



Title	データセンタにおける空調機の消費電力を削減するためのサーバへのタスク配置手法の性能評価
Author(s)	出口, 孝明; 谷口, 義明; 長谷川, 剛 他
Citation	電子情報通信学会技術研究報告. NS, ネットワークシステム. 2014, 113(472), p. 191-196
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/71021
rights	copyright©2014 IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

データセンタにおける空調機の消費電力を削減するための サーバへのタスク配置手法の性能評価

出口 孝明[†] 谷口 義明^{††} 長谷川 剛^{††} 中村 泰^{†††}

浮田 宗伯^{††††} 松田 和浩^{††††} 松岡 茂登^{††,††††}

[†] 大阪大学基礎工学部情報科学科 〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

^{††} 大阪大学サイバーメディアセンター 〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-32

^{†††} 大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻 〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

^{††††} 国際電気通信基礎技術研究所 〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

^{†††††} NTT アドバンステクノロジー株式会社 〒 212-0014 神奈川県川崎市幸区大宮町 1310

E-mail: ^{††}t-deguti@ics.es.osaka-u.ac.jp

あらまし 本報告では、データセンタにおける空調機とサーバへのタスク配置の連携制御に着目し、データセンタ内のサーバの温度分布を平準化し、空調機の消費電力を削減するためのサーバへのタスク配置手法を提案する。提案手法では、数値流体力学ソフトウェアを用いたシミュレーションにより、温度が高いサーバと低いサーバを特定し、温度が高いサーバから低いサーバにタスクを移動することで、サーバの温度分布を平準化する。提案手法の性能評価の結果、一般的なデータセンタモデルでは消費電力を 9.6 %削減できることがわかった。また、我々の研究グループが提案しているデータセンタモデルでは空調機の消費電力を 45.6 %削減し、廃熱利活用の効果を算入するとデータセンタ全体の消費電力を 22.4 %削減できることを示した。

キーワード データセンタ, 消費電力削減, タスク配置, 空調機, 数値流体力学シミュレーション

Performance evaluation of task assignment method for reducing air conditioning power consumption at data centers

Takaaki DEGUCHI[†], Yoshiaki TANIGUCHI^{††}, Go HASEGAWA^{††}, Yutaka NAKAMURA^{†††},

Norimichi UKITA^{††††}, Kazuhiro MATSUDA^{††††}, and Morito MATSUOKA^{††,††††}

[†] Sch. of Engineering Science, Osaka Univ., 1-3 Machikaneyama, Toyonaka, 560-8531, Japan

^{††} Cybermedia Center, Osaka Univ., 1-32 Machikaneyama, Toyonaka, 560-0043, Japan

^{†††} Grad. Sch. of Engineering Science, Osaka Univ., 1-3 Machikaneyama, Toyonaka, 560-8531, Japan

^{††††} ATR, 2-2-2 Hikaridai, Sourakugun Seika, 619-0288, Japan

^{†††††} NTT Advanced Technology Corporation, 1310 Omiya, Saiwai, Kawasaki, 212-0014, Japan

E-mail: ^{††}t-deguti@ics.es.osaka-u.ac.jp

Abstract In this report, we propose a server task assignment method for leveling the temperature distribution of data center servers to reduce air conditioning power consumption. Our method is based on the simulation of data center's airflow to find a server with the highest temperature and that with the lowest temperature and moves the server's task from the former server to the latter server. Evaluation results show that we can decrease the power consumption of air conditioners by 9.6% and 45.6% for the traditional data center model and the novel data center model developed by our research group, respectively. Furthermore, by considering the effect of waste heat utilization, the total power consumption in our novel data center model can be decreased by up to 22.4%.

Key words Data center, Power consumption reduction, Task assignment, Air conditioning, Computational fluid dynamics simulation

1. はじめに

クラウドコンピューティングやオンラインストレージなどの普及によりデータセンタの数および電力消費は年々増大している [1]。それに伴い、データセンタの省電力化に関する研究が注目を集めている [2, 3]。[4] によると、データセンタの全消費電力のうち 30 % をサーバ等の ICT 機器が、33 % を空調機が、18 % を電源装置がそれぞれ占める。従来、データセンタを構成する個別の機器やシステムに対して電力効率を向上させる取り組みが行われている [5-9]。例えば、サーバへのタスクの割り当てを工夫し、使用しないサーバをスリープあるいはシャットダウンすることにより省電力化を行う手法が提案されている [10, 11]。

