

大形ガスタービンを採用した コンバインド プラント (STAG)

Large Combined Steam and Gas Turbine Plant (AUTO-STAG)

Against the background of concentration on development of large-capacity gas turbines, a combined power plant which consists, as its name implies, of a combination of gas turbine and steam turbine is attracting wide attention because of its outstanding features. First, this type of plant almost eliminates the thermal pollution of cooling water. And second, with a net plant efficiency of about 40%, this plant can serve as a large-capacity steam power plant, and its plant starting time, from zero speed to full load operation, is only about 40 minutes, making it a middle load power plant.

Under an associate manufacturing agreement with General Electric Co. of the U.S., which completed and introduced this unusual plant to the market under the trade name of STAG (short for Combined Steam and Gas Turbine Plant), Hitachi, Ltd. has completed a production system for this plant and will soon begin producing it under the modified trade name of AUTO-STAG, since the Hitachi version will have an automatic control system.

浦田 星* *Hoshi Urata*
坂井 彰* *Akira Sakai*
徳永賢治** *Kenji Tokunaga*

1 緒 言

電力需給が十分に行なわれなかった時代には、当然のことながら電源開発の努力はベースロード用発電プラントの建設に集中されていたが、需給関係の一応の安定が図られ、また、経済と社会のよりいっそうの高度化が進むに従い、ベースロード用発電プラントに、さらにピークロード用発電プラントを加え、電力需要に適合した運用に関係者の努力が傾注されてきた。さらに、現在に至ってこのベースロードとピークロードとの中間負荷（ミドルロード）の重要性が認められ、それに適応する電力システムの開発がなされつつある。

さらに、環境保全に対する社会全般の意識と要求との増大もまた、最近における顕著な特徴の一つであり、この点においても、電力関係者の真剣な努力が払われている。

日立製作所は、電力界におけるこれらの要請にこたえるため、かねてからガスタービンにおいて業務提携をしている、アメリカ・ゼネラル・エレクトリック社（GE社）が開発したSTAGプラントが、ミドルロード用プラントとして、また環境対策上公害の少ないプラントとして多くの利点を有することに着目した。STAGプラントは、大容量ガスタービン複数機（通常は2～4台）と蒸気タービン1台とを組み合わせた、コンバインドサイクルプラント（Combind Steam And Gas turbine plantの略）であり、ガスタービンと蒸気タービンプラントの利点をうまく組み合わせた火力プラントである。

2 STAGプラントの計画基本概念

STAGプラントは図1に示すように、複数機のガスタービンとそれぞれのガスタービンに1罐（かん）ずつ設置される排熱回収ボイラ、その発生蒸気によって駆動される1機の蒸気タービンから構成されるコンバインドサイクルプラントである。

最近のパッケージ式ガスタービン発電プラントは、ほかの発電プラントにない多くのすぐれた特長を持っている。すなわち、

- (1) 徹底した標準化が行なわれており、また、コンパクトなパッケージ式であるため建設期間が短い。
- (2) 起動時間が速く、運転のフレキシビリティが大きい。
- (3) 環境に与える影響が少ない。
- (4) 密閉式冷却水システムを持っているので外部から冷却水の供給を必要としない。
- (5) ブラックスタートが可能である。
- (6) 自動起動停止、遠隔操作が可能である。

などである。

STAGプラントは、このガスタービンプラントの有する特長を十分生かしつつ、ガスタービンプラントの欠点である効率が低いという問題の解決を図ったものである。

従来のコンバインドサイクルプラントでは、蒸気タービンを中心としてサイクルが構成されており、ガスタービンは、単にボイラ通風のための補機の役割しか果たしていなかった。

これに対しSTAGプラントでは、ガスタービンを基準とし、ガスタービンの容量が蒸気タービンよりも大きいか、あるいは同程度となっている。すなわち、全出力の約70%が、ガスタービンの出力により占められている。これはガスタービンが大容量となったため、その排気ガスによって生ずる蒸気によって、駆動される蒸気タービンとの熱バランスからこのような配分になるので、このためガスタービンの有する利点が、STAGの利点として大きな役割を演ずることになる。

