

核融合技術の展望	41
ステラレータ形核融合実験装置“JIPP-T-1”	49
大形超電導マグネットの開発	55
集積回路化 (CD-4) 4チャンネルステレオシステムの開発	61
組立工程設計プログラム“CADAP”の開発	67
最近の熱間圧延機用ロール	73
最近の冷間圧延機用ロール	79
圧延機制御装置標準化シリーズ	85
製鋼工場における廃水処理システム	91
東京電力株式会社袖ヶ浦火力発電所向け500kVアルミ被OFケーブル	97



# 核融合技術の展望

## Engineering Aspect of Nuclear Fusion Research

百々太郎\* Taro Dodo

笠原達雄\*\* Tatsuo Kasahara

The present status and future prospects of the research on nuclear fusion are surveyed. The theory concerning the equilibrium and stability associated with the toroidal confinement of plasma has been firmly established. A plasma with a temperature of several million degrees and a density of  $10^{13}$  ions/cm<sup>3</sup> has been produced and confined stably from the hydrodynamic viewpoint. The next step in fusion research is to achieve stable confinement—for a duration of over one second—of a plasma of about  $10^8$ °C and  $10^{14}$  ions/cm<sup>3</sup>. An experimental apparatus to produce such a plasma will be of huge size. The feature of fusion research will change from a basic experiment on plasma physics to a large-scale project aimed at the success in controlled thermonuclear fusion.

In the U.S.A. and Europe, experimental apparatus for nuclear fusion have been manufactured in the machine shops where the experiments are carried out. In Japan, where the research institutes are not equipped with large machine shops, most of the major experimental apparatus have been manufactured by Hitachi, Ltd.

Some of the experimental apparatus constructed by Hitachi, Ltd. are shown with photographs.

### 1 緒言

最近の世界的なエネルギー危機を契機に、次のエネルギー源を担う核融合に対する期待が高まりつつある。15年余り前、本格的な核融合研究が開始された当初、プラズマの閉じ込めは数多くの不安定性に悩まされたが、最近の数年間はプラズマの閉じ込めについては着実な進歩がみられ、核融合による発電に対して明るい見通しが得られるようになってきた。

本研究の進展の状況から、いよいよ核融合の可能性を実証するための次世代の装置といわれる大形実験装置の製作に取り掛かるため、我が国をはじめアメリカ、ヨーロッパなどで計画が進められている。一方、現在アメリカ及びソビエトではその前段階となる実験装置の製作が進行中で、これが1～2年後には完成する予定である。計画が順調に進展していくなれば、1970年代の終わりには核融合に関する物理実験が成功し、更に80年代には発電用実験炉の建設を主目的とする工学的研究の段階に入ることが期待される。

このような状況から、最近1年ほどの間に核融合に関する解説が各種の学会誌や科学雑誌に十指を超えるほど紹介されているので、一般的な解説についてはそれらを参照されたく<sup>(1)</sup>、本稿では、過去の研究の経過を顧みながら日立製作所における技術開発に触れ、併せて将来の展望について記述することとしたい。

### 2 Low-β トーラス(Torus)形の方向(トカマク(Tokamak)形路線)

#### 2.1 プラズマ閉じ込め

プラズマを安定に閉じ込める指導原理は確立している。1958

年にアメリカ、ソビエト及びイギリスの核融合研究の秘密解除が行なわれてから数年間の「煉獄」の時代は、1965年をもって終わりを告げた。この年、イギリスのCulham研究所で開催された国際原子力機関(IAEA)主催の「第2回プラズマ物理と制御された核融合」国際会議において、大河及びKerstのマルチポール(Multipole)によるプラズマ閉じ込め実験の成功が報告された。この時期までに、プラズマの閉じ込めに関する理論の骨組みがほぼ完成し、これが大河らの実験の成功により確認され、核融合も模索の状況から脱出できるようになった。この理論のわく組のなかで、最も単純な閉じ込め配位であるはずのトカマクが、実験的にも成功することが世界的に認められた1969年から、トカマク形ブームとなって現在に至っている。

現在では、プラズマを流体力学的に(巨視的に)安定に保持するための指導原理は、実験による十分な裏付けがあり、将来ともその役割を果たし得ることは全く疑いの余地がないところまできている。この指導原理に基づいて作った新しい装置で生ずる(より危険度の少ない)微視的な不安定性なども、現在の理論のわく内で処理できることが数多くの実験例で確認された。核融合のためのプラズマの閉じ込めの理論がもはや誤りのないものであることが、温度で数百万度、密度で $10^{13}$ 個/cm<sup>3</sup>のプラズマについて実験で確かめられた現在では、次は核融合を実験するのに必要な高温(約1億度)、高密度(約 $10^{14}$ 個/cm<sup>3</sup>)の臨界プラズマと称される状態を作り出すことが当然の成り行きということになる。すなわち、核融合の研究は新しい学問を作り上げる基礎研究の段階を既に終わり、新しく開発研究の段階に入りつつある時期と言える。

\* 日立製作所中央研究所 理学博士 \*\* 日立製作所日立工場

## 2.2 実験装置の大きさ

前記のような臨界プラズマを1秒間以上保持しようとする、現在までに得られた実験結果を基にすれば大半半径2~3m程度の容器内に50kG程度の磁界を必要とするということになる。これが次世代装置と言われる装置の規模で、我が国の臨界プラズマ試験<sup>(2)</sup>、ヨーロッパのJET (Joint European Tokamak)、アメリカのSFX (Scientific Feasibility Experiment) プランで検討中の大形装置などがある。

またこの程度の装置であれば、核融合で発生した3.5MeVの $\alpha$ 粒子を保持して、連鎖反的にプラズマの自己加熱が行なわれる効果もある程度までは確かめることができる。

後述するように、この段階では超電導の採用には至らないと予想されるので、このような実験設備の最大電力は100万kWのオーダーとなるものと考えられる。すなわち現在では、これだけの大きさの装置を作ってみなければ、今までに分かっている以上の知見は得られないというところまできている。

過去のこれら実験進展の経緯とその実験装置の規模(製作の所要年数と蓄積磁界エネルギーで比較した)の変遷は、表1に示すとおりである。現在運転中の代表的なトカマク形であるJFT-2(磁場1万G,主直径1.8m)でさえも後に示すように磁界の蓄積エネルギーは数メガジュールである。これより2けた以上大きい蓄積磁気エネルギーの「実験装置」というのは、学術的な意味でも2.1に述べたように質的に異なった目的を持つものであり、装置の規模が大きいという量的変化の面でも、研究計画に質的变化をもたらすものであると言える。

