

J A E R I - M  
90-226

JT-60運転・保守に関する分析

1990年12月

荒川 喜代次・清宮 宗孝・清水 正亜

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課(〒319-11 茨城県那珂郡東海村)あて、お申しこみください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター(〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内)で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 ニッセイエプロ株式会社

JT-60 運転・保守に関する分析

日本原子力研究所那珂研究所 JT-60 試験部

荒川 喜代次・清宮 宗孝・清水 正垂

(1990年11月30日受理)

JT-60は、1985年4月より運転を開始して以来、約5年が経過した。この間にOH実験、加熱実験を含む約9000ショットの実験放電が実施され、その中で多くの貴重な運転・保守の経験を持った。

本報告書では、これら経験のうちのトラブルについて、その発生現象及び原因、運転への影響等の点から分析したもので、併せてトラブル対策の事例とその効果について示す。これらの分析結果は、JT-60の運転効率及び信頼性の向上を図る上で、貴重なデータとなった。また、現在進めているJT-60大電流化改造後の運転・保守及び次期装置の設計等に有効に生かされるであろう。

Analysis of Operation and Maintenance in JT-60

Kiyotsugu ARAKAWA, Munetaka SEIMIYA and Masatsugu SHIMIZU

Department of JT-60 Facility  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 30, 1990)

Operation in a large tokamak device, JT-60 was carried out for about five years since its first plasma obtained on April in 1985. The total number of shots amounts to about 9000, including both ohmic heating and additional heating shots. Many troubles were reported in this period. The trouble analysis gives us a lot of useful information on the availability and reliability of the JT-60 facilities. Some effective countermeasures have been developed to reduce the troubles and to raise the operational efficiency.

The JT-60 has been under construction for its upgrade from November 1989. The results of trouble analysis will be useful for us to plan operation and maintenance of the JT-60 Upgrade and design of the Fusion Experimental Reactor.

Keywords: JT-60 Operation, Trouble, Trouble Analysis, Countermeasure, Operational Efficiency

## 目 次

1.はじめに .....	1
2. JT-60の運転 .....	2
3. トラブル分析 .....	9
3.1 分析方法 .....	9
3.2 分析結果の全体の傾向 .....	9
3.3 分析結果各論 .....	10
4. トラブル対策 .....	23
4.1 真空リーグに対する対策 .....	23
4.2 水もれに対する対策 .....	24
4.3 電気絶縁のトラブルに対する対策 .....	24
4.4 制御系のトラブルに対する対策 .....	25
5.まとめ .....	31
謝 辞 .....	32
引用文献 .....	32
付録1 各設備毎のトラブル発生件数を5年間の合計と各年度毎に分類した表 .....	33
付録2 機器に関するトラブルを5年間の合計と各年度毎に分類した表 .....	37
付録3 制御系に関するトラブルを5年間の合計と各年度毎に分類した表 .....	44
付録4 原因別のトラブルを5年間の合計と各年度毎に分類した表 .....	51

## Contents

1. Introduction .....	1
2. JT-60 Operation .....	2
3. Trouble analysis .....	9
3.1 Method of trouble analysis .....	9
3.2 General tendency on the results of trouble analysis .....	9
3.3 Details on the results of trouble analysis .....	10
4. Countermeasure .....	23
4.1 Countermeasure for vacuum leak .....	23
4.2 Countermeasure for water leak .....	24
4.3 Countermeasure for electrical insulation trouble .....	24
4.4 Countermeasure for the troubles on control devices .....	25
5. Conclusion .....	31
Acknowledgement .....	32
References .....	32
Appendix 1 Troubles occurred in the JT-60 operation during FY 1985 - FY 1989 .....	33
Appendix 2 Main device troubles occurred during FY 1985 - FY 1989 .....	37
Appendix 3 Control device troubles occurred during FY 1985 - FY 1989 .....	44
Appendix 4 Cause classification of the troubles occurred during FY 1985 - FY 1989 .....	51

# 1. はじめに

J T - 6 0 はトカマク型の核融合実験装置で、その規模はアメリカの T F T R 及びヨーロッパ共同体の J E T とほぼ同程度であり、世界最大級の装置である<sup>1), 2)</sup>。この装置本体は1985年4月に完成し、実験運転を開始した。さらに、1986年3月には計測装置、そして1987年4月には加熱装置が完成した。実験運転は1985年4月から開始され、ジュールプラズマ実験から、中性粒子入射装置及び高周波加熱装置による加熱実験へと進展し、1987年9月に当初の目標である臨界プラズマ条件の目標領域に相当するプラズマを実現するなど多くの成果をあげた。

本装置はプラズマ物理研究を第一の目的とした実験装置であるので、その運転保守は、既に技術の確立された大型プラントとは異なり、研究上の要請による装置の改造及び運転条件の変更を隨時行なった上で、安全を確保し、かつ、運転の効率化を図っていかなければならない。J T - 6 0においては、この4年半にわたる運転の間に運転体制、運転方法などを改善し、また多くの技術的問題を克服し、最終的には、社会的背景及び雇用形態なども考慮した上で、本装置の研究目的に沿って実験運転を組織的に遂行する体制を作り上げた。また J T - 6 0 のように複雑で大きな装置は運転条件も厳しいため、ハードウェアの面においても数多くのトラブルに見舞われ、何回となく実験運転を中止せざるを得なかった。そのたびに原因を突き止め、対策を施して、実験運転を進めた。幾多のトラブルに遭遇するたびに、トラブルシューティングにかかる時間も徐々に減少して行き、対策も目先のものだけではなく、根本的な対策がとれるようになった。実験運転年数が経過するにしたがって、予防保全的な対策も徐々に功を奏し、トラブル件数も減少し、総合的に見て運転効率を大きく高めることができた。これらの J T - 6 0 におけるトラブルの経験は、次の J T - 6 0 U<sup>3)</sup>、次期装置へと十分反映されなければならない。以後、第2章では J T - 6 0 の運転の経緯を述べ、第3章ではトラブルとその分析結果について、第4章ではトラブルの対策について記す。最終章はまとめである。また、それぞれの分析結果の一覧表を5年間の合計と各年度毎に分類して、巻末に付録として載せた。

## 2. JT-60の運転

JT-60の運転実績をFig. 2.1 に示す。ここに示すように運転は、初期の立ち上げから、実験上の要請に基づく装置改造及び開発の段階に沿って行なわれてきた。JT-60の運転を実施する上での、実験計画の立案から運転実施に至るまでの流れをFig. 2.2 に示す。年度当初には、実験運転の年次計画が立てられ、これに沿った2週間ごとのJT-60実験計画案がJT-60実験部会で審議される。この実験計画に基づいた2週間単位の運転計画案をJT-60運転部会で審議し、JT-60試験部長のもとに運転が実施される。また運転結果についてもJT-60運転部会でレビューを行ない、次の運転計画に直ちに反映させる。JT-60の運転は原則として2週間を1サイクルとして運転し、2週目の金曜日を保守点検日に充てる。また、2~3サイクル運転すると、1週間は保守点検のために運転を休止する。JT-60の1日の運転は、朝の8:00から夜の22:45までで、早番(8:00~15:45)と遅番(15:00~22:45)の2直体制で行なわれる。ただし、1985年度は朝の8:00から夜の21:15までの1直体制で行なった。

Table 2.1 に年度毎及び通算の運転結果の集計を示す。この4年半で実験運転日は483.5日、ショット数は8990ショットである。その内訳はOHショット3,006、NB Iショット2,222、RFショット2,037ショット、NB I+RFショット1,504、プラズマ不着火ショット221となっている。1988年度、1989年度と加熱ショットの割合が増加し、NB I及びRFの加熱装置を用いての実験へと実験内容も変わっていった。また、1日平均ショット数も着実に上昇し、年度別推移では1989年度で26.3ショット/日となりほぼ飽和してきている。1日に実施したショット数の最大は、1989年2月1日の44ショットである。1日当たりのトラブル発生件数については年度と共に減少している。Fig. 2.3 に1ヶ月平均した1日当たりのショット数をOH実験、加熱実験を区別して示す。1987年1月、1987年8月、1988年6月、1989年2月及び1989年7月などに見られるショット数の低下は、実験目的に対応して主な区切り毎に改造工事を実施して来たためである。後述するように、この各改造後の運転立ち上げ時において、制御系のソフトのバグ出しの不十分な事が運転効率をさげる主な原因の一つとなった。通電試験は装置本体改造等の実施後、その機器の健全性及び性能確認のために実施するものであるが、1987年度と1988年度の通電試験のショット数がそれぞれ120,181と多いのは1988年3月から5月にかけてのトロイダル磁場コイルの冷却水漏れ調査として通電試験を実施したためである。全般的に見てトラブル件数そのものはTable 2.1 に示すように年々減少しており、1日当たりのショット数は増加をしている。年度毎の運転について次に述べる。

### (1) 1985年度の運転

1985年4月のファーストプラズマ成功後、5月と6月の2ヶ月間初期のジュールプラズマ加熱実験を順調に行なって、1.5 MAのプラズマ電流を達成することが出来た。7月から12月の6ヶ月間は、JT-60の運転を休止し、計測装置の高性能化及び加熱装置の本格的な据付工事を行なった。計測装置完成のための最後の調整試験を兼ねて、1986年2月及び3月にジュール実験を再開した。この期間に、外側ダイバータ放電によって1.85 MA のプラズマを安定に得る事が出来た。

### (2) 1986年度の運転

4月と5月の2ヶ月間に加熱装置と全系制御設備のリンクエージ試験を行なった。6月及び7月にジュール加熱実験を行なって、追加熱用のターゲットプラズマ生成の調整実験を実施した。8月からは加熱装置を組合せて本格的に結合試験に入り11月まで実験運転を行なった。この期間の追加熱実験において、2 MAのプラズマに中性粒子ビーム20 MW を入射し、プラズマの蓄積エネルギー2 MJを達成した。また高周波加熱装置においても、数カ月におよぶランチャーと伝送系のエージングが功を奏し、入射パワーはイオンサイクロトロン（ICRF）が2.3 MW及び低域混成波（LHRF）が6.8 MWに達した。さらに、1.2 MWのLHRFパワーで1.7 MAものプラズマ電流を駆動する事に成功した。

11月と12月は JT-60全装置の定期点検と合せて、本格的な追加熱実験に備えて全系制御設備のプラズマ制御系の高速化を目的とした改造を行なった<sup>4)</sup>。

### (3) 1987年度の運転

4月と5月の2ヶ月間にプラズマの不純物を低減させるために、チタンコーティングの真空容器第一壁の大部分をグラファイトの第一壁に交換した。同時にJT-60の運転領域を拡大させるために、電源設備の改造と全系制御設備のコイル保護システムの見直しを行なった。

JT-60実験運転は6月に再開し、10月まで続けた。この運転期間に、プラズマ電流が設計定格値（ダイバータ放電  $I_p = 2.1$  MA、リミタ放電  $I_p = 2.7$  MA）に対して、それぞれプラズマ電流を2.7 MA, 3.2 MAまで高める事が出来た。その結果核融合積において、

$$n_e(0) \tau_{ET}(0) = 6 \times 10^{19} \text{ m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{keV}$$

を達成し、日本原子力委員会が定めた目標領域に到達した。

この期間の実験運転終了後は、Hモード放電の研究のために新しい下側ダイバータ配位での放電が可能となるように、5ヶ月に及ぶ改造工事に入った。またプラズマの閉じ込め性能の向上のためにペレット入射装置を取り付けた。1988年3月にこれらの改造工事による機能及び健全性の確認をするために保護インターロック試験とコイル通電試験を行なった。

### (4) 1988年度の運転

1988年3月の終り頃に、トロイダル磁場コイルの冷却水の漏れが発見された。そのため4月、

5月は漏れ場所を同定するためのコイル通電試験及びその修復に費やしたもの、6月から実験運転に入ることができた。

6月から10月の高性能化実験は下側ダイバータにおけるHモードの形成とペレット入射によるエネルギー閉じ込め時間改善に目標を置き実験を行なった。これらの運転中NBIの入力パワーが26 MWに達した。

11月、12月は中央変電所を含めてJT-60全設備の定期点検を行なった。定期点検と並行してペレット入射装置の高速度化の改造及びLH装置によるプラズマ電流駆動効率を上げるために、既存のランチャーをマルチジャンクション型のランチャーに変える工事を行なった。実験運転は、1989年1月から3月までの3ヶ月間行なった。新しいマルチジャンクション型のランチャーはこの3ヶ月間エージングを継続した。

#### (5) 1989年度の運転

4月の実験運転で、TFCの水漏れ後、制限していた冷却水流路に通水して、綿密な点検を行なって健全性を確認し、高性能化実験(1)の最終段階に備えた。5月は高圧ガス製造施設の官庁検査のため実験運転を休止し、この間に真空容器第一壁の一部を交換した。6月より実験運転を開始し、高性能化実験(1)の最終段階に入った。7月後半から8月初めにかけて、Hモード実験のためにその場コーティング装置による第一壁表面へのチタン蒸着を実施した。8月後半にはNBIによるヘリウムビームの入射、大容量ヘリウム排気を実施し実験の裕度を高めた。さらに9月後半から10月前半にかけて高Ip運転( $\sim 3.1\text{ MA}$ ,  $B_t=4.8\text{ T}$ )を実施し、問題なく実施する事ができた。

Table 2.1 Summary of the JT-60 operation results

Item \ FY	1985	1986	1987	1988	1989	Total
Operation days	58.5	118	81.5	133.5	92	483.5
Scheduled days for Plasma	38	102.5	66.5	105.5	87.5	400
Plasma Pulses						
Total	451	1885	1611	2744	2299	8990
OH	439	778	782	642	365	3006
NB		446	504	709	563	2222
RF		334	144	803	756	2037
NB+RF		267	121	532	584	1504
Sequence Stop	12	60	60	56	31	221
Average Number of Shots/Day	11.9	18.4	24.2	26.0	26.3	22.5
Number of Troubles	215	344	164	146	62	931
Ave. Number of Troubles/Day	3.7	2.9	2.0	1.1	0.7	1.9
Hours of TDC	141.6	140.6	37.7	98.6	77.9	496.4
Pulses of TDC (X 1000)	336	383	126	391	349	1,585
Commissioning Shots	89	70	120	181	24	484

F Y 1 9 8 5												
Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	
8 22	6 20	3 17	1 15	28 12	26	2 16	30	14 28	11 25	9 23	6 20	3 17 31
First Plasma	O H (1) Exp. 4 Cycles											Preparation of Exp. O H (1) Exp. 3 cycles

F Y 1 9 8 6												
Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	
7 21	5 19	2 16	30	14	28	11	25	8 22	6 20	3 17	1 15	29 9 23
(N B)												
(L H)												
(I C)												
20 MV								→ 20 MV				
								1.2 MV				
								1.4 MV				
												6.8 MV
												3 MV
Adjustment of heating Devices and Regular Checking of JT-60	O H (B) Exp. 3.5 cycles							Link Test (I) 6 cycles				Link Test (II) 5 cycles

