

第5回 核融合エネルギー連合講演会 会議報告

1. 連合講演会の概要

本連合講演会は平成16年6月17-18日の2日間にわたり、仙台市民会館で開催された。17-18日の参加者は一般市民56名を含め、484名であった。また前日の16日夕刻には、現地企画としてミニシンポジウム「エネルギーと地球環境」が会場にて開催され、地元大学の学生等91名が参加した。第1日目終了後には勾当台会館において懇親会が行われ、137名が出席した。会議の要綱・プログラム、参加者数の詳細、運営組織については末尾の資料に示す。

本連合講演会のサブテーマは「ITER, そして世界のフロンランナー日本」である。サブテーマを議論していた平成15年9月から10月にかけてのプログラム委員会、拡大組織委員会では、平成16年3月頃までにはITERのサイト交渉が決着し、ITERを中核とする核融合研究の将来展望を広く社会にアピールする機会として本連合講演会を企画していくという想定がされていた。委員会での議論では、「連合講演会が核融合コミュニティから社会への発信の機会である」という点が強調され、サブテーマはこうした情勢と会議の趣旨を反映するものとして決定された。残念ながらITERのサイトを巡る国際折衝は期待の通りには進まず、連合講演会はたまたま次官級のサイト交渉がウィーンで開催されている18日にかけて開催される結果になった。したがって、当初構想していたところとは若干異なる状況での開催とはなったが、平成15年1月の科学技術・学術審議会核融合研究ワーキンググループ報告において掲げられた重点課題等についての現状認識の共有、核融合を巡る種々の議論、問題提起を述べあい、ごく近い将来にITERサイトが決定し、ITERプロジェクトが開始されることを前提にさまざまなプログラムを進めていく上での指針を参加者それぞれが考えていく大変よい機会となったと思われる。

今回はポスター発表による一般講演をすべて第2日目に移し、第1日目の全てを一般に公開した。第1日目のプログラムは、サブテーマにも明記されたITERに関するシンポジウム、核融合研究の将来を巡るパネル討論、総合科学技術会議議員・阿部博之先生による「これからの科学技術の振興に向けて」と題する招待講演、東京大学教授小川雄一氏による「核融合の夢と現実」と題する公開講演で構成された。前夜の現地企画及びITERシンポジウムを含む第1日目全体の公開が、社会への発信をより強力に進める今回の講演会の目的を形の上でも内容の上でも具体化するものとなった。

第2日は、ワーキンググループ報告において掲げられた4つの重点課題、すなわち、トカマク、ヘリカル、慣性核融合、材料照射試験施設IFMIF及び日米協力により炉工学分野で進められているJUPITER-IIの5つの計画について、到達段階、今後の課題と展望について特別講演が午前中に、また、新たに展開しつつある国内での共同研究に関するシ

ンポジウムが午後に行われた。

企画の数をいつもより絞ったこともあり、発表、討論ともにこれまでの連合講演会に較べると時間の不足を感じるところは少なかったのではないと思われる。

一般講演はこれまでどおりすべてポスターで行われ、ポストデッドラインの2件を含め約320件の発表があった。2日目の午前、午後の2つのセッションとしたため、セッションの切り替え等の懸念があったが、現地委員会の努力によりほぼスムーズに進行することができた。振り分けられた時間配分は1時間30分でこれまでと同じであるが、ポスターセッションの前後に余裕がない分だけ少し窮屈であったかもしれない。ポスターセッションでは恒例の若手表彰を行い、閉会式の際に19件の論文発表者が優秀賞を授与された。(野田信明)

2. 開会

本講演会組織委員会委員長であり日本原子力学会核融合工学会会長である関昌弘氏から本講演会の開催経緯・趣旨に関する開会の辞が述べられた。引き続き、来賓として東北大学大学院工学研究科長の宮城光信氏、東北電力常務取締役で日本原子力学会東北支部長の小林邦英氏及び文部科学省研究開発局原子力課核融合開発室長補佐の林孝浩氏の3名(産官学のそれぞれから1名ずつ)からの挨拶があった。

宮城光信氏は、本講演会が仙台にて開催されることの意義及びITERのサイト選定が目前に迫っている状況での本講演会の開催意義に触れるとともに、核融合開発研究に対して社会的受容性を得るための積極的な情報公開等の活動の重要性及び長期に亘る継続的な開発研究の体制を維持するための人材育成の役割を担う大学の使命について述べられた。

次いで、産業界の立場から小林邦英氏は、我国のエネルギー情勢に対する核融合エネルギー開発研究の意義、役割および期待、更には国際共同研究に基づくITER計画がもたらす波及効果について述べられた。

最後に、林孝浩氏より、我国における核融合研究の活動状況及びその世界的評価、ITER計画の進捗状況及び今後の行動計画・方針等、並びに今後アジア及び世界における核融合開発研究のトップランナー的役割を果たすためにいかに活動をなすべきかについて官の立場から述べられた。(松山政夫)

3. 招待講演

招待講演は、「これからの科学技術の振興に向けて」という演題で、前東北大学総長であり、現在、東北大学名誉教授、総合科学技術会議の議員でいらっしゃる阿部博之先生にお願いした。

阿部先生は、まず、我が国の最近の科学技術政策の動きを概観され、科学技術基本法が成立した1995年から2000

年までの5年間、すなわち第1期の科学技術基本計画の期間に17兆円が投入されたこと、総合科学技術会議が発足した2001年から2005年までの第2期科学技術基本計画の5年間に24兆円が投入され、政府負担研究費の国内総生産（GDP）に対する割合も徐々に増加していることを示された。しかし、米国、欧米、アジア諸国では常識になっている国の競争力に関する視点、すなわち、「科学技術と（高等）教育が一国の経済競争力を含む国力の根幹である」という視点が、日本では不明確であり、今後、十分考えていく必要性を強調された。総合科学技術会議が、人文・社会科学とも融合した「知恵の場」として機能し、国の将来を見据えた議論を進めていっしやる、その立場からのご発言である。

引き続き、基礎研究について、まったくゼロから何かを見出す（0-1）型研究と、何らかの芽を大きく育てる（1-1000）型研究とがあることを説明され、これらを支える競争的研究資金について、総合的な研究資金では3倍の開きであるにもかかわらず、競争的資金では10倍の開きがあると、日米の規模を比較された。また、あわせて、日本での競争的研究資金規模の推移を示され、平成17年度には12年度の2倍とする目標ではあるが、これまでの伸び率、平成16年度の予算案をみると、目標達成は少し難しそうだとの認識を示された。

さらに、大学改革の視点として、学問ないし研究の自由、大学の自治の必要性と、「自ら目標を創出し、それを実現していく社会」である21世紀型知識社会を達成するためには、公的資金、その他の資金投入が必要であるとの考え方を述べられた。また、大学は人材を育成する重要な場であり、「教育は啓発」であることを強調された。

その他、地域の活性化、科学技術の受容、次期科学技術基本計画へ向けての考え方など、先生の豊富なご経験にもとづく幅広いお話があり、誠に有意義な招待講演であったと考える。（山本一良）

4. 公開講演

第1日目の夕方、「核融合の夢と現実」と題し、東京大学の小川雄一教授による公開講演会が開催された。一般からの数10名を含めて200名以上の参加者を得たが、特に一般からの参加者は前日の現地企画「エネルギーと地球環境」に引き続いて参加された方が多かった。

講演では、「夢を売る」立場から「現実を見据える」立場へとなった核融合研究の背景と、到達段階がていねいに説明された。さらに、核融合はクリーンか？という問題提起で、高レベル廃棄物はないが低レベル廃棄物があること、その低レベル廃棄物低減に向けてどんな方向性、可能性があるのかという説明があった。次に、安全か？という問題提起で、安心感と安全の違い、核的暴走がないこと、崩壊熱密度が小さい事が挙げられた。さら地球資源の観点でどの程度資源が有限かという議論に対し、リチウム、ニオブ、ベリリウム、バナジウムといった基本的な資源量のデータが示され、これらに対し海水からの採取や材料の再利用とい

った技術開発の可能性が示された。

以上優れた環境性、高い安全性、豊富な資源量といった特性から基幹エネルギーとしてバランスのとれたシステムであるということが説得力ある形で提示された。講演の最後に、短期間に普及したパソコンという技術革新と比較して、われわれの目指しているエネルギー源の時間と基幹性におけるスケールをローマの水道に例えられたのが印象に残った。会場からの一般の方の質問やその後の参加者からの感想で、現実性のあるエネルギー源としての期待が寄せられたが、核融合研究者も課題、問題点の解決に真摯に取り組むと同時に「安全、安心」をはじめとして社会の理解と支持を得る努力が必要であるというのが小川氏のまとめである。（笹尾眞實子）

5. シンポジウム： ITER 計画

次の6件の発表があり、活発な議論が行われた。

- 1) ITER の組織と参加のあり方
- 2) 研究のあり方と ITER への参加
 - 物理研究の観点から -
 - 工学研究・安全性の観点から -
- 3) ITER, 核融合開発と産業界
- 4) The Role of ITER in the European Fusion Programme
- 5) Role of ITER in the US Fusion Program

下村安夫氏から、ITERの現状と予定、建設期および実験期の組織と参加のあり方等が紹介された。建設期の重要な役割は、ITER施設の建設とITERを用いた研究技術開発の準備であり、ITER機構の施設部門が中心となり各極が機器およびサブシステムを分担製作し、各極内に置かれたITER機構の支部が主として各極内の実施機関を通して機器調達を行なうとの説明があった。並行して、研究開発およびその準備を進める部門が参加極の協力を得て、プラズマ計測技術、プラズマ加熱および電流駆動技術等の開発を行ない、実験期には、ITER機構は運転等の基本的部分を担当し、研究は主に各極からの研究者が行なうこと、実験は24時間体制で行い、各極どこからでも参加できる体制にする予定であること等が説明された。

岡子秀樹氏からは、研究参加の支援体制作り、研究戦略、国内共同研究の進展と体制の整備状況、日本研究チームの育成についての紹介と課題提示があった。ITER推進活動を支援するためにリサーチボディーの設置に向け活動を開始していることが紹介された。また、ITERでの研究リーダーシップを得るため、核融合フォーラムの中に設置した物理クラスターを中心にして、モデリング、検証と予測、実験提案に関する研究を推進し、実験データベースを構築するとする戦略が紹介された。さらに、研究戦略の確立、戦略的研究の推進、研究チームの育成、評価体制と審査組織を考慮した研究組織形体の構築の重要性が指摘された。

田中知氏からは、ITERの重要性、ITERによる発電ブランケットモジュール試験、ITERと核融合炉安全性、ITERへの参加について現状と課題が示された。ITERは、発電ブランケット以外は発電炉の全てを装備する装置であり、極めて

重要な一里塚であるとの認識が示された。ブランケット工学試験作業グループ(TBWG)活動では、核融合フォーラムの中に設置した炉工学クラスターのもとで、全日本体制の検討会等を開催し、第12回TBWGに対応したことが紹介された。また、ITER建設に向け必要な安全上の技術的基盤は整備されたことが示された。さらに、国レベルの機能として、設計、建設、運転の各段階において、炉工学、安全研究開発者が全日本的かつ組織的に参加できる体制の重要性が指摘された。

