

## ■第22回プラズマ・核融合学会年会報告

第22回年会在2005年11月29日～12月2日、東京都江戸川区のタワーホール船堀において開催された。会場は平成11年にオープンしたばかりの綺麗な建物であり、しかも都営新宿線船堀駅に隣接しており、参加者にも好評であった。本施設は利用料金も比較的安いので、多くの学会・講演会などに活用されているようである。なお期間中の参加者は614名（一般会員365名、学生会員204名、外国人招待等の非会員45名）であった。

従来、口頭発表は2会場だけであったが、今回は3会場を用意し、3つのセッションが平行に実施できるようにした。平行セッションを増やすことに関して賛否両論があったが、シンポジウムや口頭発表の時間を十分確保すべく、今回は3会場とした。ただしA会場（5階）とBおよびC会場（4階）、さらにはポスター会場（1階）が別々のフロアになってしまったため、参加者にとってはやや不便だったと思われる。主会場となったA会場は約300席程度であり、ほぼ適切な規模であったと言える。一方、BおよびC会場は約100席程度であり、幾つかのセッションでは立ち見を余儀なくされることもあり、もう少し広くても良かったのではないと思われる。なお参加者へのサービスとして、今回も休憩・インターネット室を設けたが、これは好評であった。

今回の講演数は、特別講演1件、オーバerview講演1件、レビュー講演1件、国際招待講演6件、国内招待講演16件、学会賞受賞講演5件、一般講演402件（口頭発表53件、ポスター発表349件（ポストドドライン講演3件を含む））であった。さらに特別企画2件をはじめとして、学術シンポジウム8件、企画シンポジウム2件、学会関連報告会、インフォーマルミーティング3件が行われた。

従来の招待講演はAPSとEPSから、高々3件程度であったが、今回は中国から2件と炉工学関連で米国から1件の招待講演が追加され、全部で6件となった。会期3日目の午前中に6件をまとめて実施したが、概ね好評であった。また英文の電子ジャーナル発刊にあたり、企画シンポジウムを実施したが、これも活発な意見交換がなされていた。これらは学会の国際化と活性化に向けて積極的な取り組みとして歓迎されるものである。

懇親会は、本施設の2階宴会場で開催された。特別企画が長引いたため、懇親会開始が少し遅れたが、同一建物内での開催であったため、比較的スムーズに移動が出来たので安心した。参加者は例年よりやや少く約100名であったが、ほぼ予定どりの予算で実施でき、現地実行委員会としては胸をなでおろしたところである。今回は東大が主体となって開催したこともあり、東大名誉教授である宮本健郎先生に乾杯をお願いした。また国際招待講演の講演者も多数出席されたので、EUのM.Campbell氏にご挨拶をお願いした。例年のことではあるが、若手や学生の参加が少ないのは、懇親会費が高いことが挙げられよう。簡素で誰でも参加しやすい雰囲気懇親会なども、今後は考えていかなければならないだろう。

来年度の第23回年会は、筑波大学が現地実行委員会を担当することとなっている。筑波山の紅葉を楽しみに多くの参加者が集まることを期待する。

最後に、今回の年会を成功裡に実施できたのも、学会理事会、プログラム委員会、さらには学会事務局の皆様のご支援・ご協力と、

現地実行委員の方々の献身的なご努力・ご尽力の賜物であり、関係者各位に心から御礼申し上げます。

（第22回年会現地実行委員会委員長 小川雄一）

**特別講演**では、東京大学物理学教室の和達三樹教授に「世界物理年 - アインシュタイン奇跡の年から100年 -」と題してご講演いただいた。同氏は物性基礎論および統計物理学の分野において、特に非線形現象を中心に先駆的・独創的な研究を行ってこられ、今年の8月までは日本物理学会の会長を務められていた。100年前、アインシュタインが26歳の若さで光電効果の理論、ブラウン運動の理論、特殊相対性理論を発表した「奇跡の年」の紹介から始まり、ソリトン、カオス、フラクタルなど非線形科学の普遍的概念およびその発展へのプラズマ物理学の寄与、ボーズ-アインシュタイン凝縮を記述する巨視的波動関数の動的振る舞いが、プラズマ理論でよく知られている非線形シュレディンガー方程式で表されることなど、ご自分の体験に基づき、冗談などもまじえながら、大変楽しくお話いただいた。講演の最後は、「私はプラズマ物理学を勉強してよかった」であった。プラズマ物理学が核融合研究のみならず、基礎物理学の重要な問題にも大きく寄与しながら発展してきたことを改めて認識するよい機会となった。

〔報告：座長 高瀬雄一〕

**特別企画「ITER計画の推進に向けて」**では、平成17年6月の政府間交渉でカダラッシュ（EU）がITERの建設サイトとして正式に決定され、ブローダーアプローチ（B.A.）の交渉もスタートしたことを踏まえ、政府間交渉の進捗状況と今後の予定を橋爪淳室長補佐（文部科学省核融合開発室）に、ITERおよびB.A.計画の内容と今後の進め方を二宮博正先進プラズマ研究開発ユニット長（原子力機構）に紹介して頂いた。引き続き、研究者からの期待と要望として、今回は若手（2名）と産業界（1名）に絞ってコメントをもらった。さらに若手に対する事前アンケートを実施したので、その結果について紹介された。若手からはアンケート結果などでも、ITERおよびB.A.への積極的な参加の意欲が示されているが、一方では、計画の遅延なき実施や、より一層の情報公開を強く求める声が出された。また我が国の産業界の高い技術力を今後うまく引き出す仕組みの再構築が必要であるとのコメントが出された。なお若手アンケートの結果はWebサイト <http://fusion-wakate.iae.kyoto-u.ac.jp/> に掲載されている。

