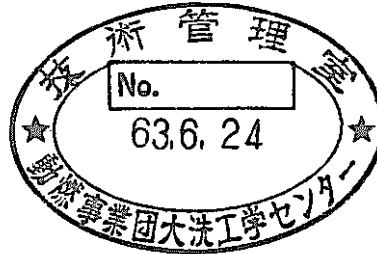


動力炉・核燃料開発事業団殿向

「常陽」回転プラグ稼働率向上の検討



| 技術資料コード                             |               |
|-------------------------------------|---------------|
| 開示区分                                | レポート No.      |
| T                                   | TJ9216 88-005 |
| この資料は 図書室保存資料です<br>閲覧には技術資料閲覧票が必要です |               |
| 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室           |               |

1988年3月

三菱重工業株式会社

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)

1988年 3月

「常陽」回転プラグ稼働率向上の検討

下 村 知 義\*  
永 岡 悦 雄\*  
田 中 伸 夫\*

要 旨

高速実験炉「常陽」の回転プラグの稼働率向上に関する検討を行なった。

本検討は、「常陽」が照射ベッドとして効率的に運用されることを目的とした検討の一環をなすもので(1)燃料取扱工程の短縮及び(2)工程遅延に至る不具合事象発生の抑制を図るために実施した。

本検討により、以下の成果を得た。

- (i) 回転プラグジャッキアップ、ジャッキダウン作業に要する時間及びこれに伴う不具合事象を回避する案としてのジャッキアップ保持状態で原子炉運転を行なうことに対する問題点と対策方法の概要を明らかにした。
- (ii) Na蒸着及びNa堆積によるジャッキダウン不調の対策として強制ジャッキダウンを実施するための方策につき概念を明らかにした。
- (iii) 蒸着Naを回収するための新方案、改修方法、装置の概念を検討した。
- (iv) 回転プラグ稼働率向上のため回転高速化の方法、程度を検討し、約5倍の高速化までは見通しがあることを明らかにした。
- (v) 回転プラグの交換の方法及び新回転プラグに対する概念を明らかにした。

---

本報告書は、三菱重工業㈱が動力炉・核燃料開発事業団との契約に基づき実施した設計検討をとりまとめたものである。

\* 三菱重工業㈱神戸造船所新型炉設計部

# 目 次

|                                | 頁   |
|--------------------------------|-----|
| 要 旨 .....                      | (i) |
| 第1章 検 討 項 目 .....              | 1   |
| 第2章 検 討 内 容 .....              | 3   |
| I. 現有設備の改良, 機能追加 .....         | 3   |
| I-1 ジャッキアップ保持運転の検討 .....       | 3   |
| I-2 強制ジャッキダウンの検討 .....         | 18  |
| I-3 Na蒸着防止ブローダウンの検討 .....      | 22  |
| I-4 蒸着Na回収の検討 .....            | 27  |
| I-5 回転高速化の検討 .....             | 33  |
| II. 回転プラグの交換, 新規設計・製作の検討 ..... | 40  |
| II-1 回転プラグ交換の検討 .....          | 40  |
| II-2 回転プラグ新規設計・製作の検討 .....     | 46  |

## 第1章 検 討 項 目

### 1. 概 要

本報告書は、高速実験炉「常陽」の回転プラグの稼働率向上に関する設計検討を取りまとめたものである。

### 2. 目 的

本検討は、「常陽」の照射ベッドとしての効率的運用の検討の一環として、(1)燃料取扱工程の短縮を図ること及び(2)工程遅延に至る不具合事象発生を抑制を図ることを目的として実施する。不具合発生を抑制については、現設備に認められる、不具合事象の徴候等に対する恒久的な対策及び今後発生する可能性が想定される事象に対処する方法について検討を行なう。

### 3. 検 討 項 目

#### (1) ジャッキアップ保持運転の検討

- ① ジャッキアップ保持運転
- ② 振れ防止
- ③ 油圧持上機構の機械的保持方法

#### (2) 強制ジャッキダウンの検討

- ① ジャッキダウン機構

#### (3) Na蒸着防止ブローダウンの検討

- ① Arガスブローダウン方法
- ② ガスカーテン方法

#### (4) 蒸着Na回収の検討

- ① Na回収孔新設方案
- ② 横穴利用Na回収装置

#### (5) 回転高速化の検討

- ① 現状の負荷状況と設計上の裕度
- ② 始動、停止時の動的負荷の増大に対する検討

- ③ 搭載機器に対する影響の検討
- ④ 動的影響を軽減するための速度制御方式の検討
- (6) 回転プラグの交換，新規設計・製作の検討
  - ① 現有回転プラグの撤去方案
  - ② 新規回転プラグの据付方案
  - ③ 回転プラグ新規設計・製作の検討

## 第2章 検討内容

### I. 現有設備の改良，機能追加

#### I-1 ジャッキアップ保持運転の検討

回転プラグ支持フランジ部へのNa蒸着及び燃料取扱時の回転プラグ旋回による支持フランジ部へのNa堆積等で回転プラグがジャッキダウン不調に至る場合が多く、この時の対策としては、プラグ停止角度を任意に変えて、ジャッキアップ・ダウンを繰返し操作の後、基準位置（大180°，小0°）へ戻してジャッキダウンしているのが実状である。

従って、本検討では、ジャッキアップ・ダウン繰返操作に伴う燃料取扱工程の遅延と言った事態を回避し、燃料取扱設備の稼働率向上を図るために、回転プラグをジャッキアップ保持した状態で通常運転を行なう構想についての問題点を抽出し、その対策等技術的な成立性についてまとめるものとする。

##### 1.1 ジャッキアップ保持運転

回転プラグをジャッキアップ保持した状態で通常運転を行なう場合には、大回転プラグ組棒と支持フランジ（及び小回転プラグ組棒）間に隙間が約20mm生じるため、回転プラグ1次側室へのNaベーパー・ミスト蒸着量増加、原子炉容器内からの放射線ストリーミング増加、炉心出口での流況変化、及び制御棒ラッチ機構部の長尺化等が考えられる。

##### (1) Naベーパー・ミスト上昇対策

ジャッキアップ保持に伴なって、回転プラグ1次側室が原子炉容器内カバーガス層と常時連通した状態となるため、アニュラス部での自然対流熱伝達（熱サイフォン）管の冷却部長さが図-1の如く伸び、この時の熱サイフォンによる伝熱量 $Q_2$ は下記の如く約20%増と考えられる。

$$\begin{aligned} \text{Nur} &= Q \cdot r / [\lambda (T_0 - T_1) A] \\ &= \frac{0.677 \phi^{1/4}}{2 [3/5 + (1/1')^{3/4}]} \left( 1 - \frac{1}{0.382 \phi^{1/4} - 2} \right)^{1/4} \end{aligned}$$

ここに、

$$\phi = \frac{16Pr \cdot (Li)r}{(Pr+20/21) [3/5 + (1/l')^{3/4}]}$$

$r$  : 熱サイフォン管の半径,  $\lambda$  : 流体の熱伝導率  
 $A$  : 熱サイフォン管の全受熱面積,  $Pr$  : プラント数,  
 $(Li)n$  : リチャードソン数  
 $l'_1=1.4m, l'_2=1.9m, l=0.7m$   
 $T_{1.1}=80^\circ C, T_{1.2}=60^\circ C$  (暫定)

$$Q_2 \approx \left[ \frac{3/5 + (1/l'_1)^{3/4}}{3/5 + (1/l'_2)^{3/4}} \right]^{5/4} \cdot \frac{(T_0 - T_{1.2})}{(T_0 - T_{1.1})} \cdot Q_1$$

$$\approx 1.2Q_1$$

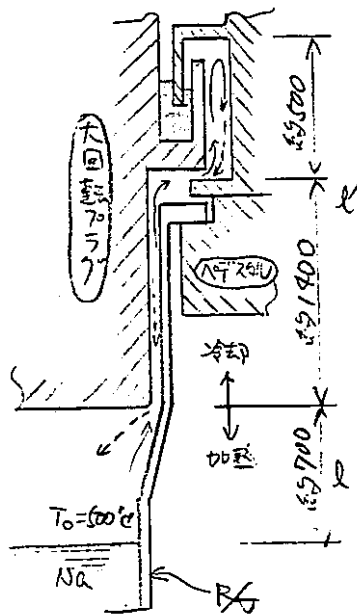


図-1

この伝熱量の増加に伴って、Naベーパー・ミストの移送量も比例増加すると想定すると、現状回転プラグ組棒インロー部へ蒸着しているNa量相当が回転プラグ1次側室内壁面へ蒸着するものと考えられる。



(a) ここに、Naベーパー・ミストの上昇を抑制する手段を講じない場合は、放射化したNaの蒸着、堆積によって、1次側室内の線量率が高くなるため、回転プラグ固定台、軸受部周辺へしゃへい体を追加する必要があると考えられる。

又、1次側室フリーズシールメタル上面へのNa蒸着・堆積量が増加することによって、フリーズシールメタル溶解時、凝固時のシール性に支障があるか否かについては、現状では明確にされていないため、別途R&D等で確認しておく必要がある。

(b) 熱サイフォンによる回転プラグ1次側室への熱移送に伴って、1次側室内の温度が現状約50℃（通常運転時）から約60～70℃へ上昇することが予測されるが、この温度はフリーズシールメタルの変態点（74℃）近傍となるため、初晶のBi相の局所晶出等が生じる可能性があり、凝固メタルの安定性及びシール性等の検討が必要である。

(c) 又、回転プラグ軸受固定台外壁には、フリーズシールメタル用のヒータ端子箱が取付けられており、回転プラグ1次側室内の昇温に伴って、常時加熱された状態となるため、端子絶縁材及び貫通部コンパウンドシール材の材料劣化を助長することが考えられる。

(d) Naベーパー・ミストの上昇を抑制する機能を追加する場合については、“Na蒸着防止ブローダウン”の項で検討、記載するため、ここでは言及しないものとする。

## (2) 放射線ストリーミング対策

回転プラグをジャッキアップ保持した状態で通常運転を行なう場合には、大回転プラグ組棒と支持フランジ及び大回転プラグ組棒と小回転プラグ組棒に各々約20mmのギャップが生じるため、原子炉容器内カバーガス及びNaベーパーの上昇による線量増加が考えられる。また、燃料破損を想定した場合に生じるFPガスの上昇を考慮すると大きなものとなる。詳細の増加量については、別途解析の必要がある。

尚、想定される追加しゃへい体の取付位置を図-2に示す。

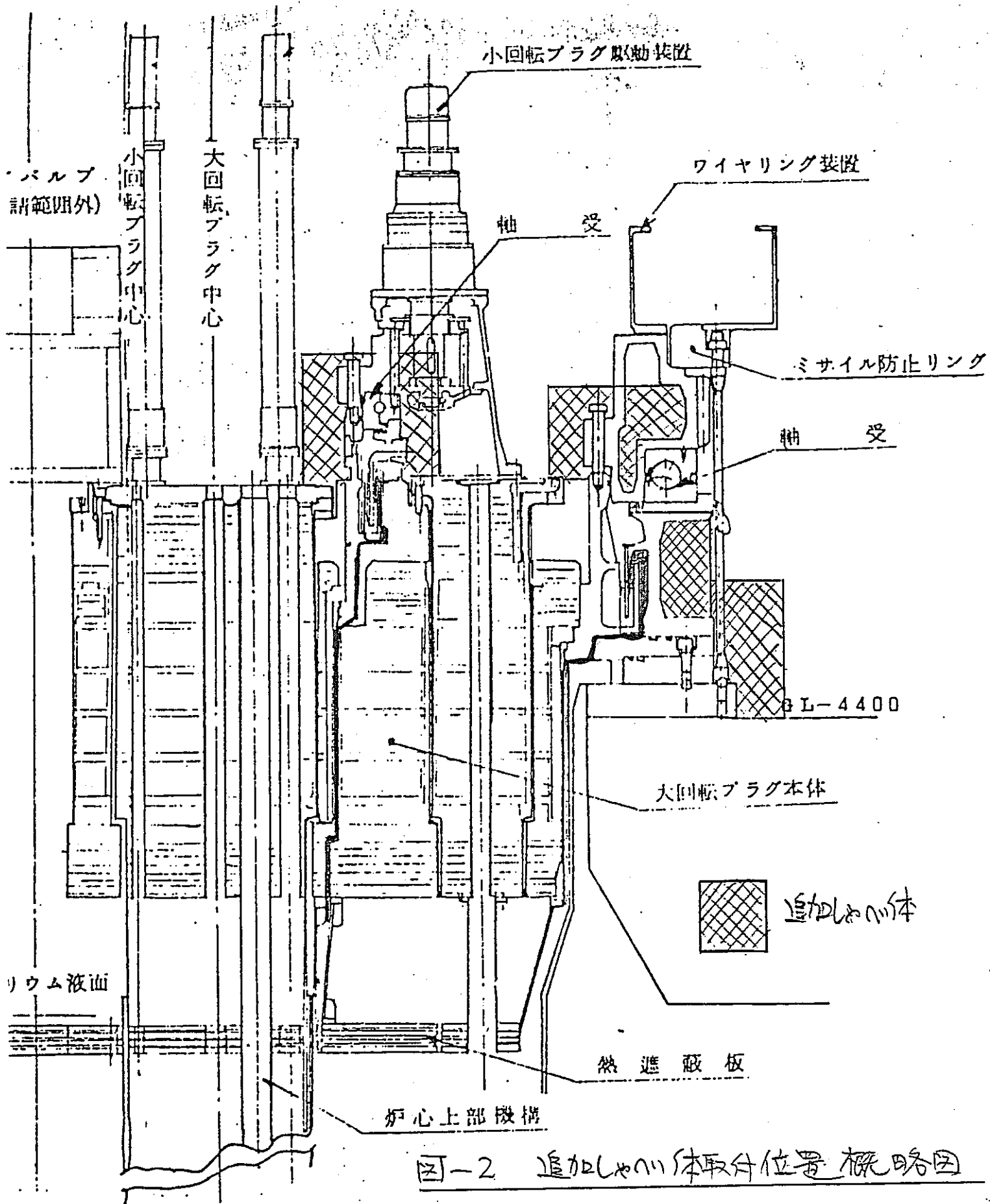


図-2 追加しゅう心体取付位置概略図

### (3) 制御棒ラッチ機構部

回転プラグをジャッキアップ保持した状態で運転する場合、UCSに支持されているCRDと炉心支持板に支持されているCRとが離れることになる。このためCRDで今までのCRをつかみ離しする操作が不可能になる。この対策としては、以下が考えられる。

