

JAERI-Tech
2003-023



JP0350211



高温工学試験研究炉(HTTR)内炉心支持黒鉛構造物の
供用期間中検査装置の開発

2003年3月

角田 淳弥・塙 悟史・菊地 孝行・石原 正博

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

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

高温工学試験研究炉(HTTR)内炉心支持黒鉛構造物の 供用期間中検査装置の開発

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉開発部
角田 淳弥・塙 悟史+・菊地 孝行・石原 正博++

(2003年 1月 30日受理)

高温工学試験研究炉(HTTR)では、炉心支持黒鉛構造物の健全性を確認するために、供用期間中検査(ISI)としてのTVカメラを用いた炉心支持黒鉛構造物の目視検査及びサーベイランス試験片を用いた物性値の測定を行うこととしている。そこで、平成8年9月から平成10年6月にかけて、目視検査に用いる供用期間中検査装置の開発を行った。また、開発した検査装置を用いて炉心支持黒鉛構造物の初期据え付け時における目視検査を行った。その結果、TVカメラを用いた炉心支持黒鉛構造物の目視検査で、鮮明な画像が得られることを確認するとともに、炉心支持黒鉛構造物の初期据付時の健全性を確認した。

大洗研究所：〒311-1394 茨城県東茨城郡大洗町成田町新堀 3607

+ 材料試験炉部

++ 核熱利用研究部

Development of In-service Inspection System for Core Support Graphite Structures in the
High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)

Junya SUMITA, Satoshi HANAWA⁺, Takayuki KIKUCHI and Masahiro ISHIHARA⁺⁺

Department of HTTR Project
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received January 30, 2003)

Visual inspection of core support graphite structures using TV camera as in-service inspection and measurement of material characteristics using surveillance test specimens are planned in the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) to confirm structural integrity of the core support graphite structures. For the visual inspection, in-service inspection system developed from September 1996 to June 1998, and pre-service inspection using the system was carried out. As the result of the pre-service inspection, it was validated that high quality of visual inspection with TV camera can be carried out, and also structural integrity of the core support graphite structures at the initial stage of the HTTR operation was confirmed.

Keywords: HTTR, In-service Inspection, Core Support Graphite Structure,
In-service Inspection System, Pre-service Inspection

⁺ Department of JMTR

⁺⁺ Department of Advanced Nuclear Heat Technology

目 次

1. はじめに	1
2. 供用期間中検査及びサーベイランス試験内容	7
2.1 固定反射体ブロック	7
2.2 高温プレナムブロック	7
2.3 サポートポスト	8
2.4 炉床部断熱層	8
3. 供用期間中検査装置の開発	11
3.1 機器構成	11
3.2 機器仕様	11
3.2.1 全体仕様	11
3.2.2 各機器仕様	12
3.3 機器設計	13
3.3.1 耐放射線カメラ	13
3.3.2 サポートユニット	13
3.3.3 カラム用ガイド管	14
3.3.4 昇降駆動装置	14
3.3.5 制御盤	15
3.4 昇降駆動装置の運転	16
3.4.1 通常運転	16
3.4.2 異常時の運転	16
4. 供用前検査	29
4.1 供用前検査方法	29
4.2 供用前検査結果	29
5. まとめ	36
謝辞	37
参考文献	37

Contents

1.	Introduction	1
2.	Outline of In-service Inspection and Surveillance Test	7
2.1	Permanent Reflector Block	7
2.2	Hot Plenum Block	7
2.3	Support Post	8
2.4	Core Bottom Structure	8
3.	Development of In-service Inspection System	11
3.1	Constitution	11
3.2	Specification	11
3.2.1	Overall Specification	11
3.2.2	Specification of Equipment	12
3.3	Design	13
3.3.1	TV Camera	13
3.3.2	Support Unit	13
3.3.3	Column Guide Pipe	14
3.3.4	Up and Down Driving System	14
3.3.5	Control Panel	15
3.4	Operation of Up and Down Driving System	16
3.4.1	Normal Operation	16
3.4.2	Operation at Abnormal Events	16
4.	Pre-service Inspection	29
4.1	Method of Pre-service Inspection	29
4.2	Results of Pre-service Inspection	29
5.	Conclusion	36
	Acknowledgement	37
	References	37

1. はじめに

高温工学試験研究炉(High Temperature Engineering Test Reactor: 以下、「HTTR」と称す)は、原子炉熱出力 30MW、原子炉出口ヘリウムガス温度最高 950°C の高温ガス炉で、高温ガス炉の技術基盤の確立及び技術の高度化並びに高温工学に関する先端的基礎研究のための試験研究に供される⁽¹⁾。

HTTR の炉内構造物は、高温のガスを得るため耐熱性に優れた黒鉛構造物により構成され、黒鉛構造物はその機能及び交換の可能性等を考慮して、大きく炉心黒鉛構造物と炉心支持黒鉛構造物に分類される。

炉心支持黒鉛構造物は図 1.1 に示すように固定反射体ブロック、高温プレナムブロック、サポートポスト及び炉床部断熱層から構成されている。これらの炉心支持黒鉛構造物は、図 1.2 に示すように燃料体ブロック、制御棒案内ブロック及び可動反射体ブロック等の炉心黒鉛構造物を支持し、荷重を圧力容器に伝えるとともに熱遮へい等の機能を有している。原子炉級微粒等方性黒鉛(IG-110 黒鉛)は、耐放射線性、耐腐食性及び高強度を有しており、サポートポスト及びキー等に使用される。原子炉級準等方性黒鉛(PGX 黒鉛)は大型の構造物、即ち固定反射体ブロック、高温プレナムブロック及び炉床部断熱層に使用されている。炭素(ASR-OBR 炭素)は断熱性と長期にわたる寸法安定性に優れ、炉床部断熱層に使用されている。これらの黒鉛及び炭素材料の特性を表 1.1 に示す⁽²⁾。

HTTR では炉心支持黒鉛構造物の健全性を確認するために、供用期間中検査(ISI)としての TV カメラを用いた炉心支持黒鉛構造物の目視検査及びサーベイランス試験片を用いた物性値の測定を行うこととしている。炉心支持黒鉛構造物の目視検査において、供用期間中検査装置に要求される内容は、①検査対象物の有害な欠け、破断等が確認できるように炉内黒鉛構造物の外観検査における有害な割れの判定として用いた黒鉛製の限度見本⁽³⁾が識別できること、②炉心内を撮影するカメラが、検査対象物の健全性を確認するために必要なそれぞれの位置までカメラヘッドを移動できること、③カメラで撮影した映像が、検査の判定が可能となる十分な解像度を得られるように、撮影用のカメラが適切なレンズ倍率と照明ランプを有すること及び④TV カメラを炉内に挿入・取出する際に、炉内構造物に損傷を与えない構造であること、である。そこで平成 8 年 9 月から平成 10 年 6 月にかけて、これらを満足するような供用期間中検査装置を開発した。

本報は供用期間中検査装置の開発及び炉心支持黒鉛構造物の初期据付時における目視検査(供用前検査、PSI)の結果についてまとめたものである。

表 1.1 未照射 IG-110 黒鉛、PGX 黒鉛及び ASR-OBR 炭素の特性値(標準値)

	IG-110 黒鉛	PGX 黒鉛	ASR-OBR 炭素
かさ密度*(Mg/m ³)	1.78	1.73	1.65
平均引張強さ*(MPa)	25.3	8.1(径方向) 30.6(軸方向)	6.8(径方向) 50.4(軸方向)
平均圧縮強さ*(MPa)	76.9		
縦弾性係数*(10 ⁴ MPa)	0.79	0.65(径方向)	0.87(径方向)
(± 1/3Su 勾配)**			
平均熱膨張係数(10 ⁻⁶ /°C)	4.06	2.34(径方向) 2.87(軸方向)	4.40(径方向) 4.89(軸方向)
熱伝導率(W/m · K)	79.5	75.4(径方向)	10.1
灰分(ppm)	100 以下	7000 以下	5000 以下
粒径(μ m)	20	800 以下	2000 以下

*室温での値

**応力一ひずみ曲線における基準引張強さ及び基準圧縮強さの 1/3 の点を結んだ直線の勾配

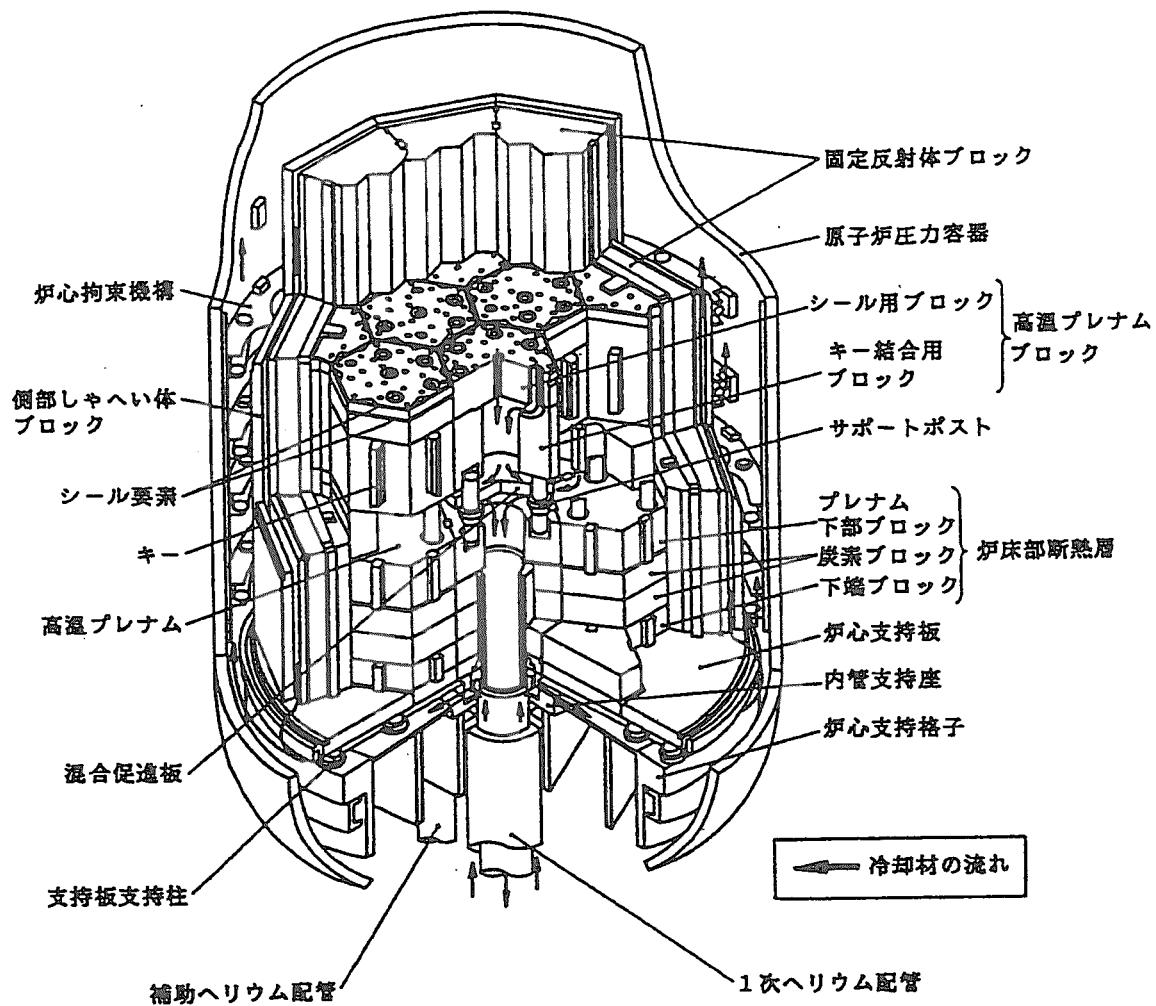


図 1.1 HTTR 炉心支持黒鉛構造物

This is a blank page.