〔報告：コーディネータ 小川雄一〕

**特別企画「研究とキャリアパス（さまざまな若手）」**では、これまで毎年、若手インフォーマルミーティングとして開催してきたが、今回は年配の方々にも聞いて頂くよう特別企画として実施した。最初に、4名の方に講演をして頂いた。(1)浦野創氏（原子力機構）は海外でのPDの長所短所について、(2)藤本加代子氏（原子力機構）は就職活動の心構えを、(3)砂原淳氏（レーザー総研）からは、PDでも問題ないという主張とその背景にある学術研究の魅力を、(4)奥井隆雄氏（化学メーカー、博士の生き方主宰）は、大学院生と社員の違い、博士課程を取り巻く状況について講演いただいた。いずれも他では聞けない興味あるお話であった。その後、門信一郎氏（東大）の司会でパネルディスカッションを行った。最近の大学院生の質、助手公募条件の35歳、PD人材派遣会社の問題などについて貴重な意見があった。時間の都合で十分な議論ができなかったことが悔やまれるが、これまででない企画を実施できた

点は、有意義であった。 [報告：コーディネータ 江尻 晶]

オーバービュー講演「ITER 計画」を、年会初日の冒頭に開催した。ITER 建設地が正式に決定されるという状況の中で ITER 計画を再度振り返り、日本としての貢献目標を明らかにすることを目標としてこのオーバービュー講演は企画された。都合により当初の下村安夫氏の代わりに嶋田道也氏が①ITER 計画、②開発すべき研究課題について詳細に説明された。質問は多岐にわたり、①トリチウム吸蔵特性に関するデータベースの信頼性と今後の蓄積、② PEM を ITER で問題とする具体的理由、③ AC 損失の原因となる電磁計測系に回り込むノイズの対象、④プラズマ中の流れの形成と制御などについて議論がなされた。 [報告：座長 関子秀樹]

レビュー講演「核融合エネルギー開発にかかわる水素製造とトリチウム研究の展望」では、西川正史氏 (九大) から、核融合エネルギーと水素製造技術、トリチウム技術との関連に関してわかりやすく解説頂いた。人類の歴史、日本の歴史から説き起こし、エネルギー問題を歴史的に捉えた上で核融合の意義と役割を分析し、今後人口の減少が見込まれるわが国における核融合研究と水素の関連が指摘された。水素は二次エネルギーであり、エネルギー媒体に過ぎない。その製造にクリーンな一次エネルギーを必要としており核融合にとって重要である。一方核融合の安全性、社会適合性で重要なトリチウムは水素の同位体であり、この意味でも水素関連技術としての研究が核融合では重要な局面を占めているとの指摘があった。同氏の過去30年余の研究生活を通じ、基本的な分野の構造、技術的な課題について大きな変化がないことが指摘され、その透徹した技術観を示されるとともに、一方では分野の遅れについての危惧が表明された。特に、ITER 以後の核融合エネルギー実用化に向けたブランケットの開発、トリチウム安全技術の健全な蓄積について、研究はまだ初等な段階にあり、今後のバランスの取れた学問領域、研究開発活動の運営が重要であること、そのために次の世代が奮起しなければならないことが指摘された。 [報告：座長 小西哲之]

#### ◆学会関連報告会

学会関連報告会では5件の報告があった。まず高村会長より本学会の活動状況についての報告があり、今年1月に開かれたプラズマ科学シンポジウムの開催状況と来年6月に富山で開催される第6回核融合エネルギー連合講演会の概要、また昨年より力を入れている専門委員会の活動などについての紹介があった。また学会のこれからの活動として特に重要と見なされている英文電子ジャーナルの「PFR」発刊について、会員からのサポートを願うと同時に、国際的な活動に拡大する方向、特に広くアジアとの連携の意識が重要との指摘があった。同様の観点からは、年会の国際招待講演にこれまでの APS, EPS に加えて、アジアからの招待講演を加えたこと、今後 APFA 活動を強化することなどの方針が述べられた。次に九州大学の伊藤早苗先生から日本学術会議に関する報告があった。学術会議は今期より、会員の人数やその選び方なども含めて、その内容が基本的なレベルから大きく変わっており、プラズマ・核融合のコミュニティからは伊藤先生が会員として選ばれている。現時点でも検討中の部分はまだあるとのことであるが、新しい活動方針、これまでとは異なる学協会との関わり方などについて説明があった。核融合科学研究所の本島所長からは、大学共同利用機関において進められている共同研究

のさらなる推進努力の現状、また日米エネルギー協力協定の失効に伴って発生する、日米科学技術協力事業の枠組みの変更について、さらには日米次期共同プロジェクトの検討状況についての説明があった。また今年から改組となった日本原子力研究開発機構の現状については、核融合研究開発部門の二宮博正氏より報告があり、開発機構の全体の組織構成と、共同研究の取扱いの変更点について説明があった。原子力委員会核融合専門部会からは、藤原部会長より今年11月に出された報告書「今後の核融合研究開発の推進方策について」の説明があった。当専門部会は核融合研究の進捗状況についてのチェック・アンド・レビューを実施した後に、今後の推進方策について検討を行い報告書をまとめている。以上の発表に用いられた資料は学会のホームページに掲載されていますので、詳細についてはそちらをご参照ください。

[報告：岡村昇一]

#### ◆国際招待講演

年会第三日目(12月1日)午前中は、米国物理学会、欧州物理学会、および今年からアジアとの連携も視野に入れ中国の核融合分野からの国際招待講演セッションを実施した。この講演は、世界の第一線の研究者を招待講演に招聘するもので、国内の若手研究者も効率的に情報を得られるようにするねらいもある。以下に、その講演概要を示す。 [阪大 田中和夫]

"Present status of NIF construction and the first experiments"

Otto L. Landen (米国ローレンスリバモア国立研究所)