このようにして、ガスタービンの運転性能ならびにその有する起動、対環境性を維持しつつ蒸気タービンプラントと同等の効率を発揮することができる。

* 日立製作所電力事業本部 ** 日立製作所日立工場

また、運転運用の面でもおのこのユニットは、一連の制御方式により、一体の総合発電プラントとして、有機的に効率良く運転運用されるように構成されている。

3 STAGプラントの特長

STAGプラントは従来の火力発電所に比べて以下に述べる多くの利点があげられる。

(1) 温排水が少ない。

従来形火力の場合には冷却水による温排水により、しばしば立地難になることがあるが、このSTAGを採用した場合には作動媒体が高温域でサイクルを構成するために低熱源への排熱が少ない。すなわち、全体の容量に対して、蒸気タービンの復水器より排出する熱量による温排水を考えればよく、一例として、表1に示すように従来火力発電所の50%ぐらいに減少する。

(2) 排ガスによる影響が少ない。

ガスタービンでは、一般に軽油、灯油、ナフサ、または、LNGなど硫黄分の少い良質の燃料が使用されるため、硫酸酸化物の排出はきわめて少ない。

また、排ガス中の窒素酸化物についても燃焼器の改良および燃焼器中に適度の蒸気、または、水を注入することにより、かなりの減少効果が得られるという例が報告されている。

(3) 起動が速くピークミドル火力に適している。

一般に1日の必要系統電力量は図2のようになっている。このうちベースの部分は原子力または超臨界圧火力で負担し、これより上の部分はいわゆるピークミドル用の負担分野となる。

ガスタービンの起動時間がきわめて速いことは、周知のことであるが、STAGもこの特性をそのまま持っており400~600 MW級のユニットで8時間停止の場合、点火より全負荷まで約40分で達成できる。従来火力の起動時間は2時間ないし3時間を要しているので、STAGプラントはピークミドル火力にきわめて適していると言える。起動時間が短いことは、それだけ起動損失が少なく、燃料の高価な昨今の火力に最適のプラントである。

表1 冷却水比較表 STAGプラントに必要な冷却水は通常火力に比べて半分に少ない。

Table 1 Cooling Water Required for Conventional Thermal Plant and STAG Plant

項目	従来火力		STAG	
出力 (MW)	600	450	575	390
冷却水量 (m ³ /h)	67,700	53,800	35,000	24,200
冷却水温度上昇 (°C)	8.87	8.18	8.0	8.27
単位出力あたりの冷却水量 (ただし、温度上昇8°Cの場合) (m ³ /h/MW)	125	122	61	64

(4) 熱効率が低い。

ガスタービンのみの場合には28%前後の効率であるが、この排気ガスを熱回収して電気を得ることにより後述のように軽油および灯油だきの364MWの場合に送電端効率で約39.0%となり、これらの数値は従来の火力に匹敵する高効率である。後述するように排熱回収ボイラより、高圧と低圧の蒸気を発生させてダブルインジェクションタービンと組み合わせるときには、さらに効率を数パーセント向上させることができる。

(5) 老朽火力の出力上昇

古い火力は一般にボイラの寿命がタービン発電機の寿命より短い。したがってこのボイラの代わりにガスタービンおよび排熱回収ボイラを設置して従来のスチームタービンに蒸気を導入してSTAGサイクルを構成することができる。このようにすることによって同じ敷地で出力を2倍以上にアップし効率も同等以上にすることが可能である。

(6) その他の特長

短納期であり、運転開始まで2~2.5年である。ガスタービンのみでは1.5~2年で運転開始ができるので、ガスタービンだけを早く運転に入れ、その後適当な時期にスチームタービンを据え付け運転に入れることもできる。建設中の利子負担

