

平成 28 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境
研究期間：平成 28 年度
課題番号：163005
研究課題名（和文）：CFD 解析によるデータセンターにおける自然冷媒システムの冷却効果の確認
研究課題名（英文）：Confirmation of cooling effect of natural refrigerant system in data center by CFD analysis
研究代表者：金尾 英敏、(株) 八洋エンジニアリング
交付決定額（当該年度）： 210000 円

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

技術の発達により、情報量の大幅な増加が予想される中、それを支えるデータセンターの需要が急速に高まっている。データセンターでは電子データを保管する電子機器が多く設置されており、機器の発熱量は年間を通じて非常に大きい。そのため、機器の冷却に要する空調設備の消費電力は今後も増加すると考えられ、その省エネルギー化が急務となっており、注目される緊急課題である。データセンター内では、サーバーなどの電子機器の作業環境を維持するため、年間を通して冷房が必要となる。近年、データセンターでは空調エネルギーの削減のために、冬期、中間期の外気導入や局所空調機を利用する方式など、従来の全空気方式とは異なる空調方式が導入される事例が増加している。従来の冷却方式としては、全室の空気を循環させて放熱機器を冷却する方式は、多大な送風量が必要となり、送風機の電力消費が高い。また、その送風機には大きいスペースが必要である。さらに、外気条件にかかわらず、屋外では年間を通して冷凍機を稼働しなければならないため、システムのランニングコストが非常に大きい。そのため、ランニングコストを低減しつつ、安全性、信頼性を十分に満足させる冷却システムは課題となっている。これに対して、本研究では季節制御（フリークーリング）、自然対流、自然冷媒である二酸化炭素を特徴にして従来と比較して 80%以上の低ランニングコストを実現できる新たな冷却システムを提案し、季節変動に応じて室内側の冷却効果について CFD 解析を用いて確認する。

2. 研究の方法

2.1 提案システム

図 1 に本研究の提案システムの構成を示す。室内において、ラック間の空気は電子機器の発生熱により加熱され、天井に向かう上昇流が形成される。天井付近に冷却器が設置され、空気上昇流の熱を吸収して空気を冷却する。冷却された空気は下に向かい、再びラックに到着し、電子機器の周りに冷却循環流れの形成を想定する。自然対流のみの場合、十分な気流が出来ていない可能性が高いと考えられる。気流循環を良くさせるため、ラックの各層に小型のファンを取り付けることにより冷却循環を強化させている。自然対流と小型ファンを組み合わせることにより、従来の大型ファンの全室空気循環と比べ、室内側のファンのエネルギー消費量の抑制を期待できる。

また冷媒の循環に関して、液ポンプから低温かつ液体状態の二酸化炭素冷媒を室内における冷却器に送り、冷却器を介して室内暖気を冷却し、その暖気の熱を吸収して温度が上昇すると共に相変化が生じ、液体から気化する。外気温度が十分低い冬季と中間期には高温になった気体の二酸化炭素冷媒は屋外に出ると液化して受液器に戻り、液ポンプで室内側に送られる。一方、外気温度が高い夏季にはフリークーリングの能力が十分でないので、冷凍機を稼働させ、屋外にあるアンモニア冷媒を圧縮し、熱交換により CO₂ 冷媒を低温の液体状態に処理する。季節制御により多くの時間帯にフリークーリングを利用することが可能になる。室内側の送風機のエネルギー消費量の削減と、屋外側フリークーリングの利用によって全体のランニングコストの大幅な削減を目指す。

