

## データセンタにおける消費電力の非効率検知技術 Methods for Detecting Power Inefficiencies in Data Centers

森本 亮太<sup>†</sup> 河野 泰隆<sup>†</sup>  
Ryota Morimoto Yasutaka Kono

### 1. はじめに

デジタル化が進む現代において、データセンタ (Data Center; DC) の需要は高まる一方、消費エネルギーの大きさが問題になっている。2021 年において DC は世界のエネルギーの 1% を消費し、その量は年に 10% 増加している状態である [1]。そのため、DC の省エネルギー化や再生可能エネルギーの利用は重要な課題であり、経済産業省や環境省も DC のゼロエミッション化を促進している [2][3]。

一般に DC では、DC 利用者がサーバやスイッチの制御を行う。そのため DC 事業者はそれらのリソースの制御ができず、また稼働時期や負荷の事前把握もできない。したがって、DC 事業者にとって DC 省エネルギー化のために制御可能なリソースは主に空調設備である。そこで DC 事業者は過去の空調設備の消費電力量やサーバなどの IT 機器の消費電力量、室温や室内の湿度、外気温などのデータを利用して、予め定められたサーバールーム内の環境基準に適合する範囲で空調効率が良くなるように制御を行う。

一方でサーバールームごとに環境の特徴が異なるため、省エネルギー化を考慮するには空調設備の制御をその特徴にあわせて行うことが必須である。例えば、IT 機器の発熱が室内環境に大きな影響を及ぼし、その稼働状態はサーバールームごとに異なる。また、サーバラックや空調設備の配置、性能等の差から空調設備の稼働による室内環境への影響もサーバールームごとに異なる。さらに、サーバールームごとに建屋の方角や存在する階、窓の有無や外壁の厚さなどが異なるため、サーバールームの室温や湿度に対する外気や天候の影響がそれぞれ異なる。これらのために DC 拠点やサーバールーム全体で、省エネルギー化を考慮に入れた制御を画一的に行うことは難しい。

### 2. 関連研究

DC やビル全体の省エネルギー化のために、空調設備の消費電力量を削減するための研究は広く行われている。例えば Afrozr らはビルの空調の制御に関するモデリング手法をまとめている [4]。データセンタを対象とした空調設備の制御としては、Ogura らが Model Predictive Control を用いた方法を提案している [5]。また Wei ら [6] や Wang ら [7] は強化学習を用いて DC の空調設備の制御の最適化を試みている。これらの研究の検証は基本的に予め作成されたシミュレーション環境において検証されている。

一方で、実際の DC ではサーバラック等の入れ替えや季節の変化のためにサーバールームの環境が変化する。さらに、実際の大規模 DC では 1 つの DC 拠点が保有するサーバールーム数も多く、変化する環境に対応したモデリングの維持は困難である。そのため事前に定義した環境下で利用可能な手法を実際の DC に適用するのは難しく、各サーバールームにおける環境の時間変化に対応可能な手法が必要である。

<sup>†</sup> Hitachi, LTD.

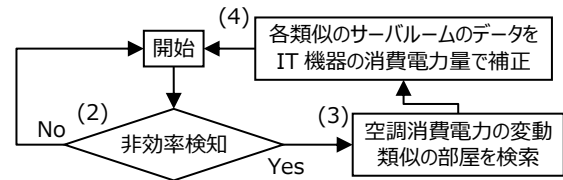


図 1 提案手法

### 3. 提案手法

ここで本報告では、あるサーバールームの環境が変化した時に空調設備の消費電力量の非効率検知を最適化するための提案手法を説明する。本提案手法では大規模な DC での複数サーバールームの運用を前提とする。環境が変化した場合に、変化後の環境と類似の環境をもつサーバールームが存在するとして、そのサーバールームのデータを利用することを考える。非効率検知は一般になんらかの指標の異常検知によってなされるが、その指標として類似の環境をもつサーバールームのデータを補正したものを用いることとする。これより環境変化後のデータが十分に蓄積される前の時点でも、環境変化に適応した非効率検知を実施する手法を提案する。このため、サーバールーム間の空調設備の消費電力量データの類似性に着目し、その類似度が高いデータを利用した以下のような手順を提案する。フローチャートは図 1 である。

