

データセンタ用空調システムの効率決定の要因に関する研究 その3 空調機吹出し温度下限値が効率に与える影響

正会員 ○野呂田みゆき*1
同 羽山広文*2
同 絵内正道*3
同 森 太郎*4
同 木下 学*5

データセンター 空調システム 発熱分布
空調機吹出し温度下限値

1. はじめに

インターネットを支えているiDC(インターネット・データセンター)では、システムの動作に適した温度管理が必要である。しかし、通信機器の高発熱化や通信量の増大により空調負荷は非常に大きくなっている。そこで本論では、iDC内で生じる発熱量の偏在と空調機の吹出し温度下限値が、空調効率に与える影響について検証し、高効率空調に向けた指針の一つとなるよう試みた。

2. 評価方法

2.1 実大規模実験

発熱量を変えられる模擬発熱体を設置した実験室で実験を行った。空調方式は二重床吹出し横吸込み方式であり、各発熱体はラック上部のファンによって強制空冷される。本報告では発熱密度を一定とし、6パターンの発熱と3パターンの空調給気量の計18パターンの実験を行った。図1に実験室の平面図を示す。

2.2 発熱偏在の指標

発熱重心が等しくても、機器配置の分布によって発熱のばらつきの程度は変わる。本報告では発熱偏在を評価する指標として、マハラノビスの汎距離 D^2 を用いた。マハラノビスの汎距離で発熱偏在を評価すると、偏在が広範囲だと小さな値、局所的だと大きな値を示す。空調機を中心座標を(X, Y)、発熱重心座標 (x_{ave}, y_{ave}) 、分散・共分散行列の逆行列を S^{-1} とするとマハラノビスの汎距離 D^2 は式(1)で表される。また、表1に実験の発熱パターン例とマハラノビスの汎距離を示す。

$$D^2 = [X - x_{ave}, Y - y_{ave}] S^{-1} \begin{bmatrix} X - x_{ave} \\ Y - y_{ave} \end{bmatrix} \quad (1)$$

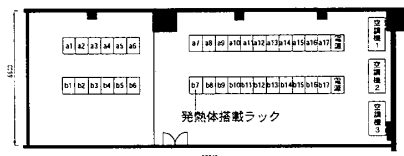


図1 実験室平面図

表1 発熱パターン例とマハラノビスの汎距離

ラック番号	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17
発熱量 [kW]	3.0	3.0	3.0				2.1				2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
ラック番号	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17
発熱量 [kW]	1.0	3.0	3.0				1.9				2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0

マハラノビスの汎距離: 4.303

ラック番号	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17
発熱量 [kW]	0.0	0.0	0.0				2.1				2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
ラック番号	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17
発熱量 [kW]	0.0	0.0	0.0				1.9				2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

マハラノビスの汎距離: 9.034

ラック番号	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17
発熱量 [kW]	3.0	2.0	1.0				2.1				2.0	3.0	2.0	1.0	3.0	2.0	1.0
ラック番号	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17
発熱量 [kW]	3.0	2.0	1.0				1.9				2.0	3.0	2.0	1.0	3.0	2.0	1.0

マハラノビスの汎距離: 3.059

また、実大規模実験で得られた結果から、室温の標準偏差 σ を目的変数、マハラノビスの汎距離 D^2 と空調機送風温度差 ΔT を説明変数として重回帰分析を行い、良好な結果を得た。 $\sigma = 0.221D^2 + 0.295 \Delta T - 0.520$ ($R^2=0.7102$) (2)

2.3 室温の標準偏差と空調機吸込み温度

室内分布が正規分布を示すとき、平均室温を T_{ave} とすると $[T_{ave} - 3\sigma, T_{ave} + 3\sigma]$ に全体の99.7%が含まれる。また、実大規模実験結果の平均室温 T_{ave} と空調機吸込み温度 T_r の関係から、両者を等しいものとして扱い、次式が成り立つ。

$$T_r = T_{ave} = T_{MAX} - 3\sigma \quad (3)$$

2.4 熱源エネルギー消費係数 ϵ_{com}

本報告で用いた熱源エネルギー消費係数 ϵ_{com} は、室内熱負荷を H_L 、室内ファン機動力 E_F 、熱源機器の成績係数を COP_{COM} とすると、次式で表される。

$$\epsilon_{com} = \frac{H_L + E_F}{H_L COP_{COM}} \quad (4)$$

空調機の特長表を用いて、式(4)から熱源エネルギー消費係数 ϵ_{com} を算出した。また、 ϵ_{com} を目的変数、外気温度の二乗 T_0^2 (外気温度とコンプレッサ能力との関係を二次関数で近似、 $T_0 > 0$)と空調機吸込み温度 T_r を説明変数として重回帰分析を行った。

$$\epsilon_{com} = 9.42 \times 10^{-5} \times T_0^2 - 5.13 \times 10^{-3} \times T_r + 0.418 \quad (5)$$

