

次世代モジュール型エコ・データセンターの実証実験報告

IJJでは、次世代モジュール型エコ・データセンターを構築するために、中部地方にて2010年2月から1年間にわたり外気冷却方式のコンテナユニットによる実証実験を行っています。ここでは、実証実験の目的、実験に用いたシステムの構成とともに、実験結果を説明します。

4.1 外気冷却方式の実証実験に至った理由

4.1.1 空調方式見直しの必要性

データセンターは、大量のサーバなどのIT機器を効率よく設置できる環境を実現するために、大容量の電気設備や空調設備を備えています。しかし、現在のデータセンターには、サーバから排出される熱が当初の設計時の想定を大きく上回り、十分に冷却できないという問題があります。これは、IT機器の処理能力や集積度が向上し、機器あたりの消費電力とともに発熱量が増えていることが原因です。当初、サーバを設置するラックあたりの消費電力は、実効値で1～3kVA程度と見積もって設備を設計していたのですが、現状は4～6kVAが当たり前になりつつあり、将来は10kVA以上になる可能性があります。

また、2020年に温室効果ガスの排出量を1990年比で25%削減するという国際公約の実現や、東京都の環境確保条例によってCO2総量削減が義務付けられることなどから、データセンターにおいても消費電力を減らす対策が必要になっています。

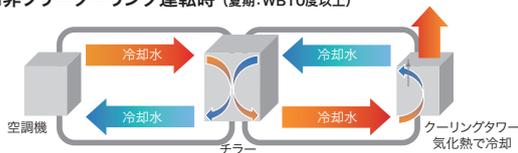
データセンターでは、IT機器が最も多く電力を消費します。しかし、空調機器もIT機器と同等の電力を消費しています。このため、消費電力を大幅に削減するには、従来の空調方式を見直し、消費電力量が少ない新たな空調方式を導入する必要があります。

電力の消費を抑えて冷却する方法には、外部環境を利用する次の2つがあります。このうちwater-side economizer (チラーレス水冷方式)のみをフリークーリングと呼ぶことが多いですが、消費電力量を削減して冷却するという意味ではair-side economizer (外気冷却方式)もフリークーリングに含まれます。

- water-side economizer (チラーレス水冷方式)
- air-side economizer (外気冷却方式)

チラーレス水冷方式では、図-1に示すように、水の気化熱を利用して、より少ない電力で冷却水を作る冷却塔(クーリングタワー)を使用します。これに対して外気冷却方式では、冷たい外気を利用してデータセンターを冷却します。

■非フリークーリング運転時(夏期:WB10度以上)



■フリークーリング運転時(冬期・中間期:WB10度以下)



図-1 チラーレス水冷方式の原理

表-1 フリークーリングの方式比較

	Water-side economizer チラーレス水冷方式	Air-side economizer 外気冷却方式
仕組み	水の気化熱(冷却塔)で冷却した冷水で室内を間接的に冷却	外気で室内を直接冷却
湿度、塵埃管理	室内の空気は循環するため、加湿装置、フィルタは簡易のものでよい	外気を直接室内に入れるため、加湿装置、フィルタなどの設備が必要
設備の特徴	冷却塔、冷水配管が必要	サーバールームに外気導入の開口部が必要で既存の建物には導入しにくい
主なランニングコスト	冷却塔で気化する水の補充、冷水を循環させるポンプ動力、室内機の動力	外気導入のファン動力
年間利用可能時間	3500-4000時間/8760時間(東京)	5500-6000時間/8760時間(東京)
日本での導入状況	多数あり	中間期のみ利用することが多く、冬期の導入事例はほとんどない

この2つの方式には、表-1に示すような特徴があります。IJでは、シミュレーションの結果から、年間利用可能時間が長く、冷却塔などの設備が必要ない外気冷却方式が次世代のデータセンターに適していると判断しました。

しかし、外気冷却方式では、大量の空気を吸排気するための開口部をサーバールームに設ける必要があります。このため、既存のビルに外気冷却方式を導入するためには、解決しづらい大きな問題が存在することになります。そこで、IJは、空気を吸排気するダクトと筐体を一体化しIT機器を搭載するコンテナモジュールを開発することにしました。

4.1.2 現在の海外動向

巨大なデータセンターの建設で先行している米国では、どのような空調方式が採用されているのでしょうか。これまで、米国ではチラーレス水冷方式が主流と言われていましたが、外気冷却方式の採用も増えています。表-2に、Microsoft、Google、Yahooの各社が最近1、2年に建設したデータセンターの動向を示します。Microsoft社とYahoo社は、外気冷却を主冷却方式にすることに舵を切ったように見受けられます。これに対してGoogle社は、海水による冷却システムを備えたデータセンターをフィンランドに建設するとの報道もあり、チラーレス

水冷方式をベースとする方針が変わりがないようです。

Yahooがナイアガラの滝の近郊に2010年9月にオープンしたデータセンターは、公表されている資料から図-2のような構造になっているものと推測されます。建設地のLockportの冷涼な気候を生かし、年間の大部分を外気のみで冷却できるようです。ここで取り上げた3社以外にもNetAppやHPなども自社のデータセンターで外気冷却方式を採用しているとの事例もあり、データセンターにおける外気冷却方式の採用は世界的なトレンドになっているとIJは認識しています。また、Ashrae (米国暖房冷凍空調学会)TC9.9は、データセンターの消費エネルギー削減のために、2008年にデータセンターの温湿度条件を緩和しました。IJは、このことも外気冷却方式の普及を後押しする要因の1つになると考えています。

4.1.3 そして実証実験へ

IJでは、省エネ性、投資コスト、運用コストなどのメリットと、海外の動向から、現時点においては、外気冷却方式が次世代のデータセンターに適しているという結論に達しました。しかし、海外で実用化されているといっても、日本固有の高温多湿な気候条件で商用に供するためには、実運用に耐えうることの検証が必要と判断し、今回の実証実験を実施することとなったのです。

表-2 米国で最近建設されたデータセンターの動向 (各種報道資料よりIJ作成)