- i) CRDの長尺化
- ii) CRの長尺化
- iii) CRD据付面レベルを下げる。
- iv) CR据付面レベルを上げる。

上記4項目の内、安全性（被曝等）、作業性の観点から長尺CR（図-3）と交換することが最良と考えられる。

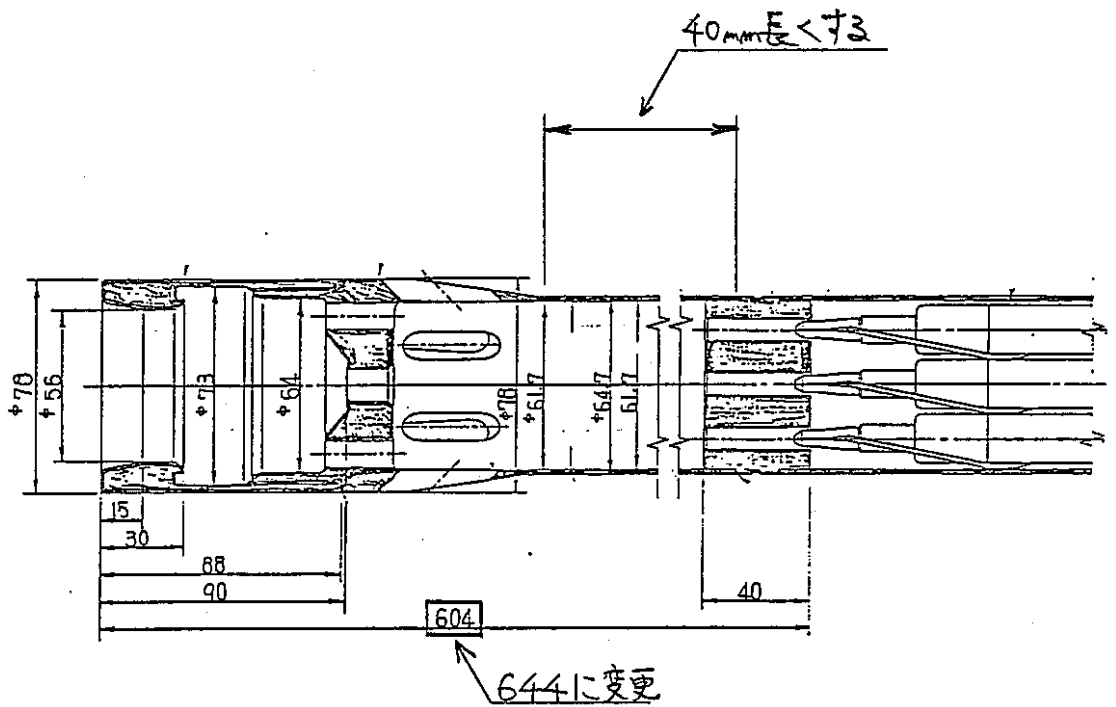


図-3 制御棒ハンドワングヘッド部の改造(等)

#### (4) 炉心出口流況

ジャッキアップ保持状態で運転を行なう場合は、大・小回転プラグストローク分で炉心上部機構整流格子の下端が約40mm上昇した状態となるため、燃料集合体頂部との隙間が約70mmとなる。又、炉心出口冷却材温度を監視する熱電対ウエル下端は、現状約55mmから約95mmへ隙間が広がる。

##### (a) 計測点への影響

燃料集合体出口口径Dに対し、計測点位置xとすると $x/D = \text{約} 95\text{mm} / 60\text{mm} \sim 1.6$ である。これは自由噴流に於ける初期領域 $x \leq (5 \sim 7)D$ の範囲にあり、ポテンシャルコア部 $U_x = U_0$ で一定値となるため、燃料集合体出口の中心軸上にある計測点は殆んど影響を受けないと考えられるが、炉心中心集合体部へ特設されている径方向温度分布用計測点（図-4参照）は、層流拡散層へ位置するものと予想され、この場合には周辺流体の巻込み、混合流体になる比率が変化する。

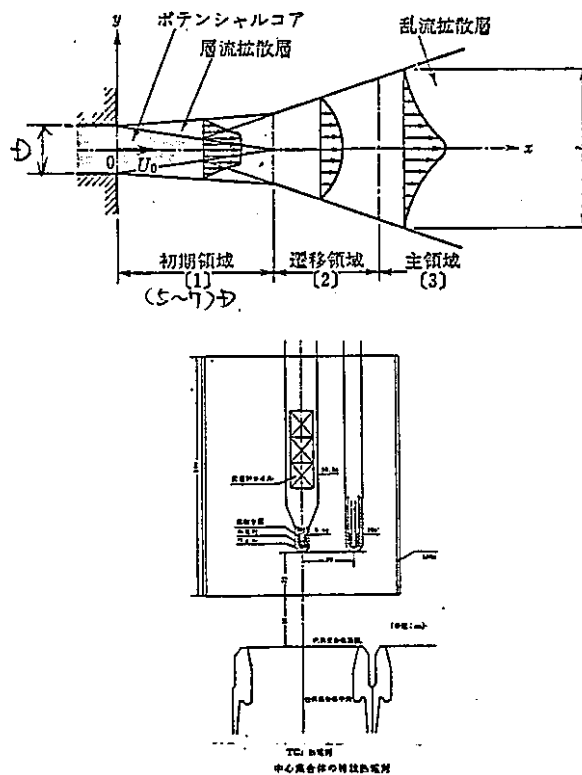


図-4

(b) 上部プレナム流況への影響

燃料集合体出口から炉心上部機構下部熱しゃへい板（コニカル部）までは、現状約350～390mmであり、自由噴流に於ける初期領域 $x \leq (5 \sim 7)D = 300 \sim 420$ mmの範囲内でコニカル部へ衝突しているが、ジャッキアップ保持状態では、約390～430mmと遷移領域との境界で衝突することになる。

従って、コニカル部への衝突速度が $U_x \propto 1/\sqrt{x}$ と $x$ の平方根に反比例し、炉心中心から径方向への流力が若干ではあるが弱まり、上部プレナムに於ける流況が現状に比べ原子炉容器軸方向上方へ移行するものと予想される。この上昇主流に伴って図-5の如く、上部プレナム下方外周部 (a) で上下旋回流が生じることも予測される。

このような現象が発生した場合は、上部プレナム内でのミキシングが適切に行なわれず、原子炉容器へ軸方向温度分布、又、周方向にも温度分布が生じて原子炉容器の健全性が懸念される。

以上(a)(b)項については、定性的な評価であるため、模型等製作の上、水流動試験装置にて確証試験を行なう必要がある。

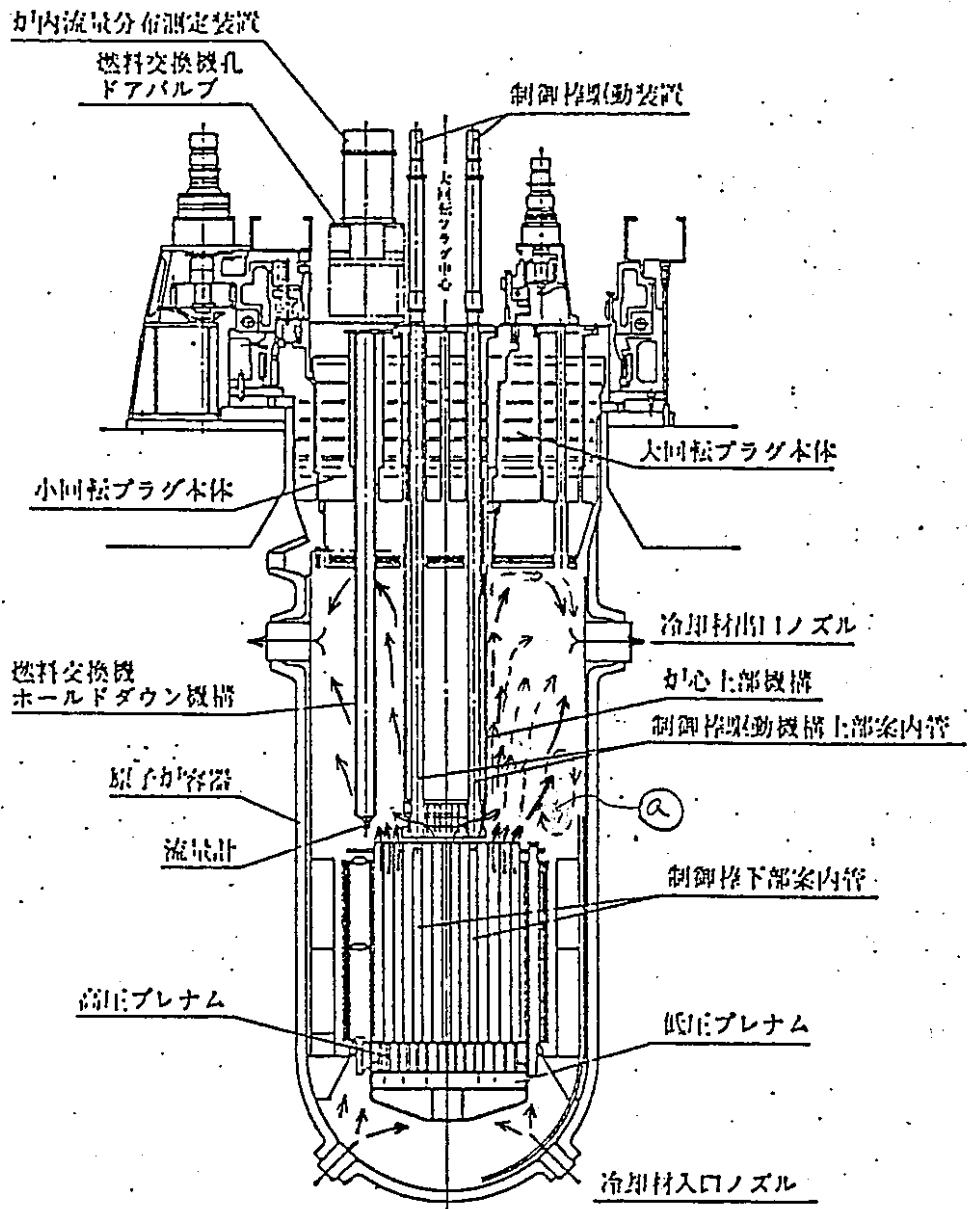


図-5 原子炉容器内流況パターン

← 現状  
 ←- 冷却材停止状態

## 1.2 振れ防止

回転プラグのジャッキアップ保持中に於いては、図-6-(b)に示される如く、回転プラグは、駆動フランジ下面に押し付けられ、駆動フランジ、軸受、及び軸受固定台を介して、支持フランジに支持されることになる。更に、支持フランジ耐震ストッパは外れた状態となって、回転プラグの支持剛性が全体的に低下する。

ジャッキアップ保持状態での炉運転を行なうには、

(1) 耐震性低下に対する補償対策

(2) 運転中の機械振動に対する防止対策

を検討し振れ防止構造を追加する必要がある。

(1) 耐震性低下に対する補償対策

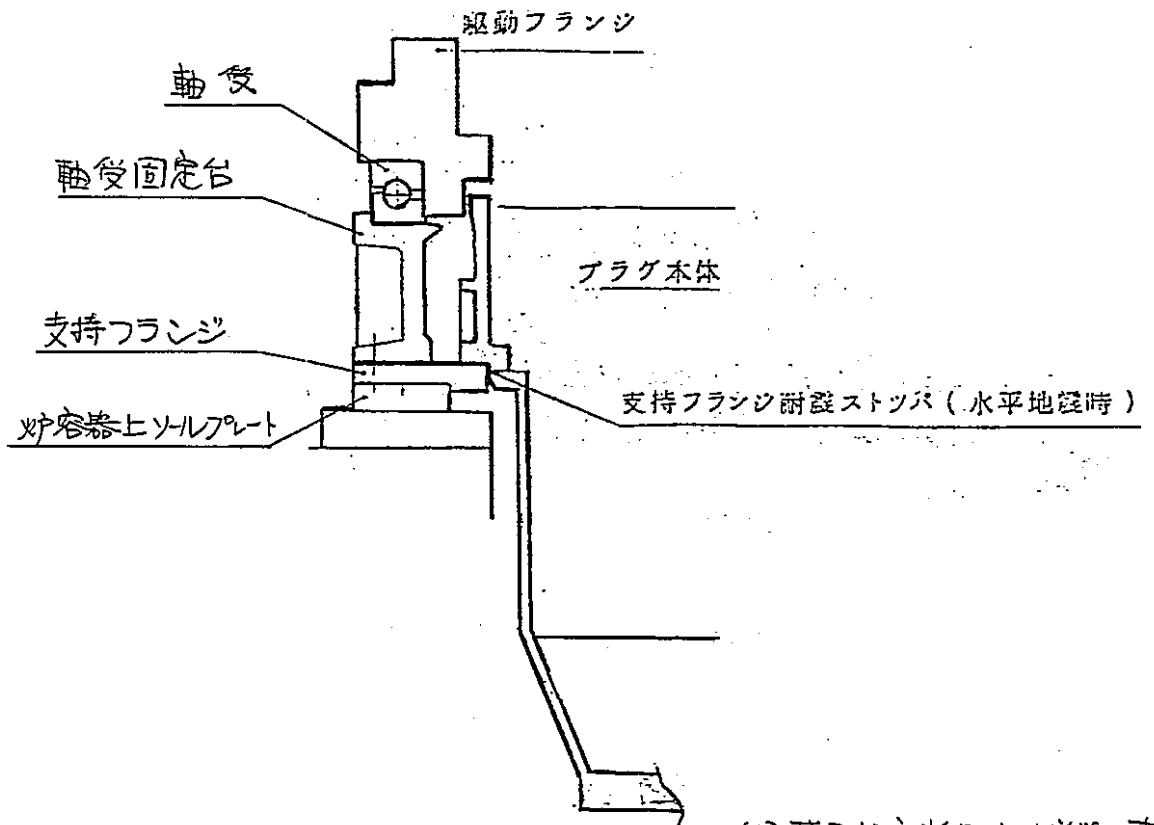
上述のように支持剛性が低下するが、現設計でも設計地震に対してはジャッキアップ保持状態でも耐震強度上問題ないことが示されている。(設工認申請書添付書類計算書)。詳細設計に於いても、地震時の水平方向荷重は、軸受レース、軸受固定台等それぞれ印ロウ構造で伝達され、それらのギャップも合計数mmにすぎないものとなっている。

又、軸受固定台や駆動フランジ部の剪断剛性は十分大なので、地震時水平(並進)変位は、僅かであることは容易に言えるが、地震時の転倒モーメントに対しては、ボールベアリングの弾性変形に基づく回転剛性の低下により、炉心上部機構下端の地震変位を増大させると予想されるので、地震時の制御棒挿入性に対する再評価が必要となる。多かれ少なかれ制御棒挿入性を低下させる傾向にあるので、ボールベアリング部の鉛直方向剛性を補強する必要がある。図-6-(b)に一例として、ベアリング外周にスペーサブロック(燃交時取外し容易な構造とする)を配置する対策を示す。