NIF (National Ignition Facility) は2010年までに1 MJ のレーザーエネルギーで間接照射レーザー核融合の点火を実現することを目的としている。これは現在建設中であるが、ほぼ80%が建設完了している。また、一部のビーム(全192ビーム中の8ビーム)はすでに稼働しており、4ビーム(8 TW/17 kJ/1-9 ns)は間接照射核融合および高エネルギー密度物理の実験に供された。また、光学・X線分光器や結像系が立ち上がっている。初期実験として、間接照射の点火ターゲットに対するSSD(smoothing by spectral dispersion)やPS(polarization smoothing)などのビーム平滑化の影響、ガス注入ホーラム(間接照射容器)中でのビームフィラメンテーションを抑えた伝搬、などが調べられた。ホーラムにおける軟X線輻射温度はこれまでのNova, OMEGA レーザーでのスケールング上によく乗っており、LASNEX シミュレーションとも一致することも確認された。一方、爆縮および宇宙物理に関する流体物理として、高マッハ数の3次元ジェットについても実験がなされた。NIF の建設は順調に進んでおり、上院で議論の俎上にあった本年度予算もほぼ満額が承認された。FY2009年までに建設を終え、FY2010年には最初の核融合点火実証実験を行う予定である。また、その後FY2011年からは高エネルギー密度物理や基礎科学実験にもマシンタイムは供されることとなっている。

[講演担当：阪大 白神宏之]

"Recent Experiment Progress of TIL at CAEP"

Zheng Wanguo (中国綿陽レーザー核融合研究所)

中国は、そのめざましい経済成長をバックに、科学の分野にも極めて力を入れており、その中でもレーザー核融合は国家プロジェクトとして特別に扱っている。SGIII というレーザー装置

が、四川省綿陽市のレーザー核融合研究所で建設完成間近でありその現状が報告された。現在進行中のプロジェクトでは最大のレーザーシステムであり、は、8ビーム、パルス幅3 ns、出力エネルギー20 kJのレーザーシステムで、真新しいビルディングで性能試験が開始されている。100名を越えるスタッフがこの装置の立ち上げに掛かっており、実験チャンバも整備が開始されており、2007年までには実験が開始される。建設にかかる研究者・技術者は、多忙を極めており、建設、性能試験への緊迫感が漂ってくる。実験は、X線による間接爆縮を想定しているが、阪大の高速点火実験の成功を受けて、9番目のレーザービーム(1.2 kJ, 0.5–10 ps)の建設も開始している。光学技術は、すべて国内でまかなっており、特に大口径のレーザーガラスの生産拠点を二カ所確保している。中国は、国家プロジェクトとして、トップダウンの意志決定機構を駆使して綿陽、上海、北京のレーザー核融合研究に関係する研究所の所長らが、頻りに打ち合わせを行い、綿陽のレーザー核融合研究所を中心とする研究体制の効率的な運用を実践している。

[講演担当：阪大 羽原英明]

#### "China's Fusion Energy program"

Xie Jikang (中国科学院プラズマ物理研究所)

中国の原子力利用の長期計画の中に核融合が代替エネルギーの有候補として明確に位置づけられた。これを受けて、国内計画を充実しつつITERなどを通じて国際的にも大きく貢献していくとの方針が出された。すでに中国ITERホームチームが合肥・成都分室として発足し、ITER建設に向けた活動が始まっている。また国際トカマク物理活動(ITPA)にも積極的にかかわっている。中国には中型の超伝導トカマクHT-7(合肥、プラズマ物理研究所)と旧ASDEXを改造したHL-2A(成都、西南物理研究所)がすでに稼働しプラズマの定常化やダイバータの研究が急速に進展している。さらに合肥では、すべて超伝導コイルから構成され、プラズマ電流が1~1.5 MAの相当規模のトカマク装置EASTの建設が最終段階に入り、2006年初頭のプラズマ発生をめざして建設が急ピッチで進んでいる状況が詳しく紹介された。講演会参加者は、中国の磁場核融合研究の急速な進展に、驚きと大きな関心を寄せていた。

[講演担当：核融合研 東井和夫]

#### "The Role of ITER in the Development of Fusion Energy"

D.J.Campbell (ドイツ European Fusion Development Agreement (EFDA))

六極閣僚級会合は去る2005年6月28日、ITERをフランス・カダラッシュに設置することで最終合意し、人類初の核融合実験炉の建設が本格的にスタートした。そこで、本年会の国際招待講演では、EFDAのCampbell氏にITERの最新物理課題を講演いただいた。核融合炉の発電コストを左右するトカマク運転モードや燃焼性能の議論が続いて、実証炉に必要な物理基盤を構築するうえでITERが果たすべき役割りが包括的に紹介された。主要課題として、内部輸送障壁を持つ負磁気シア運転モードの定常化と外部制御、Greenwald限界を越える高いプラズマ密度で標準的なELMyHモードを上回る高閉じ込め性能の実現、 $\alpha$ 粒子駆動不安定性を許容し得る高エネルギー粒子閉じ込めの実現、ディスラプション頻度の低減やELMの特性改善によるプラズマ-壁相互作用の最適化、抵抗壁モード・新古典モードの安定化制御、高自発電流プラ

ズマの外部電流駆動および電流分布制御、などがあげられ、今後の研究指針が明瞭に示されている。

[講演担当：原子力機構 中村幸治]

#### "Impact of Advances in Fusion Physics & Technology on the Attractiveness of Tokamak Power Plants"

Farrokh Najmabadi (Univ.San Diego)

核融合炉の概念設計と解析は、核融合研究が開始された初期の頃から行われており、核融合炉の詳細かつ統合された設計と発電炉概念の評価を通して各種R&Dと共同で、核融合コミュニティへのフィードバックを与え続けてきた。この10年にARIESチーム(米国の大学、国立研究所、企業の合同)は、トカマク、ステラレータ、球状トラス、RFPなどの炉設計を検討してきた。ここでは、商業炉への最優先課題と開発目標を示した。ARIES-ATでのトカマクに関しては、同じ物理と技術をベースにすると定常運転がパルス運転に較べて魅力的である。高い磁場(高温超伝導)を使い、リバースシアモードを使うとFirstStabilityでの運転にドラマティックな効果があることを示した。リバースシア運転では、他の電力源とも競争できるコストになると考えられる。ブランケットに関しては、液体増殖材/液体冷却が、中性子吸収の観点からもっとも魅力的となる。ARIES-STではヘリウムとLiPbによる二重冷却方式としてフェライト鋼を使うことで近未来の核融合炉システムを提案し、熱効率45%を達成することができることを示した。ARIES-ATのブランケット(SiC コンポジット、LiPb冷却)では、59%の変換効率を達成すると同時に核融合炉としての高い安全性と環境適合性を兼ね備えることができる。

