

区 分 変 更	
変更後資料番号	942
決裁年月日	平成 13 年 7 月 31 日

高速実験炉「常陽」運転試験報告書

— 55 年度補修依頼状況 —

1982年3月

動力炉・核燃料開発事業団

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



配 布 限 定

PNC TSN 942 82-02

1982年3月

高速実験炉「常陽」運転試験報告書

55年度補修依頼状況

中野誠^{*}, 堀米利之^{*}, 青木裕^{*}, 吉野富士男^{*}
高杉喜雄^{*}, 砂押博^{*}, 佐藤勲雄^{*}, 井上晃次^{*}

要 旨

高速実験炉「常陽」における55年度(55年4月1日～56年3月31日)に発生した補修依頼についてまとめたので報告する。

55年度は、75MW定格出力運転の時期で、75MW第2, 第3, そして第4サイクルのはじめまでが、含まれている。この間に第2回定期点検が実施された。この中には、照射炉心(MK-II)移行を考慮した改造工事などがあり、長期間を要した。

55年度の修理依頼票発行件数は、燃料取扱設備を除いて247件であった。54年度の262件、53年度の330件と比較して減少しているのがわかる。この中で2次冷却系の補修依頼が全体の17%, 付属空調換気系の補修が16%で、上位を占めている。

いままでの補修原因は計器とバルブが主体であったが、55年度は計器の割合が減少するとともに、計器, バルブ, 検出器, 制御盤, 配管配線, ベルトの項目が同程度の割合で並んでおり、補修原因の上では原因の分散が進んでいる。

55年度も補修特性をみると、人為性の少ない、動き度の小さい補修が大勢を占めており、補修期間については、短期間から長期間まで一様に分布している。なかでも3日から2週間の補修が最も多く見られた。

なお米国においても故障の分析を行ったレポートがあったので、参考として添付資料に翻訳をのせた。機器の中で故障率の高いものが弁であり、計装機器の中ではスイッチであると報告されている。



PNC 942 82-02
Mar., 1982

Japan Experimental Fast Reactor "JOYO" Operation Report
Incidents Recorded during Operation
(April 1980 ~ March 1981)

M. Nakano*, T. Horigome*, H Aoki*
F. Yoshino*, Y. Takasugi*, H. Sunaoshi*,
I. Sato* and T. Inoue*

Abstract

This reports deals with the incidents recorded during the period from April 1980 to March 1981.

During this period JOYO operated the second, third and the half of forth normal operation cycles with the second annual maintenance. JOYO has 247 reported incidents and troubles in this period. Of these 17% were associated with the secondary sodium cooling system and 16% with the service building air conditioning system.

During this period the frequency of incidents involving instrument is highest and amounted to 17% of total numbers of incidents however, that of valves, detectors, control panels, piping and cabling, and belts are also high.

* Operating Section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC

目 次

1.	月別補修依頼件数について	1
2.	前年度の補修状況と比較して	5
3.	原因別補修件数について	15
4.	補修件数のクラスタリング	21
5.	各系統設備の補修傾向	25
6.	あとがき	33
7.	参考資料	34
8.	添付資料	35

1. 月別補修依頼件数について

高速実験炉「常陽」において昭和55年度に運転中または巡視点検中に機器の不具合を運転員が発見し、運転直から補修担当の原子炉第2課に修理依頼票によって、修理を依頼した件数は247件であった。ちなみに54年度は262件、53年度は330件、52年度は365件であった。この中には燃料取扱系統の修理は含まれていない。またボイラ室所掌のボイラ設備、主冷却器建屋空調設備、脱塩水供給設備、運転管理棟諸設備等も除外されている。なお52年度の補修依頼件数の365件の中には付属空調設備のフィルタが含まれていたが、53年度以降には含まれていない。

第1図に54年度および55年度の月別補修依頼件数を主要工程とともに示した。55年度は75MWの定格運転期間であり、試験による起動停止の少い、比較的安定した運転期間と考えられる。そこで「常陽」の稼働率を調べてみた。

第1表に55年度「常陽」の運転実績を示す。この表からみて55年度の稼働率は25.5%であり54年度の25.7%、53年度の50.9%よりも低い値であることが明らかとなった。54年度、55年度は秋に定期点検が長期間行われた。特に55年度は9月4日に原子炉停止してから3月12日に原子炉起動まで6ヶ月の定期点検期間がとられた。この6ヶ月の定期点検期間は照射炉心(MK-II)移行にあたっての改造等があったため、半年という長期間になったのであるが、稼働率の面からみると、定格運転か否かによる稼働率への影響は軽微であって、定期点検期間が大きく影響していることが判明した。

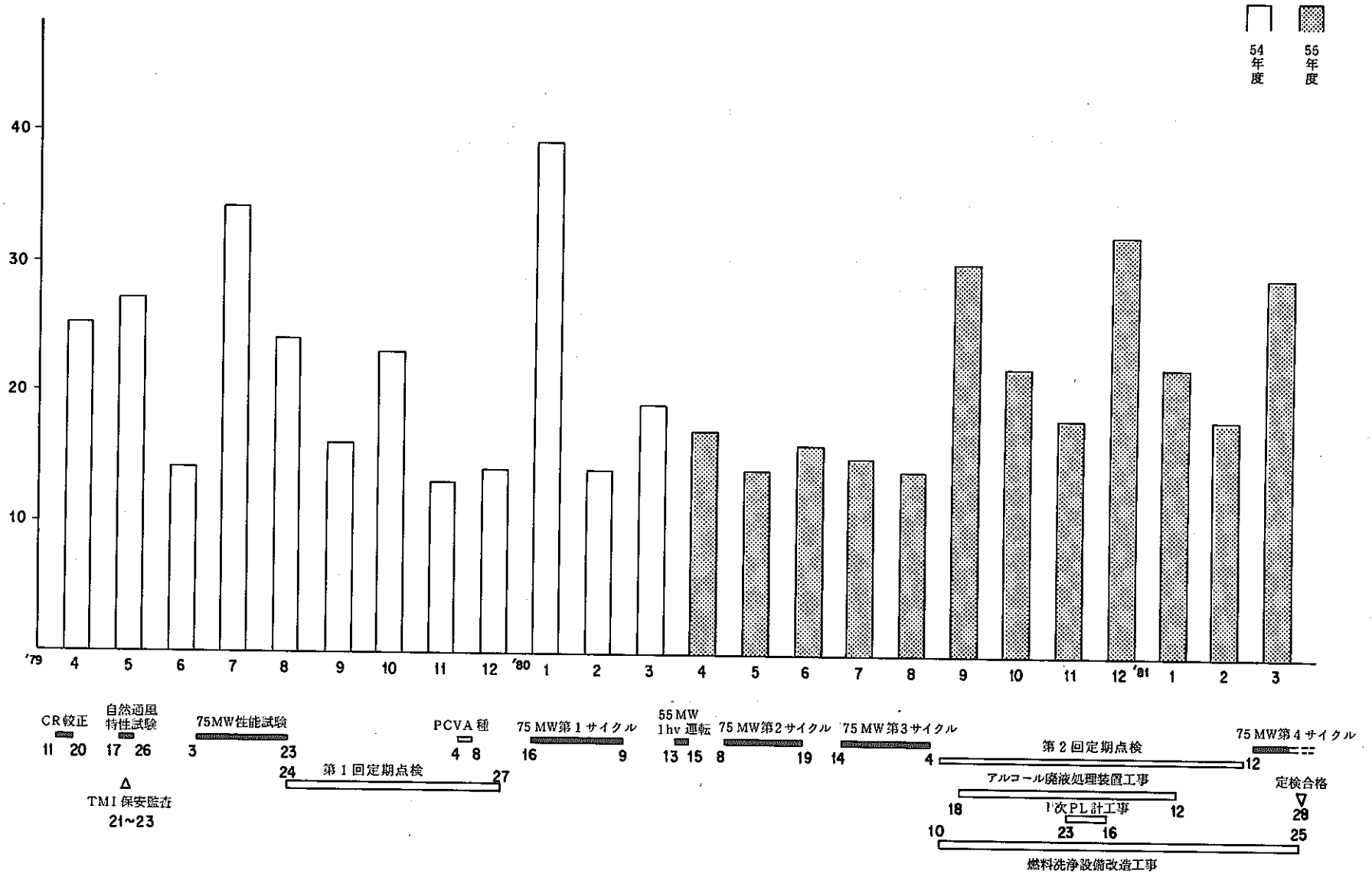
9月、12月、3月に30件近い補修が集中している。しかし、他の月と比較してそれほど際立ったピークにはなっていないようである。

燃料取扱系統は6件の修理依頼票が発行されたが、現状は燃料取扱系統の運転と保守を原子炉第1課燃料取扱設備運転グループで実施しているため、他系統設備の運転と異って、修理依頼票が出にくいのが現状である。従ってこの6件は除いている。

修理依頼票の発行件数は減少しているが、年度ごとの減少率は小さくなって来ており、今後これ以上の減少は期待できそうにない、この程度の件数が下限であろうと考える。減少の理由は、故障しやすい部分の改造、問題が起きやすい系統の根本的改造等の他、原子炉第2課による週間点検、月例点検により、点検頻度、点検項目の改訂を経て、実機の特性にあった点検を実施しつつあることも大きく貢献していると思われる。

中央制御室から発行された修理依頼票は、補修担当課である原子炉第2課に回送される。原子炉第2課では、補修を行った後、修理依頼票下欄の修理報告書のスペースに、補修に至った

原因，経過等を記載し，中央制御室に返送する。従って，修理依頼内容とその修理の結果が，一枚の用紙に書かれているので，中央制御室の運転員はこの用紙により，当該機器の故障状況とその修理結果を簡単にかつ正確に把握することが出来るのである。



第1図 月別補修依頼件数

第1表 55年度「常陽」運転実績

月	最高出力 MW	運転時間 h(%)	停止時間	当月積算出力 MWh	積算出力 MWh
55 4	55	39.7 (5.51)	680.3	291	2.847×10^5
5	75	230 (30.9)	514	3.5215×10^4	3.199×10^5
6	75	548 (76.1)	172	3.823×10^4	3.581×10^5
7	75	367 (49.3)	377	2.132×10^4	3.794×10^5
8	75	687 (92.3)	57	5.114×10^4	4.305×10^5
9	0	0.9 (0.13)	719.1	0	4.305×10^5
10	0	0	744	0	4.305×10^5
11	0	0	720	0	4.305×10^5
12	0	0	744	0	4.305×10^5
56 1	0	0	744	0	4.305×10^5
2	0	0	672	0	4.305×10^5
3	75	363.7 (48.9)	380.3	2.066×10^4	4.512×10^5
計		2236.3 (25.5)	6523.7	1.6686×10^5	4.512×10^5

原子炉運転時間の総計

9610.7時間

2. 前年度の補修状況と比較して

系統別の補修依頼件数を第2図に示した。また52年度からの4年間の系統別補修依頼件数を第3図に示した。

第2図の55年度系統別補修依頼件数をみると、大部分の系統は54年度との差が小さい。差が55年度件数を越えている系統は、原子炉出力制御系およびAr・N₂供給系である。

第3図の4年間における系統別補修依頼件数をみると、年間の件数が同程度で落ち着いてきている。格納容器雰囲気調整系は、その例外の部類に入るであろう。

第4図には系統別補修依頼件数を示した。補修依頼が特定の月に際立っていると思われる系統は付属空調換気系で、その他は年間を通して平均的にばらついており、気温等の外的条件またはプラント状態変更などによって、状態が変わると補修依頼件数が増すといった特徴的なものは何も表われなかった。

55年度の発行修理依頼票は247件で、回答なしは9件あった。回答率を修理報告数に対する修理依頼数とすれば、96.4%である。54年度の回答率が90.8%であったのに比較して、さらに回答率が良くなった。ここに原子炉第2課各位に感謝する次第である。特に修理報告書に校正したデータを添付されたり、故障の原因が操作にある場合、操作手順まで記入されている報告書もあり、多忙の中をていねいに書かれた修理報告書には感激している。

修理報告書が原子炉第2課から中央制御室に返却された中に「異常ではない」という報告書が55年には35通あった。

修理依頼書に対して、修理報告書が発行されなかった9件についてここに分析すると

1) 現象が消滅してしまったもの 2件

FFD-DN法BF₃計数率低下

2次ダンプタンク液面高警報発生

FFDに関してはケーブルを動かすと計数率が変化するという現象があり、この場合も同様な現象とみられる。

ダンプタンク液面計の異常は過去にもあったが、メーカーが調整に持ち帰った所、正常であったとの結果を得ている。現場における静電容量の変化等が原因と思われるが、現在のところ不明である。

2) 長期間停止状態であったためのもの 1 件

中性子検出器駆動装置の引抜荷重超過

これは原子炉定格運転中、起動系および中間系は引抜状態で約 4 5 日放置されるため、原子炉を停止し、検出器を操入するとき荷重超過により操入出来なくなる現象がある。警報が発生した場合経験的に何回か引抜、操入を繰返してなじませると良いとのことである。

3) 改造持ちのもの 1 件

2 次系真空ポンプ流量異常

2 次系の真空ポンプに冷却水を通水するとき、補給水の真空ポンプバイパス弁を全閉にしなれば、真空ポンプが起動しない現象があり、補給水流量が減少し、流量低の警報が発生した。真空ポンプにとって必要最少限の冷却水はどの程度なのか調査し、必要とあれば、ブースタポンプを取り付ける必要がある。

4) プラント状態持ちのもの 5 件

N₂ 供給タンク自動放出弁シートリーク

電源監視盤故障表示回路異常

2 次系 1 A - 1, 2 入口ダンパ用リミットスイッチ不良

2 次系 1 A - 1, 2 A 1 入口ダンパリミットスイッチ不良

2 次主送風機入口ベンリミットスイッチ不良 (1 A)

電源監視盤故障表示回路の異常については、大洗変電所定期点検時の 5 6 年 1 0 月に予定されていたが、時間的余裕がなく実施されなかった。また 2 次系のダンパ、ベンリミットスイッチに関する件が 3 件あるが、原子炉が停止し、ナトリウムドレンの 5 7 年 2 月に行う予定になっている。これらは集計の時期をさらに遅らせれば、修理報告される分であり、回答率上昇に影響する分である。

さて修理報告書に「異常なし」と報告されたものが、3 5 件ある。この「異常なし」の理由を調べてみたところ

1) 現象が消滅してしまったもの 1 9 件

「2 次補助系予熱コントローラ不良」, 「2 次系予熱ヒータコンパレータ不良」, 「2 次系予熱制御回路不良」などの補修依頼は、湿度の多いむし暑い夜などに発見されているが、一時期発生し、2 課員が補修する際には、まったく現象が消滅してしまって、スキヤニング動作、操作機能、警報温度など確認し絶縁抵抗を測定しても、異常がなかったというものである。その他原因として、「2 次純化ポンプトリップ」, 「3 A - P / C, 付属 2 C - 2 C / C トリップ」

「FFD系B-10検出器指示異常」, 「床上O₂動作不良」, 「起動系検出器指示不良」, 「オーバフロ系ポンプ起動回路不良」, 「コントロールボックス電源スイッチ異音」, 「コンクリート遮蔽体冷却系温度記録計送り不良」, 「予熱N₂ガス系換気温度異常」, 「ポンプ変位計不調」, などいずれも再現性がなく, その後発生していない。「1次主ポンプ流量低」の現象については, 原子炉第2課員が運転員に当時の状況を問合せたところ, 電源電圧変動によるものらしいとして, 異常なしとしている。