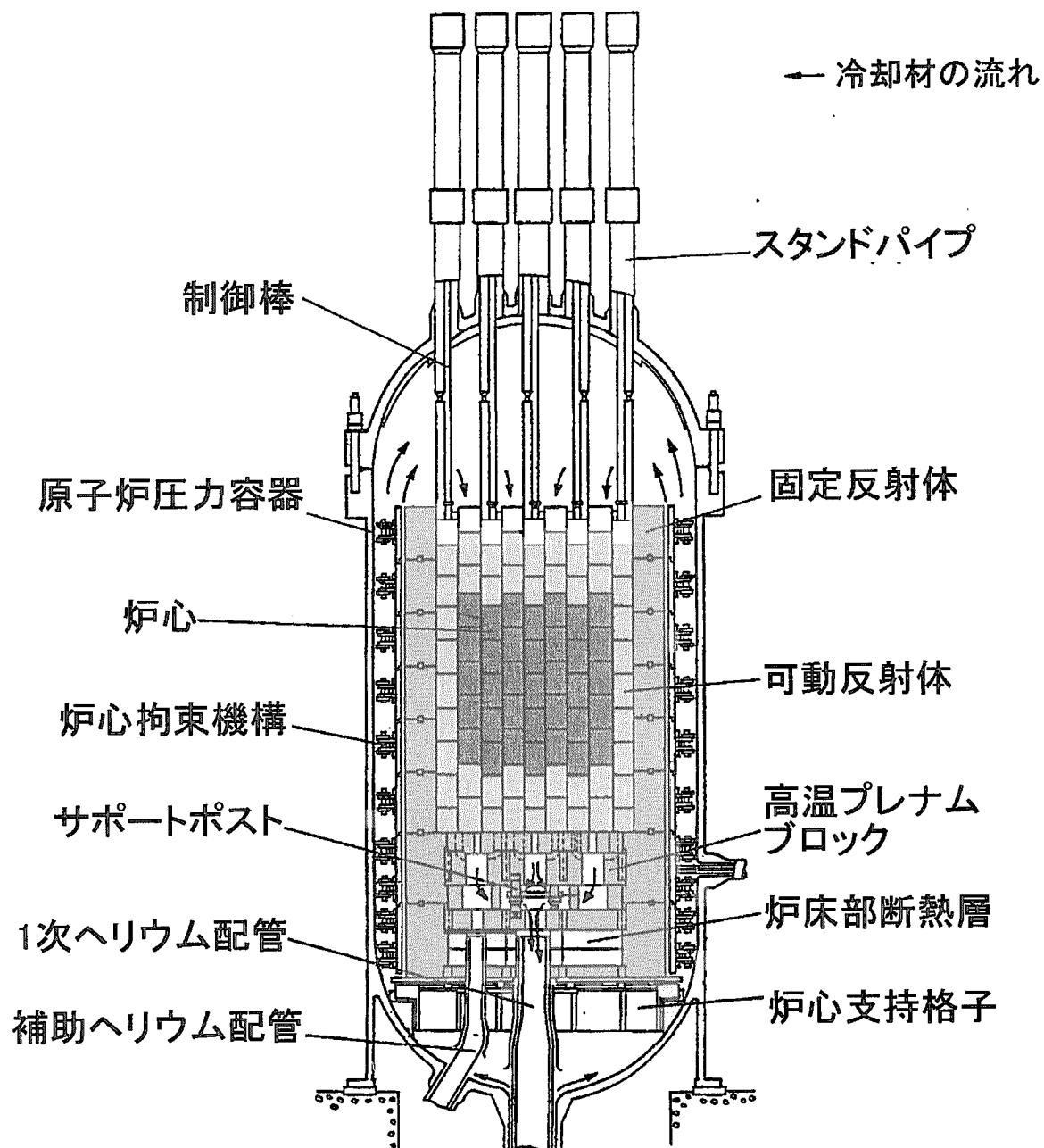


図 1.2 HTTR の縦断面図

This is a blank page.

2. 供用期間中検査及びサーベイランス試験内容

炉心支持黒鉛構造物は図 1.1 に示すように、固定反射体ブロック、高温プレナムブロック、サポートポスト及び炉床部断熱層等から構成され、黒鉛ブロックの積層構造である炉心を外側から所定の位置に配置し、炉心を支持するとともに、中性子の漏えい防止、熱遮へい、放射線遮へい等の安全機能を有している。TV カメラによる目視検査対象構造物を図 2.1 及び図 2.2 に示す。以下にそれぞれの機能と供用期間中検査及びサーベイランス試験の内容について述べる⁽⁴⁾。

2.1 固定反射体ブロック

固定反射体ブロックは多角形柱上の黒鉛ブロックであり、炉心及び炉床部構造物の配列を外側から保持し、かつ中性子の漏えい防止、放射線遮へい等の機能を有している。固定反射体ブロックが破損しても、隣接ブロックとのキー結合及び炉心拘束機構等によりブロックとしての形状は維持され、炉心の保持機能は維持される。また、中性子の漏えい防止、放射線の遮へい等の機能も維持される。固定反射体ブロックのキー構造等が破壊した場合には、固定反射体ブロックの配列に異常が生じ、結果として炉心配列にズレが生じ、漏れ流れやカラム間の隙間の流れが増加して炉心内の冷却性が劣化し、燃料粒子被覆層の破損を生じる可能性がある。また、炉心内部の固定反射体ブロックの内面が破壊した場合には、その破片がシール用ブロックの上面に落下し、燃料交換時に黒鉛ブロックが傾く原因となり、クロス流れやカラム間の隙間の流れが増加する可能性がある。従って供用期間中検査では、固定反射体ブロックの破損及び配列の異常に着目する必要がある。

固定反射体の破損及び配列の異常等を検知するために、テレビカメラ等による目視検査を行う。炉心側部の固定反射体ブロックについてはその内面を検査し、配列状態のほか割れ等の異常を調べる。炉床部側部の固定反射体については、炉床部側部の固定反射体ブロックと隣接するシール用ブロックとの段差を観察することによってその配列状態を推定する。また、中性子照射の影響等による素材の経年変化については、サーベイランス試験片で材料試験を行う。

2.2 高温プレナムブロック

高温プレナムブロックは六角柱状の黒鉛ブロックであり、シール用ブロック及びキー結合用ブロックからなる 2 層構造で、炉心を支持する機能を有している。高温プレナムブロックが破損しても、隣接ブロックとのキー結合によりブロックとしての形状は維持され、炉心支持機能は維持される。キー構造等が破壊した場合には、高温プレナムブロックの配列の異常により、炉心の配列にズレや傾きが生じる可能性がある。また、シール用ブロックの上面に割れ等が発生した場合には、燃料体の黒鉛ブロックが傾く原因となることから、供用期間中検査では高温プレナムブロックの破損及び配列の異常に着目する必要がある。

高温プレナムブロックの破損及び配列の異常等を検知するために、キー結合ブロックの下面等をテレビカメラ等で目視検査し、隣接ブロック間の段差や破損状況等を検査する。また、酸化の影響についてはサーベイランス試験片で材料試験を行う。

2.3 サポートポスト

サポートポストは両端が球面になった黒鉛円柱で、高温プレナムブロックを介して炉心を支持するとともに高温プレナムを形成する機能を有しており、3本で1個のキー結合用ブロックを支持している。サポートポストは、1本でもキー結合用ブロック1個を支持できるように設計しているので、サポートポスト3本のうちの2本に破壊や転倒が生じても炉心の支持機能は喪失しない。しかし、サポートポストが破壊すれば炉心が傾く可能性がある。また、サポートポストは冷却材の不純物により酸化される可能性がある。従って、供用期間中検査では、サポートポストの破壊状況及び転倒並びに酸化に着目する必要がある。

サポートポストの破壊状況及び転倒の有無を調べるために、テレビカメラ等で目視検査を行う。また、酸化の影響についてはサーベイランス試験片で材料試験を行う。

2.4 炉床部断熱層

炉床部断熱層は高温プレナムの下部にあって炉心を支持するとともに、炉心支持板の高温化を抑制するもので、六角柱状のプレナム下部ブロック、炭素ブロック及び下端ブロックの積層構造である。炉床部断熱層が破損しても、プレナム下部ブロック及び下端ブロックは隣接ブロックとのキー結合によって、また炭素ブロックは上下のブロックとのダウエル結合により、ブロックとしての形状は維持される。炭素ブロックに割れが生じ、1個のブロックが数個の小ブロックに分割しても、小ブロック間の隙間にヘリウムが滞留するだけであり、下方が低温、上方が高温のためにヘリウムの自然対流等の影響は少なく、炭素ブロックの断熱機能は維持できる。プレナム下部ブロックのキー構造等が破壊した場合には、地震時にプレナム下部ブロックが想定以上に変位し、その変位がサポートポストや高温プレナムブロックにかかる地震荷重を増大させ、各構造物を破損させる可能性がある。また、下端ブロックのキー構造及び炭素ブロックのダウエル構造等が破損した場合には、地震時に各ブロックの繰返し衝突により割れや欠け等が進展し、その破片が各ブロックの欠け等により生じた隙間に侵入して炉床部断熱層が傾き、結果として炉心が傾く可能性がある。さらに、炭素ブロックを高温雰囲気中で使用した結果、熱伝導率が上昇して断熱性能が低下した場合には、炉心支持板の温度が上昇して変形する可能性がある。

炉床部断熱層の破損及び配列の異常等を検知するために、テレビカメラ等による目視検査を行う。プレナム下部ブロックについてはブロック上面を観察し、破損状況やキー構造の健全性を調べる。炭素ブロックや下端ブロックの異常によって生じる炉心の傾きは、プレナム下部ブロックの上面等で各ブロック間の段差を観察することで調べる。また炭素ブロックの熱伝導率変化は、炉心支持板に設置した熱電対の温度を計測することにより監視する。

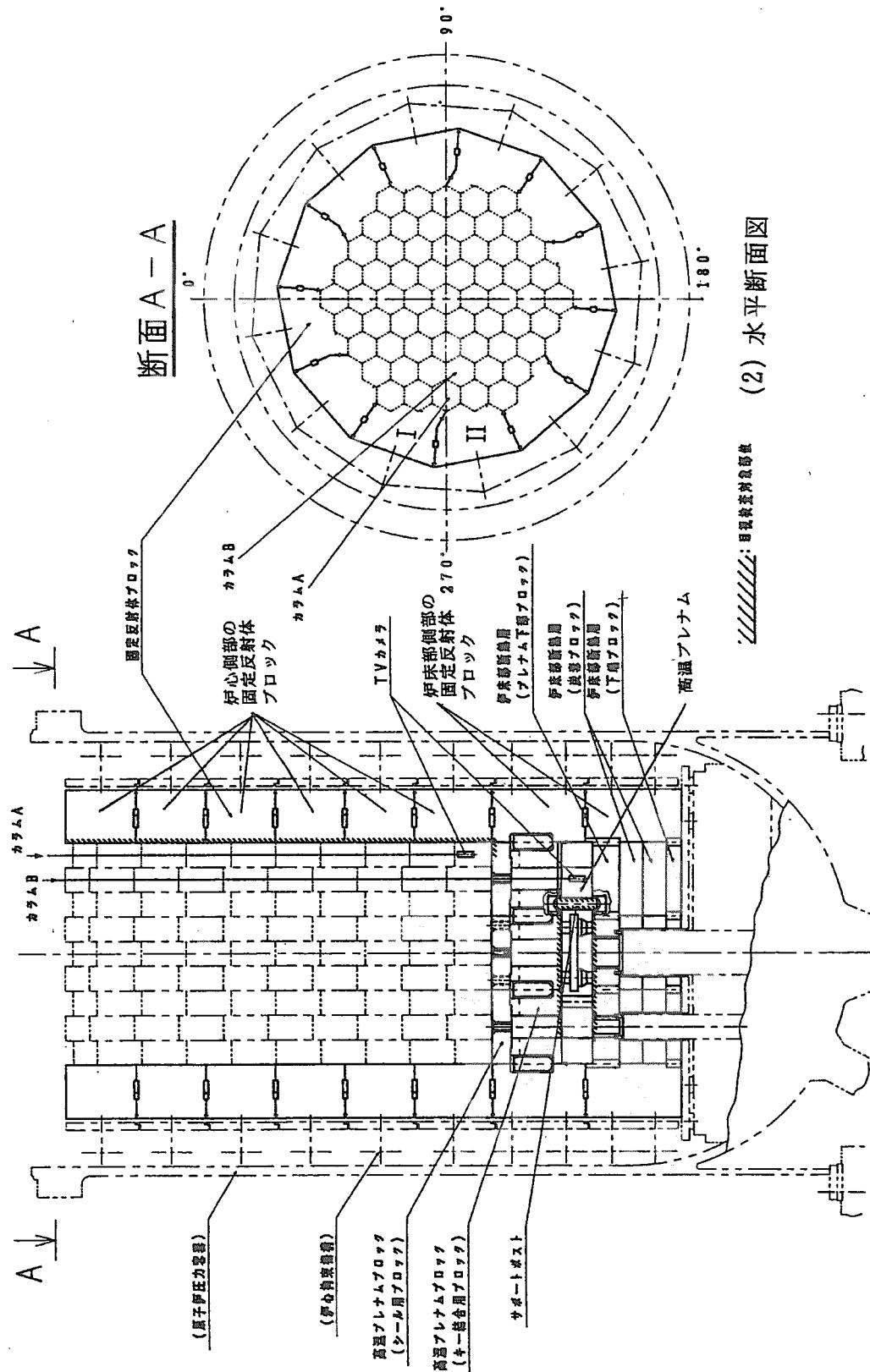


図 2.1 目視検査対象構造物(1/2)