F Y 1 9 8 7												
Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	
6 20	4 18	1 15	29	13	27	10 24	7 21	5 19	2 16	30	14 28	11 25
(N B)												
(L H)												
(I C)												
Install of Graphite as a First wall . Grade up of Power supply etc.	Heating Exp. 8 cycles											Lower side Divertor Construction & Regular Checking of JT-60 Advanced Exp. 1 cycle

F Y 1 9 8 8												
Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	
4 18	2 16	30	13	27	11	25	8 22	5 19	3 17	31	14 28	9 23 6 20
(N B MV)												
(L H MV)												
(I C MV)												
Advanced Exp. 2 cycles	Mainte- nance							Advanced Experiment 8 cycles				Periodic Check of JT-60 & Grade up of Pellet injector Advanced Experiment 4.5 cycles

F Y 1 9 8 9												
Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	
3 17	1 15	29	12	26	10 24	7 21	4 18	2 16	30	13	27	11 25
~22 (NB MV)												
(LH MV)												
~2.3 (IC MV)	0.6											
Advanced Exp. 2 cycles	Mainte- nance							Advanced Experiment 8 cycles				Modification of JT-60 & Periodic Check of JT-60

Fig. 2.1 JT-60 operation schedule

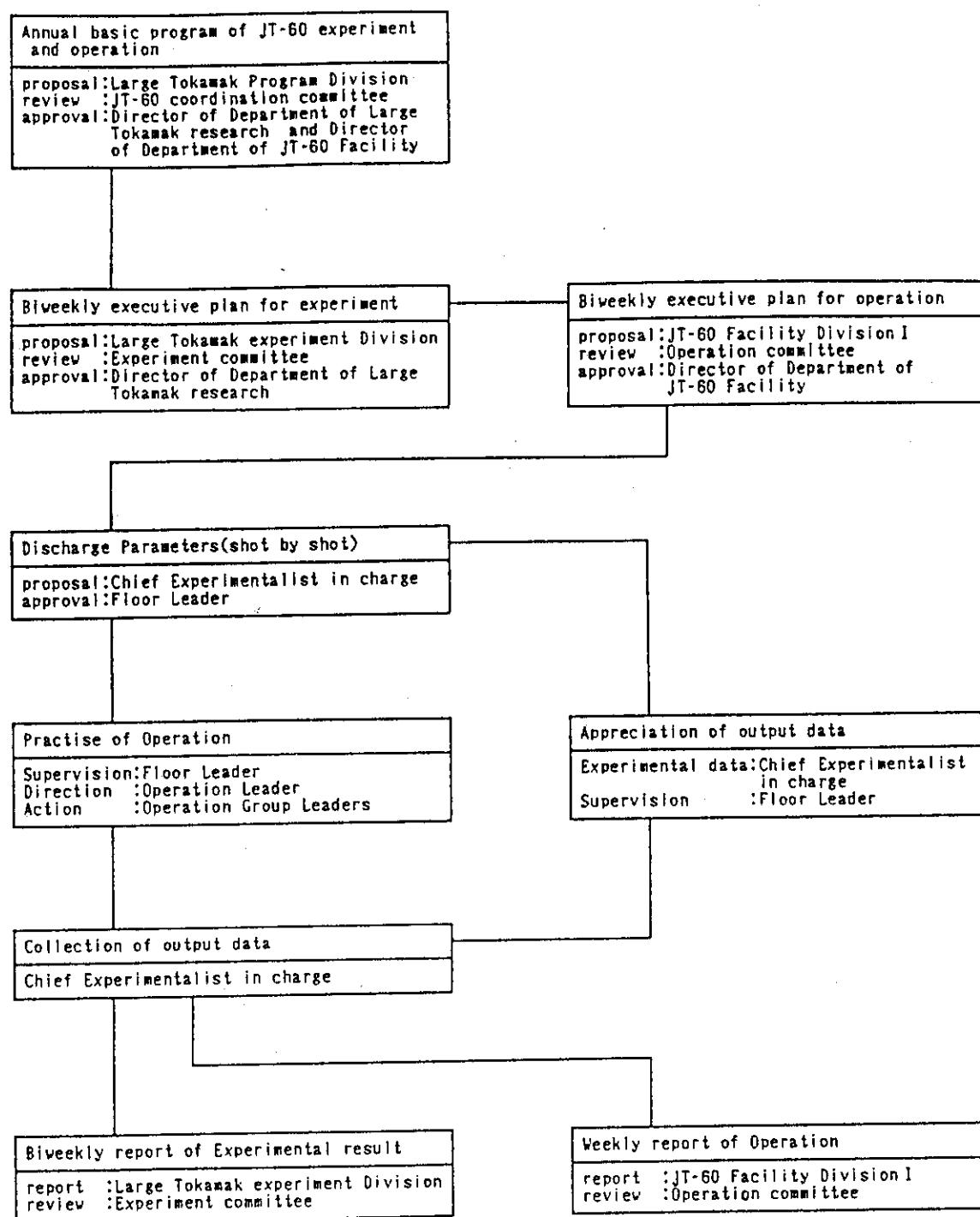


Fig. 2.2 Process flow of the JT-60 experiment and operation

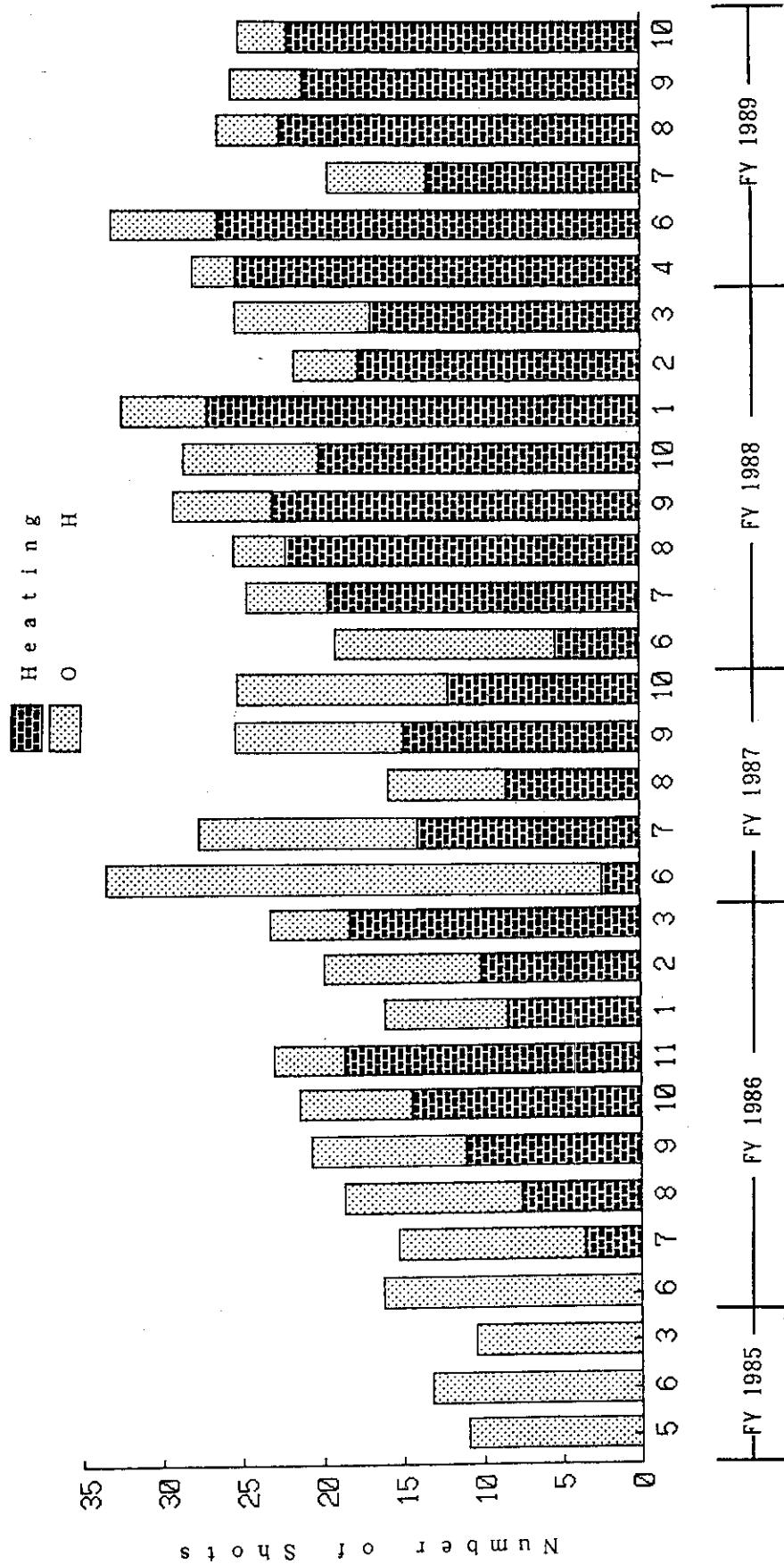


Fig. 2.3 The average number of shots per day

### 3. ブラブル分析

#### 3.1 分析方法

実験運転中にトラブルが発生した場合には、JT-60の運転員は異常報告書を作成し、当直長に提出する事になっている。この異常報告書はJT-60運転の効率および安全性を改善していくためにそのトラブルの一つ一つを調査し、対策を検討していくためのものである。異常報告書のサンプルをFig. 3.1 に示す。異常報告書には発生日時、発生場所、故障分類（機器、CAMAC、計算機ハード、計算機ソフトの区別）、異常の起こった設備名及び異常項目、発生時の状況、異常の原因又は推定及び措置又は応急措置等を書く様になっており、異常状態の全体像をこの報告書によって把握する事が出来る。従って、この異常報告書に基づいてトラブルの分析を行なった。

JT-60（設備）は、本体設備、ガス注入装置、トロイダル磁場コイル電源設備、ポロイダル磁場コイル電源設備、加熱用発電設備、全系制御設備、中性粒子入射装置、高周波加熱装置、計測装置、二次冷・操配設備および中央変電所などの複雑多岐にわたった装置・設備群から構成されており、そのトラブルも水、機械、電気等の多種多様に及ぶものである。また、そのトラブルの把握の程度にしても原因のはっきりしたトラブルもあるが、現象または場所しかわからないトラブル等種々のトラブルを含んでいる。従って、これらのトラブルを理路整然と分類する事は非常に難しい。しかしこれらのトラブルの中から何らかの傾向を見い出し、分析することはJT-60の改造及び改造後の運転に反映することはもちろん次の装置へ橋渡しをするという観点からも極めて重要である。一つの試みとして、次のような分類に従ってトラブル分析を行なった。先ず、JT-60の全トラブルを大きく分けて4つの項目に分類した。第1番目は主要機器に関するトラブルである。本項目に分類されるトラブルはその発生頻度としては少ないが、一旦起るとトラブルシューティングに時間がかかると言う点が特徴である。第2番目としては制御系に関するトラブルである。JT-60の制御系は上述の多数の装置・設備の制御系とそれらを統括する全系制御設備との階層構造を成しており、非常に大規模で複雑である。例えば、全系制御設備は7台のミニコンピュータから成るシステムで、プログラム規模においても50万ステップと極めて膨大である。従ってトラブルの発生頻度はかなり多くなる事が予想されるため、運転への影響としては大きい。第3番目は、運転員の習熟度によってトラブルの発生がどう変わるかと言う観点から誤操作によるトラブルとした。第4番目は、1番目から3番目の項目に分類出来ないものをその他の項目として分類した。また、これら4項目の分類に加えて、前述の10設備毎や各年度毎に分類して分析した。各年度毎に細分化して分類した結果データは巻末に付録としてまとめた。

#### 3.2 分析結果の全体の傾向

トラブル発生件数はTable 2.1 に示す様に全体で931 件であり、年度別推移では減少してき

ている。1986年度344件と最も多くなっているのは、この年に計測装置と加熱装置が運転に加わり設備が増えたことと、これによる運転の複雑化、また運転時間の延長（1直体制→2直体制になった）などに起因している。1987年度以降は運転条件が厳しくなっているにもかかわらず件数が減少してきており、トラブルに対する種々の対策が功を奏し、また運転員の習熟度と相まっての減少と思われる。3.1節で述べた方法で、1985年度から1989年度までの5年間の各設備毎のトラブル件数のグラフをFig. 3.2に示す。

機器に関するトラブルは、トラブル全体の約4分の1を占め、件数としては233件で比較的小ない。しかし、真空リークや電気絶縁などのトラブルにおいてはトラブルシューティングに多大の時間を要する傾向にある。ちなみに、当直長日誌からピックアップしたトラブル時間の統計では、JT-60全設備の5年間のトラブル1件当たりの平均した修復時間は36分であるが、真空リークと電気絶縁の2項のトラブル1件当たりの平均した修復時間は4時間20分である。このため4章で詳しく述べるが、システムの改造やトラブルシューティングのための機器の開発が必要であった。Fig. 3.3に示すように、トラブルシューティングに要する時間も運転全体の時間に対して占める割合が、1986年度、1987年度は17%であったものが、1989年度においては8.7%に減少している。またトラブル発生件数に於いてもFig. 3.4に示すように、いろいろな対策が功を奏して1日当たりの平均トラブル件数は年度毎に徐々に減少している。またさらに掘り下げる分析するために、電気、真空、熱及び応力等について細分化して分類した。詳しくは3.3の分析結果各論で述べる。

制御系に関するトラブル発生件数は、Fig. 3.2に示すように647件で、トラブル発生件数は全体の約70%を占めている。JT-60の制御系は、前述のように大規模であり、構成する部品の数も非常に多く、確率的にトラブルも多く起こる状況にある。さらに実験の進展と共に制御システムの改造を頻繁に行なうため、改造後の初期の運転時に発生するプログラムのバグによるトラブルも加わっている。従って、制御系システム改造の開発段階からトラブルを減少させる事を目的として品質管理を継続して行なって来ている。1985年度から1987年度にかけては、全体のトラブル数に対して制御系に関するトラブルの割合は70%程度であったのが、1988年度と1989年度に於いてはそれぞれ65%、50%と減少している（付録1参照）。この事はJT-60立ち上げ当初に於いては、制御系の根幹を成すソフトウェアの不具合が多く発生していたが、年度毎に徐々に減少して来て制御系が安定して来た事を表わしている。また、制御系のトラブルは発生件数が多いにもかかわらず、機器に関するトラブルに較べて、トラブルシューティングに要する時間は短い。例えば、放電条件等の設定不備によるトラブルでは条件の再設定を行なって立ち上げればよいし、ハードウェアについては、CAMACモジュール等の故障の場合、予備品のモジュールと交換すれば良いので、ほとんど短時間で済む。