近藤光昇氏からは、将来のエネルギー源の有力な候補の一つとして核融合開発を推進すると産業界は理解し、今後可能な限り協力するとの説明があった。これまで、産業界は国内計画に積極的に参加し、装置全体のシステム設計にも大きく関与してきており、ITER計画に対しても中央チームへの派遣も含めて、設計およびR&Dに貢献してきていることが紹介された。それを踏まえて、工学系技術者が主体的に関与できる体制作り、将来計画の明確化、責任所掌の明確化、技術開発の継続性等の重要性が指摘された。特に、若手技術者を育成し技術継承することが急務であり、産業界の意見も反映した詳細なITER計画のロードマップの必要性が要望された。さらに、産業界を引きつけるために、開発主体の強いリーダーシップが要求されるとの意見が示された。

S. Clement-Lorenzo氏からは、欧州の核融合研究開発の推移と、現在はEFDA(欧州核融合開発協定)のもとに、次期装置をITERと定め、JETでの研究開発、核融合技術のR&D、ITERの設計・開発研究を欧州が一体となって組織的に進めていることが紹介された。JETのプログラムは、ITERに向けた開発研究に重点が置かれており、成果の一部が紹介された。また、ITERに関する設計活動、技術開発の紹介があり、最後に、ITERが欧州における核融合物理研究および技術開発の原動力となっていることが示された。

E. Oktay氏からは、核融合開発研究でのITERプロジェクトの重要性が、米国の核融合研究の進展も含めて示された。一旦はITERから離れていた米国が、国内での多くの議論を踏まえて再び参加することになった経緯も紹介された。ITERは今後20年間、米国の22の科学研究用設備の中での第一優先であり、米国が組織的にITERに取り組んでいることが示された。また、米国はITERをエネルギー開発としてだけでなく科学にも大いに貢献する重要なプロジェクトであると認識していることが示された。

本シンポジウムでは参加者から多くの意見や質問があった。研究戦略をきちんと立てていくことが重要であるが、現在それを行なう組織はあるのか等の意見に対して、現在は核融合フォーラムの中で行われており、それを国のレベルまで持っていく必要があると考えており、実現すべく現在活動しているとの議論があった。また、人材確保の観点から、学生がわくわくするような部分の必要性、大学に基盤をおいた研究のあり方とITERへの参加、プロジェクトに新しい発見・発明が取り入れられる仕組みの必要性、外部へのアピールの重要性、若手への技術継承の重要性、マシ

ンタイムの問題も含めた実験参加のあり方等に対する議論も活発に行われた。さらに、欧州と米国の核融合政策に対する質問も多く出され理解を深めることができた。

(杉江達夫)

6. パネル討論：

エネルギー戦略における核融合研究の意義と将来計画

核融合がエネルギーシステムとして実用化されるには、単に技術としての実現だけでは不十分であり、経済性、信頼性、安全性などの多くの条件をクリアし、かつ時代のニーズにあったものをタイムリーに提供しなければならない。そのためにめざす開発シナリオについて、幅広く討論することを目的に設定されたのが本パネル討論会である。

当日は、2件の基調講演からはじめられた。まず、伊藤浩吉氏(日本エネルギー経済研究所)に、「エネルギー需給の超長期シナリオ」と題して、核融合が人類社会に役に立つとすればどのような時期にどのような姿と予想されるかをお話いただき、エネルギー未来戦略の視点でみた核融合開発がめざすべき方向を再認識した。初代の核融合発電実証が2030年代に実施され、2050年頃までに十分に合理的なコストが達成できたという前提ではあるが、核融合炉が21世紀終盤の1次エネルギー供給に最大20%程度の役割を果たすシナリオも描き得ることが示された。引き続き、菊池満氏(日本原子力研究所)から、伊藤氏が示した導入条件を満たすことを念頭に原子力委員会の核融合基本問題検討会で検討した開発計画について、ご紹介いただき、同検討会で策定が進められた核融合開発計画と、その背景にある考え方やデータを確認した。

2つの基調講演に続き、パネル討論を実施した。疇地宏氏(大阪大学)は、レーザー核融合について、大阪大が推進するFIREX計画や、米国のNIF、フランスのLMJの各計画が順調に進めば、世界で最初に核融合の自己点火を実現するのはレーザー方式になる点を指摘。また、磁場方式とは大きく原理が異なる点などから、レーザー方式はトカマクを主計画とする核融合開発の中にあつて、副計画としての役割を果たし得るとの主張を展開した。小西哲之氏(京都大学)は、核融合開発への投資価値についてコメントした。公費による研究開発であっても投資対効果評価は必要であること、効果は様々な外部性も含めた広い評価が必要であること、実現が遠い技術ほど価値は割引かれることも考慮すべきこと、などが述べられ、核融合の投資がそれ以上の価値を生み出すには、国内市場だけを考えず国際市場で考える必要があることが主張された。長崎晋也氏(東京大学)は、核分裂原子力の研究者の立場からの核融合開発への疑問を提示した。特にエネルギーシステムの中での位置付けが明確になされていないのではないかと、安全性や廃棄物の処理に関して楽観的にすぎるのではないかと、といった点が指摘された。核融合研究が大きな予算を使って進められている点に関しても、物理の真理探究の隠れ蓑にエネルギー研究をつかって予算を得るようなことはあってほしくない、という強いメッセージがあった。井川陽一郎氏(読売新聞社)からは、核融合の研究者、核融合開発を支持し

ている政治家・政府関係者、あるいは一般の方々などと広く接してきた観点から、かなり厳しい批判がなされた。核融合関係者は、真実を説明していないのではないか、とにかく ITER を作る事にのみ一生懸命になっていて、説明を求められたときに不誠実なのではないか、といった点が批判された。一部には誤解もあり、出席者からの説明でその誤解も解けたように思えたが、それでも国民への説明が非常に不足していると批判されている点は大きな反省点であることをあらためて認識した。

これらのコメントに続いて、討論を実施した。ITER 以後の発電実証炉について、燃焼プラズマの知識は ITER で、発電実証炉の高ベータは小型装置とシミュレーションでという論理について質問が出された。ITER で燃焼を確かめることが第一歩なのは議論を待たず、それ以後については、現在はあくまで予測であり、今後の研究進展を見ていく以外にはない点では一致したものと思う。レーザー方式はいつの段階で学術研究から実用化を目指した研究にシフトされるのが適切かという議論もあり、FIREX や NIF で点火燃焼が確認された時点が見直すのが適当との主張もなされた。2030 年に発電実証というのがどれほど本当らしいのか、それが遅れたらどうなのか、という議論もあった。これについては、シナリオの例を示したのであり、発電実証が 10 年、20 年程度で変化しても、超長期シナリオで決定的違いはないと説明された。

議論の締めくくりとして、藤原正巳座長（核融合基本問題検討会座長）から、基本問題検討会中間報告に沿いつつ、今回の議論を踏まえたまとめがなされた。トカマクを中心に発電実証をはかるが、トカマクの弱点を解決する意味でも、他のさらに優れた方式の探求も当面は学術的に育成することが必要。核融合は将来エネルギーとして優れた特質を備えており、社会への説明責任を果たしつつ、将来ニーズに応えられる核融合炉開発を心がけて推進すべきである。（岡野邦彦、菊池 満）

7. 特別講演：

4 つの重点課題及び日米共同プロジェクトの課題と展望

本セッションでは、核融合ワーキンググループ報告書において国内重点化装置と位置付けられた 4 つの大型装置、並びに大学連合で進められている日米協力 JUPITER-II 計画から、以下の発表があった。

- 先進トカマク研究のフロントランナーとしての JT-60 計画の現状と展望（原研・二宮氏）
 - ヘリカル型磁場閉じ込め核融合研究の到達段階と展望（NIFS・須藤氏）
 - 高速点火レーザー核融合の原理実証実験計画 FIREX（阪大・三間氏）
 - 核融合炉材料照射試験施設 IFMIF 計画（東北大・松井氏）
 - 日米協力 JUPITER-II の成果と計画（東北大・阿部氏）
- いずれも日本の核融合研究を牽引する大型装置・計画であり、ITER とその後の核融合エネルギー実現に向けた重点

的課題、現状と将来の展望について講演頂いた。

二宮氏は最近の JT-60 における先進トカマク研究として、高自発電流割合・高規格化 β 値プラズマの長時間維持への取り組みを紹介し、 $\beta_N \approx 2$, Elmy Hモードの高性能プラズマを粒子壁飽和時間程度、維持した成果を示した。

須藤氏は、大規模超伝導装置である LHD の安定・高信頼性運転と NBI 等周辺機器の充実による、最高到達イオン温度 10 keV 等の研究の進展を報告した。また高 β (4%を主張) 運転時の MHD 安定化他、興味深い物理課題への取り組みを紹介した。

三間氏は、高速点火概念による加熱効率 20%, イオン温度 1 keV 達成を報告した。相対論電子流輸送等の実験・理論・シミュレーションにより、高速点火の実現可能性を示し、FIREX 計画に基づく点火燃焼実証への研究計画を紹介した。

松井氏は IFMIF 要素技術確証活動における数々の技術開発の成果を紹介し、IFMIF 設計合理化の進展を報告した。一方、核融合実用化を加速するためには、現行の IFMIF 計画も加速し、整合させる必要があると指摘した。

阿部氏は、JUPITER-II 計画で行われている低放射化・高効率ブランケットシステムに必要な要素技術開発の全容を紹介した。系統的な実験、照射試験、モデリング、並びに解析に基づく微視的メカニズムの理解と総合的評価による先進ブランケット実現に向けた今後の課題が示された。

(井上多加志)

7-1 先進トカマク研究のフロントランナーとしての JT-60 計画の現状と展望 二宮博正氏（日本原子力研究所）

高自発電流割合の実証、負磁気シアの提案、内部輸送障壁の発見等、JT-60 が先進トカマク研究を開拓・先導していることを指摘して報告が始まった。コンパクトなトカマク型発電炉の実現には、規格化ベータ値の向上と高い閉じ込め性能が求められており、それらを電流拡散時間を超えて維持することが課題となっている。ITER 並びに発電実証プラントの定常運転に向けて、規格化ベータ値 $\beta_N \sim 1.7$ 、対グリーンワールド密度比 $n_e/n_{GW} \sim 0.55$ 、閉じ込め改善度 $HH_{v2} \sim 1.7$ の放電において 75%の自発電流割合を 7.4 秒 ($\sim 13\tau_E$, 電流拡散時間程度) 維持し、自立性の高いプラズマを実現した。 $\beta_N=3$ を 6.2 秒 ($\sim 60\tau_E$) 維持するのもにも成功しているが、高ベータプラズマの長時間維持には新古典テアリングモード (NTM) の抑制が課題となる。可動ミラーを用いた EC による NTM のフィードバック制御技術を開発した。NTM 発生のごく初期に EC を早期入射し、より少ないパワーでの抑制も実証した。

