

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289199

研究課題名(和文) 高発熱機械室の高効率空調設備構築と信頼性評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on Air-conditioning Systems and Reliability evaluation for a High Heat Density Equipment Room

研究代表者

羽山 広文 (Hayama, Hirofumi)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80301935

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、IT機器や工作機器を収容した高発熱機械室の空調設備に関し、機器の発熱を確実に高効率で冷却することを目的に、1)室内の温熱環境の適正化、2)空調設備の高効率化、3)空調設備の信頼性確保の3点を主眼に据え、機器冷却特性を考慮した空調方式、冷涼な外気を活用した高効率空調方式、生産施設への置換換気方式の適用、空調設備の信頼性評価の4つの課題について、機器の設計・製造(製造業)、サービスの構築・運用(サービス業)、空調設備の設計・建設(建設業)の異なる産業分野にまたがる課題を体系的に整理し、適応範囲、構成基準、その対策と効果を定量的に明らかにし、実用性の高い成果として取り纏めた。

研究成果の概要(英文)：This series of studies relates to air conditioning facilities for rooms accommodating IT equipment that generates large amounts of heat. To ensure that this equipment is cooled reliably and efficiently, we focus on three main points: (1) optimizing the thermal environment inside the room, (2) improving the efficiency of the air conditioning facilities, and (3) ensuring that these facilities operate reliably. We systematically organize issues that cross the boundaries between different industrial fields; "IT equipment design & construction (manufacturing industry), architecture and operation of information services (service industry), and air conditioning equipment design & construction (construction industry)" and quantitatively clarify the measures to be taken and the effects of these measures. The results of these studies are compiled into highly practical form.

研究分野：建築環境学・建築設備学

キーワード：高発熱機械室 データセンタ 生産施設 空調設備 置換換気方式 省エネルギー 信頼性

1. 研究開始当初の背景

近年、パーソナルコンピュータ、携帯端末などを用い「いつでも・どこでも・誰でも」情報ネットワークを介して、人々の生活をより豊かにする「ユビキタス社会」の構築が進んでいる。このような情報通信サービスの普及を支えるには、データセンタ (DC) が必要であり、ここには IT 機器が設置されている。現在、国内には延べ床面積 160 万 m<sup>2</sup>、年間約 65 億 kWh の電力を消費し、今後の飛躍的な増加が予想されている。

IT 機器を多数収容した機械室は、1kW/m<sup>2</sup> を超える発熱密度に達し、年間を通じ冷却が必要になると同時に、エネルギー多消費型の施設であり、空調設備は高い省エネルギー性 (高効率化) が求められている (図 1)。また、発熱密度の高い機械室は、空調設備が停止すると短時間で室温が上昇する。IT 機器の動作を保証する許容温度を大きく超過すると、誤動作だけでなく部品に熱破壊が生じ、甚大な障害を与えることがある。空調設備の停止は、社会システムや生産工程の混乱だけでなく、事業の損失につながる重大な問題にも成りうる。

一方、これら一連の課題は、DC だけでなく、高発熱の工作機器が設置された生産施設の空調設備でも共通である。海外では、米国における DC の導入数が多く、ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) を中心に研究開発、運用基準が示されているが、機器の冷却特性を考慮した空調設備の高効率化、信頼性評価に関する研究は十分とは言えない。これは、「機器の設計・製造 (製造業)」、「サービスの構築・運用 (サービス業)」、「空調設備の設計・建設 (建設業)」の異なる産業分野にまたがる課題に対し、一貫した対策が取られていないことが原因と言える。DC および高発熱生産施設における空調設備の高効率化、信頼性の向上には、産業分野にまたがる課題を体系化し、その対策の効果を定量的に明らかにすることが求められている。

