

データセンター向け間接外気活用省エネルギーハイブリッド空調機「F-COOL NEO」

Indirect External Air Cooling Type Energy-Saving Hybrid Air Conditioner for Data Centers, "F-COOL NEO"

大賀 俊輔 OGA Shunsuke

高松 武史 TAKAMATU Takeshi

高橋 正樹 TAKAHASHI Masaki

サーバの高性能・高密度化により発熱量が飛躍的に増加しているデータセンターの空調機を省エネルギー化するため、自然エネルギーである外気の冷熱を用いたシステムの導入が進められている。富士電機は、外気に含まれるじんあいや腐食性物質などの影響を受けにくい間接方式の外気冷房（間接外気冷房）と、蒸気圧縮式の冷凍冷房を組み合わせたハイブリッド空調機「F-COOL NEO」を開発した。F-COOL NEO は、外気温度と冷房負荷に応じて、両者の運転割合を自動で制御する。評価の結果、年間を通じた消費電力量が一般の空調機と比較して約 1/3 となる高い効率を達成できることを確認した。

To improve the energy efficiency of air conditioners in data centers, in which heat generation is dramatically increasing due to improved performance and higher-density of servers, systems that make use of outside air cold, which is natural energy, are being adopted. Fuji Electric has developed a hybrid air conditioner "F-COOL NEO" combining indirect external air cooling, which is less susceptible to the effect of dust and corrosive substances contained in external air, and vapor compression refrigeration cooling. F-COOL NEO automatically controls the operation ratio of the two types of cooling according to external air temperature and a cooling load. As a result of evaluation, it has been verified that high efficiency can be attained of the amount of power consumption throughout the year approximately 1/3 that of general air conditioners.

1 まえがき

近年、データセンターに使用されるサーバは、高性能・高密度化により発熱量が飛躍的に増加している。サーバの発熱は空調機により冷却する方式が一般的であり、年間を通じた冷却負荷が発生する。空調機を省エネルギー（省エネ）化するため、自然エネルギーである外気の冷熱を用いた外気冷房の導入が進められている。外気冷房には冷熱源である外気を直接取り込む直接方式と、熱交換器を介して外気の冷熱のみを取り込む間接方式に分けられる。富士電機は、外気に含まれる水分やじんあい、腐食性物質の影響を受けにくい間接方式の外気冷房（間接外気冷房）と、蒸気圧縮式の冷凍冷房とを組み合わせたハイブリッド空調機「F-COOL NEO」を開発した。

F-COOL NEO は、季節や昼夜で変化する外気温度と冷房負荷に応じて、外気冷房と冷凍冷房の運転割合を最も省エネとなるように年間を通じて自動制御することで、年間の消費電力量が一般の空調機と比較して、約 1/3 となる高い効率を達成できる。

2 特徴と構成

F-COOL NEO の仕様を表 1 に示す。定格冷房能力は 25 kW と 40 kW の 2 機種がある。

起動時や設定変更時を除いて、設定に対して ±1 K の精度で 18~35℃ の範囲の給気（吹出し）が可能である。また、給気風量は 25 kW 機で 2,500~10,000 m³/h、40 kW 機で 2,500~12,000 m³/h に設定できる。なお、温度制御幅が従来の ±2 K よりも高精度で制御できる分、上限値を定めてこれを超えないようにする場合、温度を高め設定できるので省エネが図れる。

表 1 「F-COOL NEO」の仕様

項目	仕様	
	FCA-25	FCA-40
冷房方式	間接外気冷房（不凍液）＋ 圧縮冷凍冷房（R410A）	
定格冷房能力	25 kW	40 kW
定格給気風量	7,450 m ³ /h (制御範囲：2,500～ 10,000)	8,500 m ³ /h (制御範囲：2,500～ 12,000)
設定給気温度	18～35℃	
給気温度精度	±1 K	
外形寸法	W1,200×D2,000× H2,500 (mm)	W1,200×D2,000× H2,700 (mm)

