

京 都 大 学 納

研究用原子炉 (KUR) の概要

Outline of Kyoto University's Research Reactor

吉 柳 清 美* 宮 沢 浄*

Kiyomi Kiryô Kiyoshi Miyazawa

内 容 梗 概

KUR 建設の計画は昭和 31 年から行なわれてきたが、昭和 36 年秋からその設計が具体的に進められ、昭和 39 年の半ばには関西で初めて本格的な原子力の火がともることになる。本原子炉は熱出力が 1MW の井戸形の研究用原子炉で、各種の実験設備を備えている。

日立製作所はこの原子炉のうち、原子炉本体、実験設備、照射設備、燃料輸送設備および付属設備の詳細設計、製作ならびに据え付けを担当している。本文では主として日立製作所が担当する原子炉各機器の構造につきその大要を述べる。

1. 緒 言

わが国の原子力開発は昭和 29 年以来主として日本原子力研究所東海研究所を中心として行なわれ、JRR-1、JRR-2、JRR-3 がすでに建設され、現在日立製作所が JRR-4 の建設を進めているが、関西地区における研究用原子炉としてここに報告する KUR が建設されることになった。

本原子炉の計画は京都大学の仕様にもとずき、アメリカインターニュークリア社が主契約者となり基本設計（核計算、熱計算、しゃへい計算を含む）を行ない、詳細設計、製作、据え付けは日立製作所、日本鋼管株式会社、山武ハネウエル計器株式会社が分担して行なっている。

KUR は完成後次の目的に使用される。

- (1) 炉および核物理実験
- (2) 各種照射実験
- (3) 医療用研究
- (4) 放射性同位元素の生産
- (5) 原子炉運転技術の習得および運転者の養成

KUR は大阪府泉南郡熊取町大字野田の敷地に建設される。原子炉格納施設とホットラボラトリーは一棟の建物からなっており、原子炉室および炉地下室は直径約 28 m、地上高さ約 25 m、地下約 8 m の円筒形の鉄筋コンクリート製の建物で、外面には鋼板を張り、十分な気密性と耐圧性をもたせてある。原子炉棟の配置および構造を第 1 図および第 2 図に示す。

2. 原子炉の核的および熱的性質

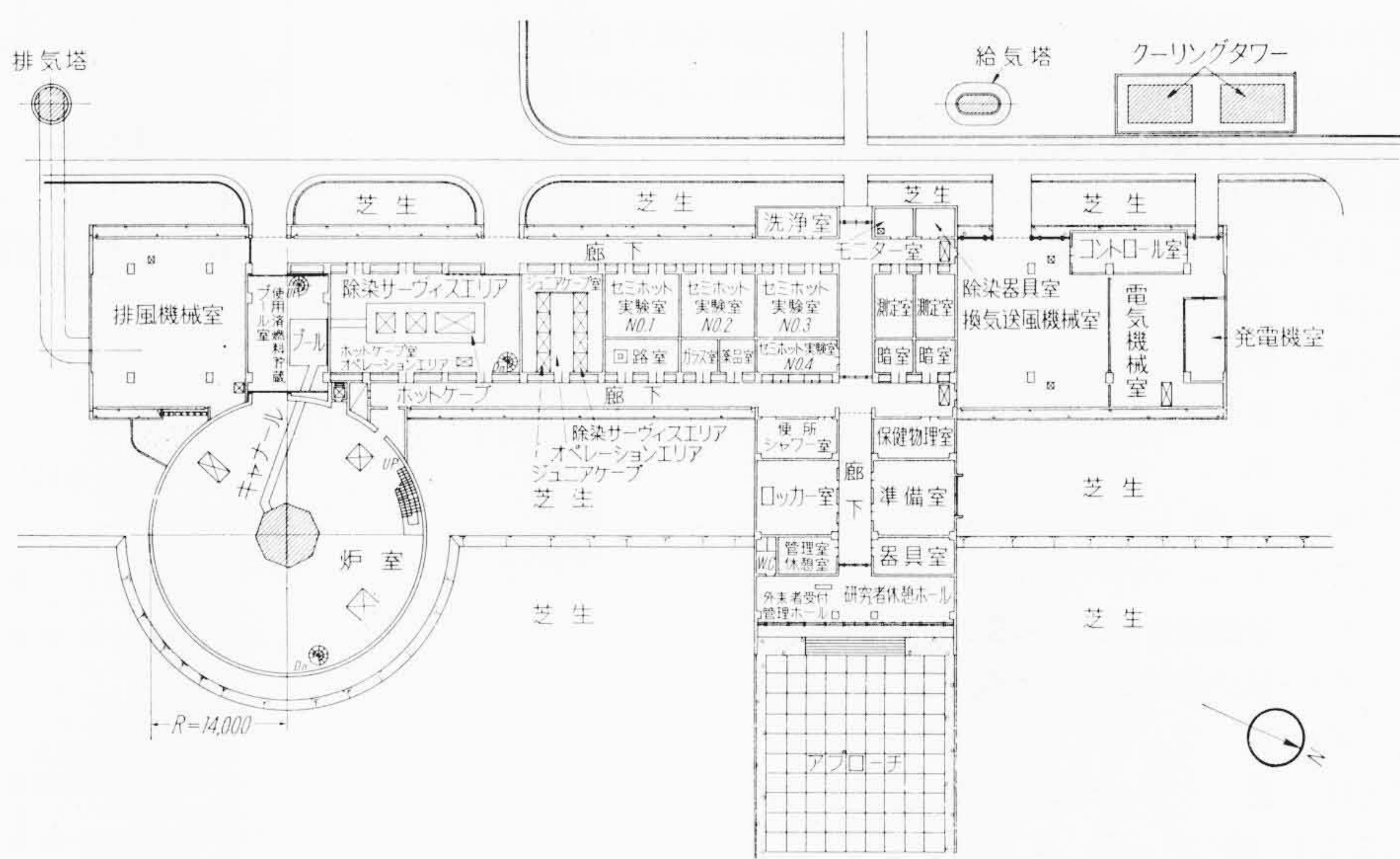
KUR は熱出力 1 MW で、燃料は 90% 濃縮ウラン、減速材、冷却材には軽水を使用する。

KUR の主要な核的および熱的性質を第 1 表に示す。

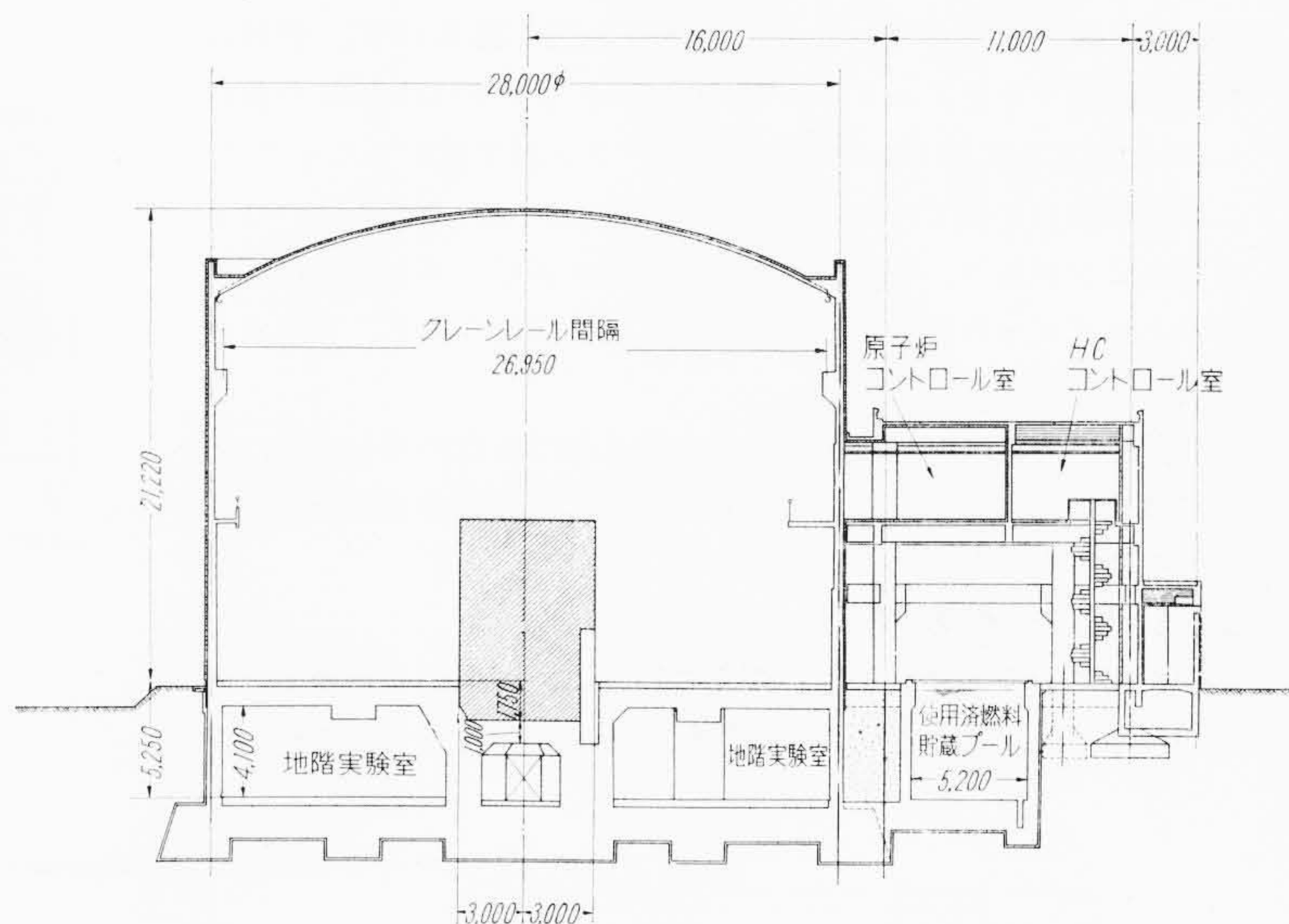
3. 原子炉の構造

KUR は井戸形ともいべき形式で、スイミングプール形とタンク形の両方の長所をそなえている。原子炉は上からみれば八角形を

* 日立製作所日立工場



第1図 原子炉建屋配置図



第2図 原子炉建屋立断面図

しており、中央に炉心タンクがあり、この中に炉心部を納めている。炉心タンクからは各種の実験装置が放射状に出ており、タンクの外側はコンクリートの生体しゃへいで囲み、炉心上部は水でしゃへいするほか、上面にさらにトップシールドを設けてしゃへいを完全にするとともに制御棒駆動装置などを取り付ける。炉心タンクの中は

第1表 KURのおもな核的、熱的性質

熱出力	1MW
中性子束	速中性子束 平均 $1.83 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ 速中性子束 最大 $3.35 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ 熱中性子束 平均 $8.21 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2\text{s}$ 熱中性子束 最大 $2.3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$
臨界量	約 2.80 kg U^{235}
k_{eff}	1.057
燃料そう荷量	3.34 kg U^{235}
比出力	300 kW/kg
出力密度	12.1 kW/l
バーンアップ	最大 20%
全粗調整安全棒等価反応度	-11.7% $\Delta k/k$
微調整棒等価反応度	-0.21% $\Delta k/k$
既発中性子寿命	$7.6 \times 10^{-5} \text{ s}$
実効遅発中性子比	0.00724
ボイド係数 (0~5%)	-0.126% $\Delta k/k$, %Void
温度係数 (炉心のみ)	$-2.68 \times 10^{-4} \Delta k/k^\circ\text{C}$
冷却水循環量	$1.8 \times 10^5 \text{ kg/h}$
入口温度	最大 41.7°C
出口温度	最大 46.5°C

どから燃料輸送管がチャネルまで通じ、使用済み燃料要素を貯蔵プールに運ぶことができる。全体の構造を第3図および第4図に示す。

3.1 原子炉本体の構造

原子炉本体は次のものからなっている。

- | | |
|----------------|----|
| (1) 燃料要素 | 一式 |
| (2) 反射体要素 | 一式 |
| (3) 炉心部 | 一式 |
| (4) 炉心タンク | 一基 |
| (5) 熱しゃへい体 | 一式 |
| (6) 生体しゃへい体 | 一式 |
| (7) トップシールド | 一式 |
| (8) 制御棒および駆動装置 | 五組 |
| (9) 核分裂計数管駆動装置 | 二組 |
| (10) 計測孔 | 4本 |
| (11) 配管弁類 | 一式 |