会社名	場所	面積	稼働・建設年月	特徴	空調方式
Microsoft	Northlake Illinois, US	51,097㎡	2009年9月 稼働開始	PUE=1.22 1階はコンテナ形式 2階は通常型	水冷
	Quincy Washington, US	9,290㎡	2010年5月 増設工事開始	IT PAC使用 flywheel UPS PUE=1.06	外気
	Dublin, Ireland	28,150㎡	2009年7月 稼働開始	PUE1.25	外気
Google	Hainaut, Belgium	不明	2008年 稼働開始	PUE=1.1	水冷チラーレス
	Hamina, Finland	8,000㎡	2011年春 稼働開始	製紙工場を改修	海水冷却
Yahoo	Omaha Neblasca, US	27,871㎡	2009年 稼働開始	flywheel UPS	外気+チラー
	Lockport New York, US	14,400㎡	2010年9月 稼働開始	PUE 1.08 flywheel UPS	外気

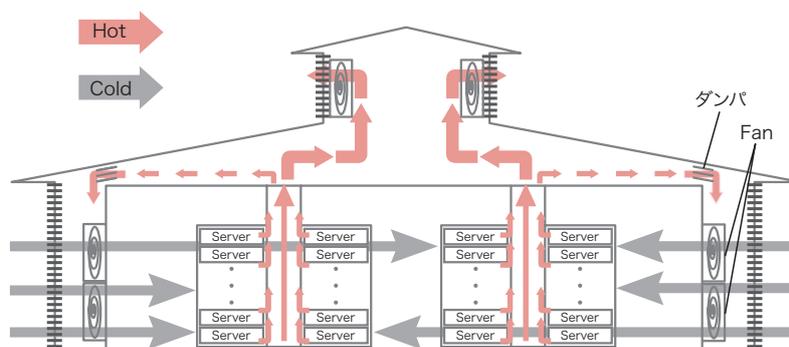


図-2 Yahoo Lockportのデータセンターの構造(IJ 推定)

4.2 実証実験の目的とシステム構成の概要

外気を利用してサーバ等のIT機器が冷却できることを実証するのが実験の目的ですが、最終的に目指しているものは省エネルギー化であり、今後構築する商用データセンターに採用することにあります。単に外気をIT機器の冷却に利用して「できた」や「できない」という結果を出せばよいのではなく、省エネルギー化が達成されているか、商用データセンターへの利用に耐えうる品質かを定量的に測れることが必要です。

このためIJでは、各分野のプロフェッショナルとパートナー関係を結び、実証実験システムを構築しました。外気冷却を可能にし、IT機器の冷却に最適化し、自動制御可能な空調機である空調モジュールを、株式会社東芝と共同開発しました。IT機器を収容するためのコンテナユニットであるITモジュールは、日本軽金属グループの株式会社エヌ・エル・エム・エカルに製作を依頼しました。ITモジュール内には、通常のデータセンターと同様に、IT機器を収容するためのラックや、主幹電力線から安全に各ラックに電気を送るための分電盤を備えています。また、省エネルギー化が達成されているかを計測するために、電流や積算電力計のパルス信号を測定する機器も必要です。これらは河村電器産業株式会社より調達しました。

大量の電気を消費するデータセンターでは、火災が最も身近で憂慮される災害です。このため、事前の検知と、万が一発生したときにIT機器にできるかぎり影響がない消火が行える設備が求められます。一般にデータセン

ター内に吹く風はかなりの量になるため、今回の実証実験システムも同じ状況になることが想定されます。したがって、通常のオフィスで利用される火災検知機は用途に適さないため、防災設備として火災予兆センサーを設置し、ITモジュール内の火災を検知できるかを実験しました。これには能美防災株式会社に協力をお願いしました。また、可能なかぎり実際のデータセンターの環境を再現するために、国際産業技術株式会社からITモジュール内の熱負荷としてサーバ機器を調達し、設置しました。

ここでは、このような実証実験システムを構成する要素を説明していきます。その前にデータセンターのエネルギー指標に関して、その概要をまとめておきます。

PUE (Power Usage Effectiveness) は、米国の業界団体The Green Gridが発表し、世界で最も普及しているデータセンターの電力利用効率を表すための指標です。しかし、今回の実証実験システムは、データセンター全体の設備やシステムを構築するものではありません。このため、PPUE (Partial PUE) の概念を導入することにしました。コンテナユニットの利用などモジュール化指向が進むデータセンターにおいて、PPUEはその名が示すとおり部分的なPUEを表すためのものです。実証実験システムでは、次の計算式でPPUEを求めることが可能となるように、積算電力計等を配置しています。

$$PPUE = \frac{\text{空調モジュール消費電力} + \text{ITモジュール消費電力}}{\text{ITモジュール消費電力}}$$

データセンターのエネルギー指標 PUE

・ PUE (Power Usage Effectiveness)

－ 米国の業界団体The Green Gridが発表した、世界的にも普及しているデータセンターの電力利用効率を表した指標

－ 算出式

$$PUE = \frac{\text{データセンター全体の消費電力}}{\text{IT機器の消費電力}} = \frac{\text{(IT機器の消費電力} + \text{付帯設備の消費電力)}}{\text{IT機器の消費電力}}$$

－ 付帯設備の消費電力が0のとき、PUEは1.0となり、理論上最も良い状態となる

－ 日本国内における標準的なDCのPUEは2程度（IT機器がDC全消費電力の半分を消費）と言われている

－ 国内のPUE1.2以下は、まだ商用サービスとしては実現されていないレベル

- 参考例 -
サーバで100、それ以外（空調等）で80の電力を使っているデータセンターのPUE
 $PUE = \frac{IT\ 100 + \text{その他}\ 80}{IT\ 100} = 1.8$

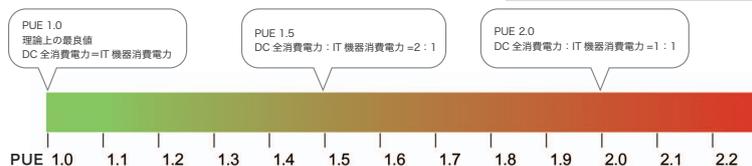


図-3 データセンターのエネルギー指標PUE

4.2.1 空調モジュール

先ほど示した通り、今回の実証実験で用意した空調モジュールは、「外気冷却を可能にし、IT機器の冷却に最適化し、自動制御可能な空調機」です。では、IT機器の冷却に最適化とは、どのような環境状況を指すのでしょうか。今回は、Ashrae (米国暖房冷凍空調学会) 技術委員会TC9.9のデータセンター内の温室度条件推奨値 (以下、Ashrae2008) を採用することにしました。

