

データセンター向け空調気流方式に関する縮小模型実験

諏訪 好英 三小田 憲司 古本 恭一
土屋 貴史 須藤 修二

Experimental Study of High-Performance Airflow Design for an Air-conditioning System in Data Centers using a Shrink Model

Yoshihide Suwa Kenji Mikoda Kyoichi Furumoto
Takashi Tsuchiya Shuji Sudo

Abstract

The recent demand for data centers has increased because of the increased demand for the internet and IT systems. Server rooms require efficient air-conditioning systems to ensure stable functioning. Current demands for energy efficiency also require that the heat generated by computers and equipment must be greatly reduced. Thus, the high efficiency of an air-conditioning system is essential for cost reduction and energy conservation. In a previous study, CFD simulations were performed in various airflow conditions and it was found that a system with supply and return openings on the ceiling in an appropriate alignment produced the best performance. An advanced airflow system applicable to server rooms in data centers was developed based on this result and the system was named “Cool Air Capture[®].” In the present study, the characteristics of this system were studied experimentally using a 1/4 shrink model. As a result, the advantages of “Cool Air Capture” were again confirmed in comparison with previous conventional systems. The system provided good performance, especially when the heat from servers was high and when the supply airflow volume from the air-conditioning system was reduced.

概要

本報は、当社が開発したデータセンター用空調システム「クールエアキャプチャ[®]」の性能評価実験の結果を報告するものである。近年、インターネットやITシステムの利用増加に伴い、データセンターの需要が増大している。安定してサーバを運用するには、効率よくサーバを冷却できる空調システムが必須である。特に最近ではサーバの発熱量が大幅に増大する傾向にあり、高効率な空調システムへの要求が高まっている。また空調システムの効率化は省コスト・省エネルギーの観点からも重要である。既報では、さまざまな空調気流方式のサーバールームについて気流シミュレーションを実施し、クールエアキャプチャの有効性を示した。本報では1/4縮小模型により実施した実験結果を報告する。実験の結果、クールエアキャプチャではサーバ発熱量が増加した場合、あるいは空調給気風量を削減した場合も良好な性能が得られ、従来方式に比べ有利なことを確認した。

1. はじめに

近年、インターネットやITシステムの普及を背景として、大規模なサーバールームを持つインターネットデータセンターの需要が増加している。発熱量の大きなサーバマシンを多数運用するサーバールームでは、機器の安定動作を確保するため、効果的に熱排気できるような空調システムが求められる。最近では、サーバマシンの高集積化に伴い、サーバールームに設置される機器の発熱量は大幅に増加しており、空調システムの高効率化がより強く求められるようになった^{1)~3)}。また、空調に要するエネルギーが膨大となる大規模なデータセンターでは、空調システムの高効率化は運用コストの削減や省エネルギーの面からも重要な課題である。

既報^{4)~7)}では、さまざまな吹出し口、吸込み口レイアウトのシステムを想定し、CFDによる熱・気流シミュ

レーションを実施した結果、天井面に吹出し口、吸込み口を適切に配置したシステム(以下 クールエアキャプチャ[®]と呼ぶ)では、高効率な空調性能およびサーバ冷却性能が得られることがわかった。本研究では、風量比、発熱比などの運用条件を変化させた場合にそれぞれの空調気流方式にどのような特性の違いが生じるのかを実験的に検討した。また、これらの方式に垂壁やキャッピングを追加した場合の違いや、ラック列の中央と端部における特性の違いについても検討した。本報では、これらの実験により得られた結果を報告する。

2. 現状のサーバールーム空調方式

サーバマシンはラックに複数台ずつ実装して運用される。最近では従来のラックマウント方式(発熱量0.5~2kW/ラック)に代わり、ブレードサーバやIUサーバと

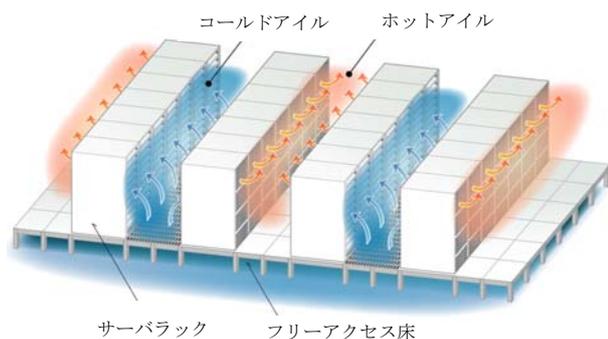


Fig. 1 ホットアイル・コールドアイル方式
Cold aisle-Hot aisle System Server Room

呼ばれる高密度実装方式(発熱量 5~20kW/ラック)が採用されることも多く、ラックあたりの発熱量は急激に増加している¹⁾。現状のサーバマシンの多くは空冷式であり、サーバ自身のファンおよびラックに取り付けられたファンにより操作面側から室内空気を取り込み、背面から熱排気するものが多い。このため Fig. 1 に示すように、給気を必要とする操作面同士と熱排気を行う背面同士が向き合うようラックを交互に配置するホットアイル・コールドアイル方式が多く用いられている²⁾。一般にサーバールームでは、空調機が故障した場合などのリスクを分散するため、複数台の空調機が並列的に使用される。ホットアイル・コールドアイル方式のサーバールームでは、壁面に配置された空調機からフリーアクセスの床下を介して送風を行い、主としてコールドアイルに設置した床吹出し口から室内に給気する。サーバラックからの熱排気を含む空気は、ホットアイルを介して空調機上部のレターン吸い込み口に回収する。

レイアウトの自由度が要求されるサーバールームでは、比較的オープンな屋内空間に給気側、排気側の温度の異なる空気が共存する。このため、供給された空調空気がそのままレターンに排気されたり、高温の熱排気がサーバラックの吸込み面に混入したりするような気流が形成されると、室内の空調効率、サーバの冷却効率は著しく低下してしまう。植草、藁谷ら³⁾は、コールドアイルの上部、サーバラックの高さに遮蔽板(エアキャッピング)を設置し、サーバラックへの空調気流供給用の領域を形成する方法や、サーバラックの一部に小型の空調装置を追加して補助的に利用する方法などを検討している。

一方、諏訪、井口ら^{4)・5)}は、サーバールームの吹出し口、吸込み口レイアウトを適正化することで室内の換気・空調性能を大幅に向上できることを示した。実験では、代表的な従来方式である床吹出し方式およびクールエアキャプチャ、さらにこれらの方式に垂壁やエアキャッピングを追加した場合のサーバ冷却性能を比較した。

3. 縮小模型実験

3.1 近似相似則

Table 1 本実験で用いた縮率一覧
Shrink Ratios used in the Experiment

	縮率	模型	実際に換算した値
ラックの高さ	0.25	525mm	2100mm
ラックの給排気温度差	4.1	(40℃)	(10℃)
空調機の風量	1.02	0.058m ³ /s	204.7m ³ /h
空調機の熱量	0.26	991.8W	3814.6W

