

## 5. 研究所紹介

### レーザー核融合研究センター

大阪大学レーザー核融合研究センター  
ペレットファクトリー

乗松 孝好

#### 1) アウトライン

レーザー核融合研究センターは昭和51年初代センター長山中千代衛教授の元に、レーザーを用いた核融合を実証すべく、千里丘陵の一角、万博公園の北端に発足した。

レーザー核融合では微少な燃料カプセルの中に重水素三重水素混合ガス燃料を封入し、強力なレーザー光線を照射することによって燃料カプセルを高温のプラズマとし、外部に膨張する反作用で、燃料を瞬時に高温高密度に圧縮し、核融合反応に導く。センターでは照射したレーザーのエネルギーと発生したエネルギーが等しくなるブレイクイーブンを達成することを目標に、金剛計画を設立し、昭和58年当時世界最大のガラスレーザー激光 X II 号(12ビーム, 出力20kJ, パルス幅1ns)を完成した。(図1)

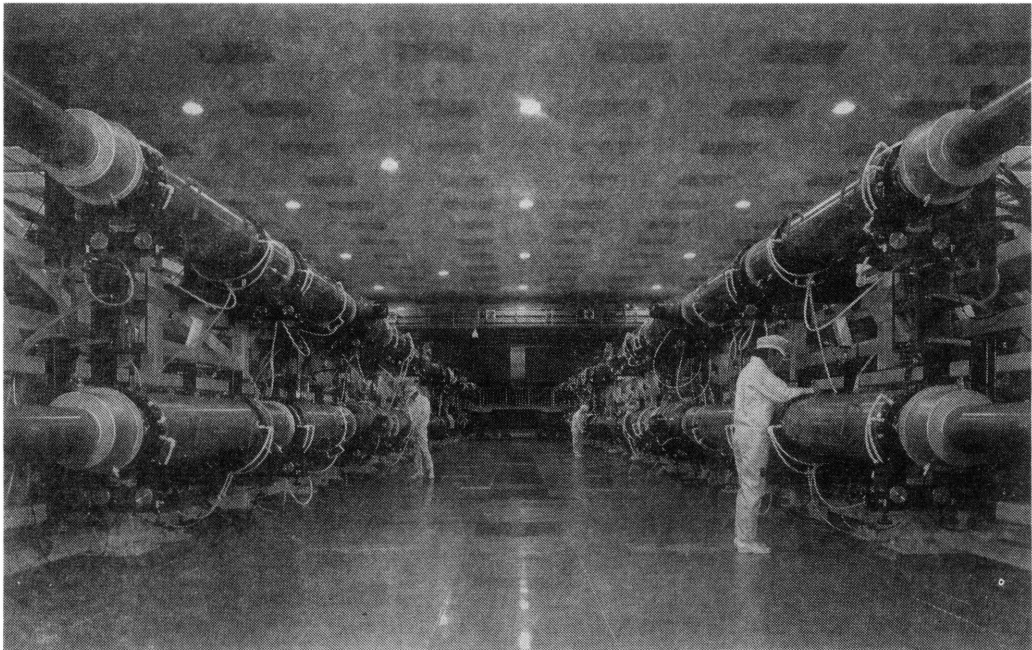


図1. 激光X II ガラスレーザーシステム

主なレーザー装置としては激光X II号を筆頭に激光M II, 激光IV号が稼動中である。激光X II号はターゲットチェンバーを2機持つ。チェンバー1では12方向からの均一照射系を持ち、KDP結晶を用いて2倍高調波に変換されて爆縮の実験に用いられている。チェンバー2は6本のビームに束ねた照射系を持ち、3倍高調波に変換されてキャノンボールターゲットの爆縮とX線関係の実験を行なっている。激光IV号とM II号はそれぞれレーザーとプラズマの相互作用などの基礎実験に用いられている。

さらにレーザーによる同位体の分離, 自由電子レーザー, X線レーザー, X線リソグラフィ, 半導体励起の高繰り返しレーザーの開発などがおこなわれている。

センターではこれらのレーザーを用いる共同実験を積極的に進めている。日本国内の他大学からの研究者を受け入れるとともに, 米国ロチェスター大学, 英国ラザフォード研究所, ドイツのマックスプランク研究所などと共同研究や, 学生の交換などを行なっている。

