

**CYBERMEDIA HPC JOURNAL**  
Cybermedia Center, Osaka University  
No. 5

July, 2015.

# 目 次

<b>特 集</b> .....	1
・サイバーメディアコモンズのオープン .....	3
義久 智樹、阿部 浩和	
・サイバーメディアセンターITコア棟の建設について .....	7
森原 一郎、下條 真司	
・サイバーメディアセンターITコア棟竣工・本館改修披露式典の開催について .....	11
情報推進部情報企画課総務係	
 <b>大規模計算機システム利用者研究報告</b> .....	13
・高速点火レーザー核融合における外部磁場による電子ビームガイディング .....	15
城崎 知至	
・Monopoles in Maximal Abelian gauge, number of zero modes, and instantons .....	21
長谷川 将康、Adriano Di Giacomo	
・光メタ表面における共鳴電磁場の大規模数値計算 .....	27
岩長 祐伸	
・格子上の場の理論におけるエネルギー運動量テンソルの測定 .....	31
伊藤 悅子	
 <b>センター報告</b> .....	35
・2014年度大規模計算機システム利用による研究成果、論文一覧 .....	37
・SC14出展報告 .....	51
・第20回スーパーコンピューティングコンテスト(SuperCon2014)報告および 第21回スーパーコンピューティングコンテスト(SuperCon2015)告知 .....	57
・大規模計算機システム利用者講習会等の紹介 .....	59
・2015年度大規模計算機システム利用講習会 .....	61
・2014年度大規模計算機システム利用講習会アンケート集計結果 .....	62
・2015年度「HPCI(High Performance Computing Infrastructure)利用」の活動状況 .....	70
・2015年度「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」の活動状況 .....	71
・大規模計算機システムQ&A .....	72
 <b>利用規程等</b> .....	77
・規程関係 .....	79
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用規程 .....	79
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用負担額一覧 .....	81
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用相談員内規 .....	83
・附表 .....	84
大規模計算機システム ホスト一覧 .....	84

スーパーコンピュータ SX-ACE 及び PC クラスタのジョブクラス一覧	84
2014 年度大規模計算機システム稼働状況	86
 募 集	87
・大規模計算機システムを利用して行った研究・開発等の記事の募集について	89
・大規模計算機システム利用案内	90

# 特 集

---

・サイバーメディアコモンズのオープン	3
義久 智樹、阿部 浩和 大阪大学サイバーメディアセンター	
・サイバーメディアセンターITコア棟の建設について	7
森原 一郎、下條 真司 大阪大学サイバーメディアセンター	
・サイバーメディアセンター I T コア棟竣工・本館改修披露式典の開催について	11
大阪大学情報推進部情報企画課総務係	



# サイバーメディアコモンズのオープン

義久 智樹、阿部 浩和

大阪大学 サイバーメディアセンター

## 1. はじめに

大阪大学サイバーメディアセンターでは、2015年5月18日（月）、本館1Fにサイバーメディアコモンズをオープンしました（図1）。サイバーメディアコモンズは、学生のためのアクティブラーニングスペースであり、サイバーメディアセンターの多様な情報技術を生かして学生の自主的な学修活動と研究活動を支援します。

## 2. 計画趣旨

大阪大学サイバーメディアセンターではスーパーコンピュータの更新に合わせて、学内の計算機とサーバーを集約できる新計算機棟（ITコア棟）の新築工事と本館の耐震改修工事を進めてきました。「サイバーメディアコモンズ」はこの耐震改修工事においてスーパーコンピュータをITコア棟に移設し、空いたスペースを活用して学生のためのアクティブラーニングスペースとして整備したものです。

大学における教育学修環境は、課題解決型の能動的学習への質的転換と主体的な学びのための学修環境整備が求められており、このような能動的学修空

間の確保は教育改革を進める大阪大学にとっても喫緊の課題です。そこで大学の電子情報基盤を所管し学生の情報教育や言語教育のための教育環境を提供しているサイバーメディアセンターにおいて、学生が自主的に学修でき、多様な情報技術のサポートを受けることができるICTに特色を持つアクティブラーニングスペースとして「サイバーメディアコモンズ」を設置しました。

この「サイバーメディアコモンズ」では、学生の電子情報資源へのアクセスはもとより能動的学修を支援するe-Loungeを設置するとともに、可視化ソフトや大規模立体表示装置、可視化システムから3次元モデルを生成できる3Dプリンターなどを導入し、これらをコアとして学生の自主的な学修活動と研究活動を支援するサポート体制を構築しています。

サイバーメディアコモンズの設置により、大阪大学吹田地区においては少なかった学生の主体的な学修空間が確保されるとともに、サイバーメディアセンターの多様な情報技術のサポートを受けることができ、全学の学術情報資料利用環境の充実に寄与す



図1：大阪大学サイバーメディアセンター本館1Fのイメージ図

ることを目的としています。また高性能可視化システム等により学生の創造的活動を支援するとともに、外国語学習環境の充実などにより、「教養・デザイン力・国際性を身につけた学生の育成」に貢献します。

### 3. 学内コンペの開催

計画に当たって幅広い分野・学年の意見を取り入れるため、2014年7月4日（金）、大阪大学吹田キャンパス工学U1W棟（GSEコモンウェスト）6F講義室にて、二段階公開審査をワークショップ形式で行いました（図2）。その結果さまざまな学部・研究科、また1年生から修士2年までの学生から提案があり、秀逸な提案やユニークな提案を集めることができました。発表当日は各提案のプレゼンテーションに続いて、サイバーメディアコモンズはどうあるべきか、各作品に含まれている考え方や提案のうち計画に活かすべきことは何かについて、多くの学生と関係教職員が議論を行いました。これら学生から寄せられた多くのアイデアや意見を盛り込んでこのスペースを実現しています。

### 4. サイバーメディアコモンズ

学内コンペで寄せられたアイデアや意見に基づいて、サイバーメディアコモンズは大きく分けて6個のスペースで構成されています（図3）。図4に示すロゴもありますが、印刷の都合上、以下では各スペースのロゴを類似のタイプライタ文字で表現しています。また、その他にLobbyに大阪大学MS包括契約ソフトウェアのインストールコーナーがあります。

#### ● Mishite

「みる」をテーマに構成されたビジュアライゼーションラボラトリー。6.5m×2.4mの大画

面で24面フルHDの高精細画像を表示できる世界最高水準の大規模立体可視化システムがあります。本システムを利用したレクチャールームとして利用できます。

#### ● i→Re

「つくる」をテーマに構成されたファブリケーションラボラトリー。可視化システムから3次元モデルを生成できる3Dプリンター等があり、普段は使えない高性能な機器を利用できます。

#### ● Freesp

「であう」をテーマに構成されたフリースペース。学生用に、インターネット接続端子、マルチメディア端末などを設置。学生が自主的に学修できる場として自由に利用できます。

#### ● e-Lounge

「まなぶ」をテーマに構成されたCALLシステム。学生用のマルチメディア端末20台を設置しています。語学学習に利用できます。

#### ● Meeting

「はなす」をテーマに構成されたミーティングルーム。会議やセミナーなどの小規模なミーティングスペースとして利用できます。

#### ● Cafe

「くつろぐ」をテーマに構成されたカフェ。自動販売機とミニキッチンスペースがあります。軽食をとりながらのミーティングにも利用できます。



図2：サイバーメディアコモンズ学内コンペの様子



図3：サイバーメディアモンズの6個のスペースとテーマ

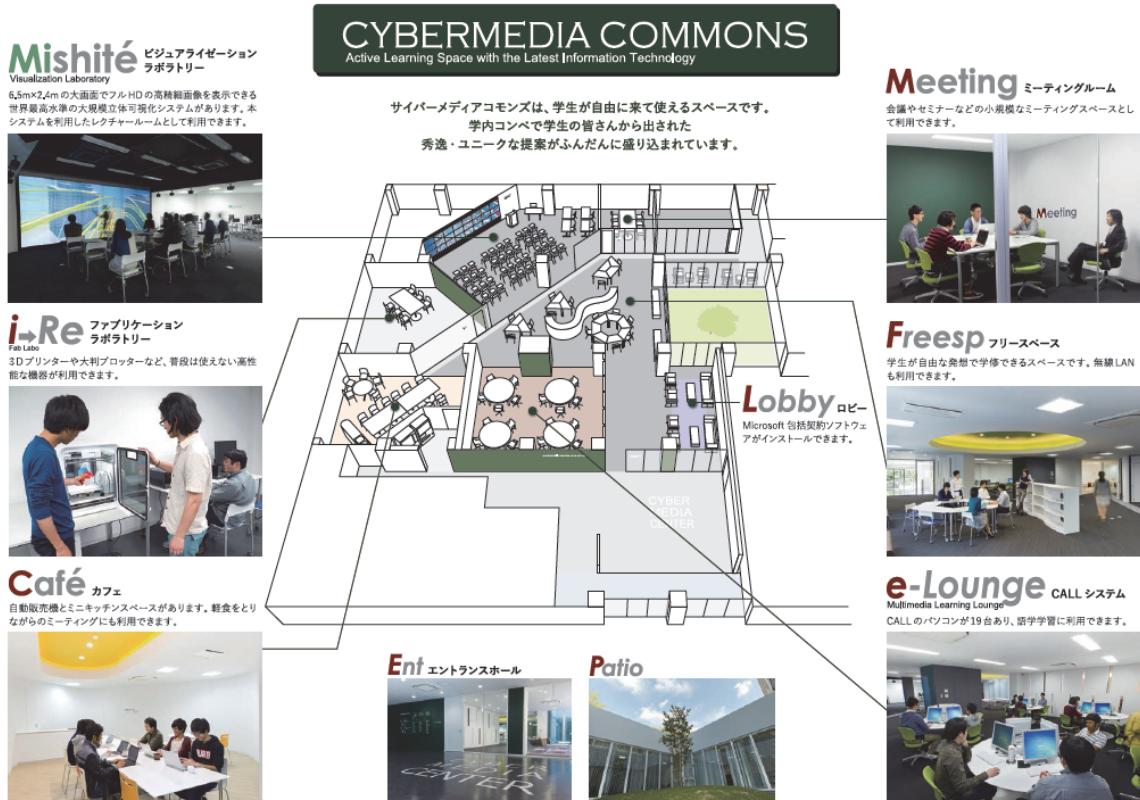


図4：サイバーメディアコモンズのフロアマップ



# サイバーメディアセンターITコア棟の建設について

森原 一郎、下條 真司

大阪大学 サイバーメディアセンター

## 1. はじめに

サイバーメディアセンターITコア棟（以下ITコア棟と略す）は、サーバ室を併設していたサイバーメディアセンタ一本館（以下本館と略す）の耐震改修と全国共同利用設備であるスーパーコンピュータの更改に合わせ、スーパーコンピュータやサーバ等の機器を設置するためのデータセンターとして2013年12月に着工し、2014年9月に竣工した。ITコア棟の建設に当たっては、収容されているスーパーコンピュータやサーバが安全に安定的に運用できることはもちろんのこと、世界的に議論されている環境負荷軽減や昨今の電気料金高騰に配慮し、エネルギー効率の向上を目指した設計を行っている。また、学内で個別管理されているサーバ等の収容を行うハウジングサービスが可能な設備設計を行っており、全学的な環境負荷軽減と運用コスト削減にも貢献することをねらっている。

本稿では、ITコア棟の建物や設備の特徴を紹介するとともに、ITコア棟のエネルギー効率向上の取組みについて述べる。

## 2. ITコア棟の特徴

### 2.1 環境や景観に配慮した建物

2階建て延べ床面積が約2000m<sup>2</sup>で、1階に電気設備

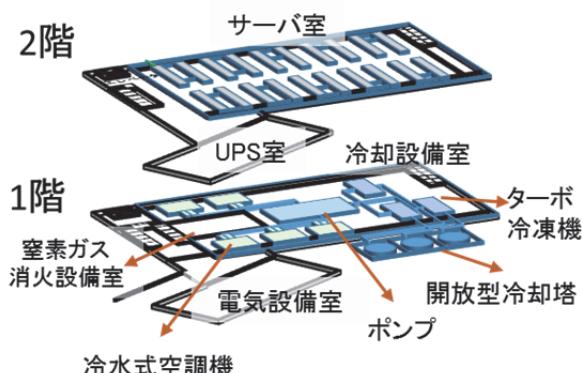


図1 ITコア棟フロア図

室、窒素ガス消火設備室、冷却設備室、2階にサーバ室、UPS（無停電電源装置）室の構成になっている。サーバ室は面積約560m<sup>2</sup>、床耐荷重1.1t/m<sup>2</sup>で、60cm幅の標準サーバラックを240ラック設置可能であり、ハウジングサービスを行うための十分な面積を有している。（図1参照）

消防設備は、安全で環境にも影響のない窒素ガス消火設備を導入している。また、近隣住宅等への騒音対策にも配慮し、機器の消音化はもちろんのこと、配置や植栽も工夫している。さらに、景観にも配慮し、図2の写真のように建物の前面をルーバーで覆っている。

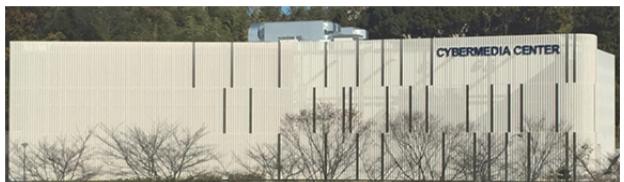


図2 ITコア棟全景

### 2.2 エネルギー効率の良い冷却システム

熱負荷密度が非常に高いスーパーコンピュータを設置するため、水冷と空冷の両方に対応できる強力かつ効率の良い冷却システムを構築している。表1に示すように、水冷設備としてターボ冷凍機3台と開放型冷却塔3台、空調設備として冷水式空調機5台と間接気化冷却空調機2台（屋上に設置）を備えており、水

表1 主要冷却設備の仕様

主要機器	諸元	仕様	台数
ターボ冷凍機	冷却能力	200冷凍トン 703.3kW	×3台
開放型冷却塔	冷却能力	200冷凍トン 798.8kW	×3台
冷水式空調機	最大風量	70,800m <sup>3</sup> /h	×5台
	冷却能力	238kW	
間接気化式空調機	最大風量	36,000m <sup>3</sup> /h	×2台
	冷却能力	164kW	

冷と空冷を合わせて熱負荷 1,300kw 以上に対応できる。

屋外に設置して外気や気化熱を利用することによって水を冷やす開放型冷却塔と 1 階のターボ冷凍機の組合せで冷却効率を向上し、冷水を冷水式空調機とスーパーコンピュータ等の水冷システムに供給する。

空調は、ターボ冷凍機から冷水の供給を受けて空気の冷却を行う 1 階の冷水式空調機に加え、外気と気化熱を利用して空気を冷却する屋上の間接気化冷却空調機で冷却効率を高めるとともに、後述するイルキャッピング方式により空気循環を制御して冷却効率を更に向上している。

また、サーバ室の冷却状況に合わせて冷却機器等の稼働制御をきめ細かく行うため、センサーによる温度

(水、空気)、気圧、冷却機等の運転状況のモニタリングを行って冷却効率を可視化ができるマネジメントシステムを導入している。

## 2.3 安定した電力供給が可能な電源システム

電源設備としては、単相三線 200-100(V) 300kVA、三相三線 200(V) 2,800kVA、三相三線 400(V) 500kVA で、多様なニーズに対応できるようにしている。また、サイバーメディアセンター吹田本館に設置している発電機 (200kV) から配電可能にし、サービス停止の影響が大きい基幹系システムについては、長時間停電時でも自動的に配電回路を切り替えてサービスを継続できるようにしている。

なお、UPS 室は、大規模共用型 UPS や直流電源を将来的に導入することを想定して設けている。

## 2.4 安心安全なセキュリティ管理システム

サーバ室への入退出は静脈認証と IC カードにより管理し、許可・登録された運用担当者だけが入退出できるようにするとともに、入退出の情報を記録して確認できるようにしている。

サーバ室内は多数のシステムで共同利用するため、ラック単位に施錠可能にしてセキュリティを確保するとともに、キー管理の強化と運用の効率化を目的に、認証によって権限のあるキーだけを取り出せるキー管理システムを導入している。また、監視カメラによるサーバ室の遠隔監視を行い、入退室、作業状況、事故

発生等を監視して、一層のセキュリティ確保と安全確保を行っている。

## 3. エネルギー効率向上を目指した取組

### 3.1 IT コア棟の冷却の仕組み

スーパーコンピュータは機器の集積度が高く、ラック当たりの発熱量は、稼働状況にもよるが一般的のサーバに比べ 3 倍以上になる。そのため、発熱量が多く、熱負荷密度が高い CPU を効率の良い水冷で、メモリ等その他の部品や機器は空冷で冷却している。また、熱負荷密度が高いために急激な温度上昇による機器故障の恐れがあるため、冷却条件が一般的のサーバに比べて厳しくなっている。

水冷は、ターボ冷凍機で 12°C の冷水を生成し、熱交換によってスーパーコンピュータの水冷システムに 20°C の冷水を供給する。また、CPU の温度を 30°C 以下に保つため、CPU 冷却後の水温が 26°C 以下になるよう水流量を設定している。

空冷は、ターボ冷凍機から水冷同様に 12°C の冷水が供給され、冷水式空調機によって 19°C の冷気を供給している。また、水冷と同様に、機器周辺の温度を 30°C 以下に保つため、排出される暖気が平均 27°C になるよう送風の流量を設定している。

1 階の冷水式空調機で冷却された空気は 1 階と 2 階の間にある空調用チャンバーに送られ、ここで拡散されてサーバ室に冷気が送られる。(図 3 参照)

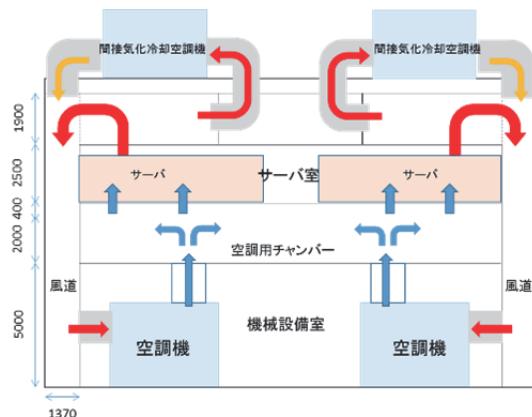


図 3 IT コア棟における空気循環

サーバラックはラック列 2 列を 1 ブロックとして、ブロック毎にコールドアイル（冷たい空気の通路）とホットアイル（熱い空気の通路）に区画し、コールド

アイルとホットアイルで空気が混流しないようにアイルキャッシングを行っている。(図4参照)

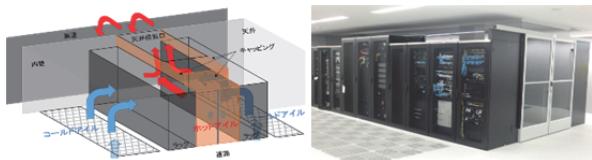


図4 アイルキャッシングの仕組み

ラックに設置されたサーバ等の機器はコールドアイルから吸気し、ホットアイルに排気を行う。ホットアイルの暖気は天井の排気口から排気され、壁の風道を通して1階の空調機に還流される。天井裏の暖気の一部は、屋上の間接気化冷却空調機に吸入され、外気と気化熱により冷まされた空気が風道に戻される。

1階と2階の間の空調用チャンバーと天井裏に大きな空間を確保して風圧の拡散を行うことにより、均等な機器冷却と空調機等のファンの負荷軽減を実現している。

### 3.2 エネルギー効率向上のための課題と対策

データセンターのエネルギー効率を表す指標の一つとして施設全体の消費電力をIT機器の消費電力で割った値 PUE (Power Usage Effectiveness) がある。施設全体の消費電力には、IT機器の他、冷却設備、照明、電源設備などの消費電力が含まれ、PUEの値が小さいほどエネルギー効率良い施設と言える。一般にPUEの値が2.0未満であれば効率が良い施設と言われるが、昨今ではPUEの値が1.1を下回るデータセンターもあり、データセンターにおけるエネルギー効率化の技術は急速に進化している。ITコア棟の建設においては、スーパーコンピュータの冷却条件が厳しいことから、PUE1.3を目標に建物や冷却設備の設計を行ったが、実際の運用においては以下に述べるような様々な課題があり、PUEの値は概算で1.35～1.70と変動が大きく、目標を達成できていない状況である。現在、課題を解決し、目標を達成するため以下の取組を進めている。

#### (1) 実測データに基づく冷却設備のチューニング

冷却機器の初期設定は、サーバや冷却機器の規格データを元に、シミュレーションも交えて決定している

が、機器の配置やサーバの稼働など様々な要因で当初の想定とは異なる結果になっている。そのため、サーバの消費電力、冷却機器の消費電力、水冷機器の温度や流量、空冷機器の温度や風量、サーバ室内の温度や風量などを細かく測定し、それらのデータを元に冷却機器設定のチューニングを進めている。例えば、空調機の消費電力は、理論的には送風量の3乗に比例するため、送風量の削減は消費電力の削減効果が大きい。空調機は5台あり、総風量一定とすると全ての空調機の送風量を同じにするのが最適であるが、後述するように、サーバの配置や稼働状況によってバランス良く冷却するためには、空調機毎に送風量を細かくチューニングする必要がある。また、送風温度や冷却水の温度を変更することにより消費電力を削減することも考えられる。例えば、送風温度を上げると水冷との熱交換の効率が上がり、ポンプやターボ冷凍機の負荷軽減ができる可能性があるが、サーバ等の機器の上限温度が一定だとすると、送風量を上げる必要があるため、これについても細かなチューニングが必要である。

#### (2) サーバ設置状況に合わせた空調のチューニング

現状、スーパーコンピュータ以外のサーバは6ブロック中2ブロックしか設置していないため、空きスペースが多い。フルに設置された場合とは空気の流れが異なり、局所的に高温になるホットスポットや局所的な大きな風圧・負圧(期待する圧力とは逆方向の圧力)が発生して、機器の損壊や冷却効率の大幅な低下を招く可能性がある。そのため、前述の様々な実測データの収集に加え、図5に示すような実測データを元にしたシミュレーションを行って改善方法を検討している。改善は、空調機の送風量のチューニングだけでなく、

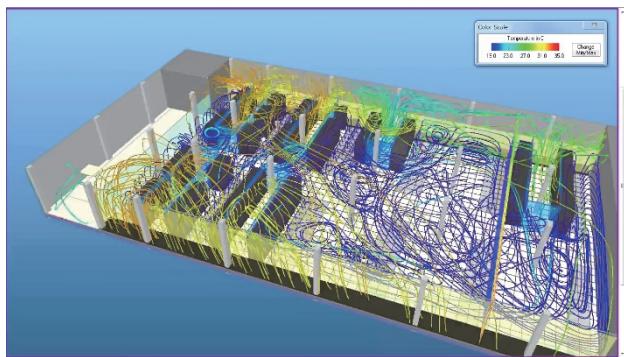


図5 サーバ室の空気の流れと温度のシミュレーション (TileFlowによる)

サーバ室内の風量や気圧を調節するために床開口部や天井開口部の閉鎖／解放、キャッピングの改善なども含まれる。また、今後のサーバ増設によって空気の流れが変化するため、フルにサーバが設置されるまで継続して取組む必要がある。

### (3) サーバ稼働状況に合わせた空調のチューニング

スーパーコンピュータは、自身の消費電力を削減するため、要求される演算の量に応じて、ノードと呼ばれる単位で機器を部分的に休止する仕組みになっている。そのため、演算要求の多少によって、消費電力が大きく変動し、発熱量も変動する。しかし、現状は稼働の細かな予測ができないためフル稼働を想定した一定の冷却を行っており、スーパーコンピュータの稼働が減少すると過冷却の状態になり、大幅に効率が低下する。そこで、スーパーコンピュータのジョブスケジュール情報を元に稼働の予測を行い、センサーからの温度データ等とも合わせて空調機の送風量を調節することを検討している。どの程度の効果が上がるかは未知数であるが、継続的にデータを収集して学習させ、効率向上を目指す予定である。

## 4. おわりに

IT コア棟は 2014 年秋から仮運用開始しているが、本館の改修完成に合わせ、2015 年 5 月 15 日に竣工披露式典を開催し、本格運用を開始した。また、式典に参加された 100 名近い方々に IT コア棟を見学して頂き、期待や励ましの言葉を頂いた。IT コア棟の運用は始まったばかりで手探りの状態であるが、本稿で述べたエネルギー効率向上に向けた取組みを継続的に行い、環境負荷軽減と経費削減に貢献したいと考えている。また、IT コア棟は、100% サーバが収容された状態で最適な設計がされているので、ハウジングサービスの利用拡大を推進してエネルギー効率の一層の向上を図るとともに、学内に分散しているサーバを集約することによって、全学的な環境負荷軽減と経費削減にも貢献したいと考えている。

**謝辞** IT コア棟の建設に関しては、本センターの教職員のみならず施設部をはじめとする本部の様々な方々、文部科学省、日本電気株、(株)鴻池組、高砂熱

学工業株、浅海電気株の多くの方々に多大なご貢献をいただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- (1) 日本データセンター協会、データセンターにおける節電対策マニュアル改訂版 (Ver1.3) ,2012
- (2) 関口芳弘、スーパーコンピュータ「京」を支える建築・設備技術,FUJITSU,63,3,p.247-253
- (3) 市川卓也他、空調システムの最適化を目的とした統合的設計と運転に関する研究（第 5 報）熱源システムの設定変更による省エネルギー効果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2008, p.233-236

# サイバーメディアセンター I Tコア棟竣工・本館改修披露式典 の開催について

大阪大学 情報推進部情報企画課総務係

大阪大学サイバーメディアセンター（西尾章治郎センター長）は、5月15日に同大学にて、I Tコア棟竣工・本館改修披露式典及びレセプションを開催した。式典では、西尾センター長の式辞、恵比須繁之大阪大学理事・副学長の挨拶後、土屋定之文部科学省文部科学審議官及び中村宏東京大学情報基盤センター長から来賓祝辞が行われた。



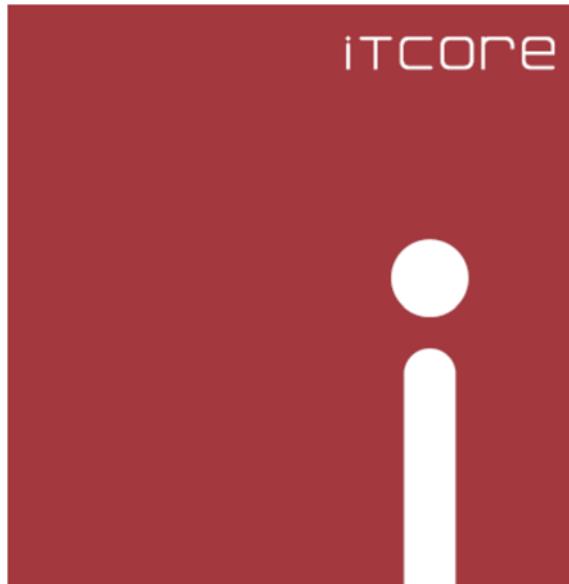
式辞を述べる西尾サイバーメディアセンター長



テープカットの様子

その後、土屋文部科学審議官、榎本剛文部科学省研究振興局参事官（情報担当）、馬場章夫大阪大学理事・副学長、恵比須理事・副学長、西尾センター長によるテープカットが行われ、この度竣工したスーパーコンピュータ等のサーバを集約した「I Tコア棟」及び学修や研究活動のアクティブラーニングスペースとして本館に設置した「サイバーメディアコモンズ」の概要説明及び見学会を行った。なお、レセプションには約80名の企業や大学の関係者が出席し、今後の同センターの発展に向けた意見交換を行う等、大盛況のうちに終了した。

以下は当日配布したパンフレット。



**IT CORE**

**ITコア棟概要**

■ITコア棟概要のねらい  
スマートデータセンターの高いデータセンターを構築し、スーパーコンピュータやPCクラスターに加えて学内公用データ等を収容することで、全学的な基盤をより効率的・柔軟なコスト削減に貢献する。

**建物の概要**

- 地上2階 地下1階
- 1階床面積 495.4m<sup>2</sup> / 2階床面積 1044m<sup>2</sup>
- 階段・吹抜面積 209.4m<sup>2</sup>
- 1階に地下駐車場、蓄電池水槽室、冷却装置室
- 2階にサーバ室とUPS室を配置

**冷却設備の概要**

- 水冷と空冷を併用して熱負荷1,300kWに対応可能
- 冷却装置：データベース機器（3台）、貯蔵型内部機器（3台）
- 空冷装置：海水式冷却塔（5台）、間接化水冷却機器（2台）

**電源設備の概要**

- 三相三線230+100V/300VA
- 三相三線230V/2,400VA
- 三相三線400V/1,600VA
- 3相発電機（200kVA）より停電発生時を応援
- （風冷発電機付込）

**データ機器の概要**

- 高速機 40.8Gbps（全端子フリーフラックモード）
- 電子サブパック（Nexxus）モジュラーパックあたり24ラック
- 全セクションラックモジュラーパックあたり24ラック可能
- スーパーコンピューター（4プロセッサー）
- PCクラスタ（1プロセッサー）
- 事務基幹システム（1プロセッサー）
- ハイブリッドクラウドシステム（4プロセッサー）

**建物イメージ**



【外観】

【2階】

【1階】



ITコア棟のパンフレット (1/2)



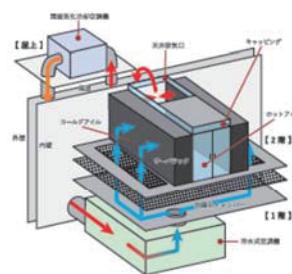
#### 空調の仕組み

1階に位置した2台の冷水式空調機と相応の各部屋上に設置した2台の間接気流式冷暖房機により空調を行う。

- 1階の冷水式空調機は、サーバー冷却機から冷水の供給を受けて空気の冷却を行いう。冷却された空気は1階と2階の間にある空調用チャンバーに送られ、ここで既散熱されてサーバー室に送られる。

- サーバー室はコロクタ室にコールドアイル(冷たい空気の循環)とホットアイル(熱い空気の循環)が混ざり、サーバーはコールドアイルから吸気し、ホットアイルに排気を行つ。なお、コールドアイルとホットアイルで空気が混じれないよう逆流ピッギングを行つ。

- 実験室の新風口からホットアイルの暖気が膨張する、他の空気を通過して1階の冷水式空調機に運搬される。



#### 主要冷却機器の仕様概要

主要機器	露点	セラム	台数
サーバー冷却機	冷却能力 203冷凍トン 704kW		×3台
鋼鉄型冷却塔	冷却能力 203冷凍トン 794kW		×3台
冷水式空調機	流量 70,000 m³/h 冷却能力 234kW		×1台
間接気流式冷暖房機	流量 36,000 m³/h 冷却能力 154kW		×2台

ITコア棟のパンフレット (2/2)



サイバーメディアコモンズのパンフレット (1/2)

**Mishifé ミシファイゼーション**  
Visual Learning Laboratory  
15m×12mの大画面でフルHDの高画質映像を表示できる  
世界最高画質の映像会議システムを導入しています。本  
システムを利用したビデオチャーミーもご用意できます。

**e-Lounge** CALLシステム  
CALLルーム(コワーキング)もあり、迷子空間で利用できます。

**i-Re** フィブリケーション  
データトリー  
3Dプリンターと大型LCDモニタなど、皆様は使える高い  
安心機器が利用できます。

**Lobby** ロビー  
Microsoft公式認定ソフトウェアインストールできます。

**Café** カフェ  
自習室併設のニーズ高涨型スペースがあります。昼食をとり  
ながらのリーディングなど、皆様は使える高い  
安心機器が利用できます。

**Meeting** ミーティングルーム  
会議室やセミナーなどの小規模なミーティングスペースとし  
て利用できます。

**FreeSpace** フリースペース  
皆様が自由な発想で作業できるスペースです。無線LAN  
も利用できます。

Site plan of the Cybermedia Commons building.

Exterior view of the Cybermedia Commons building.

