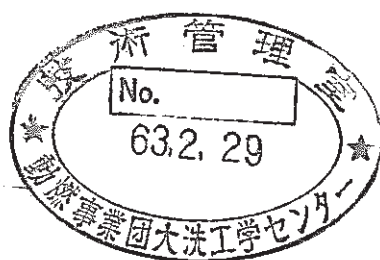


高速実験炉「常陽」燃料取扱設備の運転・保守経験(5)



1987年9月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

高速実験炉「常陽」燃料取扱設備の運転・保守経験(5)

関口峰生* 原田正之** 松本正樹
弓井忠雄*** 清水克彦 安 哲徳
郡司泰明 山下芳興

要 旨

高速実験炉「常陽」の燃料取扱設備は、昭和49年10月据付完了後、順次フェーズを変え全55項目にも達する厳密な性能試験が行われ、設備機能並びに取扱性能の確認がなされた。その後、昭和53年7月に50MWを達成、昭和54年7月75MW、そして昭和58年3月に100MWを達成し、照射用炉心としての運転が開始され、現在に至っている。燃料取扱設備においても、その間、燃料取替計画書に従って約600体の燃料交換作業と5回の定期点検を行ってきた。

本報告書は、先に発行した『高速実験炉「常陽」照射用炉心移行作業報告書』(SN-94183-27)の続編として、昭和58年1月より昭和60年12月までの燃料取扱設備の運転保守経験をとりまとめたものである。

* (株)東芝 動力炉開発部

** 三菱原子力工業(株) 機器設備設計部

*** 三菱重工業(株) 三原製作所

The Operational and Maintenance Experience of the Fuel
Handling Facility of "JOYO" (5)

Mineo Sekiguchi, Masayuki Harada,
Masaki Matsumoto, Tadao Yumii,
Katsuhiko Shimizu, Tetsunori Yasu,
Yasuaki Gunji and
Yoshiaki Yamashita

Abstract

The fuel handling facility was set up in Oct. 1974. The operational tests were done in three phases successively, first in air, then in argone gas and finally under sodium at 250°C.

Initial fuel loading for criticality of "Joyo" started in March 1977 and the criticality was achieved in April. After this, lower power test, power up test for 50 MW, 50 MW cycle operations, power up test for 75 MW, and 75 MW cycle operations followed till Dec. 1981. After the core conversion from the Breeding Core (MK-I Core) to the Irradiation Core (MK-II Core), 100 MW power achieved in March 1983 and the 100 MW cycle operation is going well now.

In the meanwhile, the fuel handling facility transfered about 600 core assemblies and were checked five times as the regular inspection.

This report reviews the experiences of operation and maintenance of the fuel handling facility from Jan. 1983 to Dec. 1985.

目 次

1. 緒 言	1
2. 運転保守概要	2
2.1 運転保守概要	2
2.2 燃料取扱設備に関する状態量実績	8
3. 燃料取扱設備の運転保守実績	10
3.1 運転実績	10
3.2 保守実績	36
4. 燃料取扱設備の運転保守経験	43
4.1 運転経験	43
4.1.1 回転プラグ	43
4.1.2 燃料交換孔まわりナトリウム付着	65
4.1.3 炉心構成要素取扱い	103
4.1.4 燃料洗浄およびグリッパ洗浄	140
4.1.5 滴下ナトリウム	161
4.2 保守経験	171
4.2.1 概 要	171
4.2.2 回転プラグ分解点検	177
4.2.3 キャスクカーベーパーラップ分解点検	183
4.2.4 燃料交換機グリッパ交換及び改造	193
4.2.5 キャスクカーグリッパ交換	194
4.2.6 燃料出入機ドアバルブ分解点検	194
4.2.7 キャスクカードアバルブ分解点検	205
4.2.8 交換機孔ドアバルブ分解点検	210
4.2.9 トランスファロータドアバルブ分解点検	216
4.2.10 燃料出入機振動防止	218
4.2.11 保守基準の確立	224
5. 燃料取扱設備の改造、各種試験、特殊作業	230
5.1 回転プラグジャッキダウン異常対策	230
5.2 回転プラグブロウ停止試験と温度分布	242
5.3 トランスファロータ内ナトリウム処理	257
5.4 燃料交換時間短縮化および合理化	275

5.4.1	燃料交換機グリッパ乾燥方式改良	275
5.4.2	使用済燃料洗浄設備改造	281
5.4.3	缶詰缶コストダウン	288
5.4.4	燃料交換計画プログラム化	290
5.5	信頼性向上	290
5.5.1	キャスクカー自動運転プログラム改造	290
5.5.2	通信映像設備充実化	293
5.5.3	使用済燃料集合体番号確認装置の開発	297
5.5.4	燃料交換作業責任者マニュアル	306
5.5.5	MK-II制御棒取扱対応	306
5.5.6	ドリップパン取扱改善	309
5.6	保守性向上	314
5.6.1	ホールドダウン軸内点検装置改造	314
5.6.2	燃料交換機孔プラグ等保守装置改造	318
5.6.3	MPI, ITVの開発	321
5.7	破損燃料対策	327
5.8	被曝低減化対策	330
5.8.1	燃料洗浄設備の化学除染	330
5.8.2	汚染工具の除染試験	332
5.9	使用済燃料貯蔵能力拡大	333
5.10	将来炉設計への反映	335
6.	燃料取扱設備保全費用実績	340
7.	現状における燃料取扱設備診断結果	348
8.	結 言	357
9.	謝 辞	358
	参 考 文 献	359
	添 付 資 料	361
1.	燃料取扱設備異常事象とその対応例	361

表 リ ス ト

表 2.1 - 1	常陽燃料取扱設備運転保守実績概要表（昭和 58 年）	5
表 2.1 - 2	常陽燃料取扱設備運転保守実績概要表（昭和 59 年）	6
表 2.1 - 3	常陽燃料取扱設備運転保守実績概要表（昭和 60 年）	7
表 2.1 - 4	燃料取扱設備に関わるプラント状態実績表	9
表 3.1 - 1	燃料移送実績	12
表 3.1 - 2	炉心構成要素移送内訳（その 1）（昭和 57 年）	13
表 3.1 - 3	炉心構成要素移送内訳（その 2）（昭和 58 年）	13
表 3.1 - 4	炉心構成要素移送内訳（その 3）（昭和 59 年）	14
表 3.1 - 5	炉心構成要素移送内訳（その 4）（昭和 60 年）	14
表 3.1 - 6	燃料取扱設備運転実績（その 1）	15
表 3.1 - 7	燃料取扱設備運転実績（その 2）	16
表 3.1 - 8	燃料取扱設備運転実績（その 3）	17
表 3.1 - 9	燃料取扱設備運転実績（その 4）	18
表 3.1 - 10	燃料取扱設備に発生した主な異常・故障件数（その 1）	24
表 3.1 - 11	燃料取扱設備に発生した主な異常・故障件数（その 2）	25
表 3.1 - 12	燃料取扱設備に発生した主な異常・故障件数（その 3）	26
表 3.1 - 13	分類別異常・不具合事象発生件数	27
表 3.1 - 14	付着ナトリウムに関わる異常事象内容	28
表 3.2 - 1	燃料取扱設備主要保守実績（その 1）	37
表 3.2 - 2	燃料取扱設備主要保守実績（その 2）	39
表 3.2 - 3	燃料取扱設備主要保守実績（その 3）	41
表 4.1.1 - 1	大回転プラグジャッキダウン異常状況	45
表 4.1.1 - 2	フリーズシールメタル酸化粉の主要な性状	51
表 4.1.1 - 3	酸化粉再現性試験結果	52
表 4.1.1 - 4	回転プラグフリーズシールメタル酸化粉対策	53
表 4.1.1 - 5	フリーズシールメタル成分元素の融点	54
表 4.1.1 - 6	フリーズシールメタル融点・凝固点調査結果	54
表 4.1.3 - 1	炉心構成要素引抜荷重測定結果（その 1）	110
表 4.1.3 - 2	炉心構成要素引抜荷重測定結果（その 2）	111
表 4.1.3 - 3	炉心構成要素引抜荷重測定結果（その 3）	112
表 4.1.3 - 4	炉心構成要素引抜荷重測定結果（その 4）	113

表 4.1.3 - 5	自動ストローク測定装置出力値	119
表 4.1.3 - 6	炉頂部観察時の線量率分布（垂直方向）	137
表 4.1.4 - 1	使用済燃料洗浄実績（その 1）	143
表 4.1.4 - 2	使用済燃料洗浄実績（その 2）	144
表 4.1.4 - 3	使用済燃料洗浄実績（その 3）	145
表 4.1.4 - 4	FMF 側再洗浄データとの比較	146
表 4.1.4 - 5	洗浄工程変更試験の試験工程	147
表 4.1.4 - 6	洗浄工程変更試験結果	148
表 4.1.4 - 7	試験時洗浄データからのナトリウム付着量試算値	148
表 4.1.4 - 8	FMF キャスクカー渡し炉心構成要素洗浄水中ナトリウム量	149
表 4.1.5 - 1	ナトリウム滴下位置の変更内容	164
表 4.1.5 - 2	燃取設備ドアバルブドリップパン等洗浄実績（その 1）	165
表 4.1.5 - 3	燃取設備ドアバルブドリップパン等洗浄実績（その 2）	166
表 4.1.5 - 4	燃取設備ドアバルブドリップパン等洗浄実績（その 3）	167
表 4.1.5 - 5	燃取設備ドアバルブドリップパン等洗浄実績（その 4）	168
表 4.2.1 - 1	燃料取扱設備定期点検概要（その 1）	172
表 4.2.1 - 2	燃料取扱設備定期点検概要（その 2）	173
表 4.2.1 - 3	燃料取扱設備定期点検概要（その 3）	174
表 4.2.1 - 4	燃料取扱設備定期点検概要（その 4）	175
表 4.2.2 - 1	回転プラグバックアップシールチューブ改造点	180
表 4.2.6 - 1	燃料出入機ドアバルブ分解点検結果	196
表 4.2.9 - 1	トランスファロータドアバルブ取外しに伴う問題点と その対策結果	217
表 4.2.10 - 1	燃料出入機異常振動防止対策（その 1）	220
表 4.2.10 - 2	燃料出入機異常振動防止対策（その 2）	221
表 4.2.11 - 1	点検頻度表	226
表 4.2.11 - 2	重み評価内容	228
表 4.2.11 - 3	重要度ランク	229
表 5.1 - 1	ジャッキダウン異常対策項目とその実績	232
表 5.1 - 2	回転プラグジャッキダウン異常の対策（1/5）	233
表 5.1 - 3	回転プラグジャッキダウン異常の対策（2/5）	234
表 5.1 - 4	回転プラグジャッキダウン異常の対策（3/5）	235
表 5.1 - 5	回転プラグジャッキダウン異常の対策（4/5）	236
表 5.1 - 6	回転プラグジャッキダウン異常の対策（5/5）	237

表 5.2-1	回転プラグ外表面温度上昇幅	245
表 5.2-2	回転プラグ内部温度	248
表 5.4.1-1	燃料交換機グリッパ乾燥装置試験条件（設定値）	277
表 5.4.1-2	燃料交換機グリッパ乾燥運転経過	277
表 5.4.2-1	燃料洗浄廃液量	286
表 5.4.2-2	アルゴンガス冷却流量	287
表 5.5.2-1	通信設備改造内容（昭和 59 年度）	294
表 5.5.2-2	通信設備改善内容（昭和 60 年度）	295
表 5.5.3-1	使用済燃料集合体番号確認試験計画と展開	299
表 5.5.3-2	使用済燃料集合体番号確認装置基本条件確認試験結果	300
表 5.5.3-3	使用済燃料集合体番号確認装置基本仕様確認試験結果	301
表 5.5.3-4	使用済燃料集合体番号確認装置適用可能範囲確認試験結果	302
表 5.5.5-1	MK-II 初装荷制御棒取扱対応	308
表 5.8.2-1	汚染工具除染試験結果	332
表 6-1	燃料取扱設備保全費用実績一覧表	343

図 リ ス ト

図 2.1 - 1	実験炉「常陽」運転実績	4
図 3.1 - 1	炉心構成要素移送実績	19
図 3.1 - 2	燃料取扱設備運転実績(その1)	20
図 3.1 - 3	燃料取扱設備運転実績(その2)	21
図 3.1 - 4	燃料取扱設備運転実績(その3)	22
図 3.1 - 5	燃料取扱設備における主な異常, 故障発生状況(その1)	29
図 3.1 - 6	燃料取扱設備における主な異常, 故障発生状況(その2)	30
図 3.1 - 7	燃料取扱設備における主な異常, 故障発生状況(その3)	31
図 3.1 - 8	機器別異常, 不具合発生件数(その1)	32
図 3.1 - 9	機器別異常, 不具合発生件数(その2)	33
図 3.1 - 10	機器別異常, 不具合発生件数(その3)	34
図 3.1 - 11	警報発生事象の内容	35
図 4.1.1 - 1	回転プラグインロー部ナトリウム付着説明図	46
図 4.1.1 - 2	大回転プラグ付着ナトリウム観察結果	47
図 4.1.1 - 3	大回転プラグインロー部付着ナトリウム分布	48
図 4.1.1 - 4	回転プラグシール構造	55
図 4.1.1 - 5	酸化粉生成の経緯	56
図 4.1.1 - 6	小回転プラグ側フリーズシールメタル酸化粉生成状況	57
図 4.1.1 - 7	大回転プラグ側フリーズシールメタル酸化粉生成状況	58
図 4.1.1 - 8	小回転プラグ側酸化粉堆積厚さとメタル熔融時間	59
図 4.1.1 - 9	小回転プラグ側酸化粉堆積厚さとメタル熔融時間	60
図 4.1.1 - 10	小回転プラグ側酸化粉堆積厚さと回転数	61
図 4.1.1 - 11	小回転プラグ側酸化粉堆積厚さとメタル経年時間	62
図 4.1.1 - 12	酸化粉堆積厚さとメタル熔融時間 (大R/Pと小R/Pの比較)	63
図 4.1.1 - 13	変更前のメタル運転温度	64
図 4.1.1 - 14	変更後のメタル運転温度	64
図 4.1.2 - 1	案内スリーブ(I)引抜荷重ピーク値	67
図 4.1.2 - 2	案内スリーブ(I)・孔プラグ引抜荷重ピーク値(その1)	68
図 4.1.2 - 3	案内スリーブ(I)・孔プラグ引抜荷重ピーク値	69
図 4.1.2 - 4	ホールドダウン機構概略と下降異常対策	70

図 4.1.2 - 5	ナトリウム除去治具引抜対策（クレーンによる引張）	71
図 4.1.2 - 6	燃料交換機孔プラグ等保守装置取外手順概略	82
図 4.1.2 - 7	ナトリウム除去治具トルク値実績	83
図 4.1.2 - 8	ナトリウム除去治具取出手順	84
図 4.1.2 - 9	孔ドアバルブ H/D 軸，孔プラグ及び R/P 位置関係	85
図 4.1.2 - 10	H/D 軸，案内スリーブ及び R/P 位置関係	86
図 4.1.2 - 11	ナトリウム除去治具スティック位置	87
図 4.1.2 - 12	孔プラグ装荷異常時位置	89
図 4.1.2 - 13	孔プラグ装荷異常時状態推定図	88
図 4.1.2 - 14	案内スリーブ装荷位置の比較	90
図 4.1.2 - 15	孔プラグ下端部ナトリウム付着状況	91
図 4.1.2 - 16	ホールドダウン軸内ナトリウム付着状況	92
図 4.1.2 - 17	予熱スリーブ温度分布	93
図 4.1.2 - 18	予熱スリーブと回転プラグの温度分布	94
図 4.1.2 - 19	予熱スリーブとホールドダウン軸位置関係	95
図 4.1.2 - 20	燃料交換機荷重記録 (1)	98
図 4.1.2 - 21	燃料交換機荷重記録 (2)	99
図 4.1.2 - 22	燃料交換機荷重記録 (3)	100
図 4.1.2 - 23	燃料交換機荷重記録 (4)	101
図 4.1.2 - 24	燃料交換機荷重記録 (INCOGr・引抜不可)	102
図 4.1.3 - 1	炉内経時変化計測 システム	104
図 4.1.3 - 2	引抜荷重計測位置	107
図 4.1.3 - 3	炉心構成要素引抜荷重変化例及び燃料交換機グリッパ 動作と荷重の関係	114
図 4.1.3 - 4	燃料交換機荷重記録 (その 1)	115
図 4.1.3 - 5	燃料交換機荷重記録 (その 2)	116
図 4.1.3 - 6	炉心構成要素引抜荷重測定結果	117
図 4.1.3 - 7	燃料交換機荷重記録 (その 3)	120
図 4.1.3 - 8	燃料交換機荷重記録 (その 4)	121
図 4.1.3 - 9	制御棒駆動機構荷重記録 (その 1)	122
図 4.1.3 - 10	制御棒駆動機構荷重記録 (その 2)	123
図 4.1.3 - 11	燃料頂部測定値変化の外挿とグリッパの軸長変化割合	124
図 4.1.3 - 12	制御棒装荷異常原因推定図	126
図 4.1.3 - 13	燃料交換機グリッパ爪加工図後の吊り状態図	127

図 4.1.3 -14	燃料交換機グリッパ爪加工後の吊り状態図	127
図 4.1.3 -15	下部案内管まわり炉心構成要素装荷時異常荷重発生パターン	129
図 4.1.3 -16	炉心構成要素装荷異常時荷重変化と位置	130
図 4.1.3 -17	炉心構成要素装荷異常時荷重変化と位置	131
図 4.1.3 -18	制御棒下部案内管外表面観察結果	132
図 4.1.3 -19	炉心構成要素装荷異常経緯推定図(その1)	133
図 4.1.3 -20	炉心構成要素装荷異常経緯推定図(その2)	134
図 4.1.3 -21	炉心構成図	138
図 4.1.3 -22	炉頂部観察時の線量率分布(垂直方向)	139
図 4.1.4 -1	ナトリウムプラグング温度と炉心構成要素圧力損失の関係	150
図 4.1.4 -2	水素濃度とナトリウムプラグング温度の関係	151
図 4.1.4 -3	洗浄液電導度とプラグング温度の関係	152
図 4.1.4 -4	燃料交換サイクル毎の電導度とプラグング温度	153
図 4.1.4 -5	ナトリウムプラグング温度と DF 値の関係	154
図 4.1.4 -6	洗浄工程におけるナトリウム除去割合	155
図 4.1.4 -7	循環洗浄時電導度変化	156
図 4.1.4 -8	NaOH 水溶液と電気伝導度との関係	157
図 4.1.4 -9	燃料交換機グリッパ爪開閉モータ電流値	160
図 4.1.5 -1	使用済燃料取扱経路	163
図 4.1.5 -2	燃料 1 本あたり滴下ナトリウム量(その1)	169
図 4.1.5 -3	燃料 1 本あたり滴下ナトリウム量(その2)	169
図 4.1.5 -4	燃料 1 本あたり滴下ナトリウム量(その3)	170
図 4.1.5 -5	燃料 1 本あたり滴下ナトリウム量(その4)	170
図 4.2.2.-1	小回転プラグフリーズシールメタルレベル計測結果	181
図 4.2.2.-2	大回転プラグフリーズシールメタルレベル計測結果	182
図 4.2.3 -1	ベーパートラップ付着ナトリウム調査手順	186
図 4.2.3 -2	燃料取扱用キャスクカーのベーパートラップの配置図	187
図 4.2.6 -1	燃料出入機ドアバルブ概略図	197
図 4.2.6 -2	燃料出入機ドアバルブ点検結果(昭和 60 年 10 月)	198
図 4.2.6 -3	ドリップパンのナトリウム堆積状況	198
図 4.2.6 -4	燃料出入機ドアバルブ点検結果(昭和 60 年 12 月)	199
図 4.2.6 -5	ドリップパンからシール面へのナトリウム滴下状況	200
図 4.2.7 -1	燃料取扱用キャスクカードアバルブ	209
図 4.2.8 -1	メンテナンスプラグ及びシール治具	212

図 4.2.8 - 2	メンテナンスプラグ装荷位置	213
図 4.2.10 - 1	燃料出入機台車横行駆動装置補強概要	222
図 4.2.10 - 2	燃料出入機台車横行駆動装置改造箇所	223
図 5.1 - 1	ナトリウムかき落とし治具（手動用）	238
図 5.1 - 2	孔拡大用穿孔機	239
図 5.1 - 3	孔拡大加工説明図	240
図 5.1 - 4	回転プラグ用特殊ヒータ外形図（マイクロヒータタイプ）	241
図 5.2 - 1	回転プラグ窒素ガス冷却系変更図	244
図 5.2 - 2	回転プラグ外表面等温度変化	246
図 5.2 - 3	回転プラグインロー部（仮設 T/C：固定フランジ内）温度変化 （ブロワ停止試験第 3 回）	247
図 5.2 - 4	回転プラグ内部温度分布	249
図 5.2 - 5	MK - II 移行後回転プラグ内部温度（その 1）	251
図 5.2 - 6	MK - II 移行後回転プラグ内部温度（その 2）	253
図 5.2 - 7	回転プラグ周方向温度分布	255
図 5.2 - 8	ナトリウム付着推定箇所（大回転プラグ側）	256
図 5.3 - 1	トランスファロータ概略図	262
図 5.3 - 2	ナトリウム再充填概略系統図	263
図 5.3 - 3	内部観察装置配置図	264
図 5.3 - 4	トランスファロータ・ラック詳細図	267
図 5.3 - 5	孔明治具概略図	267
図 5.3 - 6	燃料移送ポット状態模式図	270
図 5.3 - 7	ポットからのナトリウムの行方	271
図 5.3 - 8	ナトリウムオーバーフロー後の燃料移送ポット内液位変化	272
図 5.3 - 9	ポット内燃料取扱時のナトリウム液位の変化	273
図 5.3 - 10	燃料移送ポット内ナトリウムの挙動	274
図 5.4.1 - 1	燃料交換機グリッパ乾燥装置系統図	278
図 5.4.1 - 2	アルゴンガス加熱装置	278
図 5.4.1 - 3	燃料交換機グリッパ乾燥装置電気配線図	279
図 5.4.1 - 4	炉内カバーガス中水素濃度の変化	280
図 5.4.2 - 1	燃料洗浄設備廃液ライン改造内容	283
図 5.4.2 - 2	冷却ブロワ軸シール水循環化改造	284
図 5.4.2 - 3	燃料洗浄設備バイパスライン系統図	285
図 5.4.3 - 1	缶詰缶製作工数低減の推移	289

図 5.5.1-1	燃料取扱用キャスクカーのグリッパ上限位置変更図	292
図 5.5.2-1	燃料取扱設備関係の通信設備	296
図 5.5.3-1	使用済燃料集合体番号確認試験装置全体ブロック図	303
図 5.5.3-2	使用済燃料集合体番号確認システム表示画像	304
図 5.5.3-3	燃料集合体番号確認システム	305
図 5.5.6-1	ドリップパン取扱下限ストローク及び作業手順	311
図 5.5.6-2	ドリップパン引抜き作業状態図	312
図 5.5.6-3	孔プラグ受け部	313
図 5.6.1-1	ホールドダウン軸内点検装置	316
図 5.6.1-2	ナトリウム除去具改造図	317
図 5.6.2-1	交換機孔プラグ等保守装置改造図	320
図 5.6.3-1	MPI-ITVカメラ本体	324
図 5.6.3-2	MPI-ITVの操作機構	325
図 5.7-1	燃料取扱設備による破損燃料取扱ルート	328
図 5.8.1-1	燃料洗浄設備系統図及び除染用仮設備	331
図 5.9-1	再処理用と常陽用セル比較図	334
図 5.10-1	使用済燃料計測装置全体図	338
図 5.10-2	計測線付き缶詰缶ふた	339
図 6-1	燃取設備保全費用の推移	342
図 6-2	燃取設備保全費用設備別総額	345
図 6-3	燃取設備年度別機器点検実績(その1)	346
図 6-4	燃取設備年度別機器点検実績(その2)	347

写 真 リ ス ト

写真 4.1.2 - 1	ホールドダウン軸内点検装置の Na 除去治具下端	75
写真 4.1.2 - 2	孔プラグ付着ナトリウム除去前外観	77
写真 4.1.2 - 3	孔プラグ付着ナトリウム除去作業	77
写真 4.1.2 - 4	孔プラグ付着ナトリウム除去後外観	77
写真 4.1.2 - 5	常陽モックアップ回転プラグ下面外観	96
写真 4.2.3 - 1	メッシュ素線表面の SEM 観察	188
写真 4.2.3 - 2	使用後メッシュ素線表面の SEM 観察	189
写真 4.2.3 - 3	使用後メッシュ素線表面の SEM 観察	190
写真 4.2.3 - 4	使用前メッシュ素線断面の SEM 観察	191
写真 4.2.3 - 5	使用後メッシュ素線断面の SEM 観察	192
写真 4.2.8 - 1	メンテナンスプラグ装荷	214
写真 4.2.8 - 2	メンテナンスプラグ用シール治具取付状態	214
写真 4.2.8 - 3	孔ドアバルブ取り外し	215
写真 4.2.8 - 4	孔ドアバルブ分解状況	215
写真 5.3 - 1	MPI-ITV カメラ操作機	265
写真 5.3 - 2	トランスファロータ・タンク内観察写真	266
写真 5.3 - 3	トランスファロータ・ラックのドレン孔復旧作業	268
写真 5.6.3 - 1	MPI-ITV のカメラ本体	326
写真 5.6.3 - 2	MPI-ITV のカメラ操作機	326

1. 緒 言

高速実験炉「常陽」の燃料取扱設備は、臨界近接試験以降 75 MW、及び 100 MW 原子炉運転等に必要な燃料交換作業を行い、昭和 60 年 12 月までに約 600 体の炉心構成要素を交換してきた。

本報告書は、昭和 58 年 1 月より昭和 60 年 12 月までの燃料取扱設備における運転・保守経験及び開発成果についてまとめたものである。尚、これまでに発行された燃料取扱設備に関する運転・保守経験報告書は以下の通りである。

- 1) 高速実験炉「常陽」燃料取扱設備の運転経験 (1)
(PNC ZN 941 77-167, 1977, 10 月)
- 2) 高速実験炉「常陽」燃料取扱設備の運転・保守経験 (2)
(PNC ZN 941 79-13(1), (2), 1978, 12 月)
- 3) 高速実験炉「常陽」燃料取扱設備の運転・保守経験 (3)
(PNC SN 941 82-186, 1982, 8 月)
- 4) 高速実験炉「常陽」照射用炉心移行作業報告書 *
(PNC N 941 83-27, 1983, 2 月)

* この報告書の燃料取扱設備に関する報告を〔高速実験炉「常陽」燃料取扱設備の運転・保守経験 (4)〕と位置付ける。

2. 運転保守概要

2.1 運転保守概要

常陽は、昭和52年4月初臨界達成後、増殖用炉心での出力運転、照射用炉心移行を経て、現在照射用炉心100 MW第8サイクル運転を行なっている（図2.1-1）。この間、燃料取扱設備は、保守、補修、改造を加えながら運転され、現在に至っている。

昭和58年1月から、昭和60年12月までの3年間における燃料取扱設備の運転、保守、改造、試験の主要な項目を、表2.1-1～2.1-3に示す。

この3年間のプラントは、照射用炉心構成作業が終了後の100 MW出力運転のための諸特性試験を経て、最終目標である定検間5サイクル運転を完遂した時期でもある。

炉心構成要素取扱本数は、この3年間、新炉心構成要素112体、使用済炉心構成要素108体、燃料交換機による炉内燃料取扱本数は589体で、57年12月以前の取扱本数を含めると、新炉心構成要素603体、使用済炉心構成要素597体、炉内燃料取扱本数1790体にのぼる。

3年間の燃料取扱設備の不具合を含めた異常事象の発生件数は、累計約210件である。この期間の特徴的な運転上のトピックスとして挙げられる事項は、ナトリウム冷却型高速炉に特有のナトリウム蒸着の影響である。昭和57年1月発生した回転プラグジャッキダウン異常事象は、100 MW出力運転にはいった後も引続き発生した。その対策として、回転プラグ内部観察、付着ナトリウムを炉外から遠隔で除去する装置及び監視システムの開発等を行なった。事象としては、昭和60年になって以降、発生しなくなっている。燃料交換孔まわりの付着ナトリウムの影響は、昭和56年の案内スリーブ形状変更後しばらくの間、燃料交換作業に支障となるようなところまで表われていなかったが、昭和60年1月より、燃料交換作業工程の遅延に至るような事象が続発した。事象内容も未経験のもので、プラント運転計画を左右するような深刻なものであった。

回転プラグフリーズシールメタルの酸化粉は相変わらず発生し続けており、その除去とメタルの補充作業が必須となっている。フリーズシールメタル酸化粉の原因および性状究明のための試験研究は引続き実施され、昭和59年に一連の掘り下げた試験を行ない、酸化粉の詳細な性状分析結果が出た。また炉外の酸化粉再現性試験により、酸化粉生成メカニズムをしばらく込む段階にきた。これらの試験結果から、酸化粉低減化対策を試行的に開始した。

炉内燃料取扱にあっては、制御棒および制御棒下部案内管交換作業に伴う下部案内管まわりの炉心構成要素が装荷できない事象が発生した。

定期点検は、昭和58年12月から昭和59年4月（第4回）、および昭和60年4月から昭和60年12月（第5回）に実施した。第4回定検は、MK-II移行作業後初の点検で、従来の定検の考え方を見直した。燃料取扱設備各々の重み評価を行い、重要度を分類し、点検のグレードをつけ、高速炉機器としてのメンテナンスの考え方の基礎となるような指針を作成し、定検の合

理化をはかった。第5回定検は、この第4回定検の考え方を踏襲して行なった。第5回定検では、5年ぶりに回転プラグの分解点検を行ない、MK-II移行作業及びジャッキダウン異常対策による過酷な使用を経験したものの各機器が健全であることを確認した。

燃料洗浄設備運転開始以来、炉内の使用済燃料の洗浄本数は554体となった。これに伴い、設備系統内へのCP付着による設備まわりの線量率は上昇傾向にある。設備メンテナンス上被曝低減化対策は、将来炉にあっても必要不可欠の問題である。アルファベット計画の一環として、洗浄設備の系統除染を実施した。

次章以降に、この3年間の燃料取扱設備運転保守実績および経験、R&D成果について記載する。

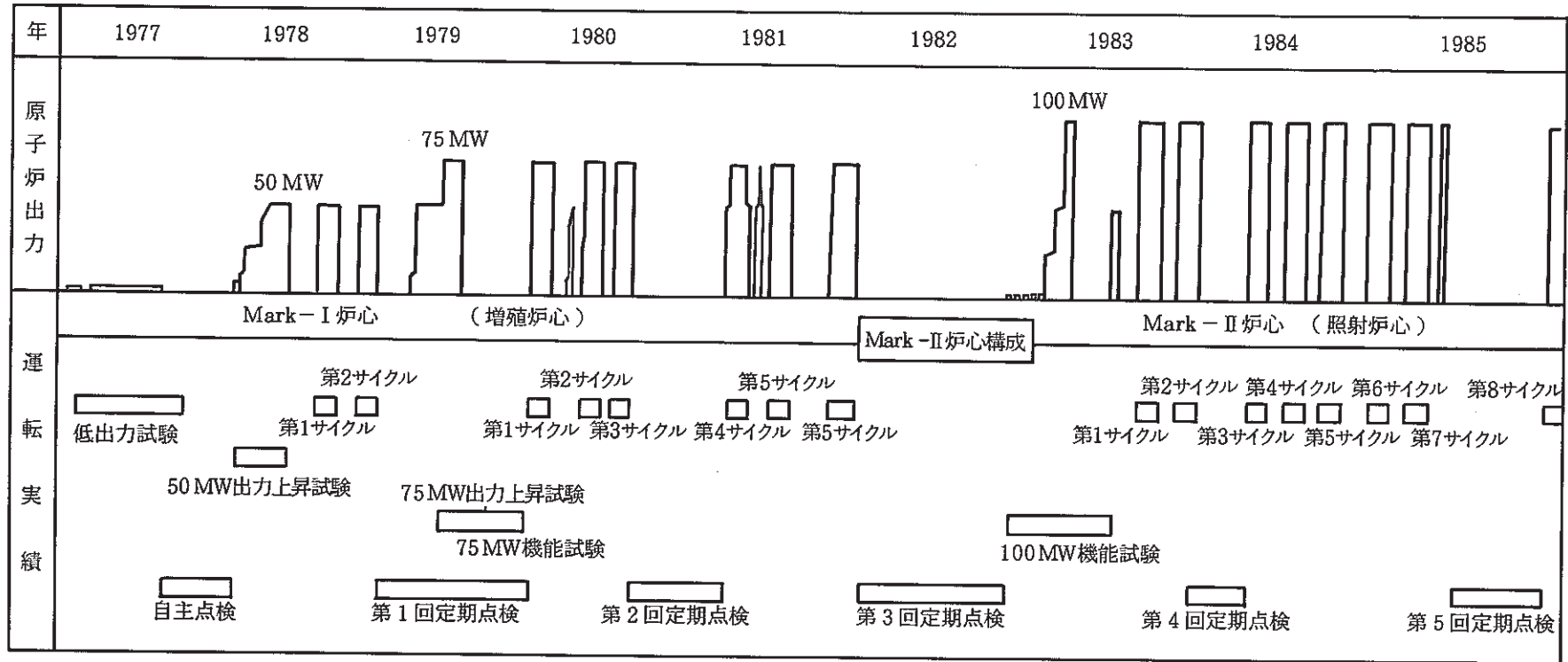
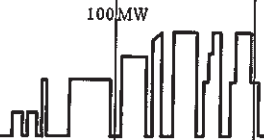


図 2.1 - 1 実験炉「常陽」運転実績

表 2.1-1 常陽燃料取扱設備運転保守実績概要表（昭和 58 年）

	昭和 58 年											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
プラント状態					MK-II 照射ベッド特性試験 出力分布測定試験		高出力特性試験		100 MW 第 1 サイクル運転		100 MW 第 2 サイクル運転	
運転・保守	N/F 6 体 炉内燃料取扱 S/F 6 体 回転プラグ ジャッキダウン対策	23 体 トランスファロータ タンク内部観察		燃交 58-01 N/F 10 体 炉内燃料取扱 S/F 10 体 回転プラグ ジャッキダウン対策	燃交 58-02 炉内燃料取扱 8 体 回転プラグ ジャッキダウン対策	燃交 58-03 N/F 6 体 炉内燃料取扱 S/F 6 体 取扱 39 体 回転プラグ ジャッキダウン対策	燃交 58-04 炉内燃料取扱 21 体 N/F 8 体 N/F 2 体 S/F 8 体 S/F 2 体 回転プラグ ジャッキダウン対策	燃交 58-05 炉内燃料取扱 14 体 回転プラグ ジャッキダウン対策		燃交 58-06 炉内燃料取扱 25 体 引抜荷重測定 21 体 回転プラグ 内部観察 回転プラグジャッキ ダウン対策		燃交 P03-FH1 N/F 7 体 S/F 7 体 回転プラグ ジャッキダウン 対策 回転プラグ 内部観察 回転プラグジャッキ ダウン対策
改造・製作					回転プラグ異常監視システム製作・取付工事			缶詰缶製作（100 体）				
試験研究								回転プラグフリーズシールメタル、酸化粉サンプリング分析試験・酸化粉再現性試験				
				ナトリウム圧縮押出試験								
					回転プラグ点検孔拡大用穿孔機の開発							
						回転プラグナトリウムかき落とし治具の開発						
				核加熱によるナトリウム溶融の検討								
												回転プラグ特殊 ヒータ製作

PNC TN9410 87-124

— 9 —

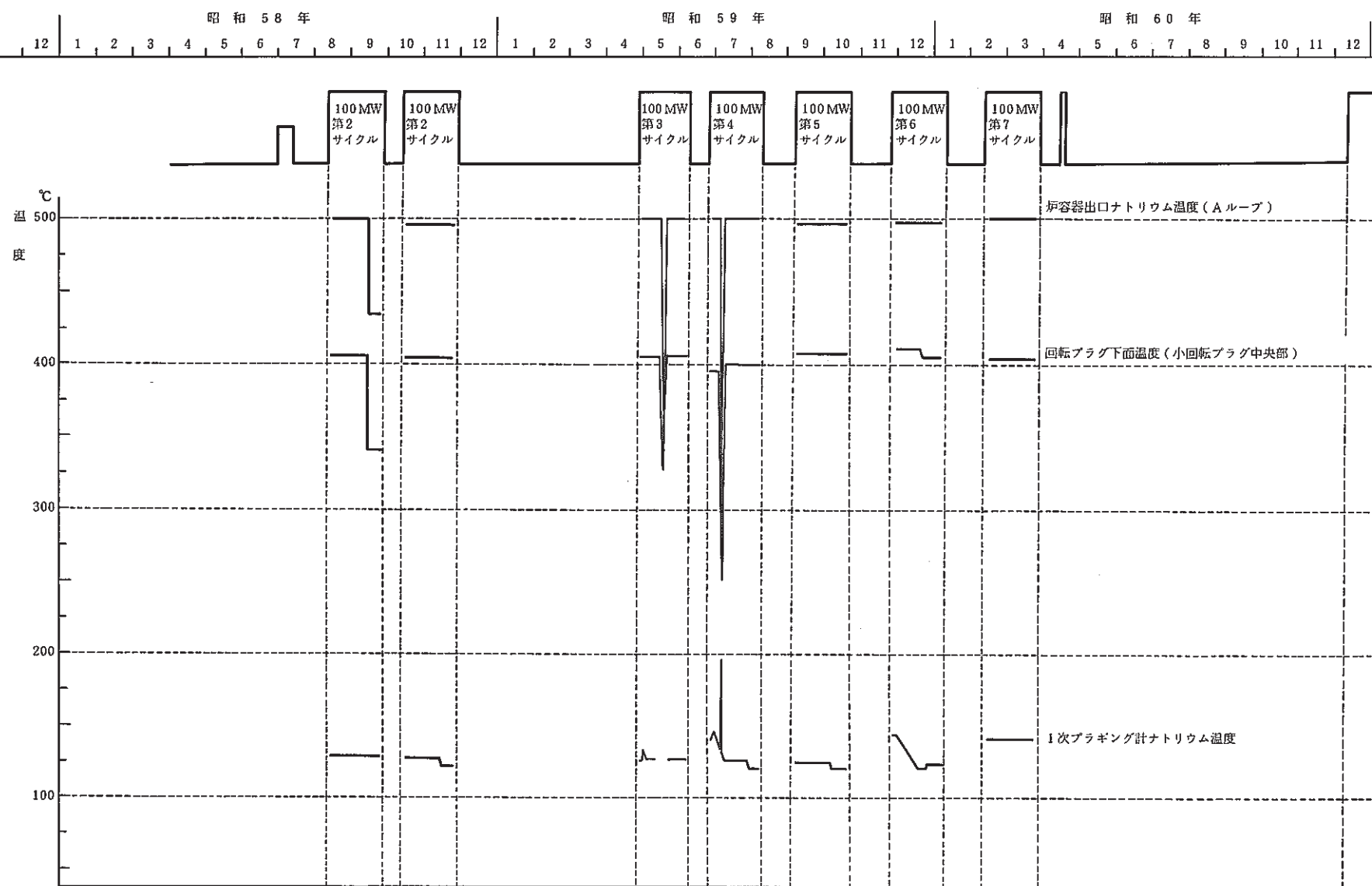
表 2.1-3 常陽燃料取扱設備運転保守実績概要表（昭和 60 年）

昭和60年												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
プラント状態	100 MW 第6サイクル 運転	100 MW 第7サイクル運転		FFDL 試験 炉内流量 分布測定		第5回 定期点検						100 MW 第8サイクル 運転
運 転 ・ 保 守	燃交 P07-FH1 N/F 15 体 S/F 15 体 —制御棒装荷異常 —案内スリーブ装荷異常 —ホールドダウン軸内点検 装置スティック —燃料交換機グリッパ スティック —ホールドダウン軸動作不良 —回転プラグインロー部 熱電対取外し —案内スリーブⅢ無し運転	燃交 P08-FH1 N/F 3 体 S/F 3 体 燃料交換機 グリッパ補修 (グリッパ及び軸 封装置交換)	燃交 P08-FH1 N/F 3 体 S/F 3 体 燃交 P08-FH2 N/F 0 体 S/F 1 体 燃交 P08-FH3 炉内燃料取扱 19 体 —孔プラグ引抜異常 —案内スリーブ引抜異常 —ホールドダウン軸内付着 ナトリウム除去作業 —孔プラグ付着ナトリウム 除去作業 —燃料交換機グリッパ 省洗浄 —案内スリーブⅢ 無し運転	燃料取扱設備定期点検 案内スリーブⅠ付着 ナトリウム除去作業 回転プラグフリーズシールメタル 酸化粉除去・メタル補充		燃交 P08-FH4 制御棒下部案内管交換の ための炉内燃料取扱 85 体 —制御棒下部案内管まわり 炉心構成要素装荷異常 回転フリーズシールメタル 運転温度変更 ▽ キャスクグリッパ補修		燃交 P08-FH5 N/F 14 体 S/F 15 体 —キャスクカードバルブ異音発生 —ホールドダウン軸内観察 —キャスクカードバルブ分解点検 燃料出入機ナトリウム滴下位置 変更試験 燃料出入機 ドアバルブ分解点検 燃料出入機ナトリウム滴下位置 変更試験				燃料出入機 ドアバルブ分解点検 キャスクカードア バルブ調整
改 造 ・ 製 作	キャスクカー自動運転プログラム改造 メンテナンス用孔プラグ製作 缶詰缶製作（30 体）									缶詰缶製作（30 体） 通信網改造		
試 験 研 究	回転プラグ窒素ガス 冷却系ブースタブロウ 停止試験 回転プラグフリーズシール メタル桶模擬試験 回転プラグ特殊ヒータ製作 燃料洗浄設備 CP 系統除染試験 特殊缶詰缶の製作	回転プラグ窒素ガス冷却系 ブースタブロウ停止試験							汚染工具除染試験	燃料交換計画プログラム化設計 計測線付缶詰缶ふたの製作 洗浄設備合理化試験		特殊缶詰缶性能試験

2.2 プラント状態

燃料取扱設備は、炉内使用済燃料を炉外へ移し、洗浄する。その間、1次系ナトリウムを取扱う。原子炉運転中のプラント状態量のうち、燃料取扱設備に関連するものについて、MK-II移行後の範囲を模式的にまとめた。これを表 2.1-4 に示す。

表 2.1 - 4 燃料取扱設備に関わるプラント状態実績表



3. 燃料取扱設備の運転・保守実績

3.1 運転実績

(1) 炉心構成要素取扱本数

昭和52年2月から昭和60年11月までの間、燃料取扱設備で取扱った炉心構成要素の取扱本数を、表3.1-1に示す。燃料移送経路別に整理したものを図3.1-1に示す。また、取扱った炉心構成要素を種類別、年毎にまとめたものを表3.1-2から表3.1-5に示す。

昭和57年の取扱本数は、照射用炉心構成のため特に多く昭和58年以降3年間と比較すると新燃料、使用済燃料移送本数についてみると約3倍、炉内燃料取扱本数についてみると1.2倍となっている。

昭和52年からの全取扱本数は、燃料移送については新燃料、使用済燃料各々600体、炉内燃料取扱についてみると1800体に及んでいる。

(2) 燃料取扱設備運転実績

燃料取扱設備の各機器の運転実績を、MK-I炉心時、MK-II移行時、MK-II炉心時の3つの期間に分けて整理した。これを表3.1-6から表3.1-9に示す。また機器の動作別に分類してグラフ化したものを図3.1-2から図3.1-4に示す。

燃料取扱設備のうち主要なものについて、運転実績から表わされる事項は次の通りである。

i) 回転プラグ

MK-II移行期間中とその後3年間を比較すると、フリーズシールメタル溶融時間はほぼ同じであり、回転プラグ設備全体としては昭和57年だけで3年間分(2回の定検含む)稼動していることがわかる。これに対して持上装置のジャッキアップ回数は、昭和58年以降はMK-II移行中に対して2倍以上となっており、ジャッキアップ保持時間は約半分となっている。

ii) 燃料交換機

MK-II移行期間中とその後3年間を比較すると、燃料取扱数、グリッパの爪開閉回数から、燃料交換機本体の動作回数は1.2:1の割合である。孔ドアバルブ開閉回数は、燃料移送分が加わって2:1である。

グリッパは、250℃の液体ナトリウム中で動作する。そして昭和52年以降のナトリウム中浸漬時間総計は1750時間である。

iii) 燃料出入機

MK-II移行期間中とその後3年間の燃料出入機によるポット取扱本数を比較すると、前者は後者に対し約2.8倍となっている。グリッパ上下動回数、爪開閉回数は、炉上部とトラ

ンスファロータ格納容器側ドアバルブ位置で、ポットを取扱うため約2倍と異なる値となっている。

グリッパのナトリウム中浸漬回数は、昭和52年以降約800回である。燃料交換機グリッパに比べると、ナトリウム中浸漬時間は、短い。

iv) 格外機器

燃料取扱用キャスクカー、洗浄設備、使用済燃料貯蔵設備等格外機器は、燃料移送時に運転される。従って、これらの運転頻度は燃料移送本数に依存する。MK-II移行期間中とその後3年間の各格外機器動作回数の比は、概ね2.5～3となっている。

表 3.1 - 1 燃 料 移 送 実 績

移 送 経 路 年	燃 料 移 送		炉内燃料 取 扱	炉内燃料 取 扱	燃 料 移 送		
	N/F →T/R	T/R→ 炉内貯蔵 ラック	炉内貯蔵 ラック → 炉心	炉心 → 炉内貯蔵 ラック	炉心 → 炉内貯蔵 ラック	トランスファ ロータ →プール	トランスファ ロータ →FMF
1977	98	98	157	157	87	87	0
1978	8	8	21	21	8	5	3
1979	14	14	13	13	15	8	7
1980	23	23	19	19	23	12	11
1981	20	20	44	44	20	11	9
1982	328	328	344	350	327	323	4
1983	41	41	111	136	38	34	4
1984	39	39	53	81	45	44	1
1985	32	32	87	121	34	30	4
TOTAL	603	603	848	942	597	554	43
期 間 1977年2月～1985年11月 N/F： 新燃料貯蔵設備 T/R： トランスファロータ FMF： 照射燃料集合体試験施設							

表 3.1 - 2 炉心構成要素移送内訳（その 1）（昭和 57 年）

移送別 炉心構成 要素種類	新炉心構成 要素移送本 数	使用済炉心構成要素 移 送 本 数		
		洗浄後貯蔵 プールへ	照射燃料集合 体試験施設へ	
炉 心 燃 料 集 合 体	6 5	8 2	2	
ブランケット燃料集合体	0	1 8 6	0	
ダ ミ ー 燃 料 集 合 体	2 1	2 0	0	
特 殊 燃 料 集 合 体	2	0	0	
反 射 体	2 3 0	2 6	0	
サーベイランス集合体	0	0	1	
制 御 棒	6	6	0	
中性子源集合体および その他の炉心構成要素	4	3	1	
合 計 本 数	3 2 8	3 2 3	4	

表 3.1 - 3 炉心構成要素移送内訳（その 2）（昭和 58 年）

移送別 炉心構成 要素種類	新炉心構成 要素移送本 数	使用済炉心構成要素 移 送 本 数		
		洗浄後貯蔵 プールへ	照射燃料集合 体試験施設へ	
炉 心 燃 料 集 合 体	2 0	1 0	1	
ブランケット燃料集合体	0	0	0	
ダ ミ ー 燃 料 集 合 体	0	7	0	
特 殊 燃 料 集 合 体	1	1	0	
反 射 体	1 3	1 3	0	
サーベイランス集合体	0	0	0	
制 御 棒	2	0	2	
中性子源集合体および その他の炉心構成要素	5	3	1	
合 計 本 数	4 1	3 4	4	

表 3.1 - 4 炉心構成要素移送内訳（その 3）（昭和 59 年）

移送別 炉心構成 要素種類	新炉心構成 要素移送本 数	使用済炉心構成要素 移 送 本 数		
		洗浄後貯蔵 プ ー ル へ	照射燃料集合 体試験施設へ	
炉 心 燃 料 集 合 体	3 3	3 0	0	
ブランケット燃料集合体	0	0	0	
ダ ミ ー 燃 料 集 合 体	0	0	0	
特 殊 燃 料 集 合 体	2	3	1	
反 射 体	0	8	0	
サーベイランス集合体	0	0	0	
制 御 棒	2	2	0	
中性子源集合体および その他の炉心構成要素	2	1	0	
合 計 本 数	3 9	4 4	1	

表 3.1 - 5 炉心構成要素移送内訳（その 4）（昭和 60 年）

移送別 炉心構成 要素種類	新炉心構成 要素移送本 数	使用済炉心構成要素 移 送 本 数		
		洗浄後貯蔵 プ ー ル へ	照射燃料集合 体試験施設へ	
炉 心 燃 料 集 合 体	2 1	2 2	1	
ブランケット燃料集合体	0	0	0	
ダ ミ ー 燃 料 集 合 体	0	0	0	
特 殊 燃 料 集 合 体	1	0	1	
反 射 体	2	3	0	
サーベイランス集合体	0	0	0	
制 御 棒	3	3	0	
中性子源集合体および その他の炉心構成要素	5	2	2	
合 計 本 数	3 2	3 0	4	

表 3.1 - 6 燃料取扱設備運転実績 (その 1)

設備	項 目		単位	MK - I 実績 S 53 ~ S 56	MK - II 移行実績 S 57	MK - II 実績 S 58 ~ S 60	計
回 転 プ ラ グ	フリーズシールメタル溶融時間		H	22645	5597	5808	34050
	ジャッキアップ回数		回	533	307	698	1538
	ジャッキアップ保持時間		H	4385	3008	1645	9038
	起動停止回数	小	回	4275	1368	5379	11022
		大	回	5286	2256	9831	17373
燃 料 交 換 機	軸封ヒーター投入時間		H	3181	1111	1964	6256
	ドアバルブ開閉回数		回	162	26	81	269
	取扱本数		本	679	705	614	1998
	グリッパ上下回数		回	2492	1562	1310	5364
	爪開閉回数		回	732	781	728	2241
	グリッパ Na 中浸漬時間		H	1032	308	409	1749
	グリッパ洗浄回数		回	37	44	25	106
	予熱スリーブヒーター投入時間		H	10109	3328	5994	19431
	孔ドアバルブ開閉回数		回	836	802	423	2061
燃 料 出 入 機	本体ヒータ投入時間		H	4436	3391	2349	10176
	駆動部ヒータ投入時間		H	4478	3527	2349	10354
	案内スリーブ取扱回数	スリーブ I	回	97	46	54	197
		スリーブ II	回	91	46	46	183
	ポット取扱本数		本	291	642	230	1163
	グリッパ上下回数		回	1551	1604	842	3997
	爪開閉回数		回	767	800	409	1976
	グリッパ Na 中浸漬回数		回	409	298	111	818

表 3.1 - 7 燃料取扱設備運転実績(その2)

設備	項 目		単位	MK - I 実績 S53～S56	MK - II 移行実績 S57	MK - II 実績 S58～S60	計
キャ スク カ ー	ドリップパン取扱回数	外 側	回	12	1	3	16
		内 側	回	18	3	6	27
	グリッパ洗浄回数		回	10	16	10	36
燃 料 洗 浄 設 備	取扱本数		本	137	317	108	562
	床ドアバルブ開閉回数		回	146	300	126	572
	洗浄槽弁開閉回数		回	244	600	252	1096
	ブロワ起動停止回数	A	回	250	319	279	848
		B	回	143	16	165	324
	ブロワ起動時間	A	時	43	181	62	286
		B	時	33	9	47	89
	循環ポンプ起動停止回数	A	回	177	336	186	699
		B	回	120	237	110	467
	循環ポンプ起動時間	A	時	31	112	35	178
		B	時	23	46	26	95
	洗浄槽動作回数		回	148	318	107	573
	洗浄槽動作距離		m	1258	1300	439	4255
	連絡管上下回数		回	148	318	222	688
	真空ポンプ起動停止回数		回	294	951	324	1569
	真空ポンプ起動時間		時	20	58	16.2	94.2
	蒸気洗浄回数		回	136	317	108	561
	蒸気洗浄時間		時	2225	5706	1944	9875
	脱塩水洗浄回数		回	433	573	242	1248
	脱塩水洗浄時間		時	2571	5730	2420	10721
	高レベル廃液タンクへの回収数		回	136	317	261	714
	低レベル廃液タンクへの回収数		回	297	880	197	1374
	アルゴンガス冷却回数		回	137	317	108	562

表 3.1 - 8 燃料取扱設備運転実績(その3)

設備	項 目		単位	MK - I 実績 S53～S56	MK - II 移行実績 S57	MK - II 実績 S58～S60	計
燃 料 出 入 機	台車横行回数		回	1388	356	508	2252
	台車走行回数		回	1354	1540	530	3424
	グリッパ洗浄回数		回	28	44	14	86
	ドリッパパン取扱回数		回	9	44	15	68
	ドアバルブ開閉回数		回	1244	1556	801	3601
	出入機移動距離	走 行	m	3562	5221	2146	10929
		横 行	m	2192	1926	644	4762
ト ラ ン ス フ ァ ロ ー タ ー	格納容器側予熱ヒーター時間		H	2073	3421	1824	7318
	貯蔵設備側予熱ヒーター時間		H	2069	3421	1824	7314
	ラックヒーター投入時間		H	2735	3421	1824	7980
	トランスファローター回転回数		回	173	323	130	626
	格内ドアバルブ開閉回数		回	247	643	236	1126
	格外ドアバルブ開閉回数		回	285	643	236	1164
キ ャ ス ク カ ー	ナトリウム受皿ヒーター投入時間		H	1527	3106	1824	6457
	予熱ヒーター起動停止回数		回	159	848	401	1408
	予熱ヒーター投入時間		H	1268	530	977	2775
	グリッパ上下回数		回	762	1288	517	2567
	グリッパ爪開閉回数		回	443	644	328	1415
	遮蔽リング上下回数		回	640	963	351	1954
	ドアバルブ開閉回数		回	1162	1284	468	2914
	循環ブロウ起動時間	A	時	601	362	219	1182
		B	時	1045	168	169	1382
	循環ブロウ起動停止回数	A	回	231	579	226	1036
		B	回	303	269	175	747
	キャスクカー台車走行	回 数	回	608	1791	520	2919
		距 離	m	7016	7992	3235	18243

表 3.1 - 9 燃料取扱設備運転実績(その4)

設備	項 目		単位	MK - I 実績 S53～S56	MK - II 移行実績 S57	MK - II 実績 S58～S60	計	
	アルゴンガス冷却時間		分	1336	4755	1620	7711	
使用済燃料貯蔵設備	回転移送機	取扱本数 缶詰缶	本	158	317	108	583	
		取扱本数 炉心要素	本	137	317	108	562	
		回転動作回数	回	138	318	107	563	
		グリップ上下回数	回	948	1908	470	3326	
		グリップ爪開閉回数	回	548	954	363	1865	
	缶詰装置	缶詰缶取扱本数	本	158	317	108	583	
		水中台車往復回数	回	171	1272	432	1875	
		水中台車走行距離	m	1950	3688	1491	7129	
	使用済燃料移送機	グリップ上下回数	回	988	2512	994	4494	
		グリップ爪開閉回数	回	494	1276	485	2255	
		起動停止回数	横 行	回	649	1222	460	2331
			走 行	回	804	1222	460	2486
		動作距離	横 行	m	1114	6200	801	8115
			走 行	m	2540	12400	1620	16560

1977年, 2月～1985年, 11月

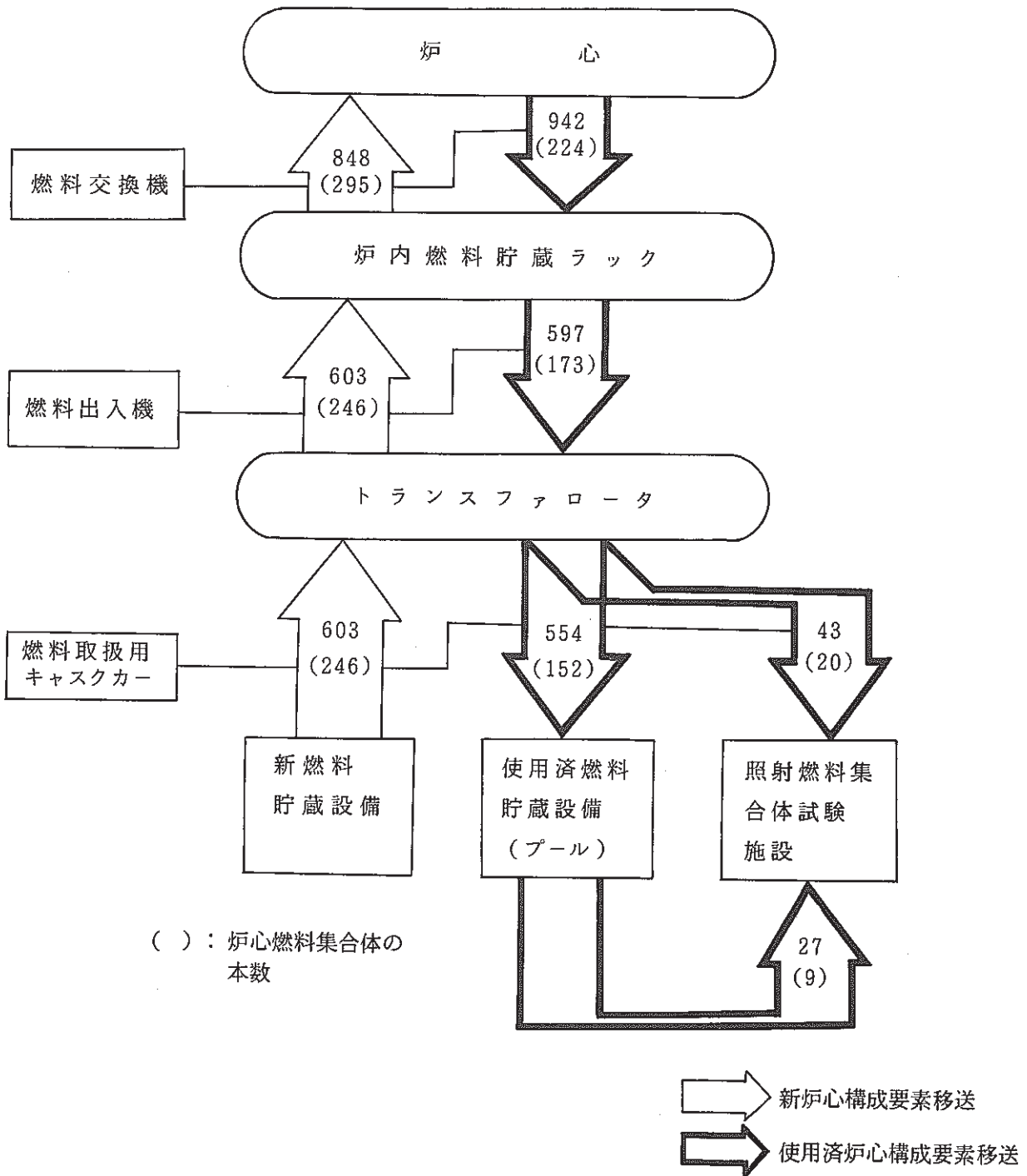


図3.1-1 炉心構成要素移送実績

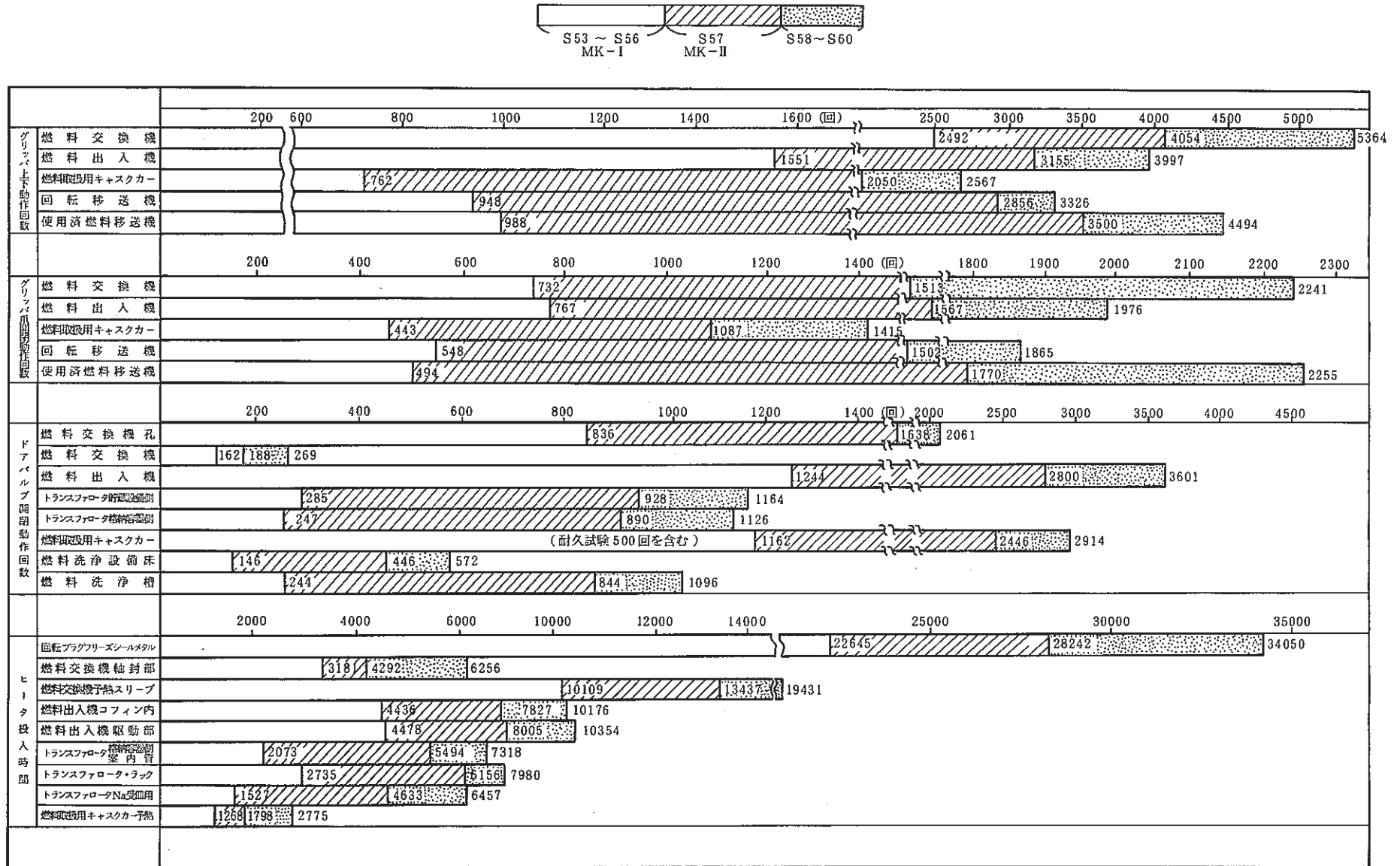


図3.1-2 燃料取扱設備運転実績 (その1)

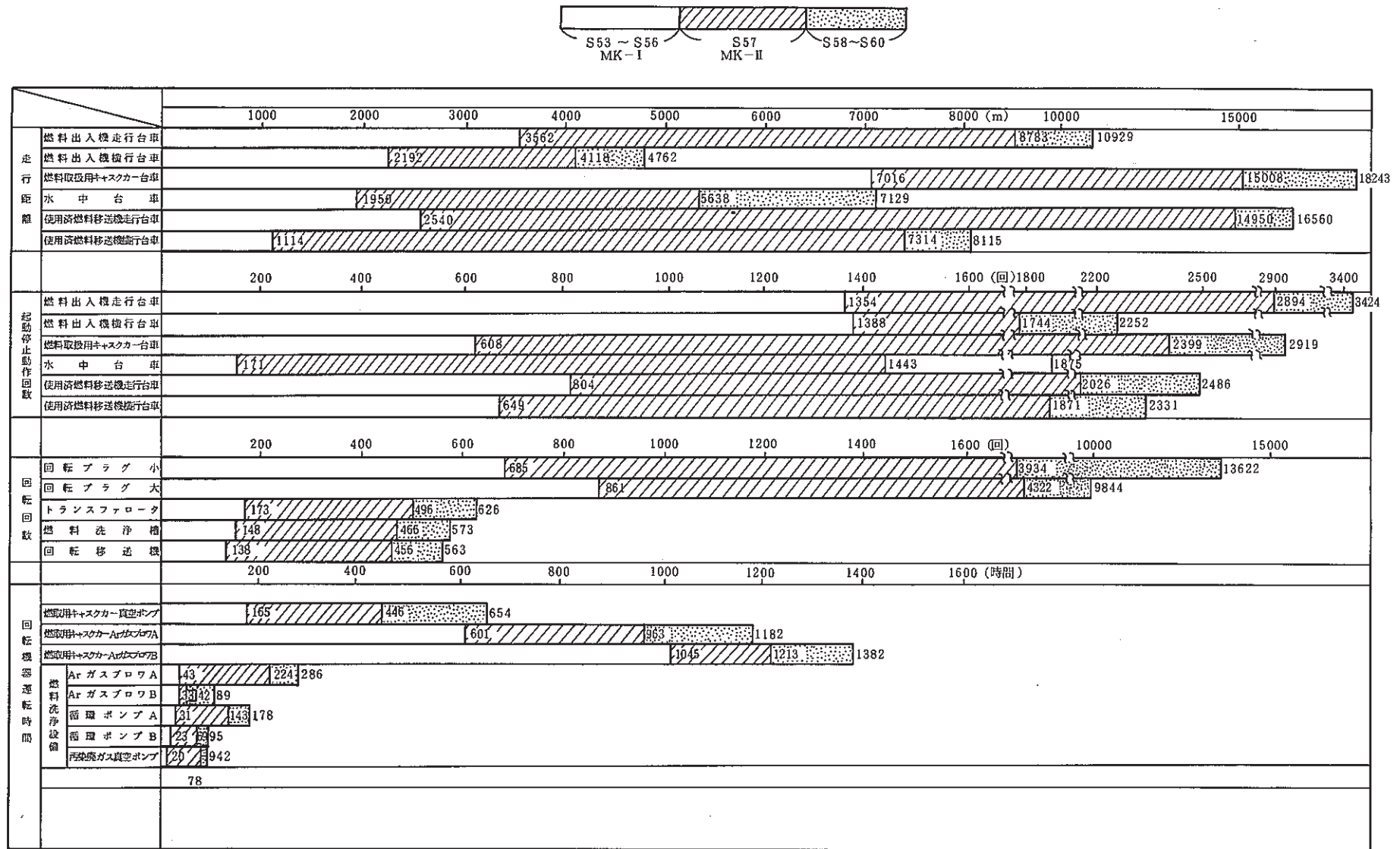


図3.1-2 燃料取扱設備運転実績 (その2)

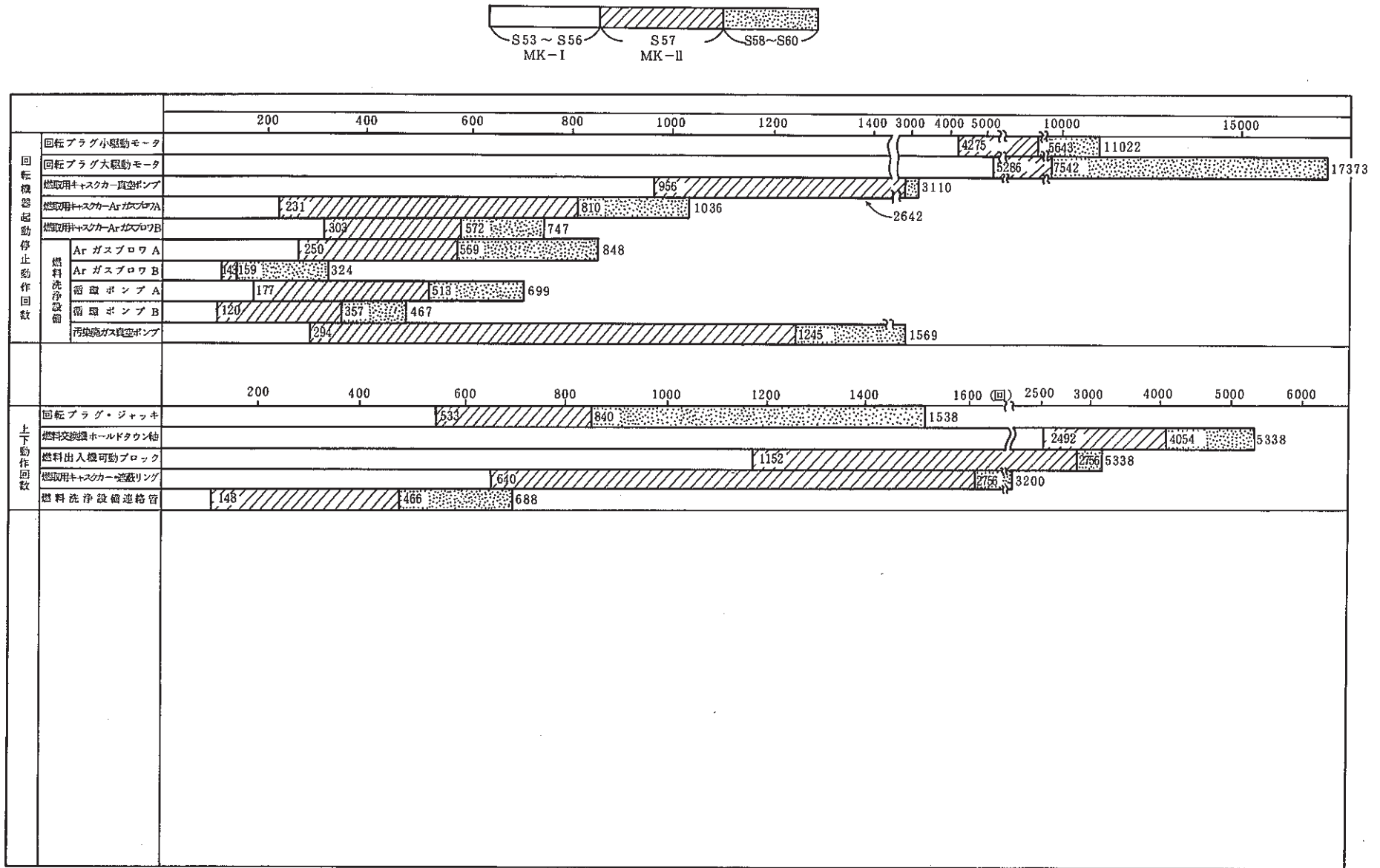


図3.1-2 燃料取扱設備運転実績 (その3)

