

令和 3 年 4 月 26 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01591

研究課題名(和文)生産施設用空調方式の高効率化と信頼性に関する研究

研究課題名(英文)Research on high efficiency and reliability of air conditioning system for production facility

研究代表者

羽山 広文(Hayama, Hirofumi)

北海道大学・工学研究院・特任教授

研究者番号：80301935

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、データセンタと高発熱の工作機器を収容した精密機械工場の空調設備に関し、室内作業者の労働環境を確保しながら機器の発熱を確実に高効率で冷却することを目的に、以下の結果を得た。1) 空調効率の決定要因解明とIT機器と空調設備を連成した空調システムの開発、2) 冷涼な外気を活用した潜熱・顕熱冷却空調方式の開発、3) 空調設備の保全データの定量化と室温変化を伴う信頼性評価ツールの開発、4) 置換換気空調方式の温度成層形成要因のモデル化と予測手法の開発

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、IT機器や工作機器の冷却特性を解明し、機器の給排気を分離する給排気方式を実現した。これは、空調機の送风量削減を可能にし、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、空調熱源機器の高効率化が図られると同時に、外気冷房の利用期間が延長し、一層の省エネルギー効果をもたらす。また、発熱密度が高い生産施設の空調設備において、空調用電源も含め故障に伴う影響が異なる複数の機器で構成されたシステムの信頼性評価方法を開発した。さらに、室内温度の変化、空調機の冷却能力の変化にも対応した複雑な機器構成の空調システムの信頼性評価ツールにより、最適な冗長構成の設計が可能になる。

研究成果の概要(英文)：This research concerned air conditioning facilities in data centers that accommodate mostly IT equipment and precision machining factories that accommodate high-heat-generating machine tools. With the aim of cooling the heat generated by equipment in an accurate and highly efficient manner while ensuring a satisfactory indoor work environment for workers. The following results were obtained, 1) Clarification of determining factors in air conditioning efficiency and development of an air conditioning system that linked IT equipment and air conditioning facilities, 2) Development of a latent-heat/sensible-heat cooling system using cool outside air, 3) Quantification of maintenance data of air conditioning facilities and development of reliability evaluation tools associated with changes in room temperature, 4) Creation of a model for temperature-stratification formative factors in a displacement ventilation system and development of a prediction method

研究分野：建築環境学・建築設備学

キーワード：生産施設 空調設備 信頼性評価 省エネルギー 高効率

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

高発熱機器が収容される代表的な生産施設は、高度化された情報通信サービスを支えているデータセンタ（以後 DC）である。現在、国内では延べ床面積 160 万 m<sup>2</sup>、年間約 65 億 kWh の電力を消費し、今後も飛躍的な増加が予想されている。IT 機器を多数収容した DC 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）が求められる。また、発熱密度の高い DC 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、甚大な障害をもたらす。空調設備の停止は、社会システムの混乱だけでなく、事業の損失につながる重大な問題にも成りうるため、適正な信頼度設計が必要である。

一方、生産施設には多種多様なものがあり、施設内に設置される工作機器類から排熱とオイルミストなどの汚染物質を多量に発生している生産施設が多い（図 2）。特に、精密部品を製造する施設では、製品の精度確保のため、安定した室内温熱環境も確保しなければならない。さらに、施設内では労働環境確保のため、大量の外気を導入しており、空調負荷の増大を招いている。このような状況から、安定した室内温熱環境・空気清浄度を確保しながら、高効率な空調方式が求められる。

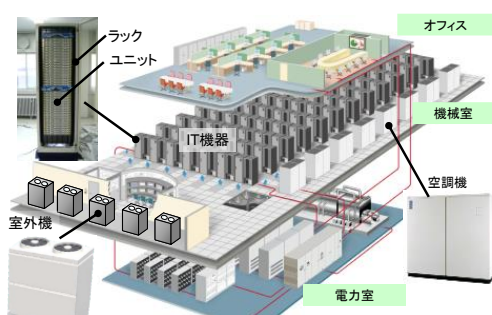


図 1 DC の構成例



図 2 高発熱生産施設の場合

### 2. 研究の目的

本研究では、主に IT 機器を収容したデータセンタと高発熱の工作機器を収容した精密機械工場の空調設備に関し、室内作業者の労働環境を確保しながら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・空気環境の適正化、(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、①「空調効率の決定要因解明と IT 機器と空調設備を連成した空調方式の開発」、②「冷涼な外気を活用した潜熱・顕熱冷却空調方式の開発」、③「空調設備の保全データの定量化と室温変化を伴う信頼性評価ツールの開発」、④「置換換気空調方式の温度成層形成要因のモデル化と予測手法の開発」の 4 つの課題について、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るものであり、今後の生産施設用空調方式の研究開発をリードすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### 3. 1 空調効率の決定要因解明と IT 機器と空調設備を連成した空調方式の開発

