

[大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会論文集より]

## スーパーコンピュータ SX-ACE の省エネ運用

森谷 友映<sup>1)</sup>, 齋藤 敦子<sup>1)</sup>, 佐々木 大輔<sup>1)</sup>, 山下 毅<sup>1)</sup>, 小野 敏<sup>1)</sup>,  
大泉 健治<sup>1)</sup>, 江川 隆輔<sup>2),3)</sup>, 小林 広明<sup>3),2)</sup>

1) 東北大学 情報部情報基盤課

2) 東北大学 サイバーサイエンスセンター

3) 東北大学 大学院情報科学研究科

t-moriya@cc.tohoku.ac.jp

## Energy-saving operation of the supercomputer SX-ACE

Tomoaki Moriya<sup>1)</sup>, Atsuko Saito<sup>1)</sup>, Daisuke Sasaki<sup>1)</sup>, Takeshi Yamashita<sup>1)</sup>, Satoshi Ono<sup>1)</sup>,  
Kenji Oizumi<sup>1)</sup>, Ryusuke Egawa<sup>2),3)</sup>, Hiroaki Kobayashi<sup>3),2)</sup>

1) Information Infrastructure Division, Information Department, Tohoku Univ.

2) Cyberscience Center, Tohoku Univ.

3) Graduate School of Information Sciences, Tohoku Univ.

### 概要

東北大学サイバーサイエンスセンターは、全国共同利用機関として学内外の研究者に対して大規模科学計算システムを提供している。システムが大規模化するにしたがって、また近年の電力料金の上昇により、運用コストは急増している。大規模計算機を運用する上でも「省エネ対策」は取り組むべき大きな課題である。本稿では、本センターにおける大規模科学計算システムの省エネ運用の取り組みを設備、運用の面から報告する。

## 1 はじめに

東北大学サイバーサイエンスセンター（以下、本センター）では、全国共同利用機関として学内外の研究者に高性能計算基盤環境である大規模科学計算システムを提供している。計算システムは定期的に更新や増強を実施し、利用分野の裾野拡大を図り、大規模・高精度化するシミュレーションモデルに対応するなどして利用者の研究開発を促進している。

2011年3月に発生した東日本大震災以降、原子力発電所の稼働率低下と燃料価格の高騰に伴う火力発電費の上昇、さらに、2012年7月から再生可能エネルギー発電促進賦課金が上乗せされたことを背景に、スーパーコンピュータ運用に係る光熱水量経費が急増している。運用コストを抑えるために、省エネ対策は取り組むべき大きな課題となっている。

このような状況の下、スーパーコンピュータ SX-ACE の新規導入に合わせ計算機専用棟である本センター2号館が竣工された。2号館は、電源設備、計算機の設置スペース、空冷・水冷方式の両方に対応した冷却システムを備えている。これらの整備は計算システムの安定稼働とともに電気料金等のコスト削減にも寄与する。

本稿では、本センター2号館の冷却設備の紹介とその省エネ対策、および SX-ACE の省電力運用に関する取り組みについて述べる。

## 2 大規模科学計算システムについて

本センター大規模科学計算システムの構成を図1に示す。本センターの大規模科学計算システムはベクトル型スーパーコンピュータ SX-ACE、スカラ型並列コンピュータ LX 406Re-2、ストレージシステムおよび三次元可視化システムから構成される。