本研究では、サーバ室を模擬した1/4縮小模型を作成し、実験を行った。設計条件や空調気流方式による現象の違いを検討する上で、縮小模型実験は非常に有用であるが、特に強制対流と熱対流が共存する本研究の対象では、単純に無次元数を一致させて相似則とすることが困難である。室内の熱対流に関する近似相似則については従来から多くの研究が行われているが、本研究で扱うサーバールームの問題には、花野、山中ら⁸⁾が置換換気場の実験に用いた縮率が最も妥当と思われる、これを採用した。すなわち、まず強制対流場においてRe数の一致条件を除外する。これは、壁面近傍を除く乱れた場では乱流レイノルズ数が支配的となることを利用したものである。一方、自然対流場においても、発熱体近傍では速度場が浮力によってのみ決定するため、アルキメデス数も自動的に一致するものと考えられる。これらの想定は、花野らが対象とした置換換気場の場合と同様、サーバールームに適用した場合にも十分妥当と思われる。本実験では、この想定に基づき Table 1 に示すような縮率を算出して適用した。

3.2 縮小模型

3.2.1 縮小模型の概要 製作した縮小模型をFig. 2およびPhoto 1, 2に示す。なお、図には実寸法に換算した値および模型上の寸法(括弧内)を併記してある。模型は、アルミ製フレームに透明塩ビ板を取付け3500mm×2400mm×4200mmの直方体密閉空間を形成したもので、空間内を上下3層に分割し、中央を室内、上下層を給排気用のチャンバとした。

実験装置の室内には、塩ビとSUS製パンチング板で製作した一列5本のサーバラック模型を設置した。本模型はサーバラックの列が十分に長いものと仮定し、室内の一部を抜き出した形としている。また模型内に設置したサーバラックは1列分のみであり、ホットアイルおよびコールドアイル中央を対称面とする周期境界面と同じ構造が無限に並んでいることを想定した。なお、ラック列の端部における特性を検討する場合には、サーバラック模型を3本に変更し、残り2本分のスペースを室内端部の空間に見立てた。サーバラック模型の内部は上下3段に分割し、各段に設置した電気ファンヒータ(FH-4142, TWINBIRD製, 最大風量0.0098[m³/s], 最大発熱量297[W])によりサーバの運用に伴う発熱とファン気流を

模擬した。すなわち、サーバラック5本をフル実装した場合には、3段5列、合計15個のファンヒータを使用した。Photo 2はこのときのヒータを模擬ラックの排気側から見たものである。

ホットアイルの天井部にはレターン排気口を、またコールドアイルの床面および天井面には空調吹出し口を設け、スポット空調(SS-25DF-1, Suiden製, 風量0.058[m³/s], 冷房能力992[W])からの空調気流を天井チャンバまたは床下チャンバを介して供給した。給気方向はスポット空調機からのダクトのつなぎかえにより切替えた。これにより、床下チャンバから給気した場合には従来方式を、天井チャンバから給気した場合にはクールエアキャプチャを模擬することができる。

3.2.2 実験条件の設定 以降では、空調による給気風量とサーバのファン風量との比を風量比(風量比=空調風量/サーバのファン風量)、空調による冷房能力とサーバ発熱量との比を熱量比(熱量比=給気による冷房熱量/サーバ発熱量)としてパラメータを統一的に表すこととする。実験では、空調機の冷房能力および風量を固定としたので、風量比1.0、熱量比1.0のときのラックあたりのサーバ風量は、実機に換算して204.7[m³/h]、発熱量は3814[W]であり、実際のサーバールームを近似的に模擬できていると判断した。なお、空調吹出し温度は外気温度に対して成り行きとなるが、実験は冬期室内で行ったため、いずれの場合も約8℃であった。この値は実際の

サーバールームの設定とは異なるため、実験結果の比較・考察は相対値による。

縮小模型でサーバの発熱を模擬するのに用いた電気ファンヒータでは、オンオフ切替えの単位が大きくなるため、風量、発熱量とも無段階で制御することができない。そこで、発熱と送風同時に行うモード、送風のみ行うモードを切替えられるようファンヒータを改造し、さらにファンヒータ停止のモードと組合せて先述した風量比、熱量比を実現することとした。このため、サーバラックの中で動作しているヒータ、ファンと停止している部分とが混在することとなるが、予備実験により、本実験で想定した条件範囲においてヒータおよびファン停止箇所の配置は大きく影響しないことを確認した。

3.2.3 想定した各種実験ケース 実験は従来方式、クールエアキャプチャおよびこれらに垂壁やキャッピングを追加した場合(Fig. 2を参照)について風量比、熱量比をそれぞれ3水準ずつ変化させて行った。また同様の実験を、ラック列中央を想定した場合、端部を想定した場合のそれぞれについて実施した。

3.2.4 実験方法 サーバの冷却性能は、コールドアイル側からラックに供給される気流温度およびその均一性に依存する。この供給空気温度はラック給気面のパンチング板表面温度により代表できると考え、本実験ではラック給気面のパンチング板表面温度を集中的に測定することとした。各条件で約10分間の運転を行った後、Fig. 2に併記した温度センサにより各部温度を集計した。温度センサは3列分のラック給気面、上下方向均等間隔で5箇所