### 3.3 分析結果各論

#### (1) 機器に関するトラブル

機器に関するトラブルは電気、真空、熱、応力等のさまざまな項目に及ぶ。トラブルの起きた現象を20項目に分類しつつ設備毎に分類したものをFig. 3.5に示す。1985年度から1989年度

までの5年間の機器に関するトラブルの約50%は本体設備に発生している。その主なトラブルとしては、真空リーク、応力異常、絶縁異常、接触不良等があげられる。真空リーク、応力異常および絶縁異常などのトラブルの多くは強いプラズマディスラプションに起因していると推定される。その他、実験放電時のポロイダル磁場の変動による振動が重なって起るトラブルも考えられる。また、接点等の接触不良については、59件のトラブルが起きているが、そのほとんどが1985年度に集中している（付録4参照）。これはJT-60運転初期の頃のトラブルであり、端子のゆるみや制御用ミニチュアリレーの接点の酸化被膜による接触不良所であった。それぞれ増締めを行なったり、ダブル接点のリレーに交換するなどの対策を講じた。

1987年度において計測装置に多くの真空リークによるトラブル（JT-60全体で12件のうち10件）が発生している（付録2参照）。この年度は加熱実験の最終段階に入ったので、第一壁温度をパラメータとする実験を行なうため、事前検討で安全を確認の上、真空容器温度を変化させて運転を行なったり、プラズマ電流定格（2.7 MA）を越えて3.2 MAもの高プラズマ電流運転を試みるなどかなりハードな実験運転を行なった。従って、最適な放電条件を得る過程で、プラズマ電流のディスラプションが頻発した。この強烈なディスラプションにより計測装置のポート及びポート部に付いている機器が振動し、その加速度は最大40Gにも達し、真空リークを引き起した。さらに、プラズマディスラプションに起因するトラブルについて分析した。プラズマディスラプションに直接起因するトラブルとして、誘導障害が考えられる。誘導障害のトラブルの発生件数が多い設備は本体設備、ポロイダル磁場コイル電源設備及び中性粒子入射装置等である。本体設備は真空容器を介して、ポロイダル磁場コイル電源設備はポロイダル磁場コイルを介して強くプラズマと結び付いているためである。次に、誘導障害が原因であると断定できないが、多分誘導障害が原因であると類推されるトラブルを含んでいる項目として動作不良、過電圧及び過電流がある。動作不良については、それに関するトラブルの総てが誘導障害によるものではないが、プラズマディスラプションとの相関から見て、約3分の2は誘導障害によるものと推定される。また過電圧については、所定の電圧に誘導電圧分が加わり過電圧となっており、プラズマと結合度の強いポロイダル磁場コイル電源設備で起こっている。同様に過電流については、本体設備の歪計等のように電流で測定しているものに誘導電流が流れてもトラブルを起こしている場合もある。Fig. 3.6に示す様に、動作不良によるトラブルは本体設備9件、電源系の設備で35件、中性粒子入射装置7件及び計測装置6件となっている。いずれもプラズマと強く結び付いている設備か、中性粒子入射装置のように加速電源に120 kVもしくは150 kVの高電圧を使用している設備である。

トロイダル磁場コイル電源とポロイダル磁場コイル電源における他の主なトラブルの一つは開閉器に関するもので、年々その件数が増えている。これらの開閉器の中でも特に真空遮断器や高速投入器の運転回数が1987年度には、運転回数の制限値に近づいてきたためと思われる。真空遮断器は、実験運転のショット毎に働いてプラズマを生成させるので遮断頻度はかなりの数になってしまう。ちなみに真空遮断器のボトルの寿命は3,000～4,000回で、機械部分の寿命は約10,000回である。Fig. 3.7に示すように、各年度当りの開閉器のトラブルは1987年度まではわずかではあるが増加している。1987年の電源設備の定期点検時に幾台かの遮断器をオーバーホールしたり、また運転回数の多い遮断器についてはボトルを交換したので、1988年度の開

閉器のトラブル数は1987年度の半分に減少している。1989年度にまた少し増加しているのは、遮断器でボトルの交換していないもののトラブルが出たためと、機構部でのトラブル発生が重なったためである。

中性粒子入射装置ではイオン源の冷却水漏れや JT - 60 本体と中性粒子入射装置を遮断する高速シャッターの圧空漏れ等が起こっている。また高周波加熱装置では導波管の DC ブレイク部の絶縁劣化によるトラブルが発生している。

## (2) 制御系に関するトラブル

制御系に関するトラブル件数は、機器に関するものより多く、その比率は全体の70%である。これら制御系のトラブルは大きく分けてハードウェア、ソフトウェアに分類する事が出来る。その具体的な項目としてはFig. 3.8に示す9項目に分類した。この中で CAMAC に関するトラブルについては、ソフトウェア及びハードウェア総てのトラブルを含めて考えている。

1985年度から1989年度までの5年間の制御系に関するトラブルを各設備毎に分類したものを作成し、Fig. 3.8に示す。

制御系に関するトラブルの最も多い設備は全系制御設備であり、制御系のトラブルの27%を占めている。全系制御設備は JT - 60 の各設備の制御系を中央で一括して統合制御する設備であり、実験運転中は実験放電条件の設定、放電シーケンスの実行、結果データの収集を行ない、各設備に制御指令を出す。本制御設備は7台の計算機システムを中心に構成されており、そのプログラムの規模においても50万ステップと膨大である。このように大規模かつ複雑な制御設備があるので、トラブルの発生が多いと考えられる。

二番目に多いのが、ポロイダル磁場コイル電源設備であり、18%を占めている。ポロイダル磁場コイル電源設備はプラズマと非常に密着しており、プラズマからのリアクションを受けやすい、そのうえ空心交流器コイル電源、垂直磁場コイル電源、水平磁場コイル電源、四重極磁場コイル電源および磁気リミタコイル電源と5つの電源から成り、早い現象のプラズマを制御する機能を有し、非常に複雑な設備であるので制御系に関するトラブルも多くなっている。

項目別に見ると、制御系のトラブルの中で最も多いものは計算機のソフトウェアに関するものであり、Fig. 3.8に示すように、222件と制御系のトラブル全体の約3分の1を占めている。この中で特に多かったのは、実験の放電条件等の不適当な値の設定、プログラムのバグおよび制御ロジックの不良等であった。これらのトラブルは、JT - 60 実験運転の進展に合わせて、頻繁に制御系システムの改造を行なったために起こったと考えられる。制御系のトラブルのハードウェアに関して詳細な分析を行った結果、プリント基板等の不良で117件のトラブルが起こっている（付録4 参照）。このうちの約3分の2は CAMAC モジュールの不良であり、他の主なものとしては光伝送系の E/O、O/E モジュール等の不良があげられる。

次に CAMAC に関するトラブルについて述べる。JT - 60 の各設備の制御系は異なるメーカーで製作されるため、計算機間の通信や入出力のインターフェイスを統一する必要があった。また、計算機の統一という観点から各設備の制御系レベルは、各設備共通のマイクロコンピューターを CAMAC モジュールに組み込んで使用する案があった。一方、各設備の制御系に当時産業界では実績のあったミニコンピューターを使用し、インターフェイスだけを CAMAC

規格にする案があり、両者を比較検討した。元来 C A M A C は加速器の計測から生まれた規格であり、各種の目的に応じてシステムの構築、組替えが容易であるという特徴を有する。従って、J T - 6 0 のような大規模なプラントの制御に、C A M A C を用いることが適切であるか否か、多くの観点から検討を行なった。実績があつても各設備の制御系に各社各様のミニコンピューターを使用したのでは保守上非常に不利であるのは明らかである。そこで J T - 6 0 の全設備で共通となる C A M A C システムを使用すれば保守上非常に有利であると判断し、計算機間の通信や入出力のインターフェイスの統一とマイクロコンピューターの統一を目的として、C A M A C 規格を採用した。恐らく、制御に、250 クレート、3,000 モジュールに及ぶ規模で C A M A C を使用したのは日本では初めてである。以上の経緯から、C A M A C で起こるトラブルを分析し、また C A M A C の信頼性がどの程度あるのかを明らかにする事は非常に重要であると考える。

C A M A C に関するトラブルの詳細な分析結果をTable 3.1に示す。C A M A C に関するトラブルでは、ハードウェアとソフトウェアの比率は約50%づつである。ハードウェアのトラブルのほとんどはC A M A C モジュール等の基板の不良である。この種のトラブルのほとんどの場合、予備品のモジュールと交換しているので、実験運転に与える影響としては交換及び再立ち上げに要する時間位である。ソフトウェアのトラブルについては、設定不備、プログラムのバグおよび制御ロジックの不良の3項目がトラブルのほとんどを占めている。

### (3) 誤操作によるトラブル

誤操作によるトラブルはFig. 3.2 に示すように、全トラブルの約5 %であり、件数としては50件であった。設備別に見ると計測装置が16件と一番多く、ポロイダル磁場コイル電源設備の9件、本体設備の8件、高周波加熱装置の7件と続いている。計測装置の16件の内訳は操作手順の食い違いによるトラブルが9件、確認の不徹底によるトラブルが3件、電源の入れ忘れによるトラブルが2件、勘違いの操作によるトラブルが2件であった。電源の入れ忘れ及び勘違いの操作によるトラブルは分類としては、確認の不徹底によるトラブルに分けられる。従って、誤操作によるトラブルは大別して操作手順の食い違いと確認の不徹底の二つに集約出来る。運転時に確認をきちんと行ない、運転マニュアル通りに操作を行なう事を徹底させれば、ほとんどのトラブルが防げる筈である。またポロイダル磁場コイル電源設備においても、操作手順の食い違いによるトラブルが6件で、確認の不徹底によるトラブルが3件であった。全般的に見て、誤操作によるトラブルの3分の2は操作手順の食い違いによるものであり、残り3分の1が確認の不徹底によるものであった。

Fig. 3.9 に示すように、1985年度と1986年度には20件程度あった誤操作によるトラブルが、1987年度と1988年度には5～6件に減少し、1989年度においては零となっている。1985年度は J T - 6 0 の最初の運転で未だ運転員の習熟度が十分でなかったためであり、1986年度は中性粒子入射装置及び高周波加熱装置が完成し、J T - 6 0 装置と結合して加熱実験が始まり、運転が複雑になったために、それぞれの年度において、誤操作によるトラブルが多く発生した。1987年度頃からは、確認と操作手順の徹底に勤めた効果が出て減少し、1989年度にはついに零にする事が出来た。

## C A M A C

Table 3.1 The troubles in CAMAC system

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Control Unit		3	1	1.0	1.3	4	1.7	3	0	8	2	0	6.1
Contact Fault		1	0	1.5	2	2	2	0	0	1	0	0	2.3
Program Bug		1	0	0	1	1.3	1	0	1.1	9	1	0	3.7
Control Logic		6	5	2	0	0	0	0	2	1	0	0	1.6
Defective Set of Condition		1	1	0	2	0	3	0	0	1	0	2	1.0
Miss Action		0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	3
Electromag. Induction		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Abnormal Temperature		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Arrears of Sequence		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Over Current		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Others		1	0	7	8	0	1	2	5	1	0	1	2.6
Total		14	7	3.7	2.7	1.9	2.5	6	1.8	2.1	4	3	18.1

当直長整理No 63-8-4

## 異常報告書

63年 9月 7日  
整理No TS-475

室長	G L	担当者	当直長	班長	記入者
近藤	(三)	井上	大森	少浦	松本

発生日時	9月 7日 11 時 29分	発生場所	棟 室		
故障分類	<input checked="" type="checkbox"/> 機器 <input type="checkbox"/> CAMAC	計算機 <input type="checkbox"/> ハート <input type="checkbox"/> ソフト ( <input type="checkbox"/> OS <input type="checkbox"/> AS) <タスク No >			
設備名称	本体	型式	Ser. No.		
異常項目名称	真空排気 A, B 系 タン		PID No.		
発生時の状況	E7510 放電終了後 K 真空排気 A, B タンレバ				
<p>異常の原因又は推定 A系液体窒素供給用電磁弁の絶縁不良による ものと思われる。</p>					
措置又は応急措置	A, B系液体窒素供給系の差し込み栓 "I" を引きぬき て再立て直し実施 (液体室 LP11A, B 233, NO. LX11A~14A, LX11B~14B)				
措置	<input type="checkbox"/> 未措置 <input checked="" type="checkbox"/> 仮復旧 <input type="checkbox"/> 本復旧	添付書類	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		

## 補修報告書

63年 9月 7日

室長	G L	補修担当者	記入者
近藤	(三)	井上	松本(署)

異常の原因 液体窒素供給系 A-I 電磁弁の絶縁劣化による排気系  
ターン (絶縁抵抗値 3kΩ 対アース, テスター)措置 A-I 電磁弁のコイルを交換した。復旧後 絶縁抵抗値は  
 $\infty$  です。添付書類 有 無