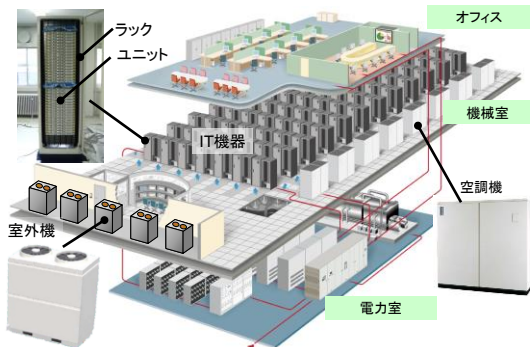


図 1 高発熱 DC の構成例

2. 研究の目的

本研究において研究期間内に以下の事項を明らかにした。

(1) 機器冷却特性を考慮した空調方式

①再循環を考慮した IT 機器の冷却特性評価、②IT 機器の温度情報を活用した空調制御方式の検討を行い、機器の冷却特性と空調設備の関係を明確にし、機器の要求する吸込み温度条件を満たしながら、最小の空調給気量を実現する方式の計画・設計方法を確立する。

(2) 空調設備の信頼性評価

①室温変化を考慮した空調設備の信頼性評価、②複雑な設備構成に対応した信頼性評価を行い、故障パターンごとに室温上昇速度を盛り込んだ解析手法を明確にする。

(3) 冷涼な外気を活用した高効率空調方式

①外気冷房の実用化評価、②気化式加湿器の潜熱冷却効果の分析・評価を行い、高効率化へ向けた運転制御方式を確立するとともに、国内最大級の外気冷房 DC の有効性を実証する。

(4) 生産施設への置換換気方式の適用

①置換換気される室内の機器排熱が室温分布へ与える影響、②工作機器に排気塔を設けた置換換気方式の評価を行い、IT 機器以外の工作機械工場などの生産施設に適用した際の課題と効果を明らかにする。

3. 研究の方法

3.1 機器冷却特性を考慮した空調方式

(1)再循環を考慮した IT 機器の冷却特性評価  
強制空冷機器が設置された機械室では、機器換気量と空調給気量を一致させる設計方法を採用しているが、空調機の送風温度差が小さくなり、送風機容量と空調機の冷却効率の低下が課題である。

本研究ではこのような課題に対し、まず、各部の温度を関連付ける機器冷却モデル (図 2、表 1) から、機器の冷却特性の評価に有効な各部の温度差比、排熱効率、二種類の再循環比 (室内再循環比・機器再循環比) を定義し、実大実験からこれらのパラメータを同定する手法を示し、機器の冷却特性を左右する要因を明らかにした。

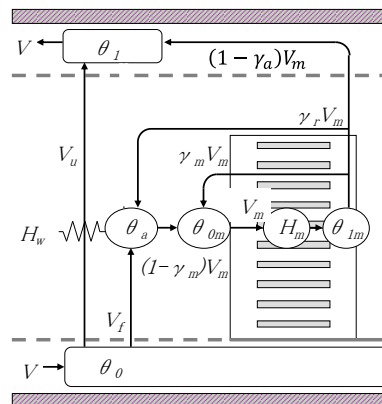


図 2 IT 機器の冷却モデル

表 1 機器冷却特性の評価指標

評価指標	定義式
換気流量比 $\kappa_m$	$\kappa_m = \frac{V}{V_m} = \frac{\theta_{1m} - \theta_{0m}}{\theta_1 - \theta_0}, \kappa_m \geq 0$
排熱効率 $\eta_v$	$\eta_v = \frac{V_f}{V} = \frac{V - V_u}{V} = 1 - \frac{V_u}{V} = \frac{\theta_1 - \theta_0}{\theta_{1m} - \theta_0}$ $V_f = \eta_v \kappa_m V_m, V_u = (1 - \eta_v) \kappa_m V_m$
機器吸込み温度差比 $m_{0m}$	$m_{0m} = \frac{\theta_{0m} - \theta_0}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{\eta_v \kappa_m \gamma_m + \gamma_r}{\eta_v (1 - \gamma_m)}$
再循環温度差比 $m_a$	$m_a = \frac{\theta_a - \theta_0}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{\gamma_r}{\eta_v (1 - \gamma_m)}$
機器吹出し温度差比 $m_{1m}$	$m_{1m} = \frac{\theta_{1m} - \theta_0}{\theta_1 - \theta_0} = \frac{\eta_v \kappa_m + \gamma_r}{\eta_v (1 - \gamma_m)}$
総合再循環比 $\gamma_a$	$\gamma_a = \gamma_m + \gamma_r$ $\gamma_r = \frac{\kappa_m \eta_v m_a}{m_{0m} - m_a + \kappa_m}, \gamma_m = \frac{m_{0m} - m_a}{m_{0m} - m_a + \kappa_m}$
SHI (Supply Heat Index)	$SHI = \frac{\delta Q}{Q + \delta Q} = \frac{\gamma_a}{1 + \gamma_a}$