2) 修理をするほどではないもの 5件

「非常用電源設備(以下DGと略す)のシリンダからの燃料もれ」については, 低粘度のタール質のものが付着している程度で, 低負荷運転による未燃焼残溢と思われ, 問題なしということであった。「補機系濾過装置ポンプ軸受異音」については, 一時的であって問題なしとのこと。「1次Arガス流量計異常」は, 多量のアルゴンを流すと流量計がハンチングするが, 流量計はロータメータであるので, ハンチングによる影響はないとの回答であった。「空調系循環ポンプのグラウンド漏水」は正規の穴からの水もれなので問題なし。「付属空調の送風機モータ部異音」は, ベルトがなじむに従って音も静かになったといった回答を得ている。

3) プラント状態変更に伴うもの 4件

「DGシリンダ排気温度低」について, 負荷時に調整されているので, 無負荷ではあり得るとのことであった。「付属空調設備排気口内部より異音」の原因は, 他の空調器停止による逆流の影響と回答されている。「1次Ar廃ガスフィルタ差圧計振動」は常用コンプレッサと非常用コンプレッサが同時に起動した時には発生していて問題ないとのことである。その他「補機系流量がないのに指示がある」のは, 当時補機系ドレン状態であったが, 導圧管内に残留水があったためであると報告されている。

4) 修理しないもの 1件

「ポンプ小屋換気ファン不良」は, 現在ポンプ小屋を使用していないのでファンは動かなくても良いというもの。

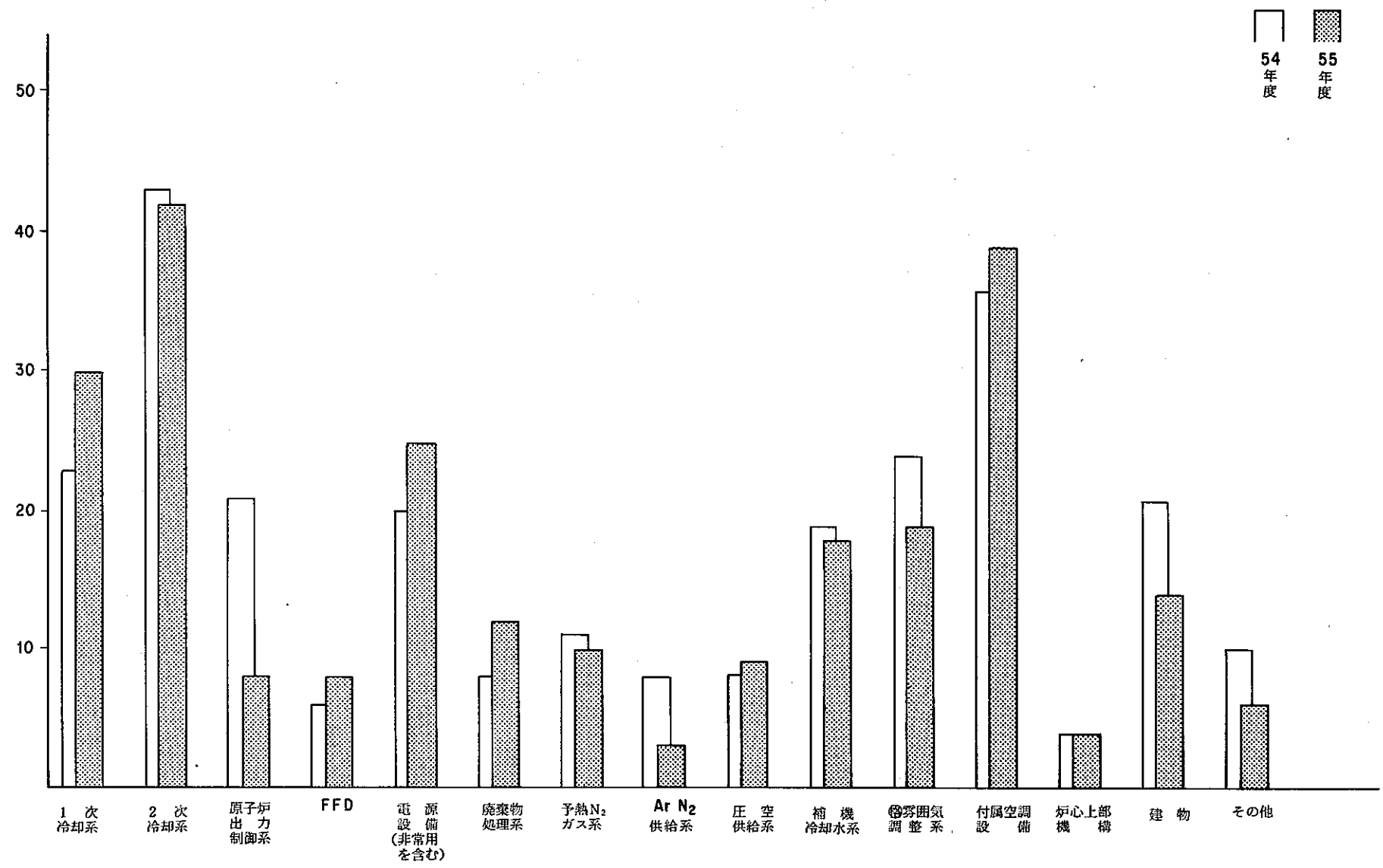
5) 長期停止後の起動時発生するもの 2件

「主冷却器出口ダンパ不調」, 出口ダンパは原子炉を起動し, 出口上昇の過程で初めて開けるもので, それまで長期間停止状態にあったため, 何回か開閉を操返しなじみが必要とする様である。修理報告書には, ダンパ羽根とケーシングすき間正常, すり跡なしと回答されている。

6) 運転員の誤認と思われるもの 4件

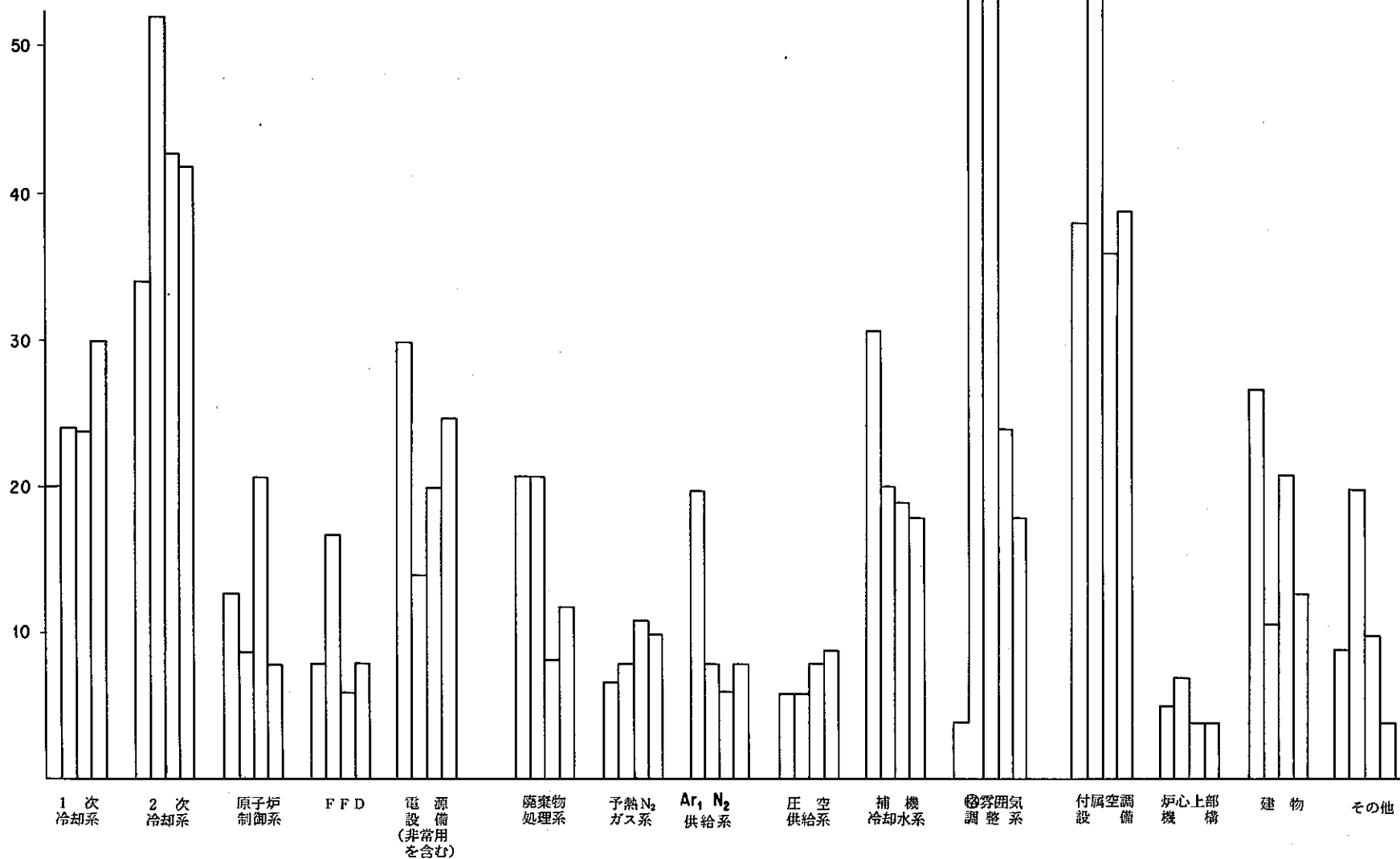
「シャコン振動記録計の乱点」は、乱点ではなく、正常な振動を記録しているとのこと。

「DG系コンプレッサ油面低下」, 「付属空調系給気フィルタ差圧計不良」, 「付属空調系送風機異常」は、いずれも現状で問題なく、送風機の異常は新しいベルトによるもので問題ないと報告されている。