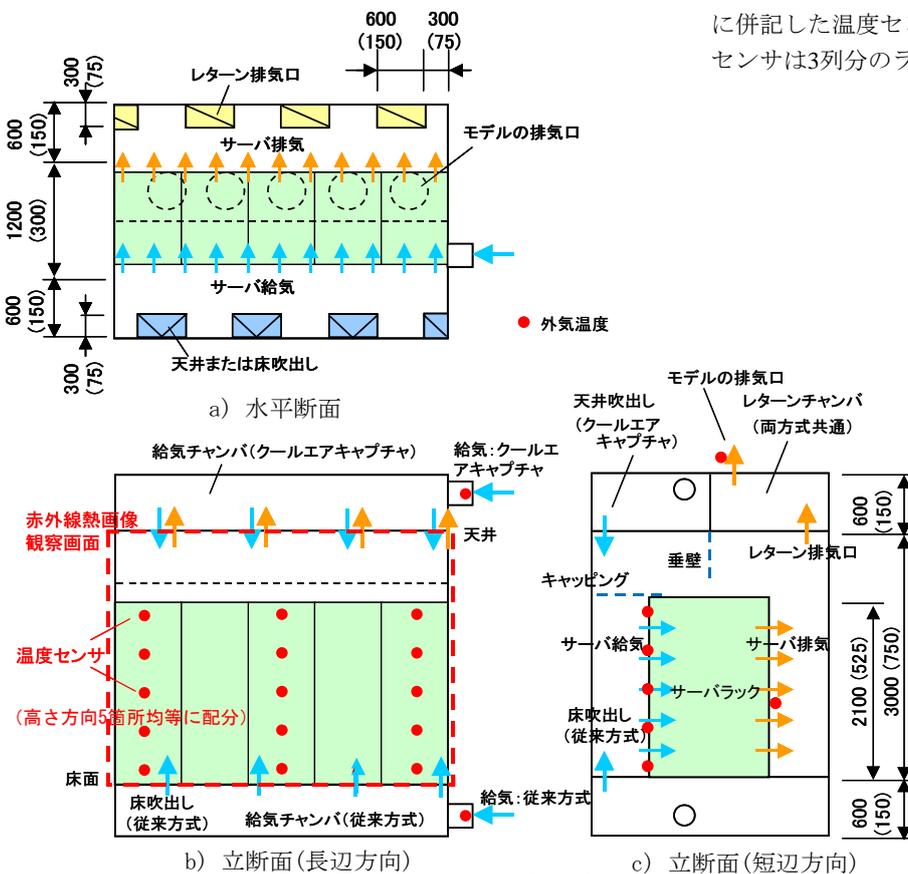


Fig. 2 1/4 縮小模型
1/4 Shrink Model



Photo 1 1/4 縮小模型外観
View of 1/4 Shrink Model

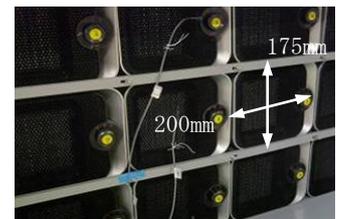


Photo 2 模擬ラックのヒータ
Heaters in Server Racks of the Model

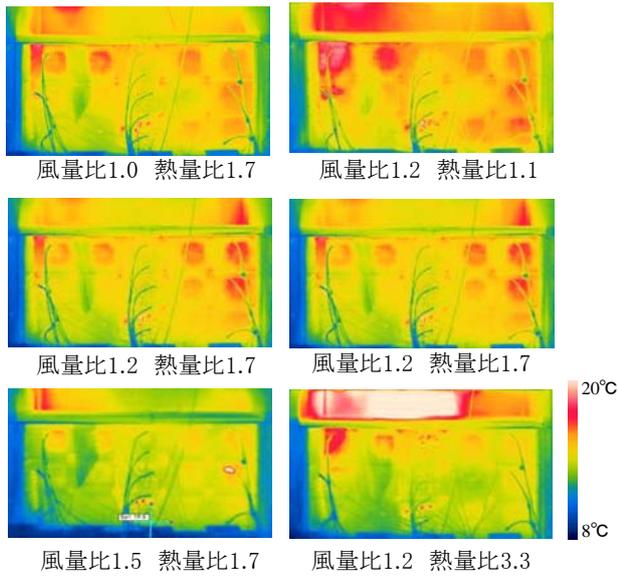


Fig. 3 従来方式におけるラック給気面熱画像
Temperature Distribution at Front Face of Server Racks in Conventional System

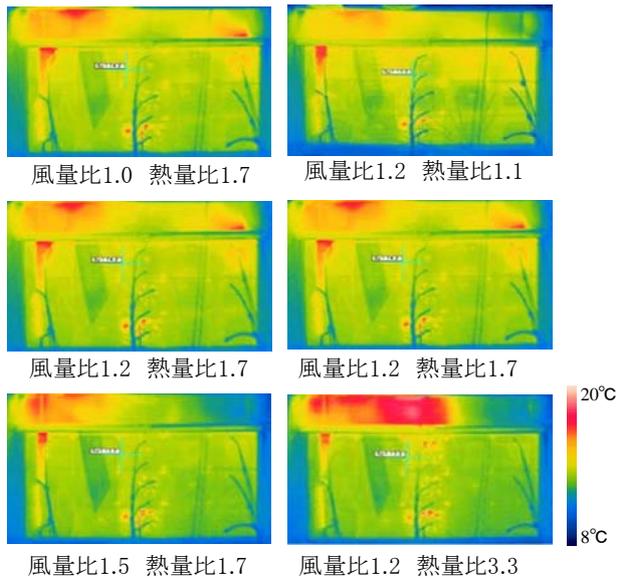
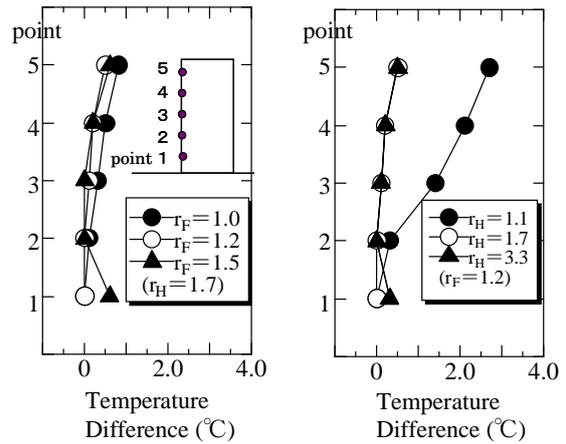


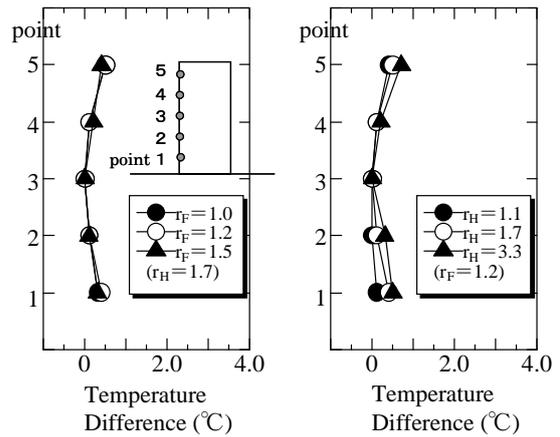
Fig. 5 クールエアキャプチャにおけるラック給気面熱画像
Temperature Distribution at Front Face of Server Racks in Cool Air Capture

所に設置し、その他吹出し口の給気、レターン、ラック排気面の温度も同時に測定した。なお、各部温度は瞬時値を測定したが、約10分間の運転の後にはいずれの場合もほぼ定常となり、ほとんど変動はなかった。また各部温度が定常に達した状態で模型前面の透明アクリルを外し、その瞬間のラック給気面の表面温度を赤外線熱画像として撮影した。



a) 風量比による違い b) 熱量比による違い
Difference in Various Flow Ratios Difference in Various Heat Ratios

Fig. 4 従来方式におけるラック給気面の上下温度分
Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks in Conventional Systems



a) 風量比による違い b) 熱量比による違い
Difference in Various Flow Ratios Difference in Various Heat Ratios

