

スーパーコンピュータ「不老」の湧水噴霧による節電効果の評価

山田 一成¹⁾, 田島 嘉則¹⁾, 高橋 一郎¹⁾, 林 秀和¹⁾,
片桐 孝洋²⁾, 大島 聡史²⁾, 永井 亨²⁾

- 1) 東海国立大学機構 情報環境部 情報システム運用課
2) 名古屋大学 情報基盤センター 大規模計算支援環境研究部門

yamada@itc.nagoya-u.ac.jp

Evaluation of power saving effect by spraying spring water with Supercomputer “Flow”

Kazunari Yamada¹⁾, Yoshinori Tajima¹⁾, Ichiro Takahashi¹⁾, Hidekazu Hayashi¹⁾,
Takahiro Katagiri²⁾, Satoshi Ohshima²⁾, Toru Nagai²⁾

- 1) Information System Operations Division, Information Technology Department, Tokai National Higher Education and Research System
2) High Performance Computing Division, Information Technology Center, Nagoya University

概要

名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ「不老」は 2020 年 7 月から運用を開始して 2 年ほど経った。このシステムには情報基盤センターの地下の湧水を利用して冷却設備の一部を冷却するシステムが組み込まれている。本報告では、その湧水を利用したシステムにおける節電効果について評価を行った。加えて、消費電力を抑える取り組みについても紹介する。

1 はじめに

名古屋大学情報基盤センター（以下、センター）が 2020 年 7 月より運用を開始したスーパーコンピュータ「不老」は、4 つのサブシステムと大容量のストレージ群、可視化システムなどが高速ネットワークによって接続された複合システムである。この 4 つのサブシステムのうち冷却設備が水冷方式である 2 つのサブシステムが使用している冷却水循環装置（以下、チラー）が屋外に設置されている。このチラーは年間を通して稼動している。

2022 年に入り全国的に電気料金が値上がり傾向にあり、本学も同じ状況のため、スーパーコンピュータ「不老」の運用にも影響が出かねない状況となっている。そのため運用担当者としては節電意識が高まっており、スーパーコンピュータ「不老」の消費電力、特に夏季の消費電力を抑えるために導入したチラーの湧水噴霧システムについての仕組みや、節電の効果について評価を実施したので報告するとともに、スーパーコンピュータ「不老」の消費電力を抑える取り組みについても紹介する。

2 導入されたシステムについて

2.1 スーパーコンピュータ「不老」の概要

名古屋大学情報基盤センターに導入されているスーパーコンピュータ「不老」は先に述べたように主に 4 つのシステムと共有ストレージ群などで構成されている。これらのシステム構成図を図 1 に示す。まず Type I サブシステム（以下、Type I）として FUJITSU PRIMEHPC FX1000 を導入している。このシステムの総ノード数は 2,304 ノードあり、総メモリ容量は 72TiB、総理論演算性能は 7.782PFLOPS である。複数ノードを利用した大規模計算などに利用されている。

次に Type II サブシステム（以下、Type II）として FUJITSU PRIMERGY CX2570M5 を導入している。このシステムの総ノード数は 221 ノードあり、総メインメモリ容量は 82.875TiB、GPU を含めた総理論演算性能は 7.489 PFLOPS である。このシステムは 1 ノードにつき NVIDIA Tesla V100 を 4 台と 6.4TB の SSD を搭載しており、機械学習や AI など新しい研究分野の研究者に利用されている。

