

「レーザー核融合の新展開」解説小特集号によせて

疇地 宏

大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-6)

Preface to Topical Papers on Recent Development of Laser Fusion

Hiroshi AZECHI

Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6, Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

(Received April 20, 2004)

レーザー核融合研究では、その誕生のときから現在に至るまで新しい概念の創出が行われてきた。レーザー核融合研究そのものはレーザーが発明された1960年から数年の時を置かずして始まり、70年代初頭には爆縮の概念が提案された。燃料を十分に燃焼させるには燃料密度×半径の積を高める必要があるが、固体密度の燃料では必要となる燃料が大きくなり、これを加熱するには非現実的といえるほど莫大なレーザーエネルギーが必要となる。しかし、もし燃料を固体密度の1000倍に圧縮することができればレーザー核融合は数10 kJのエネルギーで実現できるというものが爆縮概念のポイントであった。その後70年代の終わりには、燃料の一部を点火温度に加熱し、その周りを取り囲む燃料(主燃料という)を燃焼させるホットスパーク点火が提案された。ホットスパーク点火では燃料全体を加熱する必要が無いので核融合利得(核融合エネルギー/レーザーエネルギー)を大きく向上させることができる。ホットスパークを形成する方法としては、燃料の中心に高温部を形成するいわゆる「中心点火」概念が想定されていた。この概念が提案された当初は、ホットスパークは燃料の密度を下げることなく形成されると想定されていたが、実際の「中心点火」によるホットスパークは主燃料が収縮する時の圧力仕事により形成されるため、その密度は主燃料より大幅に低くなる。燃料の構造が中空構造になるため燃料の体積が増大し、それを形成するのに必要なレーザーエネルギーも増大する。その結果、米国立点火施設NIFの点火計画でみられるように、点火・燃焼に必要なレーザーエネルギーは70年代初頭に予測された数10 kJから実に100倍も増大してしまったのである。高速点火はこのような背景のなかで誕生した。90年代初頭には、燃料球をあらかじめ高密度に爆縮し、最大密度になった時点で爆縮コアの横からレーザーパルスを入力し、燃料が飛散するより早く加熱する、という新しい点火概念が提案された。燃料を急速に加熱することから「高速点火」と呼ばれている。高速点火では燃料プラズマは中心部にも燃料の詰まった中実構造なので、中空構造

の中心点火に比べて非常に小さなエネルギーで大きな核融合利得を得ることができる。

本解説小特集ではまず炉心プラズマの物理がどこまで理解されたかについて概観する。高速点火、中心点火の双方に必要な高密度圧縮に関する研究の現状を紹介し、新たに発見した高密度圧縮を妨げるレイリーテイラー不安定性の抑制を導入することにより固体重水素燃料の高密度圧縮が実現されると期待する。続いて高速加熱の現状について、特に高効率の加熱が可能となったコンターゲットを中心に述べる。中空のコーンを通してエネルギー注入するというアイデアは、解析的な連続性とは無縁なブレイクスルーの典型である。

引き続き高速点火の誕生がレーザー核融合の最終目標である発電炉開発に与える影響を述べる。これまでのレーザー核融合の炉設計は、従来方式である中心点火に基づいて極めて大型の施設を前提としていたために、レーザー核融合炉開発が経済的に成立しうるかについては議論の余地が残っていた。確かにNIFの大きさはフットボール競技場ほどもあり、これを10 Hzの繰り返しで動作させる施設がいかに大きなものになるかを想像することは困難ではない。そこに高速点火が出現し、初めて数MW級の小型の実験炉へ進むパスの可能性が現れた。このことは、研究開発のステップの短縮と同時に研究開発の規模の大幅な縮小により、レーザー核融合開発戦略を大きく変化させる可能性を示している。

高速点火は前人未踏の新領域であると言われるが、エネルギー開発では予測可能であることが求められる。このために、新しい統合コードの開発が進められている。粒子コード、MHDコード、流体コードを統合し、第一原理に基づいた予測能力を確立する開発の現状が述べられる。

我が国の核融合研究開発の中で、レーザー核融合は最先端のレーザー技術と極限状態の科学を応用して、磁場核融合と原理的に異なる核融合エネルギー開発の可能性を切りひらくものであると同時に、新たな学術分野と先

端産業の発展に貢献する新しいエネルギー開発研究として位置づけられている。本解説小特集でもレーザー核融合の根幹を成す放射流体力学とレーザー技術の先端産業への応用として次世代半導体のための極端紫外光源開発について解説する。本解説小特集ではスペースの関係で学術分野への波及を割愛せざるをえなかったため、今後同分野の包括的な特集が組まれることを期待したい。

さらに関連する研究として学術や医学応用へ繋がるレーザー加速に関する論文と、核融合ターゲットを投入する制御技術についての論文が掲載される。また、32巻4号に掲載済の核融合関連論文「高繰り返し電子ビーム励起KrFレーザー増幅器の開発」(奥田 功氏, 産総研)も参考にされたい。本解説小特集で含めることの出来なかった課題の一部を補っていただけるものと思う。

以上述べたようにレーザー核融合ではほぼ10年ごとに

新概念が生み出されて来たと言える。列記すれば

- ・60年代はじめのレーザー核融合そのもの、
- ・70年代はじめの爆縮概念、
- ・70年代終わりのホットスパーク点火、
- ・90年代はじめの高速点火、

である。これらは並列概念ではなく、それまでの概念を土台として新しい概念が展開されてきたことに特徴がある。少々短絡的かもしれないが、高速点火の誕生から10余年を経て、そろそろ新しい概念が誕生する時ではないだろうかを期待している。爆縮レーザーと加熱レーザーを分離するという高速点火の概念を土台にすることが1つのポイントかもしれない。本解説小特集が多くの方々にこの分野への関心を持っていただく機会になると同時に、新概念を生み出してやろうという覇気あふれる方々の参入のきっかけになることを願う。