Fig. 6 クールエアキャプチャにおけるラック給気面の上下温度分布

Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks in Cool Air Capture

4. 実験結果

4.1 従来方式、クールエアキャプチャの基本特性

既往の研究^{6), 7)}において、ラックの給気面から取込む空気温度の上昇がサーバの冷却効率を低下させる大きな原因のひとつであることがわかった。これらの温度上昇は、コールドアイル内の気流の乱れに起因するものと思われ、風量比、熱量比により気流分布が変化する可能性がある。そこで、従来方式、クールエアキャプチャについて風量比、熱量比を変化させたときのサーバ冷却性

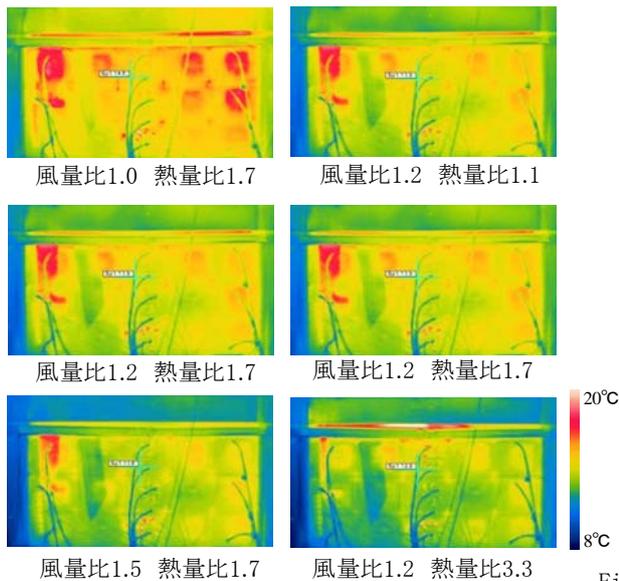


Fig. 7 従来方式+垂壁におけるラック給気面熱画像
Temperature Distribution at Front Face of Server Racks in Conventional System with Hanging Wall

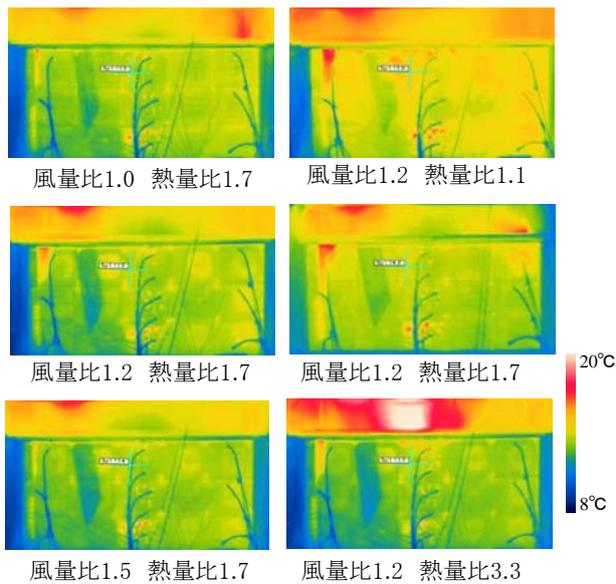


Fig. 9 従来方式+キャッピングにおけるラック給気面熱画像

Temperature Distribution at Front Face of Server Racks in Conventional System with Capping

能の変化を比較した。

実験結果をFig. 3~6に示す。ここに、Fig. 3, 5の赤外線熱画像は、模型の室内に相当する部分のみ(Fig. 2に併記)を示している。また、Fig. 4, 6の各グラフは、ラック列中央における給気側パンチング板表面温度の鉛直方向のばらつきを示したもので、面内の最低温度に対する温度差として表した(他のケースについても同様)。

従来方式(Fig. 3, 4)では、風量比または熱量比を下げた場合のラック給気面において上下温度差が大きくなる傾向が若干認められた。上部の給気面温度が高くなると

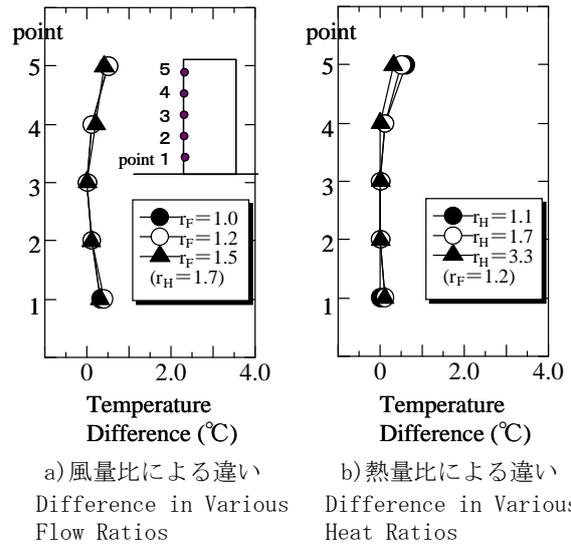


Fig. 8 従来方式+垂壁におけるラック給気面上下温度分布
Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks in Conventional System with Hanging Wall

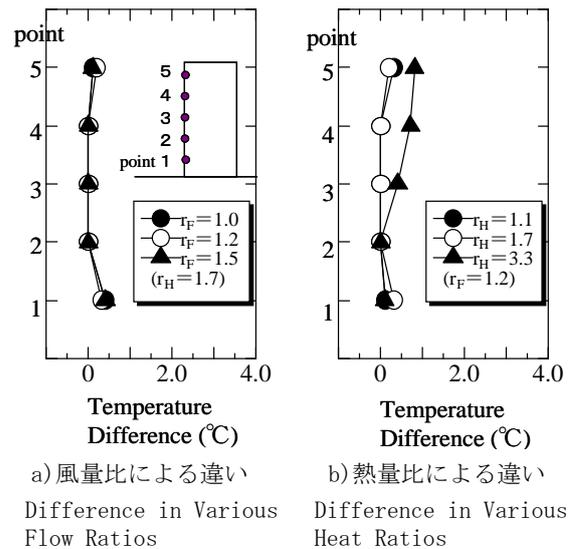


Fig. 10 従来方式+キャッピングラック給気面上下温度分布
Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks in Conventional System with Capping

ラック上部のサーバ冷却性能が低下することが予測される。床面吹出し口から供給された冷房気流が十分な高さまで到達しない場合、ラックの前面上部における吸引流がホットアイル側の高温空気を引き寄せ、ショートサーキットを形成する。風量比を下げた場合に上下温度差が大きくなるのは、このためと考えられる。熱量比を下げた場合にはこの傾向が増大し、上下温度差はさらに大きくなった。

