



## 本会記事

### ■会議報告

#### 第3回核融合エネルギー連合講演会 「21世紀が求めるエネルギー」

開催日：2000年6月12日(月)、13日(火)

場所：中部大学(愛知県春日井市松本町1200)

第3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

核融合研究開発はここ数年、世界的に大きく進展しつつあり、次のステップに進むべき科学的、技術的基盤が整って来ております。その中でエネルギー研究開発としての核融合炉への取り組みがますます重要になっています。

このような認識のもと、「核融合エネルギー連合講演会」は、日本原子力学会とプラズマ・核融合学会の主催により、エネルギー研究開発としての核融合について、今後の研究開発の方向に関する検討と、研究成果の討議を目的として、その第1回が1995(平成7)年12月に、第2回が1998(平成10)年6月に開催されました。西暦2000年という記念すべき年に開催されます。第3回核融合エネルギー連合講演会では、「21世紀が求めるエネルギー」を副題に掲げました。21世紀のエネルギー源として多様な選択肢が考えられるなか、核融合がエネルギー源の一つとなる状況を客観的に分析しつつ、そのために核融合炉が具備すべき要件を検討し、それを踏まえて、現状の理解とともに、今後の研究開発項目を明らかにすることを目的としました。また、国際熱核融合実験炉(ITER)を、エネルギー開発との関係で議論しようとしたのも特徴であります。もちろん、核融合研究には開発という側面だけでなく、科学および技術の未知の分野を切り拓いていく学術的な側面も極めて重要であります。さらに、産・官・学の連携と、21世紀を担う若手研究者の育成の重要性は周知のことです。また、今回の連合講演会においては、ここで検討議論された成果を核融合コミュニティ以外にも広く発信することに留意いたしました。

このような観点のもとづき、組織委員会、プログラム委員会を中心として、運営方針、プログラム構成が検討されました。すなわち、高い見知りの招待講演、ITERの現状と展望についての客観的な認識、シンポジウム方式による「21世紀のエネルギー選択」、「炉工学開発の現状と展望」、「学術研究としての新しい展開」についての深い認識、パネル討論「21世紀の核融合エネルギーの展望」による副題の特化、特別講演による、炉心プラズマ研究、レーザー核融合研究の進展理解、およびポスターによる一般講演です。また、若手による優秀なポスター発表については研究者育成の観点より優秀賞を与えるとともに、特に外向きを意識した報告書を学会への報告書とは別に作成することにいたしました。(田中 知)

##### 1.2 実施概要

核融合エネルギー連合講演会の開催主担当学会としては、日本原子力学会およびプラズマ・核融合学会の両学会が交互にその任務にあたるのが承諾されていることから、第3回の開催は、日本原子力学会が主担当となり、プラズマ・核融合学会が

全面的に協力する形で進められた。組織委員会委員長に田中 知(東大)日本原子力学会核融合工学部会長、副委員長に井上信幸(京大)プラズマ・核融合学会会長があたり、組織委員会には他23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なわれ、香山 晃(京大)日本原子力学会核融合工学部副会長が実行委員長にあたり、伊藤智之(九大)プラズマ・核融合学会副会長が副委員長、木村晃彦(京大)幹事、山口憲司(東大)幹事、廣岡慶彦(核融合研)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：飯尾俊二(東工大)、副委員長：若谷誠宏(京大)、幹事：鎌田 裕(原研)他委員30名)、財務委員会(委員長：川添裕一(三菱電機)、他委員6名)現地実行委員会(委員長：本島 修(核融合研)、幹事：岡島茂樹(中部大)、室賀健夫(核融合研)他委員19名)が組織された。

共催と後援については、高温学会、日本鉄鋼協会および腐食防食協会の3学会を新たに加えた14学協会(エネルギー・資源学会、応用物理学会、高温学会、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、日本鉄鋼協会、日本物理学会、日本放射線影響学会、腐食防食協会、溶接学会、レーザー学会)より共催、ならびに12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、日本電線工業会、Fusion Forum 懇談会、未来エネルギー研究協会、中部大学)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、前回同様、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。

会場の中部大学は、名古屋の郊外、愛知県春日井市の住宅街に位置し、約7,000人の学生が通う広々とした美しいキャンパスを擁し、連合講演会を行うには絶好のコンディションであった。主会場のメモリアルホールには最新の設備が整備され、十分なスペースが確保されたポスター会場、学生の行き来する中心部に位置するガラス張りの明るい展示会場など、若干分散していたことを除けば文句のつけようがない恵まれた環境であった。現地の対応は、本島 修現地実行委員長の下、中部大学の岡島茂樹教授をはじめとする現地スタッフを中心に、核融合科学研究所と名古屋大学のメンバーの協力で、綿密な準備と心配りにより極めてスムーズにとりおこなわれた。

会場集計では総参加者数416人、内学生99人であった。約100名の学生が参加したことは、大変有意義であったと思われる。学生以外にも若手の参加者が多かったというのが受付、会場での印象であった。(木村晃彦、室賀健夫)

##### 1.3 プログラム編成

プログラム編成にあたったプログラム委員会の基本的な考え方を以下に記す。

本連合講演会は、これまでの核融合研究開発の総括と21世紀に向けた展望を議論するものであるが、各学会の年会とは趣きを変え、全体として、わが国が先導する科学のすばらしさを強調

しつつも、核融合開発が持つ様々な課題や、それに対して向けられる批判を正しく認識し、今後の研究開発の在り方を議論することを目的とした。対象は、核融合研究者に限られたものではなく、原子力やエネルギー関係、あるいは、より広いコミュニティであり、核融合が「21世紀が求めるエネルギー」として現実的な視野に入ることを社会にアピールする場とした。第1日目は、21世紀における核融合研究開発の位置付けを、第2日目は、現在の達成度と課題(これまでの総括)を明らかにすることを狙った構成とした。この2日間を通じて、核融合研究開発の課題を真摯に議論して研究者の問題意識の共有を図るとともに、若手研究者にはその士気を鼓舞し、学生にはあこがれを感じてもらい、また、一般の方々には信頼性を抱いていただくようにしたいと考えた。

以上の基本的考えの下に、第1日目は、招待講演「また狼と言わないこと」で、核融合研究開発が解決すべき課題を提示し、続く特別講演「ITERの現状と展望」で、核融合界が考える次の大きなステップを紹介した。これら冒頭の2講演により、聴衆の問題意識を喚起するとともに、現在の研究開発段階を確認した。その後、シンポジウム「21世紀のエネルギー選択」において、エネルギー生産に関する社会的要請の一般論と、他のエネルギー源(太陽光、原子力、化石エネルギー)を扱った。これを受けて、パネル討論「21世紀の核融合エネルギーの展望」で核融合開発の進み道を議論した。現在、核融合界が考えている研究開発のマスタプランを示し、その技術的実現性を示すとともに、課題を提示した。また、核融合炉の安全性について、運転、トリチウム、放射化物(含廃炉)等を吟味、核融合炉の安全性評価指針を論じた。さらに経済性、資源、環境等、電源としての核融合炉の特徴を議論した。加えて、核融合研究コミュニティの一步外から意見を伺った。一つは、電力業界からの視点に立ち、核融合研究開発体制に望まれる姿を議論していただいた。いま一つは、視点を国際社会に置き、核融合開発の国際情勢や経過の分析に基づいて、ITERの推進体制に望まれる姿を議論していただいた。わが国が主導的立場を担う研究開発分野として、日本の役割をどう考えるか、参加者の意識を喚起するように努めた。さらに、パネル討論会は会場を交えた議論に時間を割くように心がけた。

