中性粒子入射加熱装置の開発の現状

松田 慎三郎*, 下村 安夫*

(1980年 9月4日 受理)

Present Status of Neutral Beam Injector Development

By Shinzaburo MATSUDA and Yasuo SHIMOMURA

Neutral beam injection has become a powerful method of heating magnetically confined plasmas. Developmental status of the neutral beam injector and the results of plasma heating experiments have been introduced. In particular, progresses in Japan have been discussed in relation to the world-wide progresses. Technical problems in application to the future fusion reactors as well as competitiveness and compatibility with radio frequency heating method have been referred.

KEYWORDS: neutral beam injector, fusion reactors, plasma heating, Japan

I. はじめに

磁気閉じ込めを利用した核融合実験装置、特にトカマク装置やミラー装置において、プラズマの温度を高めるための手段として中性粒子入射(Neutral Beam Injection, NBI)法が最も有効な加熱法として世界の各地で採用されている。これはエネルギー20~150keVの高速水素(または重水素)ビームを磁場を横切ってプラズマ中に入射し、プラズマとの荷電交換や衝突電離によって生じた高速水素(または重水素)イオンからプラズマへエネルギーを伝播させることによってプラズマを加熱するものである^(1,2)。高速中性ビームはイオン源から引き出された水素イオンビームがガスセル通過中に荷電交換して中性化することにより得られるもので、中性ビームは直進してターゲットのプラズマに入射される。このための装置が中性粒子入射加熱装置**である。本報ではNBI装置の開発の現状と、実際にトカマク装置に取り付けられているNBI装置や、それを用いた加熱実験の成果について述べ、また将来への展望について言及する。

II. 技術開発の現状

初めに中性粒子入射加熱に使用されるNBI装置の構成について簡単に触れ、次にその技術開発の現状について述べる。

これまでに世界の各研究所でプラズマの加熱実験に使用されてきたり、現在建設段階にあるNBI装置は、

第1図のように、イオンビームを引き出すイオン源、イオンビームを中性ビームに変換する中性化セル、中性化セル通過後のビームの中から中性化されなかった残留イオンビームを分離させる偏向磁石、分離させたイオンビームを当てて除熱するビームダンプ、この結果生ずる再結合水素や中性化セルから流出してくる室温水素ガスを排気するための真空ポンプ、発散の良くないビームの尾部をカットするビームリミター、ビームパワーを測定する際やイオン源のコンディショニングの際にビームターゲットとして使用されるカロリメータ、イオンビームの軸を検出するためのビーム分布モニタ、軸を調整するための角度調整機構などから構成される。

1. 短パルスビームと長パルスビーム

上記のような構成のNBI装置を技術的見地から眺めるとき、それが取り扱うビームパルス幅の長短によって大きな差異があることがわかる。これまでに世界各地で建設され稼動してきたすべてのNBI装置と、今後稼動が予定されているいくつかのNBI装置はビームパルス幅が0.5 s以下の短パルスビームを取り扱う。ビームパルス幅は中性ビームが入射されるトカマク装置やミラー装置のプラズマ閉じ込め時間との兼ね合いで決められるもので、これまでの装置での閉じ込め時間に対しては10~500 msのビームパルス幅で充分

* 日本原子力研究所(Japan At. Energy Res. Inst.)

** 語源はNeutral Beam Injection SystemまたはNeutral Beam Injector.

第1図 中性粒子入射加熱装置の構成

であったが、閉じ込め装置が大型となって閉じ込め時間が長くなるとともに、また準定常プラズマの研究が重要となるとともにNBI装置に要求されるビームパルス幅は次第に長くなってきた。イオン源やビームダンプなどの受熱機器の熱的時定数は大抵0.5~2 s前後となるのでビームパルス幅がこれ以下か、以上かによって受熱機器の冷却方式が大幅に異なることになる。すなわち、短パルスビームの場合は受熱機器は慣性冷却方式(inertial cooling system)で対処できるが、長パルスビームになると時々刻々除熱する強制冷却方式(forced cooling system)を採用しなければならない。技術的に見て長パルスビームを扱うNBI装置は短パルスビームのものに比べて格段に難しいものがある。特に原研で建設予定のJT-60用NBI装置⁽³⁾のように、パルス幅が熱的時定数に比べてはるかに長いものでは定常的なビームを引き出す場合と同等の難しさがある。それほど短パルスビームと長パルスビームとの差は大きいのである。このような理由により短パルスビームのNBI装置と長パルスビームのそれとを同一の評価基準、例えばMWで比較することは適当でない。以下の各節ではNBI装置の各要素の開発の現状について、短パルスと長パルスの区別を念頭におきながら概

