



研究室紹介

レーザー核融合研究センター

中井 貞雄* 山中 千代衛**

地上に太陽を一核融合

太陽のエネルギーをこの地上に、われわれの制御のもとに発生・利用しようとする核融合の研究は、最近とみに進展をみ、各国とも大規模なプロジェクトとして推進している。1リットルの海水中に含まれる重水素を燃焼させて得られるエネルギーは、ガソリン300リッターに相当し、かつ放射性廃棄物を発生しないので核融合は、地球上すべての人々にその恩恵を与える究極のエネルギー源として、その開発に寄せられる期待は大きい。

レーザー核融合

核融合炉を実現するには、1億度の高温と、このような高温プラズマの密度 n (cm^{-3}) と閉じ込め時間 τ (秒) の積が $n\tau > 10^{14}$ (秒/ cm^3) で与えられる条件を満たす必要がある。これを実現するのに原理的に異なる二つのアプローチがある。一つはトカマクに代表される磁場閉じ込め方式である。高温の比較的低密度 (10^{14}cm^{-3}) のプラズマを磁場により保持し、ゆるやかな核融合燃焼 (1秒) をおこなわせようとするものである。過去30年近い研究により、最近では炉心条件に近い高温高密度のプラズマ発生が見られるようになってきた。

いま一つの方法が、我が国では当研究センターが中心となって推進している慣性閉じ込め方式である。これは直径数ミリメートルの微少な核融合燃料球に、強力なレーザー光等のエネルギーを集中投射し、球表面に発生した高温プラズマの噴出の反作用で中心の燃料部分を圧縮し高密度を得るとともに、圧縮加熱により核融合

条件を実現するものである。 10^{24}cm^{-3} 程度の高密度を実現すると、所要閉じ込め時間は 10^{-10} (秒) となり、燃料が自身の慣性で静止しているあいだに核融合燃焼を完了することになる。このため慣性閉じ込め核融合と呼ばれている。

磁気閉じ込め核融合では、磁界中でのプラズマの保持時間を長くすることと、加熱の方法とが課題となるのに対し、慣性閉じ込め核融合では、慣性によりプラズマが静止しているあいだに、点火燃焼させてしまう高温超高密度を達成することが課題となる。したがって瞬時に大量のエネルギーを微少空間に集中しうるエネルギードライバーが研究開発の中心課題となる。レーザーの出現により、これが可能となり、本格的な研究開始後十年程で、磁場閉じ込め方式と比肩しうるまでに進展した。投射したレーザーエネルギーに見合うだけの核融合エネルギーを発生する、いわゆるブレイクイーブンの達成を目指して、各国がしのぎを削っている状況である。

金剛計画

大阪大学レーザー核融合研究センターは、慣性閉じ込め方式による核融合の実現へ向けて総合的に研究を推進する、我が国の中枢として機能している。昭和47年に工学部附置レーザー工学研究施設として発足し、高出力レーザーの開発とこれによる核融合研究に着手し、その後の急速な研究進展に対応すべく、昭和51年に大学附置の研究センターとして本格的に慣性核融合研究を推進すべく改組された。その後順次部門増がはかられ、現在8部門、教官、研究員、大学院学生、技術員、研究生等総勢約100名が研究に従事している。

研究プロジェクトとしては、ガラスレーザーによる核融合を追求する「激光プログラム」を主計画に、炭酸ガスレーザーによる核融合研究

*中井貞雄 (Sadao NAKAI), 大阪大学レーザー核融合研究センター教授, 工学博士, 核融合工学

**山中千代衛 (Chiyoe YAMANAKA), 大阪大学レーザー核融合研究センター所長, 教授, 工学博士, 核融合工学

表1 エネルギードライバーの現状

(1) レーザー装置

分類	装置名 又は型式	レーザー エネルギー (kJ)	パルス幅 (ns)	ターゲット	ビーム 数	発性中 性子数	圧縮度 (g/cm ²)	ビーム 強度 (W/cm ²)	備考
ガラス レーザ ー	激光II号 (ロッド)	0.2	0.1~1	マイクロ バルーン D-D	2	10 ⁴		10 ¹⁶	
	激光IV号 (ディスク)	1	0.05~1	マイクロ バルーン D-D, D-T	4	10 ⁸	5	10 ¹⁷	
	激光MII号 (ディスク)	2	0.1~1 (整形 パルス)	マイクロ バルーン D-D, D-T	2	10 ⁹	7	10 ¹⁸	
	激光XII号 (ディスク)	20	0.1~1		12				建設中 1983年3月完成
炭酸 ガス レーザ ー	烈光II号 (電子ビーム制御)	1	1	マイクロ バルーン (CD ₂) _n	2	10 ⁴		10 ¹⁴	
	烈光VIII号 (電子ビーム制御)	10	1		8				1981年3月完成