第2日目は、トカマク系、ヘリカル系、およびレーザー核融合研究の進展を扱う3件の特別講演を行った。続くシンポジウム「炉工学開発の現状と展望」では、総合工学としての核融合炉工学の進め方についての議論に続き、特に材料、トリチウム、超伝導コイルの開発に焦点を当てた。これらにより、炉心プラズマ研究および炉工学研究技術開発のこれまでの総括を行うと同時に、残された課題を明らかにした。さらに、巨大プロジェクトと学術研究とのバランスが今後の研究の在り方についての重要な視点であることから、シンポジウム「学術研究としての新しい展開」を設定した。今回は、高強度レーザーによる宇宙物理、磁気リコネクション研究、プロトン導電性固体開発、照射損傷素過程の分子動力学研究を取り上げた。

ポスターセッションに関しては、全体を10の専門分野に分けた。同じ専門分野の発表を2日のポスターセッションに分散し、専門家同士が十分な議論ができるように配慮した。

(鎌田 裕)

#### 1.4 来賓挨拶

産・官・学より、4名の来賓の方々から次のような励ましと期待をこめたご挨拶をいただいた。

科学技術庁の中沢佐市官房審議官は、原子力長計に於ける核

融合開発研究の位置づけに触れ、核融合が加速器および原子炉の技術革新と並ぶ、未来を拓く先端的開発研究であることを述べ、ITER国際共同研究における我国の先導的役割の重要性を指摘するとともに、一方で、国政を司る立場として、巨大プロジェクトである核融合研究に対する国民・社会の理解を得ることの大切さを強調した。

文部省の清木孝悦学術国際局研究機関課長は、研究開発段階における核融合においては多様な学術開発が必要であり、科技庁と文部省の統合に向け、互いの連携協力と十分な協議が今後ますます重要になることを述べ、そのような状況下において本連合講演会が開催されることの意義の深さを指摘した。

中部地区産業界からの代表として小原敏人中部経済連合会副会長は、原子力発電から核融合に至る原子力エネルギー政策が国民の合意の下に進められるべきであると説き、世界をリードすると言われていた我国の核融合開発研究において真の意味での国際的リーダーシップの発揮と核融合炉の早期実現に対する強い期待を述べた。

開催地となった中部大学からは、前核融合科学研究所長である飯吉厚夫学長が挨拶し、エネルギーの長期安定供給は21世紀におけるわが国の基盤となるものであり、核融合科学技術の応用が期待されているものの、社会的情勢は厳しく、核融合技術の安全性、経済性、社会的受容性をさらに拡大するための努力が今後ますます必要であると強調した。また、若い世代に与え続ける夢や希望、それらの実現に向けた真摯かつ積極的な姿勢が重要であると述べた。

(木村晃彦)

## 2. 招待講演「また狼と言わないこと」

参議院議員 有馬朗人

核融合の実現が遠くないといわれて久しく、多くの予算を使ってきたにもかかわらず実現の時期は何度も先伸ばしされてきている。「また狼が来たとは言わないこと」が重要であると話の口火を切られた。まず、「巨大科学・技術に関する信頼を回復しようではないか」とし、ロケット、JCO、地震予知など失敗例やSPRING8やスーパーカミオカンデのニュートリノの計測等の成功例も示された。巨額の予算を使ってきた巨大科学には適切な自己点検・評価や外部評価も必要であり、努力は認められるが依然として評価は甘い、1975年以降で原研は6,000億円、文部省関係で2,450億円近くを使った、「これだけ使っているのだから発電くらいはしてほしい」と続けられた。

エネルギーについても将来予測の不確実性や新規エネルギー源(再生可能エネルギー)に対する安易な期待感等についての実例や原子力や核融合への期待が薄れた原因を示し、科学技術の面で日本がもっと新しいものを獲得する必要があり、「大学よ、研究所よ、もっと重要な特許(国際)を出しなさい」と激励された。

日本が世界の核融合開発において先頭を切っていることは喜ばしいが、世界の状況は複雑である。「ITERのような大規模国際協力を日本が主導できるだろうか?」との問いに答える必要がある。「是非、若者が惹きつけられるものにして欲しい」し、確実に進めることが重要である。

来2001年には文部科学省へと合併が行われるが両者の文化の違いをうまく活かしよい結果を生み出して欲しい。ITERの推進においては若手の養成も重要課題であり、国分寺型(ひとつの大きなものと各地にそれなりの規模のものを作る)での展開が望まれる。核融合開発は成功すれば人類にとってすばらしいこと

であり、「若者に夢を与えていただきたい」と結ばれた。

(香山 晃)

### 3. 特別講演

#### (1)「ITERの現状と展望」

日本原子力研究所 岸本 浩

ITER (国際熱核融合実験炉) 計画は1985年冷戦下で始まり、日・米・EU・露の4極で進められてきた。1992年から始まったEDA (工学設計活動) における最大の課題は誘導電流のみによるパルス運転を基本とするか非誘導電流駆動を取り入れた定常運転をめざすかであった。当初、日本の提案した後者の方式は取り上げられず、結果として装置の大型化とコストの上昇をもたらした。EDAの最終局面(1997年)で我が国は後者の概念の導入を基本とするコンパクトITERへの転換を提案しコストが従来のITERの約半分になるコンパクトITER (ITER-FEAT) の実現をめざし3年間のEDA延長が行われた。EDAでは工学および物理R&Dの著しい進展が達成され、これらはITER-FEATに生かされようとしている。

ITERは21世紀におけるエネルギー課題解決の重要なステップであり、我が国が平和的努力でいかにして国際的なパートナーシップや先端科学におけるリーダーシップを担えるかという重要な試金石でもある。ITER実現のためには国際共同事業としての合理性の確保や安全規制の確立を始め多くの課題が山積しているが、国内・国際間協議をとおして問題解決を図る努力が進められ、一步一步着実な進展が図られている。(香山 晃)

#### (2)「トカマク炉心プラズマ研究の進展」

日本原子力研究所 石田真一

トカマクの研究を、経済・環境・研究開発段階等の諸条件に基づく「コンセプトの改良・創出」、それを実現するための「要素の研究・開発」、その成果を受けた「要素の統合・調和」というサイクルを経て、最終的な核融合炉実現に至るものととらえると、循環電力の低い制御された核燃焼状態の定常的維持という、定常トカマク炉のコンセプトを現実化するためには、プラズマ閉じ込め、プラズマの安定性、非誘導電流駆動、熱・粒子の制御、という炉心プラズマの四大要素の性能向上を同時達成することが必要である。

プラズマ閉じ込めに関しては、DT燃焼実験によるアルファ粒子加熱の観測と、物理モデル(ジャイロボーム型)に一致するHモード閉じ込め経験則の確立により、ITERの目標達成は確実であると予測されるに至った。さらに、最近見出された様々な手法によるプラズマ内部の輸送障壁(ITB)の形成は、閉じ込め性能の一層の向上へつながる可能性を示している。一方、アルファ粒子の存在によるトロイダルアルヴェン固有モードや、高ベータ化による抵抗性壁モード等の新たな不安定性の発生が見いだされているが、これらのプラズマ閉じ込めへの影響の解明は今後の課題であろう。

非誘導電流駆動に関しては、高周波電流駆動による2時間の長時間運転の達成や、プラズマの圧力勾配とトーラス効果を駆動源とするブートストラップ電流による、全電流の80%の駆動実現など、循環電力の小さな定常化への展望が開けつつある。

内部輸送障壁の形成、安定性の向上による高ベータ化、効率的なブートストラップ電流の形成、高性能ダイバータの形成等、上記の四大要素のすべてに対して、プラズマの形状、圧力分布、並びに電流分布の最適化が重要である。個々のあるいは複数の要素に対する最適化は進展しつつあるが、すべてを同時に満足す

