.2mで上下温度差が3時間後は0.3℃、8時間後が0.1℃であり、天井吹き出し方式に比べて緩和した。床上高さ1.2mでの温度は、3時間後は22.8℃、8時間後は22.9℃であった。

天井吹出し方式では上下温度差が大きくなる結果となり、時間を経過してもこの傾向は変わらなかった。床吸込み方式、床吹出し方式ではこの上下温度差が小さい結果となった。とくに床吸込み方式では時間経過と共に上下温度差が

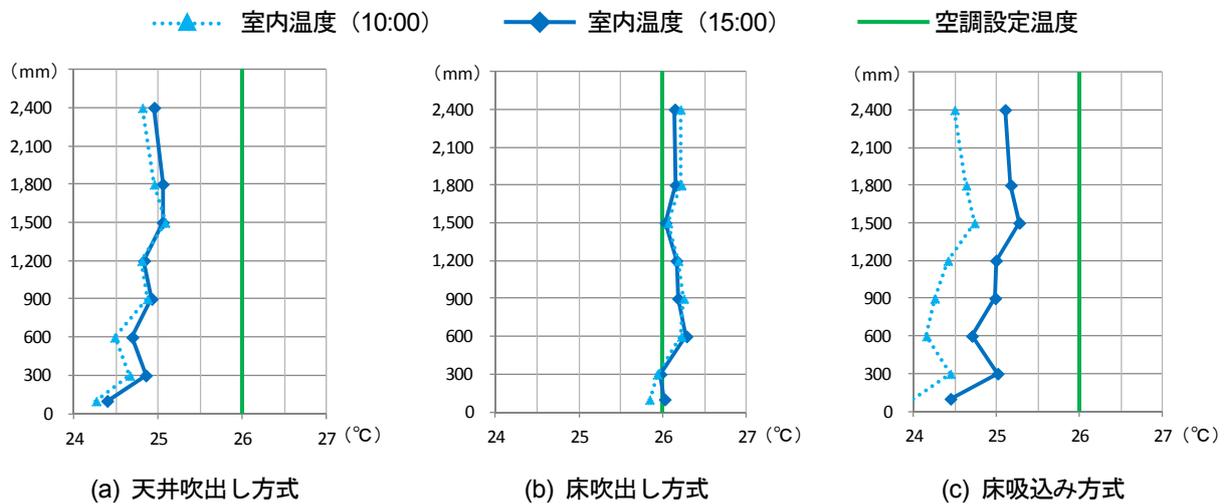


図-5 夏季の各空調方式での温度分布

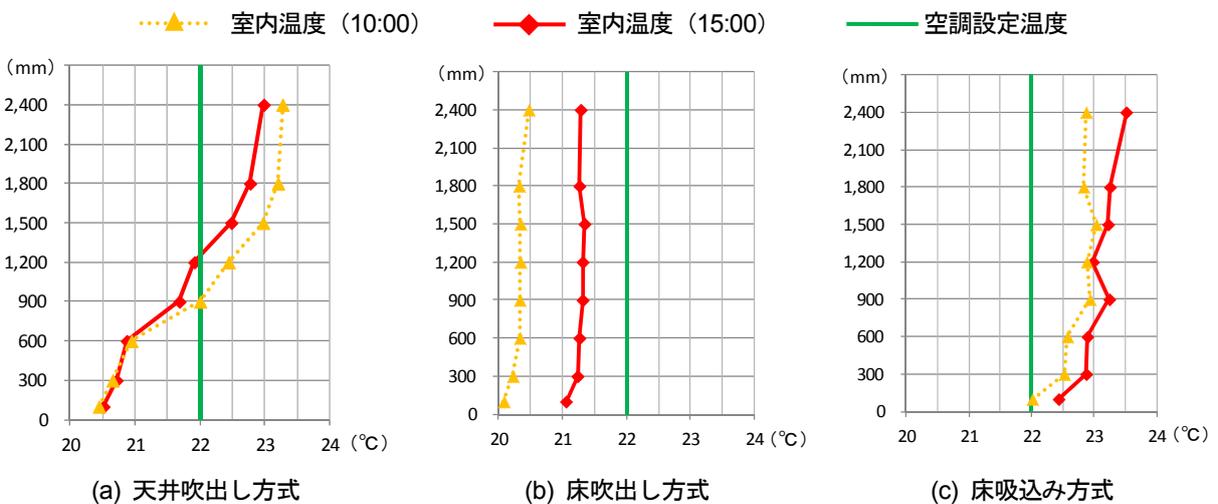


図-6 冬季の各空調方式での温度分布

緩和されることとなった。

これらの計測結果は、床吹き出し方式と床吸込み方式が天井吹き出し方式に比べ室内をより均一に空調していることを示しており、天井吹き出し方式に比べより快適性を高くすることができる空調方式であるといえる。

4. 消費電力測定

前章における温熱環境測定について、特に上下温度差が空調方式毎に大きく異なる冬季について、空調方式による消費電力の差異を検証するため、空調機の電力測定を行った。

4. 1 消費電力測定概要

空調機の室内機と室外機それぞれの電源ケーブルに誘導型電力量計 (SEC-10A) を、送風機ファン電源に電力量計 (F-PLUG115) をそれぞれ設置し、消費電力量を計測した。なお、測定は24時間行い、1時間ごとの積算値によって比較を行った。空調機はそれぞれ7時から21時まで運転を行った。

4. 2 消費電力測定結果

