Special Issue: Trends in Controls Technology for GT Power Generation Unit Equipment

Controls Strategy for H System* Combined Cycle Units

(How the H System combined cycle unique systems develop the need for an Integrated Control and monitoring System)

TAKASHIMA, Michiharu*1 SPADE, Justin*2 CHU, Henry G*2

MINTO, K Dean, Ph. D.*2 SWEET, Bryan*2

キーワード：H System Combined Cycle, Steam Cooling, RSP, *TOSMAP-DS PLUS*™**, Speedtronic Mark* VI Controller

1. Introduction

This paper is written to inform GTSJ readers of the Integrated Control and monitoring System (ICS) that is required by the H System combined cycle power plant. The H System combined cycle is a state-of-the-art, highly efficient combined cycle power generation unit that accommodates a single-shaft gas turbine (GT), steam turbine (ST) and generator with a multi-pressure heat recovery steam generator (HRSG). We will discuss the major systems of the H-System combined cycle and its the control system requirements, including topics on the adaptation to the Japanese market. Overviews of how the ICS is used to sequence equipment from startup to shutdown and how the Full Scope Engineering Simulator aided in the validation of the H System combined cycle and the ICS will also be discussed.

2. H System Combined Cycle Integrated Systems

A much higher level of integration between the GT, ST and HRSG is demanded in the H-system combined cycle, as compared to a traditional combined cycle power plant due primarily to steam cooling of the GT hot gas path. However, besides the obvious coupling through the steam cooling system additional couplings exist through the cooled cooling air system and

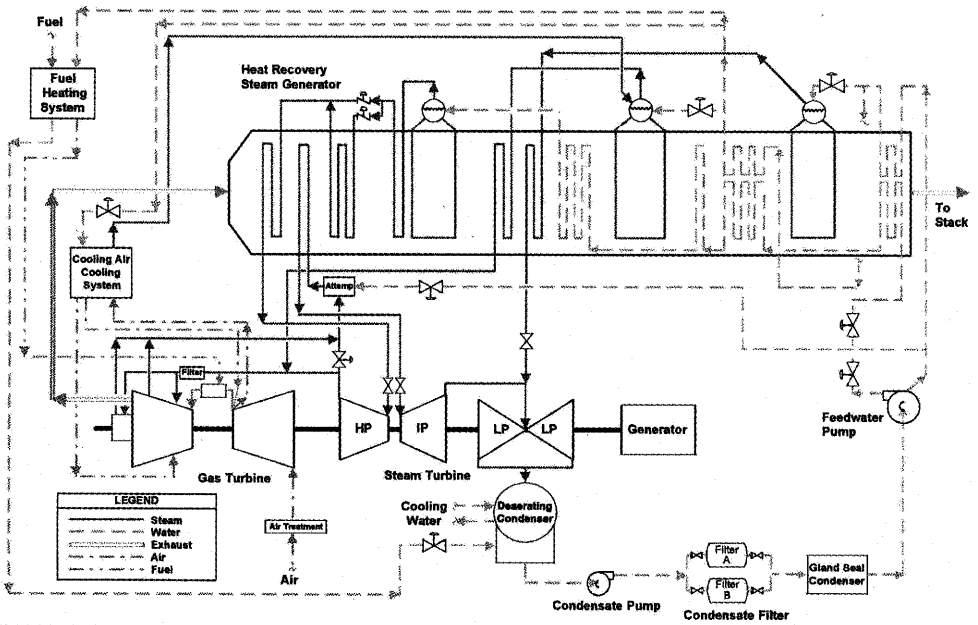


Figure 1. H System Cycle Diagram

原稿受付 2006年11月17日

＊1 Power Systems Company, Toshiba Corporation, 2-4 Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama 230-0045

＊2 Energy Controls and Power Electronics Center of Excellence, General Electric Company,

* Trademark of the General Electric Company

**Trademark of Toshiba Corporation

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

through the gas fuel performance heater (see Figure 1).

Additional operational integration was achieved using a ST Model Predictive stress Control (MPC) algorithm to load the power plant during startup as quickly and efficiently as possible while respecting the ST stress boundary.

2.1 Steam Cooling System

The H-system GT has steam cooled stage 1 nozzles and shrouds, stage 2 nozzles, and rotor components. The GT steam cooling system is integrated with the steam cycle reheat section. The primary source of steam for the GT is the ST high pressure (HP) exhaust and the intermediate pressure (IP) section steam from the HRSG. Prior to the parts being cooled with steam, they are cooled with cooled compressor discharge air.

The primary purpose of the Cooling Steam logic is to control the steam flow to maintain adequate pressure and temperature into the cooled components. The cooling steam for the GT is based on a prescribed flow schedule that the ICS calculates based on GT operating temperature, source steam temperature, and other parameters. The ICS also includes functions to sequence GT, ST, and HRSG control valves in a coordinated fashion to effect a bumpless air-to-steam and steam-to-air transfer, including pipe preheat, establishing proper steam conditions, and purging air from the cooling passages.