るもの実現は今後の課題である。特に、アルファ粒子加熱という内部熱発生源を持つ炉心プラズマにおいて、自律的に生成される圧力分布と電流分布を同時に満足するように制御することが重要になるであろう。

最後に、上記に示された四大要素を実現できる可能性を示す候補として、高ベータかつコンパクトな炉概念の実証をめざす球状トカマク研究の波が世界に広がりつつあることが指摘された。(平野洋一)

#### (3)「ヘリカル炉心プラズマ研究の進展」

核融合科学研究所 本島 修

ベータに始まる核融合の歴史的な展開が概説された後、ヘリカル磁場による閉じ込め方式の概念が示され、次いで現在はヘリカル方式を代表するものの一つであり、我が国がオリジナリティを持つヘリオトロン方式に関して、ヘリオトロンAに始まり現在のJに至るヘリオトロン研究の進展が示された。核融合科学研究所のLHD (Large Helical Device) 装置はこの研究を発展させたものである。

ヘリカル装置は無電流であるため、電流ディスラプションがない点と定常運転が原理的に可能である点が最大の特長である。LHDはこれらの特長を生かすべく、連続巻きの超伝導ヘリカルコイルにより、第一段階では3T、第二段階では4Tの精度の高い定常閉じ込め磁場を発生し、 $T_i > 10 \text{ keV}$ ,  $n_r T > 10^{20} \text{ keVs/m}^3$ ,  $\beta > 5\%$ の実現とプラズマの長時間定常維持をめざすものである。

LHDは1990(平成2)年より1997(平成9)年まで8年間をかけて装置を建設し、1998(平成10)年4月より実験を開始した。これまで、3サイクルの実験キャンペーンを行い、2.9Tの磁場発生に成功するとともに当初の予想値を大きく上回る実験成果を得ている。成果をまとめると、

1. 高電子温度運転で、電子温度=4.4 keV, 電子密度= $5.3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ,  $\tau_E=60 \text{ msec}$
2. 高イオン温度運転で、イオン温度=3.5 keV, 電子密度= $1.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ,  $\tau_E=90 \text{ msec}$
3. 高閉じ込め運転で、 $\tau_E=300 \text{ msec}$ , 電子温度=1.1 keV, 電子密度= $6.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$
4. 最大蓄積プラズマエネルギー=0.88 MJ
5. 最高平均ベータ値=2.4% (磁場=1.3 T)
6. 80 secの連続運転

の実現である。さらに、閉じ込め時間の比例則としては従来のヘリカル経験則ISS95を超え、トカマクの最近のHモード経験則に匹敵する値を実現している。これらの結果はLHDにおいて良好な磁気面が実現されていることを示している。

LHDでは装置本体系、電源系、加熱系、計測系の4部門がバランスよく進展したことが、現在の好結果につながっていると考えられる。次の第4サイクルでは、イオン温度=7,000万度、プラズマエネルギー=1.3 MJ,  $\beta=4\%$ の実現をめざす。

(平野洋一)

#### (4)「レーザー核融合研究の進展」

大阪大学 嚙地 宏

最初に慣性核融合では、爆縮による高密度圧縮とホットスパーク形成による点火がその心臓部であること、固体密度の600倍の高密度圧縮が我が国で実証されたことにより、その後の研究は点火の実現に向かっていることが示された。点火の実現に

は従来から行われている中心点火法と、新しい高速点火法が提案されている。点火を妨げるものは、ターゲットの不均一な爆縮であるが、その原因であるレイリーテイラー不安定性は非局所熱輸送により抑制が可能であり、また、もう一つの原因であるレーザーあるいはターゲットの不均一性による初期擾乱はX線予備過熱で対処可能である。

中心点火法は非常に高いエネルギーのレーザーを用いて、いわば力任せに激しい爆縮を起こして点火を実現しようとするもので、米国の国立点火施設(NIF)がその代表である。NIFでは2010年ごろの点火実現をめざしている。またフランスも同様な計画を進めている。

一方、高速点火は高密度圧縮したターゲットの一部(半径で1/10程度)を、別の超高強度パワーレーザーを用いて10 keV以上に加熱し点火を実現しようとするもので、効率的なレーザーエネルギーの利用により高い核融合利得の達成が期待できる手法である。大阪大学レーザー核融合研究センターではこの高速点火の原理実証をめざした研究を進めており、そのためHIPER(High Intensity Plasma Experimental Research, 0.1メガワット出力レーザー)の建設を行っている。

これまでの実験から、超高強度レーザーの高密度プラズマ中への異常進入モードの発見、相対論的電子のレーザー進行方向へのコリメート、固体ターゲットの数百eVへの加熱等の成果を得ている。これらは高速点火にとって有望な結果であり、今後はHIPERレーザーによる高利得ターゲットの安定化の探求とレーザーと電子との間の超相対論的相互作用の解明を進めて、高速点火法の原理実証を行う予定である。(平野洋一)

#### 4. パネル討論「21世紀の核融合エネルギーの展望」

核融合について言われていることとして、(i)巨大規模、(ii)高度技術(超伝導、耐中性子材料等や高温プラズマの制御)の必要性、(iii)長期性(すでに半世紀近く(実質は1/4世紀))等がある。これらに明快な回答をし、核融合をエネルギー資源として現実的な視野に入れる輪を拡げることが大事である。

したがって、パネル討論会の目的と討論内容は、ア)核融合の特長；資源、環境適合性、安全性、実現性、経済性、イ)現状；炉心プラズマおよび核融合炉の研究、ウ)今後の課題、解決策と展望；次ステップ、中長期的計画(実現のタイムスパンの議論)、数100 MW核燃焼長時間プラズマの実現と炉工学や、より優れた先進方式の模索等。エ)推進方策；体制、資源配分、国際協力、人材養成スピノフ、学術研究としての寄与等とした。対応して、5人のパネラー(井上信幸、関泰、岡野邦彦、宮本一、遠藤哲也の各先生)に各視点から報告をしていただいた。

井上氏は、環境、資源量、安全性等の観点からエネルギー源としての核融合を述べ、また我が国の段階的核融合開発計画とそれに沿った現状が報告され、時間が少しかかったが種々の研究を多面的に進め多くの成果が得られたこと、今後も幅広い研究開発が重要であるとの報告がなされた。また次段階、特に核燃焼実験のITER計画の目的や研究領域等が論じられた。

関氏は核融合炉システムの安全性について、本質的に非暴走(粒子バランスと熱バランスが重要)／高レベル廃棄物がなく、放射化構造物も低崩壊熱密度であり、また低レベル廃棄物として浅地処分可能／移動性放射物質としてのトリチウム閉じ込めの重要性、ITERの安全性および動力炉の安全性等が論じられた。

岡野氏は現代的視点でエネルギー源の満たすべき望ましい条

件、資源豊富、環境適合性、コスト、十分な量の安定供給、安全安心等を論じ、他のエネルギー源に比し、核融合は優れたバランスを有しているとの報告があり、また水素製造等の観点も論じた。

宮本氏は産業界の立場から、国家プロジェクトとしてのエネルギー源開発の必要性を強調し核融合はそれに相当するが、戦略的/計画的ロードマップの立案とその遂行および成果の客観的かつ厳正な評価、産業への派生技術応用等を論じ、新技術特許取得まで含めて幅広い推進の必要性を訴えた。

遠藤氏はエネルギーをめぐる国際情勢の変化と今後国際プロジェクトを推進する場合の条件や推進の方策等についての意見を述べ、特にITER計画関連では国際プロジェクトとしての条件を満たしているが、リーダーシップを発揮する国の必要性やサイト・資金分担・組織に加え、日本固有の問題解決などについてかなり重要な示唆を含む講演をした。

