

データセンターにおける機器冷却特性に関する研究

その3 IT機器の吸込み温度のモデル化

正会員 ○羽山広文*1 同 降旗由紀*2 同 木下 学*3
同 絵内正道*4 同 森 太郎*5

許容温度 換気流量比 室内空気流入率
吸込み温度予測 トータルエネルギー消費係数

1. はじめに

第1, 2報を受けてデータセンター内機器の空調効率向上に向けたラック設計の検討を行う。

本報では、ラック内の再循環を抑制する遮蔽パネルの種類および位置を変更し、その効果を再循環風量の算出により評価する。

2. 実大規模実験

2.1 実験概要

本研究では、機器の吸込み温度を上昇させる原因を排気の再循環によるものと考え、それを防ぐ効率的な手法として遮蔽パネルの設置を提案する。前報で遮蔽パネルの効果は評価されたことを踏まえ、さらに効果的な利用法としてその種類と位置による評価を再循環風量の算出により評価する。以下に比較パターンを示す(表1)。

- a. 種類 機器間の上下・左右・上下左右の3ケース
- b. 位置 機器の手間・奥方向の2ケース(図2)

実験機は前報と同機器を用い、底面給気方式となるクローズドタイプとした(図1)。実験bにおける奥方向パネル設置に関しては、同パネルでは設置が不可能であったため、ウレタンを機器間に充たした。

3. 室内空気の流入率

3.1 算出方法

機器の吸込み空気はラック外の室内空気と下段機器の排気で構成されると仮定し、図3のモデルを用い、吸込み空気量に占める下段機器の排気量の割合 R_m (室内空気流入率)を算出した。垂直方向に並列した場合、段数によって下段の影響に伴い、再循環風量が異なると考えられる。そこで、室内空気流入率を用いて、遮蔽パネルの効果を実験機内部の再循環に特化して分析する。

下から1段目に設置されたユニットは底面から供給され

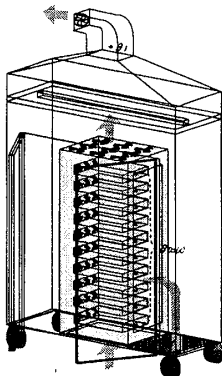


図1 実験機器

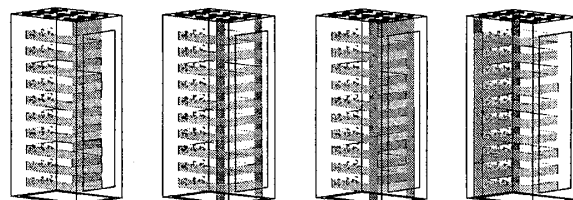


図2 遮蔽パネルの種類・設置位置

表-1 実験パターン

実験変数	実験条件			パターン数
発熱量[kW]	2	3		2
ラックファン個数	6	9		2
遮蔽パネル	パネル1	パネル2	パネル1+2	3
	実験総数			12

たラック給気(温度： $\theta_{or(k)}$)と自己機器排気($\theta_{im(l)}$)の一部を混合して吸込むものとし、2段目以上はラック給気と下段に設置された機器排気($\theta_{im(k-1)}$)の混合とすると、以下のように導かれる。

$$V_m = R_{m(k)} \cdot V_m + \{1 - R_{m(k)}\} \cdot V_m \quad (1)$$

k段目における室内空気流入率を $R_{m(k)}$ とすると、ユニットの吸込み口および吹出し口の熱量収支は以下のとおりである。

$$C_p \rho V_m \theta_{0m(k)} = C_p \rho R_{m(k)} V_m \theta_{or(k)} + C_p \rho \{1 - R_{m(k)}\} V_m \theta_{im(k-1)} \quad (k \neq 1) \quad (2)$$

$$C_p \rho V_m \theta_{0m(1)} = C_p \rho R_{m(1)} V_m \theta_0 + C_p \rho \{1 - R_{m(1)}\} V_m \theta_{im(1)} \quad (k=1) \quad (2)$$

$$C_p \rho V_m \theta_{im(k)} = C_p \rho V_m \theta_{0m(k)} + H_{m(k)} \quad (3)$$

なお、機器表面からの熱伝達はないものとする。実際吸込み温度上昇の原因として、下段だけではなく自己機器や上段機器など周辺機器発熱、およびラック表面からの熱伝達も影響を与えるが、上昇気流が起こるため下段機器の影響に比べて小さいものと考えられる。そこで、下段吹出し温度 $\theta_{im(k-1)}$ とは周辺機器の排気やラック外再循環空気による熱伝達の影響を加味した空気温度を指す。