## 2) 最近の研究状況

レーザー核融合の実験ではレーザーの出力の向上は勿論のこと, レーザー吸収から爆縮されたコアにエネルギーが伝達されるまでの効率を高めることが必須であり, レーザー, ターゲットの両面から改良の努力が続けられている。

レーザー関係では激光X II号が昭和58年に完成してからKDP結晶を用いたグリーン化やブルー化が行なわれ, レーザー吸収効率を高める努力が払われてきた。激光X II号はガラスレーザーであり, その波長は本来 $1.06\mu\text{m}$ の近赤外レーザーである。このままでターゲットに照射した場合, 比較的プラズマの密度の低い領域で反射され, 吸収効率を高めることができない。KDPと呼ばれる単結晶をある特定の角度と厚さで切断し, レーザービームの中に挿入することによって波長を半分の $0.53\mu\text{m}$ のグリーン光に, さらに条件を変えれば $1/3$ の $0.35\mu\text{m}$ のブルー光に変換することができる。波長を短くすることによって, レーザーは高密度のプラズマ中に進入することができ, 効率よくプラズマに吸収される。激光X II号をグリーン化する事によって中性子の発生量を10倍以上高くすることができた。

レーザーに関するもう一つの大きな改良は, ランダムフェイズプレートの導入であろう。ランダムフェイズプレートは厚さが $1/2$ 波長の透明な小さいタイルをできるだけ周期性がないようにガラス板に張り付けたような物である。レーザービーム内にはどうしても小さな強度のむらが存在し, これをレンズで集光照射した場合, ターゲット上にその強度むらが反映され, 爆縮の球対称性を損なう。ランダムフェイズプレートをビームの中に挿入すると, レーザーの可干渉性が下がり, ビームの強度むらは極めて小さな成分に分散され, 一様な爆縮が可能である。ランダムフェイズプレートを導入することにより, 爆縮されたプラズマの密度を10倍以上高くすることができた。

さきに述べたように核融合では高温高圧の状態をいかに長く保つかが課題であり、レーザー核融合の場合、時間は圧縮されたプラズマの半径と密度の積 ( $\rho R$ ) を長くするという事に置き換えることができる。ブレークイーブンを達成するためには、イオン温度  $5 \text{ keV}$  以上、密度  $200 \text{ g/cc}$  以上、 $\rho R 0.3 \text{ g/cm}$  を達成する必要がある。これらの値はターゲットの種類や大きさを変えることによって大きく変化する。

最もシンプルなターゲットはガラス中空球に重水素三重水素混合ガスを充填した物である。中でも壁を薄くし、直径を大きくしたターゲットはLHARTターゲットと呼ばれ、高い中性子発生を見ることができる。このターゲットをガウス分布したレーザー波形を持つパルスの前半で照射すると、ガラスプラズマは常に加速された状態で燃料を爆縮し、中心で衝突するときに燃料全体を高い温度、密度に圧縮する。この方法で昭和61年に世界最高の  $10^{13}$  個の中性子の発生を見た。これは投入されたレーザーエネルギーの0.2%の核融合エネルギーが得られたことに相当する。

LHARTターゲットがブレークイーブんに最も近いターゲットと考えられるが、このターゲットでは商業的な核融合発電はできない。その理由は燃料全体が加熱され、効率が低下するためである。核融合発電を行なうためにはターゲットで100倍のゲインが必要であり、これを達成するためには圧縮された燃料の温度は適度に低く、中心部にできたホットスパークからの連鎖反応で残りの燃料を燃やす必要がある。これを達成するためにはターゲット上にコーティングを施し、爆縮速度をコントロールしたり、燃料を冷却して固化し、中空球の内面に均一に配したクライオターゲットなどを利用する必要がある。特にクライオターゲットは初期密度が高く、中空であることから爆縮に必要なエネルギーが少なく済み、今後のターゲット開発で重要な位置をしめている。

一風変わったターゲットではキャノンボールターゲットがある。キャノンボールターゲットは燃料球の外側に穴の開いた球殻を配置したターゲットで、レーザー光は穴から外球殻の内面を照射する。ここでレーザー光はエックス線に変換され、内側の燃料球はエックス線によって爆縮される。このターゲットを用いるとターゲット上でのレーザー強度の不均一さの問題が解決されるので、極めて対称な爆縮ができる。