DC 内にはラック内に多数のユニットが搭載された IT 機器が列状に配置される。DC の空調効率は、熱源系の冷却効率と空気などの冷媒の熱搬送効率で決定される。特に、空調機の熱搬送効率は、ラック周囲の再循環が大きく左右する。本研究では、①ラックに搭載されるユニット周囲の隙間量と再循環量の関係、②ユニットの給排気を分離するキャッピング機構の通気性能と再循環量の関係について、実大規模実験、CFD ツールによる解析、換気回路網解析により、各種要因と空調用エネルギー消費量の関係を練成して解析する手法を構築し高効率な DC 用空調方式開発する。

#### 3. 2 冷涼な外気を活用した潜熱・顕熱冷却空調方式の開発

高発熱の DC の冷却には、冷涼な外気を活用することが有効である。本研究では、①空調機内にダブルの熱交換器を設置し、一方は冷水チラーからの冷水を、他方にはブラインを室外機との間で循環させる「間接外気冷房方式」に関し、実大規模の実証実験と空調設備のシステムシミュレーションにより、システム効率の推定方法を構築し、顕熱冷却空調方式を開発する。②散水方式による気化冷却方式により冷涼な外気の活用する方式に関し、空調設備のシステムシミュレーションにより、冷却特性を評価する手法を構築し、潜熱冷却空調方式を検討する。

#### 3. 3 空調設備の保全データの定量化と室温変化を伴う信頼性評価ツールの開発

空調設備の信頼性評価には構成する各機器の平均故障率 (MTBF)、平均修理時間 (MTTR) が必

要である。本研究では、①DC で実際に稼動している空調設備の保全データ（故障毎の故障間隔・修理時間）を多数収集し、これらの保全データをワイブル確率紙にプロットし、回帰直線の係数から平均故障間隔（MTBF）を得る。また、対数正規確率紙にプロットし、その回帰直線の係数から平均修理時間（MTTR）を得る。②これらの基礎データをもとに、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を評価する手法を構築する。これにより、空調機停止後の室温変化・空調機的能力変化を考慮し、外気冷房方式など複雑な空調設備の信頼性評価ツールを開発する。

### 3. 4 置換換気空調方式の温度成層形成要因のモデル化と予測手法の開発

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。本研究では、①縮小模型を用い置換換気の空調給気量、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し、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する。②ブロック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還気方式のモデルを構築する。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の予測手法を開発する。

## 4. 研究成果

### 4. 1 空調効率の決定要因解明と IT 機器と空調設備を連成した空調方式の開発

#### ①ラック周辺の気流環境の検討<sup>1)</sup>

効率的かつ安定的な気流環境の実現に向け、データセンタの温熱環境を悪化させる ICT 機器の高温排気の給気口への再循環量と、ICT 機器の冷却に寄与せず空調機に還気するショートサーキット量を最小化するための検討を行う。サーバーラック周りの換気回路網解析モデルを作成し、風量関係の変動に伴う ICT 機器の冷却特性の挙動を数値計算で予測する手法を確立した。解析によってラック内で再循環とショートサーキットが同時に発生して環境悪化を引き起こす現象を確認するとともに、再循環量とショートサーキット量を最小化する条件の存在を示した。効率的かつ安定的な気流環境を実現するためには、ラックの気流改善対策（ブランクパネル）を実施した状態でも ICT 機器の要求風量の 1.1 倍程度の給気量が必要であることを示した。