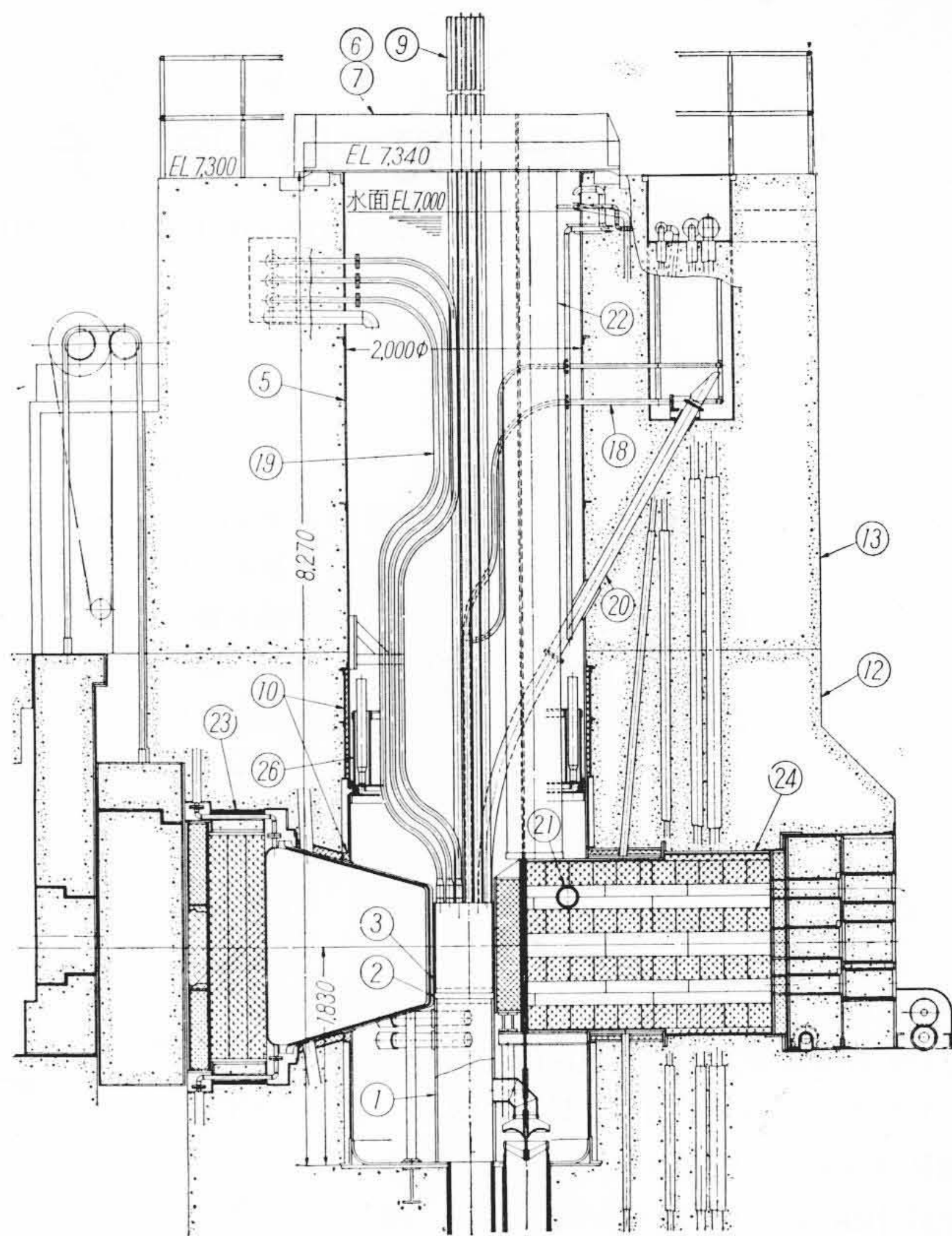
3.1.1 燃料要素

軽水-濃縮ウラン形の原子炉では、一般に板状の燃料要素を使用するが、KURのものもMTR形の燃料要素で、一要素当たり約165gの U^{235} を含んでいる。その構造を第5図に示す。燃料は90%濃縮ウランとアルミニウムの合金を厚さ約0.5mmの板にし、外面をさらに約0.5mmのアルミニウム板で被覆したもので、これを18枚まとめて一本の燃料要素としている。上部にはつり下げ用のピンがあり、下部には円筒形のノーズピースを取り付け、このノーズピースを格子板にあけられた穴にそう入し、自立させる。

特殊燃料要素は制御棒駆動装置を取り付けるためのもので、上部に取り付け用のフランジをもち、中央に制御棒の通路があり、9枚の燃料板からなっている。

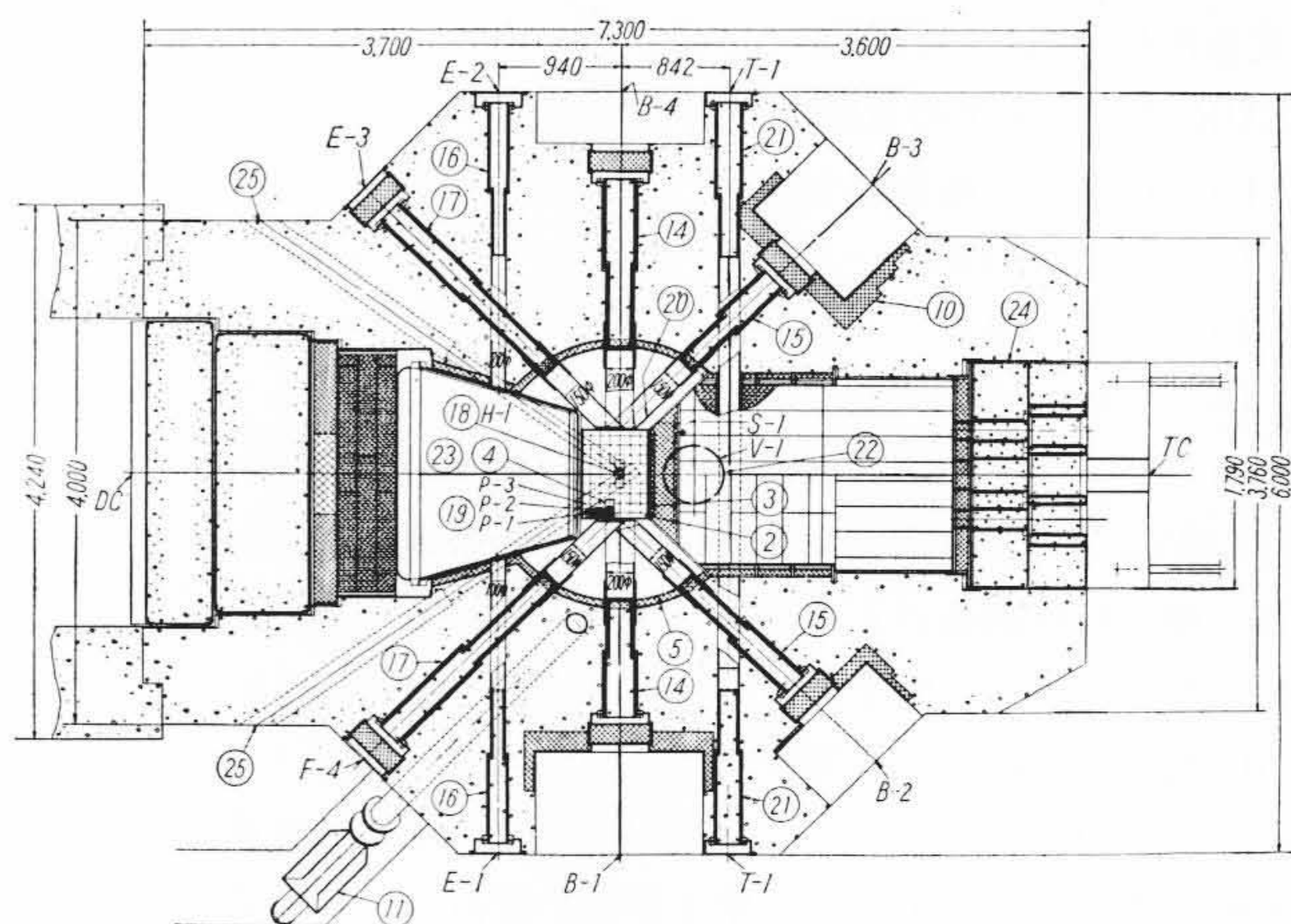
3.1.2 反射体要素

炉心部にそう入される燃料要素の周囲に、外形が燃料要素と同一のアルミニウムの角管の中に黒鉛を封入した反射体要素をそう

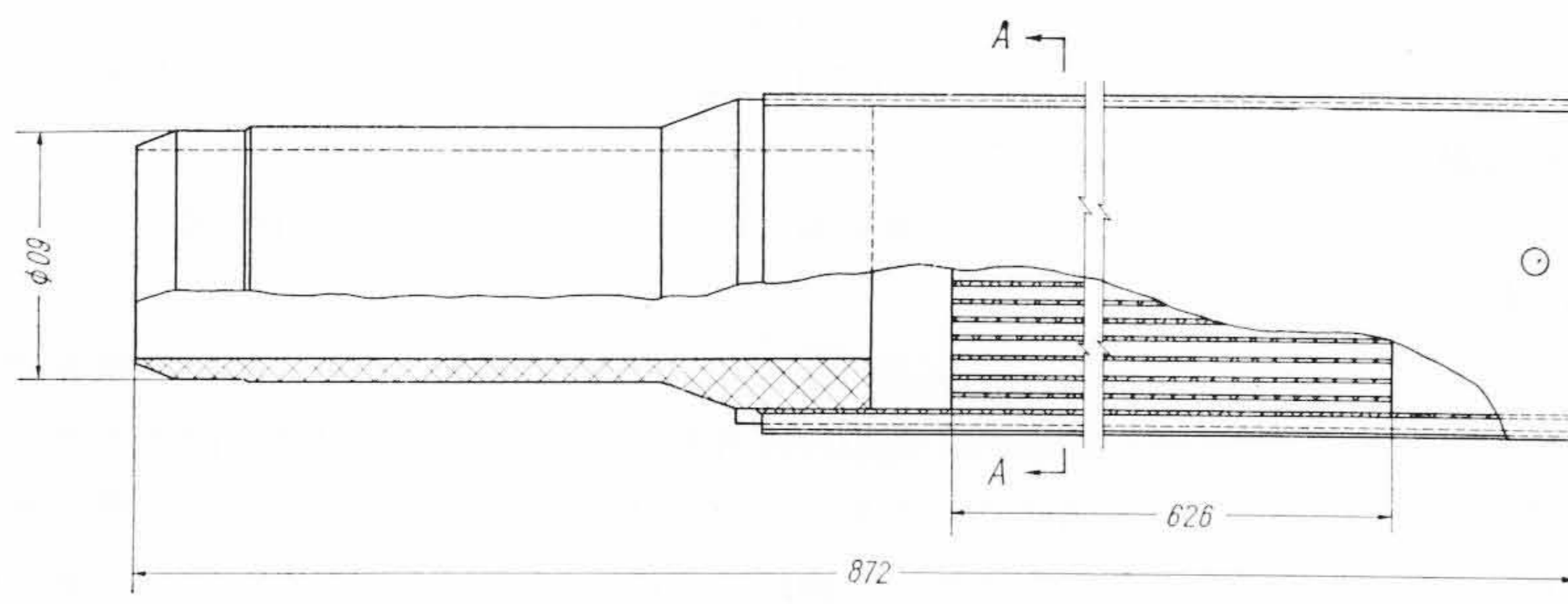


第3図 KUR 立断面図

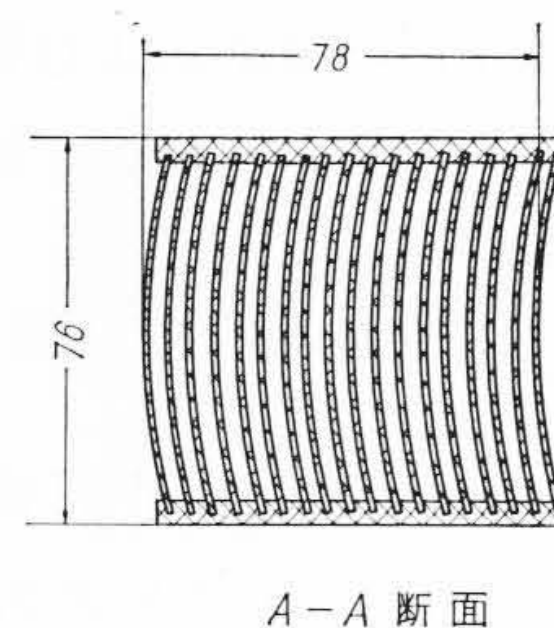
- | | |
|---------------------|-------------|
| ①: プレナム | ⑭: 200φ放射孔 |
| ②: 格子板 | ⑮: 150φ放射孔 |
| ③: シュラウド | ⑯: 100φ照射孔 |
| ④: 反射体要素 | ⑰: 150φ照射孔 |
| ⑤: 炉心タンク | ⑱: 水圧輸送管 |
| ⑥: 固のトップシールド | ⑲: 気送管 |
| ⑦: 可動トップシールド | ⑳: 傾斜照射孔 |
| ⑧: 制御棒固定板 | ㉑: 貫通孔 |
| ⑨: 制御棒駆動装置 | ㉒: 460φ照射筒 |
| ⑩: しゃへい鉛 | ㉓: 重水熱中性子柱 |
| ⑪: 燃料輸送管 | ㉔: 黒鉛熱中性子柱 |
| ⑫: 重晶石コンクリート生体しゃへい体 | ㉕: 計測孔 |
| ⑬: 普通コンクリート生体しゃへい体 | ㉖: 使用済み燃料架台 |

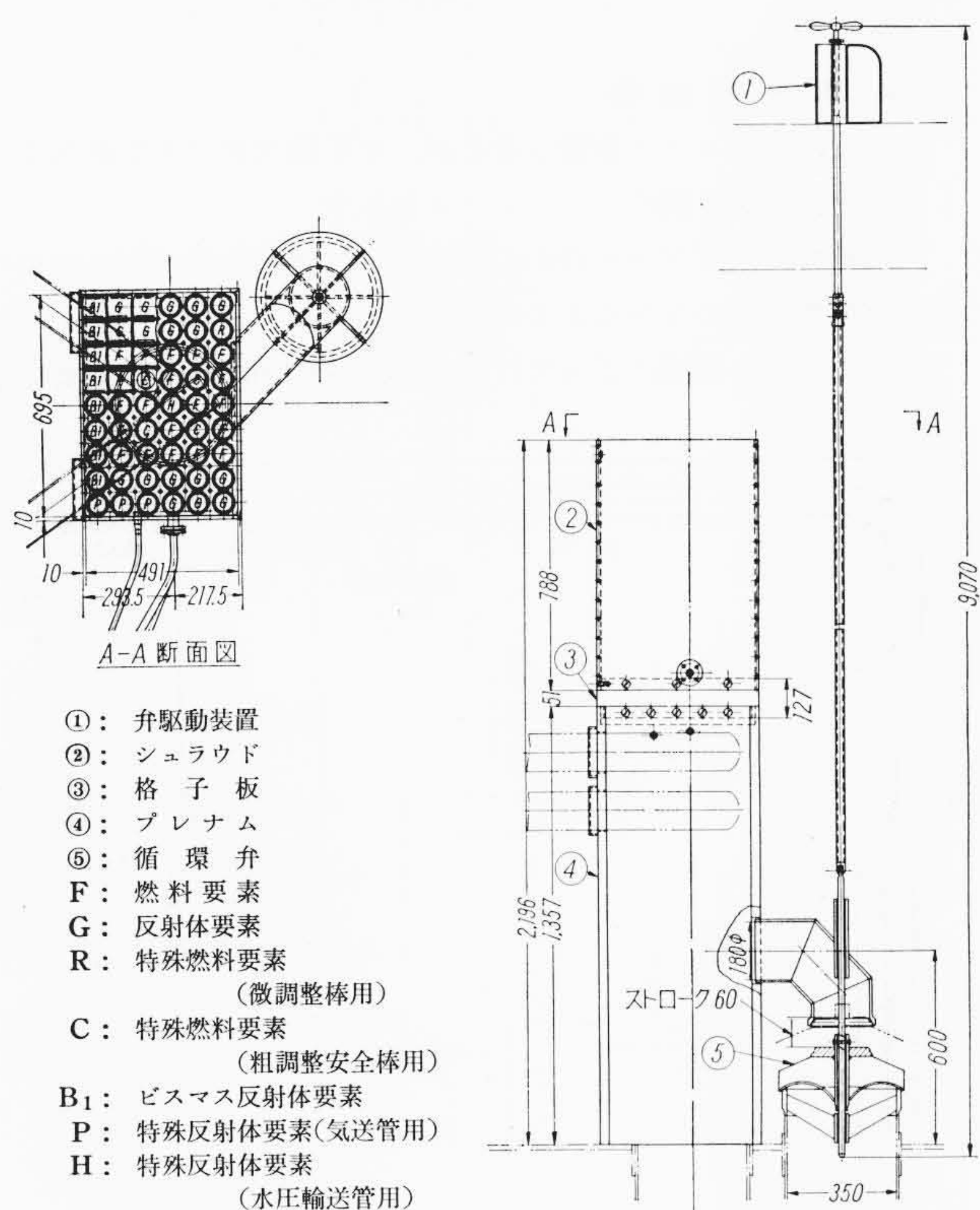


第4図 KUR 平断面図



第5図 燃料要素





第6図 炉 心 部

入する。反射体要素のうちには放射孔に接して、そう入するため中央部に空間をもったもの、気送管および水圧輸送管の先端を炉心にそう入するために穴を有するものなど特殊なものもある。

3.1.3 炉 心 部

炉心部はプレナム、循環弁、格子板およびシュラウドからなり、その構造は第6図に示すとおりである。

プレナムは格子板の支持をも兼ねており、炉心タンクの底に取り付けられた511 mm×715 mm×高さ1,357 mmのアルミニウム製の箱で、この上に格子板を取り付ける。燃料要素の中を流れた冷却水はこのプレナム室に集まり、ここから炉心タンク外に引き出される。このプレナムには循環弁、流量計および温度計の取り付け座があり、さらに計測孔が側面からそう入されている。

循環弁は炉心部を流れる冷却水を自然循環と強制循環とに切り替えるための弁である。弁が開いたときは炉心タンクへの冷却水の入口管をふさぐと同時にプレナムと炉心タンクの水とを結ぶ管路を開き、冷却水は炉心タンクからプレナムにはいり、燃料要素の中を上昇して炉心タンク内に戻る。弁が閉じた場合は冷却水の入口管が開くと同時にプレナムと炉心タンク内の水とを結ぶ管路を閉じ、冷却水は炉心タンクより燃料要素の中を下降し、プレナムより冷却水出口管に導かれ、冷却系統により冷却されてから再び炉心タンクに戻る。弁の開閉はポンプによる冷却水の流れにより自動的に作動するが、さらに炉頂からレバーにより操作することもできる。

格子板は511 mm×715 mm×厚さ127 mmのアルミニウム板で、この格子板には6行9列、計54個の燃料要素そう入用の穴がある。

シュラウドは格子板の上に取り付けた炉心要素を取り囲むアルミニウム製の箱で、冷却水が燃料要素の中を通らずにショートパスするのを防いでいる。

3.1.4 炉 心 タ ン ク

炉心部を納める直径2,000 mmφ、高さ8,270 mmのアルミニウム製のタンクで軽水を満たし、この中に各種の実験装置、照射装

置などを取り付ける。中央部には使用済み燃料架台があり、また燃料輸送管が取り付けられている。水面の上部はブロワーで水柱100 mm程度減圧し、放射能をもったガスなどが炉室に漏れないようにしている。

3.1.5 熱しゃへい体

炉心から出るγ線の照射を受けると生体しゃへい体内で熱が発生するので、炉心タンクの外周に鉛の熱しゃへい体を設けている。

3.1.6 生体しゃへい体

炉心から出る放射線を外面で許容値以下におとすため、炉心タンクの外周は厚さ約2 mのコンクリートで囲まれている。とくに放射線量の高い下半分には骨材に重晶石を用いたコンクリートを上半分には普通コンクリートを使用している。

3.1.7 トップシールド

炉頂部の放射線量を低くするため、炉心タンク上部にトップシールドを設けている。トップシールドは鋼板でライニングされたコンクリート製で、3分割して中央部のものは橋状に固定し、両側のものは左右に開かれる。中央の固定部には制御棒固定板、照射管用のプラグ、炉心操作孔用のプラグ、循環弁駆動装置、燃料輸送管駆動装置などが取り付けられる。両側のものは手動によりレール上を移動できる。

3.1.8 制御棒および駆動装置

制御棒は1本の微調整棒と4本の粗調整安全棒とからなっている。微調整棒はアルミニウムで被覆したステンレス鋼、粗調整安全棒は同じくアルミニウムで被覆した1.5% ボロン入りのステンレス鋼で、小判形の断面をもち、トップシールドに固定された駆動装置により特殊燃料要素の中を上下する。

3.1.9 F C 駆 動 装 置

原子炉の起動時に使用する2本の核分裂計数管(FC)を駆動するもので、ケースに入れたFCをステンレス鋼のワイヤでつり下げ、このワイヤを上部の小さなドラムで巻き上げて、上げ下げする。

3.1.10 計 測 孔

原子炉の出力および炉周期を測定するために2本の補償形電離箱(CIC)と2本の非補償形電離箱(UIC)が用いられる。これらは生体しゃへい体外面から炉心直下まで伸びたアルミニウム製の計測孔の中にそう入される。

3.2 実験装置の構造

KURは次のような実験装置をそなえている。

(1) 黒鉛熱中性子柱	一基
(2) 重水熱中性子柱	一基
(3) 200 φ 放射孔	2本
(4) 150 φ 放射孔	2本
(5) 150 φ 照射孔	2本
(6) 100 φ 照射孔	2本
(7) 150 φ 貫通孔	1本

3.2.1 黒鉛熱中性子柱

中性子を広い面積にわたって水平方向に取り出すもので炉心部から生体しゃへい外面まで黒鉛を積み重ねる。黒鉛部は200 mm角、長さ1,000 mmのブロックを生体しゃへい体中に埋め込まれたアルミニウム製のわくの中に積み重ねたもので、炉心タンクを貫通する部分で1,400 mm角、外側では1,500 mm角の断面をもっている。この黒鉛とケースの間にはボラルを、わくの外側には鉛の層を設け、しゃへいを完全にしている。黒鉛部およびしゃへい体中で発生した熱は、わくの外周の水ジャケットにより冷却する。

熱中性子柱の外面には重晶石コンクリートを充てんした鋼製のしゃへいドアがあり、レール上を電動機で駆動して開閉する。

3.2.2 重水熱中性子柱

重水熱中性子柱は黒鉛熱中性子柱と比べ、熱中性子束と高速中性子束の割合を高くすることができ、黒鉛熱中性子柱のちょうど反対側に取り付けられる。アルミニウム製の円錐台形タンクのなかに重水を満たしたもので、重水の所要量は約3トンである。

3.2.3 放射孔

床面より約1mの高さを水平に炉心より炉心タンクを貫通して生体しゃへい外面まで伸びているアルミニウムの外筒の中にアルミニウムの内管をそう入して形成している。この内管のなかにアルミニウムのケースに重晶石コンクリートを充てんしたしゃへいプラグがそう入されている。外面には鉛製のシャッタがあり、手動により開閉する。

3.2.4 照射孔

150mmφ照射孔の構造は放射孔とほぼ同一で、100mmφ照射孔は重水タンクから主体しゃへい外面まで伸びたアルミニウム製の外筒にしゃへいプラグをそう入したものであり、外側にシャッタはない。

3.2.5 貫通孔

床面より約1mの高さで黒鉛熱中性子柱を通り、生体しゃへい体の両端まで水平に貫通したアルミニウムの外筒のなかに両側よりしゃへいプラグをそう入した構造を用いている。

3.3 照射装置

照射装置は放射性同位元素 (RI) を製造したり、試料の照射試験を行なうためのもので次のものがある。

- | | |
|-------------|----|
| (1) 照射用要素 | 一式 |
| (2) 傾斜照射孔 | 一基 |
| (3) 気送管 | 三組 |
| (4) 水圧輸送管 | 一式 |
| (5) 460φ照射筒 | 一基 |

3.3.1 照射用要素

試料を炉心内にそう入して照射するもので、反射体要素の中に中空の穴を設け、この中にカプセルを入れる。

3.3.2 傾斜照射孔

原子炉の上部に炉心タンクとは別に幅700mm、長さ1,400mm、深さ約2,000mmのアルミニウム製のサブプールを生体しゃへい中に設け炉心タンクとは別系統の純水を満たし、かつ循環しうるようにしてある。このサブプールから炉心タンクを貫通して炉心近くまで内径100mmφのアルミニウム管を斜めに設けてある。この傾斜管のなかに試料を入れたカプセルを入れて照射するものである。

3.3.3 気送管

比較的短寿命のRIをつくるため試料を炉外から炉心部に気送によりそう入し、照射後気送により取りだそうとするものである。第7図にそのフローシートを示す。

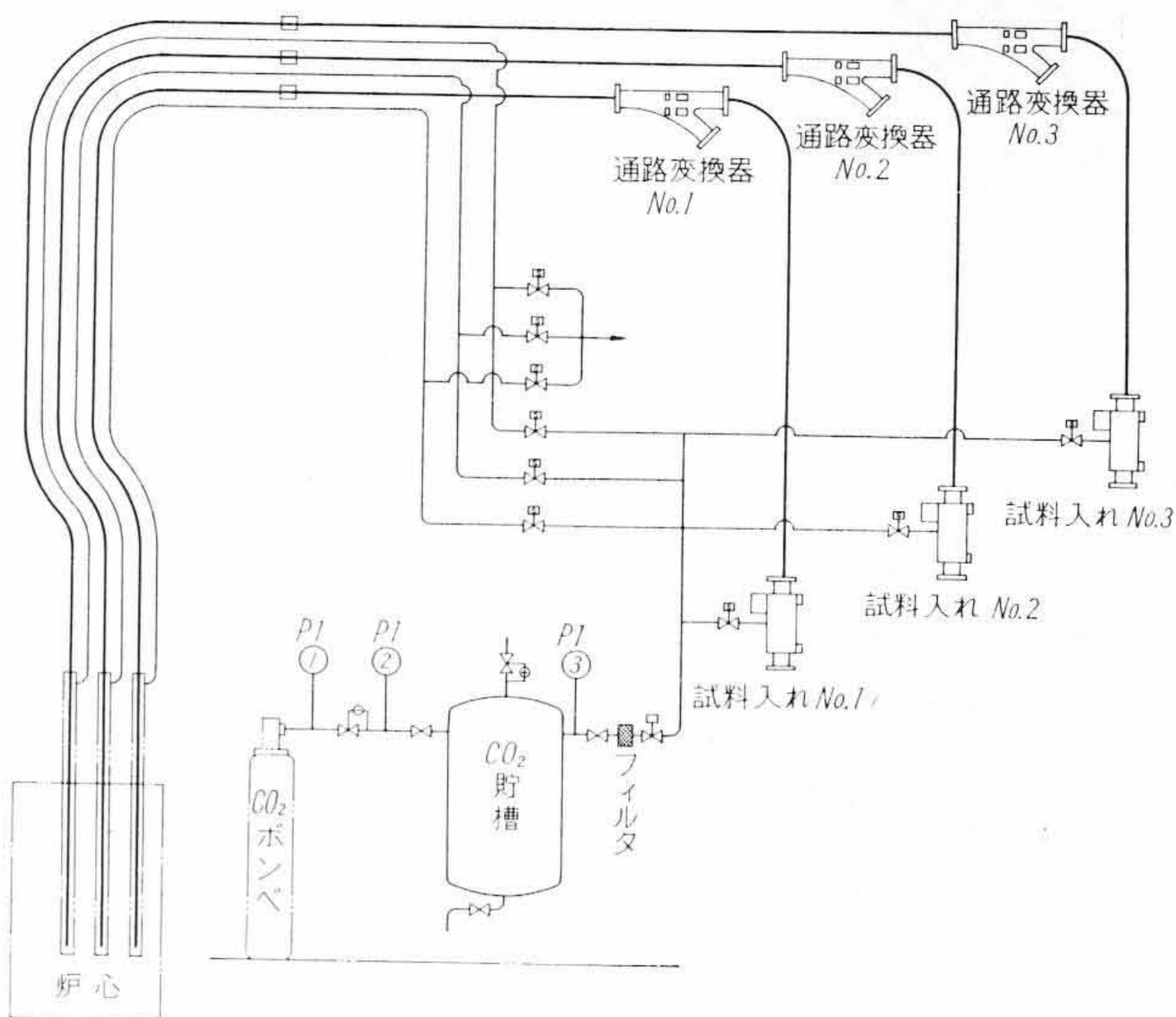
炉心内におかれた気送管用の特殊反射体要素に気送管の先端をそう入し照射を行なう。管路の途中には通路変換器があり、通路を切り替えることができる。作動流体には炭酸ガスを使

用する。

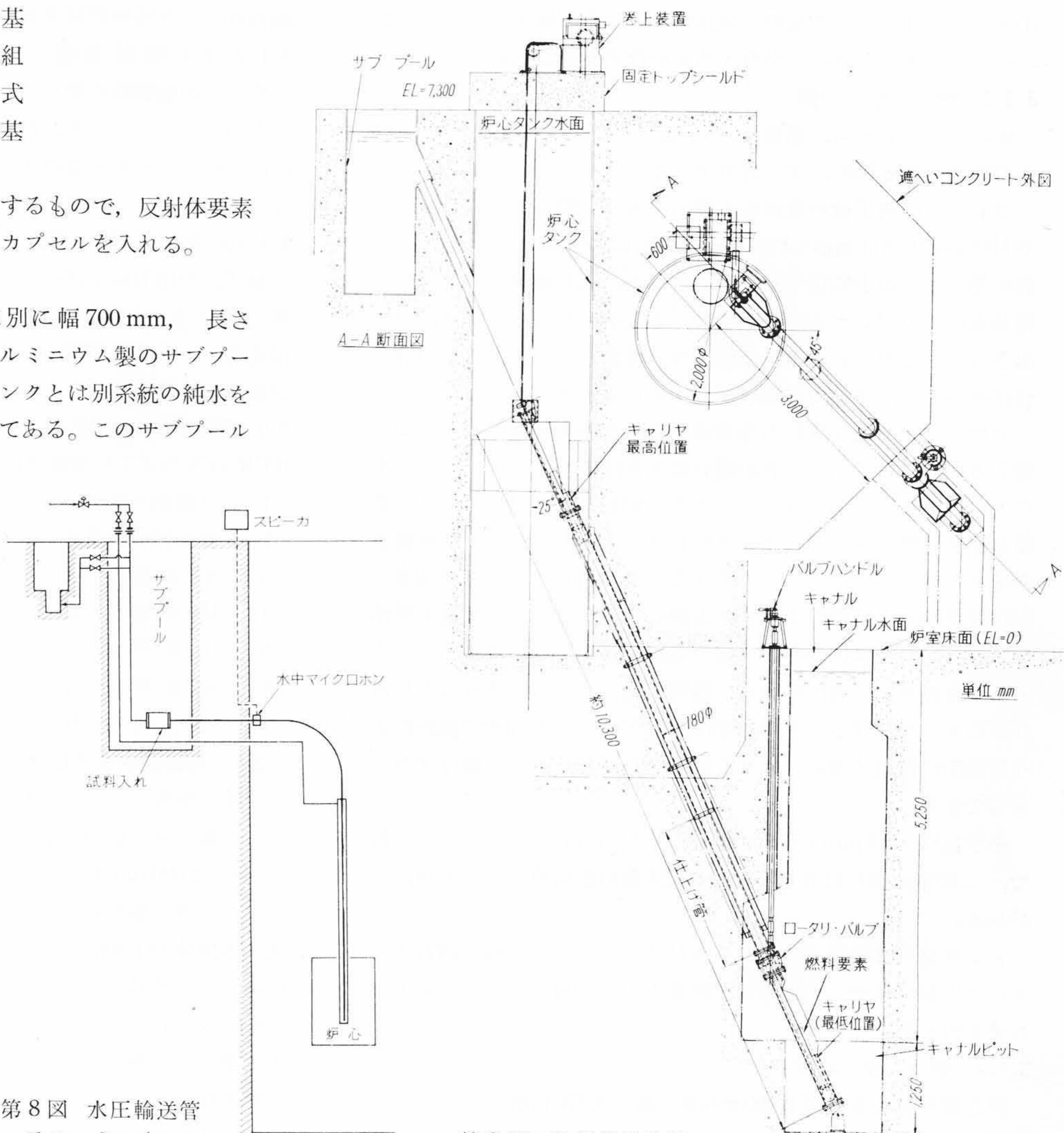
3.3.4 水圧輸送管

気送管は炭酸ガスで作動させるが、水圧輸送管は水を使用するものであり、第8図にフローシートを示す。

試料入れはサブプールの中に設けられ、管の先端は炉心中央の特殊反射体要素のなかにまで伸ばされており、試料の照射を行なう。操作は弁の開閉によって行なわれ、約1m/minの速度で水



第7図 気送管フローシート



第9図 燃料輸送装置

第8図 水圧輸送管
フローシート

送により試料が出し入れされる。

3.3.5 460φ 照射筒

トップシールドから黒鉛熱中性子柱の上まで内径 460 mmφ のアルミニウム製の筒を着脱可能にしてあり、このなかに試料を入れて照射を行なう。

3.4 燃料輸送装置

3.4.1 燃料輸送装置

本装置は燃料輸送管、キャリア、巻上装置、バルブなどより成る。第9図に本装置の据付状態を示す。

図に示すように、燃料輸送管は鉛直方向から 25 度傾いて炉心タンクとキャナルピットを結ぶように取り付けられたアルミニウム製パイプである。管内には燃料要素を入れて運搬するためのアルミニウム製キャリアがステンレス鋼製ワイヤロープによってつり下げられており、炉頂部の固定トップシールド上に置かれた巻上装置によって管内を上下する。炉心へ装荷される新燃料要素または炉心より取り出された使用済み燃料要素はこのキャリアに入れられて管内を運ばれる。

炉心タンクの水位はキャナルの水位より約 7 m 上にあるために、キャリアの上下動中の水の流下を防ぐためにキャリアの上下

両端にピストンを設け、さらに輸送管の下端にはロータリバルブが設けてある。

操作を誤りなく行なうためにキャリアを所定位置に自動停止せしめる制御回路にバルブの開閉位置をインタロックしてあり、警報装置も備えている。

3.4.2 使用済み燃料架台

炉心タンクの中段に使用済み燃料を貯蔵する架台があり、56本の要素を貯蔵することができる。架台は炉頂部からハンドルで回転しうようになっている。

4. 結 言

以上 KUR の概略につき説明した。昭和38年半ばから現地に建設を開始し、昭和39年半ばには据付完了し総合試験、臨界試験、出力上昇試験などが予定されている。

最後に本原子炉の設計ならびに製作、建設についてご指導を賜った京都大学原子炉建設本部の木村建設本部長、柴田教授、岡本助教授をはじめ諸先生がたならびにインターニュークリア社 F. A. Flint, S. H. Klein の両氏、東京通商株式会社の榊原課長、森川氏をはじめ関係の皆様は厚くお礼申し上げる。



特 許 の 紹 介



特 許 第 402513 号

森 通 夫・桜井正一郎

複 式 気 化 器 操 作 装 置

複式気化器は通常運転状態にあつては常用気化器 1 のみ作用し、出力増加のため絞弁 2 の開度を増すとこれにレバー 3、連結杆 4、レバー 5 を介して連結された高出力用気化器 6 の絞弁 7 が開き、これに伴って生ずる空気弁 8 の下流の負圧が重錘 9 によって与えられる空気弁 8 の閉止トルクより大となった時空気弁 8 が開かれ、高出力用気化器の作用が開始され多量の濃混合気が供給されるようになる。この気化器においては、静的には如何なる運転状態においてもエンジンに要求される量の燃料が供給されるが、常用気化器 1 のみの作用状態から高出力用気化器 6 も作用する運転状態まで急加速するような過渡的運転状態においては、気化器の給供のすべき混合気がエンジンの要求値から外れてエンジンの不整運転となる。