しかし、データセンタの電力効率をさらに高めるためには、データセンタ内の機器間の連携制御が必要となると考えられる。例えば、タスクを一部のサーバに集中的に割り当て、使用しないサーバを停止する場合、タスクを割り当てたサーバに発熱が集中し、室内に高温となる部分が発生する。サーバ内部の温度が上昇するとパフォーマンス低下や強制シャットダウンが発生する [12] ため、サーバの冷却が必要となる。データセンタでは、通常、空調機によってサーバの温度が一定範囲内に収まるように制御しているが、サーバの温度が高くなると空調機の設定風量を大きくする、あるいは、設定温度を低くする必要がある。空調機の消費電力が増加する。一方、サーバにタスクを分散して割り当てることにより、タスクを一部のサーバに集中的に割り当てる場合と比較してサーバ全体の消費電力は増加するが、サーバの温度は低くなるため空調機の消費電力を削減でき、データセンタの総消費電力が削減できる場合がある。また、サーバの吸気面と排気面の温度差はサーバ内を通過する風量に反比例し [13]、データセンタ内では機器のレイアウトの影響によりサーバの位置によって温度や風量が異なることから、同種類のサーバに同じタスクを割り当てたととしても、サーバの位置によってサーバの温度が異なる。そのため、サーバへのタスク割り当てによって必要となる空調機の設定が変化する。このように、データセンタの総消費電力を削減するためには、複雑な依存関係を考慮した機器間の連携制御が必要となる。

一方、近年、データの安全性を向上させるためにプライベートデータセンタと呼ばれる中小規模のデータセンタを自社運用する企業が増加している [14]。プライベートデータセンタでは、省電力化のための追加投資や専用の人員配置がコスト的に難しく、大規模データセンタに比べて電力効率の向上が遅れており、改善が期待されている [15]。プライベートデータセンタは、人が活動するスペースや一般オフィスに併設されることが多い。近年のサーバ技術の向上により、通常のサーバよりも高い温度での動作が可能な耐高温サーバが登場しており [16]、その廃熱を従来のサーバの廃熱温度では困難であったオフィス空間の湿度調整や暖房に利用するという利用形態が新たに可能となると考えられる。この場合、オフィス空間の空調設備の消費電力を削減することが可能となる。オフィス空間で活用することができる十分な温度の廃熱を得るためには、データセンタ内の一部のサーバにタスクを集中的に割り当てるなど、廃熱利活用機器との連携制御も必要となる。

我々の研究グループでは、耐高温サーバを持つプライベートデータセンタを対象とし、空調機やサーバ、電源装置の連携制御およびオフィス空間への廃熱利活用により、オフィス空間へのエネルギー再利用を含めたデータセンタの総消費電力の削減を目的とした検討を行っている。前述の通り、データセンタの総消費電力は、サーバへのタスク割り当て、空調機や電源装置の設定、データセンタのレイアウトなど様々な要素が複雑に相互依存して決定される。そのため、我々の研究グループでは、図 1

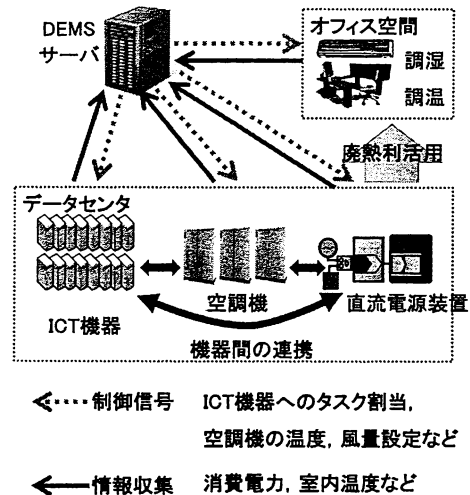


図 1 データセンタの機器と DEMS のシステム構成

に示すようにサーバや空調機、電源装置から得られた情報を蓄積し、機械学習に基づいてデータセンタ内の機器を連携、省電力制御する管理システム（Data center Energy Management System: DEMS）の構築を目標としている。

本報告では、我々の研究グループの目標を達成するための課題の 1 つとして、空調機とサーバへのタスク配置の連携制御に着目する。通常、空調機の設定温度および設定風量はサーバの故障を防ぐために、最も温度の高いサーバの温度がある基準値以下となるように決定される。従って、サーバ温度にばらつきがある場合、空調機は温度の低いサーバに対して必要以上の冷却を行っていることになる。サーバの発熱量はタスク量に依存するため、サーバへのタスクの配置量をその位置に応じて制御することによってデータセンタ内のサーバの温度分布を平準化できれば、サーバの最高温度が低下する。その結果、空調機の設定温度を上昇させることが可能となり、空調機の消費電力を削減できると同時に、サーバの排気温度を上昇させ、廃熱利活用の効率を上昇させられると考えられる。

本報告では、空調機の設定温度を上げて消費電力を削減するための、サーバの温度分布を平準化するタスク配置手法を提案する。提案する配置方法は、数値流体力学ソフトウェアを用いたデータセンタ内の温度分布のシミュレーションの結果から、温度が高いサーバと低いサーバを特定し、温度が高いサーバから低いサーバにタスクを移動することでサーバの温度分布を平準化する。その後、サーバが故障する温度を超えない空調機の設定温度を得る。本報告ではシミュレータにより一般的なデータセンタモデルと我々の研究グループが提案しているデータセンタモデルを対象に提案手法の効果を評価する。評価には、我々の研究グループが持つデータセンタの実験結果から得た空調機の消費電力に関する特性データを用いる。