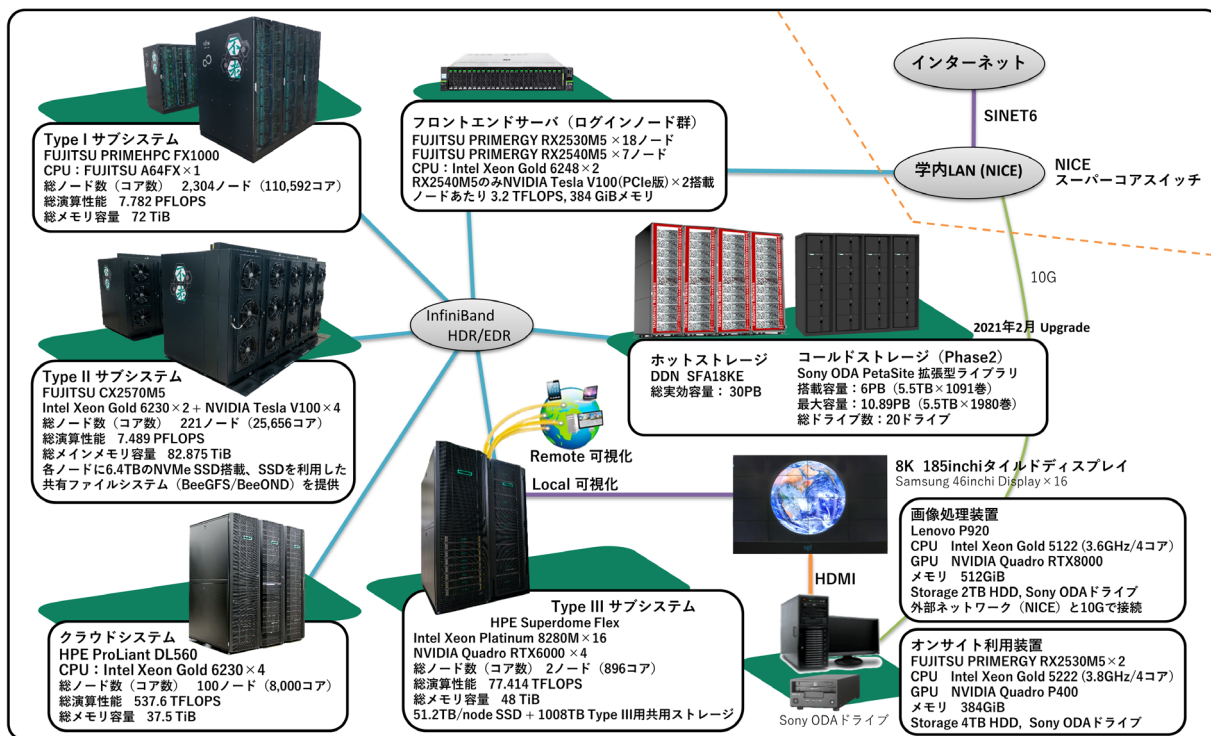


図1 システム構成図

また、Type III サブシステム (以下、Type III) として HPE Superdome Flex が導入されている。このシステムの総ノード数は 2 ノードであるが、総メモリ容量は 48TiB で 1 ノード当たり 24TiB の大容量メモリと 51.2TB の SSD の利用が可能となっており、総理論演算性能は 77.414 TPLOPS である。Type III は主に大容量メモリを使用する可視化処理のプリポストサーバとしての利用が想定されており、可視化システムと連携利用されている。

クラウドシステムには HPE ProLiantDL560 が導入されている。このシステムのノード数は 100 ノードである。リソースの予約システムである UNCAI も導入されており、システムの一部のノードは予約して利用することが可能となっている。

これら 4 つのサブシステムから利用可能な共有ストレージシステムとして、多数のハードディスクにより構成されるホットストレージの他に、光ディスクライブラリーであるコールドストレージも導入している。ホットストレージの総実効容量は 30.44 PB である。コールドストレージはシステム 2 段階導入となっており、運用開始時点のフェーズ I では総物理容量 484 TB、2021 年 2 月からのフェーズ II では総物理容量 6 TB に増強されている。なお、コールドストレージの最大搭載容量は

10.89PB であり、利用者が光ディスクカートリッジを追加で持ち込むことが可能となっている。

その他に 8K のタイルドディスプレイ、オンサイト端末、画像処理装置を導入しており、利用者であれば誰でも利用することができる。その他、スーパーコンピュータ「不老」の詳細な構成や性能については[1][2]で詳しく紹介している。