冬季の一日の室外機、室内機、送風機ファンの電力量の推移と、同時刻における外気温度を図7に示す。各空調方式による一日の消費電力量は、天井吹き出し方式が78.2kWh、床吹き出し方式が79.3kWh、床吸込み方式が73.4kWhとなった。床吸込み方式は天井吹き出し方式に比べ約6%、床吹き出し方式に比べ約7.5%消費電力量が少ない結果となった。

図-6より、床吹き出し方式は室内温度が設定温度より低く、床吸込み方式は室内温度が設定温度より高くなってい

る。床吸込み方式は設定温度に対し過剰に空調しているといえるが、消費電力量は床吹き出し方式よりも少ない。室内を設定温度に制御するにはより少ない消費電力量で済むと推察されることから、床吸込み方式は他の2方式に比べより効率的に空調する可能性があるといえる。

5. 数値解析による比較

実験室での計測による温熱環境の測定により、床吹き出し方式、床吸込み方式が上下温度差を緩和させることが分かった。しかし実際のオフィス空間は広さ、用途など条件は様々である。あらゆる条件での温熱環境を把握するには、数値解析によるシミュレーションが挙げられる。数値解析で実際の室内温熱環境を再現できるか検証するため、数値解析によるシミュレーションを行った。

5. 1 計算モデルの設定

図-2、3、4に示すモデルでの数値解析を行った。吹き出し温度の設定は、前の解析結果の室内温度をもとにして熱収支がバランスするように10分ごとに変動させた。

5. 2 温熱環境に関する計算結果

(1) 夏季

夏季(15時)における3方式の室内温度分布を図-8に示す。

天井吹き出し方式では、床上から0.3m上部で26℃、床上から1.2m上部で27℃であり、上下温度差は1.0℃であった。吹き出し冷風と人体等の発熱源による上昇気流が混合し、設定温度に近くなった。