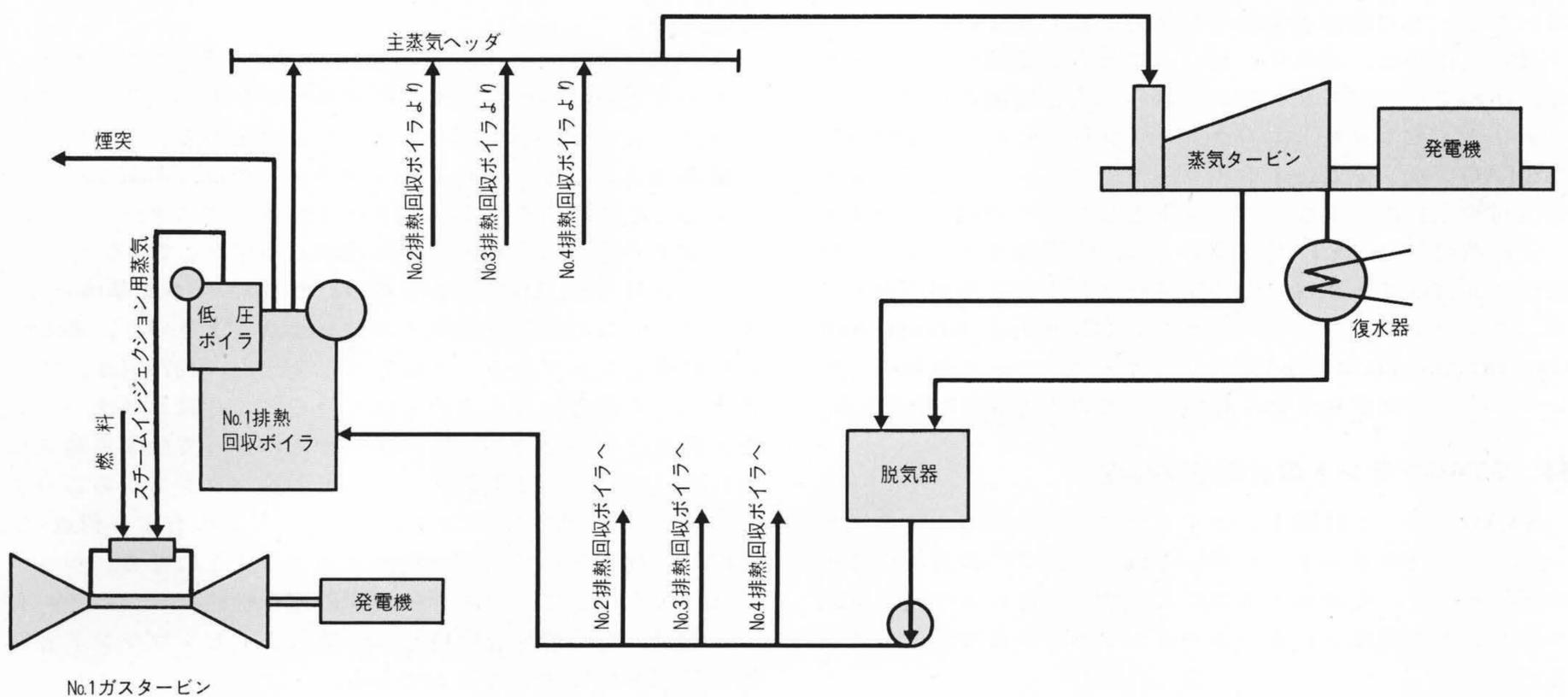


図1 STAGプラントの基本系統 STAGプラントは複数機のカスタービンと、それに付随する排熱回収ボイラおよび1台の蒸気タービンから構成される。

Fig. 1 Typical Cycle of STAG Plant

が少ないので投資効率は従来火力より高い。

さらにこのSTAGプラントのシステムの構成が簡単で、かつ低温低圧ボイラおよびタービンであり事故率も少なく利用率を高く保つことができる。

4 STAGプラント計画例

(1) 70MW級ガスタービン4台と120MW級の蒸気タービンを組み合わせた一例を示すことにする。4台のガスタービンはおのおの単独でも運転可能である。このガスタービンの排気ガス560°Cを、ガスタービンに直結して配置された4台の排熱回収ボイラに導入する。ボイラには少量の助燃を行ない、88atg・510°Cの蒸気を発生させる。蒸気タービンは125MWの非再熱形2段抽気復水形タービンで急速起動可能な構造を採用したものである。

各機器の仕様は表2に示すとおりで、蒸気タービンはTCDF-23形である。なお、ユニット全体を組み合わせた性能は、表3に示すとおりであり、燃料は軽油または灯油の場合を示したのであるが、ベース時の総合送電端効率(高位発熱量基準)は約39.0%であり、350MW級の普通の火力の総合送電端効率は約39%であるので、これと同等の値である。

次に運転特性についてはガスタービンの特性を最もよく発揮することができ最も起動損失の少ないガス、蒸気のコンバインド起動の場合、点火全負荷で約40分(8時間停止の場合)しか要しない。これに対しミドル火力用のこのクラスの普通火力では、ウォームスタート、すなわち8時間程度の停止の場合には、2~3時間を要するのでSTAGのほうがシステムの要求にはるかに速く応答できることがわかる。

