

内外情報/研究会報告

ペレット入射装置ワークショップ報告

小野塚正紀, 菅野正大*, 須藤 滋**, 佐藤浩之助**

(三菱重工業)

* (神戸製鋼所)

** (核融合科学研究所)

(1993年2月8日受理)

1. はじめに

昨年9月20～21日の2日間, ローマの郊外 Frascati にて, “Workshop on Pellet Injectors” が開催された. この前週に “Symposium on Fusion Technology” がローマにて開かれ, そのサテライト会議の形で ENEA (Frascati) の Scaramuzzi らにより企画されたものである.

会議の主題は上述の題目のように, ペレット入射装置の開発に主点があり, 一部, プラズマへの入射実験の報告も行われたが, 大半が入射装置の開発状況や新しい方式の提案についての報告にあてられた. 全体としては, 各々の入射技術に関して着実に開発が進展しているという印象であった. 入射方式別に見ると, これまで高速化で実績を上げてきた2段ガスガン方式 (Frascati, 京大など) において, 更に高速化のデータ ($V_p = 3.4 \text{ km/s}$, Cadarache/Grenoble) が報告され, 3 km/sec 台が定着してきたこと, レールガン方式でアイスペレット加速のデータ ($V_p = 2.8 \text{ km/s}$, Univ. of Illinois) が報告されたこと, 遠心方式では 1.2 km/s 程度ながら 30 Hz (100個程度) のプラズマ入射実験が開始されていること, E-beam による加速などの新しい方式も少しずつ進展をしている事などが上げられる. しかし, 長時間高繰り返し率の新しい試みについては, 進展が見られていない. また, TFTR などで計画されている DT 実験へ向け, トリチウムペレット入射装置の準備も着々と進めら

れているようである.

なお, 参加者は全体で約30名, 内訳は地元のイタリアが9人, 米国7人, 日本からは筆者の4人が参加できた. その他ロシア3人, フランス2人, ドイツ, 英国, デンマーク, オランダ各1人であった.

以下に, 各方式における進展の概略をまとめた.
(佐藤)

2. 2段ガスガン法

今や 3 km/s 前後のペレット射出装置は2段ガスガン方式を以て確立したものとなったとの印象を初めて与えたワークショップであった.

イタリアの ENEA のグループが, ミラノの CNPM/CNR のグループと共同で1984年から2段ガスガン方式の開発に取り組み, 1987年には 2.3 km/s を達成したが, 一方 JET では, ドイツの EMI などと協力して1987年にベアーペレットで 2.65 km/s を達成し, 1989年には sabot (一種の保護カプセル) を使って $4 - 4.5 \text{ km/s}$ を達成した. しかし, この sabot 方式の実機への適用には現在のところメカニズムの複雑さのために成功していない.

この間, 米国の ORNL の取り組みが強力で1989年には 2.85 km/s の速度を達成すると共に, 1991年には 1 Hz 程度の繰り返し射出技術についてダミーペレットを用いて充分見通しのある展望を与えた. ORNL では高速化よりも繰り返し射出

に重点を置いた開発方針をとっている。

日本では京都大学ヘリオトロンで、1989年から2段ガスガンの開発を神戸製鋼所と共同で開始し、独自の大流量高压高速弁を完成するなどして、1990年にはベアーペレットとしては初めて3.0km/sを超え世界最高速の3.2km/sを達成した。

しかし、このレベルの記録に ENEA のグループが翌年の1991年に3.3km/sを記録して追いつき、更には今まで余り発表活動のなかったフランスの Tore Supra のグループが、1992年まさに本ワークショップの直前に3.4km/sを達成して衝撃的なデビューを果たした。又、この Tore Supra のグループは実際に2段ガスガン(3.4km/sのもの)ではなくプロトタイプの2.4km/sのものを Tore Supra に装着して入射実験を行っており、プラズマ中心への効率的な粒子補給によりプラズマ特性(閉じ込め、密度限界)の改善を実現するという

大きな成果をホットニュースとして紹介した。また、イタリアの FTU トカマク (ENEA) でも2段ガスガンを装着して1992年7月から実験を開始したばかりであった。

このように世界における2段ガスガンの開発は目覚しく、エキサイティングでさえあったが、今回のワークショップは2段ガスガンの開発の流れにおいて真に良いタイミングであったと言える。技術確立のひとつの節目となった。重水素のベアーペレットとしては3.0-3.4km/sの速度はもはや確立した技術となったこと、逆に3.5km/s以上はこの方式では実用的にはまず不可能であることが明らかとなったからである。加速を大きくしすぎるとペレットが壊れてしまう。ただし、トリチウムペレットの方が重水素ペレットに比べて硬いので上限に若干のマージンはある。

sabot を使う方式は上の欠点を克服できるが、

Table 1 二段軽ガスガン方式の主仕様一覧表

プラズマ実験装置 /研究所/国	A: 一段高压容器容量(cc) B: ポンプチューブ寸法; 径(mm)×長さ(mm) ×Max.圧力(MPa) C: バレル寸法; 径(mm)×長さ(mm)	ピストン 重量(g) 材料	ペレット ガス種 径(mm)× 長さ(mm)	ペレット加速 ガス/初期充 填圧力(MPa)	Vp max (m/s)	特 徴
FTU/ ENEA/イタリア	A: 430 B: 25×450×— C: 1.6×400	13	D ₂ 1.6×1.6	水素 0.04-0.35	2500	・プラズマへの入射実績あり ・ブリーチ側にも高速弁設置
Tore Supra/ CEN-G/フランス	A: 1000 B: 35×1000×60 C: 3.2×920	39	D ₂ 1.9×4-5 (出口)	水素 0.4-0.6	2400	・プラズマへの入射実績あり ・高初期充填圧力
NIFS・KSL/日本	A: 1000 B: 22×1500×240 C: 2.2×400	18 チタン合金	H ₂ 2.2×4.0	ヘリウム/水素 0.05-0.10	3200	・大流量高速高压弁 ・ピストン構造, 材料検討
ENEA/イタリア	A: 150 B: 25×400×100 C: 1.6×400	13	D ₂ 1.6	水素 0.04-0.1	3300	・ブリーチ側にも高速弁設置
CEN-G/フランス	A: 1000 B: 35×525×150 C: 4×920	39	D ₂ 3.2×6-7 (出口)	水素 0.2-0.5	3400	・高初期充填圧力
ORNL/アメリカ	A: 640 B: 25×900×— C: 4×—	25-50 チタン	D ₂ /T ₂ 4.0	水素 0.05-0.1	2800	・TFTR に設置 ・D-T ショット仕様
JET/欧州	A: — B: 60×3000×200 C: 6×1500	1000 チタン合金	D ₂ 6.0		4000	・実用化検討中 ・sabot 付き