一方、クールエアキャブチャ(Fig. 5, 6)ではラック給気面における温度ばらつきが小さく、また風量比、熱量

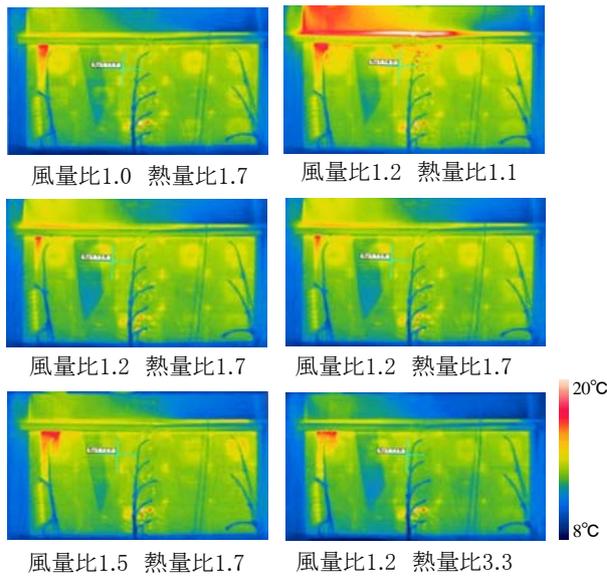


Fig. 11 クールエアキャプチャ+垂壁におけるラック給気面熱画像

Temperature Distribution at Front Face of Server Racks in Cool Air Capture with Hanging Wall



Photo 3 ラック端部実験用の縮小模型のセットアップ
Experimental Setup for the Edge of Server Racks

比を変化させたときにも、その状態が安定していることがわかった。クールエアキャプチャの場合、天井吹出し口から供給された低温の冷房気流が床面に向かって下降し、コールドアイル内に低温領域を形成する。既報⁶⁾では、これをサーバラックが取込むため、ラック給気面での空気温度の均一性が確保されると考察した。実験結果において、風量比、熱量比を変化させたときの違いが少ないことは、この解釈を裏付けるものと考えられる。Fig. 6の給気側鉛直温度分布は、高い均一性を示すとともに、ラックの中央高さの部分が若干低温となる傾向を示した。これは、コールドアイルに供給された空調気流がラック給気面の中央高さを中心に均等に分散していることを示すものと考えられ、理想的な気流分布が形成されていると判断できる。

4.2 垂壁、キャッピングの効果

サーバールームの運用方法として、サーバラックの上部天井より垂壁を下げ、コールドアイル、ホットアイル間の気流を遮断する方法や、コールドアイルの上部に天井

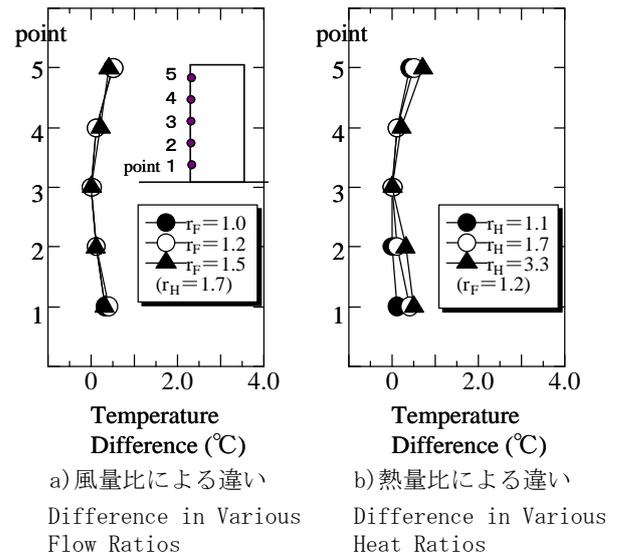


Fig. 12 クールエアキャプチャ+垂壁におけるラック給気面上下温度分布

Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks in Cool Air Capture with Hanging Wall

板を設けて空調気流をここに閉じ込める方法(キャッピング)が併用される場合がある。そこで、クールエアキャプチャおよび従来方式に垂壁、キャッピングを追加した場合について模型実験を行い、その特性を比較した。

4.2.1 従来方式に垂壁、キャッピングを追加した場合

従来方式に垂壁を追加した場合、コールドアイル上部をラック高さでキャッピングした場合について、同様の実験を実施した。結果をFig. 7~10に示す。いずれの場合も垂壁やキャッピングを追加することで改善の効果が認められ、キャッピングなしの場合に比べてラック給気面の上下温度差は大幅に削減されることがわかった。

従来方式に垂壁を追加した場合(Fig. 7, 8), 赤外線熱画像の温度には、条件により若干の違いが認められた。しかし給気側鉛直温度分布については、Fig. 6と同様なラック中央高さが若干低温となる傾向が見られ、条件による分布の差もほとんど認められなかった。

従来方式にキャッピングを追加した場合(Fig. 9, 10)には、熱量比1.1の場合を除き赤外線熱画像の給気面温度にもほとんど違いがなく、また従来方式に垂壁を追加した場合よりも若干低温であった。Fig. 10の給気側鉛直温度分布についても、ラック中央高さが最も低温となる傾向が認められた。これは、従来方式においても、垂壁やキャッピングの追加によりコールドアイル内に理想的な気流分布が形成されることを示すものと考えられ、これら対策の効果は大きいことがわかった。

4.2.2 クールエアキャプチャに垂壁を追加した場合

クールエアキャプチャのサーバラック上部に天井から垂壁を下げた場合について実験を行った。結果をFig. 11,

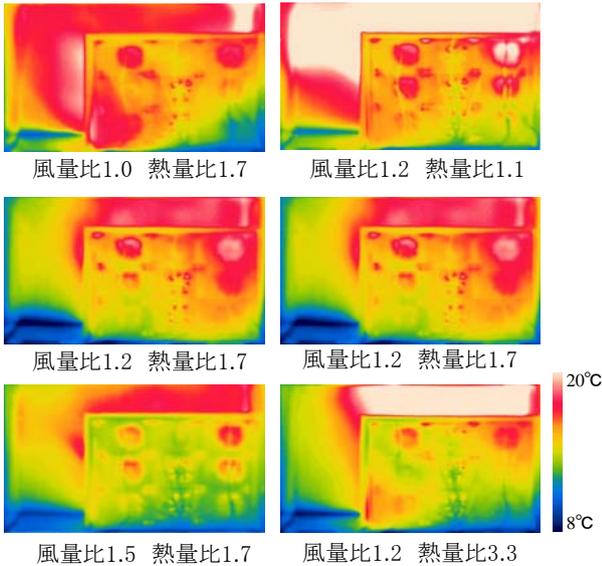


Fig. 13 従来方式のラック列端部における給気面熱画像
Temperature Distribution at Front Face of Server Racks at the Edge in Conventional System

