

慣性核融合炉のドライバー開発

Driver Development for Inertial Fusion Reactor

井澤 靖和

大阪大学レーザー核融合研究センター

IZAWA Yasukazu

Institute of Laser Engineering, Osaka University

1. はじめに

慣性核融合の炉心プラズマ研究にはこれまで主として大出力の Nd: ガラスレーザーが用いられてきた。日本や米国で、核融合点火に必要な温度と圧縮密度が個々に達成され、核融合点火・燃焼をめざした NIF (National Ignition Facility、米国) や LMJ (Laser Mega-Joule、仏国) などの大型研究が開始されている。この計画が予定通り進めば、2010 年頃には ~ 10 程度の核融合利得を含めて点火・燃焼が実証される見通しである。一方、近年の超短パルス・超高強度レーザー技術の進展により、高速点火というコンパクトで高性能の新しい慣性核融合方式が提案された。1 つのレーザーで燃料の高密度圧縮と核融合点火を行う従来からの中心点火方式に対し、高速点火では圧縮と加熱に特性の異なる別々のレーザーを用いる。阪大レーザー研では、コーンガイド形ターゲットを用いた実験により、固体密度の 60 倍に圧縮したプラズマに超短パル

スレーザーを照射し加熱することに成功している[1]。

炉心プラズマ研究の進展とともに、「光陽」[2] や「SOMBRERO」[3] などの慣性核融合炉の概念設計が行われ、設計に沿って炉用ドライバーの開発研究も活発化してきた。これまで炉心プラズマ研究に利用されてきたフラッシュランプ励起のガラスレーザーはシングルショットの爆縮実験に最も適したレーザーではあるが、炉用ドライバーとして必要な効率や繰り返し動作を実現することは困難である。このため半導体レーザー励起の固体レーザー (Diode-Pumped Solid-State Laser, DPSSL) [4, 5] や KrF レーザーが、また重イオンビームやパルスパワー (X 線源) なども炉用ドライバーの重要な候補と考えられている[6]。ドライバーの種類と点火方式・ターゲットへの照射方法について現在考えられている組み合わせを表 1 にまとめる。

表 1 ドライバーの種類と点火方式・照射方法の組み合わせ

ドライバー	効率	点火方式/照射方法	最大利得	課題等	評価
レーザー (DPSSL, KrF)	~ 10 %	中心点火/直接照射	150	ホットスパークの安定性	
		中心点火/間接照射	50	安定性・ターゲットコスト	×
		高速点火/直接照射	300	加熱効率	
		高速点火/間接照射	100	加熱効率・ターゲットコスト	
重イオンビーム	30 %	中止点火/間接照射	50	安定性・ターゲットコスト	
		高速点火/間接照射	100	加熱手法・ターゲットコスト	

表2 レーザーのパラメータ(中心点火)

パルスエネルギー	2 5 MJ
波長	0.25 0.35 μm
効率	10 %
繰り返し周波数	2 10 Hz

2. レーザードライバー

炉用ドライバーとして必要とされているレーザーの性能を表 2 にまとめた。このパラメータは中心点火を想定したものであり、高速点火の場合には爆縮に必要なパルスエネルギーは 1/10 程度ですむ可能性がある。また、高速点火の加熱用超短パルスレーザーのパラメータは 100 kJ / 1 10 ps 程度と考えられている。いずれにしても、出力エネルギー 1 10 kJ の増幅システムを基本ユニットとし、これを多数ビーム結合したものを炉用ドライバーとして用いることになると考えられている。

阪大レーザー研と米国リバモア研では炉用ドライバーとしての DPSSL の開発が進められている。阪大では HAP4 ガラスを増幅媒質とする水冷式ジグザグスラブ増幅器[7]を、リバモア研では Yb:SFAP を増幅媒質とする空冷式ディスク増幅器[8]を採用し、パルスエネルギー 10 ~ 100 J、繰り返し 10 Hz、効率 10 % 以上の実証をめざしている。大型の結晶育成が困難とされていた YAG などの固体レーザー材料でセラミック方式が開発され、慣性核融合炉ドライバーへの応用が注目されている。

KrF レーザーでは、米国において、パルスエネルギー 400 J、繰り返し 5Hz の "Electra" 装置の開発が提案されている。第 2 期ではこれを 30 50 kJ に増力する計画である。

3. 重イオンビームドライバー

重イオンビームへの期待はその発生効率が 20 ~ 30 % と高いことにある。表 3 に慣性核融合炉に必要な重イオンビームの代表的なパラメ

表3 重イオンビームのパラメータ

イオン質量	A 200
イオンエネルギー	10 15 GeV
パルスエネルギー	5 MJ
パルス幅	25 ns
ピーク電流	20 kA
繰り返し周波数	1 10 Hz

ータを示す。重イオンビーム慣性核融合の概念設計作業を下にして、RF 加速器を基盤とする方式が日本と欧州で、線形誘導加速器を用いる方式が米国で提案されている。技術基盤が確立しているという点では前者が、大電流加速能力が高いという点では後者が有利とされている。粒子あたりのエネルギーや繰り返し能力はすでに実証されているが、10 kA 級の大電流イオンビームをエミッタンスの増大を抑制しながらターゲットまで導くことは既存の加速器技術の延長線上にあるわけではなく、ブレークスルーが必要とされている。

参考文献

- [1] R. Kodama et al., Nature **412**, 798 (2001).
- [2] 北川 他、核融合研究 **68** 巻別冊 335 (1992).
- [3] I. V. Sviatoslavsky et al., Fusion Technol. **21**, 1470 (1992).
- [4] K. Naito et al., Jpn. J. Appl. Phys. **31**, 259 (1993).
- [5] C. D. Orth et al., Nucl. Fusion **36**, 75 (1996).
- [6] 慣性核融合ドライバー技術(小特集)、プラズマ・核融合学会誌 **75** 巻、No.2 (1999).
- [7] T. Kawashima et al., Jpn. J. Appl. Phys. **40**, 6415 (2001).
- [8] C. Bibeau et al., in Inertial Fusion Science and Applications 99, ed. C. Labaune W. J. Hogan and K. A. Tanaka, Elsevier (2000).