Fig. 3.1 A sample of trouble report

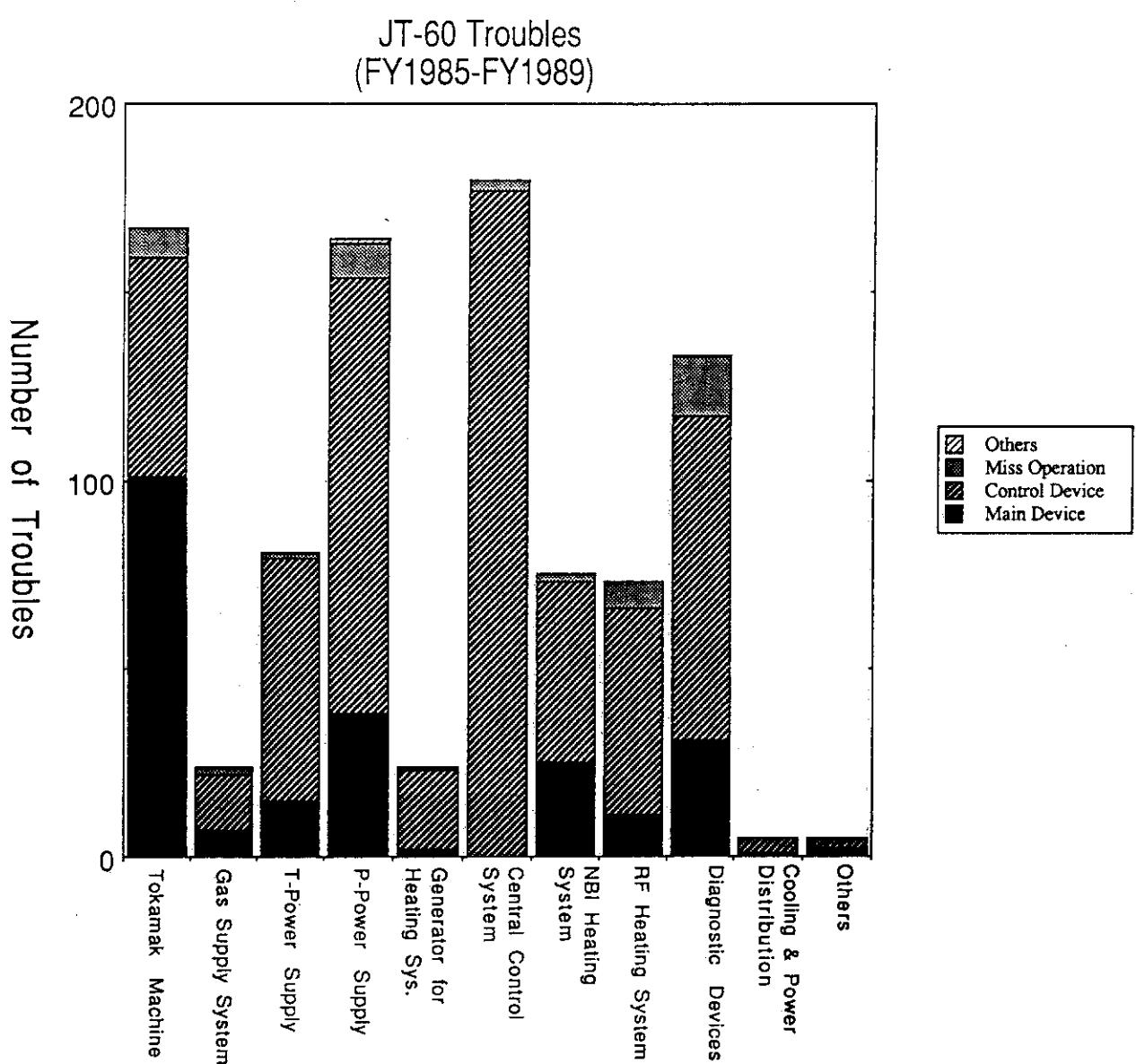


Fig. 3.2 Troubles occurred in the JT-60 operation during FY 1985-FY 1989

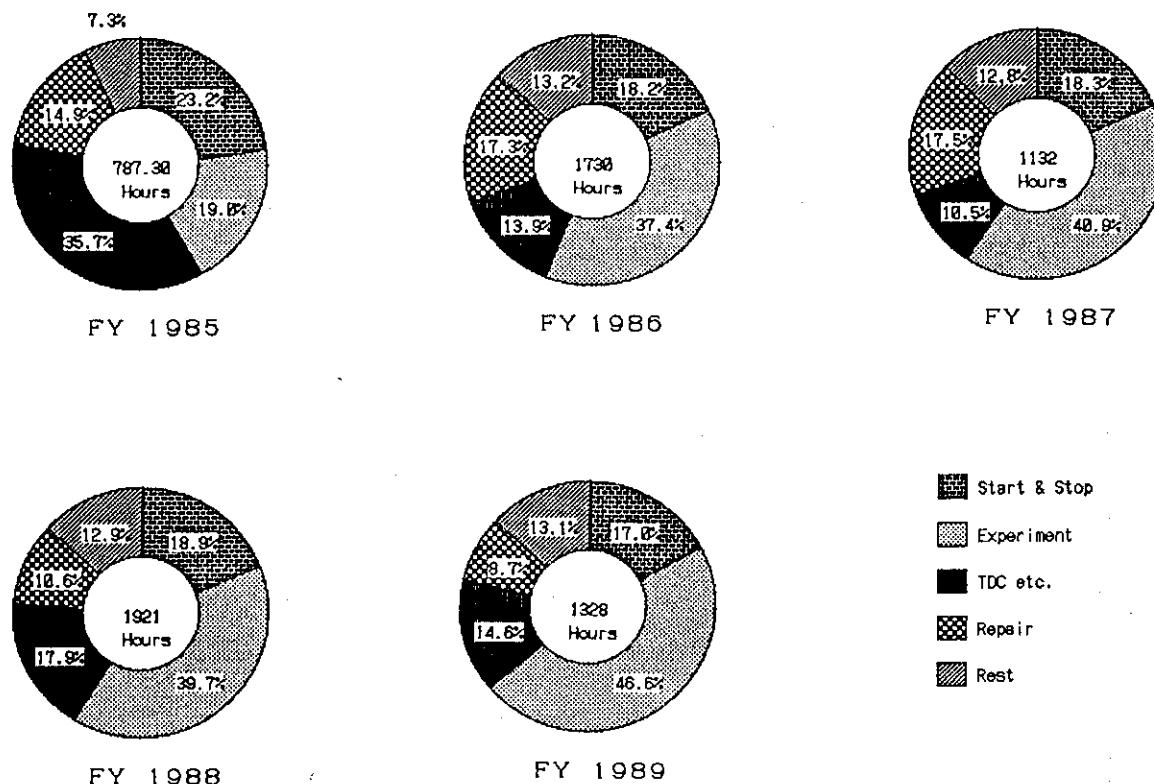


Fig. 3.3 Time analysis of the JT-60 operation

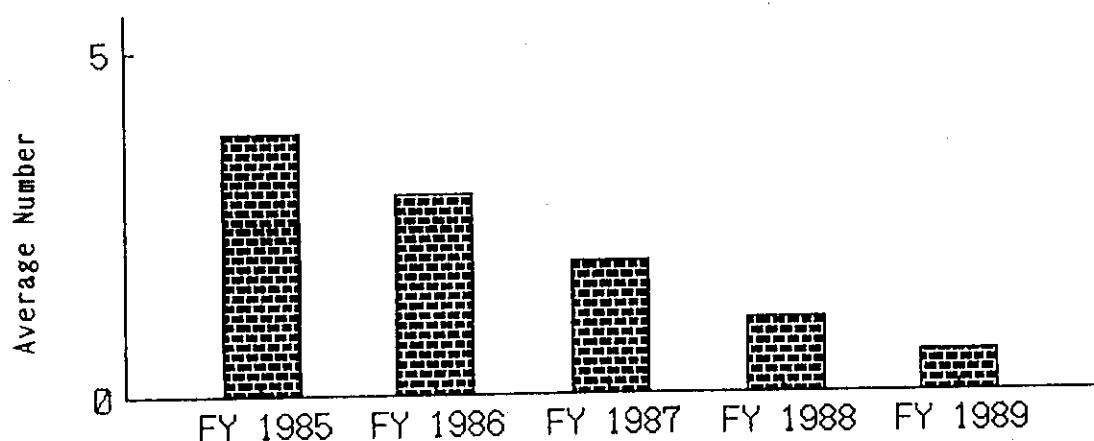


Fig. 3.4 Average number of troubles per day in the JT-60 operation

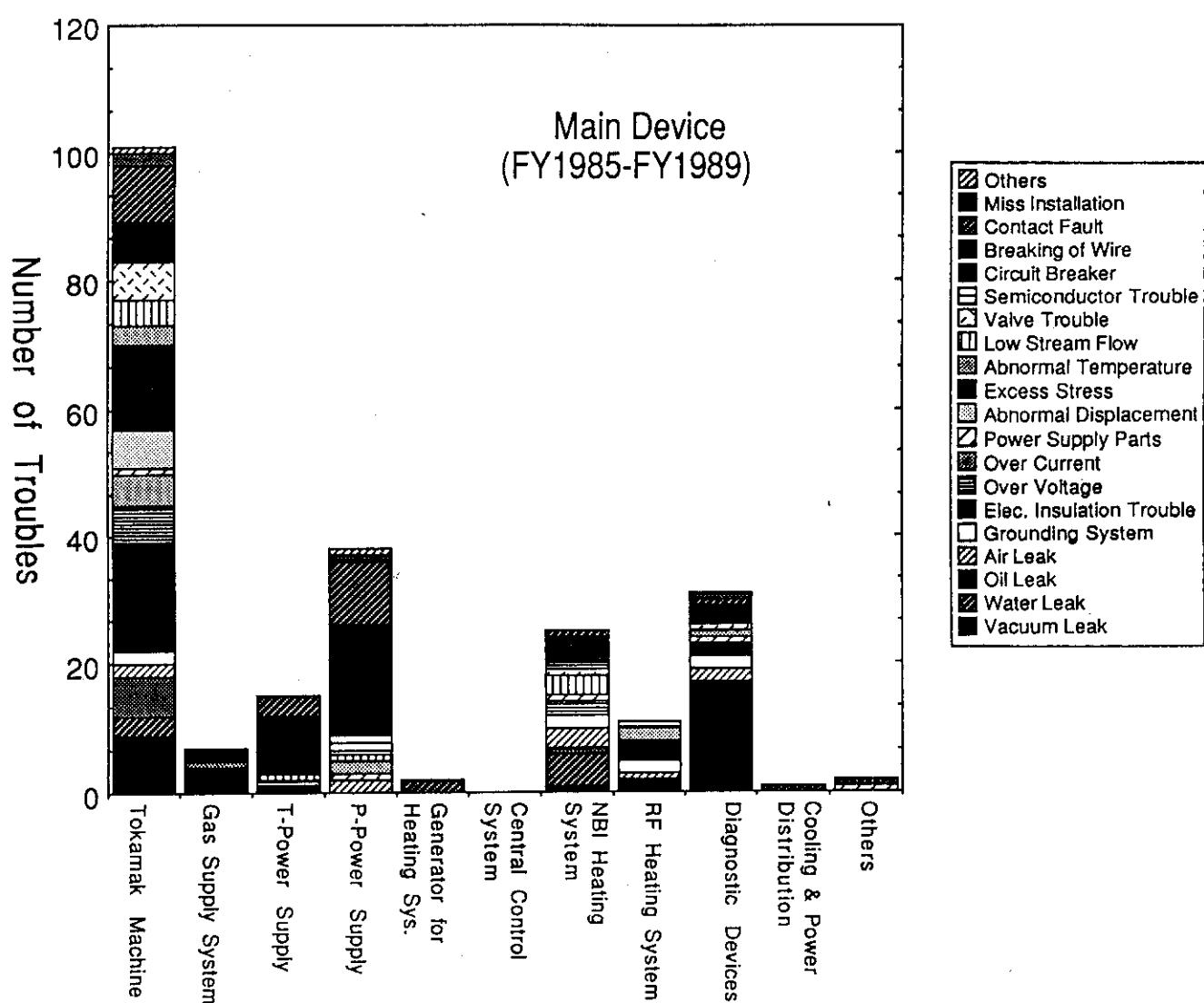


Fig. 3.5 Main device troubles occurred during FY 1985-FY 1989

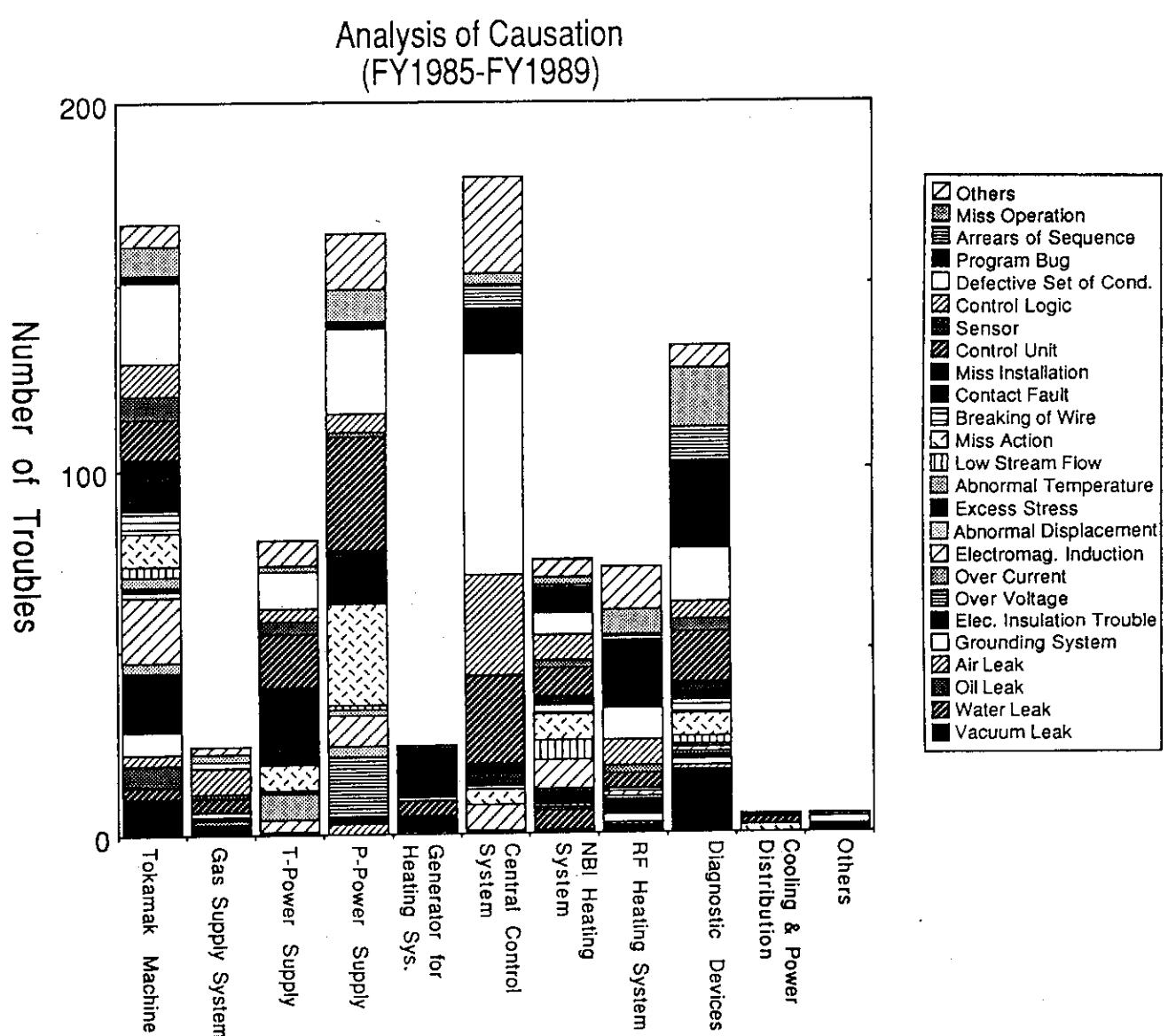


Fig. 3.6 Cause classification of the troubles occurred during FY 1985-FY 1989

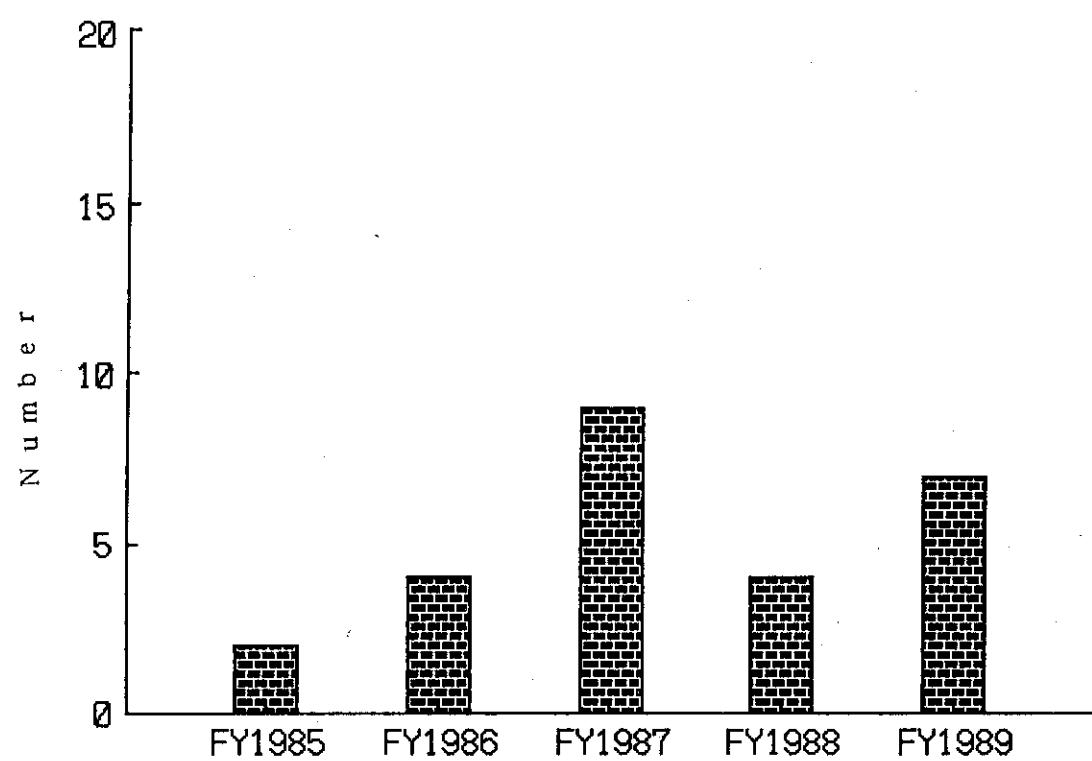


Fig. 3.7 The number of breaker troubles by fiscal year

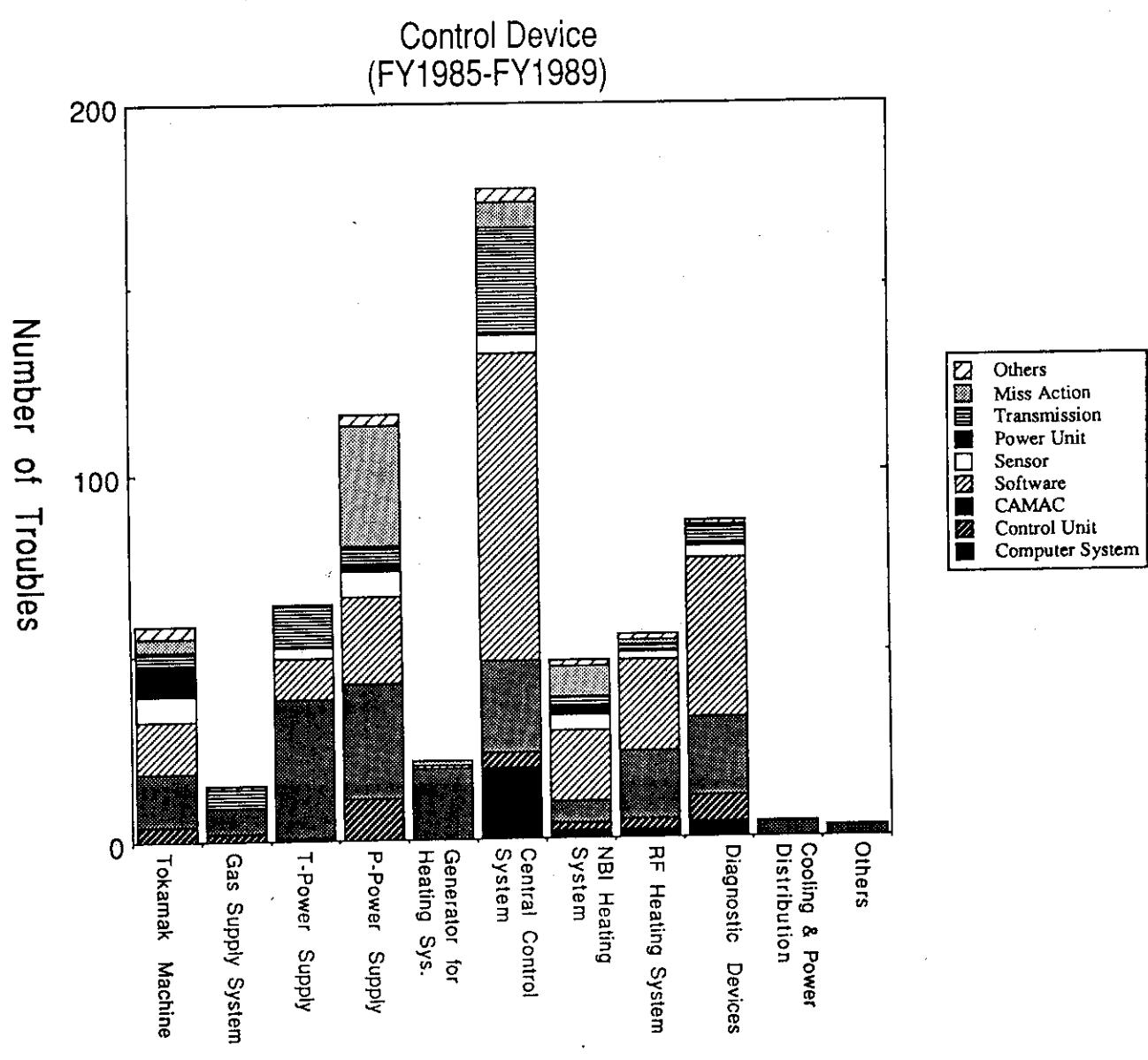


Fig. 3.8 Control device troubles occurred during FY 1985-FY 1989

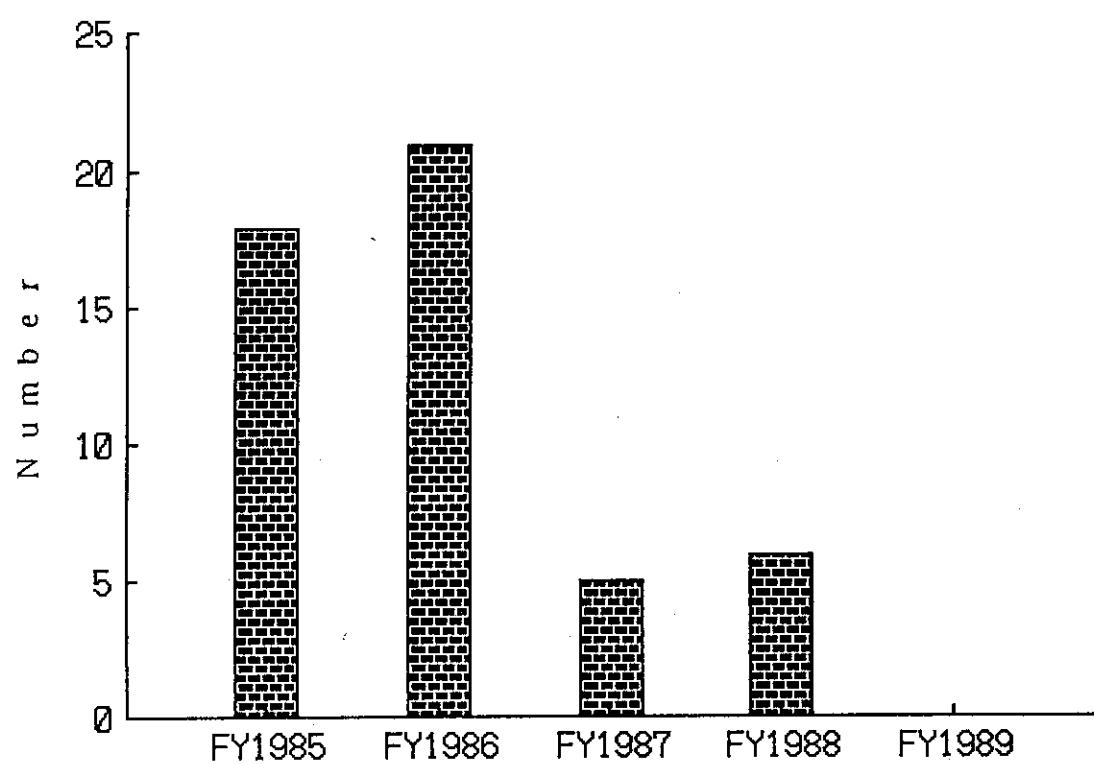


Fig. 3.9 The number of miss operations by fiscal year

## 4. トラブル対策

J T - 6 0 は核融合実験装置の特徴として、巨大な真空容器と複雑な磁場コイル、またこれらを支える支持構造物等から成っており、真空に関するトラブル、電気に関するトラブルおよび機械に関するトラブルは避けられない。さらに、これらのトラブルが起れば大型で複雑な構造の J T - 6 0 のどこでトラブルが起っているのか場所を見つけ出すまでに相当の時間を費す事になる。この時間を短くする事は、J T - 6 0 の実験運転効率を上げる事になり、重要な意味を持つ。機器に関するトラブルは全体の約4分の1で発生件数としては少ないがトラブルシューティングおよび修復までの時間は相当かかっている。そこで、これらのトラブルの発生箇所を早期に見つけ出すシステムや装置の開発を行なった。

種々の対策について概略的な事は前の章でもその都度述べているが、ここでは比較的大規模に行なった対策について以下に具体例を上げて詳細に述べる。

### 4.1 真空リークに対する対策

真空リークの大部分は次の二つの場合によって引き起されている。1つは、プラズマの強烈なディスラプションによって真空容器が激しく振動する事によって起り、もう1つはベーキング時にフランジなど真空シール部に温度差ができ熱歪が生じて起る。

J T - 6 0 本体には当初約 100個のゲートバルブが付いており、そのうちの17個については、ベローズを介さず直接真空容器のポート部に取り付けられていた。このため、これらのバルブには、プラズマディスラプション時に於いて実測の結果最高で 40 G もの加速度が加わっていた<sup>5)</sup>。この加速度による振動によって、バルブの金属ガスケットを用いたシール部分で真空リークしたものである。対策はこの金属シール部分を熔接、振動防止のためのベローズの追加、ゲートバルブの撤去などにより行なった。さらにプラズマディスラプションを起さないように、最適の放電条件を選んだり、ディスラプションの速さを出来るだけ遅くするようなプラズマ制御方法を開発した<sup>6)</sup>。