#### ②CFD 解析の高精度化と高断熱化による吸排分離<sup>2)</sup>

温熱環境の改善並びにエネルギー削減を目的とし、CFD(Computational Fluid Dynamics)モデルを用いて従来の物理的な気流分離とは異なる新たな吸排分離の模索を試みた。最小限の要素で CFD モデルを構築し、その要素の設定だけでフィッティングしようとする、設定が理論値ないし現実の値から大きく外れる可能性がある。そこで、本研究の CFD モデルには（図 3）、障害物や各部の隙間、さらに既往の研究では取り上げられていない構成要素の熱貫流を取り上げた。多要素を検討する必要があることから、実験計画法(Design of Experiments、DOE)を用いた効率的なパラメータチューニングの適用を提案して予測精度を高めた。さらに、チューニング後の CFD モデルを用いて二重床固定パネルなどの高断熱化の効果を定量化し、給気量を 10%削減しても断熱性能を向上する前と同等の温熱環境を維持できることを明らかにした。断熱性能の向上による熱貫流の減少は、区画された空間の熱移動を抑えることから、気流分離とは異なるアプローチの吸排分離といえる。構成部材の断熱性能の向上は、データセンタの高発熱化という課題に対する解決策の一つとなる可能性を提示した。

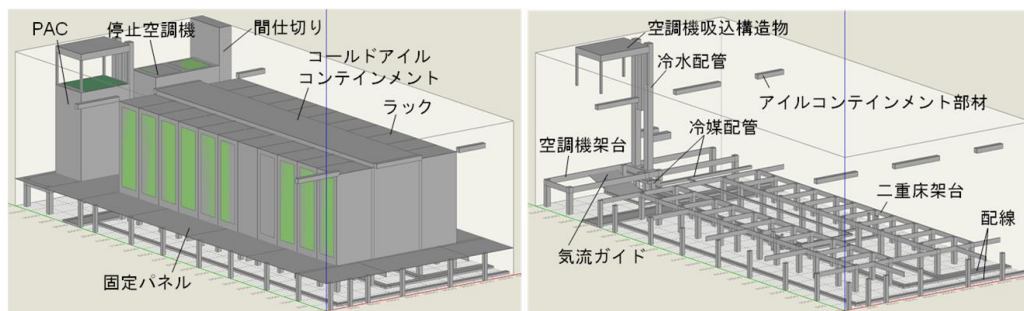


図 3 細部まで再現した CFD モデル

#### ③ICT 機器の特性がデータセンタに与える影響<sup>3)</sup>

データセンタ全体の消費エネルギーの適正化を目的として、簡易に機械室の温熱環境を予測する手法を提案した。内蔵ファン回転数が可変の ICT 機器の特性を明らかにし、提案した予測手法（図 4）を用いて機械室のトータルエネルギー消費量の最適点を探る方法を示した。予測の結果、従来、空調効率向上の手段として推奨されてきた給気温度の高温化は、空調システムの省エネルギー化には効果があるが、必ずしも ICT 機器の消費電力を含めた機械室全体の省エネルギー化に寄与するわけではないことを確認した。さらに、予測結果の考察から機械室全体の消費エネルギーの検討には、外皮負荷や実装される ICT 機器特性の正しい把握が重要となる可能性を