図-5のグラフは、横軸に乾球温度 [°C]、縦軸に絶対湿度 [kg/kg (DA)] を採った簡易的な空気線図です。本来、 h = 比エンタルピ [kJ/kg (DA)]、 x = 絶対湿度 [kg/kg (DA)] の「湿り空気h-x線図」が、空調業界で一般的に使われる空気線図です。空気線図は、大気圧 (101.325kPa) を基本として、乾球温度 [°C]、湿球温度 [°C]、露点温度 [°C]、絶対湿度 [kg/kg (DA)]、比エンタルピ [kJ/kg (DA)]、相対湿度 [%] 等の関係を線図で表したもので、このうちの2値が定まれば他の値もすべて線図上で求めることができます。

続いて、空調モジュールの各運転モードを説明します。

■ 外気運転モード

外気運転モードは、最もシンプルな運転モードです。外気運転モードでは、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IT機器の冷却に使い、IT機器からの排気はすべて捨ててしまいます。このとき空調モジュールに必要な動力は、外気を取り入れるファンのみで、大幅な省エネルギー化が実現できます。

■ 混合運転モード

混合運転モードは、外気の温湿度状態が低温度、低湿度であるとき用いられる運転モードで、主に冬期に利用されます。混合運転モードでは、外気とIT機器の排気を混合させますが、それぞれの温湿度の状態によって混合比率を可変させ、目的とするAshrae2008の範囲内の空気を作り出します。

混合点が空気線図上のAshrae2008の範囲より下になる場合、つまり湿度が不足しているときには、気化式加湿を行います。気化式加湿は、空気中の熱量を奪いながら加湿するため、空気線図上は右下から左上に空気の状態が遷移します。この結果、Ashrae2008範囲内の空気をIT機器に供給することができます。また、気化式加湿は、蒸気式加湿と違って加湿のために電力を必要としません。このため、外気運転モードと同様に、空調モジュールに関わる動力はファンのみとなり、大幅な省エネルギー化が実現できます。

■ 循環運転モード

外気をそのまま用いたり、またはIT機器の排気と混合させ気化冷却を伴う気化式加湿を行ったりしたとしても、どうしてもAshrae2008の範囲内の空気を作り出すことができない状態に外気がなっていることがあります。この場合には、従来からの方式による冷却が必要となり、コンプレッサーなど電力を多く消費する冷却ユニットを動作させなければなりません。また、消費電力が多いという理由から、その機能をまったく備えないというわけにもいきません。このため、空調モジュールは、循環運転モードのために、

Partial PUE (部分的PUE)

従来型DCのPUE=A/B

モジュール型DCのモジュール部
PartialPUE=A'/B'

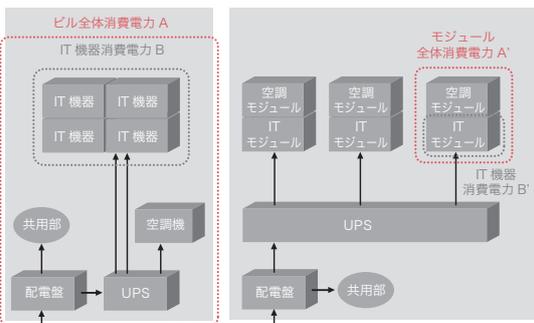


図-4 部分的PUE (PPUE)

	乾球温度	相対湿度	露点温度	備考
Ashrae class 1 & 2 recommended level (2008 Version)	18 - 27°C	60%以下	5.5 - 15°C	DCのエネルギー消費削減のため、Ashraeが2008年に改訂した機器の吸い込み温湿度条件の推奨値。
Ashrae class 1 allowable level	15 - 32°C	20 - 80%	17°C以下	外気利用等のエコマイザー利用期間を延ばすために設けられた許容値。ただし、どの程度の期間利用できるかは、IT機器の検証とハードウェア障害の許容度による。

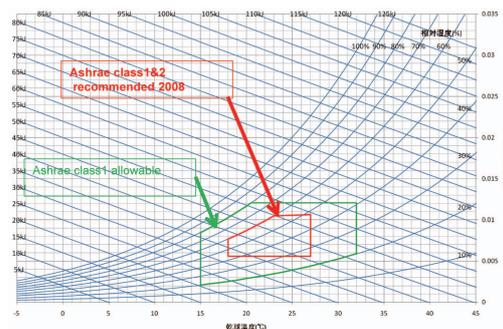


図-5 Ashraeによるデータセンター内温湿度条件推奨値

外気を遮断しコンプレッサーによる冷却を行うための設備を備えています。

循環運転モードの消費電力は、コンプレッサーの冷却能力に依存したものになります。このため、いかに優れた能力の製品を用いるかと、できるかぎり循環運転モードを発動させないように制御できるかが、年間を通じたトータルの省エネルギー化を達成するためのポイントになります。

ここまでを示した各運転モードは、空調モジュール内に設置された制御装置によって、外気の状態を元に自動的に制御され、切り替えられます。

次に、空調モジュールに必要な構成要素を説明します。

IT機器(ITモジュール)と空気をやりとりするためのファンは、インバータ制御が可能で、最大風量27,000m³/hを有しています。気化式加湿は、空調モジュール内の風洞に加湿モジュールを設置し、必要際に給水することで加湿を実現しています。外気の取り入れと、IT機器の排気、外気とIT機器の排気を混合のために、空調モジュール内には複数のダンパが存在してい

ます。混合比率は、これらのダンパの開度をインバータ制御によって調整します。また、循環運転モード時に利用する冷却ユニットとして、空調モジュール外部にそれぞれ28kWの冷却能力を持つ室外機(コンプレッサー)を4台設置し、空調モジュール内の風洞に設置した冷却コイルと冷媒管にて接続しています。室外機はインバータ制御で、きめ細かな制御と省エネルギー化を両立しています。温湿度状態を計るためのセンサーは、外気やITモジュール庫内の必要箇所に設置しています。