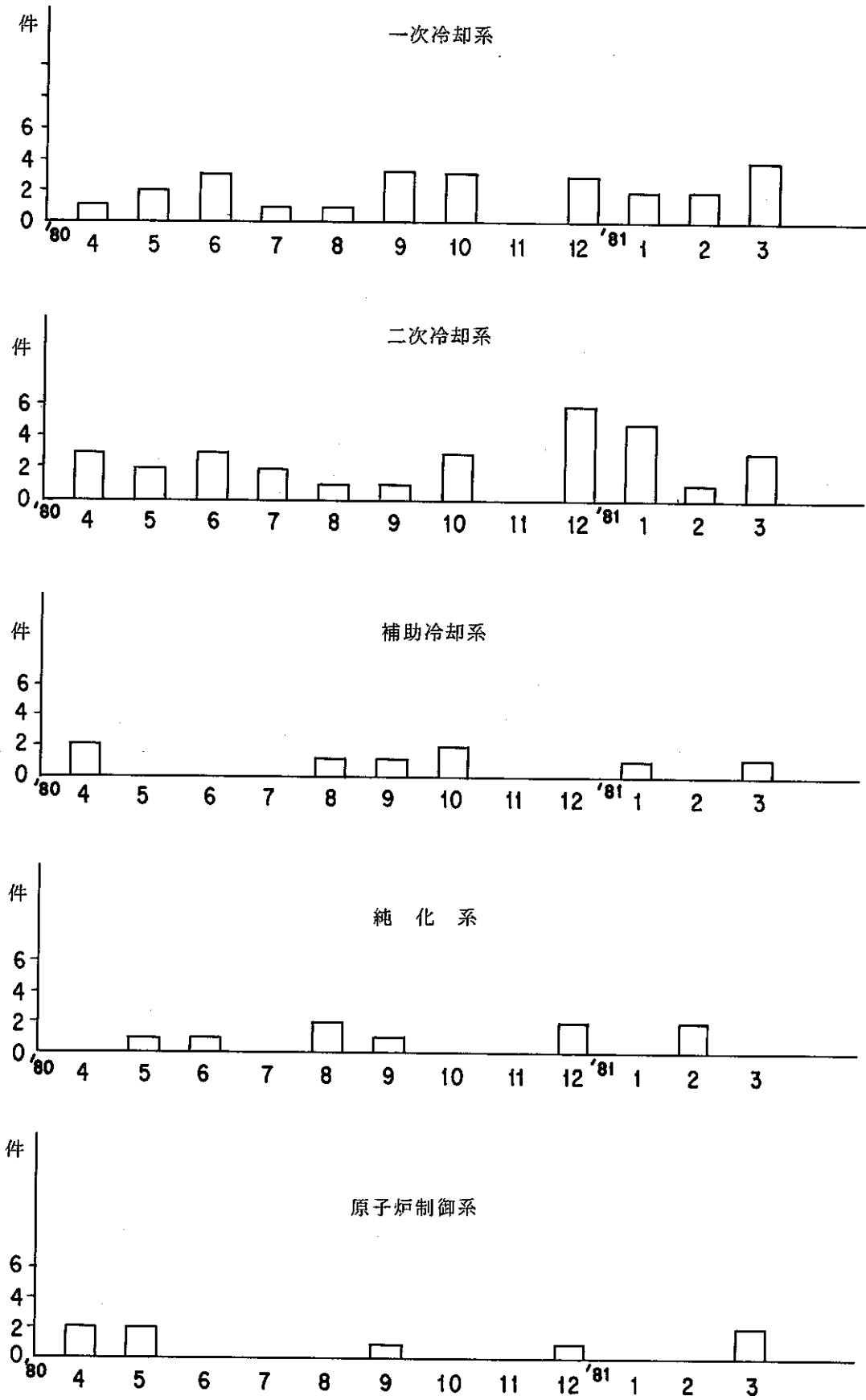


第2図 系統別補修依頼件数

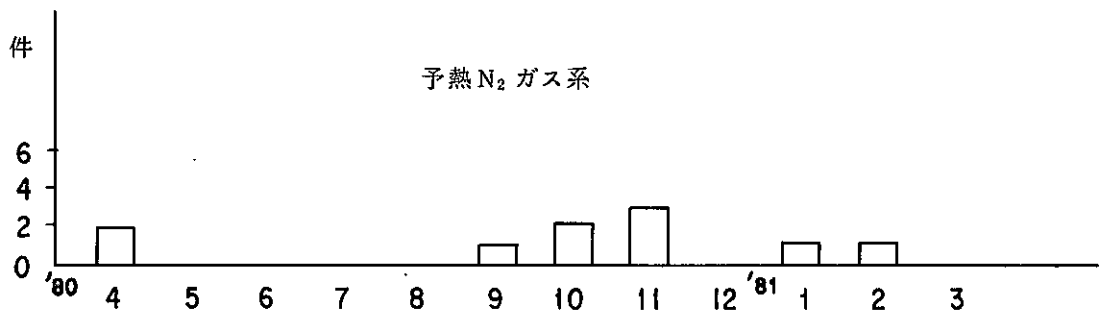
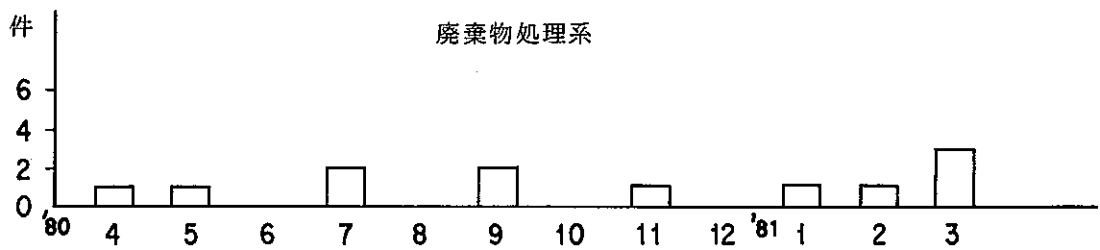
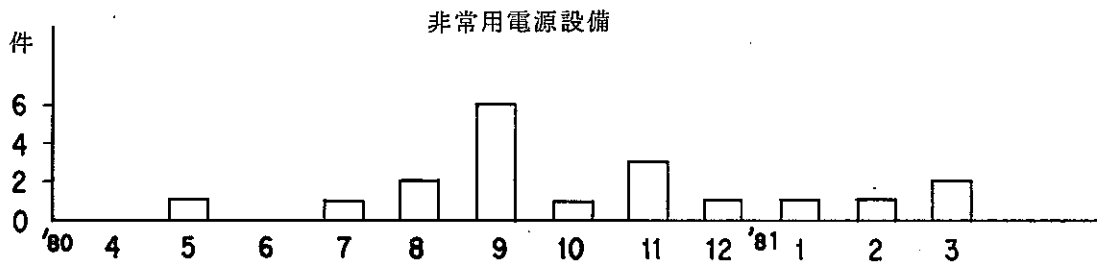
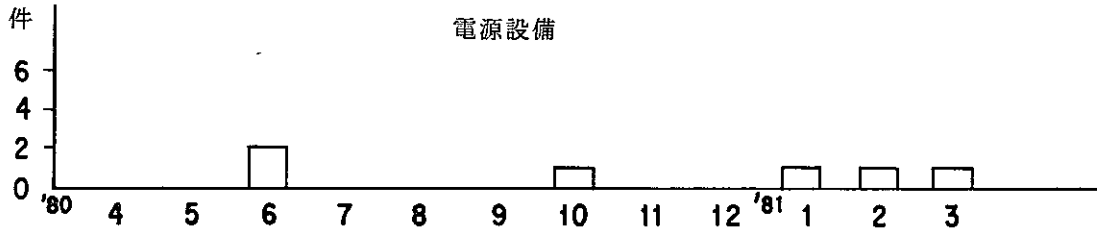
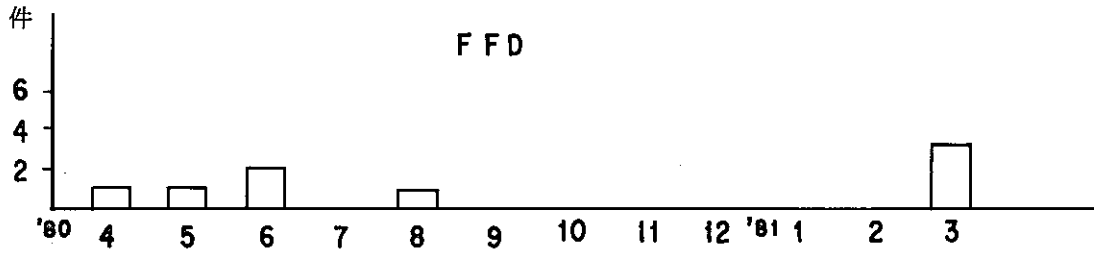
52 53 54 55
 年 年 年 年
 度 度 度 度



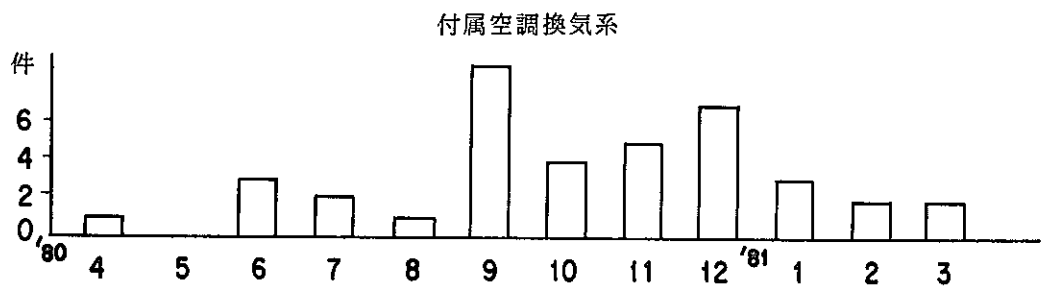
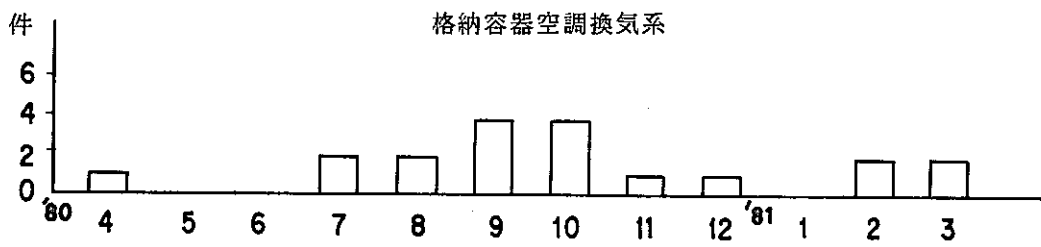
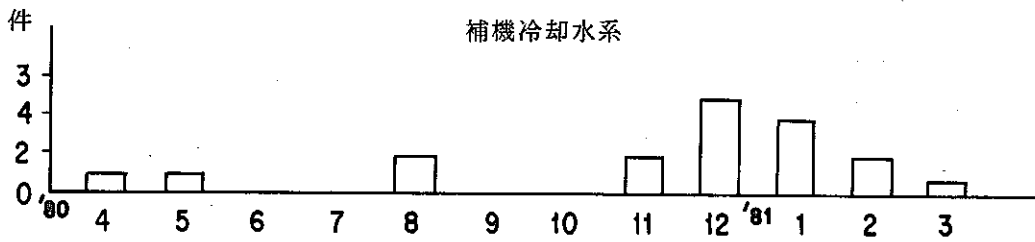
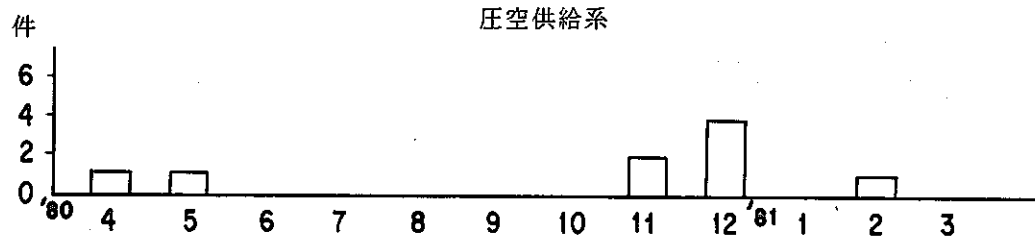
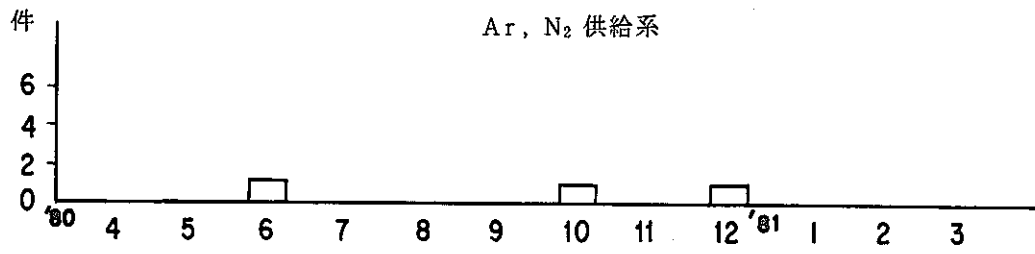
第3図 系統別年間補修依頼件数



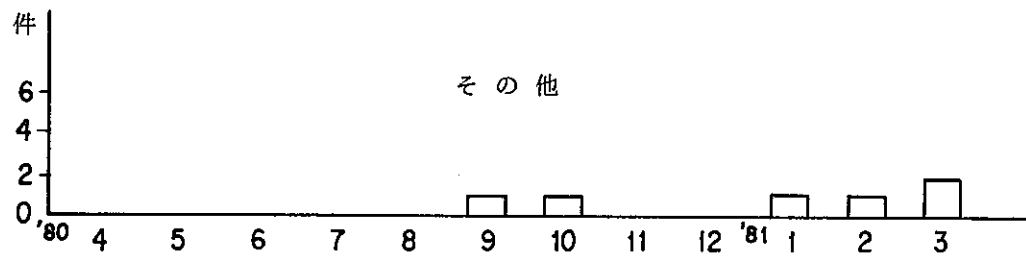
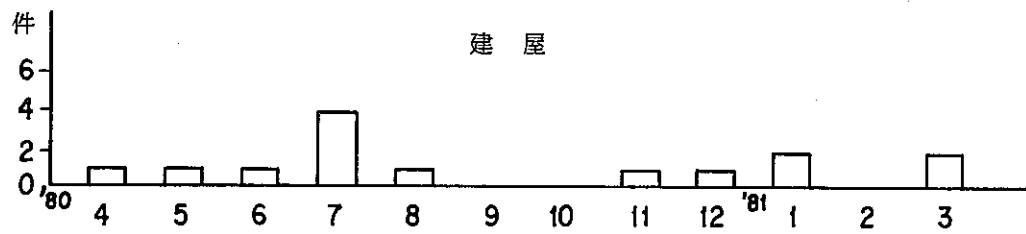
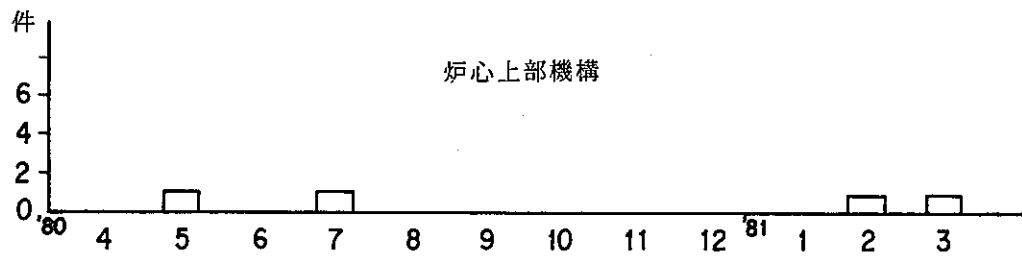
第4図 系統別月別補修依頼件数 (1/4)



系統別月別補修依頼件数 (2 / 4)



系統別月別補修依頼件数 (3 / 4)



系統別月別補修依頼件数 (4 / 4)

3. 原因別補修件数について

返却された修理報告書のうち異常のなかったものを除いて、すべてを原因となった機器別に集計し第5図に示した。また6図には全体に対する各原因機器ごとの割合を示した。54年度まではバルブと計器が主要な補修原因であったが、55年度は過去の例ほど典型的な原因がなくなり、ベルト、バルブ、検出器、計器、制御盤、配管配線が肩を並べるようになったのが特徴的である。しかし減少したとは言え、計器は55年度においても最大の原因となっている。

第5図の原因別補修件数は原因となった機器のうち動きの大きいものから順に並べられている。そしてこの図は故障の原因となった機器別であって、例えばその機器が正常に働いていたのに操作ミスによって故障に到ったとしても、原因はその機器として掲げられている。

原因として計器が最も多く、次に制御盤と配管配線があり、その後バルブが続いている。そして検出器、ベルトの順であるのが第5図からも明らかである。

第7図は系統別原因別補修割合が示されている。原因が全部で10件以上の系統についてのみ図示している。予熱N₂ガス系は全部で10件であるため1件が10%に相当する。1件が10%以上では割合で表わす意味が希薄になるので都合8件のみ図示した。この8系統を比べてみると、上位を占める計器、制御盤、配管配線、バルブ、検出器は半数以上の系統にその存在が見られ、特にバルブは8系統全てに、多かれ少なかれ現れている。ベルトについては格納容器雰囲気調整系および付属空調換気設備のみで、この2系統で多くを占めたために原因別機器として上位にピックアップされたのである。ちなみにベルトの原因の80%は付属空調設備に依存しており、その意味で特殊である。計器が最も多くの原因占めているのは1次系で全体の38%であり、制御盤も1次系で全体の36%、配管配線では非常用電源設備で全体の16%となっている。バルブは2次系、圧空系、DG系、廃棄物処理系、予熱N₂ガス系で全体の63%、検出器は2次系、廃棄物処理系、補機冷却水系で全体の55%を占めている。上記ベルト以外は系統で占める割合が比較的少なく全系統にばらついていることを意味している。

保守の立場からみるとベルトのように特定の系統に集中するものは予防保全の容易な系統であると言えよう。逆に全系統にばらついている系統は監視が難しく、予防保全の困難な系統といえる。

55年度も減少したとは言え、計器原因の第1位は変らなかつた。いままで通り計器原因を詳細に分析してみると

検出機構	2
変換機構	5
調節機構	3

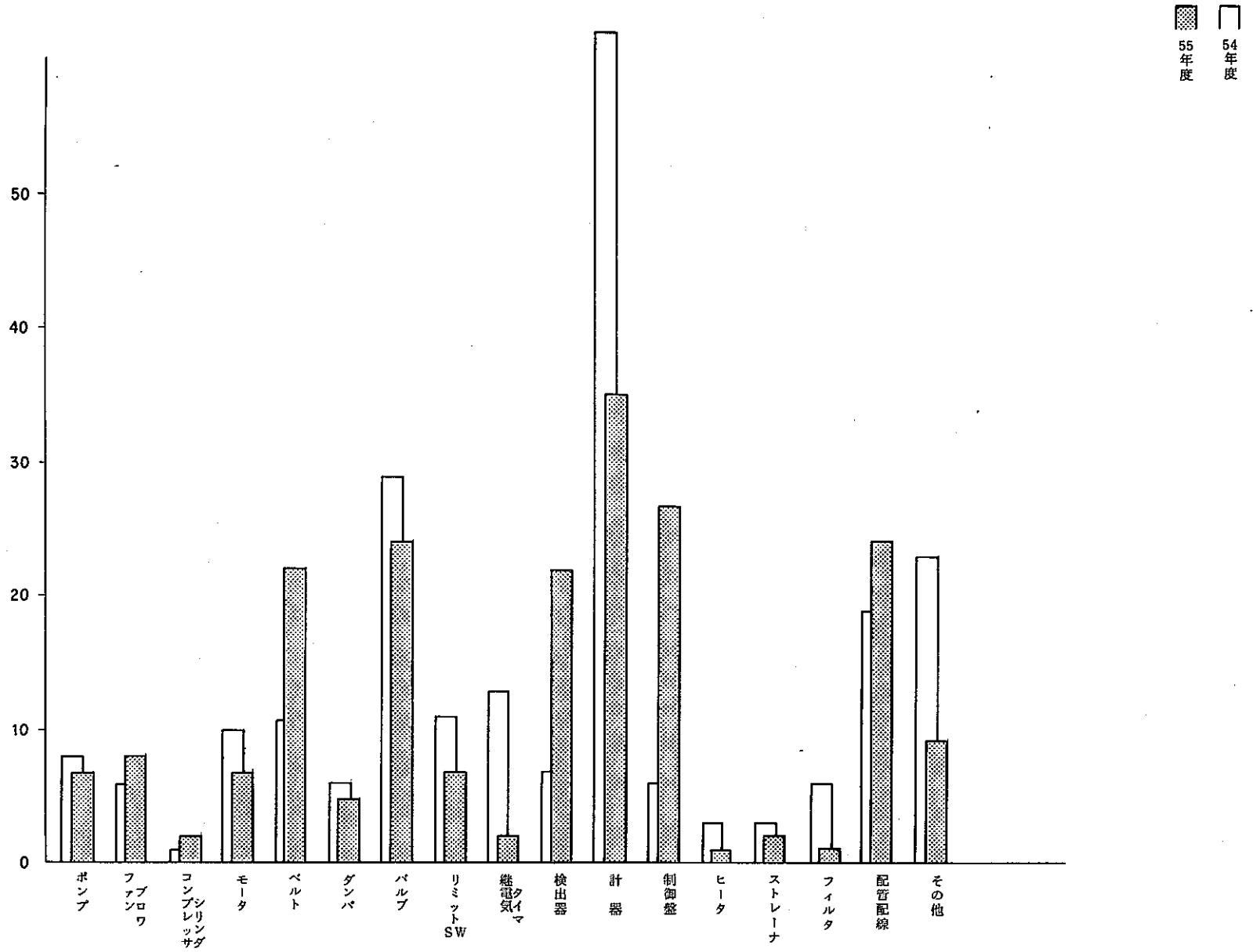
積算機構	0
指示警報	2
記録計	20
チャット送り不良	8
打点機構不良	5
指示不良	3
インクつまり	0
警報設定不良	1
その他	3
スイッチ類	1
現場指示計	1
ケーブル	1
合計	35