熱歪による真空リークについては、ポートフランジ部に外付けの電気ヒータを取り付けて、シール部近傍の温度勾配が出来るだけなだらかになる様に対策した。これらの対策を施したにもかかわらず、高プラズマ電流の実験を行なうと、時々強いプラズマディスラプションを起し、真空リークが発生した。そこで真空リークの場所をより短時間に探し出すために、遠隔操作が可能なヘリウムリーク試験装置を開発した<sup>7)</sup>。

この装置はFig. 4.1 に示すように、36組の電磁弁が J T - 6 0 本体の回りに設置されており、この電磁弁を個別に制御棟の中央制御室から操作出来るようにした。それぞれの組毎にマニフォールドを介して、ゲートバルブやフランジにヘリウムガスを吹き付けられる様に細いパイプが設置されている。もし真空リークがあれば、この吹きつけたヘリウムガスがガス分析装置に検出される。このヘリウムリーク試験装置を使う事によって、運転員は自動的に真空リークの箇所を大まかに知る事が出来、作業は約40分以内で終了する。同じ様な真空リークのトラブ

ルについて比較した場合、従来の方法でリーク検出に5人で2時間位かかっていたものが、このヘリウム試験装置によって2人で40分位に短縮出来た。しかも本体回りを移動する重労働に比べて、中央制御室での操作は極めて軽いものである。

さらに予防保全的な考え方の基に真空管理基準を作成して、日頃から真空の質の向上、維持、管理に努力して来た。この真空管理基準は、JT-60本体真空容器の真空性能を継続的に維持する目的で、JT-60本体真空容器に取り付けられる総ての真空部品及び各種の装置等の真空管理及び作業管理について定めたものである。

以上の対策の結果、1985年度から1987年度は年間10件前後あった真空リークによるトラブルは、1988年度から1989年度にかけては年間約5件と、半減している。また作業時間については、10人・時間が1.3人・時間に短縮出来た。

#### 4.2 水もれに対する対策

JT-60のトラブルの中でも最も苛酷と思われるトロイダル磁場コイルの冷却水漏洩が発生した<sup>8)</sup>。このため、コイル通電試験を含む水もれ箇所の調査及びその水もれ箇所の修復を行ない、これに約2ヶ月を費やした。最終的に水もれ箇所は、Fig. 4.2 に示すようにトロイダル磁場コイル半分の1つのパンケーキの最も内側の2回路の冷却水路の出口部分であると突き止めた。さらに詳細な場所の同定のため、口金部を切断したところ、Fig. 4.2 に示すようなクラック模様などが見られた事等からロー付部分の不具合と判断した。この口金部は現場で再ロー付けすることは不可能なため、対策としてはこの出口部分の熔接継ぎ手を機械継ぎ手に改造した。

修復後、JT-60としての運転が終った現在までトロイダル磁場コイルの定格を越える運転を行なったにもかかわらず水もれのトラブルは再発していない。

1989年3月までの運転では、冷却水路を2回路から1回路に制限して慎重に様子を見ながら行なっていたが、この片側の回路はほぼ健全である事が確認された。従って、1989年4月からは、制限されていたもう1つの回路にも冷却水を通水して運転し、綿密な点検で健全性を確認し、10月までの運転も順調に行なう事が出来た。

#### 4.3 電気絶縁のトラブルに対する対策

JT-60のようなトカマク装置は高電圧でかつパルス的な電力を使用するので、誘導による障害を極力抑え、安全性を確保するためにトカマク装置の主要部分は他から絶縁され、かつ、1点で接地するようなシステムを探っている。電気絶縁のトラブルにおいて、その絶縁部分に金属片や金属粉が存在する場合が多い。この金属片や金属粉は本体装置の近傍で工事や作業を行なっている時に作られ、狭部に落込みそれらがそのまま残っていてJT-60の運転時の振動で絶縁部分に入り込んで絶縁の低下を起している。この種の電気絶縁のトラブルを減少させるために常にトカマク装置及びその回りを清掃し、絶縁材の表面も清浄に保つように努力している。さらに、接地系の健全性を維持するために接地抵抗監視装置を開発した<sup>9)</sup>。 Fig. 4.3

