

# ZEB を目指した超高層オフィスの天井放射空調システムの冷却能力検証

伊藤 清 川島 実 鈴木 道哉 荒井 義人 高橋 満博 村上 宏次 野部 達夫  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (設計本部) (設計本部) (環境・技術ソリューション本部) (工科大学)

## Study on Cooling Performance of a Ceiling Radiant Cooling System in High Rise Office Building Aimed at Achieving ZEB

by Sei Ito, Minoru Kawashima, Michiya Suzuki, Yoshito Arai, Mitsuhiro Takahashi, Koji Murakami and Tatsuo Nobe

### Abstract

The ceiling radiant cooling system is one of the most effective technologies for achieving net zero energy building. Ceiling radiant cooling system is energy conservation technology which can yield high efficiency, since it uses moderately cold water and does not require energy to propel a fan for removing the cooling load. However, because there are few examples that ceiling radiant cooling system was constructed in Japan, there are few data about cooling performance of the system. For this reason, it is important to determine the cooling performance of ceiling radiant panel. On the other hand, a ceiling radiant panel has limited cooling performance, so it is necessary to consider a special system for removing the perimeter load. This paper presents the results of a study on the cooling performance of ceiling radiant cooling system that the authors have developed. The system comprises a ceiling radiant panel and HVAC system for removing the perimeter-cooling load. The paper describes the system's effectiveness in removing the cooling load in an actual building.

### 概要

nZEB (net Zero Energy Building)の実現のために、天井放射空調は有効な技術の一つである。天井放射空調は搬送動力が削減できること、熱源の高効率運転が可能になること等が寄与して、高い省エネルギー性能を有する。但し、日本において適用例が少ないため、空調の性能に関して十分なデータがなく、天井放射空調を構成する放射天井パネルの能力を正確に把握することが課題であった。また、放射天井パネルの能力に限りがあることから、建築外皮負荷(ペリメータ負荷)の処理に関して天井放射空調に適した方式を考えなければならない。そこで本報では放射天井パネルの能力把握及びペリメータ負荷への対応について検討を行った結果について示す。まず、想定システムを再現した実験を行い、処理能力の確認結果を示す。次に実際の建物に適用した際に予想した能力が確保できていることを検証した結果を示す。

### §1.はじめに

nZEB (net Zero Energy Building)の実現のために、天井放射空調は有効な技術の一つである。放射天井パネルを用いた天井放射空調の特徴として、①空気搬送動力が少なく済むこと、②冷水温度が高くても負荷処理が出来るので、熱源が高い効率で運転が可能となること、③更にフリークーリングなどの自然エネルギー利用と親和性が高いこと、④放射環境を制御するので、ドラフト感が少ないこと、⑤室内温度分布が小さいこと、があげられ、省エネルギー性と快適性の両面で優れた空調システムである。しかし、天井放射空

調はいまだに我が国において適用実績が少なく、今後の普及と展開に向けて、天井放射空調の設計手法の確立が急務である。

天井放射空調システムを実際の建物へ適用するにあたって三つの課題がある。一つ目の課題は、放射天井パネルの冷却能力について正確に把握することである。これは天井放射空調の適用例が少ない我が国において空調システムとして構成する際に必要な放射天井パネルの冷却能力に関してのデータが少ないためである。

二つ目の課題は、窓周りの負荷(ペリメータ負荷)のための処理方式の選定である。放射天井パネルの結露防止のために冷水温度が従来の対流式空調方式と比べ

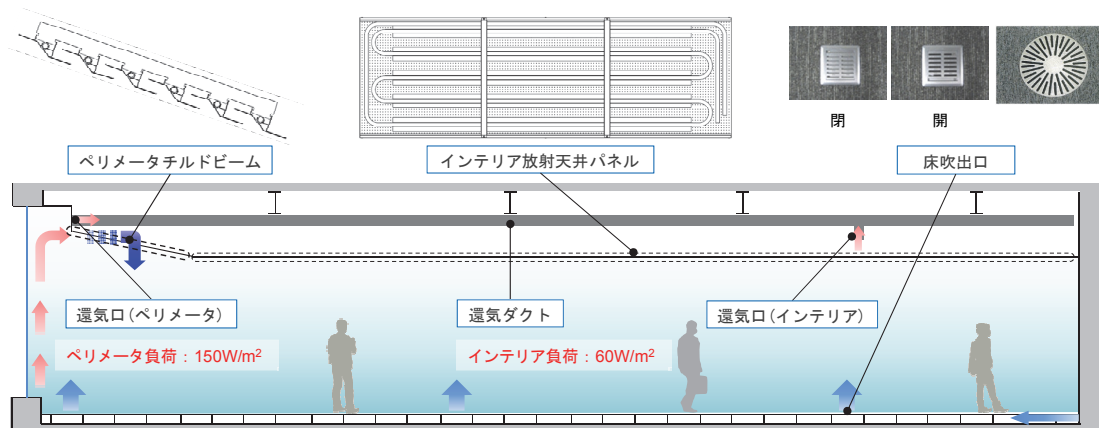


図-1 検討対象システム

下限値が高い(16°C程度)ため放射天井パネルの冷却能力は限られており、高い熱負荷となるペリメータ負荷への対応にはペリメータ負荷処理設備の追加が必要となる。

三つ目の課題は、放射天井パネル、ペリメータ負荷処理設備、外気処理システムが相互の干渉なく、効率的に負荷を処理するように、天井放射空調を空調システムとして構築することである。例えば、放射天井パネル及びペリメータ負荷処理設備と外気処理システムとのショートサーキット防止策が求められる。

