

## 学内サーバー室の環境温度の考察

### A Study of Temperature of Server Room in Hitotsubashi University

伊藤 史人†, 高見澤 秀幸†, 佐藤 郁哉†

Fumihito ITO †, Hideyuki TAKAMIZAWA †, Ikuya SATO †

ito@poran.net, h.takamizawa@cio.hit-u.ac.jp, ikuya.sato@cio.hit-u.ac.jp

† 一橋大学情報基盤センター

† Center of Information and Communication Technology, Hitotsubashi University

#### 概要

電力不足に起因する節電対策については、本学においても喫緊の課題となっており、講義室の空調をはじめ屋内照明等についても積極的に節電対策を実施している。我々が管理する学内情報機器の節電に当たっては、PC への対策は当然ながらサーバー機器への対策も考えなくてはならない。サーバー機器はサーバー室に集中配置していることから、排気によるサーバー室温上昇を防ぐため空調による適切な冷却が必要である。しかしながら、サーバーの安定動作を求めあまり、空調の設定温度を必要以上に下げってしまう傾向がある。その結果、無駄な電力を消費することとなり、Power Usage Effectiveness (PUE: 電力使用効率) を悪化させる要因となる。本論文では、サーバー環境温度の調査結果について報告し、サーバー機器の吸気・排気・CPU 温度および外気温に関連して考察した。今回の調査では、マイクロソフト社の提唱する 27°C 設定は妥当性のあるものであることが確かめられた。なお、本研究を実施するにあたり、偶然に空調機器故障が発生し、サーバー室の温度上昇によるシステムダウンが発生するまでの実測結果を得た。これらの実測値を利用し、サーバー室の環境温度を考察した。

#### キーワード

節電対策, 空調温度, サーバー, 消費電力, PUE, 吸気温度, 排気温度, 温度環境

#### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により原子力発電所が大きく損傷し、主に東京電力管内の電力需要がひっ迫しているのは周知の事実である。特に、夏場における電力不足は深刻であり、7 月 1 日からは 37 年ぶ

りの電気事業法第 27 条による電力使用制限令が発動した[1]。電力使用制限令の対象としては、東京電力及び東北電力並びにその供給区域内で供給している特定規模電気事業者と直接、需給契約を締結している大口需要家(契約電力 500kW 以上)であり、制限内容としては「昨年の上記期間・時間帯における使用最大電力の値(1 時間単位)」の 15%削減した値を使用電力の上限とするものと定められている。大学においても、例年以上の節電が

必要であり、あらゆる方面での使用電力削減に努めなくてはならない。

ところで、本学は文科系大学であるため、大規模な実験設備等は設置されておらず、他の総合大学と比べると電力を大規模に消費する設備は少ない。また、学生数は全学で約 4,400 名であり、設備にかかる消費電力は他大学と比べると少ない。

そこで、本学における節電対策としては、主な対象として照明・空調・パソコン等の情報機器としている。照明や空調については、利用者に節電を徹底させて効果を挙げており、パソコンについては、Microsoft 社による自動節電プログラム[2]の利用および Windows ドメインのグループポリシーによる節電設定を実施することで、およそ 25% 程度の節電効果を見込んでいる。小型電力測定機[3]によるパソコン単体の調査では、自動節電プログラムとグループポリシーによる対策で 25~30% 程度の節電効果が確認されている。

その他、情報機器設備の節電対策においては、学内に設置しているサーバー機器類が対象となる。グループウェアやメールサービスは常時稼働させていることから積算では比較的大きな電力を消費していると思われる。また、サーバーを稼働させる電力と同時に、サーバー室の空調も大きな電力を消費していると考えられる。サーバーを安定稼働させるには適切な冷却が必要であることは当然であるが、必要以上の冷却は電力の無駄となる。

そこで、本論文ではサーバー室の空調の適切な温度設定を評価することにより、サーバーの環境温度を調査した。その結果は学内の節電対策の一環で活用し、今後のサーバー室運用の基礎資料とする。

一般に、サーバー室の環境は様々であり、環境温度を一般化することは極めて困難である。サーバー室の大きさ・空調の性能・サーバーの数や密度さらに設置位置等の条件が多様なためである。一方、サーバーを安定稼働させるための条件は客観条件として規定されていると考えられる。例えば、サーバー機器の適切な吸気温度や CPU 温度等は、安定動作できる温度条件がベンダーにより公表されている。

本論文の温度の調査結果においては、サーバー室の環境を考慮してサーバーの環境温度を考察した。そのため、安定稼働のための参考資料としては有用であると考えられる。なお、調査中において、偶然にもサーバー室の空調故障が発生し、多くのサーバーがダウンする障害が発生した。それにより、図らずもサーバー室の温度上昇が限界に達するまでの記録を取得することができ、サーバーの環境温度を考察する上で極めて有用な情報となった。幸いにも、高温を原因とするシステムダウンによる、深刻な物理的・論理的障害は残らなかったことを付け加えておく。

## 2. 調査対象としたサーバー室の環境

本学にはサーバー室は 2 つあるが、調査対象としたサーバー室は、事務関連システムを中心に全学で利用するシステムを設置している。

### 2.1. サーバー室の概要

サーバー室は、7.5 m × 5 m の間取りで、気密が保たれた部屋であり、北向きの窓が一つ付いている。図 1 にサーバー室の見取り図を、図 2 に空調の冷気吹き出し口を示す。

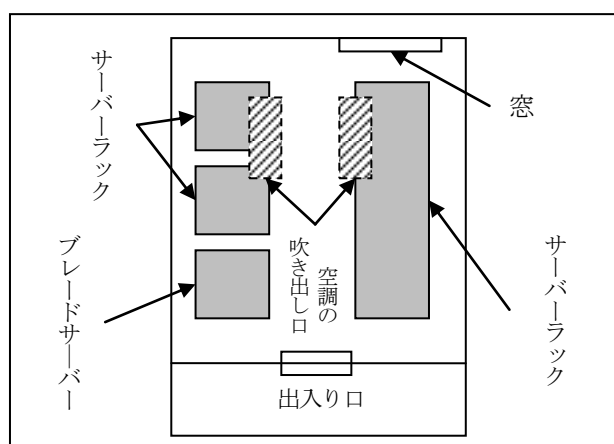


図 1 サーバー室のラック配置図 (灰色部:サーバーラック, 網掛け:天井の空調吹き出し口位置)