[講演担当：核融合研 今川信作]

#### "Self-Organizing Plasmas - new fundamental physics and applications"

Gregor Morfill (ドイツ Max-Planck 宇宙物理学研究所)

「自己組織化するプラズマ-新しい基礎物理と応用」というタイトルで、新しく展開するコンプレックスプラズマの紹介をした。講演では、プラズマ中に存在する微粒子(charged microparticles)は実際に目で見ることができると、プラズマ分布関数を運動論的な観点から初めて観測可能になったことが強調された。コンプレックスプラズマは、外部からの応答によらず自ら自己組織化し流体状となりさらに結晶状にもなる、1994年に発見された新しい「ソフトマター」であること、相転移現象、乱流現象、非ハミルトニアン物理、強結合系物理へと新しい展開が期待されること、さらにプラズマプロセス、核融合、惑星科学、天体物理、プラズマ生体物理、プラズマ医療、環境問題へと応用が拡がりつつあることが報告された。

[講演担当：横浜国大 石原 修]

### ◆シンポジウム

#### I. 核融合炉を魅力的にするプラズマ加熱技術

座長：今井 剛(筑波大)

本シンポジウムは、原型炉、商業炉をめざしたときに、核融合炉の魅力を大きくする加熱技術の開発研究についてその方向性を示すことをめざし開催された。

ITER 工学 R&D により、プラズマ加熱技術は大きく進歩し、MeV 級大電流負イオン NBI, MW 級 CW のミリ波源などが、核融合炉心プラズマを実現する技術として大きく成長した。さらに、これらの技術は、現在の核融合研究にも大きく貢献し、加熱のみならず、プラズマ内部の唯一の直接的な能動制御の役割を担うツールとして展開しようとしている。今井(筑波大)は、タンデムミラーでの ECRH による電位制御を例に加熱装置の革新が新展開の原動力となる例を示した。同様に、今後の加熱技術開発の革新が、核融合炉を魅力的にする。そのヒントとして、まず、岡野(電中研)は、炉設計の立場から、魅力的な核融合炉はなにか、また、それに必要な加熱技術について、循環電力を小さくするために高効率であることが、電流駆動位置を制御できることが、最適化に重要であること提言した。物理的観点から、金子(核融合研)は、制御ツールとしての NBI について、電流駆動はもちろん、回転制御、電場制御、磁場構造制御などの運動量注入、粒子注入に必要な技術として、高収束、高効率、高エネルギービーム源開発を提言した。武藤(核融合研)は、RF 加熱は、分布制御や電場構造制御、不純物制御などにすでに実績があり、さらにその制御性を発展させることが重要であること、また、連続運転が大きな開発課題であることを指摘した。原型炉の加熱装置を開発する観点から、坂本(原子力機構)は、ECH 技術については ITER で開発した技術の延長線上にあり、効率70%、周波数可変のジャイロトロンも夢の技術ではないとの見通しが述べられた。井上(原子力機構)は、NBI について、高効率、連続運転、保守頻度低減が要求される原型炉用 NBI では、1 MeV 超級静電加速器、セシウムフリー・RF 負イオン源が不可欠であるとの提言がなされた。また高効率連続発振可能な半導体レーザーの実用化に伴い、レーザー中性化セルの実現可能性に言及した。

ITER 工学 R&D の成果が現在の核融合装置に大きな発展をもたらそうとしているのと同様に今後の加熱技術の革新的開発研究が、核融合炉を魅力的にしてくれるであろう。ITER での建設、運転でしか得られない総合技術と平行して、バランスのとれた要素技術の開発も重要であり、今回の議論で、このような加熱技術の開発の方向性の一端が垣間見れたのではと感じている。

## II. トーラスプラズマにおける高エネルギー粒子の物理課題

### —ITER 実験の前に取り組む課題を考える—

座長：藤堂 泰 (核融合研)

高速  $\alpha$  粒子の閉じ込めと高速  $\alpha$  粒子によって駆動される不安定性は核燃焼プラズマにおける重要な研究課題である。本シンポジウムでは、この分野のこれまでの研究成果と今後 ITER 実験前に取り組む課題について、JT-60U での実験(篠原, 原子力機構)、LHD・CHS での実験(東井, 核融合研)、アルヴェン固有モード解析と統合コード(福山, 京大)、シミュレーション(藤堂, 核融合研)の4件の講演に加えて活発な議論が行われた。

これまでに JT-60U と LHD・CHS で NBI または ICRF による高速イオンを用いた実験が行われ、質・量ともに世界のトップレベルの成果が挙げられている。多くの種類のアルヴェン固有モード(AE)が観測されており、中でも JT-60U における負磁気シアアルヴェン固有モード(RSAE)と LHD におけるヘリカルアルヴェン固有モード(HAE)はそれぞれ日本の理論家が予言していたものであり、日本の理論と実験の連携の成果と言える。JT-60U にお

る速い周波数掃引モードに関するシミュレーションも行われている。JT-60U, LHD・CHS において高速イオン輸送・損失に関する先進的な計測が行われている。高速イオンによる AE 不安定化機構は共鳴なので、輸送される粒子は位相空間において局在するはずであり、これらの計測はそのことを裏付けている。高速イオンの輸送・損失機構を理解するためには実験と理論・シミュレーションの詳細な比較が重要であり、そのためには不安定モードの空間分布と振幅の計測が必要である。LHD におけるモード空間分布計測が報告されたが、今後さらに推進していくことが必要と思われる。AE の安定性を理解するためには、AE の減衰率の研究が重要であることが実験・理論の双方から指摘された。実験からは CHS において外部アンテナを用いて励起した AE の減衰率測定が報告された。AE 減衰率の理論計算においては、熱イオン有限ラーモア半径効果等の微視的效果と周辺プラズマ領域での密度勾配さらには真空領域での場を考慮する必要がある。これらが今後の重要な課題である。また、ITER の  $\alpha$  粒子と高速イオンの速度空間分布および軌道幅も AE 安定性に強い影響を与えるので、実験・理論の双方において十分に注意する必要がある。さらに、ITER における AE 安定性を調べるためにはプラズマ全体の分布を予測する必要があり、そのためには TASK コードなどの統合コードの開発とそれらを用いた研究が不可欠である。同時に輸送機構などの物理的理解が ITER における高エネルギー粒子の挙動予測をめざす上でも重要であることは共通の認識であるように思われる。提示された課題の中で、AE と ITB 形成の相関の研究、 $\alpha$  粒子による AE を介した熱イオンの加熱、が特に印象的であった。この分野では周波数掃引などの学術的にも興味深い現象が発見されており、他の研究分野への学術的発信も重要であろう。

