

外気と排気を利用するモジュール型データセンター における消費電力シミュレーション

阿部有希^{*1} 小西慧^{*2} 川喜田佑介^{*3} 市川晴久^{*2*3}

*1 電気通信大学 人間コミュニケーション学科 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

*2 電気通信大学 総合情報学専攻 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

*3 電気通信大学 ユビキタスネットワーク研究センター

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: {abe.yuki, konishi.satoshi, kawakita.yuusuke, ichikawa.haruhisa}@ichikawa-lab.orb

あらまし 本稿では、モジュール型データセンターにおける消費電力化を目指し、そのための外気導入、排気利用による空調制御法を評価するためのモデル化と消費電力のシミュレーションを行う。データセンターの消費電力シミュレーションでは、各々のデータセンターの状況を用いて計測するため、サーバ数や空調機器の数などの前提条件が異なる。本稿では、データセンターを実際に運用することなく、IT機器の発熱量、外気の温度とモジュール内に空気を送るファンの最高消費電力、最高風力を入力することでモジュール型データセンターの消費電力をシミュレーションすることができた。

キーワード モジュール型データセンター、省エネルギー、強制空冷方式、外気導入、シミュレーション

A Simulation of Power Consumption on Using Ambient and Exhaust Air in Module Data Center

Yuki Abe^{*1} Satoshi Konishi^{*2} Yuusuke Kawakita^{*3} and Haruhisa Ichikawa^{*2*3}

*1 Department of Human Communication, The University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

*2 Department of Informatics, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

*3 Research Center for Ubiquitous Networking and Computing, The University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

E-mail: {abe.yuki, konishi.satoshi, kawakita.yuusuke, ichikawa.haruhisa}@ichikawa-lab.orb

Abstract In this manuscript, it was proposed that a power consumption modeling and its simulation to evaluate an air conditioning control method using ambient air inducting and exhaust air mixing in the modular datacenter. Because each assumption of data center like the number of servers or air conditioners is different, it cannot be directly compared. It was shown that a numerical formula model to simulate, without really managing datacenter, using the calorific value of IT devices, the outer temperature, and the specifications of fan device.

Keyword Module Data Center, Green Action, Forced Air Cooling, Using Ambient Air, Simulation

1. はじめに

IT業界では、IT機器の普及が進む中、データセンターの消費電力が増加している。現在のままでは、データセンターの消費電力は2005年に約150

億kWh/年だったものが2025年には約600億kWh/年になると予測されている。また、技術的革新により2025年に約440億kWh/年を削減できると期待されている[1]。

グリーングリッドの調査では、データセンターにおける消費電力の30%がIT機器、33%がチラー

に使われている[2]。よって、データセンターの空調効率を高め、省エネルギー化をする取り組みが行われている。

米国暖房冷凍空調学会(ASHRAE)は、IT 機器運用に適した温湿度条件推奨値であるASHRAE2008(図1)を推奨している[3]。

データセンターには従来のハウジング型データセンターに加え、モジュール型データセンターも登場している。モジュール型データセンターは、IT 機器や冷却装置等をコンテナ等の小規模な一つの「モジュール」内に格納して運用する。2010年8月2日に公表された、構造改革特区提案に関する各府省庁の検討要請に関する回答の中で、国土交通省は「内部に人が原則として入らないコンテナを活用した通信機器収納施設については、建築基準法第2条第1号の建築物に該当しない設備機器として扱う」とした。よって、コンテナ型データセンターやプレハブ型データセンターは屋外の至る場所に設置することができる。

ハウジング型データセンターは、IT 機器冷却のため、冷房機器を追加することにより室内の温度を均一化し空調効率を上げることができる。本稿で検討対象としたコンテナ型データセンターのモデルである株式会社インターネットイニシアティブ(IJ)のモジュール型データセンター「IZmo」[4]は、IT 機器や分電盤が設置されているIT モジュール(図2)と、IT モジュール内に空気を送るための空調モジュールに分かれている。

データセンター内の機器冷却に、外気を利用して運用する取り組みが行われている[5][6]。このとき、取り込む外気はASHRAE2008などの規定が用いられる。この外気導入空調による運用をしている間は冷房を使用しないため、データセンターの消費電力を抑えることができる。また、外気がIT 機器運用に適している温湿度条件推奨値よりも温度が低かった場合、排気を混合することで適した温湿度にする排気利用による運用方法がある。