サイバーメディアコモンズのパンフレット (2/2)

大規模計算機システム利用者  
研究報告

---

※「研究報告」では、利用者様が大阪大学サイバーメディアセンターの大規模計算機システムを、どのように利用しておられるのか報告いただいております。今回は、特に活用いただいている方々から頂いた研究報告を掲載します。

- ・高速点火レーザー核融合における外部磁場による電子ビームガイディング ..... 15  
城崎 知至 広島大学大学院 工学研究院
- ・Monopoles in Maximal Abelian gauge, number of zero modes, and instantons ..... 17  
長谷川 将康 Joint Institute for Nuclear Research, Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics  
Adriano Di Giacomo University of Pisa, Department of Physics and INFN
- ・光メタ表面における共鳴電磁場の大規模数値計算 ..... 27  
岩長 祐伸 国立研究開発法人 物質・材料研究機構
- ・格子上の場の理論におけるエネルギー運動量テンソルの測定 ..... 31  
伊藤 悅子 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 理論センター



# 高速点火レーザー核融合における外部磁場による電子ビームガイディング

城崎 知至

広島大学 大学院工学研究院 エネルギー・環境部門

## 1. はじめに

高速点火レーザー核融合とは、直径数 mm の核融合燃料球に 1 MJ 程度の高エネルギー レーザーを一様に照射して、燃料球を固体密度の数千倍に圧縮し、最大圧縮時に  $10^{20} \text{ W/cm}^2$  以上の超高強度短パルスレーザーを一方向から照射して爆縮燃料の一端を瞬時に点火温度まで加熱し、核融合の点火燃焼を実現する方法である。従来の中心点火方式レーザー核融合に比べ、爆縮に対する一様性の要求が緩和されると共に、より少ないレーザーエネルギーで核融合燃焼が実現できることからコンパクトで高効率なレーザー核融合方式として注目され、研究が進められている。この方式の最大の課題は、爆縮燃料をいかに高効率に点火温度まで加熱するかにある。

高効率加熱の実証を目的とし、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターを中心に、高速点火原理実証実験 (Fast Ignition Realization Experiment; FIREX) が進められている[1]。しかし、これまでの統合シミュレーション[2]や実験の詳細解析[3,4]の結果、加熱レーザーから爆縮コアへのエネルギー変換効率(照射したレーザーエネルギーのうち、コアの内部エネルギー增加に寄与した割合)は、現状では 1%に満たないことが示された。

加熱に用いる超高強度レーザーは、波長が  $1\mu\text{m}$  程度であり、プラズマ中に照射した場合、レーザー周波数とプラズマ周波数が等しくなる電子密度( $n_e$ )までしか到達できず(この密度をレーザー臨界密度  $n_{cr}$  という)、相対論的強度では、 $n_{cr} = 10^{21} \sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  であり、コタ密度の数千倍に達する高密度コアにまでは到達できない。このため、照射されたレーザーエネルギーは臨界密度近傍の低密度プラズマとの相対論的相互作用により発生する高エネルギー電子に変換され(一部は高エネルギーイオンにも)、この高エネルギー電子が高密度爆縮コアまでエネルギーを輸送

し、加熱を行う。詳細な解析の結果、これまでの FIREX 実験では、発生する高エネルギー電子のエネルギーが高すぎてコアを突き抜けてしまうこと、また発生時の電子ビームの角度広がりが大きく、一部の電子しかコアに当たらないことが、加熱効率を下げている要因であることが分かった。そこで、電子のエネルギーを下げる方法[5]と大きな発散角を有する電子ビームをコアまでガイドする方法[2, 6-17]が検討されている。我々は、後者の電子ビームガイディング法として、kT クラスの外部磁場を印加する方法[15-17]を提案し、衝突過程を考慮した PIC(Particle in Cell)法による 2 次元相対論電磁粒子シミュレーションにより、ガイディング効果について解析を行っている。本報告では、この解析の一例について述べる。

## 2. 外部磁場によるビームガイディング解析

シミュレーションには、衝突過程を考慮した 2 次元 PIC コード PICLS[18]を用いた。計算条件を図 1 に示す。加熱レーザーを爆縮燃料近傍まで導入するために用いる DLC(ダイアモンドライカーボン)コーンと加熱レーザーの相互作用を想定し、固体密度で完全電離の C をターゲットとした。加熱レーザーのプレパルスの照射等によりターゲット表面により生じるプレプラズマとして、ターゲット表面に指数

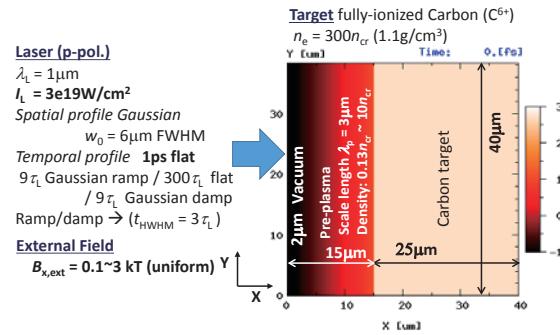


図 1 シミュレーション条件

関数分布(スケール長  $3 \mu\text{m}$ )の低密度プラズマを配置した。このターゲットに対し、FIREX 実験で用いられている加熱用 LFEX レーザー相当の強度 ( $3 \times 10^{19} \text{ W cm}^{-2}$ ) のパルスを一定強度で  $300 \text{ a}$ ( $\text{a}$ はレーザー周期  $3.5 \text{ fs}$  で、照射時間は約  $1 \text{ ps}$ )の間、ターゲットにたいして垂直に照射した。

## 2.1 一様磁場の場合

はじめに、レーザー照射方向( $x$ 方向)に一様磁場を印加した場合の結果について示す。図 2 は  $x$  方向に一様な外部磁場  $B_{x,\text{ext}} = 3 \text{ kT}$  を初期磁場として印加した場合の結果で、 $t = 900 \text{ fs}$  における高エネルギー電子(エネルギー  $E > 100 \text{ keV}$ )のエネルギー密度と磁場の空間分布である。相対論レーザープラズマ相互作用で生成する高エネルギー電子は、非常に大きな角度広がりを有するが、 $3 \text{ kT}$  の一様磁場を印加した場合は、ほとんどの電子は磁力線に捕捉されるため、伝播に伴う横方向の広がりは見られず(図 2(a))、磁場によるガイディングが有効であることがわかる。また、図 2(b)の  $B_x$  の分布をみると、高エネルギー電子ビームの軸中心上では磁場が弱くなり、ビームエッジ領域で強くなっていることがわかる。図 2(c)-(d)は、 $x = 37 \mu\text{m}$  の位置で観測した  $B_x$ ,  $B_z$  ならびに高エネルギー電子のエネルギー密度である。 $B_x$ ,  $B_z$  については衝突過程を無視した場合のシミュレーション

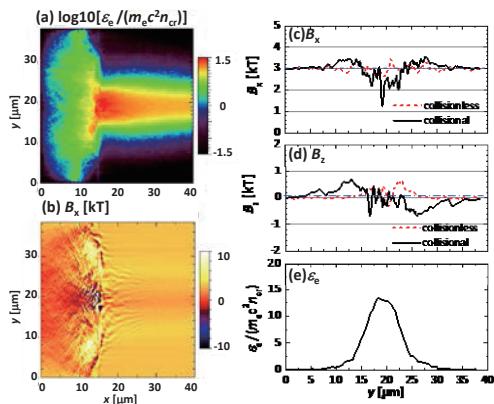


図 2 平行磁場( $B_{x,\text{ext}} = 3 \text{ kT}$ )印加時の時刻  $990 \text{ fs}$  における(a)高エネルギー電子のエネルギー密度  $\epsilon_e$ 、(b) $B_x$  の二次元空間分布と、 $x = 37 \mu\text{m}$  にて観測した(c) $B_x$ 、(d) $B_z$  ならびに(e)  $\epsilon_e$  の  $y$  方向一次元分布。 $\epsilon_e$  は電子の静止質量エネルギー  $m_ec^2$  ( $m_e$ : 電子の静止質量、 $c$ : 光速) に古典的レーザー臨界密度  $n_{\text{cr}}$  を乗じたもので規格化している。磁場強度の単位は kT。

ヨン結果も併せて示す。衝突過程を考慮した場合、 $B_x$  はビーム中心で弱く、ビームエッジで強くなっているが、無視した場合はこのような構造は見られない。また、 $B_z$  についても衝突を考慮した場合は、エッジ領域に電子をビーム中心軸方向に閉じ込める方向に生成していることがわかる。これらは、いずれも衝突過程が重要な役割を示していることを示している。この結果、衝突効果が有効な高密度領域では、ビーム中心で磁場が弱められ、エッジ領域で強められる、”磁気パイプ (Magnetic pipe) ”[16]構造が形成され、高エネルギー電子ビームを効率よくガイドできることが分かった。

図 3 には、 $B_{x,\text{ext}} = 0 \sim 3 \text{ kT}$  の場合に得られた、 $t = 1.05 \text{ ps}$  における  $x = 37 \mu\text{m}$  での高エネルギー電子ビームエネルギー密度の  $y$  方向分布を示す。初期磁場が弱い場合は電子ビームは伝播に伴い横方向に発散しているが、 $B_{x,\text{ext}} > 1 \text{ kT}$  においては、ガイディング効果が表れ始め、 $B_{x,\text{ext}} = 3 \text{ kT}$  ではほぼレーザースポット径と同程度の広がりを維持して伝播している。つまり、LFEX クラス( $3 \times 10^{19} \text{ W cm}^{-2}$ )のレーザーを用いる場合、ビームガイディングに必要な磁場強度は数 kT であることが分かった。

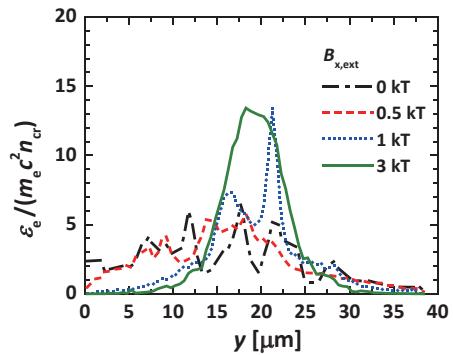


図 3 観測点( $x = 37 \mu\text{m}$ )における  $1.05 \text{ ps}$  での高エネルギー電子ビームエネルギー密度  $\epsilon_e$  の  $y$  方向分布の磁場強度依存性。

## 2.2 集束磁場の場合

FIREX 実験では、レーザー導波路確保用のコーンを付けた球殻(もしくは中実の)燃料ターゲットを用いる。ターゲットに対して、磁場発生用のキャパシター—コイルターゲット[19]を用いて kT クラスの

磁場を印加した上で爆縮する。爆縮過程において磁場は燃料プラズマとともに圧縮されるため、高圧縮燃料コア領域では初期印加磁場より強くなる。よって、電子ビーム発生領域であるコーン内部（磁場は初期印加磁場強度から大きく変わらない）から爆縮コアに向かって磁場が強くなり、磁力線は収束していくような、収束磁場配位となる[20]。このような配位の場合、ミラー効果による高エネルギー電子の反射が生じ、燃料コアまで電子ビームをガイドィングできなくなる恐れがある。この影響を評価するため、初期磁場に収束磁場配位を仮定したシミュレーションを行った。ターゲット並びにレーザー照射条件は前節と同じである。収束磁場については、4本の直線電流を適切に配置し、ビオサバールの法則から静磁場構造を求め、この一部を用いた。磁場構造の一例を図4に示す。直線電流の位置と電流密度を変えることで、ミラー比  $R_{M,10\mu m}$  を変え ( $R_{M,10\mu m} = 4.4 \sim 19.5$ )、シミュレーションを行った。

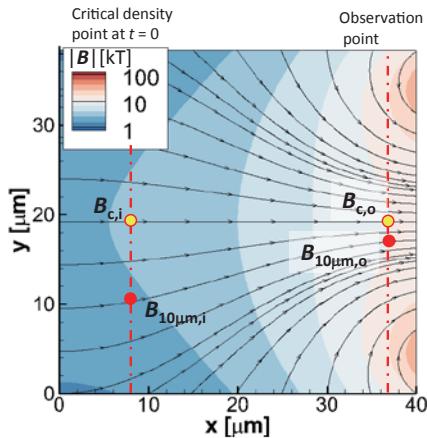


図4 初期収束磁場配位の一例。レーザー臨界密度面におけるビームエッジ(中心軸から  $10\mu m$  離れた点)における磁場強度  $B_{10\mu m,i}$  と、その点から磁力線に沿った観測点( $x = 37\mu m$ )における磁場強度  $B_{10\mu m,o}$  の比によりミラー比  $R_{M,10\mu m} = B_{10\mu m,o}/B_{10\mu m,i}$  を定義。図は  $R_{M,10\mu m}=4.4$  の場合。

$R_{M,10\mu m} = 4.4$  の場合の高エネルギー電子のエネルギー密度と磁場強度の空間分布を図5に示す。収束磁場のため、一部の電子はミラー効果により散乱もしくは反射される。しかし、ビームは収束磁力線に沿ってガイドされ、ビーム軸に向かって集束している様子がわかる。また、磁場分布をみると、平行磁場の場合と同様に、磁気パイプ構造が形成されてい

る。3 kT 平行磁場の場合(図2(e))と比べると、ビー

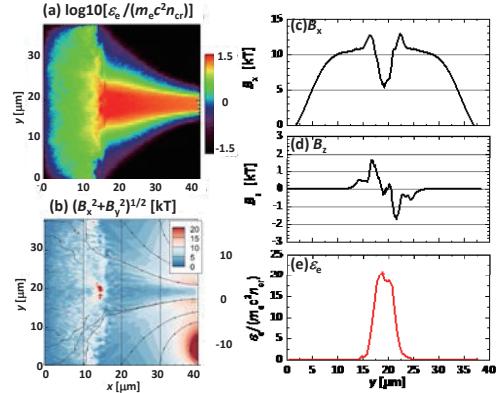


図5 収束磁場( $R_{M,10\mu m} = 4.4$ )印加時の時刻 990 fs における(a)高エネルギー電子のエネルギー密度  $\varepsilon_e$ 、(b) $B_x$  の二次元空間分布と、 $x = 37\mu m$  にて観測した(c) $B_x$ 、(d) $B_z$  ならびに(e)  $\varepsilon_e$  の  $y$  方向一次元分布。

ム軸近傍での高エネルギー電子のエネルギー密度は高くなっている、比較的ミラー比が小さい場合は、ビームガイドィングがより効果的になっていることがわかった。

ミラー比を変えた計算より得られた、観測点( $x = 37\mu m$ )を単位面積当たり通過する高エネルギー電子ビームエネルギーの  $y$  方向分布を、外部磁場なしの場合、3 kT 一様磁場の場合とともに図6に示す。一様 3 kT の場合と比べ、収束磁場の場合、ビームエネルギーのピーク値は高くなり、 $y$  方向の広がりはより狭くなっている。ガイドィング効果を評価するために、レーザーから、観測点( $x = 37\mu m$ )において  $y = 17 \sim 21\mu m$  の  $4\mu m$  幅を通過する前方に進む高エネルギー電子へのエネルギー変換効率  $\eta_{L \rightarrow fe, 4\mu m}$  を評価した。(FIREX 実験ではレーザースポットサイズよりも爆縮コアサイズの方が小さい。このため、高エネルギー電子を観測する領域の幅をレーザースポットサイズ ( $6\mu m$  半値全幅) より小さくとった。) 得られたエネルギー変換効率  $\eta_{L \rightarrow fe, 4\mu m}$  のミラー比  $R_{M,10\mu m}$  依存性を図7に示す。一様 3 kT の場合( $R_{M,10\mu m}=1$ )、変換効率  $\eta_{L \rightarrow fe, 4\mu m}$  は磁場なしの場合に比べ約 2 倍高くなっている。収束磁場でミラー比が比較的小さい場合( $R_{M,10\mu m}=4.4, 8.2$ )、 $\eta_{L \rightarrow fe, 4\mu m}$  はさらに大きくなり、磁場なしの場合の約 3 倍となっている。ミラー比が大きくなると ( $R_{M,10\mu m}=19.5$ )、ビームエネルギーのピーク値は一様磁場の場合より高くなっているが

(図6)、 $\eta_{L \rightarrow fe, 4\mu m}$ は一様3 kTの場合より低くなり、磁場なしの場合の値に近くなっている。これらの結果は、ミラー比が比較的小さな収束磁場( $R_{M,10\mu m} < 10$ )では、効果的に電子ビームをガイドでき、またビ

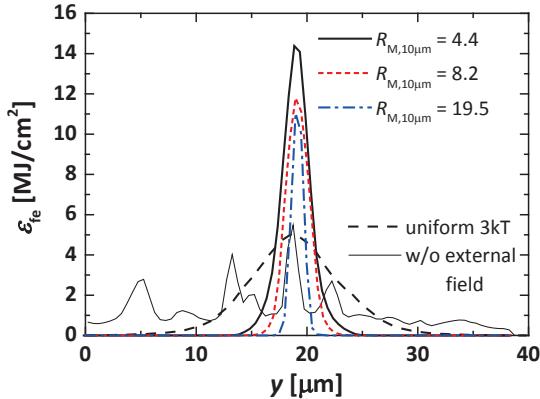


図6 観測点( $x = 37 \mu m$ )を通過する単位面積当たりの高エネルギー電子ビームエネルギーの時間積分値。

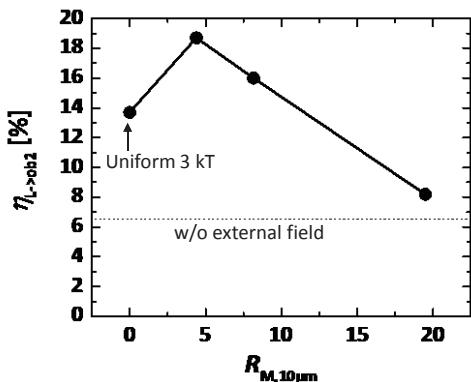


図7 レーザーから、観測点( $x = 37 \mu m$ )において  $y = 17 \sim 21 \mu m$  の  $4 \mu m$  幅を通過する前方方向に進む高エネルギー電子へのエネルギー変換効率のミラー比依存性。磁場印加していない場合の値は点線で示す。

ーム中心軸方向に収束することができることを示している。一方、更にミラー比が大きい場合は( $R_{M,10\mu m} > 20$ )、ガイディング効果をミラー反射効果が上回り、変換効率が低下することが分かった。

### 3. まとめと今後の課題

高速点火原理実証実験 FIREX での加熱効率向上を目的とし、外部磁場による電子ビームガイディング効果について、衝突過程を考慮した2次元相対論電磁粒子シミュレーションにより評価した。強度  $3 \times 10^{19} \text{ W cm}^{-2}$  における相対論レーザープラズマ相互作用で生成する非常に大きな発散角を持つ電子ビ

ムを、比較的ミラー比の低い( $R_{M,10\mu m} \sim 10$ ) kT クラスの収束磁場によりガイド並びに軸方向への収束できることを示した。また、衝突効果を考慮したことにより磁気パイプ構造が形成されることも示された。この磁気パイプ構造の形成は、電子ビーム伝播に伴いビーム中心軸上での磁場が弱められていくことから、より強い収束磁場下でのガイディング並びにビーム収束の可能性があることを示唆している。一方で、ミラー比が 100 を超えるような極端に大きい場合は、ほとんどの電子が高ミラー比領域に到達する前に反射されてしまう。この場合は磁気パイプ構造の形成は期待できず、磁場印加により加熱効率を逆に低下させる恐れがある。外部磁場によるビームガイディングを効率よく行うためには、最大圧縮時のミラー比が極端に大きくならないように、燃料ターゲットに磁場を印加するタイミング並びに印加する磁場の配位の最適化が必要である。今後、この最適化とともに、点火実験クラスに向けたレーザー強度・パルス長依存性の評価が必要である。また、実験によるガイディングの実証が不可欠である。

### 謝辞

本研究の一部は大阪大学レーザーエネルギー学研究センターの共同利用・共同研究(FIREX プロジェクト)、核融合科学研究所の双方向型共同研究(NIFS12KUGK057, NIFS14KNSS054)、JSPA 科研費(25400534)の助成を受けた。

### 参考文献

- (1) H. Azechi and the FIREX Project, *Plasma Phys. Control. Fusion*, **48**, B267, (2006).
- (2) T. Johzaki, et al., *Nucl. Fusion*, **51**, 073022, (2011).
- (3) T. Arikawa, et al., “The diagnostics of the energy coupling efficiency in the Fast Ignition integrated experiment”, to be published in Proc. of IFSA 2013.
- (4) S. Fujioka and FIREX Project Team, *J. Plasma Fusion Res.*, **90**, 679, (2014).
- (5) 小島 完興, 他, ” レーザーパルスコントラストの改善による高速電子の低温化”, 日本物理学会 第70回年次大会, 24aCM-5, 早稲田大学, 2015年3月.

- (6) T. Nakamura, et al., Phys. Plasmas, **14**, 103105, (2007).
- (7) H.-B. Cai, et al., Phys. Rev. Lett., **102**, 245001, (2009).
- (8) A. P. L. Robinson and M. Sherlock, Phys. Plasmas, **14**, 083105, (2007).
- (9) A. P. L. Robinson, et al., Phys. Rev. Lett., **100**, 025002, (2008).
- (10) T. Johzaki, et al., J. Phys. Conf. Ser., **112**, 042048, (2008).
- (11) A. P. L. Robinson, et al., Phys. Rev. Lett., **108**, 125004, (2012).
- (12) A. P. L. Robinson and H. Schmitz H., Phys. Plasmas, **20**, 062704, (2013).
- (13) T. Johzaki, et al., EPJ Web of Conf., **59**, 03010, (2013).
- (14) T. Johzaki, et al., J. Plasma Fusion Res., **89**, 456-461, (2013).
- (15) D. J. Strozzi, et al., Bull. APS, **55**, 68, (2010).
- (16) D. J. Strozzi, et al., Phys. Plasmas, **19**, 072711, (2012).
- (17) A. P. L. Robinson, et al., Nucl. Fusion, **54**, 054003, (2014).
- (18) Y. Sentoku and A. J. Kemp, J. Comput. Phys., **227**, 6846, (2008).
- (19) S. Fujioka, et al., Sci. Rep., **3**, 1170, (2013).
- (20) H. Nagatomo, et al., “Computational Study of Magnetic Field Compression by Laser Driven Implosion”, submitted to Nucl. Fusion.



# Monopoles in Maximal Abelian gauge, number of zero modes, and instantons

Adriano Di Giacomo

University of Pisa, Department of Physics and INFN, Sezione di Pisa, Largo B. Pontecorvo 3,  
56127, Pisa, Italy

Masayasu Hasegawa

Joint Institute for Nuclear Research, Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Dubna, 141980,  
Moscow, Russia

(Dated: April 28, 2015)

## Abstract

In this short contribution we report relations between the Abelian monopoles in the Maximal Abelian gauge, the number of zero modes of Overlap fermions, and instantons. We show that the number of zero modes increase with the total physical length of monopole loops. The number of instantons is directly proportional to the total physical length of monopole loops. These features support the results in Ref. [1].

## 1 Introduction

We study the relations between chiral symmetry breaking, instantons, and monopoles using the computers at the Cybermedia Center and Research Center for Nuclear Physics (University of Osaka), and at the Yukawa Institute for Theoretical Physics (University of Kyoto). In order to investigate the relations, we use Overlap fermions which hold the chiral symmetry in the lattice gauge theory as a tool [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. We have reported our research results as follows [1, 12]:

First, we generate SU(3) quenched configurations. We construct the Overlap Dirac operator from the gauge links, and solve the eigenvalue problems. We then count the zero modes in the spectra of the Overlap Dirac operator as the number of instantons. However, we never observed zero

modes of plus and minus chiralities in the same configuration. We always observe the zero modes which are only plus or minus chiralities in the same configuration; topological charges. Therefore, we find that the number of instantons  $N_I$  is counted from the values of the average square of the topological charges  $\langle Q^2 \rangle$ . We show that the instanton density is consistent with the result of the instanton liquid model [13].

Next, we generate SU(3) quenched configurations adding one pair of monopoles with charges  $m_c = 0, 1, 2, 3, 4$  by the monopole creation operator [14]. We confirm that the additional monopoles make only the long monopole loops, and the length of the monopole loops increases with the monopole charges. Moreover, the number of zero modes, and the number of instantons increase with the monopole charges. Then, we show that one magnetic charge  $m_c = 1$  makes one (+ or -) instanton by comparing with our predictions.

Moreover, we compute the chiral condensate that is an order parameter of chiral symmetry breaking from low-lying eigenvalues and eigenvectors of the Overlap Dirac operator. We show that the additional monopoles induce chiral symmetry breaking.

In this study, first, we diagonalize normal SU(3) quenched configurations by the Maximal Abelian gauge (MAG), and calculate the monopole currents from Abelian link variables after the Abelian projection. The monopole currents make loops because of the conservation law, there-

---

This report is a contribution to the HPC journal.

fore, we measure the total length of monopole loops and evaluate the monopole density [15, 16, 17, 18, 19, 20]. We find that the numbers of zero modes, and the number of instantons increase with the total physical length of monopole loops. These features support the above results [1]. Moreover, the number of instantons is directly proportional to the total physical length of monopole loops.

The contents of this contribution are as follows: First, we shortly review our research. Second, we briefly introduce Abelian monopoles. Last, we evaluate quantitatively the physical length of Abelian monopole loops, the number of zero modes, and instantons.

## 2 Overlap fermions

We use Overlap fermions which hold the chiral symmetry in the lattice gauge theory [2, 3]. In our study, first, we generate SU(3) quenched configurations, and compute the Wilson Dirac operator  $D_W(\rho) = D_W - \frac{\rho}{a}$  from the gauge links. The mass less Wilson Dirac operator is  $D_W$ . The (negative) mass parameter is used  $\rho = 1.4$  in our simulation. The lattice spacing is  $a$ . Then, we compute the sign function  $\varepsilon(H_W(\rho))$  of the Hermitian Wilson Dirac operator  $H_W(\rho) = \gamma_5 D_W(\rho)$  as follows:

$$\varepsilon(H_W(\rho)) \equiv \frac{H_W(\rho)}{\sqrt{H_W(\rho)^\dagger H_W(\rho)}}. \quad (1)$$

Last, the Overlap Dirac operator is defined by the sign function as follows:

$$D(\rho) = \frac{\rho}{a} \{1 + \gamma_5 \varepsilon(H_W(\rho))\} \quad (2)$$

These operations have already been carried out by other groups [5, 7, 9, 8, 11].

The eighty pairs of low-lying eigenvalues and eigenvectors are computed from one configuration using the subroutines of ARPACK. Most of the computation time is spent to solve the eigenvalue problems of the Overlap Dirac operator.

Our computer programs are vectorized and parallelized for the supercomputers (SX-8, SX-9, SX-ACE). For example, the vectorization rate is 99.8% using four cores in one node (SX-ACE). The computation time by use of SX-ACE

is compared the Wilson Dirac operator with the Overlap Dirac operator each the number of zero modes  $N_{Zero}$  in Table 1.

Table 1: The computation time (user time in hour unit) of the Wilson (W) and Overlap (Ov) Dirac operators. One configuration is used each measurement.  $\beta = 6.00$ . SX-ACE is used.

OP	V	$N_Z = 0$	$N_Z = 1$	$N_Z = 2$	$N_Z = 3$
W	$14^3 28$	0.9	0.9	0.9	1.0
	$18^4$	1.3	1.2	1.2	1.6
	$16^3 32$	1.5	1.6	1.7	1.8
Ov	$14^3 28$	7.7	7.7	8.4	9.2
	$18^4$	12.2	16.9	14.0	14.3
	$16^3 32$	23.1	24.0	26.7	22.5

### 2.1 Zero modes, the topological charge, and the topological susceptibility

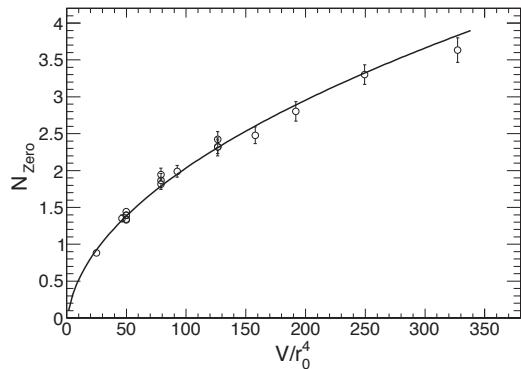


Figure 1: The number of zero modes  $N_{Zero}$  vs the physical volume  $V/r_0^4$ . The figure is been updated (Fig. 3 in Ref. [1]).

The zero modes of plus chiralities are defined as  $n_+$ , and minus chiralities are defined as  $n_-$ . The observed number of zero modes  $N_{Zero}$  in our simulations is averaged by the number of configurations, and increases with physical volume as shown in Fig. 1. The function  $N_{Zero} = \sqrt{A \cdot V/r_0^4} + B$  is fitted. The fitting results are  $A = 4.9(3) \times 10^{-2}$ ,  $B = -0.19(5)$ ,  $\chi^2/d.o.f = 15.3/16.0$ .

The topological charges  $Q$  is defined as  $Q = n_+ - n_-$ . In our simulations there is one relation;  $N_{Zero} = |Q|$ . The average square of topological charges  $\langle Q^2 \rangle$  with the physical volume is shown in Fig. 2. The function  $\langle Q^2 \rangle = A \cdot V/r_0^4 + B$

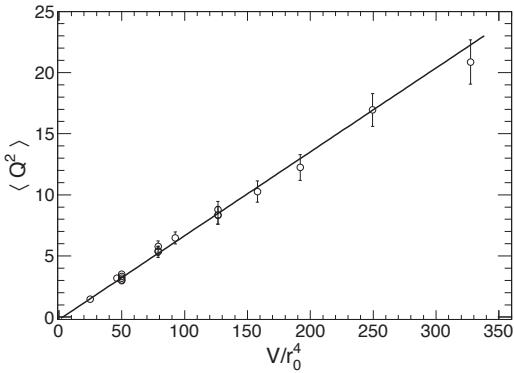


Figure 2: The average square of topological charges  $\langle Q^2 \rangle$ ; the number of instantons  $N_I$  vs the physical volume  $V/r_0^4$ . The figure is been updated (Fig. 4 in Ref. [1]).

is fitted. The fitting results are  $A = 6.9(2) \times 10^{-2}$ ,  $B = -0.2(0.12)$ ,  $\chi^2/d.o.f = 12.4/16.0$ .

The topological susceptibility is computed from the average square of topological charges  $\langle Q^2 \rangle$  divided by physical volume  $V/r_0^4$ . We use from 200 to 895 configurations each measurement. The lattice spacing in our simulations is computed from the analytic function in Ref. [21]. The Sommer scale is  $r_0 = 0.5$  [fm]. We list our results together with simulation parameters in Table II of Ref. [1]. In this contribution, we add new results of  $V = 14^3 \times 28$ ,  $\beta = 6.00$ ,  $N_{conf} = 400$ .

The topological susceptibility in the continuum limit is obtained by fitting a function  $\langle Q^2 \rangle r_0^4/V = A + B(a/r_0)^2$  as in Ref. [7]. We fix the physical volume  $V/r_0^4 = 49.96$ , and extrapolate the topological susceptibility in the continuum limit from the five data points. Our result of the topological susceptibility is

$$\chi = (1.86(6) \times 10^2 \text{ [MeV]})^4. \quad (3)$$

This result is consistent with the numerical simulations of Ref. [8] and Ref. [9]. Moreover, these results are consistent with the theoretical expectation [22, 23]. Therefore, the computations of Overlap Dirac operator are appropriately carried out.

## 2.2 Instantons

We want to count the number of instantons  $N_I$  from the number of zero modes  $(n_+ + n_-)$ , because there is the

Atiyah-Singer index theorem [24]. However, we never observed the zero modes of the plus chiralities  $n_+$  and minus chiralities  $n_-$  from the same configuration at the same time. The observed zero modes are **net** numbers of the zero modes  $n_+ - n_-$  (topological charges). Therefore, we compute the number of zero modes  $(n_+ + n_-)$  by analytical computations, and we find that the number of instantons is obtained as the average square of the topological charges ( $N_I = \langle Q^2 \rangle$ ). We compute the instanton density  $\rho_i$  by fitting a linear function to the results of the average square of topological charges  $\langle Q^2 \rangle$  as shown in Fig. 2. The instanton density is

$$\rho_i = 8.3(3) \times 10^{-4} \text{ [GeV}^4\text{].} \quad (4)$$

This result is consistent with the result of the instanton liquid model [13].

