

## データセンタにおける時間単位再生可能エネルギー利用率向上技術 Study of Renewable Energy Supply and Demand Matching Technology on Hourly Basis in DC

岡村 拓<sup>‡</sup> 金子 聡<sup>‡</sup> Chaudhari Pritam Jaywant<sup>‡</sup>  
Taku Okamura Satoshi Kaneko Chaudhari Pritam Jaywant

### 1. はじめに

データセンタ(DC)の消費電力量、炭素排出量は増加の一途を辿っている[1]。再エネの供給量を増加させてデータセンタ(DC)の脱炭素化を実現するためには、年間単位で DC の電力需要と再エネ供給量を一致させるだけでは不十分であり、時間単位で両者を一致させることが重要である。この実現のために、我々は IT ワークロードの実行時間を制御することで電力需要を調整する技術を開発した。現実では事前に IT ワークロードの消費電力やその発生タイミング等はわからないが、それらの予測に基づき IT ワークロードの実行を計画・制御することで時間単位での電力コストを考慮した再エネ率を最適化する方式を開発した。実 DC の IT ワークロードデータを用いて本方式の評価し、時間単位再エネ率、及び費用対再エネ率を 10%程度向上することができる見通しを得た。

### 2. DC における時間単位再エネ利用率

DC の再エネ利用率向上には大きく分けて 2 つのフェーズがある。最初のフェーズは、年間単位で DC 消費電力量に対する再エネ供給量の割合を向上させるものである。さらに次のフェーズは、時間単位で DC 消費電力量に対する再エネ供給量の割合を向上させるものである。年間単位での再エネ利用率 100%を達成するためには、1 年を通算して DC 消費電力量と再エネ供給量が一致していればよい。したがって、より細かい時間的な粒度で見たときに、両者が一致しておらず DC 消費電力量が再エネ供給量を上回っている時間帯が存在する可能性がある。そのような時間帯では、DC を稼働している実際の電力は再エネではなく非再エネによるものであり、年間単位での再エネ利用率が 100%だからといって必ずしも非再エネを使用していないわけではない。

一方で、時間単位での再エネ利用率は、1 時間単位で DC 消費電力量と再エネ供給量を一致させるものであり、時間単位での再エネ利用率が 100%であれば実際にすべての時間間隔(タイムスロット)において DC は再エネの電力によって稼働していると言える。したがって、時間単位での再エネ利用率 100%の DC が年間単位での再エネ利用率 100%の DC よりも、よりクリーンな DC であると主張することができる。一部の企業はすでに時間単位での再エネ利用率の向上に着手している。例えば Google は、2017 年には年間単位での再エネ利用率 100%を達成し、2030 年には、自社所有するすべての DC において時間単位での再エネ利用率 100%を達成する目標を立てている[2]。

本研究では、再エネの不足する時間帯から再エネの供給が十分にある時間帯へと、IT ワークロードの実行を遅延することによって時間単位再エネ率を向上する。図 1 は、IT ワークロードを時間的に制御する例を示した図である。一般的に、DC においてユーザからデプロイ要求される IT ワークロードは Web 閲覧など即座に処理を行う必要のある

インタラクティブワークロードと機械学習の学習処理など、必ずしも即座に処理を行う必要のないバッチジョブの 2 種類に大別できる。IT ワークロードの時間的な制御では、遅延可能なバッチジョブを再エネ供給が不足する時間帯から再エネ供給が多い時間帯へと移行させる。これにより、DC における電力需要を再エネ供給量に対して合わせることで時間単位再エネ利用率を向上する(右図)。