本稿では外気導入と排気利用に着目してモジュール型データセンターのモデル化を行い、さらに消費電力をシミュレーションする。

以降、2. では、モジュール型データセンターの省電力化の取り組みについて述べる。3. では、外気導入、排気利用時のモジュール型データセンターの消費電力モデル化をする。4. では、3. で提案したモデルをシミュレーションによって評価し、最後に本稿の結びを述べる。

2. モジュール型データセンターの特徴

モジュール型データセンターの特徴として、以下の3つが挙げられる。

- (A) 建築および設置過程の効率化
- (B) リスク分散
- (C) 運用コストの削減

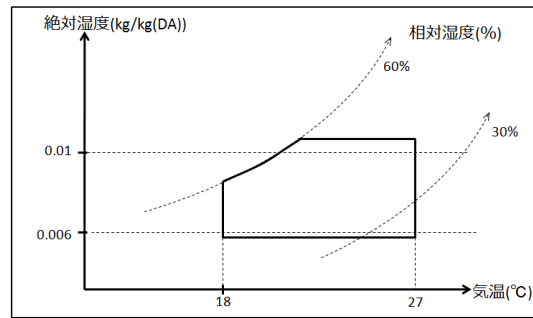


図1 ASHRAE による温湿度条件推奨値。

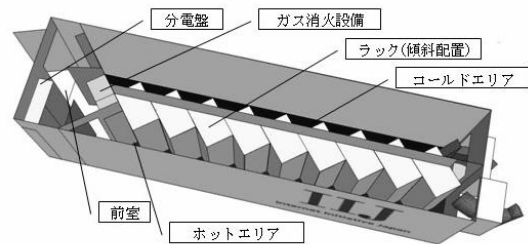


図2 IZmo の IT モジュール。

モジュール型データセンターは、IT 機器を搭載したまま移動・設置が可能である。よって、データセンター構築時におけるコストのうち、モジュールの製造場所から設置場所までの移動コスト、IT 機器の製造場所からモジュールまでの機器導入コストおよび動作チェックや動作不良によるIT 機器の返品、交換品の移動コストを削減することができる。また、上記の過程で必要となる時間の短縮による初期導入コストの削減が期待できる。IJ では、IT モジュールの幅を2.5メートル以下に、IT モジュール内に設置するラックを傾斜配置にすることで、トレーラー等の特殊車両ではなく通常的大型トラックでの運搬が可能となり、輸送コストを約3分の1まで低減できるとしている[4]。

モジュール型データセンターは移動が可能のため、地理的に分散させて運用することが期待できる。データセンターが地理的に分散していると、アプリケーションの耐障害性が増す[7]。また、地理的に分散させることにより、地震などの災害時のリスク分散になることも期待される。モジュール型データセンターが外気導入による空調制御を行う場合、モジュールの外気環境が悪条件になると、外気導入による空調制御を行えない。よって、モジュール型データセンターを地理的に分散させることで、外気導入可能なモジュール型データセンターの冗長性を持たせ、運用することが考えられる。

1. でも述べたように、データセンターの消費電力の約33%はIT機器の冷却に用いられている。よって、外気導入や空調制御の効率化により、データセンター内の消費電力を削減することができる。

そこで、本稿ではモジュール型データセンターの消費電力を削減するため、ASHRAE2008を用いた空調機器の制御方法を評価するためのモデルを提案する。本稿で提案するモデルを使うことで、IJのIZmoのように実際に運用することなく、計算によって消費電力の概算値を知ることができる。

データセンターにおける空調の効率化をシミュレーションによって求める際、どの程度効率化されたかという結果は何割減ったかという合計数値のみが示されていることが多い。また、各々のデータセンターをモデルとして用いているため異なる条件を扱っており客観性が持てない。本稿で提案するシミュレーションはIT機器の発熱量、外気の温度、モジュール内に空気を送るファンの最高風量と最高消費電力を入力することでモジュール型データセンターの消費電力をシミュレーションすることができるので、客観的に外気条件を評価し、モジュール型データセンターの消費電力を概算することが期待できる。

3. 外気と排気を利用する消費電力モデル

モジュール型データセンターにおけるIT機器の冷却は以下の方法が考えられる[4].

- ① 外気の温湿度状態が目的とするASHRAE2008内にあるときに、外気をそのまま用いてIT機器の却に使い、IT機器からの排気はすべて捨てる(図3).
- ② 外気の温湿度がASHRAE2008が定める範囲よりも低温度、低湿度であるとき、外気とIT機器の排気を混合して利用する(図4).
- ③ 外気、コンテナ内の空気を冷却して運用する(図5).