## 2.3 Abelian monopoles in MAG

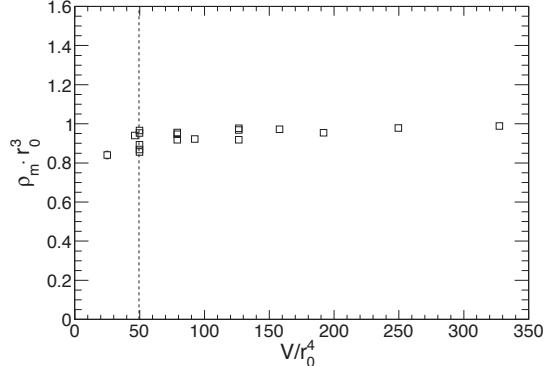


Figure 3: The monopole density  $\rho_m \cdot r_0^3$  vs the physical volume  $V/r_0^4$ . The dotted line indicates  $V/r_0^4 = 49.96$ .

We perform the computations as in Ref. [20]. First, we iteratively diagonalize the non-Abelian link variables in Maximal Abelian Gauge (MAG) using the Simulated Annealing algorithm in order to prevent the effects on Gribov copies. The number of iterations is 20. Then we extract Abelian link variables holding the  $U(1) \times U(1)$  symmetry by the Abelian projection from the non-Abelian link variables. Next, we define the monopole currents  $k_\mu^i(n)$  as in Ref. [18, 19].

The monopole currents obey the conservation law  $\sum_i k_\mu^i(n) = 0$ . Therefore, the monopole currents form loops.

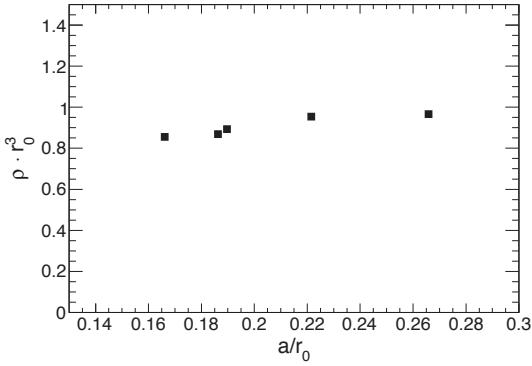


Figure 4: The monopole density in the continuum limit. The physical volume is  $V/r_0^4 = 49.96$ , and five results of  $\beta = 5.81, 5.90, 5.99, 6.00, 6.07$  are used.

The physical monopole density is computed by summing all of the indexes of monopole currents as follows [20]:

$$\rho_m r_0^3 = \frac{1}{12V} \sum_i \sum_{n,\mu} |k_\mu^i(n)| r_0^3. \quad (5)$$

In this study we define the total physical length of monopole loops as follows:

$$l_m/r_0 \equiv \frac{1}{12} \sum_i \sum_{n,\mu} |k_\mu^i(n)| / r_0. \quad (6)$$

This definition is different from Ref. [17] in order to evaluate the monopole density by fitting a function. The simulation parameters of the lattices ( $\beta$  and  $V$ ) are the exactly same as the previous section 2.1.

The values of the monopole density and the length of monopole loops are the dependent on the choice of the gauges. However, several studies in quenched SU(2) without fixing the gauges are done [25, 26].

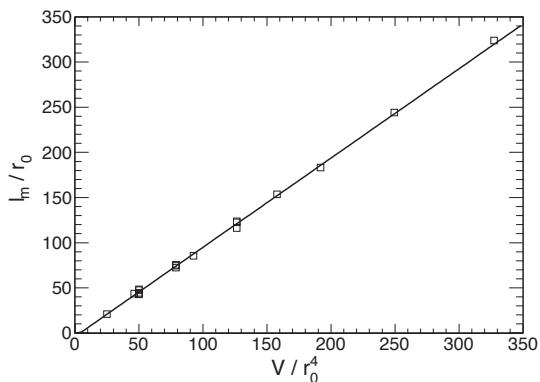


Figure 5: The total physical length of monopole loops  $l_m/r_0$  vs the physical volume  $V/r_0^4$ .

First, we check effects of the monopole density on the physical volume as shown in Fig. 3. The results does not have large finite volume effects. Next, we check the monopole density in the continuum limit from five data points of  $V/r_0^4 = 49.96$  as shown in Fig. 4.

The total physical length of monopole loops is in direct proportion to the physical volume as shown in Fig. 5. The function  $l_m/r_0 = A \cdot V/r_0^4 + B$  is fitted. The fitting results are  $A = 0.989(4)$ ,  $B = -4.0(3)$ , and  $\chi^2/d.o.f. = 140.3/16.0$ . The value of  $\chi^2/d.o.f.$  is large, because the errors of the data are too small. We evaluate the monopole density by the same way as the instanton density. The proportion  $A$  becomes the monopole density  $\rho_m \cdot r_0^3$ , and the value is consistent with Ref. [20]. We evaluate the monopole density as

$$\rho_m = 6.08(2) \times 10^{-2} [\text{GeV}^3]. \quad (7)$$

## 2.4 Abelian monopoles, number of zero modes, and instantons

Lastly, we check the relations between the Abelian monopoles, the number of zero modes, and instantons. We quantitatively evaluate the relations by fitting the same functions as in Fig. 1, and Fig. 2.

The number of zero modes  $N_{\text{Zero}}$  increases with the square root of the total physical length of monopole loops  $l_m/r_0$  as shown in Fig. 6. The function  $N_{\text{Zero}} = \sqrt{A \cdot l_m/r_0} + B$  is fitted. The fitting results are  $A = 4.7(3) \times 10^{-2}$ ,  $B = -8(5) \times 10^{-2}$ , and  $\chi^2/d.o.f. = 10.7/16.0$ . This behavior is the same as Fig. 1.

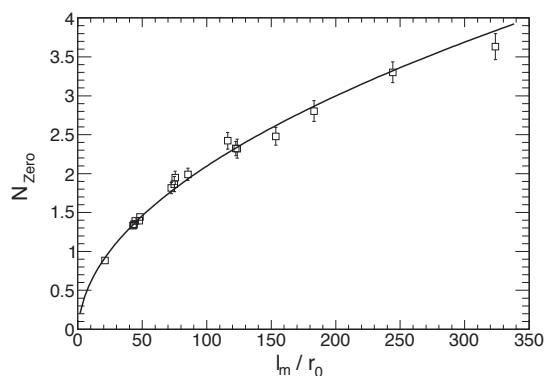


Figure 6: The zero modes  $N_{\text{Zero}}$  vs the total physical length of monopole loops  $l_m/r_0$ .

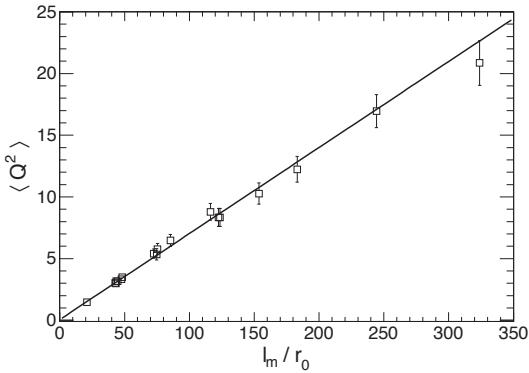


Figure 7: The number of instantons  $N_I$  ( $\langle Q^2 \rangle$ ) vs the total physical length of monopole loops  $l_m/r_0$ .

The number of instantons  $N_I$  increases with the total physical length of monopole loops  $l_m/r_0$  as shown in Fig. 7. The function  $\langle Q^2 \rangle = A \cdot l_m/r_0 + B$  is fitted. The fitting results are  $A = 7.0(2) \times 10^{-2}$ ,  $B = 0.05(0.12)$ , and  $\chi^2/d.o.f. = 6.4/16.0$ . The intercept  $B = 0$ , and  $\chi^2/d.o.f. = 6.4/16.0$ , therefore, the number of instantons is in direct proportion to the total physical length of monopole loops.

### 3 Summary and conclusions

First, we briefly review our study. Next, we use SU(3) quenched configurations that are diagonalized in Maximal Abelian gauge, and compute the monopole density and the total physical length of monopole loops from Abelian link variables.

The total physical length of monopole loops is directly proportional to the physical volume. The number of zero modes increases with the square root of the total physical length of monopole loops. The number of instantons is in direct proportion to the total physical length of monopole loops.

Incidentally, we have reported the results that the number of zero modes, and the number of instantons increase with the length of monopole loops increasing [1].

The results in this contribution support this feature.

### 4 Acknowledgments

We really appreciate the computer resources and technical supports by the Research Center for Nuclear Physics and

the Cybermedia Center at the University of Osaka. And also, we use SR16000 at the Yukawa Institute for Theoretical Physics at the University of Kyoto.

### References

- [1] A. Di Giacomo, and M. Hasegawa, Phys. Rev. **D 91** (2015) 054512.
- [2] P. H. Ginsparg, and K. G. Wilson Phys. Rev. D **25** (1982) 2649.
- [3] N. Neuberger, Phys. Lett. B **427** (1998) 353.
- [4] S. Capitani, C. Göckeler, R. Horsley, P. E. L. Rakow, and G. Schierholz, Phys. Lett. B **468** (1999) 150.
- [5] R. G. Edwards, U. M. Heller, J. Kiskis, R. Narayanan, Phys. Rev. D **61** (2000) 074504.
- [6] L. Giusti, C. Hoelbling, M. Lüscher, and H. Wittig, Comput. Phys. Commun. **153** (2003) 31.
- [7] L. Giusti, M. Lüscher, P. Weisz, and H. Wittig, J. High Energy Phys. **11** (2003) 023.
- [8] L. Del Debbio, and C. Pica, J. High Energy Phys. **02** (2004) 003.
- [9] L. Del Debbio, L. Giusti, and C. Pica, Phys. Rev. Lett. **94** (2005) 032003.
- [10] D. Galletly, M. Gurtler, R. Horsley, H. Perlt, P. E. L. Rakow, G. Schierholz, A. Schiller, and T. Streuer, Phys. Rev. D **75** (2007) 073015.
- [11] E.-M. Ilgenfritz, K. Koller, Y. Koma, G. Schierholz, T. Streuer, and V. Weinberg, Phys. Rev. D **76** (2007) 034506.
- [12] A. Di Giacomo, and M. Hasegawa, arXiv: 1412.2704.
- [13] E. V. Shuryak, Nucl. Phys. **B203** (1982) 93; Nucl. Phys. **B203** (1982) 116; Nucl. Phys. **B203** (1982) 140.
- [14] C. Bonati, G. Cossu, M. D'Elia, and A. Di Giacomo, Phys. Rev. D **85** (2012) 065001.
- [15] G. 't Hooft, Nucl. Phys. **B190** (1981) 455.
- [16] T. A. DeGrand, and D. Toussaint, Phys. Rev. D **22** (1980) 2478.
- [17] A. S. Kronfeld, G. Schierholz, and U.-J. Wiese, Nucl. Phys. B **293** (1987) 461.
- [18] F. Brandstaeter, G. Schierholz, and U.-J. Wiese, Phys. Lett. B **272** (1991) 319.
- [19] M. I. Polikarpov, and K. Yee, Phys. Lett. B **316** (1993) 333.
- [20] V. G. Bornyakov, H. Ichie, Y. Koma, Y. Mori, Y. Nakamura, D. Pleiter, M. I. Polikarpov, G. Schierholz, T. Streuer, H. Stüben, and T. Suzuki, and DIK collaboration, Phys. Rev. D **70** (2004) 074511.
- [21] S. Necco, and R. Sommer Nucl.Phys. **B622** (2002) 328.
- [22] G. Veneziano, Nucl. Phys. **B159** (1979) 213.
- [23] E. Witten, Nucl. Phys. **B156** (1979) 269.
- [24] M. F. Atiyah, and I. M. Singer, Bull. Amer. Math. Soc. **69** (1963), 422-433.
- [25] T. Suzuki, K. Ishiguro, Y. Koma, and S. Toru, Phys. Rev. D **77** (2008) 034502.
- [26] T. Suzuki, M. Hasegawa, K. Ishiguro, Y. Koma, and S. Toru, Phys. Rev. D **80** (2009) 054504.



# 光メタ表面における共鳴電磁場の大規模数値計算

岩長 祐伸

物質・材料研究機構

## 1. はじめに

2000 年以降、ナノテクのキーワードのもとに人工ナノ構造の研究が盛んになって 15 年が経つ。物理、化学、バイオなどの広い分野で多様なナノテクノロジーが進展してきたが、その 1 つにメタマテリアルと名付けられた人工的なサブ波長周期構造で電磁波を制御する研究分野がある。電磁波が光である場合を考えると、その波長は空气中で 500 nm 程度であるから、サブ波長は 500 nm 以下、典型的には数分の 1 程度を意味するので、人工ナノ構造で光を制御することになる。この精度で人工構造を作製するためには電子線描画リソグラフィ法と同程度以上のナノ加工精度が必要となり、3 次元的に集積することは非常に困難である。したがって、数層程度の構造で光メタマテリアルを作製することが現実的になる。この光の波長より薄いメタマテリアル構造は表面構造と見なすこともでき、メタ表面と呼ばれる。

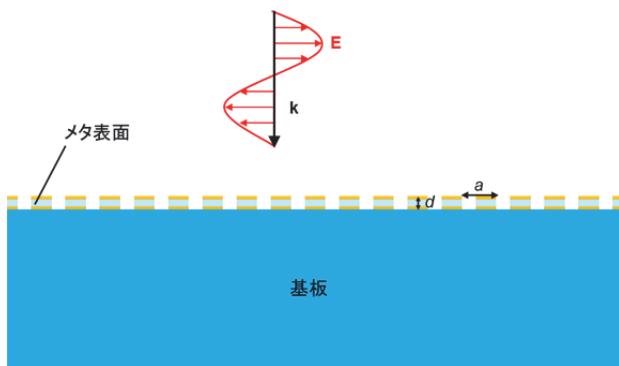


図 1：基板上に作製されたメタ表面と照射される電磁波（光）の波長の関係。厚さ  $d \ll$  波長。周期  $a$  はサブ波長から波長程度が想定される。メタ表面は金属（金色）と絶縁体（水色）からなることを模式的に示している。

第一原理的に考えると、電磁波と電磁波に対する人工ナノ構造の応答は量子電磁気学の範疇に入るが、実用的な計算としては古典電磁気学に基づいて計算を実行すれば、実験データを再現できる場合がほとんどである。逆に、量子電磁気学的な効果が明示的に確認されたメタマテリアルおよびメタ表面はこれまで報告されたことがない。したがって、電磁波の

対するマクスウェル方程式を人工ナノ構造に適用して解くことが基本方針となる。図 1 に概念図を示すように人工ナノ周期構造は不均一な電磁波媒体であるから、境界条件および電磁波の固有モードが複雑になる。このため数値計算が大規模化し、大きな計算量とメモリを必要とすることになる。筆者はこの 10 年近く人工ナノ周期構造における電磁場を数値的に高精度に求めることを行ってきた。なお、参考文献[1]ではこれまでの適用例や MPI 化による高速化などの進展が年次順に報告してきた。

## 2. 計算アルゴリズム：RCWA 法+散乱行列法

周期構造におけるマクスウェル方程式の解法として、空間座標  $\mathbf{r}$  と時間  $t$  からフーリエ変換

$$(\mathbf{r}, t) \rightarrow (\mathbf{k}, \omega) \quad (1)$$

によって、波数ベクトル  $\mathbf{k}$  と周波数  $\omega$  に変数変換するのが便利である。図 1 にも示しているように平面波は波数ベクトル  $\mathbf{k}$  で向きが指定され、その電場ベクトルも

$$\mathbf{E} \propto \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - i\omega t) \quad (2)$$

と表されるからである。マクスウェル方程式をフーリエ変換表示することで、方程式をフーリエ係数の行列方程式に書き換えることができる点も数値計算を実行するうえでの利点である。

しかしながら、金属を含むナノ構造では単純にフーリエ変換しても数値計算が収束しないことが 1970 年代から 1990 年代後半までの 30 年間近くにわたる難題であった。その解決法が最終的に示されたのは 1997 年である[2]。手短にその方法について述べる。例として、マクスウェル方程式の 1 つ

$$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = -\frac{\partial[\mu_0 \mu \mathbf{H}(\mathbf{r}, t)]}{\partial t} \quad (3)$$

について周期構造が  $xy$  面に平行に広がっているとして、式(3)の  $y$  成分を  $E_z$  を消去して書き下すと、

$$\partial_z E_x = i\omega\mu_0 H_y - \frac{1}{i\omega\epsilon_0} \partial_x \left[ \frac{\partial_x H_y - \partial_y H_x}{\epsilon(x,y)} \right] \quad (4)$$

となる。ここで  $\mathbf{H}$  は磁場ベクトル、 $\mu_0$  は真空中の透磁率、 $\mu$  は物質によって決まる非透磁率（本稿では 1 に等しい）、 $\epsilon_0$  は真空中の誘電率、 $\epsilon$  は非誘電率で周期構造を反映して  $x$  と  $y$  の関数である。各周期層内において電磁場成分は

$$E_x(x,y,z) = \sum_{m,n} E_{xmn}(z) \exp(i\alpha_m x + i\beta_n y) \quad (5)$$

のように周期関数  $\exp(i\alpha_m x + i\beta_n y)$  を使って表現でき、 $E_{xmn}$  がフーリエ係数である。ただし、 $x$  方向の周期を  $a_x$ 、 $y$  方向の周期を  $a_y$  とすると、整数  $m$  と  $n$  を用いて  $\alpha_m = k_x + 2\pi m / a_x$ ,  $\beta_n = k_y + 2\pi n / a_y$  である。なお、図 1 では 3 層の周期積層構造からなっている。式(4)を逆積ルール[2]を用いて正しくフーリエ変換表示すると、

$$\frac{\omega\epsilon_0}{i} \partial_z E_{xmn} = \frac{\omega^2}{c^2} H_{ymn} - \alpha_m \sum_{j,l} [\epsilon]^{-1}_{mn,jl} (\alpha_j H_{yjl} - \beta_j H_{xjl}) \quad (6)$$

となる ( $c$  : 真空中の光速)。式(6)で不連続関数  $1/\epsilon$  を行列化したものではなく、 $\epsilon$  で行列化した後、逆行列を取っていることが分かる。これが逆積ルール (Inverse Fourier factorization) と呼ばれる式変形である。数学的には単純なフーリエ変換が各点収束であるのに対して、逆積ルールを使うと概ね一様収束となる。このため、数値計算における収束速度に格段の向上が見られる。余談ながら、数理現象を記述する方程式において、不連続な係数（物質定数など）が物理量と積になって現れることはよくある。したがって、電磁場の方程式に限らず、この逆積ルールは有効であると考えられる。

さて、式(6)のようなフーリエ係数表示のマクスウェル方程式をまとめると次式のようになる。

$$\partial_z \begin{pmatrix} \langle E_x \rangle \\ \langle E_y \rangle \\ \langle H_x \rangle \\ \langle H_y \rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & F \\ G & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \langle E_x \rangle \\ \langle E_y \rangle \\ \langle H_x \rangle \\ \langle H_y \rangle \end{pmatrix} \quad (7)$$

ただし、電磁場のフーリエ係数ベクトルを  $\langle \bullet \rangle$  と表示している。式(7)は各周期層における電場固有モード

ドを解くための固有方程式であり、数値計算に適した行列形式に書き換えられている。式(7)の固有ベクトルが電磁固有モードの電磁場分布を表す。実際の数値計算では式(5)の Floquet-Fourier 展開を数百次までとることになるため、式(7)右辺の行列は最終的に  $10000 \times 10000$  次の一般複素数行列となる。このため、大きな計算量とメモリが必要となるのである。実際の計算では式(7)をさらに変形してサブ行列  $F$  と同じ次数の固有値方程式に縮約して計算量を落とすことになるが、ここでは割愛する。

一般的のメタ表面は周期層の任意の積層構造からなるため、各周期層の固有モードを数値的に発散しないように散乱行列アルゴリズム[3]を使って、入射波に対するメタ表面としての応答を算出することになる。この際に多数の行列演算が生じる。従って、大規模数値計算を実行する上で行列演算を得意とするベクトル型のスーパーコンピュータが望ましいこともあり、筆者は SX-9 を使用してきた。

この節で述べた方法は Rigorous Coupled-Wave Analysis (RCWA) 法または Fourier Modal Method と呼ばれている。散乱行列アルゴリズムと組み合わせることで汎用的に周期構造を数値できるソフトウェアとして市販されている。直接比較したことはないものの種々の情報を総合すると、筆者が行ったスーパーコンピュータ上で実行はメモリの制約が少なく (SX-9 では最大 1 TB が使用可能だった)、大規模かつ高精度、高速に実行できる長所があった。

### 3. メタ表面の研究例

この節では、前節の方法を実際にメタ表面に適用した最近の結果を紹介する。

メタ表面ではわずか数層で光を完全に吸収できる構造を設計することができる。図 2 は厚さ 250 nm 程度のシリコン (Si) 平板に穴開けナノ加工[4]を施した後、金 (Au) を垂直蒸着して作製するメタ表面の模式図を示している[5-7]。円孔の周期は 410.5 nm として、円孔直径は 190 nm から 300 nm の間でナノ加工上の工夫によって制御した[7]。設計の意図としては Si 平板に円孔の開いたフォトニック結晶平板と上下層にある金のナノ構造が組み合わさることで、

電磁固有モードもフォトニックモードとプラズモンモードが混合することで新しい共鳴状態が現れることを期待した。

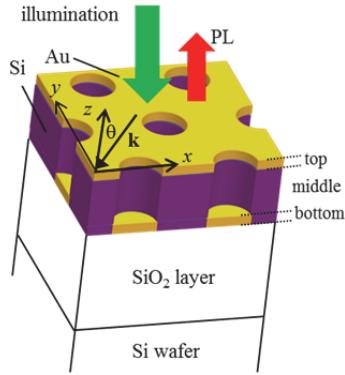


図2：メタ表面概念図。Si平板（厚さ250 nm程度）に穴開けナノ加工した後、Au蒸着によって作製した。図は[7]から引用。

このメタ表面は反射光のみが生じる反射型表面であり、反射スペクトルを図3(a)(b)に示している（a:測定、b:数値計算）。図中の1~6はそれぞれ1次から6次の共鳴モードを示している。スペクトル形状の特徴が測定と実験でよい一致を示している。

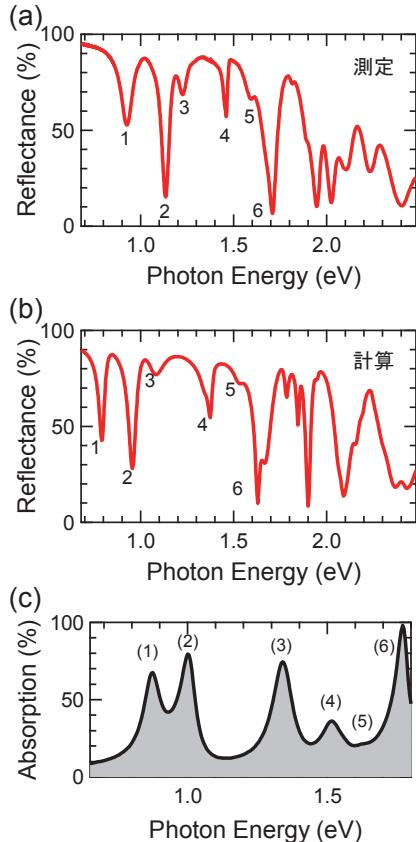


図3：(a) 測定反射スペクトル。(b) 数値計算による反射スペクトル。(a), (b)は[6]から引用。(c) 光吸収スペクトル。

反射率 $R$ から光吸収率 $A$ を

$$A = 100 - R \quad (\%) \quad (8)$$

によって求めることができ、数値計算による光吸収スペクトルを図3(c)に示している。後出の実験に対応してSi平板の厚さを200 nmとした。光吸収が80%を超える共鳴モードが複数あり、とくに6次モードは100%に近い光吸収率を示している。

図4は6次の共鳴電場分布を示している。図2のxz断面を見ている。入射光をx偏光としているので、(a)  $E_x$ 成分、(b)  $H_y$ 成分のスナップショットを示している。共鳴的な電場は円孔と底のAu円板に局在し、共鳴磁場は高次のフォトニック導波路モードの特徴を有している。このようにプラズモン共鳴とフォトニック導波路モードが混成した新しい電場モードがこのメタ表面の特徴である[6]。

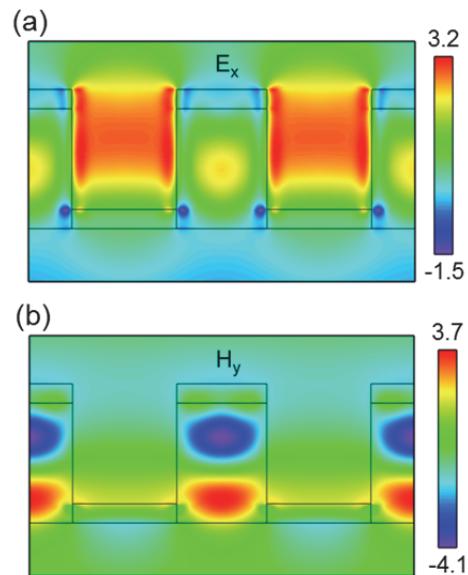


図4：6次の共鳴電場分布（スナップショット）。(a)  $E_x$ 成分。(b)  $H_y$ 成分。入射光は  $E_x=1, H_y=1$  と設定した。(a), (b)は[6]から引用。

図2のメタ表面上における高い光吸収率のモードは同時に高放射率モードでもある（キルヒホッフの法則）[8]。したがって、メタ表面上に置かれた量子発光体は通常の環境（例えば平坦基板上）と比べて顕著な発光増強を示すことが期待される。実際に発光増強効果があるかを検証する実験を行った。

図5は発光増強実験結果の一例である。図5(a)は有機色素分子を分子が個別かつ離散的に分散する程度の低濃度の溶液をメタ表面上に微量分散する概念図を示している。中央付近の青い1 cm四方がメタ表

面である。人工ナノ構造の大面積な作製は UV なおインプリント法によって実施した[5]。ピペットで分散した微量溶液は即座に基板全面に広がり、空気中で速やかに乾燥した。図 5(b)はメタ表面上での観測された発光 (FL) スペクトル (赤線) と平坦な Au 膜上で観測された蛍光スペクトルを示している。用いたメタ表面は円孔直径 (D) 250 nm であり、その測定反射スペクトルを破線で示している。記号(2)、(3)はそれぞれ 2 次、3 次の共鳴モードを意味している。図 5(b)では 100 倍を超える発光強度の増強が観測され、とくに 990 nm では 450 倍に達している。大きな発光増強効果は、分子の蛍光センシング用の基板として、このメタ表面が有望であることを示している。高い感度が得られたことから、短時間の検出・診断への応用が期待できると考えている。

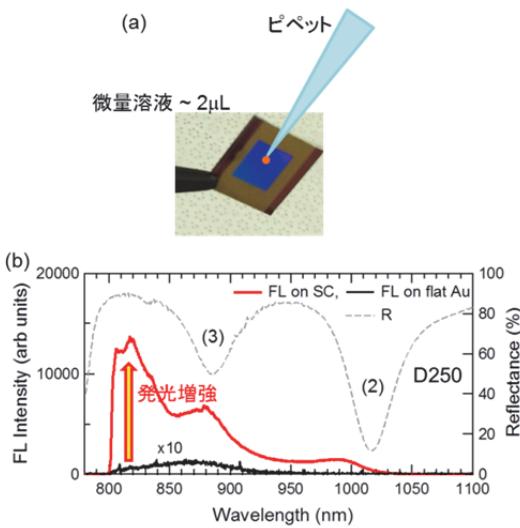


図 5 : (a) 実験模式図。(b) 発光増強を示す蛍光 (FL) スペクトル (実線)。使用したメタ表面の測定反射スペクトル (破線)。記号(2)、(3)はそれぞれ 2 次、3 次共鳴を示している。(b)は[7]から引用。

#### 4. まとめと展望

本稿ではメタ表面における電磁場計算法について概説し、蛍光センシング基板として有望なメタ表面の実例について実験結果を交えて述べてきた。

このほかにも光学顕微鏡の空間分解能力を超解像まで高めるメタマテリアルレンズアレーの研究[9]や二酸化炭素のその場検出ができる 2 波長赤外光源メタ表面の研究[10]など特色あるメタマテリアル、メタ表面の研究を行った。

SX-ACE に移行してメモリ上限が大幅に下がり、従来のコードはそのまま使用できなくなったが、ごく最近メモリ圧縮版のコードも NEC 社の協力で実装できた。さらなる研究の進展に活用できるものと期待している。

#### 謝辞

本研究の数値計算は HPCI システム研究プロジェクトの支援を受け (ID: hp140068)、大阪大学サイバーメディアセンターの SX-9 上で実行する際にはジョブ時間制限などの変更に柔軟な対応をいただきました。これらの支援にこの場を借りて感謝申し上げたい。また、本稿で紹介した一連のメタ表面の研究は文部科学省科研費 20109007 と日本学術振興会科研費 26706020 の助成を受けました。

#### 参考文献

- (1) 岩長祐伸、東北大学サイバーサイエンスセンター一大規模科学計算システム広報(SENAC) **39** (3), 25–32 (2006); **40** (3), 5–14 (2007); **41** (3), 43–51 (2008); **42** (4), 9–18 (2009); **44** (2), 49–56 (2011); **45** (3), 9–16 (2012); **46** (4), 13–18 (2013).
- (2) L. Li, J. Opt. Soc. Am. A **14**, 2758–2767 (1997).
- (3) L. Li, J. Opt. Soc. Am. A **13**, 1024–1035 (1996).
- (4) B. Choi, M. Iwanaga, T. Ochiai, H. T. Miyazaki, Y. Sugimoto, and K. Sakoda, Appl. Phys. Lett. **105**, 201106 (2014).
- (5) B. Choi, M. Iwanaga, H. T. Miyazaki, K. Sakoda, and Y. Sugimoto, J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS **13**, 023007 (2014).
- (6) M. Iwanaga and B. Choi, Nano Lett. **15**, 1904–1910 (2015).
- (7) M. Iwanaga, B. Choi, H. T. Miyazaki, Y. Sugimoto, and K. Sakoda, J. Nanomater. **2015**, 507656 (2015).
- (8) J.-J. Greffet and M. Nieto-Vesperinas, J. Opt. Soc. Am. A **15**, 2735–2744 (1998).
- (9) M. Iwanaga, Appl. Phys. Lett. **105**, 053112 (2014).
- (10) H. T. Miyazaki, T. Kasaya, M. Iwanaga, B. Choi, Y. Sugimoto, and K. Sakoda, Appl. Phys. Lett. **105**, 121107 (2014).