上記の課題を踏まえ、以下の三つの項目を実施した。

① インテリアパネル冷却能力把握実験

放射天井パネルの単体の冷却能力及び給気・還気条件の違いによる冷却能力への影響を把握する。

② インテリア・ペリメータ負荷処理確認実験

ペリメータ負荷処理設備として、筆者らは新たにペリメータチルドビーム(以下、チルドビーム)を開発した。チルドビームと放射天井パネルの同時運転時に想定した負荷を適正に処理していることを確認する。

③ 天井放射空調システム運用実績データ分析

天井放射空調システムを実建物適用時にそれぞれの機器が適正に負荷を処理していることを確認するため、システム運用時の実測及びその分析を行う。

## §2. 研究対象システム

本論で扱う空調システム(以下、本システム)を図-1に示す。インテリアにおける機器発熱・人体顕熱負荷はインテリア放射天井パネル(以下、インテリアパネル)で処理する。

ペリメータにおける窓・外壁からのペリメータ負荷はチルドビームで処理する。インテリアにおける天井放射空調の利点を損なわずに、ペリメータ負荷を処理するため、インテリアパネルに供給される同じ熱源からの冷水を供給し、フィン形状とし、空気との接触面積を大きくすることで自然対流を促進させ、冷却能力

をインテリアパネルより向上させている。ファンを問わずに自然対流を効果的に用いることでドラフト感を抑えることが出来る。

外気を供給するための外気処理システムは潜熱負荷処理のみを最低限行い、給気温度は室温と同等とし、外気処理システムによる顕熱処理を最低限に抑えている。潜熱負荷処理された外気は床吹出口から供給される。還気方式は、インテリアにおいては天井裏に還気口を設けた天井レタンチャンバー方式としている。ペリメータにおいては、ブラインドボックスに換気口を設けて、窓面に日射が入射することによって発生する熱気を吸い込む方式としている。

## §3. 放射天井パネル冷却能力確認実験

本システム構築時のインテリアパネルの冷却能力の確認、インテリアパネル及びチルドビームが運転した時の負荷処理状況の確認を目的とした実験を行った。

### 3.1 実験室仕様

実験室は図-2に示すように事務所仕様の内装を施した約66m<sup>2</sup>の試験室と全面ガラス窓によって区画された外気室で構成される。試験室に対し所定の負荷を与えることで、試験室の空調システムの評価ができ、ペリメータ負荷は外気室内の日射を模擬したハロゲン灯(太陽灯)の出力を調整することで与えられる。

試験室内の天井には、インテリア部はインテリアパネル(図-3)、ペリメータ部はチルドビーム(図-4)が設置されている。図-2の点線太枠に示されるように放射パネルは1系統当り複数枚連結され、矢印に示すように冷水を送水する。チルドビームは1系統当り複数枚数連結され、インテリアパネルと同様に矢印に示すように冷水を送水する。図-5に示すように、パネルに送水される冷水はインテリア系統、ペリメータ系統それぞれで流量と送水温度が設定可能である。

床はOAフロアとし、その床面にはインテリア部は

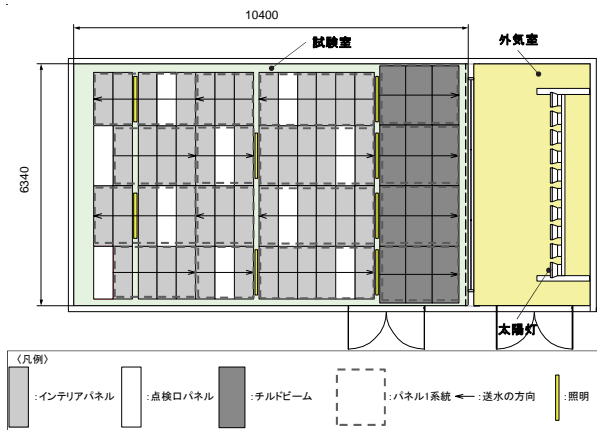


図-2 実験室平面図

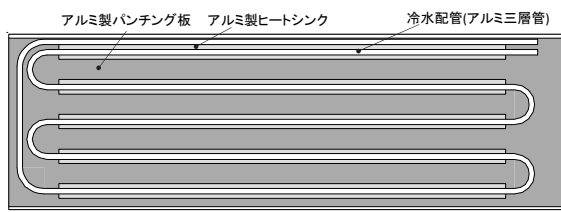


図-3 インテリアパネル(天井裏側、実験時)

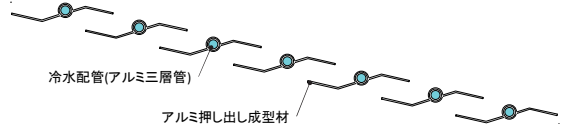


図-4 チルドビーム(断面、実験時)

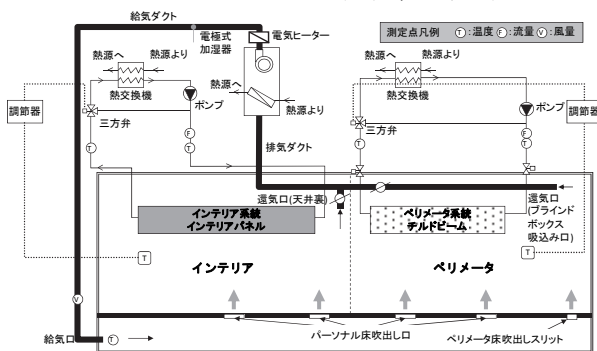


図-5 実験設備システム及び測定点

パーソナル吹出し口、ペリメータ部にはライン状吹出し口による床吹出し空調とし、給気温度と風量の設定の変更が可能である。還気方式は、インテリアパネル冷却能力確認実験の時はインテリア天井裏に設けた還気口(天井レタンチャンバー方式)とインテリア・ペリメータ負荷処理確認時はブラインドボックスに設けた開口部の還気口(ブラインドボックス吸込み口)を用いた。