羽山らは、二重床吹出し・天井吸込み気流方式のデータセンターの室内とラックにおける二種類の再循環を考慮した機器冷却モデルを提案している[8]. このモデルは全てのIT機器の吸い込み温度を適正な範囲に制御するため、機器の冷却特性が空調効率に与える影響に注目している。本稿で扱うモデルは、全てのIT機器の吸い込み温度は一定である。また、①では排気を全て捨てるため、室内、ラックにおける空気の再循環を考慮しない。本稿では、温度に着目し、①、②において、IT機器からの排気温度を一定に保つよう空調機器が制御されるとし、モジュール型データセンターのモデル化をする(図6). ③のモデル化は本稿では行わない。このとき、モジュール型データセンターの総消費電力は、IT機器とモジュール内に空気を送るファンの消費電力の和とした。

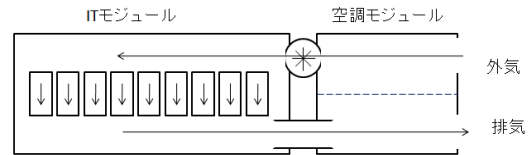


図3 ①外気導入時の空調イメージ。

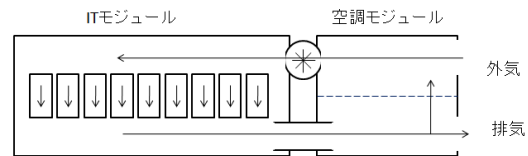


図4 ②排気利用時の空調イメージ。

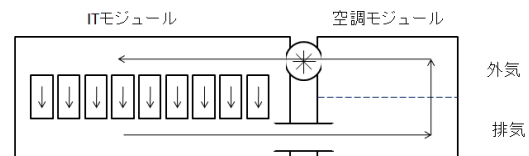


図5 ③冷却機器利用時の空調イメージ。

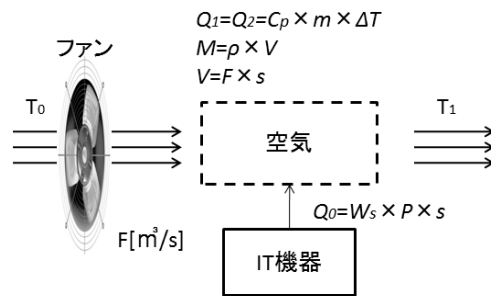


図6 モジュール型データセンターのモデル。

まず、①の場合について述べる。IT機器が発した熱量 Q_0 [kJ]がファンによって常に冷却されるとし、IT機器の消費電力を W_s [kVA]、力率 P 、単位時間 s [s]とすると、 Q_0 は式(1)のように表せる。

$$Q_0 = W_s \times P \times s \quad (1)$$

定圧比熱 C_p [kJ/(kg·K)]、IT機器を通りぬけた空気の重さ m [kg]、空調モジュールからITモジュールに送られる空気の温度を吸気温度 T_0 [K]、IT機器の排気温度 T_1 [K]、 $\Delta T = T_1 - T_0$ [K]、通り抜けた空気の温度を ΔT 上げるのに必要な熱量を Q_2 [kJ]とすると、IT機器から奪われた熱量 Q_1 [kJ]は式(3)で表せる。

$$Q_0 = Q_1 = Q_2 \quad (2)$$

$$Q_2 = C_p \times m \times \Delta T \quad (3)$$

また、IT機器を通りぬけた空気の重さ m は空気の密度 ρ [kg/m³]、IT機器を通り抜けた空気の体積 V [m³]とすると、式(4)より求められる。

$$m = \rho \times V \quad (4)$$

ファンの風量 F [m³/s]は、IT 機器を通り抜けた空気の体積 V と単位時間 s を用いて、式(5)から求められる。

$$V = F \times s \quad (5)$$

ファンの消費電力 W_f [kW]は、風量の3乗に比例する。よって、ファンは最高消費電力 W_{full} [kW]のときに最高風量 F_{full} [m³/s]を出しているとするとき、 W_f は式(6)のように表される。

$$W_f = W_{full} \times (F \div F_{full})^3 \quad (6)$$

よって、モジュール型データセンターの消費電力 W_a [kW]は式(7)のように表されるとモデル化することができる。

$$W_a = (W_s \times P) + W_f \quad (7)$$

式(7)より、任意の時間内におけるモジュール型データセンターの消費電力 W_{as} [kW]は次のように求められる。

$$W_{as} = \sum (W_s \times P) + W_f \quad (8)$$

次に、②の場合について述べる。図4のように、排気利用では空調モジュール内の外気と排気を隔てるドアの開閉により外気と排気を混合する。このとき、ドアの開閉による消費電力 W_{door} [kW]が十分に小さいとすると、(2)のときのモジュール型データセンターの消費電力は(1)と同様に求めることができる。