平成 15 年度より JT-60 における先進トカマクの定常化研究を新たな実験領域へ展開することを目的とし、現有の加熱・電源等の設備能力を最大限に活用して、放電時間を 15 秒から 65 秒へ、加熱時間を 10 秒から 30 秒へ伸長した初期結果の報告がハイライトであった。ITER 標準運転に相当する $\beta_N = 1.9$ を 24 秒 (電流拡散時間の 2 倍) 維持することに世界で初めて成功した。ELMy H モードを 30 秒維持した放

電では、加熱入力エネルギーが 358 MJ に達したが、特にダイバータからの炭素不純物混入等は観測されていない。ただし壁が飽和する 25 秒以降は、ガスパフが停止しても密度は増加し、境界付近のプラズマ圧力が低下する。能動的な粒子排気下での閉じ込め性能の維持が課題である。

今後の長期的研究開発目標として、先進トカマクプラズマの総合性能の向上と長時間維持、自由境界安定性限界を越える規格化ベータ値 (> 3.5) の達成及び抵抗性壁モード (RWM) の安定化が挙げられた。これらを実証すべく、トカマク国内重点化装置の検討が大学等との共同企画・共同研究で進められている。

会場から、モーメント入力がなくプラズマ回転制御ができない炉における RWM の制御の見通しについて質問があった。(飯尾俊二)

7-2 ヘリカル型磁場閉じ込め核融合研究の到達段階と

展望 須藤 滋氏 (核融合科学研究所)

ヘリカル型磁場閉じ込め方式の特徴として、堅固な磁場構造を持ち電流崩壊がないこと、電流駆動が不要で長時間運転が容易であること、磁場構造の変化が柔軟であること等が利点である一方で、3 次元構造で工学的に複雑かつ高精度を必要とすること、ヘリカルリップルの高速イオン閉じ込めに対する影響が懸念されること、アスペクト比が大きいために装置サイズの最適化を必要とすること等が克服すべき課題である、と最初に列挙して報告がなされた。

核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 (LHD) は超伝導コイルで構成され、炉心プラズマを展望できる高 n_T 、高 β を実現し、ヘリカルプラズマの体系的・学術的な理解と、環状プラズマの総合的理解を目的としている。6 年間の稼働は超伝導技術の信頼性を実証し、現在の加熱パワーは、NBI が 13 MW、ECH が 2 MW であり、蓄積エネルギー 1.3 MJ、イオン温度 10 keV、 β 値 $\sim 4.1\%$ が達成された。ECH による長時間放電は 756 秒に達した。また、NBI によるプラズマ生成にも成功し、共鳴磁場の制約の無い広い運転可能領域を実現している。

磁気軸位置の最適化により、ISS95 スケーリング則より 1.5 倍良いプラズマ性能が得られ、トカマクの H モードに近い状態が達成されている。磁気軸 3.6 m の内寄せ配位では、無衝突領域であっても改善度に劣化が見られない。ICRF 加熱による 300-500 keV までの高エネルギーイオンテールが観測されており、高速粒子も内寄せ配位で良好な閉じ込めが確認されている。

理想交換モードの理論予測によると、コア部分は磁気井戸の形成により $\beta > 2\%$ で自発的に安定化する。しかし、周辺部分は $\beta > 3\%$ で不安定になることが懸念されていたが、周辺部の有面でのモードは β 値上昇とともに抑制され、4% でもプラズマは維持されている。

低衝突領域での ECH 中心加熱による内部輸送障壁形成、低衝突領域における β 値上昇で磁気島が自発的に消失するヒーリング現象、不純物蓄積と径電場の相関、磁気島の不純物遮蔽効果、連続ペレット入射により高密度領域まで劣化しないエネルギー閉じ込め、磁気島 + LID ダイバーター

ヘッドによる周辺プラズマ制御についても報告された。

会場からは、 β 値 4.1% の計測精度、スケーリング則をトカマクと比較するのに q を用いることの妥当性、共同研究による成果について質問があった。(飯尾俊二)

7-3 高速点火レーザー核融合の原理実証実験計画 FIREX

三間 園興氏 (大阪大学)

米国とフランスで実験計画が進んでいる中心点火方式に対して、我が国では超高強度レーザーを用いた高速点火方式が検討されている。高速点火方式では、爆縮プラズマの持続時間内に 10keV 程度までの急速加熱が必要である。大阪大学のレーザー研究センターでは、レーザーの建設と並行して点火燃焼の実証を目指した実験が進められているが、標記の講演では研究の現状と計画が報告された。新型のコーンシェル・ターゲットに 100J/1PS のレーザーを照射して、高効率の加熱が実証された。レーザーからコアプラズマへの変換効率は 20-25% と見積もられ、点火用レーザーを照射しない場合と比較して 1000 倍の中性子発生数の増加を観測した。また、中性子のエネルギー・スペクトルから、この時の加熱領域のイオン温度は 1keV と見積もられている。加熱実証実験に加えて、高速点火過程を統合的に調べることができるシミュレーションコード (FI³: Fast Ignition Integrated Inter-connecting Code) が開発中であり、照射強度に対する加熱率やイオン温度のスケーリングが行われている。

これらの結果を基にして点火用レーザーを 10kJ に増強し、10keV への加熱と利得 0.1 を目指す FIREX-I プロジェクト (FIREX: Fast Ignition Realization Experiment Project in Laser Fusion) が、昨年度から開始されたことが報告された。重要な課題は、高密度プラズマ中の超高密度相対論的電子の輸送と過熱過程であり、レーザー生成された電子ビームのエネルギー・スペクトルの制御も検討されている。また、核融合研と阪大との連携協力研究として、高速点火用のクライオ・コーンシェルターゲットの製作と爆縮実験への導入が検討されている。

FIREX-I では点火等価プラズマの検証が重要課題である。研究評価の後には点火実証を目指す FIREX-II が計画されており、圧縮用のレーザーで $\rho_r = 0.7\text{g/cm}^2$ の DT プラズマを形成、50kJ/10PS の点火用超高強度レーザーで点火実証を目指すと報告された。さらには、高速点火の概念に基づいた核融合発電プラントへのロードマップも紹介された。会場からは、中性子発生量のスケーリング、加熱実証に用いられたコーンターゲットのコストや発電炉レベルへの適用可能性について質問があった。コーン形状の燃料ターゲットのコストについては、量産効果により大幅な低減が可能であると回答された。(堀岡一彦)

7-4 核融合炉材料照射試験施設 IFMIF 計画

照射試験データ提供時期は現行計画で間に合うのか?

松井 秀樹氏 (東北大学金属材料研究所)

本特別講演では IFMIF 計画の意義、要素技術確証研究の成果、今後の課題などについて総合的に報告された。以下にその要点を紹介する。

国際協力事業 IFMIF は、核融合発電実証プラント建設に不可欠であり、IFMIF を用いた炉工・材料の統合的技術開発の重要性が認識されている。また、ITER 開発において残された炉工学課題は発電ブランケット・材料開発であり、ITER でのテストブランケットの試験に加え、第一壁構造材料開発とその核融合中性子重照射データ構築が不可欠である。14MeV 中性子重照射の必要性としては、材料に及ぼす多量のヘリウム生成の影響を核融合炉に合わせた条件で解明しておくことである。

IFMIF のミッションとしては、核融合実証炉 (DEMO) の設計、建設、許認可、安全運転に必要な材料照射データベースの作成およびブランケット要素の試験であり、前者においては、DEMO に想定される寿命相当 (80-160dpa) までの中性子照射試験により材料性能を評価し、適格性を保証すること、後者においては ITER のテストブランケットモジュールによる試験の補完などが相当する。

IFMIF 建設にあたり、主要な設備要素の建設リスクの低減と設計の合理化に向けて、要素技術確証 (KEP) 活動が IEA の下で開始され、具体的な要素技術開発として、要求される電流の CW 重陽子ビームの実現とターゲット及びテストセル要素機器の設計手法の妥当性検証のための製作試験などの 83 のタスクが設定された。具体的な KEP 活動実施の方法としては、国際的には IEA 協力の下、日本、欧州、米国、ロシアがそれぞれの既存施設等を有効に利用し、ボランティアベースでタスクを分担実施すると都合が得られている。これを受けて、国内体制としては、原研核融合工学部と核科研炉工センターの連携協力の下に関連機関による要素技術課題達成のためのプロジェクト研究体制がとられており、原研と核科研を中心とする大学が、それぞれ加速器系とターゲット・セル系の要素技術開発を役割分担することになっている。これまでに実施された技術開発は、加速器系の主要要素技術課題としては、長寿命イオン源の開発 (原研)、ECR イオン源の連続運転 (CEA-Saclay)、1 MW-CW 高周波源の技術開発 (THALES) があり、ターゲット系としては、ジェット水実験 (JA, EU, RF)、液体リチウムループ試験 (阪大)、Li ループ温度過渡解析 (TG61B-JA)、リチウム純化系 (東大)、テストセル系としては、高中性子束テストモジュールの構造 (温度制御) (九大)、微小試験片技術 (京大、東北大)、Li (d, n) 反応の中性子スペクトル (東北大) があり、その成果は、総合設計報告書として刊行され、原研ホームページでも公開されている。

(http://insdell.tokai.jaeri.go.jp/IFMIFHOME/if_download_site.html)

次の段階である EVEDA に進む準備は十分に整ったといえる。EVEDA における主要課題は、加速器系においては、イオン源試験 (H_2 , D)、加速器モデル製作試験、診断系、加速器システム設計、ターゲット系においては、主 Li ループモデル製作試験、計測/Li 純化系、遠隔操作機器交換、ターゲットシステム設計、およびテスト系においては、テストモジュール製作試験、微小試験片、計測診断/遠隔操作、テストセルシステム設計があげられる。他に、国際チームによる建屋・ユーティリティ設計、安全性の検討と機器使

用への反映があり、上記全ての要素技術を設計統合する必要がある。

核融合実用化加速スケジュールによれば、2022 年までには IFMIF による 80dpa までのデータを取得しておくことが不可欠であり、そのスケジュールに整合させるには、現行の IFMIF 建設計画も加速する必要がある。(木村晃彦)

7-5 日米協力 JUPITER-II 計画の成果と計画

阿部勝憲氏 (東北大)

本特別講演では、JUPITER-II 計画の背景・目的、目的を達成するための技術的課題・タスク構成、研究体制と計画の進め方、日米の主な研究施設、各タスク別の研究課題と成果について、わかりやすく述べられた。以下ではその主な点を紹介する。