2.2 冷却設備の概要

スーパーコンピュータ「不老」の冷却設備の構成図を図 2 に、冷却設備の屋外設備写真を図 3 に示す。

図 2 に示すように、各システムの冷却方法は Type I は水冷方式、Type II は水冷 + 空冷方式で、屋外設備のチラーは Type I、Type II とともに空冷方式、その他のシステムは空冷方式となっている。また新たな試みとして、センター地下に湧き出している湧水をチラーの冷却に利用している。この湧水は年間通して 18℃前後で毎分 30L 程度の水量が湧き出ており、センター地下の釜場に溜められ、一定の水位になるとポンプでくみ上げて排水溝に流されている。排水溝に流されている湧水の

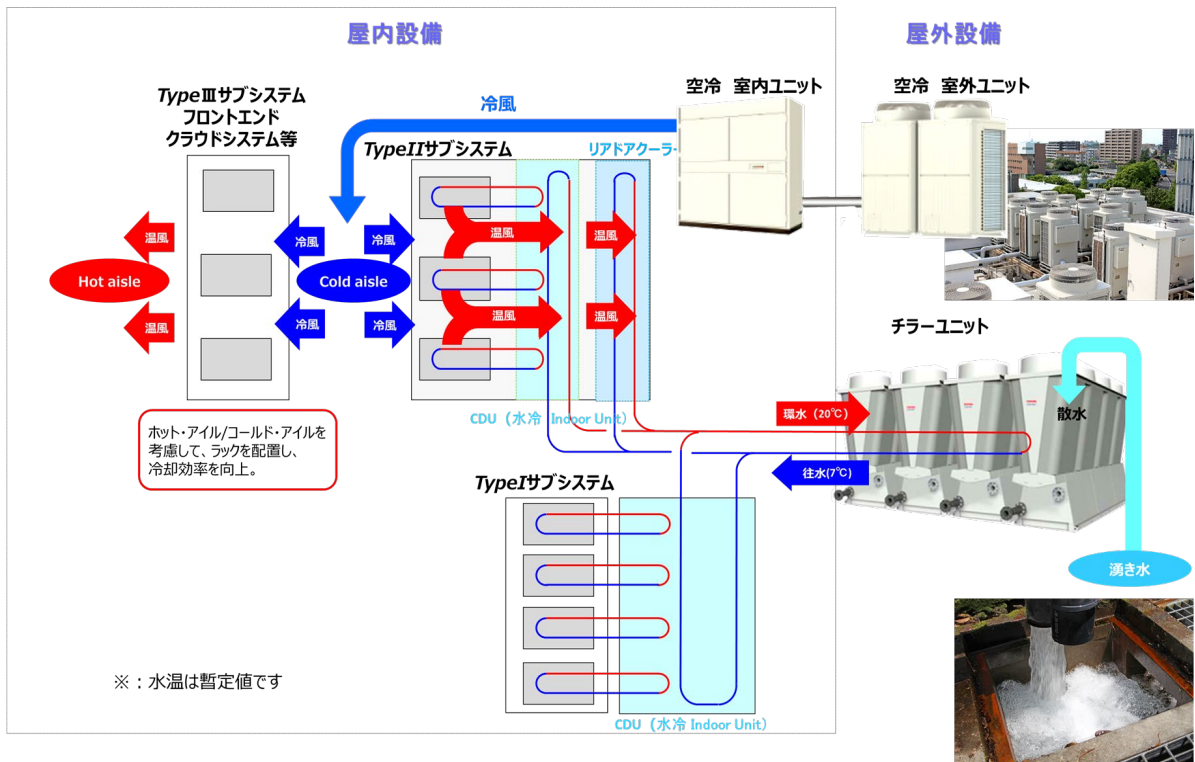


図2 冷却設備構成図



図3 冷却設備の屋外設備写真



図4 排水溝に流している湧水

写真を図4に示す。この湧水を冷却装置に利用し消費電力を抑えることができないかと考え、今回導入したシステム仕様に盛り込んだ。現在、センター南側に設置されている冷却設備のチラーに、気温が22℃以上になった時に自動で湧水を噴霧しチラー及びその周辺温度を下げています。チラーに湧水を噴霧している状況の写真を図5に示す。これにより特に夏季(7月~9月)期間のチラーの消費電力の削減が期待できる。今回はこの湧水噴霧システムがどのくらい効果があり、消費電力を削減することができるかを検証した。

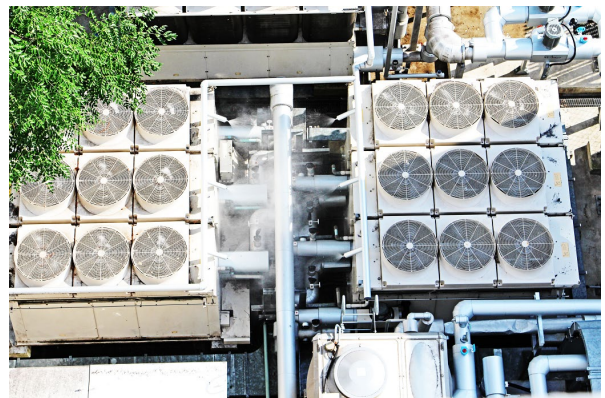


図5 チラーに湧水を噴霧する様子

3 湧水噴霧による節電効果の評価

3.1 測定方法

チラーへの湧水噴霧による節電効果の検証方法として、噴霧装置の停止時と稼働時とでチラー装置のみの消費電力量を比較する方法を採用した。測定方法は次のとおりである。すでに述べたように、チラーの湧水噴霧システムは、気温 22 度以上になると自動で動作する仕様となっている。