そして、これらの各構成要素を制御するためのDDC(Direct Digital Controller: 空調機制御装置)を空調モジュール内に設置し、各運転モードの自動制御を始めとするさまざまな制御を行います。このほかにも、外気を取り入れるという性質上、空調モジュールには中性能フィルターを備え、0.5μm以上の粉塵は除去される仕組みになっています。

なお、空調モジュールは、実証実験のために余裕を持った大きさで設計しています。今後構築する商用データセンターに採用する空調モジュールは、実証実験のものに比べて2/3程度の大きさになる予定です。

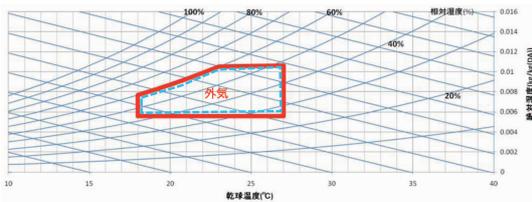
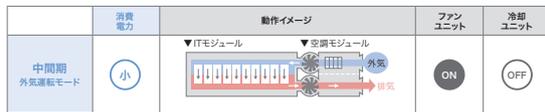


図-6 外気運転モード

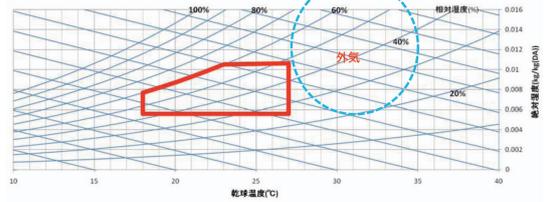
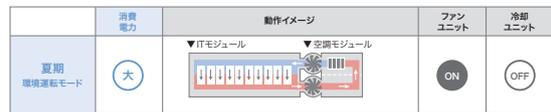


図-8 循環運転モード

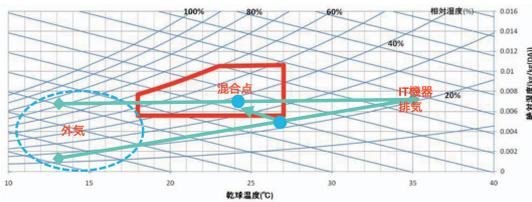
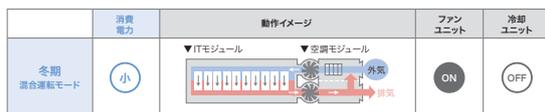


図-7 混合運転モード



図-9 左から、室外機、空調モジュール、ITモジュール

4.2.2 ITモジュール

サーバ等のIT機器を収容するコンテナユニットをITモジュールと呼びます。ITモジュール内は、IT機器を収容するラックを境に、ラック前面をコールドエリア、ラック後面をホットエリアとして区画されています。また、空調モジュールとITモジュールは、2本のダクトで接続され、空調モジュールから「IT機器の冷却に適した空気」がITモジュール内のコールドエリアに送られ、IT機器の排気がITモジュール内のホットエリアから空調モジュールに戻される構造になっています。

今回の実証実験では、サーバ等のIT機器の熱負荷は90kVAを想定しています。クラウド時代のデータセンターにはIT機器収容数の高密度化が求められているため、1ラックの実効電力10kVAが目標となります。これを9ラック備えたITモジュールとしては90kVAの実効電力が利用可能であるべきと考えました。

しかし、今回の実証実験はあくまで外気冷却という空調システムの検証が主目的で、IT機器は熱負荷でしかありません。このため、実際の構築にあたってはさまざまな検討を行いました。用意したラックのうち、熱源を搭載できるスペースは1架あたり約40U程度であり、1Uあたり250VAの電力を消費する必要があります。この熱負荷を安価に準備しようとしたときには、例えば電球を並べることが考えられます。4U程度のスペースに100Wの白熱灯を10個設置できれば、必要相当の負荷を得ることができます。また、ホットプレート(1300W程度)、こたつヒーター(500W程度)、ドライヤー(1200W程度)等も利用できるかもしれません。ただし、いずれの器具にしても外部からの制御が困難で、24時間連続運転したときには火災等の不安があります。また、エアフローに関する懸念もありました。個々

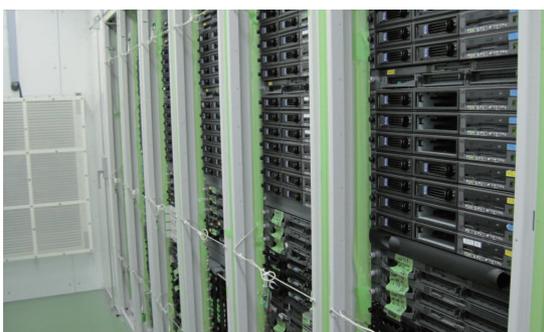


図-10 ラック間を養生テープで目張りし空調効率を高める

のIT機器にはファンが搭載されています。このため、そのエアフローが再現できなければ、いくら単なる熱負荷とはいえ、実証実験と言えないのではないかという意見がありました。

このような検討を経た結果、最終的には本物のIT機器(サーバ)を設置して実証実験を行うことに決定しました。サーバには意図して5年ほど前の中古機器を用い、調達コストを圧縮するとともに、1Uあたりの消費電力を稼ぎ出すことにしました。現在のサーバは、省電力指向やその実装が進んでいるため、少し前の古いサーバのほうが消費電力が大きい傾向にあります。サーバは、複数メーカー、複数機種を導入しました。カタログスペック上の定格値が300～400VAというものが多かったのですが、実測してみると平均180～200VA程度の電力消費となっていました。1Uサーバをメインに利用し、CPUを2個、メモリを最大枚数搭載(容量より枚数が重要)、HDDを2台にすることで、なんとか目標とする1Uあたり250VA程度、ITモジュール全体で最大90kVAに到達できました。

各サーバはあくまで熱負荷という位置づけですが、OSをインストールしネットワークに接続することで、リモートからの制御を可能にしました。OSの起動のみで処理負荷がかかってない状態で、およそ70%の消費電力(ITモジュール全体で約60～65kVA)、ベンチマークツールによる処理を実行させたときに100%(約90kVA)の負荷を作り出すことができます。また、サーバの物理設置にあたっては、ラックの隙間を完全に養生テープで塞ぐことで、空調効率を最大限まで高めるようにしました。