示唆した。

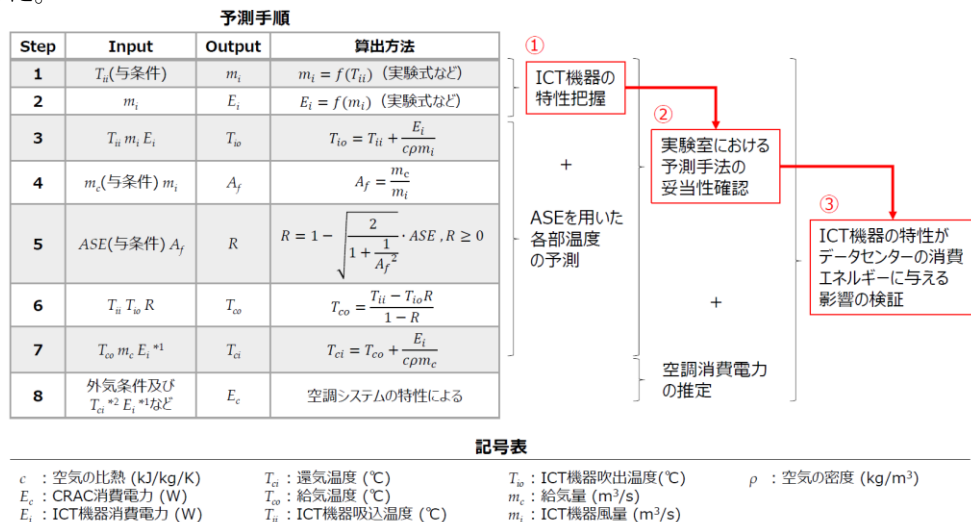


図4 データセンターの空調用エネルギー消費量の予測手順

#### 4. 2 冷涼な外気を活用した潜熱・顕熱冷却空調方式の開発

##### ① 間接外気冷房方式<sup>4)</sup>

間接外冷システムを実際のデータセンターに導入し、1) 間接外冷モード、2) 併用モード (間接外冷房と熱源を併用)、3) 熱源モード (間接外冷を停止して、熱源のみで冷房) の各モードにおける機器特性の実測値を用いたシステムシミュレーションモデルを作成し、運用データで精度を確認した (図5)。さらに、このシミュレーションモデルを活用し、外気温度や空調処理熱量などに影響を受けるライン送水温度やポンプ回転数などの省エネ上最適な設定値の組合せを求めて回帰式を作成し、PLC (Programmable Logic Controller) を用いた制御システムに組み込み各モードでの省エネ制御と自動モード切替を確立した (図6)。運転設の定最適化後の2019年12月以降、当該システムを導入したデータセンターは、国内トップクラスの省エネ性能年間PUE=1.116を確認した。これらの成果により、2021年3月、空気調和衛生工学会振興賞技術振興賞を受賞した。

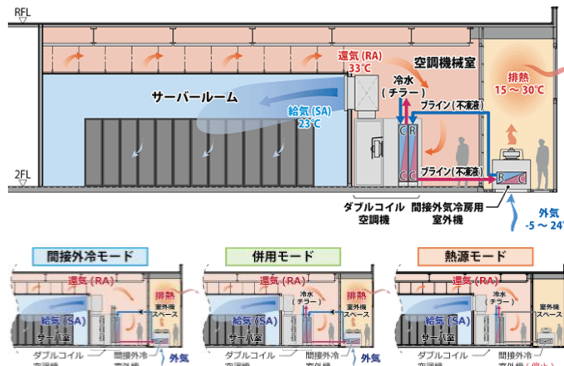


図5 間接外気冷房方式の構成

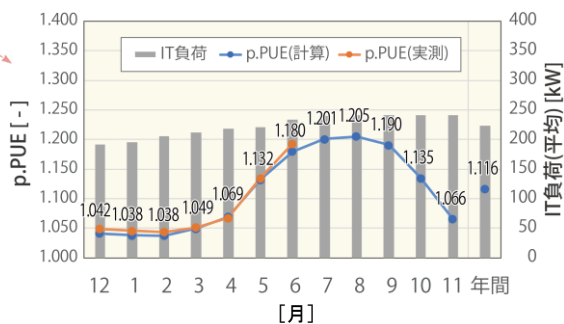


図6 エネルギーシミュレーションによる効果予測

##### ② 散水方式による潜熱外気冷房方式

散水方式による気化冷却方式により冷涼な外気の活用する方式に関し、空調設備のシステムシミュレーションにより、冷却特性を評価する手法を構築し、潜熱冷却空調方式を検討した結果、高温多湿の気候特性を持つわが国では、高効率で運用できる期間が短いこと、また冷却水の維持管理にコストがかかることから、国内での普及は困難であることが分かった。

#### 4. 3 空調設備の保全データの定量化と室温変化を伴う信頼性評価ツールの開発

##### ① 保全データの定量化と保全費用の適正化

北海道大学に導入されているGHP (ガスエンジンヒートポンプ) 676台の全保全情報から、故障時間 (故障時の運転時間から推定)、故障間隔を収集し、ワイブル分布の解析から平均故障率および平均故障間隔、保全費用を推定した。これらの結果を用い、将来発生する故障件数および保全費用を推定する予測式を導出した。さらに、定期的な予防保全により、保全費用の最小化する方法を提案した。

