

核融合科学研究所における レーザー核融合用極低温ターゲットの研究開発

岩本 晃 史

核融合実験には大きく分けて2つの方法があります。磁場でプラズマを閉じ込める磁場核融合実験装置、慣性力を利用してプラズマを閉じこめる慣性核融合実験装置です。核融合科学研究所(以下、核融合研)の大型ヘリカル装置(LHD)は磁場核融合実験装置の仲間ですが、今回はレーザーを利用した慣性核融合実験装置を用いたレーザー核融合実験に関する研究のうち、大阪大学レーザーエネルギー学研究中心(以下、阪大レーザー研)と共同で研究開発している極低温ターゲットについてご紹介いたします。

日本国内では主に阪大レーザー研において、レーザー核融合実験が行われています。その実験に必要なターゲットの仕様とともに高速点火方式と呼ばれるレーザー核融合の原理を図1で説明します。阪大レーザー研仕様のターゲットは、内面に20ミクロン厚の固体重水素燃料膜が形成された直径0.5ミリメートルのプラスチック球殻(以下、燃料球殻)に点火用レーザーを導く円錐形(長さ3ミリメートル)の部品(コーンガイドと呼んでいます)が取り付けられています。とても小さいです。この大きさの燃料球殻では残念ながら後述の核融合燃焼には至りませんが、物理的な原理実証研究は可能です。この原理実証が成功すれば燃料球殻を直径数ミリメートルに拡大し、それに合わせてレーザーエネルギーを増強すると、核融合燃焼が可能になると考えられています。次に、燃料球殻とレーザー出力が理想的な状態を仮定し、高速点火方式の核融合燃焼までの過程について説明します。まず始めに燃料球殻に向かい均一に圧縮用レーザー光を照射し、超高密度プラズマを生成します。この状態では核融合反応を連続して起こすための準備段階です。次にこのプラズマに対して点火用レーザーを照射し、核融合反応を連続して起こすためのエネルギーを瞬間的に供給し、核融合燃焼を開始させます。この状態を点火とい

います。その後、核融合反応が燃料全体に広がり(核融合燃焼と言います)、レーザーにより消費した以上のエネルギーを取り出すことができます。この過程は自動車のガソリンエンジンに燃料を噴射、圧縮してスパークプラグで爆発的な燃焼を起こす過程によく似ています。自動車のエンジンのように、燃料を連続的に供給、点火・燃焼させ、核融合エネルギーを定期的に取り出す発電炉を作ることが最終的な目標です。

核融合研にはLHD用超伝導磁石の研究開発で培った極低温技術があります。阪大レーザー研のアイデアを実現するために必要な固体重水素を取り扱う極低温技術、それが共同研究の始まりです。レーザー核融合実験用ターゲットに使用される燃料は重水素ですが核融合研では代わりに通常の水素を使用して研究を行っています。この水素は常温では気体です。レーザー核融合に必要な燃料は固体水素で、水素を固体状態にするためには約 -260°C まで冷却する必要があります(そのため極低温ターゲットと呼んでいます)。超高温のプラズマを作るために極低温状態の燃料を使用とは何ともおかしな感じがしますが、レーザー光の力で核融合燃焼を起

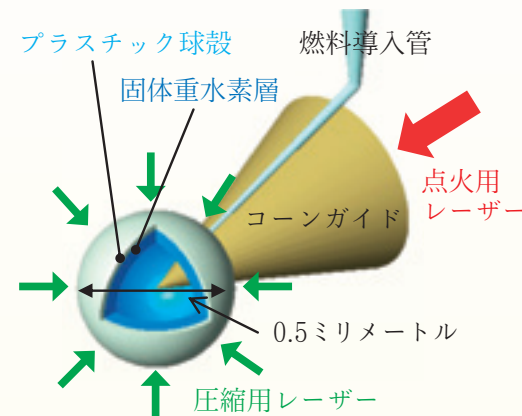


図1 高速点火レーザー核融合実験用ターゲットと照射レーザーの役割

こすためには固体燃料が良いとされています。さて、固体水素の燃料球殻と文章では簡単に書けますが、例えば水を凍らせきれいな球殻を作れることを想像してください。良い方法を思いつくでしょうか?「このできるだろうか?」が研究の出発点です。特にこのターゲットは極低温環境を作り出す小さな容器の中に入れられており、きれいな燃料球殻を完成させることは非常に難しい技術です。それを実現する方法として現在二つの方法を採用して開発をしています。一つはフォーム法と呼ばれる方法で、アメリカの研究者が1980年代に提案し、その後も継続して開発が行われています。私達も同様にその開発を行っています。もう一つは私達のグループが提案しているコーンガイド加熱法で、今回はこれについて説明します。その原理は表面張力(コップに水をためたとき、あふれそうになる直前に表面が盛り上がりても水がこぼれない状態を維持する力)と昇華現象(ドライアイスが固体ですが、溶けて液体になるのではなく、直接二酸化炭素の気体になります。その現象です。)を利用しています。まず、図1に示したターゲットの仕様は完成した状態ですが、実際にはプラスチック球殻にコーンガイドが取り付けられた状態からのスタートです。このターゲットを -260°C 付近まで冷却し、その中に液体状の水素を導入すると図2(a)の写真のように表面張力によりコーンガイドの周りに液体水素が溜まります(写真のプラスチック球殻は直径2ミリメートルです)。その後、固化温度にするとその状態で水素が固体になります。この状態でコーンガイドを加熱すると、先ほどのドライアイスと同様に固体水素が昇華し気体になり、プラスチックの球殻内のあらゆる場所に飛んでいき再び固体になります(図2(b)にその説明)。この方法を使えばコーンガイドの周辺にあった固体水素を均一にプラスチック球殻内全体へ移動させることができます。このような過程を何度か繰り返すと、必要な燃料球殻を形成することができます。現在、この方法は原理実証段階ですが、試験的に作った燃料球殻は図2(c)のようにほぼ均一です。表面の凸凹などがまだ目立ちますが、今後は最も良い条件を探しながら必要な仕様の燃料球殻を作り出し、最終的には阪大レーザー研の実験で使用するよう研究を進めています。

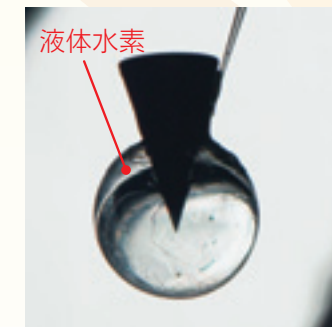


図2(a) 液体水素がコーンガイドの周辺に供給された状態、その後、固化させます。



図2(b) 昇華-再固化の模式図



図2(c) 形成された固体水素層。その中には薄い気体水素が満たされています。

さて、阪大レーザー研で進められているレーザー核融合実験ですが、世界を見ると米国の国立点火施設では点火・燃焼実験が2012年内に行われる計画になっており、その成功の後には発電炉を作ろう!と計画が考えられています。フランスでは同様な実験装置がほぼ完成しています。またエネルギー確保が重要な課題になってきた中国においても同様な実験を行うための実験装置の建設が急ピッチで行われるなど、レーザー核融合の実現に向けて多くの国が研究を推進しています。

(装置工学・応用物理研究系 准教授)