内外情報/研究会報告

第14回プラズマ物理と制御核融合に関するIAEA国際会議

井上信幸(東大工), 小川雄一(東大工), 岡本正雄(核融合研), 嶋田道也(原研),
洲鎌英雄(核融合研), 高部英明(阪大レーザー研), 辻博史(原研), 東井和夫(核融合研),
前川孝(京大理), 岡村昇一(核融合研 担当編集委員)

(1992年11月12日受理)

標記の会議が, 1992年9月30日から10月7日の間, ドイツのヴュルツブルクにおいて開かれた。ヴュルツブルクは比較的にじんまりとしたドイツの中都市で, 大学の学生数が町の人口の四分の一近くも占めるといふ, 大学町とも呼べるような都市である。これまでノーベル賞受賞者を5人も出しているとのことで, 会議開催地としての風格は申し分のないものである。

会議の参加者は世界30ヶ国から約600人程度であった。今回の国際選考委への提出論文数は全体で270, その内採択になったものは220とのことである。前回のワシントン会議と比べて, 提出論文数では12増, 採択数で4減となっている。日本からの論文は採択数としては Post deadline paper を含めて53となり, 前回から6増となっている。心配されていたロシアからの参加は, 会議参加者は比較的多かったが, 論文数としてはウクライナを含めても約20減となっており, 研究状況の回復を願うものである。

各セッション別の採択論文数を(日本から/世界全体)という形で並べて列記すると, A(トカマク実験) 12/63, B(慣性閉じ込め) 7/33, C(代替方式) 12/29, D(理論) 9/45, E(加熱・電流駆動) 5/23, F(ITER) 1/5, G(技術・炉概念) 5/22となる。前回からの変化に着目すると, トカマク実験が少し増加し慣性閉じ込めがだいぶ増えたのに対し, 代替方式と加熱・電流駆動がかなり論文件数を減らしている。代替方式に関しては, 日本からの貢献が重要なものになってきている。

Post deadline paper は今回申込が28件に及び異常な競争率となった。採択されたものは6件で(そのうち日本からのものが2件), その内セッションCに相当する代替方式関連のものが4件もあるという特色のある結果となった。特にヘリカル系でトカマクのHモードに類似の現象が発見されたことが, 日本とドイツから Post deadline paper として同時に報告されたことは話題となった。

今回の会議ではあまり目立った成果が見られなかったという印象を述べる研究者もいたが, 核融合研究の発展の上で, 前回のワシントン会議からの2年間での成果という目で評価すると, JETでのDT実験, DIII-DのVHモードの発見などは, 特記すべき成果であることは明白である。それぞれ極めて重要度が高いために, 成果があつという間に世界に知れわたって結果としてIAEA会議では全ての知るところとなり, 新規性からのインパクトはそれほどではないという結果になっていただけでも言えよう。大型トカマクとしてはJT-60Uも改造後の初めてのIAEA報告として閉じ込め特性の大幅な改善結果を報告していた。

会議冒頭においては, 「ITER and its Relationships to Ongoing Fusion Programmes」と題して, Anne Davies (DOE), N. Cheverev (ロシア), C. Maisonnier (CEC), E. Velikhov (ITER), 吉川(原研)によるパネルディスカッションが行われ, それぞれのサイドからの今後の取り組みが議論された。また続けて行われたアルチモビッチ記念講演

では、これまでの四大地域（米，EC，日，ソ）からの講演者ではなく、初めて発展途上国からの発表として、インドから P. Kaw 氏が選ばれて講演を行なった。今後の世界のエネルギー消費の予測をするうえで、発展途上国の一人あたりの消費量の増大は、極めて大きな比重を占める。その需要を賄える最有力候補は核融合開発であり、その研究を進めるうえで政治的な活動を含めた強い熱意が必要であると力説した。

以下に、会議の発表の概要を各セッション別にまとめたものを報告する。なお Post deadline paper はそれぞれ相当すると思われるセッションの報告に含めた。各論文の取り上げ方として、実験の場合は主に装置名によって表現し、理論の場合は著者名によって表現されるケースが多いが、無理に統一することはしていない。また著者名によって書かれた場合、共著者を含めた～等という書き方の「等」は省略した。（岡村昇一）

A. トカマク実験（嶋田道也，東井和夫）

会議のハイライトの筆頭は JET の DT 放電であろう。この実験は1991年11月に行われ、すでに Nuclear Fusion 誌にも論文が掲載されているので詳細は省略する。トリチウムは2台のイオン源から供給し、トリチウム混入量は11%，最大中性子発生量は 6×10^{17} /秒で、これは1.7MW の核融合出力に相当する。放電の性能を制限しているのは MHD 不安定性と炭素混入である。使用したトリチウムの98%を放電洗浄によって回収した。

つぎのハイライトは DIII-D の VH モードとさえよう。VH モードでは従来の H モードよりさらに2倍程度閉じ込め性能が高い。VH モードを得るための必要条件は、壁洗浄（ボロン・コーティングと、ショット間ヘリウム・グロー）と形状制御（三角形度）である。VH モードと H モードの温度密度分布を比較すると、VH モードの方が周辺ペDESTAL が厚くなっており、これは勾配をもった径方向の電場が H モードよりも深く浸透していることに対応している。従来 VH モードでは閉じ込め性能が高いため、ベータ値がベータ限界に到達して閉じ込めが劣化していた。このよう

な非定常性を解決することが課題であったが、最近蓄積エネルギーを一定に保持するように加熱パワーを制御して VH モードの持続時間を1秒まで延ばすことに成功している。

JT-60U は、今回が大電流化改造後最初の IAEA 報告であったが、高ベータ・ポロイダル放電ではイオン温度38keV（世界最高）、核融合積 $4.4 \times 10^{20} \text{ m}^{-3} \text{ keVs}$ （JETの約半分）、4.2T 3.5MA の H モードでは蓄積エネルギー7.7MJ を達成するなど閉じ込め性能が向上した。またダイバータ特性やリップル損失、LHCD などの成果も注目を集めた。

以下物理的トピックに分けて発表内容を報告する。

VH モード及び H モード

DIII-D では、VH モードの実現条件を中心に研究を行っている。VH モードは比較的長時間の ELM 無しの H モードから遷移する。VH モードを得るのに必要な条件は、低放射損失（入力パワーの30%程度）、低密度のターゲットプラズマ（例えば、1.6MA で約 $3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ）、低リサイクリング、高三角形度の磁気面（ $\delta > 0.5$ が必要）などである。このような条件を満たすため、ボロンコーティングに続き、放電ショット間に5-8分のヘリウムグロー放電を行っている。VH モードでは、H モードに比べ、急峻な温度、密度勾配の領域が周辺からかなり内側まで広がっており、これが H モードより良い閉じ込めに寄与している。径電場のシア層も同様に内側に向かって拡大しており、閉じ込め改善をもたらす主原因と考えられている。別の考え方として、ブートストラップ電流によるプラズマ周辺での高プラズマ電流密度も閉じ込め改善に寄与している可能性があるとしている。

JT-60U からは、下側 X 点の非円形ダイバータ配位に改造後最初の H モード実験の結果が報告された。特に ITER を意識して、 $\sim 4 \text{ T}$ の高トロイダル磁場、高アスペクト比で H モードを実現し、ITER-89PL モード則の2.2倍の閉じ込め改善を実現している。高イオン温度 H モードでは、