## III. 核融合プラズマにおける周辺プラズマ揺動の物理と観測

座長：鎌田 裕 (原子力機構)

本シンポジウムは、周辺プラズマ構造の決定因子である静電・電磁揺動の物理と観測手法を議論すべく、核融合フォーラム周辺ベデスタル物理サブクラスターから提案された。聴衆は約80名程度であった。まず、鎌田(原子力機構)が、「燃焼性能の向上」及び「ダイバータへの熱流低減」という ITER の最も重要な2要素の鍵を握るのが周辺ベデスタル部の構造であり、そこではプラズマ諸量の自律的相関の下で出現する静電・電磁揺動が中心的な役割を担っていることを述べた。次に、井戸(核融合研)が、JFT-2M での重イオンビームプローブを用いた周辺電位及び密度揺動の同時計測によって、帯状流の一種である GAM 振動の観測に成功し、乱流土士の非線形結合や、GAM と同期した背景揺動の変調とその結果としての粒子束の変調を観測したことを述べた。続いて、松本(原子力機構)が、電子温度勾配駆動モードの長時間シミュレーションによる揺動の統計的特性を報告した。揺動のフラクタル次元が乱流構造及び帯状流強度を反映すること、熱流束の確率密度関数が相似性を持つこと等を述べた。次に、大野(名大)が、JT-60U での静電プローブ計測を報告した。イオン飽和電流および浮遊電位に見られる間欠的・非拡散的な輸送(Blob)が、特徴的な位置や磁力線方向のプラズマ流と相関すること、この現象が閉じ込め配位に依らない普遍的現象であることを述べた。次に、門(東大)が、CHS でのビーム放射分光計測により、高調波を伴うコヒーレントな揺動が周辺輸送障壁部に局在し、有理面付近の密度勾配

があるレベルに到達すると揺動が成長することを報告した。次に、神谷(原子力機構)が、コヒーレントな磁場揺動が観測される HRS-H モード (JFT-2M) は規格化衝突度  $\nu$  が 1 以上の領域に、EHO と呼ばれる周辺局在化した磁場揺動を伴う QH モード (JT-60) は  $\nu \leq 0.1$  の領域にあることを述べた。以上を題材に、会場を交えた議論を行なった。ポロイダルおよびトロイダル方向の相関計測や局所磁場揺動の計測等の重要性、揺動解析手法の進展や自律系における揺動の発展過程の理解の重要性が指摘された。

#### IV. JT-60/LHD での高性能プラズマの定常化研究

座長：小川雄一(東大)

トカマクやヘリカルなどのトロイダル系核融合炉心プラズマ研究において、「高性能プラズマの定常化」は核融合炉実現に向けて非常に重要な項目として高い関心が持たれている。ここでは JT-60 と LHD での総合性能研究と粒子制御研究を中心として、両装置における高性能プラズマの定常化に関する研究の最前線を紹介し、トロイダル系における共通性・相補性を議論するとともに、将来の核融合炉に向けた開発目標や課題抽出について議論した。井手(原子力機構)から JT-60U における高性能プラズマの定常化研究について講演があった。JT-60U では、各種パラメータ(高ベータ、高自発電流、高閉じ込め等)の向上をふまえ、近年は ITER あるいは定常炉で想定されるような高性能プラズマの長時間維持に力を入れている。長時間化に向けては、非線形/複雑系であるプラズマを如何に制御していくかが重要になるとの指摘があった。中村(核融合研)から、LHD における高性能プラズマ定常化研究の進展について講演があった。LHD で達成されている 30 分以上の定常プラズマ放電に関して、ダイバータプラズマの定常化という点を強調しながら、ヘリカルダイバータ熱負荷の特徴とパワーバランスなどを中心とした報告があった。定常化研究における技術開発と運転経験の蓄積が非常に重要であることが強く指摘された。竹永(原子力機構)は、JT-60U における高性能プラズマの定常化に向けた粒子制御研究について紹介した。高性能プラズマの定常化のためには、ダイバータ板・第一壁における粒子吸蔵等のプラズマ壁相互作用の長時間スケール変化のもとでのリサイクリング粒子の制御、ダイバータ板への熱負荷低減のための不純物制御等が重要である。さらに長時間スケールにおいては、ダイバータ板・第一壁の損耗・再堆積、トリチウムリテンションの低減等が重要な研究項目である、との指摘がなされた。森崎(核融合研)からは、LHD における周辺粒子制御について報告があった。LHD では開構造のヘリカルダイバータ (HD) と、強力な周辺制御能力を有する LID、という二つの異なるコンセプトのダイバータ研究が推進されている。LID でのベレット実験では尖頭化した密度分布が得られている。このことから、中心粒子補給とダイバータによる強力な周辺排気の組み合わせが、高性能プラズマの閉じ込めにきわめて有効であり、HD の閉構造化を進める必要性が強調された。なお座長より事前に、(i)ITER に向けた研究としての視点、(ii)核融合炉に向けた研究としての視点、(iii)学術的・技術的な視点からの質問が各講演者に投げかけられた。これに対して、それぞれの講演者からは、今までの研究成果を踏まえた建設的な回答が披露され、有意義な議論ができたと言えよう。

