

### 3 全国共同利用施設

#### 計算科学研究センター

##### 1. 平成16年度年度計画及び平成16年度重点施策・改善目標等に記載されている事項についての達成状況

###### (1) 研究体制の整備

センター設置に伴い、教員枠31のセンターへの配置手続きを完了し、各部門の研究体制を整備すべく新規枠の人事選考を進めた。

###### (2) 計算設備及び施設の整備

平成17年度概算要求「計算科学による新たな知の発見・統合・創出」事業において、現有超並列計算機C P - P A C S に替わる次期計算機システムPACS-CSの開発・製作を含む3ヵ年事業を申請し、その初年度分が認められた。

###### (3) 共同研究・共同利用体制の整備

総合研究棟B共用スペースに研究員室、会議室を整備し、国内外共同研究の利用に供した。次期計算機システムの開発・製作に伴い、その共同利用体制の整備を図る必要がある。

###### (4) 重点とする研究目標

###### ①センター全体としての事業

平成17年度新規事業「計算科学による新たな知の発見・統合・創出」の発足に向けて、従来から実績のある素粒子・宇宙研究、センターにおける新分野である物質・生命研究、地球生物環境研究において、各応用分野と計算機工学分野を連携したプロジェクト組織を整備・発足させ、PACS-CSの計算性能評価等の共同研究を開始した。宇宙物理分野では、科学研究費特別推進研究（FIRSTプロジェクト）の初年度を実施した。

###### ②各研究部門の事業

素粒子宇宙研究部門：素粒子分野では2 + 1 フレーバ近似なしQCDシミュレーションを進め、並行してPACS-CSで用いるアルゴリズム・コアプログラムの開発・テストを行った。宇宙分野では、宇宙輻射流体力学による天体形成の研究を推進すると共に、科学研究費特別推進研究（FIRSTプロジェクト）の初年度において、融合型並列計算機の1号機を完成させた。

物質生命研究部門：物質分野では、量子論的計算物理手法の開発と応用を行った。リボザイム切断機構の解明、高電場中での分子応答解明、炭素ナノ物質での新物性予言などが成果としてあげられる。また、実空間・実時間法を高速大規模計算の主要ツールとして位置づけ、PACS-CSにおける可能性が検討された。量子多体分野では、密度汎関数理論に基づき、原子核や原子分子系など様々な有限サイズの多体系に関して、励起構造や光反応などの量子ダイナミクスに関する研究を行った。

地球生物環境研究部門：地球分野では、気象庁予報データGPVの蓄積・公開のためのデータベース構築作業を行った。生物分野では、分子系統樹探索の大規模計算実施に向けて準備を進めた。

超高速計算システム研究部門：アーキテクチャ分野では、PACS-CSの開発・製作に向けて、その技術仕様の詳細検討を進め、さらに各応用部門の計算検討作業を連携して実施した。また将来のP F L O P S 計算機に向けての基礎検討を行った。グリッド分野では、他サイトとの相互接続のためのソフトウェア開発と共に、素粒子ILDGに向けてのミドルウェアの開発等を行った。

計算情報学研究部門：計算知能分野では、異種情報源連合、知識発見を用いた情報獲得、ストリームデータ処理等に関する先端的研究を推進すると共に、地球生物環境研究部門と連携して、大規模気象予報データベースシステムの開発を行った。計算メディア分野では、各種競争的資金により、大量センサデータの取得・解析・加工および人間への情報提示に関する研究を多面的に推進した。

###### (5) 管理運営における改善目標

センターの設置に伴い、運営委員会と人事委員会を中心とするセンターの運営体制の整備を行った。また、

研究員会議を中心とする研究面での連絡及び情報交換の体制を構築した。広報活動の基本であるセンターパンフレット並びにホームページを一新した。

## 2. 各組織における教育研究、運営上の特色ある取り組み及び教育研究、大学運営を円滑に進めるための工夫

### (1) 「計算科学による新たな知の発見・統合・創出」事業（平成17年度～19年度）への取り組み

本センターは、科学諸分野と計算機科学・情報科学の研究者が協力して、科学における大規模計算に適した超高速計算機を開発・整備し、これを用いて科学諸分野の基礎研究の推進を図るアプローチを特色としている。

