

レーザー核融合、 低コスト方式の実証へ —高繰り返しの実用化に向けても準備

将来の化石燃料に代わるエネルギー源の一つとして期待されているのが核融合である。レーザーによる方式では直接点火方式や高速点火方式などが研究されている。重要な課題の一つはレーザー媒質の熱問題である。

核融合炉では、軽い原子同士を融合させた際に放出されるエネルギーを発電に利用する。一番反応が起きやすいとされているのが、重水素(D)と三重水素(T)の核融合反応である。DおよびTをプラズマ化して衝突させる。すると中性子とヘリウムができ、残りの

エネルギーが運動エネルギーなどとして放出される。

核分裂反応に対しては以下のような違いがある。1つは核分裂ではもともとウラン原子が不安定なため、中性子を当てることによって常温でも反応が起きてしまう。また分裂と同時に中性

子を2個以上放出するため、加速度的に反応が進み暴走する可能性がある。これに対して核融合反応は1億度以上でしか起こらず、連鎖的な反応が起こることもない。また放射性物質に関するハザードポテンシャルは核分裂より核融合の方がはるかに低い。

レーザー方式核融合

核融合を起こす方式には磁場閉じ込め方式と慣性方式がある。磁場閉じ込め方式はその名の通り、磁場の中に燃料を閉じ込めて高温により核融合反応を起こす。閉じ込め空間が直径10mほどのトカマク型などがある。国際協力によるITERや、日本では原子力研究開発機構 那珂研究所などにおいて研究されている。いっぽう慣性方式は、レーザーや粒子線などを燃料球に照射することにより、表面の燃料を膨張させ、その反動で燃料球の内部を急速に圧縮させることによって(爆縮)、高压・高温により核融合を起こす。磁場閉じ込め方式に対するメリットとしては、プラズマを閉じ込める必要がないため炉の構造が単純になる、高真空の設備が必要ない、燃料のサイズもミリメートル単位と小さいため設備が小型になる、爆縮の頻度を変えることによって電力の需要の時間変動に対応できるといったことが挙げられる。

高速点火方式で低コストに

大阪大学レーザーエネルギー学研究中心では、ガラスレーザー「激光XII号(げっこうじゅうごう)」(30kJ、最大出力55TW)により慣性方式の核融合の研究を行っている。激光XII号で発振した12本のビームによる「中心点火方式」の実証のあと、現在あらたに加熱・圧縮用とは別に点火用レーザー「FIREX(フ



図1 高速点火方式のレーザーが並ぶフロア。右の3列(各列に4本のレーザーが配置されている)が燃料の圧縮を行う激光XII号、左の1列(4本のレーザーを配置)が点火を行うFIREX。



図2 12面体の頂点に位置する方向から均等に激光XII号のレーザーが照射される。続いて縞模様の部分からガイドコーンを通して点火用レーザーが照射される。

ファイアエックス)」を追加し、「高速点火方式」での研究を行っている(図1、2)。中心点火方式は、いろいろな方向からビームを燃料球に均等に照射し、圧縮のみによって点火させる。そのため圧縮のみによって自然着火を行うディーゼルエンジンに例えることができる。いっぽう高速点火方式は、圧縮と同時に点火を行うため、点火プラグで着火を行うガソリンエンジンに例えられる。

ディーゼルエンジンに対するガソリンエンジンと同じく、小型化できるのが高速点火方式の特徴だ。中心点火方式は燃料の直径が1mmであったが、高速点火方式では半分の直径で核融合を起こすことができるという。これにより必要なレーザーエネルギーを10分の1に減らすことができる。「これは発電コストや設備の小型化、維持費の削減などにつながり、実用化に有利な技術となる」(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター センター長の疇地 宏氏)。

レーザーについては媒質はHOYA製のリン酸塩ガラスで、発光原子はNd³⁺である。キセノンフラッシュランプにより励起する。点火用レーザーについては1psにまでパルス圧縮を行う。波長は1053nmで、KDP(リン酸二水素カリウム)結晶により緑色の高次高調波に変換した上で照射する。2時間に1回ショットを打つことが可能である。

熱問題への対策

現在、2時間に1回しか点火実験を行うことができないのは、レーザー媒質への熱負荷が大きいからだ。ガラスは熱伝導率が低いため、冷却が簡単ではない。しかし実用化のためには「まずは1秒あたり10回以上の照射が必要となる」(疇地氏)。そこで検討しているのが、励起をフラッシュランプでなく



図3 5kWを出力するレーザーダイオード(浜松ホトニクス製)。

レーザーダイオードで行う方法だ。浜松ホトニクスが試作したレーザーダイオード(図3)は1個につき出力が5kWにおよぶ。もうひとつ熱に対して検討しているのが、ガラスを熱伝導率の高い結晶に置き換えることである。核融合に使用するレーザー媒質は非常に大きいため、結晶の育成が難しいが、セラミック結晶を採用することでサイズの問題は解決する。このために試作したのが神島化学工業製のYAGセラミック結晶(図4)である。YAGセラミック結晶は常温においてガラスの約30倍の熱伝導率を持つ。さらに低温であるほど格子振動が抑えられるため、液体窒素で冷やすことで最終的に約300倍の熱伝導率になるという。

世界で各方式の研究が進行中

米国、欧州、また中国や韓国など各国でもレーザー方式の研究が進められている。日本では大阪大学エネルギー学研究センターが大型の研究施設であり、各国と協力して研究を進めてきた。近年になって米国の国立点火施設(NIF)との基礎科学の協力協定を結んでおり、さらなる研究の進展が期待される。NIFは中心点火方式で、サイズは建物の長さが大阪大学の約100mに対して約200mとかなり大きくなる。またNIFは大阪大学のように直接レーザーを燃料に照

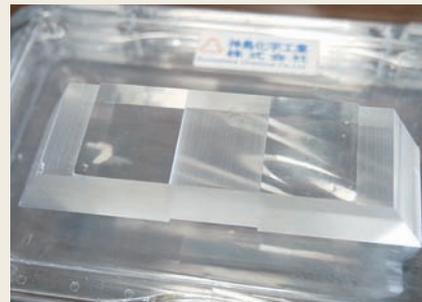


図4 YAGセラミック結晶(神島化学工業製)。

射するのではなく、金の筒の中に燃料球を配置し、筒の両端から筒の内部にレーザーを照射することでX線を発生させ、そのX線によって爆縮を起こす間接照射式になる。米エネルギー省においては発電方式を1つに絞ることは時期尚早との考えから、磁場閉じ込め方式とともにレーザー方式を進めるとの中間報告を出している。

ロードマップ

現在、大阪大学では高速点火で1000万℃までの加熱を実証し、5000万℃の点火温度実証へのロードマップを予定通り進めている。現在FIREXの4本のビームのうち2本を使用しており、今年4本を使用し2000万℃、来年にビームのエネルギーを上げることによって5000万℃の点火温度および核融合を実証する予定だ。また現在の燃料は0.5mm径。「これを1mmほどに大きくすれば、Heが熱を持ったまま球の中にとどまることにより、さらに温度が上がる。これらにより自己点火状態を実証したい」としている。さらに2030年までに建設する計画の実験炉「LIFT」では発電実証を行う。同実験炉では新半導体励起レーザーおよびセラミック結晶を用いる予定ということだ。(加藤まどみ)

訪問した研究室

大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター

LFWJ