



本会記事

■会議報告

第2回核融合エネルギー連合講演会

開催日：1998年6月1日(月)、2日(火)

場所：科学技術館（東京都千代田区北の丸公園）

第2回核融合エネルギー連合講演会実行委員会

1. はじめに

1-1 運営方針

第2回目の核融合エネルギー連合講演会を開催することになり、その実行委員長をおおせつかったが、なるべく少ない予算でできるだけ多くの方が参加し、かつ核融合エネルギー研究にインパクトを与え得る講演会にしたいものだと勝手に夢を膨らませた。安くて地の利の良い会場さがしから始め、各委員会委員は手弁当を原則として、組織もなるべく簡素にと心がけた。準備の実務はなるべく若い世代に担ってもらいたいものだと考えた。会議の時期は、当初、ITER EDA が一段落し誘致・建設への節目になるころということで1998年6月が選ばれたが、EDA が延長されることになって目論見通りには行かなかった。しかし、LHD の完成と運転開始や ITER の低コスト化等、ひろく社会の注目を集めるイベントも続いて、核融合へのそれなりの関心が集まったところでの開催となって、多くの参加者を得ることができた。もっとも、これは、会議のタイミングだけでなく、来賓としてご挨拶いただいた吉川学術会議会長ほかの先生がたや、招待講演をお願いした猪口先生など、従来の核融合の講演会の枠を超えたプログラム委員会の企画力に負うところも大きかったと考えられる。先方負担でなるべく多くの外国人研究者を招いて講演をしてもらおうという不埒な考えも持っていたが、これは一部実現しただけで、今後の宿題に残した。懇親会の参加者をできるだけ増すための具体案は、組織委員会での議論がベースになった。

核融合エネルギーの研究は、息の長い広範囲の分野の努力が求められるものであるから、社会の広い関心と理解を得ながら、研究者のいくつもの世代に渡って研究の展開が図られなければならない。今回の連合講演会が、関係された多くの方々、参加された数多くの人々のおかげで、このような私たちの夢に向かっての貴重な一歩を印すものと言えることを願いたい。（岸本 浩）

1-2 実施概要

核融合エネルギー連合講演会の開催に関する主担当学会を、プラズマ・核融合学会と日本原子力学会の両学会で交互に務めることから、第2回の開催は、プラズマ・核融合学会が主担当となり、日本原子力学会が全面的に協力する形で進められた。組織委員会委員長に飯吉厚夫（核融合研）プラズマ・核融合学会会長、副委員長に西川雅弘（阪大）日本原子力学会核融合工

学部会長が当たり、組織委員会は他20名の委員で構成され、運営に関する決議を行った。開催実行の総括および総務は実行委員会で行われ、岸本 浩（原研）プラズマ・核融合学会副会長が実行委員長に当たり、田中 知（東大）副委員長、石田真一（原研）幹事、関村直人（東大）幹事、他6名の委員で構成された。また、実行委員会のもとに、プログラム委員会（委員長：桂井 誠（東大）、副委員長：西川正史（九大）、幹事：小川雄一（東大）他委員20名）、財務委員会（委員長：菅原 亨（東芝）、他委員5名）、現地実行委員会（委員長：嶋田隆一（東工大）、幹事：飯尾俊二（東工大）他委員12名）が組織された。

共催と後援については、11学協会（エネルギー・資源学会、応用物理学会、低温工学協会、電気学会、日本機械学会、日本金属学会、日本真空協会、日本物理学会、日本放射線影響学会、溶接学会、レーザー学会）より共催、ならびに11団体（ICF フォーラム、核融合科学研究会、電気事業連合会、日本原子力産業会議、日本建設業団体連合会、日本真空工業会、日本鉄鋼連盟、日本電機工業会、日本電子工業振興協会、日本電線工業会、未来エネルギー研究協会）より後援としての参加を得て、核融合研究の総合的な学術講演会として開催する「連合講演会」の名称にふさわしいものとなった。また、本連合講演会の開催を広く周知するために、主催・共催学協会の学会誌への案内に加え、ポスター公告の配布、プレスへの講演案内による一般参加の呼びかけを実施した。

交通の便や開催条件などを考慮して、東京の皇居に隣接して立つ科学技術館を会場とすることとなった。地下2階のサイエンスホール（410名収容）を講演会場とし、1階催物場（合計1,139 m²）をポスター会場および機器展示会場とした。初日は、午後2時より催物場が使用可能との条件から、ポスターセッションを夕方に行うプログラム編成となった。参加者は前回は上回る延べ479名に達し、そのうち、大学関係者（核融合研を含む）179名、学生106名、企業関係98名、日本原子力研究所77名、官公庁関係者（原研を除く）12名、その他7名であった。

（石田真一、飯尾俊二）

1-3 プログラム編成

本連合講演会では、炉心プラズマ、核融合工学をはじめとする多くの関連分野の総合的な理解を深めるとともに、若手研究者の将来に向けた研究協力を促進する場となるよう、プログラムや企画を工夫した。とくに、今回の講演会においては、多体系・非線形科学の代表的な分野である高温プラズマ科学と、超伝導コイルや新材料等の先端技術の融合をテーマとして掲げ、「科学と技術の融合をめざして」という副題のもとに、プログラム編成を行った。幅広い分野の講演や発表を、プログラム委

員会企画による招待講演（1件）、特別講演（4件）、シンポジウム（5件）と、一般参加者からの一般講演（ポスター発表）とで構成した。時あたかも ITER の3年延長が議論されており、これに関連した講演を、招待講演・特別講演・シンポジウムで取り上げた。また LHD の初期実験結果の発表も含め、国内外の核融合プラズマ実験研究に関して、最前線の研究動向を紹介してもらうべく特別講演やシンポジウムを企画した。また核融合研究における学術としての側面に着目し、他分野への学術発信の可能性や、今後の核融合開発において重要な役割を果たす炉工学研究の動向についてのシンポジウムも企画した。