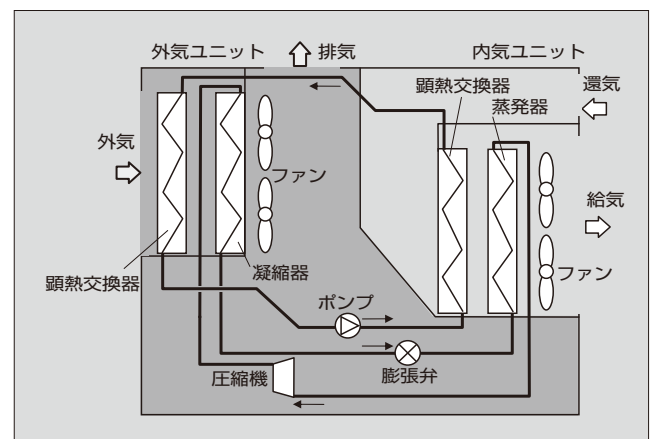


図 1 「F-COOL NEO」の構成

F-COOL NEO の構成を図 1 に示す。F-COOL NEO は室内・室外機一体型であり、間接外気冷房機と冷凍冷房機を内蔵する。サーバ側空気（内気）と冷熱源である室外の空気（外気）は装置内部で隔離され、空気の通流はない。

間接外気冷房機は、内気ユニットと外気ユニットにそれぞれ顕熱交換器を設け、ブライン冷媒（不凍液）をポンプで循環して外気冷熱を輸送する。

冷凍冷房機は、外気温度が高く外気冷房では能力が不足する場合に運転して給気温度を維持する。この冷凍冷房機は、内気ユニットに蒸発器を、外気ユニットに凝縮器、圧縮機および膨張弁を設けたものである。また、冷媒にはR410Aを使用している。

3 省エネルギーを実現するための運転制御⁽²⁾

間接外気冷房は圧縮機を使わず、ポンプとファンの動力で冷房するため高効率である。ただし、冷房能力は外気温度に依存するため、外気温度が高くなると能力は低下する。間接外気冷房機で能力が不足する場合は冷凍冷房機で補うが、圧縮機を運転することで効率が低下する。そこで、効率の低下を極力抑えた省エネ運転とするため、運転条件に応じて複数の運転モードを備え、その中から適切なモードを選択して切り替え、外気冷房を最大限利用するように自動制御を行う。

図2に、間接外気冷房と冷凍冷房の能力分担の模式図を示す。横軸は、還気温度が外気温度と同じときに外気冷房能力が0となるよう規格化された外気温度である。つまり、還気と外気の温度差が小さくなるほど外気冷房の能力限界は低下する。そこで外気温度によらず冷房能力を維持するために大きく分けて次の三つのモードで運転を行う。

(1) 間接外気冷房機単独運転モード

間接外気冷房機の能力が冷房負荷に対して十分な場合は、間接外気冷房機単独で運転する。

(2) 間接外気冷房・冷凍冷房機併用運転モード

間接外気冷房機の能力が冷房負荷より下回る場合は、不足分を冷凍冷房機が補う。ただし、F-COOL NEOの冷凍冷房機は最低能力以下の冷房能力制御機構を持たないため、冷房負荷が過剰にならないように間接外気冷房機の能力を調整する。