討論としては、実現性、経済性/資源、環境適合性、推進方策等について行われ、

- (1)実現性については現在ブレイクイーブン(臨界)条件やDT実験で15 MW出力を実現し、ITER(500 MW, Q=10, 数100秒燃焼)計画、advanced conceptsとしてヘリカル系、慣性核融合等が進展しており、核燃焼実験の後21世紀半ばにはDemo炉を見込んでいる。実用炉には炉材料開発が必須であるための材料試験用中性子源が必要である。
  - (2)経済性、資源；資源については燃料、炉構成材料ともに十分であると見込まれる。発電炉コストについては現予測では軽水炉に比し2倍以内であるが更なる努力が必要である。
  - (3)環境適合性；温暖化ガス排出少なく、運転時の安全性、廃棄物は低レベルであり充分環境に適したエネルギー源と考えられる。
  - (4)その他；世界の叡智を集約し研究開発の促進を図りつつも、エネルギー自立のための研究開発であり国内基盤を十分に確保しながらすすめることが肝要である。また研究は長期に亘るので人材養成、派生技術の社会への還元、高温プラズマの研究から他学術分野への知識情報の発信等は極めて重要であり配慮していかなければならない。
- 核融合研究は、エネルギー開発としては本格的な核燃焼プラズマの実現、同時に次段階の原型炉へ向けた材料等の開発を進める段階に至った。勿論並行して先進的な炉概念の開発を進めることも重要である。当パネル討論会としては、核融合は21世紀のエネルギー源として充分成り立ち得る条件を満たしているとのまとめになった。ただし討論会に出された種々の事項を充分に考慮し推進してこそ実現するものである。(藤原正巳)

#### 5. シンポジウム

##### 5.1 シンポジウム1「21世紀のエネルギー選択」

新しい二千年紀を迎え、エネルギーと環境の問題解決は焦眉の懸案となっている。現在先進国の出生率が大きく低下している反面、依然として世界人口は毎年1億人近く増えており、世界的な人間活動の活性化は、今以上に環境に優しく、かつ持続性のあるエネルギーを要求している。今回、より広い観点から「21世紀のエネルギー選択」について、各分野の第一人者の先生方からお話を聞く機会が得られた。

まず、筑波大学の内山洋司先生からは、「中長期観点からのエネルギー問題」と題して、エネルギーセキュリティの観点から現状と近い将来の展望が述べられた。現在世界の商業エネルギー

の9割を化石燃料が賄っており、将来も化石燃料に依存しながら人類が発展していくであろうが、良質の化石燃料は21世紀半ばまでに供給不足になる恐れがあり、未確認埋蔵量まで含めたとしても化石燃料は2250年以降のエネルギー需要を満たすことができなくなると予想される。さらに、二酸化炭素排出量はピーク時点で現在の3倍となる結果、大気中の濃度は現在の2倍になり、地球温暖化は避けられない。経済発展・人口増加、エネルギー資源枯渇、環境破壊のトリレンマを解決するには、脱化石燃料と「開発と成長」から「持続と調和」への変化が求められており、長期的観点からは、再生可能エネルギーと原子力が重要な選択肢として位置づけられ、短期的にはエネルギー利用の高効率化がポイントである、と締めくくられた。

続いて、再生可能エネルギーの代表的エネルギーとしての「太陽光発電の現状とその将来展望」が立命館大学・濱川圭弘先生より以下のような内容で述べられた。近年、科学技術の進展とも相まってエネルギー資源の枯渇と温暖化に象徴される環境問題に関連して、クリーンで再生可能、かつ膨大なエネルギー源として太陽光エネルギーが大きく注目されるようになってきた。当初1Wあたり2万円もしていた太陽電池は、現在では17%にも達する効率の向上やアモルファス化による使用シリコンの大幅な減量(1/500)により、1Wあたり400~500円にまで低下し、目標の200円まではあと一息の所にまで到達した。さらに、国のインセンティブによる民間への太陽電池システム導入が工業化を急速に促進し、1998年には設備容量が13.3万kW(家庭用5.7万kW)にも達し、世界一だった米国を抜いた。引き続き国による強力なインセンティブの継続がクリーンエネルギー産業育成の観点からも是非とも必要であることが強調された。

21世紀の核融合エネルギーと同じ原子力エネルギーの仲間である原子力発電について、核燃料サイクル開発機構・相澤清人氏から「21世紀の原子力発電の展望」と題して講演があった。現在、世界で400基以上(日本では53基)が稼働しており、地球環境保全、エネルギーセキュリティの確保、経済成長の観点から不可欠なエネルギー源であり、COP3における地球温暖化防止の国際公約を我が国が遵守するためにはさらに100kW級原子炉を20基程度新設する必要がある。そのためには経済性の向上が必須であるが、他のエネルギー源との比較では少なくとも遜色はなく、更なる経済的競争性の強化が図られているが、21世紀全般に渡る長期的観点からは、プルサーマルを含む軽水型ではウラン資源が限られるため困難であり、高速増殖炉(FBR)の導入が不可欠である。また、高レベル放射性廃棄物の処理・処分においても、さまざまな先進的技術の実用化研究がなされている。21世紀においては、軽水炉とそれに続くFBRおよび関連する核燃料サイクルの活用により、循環型社会に相応しい環境保全要求に適合し、資源的な制約からも開放された優れたエネルギーシステムが確立され、原子力発電が21世紀における社会の負託に積極的に応えていくことが可能になるとまとめられた。

最後の講演は、「21世紀の化石燃料エネルギーの展望」と題して、(財)政策科学技術研究所・伊藤慶四郎氏による講演である。氏は、1999年9月日本学術会議が主宰する「エネルギー戦略検討小委員会」で、今道友信氏が「エネルギーを哲学から考える」と題して話された、20~30年(技術)、100年(科学)、1,000年(哲学)という時間尺度の大きく異なるテーマ間の対話を推進する必要がある、ということに敷衍し、それに対応したエネルギーの展望について論じられた。まず、京都議定書に関する2020年に関しては、米国による炭素税などを導入した場合のエネルギー市場と

産業界への影響調査報告について紹介があり、様々な条件はあるが、石炭は価格の高騰化で市場からフェーズアウトし、代わって天然ガスへの急速な燃料転換とともに、風力・バイオマスなどの普及が市場で自立的に始まり、さらに、原子力発電も寿命延伸による現状維持へと変化し、また受動安全型新型原子炉の急速な普及が予測される。今少し長い、本題の21世紀の世界のエネルギー展望では、爆発的な人口増加と途上国の経済発展に伴うエネルギー重要な拡大で、世紀末の炭酸ガス排出量は1990年に比べ、3.3~4.6倍に増加し、石油・天然ガスなどの在来型燃料の総供給量は21世紀半ばごろにピークアウトし始めるのでこれらの解決策としては、再生可能エネルギーと原子力の補完的な供給枠組みにより維持していくことが不可避化するとした。

あと半年もしないうちに始まる21世紀において、そこでのエネルギー・環境問題の厳しさは現在の延長上で容易に理解できるものの、その解決策としては決定的なものが見通せないだけに誠に不安であるのが正直なところである。現在はまだエネルギーオプションにも入っていないが、知能集約型である核融合エネルギー研究のテンポにさらに拍車をかけることこそが、現在の不安をぬぐい去る最も有効な解決法ではないだろうか?と感じた。(吉川 潔)