現在進行中のトカマク形路線の計画は以上のようなものであるが、この路線上で今後最も重大な問題の一例を、技術上の問題と、物理実験上の問題のそれぞれについて取り上げ、以下に述べる。

## 2.3 未解決の問題点

### 2.3.1 プラズマ加熱

プラズマ温度を高めるための最も確かな加熱法としては、次世代の実験装置では(100keV-20A)×数台以上の中性粒子入射が用いられるものと考えられる。通常の加速器用ではビーム電流mA程度である。

ここ1年間で、数アンペア程度のビーム入射の実験結果がアメリカ及びヨーロッパで得られているが、更に電流容量の

増加が望まれる。また、この程度の電流までならばプラズマが加熱される割合などは、現在の理論のわく内で計算された値によく一致しており、予想外の不安定性などは全くみられない。次節の不純物の問題との絡み合いを考えると標的のプラズマを低温度で保持しておいて、ビーム入射による核融合炉(Two Component Reactor<sup>(3)</sup>)の方向へと関心が移ることも予想され、中性粒子入射の問題は更に重要となる。固体ターゲットへ、ビームを入射するのでは、イオン化損失が主となってエネルギー利得がないというのがプラズマによる核融合の出発点であって、Two Component Reactor というような考えになっても、現在までに発展してきた路線上の延長であることに変わりはない。

### 2.3.2 不純物の混入

閉じ込めの基礎実験の段階では、考慮外においていたよかつた問題であるが、 $10^{13}$ 個/cm<sup>3</sup>、数百万度のプラズマ閉じ込めの実験がごく普通のものとなった現在では、プラズマ容器壁から流入する不純物が、極めて深刻な問題となってきている。核融合プラズマを連続定常に保持しているのでは不純物の割合が増加する一方で、準定常パルス運転を余儀なくされるかも知れないという見解も強くなってきている。この不純物の流入の問題は、現在までに得られた実験結果からの外挿では予測しにくい工学的問題である。現在建設中のアメリカのPLT (Princeton Large Torus) などの大形装置の重要な研究課題の一つである。

## 3 レーザ核融合(Laser-Fusion)

レーザによる核融合と言われるものが、アメリカでは1972年に秘密解除された。

水素爆弾の原理は、その周囲を囲んでいる原子爆弾を爆発させて核融合燃料を圧縮加熱し反応をさせるものであると思われる。原子爆弾の代わりに、高出力レーザ(約 $10^{12}$ Watt/cm<sup>2</sup>)を重水素-三重水素のペレットの周りから照射して生ずる高温高密度のプラズマを慣性保持して、核融合を生ずるのがレーザ核融合である。

レーザ エネルギーのプラズマによる異常吸収が不可欠であり、これに関して西川の先駆的業績<sup>(4)</sup>が世界的に著名であり、山中らの実験<sup>(5)</sup>はこれを世界に先駆けて実証したものである。

磁場による閉じ込めを用いないので、種々厄介な問題は少なく、ここ1~2年以内に「レーザ核融合はトカマクに先んじてBreak-even<sup>(\*)</sup>を達成した」と発表されることと思われる。レーザ核融合実用化の最大の問題点は、短波長(≦可視光)で効率10%を超える短パルス(ns)のレーザの開発いかににかかっている。

## 4 開発のスケジュール

磁場による高温プラズマの閉じ込めは、トカマク方式に最も重点が置かれているが、アメリカ原子力委員会(AEC)の予定表では1980年まではオープンエンド形(Mirror-machineなど)、High- $\beta$ プラズマも並列に進めることになっている。本年11月東京で開催予定の第5回IAEA会議では、現在のトカマクの実験における不純物の問題、加熱の問題が大きな話題となるであろう。1976年の第6回IAEA会議で報告される

(\*) Break-evenとは、プラズマを加熱するのに要する入力エネルギーと、核融合で生ずる出力エネルギーとが等しいことをいう。レーザの場合、レーザ エネルギーを入力とするので、レーザそのものの効率が問題である。

表1 実験装置の形式と規模 プラズマ安定保持に関する実験装置の過去の経緯を示したもので、年とともに製作所要年数及び蓄積磁界エネルギーが増大している。

Table 1 Type and Scale of Experimental Apparatus

年次(西暦)	装置のタイプ	製作所要年数	蓄積磁界エネルギー
1950 }	オープンエンド形 様々なタイプ	~1年	≦1MJ
1965 }	マルチポール トーラス形 マルチポール形	1~1.5年	
1969 }	T-3トカマク形の成果 確認		
1971 }	T-4(ソビエト) ST(アメリカ) トカマク形ブーム		
1973 }	各国のトカマク約10台 出そろふ。	~2年	数メガジュール~ 数十メガジュール
1976 }	T-10(ソビエト), PLT(アメリカ)稼働	~3年	≧ $10^2$ MJ
1979 }	臨界プラズマ試験(日本) JET(ヨーロッパ) SFXプラン(アメリカ)	~4年(推定)	≧ $10^3$ MJ



表2 プラズマ・核融合装置製作実績(日立製作所) 初期の段階では、オープンエンド形が多く、最近ではトーラス形が重点となっている。

Table 2 Supply List of Plasma and Nuclear Fusion Equipment (Hitachi Ltd.)