(1) まず事前に、サーバールーム運用中の IT 機器の消費電力量、空調設備の消費電力量、サーバールーム内の温度、建屋の存在するエリアの気温について、一定時間ごとに記録する。例えばこのデータを最低 1 週間分程度蓄積する。

(2) 異常検知手法や事前に定義した異常判定ルールによる検出などの手法によって空調設備の消費電力量の非効率性が検知された場合に、非効率検知のための指標の更新処理を開始する。非効率性が検知されない場合には処理を終了する。本報告では、適正と思われる空調設備の消費電力量と実際の空調設備の消費電力量の差が大きい場合に非効率であるとするとする。

(3) 指標更新が必要なサーバールームについて、直近、例えば 1 週間分の空調設備の消費電力量データの変動と類似のデータ変動をもつサーバールームのデータを抽出する。類似度については、空調設備の消費電力量と外気温、および空調設備の消費電力量と室温の変動の相関を算出し、その相関がある閾値よりも高い場合に抽出対象とする。

(4) 抽出されたサーバールームについて、その期間 IT 機器の消費電力量と非効率検知に必要な空調設備の消費電力量データを抽出する。抽出された類似のサーバールームの IT 機器の消費電力量に対する、更新対象の IT 機器の消費電力量の比率を、抽出された類似のサーバールームの非効率検知用の空調設備の消費電力量データに乗じた値を新しい非効率検知用データとする。複数のサーバールームが抽出された場合には、IT 機器の消費電力量で加重平均をとる。

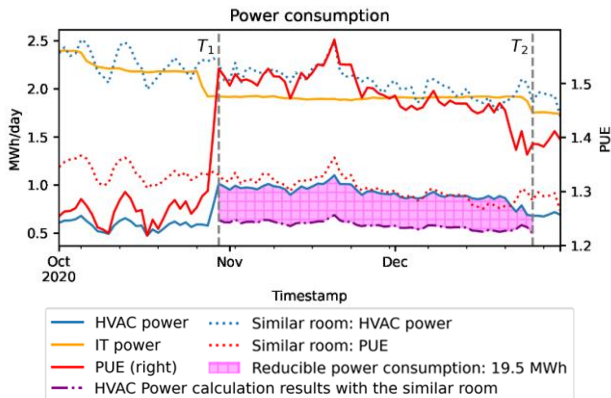


図 2 当該サーバームのデータと評価結果

#### 4. 評価

本章では、DC の実データに対して提案手法を適用し、類似のサーバームのデータを用いて非効率検知を実施した場合に生じる消費電力量削減効果の評価について述べる。

最初に、DC のエネルギー効率を表す指標として一般に使われている PUE (Power Usage Effectiveness) について説明する。これは IT 機器の消費電力量に対するそれ以外の消費電力量の大きさの比率を指標であり、 $W_{IT}$  を IT 機器の消費電力量、 $W_{other}$  をそれ以外の DC 全体の消費電力量として、以下の式のように表される。

$$PUE = \frac{W_{IT} + W_{other}}{W_{IT}}$$

ここで、一般に  $W_{other}$  は空調設備の消費電力量や照明の消費電力量などを含む。その中で消費電力量の多くを占めるのは空調設備に関する消費電力量である。

次に検証に用いるデータについて説明する。利用したデータは図 2 と図 3 のデータである。図 2 については、実線で示したデータが非効率を検知されたサーバームの空調設備 (HVAC) と IT 機器の消費電力量、および PUE のデータである。また、破線で示したデータが類似のサーバームの空調設備の消費電力量と PUE であり、紫の一点鎖線で示したデータが類似のサーバームから算出した当該サーバーム空調設備の消費電力量の参考値である。当該サーバームでは、 $T_1$  のタイミングで IT 機器の消費電力量が下がり、空調設備の消費電力量が上がることで PUE が上昇し、非効率が発生した。その後  $T_2$  のタイミングで空調設備の消費電力量が下がり、PUE が下がって非効率が改善されている。