本事業はこの考え方を中心に据えて平成17年度概算要求を行ったところであるが、総合科学技術会議ヒヤリングにおいて、世界的な特色を持つ事業として過去の実績と共に高い評価を受け、平成17年度政府予算案に盛り込まれるところとなった。

同事業では、短期間に現有C P - P A C Sの20倍以上の性能を持つ超並列クラスタ計算機PACS-CSを整備し、素粒子・宇宙のみならず、物質・生命分野での計算科学による研究の飛躍的推進を目指しており、今年度は同計算機の開発・製作の為に技術的検討と調達作業を開始すると同時に、各研究分野における達成目標の検討・設定と共同研究を進めた。

### (2) 科研費特別推進研究の推進

特別推進研究「融合型並列計算機による宇宙第一世代天体の起源の解明」（平成16年～平成19年）が採択され、このプロジェクト（FIRSTプロジェクト）の下、PCクラスタ埋め込み型の宇宙計算専用ボード（Blade-GRAPE）を開発し、これを16ノードのPCクラスタに組み込んで宇宙シミュレータ“FIRST”1号機（32CPU+16Blade-GRAPE）を完成させた。“FIRST”1号機は、専用機部分2.2Tflops、汎用機部分217Gflopsの演算性能をもつ。このシミュレータは、宇宙で最初の天体の誕生を直接計算し、宇宙史の暗黒時代を解き明かすことを目的としたものであり、この計算機を用いたシミュレーションの準備も開始した。

## 3. 自己評価と課題

### (1) 自己評価

今年度はセンター発足一年目であるので、①大幅に拡充された組織に対しての研究と運営のための体制整備、②センター全体の大きな重点研究目標の設定とそれを実現する予算措置等の確保、が最大の課題であった。①については、運営委員会と人事委員会を基軸とする体制が全体的には順調な滑り出しを見せたと考えるが、以下に記す課題も多く残されている。②については、幸いに「計算科学による新たな知の発見・統合・創出」事業が特別教育研究経費拠点形成費により認められ、今後3カ年にわたる重点目標の設定が実現できた。また、宇宙分野における科研費特別推進研究の採択と初年度実施も良い成果であった。

### (2) 課題

#### ①予算面での課題

センター運営経費については順調な配分と執行が行われたが、基盤教育研究経費は全て研究科に配分となっていることから、センターにおける執行が必要な場合にも実現されない問題がある。また、間接経費について、FIRSTプロジェクトのように大型装置を製作する場合等、センターへの配分が望ましい場合があるが、現状では研究科に配分されてしまう問題がある。

#### ②研究スペースの課題

教員が各専攻の建物とセンターに分散配置されている状況（全部で9ヶ所）が、共同研究の遂行と教員の一体意識の妨げとなっており、センター建物の拡張が望まれる。当面の問題として、センター教員の大幅増、特に新規教員増に付随して研究室スペース等の確保が必要である。