In addition to primary control, the ICS provides protection of the steam-cooled components from loss of steam resulting from excessive leakage, blockage, or unacceptable steam conditions. Steam cooling protection is provided through a Cooling Flow Fault Detection (CFFD) algorithm and an Optical Pyrometer Protection System. The CFFD algorithm utilizes advanced Kalman filtering techniques to detect a blockage or a leakage in the stator components. The CFFD is the primary protection of the stage 1 and 2 stators and is the backup protection for the rotor. The Optical Pyrometer Protection System is used to detect Stage 1 and Stage 2 turbine bucket temperature trends and is the primary protection for these rotating parts against a loss of steam cooling.

2.2 Cooled Cooling Air System

A Cooled Cooling Air (CCA) system (see Figure 2) is used to cool the GT compressor rotor below its material limits and to cool various stage 2 turbine stator components. The CCA system takes hot GT compressor discharge air and cools it with IP feed water resulting in the creation of IP steam, which is added back into the steam cycle to minimize any impact to the thermal performance. The ICS modulates mixing valves to blend the CCA discharge air with hot compressor discharge air to control temperature independently to the rotor cooling circuit and the stage 2 nozzle. The cooled discharge air is also used to pressurize the closed loop clearance control system and as a primary source of air to the combustion gas purge system.

On the steam side, level control is accomplished by three-element drum level control providing a position reference for the evaporator water inlet level control valve. The evaporator outlet steam conditions are used by the ICS to control the IP drum level.

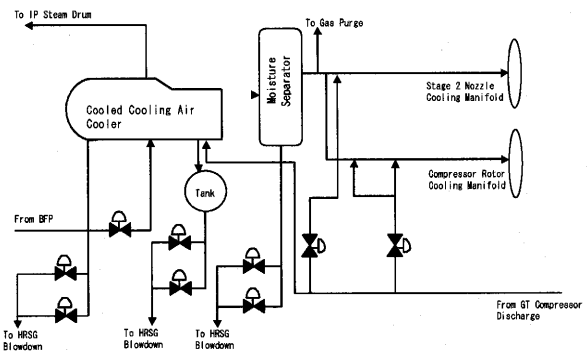


Figure 2. Cooled Cooling Air System

2.3 Fuel Gas Performance Heater

Gas fuel heating utilizes low-grade heat from the HRSG to increase the gas fuel temperature to improve the net plant thermal efficiency. IP economizer discharge water is used to heat the fuel in a shell and tube heat exchanger (HX). The ICS modulates the temperature control valve on the exit of the HX and returns the water to the condenser. An inlet water to gas temperature pinch point control strategy is used to optimize the fuel temperature and minimize flashing downstream of the control valve without discharging excess heat to the condenser. This strategy ensures the highest possible fuel temperature is achieved for all operating conditions of the HRSG. The ICS ensures that water can only be supplied to the fuel gas performance heater if adequate IP water pressure is sensed, so that any heat exchanger leak will be propagated from the waterside to the gas side.

3. H System Integrated Control System

The high degree of integration of the H System

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

combined cycle demands a control and monitoring system that is also highly integrated - one that offers a total unit control and monitoring solution to our customers. The H System ICS combines a high degree of integration with flexibility and ease of operation. The ICS is designed with modular expansion capability to accommodate varying applications and future plant equipment growth within the same framework. The ICS has more power and speed than a traditional power generating unit control and monitoring system and utilizes this to compute advanced algorithms for the H System combined cycle. In addition, the H System ICS is designed for high operational reliability.

The ICS developed for control of the H System combined cycle power plant, which includes the controls of the GT, ST, generator excitation, static starter, HRSG, and mechanical auxiliaries, is a highly integrated system. The ICS has many unique H System control functions including those for cooling steam, clearance control, fuel heating, and the automatic sequence of equipment required to start up and shutdown the power plant. A redundant Unit Data Highway (UDH) connects the controller modules to provide a reliable high-speed peer-to-peer communication link between controllers, resulting in seamless operations such as closed-loop control and coordinated plant start and shutdown. The same high-speed integration extends to H System equipment protection.

A redundant Plant Information Highway (PIH) provides a communication interface to plant-level computers for supervisory control (plant start and shutdown) and monitoring of operation and alarm conditions. The PIH also provides an interface to other controllers handling the control of Balance-Of-Plant (BOP) equipment.

The ICS is designed for high levels of fault tolerance to maximize unit protection reliability, running reliability, and system availability. Single point failures are avoided by use of triple or multiple redundant sensors and Triple Modular Redundant controllers; employing two-out-of-three voting strategies.

The control system has demonstrated that it meets those requirements of computational capacity and execution speed through simulation testing, factory stage tests, and field tests.

One of the solutions that General Electric and Toshiba achieved to maximize the H System combined cycle integrity of the ICS for the Japanese market was to use a combination of *TOSMAP*™ series controller of Toshiba Corporation and Speedtronic Mark VI series controller of General Electric Company. In addition to the H System combined cycle requirements, this scheme provides a plant-level supervisory function with a coordination of overall automatic plant start and shutdown capability in a manner that Japanese customers are familiar with. These two systems are connected via redundant gateways that apply an enhanced version of the GSM (GE drive systems Standard Message format) protocol to meet the communication speed and reliability required. In addition, this interface includes data exchanges such as alarms and events with time synchronized time tags, adequate process parameters, and, operation commands.

4. Integrated Plant Start and Shutdown

The ICS provides a full-scope automated plant startup and shutdown starting with the initiation of circulating water to circulating water shutdown taking into account the unique integrated operations demanded by the H System combined cycle. Figure 3 shows a typical overview of a start-up and shutdown and highlights key events. Among the various sequencing and programmed controls, this section also highlights the air-cooled to steam-cooled transfer sequence.