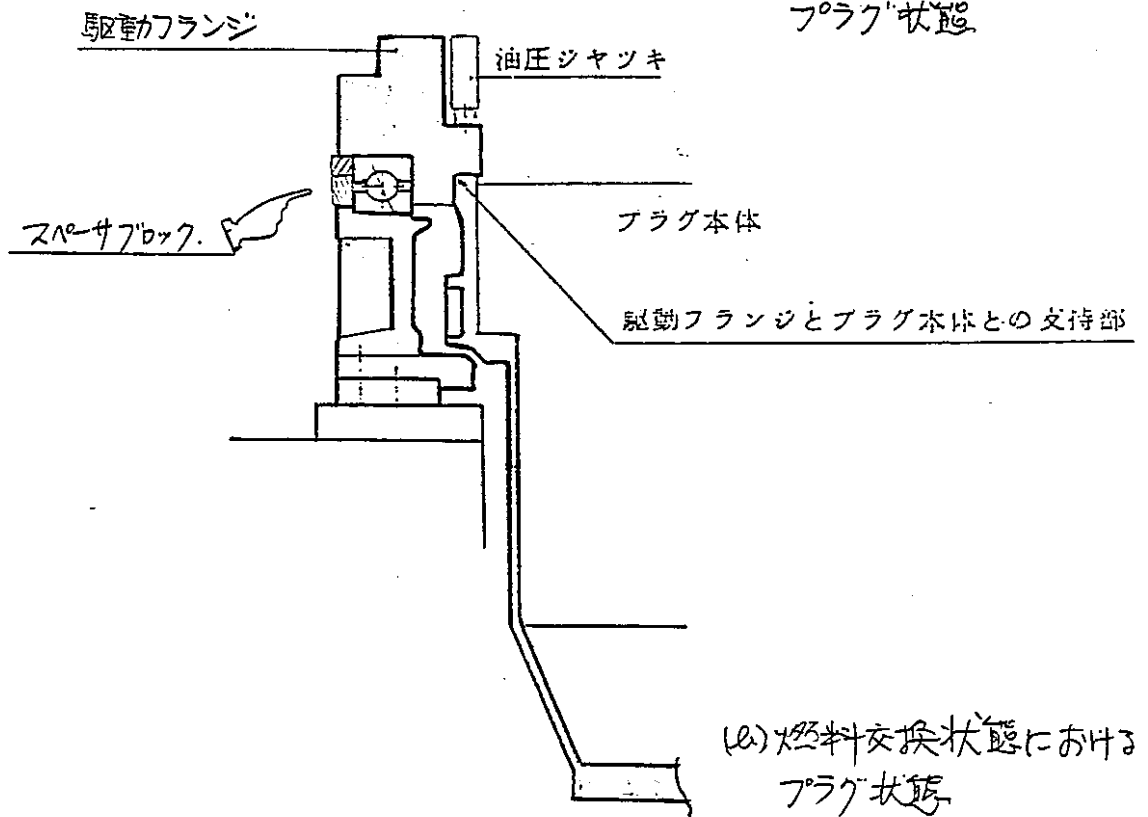


## (2) 運転中の機械振動に対する防止対策

上記(1)のように、ボールベアリング支持状態では、微小な振動（軸受のラジアルストッパーの効かない範囲）に対しては、極めて剛性が低い構造となってしまう、原子炉上部プレナムに於ける炉上部機構の流力振動に起因する機械振動が回転プラグ全体に励起される可能性がある。この場合、フリーズシールドダムのような構造上の（剛性）不連続部に疲労破損を生じたり、フリーズシールドダムの壁からのはく離を誘発したりして、シールド機能まで阻害する可能性がある。従って、上記(1)の対策を兼ねて、図-6-(b)に示されるようなスペーサブロックを設置し、微小振動を抑制する必要がある。



(a) 原子炉定常運転状態におけるプラグ状態



(b) 燃料交換状態におけるプラグ状態  
(ジャッキアップ保持状態)

図-6 現状の炉運転状態と ジャッキアップ保持との支持構造の違い。

### 1.3 油圧持上機構の機械的保持

現状回転プラグは、油圧方式の持上装置にてジャッキアップされるため、ジャッキアップ保持状態で通常運転が行なわれる場合には、油圧装置の連続運転が必要となる。

しかし、長期間の装置連続運転中には、装置の故障や油圧配管系漏洩、破損及び油圧ジャッキ本体の漏洩、破損等不測の事態が種々考えられ、回転プラグが下降動作へ至る事象も予測されるため、機械的に保持して回転プラグの下降を防止する必要がある。

#### (1) 機械的保持

回転プラグ組枠には、ジャッキアップ時のメカニカルロック用として、M56ネジが大プラグ6ヶ所、小プラグ2ヶ所に加工されているため、この部分を流用する場合と、油圧ジャッキボルトを流用する場合の2案について検討する。

##### (a) メカニカルロック用ネジ穴流用時の検討

###### (i) 大回転プラグ側強度検討

ア) メカニカルロック用ボルト1本で受け持つ荷重は約50ton (約270ton/6ヶ) であり、初期締付力を無視して単純な吊りボルトと仮定すると、ボルトに発生する引張応力 ( $\sigma_t$ ) は次の通り許容応力に収まる。

$$\sigma_t = W / A_s$$

$$\text{ここに、} \left[ \begin{array}{l} W = 50 \times 10^3 \text{kg} \\ A_s = \pi d_s^2 / 4 = 2026.8 \text{mm}^2 ; \text{有効断面積} \\ d_s = d - 0.9382 \times p = 50.8 \text{mm} \\ d = 56 \text{mm}, P = 5.5 \text{mm} \end{array} \right.$$

$$\sigma_t \approx 24.6 \text{kg/mm}^2 < f_t = 0.5F = 35 \text{kg/mm} \text{ (SCM430)}$$

イ) 地震時の転倒モーメントは約210ton-m (0.75g × 約270ton × 約1m<sup>H</sup>) であり、ボルトが等間隔配設とすると、ボルトに加わる最大荷重 (F), 引張応力 ( $\sigma_t$ ) は次の通り充分許容応力に収まる。

$$F = \frac{8M}{3n \cdot D_p}$$

$$\sigma_t = F / A_s$$

$$\text{ここに、} \begin{cases} M = 210 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}, & n = 6 \text{本} \\ D_p = 4.29 \text{m}; & \text{ボルトピッチ径} \\ A_s = 2026.8 \text{mm}^2 \end{cases}$$

$$F \approx 21760 \text{kg}$$

$$\sigma_t \approx 10.8 \text{kg/mm}^2 < 1.5 f_t = 52.5 \text{kg/mm}^2 \text{ (SCM430)}$$

## (ii) 小回転プラグ側強度検討

ア) メカニカルロック用ボルト1本で受け持つ荷重は、約55ton（約110ton/2本）であり、この時の引張応力（ $\sigma_t$ ）約27.2kg/mm<sup>2</sup>で許容応力に収まっている。

イ) ロック用ボルトが2点であるため支持点が平面を形成せず、地震時転倒モーメント等振動に対しては、不安定な挙動を示すものと予想され、ロック用ボルトの追設が必要であると考えられる。

## (iii) 剛性

メカニカルロック用ボルトは、強度面では満足しているものの剛性（吊部バネ定数）に関しては、大回転プラグ（6ヶ所）、小回転プラグ（2ヶ所）共不十分であるため、油圧ジャッキボルトを流用して、剛性強化する必要がある。

## (b) 油圧ジャッキボルト流用時の検討

ジャッキボルト流用の場合は、強度、剛性共ほぼ満足すると考えられるため、ここでは改造方法、構造等について記載するものとする。

### (i) 改造方法

メカニカルロック用ボルトは、前記(a)の如く強度的に充分であるため、このボルトを仮ジャッキアップ保持として用い、油圧用ジャッキボルトを本設の機械式保持とする手順（案）を次に示す。

- ① 油圧持上装置にてジャッキアップを行なう。
- ② メカニカルロック用ボルトをセットして、ジャッキアップ保持。
- ③ 油圧ユニット；OFF
- ④ 油圧配管系、油圧ジャッキ本体部圧力降下。
- ⑤ 油圧配管系、油圧ジャッキ本体分解養生。

- ⑥ ジャッキボルト頂部へジャッキナットを装着。
- ⑦ トルクレンチ等にてジャッキナットを所要トルクで締結。
- ⑧ ジャッキナットの廻り止め施工。

(ii) 改造構造 (案)

本改造 (案) では、現在装備している油圧用ジャッキボルトをそのまま用いて、図-7構造のジャッキナットを油圧ジャッキ (シリンダ部) と換装するだけで、対処可能と考えられる。

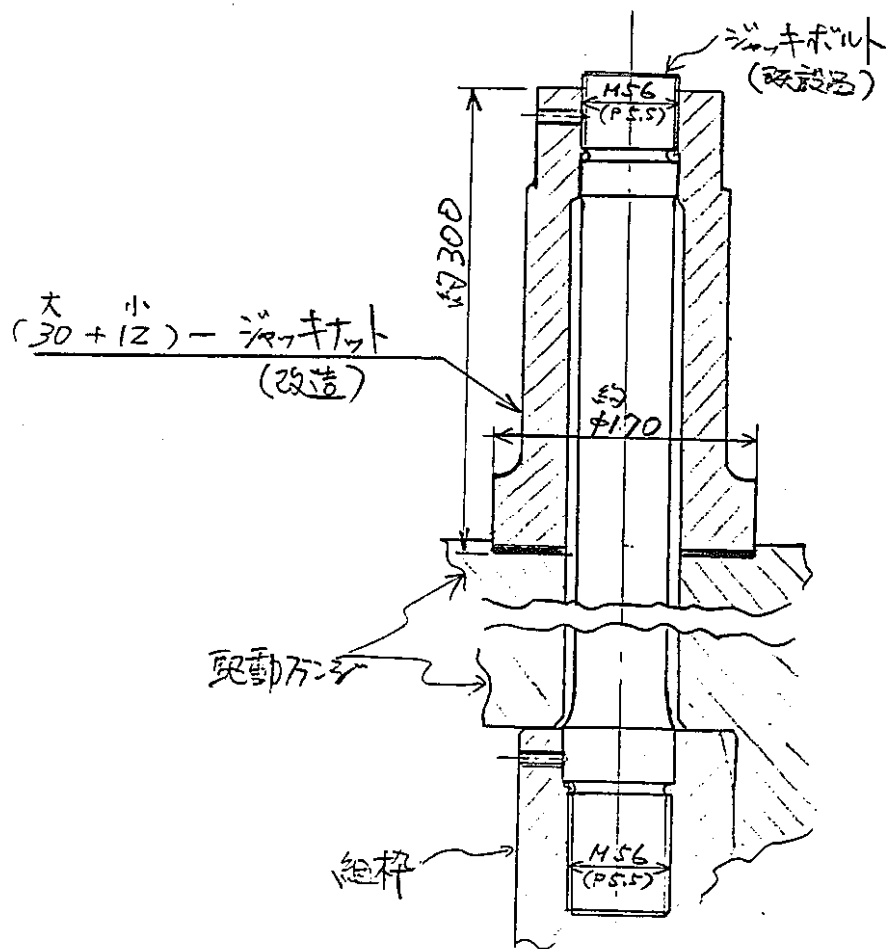


図-7

## I-2 強制ジャッキダウンの検討

回転プラグ支持フランジ部へのNa蒸着及びNa堆積等によるジャッキダウン不調対策として、本検討では回転プラグの自重にだけ頼っていた降下に加え、油圧等で回転プラグを押圧、下降加速する強制ジャッキダウン方式の概念についてまとめるものとする。

### 2.1 ジャッキダウン機構

燃料交換完了後に、回転プラグは基準位置（大180°、小0°）へ設定され、ジャッキダウンを行なう際に油圧押付機構等で回転プラグ上面を押え付ける場合、回転プラグ搭載機器及び周辺機器、設備が複雑かつ不規則配置で、更に狭隘空間であるため、その押付け部位の設定、及び油圧押付機構等装置の支持箇所の設定が重要なポイントとなる。

これら押付け部位、支持箇所の設定に当っては、必要押付力と被押圧側耐力等の検討が必要となるが、ここでは必要押付力の概略設定と装置の概念について実施するものとする。

#### (1) 必要押付力（F）の算定

押付力Fの算定は、1983年に動燃殿依頼で実施した「ナトリウム圧縮押出し試験」の成果に基づき行なうものとし、又、現在ジャッキダウン不調を起こしている大回転プラグのみ試算するものとする。

ここに、堆積Naの初期残厚さ以降の減圧（ $\delta$ ）については、概略次式で与えられている。

$$\delta \propto t^{-n}$$

$$\therefore \left\{ \begin{array}{l} \delta ; \text{残厚さ [cm]} \\ t ; \text{時間 [min]} \\ n ; \text{減衰係数 [-]} \\ \left\{ \begin{array}{l} n = 0.25 \quad (\text{圧縮応力 } \tau \leq 20 \text{ kg/cm}^2) \\ n = 0.076 \tau^{0.4} \quad (\text{圧縮応力 } \tau > 20 \text{ kg/cm}^2) \end{array} \right. \\ \tau ; \text{圧縮応力 } (F+W) / A \text{ [kg/cm}^2\text{]} \\ A ; \text{圧縮面積 約} 18430 \text{ [cm}^2\text{]} \end{array} \right.$$

尚、押圧時間と圧縮応力をパラメータとした残厚さ（ $\delta$ ）は図-8の通りである。

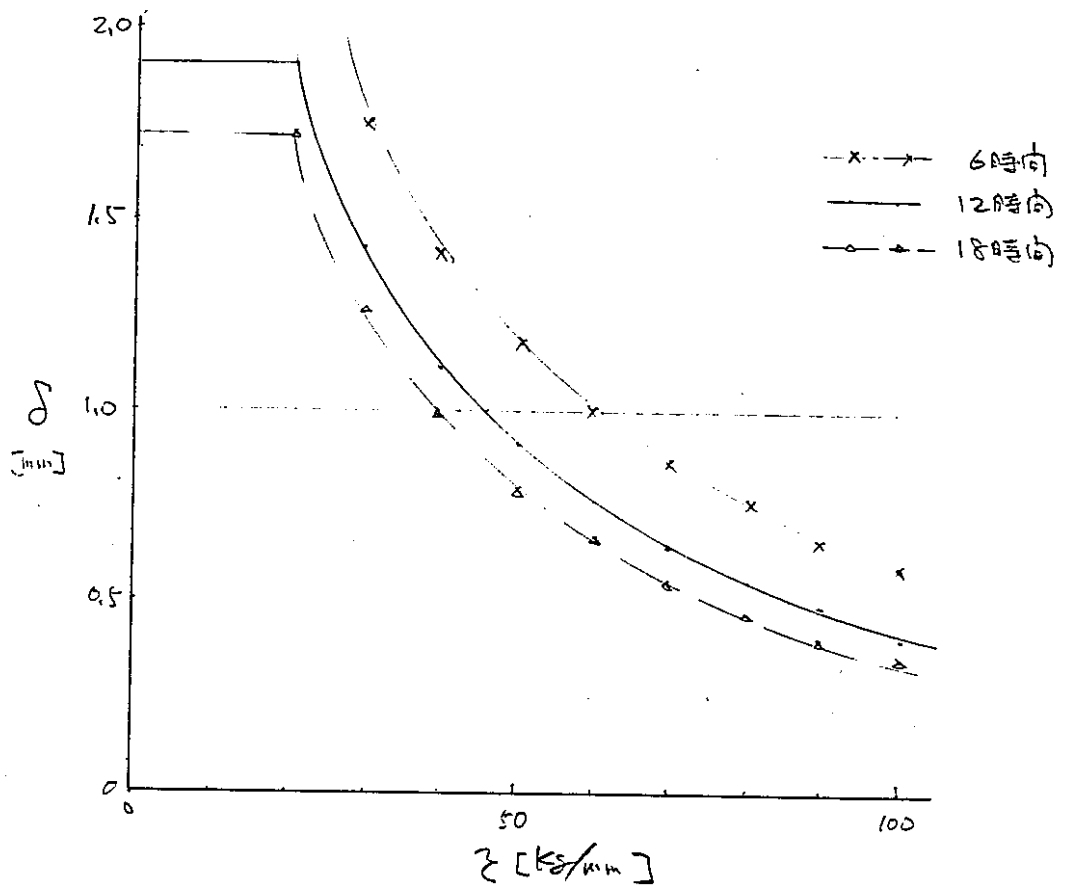


図-8

仮りに残厚さ ( $\delta$ ) を 1mm 以下まで圧縮し、押圧時間を一晚 (12 時間) とすると、この時の圧縮応力  $\tau$  は約 50 kg/cm<sup>2</sup> が必要であり、これを押付力 ( $F = \tau \cdot A - W$ ) に換算すると約 660 ton である。