(3) 燃料取扱設備の異常・故障

燃料取扱設備運転中に発生した主な異常事象・故障事象件数について、機器据付後の常温大気中試験以降昭和 60 年 12 月まで年毎に整理したものを表 3.1.10 から表 3.1-12、グラフ化したものを図 3.1-5 から図 3.1-7 に示す。

以上の各種事象を次のように分類した。

- ① 電気計装品の老朽化に起因するもの（交換を必要とする）
- ② 弁、機器類の老朽化に起因するもの（交換・改造を必要とする）
- ③ 付着ナトリウムに起因するもの
- ④ 運転中の警報発生事象

これらの分類に従って昭和 57 年から昭和 60 年まで、年毎に発生件数で整理したものを表 3.1-13 に示す。機器別に整理したものを図 3.1-8 から図 3.1-10 に示す。付着ナトリウムに関する事象は、上記分類①、④両方に含まれるので、合計のうちに含まれる件数として表わした。

分類①、②の事象のうち部品交換を要したものの内容を図 3.1-8 ～図 3.1-10 に示す。

分類③の付着ナトリウムに関わる異常事象内容を年別に整理したものを表 3.1-14 に示す。

分類④の内容を年毎に整理したものを図 3.1-11 に示す。

分類④の事象で動作する機器については、直線運動と回転運動に分類される。これら分類別及び上記分類③について具体例として示したものを添付資料-1 に示す。

表 3.1 - 10 燃料取扱設備に発生した主な異常・故障件数（その 1）

項目	年月	50					51					52												53				合計		
		1	2	8	11	12	2	3	4	5	6	7	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		3	4
試 験 区 別																														
		常温空气中					高温ガス中					ナトリウム中												臨界 低出力 自主点検 格納容器漏洩率試験						
回 転 プ ラ グ												2		2 2 1 1 0 0								0 0 0 1				0 0 0 0				9
燃 料 交 換 機														1 1 0 1 0 1								1 1 1 0				0 0 0 0				7
燃 料 出 入 機							5							0 7 0 0 0 0								0 1 0 0				0 0 5 0				18
ト ラ ン ス フ ァ ロ ー タ							1							2 0 2 0 0 1								0 0 1 1				0 1 1 0				10
燃 料 取 扱 用 キ ャ ス ク カ ー		1					3					3		3 0 0 0 0 1								0 0 1 0				0 0 1 2				15
燃 料 洗 浄 設 備												5		4 5 2 0 0 0								1 0 4 0				0 0 1 0				22
使 用 済 燃 料 貯 蔵 設 備												1		0 1 1 0 0 0								1 1 0 0				0 1 0 0				7
月 別 合 計		1					4 5 9 2							12 16 6 2 0 3								3 3 7 2				0 2 8 2				88

表 3.1 - 11 燃料取扱設備に発生した主な異常・故障件数(その2)

項目 \ 年月	53	54	55	56
	5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
試 験 区 別				
回 転 プ ラ グ	1	3 2 6	1 6	4
燃 料 交 換 機	1 4 3	1 2	1	1 1 1
燃 料 出 入 機	3 1 3	7 3 3	2 4 2	5 1 1
ト ラ ン ス フ ァ ロ ー タ				
燃料取扱用キャスクカー				
燃 料 洗 浄 設 備				
使用済燃料貯蔵設備				1 2
月 別 合 計	3 1 5 7	8 8 2 9	3 11 2	4 6 1 2 3 1

表 3.1 - 12 燃料取扱設備に発生した主な異常・故障件数(その3)

年月 項目	57	58	59	60
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
回 転 プ ラ グ	0 6 6 9 2 4 0 0 2 4 0 2	0 0 0 3 0 3 1 0 0 2 0 0	0 0 0 2 0 2 0 3 0 4 1 0	2 3 0 0 0 0 0 1 0 1 2 0
燃 料 交 換 機	1 7 1 3 9 12 1 0 3 4 3 6	0 0 0 3 0 4 2 0 0 2 0 0	0 0 0 4 0 1 0 2 0 1 1 0	4 2 0 4 1 0 3 0 1 0 0 0
燃 料 出 入 機	2 4 8 7 5 6 4 0 9 3 0 2	0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 2	0 0 0 6 0 8 0 3 0 0 4 0	3 0 0 2 0 0 0 0 0 0 2 0
トランスファロータ	1 2 0 2 1 2 0 0 1 2 0 2	0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 2 0 0 0 1 0 0 0 0	0 1 0 2 0 0 0 1 0 1 3 0
燃 料 取 扱 用 キ ャ ス ク カ ー	3 6 9 7 6 8 2 0 2 4 0 0	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 2	0 0 0 0 0 0 1 2 0 3 4 3	1 1 0 1 0 0 0 0 0 1 5 0
燃 料 洗 浄 設 備	3 9 2 8 2 9 2 0 5 3 0 0	0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1	1 0 0 4 0 2 0 3 0 1 6 0	0 0 0 3 0 0 0 0 0 1 3 0
使用済燃料貯蔵設備	2 2 7 4 1 4 6 0 2 2 0 3	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 2 0 2 3 6 0 4 7 2	1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 2 0
月 別 合 計	12 36 33 40 26 45 15 0 24 22 3 15	0 0 0 15 0 7 4 0 0 4 0 5	1 0 0 20 0 15 4 20 0 13 23 5	11 7 0 12 2 0 3 2 2 5 17 0

表 3.1-13 分類別異常・不具合事象発生件数

分類 昭和年	電気計装品関係	弁機器関係	警報事象	その他	計	付着ナトリウム関係 (左欄合計に含む)
57	71	91	102	31	295	22
58	11	2	19	2	34	1
59	25	28	50	9	112	8
60	28	11	24	5	68	9
計	135	132	195	47	509	40

表 3.1 - 14 付着ナトリウムに関わる異常事象内容

設備	事 象	件数	事 象	件数	事 象	件数	事 象	件数
C/P								
	電 導 度 高	1						
T/R								
	Naドレンタンクレベル高	1						
C/C								
	D / V 異 音	1						
	荷 重 異 常	2						
	グリッパ制御異常	1					内側D/P 取出し不可	1
R/P	水 平 度 異 常	1						
	異 音	2						
	ハイトロッドバルブ異常	1						
	ジャッキ down 不可	1						
	振 動	1					水 平 度 異 常	1
E X T R A								
							孔プラグ引抜き異常	2
					荷 重 異 常 (スリーブ引抜き)	3	装荷異常(スリーブI)	1
I N C O								
	センシング下限ANN	1						
	荷 重 異 常	1			グリッパ上昇 ANN	1	グ リ ッ パ 異 音	1
	駆 動 部 異 音	6			下 降 異 常	1	引 抜 き 異 常	1
	D / V 異 音	2	荷 重 異 常	1	荷 重 異 常	3	H / D 下 降 異 常	2
年	57 年	22	58 年	1	59 年	8	60 年	9

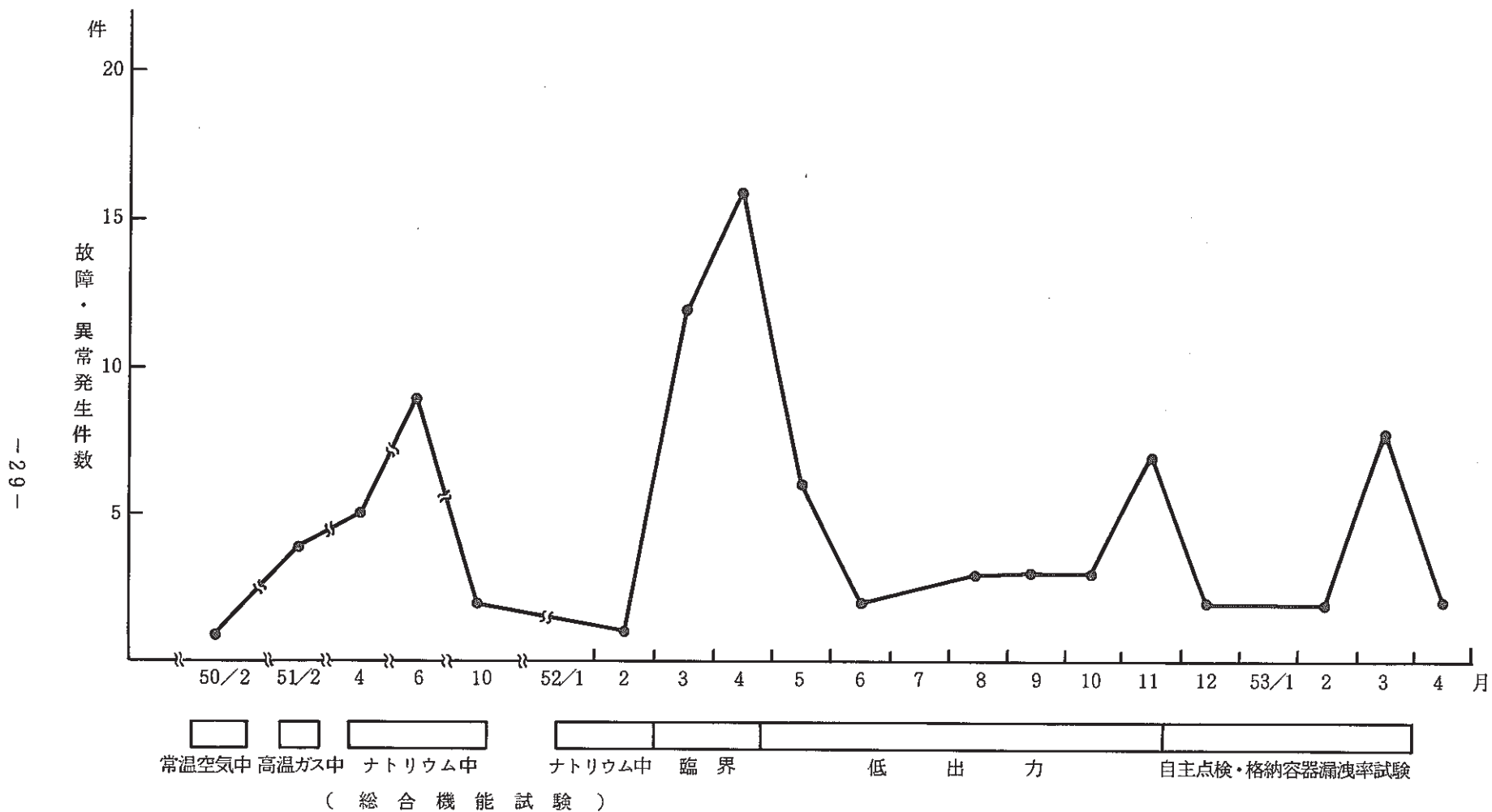


図 3.1 - 5 燃料取扱設備における主な異常・故障発生状況 (その1)

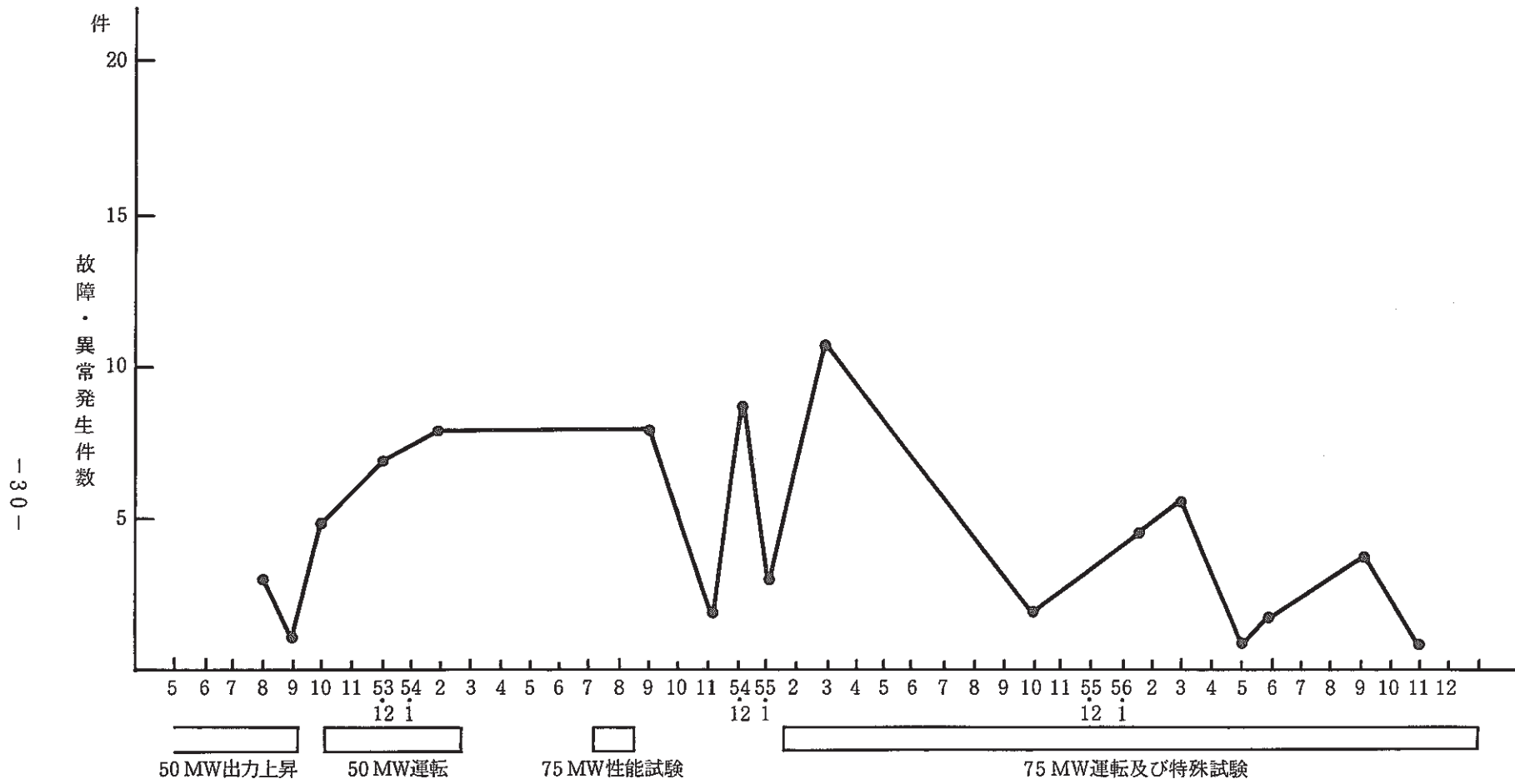


図 3.1 - 6 燃料取扱設備における主な異常・故障発生状況（その2）

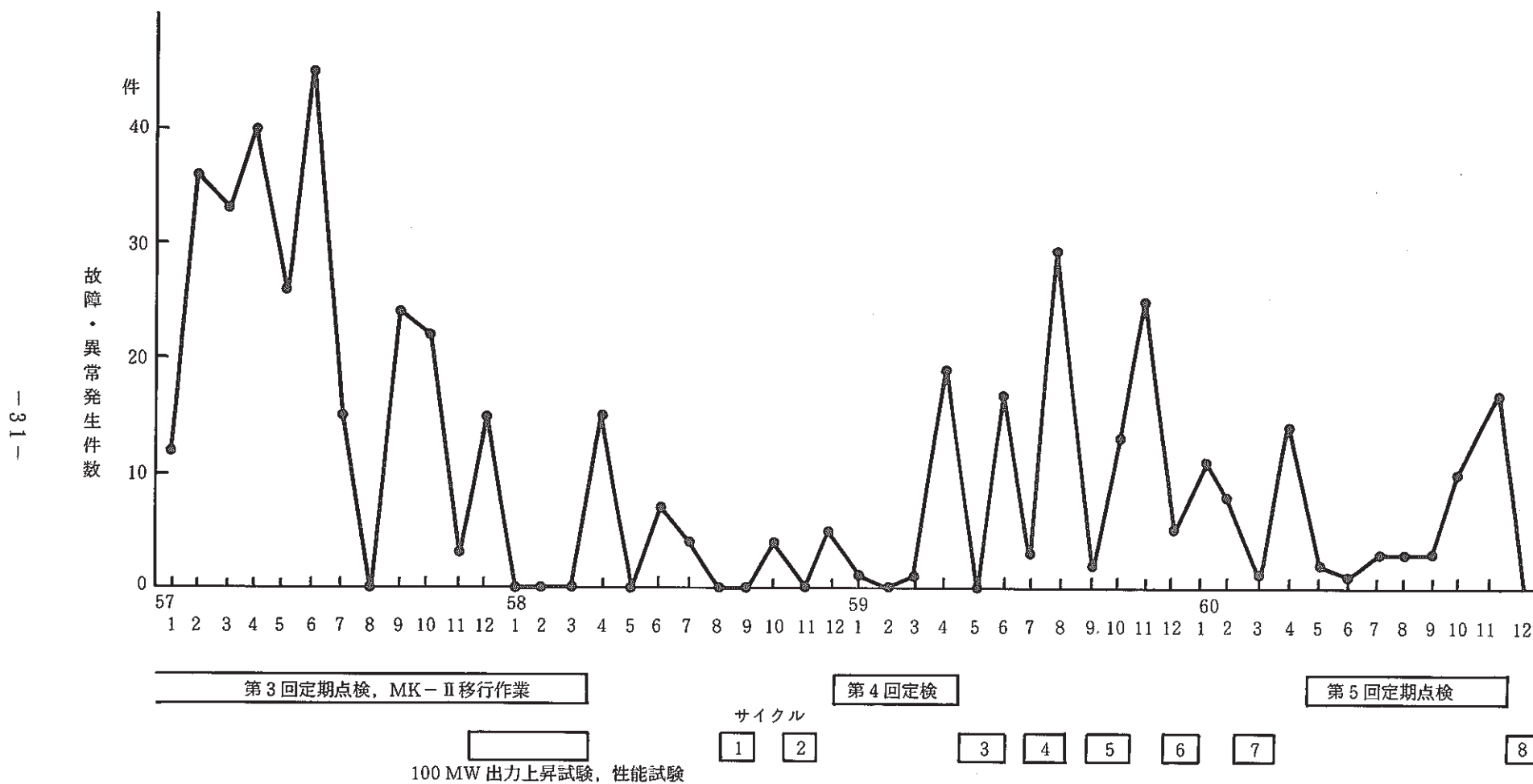


図 3.1 - 7 燃料取扱設備における主な異常, 故障発生状況 (その3)

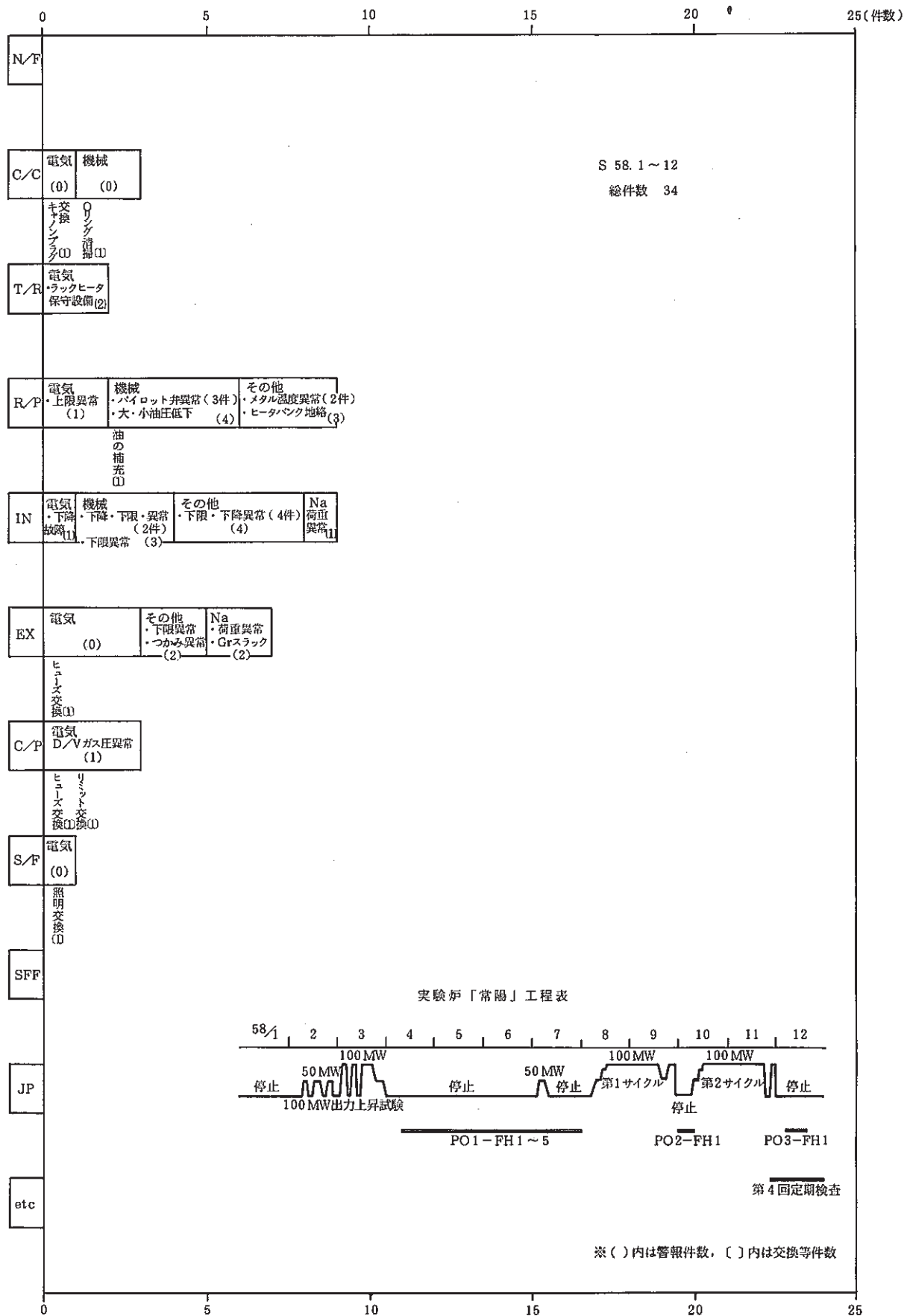
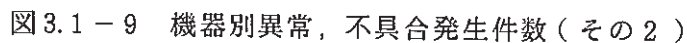


図 3.1 - 8 機器別異常, 不具合発生件数 (その 1)



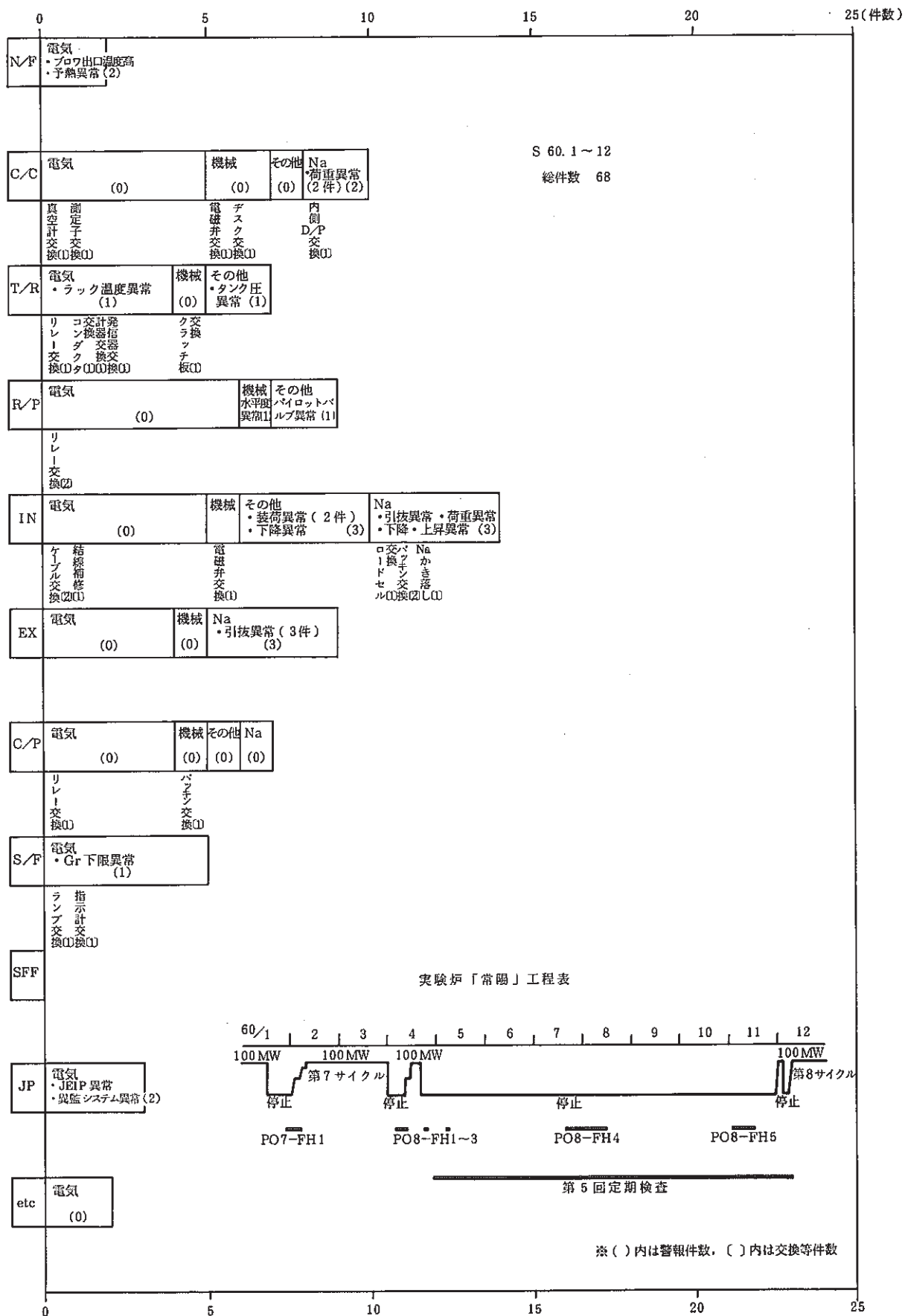


図 3.1-10 機器別異常, 不具合発生件数 (その 3)

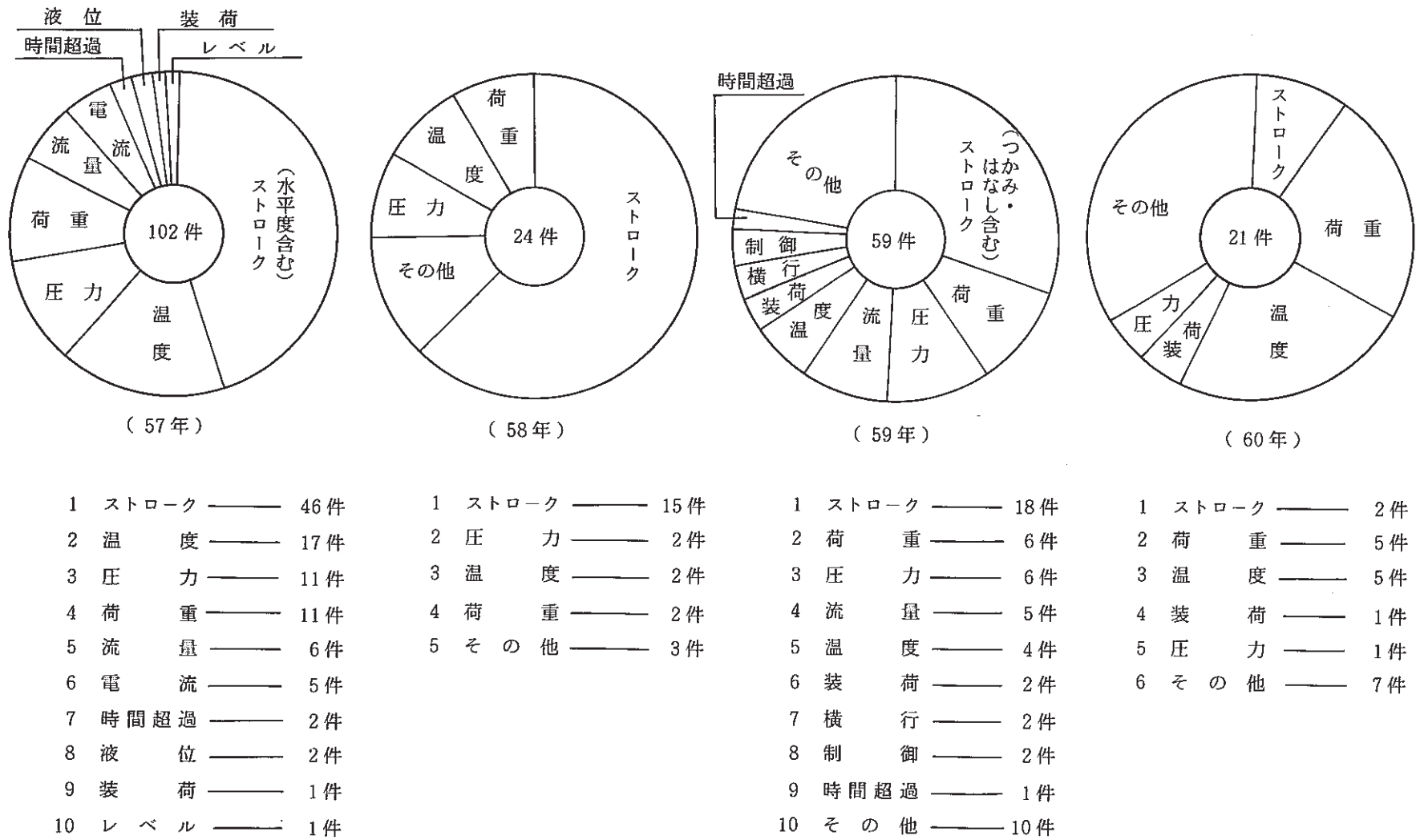


図 3.1 - 11 警報発生事象の内容

3.2 保守実績

燃料取扱設備は、これまで5回の定期点検と、燃料交換作業に伴う洗浄、定期的な保守上の点検を行ってきた。昭和51年以降のこれら保守実績を表3.2-1から表3.2-3に示す。

この頁は PDF 化されていません。
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理
担当箇所で原本冊子を参照して下さい。

4. 燃料取扱設備の運転・保守経験

4.1 運転経験

燃料取扱設備運転時、各種の事象が発生した。その中でナトリウム冷却型高速炉特有と考えられるものを主にまとめた。昭和58年1月以降昭和60年12月までの3年間に経験したものは次の通りである。

- ・回転プラグ：付着ナトリウムによるジャッキダウン異常（昭和57年1月より発生）の運転上の対策、フリーズシールメタル酸化粉（回転プラグ運転開始後その発生がみとめられた）の生成・堆積。
- ・燃料交換孔まわりのナトリウム付着の影響
- ・炉心構成要素取扱時の各種異常事象
- ・燃料およびグリッパの洗浄経験
- ・燃料交換作業に伴う滴下ナトリウムに関するもの

以下に、これらの運転経験を記す。

4.1.1 回転プラグ

1) ジャッキダウン異常事象とその対策

i) ジャッキダウン異常

「常陽」の回転プラグは、大回転プラグ、小回転プラグから成る二重回転プラグ方式である。燃料交換時回転プラグは、大小回転プラグ共、位置決めのため回転出来るように油圧装置でそれぞれ約20mm持ち上げて燃料交換作業を行う、燃料交換作業後、ふたたび原子炉を運転するためには、所定位置までジャッキダウンさせる必要がある。しかし、昭和57年1月照射用炉心移行作業を皮切りに、大回転プラグが所定位置まで下降しないという異常事象（ジャッキダウン異常）が度々発生した。これに付随して、回転時には、回転用駆動装置の駆動電流が上昇し、回転プラグ本体からは金属がきしむような異音が発生した。ジャッキダウン異常は、大回転プラグのみ発生し、かつその異常事象が75MW第6サイクル以降であること、また、ジャッキダウン、ジャッキアップそして回転のくり返しを行うと下降する傾向にあることなどから、固定側と回転側の間隙部にナトリウムが付着堆積したものが原因であると推定し、当該部の観察をファイバースコープにより行った。観察の結果、回転部外表面に金属光沢を有したナトリウムが周方向全体に渡り付着していることが確認された。観察箇所を図4.1.1-1に示す。観察結果の代表例を図4.1.1-2、時系列で整理したものを図4.1-3に示す。回転部へのナトリウム付着の原因は、原子炉出力上昇に伴ってナトリウム蒸気発生が活発化し、このナトリウム蒸気が回転プラグと炉容器の間隙部に生じるカバー

ガスの自然対流により間隙部上方の低温域まで運ばれ、付着したものと推定される。

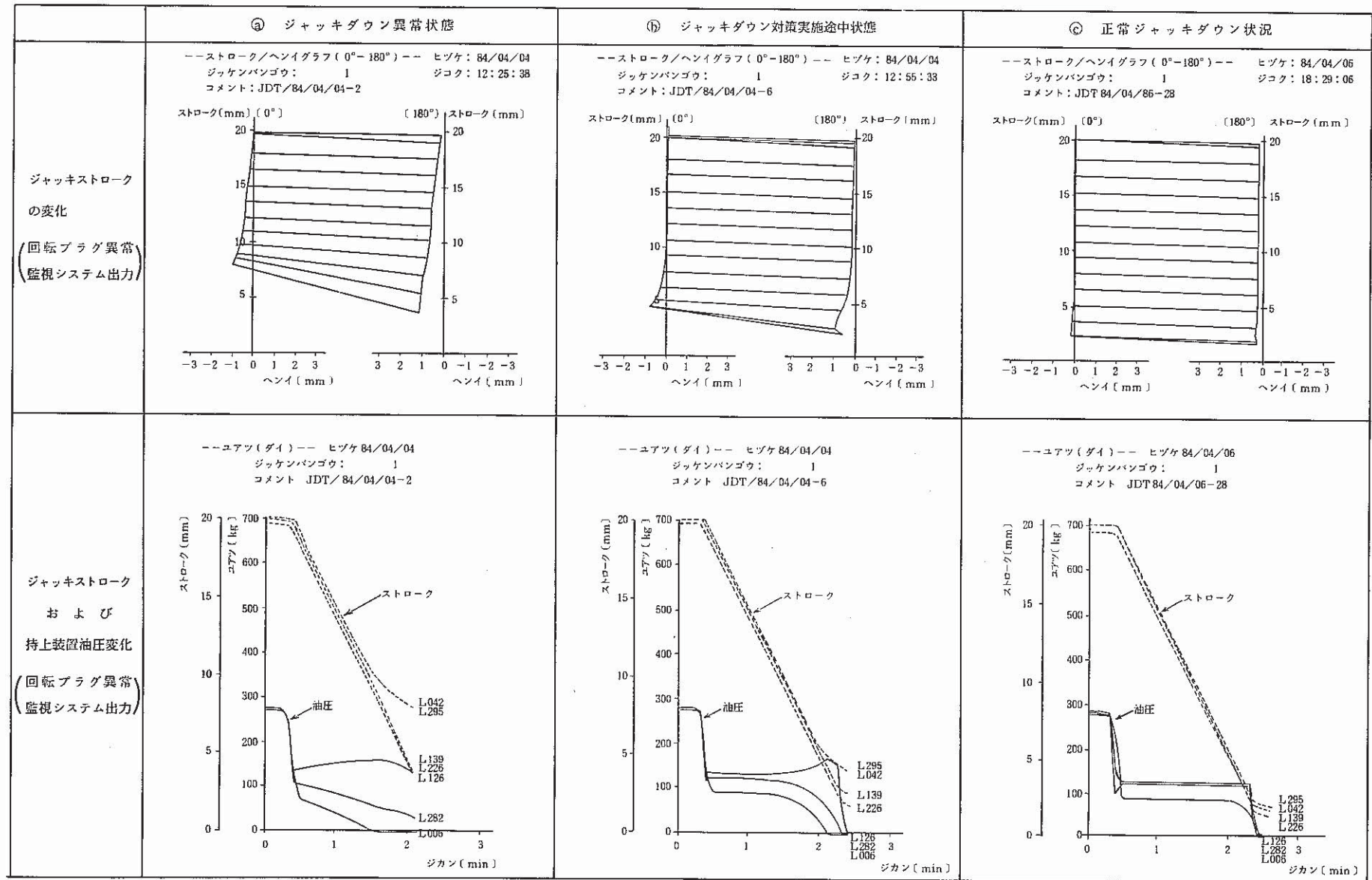
ii) ジャッキダウン対策

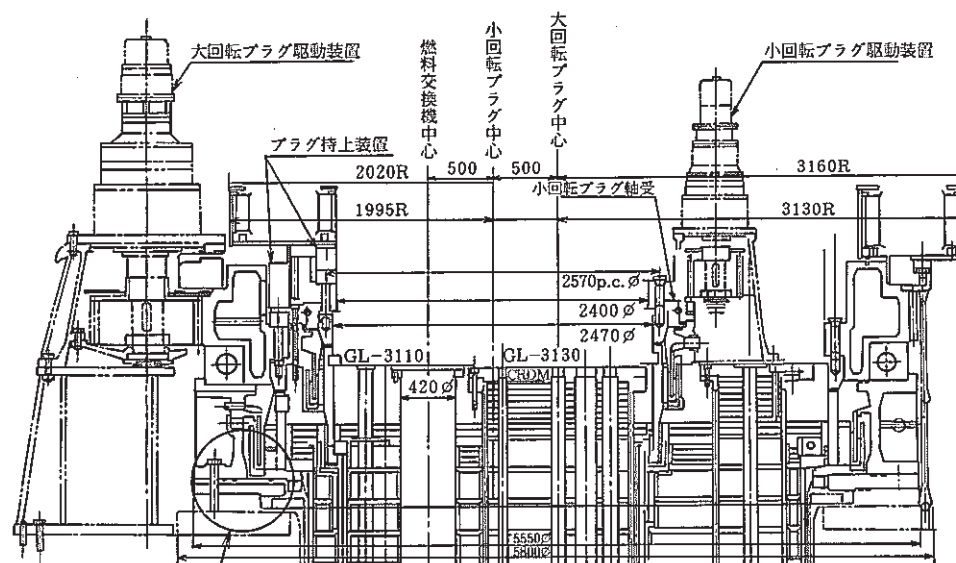
以上のジャッキダウン異常に対して原子炉運転に不可欠なジャッキダウン状態を実現させるための対策として、最も有効であるジャッキアップ、ジャッキダウン並びに回転操作を行う方法を採用した。ジャッキダウン異常発生当時は、比較的ジャッキストローク上降りる度合いが大きい位置に回転して、そこでジャッキダウン、アップ操作の繰返しを行っていた。付着ナトリウム分布を把握した後は、回転プラグの固定側と回転側のナトリウム付着領域が重ならない位置に回転し、そこでジャッキアップ、ダウン操作・回転操作を行なう方法にした。また、回転プラグ重量による付着ナトリウム押出し効果を考慮して上記操作の繰返し回数を低減化し、作業時間短縮化をはかった。

ジャッキダウン実施時の大回転プラグの降下状況を異常監視システムの出力で整理したものを表 4.1.1 - 1 に示す。表中④のジャッキダウン異常状態の時には、回転プラグが傾いて降下しており、3系統ある持上装置の油圧の変化は一様でない。⑤はジャッキダウン対策途中の状態である。この時には表中に示すような油圧変化となる。③はジャッキダウン正常状態である。回転プラグは、水平状態で降下し、油圧は一定値を保っている。

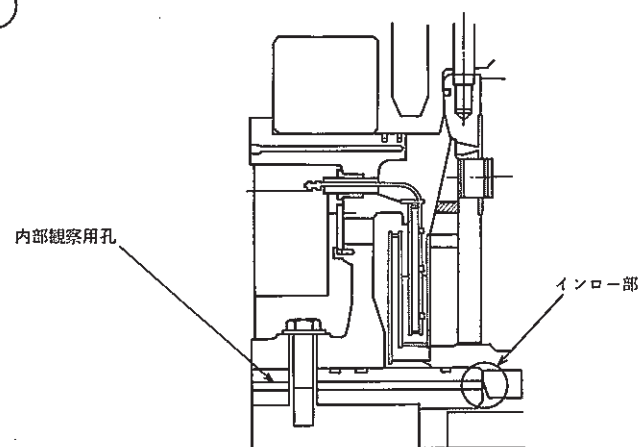
ジャッキダウン異常事象は、昭和 59 年 10 月の燃料交換作業時以降発生しなくなった。

表 4.1.1-1 大回転プラグジャッキダウン異常状況





A



A 部拡大図

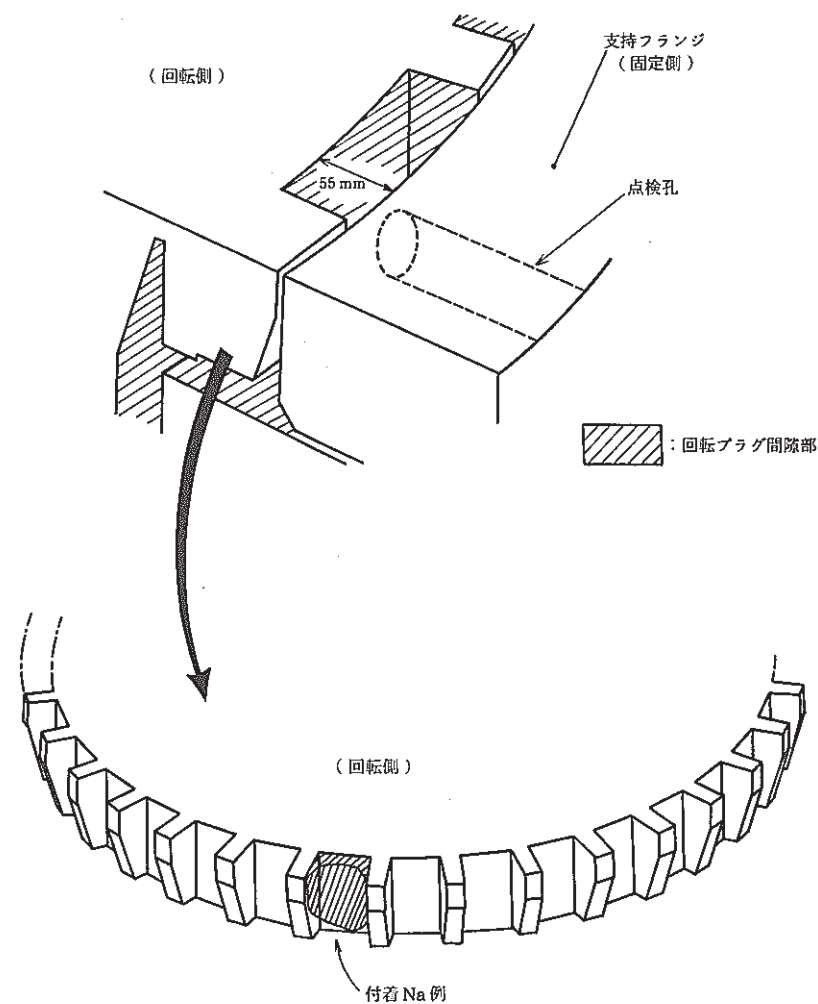


図 4.1.1 - 1 回転プラグインロー部ナトリウム付着説明図

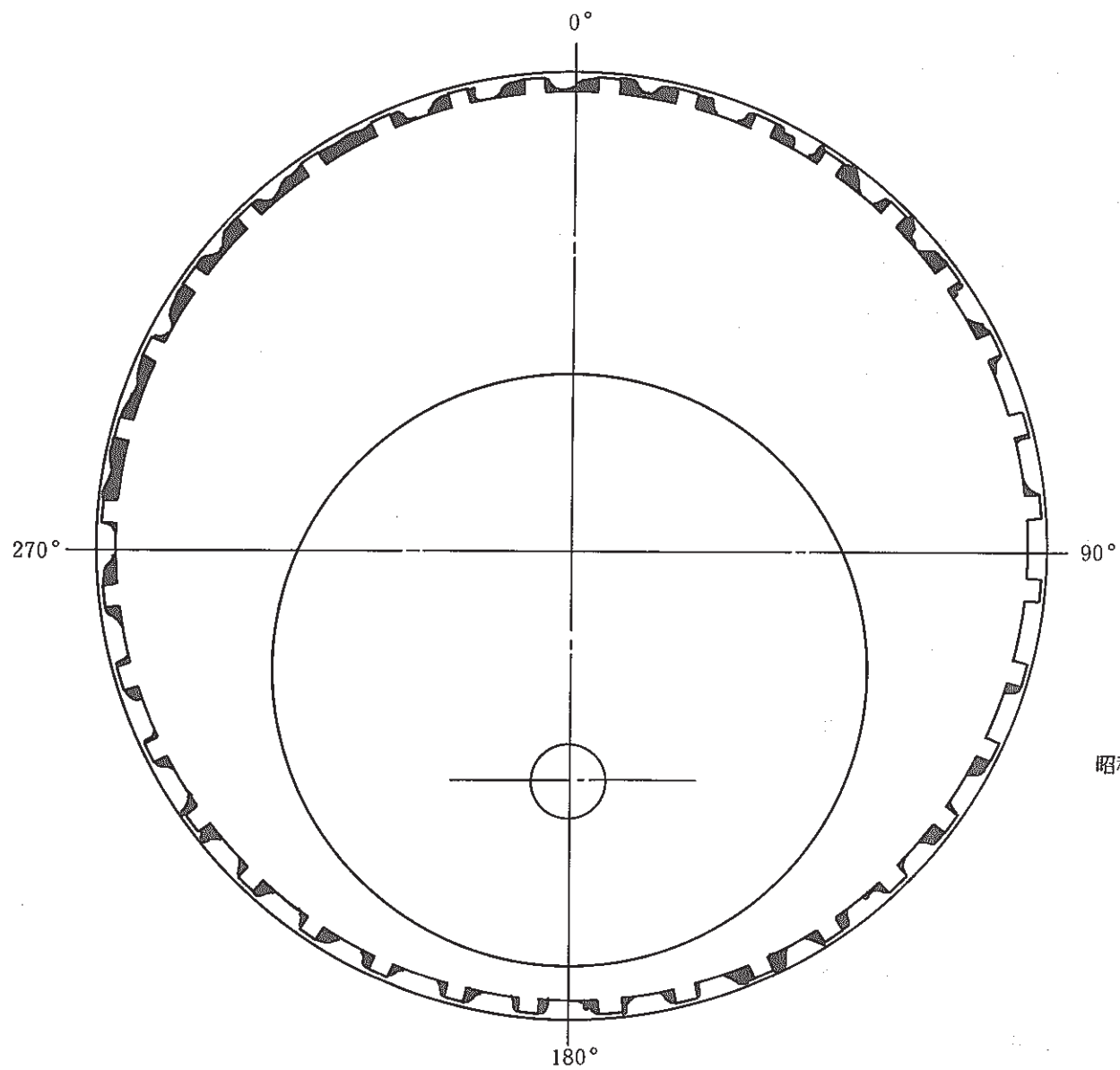


図4.1.1-2 大回転プラグ付着ナトリウム観察結果

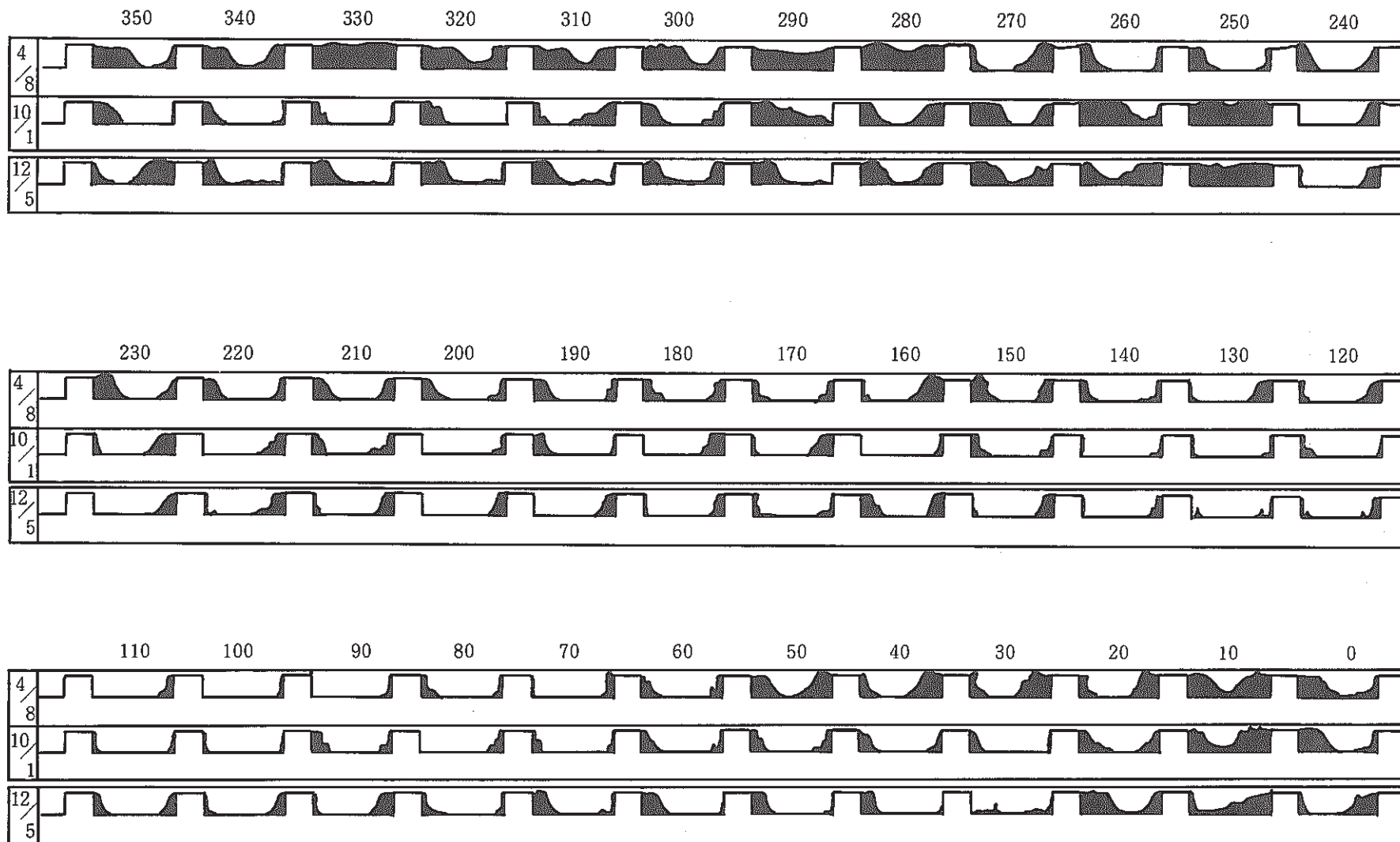


図 4.1.1 - 3 大回転プラグインロー部付着ナトリウム分布 (昭和 58 年 4 月, 10 月, 12 月)

2) フリーズシールメタル酸化粉生成状況とその対策

イ) 酸化粉生成状況

常陽回転プラグの炉内カバーガスシール機構は、フリーズシール機構とそのバックアップとしてチューブシールとから成っている。構造図を図 4.1.1-4 に示す。これらのうち、フリーズシール 2 次側メタル表面に黒色酸化粉末が運転開始以来発生している。図 4.1.1-5 に示すようにこれまで度々酸化粉の回収、メタルの補充を行ってきた。これらを整理した結果を図 4.1.1-6, 図 4.1.1-7 に示す。各々小回転プラグ側大回転プラグ側のフリーズシール 2 次側のメタル高さ、酸化粉堆積厚さの変化を模式的に表わしたものである。

イ) 小回転プラグ側酸化粉生成状況

これまで、3 回酸化粉回収を行なっている（昭和 59 年 3 月除く）。各回収直後を起点として、フリーズシール桶内酸化粉堆積厚さを整理した。メタルの累積溶融時間で整理したものを図 4.1.1-8 に示す。酸化粉堆積分布は必ずしも一様でないことが認められている。従って、メタル点検孔 1 ケ所のみ測定した時のデータを除いて整理したものを図 4.1.1-9 に示す。回転プラグ回転数^(*)で整理したものを図 4.1.1-10 に示す。メタル溶融時間と凝固時間の和で整理したものを図 4.1.1-11 に示す。

以上のグラフから、次の事項が傾向として挙げられる。

a) メタル累積溶融時間との関係

全体的な傾向として、酸化粉の増加割合は、メタル溶融累積時間で整理すると 10,000 時間ぐらいから大きくなるようにみえる。

b) 回転プラグ回転数との関係（フリーズシール 1 次側と 2 次側の仕切板の攪はん効果）

小回転プラグ側酸化粉堆積厚さと回転数^(*)との関係は薄い。

c) 昭和 59 年 3 月以降について

昭和 59 年 3 月、小回転プラグ側酸化粉の一部回収、メタル補充を行なっている。この時の酸化粉堆積厚さ、メタル液位のデータは無いが、昭和 60 年 5 月のデータから類推した結果が図 4.1.1-6 である。これによると酸化粉生成割合が小さい。

昭和 60 年 5 月酸化粉回収時フリーズシール桶内観察の結果、酸化粉中にメタル層の存在が認められた。これは昭和 59 年 10 月炉内カバーガス圧異常の影響と考えられる。

昭和 59 年 3 月以降の酸化粉生成割合が小さい理由は、上記酸化粉中メタル層が、フリーズシールメタルと空気との接触防止の役割、あるいは酸化粉生成要因と考えられている外力に対する緩衝体の役割を果たしていたためと考えられる。

ロ) 大回転プラグ側酸化粉生成状況

小回転プラグ側の酸化粉が昭和 51 年 12 月以前から発生しているのに対し、大回転プラ

^(*) 積算回転数、360°分の回転を 1 回転とする。

グ側は、昭和55年12月以降から発生している。昭和55年10月回転プラグ分解時の観察によると、大回転プラグフリーズシールメタル表面上に回転プラグ上部構造物のオイルの皮膜が形成されていた。この皮膜がメタルと酸素の接触を断ち、酸化粉生成をおさえていたと報告されている。^(*)

図4.1.1-7から、昭和59年11月以降の堆積厚さが短期間で70 mm以上となっていることがわかる。小回転プラグ側のデータと比較すると図4.1.1-12の通りである（メタル溶融時間で整理）。

フリーズシール桶の大きさ、温度等大、小回転プラグを単純に比較することはできないが、今後の酸化粉発生量を考慮する場合には、このメタルの溶融時間と酸化粉堆積厚さの関係を考慮する必要がある。

ii) 酸化粉の性状

フリーズシール機構に堆積している黒色酸化粉の生成メカニズムを究明するために、酸化粉発生が認められて以来種々の分析、試験を実施してきた。酸化粉の性状を整理すると表4.1.1-2の通りで、主成分は In_2O_3 である。

炉外酸化粉再現性試験の結果では、実機と同様の微細黒色粉末は、振動を与えると生成された。また、この酸化粉は、温度依存性の傾向がみられる。試験装置、試験結果概要を表4.1.1-3に示す。

iii) 酸化粉生成の対策

フリーズシール機構に発生する酸化粉は、メタルの減量とともにシール機能へも影響を与える。シール機能維持をはかるため過去3回、回転プラグ分解点検時酸化粉除去およびメタル補充を行ってきた。いずれも、回転プラグ上部構造の取外しを実施しており、大規模、長期間の作業となった。昭和58年3月には、上部構造物を取外すことなく、容易に酸化粉除去を実現できるような方法を見出だすために、吸引方式の除去作業を試みた。回転プラグに設けられているメタル点検孔からフリーズシール桶2次側にノズルを挿入し、吸引する方法を用いたが、ノズルの挿入性の上から十分な効果をあげることはできなかった。

一方、これまでの試験研究結果から、酸化粉生成の防止あるいは低減化対策として考えられるものをまとめた。これを表4.1.1-4に示す。これらのうち、酸化粉の生成が温度に依存する傾向にあることをとらえて、実機フリーズシールメタル溶融、凝固時温度変化を調査し、メタル運転温度の変更を試行的に開始した。

(*) PNC SN941 83-16「高速実験炉「常陽」回転プラグ保守経験」

＜メタル運転温度変更とこれに伴う調査＞

① 現運転温度根拠の調査

三元合金であるフリーズシールメタルの、各々二元合金状態での共晶点を測定し、その最高温度 139℃に安全率を考慮し制御温度を 170℃～180℃とした。(表 4.1.1-5 参照)

② 実機メタルの凝固点の調査、試験

フリーズシールメタル溶融、凝固時の温度変化記録から実機メタルの凝固点を調査した。また、炉外試験により実機のメタルを溶融、凝固してこの時の温度変化を測定した。表 4.1.1-6 に測定結果を示す。この表で示されるように実機の使用済メタルには未使用メタルでは見られない何らかの析出が約 120℃近傍であることが判明した。

③ 運転値の変更

以上の調査、測定結果より、120℃に余裕 5℃を加え、かつ温度制御によるヒータ ON・OFF のオーバーシュート分 5℃を考慮して温度指示の最低温度が 130℃となるように、運転値を変更した。変更前の設定を図 4.1.1-13 に、変更後の設定を図 4.1.1-14 にしめす。

現在、メタル運転温度変更後の酸化粉生成状況を監視しているとともにフリーズシール 2 次側室内の雰囲気の不活性ガス化する計画を進めている。

表 4.1.1-2 回転プラグフリーズシールメタル酸化粉の主要な性状

- 粒 径：最小径 1 μm
- 主成分： In_2O_3
- 酸化粉外観は黒色である、粒内部は金属光沢を呈している。
- 粒表面 0.3～0.7 μm は In_2O_3 、粒中心部は Bi 濃度が高い。
- 酸化粉の成分は、メタルと比較して、In 濃度が高く、Bi 濃度が低い。

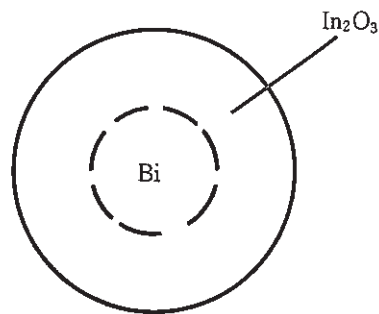


表 4.1.1 - 3 酸化粉再現性試験結果

Test Conditions			Test Result
Temp.(°C)	Vib.	Stir.	
120	○	○	Filmy oxide formed only
150	○	○	Black powdered oxide formed
200	—	○	Filmy oxide formed only

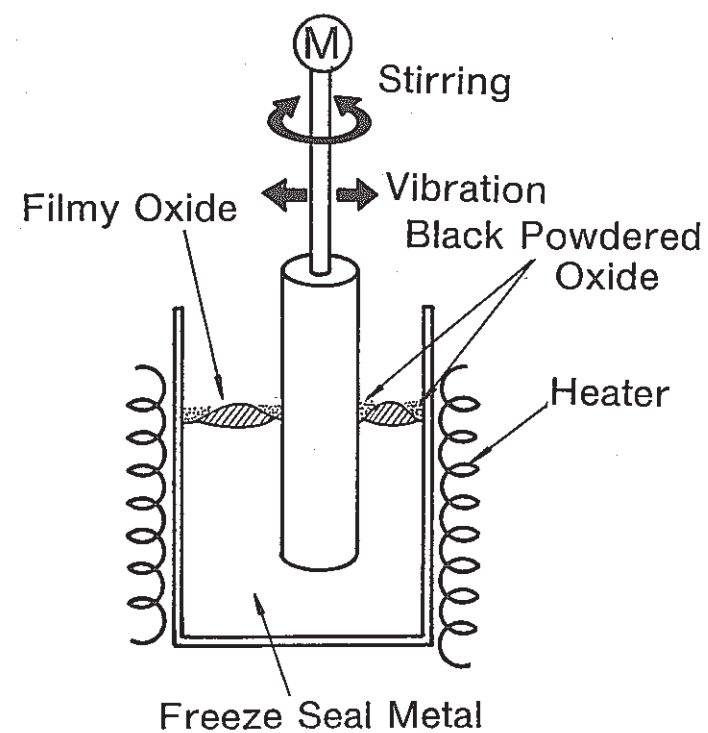


表 4.1.1 - 4 回転プラグフリーズシールメタル酸化粉対策

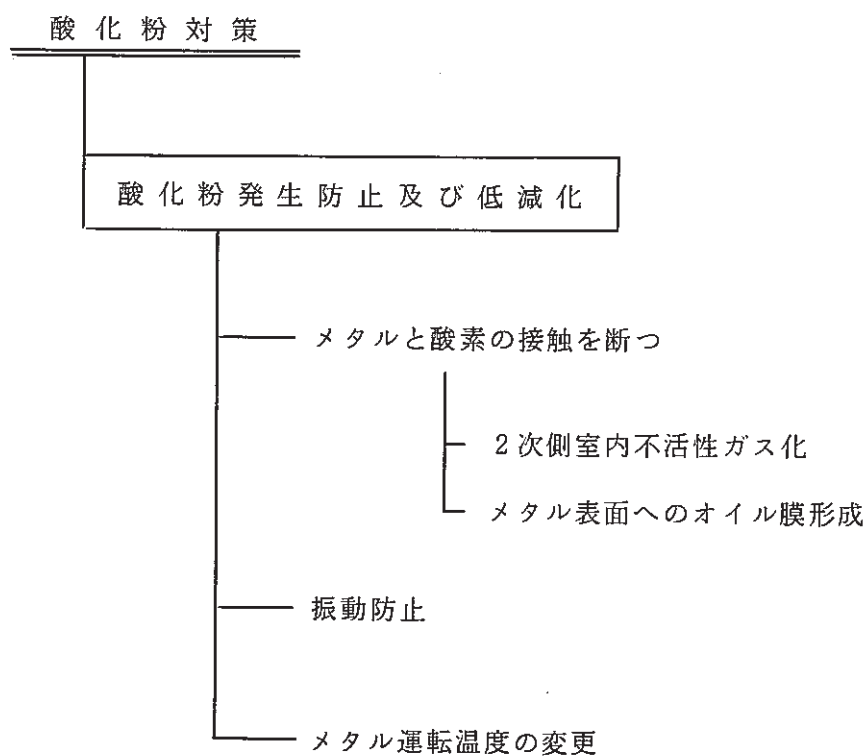


表 4.1.1-5 フリーズシールメタル成分元素の融点

成分 or 二元素	項 目	融 点 °C	共 晶 点 °C	共晶組成 wt %
Bi		271		
In		157	—	—
Sn		231.9		
Bi - In			72	34Bi - 66In
In - Sn		—	117	48Sn - 52In
Sn - Bi			139	57Bi - 43Sn

・フリーズシールメタル成分の融点および各二元共晶合金の共晶点，組成を示す。

PNC SN941 81-139「回転プラグ フリーズシールメタルに関する運転経験」を引用。

表 4.1.1-6 フリーズシールメタル融点・凝固点調査結果

測定日	測定物名	融 点 (°C)	析出温度*2 (°C)	凝固点 (°C)	測定方法	備 考
8月19日	実機メタル	—	大：103 小：118	(75~90)	既設現場記録 計紙判読	定検後のもの (上部)
19日	〃	—	大：104 小：115	〃	〃	〃 (下部)
21日	未使用メタル	—	な し	79	炉外試験 *1	
21日	実機メタル(大)	83	113	79	〃	定検時サンプ リングのもの
22日	〃	81	—	79	〃	〃
23日	〃	90	109	79	〃	〃
23日	〃	80	109	79	〃	〃
22日	もんじゅのメタル (未使用)	128	な し	123	〃	