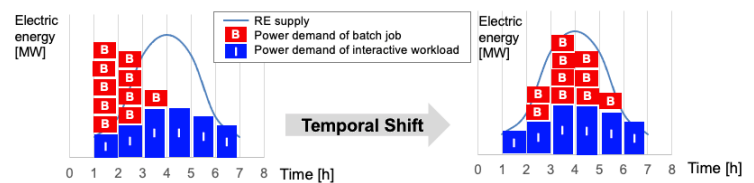


図 1 : IT ワークロードの時間移行の例

### 3. 従来技術と課題

本章では、IT ワークロードの時間的な制御による時間単位再エネ率向上に関する従来技術とその問題点、また本研究で解決すべき課題について述べる。

まず、時間単位再エネ利用率向上のための IT ワークロードの時間的な制御に関する従来技術[3]について簡単に説明する。また以下ではこれを従来技術と呼ぶ。従来技術では、DC の空調の影響を考慮しつつ、処理を遅延可能なバッチジョブを再エネ供給量の多い時間帯へと移行させることにより時間単位再エネ率を向上することを目指す。

従来技術の概要を図 2 に示す。この技術は **workload schedule optimizer** と **workload deployer** の 2 つのコンポーネントから構成される。ちなみに、これらのコンポーネントの名称は[3]で使用されているものではなく、その機能を表すように筆者が命名したものである。**workload schedule optimizer** は、ユーザによる DC への IT ワークロードのデプロイリクエストのスケジュールやその消費電力量、再エネ発電量(供給量)の情報を受け取り、時間単位再エネ率を最大化する IT ワークロードのデプロイスケジュールを算出する。そして、**workload deployer** は **workload schedule optimizer** から最適化されたデプロイスケジュールを受け取り、そのスケジュール通りに DC へ IT ワークロードのデプロイを行う。

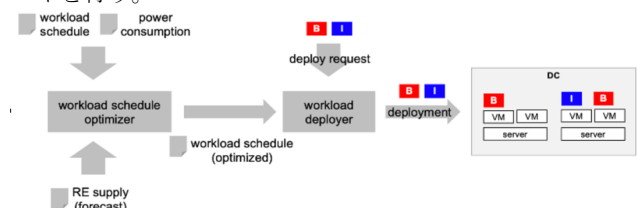


図 2 : 従来技術の概要

‡ 日立製作所 Hitachi, Ltd.

この従来技術は、学術論文であるため問題を単純化するいくつかの仮定を置いている。そのため、この技術を実際の DC 運用に適用することを考えると、1. 再エネ供給にかかるコストを考慮していない、2. IT ワークロードのデプロイスケジュール及び消費電力量は一般的に事前にわからない、という 2 つの問題に直面する。

そのため、本研究では上記 2 つの問題から解決すべき課題を以下の 2 つに定めることとした。

- IT ワークロードの予測に基づき、再エネ調達にかかるコストを考慮して、将来のタイムスロットにおける消費電力の目標値を決定すること。
- IT ワークロードの消費電力量に予実差が発生した場合でも、時間単位再エネ率やコストに対する影響ができるだけ小さくなるようにデプロイを行うこと。

#### 4. 提案方式

本章では、上記 2 つの課題を解決するためのワークロード予測に基づく IT ワークロード制御技術の方式の提案を行う。当該方式の概要を図 3 に示す。

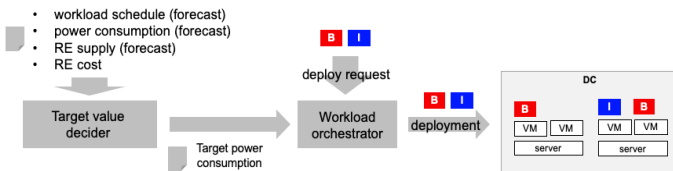


図 3: 提案方式の概要

基本的な構成は従来技術と同様であるが、従来技術における workload schedule optimizer と workload deployer が、それぞれ target value decider と workload orchestrator に変わっており、以下の 2 つの機能を新たに有する。

