

商業施設における躯体蓄熱式空調システムに関する基礎的研究 その2 実大実験による吹出温度が低い場合の吹付け方式と放熱方式に関する検討

鈴木 浩 史 田 中 幸 彦

概 要

前報その1では、ショッピングセンター（以下 SC）に躯体蓄熱式空調システムを採用するために、実際の SC のインテリア部分を想定した、実物大部分モデルの実験装置を用いた実験を行った。実験では、空気吹付け方式と蓄熱時間によるスラブの蓄放熱特性についての検討を行い、プロトタイプを示した。

引き続き本報では、蓄熱量と放熱量を増大させることを目的として、吹出温度が低い場合の空気吹付け方式と放熱方式の違いによる蓄放熱特性について検討を行った。その結果、吹出温度が低い場合には吹付け方式によって放熱効率に差異がみられること、デッキプレート溝を利用して吹付け空気を広く拡散させる方式が蓄放熱に有効であること、蓄熱時の吹出口と放熱運転時の吸込口を同じ位置にした放熱促進方式では、従来の放熱方式と放熱量が同程度であることが分かった。

Study of an Air-Conditioning System for Commercial Buildings using Building Thermal Storage Part2 : Full-Scale Model Experiments on Methods of Charging and Discharging Cold Energy under Low Temperature Air Supply

Abstract

Our previous study into the application of a thermal storage air-conditioning system to a commercial shopping center assessed the thermal characteristics of concrete floor slab using full-scale models using a number of methods and time scales for charging cold energy in the slab. As a result, a prototype of an air-conditioning system using building thermal storage method for commercial building was proposed.

In order to maximize the amount of cold energy supplied by the slab, we examined the difference of thermal storage characteristics between the air supplying method and the thermal discharging method when the supplying air temperature is low.

The following results were obtained;

- (1) In the case of low temperature air supplying, different methods of air supply influenced the discharging efficiency.
- (2) The improved air supplying method proposed in this study increased charged and discharged cold energy.
- (3) The improved discharging method also proposed in this study didn't show a significant increase in discharged cold energy compared with the conventional discharging method.

キーワード： 躯体蓄熱, 実大実験, 商業施設

§1. はじめに

前報¹⁾では、ショッピングセンター（以下 SC）に躯体蓄熱式空調システムを採用するために、実際のSCのインテリア部分を想定した、実物大部分モデルの実験装置を用いた実験を行った。実験では、空気吹付け方式と蓄熱時間の違いによるスラブの蓄放熱特性についての検討を行い、プロトタイプを示した。しかしながら、空気吹付け方式の違いによる蓄放熱特性と、蓄熱量に比べて十分な放熱量を得られるような放熱方法について、さらに検討が必要と考えられた。また、躯体蓄熱システムは水蓄熱などの他の蓄熱システムと併用することが基本であり、水蓄熱との組合せで低温吹出しを採用した場合の検討が必要と考えられた。

以上をふまえ、引き続き本報では、蓄熱量と放熱量を増大させることを目的として、吹出温度が低い場合の、空気吹付け方式と放熱方式の違いによる蓄放熱特性についての検討を報告する。