説する。

2. イオン源

イオン源はNBI装置の中でも最も長期にわたる試作開発を必要とする機器である。世界の各研究所はテストスタンドを建設し、競って大型のイオン源を開発しようとしてきた。日本でも原研で1975年以降3つのテストスタンド*を建設し、JFT-2 NBI用イオン源(30 kV, 30 A, 0.1 s)を開発したり⁽⁴⁾、JT-60用イオン源開発の一環として長パルス円形イオン源(75 kV, 6 A, 6 s)や矩形イオン源(75 kV, 35 A, 0.1 s)を開発してきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。過去数年間のNBI用イオン源の進歩は目を見張るものがある。第2図に世界の代表的なNBIの開発センターであり、それぞれ短パルスイオン源と長パルスイオン源の開発を特徴としている米国の研究所(LBL/LLL, ORNL)と原研における1パルス当りのビームエネルギーの推移を示す。これらを含めた世界のイオン源の動向をまとめると、核融合装置の大型化とあいまって①高電圧(エネルギー)化、②大電流化、③長パルス化、④高信頼性、⑤長寿命化を指向しているといえる。

* ITS-1(30 kV, 12 A, 0.5 s), ITS-2(80 kV, 40 A, 0.5 s), ITS-3(30 kV, 30 A, 1.0 s)

第3図 2段加速多孔型電極の1個の孔断面と
ビーム引出し中生じる種々の衝突過程

イプのパスが長くなるので問題があり、長パルスイオン源では引出し電極は矩形にしなければならない。

また、除熱の安定性という面からは円形孔の方がスリット孔に比べて優れている。スリット電極の場合はその場所を流れる冷却水によってしか冷却されないのに対し、円形孔の場合は孔と孔の中間部を通して熱がパイプと直角方向に拡散し近傍を流れる冷却パイプによっても冷却されるからである。原研での測定によれば、このような強制冷却電極での動作温度は約180°Cであり、核沸騰領域に属していることがわかっている。また、供試電極によるR&Dなどにより単位冷却面積当たり300 W/cm²の除熱を実証するとともに10 cm^φの円形R&Dイオン源により、70 kV, 6 Aのビームを10 s間引き出し、この間にビームの発散に変化のないことを確認している。このように長パルスビームの引出しに関しては日本が世界をリードしているが、引出し電極の熱応力解析や熱疲労解析をさらに進め、少なくとも100,000ショット以上のビーム引出しに耐える電極を製作する必要がある。

長パルスビームの引出しはソースの型式にまで制限

を加える。特にビームエネルギーが水素で大略70 keV以上になると逆流電子が問題となる。イオンの加速中に衝突によって発生した電子がイオンと逆方向に加速され(第3図の⑥の過程により発生した電子)、高速ビームとなってソースプラズマ発生部分に入ってくる。このような高速逆流電子ビームはイオン源の頭の部分を直撃するが、これがもたらすパワーは全引出しビームパワーの2~4%にも達する。この割合はビームエネルギーが高くなるに従って大きくなる。頭の部分が受ける熱負荷は500 W/cm²を超えることになり、長パルスの場合は従来のデュオビタロンやバケットソースでは冷却できない。この熱負荷に耐え得るように考慮されたのが原研のラムダトロンで、第4図に示すようにアーケツェンバの内部に強制冷却型の電子ビームダンプを備えた構造となっている⁽¹¹⁾。

長パルスビームに対してはカソードも問題である。磁場を全く用いないLBLのソースは形状が簡単で静

第4図 高エネルギー長パルスビーム
引出し用ラムダトロン概念図

かなプラズマが得られるという特徴があったが、磁場を用いないのでプラズマの閉じ込め特性が悪く、所要の密度のプラズマを得るために必要なアークパワーは他のソースに比べ約2倍であった。短パルスビームの場合はこれでも大きな欠点ではなかったが、長パルスにしようとするとき使用しているタングステンフィラメントが熱的に耐えられず、他方これ以上フィラメントの本数を増加する空間的余裕もないために長パルス用ソースとしての使用をあきらめたという経緯がある。

