



解説

IFERC 計算機シミュレーションセンターの活動とシミュレーション研究

The Activities of IFERC Computational Simulation Centre and Simulation Researches

中島徳嘉¹⁾, 石井康友²⁾, 福山 淳³⁾, 矢木雅敏²⁾, CLEMENT Susana⁴⁾,
NOE Jacques⁵⁾, ROBIN François⁵⁾ and BORBA Duarte⁶⁾

NAKAJIMA Noriyoshi¹⁾, ISHII Yasutomo²⁾, FUKUYAMA Atsushi³⁾, YAGI Masatoshi²⁾,
CLEMENT Susana⁴⁾, NOE Jacques⁵⁾, ROBIN François⁵⁾ and BORBA Duarte⁶⁾

¹⁾核融合科学研究所, ²⁾日本原子力研究開発機構, ³⁾京都大学, ⁴⁾Fusion for Energy,

⁵⁾フランス原子力庁, ⁶⁾EUROfusion

(原稿受付: 2015年9月4日)

幅広いアプローチ (BA) 協定に基づき, 国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) 事業では計算機シミュレーションセンター (Computational Simulation Centre: CSC) 活動を日欧共同副事業として青森県六ヶ所村において進めており, 2012年1月から高性能計算機 Helios の運用を開始し, 現在までに日欧の多くの磁場閉じ込め核融合研究者が利用しています. 本解説では, IFERC-CSC の運営に関する活動, 及び Helios を用いた日欧シミュレーション研究活動の全体像を報告します.

Keywords:

Broader Approach (BA) agreement, IFERC, CSC, Helios, simulation projects

1. IFERC-CSC の活動

本節では, 国際核融合エネルギー研究センター [International Fusion Energy Research Centre] (IFERC) 事業の副事業の一つである計算機シミュレーションセンター [Computational Simulation Centre] (CSC) 活動の概要を, 活動を企画・支援する立場から説明します.

1.1 経緯と目的

幅広いアプローチ (Broader Approach; 以下略称 BA) 協定に基づき, 国際熱核融合実験炉 (ITER) 計画の支援・補完と原型炉の早期実現に貢献するため, 2007年6月から国際核融合材料照射施設工学実証・工学設計活動 [International Fusion Materials Irradiation Facility/ Engineering Verification and Engineering Design Activity] (IFMIF/EVEDA) 事業, 国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) 事業, 及びサテライトトカマク計画 [Satellite Tokamak Programme] (STP) 事業の三事業が日欧協力事業として始められました. IFMIF/EVEDA と IFERC 事業は青森県六ヶ所村で, STP 事業は茨城県那珂市で進められています. 三事業共に, 日欧実施機関と事業チームにより活動が進められており, 日本側実施機関は日本原子力研究開発機構 (JAEA) が, 欧州側実施機関は Fusion for Energy (F4E) が担当しています. IFERC 事業においては, 先述の目的を達成するため, 原型炉設計・研究開発調整センター [DEMO Design and R&D Coordination Centre], 計算機シミュレーションセンター (CSC), 及び ITER 遠隔実験セン

ター [ITER Remote Experimentation Centre] (REC) の三副事業が推進されています.

IFERC-CSC 副事業の目的は, 磁場閉じ込め核融合研究専用機として最新鋭の計算機を提供し, 核融合研究への大規模・高効率シミュレーションの活用を促進することです. この目的を達成すべく, BA 協定に基づき, CSC 用のネットワーク等の周辺機器を含む CSC 計算機は欧州側の貢献 (物納), 冷却施設を含む建家・電気代等のインフラ及びユーザ支援は日本側の貢献 (物納) という形で2012年1月からの稼働をめざして検討が進められました. 核融合研究に適した計算機選定を支援するため, 日欧委員からなる特別作業班-1 (Special Working Group-1: SWG-1) が2008年月中旬から活動を開始し, 2010年月中旬までに最終仕様を確定しました. これに基づき調達が始まり, 2011年上半に機種選定終了, 2011年末に設置を完了, 2012年1月から運用を開始しました (2011年3月11日に東北地方太平洋沖大地震が発生し, 予定通りの運用は無理だと思われましたが, 日欧実施機関の献身的な努力により予定通りの運用に漕ぎ着けることができました). 2012年1月から3月までの三ヶ月間は, 導入システムの潜在的能力を確認するために利用したため, 公募による利用は2012年4月から開始しました. 他方, 日欧が共同で利用する計算機に適した利用規程を作成するため, 日欧委員からなる特別作業班-2が2011年上半から活動を開始し, 2011年下半までに常設委員会 (現在, 公募文の作成, 公募提案の選定, 計算機資源の

National Institute for Fusion Science (NIFS), Toki, GIFU 509-5292, Japan

corresponding author's e-mail: nakajima@nifs.ac.jp

割り振り、利用結果の評価等を担当している委員会)の実施要綱を作成しました。

このようにして、日欧協力という全く新しい枠組みでのシミュレーション研究の活動の場(計算資源)が提供されることとなり、計算機はHelios(愛称“ろくちゃん”)と命名されました。

1.2 IFERC-CSC 計算機の諸元

IFERC-CSCに導入されたCSC大型計算機の性能は、日欧の各4名の委員から構成される特別作業班-1(SWG-1)の答申を基に決定されました。SWG-1は2008年9月に活動を開始し(第1回会合)、CSC大型計算機の計算機性能に関する答申をまとめ、CSC大型計算機の稼働状況を監視し、2014年10月の第15回IFERC事業委員会での報告を最後として解散しました。このSWG-1の答申を基に、欧州実施機関が計算機の調達を行いました。表1は、SWG-1の答申を基に決められたCSC大型計算機に対する主要な要求性能と調達の結果、国際核融合エネルギー研究センターに導入されたCSC大型計算機の主要性能の比較を示しており、欧州実施機関が調達したCSC大型計算機の性能は要求性能を大きく上回っています。

CSC大型計算機は、計算ノード、データストレージシステム(ディスクと磁気テープの混成)、可視化サーバーから構成されています。2012年1月に稼働を開始したCSC大型計算機の本体システムの計算ノードは4410個のノードから構成されており、1つのノードにはCPUとしてIntel社製のSandy-Bridge EP(2.7 Ghz)が2個搭載されており、1CPUは8coreで構成されています。これらのノードはファットツリー(fat tree)トポロジーのQDR(Quad Data Rate) infinibandで接続されており、1ノードあたりのメモリー量は64 GB(Giga Bytes: GB)(ユーザが利用可能なメモリー量は59 GB)であり、総メモリー量は282 TB(Tera Bytes: TB)となり、ITERサイズの炉心プラズマに対して、ジャイロ運動論に基づくプラズマ乱流シミュレーションを実行するのに十分なメモリー量となっています。この計算ノードには5.7 PB(Peta Bytes: PB)及び10 PBのディスクが接続されており、Lustreファイルシステムにより高速かつ並列でのIOが可能となっています。データストレージシステムは10 PBのディスクと20 PBの磁気テープから構成され、CSC大型計算機の運用期間中(2012年1月~2016年12月)に生成される計算データを保存することが可能となっています。当初、データストレージシ