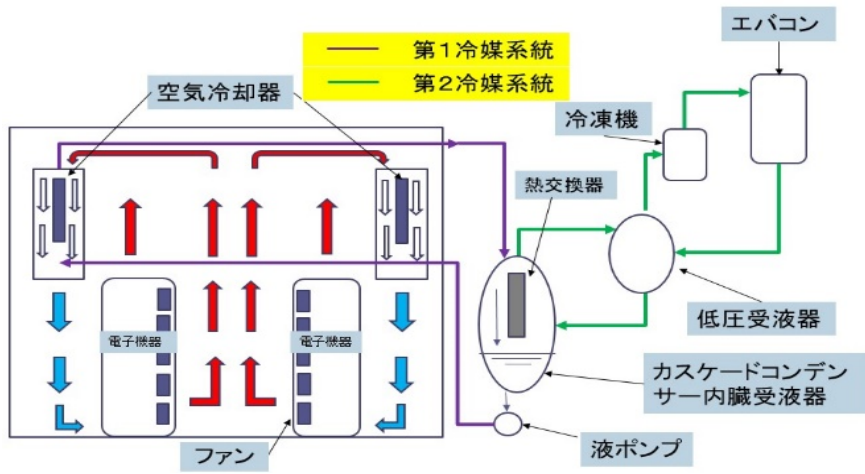


図1 提案システムの構成



図2 実験室の風景

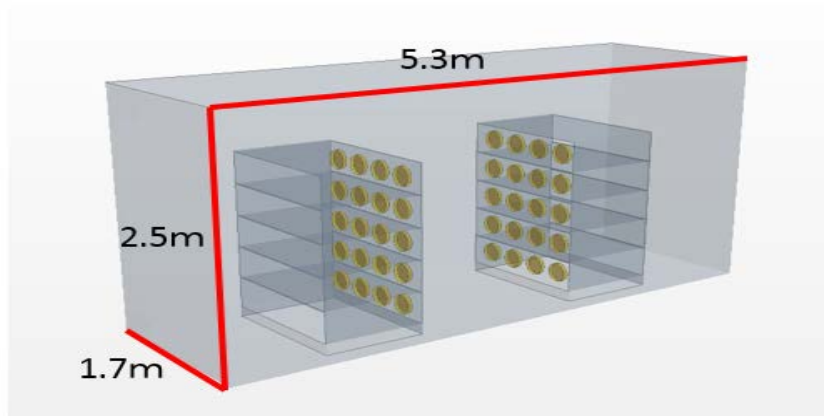


図3 実験室の外観

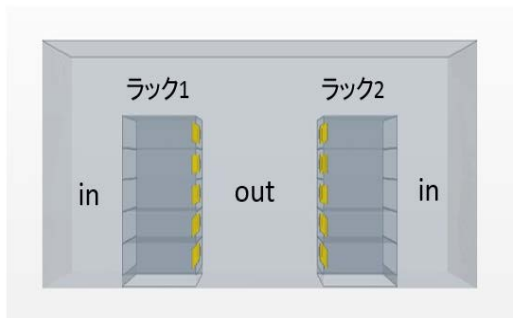


図4 実験室の内部レイアウト

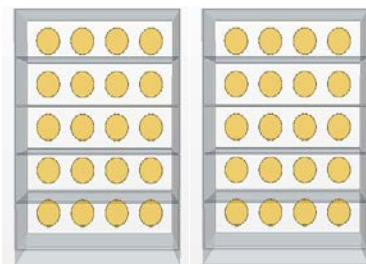


図5 内部のモデリング

2.2 シミュレーション概要

解析対象である実験室は、図2に示すようにアルミ製の東西向きの長方体建物である。内部の大きさは間口 5.3m×奥行 1.7m×高さ 2.5m である。所在位置は北緯 5°20'、東経 139°33' (宮崎県宮崎市) である。図3に実験室の内部レイアウトを示す。ラック1とラック2は向かい合うように冷却空気の入口と出口が設けられている。図3に示すように、小型ファンは「out」側に設置される事によって、2つのラックの間に熱通路が想定される。実験室ではラックに10台のマシンの有るのを想定し、その発熱は棒状の電気ヒーターに再現されるが、シミュレーションモデルでは電気ヒーターの発熱をラックの内壁面に設定して境界条件としてモデリングした。またラックの真上には冷却器が設置されているが冷却器の形が再現しにくいので、本研究では冷却器の冷却能力を冷熱源として天井面境界条件で再現している。図4にラック内部の小型ファンの配置を示す。1台のマシンの発熱に対して4台ずつ設定されており、計40台の小型のファンが設置されている。

2.3 解析の設定条件

表1にシミュレーションの解析条件をまとめて示す。非等温場の標準 $k-\epsilon$ 型2方程式モデルを基礎とする三次元非等温解析により、室内温熱環境を算出する。本来であれば、自然対流の場合は低 Re モデルを使うのが一般的であるが、今回は小型ファンが流れ場の形成を支配すると考えられるため、標準 $k-\epsilon$ 型モデルを用いた。実験室の壁面を断熱とされており、ラック内の機器発熱を1800W、冷却器の冷却能力を-1800W、熱バランスを取れるように設定した。

表1 解析の設定条件

メッシュ数	1,137,275セル (テトラ)
乱流モデル	標準 $k-\epsilon$ モデル
差分スキーム	移流項：二次風上差分 拡散項：中心差分
境界条件	壁面：断熱または一定温度 天井面(冷却器)：ヒートシンク ラック内の機器発熱：壁面からのヒートソース ファン：挿入インターフェイス
商用コード	Star-ccm+