建設年 (西歴)	納め先	装置名	形式	仕様						
				中心磁界 (kG)	(オープン エンド) 軸長 (m)	(トーラス) 大直径( $\phi$ ) (m $\phi$ )	コイル 内径 (m $\phi$ )	真空器 小直径 (m $\phi$ )	コイル A T $\times 10^3$	冷却
1960	大阪大学	DCX	オープンエンド	4	0.36 $\times$ 2	—	0.26	—	162	間接 水冷
1962	日立製作所 中央研究所	IBIC	"	中央 15 ミラー 30	0.32 $\times$ 4 0.41 $\times$ 2	—	0.58 0.32	0.35	300 960	"
1964	名古屋大学 プラズマ研究所	TPD-1	"	9	0.7~2.0	—	0.2	—	600	直接 水冷
1965	"	BSG	"	2	4	—	1.0	0.5	672	間接 水冷
1966	九州大学	ソレノイド コイル	"	10	1~2	—	0.065	—	456	直接 水冷
1968	名古屋大学 プラズマ研究所	TPD-2	"	カスプ	2.0	—	0.2	0.1	640	"
1969	京都大学工学部	ソレノイド コイル	"	15	1~2	—	"	—	1,310	"
1969	日本原子力 研究所	JFT-1	トーラス ヘキサポール	2	—	0.8	長方形	長方形	400	風冷
1970	京都大学工学部	ヘリオトロンD	トーラス ヘリオトロン	5	—	2.1	0.76	0.60	2,620	自然 冷却
1970	名古屋大学 プラズマ研究所	JIPP-1	トーラス ステラレータ	4	—	1.0	0.34	0.168	1,000	直接 水冷
1972 (1974)	日本原子力 研究所	JFT-2*	トーラス トカマク	10 (18)	—	1.8	1.02	0.60	4,500 (8,100)	"

注：1. トーラス形のコイル数値は、トロイダル コイルに関するものである。  
2. \*( )内は増力計画の値である。

## 5.2 装置技術の開発

日立製作所では、電気機械に関する製作技術を基盤としてこれにプラズマ核融合装置固有の技術に対する研究開発を加え、多数の装置を製作した。

表2は、過去に日立製作所が製作した核融合装置の一覧表であり、我が国の代表的な装置の多くを含んでいる。これらの装置は、いずれも研究機関の科学上の計画に基づいて製作されたものである。我が国では初期の段階ではオープンエンド形が多かったが、マルチポール形装置の成功によりトーラスの優位が唱えられてから、大形装置はトーラスが主になっていることがうかがえる。

これらの装置の幾つかについては個別に発表がなされているが、ここでは以下その装置技術の特長及び開発について概要を述べる。

### 5.2.1 オープンエンド形装置

#### (1) 自社(研究所)納めIBIC装置<sup>(8)</sup>

IBIC装置とは、イオンビームのイオンサイクロトロンレゾナンスによるプラズマ加熱実験装置であり、製作当時この種の装置としては我が国最大の規模を有したものである。図1は、その全容を示すものである。本装置の中央部コイルは、長さ1mにわたり磁束密度15kG、均一度1%の磁界を形成し、両端のミラー部コイルは、最大30kGの高磁界を形成している。この装置の完成により、高起磁力大電流コイルの製作、高真空技術、真空中への可動挿入部製作などの諸技術を開発した。

#### (2) 連続定格強磁界ソレノイドコイル

ソレノイドコイルについて、以下3例について述べる。

(a) 名古屋大学プラズマ研究所：TPD-1

(b) 名古屋大学プラズマ研究所：TPD-2

(c) 京都大学工学部：ソレノイドコイル

図2は、名古屋大学プラズマ研究所のTPD-1装置を示すものである。この空心コイルは磁界の分布を広範囲に変化さ

せることが特長で、コイルを多数に分割し、その位置が自由に変えられる構造になっている。プラズマ・核融合装置用としては日立製作所では初めて中空銅線直接水冷方式を採用した。コイルユニットの幅はわずか35mmという薄さである。また従来のフランジ付ボビン構造に代わる小形軽量機構とし、高性能エポキシワニスを採用して、9kGの磁界による大きな電磁力に耐え得る支持方法を採用しているのも極めて経済性の高い装置である。

TPD-1で開発されたこれらの技術は、引き続き図3に示す名古屋大学プラズマ研究所TPD-2及び図4に示す京都大学工学部ソレノイドコイルに適用され満足な成果を得ている。

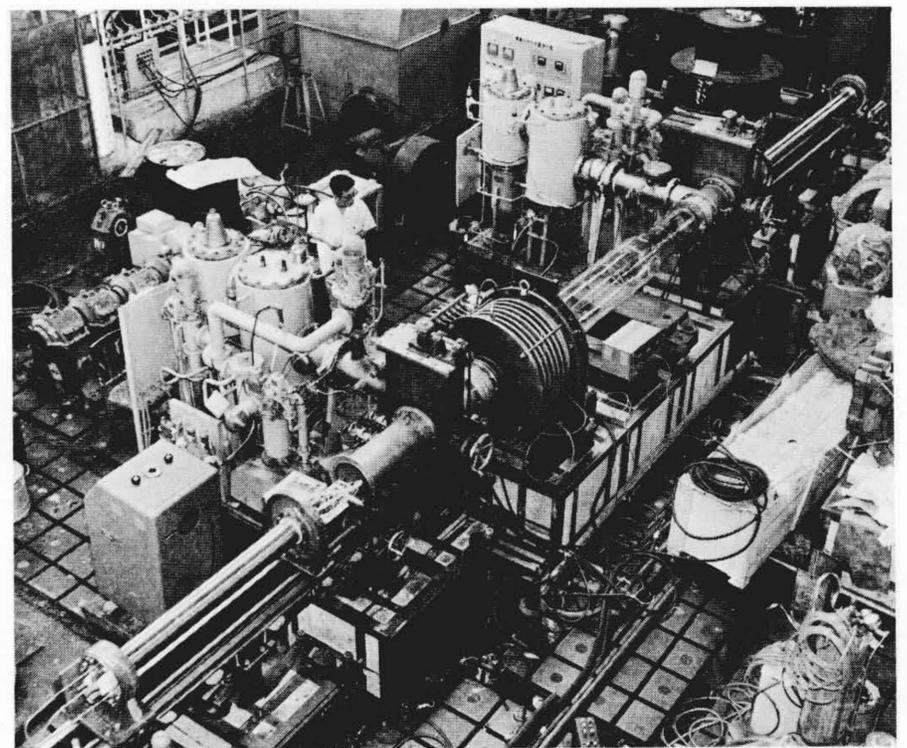


図1 IBIC装置 片側ミラーコイルを取り付けて組み立てた状況を示す。

Fig. 1 Hitachi Thermonuclear Fusion Experimental Apparatus "IBIC"