*1 るつぽに約 30 cc のメタルを入れ，電気コンロにより加熱と冷却を行い熱電対により温度測定を行った。

*2 使用済メタルはメタルフリーズ時に凝固点のあらわれる前に温度変化が表われた。この温度を「析出温度」とした。

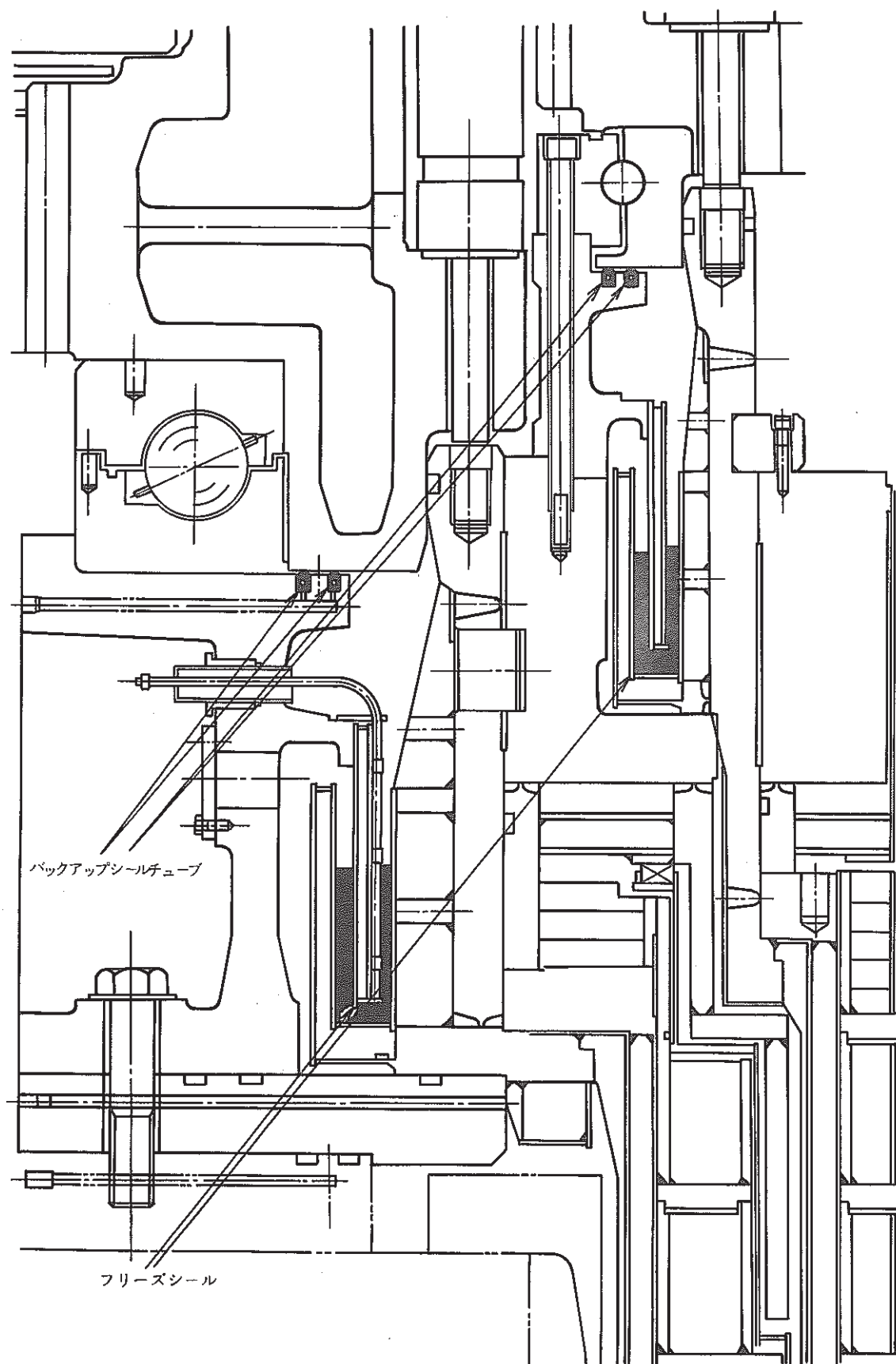


図 4.1.1 - 4 回転プラグシール構造

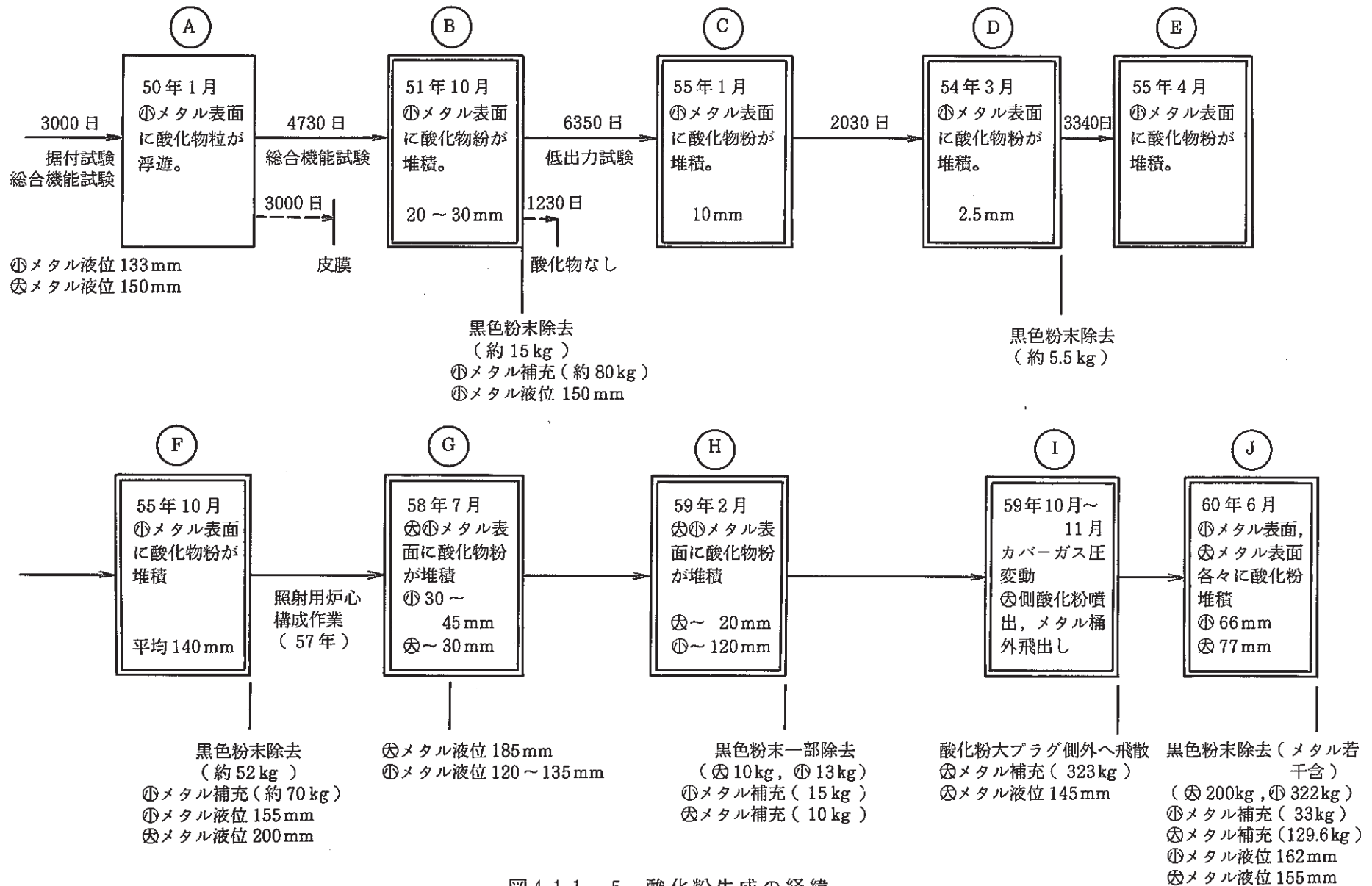
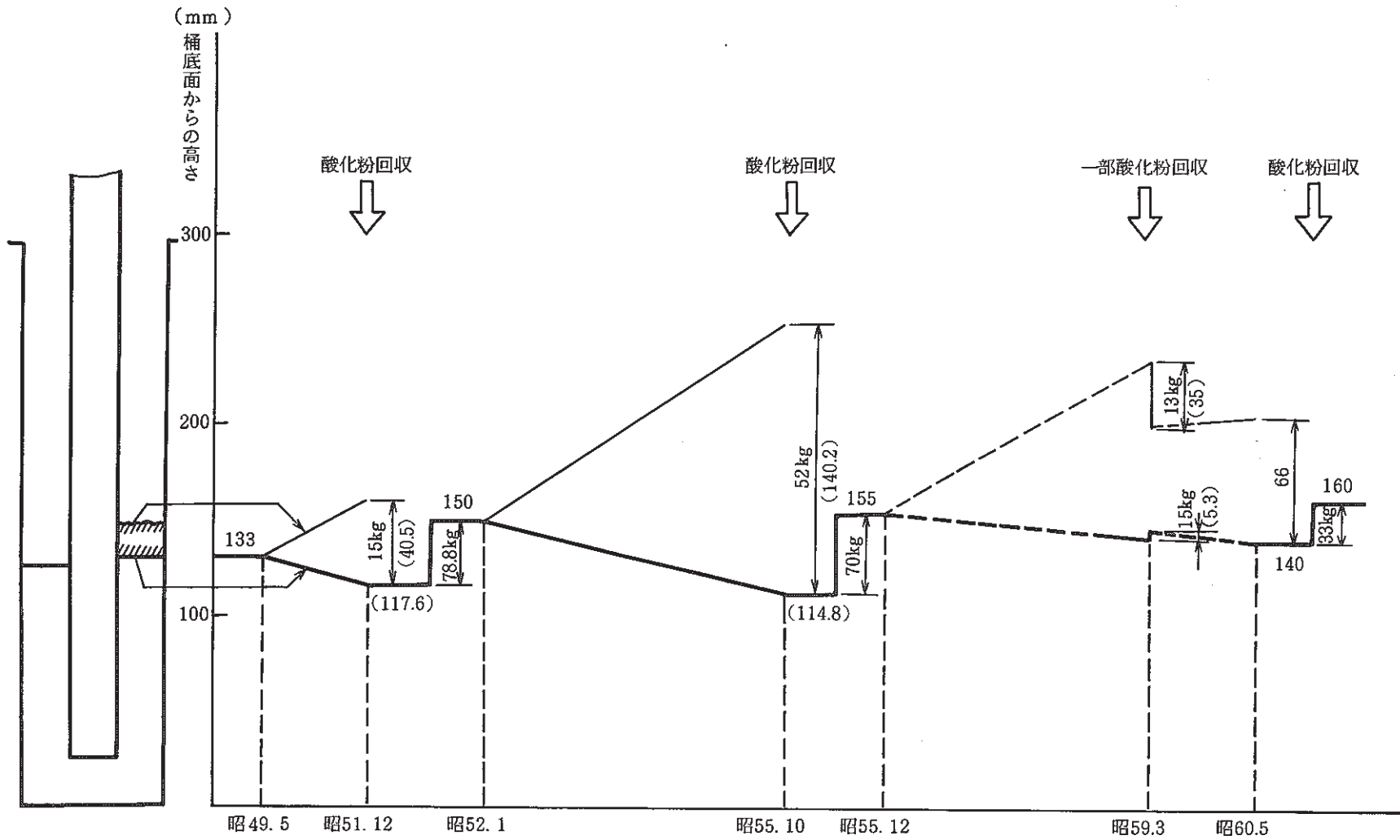
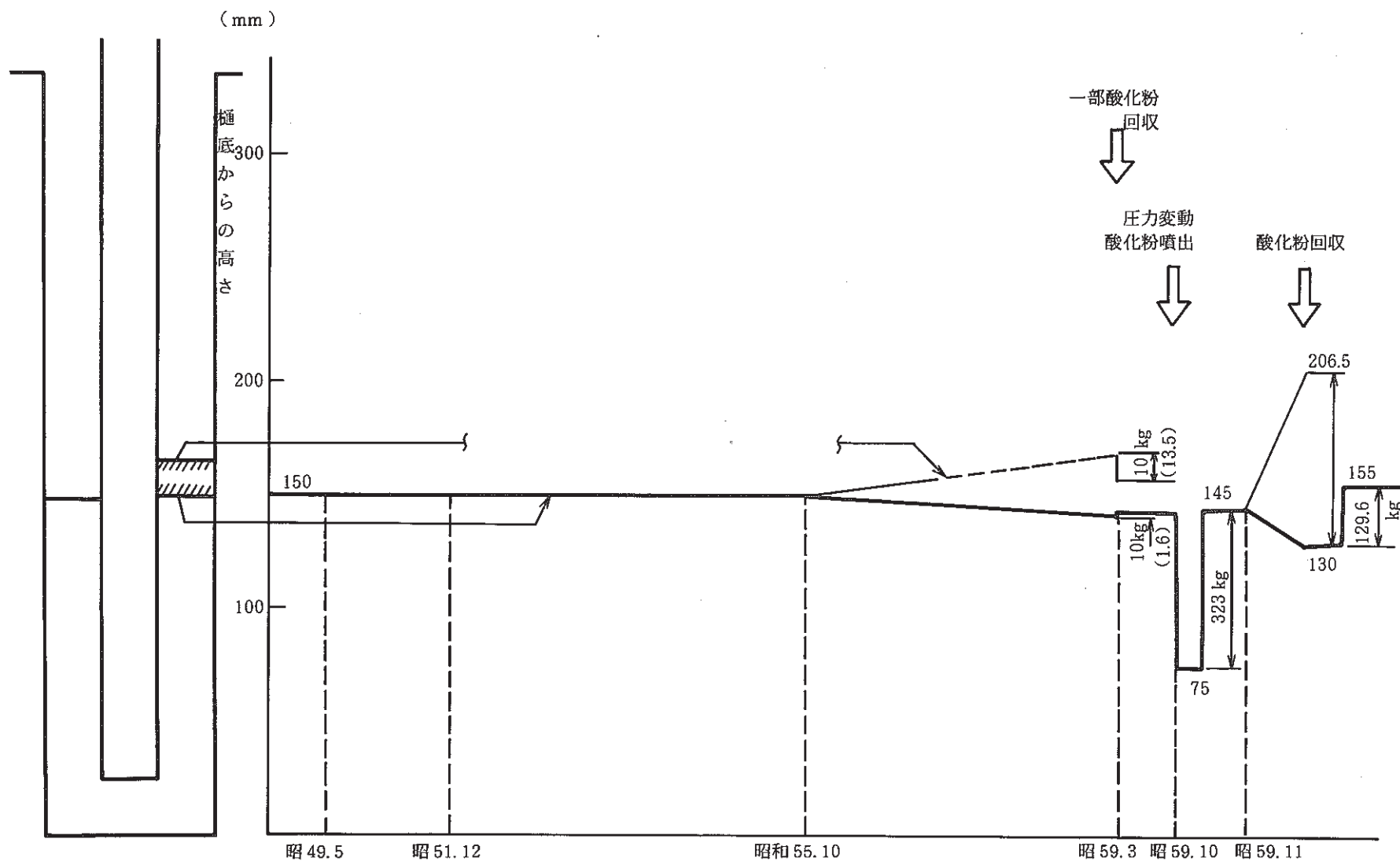


図 4.1.1 - 5 酸化粉生成の経緯



注) カッコ内数字は諸データからの
計算値, それ以外は実測値

図 4.1.1 - 6 小回転プラグ側フリーズシールメタル酸化粉生成状況



注) カッコ内数字は諸データからの
計算値。その他は実測値

図 4.1.1 - 7 大回転プラグ側フリーズシールメタル酸化粉生成状況

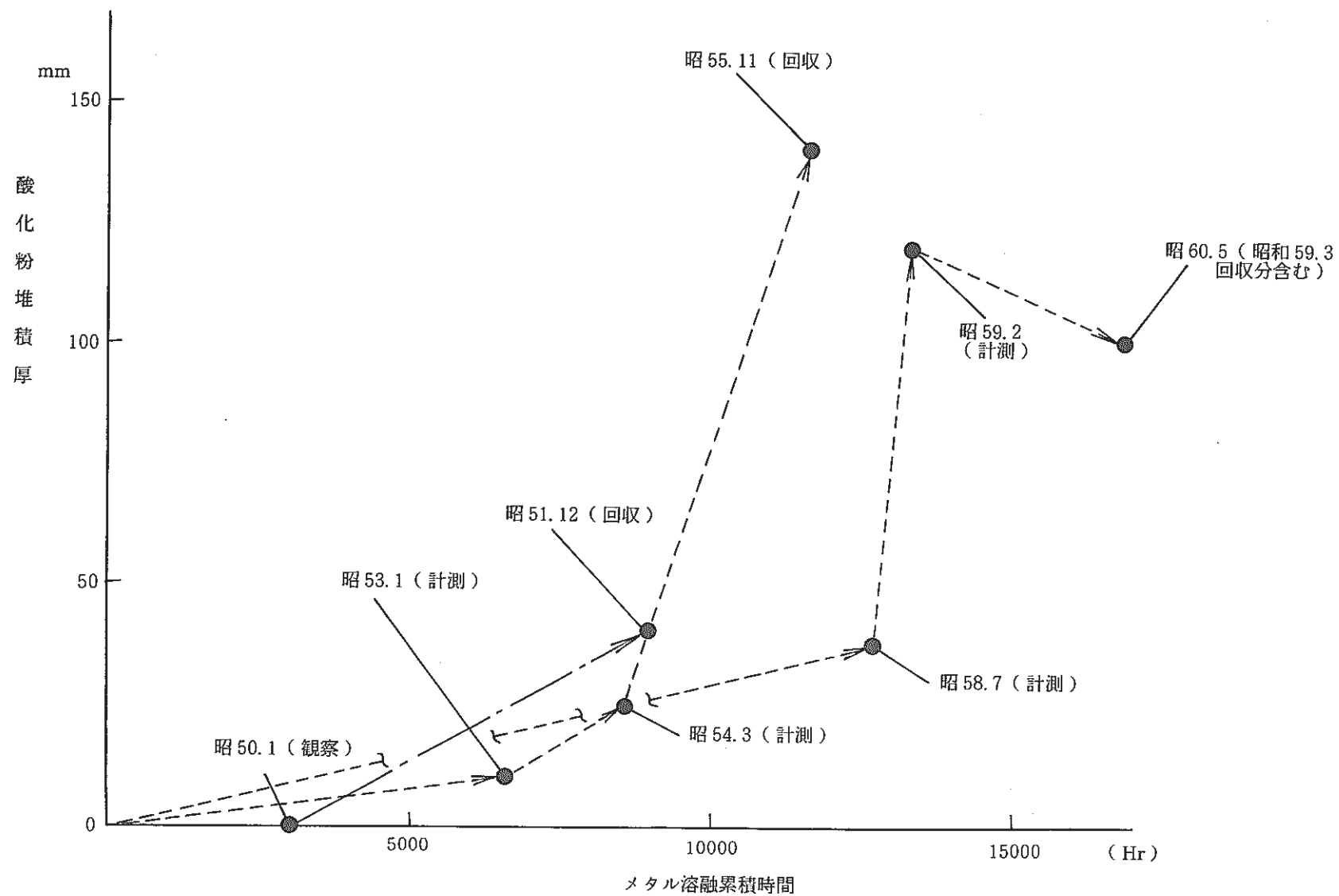


図 4.1.1 - 8 小回転プラグ側酸化粉堆積厚さとメタル溶融時間

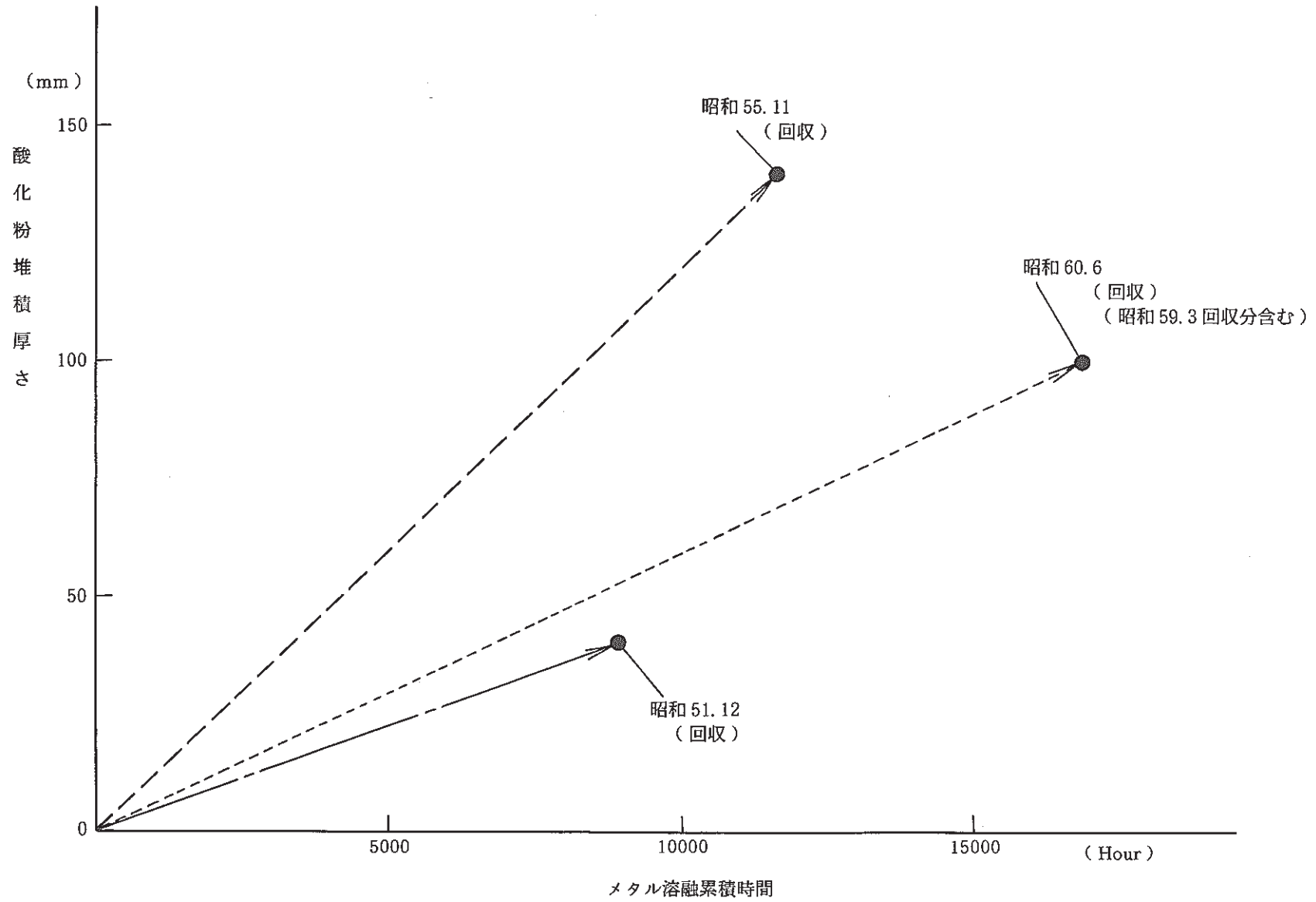


図 4.1.1 - 9 小回転プラグ側酸化粉堆積厚さとメタル溶融時間

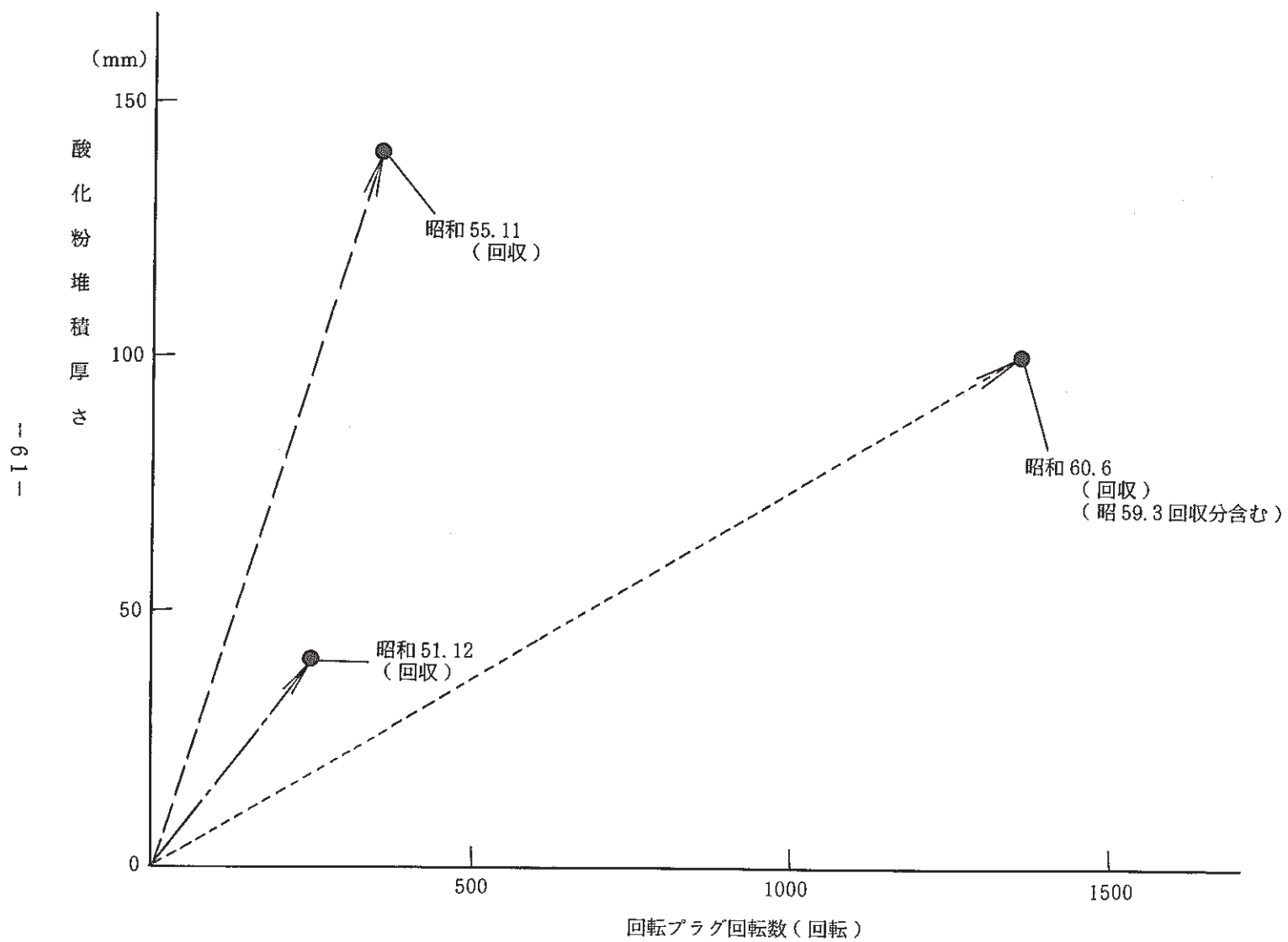


図 4.1.1 - 10 小回転プラグ側酸化粉堆積厚さと回転数

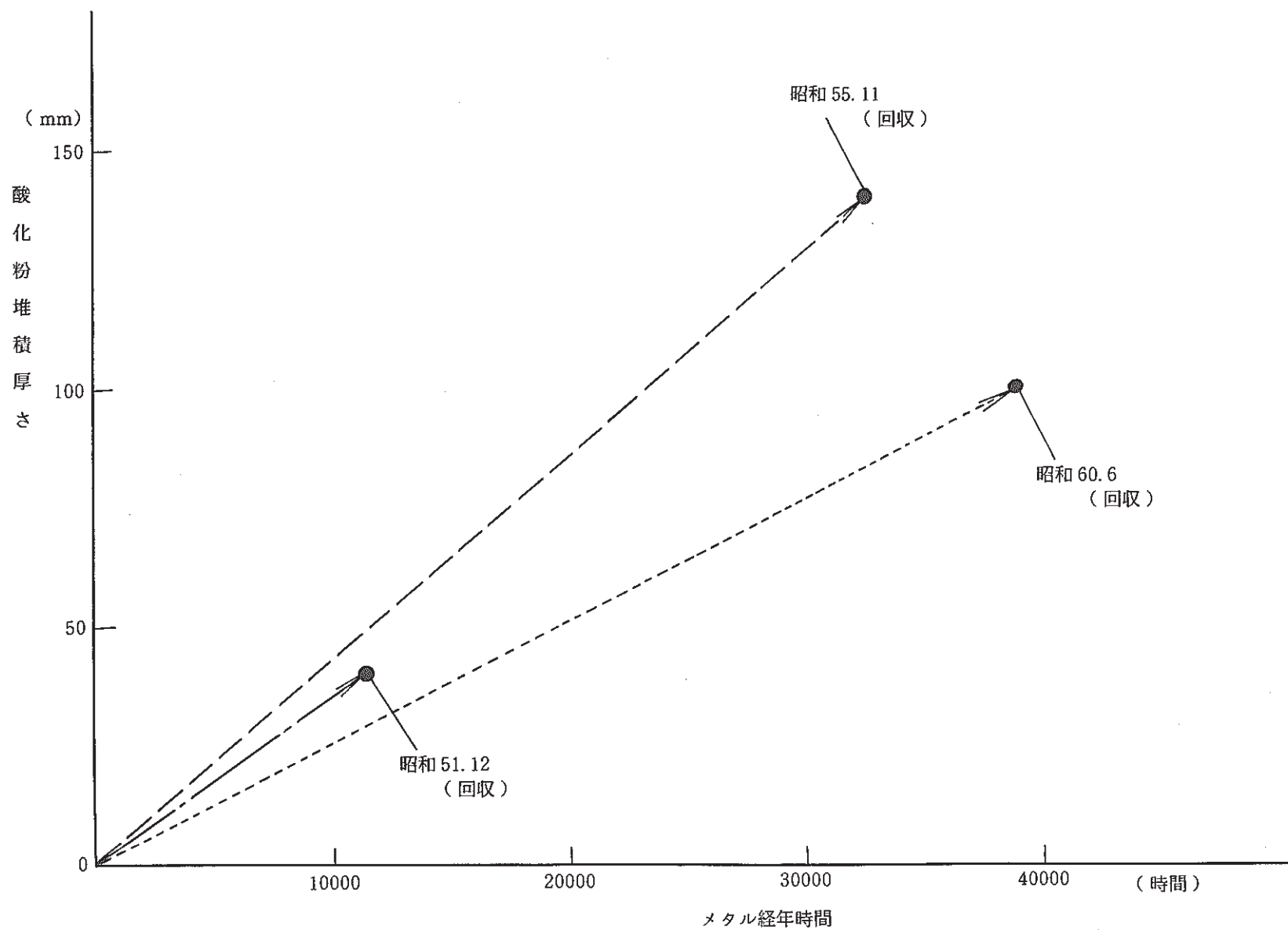


図 4.1.1 - 11 小回転プラグ側酸化粉堆積厚さとメタル経年時間

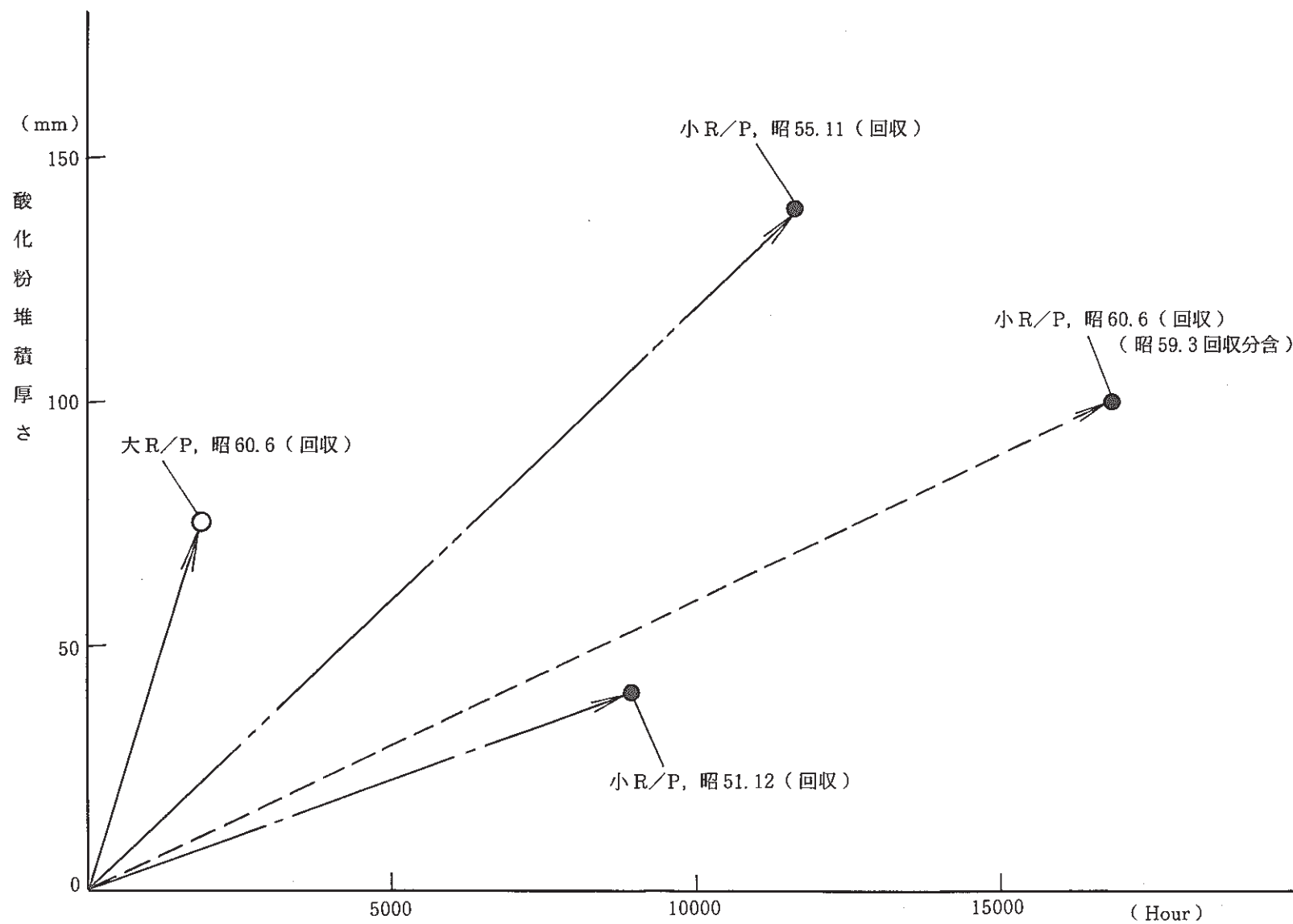


図 4.1.1 - 12 酸化粉堆積厚さとメタル溶融時間 (大 R/P と小 R/P の比較)

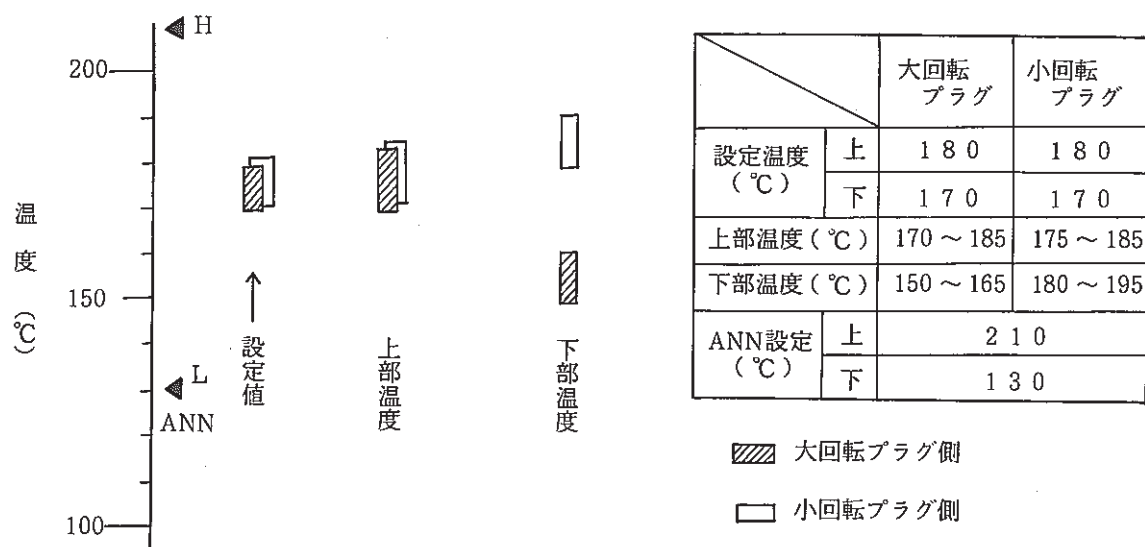


図 4.1.1 - 13 変更前のメタル運転温度

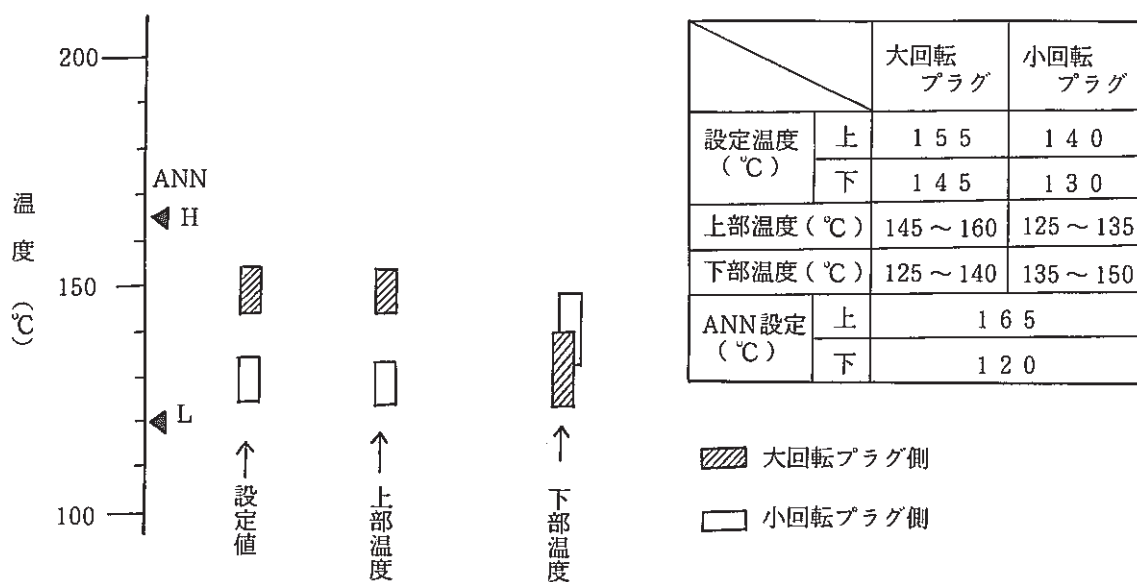


図 4.1.1 - 14 変更後のメタル運転温度

4.1.2 燃料交換孔まわりナトリウム付着

1) 孔プラグ，案内スリーブ引抜荷重

燃料交換時に燃料を出し入れするための燃料交換孔が，回転プラグに設けられている。原子炉運転時は，この孔に孔プラグが装荷されており，燃料交換時に燃料出入機により引抜かれる。炉内燃料取扱時は，燃料出入機により，孔の中に案内スリーブが2本装荷される。

原子炉運転中に，炉内カバーガス中のナトリウム蒸気が，孔プラグ下端に付着し，その影響が原子炉停止後，孔プラグあるいは案内スリーブ取扱時の荷重超過となって表われている。これまでの引抜荷重データを荷重ピーク値で整理したものを図4.1.2-1から4.1.2-3に示す。図4.1.2-1は案内スリーブ(I)について示している。図4.1.2-3は案内スリーブ(I)と孔プラグについて示している。

2) 孔プラグ，案内スリーブ荷重超過事象

昭和55年9月に案内スリーブ引抜荷重が大幅に大きくなる現象が発生し，その対策として，孔プラグ保守装置によるホールドダウン軸内付着ナトリウム除去および案内スリーブの改造を行なっている。この改造後，しばらくの間は図4.1.2-2，図4.1.2-3にみられるように，引抜荷重が設定値（500 kg）を越える事象が燃料交換作業毎に発生してもそれらは，引抜・挿入操作を繰返すことにより対処できる程度のものであった。しかしながら，昭和60年1月から，従来の対処方法では解決できないような案内スリーブ，孔プラグの荷重超過事象が続発した。そして各々，燃料交換作業の遅延に至る異常事象が引続いて発生した。

1) 発生事象とその対応

イ) 昭和60年1月23日～2月6日

a) 燃料交換機孔プラグ，案内スリーブ(I)引抜，装荷異常

燃料出入機により孔プラグを引抜く時に，引抜荷重超過が発生した。設定値を500 kg から600 kg に変更し，引抜荷重560 kg で引き抜いた。引続いて案内スリーブ(I)を装荷したところ，通常下限位置より約90 mm上方で装荷荷重異常となり，停止した。再引抜操作を試みたが，結局案内スリーブ(I)の引抜，装荷の取扱いは燃料出入機では不可能な状態に至った。

b) 燃料交換機孔ホールドダウン軸下降異常

案内スリーブ(I)が正規の位置まで装荷できない状態であったため，案内スリーブ(II)を装荷しない状態で，炉内燃料取扱作業を行なうことにし，ホールドダウン軸下降操作を行なったところ，圧空ライン4方弁の下降動作音は鳴ったが，ホールドダウン軸は作動しなかった。

ホールドダウン軸不降動作源の圧空ラインおよび予熱スリーブヒータの健全性確認後，図4.1.2-4に示すように，クレーンによる引張力を負荷する要領でホールドダウン軸下降対策を

行なった。その結果、シリンダー加圧力を含めて合計約 2 TON の負荷力で下降できた。以降、ホールドダウン軸の上昇、下降操作は円滑に行なわれるようになった。

c) 案内スリーブI引抜対策

上記(a)の対策として、上記(b)の対応の後、燃料交換機孔プラグ等保守装置を孔ドアバルブ上に取り付け、ホールドダウン軸内にスティック状態にある案内スリーブIを引抜いた。

d) ホールドダウン軸内点検装置ナトリウム除去治具スティック

上記(a), (b)の事象が、ホールドダウン軸内付着ナトリウムの影響とみて、ホールドダウン軸内点検装置を孔ドアバルブ上に取り付け、付着ナトリウム除去作業を実施した。ホールドダウン軸内にナトリウム除去治具を挿入して行ったところ、除去治具が軸内途中でスティックし、軸内点検装置単独で治具を引抜、挿入できない状態に至った。

上記(b)と同様に、クレーンの引張力を利用した方法でナトリウム除去治具を引抜こうとしたが、設計条件の 3 TON を負荷しても引抜けなかった。そこで図 4.1.2 - 5 に示すように、クレーンの引抜力を加えつつ、軸内点検装置の駆動部（治具と連結している）と装置固定部の切離部にクサビをあて、衝撃力を加えた。その結果、治具を引抜くことができた。

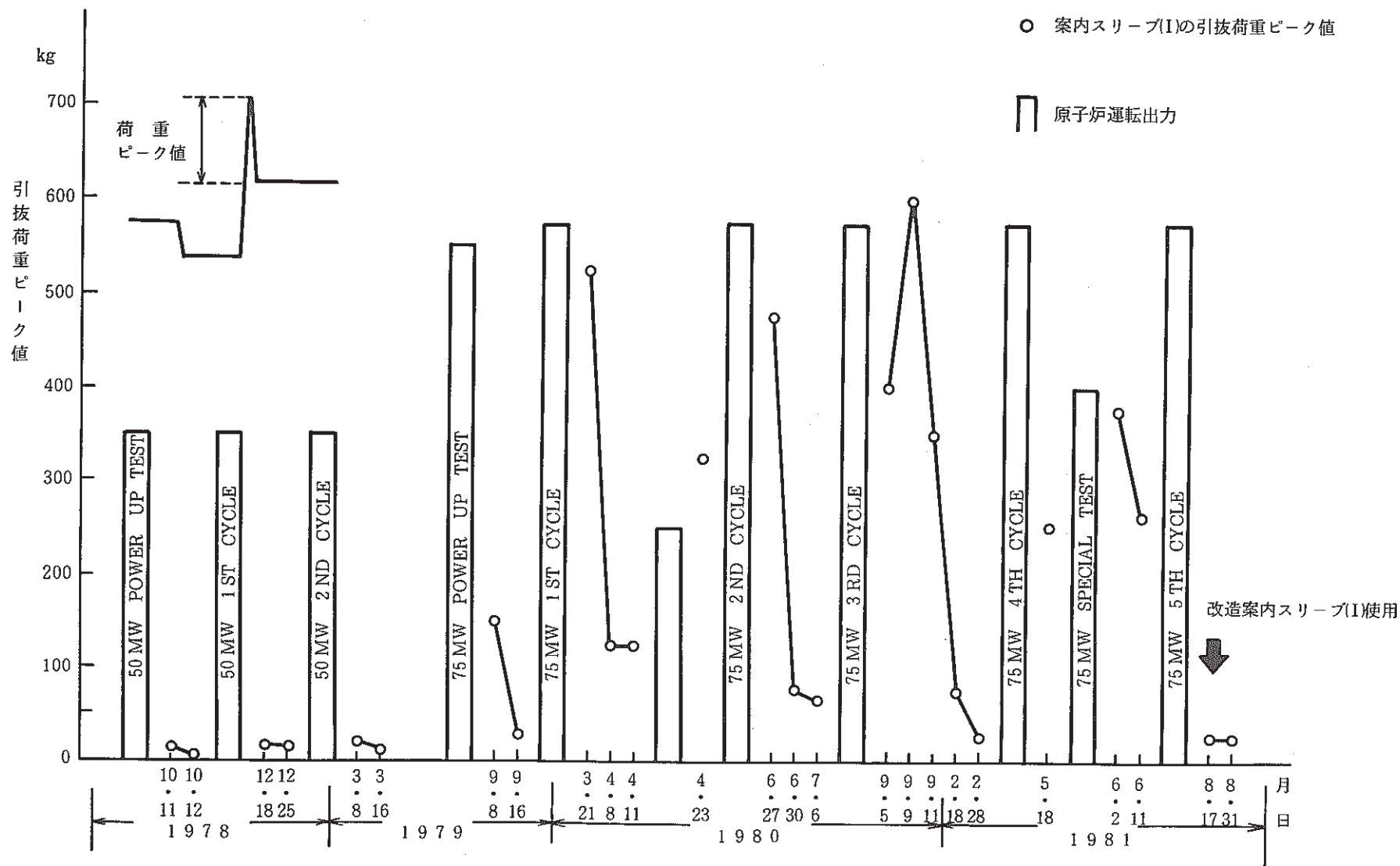


図 4.1.2-1 案内スリーブ(I)引抜荷重ピーク値

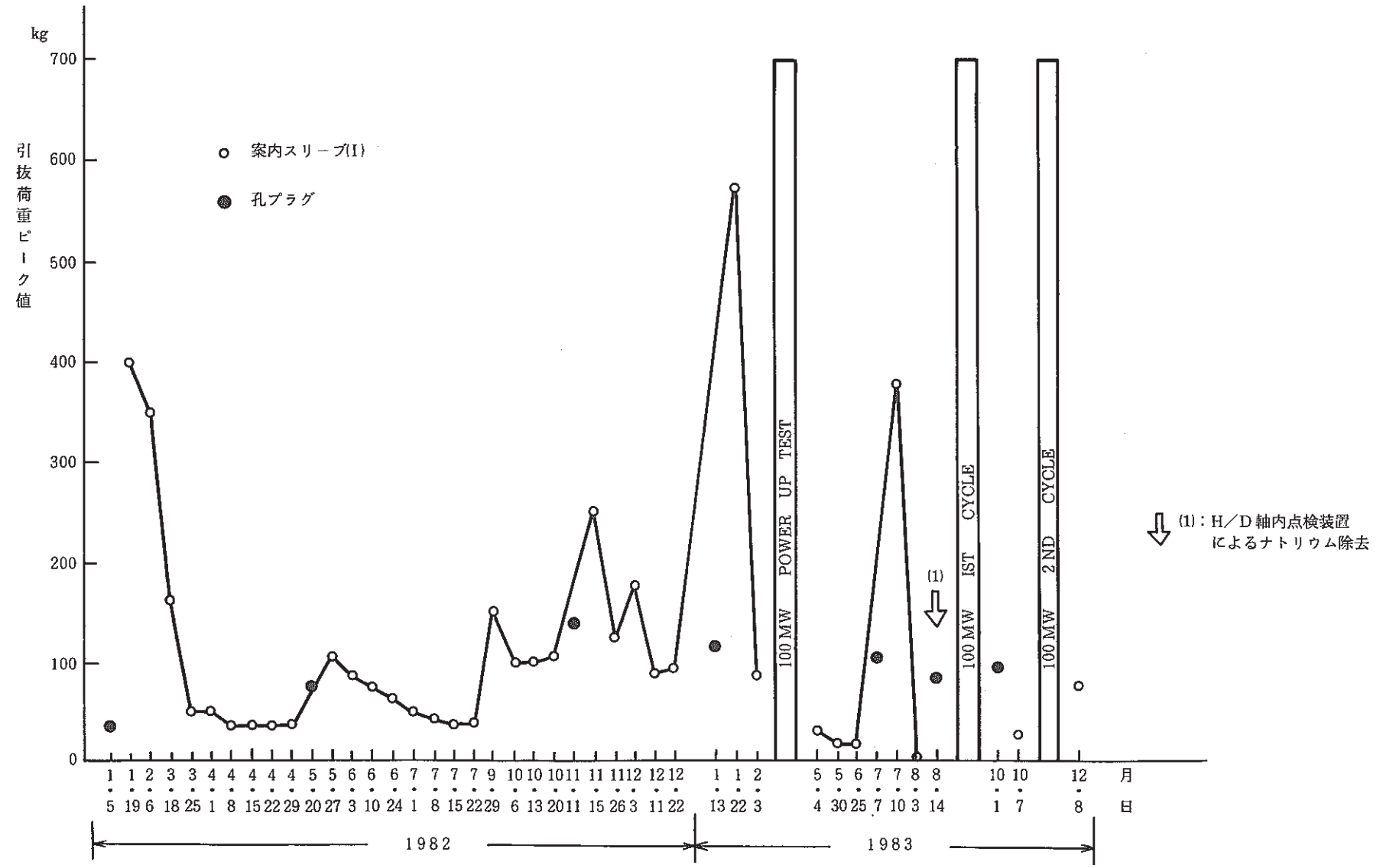


図 4.1.2-2 案内スリーブ(I)・孔プラグ引抜荷重ピーク値(その1)

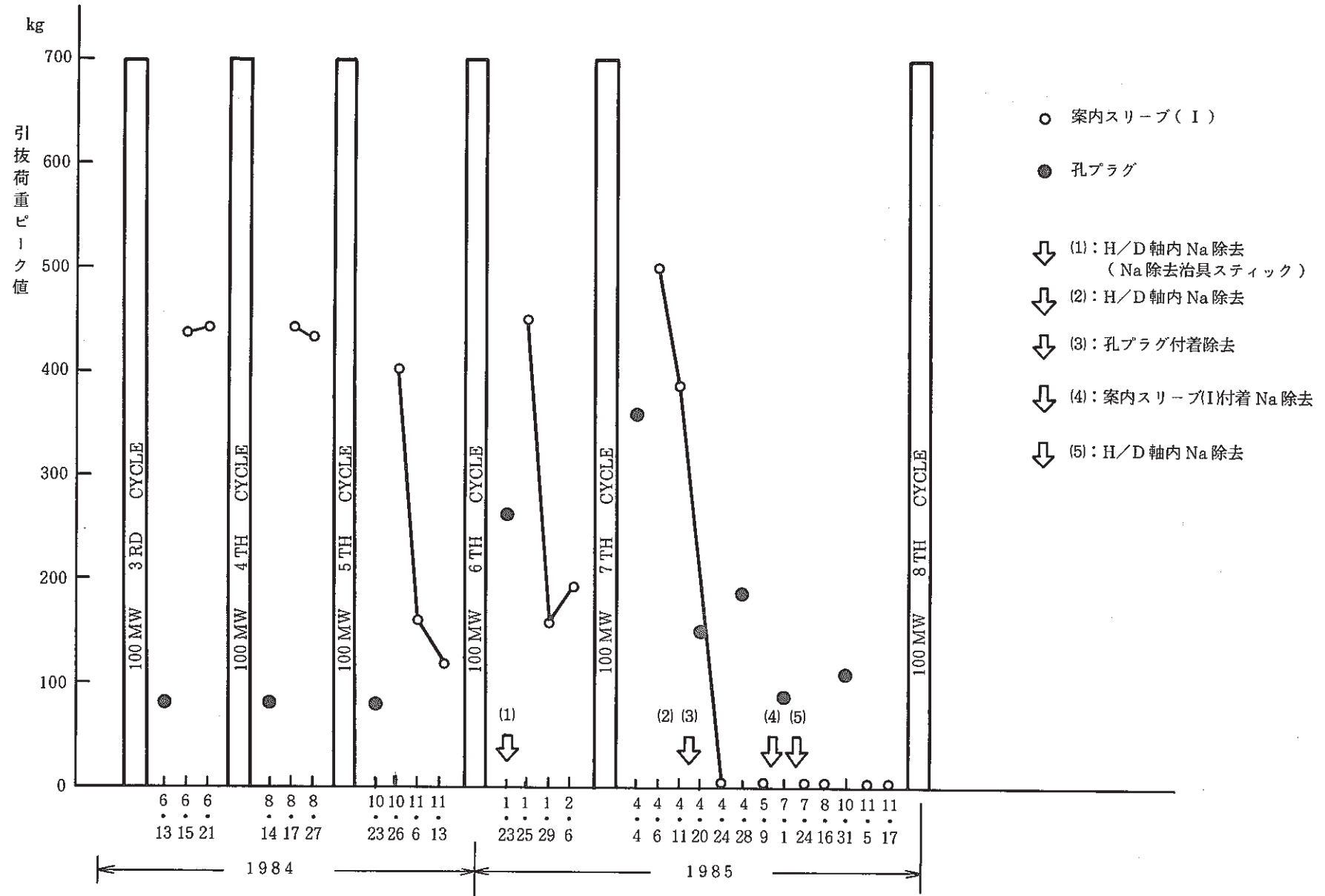


図 4.1.2 - 3 案内スリーブ (I)・孔プラグ引抜荷重ピーク値

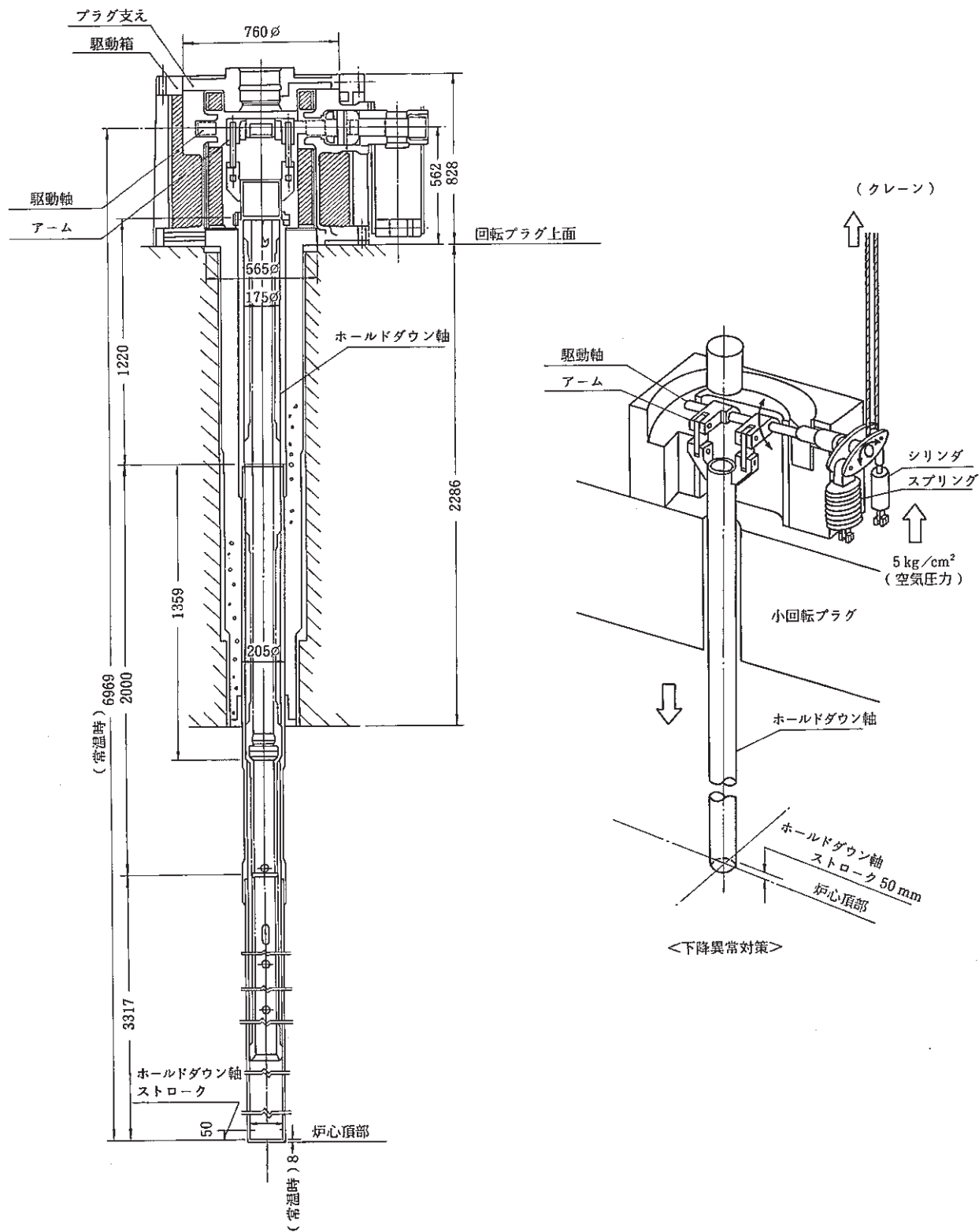


図 4.1.2 - 4 ホールドダウン機構概略と下降異常対策

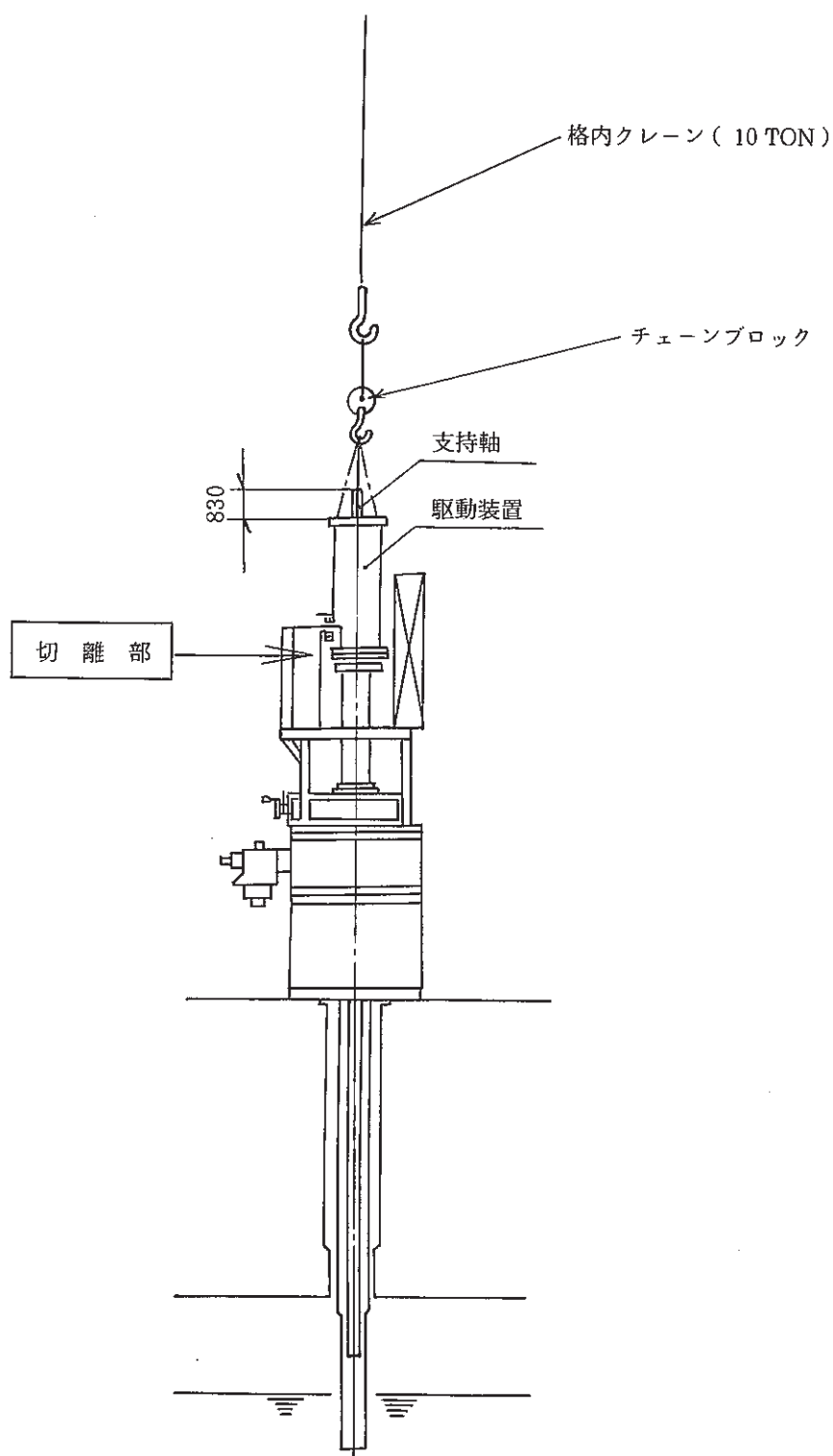


図 4.1.2 - 5 ナトリウム除去治具引抜対策
(クレーンによる引張)

ロ) 昭和 60 年 4 月 4 日～4 月 16 日

a) 燃料交換機孔プラグ引抜異常

燃料出入機により孔プラグを引き抜こうとしたが、引抜荷重超過のため、引抜くことができなかった。従来の方策である設定値変更 (500 → 600 kg) では、引抜くことができず、孔プラグ等保守装置を用いた。この装置の引抜容量は、3 TON であるが、3.5 TON の引抜力を加えても、孔プラグは引き抜けなかった。前記(i)の経験を踏まえて、孔プラグ保守装置の引抜速度を 0.3 m/min から 6 m/min に変更し、衝撃力相当の引張力を与えた。その結果、引抜荷重約 900 kg で引抜くことができた。

孔プラグ等保守装置は、孔プラグを本装置内に収納する仕様となっていない。この保守装置グリップを再下降したところ、所定の下限位置まで孔プラグが装荷できない状態に至った。

(b) 燃料交換機孔プラグ装荷異常対策

上記(a)の孔プラグ装荷異常に至り、機器寸法上孔プラグ上端部と孔ドアバルブ弁箱が干渉し、原子炉カバーガスバウンダリを形成する孔ドアバルブを閉操作できない状態となった。孔ドアバルブ上に設置している保守装置を取外し、ホールドダウン軸内の途中にある孔プラグを燃料出入機で引抜くためには、通常の機器の取扱い操作では不可能な状態である。この対応策として、炉内カバーガスを低圧制御にし、万一炉内カバーガスが炉外へ漏れる場合に備えての装備、監視体制をとって、図 4.1.2-6 に示すように、プラバックによるカバーガスバウンダリ形成をしつつ保守装置の取外し、出入案内筒取付け作業を行なった。

(c) ホールドダウン軸内付着ナトリウム除去作業

前記(i)のように、昭和 60 年 1 月のホールドダウン軸内付着ナトリウム除去作業の際には、ナトリウム除去治具が軸内にスティックした。これを踏まえて、除去治具の改造 (5.6.1 参照) とホールドダウン軸内点検装置取扱要領の改善を施し、再度ホールドダウン軸内付着ナトリウム除去作業を実施した。

作業の結果、ホールドダウン軸内付着ナトリウムを、支障無く除去することができた。本作業時のナトリウム除去治具トルク値は図 4.1.2-7 の通りで 60 kg・cm 以下であった。除去作業後の治具取外手順と治具に付着していたナトリウムを各々図 4.1.2-8 および写真 4.1.2-1 に示す。

(d) 孔プラグ付着ナトリウム除去作業

孔プラグに付着したナトリウムの除去は、次の事由から格納容器内のオペフロ上で、治具を用いて行なう方法をとった。

- グリップ洗浄設備に孔プラグを装荷し、孔プラグ下端部表面を観察した結果、付着ナトリウムが比較的少量であった。
- 孔プラグ表面線量率が、洗浄設備の洗浄槽を介しての測定値で 95 mR/H と低かった。

孔プラグ付着ナトリウム除去作業の概略手順は次の通りである。孔プラグナトリウム付着

状況及び作業状況を写真 4.1.2 - 2 ～ 4.1.2 - 4 に示す。

＜作業手順＞

- ① 格内グリッパ洗浄設備から、孔プラグ収納管へ移送。
- ② 簡易グリッパ及び旋回クレーンを用いて、孔プラグを収納管から取出し、オペフロ上へ移送。
- ③ オペフロ上にて孔プラグ付着ナトリウム除去
- ④ オペフロ上から収納管へ孔プラグを移送、収納。
- ⑤ 孔プラグ収納管内ガス置換

本作業の結果、孔プラグ下端部に付着していたナトリウムを完全に除去することができた。

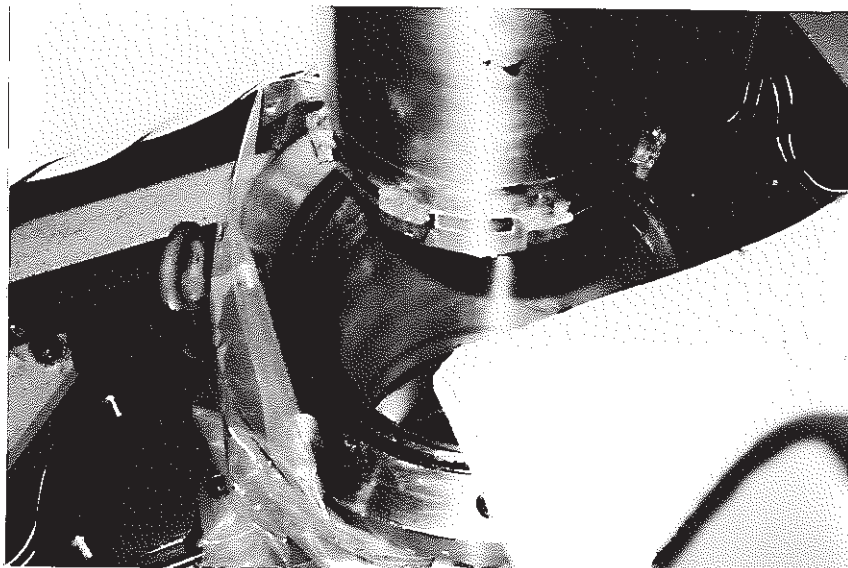


写真 4.1.2 - 1 ホールドダウン軸内点検装置の
 ナトリウム除去治具下端



写真 4.1.2 - 2
孔プラグ付着ナト
リウム除去前外観



写真 4.1.2 - 3
孔プラグ付着ナト
リウム除去作業

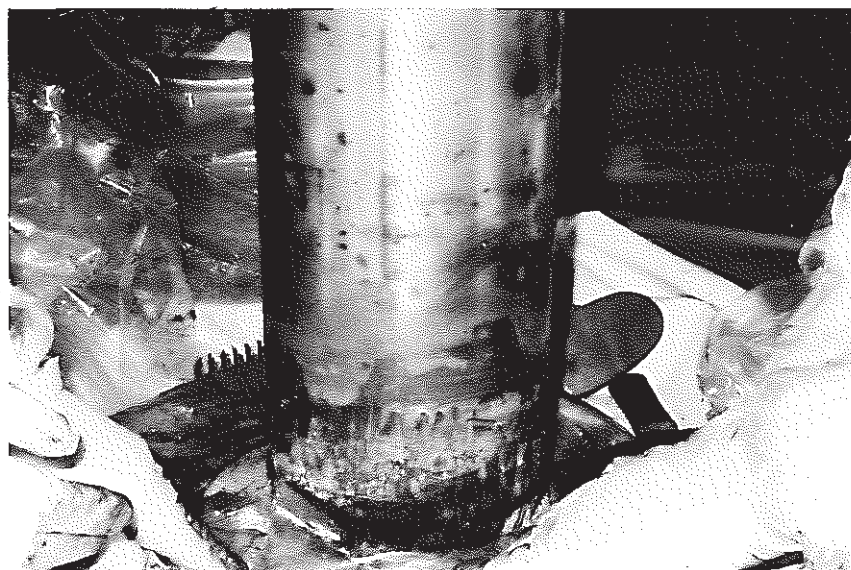


写真 4.1.2 - 4
孔プラグ付着ナト
リウム除去後外観

ii) ホールドダウン軸内の付着ナトリウムについて

イ) ナトリウム付着状況

昭和60年1月以降のホールドダウン軸内付着ナトリウムによる諸事象に関連する機器の位置関係を整理した。孔プラグおよび案内スリーブが通常の下限位置に装荷された状態を図4.1.2-9, 図4.1.2-10に示す。異常時の状態を図4.1.2-11から図4.1.2-14に示す。孔プラグ付着ナトリウム除去作業時に観察した際の付着状況を図4.1.2-15に示す。

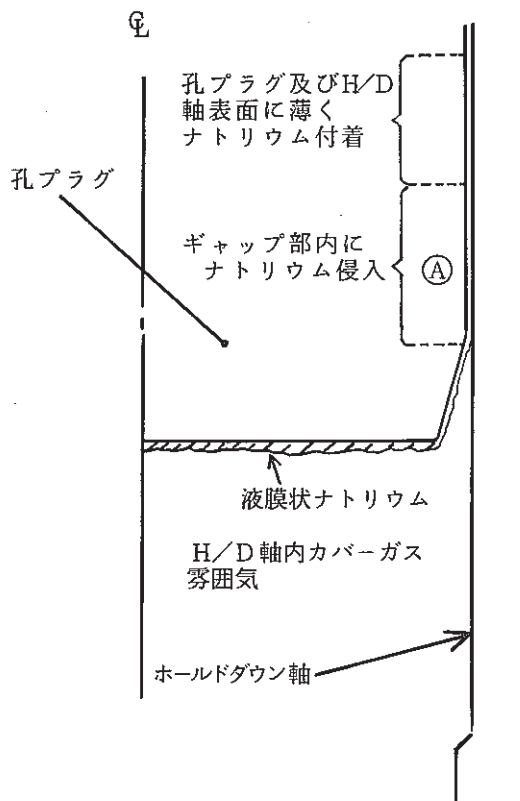
以上を総合してナトリウム付着状況を推定したものを図4.1.2-16に示す。図中右側は、孔プラグ正常下限位置（ホールドダウン軸上昇状態）を示す。孔プラグ付着ナトリウム除去作業時観察結果から、孔プラグ下端から約100 mmの領域にナトリウム付着の跡がある。従って、原子炉運転中、孔プラグとホールドダウン軸の間隙部（片側ギャップ1 mm）にナトリウム蒸気が約60 mmまで上昇していたことになる。

ホールドダウン軸内付着ナトリウム除去作業時のトルク値が特に大きい領域は、ホールドダウン軸段付部から上方65 mmのところより上部50 mmの領域である。この領域は、孔プラグ下端テーパ部と相対している。

図中左は昭和61年1月の燃料交換作業（P07-FH1）で発生した案内スリーブ(I)装荷異常時の案内スリーブ(I)スティック位置を示す。ホールドダウン軸段付部から88 mmのところまで案内スリーブ突起部が止まり、通常下限位置まで装荷されていない。

以上総合して、案内スリーブ(I)、孔プラグ取扱作業時発生した異常事象の原因であるホールドダウン軸内付着ナトリウムに関して、現状次のように考えられる。

- ① 原子炉運転中、炉内カバーガス中ナトリウム蒸気が孔プラグ下端部に付着する（次図参照）。
原子炉運転中、この部分の温度は、回転プラグ温度計測値から推定して300℃以上あるため、付着ナトリウムは液状にあり、付着と流下の平衡状態にある。
- ② 原子炉停止後、ホールドダウン軸の外周を予熱（ホールドダウン軸段付部は200℃以上）した状態で、孔プラグを引抜く。ホールドダウン軸内付着ナトリウムが純粋に近ければ、予熱温度がナトリウム融点以上であるため容易に孔プラグを引抜くことができるはずである。第9サイクル原子炉運転時およびその後の燃料交換時の予熱スリーブ温度分布を図4.1.2-17に示す。回転プラグ窒素ガス冷却系ブースタブローア運転の有無の比較を図4.1.2-18に示す。実際には、引抜力が増大している。これは、下図④部ナトリウムに不純物が取り込まれ、純ナトリウムとは性状の異なるものに、変質したと推定される。不純物の侵入経路は、現在不明である。



iii) ホールドダウン軸下降異常について

ホールドダウン軸は、図 4.1.2 - 19 に示すように、予熱スリーブに対して 約 50 mm 上下動する。予熱スリーブとホールドダウン軸の間は、回転プラグ下面付近で片側 1 mm である。ホールドダウン軸が降りなくなった原因は、この間隙部に入り込んだナトリウムの影響と考えられる。参考に常陽モックアップ装置のホールドダウン軸まわりの回転プラグ下面ナトリウム付着状況を写真 4.1.2 - 5 に示す。ホールドダウン軸上下動作の跡がみられる。