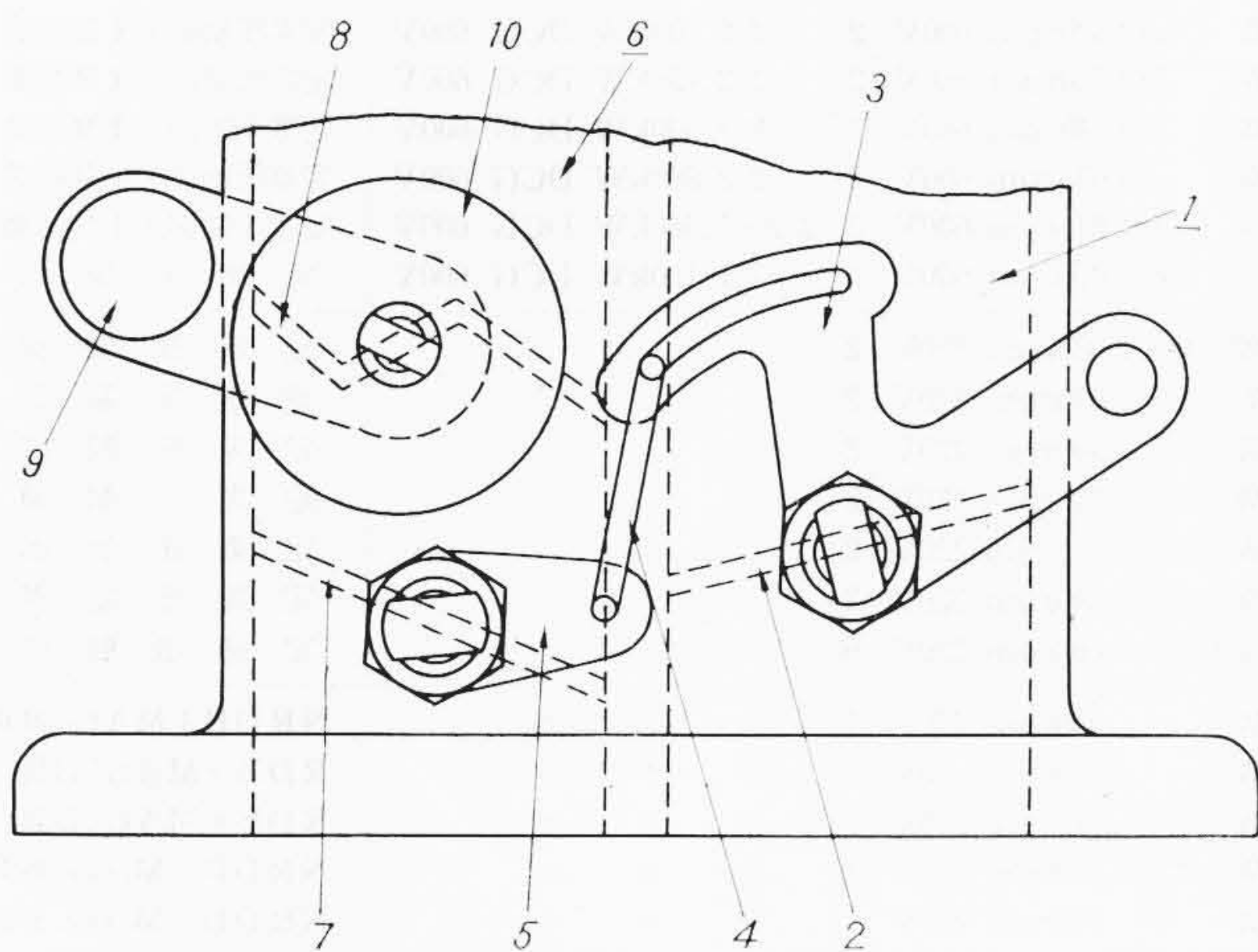
すなわち、上述の如き過渡的運転状態においては、吸入空気量は空気弁 8 に連動して急増するが、一方燃料は慣性、抵抗等によって負圧変化に追従できないことと、各燃料系統のつながりに時間的差

を生じるために混合気が一時的に希薄となる。これに伴いエンジン回転数が低下し、これにより空気弁 8 は閉方向に運動する。この空気弁 8 の動きはエンジンの不整運転を生じ、これが再び空気弁 8 に還元されて空気弁は振動現象を呈しこれが甚しい時は運転不能となる。

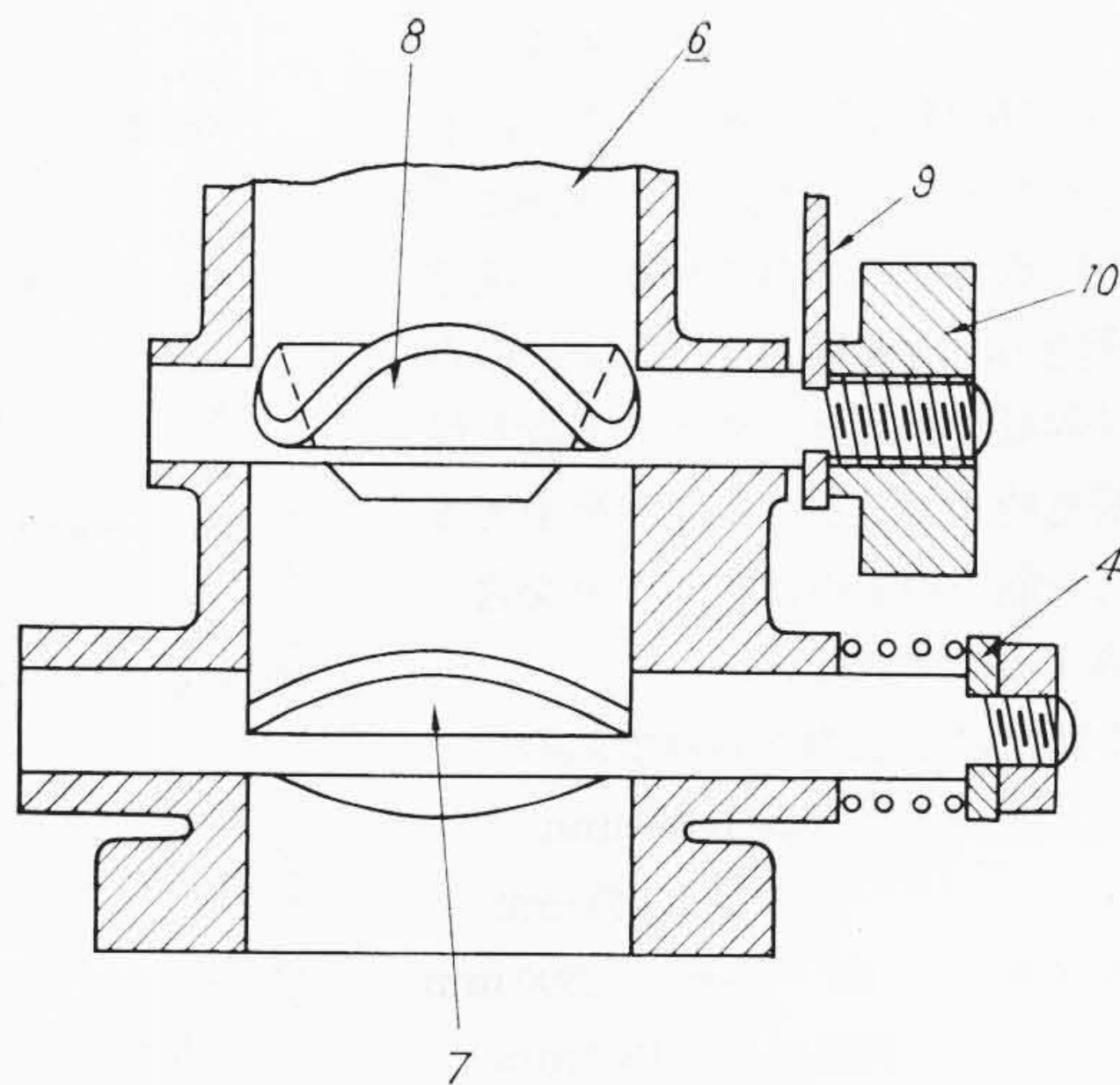
このように複式気化器においては運転状態の速やかな変化に対し、高出力用気化器 6 の動作を司る空気弁 8 は速応するが燃料がこれに速応できないためにエンジンの不整運転が生じるものである。

そこで本発明は空気弁 8 にその閉鎖力とは無関係なハンチング防止用重錘 10 を付加し、空気弁 8 の慣性を調整するものである。これにより空気弁 8 のハンチングは防止され、開度が安定し、よって円滑な過渡的運転を確保できるものである。

(竹之内)



第 1 図



第 2 図