##### ② 室温変化を伴う信頼性評価ツールの開発<sup>5)</sup>

空調設備の役割は室内に設置された機器が許容する室温を維持することであり、信頼性確保には構成機器の冗長化が有効である。一方、これには多くの投資が必要となるため、信頼性と経済性のバランスを考慮した設計が重要である。そこで本研究では、不稼働率を指標に信頼性評

価・経済性向上のためのプログラムを作成し、実例をもとに各条件と不稼働率の関係を評価した。特に本研究では、空調システムの故障状態を定義し（図 7）、空調機器の異常が冷却対象システムに与える影響と、その発生確率から空調システムの信頼性を評価する方法（図 8）を考案した。この信頼性評価方法により、空調システムの中で脆弱な機器を明らかにし、このような機器から優先的に冗長性を高めることで、一定の信頼性を満足する経済的でスペース効率の良い空調システムの設計が行えるとともに、様々な分野の空調システムへも応用することが可能となるツールを開発した。

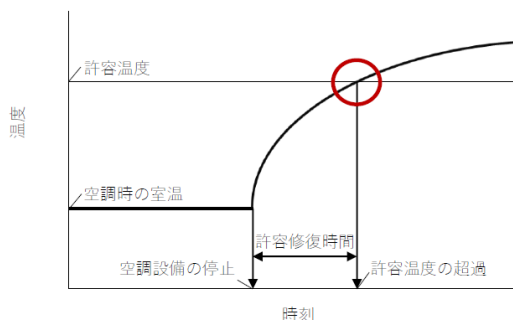


図 7 空調システムの不稼働状態の定義

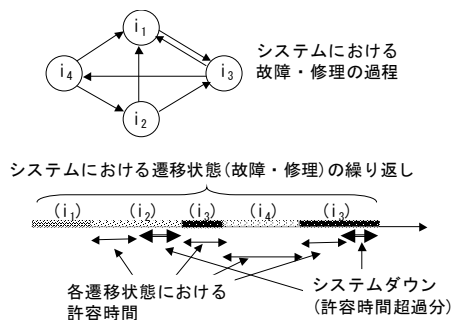


図 8 故障・修理を繰り返す信頼度モデル

#### 4. 4 置換換気空調方式の温度成層形成要因のモデル化と予測手法の開発

##### ①居住域の温度分布の推定

本研究では、まず、模型実験と既存の工場での実験を行い、温度差比  $k_v$  やアルキメデス数  $Ar$  数等の関係を把握した。その結果、排熱高さや風量（換気流量比）が温度成層の生ずる位置を左右し、居住域の温度分布を決定することを確認した。

##### ②既存工場での検証

次に、置換換気方式が導入された既存の工場を対象に、機器排熱の高さを変化させるため、工作機械の排気口に排熱カバーを仮設で設置し、 $Ar$  数と温度差比  $k_v$  の関係を把握した。その結果、既存の工場においても機器排熱の位置を操作することで機器からの再循環が抑制され、居住域の温度上昇が抑えられることを確認した。また、排熱条件から算出される  $Ar$  数から  $k_v$  を用いて居住域の温度分布の予測が可能になった。

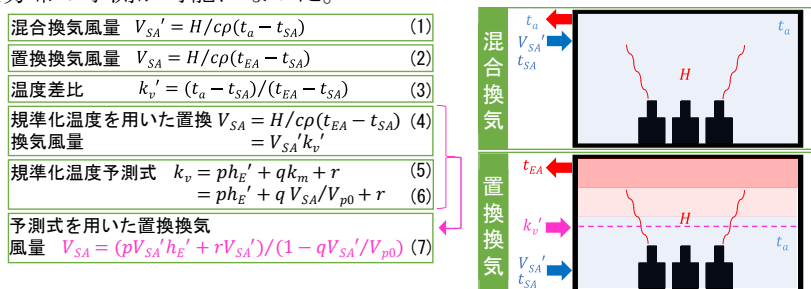


図 9 規準化温度予測式を用いた置換換気風量の算出方法

##### ③既存工場への適用<sup>6)</sup>

本研究の成果は、高温の機器排熱の位置を操作することで、居住域の温度上昇を抑制し、空調給気量の削減と、常温（20～24℃程度）に近い空調吹き出し温度を実現したことである。これが可能になると、空調機の搬送動力が削減できるだけでなく、外気冷房の運転期間延長による空調効率の大幅な向上が可能になる。既に、機械工作工場、印刷工場などでその効果を確認している。