### 3.2 測定方法

表-1に測定項目を示す。実験設備システム及び実験室各所に測定機器を配置し、温度、風速、日射負荷を測定した。

図-5に実験設備システムと、その設備機器周りの測定点を示す。放射パネルの送水・還水温度と送水流量、空調機の給気・還気温度及びダクト内風速等を計

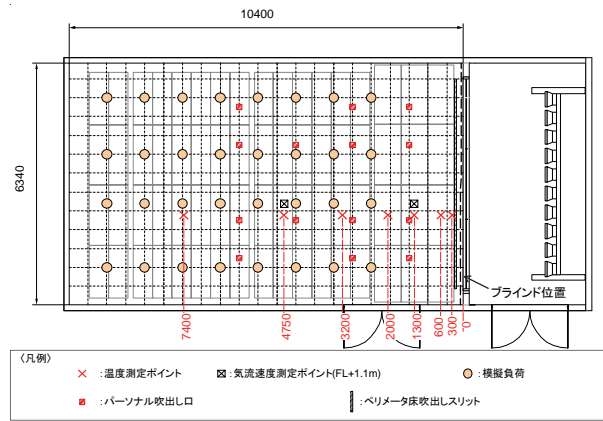


図-6 模擬負荷・床吹き出し口配置平面図

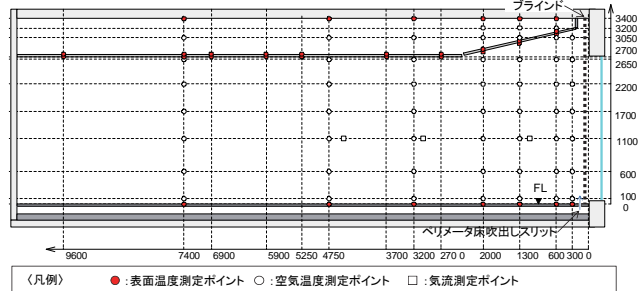


図-7 温度・気流測定点配置断面図

表-1 測定項目

測定項目	測定機器	測定点
送水温度	T型熱電対(シーズ型)	各系統往還：4
送水流量	電磁流量計	各系統：2
表面温度	T型熱電対 (0.32mmφ単線)	放射天井パネル：20 チルドビーム：6 壁面・床面：34 ガラス面：12
空気温度	T型熱電対 (0.2mmφ7本燃線)	環境試験室内：55 外気室内：6 環境試験室周囲：6 ダクト内：7
風速	熱線風速計	環境試験室内：2 ダクト内：7
日射負荷	放射収支計	ガラス-ブラインド間：1点

測し、放射パネル及び空調機での処理熱量を算出する。

図-6に模擬負荷、床吹出口の配置を示す。照明発熱は実際の照明により与え、機器発熱はアルミニウムカバーにより覆われた電球により模擬した。発熱量は電圧調節器により調整し、電力量計により測定した。

図-7に温度・気流の測定点の配置を示す。温度測定点により、室内の空気温度分布、インテリアパネル表面温度分布を計測した。その他、試験室の外部の温度、放射収支計によって太陽灯の放射熱量を測定し、実験室外部からの熱授受を算出した。

### 3.3 実験条件

表-2に実験条件を示す。

#### 3.3.1 インテリアパネル冷却能力確認実験

照明負荷と設備機器運転条件を固定として、室温を

表-2 実験条件及び実験パターン

実験目的	No.	室内発熱負荷			ペリメータ 負荷	室温 インテリア 代表点	インテリアパネル運転条件		チルドビーム運転条件		空調機運転条件		
		総計	内訳				送水 温度	流量※3	送水 温度	流量※4	給気 温度	風量	還気口 位置
			照明発熱※1	機器発熱※2									
①インテリア パネル 冷却能力 確認	1.	2279 W	6 W/m <sup>2</sup>	36 W/m <sup>2</sup>	-	26°C	16°C	0.3 L/min m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
	2.	2657 W	6 W/m <sup>2</sup>	44 W/m <sup>2</sup>	-	26°C	16°C	0.6 L/min m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
	3.	2826 W	6 W/m <sup>2</sup>	47 W/m <sup>2</sup>	-	26°C	16°C	0.9 L/min m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
	4.	1992 W	6 W/m <sup>2</sup>	31 W/m <sup>2</sup>	-	26°C	16°C	0.3 L/min m <sup>2</sup>	-	-	26°C	660CMH	インテリア 天井裏
	5.	2166 W	6 W/m <sup>2</sup>	34 W/m <sup>2</sup>	-	26°C	16°C	0.6 L/min m <sup>2</sup>	-	-	26°C	660CMH	インテリア 天井裏
	6.	2290 W	6 W/m <sup>2</sup>	37 W/m <sup>2</sup>	-	26°C	16°C	0.9 L/min m <sup>2</sup>	-	-	26°C	660CMH	インテリア 天井裏
②インテリア・ ペリメータ 負荷処理確認	7.	3080 W	6 W/m <sup>2</sup>	53 W/m <sup>2</sup>	2870W	26.5°C	16°C	0.6 L/min m <sup>2</sup>	16°C	1.5 L/min m <sup>2</sup>	26°C	920CMH	ブラインド ボックス
	8.	3127 W	6 W/m <sup>2</sup>	54 W/m <sup>2</sup>	2840W	25.5°C	16°C	0.6 L/min m <sup>2</sup>	16°C	1.5 L/min m <sup>2</sup>	23°C	920CMH	ブラインド ボックス