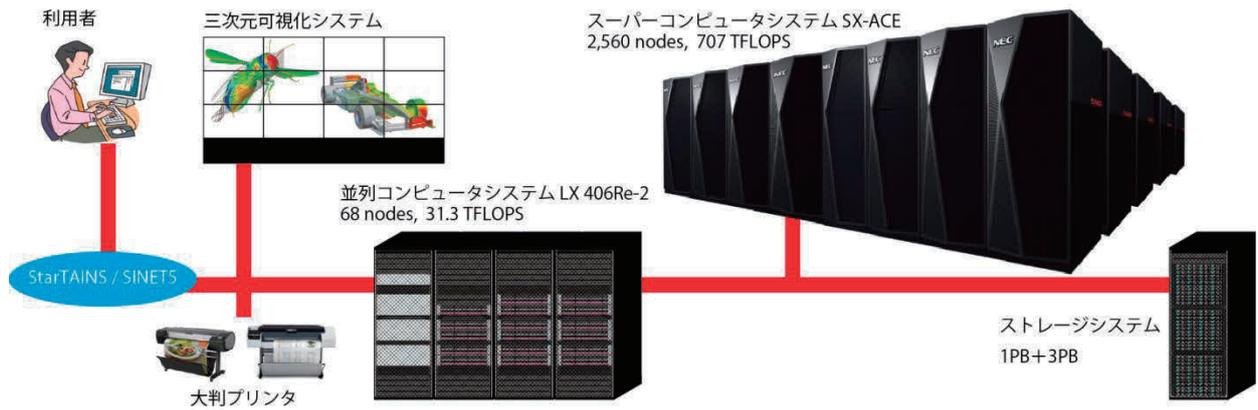


図1 大規模科学計算システム構成図

ベクトル型スーパーコンピュータ SX-ACE は 2,560 ノードから構成される。1 ノードには、理論最大演算性能 276GFLOPS のベクトルプロセッサ 1 基 4 コア、メモリ 64GB の主記憶容量・I/O 制御部・ネットワークの制御部を単一 LSI に搭載している。前機種 SX-9 と SX-ACE の性能比較を表 1 に示す。SX-9 システムの理論最大演算性能が 34.1TFLOPS であったのに対し、SX-ACE システムでは 706.6TFLOPS となり、20.7 倍に性能向上している。なお、理論演算性能あたりの消費電力については、SX-9 の 1GFLOPS あたり 15.8W であったのに対し、SX-ACE は 1.69W であり、約 1/10 の低消費電力の設計になっている。

したがって、システム規模の理論演算性能比と 1GFLOPS あたりの消費電力比から、SX-9 システムに比べ約 2 倍の電力増加が想定され、更なる省電力に対する取り組みが必要である。

### 3 建物・冷却設備における省エネルギー対策

#### 3.1 本センター2号館の紹介

2号館は2階建ての建屋であり、1階にスーパーコンピュータ SX-ACE、2階に並列コンピュータ LX 406Re-2 およびストレージシステムを配置している。

冷却設備は、屋上に密閉型フリークーリング方式の冷却塔一体型チリングユニットを設置し、

1階には水冷設備と空冷設備、2階には空冷設備を備えている。2号館の内部構成を図2に示す。

表 1 SX-9 と SX-ACE の性能比較

性能		SX-9	SX-ACE	向上比
CPUあたり	コア数	1個	4個	4倍
	理論最大演算性能	118.4GFLOPS	276GFLOPS	2.3倍
	最大ベクトル演算性能	102.4GFLOPS	256GFLOPS	2.5倍
	最大消費電力	1.875W	469W	0.25倍
性能		SX-9	SX-ACE	向上比
ノードあたり	CPU数	16個	1個	0.06倍
	理論最大演算性能	1,894GFLOPS	276GFLOPS	0.15倍
	最大ベクトル演算性能	1,638GFLOPS	256GFLOPS	0.16倍
	最大消費電力	30,000W	469W	0.02倍
性能		SX-9	SX-ACE	向上比
システムあたり	ノード数	18ノード	2,560ノード	142.2倍
	CPU数	288個	2,560個	8.9倍
	理論最大演算性能	34.1TFLOPS	706.6TFLOPS	20.7倍
	最大ベクトル演算性能	29.5TFLOPS	655.4TFLOPS	22.2倍