テムの利用状況によっては、2014年に磁気テープを更に20 PB増強する可能性を検討していましたが、2014年時点の利用状況ではストレージシステムの容量を増強する必要がないことがわかりました。そのため、2014年に磁気テープを増強する代替として、計算ノードラック1台(90ノード)、ログインノードの増強などを行い、その結果、2014年11月から、本体システムの計算ノード総数は4500ノードと成っています。

CSCは、これまで計算センターが存在していなかった日本原子力研究開発機構六ヶ所サイト(現六ヶ所核融合研究所)に新たに設立された計算機シミュレーションセンターです。また、CSCを設立、運営する予算は日欧実施機関の役割分担に基づいて予め決定されています。そのため、新組織としてのCSC活動が始まった後に重要な機能が欠けている場合、その機能を追加するため、計算機の調達を担当する欧州側の予算の一部を取り置いておきました。幸い、2012年1月からの約1年間のCSCの運用において、計算機シミュレーションセンターとして欠けているシステム等は見当たらず、順調に運用を行うことができました(2013年1月には約80%の利用率を達成)。そこで、日欧の磁場閉じ込め核融合研究コミュニティの意見、日欧実施機関の協議により、加速演算器を搭載したシステムを増強することに決定しました。この決定に基づき、F4E/CEAによる調達が行われ、2014年1月末にIntel社製Sandy-Bridge EP(本体システムと同一のCPU)とIntel社製Xeon-Phi 5110Pを搭載したシステムが国際核融合エネルギー研究センターに導入され、2月中旬から運用を開始しました。この増強システムは180ノードで構成され、1つのノードは2つのSandy-Bridge EPと2つのXeonPhi 5110Pから構成されています。この増強システムを調達する際の主要な目標スペックは理論ピーク性能400 TF(Tera Flops: TF)、linpack性能200 TFでしたが、検取時の性能として理論ピーク性能427 TF、linpack性能225.1 TFが得られており調達時の目標性能を満たすことができました。この増強システムも、本体システムとファイルシステムを共有しており、高速・並列IOが可能です。XeonPhi 5110Pは1個あたり60個のコアを搭載しており、プロセッサ単体の利用(OpenMP並列化)にとどめず、複数プロセッサでマルチプロセス演算(MPI並列化)をめざすハイブリッド利用が中心的な利用方法になると想定し、マルチプロセス化に対応可能なnative modeと呼ばれる運用環境をシステムメンテナンス後の2014年12月から開始しました(この理由は、本増強システムではファイルシステムを本体システムと共有していることから、増強システムでのnative mode利用を可能とするためには本体システムのOSのバージョンアップが必要であったためです。原理的には増強システムのOSのみをバージョンアップすればよいはずですが、システム全体への予期せぬ影響を考慮しました)。このようなMany Integrated Coresシステムに関しては日欧のユーザともあまり習熟していないと考えられたため、日欧双方が初期利用(試験利用)期間を設定し、多くのユーザの試験利用の促進を試みました。日本側の利用としては、2014

表1 Heliosの要求性能と調達結果の比較。

	CSC大型計算に対する要求性能(主要性能)	調達の結果得られた性能(主要性能)
Peak performance	1 Petaflop/s	1.524 Petaflop/s
Linpack performance	0.8 Petaflop/s	1.237 Petaflop/s*1)
Total memory	80 TB	282 TB
Disk space	4 PB	5.7 PB
Disk bandwidth	40 GB/s	109 GB/s
Medium term storage	20 PB(disk 5 PB)	30 PB(disk 10 PB)
Speed of links	10 Gbit/s	10 Gbit/s

* 1) 検取時は1.132 Petaflop/s.

年2月～2015年3月末までを初期利用期間（試験利用期間）として設定し増強システムの資源配分を行いました。スーパーコンピュータのランキング（TOP500）の上位機種にも加速演算器を搭載したスパコンが多くランキング入りしています。また、省電力化の観点からも、加速演算器の搭載は重要な選択肢の1つであり続けると予想されます。CSCで提供している大型計算機システムを利用して、日本の核融合研究者にも比較的大規模な加速演算器搭載システム（MICシステム）に習熟していただければ幸いです。

1.3 計算機運用体制

IFERC-CSCの大型計算機を運用するCSCは、他のBA活動と同様に、BA運営委員会で承認された貢献分担に基づき、日欧の実施機関が人・物・予算等を提供して運営されています。CSCでは、欧州実施機関が大型計算機を提供し、所有権を保持する一方、日本実施機関はCSC大型計算機が必要とする建屋、電気、水、基幹ネットワーク環境等のインフラを提供しています。また、CSCの運用に関しても、日欧の実施機関から派遣されたスタッフで構成されています。CSCの指揮は、BA運営委員会で承認されたCSCリーダーとCSCリーダー代理が行っており、CSCリーダーは欧州実施機関から、CSCリーダー代理は日本実施機関からIFERC事業チームに派遣されています。このCSCリーダーとCSCリーダー代理からなるCSC管理部門（CSC management）の指揮の下、大型計算機の運転、維持は欧州実施機関が大型計算機を調達したBull社のスタッフが行い、日欧の利用者に対する一般的なユーザサポートやプログラミングサポート等の利用支援は日本実施機関が派遣したスタッフが行っています（図1）。また、BA活動は日欧の実施機関が資源を提供すること、および、日本国内での規制、許認可の取得等に対応するため、各事業及び副事業毎に事業チームと両実施機関の担当で構成されるホームチームからなる統合事業チーム（Integrated Project Team: IPT）を構成し、一体でBA活動を推進しています（図1）。

CSC大型計算機は日欧の利用者が公平に利用できることを原則としているため、利用者支援の時間帯は日欧の時差を考慮し11:00～20:00（日本標準時）と決めています。また、使用言語も英語としており、日欧の利用者とは専用ウェブサイト、Eメールによってコミュニケーションを

行っています。また、CSC大型計算機の利用環境を改善するため、Bull社技術者による対面でのユーザトレーニングを国内で開催するとともに、ウェブ上でのユーザトレーニング（webiner）を行っています。ユーザからの質問はウェブ及びメールベースの要望追跡システム（request tracker system）で対応していますが、ユーザへの情報発信、コミュニケーションの促進をめざして、定期的なニュースレターの発行（メール配布）や必要に応じたアンケートの実施を行っています。前述したようにCSCでは英語で活動を行うためなのか、アンケート等に対しては日本側ユーザより欧州側ユーザの回答が多くなっています。CSCの運用方法の決定等においては、ユーザからのアンケート結果は重要な情報と成っており、日本側ユーザにも積極的なアンケート等への回答がいただければ幸いです。

CSCの運転状況、利用状況は毎週行われるCSC調整会合においてCSCスタッフ、Bull社スタッフからCSC管理部門に報告され、必要な対応策が決定されています。更に重要な事項に関しては、IFERC事業長、CSC管理部門、日欧実施機関の担当者、専門家が参加して月に1回開催されるCSC管理会合で議論、決定が行われます。また、日欧の実施機関等々が担当する活動内容の実施状況等は、四半期に1度開催される技術会合で相互に報告が行われています。このような体制で、2012年1月からCSC大型計算機の運用を行っており、利用率の向上、利用者数の増大がみられました。利用者数は、CSC大型計算機の一般利用を開始した第1サイクルの295名（欧州187、日本101、非日欧7（共同研究者））から、2014年12月に開始された第4サイクルの562名（欧州398名、日本140名、非日欧24（共同研究者））まで増大しました。