2. データセンタモデル

本章では、本報告において対象とするデータセンタの構成、サーバのモデル、および空調機の消費電力モデルに関する説明を行う。

2.1 データセンタ内の機器配置

図 2 に、一般的なデータセンタを上から見た際の機器配置図と空気の流れを示す。データセンタ内にはサーバやネットワーク機器を充填したラック、空調機が配置される。ラックは内部の機器を吸気面と排気面が同じ方向を向くように並べ、横方向に内部の機器が同じ向きとなるように並べる。空調機は還気

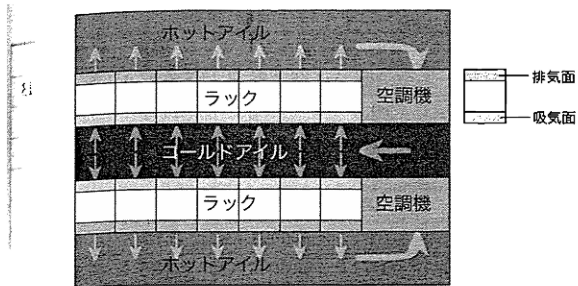


図2 従来配置型データセンタの機器配置と空気の流れ

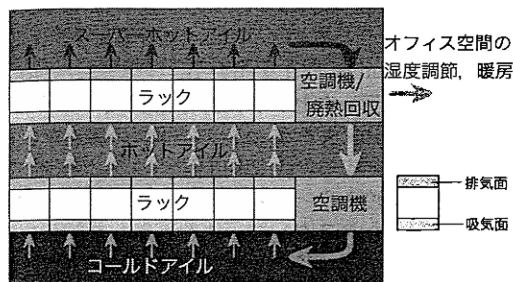


図3 タンデム配置型データセンタの機器配置と空気の流れ

面がラックの排気面側、給気面がラックの吸気面側となるように配置する。このように配置することで、データセンタ内に、ICT 機器冷却の空間であるコールドアイルと、ICT 機器の熱を排出する空間であるホットアイルを作成する。コールドアイル中の気体とホットアイル中の気体が混ざり合うことを防ぐために、各アイルはビニール等で覆われているものとする。図2では2列のラックの吸気面同士を向かい合わせ、室内の中央にコールドアイルを作成している。以下、図2の機器配置のデータセンタを従来配置型データセンタと呼ぶ。

一方、我々の研究グループでは、高温下での稼働が可能である耐高温サーバを利用し、図3に示すように2列のラックの一方の排気面をもう一方の吸気面と向かい合わせたデータセンタの構造を提案している。この構成では、図の下側ラック群の排気を上側ラック群の吸気とすることで、上側ラック群の排気をより高温のものとする。以下、このように機器を配置するデータセンタをタンデム配置型データセンタと呼び、上側ラック群の排気が入る空間をスーパーホットアイルと呼ぶ。タンデム配置型データセンタでは、スーパーホットアイルの高温の排気を利用して、高温の還気に対して効率のよいデシカント空調機 [18] を動作させる。デシカント空調機を使用することにより、廃熱を利用することで併設されたオフィス空間の湿度調整、暖房を行うことが可能となり、オフィス空間の既設空調機の消費電力を削減できる。湿度調整に利用された気体は温度が低下するため、この気体をデータセンタ内に戻すことで、廃熱を活用しつつ空調機の役割を兼ねることができる。タンデム配置型データセンタにおいて、サーバ温度の平準化により空調機の設定温度を上昇させることは、デシカント空調機の回収温度を上昇させることにより効率を向上させ、オフィス空間を含めた消費電力の削減につながる。

2.2 サーバモデル

本報告では、データセンタ内に同一性能の N 台のサーバ $\{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ があるものとする。サーバ s_i ($1 \leq i \leq N$) には、0 から L_{max} 個までのタスクを割り当てることができるものとし、サーバ s_i に割り当てられるタスク数を l_i とする。タスクは1種類のみであると、依存関係が無く、データセンタ内の任意のサーバで実行できるものとする。

一般的に、サーバの消費電力は CPU の利用率の増加に伴い

線形に増加する [19]。簡単のため、サーバに割り当てられるタスクは CPU に対して一定の負荷を与えるとすると、サーバの消費電力は下記で表される。

$$p_i = P_{idle} + l_i P_{task} \quad (1)$$

ここで、 P_{idle} はサーバにタスクが割り当てられていない状態におけるサーバの消費電力であり、 P_{task} は1タスクあたりに必要となるサーバの消費電力である。サーバは内部で一様に熱量を発する発熱体ととらえ、サーバの消費電力はすべて熱に変換されるものとする。各発熱体の排気面の平均温度をサーバの温度と呼び、サーバ s_i のサーバの温度を t_i とおく。サーバの温度 t_i がある温度 T_{break} を超えると、サーバは故障するものとする。

