

## 普段目にする自然現象を利用した レーザー核融合実験用極低温ターゲットの開発

岩本晃史

太陽では、太陽自身の巨大な重力でプラズマを閉じ込め、核融合反応が起こっています。核融合炉の実現にむけて、その反応を地上で起こすために大きく分けて2つの原理の研究が進められています。一つは、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置(LHD)で実験を行っているように強力な磁場でプラズマを閉じ込め反応を起こす方法です。もう一つはレーザーや重イオンなどを用いる慣性核融合と呼ばれる方法です。国内では大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいてレーザーを用いた高速点火という核融合実験が進められています。その原理は次の通りです。図1のような直径500ミクロンの小さな固体燃料ターゲットに超強力なレーザーを照射するとレーザーにより表面のプラスチック層があぶられ急速にプラズマ化し、大量のプラズマ化した粒子が外に飛び出そうとします。その反作用で内向きに燃料が急激に圧縮され(爆縮といいます)、核融合反応に必要な高温・高圧状態が実現されます。この状態は、外力が加わらなければそこに留まろうとする慣性で、非常に短い時間ですが維持されます。この時、加熱用のレーザーを打ち込むことで燃料が点火し核融合燃焼を起こすことができます。図2はその爆縮過程のイ



図1 レーザー核融合実験に使用するターゲット(5円玉との比較)。

メージです。今回は、その小さな固体燃料ターゲットを作る研究について紹介します。なお、この研究は大阪大学レーザーエネルギー学研究センターとの共同研究により実施しています。

研究に使用する燃料は水素ですので我々が通常見ることができる状態は気体です。それを約-259℃まで冷やすと水素の固体を作ることができます。ただし、レーザー核融合実験では要求が厳しく、図2に示すピンポン球のような中空状態(以後、シェルと呼ぶことにします)で透明な固体水素を作ることが要求されています。さて、このシェルターゲットをどのように実現するか?からこの研究は始まりました。ここで普段目にする現象として、毛細管現象により水を吸い上げ中に溜め込むスポンジに注目しました。この現象を使えば、必要な形に作ったスポンジ状材料(以後、フォーム材と呼ぶことにします)に液体状の燃料を染み込ませ、その後凍らせることでシェル状の固体燃料層を作ることができると考えました。しかし、このフォーム材は燃料に混ざった不純物になります。そこで、その不純物量と核融合エネルギー取り出しへの影響についてシミュレーションによる評価を行いました。その結果、核融合炉用にはフォーム材の密度を10 mg/cc程度まで低くする必要があることが分かりました。その密度を目標にして軽量フォーム材の開発を行いました。現在は、その開発したフォーム材を使って直径500ミクロンの小さなシェルを作ることにほぼ成功しています。では、次にそのフォーム材中に透明できれいな固体水素をどのように作るかということが課題になります。何も考えずに水を凍らせると中に気泡が入り白濁した氷ができることが多いですが、これは水の中の空気などが氷の中に閉じ込められるためです。水素の場合は固体にすると体積が小さくなるため、