次に発電所全体の配置は図3に示すとおりで、普通火力よりもコンパクトになり、発電所立地難の今日きわめて有利である。

(2) 混圧タービン採用のSTAGプラント

図4は高圧、低圧の蒸気を排熱回収ボイラより発生させてこれを別々のガバナよりタービンに導入するシステムである。低圧ボイラを置くと受熱側の温度が低いので、排熱ボイラの出口ガス温度を高圧だけの場合に比較してさらに下げること

ができる。したがってプラント全体の効率を数パーセント高めることができる。

なお蒸気タービンは、高圧、低圧、ガバナとそれぞれの入口にはオーバスピードなどによりタービンを保護する主さい止弁を持ったものである。

表2 400MW STAGプラント性能表 蒸気タービン入口の蒸気条件は低い、発電端、送電端効率はきわめて高い。

Table 2 Properties of 400MW STAG Plant

ガスタービン負荷		ピーク	ベース
発電機端出力			
ガスタービン出力	kW	249,760	226,000
蒸気タービン出力	"	142,400	142,400
プラント総出力	"	392,160	368,400
所内動力	"	4,600	4,600
送電端出力	"	387,560	363,800
主蒸気圧力	kg/cm ² G	88	88
主蒸気温度	°C	510	510
主蒸気流量	kg/H/台	125,000	125,000
最終給水温度	°C	109.6	109.6
復水器真空度	mmHg	684	684
ガスタービン燃料消費量	kg/H/台	17,660	16,150
ボイラ燃料消費量	"	1,430	2,380
発電端熱消費率(HHV)	kcal/kWh	2,105	2,175
熱効率	%	40.86	39.54
送電端熱消費率(HHV)	kcal/kWh	2,130	2,203
熱効率	%	40.38	39.04