2.3 空調機の消費電力モデル

一般的に、空調機は気化熱を利用して空調機自身の消費電力 p_{pac} 以上の熱量 p_{load} を気体から回収する。気体から回収した熱量 p_{load} を空調機の消費電力 p_{pac} で割った値は Coefficient Of Performance (COP) と呼ばれ、空調機の電力効率を表す指標として用いられる。COP は同じ空調機でも設定温度、設定風量、負荷、外気の温度などによって変化する [20]。本報告では、我々の研究グループの持つデータセンタを使用した実験によって得られたデータに基づき、空調機の消費電力を導出する。

3. タスク配置手法

本章では、サーバの温度平準化を目的としたサーバへのタスク配置手法を提案する。データセンタ内で処理しなければならない総タスク数を L_{total} とする。提案手法では、以下のようにサーバ間でタスクの移動を行うことにより、サーバの温度分布を平準化する。

- (1) ステップ数 $j = 0$ とし、すべてのサーバに均等に $\frac{L_{total}}{N}$ 個のタスクを配置し、初期配置 L_0 とする。
- (2) 数値流体力学シミュレーションにより、それぞれのサーバの温度 $T_j = \{t_1, t_2, \dots, t_N\}$ を得て、サーバのタスク配置 $L_j = \{l_1, l_2, \dots, l_N\}$ と温度分布 T_j を紐づけて保存する。
- (3) 全てのサーバから、サーバの温度が最も高いサーバ s_{high} と、最も低いサーバ s_{low} を発見する。
- (4) サーバ s_{high} のタスク数 l_{high} が1個以上、かつサーバ s_{low} のタスク数 l_{low} が L_{max} 個未満ならば、サーバ s_{high} のサーバのタスク数 l_{high} を1減少させ、消費電力 p_{high} を P_{task} だけ減少させる。同時に、サーバ s_{low} のサーバのタスク数 l_{low} を1増加させ、消費電力 p_{low} を P_{task} だけ増加させる。サーバ s_{high} のタスク数 l_{high} が0個、もしくはサーバ s_{low} のタスク数が L_{max} 個であれば、手順 (6) に進む。
- (5) これまでに保存したタスク配置中に現在のタスク配置と一致する配置があれば、手順 (6) へ進む。なければ、ステップ数 j を1増加させて手順 (2) に戻る。
- (6) 保存した温度分布 T_j の最大値を $\tau_j = \max_{t_i \in T_j} t_i$ とし、 τ_j が最小となる温度分布 T_{min} に対応するタスク配置 L_{min} を結果として選択する。以降、ここで得られた配置を結果配置と呼ぶ。

初期配置での温度分布 T_0 の最大値 τ_0 がサーバの故障する温度とすると、タスク配置手続きにより結果配置での温度分布の最大値 τ_{min} が τ_0 より低ければ、サーバを故障させず、空調機の設定温度を上昇させることができ、空調機の消費電力を削減できると考えられる。

4. シミュレーション評価

本章では、従来配置型データセンタとタンデム配置型データセンタの2種類のデータセンタのモデルに対して提案するタスク配置手法を適用した結果を示す。また、サーバ温度に応じて