## 5.2 シンポジウム2「炉工学開発の現状と展望」

ここでは、4件の講演と質疑が行われた。

日野友明氏(北大)は、核融合炉の早期実現のため、炉工学研究をいかに体系的に再構築するかとの課題について、日本学術会議核融合専門委員会炉工学小委員会での議論とこれに基づいた対外報告の内容を中心として講演した。核融合炉の工学課題を信頼性・安全性・経済性を達成するための連成問題と位置づけ、炉全体の挙動予測性を高めるための工学の体系化が必要であることが強調された。これを核融合総合工学として定義し、特にその中で材料システムに関する研究開発の重要性が指摘された。このために、強力中性子源建設とその組織整備、全日本の研究・情報ネットワーク構築、大学における体系的基礎研究の充実と大学・核融合科学研究所・日本原子力研究所の連携強化が具体的提言として述べられた。

核融合炉材料開発について、松井秀樹氏(東北大)から講演された。低放射化フェライト鋼をはじめとする個々の材料開発の成果に加えて、材料システムとしての課題解決が、核融合研究開発にとって重要であることが強調された。早期の原型炉の建設には、一般の高温用鋼よりも優れた高温特性を示す低放射化フェライト鋼が、製造技術等の材料成熟度の観点から、ほぼ唯一の解であることが示された。しかし、核融合炉の経済性を大きく改善するには、高い熱効率を達成できる高温強度を備えた材料の開発が必要である。現在成熟した材料とは言えないが、酸化物分散型フェライト鋼、バナジウム合金、SiC複合材料の研究開発の方向性が述べられた。特にSiC複合材料は核融合分野以外での開発が著しく進捗しつつある。強力中性子源はこのような材料開発を含むブランケットシステム研究にとって重要な試験装置であり、ITERと合わせてその実現をはかることが重要であることが強調された。

西川正史氏(九大)からは、トリチウム燃料サイクルの開発について講演された。トリチウム研究の課題をトリチウムインベントリーが少なく、効率的で制御性のよい連続操作の燃料サイクルシステムを作ることと、トリチウムの拡散・透過挙動を把握して安全対策を図ることであると整理された。このような多角的な最適化のための研究開発の方法論について、化学工学的な

観点からの見解が示された。また核融合炉は、トリチウムシステム、熱エネルギーシステム、材料システムと核燃焼プラズマの相互バランスの上に成り立つものであることが強調された。

辻 博史氏(原研)は、超伝導コイルの開発について、ITER計画において実施されてきた研究開発の成果を中心に講演した。中心ソレノイドモデルコイルとその試験設備が完成までの経緯と技術課題については、超伝導素線の開発、大電流導体の開発、巻線技術、熱処理技術、接合技術の確立等について、詳細に紹介された。またトロイダル磁場コイルについてもふれられた。核融合用超伝導コイルシステムの実現には、高性能化、大型化が必要であるため、従来からの経験、実績を踏まえて一層の技術革新が必要であることが述べられた。

全体の総括討論においては、核融合炉工学が単なる技術開発の進展にとどまらず、システムの統合と社会科学を含む異分野間の広い相互作用を扱う領域へと進展しつつあることが認識されたことを付記する。(関村直人)

### 5.3 シンポジウム3「学術研究としての新しい展開」

核融合研究の意義を広く知ってもらい、今後より一層核融合科学の基盤を拡げるためには、関連する他分野との連携を今までに増して密にすることが求められている。核融合業界で創造された学術用語や概念が、他分野に伝わることで、他分野の研究に刺激を与えたり、新展開をもたらすことが期待されている。そのためにも、核融合科学を学術として体系化することが必要であり、常に学術研究としての新しい展開が意識されなければならない。この意味で、今回のこのシンポジウムは当を得たものであり、意義深いものであった。

前半の二つの講演は炉心プラズマに関係した話題であり、後半は炉工学に関係する二つの話題が取り上げられた。炉心プラズマ研究の基盤となるのはプラズマ物理学であり、天体や宇宙空間の研究基盤としてのプラズマ物理学の重要性は最近特に高まっている。一つは、阪大の高部英明氏による天体研究へのレーザー核融合プラズマ研究の拡がりに関する講演であり、第2の話題は、東大の小野 靖氏による太陽コロナや地球磁気圏の研究への高ベータ核融合プラズマ研究の波及についてであった。いずれも、今後の研究の展開に熱い期待が寄せられているものである。

レーザー核融合プラズマでは、X線放射、電子熱伝導によるエネルギー輸送や原子・分子過程を伴う複雑流体力学が研究の対象となっている。このような流体现象は、稀薄プラズマでは見られない特徴であり、レーザープラズマを用いて、はじめて実験的に検証しうる多くの現象がある。放射冷却のプラズマジェットに及ぼす影響や高温・高圧下のレイリー・テイラー不安定はその典型であり、実験室天文学としても研究がすでに開始されている分野である。

一方、高ベータプラズマに特有な強制磁気リコネクションは、惑星磁気圏のテイルでの粒子加速とオーロラの発生や太陽フレアのダイナミクスとコロナの加熱等の基礎となるプラズマ現象である。リコネクションはミクロな乱流や粒子の運動論と電磁流体力学で記述されるマクロなプラズマの挙動が結合したものであり、その統一的理解が実験や大規模シミュレーションによる研究で進みつつある。今後の研究の展開を注目したい。

炉工学関連の話題は、固体物理や電磁材料に関する研究を基盤とするもので、名大の岩原弘育氏による「プロトン導電性を持つ新材料開発と核融合研究との関係」、および京大の森下和功氏による「中性子等の照射損傷素過程の研究からの計算材料科学

への寄与」についてであった。損傷素過程の講演は、弾き出し直後のピコ秒以下の現象から格子欠陥の蓄積による1秒以上の長時間の物性の変化までを記述する「統合シミュレーションコード開発」を指向したもので、その実現に向けた努力に敬意を表したい。

以上のように、本シンポジウムの4つの講演はいずれもユニークな話題がユニークな講演者により紹介されたもので、有意義であったと評価される。(三間閑興)

## 6. 一般講演(ポスター発表)

### 6.1 核融合工学

初日はITER関連の炉工学技術に関し11件の発表があり、内10件がITER工学R&D関連であった。ITERの真空容器セクタモデル(日本製)にロシア製のポートを米国で開発した遠隔溶接機を使用して接続した(A1)。また遮蔽ブランケットの製作試験が行われ、一部のHIP溶接に成功した(A2)。遠隔保守技術では、ブランケット交換用マニピュレータ(A3)およびダイバータ交換用台車(A9)が開発された。計測装置では、機器要素の開発(A5)、および照射試験(A6)、ミラーと真空窓の開発(A10)が報告された。ダイバータでは高熱負荷プレートの試作(A7)およびLa203含有タングステン材の試験(A8)が報告され、イオン源を絶縁ガスに代え真空中で絶縁する設計(A11)が示された。また垂直磁場コイル補助にてプラズマを立ち上げる運転方式の提案(A12)があった。

第2日目は、LHDの超伝導コイルについてヘリカルコイル(A13)とポロイダルコイル(A14)の特性が報告された。JT-60U用連続ベレット入射装置が開発され低磁場側、高磁場側両方からの入射に成功した(A15)。リチウム冷却ブランケットを想定し磁場中の流速を2つの温度信号の相互相関により測定した(A16)。プラズマ対向機器の照射用に定常高粒子束のECRイオン源を開発した(A17)。また国際強力中性子源IFMIF計画について詳しい報告があった(A18~22)。欠陥の渦電流探傷として励磁コイルと小型の検出コイルを用いて検出する研究(A23)、オーステナイト鋼の熱時効硬化を超音波の音速変化で検出する研究(A24)が報告された。(西谷健夫、堀池 寛)