# 格子上の場の理論におけるエネルギー運動量テンソルの測定

伊藤 悅子

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 理論センター

## 1. はじめに

物質を構成する素粒子に働く基本的な力の一つに、「強い力」と呼ばれる相互作用がある。これは、現在物質を構成する最小単位であると考えられている「クォーク」に働く力であり、量子色力学という体系を用いてよく記述される。ここで「強い力」というのは、電磁気力より強い、という意味で名付けられた。

この量子色力学のダイナミクスを理解するための最も強力な手法の一つが格子理論に基づくシミュレーションを行うことである。量子色力学は、非可換ゲージ理論という理論で記述されるが、格子上の場の理論は、量子色力学の特徴であるゲージ不变性を保ったまま非摂動論的に調べることができる、これまでに知られている唯一の方法である。これまでに、クォークから作られるハドロンのスペクトル、有限温度におけるハドロン相とクォーク・グルオン・プラズマ相との相転移などの研究がこの格子ゲージ理論とそれに基づく格子シミュレーションを用いて研究されてきた。

しかしながら、格子理論を用いる事によって困難が生じる事もある。その一つが、場の理論における最も基本的な量である「エネルギー運動量テンソル(EMT)」をうまく定義できないということである。EMTは、エネルギーや運動量、また有限温度系における圧力や熱的なエントロピーなど場の理論の基本的な量と関係する。一方で、EMTは、ローレンツ変換の生成子である。しかしながら、格子上では時空を離散的にするため、その定義から無限小並進不变性や回転不变性が破れており、格子上のEMTの定式化は一般に困難であった。

## 2. Yang-Mills gradient flowに基づくEMTの新しい定式化

近年、場の理論に「Yang-Mills gradient flow(またはWilson flow)」と呼ばれる新しいアイデアが提案された（文献[1]）。このアイデアは元々連続的な場の理論で定義されるものである。時間と3次元空間上の量子場の理論に、仮想的な時間(flow time)を導入し、このflow timeに関する一階の微分方程式として与えられる。

格子上の場の理論にもこれに対応する方程式が与えられ、連続極限を取ることでフローさせた後の連続的な場の理論と格子上の場の理論の間の対応関係を与えることができる。

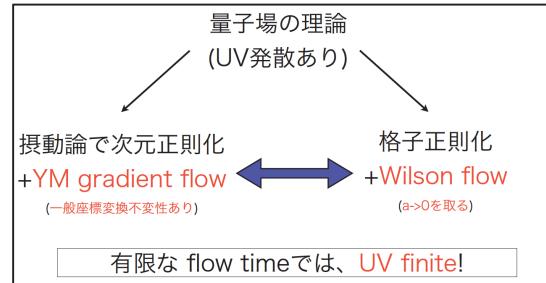


図1：EMTの新しい定式化の基本的なアイデア

このgradient flowの特徴の一つは、有限のflow timeにおける紫外有限性である。普通の場の理論では演算子毎に紫外発散を取り除くためのくりこみの作業をしなければならない。しかしながら、gradient flowを用いると、力学的なクォーク場の存在しないpure Yang-Mills理論の時にはゲージ結合定数のくりこみを行えば全ての複合演算子がくりこまれた量となる事が示された（文献[2]）。EMTもこのような複合演算子の一種であり、摂動領域において連続理論で次元正則化を行ったEMTと、格子上でのこれに対応する次元4の複合演算子に対する対応関係が2013年九州大学の鈴木氏によって具体的に導出さ

れた（文献[3]）。

著者らは、同じく 2013 年にこの関係式を用いて実際に格子シミュレーションを行い、有限温度 QCD における EMT から熱力学量（トレースアノマリーとエントロピー密度）を導出した（文献[4]）。

以下では、その詳細を説明する。

### 3. 格子シミュレーションの手順

格子シミュレーションを用いた EMT の導出手順は以下の 4 つの手順にまとめられる事ができる。

#### Step 1

flow time ゼロでのゲージ場の配位を生成する。

#### Step 2

gradient flow の方程式を解いて、flow time ( $t$ ) でのゲージ場の配位を生成する。

#### Step 3

flow させたゲージ場の配位を使って、2 種類の次元 4 の複合演算子を測定する。

#### Step 4

連続極限をとり、さらに flow time ( $t$ ) がゼロの極限を取る。

特に、Step 1 と Step 2 では、スーパーコンピュータによる数値計算を行う。以下その 2 つについてのさらに詳細を述べる。

#### 3.1 (Step 1) 配位生成

今回、我々は、クエンチ QCD というダイナミカルナフェルミオンが存在しない系におけるシミュレーションを行った。この場合、最も有効な配位生成のアルゴリズムの一つが「(擬) 熱浴法」と呼ばれるものである。熱浴法では 0 から 1 までの一様乱数を生成し、それを解に持つような  $SU(2)$  の配位を生成し、それを 3 回繰り返し組み合わせることで  $SU(3)$  のゲージ場の配位を生成する。

さらに、overrelaxation と呼ばれる  $SU(3)$  回転の変換手法を組み合わせ、なるべく早く  $SU(3)$  の配位空間全体を覆えるような配位を生成する。

実際の我々のシミュレーションでは、1 回熱浴法でアップデートして 5 回 overrelaxation をする組み合わせを 1sweep として、200 から 500sweep 離した配

位を 100 から 300 個生成した。

### 3.2 (Step 2) Yang-Mills gradient flow のシミュレーション

我々の研究における特徴的なシミュレーションは Step2 で行う gradient flow 方程式を数値的に解く事である。gradient flow 方程式は、先に述べたようにゲージ場（またはリンク変数）に対する仮想的な flow time の 1 階の微分方程式で与えられる。この方程式を数値的にとくため、ルンゲクッタアルゴリズムを用いた。

### 4. 結果

flow time  $t=0$  からルンゲクッタを用いて flow させたゲージ配位を生成し、各 flow time で Step 3 である複合演算子を測定した。ある温度( $T=1.7T_c, T_c$  は閉じこめ転移の温度)におけるトレースアノマリーとエントロピー密度の測定結果が図 2 である。

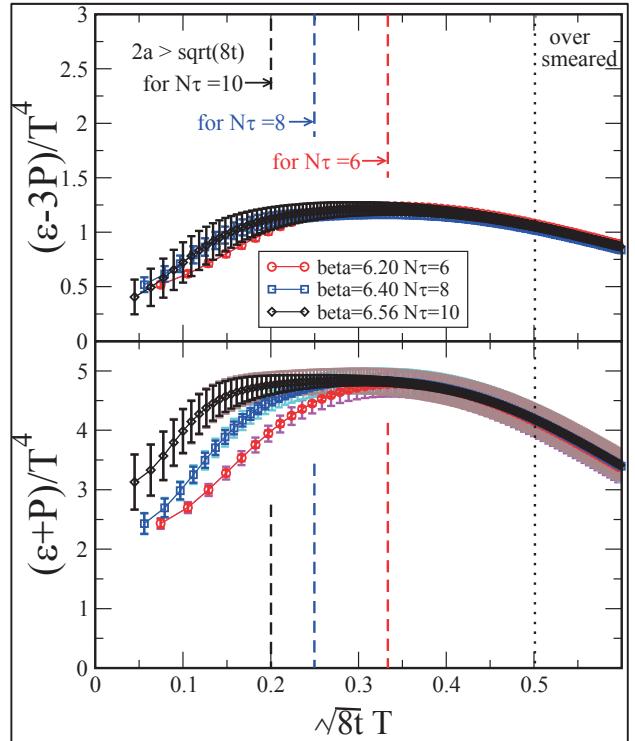


図 2：(上)トレースアノマリー (下)エントロピー密度の flow time ( $t$ ) 依存性

黒が最も格子間隔の細かい格子のデータ( $N \tau = 10$ )、中間の格子間隔が青の  $N \tau = 8$ 、赤が格子間隔

の粗い  $N \tau = 6$  の時である。データの誤差は濃い色が統計誤差のみを、薄い色は結合定数のくりこみに関する系統誤差も含めた誤差を表す。

連続極限での EMT を求めるためには、さらに Step 4 の極限操作を取る必要がある。この時、この新しい定式化が「有効な flow time の領域」がある。具体的には、格子間隔が見えない程度に十分に長い flow time を取らなければいけないという flow time の下限 ( $2a \ll \sqrt{8t}$ ) と、格子のサイズより flow time が短くないといけない ( $\sqrt{8t} \ll 1/2T$ ) という上限がある。全ての格子間隔のデータに対して、この両者が満たされる flow time は、図の赤い破線(横軸が 0.33 程度)から、黒い点線(横軸が 0.5 まで)である。この領域では、データの値が誤差の範囲でほぼ定数であることがわかった。そこで、我々は固定した flow time ( $\sqrt{8t}T=0.4$ ) をとり、連続極限を取ることで、最終的に EMT からトレースアノマリーとエントロピー密度を得た (図 3)。

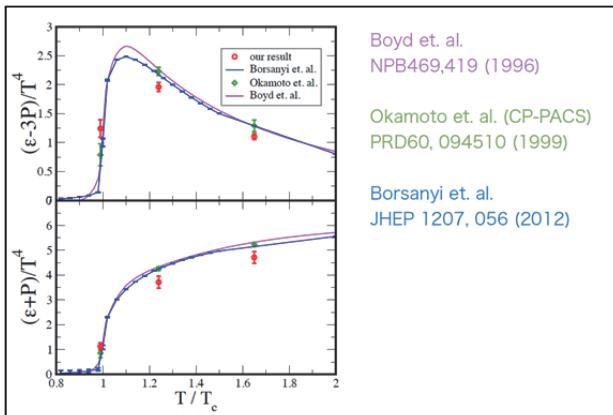


図 3 : 連続極限を取った後の(上)トレースアノマリー (下) エントロピー密度の他の手法との比較

これを、これまで知られている積分法による格子シミュレーションの結果 (文献[5,6,7]) と比較したことろ、2 シグマ程度のずれはあるものの、よく一致していることがわかった。

## 5. おわりに

我々は、これまで格子上に定義するのが難しいとされてきた EMT を gradient flow を用いることで格子シミュレーションから非摂動論的に導出することに成功した。

今回の研究では有限温度系における EMT の一点関数を測定することで熱力学量を導出し、他の手法とよく一致していることを確認した。我々の手法は、これまでの積分法と比べて、調べたい温度におけるシミュレーションを行うだけで良く、さらに gradient flow を行うことで物理量の統計精度も飛躍的に良くなることが分かった。何より EMT という、連続的場の理論における基本量から導出できた点が新しい。今後は、これまで格子シミュレーションで測定するのが非常に困難で未だ結論の出ていない、粘性等を EMT の 2 点関数から導出することが期待される。

最後に、本研究を遂行するにあたって、gradient flow のコード開発、また本格ランの配位生成を大阪大学のスーパーコンピュータ (特に SX-8 と SX-9) を用いて行ってきた。この研究はアイデアから論文が出るまで 2 ヶ月にも満たない期間で遂行することが出来たのだが、これは新規的なアイデアをすぐに試すことのできるシステムとなっているこれら共用計算機のおかげである。日頃からシステムの運営を支えてくださっている方々 (特に外川さん、堀田さん、鎌野さん) に深く感謝致します。

## 参考文献

- (1) M. Luescher, JHEP 1008, 071 (2010) [arXiv:1006.4518 [hep-lat]]
- (2) M. Luescher and P. Weisz, JHEP 1102, 051 (2011) [arXiv:1101.0963 [hep-th]]
- (3) H. Suzuki, PTEP 2013, no. 8, 083B03 (2013) [arXiv:1304.0533 [hep-lat]].
- (4) Masayuki Asakawa, Tetsuo Hatsuda, Etsuko Itou, Masakiyo Kitazawa, Hiroshi Suzuki (FlowQCD Collaboration) Phys. Rev. D90 (2014) 1, 011501
- (5) G. Boyd, J. Engels, F. Karsch, E. Laermann, C. Legeland, M. Lutgemeier and B. Petersson, Nucl. Phys. B 469, 419 (1996) [hep-lat/9602007].
- (6) M. Okamoto et al. [CP-PACS Collaboration], Phys. Rev. D 60, 094510 (1999) [hep-lat/9905005]; Y. Namekawa et al. [CP-PACS Collaboration], Phys. Rev. D 64, 074507 (2001).

- (7) S. Borsanyi, S. Duerr, Z. Fodor, C. Hoelbling, S. D. Katz, S. Krieg, T. Kurth and L. Lellouch et al., JHEP 1209, 010 (2012) [[arXiv:1203.4469 \[hep-lat\]](https://arxiv.org/abs/1203.4469)].

# センター報告

---

・ 2014 年度大規模計算機システム利用による研究成果、論文一覧	37
・ SC14 出展報告	51
・ 第 20 回スーパーコンピューティングコンテスト(SuperCon2014)報告および 第 21 回スーパーコンピューティングコンテスト(SuperCon2015)告知	57
・ 大規模計算機システム利用者講習会等の紹介	59
・ 2015 年度大規模計算機システム利用講習会	61
・ 2014 年度大規模計算機システム利用講習会アンケート集計結果	62
・ 2015 年度「HPCI(High Performance Computing Infrastructure)利用」の活動状況	70
・ 2015 年度「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」の活動状況	71
・ 大規模計算機システム FAQ	72



# 2014 年度大規模計算機システム利用による研究成果、論文一覧

この一覧は、本センター大規模計算機システムを利用して 2014 年 4 月から 2015 年 3 月までに得られた研究成果について、利用者から報告されたものを掲載しています。

## 1 学術雑誌掲載論文

- [1] 日角友香, 大森健史, 西田翔吾, 山口康隆, 梶島岳夫, “動的濡れを伴う液滴内の流れと固気液三重線近傍の応力分布に関する分子動力学的考察”, ながれ, Vol.33, No.2, pp.103-110, 2014.4.
- [2] Suguru Miyauchi, Azusa Ito, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima , “Fixed-mesh approach for different dimensional solids in fluid flows: application to biological mechanics”, Journal of Mechanical Engineering and Sciences, Vol.6, pp.818- 844, 2014.6.
- [3] Tsubasa Ohshima, Takeo Kajishima , “Computations of flow with phase change by implicit coupling of VOF method and boundary conditions based on the kinetic theory”, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.9, No.2, JFST0016 (13p), 2014.6.
- [4] Changhwa Han, Takeo Kajishima, “Large eddy simulation of weakly compressible turbulent flows around an airfoil”, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.9, No.4, JFST0063 (13p), 2014.10.
- [5] 梶島岳夫, “キャビテーション乱流の数値シミュレーションの現状”, ターボ機械, Vol.42, No.11, pp.688-693, 2014.11.
- [6] 花輪理徳, 山田暁, 宮内優, 竹内伸太郎, 梶島岳夫, “平板上に設置された弾性柱群と乱流の相互作用の数値シミュレーション”, ながれ, Vol.33, No.6, pp.513-517, 2014.12.
- [7] Suguru Miyauchi, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima , “A numerical method for mass transfer by a thin moving membrane with selective permeabilities”, Journal of Computational Physics, Vol.284, pp.409-504, 2015.3.
- [8] 佐竹うらら, 榎本俊之, “シリコンウェーハ研磨加工におけるウェーハエッジ部の表面形状創成過程 - 研磨パッド変形量がエッジ・ホールオフ生成に及ぼす影響 - ”, 精密工学会誌, 80, 8, 777, 2014.
- [9] Kodai Yamamoto, Taro Matsuo, Hiroshi Shibai, Yoichi Itoh, Mihoko Konishi, Jun Sudo, Ryoko Tanii, Misato Fukagawa, Takahiro Sumi, et al., “Direct Imaging Search for Extrasolar Planets in the Pleiades”, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.65, No.4, 90, Aug. 2013.
- [10] Kuniyuki Miwa, Mamoru Sakaue, Branko Gummhalter, Hideaki Kasai, “Effects of plasmon energetics on light emission induced by scanning tunneling microscopy ”, Journal of Physics: Condensed Matter, Vol. 26, pp. 222001, 2014.
- [11] Hideaki Kasai, Wilson Agerico Dino, Kazuki Kojima, Yousuke Kawahito , “Surface as a Foundation to Realizing Designer Materials”, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Vol. 12, pp. 203-216, 2014.
- [12] Ryo Kishida, Yohei Ushijima, Adhitya Gandaryus Saputro, Hideaki Kasai, “Effect of pH on elementary steps of dopachrome conversion from first-principles calculation”, Pigment Cell and Melanoma Research, Vol. 27, pp. 734-743, 2014.
- [13] Allan Abraham B. Padama, Hideaki Kasai, “First principles investigation of the initial stage of H-induced missing-row reconstruction of Pd(110) surface ”, The Journal of Chemical

- Physics, Vol. 140, pp. 244707, 2014.
- [14] Ferensa Oemry, Hiroshi Nakanishi, Hideaki Kasai, Hiroyoshi Maekawa, Kazuo Osumi, Kaoru Sato, "Atomic oxygen adsorption on core-shell Ni@Pt and pure Pt Nanoparticles", Journal of the Vacuum Society of Japan, Vol. 57, pp. 277-283, 2014.
- [15] Musa Alaydrus, Mamoru Sakaue, Susan Meñez Aspera, Triati Dewi Kencana Wungu, Nguyen Hoang Linh, Tran Linh PhanThuy, Hideaki Kasai, Tatsumi Ishihara, Takahiro Mohri, "A DFT+U Study of Strain-Dependent Ionic Migration in Sm-Doped Ceria", Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 83, pp. 94707-1 - 94707-8, 2014.
- [16] Kohei Oka, Yasutaka Tsuda, Takamasa Makino, Michio Okada, M. Hashinokuchi, Akitaka Yoshigoe, Yuden Teraoka, Hideaki Kasai, "The effects of alloying and segregation for the reactivity and diffusion of oxygen on Cu<sub>3</sub>Au(111)", Physical Chemistry Chemical Physics, Vol. 16, pp. 19702-19711, 2014.
- [17] Ryan Lacdao Arevalo, Kohei Oka, Hiroshi Nakanishi, Hideaki Kasai, Hiroyoshi Maekawa, Kazuo Osumi, Naoki Shimazaki, "Oxidation of NO on Pt/M (M = Pt, Co, Fe, Mn): a first-principles density functional theory study", Catalysis Science & Technology, Vol. 5, pp. 882-886, 2015.
- [18] Bhume Chantaramolee, Allan Abraham Bastria Padama, Hideaki Kasai, Yogi Wibisono Budhi, "First principles study of N and H atoms adsorption and NH formation on Pd(111) and Pd<sub>3</sub>Ag(111) surfaces", Journal of Membrane Science, Vol. 474, pp. 57-63, 2015.
- [19] Elvis Arguelles, Shuichi Amino, Susan Aspera, Hiroshi Nakanishi, Hideaki Kasai, "Interstitial impurity-induced in  $\alpha$ -PbO surface", Journal of Physics: Condensed Matter, Vol. 27, pp. 016002-1-016002-7, 2015.
- [20] Ryan Lacdao Arevalo, Mary Clare Sison Escano, Hideaki Kasai, "First-Principles Study of Nitric Oxide Oxidation on Pt(111) versus Pt Overlayer on 3d Transition Metals", Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. 33, pp. 021402(1)-02401(8), 2015.
- [21] Joaquin Lorenzo Valmoria Moreno, Ryan Lacdao Arevalo, Mary Clare Sison Escano, Allan Abraham Bustria Padama, Hideaki Kasai, "A Theoretical Study on the Adsorption of CO<sub>2</sub> on CuO(110) Surface", Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 84, pp. 015003-1 - 015003-2, 2015.
- [22] Mina Maruyama, Kyoko Nakada, and Susumu Okada, "Energetics and electronic structures of polymerized cyclobutadiene", Japanese Journal of Applied Physics, 53, 35103, 2014.
- [23] Nguyen Thanh Cuong, Minoru Otani, and Susumu Okada, "Electrostatic modulation of electron-states in MoS<sub>2</sub>: First-principles Calculations", Journal of Physics: Condensed Matter, 26, 135001, 2014.
- [24] Junhao Lin, Ovidiu Cretu, Wu Zhou, Kazu Suenaga, Dhiraj Prasai, Kirill I. Bolotin, Nguyen Thanh Cuong, Minoru Otani, Susumu Okada, Andrew R. Lupini, Juan-Carlos Idrobo, Dave Caudel, Arnold Burger, Nirmal J. Ghimire, Jia-qiang Yan, David G. Mandrus, Stephen J. Pennycook, Sokrates T. Pantelides, "Flexible metallic nanowires with self-adaptive Ohmic contact to semiconducting transition-metal dichalcogenide monolayers", Nature Nanotechnology, 9, 436 - 442, 2014.
- [25] Mina Maruyama and Susumu Okada, "Two-dimensional sp<sub>2</sub> Carbon Networks of Fused Pentagons", Japanese Journal of Applied Physics, 53, 06JD02, 2014.
- [26] Ayaka Yamanaka and Susumu Okada, "Structural Dependence of Electronic Properties of Graphene Nanoribbons on an Electric Field", Japanese

- Journal of Applied Physics, 53, 06JD05, 2014.
- [27] Shota Kigure and Susumu Okada, "Energetics and Electronic Structures of C<sub>60</sub> Included in [n]Cyclacene Molecules: Dynamical and Electronic Properties of C<sub>60</sub>", Japanese Journal of Applied Physics, 53, 06JD06, 2014.
- [28] Kazuya Nomura and Susumu Okada, "An anomalous dipole-dipole arrangement of water molecules encapsulated into C<sub>60</sub> dimer", Chemical Physics Letters, 608, 351-354, 2014.
- [29] Kohei Narita and Susumu Okada, "Spin-state tuning of decamethyl C<sub>60</sub> by an external electric field", Chemical Physics Letters, 614, 10-14, 2014.
- [30] Satoru Konabe and Susumu Okada, "Coulomb Interaction Effects on Optical Properties of Monolayer Transition Metal Dichalcogenides", Physical Review B, 90, 155304, 2014.
- [31] U Ishiyama, Nguyen Thanh Cuong, and Susumu Okada, "Electronic structures of carbon nanotubes with monovacancy under an electric field", Japanese Journal of Applied Physics, 53, 115102, 2014.
- [32] Shota Kigure, Yoko Iizumi, Toshiya Okazaki, and Susumu Okada, "Electronic and Geometric Structures of Carbon Nanotubes Encapsulating Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Molecules", Journal of the Physical Society of Japan, 83, 124709, 2014.
- [33] Ayaka Yamanaka and Susumu Okada, "Electron injection into nearly free electron states of graphene nanoribbons under a lateral electric field", Applied Physics Express, 7, 125103, 2014.
- [34] Lok Kumar Shrestha, Rekha Goswami Shrestha, Yusuke Yamauchi, Jonathan P. Hill, Toshiyuki Nishimura, Kun'ichi Miyazawa, Katsunori Wakabayashi, Takazumi Kawai, Susumu Okada, and Katsuhiko Ariga, "Nanoporous Carbon Tubes from Fullerene Crystals as the pi-Electron Carbon Source", Angewandte Chemie International Edition, 53, 951-955, 2014.
- [35] Masahiro Shigeta, Katsumasa Kamiya, Mitsugu Uejima, Susumu Okada, "Dispersion of CNT in Organic Solvent by Commercial Polymers with Ethylene Chains: Experimental and Theoretical Studies", Japanese Journal of Applied Physics, 54, 35101, 2015.
- [36] Haruka Etoh, Nobuyuki Tsuboi, Yusuke Maru, Kazuhisa Fujita, "Aerodynamic Characteristics of Simplified Waveriders", TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol. 12 (2014), No. ist29, Pg\_25-Pg\_31, 2014.
- [37] Daiki Muto, Hiroshi Terashima, Nobuyuki Tsuboi, "Numerical Study of Real Gas Effects on Shock Tube Problems", TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol. 12 (2014), No. ist29, Po\_2\_39-Po\_2\_44, 2014.
- [38] Mitsuru Kurosaka, Nobuyuki Tsuboi, "Spinning detonation, cross-currents, and the Chapman-Jouguet velocity", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 756, pp.728-757, 2014.
- [39] Jue Li, Shin Inada, Jurgen E. Schneider, Henggui Zhang, Halina Dobrzynski, Mark R. Boyett, "Three-dimensional computer model of the right atrium including the sinoatrial and atrioventricular nodes predicts classical nodal behaviours", PLOS ONE, Vol. 9, No. 11, e112547, 2014.
- [40] Shin Inada, Henggui Zhang, James O. Tellez, Nitaro Shibata, Kazuo Nakazawa, Kaichiro Kamiya, Itsuo Kodama, Kazuyuki Mitsui, Halina Dobrzynski, Mark R. Boyett, Haruo Honjo, "Importance of gradients in membrane properties and electrical coupling in sinoatrial node pacing", PLOS ONE, Vol. 9, No. 4, e94565, 2014.

- [41] T. Hiejima, “Criterion for vortex breakdown on shock wave and streamwise vortex interactions”, Physical Review E, 89[5], 053017 (14 pages), 2014.
- [42] T. Hiejima, “Spatial evolution of supersonic streamwise vortices”, Physics of Fluids, 26[7], 074102 (19 pages), 2014.
- [43] T. Hiejima, “A factor involved in efficient breakdown of supersonic streamwise vortices”, Physics of Fluids, 26[7], 034103 (15 pages), 2015.
- [44] Yutaka Yoshikawa , “Scaling Surface Mixing/Mixed Layer Depth Under Stabilizing Buoyancy Flux”, Journal of Physical Oceanography, vol. 45, no. 1, pp. 247-258, 2015 年 1 月.
- [45] Tanigawa, T., Maruta, A., and Machida, M. N., “Accretion of Solid Materials onto Circumplanetary Disks from Protoplanetary Disks”, ApJ, 784, 109-, 2014.
- [46] Machida, M. N., “Protostellar Jets Enclosed by Low-velocity Outflows”, ApJ, 796, LL17-, 2014.
- [47] Machida, M. N. and Nakamura, T. , “Accretion phase of star formation in clouds with different metallicities”, MNRAS, 448, 1405-1429, 2015.
- [48] P. T. Bui, T. Nishino, H. Shiigi, T. Nagaoka, “One-by-one single-molecule detection of mutated nucleobases by monitoring tunneling current using a DNA tip”, Chem. Commun., Vol. 51, pp. 1666-1669, 2015.
- [49] P. T. Bui, T. Nishino, “Electron transfer through coordination bond interaction between single molecules: conductance switching by metal ion”, Phys. Chem. Chem. Phys., Vol. 16 , pp. 5490-5494, 2014.
- [50] T. Nishino, “Molecular Tips for Scanning Tunneling Microscopy: Intermolecular Electron Tunneling for Single-molecule Recognition and Electronics”, Anal. Sci., Vol. 30, pp. 81-88, 2014.
- [51] R. Nouchi, M. Shigeno, N. Yamada, T. Nishino, K. Tanigaki, M. Yamaguchi , “ Reversible switching of charge injection barriers at metal/organic-semiconductor contacts modified with structurally disordered molecular monolayers”, Appl. Phys. Lett., Vol. 104, p. 013308, 2014.
- [52] H. Shiigi, T. Kinoshita, N. Shibutani, T. Nishino, T. Nagaoka, “Efficient Collection and Sensitive Detection Using Conducting Magnetic Microbeads”, Anal. Chem., Vol. 86, pp. 4977-4981, 2014.
- [53] H. Shiigi, M. Fukuda, T. Tono, K. Takada, T. Okada, L. Q. Dung, Y. Hatsuoka, T. Kinoshita, M. Takai, S. Tokonami, H. Nakao, T. Nishino, Y. Yamamoto, T. Nagaoka , “ Construction of nanoantennas on the bacterial outer membrane”, Chem. Commun., Vol. 50, pp. 6252-6255, 2014.
- [54] T. Kinoshita, H. Murakami, Y. Muranaka, Y. Yamamoto, T. Nishino, H. Shiigi, and T. Nagaoka, “Tracking the Growth of Tadpole-shaped Aggregates by Scanning Electron Microscopy”, Anal. Sci., Vol. 30, pp. 319-322, 2014.
- [55] T. Minegishi, T. Tsukahara, and Y. Kawaguchi, “Stress field analysis around vortex in elastic layer of viscoelastic turbulent channel flow”, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 530, 012059 (7 pages), Aug. 2014.
- [56] T. Yanagawa, H. Sakagami, A. Sunahara and H. Nagatomo , “ Asymmetric Implosion of a Cone-Guided Target Irradiated by Gekko XII Laser”, Laser Part. Beams. , 2015 (Accepted).
- [57] Kazushige Takaki, Kei Kageyama, Atsushi Sunahara, Toshinori Yabuuchi and Kazuo A. Tanaka, “Simulated ablation of carbon wall by alpha particles for a laser fusion reactor”, Journal of Nuclear Materials, Vol.459, pp.77-80, 2015.
- [58] Y. Sentoku, I. Paraschiv, R. Royle, R.C., Mancini, T. Johzaki, “Kinetic effects and nonlinear heating in intense x-ray-laser-produced carbon plasmas”,

- Phys. Rev. E, vol. 90, 5, 51102, Nov. 2014.
- [59] T. Ozaki, A. Sunahara, H. Shiraga, Y. Arikawa, S. Fujioka, H. Sakagami, Z. Zhang, H. Nagatomo, T. Johzaki, T. Namimoto, M. Taga, S. Kojima, Y. Abe, K. Ishihara, T. Nagai, S. Sakata, S. Hattori, Y. Sakawa, H. Nishimura, H. Azechi, FIREX Group, “Hot electron spectra in hole-cone shell targets and a new proposal of the target for fast ignition in laser fusion”, Physica Scripta, Vol. 2014, 14025, May, 2014.
- [60] A.J. Kemp, F. Fiuzza, A. Debayle, T. Johzaki, W.B. Mori, P.K. Patel, Y. Sentoku, L.O. Silva, “Laser-plasma interactions for fast ignition”, Nucl. Fusion, vol 54, 5, 54002, May 2014.
- [61] M. Muarakami, H. Nagatomo, T. Johzaki, T. Sakaiya, A. Velikovich, M. Karasik, S. Gus’kov, N. Zmitrenkov, “Impact ignition as a track to laser fusion”, Nucl. Fusion, vol 54, 5, 54007, May 2014.
- [62] A.R. Robinson, D.J. Strozzi, J.R. Davies, L. Gremillet, J.J. Honrubia, T. Johzaki, R.J. Kingham, M. Sherlock, A.A. Solodov, “Theory of fast electron transport for fast ignition”, Nucl. Fusion, vol 54, 5, 54003, May 2014.
- [63] J. Takahashi, H. Kouno, and M. Yahiro, “Quark number densities at imaginary chemical potential in  $N_f=2$  lattice QCD with Wilson fermions and its model analyses”, Phys. Rev. D, 91, 14501, 2015.
- [64] A. Nakamura, K. Nagata, “What are multiplicity distributions telling us about the QCD phase diagram?”, Nucl. Phys., A931, 825, 2014.
- [65] Adriano Di Giacomo and Masayasu Hasegawa, “Instantons and monopoles”, Phys. Rev. D, 91, 54512, 2015.
- [66] T. Miyagi, T. Abe, R. Okamoto, and T. Otsuka, “Ground-state energies and charge radii of  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$ , and  ${}^{56}\text{Ni}$  in the unitary-model-operator approach”, to appear in Prog. Theor. Exp. Phys.