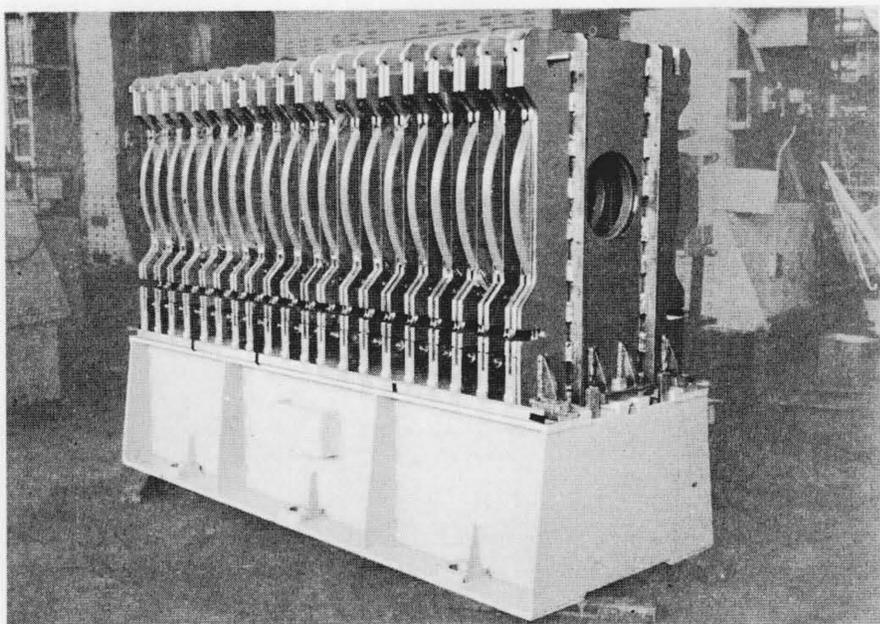


図2 TPD-1用ソレノイド コイル 20個の新形支持構造薄幅コイルで構成され、磁界分布を自由に変えることができる。

Fig. 2 Solenoid Coil for TPD-1

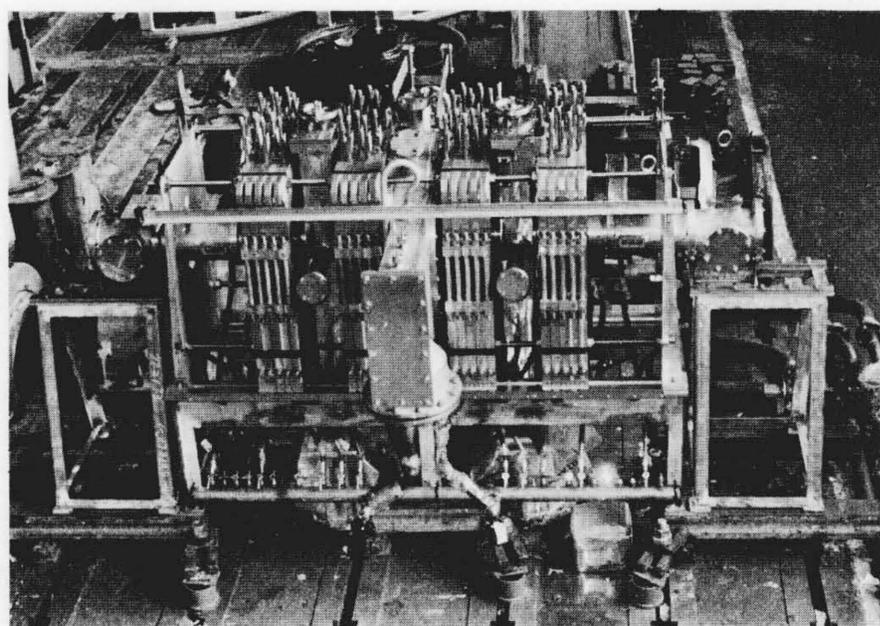


図3 TPD-2装置 左右10個ずつのコイル ブロックより成り、中央にカスプ磁界を作る。

Fig. 3 Plasma Experimental Apparatus TPD-2

### (3) 名古屋大学プラズマ研究所BSG装置<sup>(9)</sup>

BSG装置とは名古屋大学プラズマ研究所の発案になる「断熱圧縮と非可逆等温膨張過程の組合せによるプラズマ加熱」の構想を研究するための装置である。図5は、その外観を示すものである。磁界装置は同軸に配置された円形空心コイル10ブロックにより等温膨張部の磁界を形成している。この磁界は2kGで比較的低いが、コイル内径が大きいのが特長である。コイルには性能上及び経済上の問題を検討し、間接水冷方式を採用し高精度の均一磁界を得ている。放電管（真空容器）では、複雑な形状の大形真空容器の構造、高精度加工、ステンレス鋼の非磁性加工などの諸技術を開発した。

#### 5.2.2 トーラス形装置

##### (1) 日本原子力研究所JFT-1<sup>(10)</sup>

この装置は我が国の核融合開発計画に基づくトーラス形第1号機でJFT-1と称され、ヘキサポール磁場による高温プラズマ閉じ込め実験を目的としている。図6はその外観を示すものである。この装置は高さ0.6m、直径1.4mの円筒形真空容器及びその内部に配置されたヘキサポール磁界を形成する3本のコイル並びに2本の補助コイル計5本の内部導体コ