4.1 Circulating Water Start to HRSG Ready Condition

When establishing the sequencing of the circulating water system, valve positions and pump operation timings are determined through a thorough transition analysis of the water flow to prevent water hammering and over flashing due the large volume and inertia of the circulating water. A similar strategy is applied for the cooling water cooler system after the circulating water system is ready.

The condensate system is then started with auxiliary steam system warming, hydraulic fluid system activation, and then condenser vacuum is established. After reaching the required vacuum the feedwater pump fills the economizers and drums. During prefill, drum pressure is used to bias the drum level control valves to maintain the same amount of feedwater flow into the drum regardless the varying plant start conditions, very hot (high pressure) to cold (low pressure).

GT pre-start sequencing also takes place during this period to ensure that auxiliary systems are ready for plant operation.

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

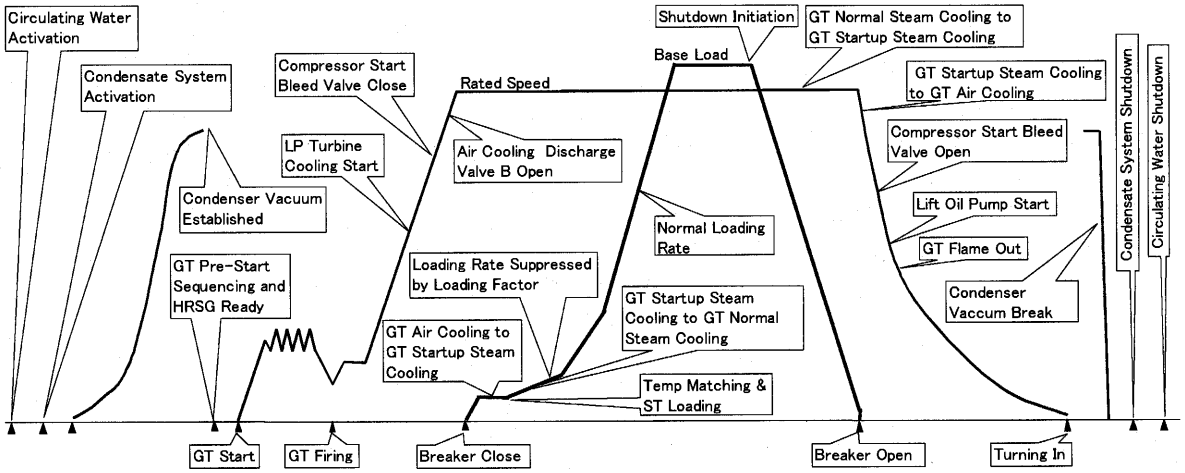


Figure 3. Plant-level Automation Outline

4.2 GT Start

After all ready-to-start permissive conditions are obtained, the Load Commutated Inverter (LCI) is activated to raise the turbine to purge speed. The Gas Turbine and HRSG is purged at three to four times of the fuel-passage volume.

After purge is complete, the GT decelerates and fires. When flame is established the speed is held by the LCI to warm up the GT. As soon as the unit begins to accelerate, the steam piping drain sequence activates to remove any condensation from the piping. When the steam piping is free of condensate, the steam cooling system is prepared to accept steam. LCI provides additional torque during acceleration until the GT becomes self-sustaining. To prevent the LP turbine blades from windage heating damage, cooling steam is introduced to the turbine above 50% rated speed.

4.3 Air Cooling to Startup Steam Cooling

First, reheat piping is purged using HP steam to displace any remaining cooling air. At this point, the reheat stop valve is kept closed to prevent losing any of the condenser vacuum until this reverse purge is complete. After the reverse purge is complete the cooling steam system enters GT cooling air purge mode, where the GT is supplied with cooling steam to purge any remaining air to the GT exhaust.

4.4 Temperature Matching and ST Loading

The ICS controls GT exhaust temperature by opening variable guide vanes on the compressor or by raising the load to provide an optimum temperature for warming up the ST.

Instead of applying the traditional means of ST loading that references the difference between main steam temperature and turbine metal temperature, MPC was developed. MPC is designed to load the GT at the maximum rates allowed by the ST rotor stress constraints. This new control technology relies on the use of models for the GT, HRSG and ST to predict the effect of gas turbine load rate on the ST rotor stresses. In addition, the new prediction capability is combined with optimization algorithms to calculate the GT loading profiles that result in the fastest startup. MPC is currently being utilized at the 9H Baglan Bay site. MPC has demonstrated fuel savings and reduced NOx emissions during startup.

4.5 Startup Steam Cooling to Normal Steam Cooling

Prior to admitting steam to the HP steam turbine, an alternate steam source is required for the GT cooling circuit. This is referred to as the startup steam cooling system. In startup mode, the steam supply to the GT is from the IP steam drum and the startup steam cooling valves. When the steam turbine is on-line these startup cooling valves are closed and the supply to the GT cooling circuit is from the IP steam drum and the HP steam turbine exhaust. A GT cooling circuit bypass valve is used to control steam flow in the circuit. The GT cooling circuit is effectively returned to another reheat section of the HRSG.

