



人工の太陽を求めて

—核融合の実現—

矢部 孝* 山中 千代衛**

1937年頃、ベーテ・ワイスツェッカーらは太陽が核融合反応によってエネルギーを生み出していることを予言した。以来40余年、人類は人工の太陽を地上に実現させるべく努力を重ねてきている。新しいエネルギー源として人工の太陽を求める核融合研究は、1955年に開催された第一回原子力平和利用会議を契機に、各国で公開の場ではじめられた。当時すでに、原子爆弾で生じる高温を利用して、重水素と三重水素を融合させる水素爆弾が完成しており、この知識から判断して、民生用エネルギー源としての制御核融合反応は、20年ほどの研究で実現できるものと予想された。

核融合の研究は、最初は重水素プラズマを磁気容器の中に閉じ込め、これを加熱することによって核融合反応を実現しようとする方式が採用された。しかしながら、磁界内のプラズマの特性について定量的な取り扱いができるようになるまでには、30年の年月を要した。現在では、トカマク装置を中心とする種々の磁場閉じ込め方式の装置が各国で建設され、有用なデータが続々と現われてきている。

上記の方式を石油ストーブに例えると、それとは対照的に、内燃機関に例えられる慣性閉じ込め核融合が、最近10年間に急速に発達してきた。これは核融合燃料にエネルギーを瞬間的、集中的に注入してプラズマの圧縮と加熱を達成し、プラズマが飛び散る前に核融合反応を実現しようとするものである。この方式のアイデアは、すでに1950年代に出されていたが、その具体化には、瞬間的なエネルギーの注入を可能と

する大出力レーザーの出現を待たねばならなかった。

レーザー核融合では、まず重水素と三重水素でできた燃料小球に、大出力レーザー光を照射して加熱する。この加熱で表面から対称的にプラズマを噴出させ、その反作用によって燃料小球の中核部を圧縮し、固体密度の1,000倍から1万倍という高密度プラズマを発生させるのである。それと同時に中心部は圧縮加熱を受け、核融合温度に到達し、反応が点火される。核融合反応率は密度に比例するために、上記の高密度状態では、 10^{-11} 秒(10⁻⁹秒)以下という短時間のうちに燃料が燃焼してしまう。この時、投射したレーザーのエネルギーの1,000倍にも相当する核融合エネルギーが発生すると計算されている。

慣性閉じ込め方式の研究は、大出力レーザーシステムの開発により推進されてきた。レーザーの出力増強は近年きわめて著しい。1キロジュール・システムは世界各国で稼動しており、10キロジュール級システムは、米国のリバモア研究所のガラスレーザー「シバ」、ロスアラモス研究所の炭酸ガスレーザーが完成しており、熱核融合反応による中性子の発生数はすでに 10^{10} に達している(科学的ブレークイーブン、すなわち投射したエネルギーと反応出力エネルギーが等しくなるには 10^{16} ~ 10^{17} は必要とされている)。また圧縮に関しても、100グラム/cm³程度の高密度が実現している(同じく1キログラム/cm³と見積られている)。

大阪大学では現在、出力数キロジュールのレーザーシステムが稼動しており、さらに数十キロジュールのシステム「激光Ⅻ号」の建設も進められている。最終的な核融合炉用レーザーとしては、出力1メガジュール級のものが必要とされているが、米国では百キロジュール級の