これらのターゲットを用いて達成されたパラメーター領域を図2に示した。激光XII号レーザーからのグリーン光  $10 \text{ kJ}$  でLHARTターゲット、プラスチックシェルターゲットを用いて点線の領域を達成することができた。この領域を越えて点火、ブレークイーブんに到達するためには出力エネルギーの増力が必要である。シュミレーションの予想では  $100 \text{ kJ}$  レーザーを開発することにより実現可能であり、これは基本的には現有のシステムにアンプを追加することによって可能である。現在レーザー核融合研究センターでは  $100 \text{ kJ}$  増力システムの設計が進行中で、次期装置でブレークイーブンを達成できるものと確信している。

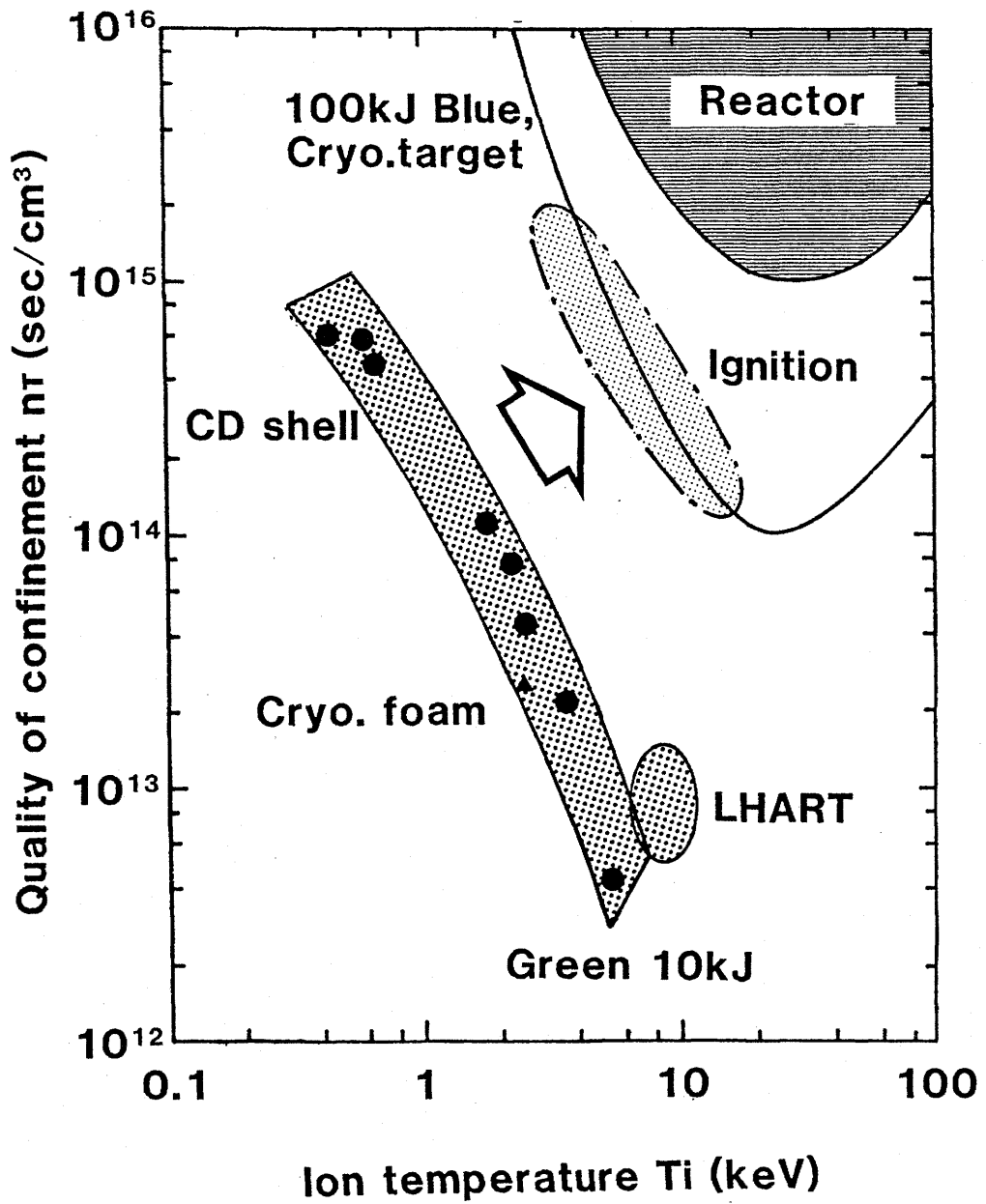


図2. 激光X II号レーザーで達成されたパラメーター領域