During startup the ICS automatically sequences the GT cooling system from air cooling mode to startup steam cooling mode, and eventually to normal steam cooling mode based on operating conditions of the combined cycle plant.

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

4.6 Loading Up

Following the initial ST startup and transfer to GT normal steam cooling mode, loading of the unit is enabled. Loading of the unit is achieved through the use of a manual or remote load command setpoint. Loading rate limits are calculated by the ICS taking into account the ST rotor stress constraints and the available steam for GT steam cooling.

Figure 4 describes the DLN loading schedule.

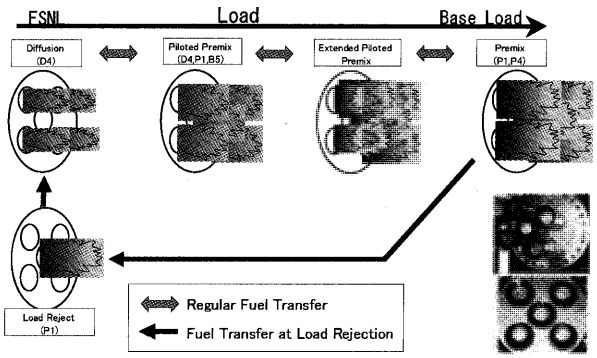


Figure 4. Fuel Transfer Schedule

5. Full-Scope Engineering Simulator

A key element in the design, development and initial validation testing of the H-system ICS has been a full-scope, engineering grade simulator. This simulator includes high fidelity models of the following major plant subsystems:

- GT flange-to-flange, including compressor, turbine, and combustor systems;
- gas fuel system, including piping manifolds, performance heater, DLN control valves, and, instrumentation;
- GT accessory systems, including steam cooling, CCA, clearance control, purge air, and, lube oil systems;
- ST, including HP, IP, and LP sections;
- ST accessory systems, including steam seal system, bypass system, and, shell thermal response;
- HRSG, including HP, IP and LP evaporator, superheater, economizer sections, and ammonia catalyst;
- generator and electrical system, including shaft torque balance and acceleration, exciter, generator terminal voltage and current, and a simplified electrical grid;
- balance of plant, including condensate, feedwater, condenser, circulating water, and closed cooling systems.

With this level of detail, the response of the H-system power plant may be studied over a broad range of normal combined-cycle transients including cold, warm and hot startups; load swings; fired shutdowns; and NOx production. In addition, automatic protective actions of the control system including alarms, runbacks, load rejections, and trips can also be evaluated. Developing such a capability to allow detailed operability analysis and testing prior to plant commissioning was considered essential to reduce the risk inherent in developing a new combined-cycle power plant and the corresponding ICS. One example of such an analysis was the extensive testing of the H-system combined-cycle power plant response to grid frequency fluctuations, a capability enabled by the inclusion of a simplified electrical grid within the simulation model.

This simulation was hosted on two distinct hardware platforms:

- a comprehensive hardware-in-the-loop setup comprised of Speedtronic Mark VI controllers coupled through special purpose I/O interface computers to the simulation model; and
- a smaller scale, table-top simulation platform wherein the simulation model communicates directly with the ICS controllers over a proprietary Ethernet link.

These two simulation platforms provide unique capabilities and validation support from conceptual through detailed design. The simulator may also be used to provide traditional operation training and familiarization exercises making it useful throughout the complete design and development cycle.

The integration of the H System combined cycle power plant that utilized both the Mark VI controllers and *TOSMAP*™ controllers was fully validated with an engineering grade simulator at the Toshiba's Fuchu Complex in Japan.

6. Conclusion

The ICS for the H System combined cycle power plant provides customers with integrated control and monitoring. Extensive and vigorous validation exercises during the development of the ICS for the H System combined cycle ensured that high reliability, availability, flexibility, and ease of operation requirements could be met.

References

(1) T. Okubo, 1500℃ Class Steam Cooled Gas Turbine Combined Cycle Technology, Journal of the Gas Turbine

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

Society of Japan, Vol. 31, No. 3, May 2003

(2) F. D'Amato, D. Kirchhof, D. Baker, D. Holzhauer, R. MacVaugh, "Model Predictive Control For Combined Cycle Startups". Presented at the 16th ISA POWID/EPRI Control and Instrumentation Conference, San Jose, 2006. To appear in the proceedings of the 2007 ISA/EPRI Control and Instrumentation Conference.

(3) R.W. Smith, P. Polukort, C.E Maslak, C.M. Jones, and B.D. Gardiner. Advanced Technology Combined Cycles. Technical Report GER-3936A, GE Power Systems, Schenectady, NY, 2001

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

特集：発電用ガスタービン設備における制御技術の動向

石炭ガス化複合発電（IGCC）の制御

髙嶋　康裕*1　TAKASHIMA Yasuhiro
太田　一広*2　OTA Katsuhiro

キーワード：燃料多様化，石炭，IGCC，制御

現在、わが国における石炭ガス化複合発電（IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle)）は，実証プラントの段階で，電力会社が出資し，平成13年度に設立された㈱クリーンコールパワー研究所が，国の補助を受けて250MW 級プラントを常磐共同火力㈱勿来発電所構内に建設中である。