※1: 照明負荷は室内全体(インテリア部: 51m<sup>2</sup>, ペリメータ部: 15m<sup>2</sup>)での密度 ※2: 室内発熱負荷はインテリア部(51m<sup>2</sup>)での密度 ※3: インテリアパネルの総面積(35m<sup>2</sup>)当りの流量

※4: チルドビームの総面積(13m<sup>2</sup>)当りの流量

26°Cとなるように機器発熱を調整した。表-2に示す室内発熱量は調整した結果である。実験パターンはNo. 1 ~6を設定した。給気無(No. 1~3)と給気有(No. 4~6)の比較することで給気の有無の冷却能力への影響を把握する。給気無と給気有のパターンでそれぞれ送水温度の平均値の冷却能力への影響の把握のために流量を3パターン(0.3、0.6、0.9 L/min・m<sup>2</sup>)を設定した。給気有の時の還気方式は天井レタンチャンバー方式とした。

### 3.3.2 インテリア・ペリメータ負荷処理確認実験

室内発熱負荷条件(60 W/m<sup>2</sup>)、外部負荷条件(夏期ピーク条件(西面鉛直面日射量: 420W/m<sup>2</sup>、外気温度: 32°C))と設備機器運転条件を固定とし、室内温度分布と各設備機器の処理熱量を確認した。給気温度を26°C(No.7)、23°C(No.8)の2パターンを設定し、給気温度の違いによる各機器の処理熱量の内訳への影響を見た。還気はブラインドボックスの還気口によって行い、給気風量は920CMHに設定した。

## 3.4 実験結果

### 3.4.1 インテリアパネル冷却能力確認実験

#### (1) 鉛直温度分布

図-8に送水流量0.6L/min・m<sup>2</sup>、床吹き出し口からの給気無と給気有の場合の鉛直空気温度を示す(No. 2、5)。室温が定常となった時点での測定値を実験結果として示す(以下、他の実験結果についても同様とする)。居室側(FL+0.1~2.65m)では上下の温度差が小さく(いずれの場合も0.5°C以内)、平面的にも温度分布が小さい。窓から2mの位置での天井裏(FL+2.7~3.4m)で、給気無では室温に比べて2.5°C程度の低下がみられるが、給気有では見られない。給気有では還気がチルドビームの隙間を通過するため、ほぼ居室の空気温度となっているが、給気無ではインテリアパネルにより冷却された天井裏の空気がチルドビーム部の隙間から下降していると推測される。

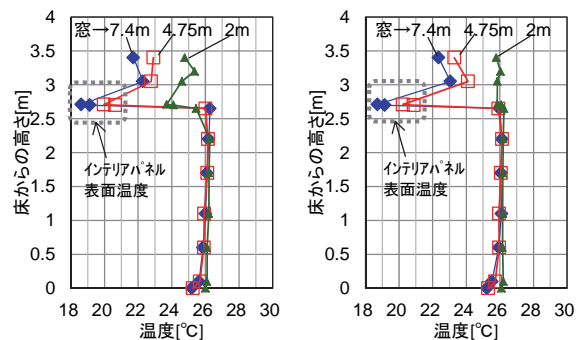


図-8 流量0.6L/min・m<sup>2</sup>時鉛直温度分布  
(左: No. 2(給気無)、右: No. 5(給気有))

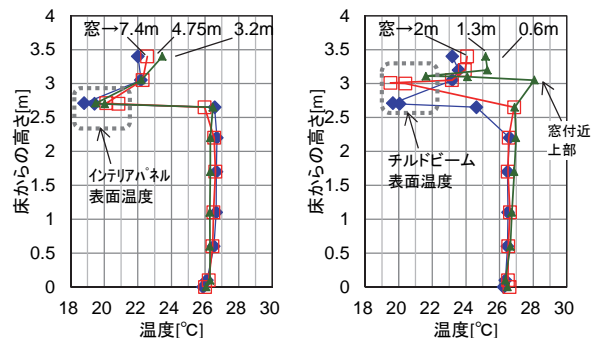


図-9 インテリア・ペリメータ同時運転時(26°C給気)  
鉛直温度分布(左: インテリア、右: ペリメータ)

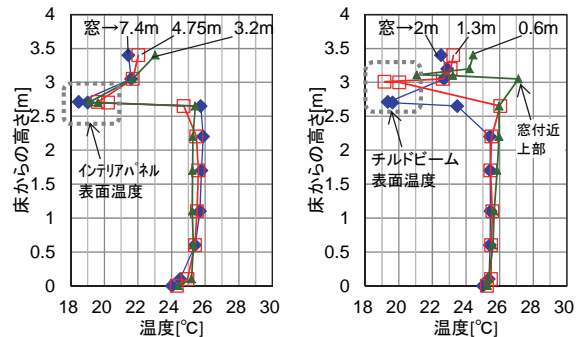


図-10 インテリア・ペリメータ同時運転時(23°C給気)  
鉛直温度分布(左: インテリア、右: ペリメータ)

#### (2) 冷却能力

インテリアパネルの処理熱量を縦軸に、室温と送水温度の平均値(往還冷水温度の平均)を横軸にプロット

した散布図を図-12に示す。このような線図により冷水温度・室温と処理熱量の関係を把握することができる。これにより後述するチルドビーム等の異種の放射天井パネルとの能力の比較が行える。