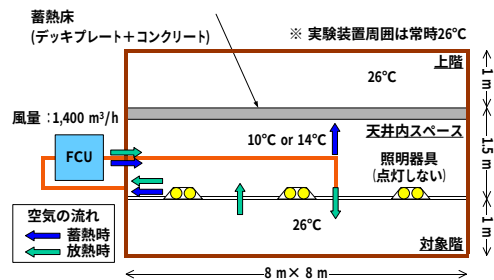


図 1 実験装置概要

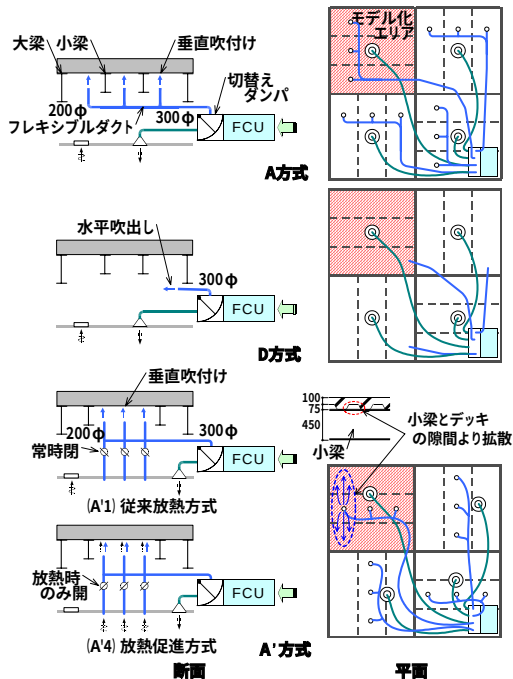


図 2 空気吹付け方式

§2. 実験装置の概要

実験装置は前報¹⁾と同じく、フジタ技術センターの気流実験室内に建設したものをを用いた。図 1 に実験装置の概要を示す。

§3. 実験種類

空気吹付け方式は、図 2 に示す 3 種類の方式で実験を行った。A方式（小梁で 3 つに区切られたスラブ面に 1 ヶ所ずつ吹付け）と、D方式（天井内スペース全体に吹出し）については前報¹⁾で述べた。

A'方式は、吹出口の個数は A 方式と同じく 3 個であるが、3 個とも小梁で 3 つに区切られた中央のスラブ面に設置して空気を吹付けた。図 2 に示すように、デッキスラブの溝と小梁の隙間は耐火被覆で埋めずに、空気が流通できるようにした。蓄熱時にスラブに吹付けられた空気は、コアンダ効果により、スラブの溝方向に、スラブの溝と小梁の隙間を抜けて広範囲に拡散し、スラブに蓄熱されると考える。

また、A'方式では、2 種類の放熱方式の検討を行った。従来放熱方式の A'1 では、従来通り天井面に 1 ヶ所設けた吸込口より還気をとった。放熱促進方式の A'4 では、放熱時の吸込口と蓄熱時の吹出口が同じ位置になるようにした。集中的に蓄熱された箇所において、還気によるデッキ表面風速を速くすることにより、表面熱伝達率が大きくなると考える。

表 1 に、今回の検討対象とした実験の設定条件の一覧を示す。A,D 方式において、冷房時の吹出温度は、10

表 1 実験種類

吹付け方式	実験 No.	設定条件				備考
		吹出温度 (°C)	吹出風量 (m³/h)	蓄熱時間 (hr)	吹出風速 (m/s)	
A方式	A0	14	1400	10	4.1	
	A1	10	1400	10	4.1	
	A2	10	870	10	2.6	全供給熱量が A0と概ね等しい
	A3	10	1400	6	4.1	
D方式	D0	14	1400	10	5.5	
	D1	10	1400	10	5.5	
	D2	10	870	10	3.4	全供給熱量が D0と概ね等しい
	D3	10	1400	6	5.5	
A'方式	A'1	10	1400	10	4.1	従来放熱方式
	A'4	10	1400	10	4.1	放熱促進方式

注・放熱運転は、実際のSCの空調運転時間を10:00～20:00と想定して、蓄熱終了後2時間放置し、その後10時間行う
・吹出風量：ファンコイルユニット (FCU) の吹出風量
・吹出風速：蓄熱時の吹出口での吹出風速

℃と14℃の2種類についての比較を行った。吹出温度が10℃のA2,D2とA3,D3に関しては、吹出温度が14℃のA0,D0と空調機の全供給熱量が概ね等しくなるように、吹出風量と蓄熱時間を設定した。

§ 4. 実験結果

4.1 A方式の比較 (実験A0～3の比較)

図3に、各実験での、躯体蓄熱終了時におけるデッキ表面温度分布の比較を示す。各実験とも、蓄熱時の吹付け位置を中心に温度が低くなっていることが分かる。吹付け位置でのデッキ表面温度は、吹出温度を14℃としたA0では約17℃、吹出温度を10℃としたA1～A3では約14℃である。