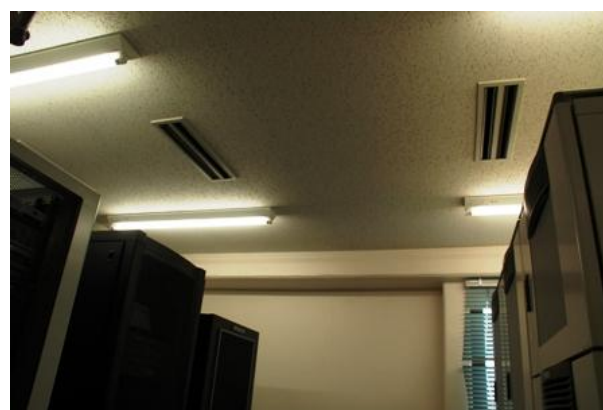


図 2 空調の冷気吹き出し口 (出入口付近から天井方向を撮影)

サーバー室に設置しているシステムの内訳としては、表 1 の通りである。すべてのブレードサーバーは一つのエンクロージャーに収容されており、その他ラックマウントサーバーは各ラックにシステム毎に収容されている。各システムには通常は USP が装備されている。おおむね、

各ラックの収容密度には余裕を持たせており、また、背面のスペースを十分に取って過度に排熱が阻害されることはないように設置されている。空調の冷気はラックの吸気面側(ラック前面)に流れるようになっているため、冷気が効率よく吸入される状態となっている。

表 1 サーバー室のシステム一覧

サーバー	形態	台数
ドメインコントローラ	ブレード *1	2
その他システム	ブレード *1	6
グループウェア	ラックマウント	2
その他	ラックマウント	12
学内規則集管理システム	PC サーバー	1
その他	PC サーバー	2
事務用統合ストレージ	その他 *2	
スイッチおよびファイアウ	ラックマウント	4
オールアプライアンス		

\*1 HP BladeSystem c7000 エンクロージャー内に収容

\*2 EMC Celerra NS-120 ユニファイド・ストレージ

### 2.2. 空調温度設定による節電対策

サーバー室に設定している空調機器の仕様は表 2 の通りである。インバーター式ではないため、現状としては省電力対策を実施するには不向きな機器である。今回の調査ではサーバーの環境温度の考察を行うため空調の電力計測は行わなかった。

調査開始前の空調設定は、設定上最低温度の 20℃としており、実質的には最大冷房での運用となっていた。仕様により、定格消費電力はおよそ 4.7 kW であることから、最大冷房時の電力はおよそこの値だと推測される。

表 2 空調機器の仕様

項目	値
メーカー	三菱重工
形式	空冷ヒートポンプ式
型式	FDCP1601H
電源	三相 200V
コンプレッサー	4.5 kW
消費電力 (冷房定格)	4.73 kW
重量	124 kg



図 3 空調機器本体 (屋外に設置されている)

### 2.3. PUE による評価法

PUE (Power Usage Effectiveness : 電力使用効率) は、サーバー室やデータセンターのエネルギー効率を表す指標であり[4][5]、2007 年に米国のデータセンターの省電力化を推進する業界団体 The Green Grid (グリーングリッド) が発表したものである。PUE は、(1) 式より算出でき、数値が大きいほど効率の悪い設備ということになる[6][7]。

$$PUE = \frac{\text{サーバー室全体の消費電力量}}{\text{情報機器の消費電力量}} \quad (1)$$

つまり、情報機器の消費電力とその他に使う電力が同じ場合は 2.0 となり、情報機器の消費電力のみであれば 1.0 となる。一般的には 2.0 ~ 3.0 であるが、高効率の設備では 1.21 を発表した Google のデータセンターの例[8]もある。この指標が生まれた背景には、IT 設備自体の省電力化が求められていることが挙げられる。

また、同様の考え方に DCiE (Data Center infrastructure Efficiency) がある。これは PUE の逆数であり、数値が大きいほど効率の良い設備となる。DCiE を(2) 式に示す。

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{\text{情報機器の消費電力量}}{\text{サーバー室全体の消費電力量}} \quad (2)$$

なお、本論文においては、前述のようにサーバーの温度環境の考察を目的としているため、PUE/DCiE は算出していない。しかし、PUE は情報機器の節電対策を考える上で極めて重要な要素であるためここに挙げた。今後省電力化を進めるにあたって、電力の実測は不可欠であり、学内の計測機器等が整い次第調査を行い PUE の算出をする予定である。

### 3. サーバー機器の環境温度の測定

サーバー機器の環境温度としては、サーバーの吸気温度・排気温度・CPU 温度・外気温度および空調の設定温度が挙げられる。ただし、空調の設定温度はあくまでも目安であり、実測による温度情報が重要である。

#### 3.1. 測定機器

温度変化の実測にあたっては、温度ロガーの佐藤商事社販売 4 チャンネル温度 SD カード記録計 47SD [10] を利用した (図 4)。これは、4 か所分の温度データを SD カードに蓄積できるものである。温度センサーとして、K 型熱電対を利用した。主な仕様を表 3 に示す。



図 4 4 チャンネル温度 SD カード記録計 47SD (左図：装置の外観，右図：ブレードサーバー上に設置した状態)

表 3 温度ロガーの主な仕様

項目	値
製品名	4 チャンネル温度 SD カード記録計 47SD
タイプ	K 型熱電対
測定範囲	-100 ~ 1,300 °C
分解能	0.1 °C (-100 ~ 999 °C)
測定精度	± 0.4% + 0.5 °C
測定間隔	1 ~ 3,600 秒
重量・サイズ	489 g ・ 177 × 68 × 45 mm