IFERC事業チーム、日欧実施機関の連携によるCSC大型計算機の運用は非常に順調であり、週平均稼働率は98%を超え、週平均利用率は80%～90%（週平均の最高利用率は97%）を達成しています。

1.4 プロジェクト採択及び計算資源割振り体制

IFERC-CSCを利用する研究プロジェクトの選定、計算資源割り当ておよび評価は、日欧各5名の委員から構成される常設委員会（Standing Committee）が行っています。

CSCの利用サイクルは、原則として毎年11月から翌年11月までの1年間であり、利用提案は7月末を締め切りとして募集されています。（初回だけは、12月1日が提案締切で、サイクルの開始が4月でした。）募集の対象は、磁気閉じ込めの分野で核融合開発に関連してIFERC-CSC計算機を効率的に利用し、実験解析、ITER運転シナリオ開発、ITER性能予測、原型炉設計基盤やBA活動に貢献する数値シミュレーションプロジェクトです。そのカテゴリは

- ・プラズマ乱流および関連する輸送過程
- ・高速粒子に関連する物理
- ・線形、非線形および拡張電磁流体力学
- ・周縁プラズマの物理
- ・加熱と電流駆動
- ・核融合プラズマの統合モデリング
- ・核融合炉材料

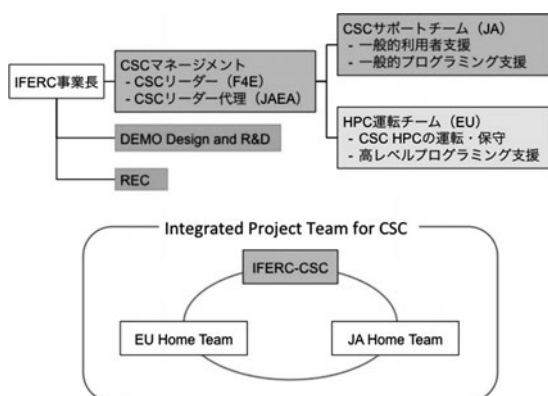


図1 CSCの運用体制と統合事業チーム（IPT）。

・核融合炉工学
にわたっています。

常設委員会では全体の80%の計算機資源を割り振り、残りの20%は日欧の実施機関 (JAEA, F4E) が独自の基準を設けて10%ずつをそれぞれ日欧の研究者に資源配分を行なうことになっており、それぞれ国際枠 (80%)、国内枠 (10%) と呼んでいます。常設委員会は議長、副議長、日本側委員 (4名)、EU側委員 (4名) から構成されており、議長と副議長は年毎に日欧が入れ替わります。表2にメンバーリストを示します。常設委員会は年2回開催され、1回目はTV会議にて前サイクルのレビューと次サイクル応募文案の審議を行います。これは通常2月中旬に行われます。応募に関する公示は6月中旬、公募の締め切りは7月末、その後、常設委員会委員 (内部委員) と外部委員が提案書の評価を行い、それをもとに10月初旬の第2回常設委員会にて最終的な資源配分を決定します。第2回常設委員会はホームアンドアウェイ方式で2年に一度日本側がホストになり、国内で開催しています。新しいサイクルは通常11月中旬に始まり、1年後に終了します。

提案書は常設委員会が決めた2名の委員 (内部委員1名、外部委員1名) のピアレビューにより評価が行われます。評価項目は1)科学的インパクト、2)核融合研究開発目的 (ITERおよびBAの目的に合致しているか)、3)計算機資源の有効利用 (使用コードの並列化効率や強スケールリング則に基づく性能評価等)、4)日欧協力 (共同研究者に日欧双方の研究者が含まれているかどうか等) の4点です。また、常設委員会はサイクルの終了時に研究提案者に報告書提出を義務づけており、これをレビューし、評価報告書を作成します。評価報告書には科学的成果と、割り当てられた計算資源と実際使用した計算資源から計算機を有効利用した申請であったかどうかなどがまとめられており、このプロジェクトが継続される場合には評価者が参考資料として利用することになります。達成度としては大いに成功、成功、部分的に成功、成功せずの4つに分類します。例えば第2サイクルにおいては75%以上の研究課題に対して重要な研究成果が得られており、10%以下の研究課題が成功しなかったとの評価が得られています。常設委員会の活動内容は報告書としてまとめられており、ホームページにて公開されています (www.iferc.org)。

表2 常設委員会メンバー構成。

Name	Affiliation
Duarte Borba	EuroFusion
Frank Jenko	IPP (2014.12まで)
Laurent Villard	CRPP
Tim Hender	CCFE
Yanick Sarazin	CEA
Eric Sonnendrucker	IPP (2015.4から)
Atsushi Fukuyama	Kyoto University
Masaru Furukawa	Tottori University
Masatoshi Yagi	JAEA
Tomoaki Kunugi	Kyoto University
Yasushi Todo	NIFS

第4サイクルの報告書によれば、このサイクルでは127件 (EU91件、日本36件) の申請があり、新規33件 (EU28件、日本5件)、継続94件 (EU63件、日本31件) となっていました。63件の申請に対しては、内部委員 (日本) と外部委員 (EU)、別の64件に対しては、内部委員 (EU) と外部委員 (日本) が2名の評価委員として審査を行いました。要求された計算資源は107.74 MNH (Mega Node Hours) であるのに対して、Heliosで利用可能な計算資源は339 (days) × 24 (hours) × 4500 (nodes) = 36.61 MNH と評価しました。Heliosの利用可能な計算資源に対して294%の申請量となりますが、これまでの利用実績等から判断して25%超過割り当てを行うことを委員会で合意しました。その結果、119件が採択され36.61 MNHが国際枠から割り当てられました。実施機関は10%に相当する4.58 MNHをそれぞれ独自に割り振りました。国際枠は日欧双方で均等に資源を配分することを取り決めており、これを満足するように資源配分が行われています。カテゴリ別にみるとプラズマ乱流と輸送が全体の約51%を占めていることがわかります (図2)。続いて高エネルギー粒子物理 (12%)、MHD (11%) であり、炉心プラズマ研究課題で全体の90%程度を占めていることがわかります。炉工学 (5%)、炉材料 (7%) で工学課題はまだ発展途上にあるといえるかもしれません。

1.5 ネットワーク環境の進展

日欧で共同利用される計算機は大都市近郊ではない青森県六ヶ所村に設置されるため、計画当初からユーザと計算機を繋ぐネットワークの整備が重要視されてきました。特に、接続距離の長い欧州側から広帯域化の要望に強いものがありました。欧州と六ヶ所間のネットワーク接続は、経済性・信頼性・国際性を考慮して、国立情報研究所 [National Institute of Informatics] (NII) が敷設・管理する学術情報ネットワーク [Science Information NETwork 4] (SINET4) を利用することが決定されました。この場合欧州と日本との間の国際接続は、欧州と北米間は Delivery of Advanced Network Technology to Europe (DANTE) が管理する GEANT ネットワークで、北米と日本間、及び日本国内の接続はNIIが管理する SINET 4 となります。したがって、IFERC 事業としては、弘前と六ヶ所間のネットワーク接続と六ヶ所サイト内部のネットワーク構築が必要となりました。