本計画は、Japan-USA Program of Irradiation/Integration Test for Fusion Research (先進ブランケットの照射下特性とシステムインテグレーション) の略称であり、日本文部科学省-米国エネルギー省の科学技術協力事業 (日本側代表: 阿部勝憲東北大教授, 米国側代表: S. Berk 博士) として、2001 年に開始され、2006 年までの 6 年間行われる予定である。その目的は、高エネルギー中性子による誘導放射能を著しく低減できる低放射化構造材料と、高いトリチウム増殖と高熱効率を可能とする増殖材/冷却材の組み合わせからなる、「自己冷却液体ブランケット」および「高温ガス冷却ブランケット」システムについて、ブランケットの成立性を左右する各種の要素技術の開発研究を行うとともに、開発の鍵となる材料システムの照射下健全性の評価を行うことであり、具体的なタスクとしては、「自己冷却液体ブランケット」では、熔融塩 FLiBe ($LiF\text{-}BeF_2$ 混合熔融塩) システムにおける FLiBe の純化と取扱い、トリチウム化学、安全性、FLiBe の熱流動シミュレーション、およびバナジウム合金・液体 Li システムにおける MHD 低減セラミックスコーティング、Li キャプセル照射であり、また「高温ガス冷却ブランケット」システムでは、SiC/SiC 複合材料の基礎課題と製造、SiC/He システムの熱機械特性、He キャプセル照射である。さらに、ブランケットシステムモデリングのための設計統合モデリングと材料システムモデリングも重要なタスクである。これらの各タスクについてこれまでに日米の研究施設を活用し多くの成果が得られ、具体的成果は本講演会ポスターセッション (JUPITER-II 関連) で発表された (発表件数 32 件)。最後に総括として示されたように、本計画遂行のためには、低放射化と高効率を備えた先進ブランケットシステムの成立性に関わる要素課題の解決、上述の各システムにおける系統的实验と照射試験、およびブランケット設計統合モデリングと材料モデリング解析による総合評価を行うことが必要であり、今後の研究の進展が期待される。

(栗下裕明)

8. シンポジウム: 核融合共同研究のあらたな展開

始めに、核融合科学研究所と日本原子力研究所における共同研究に関する方針や組織の概要が、各々、小森彰夫氏 (核科研) と二宮博正氏 (原研) から報告された。小森氏

からは、平成15年1月に出された科学技術・学術審議会学術分科会基本問題特別委員会核融合研究ワーキンググループの報告書「今後の我が国の核融合研究の在り方について」に基づき、重点化の柱の一つであるLHDを用いた共同研究の推進、特に双方向型共同研究の推進、環境整備のための所内組織の見直し、ITERや慣性核融合との連携研究などが報告された。二宮氏からは、枠組みとして施設利用型の協力研究・共同研究と一般の協力研究・共同研究があること、核融合研究ワーキンググループの報告書に基づきJT-60の共同企画・研究を推進中であること、原子力二法人の統合後の研究協力及び施設等の共用に関して現在検討中の案が紹介された。JT-60の共同研究等は、今後、大学等と原研とで構成されるJT-60共用協議会（仮称）において審議されることになる。続いて、大型装置であるLHD、JT-60、レーザー核融合における共同研究の現場から、成果につながった工夫や今後への提言などが、各々、山田弘司氏（核科研）、竹永秀信氏（原研）、乗松孝好氏（阪大）から報告された。

山田氏からは、IAEA Fusion Energy 会議論文の筆頭著者やテーマグループリーダーにおける所外研究者（各々3名）の割合を高めたこと、遠隔実験参加やLHD関連情報の取得を簡便にするための努力、EUV光源に関する阪大との共同研究、等について報告があった。また、個別の要求に応えるよりも共同研究の課題毎にパッケージとしての要求に応じる方が成果が上がるのではないかと指摘があった。竹永氏からは、炉心プラズマ研究テーマ班のサブジェクトリーダーを大学等の研究者5名が担当していること、IAEA 会議論文の大学等の筆頭著者が4名であること、早期ECH入射により小パワーによるNTMの抑制（京大）、反射計を用いたプラズマ揺動の研究（九大）、局所的ミラー磁場におけるアルヴェンイオンサイクロトロン波動励起の観測（筑波大）、トロイダルプラズマにおける内部輸送障壁の形成機構と過渡輸送特性に関する比較研究（核科研）、の報告があった。また、新規計測機器等の持込、予算措置、原研担当者の負担軽減、国内共同研究装置の実験スケジュール及び研究テーマの調整、について改善に向けた努力が必要であることが指摘された。乗松氏からは、阪大レーザーエネルギー学研究中心の組織が紹介され、連携研究推進室が共同研究の企画・運営を司ることが報告された。核科研との連携研究としてクライオターゲットの開発研究について報告があった。また、レーザー技術をLHD研究に応用する計画が紹介された。この他にも、他分野との共同研究が紹介され、若手研究者の相互交流や情報交換の機会を増やす必要性が指摘された。ここまで前半の座長を西原功修氏（阪大）が務めた。

まとめを含めた後半の座長は犬竹正明氏（東北大）が務めた。後半は、大学の立場から、高瀬雄一氏（東大）、田辺哲朗氏（名大）、日野友明氏（北大）が報告を行った。最後に、会場の聴衆を含めた討論が行われた。高瀬氏からは、共同研究者は大学におけるなんらかの小規模研究の成果を基にして受け入れ機関に新しい要素を持ち込むことが必要

であり、そのためには、大学の研究をサポートする枠組みが必要であることが指摘された。また、ITERを控え、国際的なリーダーを育成するためには、共同研究を通じた人材育成が重要であることも指摘された。田辺氏からは、ボランティア的共同研究からスタートしたご自身の経験を基に国際共同研究の進め方についての考えが述べられた。ITERの中で日本が主導的役割を果たすためには、国際共同研究をリードしなければならない。そのためには、英語のハンディはあるかもしれないが、ITERあるいは核融合実現のために必要な研究が何であるのか、自分の考えをしっかりと持って相手と議論を行うことが出来なければいけないこと、共同研究の提案のために日頃からアンテナを張っておき相手が興味を持つようなテーマを常々考えておくこと、良好な人間関係を構築しておくこと、等が大切であると指摘された。日野氏からは、共同研究体制はかなり整備されているが、今後は質的向上を図る必要があるとの指摘があった。具体的には、核融合炉の早期実現に向けた共同研究を推進すること、核融合・プラズマ分野でも融合領域の研究を展開して、魅力ある成果を社会に発信することが重要である。このため、共同研究においてこれらのカテゴリーを新たに設けて推進していく必要がある。また、現在の共同研究では炉工学研究が不十分であり、炉工学施設を用いた共同研究体制を構築していくことの必要性が指摘された。

まとめでは、座長から論点が5項目示された：1) 双方向共同研究の発足と有効活用、2) 研究者の育成、3) 受け入れ側の負担の軽減（整備に見合った成果が上がっているか）、4) 国内重点化装置に対する対応（資源配分）、5) ITERに対する対応（原型炉までを見通した課題の抽出）。特に議論があったのは、2)に関し、大学において最先端の研究が可能な小型装置が必要かどうかについてであった。結果は、必要であるという意見が優勢であった。人材の流動化が必要である、DIII-Dのような実験体制が望ましい、との意見が出され、今後、コミュニティが納得する形で共同研究を発展させていくことが会場の合意事項となった。

（松岡啓介、西原功修）

9. 一般講演

ポスターセッションは、発表件数が合計321件を数え、熱気に包まれる中、2日目の午前午後の2つのセッションに分かれて、それぞれ1時間30分ずつ実施された。大別して、プラズマ物理分野・炉工学分野（それぞれ182件、及び139件）の発表が行われ、最新の研究成果の詳細内容の議論はもとより、将来の核融合を支える若手の振興と更なる活性化等を視野に入れた若手研究者の発表論文表彰対象ポスターも含め、学術・開発・人材育成のバランスに配慮した、構成内容に工夫が凝らされたセッションとなった。

具体的な内容は以下の各項で報告するが、およそ下記の分類の下に、ポスターセッションが構成された。即ち、ポストデッドライン2件を含め、A. 炉心プラズマ（磁場）（69件）、B. 炉心プラズマ（慣性）（6件）、C. 加熱・電流駆動（16件）、D. 慣性核融合ドライバー（1件）、E. 計測（38

件), F. 核融合工学 (超伝導, ダイバータなど) (25 件), G. 炉材料 (48 件), H. トリチウム・ブランケット (11 件), I. 炉システム・設計 (磁場, 慣性) (14 件), J. 理論・シミュレーション (12 件), K. プラズマ基礎・応用 (41 件), L. JUPITER-II (31 件), M. IFMIF (9 件)。以上 12 分類である。

内容の充実した発表が多く, 発表を聞いて回るだけで, 瞬く間に 1 時間半の発表時間が終わる印象を受けた参加者が多かったと聞いている。我が国の研究水準の高さと活力, そして広範な分野に於けるあふれる熱意を体感する, 大変有意義なポスターセッションであった。

大がかりなポスターセッションとなったため, 表彰も含め, 多くの委員・裏方のかたに大変な御尽力を戴いたことに対し, また, 発表者には熱心な報告を戴き, 更に大変多くの研究者がポスターにお越し戴き議論に加わって戴いたことを, 主催者一同, この場をお借りして深く感謝を申し上げたい。以下に各セッションの詳細を纏める。(長 照二)

9-1 炉心プラズマ (磁場)

ヘリカル, トカマク, FRP, FRC, ミラー及び内部導体装置等における幅広い領域での多彩な実験・解析結果を中心に 69 件の発表がなされた。ヘリカルでは, LHD, CHS, ヘリオトロン J, ヘリオトロン DR, 東北大学ヘリアックに関する報告がなされた。LHD では, 最近の実験において運転密度 (ガスパフで $1.6 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$) や到達イオン温度 (Ar プラズマ 10 keV), ベータ値 (4%) の最高値を更新したことが報告された。これらの運転領域の拡大は, それぞれ, リヒート時における追加ガスパフの最適化, 壁コンディショニングによるイオン密度制御, 高ベータ時の NBI 加熱効率が良好な高アスペクト比配位の採用といった過去 6 年の運転実績に基く放電最適化と 12 MW を超える NBI パワーの増強により達成された。また, 高密度領域での閉じ込め特性の劣化に関して, 高密度領域では, 加熱パワーにより到達できる圧力とその分布が決まる領域があると言う実験比例則のモデルが提案された。そのモデルと実験結果との比較から, ある密度 (あるいは衝突領域) 以上では, エネルギー閉じ込め実験則の密度に関する依存性 (正の強い相関) が失われることが示された。また, 不純物ペレットを使った実験で非局所輸送を伴う中心部の閉じ込め改善の観測が紹介された。さらに, ヘリカル特有の磁気島制御コイルによる実験結果について, 電子温度分布等で観測されている磁気島 (分布の平坦化) が磁束計測からも同定されること, 磁気島を作る磁場と分布計測結果を基にした磁気島の観測条件等の解析が進展したことが報告された。CHS では, 境界輸送障壁の形成, 内部輸送障壁形成と電子ルートへの遷移との関係, 垂直入射高速イオンの閉じ込めに関する報告がなされた。2 台の NBI を co 入射することにより, バランス入射時に必要であった外部からのオーミック電流なしに境界輸送障壁が形成可能なことが報告された。この時, 密度揺動の明確な減少は観測されておらず, NB 駆動電流による回転変換の変化も小さな値に留まっている。東北大学ヘリアックでも LH 遷移に関する報告があり, ヘリカルでの遷移現象に関する理解が進