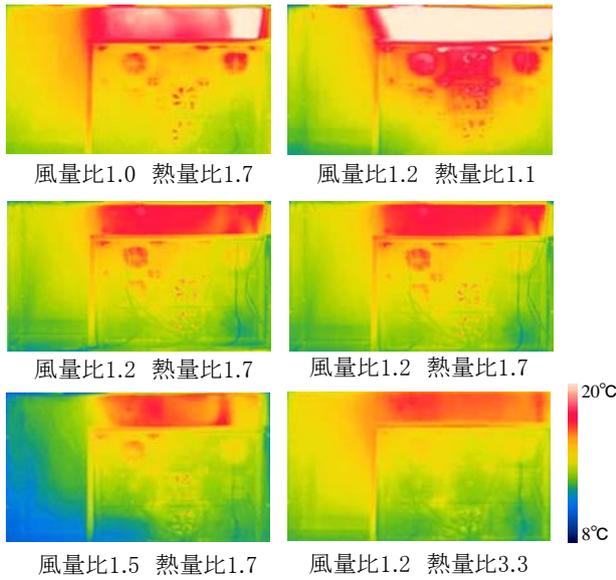


Fig. 15 クールエアキャプチャのラック列端部における給気面熱画像

Temperature Distribution at Front Face of Server Racks at the Edge in Cool Air Capture

12に示す。4.1に示したように、クールエアキャプチャでは、垂壁なしの場合にもラック給気面における温度ばらつきが小さく、また風量比、熱量比の変化に対しても状態が安定していた。垂壁を追加した場合、風量比、熱量比による温度変化は少なく、また給気面温度は垂壁なしの場合よりもさらに低い温度を示した。

4.3 ラック列の端部における現象

ここまでの検討では、いずれもラック列中央部を対象として行った。しかし既報⁷⁾の数値シミュレーション結果では、ラック列の端部ではサーバ冷却性能が異なる場

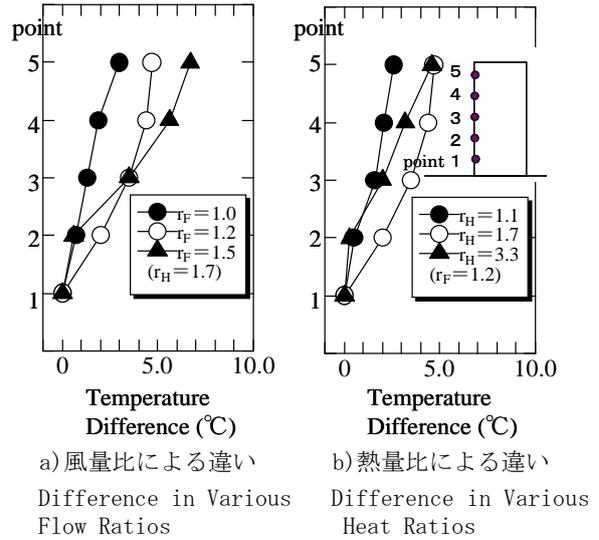


Fig. 14 従来方式のラック端部における給気面上下温度分布

Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks at the Edge in Conventional System

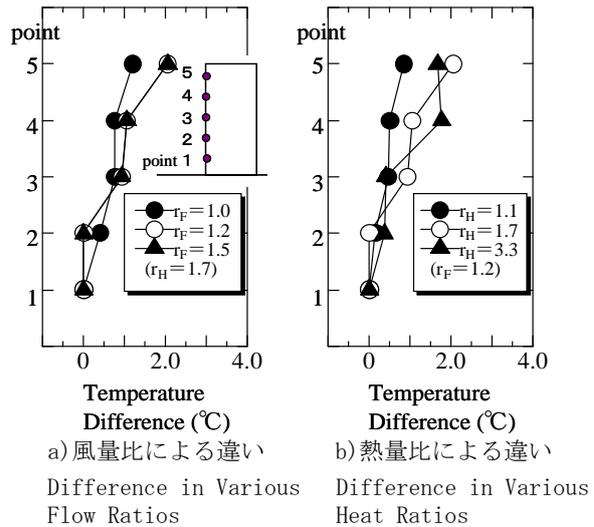


Fig. 16 クールエアキャプチャのラック列端部における給気面上下温度分布

Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks at the Edge in Cool Air Capture

合のあることが示されている。そこで、Photo 3に示すように実験模型のラックを3本に変更して、サーバールーム端部の状況を模擬した実験を行った。空調気流方式としては、従来方式+垂壁、従来方式+キャッピング、クールエアキャプチャ、クールエアキャプチャ+垂壁の4種類を想定し、これまでと同様に風量比、熱量比を変化させたときのラック給気面温度を測定した。

4.3.1 従来方式、クールエアキャプチャのラック列端部

Fig. 13, 14は従来方式、Fig. 15, 16はクールエアキャプチャのラック列端部を示している。いずれの場合もラ

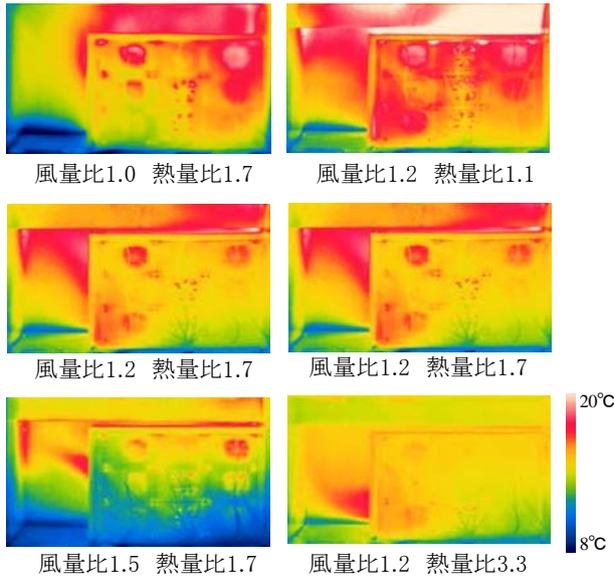


Fig. 17 従来方式+垂壁のラック列端部における給気面熱画像

Temperature Distribution at Front Face of Server Racks at the Edge in Conventional System with Hanging Wall

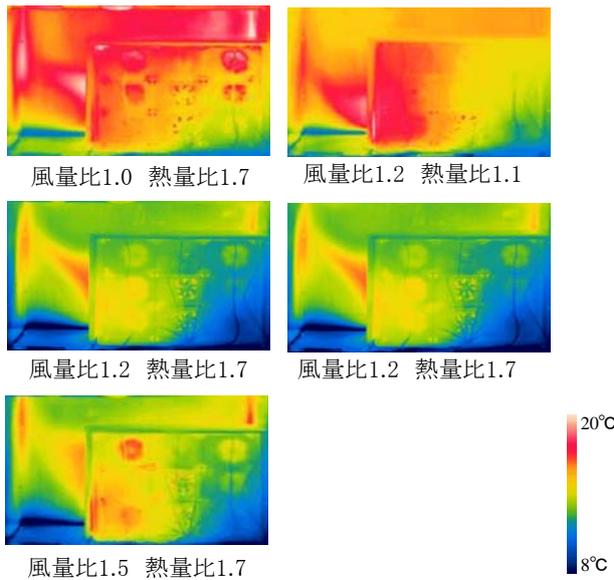


Fig. 19 従来方式+キャッピングのラック列端部における給気面の熱画像

Temperature Distribution at Front Face of Server Racks at the Edge in Conventional System with Capping