ポスター発表からなる一般講演には総数255件の応募があった。内訳としては、炉心プラズマ（77件）、慣性核融合（19件）、計測（17件）、加熱（7件）、ITER（35件）、炉システム（22件）、炉材料（45件）、トリチウム（9件）、理論・シミュレーション（15件）、基礎・応用（9件）という、幅広い学術分野に及んだ。

（小川雄一）

1-4 来賓挨拶

本連合講演会のオープニングでは、岸本 浩実行委員長の司会のもと、飯吉厚夫組織委員長より主催者挨拶として本連合講演会のオリエンテーションがあった。続いて、次の3氏より来賓挨拶があった。日本学術会議会長吉川弘之氏は、技術とは「欲しいもの」を実現することであり、核融合は、人類の将来のための技術という新しい技術のあり方の、すなわち人類の保険料という新しい見方の先駆者になり得ると述べた。日本原子力研究所理事長吉川允二氏は、これからの核融合におけるリーダーシップにとっては、量的な面だけでなく質的な面が重要であり、ITER は国際協力とともに核融合を質的に新しい段階に導くシンボルであると述べた。経済団体連合会副会長金井 務氏は、エネルギーは文明の求めるところであり、その予測は難しいが、学界と産業界の緊密な連携を生かしつつ、国としてのマスタープランをもつことが重要であると述べた。

（石田真一）

2. 招待講演，特別講演

2-1 招待講演

「激動する国際政治と科学技術国際協力」

上智大学 猪口邦子

現在の世界政治情勢は、第一次世界大戦に始まり米ソ間の冷戦終結で幕を閉じた75年間におよぶ大国間の戦争状態の終結で特徴づけられる。“戦争の終結をもたらした主要因が戦後世界を支配する”という認識にたつて今日を眺めると、冷戦を終わらせて今日の世界を支配するに至ったものは「民主主義」という理念である。冷戦後という新たな時代に入って、民主主義の理念のもとでは、個人レベルの問題でも周囲の支持が獲得できれば国際政治レベルの動きに影響をおよぼすことができる。過去において敗戦国の日本は世界政治の中核に入ることは許されてこなかった。しかし今日、いろいろの分野で新たな動きが始まった段階において、国際的連帯組織の創設グループに入り、

いわゆる founding father, founding mother となって立ち上げの苦勞を共にすれば、そこを足場にして国際政治を動かせる可能性がでてくる。科学技術国際協力の参加もこの観点から取り組む積極性が求められる。

（桂井 誠）

2-2 特別講演

(1) 「Future Directions of Magnetic Fusion Research」

プリンストンプラズマ物理研究所 Richard J. Hawryluk

トカマクを中心とした磁気閉じ込め核融合研究の成果をまとめ、将来の研究方向が論じられた。高性能プラズマの長時間持続、輸送障壁の定常的維持のため、高効率電流駆動法の開発、輸送障壁の直接制御、抵抗性不安定性の安定化等の研究が望まれる。プラズマ形状制御・低 A（アスペクト比）を追求した球状トカマク、電流駆動・デイスラプション回避のためのヘリカル系、ヘリカル磁場とブートストラップ電流併用による MHD 安定化を目指した低 A ヘリカル系等の可能性も示された。D-T 燃焼炉では α 粒子の挙動、そして圧力分布、電流密度分布、流速シア、乱流、輸送、 α 加熱分布のフィードバックの理解・制御が必要となる。周辺プラズマの領域でも、高性能炉心プラズマと散逸性ダイバータの両立、トリチウムリテンションの最小化等重要な課題が残っている。今後の研究課題として、(1)小電力で効率良く電流密度、圧力密度分布を制御できる革新的手法の開発、(2)物理原理に基づいた予測モデルの確立、(3)燃焼プラズマ物理の理解、をあげ講演の結びとした。

（高瀬雄一）

(2) 「レーザー核融合の進展」

大阪大学 三間園興

レーザー核融合研究は、新しいレベルへと移行しつつある。より研究の精度が上がり、エネルギーのレベル、規模とも上がり、これまでと異なる段階に入りつつあることを予感させる。そのことはまずネイチャー誌に載せた爆縮過程での燃料ターゲットの X 線コマ取り分解写真の記事のカラーグラフィックから講演が始まったが、サイエンスホールを埋める聴衆に強い印象を与えた。米国、フランスが点火実験を計画し、建設が進んでいること、ビーム数も192とレーザーを巧みに使い（これまではレーザーのエネルギーを誇っていたが、これからはいかに巧みに使うかである）、さらに高速点火など新しい可能性に挑戦している様子などが熱のこもった説明でなされ、核融合エネルギー連合講演会のまことに特別講演にふさわしい内容であった。日本のこれまでの貢献と計画について説明がないのは日本の核融合開発予算衰退を示すもので今一度の頑張りが必要であると感じた。

（嶋田隆一）

(3) 「炉心プラズマ研究の新展開—JT-60 研究の成果と展望」

日本原子力研究所 菊池 満

ITER や SSTR 等の定常炉開発に向けた JT-60U 実験で得られた成果の紹介がなされた。

W 型ダイバータの使用による除熱面積の拡大とケミカルスバタリング抑制効果が紹介された。今後の課題として He 排

気性能の実証やバッフルでの予測外の中性ガス発生現象解明の必要性が述べられた。プラズマの断面制御実験の結果として、ベータ限界の上昇には中程度のピーク度を持つ圧力分布が最適であり、また長時間運転の達成には負磁気シアの制御が必要である旨述べられた。負イオンNBI方式の加熱電流駆動実験では、駆動電流分布の同定、TAEモードの励起、多重電離過程による電離断面積の増加などの成果が報告された。なおこれらの成果は、ITERにおいて負イオンNBI方式を採用することの妥当性を示しているとの旨報告された。