んだ。ヘリオトロン J では, ICRF 実験結果に関する報告がなされ, 高エネルギーイオンの生成は確認されたが, イオン温度の上昇は小さく軌道損失が無視できないことを示唆する結果が報告された。また, MHD 不安定性特性, 中性粒子輸送, SOL プラズマの揺動に関する報告がなされた。ヘリオトロン DR では, ヘリコン波加熱プラズマ特性に関する報告がなされた。トカマクでは, JT-60U, JFT-2M, TRIAM-1M, JIPP T-IIU, TS-3 及び TS-4 に関する報告がなされた。JT-60U では, 昨年度から可能となった 30 秒間の NB 入射により, 規格化ベータ値 2.1 を 20 秒間維持したことが報告された。この時, 電流分布は 10 秒程度で定常に達しており, それ以上の時間にわたって高ベータプラズマを維持している。また, 定常炉で必要な高自発電流割合 75% を, 高閉じ込め状態 (H モードの 1.7 倍) にて電流拡散時間の 2 倍程度の 7.4 秒間維持したこと, 高規格化ベータ値 3 を 6.2 秒間維持したことに係る報告がなされた。その他, 負磁気シアプラズマの低ベータでのディスラプション, JET と JT-60U のペDESTAL 特性の比較, ダイバータでの不純物輸送に関する報告がなされた。JFT-2M では, 低放射化フェライト鋼壁での高ベータプラズマ特性, 高リサイクリング定常 H モードの特性に関する報告がなされた。TRIAM-1M では, ニューラルネットワークを用いたプラズマ制御の試みに関する報告がなされた。JIPP T-IIU では, HIBP による GAM 検出に関する考察がなされた。TS-3, TS-4 では, ワッシャーガン入射実験, 合体実験の詳細について報告がなされた。RFP では, TPE-RX におけるポロイダル電流駆動 (PPCD) により発見された閉じ込め改善モードの最適化, 改善モードの発生機構と MHD 不安定性に関する研究の進展, 及び CT 入射によるヘリシティの入射と閉じ込め改善の兆候に関する研究成果の紹介が興味を引いた。FRC では, 球状 FRC 生成に関する研究と ^3He と D の FRC プラズマ特性の研究が興味深かった。また, D-He 炉に最適と言われる FRC で ^3He と D プラズマで異なる特性が観測された。ガンマ 10 では, 電位形成に関する研究進展が報告された。ECH 加熱増強に従い, 電位差の運転領域がこれまでの比例則を維持したまま拡大していることが紹介された。磁気浮上内部導体装置 (Mini-RT) については, 1 時間という長時間のプラズマ維持が達成されており, その時 $20 \mu\text{m}$ 以下という精度で導体の位置制御も可能になっている。さらに, トロイダル・ダイバータプラズマ模擬試験装置とビリアル限界コイルを用いた小型トカマク装置の初期実験結果が報告された。(竹永秀信, 渡邊清政)

9-2 炉心プラズマ (慣性) (B01p-B06p),

慣性核融合ドライブ (D01p)

炉心プラズマのセッションでは, 高速点火のためのターゲット設計, 高速点火爆縮コア加熱解析, 爆縮コアのダイナミクス, 高密度プラズマの診断法, 荷電粒子プラズマの輸送の多次元解析についての現状と課題が報告された。基礎実験用の平板ターゲットと圧縮実験用の円錐状の光ガイドを伴ったクライオ重水素ターゲットが開発中であり, 後者は核融合科学研究所と共同研究で開発が行われていることが報告された (B01p)。高速点火に伴う爆縮過程を評価

するため、2次元統合シミュレーションコードが開発された。これを用いて、金コーン付高速点火実験用のターゲットの定量的な性能評価が行われ、全球状のターゲットと比較して遜色のない高密度圧縮が実現できることが示された (B02p)。また、統合2次元コードを用いて爆縮コア・プラズマのプロファイルと高速電子のエネルギースペクトルを入力条件に高速電子輸送と加熱過程が解析された。その結果、最大圧縮時のプラズマに高強度レーザーを照射したときの加熱効果が確認された。これらの結果は、高速点火実験 FIREX に反映される (B03p)。ロチェスター大学のオメガレーザーを用いてコーン付きシェルの爆縮のダイナミクスが実験的に調べられた。X線バックライト法によって、爆縮プラズマを観測した結果、衝撃波が中心に到達した後、コアプラズマがコーン側に流れることが観測された。2次元シミュレーション結果と比較しながら、爆縮コアの温度・密度が評価された (B04p)。言うまでもなく、慣性核融合ではコアプラズマの密度の評価が重要である。面密度がトリチウムの飛程と同程度になると、従来の核反応計測法は使えない。高密度領域での密度診断技術を確立するため、フェルミ縮退の効果を考慮した2次核反応計測が開発され、 300g/cm^2 の高密度圧縮が実現されていることが実験的に明らかにされた (B05p)。一方、高エネルギー荷電粒子の輸送を厳密に評価するには、運動量空間における粒子の非等方性を考慮する必要がある。核反応荷電粒子の多次元輸送コードが開発されつつある。高エネルギー密度プラズマ中の α 粒子の輸送計算を行い、エネルギー付与分布が評価された (B06p)。一方、ドライバー技術についての発表は、1件のみであった。大出力加速器は、基本的に高繰り返し能力を持つため、発電炉レベルの慣性核融合ドライバーとして期待されている。ビーム大出力化の最も大きな課題は空間電荷効果の制御であり、そのために不可欠な誘導加速モジュールの高精度波形制御技術が提案された (D01p)。

わが国の現在の研究動向を反映して、慣性核融合の炉心プラズマに関しては高速点火の爆縮コアプラズマの実験計画や診断法についての発表であった。高強度レーザーとプラズマとの相互作用は未解明の物理が豊富にあり、基礎研究としての魅力がある。米国とフランスの中心点火方式の進展を睨みながら高速点火方式の可能性の検討を相補的に研究を進めてゆくことと同時に、この会議では発表が少なかったが核融合エネルギーという観点からは平均出力高いドライバーの開発研究をすすめることが重要であると感じた。(堀岡一彦, 西原功修)

9-3 加熱・電流駆動

本セッションでは、NBI関連7件(午前)、RF関連9件(午後)の発表があった。

LHD 負イオン NBI では、負イオン源の接地電極開口を従来の多孔に代えてスロットとし、入射パワーの増大を得たが、今回、さらに負イオン源の調整により 5.7 MW (184 keV) の大電力入射に成功した (C01a)。C02a は3次元軌道計算から、スロット電極の端部近くを通過するビームの発散角

が大きくなるため、ビーム集束の必要性を指摘した。C06a では、JT-60 負イオン NBI の多孔電極から発生するビームレット相互の空間電荷による発散が報告され、電極周辺部の電界形状補正によるビーム集束で入射パワーの増大が見込まれるとした。これまで負イオン NBI では大面積負イオンビームの空間的不均一が問題であったが、C03a で引き出し領域への高速電子流入による負イオンの損失がその原因であることが明らかにされ、高速電子の流入経路に電極を挿入すると負イオン一様性が改善することが報告された。さらに JT-60 からは、放電パルス伸長 (30 秒) のためのビームリミタ改造、最電離損失特性 (C05a)、並びにビーム入射エネルギーとプラズマパラメータの進展 (C04a) に関する報告があった。またメンテナンスフリー負イオン源を指向した、複数のホローカソードで駆動するプラズマ源の開発に関する報告があった (C07a)。

RF について、一件を除きすべて EC 関連の報告であった。C09p は ITER 用 170 GHz ジャイロトロンに寄生発振を系統的に抑制した結果をまとめ、長パルス運転への道を拓いた。C08p は ITER 用 170 GHz 帯ミリ波偏波器として1枚の深溝型回折格子を用いる提案であり、441 kW、6 秒の大電力試験を行った。C11p は赤外線イメージ像を位相再構成コードにより解析し、ミリ波導波管の精密アライメントを可能とする研究である。中心ソレノイドを持たない低アスペクト比トカマク LATE への EC 波入射による ST プラズマ立ち上げに関する報告が3件あった。C14p では定常垂直磁場の下、EC 波 (2.45 GHz) を入射し、プラズマ立ち上げ後急激に 1 kA 程度のプラズマ電流が流れて平衡に到ることが報告され、プラズマ電流の増大機構が考察された。C13p ではさらに EC 波電力と垂直磁場を増加し、プラズマ電流 4 kA、アスペクト比 1.4 の ST プラズマ放電を得た。C15p は 5 GHz、200 kW の大電力 ECH 実験の初期結果報告であるが、C13p と共に、線平均電子密度がカットオフ密度を超えており、電子パーンスタイン波による第2高調波加熱・電流駆動の可能性が示唆された。C10p、C16p は JT-60 の放電パルス伸長のための、それぞれ EC 及び LH システムの改造に関する報告である。EC システムでは冷却系・排気系の増強、ジャイロトロン調整により 400 kW/ユニットで 16 秒連続出力を達成した。LH システムでは、アンテナ先端部に炭素系材料を用いて耐熱性を高めた。またヘリオトロン J の 70 GHz EC 波の透過波・反射波測定から、斜め伝搬時の物理過程解明を目指す実験の報告があった (C12p)。(井上多加志)

9-4 計測

計測のセッションでは 37 件の発表があった。

話題のひとつは、ITER などにおける長パルス、定常運転における位置・平衡制御、磁場計測である。電磁計測法で用いられる積分器のドリフト、過大入力による積分値の飛びなどの対策が検討されている。また光ファイバー電流センサー検証、積層型電磁気検出器の JT-60U 適用、光磁気効果利用の計測法、サイリスタリプル利用の位置制御法開発など、新たな工夫とその成果が報告された。DT 燃焼プラズマを想定した計測法開発としては、ITER 中性子計

測概要についての報告のほか、中性子モニタリングシステムの詳細設計、DD 中性子計測要素技術研究、有機液体シンチレータ、光ファイバシンチレーションを利用する中性子計測法などの検討結果が報告された。ITER 中性子計測での課題として、a/2 より外側の観測、2次元測定用カメラシステム設計、測定絶対校正、検出器経年変化の補正などの指摘があり、いくつかの解決策が議論されている。そのほか、ITER については、分光計測システム較正法、光ファイバやアルミナ系発光体の中性子応答、耐中性子特性の検討も進んでおり報告があった。

揺動計測に関していくつかの報告があり、CHS における HCN レーザー干渉・散乱、LHD におけるマイクロ波反射計測などによるプラズマ計測、GAMMA 10 における可視光による電子ドリフト波計測、金中性粒子ビームプローブによる計測結果の解析などの発表があった。LHD については、低 n の MHD モードが 1~30kHz でコヒーレントな周波数スペクトルを持っていることが報告されている。TS-4 では多チャンネル CO₂ レーザー干渉計による密度分布・揺動計測の結果が報告された。マイクロ波計測、放射光計測でも多チャンネル化、多次元化を指向する研究が引き続き進展しているが、イメージング技術をマイクロ波に適用するための反射計用アンテナ開発と基礎特性に関する研究の発表があった。また、プラズマからの放射光 3 次元トモグラフィ解析は TS-4 装置に適用され、CT の不安定性の解析に有効であることが示された。球状トカマク、RFP の内部磁場変動の計測と物理的な理解に関する発表がそれぞれ 1 件あり、前者では光学的な観測、後者では磁気プローブによる計測が用いられている。

真空紫外分光について、二つの小型ヘリカル装置 CHS、ヘリオトロン J の最近の研究が報告された。ダイヤモンド検出器による JT-60U 中性粒子計測、LHD での損失イオン計測などではプラズマ測定の結果が得られ、データ解析結果が紹介された。前者では負イオン NB 入射時のスペクトル変化観察により、入射停止後の高エネルギー成分減衰の様子を見ることができている。後者では損失イオンに起因する信号が得られており、解析が開始されている。