備考 1. 大気条件: 1,033ata. 15°C, インジェクション=0%
2. 燃料は軽油としH.H.V/L.H.V=1.06とする。

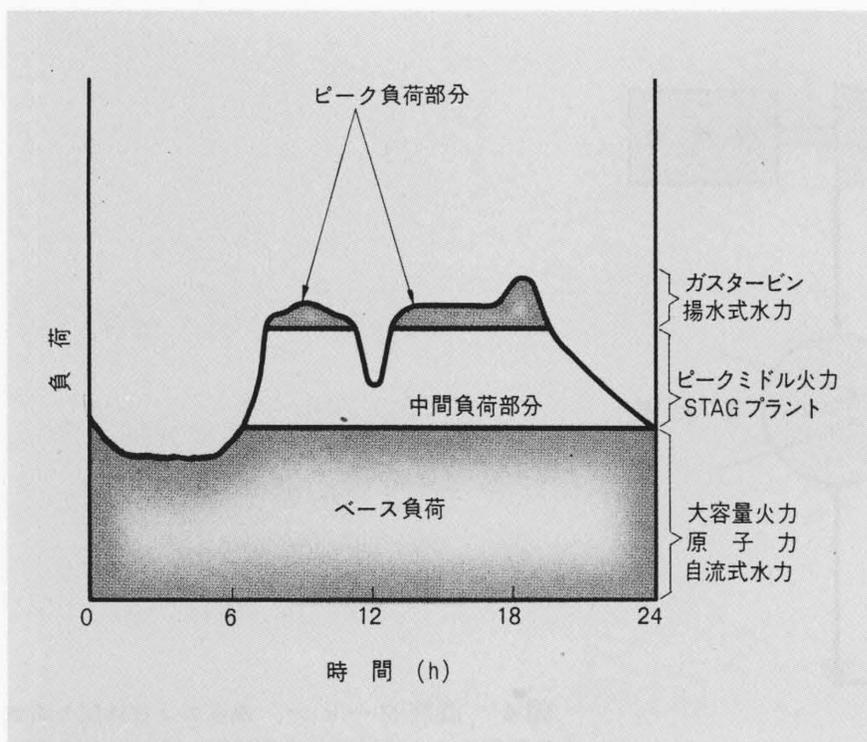


図2 電力需要の負荷形態 電力需要の中に占める中間負荷域が非常に多くなっている。この負荷帯にSTAGプラントが適している。

Fig. 2 Typical Load Duration Curve

表3 400MW STAGプラント主機仕様 各電気出力およびガスタービン、蒸気タービン、回収ボイラの仕様を示す。

Table 3 Major Equipment Specification of 400MW STAG Plant

1. 発電機端出力		
ガスタービン(ピーク)	kW	249,760
蒸気タービン	"	142,400
合計	"	392,160
2. ガスタービン		
台数		4
形式		MS-7001B
出力(1台当り)	kW	62,440
3. ボイラ		
台数		4
形式		自然循環排熱回収型
蒸発量	t/H	125
4. 蒸気タービン		
台数		1
形式		TCDF-23N
蒸気圧力	kg/cm ² G	88
蒸気温度	°C	510

5 STAGプラント構成機器概要

STAGプラントを構成するおもな機器の概要は下記のとおりである。

5.1 ガスタービン

STAGプラントに使用されるガスタービンは、日立-GEパッケージ式ガスタービンパワープラントMS-7000形または、MS-9000形である。MS-7000形は主として60Hz用に、MS-9000形は主として、50Hz用として用いられるものである。

日立-GEパッケージ式ガスタービンパワープラントは、コントロールパッケージ（制御パッケージ）、アクセサリパッケージ（補機パッケージ）、タービンパッケージ、発電機パッケージ、発電機補機パッケージ（主回路パッケージ）の5パッケージから構成され、この中に必要な機器がすべて収納されており、そのおもな特長は、すでに2において述べたとおりである。

5.2 MS-7000形ガスタービン

MS-7000形ガスタービンの出力は次のとおりである。

ISO条件（圧縮機入口空気圧力1,033kg/cm²abs. 温度15°C）にて、燃料として軽油、灯油またはナフサを使用した場合、ウォーターインジェクションをしない場合

ベース定格	56,500kW
ピーク定格	62,440kW

5.3 排熱回収ボイラ

STAGプラント用排熱回収ボイラは、次のような特長を持っている。

- (1) 簡単な自然循環形ボイラとし、起動停止操作も容易である。
- (2) 低圧のドラムを設け、ガスタービンのスチームインジェクション用の蒸気も同時に供給しうる構造となっている。