表 2 エネルギー消費量の評価指標

評価指標	定義式
空気搬送エネルギー消費係数 $\epsilon_{FA}$	$\epsilon_{FA} = \frac{E_{FA}}{H_L}$
機器の空気搬送エネルギー消費係数 $\epsilon_{FM}$	$\epsilon_{FM} = \frac{E_{FM}}{H_L}$
熱源エネルギー消費係数 $\epsilon_{COM}$	$\epsilon_{COM} = \frac{H_L + E_{FA} + E_{FM}}{H_L \cdot COP_{COM}}$ 熱源機器の総合効率: $COP_{COM}$
トータルエネルギー消費係数 $\epsilon_T$	$\epsilon_T = \epsilon_{FA} + \epsilon_{FM} + \epsilon_{COM}$
空調給気量 $V$	$V = \frac{H_L \kappa_m (a \kappa_m + b)}{c_p \rho (\theta_{0m} - \theta_0) \{1 - (a \kappa_m + b)\}}$ ただし、 $\gamma_a = a \kappa_m + b$

HL: 室内熱負荷、  
EFA: 空調機の空気搬送エネルギー消費量  
EFM: 機器の空気搬送エネルギー消費量  
COPCOM: 熱源の総合効率  
a, b: 総合循環比 $\gamma_a$ の近似係数

次に、機器の冷却特性と空調エネルギー消費係数の関係を整理し、機器吸込み温度差を与条件に機器の冷却に必要な空調給気量を得る方法を明らかにした(表2)。この方法を用い、・機器が許容する吸込み温度条件、・ラック内で生ずる機器再循環を防止する遮蔽パネルの有無、・機器冷却温度差など機器の冷却特性を決定する各種条件が、空調効率(エネルギー消費係数)に与える影響を実在するDCの実測調査を通じ定量的に評価し、「IT機器メーカー」、「IT事業者」、「建築設備の設計・建設」の各業種が担当している各種条件の最適範囲を明らかにした。

(2) IT機器の温度情報を活用した空調制御方式の検討

近年IT機器の省エネルギー化が進み、機器への稼働の大小を認識し(タスクマネジメント)、CPUあるいはメモリーの電圧を制御

し、IT機器の電力消費量の抑制とともに、ユニットのファン出力が抑制されている。しかし、DC用空調設備はIT機器の最大発熱量を想定した機器容量が設置され、IT機器の発熱状態が変化した場合、一般に空調機の吹出し温度、風量をきめ細かに制御することはなく、空調効率の低下を招いている。

本研究ではDC内に設置されているIT機器の中から、CPUのタスク・温度・ラックの空排気温度情報を収集し、この情報を基にIT機器の適正な動作を保証するのに必要な空調設備の制御方法を検討した。具体的には、IT機器の配列、CPUのタスク・温度・ラックの空排気温度情報から、該当する範囲の空調機の吹出し温度、風量を適正な範囲に制御する方式を確立した(図3)。