#### V. 全日本 ST 研究計画—日本独自の ST 研究の進め方と将来展望

座長：小野 靖(東大)

座長による趣旨説明の後、以下の 4 つの講演が行われた。

- (1)全日本 ST 研究計画(高瀬, 東大)：核融合研双方向共同研究の最初の試みとして発足した全日本 ST 研究計画の概要が示された。一極集中ではなく、超高ベータと長パルスに各々特化した 2 つの中型実験を用いて、NSTX や MAST 等の大型実験にはない大学らしい特徴ある研究を展開する旨の紹介があった。
- (2)九州大学 ST 計画(佐藤, 九大)：九州大学に新設する境界力学実験装置 QUEST の概要が示された。低ベータながら高周波により超長パルス運転を行い、ダイバータやプラズマ壁相互作用を検証する旨、またベータ 10% 程度の 300kA クラスのパルス運転も計画したい旨の紹介があった。
- (3)炉設計からみた球状トカマク研究の重要性(飛田, 原子力機構)：炉工学の立場から見た球状トカマクの将来性、特に高ベータの功罪について紹介があった。高ベータ閉じ込めや密度限界などコンパクト炉実現に適した特性を持つものの、除熱技術の進歩が不可欠であること、2GW 以下の低出力炉をめざす可能性などが示された。
- (4)学術からみた球状トカマク研究への期待(岸本, 京大)：学術面から見た興味ある ST 研究の課題について紹介があった。通常のとカマクと異なり、幅広い第 2 安定領域の存在や高ベータ・高閉じ込めの両立、プラズマ流と径方向電場が共存した二流体平衡、揺らぎの非線形過程などの新しい物理開拓への期待が示された。

各講演後それぞれのトピックについて議論を行った他、総合討論の時間を利用して、計画全体について会場の参加者と活発な意見交換を行った。通常、ST の場合には高ベータ状態でブートストラップ電流による電流駆動を考えるが、なぜ低ベータの長時間電流駆動を行うのかとの質問に対しては、高ベータと長時間駆動の両立をめざせるのは NSTX, MAST 等、最大クラスの ST 実験のみで、今回、限られた予算で国際的に注目される実験を行うには、高ベータだが短パルス、低ベータだが長パルスの 2 方向をめざすのが賢明であるとの説明があった。また、2 台の ST 実験装置を新設するのかとの質問に対しては、既存、新設の 2 台を有効利用して最大の成果を上げる研究計画をたてる旨の回答があった。装置新設に関わる意思決定プロセスの公開についても質問があり、委員会ごとに情報を公開している旨の回答があった。

#### VI. 微小重力におけるコンプレックスプラズマ

座長：石原 修(横浜国大)

プラズマ中の微粒子は、クーロン相互作用が大きく、自由な運動が束縛され強結合状態を形成する。微粒子とそれを含むプラズマはコンプレックスプラズマと呼ばれている。ミクロンサイズの微粒子は重力の効果を受け、実験室でプラズマ中に浮遊させなければならない。観測には技術上の問題を伴っていた。地上研究では、微粒子がクーロン結晶を形成することが確認されているが、重力の影響を受けるため、二次元構造や体心正方格子などの三次元構造は形成されるが、クーロンエネルギーが最小となる体心立方格子を形成するには至らない。また三次元構造においても重力の影響により格子間隔が下方へ向かうほど短くなることが明らかとなっている。そこで微小重力でのクーロン結晶が注目され、実験

が行われるようになってきている。これまで落下施設や航空機の自由落下を利用して行われた微小重力実験では、イオン粘性力により微粒子はプラズマの周辺部に押しやられ、シースで発生するイオンの流れの方向に並んでしまうと予想されなかった現象が報告されている。初期の予想に反して、体心立方格子の形成にはいたらなかったのである。林(京大工繊大)は微粒子プラズマ結晶の放射状に並ぶ様子を報告し、飯塚(東北大)は時間平均微粒子駆動法による微粒子操作により、ボイドを含まない球状微粒子雲形成について報告した。一方、三重野(静大)は対流効果を押さえることにより、等方的な炭素クラスター生成を論じ、足立(JAXA)は宇宙環境利用科学委員会の活動を紹介します。JAXAにおける微粒子プラズマ実験の紹介をした。最後に Morfill(マックスプランク研究所)が無重力下のコンプレックスプラズマ実験について、ESA(European Space Agency)の活動、独露共同のPK(プラズマクリスタル)実験について紹介した。

## VII. 高エネルギー密度プラズマデバイスのプロローグ～医療、核融合科学から宇宙に役立つエキゾチックデバイス～

座長：加藤義章(原子力機構)

高出力レーザーで得られる高いエネルギー密度状態のプラズマの応用が様々な分野において期待されている。高密度プラズマをデバイスとして位置づけることができれば、学術、産業、医療に大きなインパクトを与える可能性がある。本シンポジウムでは、以下の報告をもとに、この高エネルギー密度プラズマをデバイスとして位置づけることの意義や今後の発展性について議論を行うことが目的であった。以下各パネラーからの報告を記す。

「高エネルギープラズマデバイスとは」(兒玉, 阪大院工) 高エネルギー密度状態を直接制御する最も有効な手段は、高いエネルギー密度の粒子ビームや高強度光を高エネルギー密度プラズマで制御することである。これを可能とするプラズマフォトリックデバイスの概念と定義が示され、さらにいくつかの例についてその機能と将来性が示された。「プラズマ波を利用したプラズマフォトリクス」(河内, 原子力機構)ではレーザープラズマを利用した小型コヒーレントX線源による物性研究への展開とプラズマ波を利用したデバイスの重要性に関する報告があった。従来の大型コヒーレントX線源に比べ小型かつ短パルス性、高輝度性の重要性が示された。さらにコントラストを上げる方法としてプラズマ波を利用したプラズマデバイスの例が示された。「レーザー制御プラズマフォトリックデバイス」(米田, 電通大レーザー) 極短パルス高強度レーザーで精製できる固体プラズマ中間体(WDM: Warm dense matter)は温度、密度の違いで導電率、誘電率が大きく変化する性質を持つ。この特性を生かすことで従来の固体を用いた半導体素子に比べはるかに高いエネルギー密度での半導体としての動作や情報処理、光制御の可能性が示された。「ビームエネルギー変換プラズマデバイスによる加速粒子・放射線」(上坂, 東大院工)ではレーザープラズマを利用した粒子ビーム、X線は時間分解能(短パルス性)、時間ジッター安定性の点で従来の粒子ビームに比べ優れた機能を有しており、放射線化学や放射線医療の分野における可能性と将来性が示された。例えばドラッグデリバリーとの組み合わせで、高い精度のピンポイント治療や医療システムの飛躍的なダウンサイズの可能性が示された。「エネルギー変換デバイスとしてのレーザー核融合」(白神, 阪大レーザー)レー