W型バッフルの実用炉への応用に向けての課題、負磁気シアの制御性、長時間運転に向けてのベータ限界に関する課題等について活発な質疑がなされた。(西川正史)

(4)「ITER/EDAの成果と延長期間におけるわが国の取り組み」

日本原子力研究所 常松俊秀

ITER(国際熱核融合実験炉)のEDA(工学設計活動)は1992年7月に開始され、1998年7月に予定期限が終了する。最終設計報告書は現在各極でレビューされている。初期の計画ではEDA終了後建設に進む予定であったが、各極とも社会的、経済的環境が整わず設計活動を3年間延長する方向で計画が進められている。

EDA期間中の設計活動やR&Dの詳細成果はシンポジウムに譲り、本特別講演では簡単に触れるに留め、延長期間中の取り組みや低コストオプションについて詳しく報告された。

延長期間中の主な活動は、サイト対応設計およびコスト評価、許認可申請準備、幅広いオプションの設計とR&D、調達のための技術文書準備、としている。更に延長期間終了時に建設を効率的に開始できる可能性を高めるため、低コスト化を図る検討を実施するとしている。

低コストオプションについては、自己点火についてのマージンを下げる、中性子フルエンスを1/3にするなどして、主半径:6~6.5m、熱出力:500~750MW、Q:10以上の試設計がなされている。今後低コストオプションについては詳細な設計・検討が進められる予定である。(大塚道夫)

3. シンポジウム

3-1 「学術としての核融合研究」

最初に、福山 淳(岡山工大)より「プラズマ乱流と輸送障壁」と題して、磁気閉じ込め核融合における輸送現象と、中性流体乱流や複雑系の物理との共通性が論じられた。さらに、プラズマ乱流のほうが扱いやすい面もあり、中性流体乱流の解明に寄与する可能性も指摘された。

次に、高部英明(阪大レーザー研)より「高強度レーザーを用いた実験室宇宙物理」と題して、レーザー核融合で見られる物理現象と宇宙物理で興味を持たれている現象の間には、多くの類似点があることが示された。共通するキーワードは、高密度プラズマであり、実験、理論およびシミュレーションのそれぞれの観点から、共同研究が有意義であることが論じられた。

最後に、佐藤哲也(核融合研)より、「プラズマと非平衡開放系の科学—プラズマは21世紀の科学を先導するか—」と題して、核融合プラズマのダイナミクスは、従来の線形理論を基本とするアプローチでは本質を理解できず、このような非平衡開放系に正面から取り組むためには、シミュレーションが極めて有用であることが、これまでの計算例を示しながら論じられた。まず、個別の現象の非線形力学と内部構造を明らかにし、その中から、共通するものとして自己組織化のような一般的概念を導くことこそが重要であると強調された。

まとめると、核融合プラズマは、複雑系の物理としてユニークな位置にあり、この分野で確立された新しい概念、手法、あるいはシミュレーション技法等を、他の分野との共同研究に活用することが重要であり、それが核融合研究の評価を高めると同時に、核融合研究そのものの促進に寄与することになる。

(若谷誠宏)

3-2 「21世紀における核融合の役割」

4人の登壇者の方にそれぞれの立場からシンポジウムのテーマに沿ってご講演いただいた。電力中央研究所の平岡 徹氏には「エネルギー源としての炉の成立性」を核分裂炉との比較の上で検証していただき、まずBurningプラズマを追求し、制御技術を確認することが重要であるとの御意見をいただいた。東京大学の山地憲治氏には「エネルギー技術史からみた核融合」と題し、閉じ込めを考えるだけではエネルギー源とはならないため核融合エネルギー特有の利用法を考えるべきであるとの御提言をいただいた。東京大学の宮 健三氏には「核融合技術の期待される進展」と題してご講演いただいた。最後に京都大学の井上信幸氏は「エネルギー問題における核融合炉の位置付けと実現までの課題」と題し、1998年2月にまとめられた『核融合動力炉実用化技術に関する調査研究』の報告書に基づいてエネルギーの現状から将来の展望に至るまでたいへんわかりやすくご講演いただいた。

講演後会場の参加者を交え活発な質疑応答がなされ、将来の核融合炉の果たすべき役割を認識する有意義なシンポジウムとなった。(伊藤智之)

3-3 「ITER工学設計活動」

このシンポジウムでは、実際にITER(国際熱核融合実験炉)工学設計活動の連合中央チームのリーダーとして活躍しているユーゲル、パーキンス、下村の3博士から、ITER工学設計の最終案や設計活動状況について直接に報告をいただき、質疑応答が行われた。工学設計最終案については、その目標とITER装置・施設の概略や運転機能についての説明があり、その規模や先端技術の総合的なバランスなどが理解された。物理研究開発については、活動方式とITERがどれだけのことを達成できそうかの感触が報告され、閉じ込めやダイバータ等の主要物理課題や課題解決のために現存核融合実験装置からの成果がいかに適用されているかが説明された。また、大型超伝導コイルや第一壁/ダイバータ等のいろいろな工学研究開発の苦心や成果

が報告された。全体のまとめとして、ITER 工学設計活動の最大の成果は何かとの質問に対し、国際協力での設計活動ゆえに、非常に真剣な検討が詳細にわたって活発にオープンに行われたことである、との答が極めて印象的だった。(玉野輝男)