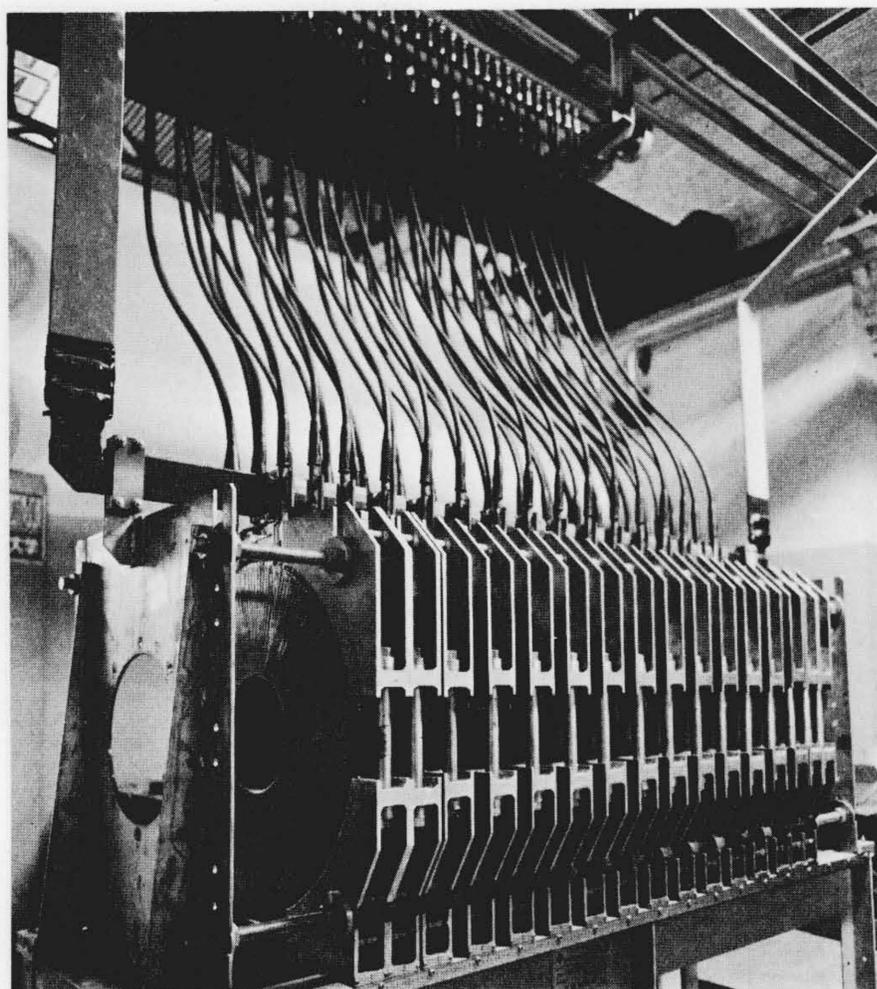


図4 プラズマ研究用15kGソレノイド コイル 連続運転の高磁界空心コイルである。冷却水出入口は上部にあり、冷却水用ゴムホースが見える。

Fig. 4 15kG Solenoid Coil for Plasma Research

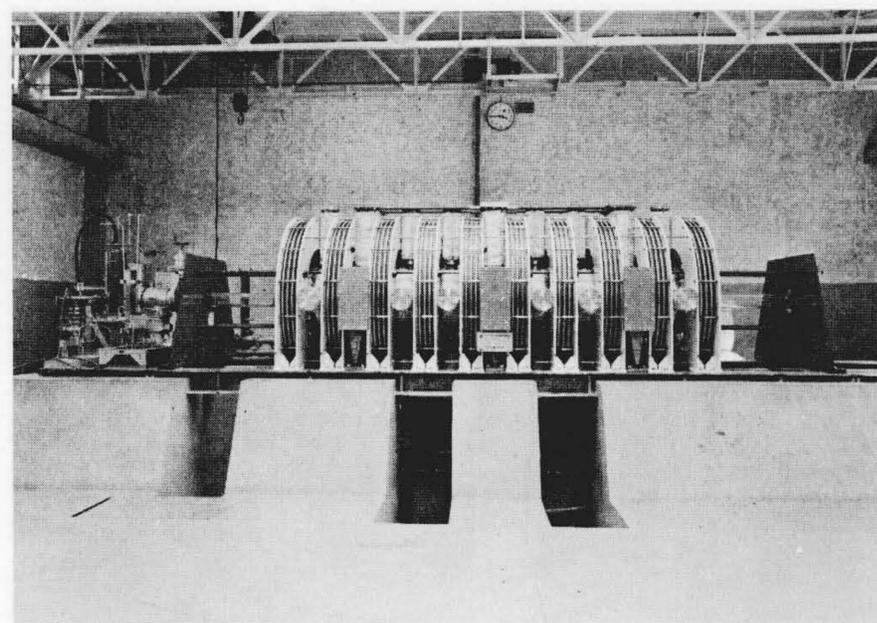


図5 BSG装置本体 プラズマの等温膨張部に均一磁界を形成する大形コイルを示す。

Fig. 5 Main Part of BSG

イルを有している。この装置の製作により大起磁力の内部導体コイルの開発が行なわれた。また装置の一つの特長として、分割形トロイダルコイルを有している。

##### (2) 京都大学納めヘリオトロンD装置

京都大学で独自に考案されたヘリカルヘリオトロン磁場による超高温プラズマ閉じ込めの研究を目的とする装置である。図7はその外観を示すものである。環状真空容器（トーラス大直径2.1mφ、小直径0.6mφ）とその中に配置されたヘリカルコイル（直接水冷式でピーク電流60,000A、主平均直径2.17mφ）、トロイダルコイル（2,600kAT）及び垂直磁場コイルから構成されている。