3. 研究成果

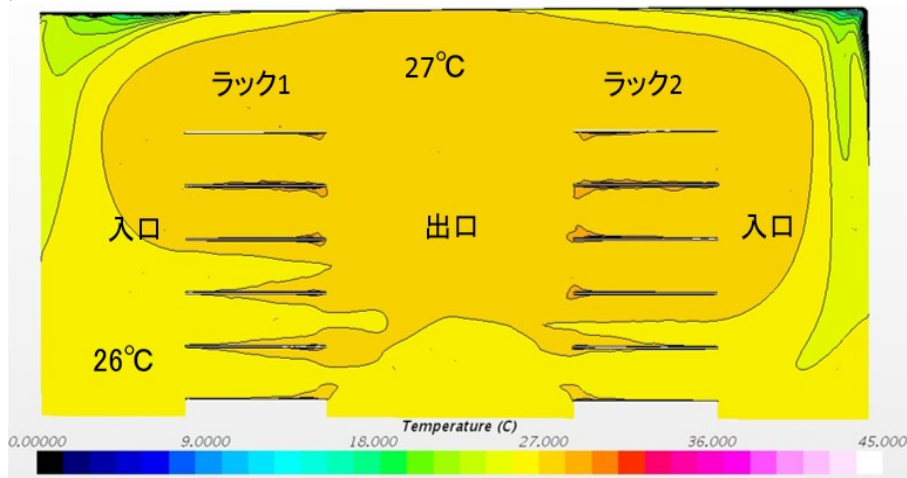


図6 中心断面温度分布

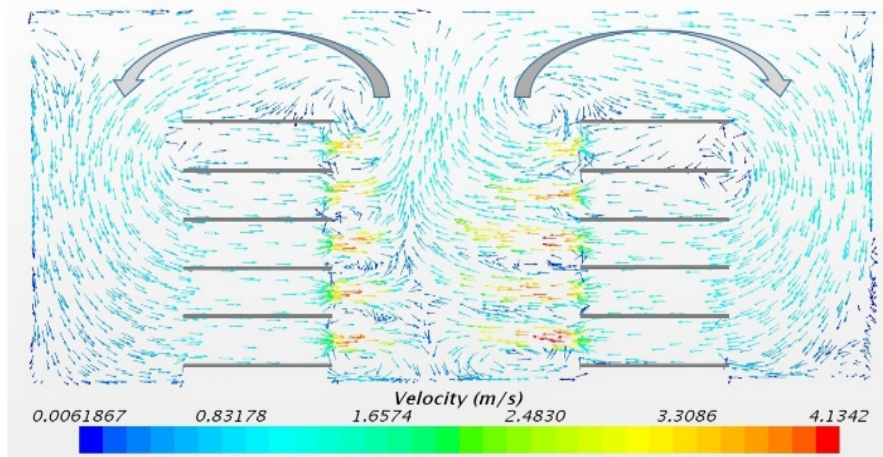


図7 中心断面風速分布

図6と図7に標準ケースの中心断面における温度分布と風速分布を示す。全体では最高温度が約29℃、最低温度が約19℃で温度差が約10℃となっている。ラックの出口に小型ファンを使うことによってラックの中の暖気を送り出し、出口の領域は高温になっている。両ラックから出た暖気がぶつかりながら上昇し、天井面に到着し、冷却器に冷却される。その後、冷気が天井面に沿って両側に広がり、下降する。ラックの入口付近は負圧になっているため、冷気は吸収されラックに流入する。期待とおりの冷却循環気流が形成されていることを確認した。また、設定発熱の場合、十分な冷却効果があり、過熱箇所がないことが確認できた。

本研究はデータセンタの空調消費エネルギー削減を目的とし、CFD解析を用いて室内温度分布、気流分布を検討し、空気の冷却効果を確認した。今後は、電子機器の稼働率によって発熱の増加・低減に応じて、ファンの出力と冷却器の冷却能力を調整して様々なパターンではラック内の熱量を速く排出し、室内に一定温度を維持できることを検討する必要がある。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

- 1) 黄 正豊, 張 偉栄, 白岩寛之, 川畑 秀樹, 李 虹瞳: CFD解析によるデータセンタにおける自然冷媒システムの冷却効果の確認, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.9(掲載予定)
- 2) 黄 正豊, 張 偉栄, 白岩寛之, 川畑 秀樹, 李 虹瞳: データセンタにおける自然冷媒システムのCFDシミュレーション結果と実測の比較, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2017.9(掲載予定)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

[図書] (計0件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

5. 研究組織

(1) 学内責任者

張 偉栄 (東京工芸大学・工学部・准教授)

(2) 研究分担者

1. 黄 正豊 (東京工芸大学・工学研究科・修士課程)
2. 川畑 秀樹 (東京工芸大学・工学研究科・修士課程)
3. 長友 集 (東京工芸大学・工学研究科・修士課程)
4. 白岩 寛之 (都城工業高等専門学校・機械工学科・准教授)
5. 野間 浩一 (八洋エンジニアリング)
6. 仲野 健斗 (東京工芸大学・工学部・卒研究生)
7. 田中 祐貴 (東京工芸大学・工学部・卒研究生)