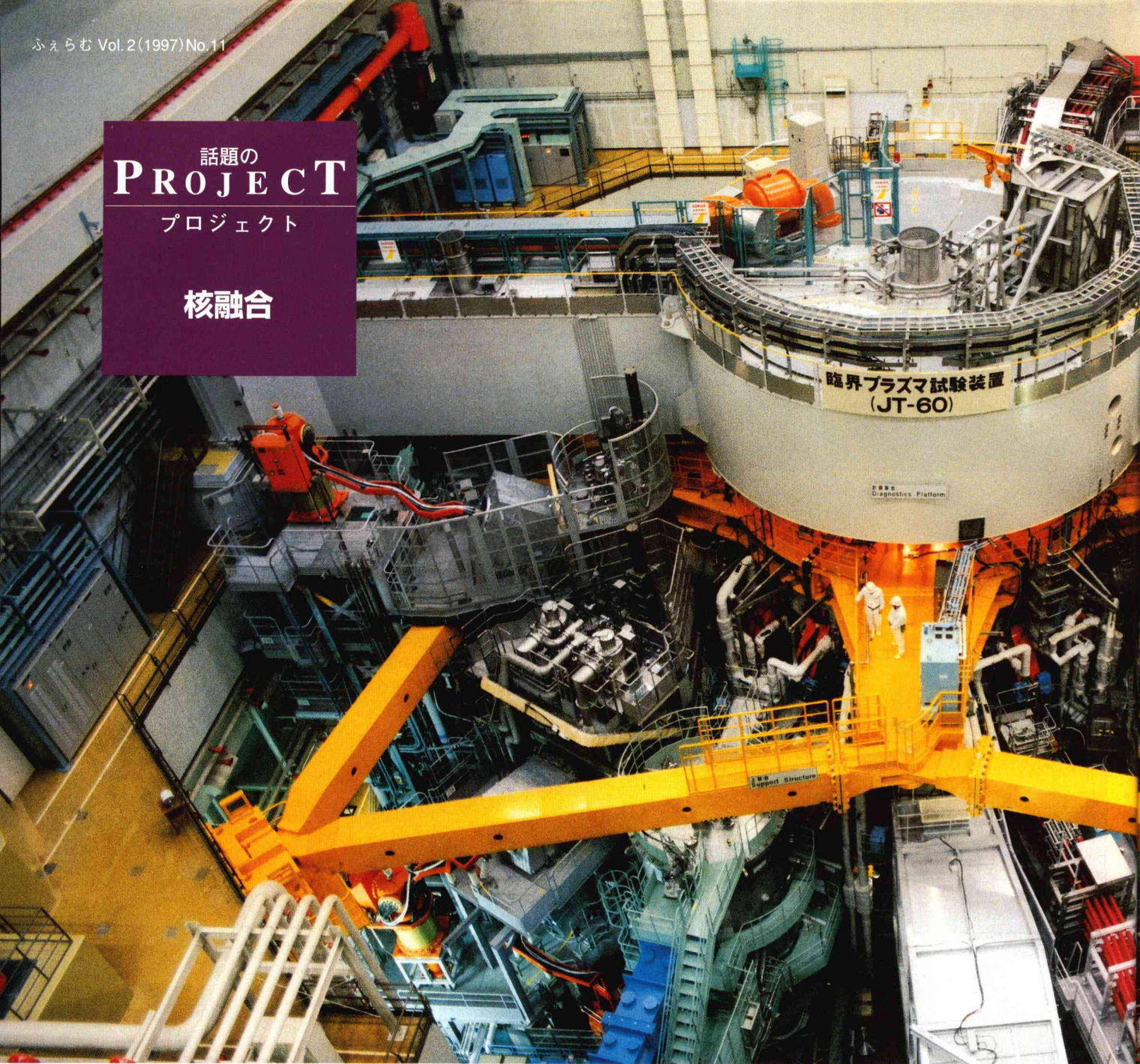


話題の PROJECT

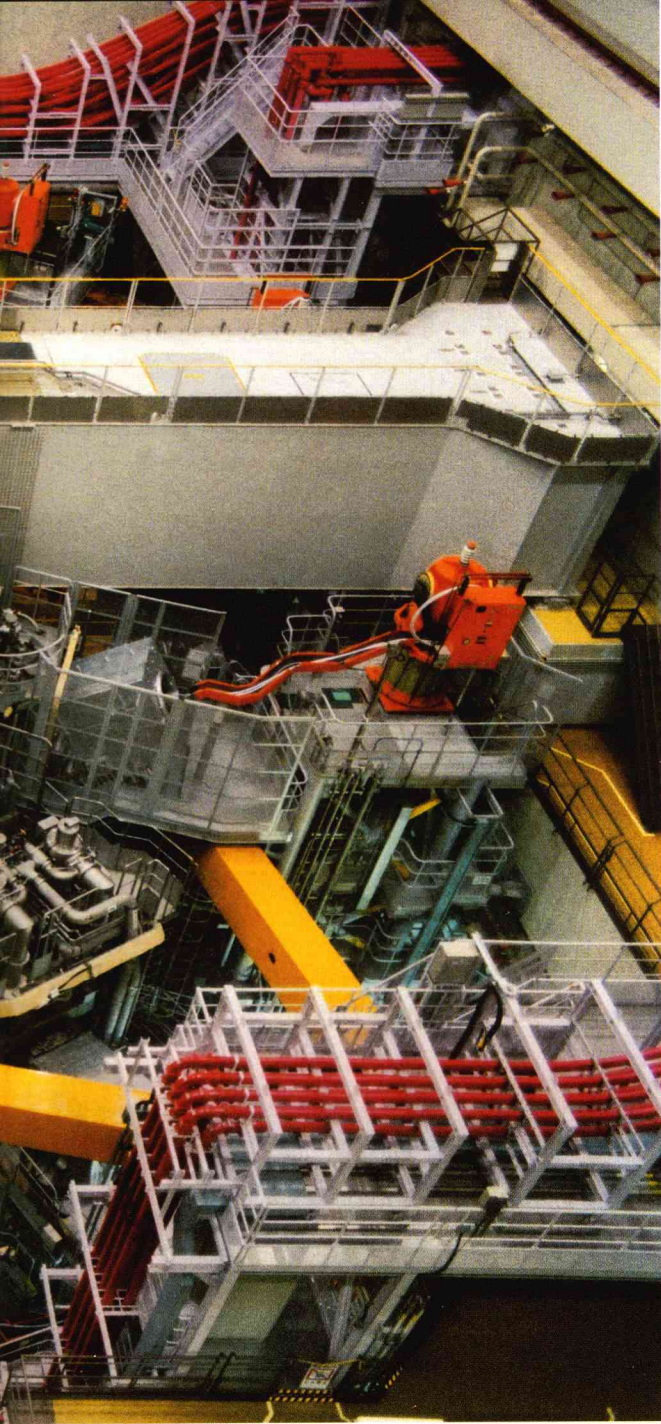
プロジェクト

核融合



究極のエネルギーと期待の高い核融合 実用化は次の世代になってから

1987年から始まった核融合炉開発の国際協力事業・ITER。
その設計が終盤にさしかかり、いよいよ実際の建設地を決定する時期が迫ってきた。
開発が進むにつれ、必要とする資金量が
どんどん膨らんでいくと指摘される核融合開発だが、
最先端の科学技術が蓄積されるという誘致国のメリットも捨てがたい。
基礎科学分野での貢献が少ないと、なにかと批判を受ける日本だが、
果たして誘致に名乗りをあげるのだろうか。



1985年に実験運転を開始した日本原子力研究所那珂研究所のJT-60。世界3大トカマクの一つとして、多くの知見を生み出している。1997年6月にはITERで使われる予定の新型ダイバータ(真空容器内のプラズマを純化する装置)の改造が終了した。

究極のエネルギー・核融合

1985年、ジュネーブで当時のレーガン米大統領、ゴルバチョフ・ソ連共産党書記長が会談し、核融合の国際共同開発を提唱した。これに応じて、世界中の主な核融合研究グループは1987年に協定を結び、「国際熱核融合実験炉」(international thermonuclear experimental reactor : ITER)計画がスタートした。

それから10年、ITERは1988～1990年の概念設計段階を終え、1992～1998年までの工学設計活動に入っている。協定では、米国、EU、ロシア(協定に調印したのはCIS：独立国家共同体)、および日本の4極が共同して研究にあたり、その成果をもとに2005年には実験炉を建設する予定だ。

核融合は、究極のエネルギーといわれる。1930年代後半、コーネル大学のベーテ(Hans A. Bethe)が星や太陽が輝くのは核融合反応によることを明らかにして以来、科学者たちは実験室内でこのプロセスを再現し、工業利用の可能性を探ってきた。