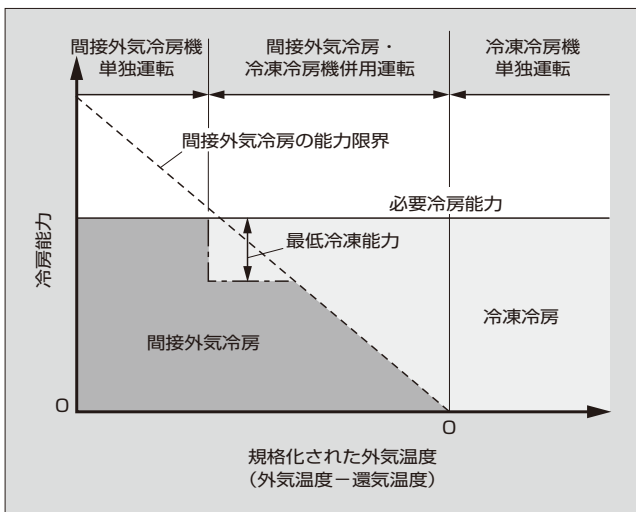


図2 間接外気冷房と冷凍冷房の能力分担の模式図

(3) 冷凍冷房機単独運転モード

外気温度が還気温度以上となり、間接外気による冷房能力が得られない条件では、冷凍冷房機単独で運転する。

冷房負荷と外気温度に応じて、前述(1)(2)(3)の運転モードのいずれかを自動で選択するが、モード移行時に機器の制御が不連続となり給気温度が変動しないように、各運転モード内には制御方法の異なる複数のサブモードを設けた。

4 省エネルギー性の評価

4.1 試験装置

F-COOL NEOの特性評価は、図3に示す試験装置で実施した。

内気側は、サーバ室内に設置したサーバラック内の模擬負荷（ヒータ）により発熱量を制御し、サーバ室の還気をF-COOL NEOとエアハンドリングユニットへ送る。F-COOL NEOの前後には温湿度計と圧力計をそれぞれ設けている。また、F-COOL NEOの上流にファンと流量計を設け、機外静圧を一定に保って還気流量を制御する。

外気側は、エアハンドリングユニットとヒータで模擬的に年間を通じた外気状態を作り出し、これをF-COOL NEOへ送る。内気側と同様にF-COOL NEOの前後には温湿度計と圧力計をそれぞれ設けている。また、F-COOL NEOの上流に流量計を設け、外気用エアハンドリングユニットの流量を調整することで機外静圧を一定に保ち、模擬外気流量を制御する。

消費電力はF-COOL NEOの電源端子に電力計を接続して測定し、冷房能力は内気側入出口の空気温湿度と流量から算出する。

4.2 外気冷房特性

外気冷房単独の冷房能力を、還気温度、給気風量および外気風量のいずれも一定の条件で測定した結果を図4に示す。同等の評価装置における顕熱交換器単体の測定結果を併せて示す。

還気温度が一定の条件では、外気温度に応じて冷房能力は直線的に変化し、外気温度の上昇で冷房能力は低下する。そのため、外気温度が高く外気冷房能力が低いときに定格冷房能力を維持するには冷凍冷房機で能力を補助する必要