## (2) ジャッキダウン機構装置の概念検討

ジャッキダウンに必要な押付力約 660 ton を出力するための油圧ジャッキを現在、回転プラグに装備している油圧ジャッキ (最高使用圧力: 350 kg/cm<sup>2</sup> g) で例えると、44 台分となるが、一般に市販されている油圧系機器の最高使用圧力は 250 kg/cm<sup>2</sup> g であるため、62 台分が必要になる。

しかし、回転プラグの配置から判断して、上記台数で押圧できるエリアは見当たらないため、集約することになるが、この時、回転プラグへは、偏心荷重が加わることになり、組枠、その他各部位の強度検討が必要となる。又、ジャッキダウン機構装置の支持箇所側も同様に、強度検討が必要となるが、ここでは言及しないものとし、装置の全体概念図程度に止めることとする。

本装置の支持箇所としては、回転プラグ周辺に適切な部位がないため、ここでは、燃料出入機のガイドレール部位をチャッキング及びオペフロ上へ基礎ボルトを追設し、固定するものとする。

ジャッキダウン機構装置の概念を図-9に示し、回転プラグ側押圧部位を燃料交換機用ドアバルブ及び炉内照明装置用ドアバルブ各頂部としている。

本装置の主要構成は次の通りである。

- (a) ジャッキダウン装置構台
- (b) 油圧ジャッキ
- (c) レールチャッキング機構
- (d) 油圧ユニット
- (e) 電気計装設備



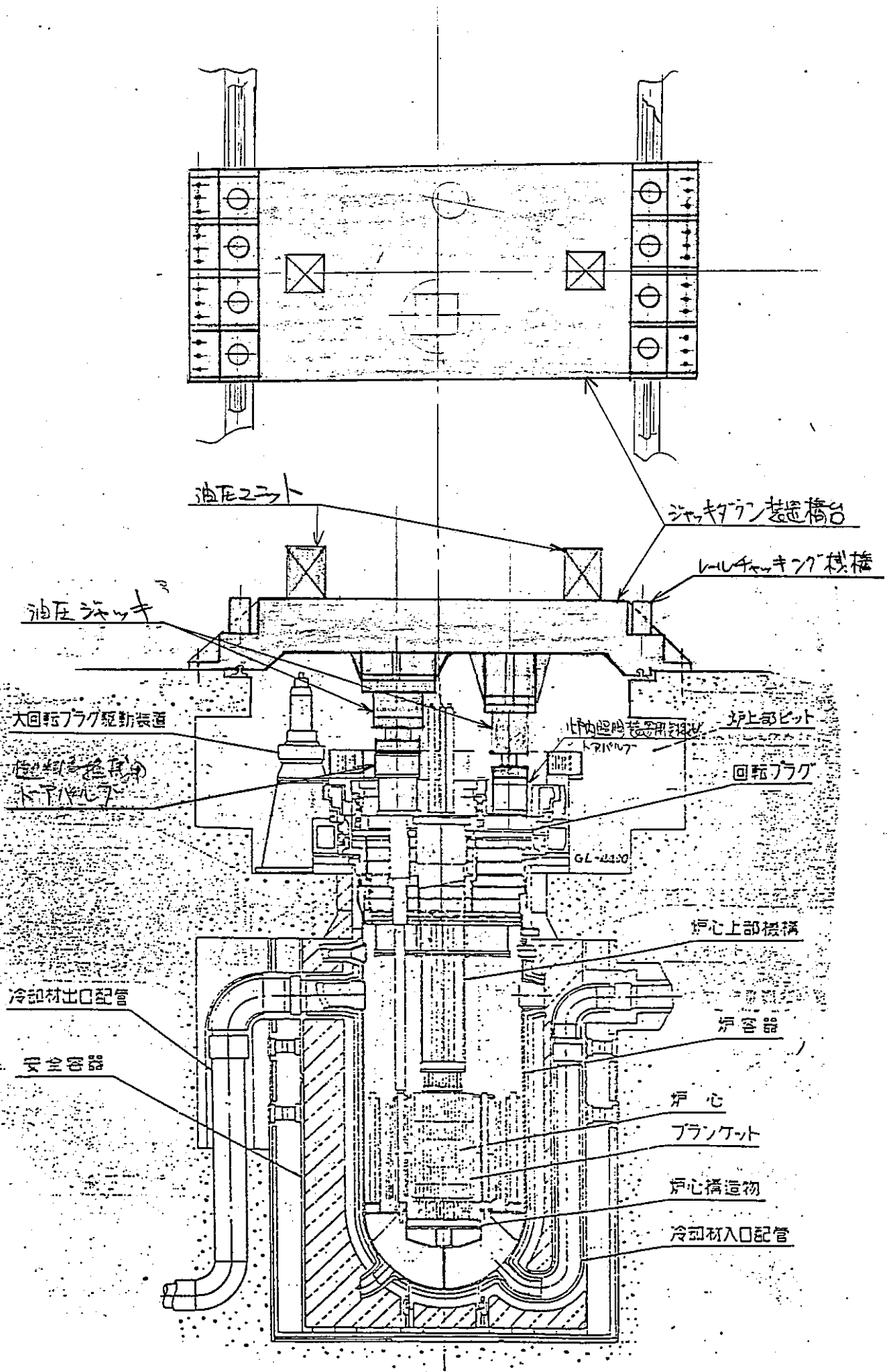


図-9 ジャッキダウン装置概念図

### I-3 Na蒸着防止ブローダウンの検討

回転プラグ支持フランジ部へのNa蒸着及び堆積等が原因でジャッキダウン不調を起していると考えた場合、回転プラグと原子炉容器間を上昇して来るNaペーパー・ミストを抑制する方法が、一対策として考えられる。

本検討では、Arガスのブローダウン方法とガスカーテン装置旋回流による抑制方法の二案について実施する。

#### 3.1 Arガスブローダウン方法

本方法は、アニュラス部を上昇して来るホットガスをArガスによってブローダウンさせる方法であり、その時の必要流量と回転プラグ側改造構想について検討する。

##### (1) ブローダウン必要流量 ( $G_{BD}$ )

アニュラス部でホットガスが上昇して来ない条件としては、次式が与えられている。

$$Gr / (Re^{1.43} \cdot Fr^{0.35}) \leq 32.5$$

$$\text{ここに、} \begin{cases} Gr; \text{グラスホス数} = g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot de^3 / \gamma^2 \\ Re; \text{レイノルズ数} = u \cdot de / \gamma \quad (de; \text{アニュラス等価直径}) \\ Fr; \text{フルード数} = u^2 / d \cdot g \end{cases}$$

$$Gr = \frac{1}{(4.19 \times 10^{-5})^2} \cdot \frac{9.8 \times 273 + 290 \times (500 - 80) \times 0.064^3}{1} = 1.092 \times 10^6$$

$$Re = u \times 0.064 / 7.46 \times 10^{-5} = 804.3u$$

$$Fr = u^2 / 0.064 \times 9.8 = 1.594u^2$$

$$\begin{aligned} Gr / (Re^{1.43} \cdot Fr^{0.35}) &= 1.092 \times 10^6 / (804.3u)^{1.43} / (1.594u^2)^{0.35} \\ &= 64.97u^{-2.13} \leq 32.5 \end{aligned}$$

$$u \geq 1.4 \text{m/sec}$$

従って、ブローダウン必要流量 ( $G_{BD}$ ) は

$$G_{BD} \geq 1.4 \times \frac{\pi}{4} (3.924^2 - 3.86^2) \times \frac{1.374}{1.7607} \times 60$$

$$\approx 26 \text{Nm}^3/\text{min} = 1560 \text{Nm}^3/\text{h}$$

## (2) 回転プラグ側改造

ブローダウン方式はガス流を均質に下降させないと全域下降形態が破壊されることが予測される。従ってガス吹出口は、回転プラグ周方向へ多数配設するか、吹出ヘッダを有した連続スロットノズルを設ける必要がある。

ここに、回転プラグを現在のようにジャッキダウン状態で運転を行なう場合と、前記第1項のジャッキアップ保持状態での運転を行なう場合の2ケースについて、その概念を検討する。

### (a) ジャッキダウン状態運転時

回転プラグをジャッキダウンした状態では、吹出口を配設する方法が考えられるが、その箇所としては大回転プラグ支持フランジ部で、去る1984年に実施した“回転プラグ支持フランジ部点検孔拡大工事”と略同一工法にて吹出ノズルを追設することが考えられる。

ここに、追設可能なノズル穴数は、大回転プラグの軸受固定台取付ボルトのピッチ間に1ヶ所設けるものとし、支持フランジ取付用ボルト等にて障害となる部分を削除すると52箇所となる。(但し、回転プラグ周辺機器、設備が総て撤去された場合を前提としている。)

そして、吹出ノズルの外周部には、円環状ヘッダを設けて、流配機能を持たせ吹出流の均質化を図るものとする。この概念を図-10(a)に示している。

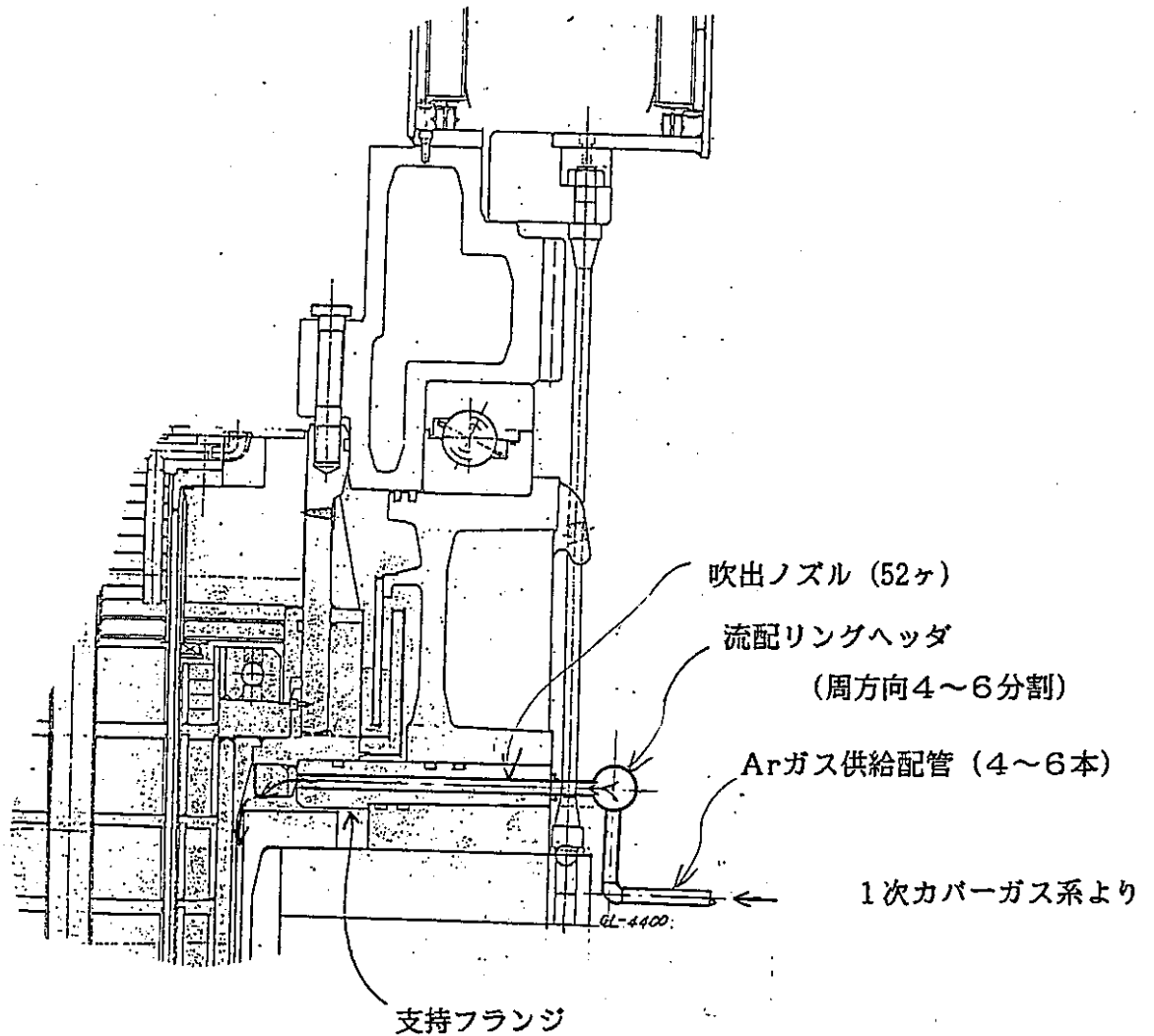


図-10 (a)

(b) ジャッキアップ保持状態運転時

回転プラグをジャッキアップした状態では、1次側室が流配ヘッドの代替になるものと考えられるため、回転プラグ軸受固定台の1次側室部位側壁へ吹出ノズルを数箇所（4～6ヶ）追加することで対処可能と考えられる。そして、組棒と支持フランジ間が連続スロットノズルの代替になると予想される。この概念を図-10(b)に示している。

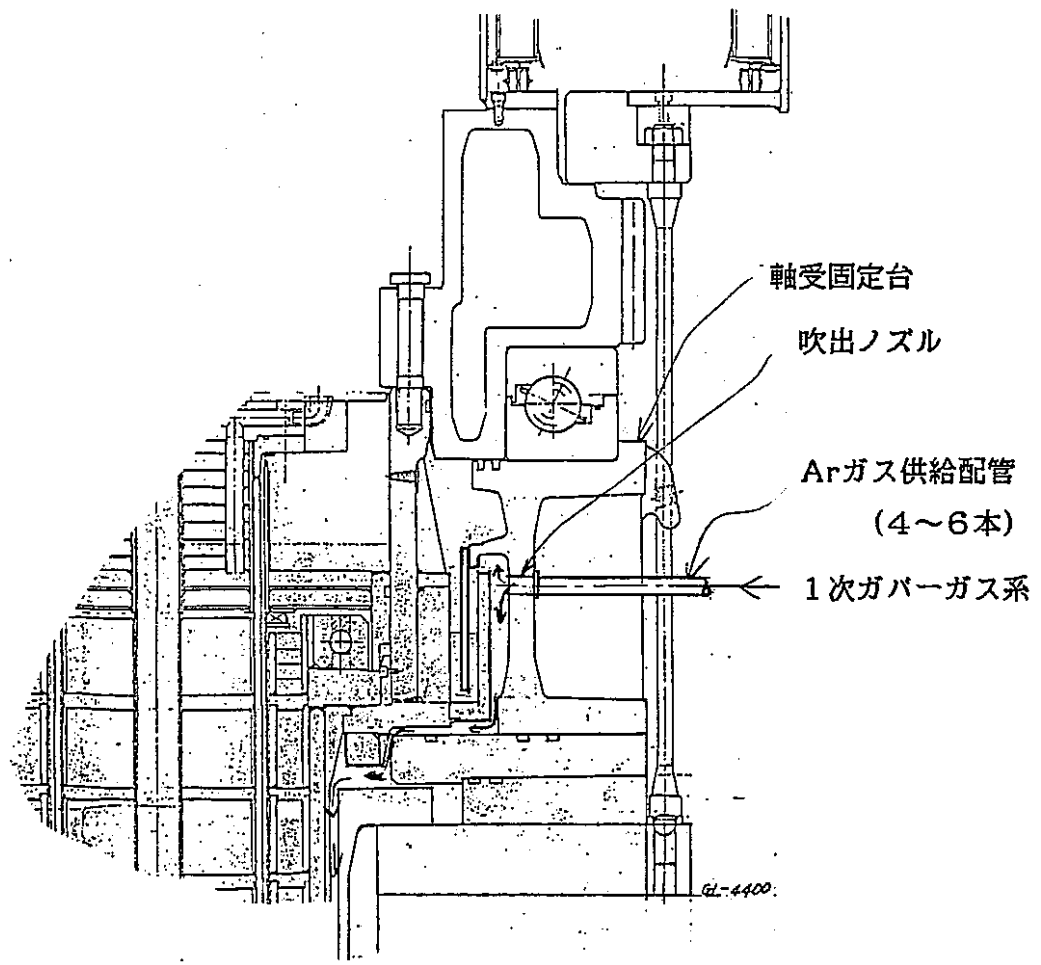


図-10 (b)