図 2 で示した期間における、空調設備の消費電力量と外気温、および空調設備の消費電力量と室温の変動の相関を当該サーバームと他の 3 つのサーバームで算出する。その結果が図 3 である。このとき、Similar room の図で示したサーバームとの類似度が閾値を超え、類似のサーバームとして抽出され、他の 2 つのサーバームは類似度が小さかったとする。このサーバームの空調設備の消費電力量および PUE を図 2 では破線で示している。

このとき、図 2 のタイミング  $T_1$  と  $T_2$  の間の期間では、類似のサーバームのデータから算出された適正な空調設備の消費電力量よりも実際の消費電力量が非常に大きいことが分かる。このことから、本提案手法を用いた場合には、

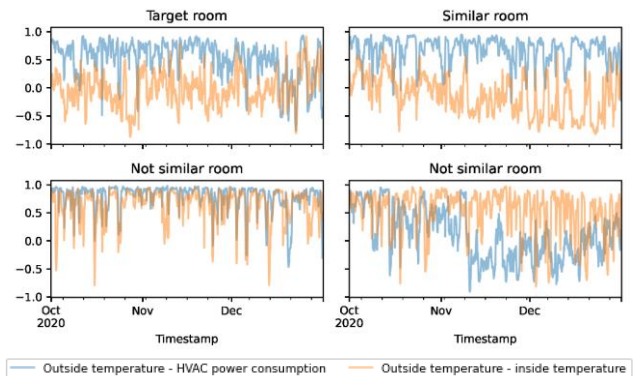


図 3 類似度の評価結果

タイミング  $T_1$  と  $T_2$  の間の期間においてピンク色の領域の分の空調設備の消費電力量が削減できた可能性がある。このときの消費電力量を算出すると、 $T_1$  と  $T_2$  間の期間の合計は 19.5 MWh となった。また、実際の DC での消費電力量と比較することで、この期間の空調設備の消費電力量は 37% 削減される可能性があることがわかった。

以上より、本手法が空調設備の消費電力量改善に有用である可能性があることがわかった。なお、今回取り上げたデータは実在する DC の一部のサーバーム及び期間である。本提案手法を DC 全体に適用し、また長期間にわたって利用することで、消費電力量の大きな DC の省エネルギー化に寄与すると考えられる。

#### 5. おわりに

本報告ではデータセンタの空調設備の設定について、その消費電力量を削減するための手法について提案した。限定的な結果ではあるものの、消費電力量削減に効果があることが示唆された。本手法はデータセンタのみならず、一般的なビルの空調設備設定にも用いることができる可能性がある。また、本報告では過去の実データを用いて検証したが、実際に空調設備を制御して検証することは今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, “情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.4) — データセンター消費電力低減のための技術の可能性検討 —”, 2022.
- [2] 環境省, “2021 年度エネルギー対策特別会計における補助・委託等事業”, 2021.
- [3] 経済産業省資源エネルギー庁, “データセンター業のベンチマーク制度 制度の概要”, 2022.
- [4] Z. Afroz, G. M. Shafiqullah, T. Urme, and G. Higgins, “Modeling techniques used in building HVAC control systems: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 83, pp. 64–84, 2018.
- [5] M. Ogura, J. Wan, and S. Kasahara, “Model Predictive Control for Energy-Efficient Operations of Data Centers with Cold Aisle Containments,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 20, pp. 209–214, 2018.
- [6] T. Wei, S. Ren, and Q. Zhu, “Deep Reinforcement Learning for Joint Datacenter and HVAC Load Control in Distributed Mixed-Use Buildings,” *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, vol. 6, no. 3, pp. 370–384, 2021.
- [7] R. Wang, X. Zhang, X. Zhou, Y. Wen, and R. Tan, “Toward Physics-Guided Safe Deep Reinforcement Learning for Green Data Center Cooling Control,” *ACM/IEEE 13th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCP)*, pp. 159–169, 2022.