(2) 粒子ビーム装置

分類	装置名 又は型式	ビーム種	出力 エネルギー	パルス幅	パワー	ダイオード 電圧及び 電流	ビーム 数	完成年度	備考
粒子 ビーム	励電III号	イオン及び 電子ビーム	4kJ	80ns	0.06 TW	0.6MV 0.1MA	1	1974	
	励電IV号	イオン及び 電子ビーム	100kJ	50ns	2TW	1.4MV 1.4MA	1	1979	

「烈光プログラム」を副計画とし、理論・シミュレーション、燃料ターゲット製作、イオンビーム等新型エネルギードライバー開発などとともに、センター全体が有機的な総合計画のもとに慣性核融合の研究推進に当たっている。これらの成果をもとに昭和55年度より、5年2期、計10年でブレークイーンを目標とする「金剛計画」が開始された。第1期では昭和56年3月完成の出力10kJの炭酸ガスレーザー烈光VIII号、および現在建設中で、昭和58年3月完成の出力20kJ、40TWのガラスレーザー激光XII号による爆縮実験が中心となる。この成果に基づいて、100kJ級レーザーによるブレークイーン達成が金剛計画第2期の目標である。センターにおけるエネルギードライバーの現状を第1表に示す。

「激光」ガラスレーザー

ガラスレーザーは現在技術的に最も完成度の高いレーザーである。当研究センターではその

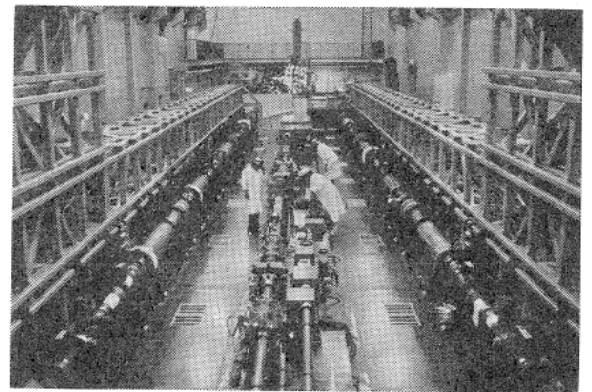


図1 ガラスレーザー「激光M-II号」

前身である電気工学科にて昭和42年より高出力ガラスレーザーの開発に着手し、50年に激光II号、53年に激光IV号を開発し、大型レーザー建設の基礎を固めた。昭和51年度より、激光XII号建設のための技術開発を目的として2ビームガラスレーザー装置激光M-II号の開発が実施され、昭和53年3月に完成した。第1図に示す。1ビーム当り3.5TW(100ps)という非常に高い