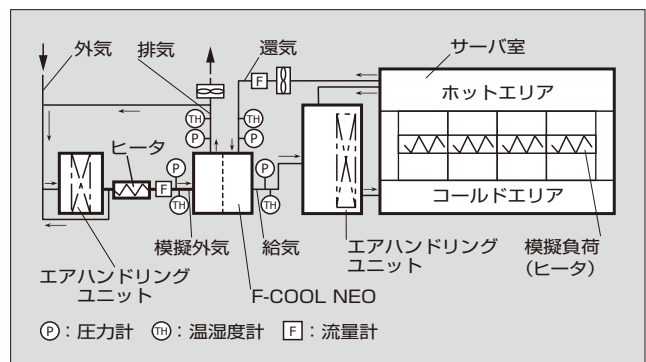


図3 試験装置

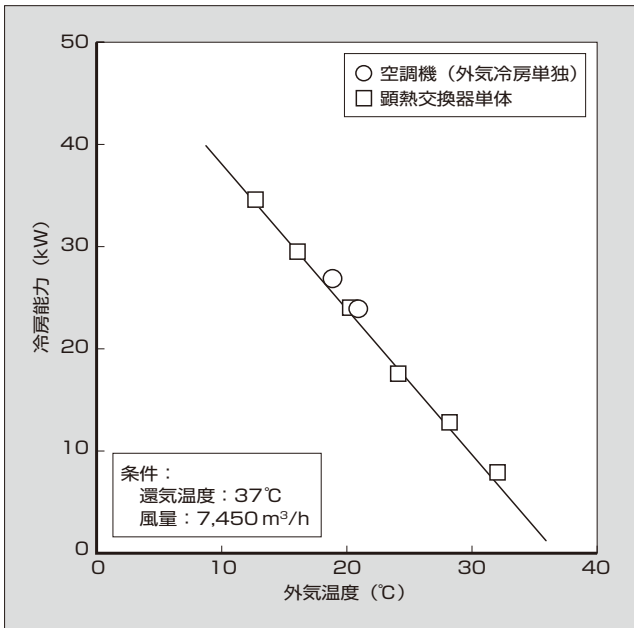


図4 外気冷房特性

がある。

4.3 外気温度依存性

模擬外気を用い、外気温度を変化させて特性を測定した。定格冷房能力の25kWで運転して装置全体の消費電力を測定し、式(1)により成績係数(COP)を算出した。

$$COP = \frac{\text{冷房能力}}{\text{装置消費電力}} \dots\dots\dots (1)$$

冷房能力：内気側入出口エンタルピー差から算出
装置消費電力：装置消費電力は15分平均値

図5に消費電力とCOPの計算結果と実測結果を示す。19℃以下では間接外気冷房機による単独運転となり、消費電力は37℃以上の冷凍冷房機による単独運転時の1/5

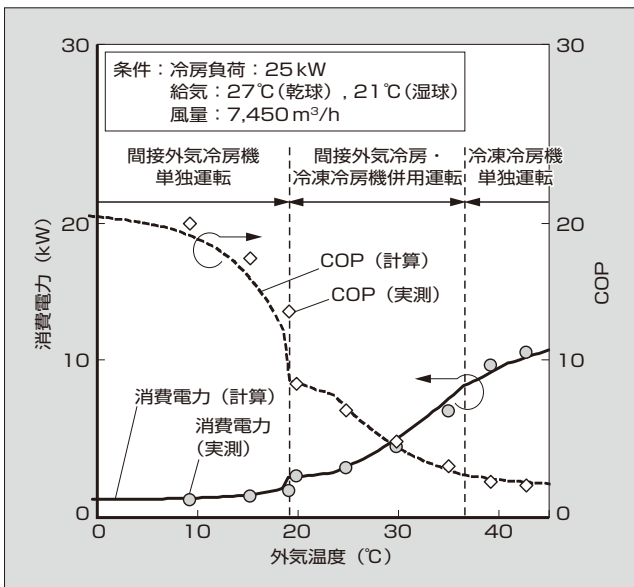


図5 消費電力とCOPの計算結果と実測結果 (FCA-25)

程度である。中間温度帯では併用運転となり、消費電力も間接外気冷房機単独運転と冷凍冷房機単独運転の中間で、外気冷房の効果が得られている。また、消費電力とCOPの計算結果は、実測とほぼ一致した。

5 模擬データセンターでの連続運転評価

5.1 評価装置

評価装置としてモジュール型の模擬データセンターとF-COOL NEOを組み合わせて設置し、半屋外環境で連続運転を行った(図6)。発熱源を模擬データセンター内部に設けた模擬負荷(ヒータ)により制御し、全熱量をF-COOL NEOで冷房している。

5.2 運転モード切替評価

間接外気冷房機単独運転と間接外気冷房・冷凍冷房機併用運転の切替は、図2に示すとおり冷房能力の分担が不連続となるため、機器の制御方法を変更するサブモードを設けることで円滑に能力分担を変化させている。図7に、定格負荷における間接外気冷房機単独運転から併用運転への移行推移を示す。外気温度が上昇し、併用運転モードへの移行条件が成立すると圧縮機が起動し、同時にポンプ回転数で冷房能力を制御する。給気温度は移行後の約15分間わずかに乱れるが、精度は1K以内を維持している。

図8に、定格負荷における併用運転から間接外気冷房機単独運転への移行推移を示す。外気温度が下降し、間接外気冷房機単独運転モードへの移行条件が成立すると、ポンプ回転数を制御し、次いで圧縮機を停止し、同時に外気ファンの回転数で冷房能力を制御する。給気温度は移行後の約10分間わずかに乱れるが、精度は1K以内を維持している。