- 噴霧装置の効果は天候や気温、特にチラー装置の外部の気温（以下、外気温）に影響されると予想し、噴霧装置停止日の天候は晴れとした。
- 噴霧装置停止日は、2022 年 8 月 24 日（以下、8 月 24 日）とし、停止時間は、午前 9 時から午後 5 時までとした。
- 消費電力の測定は、システム仕様内の「中央電子（株）製の環境監視システム」の計測データを利用した。
- 8 月 24 日の外気温を測定するため、寒暖計を臨時に設置して目視により午前 9 時から午後 5 時まで測定した。最高気温は 34.0℃であった。寒暖計を臨時に設置した様子を図 6 に示す。
- 節電効果を比較する目的で「噴霧装置が稼働していた日」として、8 月 24 日の外気温の最高気温（34.0℃）と同等の別日を気象庁の「過去の気象データ検索」[3] 愛知県、名古屋市（以下、気象庁）から探し、
2022 年 8 月 10 日、最高気温 34.1℃、
2022 年 8 月 11 日、最高気温 33.9℃、
とした。（以下、8 月 10 日、8 月 11 日）
- 8 月 24 日と 8 月 10 日および 8 月 11 日のチラーの消費電力を比較・検証した。



図6 寒暖計を臨時に設置した様子

3.2 測定結果

8 月 24 日の外気温（寒暖計にて午前 9 時から午後 5 時まで測定）と気象庁のデータから引用した 8 月 10 日、8 月 11 日、8 月 24 日の気温を図 7 に示す。

8 月 24 日の午前 9 時から午後 5 時までの外気温と、8 月 10 日、8 月 11 日、8 月 24 日の該当時間の気温とを比較すると、最高気温を最大とした山型のよく似た気温推移となっている。このことから 8 月 24 日の外気温実測値は気象庁のデータから引用した値とよく似ていることが分かる。