(3) 低温のガスによる熱交換器のため、特に水冷壁を設けない。また、多くの伝熱面積が必要となるので、各伝熱管にはスペースファクタの良いフィン付チューブを採用している。

(4) 助燃バーナは、過熱器の手前に設置し、ガスタービン排気ガス中の酸素を利用して燃焼させる。

5.4 蒸気タービン

STAGプラント用蒸気タービンの構造上の特長は下記のとおりである。

- (1) シングルスパンのコンパクトな設計である。
- (2) 蒸気タービンは常時前圧制御運転を行なうので、主蒸気圧力調整方式である。
- (3) 下記のような考慮を払うことにより、高ひん度起動停止および急速起動に適した構造となっている。
 - (i) コンバインドガバニング方式を採用している。
 - (ii) 寿命損耗の小さいロータ構造としている。
 - (iii) 起動時の伸び差を考慮して、十分にロータ間げきをとるとともに、アキシアルフィンの代わりにラジアルフィンをういてタービン効率の低下を防止している。
 - (iv) 高圧2, 3段のダイアフラムパッキン部は、ストレートパッキンとなっている。

6 STAGプラントの運転および自動化

STAGプラントは、複数機のガスタービン発電機とさらに、1台の蒸気タービン発電機から構成されており、それぞれの発電機は独立しているので種々な運転を行なうことができる。すなわち、必要な台数のガスタービンだけを運転することも可能であり、また急速起動ならば起動後10分で、普通起動の場合でも20分で、プラント総出力の60~70%の負荷をとりうることもこのSTAGプラントの特長の一つである。