(1) 垂直断面図

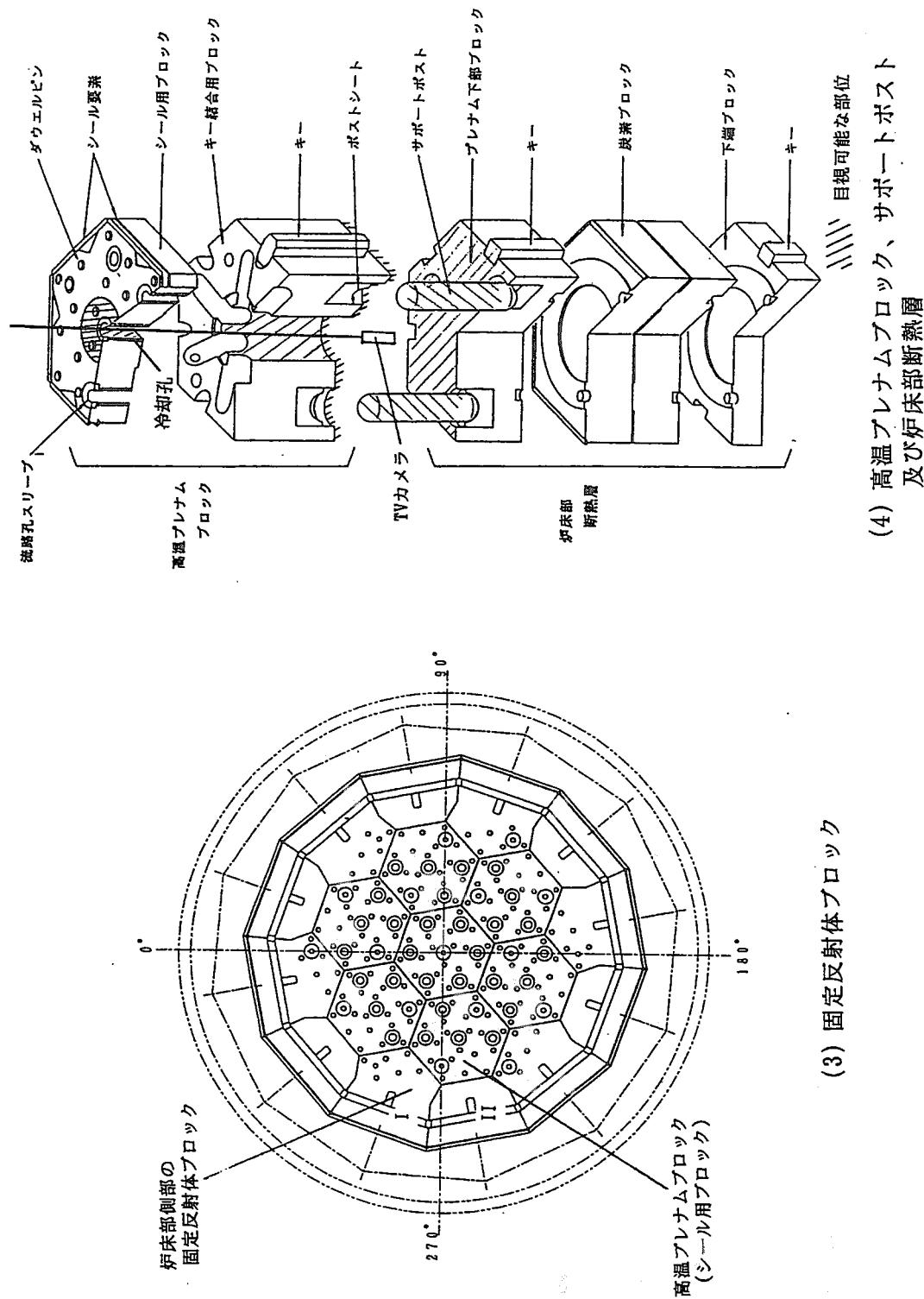


図 2.2 目視検査対象構造物(2/2)

3. 供用期間中検査装置の開発

炉内構造物供用期間中検査装置は、供用期間中検査として必要な固定反射体ブロック内面、シール用高温プレナムブロック上面及びサポートポストプレナム下部ブロック上面等の黒鉛構造物の配列の異常及び表面状態を耐放射線 TV カメラを用いて目視検査するとともに録画し、必要に応じて画像処理を行い欠陥の解析及びデータ処理を行う設備である。機器外形図を図 3.1 に示す。

供用期間中検査は、スタンドパイプ直下の E19 カラム及びスタンドパイプ直下カラムに隣接した D14 カラムにカメラを挿入して行う。図 3.2 に HTTR の炉心配置図を示す。装置本体から検査対象部の距離は最大で 17m 程度と遠く、しかもスタンドパイプからオフセットした D14 カラム下端の高温プレナムブロックの $\phi 80\text{mm}$ 流路孔を、高温プレナムブロックの上面から 1.3m 降りた位置で、直視及び 360° 側視する必要がある。このため、D14 カラムへサポートユニットを誘導するオフセットスライダー付きのカラム用ガイド管及びカラム内で TV カメラをカラムセンターに保つためのサポートユニットを開発した。また、検査対象部へのカメラの接近性から最大 1m の距離において黒鉛表面の $\phi 2.0\text{mm}$ の孔及び 1.0mm 幅の線状欠陥を鮮明な画像で確認できるよう耐放射線性レンズと照明ランプ、リフレクター構造等の工夫を行った。

3.1 機器構成

炉内構造物供用期間中検査設備は、次に示す機器によって構成される。

(1) 炉内設備

- ① 耐放射線 TV カメラ
- ② サポートユニット
- ③ カラム用ガイド管

(2) 炉外設備

- ① 昇降駆動装置
- ② 制御盤

3.2 機器仕様

3.2.1 全体仕様

(1) 炉内設備

- | | |
|----------|---------------------------------|
| ① 雰囲気圧力 | : 大気圧～0.1MPa 未満(ヘリウムガス置換時に真空引き) |
| ② 最高使用温度 | : 原子炉圧力容器内 55°C
原子炉圧力容器外 常温 |
| ③ 雰囲気 | : ヘリウムガス、空気 |

(2) 炉外設備(制御盤を除く)

- | | |
|----------|-------------------------------------|
| ① 最高使用圧力 | : 内圧 0.098MPa[gauge]
外圧 0.098MPa |
|----------|-------------------------------------|

② 最高使用温度	: 150°C(昇降駆動装置の床上ドアバルブ接続部)
③ 耐震クラス	: B
④ 雰囲気	: 昇降駆動装置内雰囲気 ヘリウムガス 昇降駆動装置外雰囲気 空気
⑤ 基数	: 1基

3.2.2 各機器仕様

(1)耐放射線 TV カメラ

型式	: 遠隔操作型耐放射線 TV カメラ
基數	: カメラ 1体(リース社製 R93/09) モニタ 1体 コントロールユニット 1体
撮像管	: 耐放射性ビジコン 耐放射性ニュービコン
カメラヘッド外径	: $\phi 63.5\text{mm}$
旋回角度	: 上下方向 90° 左右方向 360°
ケーブル長	: 約 30m
耐放射線性	: 集積吸収線量 $2 \times 10^6\text{Gy}$ (吸収線量率 $3 \times 10^4\text{Gy/hr}$)または 集積吸収線量 $2 \times 10^6\text{Gy}$ (吸収線量率 $1 \times 10^3\text{Gy/hr}$)
カメラ重量	: 7kg(延長ボディを含む)

(2)サポートユニット

型式	: カメラ固定機能付きサポートユニット
基數	: 1基
主要材質	: SUS304
主要寸法	: 二面幅 360mm 六角形×L1560mm
重量	: 82kg

(3)カラム用ガイド管

型式	: オフセットスライダー付きガイド管
基數	: 1基
主要材質	: SUS304TP
主要寸法	: $\phi 512\text{mm} \times L8545\text{mm}$
オフセットストローク	: 最大 360mm
重量	: 850kg

(4)昇降駆動装置

型式	: たて置円筒型
基数	: 1 基
主要材質	: SF440A、SM400A
概略寸法	: L2800mm×W1900mm×H4000mm
ストローク	: 約 20m(カメラケーブル 17.3m)
重量	: 13000kg
昇降速度	: 0.5m/min

(5)制御盤

構造	: 閉鎖移動型
基数	: 1 基
主要寸法	: L800mm×W900mm×H1960

3.3 機器設計

3.3.1 耐放射線カメラ

耐放射線 TV カメラは、サポートユニットに保護、ガイドされ炉心カラム内を昇降し、固定反射体ブロック内面、シール用高温プレナムブロック上面及びサポートポストプレナム下部ブロック上面等の黒鉛構造物の配列の異常及び表面状態を目視検査するものである。また、耐放射線 TV カメラは、サポートアダプタを取付けることにより、ISI 案内管内を昇降し炉心支持機構の異常を確認可能とする。

耐放射線 TV カメラは、撮像管、カメラヘッド、延長ボディ、ラッチ溝スリープ及びカメラケーブル等から構成される。耐放射線 TV カメラの構造を図 3.3 に示す。

耐放射線 TV カメラは、カラム内を昇降する状態において、サポートユニットにて固定ができるようラッチ溝スリープを有している。また、サポートユニットのカメラ固定機構が解除され、耐放射線 TV カメラのみが昇降する状態において、耐放射線 TV カメラがサポートユニットにて支持されるように延長ボディを有している。

固定反射体ブロック内面、シール用高温プレナムブロック上面及びサポートポスト等の目視検査をするため、カメラヘッドは直視、側視及び旋回機能を有している。耐放射線 TV カメラには、距離 180mm～1000mm の範囲において被写体照度が 150 ルクス以上得られる照明が設けられており、被写体(黒鉛材)の φ2.0mm の孔及び 1.0mm 幅の線状欠陥がモニタ確認できる。万一の照明の破損時にもガラス等が飛散しないように、カメラヘッドの下面及び側面のスリット部にはカバーを設けている。

3.3.2 サポートユニット

サポートユニットは、炉心カラム内を昇降し耐放射線 TV カメラの固定、保護、ガイド及び遮へいを行うものである。シール用高温プレナムブロック上に着座した状態で耐放射線 TV カメラの位置決めがなされ、カメラ固定機構が解除され、耐放射線 TV カメラ部のみが高温プレナムブロック流路孔へ下降可能となる。

サポートユニットは連結管、カメラガイド吊りフランジ、吊りヘッド、ワイヤロープ、ガイドローラ及びカバー等から構成される。サポートユニットの構造を図3.4に示す。

サポートユニットのスタンドパイプ直下カラム挿入の際に、カラム用ガイド管を使用せず、スムーズな挿入、引抜きを可能とするため、サポートユニットはS擦り(右擦り)Z擦り(左擦り)の2本のワイヤロープにより吊る構造としている。スタンドパイプ隣接カラム挿入の際に、サポートユニットがカラム用ガイド管をスライドしてスムーズな挿入、引抜きを可能とするため、サポートユニットはガイドローラを有している。また、ガイドローラを可動式とすることにより、上部遮へい体ブロック及び固定反射体ブロック面取り部とあいまって、カラムの位置ズレによる誤差を吸収し、サポートユニットが挿入できるようにしている。さらに、サポートユニットにはガイドローラ間等にカバーを付け、大きな凹凸を無くすように配慮している。

サポートユニットは、ボールラッチ機構にて耐放射線TVカメラを支持する構造としている。これにより、スタンドパイプ挿入時から高温プレナムブロックシール用ブロック上までの間、サポートユニットは耐放射線TVカメラを固定、保護した状態で昇降する。また、着座した後、ボールラッチが開放し、耐放射線TVカメラのみ下降が可能となる。高温プレナムブロックシール用ブロック上にサポートユニット本体が着座した後、Φ80mm流路孔に耐放射線TVカメラが挿入できるようになるため、サポートユニットはカラム内の三方向の面に接するガイドローラを有する構造としている。さらに、耐放射線TVカメラのみ下降する際のガイド及び落下防止をカメラガイドにより配慮している。