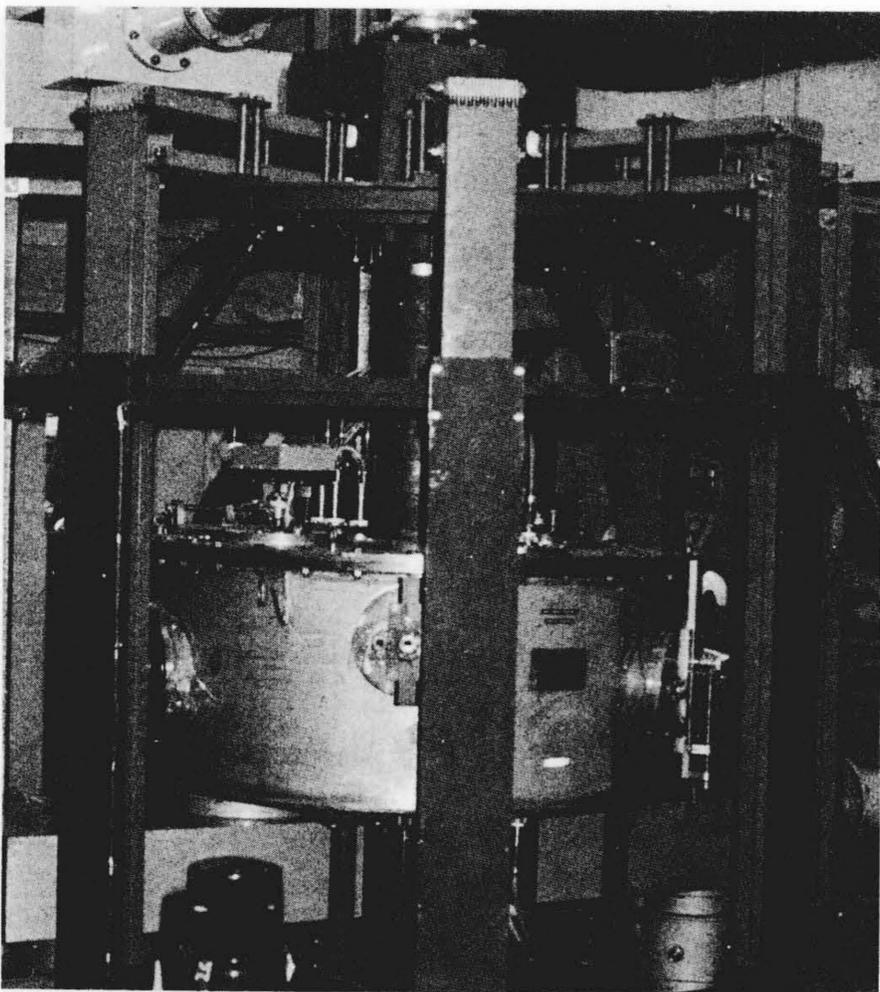


図6 JFT-1外観 長方形のトロイダル コイルの間に真空容器が見える。この中に5本の内部導体を収容する(写真は日本原子力研究所提供)。

Fig. 6 Outside View of JFT-1

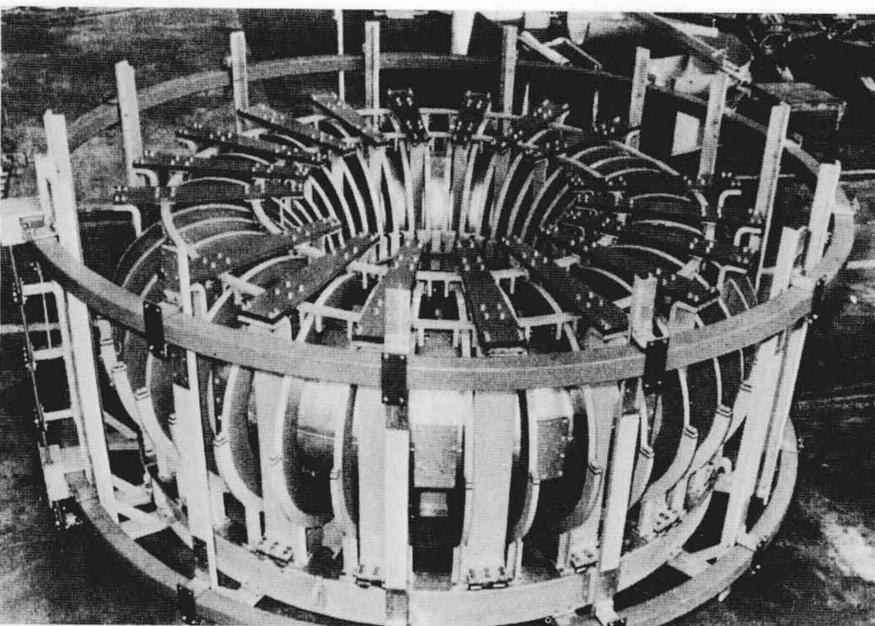


図7 ヘリオトロン外観 環状真空容器の周囲に40個のトロイダル コイルが配列されている。上下の円形のコイルは、垂直磁場コイルである。

Fig. 7 Outside View of Heliotron

真空中に配置され、簡単に交換可能なヘリカル コイル及びコイル直接水冷式同軸給電部などに多くの新技術が開発された。

### (3) 名古屋大学プラズマ研究所ステラレータ装置JIPP-1<sup>(11)</sup>

代表的な外部導体系の装置である。図8は、その外観を示すものである。主要部は、環状真空容器の放電管(トーラス大直径1mφ、小直径0.168mφ)、ヘリカル コイル、トロイダル コイル及び垂直磁界コイル(中心径1.8mφ)より構成される。

なかでも放電管外周に巻線された分割形のヘリカル コイルは、本装置最大の特長で、製作に際しては電子計算機、数値制御(NC)工作機など高度の電子工学技術の結集により成る