### 6.2 材料

今回は49件の講演発表があり、日米協力核融合材料研究(JUPITER)関連が23件、プラズマ対向材料関連が12件、構造材料における水素リテンション、ヘリウム効果および増殖材との相互作用関連がそれぞれ8、4および4件となった。まず、JUPITER関連においては、低放射化フェライト鋼の中性子照射効果研究の成果および材料開発研究の動向に関する発表が行われ、照射データベースの構築が着実に進展していることが紹介された。また、ブランケット設計上、工学的に重要と考えられている高温クリープや疲労特性の基礎データ取得が進み、それら材料特性の性能向上のための材料学的指針が提案され、今後のフェライト鋼開発研究の展開が大いに期待される。バナジウム合金に関しては、高純度V-4Cr-4Ti材30kg溶解の製造プロセス技術をはじめ、不純物元素の効果、比較的低温度照射域における脆化の問題が議論され、顕著な照射脆化を抑制するための基本的方針が定められたことの意義は大きい。SiC/SiC複合材料開発の進捗状況は極めて迅速であり、耐照射性に優れた繊維の開発、繊維・マトリックス界面強度の向上に関する研究において一際目立った進展が見られた。今後、さらに開発の進むことが期待される。プラズマ対向材料関連では、特に水素の拡散・放出の評価法

に関連した研究に新たな展開が見られ、水素リテンションの研究と共に、今後の応用研究が急速に進むと期待される。今回、全体的に見て特に目立った点は、核融合構造材料と増殖材等との相互作用、すなわち材料のシステムインテグレーションに関連した発表件数の増えたことがあげられる。炉工学としての材料システムの研究は、核融合炉の早期建設に向け、最重要課題の一つである。今後、材料開発基礎研究と並行させ、着実に研究を展開していくことが切望される。(木村晃彦)

### 6.3 炉システム・設計

本セッションでは両日とも12件、計24件の発表が行われた。ITERに関しては、高密度で定常な運転に重点をおいたコンパクトITERの概念設計についての発表(9件)が行われた。物理的には、各種エネルギー増倍率(10, 20, 無限大)での運転領域の検討、長時間運転(~2,500 s)およびブートストラップ電流の大きい定常運転の可能性の検討が報告された。工学的には、素線電流を高くし小型化したウェッジ支持方式のトロイダルコイル、分割型でパンケーキ巻きにした中心ソレノイドコイル、第一壁分離型の遮蔽ブランケット、カセット方式の小型化ダイバータ、自然循環による崩壊熱除去の可能性、CVD-ダイヤモンド窓を真空境界(10気圧まで試験)としたECRF加熱システムの設計、40 haまで縮小した配置設計等が報告された。長期エネルギー展望に関しては、世界エネルギー・環境モデルによる核融合エネルギーのポテンシャル試算が行われ、核融合は2050-80年頃から導入され2100年時点で20%程度になり得るとの結果が示された。炉概念に関する発表としては、電流駆動によりプラズマ電流を立ち上げる(約1日)ことで中心ソレノイドコイルをなくした定常核融合動力炉の概念、初期にトリチウムを装荷しなくてもDD運転から開始して105日程度で定常なDT運転までの起動可能性、核融合炉の広範な熱利用の可能性、高温(1,000度)水蒸気電解による高効率水素製造が可能な核融合発電プラント概念の検討、主半径10 m級の高ベータ球状トラスによるDD炉の可能性が報告された。事故事象に関する発表としては、冷却材進入時(ICE)の圧力上昇抑制システムの試験・解析が行われその有効性が示された。また、真空境界破断時(LOVA)のダスト飛散は測部の場合が大きい(約15%)ことが示された。その他炉設計技術に関する発表として、上下位置不安定性に対する導体シェルの安定効果、トロイダル方向一周抵抗の下限値、トロイダルリップル低減のための強磁性体の設計、ペブルダイバータの概念検討等が行われた。(荘司昭朗)

### 6.4 加熱・電流駆動

加熱・電流駆動の分野においても21世紀への潮流が見てとれた。加熱源の開発においては、まず大電力・長パルスジャイロトロンの開発が、日本原子力研究所(原研)および核融合科学研究所(核融合研)において順調に進められている。窓や伝送系などのコンポーネントの開発も精力的に行なわれている様子が伺えた。原研では110 GHzで単管あたり1 MW出力を2秒間達成して加熱源としての実用性を示し、ITER用170 GHz管の開発も精力的に進めている。これら開発に関する発表が8件あり、加熱実験に関するものは3件あった。他方、NBI関係は負イオン方式一色であった。世界に先駆けて原研、核融合研で導入された同方式NBIは運転実績を積みながら次世代加熱装置の主力を担う勢いである。プラズマ実験における成果と相俟って負イオン源の効率改善や次世代を睨んだ中性化セルの開発など、関係する発表が10件あった。また、これらの装置を用いた加熱実験の発表が2件あった。

ICRFについては、高電力加熱実験が炉心プラズマ分野にまわったこともあり、今回件数が少なかったが新しいアンテナ方式や加熱原理・物理に関する発表があった。新しい閉じ込め方式の装置においても小規模ながら加熱・電流駆動の実験が始まりつつある。球状トカマクにおける自発電流の実験やFRCへのビーム入射による閉じ込めの改善、磁気圧縮時の挙動など興味深い結果が報告されていた。(金子 修, 市村真一)

### 6.5 炉心プラズマ

トカマク、ヘリカル、逆磁場ピンチ、RFP、ミラー、コンパクトトラス等の各装置より幅広い実験、解析および装置設計に関する65件の興味深い発表がなされた。発表者は若手が多く、今後の核融合研究の発展のためにも好ましいことといえる。

JT-60Uでは、負磁気シア放電における内部輸送障壁の研究でITBの形成位置についてイオン温度勾配をキーパラメータとして調べ、またITBの幅は下限値がイオンのポロイダルジャイロ半径で規定されることを見出している。負イオンNBによる電流駆動では不安定性が存在しない時にはMSE計測によるものとシミュレーションによる電流分布が一致することを確かめた上で、低モード数のテアリングモードの不安定性が生じた場合、中性子発生率が減少することを観測している。これは、検討した結果ビームイオン損失が原因であるとしている。トカマク炉を考えた時に負イオンNBの有効性を考える上でも重要である。JFT-2Mでは、高速電流駆動での電場をHIBPを用いて計測し、2つの速波のビート波(100 kHz)を観測している。同じくJFT-2Mでのフェライト鋼板を用いたリップル低減化実験も重要である。また、TEXTOR-94でのリミタ実験、TRIAM-1Mでのプラズマ位置制御に関する研究、TST-2球状トカマク報告など興味深い報告が行われた。

LHDは本格的に稼動してから約2年が経過し、LHDプラズマの特性もかなり詳細に調べられてきており、今回は23件という大変多くの発表があった。LHD閉じ込め期で期待される閉じ込め時間およびそれ以上の閉じ込め特性が達成されていることは特筆に値するが、それ以外にも次のような項目が特に注目を集めた。2%を超えるベータ値が達成され、加熱パワーの増力等によりさらに高ベータが狙えようである。ペレット入射により密度上昇と閉じ込め性能の向上が図れた。NBIおよびICRF加熱により1分を超える長パルス運転が実現できた。ICRFによる加熱・閉じ込め特性の有効性が示せ、今後さらなるパワー増力を進めることとなった。今後、核融合研以外の共同研究者によるLHDでの研究成果発表が増えることを期待したい。