サポートユニットは、カメラ本体側部に遮へい体を設置することにより、耐放射線TVカメラ固定時に周囲からの放射線に対して遮へいできる構造としている。サポートユニットに使用するボルト等は、ポンチロック等により落下防止対策を施している。

3.3.3 カラム用ガイド管

カラム用ガイド管は、制御棒(燃料交換用)スタンドパイプ直下カラムに隣接するカラム位置に、サポートユニットをオフセットして挿入、引抜きが行えるようガイドするものである。燃料交換機案内管の内側に設置する。

カラム用ガイド管は、吊りフランジ、上部フランジ、ガイド管、接続プレート、及びプーリー等から構成される。構造図を図3.5に示す。

カラム用ガイド管は、制御棒交換機により取扱えるように、上部形状寸法を燃料交換機案内管の上部と同様としている。カラム用ガイド管は、燃料交換機案内管内側に設置し、燃料交換機案内管内側上部のテーパー部にて重量を支持するとともに、カラム用ガイド管の接続プレート外周面の4方向にキーを取付けることにより燃料交換機案内管に対して位置決めする構造としている。

カラム用ガイド管及び燃料交換機案内管と、カメラケーブル及びワイヤロープとの摺動を避けるために、カラム用ガイド管にはプーリーを有している。カラム用ガイド管に使用するボルト等は、ポンチロック等により落下防止対策を施している。

3.3.4 昇降駆動装置

昇降駆動装置は炉上に固縛された床上ドアバルブに据え付けられ、原子炉の気密を維持した状

態で、耐放射線 TV カメラを保持したサポートユニットを炉心内の検査場所に安全確実に挿入、引抜きを行うもので、ケーシング、胴、巻取り機構、駆動装置及びベースプレート等から構成される。駆動原理を図 3.6 に示す。

巻取り機構を収納したケーシングとサポートユニットを収納する胴はボルトで結合され、床上ドアバルブと昇降駆動装置との間の気密は、胴下面と床上ドアバルブシール面において維持される構造としている。巻取り機構を駆動するモータ、減速機類は容器外に取付け、駆動軸の貫通部には 2 重の軸封シールを設け、漏えいの有無を確認できる構造としている。ケーシングの平面(蓋)等全ての固定シール部も 2 重とし、漏えいの有無を確認できる構造としている。胴にはガス置換ノズルを設け、内部雰囲気の置換を行える構造となっている。

ヘリウム雰囲気で動作する全ての駆動軸は、グリース潤滑の転がり軸受けで支持し、かじりや焼付きを防止している。駆動装置にはシンクロ発信機を設け、耐放射線 TV カメラの昇降位置を精度よく検出できるものとしている。駆動系には手動ハンドルを設け、電源喪失時においてもサポートユニットの昇降操作を可能としている。また、駆動系に無励磁作動型のブレーキ及びウォーム減速機を設け、電源喪失時にもサポートユニット及び耐放射線 TV カメラの落下を防止する。駆動装置にはメンテナンス性を考慮して梯子及び手摺付ステージを設置している。

3.3.5 制御盤

炉内構造物供用期間中検査の運転に関わる監視操作は、準備、後始末及び移動等の現場操作を除き、N-410 に設置された制御盤により行う。図 3.7 に制御盤の外形図(又は写真)を示す。炉内構造物供用期間中検査装置の主要計測制御内容を以下に示す。

- (1) サポートユニット、サポートアダプタの吊上げ、吊下しに関わる計測制御
 - (a) サポートアダプタの昇降位置を計測し表示する。
 - (b) サポートアダプタ及びサポートユニットの昇降トルクを検出し表示する。
 - (c) 昇降系の上昇、下降、停止スイッチを設け、任意の位置への昇降及び停止が行える。
 - (d) サポートユニット及びサポートアダプタの昇降動作時、昇降位置への計測と昇降トルク変化の検出により上限位置、着座位置及び下限位置の各停止位置を判定し、自動測定するとともに、位置表示灯を点灯させる。
- (2) 機器の機械的損傷防止に関わる計測制御
 - (a) 昇降中の炉心構成要素への乗り上げ、あるいは経路での引っ掛けを検出するため、停止位置以外でトルク異常が発生した場合、警報を表示させるとともに、昇降を停止させる。
 - (b) モータ及びクラッチ・ブレーキ等の機器状態監視のため、異常表示灯を設け、異常時に警報を表示させる。
 - (c) 床上ドアバルブが全開でない状態では、サポートユニット及びサポートアダプタが昇降できないように、またサポートユニット及びサポートアダプタが昇降中は床上ドアバルブを閉操作できないように電気的インターロックを設ける。

3.4 昇降駆動装置の運転

3.4.1 通常運転

図 3.8～図 3.10 に示す概略手順により行う。詳細な手順は以下の通り。

- (1) 燃料交換ハッチを取り外し、床上ドアバルブを炉上に設置する。
- (2) 制御棒交換機により、制御棒駆動装置、制御棒を取出す。
- (3) 燃料交換機により、炉心構成要素(E19 カラムの制御棒案内ブロック)を取出す。
- (4) 炉心支持黒鉛構造物の供用期間中検査装置を炉上に移動する。
- (5) 炉心支持黒鉛構造物の供用期間中検査装置により、固定反射体ブロックの内面検査を行う。
- (6) 炉心支持黒鉛構造物の供用期間中検査装置を炉上から移動する。
- (7) 燃料交換機により、炉心構成要素(E19 カラムの制御棒案内ブロック)を装荷する。
その後、炉心構成要素(D14 カラムの燃料ブロック)を取出す。
- (8) 制御棒交換機により、カラム用ガイド管を設置する。
- (9) 炉心支持黒鉛構造物の供用期間中検査装置を炉上に移動する。
- (10) 炉心支持黒鉛構造物の供用期間中検査装置により、高温プレナムブロックの上面検査、サポートポストの表面検査及びプレナム下部ブロックの上面検査を行う。
- (11) 炉心支持黒鉛構造物の供用期間中検査装置を炉上から移動する。
- (12) 制御棒交換機により、カラム用ガイド管を撤去する。
- (13) 燃料交換機により、炉心構成要素(D14 カラムの燃料ブロック)を装荷する。
- (14) 制御棒交換機により、制御棒及び制御棒駆動装置を装荷する。
- (15) 床上ドアバルブを炉上から移動し、燃料交換ハッチを取付ける。

3.4.2 異常時の運転

(1) 電源喪失対応

昇降駆動装置の駆動系には、全て無励磁作動形のブレーキが組み込まれており、電源喪失時には自動停止して、その状態を維持することができる。

(2) 駆動系の故障対応

昇降駆動装置には手動ハンドルを設け、手動による操作を可能にしている。

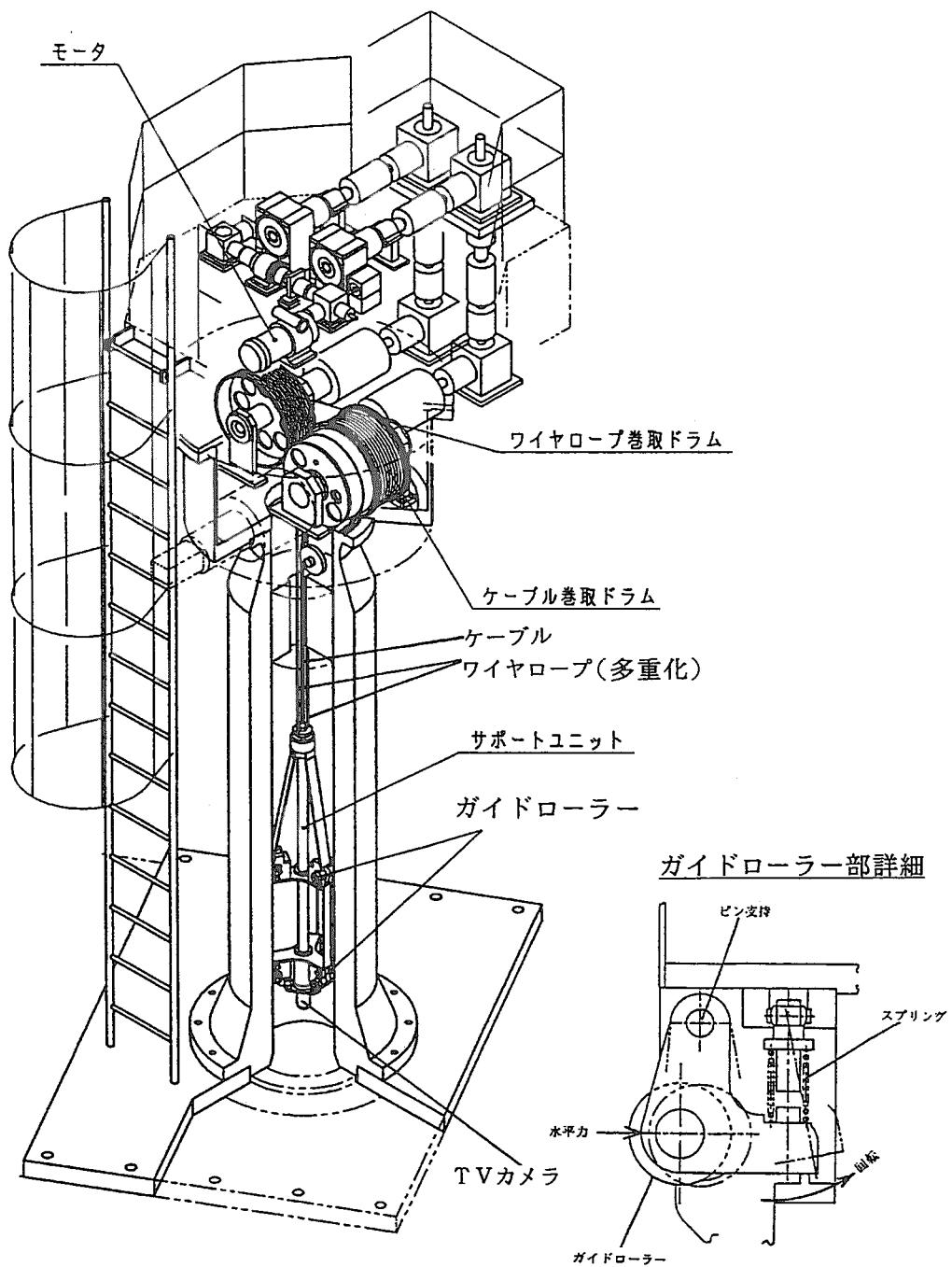


図 3.1 炉心支持黒鉛構造物供用期間中検査装置

This is a blank page.