$$\text{データセンターの消費電力} = W_a + W_{door} \quad (9)$$

$$\text{データセンターの消費電力} \approx W_a \quad (W_a \gg W_{door}) \quad (10)$$

4. 評価

本章では、3. で提案したモデルのシミュレーションと外気導入、排気利用時の消費電力の評価について述べる。

4.1. 提案モデルの評価

提案したモデルを用いたモジュール型データセンターにおける消費電力の3つのシミュレーション例を表1に示す。IT機器の消費電力は常に $W_s = 90$ [kVA]、空気の定圧比熱 $C_p = 1.006$ [kJ/(kg·K)] [10][12]、力率 $P = 1$ [11]、空気の密度 $\rho = 1.293$ [kg/m³]、吸気温度 $T_0 = 303.15$ (30[°C])、298.15(25[°C])、293.15(20[°C])[K]、IT機器の排気温度 $T_0 = 313.15$ (40[°C])とした。ファンは三洋電機株式会社の San Ace 160 を使用した。このファンは最高消費電力 $W_{full} = 37.5$ [kW]、最高風量 $F_{full} = 7.2$ [m³/s]である。結果、吸気温度 $T_0 = 293.15$ [K](20[°C])のとき303.15[K](30[°C])に比べモジュール型データセンターの消費電力が29.119[kW]少ないことがわかった。IJによるIZmoの実証実験[4]では、1日の平均気温17.0[°C]のとき平均風量は14627[m³/h]だった(以下、実測値と呼ぶ)。このときの空調制御方法は①と②である。[4]における数値が平均値であることなどから

表1 消費電力シミュレーション結果.

T_0 [K]	F [m ³ /s]	W_f [kW]	W_a [kW]
303.15(30[°C])	6.919	33.279	123.279
298.15(25[°C])	4.613	9.860	99.860
293.15(20[°C])	3.460	4.160	94.160

表2 外気・排気を利用したシミュレーション結果.

サイト	外気導入時間[時間]	排気利用時間[時間]	外気導入・排気利用時間割合[%]
札幌	647	57	94.75
根室	220	523	100.00
苫小牧	608	135	100.00
江差	686	51	99.19
青森	652	59	95.69
むつ	611	126	99.19
仙台	686	30	96.37
東京	406	4	55.18
岡山	300	0	40.38

表3 外気・排気を利用した消費電力シミュレーション結果.

サイト	外気導入・排気利用時間割合[%]	消費電力[kW・時間]
根室	100.00	2894.66
苫小牧	100.00	2918.83
江差	99.19	2936.66
むつ	99.19	2923.34

正確に比較することはできないが、吸気温度 $T_0 = 293.15$ [K] (20 [°C]) のとき、風量 $F = 3.460$ [m³/s] = 12456[m³/h]というシミュレーション結果は実測値に近い値であると考えられる。

4.2. 外気導入と排気利用による消費電力評価

提案したモデルと気象情報[12]を用いて、1カ月間における全国各地の外気導入、排気利用時間の割合をシミュレーションした。9か所のシミュレーション例を表2に示す。気象情報は2009年8月のものを用いた。IT機器の消費電力は常に $W_s = 90$ [kVA]、空気の定圧比熱 $C_p = 1.006$ [kJ/(kg·K)]、力率 $P = 1$ 、空気の密度 $\rho = 1.293$ [kg/m³]、IT機器の排気温度 $T_0 = 313.15$ (40[°C])とした。ファンは三洋電機株式会社の San Ace 160 を使用した。このファンは最高消費電力 $W_{full} = 37.5$ [kW]、最高風量 $F_{full} = 7.2$ [m³/s]である。空調制御が①の時、吸気温度は外気の温度と同じ値とする。また、②の時は吸気温度をASHRAE2008の

IT 機器運用に適している温湿度条件推奨値の温度における下限である $T_0 = 291.15[K](18[^\circ C])$ とする。

結果、北海道、東北地方では 2009 年 8 月の 1 ヶ月間における外気導入・排気利用時間割合が約 95% 以上であること、100% の地域が存在することがわかった。また、東京においても半月程度外気導入を行えることがわかった。