## 2. 国際会議会議録掲載論文

- [1] Toshiaki Fukada, Shintaro Takeuchi, and Takeo Kajishima, “Numerical simulation of the interaction between a spherical particle and curved background flows”, 2nd International Conference on Numerical Methods in Multiphase Flows, Darmstadt, Germany, pp.75-76, 2014.6.30.
- [2] Tsubasa Ohshima, Takeo Kajishima, “Study on computational method of filmwise non-equilibrium condensation”, 15th International Heat Transfer Conference , Kyoto , No.IHTC15-9887, 2014.8.10.
- [3] Changhwa Han, Takeo Kajishima, “Sound source detection in turbulent flows around an airfoil at low Mach number”, 10th Asian Computational Fluid Dynamics Conference, Jeju, Korea, pp.302-307, 2014.10.20.
- [4] Takeo Kajishima, Shintaro Takeuchi, “Direct numerical simulation of heat transfer in dispersed solid-liquid two-phase flow”, 10th Asian Computational Fluid Dynamics Conference, Jeju, Korea, pp.13-16, 2014.10.20-23.
- [5] Takeo Kajishima, Changwa Han , “Aeroacoustics using LES of turbulent flows around an airfoil”, Proc. of Korean Society for Computational Fluids Engineering, Jinju, Korea, pp.1-4, 2014.11.13.
- [6] Yuka Hizumi, Takeshi Omori, Yasutaka Yamaguchi, Takeo Kajishima, “Influence of spatial variation of phenomenological parameters on the modeling of boundary conditions for flows with dynamic wetting”, 67th Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics , San Francisco , USA , DFD14-2014-001251, 2013.11.23.
- [7] Kohei Suzuki, Takeshi Omori, Takeo Kajishima, “Development of numerical method for two-phase flows on three-dimensional arbitrarily-shaped polyhedral meshes”, 67th Annual Meeting of the American Physical Society Divi-

- sion of Fluid Dynamics, San Francisco, USA, DFD14-2014-000938, 2013.11.23.
- [8] Takeo Kajishima, Shintaro Takeuchi, Suguru Miyauchi, “Fluid-structure interaction dealing with thin objects”, 18th International Conference on Finite Elements in Flow Problems, Taipei, Taiwan, 2015.3.16.
- [9] Hiroki Fukuoka, Shintaro Takeuchi, Takeo Kajishima, “Interaction between fluid and flexible membrane structures by a new fixed-grid direct forcing method”, 11th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering, Athens, Greece, 2015.3.20.
- [10] Urara SATAKE and Toshiyuki ENOMOTO , “Evaluation of polishing pad property by rubber hardness test - Estimating edge surface flatness of workpiece -”, Proceedings of 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting 2014, 2014.
- [11] Elvis Arguelles, Koji Shimizu, Hiroshi Nakanishi, Hideaki Kasai, “Yoshimori-Kasai Model Phase Diagrams and Naniwa Series for Quantum Dynamics”, JPS Conference Proceeding, Vol. 2, pp.010312, 2014.
- [12] Y. Takagi, “Suppression of self-organized structure coarsening in homogenous isotropic turbulence”, American Physical Society 67th Annual Meeting Division of Fluid Dynamics , Sanfrancisco, California , United States. , E25.00006, November 23-25 (2014).
- [13] Nobuyuki Tsuboi, Yusuke Watanabe, Takayuki Kojima, and A.Koichi Hayashi, “Estimation of the Thrust Performance on a Rotating Detonation Engine for a Hydrogen-Oxygen Mixture ” , Proceedings of the Combustion Institute, The Combustion Institute, Vol. 35, pp.2005-2013, 2015.
- [14] Daiki Muto, Nobuyuki Tsuboi, Hiroshi Terashima, “Effects of Injector Geometry on Co-Flowing Planar Jet Mixings under Supercritical Pressures”, AIAA SciTech2015, AIAA 2015-1825, 2015.
- [15] Nobuyuki Tsuboi, “Numerical Simulation on Unsteady Compressible Low-Speed Shear Flow in Hybrid Rocket Combustion Chamber Using Preconditioned Method: Effects of Preconditioned Method Including Multi-Species Mass Conservation Equations”, Eleventh International Conference on Flow Dynamics, OS8-4, 2014.10.
- [16] Takayuki Araki, Youhi Morii, Nobuyuki Tsuboi, Koichi A. Hayashi, “Interaction between Shock Wave and Spherical Flame in Ethylene/Air Mixture and Transition to Detonation”, The 5th International symposium on Energetic Materials and their applications, PP-15, 2014.11.
- [17] Yusuke Watanabe, Seiichiro Etoh, Nobuyuki Tsuboi, Takayuki Kojima, A. Koichi Hayashi, “Numerical simulation of thrust performance estimation on rotating detonation engine : The effects of nozzle on Isp”, The 5th International symposium on Energetic Materials and their applications, PP-16, 2014.11.
- [18] Kazuya Tsuboi, Eiji Tomita, Tatsuya Hasegawa, “DNS analysis of thermochemical effects on turbulent premixed flames nearby a wall surface”, 35th International Symposium on Combustion, W5P058, August 2014.
- [19] Oda, Y., Takeishi, K., “Concurrent Large-eddy Simulation of Wall-Jet Heat Transfer Enhanced by Systematically-Deformed Turbulence Promoter”, Proc. of 15th International Heat Transfer Conference, USB:IHTC15-9516, Aug. 2014.
- [20] Shin Inada, Daniel T. Harrell, Takako Ono, Nitaro Shibata, Ryo Haraguchi, Takashi Ashihara, Takanori Ikeda, Kazuyuki Mitsui, Halina Dobrzynski, Mark R. Boyett, Naomasa Makita, Kazuo Nakazawa, “Investigating excitation conduction in the atrioventricular node and Purkinje network using computer simulation”, The 9th Tawara-Aschoff Symposium, 2014 (2014/7/26-27, Tokyo, poster presentation).

- [21] Hideshi Hanazaki, Motonori Hirata and Shinya Okino, "Numerical simulation of capillary gravity waves excited by an obstacle in shallow water", Proceedings of the IUTAM Symposium on Complexity of Nonlinear Waves, Sep. 2014 (印刷中).
- [22] Koichi Tsujimoto, Noritaka Shibata, Toshihiko Shakouchi and Toshiyuki Ando, "DNS of vector-controlled jet under a rotational mode", Book of Abstracts EFMC10, 1P., Sep. 2014.
- [23] Toma Onodera, Koichi Tsujimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshiyuki Ando, "Direct Numerical Simulation of dynamic controlled jet under the rotational control mode", Proceedings of 6th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models, CD-ROM, 6P., Nov. 2014.
- [24] Naoki Koike, Koichi Tsujimoto, Toshihiko Shakouchi, Toshiyuki Ando, "Direct Numerical Simulation of Impinging Jet Controlled using Rotating Nozzle", Proceedings of 6th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models, CD-ROM, 6P., Nov. 2014.
- [25] K. Sato, K. Fukiba, "Effect of Wing Shape and Reynolds Number in Drag Reduction Method by Using Wing with Rotation Shaft", 11<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics, GS1-34, October 2014.
- [26] Kataoka, H. and Tamura, T, "Study on the relationship between roughness parameters and vertical wind velocity profiles over an urban area by LES", 6<sup>th</sup> International Symposium on Computational Wind Engineering, 2014.6.
- [27] Sakuma Yuto, Tamura Tetsuro, "DNS of tornado type of vertical vortex under convective condition", 6th International Symposium on Computational Wind Engineering, Abstracts book, pp408-409, 2014 年 6 月 13 日.
- [28] M. Takahashi, T. Tsukahara, and Y. Kawaguchi, "Application of non-linear  $k-\epsilon$  model to viscoelastic fluid flow", In: Proceedings of Tenth International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, Marbella, Spain, 7 pages, Sep. 2014.
- [29] T. Yanagawa, H. Sakagami, A. Sunahara and H. Nagatomo, "Implosion Simulation by Hydro Code Coupled with Laser Absorption using New Raytrace Algorithm", Proceedings of 23rd International Toki Conference, Plasma Fusion Res. 9, 3404090, 2014.
- [30] T. Johzaki, "kT-class Magnetic Fields in Laser Fusion Research", Plasma Conference 2014, Toki Messe, Niigata, Japan, 2014.11.19.
- [31] T. Johzaki, "Electron beam generation and transport in kT-class longitudinal magnetic fields", 2014 US-Japan JIFT Workshop on fast ignition and relevant high energy-density physics, University of Texas at Austin, Austin., TX, USA, 2014.11.03.
- [32] T. Johzaki, Y. Sentoku, R. Mancini, R.C. Relyea, I. Paraschiv, S. Sunahara, "Numerical Modeling of Radiative Kinetic Plasmas", 2014 US-Japan JIFT Workshop on Progress in kinetic plasma simulations, New Orleans Marriott, New Orleans, LA, U.S.A, 2014.10.31.
- [33] T. Johzaki, Y. Sentoku, A. Sunahara, T. Morikawa, T. Endo, "Fast Ignition by Photon-Pressure Accelerated Ion Beam", 56th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, New Orleans Marriott, New Orleans, LA, U.S.A, 2014.10.29.
- [34] T. Johzaki, Y. Sentoku, H. Nagatomo, A. Sunahara, H. Sakagami, K. Mima, S. Fujioka, H. Shiraga and FIREX project group, "Electron beam generation and transport in kT-class longitudinal magnetic fields", 13th International Workshop on the Fast Ignition of Fusion Targets, Queen's College, Oxford, UK, 2014.09.18.
- [35] T. Johzaki, "Recent Topics on ICF Theory & Simulation", Workshop on Status and Prospects of High Energy Density Science by Giant Laser, Gakushi Kaikan, Tokyo, Japan, 2014.06.03.
- [36] T. Shiroto, N. Ohnishi, A. Sunahara, and S. Fuji-

- oka, “Radiation influences of high-Z doped ICF target on implosion performance”, The 16<sup>th</sup> International Workshop on Radiation Properties of Hot Dense Matter, Vienna, Sept. 29 - Oct. 3, 2014.
- [37] T. Shiroto, N. Ohnishi, A. Sunahara, and S. Fujio ka, “Dependence of Ablative Rayleigh-Taylor Instability on High-Z Dopant Concentration”, Proceedings of Eighth International Conference on Inertial Fusion Science and Applications (accepted).
- [38] T.Nakamura, T.Hayakawa, “Numerical study on quantum beam generation from laser-plasma interactions ”, European Conference on Laser-Matter Interactions 2014, to appear.
- [39] T.Nakamura, “Propagation of intense electromagnetic field in gas-media”, Proceedings of NBiS 2014, pp. 272-275, 2014.
- [40] K. Nagata, et. al., “A filtering technique for the temporally reduced matrix of the Wilson fermion determinant”, PoSLATTICE2015.
- [41] A. Nakamura, K. Nagata, “Pursuing QCD Phase Transition with Lattice QCD and Experimental Data”, PoS LATTCE 2013, 216, 2014.
- [42] K. Nagata, A. Nakamura, S. Hashimoto, “A property of Fermions at finite density by a reduction formula of Fermion determinant”, PoS LATTICE2013, 207, 2014.
- [43] A. Nakamura, K. Nagata, “Numerical Approach to Quark-Gluon World from Statistical QCD”, JPS Conf. Proc. 1, 16002, 2014.
- [44] Adriano Di Giacomo and Masayasu Hasegawa, “Zero modes of Overlap fermions, Instantons, and Monopoles”, PoS (LATTICE2014), 341 (Submitted), 2014.
- [45] Adriano Di Giacomo and Masayasu Hasegawa, “Zero modes, Instantons, and Monopoles”, AIP proceedings (Submitted), 2014.
- [46] T. Miyagi, T. Abe, R. Okamoto, and T. Otsuka, “Many-body calculations for medium-mass nuclei by the unitary transformation method”, to appear in J. Phys. Soc. Conf. Proc.
- ### 3. 国内研究会等発表論文
- [1] 花輪理徳, 山田暁, 宮内優, 竹内伸太郎, 梶島岳夫, “平板上に規則的に配置された弾性柱群と乱流の相互作用の解析”, 日本流体力学会年会 講演論文集, Paper No.240, 2014.9.15.
- [2] 梶島岳夫, “翼まわりのキャビテーション乱流のLESについて”, 第 17 回キャビテーションに関するシンポジウム 講演論文集, Paper No.39, 2014.11.21.
- [3] 國嶋雄一, 梶島岳夫, 蔦原道久, “差分格子ボルツマン法の乱流解像能力の検証”, 第 28 回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, Paper No.D03-3, 2014.12.9.
- [4] 近藤克哉, 梶島岳夫, 竹内伸太郎, “自然対流が支配的な固液分散二相流の熱伝達特性”, 第 28 回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, Paper No.D09-4, 2014.12.11.
- [5] 佐藤範和, 竹内伸太郎, 梶島岳夫, 稲垣昌英, 堀之内成明, “固体熱伝導をともなう対流伝熱問題のための直交格子法”, 第 28 回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, Paper No.E09-1, 2014.12.11.
- [6] 加藤拓磨, 梶島岳夫, “流体と柔軟纖維構造物の相互作用が空力音源に及ぼす影響に関する数値解析”, 日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会 講演前刷集, p.8P25, 2015.3.14.
- [7] 原田武, 竹内伸太郎, 梶島岳夫, “粒子混相流れにおける潤滑効果および粒子内温度分布を考慮した伝熱解析”, 日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会 講演前刷集, p.9P12, 2015.3.14.
- [8] 花輪理徳, 宮内優, 竹内伸太郎, 梶島岳夫, “平板上の纖維状弾性構造物群と組織渦との相互作用の数値的解析”, 日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会 講演前刷集,

- p.12P12, 2015.3.14.
- [9] 平井健志, 梶島岳夫, “低レイノルズ数域での折れ曲がり翼の空力性能”, 日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会 講演前刷集, p.13P24, 2015.3.14.
- [10] 猪股誠至, 深田利昭, 竹内伸太郎, 梶島岳夫, “流体内を二次元非定常運動する粒子にはたらく履歴力の数値解析”, 日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会 講演前刷集, p.14A23, 2015.3.14.
- [11] 佐竹うらら, 榎本俊之, “エッジ・ロールオフ抑制に有効な研磨パッドの選定 - 研磨パッド変形特性の評価方法 -”, 2014 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, 2014.
- [12] 佐竹うらら, 榎本俊之, “研磨パッドの変形特性がエッジ・ロールオフに及ぼす影響 - 除去量が少ない場合に有効な研磨パッド変形特性 -”, 2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2014.
- [13] 佐竹うらら, 榎本俊之, 廣瀬研二, 藤井慶太郎, “シリコンウェーハ研磨加工におけるグローバルフラットネスとエッジサイトフラットネス”, 第 10 回生産加工・工作機械部門講演会, 2014.
- [14] 廣田大地, 小田豊, 藤原航太, 芝原正彦, “LES における局所・時間平均エントロピー生成の予測モデルに関する研究”, 日本機械学会 热工学カンファレンス 2014, E221, 2014 年 11 月 8 日.
- [15] 中西拓人, Zolotoukhina Tatiana, 植木祥高, 芝原正彦, “微細構造がポテンシャルエネルギーに与える影響に関する第一原理計算”, 日本機械学会 関西学生会平成 26 年度学生員卒業研究発表講演会, 9A15, 2015 年 3 月 14 日.
- [16] 高木 洋平, “乱流による相分離粗大化過程の抑制”, 日本流体力学会年会 2014, 2014.
- [17] 岡本 幸也, 高木 洋平, 岡野 泰則, “二成分混合系における相分離と乱流の相互作用”, 第 17 回化学工学会学生発表会, I08, 2014.
- [18] 坂本まい, 武藤大貴, 坪井伸幸, “ハイブリッドロケット内部の 3 次元非定常圧縮性流れの数値解析 : 旋回強度における乱流モデルの影響”, 第 58 回宇宙科学技術連合講演会, 講演番号 1L24, 長崎, 2014.11.
- [19] 和田誠, 武藤大貴, 坪井伸幸, 藤本圭一郎, “二次元数値解析による液体燃料ロケットアボート時の推進剤ジェット・主流の干渉メカニズムの解明”, 日本機械学会九州支部九州学生会 第 46 回卒業研究発表講演会, pp.355-356, 北九州, 2015.3.
- [20] 牟田智幸, 衛藤遙, 坪井伸幸, 丸祐介, 藤田和央, “尾翼つきWaverider周りの流れ場における空力特性評価”, 日本機械学会九州学生会・第 46 回卒業研究発表講演会論文集, pp.437-438, 北九州, 2015.3.
- [21] 衛藤 遙, 坪井 伸幸, 丸 祐介, 藤田 和央 , “TSTO開発に向けた簡易ウェーブライダー形状での空力特性評価 :風洞試験及び数値解析による評価”, 平成 26 年度宇宙航行の力学シンポジウム, 相模原, 2014.12.
- [22] 衛藤遙, 坪井伸幸, 丸祐介, 藤田和央, “簡易ウェーブライダー形状の空力特性評価 : 鈍頭前縁形状が空力特性及び表面熱流束に与える影響”, 第 58 回宇宙科学技術連合講演会, 1I03, 長崎, 2014.11.
- [23] 武藤大貴, 坪井伸幸, 寺島洋史, “超臨界圧力下の極低温同軸噴流に対する噴射器形状の効果”, 第 46 回流体力学講演会/第 32 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 1E11, 弘前, 2014.7.
- [24] 芝尾将史, 坪井伸幸, 伊藤隆, “数値解析によるリニアエアロスパイクノズルの性能評価と流れ場解析”, 第 58 回宇宙科学技術連合講演会, 講演番号 1L25, 長崎, 2014.11.
- [25] 藤本啓佑, 武藤大貴, 坪井伸幸, “極超音速流れにおけるランプ周りの流れ場の 2 次元数値解析 : ランプ角度及び迎角の影響”, 日本機械学会九州学生会・第 46 回卒業研究発表講演会論文集, pp.343-344, 北九州, 2015.3.
- [26] 坂井敦紘, 武藤大貴, 寺島洋史, 坪井伸幸, 根

- 岸秀世，“超臨界圧一様流中に噴射される低温水素噴流の数値解析”，日本航空宇宙学会西部支部講演会，S007，福岡，2014.11.28.
- [27] 江藤成一朗，坪井伸幸，渡辺裕介，小島孝之，林光一，“ローテーティングデトネーションの数値解析：回転デトネーションの数の影響およびデトネーション速度低下の評価”，九州学生会第46回学生員卒業研究発表講演会，H14，北九州，2015.3.
- [28] 荒木孝行，森井雄飛，坪井伸幸，林光一，小原哲郎，前田真市，“エチレン/空気均一予混合気中における衝撃波/火炎干渉の数値解析—爆轟遷移過程と火炎半径の影響—”，第52回燃焼シンポジウム，E232，岡山，2014.12.4.
- [29] 渡辺裕介，江藤成一朗，坪井伸幸，小島孝之，林光一，“ローテーティングデトネーションエンジンの運転条件と性能評価 - ノズルがIspと排気振動に与える影響 -”，第52回燃焼シンポジウム講演論文集，P206，岡山，2014.12.
- [30] 新甫友昂，森井雄飛，坪井伸幸，朝原誠，林光一，“数値解析による直接起爆デトネーションの波面構造の調査:高次精度スキームと格子解像度の評価”，日本機械学会九州学生会第46回卒業研究発表講演会，H15，北九州，2015.3.
- [31] Shin Inada, Daniel T. Harrell, Ryo Haraguchi, Takashi Ashihara, Naomasa Makita, Kazuo Nakazawa, “Ventricular arrhythmias generated from Purkinje fiber network with gap junction mutation - A simulation study -”, The Final HD Physiology Symposium, (2015/3/4-6, Osaka, poster presentation).
- [32] Takashi Ashihara, Ryo Haraguchi, Shin Inada, Kazuo Nakazawa, Minoru Horie, “Applicability of human iPS cell-derived myocardial sheet to the study of arrhythmias: A simulation study”，第53回日本生体医工学会大会，(2014/6/24-26, 仙台, オーガナイズドセッションにて口頭発表).
- [33] Shin Inada, Daniel Harrell, Ryo Haraguchi, Takashi Ashihara, Naomasa Makita, Kazuo Nakazawa, “Ventricular arrhythmia induced by the Purkinje network with reduced gap junction conductance - A simulation study -”，第53回日本生体医工学会大会，(2014/6/24-26, 仙台, オーガナイズドセッションにて口頭発表).
- [34] 比江島俊彦，“圧縮性縦渦のヘリシティ分布に関する不安定条件”，日本流体力学会年会2014講演論文集，114, pp.1-3, Sep. 2014.
- [35] 前岡洋平，比江島俊彦，“AWストラットを用いた超音速燃焼における当量比の影響”，日本機械学会講演論文集，M504, pp.1, Mar. 2015.
- [36] 吉川 裕，“海面加熱時の混合層深度と風成流のスケーリング則”，海洋大循環の力学(中深層循環)研究会，九州大学，2014年11月.
- [37] 平田基徳，沖野真也，花崎秀史，“物体により励起される表面張力重力波”，京都大学数理解析研究所研究集会「非線形波動現象のメカニズムと数理」，Oct. 2014, 京都大学数理解析研究所講究録（印刷中）.
- [38] 平田基徳，沖野真也，花崎秀史，“物体により励起される表面張力重力波の数値シミュレーション”，第92期日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集，GS37, Oct. 2014.
- [39] 小野寺冬真，辻本公一，社河内敏彦，安藤俊剛，“DNSによる回転モード下におけるダイナミック制御噴流の構造解析”，日本機械学会2014年度年次大会講演論文集，DVD, 5p., Sep.2014.
- [40] 小池直紀，辻本公一，社河内敏彦，安藤俊剛，“ノズル回転制御下における衝突噴流の流動・伝熱特性”，日本機械学会2014年度年次大会講演論文集，DVD, 5p., Sep.2014.
- [41] 小野寺冬真，辻本公一，社河内敏彦，安藤俊剛，“回転モード下におけるダイナミック制御多重噴流のDNS”，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集，USB, 2p., Oct.2014.
- [42] 小池直紀，辻本公一，社河内敏彦，安藤俊剛，“DNSによるノズル回転制御下における衝突噴流の流動・伝熱特性”，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集，USB, 4p., Oct.2014.

- [43] 小野寺冬真, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, “ダイナミック制御した多重噴流のDNS”, 第 12 回 日本流体力学会中部支部講演会講演概要集, p. 1, Nov.2014.
- [44] 小池直紀, 辻本公一, 社河内敏彦, 安藤俊剛, “回転制御した衝突噴流のDNS”, 第 12 回 日本流体力学会中部支部講演会講演概要集, p. 2, Nov.2014.
- [45] SANMUGA K ARUMUGAM, 辻本公一, 小野寺冬真, 社河内敏彦, 安藤俊剛, “DNS によるダイナミック制御した多重噴流の混合特性”, 日本機械学会東海支部第 64 期総会講演会講演論文集, CD-ROM, 2p., Mar.2015.
- [46] 佐藤一志, 吹場活佳, “自由回転軸を持つ翼型を用いた抗力低減法における翼形状とRe数の影響”, 第 46 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2D03, July 2014.
- [47] 佐久間悠人, 田村哲郎, “浮力場における鉛直渦に基づく突風作用に関するDNS解析”, 第 23 回風工学シンポジウム, pp439-444, 2014 年 12 月 5 日.
- [48] 佐久間悠人, 田村哲郎, “熱的循環構造に発生する鉛直渦に関するDNS解析”, 第 28 回数値流体力学シンポジウム, 2014 年 12 月 11 日.
- [49] 佐久間悠人, 田村哲郎, “竜巻状渦の生成機構に関する数値解析的研究”, 日本風工学会平成 26 年度優秀修士論文賞.
- [50] 片岡浩人, “Hybrid RANS/LES計算手法による都市の風の道評価手法の検討”, 大林組技術研究所報, No. 78, 2014.12.
- [51] 片岡浩人, 田村哲郎, “LESによる都市キャノピー内外の風の乱流構造の予測-LDV計測による乱流統計量との比較検討”, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, pp. 535-560, 2014.12.
- [52] 片岡浩人, 田村哲郎, “実市街地を対象とした都市キャノピー内外の風の予測”, 建築学会大会学術講演会 (投稿中).
- [53] 高橋通博, 塚原隆裕, 川口靖夫, “非線形 k-  $\varepsilon$  モデルを基にした粘弹性流体の乱流予測”, 第 92 期日本機械学会流体工学部門講演会 講演論文集, 富山, 0420 (4 pages), 2014 年 10 月.
- [54] 嶺岸卓也, 塚原隆裕, 川口靖夫, “DNSによる粘弹性流体チャネル乱流内の渦抑制に関する応力場解析”, 第 92 期日本機械学会流体工学部門講演会 講演論文集, 富山, 0415 (3 pages), 2014 年 10 月.
- [55] 城崎知至, Y. Sentoku, R. Mancini, R. Rolye, I. Paraschiv, “相対論レーザープラズマシミュレーションにおける輻射輸送効果”, プラズマシミュレータシンポジウム 2014, 核融合科学研究所, 土岐市, 岐阜県, 2014.09.18.
- [56] 城崎知至, 砂原淳, 長友英夫, 甲斐祐亮, 遠藤琢磨, 余語覚文, 有川安信, Alessio Morace, 小島完興, 坂田匠平, 長井隆浩, Zhe Zhang, 安部勇輝, 池之内孝仁, 宇津木卓, 李昇浩, 井上裕晶, 側貴行, 田口雄基, 尾崎哲, 戸崎翔太, 西村博明, 山ノ井航平, 乗松孝好, 藤岡慎介, 白神宏之, 疋地宏, FIREXプロジェクトチーム, “レーザー加速イオンビームによるコア加熱効率の向上”, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 早稲田大学早稲田キャンパス, 東京都, 2015.03.24.
- [57] T. Shiroto, N. Ohnishi, A. Sunahara, and S. Fujioka, “Hydrodynamic instability analysis on deceleration phase with implicit time-integration”, Plasma conference 2014, Niigata, Nov. 18 - Nov. 21, 2014..
- [58] 白戸高志, 大西直文, 砂原淳, 藤岡慎介, 佐々木明, “高 Z 物質を含む爆縮シミュレーションにおける原子過程モデルの影響”, 日本物理学会第 70 回年次大会, 東京, 3 月 21 日 - 3 月 24 日, 2015 年.

## 4. 著書

- [1] 梶島岳夫, “乱流の数値シミュレーション 改訂版”, 養賢堂, 2014.7.2.

## 5. その他

- [1] 吉永司, 野崎一徳, 和田成生, “口腔内の流速を考慮した歯茎摩擦音/s/の口腔単純形状モデル”, 2014年12月, 第34回流力騒音シンポジウム, 東京大学工学部.
- [2] 吉永司, “口腔単純形状モデルを用いた歯茎摩擦音/s/の発話機構に関する研究”, 2015年2月, 大阪大学基礎工学研究科修士論文.
- [3] 須藤淳, 松尾太郎, 芝井広, 住貴宏, 深川美里, 山本広大, 小西美穂子, Matthias S. Samland, 伊藤洋一, 田村元秀, HiCIAO/AO188/Subaruチーム, “SEEDSによる散開星団での系外惑星探査5: 2013年度の進捗報告”, 2014年9月, 日本文学会2014年秋季年会, 山形大学.
- [4] 岡耕平, 笠井秀明, “銅-金合金表面の酸化反応における表面偏析の影響”, 2015年3月21-24日, 日本物理学会第70回年次大会, 早稲田大学.
- [5] 岡耕平, 笠井秀明, “銅-金系合金における酸素吸着と銅の表面への析出”, 2015年11月18-20日, 第55回真空に関する連合講演会, 大阪府立大学.
- [6] 西井智紀, 大倉一郎, “突起付きアルミニウム合金板の曲げ耐荷力”, 平成26年度卒業研究.
- [7] 山中誠矢, 大倉一郎, “せん断を受けるアルミニウム合金桁の耐荷力”, 平成26年度卒業研究.
- [8] 前田貴公, 大倉一郎, “せん断を受ける突起付きの細長いアルミニウム長方形板の耐荷力”, 平成26年度土木学会全国大会第69回年次学術講演会発表.
- [9] 鳥畠一博, 大倉一郎, “アルミニウム合金桁の曲げ耐荷力算定式”, 平成26年度土木学会全

国大会第69回年次学術講演会発表.

- [10] 宮本良之, “Optical Field Enhancement by Semiconducting Graphene Nanoribbons”, 2015年3月6日, 米国物理学会.
- [11] T. Tsukahara, “Viscoelastic and elasto-inertial turbulence in roughened/smooth channel flow”, Sep. (2014), KTH Mechanics Seminars, KTH, Stockholm, Sweden .
- [12] 中村龍史, 早川岳人, “レーザー駆動ガンマ線と物質との相互作用”, 2015年3月, 日本物理学会(早稲田大学).
- [13] Toshihiro Taguchi, Masahiko Inoue and T. M. Antonsen Jr., “Generation of lower harmonic radiation by a strong laser plasma interaction with asymmetrically bundled carbon nanotubes”, 2014年10月29日, American Physical Society, Division of Plasma Physics.
- [14] 田口俊弘, T. M. Antonsen, Jr. 三間闇興, “強磁場によるワイベル不安定性の制御と構造形成”, 2014年11月19日, PLASMA2014 新潟朱鷺メッセ S8-6 (シンポジウム).
- [15] 田口俊弘, T. M. Antonsen, Jr. 三間闇興, “磁化ビームプラズマ相互作用におけるホイップスラ一波の増幅”, 2015年3月21日, 日本物理学会第70回年次大会 早稲田大学早稲田キャンパス.
- [16] 永田桂太郎, HHIQCD, 京都大学基礎物理学研究所, 2015年3月.
- [17] 永田桂太郎, “格子QCDと現象論模型による有限温度・有限密度の物理の解明”, 2015年2月19日, 九州大学.
- [18] 永田桂太郎, “量子多体系の新しい潮流-テンソルネットワーク、くりこみ群、エンタングルメント-”, 2014, 12月, 基礎物理学研究所, 京都.
- [19] K. Nagata, 4<sup>th</sup> Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS, Hawaii, 2014 October.
- [20] K. Nagata, Computational Nuclear Physics II, Hawaii, 2014 October.

- [21] K. Nagata, LATTICE2014, Columbia University, NY, 2014 June.
- [22] Masayasu Hasegawa and Adriano Di Giacomo, “Zero modes of Overlap fermions, Instantons, and Monopoles (II)”, September 8-12, 2014, The 11th International Conference on Quark Confinement and the Hadron Spectrum, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia.
- [23] Masayasu Hasegawa and Adriano Di Giacomo, “Zero modes of Overlap fermions, Instantons, and Monopoles”, June 23-28, 2014, The 32nd International Symposium on Lattice Field Theory, Columbia University, New York, USA.
- [24] Masayasu Hasegawa, Adriano Di Giacomo, and Fabrizio Pucci, “Instantons, Monopoles, and Chiral Symmetry breaking”, October, 23rd, 2014, University of Bari and INFN, Bari, Italy.
- [25] Masayasu Hasegawa, Adriano Di Giacomo, and Fabrizio Pucci, “Instantons, Monopoles, and Chiral Symmetry breaking”, October, 16th, 2014, University of Pisa and INFN, Pisa, Italy.
- [26] Masayasu Hasegawa, Adriano Di Giacomo, and Fabrizio Pucci, “Chiral symmetry and Overlap fermions, Instantons and Monopoles in Lattice QCD”, May, 28th, 2014, Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, Dubna, Russia.
- [27] 関口昂臣, “SU(2)Lattice QCDにおける赤外有効自由度と空間的弦張力”, 2014年12月13, 14日, 第37回素粒子論グループ四国セミナー, 新居浜高専.
- [28] T. Miyagi, T. Abe, R. Okamoto, and T. Otsuka, “Many-body calculations for medium- mass nuclei by the unitary transformation method”, June, 2014, Advances in Radioactive Iso- topes Science 2014, Tokyo, Japan, (poster).
- [29] T. Miyagi, T. Abe, R. Okamoto, and T. Otsuka, “Saturation property of  $^4\text{He}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ , and  $^{56}\text{Ni}$  in the unitary-model-operator approach”, August, 2014, The 13th CNS International Summer School, Wako, Japan.
- [30] T. Miyagi, T. Abe, R. Okamoto, and T. Otsuka, “Ground-state energies and charge radii of medium-mass nuclei in the unitary-model- operator approach”, October, 2014, The 4th Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and The Physical Society of Japan, Hawaii, USA.
- [31] Ryutaro Fukuda, “Canonical approach to the finite density lattice QCD with winding number expansion( I ) Lee-Yang Zeros”, 2014.11.11, The 4th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, Wai-koloa, Hawaii.
- [32] 福田龍太郎, “Study of finite density QCD based on Canonical approach”, 2015.3.24, 日本物理学会第70回年次大会, 早稲田大学.



# SC14 出展報告

伊達 進 (准教授)<sup>1</sup> 阿部洋丈 (招へい准教授)<sup>1</sup> 木戸善之 (講師)<sup>1</sup> 渡場康弘 (特任研究員)<sup>2</sup> 藤本祥人<sup>3</sup>  
応用情報システム研究部門<sup>1</sup> 情報メディア教育研究部門<sup>2</sup> 情報推進部情報基盤課<sup>3</sup>

2014 年 11 月に米国ルイジアナ州ニューオリンズにて開催された国際会議/展示会 SC14において、当センターの概要、研究内容、および事業内容を紹介するための展示ブースの出展を行った。本稿ではその展示内容や当日の様子等について報告する。

## 1. はじめに

大阪大学サイバーメディアセンターでは、例年、米国で開催される国際会議 SC において展示ブースを出展する活動を継続している。SC とは、*The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis* という正式名称を持つ、IEEE Computer Society および ACM SIGARCH によって開催されている国際会議であり、ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)分野におけるトップレベル会議の一つである。それと同時に、SC は HPC に関する最新機器や最先端技術の国際見本市でもある。そのため、北米を中心とした研究者や技術者に限らず、欧州、アジアの研究者や技術者が集う最大級の国際会議／展示会となっており、ここ数年では登録者数は 1 万人を超える数字が記録されている。当センターによる展示ブースの出展は、2000 年の初出展から数え、今回で 15 回目となる。

2014 年の SC (通称 SC14) は、米国ルイジアナ州ニューオリンズにある The Ernest N. Morial Convention Center にて、11 月 16 日から 21 日までの期間に開催された。ニューオリンズ市のコンベンションセンター(図 1)は、非常に巨大なコンベンションセンターであることが特徴でもある。事実、SC14 の開催期間中も、その隣で第 142 回 American Public Health Association Annual Meeting and Exposition (APHA 2014) という公衆衛生に関する SC とほぼ同規模と思われる国際会議・展示会が開催されており、ニューオリンズのコンベンションセンターの収容力

には驚かされるばかりであった。一方、残念なことに、APHA2014 のほうがダウンタウン側に近い方のエリアで開催されていた(SC2014 はダウンタウン側から遠い方で開催されていた)ため、昼食をとりにいくにも 10 分くらい会場内を歩かなければならず、展示後半には皆かなり疲れが蓄積し、会場外にでるのが億劫になるほどであった。なお、当センターが 2000 年より出展を継続していることについては上述したが、今回のニューオリンズでの SC 出展は SC2010 につづき 2 度目となるが、その際も薬学系の大規模な国際会議が展開されており、ダウンタウン側に遠い方の開催であった。



図 1：会場の Ernest N. Morial Convention Center.