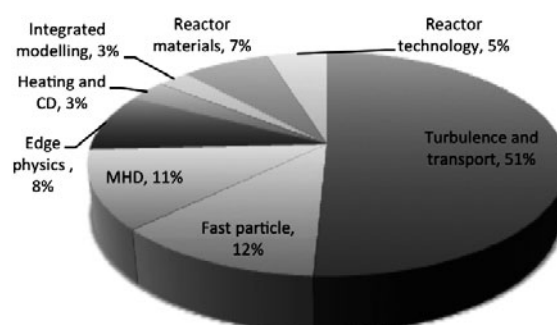


図2 カテゴリ毎の資源配分結果。

2012年1月からの Helios 稼働に向け、2011年上半旬及び2011年中旬に、六ヶ所サイト内部のIFERCネットワーク及び弘前と六ヶ所間のネットワーク接続のための調達取り決めが締結され、2011年下旬からCSCネットワークへ接続する準備が整いました。図3にIFERCネットワークの概念図を示します。

IFERCネットワークの特徴は、異なる機能と運用を求める副事業の要求を満足するように構成されている点です。ネットワークがその重要な基盤要素となる副事業としては、CSC及びRECの二つの副事業が該当します。CSCの場合のネットワークに対する主要要求事項は、多種多様な研究拠点から利用する日欧ユーザとの間で高速かつ安全なデータ転送を達成することです。これに対しRECの場合のネットワークに対する主要要求事項は、比較的限定された日欧サイト(ITER, EUトカマク, JT-60SA等)との間で大容量のデータ転送を可能にすることです。両者の間では特に運用面において違いが生じると考えられます。更に、六ヶ所所在のユーザが利用するメール機能やウェブサイトを備えたIFERC内部ネットワークも存在します。このような多様な要求を満足させるため、IFERCネットワークはコアシッチにより外部ネットワーク(SINET4)と接続されており、コアシッチにより、IFERC内部ネットワー

ク、CSCネットワーク、RECネットワークへと分離される構造を取っています。現状では、IFERC内部ネットワークはJAEAの運用規定に準拠しており、CSCネットワークでは、情報セキュリティー委員会(Information Security Committee: ISC, 日欧3名の委員、議長は欧州側)を月一回程度開催し、CSC独自の運用を管理しています。更に、年一回の頻度で、CSCネットワークに対する監査を実施し、CSCネットワークの運用及び安全性に対し適切な助言(安全性等の評価、改善点の指摘等)を与えています。

一方、日欧間のネットワーク状況はBA活動の枠外の課題であり、日欧ネットワーク関係機関の協力関係の進展に期待するところとなりました。これは二段階的に進められました。先ず、NIIとDANTEの協力により、2013年3月末に、SINET4の大阪DC(Data Center: DC)とGEANTのスイスジュネーブDCの間に大型プロジェクト(Large Hadron Collider(LHC)及びITER関連大型プロジェクト)専用の10Gbps(Giga bit per second: Gbps)回線が稼働しました。NIIにより大阪DCと米国ワシントンDCの間にSINET4の10Gbps回線が設置され、DANTEにより米国ワシントンDCとスイスジュネーブDCの間にGEANTの10Gbps回線が設置されています。これにより、欧州と六ヶ所所間のネットワークルートは、欧州⇄ワシントン⇄大阪⇄東京⇄仙台⇄弘前⇄六ヶ所となります。更に、2014年4月には、NIIの協力により、SINET4の弘前DCと東京DCの間に試験専用仮設経路が設置され、帯域が2.4Gbpsから10Gbpsに改善されました。これにより、六ヶ所サイトと東京DC間は実質的に10Gbpsの専用回線となっています。以上の六ヶ所サイトと欧州との接続経路を図4に示します。

2. IFERC-CSC を活用したシミュレーション研究活動

本節では、日欧シミュレーション研究活動の全体像と関連する話題を、活動を企画・支援する立場から説明します。

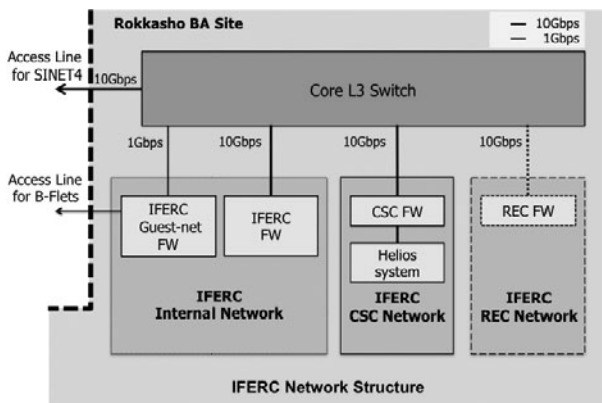


図3 IFERC ネットワーク概念図。

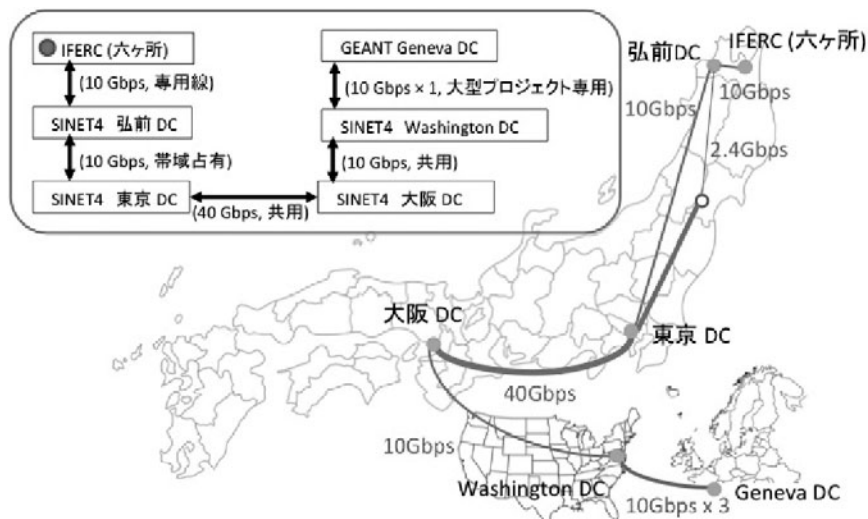


図4 六ヶ所と欧州間のネットワーク接続概念図。

2.1 Databaseからみた日欧シミュレーション研究活動の概要

IFERC-CSCでは、各シミュレーションサイクルの後に各シミュレーションプロジェクトのPrincipal Investigator (PI) からプロジェクト結果の報告書と関連する出版物と発表のリストを収集しています。この目的は、継続プロジェクトの審査の際に活用すると共に、報告書やリストを基に、研究成果のデータベースを作成するためです。研究成果のデータベースは、2016年12月末のIFERC-CSC活動の終了時以降に、CSC活動の意義や成果をBA運営会議等に報告する意味合いもありますが、出版物や発表等の研究成果の現状把握、研究動向の解析等の統計データを作成し、CSCの運用等に活用する意味合いも含まれています。