3-4 「炉工学から見た核融合炉の課題」

「核融合炉工学の役割と体系化」(田中 知・東大工)では、エネルギー発生装置として核融合炉を位置づけた場合に、炉心を取り巻く核融合炉システムを構築するための諸工学について述べられ、核融合炉工学として体系化する必要性を強調し大学における核融合炉工学ネットワークが紹介された。とくに重要な課題として、実験炉に向けてはダイバータ工学、トリチウム工学、コスト低減が、原型炉に向けては構造材料開発・経済性向上があげられた。

「構造材料開発の戦略」(香山 晃・京大)では、核融合炉に必要な経済性と安全性を確保するためには低放射化構造材料の開発と高エネルギー中性子照射試験装置による評価が併せて必要であることが述べられた。低放射化材料開発は、フェライト鋼を工学材料段階として、バナジウム合金と SiC/SiC 複合材料を素材開発段階として位置づけ研究体制の整備と投資を計画的に行うべきことが強調された。

「核融合炉の工学的安全性」(関 昌弘・原研)では、ITER では核融合炉の原理的安全性を十分に活用しつつ ALARA の原則を遵守して安全の確保を図っていることが述べられた。ITER の安全確保に必要な工学的課題について整理し、これまでに進められてきたトリチウム放出模擬試験や免震装置安全性評価試験などの重要課題の R&D が述べられた。

総合討論では核融合炉工学を今後本格的に進めることについて活発な質疑が行われた。(阿部勝憲)

3-5 「LHD 実験計画とヘリカル系の新たな展開」

1998年3月末に最初のプラズマ生成を達成した大型ヘリカル実験装置「LHD」について総合的な観点から4件の報告があった。藤原は、LHD 計画の研究課題とヘリカル系研究の現状の概説を述べ、LHD 計画の位置づけを行った。LHD 実験の今後の計画として第一期(1998-2001年)での $B=3\text{T}$ 実験、第二期(2001年以降)での超流動ヘリウム冷却による $B=4\text{T}$ 実験の研究課題について報告された。さらに、今後各国で予定されているヘリカル系研究計画についての紹介があった。三戸は、超伝導ヘリカルコイルの開発経過を報告した。多くの試作開発によるヘリカル導体構造、巻線方法などの決定の経過、建設経過、冷却運転の結果などについて報告された。ほぼ予定どおりに超伝導状態に到達できたことは特筆に値する。山田からは、プラズマの初期実験の計画および結果について報告があった。 $B=1.5\text{T}$ での ECH プラズマ生成に成功し、初期プラズマとしては電子温度 1.3keV 、密度 $1.3 \times 10^{19}\text{m}^{-3}$ など十分な値が得られている。今後計測器類の整備により本格的な実験が期待される。低磁場での磁気面測定も行われ、所期の結果が得られている。岡本は、ヘリカル系での理論研究の経過と現状、とくに

LHD設計の基本となる理論・シミュレーション研究の経過と得られた成果について報告した。LHD検討を通じて、完全三次元的取り扱いの重要性や、径電界、異常輸送の理解に大きく貢献できたことが述べられた。

全体を通じて、我が国における大型プロジェクトの一つとして順調な開始であるといえる。また、技術的に未経験で多くの開発課題があった超伝導ヘリカルコイルの運転成功を評価する発言があった。(大引得弘)

4. 一般講演 (ポスター発表)

4-1 炉心プラズマ

トカマク分野では、CT 入射実験・ECCD の初期実験 (JFT-2M), フェライト鋼を使った実験の検討と解析 (JFT-2M, HT-2), ニューラルネットワーク等を使ったプラズマ制御 (TRIAM-1M), 高 Z (Mo, W) リミタを使った研究 (TEXTOR 共同研究), 交流運転やエルゴディックダイバータ, 交流電極バイアス実験 (CSTN-III, HYBTOK-II), 電磁力平衡コイルを用いたトカマク (等々力 1号) 等の結果が報告された。周辺プラズマ関連では線形プラズマ装置での C 不純物挙動の研究 (東大), リサイクリング領域での斜め入射磁場の影響 (姫工大) の発表があった。ST (球状トカマク) 関係では、同軸ガン入射による ST の生成・維持実験 (HIST), 同軸ガン入射により繰り返し入射される ST の実験 (日大), トロイダルコイルを用いたポロイダル電流駆動実験・プラズマ移送により生成領域と電流駆動領域を分離する手法の検討 (FBX-II) 等の報告があった。さらに、FRC にトロイダル磁場を加えることにより高ベータ ST の生成をねらう実験 (NUCTE-III), そして異極性スフェロマックの合体による高イオン温度を持つ FRC の生成、それにトロイダル磁場を加えることによる高ベータ ST の生成に成功した結果 (TS-3, TS-4) が報告された。(高瀬雄一)

逆磁場ピンチ (RFP) 関連では9件の発表があり、その内6件は新しく完成した大型 RFP 実験装置 TPE-RX の装置建設と、初期プラズマ実験に関するものであった。装置製作メーカーと研究所との共同作業の結果である装置設計の特長が要領よくまとめられていた。我が国初の大型 RFP 装置であり今後の実験の進展に期待したい。それ以外に、RFP 核融合炉の条件、外部ヘリカル磁場を用いた RFP プラズマの制御、ダイバータ付き RFP の研究等の発表があった。逆転磁場配位 (FRC) 関連では4件の発表があった。すべて、FIX-FRC に関連するもので、基本的な平衡プロファイルから、周辺プラズマの計測、磁場制御による加熱等、閉じ込め特性の理解と向上をめざした研究が着実に進展しているとの印象を受けた。(平野洋一)