## 2. 展示内容

本年は、以下に紹介する当センターおよび情報推進部の教職員 8 名(招へい教員 3 名を含む)、および、関連研究部門に配属されている大学院生 2 名という構成で展示ブースの運営に望んだ(図 2)。なお、ブース展示は、11 月 17 日から 20 日までの 4 日間行われた。その間の当ブースへの来訪者数は、ID バッジの読み取り数で数えて 406 名であった。2013 年度の 346 名に比べて 60 名増加している。これは 2013 年度の展示の反省のもと、ブース構成員がより積極的にブース来場者に声かけを行ったことも大きいが、ブース場所がよかったこともあると考えられる。

### 応用情報システム研究部門

専任スタッフ：下條真司、伊達 進、木戸善之  
招へい教員：阿部洋丈  
(筑波大学：招へい准教授)  
市川昊平  
(NAIST：招へい准教授)  
中川郁夫  
(インテック：招へい准教授)  
大学院生：Dashdavaa Khureltulga  
高橋 慧智  
情報メディア教育研究部門  
専任スタッフ：渡場康弘  
情報推進部基盤課  
技術職員：藤本祥人



図 2: ブース出展メンバーでの記念撮影。

以下、SC14 にて大阪大学サイバーメディアセンターの出展ブースで行った展示内容について紹介する。(括弧内は担当者名。順不同、敬称略)。

#### (1) About US: Cybermedia Center, Osaka University (藤本)

当センターに関する概略(所在地、ミッション、研究部門構成等)、および、当日のブース展示の内容についての紹介を行った。具体的には、CMC が「大規模計算、情報通信、マルチメディアコンテンツ、教育の領域でサポートしていること」、「学内の教育研究機関だけでなく、

学外の企業・機構とも緊密に連携していること」、「公共の講義やその他のイベント向けに、CMC の施設利用を推進していること」を紹介した。「大阪はどこにあるのか?」、「各サービスはどれくらいの利用率か?」などの質問があった。

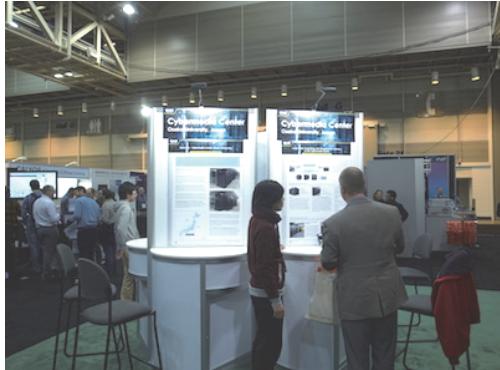


図 3: 展示の様子 1.

#### (2) New Supercomputer System SX-ACE at the Cybermedia Center (伊達、藤本)

2014 年 12 月にサービスを開始したスーパーコンピュータ SX-ACE の概要について紹介した。「サービスはどのような人に対して提供されているのか?」、「冷却システムはどうしているか?」、「消費電力はどれくらいなのか」などの質問があった。

#### (3) Large-scale Computing and Visualization(伊達、藤本)

サイバーメディアセンターが保有する大規模計算機システムおよび大規模可視化装置について紹介した。「可視化装置とはどのようなものか、どこにあるのか」、「可視化装置のアプリケーションはなにか?」、「各サービスはどれくらいの利用率か?」といった質問があった。

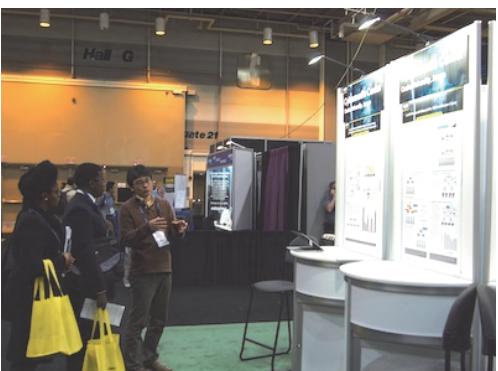


図 4: 展示の様子 2.

(4) Towards Efficient and Flexible Resources Provisioning on SDN-enhanced Job Management System Framework (渡場)

今日の高性能計算環境におけるユーザの多様な計算要求に対する柔軟かつ効率的な資源割当の実現に向け、ネットワーク資源および仮想化した計算資源の管理・割当を可能とする SDN-enhanced ジョブ管理システムフレームワークに関する研究紹介を行った。

本展示内容について、SDN-enhanced ジョブ管理システムフレームワークのシステム構成や資源の管理・割当手法についての技術的な質問やベンチマークを用いた評価実験結果に関する質問・コメントがあった。特に、評価に関しては実際的な利用状況での有用性等の質問があったため、来年度は実際的なアプリケーションを用いた評価結果を紹介したいと考えている。

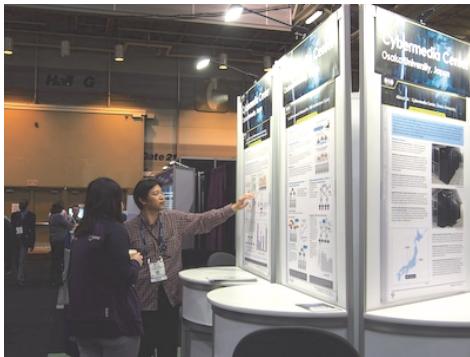


図 5: 展示の様子 3.

(5) Towards a New MPI\_Library Leveraging Software-Defined Networking (Dashdabaa、高橋)

並列分散計算でよく利用されている MPI (Message Passing Interface) の集団通信をネットワークフローをソフトウェアから柔軟に制御できるネットワークアーキテクチャーである SDN (Software Defined Networking) を応用し、効率化する研究内容を紹介した。発表している際に技術的な、一般的応用的なことを始め今後の研究に重要な質問や議論を受けた。例

えば、ONF (Open Network Foundation) からの人もきてネットワークフロー制御を速やかにするために重要なフロールールの優先度決定について議論した。



図 6: 展示の様子 4.

(6) Visualization Services at Cybermedia Center (阿部、木戸)

サイバーメディアセンターで取り組んでいる可視化サービス、特に豊中キャンパスおよびうめきた産学連携拠点に設置されているタイルドディスプレイウォール、可視化対応クラスタシステムと可視化サービスについてポスター展示を行った。具体的には、タイルドディスプレイウォールの設備やソフトウェア環境の紹介と、可視化サービスとして行った教育の事例「組込み適塾」の紹介を行った。展示ブースの来訪者からは、サービスの具体的な提供形態や、どのような分野の研究者が主に利用しているかという点についての質問があった。

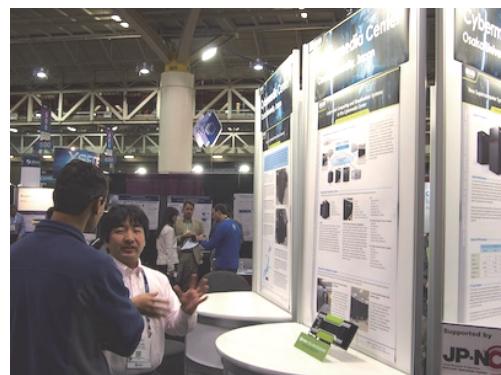


図 7: 展示の様子 5.

### 3. INDIS2014 & ATIP Workshop

本年度のSCではブース展示以外にも研究成果報告が行われたので報告する。

## INDIS2014

SC14 の併設ワークショップである Innovating the Network for Data Intensive Science (以下、INDIS) に木戸らが投稿し、採録されたことから、木戸が口頭発表を行った (図 8)。INDIS は SC14 のネットワークを構築している SCinet が主催するワークショップであり、HPC 向けの高速ネットワークを利用した研究テーマについて広く議論するものであり、デモンストレーションを義務付けた実装指向のワークショップである。スコープに Software Defined Networking (SDN) が含まれていることから、投稿した論文は「SAGE-based Tiled Display Wall Enhanced with Dynamic Routing Functionality Triggered by User Interaction」というタイトルで、タイルドディスプレイミドルウェア SAGE 上でのユーザ操作で発生するパケットストリームを、SDN 技術を用いて制御、最適化する内容とした。デモ環境は、うめきた産学連携拠点、NTT 大手町と SC14 会場を広域 SDN テストベッド RISE にて接続し、構築した。日本側の拠点にはそれぞれアプリケーションサーバを設置し、アプリケーションサーバから出力されるパケットストリームを、SAGE 上でのユーザ操作をトリガーとして経路制御を行い、パケット輻輳、衝突を避けることで、タイルドディスプレイ上での画面のフレームレート低下を防ぐ内容のデモンストレーションを行った。

実際のデモは、NICT ブースに設置した 4 面タイルドディスプレイを借用させていただき、実施した。展示期間中に都合 3 回デモを行い、その中で、SAGE の開発者であるハワイ大 Jason Lee 氏、イリノイ大 Maxine Brown 氏らにデモを見て頂いた。SAGE はネットワークに依存しながら、ネットワーク機能をほとんど低レベル API での単純な実装になっており、SDN を用いた制御について興味を持っていただいた。その上で、次期バージョン SAGE 2 での実装やアーキテクチャについて議論を行った。特に複数の SAGE システムを画面共有、同期を行う際、パケットストリームの遅延が画面制御に影響を及ぼすことから、Jason 氏らは SDN を SAGE に適用するにあたり、技術的な質問をされた。

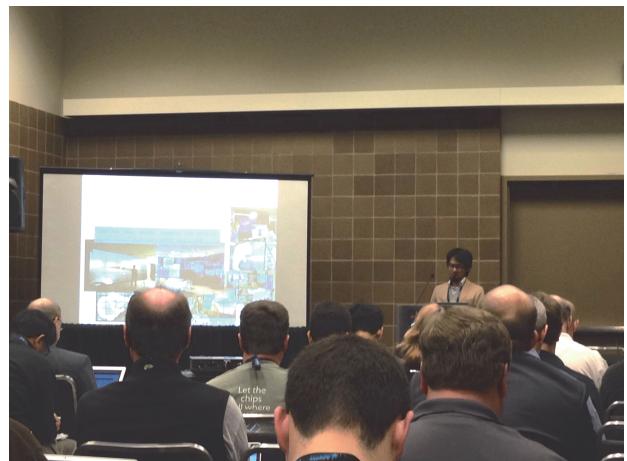


図 8: INDIS ワークショップでの様子。

## ATIP workshop

渡場、フチカ一、高橋の 3 名の学生は、日米の学生交流を目的とした、SC14 の併設ワークショップ "ATIP Workshop on Japanese Research Toward Next-Generation Extreme Computing" に参加した。学生らはワークショップにて、"Toward A New MPI Library Leveraging Software-Defined Networking" というタイトルで、これまで当センタの応用情報システム研究部門で取り組んできた、SDN (Software Defined Networking) 拡張 MPI (Message Passing Interface) についてのポスター発表を行った。ポスターセッションでは日米の様々な大学の学生らが発表を行い、HPC 分野の研究者からフィードバックをいただいた。また、このワークショップの目的の 1 つは、HPC 分野の研究に携わる日米両国的学生間の交流を深めるというものであった。同世代の学生との議論や交流を通じて、人脈の形成と共同研究の可能性を探ることができた。

## 4. おわりに

本年度の展示では、2014 年 12 月にサービスイン予定であった新スーパーコンピュータシステム SX-ACE および大規模可視化システムを目玉とする、サイバーメディアセンターで展開する大規模計算サービスおよび可視化サービスを紹介しつつ、Software Defined Network(SDN)を応用した高性能計算技術に関する研究活動および成果を紹介・報告し

た。本年度は、昨年度より微増の 400 名強のブース訪問者があったが、その内訳は北米、日本、ヨーロッパ、アジアなど多様であった。それゆえ、例年通り、サイバーメディアセンターの取り組みを国内外からのブース来訪者に広く紹介できたと考えている。また、SC での展示は、サイバーメディアセンターが設立された 2000 年から数えて 15 回目となることもあり、来訪者の中には「サイバーメディアセンター」の名前、昨年度の展示内容を覚えておられる方もおられ、サイバーメディアセンターの国際的なプレゼンスの向上を実感することもできた。

SC2014 の展示会場では、全般的に” Software Defined” をテーマとした研究展示が数多くみられた。Software Defined Datacenter などはその典型例である。本センターの展示においても、Software Defined Networking を応用したジョブ管理システムや MPI (Message Passing Interface)に関する研究展示を行っていたことから、それら 2 件の研究展示に対しては、OpenFlow Controller として何を使っているのか？実験の規模は？といった技術的に詳細な質問が数多く寄せられたようである。そのため、当該研究展示を主担当した研究員および大学院生には、今後の研究の課題や方向性を確認するのによい機会となった。

また、SX-ACE および本センターの計算環境に関する展示では、スーパーコンピュータシステム SX-ACE のプロセッサ構成や、ノード間接続などハードウェア詳細、および、それらの性能に関する質問をはじめ、IT コア棟の冷却装置、設備に関する質問が数多く寄せられた。また、国内の来訪者からは、利用を実際にを行うにあたりどのような手続きが必要であるか？どれくらいの負担金が必要なのか？という利用に伴う具体的な質問も寄せられた。展示ブースは、本センターの SX-ACE を利用するための具体的な相談、例えば、JHPCN や HPCI に関する相談などもうけつける場所にもなり、有益な展示となったと考えている。その一方、SX-ACE がどのようなアプリケーションに有効なのか、といった質問も数多く寄せられた。本年度は、SC 開催期間中にはサービスイン前であったことも有り、具体的なアプ

リケーション名を示せなかつたが、来年度の SC 展示での課題であると考える。

同様に、大規模可視化装置およびそのサービスに関する、来訪者の多くに興味・関心を持って頂けたようである。可視化技術に興味を示していただいた来訪者は、計算結果を高精細に可視化したいというニーズを持っているようであり、本センターの保有する大規模可視化システムでの可視化手法・ソフトウェアについての問い合わせを数多く頂くなど可視化に対する潜在的なニーズが存在することを確認できた。本センターの可視化サービスにおいても、そのような潜在的なニーズを掘り起こしながら推進していくことが必要かつ重要であると体感できるよい研究展示となつたと考えている。

また、昨年同様、「サイバーメディアセンターの取り組み活動は他のセンターと比較してなかなか見えにくいので、ML などを通じたより頻繁かつ積極的な広報活動が必要ではないか？」などの激励、要望が寄せられた。これらの要望に関しては、情報公開が迅速にできるように行えるように、SC 後の 12 月に大阪大学サイバーメディアセンターの大規模計算機サービスのウェブページ (<http://hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/>) を刷新するなどを行っているが、引き続き講習会などの開催情報の積極的な ML への展開などを行っていくなど尽力していくたいと考えている。

当センターでは次回の SC15 においても展示を行うことを計画している。関係各位には更なるご支援とご協力ををお願いしたい。

当日展示したポスターの PDF や、その他の写真など、ここで紹介しきれなかつた内容については下記ウェブページに掲載されています。こちらもぜひご覧ください

<http://sc.ime.cmc.osaka-u.ac.jp/>



# 第 20 回スーパー コンピューティングコンテスト (SuperCon2014) 報告および 第 21 回スーパー コンピューティングコンテスト (SuperCon2015) 告知

大阪大学サイバーメディアセンター准教授 吉野 元

## 1. 「電腦甲子園」の 20 周年記念大会

昨年 2014 年 8 月 17 日から 22 日までの 5 日間にわたり、高校生・高専生を対象とする「スーパー コンピューティングコンテスト(SuperCon2014)」が開催されました。2014 年は SuperCon の第 20 回という節目の年にあたりましたので、東西の全チームが東京工業大学（東工大）に集まってコンテストを行いました。また最終日には 20 周年記念イベントが開催されました。コンピュータ業界を含め、各界で活躍している歴代の SuperCon 参加者が一同に会し、楽しかった SuperCon の思い出、これから SuperCon への期待などを熱く語ってくださいました。

このコンテストは、2 名又は 3 名を 1 チームとする高校生・高専生の参加者たちが、与えられた課題を解くプログラムを 3 日間に渡って作成し、最終日にスーパー コンピュータで実行して、解答の正確さや計算の速さを競うもので、そのレベルの高さから、別名「電腦甲子園」とも呼ばれています。過去の出場者が大学進学後に国際大学対抗プログラミングコンテストで活躍するなど、次世代の情報科学を担う若手育成にも貢献しており、2008 年度の文部科学大臣賞も受賞しています。

1995 年の第 1 回から 2005 年の第 11 回までは東京工業大学(東工大)学術国際情報センター(Global Scientific Information and Computing Center:GSIC)の単独主催でしたが、2006 年の第 12 回からは大阪大学(阪大)(Cybermedia Center:CMC)も共同主催しています。予選に参加したチームの中から、富士川以東 50Hz 地域からは 10 チームが、60Hz 地域からはやはり 10 チームが参加します。東工大と阪大の二つの会場で同時に開催した年は、wiki やポリコムなどで相互に交流し、開会式・表彰式などもポリコムを使って二元中継で行ってきました。このコンテストは 5

日間にも渡る合宿型で、実際にスーパー コンピュータを高校生・高専生が使うことができるという、世界的にも大変ユニークなものです。原則として毎年交互に両大学のスーパー コンピュータを使います。2007, 2011 年は阪大 CMC の SX-8R が、2009 年は SX-9 が使われました。やや原則から外れますが 2013 年は東工大 GSIC の Tsubame 2.0 が使われ、GPU(Graphics Processing Unit)による超並列計算が有効な問題が出題されました。また昨年 2014 年も、阪大 CMC のスパコンの更新があったため東工大 GSIC の TUBAME 2.5 が使われました。

## 2. 予選

2014 年の予選課題は 6 月 2 日に下記の SuperCon web に公表されました。この予選課題を解くプログラムを作成し、6 月 16 日正午までにプログラムを含む必要書類を添付してメールで申し込んでもらいました。2014 年は 48 チームが予選に参加し、本選への選出は狭き門となりました。予選問題は、スーパー コンピュータを使わなくても学校や家庭にある普通のパソコンでも解けるような課題が出題されます。例えば、2014 年の予選課題は正方格子上の 2 つの格子点（スタートとゴール）をつなぐ最「長」経路を求めなさい、という課題が出題されました。これも含め、過去の予選課題、本選課題は SuperCon web に全て掲載されています。また、参加者が 2 名以上集まらない人のために、希望者には「認定証」も発行しています。予選課題を正確に解くプログラムが書けたら、「スーパー コン 1 級」が認定されます。問題のレベルに応じて 2 級と 3 級もあります。

## 3. 本選

本選の初日は開会式で参加チームの紹介、本選課題の発表、攻略法の解説がありました。その後、スーパー コンピュータを利用するためのオリエンテ

ーションと並列計算についての講義が行われ、チームごとに本選課題を解くためのプログラム設計に入ります。そして、本選2日目から4日目の午前中まではチームごとにプログラムを作成します。この間コンテストOBを含む大学生・大学院生がチューターとしてバグ取りなどを手伝えます。ただし、課題そのものに関する助言はしません。最終日の成果発表会、表彰式の後には懇親会も行われます。高校生・高専生の参加者たちと、両大学の教員、学生チューターたちが、プログラミングや大学について語らう大切な時間となっています。

#### **4. SuperCon 2015 の告知**

2015年は8月17日から21日までの5日間での開催を予定しています。予選課題は6月1日に公表予定で、課題提出〆切は6月19日正午です。使用するスパコンは、昨年度の更新でパワーアップした阪大CMCのSX-ACEを利用する予定です。本年もチャレンジする高校生・高専生、引率の先生方など参加者の皆さんに喜んでいただけるよう様々な工夫を凝らそうと関係者一同考えています。本稿が皆様のお目に触れるときには既にスケジュールが進行しているかもしれません、もしも可能ならば皆様もお知り合いの高校生にSuperCon2015というものがあり、大変に楽しい行事であることを呼びかけてください。また、来年以降、すなわちSuperCon2016以降への参加、お申し込みをご検討頂ければ幸いです。

#### **5. Web**

<http://www.gsic.titech.ac.jp/supercon/> が  
コンテストページです。ぜひ一度御覧ください。

# 大規模計算機システム利用者講習会等の紹介

大阪大学サイバーメディアセンター准教授 降旗 大介

## 1. 目的

サイバーメディアセンターの関係者は、如何にしたら導入している大規模計算機システムをユーザにより有効活用してもらえるかを日々考えています。その一環として、マニュアル等の充実、ユーザからの質問をメールなどで受け付ける仕組みの構築、FAQ の整備検討などを行っておりますが、その中でも重要と位置づけているのが講習会です。講習会は大規模システムの開発や管理などを行っている関係者とユーザが直接やりとり出来る場でもあり、お互いに大変貴重な機会なため、講習会講師だけない関係者も立ち会うことがしばしばです。その講習会の内容としては、スーパーコンピュータの OS としての Unix 環境についてのものやそのハードウェアについての概要説明、また、ユーザにとって重要な並列計算の概要から各種プログラミング技法の詳細に至るまで、そして専門家用の特殊なソフトウェアについてのものなど、ユーザの要望に沿ったものとなっています。詳細については次ページに講習会のリストが掲載されております。また、サイバーメディアセンター大規模計算機システムの web ではより詳細について掲載をしておりますので、ぜひご覧ください。

## 2. 多忙な方も参加しやすく

サイバーメディアセンターの講習会の特徴として、原則として 年に 2 回、ほぼ同じ内容の講習会を開催する点があげられます。毎年、6 月頃と 10 月頃に集中的に開催しています。これは、学期始めや学期末を外して欲しい、あまり年度の後ろ側だと学生の研究開始に間に合わないなどのユーザの声を反映したもので、なるべく多くのユーザが参加できるように工夫した結果です。また、Gaussian などの講師を確保しにくい研究者用専門ソフトウェアの講習会に

ついては、東北大学と協力してテレビ会議システムを用いることで講師を確保し、講習会を開催しています。こうした努力の甲斐あってか各講習会ともに一定数のユーザの参加をいただいており、ユーザの皆様に役立っていると考えています。

## 3. 初学者に優しく

おおよそ 20 回程度の講習会を開催しておりますが、そのうちのおおよそ 1/4 は初学者が対象の内容のものです。具体的には、Unix の簡単な操作方法についてや、スパコンハードウェアの概要説明、並列計算の概念のみの説明などからなります。スパコンを使うユーザというとこうした知識やプログラミング技法について大変なプロフェッショナルばかりかとよく思われるがちですが、どなたにも「初めての時」はあるものですし、細かい技術についてはマニュアルが有っても、基礎的な概念についてはどこにも記載が無いということも珍しくないです。サイバーメディアセンターはこうした点を補い、より広い分野・方面の方にユーザとしてシステムを使ってもらうべく、常に初学者に優しくありたいと考えてこのような構成にしています。

## 4. プロフェッショナルな方も

もちろん、サイバーメディアセンターはプロフェッショナルなユーザへの支援も怠らず、専門的な内容についても講習会を行っています。並列計算のプログラミング技法 MPI についての講習会や、IDL, AVS, VR4MAX, Gaussian といった専門家用のソフトウェアの講習会も行っています。一部の講習会は、大規模計算機システムの開発そのものを行っている会社から技術者を講師として招き、非常に微細な部分に至るまで技術的な話を聞くことが出来る機会としています。

## **5. ぜひご参加され、そしてフィードバックを**

講習会の情報については

[http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/lecture\\_event/lecture/](http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/lecture_event/lecture/)

にて常に更新、公開しておりますので、ぜひ頻繁にご覧になり、ご興味のある会に積極的にご参加ください。皆様のご参加を常に歓迎致します。

また、このように、様々な工夫と努力のうえに行われている講習会ですが、大規模計算機システムのユーザの使い方は日々変わっていくものですから、講習会もそれにあわせて変化、進歩していく必要があります。しかし、それにはユーザの方々の意見がなにより重要です。そのフィードバックの先に、より良い講習会の実現があります。ユーザの皆様におかれましては、遠慮をせずに、いつでも構いませんので、講習会についての要望をぜひサイバーメディアセンターまでお聞かせください。

## 2015年度大規模計算機システム利用講習会

講習会名	開催日時	講師	開催場所
スペコンに通じる並列プログラミングの基礎	6月2日(火) 13:30 - 15:00	サイバーメディアセンター 降旗 大介 準教授	サイバーメディアセンター本館 2階 中会議室
スーパーコンピュータ概要と スーパーコンピュータ利用入門	6月16日(火) 13:00 - 17:00	サイバーメディアセンター 吉野 元 準教授 木戸 善之 講師 情報基盤課 技術職員	サイバーメディアセンター本館 2階 中会議室
SX-ACE 高速化技法の基礎	6月18日(木) 13:00 - 16:00	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館 2階 小会議室
並列コンピュータ高速化技法の基礎	6月23日(火) 13:00 - 16:00	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館 2階 小会議室
SX-ACE 並列プログラミング入門(MPI)	6月25日(木) 10:00 - 16:00	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館 2階 小会議室
SX-ACE 並列プログラミング入門(HPF)	6月30日(火) 13:00 - 16:00	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館 2階 小会議室
スペコンに通じる並列プログラミングの基礎	9月1日(火) 13:30 - 15:00	サイバーメディアセンター 降旗 大介 準教授	サイバーメディアセンター豊中教育研究棟 7階 会議室
スーパーコンピュータ概要と スーパーコンピュータ利用入門	9月15日(火) 13:00 - 17:00	サイバーメディアセンター 吉野 元 準教授 木戸 善之 講師 情報基盤課 技術職員	サイバーメディアセンター本館 2階 中会議室
SX-ACE 高速化技法の基礎	9月頃 開催予定	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館
並列コンピュータ高速化技法の基礎	9月頃 開催予定	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館
SX-ACE 並列プログラミング入門(MPI)	9月頃 開催予定	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館
SX-ACE 並列プログラミング入門(HPF)	9月頃 開催予定	日本電気(株)	サイバーメディアセンター本館
AVS可視化処理入門	9月頃 開催予定	サイバネットシステム(株)	サイバーメディアセンター本館
AVS可視化処理応用	9月頃 開催予定	サイバネットシステム(株)	サイバーメディアセンター本館

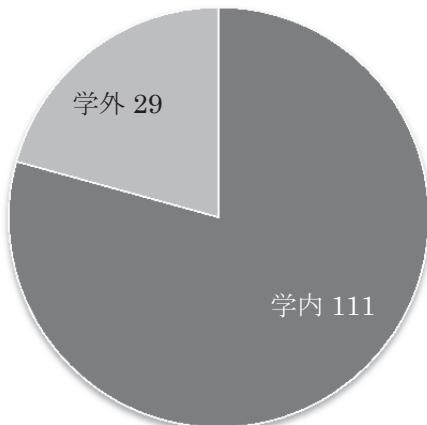
## テレビ会議システムによる講習会

講習会名	開催日時	開催機関	受講場所
Gaussian講習会	8月28日(金) 13:00~15:00	東北大学	サイバーメディアセンター本館 2階 中会議室 サイバーメディアセンター豊中教育研究棟 7階 会議室

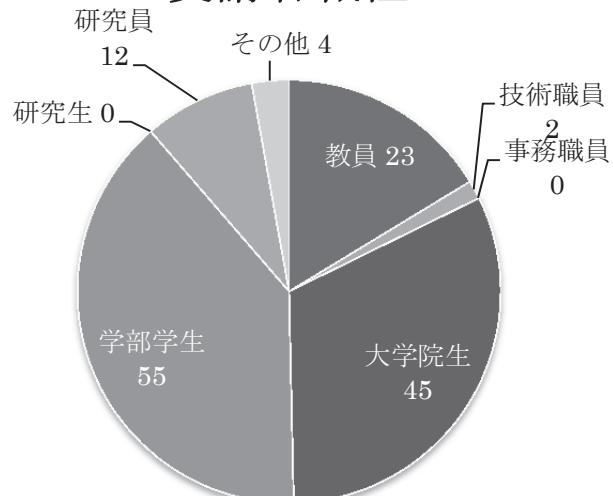
## 2014年度大規模計算機システム利用講習会 アンケート集計結果

講習会名	開催日時	申込者数	受講者数	学内	学外
スペコンに通じる並列プログラミングの基礎	6月3日(火) 13:30~15:00	29	29	24	5
スーパーコンピュータ概要と スーパーコンピュータ利用入門	6月9日(月) 10:00~16:00	14	14	12	2
IDL利用入門	6月10日(火) 13:00~17:00	7	7	5	2
スーパーコンピュータと 並列コンピュータの高速化技法	6月17日(火) 10:00~16:00	12	9	8	0
MPIプログラミング入門	6月24日(火) 10:00~16:00	11	9	7	2
HPFプログラミング入門	6月26日(木) 13:00~16:00	4	2	2	0
Gaussian講習会	8月29日(金) 13:00~17:00	6	5	5	0
AVS可視化処理入門	10月8日(水) 10:00~16:00	14	13	7	5
AVS可視化処理応用	10月9日(木) 10:00~16:00	13	10	6	4
並列計算入門	11月11日(火) 13:30~15:00	10	10	8	2
スーパーコンピュータ概要と スーパーコンピュータ利用入門	1月15日(木) 13:00~17:00	16	13	11	2
スーパーコンピュータと 並列コンピュータの高速化技法	1月21日(金) 10:00~16:00	8	5	5	0
MPIプログラミング入門	1月27日(火) 10:00~16:00	8	7	6	1
HPFプログラミング入門	1月28日(水) 13:00~16:00	9	9	5	4
合計		161	142	111	29