吹出風量のみが異なるA1とA2では、吹出風速が大きい(風量が多い)A1のほうが、吹出空氣の拡散範囲が広く、吹付け位置以外の温度が低いことが分かる。また、蓄熱時間のみが異なるA1とA3では、蓄熱時間の長いA1のほうが、デッキ表面が低温の天井内空氣に触れる時間が長いため、吹付け位置以外の温度が低いことが分かる。

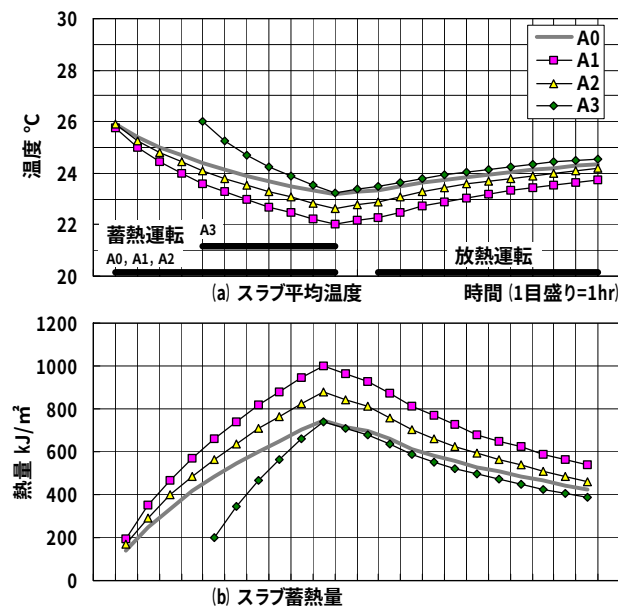


図4 A方式による比較

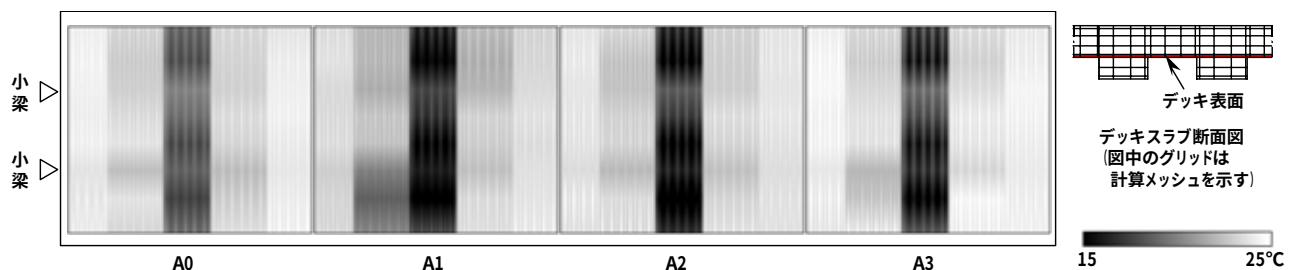


図3 A方式によるデッキ表面温度の比較 (蓄熱終了時)

図4に、各実験のスラブ平均温度とスラブ蓄熱量の比較を示す。

吹出温度のみが異なるA0とA1では、吹出温度が低く供給熱量の多いA1のほうが、蓄熱終了時のスラブ平均温度が低く、蓄熱量が多いことが分かる。蓄熱終了時の単位面積当りの蓄熱量は、A0の745kJ/m²に対して、A1は1003kJ/m²と約34%多い。

供給熱量が概ね等しく、吹出温度と吹出風量の組合せが異なるA0とA2では、吹出温度が低く風量の少ないA2のほうが、蓄熱終了時のスラブ平均温度が低く、蓄熱量が多いことが分かる。蓄熱終了時の単位面積当りの蓄熱量は、前述のA0の745kJ/m²に対して、A1は880kJ/m²と約18%多い。