CPU 温度については、CPU 温度計測ソフトウェアの Core Temp[11] を利用した。これは、CPU の温度センサーから温度情報となる DTS (DigitalThermalSensor) を読み取るものであり、精度は CPU の温度センサーに依存し、Xeon E5520 の場合 ±0.2 °C であるが[13]，出力のオーダーは 1 である。前述の温度ロガー同様に、計測情報を

蓄積できるため、サーバーの環境温度の推移を調査することが可能である。なお、使用時の最新バージョンは 0.99.8 である。今回の調査では、2 台のブレードサーバーと 2 台のラックマウントサーバーに Core Temp を導入して温度情報を収集した。

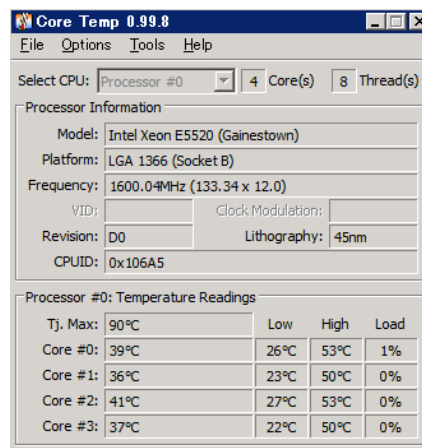


図 5 Core Temp のメイン画面 (Intel Xeon E5520 の場合)

メイン画面中に CPU 動作の最大許容温度である Tj. Max の項目がある。画面では 90 °C となっているが、Intel 社製 Xeon E5220 のスペックシート[13] では TCASE (最大動作温度) として 72 °C と公表されている。表示上の違いがあるので注意を要する。本論文では、スペックシート上の TCASE を優先して考察する。

#### 3.2. 安定運用のための環境温度

サーバーの安定動作が保証される温度については日本マイクロソフト社により詳細に検証されている[9]。最も設置密度が高く、温度上昇の影響が大きいと想定されるブレードサーバーのエンクロージャー (HP BladeSystem c7000) における動作保証温度は 10 ~ 35 °C であり、その他、サーバー室内の各ラックマウントサーバーの仕様においても、動作保証温度は 15 ~ 35 °C としている機器が多い。また、ネットワークストレージ (EMC Celerra NS-120) は、10 ~ 40 °C である。

日本マイクロソフト社の示した吸気温度 27 °C は、高負荷運用による筐体温度の上昇を考慮しても十分余裕のある温度としている。

以上のことから、本論文では、この結果を参考にしてサーバー吸気温度が 27 °C で十分に安定動作するものとして仮定する。



### 3.3. サーバーの吸気・排気・CPU 温度および外気温度の実測

サーバーの吸気や排気を実測するため、図 6 のように温度ロガーから延長したセンサー（熱電対）を取り付けた。今回の調査では、ブレードサーバーのみとしているが、他のラックマウントサーバーにおいても、吸気の上部と下部をスポット検温したところ、ほぼ同様の温度となっていた。本論文においては、吸気については他のサーバーと共用できるデータであるが、排気温度と CPU 温度については別途行う必要がある。なお、前述の通り、CPU 温度については、他の 2 台について温度を収集した。

### 3.4. サーバー機器と外気温度との相関

空調は空冷ヒートポンプを利用してサーバー室内の温度を調整していることから、排熱個所の温度が影響すると思われる。そこで、数日間連続でサーバーの環境温度を調査し、外気温度との相関を考察した。外気温度とサーバー室の温度の差が大きいタイミングに調査するのが適当である。つまり、熱は高い方から低い方へ移動するため、外気温度とサーバー室の温度（吸気温度）の差が大きい場合に、空調によるサーバー室の温度変化の傾向が確かめられる[14]。

温度調査の結果を図 7 に示す。図から分かるように、外気温度の変動が大きくてもサーバー室の温度を示す吸気温度に顕著な変動は確認できない。排気温度についても吸気温度によってのみ変動しているのが明らかである。

このことから、サーバー室の温度変化は、外気温に顕著な影響は見られず、恒温状態を保つことが確認された。

しかしながら、この恒温性は空調の性能にも大きく左右されることが想定される。なぜなら、空冷ヒートポンプは外気温が高いほど性能が落ちる特性があるからである。仮に、空調に十分な排熱性能がない場合、サーバーから排出される熱を十分に除去できずサーバー室の温度が上昇する。

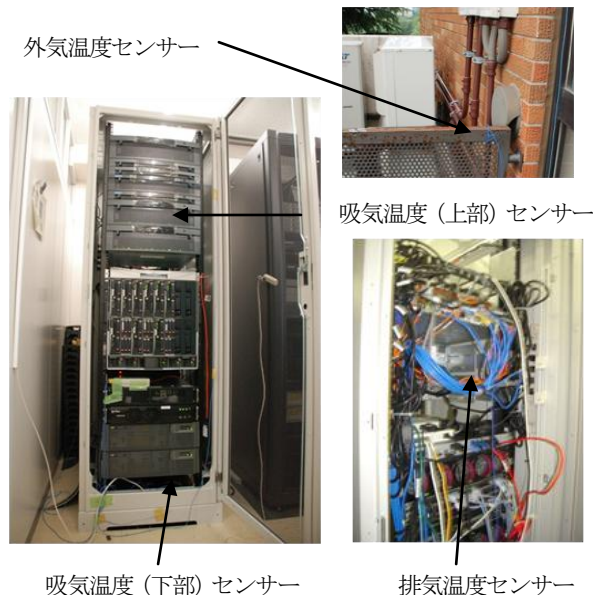


図 6 ブレードサーバーの各センサー設置位置 (左図:ブレードサーバー正面, 右上図:屋外, 右下:ブレードサーバー裏面)