タンデムミラーの研究報告は、ガンマ10における(1)プラズマ閉じ込めの向上、(2)プラズマ加熱法の改善、(3) Alfvén イオン・サイクロトロン揺動 (AIC) の研究、(4)非両極性拡散によるプラグ・バリア部を介した電流循環の測定、(5)これらを明らかにするために独自に提唱・開発してきた電位・X線計測新原理・

新手法に関する報告。以上のように大別・整理できる。すなわち、イオン閉じ込め電位形成に伴う密度の40%の上昇が得られ、イオンの径方向対軸方向損失割合が9%以下に抑制された。また、極小磁場部プラズマ断面の長軸方向への損失総熱量が充分無視できること。さらに最近ガンマ10に設置されたプラズマ制御用の電極板に流入する電流と浮遊電位の振る舞いは、相互にコンシステントであり、その有効性が確認された。高周波加熱では、アンテナ配位に強く依存した軸対称プラズマの生成と反磁性量増大の関係が実験的に明らかにされ、端損失イオン速度分布関数計測器 (ELECA) により、AIC 励起に伴う分布関数のハンプ構造が観測された。以上全体を通し、閉じ込め・加熱・計測の総合的研究報告が行われた。(長 照二)

JT-60 での物理成果と装置技術の進展について報告があった。最近のプラズマ閉じ込め研究のトピックスは、負磁気シアによる内部輸送障壁 (ITB) の形成である。とくに今回は、ICRF 加熱でも内部輸送障壁の形成・維持が可能であることが、実験的に示された。また ITB におけるプラズマ流の測定や輸送コードによるシミュレーション結果なども発表された。JT-60 では、真空容器下部をW型ダイバータ配位に改造しており、ネオンガス注入による放射冷却ダイバータの制御、粒子閉じ込め・粒子排気特性、ヘリウム排気特性などに関する興味ある研究成果が報告された。今後は閉じ込め改善モードとの整合性を図る必要がある。負イオンビーム実験に関しては、多段階電離過程の評価、電流分布制御の可能性、アルヴェン固有モードなどに関する研究成果が報告された。JT-60 では、装置技術に関しても数多くの成果をあげてきている。ここでは、W 型ダイバータの健全性、NBI クライオポンプによる粒子排気、正および負イオン中性粒子入射ビームの開発、ICRF および LHRF 高周波技術開発、電子サイクロトロン波による電流駆動計画などについての装置技術に関連した成果が報告された。(小川雄一)

大型ヘリカル装置 (LHD) の完成・実験開始にあたり、装置建設の経過のまとめ、真空排気、冷却、制御およびデータ処理について設計と合わせて最初の運転実績についても報告があった。これまでにない大規模かつ精査な超伝導システムを運転するための要素技術の開発が成功した事例としてそれぞれ貴重である。磁気面計測からは所定の磁場設計を満足した結果が得られている。このほか、LHD については、構想中の高温ダイバータとコンパクトトラス入射についての理論的考察が報告された。京大で現在建設中の $L=1$ ヘリカル軸ヘリオトロン装置について実験計画のあらまし、物理検討、設計製作が発表された。新古典拡散理論の観点から連続巻線コイルを用いて磁場配位を最適化した斬新な計画である。CHS からはアルヴェン固有モードの観測と励起、鋸歯状振動による閉じ込めへの影響に関する実験報告があった。(山田弘司)

4-2 慣性核融合

レーザー核融合を中心に19件のポスター発表があった。分類すると、(1)レーザー装置、光学、ビーム均一性、(2)X線レーザー、

(3)高速点火レーザー核融合の基礎実験、(4)爆縮実験、模擬実験、(5)流体不安定、(6)ターゲット制作、(7)ターゲット設計、(8)パルスパワー装置、に大別される。核融合エネルギー研究というより、その要素技術、工学、物理の研究が主であった。10年前の爆縮実験、中性子発生実験の時代に対比し、今は、腰を落ちつけて個々の技術の改良、物理の解明を行っている。その意味で、核融合エネルギー開発という「螺旋階段」を何回か廻り、原風を少し(かなり?)高いところから眺めている状況にある、との感想を持った。(高部英明)

4-3 計測

計測関係では、17のポスター発表があった。新しい概念や方法を取り入れた計測の開発状況、それを実機に適用して得られた、新しい物理量や知見の発表に目覚ましい進展がみられた。前者の例としては、高速イオンゲージの開発、光ファイバ中でのファラデー回転による定常磁場計測、多チャンネル半導体検出器によるX線分光 (T_e 測定) 等がある。後者の例としては、損失高速イオン計測、高時間分解のビームシャインスルー計測等がある。そのほか、新しい解析手法や解析用シミュレータ開発 (例えば、ELMy H モード時のフーリエ分光データのパルス成分除去について) についても、活発な研究が行われている状況が見られた。今回は発表が少なかったが、今後は核融合プラズマ計測の手法が産業プラズマ研究に適用されていくことが期待される。(笹尾真美子)

4-4 加熱

7件の発表があった。波動加熱は長パルス、粒子加熱は高エネルギーがキーワードであろう。前原らは LHCD アンテナ先端部に銅メッキしたCFC材を用いて長時間の熱負荷に耐えるものとし ($43 \text{ MW/m}^2, 1,000 \text{ s}$)、森本らは ECH 用矩形アルミナ窓を強制ガス冷却する上でノズル位置や流量などの最適条件を模擬実験で求めた。真鍋らはヘリオトロン E の ECH において入射角を可変とするシステムを構築し接線入射を行った。他方、粒子加熱では宮本らが ITER-NBI の仕様である 1 MeV の水素負イオン加速に成功し (加速電流 25 mA)、竹入らは大電流 ($98 \text{ keV}, 24 \text{ A}$) の水素負イオン源の開発に成功した。この成果を受けて JT-60U に続き LHD でも負イオンを用いた NBI 加熱がまもなく開始される (金子らの報告)。高エネルギー粒子加熱が現実のものとなりうる状況の中で松浦らは高エネルギーイオンの減衰過程では従来のクーロン相互作用に加えて核弾性衝突の効果が無視できないことを指摘し、解析的な衝突項を導入して評価を行った。(金子 修)