ロ) 付着ナトリウムの特徴

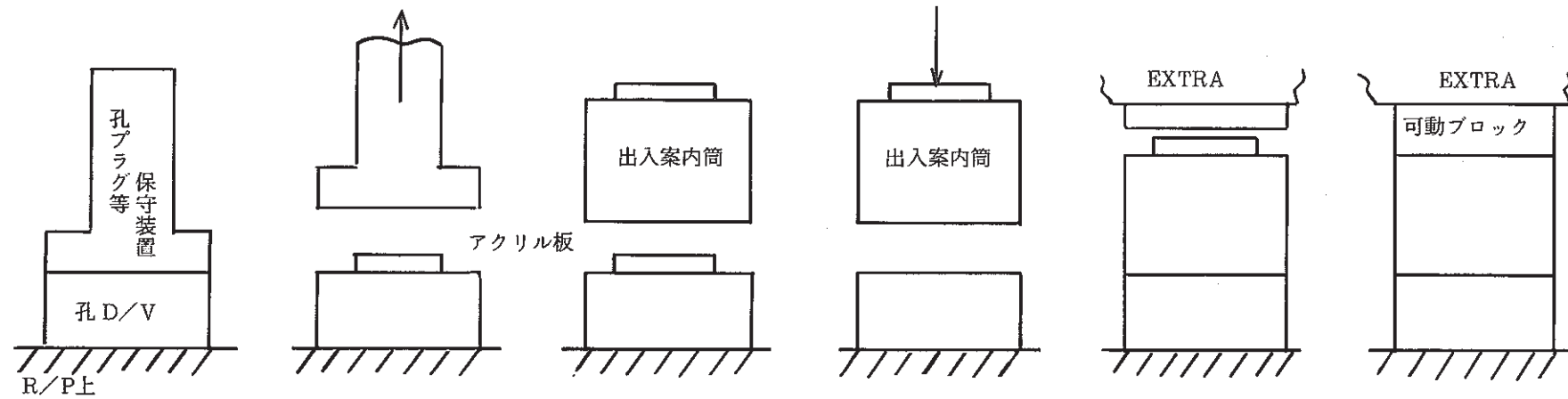
ホールドダウン軸まわりの機器に付着しているナトリウムについて、これまで得たデータをまとめると次のようになる。

- ホールドダウン軸内面：ホールドダウン軸内点検装置ナトリウム除去治具に付いてきたナトリウムは、黒色を呈していた。空気雰囲気中にさらした際特に反応は認められなかった。（昭和 61 年 1 月燃料交換作業の時）。このナトリウムを約 1 ケ月間ビン内に保管した後、水中（100 % 純水及び 50 % アルコール含水）に入れたところ、激しく反応し、黒色片が残った。

- 案内スリーブⅠ外表面：収納管内に保管した案内スリーブⅠをブラバックを用いて管外に取出した際（昭和 60 年 4 月燃料交換作業の時）、案内スリーブ

(I)を観察したところ、炉内カバーガス領域に相当する部分に粒状黒色ナトリウムが付着していた。これを写真4.2-1～4.2-7に示す。この粒の分布は、昭和60年1月燃料交換作業の時と同一であった。

- ホールドダウン軸付付着物の分析：ホールドダウン軸に付着していたもの（粉末状）を分析している（昭和57年1月27日）。その結果、Fe, Cr, Ni, Mo, Cu, Zn の各成分およびナトリウムが検出されている。なお、この分析では、O, H, C, N, Cl, Si は分析対象としていない。



① 準備

1. 局排 (R 308 へ)
2. 据付ボルト取外し
3. 原子炉カバーガス
低圧運転
4. アクリル板取付準備
5. O₂ ボンベ準備
6. 化学式 O₂ 発生装置準備

② 孔プラグ等保守装置取外し

1. クレーンにて取外し
2. アクリル板即挿入
鉛ブロックのせる
3. 孔プラグ等保守装置
位置へ

③ 出入案内筒取付前

1. クレーンにて案内筒を孔 D/V 上へ移動
2. ボルト 2 本位置決め
3. カバーガス圧確認
4. プラバック抜く
5. 案内筒すばやく降りして、即ボルト締め

④ 出入案内筒取付

1. 案内筒取付

⑤ EXTRA 接続前

1. 予め案内筒上に
EXTRA 移動
2. コフィン内負圧
3. プラバック取外し
4. すみやかに可動ブロック下降
5. EXTRA ドアバルブ徐々に開
※炉内カバーガス圧,
Na 液位に注意する

⑥ EXTRA 接続

1. 孔プラグ引抜
2. 荷重設定値
300 kg × 2

図 4.1.2-6 燃料交換機孔プラグ等保守装置取外手順概略

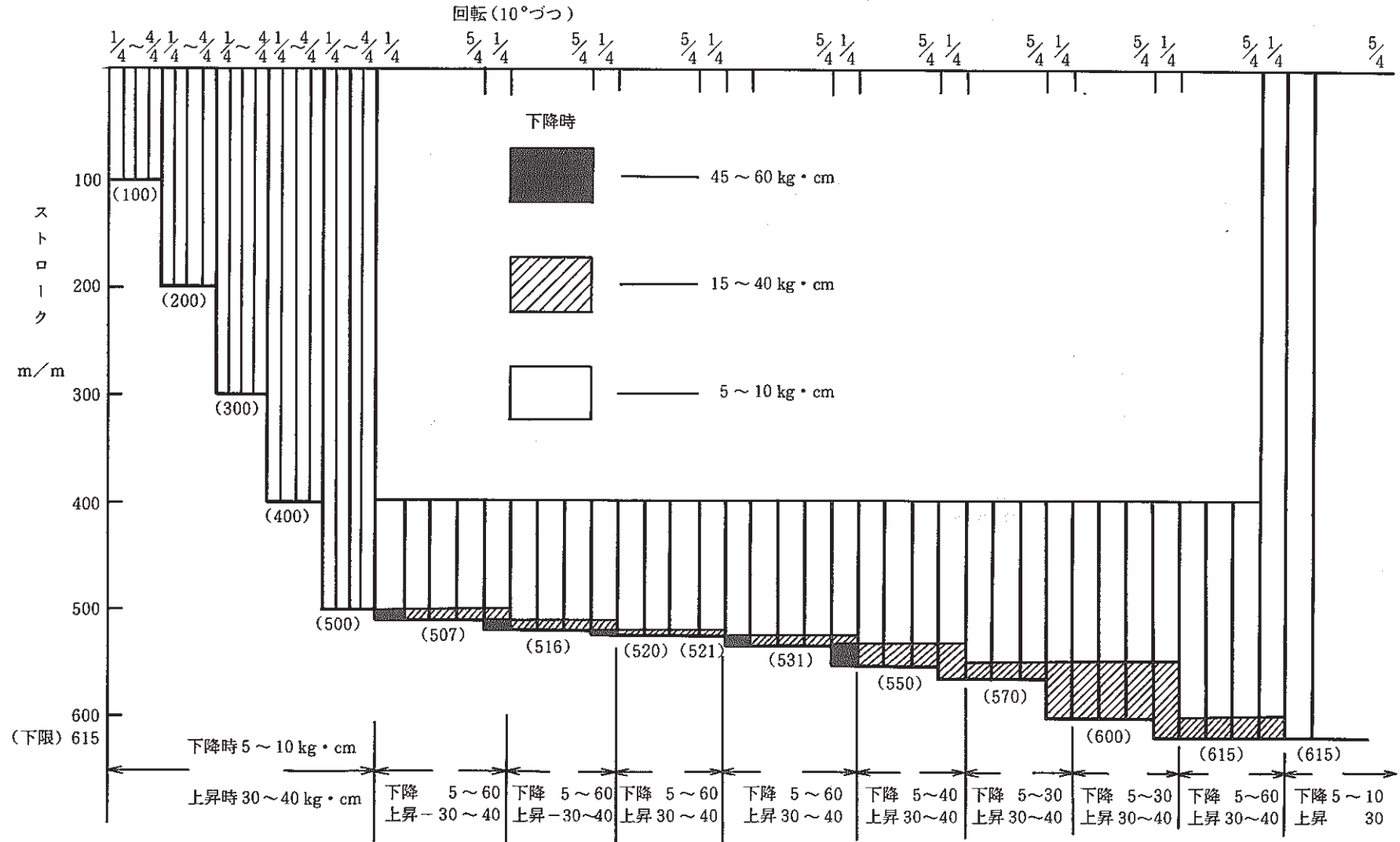


図 4.1.2 - 7 ホールドダウン軸内カキ落しトルク値 (対ストローク)

(S60-4-13実施)

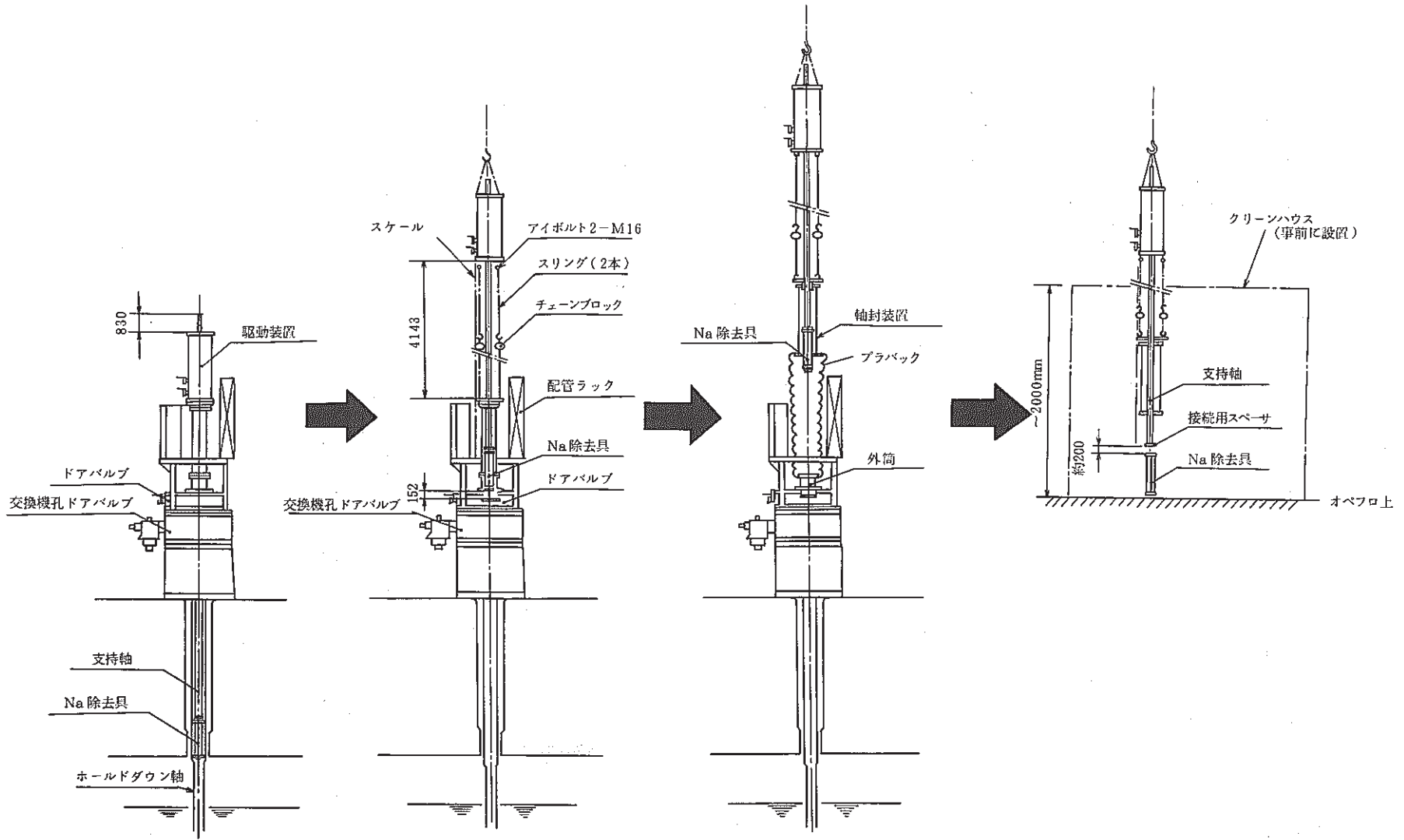


図4.1.2-8 ナトリウム除去治具取出手順

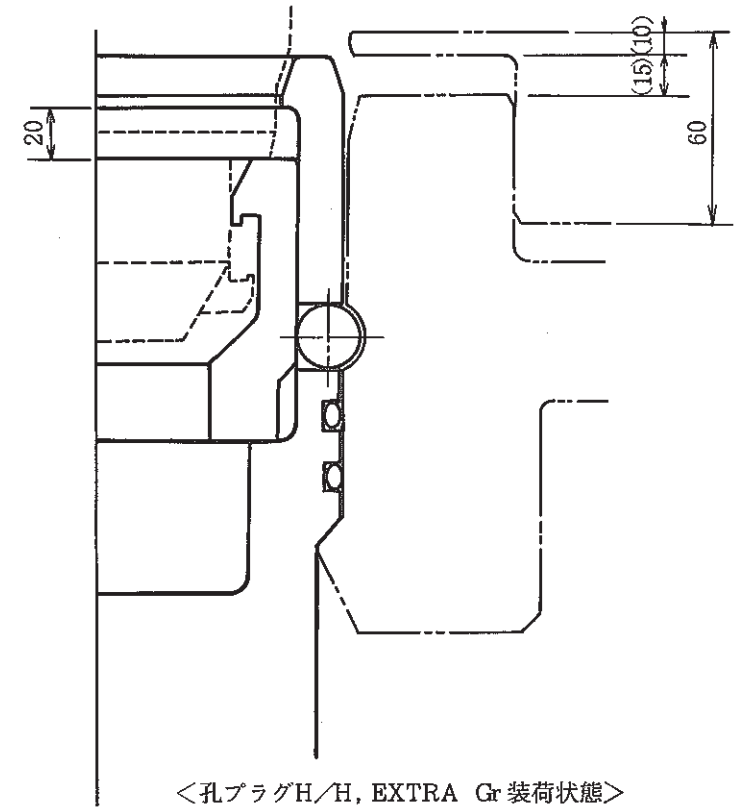
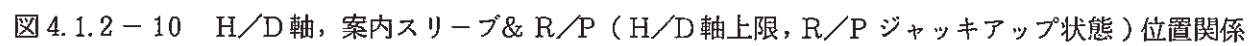


図 4.1.2 - 9 孔ドアバルブ, H/D軸, 孔プラグ& R/P 位置関係 (R/P ジャッキアップ状態)
(H/D 軸 上昇状態)



* H/D軸点検装置
ストローク値データより

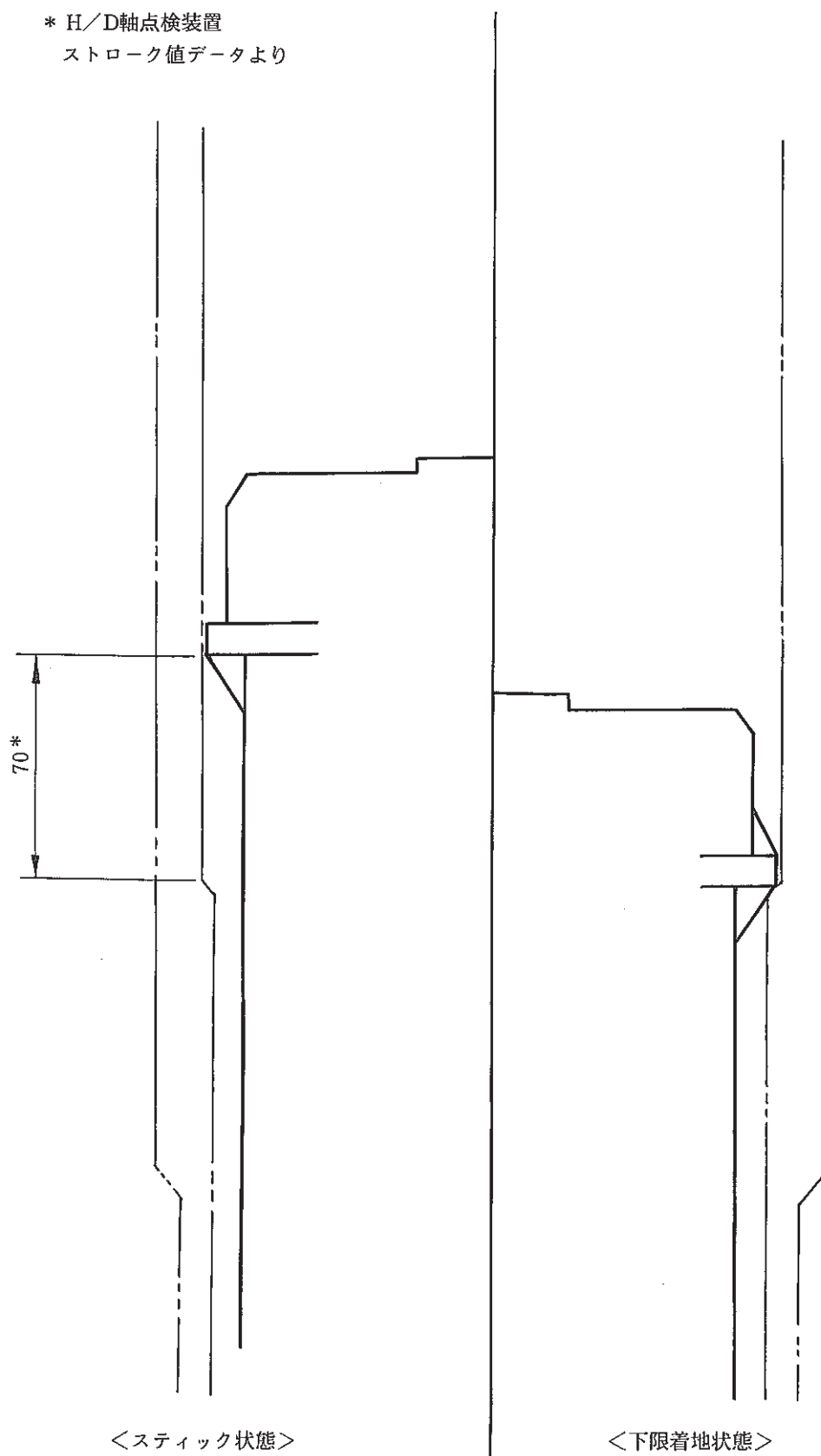


図 4.1 - 11 ナトリウム除去治具スティック位置

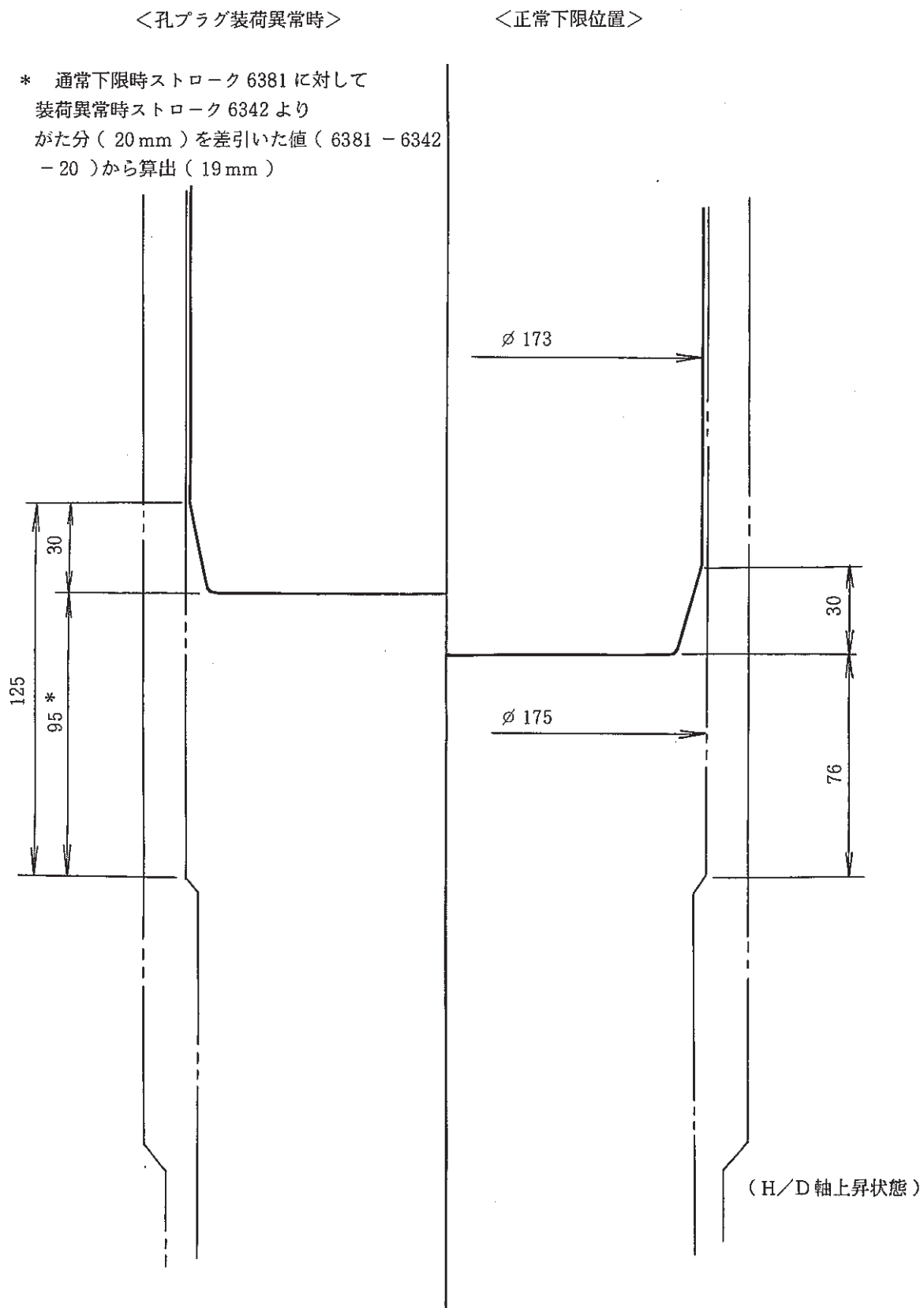


図 4.1.2 - 13 孔プラグ装荷異常時状態推定図

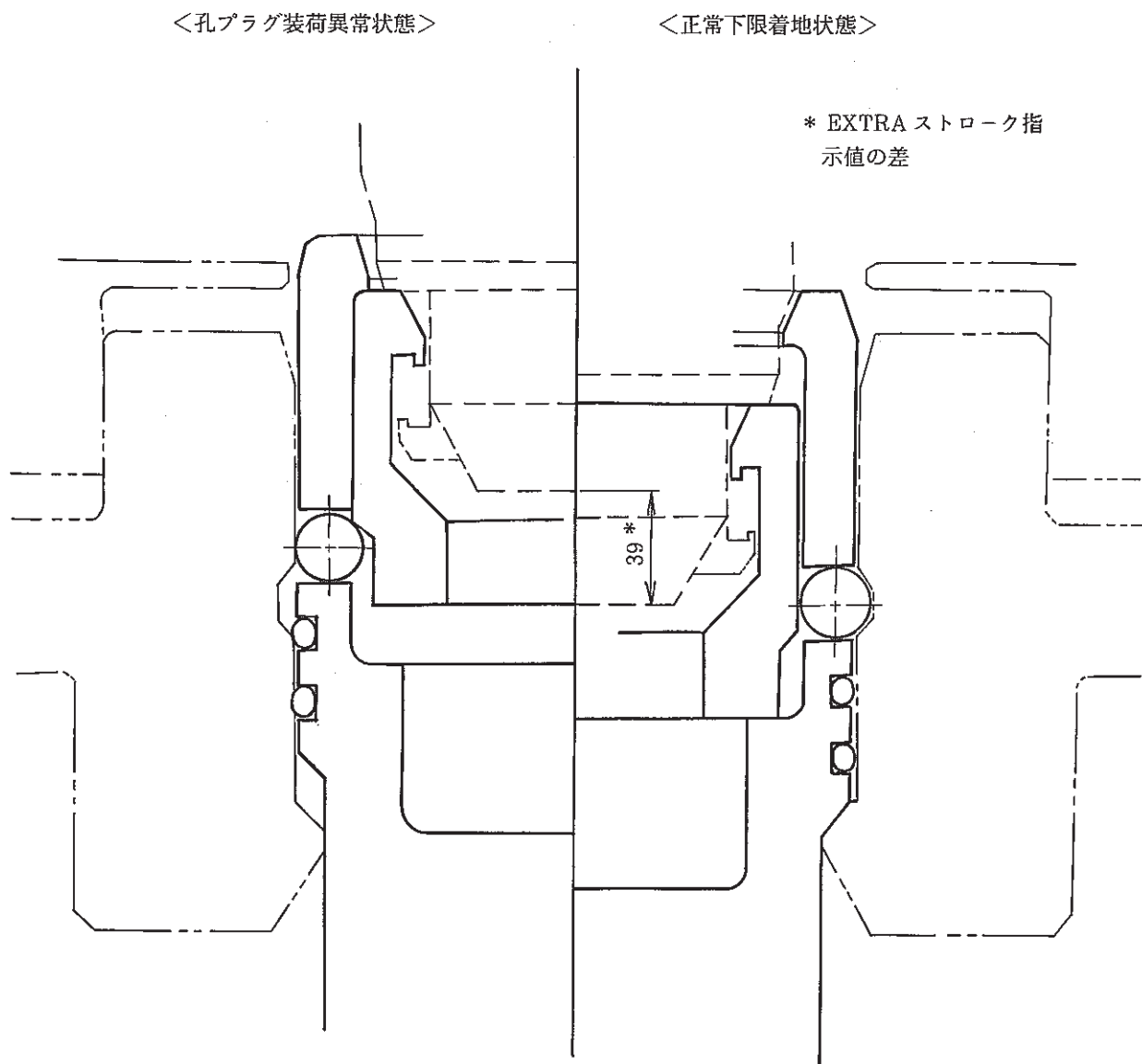
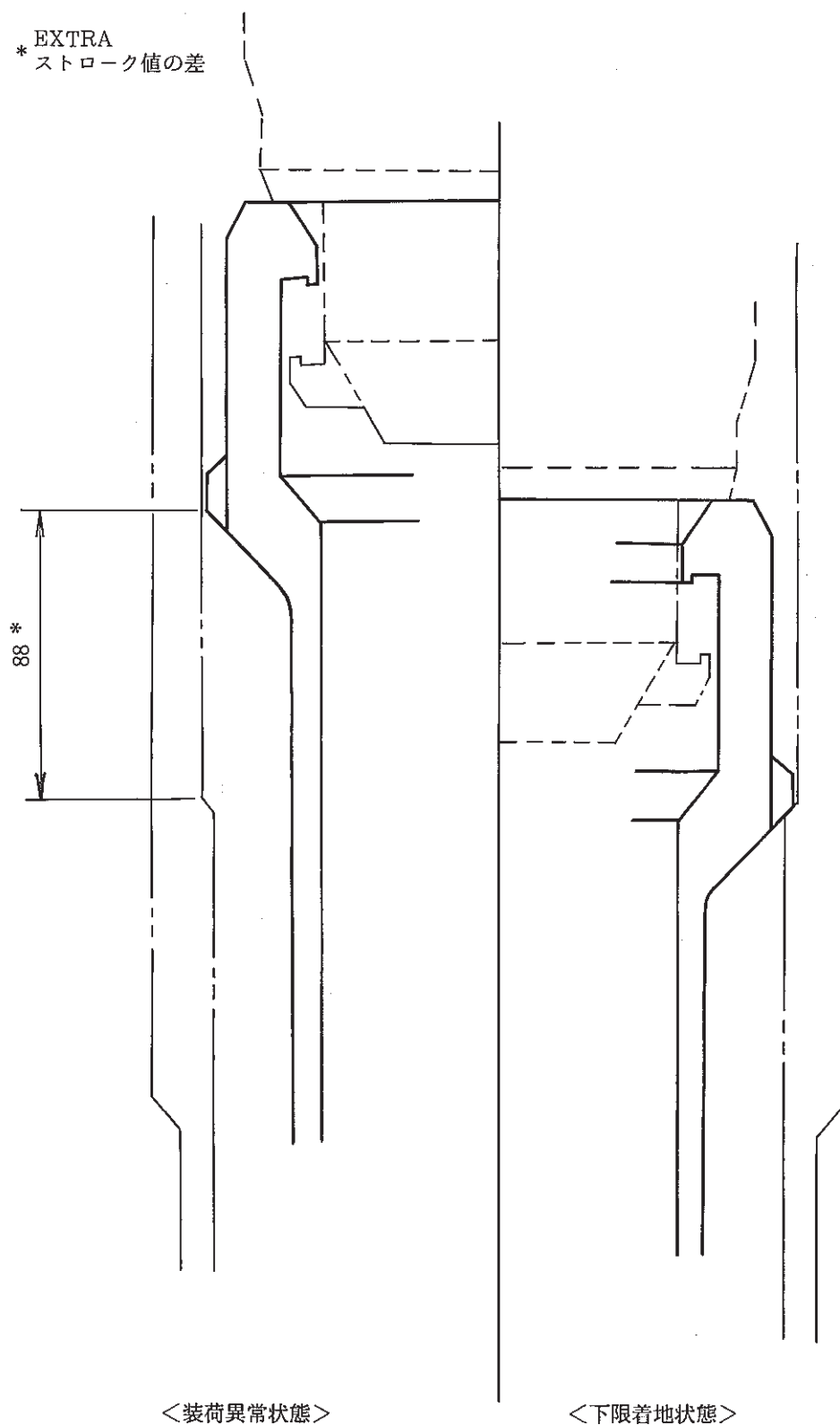


図 4.1.2 - 12 孔プラグ装荷異常時位置

* EXTRA
* ストローク値の差



<装荷異常状態>

<下限着地状態>

昭和60年1月 (P07-FH1)

図 4.1.2 - 14 案内スリーブ装荷位置の比較

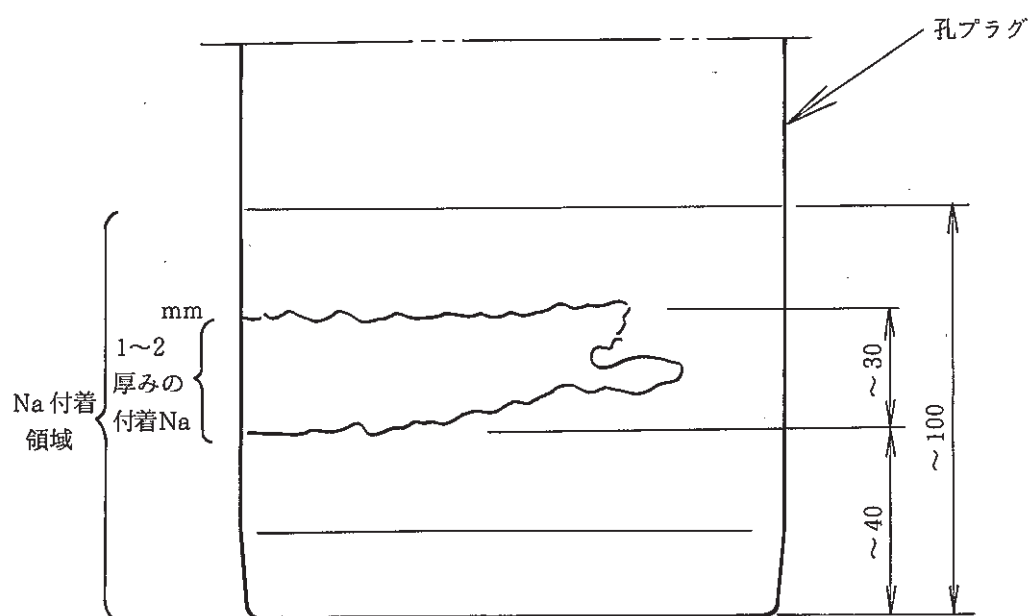


図 4.1.2 - 15 孔プラグ下端部ナトリウム付着状況

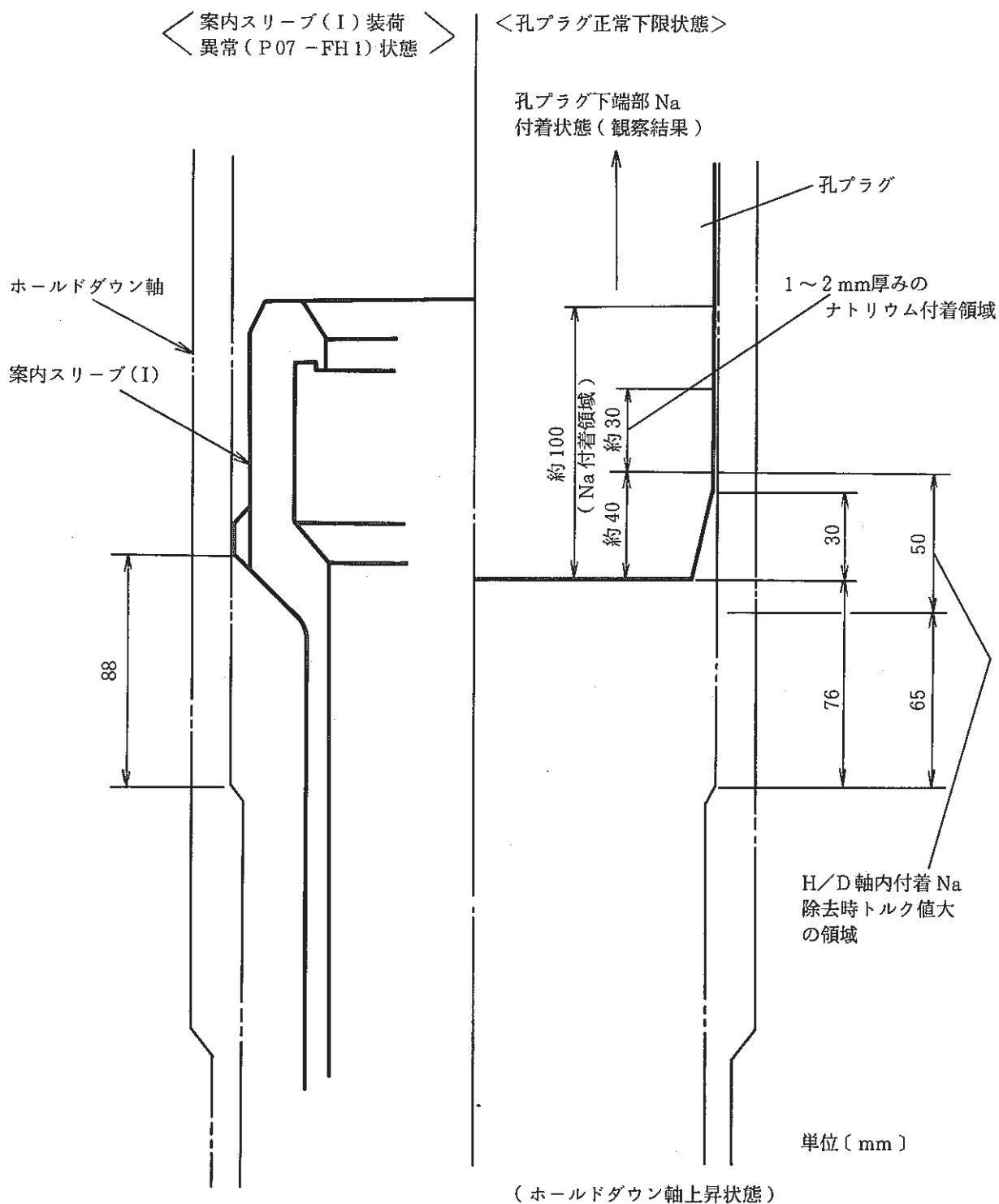
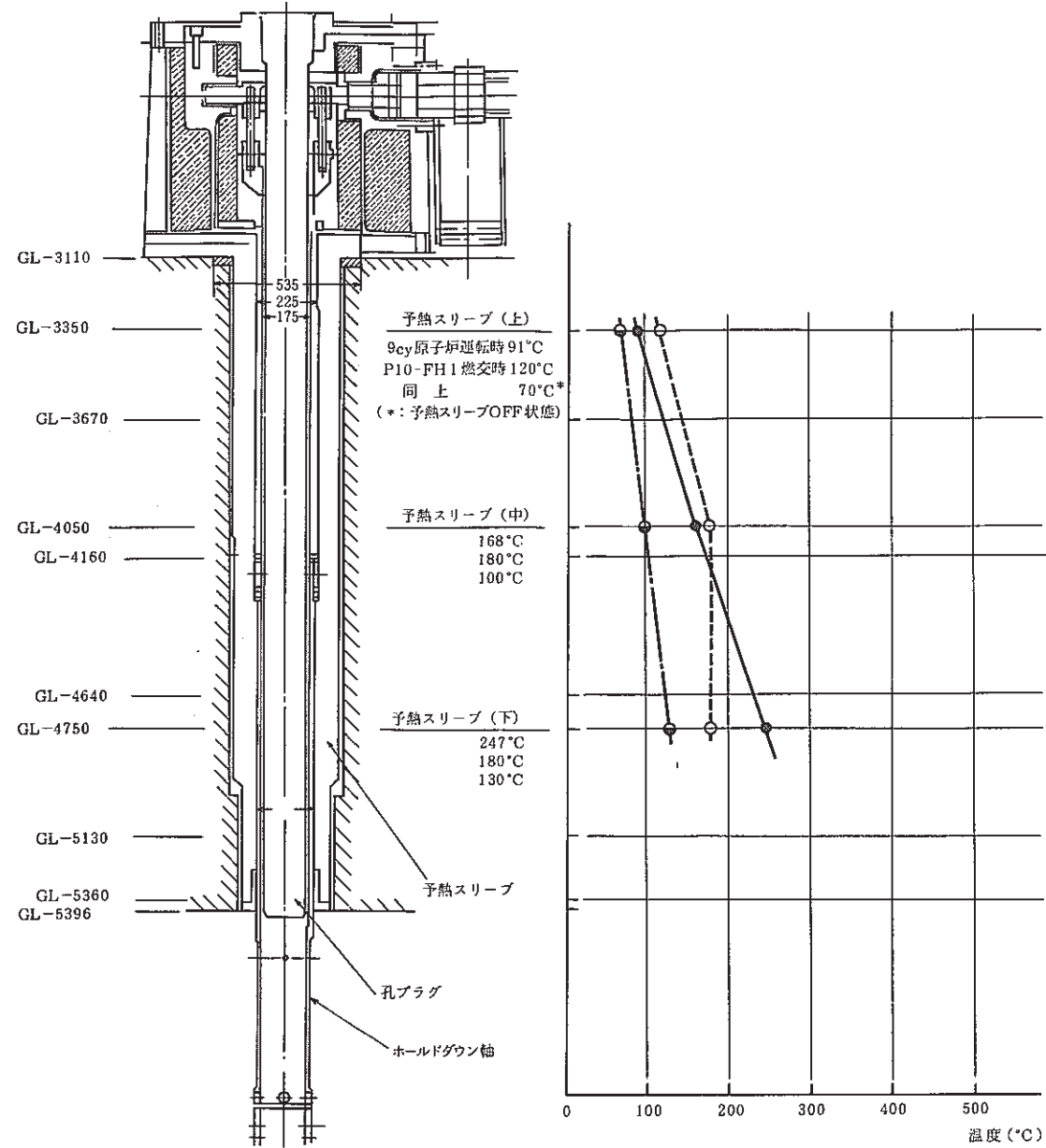


図 4.1.2 - 16 ホールダウン軸内ナトリウム付着状況



- 第9サイクル原子炉運転時
予熱スリーブ温度
(R/P冷却ブロウ停止時)
- P10-FH1 燃交時
予熱スリーブ温度
(S-61. 4. 13)
- P10-FH1 燃交時
予熱スリーブ温度*
(S-61. 4. 23)
- * ヒータ OFF状態

図4.1.2-17 予熱スリーブ温度分布

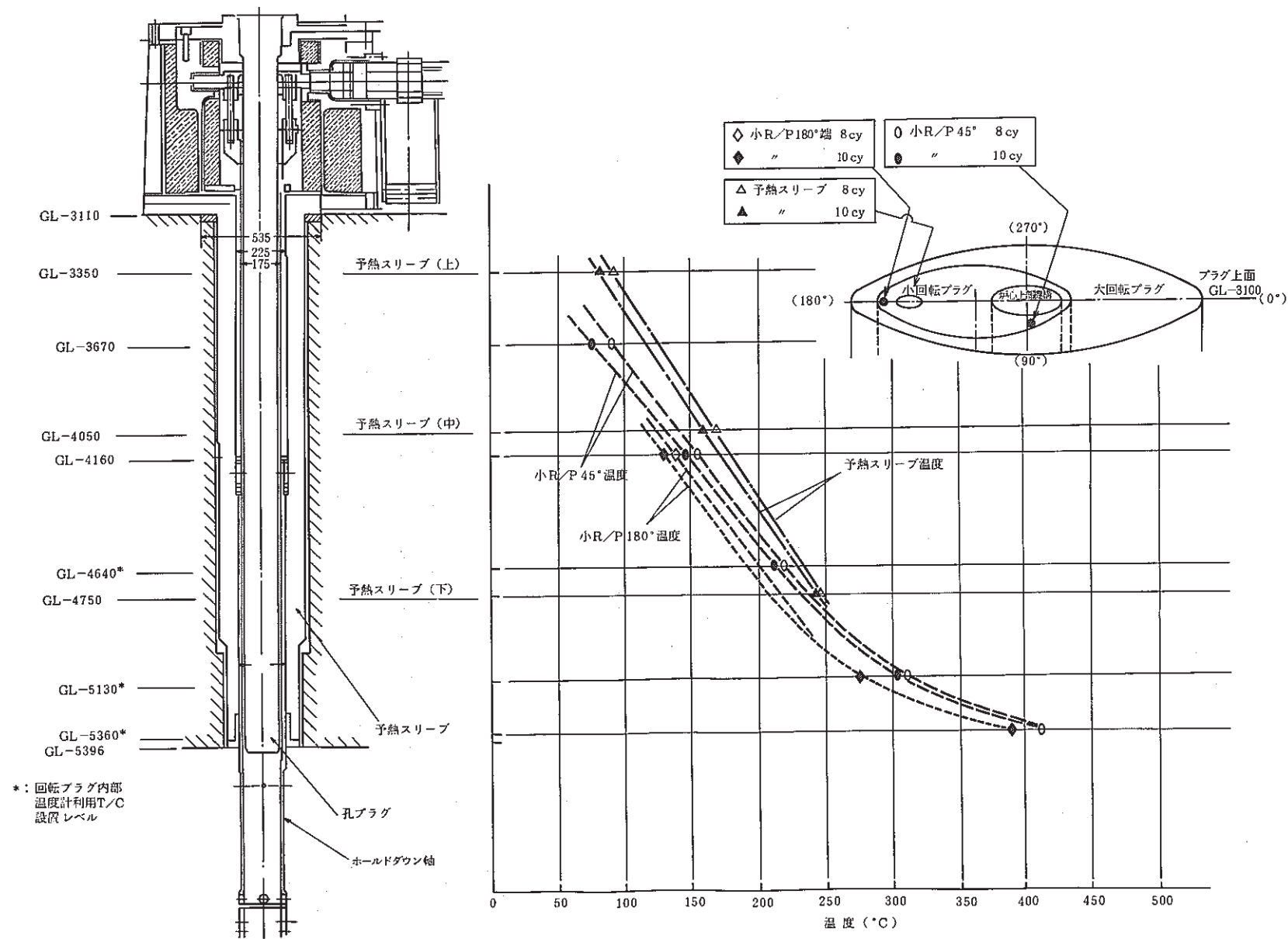


図4.1.2-18 予熱スリーブと回転プラグの温度分布

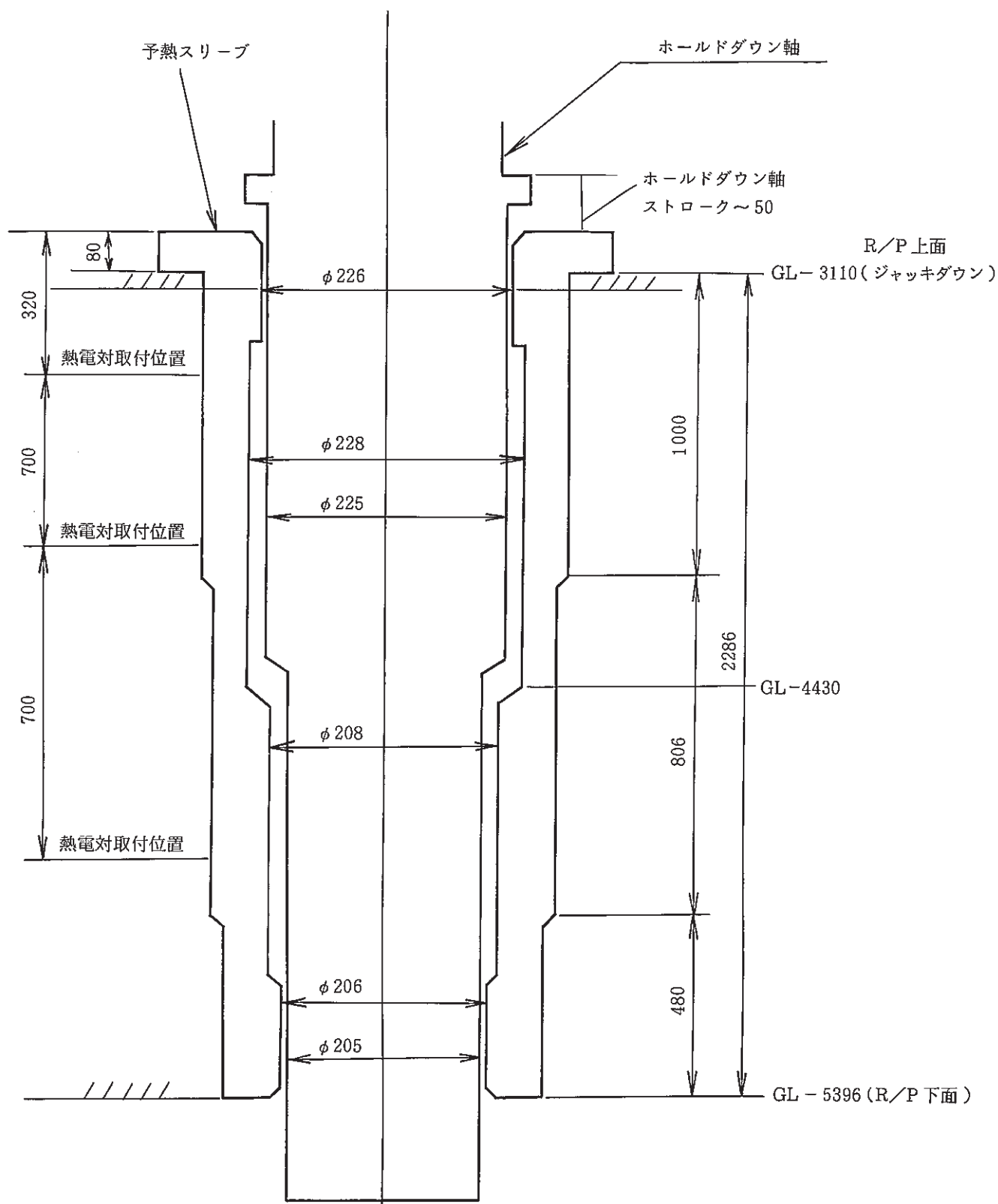


図 4.1.2 - 19 予熱スリーブとホールドダウン軸位置関係 (原子炉運転中)

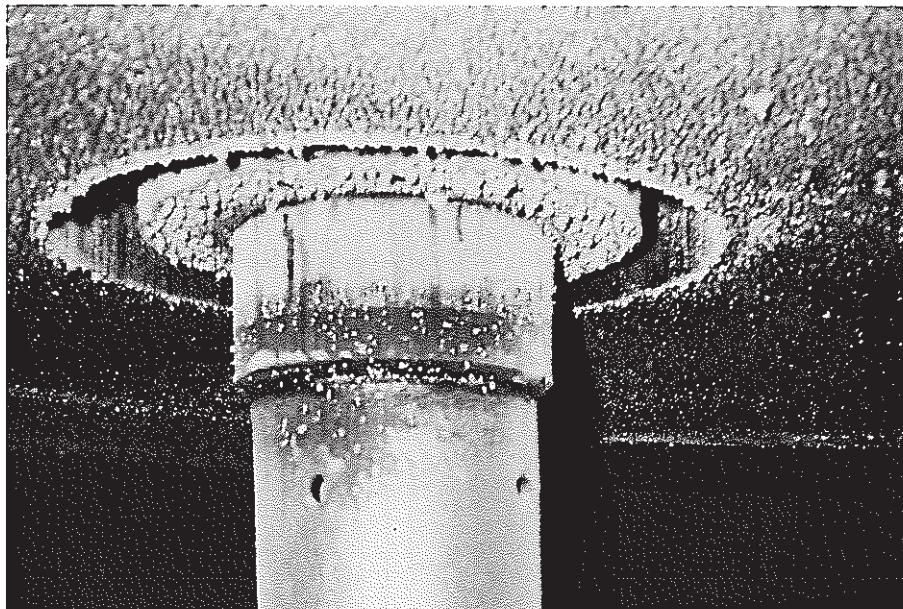


写真 4.1.2 - 5 常陽モックアップ回転プラグ下面外観
(ホールドダウン軸まわり)

3) 燃料交換機グリッパ引抜異常

昭和 60 年 2 月 6 日炉内燃料取扱を終え、燃料交換機グリッパを「格納時上限」まで上昇操作を行なったところ途中で荷重超過が発生し、停止した。

これまでは、このような場合には上下動作を繰返し、徐々に所定の位置へ持っていく方法をとっていた。今回は、上下動作時も荷重超過となり身動き出きない状態となった。軸封装置部の付着ナトリウムが原因と推定し、過去の経験を踏まえて軸封装置の軸封締付部をゆるめたり、外部からインパクトを加える方法をとった。その結果、ある程度グリッパは上昇するようになったが、「格納時上限」までは到達できなかった。以上の操作時荷重記録を図 4.1.2 - 20 ～ 4.1.2 - 24 に示す。

グリッパ上限位置まで上昇できないため、燃料交換機グリッパ先端部が燃料交換機本体ドアバルブの弁体と干渉し、ドアバルブドアバルブ閉操作が不可能となった。この時点で以下の 2 点の問題を検討したが、結局ドアバルブ開状態で燃料交換機を定位置へ移動した。

- グリッパ上下動作できないため、グリッパ洗浄ができない。
- ドアバルブが閉状態とならないため、燃料交換機を回転プラグ上から取外して定位置へ移動する時、空気が本体内部へ侵入し、グリッパに付着したナトリウムが酸化する。

この後、燃料交換機グリッパの分解点検等を実施した（4.2.4 参照）。

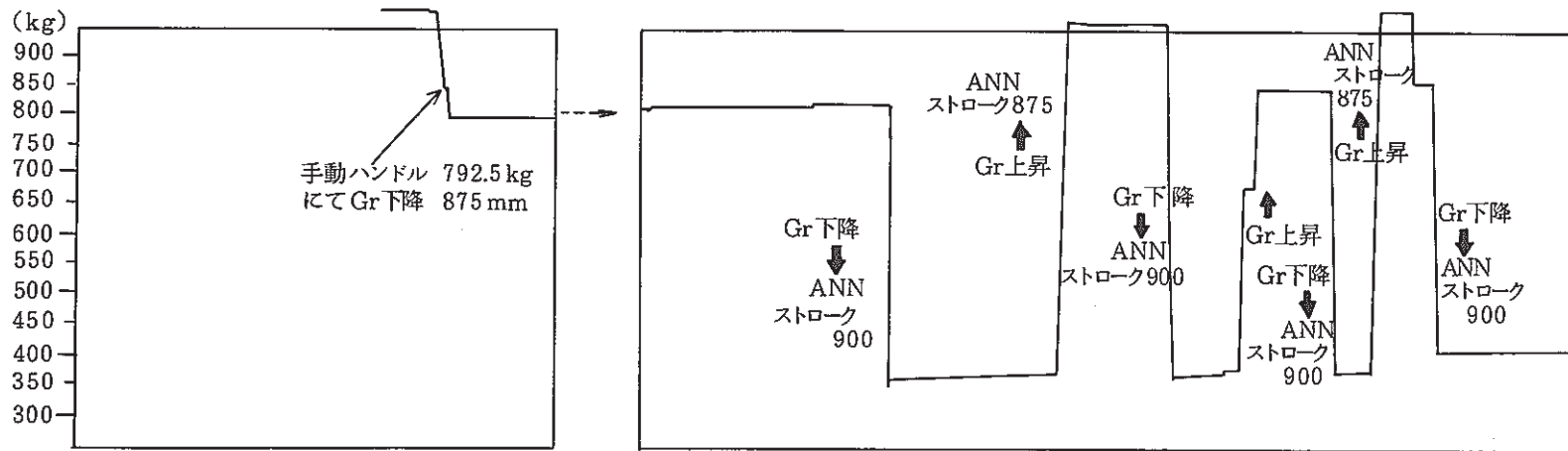
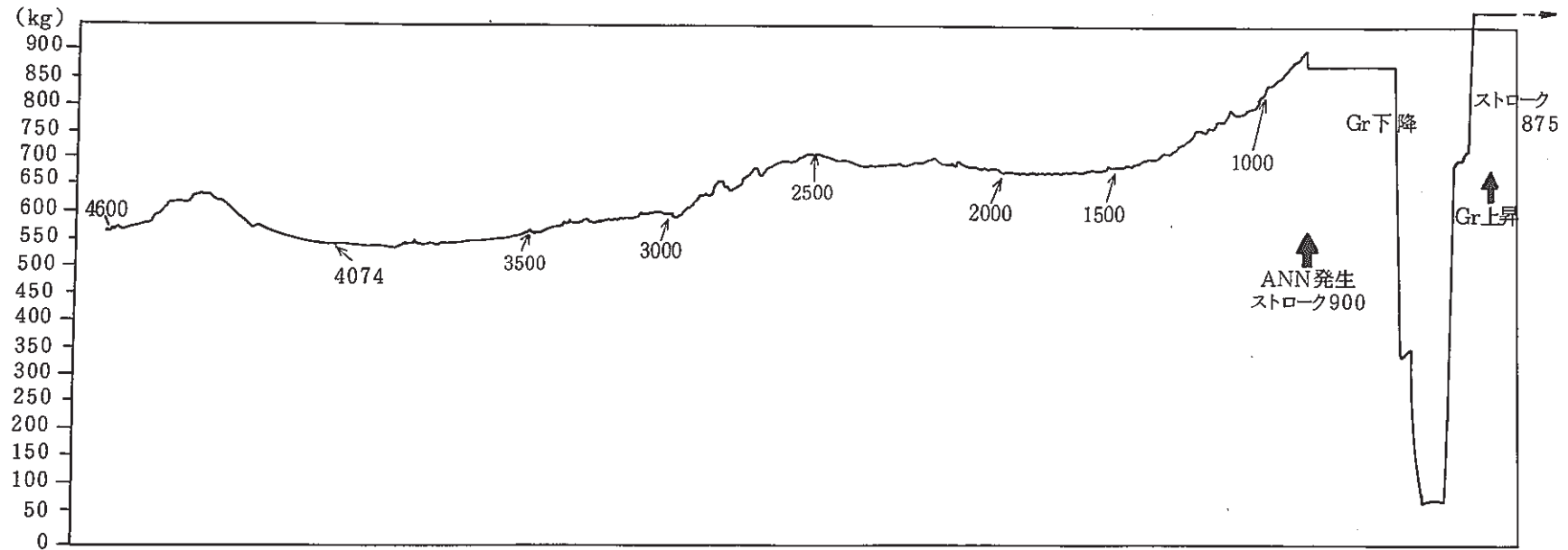


図 4.1.2-20 燃料交換機荷重記録 (1)

昭和60年2月6日

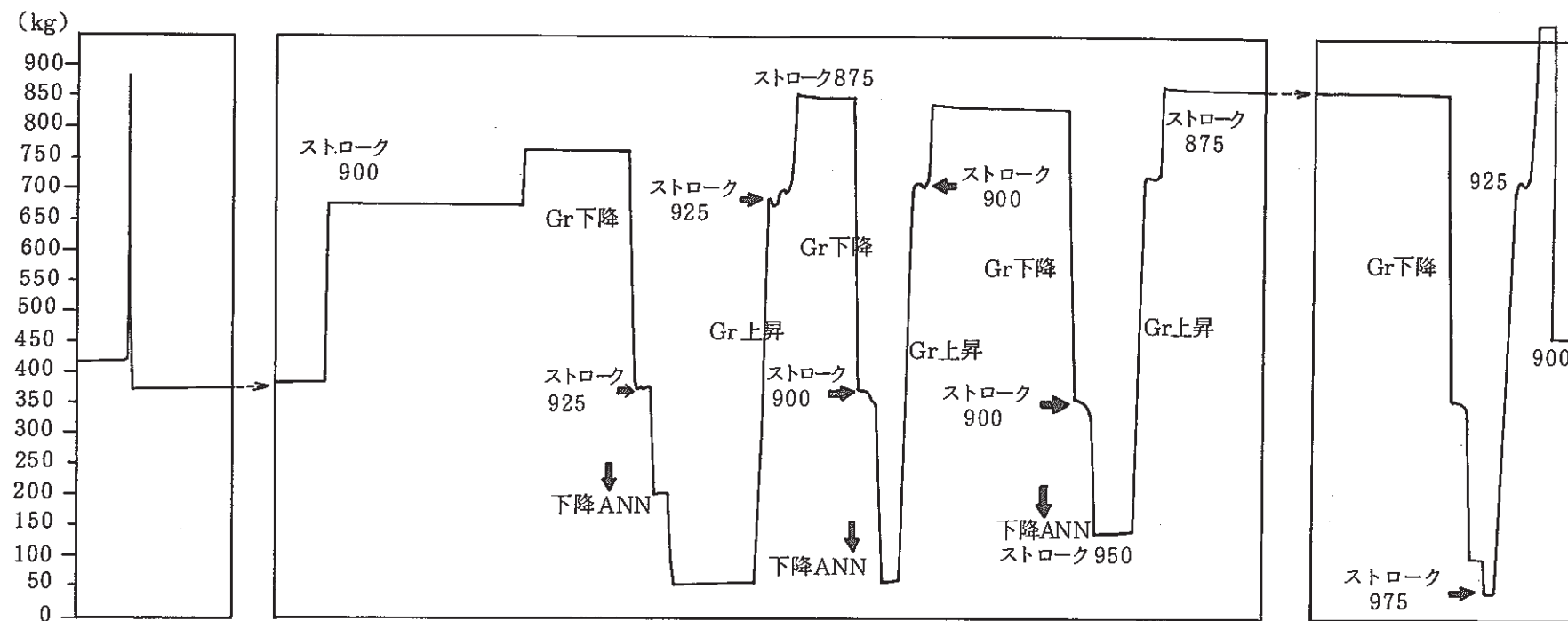


図 4.1.2-21 燃料交換機荷重記録 (2)

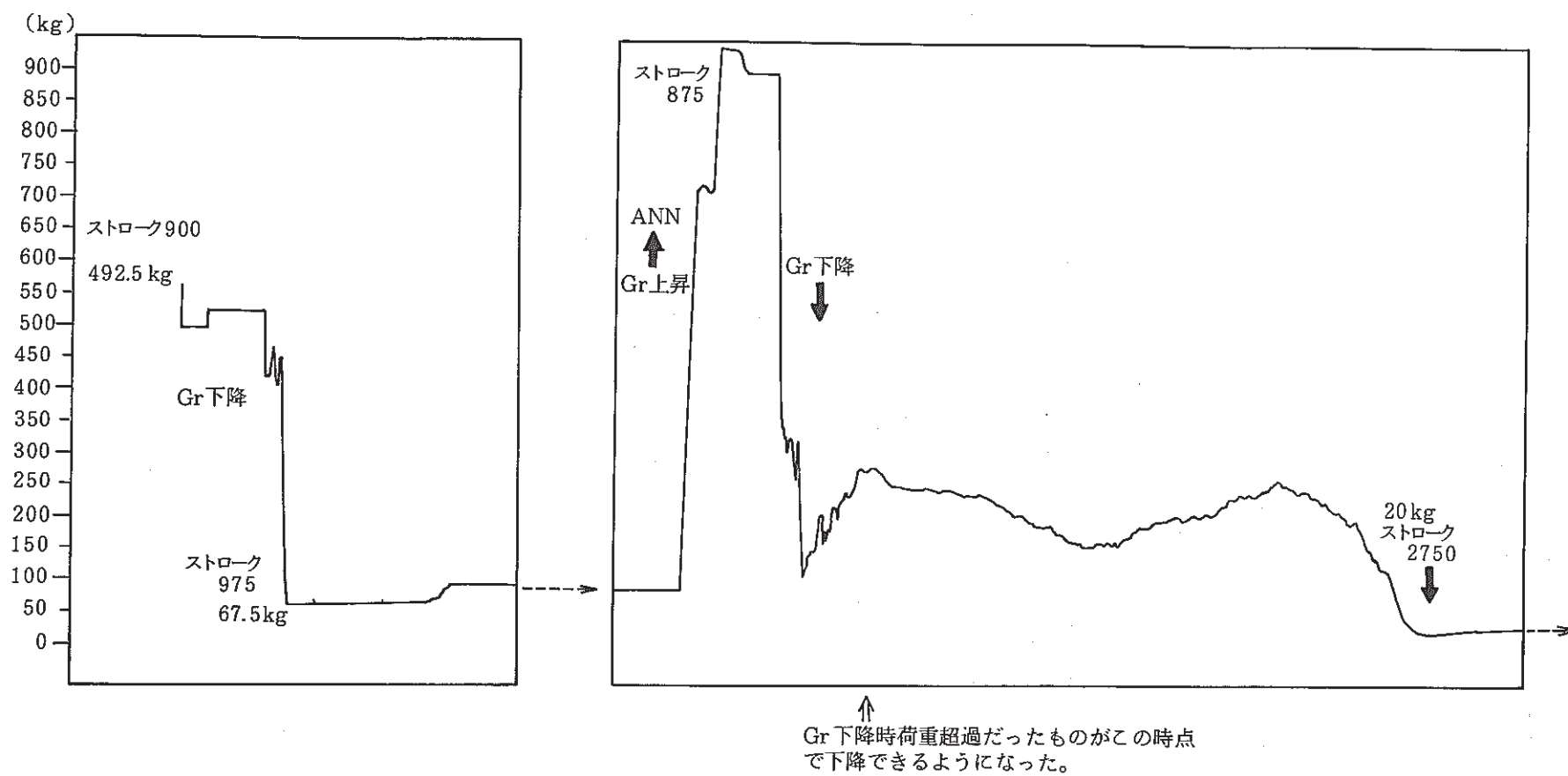


図 4.1.2-22 燃料交換機荷重記録 (3)

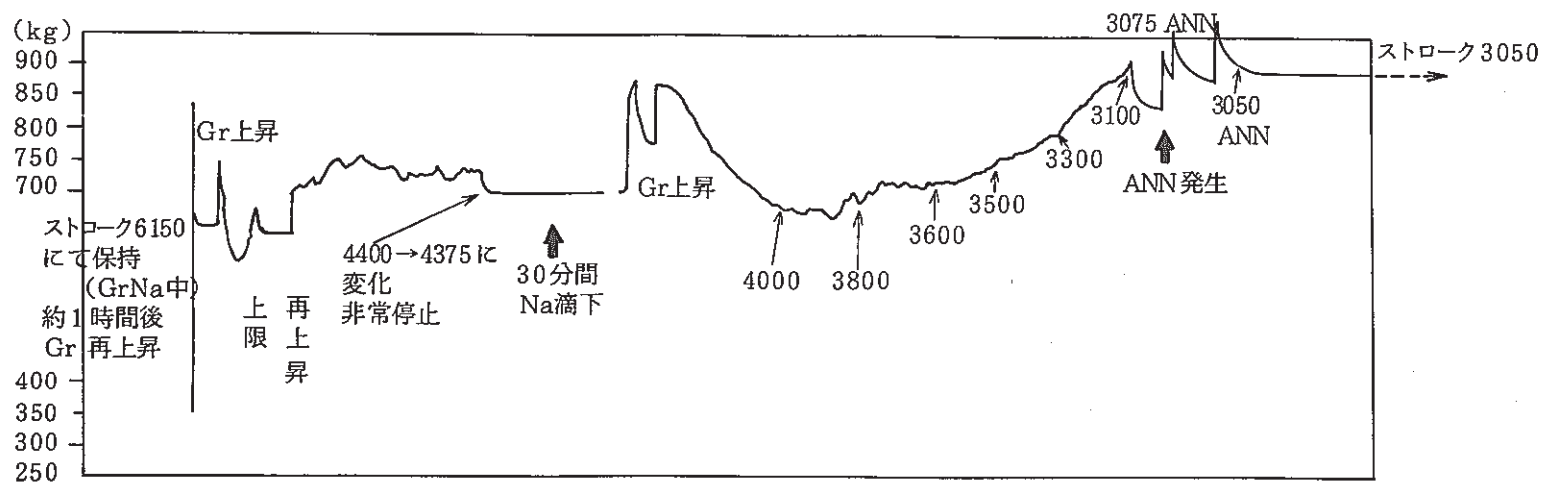
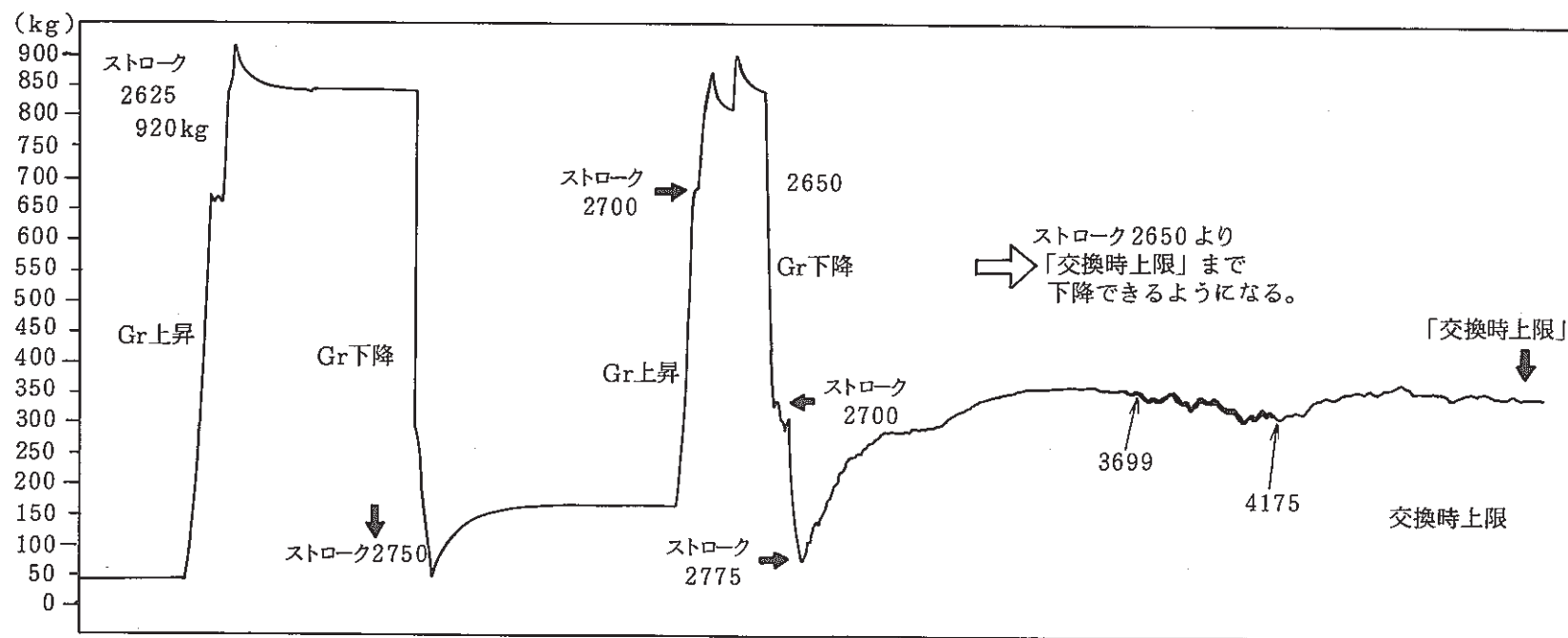


図 4.1.2-23 燃料交換機荷重記録 (4)