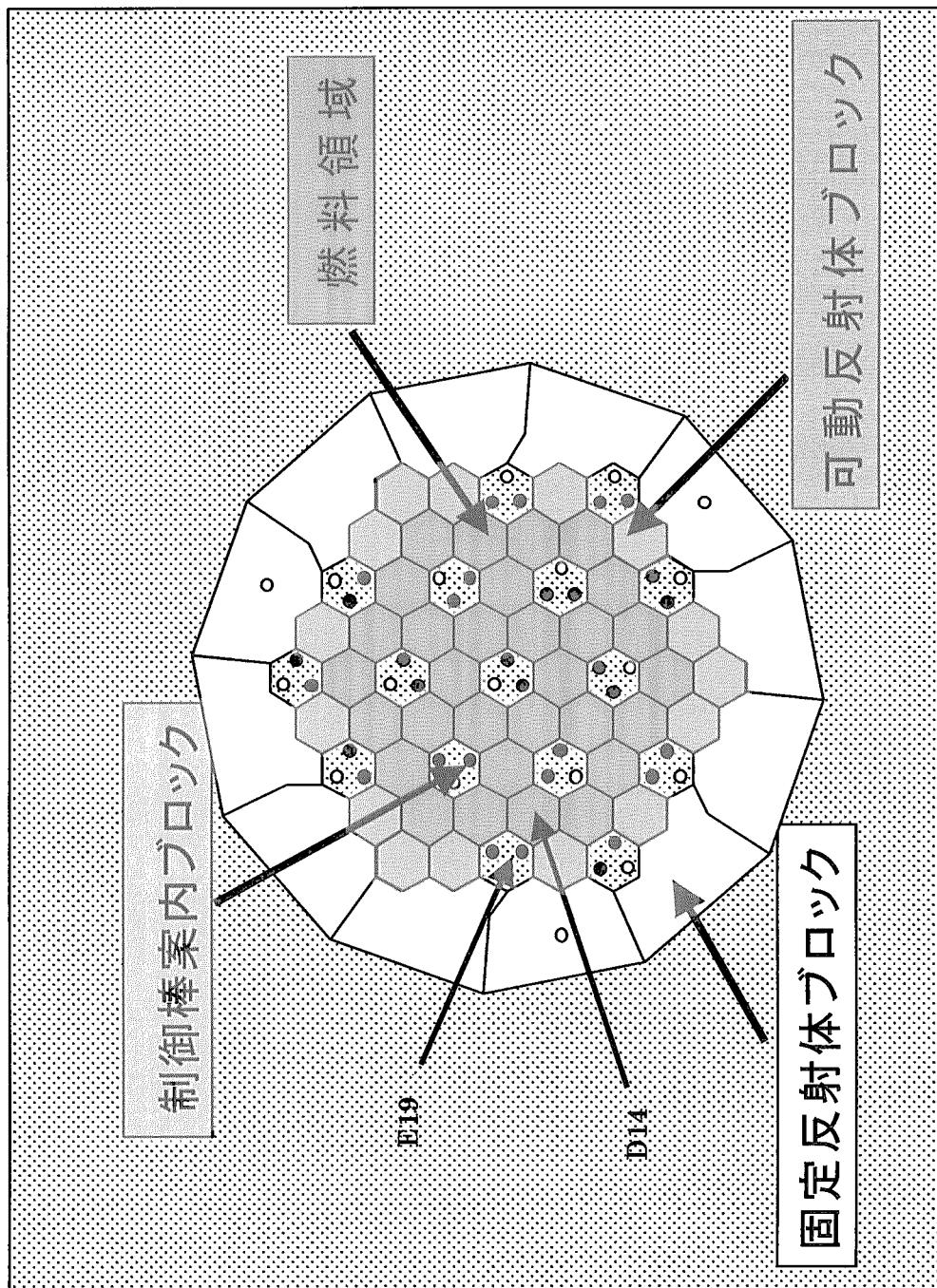


図 3.2 HTTR 燃心配置図

This is a blank page.