4-5 ITER

ITER 関連のセッションでは総数35件のポスター発表がなされた。まず、工学設計関連の発表では、最終設計報告書に盛り込まれた各機器・システムの詳細な設計内容に関して、我が国の貢献を中心に報告がなされた。総数17件の報告は、真空容器、ブランケット、ダイバータ、加熱システム、計測システム、安全性等の炉本体機器・システム関連のみならず、電源、冷却シ

システム、冷凍システム、ホットセル機器等の周辺プラント設備関連を含めた幅広い設計内容が網羅され、最終設計報告書の内容の広さと深さを伺わせる内容であった。また、我が国へのITER誘致に備えた準備活動の一環として、免震設計や構造設計基準整備の検討状況が報告されたことが注目された。

一方、工学R&D関連の発表では、超伝導コイル、遮蔽ブランケット、ダイバータ、遠隔保守機器等の大型機器の開発に関して、工学設計活動期間に我が国が分担実施して得られた製作技術開発や性能評価の成果が報告され、これらの主要構成機器の開発が成功裏の下に最終段階に至っていることが報告された。また、加熱システムに関してもITER目標を満たす成果が報告されるとともに、計測機器、安全性試験や免震機器の要素試験においても着実な進展が報告された。(荒木正則)

4-6 炉システム

このセッションでは、炉工学技術 (ITERに直接かかわるものを除く) や核融合炉の概念設計が発表された。冷却系などの事故時に関する解析結果が4件あり、LOCA時の崩壊熱、冷却材侵入事象、磁場が侵入ガスの運動に与える影響などが紹介された。プラズマ対向機器の関係では、HIP接合での第一壁製作、増殖材ペブル充填特性の解析、リチウム循環系の磁場下での熱伝達、プラズマ垂直移動現象時に真空容器に流れるハロー電流解析モデルの三次元化などがあった。新しいアイデアとして、ペブル落下式ダイバータが提案されていた。炉概念設計では、極高アスペクト比トカマク (A~8)、バンドルダイバータを持つ低アスペクト比トカマク、高温超伝導体を位置安定化に使用した高非円形度のトカマクとそのITERへの適用などの発表に加え、負磁気シア型トカマク「CREST」の物理・工学設計については4件のシリーズ発表がなされた。JT-60SUについては、その物理 (MHD、位置安定性) ならびにトロイダルコイルの工学設計 (応力変形、熱流体解析) の4件が発表された。またITER用CSモデルコイルのためのニオブアルミインサートコイルの開発状況も紹介されている。(岡野邦彦)

4-7 炉材料

プラズマ-壁相互作用のうち、高熱流束、高粒子束プラズマによる対向材料の損耗は重要な課題である。とくに、高粒子束照射下でのスパッタリング収率の粒子束依存性は、いまだに結論が得られていない。また使用実績が乏しい高Z材の挙動、スパッタリング低減方策の実験的検証、水素、ヘリウムイオンの同時照射効果など、実機での重要な問題が議論された。低Z材は「その場」補修を念頭に置き、ボロンやリチウムについて、成膜方法の検討や薄膜としての特性に関する研究成果が報告された。このほか、プラズマ気相反応を利用したクラスター粒子合成、表面での反射、捕捉・再放出現象、同位体置換、透過/排気など、広範なテーマが取り上げられたが、今後、素過程が核融合粒子のエネルギーあるいはマスバランスにいかにかつ与するのかについての議論が求められよう。

トリチウムの材料相互作用の他の水素同位体との差違、炉内

トリチウムインベントリの測定と効果的除去については、今後ますます重要になってこよう。制約は大きいですが、トリチウムを用いた実験はもっと多くあってもよい。また、炉内でのトリチウム測定に際しては、他の放射線が存在する中でトリチウム放射能を正確に把握することが重要となる。

構造材料に関する発表では、日米協力 JUPITER の全体像と進捗状況が取り上げられた。またマイクロからマクロに至る材料現象を結合し、材料挙動予測をめざすモデリング研究が取り上げられた。モンテカルロ法による定量的欠陥生成評価は、材料マクロ現象評価につながる計算手法として発展が期待される。

具体的構造材料開発については、低放射化フェライト鋼が4件、バナジウム合金は5件、SiC/SiC複合材料については3件の発表があった。フェライト鋼は中性子照射データベースの蓄積が進み、接合技術にも進展が見られるが、今後の課題として高ヘリウム条件での強度と靱性評価および高温強度の向上が指摘された。バナジウム合金は、トリプルビーム照射によるヘリウムと水素の同時効果についての発表があった。また、破壊靱性、強度と耐酸化性の観点からのV-4Cr-4Ti合金の改良が進められている。他には、高熱流束機器材料としてのモリブデン合金および機能性セラミックスの照射効果について発表があった。

増殖材料に関する発表件数は通常の原子力学会に比べても少なかった。内容としては、両立性、水素との相互作用に大別できるが、様々な観点からの実験や理論的解析結果も示され、多様な議論が展開されていた。(関村直人、山口憲司)