ソースプラズマ発生に使用されるカソードは伝統的にフィラメントカソードが使用されてきた。酸化物をコーティングしたフィラメントは電力を消費せずに十分な電子放出が得られるので、電源やケーブルが小さくて済むという長所があったが、NBI用イオン源のように運転領域が広く大気開放の機会も多いケースでは寿命も2〜3ヵ月と短いため最近では次第に用いられなくなってきた。タングステンフィラメントは蒸発やアーキングによる問題があるほか、アークチェンバ内に設置された場合にはイオンスパッタリングなどによって発生する金属不純物が混入し、将来のカソードとしては不適当かも知れない。原研を含み世界の研究所では少し長期的な視野からインプレカソードやホローカソードの開発にも力を注いでいる。

2. 真空排気ポンプ

トラスに流入する水素ガス流量を制限したり、中性ビームの再電離損失を抑えるためには中性化セル以降の真空度を 10^{-5} 〜 10^{-4} Torr以下にしなければならない。イオン源から中性化セルを通して流れてくる水素ガスの流量は、1台のイオン源当り大抵の場合数 Torr・l/s〜10数 Torr・l/sある。必要なビームパルス幅が短く、100 ms 程度までの場合は大きな拡散箱を設けて水素ガスを拡散させ、真空度が悪くならないうちにビーム入射を終えてしまう方式が最も安価で保守を必要としない良い方法である。

JFT-2のNBI装置では4台のイオン源に対して容積約20 m³の拡散箱を使用し、ビーム入射が停止している時間帯に小容量のターボ分子ポンプで排気している。中性化セルから流れてくるガス流量に見合った排気を行う方式では、必要な真空ポンプの排気速度はイオン源1台当り数万〜数十万 l/s という大きな値になる。このように大容量の真空ポンプは表面ポンプ以外には考えられないが、この目的で過去4〜5年間に開発されてきたものが液体He冷却の凝縮型大容量クライオポンプである。原研でもこの間に12,000と60,000

l/sのクライオポンプを試作し、ポンプ再生までの寿命や熱負荷、ビームとの相互作用などを細かく調べ⁽¹²⁾、次のステップであるJT-60 NBI 原型ユニット(現在建設中、第Ⅲ章参照)のクライオポンプ(130万 l/s)への技術的基礎固めを行なった。水素を排気するためにはクライオパネル冷却のための液体He温度を3.7 Kにする必要があり、このためにHe圧力を減圧する必要がある。これをHe冷凍機を用いた閉ループで実現しようとしているのがLBLのTFTR用原型ビームライン、GAのDoubletⅢ用NBI装置、原研のJT-60 NBI 原型ユニット⁽¹³⁾などである。これらはいずれも現在建設中であり、減圧ポンプを含んだ液体Heの冷凍システムは日本でも最初の試みである。原型ユニットの場合、冷凍能力は3.7 Kで約150 Wである。

3. ビーム受熱機器

短パルスビームの熱負荷を受けるビームダンプやカロリメータなどの受熱面は、熱伝導率の大きいCuやMoの熱容量を利用した慣性冷却方式が採用される。例えばCuの場合、適切な工夫をすれば表面温度が250°C程度になるまでは受熱可能と考えられる。これは100 msのパルスビームの場合、熱流束に換算して約3〜4 kW/cm²のレベルにある。しかし、これ以上の温度になると発生熱応力が応力限界値を超えたり、繰返し疲労によるクリープの発生が進行して冷却パイプが破れるようなことが起り得る。

長パルスビームの場合は強制冷却方式によらなければならない。このような場合のビームダンプは原研以外ではまだ真剣に考えられていない。原研では第5図に示すような断面を持つフィン付きチューブの並びによって受熱し冷却する方式を採用した⁽¹⁴⁾。これはフィンの部分でも受熱することによってパイプ断面の温

第5図 長パルスビームビームダンプに使用予定のフィンチューブの断面図

度勾配を小さくし、発生する熱応力を小さくすることを目的としたものである。また、ITS-2で10 sビームの照射試験を行なった結果、この冷却パイプのバーンアウト熱流束は $0.8 \sim 1.2 \text{ kW/cm}^2$ 程度であることがわかった。この結果に基づいて原型ユニットのビームダンプの設計基準を 500 W/cm^2 としている⁽¹¹⁾。