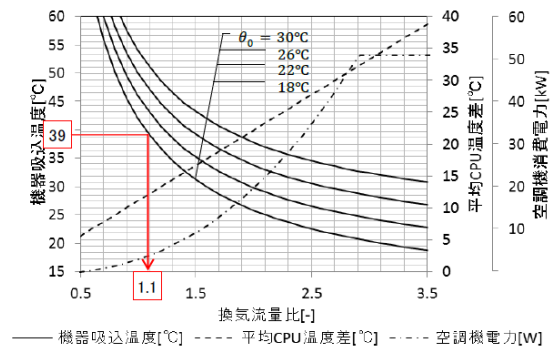


図 3 最適換気流量比の予測図

### 3.2 空調設備の信頼性評価

(1) 室温変化を考慮した空調設備の信頼性評価

高発熱機械室の空調設備に関し、故障に伴う影響(許容修復時間)が異なる複数の機器で構成された設備にも適用可能なことが求められる(図4)。本研究では、空調設備の信頼性の尺度として、冷却対象システムの動作が保障できない程に室温が上昇する時間の割合を「空調システムの不稼働率」と定義し、空調機の故障発生後、一定の時間(許容修復時間)およびシステムの故障率、平均修理時間を考慮した不稼働率算出モデルを作成した。

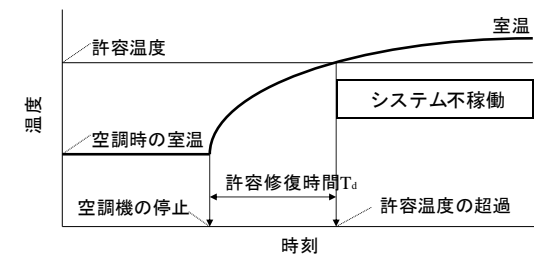


図 4 空調機停止後の室温と不稼働の概念

また、ランダムに発生する故障に対し、各故障パターンでの室温上昇を推定するため、1質点系の熱平衡式に①外壁の熱貫流熱、②外気との熱授受、③室温および外気温度の変化に伴う空調機の冷却能力の変化を加え、日射量を考慮した日平均相当外気温度を境界

条件に、許容修復時間を得る関数を導出した。さらに、蓄熱装置を有する設備に対しては、故障パターンごとに有効蓄熱時間を定義し、故障発生後に許容修復時間+有効蓄熱時間を経過した場合、室温が許容温度を超過する確率を導出し、簡便に空調設備の不稼働率を算出する手法を確立した。

#### (2) 複雑な設備構成に対応した信頼性評価

高発熱機械室の空調設備でも、エネルギー源のベストミックス、省エネルギーの観点で外気冷房を併用する。このような複雑な設備に対しても、信頼性を評価する必要がある。本研究では、空調設備の信頼性評価手法を一般化するため、評価対象設備の挙動をマルコフモデルで表現し、各状態の確率を求め、一定時間を超えてその状態にとどまる事象の発生確率等を評価する手法を開発した。これにより、構成が単純な空冷パッケージ方式の空調設備から、外気冷房を併設した複雑な設備構成まで、各機器の容量および台数、各機器の故障率、平均修理時間などのデータを入力することで、空調設備全体の信頼度（不稼働率）を短時間得ることを可能にした。

### 3.3 冷涼な外気を活用した高効率空調方式

#### (1) 外気冷房の実用化評価

DCにおいて、室内に設置されたIT機器で消費する電力は、ほぼ全てが熱になるため、適正な運用には冷却システムの運転が欠かせない。本研究では北海道石狩市に建設された郊外型大規模DC（現在2棟11,400m<sup>2</sup>）を用い、豪雪・風雨・塩害等の厳しい自然条件を克服するための建築的工夫（建物本体を軽量で断熱性能の高いダブル折板屋根で包み込み、壁面のオーバーハングや、屋根端部のアール形状）の効果を長期にわたる実測調査を通じ、年間を通して、暴風雨、雪、塵埃、塩分等を除去し、温度・湿度を的確にコントロールできることを検証した。

また、冷涼な外気を活用し、年間空調用エネルギー消費量を大きく削減し、年間pPUE (partial Power Usage Effectiveness, 全体の電力消費量/ICT機器の電力消費量)を1.15程度となることを目標に、空調設備の運転制御のチューニングを施した。その結果、竣工当初の2012年にpPUEは1.34だったが、その後徐々に減少し、2015年には1.14に達し、極めて高効率で冷却できることを検証した。