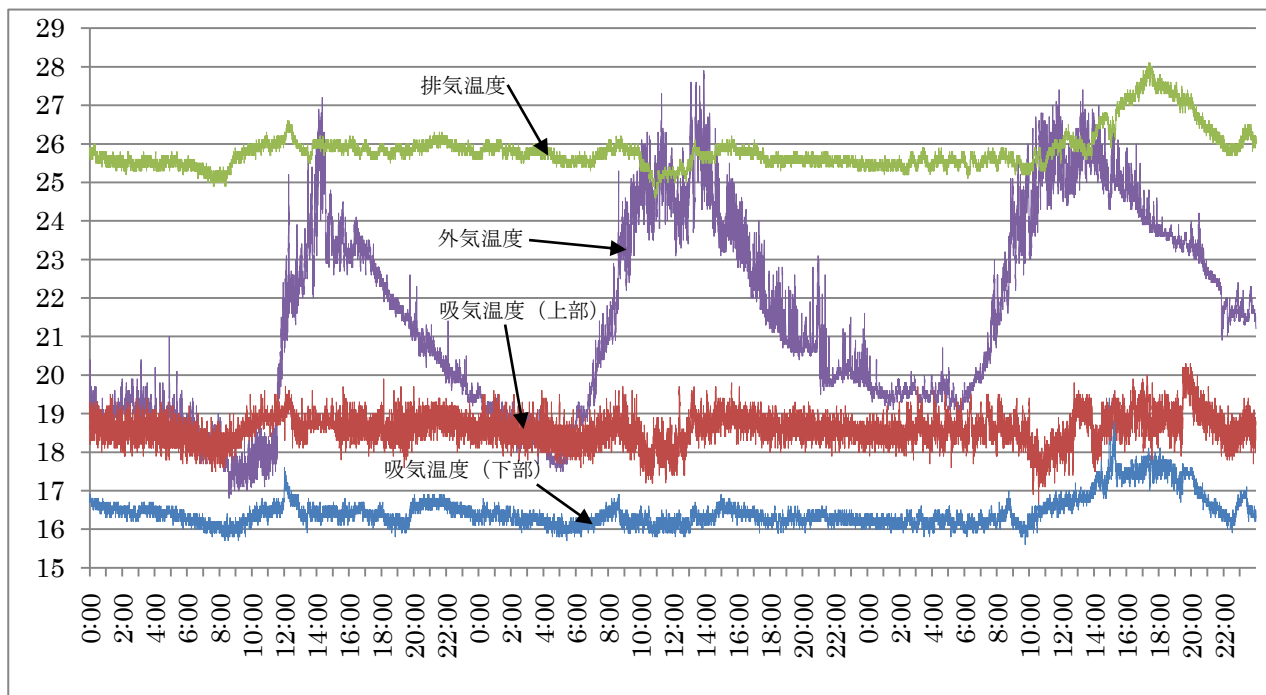


図 7 サーバーの温度環境の相関 (空調設定 20 °C の場合)

ところで、図の右側 10:00 頃から排気温度が急激に上昇しているのが確認できる。これは意図的に室温設定を上昇させて温度推移の確認を行ったためである。その結果、吸気温度（上部および下部）の変動が発生した。通常よりも温度の高い空気が流入したことでサーバー室内の空気の循環が乱れたと推測できる。

### 3.5. サーモグラフィによる温度の可視化

サーモグラフィによるサーバーの筐体温度の可視化の例を示す。撮影時、空調の温度設定は 20℃ であり、十分に冷却された状態である。

図 8 はブレードサーバーを収容するラックの写真である。最も高温な部分でも 22℃ 程度となっており、十分に冷却していることが分かる。元来、ブレードサーバーは高密度での運用が想定されているため冷却性能が高いためと考えられる。

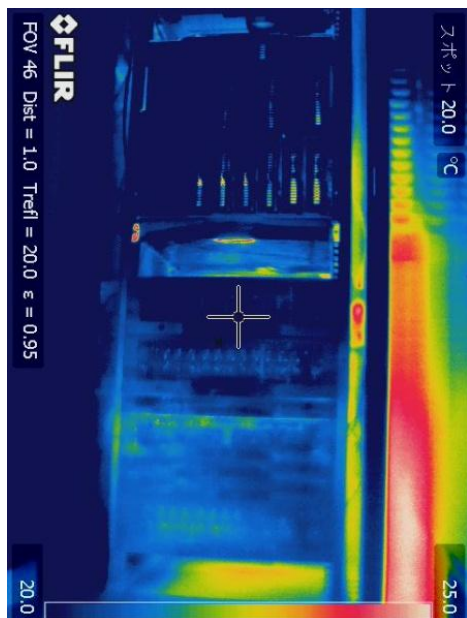


図 8 ブレードサーバーの例（図中上部はネットワークストレージの筐体であり、中央部がエンクロージャの筐体、下部はUPS 装置である）

図 9 は各ラックマウントサーバーの例である。ラック間隔は余裕を持たせてあるが、動作中のサーバーは周辺部と比べて高温となっているのが分かる。図の例では、温度レンジが 20.0 ～ 25.0℃ となっているため、安定動作に影響するほどの高温は検出できないが、各ラックの上部に高温部が集中しているのが確認できる。これは、サーバー筐体が温めた空気が、ラック内で上昇したためと考えられる。ラックは密封されているわけではないので、暖気がたまり続けることはないが、適切な空気循環の対策を行うことは重要であろう。空調温度をマイクロ

ソフト社が提唱する温度にした場合、安定動作のための温度の余裕がなくなっているため、現状の設置状態における十分な空気循環を措置できていない場合、予測できない高温部分が発生し、システムに悪影響を及ぼす可能性がある。