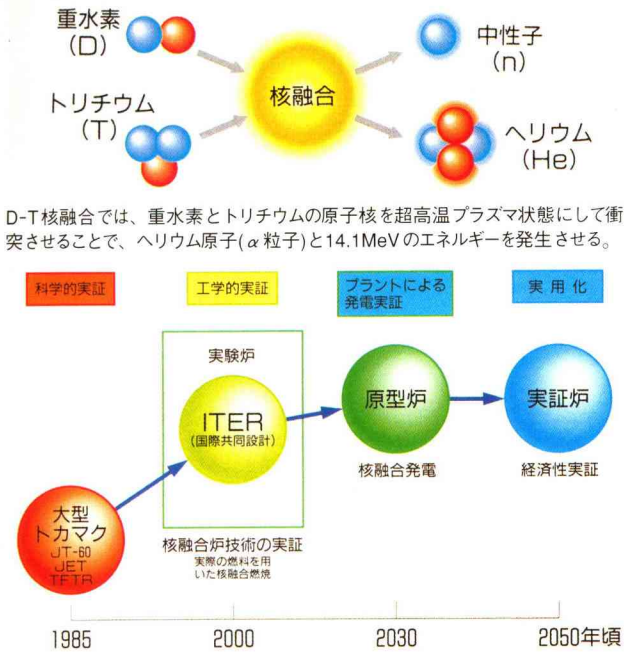
太陽は、強力な重力によって原子を圧縮し高密度化している。ある試算によると、こうした「重力閉じ込め核融合」を可能にするためには、およそ太陽の100万分の1の質量が必要になるという。しかし、地球上でこうした重力を作り出すことは不可能だ。そのため、さまざまな核融合反応実験が試みられてきた。

人為的に核融合反応を起こすには、水素の同位体が使われる。特に重水素(D : deuterium)と三重水素(T : tritium)の組み合わせは、比較的反応が起こりやすいことから関心が高い。重水素とトリチウムを使って核融合を起こす方法には、一方をガス化し、そこへもう一方をイオンビーム化して打ち込むビーム核融合、プラズマ化したD-Tを磁気によって閉じ込め、核反応を起こす条件を与える磁気核融合、固体化したD-T混合物に何本もの強力なレーザービームを照射して爆縮させる慣性核融合、電子の代わりに素粒子であるミューオンを用いて「ミューオン原子」をつくり、大きな運動エネルギーを与えなくてもD-T間のクーロン力を弱め核融合を起こすミューオン核融合などがある。このうち、現在もっとも有力なのが磁気核融合だ。

重水素とトリチウムを使って核融合を起こすには、D-T原子核間の衝突頻度を高め、高い相対速度を得る必要がある。このため、プラズマ化したD-T粒子群を少なくとも10keV(約1億度)以上の温度に保ち、プラズマ密度を高くする必要がある。しかし、プラズマを長時間、安定した状態に保つのは非常に困難だ。

主流はトカマク型核融合炉

磁気を使ってプラズマを閉じ込める方法も、いくつか考案さ



れてきた。しかし現在進められている核融合実験では、主にトカマク（Tokamak）方式と呼ばれる実験炉が使われている。トカマク方式とは、1950年代初頭、ソ連の物理学者サハロフ（Andrei D. Sakharov）とタム（Igor Y. Tamm）が提唱した方法。なかが空洞になったドーナツ状（torus：トーラスと呼ぶ）の真空容器にプラズマをつくり、縦方向にトロイダル磁場コイルを配置することで容器内にプラズマを閉じ込める。またトーラスと同方向に周回するポロイダル磁場コイルによって、プラズマ電流を発生させたり、プラズマ断面を安定させるなどの制御を行う。

現在、イギリス・アビンドンにあるカラム研究所のJET（Joint European Torus）、アメリカ・サンディエゴにあるプリンストン大学のTFTR（Tokamak Fusion Test Reactor）、茨城県那珂町にある日本原子力研究所那珂研究所のJT-60が世界3大トカマクと呼ばれている。これらの実験炉で蓄積されたデータやノウハウが、設計の最終段階にあるITERに生かされることになる。

核分裂炉では、核分裂によって発生する中性子が次の核分裂を誘発する反応の連鎖が成立している（臨界）。核融合においては、反応によって発生するエネルギーそのものが連鎖の媒介することになる。連鎖が始まり、自己増殖的に核融合反応が拡大しはじめる状態を自己点火と呼ぶ。核融合炉では、プラズマが自己点火状態に達するまでに膨大なエネルギーを投入する必要がある。