### 3.2 ガスカーテン方法

本方法は、アニュラス部を上昇して来るホットガスをArガスの旋回流によって抑制する方法であり、その時の回転プラグ改造構想について検討する。

尚、本方法を適用する場合の設置場所としては、回転プラグ1次側室しか考えられないため、ジャッキアップ保持状態での運転時のケースとなる。

(1) 回転プラグ側改造

回転プラグ軸受固定台の1次側室部位側壁へ下方傾斜かつ、周方向指向の吹出ノズルを軸受固定台リップのピッチ間へ60ヶ所設け、吸込口をその上方へ30ヶ所配設するものとする。そして、軸受固定台の外周部には、分割式の円環状ヘッドをそれぞれ設けて、流配ヘッド及び吸込ヘッドとし、各ブロック毎に送風機を設けてArガスを循環させる。この概念を図-11に示している。

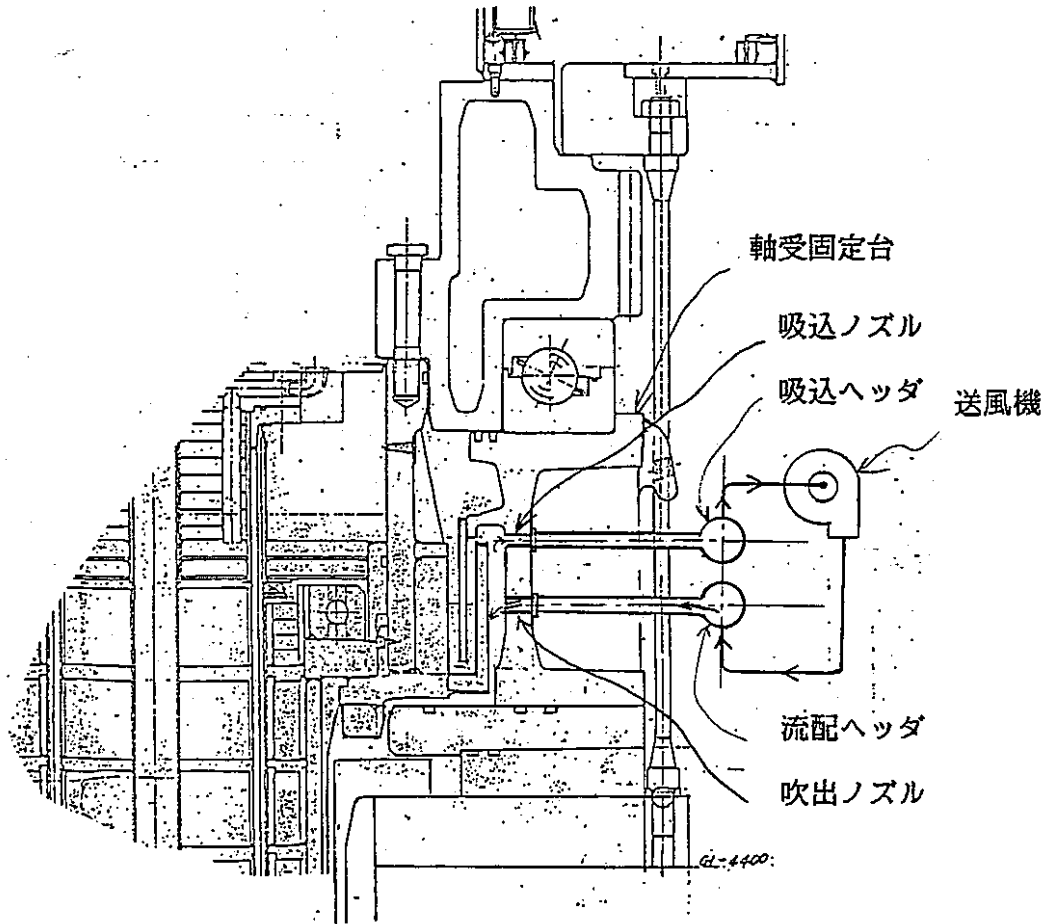


図-11

#### I-4 蒸着Na回収の検討

回転プラグ支持フランジ部へのNa蒸着及びNa堆積等がジャッキダウン不調に至る主因子だと考え、1984年に“回転プラグ支持フランジ点検孔拡大工事”を実施し“Naかき落とし治具”試作品にて、Na除去作業を実演した経験がある。しかし、この時は、支持フランジ側へNa回収孔を設けているため、支持フランジ上面へのNa堆積状況が把握出来ず、組棒インロー部のNa蒸着分一箇所のみ除去したに止まり、その後、作業は実施されていない。

ただ、燃料交換時回転プラグの旋回に伴って、組棒インロー部へ蒸着したNaが、点検孔内へ回収され、ジャッキダウンがスムーズになったとの事実もあり、この効果に期待する観点より、本検討では、Na回収効果が大きいと考えられる縦穴Na回収孔の新設とそのNa回収装置及び現状横穴利用のNa回収装置の概念構想についてまとめるものとする。

##### 4.1 Na回収孔新設方案

従来の横穴であれば、支持フランジ上面側の状況が把握できないことより、本方案では、組棒側へNa回収孔を縦方向に新設、改造する方法及びNa回収方法について記載する。

##### (1) 縦穴加工

前回の横穴加工時は、既設の $\phi 15$ 点検孔を拡大する工事であり、この $\phi 15$ 点検孔をガイドに孔明け加工が行なえたため、加工だけに着目すれば容易であったと言えるが、1次カバーガスバウンダリを形成した状態での作業であったため、作業全体としては非常に困難であった。

ここに、組棒への縦穴加工は、孔明け加工そのものは、困難であると考えられるが、1次カバーガスバウンダリを形成した作業は、最後の穴貫通加工時のみであるため、比較的（特に作業安全性）に容易と考えられる。

この縦穴加工の手順（案）を下記に示すが、穴の位置は、現状で軸芯の直角度が比較的良く出ていると思われる伝達用合せピン穴を選定する。図-12に加工概念を示している。

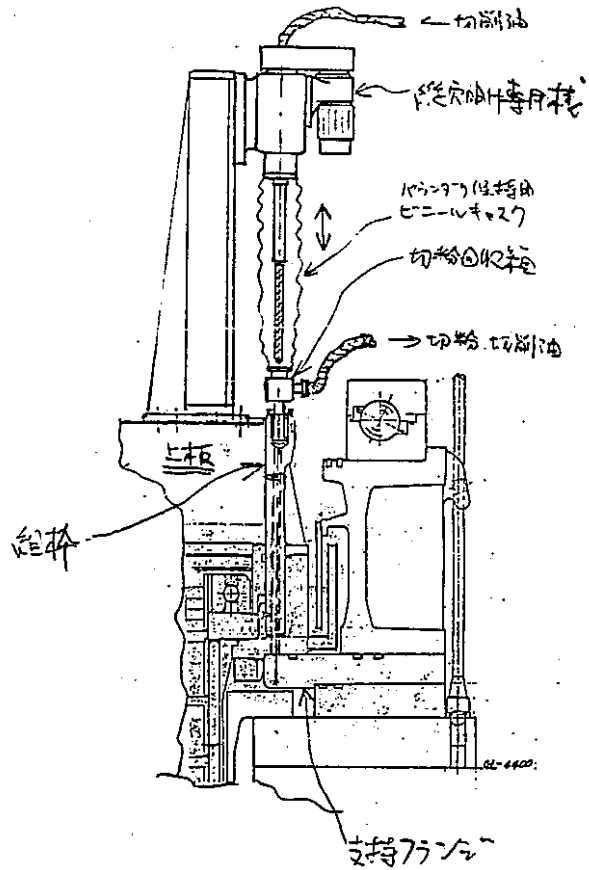


図-12

- (a) 大回転プラグ駆動フランジまで撤去。
- (b) 縦穴明け専用機据付
  - (i) 芯出し治具取付。
  - (ii) 専用機仮据付。
  - (iii) 専用機取付ネジ穴加工。
  - (iv) 専用機芯出し据付。
- (c) 切粉回収箱取付
  - (i) 切粉回収箱取付面加工。
  - (ii) 取付芯出し治具挿設。
  - (iii) 切粉回収箱取付。
  - (iv) 取付芯出し治具取外し。



- (d) 下穴加工
    - (i) 中穴特殊ドリルにより下穴明け。(切削油を中心穴より供給)
    - (ii) 先端コア部(5~6mm程度)を残す。
  - (e) 仕上穴加工
    - (i) 四溝コアドリルにより穴明け(切削油供給)。
    - (ii) 一文字ドリルにより穴明け,先端コアの面仕上げ(切削油供給)。
  - (f) 仕上穴養生
    - (i) 仕上穴内面の油脂類,切粉除去,清掃。
    - (ii) 仕上穴内面脱脂洗浄,乾燥。
  - (g) コア部穴明け
    - (i) コア回収用吸盤付トレパニング工具装着。
    - (ii) バウンダリ保持用ビニールキャスク装備。
    - (iii) 切粉回収用真空掃除機を切粉,切削油回収配管へ接続。
    - (iv) Arガスを切削油供給配管へ接続。
    - (v) トレパニング工具によりコア穴明け(Arガス供給)。
    - (vi) コア回収。
  - (h) 加工穴点検
    - (i) ファイバースコープにより穴内部検査。
    - (ii) メクラ栓取付け。
  - (i) 撤去作業
    - (i) 縦穴明け専用機撤去。
    - (ii) 切粉回収箱取外し。
  - (j) Na回収装置用連絡管取付
    - (i) メクラ栓の外周部へ連絡管挿設。
  - (k) 大回転プラグ駆動フランジ復旧
- (2) Na回収又はかき落とし装置
- 縦穴よりのNa回収又はかき落とし装置取付用チャンバ概念をを図-13に示している。

Na回収装置としてはスパイラルフィン付治具を縦穴内で回転させ、燃料交換中に穴へ巻き込み回収されるNaを上方へ巻上げ、チャンバ内へ回収する方法が考えられる。

又、Naかき落とし装置としては、プラグ回転方向へ斜め指向するスクレーパを一定荷重にて、支持フランジ側へ押圧し、スクレーパによってNaをR/V側へかき落とす方法が考えられる。

これら概念については図-14に示している。

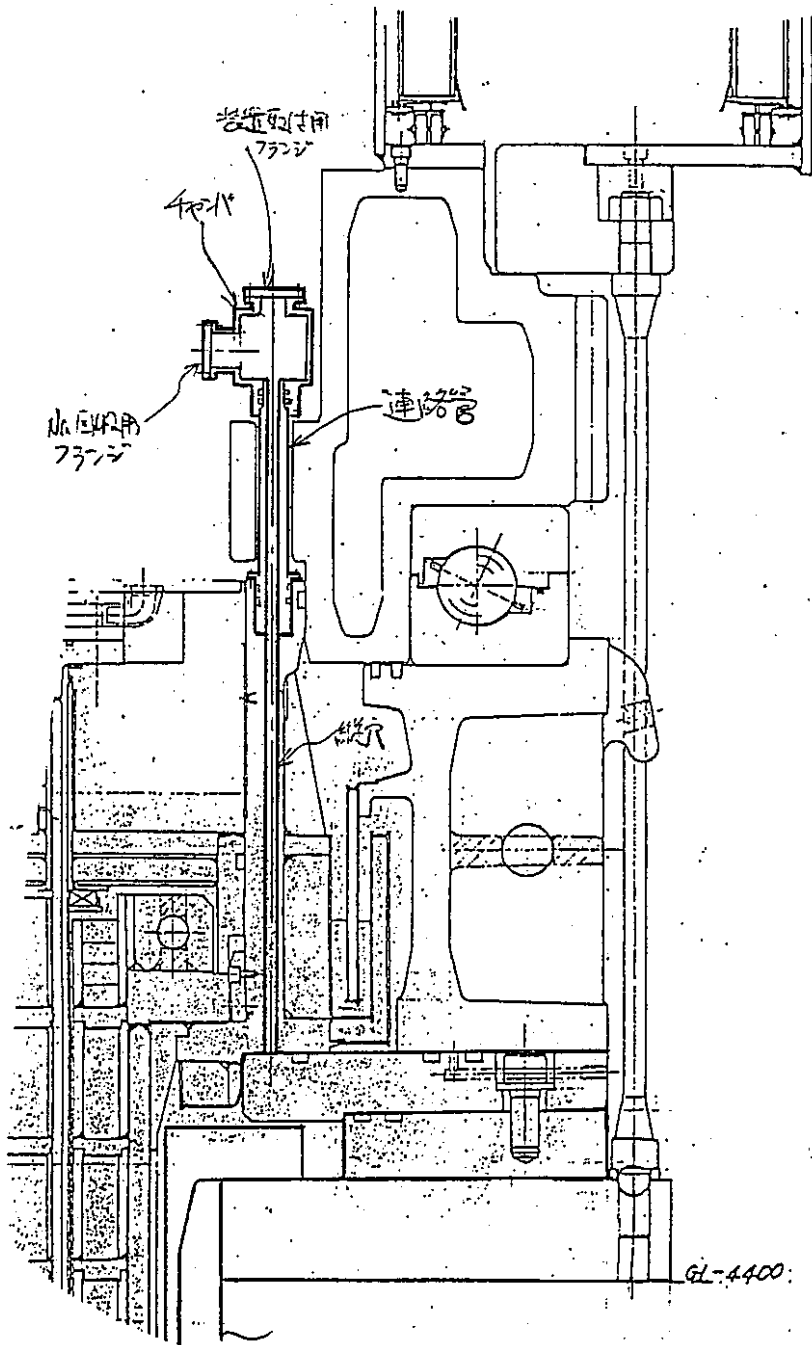
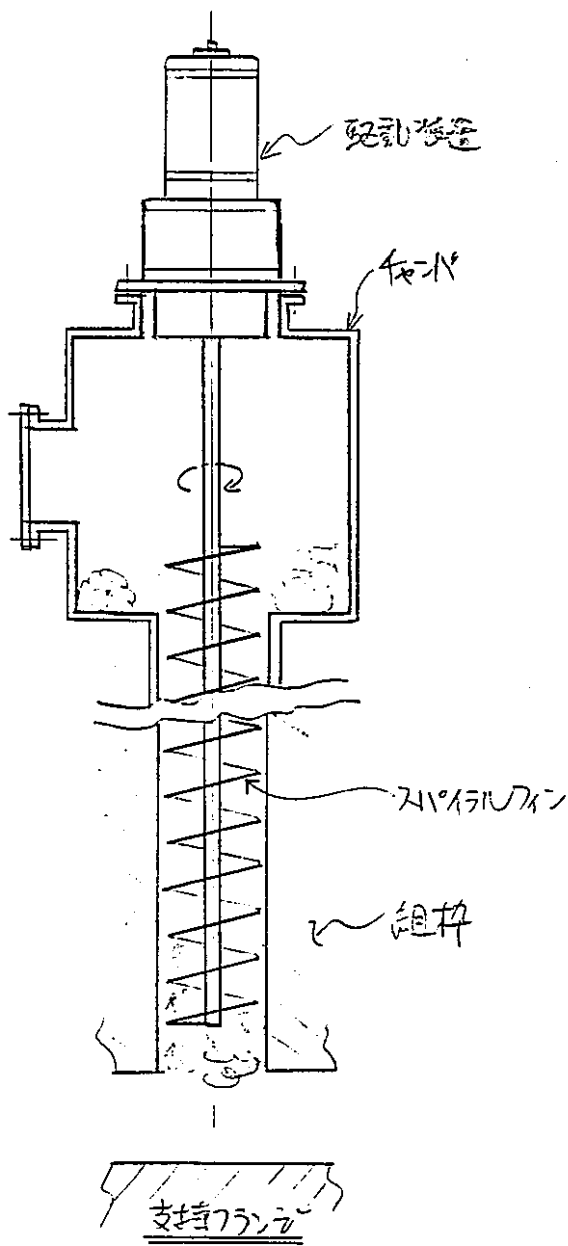
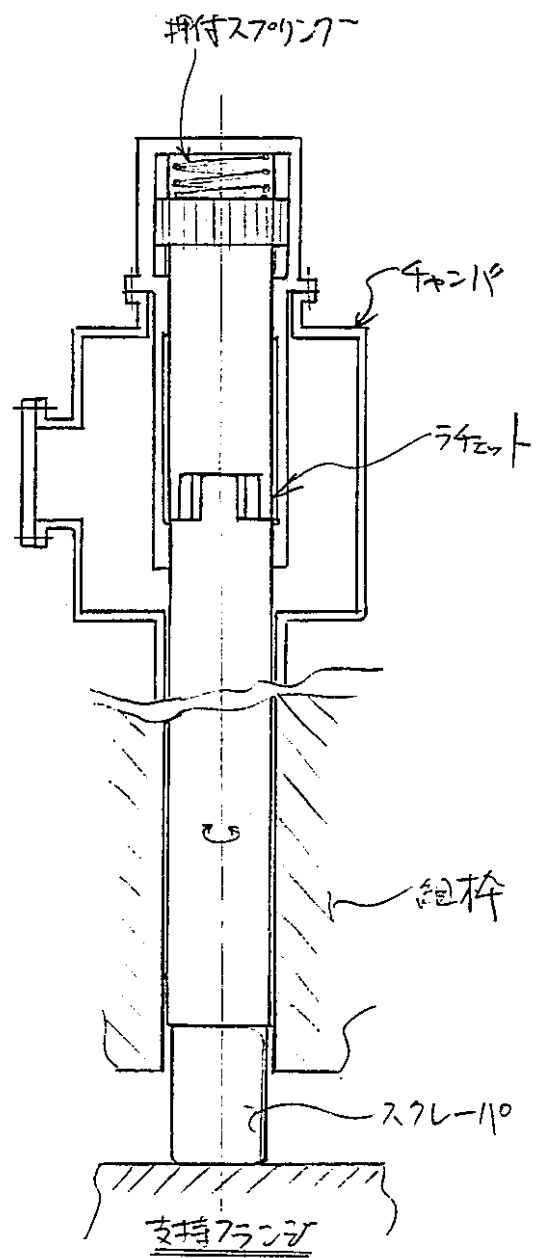