また、部分負荷においては各タービンの負荷を下げるより

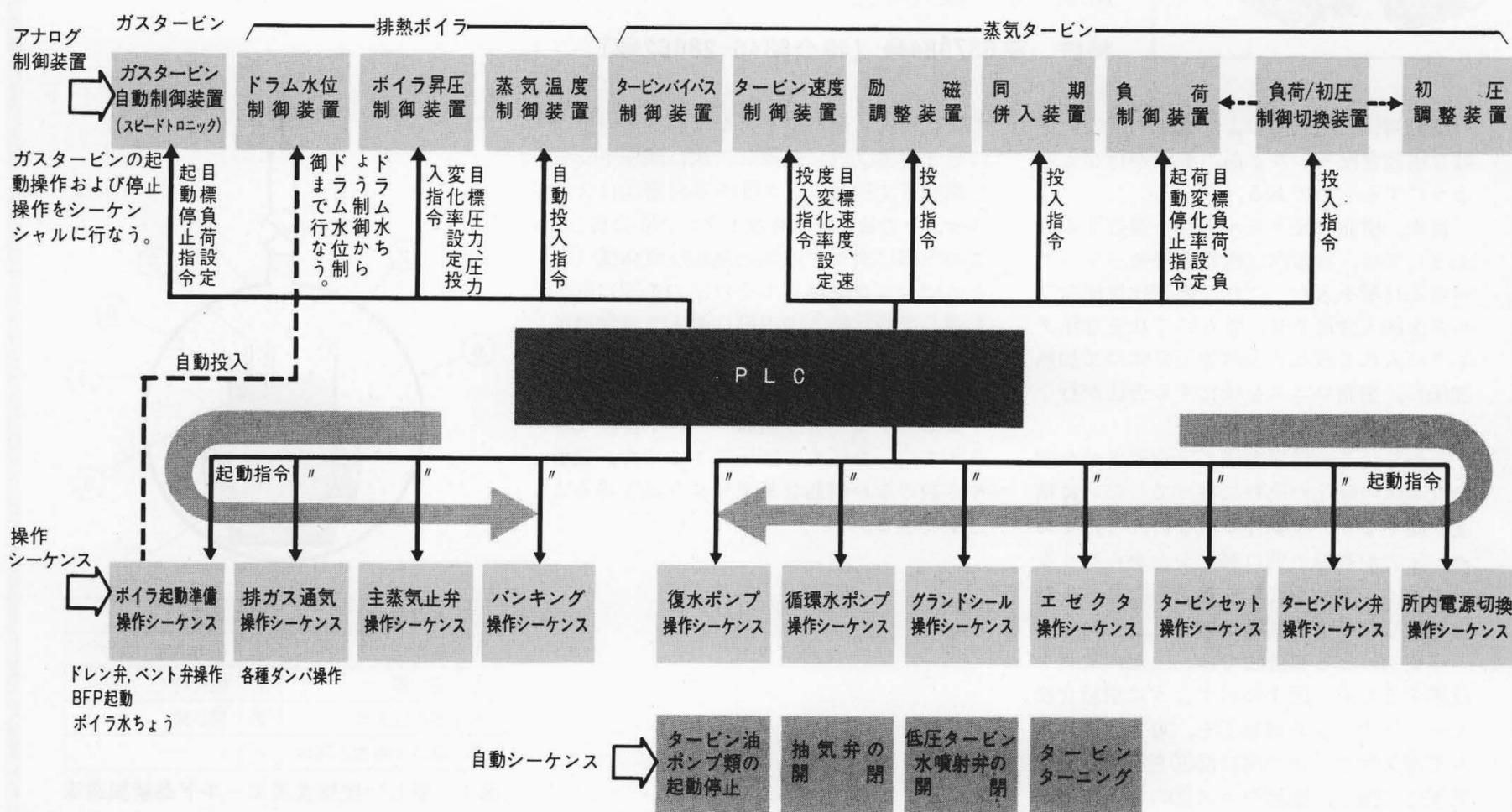


図5 AUTO-STAGプラントの制御構成 小形計算機およびアナログサブグループを採用したAUTO-STAGの制御構成を示したものである。

Fig. 5 Automatic Plant Control System of STAG Plant

も不必要なガスタービンを停止することにより、部分負荷効率を高く保つことができる。

STAGプラントを起動、停止、あるいは運転するにあたっては、完全に自動化することが望ましい。すでに、日立-GE形ガスタービンは、単独において自動運転ができるようになっており、起動から停止までボタン1個で運転できるが、STAGプラントは、これに排熱ボイラおよび蒸気タービンが併設されるので、自動化はより複雑になってくる。これに対し、自動化に与えられる条件として、少数の運転員により、短時間でプラントを起動あるいは停止させるには、プラント制御あるいは操作の自動化を行わなければならない。STAGプラントの自動化に関して特筆すべき事項は下記のとおりである。

- (1) 少数の運転員（極端の場合には1名）によって起動停止ができる。
- (2) 短時間でプラント起動、停止ができるようガスタービン、排熱回収ボイラおよび蒸気タービンの協調が十分とれるようになっている。
- (3) プラントを安全に運転することはもちろんのこと、万一異常が生じた場合には、すみやかに原因をキャッチし、適切な処置がとれるようになっている。

日立製作所では、このような条件を満足するため自動制御方式を開発し、これを使用したSTAGプラントをAuto STAGと名付けている。すなわち、制御方式は、アナログサブグループ制御装置、あるいは操作シーケンスを介した管理制御方式をとる。これは、制御あるいは操作をシーケンスに任せ、計算機は、プラント全体の状態から各制御装置および操作シー

ケンスの起動、停止をタイミングよく行なうとともに、必要な時期に制御装置の設定器操作を行なって、ガスタービン、排熱回収ボイラおよび蒸気タービンプラントの協調をとるようになっている。

制御装置としては、十分、信頼しうるものが採用されているが、万一装置が故障しても、それがプラント全体に及ぼす影響を極力押え、部分的に手動操作を行えば次の操作に進むことができるよう計画されている。