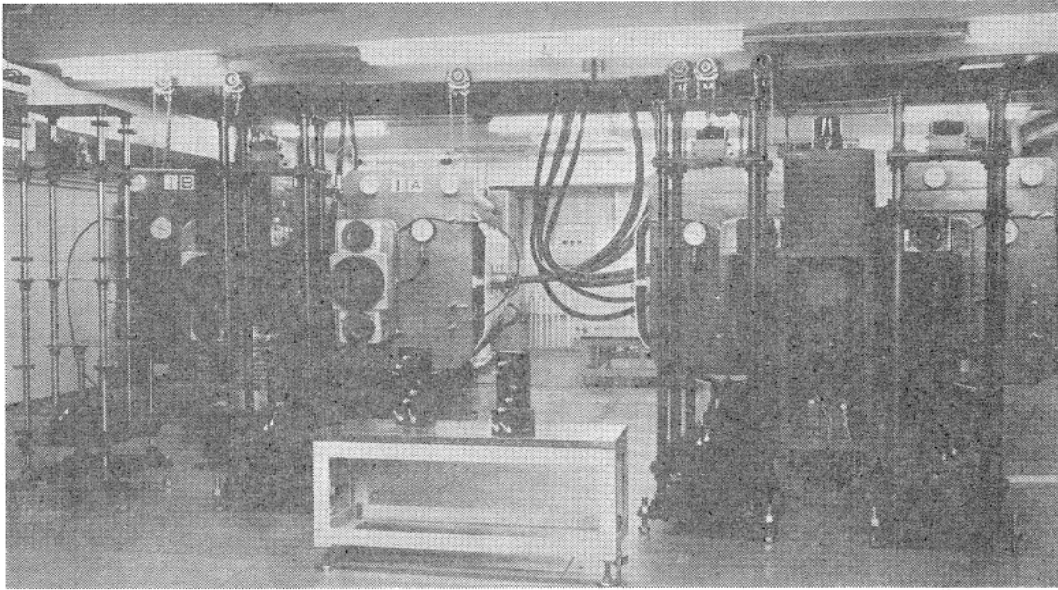


図2 炭酸ガスレーザー「烈光Ⅷ号」

出力パワーが得られており、これは米国リバモア研究所のビーム径20cm、20ビームのSHIVA装置の1ビーム当りの出力の3倍に相当する。M-II号は自動アライメント、計算機制御等の機能を有し、昭和56年度よりペレット照射実験に使用されている。激光M-II号の開発により確立されたガラスレーザー技術、光学技術、自動制御技術を基に昭和55年度より3ヶ年計画で、12ビームのガラスレーザー激光XII号の建設が行われ、昭和58年3月に完成する。本レーザーの主増巾器はビーム径200mmφである。最終伝搬ビーム径は350mmφで出力20kJ（パルス巾1ns）、尖頭出力40TW（0.1ns）である。

「烈光」炭酸ガスレーザー

炭酸ガスレーザーの最大の特徴は、効率が高いことである。1nsの短パルスシステムでは現在2%程度であるが、レーザー光を増巾媒質中に何回も通す多重パス増巾の技術により10~20%が得られる見通しが立っている。さらに高繰返し動作可能、大型化（~MJ）の可能性、経済性等に特徴をもつ。ただ波長が10ミクロンと長いと各種光学材料の開発が必要であり、かつペレット爆縮に長波長がどのように影響するかが目下の研究の中心課題である。

当研究センターでは昭和47年より電子ビーム制御放電方式による大型炭酸ガスレーザーの開発に着手した。2ビーム、出力1kJの炭酸ガ

スレーザー烈光II号の建設を通して大出力レーザー技術の開発が積極的に進められ、その成果により昭和56年3月には8ビーム、出力10kJの烈光VIII号システムが完成された。第2図にその主増巾器を示す。これはロスアラモス研究所における炭酸ガスレーザーヘリオスと並んで現在世界最大の装置である。

レーザー核融合炉—千里I号

レーザー核融合の科学的実証—ブレークイーブンの達成が、現実の計画として、射程内にとらえられると、炉としての実用化へ向けての技術的、工学的な可能性、開発課題を明確にするべく、レーザー核融合炉の設計研究が着手されている。これにはレーザー開発、ペレット爆縮の物理の解明のみならず、材料工学、熱工学、ブランケット工学、中性子工学、制御、放射線計測、計装等極めて広範な工学の分野が含まれる。第3図に千里I号の概念設計による炉体を示す。最大の特徴は、炉壁内面に厚さ70cmのリチウム流を磁場でガイドして形成するところにある。これにより構造壁の中性子負荷、パルス応力、熱応力を低下することができ、長寿命無補修の炉を構成する可能性が明らかとなり、レーザー核融合炉実現が工学的に十分な可能性をもつことが示された。