新しい試みとして、誘導ブリリアン散乱位相共役鏡のトムソン散乱計測応用が那珂研究所で、ペニング真空計分光を利用したヘリウムガス分圧計測法の適用が LHD で進んでいる。干渉計測について、実時間位相飛越修正回路開発、LATE 装置での直角位相検出方式マイクロ波干渉計、LHD 用新型 2 波長レーザー干渉計など、新たなアイデアに基づく計測法の報告があった。基礎実験装置では、マッハプローブ特性評価、プローブ計測における軌道運動制限効果とイオン中性粒子衝突効果の解析について報告があった。

慣性核融合プラズマを対象とした計測について、偏光分光を用いた電子速度分布診断、位相型フレネルゾーンプレート背景光抑制研究などの報告があった。偏光 X 線分光では、炭素、ヘリウムの放射を分析し、ターゲット表面と内部での偏光面の違い、高速電子分布形状の違いを明らかにしている。

そのほか物理寄りの研究として、GAMMA 10 プラグバリア部でバウンスされるイオン軌道の解析が報告され、径方向電場との関係が議論された。(野田信明、岡村昇一)

9-5 核融合工学 (超伝導、ダイバータなど)

超伝導コイル、ダイバータなどの核融合工学の分野では 25 件の発表があった。トカマク国内重点化装置関連では、装置パラメータと運転領域の評価、ダイバータのシミュレーションと基本検討、トロイダル磁場コイルの強度評価と核発熱分布評価など、6 件の装置設計検討が発表された。ITER 関連では、コイル関係で超伝導導体の特性と設計、構造材料の特性と開発、製作技術検討と建設準備状況、CS コイルの設計解析の 4 件の発表があった。またブランケット保守用ロボットの開発結果や構造体溶接部の非破壊検査に使用される電磁超音波探触子の電磁石化の基本検討結果についても発表された。LHD 関連では、ヘリカルダイバータの閉構造化に関して閉じこめ性能がよい内寄せ配位時のトラス内側の高排気効率化を目的としたパッフル設置に関する実験・計算結果の発表があった。また、低温システムの運転経過と世界初のヘリウム液化冷凍装置シミュレーターについても報告された。超伝導コイルの基礎・基盤的もしくは先駆的な研究分野では、ラーベス相超伝導線の急熱急冷プロセス適用、浸漬冷却方式の炉への適用可能性、ヘリカル型電磁平衡コイルの実証計画、各種マグネット材料の照射損傷と誘導放射能、磁場入力からコイル形状を計算する設計手法などの発表があり、CIC 型導体の電磁現象と導体設計の発表は新しい導体設計指針を与えるものとして目を引いた。ダイバータ関係では、新概念ダイバータの 1 つであるペブルダイバータ研究のための装置開発やペブル周囲のプラズマ挙動に関する発表があった。その他、慣性炉設計に必要な要素工学の知見取得を目的とした各種シミュレーション実験計画の状況が報告された。また、核融合装置内に存在する微粒子の挙動についての報告もあり、非常に小さい微粒子の場合ドリフトによって大きな速度を得るため、発生源から遠く離れた場所に到達する可能性が示された。(井岡茂、山内有二)

9-6 炉材料

今回は、材料のテーマを含むセッションとして、「炉材料」の他に、「JUPITER-II」(大学の日米協力の報告として)及び「IFMIF」(材料照射用近似核融合中性子源)の 2 つのセッションが設けられた。これらのセッションでの内容については、そちらを参照されたいが、材料についての報告数は「炉材料」だけで 50 件、これらのセッションでの材料関連を併せると全部で 77 件と多くの報告が行われたことを指摘したい。これは言うまでもなく、核融合開発での材料の重要性と関心の高さを反映している。

材料別に見ると、構造材料として、バナジウム合金、SiC/SiC 複合材料、オーステナイトステンレス鋼、低放射化フェライト鋼(ODS 型含む)が、またプラズマ対向材料をはじめとした機能材料として、黒鉛、ボロン、ベリリウム、タングステン等が取り上げられた。このうちバナジウム合金及び SiC/SiC 複合材料は、JUPITER-II 計画でも主要な対象材料

となっている(JUPITER-II では照射効果を中心に報告があった)。「炉材料」セッションでのバナジウム合金の報告は、脆化低減のための酸素の侵入抑制法、水素吸収、ヘリウムの離脱と言った化学的或いは表面現象に関わるものが中心であった。このうち微量不純物や照射欠陥によるヘリウム原子の移動度の変化、微量添加元素による脆化(酸素が原因)の低減手法等の進捗が注目された。SiC/SiC 複合材料は、バナジウム合金と共に、使用可能温度が高く使用後の放射化が少ない点で期待されている先進材料で、「炉材料」のセッションでは、製造法や試験法を中心に多くの報告が行われた(JUPITER-II では照射効果中心)。特に、極めて細いSiCファイバー(ナノワイヤー)を用いた複合材料や、Si₂O₃の添加量を最適化することで気孔の低減と高密度化を達成したNITE法によるブロック状の材料試作についての報告が注目された。特に、NITE法については、モノリシックであるにも関わらず700MPaを越える極めて高い曲げ強度を持つブロックの製作を達成した点は注目される。オーステナイトステンレス鋼は、ITERの主要な構造材料であり、実用的にも重要であるが、今回は、照射効果によりもたらされる塑性変形機構の変化に関する基礎的な報告が行われた。このうち304鋼と316鋼が示す照射下クリープ挙動での大きな違いは、核融合炉のみならず核分裂炉での照射効果課題にも重要と考えられる。低放射化フェライト鋼については、イオンや中性子照射等を用いた研究結果を含めて多くの報告が行われた。実機における疲労損傷は照射下で生じ、加えて、低放射化フェライト鋼の場合には環境の酸化性にも影響を受けるため、この評価は極めて難しい。これに適合する手法を開発して研究を行った結果が報告され、わずかな酸化性雰囲気でも疲労き裂生成を助長することが報告された他、多重イオン照射を用いた照射硬化に対する照射温度及び注入ヘリウム、或いは熱処理条件の影響の評価が報告された。このうち、熱処理条件の影響評価は、焼き戻し温度を通常よりも高温にすることで照射脆化(低放射化フェライト鋼の最大の課題である)を低減する方法の探索につながる。また、核変換生成ヘリウムによる低温及び高温での脆化の助長についても、その高温側についての機構を中心にした研究結果が報告され、600℃程度の範囲までは影響が少ないことが確認された。非照射特性については、構造設計の基礎となる塑性に関する構成式の評価として、広い歪み範囲内での正確な塑性特性(真応力-真歪み関係等)が初めて明らかにされた他、熱処理と靱性の関係等が報告された。特に、ディスプレイ等への耐久性確保に必須であるタングステンアーマーとの異材接合へのHIP法の適用については、接合状態が良い等の点が高く評価された。低放射化フェライト ODS 鋼については、超臨界条件(510℃、25MPa)の水による腐食挙動の評価が初めて行われ、ODS化した合金の耐食性が優れること、さらに照射硬化しても延性低下が少ない傾向を示すこと等の重要な知見が報告された。機能性材料については、主にプラズマ対向材料としての黒鉛、ベリリウム、タングステン等への水素の吸蔵について報告が行われた。黒鉛については、JET及びTFTRでの

黒鉛中のトリチウム分布のイメージングプレート等による評価が示され、共堆積層中の蓄積が多いこと等が明らかにされた。ところで、黒鉛に限らず、ボロン、ベリリウム等に蓄積される水素の挙動について、今回は照射により導入された格子欠陥の作用に関する報告が増えた点が指摘される。例えば、通常は水素が拡散しにくい温度領域であっても、照射下では水素が移動し保持量が減少することや、同じく黒鉛中に捕獲された水素が重イオン照射に伴い放出される過程等に関して、照射下での格子欠陥の振舞いの重要性等についての議論が展開された。一方、タングステンについては比較的エネルギーが低い水素(1keV等)等の照射により生じるプリスタリングの機構や、イオン注入された水素による強度特性の変化、照射で吸蔵されたヘリウムの放出特性の解析が報告された。また、CVD法によるタングステンコーティング材料のリミターでの実験結果(TEXTOR)が報告された。これら以外の基礎的研究では、石英ガラスのイオンビーム照射による発光、カスケード損傷とPKAエネルギーの関係の解析(エネルギーが高いと積層欠陥四面体等のクラスタが集まってできる)、照射による組織変化への照射温度変動の影響とその解析等が示され、特に、温度変動効果に関する解析手法が注目された。(實川資朗)

9-7 トリチウム・ブランケット

核融合エネルギー分野においてトリチウムの物理、化学、生物、工学研究およびブランケット関連研究がきわめて重要な役割を果たしている。具体的にはトリチウムが特に核融合炉安全性や核融合炉燃料サイクルの確立に関連し、ブランケットが核融合炉炉心と社会とのインターフェイスとして、トリチウム製造、エネルギー転換、γ線遮蔽に関連している。本連合講演会においては計11件(若手2件)が発表されたが、この発表以外にも炉材料、JUPITER-II等のセッションでトリチウムとブランケットに直接関連する成果が発表された。ここでは重複を避けるためにセッションHで発表されたものについて概要を述べる。

トリチウム計測と除染に関して、「β線誘起X線計測法によるトリチウムその場測定」、「トリチウム曝露後の316ステンレス鋼からの常温におけるトリチウム長期間(約1年)脱離挙動」の成果が発表され、トリチウム生物・環境影響に関して、「低線量トリチウムにおいてヒト細胞DNAは見かけ上損傷を受けないこと」、「土壌細胞のトリチウムガス酸化能力を利用したトリチウム除去装置の特性」、「HT酸化能を持つ969菌株のうち特に高い酸化能を持つKitasatospora放線菌の同定」、「ランダムウオークモデルによるトリチウム大気拡散計算」の最新の成果が発表され、核融合炉第一壁とブランケットに関して、「第一壁構造材候補のSiCへの高エネルギーヘリウムと重水素照射効果」、「JT-60の炭素第一壁からのプラズマ放電によるトリチウム排気速度の測定」、「F82H/Be/Li₂TiO₃のブランケットモックアップへの中性子照射によるトリチウム生産速度の測定」、「Li₂TiO₃にCaO、ZrO₂、Sc₂O₃を添加したときの酸素の非化学量論性の測定」、「固体ブランケットペブルの局所空隙分布を測定するためのCTスキュンの適用」のい

ずれもきわめて重要な成果が発表された。

以上多岐にわたるトリチウム・ブランケット研究が推進されている。トリチウム研究が重要とかねてより研究者間で自覚され、物理、化学、生物、工学のさまざまな分野の研究者が定期的に国際会議や国内研究会を開くなど長期にわたって活動をおこなってきた。本連合講演会において分散してポスター発表されその成果の一部しか見えなかったのは惜しかった。(深田 智, 奥野健二)

9-8 炉システム・設計 (磁場・慣性)