床吹き出し方式では、床上から0.3m上部で25.5℃、床上か

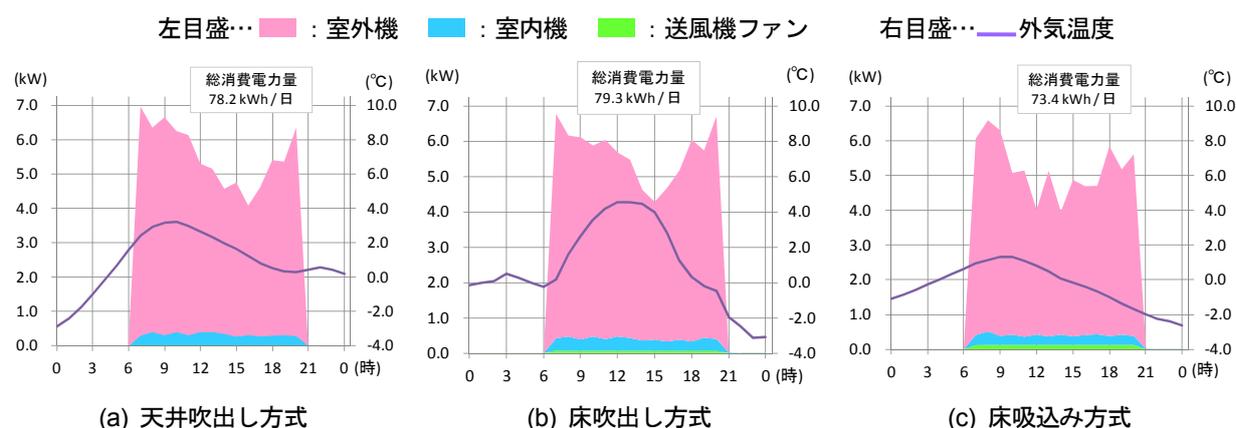


図-7 冬季の各空調方式での空調設備消費電力量

ら 1.2 m 上部で 26.8℃であり、上下温度差は 1.3℃となった。床から吹出された冷風が発熱源からの上昇気流にのり、天井へ上がっていく過程で徐々に温度が上昇していく傾向がみられ、広範囲で設定温度に近くなった。

床吸込み方式では床上から 0.3 m 上部で 27℃、床上から 1.2 m で 28℃であり、上下温度差は 1.0℃となった。人体等の発熱源からの上昇気流が天井に滞留し徐々に沈降しており、室内全体が設定温度に対して高い傾向がみられた。

これらの計算結果では、夏季における温熱環境は 3 方式で大きな差異は見られなかった。

各条件での計算結果は、室内の上下温度差についての傾向は実験室による計測結果と同様であった。

(2) 冬季

冬季 (15 時) における 3 方式の室内温度分布を図-9に示す。

天井吹出し方式では床上から 0.3 m 上部で 18℃、床上から 1.2 m 上部で 22.5℃となり、上下温度差は 4.5℃であった。天井から室内高さの半分程度の高さまでは吹出し暖気流による温度成層ができている一方、その下方は吹出し気流が到達しておらず温度が低くなった。

床吹出し方式では床上から 0.3 m 上部で 21.3℃、床上から 1.2 m で 23.7℃で、上下温度差は 2.4℃となった。天井吹出し方式より温度差は小さくなったが、設定温度に対して室内温度が高い傾向になった。

床面から高さ方向に徐々に温度が上昇し、室内全体が設定温度に近くなった。

床吸込み方式では床上から 0.3 m 上部で 21℃、床上から 1.2 m 上部で 22.5℃となり、上下温度差は 1.5℃であった。

これらの計算結果では、冬季では室内の上下温度差が天井吹出し方式では大きく、床吹出し方式と床吸込み方式では上下温度差が天井吹き出し方式に比べ小さくできるといえる。これは実験室での計測と同様の結果と考えられる。

表-2 実験室計測と数値解析の比較

| | | 天井吹出し方式 | 床吹出し方式 | 床吸込み方式 |
|-------|----|---------|--------|--------|
| 実環境計測 | 冷房 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| 数値解析 | | 1.0 | 1.3 | 1.0 |
| 実環境計測 | 暖房 | 1.2 | 0.1 | 0.1 |
| 数値解析 | | 4.5 | 2.4 | 1.5 |