4. 偏向磁石

中性化セル通過後も中性化しなかった残留イオンビームは中性ビームの通路から外し、受熱面にあてて冷却する必要がある。短パルスビームの場合には、残留イオンビームを曲げる場合にもあまり注意を払う必要がない。なぜなら偏向されたビームに多少の分布の歪みや偏りが生じたとしてもそれが受熱機器の設計に過度の要求をするわけではないからである。ところが長パルスビームの場合には事情は全く異なってくる。まず、偏向したことによりビーム分布がシャープになるような収束型の磁石はビームダンプへの熱流束が大きくなり過ぎて不適当である。また、発散型の磁石を用いる場合にも偏向されたビーム分布のすそ野に相当する部分が、磁石の磁極などに衝突することがあるので冷却体で保護しなければならない。ビーム軸の調整不良による軸ズレや、トカマク装置からの漏洩磁場による影響を避けながら残留イオンビームを所定のビームダンプの位置に導くための設計は非常に困難な作業である。JET用 NBI 装置のビームラインの設計がいまだに図面化されないのはこのような理由によるものである。

Ⅲ. トカマク型核融合装置への応用

トカマク炉に要求される炉心プラズマの諸元の概要例は以下のとおりである⁽¹²⁾。

- (1) プラズマ密度×閉じ込め時間: $10^{14} \text{ cm}^{-3} \times 1 \text{ s}$
- (2) 平均温度: 10 keV, 中心温度: 20 keV
- (3) 平均ベータ値(プラズマ圧/磁場圧): 5%
- (4) 純度の高いプラズマ

これらの実現を目標とした研究が世界各国で進められている⁽¹⁴⁾。NBI 加熱は特に上記(2), (3)に関連した研究にとって、きわめて有望と考えられ、1973年当初から英, 米のトカマクに適用され始めた。初期の研究では100 kW 程度の加熱入力で、主に加熱機構の研究が中心であった。わが国においても1976年に同様の研究が行われた。これらの結果は、NBI 加熱の機構がほぼ二体衝突で説明できることを明らかにし、予想どおりの加熱が行えることを示した。その後 NBI は加熱機構の原理的な研究のためよりは、完成された加熱手段としてトカマク装置の主要部と考えられるようになった。現在では MW 級の NBI 装置を設けたトカマクは世界各国に見られる(JFT-2(日), PLT(米), PDX(米), ISX-B(米), T-11(ソ), TFR-600(仏), DITE(英))。特に PLT, JFT-2, ISX-B の研究の進展は早く、以下の重要な成果を得ている。

中心イオン温度 7 keV(PLT⁽¹⁵⁾)

円形平均ベータ値 3%(JFT-2⁽¹⁶⁾(17), ISX-B⁽¹⁸⁾)

PLTは現在運転中の最大級のトカマク装置で、主に

第 6 図 PLT における中心イオン温度 T_i と NBI 入力 P_b およびプラズマ平均密度 $\bar{n}_{e13}$ (10^{13} cm^{-3} の単位) との関係⁽¹⁵⁾

高温プラズマの閉じ込め特性の研究が進められている。最大 2.2 MW の NBI による加熱が行われている。第 6 図に、中心イオン温度 T_i と加熱入力 P_h とプラズマ平均密度 $\bar{n}_{e13}$ との関係を示す。リップル(磁場の不均一性)が小さい場合には入力に比例して、中心温度が上昇していることがわかる。また最高 7 keV の炉心プラズマに近い温度が得られた。このようなプラズマは、物理的な性質の面からは炉心プラズマと同等である。つまりクーロン衝突を無視しえるプラズマである。このため、このプラズマの性質、特にエネルギー閉じ込め時間を研究することによって、炉心プラズマの閉じ込め特性を精度よく知ることが可能である。現在までのところ不明な点も多く、今後の系統的な研究が望まれる。

一方、JFT-2, ISX-B, T-11 はいずれも、すでに小型トカマクまたは旧世代のトカマクとなりつつある(特に JFT-2 は 1972 年完成)が、実験装置としての使いやすさを生かして、将来のトカマク炉心プラズマの性能向上のための開発研究が進められている。例えば、JFT-2 では、加熱法の改良、トカマク炉の DC 化(プラズマ電流の定常維持)、高ベータ化などである。JFT-2 では 1980 年 2 月に、大型 NBI 装置が取り付けられた(写真 1)。この装置の性能は以下のとおりである。

イオン源電源 (40 kV × 65 A) × 2

イオン源 (35 kV × 25 A) × 4

現在までに、JFT-2 に 1.2 MW の加熱を行なっている。将来イオン源や、入射ポートの改善によって、最大 2.5 MW まで入射パワーを上昇することができ、JFT-2M(1982 年完成予定)に流用される予定である。現在までは、高ベータ化の研究が行われている。その結果を第 7 図に示す。この結果から、理想的な磁気流体力学的不安定性の一過程であるバルーニング・モードが、ベータ値の上限を与えていないことが明らかとなり、さらに入力を増すことによって高ベータ値が得られる可能性が強いことを示している。円形断面で 3% のベータ値が得られたことは、このような物理的な意味以上に、実用的に重要な意味をもっている。つまり、炉において通常考えられている非円形断面効果を考慮に