添付のBWR, PWRにおける安全に関するイベントの調査レポートによると、機器の故障では、バルブ、配管、ポンプが全体の40%を占めると報告されている。我々のレポートは機器も計測器も一緒にしているので、米国の例と必ずしも比較できないが「常陽」でもバルブ、配管は上位を占めている。配管は配管配線として計上されているが、この54%は配管である。

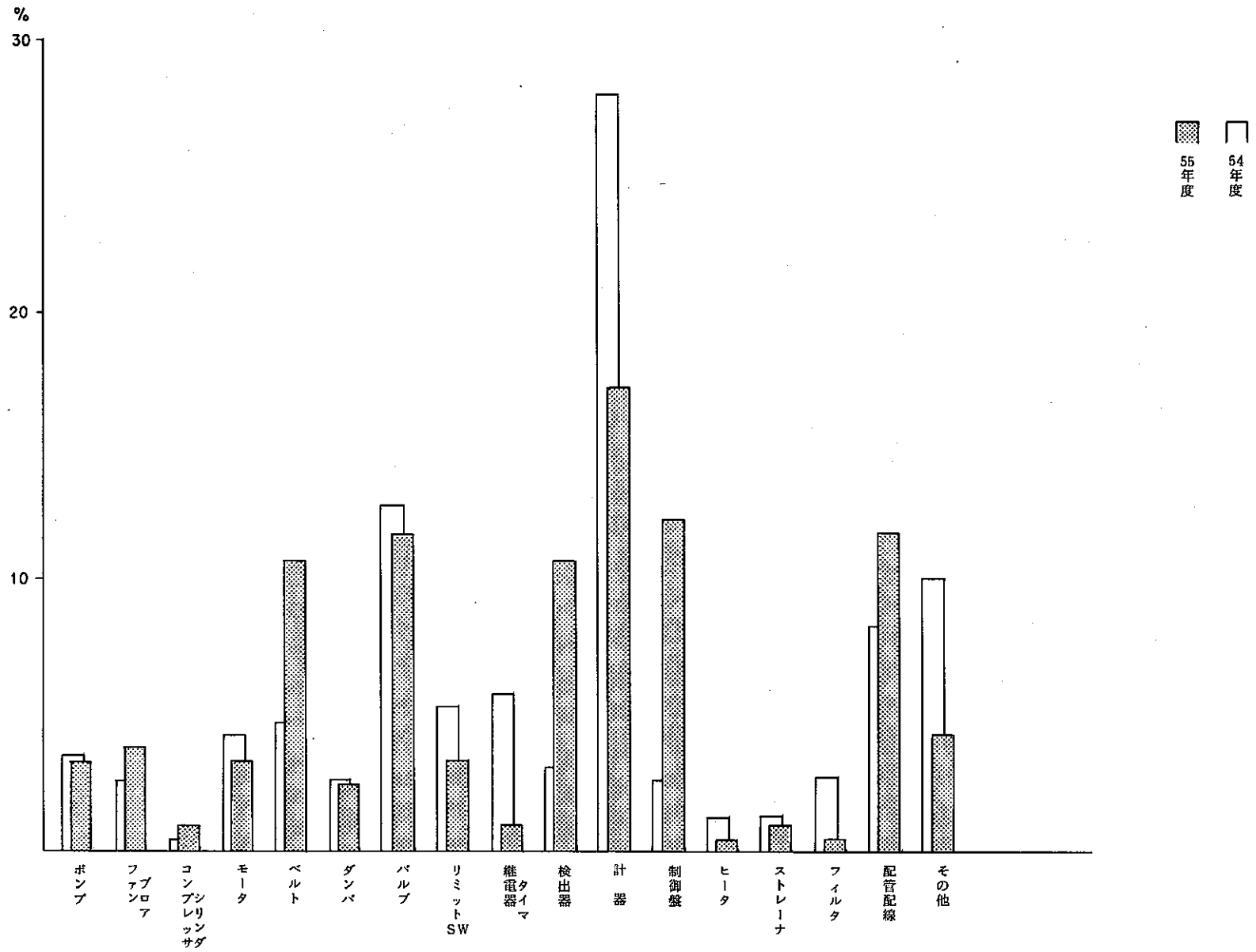
米国における報告では計測器のうちスイッチが最も多い報告の対象となっているが、「常陽」で最も多いのは計器であり、その中でもレコーダであることが明らかになっている。

原因別分類方法で難しいのは見方によって原因が変わることである。圧力計は計器であるが、圧力計取付部コネクタでの空気漏れは配管の範疇に入る。また廃ガス圧力記録計は圧縮空気によって信号を送っている。この記録計を正常でない方法で取りはずしたために修理依頼が出ているが、原因別分類表では人為性は問われず計器として登録されるのである。

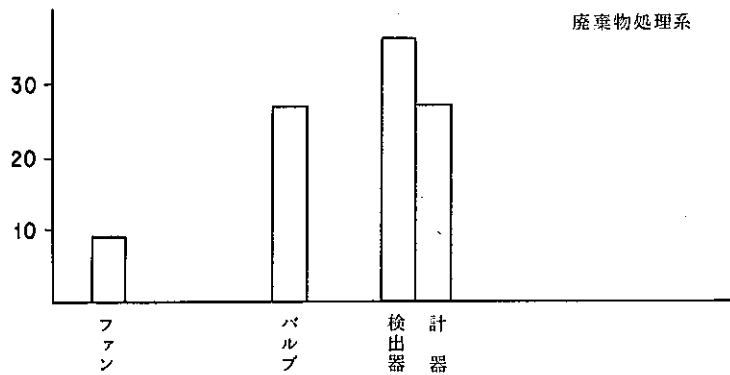
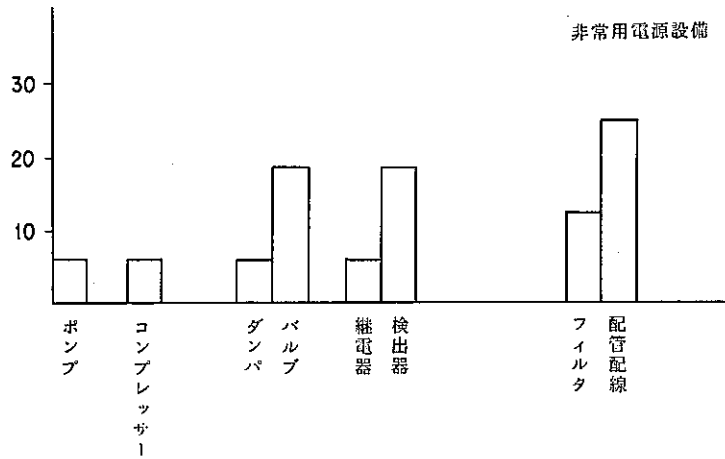
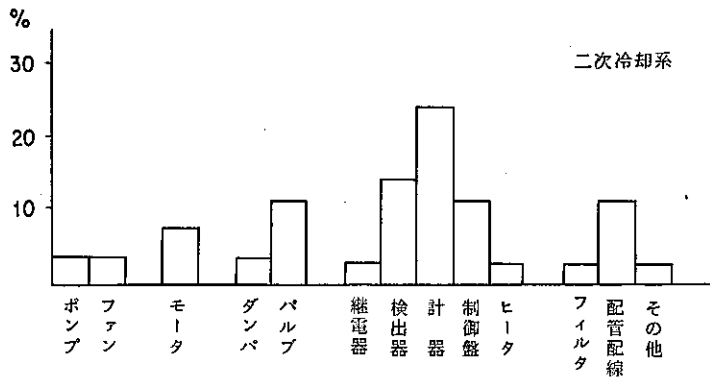
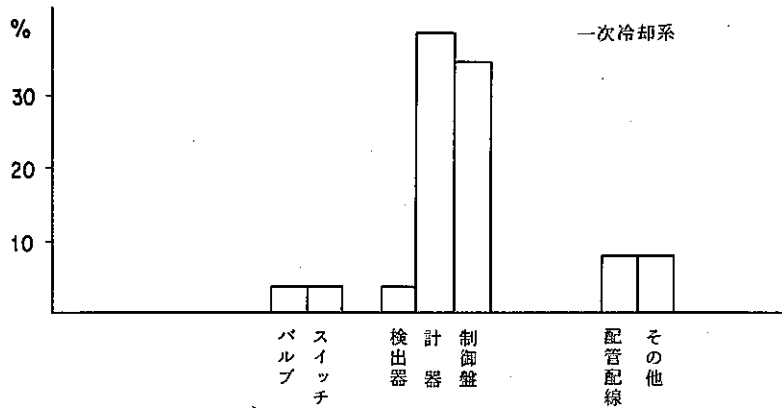
警報回路、制御回路、などは制御盤に入れられているが、記録計に内蔵された警報回路、アンプ等は計器に入れられている。流量計の検出部に水あかが付着したり、レベル計のフロートが破損した場合、これは検出器の中に入れられている。



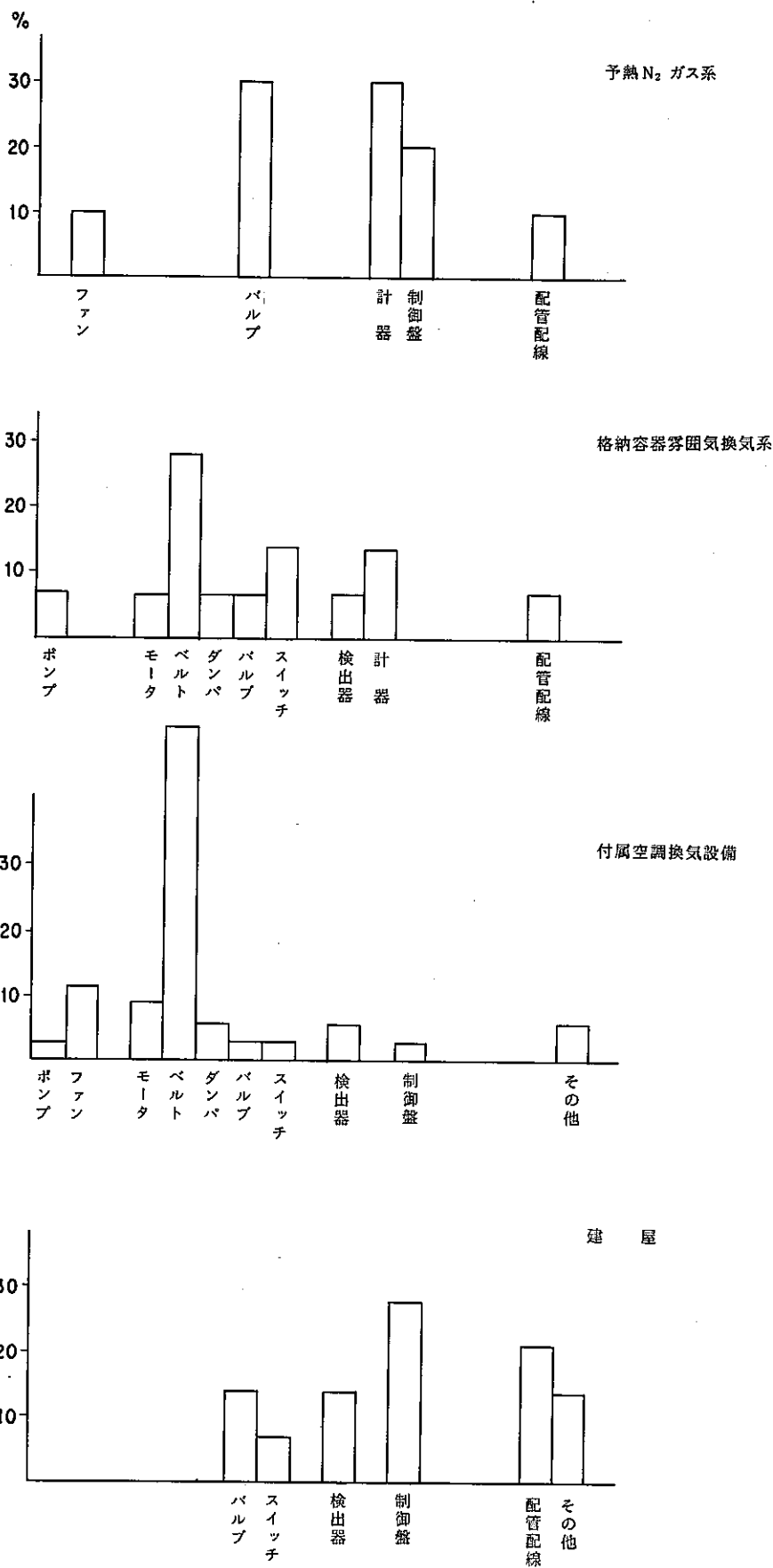
第5図 原因別補修件数



第6図 原因別補修割合



第7図 系統別原因別補修割合(1/2)



系統別原因別補修割合 (2/2)

4. 補修件数のクラスタリング

「常陽」の補修は、いままでの分析により、その特徴が明らかになってきた。しかしこの分析はあくまでも補修の系統別、原因別の分類である。この補修を別の角度からながめることによって補修の特性を明確にすることが可能となる。そこで全補修件数を人為性、動き度、補修期間の3つの尺度で編成し直してみた。

第8図は補修件数を人為性、動き度、補修期間の3次元で表示したものである。人為性の軸は5等分して、上に行くほど人の介在度の高い補修原因を表わしている。すなわち、設計ミス、操作ミスにより補修に到ったことを表わしている。この軸の下方は汚れ、消耗寿命など人の介在度の低い補修を表わしている。