#### ③共同利用

本センターは全国共同利用機関であり、法人化後に、どのような体制と内容で共同利用に取り組むか、PACS-CSの利用等も重点項目としつつ、検討が必要である。

#### ④附置研究所化

全国共同利用の附置研究所への転換に向けて、教育・研究における学内での位置付けと学内諸組織との関

係、全国的及び世界的観点からの位置付けと共同利用の体制、組織・施設・予算等について、具体的な検討が必要である。

## プラズマ研究センター

### 1. 平成16年度年度計画及び平成16年度重点施策・改善目標等に記載されている事項についての達成状況

当センターでは、基本的な役割・中期計画の柱として、「核融合実用に必要不可欠で未解決な課題である、電位形成・電位によるプラズマ閉じ込め向上の物理機構の解明に向け、プラズマ物理・核融合研究の進展を喚起する一層の研究展開を図ることを、当センターの基本的な研究目標とその役割と位置づけている。殊に、目標とする電位閉じ込めの研究は世界に先駆けてその有効性を当センターが実証し、国際熱核融合実験炉ITERをはじめ、トカマク・ヘリカル型プラズマ閉じ込め形式をも含む、核融合実用に必要不可欠な研究課題という意義・位置づけを持つ。斯かる本学のオリジナリティー・世界的先駆性を基盤に、炉心プラズマ閉じ込めの、メカニズムや比例則に内在する物理の解明に繋がりうる、本研究目標に則して研究を推進すると共に、人材の育成・輩出という大学の責務を果たしつつ、以上の教育・研究の推進・展開を図る。」以上のように目標を掲げている。

これを具体的に推進するために、中期計画の一環として平成16年度に実施・達成した事項は以下の通りである。

- (1) 「核融合実用に必要不可欠で未解決な研究課題である、電位閉じ込めの普遍的物理基盤・物理機構・将来の展望・展開に係る比例則の研究。」については、当センターが世界に誇る、世界最大のタンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置 ガンマ10を用いて、以下の新しい発見を行った。

また、この著しい成果は、平成16年度の研究面での改善目標である、「①プラズマ・核融合研究及び関連分野の国際的専門誌に研究成果を継続的に掲載すること。②国際学会・研究集会において研究成果が採択され、積極的に発表すると共に、③国内外での招待講演・レビュー講演として発表依頼を受けること。」という課題に沿って、下記のように発表・報告が実施された。

即ち、国際原子力機関IAEA主催の「第20回核融合エネルギー国際会議」での報告、IAEAが共催する米国ワシントンDCにおける「第6回国際核融合研究の最新の動向」国際会議におけるレビュー招待講演、ロシアで開催された「第5回プラズマ閉じ込めのための開放磁場システム」国際会議における会議冒頭の全体会議基調招待(プレナリー)講演、我が国の「第21回プラズマ・核融合学会年会」での招待講演、そして斯界最高権威の、米国物理学会誌フィジカル・レビュー・レターズ誌での発表を行った。

特に代表的成果内容として、先ず、この10年間超えることの出来なかった「高温イオンモードでのイオン閉じ込め電位  $\phi_c=1\text{ kV}$ の壁」を破り、この10年に比しイオン閉じ込め電位が3倍となる  $2.1\text{ kV}$ の世界最高値にまで急進展し、しかもこの進展は、我々が2001年にフィジカル・レビュー・レターズ誌に提唱した理論比例則予想によく合致する事が分かったこと。

この急進展は、高温プラズマ中の存在が計算機シミュレーション等で予想されていた、プラズマをかき乱す渦(電磁流体乱流)のX線断層撮像による初めての可視化実証と、この乱流渦をジャイロトロン発振器を用いて生成した高強度半径方向電場 $E_r$ のシアー( $dE_r/dr$ )による「渦の晴れ渡り」の発見、更にそれに伴うプラズマの高閉じ込め・高温化の実証に結実した。本現象の発見の重要な意義として、ITERの心臓部の高温核融合プラズマの閉じ込め原理である、Hモード(高閉じ込めモード)の物理予想の実証・究明に繋がる事が指摘されている。

- (2) 同時に、これら電位・電場の生成物理メカニズム・比例則も、フィジカル・レビュー・レターズ誌等に発表・提唱した。以上の結果は、ジャイロトロンで発振させたマイクロ波による、電子サイクロトロン・プラズマ局所加熱を行い、ミラー開放端へ磁力線に沿う端損失高温電子流を生成し電子の掃き出しを行えることに基盤を持つ。即ち、加熱領域の電子密度をイオン密度よりも少なくすることで正に帯電させ、これにより正の電位を生成できること。更にこの生成電位の勾配を制御し、半径方向電場シアーを制御できるという、「端部を持つ当センターのミラー装置にしかできないこと、ミラーでなら学術解明できること」を背景に、研究を推進