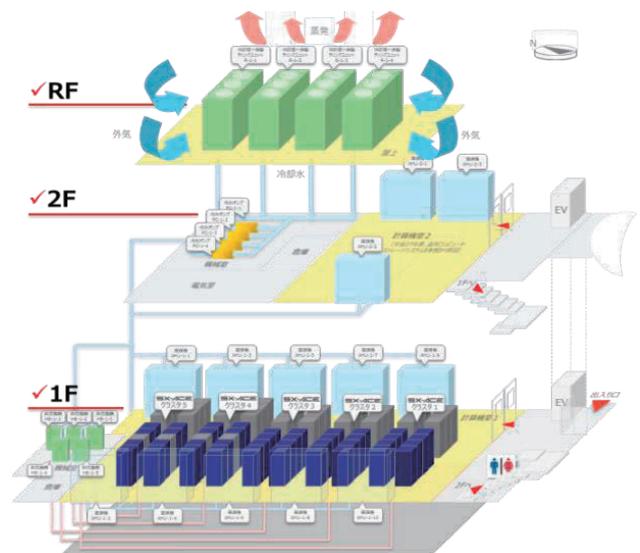


図2 2号館内部構成

### 3.2 冷却塔一体型チリングユニット

図3に示すように、冷却塔一体型チリングユニットは2号館屋上に設置し4基構成で運用している。上部に密閉式冷却塔3台、下部に3台のチラーを内蔵している。冷却塔部は、冷却コイルを流れる冷媒を、送風ファンによって取り込まれた外気と散水槽から散布された水の蒸発潜熱により冷却する。チラー部は、一般的に用いられる圧縮機で冷媒を冷却する。冷媒は15℃で供給するように設定しており、外気の温度が低い期間は冷却塔のみで冷却（フリークーリング）が可能となる。

冬期や朝晩の気温が低い期間は、消費電力の高い圧縮機は停止したまま冷却塔のみの運転となり節電効果は非常に高い。



図3 冷却塔一体型チリングユニット

### 3.3 アイルキャッピング

更なる省エネルギー運用を目指し、1階に設置したSX-ACEではアイルキャッピングを採用している。

アイルキャッピングとは、空調機から供給される冷気とSX-ACEからの高温排気を混流しないようビニールカーテンで分離する方法である。分離することにより、効率的な空冷制御が可能になり、消費電力の削減が期待できる。

図4は、アイルキャッピングを設置したSX-ACEである。冷気の吸入側であるラック前面側を向かい合わせに配置し、2列の向かい合

うラック間の側面と上面をビニールカーテンで仕切る。供給される冷気は、仕切った内部のフリーアクセスフロアの底面から効率的にSX-ACEへ吸入させ、ラック背面からの高温排気は天井面の吸入口から天井裏を介し、空調機へ戻している。



図4 アイルキャッピングを設置したSX-ACE

## 4 システム運用における省エネルギー対策

SX-ACEは、バッチ処理システムNQSIIの拡張スケジューラJobManipulatorに搭載された省電力運転機能と連携することで、効率的な省電力運転を行うことができる。省電力運転機能にはコア縮退とノード縮退の2つがある。本センターではこの2つを組み合わせた省電力運転を行っている。

### 4.1 コア縮退

コア縮退は、OSが最低限動作するのに支障がない状態に稼動コア数を縮退する機能である。1ノード4コアのうち最大3コアが休止状態になる。節電効果はそれほど大きくはないが、休止/復帰のレスポンスが速いため、ジョブの実行状況に応じたきめ細かい省エネルギー運用が可能である。