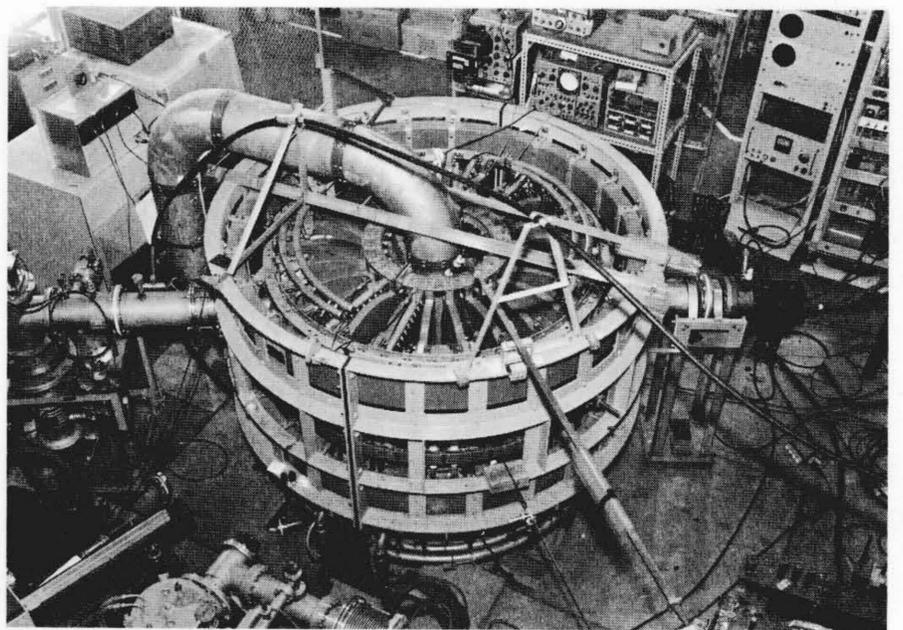


図8 JIPP-1外観 トロイダル コイルが放射状に配列されているのが見える。外側は、垂直磁場コイルの支持わくである。

Fig. 8 Outside View of JIPP-1

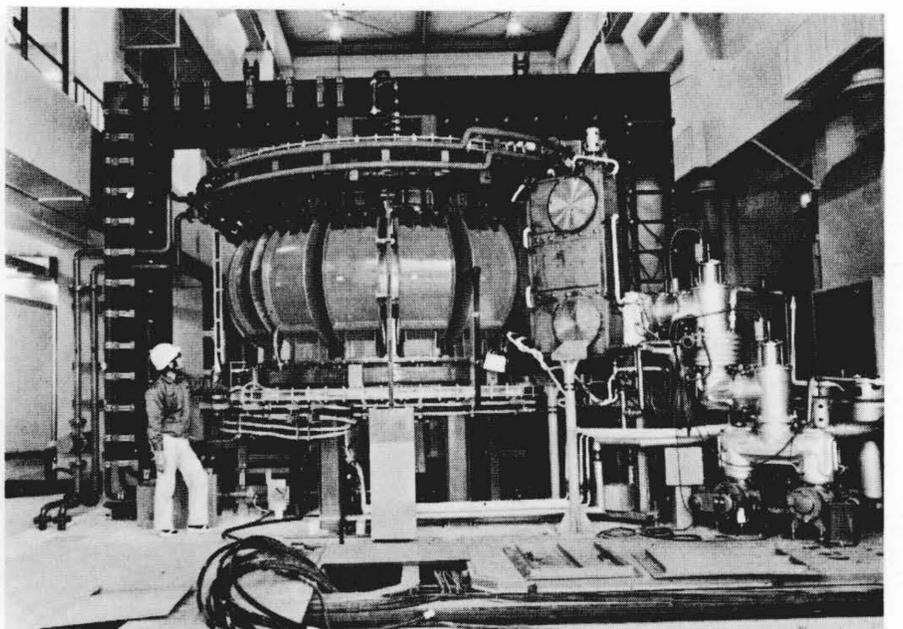


図9 JFT-2装置外観 装置中央はトロイダルコイルを、右側は真空装置をそれぞれ示す(写真は日本原子力研究所提供)。

Fig. 9 Outside View of JFT-2

ものである。

### (4) 日本原子力研究所 JFT-2装置<sup>(12)</sup>

アメリカのST、ソビエトのT-4、フランスのTFRと並ぶ世界的な装置である。図9は、その外観を示すものである。納入後の実験において、閉じ込め時間0.025秒という世界最長の記録を得て世界的に注目された。

この成功の一因は、アスペクト比(トーラス半径/プラズマ半径)=3.2~3.6というソビエトのT-6と並んで世界最小の値とすることができたためである。このことは、これまでに開発されてきたプラズマ・核融合装置技術の結集のうえにセクタ形トロイダル コイル、外部大気一重壁ペロー構造放電管など新たな技術の開発により可能となったものである。またプラズマの径を決めるため、世界で初めてダイナミック リミタを開発した。

### 5.3 超電導技術の開発

将来の核融合装置では、トロイダル コイルとして超電導コイルが使用される。この場合、超電導コイルは空心で蓄積エネルギーは数千メガジュールのオーダーとなる。現在までに世界各地で大形超電導マグネットが建設されている<sup>(13)</sup>。

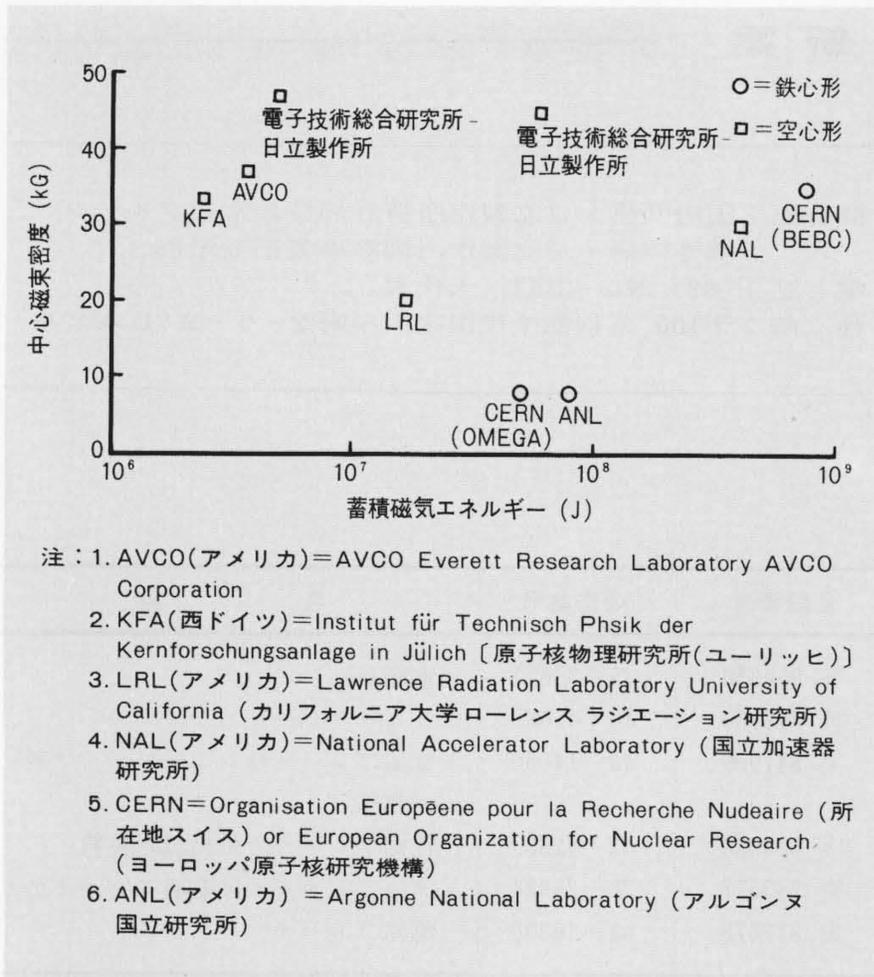


図10 世界の大型超電導マグネットの状況 大型マグネットのエネルギー及び中心磁界の範囲が示されている。

Fig. 10 Present Status of Large Superconducting Magnet of the World

図10は、現在までの超電導マグネット開発の現状を鉄心と空心とに分類して示すものである。先に日立製作所は、大型マグネットとして通商産業省工業技術院大型プロジェクトMHD (Magneto Hydro Dynamics: 磁気流体発電)の研究において、中心磁界4.5kG (到達値4.7kG)、蓄積エネルギー5MJ<sup>(14)</sup>のくらし形マグネット(空心)を完成し、次いで中心磁界45kG、蓄積エネルギー60MJ<sup>(15)</sup>のレーストラック超電導マグネット(空心)を完成した。図11はその外観を示すものである。これらの超電導マグネットは完成時、空心超電導マグネットとしては世界第一級の規模を有するものであった。なほ将来の核融合炉用超電導マグネットは、現在の水準より1~2けた以上高い蓄積磁気エネルギーを有するものであるが、核融合の研究と併行して今後の研究が求められるであろう。