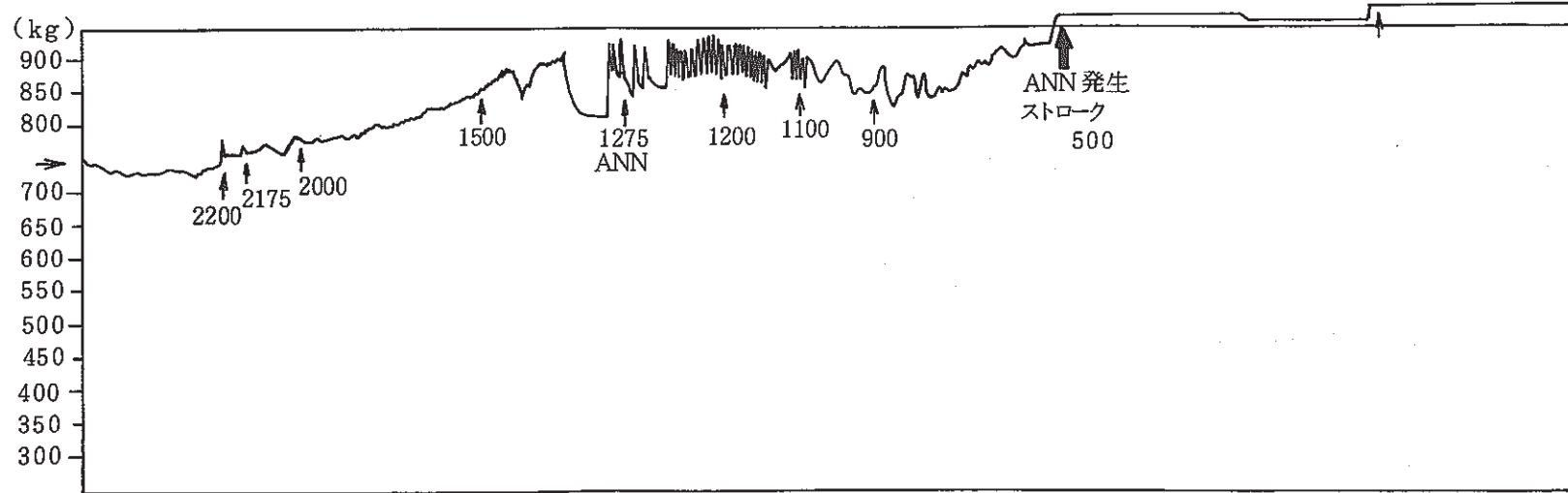
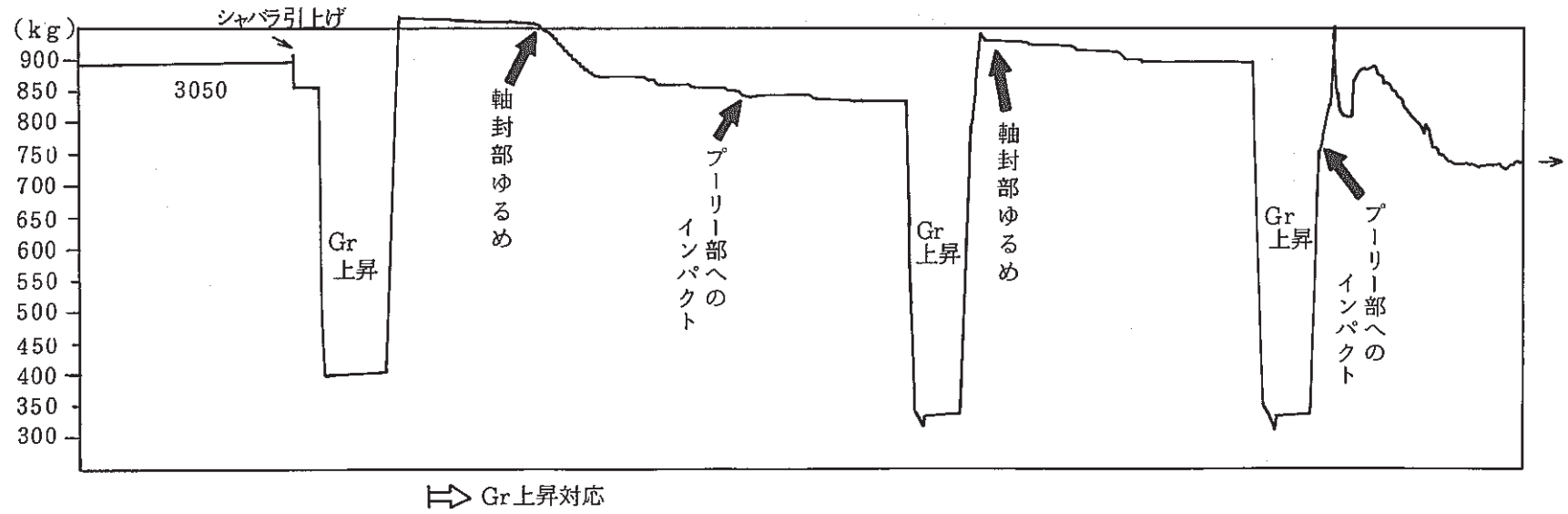


図 4.1.2-24 燃料交換機荷重記録 (1NCO Gr・引抜不可)

昭和60年 2月6日

4.1.3 炉心構成要素取扱

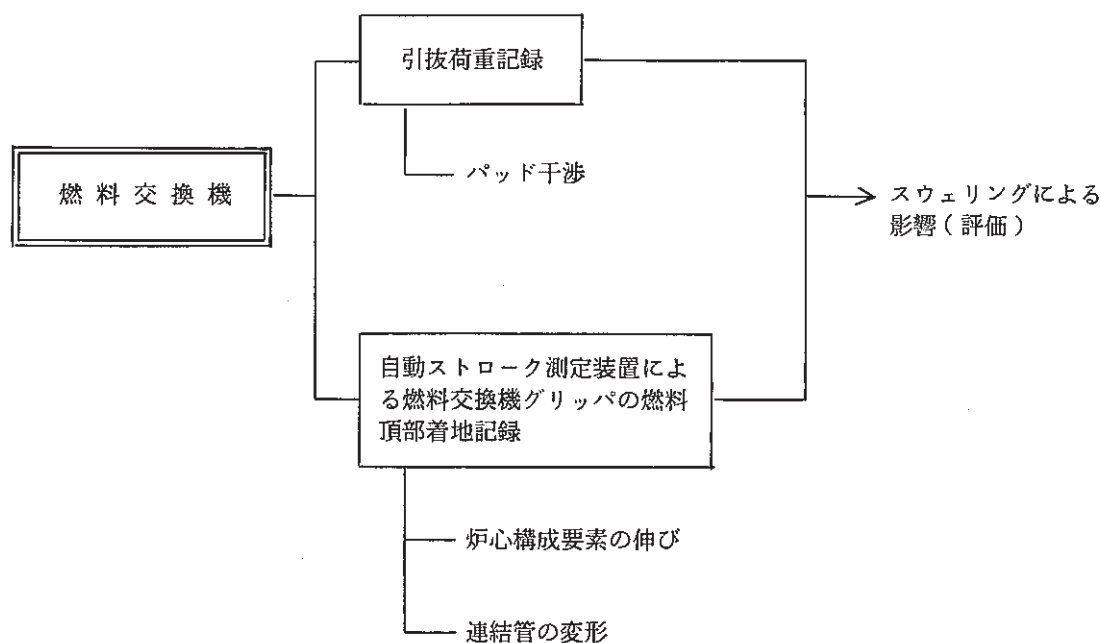
1) 炉心構成要素等の炉内経時変化の計測

炉心構成要素のスウェリング等による影響については、従来から燃料交換機による引抜荷重記録により行われている。

MK-II 移行後、原子炉出力の上昇に伴い中性子照射量も MK-I に比べ約 1.5 倍と増加し、スウェリング量も増加する傾向にある。

したがって、これらスウェリング等による炉内経時変化を把握すると共にスウェリング等による影響を評価するため昭和 59 年 11 月に燃料交換機に自動ストローク測定装置を設置した。図 4.1.3-1 に炉内経時変化計測システムの概要を示す。

スウェリング等による影響の評価のための計測データは、下記のようなになる。



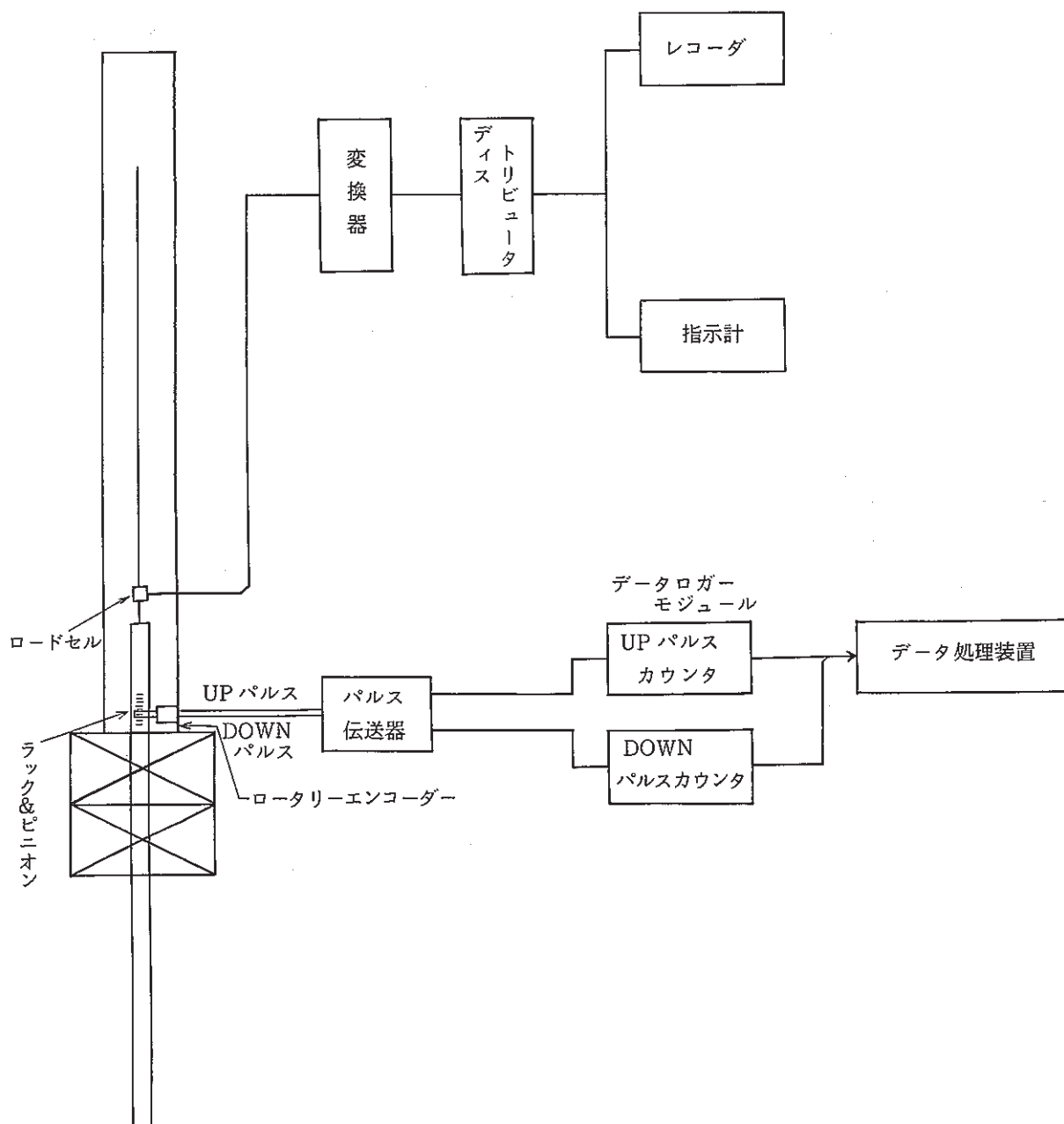


図 4.1.3 - 1 炉内経時変化計測システム

i) 炉内経時変化計測における基本的考え方

統計的にデータを評価するため炉内経時変化計測の基本的な考え方は次のとおりである。

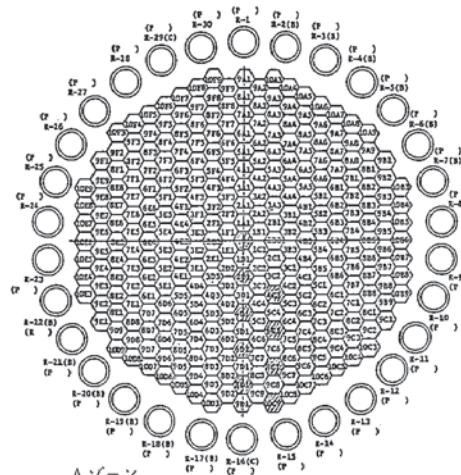
- 炉心をA～Fゾーンの6つに区別する。
- 計測は、1サイクル原子炉運転毎の燃料交換期間（炉内燃料取扱(1)）中にA→B……F→Aの順序で行う。
- 計測対象集合体の廻り6体は装荷されているものとする。
- 計測ストローク範囲は中間パッドの干渉が無くなる所までのストローク約300mm（着地位置より上方）とする。

図4.1.3-2に計測位置（代表）を示す。

ii) 計測目的及び位置

スウェリング等の評価を行うためのそれぞれの目的及び計測位置は次のとおりである。

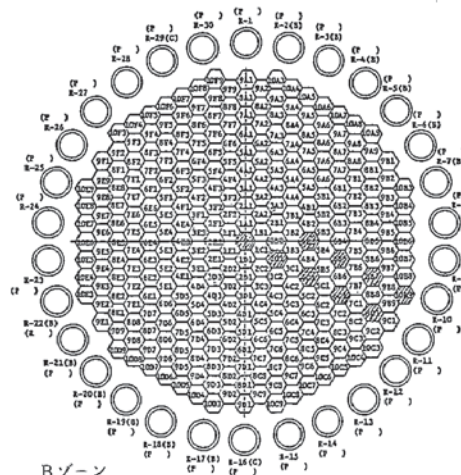
- 制御棒下部案内管のスウェリング評価 ⇨ 2○1, 4○3
- 反射体のスウェリング評価 6○1, 8○1, 6○5, 8○7, 10○9
- 炉心構成要素軸方向伸び } ⇨ 全数
- 連続管等の変形 }
- 制御棒スウェリング評価 ⇨ 3A3, 3B3, 3C3, 3D3, 3E3, 3F3
のいずれか



Aゾーン

(第3cy終了後)

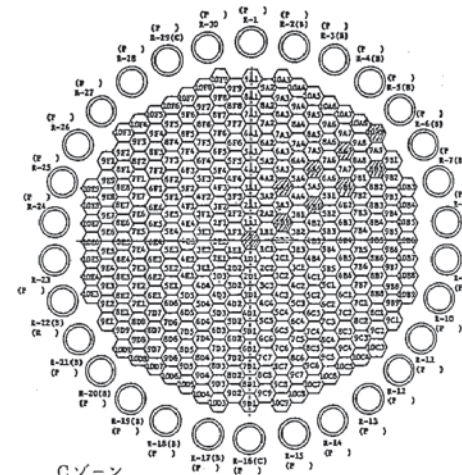
0	Driver Fuel	4C3 Driver Fuel
2D1	"	6C5 Reflector(内)
4D1	"	8C7 " (外A)
6D1	Reflector(外A)	10C9 (外B)
8D1	"	



Bゾーン

(第4cy終了後計測)

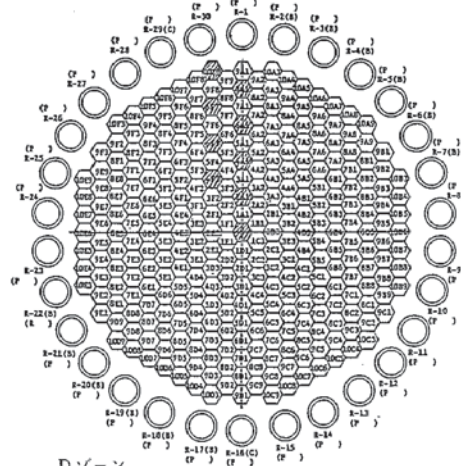
0	4B3
2C1	6B5
4C1	8B7
6C1	10B9
8C1	



Cゾーン

(第5cy終了後計測)

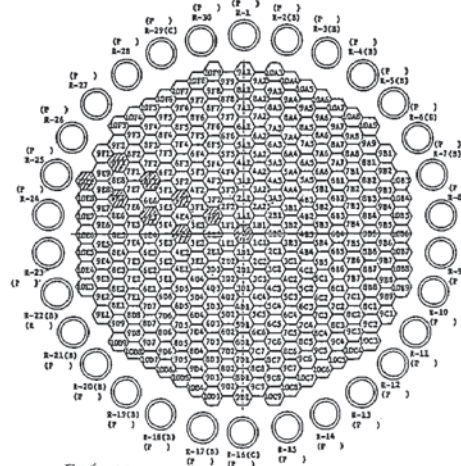
0	4A3
2B1	6A5
4B1	8A7
6B1	10A9
8B1	



Dゾーン

(第7cy終了後計測)

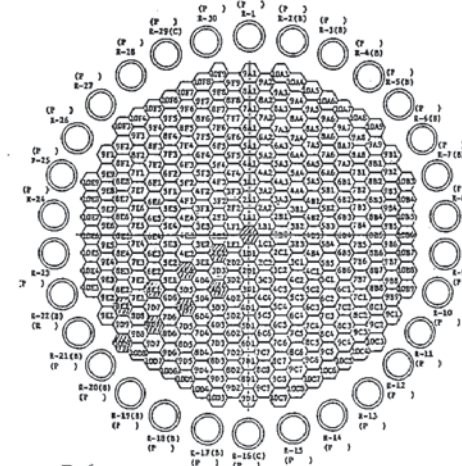
0	4F3
2A1	6F5
4A1	8F7
6A1	10F9
8A1	



Eゾーン

(第8cy終了後計測予定)

0	4E3
2F1	6E5
4F1	8E7
6F1	10E9
8F1	



Fゾーン

(第9cy終了後計測予定)

0	4D3
2E1	6D5
4E1	8D7
6E1	10D9
8E1	

図4.1.3-2 引抜荷重計測位置

Ⅲ) 計測結果及び評価

イ) スウェリング等によるパッド間干渉

燃料交換機の引抜荷重記録の例等を図 4.1.3 - 3 に示す。

図 3.1.4 - 4 にパッド間干渉が見られなかった時の荷重記録を示す。

図 3.1.4 - 5 にパッド間干渉が見られた時の荷重記録を示す。

第 7 サイクル原子炉運転後までの炉心構成要素引抜荷重測定結果を表 4.1.3 - 1 から表 4.1.3 - 3 に示す。また、これらを運転サイクル毎に整理したものを図 4.1.3 - 6 に示す。この図の縦軸は炉心構成要素引抜荷重値から、炉心構成要素はなし状態のグリップ引抜荷重値を差引いた値である。(図 4.1.3 - 3 参照) この値は、炉内構成要素重量から浮力分を除いたものに相当する。燃料交換機軸封部の摺動抵抗の影響が付加されるが、この図からは、有意な荷重変化、異常は認められない。

以上のように、100 MW 第 7 サイクル終了時点までのデータから、スウェリングによると見られるパッド干渉は確認されているがパッドの健全性に影響しうるものではない。

表 4.1.3 -1 炉心構成要素引抜荷重測定結果 (P04-FH1)

	アドレス	炉心構成要素	ピーク荷重 (kg)	荷 重 差 (kg)
1	0 0 0	PFD 001	6 5 3	6 5
2	2 D 1	PFD 014	6 1 0	6 0
3	4 D 1	PFD 044	6 1 3	6 0
4	6 D 1	NFRM 03	6 2 5	6 5
5	8 D 1	NFRM 24	6 2 5	7 5
6	4 C 3	PFD 106	6 0 0	5 0
7	6 C 5	NFRi 13	6 1 0	6 0
8	8 C 7	NFRM 22	6 1 0	6 5
9	10 C 9	NFR $\bar{O}$ 0C	6 4 0	7 5
10				
11				
12				
13				
14				

昭和59年6月13日計測

表 4.1.3 - 2 炉心構成要素引抜荷重測定結果 (P05-FH1)

	アドレス	炉心構成要素	ピーク荷重 (kg)	荷 重 差 (kg)
1	0 0 0	PFD 115	6 3 0	6 0
2	2 C 1	PFD 114	5 7 5	3 5
3	4 C 1	PFD 040	5 9 0	5 0
4	6 C 1	NFRM 02	6 2 0	7 0
5	8 C 1	NFRM 1W	6 1 0	7 0
6	4 B 3	PFD 072	5 8 5	5 0
7	6 B 5	NFR i 0Y	6 0 0	6 0
8	8 B 7	NFRM 1U	6 0 4	7 0
9	10 B 9	TTJR 0T	6 1 2	7 5
10				
11				
12				
13				
14				

昭和 59 年 8 月 15 日計測

表 4.1.3 - 3 炉心構成要素引抜荷重測定結果 (P06-FH1)

	アドレス	炉心構成要素	ピーク荷重 (kg)	荷重差 (kg)
1	0 0 0	PFD 115	5 8 0	3 5
2	2 B 1	PFD 103	5 9 0	4 0
3	4 B 1	PFD 036	6 0 5	5 5
4	6 B 1	NFRM 01	5 7 5	8 0
5	8 B 1	NFRM 1N	5 8 5	7 0
6	4 A 3	PFD 104	5 8 5	5 5
7	6 A 5	NFRi 0T	6 0 0	6 5
8	8 A 7	NFRM 1L	6 2 0	7 0
9	10 A 9	NFR $\bar{O}$ 04	6 0 5	8 5
10				
11				
12				
13				
14				

昭和 59 年 10 月 24 日計測

表 4.1.3 - 4 炉心構成要素引抜荷重測定結果 (P08-FH1)

	アドレス	炉心構成要素	ピーク荷重 (kg)	荷重差 (kg)
1	0 0 0	PFD 115	5 4 0	5 5
2	2 A 1	PFD 070	5 4 0	5 0
3	4 A 1	PFD 113	5 4 0	5 5
4	6 A 1	NFRM 00	5 6 5	8 0
5	8 A 1	NFRM 1E	5 6 0	8 0
6	10 F 9	NFR $\bar{O}$ 0Q	5 8 5	9 5
7	8 F 7	NFRM 2S	5 6 5	8 3
8	6 F 5	NFRi 1J	5 5 0	6 8
9	4 F 3	PFD 108	5 4 0	6 0
10				
11				
12				
13				
14				

昭和60年4月5日計測

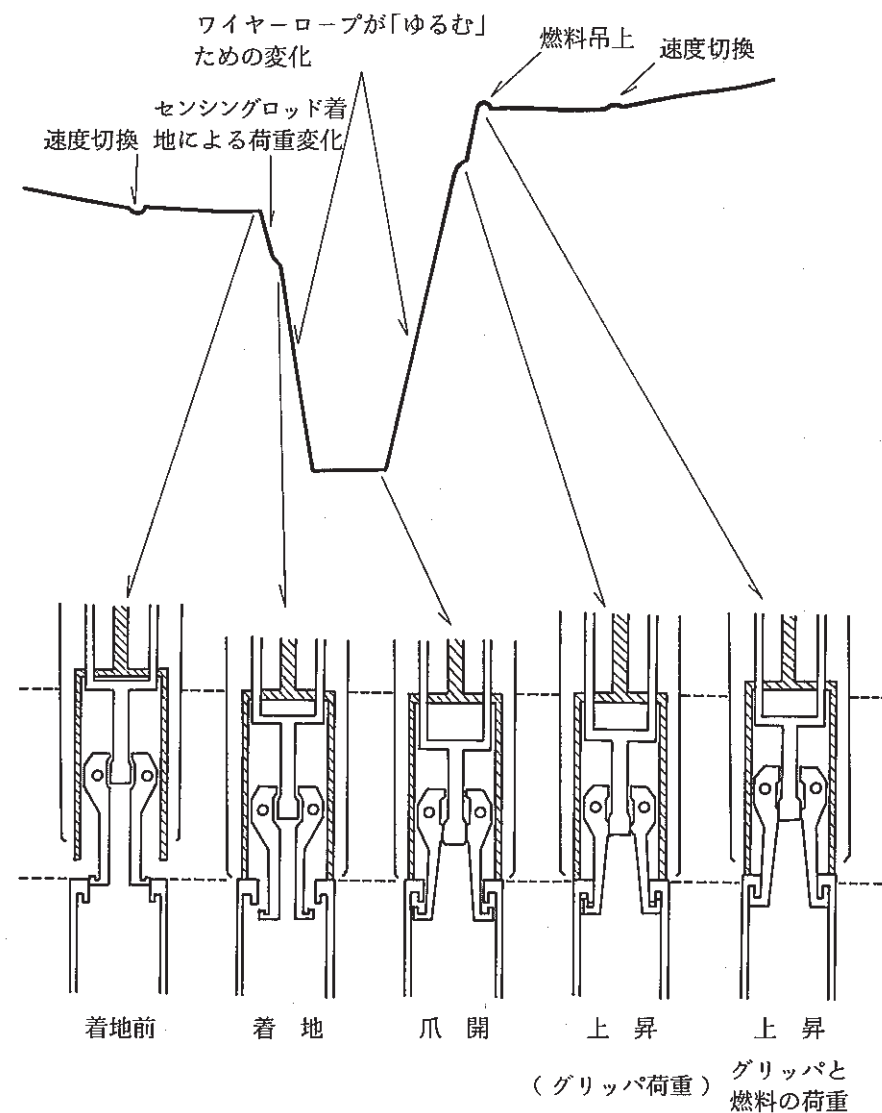
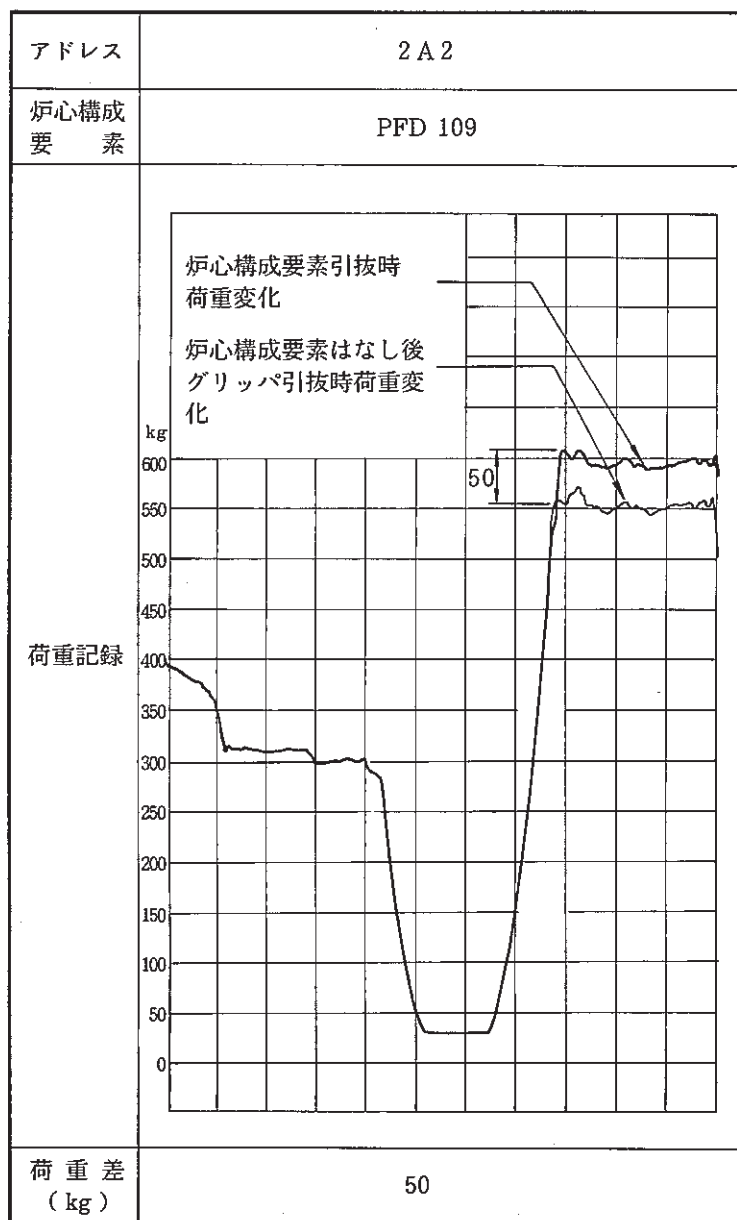


図 4.1.3 - 3 炉心構成要素引抜荷重変化例及び
燃料交換機グリッパ動作と荷重の関係

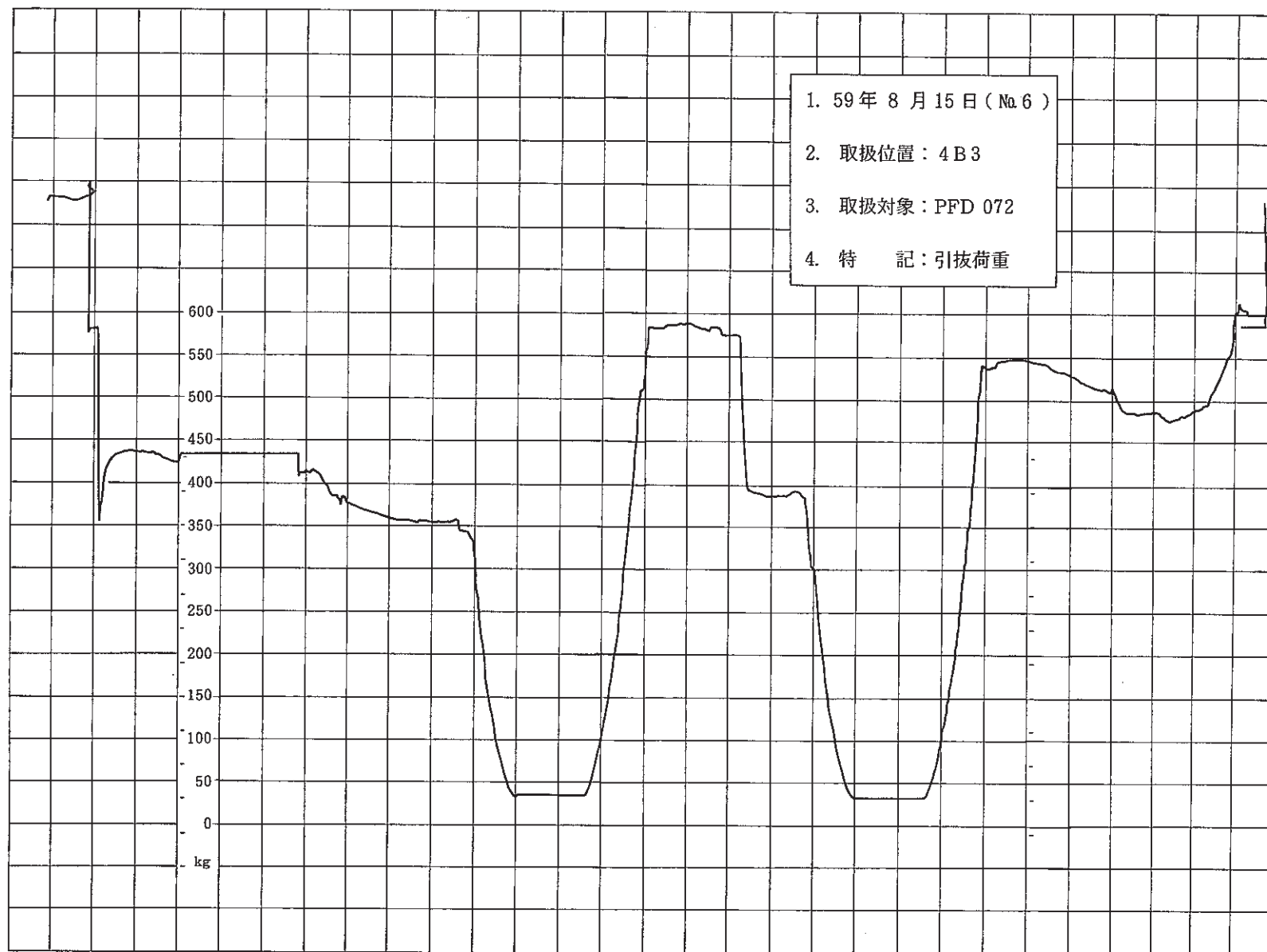


図 4.1.3 - 4 燃料交換機荷重記録 (その 1)

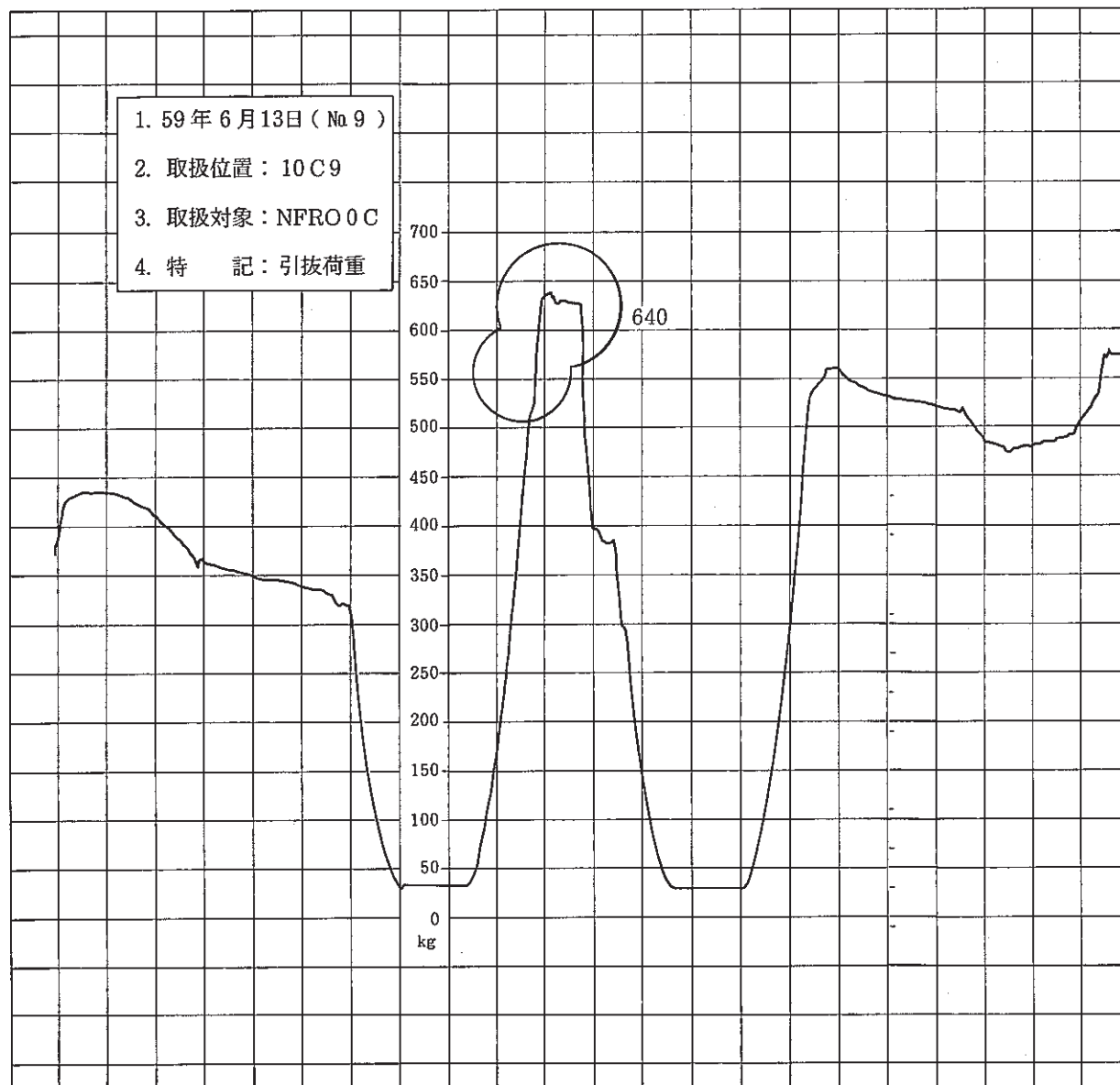
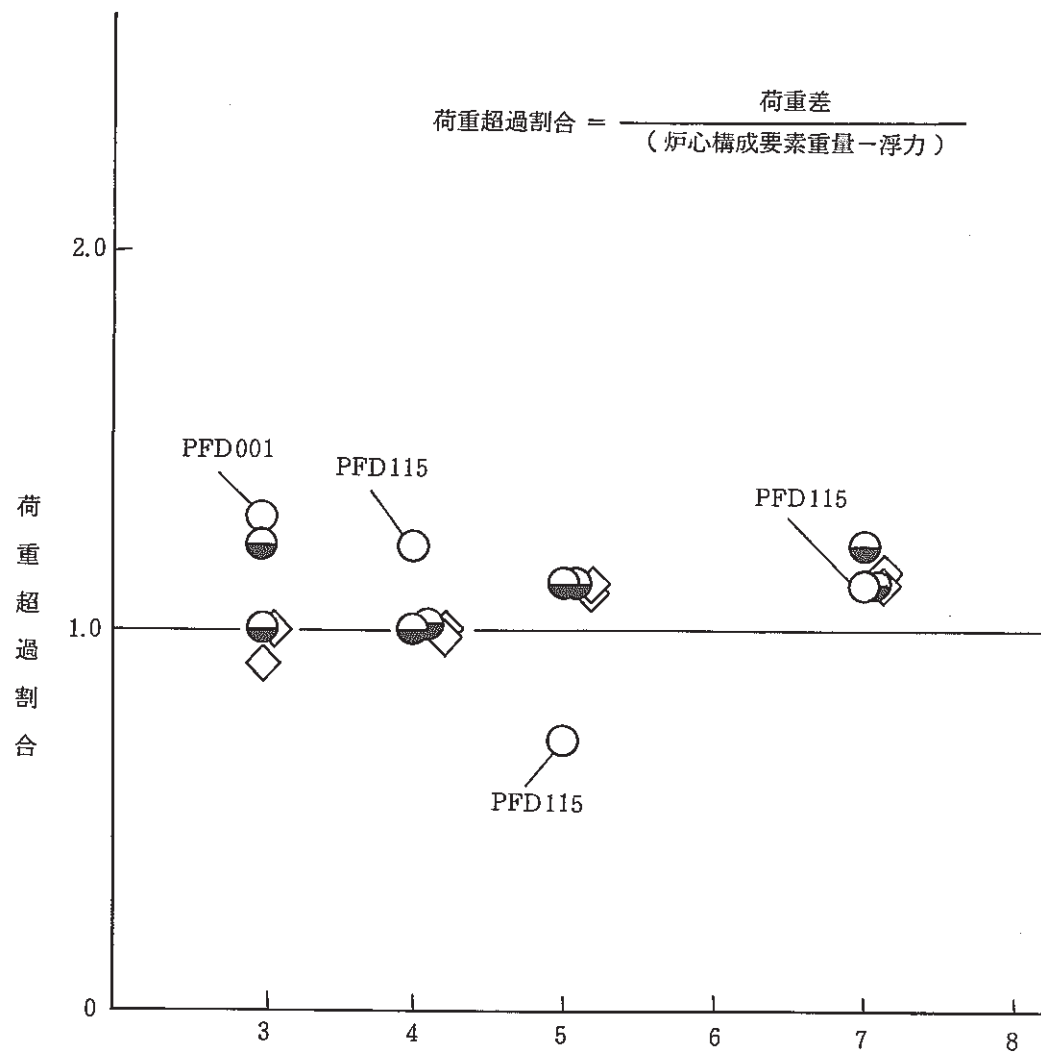


図 4.1.3 - 5 燃料交換機荷重記録 (その2)



印	炉心アドレス
○	○○○
◐	第4列
◇	第6列

図 4.1.3 - 6 炉心構成要素引抜荷重測定結果

ロ) 制御棒のスウェリング

第4サイクル終了後制御棒ダッシュラムと下部案内管ダッシュポットにスウェリングによる干渉が発見された。

図4.1.3-7はダッシュラムとダッシュポットの干渉が見られなかった時の荷重記録を示す。

図4.1.3-8は第5サイクル終了後干渉が見られた荷重記録を示す。この時の最大ピーク荷重は623kgであった。

スウェリングの影響とみられる事象は制御棒駆動機構の荷重記録にも表われている。第5サイクル終了後におけるMCR 003 およびMCR 004 制御棒吊荷重記録を図4.1.3-9 図4.1.3-10に示す。図4.1.3-9は第4サイクル終了後燃料交換機で荷重ピークが発見され、第5サイクル時ポットに入れておいたMCR 003 を3A3に装荷・引抜した時の荷重記録比較図である。図4.1.3-10は第5サイクル終了後スクラムした後引抜いたMCR004の荷重記録比較図である。

ハ) 炉心構成要素軸方向伸び及び連結管等の変形

第7サイクル終了までの集合体及びグリッパ着地寸法を表4.1.3-5に示す。着地寸法(レベル)は、6mmの差があるが、これは燃料交換機グリッパ軸の上下動作に伴うグリッパ軸の温度変化によって、グリッパ軸の熱膨張、熱収縮の効果と考えられる。時間経過で整理したものを図4.1.3-9に示す。このように、炉心構成要素軸方向伸び及び連結管等の変形を評価するためには、温度の効果等を考慮しつつさらにデータを蓄積して行く必要がある。

表4.1.3-5 自動ストローク測定装置出力値

No	日 付	Gr着地 時 間	アドレス		着地レベル (Gr-)
101	86.01.23	18.19.34	3B1	1	9496.2〔mm〕
102	86.01.23	18.26.22	3B1	4	9494.2〔mm〕
103	86.01.23	18.34.58	4A3	1	9493.3〔mm〕
104	86.01.23	18.38.36	4A3	4	9492.8〔mm〕
105	86.01.23	18.45.45	2A2	1	9492.2〔mm〕
106	86.01.23	18.49.14	2A2	4	9491.1〔mm〕
107	86.01.23	19.03.13	3E1	1	9492.0〔mm〕
108	86.01.23	19.06.30	3E1	4	9491.0〔mm〕
109	86.01.23	19.14.00	4D3	1	9490.9〔mm〕
110	86.01.23	19.17.24	4D3	4	9490.3〔mm〕
111	86.01.23	19.24.13	2D2	1	9490.5〔mm〕
112	86.01.23	19.27.42	2D2	4	9490.1〔mm〕

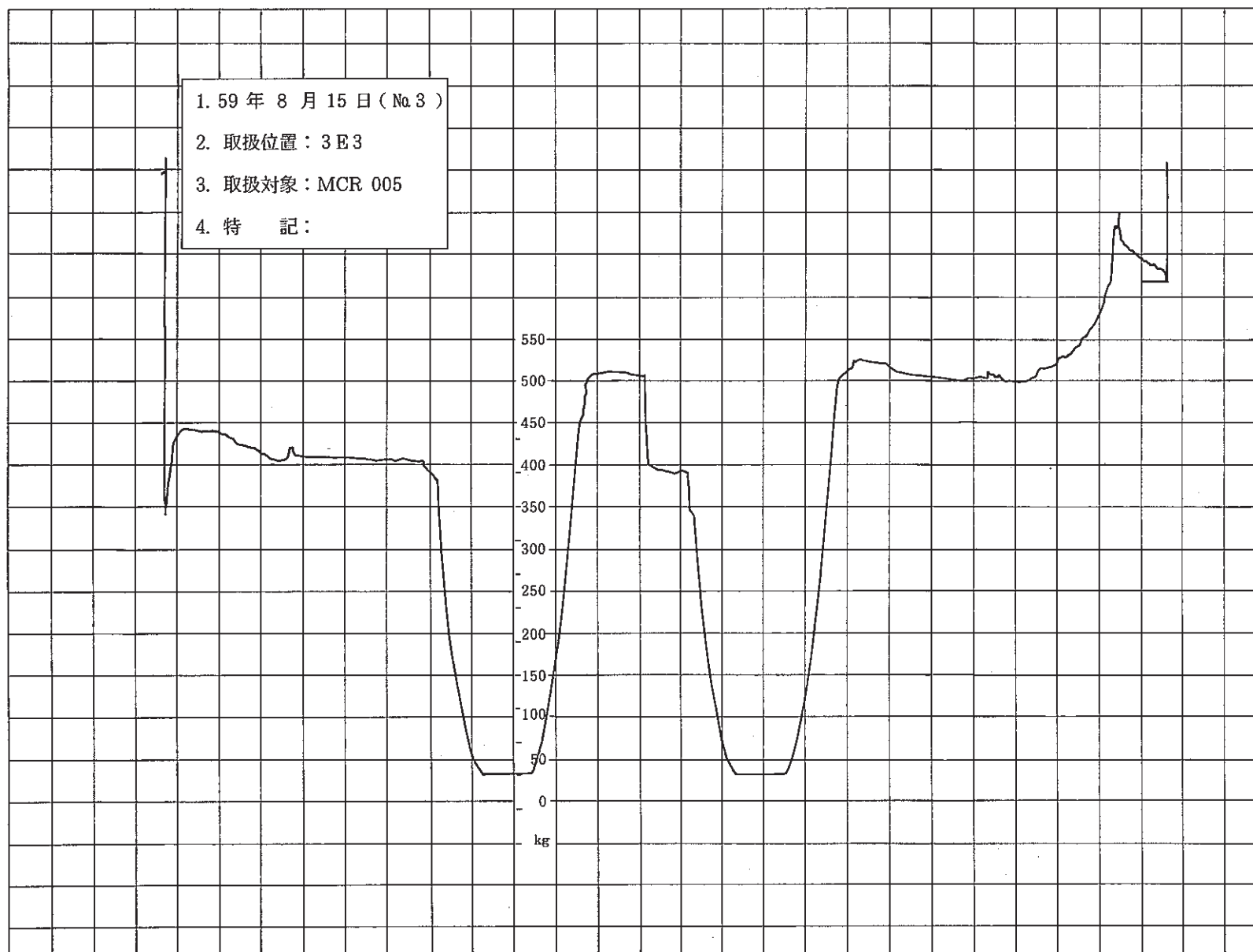
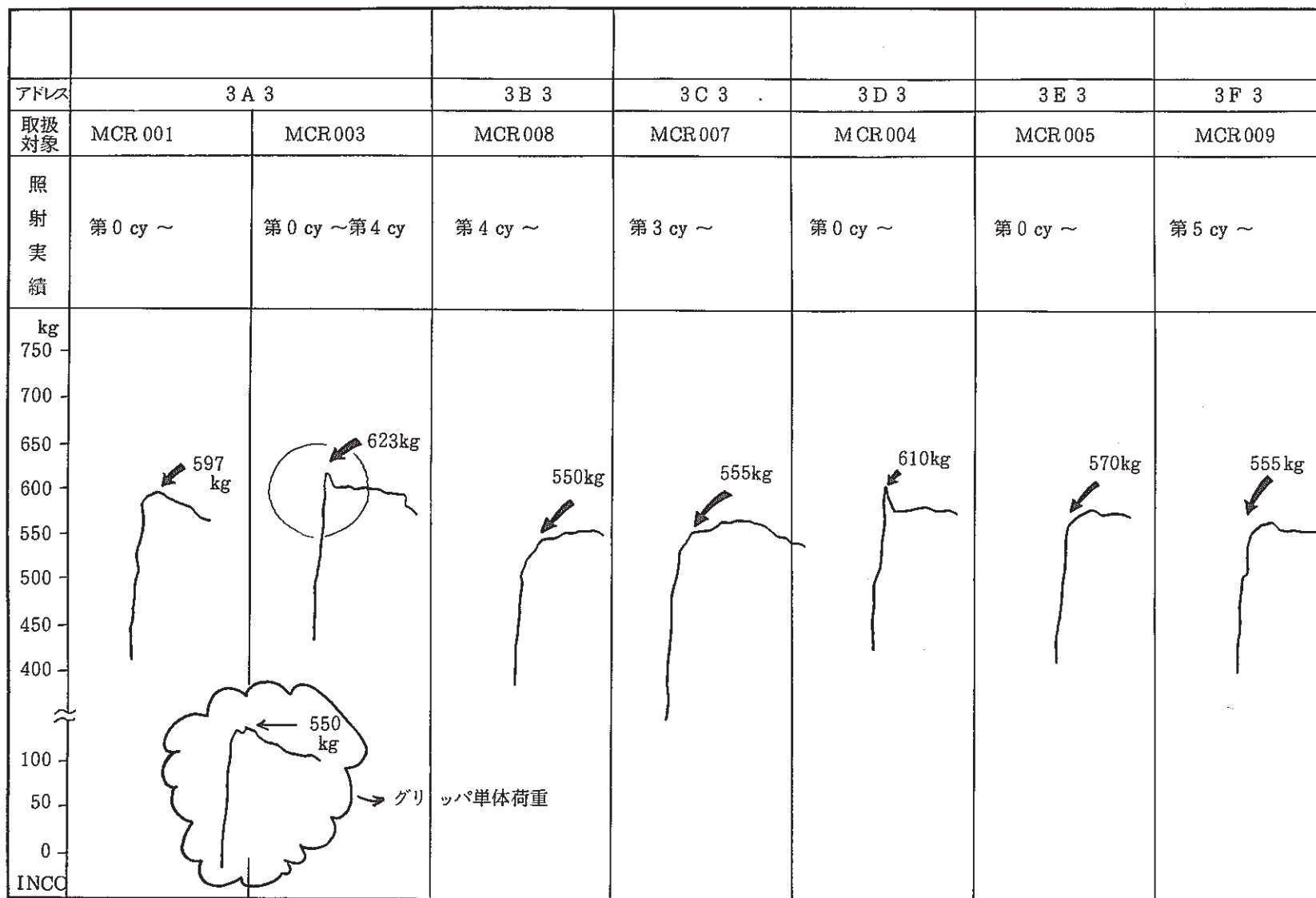


図 4.1.3 - 7 燃料交換機荷重記録 (その 3)



昭和 59 年 10 月 23 日計測

図 4.1.3 - 8 燃料交換機荷重記録 (その 4)

(CR-1 S. 59.10.21 と 11.5 の比較)

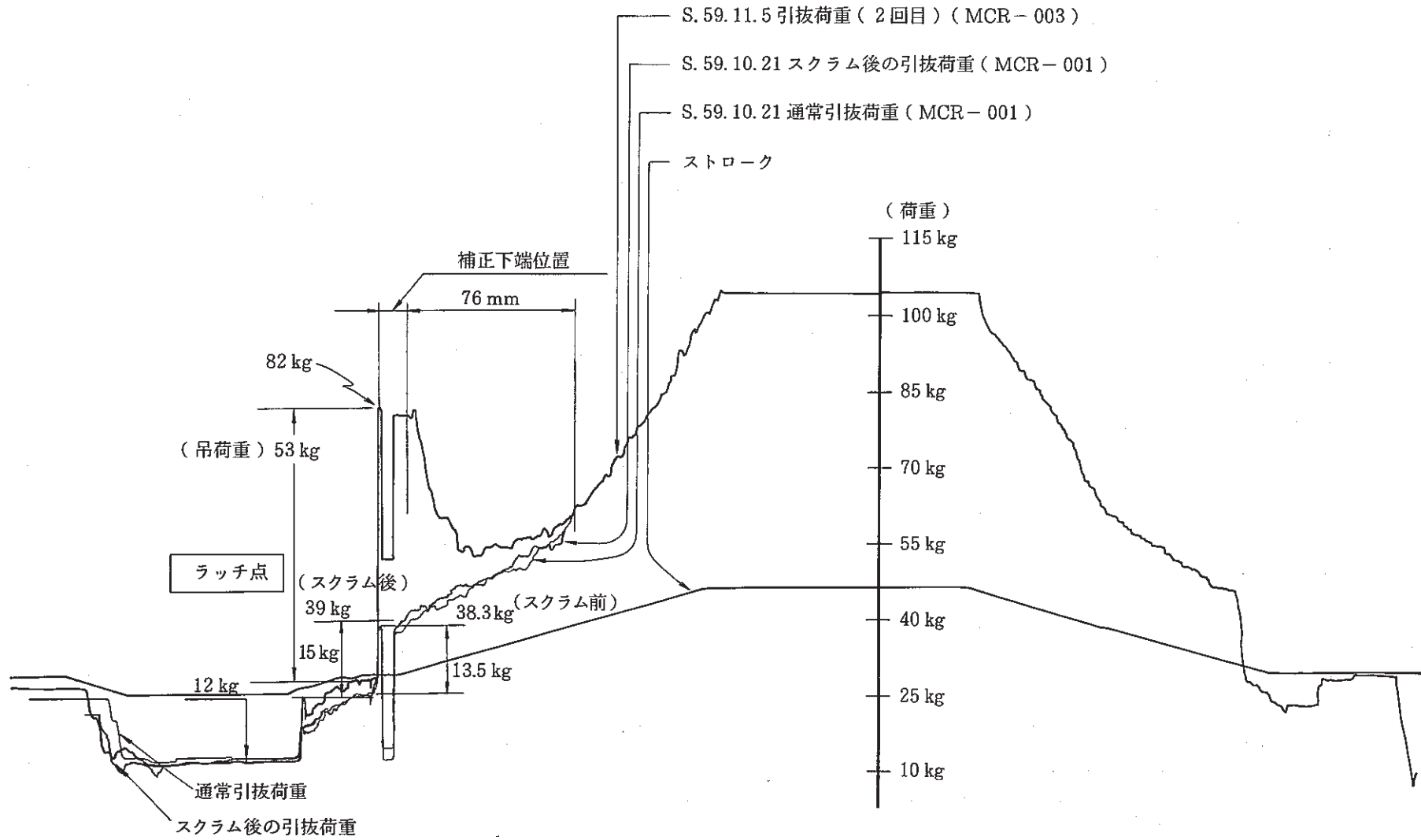


図 4.1.3-9 制御棒駆動機構荷重記録 (その1)

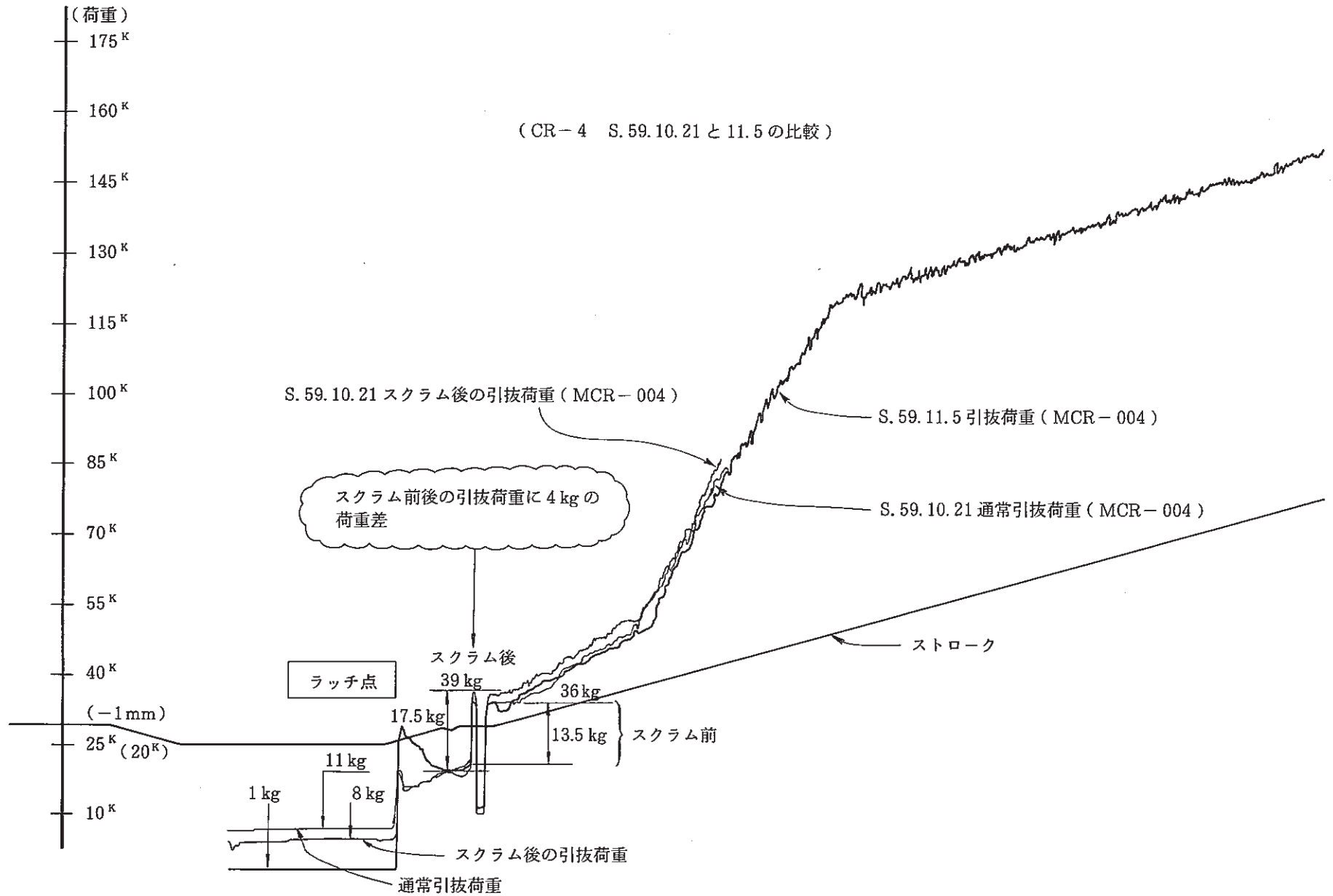
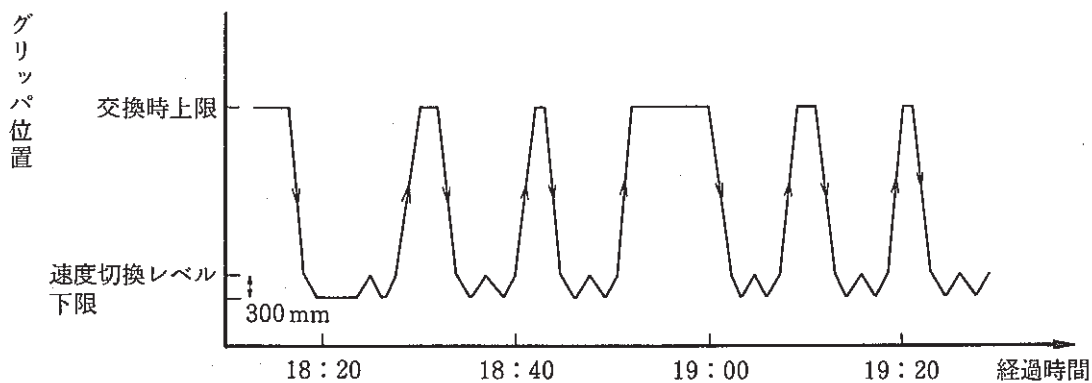
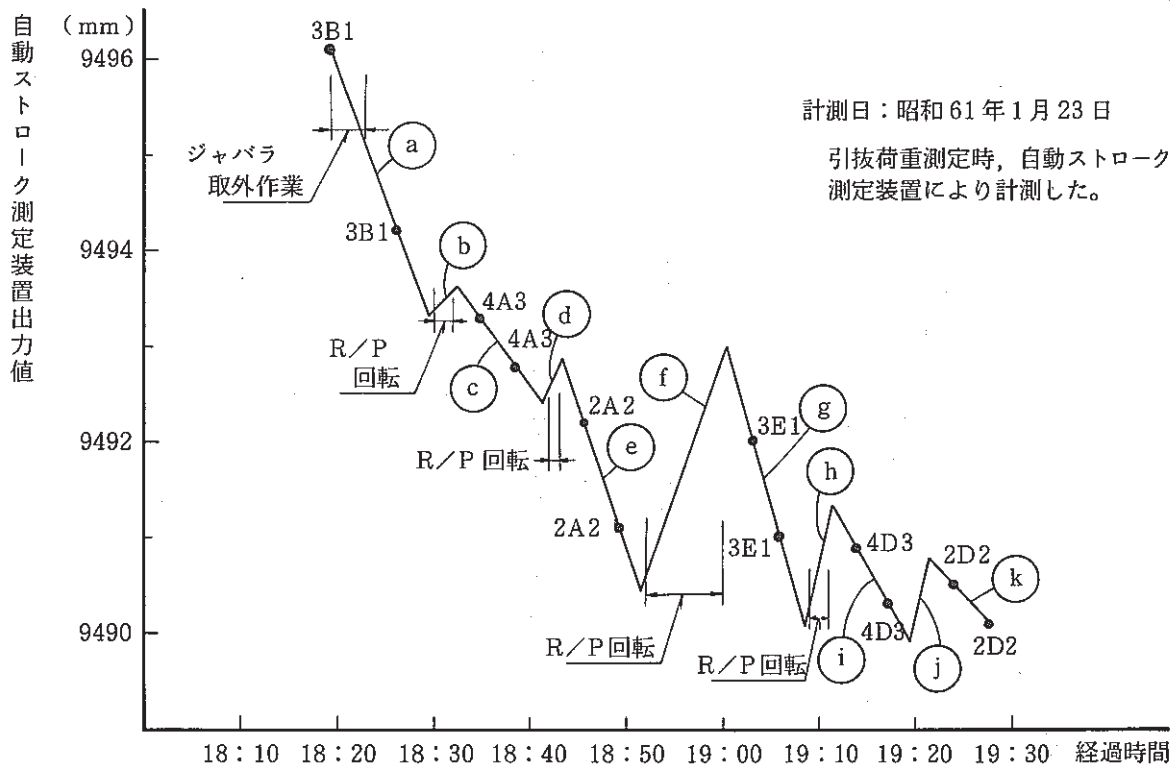


図 4.1.3-10 制御棒駆動機構荷重記録 (その 2)



グリッパ軸の伸び				グリッパ軸の縮み			
	時間(sec)	ストローク差 (mm)	変化割合 (mm/sec)		時間(sec)	ストローク差 (mm)	変化割合 (mm/sec)
①	600	2.8	4.7×10^{-3}	②	180	0.3	1.7×10^{-3}
③	540	1.2	2.2×10^{-3}	④	120	0.5	4.2×10^{-3}
⑤	480	2.5	5.2×10^{-3}	⑥	540	2.6	4.8×10^{-3}
⑦	480	2.45	6.1×10^{-3}	⑧	180	1.3	7.2×10^{-3}
⑨	480	1.45	3.0×10^{-3}	⑩	120	0.9	7.5×10^{-3}
⑪	372	0.7	1.9×10^{-3}				

図 4.1.3 - 11 燃料頂部測定値変化の外挿とグリッパ軸長変化割合

2) 制御棒装荷異常

i) 発生事象とその対応

第6サイクル原子炉運転前の燃料交換作業（昭和59年10月25日～11月3日）中に、燃料交換機により制御棒をラックから引抜いた後、炉心へ装荷する途中、ストローク5800～6100付近で荷重異常が発生し停止した。燃料交換機グリッパを一度洗浄し、グリッパの爪の動作確認を行なった後、再度制御棒装荷を試みたが同様に停止した。大回転プラグを所定の位置から 0.05° （0.19mm相当）偏芯させたところ装荷できた。

第7サイクル原子炉運転前の燃料交換作業（昭和60年1月28日～2月5日）中に同様な制御棒装荷異常が発生した。この時は、回転プラグ設定位置に対して21.84mm 偏芯（許容偏芯量16mm）させて装荷した。

ii) 装荷異常原因

燃料交換機グリッパ爪開ストローク不足と制御棒ハンドリングヘッドの型状不具合が重なりグリッパ爪3本の内1本だけがハンドリングヘッド部の山の部分に乗り、片吊りを生じた。この片吊により制御棒が傾き、制御棒下部案内管若しくは隣接の燃料の上に乗り、装荷不可能になったものと推定された。想定図を図4.1.3-12に示す。

iii) 対 策

燃料交換機グリッパ爪開ストローク不足及び制御棒ハンドリングヘッドの型状不具合があった場合でもグリッパ爪の返りの部分がハンドリングヘッドに乗らない様（正常な位置に修正される様）に、グリッパ爪の爪「R」加工を施した。加工前後の型状及び加工後吊状態を図4.1.3-13，図4.1.3-14に示す。

上記対策を実施後の燃料交換作業（昭和60年4月）で制御棒取扱を行ったが、支障なく装荷できている。

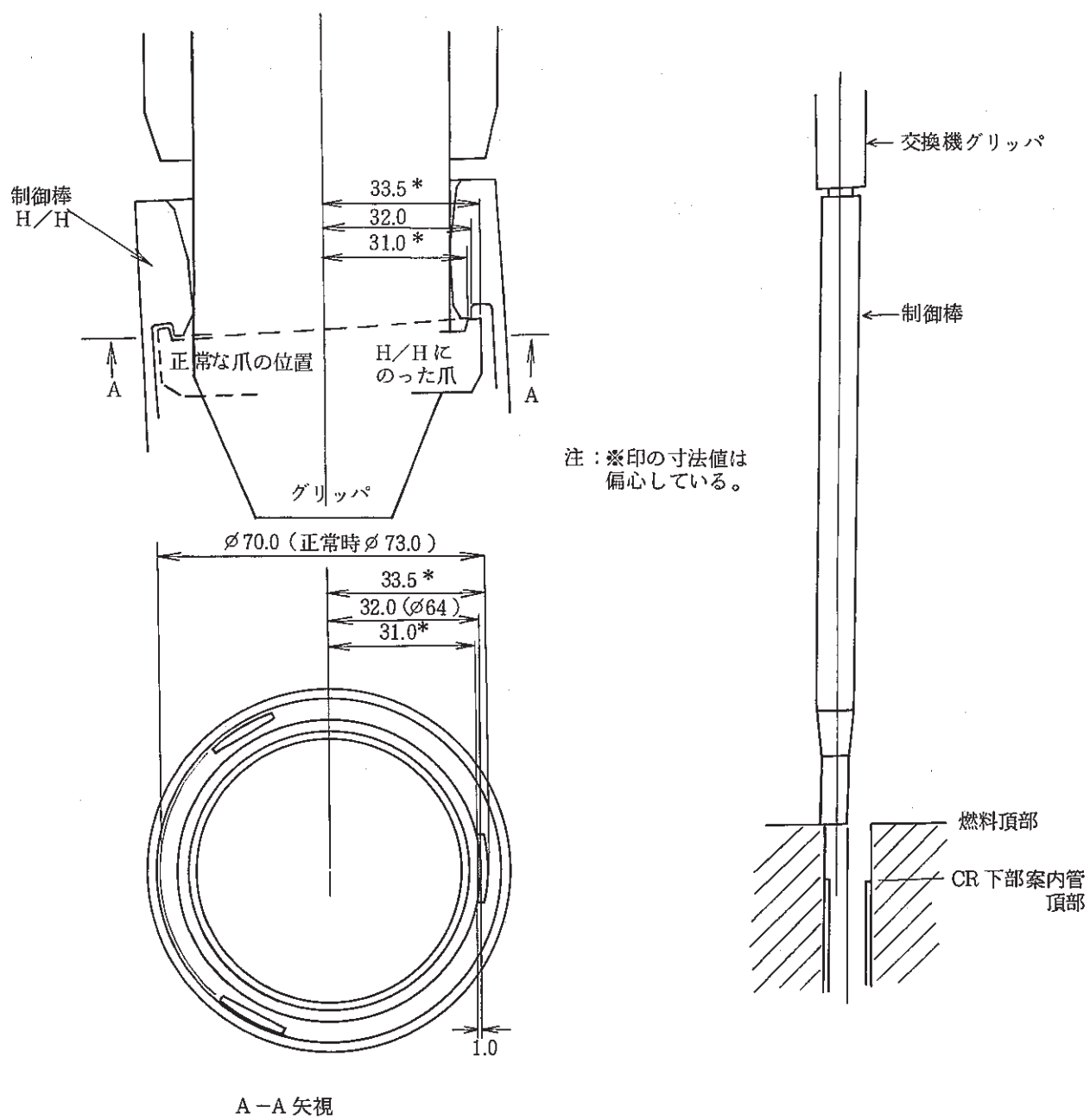


図 4.1.3 - 12 制御棒装荷異常原因推定図

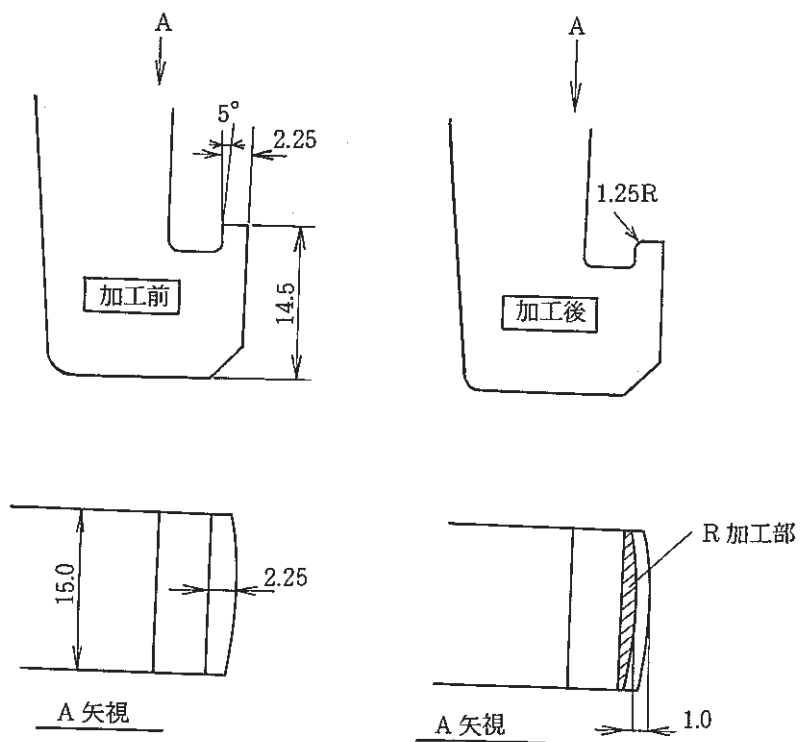


図 4.1.3 - 13 燃料交換機グリッパ爪加工図

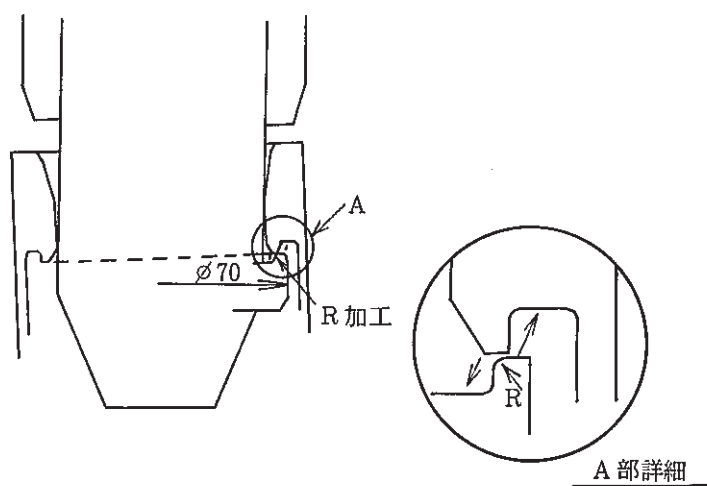


図 4.1.3 - 14 燃料交換機グリッパ爪加工後の吊り状態図

3) 制御棒下部案内管まわり炉心構成要素装荷異常

第5回定期点検期間中、制御棒下部案内管の交換を行なった。新旧下部案内管の引抜、装荷を行なう時は、制御棒とこれに隣接する6体の炉心構成要素が無い状態にしておく。3A3に新下部案内管を装荷した後、そのまわりに炉心構成要素を装荷中、荷重異常で装荷できない事象が発生した。本事象発生後、3A3まわりへの炉心構成要素装荷順序の入替え等を試みたが、装荷できなかった。これらの事象は、次の①と②のケースに整理される(図4.1.3-15参照)。