3.2 評価結果

上記の式により、k段目における室内空気流入率 $R_{m(k)}$ および機器の吸込み温度は以下の式に導かれる。

$$R_{m(k)} = \frac{C_p \rho V_m \{\theta_{0m(k-1)} - \theta_{0m(k)}\} + H_{m(k-1)}}{C_p \rho V_m \{\theta_{0m(k-1)} - \theta_{or(k)}\} + H_{m(k-1)}} \quad (k \neq 1) \quad (4)$$

$$R_{m(1)} = \frac{C_p \rho V_m \{\theta_{im(1)} - \theta_{0m(1)}\}}{C_p \rho V_m \{\theta_{im(1)} - \theta_{or(1)}\}} = \frac{H_m}{C_p \rho V_m (\theta_{0m(1)} - \theta_{or(1)})} \quad (k=1) \quad (4)$$

$$\theta_{0m(k)} = R_{m(k)} \theta_{or(k)} + \{1 - R_{m(k)}\} \left\{ \theta_{0m(k-1)} + \frac{H_{m(k-1)}}{C_p \rho V_m} \right\} \quad (k \neq 1) \quad (5)$$

$$\theta_{0m(1)} = \theta_{or(1)} + \left\{ \frac{1}{R_{m(1)}} - 1 \right\} \cdot \frac{H_{m(1)}}{C_p \rho V_m} \quad (k=1) \quad (5)$$

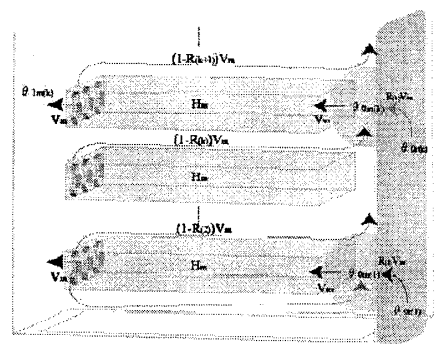


図3 機器吸込み空気の流れモデル

a. 遮蔽パネル種類による比較

図 4a に機器前方に設置した遮蔽パネルの室内空気流入率を種類比較結果を示す。

最高値は下段 1, 2 段目で、最低値は上段 8, 9 段目で測定された。最上段の吸込み空気は下段全ての影響を受けて、最高温度を示すため、平均値で評価する。遮蔽パネル種類による比較を行うと、上下パネル > 上下左右パネル > 左右パネルの順で値が高くなり、上下パネルの優位性が表れた。また、ファン個数増加も向上させた。

ここで、遮蔽率の高い上下左右パネルが上下パネルよりも評価が低くなった。これは実験機が底面給気であるため機器後方からラック側面を通過して上段機器に吸込まれる給気を妨害する。そのため、機器冷却に寄与せず排気される無効空気が存在すると考えられる。

b. 遮蔽パネル位置による比較

位置の比較実験として遮蔽パネルを後方に配置した場合の室内空気流入率を図 4b に示す。

各パターンにおいて、後方配置にすると再循環が改善され、効果的な手法であることがわかった。中でも、上下左右パネルは平均値が大きく向上した。パネルなしと比較すると、前方配置では遮蔽パネルが室内空気の流入を妨げて上下パネルでも大きな効果が得られなかったが、特に上下左右パネルを後方配置することが排気の再循環を抑制して冷却空気を効果的に供給することがわかった。

4. 吸込み温度予測

4.1 算出方法

以上の実験で求められた室内空気流入率から、不均一発熱であっても、ラック吸込み温度と発熱量が明らかな場合以下の計算式を用いて機器の吸込み温度が算出される。

$$\theta_{0m(k)} = R_{m(k)}\theta_{0r(k)} + \left\{1 - R_{m(k)}\right\} \left\{\theta_{0m(k-1)} + \frac{H_{m(k-1)}}{C_p \rho V_m}\right\} \quad (k \neq 1)$$

$$\theta_{0m(1)} = \theta_{0r(1)} + \left\{\frac{1}{R_{m(1)}} - 1\right\} \cdot \frac{H_{m(1)}}{C_p \rho V_m} \quad (k = 1) \quad (6)$$

底面給気の場合、 $\theta_{0r(k)}$ は空調給気温度であるが、側面給気の場合、各機器高さにおけるラック給気温度 $\theta_{0r(k)}$ を前報の m_a と同様に算出する。