供給熱量が概ね等しく、吹出温度と蓄熱時間の組合せが異なるA0とA3では、蓄熱終了時のスラブ平均温度と蓄熱量は同程度であるが、吹出温度が低く蓄熱時間の短いA3のほうが、放熱時のスラブ平均温度の上昇分が大きく、スラブ蓄熱量の減少量、すなわち放熱量が多いことが分かる。これはスラブ平均温度が同程度であっても、吹出温度の低いA3のほうが、吹付け位置でのデッキ表面温度が低いため、その箇所での還気温度との温度差が大きく、熱伝達量が多くなるためであると考えられる。

図5に、各実験の供給熱量・躯体蓄熱量・躯体放熱量および蓄熱投入熱量比率・放熱蓄熱量比率のまとめを示す。

供給熱量の最も多いA1は、蓄熱量が最も多いが、その一方で蓄熱投入熱量比率が74%と最も低いことが分かる。また、供給熱量が概ね等しいA0とA2,A3では、

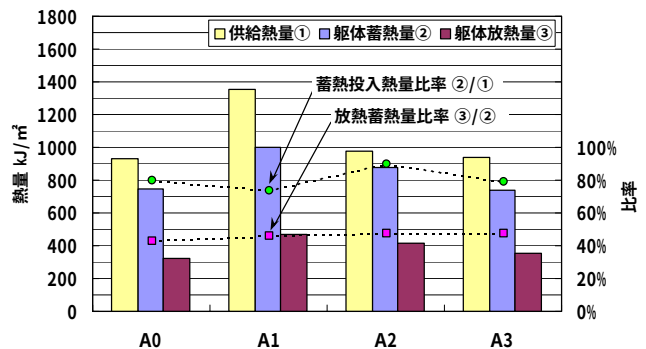


図5 実験データのまとめ

A0 の蓄熱投入熱量比率の 80%と比較して、A2 は 90%と高く、A3 は 79%と同程度であった。

放熱量は、蓄熱量の多い A1,A2 が、単位面積当たりそれぞれ 466kJ/m^2 , 417kJ/m^2 と多いが、放熱蓄熱量比率は、吹出温度を 10°C とした A1~A3 が 46~48%と同程度であり、吹出温度を 14°C とした A0 の 43%よりもやや高いことが分かる。

4.2 D 方式の比較 (実験 D0~3 の比較)

図 6 に、各実験での、躯体蓄熱終了時におけるデッキ表面温度分布の比較を示す。D 方式は、A 方式のようにデッキ表面に直接吹付けずに、天井スペース全体に吹出す方式であるため、局所的に温度の低い箇所はみられない。デッキ表面の最低温度は、吹出温度が低く風量の多い D1 で 18.7°C 、その他 D0, D2, D3 で、それぞれ 20.7°C , 19.1°C , 20.3°C であった。

図 7 に、各実験のスラブ平均温度とスラブ蓄熱量の比較を示す。

吹出温度のみが異なる D0 と D1 では、吹出温度が低く供給熱量が多い D1 のほうが、蓄熱終了時のスラブ平均温度が低く、蓄熱量が多いことが分かる。蓄熱終了時の単位面積当たりの蓄熱量は、D0 の 806kJ/m^2 に対して、

D1 は 1085kJ/m^2 と約 35%多い。

供給熱量が概ね等しく、吹出温度と吹出風量の組合せが異なる D0 と D2 では、吹出温度が低く風量の少ない D2 のほうが、蓄熱終了時のスラブ平均温度が低く、蓄熱量が多いことが分かる。蓄熱終了時の単位面積当たりの蓄熱量は、前述の D0 の 806kJ/m^2 に対して、D2 は 944kJ/m^2 と約 17%多い。