## 6 結 言

以上、磁場によるプラズマの閉じ込めは、その基礎的な実験を成功裏に終わり、今や、核融合が実現できることを実証する段階に入ったということについて述べた。来るべき次の「実験」装置の規模は、ピークの使用電力100万kW、蓄積磁気エネルギー1,000MJのオーダーとなり、これまでの実験と比べて異質なものとなる。但し、この装置はあくまでも、現実には高温、高密度のプラズマを作ってみたときに生ずる問題点を摘出するための実験装置であることに留意する必要がある。

現状の主流は以上のようなものであるが、このような巨大実験設備では、なお、いかなる新たな難関が現われるやも予測しにくく、また、レーザ核融合などの別方向からの進展もあり得ることである。

現在、研究進展のスピードを制限している理由の一つとして、装置製作に要する時間的問題がある。この時間が短縮されるだけ、核融合の実用化は早くなる。この点からも現在に

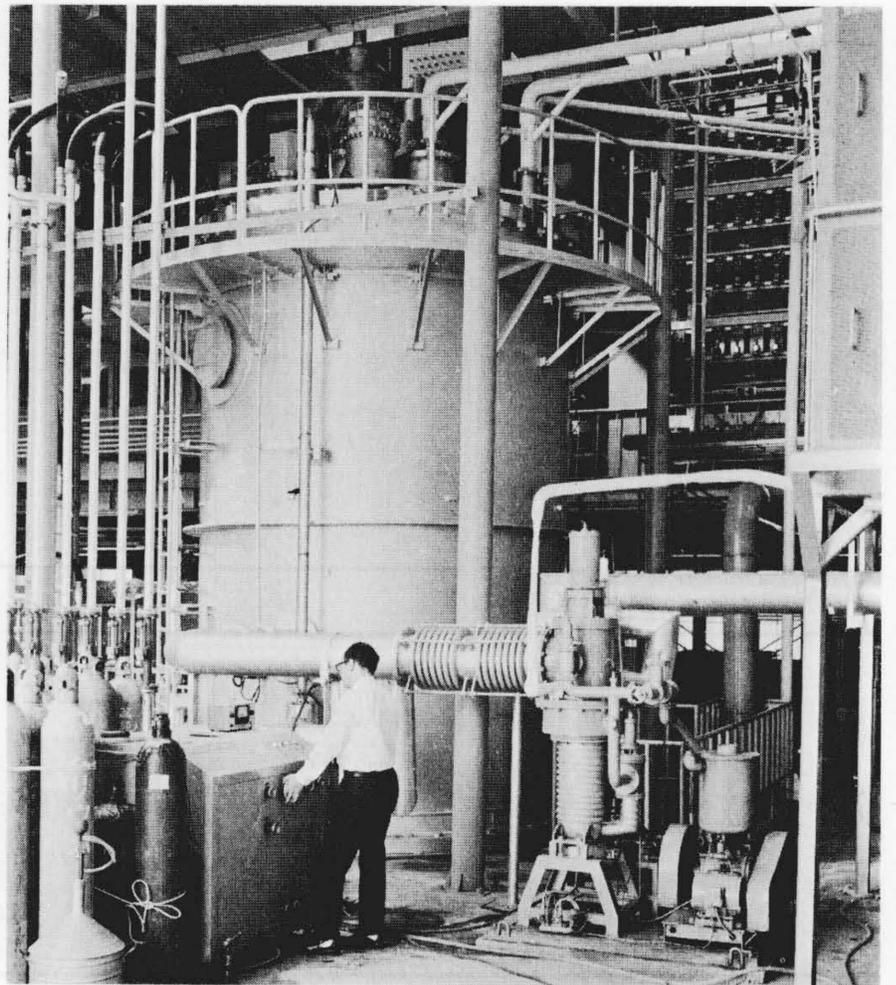


図11 大型超電導マグネット外観 中央のクライオスタット内部に縦形レーストラック形コイルが収納されている。向かって手前右側は、断熱層用真空排気装置を、左側はその操作盤を示す。

Fig. 11 Outside View of Large Superconducting Magnet

至る装置技術の蓄積の有効な活用と、今後いっそうの技術の向上が期待される。

終わりに臨み、御協力を得た日立製作所日立工場、加沢主任技師に対し感謝の意を表わす次第である。

## 参考文献

- (1) 例えば、日本原子力学会誌 15, No.11 (1973年11月号)に「核融合炉技術の現状と展望」と言う特集(全58ページ)がある。また入門書としては、吉川庄一、飯吉厚夫共著「核融合入門」(共立出版1972)が優れている。
- (2) 吉川允二 第12回原子力総合シンポジウム予稿集(1974)総合講演 (1)臨界プラズマ試験
- (3) J. M. Dawson, H. P. Furth and F. H. Tenney, Phys. Rev. Letters 26, 1156(1971)
- (4) K. Nishikawa, J. Phys. Soc Japan 24, 916(1968)
- (5) C. Yamanaka et al., Phys. Rev A 6, 2335 (1972)
- (6) R. Carruthers et al., UKAEA Culham Laboratory report CLM-R85 (1967)
- (7) S. Yoshikawa and U. R. Christensen, Phys., Fluids 9, 2295 (1966)
- (8) 只野ほか「日立核融合実験装置」日立評論別冊83(昭37-8)
- (9) 齊藤、笠原「核融合実験装置BSG」日立評論 48, 583(昭41-5)
- (10) 加沢、和世ほか「トラス形核融合装置“JFT-1”」日立評論 53, 333(昭46-4)
- (11) 井村、齊藤ほか「ステラレータ形核融合装置JIPP-1」日立評論 56, 965(昭49-10)
- (12) 加沢、橋本ほか「中間ベータ値トラス装置JFT-2」日立評論 55, 107(昭48-2)
- (13) 木村「超電導マグネット」電気学会誌 94, No.5 386(1974)
- (14) 木村・土井ほか「45kG超電導マグネット」日立評論 53, 727(昭46-8)
- (15) 齊藤、金森ほか「大型超電導マグネットの開発」日立評論 56, 971(昭49-10)