本論文では，IGCC 実証プラントの概要及び IGCC の制御システムについて報告する。

1．はじめに

資源の乏しい我が国では，エネルギーセキュリティーのため，埋蔵量が豊富で価格安定性に優れる石炭を利用した火力発電を一定割合で導入することにより，電源のベストミックスを図ることが重要である。さらに，地球環境保全の観点から CO_2 等の環境排出物の低減が不可欠であるため，高効率で環境負荷の小さい石炭利用発電の中核技術として IGCC が注目されている。

2．250MW 級 IGCC 実証プラント

図１に示す IGCC 実証プラントは，国の補助金を得て，㈱クリーンコールパワー研究所が進めており，200t/d パイロットプラントと同じ常磐共同火力㈱勿来発電所構内に建設されており，平成15年７月に着工し，平成19年秋に実証試験が開始される予定である。

2.1　実証プラントの概要

実証プラントの主要仕様を表１に，概略系統を図２に示す。石炭のガス化は，空気吹き二段噴流床ガス化炉で行い，微粉炭及びチャーの加圧･搬送は，窒素による乾式供給である。脱硫は化学プラントなどで実績の多い湿式 MDEA 法（Methyldiethanolamine）である。複合発電設備は，燃焼温度1,250℃級のガスタービン，タンデムコンパウンド二車室複流排気形蒸気タービン及びガス竪流れ形排熱回収ボイラから構成される。空気吹き IGCC では，石炭等の搬送・加圧用の窒素を深冷分離方式の空気分離設備で製造する。空気分離装置の容量は酸素吹き IGCC の約1/3と小容量で，副生される酸素はガスタービン圧縮機から供給されるガス化空気とともにガス化炉へ投入する。発電端出力は250MW である。目標の送電端効率は42% LHV（LHV：低位発熱量基準）である。より燃焼温度の高いガスタービンを採用することにより熱効率の向上が図れ，1,500℃級のガスタービンを使用した商用機では，送電端効率48～50% LHV が実現可能である。

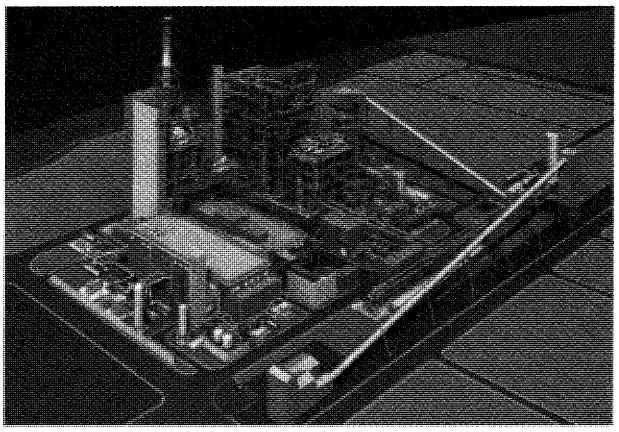


図１　250MW 級 IGCC 実証プラント完成予想図

表１　IGCC 実証プラント主要仕様

項　目	計　画
発電端出力	250MW
目標プラント効率	発電端　48％LHV 送電端　42％LHV
ガス化炉	乾式給炭 空気吹き二段噴流床
脱硫設備	湿式脱流（吸収液MDEA） ＋石膏回収
ガスタービン	1250℃級
蒸気タービン	タンデムコンパウンド 二車室複流排気形
排熱回収ボイラ	ガス竪流れ形
空気分離設備	深冷分離方式

2.2　スケジュール

IGCC 実証プラント計画のスケジュールを図３に示す。

原稿受付　2006年12月18日
＊1　三菱重工業㈱　高砂製作所　プラント技術部
＊2　三菱重工業㈱　原動機事業本部　火力プロジェクト部
〒220-8401　横浜市西区みなとみらい３－３－１

Download service for the GTSJ. member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