移行時の消費電力変化と1分ごとの計算値を図7、図8に示す。実測と計算はほぼ一致し、時系列変化においても計算方法は有効と考えられる。

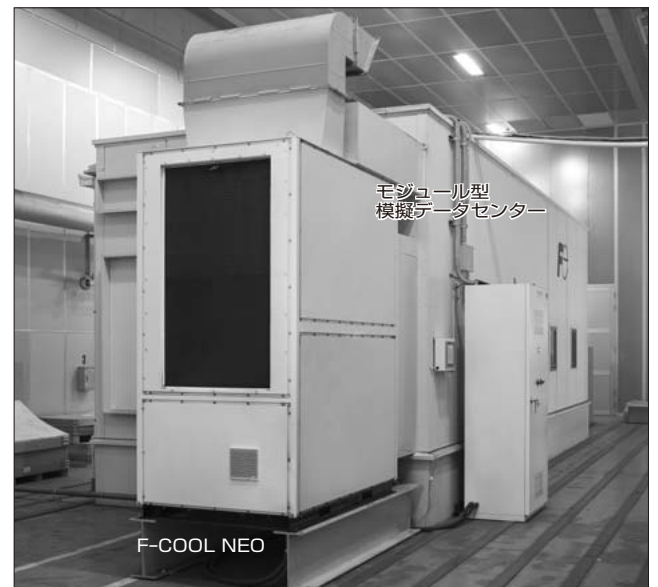


図6 評価装置

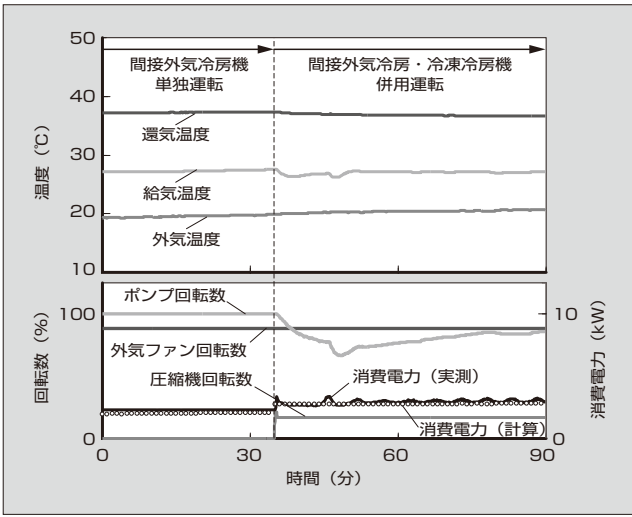


図7 運転モード切換（間接外気冷房機単独運転→併用運転）

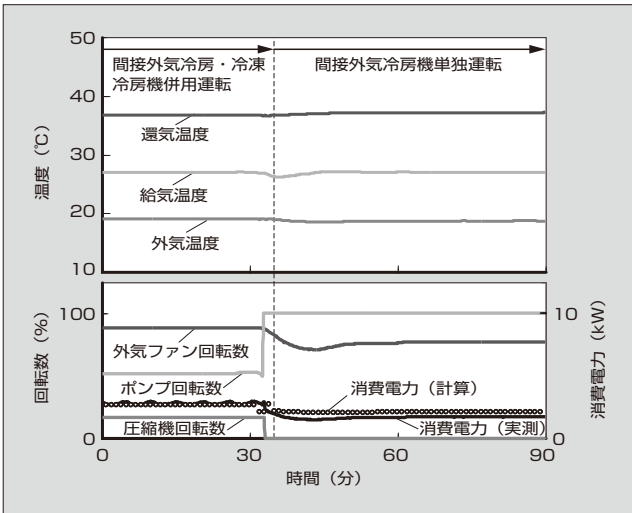


図8 運転モード切換（併用運転→間接外気冷房機単独運転）

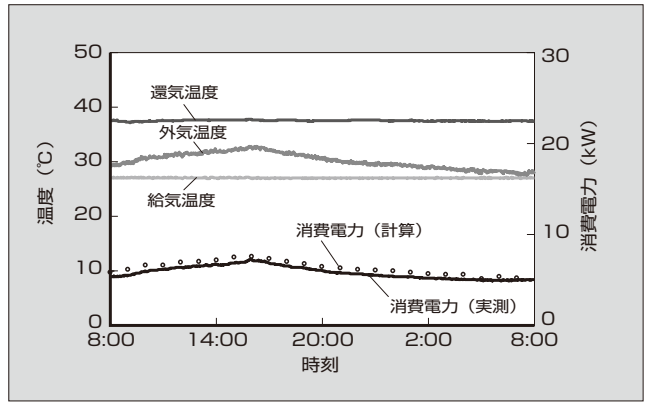


図9 夏季1日の定格負荷運転時の消費電力

表2 消費電力とCOP

		熱負荷(GJ)	消費電力	COP
日運転 (2009年夏季, 東京)	実測	2.20	117 (kWh/日)	5.2
	計算	2.16	126 (kWh/日)	4.8
年間運転 (2009年, 東京)	計算	788	21,009 (kWh/年)	10.4

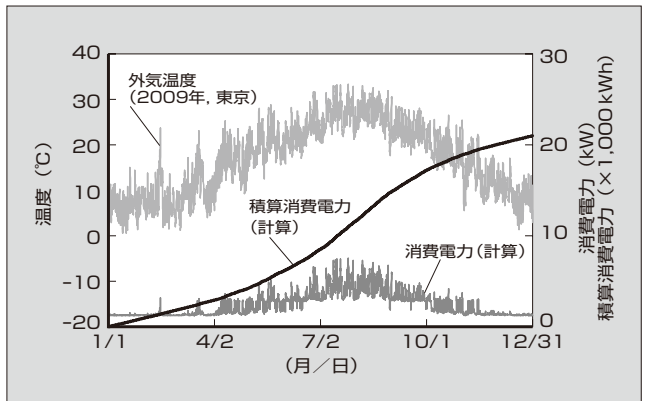


図10 2009年の定格負荷運転時の消費電力

6 年間効率評価

6.1 消費電力測定

模擬データセンターにおける夏季1日の定格負荷運転時の推移を図9に示す。1日の外気温度の変化で消費電力は変動するが、給気温度は一定に保っている。また、時間ごとの外気温度から推算した消費電力は実測と傾向が一致した。表2に消費電力の実測値と推算値の比較を示す。1日の消費電力量の実測値は推算値とほぼ一致した。

6.2 年間効率推算

気象庁東京観測所における2009年1時間ごとの気象データを用いた年間消費電力の計算結果を図10に示す。また、年間COPを式(2)で計算した結果を表2に示す。東京地区の年間COPは10.4であった。

$$\text{年間 COP} = \frac{\text{年間冷熱生成量}}{\text{年間消費電力量}} \dots\dots\dots (2)$$

この値は、一般の電算用パッケージ空調機の年間COPが3~4であることに比較してかなり大きい。F-COOL NEOを用いれば、年間を通じた消費電力量が、約1/3に抑えられることを確認した。

7 モジュール型データセンターへの適用

データセンターの構築においては、初期投資の抑制、早期稼働、省エネおよび拡張性の面でモジュールの考え方がキーポイントとなる。富士電機は、建屋、空調、電源などを標準化して段階的な構築による投資負担の軽減と短工期(3か月)を実現するために、“ビルトイン・ブロック方式”のモジュール型データセンターを開発し、商品化している。このモジュールは、サーバブロック、UPSブロック、受電ブロックおよび自家発電ブロックから構成している。サーバブロックとUPSブロックを図11に示す。サーバブロックは、富士電機がコンビニエンスストアの建築に使用しているプレハブ型建材「エコロパネル」を採用し