- ・機能 1: 再エネコストを考慮した再エネ使用量決定機能
- ・機能 2: 消費電力予実差を考慮したワークロードデプロイ機能

本方式では、従来技術とは異なり、各タイムスロットにおける目標電力量のみを target value decider の機能 1 で決定する。そして具体的なバッチジョブのデプロイについては、workload orchestrator の機能 2 で決定する。

機能 1 は、target value decider の機能であり、ワークロード予測、及び再エネ価格予測に基づいて各タイムスロットにおける目標電力量を算出する。従来技術における workload schedule optimizer との主な違いは、再エネ価格を考慮すること、また入力として IT ワークロードのスケジュールの代わりに予測を使用することであり、これにより再エネ価格を考慮した電力使用量の目標値を決定することで、課題 1 を解決する。

機能 2 は、workload orchestrator の機能であり、機能 1 で算出された目標電力量に基づき、デプロイ要求を受けたワークロードの内どのワークロードをいつ DC へデプロイするかを決定する。この際に、各ワークロードにおける消費電力量の予測誤差傾向に基づき、目標電力量と実際の消費電力量の差が小さくなるようにデプロイするバッチジョブを決定する。また、仮に目標電力量と実際の消費電力量の差が大きくなりそうな場合には、時間単位再エネ率やコスト

への影響が少ないタイムスロットでデプロイすることで課題 2 を解決する。

#### 5. 評価

オープンデータである Alibaba Cluster Trace のデータセットを用いて本方式を従来技術と比較し、時間単位再エネ率及びコストの観点での違いを評価した。従来方式を用いて時間単位再エネ率を最大化するようにバッチジョブを移行した場合と、本方式を用いてコストの観点を考慮し、費用対再エネ率を最適化した場合とを比較し、時間単位再エネ率やコストの違いを調べた。

結果を Table. 1 にまとめた。従来技術で時間単位再エネ率が最大になるようにバッチジョブを移行した場合、時間単位再エネ率は移行前に比べて 13%改善しているものの、再エネを多く使用するためコストがその分増加し、費用対再エネ率では移行前と変化がない。一方で、費用対再エネ率を最大化するように移行した場合では、再エネが余る時間への移行と合わせてコストを削減するような移行も行われており時間単位再エネ率は 8%程度向上し、また費用対再エネ率は 15%程度上昇した。

ただし、今回の評価結果は少し注意が必要である。今回の評価では、DC の消費電力として IT ワークロードによるサーバ機器の電力しか考慮していない。しかし、実際の DC における消費電力には IT ワークロードによるストレージ機器、ネットワーク機器の電力に加え、空調などの電力も含まれる。従って、バッチジョブの消費電力量の全体に占める割合は、実際はさらに小さくなるはずであり、時間単位再エネ率やコスト削減効果も小さくなると予想される。

表 1

	Before IT workload shift	Previous technology	This work
Hourly matching rate	52%	65%	60%
Cost	$3.2 \times 10^9 \text{ ¥}$	$4.0 \times 10^9 \text{ ¥}$	$3.4 \times 10^9 \text{ ¥}$
Cost to RE ratio	$1.6 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-8}$	$1.8 \times 10^{-8}$

#### 6. おわりに

本研究では、IT ワークロードの消費電力や実行計画が未知の場合でも IT ワークロードを時間的に制御することで DC における時間単位での再エネ率及びコストを改善する技術を考案した。DC の IT ワークロードデータを用いて本方式の評価を行い、時間単位再エネ率及び費用対再エネ率を向上することができる見通しを得た。

IT ワークロードの制御には、時間的な制御と空間的な制御のアプローチがあり、今回提案した時間的な制御技術を空間的な制御技術と組み合わせることでさらに効果を高めることが今後の課題である。

#### 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.2)” 2021.
- [2] Google, “Google Sustainability,” Available: <https://sustainability.google/>.
- [3] Y. Li, X. Wang, P. Luo, Q. Pan, “Thermal-Aware Hybrid Workload Management in a Green Datacenter towards Renewable Energy Utilization,” Energies, 2019.