#### <参考文献>

- 1) 二渡直樹, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 豊原範之: 再循環を考慮した ICT 機器の冷却特性の予測手法, 日本建築学会環境系論文集, 78(687), pp. 409-418, 2013.5
- 2) Naoki Futawatari, Yosuke Udagawa, Taro Mori, Hirofumi Hayama: Improving Prediction Accuracy Concerning the Thermal Environment of a Data Center by Using Design of Experiments, Energies 13(18) 4595 - 4595, 2020
- 3) Naoki Futawatari, Yosuke Udagawa, Taro Mori, Hirofumi Hayama: Impact of Fan Airflow of IT Equipment on Thermal Environment and Energy Consumption of a Data Center, Energies 13(23) 6166-6193, 2020
- 4) 前田健蔵, 山口さとみ, 三浦克弘, 小野永吉, 任雅欣, 羽山広文: データセンター空調システムの省エネルギーおよび信頼性向上技術の開発 (第 6 報, 第 7 報), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, H8・H9, pp. 37-44, 2019.9
- 5) 石浦皓平, 羽山広文, 森太郎, 丸山純, 木村勇氣: 室温上昇を考慮した空調システムの信頼性評価法, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, H7, pp. 33-36, 2019.9
- 6) 熊尾伊織, 羽山広文, 森太郎, 加藤祐一: 外気冷房併用型置換換気システムの吹き出し口の影響と省エネルギー効果の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 40916, pp. 1927-1928, 2020.9