図-13



(a) Na回収装置概念



(b) Naがき落とし装置概念

図-14

#### 4.2 横穴利用Na回収装置

現在、支持フランジ部へ設けられているφ40mm点検孔及びチャンバ（グローブ付）を利用したNa回収方法としては、前記第4.1項で記載した装置と同様に、スパイラルフィン付治具を横穴内で回転させ、点検孔内へ巻込まれてくるNaをチャンバ内へ回収する方法が考えられる。

この概念については、縦穴用Na回収装置と略同じである。

## I-5 回転高速化の検討

回転プラグの回転駆動高速化に当り、以下の事項を検討する必要がある。

- (1) 摩擦性負荷の変動（経年変化等）に対する裕度の確認
- (2) 始動、停止時の動的負荷の増大に対する機械系強度と停止精度の検討
- (3) 搭載機器に対する影響の検討
- (4) 上記(2)(3)の動的影響を軽減するための速度制御方法の検討

### 5.1 現状の負荷状況と設計上の裕度

プラグ駆動系の設計は、寿命末期において、Na付着抗力を想定し、種々の摩擦抗力を考慮して下記の通りとなっている。

|                          | 大 回 転  | 小 回 転  |
|--------------------------|--|--|
| 回転所要トルク<br>(寿命末期、プラグ軸にて) | $70 \times 10^3 \text{ (kg} \cdot \text{m)}$ | $25 \times 10^3 \text{ (kg} \cdot \text{m)}$ |
| 所要モータ容量                  | 5.3(kW)                                      | 1.9(kW)                                      |
| 使用モータの容量                 | 5.5(kW)                                      | 2.2(kW)                                      |

これに対し、現状の駆動電流値から負荷トルクを逆算すると

|         | 大 回 転   | 小 回 転                      |
|---------|---|----------------------------|
| 実測駆動電流値 | [6]~7 (A) min.  | 約3 (A)                     |
| 負荷トルク   | $[32 \times 10^3] \sim 37 \times 10^3$<br>min. (kg·m) | $16 \times 10^3$<br>(kg·m) |

となっており、現状では出力にも十分余裕があることがわかる。

又、上記現状の負荷トルクにて、駆動系各部の強度上の安全率を算定すると表-1のようになる。

表-1 駆動系各部の安全率

|                    | 大回転プラグ |      | 小回転プラグ |      |
|--------------------|--------|------|--------|------|
|                    | ギア     | ピニオン | ギア     | ピニオン |
| 歯の曲げ強度に対し          | 6.4    | 5.1  | 4.7    | 7.1  |
| 歯の面圧               | (1.84) |      | (0.99) |      |
| ピニオン軸強度<br>(曲げ+剪断) | 7.2    |      | 6.0    |      |

歯の面圧に対する裕度が低いのは、このような低速歯車に対する適切な設計式（設計データ）が無いためで、実際の分解点検等による実績からは、十分な余裕があると考えられる。その他の強度に対しても約5倍の安全率があり、現設計で、負荷の増大に対し、基本的に耐え得るものであることが言える。

又、摩擦性負荷は、本検討で対象とするような低回転速度域では、一般に回転速度に依存せずほぼ一定であると見なせるため、基本的に回転高速化の制約とはならないので、ここでは、現状の裕度を確認するに留めた。

## 5.2 始動、停止時の動的負荷の増大に対する検討

現状の回転プラグの設計に於いては、十分に低い回転速度であり、始動も急な速度立ち上げを要さないため、始動に於ける動的負荷は問題とならないが、高速化を検討するに当たっては、停止時の動的負荷についても考慮する必要が出てくる。

現状の設計に於いて、プラグの停止精度 $\pm 0.1 \text{ deg.}$ という要求条件を満たすために、プラグの停止範囲を $0.04 \text{ deg.}$ に設定し、これに要するブレーキトルク（大回転： $10.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ 、小回転： $1.26 \text{ kg}\cdot\text{m}$ ）に余裕を見込んで大回転プラグ及び小回転プラグのそれぞれに対し、 $12 \text{ kg}\cdot\text{m}$ 及び $6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ のブレーキを設けている。

一方これを、停止時のプラグ回転系の慣性による動的負荷として考えると、大小のプラグ軸に於いて、それぞれ約 $2,300 \text{ kg}\cdot\text{m}$ 及び約 $550 \text{ kg}\cdot\text{m}$ のトルクの発生となる。

これらは、現状では摩擦性負荷に比べるとそれぞれ6%及び3.4%で問題とならないが、回転高速化により、同程度の停止精度を前提とすると、以下に示すように有意なものとなって来る。

今、減速機の減速比を $1/n$ に落として、高速化を図ることとする。

ブレーキトルクは、

$$T_B = \frac{I \omega^2}{2 \Delta M}$$

ここに、

- I : モータ軸に換算した駆動系の回転慣性モーメント (kg・m・s<sup>2</sup>)
- ω : モータ軸角速度 (rad/s)
- ΔM : プラグの停止角度に相当するモータ軸回転角度 (rad)

で表わされるが、概略計算として、個々の数値は、現状の値を流用するものとする  
と、減速比が $\frac{1}{n}$ となるので、プラグの停止角度に相当するモータ軸回転角度も $\frac{1}{n}$ とな  
り、モータ軸角速度は変えないとすれば、ブレーキトルク $T_B$ は、[モータ軸に換算  
した回転慣性の増大倍率]と[n]とを乗じたものに増大する。

このブレーキの作動時に発生する回転プラグ軸に於ける動的負荷トルクは、結果的  
に現状の $n^2$ 倍となる。

ところで、ブレーキの作動時に発生する動的負荷トルクは、回転プラグの摩擦性負  
荷トルクとは作動方向が反対であることを考えると、実際には、摩擦性抗力分だけは  
吸収される効果を見込むことが出来る。従って、現状設計に於ける摩擦性負荷トルク  
と同程度の影響を機械系に与えるまで、動的負荷トルクを許すとするならば、現状の  
摩擦性負荷トルクの2倍の動的負荷トルクが上限として設定可能である。即ち、

|                           | 大 回 転   | 小 回 転   |
|---------------------------|---|---|
| 上限の動的負荷トルク                | $32 \times 10^3 \times 2 \text{ (kg} \cdot \text{m)}$ | $16 \times 10^3 \times 2 \text{ (kg} \cdot \text{m)}$ |
| 現状の動的負荷トルク<br>に対する倍率      | 28  | 58  |
| 上限の回転高速化の比<br>率n (上記の平方根) | <u>5.3</u>  | <u>7.6</u>  |

従って、プラグ停止時の動的負荷トルクの制限からは現状の約5倍の回転速度まで  
高速化を図ることが可能となる。

### 5.3 搭載機器に対する影響の検討

前頁までの検討により，回転プラグ駆動系の強度及び停止精度確保の観点から，現状の回転駆動速度の約5倍までは高速化の可能性が示されたが，他方に於いて，回転プラグ搭載機器に対し，回転プラグの駆動中及び停止時の水平方向の加速度或は， $N\alpha$ の流体抗力が増大するので，これらの影響を検討しておく必要がある。

#### (1) 停止時の加速度の増大について

現状設計に於ける回転停止時の回転プラグの角加速度 $\dot{\omega}_P$ は，ブレーキトルク $T_B$ とブレーキ軸に於ける回転慣性質量 $I$ ，減速比 $n_r$ から

$$\dot{\omega}_P = \frac{T_B}{I} / n_r$$

で求められる。

|               |                  | 大 回 転   | 小 回 転   |
|---------------|------------------|---|---|
| 現状の回転プラグの角加速度 | $\dot{\omega}_P$ | 0.02226 (rad/s <sup>2</sup> )                   | 0.0418 (rad/s <sup>2</sup> )                    |
| ここで           |                  |   |   |
| ブレーキトルク       | $T_B$            | 12 (kg・m)                                       | 6 (kg・m)  |
| 減 速 比         | $n_r$            | $4210 \times \frac{180}{26}$                    | $3680 \times \frac{150}{19}$                    |
| 回転慣性質量        | $I$              | $18.5 \times 10^{-3}$<br>(kg・m・s <sup>2</sup> ) | $4.94 \times 10^{-3}$<br>(kg・m・s <sup>2</sup> ) |

二重回転プラグの動作原理図（図-15）から，燃料交換機中心位置の大小同時駆動，同時停止時の最大加速度 $\alpha_{FHM}$ は，下記の通りである。

$$\alpha_{FHM} = 50(\text{cm}) \times (2\dot{\omega}_{P\text{大}} + \dot{\omega}_{P\text{小}}) = \boxed{4.3} \text{ gal}$$



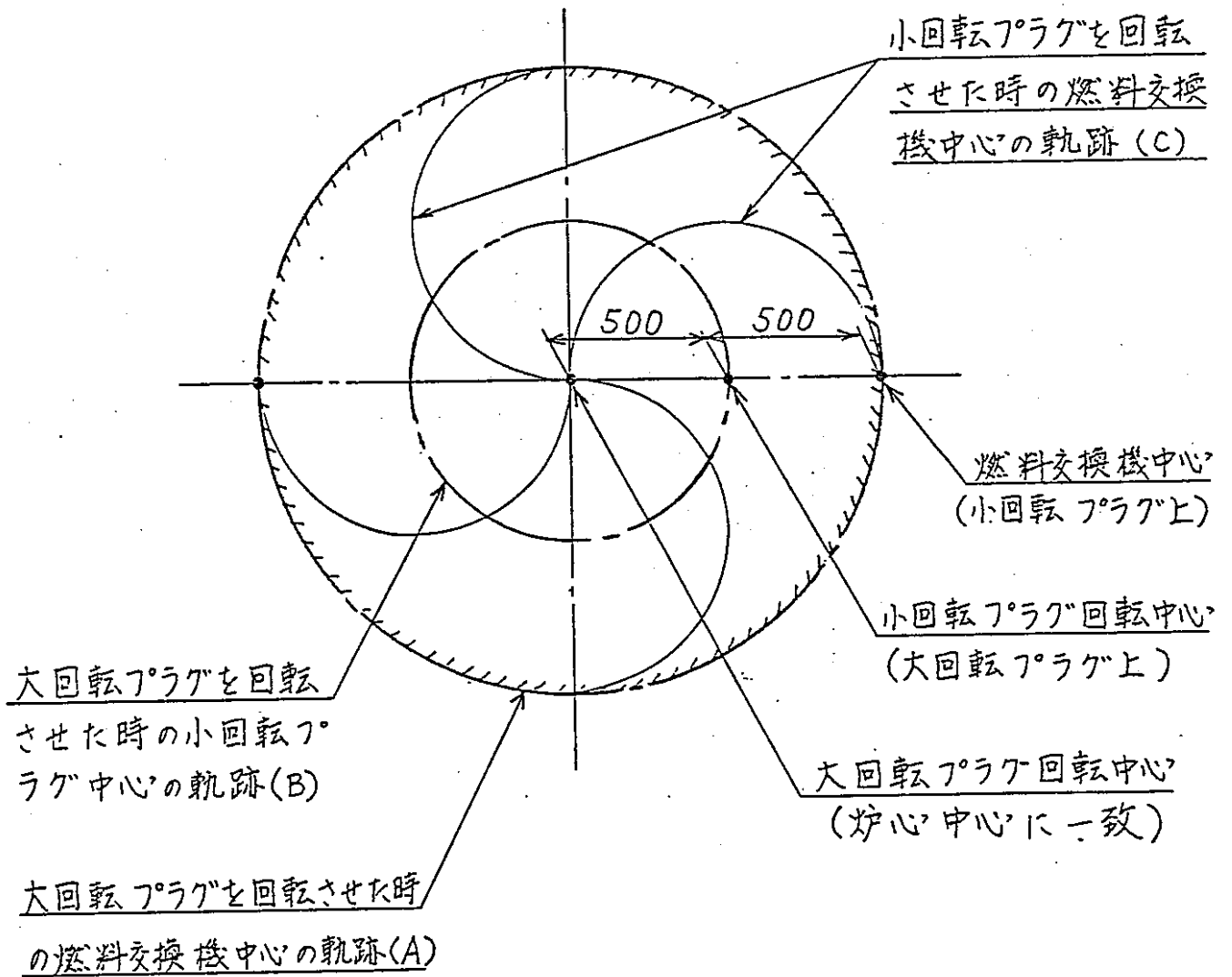


図-15 . 二重回転プラグ動作原理図

次に前節と同様にして、概略計算として回転速度を  $n$  倍とするために、減速比を  $\frac{1}{n}$  に落とすと、停止時の最大加速度は現状の  $n^2$  倍となる。従って、例えば、回転速度を5倍とした場合、上記の燃料交換機位置に於ける最大加速度は、

$$\alpha_{FHM} = 4.3 \times 5^2 = \boxed{108} \text{ gal}$$

となる。

## (2) 搭載機器に対する影響と対策について

上記のような水平加速度に対して、各機器は基本的には耐震設計が行なわれており、安全上の問題はないと考えられるが、通常時荷重として考慮する場合、各機器に対し、振れ止めの補強やダンパーを追設するなど詳細な検討が必要である。