次に、表 3 に 4 か所における外気導入・排気利用時間割合と消費電力を示す。

結果、根室と苫小牧のように外気導入・排気利用時間割合が同じ 100% でも消費電力が異なる地域があることがわかった。これは、ファンの消費電力が風量の 3 乗に比例し、吸気温度が低いほど消費電力が低くなるからである。表 3 より、根室は苫小牧よりも、むつは江差よりも排気利用時間が長い。よって、外気導入において、ASHRAE2008 で推奨する値に適合する 18 度以上の外気を使用するよりも、外気と排気を混合することで常に吸気温度が 18 度となる排気利用の時間割合が多い方が消費電力が低くなる。

また、江差とむつのように県が異なる地域でも外気導入・排気利用時間割合が同程度のケースがあることがわかった。

4. 3. 実測値との誤差

本稿で提案したモデルは、モジュール型データセンターの総消費電力を IT 機器とモジュール内に空気を送るファンの消費電力の和とした。IT 機器とファンの消費電力はモジュール型データセンター全体の 63% である。実際には残りの 37% である加湿器 3%、CRAC9%、PDU5%、UPS(無停電電源装置)18%、スイッチ・ジェネレーター1%、照明 1% が存在する[2]。また、今回シミュレーションに用いた値は常に IT 機器の消費電力が 90[kVA] で動き続けており発熱量が 90[kW] としていること、排気温度を常に 313.15(40[$^\circ C$]) としたことにより、実測値との誤差が生じる。

また、本稿のシミュレーションは湿度を考慮していないので、ASHRAE2008 の範囲に外気温度が含まれ、外気湿度が含まれない場合は、外気導入が可能であるとして計算してしまう。よって、実際よりも外気導入、排気利用を行った時間が長く、消費電力を低く算出していると考えられる。

5. むすび

本稿では、モジュール型データセンターの消費電力をモデル化し、モジュール内に空気を送るファンの最高風量、最高消費電力、ファンの吸気温度を入力することで、実際にデータセンターを運用することなく消費電力をシミュレーションする方法を提案した。

シミュレーション結果より、気象情報を用いて全国各地における消費電力を概算した。また、シミュレーション結果から、外気導入と排気利用の

合計時間が同じでも、消費電力が異なることを知ることができた。

提案手法は概算だが、加湿器、CRAC、PDU、UPS(無停電電源装置)、スイッチ・ジェネレーター、照明の消費電力を考慮することで実測値に近づけることができる。また、③の冷却機器を使用した空調制御方法における消費電力を考慮することで、モジュール型データセンターの消費電力をトータルで計算することができる。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST ULP プロジェクトの支援を頂きました。また、助言していただいた株式会社インターネットイニシアティブ宇夫陽次朗様、堂前清隆様に深く感謝し、謝辞といたします。

参考文献

- [1] グリーン IT 推進協議会調査分析委員会, “2009 年度グリーン IT 推進協議会調査分析委員会報告書概要～低炭素社会に向けたグリーン IT の貢献～,” グリーン IT 推進協議会調査分析委員会, Jun. 2010.
- [2] “Guide lines for Energy-Efficient Datacenters,” The Green Grid, Feb. 2007.
- [3] “2008 ASHRAE Environmental Guidelines for Datacom Equipment” American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2008.
- [4] 久保力他, “次世代モジュール型エコ・データセンター,” Internet Infrastructure Review, 株式会社インターネットイニシアティブ, vol.9, pp.24-35, Nov. 2009.
- [5] “日立モジュール型データセンター 外気冷却システム制御,” モジュール型データセンター, 株式会社日立, www.hitachi.co.jp/products/it/server/mdc/gaiki.html.
- [6] 山口巖他, “外気活用によるデータセンターの空調動力削減,” 季刊環境研究 No.155, 2009.
- [7] “地理的に分散している仮想データセンター向けの Overlay Transport Virtualization: アプリケーションの可用性とポータビリティの改善,” シスコシステムズ合同会社, http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/switches/nexus7000/prodlit/solution_overview_c22-574939.html.
- [8] 羽山広文他, “データセンターの機器冷却特性と空調効率に関する研究,” 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻第 640 号, pp.721-728, Jun, 2009.
- [9] “UPS に接続する機器の電源容量を算出する,” 日立アドバンスサーバ, 株式会社日立,

http://www.hitachi.co.jp/products/it/server/ha8500/column/no007_p01.html.

[10] 国立天文台, 理科年表, 丸善, 2002.

[11] “UPS に接続する機器の電源容量を算出する,”
日立アドバンスサーバ HA8500/9000V シリーズ,
株式会社日立,
http://www.hitachi.co.jp/products/it/server/ha8500/column/no007_p01.html.

[12] 気象庁年報 2009 年, 気象庁.