している。

このように、他装置との差別化を行いミラーの特長を縦横に活かして、環状系核融合装置でも本質的現象ながら「端部が無い環状装置」では自在な電場制御ができないという欠点を補って余りある、学術要素還元・学術普遍化を行い、世界の核融合への他所にはできない貢献、しかし核融合実用には必要不可欠な独自の貢献を果たしている。

- (3) 以上のように、電位・電場生成によるプラズマの高閉じ込め・高温化の実証、電場シアアーによるプラズマ安定閉じ込めの研究、これらによる高プラズマパラメータ領域の開拓と比例則の研究成果は、上記IAEAでの発表を含め、着実に進展している。
- (4) 新たな高効率ミラー閉じ込め安定配位として、セントラル部ダイバータ配位について、学術交流協定に基づく国際共同研究により、ロシア科学アカデミー・クルチャトフ研究所との共同研究が進展しており、既に安定配位についての計算機シミュレーション結果を得ている。
- (5) ミラー特有の、他形式にはない利点として、ミラー端部を利用する直接発電の研究が進展している。これは特に全国双方向型共同研究、学内共同利用研究として研究が進んでおり、現在直接発電装置設計が進み、次年度のガンマ10での実験に向けた準備が着々と進んでいる。また、地域連携研究として、つくば市の高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーや産業総合研究所の放射光を用いた、計測器開発・校正研究が進展している。

以上の研究の重点施策とその中期計画の実施を通して、電位生成のメカニズム・比例則の整理・構築・究明、電位の核融合高効率化に果たす役割を明らかにすることを目指し、研究を着実に推進している。

- (6) 一方、これらの世界的・先端的研究への参加・実施・経験を通して、大学の役割である、将来のプラズマ核融合研究の基盤を支える人材の教育・育成・輩出の一層の充実を図り、センターでの実験研究成果を基に学術論文・学位論文をまとめ、様々な研究所や先端企業に多数の学生が巣立っている。科学立国を標榜する我が国に於ける大学としての責務を、このように十全に果たす、教育研究実施体制の整備・充実に努めている。

特に、「学生の多数の学位論文・学術論文・学会等の発表の創出と、先端知識と哲理を備えた学生の社会への輩出、そのための教育・研究体制の整備を図る。」という当初目標に対し、また、教育面での「学生の多数の学位論文・学術論文・学会等の発表の創出」を行うという具体的改善目標に沿って、平成16年度には、学生の育成を図るべく、自然学類・基礎工学類の卒研究生9名、大学院の研究科にあつては、物理学研究科・工学研究科・数理解析科学研究所・理工学研究科大学院生31名の日々の研究指導を行った。この内から卒業論文9編、修士論文13編、博士論文1編が作成された。

殊に、学生の、国際的学術誌への論文発表成果として56編を刊行し、国際会議での発表は44件を数え、その数は斯界では主導的数に及ぶ。

科学技術産業や初等中等教育等を広範に支える人材供給・輩出の目標に対し、今年度は14名が巣立った。

また、当センターで研究する学生が、数理解析科学研究所「優秀論文表彰」修士課程学生表彰、理工学研究科長賞表彰をそれぞれ得たことは、これらの教育・研究成果の一端を示すものである。

学生に対する、センター関連教職員の、日々の大変に熱心な教育・研究活動は、このような数値的な具体的ものに加え、物事の考え方・哲理哲学面の醸成にも、常に意識を置いた厳しく広範なものであることを付記し、各教職員の昼夜を分かたぬ努力を多としたい。