#### (2) 気化式加湿器の潜熱冷却効果の分析・評価

気化式加湿器は室内に冷却された空気を送風する空調機内に設置され、蒸発する際に吸熱反応による冷却効果が生ずる。乾燥した地域では有効な冷却方式として活用されているが、国内ではその実績が少ない。本施設で実施しているAHU内に設置した気化式加湿器を用い、加湿水量、風量、加湿器前後の温湿度を長期間、連続的に計測し、加湿器の潜熱冷却効果を定量的に把握し、外気冷房適用

期間の延長可能性を検証した。

### 3.4 生産施設への置換換気方式の適用

#### (1) 置換換気した室内の機器排熱が室温分布へ与える影響

DCと同様に生産施設における高発熱機器からの排熱はブルームにより拡散する。また、その排熱や汚染物質の排出はファンによる強制排気が多く、排出位置も個々に異なる点特徴的である。このように高発熱の生産施設の空気設備の省エネルギー化には、機器からの排気特性を考慮し、室内温度分布の形成要因の解明が重要になる。

本研究では、縮小模型を用い置換換気空調給気量、機器換気量、排熱高さ、発熱量、天井高さなどの各パラメータと、機器が設置される領域の温度分布の関係を実験的に解明する。領域の基準化温度差比  $k_v = (\theta_{i-} - \theta_{SA}) / (\theta_{EA} - \theta_{SA})$  を用いアルキメデス数との関係を明確にした。

次に、置換換気モデルを用い基準化温度差比  $k_v$  を用い外気冷房併用型置換換気方式のモデルを構築した。これを用いることで、建物条件、気象条件、室内の機器設置条件が変化した場合の空調設備のシステムシミュレーションが可能になり、各種条件での省エネルギー効果を推定可能にした。

#### (2) 工作機器に排気塔を設けた置換換気方式の評価

微細な部品を製造する床面積755m<sup>2</sup>の生産施設の一部を対象に、室内に設置された工作機器に排気塔を設けたことによる効果を基準化温度差比および年間空調用エネルギー消費量を検証した。

さらに、LCEM ツールを用い、外気冷房併用型置換換気方式のシステムシミュレーションを試み、生産施設だけでなく、DCについても年間システムシミュレーションを可能にする。外気冷房を併用した置換換気方式の効率的な運転・制御方法を明確にし、地域特性を考慮した高発熱機械室用空調方式として体系化した。

### 4. 研究成果

本研究は、高発熱機械室を対象とした空調方式に関し、(1)室内の温熱環境の適正化、(2)空調設備の高効率化、(3)空調設備の信頼性確保の3点を主眼に、上記4つの課題について、それぞれの構成要素で生ずる各種課題を体系的に整理し、適応範囲、構成基準を定量的に明らかにする。

そこで、室内に設置される機器、空調機、空気搬送経路、温度管理、冷涼な外気の有効利用など、異なる産業分野の境界領域にスポットを当て、各構成要素で生ずる各種課題を体系的に整理し、その対策と効果を定量的に明らかにしている点で、先駆的な取り組みと考えている。

特に、置換換気方式における機器の排気特性と室内温度分布特性の関係を解明し、より



温度成層を顕著にする機器排気方法を実現することは、空調機の送风量削減が可能になる。また、空調機の吹出し温度を高くしても、所定の室温が維持できるようになると、外気冷房の利用期間が長くなり熱源機器の稼働時間が削減可能になる。さらに、冷涼な気候特性を活用した気化式加湿器を活用した気化冷却方式は、一層の省エネルギー効果をもたらす。

DC や生産施設の運用には、機器の冷却用エネルギー消費量の負担が大きい。空調用エネルギー消費量の抑制が可能になると、寒冷な地域への DC や生産施設の誘致にとって大きなアドバンテージになる。本研究成果は実用性と今後爆発的に増加が予想されているエネルギー需要の抑制に貢献するものであり、波及効果の点でも意義がある。