*矢部孝 (Takashi YABE), 大阪大学, レーザー核融合研究センター, 助手, レーザー工学

**山中千代衛 (Chiyoë YAMANAKA), 大阪大学, 工学部, 電気工学科教授, レーザー核融合研究センター, 所長, 工博, レーザー工学

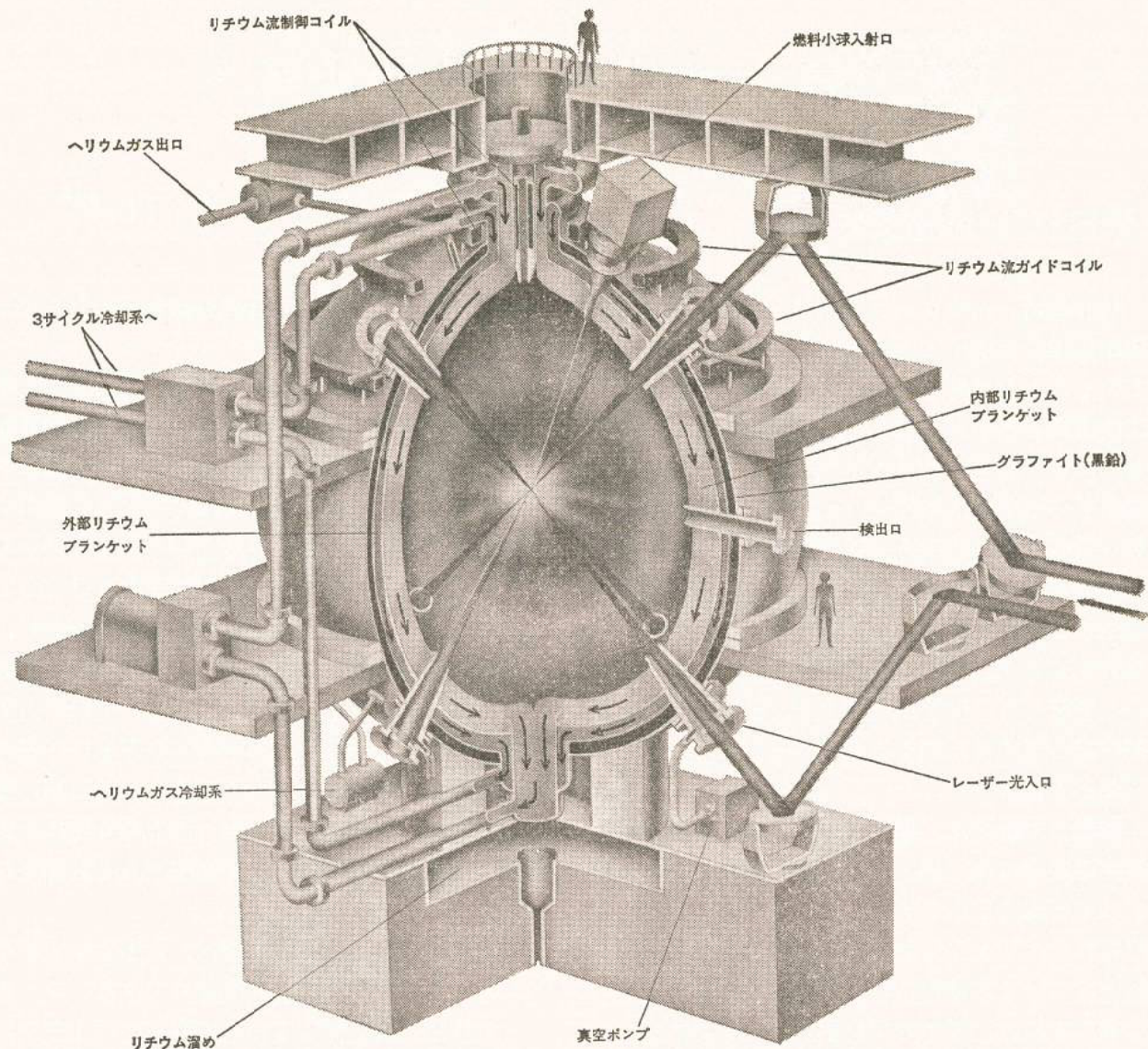


図1 大阪大学で設計されたレーザー核融合炉「千里Ⅰ号」の概念図

「ノバ」, 「アンタレス」等のレーザーの建設にとりかかっている。このクラスのレーザーにより、ブレーク・イーブンが実現されるであろう。現在あるシステムをスケールアップすることで、出力1メガジュールのレーザーを構成することは可能だが、レーザー効率3%, 1秒間に1回以上の割合でパルスを発振し、 10^8 回(約2年間)連続運転できる能力と経済性も含めた検討と、それに沿った新技術の開発が必要となる。

大阪大学ではレーザー核融合炉の概念設計を前進させ、最近の成果を国際原子力機関主催の「第8回プラズマ物理と熱核融合反応国際会議」に発表し、好評を得た。第1図はその概念図であり、私たちはこの核融合炉を「千里Ⅰ号」

と呼んでいる。出力は1,200メガワット、正味の電気出力は426メガワットを目標にしている。炉体の直径は約10メートルで、ステンレス鋼製であり、内側に磁界でガイドされて流れる厚さ70センチメートルのリチウム流体壁を設けた。これは内部および外部ブランケットの役割を果たすのである。