TS-3およびTS-4コンパクトトラス実験装置からは、コンパクトトラス、コンパクト RFP、スフェロマック、球状トカマクの相互比較およびこれらの配位を利用した高速磁気リコネクションによる安定性の改善や高ベータ実現の試み等が報告された。その他、金沢工大でのヘリオトロンDRでの磁気面計測などの着実な実験、逆磁場ピンチでの新しい閉じ込めモードの発見、REPUTE-1ULQでの低Z元素ペレット入射、ガンマ10におけるアルヴェン速波を用いた高密度プラズマの生成、およびCT入射に関する研究等、興味深い報告があった。

(二宮博正, 須藤 滋, 小川雄一)

### 6.6 慣性核融合

両日で15件の発表があり、その内11件が若手発表賞候補というセッションであった。そのため慣性核融合研究全体の動向やトピックスというより、若手研究者の考え方を聴いて議論をするという発表会場の雰囲気であった。その意味で彼らとじっく

り話ができたことに、他の学会では得られない有意義なものを感じた。研究のテーマは中心点火方式のレイリーテイラー不安定性のもとと高速点火方式の相対論的プラズマのシミュレーションの研究が半々というところである。爆縮現象をとらえ、物理的な解明を試みるという複合的な核融合研究から、要素物理に分解し着実にとらえていくという研究姿勢の方向がうかがえる。しかし、逆に複雑系からのエスケープを図ったことで、自然が決めたプラズマを素直に受け止めるという姿勢が研究する側になくなりつつあるように感じたのは杞憂であろうか？観測データを注意深く観察し、物理過程を切り出すという研究の醍醐味が、要素を整理してしまった分、感じられなかったのは事実であろう。エネルギードライバーやターゲット、点火方式など、慣性核融合炉を実現させる高ゲインプラズマ達成にはまだまだ現状を打開するアイデアが必要である。突飛でオリジナルな発想を若手研究者の方々に再度期待する想いであった。

(米田仁紀)

### 6.7 理論・シミュレーション

理論の発表は、残念なことながら、全体で9件と少なかったが、そのうち、若手の発表が6件と、3分の2を占めていた。トカマク、ヘリカル系、ミラーといった核融合研究実験装置に関連した研究発表が主体であったが、太陽コロナへの応用を対象としたベルトラミ渦の重ね合わせ理論といった基礎的な発表もあった。若い学生(ポストドクを含む)の方の発表は、闊達で、研究に対する理解度も、程度の差はあるが、かなり高いものであった。ただ、個人的な感想として、若い方の研究(対象)は、あまりに核融合にスペシフィック(専門的)なものではなく、もう少し基礎的なところに重点を置いた方がいいのではないかと印象を受けた。高度に専門的な知識やスキルは後でいくらでも拾得できるのだから、むしろ、研究を進める上での基礎的体力(論理的構成力等)を無用な煩雑さを伴わない基礎的な課題で身につける方が望ましいと思うからである。以上は、あまりにも専門馬鹿になって、自身に対する自己批判(浄化)能力を遺失しつつある自分に対する自戒の意味も含めて受けた印象である。

(中島徳嘉)

### 6.8 トリチウム

I1からI7は一政らのグループによる一連の環境、動植物等におけるトリチウム移行挙動およびその影響評価の研究であり、核融合炉におけるトリチウム安全評価にとって重要なデータベースおよびシミュレーションを提供するものである。グループの活発な研究活動が伺われ、今後の研究の進展がますます期待できる。I8ではプロトン伝導体をブランケットシステムからのトリチウム回収システムへ応用する初めての試みであり今後の研究に期待したい。I9からI12はトリチウムと材料相互作用に関する研究で、着実なデータベースの構築が進められているが、更に深い議論を行なうにはこの種の研究はむしろ「B.材料」での発表が望まれる。I13に関しては実機の第一壁のような放射線場での“その場”測定に対する有効性の評価が望まれる。I14に関しては実機第一壁における“その場”除染への技術的有効性が検討されることを期待する。I15は核融合炉施設におけるトリチウム安全評価にとって必要なデータベースを構築するための世界的にもユニークな研究であり、今後の進展に期待するところ大である。

(奥野健二)

### 6.9 基礎・応用

基礎・応用分野には、19件のポスター発表があり10件が若手研究者の発表であった。

主としてプラズマ物理的な観点から閉じ込め特性を検討することを目的として、シアによるプラズマの安定化(J1)、乱流プラズマ内部のフィラメント電流の統計モデルが議論された(J2)。また、非中性プラズマ中に形成される強い自己電場によって形成される高速回転流を利用した閉じ込め方式が検討されている(J3)。良く定義された条件でプラズマを形成し、低周波不安定性に対する径方向電場とそれによるドリフトシアの効果が議論された(J14)。一方、高密度磁化プラズマ中でのアルヴェン波励起のためにヘリシティアンテナが提案され、基礎実験が開始されている(J13)。

炉工学的な観点からは以下の2件の発表があった。J4では、電磁力平衡コイルの応力分布解析のためにVirial定理を適用する設計手法が提案され、応力最小化のためのパラメータが議論された。また、ダイバータプラズマの模[実験装置を用いて、非接触プラズマの電子温度が評価された(J16)。

レーザーやイオン推進器への応用を想定して、マイクロ波放電プラズマの非平衡性の検討(J5)、やアンテナ・プラズマカップリング特性(J6)が議論された。また、同軸アンテナからの表面波プラズマが三次元解析され(J7)、ヘリカル磁場配位からの通走電子(J8)やメータ級大面積の電子源(J9)が主として産業応用の観点から議論された。

磁気ノズルを利用したMPDアークで形成された高速プラズマの特性が詳細に議論された(J11, J12)。ECRプラズマを用いて、電極を排除したプラズマ推進(J15)も検討されている。静電閉じ込め核融合に関しては3件の発表があり(J17, 18, 19)、主として電位井戸の形状解析、電位分布改善の工夫、イオン軌道と中性子発生率の評価が行われている。(堀岡一彦)

## 7. サマリー

まず4件の特別講演をまとめて、21世紀初頭に次のステップへ踏み出そうとしている核融合研究開発として現状を総括した。そして来2001年1月に省庁統合が控えている等、核融合研究も変革の時代を迎えている背景を述べ、本連合講演会の目的と構成について説明した。

シンポジウム1「21世紀のエネルギー選択」では、21世紀半ばごろには良質な化石燃料が供給不足となる上に、環境問題により化石燃料使用が制限されるにも拘わらず、人口増加と発展途上国の生活向上によるエネルギー需要の増大が起きることが指摘された。太陽光エネルギーに代表される再生可能エネルギーのエネルギー密度が低いことから、今後のエネルギー需要の増大に対しては、原子力利用の拡大が不可避であることが浮き彫りになった。

招待講演において、25年間に8,646億円の予算を使った核融合についても、納税者に対して成功・失敗を明らかにすることが必要であると有馬先生が指摘された。これに対する回答がパネル討論の中で示され、炉心プラズマの開発が順調に進んでいること、プラズマ閉じ込め物理の理解が深まることにより、十分な外挿性を持って実験炉ITERの設計が進められていること、およびプラント規模の発電が2040-50年頃になる見通しであることが述べられた。ITER工学R&Dにより炉工学が着実に進展している好例として、CSモデルコイルの定格を超える励磁試験結果がシンポジウム2で報告された。

資源の制約がなく、安全・安心と環境負荷の観点からエネルギー源として魅力がある一方で、コスト削減と稼働率向上のための技術等が核融合炉の課題であることが、パネル討論で議論



された。産官学の連携を深め、研究成果を社会還元する大切さも説かれた。

一般講演は1件取り消しがあったものの、ポストデッドラインの発表を2件受付けたため、全体で269件の発表があり、第1回の251件、第2回の255件より多かった。内容に関しては、6章の一般講演を参照していただきたい。