### 4.2 ノード縮退

ノード縮退は、一定時間ジョブの実行がないノードのDC電源を停止する機能である。

図5に、1クラスター(512ノード)最大定格240kWを100%とした際のコア縮退時、ノード縮

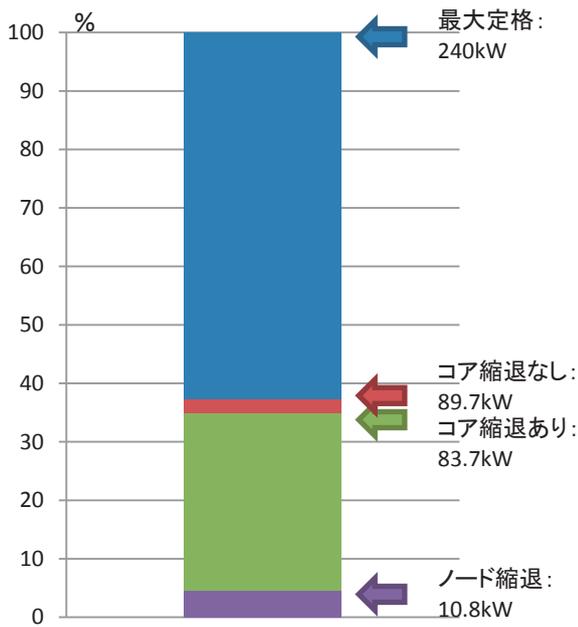


図5 1 クラスタあたりの消費電力

退時の消費電力の内訳を示す。ノード縮退は節電効果が非常に大きく、コア縮退時より消費電力を約 1/10 に抑えることができる。

#### 4.3 ノード縮退運用の見直し

ノード縮退では、DC 電源停止/起動時にハードウェアに高い負荷がかかる。このため、ハードウェアの信頼性を確保するためにはノード縮退の頻度を制御する必要がある。

SX-ACE 導入当初は、ノード縮退から復帰するまでの時間間隔を 4 時間以上あけることでノード縮退の頻度を制御していた。これにより、ハードウェアの信頼性を確保することはできたが、ノード縮退中の 4 時間の間、サービス提供が止まってしまう問題があった。

この問題を解決するために、ハードウェア信頼性確保の要件を洗い直し、図 6 のように、制御方法を「ノード縮退の時間間隔」から「ノード縮退回数 (1 日 5 回まで)」へ見直した。この結果、以前と同等の信頼性が確保できることはベンダーに確認済みである。現在は、この見直しにより利用者へのサービス提供の質を低下させることなく省電力運用を行うことが出来ている。

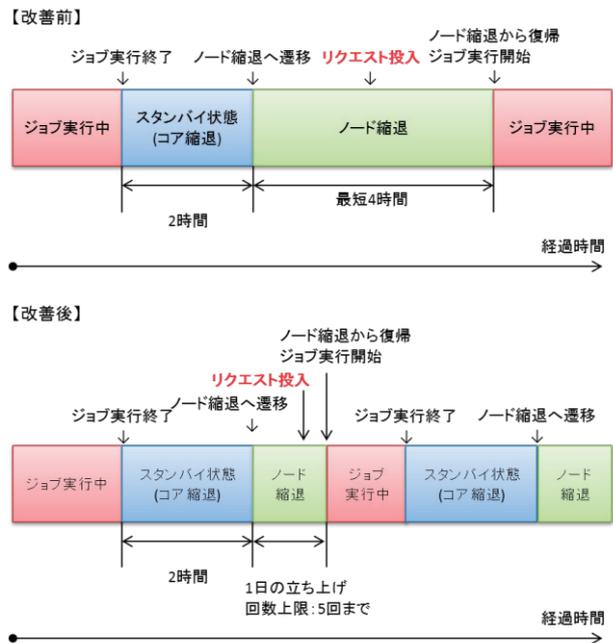


図6 ノード縮退運用の改善前と改善後

## 5 省エネルギー対策の効果

図 7 に、2015 年 1 月から 2016 年 8 月までの外気温、冷却塔一体型チリングユニットの消費電力を示す。2015 年、2016 年とも、夏期 (6 月～9 月) の消費電力が大きい、冬期 (10 月～4 月) は小さい。

3.2 節のとおり、冬期は冷却塔のみで冷却されるフリークーリングとなり節電効果が大きく発揮されている。

図 8 は、SX-ACE のノード状況と各設備の消費電力 (SX-ACE、冷却設備) の瞬時値である。実行中以外のほとんどのノードが、コア縮退状態やノード縮退状態であり、省電力運転機能が効いている。よって、消費電力も縮退数に対応して削減でき、稼動状況に応じた効率のよい省電力運転ができている。また、図 7 より 2016 年 1 月は平均気温 2.4℃と低く、いずれの日もフリークーリングのみの冷却で、冷却設備においても省エネルギーな運転ができている。約 150kW の電力消費は、空調ファンや冷媒ポンプ等の動力機器によるもので、冷却に必要な最低限の電力である。