こうしたエネルギーは、プラズマ自身に大電流を流すことで発生するジュール加熱、DまたはTを中性粒子ビームに変換して高速でプラズマ内に打ち込むビーム加熱、高周波の電磁波をプラズマに入射する高周波加熱などの方法によって供給されている。

1993年、JETはD-T核融合反応によって1MW以上の出力を2秒間発生させることに成功した。1994年にはTFTRで

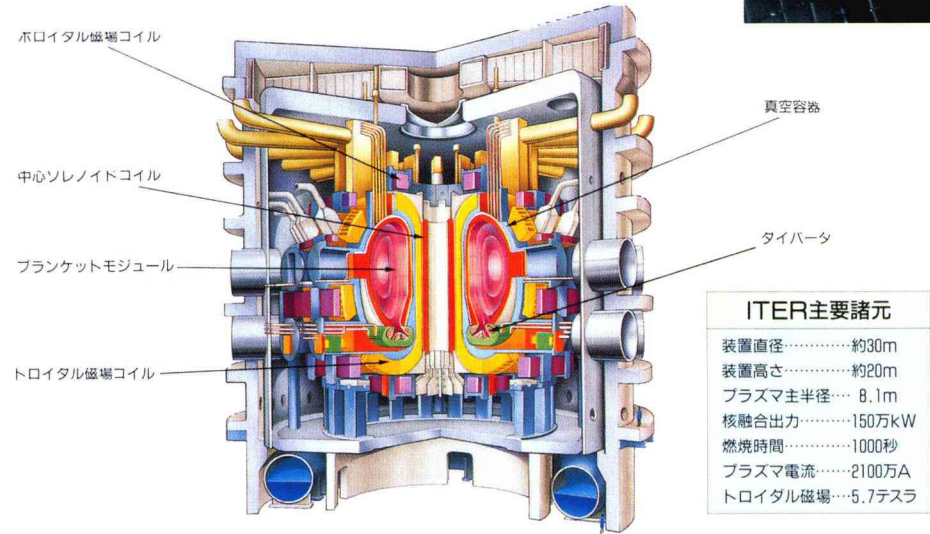
10MW以上の核融合出力を0.5秒間発生させることに成功。1996年にはJT-60が閉じ込め時間1秒、プラズマイオン温度1.7億度、プラズマ電子密度100兆個/cm³という世界最高水準のプラズマをつくることに成功している。実験の成果は、臨界プラズマ条件をすでに達成し、自己点火へと近づいてきているのだ。

実用化は30年後

実は、2005年からの運用が予定されているITERは、発電を目的とした核融合炉ではない。プラズマや核融合に関する基礎研究はかなりの程度進んできたが、核融合を安定して長時



1997年6月に改造が終了したJT-60の内部。全面に炭素繊維複合素材（カーボンファイバー）製のタイルが敷き詰められている。今回の改造は、D-T核融合反応によって生じるα粒子や壁面から発生する不純物、燃料全体のおよそ20％しか利用されないトリチウムの回収などを行うプラズマ純化装置（ダイバータ）の改良などが目的。



1988～1990年にわたって行われたITER概念設計で、建設される核融合炉のおおよそが決定された。現在、第二段階である工学設計活動も終盤を迎えており、より細部にわたってための作業が行われている。特に超伝導コイルや、放射性物質であるトリチウムの取り扱い技術、プラズマ加熱技術、放射化した真空容器を補修・交換するための遠隔操作機器の開発などが主要な課題だ。

間反応させ続けることにはまだ成功していない。ITERは、プラントによる発電実証を行う原型炉の前段階、核融合炉をつくるために必要な技術を工学的に実証するための実験炉なのである。

ITERの設計目標値は、核融合出力150万kW、プラズマ燃焼時間1000秒を設定している。さらに発電能力を有する最終実験炉が実現するのは30年後という予想がある。核融合炉実現への道のりは、まだまだ遠いといわざるを得ない。ITERを4極が共同して行わなければならないほど、この技術はまだ確立されておらず、膨大な資金を必要とするのだ。

核融合炉実現に必要な工学的課題は、非常に多岐にわたっている。このため、トカマクに限らず世界中のあらゆる核融合が研究の成果が投入されることになる。これまでITERの設計開発に中心的な役割を果たしてきたのは、ドイツ・ガルヒンのマックスプランク・プラズマ物理研究所、米国カリフォルニア大学サンディエゴ校、日本原子力研究所那珂研究所だ。