慣性閉じ込め核融合は、磁気閉じ込め核融合の歴史に比べて浅いが、ここ10年に長足の進歩

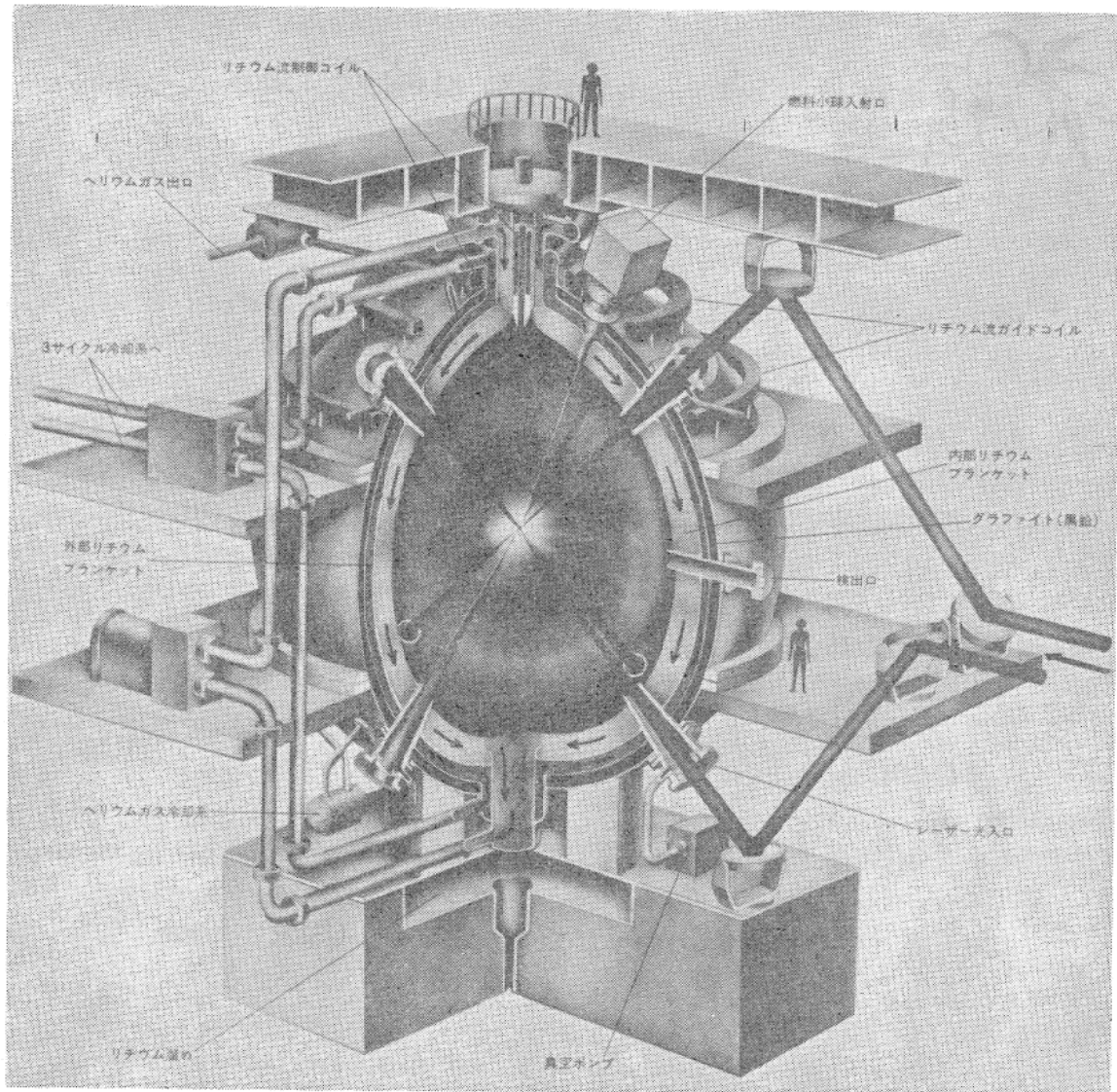


図3 レーザー核融合炉「千里I号」

を遂げ、1980年代に科学実証が期待されるまでに成長した。慣性閉じ込め核融合でとり扱う物理及び技術は、磁場閉じ込め核融合におけるそれとは大きく異なり、両者が遭遇する困難も本質的に異なるため、核融合エネルギー開発戦略としては両者を相補的にとらえ、共に推進すべきものと考えられている。

レーザー核融合は、そこで扱われる物理がこれまで実験室で実現できなかった電子縮退を含

む超高密度プラズマで、新しい物理領域を開くものである。工学的には広範な関連分野にまたがった総合的、学際的な研究計画、推進が必要とされる。このため当研究センターでは学内外の共同研究とともに、「ペレット開発委員会」「慣性核融合炉開発委員会」「放射計測委員会」を設け、学界、産業界より周知を集め、研究の効率化と周辺関連分野への成果の波及を計っている。