受講者内訳

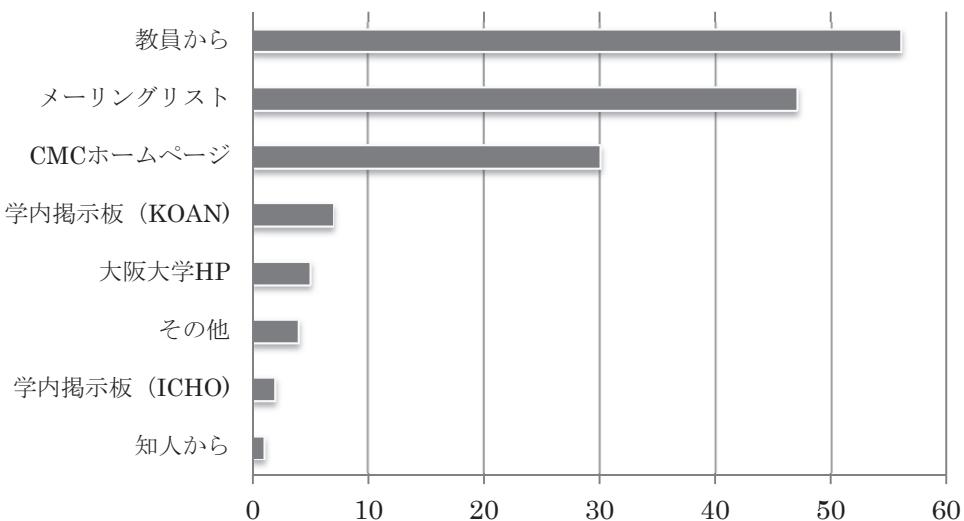


受講者職種

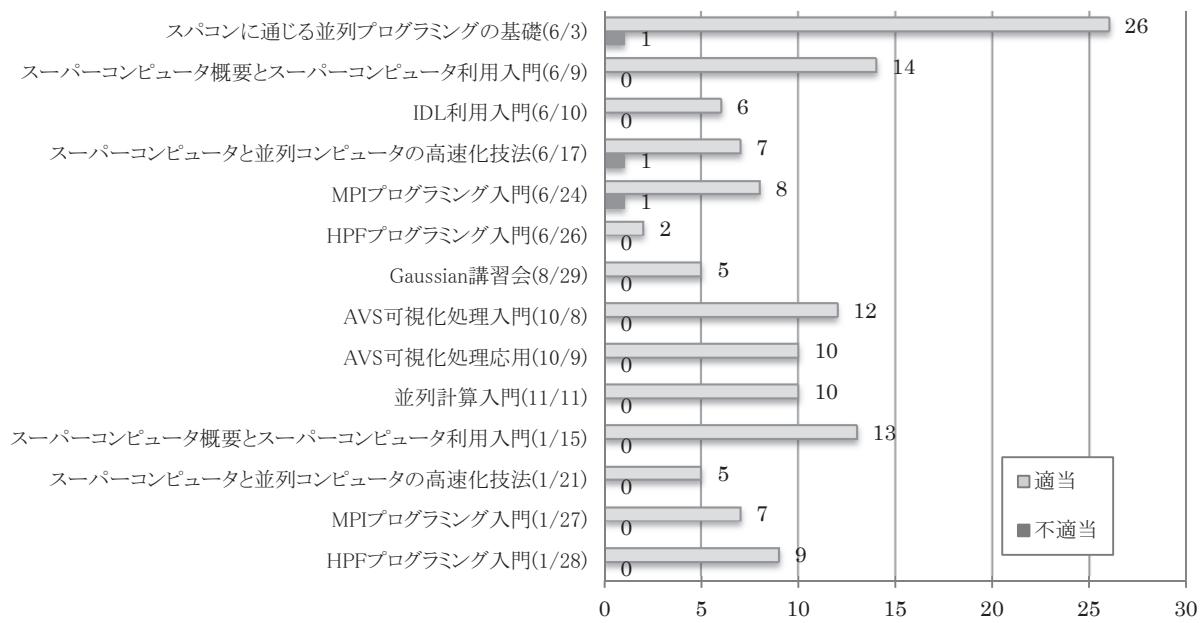


◆今回の講習会についてどのようにお知りになりましたか。（複数回答可）

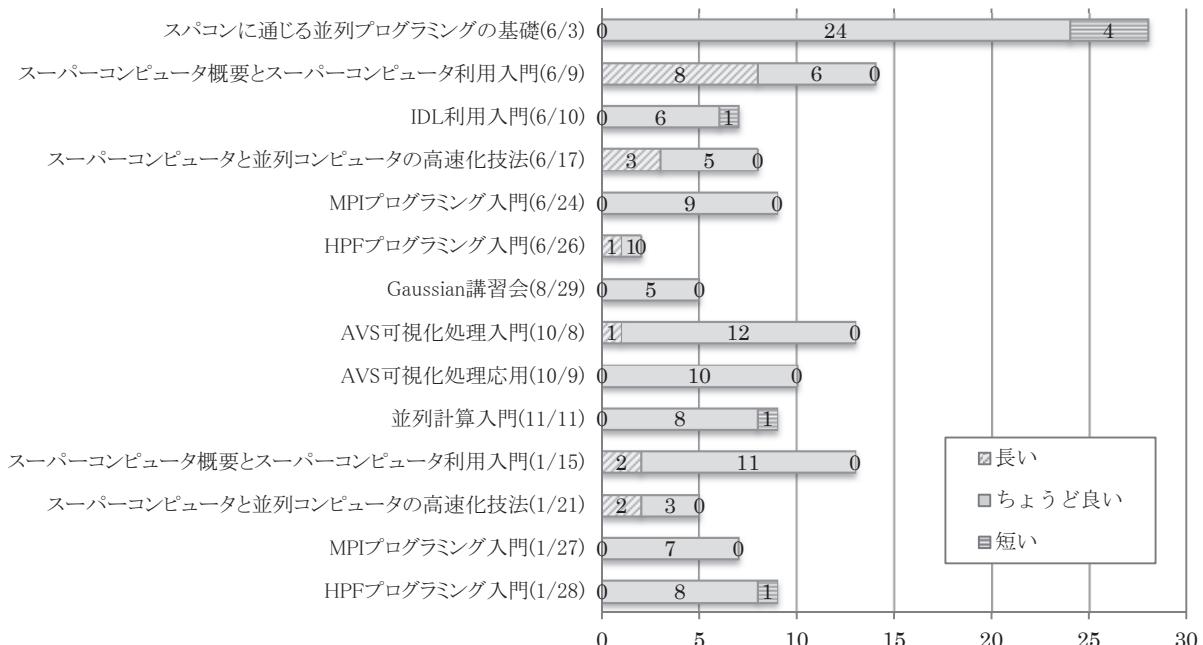
講習会名	CMCホームページ	メーリングリスト	大阪大学HP	学内掲示板(ICHAN)	学内掲示板(KOAN)	教員から	知人から	その他
スパコンに通じる並列プログラミングの基礎(6/3)	2	9	1	0	1	15	0	0
スーパーコンピュータ概要と スーパーコンピュータ利用入門(6/9)	2	4	0	0	1	8	0	0
IDL利用入門(6/10)	1	4	0	0	0	3	0	0
スーパーコンピュータと 並列コンピュータの高速化技法(6/17)	1	4	0	1	0	2	0	0
MPIプログラミング入門(6/24)	2	5	1	0	1	2	0	1
HPFプログラミング入門(6/26)	0	1	0	0	1	1	0	0
Gaussian講習会(8/29)	0	1	0	0	0	4	0	0
AVS可視化処理入門(10/8)	1	4	1	0	2	6	0	0
AVS可視化処理応用(10/9)	1	3	1	0	0	6	0	0
並列計算入門(11/11)	1	1	1	0	0	6	1	0
スーパーコンピュータ概要と スーパーコンピュータ利用入門(1/15)	5	4	0	1	1	1	0	2
スーパーコンピュータと 並列コンピュータの高速化技法(1/21)	3	2	0	0	0	0	0	0
MPIプログラミング入門(1/27)	5	2	0	0	0	1	0	0
HPFプログラミング入門(1/28)	6	3	0	0	0	1	0	1
合計	30	47	5	2	7	56	1	4



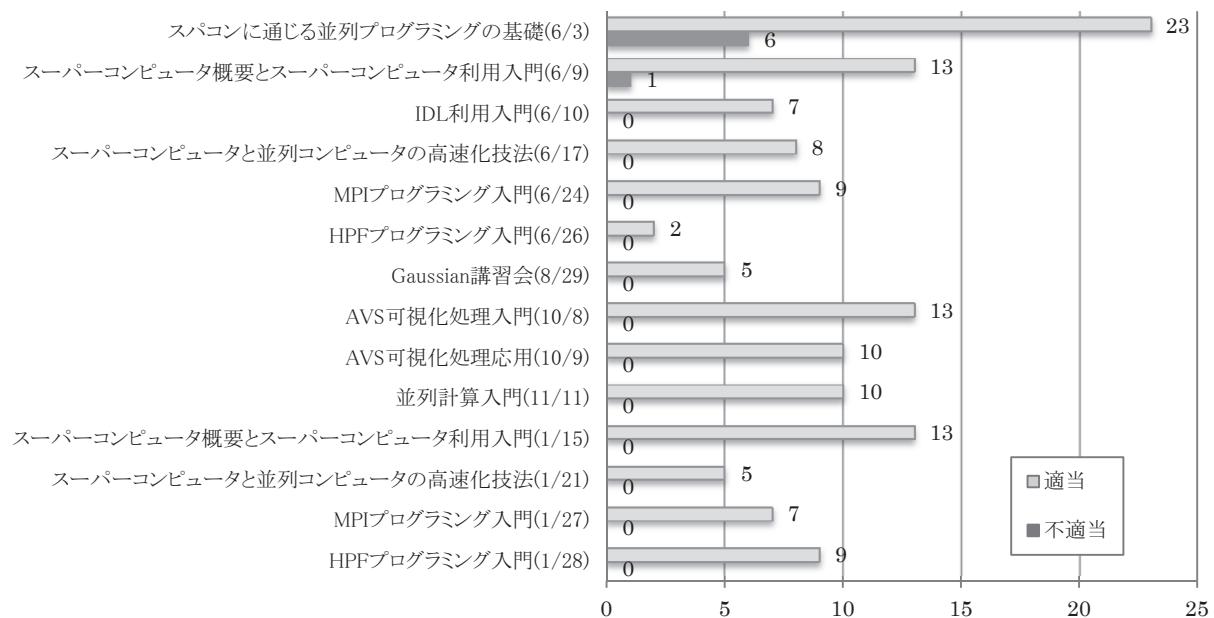
◆今回の講習会の開催日は適当でしたか。



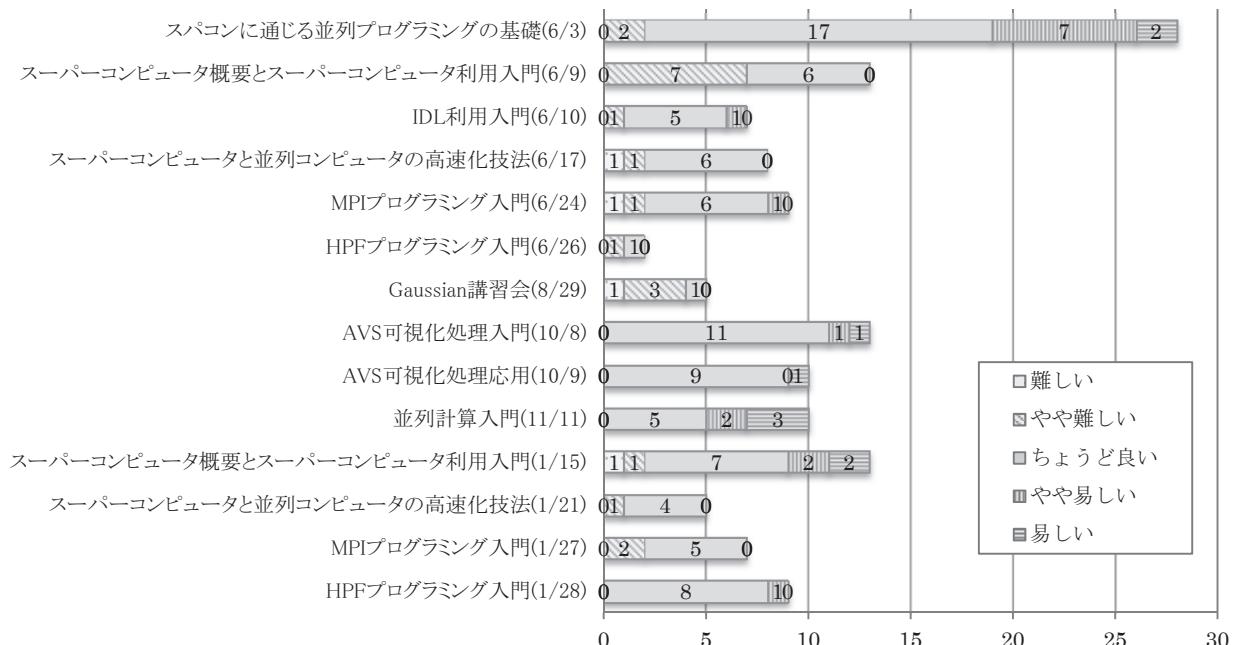
◆今回の講習会の時間は適当でしたか。



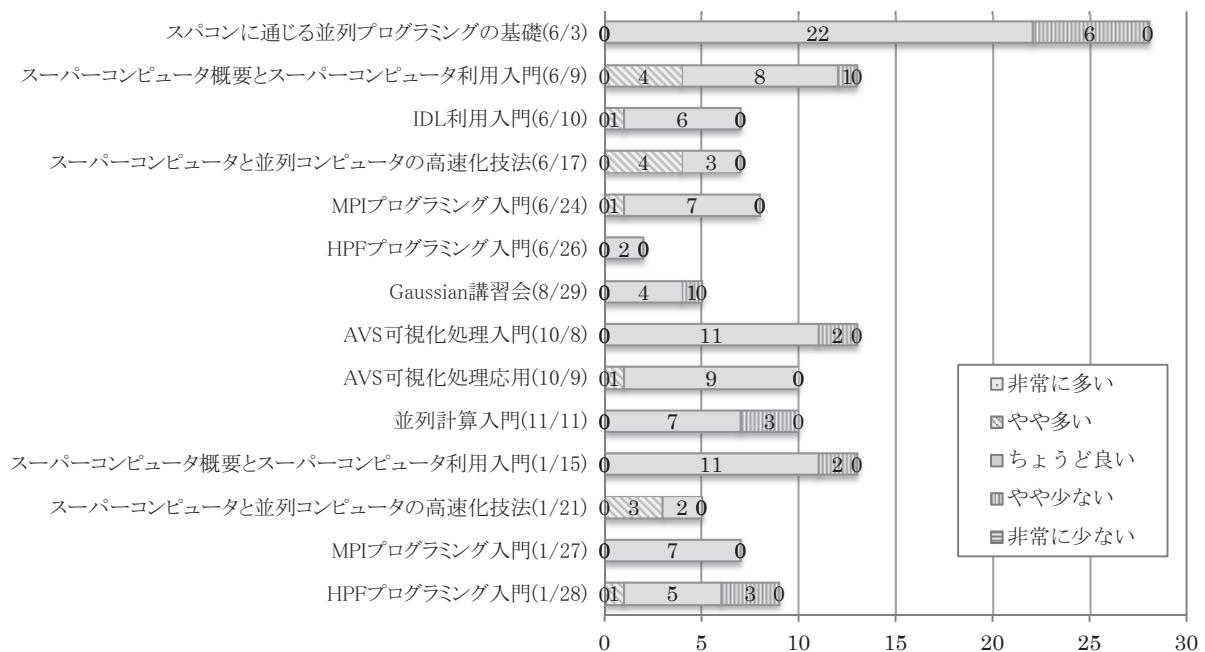
◆会場の大きさ、場所は適当でしたか。



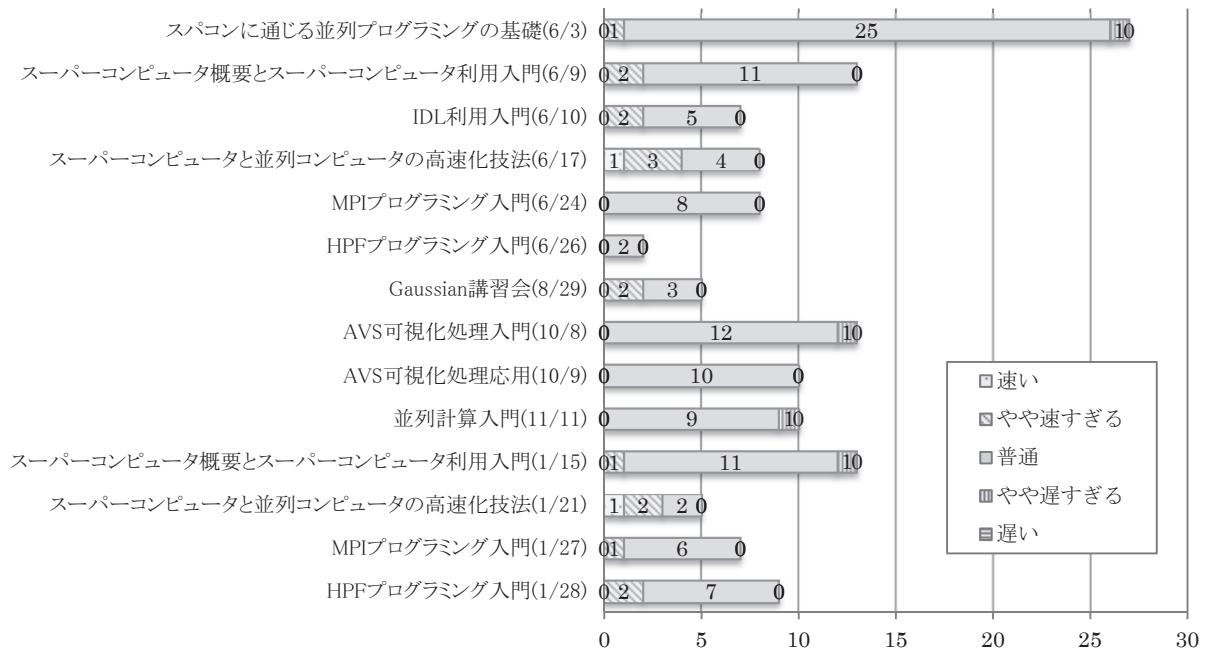
◆今回の講習会の内容はどうでしたか。



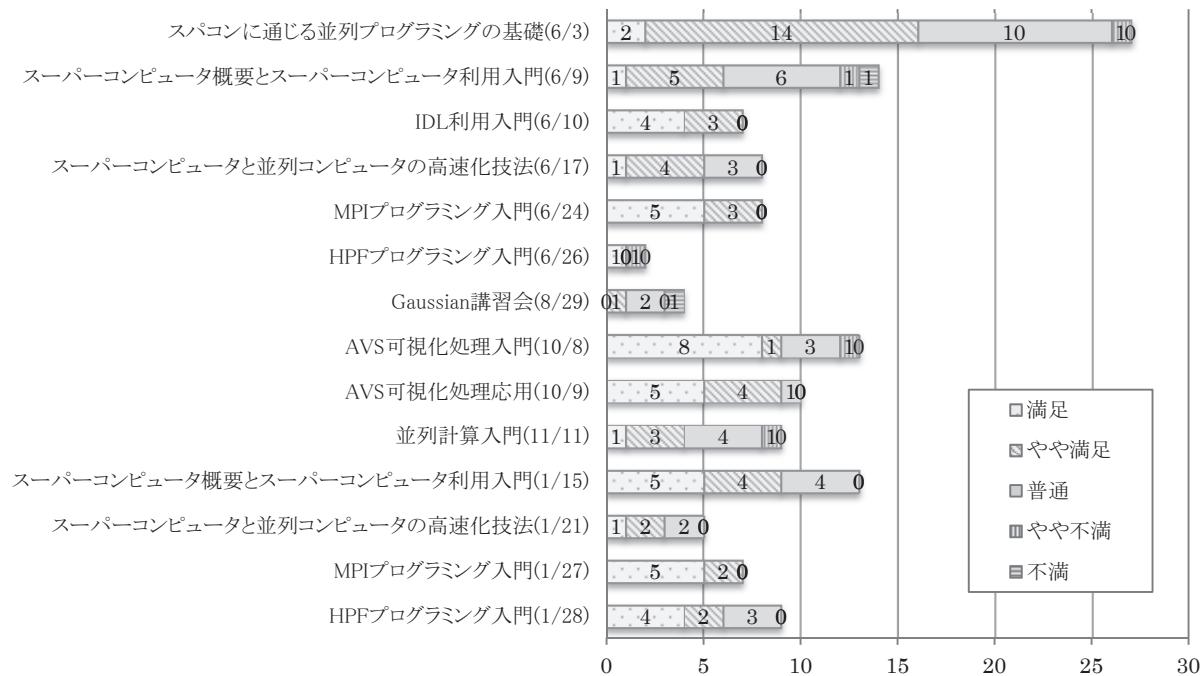
◆今回の講習会で取り扱った内容量はどうでしたか。



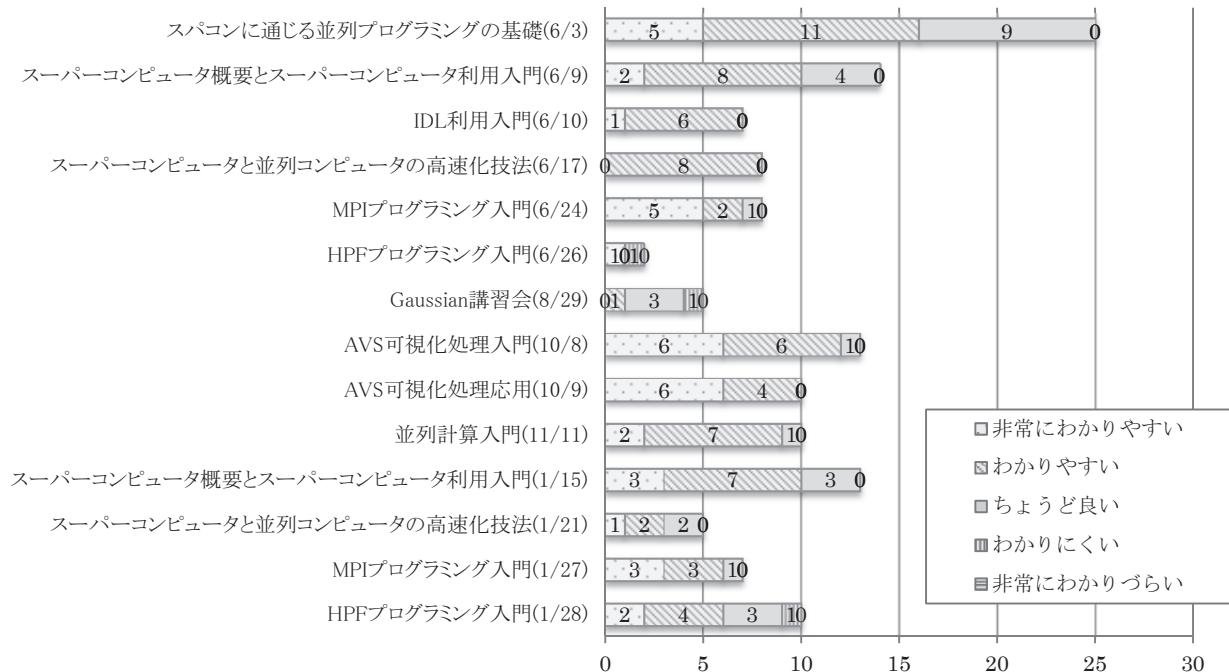
◆今回の講習会での講師の進め方はどうでしたか。



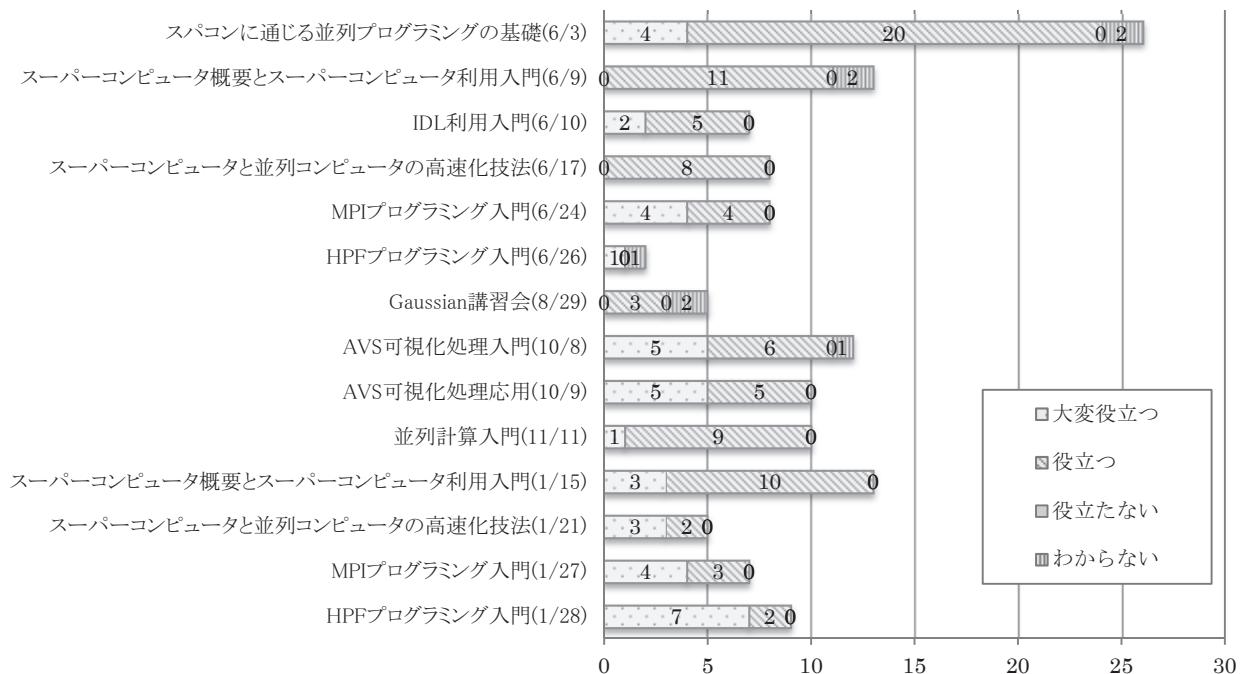
◆今回の講習会の満足度は？



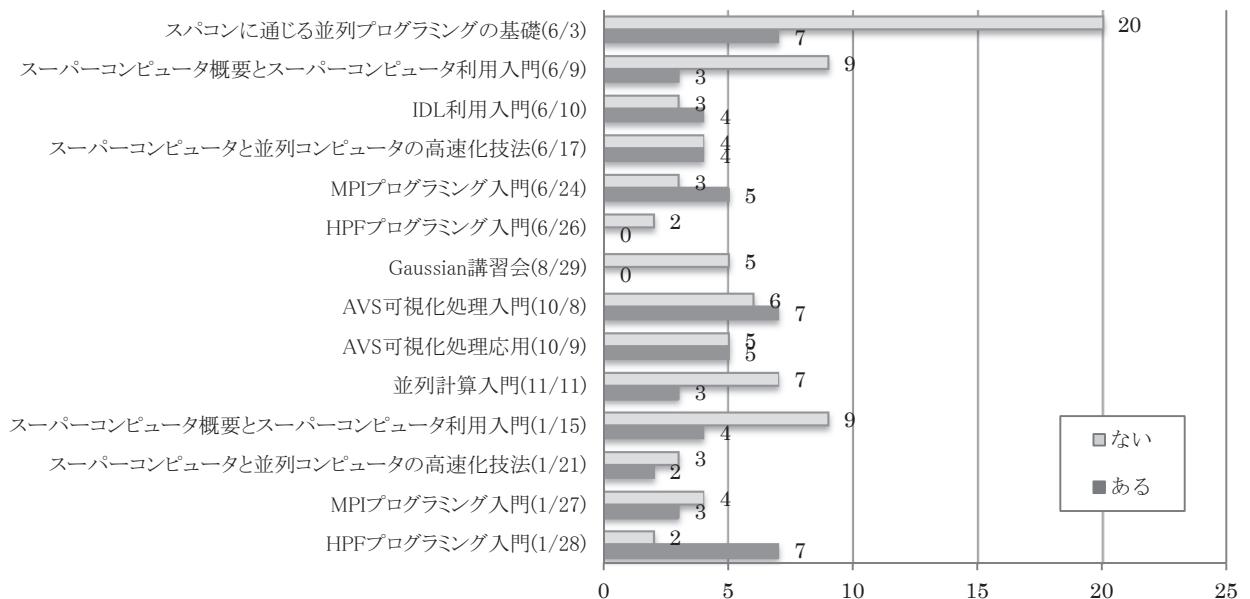
◆今回の講習会の資料はどうでしたか。



◆今回の講習会は皆さんの今後の研究・業務・勉学に役立つと思いますか。



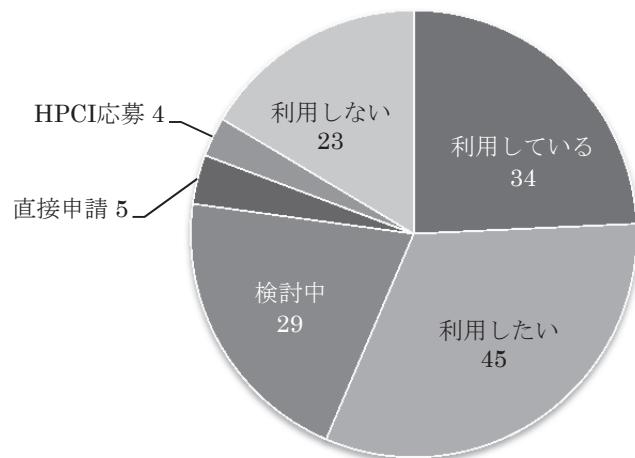
◆他の情報基盤センター等も含め、これまでにスーパーコンピュータを利用したことがありますか。



◆「ある」と回答された方の利用方法

□プログラムの実行 ■アプリケーション利用

◆サイバーメディアセンターの大規模計算機システムの利用を希望されますか。



## 2015 年度「HPCI (High Performance Computing Infrastructure) 利用」の活動状況

HPCI システムは、個別の計算資源提供機関ごとに分断された全国の幅広いハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) ユーザ層が全国の HPC リソースを効率よく利用できる体制と仕組みを整備し提供することを目的として構築され、2012 年 10 月より運用開始しました。北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学の各情報基盤センター、及び理化学研究所、海洋研究開発機構、統計数理研究所が資源提供機関となり、「京」を始めとする計算機資源や、共有ストレージ、ネットワーク、認証基盤、可視化装置等といったシステムを、中立・公正で科学的・技術的・社会的根拠に基づき配分・提供しています。

### ■ 大阪大学計算機資源を利用する採択課題一覧

平成 27 年度公募で採択された課題（利用期間平成 27 年 4 月～平成 28 年 3 月）

利用枠	利用資源	研究課題名	課題責任者 所属機関
京以外 一般課題	大規模可視化対応 PCクラスタ	Protein–protein binding free–energy by advanced MD simulations facilitating drug design	大阪大学
京以外 一般課題	SX-ACE	光エネルギー利用デバイス設計の高精度化と機能解析	物質・材料研究機構
京以外 一般課題	SX-ACE	希少元素高効率化抽出技術の基盤要素に関する大規模シミュレーション研究	東北大学
京以外 一般課題	SX-ACE	星形成と惑星形成分野を横断する大規模数値シミュレーション	九州大学
京以外 一般課題	SX-ACE	極低温遷臨界・超臨界状態における同軸噴流の大規模数値解析	九州工業大学
京以外 一般課題	SX-ACE	地球磁気圏におけるマクローメソ・ミクロスケール遷移領域のシミュレーション	京都大学
京以外 産業利用課題 (実証利用)	大規模可視化対応 PCクラスタ	新薬開発を加速する「京」インシリコ創薬基盤の構築	京都大学

## 2015年度「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」の活動状況

「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」は、北海道大学、東北大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学にそれぞれ附置するスーパーコンピュータを持つ8つの共同利用の施設を構成拠点とし、東京大学情報基盤センターがその中核拠点として機能する「ネットワーク型」共同利用・共同研究拠点として、文部科学省の認可を受け、2010年4月より本格的に活動を開始しました。

本ネットワーク型拠点の目的は、超大規模計算機と大容量のストレージおよびネットワークなどの情報基盤を用いて、地球環境、エネルギー、物質材料、ゲノム情報、Webデータ、学術情報、センサーネットワークからの時系列データ、映像データ、プログラム解析、その他情報処理一般の分野における、これまでに解決や解明が極めて困難とされてきたいわゆるグランドチャレンジ的な問題について、学際的な共同利用・共同研究を実施することにより、我が国の学術・研究基盤の更なる高度化と恒常的な発展に資することにあります。本ネットワーク型拠点には上記の分野における多数の先導的研究者が在籍しており、これらの研究者との共同研究によって、研究テーマの一層の発展が期待できます。

2015年度の課題募集には合計51件の応募があり、東京大学情報基盤センターで開催された課題審査委員会及び運営委員会にて審議され、35課題が採択されました。このうち4課題が大阪大学を利用することとなっています。

課題代表者	研究課題名	課題代表者 所属機関	利用大学
萩田 克美	大規模データ系のVR可視化解析を効率化する多階層精度圧縮数値記録(JHPCN-DF)の実用化研究	防衛大学校	北大、東北大、東大、東工大、名大、京大、阪大、九大
森 伸也	次世代トランジスタの量子輸送シミュレーションに関する研究	大阪大学	阪大
村田 健史	クラウドを活用したビッグデータポスト処理環境実現のためのデータ伝送実験	情報通信研究機構	名大、京大、阪大、九大
阿部 洋丈	大規模計算結果の効果的な利用に向けた高精細可視化イメージ遠隔配信システムの実証	筑波大学	東北大、阪大

## 大規模計算機システム Q & A

2014 年度に当センターに寄せられた質問を掲載しております。

同等の内容を下記の Web ページでも閲覧いただけます。

<http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/faq/>

### Q1. 大規模可視化対応 PC クラスタ (VCC) は、可視化用途ではないと使えないのでしょうか

A. いいえ、可視化以外の用途にもご利用いただけます。

本センターの大規模可視化システムと同時（連携）利用できるシステムということからこのような名前がついていますが、通常の計算においても高い性能を発揮いたします。

### Q2. 同一グループに所属するユーザのディスクの使用状況を確認する方法を教えてください

A. ディスク使用状況を確認するコマンドを提供しております。下記をご覧ください

利用状況の確認方法

<http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/system/manual/command/>