D0 と D3 では、供給熱量が概ね等しくなるように蓄熱時間を設定したが、図 5 で示すように、実際の供給熱量は D0 のほうが D3 よりも約 80kJ/m^2 多くなった。そのため、蓄熱終了時の蓄熱量は D0 のほうが多くなった。しかし、放熱時のスラブ蓄熱量の減少量、すなわち放熱量は両者で同程度であることが分かる。4.1 項で述べたように、デッキ表面に直接吹付ける A 方式において、同様の組合せである A0 と A3 では、吹出温度の低い A3 のほうが、吹付け位置のデッキ表面温度が低いため、その箇所での還気温度との温度差が大きく、熱伝達量が増加するため、放熱量が多かった。しかし、天井スペース全体に吹出し、局所的に温度の低い部分ができない D 方式では、D3 のほうが吹出温度が低くても、蓄熱時間が短いため、デッキ表面の最低温度が D0 と同程度であり、その結果、放熱量に違いがあらわれなかったと考えられる。

図 8 に、各実験の供給熱量・躯体蓄熱量・躯体放熱量および蓄熱投入熱量比率・放熱蓄熱量比率のまとめを示す。放熱終了時の単位面積当たりの放熱量は、蓄熱量の多い D1, D2 が、それぞれ 432kJ/m^2 , 382kJ/m^2 と多い。しかし、放熱蓄熱量比率は、蓄熱時の吹出温度を 10°C とした D1~D3 と、吹出温度を 14°C とした D0 で約 40%と

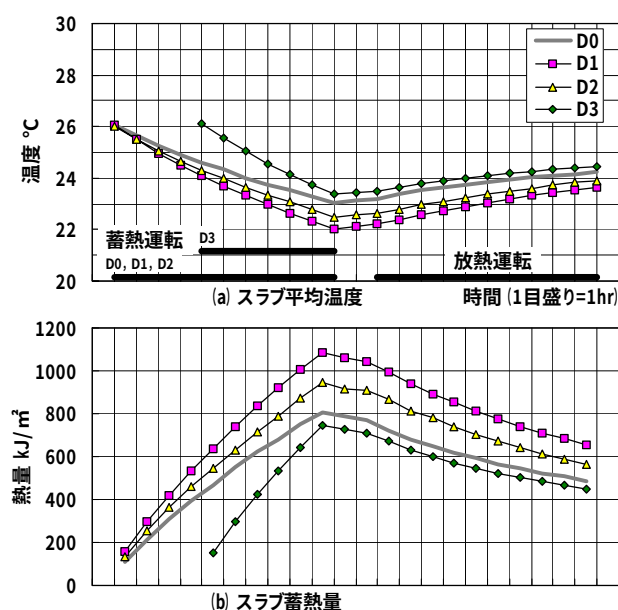


図 7 D 方式による比較

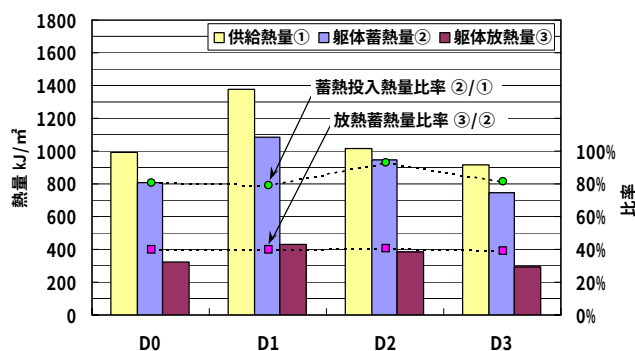


図 8 実験データのまとめ

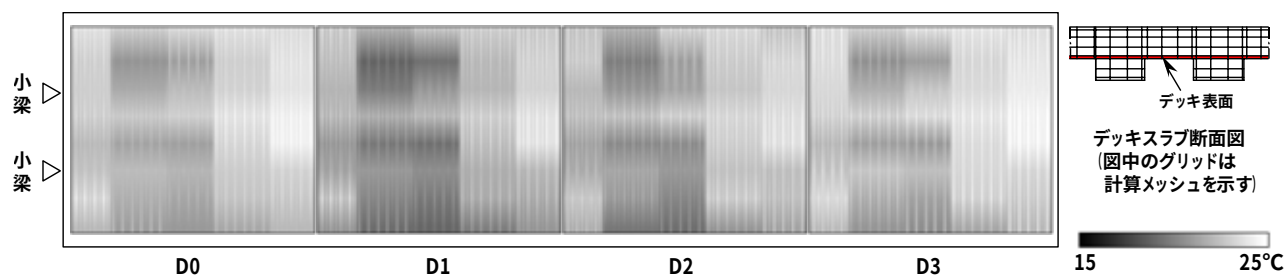


図 6 D 方式によるデッキ表面温度の比較 (蓄熱終了時)