核融合炉システム・設計に関する発表は、核融合炉開発の指針に関する研究、高度化された炉の概念設計、プラズマ燃焼制御や平衡配位、マグネット配位、核変換処理炉や D-³He 炉の検討、レーザー核融合炉関連等多岐に渡っていた。それぞれ他にセッションで関連深い発表があったと思われるが、プログラム上ここに分類された発表について紹介する。

「地球温暖化対策技術の現状と課題」は地球温暖化対策としての再生可能エネルギーの開発状況を紹介し、核融合は早期に発電実証し、低価格化に向けた開発が不可欠との結論を得ている。また、2100年までにエネルギーシナリオに導入されるのに必要な経済性を得るために必要なプラズマ物理と炉工学技術の進展についての検討が報告された。炉概念設計に関しては、早期実現を目指し達成の見通しが高い技術に基く「Demo-CREST」の概念設計が報告された。低アスペクト比トカマク炉については、中心ソレノイドコイルを排除した炉の概念設計とプラズマ平衡配位等の検討、ブランケット構造を仮定したトリチウム増殖比の評価などの核設計、廃棄物低減シナリオ等、一連の検討結果が報告された。

トカマクに関してはその他、核変換処理を目指した球状トカマク炉 (いわゆる VNS)、応力低減トカマクの検討が報告された。ヘリカル炉に関しては、密度限界値を設定したイグニッション燃焼制御、ブランケットスペース確保や漏れ磁場低減を考慮したマグネット配位の最適化が検討された。

レーザー核融合に関しては、平成 14、15 年度行われた、高速点火レーザー核融合炉へのロードマップに関する委員会の検討結果の報告と、第 1 壁について、固体壁の場合の温度上昇と液体壁の場合のアブレーションが評価された。

本セッションでの発表は、核融合炉発電の早期実現のための検討と高性能化を目指した先進的な炉概念の追求という 2 つの方向に分類される。工学的な炉システム設計は、各炉工学のセッションに分散したようで、まとまった発表が少なかった。(室賀健夫, 一政祐輔)

9-9 理論・シミュレーション

本セッションでは 12 件のポスター発表が行われ、その内訳は、磁場閉じ込め 10 件 (トカマク 6, ヘリカル 2, 内部導体系 1, 乱流統計解析 1), レーザー 1 件, 材料 1 件であった。環状プラズマの MHD 平衡に関し、流れがある場合の平衡理論が展開され内部導体系トーラスに適用された。また、HINT コードを用いた LHD の磁気軸分離平衡の解

析が報告された。トカマクにおいて、径電場が捕捉粒子の磁力線方向運動を直接的に駆動すること、非捕捉粒子の衝突も考慮したモンテカルシミュレーションからプラズマの磁力線方向流れが生じることが示された。また、トカマク改善閉じ込めプラズマにおいて、電場ドリフトのシア流によりポロイダル非対称性を持つ電場の 2 次元構造が生じることが解析的に示された。シミュレーション研究では、トカマク輸送モデルに基づく電流ホールプラズマのシミュレーションが行われ、内部輸送障壁とブートストラップ電流の相関による電流ホール配位の自己組織化形成と維持機構が示された。2 次元流体シミュレーションを主体とする統合爆縮コードを用いた高速点火方式レーザーの燃焼シミュレーションが行われ、追加加熱レーザーのタイミングの最適化が調べられた。トカマクのデイスラプションについて軸対称 MHD シミュレーションが行われ、電流スパイク現象の物理機構の統一的理解が可能となった。圧縮性 MHD プラズマの大規模シミュレーションでは、トカマクの抵抗性内部キンクモードの研究と LHD の圧力駆動モードの研究の 2 報告があった。LHD プラズマにおいて不安定モードが非線形飽和し高ベータ配位が形成されることが示されるなど、大型シミュレーション研究が有効な手段になってきたことを感じさせた。トカマクのイオン温度勾配モード乱流輸送の電磁ジャイロ流体シミュレーションが行われ、乱流と帯状流の非線形発展とそれに対する有限ベータ効果が調べられた。乱流輸送シミュレーションおよびトカマク実験の揺動データのフラクタル次元解析と確率分布解析により、揺動の特性を解明しようとする興味深い報告もあった。他セッションが物理や工学の内容で分類されているのに対し、本セッションは手法でまとめられている。理論・シミュレーションも研究内容に従ったセッションで発表する方が活発に議論できると思われる。(滝塚知典, 富田幸博)

9-10 プラズマ基礎・応用分野

「プラズマ基礎・応用」分野では計 41 件 (うち 2 件はキャンセル) の発表が行われた。この分野は、第 3 回 19 件、第 4 回 26 件と発表件数が増えており、今回は「炉心」、「炉材料」両分野に次ぐ発表件数であった。

件数の多さとともに、内容も多岐に渡った研究発表が行われた。プラズマ波動や不安定性、電位形成や非中性プラズマ、レーザー爆縮時の不安定性解析など核融合を目指したプラズマ基礎過程の研究に関して多彩な研究が発表された。径方向電場と電場シアによるイオンサイクロトロン不安定性の抑制効果や沿磁力線方向の速度シア効果に関する報告では実験的に得られた不安定性揺動の成長率と理論計算との比較がなされるとともに、粒子シミュレーションを用いることで、速度シアの不安定性に対する効果を詳細に調べていた。

また、ヘリコン波プラズマ生成や熱アークプラズマ生成、マイクロプラズマやフラーレン、ピンチプラズマを用いた軟 X 線源の開発や高強度レーザーを利用した極端紫外 (EUV) 光源の開発、次世代宇宙推進技術の進展を見据えた研究など、核融合プラズマ技術を生かした応用研究への

試みについても多くの発表が行われた。特にレーザーを利用した EUV 光源の開発は、次世代の半導体リソグラフィ技術として最も注目されている技術の一つであり、この技術が実用化されれば核融合技術の波及効果としては極めて影響が大きいと考えられる。また、この研究はレーザー照射によるダストやデブリの発生と制御の研究など、レーザー核融合炉開発への逆波及効果も期待される発表内容であった。

さらに、固体半導体素子を用いた高周波電源を用い、効率よく大気圧下で高周波誘導プラズマを生成しその特性を調べた報告や、非均一磁場や弱磁場下でのヘリコン波プラズマ生成実験は多彩なプラズマ生成法の研究として評価できる内容であった。高速プラズマ流の生成や制御法に関しては、磁気ノズルを用いたマッハ数の変換手法やプラズマ流の直接イオン加熱実験に関して興味深い発表が行われた。これらは高温閉じこめ研究や宇宙プラズマ研究において近年注目を集めているプラズマ流の直接制御への開拓を目指したものであり、プラズマの高密度化に伴う反磁性効果やイオン共鳴加熱条件におけるドップラー効果など詳細な実験結果について発表があった。その他にもホール加速実験、液滴を用いたレーザー推進機の研究など新しい宇宙推進技術を開拓していく意欲を感じる発表が行われていた。

また、プラズマを用いた電子線源や中性子源の開発と応用研究に関しても発表が行われたが、これらは核融合分野独自の特徴を生かした研究であり、興味深いものであった。静電閉じ込め方式による中性子の発生率を高めるための装置やガス圧等パラメータの最適化とシミュレーションとの比較に関する発表が行われ、また応用例としての地雷探査計画などについても研究発表が行われた。その他にも、レーザーによる地球深部のシミュレーション実験や衝撃波の発生、レーザー診断など核融合技術を取り巻く多彩な研究について活発な討論が行われた。

プラズマ基礎・応用分野からは若手表彰として、「ペアイオンプラズマ中静電波の特徴」と「水中ワイヤーピンチによる強結合プラズマ生成実験」が選ばれた。前者の発表は、フラーレン C60 に衝突させる熱電子のエネルギーを制御することで、C60 の正イオンと負イオンを生成し、さらに磁気フィルターを使って電子を除き同質量の C60 正負イオンのみのペアイオンプラズマを生成しており、その中で通常の電子・正イオンとは異なる特異な静電波分散関係などを測定した特徴ある研究であった。また、後者は水中でワイヤーピンチ放電を起こすことで、水による閉じ込め効果と衝撃波の測定を行い、強結合プラズマの新たな研究手法を開拓する研究であった。どちらも発想の斬新さや、実験手法において新しいプラズマ基礎科学の進展を予感させる研究であり、若手表彰にふさわしい内容の研究発表であった。

(安藤 晃, 上田良夫)

9-11 JUPITER-II

JUPITER-II は、「先進ブランケットの照射下特性とシステムインテグレーション」を主題として、先進ブランケットを目指した原子炉照射による材料インテグレーションと

総合化に向けた重点基礎研究を 2001 年から 6 年計画で実施しており、本連合講演会ではそのほぼ中間地点での研究成果と今後の研究の展開について合計 32 件の報告がなされた。報告は JUPITER-II 計画における研究テーマの全領域を包含していた。以下にセッション L の発表の概要について述べる。

Flibe ブランケット化学分野では「Flibe 中での水素同位体の拡散挙動」、「Flibe 中での化学制御」および「Flibe 中からの物質移行」に関する成果が発表され、Flibe 中での水素同位体の溶解度・拡散係数の評価、Be による Flibe 中での HF の化学制御および各種ガスと Flibe との相互作用と物質移行挙動に関する報告がされた。Flibe 熱流動分野については「Flibe 熱流動システム設計」や「熱流動特性向上のための研究」についての最新の成果が報告され、熱流動システムのこれまでの研究成果および球充填管が Flibe 溶融塩に対して有効であることが示された。バナジウム合金コーティング技術開発では「バナジウム合金・液体リチウムブランケットモジュールに関する検討」についての報告がなされ、材料学的な課題、MHD 圧力損失対策等の検討結果が示された。さらに、「液体リチウム環境下での高温強度評価」、「接合材と液体リチウムとの共存性」、「イットリウム酸化被膜の作成と評価」、「RF スパッタリング法による絶縁被膜の作製」、「酸化エルビウムコーティングの開発」、「絶縁被膜材料の電気特性評価」、「照射特性評価および内部組織観察」、「照射誘起微細析出物の評価」、「転位チャンネル形成機構解明」および「熱処理条件とマイクロ組織の発達」、「分子動力学を用いた力学的性質評価」に関する最新の報告がなされ、液体リチウム浸漬後の引張強度変化、液体リチウム中での共存性評価結果、被膜中の酸素濃度制御や高温長時間の共存性試験の重要性、絶縁被膜作製における不純物制御の重要性、エルビアコーティングの健全性、絶縁被膜材料における電気特性およびバナジウム合金中の Ti の挙動の重要性などが指摘された。

高温ガス冷却ブランケット関連では「SiC/SiC 複合材料の照射効果研究に関する成果および今後の計画」が示され、本タスクの概要が説明され、「SiC への高融点金属被覆技術開発」、「W/SiC 接合における界面での挙動」、「SiC/SiC 複合材料における微細組織発達に及ぼすヘリウム、水素の影響」、「スウェリング挙動」および「微細組織欠陥の発達」に関する研究成果が報告された。高融点金属被覆では瞬間溶融法により剪断応力の抑制が可能や W/SiC 接合界面での W₂C 相形成を抑制することにより優れた被覆強度を有する高密度タングステン被膜が可能であること、スウェリングにおいて水素の影響も考慮する必要があること、高温照射環境でも微細組織安定性を示すこと、照射特性を有効にするためには結晶粒のサイズを小さくしすぎないこと等の新しい知見が報告された。