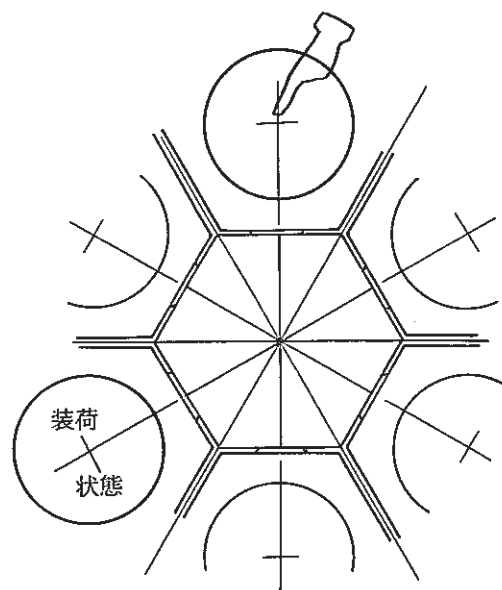
ケース① 下部案内管まわり6箇所のうち、炉心構成要素1体装荷状態で 120° 離れた位置に2体目を装荷した場合、異常な荷重変動が生ずる。しかし、炉心構成要素は下限位置まで着地。

ケース② 下部案内管まわりに炉心構成要素1体装荷状態で 180° 離れた位置に2体目を装荷した場合、およびケース①の2体装荷状態で 120° 離れた位置に3体目を装荷した場合で、炉心構成要素は装荷途中でスティック。

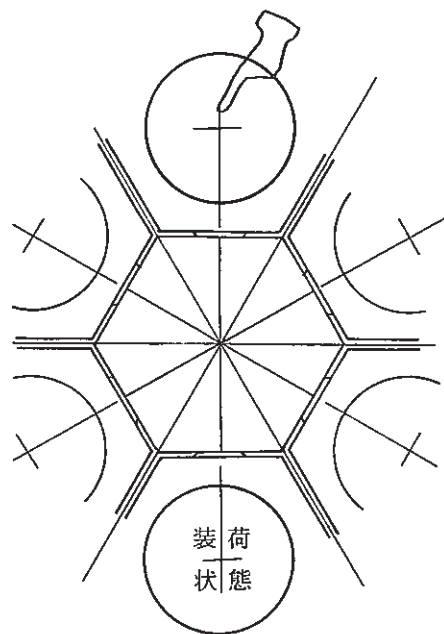
①、②各々のケースに対応する荷重変化および炉心構成要素装荷状態を図4.1.1-16, 4.1.1-17に示す。

新下部案内管を炉外へ出し、外表面を観察した結果を図4.1.3-18に示す。

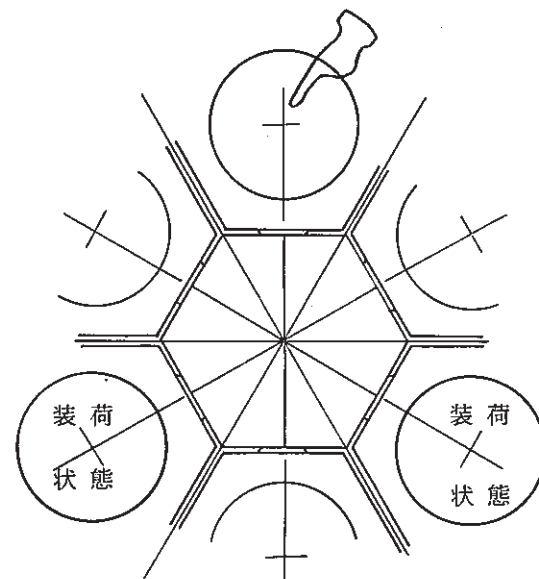
本事象は、下部案内管浮き上がり防止用のバイヨネットピンの取付状態に原因があると推定される。本事象の経緯推定結果を図4.1.3-19, 4.1.3-20に示す。



A) ケースⅠ



B) ケースⅡ
(2体目装荷)



C) ケースⅡ
(3体目装荷)

図 4.1.3 - 15 下部案内管まわり炉心構成要素装荷時異常荷重発生パターン

1. 60年7月31日
2. 取扱位置 4A3
3. 取扱対象 PFD 134
4. 特記 装荷不可

大R/Pのみプラス
0.5°移動

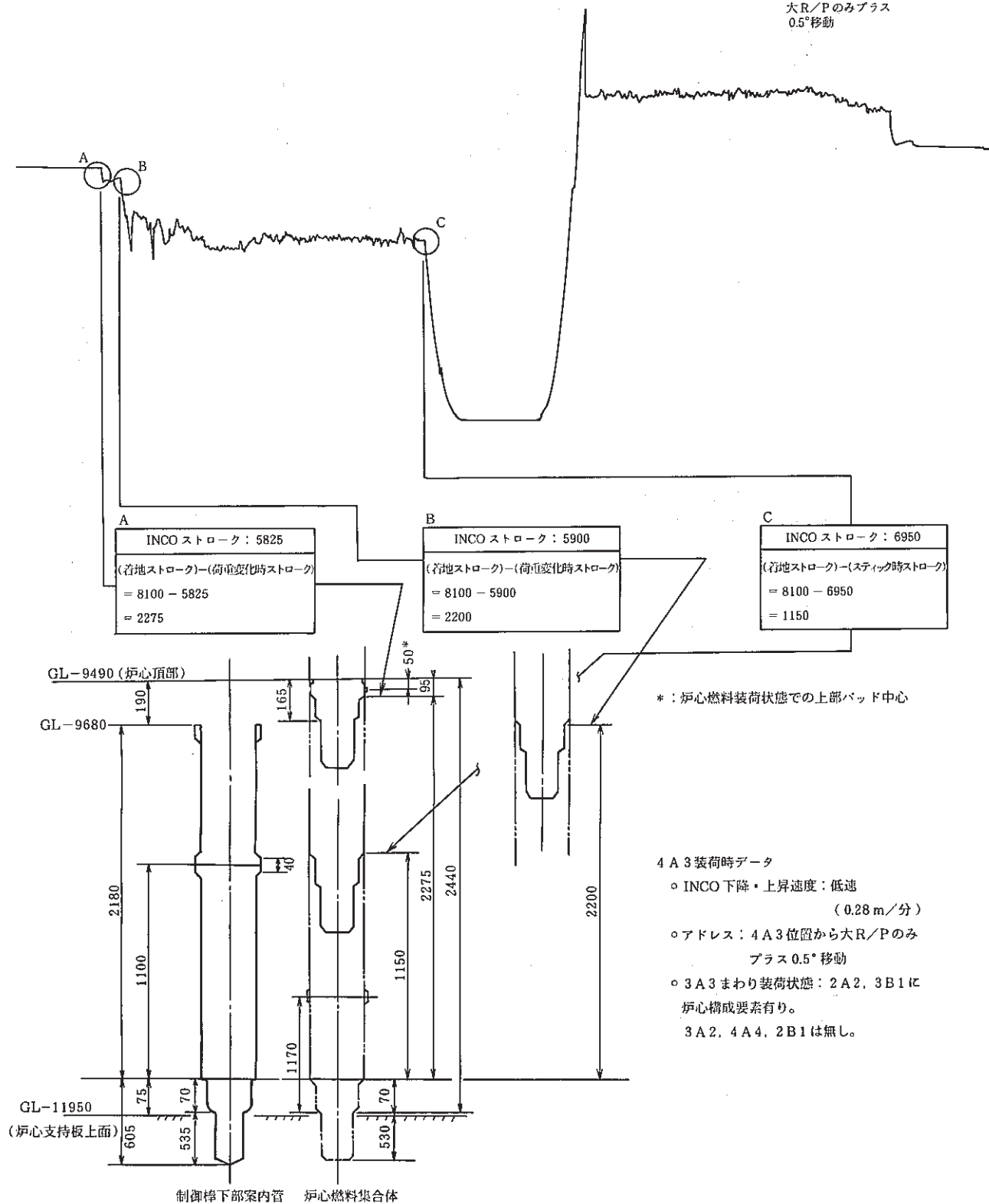


図 4.1.3 - 16 炉心構成要素装荷時荷重変化と位置

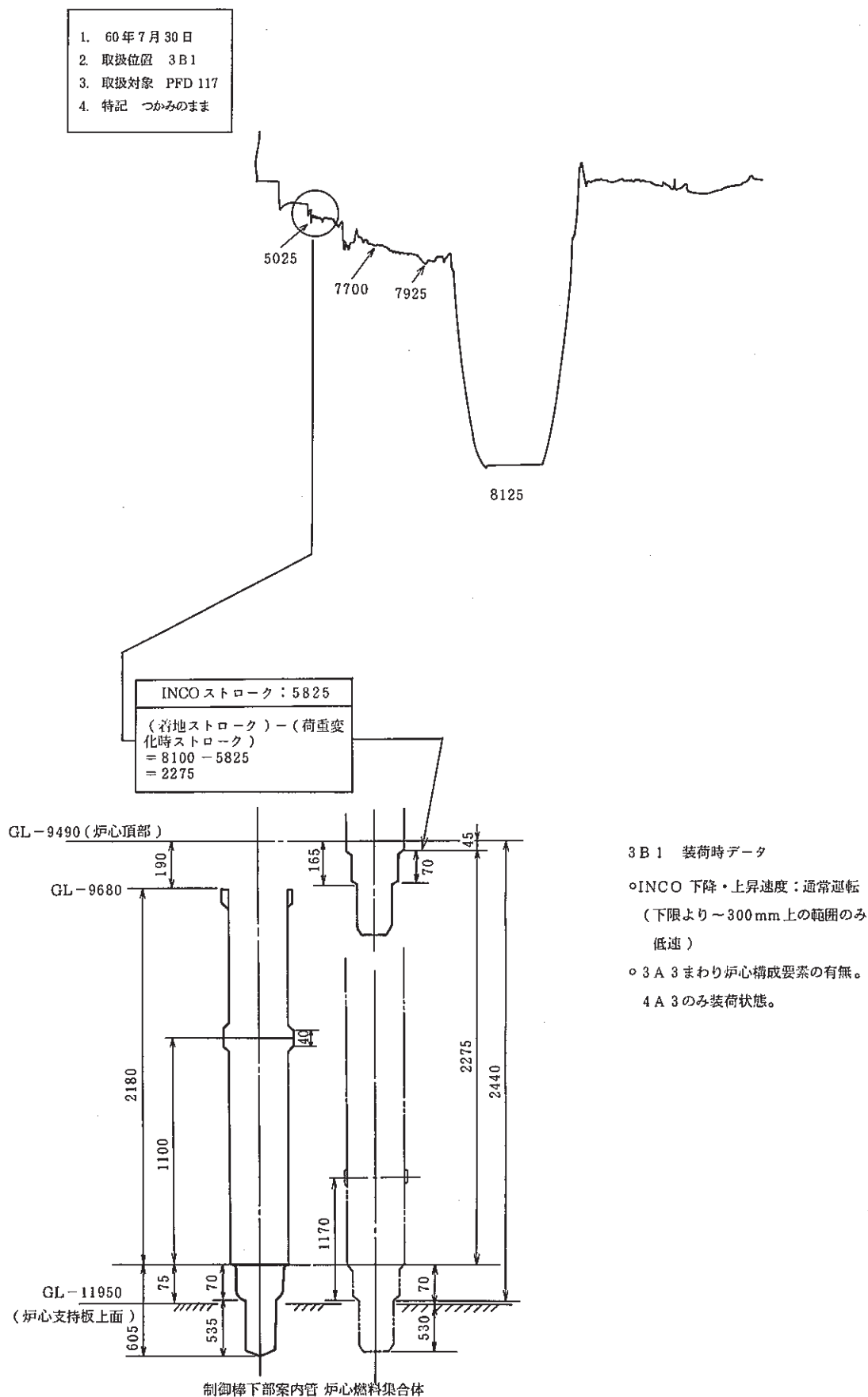


図 4.1.3 - 17 炉心構成要素装荷時装重変化と位置

20

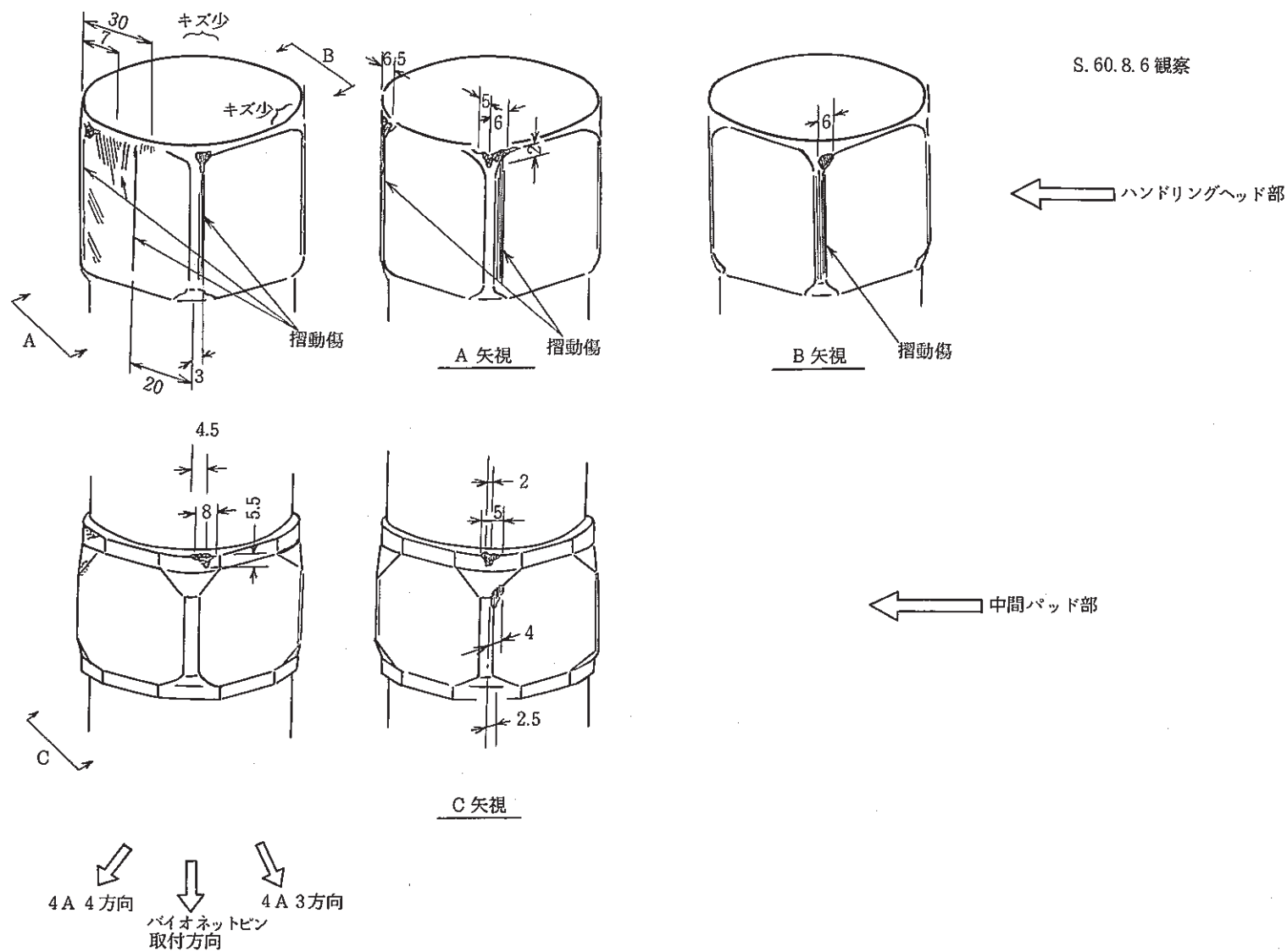
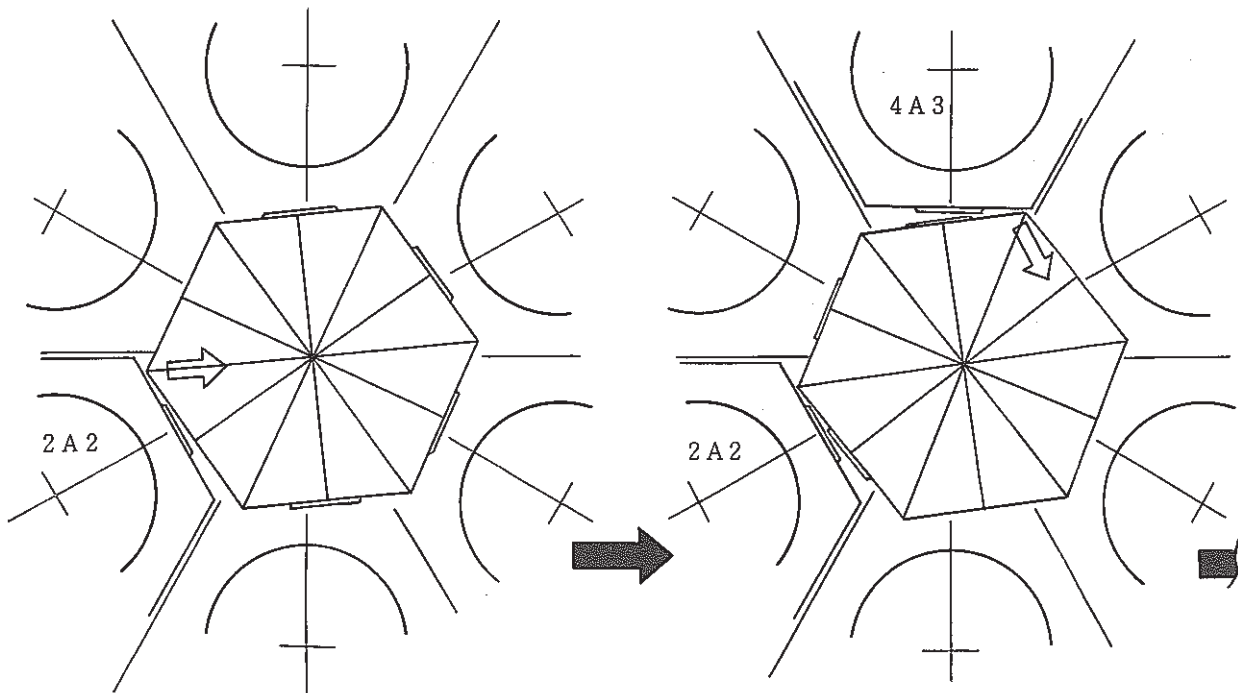
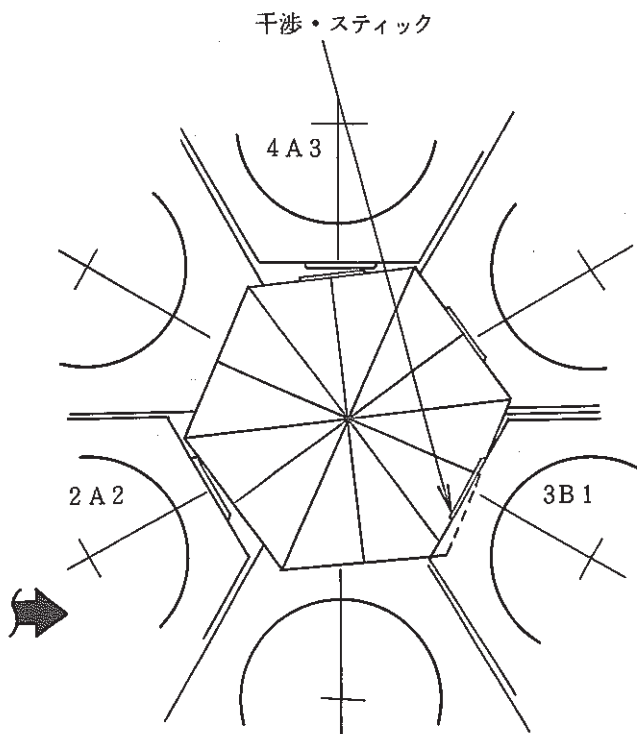


図 4.1.3 - 18 制御棒下部案内管外表面観察結果



① 2 A 2 装荷時 LGT と接触

② 4 A 3 装荷時 LGT と接触, 2 A 2
パッド面方向に LGT 傾斜
(⇒ 方向)



③ 3 B 1 装荷時 LGT と炉心燃料と
干渉・スティックに至る。

図 4.1.3 - 19 炉心構成要素装荷異常経緯推定図 (その 1)

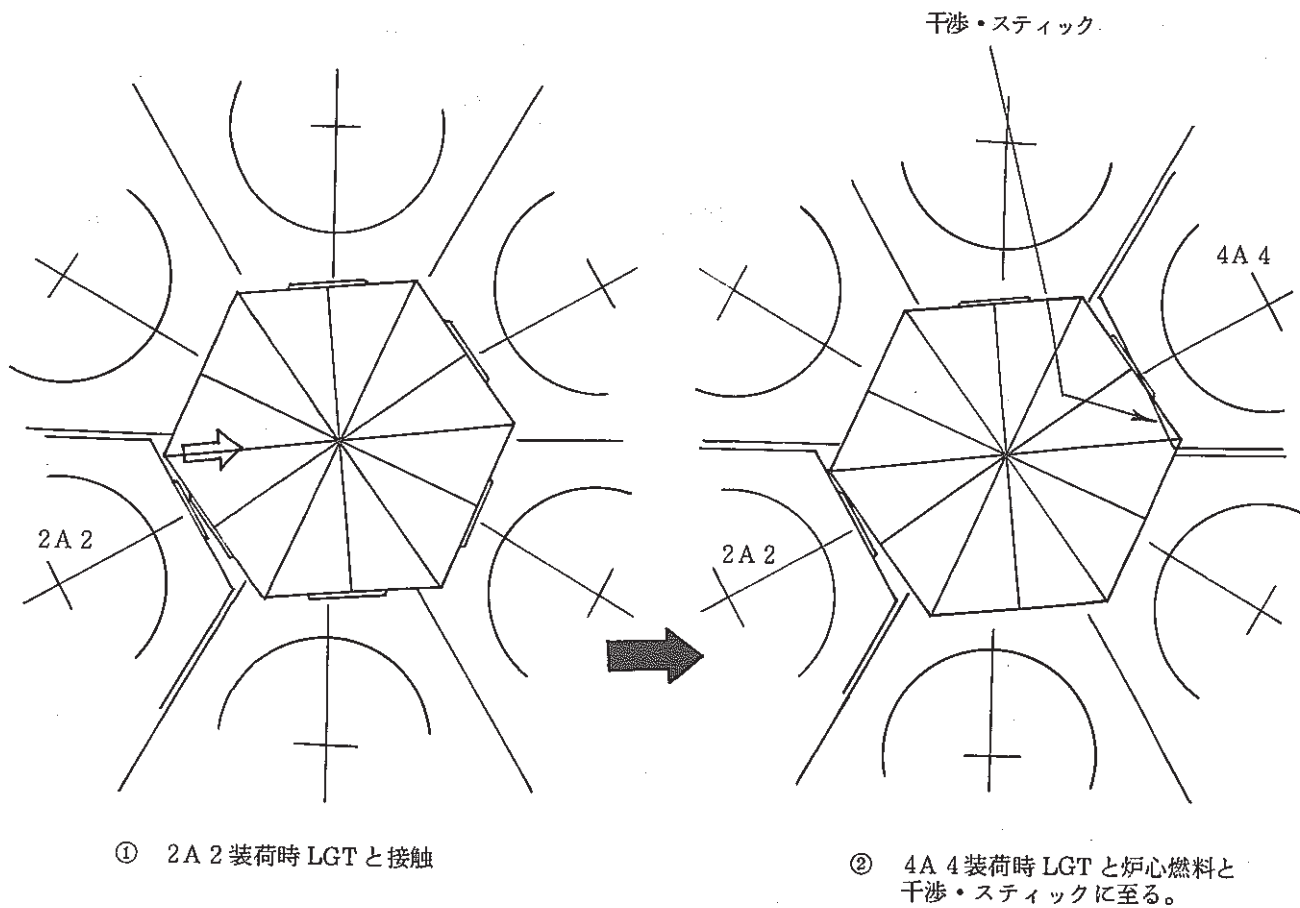


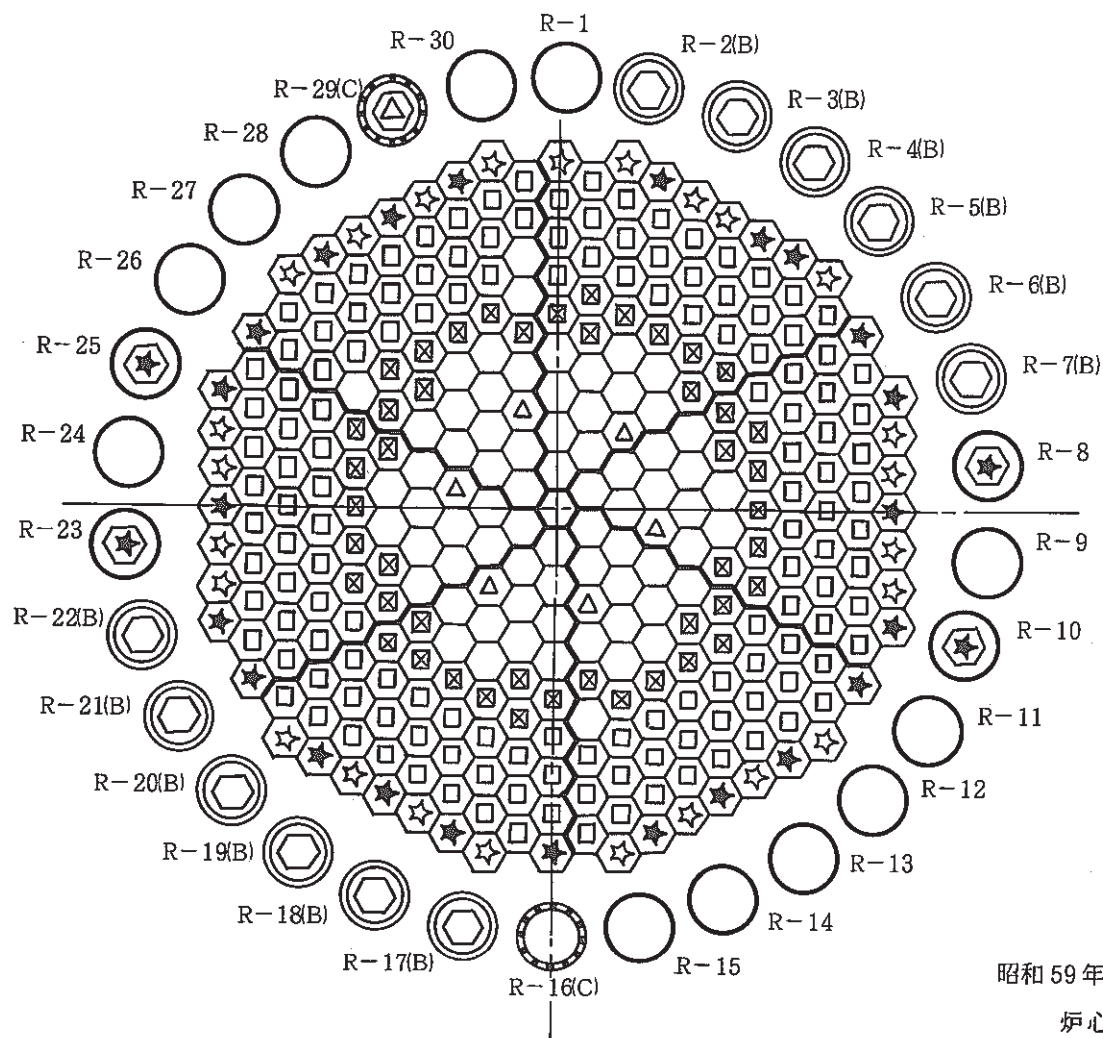
図 4.1.3 - 20 炉心構成要素装荷異常経緯推定図（その 2）

そのひろがりは半径 1 m 以内である。

- ④ 天井ドーム等による散乱は非常に少なく、格内のエリアモニタで有意な線量率の上昇を示したのはコントロールセンターエリアのエリアモニタだけであり、その上昇も
 $0.014 \text{ mR/h} \rightarrow 0.016 \text{ mR/h}$ (R-13 位置の時のみ)
と、非常に小さい。
- ⑤ その他のエリアモニタや環境のモニタリングポストは一切有意な上昇を示さなかった。
- ⑥ オペフロ上も炉内開口部(アクリル板)の真上以外は有意な線量率の上昇はなかった。
- ⑦ D/V 開のまま回転プラグを連続的に動かしたところ、アクリル板表面の線量率は炉心中心に近い所ほど低く、ラック位置に近づく程高くなる事が確認された。

表 4.1.3 - 6 炉頂部観察時の線量率分布図（垂直方向）

アクリル板表面 からの距離 (m)	R - 13	炉心中心 (0 0 0)
	放射線量率 (mR/h)	放射線量率 (mR/h)
0 (アクリル板表面)	9 9 6	1 9 5
1	6 3 0	2 5
2	4 8 5	3 7
3	3 6 0	3 3
4	2 6 5	3 0
5	2 2 0	2 5
6	1 7 5	2 3
7	1 5 0	2 1
8	1 2 5	2 1
9	1 1 0	2 0
1 0	9 5	1 8
1 1	8 5	1 5
1 2	7 0	1 3
1 3	6 3	1 3
1 4	5 5	1 1
1 5	5 0	9



昭和59年11月14日
炉心頂部観察時

図4.1.3-21 炉心構成図

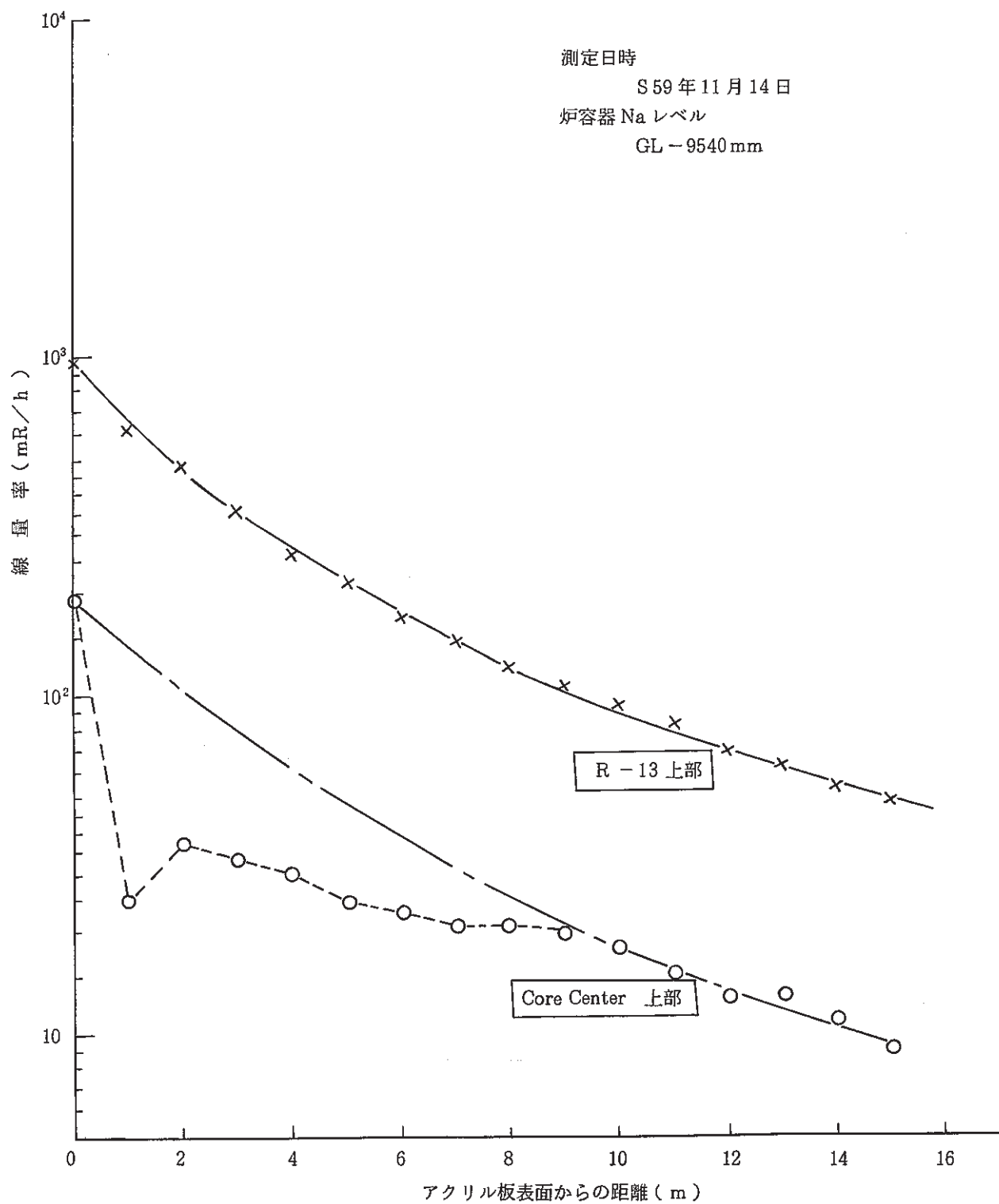


図 4.1.3 - 22 炉頂部観察時の線量率分布 (垂直方向)

4.1.4 燃料洗浄およびグリッパ洗浄

(1) 使用済燃料洗浄実績および洗浄工程変更試験

i) 概 要

洗浄設備による炉心燃料洗浄本数は、昭和58年1月から昭和60年12月までに57体である。この間の洗浄結果はMK-I時に比べると、洗浄廃液電導度が高く、放射性廃液量が増加傾向にある。燃料1本当当たりの洗浄をみると、電導度が洗浄回数を増やしても低くならないケースがあり、洗浄効果及び洗浄の良否の判断が困難な状況である。

以上の背景からMK-II炉心燃料の洗浄性、ナトリウム純度（プラグング温度）と洗浄性の関係、現在の洗浄方法の適性、洗浄の良否判定方法等について、通常運転のデータ、及び洗浄工程変更試験のデータにより検討した。

また、洗浄設備の洗浄工程変更試験により、浸漬洗浄、循環洗浄各々の洗浄効果の調査、洗浄時間短縮の検討を行なった。

ii) 洗浄実績と洗浄性について

ナトリウム純度が燃料洗浄設備の運転に対してどのような影響があるかについて、主に付着ナトリウム量と洗浄効果を対象に検討した。検討対象は、MK-II移行作業（昭和58年1月～昭和60年12月）の炉心燃料の洗浄データを主としている。

洗浄実績を表4.1.4-1から表4.1.4-3に示す。

(イ) ナトリウムプラグング温度と炉心構成要素の圧力損失の関係

図4.1.4-1にナトリウムプラグング温度と燃料洗浄時の系統圧力損失の関係を示す。

燃料洗浄設備のブロウバイパス弁を閉とした条件での3サイクルの燃料移送時の洗浄槽入口～出口の圧力差の変化は、プラグング温度の影響を受けていないことが判明した。昭和59年11月7日～11月10日はプラグング温度が高いにもかかわらず圧力損失が少ない。

(ロ) 炉心燃料付着ナトリウムとプラグング温度の関係

図4.1.4-2に、水素濃度とナトリウムプラグング温度の関係を示す。 H_2 濃度はプラグング温度（ $120^{\circ}C \sim 160^{\circ}C$ ）において1.0～1.5%にあり、プラグング温度に追従していない。 H_2 濃度と付着ナトリウム量の関係が比例すると考えると、プラグング温度と H_2 濃度（ナトリウム量）は上記温度範囲では関係ない。

なお、電導度によるナトリウム量の算出は浸漬洗浄を行なっているため電導度が測定できず全量算出が不可能である。

(ハ) ナトリウムプラグング温度と洗浄効果の関係

燃料洗浄時は、蒸気洗浄、浸漬洗浄後、洗浄液の電導度が下がるまで、循環洗浄を数回行なう。1回目の循環洗浄を数回行なう。1回目の循環洗浄を数回行なう。1回目の循環洗浄時電導度と、ナトリウムプラグング温度との関係を図4.1.4-3に示す。燃交サイクル毎のも

ものを図 4.1.4 - 4 に示す。浸漬洗浄後 1 回目の循環洗浄の電導度は、プラグング温度の上昇と共に低下する傾向にある。

各燃交期間ブロック別の循環洗浄電導度は燃交別にある範囲に集合するが、プラグング温度に対して追従しない。1 回目の循環洗浄電導度と 2 回目の循環洗浄電導度の比を洗浄率 (DF) として、DF とナトリウムプラグング温度との関係を図 4.1.4 - 5 に示す。この図から、DF 値は、プラグング温度上昇とともに低下する傾向にあることがわかる。

(二) 各洗浄工程におけるナトリウム除去割合

洗浄設備の洗浄時データおよび FMF へ渡して分析したデータから求めた付着ナトリウム量を表 4.1.4 - 4 に示す。

各洗浄工程 (FMF を含む) のナトリウム除去率は付着ナトリウム量を約 50g (常陽洗浄と FMF 洗浄廃液中ナトリウムの概算値) とすると図 4.1.4 - 6 の様になる。

これから常陽の洗浄終了後、缶詰缶内に収納される燃料には約 6 % のナトリウム付着があり、缶内水 PH は約 12 程度である。

III) 洗浄工程変更試験およびその検討

常陽の洗浄設備は、蒸気洗浄、浸漬洗浄、循環洗浄から成っている。これらのうち、浸漬洗浄の効果を調査し、また洗浄時間短縮の目的で、燃料交換作業期間を利用して、洗浄工程変更試験を行なった。通常洗浄工程および本試験でカットした工程を表 4.1.4 - 5 に示す。

本試験では、10 体の使用済燃料のうち 3 体の燃料について工程カットの洗浄を行ない、7 体について通常工程の洗浄を行なった。試験結果を表 4.1.4 - 5 に示す。両ケースについての循環洗浄中の電導度変化を図 4.1.4 - 7 に示す。

(イ) ブロワ運転値、ナトリウム純度と洗浄性

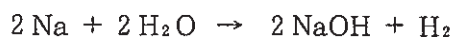
洗浄工程変更運転の 3 体及び通常運転の 7 体の、ブロワ運転値、洗浄槽出入口圧力は概ね一定であり、運転値の変化による洗浄性の変化はない。ナトリウム純度はコールドトラップ設定温度が 150℃であり、ナトリウムプラグング温度も手動測定のためバラツキはあるが概ね同値であるためナトリウム純度の変化も無いと考える。

(ロ) 燃料付着ナトリウム量

燃料に付着しているナトリウム量を洗浄時に発生する水素濃度から算出する場合と、洗浄液の電導度から求める場合について評価した。

a) 水素濃度と付着ナトリウム量

水素濃度 1.3 ~ 1.4 % のナトリウム量は、ガス循環系の容量が 1,000 ℓ であるから、水素量は 13 ~ 14 ℓ である。下式から 1.4 % のとき約



$$2 \times 23\text{g} \times 14 \text{ ℓ} / 22.4 \text{ ℓ} \div 29\text{g}$$

29g となる。計算結果を表 4.1.4 - 7 に示す。

b) 電導度と付着ナトリウム量

水酸化ナトリウム水溶液と電気伝導度の関係を図 4.1.4 - 8 に示す。この関係から、洗浄液の電導度から求めた付着ナトリウム量を表 4.1.4 - 7 に示す。

c) 付着ナトリウム量について

H₂ 濃度からの付着ナトリウム量、計算値と電導度からの計算値の差が大きい。

R&D (PNC ZN 941 77 - 211) 「高速実験炉「常陽」燃料洗浄設備の運転実績の結果」、及び表 4.1.4 - 8 に示す FMF における同型の炉心構成要素の洗浄データからナトリウム付着量は、電気伝導度から求めた値が真値に近いと考えられる。

ハ) 電気伝導度による洗浄確認

燃料に付着しているナトリウムが一様に分布していれば、蒸気注入で反応を終了し脱塩水によるリンス結果は、脱塩水循環洗浄回数と共に電導度は低下するものである。しかし、実際の洗浄結果は、電導度が増加している。これは循環系のポンプ吐出圧が一定の循環では燃料中の未反応ナトリウムが反応しているためで、排水、注入、再循環毎に洗浄槽内の圧力バランスが変化し残りの未反応のナトリウムが再び反応又は、リンスされるものである。従って、電導度が一時的に低下しても洗浄が良好であると言えない。

ニ) 洗浄水循環時間と洗浄効果

ナトリウム反応物のリンスは洗浄水注入後の循環洗浄時間 10 分のうち 3 分程度で効果がほとんど無くなり、後の 7 分はナトリウム反応間が攪拌されるだけである。

ホ) 洗浄効果

浸漬洗浄をカットした 3 体は、他の 7 体に比べ洗浄に要する脱塩水量が少なかった。また、伝導度 $40 \mu\text{Vcm}^{-1}$ 以下に達するまでの平均洗浄必要水量は、浸漬洗浄をカットしたケースでは、 $1,170 \ell / 1$ 体であった。通常洗浄工程のケースでは $40 \mu\text{Vcm}^{-1}$ 以外となったのは 1 体だけであり、 $1,250 \ell / 1$ 体である。従って、浸漬洗浄をカットする洗浄工程は、従来に比べて、洗浄廃液量は少なく、かつ洗浄効果も良好であると言える。

表 4.1.4 - 1 使用済燃料洗浄実績(その1)

1/3

燃料番号		年月日	バイパス弁	常 陽 洗 浄 デ ー タ														FMF側データ										
				冷 却						パイパス弁	蒸 気 洗 浄						水 洗 浄					Na純度	受渡し	FMF洗浄水中のNa量			缶内水のNa量	
				ブ ロ ヲ				洗 浄 槽			ブ ロ ヲ				洗 浄 槽		H ₂ 濃度	浸 漬						循 環				
				圧縮比	流 量	吐出圧	吸込圧	入口圧力	出口圧力		圧縮比	流 量	吐出圧	吸込圧	入口圧力	出口圧力		1 回	2 回	3 回	4 回			5 回	1 回	2 回		3 回
1	PFD017	58. 7.12	開	1.28	3.1	0.5	0.2	0.5	0.36	－	1.28	3.0	0.7	0.3	0.6	0.48	2.4		195	16			127					
2	026	12. 9	閉	1.58	4.2	0.75	0.15	0.6	0.25	開	1.30	2.5	0.74	0.35	0.7	0.35	1.6		60	20			129					
3	008	12.10	〃	1.58	4.4	0.75	0.12	0.6	0.26	－	1.6	4.6	1.0	0.5	0.9	0.4	1.5	500	50	13			122					
4	003	12.12	〃	1.57	4.4	0.75	0.13	0.3	0.26	開	1.3	2.6	0.7	0.35	0.65	0.5	1.5	600	50	13	(フラッシング後)	118	キャスク	1.25	0.12			1.63
5	051	12.13	〃	1.58	4.2	0.75	0.13	0.6	0.26	－	1.6	4.6	0.96	0.25	0.9	0.4	1.6	500	53	10			125					
6	034	59. 4. 2	〃	1.56	4.5	0.8	0.15	0.7	0.25	－	1.59	4.7	1.0	0.3	0.9	0.4	1.6		58	44			133					
7	038	〃	〃	1.56	4.6	0.8	0.18	0.7	0.26	－	1.59	4.7	1.03	0.3	0.9	0.4	2.0		70	40			133					
8	019	59. 4. 3	〃	1.56	4.6	0.8	0.15	0.7	0.25	－	1.59	4.7	1.0	0.3	0.9	0.4	1.3		58	25			130					
9	028	〃	〃	1.57	4.6	0.8	0.18	0.7	0.25	－	1.59	4.7	1.02	0.3	0.9	0.4	1.4		61	32			130					
10	007	59. 4. 4	〃	1.55	4.5	0.8	0.35	0.6	0.25	－	1.58	4.6	1.05	0.3	0.9	0.4	1.7		85	40			131					
11	005	〃	〃	1.55	4.5	0.8	0.17	0.65	0.26	－	1.58	4.6	1.02	0.28	0.85	0.38	1.2		68	43			131					
12	046	59. 4. 5	〃	1.54	4.5	0.8	0.2	0.6	0.25	－	1.57	4.6	1.05	0.3	0.85	0.38	1.25		75	45			130					
13	042	59. 6.17	〃	1.54	4.2	0.8	0.8	0.6	0.25	－	1.58	4.45	1.0	0.3	0.8	0.38	1.2		100	30			124					
14	021	〃	〃	1.55	4.4	0.8	0.17	0.6	0.26	－	1.58	4.5	1.0	0.3	0.45	0.4	1.4		400	25			124					
15	025	〃	〃	1.54	4.4	0.8	0.17	0.6	0.26	－	1.54	4.6	0.8	0.5		0.36	1.6		300	100	14		124					
16	054	59. 6.18	〃	－*	0.74*	0.8	0.17	0.6	0.25	－	1.53	0.8*	0.93	0.25	0.8	0.35	1.1		69	17			126					
17	050	〃	〃	1.54	4.3	0.8	0.18	0.6	0.25	－	1.58	4.5	1.03	0.3	0.9	0.4	1.3		310	21			126					
18	022	59. 8.20	〃	1.55	4.2	0.8	0.2	0.7	0.26	－	1.57	4.3	1.05	0.6	1.0	0.4	1.3		55	15			124					
19	030	59. 8.21	〃	1.54	4.2	0.8	0.2	0.7	0.25	－	1.57	4.2	1.05	0.35	1.0	0.4	1.3		45	9			123					
20	049	〃	〃	1.54	4.2	0.79	0.18	0.7	0.25	－	1.56	4.25	1.0	0.3	1.0	0.4	1.2		55	80	19		123					
21	032	59. 8.22	〃	1.56	4.2	0.8	0.2	0.7	0.25	－	1.56	4.3	1.0	0.3	1.0	0.38	1.2		41	70	139		124					
22	015	〃	〃	1.55	4.2	0.8	0.2	0.7	0.25	－	1.55	4.2	1.0	0.3	1.0	0.43	1.1		60	13			124					
23	012	59. 8.23	〃	1.55	4.2	0.8	0.2	0.7	0.25	－	1.58	4.3	1.0	0.3	1.0	0.4	1.2		33	5			124					
24	001	〃	〃	－	4.2	0.8	0.2	0.7	0.25	－	1.57	4.3	1.1	0.7	1.0	0.4	1.2		33	12			124	キャスク	0.96	0.09		4.96
25	039	59. 8.24	〃	1.55	4.2	0.8	0.2	0.7	0.25	－	1.58	4.5	1.1	0.35	1.0	0.4	1.2		47	5			136					
26	018	〃	〃	1.56	4.2	0.8	0.2	0.7	0.25	－	1.58	4.3	1.05	0.3	1.0	0.4	1.3		54	14			136					

表 4.1.4 - 2 使用済燃料洗浄実績 (その 2)

2/3

2/3

燃料番号		年月日	バイパス弁	常 陽 洗 浄 デ - タ -															F M F 側 デ - タ -									
				冷 却					バイパス弁	蒸 気 洗 浄					水 洗 浄					Na 純度	受渡し	F M F 洗浄水中のNa量			缶内水のNa量			
				ブ ロ ヲ		洗 浄 槽				ブ ロ ヲ		洗 浄 槽			H ₂ 濃度	循 環												
				圧縮比	流 量	吐出圧	吸込圧	入口圧力		出口圧力	圧縮比	流 量	吐出圧	吸込圧		入口圧力	出口圧力	浸漬 1 回	2 回	3 回		4 回	5 回	1 回	2 回	3 回		
27	PFD009	59.11. 6	閉	1.56	4.5	0.83	0.18	0.7	0.27	-	1.59	4.6	1.05	0.3	1.0	0.4	1.0		72	152	18		-					
28	020	"	"	1.56	4.5	0.8	0.15	0.7	0.25	-	1.6	4.5	1.0	0.6	1.0	0.4	1.1		70	110	42		-					
29	052	59.11. 7	"	1.56	4.5	0.8	0.2	0.7	0.25	-	1.58	4.5	1.1	0.3	1.0	0.4	1.2		52	40			162					
30	031	"	"	1.56	4.4	0.8	0.2	0.65	0.25	-	1.59	4.5	1.3	0.3	0.9	0.38	1.4		68	44			162					
31	016	59.11. 8	"	1.57	4.4	0.78	0.15	0.6	0.25	-	1.59	4.5	1.02	0.28	0.9	0.39	1.2		57	58	111	43	158					
32	045	59.11. 9	"	1.55	4.5	0.77	0.35	0.6	0.25	-	1.58	4.5	1.0	0.58	0.85	0.38	1.1		64	47	39	39	157					
33	013	"	"	1.56	4.4	0.78	0.15	0.8	0.25	-	1.59	4.5	1.0	0.3	0.85	0.39	1.0		77	125	17		157					
34	011	"	"	1.56	4.4	0.75	0.15	0.6	0.25	-	1.6	4.5	1.1	0.28	0.35	0.38	1.05		86	142	16		157					
35	057	59.11.10	"	1.56	4.5	0.8	0.12	0.7	0.25	開	1.6	2.6	1.05	0.3	0.7	0.52	1.1		45	93	12		156					
36	055	60. 1.30	開	1.37	2.8	0.65	0.25	0.5	0.35	-	1.38	2.6	0.95	0.4	0.7	0.5	1.2		100	15			123					
37	018	60. 1.31	"	1.36	2.9	0.8	0.3	0.6	0.45	-	1.37	2.7	0.98	0.45	0.8	0.56	1.3		103	11			121	キャスク	3.45	0.04		2.37
38	068	"	"	1.37	2.8	0.68	0.25	0.5	0.35	-	1.37	2.7	0.9	0.4	0.7	0.9	1.1		95	18			121					
39	048	"	"	1.36	2.8	0.75	0.35	0.6	0.4	-	1.36	2.9	0.8	0.35	0.6	0.46	1.7		94	14			121					
40	035	60. 2. 1	"	1.37	2.8	0.65	0.35	0.5	0.35	-	1.37	2.8	0.88	0.4	0.7	0.54	1.0		121	15			121					
41	060	"	"	1.37	2.8	0.68	0.25	0.5	0.35	-	1.37	2.7	0.85	0.4	0.7	0.5	1.2		105	35	15		121					
42	014	"	"	1.36	2.8	0.7	0.23	0.5	0.35	-	1.37	2.6	0.9	0.4	0.7	0.52	1.0		96	32	19		121					
43	067	60. 2. 2	"	1.37	2.7	0.65	0.25	0.4	0.35	-	1.36	2.7	0.88	0.4	0.5	0.53	1.05		70	10			150					
44	041	"	"	1.37	2.8	0.65	0.25	0.5	0.35	-	1.37	2.6	0.88	0.42	0.7	0.53	1.0		80	30	7							
45	059	"	"	1.36	2.7	0.65	0.2	0.4	0.35	-	1.37	2.6	0.9	0.4	0.7	0.53	1.0		80	31	10		113					
46	023	60. 2. 3	"	1.37	2.7	0.64	0.2	0.5	0.35	-	1.37	2.6	0.9	0.4	0.7	0.51	1.2		84	15			123					
47	029	60. 4. 7	閉	1.55	4.4	0.8	0.2	0.6	0.25	開	1.58	4.7	1.0	0.3	0.8	0.35	1.0		60	31			144	キャスク	0.49	0.11		8.89
48	027	60.11. 6	調	1.34	3.1	0.6	0.2	0.6	0.33	調	1.47	3.8	0.95	0.3	0.8	0.45	1.4	1,400	190	40		142						
49	066	"	"	1.45	3.9	0.7	0.4	0.6	0.3	-	1.49	3.95	0.95	0.35	0.8	0.45	1.3	1,200	145	27		142						
50	065	60.11. 9	"	1.44	3.9	0.7	0.2	0.5	0.3	-	1.48	3.9	0.95	0.35	0.8	0.45	1.3		70	65			140					
51	061	60.11.10	"	1.45	3.9	0.7	0.2	0.6	0.3	-	1.49	3.9	0.95	0.35	0.8	0.45	1.4		80	65			141					
52	002	"	"	1.44	3.9	0.7	0.2	0.5		-	1.48	3.9	0.95	0.35	0.8	0.45	1.4		105	45			141					

PNC TN9410 87-124

- 145 -

[illegible]

表 4.1.4 - 4 FMF 側再洗浄データーとの比較

	常陽					F M F			常陽未洗淨分	缶内水電導度
	H ₂ 濃度 %	浸漬	水循環 $\mu\text{V}/\text{cm}^2$			水循環		市内水 g		
			g 1 回	g 2 回	g 3 回	g 1 回	g 2 回			
PFD003	1.5	600	1.8	0.3	—	1.25	0.12	1.63	3.0g	430
001	1.2	—	1.3	0.3	—	0.96	0.1	4.96	6.0g	2,500
018	1.3	—	3.2	0.3	—	3.45	0.04	2.37	5.9g	1,200
029	1.0	—	2.0	1.3	—	0.49	0.11	8.89	9.5g	4,000
PFB000	3.3	—			8	0.63	—	—		
PRS040	2.5	—	450	40	—	0.1	—	0.15	0.3g	—
RRS010	4.2	—	500	55	20	0.06	—	0.86	0.9g	—
MCR002	3.7	—	350	25	—	9.44	0.73	1.82	12.0g	—
PRS020	3.4	—	530	50	43	0.23	0.1	1.24	1.6g	—
PFC010	1.5	—	126	7	—	0.19	—	0.22	0.4g	—

注 FMF データーは、pHからの概算Na量である。

缶内水電導度は、FMF のデーター（Na量）からの逆算値である。

			水循環 $\mu\text{V}/\text{cm}^{-1}$		
			1 回	2 回	3 回
PFD003			50	13	
001			33	12	
018			103	11	
029			60	31	

表 4.1.4 - 5 洗浄工程変更試験の試験工程

通 常 工 程		試 験 工 程
NO. 1 ～ 9	準備工程	準備工程
NO.10～11	燃料受入工程	受入工程
NO.12 工程	(Ar 冷却)	Ar 冷却
NO.13 工程	(蒸気ドレン)	蒸気ドレン
	(蒸気供給)	蒸気供給
	(循環)	循環
NO.14 工程	(廃ガス排出)	カット
NO.15 工程	(水注入)(浸漬)	カット
	(放置)	カット
NO.16 工程	(廃液排出) 高レベル廃液	カット
NO.17 工程	(水注入)	水注入
	(air 抜き)	air 抜き
	(再注入)	再注入
NO.18 工程	(洗浄)	洗浄
NO.19 工程	(廃液排出) 低レベル廃液	カット
	(加圧ドレン)	加圧排出 高レベル廃液
	(放置ドレン)	カット
NO.20 工程	(水注入)	水注入
	(air 抜き)	air 抜き
	(再注入)	再注入
NO.21 工程	(洗浄)	洗浄
NO.22 工程	(圧力降下)	圧力降下
NO.23.26工程	(移動)	移動
NO.24 工程	(引揚)	引揚
NO.25 工程	(廃液排出) 低レベル廃液	カット
	(加圧ドレン)	加圧排出 高レベル廃液
	(放置ドレン)	カット

表 4.1.4 - 6 洗浄工程変更試験結果

洗浄日 S60.11.6 ~ S60.11.12

連番	燃料番号	ブ ロ ヲ				洗浄槽		H ₂ 濃度	水 洗 浄 $\mu\text{u cm}^{-1}$					Na純度 C/T 温度
		圧縮比	流量 m^3/M	吐出圧力	吸込圧力	入口圧力	出口圧力		浸漬 1回	循環 2回	" 3回	" 4回	" 5回	
1	PFD 027	1.47	3.8	0.95	0.3	0.8	0.45	1.4	1,400	190	40			150℃
2	PFD 066	1.49	3.95	0.95	0.35	0.8	0.45	1.3	1,200	145	27			"
3	PFD 024	1.49	3.9	0.95	0.32	0.8	0.45	1.1	1,100	500	140	28		"
4	PFD 065	1.48	3.9	0.95	0.35	0.8	0.45	1.3	—	70	65	65		"
5	PFD 061	1.49	3.9	0.95	0.35	0.8	0.45	1.4	—	80	65	103	120	"
6	PFD 002	1.48	3.9	0.95	0.35	0.8	0.45	1.4	—	105	45			"
7	PFD 053	1.48	3.9	0.95	0.35	0.8	0.46	1.4	—	46	120	75		"
8	PFD 044	1.48	3.9	0.95	0.35	0.8	0.45	1.2	—	65	132	126		"
9	PFD 036	1.48	3.9	0.95	0.34	0.8	0.45	1.3	—	52	107			"
10	PFD 037	1.47	3.8	0.95	0.32	0.8	0.46	1.35	—	45	116	11		"

注 1 連番 1 ~ 3 は水浸漬カット

4 ~ 10 は通常工程により洗浄

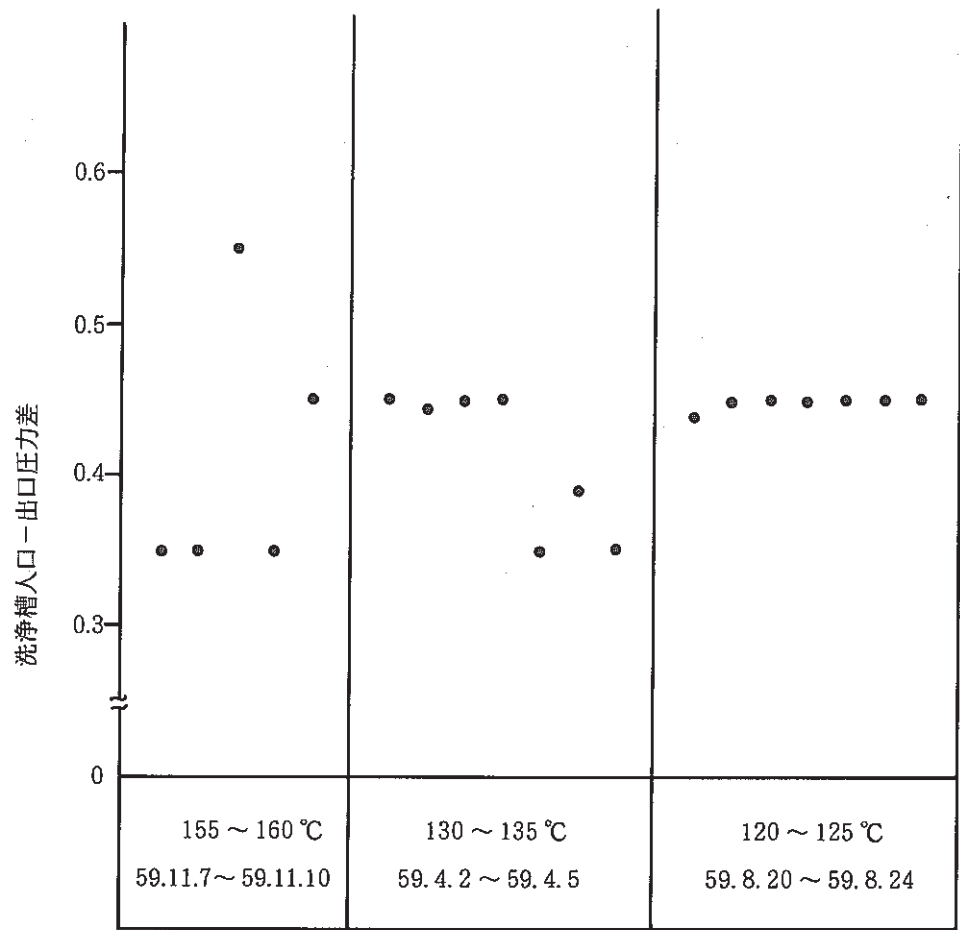
表 4.1.4 - 7 試験時洗浄データからのナトリウム付着量試算値

		水素濃度計 からの算出	電 導 度 か ら の 算 出					合 計
			1 回	2 回	3 回	4 回	5 回	
1	PFD 027	1.4% 29g	45.9g	6.4g	1.3g	g	g	53.6g
2	PFD 066	1.3% 27	38.6	4.7	0.9			44.2
3	PFD 024	1.1% 23	35.4	16.1	4.7	0.9		57.1
4	PFD 065	1.3% 27	— *	2.6	2.5	2.5		7.6
5	PFD 061	1.4% 29	— *	2.8	2.5	3.4	4	12.7
6	PFD 002	1.4% 29	— *	3.4	1.4			4.8

* 浸漬洗浄後排水 ($\mu\text{u cm}^{-1}$) 測定不可

表 4.1.4 - 8 FMF キャスクカー渡し炉心構成要素洗浄水中ナトリウム量

	1 回 目		2 回 目		3 回 目		合 計 g
	p H	Na g	p H	Na g	p H	Na g	
PFD 010	12.04	57.2	10.57	2.2	9.23	0.2	59.6 g
PRC 000	12.31	150.8	10.28	1.32	7.23	0.08	152.2 g
MCR 006	10.95	7.84	9.94	1.35	9.71	1.0	10.2 g
PFB 010	11.79	40.0	11.5	14.3	11.0	7.14	61.4 g
PRS 060	12.95	68.6	12.43	22.5	11.44	3.4	95.5 g
	9.42	0.75	8.54	0.2			
PFD 070	10.97	25.8	—	—	—	—	—