同程度である。4.1 項で述べたように、A 方式での放熱蓄熱比率は、蓄熱時の吹出温度を 10°C とした A1～A3 で 46～48%，吹出温度を 14°C とした A0 で 40% と、吹出温度が低いほうが、放熱蓄熱比率がやや高くなったが、D 方式ではそのような違いがみられなかった。

4.3 空気吹付け方式の比較

(実験 A1, D1, A'1 の比較)

吹出温度、吹出風量、蓄熱時間を同条件として、A、D、A'方式の 3 方式の比較を行った。

図 9 に、各方式について、蓄熱終了時におけるスラブ温度分布の比較を示す。A'方式では、デッキ表面に吹付けられた空気が、デッキの溝方向に小梁を越えて拡散し、蓄熱時の吹出口の個数が同じ 3 個である A 方式よりも、温度の低い部分が広いことが分かる。

図 10 に、各方式のスラブ平均温度とスラブ蓄熱量の比較を示す。蓄熱終了時のスラブ平均温度は A'方式が最も低く、蓄熱量が最も多い。蓄熱終了時の単位面積当りの蓄熱量は、A'方式が $1254\text{kJ}/\text{m}^2$ であり、A 方式の $1003\text{kJ}/\text{m}^2$ よりも約 25%，D 方式の $1085\text{kJ}/\text{m}^2$ よりも約 16% 多い。

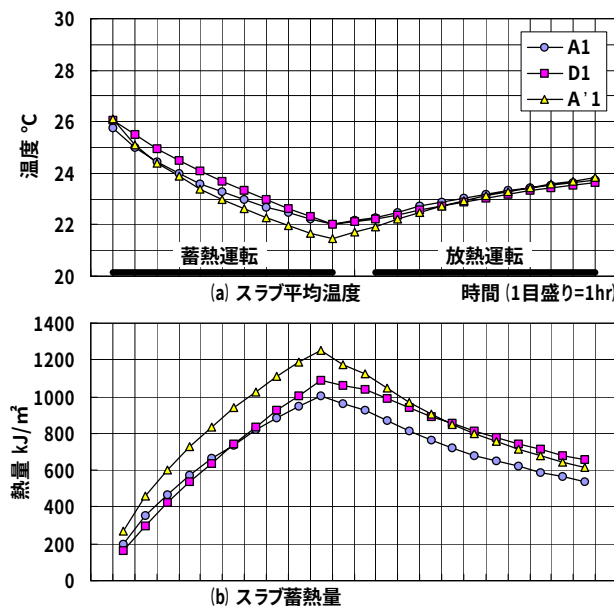


図 10 空気吹付け方式による比較

図 11 に各実験の供給熱量・躯体蓄熱量・躯体放熱量および蓄熱投入熱量比率・放熱蓄熱比率のまとめを示す。A'方式が、蓄熱投入熱量比率 88%，放熱量 $641\text{kJ}/\text{m}^2$ ，放熱蓄熱比率 51% と、すべてについて A 方式、D 方式よりも大きくなった。また、D 方式は A 方式よりも蓄熱量が多く、蓄熱投入熱量比率が高いが、その一方で、放熱量が少なく、放熱投入熱量比率が低いことが分かる。

4.4 放熱方式の比較 (実験 A'1, A'4 の比較)