ブランケットシステムモデリング関連では、「液体ブランケットの交換頻度評価」について報告があり、黒鉛と中性子増倍用 Be の積層タイルを機械接合することによりトリチウム増殖との両立及び冷却を強化した STB の提案・評価

に関する報告があった。さらに「中性子重照射材料の変形挙動シミュレーション」、「イオン照射欠陥クラスターの安定性と可動性」についての報告があり、マルチスケールシミュレーション構築への基盤ができあがりつつあること、欠陥形成のメカニズムが明らかになったことについての知見が報告された。

低放射化フェライト鋼については「ヘリウム損傷機構」および「照射脆化」に関する報告がなされ、ヘリウムバブル形成機構モデル化のためのエネルギー評価および転位の役割が報告されるとともに硬化促進の要因のひとつとして高密度のブラックドットの存在が指摘された。

固体増殖材料に関しては、「酸化リチウム中での水素同位体挙動」および「 Li_2TiO_3 中に中性子照射により生成した照射欠陥の消滅挙動とトリチウム放出挙動との相関」について報告がなされ、固体増殖材料中での F center が水素同位体挙動に強い影響を与えることや欠陥の消滅とトリチウム放出挙動に相関関係があることが報告された。

以上、JUPITER-II プロジェクトがほぼ計画通り進捗しており、先進ブランケット材料における重要な知見が数多く見出されてきた。これらは日米双方の研究者の緻密な連携の成果であると考えられる。一方、新たな研究課題も見出されており、残された期間での研究の一層の進展と成果に基づく更なる飛躍を願う。(木村晃彦, 大矢恭久)

9-12 IFMIF 関連

微小試験片技術4件、放射化評価1件、施設サブシステム開発関連4件の都合9件の発表があった。IFMIFで材料特性に及ぼす核融合中性子の重照射効果を評価する際に、不可欠である微小試験片技術開発においては、小型試験片で破壊靱性、衝撃特性を精確に評価することを目的として実施された低放射化フェライト鋼の実験および解析・検討結果が紹介された。破壊靱性に関しては Compact Tension 試験ならびに3点曲げ試験から求められた J 値の試験片サイズ依存性、温度依存性が示され、小型試験片を用いて高い信頼性で破壊靱性値を評価するための試験片サイズ、形状および試験方法が提案された。また、衝撃特性については照射材を含めた試験が行われ、 $\sigma^* - A^*$ モデルに基づいた解析によって脆性領域での材料挙動がよく説明され、小型試験片の試験結果からバルク材の性質を推定しうることが示唆された。放射化評価ではサイクロトロン照射によって IFMIF での d-Li 反応で発生する中性子のエネルギースペクトルの角度依存性とそれによって生じる Li 等の放射化が求められた。実験で得られた RI 生成量と IRACM コードの反応断面積データから算出された値との間に大きな差が存在することが指摘された。IFMIF サブシステムの要素技術開発に関する発表の中でなされた照射場の精密制御に関する検討においては、照射下試験、照射後試験の双方について、様々な種類の材料に個別的に必要なとされる照射中の温度制御条件を達成するための手法と温度モニタリングに関する検討結果が報告された。また、高中性子束テストモジュールの構造解析では、幾何学的非線形性を考慮した弾塑性有限要素法を適用して矩形チャンネル容器の構造解

析が実施され、核発熱に由来する熱応力等によるチャンネル容器の変形については壁厚の効果が大きく、設計に当たって注意が必要なることが明らかとなった。一方、液体リチウムターゲットに関しては実際にリチウムを高流速(5-7 m/s)で流した実験の結果が示された。リチウムでは流れの様相がこれまで実験を行ってきた水とはかなり異なるものの、要求仕様である波高幅 $\pm 1\text{mm}$ を満たしていた。更に、加速器本体については高周波四重極加速器(RFQ)の開発現況の報告があった。以上、IFMIFの建設、運転、活用に向けて各要素技術の開発が着実に進捗しているとの印象を受けた。(山本徳和)

10. 閉会(若手ポスター発表優秀表彰)

今回の若手ポスター発表優秀賞の選考は、下記の選考委員会委員(委員長及び幹事を含む)の投票によって行い、投票結果を選考委員会の合議により、得点上位19名の受賞者を選んだ。各委員の投票にて1位から3位に順位付けしていただき、加重総得点で全体の順位付けを行った。なお、ポスター発表は合計327件(ポストドクトライン論文を含む)であり、そのうち若手ポスター発表に該当する発表は全部で164件であった。また、前回の連合講演会の表彰式における反省点を踏まえ、今回は選考委員会において受賞者が決定した時点において、受賞者名を会場に掲示して周知し、受賞者には可能な限り受賞式に参加してもらうよう配慮した。(堀池 寛, 鈴木 哲)

・受賞者一覧(講演番号順)

稲垣 滋 氏(核融合研)

「ヘリカルプラズマにおける電子熱輸送の非線形性及び非局所性」

山本 聡 氏(京大エネ研)

「ヘリオトロン」装置におけるMHD不安定性の特性研究」

鈴木隆博 氏(原研那珂)

「JT-60Uの長放電時間化改造による高規格化 β プラズマの定常維持」

大山直幸 氏(原研那珂)

「JET/JT-60U相似実験を用いたベデスタル特性とELM特性の比較研究」

沼倉友晴 氏(筑大プラズマ)

「電位形成比例則並びに高パワージャイロトロンを用いた生成電位及び電場の径方向シアの効果」

城崎知至 氏(阪大レーザー)

「高速点火ターゲットの爆縮コア加熱解析」

渡利威士 氏(阪大レーザー)

「フェルミ縮退を用いた高密度プラズマ診断法」

渡辺貴史 氏(東北大院)

「プラズマ流計測用マッハプローブの特性評価」

波多江仰紀(原研那珂)

「誘導ブリルアン散乱位相共役鏡のトムソン散乱計測への応用」

妹尾和威 氏(核融合研)

「CIC型大型超伝導体の電磁現象と導体設計」

宮脇 賢 氏(東北大院)

「バナジウムのヘリウム昇温脱離挙動に及ぼす侵入型不純物の影響」

廣瀬貴規 氏 (原研那珂)

「固相拡散接合法による増殖ブランケット製作技術開発」

松本太郎 氏 (原研那珂)

「Statistical Analysis for Identification of Turbulent Structure」

大原 渡 氏 (東北大院)

「ペアイオンプラズマ中静電波の特徴」

佐々木徹 氏 (東工大総理工)

「水中ワイヤーピンチによる強結合プラズマ生成実験」

大矢恭久 氏 (東大 RI セ)

「核融合炉ブランケット溶融塩 FLiBe の精製と化学制御」

藤原充啓 氏 (東北大)

「低放射化バナジウム合金/AlN 接合材における液体 Li 共存性」

小田卓司 氏 (東大院)

「固体増殖材料中での水素同位体挙動」

笠田竜太 氏 (京大エネ理工研)

「低放射化フェライト鋼の照射脆化」

・選考委員会

委員長: 野田信明 (核融合研)

幹 事: 堀池 寛 (阪大), 長 照二 (筑波大)

委 員: 阿部勝憲 (東北大), 犬竹正明 (東北大),
松岡啓介 (核融合研), 木村晃彦 (京大),
奥野健二 (静岡大), 一政祐輔 (茨城大),
實川資朗 (原研東海), 松山政夫 (富山大),
菊池 満 (原研那珂), 室賀健夫 (核融合研),
山本徳和 (物材機構), 井上多加志 (原研那珂),
上田良夫 (阪大), 深田 智 (九大),
飯尾俊二 (東工大), 井岡茂 (東芝),
堀岡一彦 (東工大)

11. 現地企画・ミニシンポジウム「エネルギーと地球環境」

連合講演会開催に先立ち、6月16日の夕方連合講演会ポスター会場において「エネルギーと地球環境」というタイトルで現地仙台市の大学生によるミニシンポジウムが開催された。まず、東北学院大、東北工業大、東北大学の学

部学生による問題提起を兼ねた自己紹介があり、その後ポスター発表に移った。その中では環境問題に対する鋭い意識とエネルギー問題への危惧が率直な形で出された。エネルギー消費を減らそう、環境を守ろうといった個人の意識の問題、全体スケールで問題を把握しよう、自分が興味をもった研究課題の紹介といった様々なアプローチがあったが、短時間ながらそれらをつきあわせる良い機会となった。参加者は総勢90名を超え、学部学生達の作った20枚近いポスターと展示品は学会終了まで参加者に見ていただいた。(笹尾眞實子)

12. 機器展示

今回の連合講演会では、核融合科学研究所、青森県 ITER 誘致推進室および日本原子力研究所から、核融合機器などの展示があった。核融合科学研究所からは LHD の 1/20 模型の他、LHD の建設記録のビデオ紹介などがあった。また、青森県からは、ITER 建設サイト候補地である六ヶ所村の紹介や、我が国への ITER 誘致活動を呼びかける各種パンフレット、また六ヶ所サイトのプロモーションビデオが紹介され、当該ビデオや展示パネル内容を納めた CD-ROM が配布された。原研からは、ITER 本体の 1/40 模型、JT-60 ダイバータの実物大部分モデル、IFMIF の 1/100 模型、F82H 低放射化フェライト鋼製ブランケットモデルなどの機器展示の他、JT-60 プラズマ長時間放電のビデオや ITER の組立・遠隔保守の CG が紹介された。展示会場は、ポスター会場の入り口付近に設けられたため、ポスターを見に来た人が展示会場を訪れやすく、非常に盛況であった。それぞれの展示品には説明者がつき、機器の説明を行うとともに、様々な質問に答えることにより理解を深めていただいた。また、講演会場と展示会場がロビーを挟んで向き合うような位置にあったため、シンポジウムの合間の時間にも、かなりの人が展示会場を訪れた。東北大学の現地実行委員会の方々の全面的なご協力により機器展示を予定どおり実施することができた。

(安東俊郎)

会議報告分担執筆者

野田信明 (核融合研), 松山政夫 (富山大), 山本一良 (名大), 笹尾眞實子 (東北大), 杉江達夫 (原研), 岡野邦彦 (電中研), 菊池 満 (原研), 井上多加志 (原研), 飯尾俊二 (東工大), 堀岡一彦 (東工大), 木村晃彦 (京大), 栗下裕明 (東北大), 松岡啓介 (核融合研), 西原功修 (阪大), 長 照二 (筑波大), 竹永秀信 (原研), 渡邊清政 (核融合研), 岡村昇一 (核融合研), 井岡 茂 (東芝), 山内有二 (北大), 實川資朗 (原研), 深田 智 (九大), 奥野健二 (静岡大), 室賀健夫 (核融合研), 一政祐輔 (茨城大), 滝塚知典 (原研), 富田幸博 (核融合研), 安藤 晃 (東北大), 上田良夫 (阪大), 大矢恭久 (東大), 山本徳和 (金材研), 堀池 寛 (阪大), 鈴木 哲 (原研), 安東俊郎 (原研)