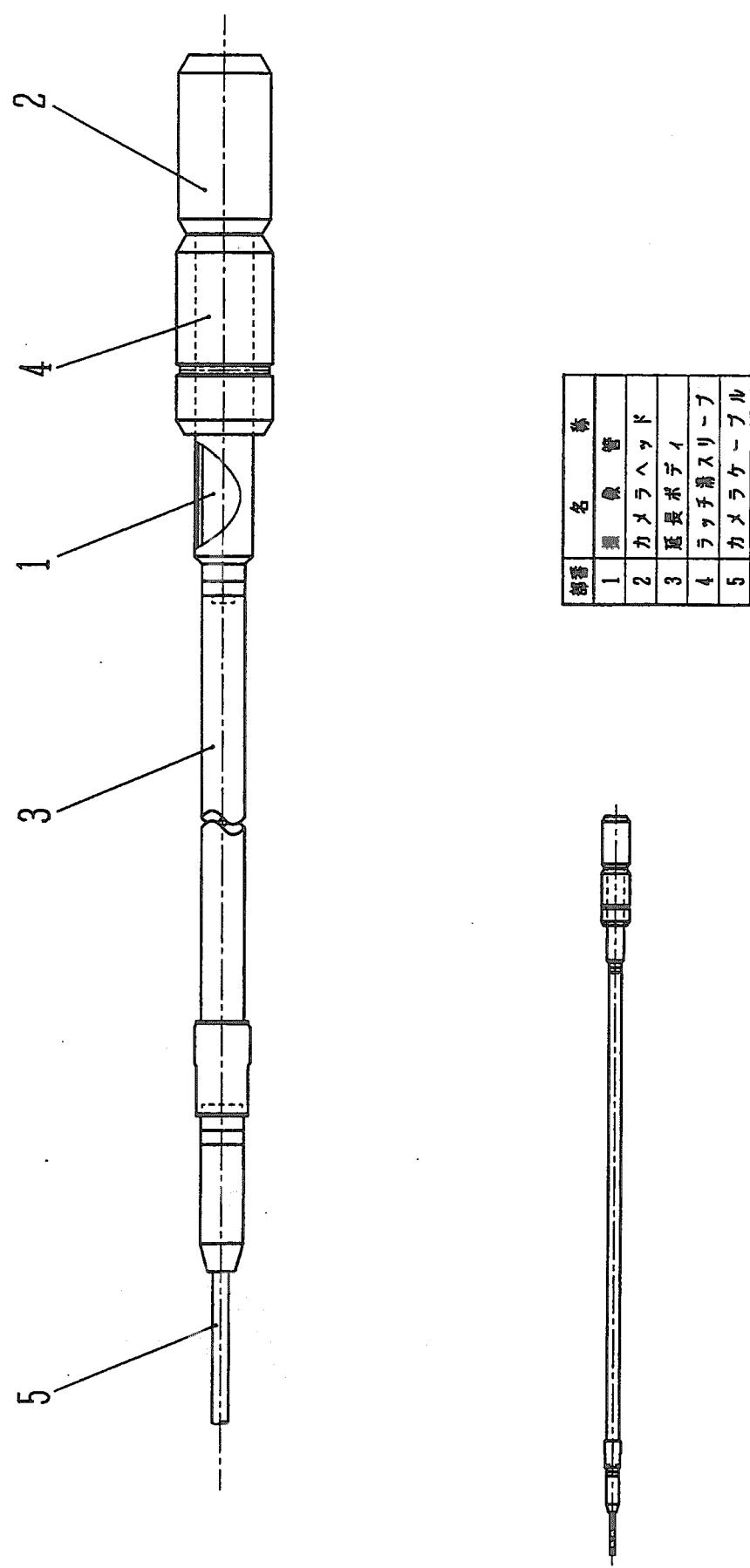


図 3.3 耐放射線 TV カメラ構造図

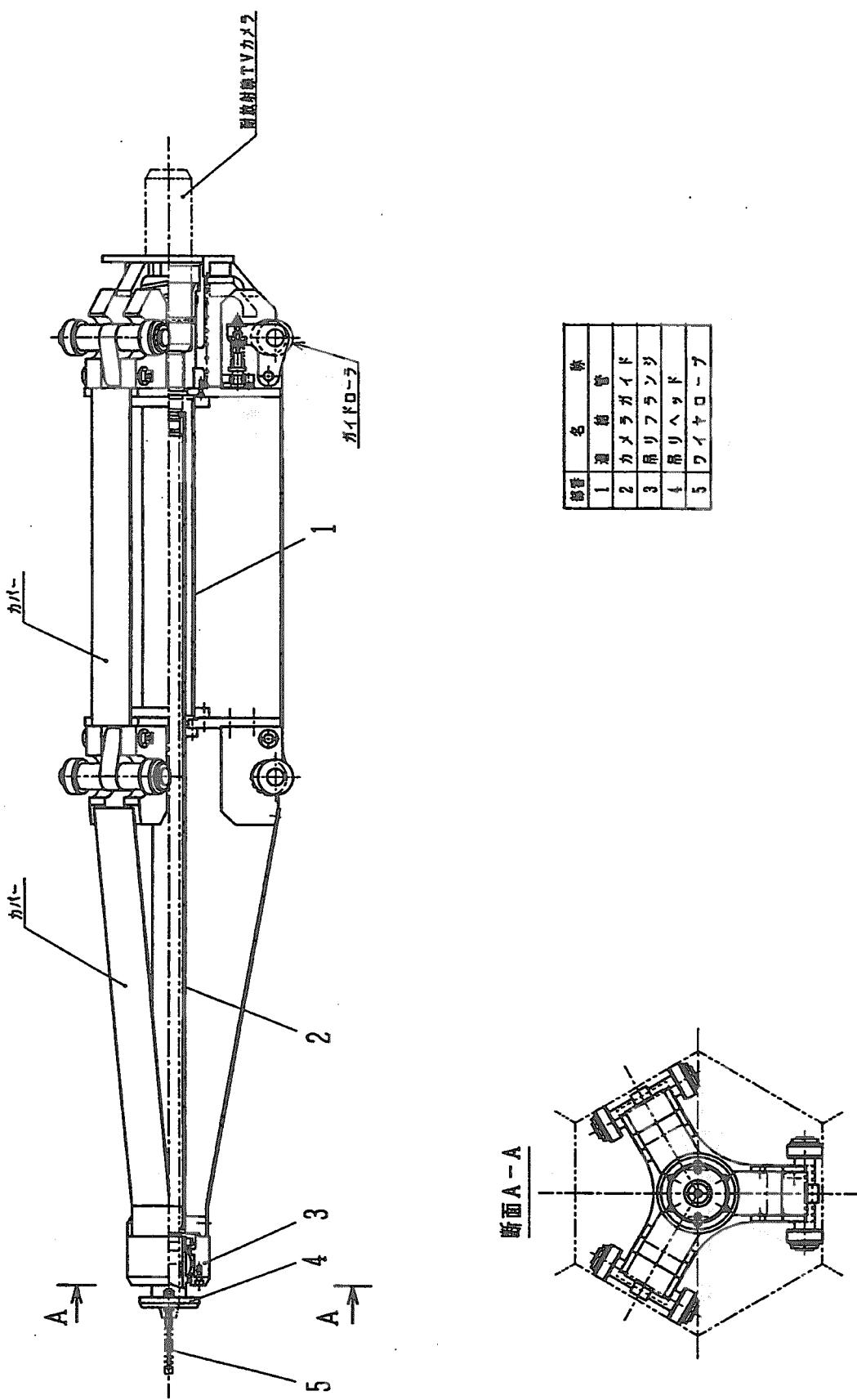


図 3.4 サポートユニット構造図

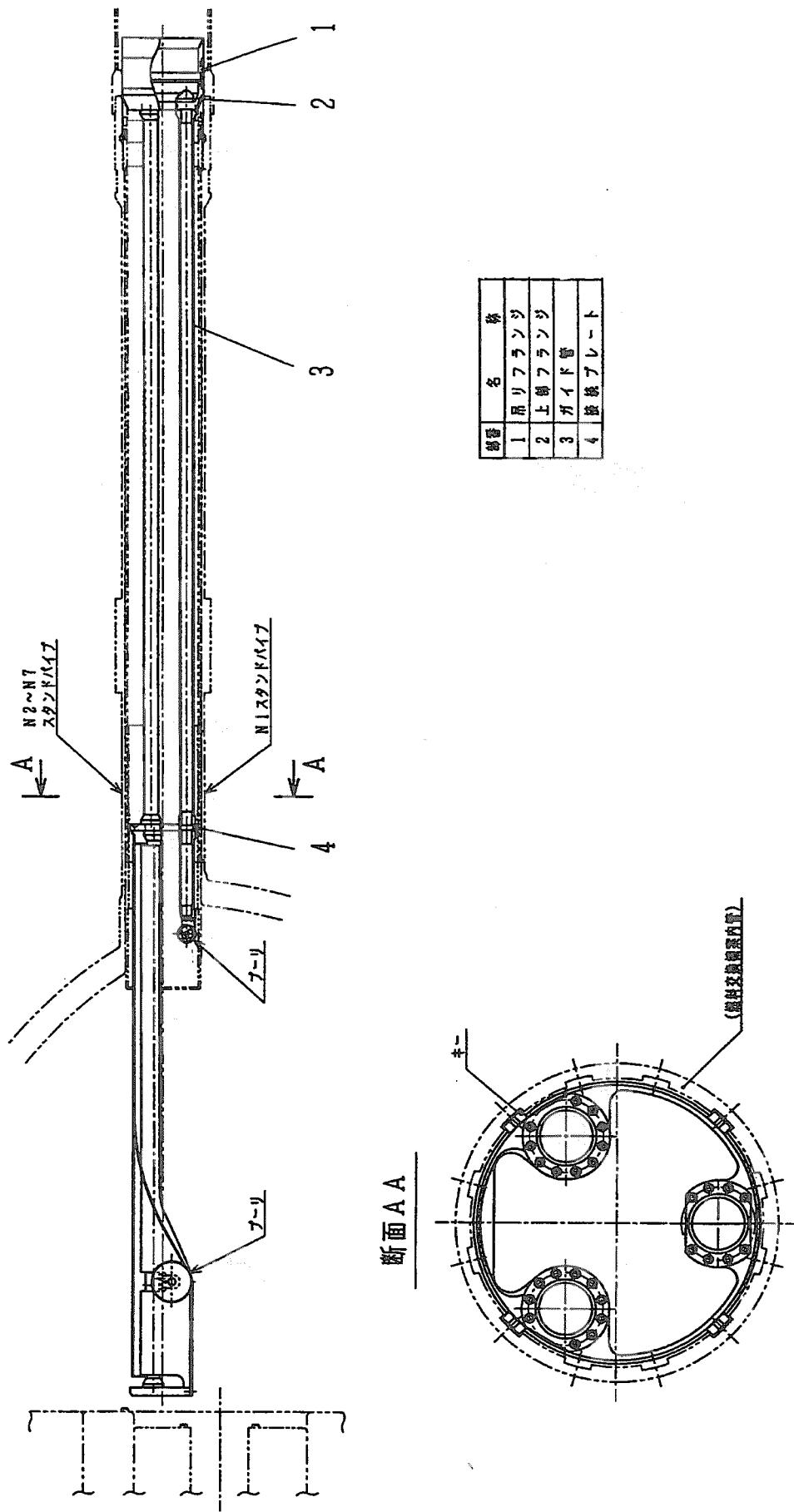


図 3.5 カラム用ガイド管構造図

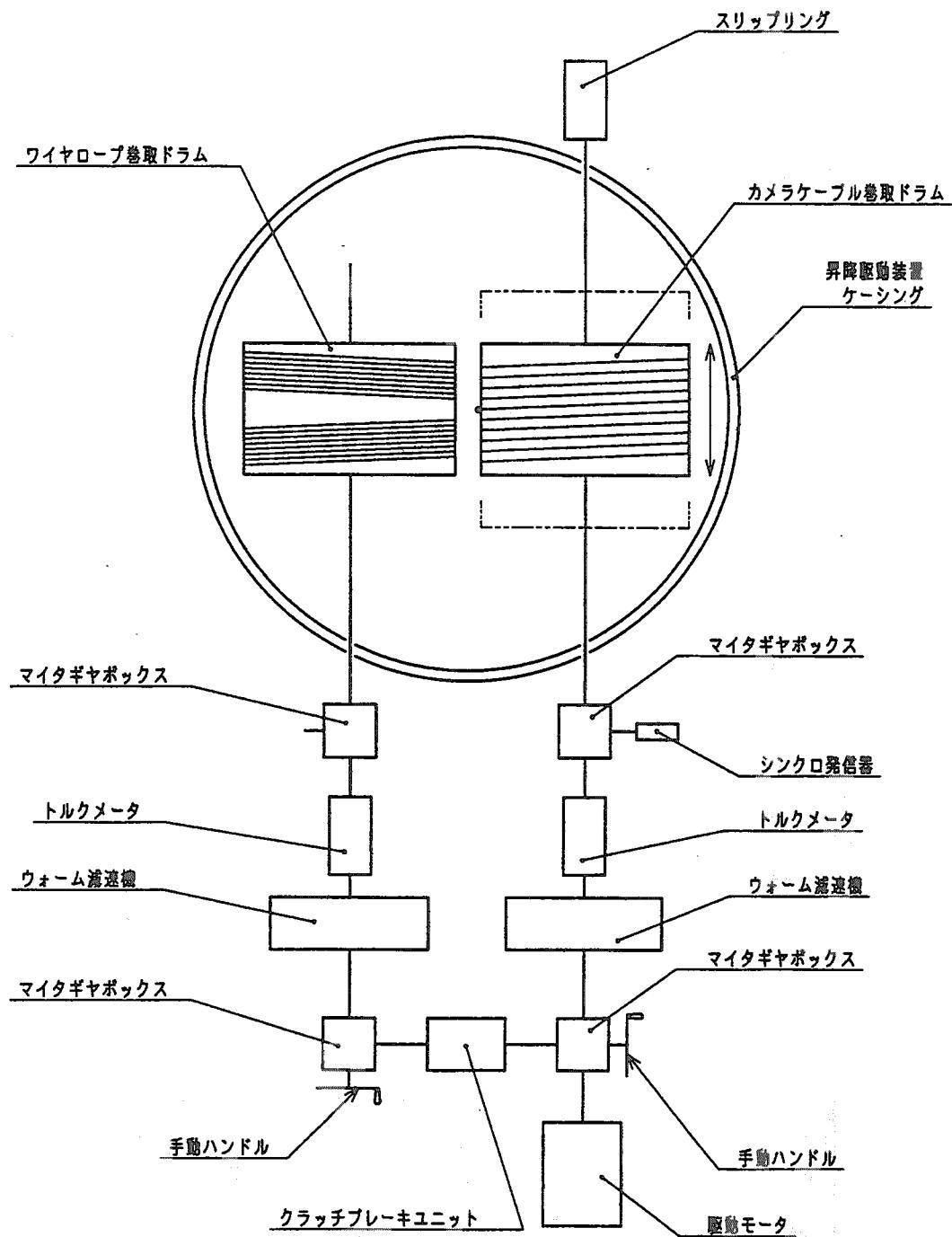


図 3.6 昇降駆動装置原理図

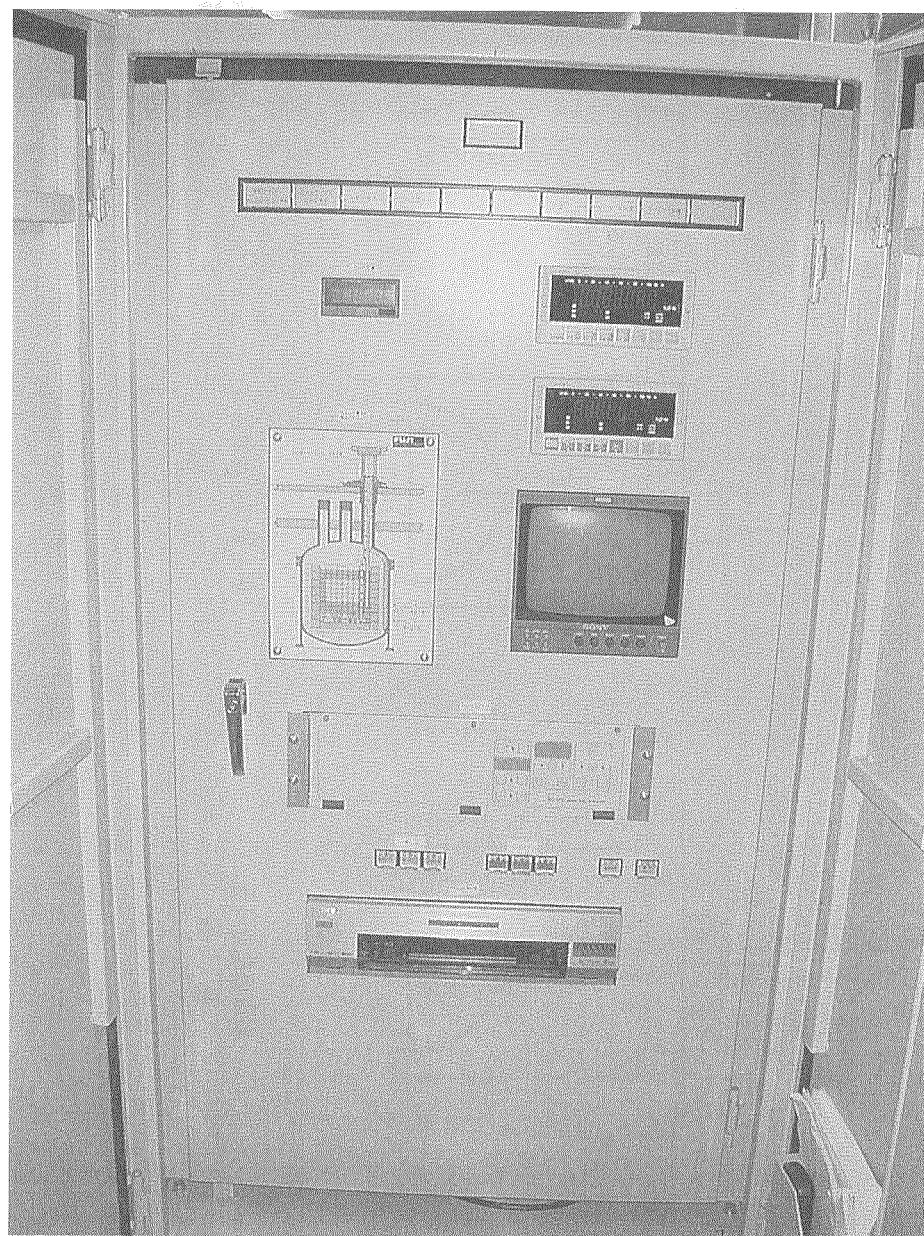


図 3.7 制御盤外形図

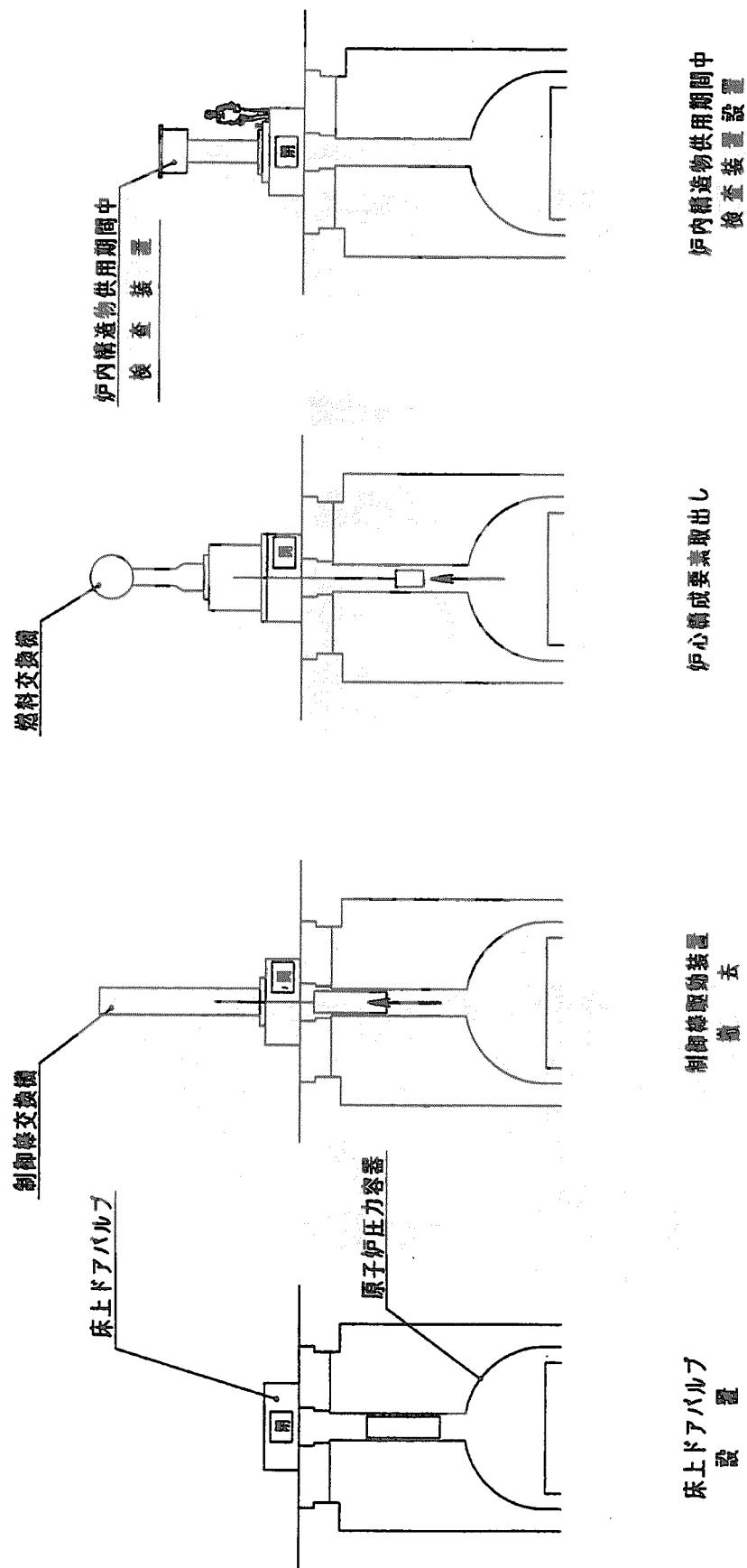


図 3.8 炉内供用期間中検査手順概要図(1/3)