又、搭載機器のうち、炉内Na中に吊り下げられた機器については、水平移動速度の高速化（現状最大7.9mm/secが、 $n$ 倍となる。）により、Na流体抗力が若干増加することに対する詳細な評価が必要である。

炉心上部機構及びその中に装着されたCRD等は剛性が大きいので問題ないと思われるが、デッププレート、燃料交換機、及びこれに吊り下げられた炉心構成要素については、運転方法と併せ、机上検討及び実験による確認が必要と考えられる。

## 5.4 動的影響を軽減するための速度制御方式の検討

前節までは、現状の駆動制御方式（3相4極の標準モータによる、単速度のON、OFF）を踏襲して、回転高速化について検討したが、速度制御方式を変更して、前述の動的影響を緩和することも可能である。以下に速度制御方式につき検討する。

### (1) 速度連続可変モータによる制御

回転高速化を最も理想に近い形で達成しようとするれば、直流電動機サイリスタレオナードを用いて最適速度変化をさせる制御方式がある。これによれば、広範囲の速度制御が高精度で行なえる。

原理的には、極めて良好な制御が行なえコンピュータ制御など発展性があるが、制御系が複雑（ex. 自他の保護回路必要）となり、外乱<sup>\*</sup>、悪劣囲気に強くなく、保守性もあまりよくない。従って、全体システムとして信頼性を上げるには十分なR & Dが必要と思われる。（\* 瞬時停電時の運転継続にも難点があって、結果的には、極端な高速化はリスクが大きくて出来ない。）

## (2) 2～4段階速度切換方式による制御

停止精度を従来実績程度に収め、簡単な制御系で実現する方式として、かご形誘導電動機の極板変換を用いるものがある。

前節までの検討から、現状の速度の5倍（or 4倍）程度を高速側とし、2.5倍（or 2倍）程度を低速側とする2段階速度切換とし、始動時及び停止前のみ低速とすれば、現状の駆動系<sup>\*</sup>、及び機器に対してもほとんどインパクトはなく、高速化が達成出来る。（\* モータ及び原則機は新規）

尚、現回転プラグ製作に先だって行なわれたモックアップ試験にて、現設計の2倍の回転速度（1/10rpm）でも十分停止精度等機能は満足出来るという結果が残されている。

又、前節5.3の(1)で示される108galの加速度は大小回転プラグ同時停止の場合であり、通常の運転モードでは同時停止は当然避けられるので、同時停止は意図しない電源断及び非常停止に限られることから、下記のように、設計上の対応も妥当である。

$$\text{通常 停止 (単体停止)} \rightarrow 100\text{cm} \cdot \dot{\omega}_{P\text{大}} \times (2.5)^2 = \boxed{14\text{gal}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{非常} \\ \text{緊急} \end{array} \right\} \text{停止 (同時停止)} \rightarrow 50\text{cm} \cdot (2\dot{\omega}_{P\text{大}} + \dot{\omega}_{P\text{小}}) \times 5^2 = \boxed{108\text{gal}}$$

## (3) その他

回転高速化に伴って、停止精度を現状並みとする前提としているので、ブレーキトルクが一般的にも大きなものとなるが、従来までの運転実績から、停止精度を緩和出来れば、種々の点で、設計に余裕が出て来る。

ブレーキ容量を下げられるだけでなく、減速機の入力軸の強度設計も著しく軽減されることや、搭載機器に対する停止時の加速度を低減出来て、補強の程度、範囲が減少すると考えられる。

又、減速比を小さくする方策の一つとして、極数の多い交流モータとすることも出来る。これによりブレーキトルクを小さく出来る。

## II. 回転プラグの交換，新規設計・製作の検討

### II-1 回転プラグ交換の検討

現有回転プラグで発生している不具合事象対策及び回転プラグ合理化を反映した新設計の回転プラグを製作し，現有設備と交換する場合の構想について記載する。

本検討では，現有回転プラグの撤去方案，新規回転プラグの据付方案及び新設計回転プラグの概念，構想等について実施するものとする。

#### 1.1 現有回転プラグの撤去方案

現有回転プラグの撤去手順案をを表-2に示す。

撤去作業の大項目としては，

##### (1) 前準備

- (a) 炉内機器の撤去及びナトリウムドレン
- (b) プラグ搭載機器及び周辺機器の撤去

##### (2) シャヘい体の取付け

- (a) 大回転プラグの軸受固定台を覆う，シャヘいブロックをGL4400に取付け
- (b) シャヘいブロックの上にドアバルブを取付け

##### (3) 機器撤去

- (a) 大回転プラグの軸受固定台を撤去（専用キャスク要）
- (b) UCS（炉心上部機構）及びCRD（制御棒駆動機構）の撤去（専用キャスク要）
- (c) 小回転プラグを撤去（専用キャスク要）
- (d) 大回転プラグを撤去（専用キャスク要）

となる。

撤去作業で問題となるのは，シャヘい体，ドアバルブ及びキャスクの製作とその取扱いである。

ドアバルブは，最大径である大回転プラグの軸受固定台が取出し可能な開口部を有する必要があるため，横型スライド式であれば，全長約14m，幅約8mとなる。このため，機器搬入口（最大径5900mm）からの出入れが不可能であり別開口を設けることになる。

又、重量も大きく、しゃへい厚さを鉛300mmと仮定すると、ドアバルブで840 ton弱となる。(大回転プラグ撤去用キャスク取付状態図を図-16に示す。)このため現有ボーラクレーン(max.100ton)では、取扱い不可能であり、原子炉格納容器内での組立てを行なうことになる。しかし、キャスクでR/Pを収納した物では、最大約500tonを取扱わなければならないため、新たにクレーンを設けることになる。

## 1.2 新規回転プラグの据付方案

現有回転プラグの撤去後、新規回転プラグを据付ける場合は原則として、1.1項の逆手順を行なうことになる。このため、キャスク等は撤去時の物を使用することが出来る。しかしながら据付で問題となるのは、機能確認方法であり、この作業は被曝の問題から、総てのパウンダリ形成機器が取付けた後に実施することになる。

表-2 回転プラグ撤去手順(1/2)

| 作業項目                                   |                      | 関連事項  | 備考  |
|--|----------------------|---|---|
| (1)<br>前<br>準<br>備                     | 炉内機器の撤去              | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 炉心構成要素の取出し</li> <li>○ Naドレン</li> </ul>   | (1) 全燃料の保管場所の確保   |
|  | プラグ搭載機器及び<br>周辺機器の撤去 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ワイヤリング装置</li> <li>○ 駆動装置</li> <li>○ ミサイル防止装置</li> <li>○ 持上ジャッキ<br/>(油圧ユニット類含む)</li> <li>○ 駆動フランジ</li> <li>○ 軸受アセンブリ</li> <li>○ CRD駆動部</li> </ul> | (1) 撤去機器の最大寸法<br>外径 5780mm<br>厚さ 240mm<br>機器搬入口径 5900mm<br>撤出困難と予想されるが寸法的には可能である。   |
| (2)<br>し<br>ゃ<br>へ<br>い<br>体<br>取<br>付 | しゃへいブロックの<br>取付      | 大回転プラグの軸受固定台を覆う、しゃへいブロックを取付   | (1) しゃへいブロック形状<br>ブロック外径 7000mm<br>ブロック高さ 4500mm<br>ブロック重量 約673ton<br>機器形状<br>最大幅(大プラグ軸受固定台) 5730mm<br>最大高( GL 4400より燃交用 ) 1730mm<br>(ドアバルブ)<br>(2) ブロックの下部シールのため、GL 4400フロアにシート面の製作が必要 |
|  | ドアバルブの取付             | しゃへいブロックの上部にドアバルブ取付   | (1) ドアバルブ形状<br>ドアバルブ開口径 6230mm<br>ドアバルブ幅 7830mm×14060mm<br>ドアバルブ厚さ 2200mm<br>ドアバルブ重量 約837ton<br>(取扱物最大径 5730mm)   |
| (3)<br>機<br>器<br>撤<br>去                | 大回転プラグの軸受<br>固定台取外し  | 軸受固定台収納キャスクをドアバルブ上に取付け、軸受固定台を吊込み、撤去する。  | (1) キャスク形状<br>キャスク外径 7000mm<br>キャスク高さ 4000mm<br>キャスク重量 約428ton<br>上部に吊上げ装置付   |

$$\frac{5780^2 + 240^2}{2} = 5785$$

表-2 回転プラグ撤去手順(2/2)

| 作業項目                    |                       | 関連事項   |   | 備考  |
|-------------------------|-----------------------|--|---|---|
| (3)<br>機<br>器<br>撤<br>去 | UCS取外し<br>(CRDの下部と一体) | UCS収納キャスクをドアバルブ上に取付け、UCSを(CRDの下部と一体)吊込み撤去する。 | (1) キャスク形状<br>キャスク外径 2045mm<br>キャスク高さ 7630mm<br>キャスク重量 約176ton<br>[ UCS形状<br>最大径 1045mm<br>最大高 6330mm<br>重量 約13ton ]                  | ←スペース200mm, シャへい300mm<br>(片側)<br>←スペース1000mm, シャへい300mm |
|                         | 小回転プラグの取外し            | 小回転プラグ収納キャスクをドアバルブ上に取付け、小回転プラグを吊込み撤去する。      | (1) キャスク形状<br>キャスク外径 3870mm<br>キャスク高さ 4910mm<br>キャスク重量 約242ton<br>上部に吊上げ<br>[ 小回転プラグ形状<br>最大径 2870mm<br>最大高 3610mm<br>重量 約97ton ]     | ←スペース200mm, シャへい300mm<br>(片側)<br>←スペース1000mm, シャへい300mm |
|                         | 大回転プラグの取外し            | 大回転プラグ収納キャスクをドアバルブ上に取付け、大回転プラグを吊込み撤去する。      | (1) キャスク形状<br>キャスク外径 5730mm<br>キャスク高さ 4535mm<br>キャスク重量 約365ton<br>上部に吊上げ装置付<br>[ 大回転プラグ形状<br>最大径 4730mm<br>最大高 3235mm<br>重量 約143ton ] | ←スペース200mm, シャへい300mm<br>(片側)<br>←スペース1000mm, シャへい300mm |
|                         |                       |  |   |   |

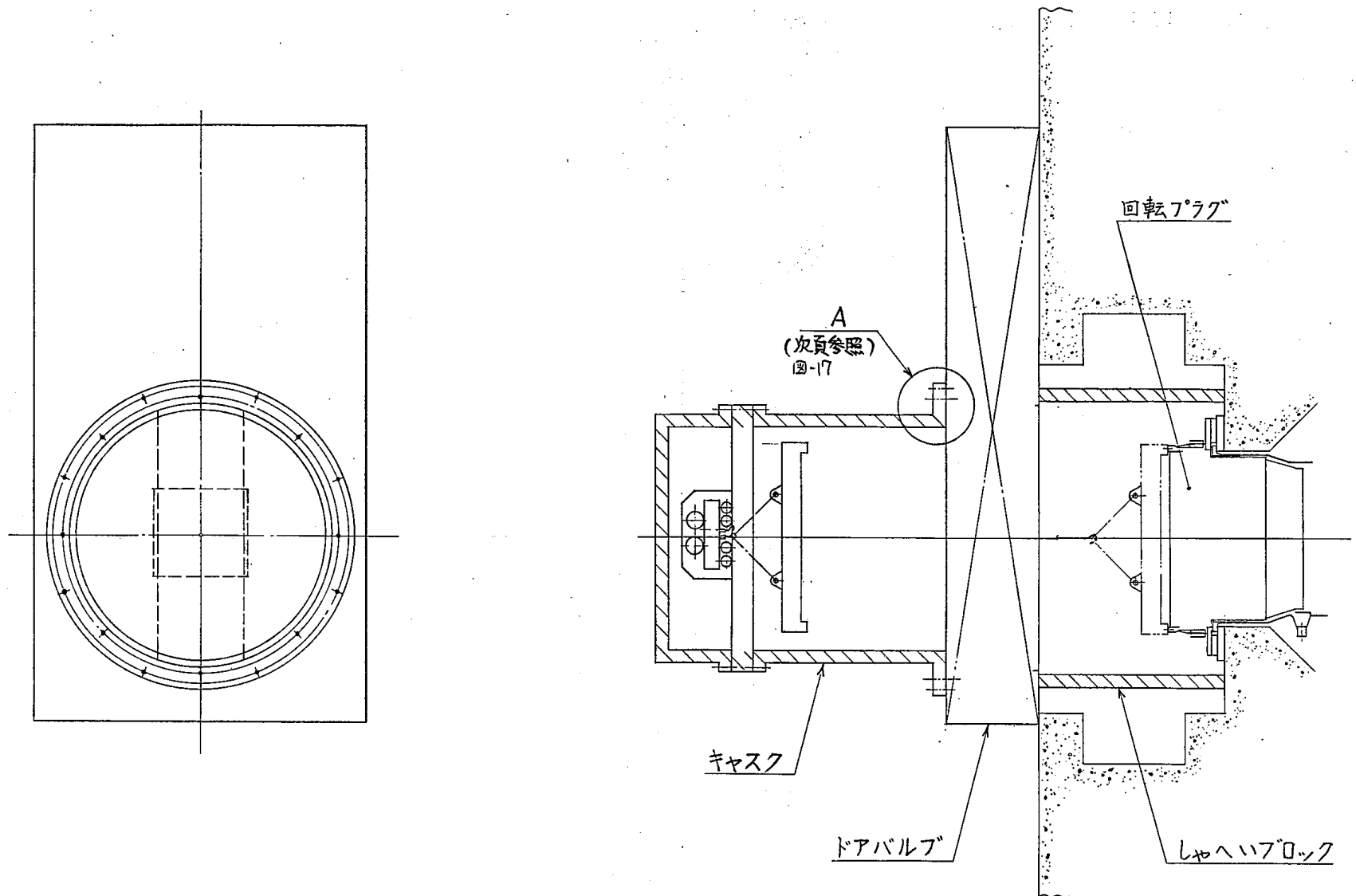
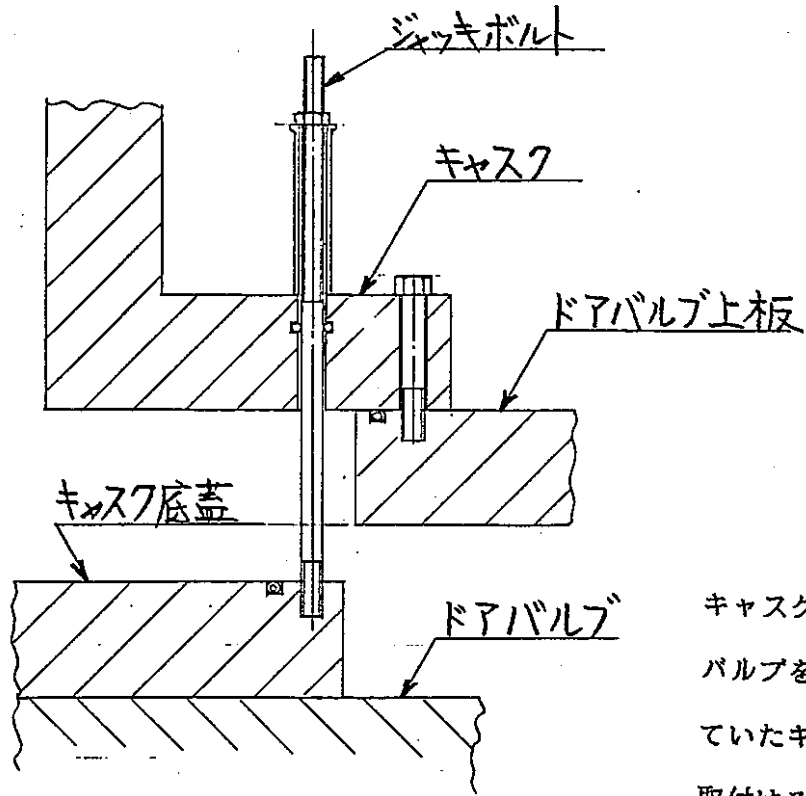
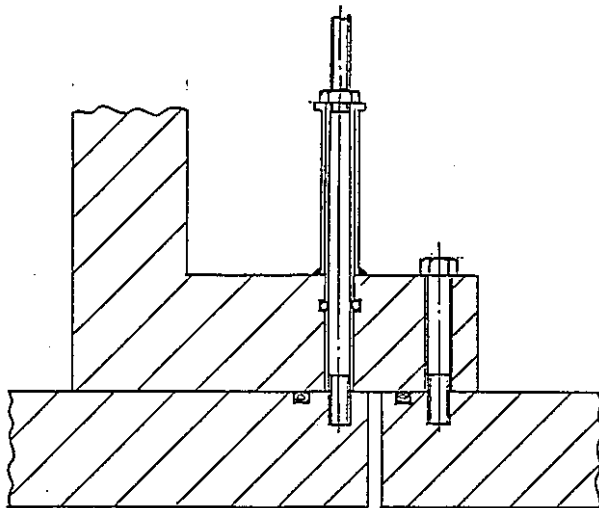