動き度の軸は6等分し、左上に行くほどポンプモータなどの高速回転機器の補修を表わし、右下の方向は動きの少ないフィルタ、ストレーナ等を示している。

補修期間の軸も同じく6等分し、左下方向へ行くほど補修に長期間を要することを意味し、右上方向はその日数の短いことを示している。

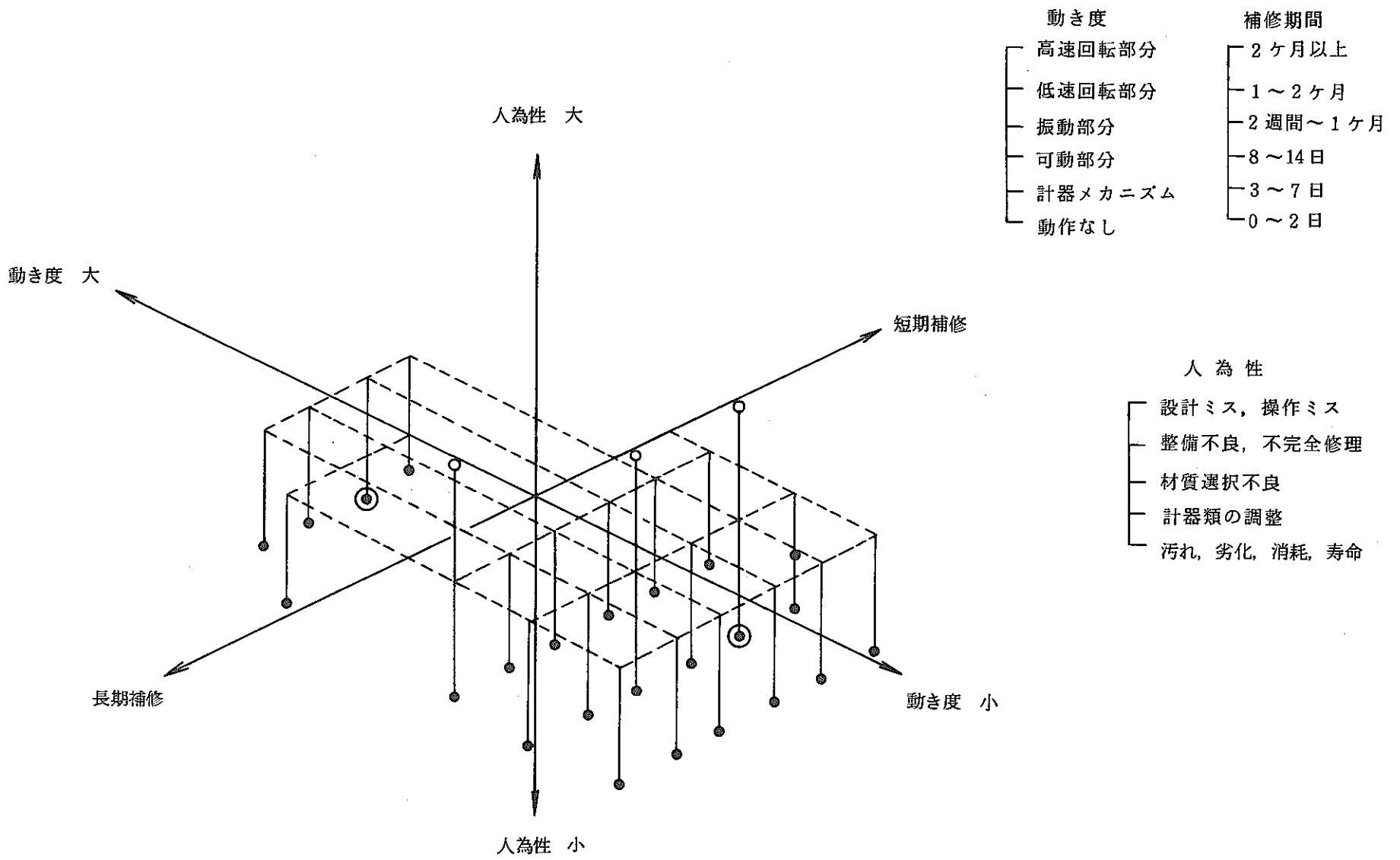
この様な分類で55年度の補修件数をふりわけてみると第8図のごとき分布が得られた。3点以上集まった点を・印または○印とし、10以上は○で囲んである。

この表に使用された件数は、補修依頼に対する原子炉第2課からの回答のうち原因が明らかで補修完了日が記載されているもののみとした。

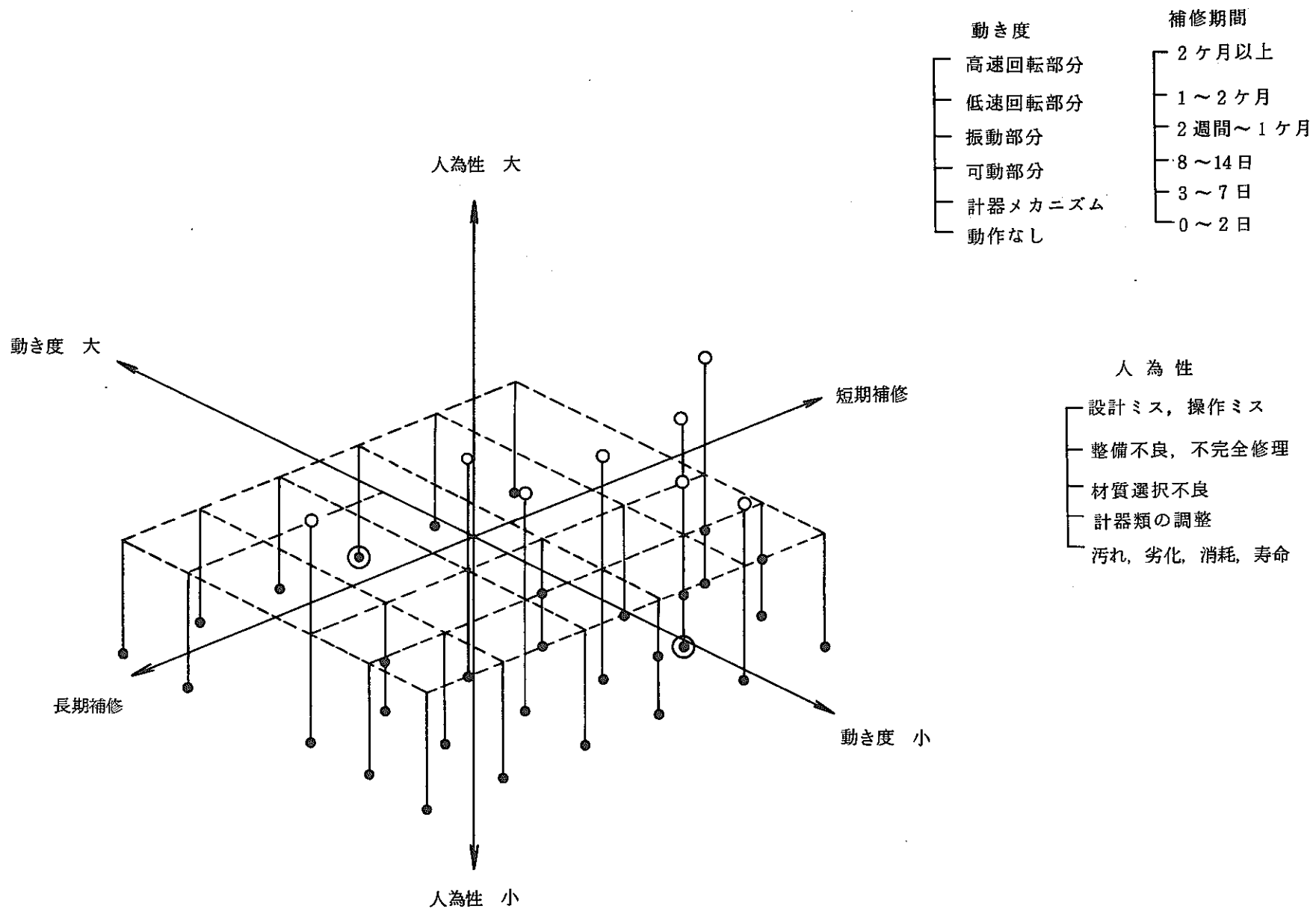
55年度も54年度と同じく、動き度の少ない機器でしかも人為性の少ない補修がその大半を占めていることが明らかとなった。また高回転機器にも人為性の少ない補修が一部みられるのも54年度と同様である。55年度の特徴としては人為性の高い補修がわずかながら増加していることである。可動部分の補修の中に、2次ナトリウムサンプリング弁を強く閉めすぎた件、1次アルゴンガスクイックコネクタの変形の件等は人為性の高い補修であり、計器メカニズムでは、セルシン電源を切る前に制御棒駆動機構のコネクタを取りはずしたため、セルシン位置がずれてしまった件、DGの燃料こし器前の圧力計不良と思ったのは、圧力計の元弁が閉っていたこと、廃ガス圧力記録計巻取り不良と思ったものは、巻取ボビン取付が上下逆であったためであり、これらが人為性の高い補修となっている。

修理依頼票の意味は、口頭による修理依頼をさげ、文書化することにより、修理の徹底を計ることと、各運転直への情報の徹底が目的であり、修理依頼票の発行をすすめているが、修理依頼票を提出する前に運転側として十分調査することにより、上に述べた圧力計元弁の例や、記録計巻取ボビンの例などは、運転員によって解決できたものと思われる。この人為性の高い補修が、運転側の調査不足によって増大するのは好ましくない。

現在第8図の点は各ポイントで、3件以上であることを意味している。従って3件に満たない点がどの位置に分布しているのか、またどの程度であるのかを知ることは将来の傾向を示すことにもなるので、第9図に2件以上のポイントを捨ててみた。これをみると動き度の小さい部分に、人為性の高い補修が現れているのが注目に値する。この第9図は第8図のバックグラウンドになっていると考えるのも良いであろう。



第8図 補修報告結果のクラスタリング (I)



第9図 補修報告結果のクラスタリング(Ⅱ)

5. 各系統設備の補修傾向

ここで55年度の補修内容を各系統ごとにサーベイしてみる。

1) 1次冷却系

1次系の補修は、計器と制御盤に集中している。計器の70%が記録計によるもので、30%が指示計である。

制御盤に関する補修は、セルビウス制御回路関係、警報回路等である。配管の補修があったが、これは1次アルゴンガスサンプリング用クイックコネクタが操作中に変形してしまった件、1次アルゴンガス呼吸ヘッダ安全弁動作用N₂ポンプからのN₂供給ラインフレキシブルチューブ継手に漏れがあった件等である。1次Naサンプリンググローブボックス用手袋を操作中にひっかけてしまった件がある。これも人為性の高い補修の範疇に入る。

その他1次系は潤滑油ポンプリリーフ弁から異音が発生していた件があったが、これは弁のシート面に傷があり、あたり面が確保されていなかったためである。なお炉容器レベル計の指示が低めであるという件は、レベル計が-35cmまでしかなく。しかも-35cmが補助系起動条件であるため、-35cmで補助系が作動する様に、指示値を低めに原子炉第2課で設定したためであった。

1次オーバフロ系の流量が不安定である原因は、制御回路にポンプ過電圧印加防止のための流量リミッタが設けられているが、この設定が75MWのNa温度上昇を考慮していなかったためである。

54年度より補修報告件数が増加した点と制御盤の補修が増加した点が注目される。

2) 2次冷却系

2次系も計器の補修原因は多いが、1次系ほど際立って多いわけではなく、全体に分散している。

2次主ポンプカップリングからの異音は、カップリング部のグリッドメンバに傷があったため、交換することによって問題は解決した。プラグイン計の出口ダンパ温度制御不良の件は、ダンパの軸にかじりが見られたので、表面を仕上げている。2次補助系電磁ポンプIVRモータの不調原因はIVRモータ停止用ストップのボルトが破損し、IVRが遅相側に移動していたためである。

補修原因が検出器にあるものは、ヒータの熱電対、油タンク液面計、アキュムレータ圧力計等である。

原因が計器にあるものは、2次系ダンパ指示計、ダンプタンク液面計、プラグイン記録計、主ポンプ振動記録計、送風機軸受温度記録計、コールドトラップ温度記録計、などの記録計がほとんどである。

原因が配管にあるものとして、アルゴン呼吸ヘッダからの排気ラインは空調排気ダクトに接続されているが、この接続部のパテの劣化から、排気のアルゴンが漏れ出しているという件があった。フランジからの油もれ、ヒータ端子のゆるみなどは配管、配線に関係した補修である。

その他予熱ヒータ投入状態なのに温度低の警報が出ているので現場を調査したところ、バルブまわりの保温がはずれたままになっていたので至急保温材を入れ、表面を板金処理している。

原因別補修の分布は54年度と同様な傾向を示している。

3) 出力制御設備

この設備は、核計装設備と制御棒駆動機構から成っている。

核計装には、ペリオド記録計ペン先つまりに針金を入れて修理していたところ放電したという補修依頼があった。これはチャートスピード切替スイッチがショートしたためであった。制御棒駆動機構の補修は、リミットスイッチ、励磁機構、位置指示計であった。

位置指示計の指示不良の一つは、制御棒駆動電源用プラグ取りはずし前にセルシン電源を切らなかったため、指示がずれたものである。

4) 原子炉保護系

2次主冷却系流量100%一定運転中に、流量低の警報が出たものでプリント基板を交換した。

5) 燃料破損検出系

コンプレッサシール部はダブルオーリングでシールされており、その健全性を監視するため2本のオーリングの間は加圧されている。この圧力は減圧弁にて減圧されて約 1.0 kg/cm^2 であるが、元圧が変動し高くなると、この圧力も増加し、その分Arガスが流れて警報が発生しそのたびにコンプレッサがトリップしていた。この件でコンプレッサトリップしない様に補修依頼が出ていたが、シールガスが流れたとしても、放射性ガスが外部に放出されることはないと判断し、この警報によるコンプレッサトリップのシーケンスをはずす改造を行った。

その他の補修原因として、レベルスイッチ、ランプスイッチ、ケーブル等があった。

6) 電源設備

54年はリレー、コンタクタの補修があったが、55年はこれらの補修はなくなった。

3AP/Cの地路があったが、原因はモニタリング建屋内ケーブル、補機薬注ポンプケーブル、放射線管理の水モニタ内部地路であった。本来これらは原因となった系統設備の方に分類されるべきであったが、警報はパワーセンタで発生したこと、原因が複数で長期間不明であったことなどにより、一括して電源側に入れた。

この他ケーブルに原因があったものは、一般照明用電源のNFBフイード端子のゆるみがあった。

7) 非常用電源設備

54年度は計器の補修が多かったが、55年度は全体に補修が分散し、特に計器の補修は皆無であった。

潤滑油系統の補修が多い。ストレーナの目づまり、圧力調整弁の調整不良、ポンプ運転インタバルタイマ不良等があった。冷却水系統では、水槽水位計フロートの割れ、水槽の腐食、冷却水圧力計検出配管へのスケール付着、水槽水位計のリンク機構調整等である。

8) 廃棄物処理設備

格納容器内での1次系ナトリウムサンプリングコイル冷却には、アルゴンガスを使用している。この使用量は多量であって、約60m³ほど冷却に使用している。この冷却アルゴンガスの排気は、建設当時に窒素廃ガス系に接続されている。窒素廃ガス系は本来予熱N₂ガス系および安全容器呼吸系の排気のみで、温度による熱膨張分が排気されるものとしても、たかだか6m³/h程度と考えられていた。流量が少いことから、排気は軸シールからの排ガスの漏洩を避けて真空ポンプを採用している。この系統に上記冷却アルゴンガスを放出するので、すぐに真空ポンプのオイルが減少してしまう。N₂廃ガスブロワ潤滑油切れという修理依頼が出ているがこの件は運転方法を改めることによって解決をみた。すなわち、1次Naサンプリングコイル冷却の際、窒素廃ガス系をアルゴン廃ガス系に切替えて運転することとした。さらに原子炉第2課では、この窒素廃ガスブロワを油回転式真空ポンプから、無給油式ブロワに57年4月までに交換する予定である。

バルブの補修では、電磁弁の不良が2件発見されている。いずれも電磁弁内部に錆が発生し、このため弁棒が固着したり、錆がコアラバーに付着し動作不良を起していたことが判明した。

床ドレンピットの水位はレベルスイッチにより制御され、レベルが上ると排水ポンプが自動起動し、汲上げていた。しかしこのレベルスイッチの不良により、水位が設定位置に来ても排水ポ

ンプが自動起動しないという事態が発生した。調査してみるとドレンされた水が脱塩水であって、このレベルスイッチは2端子間を水の導電性によって短路する原理の電極式であるため、導電率の低い脱塩水では作動しなかったことが判明した。既設レベルスイッチは4 K Ω 以下で作動するが、使用した脱塩水伝導度は6.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であるので、この件はレベルスイッチを高い固有抵抗をもった液体まで使用出来るレベルスイッチに交換することによって解決した。新レベルスイッチは70 K Ω 以下で作動する。