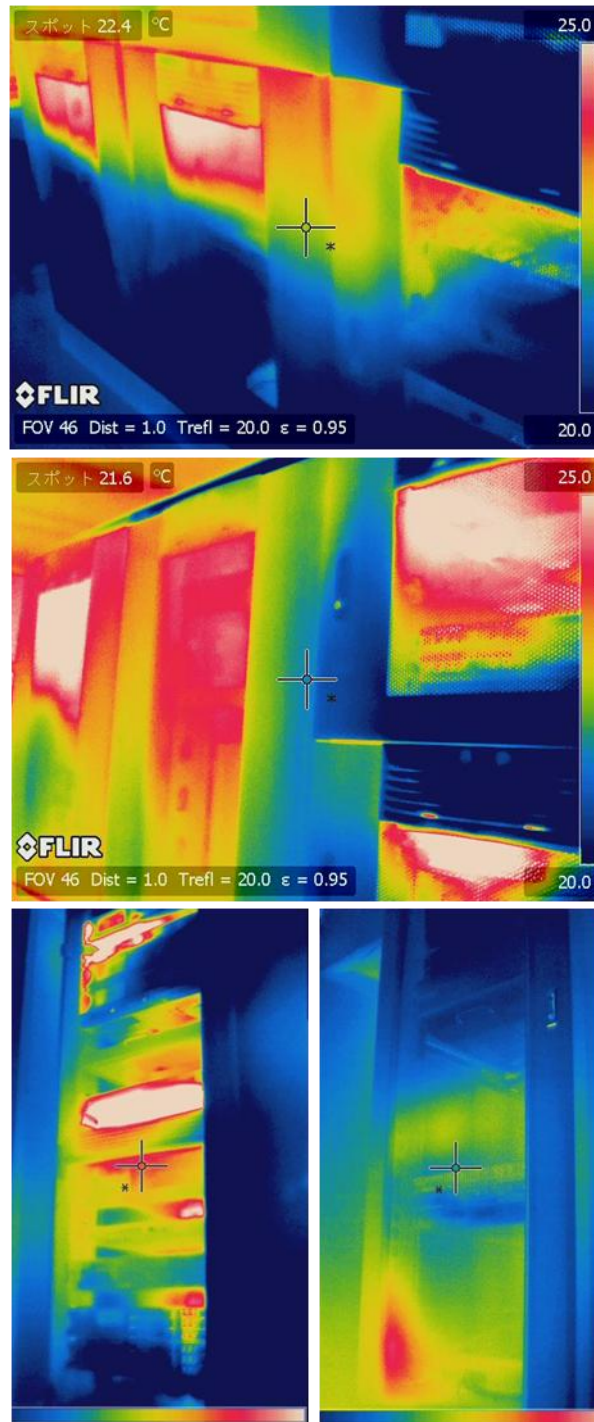


図 9 ラックマウントサーバーの例（上段図：IC カード管理システム 等、中段図：手前はFW アプライアンス 等、下段左図：グループウェア 等、下段右図：財務会計システム 等 であり、淡色部分ほど温度が高い）

## 4. 空調故障によるシステムダウン

### 4.1. システムダウンの概要

2011年6月6日月曜日の始業直後、教職員が利用するグループウェアおよび事務職員が利用するメールサービスにアクセスできない旨の連絡が本学情報推進課に相次いだ。職員がサーバー室に入室すると、これまでにない熱気が襲ってきた。この異常な熱気から、サーバー室の温度が上がり過ぎたことによるサーバー停止は明らかだった。その後、関係者を招集し、しばらくはサーバー室のドアや窓を開放し室温の低下に努めた。午前中だったこともあり外気温は22℃程度のため、扇風機等で外気を導入しつつサーバー群を順次起動してサービスを再開した。幸いにもすべてのサーバーで物理的・論理的な破壊は無かった。この理由としては、各サーバーは温度上昇によりCPUもしくは周辺機器が異常停止（熱暴走）したのではなく、システムがあらかじめ余裕のある温度で緊急停止（非常停止）したためと思われる。

なお、当日の午後には代替の空調を設置し、翌日には故障した空調の修理を完了した。

### 4.2. 温度上昇の原因

サーバー室の空調設備は、室外機のファンがリレースイッチによりLow/Highモードに切り替わる仕組みになっている。修理時の報告によると、LowモードからHighモードになるべきところ切り替えに失敗して熱交換が行えなくなったことが分かった。当該機器は、およそ3年間最大冷却状態で連続稼働していたため、部品劣化により動作が不安定になっていたと推察される。

ところで、推測の域は出ないが、空調設備停止時間帯にはゲリラ豪雨による落雷があったことが確認されており、電気系統に不具合が生じた可能性もある。何らかの故障の原因になった可能性は否定できない。