インテリアパネルについては給気有と無でそれぞれ流量条件において処理熱量が概ね一次関数上の上のっている。回帰式から処理能力を比較すると給気有が無に比べて6%程度、除去熱量が大きいことが示されている。給気有としたことでインテリアパネルの表面の対流熱伝達が促進されたことが起因してこのようになったと考えられる。

### 3.4.2 インテリア・ペリメータ負荷処理確認実験

#### (1) 鉛直温度分布

図-9、10に給気温度26°C、23°Cの時の鉛直空気温度分布を示す。各測定結果ともにインテリア部（窓から3.2~7.4m）とペリメータ部（窓から0.6~2m）の温度差が見られない。また、窓から0.6mにおいて窓付近上部（FL+3m）では、日射の影響で居住域よりも1.5°C高くなっていると考えられるが、窓付近上部以下では、その他の測定点とほぼ等しくなっている。これはチルドビームとペリメータ床吹出しスリットの効果によるものと考えられる。

給気温度26°Cの時よりも23°Cの時は、給気温度を低くすることで負荷処理された結果、室温が約1.0°C低く、これに伴い、パネルの表面温度も約0.5°C低い。

#### (2) 各機器の処理熱量

図-11にNo. 7: 26°C給気、No. 8: 23°C給気の負荷と各設備機器の処理熱量の熱収支を示す。冷房負荷に対する除去熱量の割合は26°C給気で94%、23°C給気で104%となっており、ほぼ熱収支のバランスがとれていると推定される。ペリメータ負荷に対するチルドビームの除去熱量の割合は、26°C給気で64%、23°C給気で58%となっており、その残りが空調機により処理されていると考えられる。26°C給気でも空調機処理熱量が大きいのは、ブラインドボックス吸込み口により日射からの熱気を効果的に処理していることが寄与していると考えられ、両パターン共にペリメータ負荷は、空調機とチルドビームの併用により処理している。この結果より、各機器が相互の干渉なく負荷を処理していることが分かり、ショートサーキットは起きていないことが推察される。

#### (3) インテリアパネル・チルドビーム冷却能力

インテリアパネルとチルドビームが同時に運転した時のインテリアパネルの処理熱量はインテリアパネルのみを運転した給気無の値に近い。これは換気口の位置をブラインドボックス吸込口としており、給気とインテリアパネルとの対流熱交換が小さいためであるとされる。

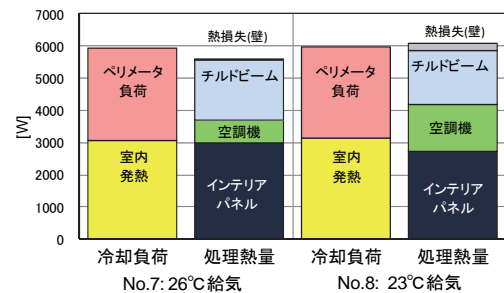


図-11 各機器熱収支計算結果  
(インテリアパネル-チルドビーム同時運転時)

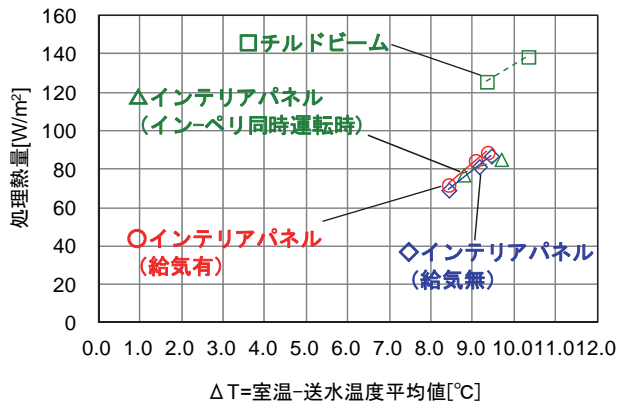


図-12 インテリアパネル・チルドビーム冷却能力

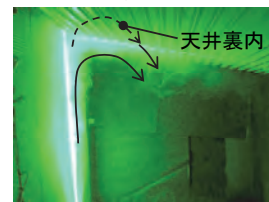


図-13 チルドビーム 気流可視化実験画像

チルドビームの処理熱量については室温と送水温度平均値の差(X軸の値)が9°Cで、実験結果から外挿により算出すると121W/m<sup>2</sup>となる。これに対し、インテリアパネルの処理熱量が80~84W/m<sup>2</sup>となっており、チルドビームの方がインテリアパネルよりも約1.5倍処理熱量が大きいことが分かる。実験室にて行った気流可視化実験時の画像(図-13)で示すようにフィン形状にすることで自然対流を促進させたことの効果が表れているものと考えられる。

## §4. 天井放射空調システム運用実績データ分析

上記の検討を踏まえ本システムが実建物に適用された。本章では実建物における本システムの実績データの分析を示す。まず、インテリアパネル及びチルドビームの運転状況の確認を行い、熱負荷を適正に処理しているかどうかの確認を行った。更に実験により得られたインテリアパネル及びチルドビームの冷却能力と実績データを比較して、想定通りの冷却能力が発揮されていることを確認した。

## 4.1 実測対象放射空調システム概要

### 4.1.1 水搬送システム構成

放射天井パネルへの水搬送システムは、各階にインテリア系統とペリメータ系統の熱交換器及びポンプを設置した各階ポンプ方式を採用している。これにより、各階のインテリア及びペリメータの送水温度を室内の負荷状況に合わせて変更することが可能となる。

図-14 にシステム系統図を示す。インテリア系統においては、年間を通じて冷房負荷となるため、冷水専用熱交換器を設置している。ペリメータ系統においては、冷房または暖房を行うため、冷水/温水切替型熱交換器を設置している。

### 4.1.2 インテリアゾーンの構成・制御方式

図-15 に放射空調の制御ゾーニングを示す。インテリアの制御単位は約 80 m<sup>2</sup> で 1 フロア当り 12 ゾーンとなっており、図-1 に示すインテリアパネルをシステム天井形式で配置している。インテリアパネルは 5 枚を 1 システムとし各々が直列で接続されている。制御方式に関しては、天井に設置された空気温度センサーによる 2 方弁制御により、流量を調整している。

### 4.1.3 ペリメータゾーンの構成・制御方式

ペリメータの制御単位は方位毎に約 50 m<sup>2</sup> で 1 フロア当たり 10 ゾーンとなっており、図-1 に示すチルドビームを傾斜天井形式で配置している。

チルドビームは実建物への適用時に形状の変更を行っており、変更点としてはフィンの向きである(図-16)。窓部の日射による熱気はチルドビームの表面を沿う形で移動することが分かっており(図-13)、更に熱交換を促進するためにチルドビームフィンの向きを窓際からの熱気に沿う形とした。そのほか、配管とフィンの固定方法も変更した。

ペリメータゾーンの構成を図-17 に示す。チルドビームは 3 枚で構成されており、窓側の 2 枚はペリメータ系統の熱交換器から冷温水が供給され、季節に合わせて冷房/暖房の切替えを行う。インテリア側の 1 枚はインテリア熱交換器から年間冷水が供給される。よって、夏期においては、冷水+冷水で冷房を行い、中間期、冬期は冷水+温水とすることで、4 管式の制御で制御ゾーン毎に冷房/暖房を切替えることが可能となっている。制御方式に関しては、インテリアゾーンと同様、天井設置の空気温度センサーによる 2 方弁制御により、流量を調整しているが、窓面の放射温度により、空気温度の設定値を補正することでペリメータ負荷の変動に即応するように意図している。

## 4.2 実測方法

本項における分析は BEMS データを利用した評価を基本としているが、表-3 に示すように室内空気温

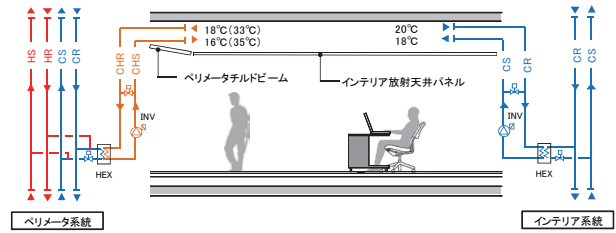


図-14 水搬送システム

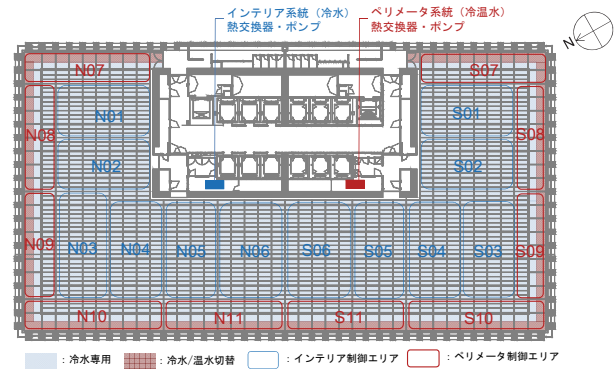


図-15 制御ゾーニング

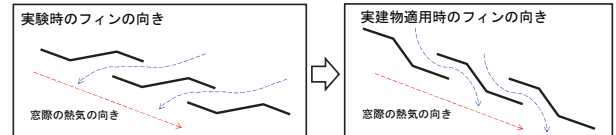


図-16 チルドビームフィンの向きの変更

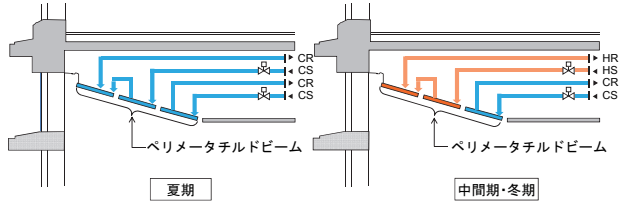


図-17 ペリメータゾーン構成

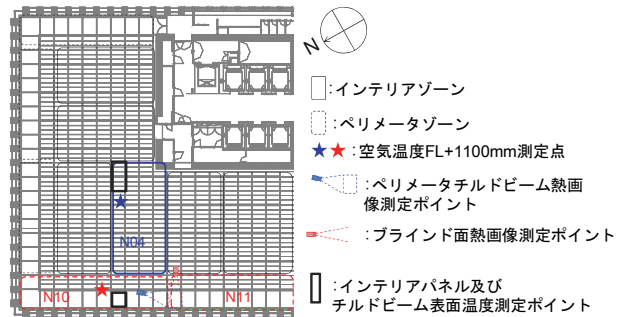


図-18 測定点配置図

度、表面温度に関しては追加測定ポイントとして加え、インテリアではN04ゾーン、ペリメータではN10ゾーン、N11ゾーンを対象に測定した。パネル表面温度はインテリアパネルについては直列で接続された5枚に対し各1点、ペリメータチルドビームについては窓側の2枚に対し各1点測定した。これらの測定期間は2012年7月23日~8月5日である。なお、これらの測定期間中の室内温度の設定値は28.0°C、往送水温度の設定値はインテリア系統は18.0°C、ペリメータ系統は16.0°Cであった。

### 4.3 実測結果

#### 4.3.1 インテリアパネル表面温度経時変化

図-19 にインテリアゾーンでのパネル表面温度、室温、往冷水温度の経時変化を示す。立ち上り直後から往冷水温度はやや不安定な挙動をしているが、その後安定した状態を保っている。

運転開始時には立ち上り前に制御センサー値が設定温度 28°Cを上回っていた影響でバルブの開度(図-21 N04 参照)が大きくなり、若干の温度低下が見られるが、9:00 以降の制御は比較的安定している。

パネルの表面温度はパネルの送水の順番に高くなっている。①と②の表面温度差が大きくなっているが、②以降は温度差が小さくなっている。

#### 4.3.2 チルドビーム表面温度分布経時変化

図-20 にペリメータゾーンでのチルドビーム表面温度、室温、往冷水温度、西面鉛直面日射量の経時変化を示す。インテリアゾーンと同様、立ち上り直後から往冷水温度はやや不安定な挙動を示しているが、その後は概ね安定した状態を保っている。

立ち上り時の表面温度が 20.0°Cまで低下しており、インテリアパネルよりも低いが、これは往冷水温度がインテリアは 18.0°Cに対して 16.0°Cとしているためと考えられる。

測定の対象としたゾーンは西外壁面に面しているが、直達日射が窓部に入射しない 14:00 までは立ち上り時を除けば表面温度の最低値は 23.5°C程度であるが、西面の負荷が大きくなる 14:00 以降に表面温度が低下し、22.8°C程度まで低下している。このことより、負荷に応じて表面温度が変化していることが分かる。

日射の影響が小さくなる 18:00 付近において表面温度が低下している(図-20)が、室温の低下に伴いバルブの開度は絞られ、負荷の減に制御が応答していること(図-21、N10、N11)が確認できる。流量を絞ってもチルドビームの配管内の冷水の熱容量の影響で、急激には表面温度及び室温が高くないことを示している。

#### 4.3.3 インテリアパネル処理熱量経時変化

検証階(18F)におけるインテリアゾーン及びペリメータゾーンのそれぞれの合算処理熱量から敷設面積当たりの処理熱量を算出した。

図-22 にパネル敷設面積当たりのインテリアパネルの処理熱量、インテリア機器発熱負荷(照明とコンセントの合計)を示す。インテリアゾーンの処理熱量は立ち上り時及び 14:00 ~ 16:00 付近を除き約 24.0 W/m<sup>2</sup>程度でほぼ一定で推移している。インテリア機器発熱負荷に関しては 20W/m<sup>2</sup>前後で推移しており、ほぼインテリアの発熱がインテリアパネルにより処理されていることが分かる。処理熱量とインテリア機器発熱負荷

表-3 測定ポイント

測定項目	測定種別・機器	測定点数
往冷水温度	BEMS	インテリア×1、ペリメータ×1
還冷水温度	BEMS	インテリア×1、ペリメータ×1
送水流量	BEMS	インテリア×1、ペリメータ×1
インテリア機器発熱	BEMS	照明×1、コンセント×1
日射量	BEMS	鉛直面×4(東西南北) 水平面×1
室内空気温度	BEMS	インテリア×1、ペリメータ×1
	ハイグロクロン	インテリア×1、ペリメータ×1
パネル表面温度	おんどとり	インテリア×5、ペリメータ×2
表面温度分布	サーモカメラ TVS200EX	鉛直面×4、窓面×1

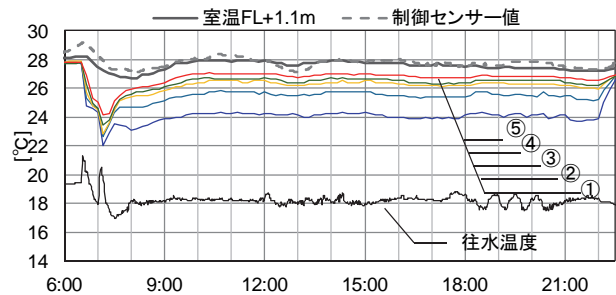


図-19 インテリアゾーンにおけるインテリアパネル表面温度経時変化(上流から下流へ①～⑤の順番で送水)

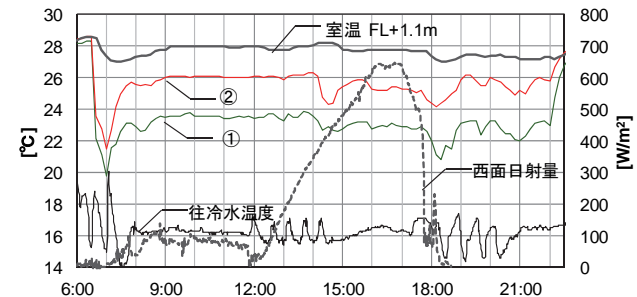


図-20 ペリメータゾーンにおけるチルドビーム表面温度経時変化(上流から下流へ①②の順番で送水)