このほかにも、ITモジュールには随所に工夫を凝らしています。特にセンサー類は数多く設置し、さまざまな情報を取得できるようにしているのが特徴です

4.2.3 PPUEシミュレーション

ここまでの説明で、3つの運転モードを有し、それぞれを自動制御することで、IT機器にASHRAE2008範囲内の空気を供給できる空調モジュールと、最大90kVAの熱負荷を作り出すITモジュールが構築できたことはお分かりいただけたと思います。実際に実証実験の結果を説明する前に、今回の実証実験システムを利用した

際にどのようなPPUEになるかをシミュレーションしたため、その結果を紹介します。

気象庁は、気象統計情報として、国内各地の過去の気温、湿度を始めとする気象情報を公開しています。この情報を利用して図-11のような空気線図にプロットすることで、空調モジュールの各運転モードの年間動作時間が算出できます。

また、空調モジュールの各運転モードの消費電力は既にわかっているので、これらの情報により今回の実証実験システムを国内各地で利用したときのPPUEを机上算出することができるわけです。図-12にシミュレーション結果を示します。図-12からも明らかなように、北方の寒冷地では、より低いPPUEが想定できます。しかし、沖縄(那覇)を除き、各地でのPPUEの差は0.1程度の範囲内に収まっています。一方で、寒冷地に設備を構築する際には、冬期の凍結防止や雪害対策などのために初期投資やランニングコストが増大する可能性があります。したがって、今回の実証実験に用いた外気冷却システムは、単純に年間通じて寒い場所に設置すればよいというものではないとも考えられます。

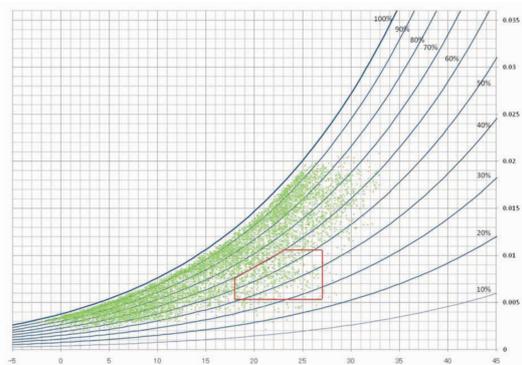


図-11 松江の外気温湿度状況(2009年)を空気線図にプロットした例

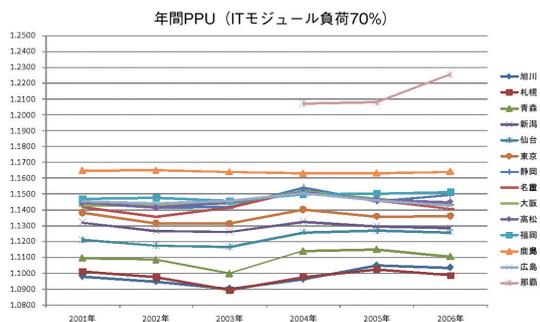


図-12 シミュレーション結果

4.3 実証実験の結果と考察

2010年2月から開始している実証実験では、すでにさまざまなデータを取得し、商用モジュールにフィードバックしています。ここでは、空調モジュールの運転データを元の実証実験の結果の説明と考察を行います。

4.3.1 空調モジュールの消費電力

空調モジュールの消費電力は、S A (Supply Air) ファンと室外機の2つに分けることができます。厳密には、これらに制御機器の消費電力も加わりますが、その量はわずかなため、ここでは取り上げません。

■ SAファンの制御

SAファンは、外気や室外機で作った冷気をITモジュールのクールドエリアに供給し、ホットエリアに出されたIT機器の排気を空調モジュールに循環させる役割を担っています。動作する期間が通年であるため、SAファンの効率化は空調モジュールの省エネルギー化に大きく影響します。

SAファンの回転速度を小さくして風量を低減すると、SAファンの電力が回転速度の三乗に比例して小さくなります。つまり、風量を1/2にすると、電力は1/8になります。SAファンは、インバータ制御によってファンモータの回転速度を調整してクールドエリアへの供給風量をコントロールしているため、IT機器の冷却に必要な分だけの風量をクールドエリアに供給できれば省エネルギー化に大きな効果を発揮します。

また、IT機器は、自らのファンでクールドエリアの空気を吸気しホットエリアに排気するため、SAファンの風量としてはIT機器のファン全風量分が常に必要になります。SAファンの風量がIT機器のファン全風量より少なくなると、IT機器の周辺でショートサーキットが発生します。また、IT機器のファン全風量より多くなったときには、無駄な風がIT機器内やラックの間隙を通過することになります。したがって、図-13に示すように、SAファンの風量とIT機器のファン全風量が等しいときに、最も効率が良い省エネルギーな運転になります。しかし、IT機器のファン全風量を算出することは容易ではありません。これは、IT機器には個々の機種にさまざまなファンが搭載されていることに加えて、IT機器自体の処理動作(CPUやHDDの

利用状況)や吸い込み温度(コールドエリア温度)の状況による動作状態の変化(温度上昇を防止させるためにファンの回転速度を上げるなど)があるためです。このため、空調モジュールには、IT機器のファン風量増減を自動的に判断し、SAファンの風量を調整する制御システムの導入が必要です。

■ 室外機の制御

外気を利用しない循環運転モードでは室外機が動作します。通常、室外機は、ITモジュールから戻された高温の空気を冷却するために使われますが、非常時に高温多湿の外気を冷却したり除湿したりする役割も担っています。室外機では、インバータでコンプレッサモータを制御し、ITモジュールの負荷に合わせて冷却能力を変更してコールドエリアの温湿度をリニアに制御してきめ細かに調整することができます。IT機器が発する熱は顕熱(温度変化)のみであるため、ビル型データセンターと同様に空調モジュールも高顕熱比で設計しています。