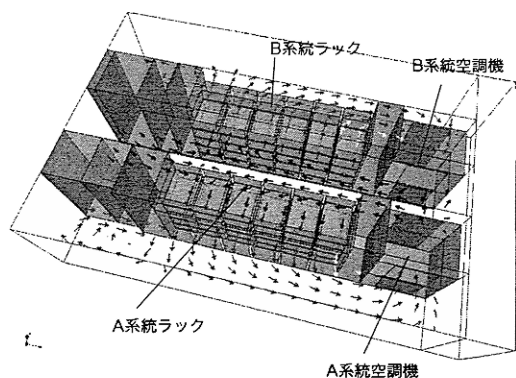


図 4 従来配置型データセンタに対するシミュレーション例

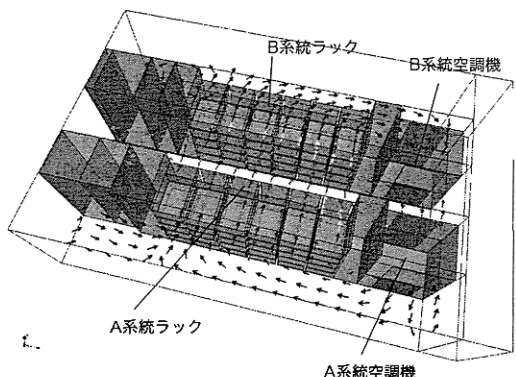


図 5 タンデム配置型データセンタに対するシミュレーション例

空調機の設定温度を上昇させた場合の消費電力を比較する。

4.1 シミュレーション条件

シミュレーションには、我々の研究グループが持つけいはんなデータセンタの構造を基にした従来配置型データセンタおよびタンデム配置型データセンタのモデルを用いる。けいはんなデータセンタでは6台のラックからなるラック列が2段配置されるタンデム配置型の機器配置となっている。ラックの高さは2mであり、40台の1Uサイズのサーバを格納できる。評価では簡単のためラックには5台の8Uサイズのサーバが格納されているとする。サーバ総数 N は60台となる。図4及び図5に、それぞれのデータセンタ構造をシミュレータで再現し、空気の流れをシミュレーションした様子を示す。従来配置型データセンタのモデルは、図4に示すように、けいはんなデータセンタの配置から、コールドアイルとホットアイルの間にあるラック群と空調機の向きを逆にした構成とする。以下、従来配置型、タンデム配置型ともに図中の手前側のラックおよび空調機をそれぞれA系統ラック、A系統空調機と呼び、奥側のラックおよび空調機をそれぞれB系統ラック、B系統空調機と呼ぶ。

1台のサーバがタスクを実行していない際に消費する電力 P_{idle} を800W、最大実行タスク数 L_{max} を6、1タスクあたりの消費電力 P_{task} を200Wとする。データセンタ内では全体で実行できる最大タスク量の3分の2に相当する $L_{total} = 240$ 個のタスクが実行されているものとし、初期配置ではすべてのサーバでは4個のタスクが実行されているものとする。そのため初期配置における1台のサーバの消費電力は1600Wとなる。サーバ全体の消費電力はタスク配置によらず固定であり、合計96kWとなる。サーバが故障しない温度 T_{break} は一般的なサーバでは35度、タンデム配置型データセンタで用いる耐高温サーバでは50度とする。外気温は10度とし、空調機の給気温度は設定温度と等しいとする。

本報告では簡単のためA系統のサーバのタスクはA系統の

表 1 従来配置での空調機の状態

	初期状態		温度上昇状態	
	空調機 A	空調機 B	空調機 A	空調機 B
給気温度 (度)	19.8	19.8	21.9	21.9
還気温度 (度)	31.6	31.6	32.8	32.8
還気-給気温度差 (度)	11.8	11.8	11.8	11.8
空調機負荷 (kW)	48	48	48	48
COP	7.91	7.91	8.75	8.75
空調機消費電力 (W)	6071	6071	5486	5486

別のサーバのみに、B系統のサーバのタスクはB系統の別のサーバのみに移動できるものとする。数値流体力学シミュレーションにはFlowDesiner [17]を用いる。

4.2 従来配置型データセンタにおける評価

従来配置型データセンタでは、2台の空調機の風速を $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 、設定温度を19.8度とすると、初期配置のタスク配置でのサーバの最高温度が35度となった。以降、この状態を初期状態と呼ぶ。3章で提案したタスク配置手法を適用した結果、17回目のタスク移動後のタスク配置が16回目のタスク配置と一致したため、手続きを終了した。サーバの最高温度が最も低かったのは16回目のタスク配置に得られた32.9度であった。以降、この状態を結果状態と呼ぶ。初期状態での温度分布を図6(a)に、結果状態での温度分布を図6(b)に記す。図6(a)、6(b)では横軸がサーバを表しており、左から5個ずつ空調機に1番近いラック、2番目に近いラック、…、6番目に近いラックを表しており、同じラック内では左側ほど低いサーバを表す。以下の温度分布のグラフも同様である。

結果状態から2台の空調機の設定温度を2.1度上昇させ、設定温度を21.9度とするとサーバの最高温度が35度となった。この状態を温度上昇状態と呼び、このときの温度分布を図6(c)に示す。

ここで、初期状態と温度上昇状態での空調機の消費電力を比較する。温度による空気の比熱および密度の変化を無視し、風量を一定とすると、空調機への負荷は還気温度と給気温度の差に比例する [13]。シミュレーションは断熱条件下で行っているため、A、B各系統の空調機への負荷はラックの消費電力96kWをそれぞれの空調機の還気温度と給気温度の差の比で分けたものとなる。表1に初期状態と温度上昇状態での空調機の給気温度と還気温度、それらの差、空調機への負荷、負荷と設定温度に対するCOPおよび消費電力を示す。空調機の給気温度、還気温度は空調機の給気面、還気面の温度の平均とする。