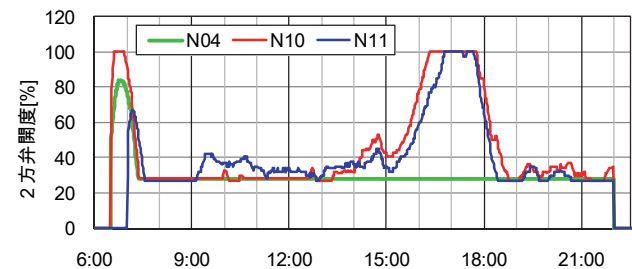


図-21 検証対象ゾーン2 方弁開度

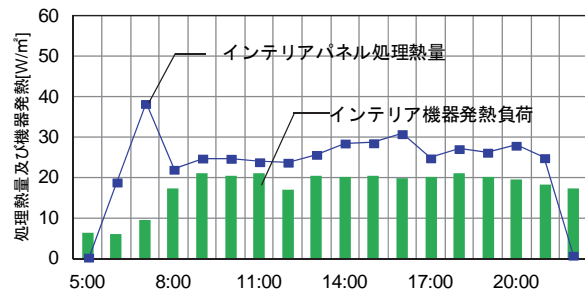


図-22 インテリアパネル処理熱量経時変化

の差が若干あるが、これは人体発熱、インテリアパネルによる上階スラブへの吸熱、ペリメータ負荷の影響が考えられる。

#### 4.3.4 チルドビーム処理熱量経時変化

図-23に敷設面積当たりのチルドビームの処理熱量、西及び東面の鉛直面日射量を示す。9:00と16:00でピークが表れており、日射量のピークがそれぞれ東面において9:00、西面において17:00で多少の時間のズレはあるが、ペリメータ負荷の変動にตอบสนองしていることが示されている。

#### 4.3.5 能力検証結果

図-24にBEMSより得られたインテリアパネル及びチルドビームの処理熱量を縦軸に、室温と送水温度の平均値(往還冷水温度の平均)を横軸にプロットした散布図を示す。3章で述べた実験室での能力測定結果も併記している。ここでプロットした実績データは2012年7月30日~8月10日の期間内でパネルの流量、往還冷水温度が1時間程度一定で、定常と判断できるデータを選定した。

インテリアパネルについては環境試験室内でのデータから得られた回帰直線上に実績値が一致している。チルドビームについては実験値よりも実績データの方が大きい傾向が表れており、窓際からの熱気の向きに沿わせたフィンの向きに変更することでさらに自然対流が促進した効果とフィンと配管の固定方法の変更した効果が表れていると考えられる。インテリアパネルと比較すると $8^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 10^{\circ}\text{C}$ の範囲において同じ面積で1.5倍程度冷却能力が高いことが示されている。

### §5.まとめ

天井放射空調システムの設計手法の確立に向けて、実験及び実測による天井放射空調システムの冷却能力に関する検証を行った。一連の検証により、本システムが想定通りの冷却能力が出ていることが示された。以下、得られた知見を示す。

#### <参考文献>

- 1) 伊藤 清、荒井義人、鈴木道哉、村上宏次、高橋満博、野部達夫：天井放射空調システムの検討 その3 対流促進型放射パネルを設けたシステムの検討、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集、2011
- 2) 伊藤 清、荒井義人、高橋満博、村上宏次、川島実、野部達夫：ZEBを目指した都市型超高層オフィスビルの研究 (第2報)放射空調の計画概要及び能力実測、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集、2013

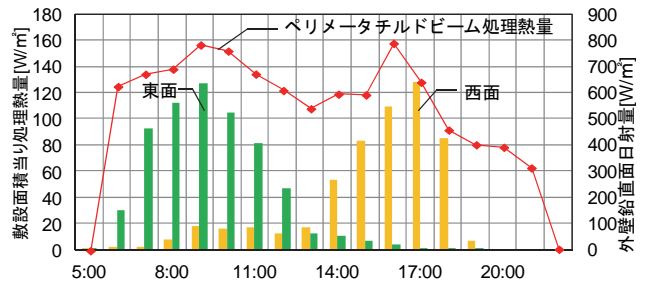


図-23 チルドビーム処理熱量経時変化

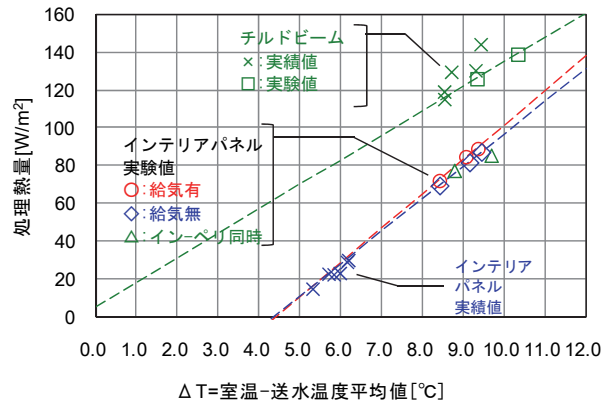


図-24 インテリアパネル・チルドビーム冷却能力 (実験値及び実績値)

- (1) インテリアパネルの能力の把握を行い、 $\Delta T=9.0^{\circ}\text{C}$ で $80\sim 84\text{ W/m}^2$ を有することを確認した。また、インテリアパネルの冷却能力への給気の有無の影響の把握を行い、給気有の方が6%程度大きくなることを示した。
- (2) チルドビームを用いたペリメータ負荷処理方式によって想定されるペリメータ負荷が処理可能であることが示された。 $8^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 10^{\circ}\text{C}$ の範囲において、インテリアパネルと同じ条件で1.5倍程度( $120\text{ W/m}^2$ )の冷却能力を有していることが示された。
- (3) 適用建物におけるインテリアパネル及びチルドビームの実績値を示し、変動する負荷を適正に処理していることが示され、実験により得られた冷却能力と同等以上の負荷処理能力を有することが示された。