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 阿部祐平, 月舘司, 森太郎, 菊田弘輝	4. 巻 291
2. 論文標題 建築群に対する熱供給を対象とした差圧を用いない変流量制御方式の数値解析による検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 空気調和・衛生工学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Futawatari Naoki, Udagawa Yosuke, Mori Taro, Hayama Hirofumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Impact of Fan Airflow of IT Equipment on Thermal Environment and Energy Consumption of a Data Center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 6166 ~ 6166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en13236166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mori Taro, Iwama Yusuke, Hayama Hirofumi, Mushtaha Emad	4. 巻 13
2. 論文標題 Optimization of a Wood Pellet Boiler System Combined with CO2HPs in a Cold Climate Area in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 5531 ~ 5531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en13215531	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Futawatari Naoki, Udagawa Yosuke, Mori Taro, Hayama Hirofumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Improving Prediction Accuracy Concerning the Thermal Environment of a Data Center by Using Design of Experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 4595 ~ 4595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en13184595	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Toru, Hayama Hirofumi, Hayashi Takao, Mori Taro	4. 巻 13
2. 論文標題 Automatic Energy-Saving Operations System Using Robotic Process Automation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 2342 ~ 2342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en13092342	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Toru, Hayama Hirofumi, Hayashi Takao	4. 巻 13
2. 論文標題 Formulation of Coefficient of Performance Characteristics of Water-cooled Chillers and Evaluation of Composite COP for Combined Chillers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 1182 ~ 1182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en13051182	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 山本亨, 羽山広文, 林恭生	4. 巻 45(274)
2. 論文標題 中央監視装置の遠隔操作による省エネルギー自動運用システムの開発と実証 第1報 空調機の給気温度設定の自動運用と実証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 空気調和・衛生工学会論文集	6. 最初と最後の頁 11-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 仁木正義, 羽山広文, 森太郎
2. 発表標題 外気冷房併用型置換換気空調システムの高効率運用に関する研究
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊尾伊織, 羽山広文, 森太郎, 加藤祐一
2. 発表標題 外気冷房併用型置換換気システムの吹き出し口の影響と省エネルギー効果の推定
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮本将行, 二渡直樹, 羽山広文, 森太郎
2. 発表標題 データセンター用空調システムの高効率化に関する研究(その3) トータルエネルギーを考慮した気流分離技術の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本亨, 羽山広文, 林恭生, 宮田大輔
2. 発表標題 熱源システムの最適運転方策に関する一手法
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本将行, 二渡直樹, 羽山広文, 森太郎
2. 発表標題 CFD解析を利用したデータセンターの空調給気量の検討
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 石浦皓平, 羽山広文, 森太郎, 丸山純, 木村勇氣
2. 発表標題 室温上昇を考慮した空調システムの信頼性評価法
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 任雅欣, 羽山広文, 前田健蔵, 三浦克弘, 小野永吉, 町田一樹
2. 発表標題 データセンター空調システムの省エネルギーおよび信頼性向上技術の開発 (第6報) 間接外冷システムにおける実運用時の最適制御の実装と検証
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 任雅欣, 羽山広文, 町田一樹, 前田健蔵, 三浦克弘, 小野永吉
2. 発表標題 間接外気冷房型データセンターの高効率運用方法に関する研究 その1 運用実態の把握および高効率運転方法の提案
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 町田一樹, 羽山広文, 任雅欣, 前田健蔵, 三浦克弘, 小野永吉
2. 発表標題 間接外気冷房型データセンターの高効率運用方法に関する研究 その2 数値流体解析による適正空調給気量の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二渡直樹, 月元秀樹, 宇田川陽介, 宮本将行, 羽山広文
2. 発表標題 風量可変のICT機器の特性に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本将行, 二渡直樹, 羽山広文, 森太郎
2. 発表標題 データセンター用空調システムの高効率化に関する研究 その2 CFDによるブランクパネルの再循環抑制効果の検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石浦皓平, 羽山広文, 森太郎, 木村勇氣, 丸山純
2. 発表標題 室温上昇を考慮した空調システムの信頼性評価法
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田貴一, 羽山広文, 森太郎, 加藤祐一
2. 発表標題 機器排熱を考慮した置換換気方式に関する研究 その2 置換換気を導入した工場のエネルギー特性評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本将行, 二渡直樹, 羽山広文, 森 太郎, 菊田弘輝
2. 発表標題 データセンター用空調システムの高効率化に関する研究 その1 実大実験とCFDの比較
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 町田一樹, 羽山広文, 森 太郎, 菊田弘輝, 塩出和人, 木村勇気
2. 発表標題 外気冷房を導入した高発熱機械室における空調機冷却特性を用いたエネルギー消費量予測
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永田貴一, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝
2. 発表標題 機器排熱を考慮した置換換気方式に関する研究 機器排熱による室内温熱環境への影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田健蔵, 山口さとみ, 小野永吉, 三浦克弘, 町田一樹, 羽山広文
2. 発表標題 データセンター空調システムの省エネルギーおよび信頼性向上技術の開発 (第5報) シミュレーションを用いた間接外冷システム実運用時の効率向上に関する検討
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 町田一樹, 前田健蔵, 山口さとみ, 小野永吉, 三浦克弘, 羽山広文
2. 発表標題 データセンター空調システムの省エネルギーおよび信頼性向上技術の開発 (第4報) 間接外気冷房システムの運転データを活用した運用実態の把握と効率化の検討
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 二渡直樹, 宇田川陽介, 羽山広文, 宮本将行
2. 発表標題 ICT装置のファン挙動が排気の再循環に与える影響の考察
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永田貴一, 羽山広文, 森太郎, 菊田弘輝, 加藤祐一
2. 発表標題 寒冷地における外気冷房併用型置換換気空調方式に関する研究 その1 新旧工場におけるエネルギー消費特性の評価
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会学術講演論文集
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	森 太郎  (Mori Taro)  (70312387)	北海道大学・工学研究院・准教授    (10101)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	菊田 弘輝  (Kikuta Koki)  (20431322)	北海道大学・工学研究院・准教授    (10101)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	阿部 祐平  (Abe Yuhei)		
研究 協力者	二渡 直樹  (Futawatari Naoki)		
研究 協力者	山本 亨  (Yamamoto Toru)		
研究 協力者	宮本 将行  (Miyamoto Masayuki)		
研究 協力者	任 雅欣  (Ren Yaxin)		
研究 協力者	熊尾 伊織  (Kumao Iori)		



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	仁木 正義  (Niki Masayoshi)		
研究協力者	永田 貴一  (Nagata Kiichi)		
研究協力者	町田 一樹  (Mchida Kazuki)		
研究協力者	石浦 皓平  (Ishiura Kohei)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関