に示すように、励磁用トランスと測定用トランスで一对を成す約 250 対のトランスをトカマク装置の各接地線に取り付けた。機器の地絡が起った場合、励磁用トランスは地絡したループに誘導電流を流し、この誘導電流を測定用トランスで検出することによって地絡が起った事がわかる。運転員は、中央制御室に居て容易に I T V システムと拡声器を通して地絡を知る事が出来る。

また、本体設備特に真空容器を含む本体廻りに於ける電気ループ回路形成によるプラズマ及び計測回路への悪影響の防止、及び電気設備技術基準による人身の保護、機器の損傷防止を目的として、電気絶縁管理要領を作成した。装置の機能を維持するためには、絶縁管理値を設定する必要があり、装置の機能と今までの実績と経験を基に管理値を設定した。例えば、主なものとして、真空容器  $20 \text{ k}\Omega$  (テスター 1 分値)、中心支柱  $600 \Omega$  (テスター 1 分値) 及び本体コイル  $0.1 \text{ M}\Omega$  ( $1000 \text{ V}$  メガ 1 分値) 等である。

この様な予防保全的な要領や接地抵抗監視装置の開発等の努力の結果、電気絶縁のトラブルも少なくなり、またトラブルが起こっても迅速に対応出来るようになった。

#### 4.4 制御系のトラブルに対する対策

J T - 6 0 実験運転の進展に合わせて、制御系システムを頻繁に改造したために、多くの制御系のソフトウェアのトラブルが発生した。その原因の主なものとしては、実験の放電条件等の不適当な値の設定、プログラムのバグおよび制御ロジックの不良等であった。従って、この種のトラブルを防止するため、ソフトウェアを開発するための標準的な手順決め、また、試験の効率向上のため、模擬的に J T - 6 0 の実験放電シーケンスを実行出来るように、シミュレータを開発するなどの対策を図った。これら品質管理の活動により Fig. 4.4 からもわかるように、年々ソフトウェアに関するトラブルが減少している。

さらに、これらのトラブルの傾向を踏まえて、次の J T - 6 0 Uにおいては、全系制御設備のマンマシンシステムを、ワーク・ステーションを中心としたシステムに改造した。この改造により、実験パターンに応じた放電条件項目・値などは、計算機があらかじめ合理性検査を行ない、適切か否かの判断をし、計算機のメモリーに格納しておき、この格納されているものから順次実験放電を実行するようにした。従って、放電条件の設定不備等によるトラブルは、ほとんどこのシステムで防ぐことが出来る。

また、C A M A C に関するトラブルの中でもトラブルシューティングに、比較的時間のかかるソフトウェアのトラブルに対して対策を行なった。ソフトウェアのトラブルは設定不備、プログラムのバグおよび制御ロジックの不良の 3 項目が主であり、逆にこの 3 つの項目のトラブルを克服すれば運転効率を飛躍的に向上させる事が出来る。そこで我々は、「C A M A C アドベンチャー」という運転保守上有益なソフトウェアを開発した。このソフトウェアを用いることによって、総ての C A M A C システムの現状が即座に把握でき、また故障の履歴も即座に知る事ができ、トラブルシューティングの省力化に非常に役に立っている。

J T - 6 0 総ての C A M A C システムのクレートおよびモジュール数はそれぞれ約 250、3,000 と非常に数が多いため、制御系に関するトラブルの内、C A M A C に関するトラブル件数

はその3分の1を占めている。しかし、C A M A C システムの故障平均時間（M T B F）は30,000時間を優に越えており、その信頼性の高さを物語っている。

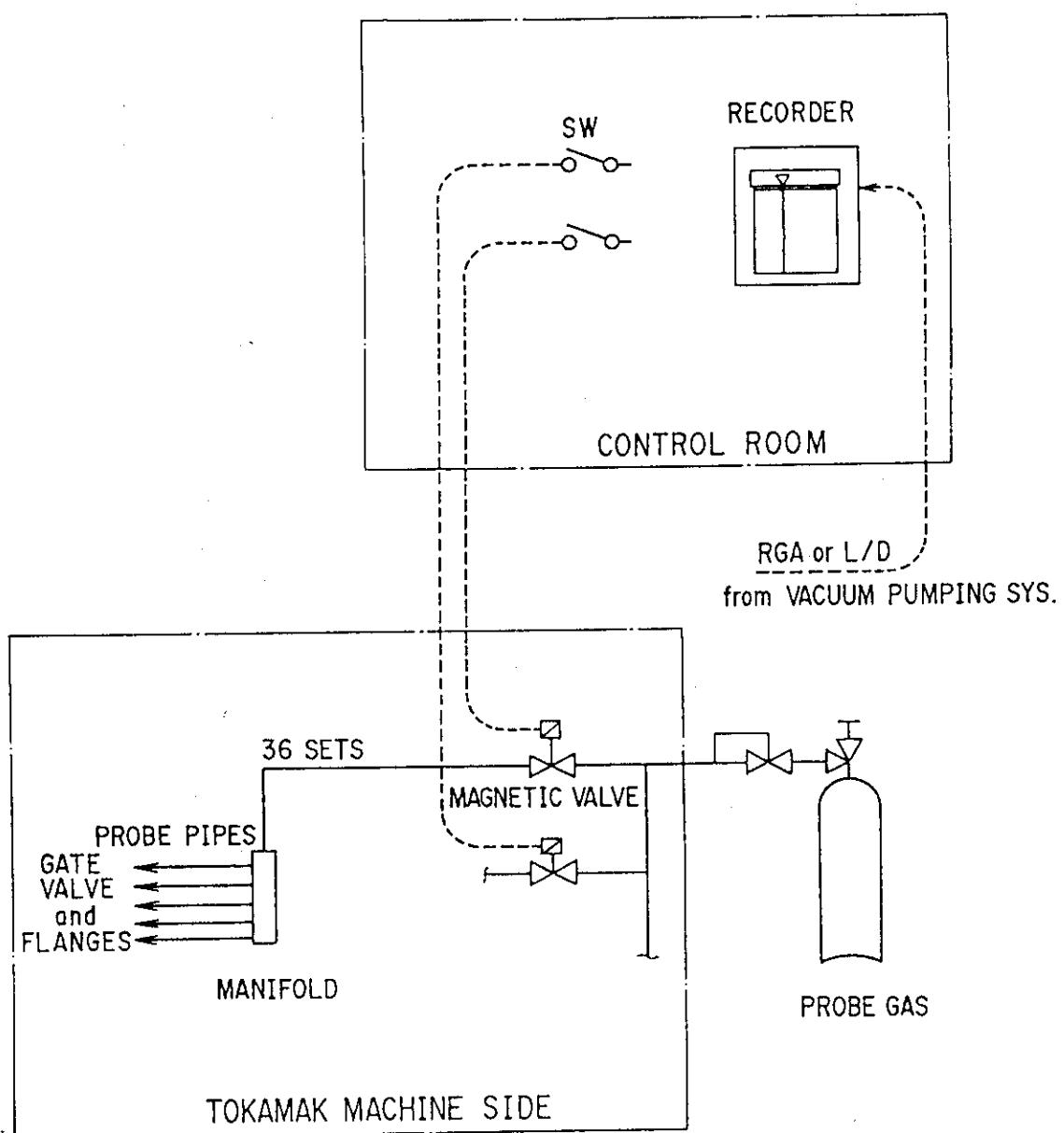
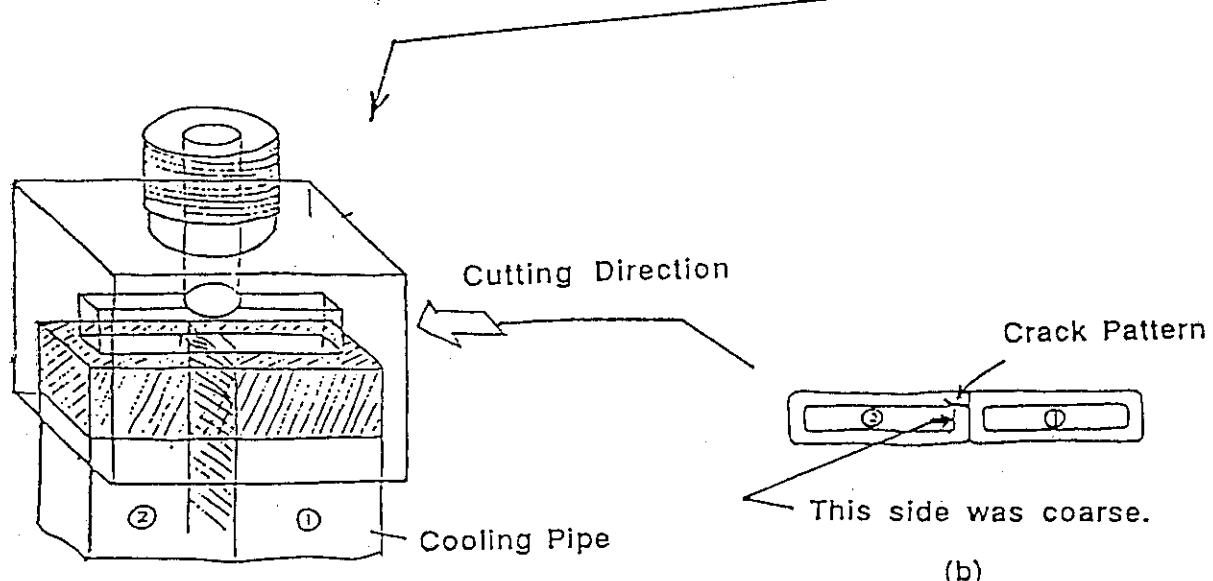
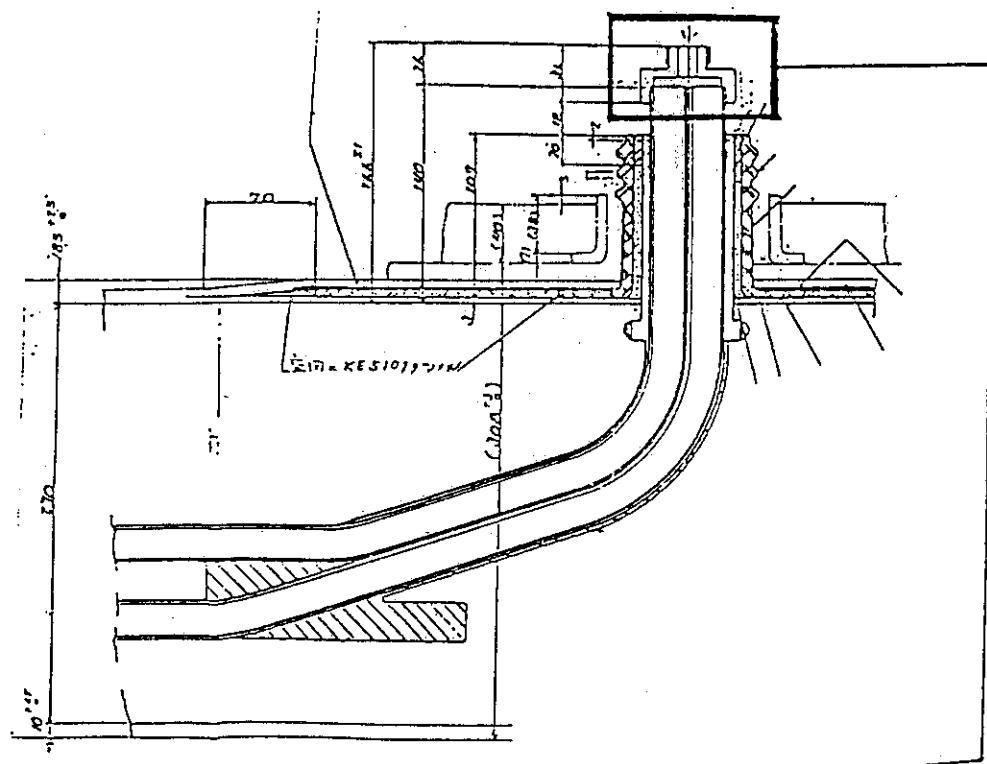


Fig. 4.1 Helium leak test system



Hatched part indicates Ag-soldered.