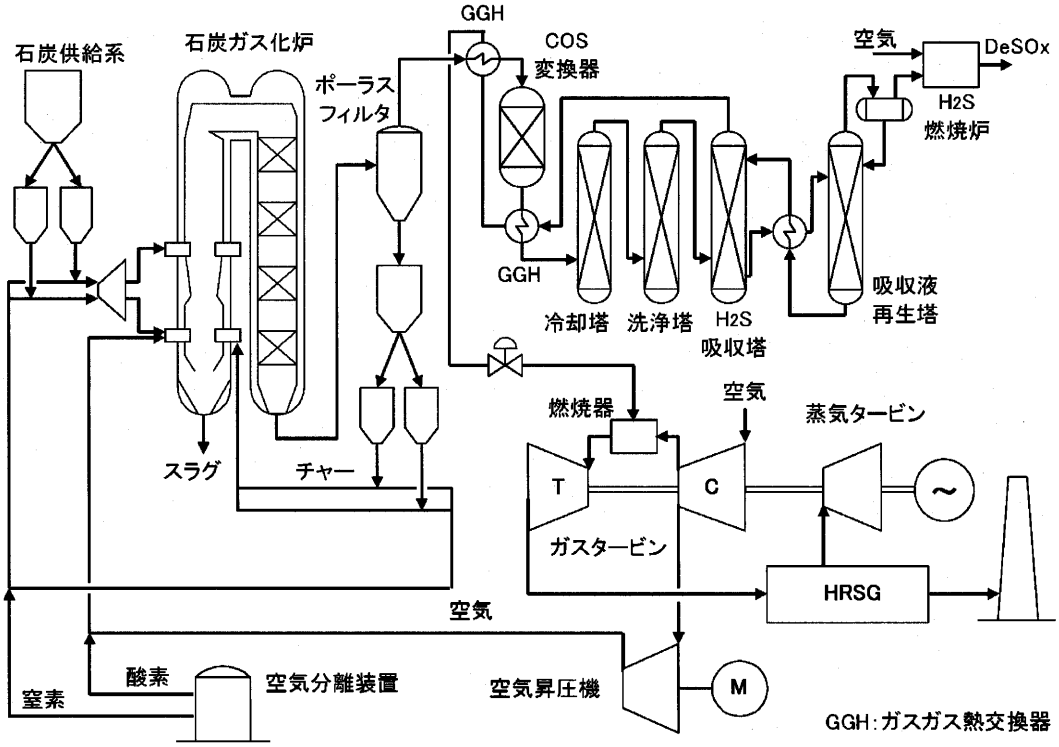


図2　250MW 級 IGCC 実証プラント系統

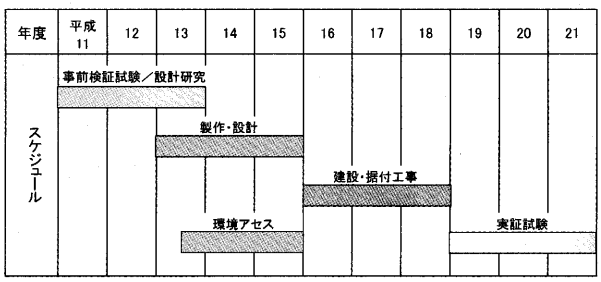


図3　IGCC 実証プラントのスケジュール

平成16年に土建着工し，平成19年度から実証試験が予定されている。

3．IGCC の特徴

IGCC 用の複合発電設備は，天然ガスを燃料とする複合発電設備と同様にガスタービン，排熱回収ボイラー，蒸気タービンで構成される。IGCC の場合，石炭ガス化炉で発生した石炭ガスを冷却する過程で得られる蒸気があり，蒸気タービンの出力が大きい点，ガス化用の酸化剤として高圧空気をガスタービン圧縮機出口から抽気する点が異なる。現状の IGCC システムは，天然ガス用に開発された高温ガスタービン技術をベースとしているため，IGCC 用ガスタービンは基本的には天然ガス用ガスタービンと同じであり，天然ガス用ガスタービンからの機種選択により IGCC プラントの出力が決まってくる。

3.1　石炭ガス燃料の特徴

石炭ガスの発熱量は天然ガスと比較して約1/3～1/10であり，ガスタービン燃焼器内での燃焼の仕方や燃料ガス量が多くなるため，ガスタービンの空気圧縮機側とタービン側のバランスが異なることに留意する必要がある。

石炭ガスは，発熱量が低いが，水素を多く含むため，LNG 及び BFG（Blast Fumace Gas：高炉ガス）に比べて可燃範囲が広い。また，石炭ガス化ガス性状は，BFG と類似しており，BFG 焚きガスタービンを基に IGCC 用ガスタービンへの対応が可能である。

3.2　空気系統の特徴

天然ガス用ガスタービンでは，ガスタービン空気圧縮機からの空気全量をガスタービン燃焼器における燃料ガス燃焼用や冷却用として使用できる。一方，IGCC 用ガスタービンでは，ガスタービン空気圧縮機からの空気を一部抽気し，ガス化炉における石炭ガス化剤あるいは空気分離装置原料空気として，供給する場合がある。

3.3　蒸気サイクルの特徴

天然ガス焚きコンバインドサイクルでは，ガスタービン出口燃焼排ガスの熱回収をおこなう HRSG のみからの発生蒸気で蒸気タービン出力を得ている。これに対して，IGCC では HRSG とガス化炉出口の SGC（SynGas Cooler：ガス化炉冷却器）からの発生蒸気で蒸気タービン出力を得ている。このため，天然ガス焚き複合発電の出力のガスタービン出力と蒸気タービン出力の比70%：30%に対し，IGCC 出力はガス化炉出口 SGC の熱回収分だけ蒸気タービン出力が増加し，ガスタービン出力と蒸気タービン出力の比は50%：50%程度となる。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