チラー装置の消費電力を測定した結果を図 8 に示す。

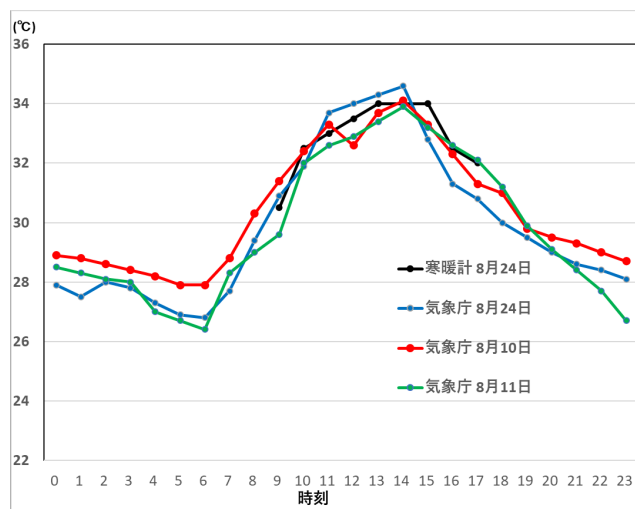


図7 気温の推移

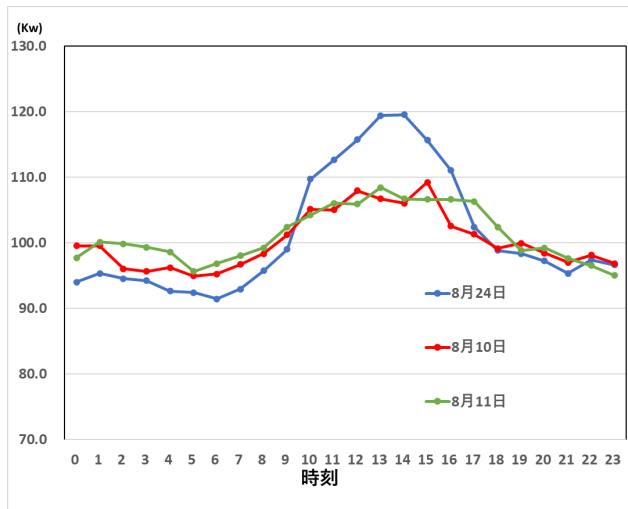


図 8 チラーの消費電力の推移

図 8 に示すように、8 月 24 日の噴霧装置を停止している時間帯は、消費電力が増加しており、気温推移とよく似た山型の消費電力の推移となっている。

また、午前 0 時から午前 9 時までは、8 月 10 日より 8 月 11 日の消費電力が高く、図 7 の気温の推移とは相違している。この原因は各システム (Type I, Type II) の稼働率の違いと予想される。しかし、一言に稼働率といっても各ジョブによって CPU や GPU などの使い方が違うため、比較することが難しい。そこで今回は、稼働率が上がれば消費電力も上昇することから、8 月 10 日、8 月 11 日、8 月 24 日の各システム単体 (Type I, Type II) の消費電力を調査することにより、日ごと、時間ごとの消費電力を計算機負荷として比較した。また、スーパーコンピュータ「不老」は納入時の仕様により、Type I の冷却における水冷と空冷の比率は 9 : 1、Type II の冷却における水冷と空冷の比率は 58.7 : 41.3 となっている。この比率は、計算機負荷およびその他条件によっても変動するが、今回は一律に係数として Type I は 0.9、Type II は 0.587 を消費電力に乗算して比較した。