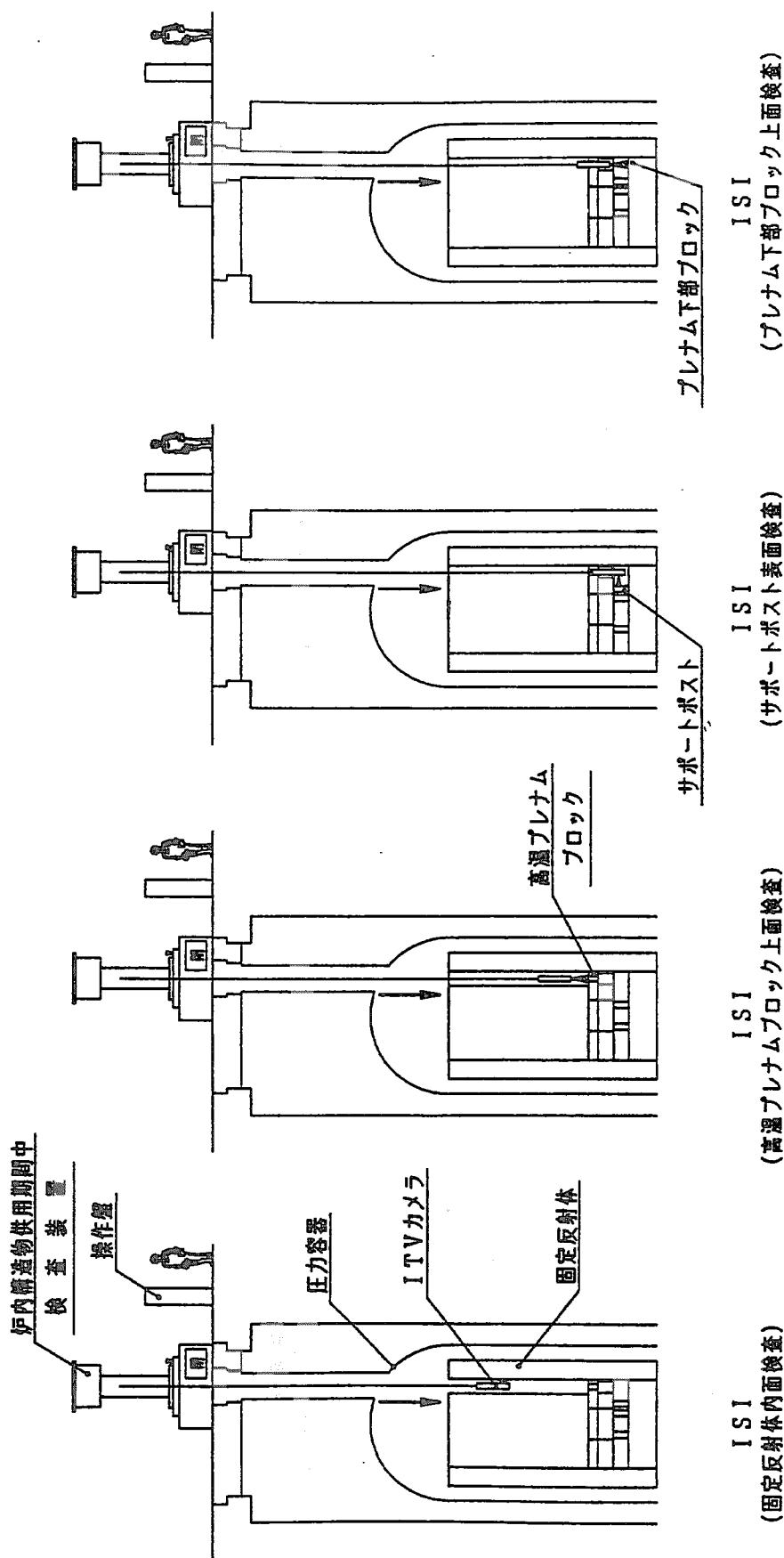


図 3.9 炉内供用期間中検査手順概要図(2/3)

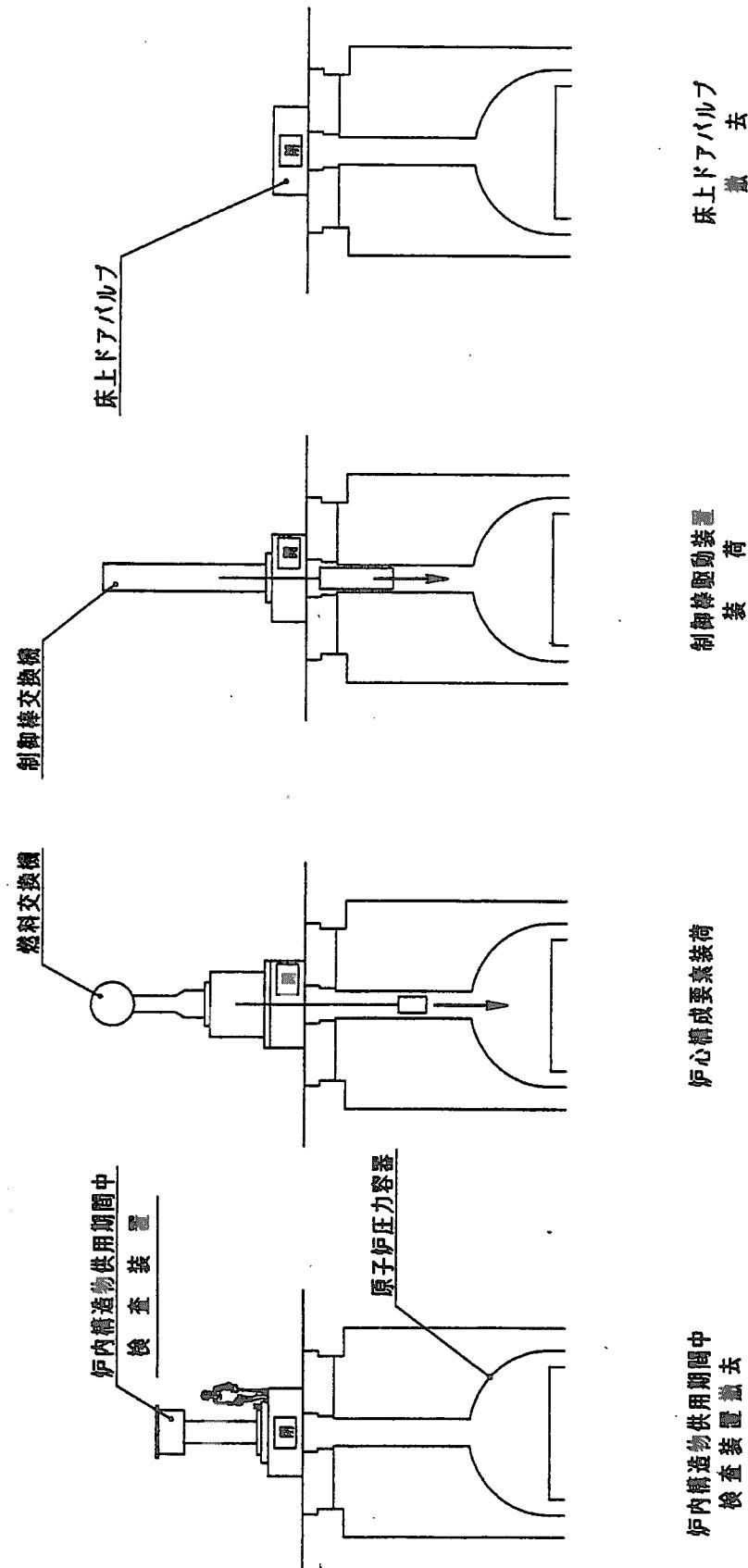


図 3.10 炉内供用期間中検査手順概要図(3/3)

4. 供用前検査

4.1 供用前検査方法

供用期間中検査の基礎データを得ることを目的として、平成 10 年 8 月 5 日及び 8 月 17 日に HTTR の初装荷燃料の装荷にあわせて、炉心支持黒鉛構造物の供用前検査(Pre-Service Inspection, PSI)を今回開発した供用期間中検査装置を用いて行った。固定反射体ブロック、高温プレナムブロック、サポートポスト及び炉床部断熱層の初期据付時の撮影を固定反射体ブロックは E19 カラム、高温プレナムブロック、サポートポスト及び炉床部断熱層については D14 カラムにカメラを挿入して行った。目視検査上重要な部位は、2 章で述べた通り以下の 8箇所である。

(1) 固定反射体ブロック

- ① 炉心側部固定反射体ブロックの内面
- ② 炉心側部固定反射体ブロックの垂直方向の隙間
- ③ 炉心側部固定反射体ブロック上下ブロックの水平方向の隙間
- ④ 炉床部側部の固定反射体ブロックと隣接するシール用ブロックとの段差

(2) 高温プレナムブロック

- ⑤ キー結合ブロックの下面等

(3) サポートポスト

- ⑥ サポートポスト

(4) 炉床部断熱層

- ⑦ プレナム下部ブロック及びキー溝
- ⑧ プレナム下部ブロック間の段差

4.2 供用前検査結果

図 4.1～図 4.6 に供用前検査により取得した画像を示す。①と②及び⑦と⑧は、1 箇所の画像で 2 箇所の判定が可能である。これらの結果より、炉心側部の固定反射体ブロック及び高温プレナムブロックに段差、傾き等の有意な配列状態の変化及び有害な欠け、破断等が発生していないことを確認した。また、高温プレナム部の目視検査により、サポートポストが破壊、転倒の有無がないことを確認した。さらに、プレナム下部ブロックやそのキー構造に有害な欠け、破断等がなく、プレナム下部ブロックの段差に有意な変化が発生していないことを確認した。