空調機のCOPおよび消費電力は、我々の研究グループが収集しているデータをもとに、二次の最小二乗法を用いて導出した。その結果負荷48kWの際の給気温度 T とCOP ϵ の関係式は以下の式(2)となった。図7(a)に研究グループが収集しているデータから得られた設定温度に対するCOPおよび式(2)の示す曲線を示す。

$$\epsilon = -0.0180T^2 + 1.15T - 7.85 \quad (2)$$

空調機の合計の消費電力は初期状態では12142W、温度上昇状態では10972Wとなったため、提案するタスク配置手法により、空調機の消費電力が9.6%削減されることがわかった。

4.3 タンデム配置型データセンタにおける評価

タンデム配置型データセンタでは、2台の空調機の風速を $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 、コールドアイルに給気する空調機の設定温度を24.1度、ホットアイルに給気する空調機の設定温度を37.1度とすると初期配置でのサーバの最高温度が50度となった。タスク配置手法を適用した結果、11回目のタスク移動後のタスク配置が10回目のタスクの配置と一致したため、手続きを終了

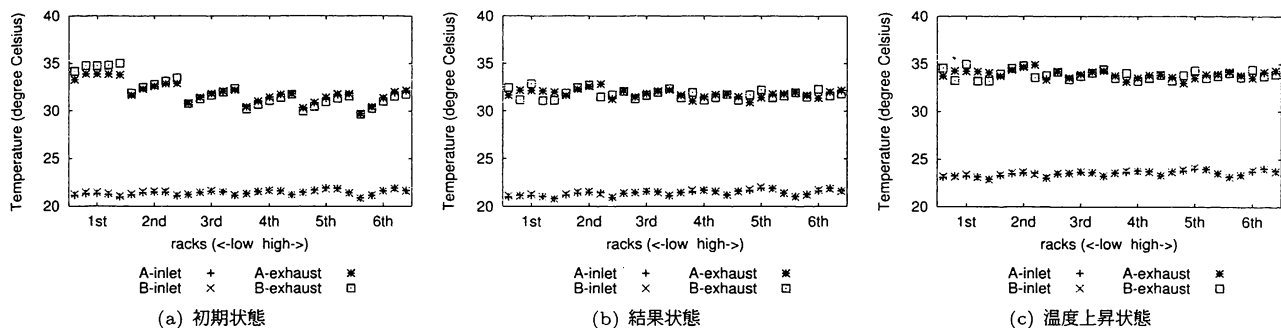


図 6 従来配置型データセンタでの温度分布

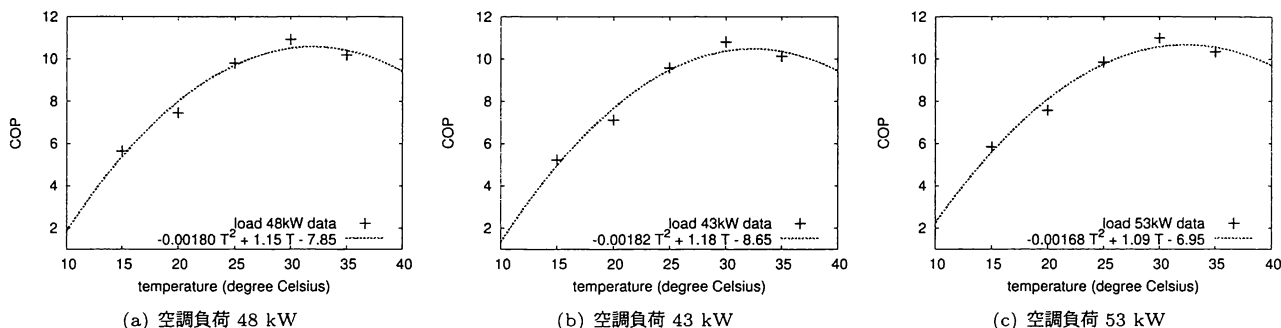


図 7 空調機の負荷に対する設定温度と COP の関係

表 2 タンデム配置型での空調機の状態

	初期状態		温度上昇状態	
	空調機 A	空調機 B	空調機 A	空調機 B
給気温度 (度)	24.1	37.1	25.7	38.7
還気温度 (度)	37.2	47.7	38.8	49.3
還気-給気温度差 (度)	13.1	10.6	13.1	10.6
空調機負荷 (kW)	53	43	53	43
COP	9.52	10.1	9.92	9.76
空調機消費電力 (W)	5566	4265	5341	4404

した。サーバの最高温度が最も低かったのは 11 回目のタスク配置に得られた 48.4 度であった。以降、この状態を結果状態と呼ぶ。初期状態の温度分布を図 8(a) に、結果状態の温度分布を図 8(b) に記す。

結果状態から 2 台の空調機の設定温度を 1.6 度上昇させ、空調機 A の設定温度を 25.7 度、空調機 B の設定温度を 38.7 度、とするとサーバの最高温度が 50 度となった。この状態を温度上昇状態と呼び、このときの温度分布を図 8(c) に示す。