単位:℃

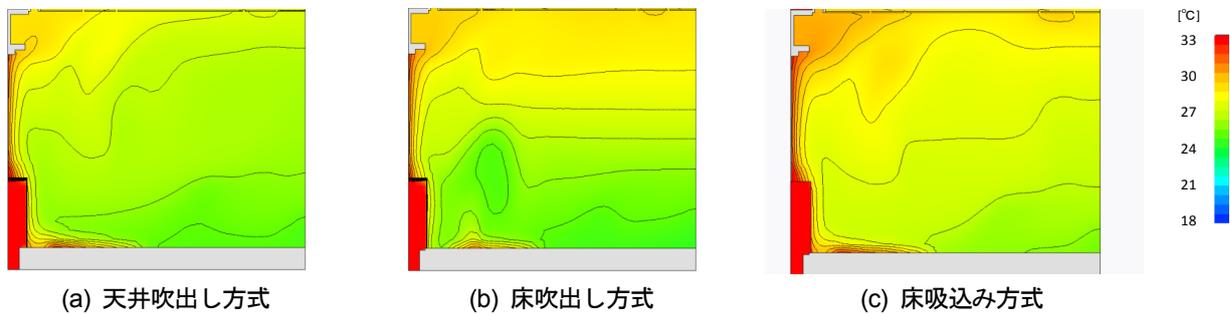


図-8 各空調方式での数値解析による夏季の温度分布 (A-A断面)

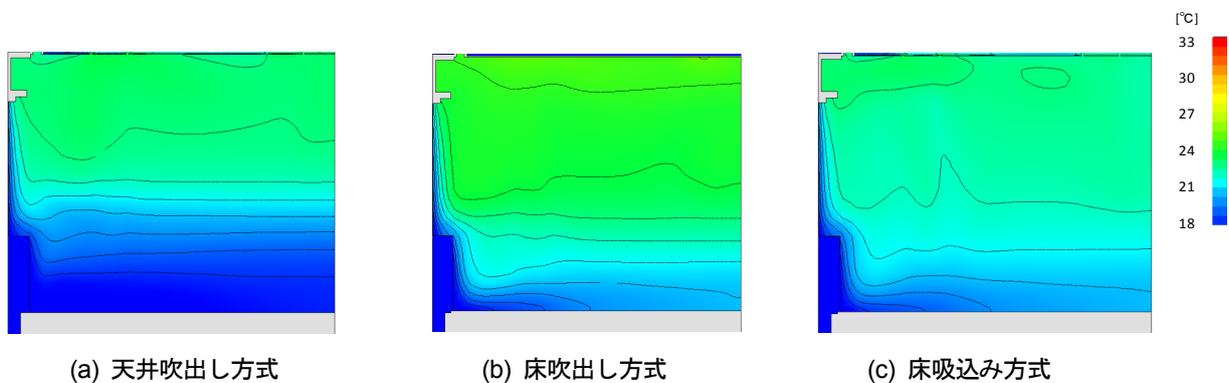


図-9 各空調方式での数値解析による冬季の温度分布 (A-A断面)

表-2に実験室での計測と数値解析での、上下温度差を示す。数値解析の結果が大きい値であるのは計測点の位置が要因と考えられる。実大実験室の計測と数値解析によるシミュレーションは同様の傾向を示しており、空調方式の違いによる室内の温熱環境の予測手法として数値解析が有効であることを示している。

6. まとめ

天井吹き出し方式、床吹き出し方式、床吸込み方式の3方式についてモデルルームを設定し、実験室での計測と温熱環境について数値解析を行った。

実験室での計測の結果、夏季は3方式とも上下温度差が1℃程度となった。冬季は天井吹き出し方式は上下温度差が大きくなり、床吹き出し方式と床吸込み方式では上下温度差が緩和され、快適性に優れている空調方式だといえる。3方式の空調の消費電力を冬季について測定した結果、床吸込み方式は他の方式に比べ消費電力が少なく、床吸込み方式空調は他の2方式と比較してより効率的な空調方式である可能性が考えられる。

空調効果の予測手法として、数値解析によるシミュレーションを行った。シミュレーションの結果は実大実験室の測定と同様の傾向を示しており、空調方式による室内の温熱環境の予測を数値解析によって行うことが可能であることを示した。

【参考文献】

- 1) 伊藤直明ら：異なる暖房方式の熱的快適性の評価に関する研究 その1 全身温冷感と局部温冷感に関する考察，空気調和・衛生工学会学術研究発表会論文集，p. 1317-1320，1994. 10
- 2) 梶井宏修ら：床吹き出し空調の省エネルギー性と快適性について，空気調和・衛生工学会学術研究発表会論文集，p. 169-172，1995. 3
- 3) 水谷勲ら：天井吹出・床吸込空調方式の性能評価 その1-実大模型実験による暖房時の評価，空気調和・衛生工学会学術研究発表会論文集，p. 93-96，1990. 10