4.3.2 外気運転モードと混合運転モードの実証実験

2月～5月には、混合運転モードと外気運転モードでの

さまざまなデータが取得できました。今回は4月6日のデータを元の実証実験の結果を説明します。図-14に、4月6日の運転レポートを示します。

外気運転モード時と混合運転モード時には、室外機が停止しているため、空調モジュールの電力の大部分がSAファンの消費電力になります。SAファンは、先ほど説明したとおりインバータ制御によってSAファンの風量(4月6日の平均風量14,627m³/h)を効率よく制御することで、必要最小限の運転を行います。これによって、空調モジュールの電力は、図-15に示すように全電力の4%程度で、PPUE=1.044になっています。4月6日以外の日での外気運転モードや混合運転モードでもPPUE=1.04～1.07を記録しており、想定どおりの省エネルギー化の結果が得られています。

また、図-16は、コールドエリア(青)、ホットエリア(赤)、外気(緑)それぞれの温湿度データを5秒ごとにプロットした空気線図です。コールドエリア(青)のプロットの97.84%がAshrae2008範囲内にあり、残りもAshrae allowable範囲内です。つまり、コールドエリアの温湿度は1日を通じて安定していたこととなります。

空調SAファンの制御

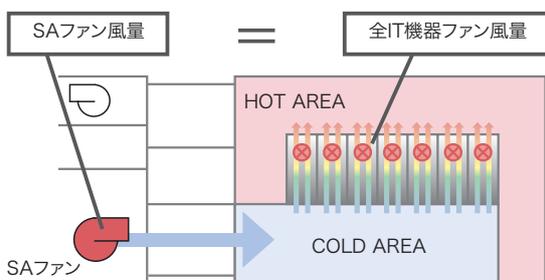


図-13 最も効率的で省エネルギーが実現できる風量の関係

■消費電力	
IT消費電力	: 1550.0kWh (平均64.6kW)
空調消費電力	: 68.0kWh
PUE	: 1.044
■空調機運転モード	
1. 外気	: 29.4% 7時間02分
2. 混合	: 70.6% 16時間56分
3. 循環	: 0.0% 0時間00分
■FAN風量(SA)	
最高風量	: 18533m ³ /h / 最低風量: 12727m ³ /h / 平均風量: 14627m ³ /h
加湿器給水量	: 0.00m ³
■外気状態	
最高気温	: 23.5度 / 最低気温: 12.3度 / 平均気温: 17.0度
最高湿度	: 92.7% / 最低湿度: 43.5% / 平均湿度: 71.8%

図-14 4月6日の運転レポート



図-15 4月6日のPPUE

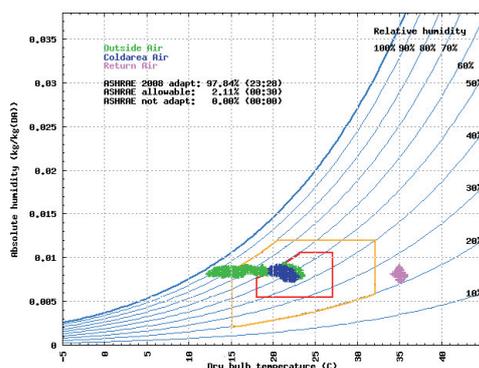


図-16 4月6日の空気線図

さらに、図-17に示すように、混合運転モードと外気運転モードのモード切替時にも温湿度は安定し、Ashrae2008の範囲内にあります。

外気運転モードと混合運転モードでは、図-18に示すようなダンパ制御で温湿度を調整しています。コールドエリアに設置している温湿度センサーの情報をDDC (Direct Digital Controller: 空調機制御装置) がリアルタイムで取得し、外気吸気ダンパ、排熱ダンパ、混合ダンパの開度を調整します。実験結果で温度と湿度が安定しAshrae2008の範囲内に温湿度が収まっているということは、一連のダンパ制御が適正に行われていることを示しています。

また、外気運転モードや混合運転モードに欠かせない機能に加湿制御があります。図-19は、4月30日の運転レポートです。この日は外気の絶対湿度(乾き空気 1 kg

中に含まれる水蒸気量)が低かったため、コールドエリアの温湿度をAshrae2008範囲内にするために気化式加湿器が動作しています。

気化式加湿器は、加湿材の上部から水を流し、空気の通過による自然蒸発で加湿します。図-20は4月30日の空気線図です。コールドエリア(青)のプロットがAshrae2008の範囲内を推移していることから、過加湿や加湿不足が発生することなく、加湿制御が適正に行われていることが分かります。

4.3.3 循環運転モード

6月～8月には、循環運転モードでのさまざまなデータが取得できました。ここでは、7月6日のデータを元に実証実験の結果を報告します。図-21に、7月6日の運転レポートを示します。この日は、1日をとおして循環運転モードになっています。

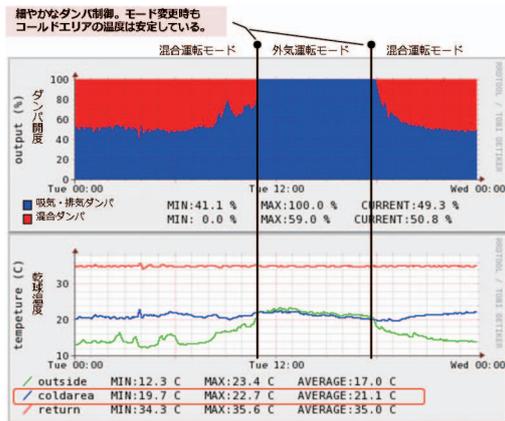


図-17 ダンパ開度と温度推移

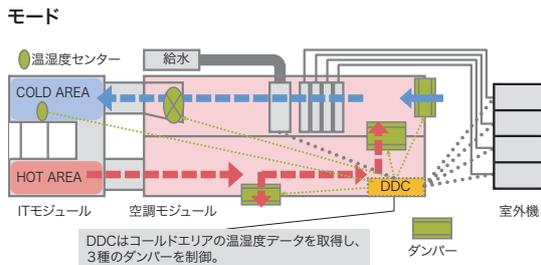


図-18 DDCとダンパ



図-19 4月30日の運転レポート

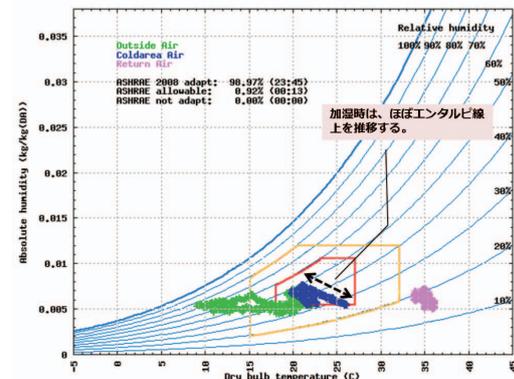


図-20 4月30日の空気線図

外気の最高温度が30.6°C、平均温度が27°C、ITモジュール負荷が63.7kW (最大90kWの70%)であった7月6日の空調モジュール電力は、図-22に示すように全電力の22%で、PPUE=1.284でした。7月6日以外の日での循環運転モードでは、PPUE=1.24~1.30を記録しています。PPUEの変動が大きい理由は、室外機の電力が「外気温湿度」や「ITモジュール負荷」によって変動するためです。