9) 予熱N₂ ガス系

制御盤に関する補修が2件あった。現場盤から中央制御室への警報回路は、警報フリッカリレー接点不良が原因であった。その他加熱器ヒータ端子の締付け不良、記録計の不良等である。

軸封ブロワAトリップの件は、ケーシングとインペラ間にゴミが混入したためのサーマルリレー作動が原因であり、表面を仕上げで修復した。

予熱N₂ ブロワ起動時の軸封ブロワ圧力計に関する補修が2件出ている。これは予熱N₂ ブロワ起動時、軸封ブロワ回路にも大きな圧力変動が生じる。そのためのバルブの調整が微妙であり、結果的に圧力計の指示が正常でなくなるためである。

10) Ar, N₂ ガス供給系

54年度から補修は激減している。しかしバルブに補修原因がある点は55年度も同じである。

11) 圧縮空気供給系

54年度はバルブに補修が集中していたが、55年度はバルブだけでなく配管、制御盤にも補修があった。配管については主に空気漏れで、56年10月12日より圧空系配管からの空気漏れを全般的に補修するとともに、主要系統に止弁を取り付け、系統別の補修を容易にした。

空気圧縮機が吐出空気温度高でトリップした件があった。冷却水制水弁の温度設定を調整し温度を下げた。「常陽」には第10図のように圧縮機が3台ある。当時C号機が運転、トリップしたB号機は予備機であった。運転中の圧縮機は通常無負荷で運転されていて、圧力が7.1 kg/cm²より6.4 kg/cm²の間でローディングする。また予備機は通常停止状態で圧力が6.2 kg/cm²以下で起動、7.3 kg/cm²になると停止する。予備機の頻ばんな起動、停止をさける目的で予備機は運転側の圧縮機より停止圧力は高く設定されている。しかしこの時は圧縮空気の消費量が多いことと、C号機の空気貯槽(TK75-5)は、A、B号機空気貯槽(TK75-3)を經由して消費される弁構成となっていて、空気貯槽間に圧力差が生じ、運転側のC号機はすぐ停

止するのに、予備のB号機は連続運転となっていたことも補修の場で明らかになった。圧縮機A, B, Cが同一圧力の下で起動, 停止する様圧力信号ラインを接続する改造によってこの件は解決した。

やはり上記と同様に圧縮機温度高によるトリップの件は、温度検出部保護管には付着物があったのが原因であった。

12) 補機冷却水設備

ポンプ, バルブ, 計器に補修が集中している点は55年度も54年度と同じである。この他55年度は検出器の補修原因も新たに増えた様である。

ポンプの原因は軸受部のオイルシール不良, ポンプ吸込口に昆虫等が入っていた件, グランド部の水穴がスケールでつまりパッキンが焼けた件である。

水の汚れに関する異常が多くみられる。補給水ポンプ逆止弁に, 錆, 水あかが固着した件, 流量計フロートにスケールが付着し指示が変化しなくなった件, ディーゼル系水槽への補給水調整弁にスケールが付着し, 作動不良でレベル低が出た件などである。これは他系統でも例外ではなく, 冷却水関係の検出器不良の原因が水あかであるという報告が多くみられる。しかし冷却塔の大気開放型と, 冷却水使用後に水槽へ落とし, 使用前に冷却塔で冷却する方法では, 水質管理を厳重にしても, この程度の補修はなくなるとする意見もある。水が原子炉の冷却材である軽水炉と比較すると大変見劣りがするのも仕方がないのであろうか。

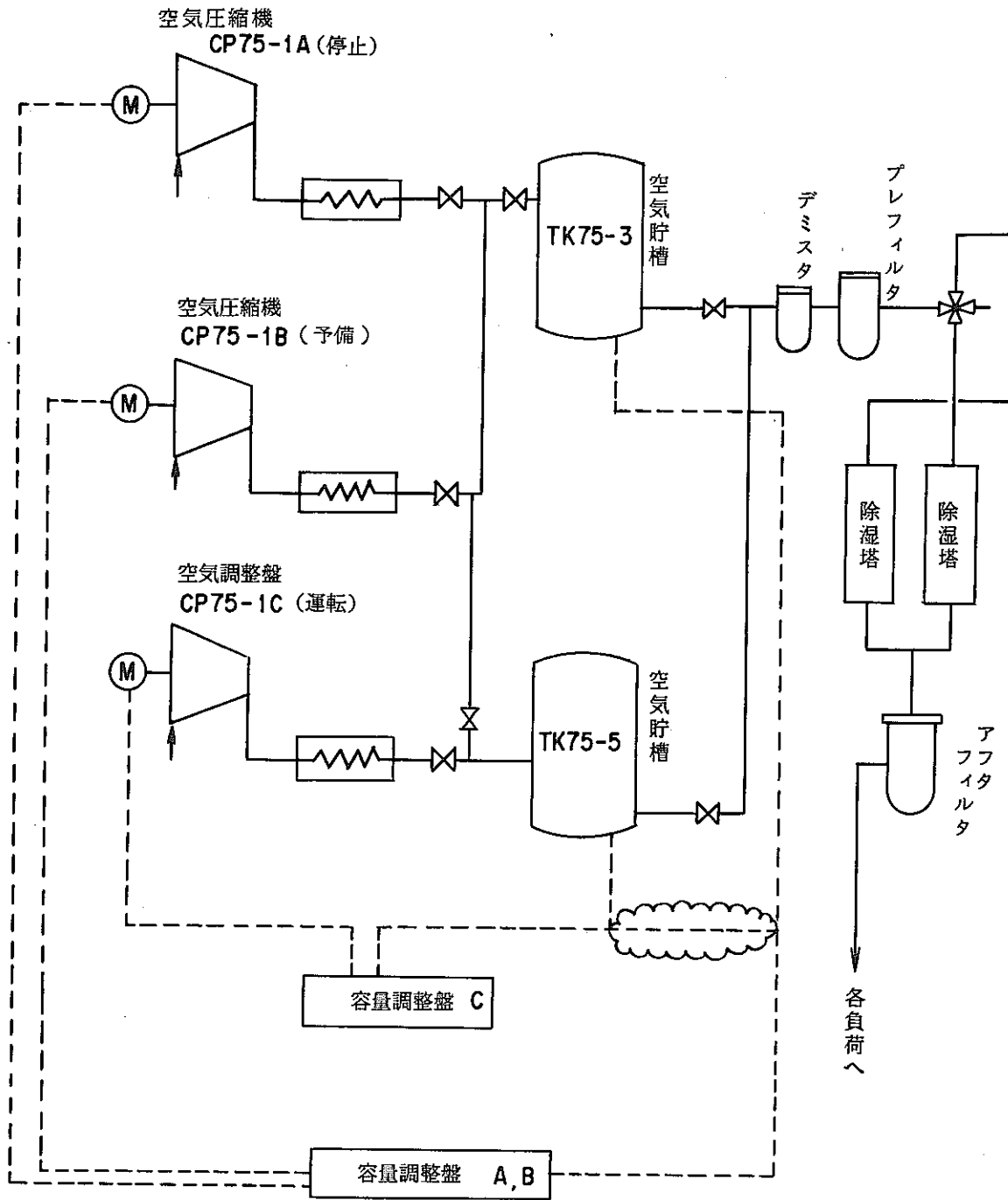
空調系冷却塔ブロワモータが焼損した件がある。空調系はフロン冷凍機の冷却を行っていて, 冷却水温度が低すぎると過冷却, 高すぎると圧力高によるトリップと温度範囲が比較的狭いため, 冷却塔ブロワの自動起動回数が多く, 夏などは20分に1回起動, 停止を繰り返すため, ブロワがモータ焼損に到ったものである。この起動, 停止回数を緩和しないと, 再びモータ損傷が起る可能性がある。冷却塔ファン吸込口を塞いでブロワ起動時の冷却能力を下げるのも方法であろう。


13) 格納容器雰囲気調整系

54年度と比較し, 55年度はバルブの補修が減り, ベルトの補修が増加, また計器の補修が激減している。

ベルトは床下N₂再循環ファンと機器冷却ファンのベルトである。

フロン冷凍機の圧力スイッチの不良が2件あった。少なくなったが計器の補修は回転プラグブースタブロワ出口圧力計の不良とシャコンブロワ振動記録計作動不良である。




 の部分の圧力信号ラインを接続し、同一圧力が容量調整盤に入力されるように改造した。

第10図 圧縮空気供給系系統図

14) 付属建屋空調換気系

54年度と55年度の補修原因は、だいたい同じと言える。この系統の特徴は54年度と同じく55年度もベルトに補修が多いことである。

55年度はベルトが補修原因とされる件数の80%強が、付属空調換気設備である。これだけ大きな特徴をもっていると、予防保全上は非常に簡単になる。ベルトの点検を重視すれば確実にこの分だけ補修依頼件数が減るわけである。数年前は予防保全が脚光をあびていたが、近年全ての設備に関して予防保全を適用する考えは見直されている。設備の重要性として安全上または稼働率の上から重要な設備については、いぜんとして予防保全の考え方が適用されるが、その他の系統については、故障した後修理する方が、設備は限界まで十分に使用でき、費用の面で節約効果があるとする意見もある。これを故障保全と呼ぶなら、付属空調のベルトはこの故障保全に入れられるべきかもしれない。そして格納容器雰囲気調整系のベルトは、当該系統の30%を占めているので、予防保全を適用すべきであろう。

燃料洗浄室非常用排気ファンの軸受が焼損した件があった。非常用排気ポンプは自動位置にある場合、洗浄室の室圧低で自動起動するが、ポンプの前後弁は閉のままであるため、負圧運転となり長時間運転していると軸受が焼けてしまう。従ってこのポンプの自動位置は意味がなく、手動に選択されるべきである。この前後弁は、選択スイッチを異常側に選択しないと開としないので、ポンプと弁のインタロックをとるべきであろう。

この他空調器の冷媒不足、外気取入ダクトのフィルタ部からの雨もれ、ダンパレバー止め金具のすべり、ダンパポジションナの発錆による動作不良、ダンパ操作棒軸固定ネジゆるみ等があった。

15) 炉心上部機構

ケーブリングラックのコネクタ部と中央制御室の記録計が主な原因であることは、54年度と55年度も同様である。ケーブリングラックのプラグ接触不良があったが、調査した結果プラグ部の補償導線が断線していた。ケーブリングラックの燃料集合体温度プラグと制御棒駆動機構のキャノンプラグは、運転が終了し燃料交換が開始される前に運転員によって取りはずされ、運転開始前に接続される。狭い回転プラグ上で、多量のケーブルの継ぎ込み操作を行うと、ケーブルの重量によりプラグのケーブル取付部に大きな荷重がかかるため断線しやすくなるものと思われる。

16) 建屋

建屋は他の系統と補修内容が異っている点も特色ある系統である。

建屋の暖房用蒸気系統は建屋の補修に入れてある。この他火災報知器，扉のとめ金具，鍵，自動扉，エレベータ等の補修があった。

17) その他

系統を新しく追加するほどでもないものはここに入れた。計算機MGセット，放射線管理設備のモニタ記録計，安全容器の指示計不良などであった。放射線管理設備は，放射線管理課で運転管理を行っている関係から，中央制御室の原子炉第1課運転員は必ずしもこの設備に精通していないため，補修件数についても他系統との比較は難しいであろう。

6. あとがき

55年度においても54年度と同様に、ほとんど全ての修理依頼票に対して丁寧な修理報告書を作成された原子炉第2課員各位に、心から感謝の意を表する次第である。

55年度の補修は247件で54年度、53年度と比較すると減少している。この中で2次冷却系の補修依頼件数が、全体の17%、付属空調換気系が16%で上位を占めている。

いままでの補修原因は計器とバルブが主体であったが、55年度は計器の割合が減少するとともに、計器、バルブ、検出器、制御盤、配管配線、ベルトの項目が同程度の割合で並んでおり、補修原因の上では原因の分散がみられた。

55年度も補修特性をみると人為性の少ない、動き度の小さい補修が大勢を占めており、補修期間については短期から長期にわたって一様に分布している。なかでも3日から2週間の補修が最も多く見られた。

7. 参考資料

- 1) 76年計装制御技術会議テキスト 日本能率協会
- 2) SN 941 78-05 総合機能試験期間の部分使用機器の補修状況
- 3) SN 942 79-01 Incident Recorded during JOYO Operation
- 4) SN 941 79-189 高速実験炉「常陽」運転試験報告書 53年度補修依頼状況
- 5) SN 942 80-08 高速実験炉「常陽」運転試験報告書 54年度補修依頼状況

8. 添付資料

1978年に報告された原子力発電所に於ける安全に関するイベントの調査 (妙訳)
(Nuclear Safety, Vol. 21, P. 100, 1980)

BY R. L. Scott and R. B. Gallaher

訳者(堀米利元, 青木裕)

要 旨

この記事は、1978年に原子力規制委員会(Nuclear Regulatory Commission:NRC)に提出された軽水型原子力発電所の安全に関するイベント報告を再調査したものである。

この再調査では、BWR施設からの報告1239件及びPWR施設からの報告2084件をカバーしている。これらのイベントを計器故障、部品故障、系統故障、原因、欠陥及び発生時期(建設、燃交、試験及び運転)別に表にした。この表によってイベントの回数、内容を把握し、保守及び試験に反映させ、プラントの信頼性と安全性の改善に役立ててもらいたい。

この再調査はオークリッジ国立研究所にある原子力安全情報センター(Nuclear Safety Information Center:NSIC)のコンピュータファイルから得られた情報に基づいている。このファイルには、原子力発電所設置者からNRCに提出された報告の要約100ワードが含まれている。

NRCに報告しなければならない運転情報の内容は、1975年8月の技術仕様書改訂版4の付録A、運転情報に関する報告書のレギュラトリーガイド1.16に詳細に述べられている。

すでに建設を許可された施設に設計又は建設上の欠陥があった場合、これらの報告義務は表題10連邦政府規定のパート50、セクション55、パラグラフCに規定されている。

NSICは、原子力発電所で発生した安全に関するイベントの情報を保管するのに10年以上も前からこのコンピュータファイルの一部を利用している。

そして、各年の情報は文献目録を公表して償っている。この最初の文献目録には1967年と1968年に起ったイベントの報告の要約(BWR関係52件、PWR関係65件)が含まれている。そしてこれは1年1回の刊行物によって見直されている。これらの各報告は1977年までの分も含めてニュークリアセフティ(Ref. 14)の中に要約されている。

1978年に報告されたイベントは、1977、1976及び1975年と同じように2つの文献目録に収録された。1つはBWRプラントで、1つはPWRプラントである。

NSICは文献目録作成の段階で3000以上の要約文を調査し、部品故障、系統故障、事故原因、その他に分類し表にした。したがってこの表は保守又は試験の段階で十分注意しなければならない部品故障率及び品目を示している。

この資料では、得られた情報を最初にBWRプラント、次にPWRプラントの2つの部分に分けて記述している。

BWRに関するイベントデータの概要

1978年中に、BWRの安全に関するイベントの報告は1239件あった。

Table 1は、報告数を系統毎にまとめたものである。1976及び1977年に於いては、主冷却系と格納容器隔離系の二つの系統に関する報告が多い。格納容器隔離系に関する報告が他系統より多い理由の一つは、この系統が高圧注水系、隔離時炉心冷却系、炉心スプレイ系のような、多くの系統を包含しているためであろう。この系統は、バルブ及び格納容器配管貫通部を隔離するために必要な多くの制御器から構成されている。このため本系統に関する報告の中にはバルブ及び制御器の機能喪失が多く含まれている。

主系統又は重要系統に関する報告が多いということは指摘されなければならないことであり、NRCの報告書でもこれらの経験を十分に生かし、サーベランステストその他の方法で有効に反映させることを要求している。