4-8 トリチウム

トリチウムの環境動態と生物影響に関する9件の報告があった。大気から農作物 (H3, H5) や水圏 (H6) への重水素の移行等について、重水素野外放出実験の結果が報告された。日本ではトリチウムを用いた野外放出実験は困難なので、重水素放出実験の成果は重要であり、今後の成果に期待したい。トリチウムガスの酸化に関しては、自然地と耕作地土壌での酸化土壌細菌の分布 (H4)、海水による酸化の経年変化 (H7)、日米協力で実施しているトリチウム室内放出実験の結果 (H8) が報告された。そのほか、大気中トリチウムの経年変動 (H1)、土壌-大気間のトリチウム移行モデル (H2)、トリチウム化DNAの摂取によるマウス臓器への取り込み (H9) について報告があった。いずれも公衆被曝線量評価に大いに役立つものであり、今後の進展が望まれる。(岡井富雄)

4-9 理論

理論・シミュレーション部門の総発表件数は15件で、内容は多岐にわたっている。内訳はレーザー爆縮関連6件、トカマク関連4件、RFPおよびFRC関連各2件、とくに分野を限定しないもの1件である。レーザー爆縮はシミュレーションの果たす役割が大きく、このことが件数の多さに現れている。手法は多様であり内容も詳細化しており、新しい物理機構がシミュレーションに取り入れられつつある。今後も新規アイデアの余地があると感じた。

本会記事

トカマクでは菊池等による新古典輸送係数の厳密計算で、常用される Chan-Hinton の輸送係数では2倍程度過大評価される可能性が示されたが、今後この結果に基づいた実験結果の再点検作業を期待したい。

RFP の2件は平衡解析およびプラズマ再構成に関するものであるが、この方面では今後の開発課題がかなり残っているとの感じを受けた。

FRC プラズマの軸方向圧縮のシミュレーションは必ずしも実験結果と一致していないとのことで、この点での原因追及が望まれる。
(新谷吉郎)

4-10 基礎

基礎・応用分野は、発表件数が少ないながら新分野の開拓をめざした発表が多く目立った。

磁場中で電子群がエネルギー準位を持つかもしれないといった実験やダストプラズマ中での非線形波動の励起と帯電数との関係を調べた数値計算結果、また Si クラスターイオンのサイズスペクトルを精度よく TOF にて計測した結果などは物理的にも興味を引く内容であった。ダイポール磁場と磁気中性点を利用した Proto-RT 装置での非中性プラズマ閉じ込め実験や高速高ベータプラズマの電磁流体特性を測定した HITOP 装置での実験は新しいプラズマ実験分野の進展を示す発表であった。また多極磁場中でのグロー放電を利用したプラズマ応用やアークジェット応用、ECR 電気推進機への応用に関する発表も行われた。とくに多極磁場中での大体積プラズマ生成は PCB 処理や種々の材質表面へのメッキなどへの応用も実用化の段階に来ており注目を集める結果であった。

単なるプラズマを利用した応用研究ではなく、プラズマの諸特性に基づく基本物理を理解しつつ応用へ結びつけようといった姿勢が感じられた。
(安藤 晃)

5. 若手表彰

本講演会では、前回に引き続いて若手研究者の育成と研究の奨励、ならびにポスター発表の内容の一層の充実を図るため、概ね35歳以下の若手研究者を対象とした、若手ポスター発表優秀賞の表彰を行った。表彰者の選考は講演会参加者の投票結果を基として行うこととし、参加者全員に優秀発表の投票を広くお願いした。数百票を越える有効投票総数の下に選考委員会において最終選考を行い、以下に示す16名の方が表彰され、閉会式において飯吉組織委員長より賞状と副賞(図書券)の授与が行われた。
(平野洋一, 長 照二)

若手ポスター発表優秀賞受賞者

- ・「LHD/CHS における NB 透過計測」長壁正樹(核融合研)
- ・「X 線分光法を用いたレーザー爆縮プラズマにおける低次モード不均一性の解析」越智義浩(阪大)
- ・「核融合原型炉構造材料としての低放射化マルテンサイト鋼の重照射効果」笠田竜太(京大)

- ・「ITER 用 170 GHz 大電力・長パルスジャイロトロンの開発」春日井 敦(原研)
- ・「X 線新計測原理に基づく新しい電子温度測定法の提唱」小波蔵 純子(筑波大)
- ・「FBC トカマク装置(等々力1号)におけるプラズマ放電」小松康弘(東工大)
- ・「自然地と耕作地土壌におけるトリチウムガス酸化能を持つ土壌細菌の分布」小室真保(茨城大)
- ・「新型イオン・エネルギー・スペクトル計測器を用いたプラズマの電位閉じ込めの研究」坂本宜照(筑波大)
- ・「Si, Al, Y の添加による V-Ti-Cr 系合金の照射挙動の改善」佐藤 学(東北大)
- ・「非中性電子プラズマのトロイダル閉じ込め実験」中島千博(東大)
- ・「核融合炉材料としての高純度 Fe-9Cr フェライト合金の試作と He イオン照射効果」長坂琢也(東北大)
- ・「JFT-2M におけるコンパクトトロイド(CT)入射実験」福本直之(姫路工大)
- ・「ITER 真空容器の熱流力特性評価」細貝いづみ(東芝)
- ・「LHD における磁気面計測」松下和幸(総研大)
- ・「磁化プラズモイド入射による分布制御の可能性」宮沢順一(核融合研)
- ・「モンテカルロ法によるカスケードからの欠陥形成シミュレーション」森岡智昭(東大)
(敬称略, 五十音順)