ザー核融合炉心プラズマは、エネルギー密度を空間、時間的に集中させる機能を有したプラズマデバイスとして位置づけることができる。将来の発電炉を考えると炉心プラズマはデバイスとしての安定性と信頼性が要求される。そのために、エネルギー輸送を利用した制御法が示された。

これらの報告を受けて、会場、パネラーとで活発な議論があった。高エネルギー密度プラズマデバイスの発展性を考慮したとき、他のデバイス、システムとの結合性やポータビリティの重要性が指摘され議論された。高エネルギー密度プラズマデバイスによりシステムサイズや、コストの飛躍的な低減が期待できる。またデバイスとして発展させるために今後、幅広い分野との交流、他分野への説明等による応用の可能性を広げる必要性が議論された。さらに高エネルギー密度状態の科学に関する教育について議論があった。高エネルギー密度プラズマを利用する応用物理学的な教育が十分ではなく今後学会としても取り上げてほしい。これによりプラズマ分野の広がりも期待できる。

[報告：阪大 兒玉了祐]

## VIII. ITERにおける中性子計測/ $\alpha$ 粒子計測—物理研究と工学的側面から

座長：草間義紀(原子力機構)

まず、笹尾(東北大)が、高精度・高信頼性の測定を実現することが、学術的理解と評価の進展及び装置の安全確保と炉心制御につながるのみならず、発電実証炉での炉計装へ基盤の形成することが、「ITERにおける中性子/ $\alpha$ 粒子計測の概要とその使命」であると述べた。炉心としての総合性能を把握するとともに、物理研究および炉工学研究のための計測を実現できるかという視点から、現在検討されているITERの中性子計測および $\alpha$ 粒子計測について、ある程度見通しが立っている装置がある一方、様々な課題を抱えている計測装置もあると研究開発の現状を紹介した。

井口(名大)は、「核融合出力をいかに正確に測るか—工学的側面から」との視点から、ITERの中性子発生率測定に関して、現状で達成可能な測定精度およびその改善策について述べた。この測定精度は、中性子束モニタの性能とその場較正実験により決まるが、真空容器外中性子束モニタ(日本側提案)とダイバータ部中性子束モニタ(ロシア側提案)について、較正精度の評価例を紹介した。その結果、概ね当面の目標精度(DD運転時 $\sim 20\%$ 、DT運転時 $\sim 10\%$ )を達成し得るが、より強力な較正用DD/DT中性子源の開発、その場較正実験を補正するためのITER中性子輸送計算モデルの最適化、中性子発生分布/スペクトル測定情報の活用等により、さらなる測定精度の改善が見込まれることを示唆した。また、複数の中性子発生率モニタを用いた運転中での相互較正方法と効率的なトレーサビリティ手法の確立も今後の課題として指摘された。西谷(原子力機構)が、「中性子計測開発の最前線」として、ITERにおける中性子計測に対する要求事項と中性子発生率測定の概要について述べた後、マイクロフィッションチェンバーを用いたITER真空容器内中性子モニタの設計と開発、高速応答・高計数率をめざした平行平板なだれ検出器の開発、デジタル波形処理によるシンチレーション中性子検出器の高計数率化、水ループを利用した連続サンプリング放射化測定法の開発に関し、最前線での研究開発の状況と今後の計画について述べた。デジタル波



形処理による中性子-ガンマ線の弁別方法に関して、実時間での処理の可能性について議論された。磯部(核融合研)が、「損失 $\alpha$ 粒子計測開発とその使命」と題して、燃焼プラズマにおける $\alpha$ 粒子物理課題( $\alpha$ 粒子による不安定性の励起とそれとの相互作用による $\alpha$ 粒子損失の解明)並びに閉じ込められた $\alpha$ 粒子計測及び損失 $\alpha$ 粒子計測の必要性和役割について述べた。次に、具体的な計測装置の候補として、前者については能動的荷電交換粒子測定、ガンマ線2次元計測、集団トムソン散乱計測、 $\alpha$ 粒子との衝突による高エネルギーイオンのテイル測定、後者についてはシンチレータプローブ、ファラデーカップ、遠赤外カメラに関して、研究開発の状況や課題について述べた。高照射領域でのセラミックシンチレータの温度対発光効率に関して、照射による温度上昇の影響を分離した測定が必要であるとのコメントがあった。最後に、笹尾が、ITERの建設開始を目前にして核融合プラズマ計測の新しい分野が切り開かれ今後ますます活発になると予想されるとこのシンポジウムをまとめた。

このシンポジウムは、最終日、最後のセッションでの開催であったが、ITERを担うと考えられる大学院生および若手研究者の多数の参加があったことが非常に印象的であった。

#### ◆インフォーマルミーティング

##### I. 国際トカマク物理活動(ITPA)および物理クラスターの概要と今後の課題

世話人: 高村秀一(名大), 二宮博正(原子力機構)