Table 2は、報告数を機器毎にまとめたものである。この年もこれ以前の年もバルブ、配管及びポンプに関する報告が多い。この3種類の機器だけで報告数の40%を占めている。

Table 3は、この年に提出された計装制御機器に関する故障報告を各品目毎にまとめたものである。同様な表が最初につくられた1971年以来、多くの計装制御機器の中で、常にスイッチが最も多い故障回数を示している。この理由は、安全関係系統には多くのスイッチがある上に、これらは繊細で敏感であるためである。

種々の監視装置及び検出器の故障も相変わらず多い。

Table 4は、安全に関するイベントの報告数を原因別に分類したものである。先天性な欠陥によるものが全報告の50%を占めている。これらの欠陥の原因としては(1)取水口スクリーンへの多くの魚の侵入(2)計装制御機器設定値のドリフト(3)計装品又は機器の誤動作によるトリップが含まれているが、必ずしも全ての原因が明らかになっているわけではない。

報告数の約6%については原因が示されていないが、これらのほとんどについては原因調査が続けられている。

Table 5は、イベントの報告数を発生時期別に分類したものである。546件のイベントが試験期間中に発見(又は発生)されて補修され、運転への影響をほとんど与えていない。また与えたとしてもほんのわずかである。

Table 6は報告数を欠陥別に分類したものである。計器校正及び設定値ドリフトが最も多く、続いて配管及びシール部の漏洩が多い。

手順上のミスも多いが、これには運転員が不十分な手順書に従ったために起ったものも含まれている。

連絡上の欠陥には個人間の理解ミス及び手順書又は技術仕様書の誤解によるものも含まれている。

Table7は、47の原子力発電所を、営業運転中、出力上昇段階及び建設中の順に分類し、アルファベット順に整理して報告数をまとめたものである。

年間を通じて運転可能な発電所は25で、これら全体で1,124件の報告があり、発電所平均にすると45件になる。出力段階の発電所は21で、全体で75件の報告があったが、年間平均にすると4件になる。

Table8と9は、年間を通して営業運転可能な発電所の報告数を一覧表にしたものである。Table8は初期発電からの年数が古い順に表にしたものであり、Table9は設計定格電気出力【MWe】順に表にしたものである。これらの表によって原子力発電所のイベント報告数が、年数及び出力にどのように影響されているかを知ることができる。

表をみただけでは影響ないように見えるが、年数の古い方から12の発電所をとって報告数を合計すると403件で、新しい方から12の発電所をとって合計すると667件になり、新しい方が古い方より60%も多くなっている。出力についても同様に、出力の小さい方から12をとって報告数を合計すると、410件で、大きい方から12をとって合計すると615件になり、大きい方が小さい方より50%も多くなっている。このことから、小さい発電所の方が問題点が少ないということがいえるようである。

Table及びデータは、低出力で古いBWRは、高出力で新しいBWRより問題点が少ないことを示している。この原因は、新しく建設される原子炉は大型であるが、運転員から大型発電所設計者にフィードバックされる運転上の情報には限度があることと、フィードバックされた情報も実際に反映されるのはこれからということ、及び新しくて大きな発電所は古くて小さい発電所よりも複雑になっているためであると考えられる。

最後に、1978年にBWRから出された安全に関するイベントの報告書の再調査によって1239件の報告の内38件が機器誤動作又は機能喪失によって原子炉停止が発生したか、又は原子炉の停止が必要となったものであるということがわかった。

Table 1 BWRの系統に関する報告件数

系 統	全報告数 に対する 割合%	報告数	系 統	全報告数 に対する 割合%	報告数
主冷却系 (Main cooling)	13	158	廃棄物処理系 (Waste disposal)	2	26
格納容器隔離系 (Containment isolation)	10	123	低圧注水系 (Low-pressure coolant injection)	2	25
格納施設 (Containment)	7	88	非常用ガス処理系 (Standby gas treatment)	2	22
電源系統 (Electric power)	7	87	圧縮空気系 (Pneumatic)	2	19
原子炉保護系 (Reactor protection)	7	81	冷却材浄化系 (Coolant purification)	1	17
消火設備 (Fire protection)	6	71	復水冷却系 (Condenser cooling)	1	15
高圧注水系 (High-pressure coolant injection)	6	69	格納容器置換系 (Containment purge)	1	14
非常用電源 (Emergency electric power)	5	64	非常用冷却系 (Emergency cooling)	1	14
隔離時炉心冷却系 (Reactor core isolation cooling)	4	53	後備停止系 (Secondary shutdown)	1	14
工学的安全施設 (Engineered safety features)	4	51	給水系 (Feed water)	<1	12
放射線監視系 (Radiation monitoring)	4	49	格納容器スプレイ (Containment spray)	<1	7
空調換気系 (Ventilation)	3	40	ハイドロリック (Hydraulic)	<1	7
停止時冷却系 (Shutdown cooling)	3	37	補機冷却系 (Component cooling)	<1	5
炉心スプレイ系 (Core spray)	3	34	2次冷却系 (Secondary cooling)	<1	2
補給水系 (Service water)	2	29	炉心再冠水系 (Core reflooding)	<1	1

Table 2 BWRの機器に関する報告数

機 器	全報告数 に対する 割合〔%〕	報告数	機 器	全報告数 に対する 割合〔%〕	報告数
バルブ (Valves)	23	281	コンデンサ (Condensers)	1	14
配管及び接続品 (Pipes and fittings)	10	127	熱交換器 (Heat exchangers)	1	14
ポンプ (Pumps)	7	91	ブロワー (Blowers)	1	13
ケーブル及びコネクタ (Cables and connectors)	5	66	モーター (Motor)	1	13
ディーゼル発電機 (Diesel generators)	5	65	ベアリング (Bearing)	< 1	11
内熱機関 (Internal combustion engines)	4	54	発電機 (Generators)	< 1	11
バルブ駆動機構 (Valve operators)	4	49	フィルター (Filters)	< 1	10
ブレーカ (Breakers)	4	44	フランジ (Flanges)	< 1	8
制御棒駆動機構 (Control-rod drives)	3	37	ホース (Hose)	< 1	8
ソレノイド (Solenoids)	3	31	燃料要素 (Fuel elements)	< 1	7
格納容器真空破壊機構 (Containment vacuum breakers)	2	30	アキュムレータ (Accumulators)	< 1	5
貯蔵容器 (Storage container)	2	29	ヒーター (Heaters)	< 1	5
逆止弁 (Check valves)	2	24	ノズル (Nozzles)	< 1	4
ショックアブソーバ (Shock absorbers)	2	23	SHIPPING 容器 (Shipping containers)	< 1	4
制御棒 (Control rods)	2	22	空気乾燥器 (Air driers)	< 1	2
圧力容器 (Pressure vessels)	1	17	クレーン (Crane)	< 1	1
バッテリー及び充電器 (Batteries and chargers)	1	16	リコンビナター (Recombiners)	< 1	1

Table 3 BWRの計測器に関する報告件数

計装制御機器	全報告数 に対する 割合%	報告数	計装制御機器	全報告数 に対する 割合%	報告数
スイッチ (Switch)	22	269	警報器 (Alarm)	2	19
圧力検出器 (Pressure sensors)	8	99	中間領域計装品 (Intermediate-range instrument)	1	13
放射線モニタ (Radiation monitors)	7	80	スタックモニタ (Stack monitor)	<1	11
液位検出器 (Level sensors)	5	58	レコーダ (Recorders)	<1	8
流量検出器 (Flow sensors)	3	35	通報器 (Annunciators)	<1	7
継電器 (Relays)	3	35	増幅器 (Amplifier)	<1	7
位置制御装置 (Position instrument)	2	27	炉内計装器 (In-core instrument)	<1	6
温度検出器 (Temperature sensors)	2	26	起動領域計装品 (Startup-range instrument)	<1	3
電子制御部品 (Electronic function units)	2	21	サーモカップル (Thermocouple)	<1	3
出力領域計装品 (Power-range instrument)	2	20			

Table 4 BWRの安全に係わるイベントの原因に関する報告件数

原因	全報告数 に対する 割合%	報告数	原因	全報告数 に対する 割合%	報告数
先天的な欠陥 (Inherent failure)	50	622	誤据付 (Installation error)	5	62
誤操作 (Operator error)	10	121	誤製作 (Fabrication error)	3	42
誤設計 (Design error)	9	106	天候 (Weather)	1	17
誤保守 (Maintenance error)	8	101	落雷 (Lightning)	<1	8
誤管理 (Administrative error)	8	93			

Table 5 BWRの非定常イベント発生時期に関する報告件数

発生時期	全報告数に対する割合(%)	報告数
運転中 (Operation)	42	525
試験中 (Testing)	44	546
燃料交換中 (Refueling)	9	117
建設中 (Construction)	4	51

Table 6 BWRの欠陥に関する報告件数

欠陥	全報告数に対する割合(%)	報告数	欠陥	全報告数に対する割合(%)	報告数
計器校正 (Instrument calibration)	13	158	連絡 (Communication)	2	23
設定値ドリフト (Set-point drift)	13	158	摩耗 (wear)	2	22
漏洩 (Leak)	8	97	寿命 (Age effect)	1	18
手続 (Procedures)	7	82	腐食 (Corrosion)	1	17
クラッド (Crud)	4	47	浸食 (Erosion)	<1	12
溶接 (welds)	3	38	空気放出 (Airborne release)	<1	6
クラック (Crack)	2	25	火災 (Fire)	<1	2
潤滑 (Lubrication)	2	24			

Table 7 Number of Reports Involving the
Listed BWR Units

Plant	Percent of total number of reports	Number of reports	plant age, years	Design electrical rating net MW(e)
Ln Commercial Operation All Year				
Arnold	4	50	4.6	538
Big Rock Point	4	50	16.1	72
Browns Ferry 1	3	38	5.2	1065
Browns Ferry 2	2	20	4.3	1065
Browns Ferry 3	3	35	2.3	1065
Brunswick 1	8	99	2.1	821
Brunswick 2	7	83	3.7	821
Cooper	3	40	4.6	778
Dresden 1	2	28	18.7	200
Dresden 2	4	55	8.7	809
Dresden 3	4	50	7.4	809
Fitzpatrick	8	93	3.9	821
Hatch 1	8	99	4.1	786
Humboldt Bay	<1	3	15.7	63
LaCrosse	1	15	10.7	50
Millstone 1	3	33	8.1	650
Monticello	3	31	7.8	545
Nine Mile Point 1	3	41	9.2	610
Oyster Creek	3	31	9.3	650
Peach Bottom 2	4	48	4.9	1065
Peach Bottom 3	2	28	4.3	1065
Pjlggrjm 1	4	54	6.5	655
Quad Cities 1	2	30	6.7	789
Quad Cities 2	3	36	6.6	789
Vermont Yankee	3	34	6.3	514

Table 7 (続き)

Harch 2	In Power Ascension Part of Year	
	6	7 6
Under Conscrucrion All Year		
Fermi 2	< 1	1
Grand Gulf 1	< 1	5
Grand Gulf 2	< 1	5
Hartsville 1	< 1	2
Hartsville 2	< 1	2
Hartsville 3	< 1	2
Hartsville 4	< 1	2
Hope Creek 1	< 1	1
Hope Creek 2	< 1	1
Limerck 1	< 1	5
Limerck 2	< 1	5
Nine Mile Point 2	< 1	6
Perry 1	< 1	2
Perry 2	< 1	2
Phipps Bend 1	< 1	1
Phipps Bend 2	< 1	1
Shoreham	< 1	11
Susquehanna 1	< 1	10
Susquehaana 2	< 1	8
Wppss 2	< 1	1
Zimmer 1	< 1	2

Table 8 商業運転中の BWR に関する報告数

Table 9 商業運転中の BWR に関する報告数

プラント名	年令	報告数の割合	報告数	プラント名	設計定格電気出力 MW(E)	報告数の割合	報告数
初発電からの年令順				設計定格電気出力順			
Dresden 1	18.7	2	28	Browns Ferry 1	1065	3	38
Big Rock Point	16.1	4	50	Browns Ferry 2	1065	2	20
Humboldt Bay	15.7	<1	3	Browns Ferry 3	1065	3	35
La Crosse	10.7	1	15	Peach Bottom 2	1065	4	48
Oyster Creek	9.3	3	31	Peach Bottom 3	1065	2	28
Nine Mile Point 1	9.2	3	41	Brunswick 1	821	8	99
Dresden 2	8.7	4	55	Brunswick 2	821	7	83
Millstone 1	8.1	3	33	FitzPatrick	821	8	93
Monticello	7.8	3	31	Dresden 2	809	4	55
Dresden 3	7.4	4	50	Dresden 3	809	4	50
Quad Cities 1	6.7	2	30	Quad Cities 1	789	2	30
Quad Cities 2	6.6	3	36	Quad Cities 2	789	3	36
Pilgrim 1	6.5	4	54	Hatch 1	786	8	99
Vermont Yankee	6.3	3	34	Cooper	778	3	40
Browns Ferry 1	5.2	3	38	Pilgrim 1	655	4	54
Peach Bottom 2	4.9	4	48	Millstone 1	650	3	33
Arnold	4.6	4	50	Oyster Creek	650	3	31
Cooper	4.6	3	40	Nine Mile Point 1	610	3	41
Browns Ferry 2	4.3	2	20	Monticello	545	3	31
Peach Bottom 3	4.3	2	28	Arnold	538	4	50
Hatch 1	4.1	8	99	Vermont Yankee	514	3	34
Fitzpatrick	3.9	8	93	Dresden 1	200	2	28
Brunswick 2	3.7	7	83	Big Rock Point	72	4	50
Browns Ferry 3	2.3	3	35	Humboldt Bay	63	<1	3
Brunswick 1	2.1	8	99	La Crosse	50	1	15

*平均年令 7.3 ; 最多年令 6.5

*平均設計定格電気出力, 684 ; 最多設計
定格電気出力, 786

PWRための（安全に関する）イベントデータの概要

1978年にPWRの安全に関するイベントの報告は、2084件あった。表10は、種々の系統に関する報告数のリストである。主冷却系と原子炉保護系の2つの系統が他のイベントに比べ注目される。これらの系統は1978年の全報告数の19%を占めている。2次冷却系（蒸気）もまた注目される多くの報告数であり、電力システムがこれにすぐに続いている。

表11は、種々の機器（equipment）に関する報告数である。バルブとポンプと配管は、最も頻繁な注目される機器で、報告数の43%を占めている。このうちバルブは全報告数の21%、ポンプが13%配管が9%を占める。

表には、計装制御機器（Instrumentation）に関する報告数である。1972年以来毎年スイッチが他の計装制御品に比べ最も多い。1978年に於て、スイッチ関係は285回報告されており全報告数の14%を占めている。その後放射線モニター、レベルセンサー、圧力センサー、リレーが続き各々全報告数の5%かそれ以下である。

表13は、安全に関する報告の原因別報告数のリストである。先天的欠陥（Inherent failures）は全報告の47%を占めている。原因は全報告の93%について記載されている。のこりの7%は破損の理由が明らかでなかったが、さらに調査を続けている。

表14は、種々のイベントの発生時期と報告数のリストである。テスト期間中に発見された各イベントは、補修することができたので原子炉運転への影響をほとんど与えていない。また与えてもほんの軽微である。

表15は、欠陥に関する報告数のリストである。最も頻繁に報告された欠陥は、リークで、パイプ、バルブ付属器具類からの水や蒸気のリークのような種々のタイプのリークを意味するものである。コミュニケーションによる欠陥は、個人間の理解ミス及び技術仕様書や手順書の判断ミスが含まれている。

表16aと表16bは、受取られた報告数とPWR原子炉の関係を示す。PWRユニットのアルファベット順のリストである。表16aは、1年中商業運転された原子炉のリストである。表16bは、出力上昇中及び建設中の原子炉のリストである。Indian point 1は、1年中停止であったので除外してある。表16aと表16bには、76ユニットの原子力発電所が記載されている。38ユニットが1年間運転され、1613件の報告があった。平均42件/ユニットである。（1976年と1977年は34件であった）4ユニットが出力上昇段階で、335件の報告が有り平均89件/ユニットである。34ユニットが建設段階で、244件の報告が有り平均7件/ユニットである。表16aと16bには、2212件の報告が示されている。

表17と表18は、1年間商業運転可能であったユニットから提出された報告数を表わした

ものである。表17はユニットの年令の順に、表18は設計電気出力(DER)MWEの順に作成したものである。これらの表は、ユニットの年令や出力レベルが、原子力ユニットについて報告されたイベント数のファクターであるか否かを見るために表示された。

年令と出力は、共にファクターとなっているがその表をただ見るだけでは容易に明確にならない。最も古い19のユニットに対する報告数は613件である。最も新しい19ユニットに対する報告数は1000件で、63%が古い原子炉よりも多く報告されている。このことは、ユニットの年令と経験が運転中に得られるにつれて、安全に関する機器の破損やマルファンクションが少なくなっていることを示している。

同様の考え方が出力レベルをベースとしても行なわれた。最も小さい19ユニットに対する報告数は577件である。最も大きい19のユニットに対する報告数は1036件で、80%小型ユニットより多く報告されている。これは小型ユニットについては問題が少いようにみえる。

BWRの場合もそうであるが、PWRから報告されたデータは、完全なものではない。特に企業の報告方法といったものは統一されたものではない。しかしながら、表及びデータから低出力や古いPWRは、高出力や最も最近建設されたPWRにくらべ問題が少ないと思われる。しかしこの結果から考えられることは、最近建設した原子炉は大型ユニットであり、従って運転員からこれら大型ユニット設計者への運転に関する情報のフィードバックはまだされていないことと、新しい大型ユニットは古い小型ユニットにくらべより複雑であるということである。

1978年に於けるPWRの安全に関するイベントを評価して得た最終の情報は、2084件の報告中67件が機器の破損やマルファンクションのために、原子炉の緊急停止を起したかまたは緊急停止を必要としたことである。

ここで示したデータは、プラント運転についてマイナスの印象を与えている。その他の、さらに有望な情報もまた原子力発電プラントの全体としての性能の評価に使用されるべきである。

冗長安全系と機器単体を含めて原子力発電所に設けられている多重レベルの保護(multiple levels of protection)や何重かの防壁(defence in depth)のために、このレポートで明確にされたイベントが公衆の健康や安全に何ら影響を及ぼしていないことを強調したい。さらにこれらイベントの情報は安全性プラントの信頼性、プラント稼働率の向上に用いられるであろう。そしてこれこそこのレポートが目ざす目的である。

表10 PWRの各系統に関する報告数

系 統	全報告数に対する割合(%)	報告数	系 統	全報告数に対する割合(%)	報告数
主冷却系 (Main cooling)	11	227	非常時冷却系 (Emergency cooling)	2	32
原子炉保護系 (Reactor protection)	8	176	廃棄物処理系 (Waste disposal)	1	28
2冷却系 (Secondary cooling)	8	176	格納容器空気冷却系 (Containment air cooling)	1	27
電力系 (Electric power)	7	160	格納容器浄化系 (Containment purge)	1	23
給水系 (Feedwater)	6	151	機器冷却系 (Component cooling)	1	22
非常用電源系 (Emergency electric power)	6	124	ハイドロリック (Hydraulic)	<1	7
格納容器隔離系 (Containment isolation)	5	115	炉心再冠水系 (Core reflooding)	<1	4
復水器冷却系 (Condenser cooling)	4	96	格納容器フィルター (Containment filtering)	<1	3
冷却材浄化系 (Colant purification)	4	85			
放射線モニター系 (Radiation monitoring)	4	84			
工学的安全系 (Engineered safety features)	4	83			
原子炉制御系 (Reactor control)	4	78			
安全注入系(ほう酸水) (Safety injection)	4	75			
補機冷却系 (Service water)	3	61			
停止時冷却系 (Shutdown cooling)	3	61			
火災防護系 (Fire protection)	3	56			
換気乗 (Ventilation)	3	53			
格納容器スプレー系 (Containment spray)	2	52			
格納施設 (Containment)	2	47			
空気作用系 (Pneumatic)	2	35			

表 11 PWRの各機器に関する報告数

機 器	全報告数に 対する割合	報告数	機 器	全報告数に 対する割合	報告数
バルブ (Valves)	21	434	モーター (Motors)	2	36
ポンプ (Pumps)	13	261	ベアリング (Bearing)	1	29
配管及び継手 (Pipes and pipe fitting)	9	194	タービン (Turbines)	1	27
シール (Seals)	7	140	スクリーン (Filter screen)	1	26
貯蔵容器 (Storage containers)	6	121	ヒーター (Heater)	1	26
ディーゼル発電機 (Diesel generatore)	6	118	配管 (Tubing)	1	25
支持構造物 (Support structure)	5	113	バッテリー充電器 (Batteries and chargers)	1	24
内燃機関 (Internal combustion engines)	5	107	逆止弁 (Check valves)	1	23
ケーブル及びコネクタ (Cables and connector)	5	98	復水器 (Condensers)	1	22
バルブ操作器 (Valve oprators)	5	96	圧力容器 (Pressure vessels)	1	22
蒸気発生器 (Steam generators)	4	93	発電機 (Generators)	<1	17
ブレーカ (Breakers)	4	88	変圧器 (Transformers)	<1	15
制御棒 (Control rods)	3	72	アキュムレータ (Accumulators)	<1	14
加圧器 (Pressurizer)	3	68	燃料素子 (Fuelelements)	<1	14
ショックアブソーバ (Shock absorber)	2	48	冷却塔 (Coolingtower)	<1	8
留具 (Fastener)	2	45	クレーン (Crane)	<1	7
制御棒駆動機器 (Control rod drives)	2	38	フランジ (Flanges)	<1	7
熱交換器 (Heat exchangers)	2	38	ノズル (Nozzle)	<1	7
ソレノイド (Solenoid)	2	37	脱塩装置 (Demineralizer)	<1	6
ブロワー (Blowers)	2	36	空気乾燥器 (Air driers)	<1	4
			再結合器 (Recombiners)	<1	1

表 12 計装制御機器に関する報告数

計装制御機器	全報告数 に対する 割合%	報告数	計装制御機器	全報告数 に対する 割合%	報告数
スイッチ (Switch)	14	285	炉内計装品 (In-core instrument)	<1	18
放射線モニター (Radiation monitors)	5	108	警報 (Alarm)	<1	17
レベル検出器 (Level sensors)	4	90	指示計 (Indicators)	<1	14
圧力検出器 (Pressure sensors)	4	76	起動領域計装品 (Startup-range instrument)	<1	13
リレー (Relays)	4	72	レコーダー (Recorders)	<1	13
電子制御部品 (Electronic function units)	3	66	アンプ (Amplifier)	<1	12
流量計装品 (Flow sensors)	3	60	気象観測機器 (Meteorological instrument)	<1	12
位置計装品 (Position instrument)	3	53	中間領域計装器 (Intermediate-range instrument)	<1	9
出力領域計装品 (Power range instrument)	2	41	地震用機器 (Seismic instrument)	<1	8
温度検出器 (Temperature sensors)	2	33	破損燃料検出装置 (Failed fuel detection instrument)	<1	2
半導体装置 (Solid-state device)	1	22			

表 13 PWRの安全に係わるイベントの原因に関する報告数

原因	全報告数 に対する 割合%	報告数	原因	全報告数 に対する 割合%	報告数
固有破損 (Inherent failure)	47	975	誤製作 (Fabrication error)	4	86
誤操作 (Operation error)	11	227	天候 (Weather)	1	27
誤設計 (Design error)	10	221	落雷 (Lightning)	<1	3
誤管理 (Administrative error)	9	184			
誤保守 (Maintenance error)	6	135			
誤設備 (Installation error)	5	112			

表14 PWRの非定常イベントの発生時期に対する報告数

発生時期	全報告数 に対する 割合%	報告数			
運転中 (Operation)	52	1095			
試験中 (Testing)	31	644			
建設中 (Construction)	9	187			
燃料交換中 (Refueling)	8	158			

表15 PWRの欠陥に関する報告数

欠陥	全報告数 に対する 割合%	報告数	欠陥	全報告数 に対する 割合%	報告数
リーク (Leak)	9	181	摩耗 (Wear)	2	34
手順 (Procedures)	8	169	寿命 (Age effect)	1	28
設定値ドリフト (Set-point drift)	7	139	腐食 (Corrosion)	1	26
計器較正 (Instrument calibration)	6	123	記録 (Records)	1	26
溶接 (Welds)	4	73	応力 (Stress)	<1	19
クラッド (Crud)	3	68	空気放出 (Air borne release)	<1	14
情報伝達 (Communication)	3	53	疲労 (Fatigue)	<1	7
クラック (Crack)	2	48	応力腐食 (Stress corrosion)	<1	6
潤滑 (Lubrication)	2	48	浸食 (Erosion)	<1	4
振動 (Vibration)	2	44	火災 (Fire)	<1	4

商業運転中のPWRに関する報告数				商業運転中のPWRに関する報告数			
プラント名	年令	報告数の割合	報告数	プラント名	設計定格出力(MW(e))	報告数の割合	報告数
最初の発電からの年令順				設計定格出力順			
yankee Rowe	18.1	2	41	Trojan	1130	2	36
San Onoie 1	11.5	<1	19	Salem 1	1090	4	77
Haddam Neck	11.4	2	34	Cook1	1054	3	71
Ginna	9.1	<1	8	Zion1	1040	5	94
Robinson 2	8.3	2	34	Zion2	1040	2	47
Roint Beach 1	8.2	<1	18	Rancho Seco	913	<1	19
Palisades	7.0	2	45	Davis-Besse 1	906	6	126
Surry 1	6.5	2	50	Oconee 1	887	1	27
Point Beach 2	6.4	<1	11	Oconee 2	887	<1	14
Turkey Point 3	6.2	<1	16	Oconee 3	887	<1	19
Maine Yankee	6.1	1	28	Indian Point 2	873	2	37
Surry 2	5.8	2	47	Indian Point 3	873	2	39
Oconee 1	5.7	1	27	Beaver Valley 1	852	3	62
Indian Point 2	5.5	2	37	Arkansas Nuclear 1	850	2	35
Turkey Point 4	5.5	<1	14	Calvert Cliffs 1	845	3	57
Zion 1	5.5	5	94	Calvert Cliffs 2	845	2	48
Fort Calhoun	5.4	2	64	Farley	829	5	97
Oconee 2	5.1	<1	14	Millstone 2	828	1	29
Prailie Island 1	5.1	1	30	Crystal River 3	825	5	102
Zion 2	5.0	2	47	Surry 2	822	2	50
Kewaunee	4.7	2	40	Surry 2	822	2	47
Three Mile Island 1	4.5	1	24	Three Mile Island 1	819	1	24
Arkansas Nuclear 1	4.4	2	35	St Lucie 1	802	2	49
Oconee 3	4.3	<1	19	Maine Yankee	790	1	28
Rancho Seso	4.2	<1	19	Robinson 2	712	2	34
Calvert Cliffs 1	4.0	3	57	Turkey Point 3	693	<1	16
Prane Island 2	4.0	1	23	Turkey Point 4	693	<1	14
Cook1	3.9	3	71	Palisades	668	2	45
Millstone 2	3.2	1	29	Haddam Neck	575	2	34
Trojan	3.0	2	36	Kewaunee	535	2	40
Indian Point 3	2.7	2	39	Prairie Island 1	530	1	30
St Lucie 1	2.7	2	49	Prairie Island 2	530	1	23
Beaver Valley 1	2.6	3	62	Point Beach 1	497	<1	18
Calvert Cliffs 2	2.1	2	48	Point Beach 2	497	<1	11
Salem	2.0	4	77	Ginna	490	<1	8
Crystal River 3	1.9	5	102	Fort Calhoun	457	2	46
Farley	1.4	5	97	San Onofre 1	430	<1	19
Davis-Besse 1	1.3	6	126	Yankee Rowe	175	2	41

*平均年令, 5.4; 最多年令, 5.1.

*平均電気出力, 801; 最多電気出力, 824

商業運転中のPWRに関する報告数					PWRに関する報告数		
プラント名	報告数の割合	年令	電気出力	プラント名	報告数の割合	報告数	
Arkansas Nuclear 1	2	35	44	850	出力上昇中		
Beaver Valley 1	3	62	26	852	Arkansas Nuclear 2	2	51
Calvert Cliffs 1	3	57	40	85	Cook 2	5	103
Calvert Cliffs 2	2	48	21	844	North Anna 1	7	138
Cook 1	3	71	39	1054	Three Mile Island 2	3	63
Crystal River 3	5	102	19	825	建設中		
Davis Besse 1	6	126	13	906	Beaver Valley 2	<1	5
Farley 1	5	97	14	829	Bellefonte 1	<1	11
Fort Calhoun	2	46	54	457	Bellefontel 2	<1	13
Ginna	<1	8	9.1	490	Brraidwood1 1	<1	1
Haddam Neck	2	34	114	575	Braidwood 2	<1	1
Indian Point 2	2	37	55	873	Byron 1	<1	3
Indian Point 3	2	39	27	873	Byron 2	<1	3
Kewaunee	2	40	47	535	Callaway 1	<1	4
maine yankee	1	28	6.1	790	Catawba 1	<1	6
Millstone 2	1	29	3.1	828	Catawba 2	<1	6
Oconee 1	1	27	5.7	887	Diablo Canyon 1	<1	3
Oconee 2	<1	14	5.1	887	Diablo Canyon 2	<1	2
Oconee 3	<1	19	4.3	887	Farley 2	<1	3
Palisades	2	45	7.0	668	McGuire 1	<1	10
Point Bebach 1	<1	18	8.2	497	McGuire 2	<1	10
Point Beach 2	<1	11	6.4	497	Midland 1	<1	10
Prairie Island 1	1	30	5.1	530	Midland 2	<1	10
Prairie Island 2	1	23	4.0	530	North anna 2	1	28
Rancho Seco	<1	19	4.2	913	North Anna 3	<1	14
Robinson 2	2	34	8.3	712	North Anna 4	<1	14
Salem 1	4	77	2.0	1090	Salem 2	<1	3
Sam Onofre 1	<1	19	11.5	430	San Onofre 2	<1	7
St Luciel	2	49	2.7	802	San Onofre 3	<1	6
Surry 1	2	50	6.5	822	Seabrook 1	<1	1
Surry 2	2	47	5.8	822	Seabrook 2	<1	1
Three Mile Island 1	1	24	4.5	819	Sequoyah 1	<1	17
Trojan	2	36	3.0	1130	Sequoyah 2	1	21
Turkey Point 3	<1	16	6.2	693	South Texas 1	<1	2
Turkey Point 4	<1	14	5.5	693	South Texas 2	<1	2
Yankee Rowe	2	41	8.1	175	St Lueie 2	<1	1
Zion 1	5	94	5.5	040	Tyrone 1	<1	1
Zion 2	2	47	5.0	040	Waterford 3	<1	2
					Watts Bar 1	<1	14
					Watts Bar 2	<1	9

この報告にはインデアンポイント1は含まれていない、インデアンポイントは1年中停止していて、廃棄についても明らかではない。