図-23は、7月6日の空気線図です。コールドエリアの温湿度(青)がASHRAE2008範囲内を推移しています。また、図-24に示すとおり、ITモジュールのコールドエ

リア、ホットエリアの温度、相対湿度、絶対湿度のいずれもが安定しています。

循環運転モードでは、外気を遮断することでより効率のよい運転が可能です。また、何らかの異常によって高温、高温な外気が流入しても、ITモジュールの温湿度が乱高下しないように、室外機の除湿、冷却機能を制御する機能も実装しています。さらに、室外機の出力と稼働台数を変えて、複数の運転パターンでの実験を行い、室外機の総消費電力が最小となるようにDDCが室外機を制御する機能も実装しています(図-25)。

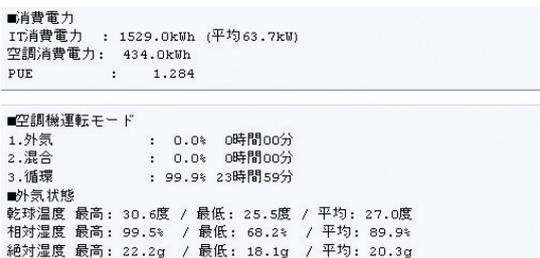


図-21 7月6日の運転レポート

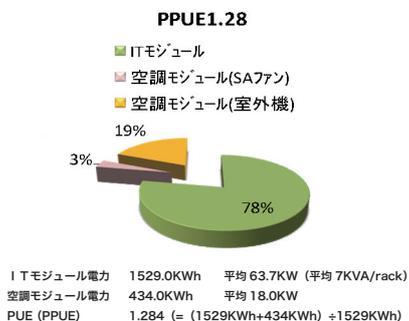


図-22 7月6日のPPUE

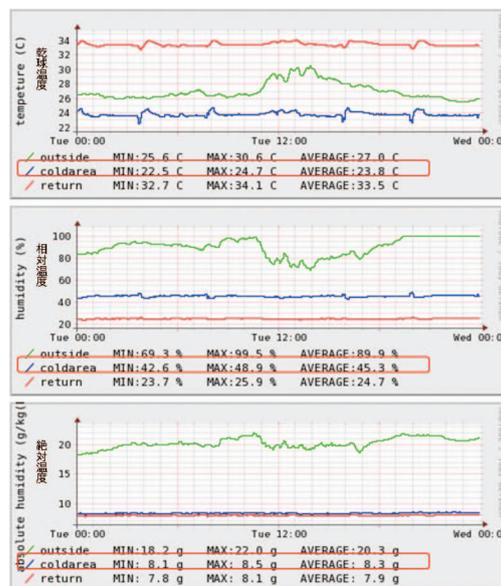


図-24 乾球温度、相対湿度、絶対湿度の推移

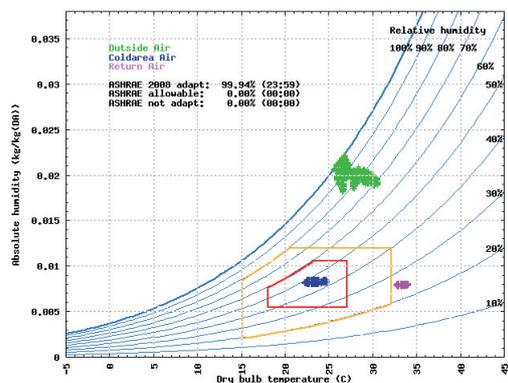


図-23 7月6日の空気線図

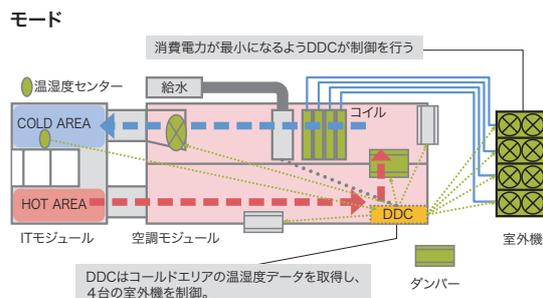


図-25 DDCと室外機

4.4 今後に向けて

4.4.1 さらなる省エネルギー化への課題

外気冷却方式による省エネの実用性のめどはつきましたが、さらなる省エネ化に向けて、次のようなSTEPで中長期的に検討、実証を行っていく予定です。

- STEP1 既存の仕組みの拡張(たとえば、夏期も外気運転モードとすることで消費電力を削減する)
- STEP2 空調設備とIT機器の融合(たとえば、空調設備とIT機器がそれぞれFANを持ち、独立して温度制御をしているため、一体的に制御させて、二重にあるFANを削減する)
- STEP3 カーボンニュートラルデータセンターの実現(たとえば、自然エネルギー(風力、太陽光等)を利用した発電設備とデータセンター設備を一体的に構築運用することにより、CO₂が発生しない電力を利用できる仕組みを作る)

まず、最初のステップとして、2010年8月に行った夏期の外気運転モードでの実証実験の概要を報告します。

夏期でも、循環運転モードを使わずに、消費電力の少ない外気運転モードを使い、通年でPPUEを1.1以下にすることを目標に、複数のIT機器ベンダの協力を得て、実験を実施しました。24時間強制的に外気運転モードにしたため、コールドエリアは外気と同じ温度になり、最高で35度を超える室温となりました(そのときホットエリアは45度になります)、表3の通り、PPUEは、1.25から1.06と大幅に改善しました。しかし、消費電力の合計は、70kwが約6%減り、66kwにただただけでした。空調の消費電力が10kw減った分、室温が高温になることでIT機器のFANの回転数が増え消費電力が6kw増えたため(一般にサーバのFANの消費電力は吸い込み口温度が25度を超えると大きく増加してい