出版物リストは、プロジェクト毎に、論文タイトル、著者、雑誌名、ピアレビューの有無、出版承認年月及び出版年月、Digital Object Identifier (DOI)、第一カテゴリ、いくつかのキーワード等から構成されており、発表リストは、プロジェクト毎に、国際会議やワークショップ等の会合の区分、発表タイトル、著者、会合名、日時、口頭とポスター発表の区別、招待講演や講演等の区別、会合場所、プロシーディングスの有無、第一カテゴリ、いくつかのキーワード等から構成されています。いくつかの項目は、選択肢が用意されており、PIにできるだけ負担をかけることなく統一的な記述に基づく情報が入手されるように順次改訂されています。

以下では、2015年9月時点のデータベースに基づき出版された、ないしは出版が確定したピアレビュー付き論文に関する解析結果を示し、Heliosを用いたシミュレーション研究活動の現状と傾向を述べます。2015年9月時点のデータベースは、Heliosを用いて探求できる大規模シミュレーション研究の可能性を調査するための日欧それぞれ2課題で実施された灯台 (Lighthouse) プロジェクト (2012月1月から3月末)、第1サイクルプロジェクト (2012年4月上旬から11月中旬)、第2サイクルプロジェクト (2012年11月中旬から2013年11月中旬)、第3サイクルプロジェクト (2013年11月中旬から2014年11月下旬) 第4サイクルプロジェクトの一部 (2014年12月上旬から2015年9月上旬) の結果が含まれています。最初の灯台プロジェクトの課題総数は4件と限られていますので、約3年半弱 (2012年4月上旬から2015年9月上旬) の通常の公募に対する結果と考えていただいで結構です。

日欧のシミュレーション研究の結果をまとめて統計的に解析するという機会は、初めてのことで考えますので、お互いの研究分野の分布や研究スタイル等に関して、新しい知見が得られるのではないかと考えています。また、今後国際協力で研究基盤 (この場合には、計算機システムと支援体制) を構築する際の参考になるのではないかと考えています。

図5に査読付きの学術雑誌に出版された (出版承認済みの論文を含む) カテゴリ別の日欧論文数を示します。CSCのシミュレーションカテゴリは公募文で示されているように、Linear, nonlinear and/or extended MHD (省略形:

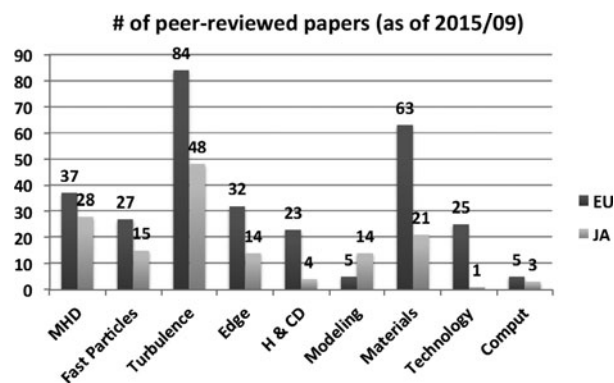


図5 カテゴリ毎の査読付き日欧論文数。

MHD), Fast particle physics (Fast Particles), Plasma turbulence and related transport processes (Turbulence), Edge physics (Edge), Heating and current drive (H & CD), Integrated modeling of fusion plasmas (Modeling), Reactor materials (Materials), Reactor technology (Technology) の8カテゴリですが、シミュレーション活動の現状に合わせるため、Computer Science (Comput) も追加しています。各棒グラフの上部の数字は、対応する論文数を示しており、それぞれ欧州及び日本に対応します。なお、ITER関連等のレポートやプラズマ・核融合学会誌等での解説・講座記事等は含まれておりません。論文数を合算しますと、2015年9月時点での論文総数は449件 (欧州301件、日本148件) です。日欧の論文数比が1:2というのは、ほぼ日欧のユーザ比に対応するもので、自然と考えられます。1.4節でも示されているように日欧ともに乱流 (Turbulence) 関係のプロジェクト数が大きな比率を占めていることが、その論文数の多さに反映されているようです。日欧での違いとしては、炉材料 (Materials) や炉工技術 (Technology) において欧州の比率が大きい点です。炉材料の欧州の高い比率に関しては、欧州が様々な国から構成され、乱流等の大規模シミュレーションを主とする国々 (ドイツ、フランス、スイス等) と中小規模の炉材料シミュレーションを主とする国々 (オーストリア等) とが共存していること、更に、2013年6月末に欧州の核融合専用機であるHPC-FF (Heliosの十分の一程度の規模) の稼働が終了し、多くの中小規模の炉材料シミュレーション研究者がHeliosの利用に切り替えた影響があると考えられます。Heliosの使い易さはこの分野でよく認識されている様です。また、ITERがカダラッシュ (フランス) で建設中であり、関連する工学計算が要請されていることが、炉工技術及び加熱・電流駆動のシミュレーション等の比率に反映されていると考えられます。ただ、注意していただかないといけないのは、公募におけるプロジェクトのカテゴリ分類では複数選択肢を認めています。上記の図を作成する段階では、論文に最も適合するカテゴリをあえて一つ選択してもらっている点です。したがって、日本側の周辺 (Edge) 等の中には、炉工技術の意味合いをもっているものも存在しています。それ故、おおよその全体的な研究傾向と捉えていただくのが適切と思います。

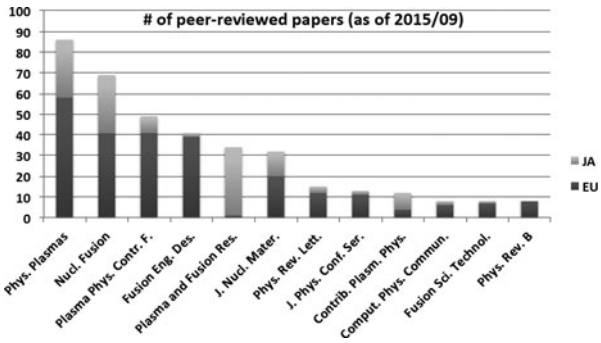


図6 主な論文発表先雑誌。

図6では、論文の主要な出版先（8件以上の出版があるもの）を示しています。Phys. PlasmasやNucl. Fusionといった核融合分野の物理を中心とする基幹雑誌への出版が日欧とも目立つのと同時に、Plasma Phys. Contr. F. (PPCF)やPlasma Fusion Res. (PFR)といった日欧それぞれの核融合ソサイアティーと強い結びつきをもつ学会誌関係での出版が上位を占めています。また、Fusion Eng. Des.やFusion Sci. Technol.といった工学系への寄与、J. Nucl. Mater.やPhys. Rev. Bといった材料関係、Phys. Rev. Lett.といった最新情報の発表、更に、Comput. Phys. Commun.といった計算科学寄りの寄与もあり、Heliosが核融合の幅広い分野で利用され、幅広い学術雑誌で活動が公表されていることがわかります。この他にも、発表数は少ないですが、Physics Reports等のimpact factorの大きい雑誌への発表もあります。