一方、空調設備の信頼性評価は、発熱密度が高い DC や生産施設の空調設備に関し、空調用電源も含め故障に伴う影響（許容修復時間）が異なる複数の機器で構成されたシステム構成に適用可能とし、さらに、膨大な計算を迅速に行うための手法を新たに開発し、空調機停止後の室内温度の変化、空調機の冷却能力の変化にも配慮した空調設備の信頼性評価ツールの実現を図るものであり、国内外を通じ他に類はない。特に、外気冷房を導入した空調設備の信頼性評価は、サステナブル建築の要素技術としても重要である。この研究成果は、DC の空調設備に限らず、信頼性が求められる医療施設、生産施設などの空調設備の設計に活用できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 5 件）

- (1) Yoshiyuki Inoue, Hirofumi Hayama, Taro Mori, Koki Kikuta, Motoya Hayashi, Noriyuki Toyohara: Prediction of Recirculation through Vent Holes on Ceiling in Server Room, Energy Procedia 78, 査読有, 2052-2057 2015. 11
- (2) 木幡悠士, 羽山広文, 関口圭輔: タスク・アンビエント対応の全空気式放射空調方式に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 査読有, Vol. 80, No. 710, pp. 351-358, 2015. 4
- (3) Yoshiyuki Inoue, Hirofumi Hayama, Taro Mori, Koki Kikuta, Noriyuki Toyohara, Analysis of Cooling Characteristics in Datacenter using Outdoor Air Cooling, Journal of Energy and Power Engineering, 査読有, (9) 16-24 2015. 1
- (4) 小島俊一, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 大学施設における GHP 空調機器の信頼性・安全性の解析, 日本建築学会環境系論文集, 査読有, Vol. 80, No. 707, pp. 29-36, 2015. 1
- (5) 松本若菜, 森太郎, 羽山広文, 菊田弘輝: 建築物総合シミュレーションツールを用いた天井放射冷房システムの設計法の検討

-夏期・中間期の運用を考慮したシステム選定法の提案-, 日本建築学会環境系論文集, 査読有, Vol. 80, No. 707, pp. 21-28, 2015. 1

〔学会発表〕（計 26 件）

- (1) 鈴木拓, 木幡悠士, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 潜頭分離空調方式を用いたオフィスの空調システムの性能検証, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会, F-2, pp. 159-162, 2017. 3, 北海道大学
- (2) 木幡悠士, 松田千怜, 柳正秀, 宇田川陽介, 羽山広文: サーバ室を持つ事務所ビルのライフサイクルエネルギーマネジメントに関する研究 その 6 潜頭分離空調方式オフィスのエネルギー消費量, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, H-8, pp. 29-32, 2016. 9
- (3) 鈴木拓, 木幡悠士, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 潜頭分離空調方式を用いたオフィスの運転特性把握, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, I-65, pp. 157-160, 2016. 9
- (4) 豊原範之, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 井上義之: 外気冷房を導入したデータセンターの性能評価に関する研究 (第 8 報) 竣工後 4 年間の性能評価, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, J-74, pp. 493-496, 2016. 9
- (5) 井上義之, 羽山広文, 豊原範之, 庄司研, 森太郎, 菊田弘輝: 外気冷房を導入したデータセンターの性能評価に関する研究 (第 9 報) 空調条件の変動に伴うサーバ室内温熱環境把握のための実験, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, J-75, pp. 497-500, 2016. 9
- (6) 鈴木拓, 木幡悠士, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 放射効果を用いた潜頭分離空調方式の性能検証 第一報 冷房期の機器別熱処理量の分析, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1223-1224, 2016. 8
- (7) 木幡悠士, 柳正秀, 羽山広文, 宇田川陽介, 鈴木拓: 放射効果を用いた潜頭分離空調方式の性能検証 第二報 冷房期の放射効果による熱処理量の分析, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1225-1226, 2016. 8
- (8) 豊原範之, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 井上義之: 外気冷房を導入したデータセンターの運用実績調査に関する研究 その 2 竣工後 4 年間の性能評価, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1495-1496, 2016. 8
- (9) 羽山広文: データセンター空調, 日本建築学会シンポジウム (招待講演), 2016. 6
- (10) 井上義之, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 豊原範之: 外気冷房を導入したデータセンターの性能評価に関する研究 (第 7 報) ICT 機器稼働率偏在を考慮した空調制御手法の提案, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会, F1, 2016. 3
- (11) 鈴木拓, 木幡悠士, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 潜頭分離空調方式を用いたオフィ