6. 機器展示

様々な核融合研究分野の方々の相互理解の一助として ITER の工学 R&D を含めた核融合関連機器の展示を依頼したところ、国内の主要研究機関のご賛同をいただき、会場の都合上1日間の短い期間であったが開催の運びとなった。展示物は以下に示すように多岐にわたっており、日本の主要な核融合研究の内容を網羅することができた。当日は、開催時間が講演およびポスター発表と重なったこともあり、会場が混雑するほどではなかったが、人が途切れることなく多くの来訪者が訪れた。また、科学技術館での開催ということで、一般の方々の観覧も見受けられ、核融合の PR に一役買うことができた。(閏谷 譲)

- ・レーザー核融合模型、活動ビデオ等(大阪大学)
- ・LHD 模型、建設ビデオ等(核融合科学研究所)
- ・TRIAM-1M ビデオ、LH マウス等(九州大学応用力学研究所)
- ・ガンマ10における研究パネル、各種計測検出器(筑波大学プラズマ研究センター)
- ・KrF エキシマレーザー核融合、逆磁場ピンチ研究パネル(電子技術総合研究所)
- ・材料照射サンプル等(東北大学金属材料研究所, JUPITER 計画 Gr)
- ・ITER 模型, ITER R&D 各種パネル, 冷却配管の溶接・切

断ツール, ジャイロトロンの模型, 金属風船, JT-60U 模型,
JT-60/JFT-2M の成果パネル等 (日本原子力研究所)
(出展研究機関, 五十音順)

7. 懇親会

懇親会は初日の18時より20時までホール地下1階のカフェテリア・ザ・スペースを借り切って開催された。参加者は招待講演者, 来賓を含めて超満員の大盛況であった。

嶋田現地実行委員長の司会のもと, 岸本実行委員長の開会の辞に引き続き主催者側を代表して飯吉プラズマ・核融合学会会長, 西川日本原子力学会核融合炉工学部会部会長のご挨拶をいただいた。この懇親会に特に来賓として原子力委員会委員長代理の藤家洋一氏をお呼びしており, お言葉を拝聴することができた。乾杯は, みなさんよくご存知の吉川庄一さんをお願いし, 参加者一同懇親の輪を広げた。

今回の懇親会では, 若手研究者の参加を促す目的で連合講演会主催者の招待の形をとって行う新しい試みであったが, 好天に恵まれ, ポスターセッションの興奮さめやらぬまま, ビール・ワイン, とくに料理の消費が早く, 追加しても追いつかない状況で, 今後永く語り継がれるであろう空前のにぎわいを示した。

最後は, 田中実行委員会副委員長の閉会のご挨拶で講演会登録者数が予想以上であるなどがご披露され, 盛況のうちに懇親会を終了した。
(嶋田隆一)

8. むすび

本連合講演会では, 「科学と技術の融合をめざして」というテーマを設け, それに沿ってプログラム編成を練るとともに, 一般参加も可能な機器展示を企画し, 核融合のPRにも努めた。これらの新しい取り組みが, 連合講演会の今後の発展につながることを期待している。

実際, ITERのEDA期間延長への動き, LHDの運転開始という歴史的なイベントとも重なり, 予想を上回る参加者を得て活気溢れる講演会となった。来賓挨拶, 招待講演, 特別講演, シンポジウム講演, 座長ならびに本報告書の執筆をお引き受けいただいた先生がたに心よりお礼申し上げます。また, 共催および後援として連合講演会の趣旨を理解し, ご協力いただいた方々に厚くお礼申し上げます。

これらの貴重な講演を記録に残すため, 予稿集の要旨に加えて, すべての講演をビデオテープに収録した。予稿集については若干残部があり, またビデオ収録テープをご希望の方には貸し出す用意があるので, 必要な方はプラズマ・核融合学会事務局まで連絡されたい。なお本報告は, プラズマ・核融合学会誌および日本原子力学会誌に掲載される。

核融合エネルギー連合講演会の一層の発展を願い, 2年後の2000年に日本原子力学会が主担当となり第3回を開催する予定である。最後に, 本連合講演会の企画, 実行に携わられた関係各位の努力に感謝申し上げます。
(石田真一)

(1998年7月21日受理)

「プラズマ・表面相互作用」特集の論文公募のお知らせ

本学会誌の企画記事としまして, 小特集, 解説, 講座などの分野別テーマを取り扱ったもののほかに, 一昨年新たに特別企画の枠組みを開設しました。この枠組みの主旨は, 学際的なある共通テーマについて異なる分野の切り口から見た最新の研究成果をまとめることにより, 共通対象の総合的な理解を深めることにあります。

このたび編集委員会では, その共通テーマとして「プラズマ・表面相互作用」を取り上げることにいたしました。周知のように, 荷電粒子と表面の相互作用は, 電子遷移, 表面解離過程, そしてスパッタリング等の素過程分野における理学的に未知な現象のみならず, 工学的にも半導体プロセッシング, 核融合プラズマ装置の壁面とプラズマの相互作用等の豊富な話題を含む分野といえます。

この特別企画に際し, 編集委員会ではプラズマ・表面相互作用における基礎と応用に関する解説, 小特集を企画するとともに, 次のとおり会員から広く研究論文を募りますのでふるって御応募くださいますようよろしくお願い申し上げます。

- 1) 対象分野: プラズマ・表面相互作用に関する基礎研究と応用研究。たとえば, 荷電粒子と表面の衝突素過程, プラズマプロセッシングなどの応用研究, 核融合プラズマと装置壁についての研究
- 2) 応募締切: 1998年10月31日(土)
- 3) 応募方法: 本学会誌の投稿規定に従う。
- 4) 掲載予定: 査読を通った論文は本誌来年4月号に予定されている「プラズマ・表面相互作用」特集にあわせて掲載される。