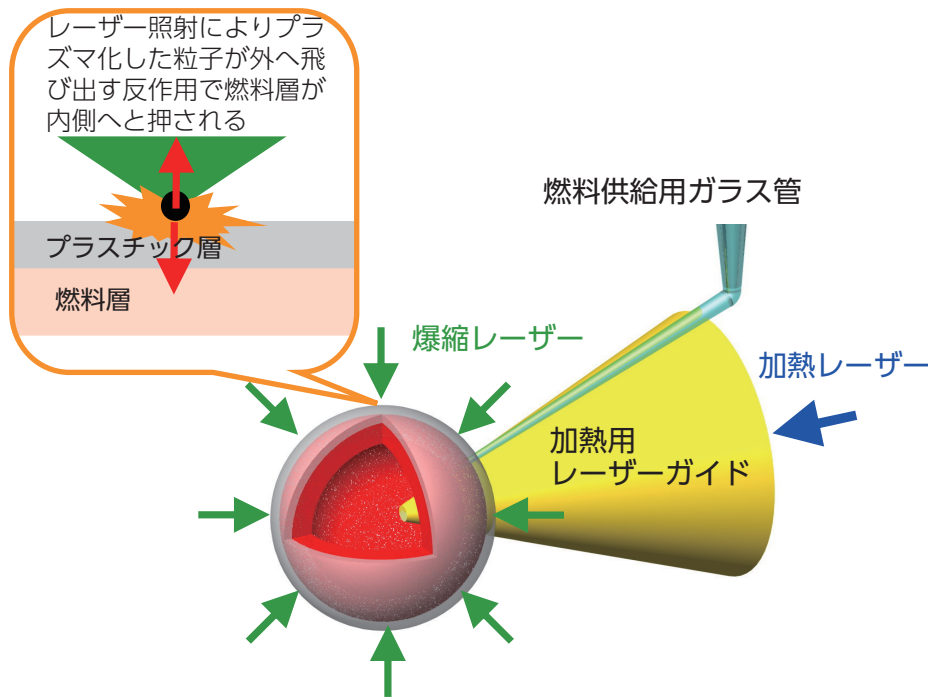


図2 高速点火レーザー核融合の原理とそのターゲット。

氷と同じように気泡が中に閉じ込められてしまい、約11%が気泡になる計算です。しかしレーザー核融合実験のためには燃料を均一にすることが要求され、気泡のない固体水素を作ることが必要です。氷を作る時にあちらこちらから氷ができ始め急激に成長すると気泡が閉じ込められますが、気泡を逃がすように氷の成長を制御すれば気泡が閉じ込められることなく透明な氷を作ることができます。我々もこの原理を応用することになりました。液体は毛細管をゆっくりと移動するということに注意しながら、透明な固体水素を作る実験をしました。いきなりシェル状の固体を作るとその固体の質を評価することが難しくなります。そこで今回は平板状のフォーム材を作って、我々が考えた透明な固体を作る原理が正しいかどうかを調べました。まず、ガラス板の間のフォーム材に液体水素を浸透させます。この時、上部は下部より少し高い温度で制御しています。次に、その温度差を維持しながら下部を固化温度(-259.2℃)にすると、下部が固化を始めます。さらに温度制御を行い、その固化温度をゆっくり上方へ移動させると、それに伴い固化が上方へと進展することが確認できました(図3の写真をご参照下さい)。これで、気泡のない透明な

固体水素ができたはずで、固体の中にどれだけ気泡が残っているかを調べる方法には光の屈折を利用しました。屈折とは、例えば水を入れたコップにストローを入れ上からのぞき込むと、水面を境にストローが折れ曲がって見える現象です。固体に気泡が混ざると光の屈折量が変わります。この方法を使って評価すると約1~2%の気泡が残っている可能性がありました。しかし何もしない場合は11%の気泡が残る計算でしたので、それと

比較すると気泡の量を大幅に減少させることに成功しました。このように、我々が考えた方法により透明な固体水素の実現に一歩近づきました。現在は気泡を0%にする方法の追求と開発した方法を実際のシェルターゲットに応用する研究を進めています。

(装置工学・応用物理研究系 准教授)

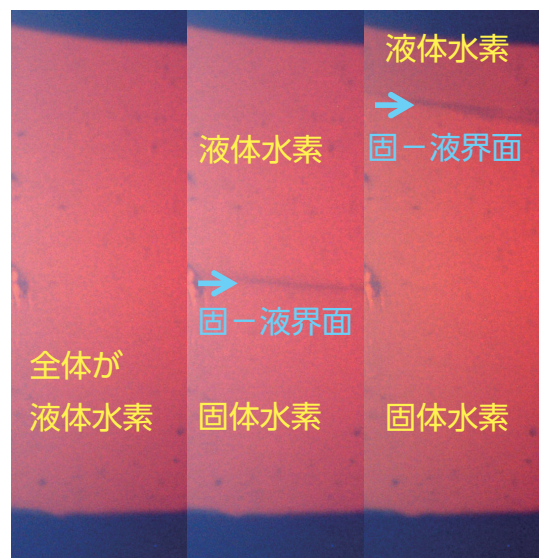


図3 上方へと固化が進展する様子。赤色はフォーム材の色で、水素自体は透明です。