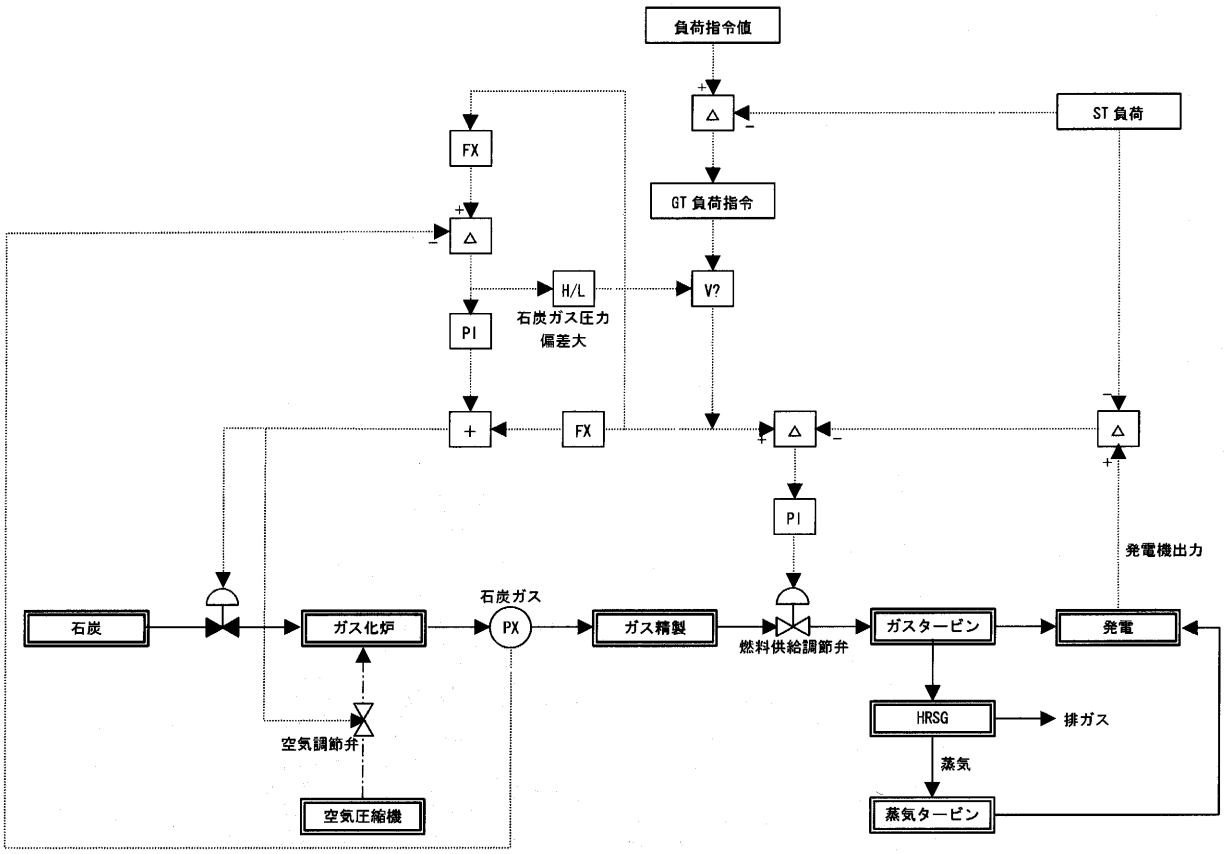


図 4　IGCC の協調制御概念図

4．IGCC の制御方式

4.1　基本概念

IGCC は，石炭を原料としてガスタービン燃料のガスを生成するガス化炉，生成ガス中の硫黄分，ばいじんや不純ガス（NH_3・重金属類等）を除去するガス精製設備及びガスタービンと排熱回収蒸気サイクルによる複合発電設備の大きく 3 つの設備より構成される。また，それぞれの設備間で石炭ガス，空気及び熱の相互移動が行われている。

このように有機的に組み合わされた設備で安全かつ負荷指令に追従して運転するためには，(1)発電負荷に見合ったガス量の制御及び(2)石炭ガスシステム系内の圧力制御が重要となる。

これらの制御は，密接に関連しており，ガス組成の変動や圧力変動などが生じた場合でも，バランスのとれた制御を行う必要がある。

つまり，石炭ガス化発電システムに，従来の石炭火力発電システムと同等以上の負荷追従性を確保するには，全体システムの動的挙動を十分に把握し，協調制御の適用が不可欠である。

4.2　協調制御

協調モードでは，発電機出力をガスタービンが制御し，石炭ガスシステム圧力をガス化炉で制御する。

ガスタービンとガス化炉の協調を取るため，圧力設定及びガス化炉負荷はガスタービン負荷指令に基づき，設定，制御する。負荷変化時に石炭ガスシステム圧力制御の追従遅れが生じた場合，ガスタービン負荷変化率を下げることにより，システムの安定を図る。

図 4 に協調モードの概念図を示す。

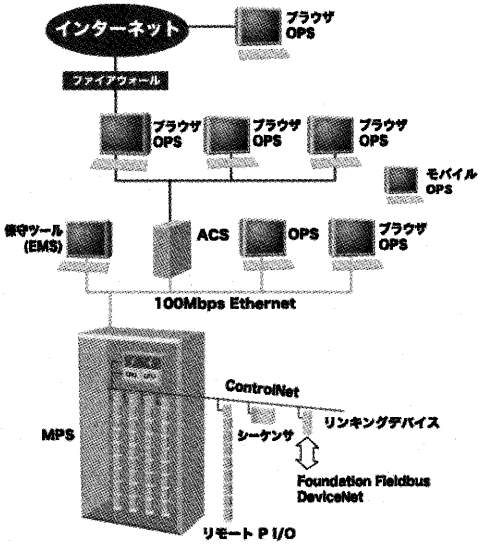


図 5　DIASYS Netmation のシステム構成図

4.3　制御装置

IGCC 実証プラントの制御装置には，当社最新の制御

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

システムであるDIASYS Netmationを適用した。本制御システムは，最新情報通信技術とプラントメーカとしての豊富な経験及び制御技術の融合によって開発されたものであり，信頼性が高く，高度な自動化・容易な保守を可能とし，あらゆるプラントに対応できる柔軟性と拡張性を有するもので，国内外の火力発電設備及びガスエンジン・風車の制御に豊富な実績を有する。

