

# 265,000kW 火力発電プラントの概要とプラント機器

Outline of the 265,000 kW Thermal Power Plant and the Plant Equipment Used

堀内 俊明\* 坂井 彰\* 小田 保光\*\*  
Toshiaki Horiuchi Akira Sakai Yasumitsu Oda

## 内 容 梗 概

東京電力株式会社五井火力発電所納2号、4号それぞれの265,000kW発電設備は圧力、温度、容量の点でわが国における記録品であり、UPボイラ(貫流ボイラ)ならびにクロスコンパウンド形タービンを採用しており、プラントの計画の細部に至るまで多くの新しい技術が導入されている。本文はこれらの点に関し、熱サイクル、全体配置、起動ならびにクリーンアップ系統、主要プラント機器、給水ポンプなどについてその概要を紹介するものである。

## 1. 緒 言

最近の世界的な蒸気条件の向上ならびに大容量化にともなって貫流形ボイラが逐次採用される気運にあるが、ここに述べる東京電力株式会社五井火力発電所の2号基、および4号基はわが国最大容量でしかも最初に貫流形UPボイラならびにクロスコンパウンド形タービンを採用した発電所である。2号基についてはタービン、発電機、給水復水装置、電気設備などを日立製作所が製作し、ボイラの圧力部、給水ポンプは輸入によるもので現在据付試運転中である。

4号基については全設備を日立製作所が一括受注し目下製作中である。かかる記録的製品の製作に当たっては提携会社の技術導入はもとより、日立製作所の有する豊富な研究設備と技術員を動員してこれにあたり、万全を期している。

本プラントの設計上の特長は次のようである。

- (1) 貫流形(UP)ボイラの採用
- (2) クロスコンパウンド形タービンの使用
- (3) 簡単な起動バイパス系統
- (4) 復水バイパス脱塩装置を採用したクリーンアップ系統
- (5) 高圧給水加熱器に鋼管チューブを採用
- (6) 単流形大容量復水器
- (7) 流体継手による給水ポンプの回転数制御

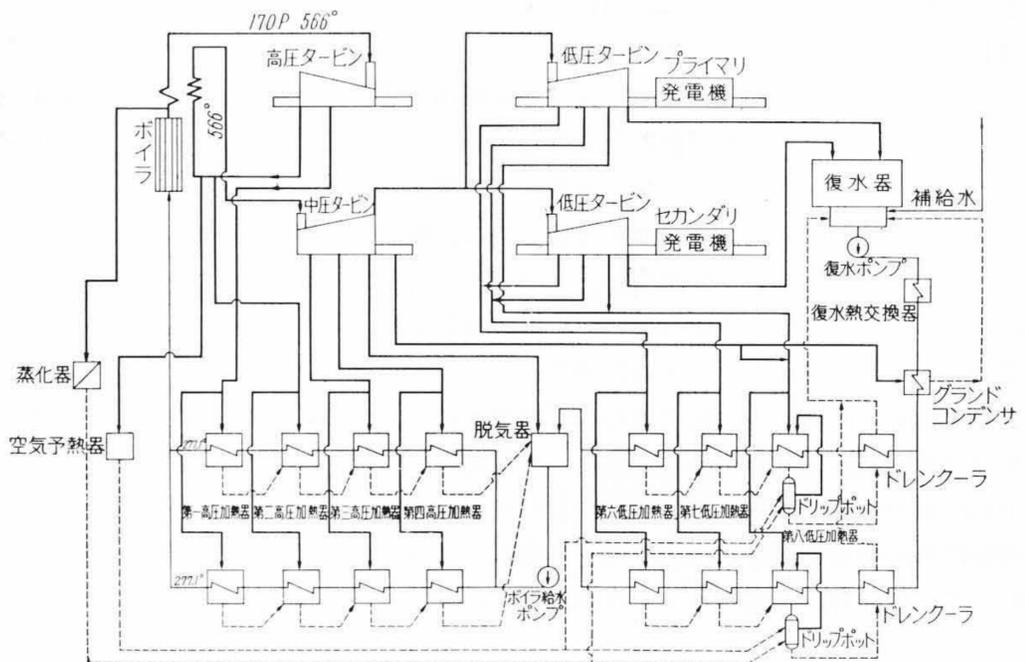
本論にはこれらの観点から、熱サイクル、全体配置、起動およびクリーンアップの系統、給水復水装置、給水ポンプなどについてプラントの概要を紹介するものである。

## 2. 熱サイクルの構成

本プラントの計画条件は第1表に示すとおりで、蒸気条件としてわが国における最高の圧力、温度を採用し、特に再熱蒸気温度も566°Cとした。またタービンにはクロスコンパウンド形の4流排気を採用しており、プラント効率の向上をはかっている。再熱蒸気温度が538°Cの場合に比べて566°Cの場合には、相対的に約0.7%、サイクル効率が上昇する。なおボイラにはUPボイラを採用しているので高温水のブローを行なわないのでこれによる効率上昇も期待される。第1図は265,000kWにおける熱平衡線図で図に示すように高圧給水加熱器、低圧給水加熱器にはいずれも2系列を採用した。抽気段数は8段で高圧4段、脱気器1段、低圧3段よりなり、最終給水温度は265,000kW、722mmHgにおいて277.1°Cである。低圧給水加熱器のドレンは独立のドレンクーラを通した後復水バイ

第1表 プラント計画要目

最大定格出力(発電機端)	265,000kW	
発電機最大容量	339,200kVA	
ボイラ最大蒸発量	907t/h (2,000,000lb/h)	
蒸気条件	気圧(主塞止弁前)	169kg/cm <sup>2</sup> G (2,400psig)
	気温(主塞止弁前)	566°C (1,050°F)
	再熱気温(再熱塞止弁前)	566°C (1,050°F)
真空(265,000kW時)	722mmHg(水温21°C)	
真回転数	3,000rpm	
抽気段数	8段	
給水温度	277.1°C	



第1図 265,000kW 熱平衡線図

パス脱塩装置を通して復水器にもどるサイクルとしてある。

## 3. 全体配置

発電所の全体配置は第2図、第3図および第4図に示すようにタービン発電機、復水、給水加熱装置、汽缶給水ポンプならびに缶前は屋内に設置し、ボイラ本体は屋外形としたいわゆる半屋外形式である。クロス・コンパウンド形タービンに対し、タービン発電機架台は第1軸および第2軸架台を一体に接続した形をとった、復水器は単流式であり、第1軸および第2軸タービン軸に直角にタービンの下に配置されている。この配置は高低圧復水加熱器を立形として1階床面のタービン前部に設置したことと相まって、抽気管の設計を容易にした。また4段2系列合計8基の高圧給水加熱器を、各加熱器間の仕切弁を廃し、小さい据付面積内にまとめたことは機器配置上の一つの特長である。