注, 運転ブロワ: A 号機

図 4.1.4 - 1 ナトリウムプラグング温度と炉心構成要素圧力損失の関係

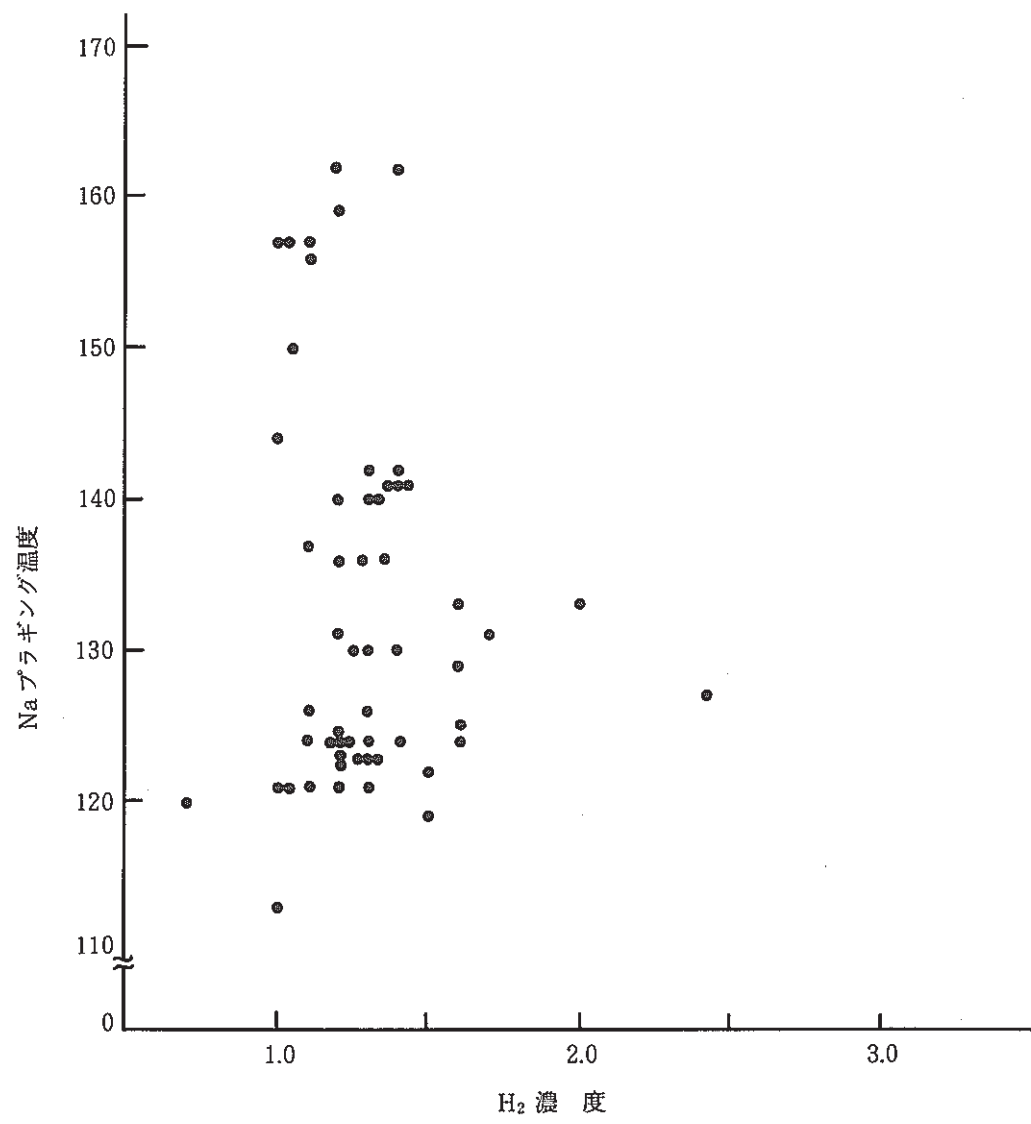


図 4.1.4 - 2 水素濃度とナトリウムプラギング温度の関係

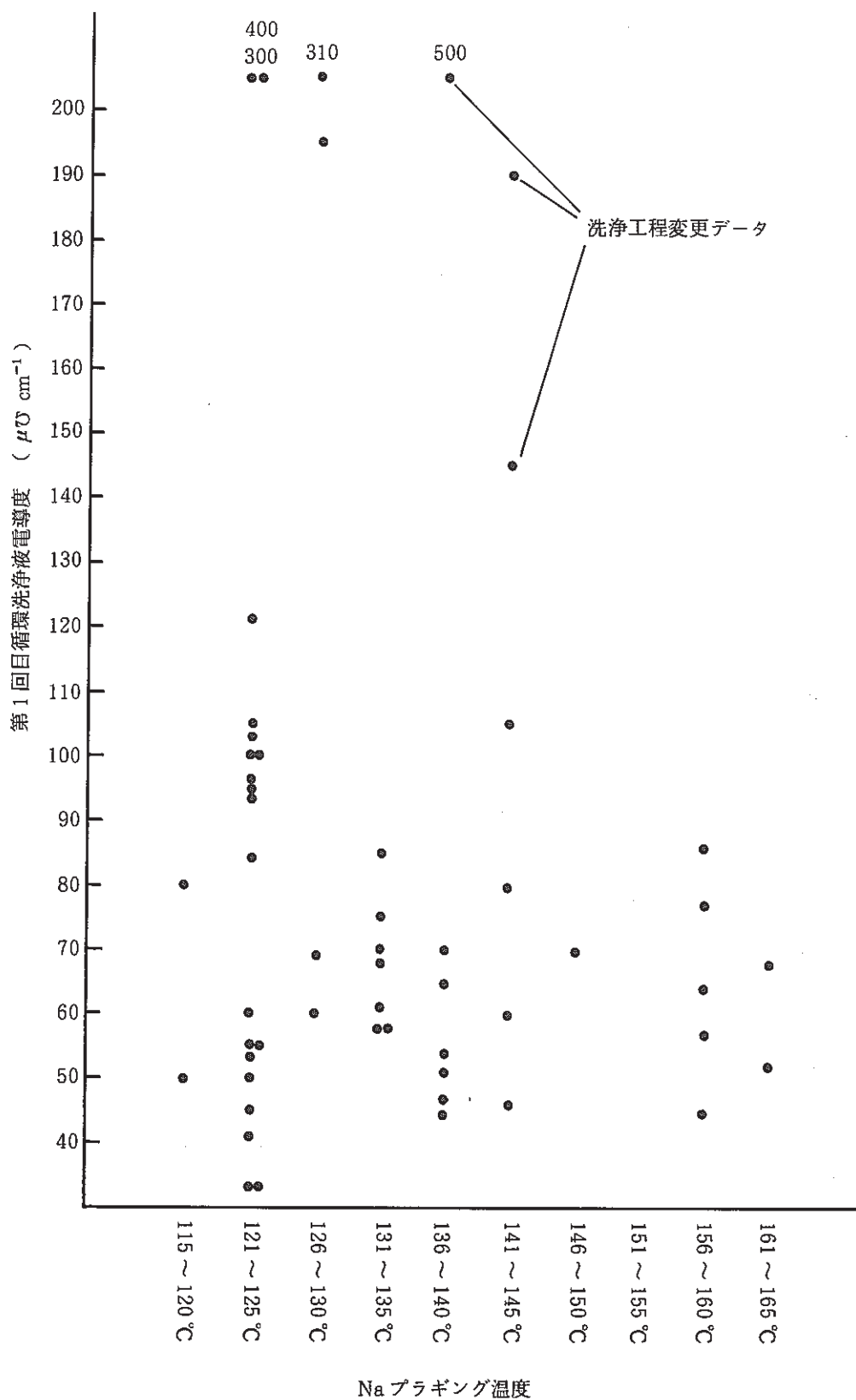


図 4.1.4 - 3 洗浄液電導度とプラギング温度の関係

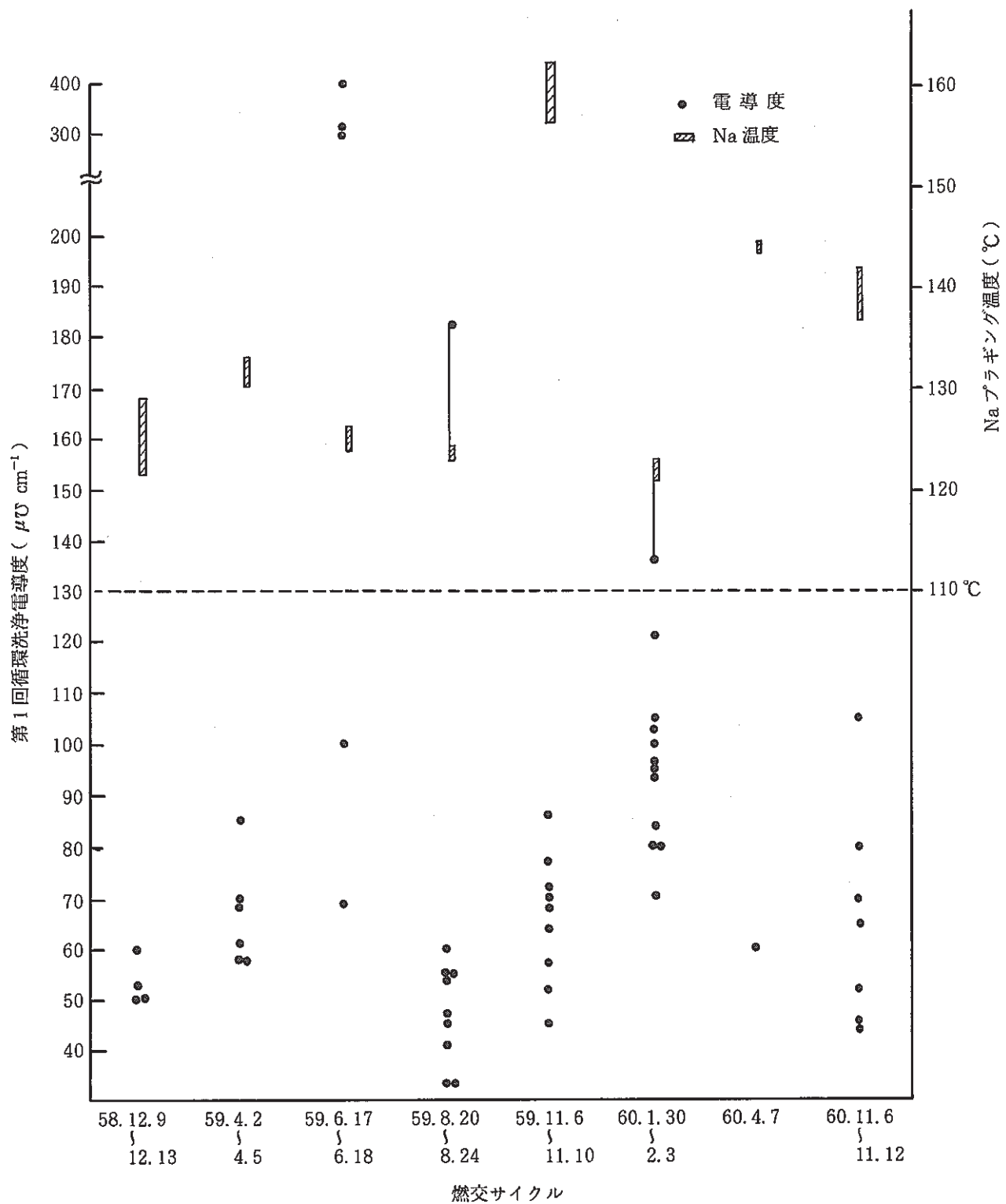


図 4.1.4 - 4 燃料交換サイクル毎の電導度とナトリウムプラギング温度

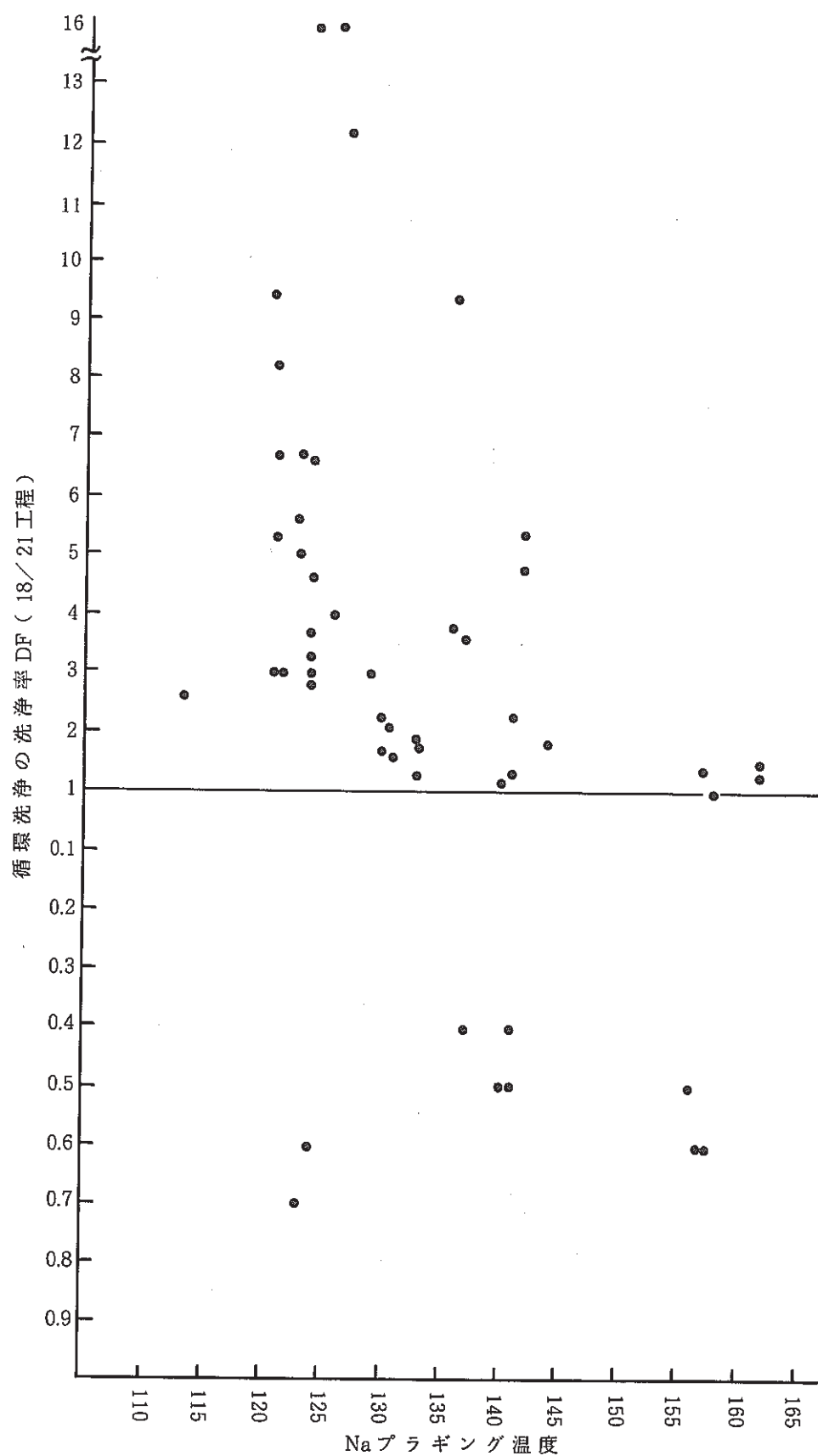


図 4.1.4-5 ナトリウムプラグング温度と DF 値の関係

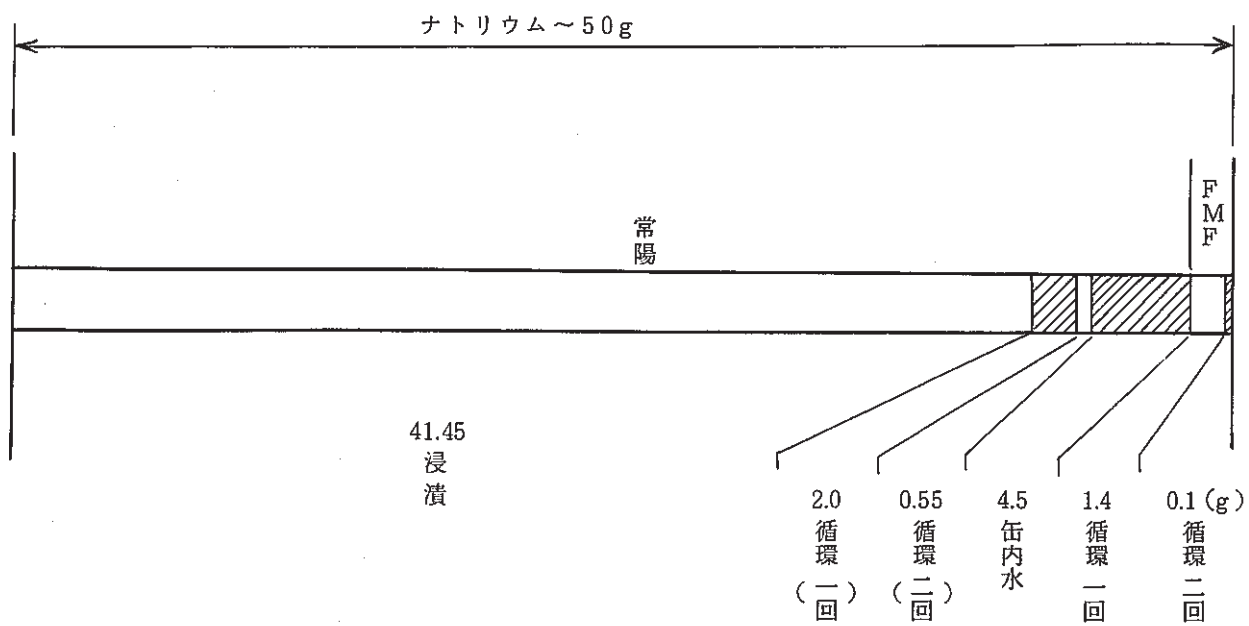


図 4.1.4 - 6 洗浄工程におけるナトリウム除去割合

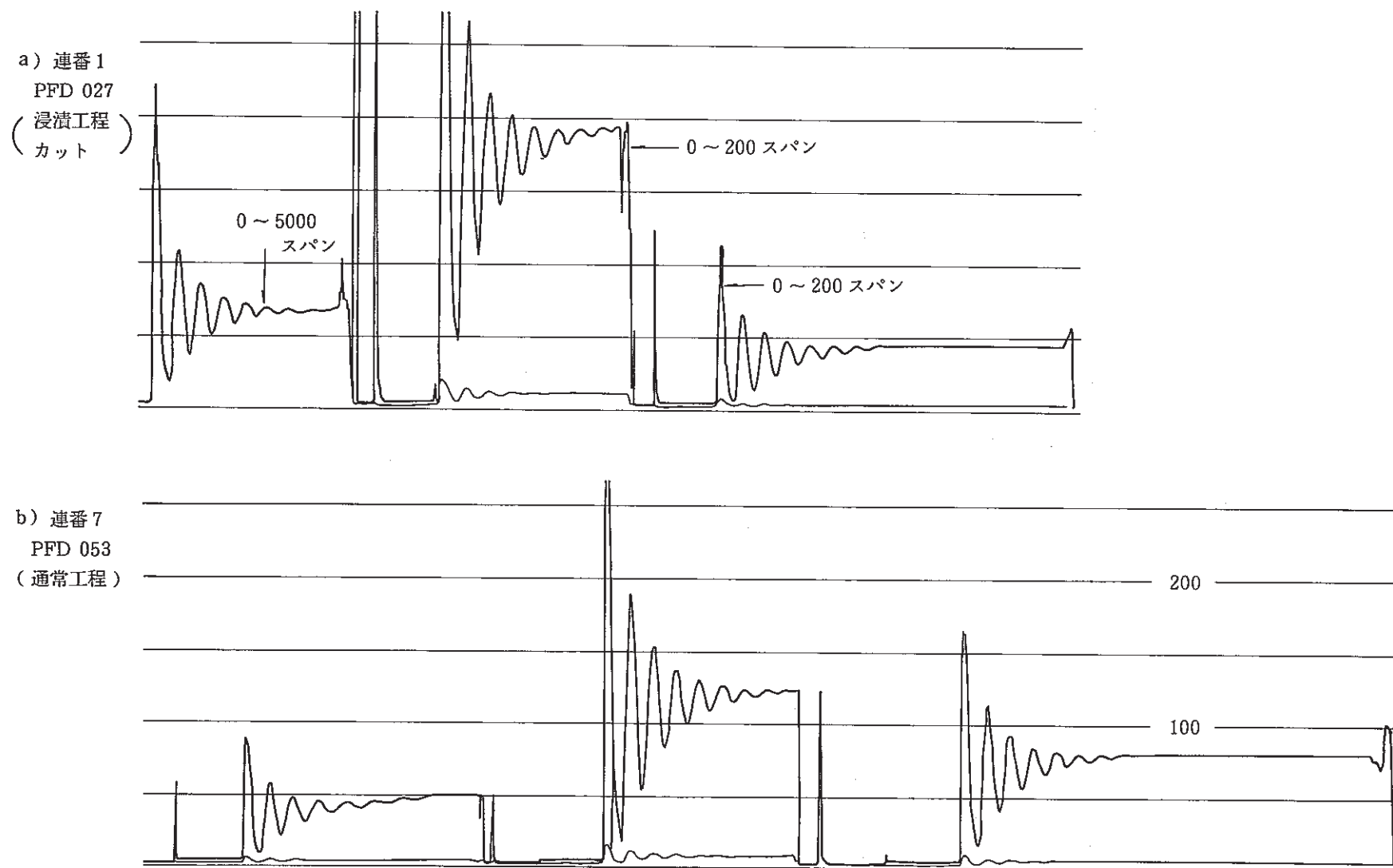


図 4.1.4 - 7 循環洗浄時電導度変化

注) PNC ZN 941 77-211 より引用

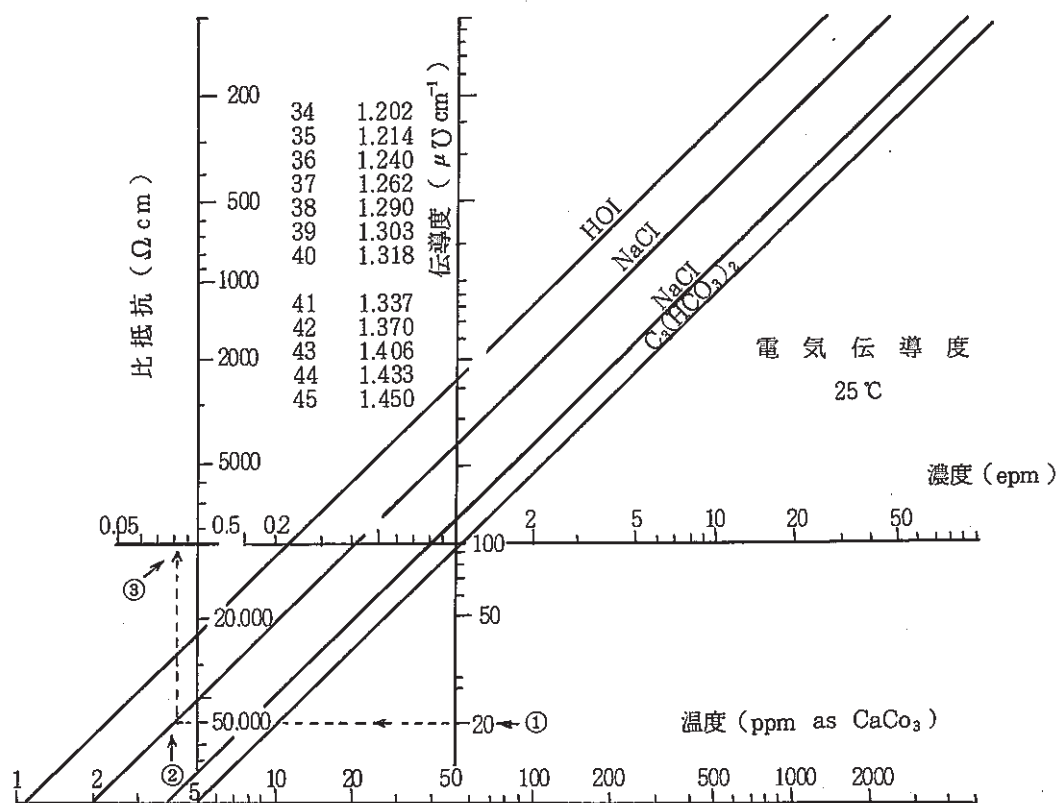


図 4.1.4 - 8 NaOH 水溶液と電気伝導度との関係

(2) 燃料交換機グリッパ洗浄

(i) 概 要

燃料交換機は、燃料交換作業期間中2回、グリッパを含水アルコール（アルコール80％、水20％）中で、バブリング洗浄、浸漬洗浄を行い付着ナトリウムを除去してグリッパの機能維持に努めている。洗浄後は、乾燥装置に据付けてグリッパを乾燥させる。この洗浄方法では、洗浄液を再生する際に高レベル廃液（アルコール含有量20～40％）が30～50ℓ/回発生し、その処理方法がアルコールを含むことから問題となっている。このような背景から昭和58年5月から7月にかけて、グリッパ省洗浄試験を行った。グリッパ省洗浄試験は、グリッパを炉内で使用した後、洗浄することなくアルゴンガス雰囲気にした交換機軸封装置内に保管し、洗浄工程を省略する試みである。

(ii) 省洗浄試験

イ) 手 順

- ① 準備作業時にナトリウム中で、センシング軸の作動確認爪開閉用モータの起動電流及び駆動電流を測定する。
- ② 炉上部にて燃料交換を行なう。
- ③ 格納時上限へ吊上げる時、グリッパ先端がNa液面を250～300mm上昇した時点で吊上げを中断し、ナトリウム滴下後、格納時上限まで再上昇する。
- ④ 洗浄作業を省略し、交換機を置場に移動する。
- ⑤ Arガスを軸封装置内に封入し、Naの酸化防止を計る。

ロ) 試験結果

- ① センシング軸動作は、まったく正常であった。
- ② 爪開閉用モータの起動電流及び駆動電流値は、表4.1.4-9に示すように省洗浄前は起動電流値がほぼ一定なのに比べ、省洗浄後ではバラツキが見られる。
- ③ グリッパ上昇時、荷重が増加する。

ハ) 考 察

- ① 省洗浄後の爪開閉動作については、省洗浄前より小電流であること。及び、駆動電流は、省洗浄前後で変化の無いことから、省洗浄による爪開閉動作への影響は無いものと思われる。
- ② 軸封装置内をArガス雰囲気で確実に保持しておく必要がある。
- ③ 軸封装置内に拭き取られたNaが堆積し、表面線量率が上昇する。
- ④ 現在のグリッパのクリアランスが少ないのでNaドレン性が悪く、省洗浄を実施するにはもっとドレン性の良いグリッパである必要がある。
- ⑤ 全体として、グリッパの動作は予熱を充分行なえば問題ないが、軸封部に多量のNaが付着すると思うので、軸封装置のメンテナンス頻度が増大することが予想される。

- ⑥ 省洗浄によって洗浄作業・乾燥作業が省略でき、燃料交換作業時間の短縮になる。又、洗浄液の再生運転が無くなり、高レベル廃液の発生も抑えることができる。
- ⑦ グリッパ洗浄を実施した場合、グリッパの予熱時間は 1.0 時間で 1 ケ所（交換時上限）で良いのに比べ、省洗浄ではベローズ保護の為 2 ケ所（交換時上限及びナトリウム中にベローズが完全に漬った位置）で合計 1.5 時間の予熱を必要とする。

(Ⅲ) まとめ

交換機グリッパの省洗浄による爪開閉動作及びセンシング軸動作への影響は、保管時の Ar ガス雰囲気化及びグリッパ予熱を充分に行なう事によって、ほぼ完全に回避することがわかった。

しかし、軸封装置内に堆積した Na とグリッパ軸とによる干渉が原因で、グリッパ上下動作に支障を来すことも明白となった。特に、燃料交換作業中の交換時上限位置及び、後始末作業の格納時上限位置近くでの、上昇時の荷重高、下降時の荷重低による動作停止も引き起こしている。

これらの事を包括して判断すると、荷重異常の原因究明及び充分な検討を行なった上で、省洗浄を実施する方が良いと思われる。

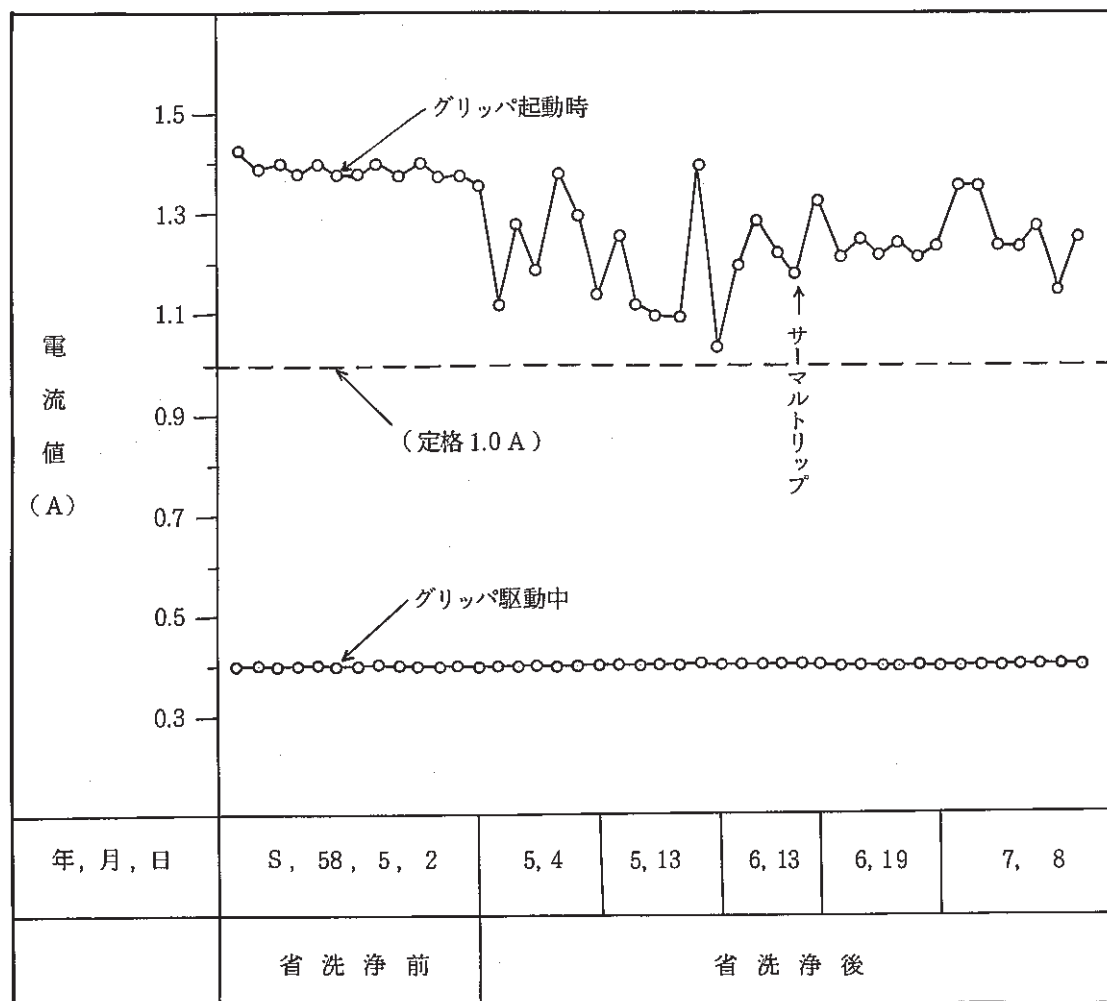


図 4.1.4 - 9 燃料交換機グリッパ爪開閉用モータ起動電流値及び駆動電流値

4.1.5 滴下ナトリウム対応

ナトリウム冷却型高速炉の燃料取扱システムの特徴のひとつは、炉内ナトリウム中の使用済燃料を炉外へ取出し、貯蔵設備へ移送する過程で、種々環境が変化することである。「常陽」燃料取扱設備の場合、燃料移送を例にとると図 4.1.5 - 1 に示すように、炉内で使用済燃料を取扱う機器は、高温液体ナトリウム中に漬かり、ナトリウム蒸気を含むアルゴンガス雰囲気中へ移る。トランスファロータ設備以降は、アルゴンガス、水蒸気、水、空気各雰囲気中で機器が動作する。従って、燃料取扱設備は各雰囲気の境界を形成しながら燃料移送するため、特殊な構造となっている。特に、ナトリウムが付着している燃料の移送経路で、滴下ナトリウムが機器に悪影響を及ぼさないような対応をはかるのは、特徴的なものである。

1) ナトリウム滴下位置

炉内燃料取扱の場合、燃料交換機グリッパはナトリウム中で動作し、取扱終了後上方へ引き上げられる。この時グリッパに付着したナトリウムは炉内へ滴下する。燃料移送の場合、燃料出入機は、使用済燃料を入れたポットをナトリウム中から外へ引き上げられる。この時ポットまわりの付着ナトリウムは滴下し、かつポット内のナトリウムは、使用済燃料の崩壊熱による体積膨張分のナトリウムを考慮したサイフォン機構を通して落下する。

これらの滴下ナトリウムが、炉内カバーガスバウンダリを形成するドアバルブに悪影響を及ぼさないよう、ドアバルブを閉状態にする前に一定位置で機器を静止させている。ここで可能な限りナトリウムを滴下させるため「ナトリウム滴下のための待期時間」を設けている。これまでの経験から、燃料交換機と燃料出入機の滴下位置の変更を行った。変更内容とその効果を表 4.1.5 - 1 に示す。

2) ドリップパンへのナトリウム滴下量実績

ナトリウム滴下時間経過後、ドアバルブを閉じて次の作業に進むが、この時、グリッパで吊られているポット、案内スリーブの揺れ、崩壊熱による熱膨張でナトリウムの滴下が続く。この滴下ナトリウムを受けるためのドリップパン（受皿）が必要となる。ドリップパンは、燃料出入機、燃料交換機、燃料取扱用キャスクカーの各ドアバルブの弁体内に組み込まれている。

ドリップパンの容量は限られているため、一定本数の使用済燃料取扱後、ドリップパンの交換およびドリップパン内ナトリウムの回収・処理を行なっている。ドリップパン洗浄実績および処理したナトリウムの量を表 4.1.5 - 2 ～ 4.1.5 - 5 に示す。燃料 1 本あたりの滴下ナトリウム量を図 4.1.5 - 2 ～ 4.1.5 - 5 に示す。

3) ドリップパン交換頻度

ドリップパンの交換頻度は、MK-II 移行作業経験から、ドリップパンへの滴下ナトリウム削減対策として次の様な燃料出入機運転操作条件のもとに決められている（PNC-N 941 83-27）。

- ① ポット収納位置における 5 分間保持操作
- ② 燃料取扱 1 サイクル中における分割交換方式の採用
- ③ ドリップパン取扱いはアダプタの使用により行う

設 備 名	ドリップパン交換頻度
燃料出入機	2 回／1 サイクル
燃料交換機	1 回／年
燃料取扱用キャスクカー	内側 1 回／2 サイクル
	外側 1 回／年

近年、燃料出入機ドアバルブのシール部へのナトリウムかみ込み（4.2.6 項参照）、燃料取扱用キャスクカードアバルブ内ドリップパン取扱異常が発生している。後者については、ナトリウム量が多く、キャスクカーのグリッパが、ナトリウムと干渉したために生じたものである。現在、前記表に従ってドリップパンを交換しているが、交換の間の使用済燃料取扱本数、プラントのプラグング温度との関係、キャスクカーにおける滴下時間等を見直すべく検討を行なっている。

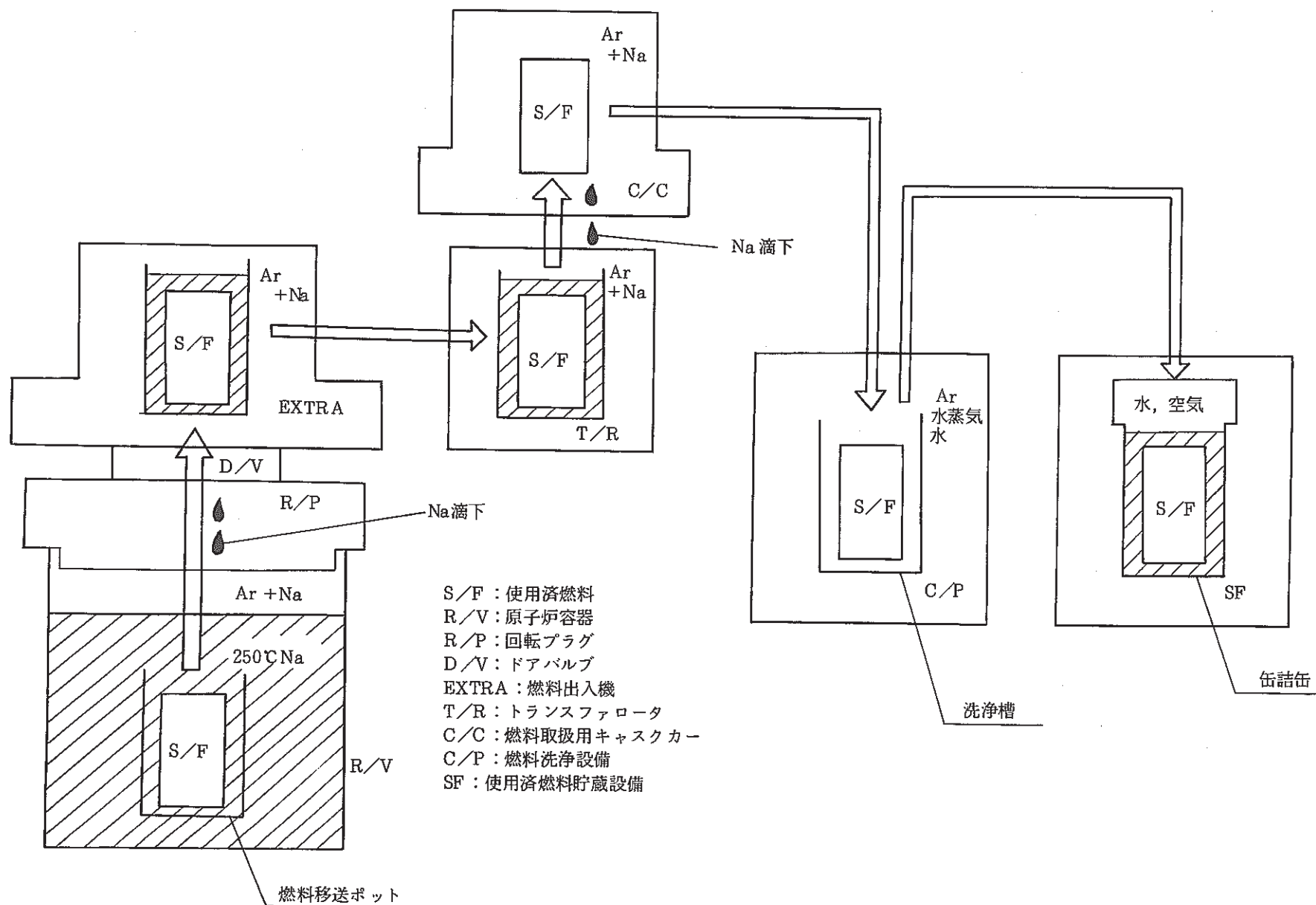


図 4.1.5 - 1 使用済燃料取扱経路

表 4.1.5 - 1 ナトリウム滴下位置の変更内容

機 器 名	変 更 内 容	変 更 理 由	効 果	変 更 日	概 略 図
出 入 機	スリーブIを炉内より引抜く際のNa滴下位置をストローク7400から7300に変更	ストローク及びGLを見積ったところ、ストローク7400ではスリーブIの下端が23mm Na中に漬かっていることが判った。	出入機ドリッパンへの滴下Naの量が減少した。	S.60.1.29より (PO7-FH1)	
出 入 機	ポットを炉内より引抜く際のNa滴下位置をグリッパ上限（ストローク358）からストローク7000に変更	S.60.10に出入機ドアバルブ漏洩検査を行なった際に著しい漏れが認められた。原因の1つとして、ポットから滴下するNaがドアバルブシール面に付着して、シール性を悪くしていることが考えられた為、滴下位置をドアバルブ面より下に変更した。	Na滴下中のドアバルブシール面への滴下Naの減少及びシール性の保持。	S.60.10より (PO8-FH5)	
交 換 機	交換機グリッパを格納する際のNa滴下位置を格納時上限からストローク4400に変更 (ストローク4400：30分間) (格納時上限：30分間)	交換機GrのNa滴下は初めはD/Vへの滴下Na対策として行なわれていたため、格納時上限であった。しかし、交換時上限から格納時上限へ上昇する際、軸封でGr軸に付着したNaを拭き取り、その拭き取ったNaにより軸封の拭き取り抵抗が増し、上昇時に過荷重を発生することがある。よって、Gr軸に付着したNaを滴下するためST4400に変更した。	軸封での拭き取りNa量が減少し、過荷重の発生が少なくなった。	S.58.4より 試行的に実施。 その後本格採用	
交 換 機	上記ストロークを4400から3500に変更 (ストローク3500：60分間) (格納時上限：なし)	過荷重の原因として、Na中に漬かったGr軸が温度上昇することにより、軸外径が太り、その部分が軸封部を通過するときに、拭き取り抵抗を増していることが考えられたため、温度の低い上側で滴下・冷却する様に変更した。	現在(60.12)顕著な結果はでていない。	S.60.10より (PO8-FH5)	

表 4.1.5-2 燃取設備ドアバルブ・ドリップパン等洗浄実績(その1)

Table 4.1.5-2 Sodium Removal Accomplishment of Door Valve Drip Pan

対 象	取 出 日 (新D/Pと交換)	N a 量 (g)	メンテナンス 建 家 洗 浄 日	洗浄槽の 種 類
E X T R A D/P	54.10.12	1,000	54.10 / 25 ~ 10 / 27	小物
C/C内側 D/P	54.10.19	200		洗浄槽
E X T R A D/P	54.12.19	100	55. 1 / 24 ~ 1 / 25	ポンプ
C/C内側 D/P	54. 1.16	400		洗浄槽
外側 D/P	54. 1.21	100		
E X T R A D/P	55. 4.10	550	55. 4 / 11	小物洗浄槽
E X T R A D/P	55. 4.26	120	55. 4 / 28	"
E X T R A D/P	55. 7. 7	400	55. 7 / 8 ~ 7 / 9	"
C/C内側 D/P	55. 7.14 ~ 15	600	55. 7 / 17	"
外側 D/P	55. 7.15 ~ 16	100		
E X T R A D/P	55.10.16	280	55.10 / 16	"
C/C内側 D/P	56. 1. 9	200	56. 1 / 12	"
外側 D/P	56. 1. 9	10		
E X T R A D/P	57. 2. 1	450	57. 2 / 4 ~ 2 / 5	"
C/C内側 D/P	57. 2. 4	700		
E X T R A D/P	57. 2. 6	380	57. 2 / 14 ~ 2 / 15	"
"	57. 2. 8	210		
C/C内側 D/P	57. 2.15	470	57. 3 / 23 ~ 3 / 24	"
E X T R A D/P	57. 2.14	280		
"	57. 3.20	350	"	"
C/C内側 D/P	57. 3.23	690		

注) Naは酸化ナトリウム

E X T R A D/P: 燃料出入機ドリップパン

Na量は実測値

C/C内側 D/P } 燃料取扱用キャスクカー・ドリップパン

外側 D/P } Na量は体積よりの推定値

表 4.1.5 - 3 燃取設備ドアバルブ・ドリップパン等洗浄実績 (その2)

対 象	取 出 日 (新D/Pと交換)	N a 量 (g)	メ ン テ ナ ンス 建 家 洗 浄 日	洗 浄 槽 の 種 類
E X T R A D / P	57. 3. 25	240	57. 4 / 8 ~ 4 / 9	小物洗浄槽
"	57. 3. 27	400		
C / C 内 側 D / P	57. 4. 6	230		
E X T R A D / P	57. 4. 1	210	57. 4 / 6 ~ 4 / 7	"
"	57. 4. 3	310		
"	57. 4. 8	220	57. 4 / 13 ~ 4 / 14	"
"	57. 4. 10	280		
C / C 内 側 D / P	57. 4. 13	200	57. 4 / 20 ~ 4 / 21	"
E X T R A D / P	57. 4. 15	270		
"	57. 4. 17	170	57. 4 / 27 ~ 4 / 28	"
"	57. 4. 22	80		
"	57. 4. 24	260		
C / C 内 側 D / P	57. 4. 27	540	57. 5 / 25 ~ 5 / 26	"
E X T R A D / P	57. 5. 20	260		
"	57. 5. 22	80	57. 6 / 1 ~ 6 / 2	"
C / C 内 側 D / P	57. 5. 25	150		
E X T R A D / P	57. 5. 27	80	57. 6 / 8 ~ 6 / 9	"
"	57. 5. 29	100		
"	57. 6. 3	90		
"	57. 6. 5	30	57. 6 / 15 ~ 6 / 17	"
"	57. 6. 10	200		
"	57. 6. 12	80		
C / C 内 側 D / P	57. 6. 15	780	"	

注) Naは酸化ナトリウム

E X T R A D / P : 燃料出入機ドリップパン

Na量は実測値

C / C 内 側 D / P } 燃料取扱用キャスクカー・ドリップパン

外 側 D / P } Na量は体積よりの推定値

表 4.1.5 - 4 燃取設備ドアバルブ・ドリップパン等洗浄実績 (その3)

対 象	取 出 日 (新D/Pと交換)	N a 量 (g)	メ ン テ ナ ンス 建 家 洗 浄 日	洗 浄 槽 の 種 類
E X T R A D / P	57. 6. 17	80	57. 6 / 29 ~ 6 / 30	小物洗浄槽
"	57. 6. 26	140		
"	57. 7. 1	90	57. 7 / 6 ~ 7 / 7	"
"	57. 7. 3	90		
C / C内側 D / P	57. 7. 6	470	"	
E X T R A D / P	57. 7. 8	90	57. 7 / 13 ~ 7 / 14	"
"	57. 7. 10	110		
"	57. 7. 15	240	57. 7 / 20 ~ 7 / 21	"
"	57. 7. 17	80		
C / C内側 D / P	57. 7. 20	470	"	
E X T R A D / P	57. 7. 22	60	57. 9 / 27 ~ 9 / 28	"
"	57. 9. 23	310		
"	57. 9. 29	80	57. 10 / 4 ~ 10 / 5	"
"	57. 10. 1	210		
C / C内側 D / P	57. 10. 4	470	"	
E X T R A D / P	57. 10. 6	300	57. 10 / 12 ~ 10 / 13	"
"	57. 10. 8	310		
"	57. 10. 13	110	57. 10 / 18 ~ 10 / 19	"
"	57. 10. 15	70		
C / C内側 D / P	57. 10. 18	620	"	
E X T R A D / P	57. 10. 23	140	57. 12 / 15 ~ 12 / 16	"
"	57. 12. 9	140		
C / C内側 D / P	57. 12. 15	470	"	

注) Naは酸化ナトリウム

E X T R A D / P : 燃料出入機ドリップパン

Na量は実測値

C / C内側 D / P } 燃料取扱用キャスクカー・ドリップパン

外側 D / P } Na量は体積よりの推定値

表 4.1.5 - 5 燃取設備ドアバルブ・ドリップパン等洗浄実績 (その 4)

対 象	取 出 日 (新 D / P と交換)	N a 量 (g)	メ ン テ ナ ンス 建 家 洗 浄 日	洗 浄 槽 の 種 類
E X T R A D / P	58. 1. 22	—	58. 5 / 4 ~ 5 / 9	小物洗浄槽
"	58. 4. 28	620	"	
"	58. 6. 11	260	58. 6 / 21 ~ 6 / 22	"
"	58. 7. 30	540	"	
C / C 内 側 D / P	58. 6. 20	390	"	
E X T R A D / P	58. 12. 21	350	59. 2 / 22 ~ 2 / 24	"
C / C 内 側 D / P	59. 1. 9	550	"	
E X T R A D / P	59. 6. 15	660	59. 6 / 23 ~ 6 / 25	"
"	59. 6. 22	610	"	
"	59. 8. 27	650	59. 11 / 24 ~ 11 / 25	"
"	59. 11. 8	280	"	
C / C 内 側 D / P	59. 9. 3	700	"	
E X T R A D / P	59. 11. 13	440	60. 2 / 13 ~ 2 / 14	"
"	60. 2. 1	630	"	
"	60. 2. 7	380	60. 7 / 2 ~ 7 / 3	"
"	60. 4. 25	275	"	
C / C 内 側 D / P	60. 7. 2	800	"	
C / C 外 側 D / P	60. 7. 2	100	"	
E X T R A D / P	60. 11. 7	125	60. 11 / 19 ~ 11 / 20	"
"	60. 11. 17	480	"	

注) Na は酸化ナトリウム

E X T R A D / P : 燃料出入機ドリップパン

Na 量は実測値

C / C 内 側 D / P } 燃料取扱用キャスクカー・ドリップパン

外 側 D / P } Na 量は体積よりの推定値

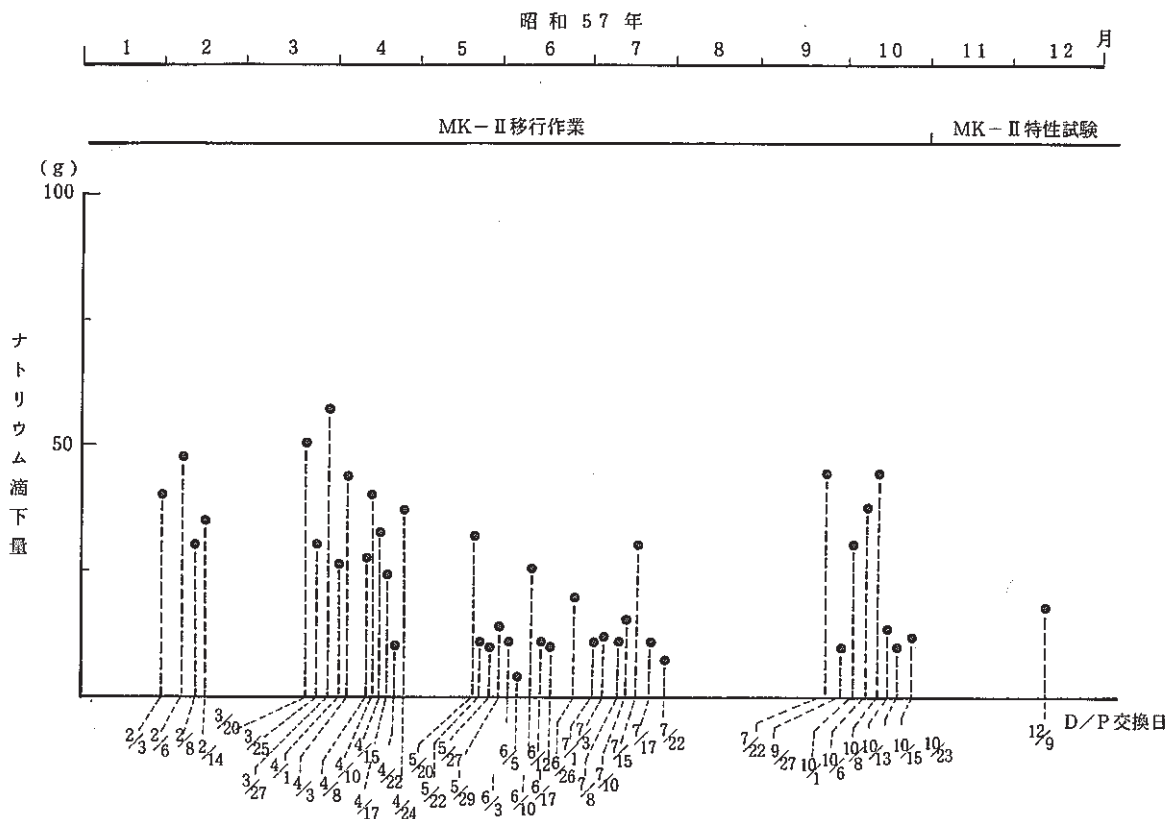


図 4.1.5-2 燃料 1 本当たり滴下ナトリウム量 (その 1)

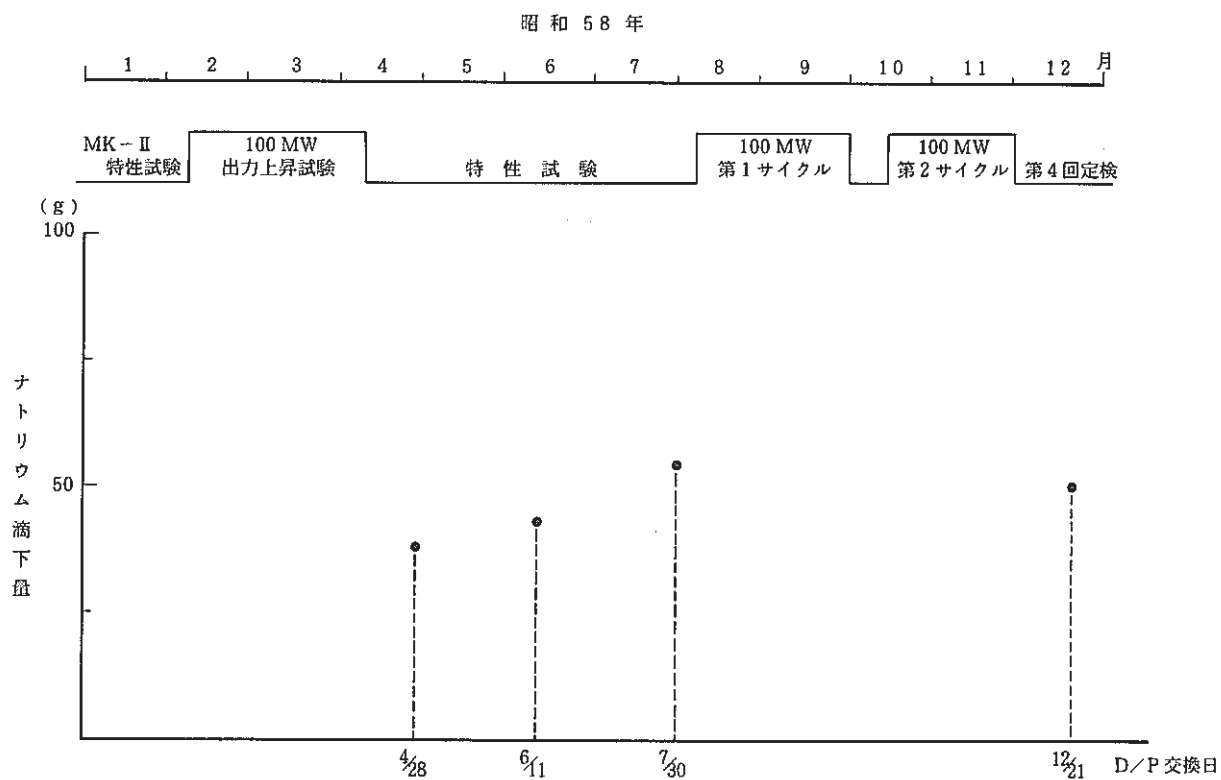


図 4.1.5-3 燃料 1 本当たり滴下ナトリウム量 (その 2)

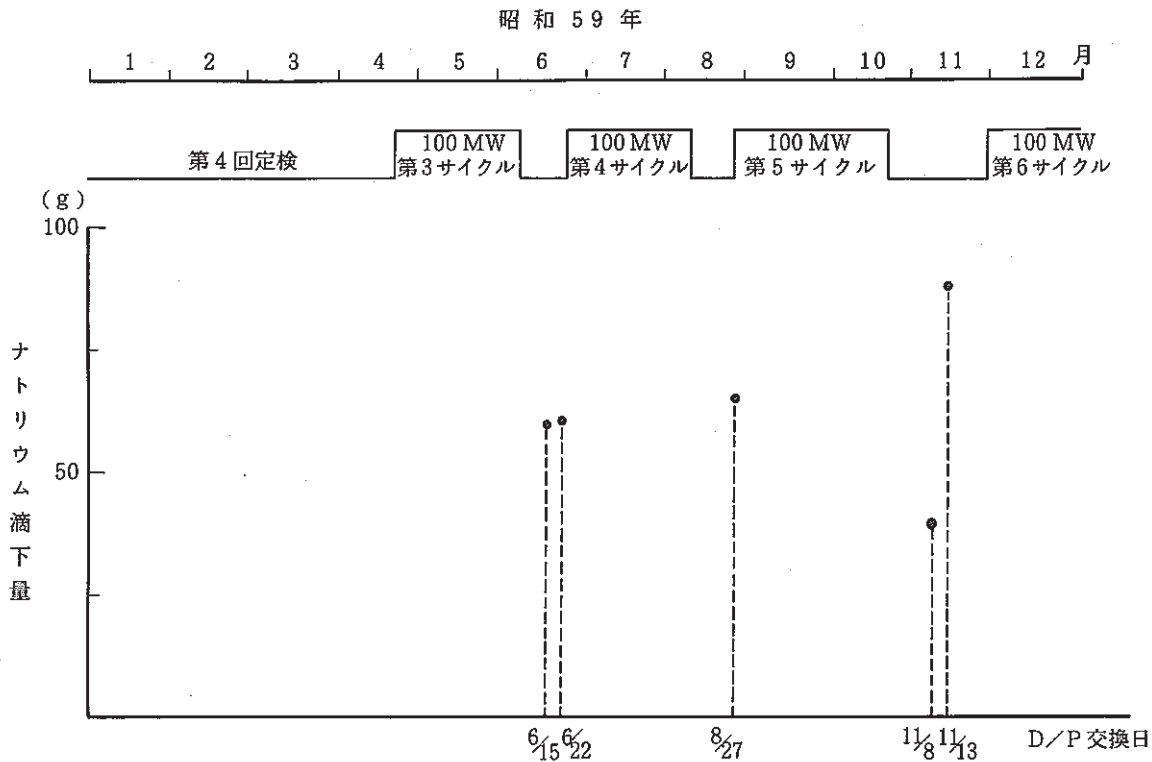


図 4.1.5 - 4 燃料 1 本当たり滴下ナトリウム量 (その 3)

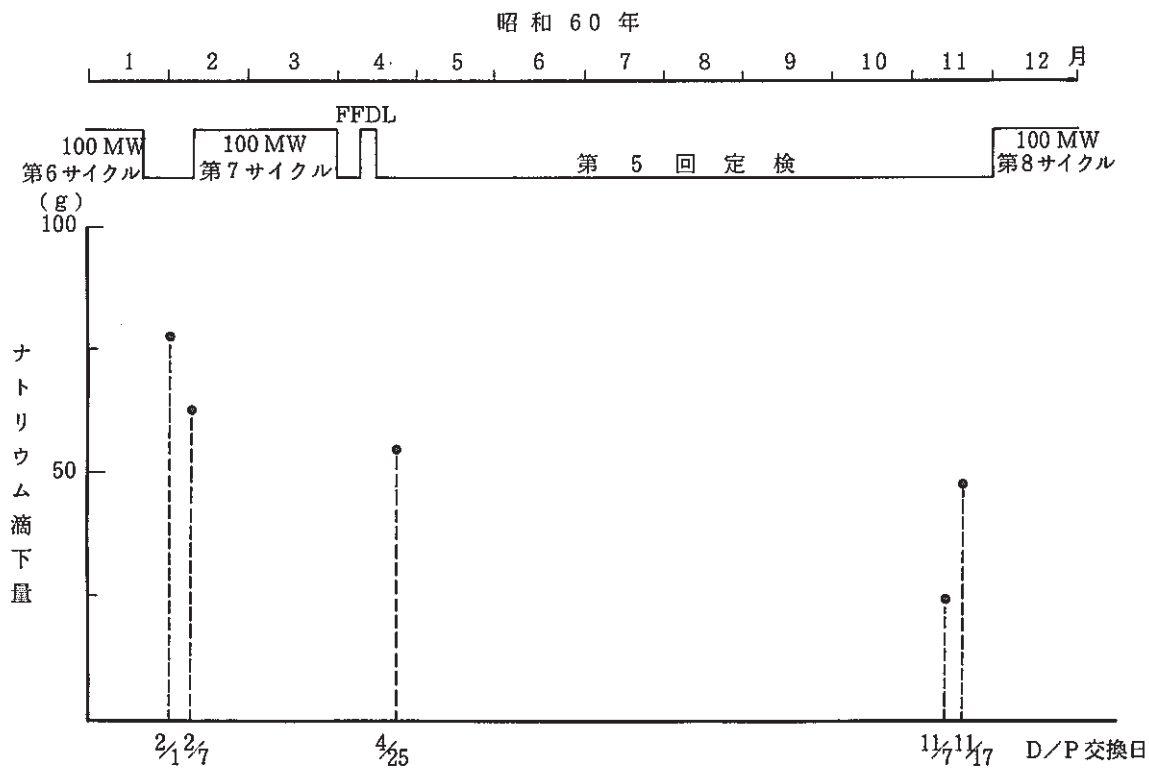


図 4.1.5 - 5 燃料 1 本当たり滴下ナトリウム量 (その 4)

4.2 保守経験

4.2.1 概要

高速実験炉「常陽」は、照射用炉心に移行した後、特性試験等を経て昭和58年8月以降昭和60年12月まで第8サイクル100 MW運転を行っている。

この間、燃料取扱設備は、日常点検をはじめとして、2回の定期点検（第4回、第5回）、及び各種点検保守等を実施した。本節では、定期点検における主要成果ならびに特筆すべき事項を中心として記す。

第4回定期点検は、昭和58年12月より昭和59年4月にかけて実施された。これは照射用炉心移行後の100 MW定格運転における最初の定期点検であった。また燃取設備保守基準を試行的に適用した最初の点検であり、また保守基準書は第1～第3回の定期点検及び照射用炉心移行作業の実績等を踏まえて作成されたもので、定期検査項目を簡略化し科学技術庁の承認を受けている。

第5回定期点検は、昭和60年5月より12月にかけて上記保守基準の確立及び保守期間、経費の削減を主眼として実施された。本点検では

- ① 建設以来約10年を経て、これまでの炉心構成要素交換本数が約600体、炉内燃料取扱本数が約1,800体となり、設備老朽化が顕在化してきている事。
- ② ナトリウムに起因する異常事象が多発してきている事から、これらの対応を図るため実施した。2回の定期点検の概要を表4.2.1-1から表4.2.1-3に示す。主要事項について次項以降に記す。

表 4.2.1-1 燃料取扱設備定期点検概要(その1)

設備名	機器名	点検概要		備考
		第4回定期点検	第5回定期点検	
回転プラグ設備	回転プラグ	回転プラグジャッキダウン不調の原因であるインロー部の蒸着 Na をかき落とすための穴明け工事を実施した。またフリーズシール金属の酸化粉を一部回収した。	回転プラグ上の搭載機器を撤去し、フリーズシール金属酸化粉の回収、仕切板清掃点検並びに金属充填を実施し、バックアップチューブ及び Oリングを交換し、回転プラグ構成品(持上装置、旋回軸受等)の分解点検を実施し、水平度計の交換を行った。	4.2.2 項参照
燃料交換機設備	グリップ	グリップを分解し、爪・操作軸等の傷、曲り、摩耗等を点検した結果、特に異常無し。(省洗浄実施の影響で酸化 Na が付着していた)	制御棒装荷異常への対応で、許容偏心量を越えて運転したことによるグリップへの影響及び装荷異常原因の調査のために、グリップの分解点検を行った。その結果、グリップ軸の曲り等著しい損傷は認められなかったが、爪3本のうち2本に打痕が認められた。この結果、原因究明のための試験結果から装荷異常の原因はグリップ爪の開不足による片吊りと推定された。以上からグリップには著しい損傷は無かったものの各部への影響を考慮し、予備グリップ(爪は「R」加工及び Na ドレン性改良実施)と交換した。	4.2.4 項参照
	グリップ駆動装置	昇降駆動装置、爪開閉駆動装置を分解しモニタワイヤロープ等の傷摩耗等を点検した。特に異常無し。また、異音の発生していた減速機を交換した。		
	軸封装置	Na ふき取りパッキンに非常に多くの Na 付着があり、パッキンの一部破損パッキン相互の固着が認められた。パッキン交換実施	軸封パッキンの締付け力を適正にするために、本点検から仮軸を用いた締付け力測定治具を使用することとした。その結果パッキン(Na-5)枚数を旧3枚のところ2枚にセットした。	
	本体ドアバルブ	分解点検によりドアバルブ内付着 Na 除去各部損傷、摩耗を調査した。Oリングに若干の変形があり、Oリングの交換を実施した。	同 左	
	孔ドアバルブ	開放点検、漏洩試験実施。シール性に若干低下が認められた。	カバーガスバウンダリを確保するメンテナンス用プラグを新規に製作し据付以来初めて炉上部から取外し分解点検を行った。シール性の低下原因と考えられる付着 Na を除去し Oリング等を交換した。 その他、特に異常なし	4.2.8 項参照
	収納管弁	案内スリーブ収納管弁の分解点検実施し各部損傷、摩耗を調査した。特に異常無し	孔プラグ収能管弁の分解点検実施し各部損傷摩耗を調査し特に異常無し。	
	真空ポンプ A, B	分解点検を実施し、各部清掃、部品交換を行った。特に異常無し。		

表 4.2.1-2 燃料取扱設備定期点検概要(その2)

設 備 名	機 器 名	点 検 概 要		備 考
		第 4 回 定 期 点 検	第 5 回 定 期 定 検	
燃料出入機設備	グリップ	分解し、爪、操作軸テープ等の損傷、摩耗等を調査した。特に異常無し。	同 左	
	グリップ駆動装置	開放点検を行い、テープ巻取部へのNa付着量等を点検した。 微量のNaベーパー付着、特に異常無し。		
	ドアバルブ	分解し、ドアバルブ内の付着Naを除去し、各部損傷、摩耗を調査した。 軸受ベアリングが付着Naにより動作不良のため交換し、Oリングを交換した。	漏洩試験を行ったところシール性の著しい低下が認められたため、定検対象としていなかったが、急拠分解点検を行った。ドリップパン溢れNa又はポット滴下Naがシール面に付着していた。付着Naを除去しOリングを交換した。	4.2.6項参照
	台 車	横行装置より異音が発生していたため分解し調査した。横行用歯車に傷が認められ、これを補修し、架台の補強を実施した。一時的に異音解消したがその後再発した。	横行用歯車の傷及び軸方向揺動により異音が発生していたためこれらを交換補修し、異音を解消した。また、レールクランプ、油圧ユニット、走行、横行駆動装置の分解点検を行った。特に異常無し。	4.2.10項参照
	真空ポンプ	分解点検実施、特に異常無し		
	可動ブロック	開放点検実施、特に異常無し		
トランスファロータ設備	タンク	開放点検実施		
	格納容器側ドアバルブ	タンク内のトリチウム処理を行った後据付後初めて取外して分解点検を行った。ドアバルブ内面への付着Naは微量であった。各部の損傷摩耗を点検後Oリング等を交換した。特に異常無し。		4.2.9項参照
	駆動装置	分解し、各部損傷、変形、摩耗等を調査、特に異常無し		
燃料取扱用キャスカ-設備	グリップ	分解し、爪、メインロッド等の損傷、変形、摩耗等を調査した。密封板変形のため交換実施	D/P交換時にグリップ下限状態にもかかわらず、ドアバルブの開動作を行ったため、グリップが損傷した。グリップ分解点検を実施したところ各部にキズ、変形が認められたため、新規グリップを製作し交換した。	4.2.5項参照
	ドアバルブ	分解し、各部の損傷、変形、摩耗等を調査した。内面清掃Oリング交換、異音調査実施、特に異常無し。	異音発生及びシール性低下の調査のために分解点検を実施した。異音については駆動部ケーシングとベローズフランジとの摺動痕及び車軸と軸、レールとの摺動痕が認められ、芯出し調整、潤滑材塗布にて異音を解消した。しかし、燃交中に再発したため再度分解し応急処置を施した。最終処置は第6回定検にて行う。シール性については、シール面にNa付着が認められたため、これを除去しOリング交換を行った。	4.2.7項参照
	走行装置	車輪、案内車輪、転倒防止装置、モータ等を分解し、損傷、変形摩耗等を調査した。各部の清掃及び消耗品の交換を行った。 特に異常無し		

表 4.2.1-3 燃料取扱設備定期点検概要(その3)

設 備 名	機 器 名	点 検 概 要		備 考
		第 4 回 定 期 点 検	第 5 回 定 期 定 検	
燃料取扱用キャスカ ー設備	巻上機構		据付後初めて分解点検を行ない、爪開閉用パワーシリンダの手直しグリ ッパの調整、吊ワイヤの交換を行った。特に異常なし。	
	Ar ガス系機器	空気圧縮機、冷却器ファン、ベーパートラップ冷却ファン、及び真空ポン プオイルトラップの分解点検実施し、特に異常無し。	据付後初めて、ベーパートラップの分解点検を行ない、ナトリウム量トラ ップ性能の調査を行い、耐用年数の確認を行った。ウール式及びメッ シュ式のベーパートラップは新規に製作し交換した。また廃ガスラインへの 真空ポンプ等からのオイルの流入を防止するために、オイルトラップを 新規に設置した。	4.2.3 項参照
	その他	グリッパ洗浄ポンプ分解点検実施、特に異常無し。		
新燃料取扱設備	Ar ガス循環ブロウ	分解し、各部損傷、摩耗を点検し、キャスク内筒を清掃、Oリング、ベ アリングの交換を実施した。また振動防止策として動バランス調整、基 礎ベースの改造、配管芯ズレ調整を実施した。		
	連絡管	開放し、各部損傷、摩耗を調査した。連絡管上部内面に若干 Na ベーパ が付着していた。清掃し、Oリング交換を行った。		
	Ar ガス加熱器		開放し、内部の Na 付着、汚染の有無、損傷等の点検及び電気品点検を 実施した。出入口配管フランジ部の Oリング変形しており交換した。 特に異常無し。	
燃料洗浄設備	床ドアバルブ及び連 絡管	分解し、各部損傷、摩耗を調査した。各部に発錆がありシールフランジ 上面と上側フランジに摺動跡が認められた。また、連絡管ベローズのガ イドレール付近に酸化 Na の付着があった。各部清掃、研磨し、Oリン グ、グリス交換を実施した。		
	洗浄槽弁	分解し、各部損傷、摩耗を調査した。弁座に接着されたシール弁座の一 部が弁板上面に付着した酸化 Na との摺動により切損していたため、交 換した。		
	回転継手	S. 56 年据付後(344 体取扱)初めて、分解点検を行った。内側 Oリン グ当り面のグリースがほとんど無く、摩耗量が 0.2 mm と使用限界であ った。これは高温アルカリ性の内部流体によって、グリースが流出した ためと考えられる。今後も同様の頻度で点検を行う必要がある。		
	循環ブロウ		開放し、各部損傷、摩耗を点検し、清掃し、Oリング、ベアリング交換 及び、駆動系調整を実施した。特に異常無し。	
	循環ポンプ		分解し、各部損傷、摩耗を点検し、清掃し、ベアリング、オイルシール、 パッキン等交換した。特に異常無し。	
	Ar ガス冷却器		鏡板及びチューブフランジを開放し、チューブ内外面の点検、清掃を行 い、Oリング等を交換した。内外面に少量の水垢あり。	

表 4.2.1-4 燃料取扱設備定期点検概要(その4)

設備名	機器名	点 検 概 要		備 考
		第 4 回 定 期 点 検	第 5 回 定 期 点 検	
燃料洗浄設備	汚染廃ガス真空ポンプ		分解し、各部損傷、摩耗を点検し、清掃、Oリング、ベアリング交換を実施した。特に異常無し。	
回転移送機	その他		洗浄槽の回転停止位置精度が悪かったため、停止位置に緩衝装置を取付けて、停止精度の向上を図った。	
	グリップ		分解し、各部の点検を行った。グリップ下限位置で動作不能(警報「下限異常」発生)となる原因を調査したところ、荷重指示計制御接点の動作不良であった。計器を補修し、不具合を解消した。その他特に異常無し。	
	グリップ駆動装置及び回転駆動装置	分解し、各部損傷、摩耗を調査し、清掃、部品(ベアリング等)交換を実施した。特に異常無し。		
付属建屋 使用済燃料貯蔵設備	燃料移送機グリップ		グリップ点検可能な水位までプール水を排水し、分解点検を実施した。グリップ下限位置で動作不能(警報「下限故障」発生)となる原因を調査したところ、センシング軸リミットスイッチの位置ずれにより、下限時でもセンシング下限信号が発せられなかったものと判明した。従ってリミットスイッチを正常位置に調整し、さらにずれを生じないように、接着材で固定した。その他、特に異常無かったが、ケーブル類の劣化が進行しているため、次回点検時に交換することとした。	
	グリップ駆動装置		開放点検を行ない、潤滑油を交換した。特に異常なし。	
	燃料移送機台車		車輪、レール、減速機等駆動系の点検、清掃を実施した。特に異常無し。	
	水中台車水中機器		目視にて外観点検実施。特に異常無し。	
	水処理設備冷却器		鏡板を開放し、内部の点検、清掃を実施し、防錆塗装を実施した。特に異常無し。 なお、今回よりチューブ引き用吊り具を設けた。	
SFF 建屋 使用済燃料貯蔵設備	燃料移送機台車		車輪、レール、減速機等駆動系の点検、清掃を実施した。レール、ラックギア及び電磁ブレーキドラムに著しい発錆が認められた。清掃後、潤滑材を塗布した。	
SFF 建屋 水処理設備	冷却器	鏡板を開放し、内部の目視点検を実施した。内部の錆、水垢を清掃した。	鏡板を開放し、内部の点検をした。胴内部の腐食が著しく、清掃後塗装を実施した。	
	冷却水循環ポンプ		分解し、各部損傷、摩耗を点検し、清掃、パッキン、ベアリング交換を実施した。 特に異常無し。	

表 4.2.1-5 燃料取扱設備交期点検概要 (その 5)

設 備 名	機 械 名	点 検 概 要		備 考
		第 4 回 定 期 点 検	第 5 回 定 期 定 検	
SFF 建屋 水処理設備	その他	補機水循環ポンプ分解点検, 廃液タンク開放点検, 廃液移送ポンプ分解点検, 廃液サンプビットポンプ分解点検を実施した。特に異常無し。	薬注ポンプ, 薬品タンクの開放点検を実施した。特に異常なし。 補機水槽ボールタップ分解点検実施した。発錆及び水垢の付着が著しく, 清掃後, 塗装した。また作業用の足場を設けた。	
メンテナンス設備	炉内検査孔ドア/シrub A, B	分解し, 各部損傷, 摩耗を点検した。僅かな Na 付着が認められた。清掃, Oリング交換実施した。特に異常無し。		
	炉内検査孔プラグ 収納管弁		分解し, 各種損傷, 摩耗を調査した。ボールにゴミによる細かなキズが認められたため, 研磨した。清掃, Oリング交換実施した。	
全 般	計器類	計器校正, 盤点検を実施した。全般に経年劣化が進んでおり, 計画的な交換が必要である。	経年劣化対策として, 燃料交換機用圧力指示計器の交換及び常時動作している記録計の交換を行った。また, 主要系統の計器校正を実施した。圧力変動が大きい系統の計器に, 故障が多発している。	