空調設備は多重化していなかったことからサーバー室の温度を維持することが不可能となり、また、サーバー室には温度変化を通知する警報装置等は備えていなかった。

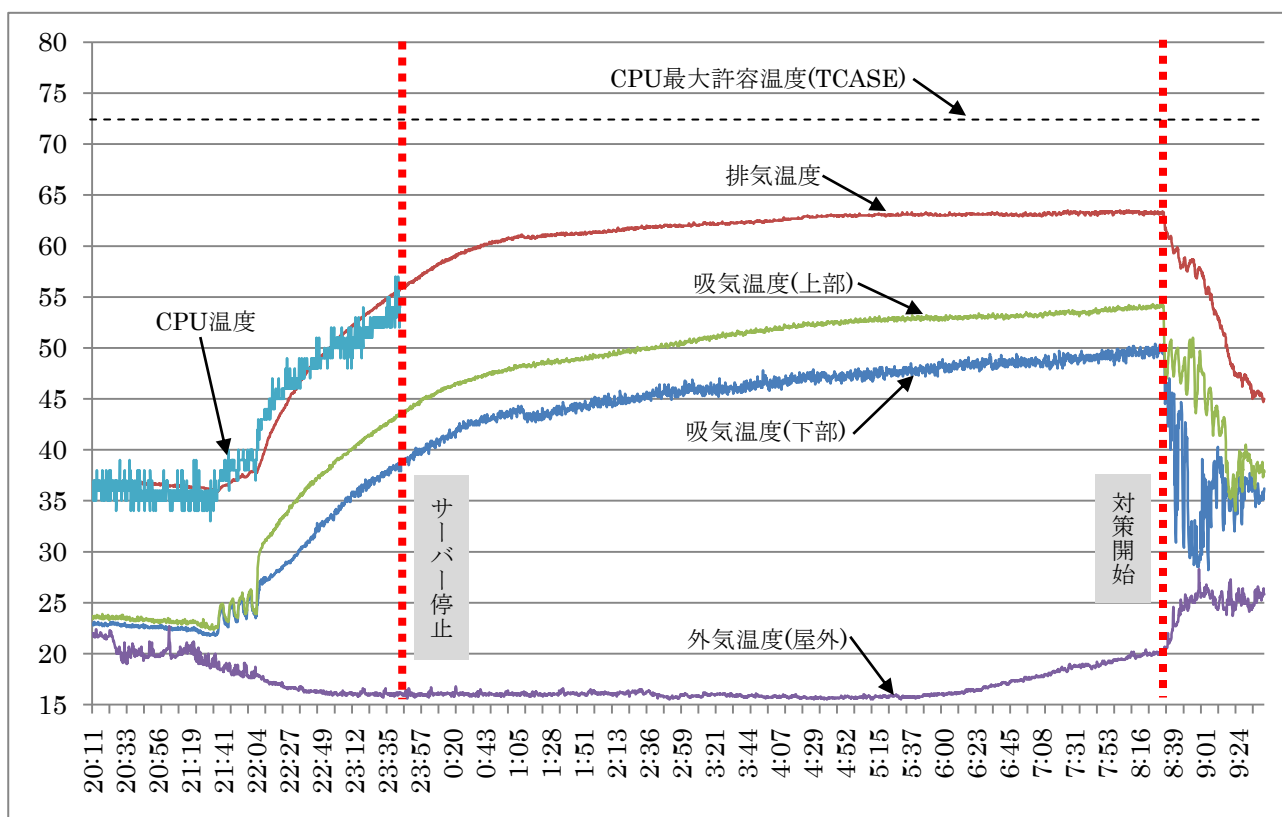


図 10 空調故障によるシステムダウンにおけるサーバーの温度環境（空調の不調から対策開始まで）



### 4.3. 温度推移の考察

図 10 に空調故障が発生したと思われる時間から、翌朝に外気導入するなどの対策を開始した時間までのサーバー環境温度推移を示す。図中の排気温度・吸気温度(上部)・吸気温度・外気温度は温度ロガーで、CPU 温度は Core Temp による計測である。計測機器の違いにより若干の温度誤差が生じている可能性はあるものの、温度推移を考察するには問題はないと考えられる。

なお、CPU 温度 (Intel Xeon E5520) は Windows 2008 Server R2 を搭載したブレードサーバー (ドメインコントローラー) のものである。

21:20 頃、外気温を含めすべての温度に変化が現れた。外気温の変化が激しいことから気象の変化があったと思われる。その後、吸気温度が 20 分程度の間で 4 回の温度変動を起こしている。この時、空調に不調が発生していたと推測される。変動終了直後から外気温を除くすべての温度で極めて急な温度上昇が発生している。完全に空調が停止しサーバーの排熱を排出できなくなった。

ここで、図の温度推移から興味深い現象として以下の 4 点が確認できる。

1. 空調停止直後のみ、吸気温度 (上部) の上昇率が高く、他の温度同様の上昇率となる
2. 排気温度・吸気温度 (上部)・吸気温度 (下部)・CPU 温度がほぼ同じ温度上昇率である
3. 吸気温度 (上部) と吸気温度 (下部) は 5 °C の差を維持している
4. CPU 温度と排気温度は、温度と温度上昇率ともにほぼ一致している

これらの現象を踏まえて、次章にてサーバー室の環境温度について論じる。

## 5. 空調設定温度の検討

前章のシステムダウンにおけるサーバー温度環境の推移から、サーバー機器と周辺温度がどの様に推移するか考察する。定常運用しているサーバー室では、空調の温度を大きく上昇させることはできないが、前章で収集したデータを分析することでサーバー室の耐温度特性等を考察する。

また、日本マイクロソフト社が提唱するサーバー室温度 27 °C が妥当な設定であるか、本学のサーバー機器の例を挙げて考察する。

### 5.1. サーバーの環境温度上昇の特徴

前章 3 項の 1 に挙げたように、空調停止後の数分間は吸気温度 (上部) の上昇は極めて急速である (図 11)。空調不調時の上下変動時は吸気温度の上部と下部は同じ温度を示していたにも関わらず、数分で約 5 °C の温度差が生じている。それに比べると他の温度上昇は比較的緩やかである。

この現象の原因としては、サーバー機器からの排気熱がラック前面に回り込んだ影響が大きいと考えられる。数分で平衡状態になったのは、サーバー室内の排気と吸気の循環が固定化したことによる可能性が高い。なぜなら、約 5 °C の差はセンサー位置の高さの差でしかなく、これ以降安定して温度が上昇しているということは空気の乱れがほぼ生じていないと考えられるからである。

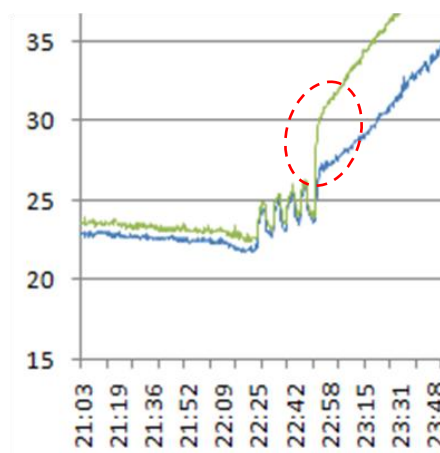


図 11 吸気温度 (上部) のみが急激な温度上昇 (点線内に該当部分を示す)

### 5.2. 各温度の上昇率の傾向

空調故障後、各温度は安定した温度上昇を続けるが、実際にはどの程度の類似性があるか定量的に評価する。解析対象とした温度データは、排気の回り込みが落ち着いた 22:00 頃から、システム (ドメインコントローラー) が停止した 23:30 頃までとした。その理由としては、システムが停止することでサーバー室内の排気量が異なり温度変化に影響が出ると考えられるからである。