ラック列端部の特性は中央部とは大きく異なり、全体的に給気側ラック表面温度は高温となった。特に従来方式では、風量比、熱量比を上げていった場合、床面近くのみが低温となる傾向があり、Fig. 14の給気側ラック表面の上下温度差も6°C~7°Cあった。

一方、クールエアキャプチャ (Fig. 15, 16) では表面温度も従来方式より若干低く、風量比、熱量比を変化させたときの温度変化も少なかった。また給気側ラック表面の上下温度差も2°C以内であった。

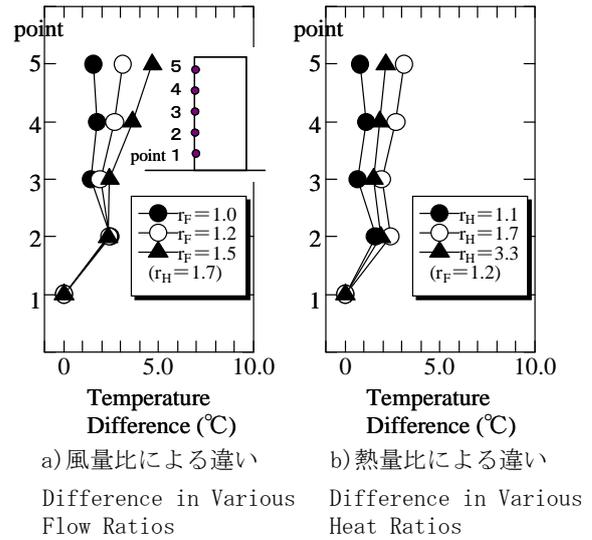


Fig. 18 従来方式+垂壁のラック列端部における給気面上下温度分布

Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks at the Edge in Conventional System with Hanging Wall

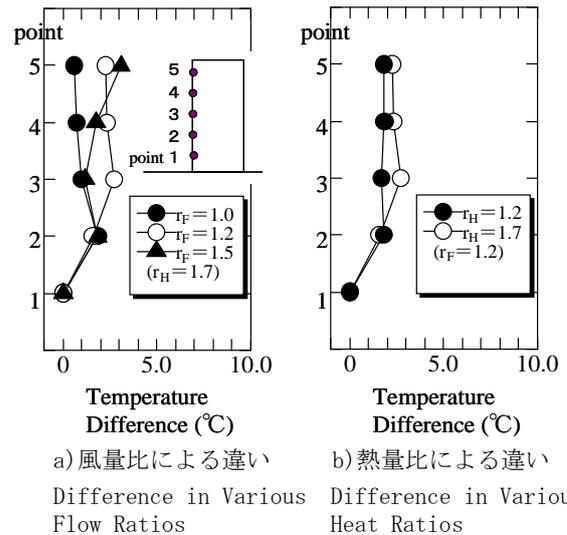


Fig. 20 従来方式+キャッピングのラック列端部における給気面上下温度分布

Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks at the Edge in Conventional System with Capping

4.3.2 従来方式に垂壁, キャッピングを追加した場合のラック列端部

Fig. 17, 18は従来方式に垂壁を追加した場合のラック列端部, Fig. 19, 20はキャッピングを追加した場合のラック列端部である。従来方式に垂壁を追加した場合には、垂壁なしの場合よりも給気側ラック表面温度は高温となり、風量比、熱量比を上げていった場合、床面近くのみが低温となる傾向もより顕著となった。

従来方式にキャッピングを追加した場合、給気側ラック表面温度は、風量比1.2以上、熱量比1.7以上において垂壁なしの場合より低温であったが、逆に風量比1.0、熱量

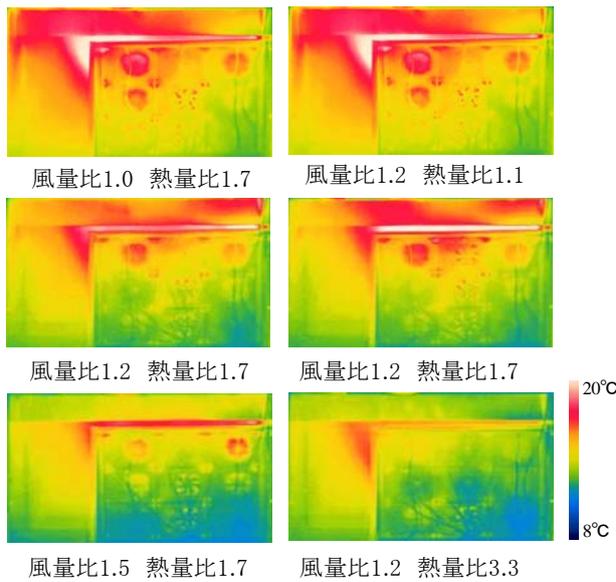


Fig. 21 クールエアキャプチャ+垂壁のラック列端部における給気面の熱画像

Temperature Distribution at Front Face of Server Racks at the Edge in Cool Air Capture with Hanging Wall

比1.1では垂壁なしの場合よりも高温となった。また最端部のラック温度が特に高くなる傾向が認められ、ラック列の側面から高温排気が回り込んでいると思われる。

以上の結果から、従来方式では垂壁やキャッピングを追加することでラック中央部の特性を大きく改善できるが、ラック列端部の特性が低下する可能性もあることがわかった。

4.3.3 クールエアキャプチャに垂壁を追加した場合

Fig. 21, 22はクールエアキャプチャに垂壁を追加した場合のラック列端部について実験した結果である。この場合にも、給気側ラック表面温度はラック列中央に比べて若干高温であり、上下温度差もラック列中央部に比べて大きくなった。しかし垂壁なしの場合のラック列端部に比べると表面温度が低く、クールエアキャプチャに垂壁を追加した場合の効果は、ラック列端部においても期待できると判断した。

実験の結果、ラック列の端部では中央部とは大きく異なる特性を示す場合があることがわかった。いずれの場合も、端部では中央部に比べてラック給気面温度のばらつきが大きくなる傾向が認められたが、従来方式に垂壁またはキャッピングを追加した場合にはその傾向が顕著となった。一方、クールエアキャプチャの場合には垂壁の有無にかかわらず端部における温度ばらつきの増加が比較的小さいことがわかった。