### B-1 Channel Outlet (Leak Point)

Fig. 4.2 Schematics of channel outlet of cooling water

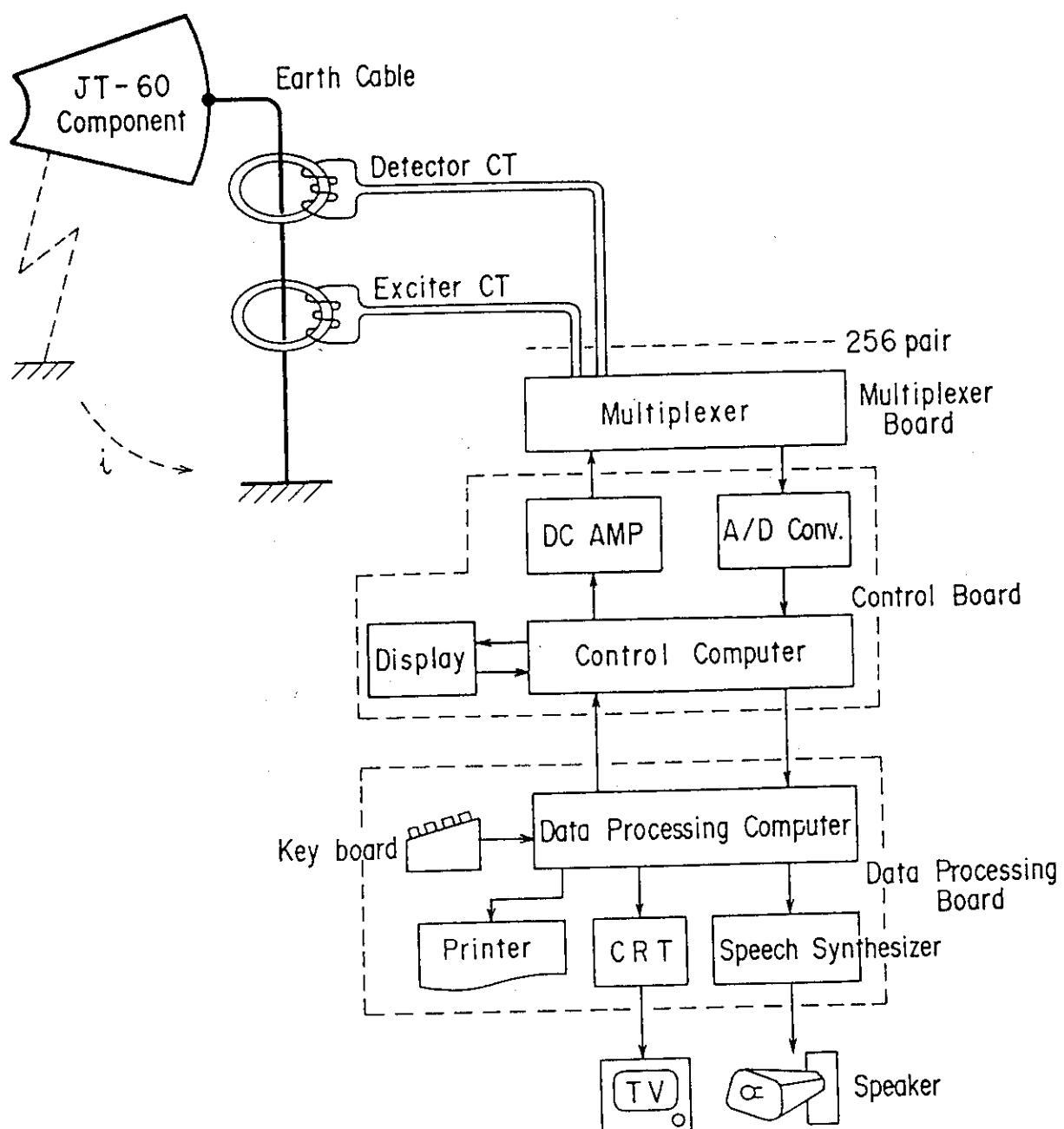


Fig. 4.3 The monitoring system for grounding resistance

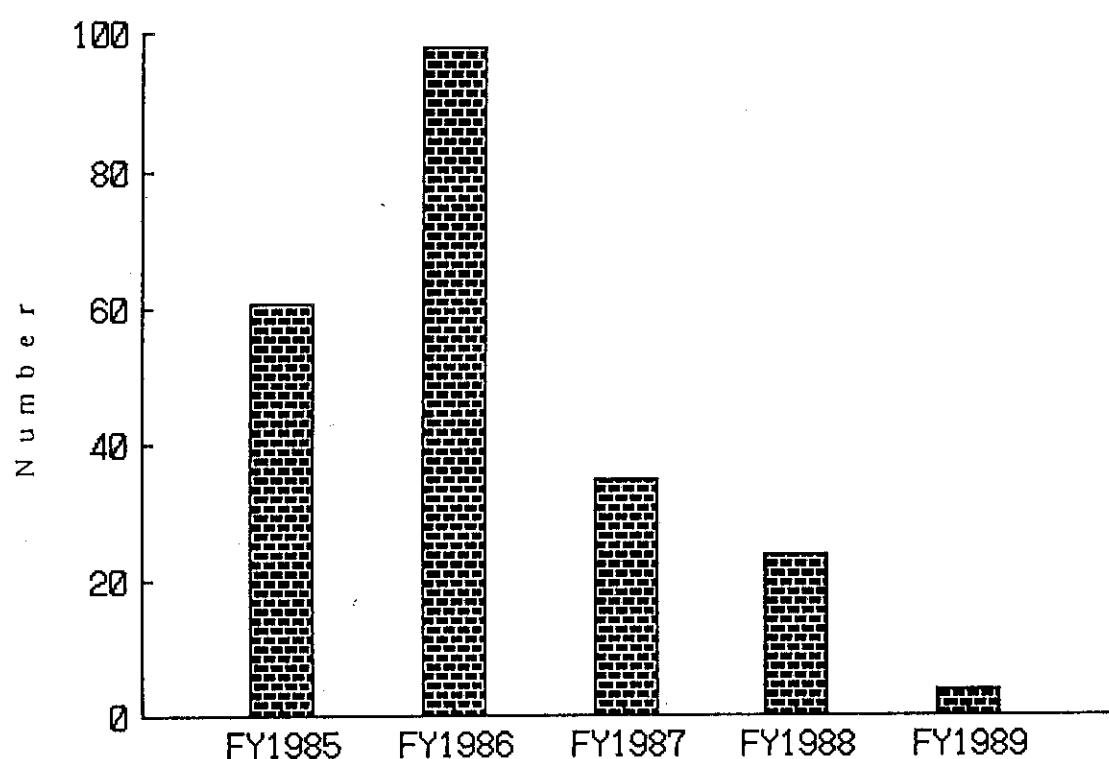


Fig. 4.4 Troubles in software by fiscal year

## 5. まとめ

J T - 6 0 は、1985年から1989年まで8990ショットの実験放電を行なった。また1日平均ショット数も着実に上昇して、1989年度では26.3 ショット／日となりほぼピークに近づいている。またこの5年間のトラブル発生件数は931件であり、その25%が機器に関するもので、他の70%が制御系に関するトラブルであり、5%が誤操作によるトラブルであった。トラブル発生件数も1986年度の344件をピークに年々減少し、1989年度においては、わずかに62件となつた。

運転開始から2年間位まではトラブルも多く、実験運転も時々中断しがちであったが、運転開始して4～5年目頃には各種の基準や要領書等の予防保全的な対策も功を奏して来てトラブル発生件数は減少した。

トラブルと対策の主なものとしては、真空リークに対するヘリウムリーク試験装置の開発、トロイダル磁場コイルの水漏れに対する機械継手への改造及び電気絶縁のトラブルに対する接地抵抗監視装置の開発等を行なった。水漏れのトラブルでは、場所を同定するために200ショット以上の通電試験を行ない、さらに修復と合わせて約2ヶ月を費やした。

J T - 6 0 のトラブル分析を行ない、その傾向をつかみ対策を行なう事はJ T - 6 0 の運転効率を高めるという点で極めて重要である。このJ T - 6 0 の運転効率の改善のためには、毎日の起動・停止手順や運転組織の面からの見直しも節目毎に行なった。その結果、起動・停止時間を当初の280分から最近の150分に短縮させる事が出来た。また運転員の1シフト当りの人数である1985年度の39人を、1989年度には28人に減す事が出来た。しかし、これらの起動・停止手順や運転人員の見直しも、J T - 6 0 のトラブルを分析した結果、十分安全が確保されていると言う背景があつて初めて出来たものであると考える。

ハードウェアとソフトウェアの両方に対する、いろいろな品質管理方法の工夫や開発を行なう等の品質管理活動、トラブル分析結果及び5年間に渡るJ T - 6 0 の実験運転経験は、次の大電流化装置（J T - 6 0 U）の運転と保守の計画及び次期装置の設計製作等に於いて、マンマシンシステム設計、保護インターロックシステム設計に対して、非常に有益となるであろう。

## 謝 辞

本報告書を作成するに当たり、終始有益な御意見、御指導を戴いた飯島 勉前JT-60試験部長（現那珂研究所長）、田中 裕二JT-60試験部長、田村 早苗臨界プラズマ研究部長、白形 弘文JT-60試験部次長、岸本 浩臨界プラズマ研究部次長に感謝致します。また、本報告書の原稿を閲読していただき、構成及び展開に関して大変有益な御意見をいただいたJT-60第1試験室制御グループリーダ木村 豊秋氏に深く感謝致します。さらに、有益な御意見ならびに議論をして戴いたJT-60チーム員の皆様に対しても感謝致します。

## 引用文献

- (1) H. Kishimoto, et al., "Construction and Testing of JT-60", Fusion Engineering and Design 5(1987), 9-25
- (2) The JT-60 Team(presented by H. Kishimoto), "JT-60 Experiments", Journal of Nuclear Materials 145-147(1987), 41-47
- (3) H. Horiike, et al., "Present Status of JT-60 Upgrade", Proceedings of 13th Symposium on Fusion Engineering, Knoxville, October (1989), p.p. 1049-1054
- (4) T. Kimura, et al., Proceedings of the 14th Symposium on Fusion technology Abingdon, September(1986), p.p. 1439-1444
- (5) M. Shimizu and JT-60 Team , "Maintenance of JT-60" Proceeding of IAEA Technical Committee Meeting on Robotics and Remote Maintenance Concepts for Fusion Machines , p.p. 35-49, 1988
- (6) K. Kurihara, M. Matsukawa, T. Kimura and I. Yonekawa, "Dynamics of Plasma Current Control System in JT-60 ", Proceedings of 12th Symposium on Fusion Engineering, October (1987), p.p. 609-612
- (7) M. Shimizu and T. Arai, "Vacuum Technological Experiences of JT-60 Operation", Proceedings of the Japan-U.S. Workshop P-118 on Vacuum Technologies for Fusion Devices, August (1988), p.p. 36-56
- (8) I. Kondo, "JT-60 Tokamak Mechanical Systems Availability and Reliability", Trilateral Agreement Workshop (JET-TFTR-JT-60) on Tokamak System Reliability and Availability, Abingdon, November (1988)
- (9) M. Tsuneoka, K. Arakawa, R. Shimsda, et al., "Construction of the JT-60 Grounding System ", IEE Japan, Vol. 107-B, No. 2 , (1987)

## 謝 辞

本報告書を作成するに当たり、終始有益な御意見、御指導を戴いた飯島 勉前JT-60試験部長（現那珂研究所長）、田中 裕二JT-60試験部長、田村 早苗臨界プラズマ研究部長、白形 弘文JT-60試験部次長、岸本 浩臨界プラズマ研究部次長に感謝致します。また、本報告書の原稿を閲読していただき、構成及び展開に関して大変有益な御意見をいただいたJT-60第1試験室制御グループリーダ木村 豊秋氏に深く感謝致します。さらに、有益な御意見ならびに議論をして戴いたJT-60チーム員の皆様に対しても感謝致します。

## 引用文献

- (1) H. Kishimoto, et al., "Construction and Testing of JT-60", Fusion Engineering and Design 5(1987), 9-25
- (2) The JT-60 Team(presented by H. Kishimoto), "JT-60 Experiments", Journal of Nuclear Materials 145-147(1987), 41-47
- (3) H. Horiike, et al., "Present Status of JT-60 Upgrade", Proceedings of 13th Symposium on Fusion Engineering, Knoxville, October (1989), p.p. 1049-1054
- (4) T. Kimura, et al., Proceedings of the 14th Symposium on Fusion technology Abingdon, September(1986), p.p. 1439-1444
- (5) M. Shimizu and JT-60 Team , "Maintenance of JT-60 " Proceeding of IAEA Technical Committee Meeting on Robotics and Remote Maintenance Concepts for Fusion Machines , p.p. 35-49, 1988
- (6) K. Kurihara, M. Matsukawa, T. Kimura and I. Yonekawa, "Dynamics of Plasma Current Control System in JT-60 ", Proceedings of 12th Symposium on Fusion Engineering, October (1987), p.p. 609-612
- (7) M. Shimizu and T. Arai, "Vacuum Technological Experiences of JT-60 Operation", Proceedings of the Japan-U.S. Workshop P-118 on Vacuum Technologies for Fusion Devices, August (1988), p.p. 36-56
- (8) I. Kondo, "JT-60 Tokamak Mechanical Systems Availability and Reliability", Trilateral Agreement Workshop (JET-TFTR-JT-60) on Tokamak System Reliability and Availability, Abingdon, November (1988)
- (9) M. Tsuneoka, K. Arakawa, R. Shimsda, et al., "Construction of the JT-60 Grounding System ", IEE Japan, Vol. 107-B, No. 2 , (1987)

## 付録 1

各設備毎のトラブル発生件数を5年間の合計と各年度毎に分類した表

FY 1985 - FY 1989  
Table A1.1 Troubles occurred in the JT-60 operation during FY 1985-FY 1989

Item System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Main Device	101	7	15	38	2	0	25	11	31	1	2	233
Control Device	58	15	64	116	21	177	48	55	86	4	3	647
Miss Operation	8	2	2	9	1	3	2	7	16	0	0	50
Others	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	167	24	81	164	24	180	75	73	133	5	5	931

FY 1985  
Table A1.2 Troubles occurred in the JT-60 operation in FY 1985

Item System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Main Device	41	2	2	4	0	0	0	0	0	1	0	2
Control Device	33	5	11	31	0	43	0	0	0	17	3	2145
Miss Operation	6	1	1	4	0	2	0	0	0	4	0	18
Others	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	80	8	14	39	0	45	0	0	0	22	3	4215

Table A1.3 Troubles occurred in the JT-60 operation in FY 1986

FY 1986

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Main Device		30	5	1	1.2	1	0	4	6	6	1	0	66
Control Device		11	6	1.7	4.3	1.2	6.7	2.9	3.3	3.7	1	1	257
Miss Operation		1	0	1	3	1	0	2	5	8	0	0	21
Others		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		42	11	1.9	5.8	1.4	6.7	3.5	4.4	5.1	2	1	344

Table A1.4 Troubles occurred in the JT-60 operation in FY 1987

FY 1987

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Main Device		6	0	7	9	0	0	5	2	1.3	0	0	42
Control Device		8	1	6	1.3	9	3.7	6	1.3	1.8	0	0	116
Miss Operation		1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	5
Others		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Total		15	2	13	30	9	37	11	1.5	3.2	0	0	164

Table A1.5 Troubles occurred in the JT-60 operation in FY 1988

FY 1988

Item System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Main Device	16	0	4	5	1	0	14	1	4	0	0	45
Control Device	4	1	23	15	0	24	10	7	11	0	0	95
Miss Operation	0	0	0	0	0	1	0	2	3	0	0	6
Others	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	20	1	27	20	1	25	24	10	18	0	0	146

Table A1.6 Troubles occurred in the JT-60 operation in FY 1989

FY 1989

Item System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Main Device	8	0	1	8	0	0	2	2	7	0	0	28
Control Device	2	2	7	9	0	6	3	2	3	0	0	34
Miss Operation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Others	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	10	2	8	17	0	6	5	4	10	0	0	62

## 付録 2

機器に関するトラブルを5年間の合計と各年度毎に分類した表

Table A2.1 Main device troubles occurred during FY 1985-FY 1989

FY 1985 - FY 1989

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Cooling & Power Distribution	Diagnostic Device	Others	Total
Vacuum Leak		9	4	0	0	0	0	1	2	17	0	0	33
Water Leak		3	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	8
Oil Leak		6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8
Air Leak		2	0	0	2	0	0	3	1	2	0	0	10
Grounding System		2	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	8
Elec. Insulation Trouble		17	1	1	0	0	0	0	3	2	0	0	24
Over Voltage		6	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	9
Over Current		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Power Supply Parts		1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	5
Abnormal Displacement		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Excess Stress		13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
Abnormal Temperature		3	0	0	2	0	0	0	2	1	0	0	8
Low Stream Flow		4	0	1	1	0	0	3	0	0	0	0	9
Valve Trouble		6	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	8
Semiconductor Trouble		0	0	0	3	0	0	1	1	0	0	0	5
Circuit Breaker		0	0	9	17	0	0	3	0	0	0	0	29
Breaking of Wire		6	1	0	0	0	0	1	0	3	0	0	11
Contact Fault		9	0	3	10	2	0	1	0	1	1	1	28
Miss Installation		2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4
Others		1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Total		101	7	15	38	2	0	25	11	31	1	2	233