図7では上述した9カテゴリに対して論文数とプロジェクト数の相関を示しています。ここでプロジェクト数は、継続の場合には一つのプロジェクトとしてカウントしており、日欧それぞれ97件及び185件、総計282件です（複数カテゴリにわたるプロジェクトに対しては、各カテゴリで1件とカウントしたときの結果です）。また、紙面の関係で、日欧のデータを合算して表示しています。図7からは、おおよそどのカテゴリにおいても、プロジェクト課題あたり平均2本程度の論文が出版されていることがわかります。つまり、カテゴリ毎のプロジェクト数にはバラツキがありますが、カテゴリ毎の研究の活動レベルには平均的な差はないと判断されます。また、約3年半弱の期間においてプロジェクト課題あたり平均2本程度の論文が出版されている点もほぼ標準的なペースと考えられます。

図8では9カテゴリに対して、論文数と割当計算時間の相関を示しています。割当計算時間は、各プロジェクトに割り当てられた計算時間（Mega Node Hours）をカテゴリ毎に積算して求めてあります。したがって、カテゴリ毎の、プロジェクト数も含めた必要計算機資源と発表論文数の相関を示していることとなります。この図から、乱流とそれ以外のカテゴリに活動形態が大別されることが図7と比較してより鮮明に見て取れます。乱流シミュレーションの研究者は他のカテゴリと比較して、大きな計算資源を必要としつつも高い活動レベルを示していることがよくわかります。これに対し、他のカテゴリでは、比較的中小規模の計

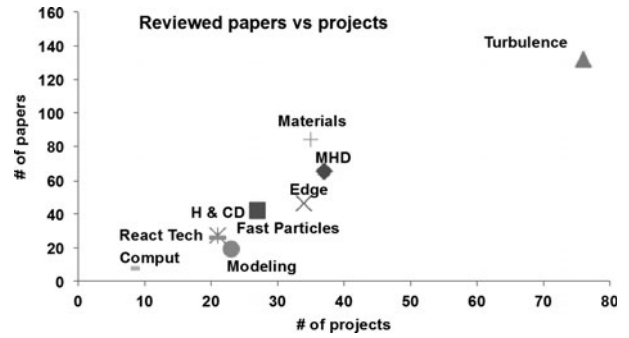


図7 カテゴリ毎の、論文数とプロジェクト数の相関。

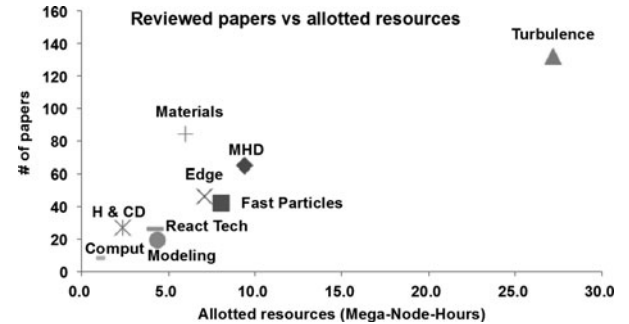


図8 カテゴリ毎の、論文数と必要計算機資源の相関。

算機資源で高い活動レベル（図7でみたように、プロジェクト課題あたり平均2本程度の論文が出版されている点は乱流と同じです）を維持していることがわかります。この二極化は、乱流シミュレーションが電子及びイオンの双方を電磁的ジャイロ運動論方程式で大域的に解くようになると、更に広がると考えられます。今後、限られた資源をどのように配分するか、運用側の重要な課題となると考えられます。

2.2 主な研究成果

IFERC-CSCを利用したシミュレーション研究の主な成果を、常設委員会によるIFERC事業委員会への報告等に基づいて紹介します。

プラズマ乱流

炉心プラズマ中の輸送を支配する乱流輸送現象を解析するために、ジャイロ運動論を用いたシミュレーションが活発に行われています。小半径方向の構造を含めたグローバルコード(ORB5, GYSELA, GT5D等)や特定の磁気面に着目したローカルコード(GKW, GENE, GKV等)が用いられており、一つのコードが異なる観点をもつ複数のプロジェクトに利用されるようになってきています。

- ・ジャイロ運動論コードGT5Dを用いて、イオン温度勾配モード(ITG)乱流シミュレーションが行われ、乱流輸送におけるプラズマサイズスケリングの物理機構[1]、運動量の乱流輸送とプラズマ回転分布の相互作用[2]、乱流輸送における同位体効果等が解析されました。
- ・電磁的ジャイロ運動論コードが開発され、高ベータトカマクにおいて運動論的バルーニングモード乱流は静電ポテンシャル揺動によって熱および粒子輸送を引き起こ

し、磁場揺動は小さなピンチ効果をもたらすことが示されました[3].

- ・グローバルコード GT5D とローカルコード GKV の双方を用いて、衝突度依存性の比較や熱流固定と温度勾配固定のモデル比較等が行われ、より現実的なモデルの検討が進められました[4].
- ・ローカルコード GKV がトカマクの実 MHD 平衡[5]や 3次元非軸対称配位[6]に拡張され、その妥当性が検証されるとともに、径電場の影響などが解析されました.
- ・ $E \times B$ シア流を実装したローカルモデルによるジャイロ運動論的非線形コード GENE と輸送ソルバー TRINITY を結合させて分布解析が行われ、 $E \times B$ シア流を考慮しなかったこれまでの解析に比べて、中心部のイオン温度の実験結果をよく再現することが示されました[7].
- ・ジャイロ運動論コード GENE を用いてイオンと電子スケールを考慮した熱輸送に関するマルチスケール非線形シミュレーションが TCV トカマクの内部輸送障壁が存在する場合に対して行われ、輸送障壁内では電子スケールの揺動による輸送が観測され、その物理機構が解析されました[7].

高速粒子関連現象

燃焼プラズマにおけるアルファ粒子やプラズマ加熱に中心的役割を果たす高エネルギーイオンは、その閉じ込めや励起する不安定性が加熱効率に大きな影響を与えるため、その物理機構解明は重要課題です。またディスラプションに発生する逃走電子の解析も進められています。

- ・高エネルギー粒子・MHD 連結コード MEGA により、ITER の定常運転シナリオにおいてはトロイダルモード数 n が 14-21 のトロイダルアルフベン固有モード (TAE) が不安定であることが明らかになりました。また JT-60U トカマク放電において観測される $n = 1$ 高エネルギー粒子駆動モード (EPM) や、LHD における TAE モードと高エネルギーイオンの相互作用等の解析が進められています[8].
- ・平衡・波動解析・旋回中心粒子コードを組み合わせた統合コード SCENIC を用いて、3次元非軸対称配位における ICRF 加熱の解析が行われています[9].
- ・高速粒子によるアルフベン固有モードの励起とそれに伴う高速粒子の輸送を、MEGA コードを拡張した MEGA-REMOD コードにより解析し、EPM の長時間振る舞いを記述し、JT-60U における実験結果を再現しています[10].