核融合反応で発生する中性子やX線などの炉壁への負荷は、この流体壁で緩和され、荷電粒子は磁界で遮蔽される。中性子やX線のバーストに直接さらされる流体壁の数キロガウスの磁界中における運動をコンピューターでシミュレートしてみたところ、このように設計したブランケットでは、核融合反応出力を十分に受け止め、決して崩壊しないことが判明したのであ

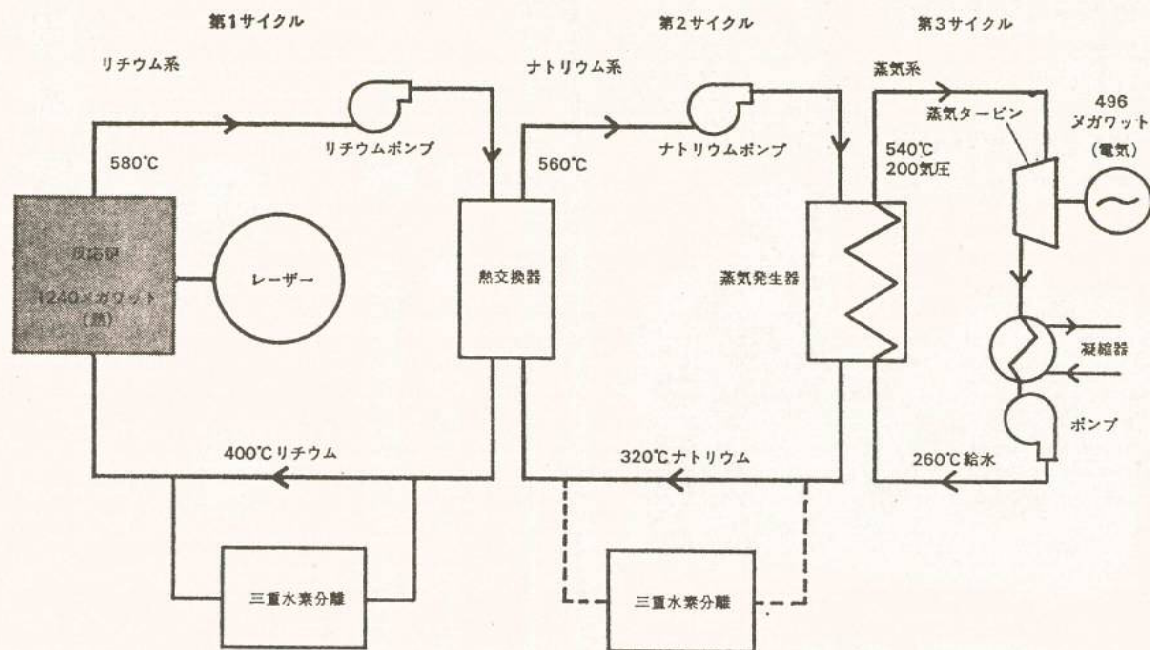


図2 「千里Ⅰ号」のシステム

る。

第2図は、「千里Ⅰ号」の熱サイクルの模式図である。リチウムとステンレス鋼製の炉壁との共存性を保証するため、炉の温度は600℃に制限し、冷却系は3サイクルを採用した。第1サイクルはリチウムのブランケットであり、出口温度は580℃、入口温度は320℃である。第2サイクルはナトリウムを用い、出口温度560℃、入口温度320℃である。第3サイクルは蒸気タービンのサイクルで、540℃、200気圧を与え、全電気出力496メガワットと算定している。

核融合研究は最近急速に進歩し、中でもレーザー核融合は、この10年の歴史によってブレークイーブンを超え、射程内にとらえるところまで来た。1980年代中には、数百キロジュール級のレーザーシステムにより、第1の目標である科学

的ブレークイーブンが達成されるであろう。

1990年代には、エネルギー取り出しの研究に踏み込むことになり、2,000年のはじめには実証炉の建設にとりかかることになる。核融合研究は、長い準備期間を経て、ようやく実用化への道を歩きはじめたのである。

とくにわが国においては、基礎研究から実用化まで、一貫した科学技術としての初めてのテーマである。先進諸国で基盤の成立した科学技術を導入し、産業を繁栄させてきた従来の路線とはいささか趣を異にする。きわめて広い関連分野の技術の向上をはかりつつ、地道に研究成果を集大成しなければならないのである。多額の経費と長期にわたる研究の継続が不可欠であるため、国の研究開発事業としての位置づけが望まれている。