### Q3. 投入したジョブの計算がいつ始まるかという目安を確認することはできないのでしょうか

A. sstat コマンドを使用することで、ジョブの予約状況を確認することができます。

実行開始時刻が決定していると、STT(スケジューリング状態)が ASG(Assigned) となり、

PlannedStartTime (実行開始予定時間) に開始時刻が表示されます。詳細は下記をご覧ください。

スケジューラコマンドについて

<http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/system/manual/scheduler/>

### Q4. SSH での接続はできますが、SFTP での接続ができません

A. 「~/.cshrc」 ファイルで、他のシェルを起動していないかご確認ください。

sftp-server は csh から起動を行いますので、他のシェルを起動していると sftp-server が起動できず timeout となります。「.cshrc」 ファイルから、他シェル起動の処理を削除の上、再度お試しください。

### Q5. ジョブスクリプトで setenv 指定した環境変数が正しく読み込まれていません

A. 環境変数の設定には setenv も使用できますが、マルチノードでジョブを実行した場合は、

スレーブノードに setenv で指定した環境変数が設定されません。マルチノードでジョブを実行する場合は、NQSII の-v オプションをご利用ください。

#PBS -v [環境変数]=[設定内容]

のように指定することで、すべてのノードに環境変数を設定することができます。

## Q6. SX-ACE で特定の実行エラー出力を抑制(回避)する方法を教えてください

- A. オプション F\_ERROPTn を利用することで、エラーを抑制(回避)することが可能です。

例えば、実行時に下記のようなエラーが outputされる場合

```
271 DPWR->underflow in D**I : D=XXX I=YYY PROG=test ELN=ZZ(ZZZZ) TASKID=1
```

ジョブスクリプトに下記のようにオプションを指定することで、プログラム実行時に該当するエラーを検出せずに、動作し続けるようになります。

```
setenv F_ERROPT1 271,271,2,2,2,2,2,2
```

オプション F\_ERROPTn の詳細については、下記をご確認ください。

FORTRAN90/SX プログラミングの手引

<https://portal.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/secure/manual/SXACE/J/g1af07-21-3.pdf>

## Q7. SX-ACE での実行エラー出力に表示される ELN 情報の見方を教えてください

- A. ELN 情報には、サブルーチン内の問題箇所の行番号が出力されます。

プリプロセッサを動作させている場合は、中間ファイルの行番号が ELN として出力されますのでご注意下さい。

### 【備考】行番号のズレについて

SX のハードウェアは高度な先行処理を行っており、プログラムの実行時に例外が発生してから実際に検出されるまでのごくわずかな時間にも先行して命令を処理しています。これが原因で、プログラム例外を発生した命令と実際に検出した命令がずれ、行番号の対応が取れないことがあります。このズレはコンパイラが命令の並び替えなどの最適化を行っていると、さらに大きくずれ実際のソースプログラムから何十行とずれた行になることもあります。

このため、例外が発生した行番号を正確に表示するには、ハードウェアの先行制御を抑止してプログラムを実行する必要があります。FORTRAN90/SX では -adv 詳細オプションを用意しており、このオプションを指定することでハードウェアの先行制御をコントロールすることができます。

-adv

演算プロセッサ(AP)における先行制御の状態を変更することを指定する。

すなわち、先行制御機能をプログラム単位の入口で設定し、出口で回復することを指定する。

-adv on プログラム単位の入口で動作状態にし、出口で回復することを指定する。

-adv off プログラム単位の入口で停止状態にし、出口で回復することを指定する。

例えば、ある手続きに対してハードウェアの先行制御を抑止したい場合は-adv off を指定してください。

ただし、本オプションを指定した場合、著しくプログラムの実行性能が低下します。（実行時間が10倍あるいはそれ以上にもなることがあります）このため、ご使用される場合は、むやみに指定するのではなく、先行制御を抑止して実行する区間が可能な限り短くなるようにしてください。

また、コンパイラの行う最適化によって発生しないはずの例外が発生したり、あるいは発生する例外の位置や回数が変わったりもしますので、この点にもご注意ください。

Q8. SX-ACE で計算中に、リアルタイムで結果が出力されない。

計算機で「./a.out > output.txt」といった処理を行った場合、

a.out の実行結果は output.txt に書き込まれるが、計算中に output.txt を確認しても、出力結果が反映されるのが非常に遅いように見える。

- A. データ書き込みは、下記のような仕組みで行っており、それぞれバッファやキャッシュに溜め込む形で、書き出し処理を行っているため、フロントエンドでファイルが確認できるまで時間を要します。

(SX-ACE におけるデータ書き込みの仕組み)

1. FORTRAN 側の動作

プログラムからの print 実行時、F\_SETBUF の設定により、ファイルへの write 発行契機が変わります。

- 環境変数 F\_SETBUF が未設定の場合は、wsize のサイズ分だけバッファされたのち、write が発行されます
- F\_SETBUF=0 設定した場合は、print 毎で write を発行

2. ファイルシステム側の動作

write が発行されると、データキャッシュに write データを書き込みます。データキャッシュ内のデータは、下記を契機に I/O サーバへデータを送信します。

- プログラムでデータのフラッシュを実行した場合  
ex. Fortran の call flush(6) / C の fsync(2)
- ファイルをクローズした場合
- データキャッシュが一杯になった場合

「1. FORTRAN 側の動作」による影響は小さいと予想されるため、時間がかかる原因としては、主に「2. ファイルシステム側の動作」のデータキャッシュサイズによるものです。

リアルタイムに近い出力を希望される場合、FORTRAN プログラム内にて、print 実行後に、call flush(6) を実行し、標準出力への内容をフラッシュしていただく必要があります。

これにより、flush 実行毎にリダイレクト先ファイルへ反映されます。

※当センターのファイルシステムは、ScaTeFS(Scalable Technology File System)という

独自のファイルシステムを搭載しております。「2. ファイルシステム側の動作」の挙動は ScaTeFS の仕様によるものです。

**Q9. C++/SX コンパイラにおける編集リスト出力で、部分ベクトル化したかどうかの情報が出力されていない**

A. C++/SX の場合、S、A、I などの記号を表示する場所は一文字分しかないため、

優先順位をつけて表示しています。このため、上書きされることがあります。また部分ベクトル化を表す S についてですが、一つの文中にベクトル化された部分とそうでない部分がある場合、S と表示されません。ご了承ください。

詳細はマニュアルをご覧ください。(要認証)

#### C++/SX プログラミングの手引き

<https://portal.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/secure/manual/SXACE/J/g1af28-16-2.pdf>

「8.4 編集リスト」をご覧ください。

**Q10. bash を利用することはできますか？**

A. はい。利用できます。

ただし、ログインシェル(ログイン時の初期シェル)は csh となっており、変更することは出来ませんので、ログイン度に bash に変更していただく必要があります。

変更方法は下記の通りです。

`$ bash`

エイリアスなどの設定を行う場合は、「.bashrc」ファイルをご自身で準備いただく必要がございます。Q4 で解説しております通り、「.cshrc」内で bash を起動しないようご注意ください。

**Q11. SX-9 用にコンパイルしたプログラムを SX-ACE で実行することは可能ですか？**

A. はい。SX-9 用実行ファイルを SX-ACE で実行頂くことは可能です。

ただし、性能が出ない可能性がございますので、再コンパイルしていただくことをお勧めいたします。



# 利用規程等

---

・ 規程関係 .....	79
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用規程 .....	79
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用負担額一覧 .....	81
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用相談員内規 .....	83
・ 附表 .....	84
大規模計算機システム ホスト一覧 .....	84
スーパーコンピュータSX-ACE及びPCクラスタのジョブクラス一覧 .....	84
2014年度大規模計算機システム稼働状況 .....	86



## ・規程関係

### 大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用規程

第1条 この規程は、大阪大学サイバーメディアセンター(以下「センター」という。)が管理・運用する全国共同利用のスーパーコンピュータシステム及びワークステーションシステム(以下「大規模計算機システム」という。)の利用に関し必要な事項を定めるものとする。

第2条 大規模計算機システムは、学術研究及び教育等のために利用することができるものとする。

第3条 大規模計算機システムを利用することのできる者は、次の各号のいずれかに該当する者とする。

- (1) 大学、短期大学、高等専門学校又は大学共同利用機関の教員(非常勤講師を含む。)及びこれに準ずる者
- (2) 大学院の学生及びこれに準ずる者
- (3) 学術研究及び学術振興を目的とする国又は地方公共団体が所轄する機関に所属し、専ら研究に従事する者
- (4) 学術研究及び学術振興を目的とする機関(前号に該当する機関を除く。)で、センターの長(以下「センター長」という。)が認めた機関に所属し、専ら研究に従事する者
- (5) 科学研究費補助金の交付を受けて学術研究を行う者
- (6) 第1号、第3号又は第4号の者が所属する機関との共同研究に参画している民間企業等に所属し、専ら研究に従事する者
- (7) 日本国内に法人格を有する民間企業等に所属する者(前号に該当する者を除く。)で、別に定める審査に基づきセンター長が認めた者
- (8) 前各号のほか、特にセンター長が適当と認めた者

第4条 大規模計算機システムを利用しようとする者は、所定の申請を行い、センター長の承認を受けなければならない。ただし、前条第6条の者は、この限りでない。

2 前項の申請は、大規模計算機システム利用の成果が公開できるものでなければならない。

第5条 センター長は、前条第1項による申請を受理し、適当と認めたときは、これを承認し、利用者番号を与えるものとする。

2 前項の利用者番号の有効期間は、1年以内とする。ただし、当該会計年度を超えることはできない。

第6条 大規模計算機システムの利用につき承認された者(以下「利用者」という。)は、申請書の記載内容に変更を生じた場合は、速やかに所定の手続きを行わなければならない。

第7条 利用者は、第5条第1項に規定する利用者番号を当該申請に係る目的以外に使用し、又は他人に使用させてはならない。

第8条 利用者は、当該申請に係る利用を終了又は中止したときは、速やかにその旨をセンター長に届け出るとともに、そ

の利用の結果又は経過を所定の報告書によりセンター長に報告しなければならない。

- 2 前項の規定にかかわらず、センター長が必要と認めた場合は、報告書の提出を求めることができる。
- 3 提出された報告書は、原則として公開とし、センターの広報等の用に供することができるものとする。ただし、利用者があらかじめ申し出たときは、3年を超えない範囲で公開の延期を認めることがある。

第9条 利用者は、研究の成果を論文等により公表するときは、当該論文等に大規模計算機システムを利用した旨を明記しなければならない。

第10条 利用者は、当該利用に係る経費の一部を負担しなければならない。

第11条 前条の利用経費の負担額は、国立大学法人大阪大学諸料金規則に定めるところによる。

第12条 前条の規定にかかわらず、次の各号に掲げる場合について、利用経費の負担を要しない。

- (1) センターの責に帰すべき誤計算があったとき。
- (2) センターが必要とする研究開発等のため、センター長が特に承認したとき。

第13条 利用経費の負担は、次の各号に掲げる方法によるものとする。

- (1) 学内経費(科学研究費補助金を除く。)の場合にあっては、当該予算の振替による。
- (2) 前号以外の場合にあっては、本学が発する請求書の指定する銀行口座への振込による。

第14条 センターは、利用者が大規模計算機システムを利用したことにより被った損害その他の大規模計算機システムに関連して被った損害について、一切の責任及び負担を負わない。

第15条 センターは、大規模計算機システムの障害その他やむを得ない事情があるときは、利用者への予告なしに大規模計算機システムを停止することができる。

第16条 センター長は、この規程又はこの規程に基づく定めに違反した者その他大規模計算機システムの運営に重大な障害を生じさせた者があるときは、利用の承認を取り消し、又は一定期間大規模計算機システムの利用を停止させることができる。

第17条 この規程に定めるもののほか、大規模計算機システムの利用に関し必要な事項は、センター長が定める。

#### 附 則

- 1 この規程は、平成12年4月1日から施行する。
- 2 大阪大学大型計算機センターの利用に関する暫定措置を定める規程(昭和43年9月18日制定)は、廃止する。
- 3 この規程施行前に大阪大学大型計算機センターの利用に関する暫定措置を定める規程に基づき、平成12年度の利用承

認を受けた利用者にあっては、この規程に基づき利用の登録  
があつたものとみなす。

附 則

この改正は、平成13年1月6日から施行する。

附 則

この改正は、平成13年4月1日から施行する。

附 則

この改正は、平成14年4月1日から施行する。

附 則

この改正は、平成14年6月19日から施行し、  
平成14年4月1日から適用する。

附 則

この改正は、平成15年4月1日から施行する。

附 則

この改正は、平成16年4月1日から施行する。

附 則

この改正は、平成18年2月15日から施行する。

附 則

この改正は、平成19年9月28日から施行する。

附 則

この改正は、平成20年4月16日から施行する。

附 則

この改正は、平成23年4月1日から施行する。

附 則

この改正は、平成24年5月10日から施行する。

附 則

この改正は、平成25年4月1日から施行する。

## 大規模計算機システム利用負担額一覧

大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用規程第11条の規定に基づく負担額

### (1) スーパーコンピュータ(SX-ACE)の負担額

#### (A) 占有

基本負担額	占有ノード数
185,000円／年	1ノード

#### (B) 共有

コース	基本負担額	利用可能ノード時間
	10万円	5,700ノード時間
	50万円	28,500ノード時間
	100万円	59,700ノード時間
	150万円	89,500ノード時間
	200万円	125,100ノード時間
	250万円	156,300ノード時間
	300万円	196,100ノード時間
	400万円	272,800ノード時間
	500万円	369,400ノード時間

#### 備考

- 1 負担額は上記負担額で算出した合計額に、消費税(8%)を加えて得た額とする。
- 2 登録時の利用期限または年度を越えて利用はできない。
- 3 ディスク容量は1申請単位で500GBを割り当てる。ただし、他のディスク容量と合算できない。
- 4 (A)は占有ノード数を追加する場合のみ変更申請を受け付ける。
- 5 (A)の2ノード以上の基本負担額は、1ノードを基準に比例するものとする。
- 6 (A)は資源提供状況により10ノード以上3か月単位の申請を受け付ける場合がある。  
その場合の月額の負担額は、1ノード年の基本負担額の1/10とする。
- 7 (B)は年度の途中でコースの変更はできない。新たにコースを追加する場合は申請を受け付ける。

### (2) 大規模可視化対応PCクラスタの負担額

#### (A) 占有

基本負担額	占有ノード数
320,000円／年	1ノード

#### (B) 共有

コース	基本負担額	利用可能ノード時間
	10万円	3,500ノード時間
	50万円	17,500ノード時間
	100万円	35,000ノード時間
	150万円	52,500ノード時間
	200万円	70,000ノード時間

#### 備考

- 1 負担額は上記負担額で算出した合計額に、消費税(8%)を加えて得た額とする。
- 2 登録時の利用期限または年度を越えて利用はできない。
- 3 ディスク容量は1申請単位で500GBを割り当てる。ただし、他のディスク容量と合算できない。
- 4 (A)は占有ノード数を追加する場合のみ変更申請を受け付ける。
- 5 (A)の2ノード以上の基本負担額は、1ノードを基準に比例するものとする。
- 6 (A)は資源提供状況により10ノード以上3か月単位の申請を受け付ける場合がある。  
その場合の月額の負担額は、1ノード年の基本負担額の1/10とする。
- 7 (B)は年度の途中でコースの変更はできない。新たにコースを追加する場合は申請を受け付ける。

(3) ディスク容量追加の負担額

基本負担額	提供単位
10,000円／年	1TB

備考

- 1 負担額は上記負担額で算出した合計額に、消費税(8%)を加えて得た額とする。
- 2 登録時の利用期限または年度を越えて利用はできない。
- 3 年度の途中は追加申請のみ受け付ける。

# 大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用相談員内規

第1条 大阪大学サイバーメディアセンター（以下「センター」という。）は、センターが管理・運用する全国共同利用のスーパーコンピュータシステム及びワークステーション（以下「大規模計算機システム」という。）の共同利用の効果を高め学術研究の発展に資するため、大規模計算機システム利用相談及び指導活動を行う。

2 前項の目的のため、センターに利用相談員（以下「相談員」という。）及び利用指導員（以下「指導員」という。）を置く。

第2条 相談員は、共同利用有資格者の中から高性能計算機システム委員会が候補者を推せんし、センター長が委嘱する。

第3条 相談員の任期は、当該委嘱する日の属する年度の末日までとする。ただし、再任を妨げない。

第4条 相談員は、電子メール等を利用しオンラインで、第1条第1項のセンター利用相談活動を行うものとする。

第5条 相談員には、センター利用相談及び指導の必要上、計算機利用のために特定の番号を与えることができる。

2 前項に係る利用経費の負担額は免除する。

第6条 センターは、相談員に対し相談及び指導上必要な資料もしくは情報を提供するものとする。

第7条 相談員には、第5条第1項の目的以外においても、一定量の大規模計算機システム使用にかかるジョブ優先処理等の特典を与えることができる。

第8条 この内規に定めるもののほか、必要な事項については、高性能計算機システム委員会で検討後、教授会の議を経てセンター長が別に定めるものとする。

## 附 則

この内規は、平成12年1月30日から施行し、平成12年4月1日から適用する。

## 附 則

この改正は、平成19年9月28日から施行する。

## 附 則

この改正は、平成22年9月16日から施行し、平成22年7月22日から適用する。

## 附 則

この改正は、平成25年4月1日から施行する。

・附表

### 大規模計算機システム ホスト一覧

サーバ名	ホスト名
ログインサーバ	login.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp
ファイル転送サーバ	ftp.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp

※スーパーコンピュータなどの演算システムへは、ログインサーバ経由での接続となります。  
(ホスト一覧表には明記していません)

### スーパーコンピュータ SX-ACE のジョブクラスター一覧

利用方法	ジョブクラス	利用可能 経過時間	利用可能 最大Core数	利用可能 最大メモリ	同時利用 可能ノード数
共有利用	ACE	24 時間	1024Core (4Core×256 ノード)	15TB (60GB×256 ノード)	256 ノード
	DBG	20 分	32Core (4Core×8 ノード)	480GB (60GB×8 ノード)	8 ノード
	INT	60 分	4core	60GB	1 ノード
占有利用	myACE	無制限	4core×占有ノード数	60GB×占有ノード数	占有ノード数

### 大規模可視化対応PCクラスタ(VCC)のジョブクラスター一覧

利用方法	ジョブクラス	利用可能 経過時間	利用可能 最大Core数	利用可能 最大メモリ	同時利用 可能ノード数
共有利用	VCC	120 時間	640Core (20Core×32 ノード)	1920GB (60GB×32 ノード)	32 ノード
		336 時間	40Core (20Core×2 ノード)	120GB (60GB×2 ノード)	2 ノード
共有利用 (GPU 利用)	GVC	120 時間	180Core (20Core×9 ノード)	540GB (60GB×9 ノード)	9 ノード
占有利用	myVCC	無制限	20Core×占有ノード数	60GB×占有ノード数	占有ノード
占有利用 (GPU 利用)	myGVC	無制限	20Core×占有ノード数	60GB×占有ノード数	占有ノード

## 汎用コンクラスタ(HCC)のジョブクラス一覧

利用方法	ジョブクラス	利用可能 経過時間	利用可能 最大CPU数	利用可能 最大メモリ	同時利用 可能ノード数
共有利用 のみ	H-single	最大 300 時間程度	2CPU (2CPU×1 ノード)	4GB (4GB×1 ノード)	1 ノード
	H-small	最大 300 時間程度	32CPU (2CPU×16 ノード)	64GB (4GB×16 ノード)	2~16 ノード
	H-large	最大 300 時間程度	128CPU (2CPU×64 ノード)	256GB (4GB×64 ノード)	17~64 ノード
	H-mem+	最大 300 時間程度	64CPU (2CPU×32 ノード)	384GB (12GB×32 ノード)	1~32 ノード
	DBG-single	1 時間	2CPU (2CPU×1 ノード)	4GB (4GB×1 ノード)	1 ノード
	DBG-small	1 時間	4CPU (2CPU×2 ノード)	8GB (4GB×2 ノード)	2 ノード
	DBG-large	1 時間	4CPU (2CPU×2 ノード)	8GB (4GB×2 ノード)	2 ノード
	Gaussian	最大 300 時間程度	2CPU (2CPU×1 ノード)	4GB (4GB×1 ノード)	1 ノード

※CPU 数、主記憶の最大値は、[ノード毎の最大値] × [同時利用可能ノード数の最大値] で算出した値です。

※汎用コンクラスタ(HCC)は、月に 1,2 回メンテナンスによりサービスが停止します。  
 メンテナンス日を跨いでジョブを実行することはできませんので、経過時間の制限(elapstime\_req)は決まった値ではなく、ジョブを投入した日から次メンテナンス日までが経過時間の制限となります。

※ジョブクラス一覧表は 2015 年 4 月時点のものになります。利用状況により変更することがあります、ご了承ください。

## 2014年度大規模計算機システム稼働状況

### 稼働状況

事 項	月	(単位:時間)													
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	合計	月平均
稼動時間	計算サービス時間 (A1)	710:30	744:00	720:00	744:00	744:00	283:00			503:45	744:00	672:00	727:45	6593:00	659:18
	初期化・後処理時間 (A2)	0:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00			0:15	0:00	0:00	0:15	1:00	0:06
稼動時間	業務時間 (A3)	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00			0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
(A) 小計		711:00	744:00	720:00	744:00	744:00	283:00			504:00	744:00	672:00	728:00	6594:00	659:24
保守時間	(B)	9:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00			48:00	0:00	0:00	16:00	73:00	7:18
故障時間	(C)	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00			0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
その他の時間	(D)	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00			0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
運転時間	(A+B+C+D)	720:00	744:00	720:00	744:00	744:00	283:00			552:00	744:00	672:00	744:00	6667:00	666:42
稼動率	(A/(A+B+C+D)%)	98.75	100.00	100.00	100.00	100.00				91.30	100.00	100.00	97.85	—	98.79
運転日数	(E)	30	31	30	31	31	12			23	31	28	31	278	28
一日平均稼動時間	(A/E)	23:42	24:00	24:00	24:00	24:00	23:35			21:54	24:00	24:00	23:29	—	23:43

(注) 10月・11月はシステム更新によるサービス停止のため空欄

### 処理状況

項目	スーパーコンピュータ												汎用コンクラスタ					
	SX-8R				SX-9				合 計									
	バッチ処理		会話処理		バッチ処理		会話処理		バッチ処理		会話処理							
処理月	件数	CPU時間 (時:分:秒)	件数	CPU時間 (時:分:秒)	利用率(%)	件数	CPU時間 (時:分:秒)	利用率(%)	件数	CPU時間 (時:分:秒)	利用率(%)	件数	CPU時間 (時:分:秒)	利用率(%)				
4	1,989	75433:22:33	425	1308:26:02	67.43	2,571	91560:10:50	80.49	4,985	168301:59:25								
5	2,748	95643:33:55	371	1839:46:31	81.90	3,521	93872:27:43	79.23	6,640	191355:48:08								
6	3,007	95973:43:51	239	2048:55:49	85.09	3,929	95412:15:18	83.91	7,175	193434:54:57								
7	2,722	97217:57:40	154	659:29:37	82.28	4,086	93331:24:19	81.72	6,962	191208:51:36								
8	1,995	89126:43:02	286	958:02:02	75.68	3,115	75483:12:22	79.26	5,396	165567:57:26								
9	744	32570:04:05	94	69:50:25	72.08	1,193	28514:09:20	65.98	2,031	61154:03:50								
10																		
11																		
合 計	13,205	485965:25:06	1,569	6884:30:25		18,415	478173:39:51		33,189	971023:35:22								

項目	スーパーコンピュータ SX-ACE					PCクラスタ					汎用コンクラスタ					
	共有			占有		大規模可視化対応PCクラスタ			PCクラスタ							
	件数	CPU時間(時)	利用率(%)	占有ノード数	件数	ノード時間積(時)	利用率(%)	件数	ノード時間積(時)	利用率(%)						
12	4,934	65,836.22	48.02	793	295	34,867.50	83.69	4,405	332,082.25	77.63						
1	8,279	134,193.64	66.51	801	410	40,837.61	98.02	9,051	232,731.81	54.40						
2	7,701	227,035.13	68.67	801	906	25,877.70	66.39	26,169	203,388.00	50.82						
3	5,493	247,803.80	64.51	801	1,959	39,292.77	94.31	24,085	116,884.48	27.32						
合 計	26,407	674,868.79			3,570	140,875.58		63,710	885,086.54							

(注) SX-8R、SX-9、SX-ACEのCPU利用率は、次の計算式により算出している。

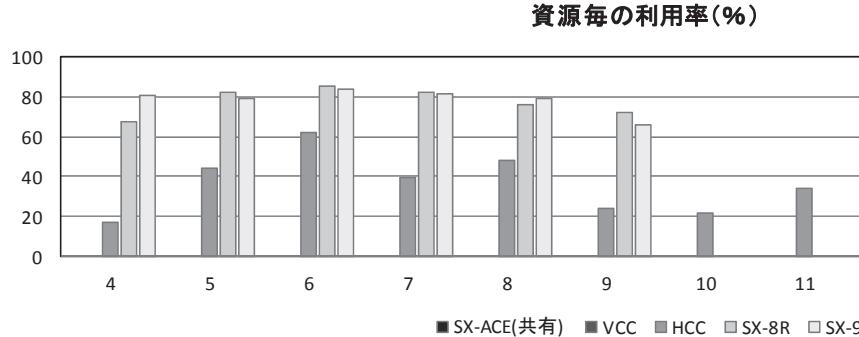
SX-8RのCPU利用率=(SX-8RのCPU時間／20ノードの合計サービス時間)／8\*100

SX-9のCPU利用率=(SX-9のCPU時間／10ノードの合計サービス時間)／16\*100

SX-ACEのCPU利用率=(SX-ACEのCPU時間／稼働中ノードの合計サービス時間)\*100

VCCの利用率=(VCCのノード時間積／56ノードの合計サービス時間)\*100

HCCの利用率=(HCCのノード時間積／575ノードの合計サービス時間)\*100



# 募 集

---

- ・大規模計算機システムを利用して行った研究・開発等の記事の募集について ..... 89
- ・大規模計算機システム利用案内 ..... 90



# 大規模計算機システムを利用して行った研究・開発等の記事の募集について

（センターでは、大規模計算機システムを利用して研究したことを主体とする内容の広報誌「サイバーメディア HPC ジャーナル」を発行しています。この広報誌に掲載する次の内容の記事を募集しますので、皆さんのご投稿をお待ちしています。）

1. 隨筆
2. 大規模計算機システムを利用して行った研究・開発の紹介
3. プログラムの実例と解説
4. その他、広報誌に掲載するにふさわしいもの

\*投稿いただいた方には、掲載した広報誌 5 部を進呈いたします。

## 【原稿の執筆および提出方法】

1. 原稿の執筆は、以下の書式設定で作成をお願いします。
    - ・ページ設定 (Microsoft Word2010 の設定です。)
      - ・用紙サイズ A4 縦
      - ・1 ページの文字数と行数：行数 40、行送り 18.2pt、1 頁 2 段書き
      - ・フォント 本文 MS 明朝 10Point  
題名 MS ゴシック 14Point、半角英数 Times New Roman  
執筆者氏名 MS 明朝 10Point、なお、姓と名の間及び機関と研究科と専攻名の間は半角スペースを入れる。
      - ・余白 上 20mm、下 20mm、左右 20mm、印刷形式：標準
      - ・その他 セクションの開始位置：次のページから開始  
用紙の端からの距離：ヘッダ 15mm、フッタ 17.5mm  
垂直方向の配置：上寄せ
    - ・文字等の設定
      - ・年は西暦で記述する。
      - ・数字、英字は半角（書式：Times New Roman）、数字英字を括弧で閉じる場合は、括弧も同様に半角
      - ・文字、漢字は全角、文字漢字を括弧で閉じる場合は、括弧も同様に全角
      - ・日本語文中の句読点は半角の“、”“.”を使用せず、全て全角の“、”“。”とする。
  2. Microsoft Word 以外の日本語ワープロソフト及び、その他の文書作成ソフトで作成された原稿を投稿される場合は、PDF ファイルに変換してください。
  3. 原稿は、電子メールにて以下のアドレスにお送りください。  
[zyosui-kikaku-soumu@office.osaka-u.ac.jp](mailto:zyosui-kikaku-soumu@office.osaka-u.ac.jp)  
なお、送信の際、件名を「HPC ジャーナル原稿」と入力くださるよう、お願いします。
  4. 電子メールの容量が 5MB を超える場合は、CD-R 等の電子媒体に記録のうえ、以下の送付先にお送りください。
- 【原稿の送付先】  
〒567-0047  
大阪府茨木市美穂ヶ丘 5-1 大阪大学情報推進部情報企画課総務係

## 【注意事項】

1. お送りいただいた原稿を掲載する際、原稿の修正をお願いすることがありますのでご了承ください。
2. 提出いただいた原稿は、サイバーメディアセンターのホームページにて公開いたしますので、ご了承ください。

## 大規模計算機システム利用案内（サービス内容・サービス時間等）

主なサービス内容	係・連絡先等	月～金	土・日・祝日
----------	--------	-----	--------

### ・開館時間（吹田本館）

センター見学の申込、広報	情報推進部情報企画課 総務係（本館1F） 電話 06-6879-8804 zyosui-kikaku-soumu@office.osaka-u.ac.jp		
利用負担金に係る会計事務（請求及び収納）	情報推進部情報企画課 会計係（本館1F） 電話 06-6879-8980,8981 zyosui-kikaku-kaikei@office.osaka-u.ac.jp	8:30～12:00	閉 館
利用案内、受付 利用案内、利用申請、利用負担金、 利用講習会受付、 計算機マニュアル・図書の閲覧、貸出	情報推進部情報基盤課 研究系システム班（本館2F） 電話 06-6879-8808,8812 system@cmc.osaka-u.ac.jp	13:00～17:15	
利用方法の問い合わせ スーパーコンピュータ、PCクラスタ等の 利用方法	情報推進部情報基盤課 研究系システム班（本館2F） 電話 06-6879-8812,8813 system@cmc.osaka-u.ac.jp		

### ・サービス時間

スーパーコンピュータ、PCクラスタ等	オンラインサービス 24時間365日（注）
--------------------	-----------------------

(注) 障害の発生等により、予告なしにサービスを中止することがあります。  
計画停電・定期保守によりサービスを停止する場合は、ホームページでお知らせします。

### ・大規模計算機システムURL

大規模計算機システムホームページ	<a href="http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/">http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/</a>
大規模計算機システムポータル (スーパーコンピュータ等についての情報を提供 しています。マニュアルの閲覧、パスワード の変更等が行えます。)	<a href="https://portal.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/">https://portal.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/</a>

### ・利用相談

プログラム、センターの利用に関する 質問・相談	利用相談を電子メールで受けます。 <b>E-mail: hpc-support@hpc.cmc.osaka-u.ac.jp</b> に質問・相談をお寄せください。 ※お問い合わせの際には、利用者番号をお申し出ください。
----------------------------	--

## 広報委員会委員

松岡 茂 登 (委員長、大阪大学 サイバーメディアセンター)  
清川 清 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
竹蓋 順子 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
吉野 元 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
降旗 大介 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
義久 智樹 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
小島 一秀 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
森原 一郎 (大阪大学 サイバーメディアセンター)  
伊藤 雄一 (大阪大学 クリエイティブユニット)  
岩崎 琢哉 (大阪大学 大型教育研究プロジェクト支援室)

(お願い)

サイバーメディア HPC ジャーナルは、本センター利用者（利用登録者）の皆様に配布しています。お近くの研究者・大学院生の方にも、本冊子をご回覧くださるようお願い申し上げます。

### 大阪大学サイバーメディア HPC ジャーナル No.5 2015年7月発行

編集：大阪大学サイバーメディアセンター広報委員会

発行：大阪府茨木市美穂ヶ丘5-1 (〒567-0047)  
大阪大学サイバーメディアセンター  
Cybermedia Center, Osaka University  
Tel: 06-6879-8804  
URL: <http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/>

印刷：阪東印刷紙器工業所

表紙デザイン：阿部 浩和 (大阪大学)

No. 5 2015. 7

ISSN 2186-473X

大阪大学サイバーメディアHPCジャーナル  
High Performance Computer Journal

大規模計算機システムホームページ <http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/>