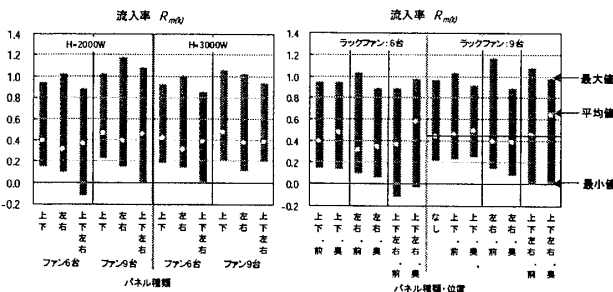


図 4a, 4b 室内空気流入率 (a: 種類別 b: 位置別)

- *1 北海道大学大学院助教・博士 (工学)
- *2 中部電力株式会社・修士 (工学)
- *3 NTT ファシリティーズ研究開発本部 博士 (工学)
- *4 北海道大学大学院教授・工学博士
- *5 国立釧路工業高等専門学校助教・博士 (工学)

$$m_{ar(k)} = \frac{\theta_{0r(k)} - \theta_0}{\theta_1 - \theta_0} \quad (7)$$

よって、ラック吸込み温度は

$$\theta_{0r(k)} - \theta_0 = (\theta_1 - \theta_0) \cdot m_{ar(k)}$$

$$= \frac{\sum H_m}{C_p \rho V_a} \cdot m_{ar(k)}$$

$$\theta_{0r(k)} = \frac{\sum H_m}{C_p \rho V_a} \cdot m_{ar(k)} + \theta_0 \quad (8)$$

ラック再循環温度差比 $m_{ar(k)}$ は実験より求められるので、これ(6)式に代入すると各機器の吸込み温度 $\theta_{0m(k)}$ を求められる。

$$\theta_{0m(k)} = R_{m(k)} \left\{ \frac{\sum H_m}{C_p \rho V_a} \cdot m_{ar(k)} + \theta_0 \right\} + \left\{ 1 - R_{m(k)} \right\} \left\{ \theta_{0m(k-1)} + \frac{H_{m(k-1)}}{C_p \rho V_m} \right\} \quad (k \neq 1)$$

$$\theta_{0m(1)} = \left\{ \frac{\sum H_m}{C_p \rho V_a} \cdot m_{ar(1)} + \theta_0 \right\} + \left\{ \frac{1}{R_{m(1)}} - 1 \right\} \cdot \frac{H_{m(1)}}{C_p \rho V_m} \quad (k = 1) \quad (9)$$

4.1 予測精度の評価

図 5 に示すように不均一発熱である 2 ケースについて検討した。結果より、実測結果と予測結果は概ね一致し、重決定係数 R^2 が 0.84 と比較的高い相関が得られた(図 6)。

5. まとめ

- 1) 実大規模実験により、遮蔽パネルの適切な設置方法と位置を把握した。
- 2) 機器周囲の温度と再循環風量に関する解析モデルを作成し、吸込み温度の予測を可能とした。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(C)2, 16560522 (研究代表: 羽山広文) で行った。

記号表

- V : 風量 (a 空調機, r ラック, m 機器) [m^3/h]
- $R_m(k)$: 機器の吸込み空気量に占める室内空気流入率 [-]
- $\theta_{0,1m(k)}$: k 段目の機器吸込み, 吹出し温度 [$^{\circ}C$]
- $\theta_{0r(k)}$: k 段目高さのラック吸込み温度 [$^{\circ}C$]
- $\theta_{0,1}$: 空調給気, 排気温度 [$^{\circ}C$]

参考文献

- 1) 木下学・羽山広文・倉淵隆: 室外機の吸込み温度の抑制手法である排気用ダクトに関する検討—多層階に設置される室外機の吸込み温度上昇に関する研究—, 日本建築学会計画系論文集, No541, pp31-36, 2001.3

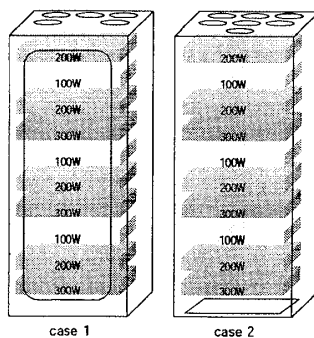


図 5 照合実験ケース

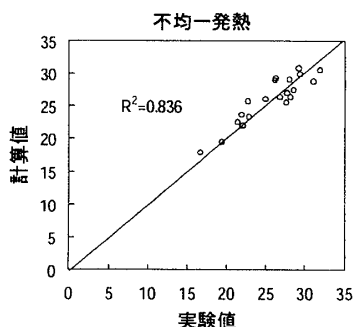


図 6 吸込み温度の整合性

- *1 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
- *2 CHUBU Electric Power Co., Inc., Mr. Eng.
- *3 Research and Development HQ, NTT Facilities Inc., Dr. Eng.
- *4 Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
- *5 Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology, Dr. Eng.