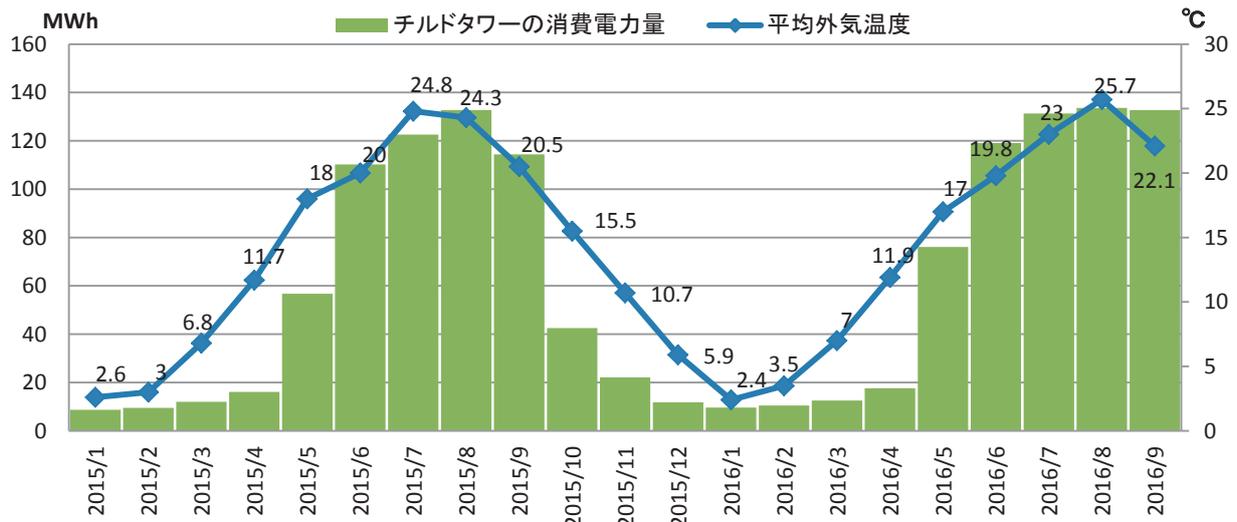


図7 冷却塔一体型チリングユニットの月間消費電力量と平均外気温度

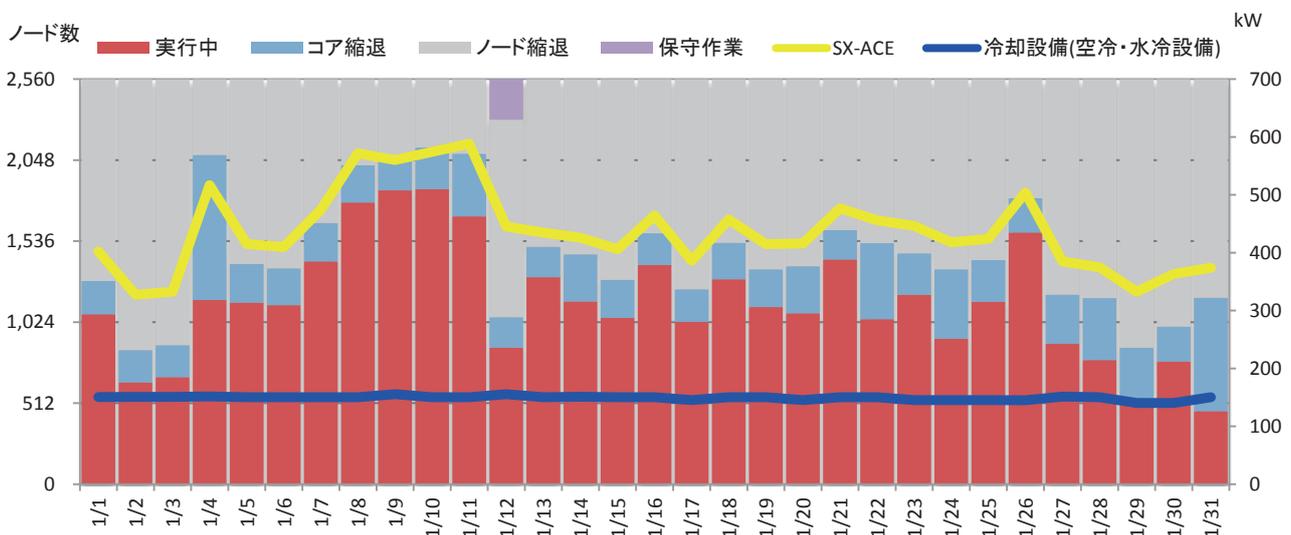


図8 ノード状況と消費電力の瞬時値(2016年1月)