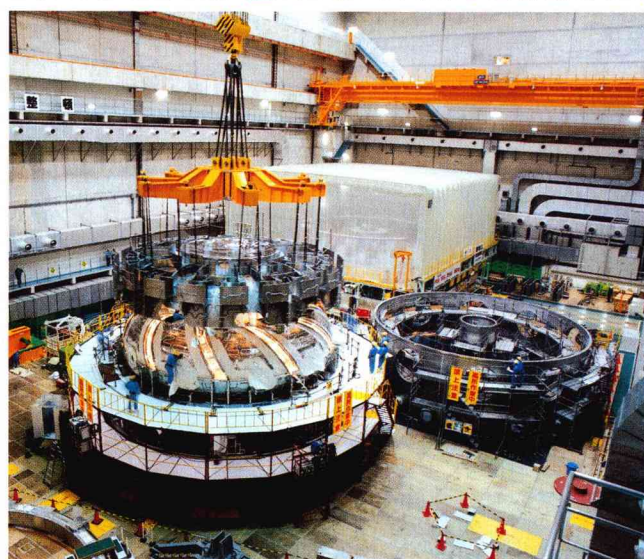
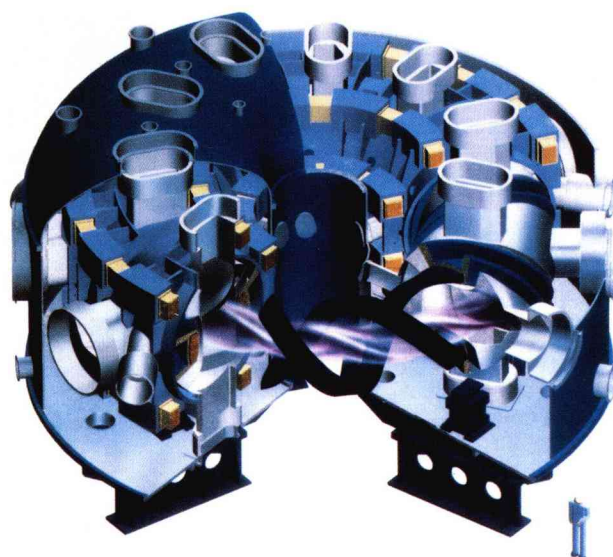
たとえば真空容器内のプラズマは、磁場の揺動や不純物の過剰な混入などにより、突然消滅する現象（disruption）が知られている。このため真空容器は大きなダメージを受け、塑性変形を起こす。また反応により発生した中性粒子が壁に当たって不純粒子を生んだり、放射化するという問題にも対処しなければならない。このため真空容器内壁は、スペースシャトルで使用されているような炭素繊維複合材のタイルが敷き詰められている。また、トロイダル磁場コイル、ポロイダル磁場コイルを従来の銅素材で構成した場合、コイルの通電に要する電力が出力の何倍もかかってしまうことがわかっている。このためコイルには超伝導体を使用されている。

解決すべき課題が山積している核融合開発だが、2005年に実験を開始するためには、そろそろITER設置国を決定しなければならない。当初の予定では1997年中に決定することになっていた。しかし、アメリカが誘致しないと表明するなど、国際情勢は微妙になってきている。現在カナダ、イタリアが誘致の意志を表明しているが、実際には模様眺めの様相が強い。日本も当然、誘致を検討しているが、膨大な開発費をどのように負担するのか未定の部分も多く、決定は若干ずれ込むかもしれない。

いずれにしても、石油や石炭、天然ガスといった化学燃料資源は、このままではあと数十年から数百年で枯渇すると考えられる。ウランを利用する核分裂型原子力発電がそれにとって代わると考えられるが、最近の核燃料リサイクル計画の破綻状況を見ていると、不安を感じないではいられない。

「地上に太陽を!!」というキャッチフレーズのもと、核融合の研究・開発が始まっておよそ30年。次の次を見据えた研究開発の必要性が高まっているのかもしれない。

[取材協力・写真提供：日本原子力研究所、文部省核融合科学研究所]



現在、岐阜県土岐市で建設が進められている文部省核融合科学研究所の大型ヘリカル装置。トロイダル磁場コイルを使用するトカマク型と違い、ヘリカル型核融合炉は、真空容器に2本の螺旋状(helical)コイル(写真上)を巻き付け、同一方向に電流を流すことによって生じるヘリオトロン磁場でプラズマを閉じ込める。トカマク型に比べ安定性に優れ、連続運転に適していると考えられている。写真下は上部電磁力支持構造物を組み込んでいるところ。実験運用は1997年度末にも開始される予定だ。