貫流式ボイラプラントの特長である起動バイパス系統の計画に当たっては、同配管系統内を流れる流体性状の複雑性にかんがみ、熱

\* 日立製作所日立工場  
\*\* 日立製作所亀有工場

応力はもとより異常な振動やウォータ、ハンマなどの発生のないよう、特に慎重を期し要所に均圧配管あるいはドレン抜き配管を取り付けドレンの滞留を防ぐことにした。本プラントにおいてはフラッシュタンク設置位置の選定についても、数種の案を比較検討の上脱気器設置床面に決定した。起動バイパス系統配管のうち、フラッシュタンクから復水器に導入される蒸気およびドレン配管は配管径も太く、狭い空間に性能上の支障なく収めることに努力を払った。

貫流ボイラプラントに特有なもう一つの装置は復水脱塩装置であるが、タービン室1階面の機器配置を合理的に設計することにより運転取り扱いの便宜を図った。

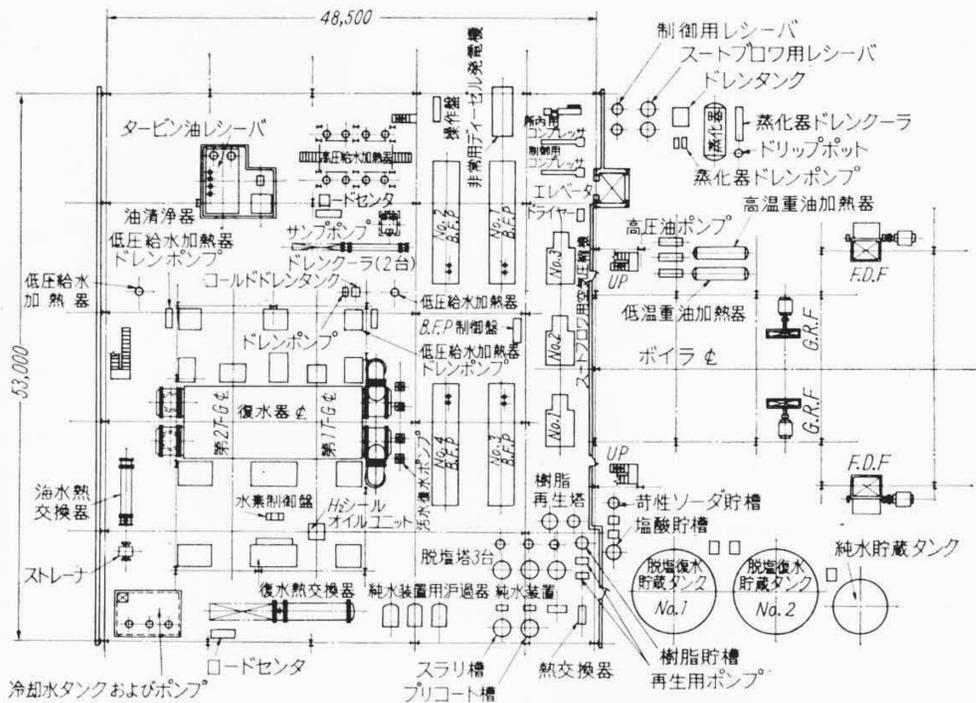
4. 起動バイパス系統

貫流ボイラにはいずれの形式のボイラでも起動時タービンをバイパスして水、蒸気を循環する起動系統があるが、UPボイラを採用したこのプラントの起動系統は第5図に示すように過熱器バイパス弁、タービンバイパス弁、過熱器減圧装置、フラッシュタンク関係などより構成されており、数多くの運転上有利な特長を有している。

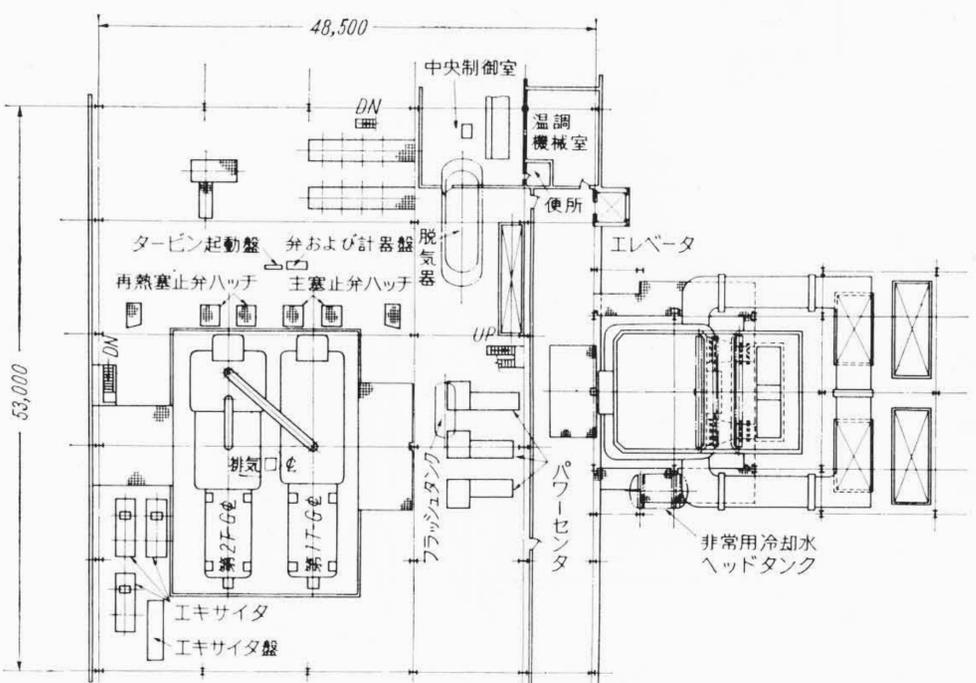
過熱器減圧弁を採用しているため次のような特長を有している。

- (1) 低圧蒸気でタービンの起動をするので熱応力を減少できる。
- (2) 過熱器がホットボトルできるので再起動が速い。
- (3) 再起動時、長時間にわたり高温のグランドシール用蒸気を取り出すことができる。
- (4) 起動時のプロッペン量が少ない。
- (5) 過熱器でのガス温度と蒸気の温度差を大きくでき、熱貫流量を大きくとることができる。
- (6) 減圧弁により主蒸気再熱管のスチームブローイングができる。

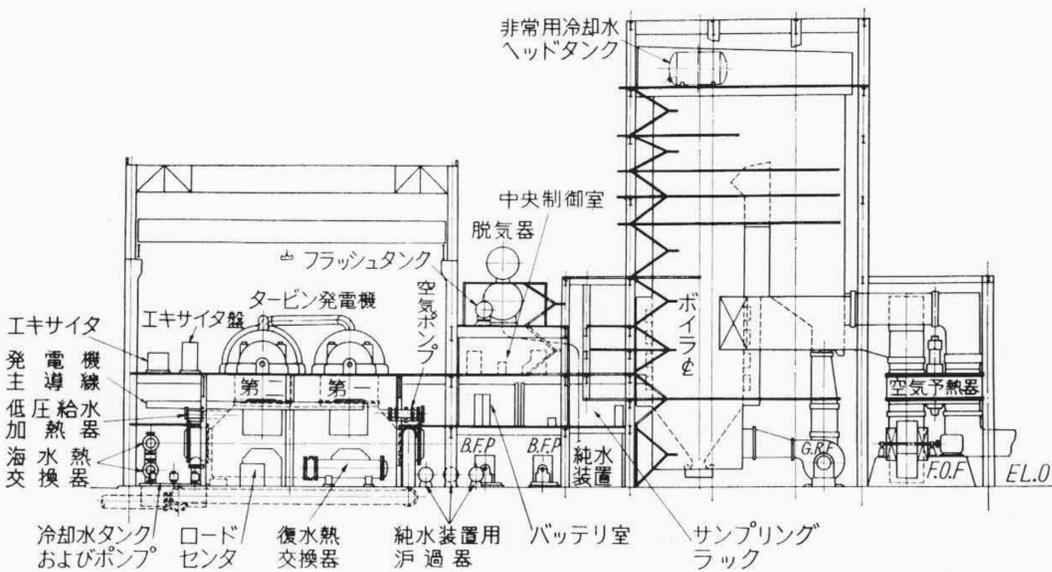
すなわち起動時過熱器減圧装置により減圧した低圧蒸気をタービンに送気できるのでタービンの熱応力を減少できる。第6図に示すように減圧装置のない場合にはタービン入口温度を425℃まで上げてタービンの弁後では290℃まで下がるが、減圧装置のある場合にはcdeのようになり400℃まで上げただけで330℃にしか降下しないのでタービン高圧部の調整弁チェストなどの温度差を少なくして熱応力を減少することができる。また(2)のように再起動時には減圧装置を閉じて二次過熱器に冷たい流体が入らないようにできる、すなわちホットボトルできるのでボイラの再起動が容易である。一方タービンバイパス弁と相まって二次過熱器を通る蒸気量と燃料を加減することにより主蒸気の温度をドラム式ボイラでは得ることのできない高温まで上げ調節することができて、再起動時のメタルマッチングが容易である。またタービン再起動時にはグランドシールに高温蒸気を必要とするが、この(3)項のように第7図に示すクレーンNo.1ユニットの実績のように長時間減圧弁を微回しながら二次過熱器のメタル保有熱で高温に上げ、取り出すことができる。一般の貫流ボイラには第8図が示すように給水量の4倍くらいを一時的に突出する現象があるこれをプロッペン (Pfropfen) 現象と称しているが、



第2図 全体配置図 (1階床面)



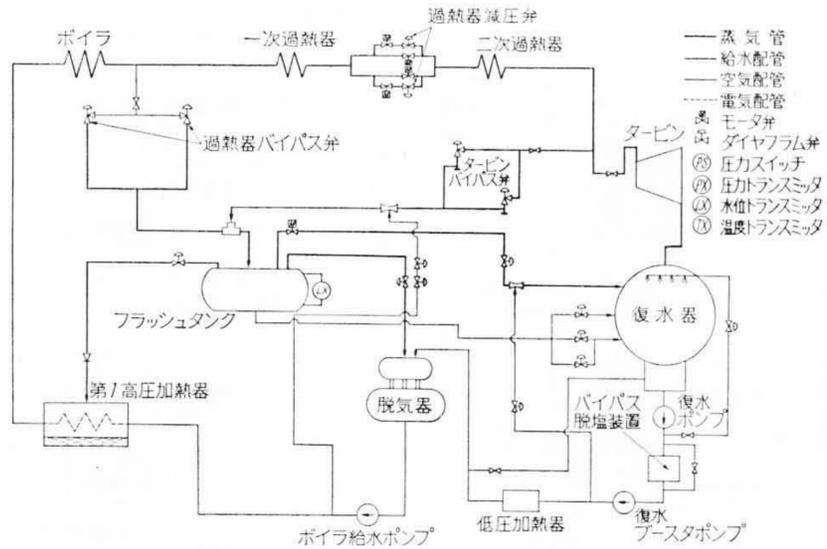
第3図 全体配置図 (3階床面)



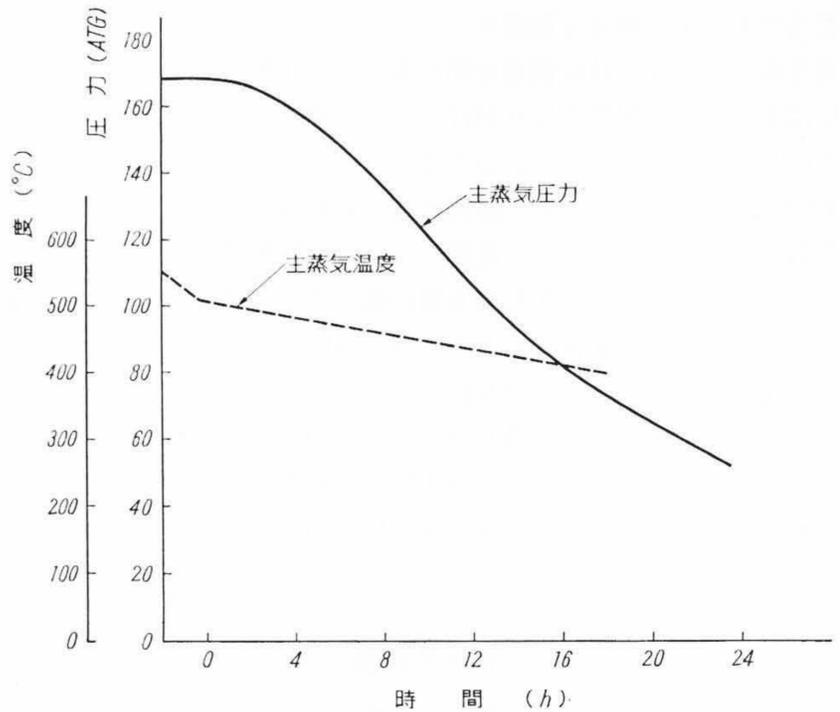
第4図 全体配置図 (立面図)

この現象は過熱器バイパス弁を一次過熱器の前からとり出しているのではほとんど生じない<sup>(1)</sup>。また第5項で述べているように二次過熱器入口で減圧すると蒸気温度が下がるため管外のガス温度との差を大きくすることができて熱貫流量が増す、逆に起動時ガス温度を低くして起動できる特長がある。

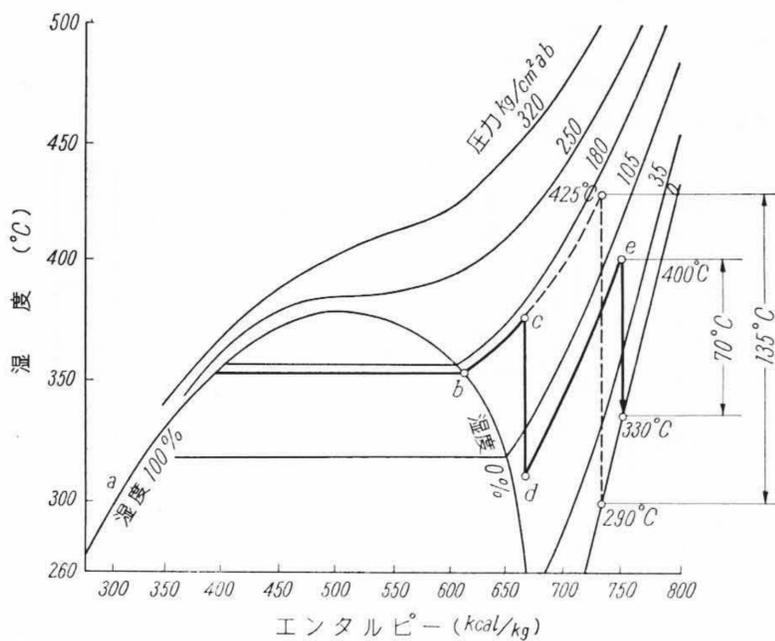
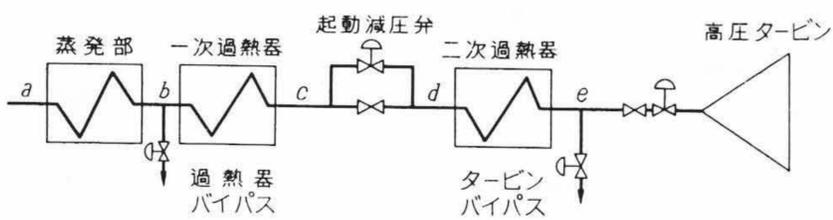
過熱器バイパス弁は起動時給水、汽水、混合物または蒸気を通し減圧してフラッシュタンクへ導く装置で、非常過酷な使用条件にも耐



第5図 起動バイパス系統図



第7図 UPボイラ消火後の圧力, 温度降下曲線例 (補助蒸気を取りながら)

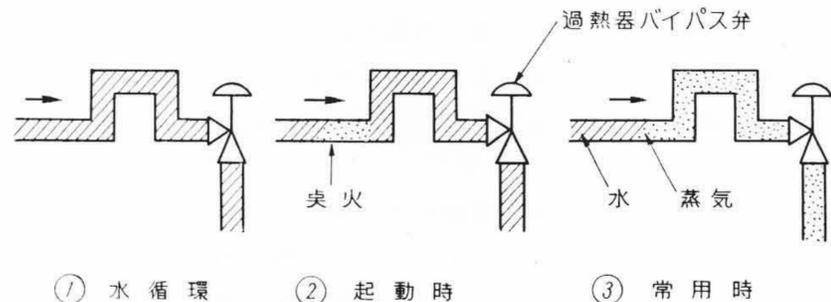
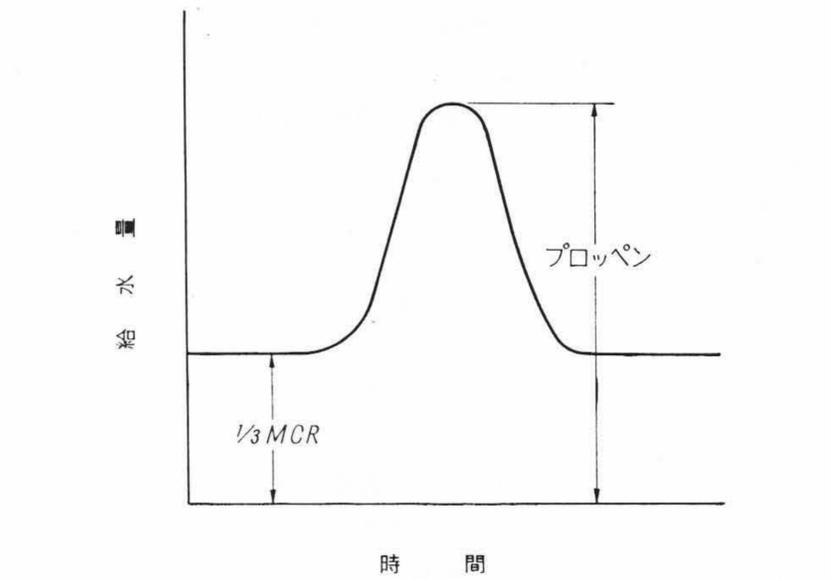


第6図 減圧装置の効果

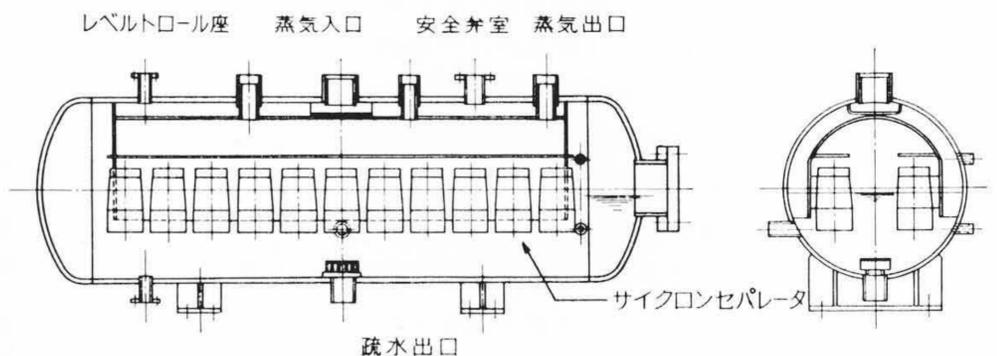
えられるような構造をもっており、弁を出たのちの高速流体のエネルギーを殺すため特殊なターゲットチューブが使用されている。なおこの過熱器バイパス弁は常時運転中に圧力が異常上昇する場合に安全弁より先んじて開き安全弁の吹くのを防ぐように使用される。したがってこの弁自体ならびにバイパス系統はバイパス弁が急開したときに熱衝撃を受けないように常時一定温度にウォーミングしてある。

一方タービンバイパス弁は起動時タービン入口より蒸気を取り出し過熱器を通る流量を加減してタービンメタル温度にマッチするよう主蒸気温度を調節するのに使用される。この弁の構造は過熱器バイパス弁と全く同じ構造である。

フラッシュタンクは過熱器バイパス弁より入ってくる汽水混合物より蒸気を分離して給水加熱器に導くようにするので、第9図に示すようにこのタンクの中には自然循環ボイラのドラムと同じ構造のサイクロンを装備してある。起動の過程においてフラッシュタンクの蒸気は順次脱気器、給水加熱器へと導き熱回収を行なうが、さらに圧力が上昇する場合、余剰蒸気を復水器へダンプする。このダンプ弁はフラッシュタンクの圧力を検出して作動するが復水器真空がある一定以上に上昇していない場合には開かないよう



第8図 プロッペン現象原理図

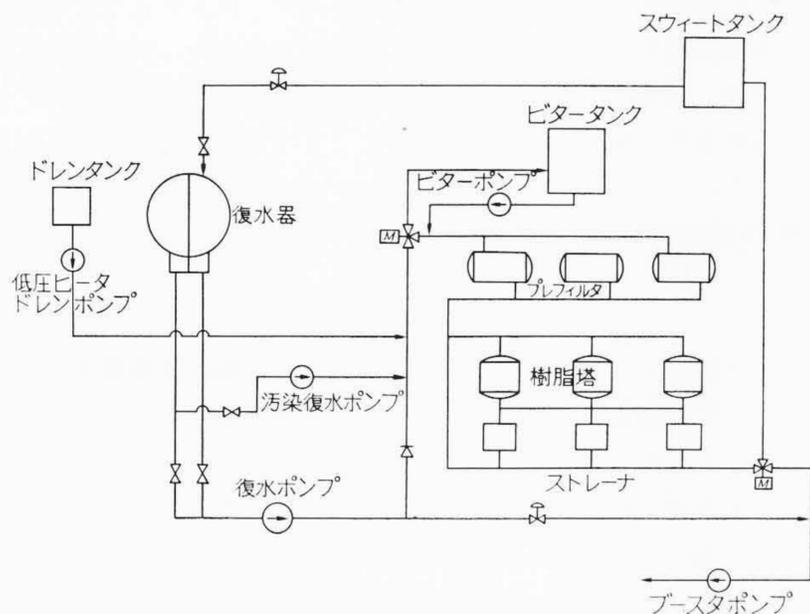


第9図 フラッシュタンク

にインターロックされている。

### 5. クリーンアップ系統

このプラントは第10図に示すような復水バイパス脱塩装置を主体としたクリーンアップ系統を採用してある。この復水バイパス脱塩装置は欧州ペンソンでは冷却水が河水を使用しているなどでほとんど設けていないが、特に次に述べるような目的で採用した。なお



第10図 クリーンアップ系統図

この復水脱塩装置は第(1)項の目的で最近アメリカでは数個所のドラム形プラントにも採用されている。

- (1) 建設時のシステムのクリーンアップ
- (2) 海水リークの際の給水汚損を防ぐ
- (3) 常時運転中の腐食生成物の除去
- (4) 補給水およびドレンの処理

第10図に示すクリーンアップ系統計画の基本的な考え方は次に示す5項目である。この場合系統の使用法に7通りあり、その運転方法は後述する復水器の海水リーク検出の電導計を見ながら中央操作室より1個のスイッチを遠隔制御することにより行なうことができる。

- (1) 低圧ヒータドレンなどは常時脱塩装置を通す。
- (2) 海水リーク時には復水の全量を短時間通水する。
- (3) 起動時などに復水の一部をバイパスして脱塩装置を通す。
- (4) 補給水は脱塩装置を通す。
- (5) 補給水、低圧ヒータドレンは常時復水器に導き復水器脱気が行なわれる。

このクリーンアップ系統の主体をなす脱塩装置そのものの容量ならびに出口純度については第2表に示すようであり、運転時間としては常時は約1週間海水リーク時は約1時間と決めてある。

脱塩塔の前には懸濁物を取り除くようにプレフィルタを設けてある。このフィルタは横形リーフ形でろ過面に助剤としてセルローズパウダをプレコートしてある。

プレフィルタおよび脱塩塔の概略仕様を第3表に示す。

脱塩塔はいわゆる混床式イオン交換樹脂塔である。この装置構造は補給水純水製造用に用いられるものと同じであるが処理水量が大である点に特に設計上考慮が払われている。この脱塩塔で最も大きな特長は再生方式に外部再生方式を採用した点であり、この方式が従来用いられていた内部再生方式と比べて次のような有利な特長を有している。すなわち

- (1) 再生薬品が主回路にはいる心配がない。
- (2) 樹脂停止期間が短縮される。
- (3) 樹脂塔、再生塔がそれぞれの目的のために効率のよい設計ができる。

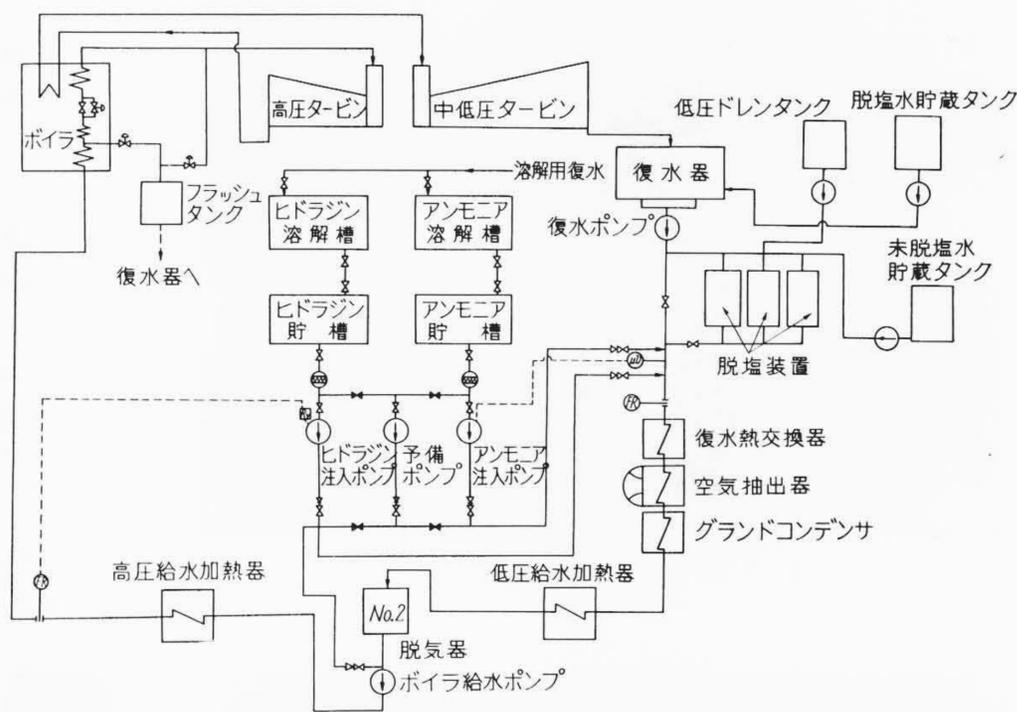
次に常時運転中の缶水の二次処理について簡単に説明を加える。この二次処理には固形物を残さないいわゆる No Solid Treatment を行なっており、第11図にその系統を示す。すなわち pH 調整用

第2表 バイパス脱塩装置計画純度

処 理 水 量	常用時	危急時	
	脱塩装置入口全固形物	1/3 復水量	全復水量
脱塩装置出口水質	全固形物 (ppb)	350 ppb 以下	80 ppm
	SiO <sub>2</sub> (ppb)	50	250
	Fe (ppb)	10	10
	Cu (ppb)	5	5
	硬 度	0	0
節炭器入口水質	全固形物 (ppb)	250	250
	SiO <sub>2</sub> (ppb)	20	20
	Fe (ppb)	10	10
	Cu (ppb)	5	5
	硬 度	0	0

第3表 復水バイパス脱塩装置概要

前置ろ過器	台 数	3	脱 塩 塔	台 数	3
	形 式	横置リーフ形			形 式
常用通水量	78 t/h/台		再生方式	外 部	
最大通水量	230 t/h/台		常用通水量	78 t/h/台	
			最大通水量	230 t/h/台	



第11図 薬液注系統図

としてアンモニアを低圧給水加熱器入口に注入し、この量を脱気器入口の電導度によりフィードバック制御を行なっている(この制御には空気制御方式を採用している)。特にこの制御量に電導度を採用した理由についてはすでに本誌<sup>(2)</sup>において述べられている。また酸素除去剤としてヒドロジンをアンモニアと同じ復水ポンプ出口に注入し、低圧系統の腐食防止にも役立つ<sup>(3)</sup>ようにしてある。この場合ヒドロジンの注入量は主として主給水量に比例して制御するが節炭器入口のヒドロジンを約 20 ppb に押えるようにしている。

## 6. 復水器

全体配置の項で言及したように、この復水器はタービン軸に直角に設置され、上部は第1軸および第2軸タービンの合計2個の排気口に接続している。このため復水器の長さは胴体のみで18m余りに及ぶ。第12図は工場製作中の復水器胴体を示すものである。

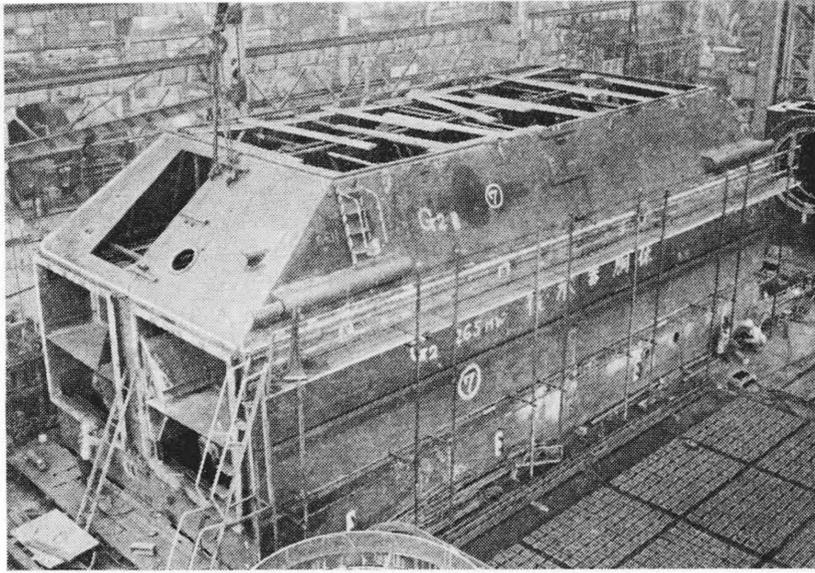
管渠上部には第7段および第8段抽気につながる低圧給水加熱器が一体に組み込まれて設置されているが、このほかバイパス蒸気のエネルギーダンパも取り付けのように、それらの設置位置の選定に当たってはタービン排気口から復水器管渠上部までの排気の流動状況を解析した。排気胴における抽気管の配管経路の計画もまた重要で、設計上特に慎重な考慮を払った点である。

ボイラ給水の純度との関係で、冷却管の管板への取付方法も設計上の重要検討事項であるが、拡管法の信頼度を十分調査の後、この復水器に対しては拡管法を採用した。冷却管材質は主体部にアルミニウムプラスを採用したが給水処理剤としてアンモニヤ、ヒドラジソンが使用されるので、特に復水器内においてアンモニヤ濃度の高くなる空気冷却器に対してはアンモニヤ・アタックに強い70-30 キュプロニッケル管を使用した。

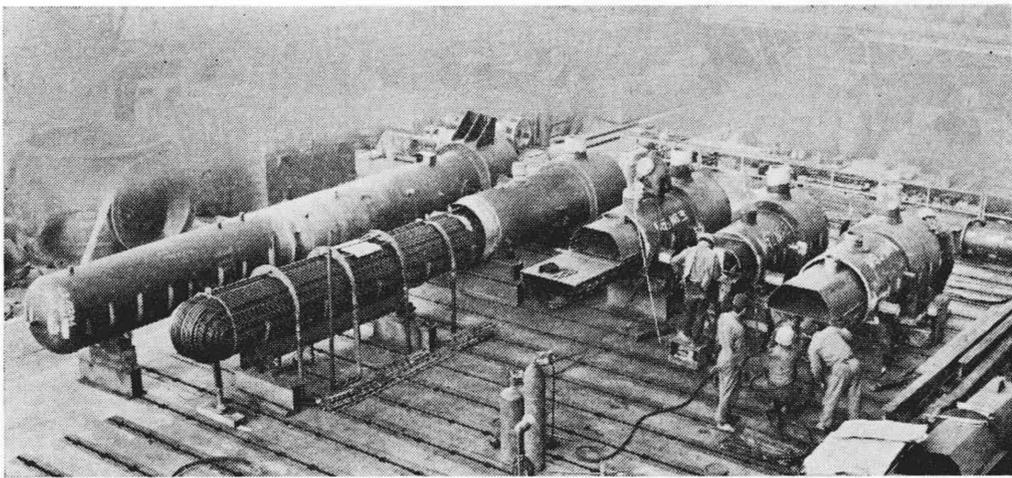
また万一冷却管の穿孔や拡管部のゆるみによる冷却水の漏えいが発生した場合に備えて復水ために区劃を設け冷却水漏えい検出装置を設けた。

### 7. 高圧給水加熱器

高圧給水加熱器の最大の特長はこのような大容量貫流ボイラプラントに対しスチール・チューブによって設計したことである。欧米の超高圧プラントの運転実績によって示された給水純度を見ても明らかのように、スチール・チューブを使用した場合と銅系合金を使用した場合とではCuの含有量に大幅な差があり、ボイラの腐食、



第12図 復水器胴体の製作状況



第13図 高圧給水加熱器の製作状況

タービン内部効率の保持などの見地からスチール・チューブの利点が大きく評価される。しかし実際に設計するに当たっては熱貫流率の算定や、腐食防止対策などに未知の要素が多く、設計の基礎データを固めるため種々の研究を行なったことはさきに報告したとおりである<sup>(4)</sup>。

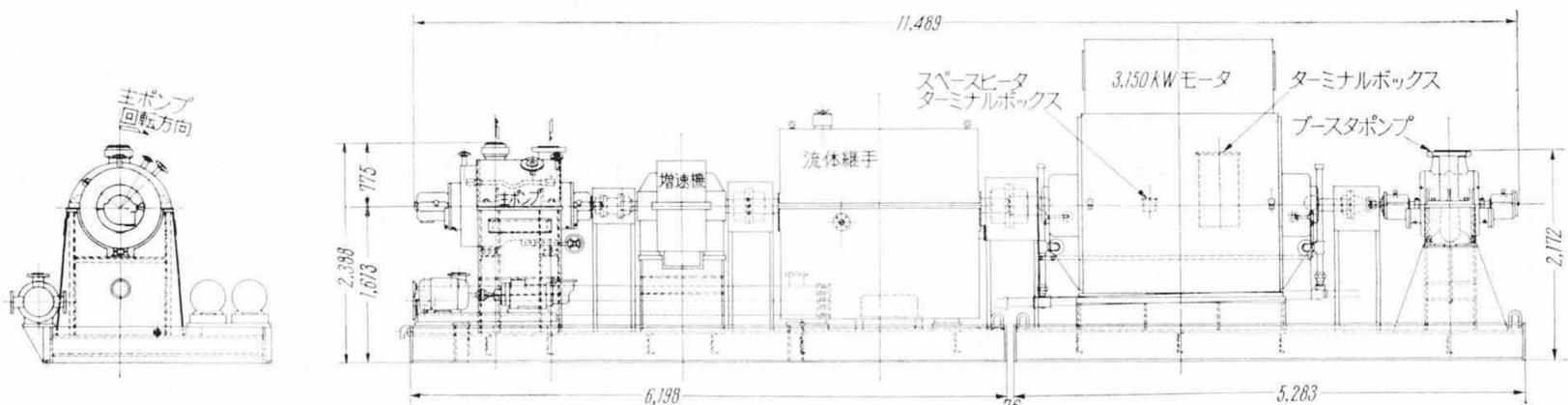
第13図に高圧給水加熱器の製作状況を示す。

### 8. ボイラ給水ポンプ

ボイラ給水ポンプは両軸形4極の電動機の片側に流体継手、増速機を介して主給水ポンプを、他端側に電動機直結のブースタポンプを配列したもので、常用3台、予備1台より成っている。わが国最高圧力最大容量のUPボイラ用としての高圧条件を満足し、かつポンプを4台編成としたために高速回転のバーレル形二重ケーシング構造の多段タービンポンプを採用した。すなわちポンプの設計点(吐出圧239 kg/cm<sup>2</sup>G, 給水温度165.5°C 給水量333 t/h)にたいして第2号缶用(インガールランド社製)は5段6,200 rpmを、また第4号缶用は6段7,200 rpmの高速回転を採用した。後者はパシフィックポンプ社との技術提携による日立製ボイラ給水ポンプである。

最近のボイラ給水ポンプは大容量化の傾向が目ざましく、国外においてはボイラの蒸発量にたいして全容量のポンプ1台または1/2容量のポンプ2台を設け、予備機なしというプラントが多数設けられている。したがってボイラ給水ポンプとしては高温、高圧、大容量になってくるとともに高度の信頼性がとくに強く要求されるようになってきた。高速回転のボイラ給水ポンプを採用した場合、高温、高圧のポンプケーシングを回転軸が貫通する部分の軸封装置の耐久性を向上し、高度の信頼性を維持させることは重要な課題の一つである。軸封装置については各ボイラ給水ポンプメーカーが各種の構造を考案し、圧力、温度、周速に応じて選定しているが、このポンプには大容量ボイラ給水ポンプに最も多く採用されているブレーキダウンブッシング方式の軸封装置を採用した。これは半径方向にはわずかに遊動可能なシールリングを圧力差により数段重ねたもので、軸とシールリングとの間にはわずかのすき間を保ち、漏えい量が少なく、しかもシールリングには自動調心作用があり、シャフトのたわみや外ケーシングの熱変形に自由に順応できるので、かじり付きの危険がきわめて少なく、また回転しゅう動部分がないので寿命が長く、保守が容易で、信頼度がきわめて高いので、高温、高圧、大容量ボイラ給水ポンプ用軸封装置として広く採用される傾向にある。

主給水ポンプを高速回転とし、押込圧力の不足を補うために低速回転の両吸込形単段ポリュートポンプ(4号缶用)またはタービンポンプ(2号缶用)をブースタポンプとして使用し、主タービンのトリップ時または並列運転中のポンプの中の1台がトリップした場合に過渡的に発生する利用可能なNPSHの減少または所要NPSHの



第14図 ボイラ給水ポンプ

増加にも十分対応できるものとしてある。

高圧の条件の下に給水制御を円滑に行なうためにボイラの自動制御の一環として主給水ポンプは流体継手により速度制御される。一般にこれまで給水加減弁による流量調節をするプラントではボイラ給水ポンプの締め切り吐き出し圧力は定格点の110~115%程度であることが望まれていたが、これを満足するためにはポンプの部分流量においてはかなり平坦な流量-圧力特性曲線にならざるを得ない。回転数を制御する場合には低負荷におけるポンプの並列運転時の安定性を考えてポンプの特性をより急こう配のものとする必要がある。4号缶用ボイラ給水ポンプでは最高吐出圧力はポンプ定格圧力の約120%である。

このポンプの特異な構造の一つとしてはアテンペレータスプレー用水としてポンプの吐出圧力水の一部を減圧して使用する代わりにポンプの中間段(2号缶用では1段目4号缶用では2段目)より給水量の約8%を抽水できる構造としている。このために1段目または2段目内ケーシングとバーレルケーシングとの間にはめ合い部分を設け、内、外ケーシングの熱膨張差を吸収するためにエラストックパッキンを一つ多く使用している。

9. 結 言

以上、東京電力株式会社五井火力発電所2号基、4号基の265,000 kWの全体計画、プラント系統、機器について述べたが、昭和37年9月に試運転を完了した清水共同発電株式会社新清水発電所1、2号基75,000 kWプラントの(いずれもわが国最初の大容量貫流ボイラで、日立製作所はこのプラントにおいて十分な研究をなし遂げている)経験を生かして、五井火力の設計製作にのぞんでいる次第である。完成の暁には必ずや優秀なプラントとなることを確信する。

終わりに、本プラントの完成に当たってご指導、ご激励を賜った東京電力株式会社の各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 田村, 坂井, 細川, 機械学会(後報)
- (2) 中崎, 坂井, 日立評論 43, 1068 (昭36-9)
- (3) 中崎, 坂井, 日立評論 43, 1068 (昭36-9)
- (4) 中崎, 谷岡, 植西, 日立評論 44, 835 (昭37-6)



新 案 の 紹 介



登録新案第509508号

木村源蔵

回 転 電 機 固 定 子 線 輪

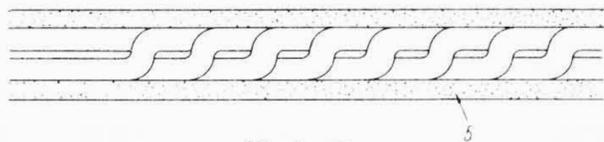
この考案は回転電機の固定子線輪の改良に関するもので、これを図面により説明する。図において1は絶縁被覆した導体、2は被覆を施さない裸の導体、3は導体1の絶縁被覆、4は左右導体の隔離絶縁板、5は線輪の絶縁軸である。

一般に大容量の回転電機の固定子線輪は導体のみぞ内積重段数が多くなり、特に各導体の変位を行なうものにおいては各導体絶縁被

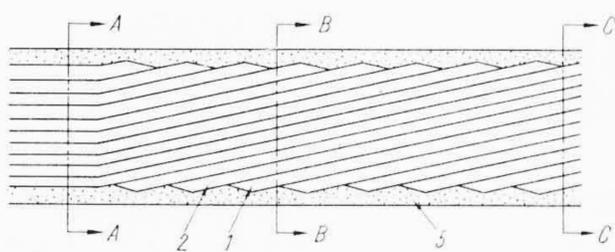
覆の鉄心みぞ内に占める寸法が大となり、したがって導体の総断面積が制約され電流密度が大となり温度上昇の原因となるをまぬがれない。

この考案では各断面図に示すように、絶縁被覆3を施した導体1と絶縁被覆3を含む断面とほぼ同一の断面の裸導体2とを同数使用し、隔離絶縁板のみを介して左右千鳥形に配置してなるものである。この構造によれば、従来のような絶縁被覆した導体1のみを積重した線輪に比べ、同一鉄心みぞ断面において導体の総断面積を約10%増大することができる。換言すれば同一電流容量の線輪製作にあたりその所要断面を10%縮小しうるものであり、かつ導体の絶縁被覆工数を半減し絶縁材料の節約もできる。

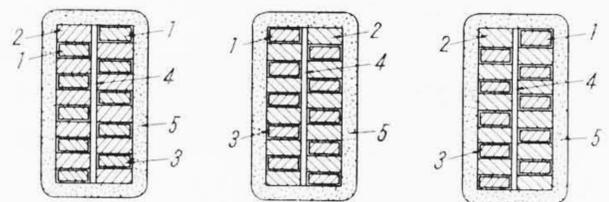
(諸角)



第 1 図



第 2 図



A-A断面図

B-B断面図

C-C断面図

第 3 図