MHD 現象

磁気流体力学 (MHD) に関係する研究としては、ディスラプションの引き金となり得る抵抗性壁モード (RWM) や新古典ティアリングモード (NTM) の物理機構解明、周縁局在モード (ELM) の機構と制御、プラズマ中心部における鋸歯状振動の機構と波及効果等の解析が進められています。

- ・線形 MHD 安定性解析コード MINERVA, 抵抗性壁解析

コード RWMaC, 粒子軌道追跡コード等を組み合わせ、トカマクにおける主要な MHD 現象, ELM[11], RWM[12], 高エネルギー粒子駆動モード[13]に対するプラズマ回転の効果, 3次元配位効果, 運動論的效果の解析が進んでいます。

- ・3次元平衡配位における MHD 現象を解析するため、3次元平衡コード HINT 2 と 3次元 MHD 時間発展コード MIPS を用いて、統計的磁力線領域の影響[14], 圧力駆動型モードに対する非共鳴摂動磁場の影響[15], 交換型モードに対する反磁性効果[16]等の解析が進められています。
- ・ジャイロ運動論コード・GENE を用いてトカマクにおけるマイクロテアリングモードとそれが駆動する輸送の役割とその特性が解析され、ASDEX Upgrade (AUG) プラズマにおいてマイクロテアリングモードと ITG が輸送に与える影響が示されています[17].

周辺プラズマ物理

周辺プラズマはダイバータへの熱流を支配するとともに、コアプラズマの境界条件に大きな影響を与えるため、その物理機構の解明は重要な課題となっています。また、この領域では中性粒子、不純物イオン、壁等との相互作用が本質的であり、それらを含めたシミュレーションは統合モデリングとしても研究されています。

- ・タングステンのような高 Z 不純物の輸送とコアへの混入過程の解明をめざして、モンテカルロ高 Z 不純物輸送コード IMPGYRO のモデル高度化が進められています[18]. さらに、SOL/ダイバータプラズマ-中性粒子輸送コード SOLPS を用いて背景プラズマ分布を含めた解析[19]も進んでいます。
- ・運動論的周辺プラズマ解析コードを用いて、タングステンのスパッタリングと再堆積の自己無撞着な運動論的解析[20]や SOL プラズマとシースの相互作用の運動論的解析が行われ、ELM によって生成された高速電子の熱流束が評価されています。

加熱電流駆動

電磁波による加熱・電流駆動に関連して、ICRF アンテナの 3次元結合解析、アンテナ近傍に形成される RF シースとの相互作用、ジャイロトロン動作解析が行われるとともに、加熱に伴う物理現象の解析が進められています。

- ・トカマクのイオンサイクロトロン波加熱時に駆動されるトロイダル流れを解析するため、波動伝播解析コード TORIC によって計算された波動電場を用いてドリフト運動論コード GNET によるシミュレーションが行われ、Alcator C-Mod において観測されたトロイダル流れをよく再現しています[21].

統合モデリング

炉心プラズマの時間発展を記述し、運転シナリオを開発するために、炉心プラズマの様々な現象を総合的に解析する統合モデリングの開発が進められています。

- ・1.5次元輸送コード(平衡2次元, 輸送1次元)を中心に多くの解析モジュールを結合させた統合コード TOPICS の拡張が進められており, 多くの計算資源を必要とするモジュールのみを Helios で実行する分散型計算手法が開発されています. トカマクにおける磁場リップル効果を含めたトロイダル回転の定量的な解析[22] や線形 MHD 安定性解析と組み合わせた, ペレットによる ELM 制御の解析[23]が進められています.

炉材料

プラズマ対向材, 構造材, トリチウム増殖材等の挙動や高エネルギー粒子との相互作用を調べるために, 密度汎関数法 (DFT) による電子状態計算, そのポテンシャルを用いた分子動力学法 (MD), さらに長い時間を扱うためのモンテカルロ法 (MC) によるシミュレーションが行われています.

- ・電子状態計算コード VASP と MD 計算コード LAMMPS を用いたトリチウム増殖材料の性能評価[24].
- ・電子状態計算コード SIEST による水素同位体と格子欠陥の相互作用の解析[25].
- ・独自開発の DFT/MD/MC コード群を用いたタングステンにおけるヘリウムバブルの形成[26]や繊維状ナノ構造の形成[27]のシミュレーション.

炉工学

炉工学に関連して, プランケット冷却特性に関連する MHD 乱流シミュレーションや炉設計に向けた統合シミュレーションが行われています.

- ・液体金属冷却材を想定して MHD 乱流における熱特性を解析するために, 非常に大規模な3次元非圧縮性ナビエ-ストークス方程式を解くことにより MHD 乱流モデルが構築されています. シミュレーションの並列化にあたっては, MPI, CPU を用いた OpenMP, 加速演算器 XeonPhi を用いた OpenMP の比較が行われました[28].
- ・原型炉ダイバータ設計に向けて, 統合ダイバータシミュレーションコード SONIC を用いた熱制御シナリオの検討が行われています. 不純物ガスによる制御[29], ダイバータ幾何学的形状効果[30], 先進ダイバータ配位[31]等が検討されました.

3. おわりに

2007年のBA協定の締結からBA活動も8年目となり, その活動の半ばを超えました. 他のBA活動でも同様ですが, CSCにおいては, 活動開始時より核融合コミュニティの皆様にもいろいろとご協力をいただき, その活動を続けてきました. スパコンの諸性能を決めるために設立された特別作業班-1 (SWG-1), 利用規則等を定めるために設立された特別作業班-2 (SWG-2) では, 数年に渡りメンバーの方々に厳しい議論を行っていただきました. また, 学会等の機会を利用して日本国内の核融合研究者の皆様にも様々な意見をいただきました. 国内の核融合コミュニティの皆様のご協力もあり, CSCは当初計画通り2012年1月から運用を

開始することができました. 現在でも, 各利用サイクルの計算機資源配分を決定する常設委員会 (Standing Committee) の委員として, 日本の核融合コミュニティの方々には, CSC活動のために多大なご協力をいただいています. 運用開始当初は, 大規模ジョブの実行に於いて不具合が発生することもありましたが, これらの不具合も解消していくことができました. また現在は, 週平均稼働率は98%を超え, 週平均利用率もほとんどの週で80%を超えるという高い運用, 利用実績を上げてきています. 学術的成果としては, 2015年9月時点では450篇程度の査読付き論文が出版ないし出版が承認され, 日欧の研究者による着実な成果が出ています.

Heliosの運用は2016年12月までと, 短くはなりませんが, 今後は上述の成果を進展させ, ITERや原型炉研究のために, 日欧の核融合研究者の方々にCSCをより一層活用していただければと考えております. CSCを運営するIFERC事業チーム, 日本原子力研究開発機構(日本実施機関)も, 運用方法の改善など, より一層の努力に取り組みますので, ご意見等お気軽にいただければ幸いです.