図-16 大回転プラグ撤去用キャスク取付概略図





キャスク内に回転プラグを収納し、ドアバルブを閉めた後、ドアバルブ上に乗せていたキャスク底蓋にジャッキボルトを取付ける。



ジャッキボルトによりキャスク底蓋を引き上げ固定する。

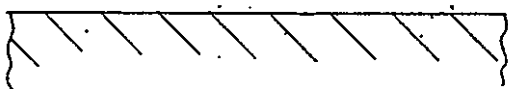


図-17.

A部詳細

## II-2 回転プラグ新規設計・製作の検討

回転プラグの合理化及び現有設備で発生している不具合事象の未然防止対策を講じた新設計に基づく概念、構想図を図-19に示している。

新設計での主な改造・改良（案）及び合理化項目は次の通りである。

- (i) Na蒸着防止システムの追設
- (ii) ジャッキアップ・ダウン機構の削除
- (iii) 駆動系構成部品のコンパクト化
- (iv) プラグ冷却系の削除
- (v) 燃料交換の強制引抜・挿入機構化

これら構想の概念については、以下に記載するものとする。

### (1) Na蒸着防止システムの追設

大回転プラグ組棒と原子炉容器間（及び小回転プラグ組棒間）のアニュラス部で熱サイフォン現象が生じないように下層Arガス上層Heガスを充填し、成層化現象を強制的に起こさせてNaペーパー・ミストの上昇を抑制する。

ここに、大回転プラグと原子炉容器間、オーバーフロー系ノズルのカバーガスと完全に連通し、Heガス層の形成安定性が困難なため、カバーガス空間にNa液面を有するNa貯留バケットを挿入設置している。

Arガス (at 500℃) とHeガス (at 100℃) の比重量の比は、約3.6  
(0.62/0.172) である。

この概念を図-18に示している。

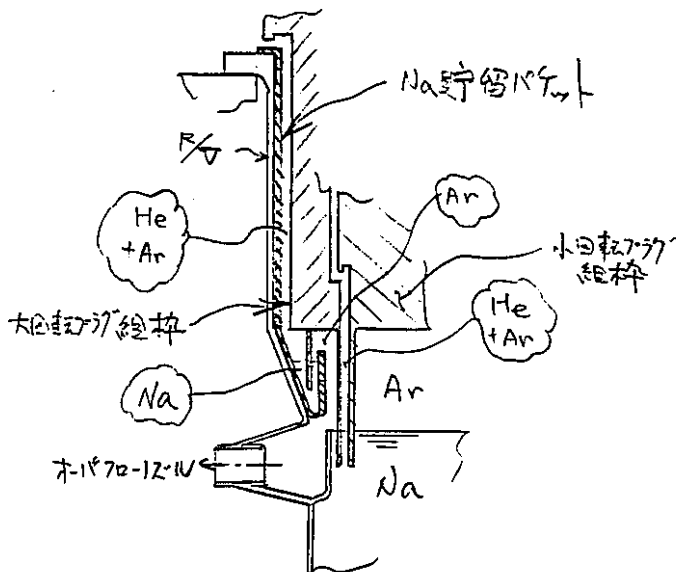


図-18

## (2) ジャッキアップ・ダウン機構の削除

回転プラグのジャッキダウン不調対策の一環として、前記(1)でのNa蒸着防止策に期待し、ジャッキアップ・ダウン機構を削除する。

ここに、耐震性、防振性強化を図るため、軸受はクロスローラベアリングを採用し、スラスト、ラジアル及びモーメント等総ての方向の荷重に対応出来るようにしている。

## (3) 駆動系構成部品のコンパクト化

駆動フランジの材質変更（鋳鉄→鍛鋼品）及び駆動装置の減速機方式変更（遊星歯車減速→サイクロ減速）と設置方法変更（上方設置→下方沈込み設置）等実施して駆動系構成部品の小型化を図る。

## (4) プラグ冷却系の削除

回転プラグのしゃへい胴下層部と上層部へ真空断熱材をそれぞれ積層し、断熱効果を高め、 $N_2$ ガスによるプラグ冷却系設備を削除する。

この真空断熱材の構造としては、真空ボールとこれを挟み込む両面ディンプル状真空箱を組合せたものを積層する案が考えられる。

## (5) 燃料交換の強制引抜・挿入機構化

現状の燃料交換機は、グリッパ機構部の自重降下によって、炉心集合体を挿入する機構であるため、案内管内面に蒸着したNaの抵抗等で作動不良が生じることも予測される。

ここでは、回転プラグの稼働率向上の一環として、燃料交換機改造（案）も提案しておくものとする。

燃料交換中の炉心集合体引抜・挿入に必要なストロークをボールネジ・ナットで駆動し、グリッパの着脱をスプラインとギヤの組合せで操作・駆動出来るように可動ケーシング内へこれらを並設する。可動ケーシングは固定側ケーシングへテレスコピック状に係合され、本燃料交換機の据付又は撤去時のみ伸長させて、グリッパ機構部を収納出来るようにしている。

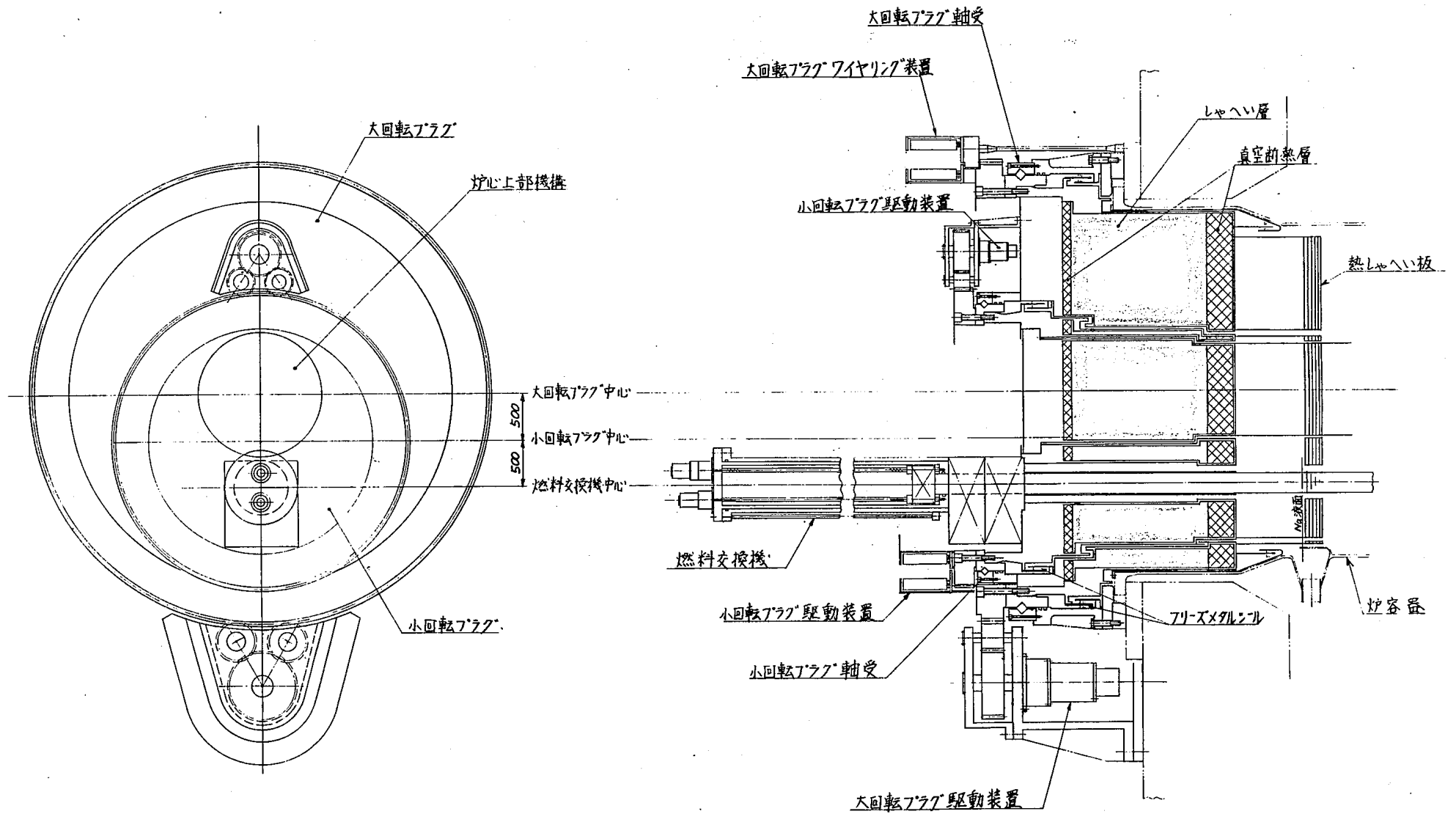
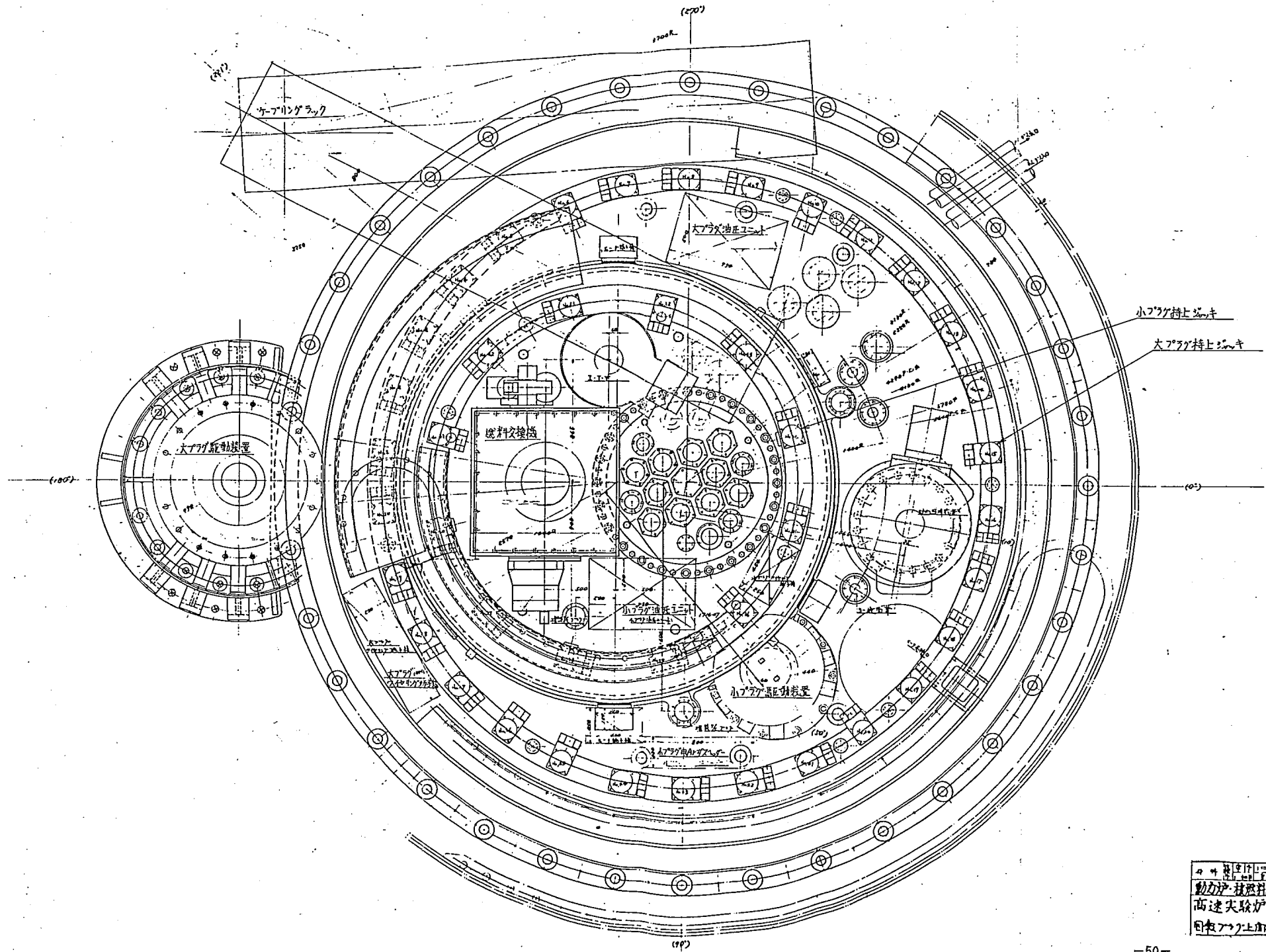


図-19 回転プラグ新設計構想図





動力炉・核燃料開発事業団  
 高速実験炉「常陽」  
 炉内プラグ上の検出器設置図