図5は、制御の全体の構成を示すものである。

7 STAGプラントの全体配置

STAGプラントのような総合プラントの全体配置計画にあたっては当然のことながら、機器相互の有機的な関連を考えたうえで、最もスペースファクタが良くなるようにするとともに、機器の保守点検の便をも十分考えて決定されなければならない。もちろん、建設の対象となるサイトの面積、形状などの制約が第一であり、これによってその都度種々の配置が可能であることは言うまでもないことである。

8 結 言

以上、STAGプラントについてその概要を紹介したが、本論文が急迫しつつある電力事情の緩和にいささかなりとも役だてば幸いである。アメリカにおいてはすでにこの種のSTAGプラントが多数建設、あるいは計画中であり、電力システムの中に重要な地位を占めつつある。わが国においても、このSTAGプラントが電力システムのよりいっそうの合理化に多大の貢献をなす日が近いものと予想される。



特許の紹介

樹脂含浸モールド品の製造法

田原 孝・磯貝時男

特許 第637984号 (特公昭46-28662号)

本発明は、電気的および機械的特性の良好な樹脂含浸モールド品の製作が行なえるようにするものである。

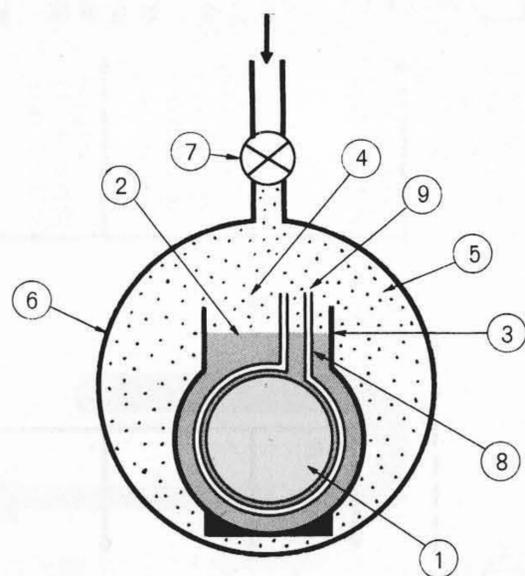
従来、樹脂含浸モールド品を製造する方法としては、容器内に樹脂含浸モールドすべき基材層を入れ、これに熱硬化性樹脂ワニス注入含浸させ、さらにこれを加圧タンクに入れて液状の加熱加圧媒体にて加熱加圧し、樹脂ワニスを硬化する方法が行なわれていた。

しかし、この従来方法では含浸させた樹脂ワニスの硬化が進むに従って粘度が高くなり、流動性が失われて行くため、圧力が容器の開口部しかかからなくなってモールド品が変形を起したり、またはき裂したりする問題があった。

本発明による製造法では、上記の欠点を改善するため、図1に示すように樹脂含浸モールドすべき基材層①を、可とう性に富み不透気性で、かつ開口部⑨を有する袋状物⑧で包囲し、樹脂ワニス②の注入に際し

て袋状物内に樹脂ワニスがいらないようにして容器③内に配置し、次に減圧下ないし真空下で樹脂ワニス②を基材層①に含浸させ、その後これらを加圧タンク⑥に移し、この内部に満たす液状加熱加圧媒体⑤（たとえばシリコン油）でその圧力を開口部⑨を通して袋状物⑧の内部に導入させ加熱加圧できるようにしたものである。

本発明の製造法では、樹脂含浸モールドする際に少なくとも樹脂ワニスゲル化するまで均一な圧力で加圧できるので、変形やき裂のない樹脂含浸モールド品を得ることができる。



①	基材層	⑥	加圧タンク
②	樹脂ワニス	⑦	圧力調節バルブ
③	容器	⑧	袋状物
④	容器注入口	⑨	開口部
⑤	液状加熱加圧媒体		—

図1 新しい樹脂含浸モールド品新製造法