参考文献

- [1] Y. Idomura and M. Nakata, *Phys. Plasmas* **21**, 020706 (2014).
- [2] Y. Idomura, *Phys. Plasmas* **21**, 022517 (2014).
- [3] A. Ishizawa *et al.*, *Nucl. Fusion* **53**, 053007 (2013).
- [4] M. Nakata and Y. Idomura, *Nucl. Fusion* **53**, 113039 (2013).
- [5] M. Nakata *et al.*, *Proc. IAEA 2014 TH/P7-38* (2014).
- [6] T.-H. Watanabe *et al.*, *24th IAEA Fusion Energy Conference* (San Diego, USA, 2012) TH/8-1.
- [7] F. Jenko *et al.*, *Nuclear Fusion* **53**, 073003 (2013).
- [8] A. Bierwage *et al.*, *Plasma Fusion Res.* **7**, 2403081 (2012); Y. Todo and A. Bierwage, *Plasma Fusion Res.* **9**, 3403068 (2014).
- [9] W.A. Cooper *et al.*, *Fusion Sci. and Tech.* **65**, 154 (2014).
- [10] A. Bierwage *et al.*, *Nucl. Fusion* **54**, 104001 (2014); A. Bierwage and K. Shinohara, *Phys. Plasmas* **21**, 112116 (2014).
- [11] N. Aiba, H. Urano, *Nucl. Fusion* **54**, 114007 (2014).
- [12] N. Aiba, M. Hirota, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 065001 (2015).
- [13] D. Pfefferle *et al.*, *Bull. Am. Phys. Soc.*, BAPS.2014.DPP. GP8.51 (2014).
- [14] M. Sato *et al.*, *Proc. 24th IAEA Fusion Energy Conf.*, IAEA-CN-197/TH/P3-25 (2012).
- [15] K. Ichiguchi *et al.*, *Nucl. Fusion* **55**, 073023 (2015).
- [16] T. Nicolas *et al.*, *Plasma Fusion Res.* **10**, 3403018 (2015).
- [17] D.R. Hatch *et al.*, *J. Plasma Phys.* **80**, 531 (2014).
- [18] Y. Homma and A. Hatayama, *J. Comp. Phys.* **231**, 3211 (2012); Y. Homma and A. Hatayama, *J. Comp. Phys.* **250**, 206 (2013); Y. Homma *et al.*, *Proc. IAEA 25th Fusion Energy Conf.* (St. Petersburg, Russia) TH/P7-8 (2014).
- [19] S. Yamoto *et al.*, *J. Nucl. Mater.* **463**, 615 (2015).
- [20] D. Tskhakaya, M. Groth and JET EFDA contributors, *J. of Nucl. Mater.* **463**, 624 (2015).
- [21] S. Murakami *et al.*, *Proc. 24th IAEA Fusion Energy Conf.*, San Deigo, TH/1-1 (2012).
- [22] M. Honda *et al.*, *Proc. IAEA FEC 2014, TH/5-1, to be published in Nucl. Fusion.*

- [23] N. Hayashi *et al.*, Nucl. Fusion **53**, 123009 (2013).
 [24] H. Tsuchihira *et al.*, J. Nucl. Mater. **442**, S429 (2013).
 [25] E. Fromm and G. Hörz, Intern. Metals Rev. **25**, 269 (1980).
 [26] A.M. Ito *et al.*, Phys. Scr. T**159**, 014062 (2014).
 [27] A.M. Ito *et al.*, Nucl. Fusion **55**, 073013 (2015).
 [28] S. Satake *et al.*, Proc. SNA + MC2013, A098 (2013); S. Satake

- et al.*, Proc. 21st Topical Meeting (Embedded) on the Technology of Fusion Energy (TOFE), 11131 (2014).
 [29] N. Asakura *et al.*, Nucl. Fusion **53**, 123005 (2013).
 [30] K. Hoshino *et al.*, Contrib. Plasma Phys. **62**, 550 (2012).
 [31] N. Asakura *et al.* J. Nucl. Mater. **463**, 1238 (2015).



なかじま のりよし
中島 徳嘉

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・核融合理論シミュレーション研究系・教授。主な研究分野は、核融合プラズマの理論シミュレーション研究。2009年12月から核融合科学研究所・六ヶ所研究センター長を併任し六ヶ所に常駐。2010年9月からはBA活動のIFERC事業長を兼任。事業長業務と六ヶ所生活の双方で忙殺。



いし い やす とも
石井 康友

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・六ヶ所核融合研究所 BA計画調整グループリーダー。1995年京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻博士課程終了。(旧)日本原子力研究所プラズマ理論研究室研究員等を経て現職。専門は核融合プラズマの電磁流体力学。BA事業が開始されてしばらく後、BA事業に巻き込まれ現在に至る。六ヶ所のスパコン導入、運用などを主に担当してきました。六ヶ所の自然環境は必ずしも優しいとはいえないですが、春から秋にかけては熊に怯えながら溪流ルアー釣りを楽しんでいます。



ふく やま あつし
福山 淳

京都大学大学院工学研究科、教授。抵抗壁安定化、低域混成波電流駆動、イオンサイクロトロン波加熱、トカマク乱流輸送、アルヴェン波固有モード、電子サイクロトロン波電流駆動等の理論とシミュレーションを経て、炉心プラズマ統合モデリングに従事。昨年は新潟でのPLASMA 2014の後、旧齊藤家別邸の紅葉を楽しみましたが、今年の紅葉は早いので撮りにいく時間もなさそうです。



やぎ まさとし
矢木 雅敏

日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・六ヶ所核融合研究所・プラズマ理論シミュレーショングループリーダー・研究主席。九州大学極限プラズマ研究連携センター客員教授。平成2年京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻終了。工学博士。日本原子力研究所研究員、九州大学応用力学研究所講師、同助教授、同教授をへて平成24年より現職。主な研究分野は核融合プラズマの理論シミュレーション研究。



Susana CLEMENT

2008年からITERおよびBAへの欧州貢献の責任担当機関であるF4E (Fusion for Energy) に所属するスペインの科学者。現在、IFERCの欧州側プロジェクトマネージャーを担当するとともに、暫定的にF4Eの幅広い核融合開発部門の副リーダーを担当。年に数回は六ヶ所に滞在。日本食を愛す。



Jacques NOE

2002年からフランス原子力庁 (CEA) に所属し、スーパーコンピュータのワークロード・スケジューリングの最適化に関するプロジェクトを指導。2011年から欧州側専門家として六ヶ所に常駐し、IFERC-CSC リーダとしてCSCチームの管理を担当。本人はフランス語教室を、奥さんは料理教室を開催するなど、日本の文化・近隣住人との交流を堪能。



François ROBIN

1980年からフランス原子力庁 (CEA) に所属し、1985年以降HPC分野で活動。現在、CEA物理科学部門副ディレクターを補佐するHPC (High Performance Computing) 関連シニア・アドバイザー、及びHPCにおける国際関係専門家として活動。BA活動では2007年の開始当初からF4Eの代理としてIFERC-CSCの欧州側技術調整役 (Technical Coordinator) を担当。Heliosの調達及び管理全般を担当しており、年に数回は六ヶ所に滞在。



Duarte BORBA

ポルトガルの高等技術研究所 プラズマ・核融合研究所、及びカラム科学センター (Culham Science Centre) のEUROfusion プログラムマネージメントユニットに所属し、現在、EUROfusion プログラムマネージャーのシニア・アドバイザーとして活動。IFERC-CSCの常設委員会の議長/共同議長を担当する。専門分野は α 粒子等の核融合生成物と波の相互作用とそのトカマクへの応用。プラズマ物理の実験家としてJETやASDEX-Uでの活動経験をもつ。