これまでの検討では、放熱運転時において、天井面に 1 ヶ所設けた吸込口より還気をとっていたが、この方法では還気によるデッキ表面の風速が小さいため、表面熱伝達率が小さく、蓄熱量に比べて十分な放熱量が得られなかった。そこで、効率的な放熱方式を検討するために、蓄熱量が最も多い A'方式について、§3 で述べた従来放熱方式と放熱促進方式の比較を行った。

図 12 に、スラブ平均温度とスラブ蓄熱量の比較を示す。従来放熱方式と放熱促進方式では、放熱時のスラブ平均温度の上昇分が同程度で、スラブ蓄熱量の減少分、すなわち放熱量が同程度であることが分かる。これは、放熱促進方式において、天井面の隙間 (照明器具との取合い部分等) が影響し、吸込口からの還気の吹出風速が、蓄熱時の吹出風速と比較して小さいため、デッキ表面風速の大きい、すなわち表面熱伝達率の大きい範囲が比較的小さいことと、コンクリート内部の熱伝達の速度が遅いことによると考えられる。

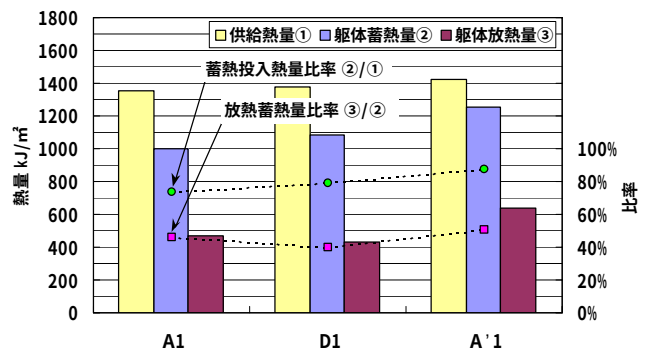


図 11 実験データのまとめ

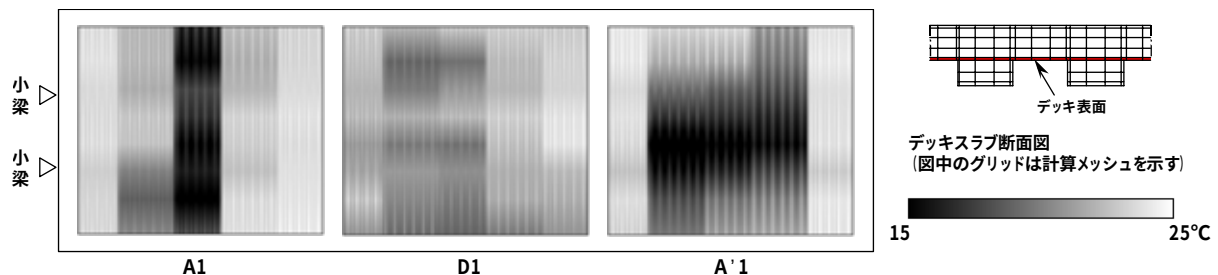


図 9 空気吹付け方式によるデッキ表面温度の比較 (蓄熱終了時)