たサーバラック収納建屋、バスダクトによるサーバラックへの配電設備、ならびにサーバ負荷を冷却する F-COOL NEO で構成する。この基本ブロックは、サーバラックを 80 台収容でき、高断熱、高耐震性（980 Gal）を備えている。F-COOL NEO は建屋外周面に配置して、サーバラックへの冷却給気を建屋内壁面より吹き出させ、サーバラックで温められた空気を天井裏から F-COOL NEO へ還気する。UPS ブロックは効率 97% の富士電機製 UPS「UPS7000HX」を採用して電源設備の高効率化を図っている。また、基本モジュールの監視・操作はデータセンターエネルギーマネジメントシステム「F-DMS」により行い、運用の省力化、遠隔化を図っている。これらのモジュールを需要に応じて

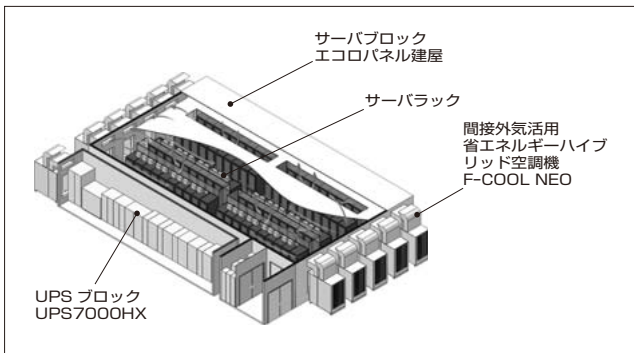


図 11 モジュール型データセンター

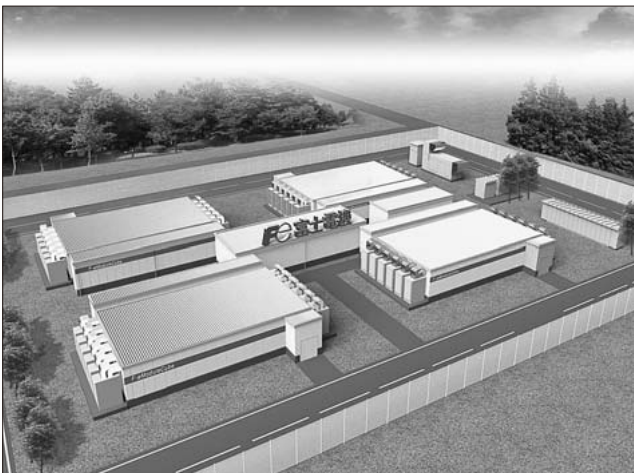


図 12 データセンターサイトの鳥瞰図

段階的に増設することで、投資の最適化を図ることができる。基本モジュールを 4 組配置したデータセンターの鳥瞰（ちょうかん）図を図 12 に示す。

⑧ あとがき

自然エネルギーを活用する間接外気冷房機と蒸気圧縮式の冷凍冷房機とを組み合わせたハイブリッド空調機「F-COOL NEO」について述べた。本空調機は、データセンターだけでなく、年間を通じて清浄な空気での冷房空調が必要な精密加工分野や食品・薬品分野に適した空調機である。

今後は、冷房負荷の変動に対する最適運転制御などにより、さらなる省エネルギー化に取り組んでいきたい。

参考文献

- (1) 富士電機株式会社. “データセンター向け間接外気導入型省エネ空調機”. 電気評論. vol.98, no.3, 69 (2003).
- (2) 高橋正樹ほか. “データセンター向けハイブリッド空調機の制御”. 2013年度日本冷凍空調学会 年次大会E322-1. p.559-562.



大賀 俊輔

燃料電池発電装置、空調システムの開発に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部機電システム事業部 AIR 環境技術部主席。エネルギー管理士。



高松 武史

データセンター設備のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部機電システム事業部 AIR 環境技術部主席。



高橋 正樹

燃料電池、自動販売機、空調システムの開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所応用技術研究センター熱応用研究部。日本伝熱学会会員、ASHRAE 学会準会員。エネルギー管理士。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。