従来配置の際と同様に、空調機の還気温度と給気温度の温度差から空調機の負荷を求め、初期状態と温度上昇状態での空調機の消費電力を評価する。表 2 に初期状態と温度上昇状態での空調機の給気温度と還気温度、それらの差、空調機への負荷、負荷と設定温度に対する COP および消費電力を示す。

我々の研究グループが収集しているデータから得られたデータから二次の最小二乗法を用いて導出した負荷 43 kW および 53 kW の際の給気温度 T と COP ϵ の関係式は以下の式 (3) および (4) のようになった。図 7(b), 7(c) に研究グループが収集しているデータから得られた設定温度に対する COP および式 (3) と式 (4) の示す曲線を示す。

$$\epsilon = -0.0182T^2 + 1.18T - 8.65 \quad (3)$$

$$\epsilon = -0.0168T^2 + 1.09T - 6.95 \quad (4)$$

データセンタの機器をタンデム配置型に配置し、高温の排気

を得ることの目的は廃熱を利用することにある。我々の研究グループが廃熱を利用するために使用しようとしているデシカント空調機は 50 度前後で熱回収の効率が大きく変化するとされている。図 8(c) より、提案手法を適用することによって、B 系統のサーバの温度を 50 度近くで平準化することができており、デシカント空調機のための廃熱を効率的に得られる環境を得られていることがわかる。ここで、デシカント空調機は 48 度以上の回収温度でサーバの熱量の 20 % である 19.2 kW をオフィス空間に再利用でき、かつ廃熱を利用する過程で B 系統の空調機と同様の冷却効果が得られると仮定すると、デシカント空調機を導入することによって、B 系統の空調機を停止し、かつオフィス空間の消費電力を削減することができる。このときのデシカント空調機の回収温度に対するデータセンタ全体の消費電力の変化を図 9 に示す。データセンタ全体の消費電力は廃熱利活用を行わない場合はサーバの消費電力と空調機の消費電力の和、廃熱利活用を行う場合はサーバの消費電力と空調機の消費電力の和から廃熱利活用で再利用される電力を引いたものとする。図中の縦線は、耐熱サーバの温度が 50 度を超えないための条件を示し、この線よりも回収温度が高い領域では運用できない。

B 系統の空調機の消費電力が 0 となることで、空調機の消費電力は A 系統の空調機の消費電力のみとなることから、空調機の消費電力が 45.6 % 削減されることがわかった。また、廃熱利活用の効果を算入すると、データセンタの消費電力は 22.4 % 削減されることがわかった。

5. まとめと今後の課題

本報告では、データセンタ内のサーバの温度分布を平準化し、空調機の設定温度を上昇させ、消費電力を削減するタスク配置手法を提案した。提案手法を従来配置型データセンタに適用した結果、空調機の消費電力を 9.6 % 削減することができるという結果が得られた。一方、タンデム配置型データセンタに対して提案手法を適用し、廃熱利活用を行うことを考慮することによって、空調機の消費電力を 45.6 %、廃熱利活用の効果を算入