本ミーティングは、国際トカマク物理活動(ITPA)およびその国内活動基盤である核融合フォーラム物理クラスターの活動について議論することを目的としたものである。学会初日の夜、18時55分頃からの開催となったが、50人弱の参加者があった。例年はITPAの各トピカルグループの活動等を報告して議論をする形式としていたが、今回はITERの建設が始まる状況下で、ITPAおよびプラズマ物理クラスターの活動の現状を踏まえつつ、ITER建設期においてITPAやプラズマ物理クラスターの活動をどう進めるかの議論に重きが置かれた。本年度のITPA各トピカル物理グループ会合への我が国からの参加状況や今後の予定、第7回政府間協議で合意された建設期における物理活動の運営体制の紹介、燃焼プラズマ研究に対する米国やEUの主要課題設定やその取り組みの報告を参考に議論が進められた。米国やEUに比べ我が国全体としての取り組みが遅れているモデリングに関しては、関連するサブクラスターの合同会合で対応を議論することとした。物理活動において責任ある立場を確保し、建設期での実験提案を行うために、予算や枠組みに関するフォーラムとしての主張を明確にする事が重要との意見が出された。また、建設期における物理活動の運営体制においては責任が伴うタスク的な活動が増加するとの予想が示された。本活動と並行してITPAを継続すべきという意見は特に出されなかったが、引き続き国内での議論が重要と思われる。これらの事項に関しては物理クラスター幹事会でも議論することとした。

##### II. 九大の新計画「長時間球状トカマクの研究」

世話人: 佐藤浩之助(九大)

表記会合が、11月29日(火)18時45分~20時15分で実施された。聴衆は20~30名ではあったが、新しい装置の内容について活発な議

論が行なわれた。まず、世話人の佐藤(九大)よりインフォーマルミーティング開催の経緯と趣旨が簡単に紹介され、また、今計画に密接に関連したシンポジウム(全日本ST研究計画-日本独自のST研究の進め方と将来展望)が同学会で12月1日に開催される予定であることが紹介された。講演は、最初に花田(九大)から装置概要説明があり、実験目的と装置の概要、目的と装置仕様の関連、計画のスケジュールが示された。計画としては平成17年度に建設を開始し、実験を平成20年度に開始予定であることや、装置規模は $R \sim 0.6$  m,  $a \sim 0.4$  mでMASTやNSTXよりもひとまわり小さいが、定常運転が可能な設計であることが示された。坂本(九大)から真空容器と内蔵物に関する説明があり、意図的高温壁の意義とトリウムや他の装置での定常実験との関連が説明された。高温壁を形成するための加熱、冷却技術の点に工夫が必要であり、また、粒子排気に関して排気性能と粒子圧縮の目標について説明があった。中村(九大)から垂直不安定性とプラズマパラメータの変動時に関連して真空容器内のスタビライザーと電源について説明があり、現在設計中のスタビライザーと既設電源の組み合わせで安定な制御が期待できることが示された。また、センターソレノイドコイルの性能が説明され、300 kAのプラズマ電流の立ち上げが可能であることが示された。関子(九大)より、ダイバータの設計に関する説明がなされ、ダイバータコイルの2分割化とセンタースタックの3分割化によってダイバータ部とコア部を独立制御できることが示された。また、単一ノルム点配位時にセンタースタックへ直接大きな熱流が入らないためのセンタースタックとプラズマ間のギャップが50 mm程度とれていることが示された。出射(九大)より定常プラズマ維持に不可欠な非誘導電流駆動について説明があり、NBCD, LHCD, EBWCD, BS電流について評価された。NBCDでは定常NBI装置が必要であるが40 keV/2 MWで140 kAの電流が期待できることとEBWCDでは実績に乏しいが100 kA定常電流は十分に期待できることが示された。

##### III. APFA(アジアプラズマ・核融合協会)

世話人: 岡村昇一(核融合研)

この会合の目的は以下に述べるような問題意識に基づいて開催された。ITERの実験が始まるまでのこしばらくの間、最新の装置によるすべてのトカマク実験はアジアにおける研究である。その意味において、今アジアは世界の核融合をリードできる絶好の位置にいると考えられる。しかしながら先日のITERサイトに関する交渉経過を見ても、アジアが一丸となって世界をリードするという機運が生まれている状況とは言えない。一方ではここ10年程の間に、核融合関連分野における日本とアジアとの連携・協力関係は多くの枠組みで進行している。学会ではアジア・プラズマ核融合協会(APFA)の活動を基盤として、アジアとの連携を強化する努力を続けているが、それぞれの枠組みでの活動の間の横の連携をできるだけスムーズにするような活動を進めたい。今回のインフォーマルミーティングでは、現在進行中のいくつかのアジアとの連携協力を見直した上で、今後の共通の活動方針を議論する。活動報告としては以下のような7件の発表があった。(1)日中拠点大学交流(渡利, 核融合研), (2)日韓拠点大学交流(香山, 京大), (2)炉工学関係日中ワークショップ(香山, 京大), (4)日韓核融合協力事業(小森, 核融合研), (5)原子力機構関係: 日中, 日韓(木村, 原子力機構), (6) APPTC(堀内, 核融合研), (7)アジアにおける物

理学分野協力（高部，阪大）．発表の資料は学会のホームページに掲載されていますので，詳細についてはそれをご参照ください．それぞれの活動は，資金的サポートや歴史的な経緯の違いなどがあるものの，いくつかのケースでは合同の活動としての実績や，資金の面での協力関係などがすでに存在していることが報告された．しかしながら，これらの多くの活動について，関係者が同じ場に会して紹介し議論した機会はこれまでにはなく，お互いの情報

交換という意味でも共通の議論の第一歩は踏み出せたと思われる．年会の招待講演者である，中国の Dr. Jikang Xie 氏にも参加していただき，今後のアジア地域での核融合研究の協力活動の具体的な提案なども話していただいた．学会としての今後の活動としては，APFA のホームページを立ち上げること，またアジア地域での夏の学校の開催を計画していること，などが紹介された．

### 学会賞候補者の募集について

第14回『論文賞』，第11回『技術進歩賞』，第5回『産業技術賞』，第11回『学術奨励賞』（飯吉厚夫特別賞）の募集を開始いたします．募集についての詳しい内容は学会 Web (<http://www.jspf.or.jp/membership/award/kouho06.html/>) にアップしておりますので，ぜひごらんください．

**募集期限：2006年5月31日(水) 学会事務局必着**