評価手法としては、最小自乗法による線形近似および回帰分析による重決定  $R^2$  を用いた。線形近似としたのは、安定した温度上昇部分かつ狭い時間間隔においてはおおむね線形変化していると想定したからである。

結果を図 12 に示す。図において縦軸は温度、横軸は秒としている。



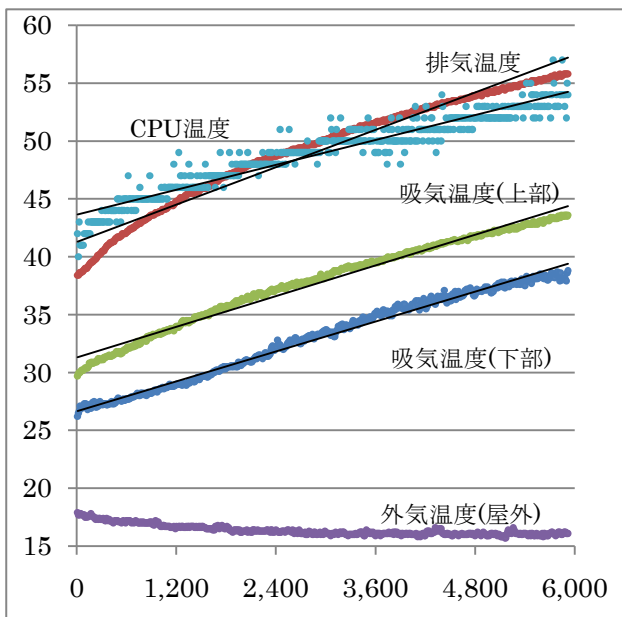


図 12 線形近似による温度上昇の分析 (温度上昇時の 22:00 頃からシステム停止の 23:30 頃まで)

各パラメーターおよび重決定  $R^2$  を表 4 に示す。表からも明らかなように、どの温度もほぼ線形を保っており、吸気温度は上部下部ともに  $a$  が  $2.2 \times 10^{-3}$  であることから、同じ上昇率であることが分かる。

一方、CPU 温度データが分散しているように見えるのは、温度情報のオーダーが 1 であるためである。しかしながら、 $R^2$  は 0.9923 であることからほぼ線形変化である。温度上昇率は  $a$  が  $1.8 \times 10^{-3}$  であることから、吸気温度よりもやや鈍い上昇率となっている。

最も上昇率が高いのは排気温度の  $2.7 \times 10^{-3}$  である。排気は CPU やシステム内の温度を吸収しているための結果だと考えられる。なお、この時間帯 (日曜日の 23:00 頃) での CPU 負荷はほぼゼロなので、CPU の温度上昇は吸気温度上昇に依存していると推察できる。

ところで、温度上昇率となる  $a$  はサーバー室のエアフローにより決定されると推測される。つまり、 $a$  が低いほど良好なエアフローが保たれており空調障害時の耐性が高いと考えられる。

表 4 最小自乗法による結果パラメーター

温度	$a(10^{-3})$	b	$R^2$
吸気温度 (上部)	2.2	31.287	0.9837
吸気温度 (下部)	2.2	26.664	0.9887
排気温度	2.7	41.291	0.9632
CPU 温度	1.8	43.626	0.9923