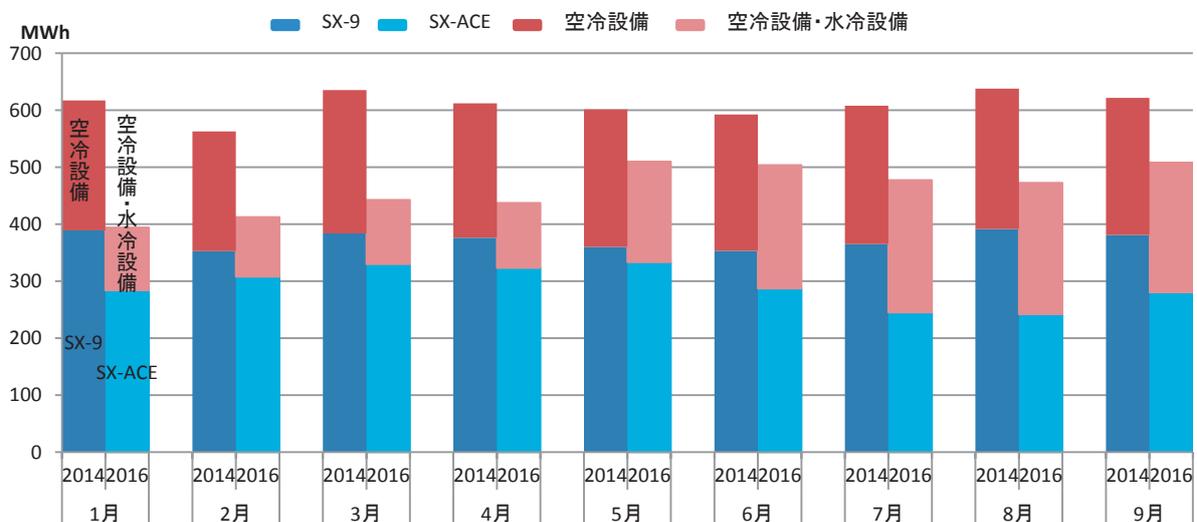


図9 SX-9システムとSX-ACEシステムの消費電力量

図 9 に、SX-9 システムと SX-ACE システムの消費電力量を示す。SX-9 システムは 2008 年 11 月から 2015 年 2 月まで運用していた。その中で SX-9 システムを運用していた最終年と、SX-ACE システムの直近 9 ヶ月間と比較している。消費電力は、すべての月において SX-9 システムを下回っている。SX-ACE システムは SX-9 システムに比べ全体の理論演算性能が 20.7 倍で、1GFLOPS あたりの消費電力が約 1/10 と、単純に 2 倍の電力増加を見込んでいた。しかし、省電力運転の効果もあり逆に減少したことが確認できた。

また、冷却設備においては、夏期は両システムともさほど差は見られないが、冬期はフリークーリングの効果により最大 55%の省電力が実現できている。

## 6 おわりに

フリークーリングが可能な冷却設備およびアイルキャッピングの導入により冷却効率の向上をこれまで以上に高めることができ、大幅な省エネルギー効果を実現できた。また、省電力運転機能を運用に取り入れたことも節電効果へつながっている。

これらの省エネルギー運用をひとつの経験として蓄積し、今後の大規模科学計算システムの運用に活かしていきたい。

## 参考文献

- [1] 東北大学情報部情報基盤課共同利用支援係、共同研究支援係、東北大学サイバーサイエンスセンタースーパーコンピューティング研究部、スーパーコンピュータ SX-ACE の運用について、東北大学サイバーサイエンスセンター大規模科学計算システム広報 Vol.49、No.1、pp.22-27、2016.