JFT-2 装置を上方から見た写真。中央の円形が JFT-2 上部台、右下部に NBI 装置の排気用タンク、中央下にイオン源 1 台が見られる。

写真 1 JFT-2 および NBI 装置

第 7 図 NBI 加熱によって得られたベータ値と理想的 MHD 解析より予想されるベータ値 (JET-2)⁽¹⁰⁾

入れると、炉心プラズマの条件である5%の達成が容易であることを示している。ほかにも、NBIを用いてトカマク電流の維持の研究、磁場リップルの影響の研究、ダイバータの研究なども進められている。

Ⅳ. 将来への展望

1. NBI装置の技術的見地から

日本では現在JT-60の建設が進められているが、同装置の周辺には合計14基のビームラインユニットから成るNBI装置が取り付けられ、20 MWの中性ビームが入射される予定である(第1表)⁽³⁾。これら14基のユニット製作に先立って、その性能を確認するために建設されるのがJT-60 NBI 原型ユニットであり、すでに建設が開始され1981年9月に完成の予定である⁽¹¹⁾。これは第8図に示すようなビームラインユニットとターゲット容器のほか、電源ユニット、冷媒循環系、純水冷却系、補助真空排気系などから構成されるもので、1パルス当りの中性粒子の入射エネルギーは15 MJとなる。

INTOR や次期装置など JT-60 以降の装置の NBI 装置は中性重水素ビームを入射しなければならないが、水素ビームと同等の浸透深さを得るためにはビームのエネルギーが水素の場合に比べて2倍必要となる。したがって、プラズマ径が JT-60 よりひと回り大きくなるこれらの装置に対してはビームエネルギーは200 keV 以上が望まれるが、中性化効率率はエネルギーとともにどんどん悪くなるのでシステムとして成立し難い。このため150~200 keV のエネルギー領域では、残留イオンビームからエネルギーを回収するエネルギー回収器の開発が望まれる。正イオンビームを用いたときの効率低下の問題点を避けるもう一つの方法は大電流負イオン源を開発することである。負イオンビームの中性化効率はビームエネルギーによらず70~90% 近くもあるので、200 keV を超えるエネルギーとなっても高い変換効率が得られる可能性がある。しかし負イオン源開発の世界のレベルは

第1表 JT-60用中性粒子入射加熱装置の主要諸元

1. JT-60用中性粒子入射加熱装置の主要諸元	
中性粒子ビームエネルギー	75~100 keV
全中性粒子ビーム出力	20 MW
全イオンビーム出力	72 MW
低温中性粒子のトラスへの流入量	$>4 \times 10^{20}/s$
粒子入射装置ユニットの数	14
2. 粒子入射装置ユニットの主要パラメータ	
中性粒子ビーム出力	~1.5 MW
イオン源: 加速電圧	75~100 kV
引出し電流	35 A × 2
ビームの発散(1/e)	$<1.0^\circ$
中性化セルの数	2
中性化効率	0.39
真空排気系: クライオポンプ系(1,300,000 l/s)	
およびターボ分子ポンプ系	
真空容器圧力	$(0.6 \sim 5) \times 10^{-5}$ Torr
電源(真空管による制御機構付き)	
電 圧	100 kV
電 流	80 A

第8図 JT-60 粒子入射加熱装置原型ユニットビームライン

ようやく1 Aを超えたところであり、今後の体系的な開発体制が望まれる。

これらのNBI装置の開発はいずれも試作開発を要するものばかりであり、そのための設備も大がかりなものが多い。開発費の集中的体系的な使用が望まれる。

2. トカマクにおけるNBI加熱の

将来と他の加熱手段との関連

MW級のNBI加熱装置が一般化し、本格的な加熱研究が各国で進められているが、さらに炉心プラズマに近いプラズマの研究を進めるために、1981~84年にかけて大型トカマクの運転が開始される。わが国ではJT-60を建設中である。本装置では5~10 s間臨界プラズマを得ることを主目的としている。このために前述の大出力、長パルスのNBI装置が準備される。EC, 米, ソもほぼ同様の計画であるが、10 sの長時間加熱はダイバータとともにJT-60の特徴となっている。