Table A2.2 Main device troubles occurred in FY 1985

FY 1985

Item	Tokamak Machine System	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Water Leak	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Oil Leak	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Air Leak	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Grounding System	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Elec. Insulation Trouble	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Over Voltage	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Over Current	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Power Supply Parts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abnormal Displacement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Excess Stress	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Abnormal Temperature	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Low Stream Flow	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Valve Trouble	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Semiconductor Trouble	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Circuit Breaker	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Breaking of Wire	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Contact Fault	7	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	10
Miss Installation	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Others	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	41	2	2	4	0	0	0	1	0	0	2	52

Table A2.3 Main device troubles occurred in FY 1986

FY 1986

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Heating System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak		1	3	0	0	0	0	1	1	4	0	0	10
Water Leak		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Oil Leak		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Air Leak		0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	3
Grounding System		1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3
Elec. Insulation Trouble		6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8
Over Voltage		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Over Current		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Power Supply Parts		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abnormal Displacement		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Excess Stress		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Abnormal Temperature		1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
Low Stream Flow		1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	4
Valve Trouble		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Semiconductor Trouble		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Circuit Breaker		0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4
Breaking of Wire		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Contact Fault		2	0	0	5	1	0	0	0	1	1	0	10
Miss Installation		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Others		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		30	5	1	12	1	0	4	6	6	1	0	66

Table A2.4 Main device troubles occurred in FY 1987

FY 1987

Item	Tokamak Machine System	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak	1	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	12
Water Leak	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Oil Leak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air Leak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grounding System	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Elec. Insulation Trouble	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
Over Voltage	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Over Current	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Power Supply Parts	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Abnormal Displacement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Excess Stress	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Abnormal Temperature	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Low Stream Flow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valve Trouble	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Semiconductor Trouble	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
Circuit Breaker	0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	9
Breaking of Wire	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Contact Fault	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Miss Installation	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Others	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6	0	7	9	0	5	2	13	0	0	42	

Table A2.5 Main device troubles occurred in FY 1988

FY 1988

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power distribution	Others	Total
Vacuum Leak		2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Water Leak		0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
Oil Leak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air Leak		0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	3
Grounding System		0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Elec. Insulation Trouble		3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5
Over Voltage		1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Over Current		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Power Supply Parts		0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
Abnormal Displacement		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Excess Stress		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Abnormal Temperature		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Low Stream Flow		2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Valve Trouble		2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Semiconductor Trouble		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Circuit Breaker		0	0	1	3	0	0	2	0	0	0	0	6
Breaking of Wire		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Contact Fault		0	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0	5
Miss Installation		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Others		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Total		16	0	4	5	1	0	14	1	4	0	0	45

Table A2.6 Main device troubles occurred in FY 1989

FY 1989

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak		3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5
Water Leak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oil Leak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air Leak		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Grounding System		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Elec. Insulation Trouble		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Over Voltage		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Over Current		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Power Supply Parts		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Abnormal Displacement		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Excess Stress		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abnormal Temperature		0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Low Stream Flow		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valve Trouble		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semiconductor Trouble		0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Circuit Breaker		0	0	1	6	0	0	1	0	0	0	0	8
Breaking of Wire		1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	4	4
Contact Fault		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miss Installation		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Others		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		8	0	1	8	0	2	2	2	7	0	0	28

## 付録 3

制御系に関するトラブルを5年間の合計と各年度毎に分類した表

Table A3.1 Control device troubles occurred during FY 1985-FY 1989

FY 1985 - FY 1989

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Computer System		0	0	0	0	0	1 9	2	2	4	0	0	2 7
Control Unit		4	2	1	1 1	0	4	2	3	7	0	0	3 4
C A M A C		1 4	7	3 7	3 1	1 9	2 5	6	1 8	2 1	4	3	1 8 5
Software		1 4	0	1 1	2 4	1	8 4	1 9	2 5	4 4	0	0	2 2 2
Sensor		7	1	3	7	0	5	4	2	3	0	0	3 2
Power Unit		8	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	1 3
Transmission		4	4	1 2	5	0	2 9	3	2	4	0	0	6 3
Miss Action		4	0	0	3 3	1	7	8	1	1	0	0	5 5
Others		3	1	0	3	0	4	2	2	1	0	0	1 6
Total		5 8	1 5	6 4	1 1 6	2 1	1 7 7	4 8	5 5	8 6	4	3	6 4 7

## F Y 1 9 8 5

Table A3.2 Control device troubles occurred in FY 1985

Item System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Computer System	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Control Unit	3	1	0	3	0	0	0	0	1	0	0	8
C A M A C	7	4	6	11	0	2	0	0	5	3	2	40
Software	10	0	2	8	0	31	0	0	10	0	0	61
Sensor	5	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	10
Power Unit	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Transmission	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3
Miss Action	0	0	0	7	0	4	0	0	1	0	0	12
Others	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3
Total	33	5	11	31	0	43	0	0	17	3	2	145

Table A3.3 Control device troubles occurred in FY 1986

FY 1986

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Computer System	0	0	0	0	0	0	7	0	1	1	0	0	9
Control Unit	0	0	0	0	3	0	1	0	0	6	0	0	11
G A M A C	1	3	6	1	1	1	10	2	12	10	1	1	68
Software	-	1	0	5	9	1	32	15	17	18	0	0	98
Sensor	2	1	0	4	0	4	4	2	0	1	0	0	14
Power Unit	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Transmission	1	2	6	0	0	1	1	2	2	1	0	0	25
Miss Action	3	0	0	1.4	0	1	0	6	1	0	0	0	25
Others	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
Total	1.1	6	1.7	4.3	1.2	6.7	29	33	37	1	1	257	

Table A3.4 Control device troubles occurred in FY 1987

F Y 1 9 8 7

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Computer System		0	0	0	0	0	7	0	1	2	0	0	10
Control Unit		1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	5
C A M A C		3	0	3	3	8	4	2	4	3	0	0	30
Software		1	0	2	3	0	13	1	4	11	0	0	35
Sensor		0	0	0	2	0	0	1	1	1	0	0	5
Power Unit		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transmission		2	0	1	1	0	11	0	0	0	0	0	0
Miss Action		1	0	0	7	1	0	1	0	1	0	0	16
Others		0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10
Total		8	1	6	18	9	37	6	13	18	0	0	5
													116

Table A3.5 Control device troubles occurred in FY 1988

FY 1988

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Computer System		0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	4
Control Unit		0	0	0	0	3	0	1	1	2	0	0	7
C A M A C		1	0	17	1	0	8	2	2	3	0	0	34
Software		2	0	2	4	0	6	3	3	4	0	0	24
Sensor		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
Power Unit		1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Transmission		0	1	4	2	0	5	1	0	1	0	0	14
Miss Action		0	0	0	4	0	1	1	0	0	0	0	6
Others		0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2
Total		4	1	23	15	0	24	10	7	11	0	0	95

Table A3.6 Control device troubles occurred in FY 1989

FY 1989

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Computer System		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
Control Unit		0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3
C A M A C		2	0	5	5	0	1	0	0	0	0	0	13
Software		0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	4
Sensor		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Power Unit		0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
Transmission		0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	5
Miss Action		0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
Others		0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Total		2	2	7	9	0	6	3	2	3	0	0	34

## 付録 4

原因別のトラブルを5年間の合計と各年度毎に分類した表

Table A4.1 Cause classification of the troubles occurred during FY 1985-FY 1989

FY 1985 - FY 1989

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak		10	3	0	0	0	0	1	2	17	0	0	33
Water Leak		3	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	8
Oil Leak		6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8
Air Leak		3	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0	9
Grounding System		6	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	10
Elect. Insulation Trouble		16	1	1	2	0	0	3	4	1	0	0	28
Over Voltage		0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	16
Over Current		3	0	0	3	0	1	1	1	1	0	0	10
Electromag. Induction		18	0	3	8	0	7	8	0	1	0	0	45
Abnormal Displacement		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Excess Stress		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Abnormal Temperature		3	0	7	2	0	0	0	0	1	0	0	13
Low Stream Flow		3	0	1	1	0	0	5	0	2	0	0	12
Miss Action		9	0	7	28	1	4	7	1	6	2	0	65
Breaking of Wire		6	1	0	0	0	1	3	1	4	0	1	17
Contact Fault		10	0	21	14	4	3	2	0	4	0	0	59
Miss Installation		4	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0	9
Control Unit		11	4	15	31	4	24	8	4	14	2	0	117
Sensor		6	1	3	1	0	0	2	2	3	0	0	18
Control Logic		9	7	4	5	0	28	7	7	5	0	0	72
Defective Set of Condition		22	2	10	23	1	60	6	9	15	0	2	150
Program Bug		1	0	0	1	13	12	7	18	24	1	0	77
Arrays of Sequence		1	0	0	1	0	7	1	2	9	0	0	21
Miss Operation		8	2	2	9	1	3	2	7	16	0	0	50
Others		6	2	7	15	0	27	5	12	6	0	1	81
Total		166	24	81	164	24	181	75	73	133	5	5	931

Table A4.2 Cause classification of the troubles occurred in FY 1985

FY 1985

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak		3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Water Leak		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Oil Leak		6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Air Leak		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Grounding System		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Elec. Insulation Trouble		4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Over Voltage		0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6
Over Current		2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
Electromag. Induction		6	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	12
Abnormal Displacement		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Excess Stress		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abnormal Temperature		1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Low Stream Flow		0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Miss Action		3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5
Breaking of Wire		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Contact Fault		9	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	15
Miss Installation		3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Control Unit		5	1	2	12	0	1	0	0	2	2	0	25
Sensor		3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Control Logic		8	4	3	3	0	5	0	0	2	0	0	25
Defective Set of Condition		15	0	0	5	0	21	0	0	1	0	2	44
Program Bug		0	0	0	1	0	9	0	0	3	1	0	14
Arrears of Sequence		0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7
Miss Operation		6	1	1	4	0	2	0	0	4	0	0	18
Others		1	0	0	3	0	1	0	0	1	0	0	6
Total		80	8	14	39	0	45	0	0	22	3	4	215

table A4.3 Cause classification of the troubles occurred in FY 1986

FY 1986

Item System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total	
Vacuum Leak	1	2	0	0	0	0	0	1	1	4	0	0	9
Water Leak	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Oil Leak	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Air Leak	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3
Grounding System	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3
Elec. Insulation Trouble	6	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	9
Over Voltage	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Over Current	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
Electromag. Induction	7	0	0	3	0	0	1	6	0	0	0	0	17
Abnormal Displacement	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Excess Stress	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Abnormal Temperature	1	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9
Low Stream Flow	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	4
Miss Action	4	0	0	6	0	0	2	0	0	4	2	0	18
Breaking of Wire	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	4
Contact Fault	0	0	5	9	3	0	0	0	1	0	0	0	18
Miss Installation	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Control Unit	2	1	1	10	2	12	5	1	4	0	0	0	38
Sensor	3	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	8
Control Logic	0	3	1	2	0	15	4	7	3	0	0	0	35
Defective Set of Condition	5	1	5	9	1	25	4	4	9	0	0	0	63
Program Bug	0	0	0	0	7	2	7	1	6	14	0	0	46
Arrears of Sequence	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3
Miss Operation	1	0	1	3	1	0	2	5	8	0	0	0	21
Others	4	1	0	3	0	7	0	2	1	0	0	1	19
Total	42	11	19	58	14	67	35	44	51	2	1	344	

Table A4.4 Cause classification of the troubles occurred in FY 1987

FY 1987

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak		1	0	0	0	0	0	0	1	1.0	0	0	12
Water Leak		1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Oil Leak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air Leak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grounding System		2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
Elec. Insulation Trouble		1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	4
Over Voltage		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Over Current		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Electromag. Induction		2	0	1	4	0	0	2	0	0	0	0	9
Abnormal Displacement		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Excess Stress		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abnormal Temperature		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Low Stream Flow		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miss Action		0	0	4	6	1	1	0	1	0	0	0	14
Breaking of Wire		0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3
Contact Fault		1	0	4	3	0	2	0	0	2	0	0	12
Miss Installation		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Control Unit		3	1	1	3	2	3	1	1	3	0	0	18
Sensor		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Control Logic		0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	6
Defective Set of Condition		1	0	3	4	0	9	1	2	2	0	0	22
Program Bug		0	0	0	0	6	1	0	2	7	0	0	16
Arrears of Sequence		0	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0	5
Miss Operation		1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	5
Others		1	0	0	3	0	1.4	2	7	1	0	0	28
Total		14	2	13	30	9	38	11	15	32	0	0	164

Table A4.5 Cause classification of the troubles occurred in FY 1988

FY 1988

Item System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total	
Vacuum Leak	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Water Leak	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
Oil Leak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air Leak	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Grounding System	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Elec. Insulation Trouble	4	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	8
Over Voltage	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Over Current	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Electromag. Induction	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
Abnormal Displacement	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Excess Stress	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abnormal Temperature	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Low Stream Flow	2	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0
Miss Action	1	0	2	5	0	1	4	0	0	1	0	0	14
Breaking of Wire	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
Contact Fault	0	0	8	0	1	1	1	0	0	0	0	0	12
Miss Installation	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Control Unit	0	0	8	3	0	7	2	2	4	0	0	0	26
Sensor	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Control Logic	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	4
Defective Set of Condition	1	1	2	5	0	5	1	3	2	0	0	0	20
Program Bug	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Arrears of Sequence	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	6
Miss Operation	0	0	6	2	0	1	0	2	3	0	0	0	6
Others	0	1	27	20	1	25	24	10	18	0	0	0	17
Total	20	1	27	20	1	25	24	10	18	0	0	0	146

Table A4.6 Cause classification of the troubles occurred in FY 1989

FY 1989

Item	System	Tokamak Machine	Gas Supply System	T Power System	P Power System	Generator for Heating System	Central Control System	NBI Heating System	RF Heating System	Diagnostic Device	Cooling & Power Distribution	Others	Total
Vacuum Leak		3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5
Water Leak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oil Leak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Air Leak		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Grounding System		1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Elec. Insulation Trouble		1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Over Voltage		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Over Current		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Electromag. Induction		1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3
Abnormal Displacement		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Excess Stress		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abnormal Temperature		1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Low Stream Flow		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miss Action		1	0	1	9	0	0	2	1	0	0	0	14
Breaking of Wire		1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	4
Contact Fault		0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Miss Installation		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Control Unit		1	1	3	3	0	1	0	0	1	0	0	10
Sensor		0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Control Logic		0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Defective Set of Condition		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Program Bug		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arrears of Sequence		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miss Operation		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Others		0	1	1	4	0	2	1	1	1	0	0	11
Total		10	2	3	17	0	6	5	4	10	0	0	62