今後の供用期間中検査では、今回供用前検査で得た画像との比較により、炉心支持黒鉛構造物の健全性を評価することとなる。



図 4.1 炉心側部固定反射体ブロックの内面
及び炉心側部固定反射体ブロックの垂直方向の隙間

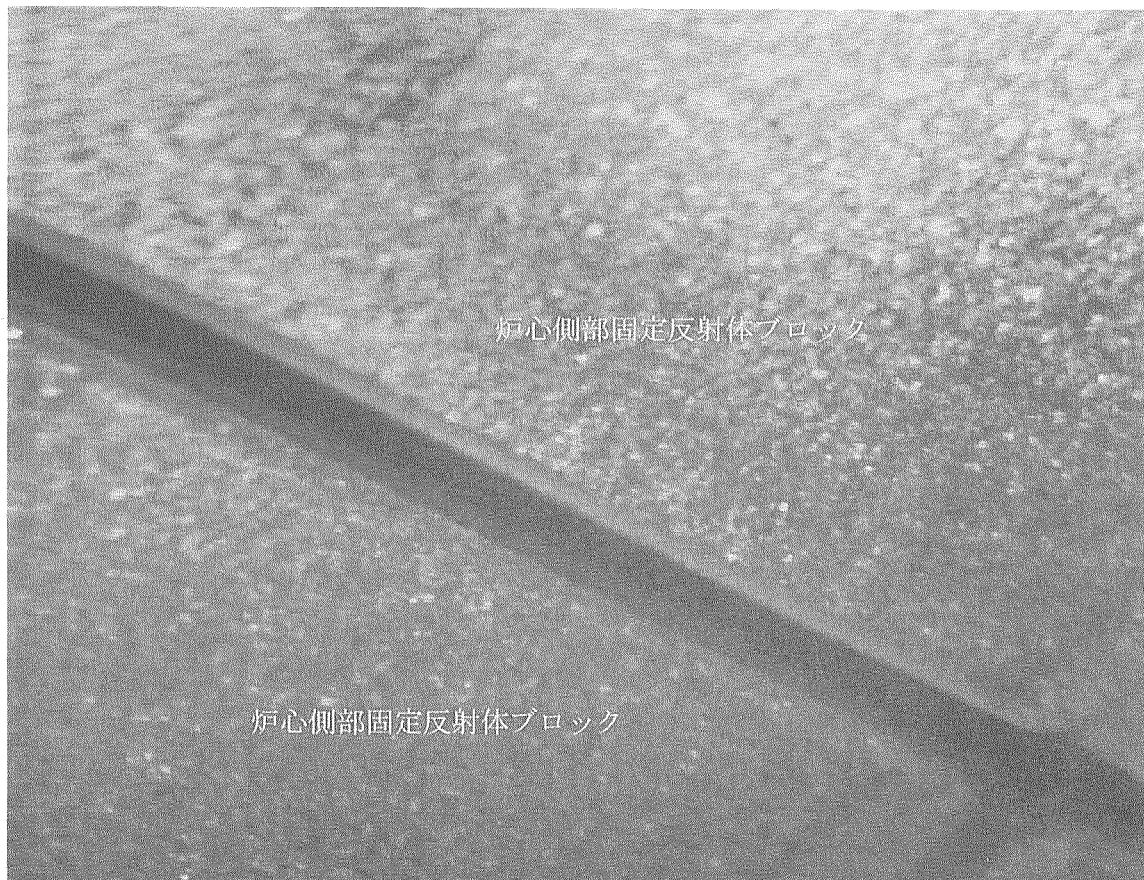


図 4.2 炉心側部固定反射体ブロック上下ブロックの水平方向の隙間



図 4.3 炉床部側部の固定反射体ブロックと隣接するシール用ブロックとの段差



図 4.4 キー結合ブロックの下面等

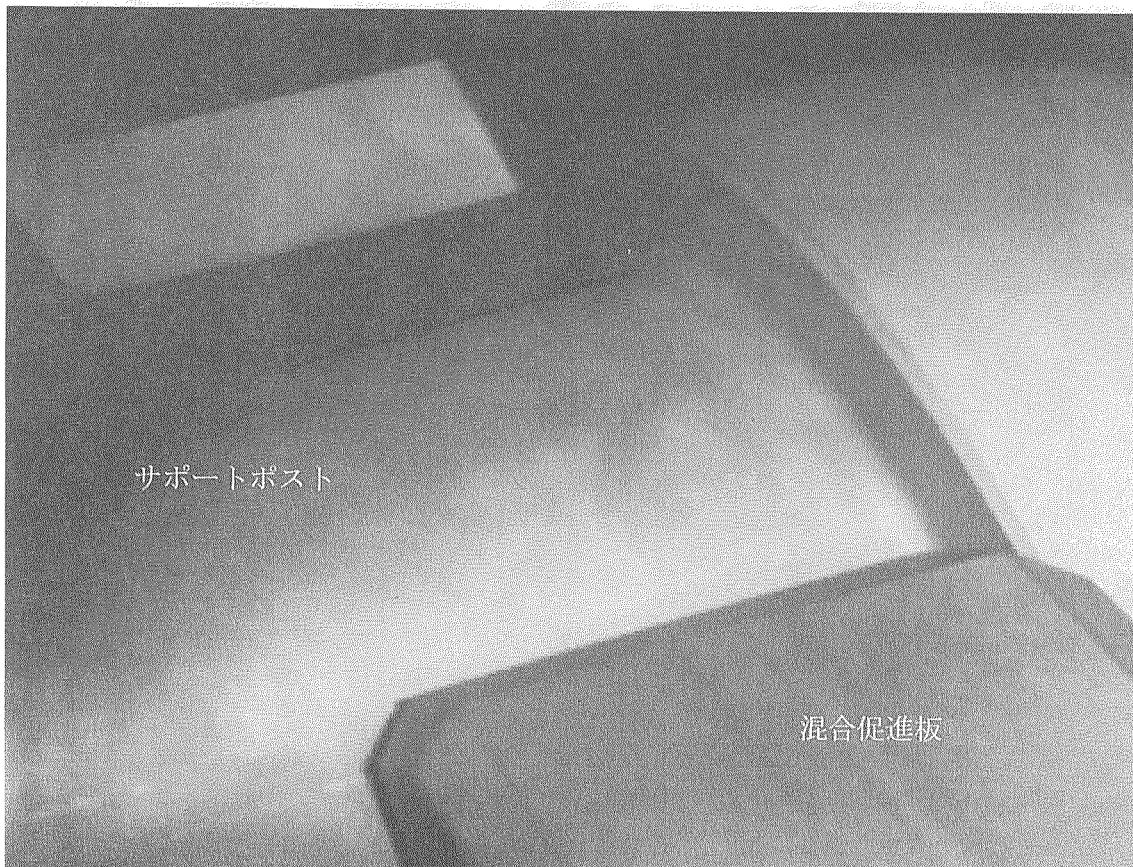


図4.5 サポートポスト

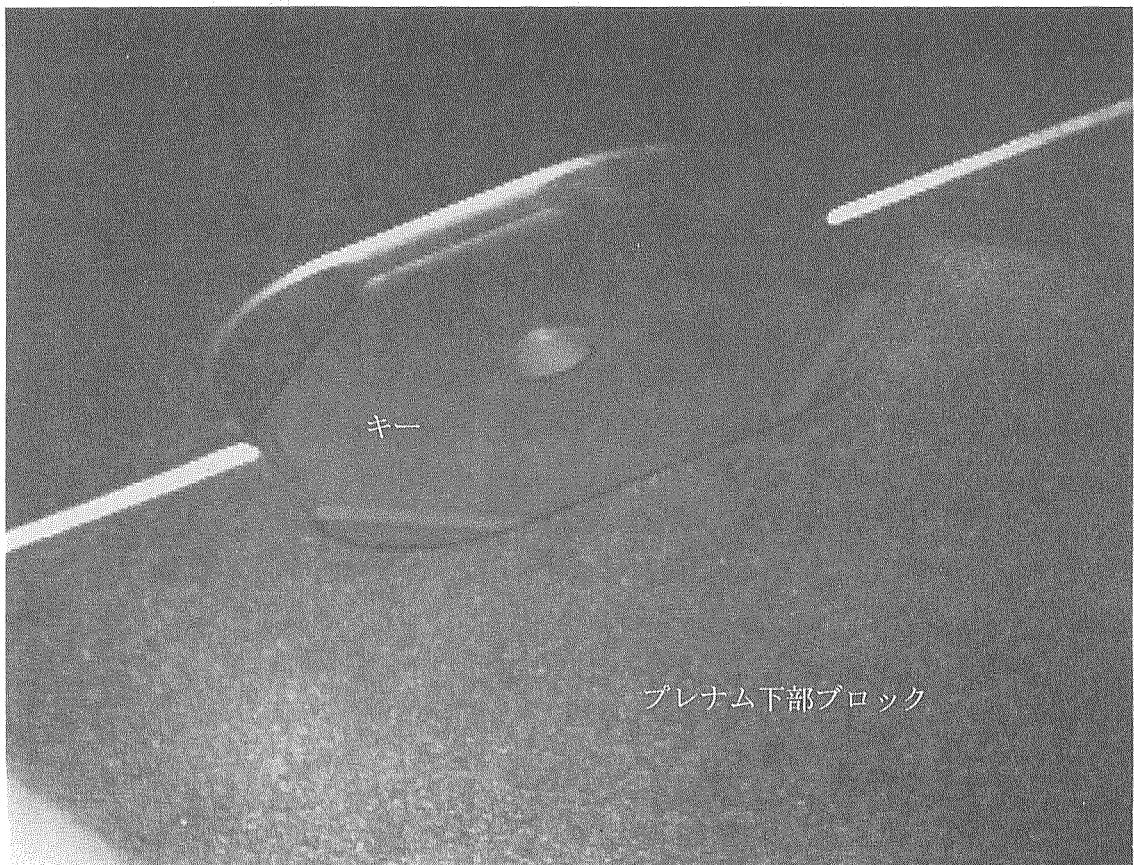


図 4.6 プレナム下部ブロック及びキー溝
及びプレナム下部ブロック間の段差

5. まとめ

HTTR では炉心支持黒鉛構造物の健全性を確認するために、供用期間中検査(ISI)としての TV カメラを用いた炉心支持黒鉛構造物の目視検査及びサーバイランス試験片を用いた物性値の測定を行うこととしている。そこで平成 8 年 9 月から平成 10 年 6 月にかけて供用期間中検査装置を開発した。本報では、目視検査に用いる装置の開発及び本装置を用いて実施した炉心支持黒鉛構造物の初期据え付け時における目視検査の結果についてまとめた。

- ① 供用期間中検査(ISI)の 1 つである TV カメラによる炉心支持黒鉛構造物の目視検査に用いる装置の開発を行った。開発した装置は、オフセットスライダー付きのカラム用ガイド管、カラム内で TV カメラをカラム中央に保つためのサポートユニット及びカメラで撮影した映像が、検査の判定が可能となる十分な解像度を得られるように、撮影用のカメラが適切なレンズ倍率と照明ランプを有する等の工夫を行った。
- ② 今回開発した供用期間中検査装置を用いて、供用期間中検査の基礎データを得ることを目的として、炉心支持黒鉛構造物の供用前検査(Pre-Service Inspection)を実施し、鮮明な画像が得られることを確認した。また、炉心支持黒鉛構造物の健全性を確認した。
- ③ 今後は、燃料交換毎に計画している供用期間中検査により、供用前検査で得た撮影個所の画像との比較から炉心支持黒鉛構造物の健全性を確認する予定である。

謝辞

本検討を行うに当たり、御指導、御助言頂いた藤川正剛高温工学試験研究炉開発部長及び伊与久達夫 HTTR 技術開発室長をはじめとする同部の皆様方に感謝いたします。また、貴重なコメントを頂いた橘幸男 HTTR 計画室長代理に感謝いたします。

参考文献

- (1) S.Saito, et. al, "Design of High Temperature Engineering Test Reactor", JAERI-1332(1994).
- (2) 石原正博他、「高温工学試験研究炉・炉心支持黒鉛構造設計方針における設計用データの解説」、JAERI-M 91-154(1991).
- (3) 石原正博他、「HTTR 炉心支持黒鉛構造物の許容表面欠陥に対する破壊力学的評価」、JAERI-Tech 94-035(1994)
- (4) 高温工学試験研究炉開発部 私信(1990).

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
圧力、応力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	N/m^2
工率、放射束	ジュール	J	N·m
電気量、電荷	ワット	W	J/s
電位、電圧、起電力	クーロン	C	A·s
電気量、電荷	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	$^{\circ}C$	
光束度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照度	ルクス	lx	lm/m^2
放射能	ベクレル	Bq	s^{-1}
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

(注)

1. 表1-5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。

2. 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。

3. barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。

4. EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
1	10.1972	9.86923	7.50062×10^3	145.038	
9.80665	1	0.967841	735.559	14.2233	
4.44822	0.453592	1	760	14.6959	
1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1	1.93368×10^{-2}	
6.89476×10^{-3}	7.03070×10^{-2}	6.80460×10^{-2}	51.7149	1	

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

$$\text{J(=10⁷ erg)} \quad \text{kgf}\cdot\text{m} \quad \text{kW}\cdot\text{h} \quad \text{cal(計量法)} \quad \text{Btu} \quad \text{ft}\cdot\text{lbf} \quad \text{eV}$$

エネルギー	1	0.101972	2.77778×10^{-7}	0.238889	9.47813×10^{-4}	0.737562	6.24150×10^{-18}	1 cal = 4.18605 J(計量法)
仕事・熱量	9.80665	1	2.72407×10^{-6}	2.34270	9.29487×10^{-3}	7.23301	6.12082×10^{-19}	= 4.184 J(熱化学)
	3.6×10^6	3.67098×10^5	1	8.59999×10^5	3412.13	2.65522×10^6	2.24694×10^{25}	= 4.1855 J(15 °C)
	4.18605	0.426858	1.16279×10^{-6}	1	3.96759×10^{-3}	3.08747	2.61272×10^{19}	= 4.1868 J(国際蒸気表)
	1055.06	107.586	2.93072×10^{-4}	252.042	1	778.172	6.58515×10^{21}	仕事率 1 PS(仏馬力)
	1.35582	0.138255	3.76616×10^{-7}	0.323890	1.28506×10^{-3}	1	8.46233×10^{18}	= 75 kgf·m/s
	1.60218×10^{-19}	1.63377×10^{-20}	4.45050×10^{-26}	3.82743×10^{-20}	1.51857×10^{-22}	1.18171×10^{-19}	1	= 735.499 W

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270×10^{-11}		1	100
	3.7×10^{10}	1		0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10^{-4}	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

高温力学試験研究炉(HTTR)内炉心支持黒鉛構造物の供用期間中検査装置の開発



古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています