U.D.C. 621.311.22 : 621.165

清水共同発電株式会社新清水火力発電所

第1,2号機75,000kWタービンならびにプラントの特長

Features of Shin-Shimizu 75,000 kW Turbine and Thermal Power Plants (No. 1 & 2) to the Shimizu Kyodo Power Co., Ltd.

堀内俊明* 松村重兵衛* 安藤弘之*
Toshiaki Horiuchi Jūbei Matsumura Hiroyuki Andô

内容梗概

新清水火力発電所は，動力源として信頼性が極度に高く，かつ急激な負荷変動に耐えられることが，計画の出発点として設定されたのであるが，さらに起動特性，運転性能についてはもちろん，その経済性についても詳細な検討を経て，その合理的な設計が完成した。総括的にみて，このプラントが全屋外式であることと，ベンソンボイラを採用したことは，その二大特長として挙げることができる。本稿は主としてタービン本体およびこの二大特長をタービン本体およびプラント計画的見地から述べたものである。

1. 緒言

新清水火力発電所は，その電力供給先である同地区の生産工場との密接な関連の下に高度の信頼性を備えるべきことが要請されたが，同時に負荷変動がきわめて激しい点と，停止後の起動あるいは系統復帰をできるだけ早くする必要があるという条件があった。この前提条件に基づいて最も適当な機種の選定が行なわれた結果，この発電所はベンソン・ボイラによる 75,000 kW のユニット-2 セットによって構成されることになったが，貫流式ボイラが採用された理由は，従来のドラム式ボイラ・プラントにあっては，負荷追従性はボイラ側によって制限され，起動時間は冷間，熱間を問わず特にタービン流入蒸気条件とタービン蒸気室の壁温によって制限を受けるため，前記のような条件を満足することがきわめてむずかしいという結論によるものであった。

ベンソン・ボイラの採用に伴い，ベンソン・ボイラ・プラント特有の諸装置が多角的に検討され各種の新製品を産んだ。また，運転性能および取り扱いに関する事項のみならず，立地条件も勘案して全屋外式とする根本方針が打ち出されたが，これも本プラントの一大特色である。

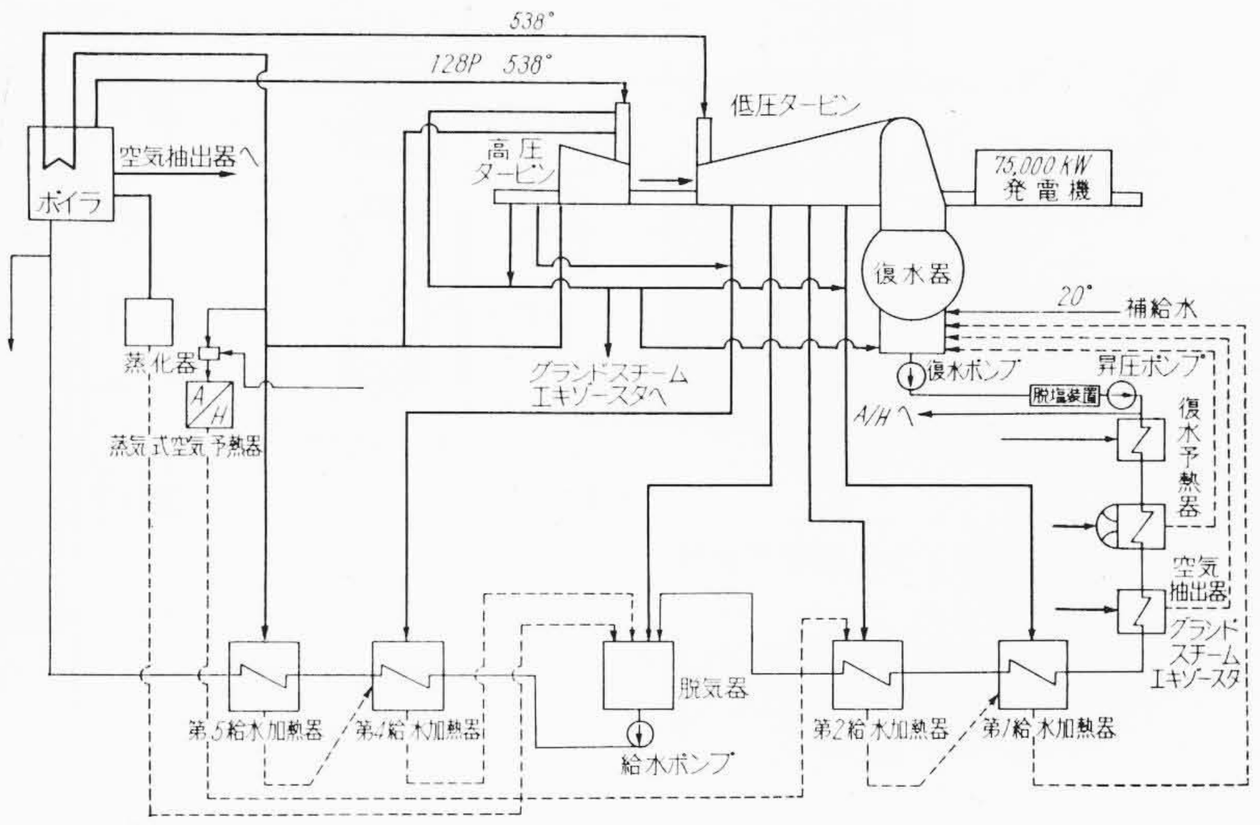
2. 熱サイクルの構成

第1表に本プラントの計画条件を示す。蒸気条件はベンソン・ボイラの採用を考慮して綿密に発電原価を比較し[1]，従来の75,000 kW 級のものより主蒸気圧力を一段上げた 127 atg/538℃/538℃ を採用した。その結果タービンプラント熱効率は従来の 102 atg/538℃/538℃ の場合に比べて約 1.6% 高い熱効率を得ることができた。

第1図に75,000 kWにおける熱平衡線図を示す。抽気段数は5段で高圧給水加熱器2段，脱気器1段，低圧給水加熱器2段よりなっている。ボイラは重油専焼で蒸化器と蒸気式空気予熱器を有し，それらの加熱蒸気はそれぞれボイラ蒸発部出口および低温再熱管より取り出されている。低圧ヒータドレンはドラム式のボイラの場合はドレンポンプを設けて復水系統にポンプアップされるのが通例であるが，貫流式ボイラの特質として給水制限値が厳しいので系統中で汚染度の高い低圧ヒータドレンは必ず復水脱塩装置を通して復水器にもどす方式，すなわちカスケード方式を採用した。空気抽出器の前には復水予熱器を設け冷却水熱量の回収をはかった。

第1表 プラント計画条件

定格出力（発電機端）		75,000 kW
蒸気条件	主蒸気圧力	127 kg/cm²g
	主蒸気温度	538℃
	再熱蒸気温度	538℃
真空	（定格出力,冷却水温度 20℃ にて）	722 mmHg
回転数		3,600 rpm
抽気段数		5段
給水温度	（定格出力にて）	231.4℃
ボイラ最大蒸発量		260 t/h



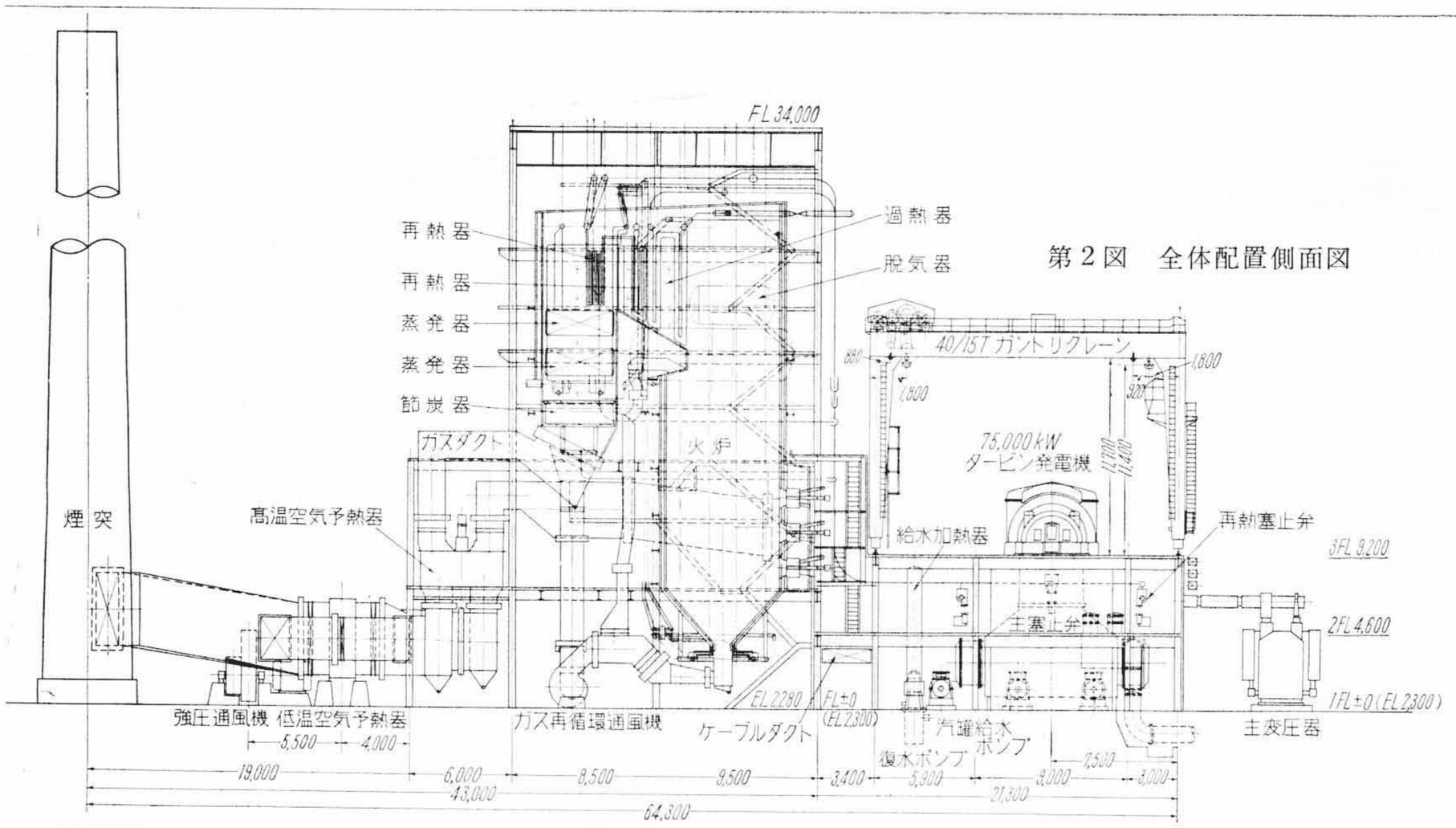
第1図 熱平衡線図

3. 全体配置

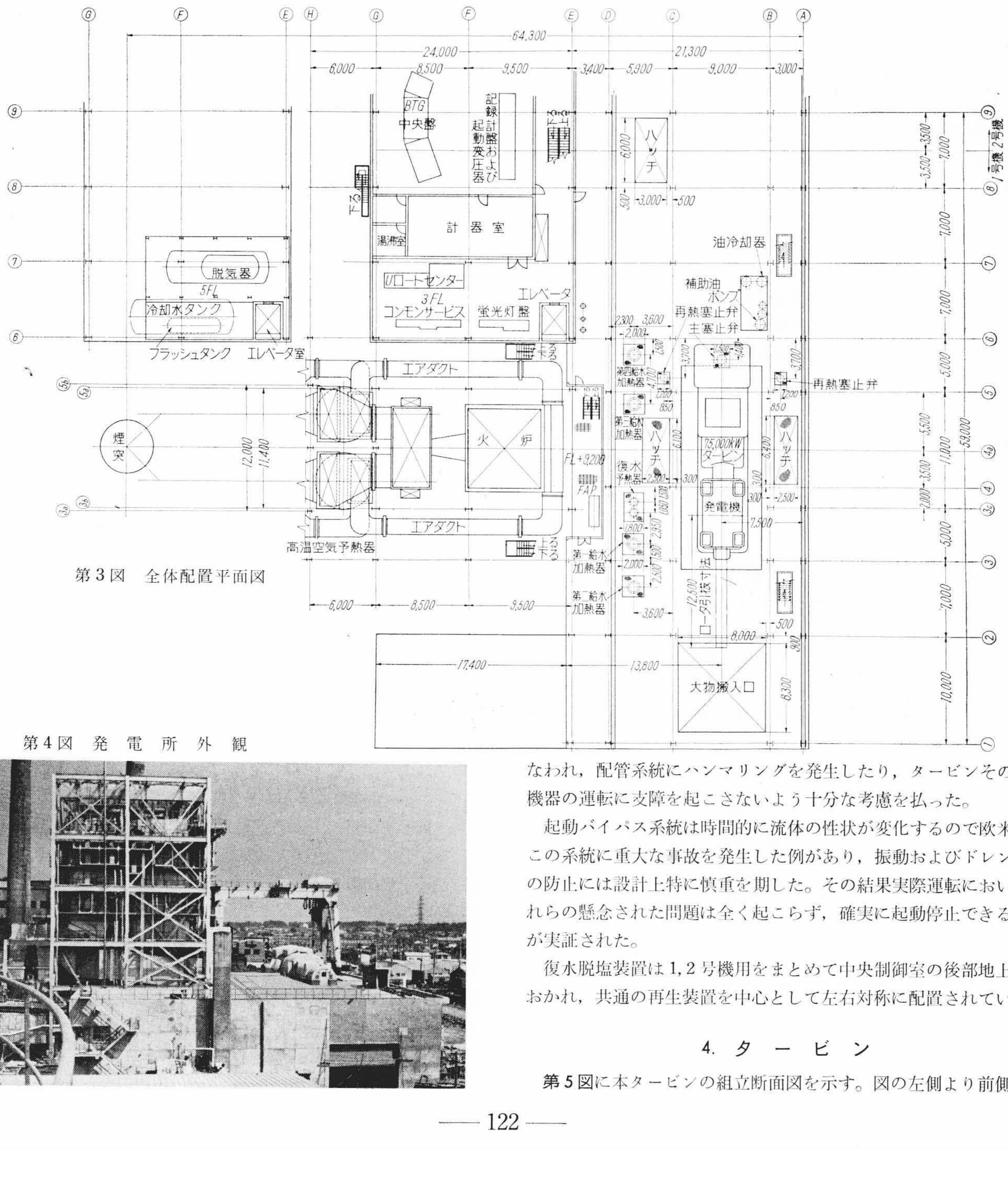
第2図および第3図に示すように，このプラントは1号機および2号機が中央制御室をはさんで向い合う形に配置され，それぞれの監視計器，操作器具は共通の中央制御室に集められている。中央制御室下の二階床面は電気室となっており1号機および2号機のスイッチ・キュービクル類がまとめて収められている。その階下の1階床面にはコンプレッサその他の1，2号共通機器が設置され，据付面積の有効活用と運転の便宜を図っている。第4図は全屋外形式の本プラントの外観である。

また，このプラントにはベンソンボイラ[3]が採用されたため，従来のドラム形ボイラのプラントになかった起動バイパス装置，復水

* 日立製作所日立工場



第2図　全体配置側面図



第3図　全体配置平面図

第4図　発電所外観

脱塩装置など貫流形ボイラプラント特有の装置を有している。起動バイパス装置のうち過熱器バイパス弁は取出点に近くボイラ上部の側面に，タービンバイパス弁はフラッシュタンクの近くに設置されている。フラッシュタンクは中央制御室の上の屋上4階床に設置されているが設置位置の選定に当たっては，流体の流入，流出が円滑に行なわれ，配管系統にハンマリングを発生したり，タービンその他の機器の運転に支障を起こさないよう十分な考慮を払った。

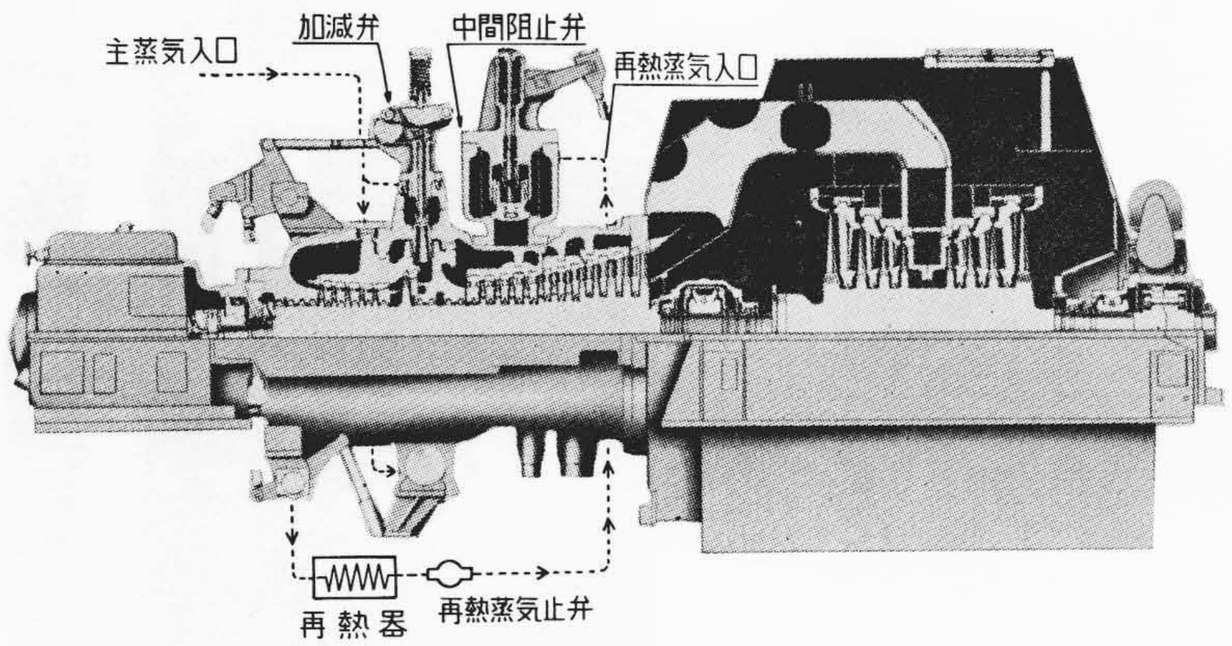
起動バイパス系統は時間的に流体の性状が変化するので欧米でもこの系統に重大な事故を発生した例があり，振動およびドレン滞留の防止には設計上特に慎重を期した。その結果実際運転においてこれらの懸念された問題は全く起こらず，確実に起動停止できることが実証された。

復水脱塩装置は1,2号機用をまとめて中央制御室の後部地上面におかれ，共通の再生装置を中心として左右対称に配置されている。

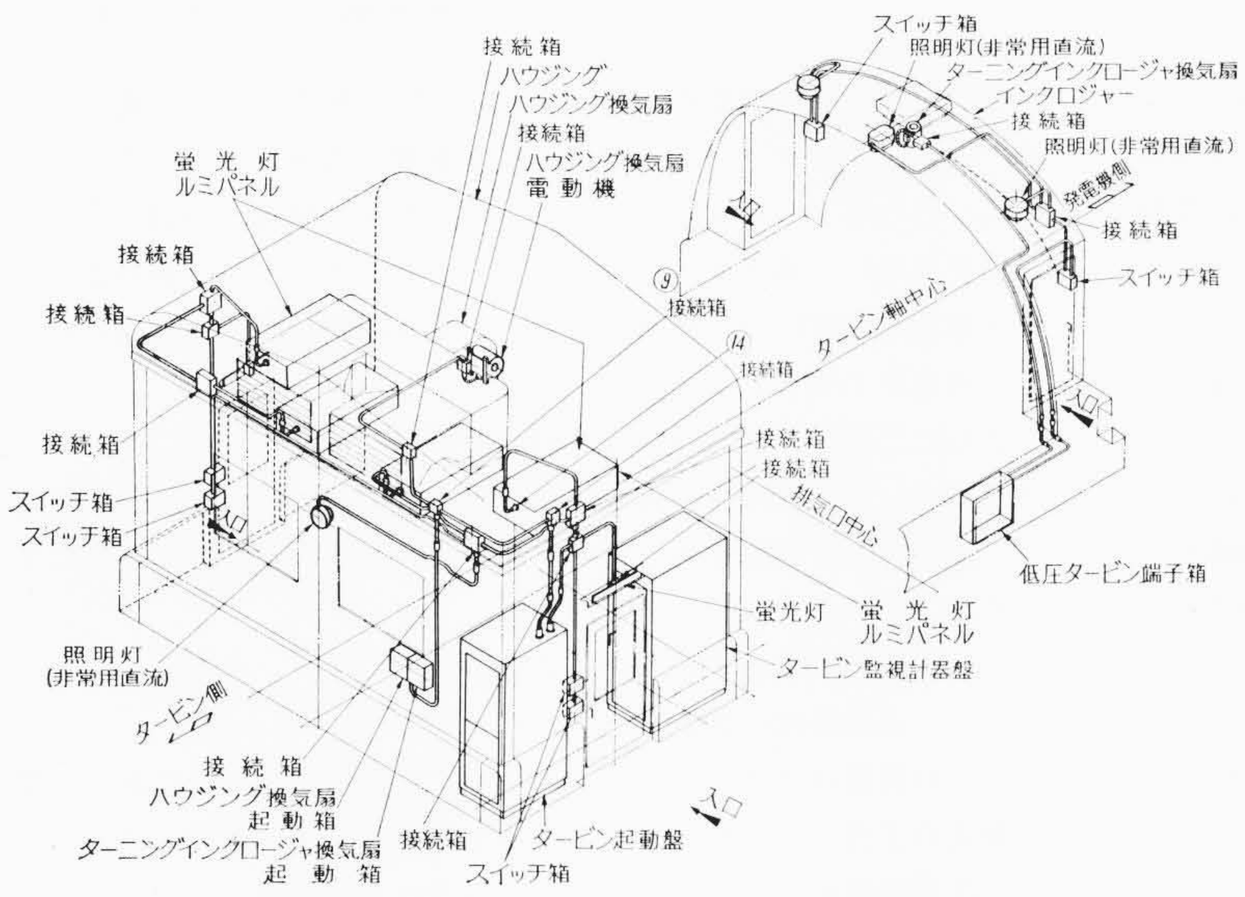
4. タービン

第5図に本タービンの組立断面図を示す。図の左側より前側軸受

箱，高圧タービン，再熱部，低圧タービンの順に配列され，中低圧車室の蒸気連絡管は低圧車室内に組込式とし，最終段翼には508mm（20 in）をもちいたくし形2気筒複流排気タービン（TCDF-20）である。



第5図　75,000 kW　3,600 rpm　127 kg/cm²•g　538/538℃
再熱タービン組立断面図



第6図　屋外式タービンハウジング照明図

4.1　屋外式タービンとしての構造

本タービンは屋外式のため，タービンの前面の操作部分を完全な防水形ハウジングで覆い，その中にタービンの起動に必要な，タービン起動盤，監視計器を内蔵させた。また，これらの操作に必要な照明，および内部の換気をも考慮している。

第6図にタービンハウジングの照明，および換気装置を示す。ハウジング内部の照明は，ルミパネルをもちい，中央制御室と同程度の明るさとし，運転操作に便ならしめた。また発電機側タービン端にも，ターニングギヤ用電動機，制御スイッチ類等各種装置が設けられるので，完全なターニングインクロージャをもって覆い，内部照明および換気にも十分な配慮が払われている。なお交流電源停電時にも内部照明が行なえるよう，直流電源よりの非常灯が設けられている。タービン前側，ターニングインクロージャには，いずれも換気扇が設けられ，タービンよりの熱放散による室内の温度上昇を防いでいる。

4.2　調速，保安装置

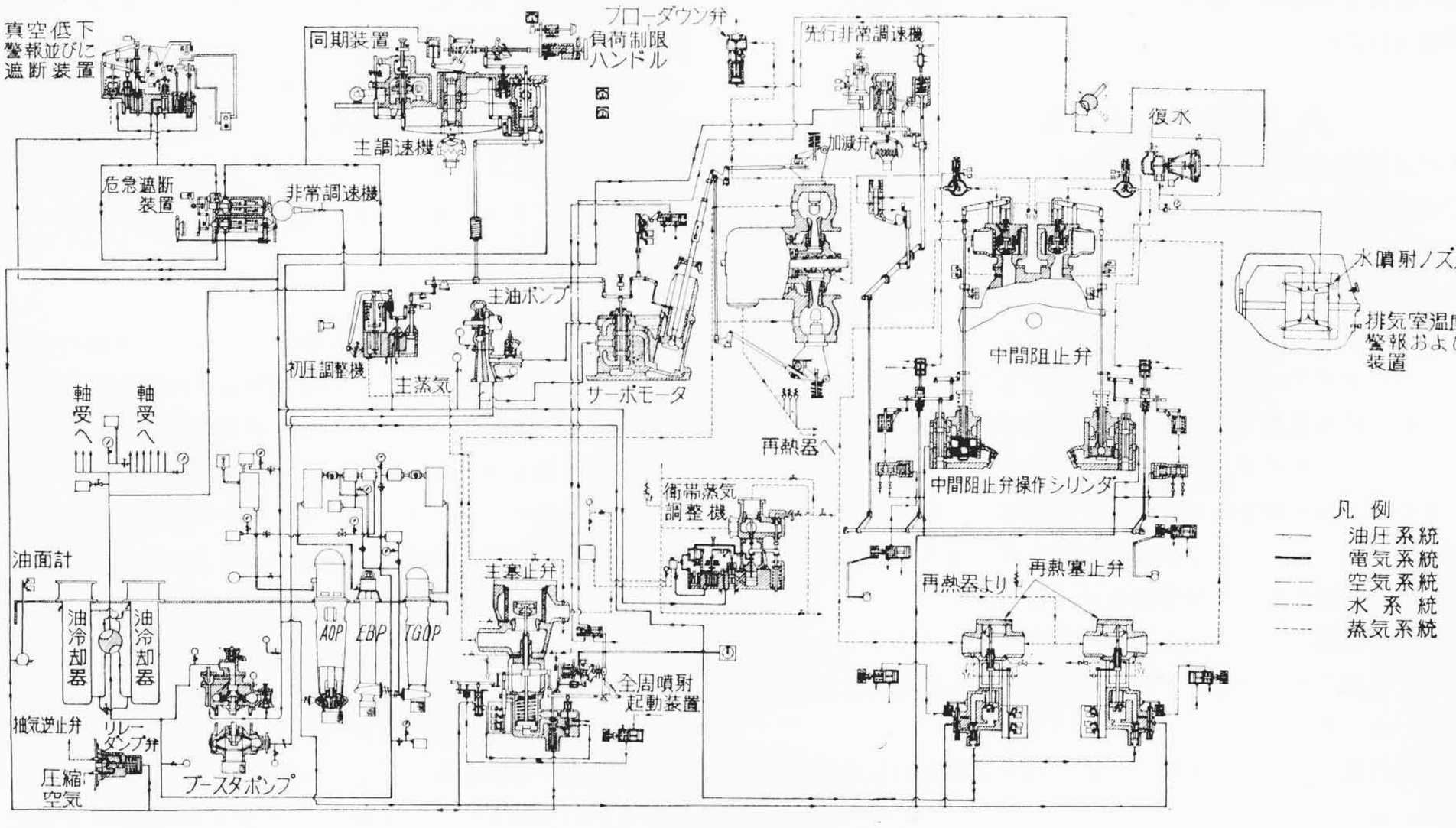
本タービンの調速，保安装置の系統を**第7図**に示す。本調速系統の特長としては，全周噴射起動装置の採用，加減弁1，2弁同時開方式，中間阻止弁の車室付構造である。

4.3　全周噴射起動装置

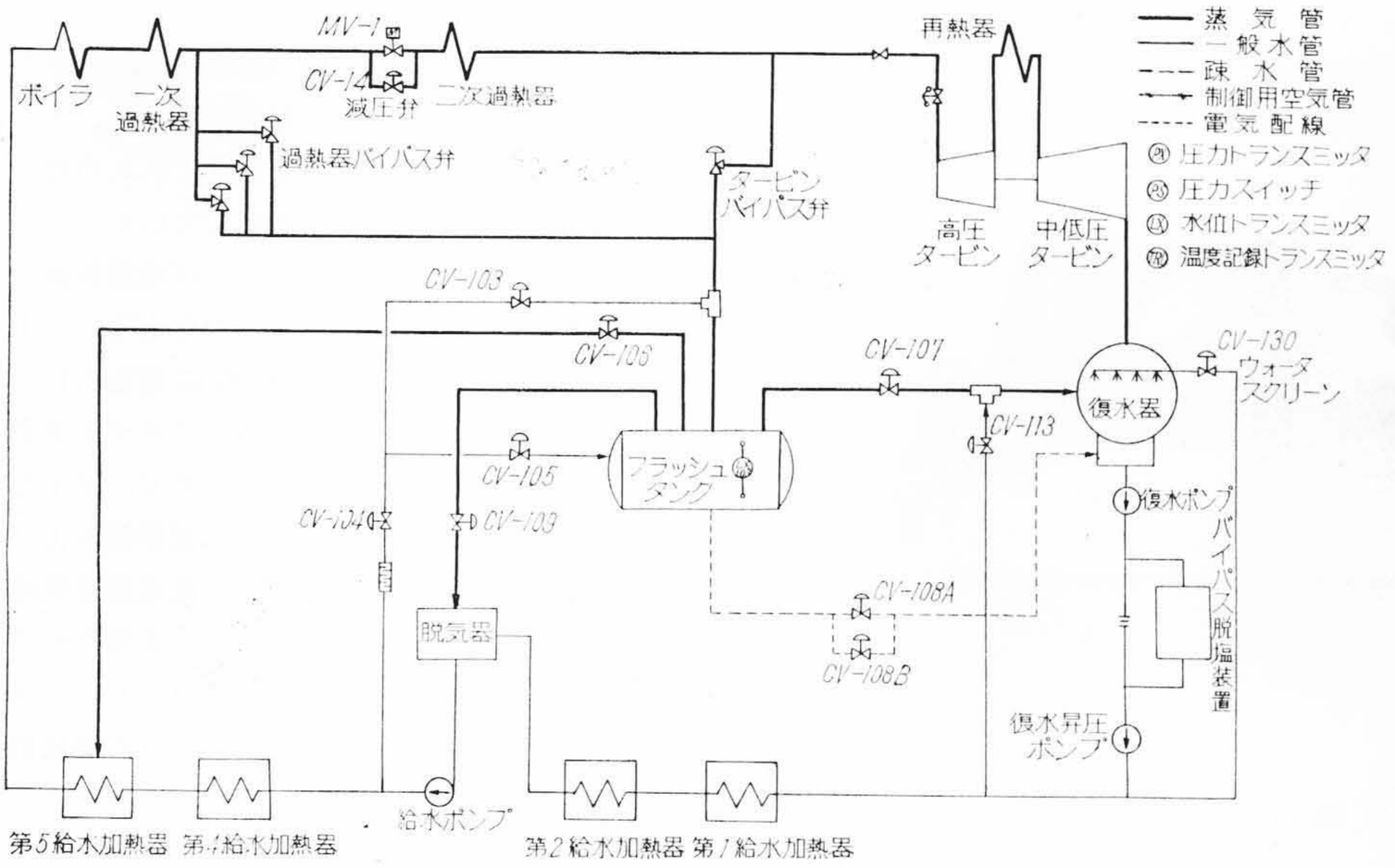
全周噴射起動装置は，起動時または低負荷時，主塞止弁内に設けた子弁をもちいて蒸気流量の制御を行ない，この間加減弁を全開した状態として，タービン内の全ての蒸気流路にわたって均一に蒸気が流れるように設けられたものである。これによって，起動時および低負荷時に生ずる熱応力の軽減をはかるとともに，流路面積の増加から蒸気流速が低下し，熱伝達係数が小となり，メタル温度差が軽減され，き裂の発生する可能性がきわめて少くなる。

子弁の容量は，定格蒸気条件において，最大蒸気流量の20%で，これ以上の負荷の場合には，主塞止弁を全開し加減弁による運転に切換える。

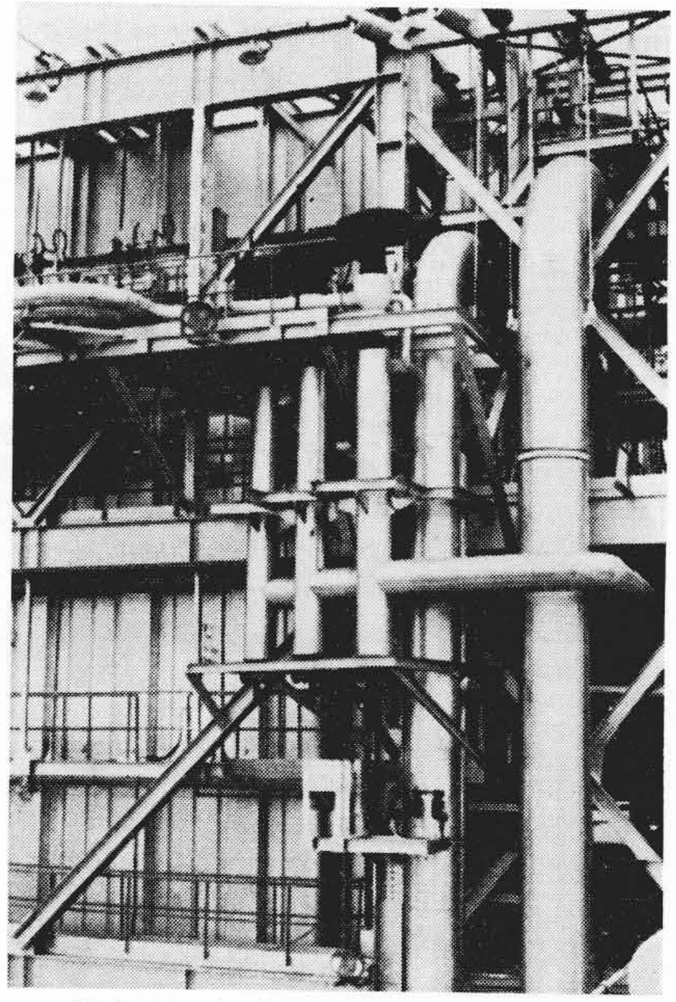
この切換えを行った場合，低負荷のため，第1加減



第7図　制　御　系　統　図



第8図　起　動　バ　イ　パ　ス　系　統　図



第9図　過熱器バイパス弁

弁のみが開かれているため，部分噴射となり，車室の上部のみを蒸気が流れる状態となるので，これを避けるため，加減弁1，2弁同時開方式を合せて採用し，如何なる負荷状態でも，車室上下に蒸気が流れるよう配慮してある。

4.4　中間阻止弁の車室付構造

本タービンの計画にあたり，タービンの負荷遮断時の最大速度上昇率の点から，中間阻止弁の配慮についての検討を行った。中間阻止弁車室付の構造が最大速度上昇率を抑える上で有利なことは，種々検討，報告されているが，対向流ケーシングにおいて，加減弁，中間阻止弁を車室に取付けることは，構造上慎重な検討を要する。一方現在まで製作された，50c/s 75,000kW機の実績はいずれもその上昇率が109%前後の値を示し，しかもこれを左右するタービンの始動時間は両機種ともほとんど同じで，再熱タービン中では低い値をしめしている。また主蒸気圧力の上昇は，加減弁蒸気室中に残留する蒸気エネルギーを高める傾向をもつ，これらの点を考慮して，本タービンにおいては，中間阻止弁車室付の構造が採用された。この結果，最大速度上昇率は，第1，2号機とも7%前後の非常に良好な結果が得られた。

5.　起動バイパス装置

起動バイパス装置は復水脱塩装置とともにベンソンボイラ，UPボイラなどの強制貫流ボイラプラントの最大の特長で，ボイラ過熱器バイパス弁および配管，タービンバイパス弁および配管，フラッシュタンク，フラッシュタンクから蒸気およびドレンを流出する配管や弁などから成り，その目的は次のとおりである。

（a）　ベンソンボイラは内部的な循環系路をもたず炉の安全な運転に必要な最小給水流量（約1/3 MCR）を流すため，起動の際蒸気が発生するまでのボイラ通過水を再循環させること。

（b）　ボイラに蒸気が発生した後一部を過熱器よりタービンバイパス弁を通してフラッシュタンクに返し，主蒸気ラインの暖機およびタービン通気に必要な蒸気条件をうること。

（c）　起動時の熱損失をできるだけ少なくするためボイラよりの気水混合物を蒸気と水に分離して，発生した蒸気を脱気および給水加熱に用いること。

（d）　分離されたドレンを復水脱塩装置に導き高純度の給水を確保すること。

第8図は日立式起動バイパス系統である。従来のヨーロッパ式ベンソンボイラでは起動の際に蒸気による再熱器の冷却を要するため，フラッシュタンクと再熱器を結ぶ配管が必要であり，また再熱管につらなるタービン出入口弁について非常に複雑な制御をしなければならない。本ボイラではガステンパリングによって再熱器入口ガス温度を540℃以下に押えることにより起動時の再熱器冷却に対する考慮を不要としている。

さらに二次過熱器入口には止弁と減圧弁からなるレジューシングステーションを設けて，起動時冷水が二次過熱器に入ることを防いで，起動時間を短縮するとともにタービンの低圧起動を可能としている。

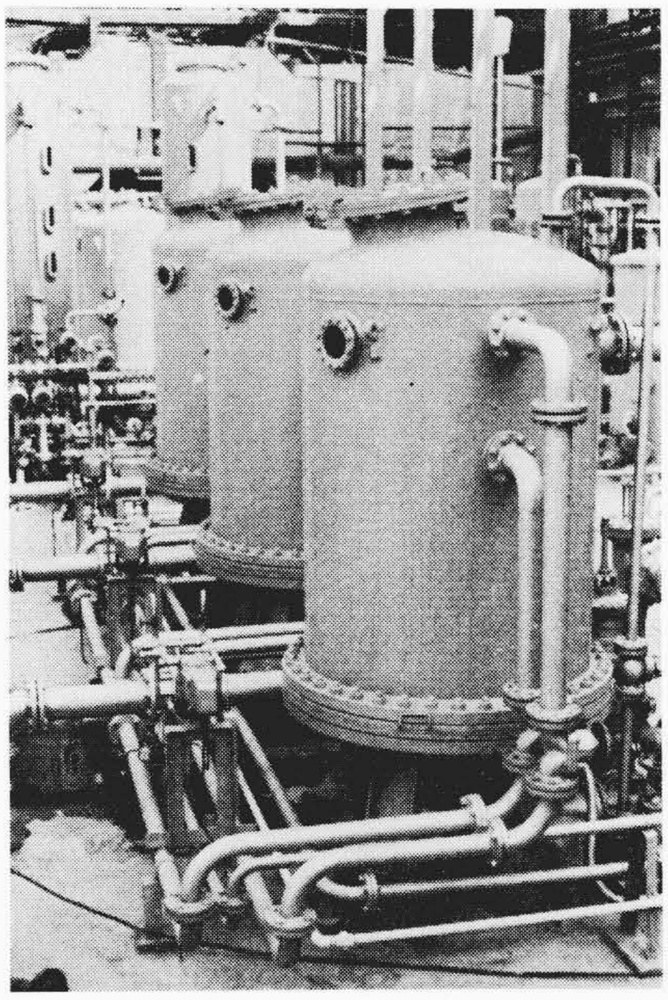
次に各部の構成機器について述べる。

（1）　過熱器減圧装置(レジューシングステーション)

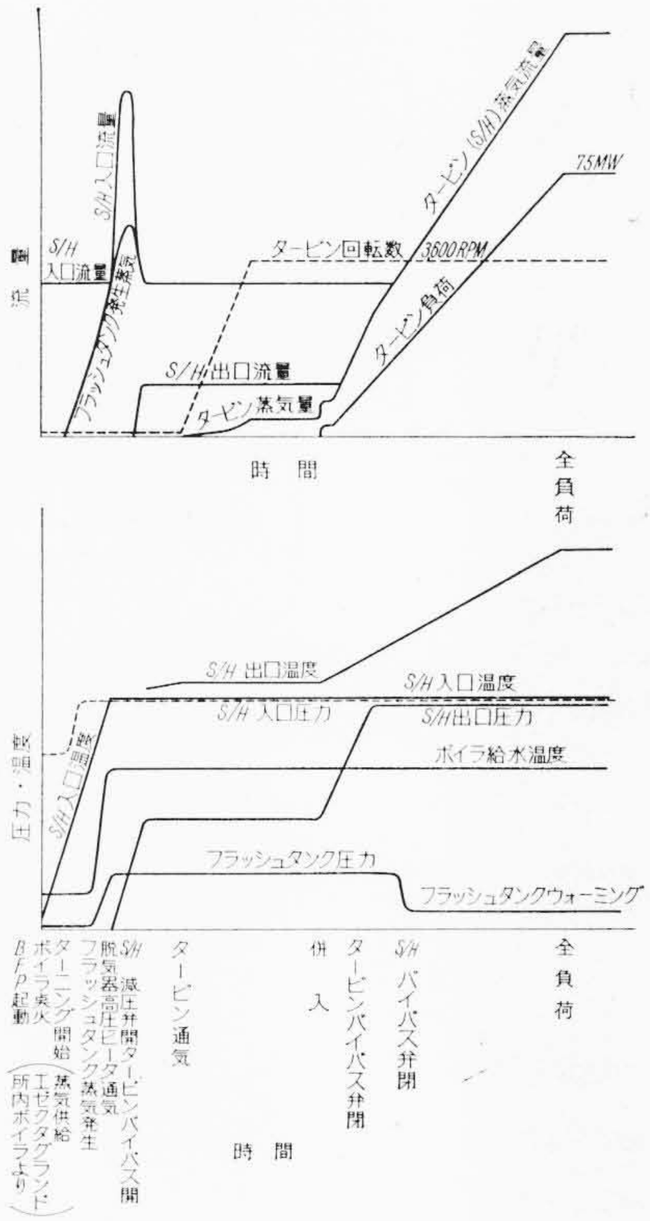
この装置はさきにも述べたように二次過熱器の入口にあり，電動式の主弁とそれをバイパスする空気式減圧弁から成っている。一次過熱器出口が蒸気になる前は両弁は完全に閉止されていて二次過熱器に冷水がはいることを防ぐ。一次過熱器温度が減圧後も湿り域にはいらない程度に過熱された状態になればこの減圧弁を開き，タービンバイパス弁との共同作用によって二次過熱器に適当に減圧された蒸気を導き，タービン通気の蒸気条件を整える。減圧弁は出口圧力を一定に設定し，この設定値は遠隔手動によって加減できるから，タービン併入後この圧力を増加させて負荷を上昇させる。主弁の差圧が少くなれば主弁を開いてタービンに規定の圧力をかける。

（2）　過熱器バイパス弁

この弁は**第9図**に示すように順々に開閉する3個の空気作動式アングル弁より成っており，一次過熱器出口圧力を検出してタービンがボイラMCRの⅓の蒸気量を消費するまでの水，気水混合物および蒸気を減圧する。弁の出入口差圧が大きく，しかも弁中を流れる流体の状態は水から蒸気まで時間的に変化するためその作動特性，耐久性に高度の信頼性が要求される。特に従来より低温の水を高差圧で絞るとき大きな騒音と振動が生ずるといわれていたが，研究の結果，これは給水中の溶存酸素の影響であることが明らかとなり，復水器および脱気器で脱気を完全にすれば静粛に運転しうることが実証された。本弁の下流配管にベンドが存在すると急激に摩耗損傷されるため**第9図**にも見られるように高エネルギーの流体をいったん衝突させるターゲットを設置している。またこの弁は常用運転中は主塞止弁前の圧力上昇を検出して



第10図　脱塩装置樹脂塔



（冷起動，一週間以上停止）

第11図　起動曲線（冷起動）

危急遮断時に一種の安全弁として働くよう設計されている。

（3）　タービンバイパス弁

タービンバイパス弁は主塞止前より蒸気を取り出し，タービン通気前に二次過熱器流量を確保して蒸気温度の調整および主蒸気管の暖機を行なう。この弁は過熱器バイパス弁とほとんど同じ構造のアングル弁で中央室より遠隔手動で操作される。この弁の入口配管は主蒸気管より相当長く立ち上がっておりウォータフラッシング後の起動の際には満水する。また出口管は過熱器バイパス弁の出口管とつながっているため冷機起動の際には満水してその水が滞留しているおそれがある。この状態で弁を開けば水柱の急激な移動が起こりウォータハンマを生ずる心配がある。このため本プラントでは，均圧管をもうけるなどその原因除去に特に慎重な考慮を払ったため，運転結果においてなんら問題とすべきものがなかった。

（4）　フラッシュタンクおよびそのほかの装置

フラッシュタンクは過熱器バイパスおよびタービンバイパス系統からの流入流体を受け入れ，水のフラッシング作用によって蒸気と水に分離する。

ドレンは水位調整装置を通じて脱塩のため復水器を通って復水脱塩装置に送られる。蒸気はまず脱気器次いで第5給水加熱器に送られて給水温度を高め熱回収をはかり，蒸気が余分に発生するようになれば復水器にダンプされる。

6. 復水脱塩装置

本ボイラの給水制限値は**第2表**に示すごとくドラム形ボイラに比べて一段と厳しい。さらにドラムを持たないベンソンボイラでは万一復水器に海水の漏えいが起こった場合，罐内処理とブローによって硬度成分を除くことができないため，復水系統中に脱塩装置をもうけることが必要不可欠である。強制貫流ボイラ発達の陰には脱塩装置の進歩が大きく関与していることは見のがせない事実である。

本プラントの復水脱塩装置はプレフィルタ樹脂塔およびポストフィルタより成り運転の便のため3系列に分けられている。プレフィルタは沪過筒の上にセルローズの沪過助剤をち密に付着させたもので復水中の固形物を取りのぞきイオン交換樹脂を保護する。樹脂塔は陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂をあわせもつ混床形で復水中の陰陽両イオンをほとんど完全に除去する。ポストフィルタは樹脂自体の漏出を防止するものである。**第10図**に3基の樹脂塔を示す。再生方式には復水系統に薬品の漏入する危険のない外部再生方式を採用したが，再生装置は1，2号共用である。**第10図**中樹脂塔の左の塔は再生塔を示す。

脱塩装置には必ずしも復水の全量を通す必要がなく，節炭器入口の純度を監視しながら適宜通水量を加減できるが，プラント中で最も汚染されやすい低圧ヒータドレンと復水に比べ純度のあまり高くない補給水は常に復水脱塩装置を通すよう計画されている。**第3表**に本装置の運転方法を示す。

7. 起　動・停　止

ベンソンボイラの特長としてその起動・停止が非常に早いことがあげられる[2]。**第11図**は冷機起動の場合の起動曲線を示したものでボイラ点火からタービン通気までの時間は約2時間でドラム形ボイラの4～5時間に比べて非常に短かい。運転の結果もまったくこの線に沿っている。**第12図**はフラッシュタンクの起動曲線を示したもので過熱器バイパスを一次過熱器出口より取り出している関係で顕著な罐水のふくれ（Wasser Pfropfern）が見られるが，この量は運転方法により著るしく影響されることがわかった。すなわち燃料供給量などを適当に調整すれば，起動時間を延ばすことなく，また実際運転上なんら問題ない程度におさえることができた。

8. プラント機器の特長

（1）　復　水　器

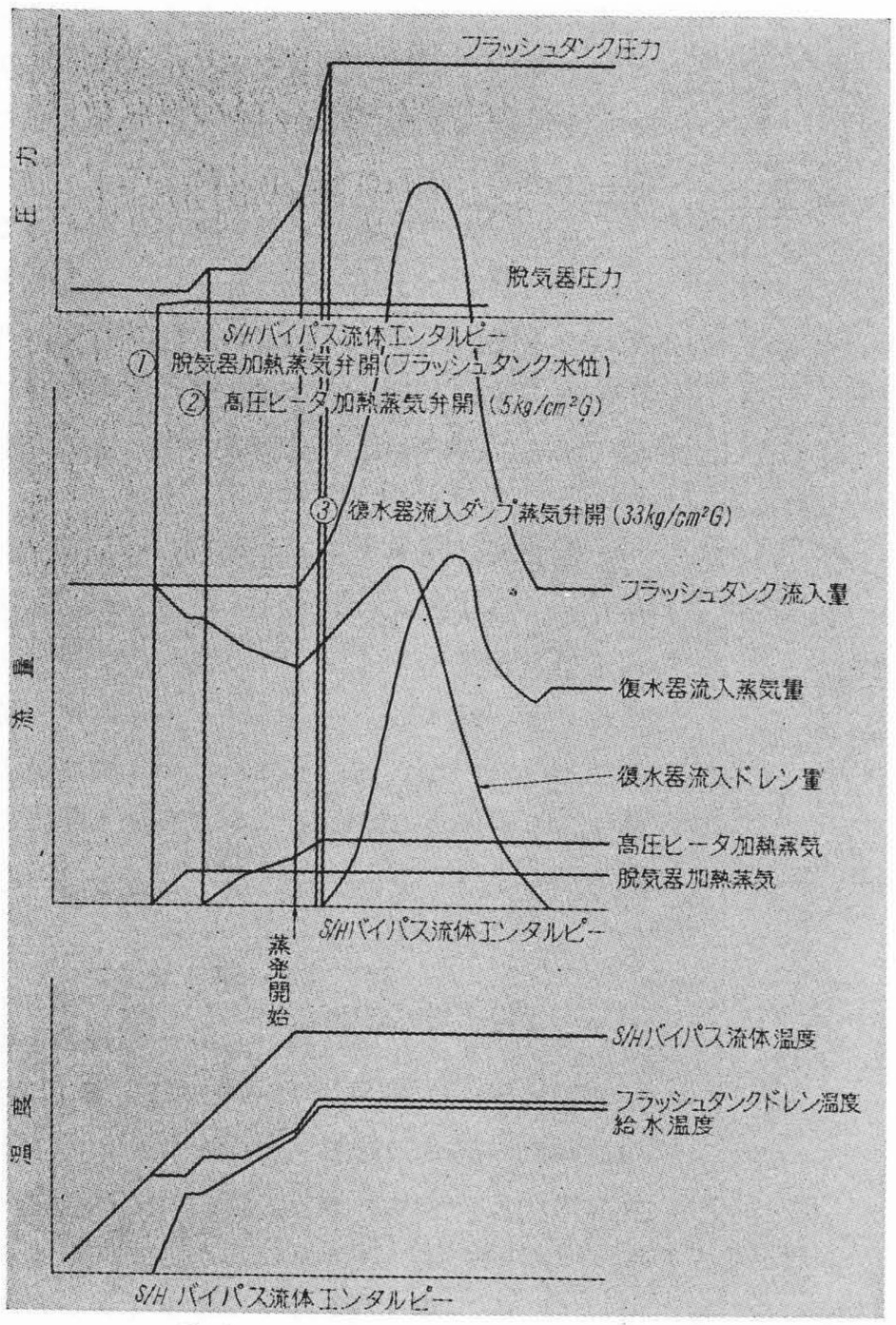
復水器はバイパス蒸気の導入および冷却水の漏えい検出のため特別の装置を持っている。すなわちボイラ過熱器バイパスおよびタービンバイパス系統からのバイパス蒸気は，フラッシュタンクを経て

第2表　給水制限値（常用）

	節炭器入口	脱塩装置出口
pH	8.5~9.5	6.5~7.5
全溶解固形分	250 ppb	50 ppb
溶存酸素	7 ppb	—
全シリカ	20 ppb	10 ppb
全鉄	10 ppb	5 ppb
全銅	5 ppb	5 ppb

第3表　復水脱塩装置運転方法

ノッチ位置	名称	運転条件	経路
N	通常脱塩	常用運転時	復水ポンプ → 復水昇圧ポンプ；低圧ヒータドレン補給水 → 脱塩装置 → 復水昇圧ポンプ
B	バイパス脱塩	給水純度のやや悪い時	復水ポンプ → (一部) 復水昇圧ポンプ；(残部) 脱塩装置 → 復水昇圧ポンプ；低圧ヒータドレン補給水 → 脱塩装置 → 復水昇圧ポンプ
I	全量脱塩	建設直後などの起動時，少量の海水漏えい時	復水ポンプ → 脱塩装置 → 復水昇圧ポンプ；低圧ヒータドレン補給水 → 脱塩装置 → 復水昇圧ポンプ
E	危急時	多量の海水漏えい時	復水ポンプ → 純水タンクまたはブロー → 復水昇圧ポンプ；低圧ヒータドレン補給水 → 脱塩装置 → 復水昇圧ポンプ



第12図　フラッシュタンク起動曲線

復水器に導入されるが，この場合タービン排気室の温度を異状に上昇させたり，高速度の噴射蒸気によって冷却管が損傷したりすることのないように処理する必要がある。

第13図はバイパス蒸気導入部の構造を示すもので，バイパス蒸気は復水器上部胴体に設けられたエネルギーダンパ内で，数段に膨張して適当な圧力まで減圧したのち復水器内に噴出される。

またエネルギーダンパの上部には高温蒸気がタービン排気室に侵入するのを防ぐため，バイパス蒸気の導入と同時に，冷水を霧状に噴射して復水器とタービン間をスプレーカーテンで遮断するようにしている。また，ボイラ給水の純度は復水脱塩装置の項に記載のとおりで，復水器内への冷却水の漏えいはその影響，ことのほか重大であるため冷却水の漏えいを早期に検出することが緊要である。復水器で漏えいの懸念される個所は，拡管部の弛緩と冷却管自体の腐食穿孔である。このため**第14図**に示すように復水だめを左右に区分し，さらに前後左右の管板部に小さい復水だめを設けて，微量の漏えいでも，それが希釈されない状態で測定し得る構造とした。

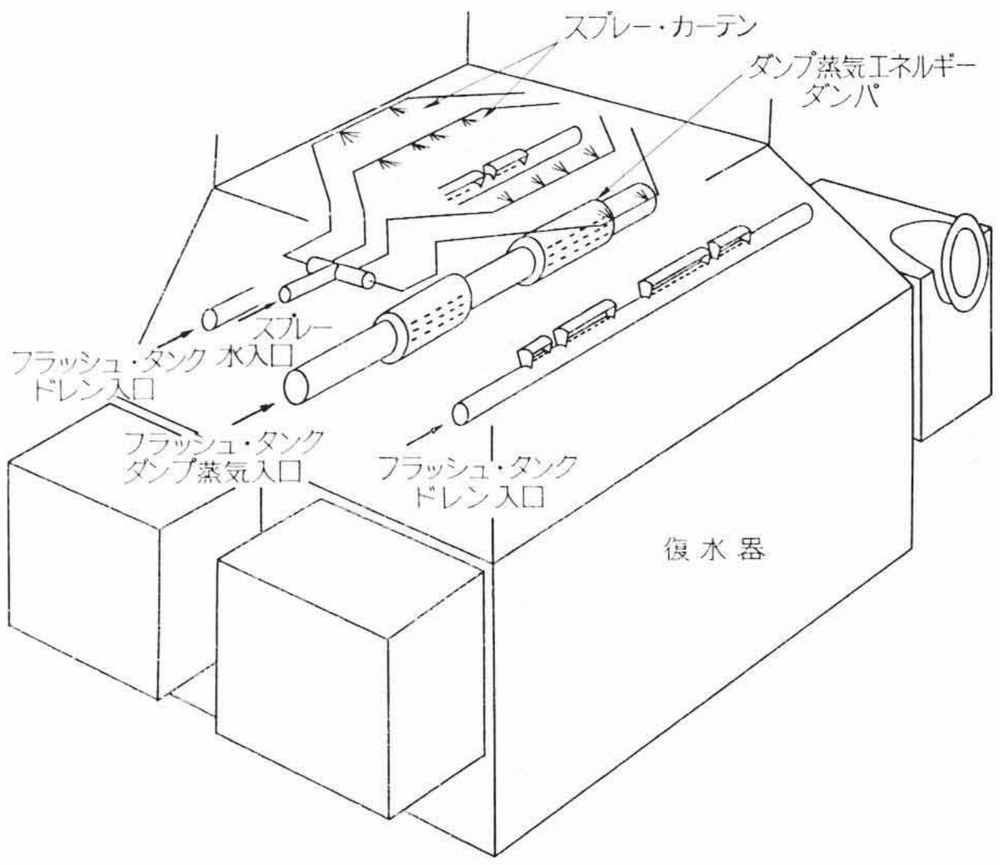
一方復水中には給水処理剤，またはその分解生成物であるアンモニアなどが存在するが，これらにかかわりなく検出しなければならない。このため前記復水だめ各区画からの検出試料は，キャンドポンプにより昇圧した後，陽イオン交換樹脂筒を通し，ここで試料中のアンモニアの影響を除くとともに漏えい冷却水中の NaCl を HCl に変換して，電気伝導度計の測定感度を数倍に上げることを可能にした。電気伝導度計は切換指示を行なう形式とし，試料復水は測定後再び復水器に戻るようにしている。

（2）　復水器冷却管連続洗浄装置

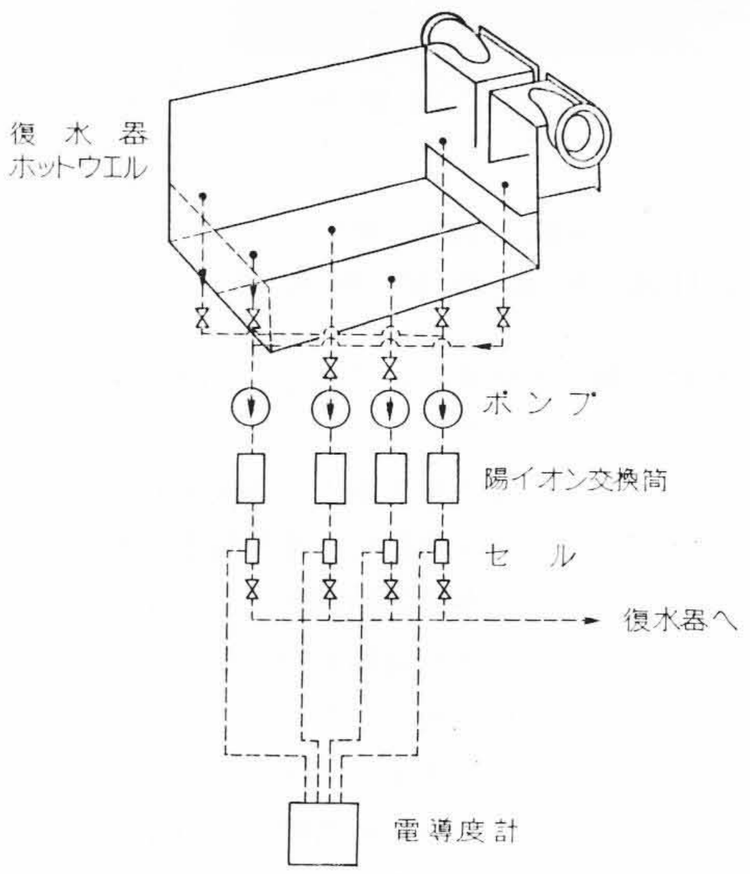
復水器の性能は冷却管の汚染によって著しく低下するため，プラントの高効率運転を確保するために，復水器の冷却管を常に清浄に保持することがきわめて有効である。

本装置の原理はゴム製スポンジボールを冷却管入口および出口の圧力差によって押し流し，管内面を清掃せんとするもので，スポンジボールはまず，ブレードレスポンプによって復水器入口側冷却水配管に押し込まれ，復水器内を通過後，出口側冷却水管の途中に設けられた回収グリッドによって捕集され，再びブレードレスポンプに吸い込まれ，上記の系統を循環する。

本装置の開発に当たっては特にスポンジボールの硬度，比重，吸水性および水中における浮遊性能ならびに冷却管内径との関係寸法などについて綿密な実験調査を行なった。



第13図　復水器バイパス蒸気導入部



第14図　海水漏えい検出装置

9. 結　　言

以上，本プラントの特長を概説したが，新設計の開発に当たっては，欧米における類似プラントの実績を慎重に調査するとともに，試作，研究事項を織り込み，計画の万全を期した。

今後新鋭火力プラントが，貫流式ボイラに移行する趨勢にあるので，本プラントの運転実績を詳細には握して，一層すぐれた貫流ボイラプラントを計画したいと念願している。

終わりに本プラント計画にあたり終始ご指導をいただいた清水共同発電株式会社および中部電力株式会社の関係者の方々に対して厚く謝意を表する。

参　考　文　献

（1） R. L. Bartlet: Steam Turbine Performance and Economics., 1958
（2） 中崎，坂井：日立評論 **43**, 1068 (昭 36-9)
（3） 利部，高山：日立評論 **43**, 1080 (昭 36-9)