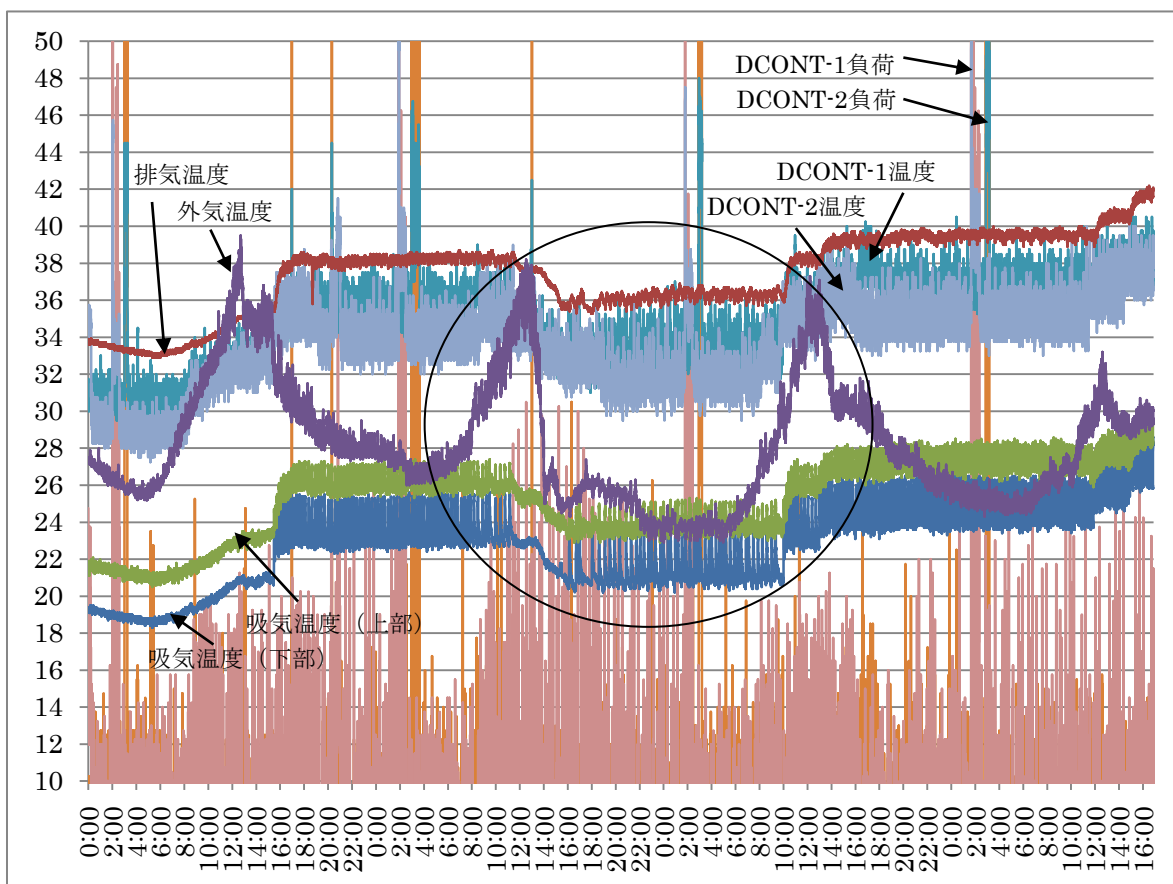


図 13 CPU 負荷を含むサーバー環境温度の統合グラフ (2011 年 6 月 29 日 0 時から 7 月 3 日 16 時まで)

### 5.3. CPU 負荷を含めたサーバー環境温度

図 13 にサーバーの環境温度に加えて、CPU 負荷も含めたグラフを示す。およそ 4 日間のデータであり、外気温を見るとちょうど 12 時過ぎ頃に温度のピークが記録されている。本来の気温よりもやや温度が高いのは、センサー位置の問題が考えられる。空調室外機の近くであることやコンクリートの照り返しが影響した可能性がある。

吸気温度・外気温に着目すると、30 日 16 時頃から温度が上昇している。これは空調の設定温度を 23°C としたためである。それ以前は最大冷却の 20°C であった。図中の丸で囲んだ部分は一時的に設定温度を 21°C に変更して温度応答を調べてみたところである。結果としては設定値分の温度下降が確認できた。

その後、7 月 2 日 12 時頃に温度設定を 25°C としたが同様に各温度は空調設定に追従した。ここで重要なのは、外気温が大きく変化してもサーバー室にはほとんど影響がないことである。つまり、吸気温度はあくまでも空調の温度設定に影響されるということである。

サーバーの安定稼働を考慮した場合、吸気温度が重要なのは明らかである。一般的なサーバーの場合、吸気温度の限界は 34°C である。今回の調査では空調設定を 26°C にしても十分に余裕があった。

## 6. まとめ

これまでの温度評価から、サーバー機器の温度管理においては吸気温度がもっとも重要であることがわかった。また、吸気温度は上部と下部で約 5°C の温度差があることから、高温になる機器は下部に設置するのが好ましい。

また、サーバー排気熱の回り込みは吸気温度を顕著に上昇させることから、サーバー室内の換気口へ直接排出するのが望ましい。しかし、現実としては関連機材の配置やケーブルの取り回しを考慮すると簡単ではないだろう。

サーバー室の空調設定は、エアフローが適切であれば 26°C でも余裕があるが、本学ではこれまでは常に 20°C としており過剰冷却であった。現在、やや高い環境温度と思われる吸気温度 28°C 付近のテストも行っており、これらは別の機会に報告する。さらに、サーバーの節電を考慮した場合は電力の実測が必要であるが、今後は温度調査に合わせて行っていきたい。

### 参考文献

- [1]. 経済産業省, <http://www.meti.go.jp/earthquake/shiyosei/gen/index.html>
- [2]. Microsoft 社自動節電プログラム, <http://support.microsoft.com/kb/2545427/ja>
- [3]. ワットチェッカー, <http://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=tap-tst5>
- [4]. PUE 解説, [http://www.dir.co.jp/souken/green/keyword/13\\_pue.html](http://www.dir.co.jp/souken/green/keyword/13_pue.html), 大和総研
- [5]. The Green Grid, "The Green Grid Data Center Power Efficiency Metrics: PUE and DCiE," Technical Committee White Paper, 2007.
- [6]. Malone, C., Belady, C., "Metrics to Characterize Data Center & IT Equipment Energy Use," Proceedings of 2006 Digital Power Forum, Richardson, TX, 2006.
- [7]. Greenberg, S., Mills, E., Tschudi, W., Rumsey, P., Myatt, B., "Best Practices for Data Centers: Lessons Learned from Benchmarking 22 Data Centers," AC EEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, <http://eetd.lbl.gov/emills/PUBS/PDF/ACEEE-datacenters.pdf>, 2006.
- [8]. Google data centers (Measurement), <http://www.google.com/corporate/datacenter/efficient-computing/measurement.html>
- [9]. 日本マイクロソフト, "サーバー ルームの節電に関する詳細情報, <http://technet.microsoft.com/ja-jp/windowsserver/hh272765>
- [10]. 4 チャンネル温度 SD カード記録計 47SD, <http://www.uruzo.com/ondo47SD.htm>, 株式会社佐藤商事
- [11]. CoreTemp, <http://www.alcpu.com/CoreTemp/>
- [12]. Intel SERVER PROCESSORS, <http://www.intel.com/products/server/processor/index.htm>
- [13]. Intel® Xeon® Processor E5520 (8M Cache, 2.26 GHz, 5.86 GT/s Intel® QPI), <http://ark.intel.com/Product.aspx?id=40200>
- [14]. 榎本 寿彦, "空冷ヒートポンプパッケージエアコンの能力曲線," *Refrigeration* 83(968), 418-420, 2008.
- [15]. 岡田拓也, 今井正和, "空間的に密な温度変化を計測するシステムの構築," 電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ 109(137), 13-18, 2009-07-10.
- [16]. 田中公祐, 佐藤裕樹, 諏訪敬祐, "ワイヤレスセンサネットワークにおける画像及びデータ計測センサの統合化とデータ収集法に関する研究," 情報処理学会研究報告. ITS, [高度交通システム] 2006(120), 67-74, 2006-11-16
- [17]. 岡本昌幸, 小林俊満, 赤井光治, "サーバー室空調の省エネに対する取り組み," 学術情報処理研究 (14), 72-76, 2011

[1]. 経済産業省, <http://www.meti.go.jp/earthquake/shiyosei>