- スの運転特性把握 (その1) 冷房期における潜熱処理量, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会, F3, 2016.3
- (12) 木幡悠士, 柳正秀, 羽山広文: サーバ室を持つ事務所ビルのライフサイクルエネルギーマネジメントに関する研究 その3 全空気式放射空調の快適性能検討, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, H-25, pp. 201-204, 2015.9
- (13) 井上義之, 豊原範之, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 外気冷房を導入したデータセンターの性能評価に関する研究 (第6報) サーバ室内における温熱環境の評価, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, I-37, pp. 333-336, 2015.9
- (14) 鈴木拓, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 木幡悠士: サーバルームにおける冷媒自然循環型フリークーリングコイルの特性評価 その2 地域ごとの比較, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, I-38, pp. 25-28, 2015.9
- (15) 井上義之, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 豊原範之: サーバルーム天井部における排気再循環の把握に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1101-1102, 2015.9
- (16) 鈴木拓, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 木幡悠士: サーバルームにおける冷媒自然循環型フリークーリングコイルの地域別導入効果検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1287-1288, 2015.9
- (17) 木幡悠士, 宇田川陽介, 柳正秀, 河野正人, 羽山広文: タスク・アンビエント対応の全空気式放射空調方式に関する研究 空調設計条件が快適性に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 163-164, 2015.9
- (18) 小島俊一, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 大学施設における GHP 空調機器の故障実態の把握 その5 故障件数及び保全費用の推移予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1301-1302, 2015.9
- (19) 鈴木拓, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 木幡悠士: サーバルームにおける冷媒自然循環型フリークーリングコイルの特性評価 その1 評価方法の検討, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会, pp. 63-66, 2015.3
- (20) 小島俊一, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 大学施設における GHP 空調機器の保全にかかる費用に関する研究, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会, pp. 87-90, 2015.3
- (21) Yoshiyuki Inoue, Hirofumi Hayama, Taro Mori, Koki Kikuta, Noriyuki Toyohara: Analysis of Cooling Characteristics in Data Center by Outdoor Air Cooling, INTELEC 2014 (USB), CS14.04, 2014.9
- (22) 羽山広文: 高発熱機械室の空調方式に関

- する一連の研究, 日本建築学会大会研究協議会 (招待講演), 2014.9
- (23) 井上義之, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 豊原範之: 外気冷房を導入したデータセンターの機器冷却特性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 DII, pp. 1009-1010, 2014.9
- (24) 小島俊一, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 大学施設における GHP 空調機器の故障実態の把握 その4 信頼性・保全性の多角的解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 DII, pp. 1415-1416, 2014.9
- (25) 井上義之, 豊原範之, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 外気冷房を導入したデータセンターの性能評価に関する研究 (第5報) 機器冷却特性の評価と高効率運用方法の提案, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, G49, pp. 1-4, 2014.9
- (26) 小島俊一, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝: 大学施設における GHP 空調機器の故障実態の把握 その5 信頼性・保全性及び保全費用の解析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, I47, pp. 81-84, 2014.9

[図書] (計1件)

- (1) 羽山広文 他, 日本建築学会編, 技報堂出版, 見る・使う・学ぶ 次世代の環境建築システム pp. 80-83, 2016

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等: なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

羽山 広文 (HAYAMA, Hirofumi)  
北海道大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号: 80301935

### (2) 研究分担者

森 太郎 (MORI, Taro)  
北海道大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号: 70312387

菊田 弘輝 (KIKUTA, Koki)  
北海道大学・大学院工学研究院・助教  
研究者番号: 20431322

### (3) 連携研究者 なし

### (4) 研究協力者

木幡 悠士 (KOHATA, Yuji)  
小島 俊一 (KOJIMA, Shunichi)  
松本 若菜 (MATSUMOTO, Wakana)  
井上 義之 (INOUE, Yoshiyuki)