- (7) その他、研究面での改善目標である、「④国内外の諸機関と連携する共同研究を推進すること。」に関連・対応し、国際交流に関しては、電位形成を行う電子サイクロトロン加熱や初期プラズマ生成・加熱に用いられるイオンサイクロトロン加熱に関する物理的課題を議論する場として、米国から6名の研究者が参加した日米ワークショップを主催した。当センターからは大学院生2件を含む6件の口頭発表を行い、ミラー研究が担うこの分野の重要性をアピールした。また、学術交流協定を締結している韓国基礎科学研究所との交流を積極的に行い、大学院生2件を含む5名を派遣した。

ロシアとの共同研究としては、学術交流協定の締結先であるブドカー原子物理学研究所で開催された「第5

回プラズマ閉じ込めのための開放磁場システム」国際会議を機に、大学院生2名を含む8名が訪口し、タンデムミラー関連の議論を積極的に行った。また、セントラル部ダイバータ配位については、世界的に著名な理論家であるパスツコフ博士が平成15年度に引き続いて再度6週間滞在し、ロシア科学アカデミー・クルチャトフ研究所との共同研究が進展し、何編かの共著論文に結実させた。その他、計測に関する学术交流として1名が訪米した。

(8) 管理運営に関しては、平成16年度に新たに作成したセンター細則に規定する、プラズマ研究センター運営協議会、プラズマ研究センター運営委員会、プラズマ研究センター人事委員会の新制度を立ち上げ、国内外の情勢分析と当センターの位置づけや在り方の検討、管理運営の円滑化への種々の検討等が、大変有意義に議論され、センターの順調な滑り出しに果たす原動力ともなった。

(9) 安全管理に関しては、センターの防災安全管理組織の正副責任者を柱に実施された。特に、多数の指導学生が常駐するセンターとしての安全管理責任は重く、加えて双方向型共同研究で来所する50名を超える他大学の研究者・学生の安全確保のためにも、安全教育の徹底・非常時の避難訓練の実施・学生の保険加入・各種安全に関するマニュアル・冊子の作成・配布等、従来にも増して一層の注意が払われ、これらの整備を図った。このようにして、次項にも掲げた、新規立ち上げを行った「双方向型共同研究」で、全国から来所する共同研究員も含め、センターを利用する教職員・学生の安全と利便性に資する体制の整備を推進した。

## 2. 各組織における教育研究、運営上の特色ある取り組み及び教育研究、大学運営を円滑に進めるための工夫

当センターの特色ある新規研究形態として、本学の中期目標・中期計画の、I 2 (2)②の部分に次のように記載されている。即ち、I 大学の教育研究等の質の向上に関する目標、2 研究に関する目標の、(2) 研究実施体制等の整備に関する目標（世界的に評価されている研究及び成果が期待できる萌芽的研究に資源を重点配分して、研究面の個性化を図る。）の、○全国共同研究に関する具体的方策に、②国内外の研究機関との連携を深め、共同研究等の推進を図る。特に、プラズマの研究に関しては、大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所との連携を強めて、双方向型共同研究等を推進するとともに、全国共同研究のための整備を図る。と規定される。

この新しい全国双方向型共同研究を有効に活発に運用・活用し、この新たな枠組みに対する実施体制の整備と、学外の大学・研究機関から来学する研究者・学生の（平成16年度は61名の学外者の応募と、当部局細則第1号第8条に基づく学長発令による）共同研究員としての受入を円滑に行った。即ち、共同実験・共同研究時の安全の確保、活発な研究アクティビティの推進への研究基盤整備を実施し、また事務体系の検討を進めている。

即ち、①公募要領の整備を、関連研究機関・センターと共同して行い、大学共同利用機関法人である自然科学研究機構核融合科学研究所のホームページでのアップロードを含めた、広範な応募と審査委員会による公正な審査と採択、②受入機関として、当センターの防災安全管理委員会によるマニュアルの作成・配布と適切な指導（当部局細則第1号第9条～第12条）、③双方向型共同研究に来学する多数の学外共同研究員への、事務書類・旅費・研究費・宿泊、その他様々な対応業務の整備を進めており、④成果の一端は、公開の成果報告会を行うと共に、既に共同研究成果として、現在IAEA等の論文誌に投稿中である。また、⑤体系的には、双方向型共同研究成果を纏めて平成18年度に当センターが主催する予定である「第6回プラズマ閉じ込めのための開放磁場システム国際会議」での特別セッションの開催と、米国原子力学会誌での本会議プロシーディングの公開掲載、更には同年に筑波大学で開催する「プラズマ・核融合学会年会」での双方向型研究成果特別セッションでの成果報告と討論を行う。