4.2.2 回転プラグ分解点検

(1) 背景

回転プラグは、昭和49年に据え付けられ、その後、昭和51年、バックアップシールチューブの換装を兼ねて、分解点検を実施した。更に昭和55年第2回定期点検期間に2度目の分解点検を行なった。昭和57年には「常陽」の増殖用炉心から照射用炉心への移行の為、1年間原子炉を停止し、300体余の炉心構成要素を12期間に分けて交換する作業を行なった。本作業は通常の年間5サイクル5燃交に比べると5年分の燃料交換作業を行なった事になり、他の燃料取扱設備と同様回転プラグも苛酷な運転を強いられた。

更に、昭和57年1月から、ナトリウム蒸着のために大回転プラグ側のジャッキダウン異常事象が発生した。その対策として、ジャッキアップ、ダウンおよび回転操作を繰返し行なった。そのため、持上装置も通常運転頻度を大幅に越えた。

また、原子炉カバーガスバウンダリを形成するフリーズシール内のメタルの酸化現象は相変わらず続いている。

以上の背景から第5回定期点検期間に、機器の健全性確認及びメタル酸化粉の回収を目的として3回目の回転プラグの分解点検を実施した。

(i) 施回軸受の点検結果

大小回転プラグ施回軸受の内外輪の転走面、鋼球、間座とも異常は認められなかった。又、グリースの変色も余りなく、付着状況も十分であった。

(ii) バックアップシールチューブの点検結果

バックアップシールチューブを外観目視検査をした処、内外とも全周にわたり溝より大回転プラグで1～2mm、小回転プラグで0～1mm程の浮き出しがあった。(前回の点検時と同様)その他、傷、及び顕著な劣化、膨潤現象は見られなかった。昭和51年、55年に引き続き、チューブの換装を行なった。今回換装した目的は、チューブの溝よりの浮き出し防止及びカミ込み、カジリ破損に対する耐力アップである。表4.2.2-1に形状及び材質の変更点を記す。

(iii) フリーズシール機構の点検結果

フリーズシールメタルダムの二次側メタル上部に酸化粉が堆積していることがわかったので、回収前後に酸化粉及びメタルのレベルを測定した。測定結果を図4.2.2-1、4.2.2-2に示す。

回収した酸化粉の量は大回転プラグ200kg、小回転プラグ32.2kgで補充したメタルの量は大回転プラグ129.6kg、小回転プラグ33kgであった。

(2) 点検結果

第5回定期点検期間中に実施した回転プラグ設備の主な点検対象機器は、持上げ装置、フリーズシール機構、旋回軸受、バックアップシールチューブ、フリーズシールメタル用ヒータ及び電気計装品であり、以下にその点検結果を記す。

(i) 持上装置の点検結果

(イ) 油圧ユニット

全般的に、損傷・摩耗等は非常に少なく、今後共ども継続使用は十分に可能と思われる。

(ロ) 油圧シリンダ

油圧ユニット同様、12年間使用の割には、比較的健全な状態にあるとあって良い。但し、ボディ・ピストン等の摺動部に摺動傷・摩耗等が見られたが、日本油圧工業会規格の油圧シリンダのパッキン使用選定指針で表わされている基準から判断すると、今後も継続使用は可能と思われる。

(ハ) パイロットバルブ

特に異常はなかったが、Oリングの交換を実施した。

(ニ) 油圧配管・継手

配管に若干の凹みがあったが、使用上問題は無い。

又、継手部よりオイルの漏れ跡があったため、清掃後、シール用Oリングを交換した。

(ii) フリーズシールメタル用ヒータの点検結果

ヒーターターミナル部に若干酸化粉が堆積していたので、これを除去した。ヒータ本体については、フリーズシールダムより取外さなかった為に点検しなかった。

又、コントロールセンター二次側よりスライダックを含むヒータまで一括にて絶縁抵抗値を測定した結果、使用上特に問題なかった。

尚、ループ抵抗値には、著るしい増加はなく、劣化は見られなかった。

(iii) 電気計装品の点検結果

(イ) 水平度検出器

予備品として保管してあった新型タイプの増巾器を校正し、新規に取付けた。変位計、増巾器、演算機とも正常であった。

(ロ) 熱電対の点検

導通抵抗、起電力、絶縁抵抗共異常は認められず、総て良好であった。

(ハ) 温度記録計の校正

回転プラグ内部温度記録計、フリーズシールメタル上部及び下部温度記録計に模擬入力

を印加し、ループ校正試験を実施した。

大回転プラグフリーズシールメタル下部温度用変換器 (TX 14-5-4) に不良が見つかったので交換した。

(二) 操作盤・補助盤の点検結果

盤内にホコリ・発錆もなく、良好な状況であった。

角度表示器の⊕表示不良のためユニット毎交換した。

盤換気口用フィルターが硬化していたので交換した。

(3) 評 価

回転プラグ分解点検の着目する主な項目は、炉内カバーガスのシール機構と、駆動機器の健全性である。

駆動機器については、昭和57年の照射用炉心構成作業及びジャッキダウン対策という苛酷な運転を強いられたにも関わらず、各機器の状態は健全であることが確認された。

1次のシール機構であるフリーズシールについては、メタルの酸化が懸案項目のひとつである。シール機能を維持するために酸化粉を除去する手段として、回転プラグの構造上、分解点検と同様に上部構造物を取外す必要がある。これは、酸化粉除去が、回転プラグ分解点検頻度長周期化のネックとなる要因のひとつとなることを意味している。4.1.1-2) 項に示したように、酸化粉の発生を抑止する方法として

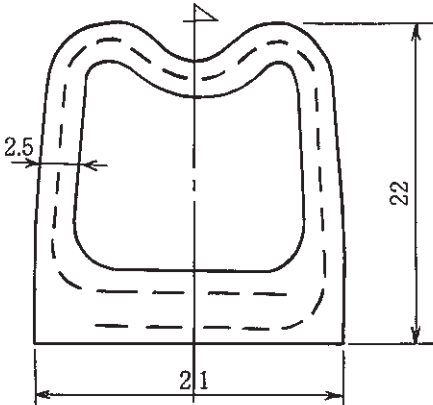
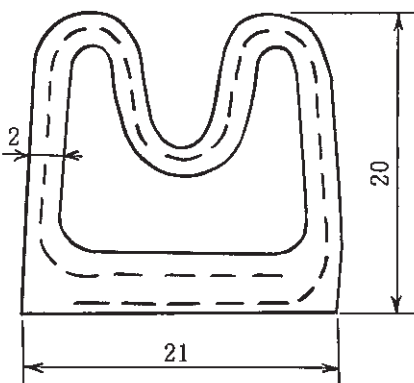
- ① メタルと酸素の接触を防ぐために不活性ガス化、及びオイル被膜の形成
- ② メタル熔融温度の低温化
- ③ 振動防止

が考えられる。

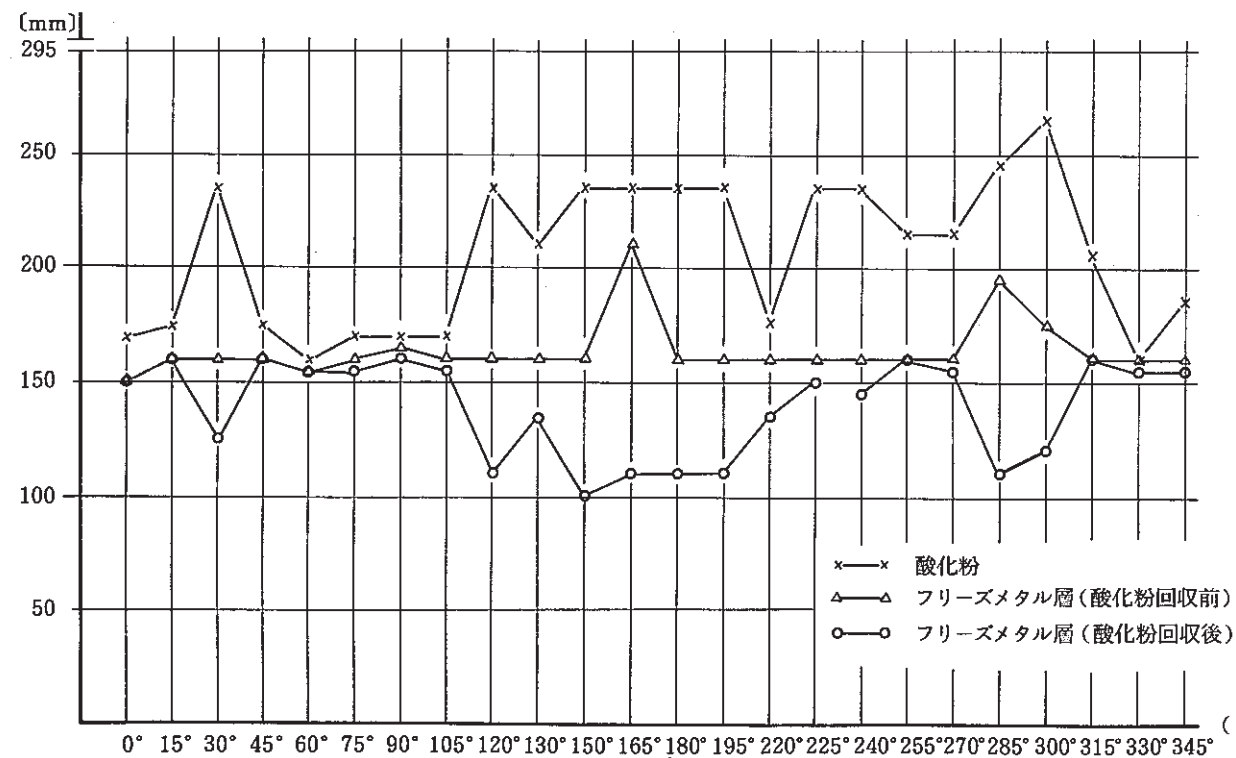
このうち、メタル熔融温度の低温化は、既に試行的に開始している。①については具体的方向を検討中である。

フリーズシールに対してバックアップシールとなるバックアップシールチューブは、今回の点検の結果、異常は認められなかった。バックアップシールチューブは、過去2回の分解点検で破損しており、改造を加えられてきたものである。今回換装した新チューブについても更に強度アップ等信頼性をあげるための改造を施し、チューブ封入圧力の変更を行ったもので、健全性維持は十分に期待できる。

表 4.2.2 - 1 回転プラグバックアップシールチューブ改造点

据付年		昭和 55 年	昭和 60 年
断面図			
材質	ゴム	EPDM (H 0 1 6 0)	EPDM (H 0 0 6 0)
	布	ナイロン布 (NS 5 0 5 0)	ナイロン布 (NS 5 0 5 0)
据付時 改造点		シールガス供給金具取付部のシール性強化のため金具に $\bar{O}$ リング用溝を新設。	- 溝高さ以上にチューブが浮かないよう、高さ寸法を変更 - 膨張性向上のため厚さを変更 - ゴム材質の強度向上 - 引張強度 (kg/cm^2) 118→134) - 引裂強度 (kg/cm^2) 35→41) - 運転上の変更点として、チューブ封入圧力を $3 \rightarrow 2 \text{ kg}/\text{cm}^2\text{G}$ とした。

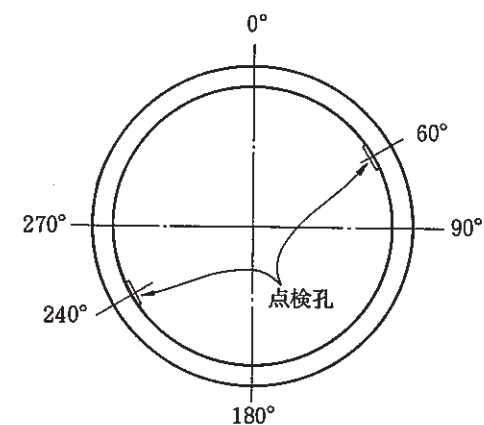
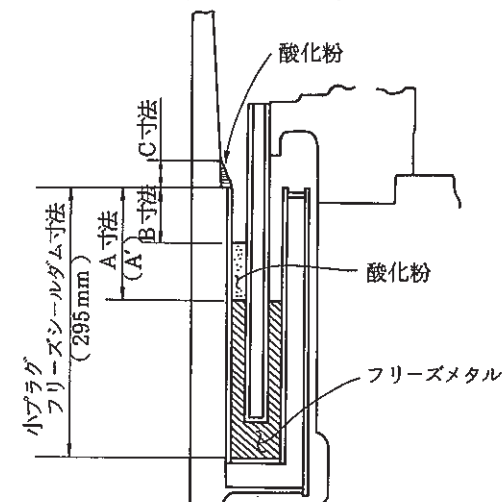
計測箇所	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
(mm) A 寸法	145	135	135	135	140	135	130	135	135	135	135	85	135	135	135	135	135	135	135	100	120	135	135	135
(mm) B 寸法	125	120	60	120	135	125	125	125	60	85	60	60	60	60	120	60	60	80	80	50	30	90	135	110
(mm) C 寸法	0	0	0	0	0	5	5	5	10	10	10	5	0	10	10	10	0	10	10	5	10	25	30	30
(mm) A' 寸法	145	135	170	135	140	140	135	140	185	160	195	185	185	185	160	145	150	135	140	185	175	135	140	140



方位

図 4.2.2 - 1 小回転プラグフリーズシールドメタルレベル計測結果

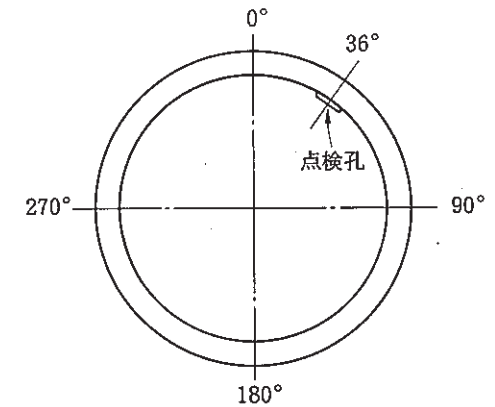
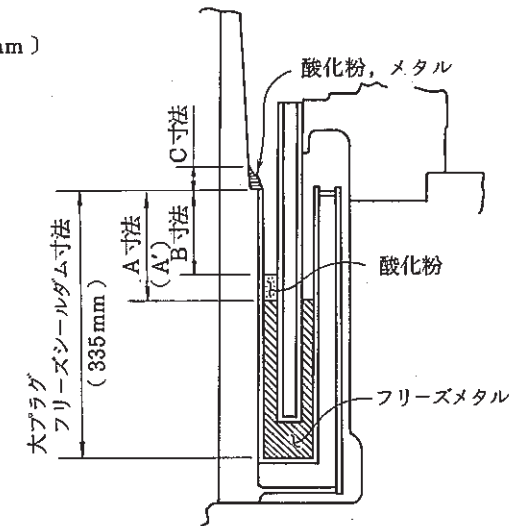
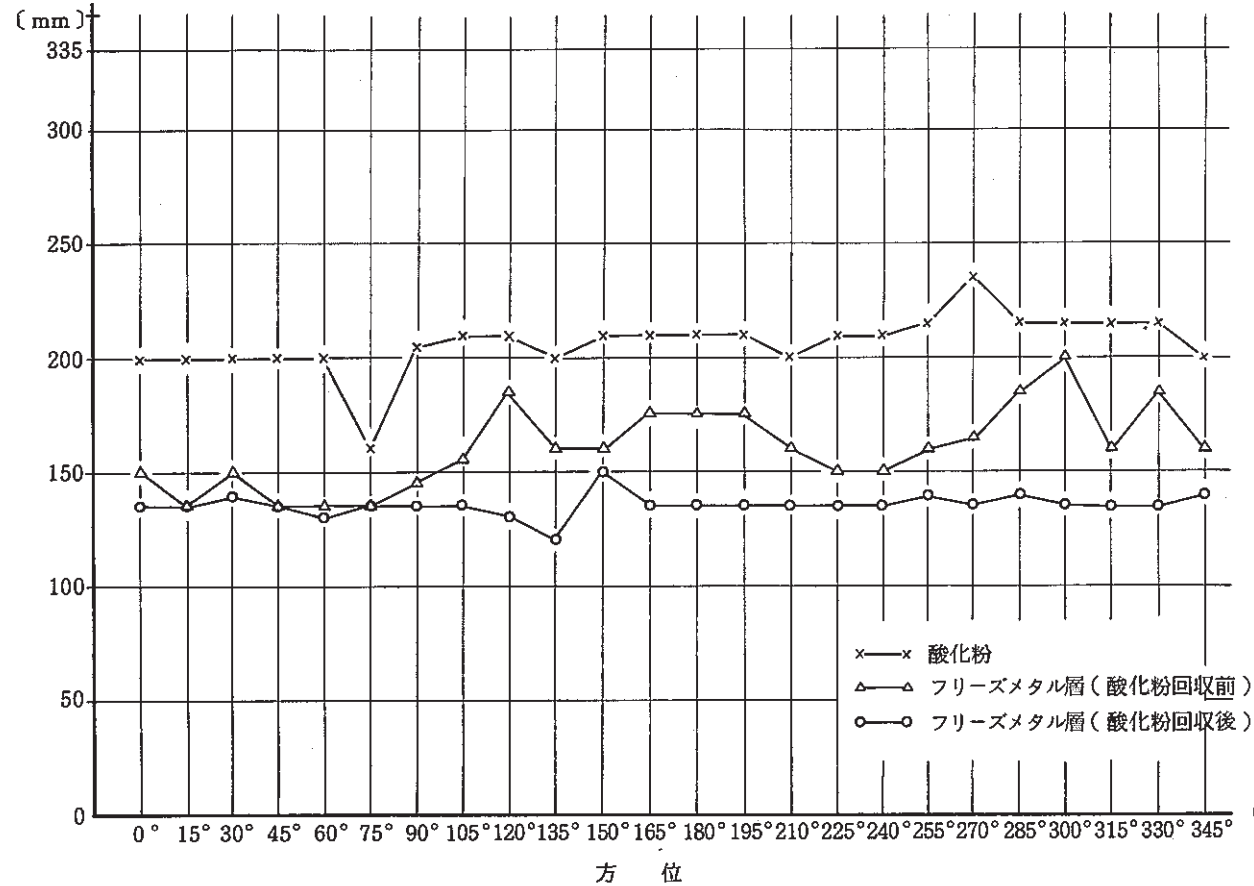
注) A' 寸法は酸化粉回収後である。



計測日 昭和 60 年 5 月 22 日, 28 日

計測箇所	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	160°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
A 寸法	185	200	185	200	200	200	190	180	150	175	175	160	160	160	175	185	185	175	170	150	135	175	150	175
B 寸法	135	135	135	135	135	175	130	125	125	135	125	125	125	125	135	125	125	120	100	120	120	120	120	135
C 寸法	30	30	50	30	10	10	40	40	5	25	50	20	40	10	30	25	20	30	10	20	40	60	70	60
A' 寸法	200	200	195	200	205	200	200	200	205	215	185	200	200	200	200	200	200	195	200	195	200	200	200	195

注) A' 寸法は酸化粉回収後である。



(フリーズシールド底)

計測日 昭和60年5月22, 28日

図 4.2.2 - 2 大回転プラグフリーズシールドメタルレベル計測結果

4.2.3 キャスクカーバーパトラップ分解点検

- 1) 燃料取扱用キャスクカーは、昭和50年の総合機能試験開始以来、昭和57年のMK-II移行作業を経て今日まで新燃料、使用済燃料を含めて約1,200体を取扱ってきた。キャスクカーには、使用済燃料をキャスク内に収納時、崩壊熱を除去するためのアルゴンガス冷却装置がある。

アルゴンガス冷却装置には、使用済燃料から飛来してくるナトリウムベーパーをトラップするため、バッフル式、メッシュ式、ウール式の3種のベーパートラップが直列に設置されている。これらのベーパートラップ設計当時は、発生ベーパー量、上記三段階システムのトラップ性能等に関し不確定要素が多く、かつ定量的評価が困難であったので、ベーパー発生量等に対して十分なマージンをもった設計がなされた。

第5回点検で、ベーパートラップの分解・点検を実施し、メッシュ等内部構造物を新品と交換した。また、トラップ性能等の評価に資するため、ナトリウムトラップ量、アルカリアタックの有無等について調査した。

2) 分解点検及び調査結果

図4.2.3-1にベーパートラップ付着ナトリウム調査手順、図4.2.3-2にベーパートラップ配置図を示す。

(i) 分解点検結果の概要

メッシュ式及びウール式のメッシュ、ウールは新品と交換した。旧メッシュ、ウールの一部は、ナトリウム付着量及びアルカリアタックの調査用とした。旧ベーパートラップの点検結果は次の通りである。

- ① 外観、寸法、漏洩は全て異常がなかった。
- ② ベーパートラップ内の捕獲ナトリウムを観察した結果、ほとんどのNaはメッシュ式ベーパートラップの最下段に捕獲されていた。特に金網1枚目に多く付着している。
- ③ ベーパートラップ内に捕獲されたナトリウムベーパーは予想していたよりも少なかった結果が得られた。
- ④ メッシュに対するアルカリアタックは、ほとんど認められなかった。

以上の点検結果から、今後寿命期間中のメッシュ交換は必要がないと考える。

ウール式ベーパートラップの出口側ウール上に微細ナトリウムが認められた。これは、ウール式ベーパートラップの下流側には、ウールを通過した微細ナトリウムが機器・配管内面に付着・堆積していくことを示す。しかし巻上機構内の付着量から推定するとこの量はわずかと考える。ベーパートラップを通過する微細ナトリウムの影響の有無については、今後留意する必要がある。

(ii) ベーパトラップ内のナトリウムベーパー移行状況

ベーパトラップ内周方向のナトリウムベーパー分布を目視、写真観察及び γ 線量率測定で調査した。その結果、メッシュ式ベーパトラップの最下段メッシュ1～2枚目にナトリウムベーパーが多く、かつ入口配管側にも多かった。ウール式ベーパトラップはナトリウムベーパー量が少なかった。従って、メッシュ式ベーパトラップの最下段の入口部では、アルゴンガスは入口配管側により多く流れているが、それ以降の流れは全面に均一であると思われる。

ウール式ベーパトラップは、トラップされたナトリウム量が少なかったためNaベーパーの移行状況は不明確だが、線量率の測定結果を見るとメッシュ式ベーパトラップ内のガスの流れ方から推定すると、ウール式ベーパトラップ内でトラップされたナトリウムは充填材(ウール)表面への衝突によってトラップされたと思われる。

バッフル式ベーパトラップ内の状況は、ファイバースコープで観察した。その結果、バッフル板上部にナトリウムが多量に確認された。一方、バッフル板下部にはほとんどナトリウムはなかった。このことから、ミスト状ナトリウムは、ドリップパンへ流下したものと思われる。バッフル式ベーパトラップの出口曲管部以降の配管にはナトリウムが見られない。これは、配管が垂直であるため、ここを通過したナトリウムベーパーはメッシュ式ベーパトラップ底部へドレンされた可能性がある。

(iii) 圧損とトラップNaの関係

トラップナトリウムは、メッシュ式ベーパトラップで90%、ウール式ベーパトラップで10%の割合でかつ、メッシュ式ベーパトラップのメッシュ最下段で42%とウール式ベーパトラップ一基の4倍のトラップ量であった。

ベーパトラップの圧損測定の結果、圧損は年々増加している。しかし、バッフル式ベーパトラップの圧損は、昭和55年より一定値を示している。よって、この時点からバッフル式ベーパトラップ内のナトリウムのトラップ状況が飽和していると思われる。以上から、圧損上昇はメッシュ式ベーパトラップとウール式ベーパトラップでの上昇が支配的と思われる。

ベーパトラップの圧損測定は、さらにデータを蓄積し評価していく必要から今後共定期的に実施していく。

(iv) γ 線量率

メッシュ式及びウール式ベーパトラップ容器周囲の γ 線量率の測定を行った。容器外壁から測定したベーパトラップの軸方向 γ 線量測定結果から、ベーパトラップ二基全体の流れ方向の線量分布を求めた結果、メッシュ式ベーパトラップ底部とメッシュ最下段の入口部が72%となり、出口方向に順次減少しながらウール式ベーパトラップ出口へと続いている。

メッシュ式ベーパトラップとウール式ベーパトラップを比較すると、ベーパトラップ入口

付近の γ 線量率が最も高く、それぞれ6.8 mR/h, 0.36 mR/hである。従って線源はほとんど入口部に集中していることが判明した。また入口部も兼ねているフランジより1,000 mmの位置と容器底部との合計は、メッシュ式ベーパートラップで77.3%, ウール式ベーパートラップで52.1%であった。

(V) メッシュ素線のアルカリアタック調査

ベーパートラップに組込まれていたメッシュ素線の表面の劣化状態調査、メッシュ素線の減肉程度ならびに断面組成の調査を行った結果は、次の通りである。

① メッシュ素線の表面劣化状態

使用後のメッシュ素線についても、新品メッシュ素線と同様「しわ」が顕著に見られることから素線は腐食をほとんど受けてないと考える(写真4.2.3-1, 4.2.3-2)。

使用後のメッシュ素線に付着していた不定形物はNa等であった。これは脱塩水洗浄で取除けきれなかったものと考えられる(写真4.2.3-3参照)。

② メッシュ素線の減肉程度ならびに断面組織

断面の組織観察、断面写真、表面写真からは、異常は認められなかった。(写真4.2.3-4, 4.2.3-5参照)。

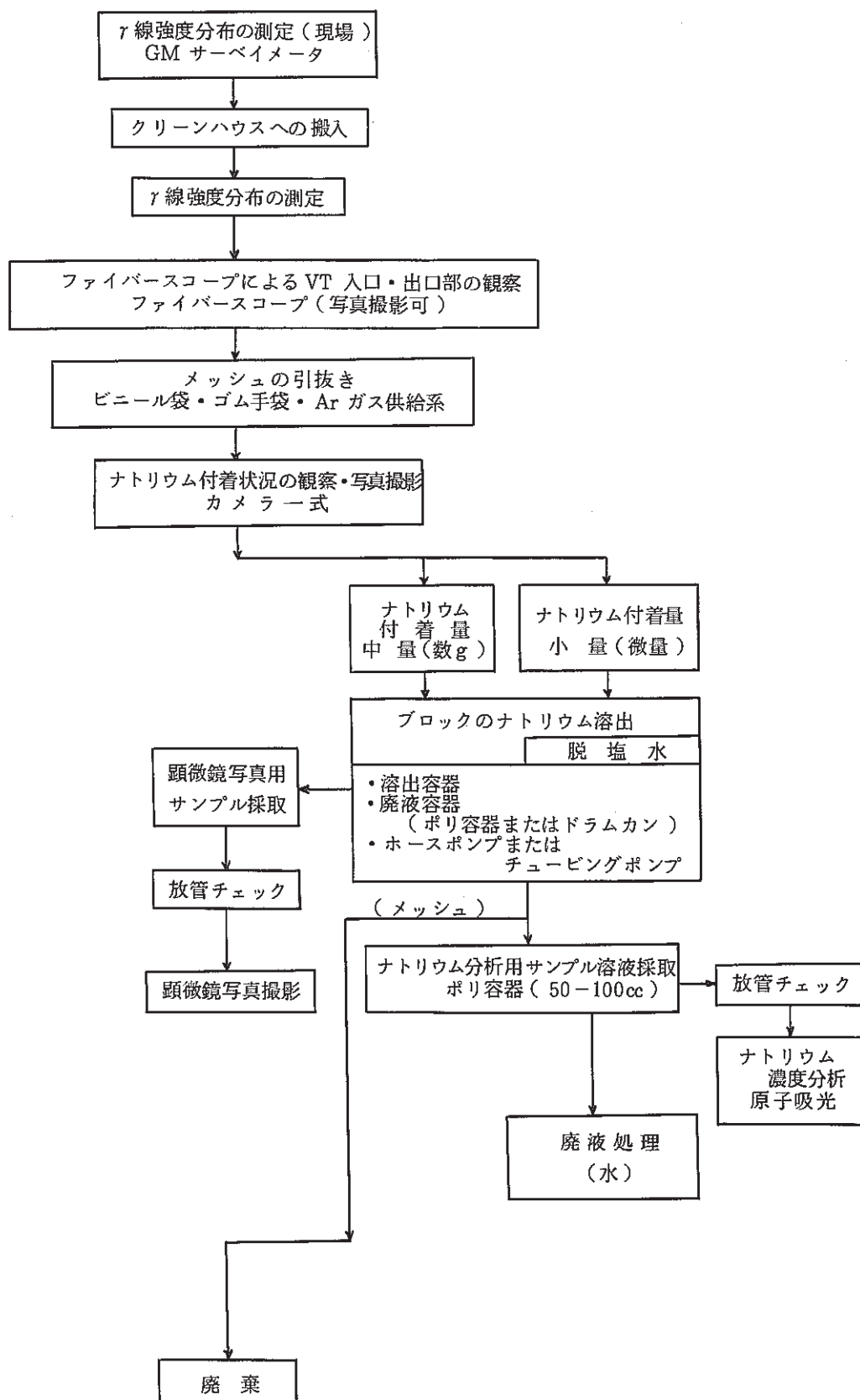


図 4.2.3 - 1 ベーパトラップ付着ナトリウム調査手順

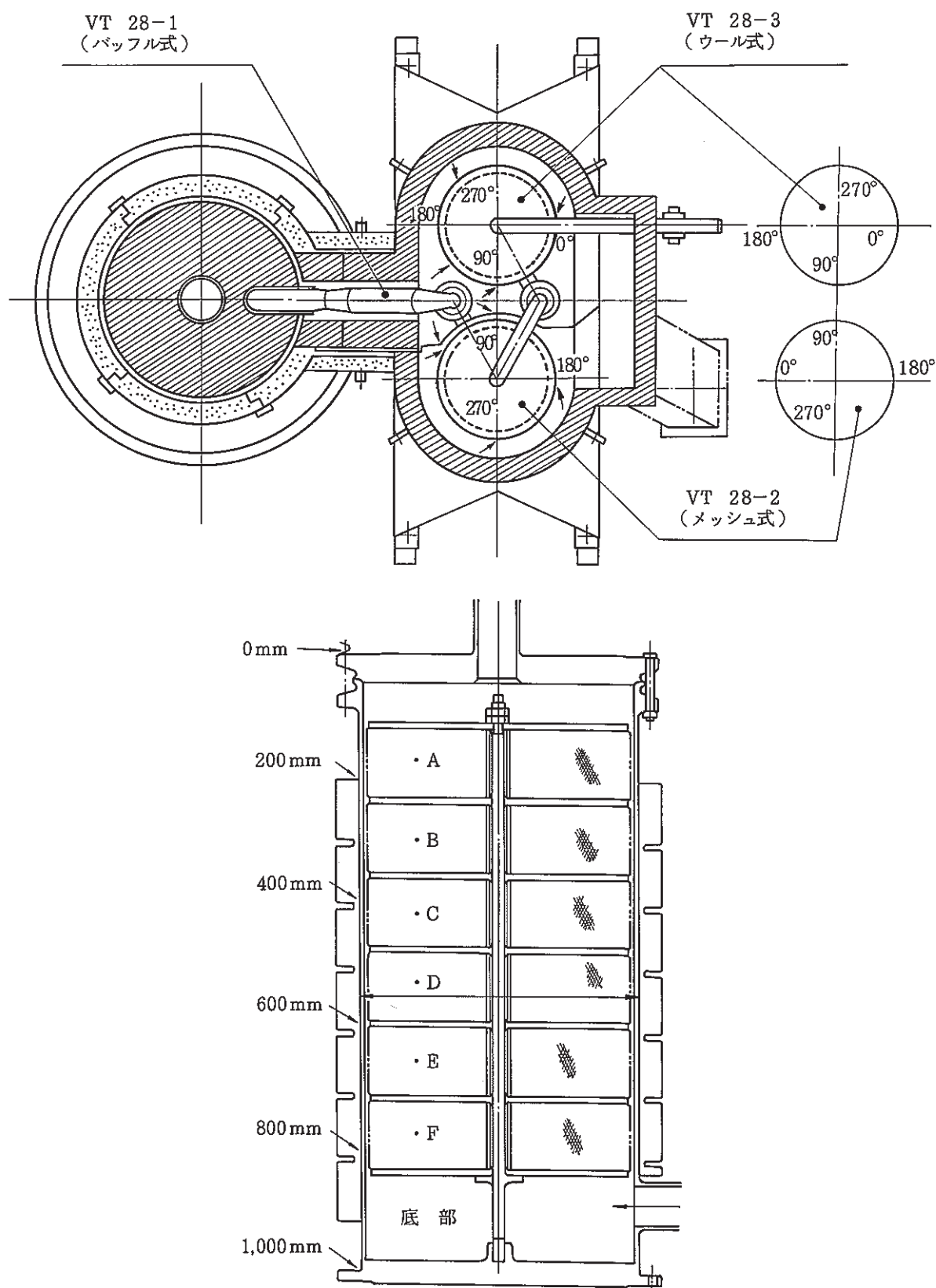
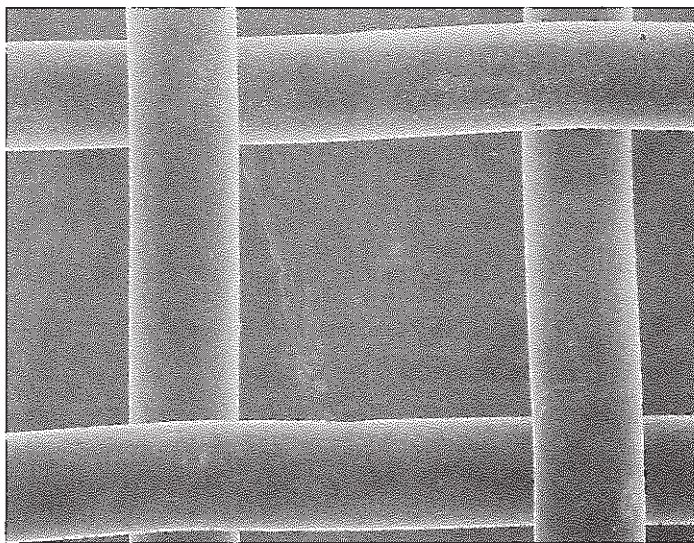


図 4.2.3-2 燃料取扱用キャスクカーのベリパトラップ配置図

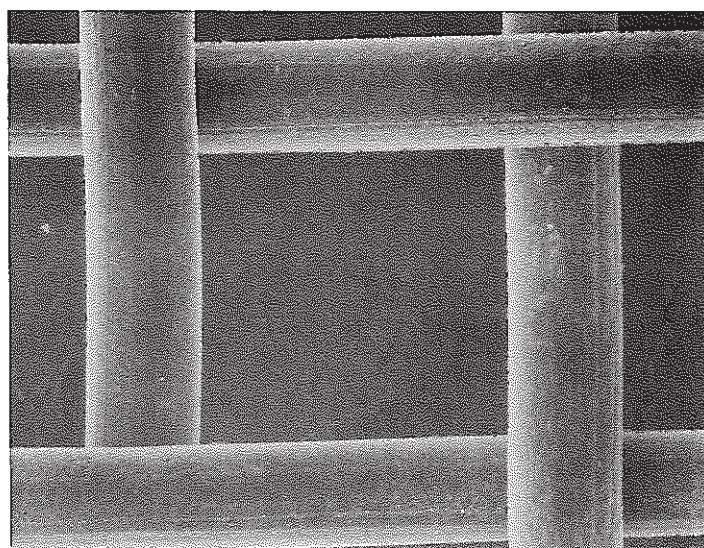


100 μm

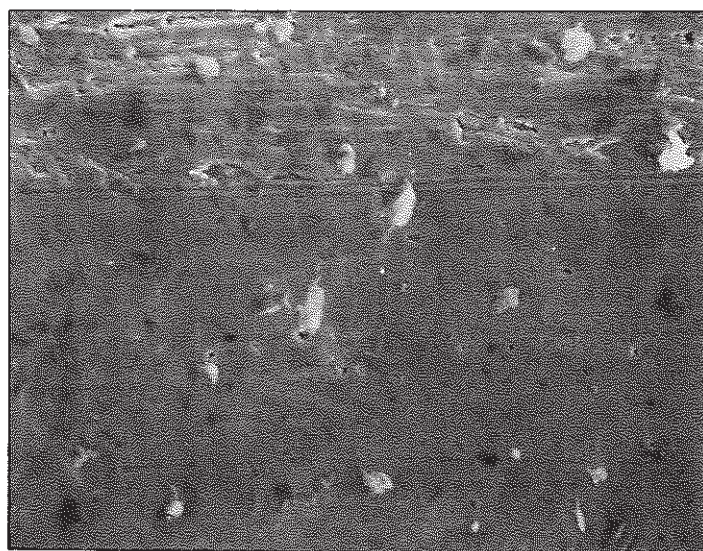


10 μm

写真 4.2.3 - 1 メッシュ素線表面のSEM観察 (T.P.No: 20 MAR)

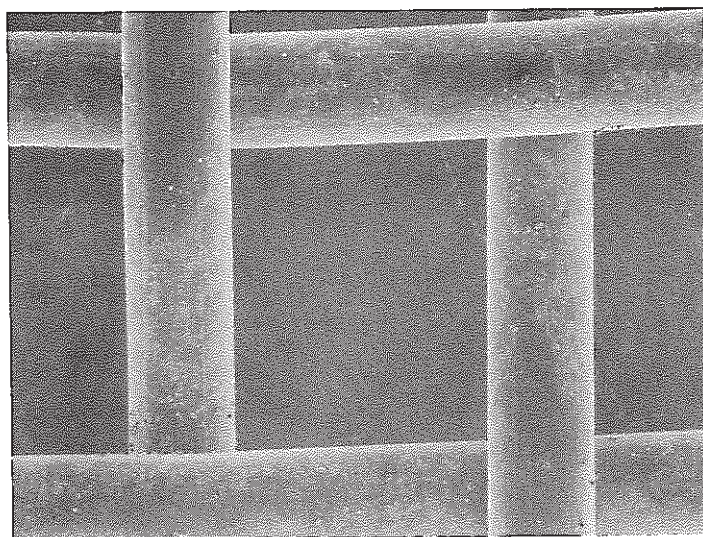


100 μm

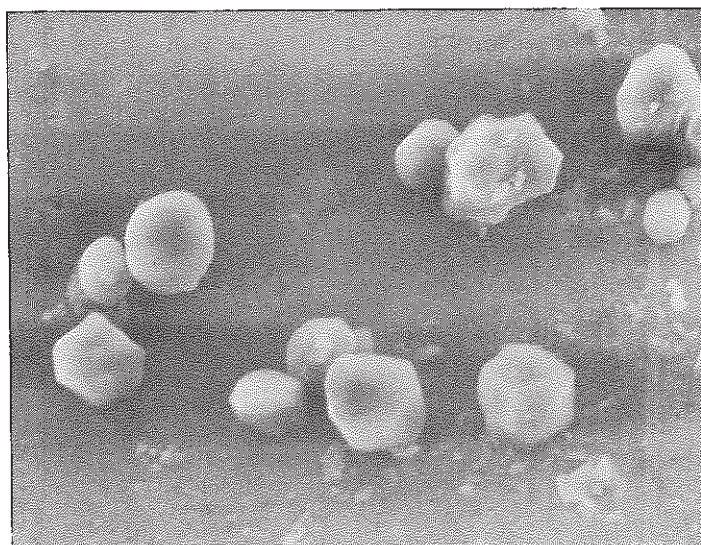


10 μm

写真 4.2.3 - 2 使用後メッシュ素線表面のSEM観察 (T.P.No:メッシュB20M)



100 μm



10 μm

写真 4.2.3 - 3 使用後メッシュ素線表面のSEM観察 (T.P.No:メッシュ E20M)

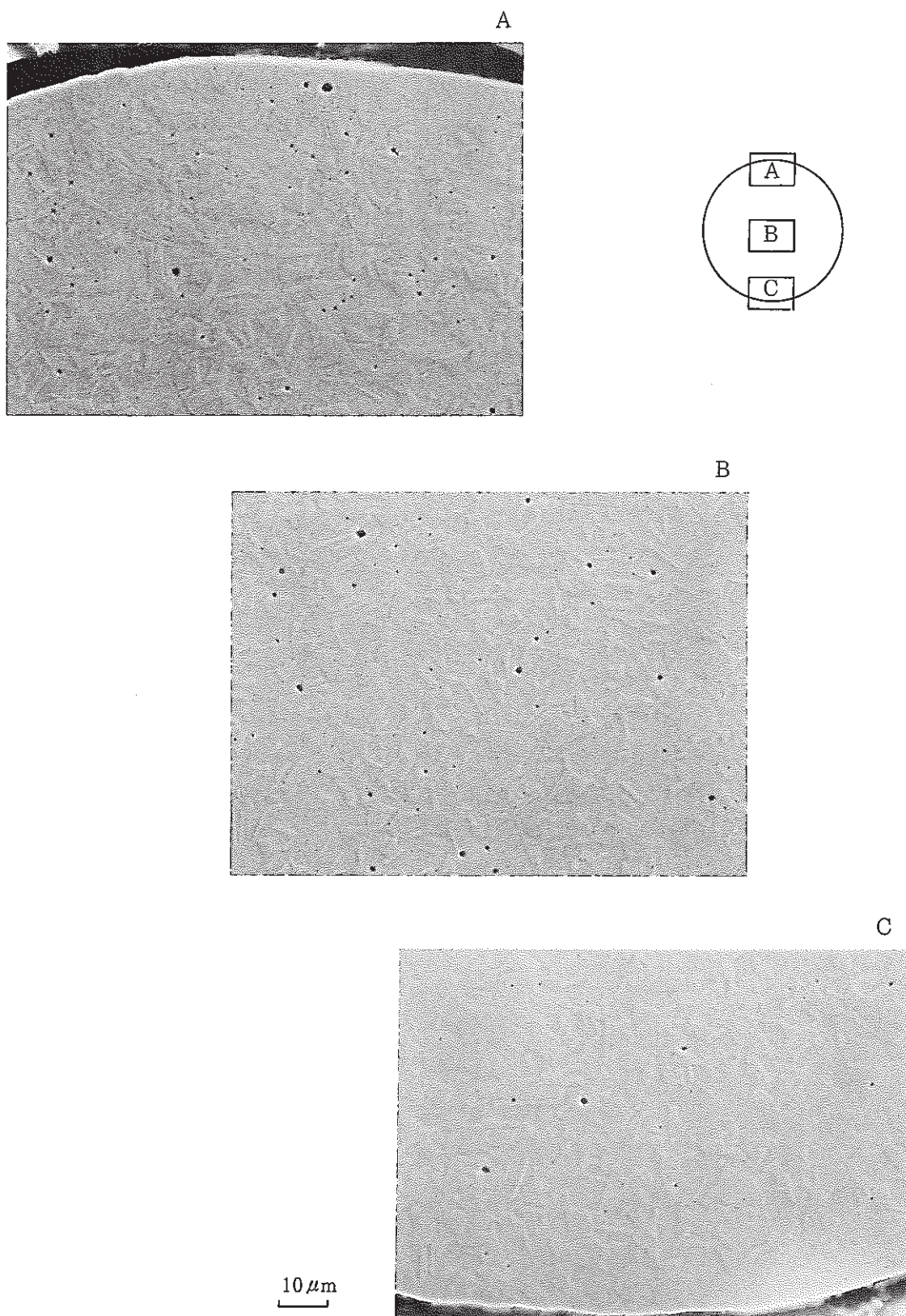


写真 4.2.3 - 4 使用前メッシュ素線断面のSEM観察 (T.P.No : 20 MAR)

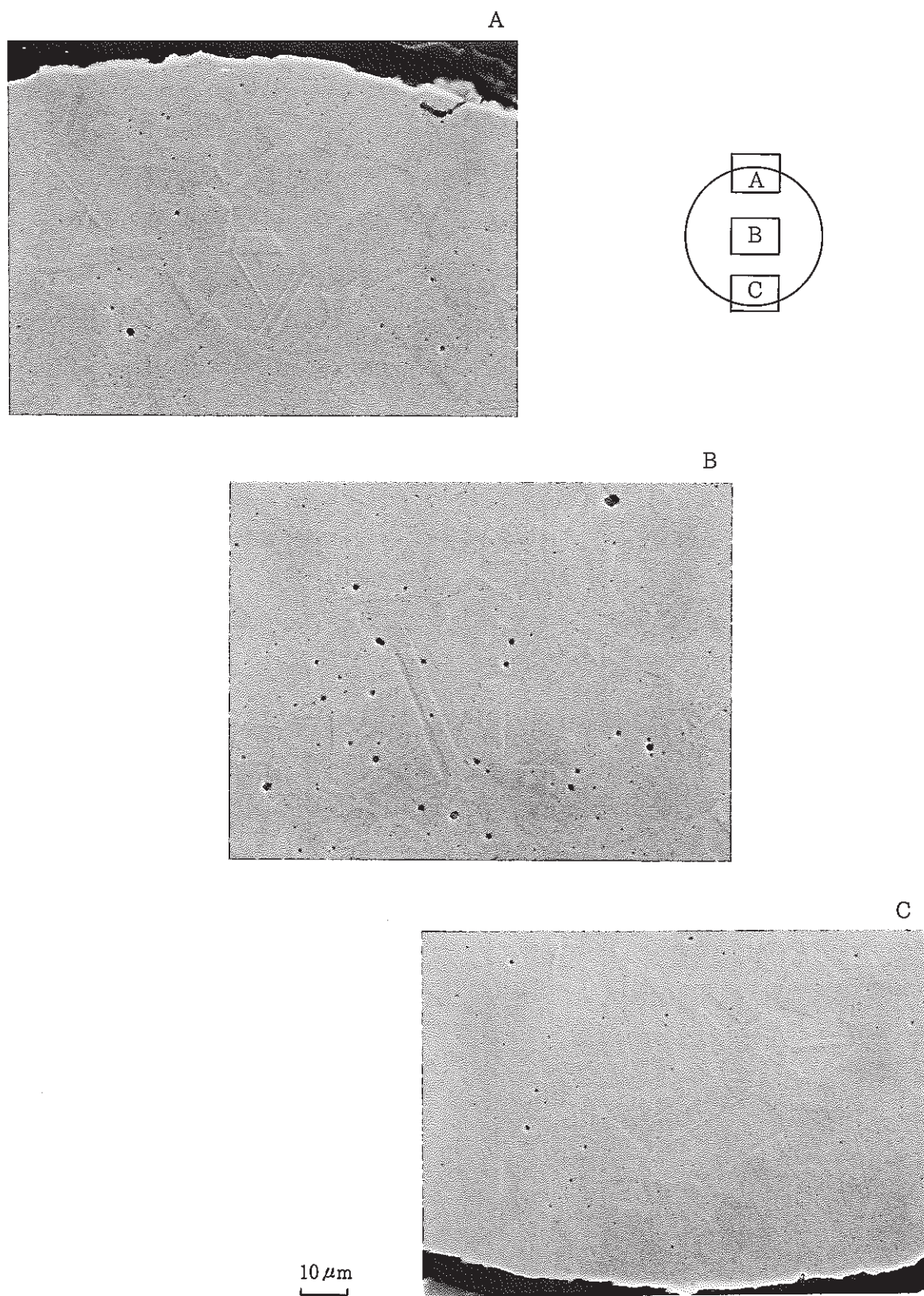


写真 4.2.3 - 5 使用後メッシュ素線断面のSEM観察 (T.P.No:メッシュ B20 M)

4.2.4 交換機グリッパ交換及び改造

昭和 59 年 10 月及び昭和 60 年 1 月～2 月の燃料交換作業に於いて、制御棒装荷異常が発生した（詳細 4.1.3－2 参照）。

この対策として回転プラグを設定位置より 21.84 mm 偏心（許容偏心量 16 mm）させて装荷した。

昭和 60 年 3 月、制御棒装荷異常の原因調査を行うと共に許容偏心量を越えて装荷したことによるグリッパ軸の曲がりの有無を調査する目的で分解点検を実施した。

分解点検内容は次の通りである。

- グリッパ先端部及び軸封ハウジング交換
- グリッパ軸曲がり調査
- 装荷異常調査及び対策

1) 分解点検の結果

燃料交換機グリッパ各部分の外観検査を行ったところ特に異常は認められなかった。

許容偏心量を越えて制御棒装荷操作を行った為、グリッパ主要部（ベローズ・爪操作軸等）に悪影響をあたえた可能性があるとして判断し、昭和 55 年 4 月に製作した予備グリッパと交換した。なお、このグリッパはナトリウムドレン性向上のため、ドレン穴を 20 mm から 25 mm に変更したものである。又、軸封ハウジング部も昭和 59 年 10 月に製作した予備品と交換した。

制御棒装荷異常の原因究明観点から、さらに以下の調査を行った。

i) グリッパ軸曲がり調査

グリッパ軸曲がりが生じた可能性があるため、曲り調査を行った。その結果、グリッパ軸の曲がりには認められず健全であった。

ii) グリッパ吊試験

グリッパ爪の部分調べたところ爪 3 本のうち 2 本に制御棒のハンドリングヘッドがのった様な打痕が認められた。その結果をもとにグリッパとハンドリングヘッドを用いて、吊試験を行ない、グリッパ爪開ストロークが不足した場合は制御棒にかぎって片吊りを生じる可能性があることが判った。又、旧グリッパで片吊したと思われる爪の方向と、燃料交換に於いて偏心させた方向とが一致したため、装荷異常の原因はグリッパ爪不足に起因した片吊りにより、制御棒が傾き、廻りの燃料頂部若しくは制御棒下部案内管の上ののったものと推定した。

2) 対 策

以上の調査検討の結果、爪開不足の場合でも制御棒の片吊りが生じない様に、この補修期間にグリッパ爪先端に「R」加工を施こした（図 4.1.3 - 2 参照）。

4.2.5 キャスクカーグリッパ交換

第 5 回定検時におけるキャスクカーグリッパ分解点検作業中、ドアバルブ「開」動作時に弁体とグリッパが干渉し、グリッパの先端部が損傷した。

損傷原因としては、メンテナンスモードにおいてグリッパをドリップパン停止位置まで手動下降した。その際、補助盤等の電源を「OFF」としておいたことにより、正確なストロークが確認できなかったため、ドリップパン停止位置よりも下降しすぎたことによるものである。

グリッパの損傷状態を調査した結果、導入内筒、グリッパ爪、爪止めピン、爪開閉ロッドにキズ・変形等がみられたため上記部品を新規部品と交換した。

新規部品と交換後のグリッパ動作は良好である。今後、同様な事態の再発防止をはかるため、メンテナンスモード時においても「グリッパ上限位置以外は、ドアバルブの開閉不可」のインターロックを設置する必要がある。

4.2.6 燃料出入機のドアバルブ分解点検

1) 概 要

燃料出入機のドアバルブの分解点検は、2 回の定検に 1 回の程度で計画しており、第 5 回では漏洩検査のみの予定であった。

昭和 60 年 10 月 16 日に漏洩検査を行ったところ、弁体シール部に 3 Acc/sec という著しい漏れが認められたため、10 月 18 日～23 日に緊急補修を実施した。

その後 10 月 30 日から 11 月 17 日に燃料交換作業を行ない、11 月 25 日に確認のため漏洩検査を実施したところ、2 Acc/sec とシール性が著しく低下していた。

以上より、漏洩原因究明及び漏洩補修のため、再度分解点検を 12 月 16 日から 20 日に実施した。

2) 漏洩経緯と分解点検結果

表 4.2.6 - 1 に一連の分解点検結果を示す、漏洩量は以下の通りである。

前回点検時	6 回の 燃 交	第 5 回定検	分解点検	1 回の燃交 (D/PよりNa) (あふれる)	漏洩検査	分解点検
S 59. 2. 28		S 60. 10. 16	S 60. 10. 22		S 60. 11. 25	S 60. 12. 20
7.9×10^{-5} Acc/sec		3.0 Acc/sec	4.8×10^{-5} Acc/sec		2.2 Acc/sec	6.2×10^{-6} Acc/sec

3) 漏洩原因

昭和 60 年 10 月及び 12 月のドアバルブの分解点検結果から、漏洩の原因はドアバルブのシール面若しくは O リングに付着したナトリウムによるものである事が判明した。

ナトリウム付着原因は、次の点が考えられる。

- 燃料出入機でポットを吊上げた時ポットから滴下したナトリウムが下側フランジ部に付着する。
- ドアバルブに設置しているドリップパンに規定量以上に堆積した（ドリップパン上面より Na がでている状態）ナトリウムがドアバルブ開閉により削られて、シール面に落下し、付着する。（図 4.2.6 - 3.5 参照）

11 月の漏洩原因については、ドリップパンからナトリウムがあふれていたこと、又、シール面に付着していたナトリウム状態から考えて、ドリップパンからの落下 Na によるものと推定される。

4) 今後の対応

今後はドリップパンにナトリウムがあふれない様な燃料交換工程（ドリップパン交換時期）を策定するとともに、ポット取扱い時のナトリウム滴下位置を「グリッパ上限」からドアバルブより下の位置に変更して、ドアバルブシール面への Na 付着を低減させる必要がある。

表 4.2.6 - 1 燃料出入機ドアバルブ分解点検結果

点 検 箇 所	60 年 10 月点検結果	60 年 12 月点検結果	図 及 び 写 真 No.	
			60 年 10 月	60 年 12 月
ケ ー シ ン グ	ケーシング内の付着 Na は、全体をみると通常点検時より少ない方であった。	ケーシング内面にはほとんど Na 付着はみられなかった。		
下 側 フ ラ ン ジ	全面に約 0.1 mm 程度の厚みで酸化 Na が付着していた。又、Oリングの接地した跡がみられた。	270°側に多く Na が付着していた。又 180°側にシールフランジに付着していた Na と同じ様なものが付着していた。	図 4.2.6 - 2 写真 4.2.6 - 1 ~ 2	図 4.2.6 - 4 写真 4.2.6 - 4 ~ 5
シールフランジ (O リ ン グ)	270°側の外側 O リング溝に約 80 mm の長さで O リングを押しつけて Na (純生) が入り込んでいた。この部分の O リング表面は若干ザラザラしていたが拭いたところほとんど元の面に戻った。(O リング交換)	180°側内側 O リング部に O リング面を覆うほどの Na が付着していた。この Na は固体の Na をおしつぶした様なものであった。270°側にも前回同様 Na が付着していた。(O リング交換)	写真 4.2.6 - 3	写真 4.2.6 - 6
弁箱, その他	異常なし	異常なし		

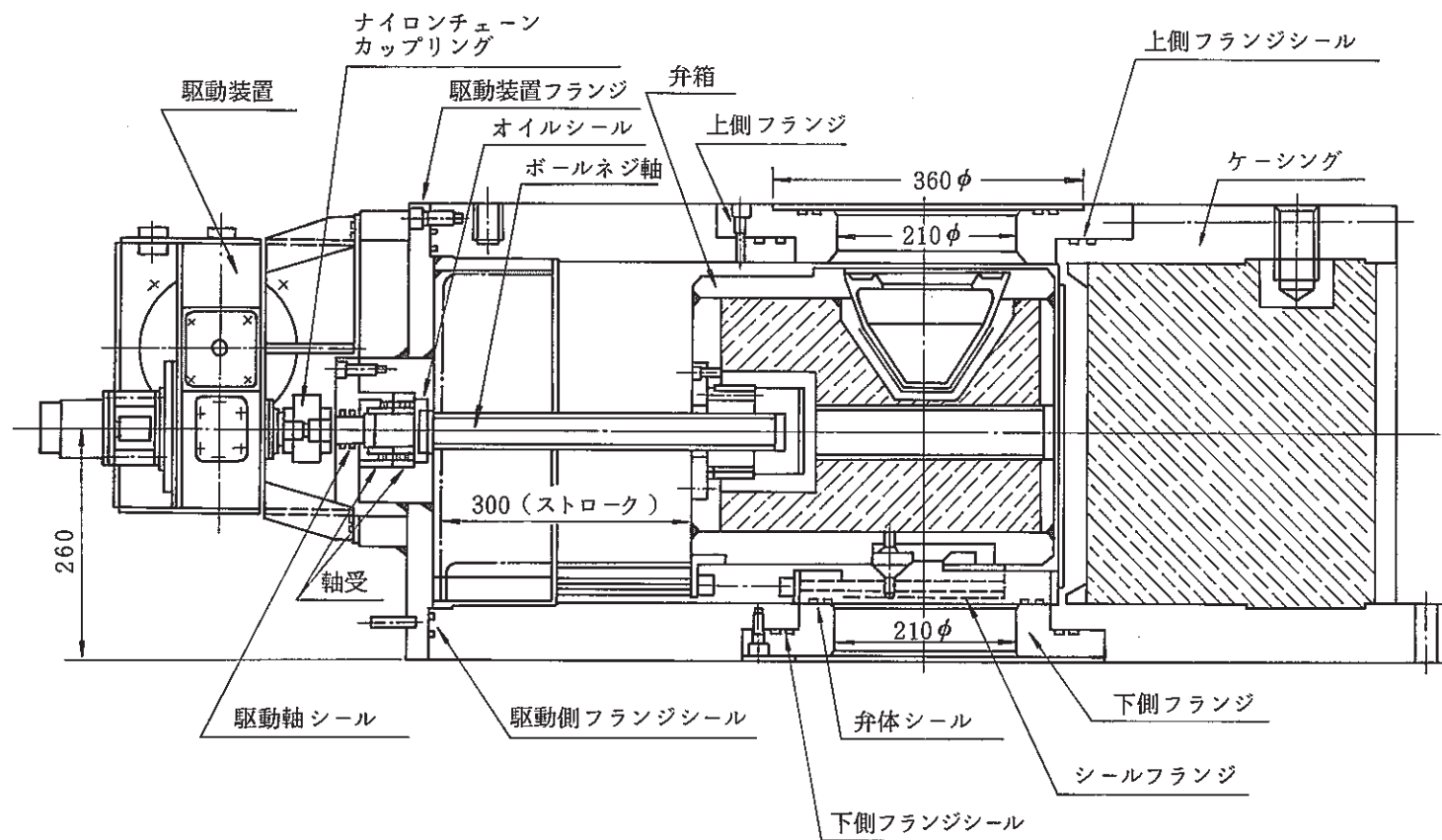
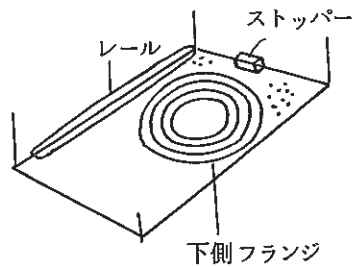


図 4.2.6-1 燃料出入機ドアバルブ概略図

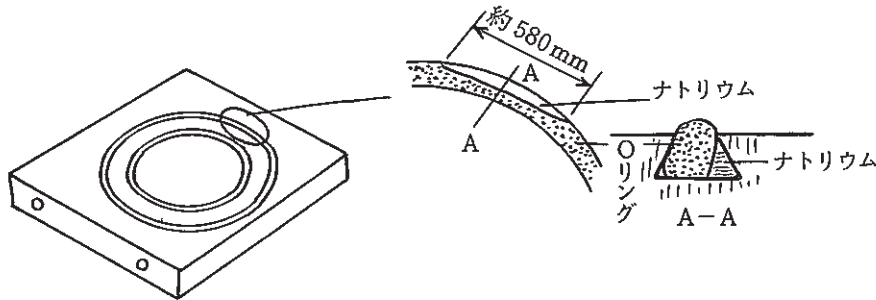
弁体シール洩れの原因と思われるナトリウム付着状況

1. ケーシング内下側フランジ上面



○ケーシング内の付着は、全体をみると少ない為であるが下側フランジ上面は全面に約 0.1 mm 程度の厚みで酸化ナトリウムが付着していた。
(Oリングは接触していたあとがみられた。)

2. シールフランジ

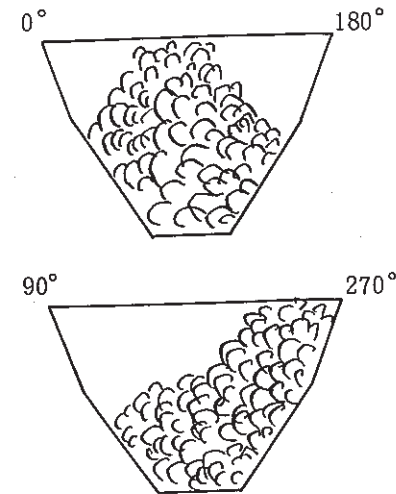


シールフランジ前部外側Oリング溝に約 80mm の長さでOリングを押し のけてナトリウム(純生)が入り込んでいた。この部分のOリング表面は、若干ザラザラしてたが、拭いたらほとんど元の面になった。

∴ 弁体の洩れの原因として、下側フランジに多量に付着していたナトリウムが起因していると思われる。

図 4.2.6 - 2 燃料出入機ドアバルブ分解点検結果
(昭和 60 年 10 月)

溜り状況



溜り状況は、ある程度までは中央が山状になり堆積していたがそれからは下に流れずどんどん上に積もる状態でドアバルブ開閉時にけずったと思われる後があった。

注) (11/7 ~ 11/17 中にセットしていたもの)

図 4.2.6 - 3 ドリップパンのナトリウム堆積状況

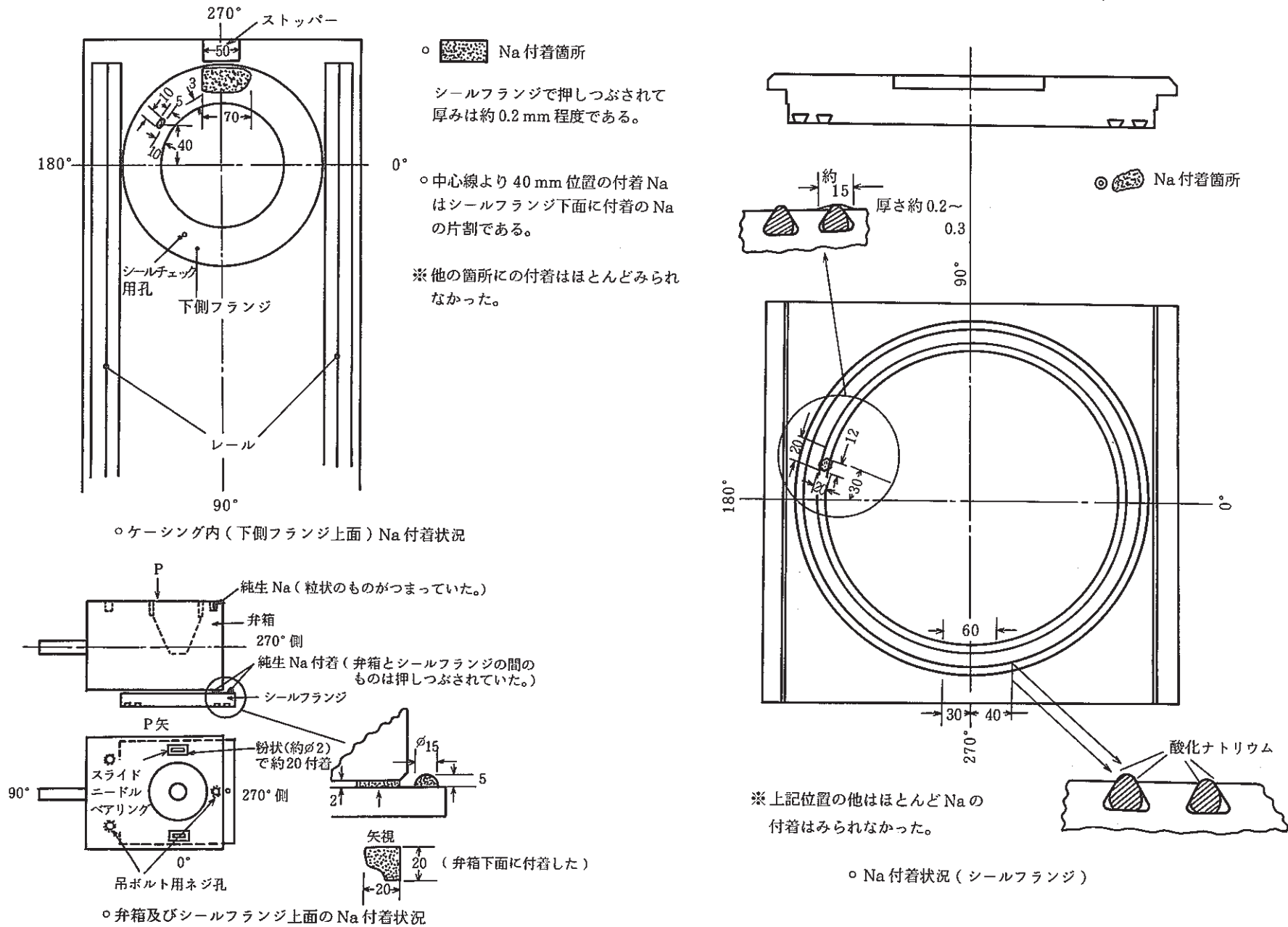
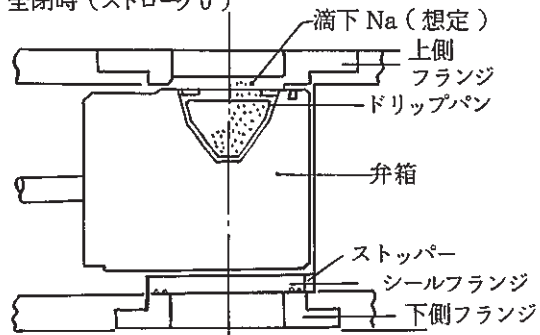


図 4.2.6 - 4 燃料出入機ドアバルブ点検結果（昭和 60 年 12 月）

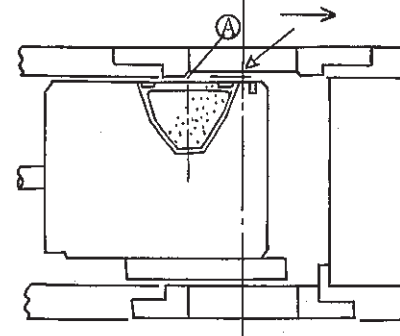
① 全閉時 (ストローク 0)



◦ ドリップパンに Na 滴下が多くあふれた想定図である

※この状態では下側フランジ上面には Na がおちにくい。

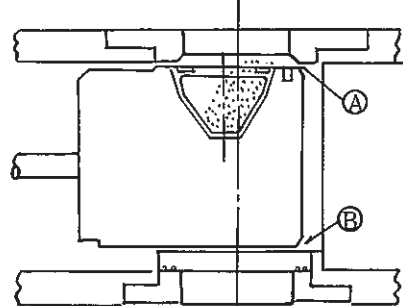
④ ストローク 105mm



◦ ストローク 105mm からドリップパンよりあふれた Na は上側フランジ内径下面(A)部で削られ出す。

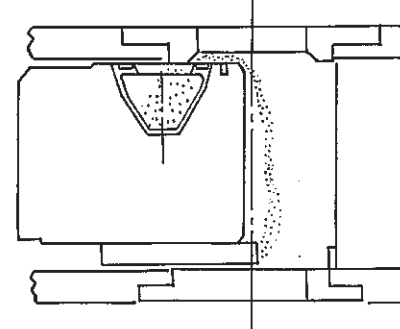
◦ あふれた Na は→の方向に移動する。

② ストローク 30mm



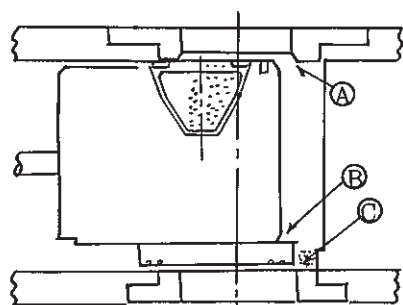
◦ ストローク 30 mm の時, 上側フランジ下面と弁箱上面にスキマが出来はじめ(A部)シールフランジ上面におちる可能性がある。

⑤ ストローク 130mm



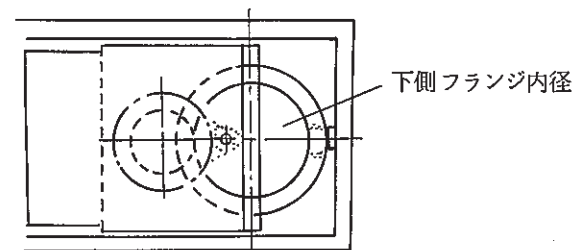
◦ ストローク 130mm の時はあふれた Na は下におちると想定出来る
大部分の Na は下側フランジ内径よりおちるが一部はシールフランジ上面におちる。⑥図参照

③ ストローク 70mm



◦ ストローク 70mm の時, (A)部にスキマが完全に開き下側フランジ上面 270° 側におちて(C)部に付着しやすい。

⑥ ストローク 130mm の上からの位置関係



◦ 出入機D/V ストロークの位置関係図 (上側フランジ: 弁箱 (ドリップパン): シールフランジ: 下側フランジ)

図 4.2.6 - 5 ドリップパンからシール面へのナトリウム滴下状況