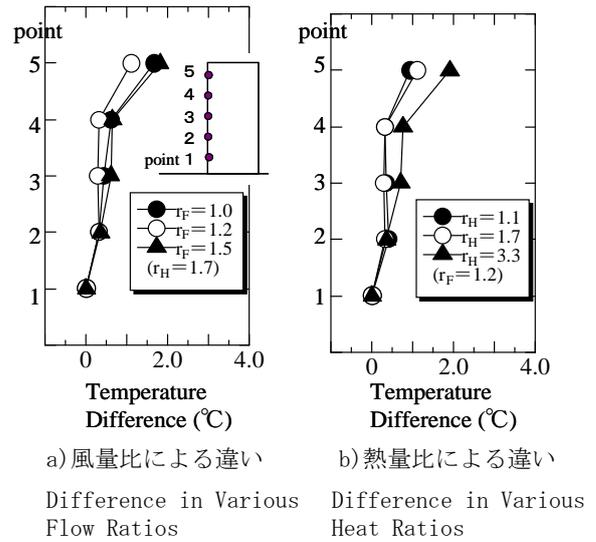


Fig. 22 クールエアキャプチャ+垂壁のラック列端部における給気面上下温度分布

Vertical Temperature Difference at Front Face of Server Racks at the Edge in Cool Air Capture with Hanging Wall

5. ラック給気面の上下温度差の比較

実施した全ケースを総合的に比較するため、ラック給気面の上下温度差による整理を行った。結果をFig. 23に示す。その結果、ラック列の中央部に着目すると従来方式+キャッピングの性能が最もよく、ついでクールエアキャプチャ+垂壁が高い性能を示すことがわかった。しかしラック列の端部では従来方式+キャッピングの性能は大きく低下し、クールエアキャプチャ、クールエアキャプチャ+垂壁の方がラック列端部での性能の性能低下は小さかった。

6. まとめ

データセンターの空調気流方式を対象として、従来方式とクールエアキャプチャについて縮小模型実験を行った。風量比、熱量比などの運用条件を変化させた場合、垂壁、キャッピングを追加した場合の特性の違いを比較検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 従来方式では、ラック給気面の上下に温度差が付きやすい傾向があり、上部の給気面温度が高くなるとラック上部のサーバ冷却性能が低下する。
- 2) クールエアキャプチャではラック給気面における温度ばらつきが小さく、また風量比、熱量比を変化させたときにも、その状態が安定している。
- 3) 従来方式およびクールエアキャプチャのいずれにおいても、垂壁、キャッピングを追加することでサーバ冷却性能を向上することが可能である。特に従来方式にキャッピングを追加した場合、ラッ

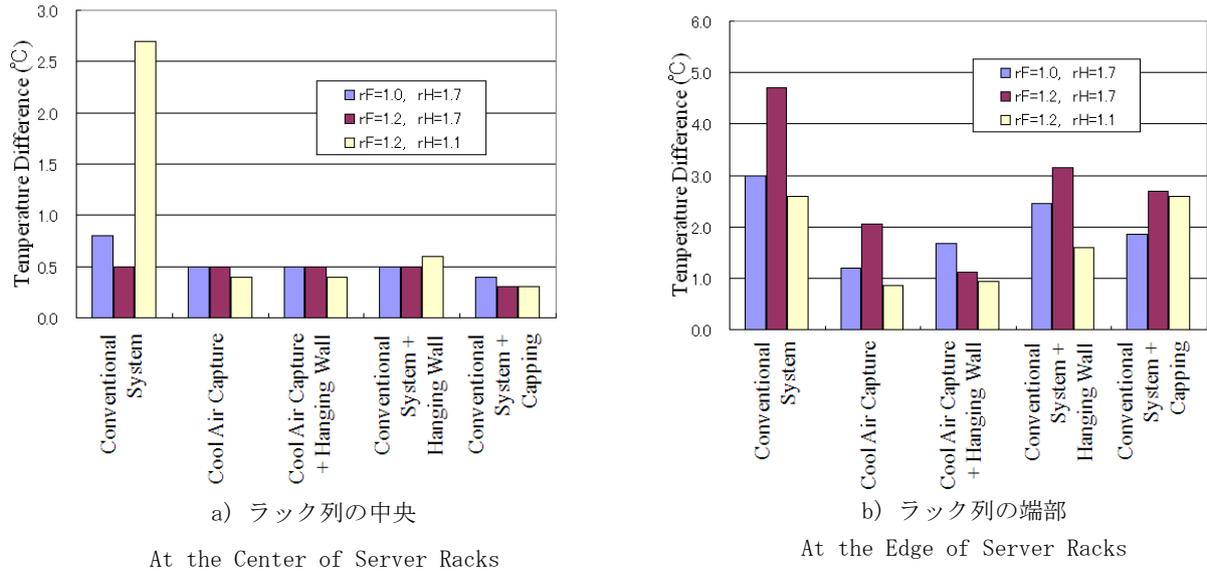


Fig. 23 各方式によるラック給気面の上下温度差
Vertical Temperature Difference at Front Faces of Server Racks in each System

ク列の中央では最も良好な性能が得られたが、ラック列の端部では性能が低下する可能性が認められた。

- 4) クールエアキャプチャに垂壁、キャッピングを追加した場合には、ラック列の中央、端部とも同様に良好な性能が安定して得られた。

参考文献

1) Rasmussen, N. : Strategies for Deploying Blade Servers in Existing Data Centers, APC White Paper #125, (2006)
 2) Hannaford, P. : Ten Cooling Solutions to Support High-Density Server Deployment, APC White Paper #42, (2006)
 3) 植草常雄, 藁谷至誠, 木下学, 三宅弘朗 : データセンターにおける空調気流の応用設計技術に関する研究(第1報), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.1235~1238, (2007)
 4) 井口日文, 諏訪好英 : 高発熱サーバに対応した効率

的iDC空調システムの検討(その1)現状のサーバールームにおける空調システムの問題点, 平成21年度空気調和・衛生工学会大会, pp.1919~1922, (2009)
 5) 諏訪好英, 井口日文 : 高発熱サーバに対応した効率的iDC空調システムの検討(その2)さまざまな空調システム方式における換気性能, 空調性能の比較, 平成21年度空気調和・衛生工学会大会, pp.1923~1926, (2009)
 6) 諏訪好英, 井口日文 : データセンター向け高効率空調システム「Cool Air Capture™」の開発, 大林組技術研究所報, No.73, CD-ROM, (2009 12)
 7) 諏訪好英 : データセンターにおける空調気流方式の高効率化に関する研究, 日本建築学会環境系論文報告集, Vol.76, No.663, pp.501~508, (2011)
 8) 花野弘行, 山中俊夫, 甲谷寿史 : 置換換気室内の温度・汚染物濃度分布予測における模型実験法(その4)縮小模型実験における近似相似則に関する検討, 日本建築学会学術講演梗概集, (北陸), pp.649~650, (2002)