この様に、本双方向型共同研究を、透明性の高い公募・審査、研究実施時の安全管理面の整備、事務体制の整備進行、実験体制の確立、成果報告の国際的また国内的公開性と、レフリー付き世界的主要論文誌への系統的発表。以上の体系的な新体制の確立と活力溢れる研究体制・公開評価体制を構築・推進している。

平成16年度の研究実施時には、研究担当副学長の双方向型共同研究実験視察と共同研究者の和やかな会話等、積極的な本学の研究支援体制が印象づけられ、益々の活性化へのサポートとなったことは別して謝意を表したい。

### 3. 自己評価と課題

研究面では、上述のようにこの10年間の「高温イオンモードでのイオン閉じ込め電位の最高記録」を3倍急進展させることに成功し、世界最高値に到達した。この時に、この値が、我々が提唱した理論・比例則に沿って高めることができる事が実証された。これは将来の更なる進展への基幹原理となり、電子サイクロトロン加熱用ジャイロトロン電力を増強することで、今後の大きな発展が見込まれることの物理基盤を示すものである。

また、高電位／高電場の生成に基づき、強力な半径方向電場のシアを形成することに成功し、これによりプラズマの径方向損失の原因となるドリフト波や乱流状揺動が強く抑制でき、著しい閉じ込め改善が達成される、プラズマ物理として普遍性に富む、新たな注目すべき実験結果が得られた。

上記のように、IAEA主催の国際会議での報告、IAEAが共催する米国ワシントンDCにおける国際核融合研究の最新の動向国際会議でのレビュー招待講演、ロシアでの国際会議における会議冒頭の全体会議基調招待(プレナリー)講演、我が国の主要学会年会での招待講演、そして斯界最高権威の、米国物理学会誌フィジカル・レビュー・レターズ誌での発表等、平成16年度の刊行学術論文数93編、口頭発表数135件に結実し、これらは今後の益々の発展への学術基盤を成し、また、これらの急進展・顕著な成果は、学界でも高い評価を得ている。

教育面では、当センターで理学系、工学系の多数の学生の研究指導にあたり、多くの査読者付き学術論文を作成すると共に、我が国を支える先端技術を擁する企業への人材供給はもとより、我が国のプラズマ物理・核融合研究において主要な多数の若手研究者を当センターから輩出していることは、斯界では周知の事実であり、大学としての教育・研究における使命の実践を、年々着実に推進していると評価できよう。

今後のセンターとして達成すべき研究課題として、法人化に際して中期目標・中期計画として定めている、(1)電位閉じ込めの普遍的物理機構・将来の展望展開のための比例則の確立と拡張。(2)複合ミラーを基盤に、高強度波動電子加熱等に基づく、新パラメータ領域での電位生成・電位閉じ込め研究・展開。(3)電位の核融合高効率化への有効性の研究・展開。(4)新たな高効率閉じ込め配位・プラズマ安定化の研究・展開。加えて、(5)将来のプラズマ・核融合研究の人的基盤を支える人材育成・輩出の一層の充実を引き続き図ることが挙げられる。

本学が拓き、着実に進展する、電位・電場のプラズマ閉じ込めへの効果の研究、更に、上述の当センターの世界の核融合研究に果たす独自の特長・位置づけを、今後の教育研究の展開・拡充の基盤に据え、これらの研究計画に基づくセンターの教育研究の質の向上と、核融合実用への貢献、学術的に広く普遍性をもつこれら研究成果の進展・達成を、今後も着実に推進して行く。