各システム (Type I, Type II) の消費電力に係数を乗算した後に合計した、日ごと、時間ごとの計算機負荷の推移を図 9 に示す。

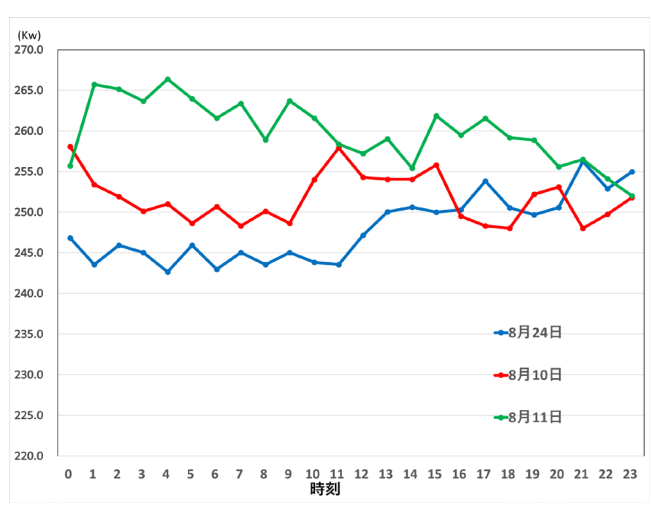


図 9 計算機負荷の推移

図 9 から、8 月 10 日より 8 月 11 日の計算機負荷が高いことからチラーの消費電力も高くなったと思われる。また、8 月 24 日は午後から夜間にかけて計算機負荷が徐々に高くなっていることが分かる。

3.3 考察

今回の測定結果から、以下のことが確認できた。

- 1) 図 7 と図 8 から、気温が高ければチラーの消費電力も高くなっていることから、チラーの消費電力は気温に影響されることが確認できる。
- 2) 図 8 と図 9 から、計算機の消費電力が高ければチラーの消費電力も高くなっていることから、チラーの消費電力は計算機負荷に影響されることが確認できる。
- 3) 図 8 から、噴霧装置を停止していた時間帯は、チラーの消費電力が増加し、気温推移とよく似た山型の推移となったことから、湧水噴霧システムには節電効果があることが確認できる。

湧水噴霧システムによる節電効果が一定程度あると確認できることから、8 月 24 日の噴霧装置を停止していた時間帯、午前 9 時から午後 5 時までの間でどのくらい効果があったかを評価する。

図 8 の 8 月 24 日の該当時間におけるチラーの消費電力と、8 月 10 日と 8 月 11 日の内、高かった消費電力との電力差を表 1 に示す。括弧内の数

値はマイナスである。

表 1 電力差

時間	チラー電力 (kw)			電力差(kw)	備考
	(a)8月24日	(b)8月10日	(c)8月11日	(a)-(b)又は(a)-(c)	
9	99.0	101.2	102.4	(3.4)	噴霧停止
10	109.7	105.1	104.2	4.6	
11	112.6	105.0	106.0	6.6	
12	115.7	107.9	105.9	7.8	
13	119.4	106.7	108.4	11.0	
14	119.5	106.0	106.7	12.8	
15	115.6	109.2	106.6	6.4	
16	111.0	102.5	106.6	4.4	
17	102.4	101.3	106.3	(3.9)	噴霧開始
	9時から16時まで合計(kw)			50.2	

表 1 から、午前 9 時から午後 4 時までの電力差の合計は 50.2kw となっている。該当時間における節電効果を計算するため、1kw を 1kwh として換算すると、午前 9 時から午後 5 時までの 8 時間での節電効果は 50.2kwh と計算でき、2022 年 8 月の電気料単価 (28.8 円/kwh) から 1,446 円の節電効果があったと評価できる。

以上から、節電効果の 1h あたりの平均は、

$$50.2\text{kwh} \div 8\text{h} = 6.3\text{kw}$$

となる。この効果が 24h 継続したと仮定するならば、削減された消費電力は 1 日当たり、

$$6.3\text{kw} \times 24\text{h} = 151.2 \text{ kwh}$$

となり、また、金額ベースでは

$$151.2 \text{ kwh} \times 28.8 \text{ 円/kwh} = 4,354 \text{ 円}$$

の節電効果があったと評価できる。

さらに、8 月の 1 ヶ月の場合と、7 月から 9 月の夏季期間 3 ヶ月の場合の節電効果を推定する。当然ながら天候も関係する可能性があるが、今回は、それぞれ日数を 31 日と 92 日として、試算する。その結果、