きます)、差し引き4kwしか消費電力は減らなかったのです。空調機器の消費電力が減り、IT機器の消費電力は変わらずに、PPUE1.07になることを期待していたのですが、PPUEは期待通りでも、全体の消費電力は大きくは削減できないということが定量的に測定できたことは大きな成果だと考えています。

今後、実験で得たデータの分析を、IT機器ベンダ、空調機器ベンダと進めていきますが、次のステップである空調機器とIT機器の融合につながるデータが得られることを期待しています。

また、従来から言われていることですが、PUEの改善が、必ずしも省エネにつながるものではなく、きめ細やかな省エネを進める場合の指標としては、PUE以外の指標が必要だということを再認識しました。

4.4.2 商用化に向けた松江データセンターパークの構築

実験で実証した技術を実運用に適用すべく、商用として国内初の外気冷却コンテナユニットによるデータセンター「松江データセンターパーク」の構築を、2011年4月の稼働開始を目指し、行政の産業振興施策に基づく投資助成、電力料金補助などのバックアップを受け、2010年9月1日より開始しました。

データセンターパークは、クラウドサービスのニーズに応えるために、建物、電気設備、空調設備、IT設備が融合し、モジュール化された各種リソースが集積する場であり、第1世代である松江データセンターパークは、クラウドサービスI/II GIOのベースとなるファシリティとして、低コスト、高いサーバ収容効率や容易なスケールアウトを実現する日本初のコンテナ型データセンターで、主な特長は以下の通りです。

- 外気冷却方式の採用
- 独自開発のITモジュール「IZmo(イズモ)」(特許出願中)の利用
- データセンターコンポーネントの効率的な配置

松江データセンターパークでは、実証実験の結果を生かした高効率の外気冷却方式を実装しています。また、ITモジュールでは、外気を供給するダクトとモジュール筐体を一体化することで、設備コストを低減しています。さらに、モジュール内をホットエリアとコールドエリアに分離することで、空調効率を高め、すべてのラック

表-3 夏期の循環運転モードと外気運転モードの消費電力

	循環運転モード		外気運転モード	
	実測値	期待値	期待値	実測値
IT機器消費電力	56kw	56kw	+6kw	62kw
空調機器消費電力	14kw	▲10kw	4kw	4kw
合計	70kw	▲4kw	60kw	+6kw
Partial PUE	1.25	▲0.19	1.07	▲0.01

FANの回転数が上がり消費電力が増加した

消費電力は期待値より増加

PUEは期待値を下回った

クで実効10KVAまでの電力消費を可能にし、電気代などのランニングコストを低減しています。これらに加えて、モジュール内に設置するラックを傾斜配置することで、ITモジュールの幅を2.5m以下にしつつ、必要な内部スペースも確保しています。これらにより、トレーラー等の特殊車両ではなく通常の大型トラックでの運搬が可能となり、輸送コストを約1/3まで低減できます。

さらに、データセンターに用いるコンテナは、建築基準法第2条の建築物に該当しないことを国土交通省が検討しており、「建築物ではない設備機器」というコンセプトをいち早く取り入れ、IT機器の電源のON/OFFや状態表示ランプの確認などをリモートから行うためのさまざまな機能も実装します。

松江データセンターパークでは、ITモジュールの前後に電気設備と空調モジュールを配置する独自の方式



図-26 松江データセンターパークイメージ図

「MISP (Module Inter-connection over the Shortest Path)」を採用しています。これにより、電源配線、冷媒配管などの接続距離を最短にすることができ、配線などから生じるエネルギーロスや設備に関わる投資コストを低減しています。

4.5 おわりに

データセンターの省エネ化を目的とした今回の実証実験は、第一世代の松江データセンターパークの構築という形でひとまず結実しますが、空調設備とIT機器の融合、カーボンニュートラルなデータセンターの実現に向け、商用での運用ノウハウを蓄積し、第2、第3世代のデータセンターパークを実現すべく、今後も先進的な取り組みを継続していきます。

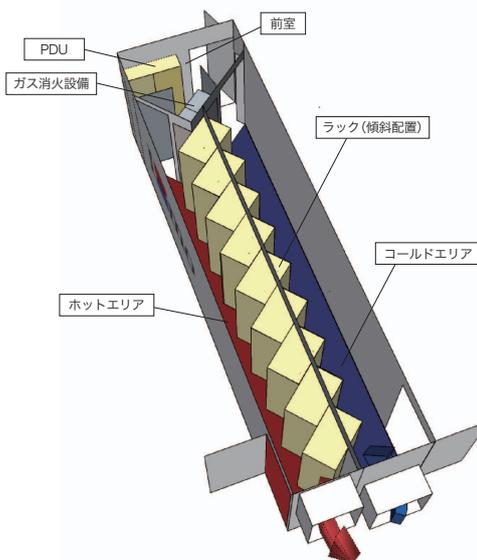


図-27 ITモジュール「IZmo」イメージ図

執筆者:

4.1/4.4

久保 力 (くぼ いさお)

IIJ サービス本部 データセンターサービス部 副部長

大手キャリアを経て(株)クロスウェイコミュニケーションズへ入社し、NTTのダークファイバを使用した相互接続を全国数十箇所で実現(日本初)。2008年IIJへ入社し、既存のデータセンターの運用、拡張を進めるとともに、次世代データセンター構築の統括を行う。

4.2

川島 英明 (かわしま ひであき)

IIJ サービス本部 データセンターサービス部 事業企画課 課長

2002年IIJ入社。SEIL/SMFの販売促進、ネットワークインテグレーション部における大規模案件の構築業務を経て、2009年度よりデータセンター事業の企画業務に従事。

4.3

橋本 明大 (はしもと あきお)

IIJ サービス本部 データセンターサービス部 事業企画課

キャリア系通信基地局の設計・構築・運用及びデータセンターのファシリティエンジニアを経て2009年IIJに入社。現在は、次世代データセンターの検討・設計・構築に従事。