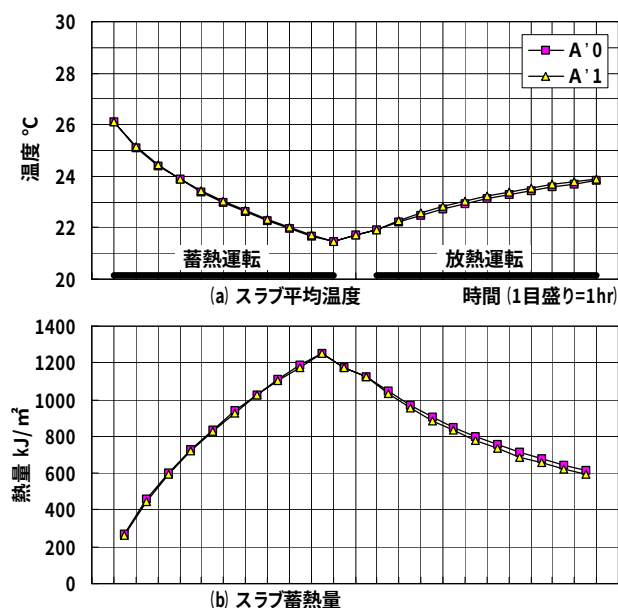


図 12 A'方式による比較

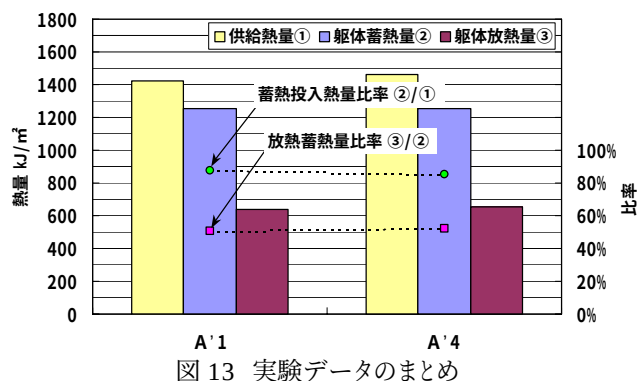


図 13 実験データのまとめ

図 13 に各実験の供給熱量・躯体蓄熱量・躯体放熱量および蓄熱投入熱量比率・放熱蓄熱量比率のまとめを示す。単位面積当りの放熱量と放熱蓄熱量比率は、A'1 が 641kJ/m^2 、51%、A'4 が 658kJ/m^2 、53%と同程度であることが分かる。

§5. まとめ

実物大部分モデルの実験装置を用いて、吹出温度・吹出風量・蓄熱時間および空気吹付け方式・放熱方式の違いについての実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 蓄熱時の吹出温度を低くすると、蓄熱量、放熱量とも多くなるが、蓄熱投入熱量比率が小さくなる。
- (2) 蓄熱時の供給熱量が概ね等しい場合、吹出温度と風量、蓄熱時間の組合せにより、蓄熱量・放熱量および蓄熱投入熱量比率・放熱投入熱量比率が異なる。
- (3) (1)と(2)は、A 方式 (小梁で 3 つに区切られたスラブ面に 1 ヶ所ずつ吹付ける方式) と、D 方式 (天井スペース

全体に吹出す方式) の両方に共通でみられた。ただし、蓄熱時の吹出温度が 10°C と 14°C の場合の放熱蓄熱量比率は、A 方式では 10°C のほうが高いが、D 方式では同程度であるという違いがみられた。

- (4) A'方式 (小梁で 3 つに区切られた中央のスラブ面に 3 個の吹出口を設置し、デッキスラブと小梁の隙間を埋めずに、空気が流通できるようにした方式) では、A 方式、D 方式と比較して、蓄熱量、放熱量が多くなり、蓄熱投入熱量比率、放熱蓄熱量比率も高くなる。
- (5) A'方式において、蓄熱時の吹出口と放熱運転時の吸込口を同じ位置にした放熱促進方式では、天井面に 1 ヶ所の吸込口を設けた従来放熱方式と、放熱量が同程度である。

参考文献

- 1) 鈴木浩史, 今川望, 成田樹昭, 田中幸彦, 杉野信一: 商業施設における躯体蓄熱式空調システムに関する基礎的研究, フジタ技術研究報告第 38 号, 2002
- 2) 鈴木浩史, 佐藤隆満, 成田樹昭, 田中幸彦, 杉野信一: 商業施設における躯体蓄熱式空調システムに関する基礎的研究 (その 1,3,5), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2001~2003
- 3) 鈴木浩史, 成田樹昭, 田中幸彦, 杉野信一: 商業施設における躯体蓄熱式空調システムに関する基礎的研究 (その 2,4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002~2003



鈴木浩史

ひとこと

2 年間の研究によって躯体の蓄放熱特性をよく把握することができました。この研究成果がベースとなって、躯体蓄熱が実物件に適用され、実測による効果確認ができれば幸いです。