$(R^2=0.8568)$

2.5 空気搬送エネルギー消費係数 ϵ_F

空気搬送エネルギー消費係数 ϵ_F は、送風時の空調機内圧力損失と二重床内圧力損失から算出され、次式で表される。

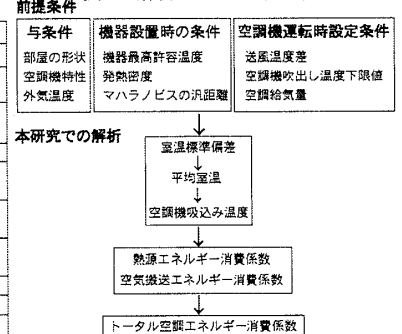
$$\epsilon_F = \frac{P_c V + 0.815 \epsilon^{-0.820} K_d \frac{\rho}{2} \left(\frac{1}{W_d h} \right)}{H_L \eta_r} \quad (6)$$

(6)式における値は空調機の特長などから決まる定数であり、本報告では室条件については実験室の寸法を、その他の条件については一般的な情報処理室で測定される値を採用した。表2に各条件、表3に本研究の解析フローチャートを示す。

表2 評価に用いる条件

与条件	記号	単位	値
機器許容温度	T_{MAX}	°C	30
二重床特性係数	K_d	-	4.36
二重床有効高さ	h	m	0.6
二重床の幅	W_d	m	7.1
風量分布の不均一率	ϵ	-	0.3
空調機機内静圧	P_c	Pa	284
送風機の総合効率	η_r	-	0.5
空気の比熱	C	kWh/kgK	0.28
空気の密度	ρ	kg/m ³	1.2
外気温度	T_0	°C	20

表3 解析フローチャート



Factor Analysis of Efficiency of Air Conditioning System for Data-center Part 3. The Effect of the Lower Limit of the Air Conditioner Exit Temperature

NOROTA Miyuki, HAYAMA Hirofumi, ENAI Masamichi, MORI Taro and KISHITA Manabu

3. 評価結果

3.1 空調機吹出し温度下限値の影響

図2はマハラノビスの汎距離7、発熱密度600(W/m²)のときの送風温度差とトータル空調エネルギー消費係数の関係を示したものである。この結果から温度環境維持のためには、送風温度差を拡大することが適切な対処方法であることがわかる。これは空調機が送風温度差が大きいくほど送風機動力が軽減され、高効率な運転が出来るためである。また、空調機吹出し温度下限値が低いほど送風温度差を拡大することが可能であり、トータル空調エネルギー消費係数の最小値も異なる。

また、各マハラノビスの汎距離と空調機吹出し温度の下限値毎に、室温標準偏差とトータル空調エネルギー消費係数の関係を表わしたものが図3である。空調機吹出し温度の下限値が低いほど送風温度差を大きくとることが出来るので、空調給気量が少なくなり、室温の標準偏差は大きくなる。また、空調機吹出し温度下限値が一定ならば、マハラノビスの汎距離が大きいほど室温標準偏差もトータル空調エネルギー消費量も大きくなる。特に空調機吹出し温度の下限値が高くなると、その傾向は顕著となることわかる。

3.2 発熱の偏在と空調効率

マハラノビスの汎距離とトータル空調エネルギー消費係数の関係を、空調機吹出し温度下限値毎に示したグラフを図4に示す。この結果により、機器の発熱偏在の程度と吹出し温度の下限値が既知であれば、空調消費エネルギーを予測することが可能となる。また、高効率空調のためには、機器発熱のばらつきを表わすマハラノビスの汎距離を小さくし、空調機吹出し温度下限値を低く設定することが必要である。

4. 総括

発熱のばらつきを定量的に評価し、それに空調機吹出し温度の下限値を設定して空調エネルギー消費量の検討を行った。得られた知見は以下の通りである。

- ・発熱のばらつきが大きいと、室温の標準偏差が大きくなり、機器の温度環境を保つために要する空調消費エネルギーが大きくなる。従って、発熱のばらつきを考慮した機器配置計画が必要である。
- ・送風温度差を大きくして空調機の送風機動力を低減化することも高効率空調のための一つの方法である。しかし実際には吸込み温度に下限値があるので送風温度差の拡大には制限が出てくる。吸込み温度下限値が高いほど発熱のばらつきによる空調効率低下の影響が顕著となる。
- ・機器の発熱偏在の程度と空調機吸込み温度下限値が既知であれば、空調消費エネルギーを予測することが可能である。

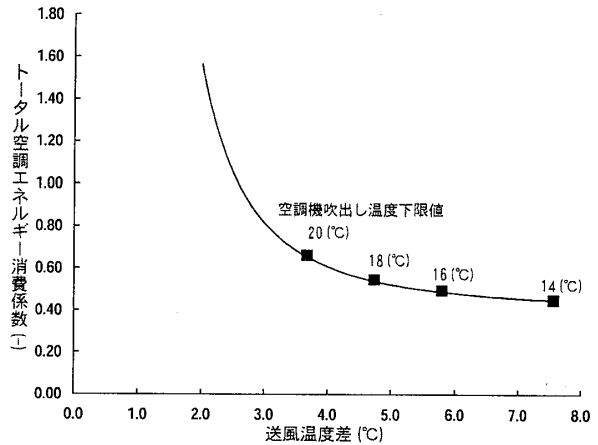


図2 送風温度差とトータル空調エネルギー消費係数 (マハラノビスの汎距離7・発熱密度600W/m²)

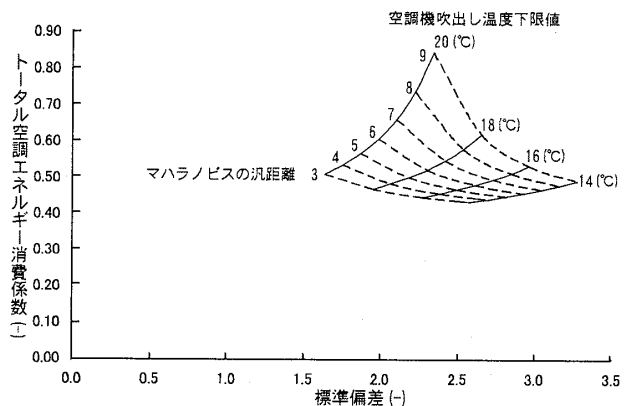


図3 室温標準偏差とトータル空調エネルギー消費係数 (発熱密度600W/m²)

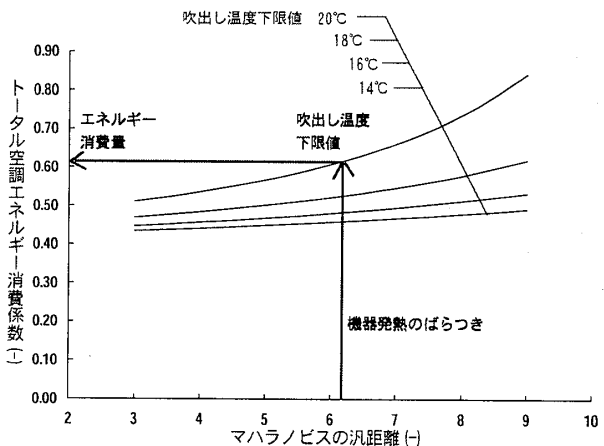


図4 マハラノビスの汎距離とトータル空調エネルギー消費係数の関係 (発熱密度600W/m²)

参考文献:

- 1) 菅民郎: 多変量解析の実践 上, 現代数学社
- 2) (社) 空気調和・衛生工学会: 建築・設備の省エネルギー技術指針 pp192-198, 1994.6
- 3) 羽山広文: 床吹出し空調システムの高効率化, 日本建築学会技術報告集 第2号, pp110-114, 1996.3

*1 北海道大学大学院工学研究科 修士課程
 *2 北海道大学大学院工学研究科 助教授・工博
 *3 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博
 *4 北海道大学大学院工学研究科 助手・工博
 *5 NTT ファシリティーズ研究開発本部 工博

*1 Graduate student, Graduate school of eng., Hokkaido Univ.
 *2 Assoc.Prof., Graduate school of eng., Hokkaido Univ., Dr.eng.
 *3 Prof., Graduate school of eng., Hokkaido Univ., Dr.eng.
 *4 Instructor, Graduate school of eng., Hokkaido Univ., Dr.eng.
 *5 Research and Development Dept., NTT Facilities Inc., Dr.eng.