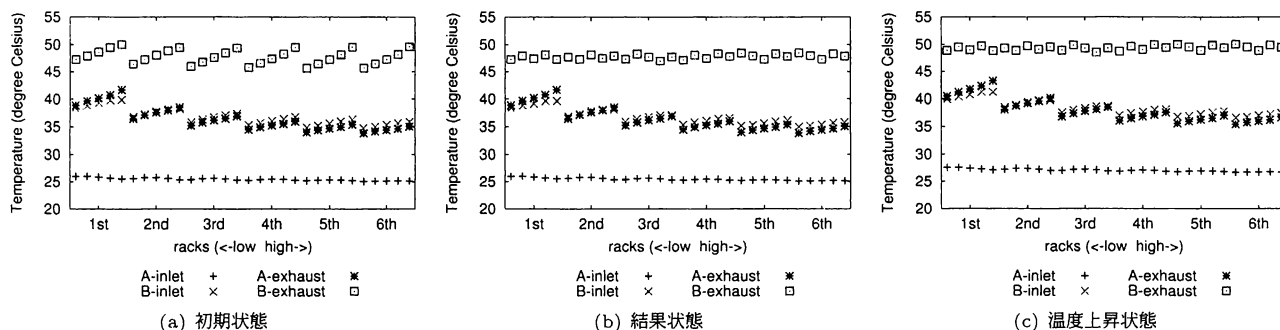


図 8 タンデム配置型データセンタでの温度分布

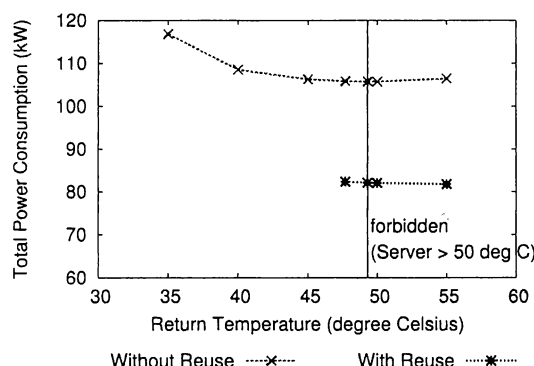


図 9 回収温度に対するデータセンタの総消費電力

するとデータセンタ全体の消費電力を 22.4 %削減できるという結果が得られた。

実際のデータセンタではタスク配置はサーバ 1 台毎に行われる。また、本報告におけるシミュレーションは様々な要素をモデル化、単純化して行っている。そのため、実環境において提案したタスク配置手法を適用するためには、タスク配置と機器設定や温度分布の関係を実環境から収集し、機械学習によってその特性を把握することが効果的であると考えられる。

文 献

- [1] R. Brown, E. Masanet, B. Nordman, B. Tschudi, A. Shehabi, J. Stanley, J. Koomey, D. Sartor, and P. Chan, Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency Public Law 109-431, Lawrence Berkeley National Laboratory, Aug. 2007.
- [2] D. Cavdar and F. Alagoz, "A survey of research on greening data centers," Proceedings of Global Communications Conference (GLOBECOM 2012), pp.3237–3242, Dec. 2012.
- [3] C. Ge, Z. Sun, and N. Wang, "A survey of power-saving techniques on data centers and content delivery networks," IEEE Communications Surveys Tutorials, vol.15, no.3, pp.1334–1354, July 2013.
- [4] The Green Grid, "エネルギー効率のよいデータセンタのガイドライン," Feb. 2007.
- [5] A. Gandhi, M. Harchol-Balter, R. Das, and C. Lefurgy, "Optimal power allocation in server farms," Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems (SIGMETRICS '09), pp.157–168, June 2009.
- [6] M. Iyengar, R. Schmidt, and J. Caricari, "Reducing energy usage in data centers through control of room air conditioning units," Proceedings of 12th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm 2010), pp.1–11, June 2010.
- [7] P. Mahadevan, P. Sharma, S. Banerjee, and P. Ranganathan, "Energy aware network operations," Proceedings of IEEE INFOCOM Workshops 2009, pp.1–6, April 2009.
- [8] R. Buyya, A. Beloglazov, and J.H. Abawajy, "Energy-efficient management of data center resources for cloud computing: A vision, architectural elements, and open challenges," Proceedings of the 2010 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA 2010), pp.6–20, June 2010.
- [9] M. Takahashi, T. Uekusa, M. Kishita, and H. Kaneko, "Aisle-capping method for airflow design in data centers," Proceedings of the Telecommunications Energy Conference (INTELEC 2008), pp.1–7, Sept. 2008.
- [10] S. Khuller, J. Li, and B. Saha, "Energy efficient scheduling via partial shutdown," Proceedings of the Twenty-First Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA '10), pp.1360–1372, Jan. 2010.
- [11] D. Niyato, S. Chaisiri, and L.B. Sung, "Optimal power management for server farm to support green computing," Proceedings of the 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID '09), pp.84–91, May 2009.
- [12] TechNet, "サーバー ルームの節電に関する詳細情報". available at <http://technet.microsoft.com/ja-jp/windowsserver/hh272765#report>
- [13] 三井精機工業株式会社, "各種計算：換気量". available at <http://www.mitsuiiseiki.co.jp/compressor/technical/discharge/calculation2/tabid/121/Default.aspx>
- [14] 矢野経済研究所, "クラウドコンピューティングの利用に関する法人アンケート調査結果 2012". available at <http://www.yano.co.jp/press/press.php/001072>
- [15] Digital Reality Trust, "N.America Campos Survey Results". available at https://na6.salesforce.com/sfc/p/300000005uRq/a/80000000CpC7/k.RJOcsvg31zvPC4hgEz9NMQjNd0m4KjS-CzGO5_ni48=
- [16] 富士通株式会社, "FUJITSU PRIMERGY RX200S7 高温環境対応モデル". available at <http://jp.fujitsu.com/platform/server/primergy/products/solution/h-temp/h-temp-model-catalog.pdf>
- [17] アドバンスドナレッジ研究所, "FlowDesigner". available at <http://www.akl.co.jp>
- [18] 日本エクスラン工業株式会社, "デシカントローター". available at <http://www.exlan.co.jp/products/desiccantrotor/index.html>
- [19] G. Chen, W. He, J. Liu, S. Nath, L. Rigas, L. Xiao, and F. Zhao, "Energy-aware server provisioning and load dispatching for connection-intensive internet services," Proceedings of the 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '08), pp.337–350, April 2008.
- [20] 佐藤 春樹, "冷蔵庫・エアコンの実際の電力消費量推定法". available at <http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/sympo4/sato.pdf>