$$4,354 \text{ 円} \times 31 \text{ 日} = 134,992 \text{ 円} \quad \text{8 月 1 ヶ月}$$

$$4,354 \text{ 円} \times 92 \text{ 日} = 400,623 \text{ 円} \quad \text{夏季 3 ヶ月}$$

の節電効果があると試算できる。

4 その他の消費電力を抑える取り組み

4.1 縮退運転機能

スーパーコンピュータ「不老」では、湧水の噴霧の他にもピーク電力を抑える取り組みや、通常電力を抑える取り組みを実施してきている。

ピーク電力を抑える取り組みとしては、縮退用

のノード用に Type I を 384 ノード、Type II を 48 ノード、クラウドシステムを 18 ノード設定し、そのノードを使用するための専用リソースグループ extra を新設した。これは大学全体の消費電力が低くなる夕方から翌朝までの夜間 15 時間程度のみ縮退を解除して計算サービスを実施する仕組みであるが、今のところピーク電力のみがひっ迫した状態とはなっていないため、この機能は使用していない。

通常電力を抑える取り組みとして、Type I の一部を縮退して運用できる。この取り組みは 2022 年 6 月から Type I をラック単位 (384 ノード) で最大 2 ラック分、合計 768 ノード分をスーパーコンピュータ「不老」全体の電力消費状況および利用状況 (稼働率) を考慮した上で、縮退して運用している。縮退中は大規模ジョブが流れにくくなるため、利用者には大規模ジョブ利用時は、センターに連絡をしてもらうようにお知らせして運用している。

5 おわりに

本報告では、チラーの湧水噴霧システムについての仕組みを紹介し、節電の効果について評価を実施した。また、スーパーコンピュータ「不老」の消費電力を抑える取り組みについても紹介した。

湧水噴霧システムについては、節電効果を評価するため、噴霧装置の停止時と稼働時とでチラー装置のみの消費電力量を比較することによって評価した。その結果、以下が確認できた。

- 1) 気温やシステム負荷によって消費電力は変動する。
- 2) 8 月 24 日の午前 9 時から午後 5 時までの 8 時間での節電効果の見積もりは 1,446 円。
- 3) 夏季の 1 日 24 時間の節電効果の見積もりは 4,354 円。

本評価の実施において苦労した点を述べる。湧水噴霧システムの効果はチラー装置の外気温に影響されると仮定した。そのため、外気温を自動で測定し保存できるのが理想であるが、測定機器が手元になかったため、臨時に寒暖計を設置して測定値を得た。加えて、気象庁のデータから引用した気温を比較し、よく似た気温であることを確認した上で、チラー装置の外気温は気象庁のデータ

から引用した気温で代用することとした点である。

本評価では、晴れの日に湧水の噴霧を 8 時間停止し、そのデータをもとに 1 日 24 時間と 8 月 1 ヶ月、および夏季期間 3 ヶ月の効果を評価した。しかし、8 月 1 ヶ月、夏季期間 3 ヶ月の効果については、天候によって変わると想定される。そのため、今後の課題として、晴れ・曇り・雨などの天候ごとに湧水の噴霧を 24 時間停止し、そのデータをもとに評価することが挙げられる。

参考文献

- [1] 大島聡史, 永井亨, 片桐孝洋, スーパーコンピュータ「不老」のシステム構成と性能, 大学 ITC 推進協議会 2020 年度年次大会 予稿集, 2020
- [2] スーパーコンピュータ「不老」システム構成図, <https://icts.nagoya-u.ac.jp/ja/sc/overview.html>
- [3] 気象庁 | 過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- [4] スーパーコンピュータ「不老」リソースグループ一覧
http://www.icts.nagoya-u.ac.jp/ja/sc/resource_limits.html