以上まとめると、良質な化石燃料が供給不足となる21世紀半ば以降、エネルギーの安定供給源としては原子力に依存する公算が大きく、エネルギー源としてバランスのよい核融合エネルギーの実用化が期待されている。ITER計画を全日本で推進しつつ、核融合炉の経済性向上のために先進閉じ込め方式の追求と材料開発を並行して進めるには、明確な開発戦略と研究成果の厳正な評価が求められている。同時に、若手を惹きつけるために基礎科学としての面白さも追及することが必要である、というのが本連合講演会の結論となる。 (飯尾俊二)

## 8. 若手ポスター発表優秀賞

今回の連合講演会では、参加者による投票は行わず、選考委員会方式を採用した。その理由は、ポスターによる一般講演後、投票していただく時間が十分に取れないプログラムになったことによる。そのため、選考委員に対象となるすべてのポスターを公平に評価していただき、その結果を持ち寄って約1割を優秀賞として選考した。結果は、下記に示すように、167件の若手ポスター発表から19件が選ばれた。

もうひとつの新規性は、賞状に通し番号を付け、副賞を前回までの図書券から図書カードに変更したことである。賞状の番号は、過去2回の連合講演会で33人が受賞していたので、34番からの賞状を用意した。プログラム委員会では、若手研究者をencourageするために可能な工夫は取り入れる方針にした。連合講演会の若手ポスター発表優秀賞受賞者が、今後日本原子力学会とプラズマ・核融合学会で活躍されることが、本賞の権威を高めることになるので、期待したい。なお、若手ポスター発表優秀賞は、過去の受賞者には遠慮していただき、新しい優秀な若手研究者を重視することにした。また、プログラム委員会と実行委員会のメンバーも遠慮することにした。できれば、今後の連合講演会でも、一貫性を持たせるためにこの方針を引き継いでほしい。

以下に、今回の受賞者の題目と所属を記す。なお、今回は中国人が1名受賞された。(若谷誠宏)

- ・「定常高粒子束ビーム引き出しのためのマイクロ波イオン源の開発」島田朋尚(阪大院工)
- ・「境界プラズマにおける原子・分子挙動と材料への熱負荷」小林一樹(東大院工)
- ・「黒鉛中に蓄積された水素の電子衝撃脱離」柴原孝宏(名大院工)
- ・「バナジウム合金の中性子照射効果-中性子照射下における機械的性質変化-」福元謙一(東北大金研)
- ・「核融合用SiC/SiC複合材料の界面剪断強度特性に及ぼす中性子照射効果」檜木達也(京大エネ科)
- ・「核融合プラズマ対向材におけるヘリウム予照射後の重水素吸蔵特性変化」岩切宏友(九大総理工)
- ・「長期世界エネルギー・環境モデルによる核融合エネルギーのポテンシャル試算」時松宏治(地球環境産業技術研)
- ・「NBI用負イオン源におけるH-ビーム軌道の引出電極磁場

による偏向の補正実験」浜辺 誠(核融合研)

- ・「JT-60Uにおける負イオンNBによる電流駆動とMHD不安定性による影響」及川聡洋(原研)
- ・「LHDにおけるベレットの溶発挙動とプラズマへの影響」坂本隆一(核融合研)
- ・「LHDにおける高エネルギービーム粒子輸送の研究」村上定義(核融合研)
- ・「FRCを用いた高ベータ球状トカマク生成実験」井 通暁(東大院工)
- ・「爆縮におけるエネルギー輸送-Rayleigh-Taylor不安定性と高速点火における追加熱」砂原 淳(阪大レーザー)
- ・「磁場を膨張するレーザー生成プラズマの巨視的構造解析」村中崇信(九大総理工)
- ・「負磁気シア配位での内部輸送障壁形成におけるITGモードの役割」李継全(Li Jiquan)(原研)
- ・「JT-60Uにおける炭酸ガスレーザーを用いた協同トムソン散乱計測」李成洙(Lee Seishu)(原研)
- ・「LHD遠赤外レーザー干渉計用高精度位相検出回路の開発」伊藤康彦(核融合研)
- ・「トリチウムの空間挙動および閉じ込め装置の性能評価」小林和容(原研)
- ・「磁化プラズマ中の径方向電位分布制御と低周波不安定性」吉沼幹朗(東北大院工)

なお、選考委員会は下記のように構成された。

幹事：若谷誠宏(京大)、委員：市村 真(筑波大)、小川雄一(東大)、奥野健二(静岡大)、金子 修(核融合研)、木村晃彦(京大)、荘司昭朗(原研)、須藤 滋(核融合研)、寺井隆幸(東大)、中島徳嘉(核融合研)、長山好夫(核融合研)、西谷健夫(原研)、二宮博正(原研)、堀池 寛(阪大)、堀岡一彦(東大工)、森田 繁(核融合研)、米田仁紀(電通大)

## 9. 機器展示

今回は電源敷設を含む会場準備と機器搬入を金、土、日に行うこととなったが、中部大学の職員・学生の皆様、および各展示担当の皆様からの全面的な協力をいただき、初日朝から火曜の16時まで、時間いっぱい展示することができた。両日とも入場者回数は12時から14時をピークに(1時間に120)、各479、546で合計一千回を超えた。展示にはJUPITER計画大学連合、東北大金研大洗、原研、筑波大プラズマ、電総研、核融合研、阪大レーザー研の7機関が参加し、実試料、ビデオ紹介、バーチャル視覚体験、実験実演、などを駆使した特色あるアピールが展開された。その中で、学生諸君の素朴なレポート軍団には大いに励まされるものがあった。(相良明男)

## 10. 懇親会

懇親会は初日の午後18時30分から第3学生ホールで行われた。ここは数年前まで女子短大だったそうで、緑が多く、特にホール前の芝生が美しい、学内でも一際落ち着いた雰囲気のある場所である。あいにくの雨で、芝生の上の懇親会というわけにはいかなかったが、会場は参加者でいっぱい埋まった。本島現地実行委員長の司会で始まり、来賓の挨拶や中部大学総長のユーモアある話などが続き、参加者全員なごんだ雰囲気が盛り上がったところで、料理や飲み物など思い思いに楽しみながら歓談のひと時を過ごした。司会者の閉会の挨拶に気づくまで、時

間の過ぎるのを忘れて話の花が咲いた。盛会であった。

(田中雅慶)

## 11. むすび

来世紀に向け、核融合研究はエネルギー開発研究としての正念場を迎え、核融合研究関係者は、今、まさに最高の舞台に立たされております。このような状況の中で、「21世紀が求めるエネルギー」と題した今回の第3回核融合エネルギー連合講演会が成功裡のうちに終了したことの意義は計り知れないものがあります。

本講演会開催にあたり、来賓挨拶、招待講演、特別講演、シンポジウム講演ならびに座長の各先生方には、ご多忙の折にもかかわらず、快諾していただき、心より御礼申し上げます。また、本連合講演会の趣旨にご賛同をいただき、ご支援とご協力を賜

りました共催および後援者の方々に対し、甚大なる感謝の意を表します。

本講演会の講演内容は、ビデオテープに収録され、テープの貸し出しが可能です。必要な方は、日本原子力学会あるいはプラズマ・核融合学会事務局までご連絡ください。また、本報告書は、日本原子力学会誌ならびにプラズマ・核融合学会誌に掲載されます。さらに今回は、学会誌以外にも、社会への発信を目的とした報告書を別途作成して発行する運びになっております。

2年後の2002年には、プラズマ・核融合学会が主担当となり、第4回が開催される予定です。本講演会で得られた成果を糧とし、次のステップに向けた関係各位の惜しみない、一層の精進をお願い申し上げます。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ご尽力に感謝を申し上げます。(木村晃彦)  
(2000年7月31日受理)