さらに、本格的なD-T反応炉である次期装置(例えばINTOR⁽¹³⁾)では、175 keV, 75 MW, 5~10 s間のNBIが必要と考えられている。

NBI方式は、工学的にも物理的にも研究が進み、すでに各国でMW級装置の信頼性の高い運転が行われているため、大型トカマクや次期装置においても、最も重要で確実な加熱手段として採用されている。しかし、実用炉まで想定すると、前述のような根本的に改良すべき点が残されている。一方、他の加熱法、特にLH(低域混成波)やICRF(イオン・サイクロトロン周波数域)によるいわゆるRF加熱は、これらの欠点を有していない。一方、実績という点からは、長期にわたり明確な加熱の成果が上がっていなかったことからRFの開発は遅れていた。しかし、近年JFT-2におけるLHによる効率のよい加熱の実証⁽¹⁶⁾、JFT-2a⁽¹⁷⁾、PLT⁽²⁰⁾、TFR⁽²¹⁾におけるICRFの高効率の加熱の成功、JFT-2におけるトカマクのDC化のためのLH

による電流維持の基礎実験の成功⁽²²⁾、などによってRFも有望視されるようになった。しかし、いずれも数100 kW程度の研究であるため、数MW以上での本格的な研究が待たれる。JFT-2Mでは数MW、JT-60では10 MWのRFに加熱の研究が準備される。

以上の状況を総合すると、確実な加熱手段のNBIが先行して、大型トカマク、あるいは次期装置の炉心プラズマを実現し、より早く核融合炉の総合的な開発を進め、一方では、より単純な、より信頼性の高い炉システムを開発するという観点からRF加熱の研究が進められているといえる。

—参考文献—

- (1) STIX, T.H.: *Plasma Phys.*, 14, 367 (1972).
- (2) 松田慎三郎: 原子力誌, 16[9], 459 (1974).
- (3) 松田慎三郎, 他: *JAERI-M* 7655, (1978).
- (4) 荒川義博, 他: *JAERI-M* 8869, (1980).
- (5) OKUMURA, Y., et al.: *Rev. Sci. Instrum.*, 51[6], 728 (1980).
- (6) OHARA, Y., et al.: *Proc. 8th Symp. Eng. Prob. Fusion Res.*, p 198 (1979).
- (7) BERKNER, K.H.: *ibid.*, p 214.
- (8) TSAI, C.C., et al.: *ORNL-TM* 6360, (1978).
- (9) GOEDE, A.P.H., GREEN, T.S.: 文献(6), p 680.
- (10) BARIAUD, A., et al.: 同上, p 685.
- (11) MATSUDA, S., et al.: 同上, p 1383.
- (12) 柴田猛順, 奥村義和, 桜庭順二: *JAERI-M* 7869, (1978).
- (13) 例えば, 森 茂, 迫 淳, 平岡 徹, 田島輝彦: 原子力誌, 22[7], 456 (1980).
- (14) 例えば, 永見正幸, 下村安夫: 物理誌, 35[2], 107 (1980).
- (15) STODIEK, W., et al.: *IAEA-CN-38/A-1*, (8th Int. Conf. Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Brussels, 1980).
- (16) SUZUKI, N., et al.: *IAEA-CN-38/T-2-3*.
- (17) SHIMOMURA, Y., et al.: *JAERI-M* 9065, (1980).
- (18) MURAKAMI, M., et al.: *IAEA-CN-38/N-1*.
- (19) HOSEA, J., et al.: *IAEA-CN-38/D-5-1*.
- (20) KIMURA, H., et al.: *IAEA-CN-38/D-5-2*.
- (21) T.F.R. グループ: *IAEA-CN-38/D-3*.
- (22) YAMAMOTO, T., et al.: *Phys. Rev. Lett.*, To be published.

核融合研究の進歩と 動力炉開発への展望

(「核融合炉調査」研究専門委編)

—1976年8月刊—

B5判タイプオフセット印刷, 575p.(1976.8.)

定価 8,000円(会員特価 6,000円), 千300円

内容詳細は本誌Vol.18, No.7 (p.469) 参照。

ANS/ENS・Int. Conf. World Nuclear Energy

—Accomplishments and Perspectives—

1980年11月16~21日 (Sheraton Washington Hotel)
Topics

Meeting the World's Energy Demands
Realistic Estimates of the Consequences of
Nuclear Accidents
Risk Assessments of Energy Options
High Level Waste Treatment and Isolation