図5にDIASYS Netmationのシステム構成図を，また，図6にOPS（Operator Station）のグラフィック画面例を示す。

また，図7に250MW級実証プラントの中央制御室の鳥瞰図を示す。

5．まとめ

石炭火力は，環境性が高いことから，米国を中心に2010年頃に運転を開始するIGCC商用機が複数検討されている。特に，空気吹きIGCCは，従来石炭火力に比べ，効率が高く，CO_2排出原単位を約15-20%低減可能である。現在，国家プロジェクトとして進められている実証プラントで制御性が高く，信頼性及び安全性，さらに経済性に優れるIGCCシステムを構築し，広く世界に普及を望む次第である。

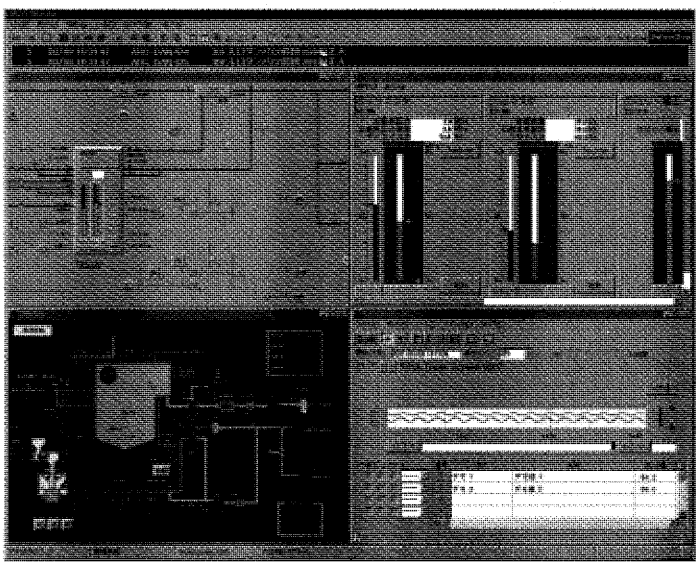


図6　OPSのグラフィック画面例

図7　250MW級IGCC実証機中央制御室

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

特集：発電用ガスタービン設備における制御技術の動向

航空転用型ガスタービン発電設備の制御装置

高村　薫[*1]　TAKAMURA Kaoru
山本　修三[*1]　YAMAMOTO Shuzo
阿久津貴之[*1]　AKUTSU Takayuki

キーワード：航空転用型ガスタービン，発電設備，ディジタル制御装置，高性能マイクロプロセッサ，マンマシンインターフェイス，ゲートウェイ，遠隔監視

1．はじめに

2000年に始まった大口需要家向け電力小売の自由化を契機に，国内では一般事業者が発電設備を導入し電力卸事業に積極的に参加する時代になった。更に近年では，省エネルギー対策を目的としたESCO事業も活性化してきており，国内の発電設備事業は益々活発な市場様相を呈している。その中で当社は，航空転用型ガスタービンを原動機とした発電設備の供給を行っており，その特性を活かしたプラント運用を実現している。

ここでは，航空転用型ガスタービンの高性能制御装置について紹介するとともに，その制御装置を発電設備全体の制御装置として発展させている事例を紹介する。

2．航空転用型ガスタービンの特徴

当社のガスタービンは航空機用ジェットエンジンを用いた航空転用型である。航空転用型ガスタービンは同程度の出力を有する原動機の中で最もコンパクトであることを特徴とするが，同時に動特性としては応答速度が速く，その制御装置には高速で正確な制御演算を実行する等の特性が求められる。

当社が発電設備用の原動機として採用しているガスタービンは，1000KWクラスのIM150，2000KWクラスのIM270，4000KW～6000KWクラスのIM400，及び10000KWクラス以上の発電容量用としてLM1600，LM2500，LM6000等がある（表1）。

航空転用型ガスタービンは燃料として，天然ガス，都市ガス，灯油，ディーゼル油の他，ナフサやNGL（天然ガソリン）などの原油燃料，プロパン等の石油液化ガスなど，燃料の多様化に対応することが可能である。また，タービン軸に発電機を搭載する発電用途以外に，圧縮機，プロペラ，ポンプ等の機械系負荷を直接駆動するメカニカルドライブの原動機として構成することが可能であり，様々な適用範囲がある。

近年では，環境規制対象となっているNOxやCOを低値に抑えるための燃焼技術や，発電プラントの統合最適制御など，より複雑で高速・精緻な制御が求められるようになってきた。制御要求仕様が進化していく中で，様々なタイプの応用にも共通して使用可能な制御装置として，CSI（Control System of IHI）シリーズの制御装置概要を以下に述べる。

表1　航空転用型ガスタービンの種類

機種名	回転軸数	燃焼器形態	発電端出力
IM150	2軸（1軸＋PT）	SAC	1000KW
IM270	1軸	DLE	2000KW
IM400	1軸	単管	4000KW～6000KW
LM1600	3軸（2軸＋PT）	SAC	10000KW
LM2500	2軸（1軸＋PT）	SAC/DLE	20000KW
LM6000	2軸	SAC/DLE	40000KW

注：PT=Power Turbine
SAC=Single Annular Combustor
DLE=Dry Low Emission
IM270：航空機の技術転用ガスタービン

3．制御装置の構成と機能

3.1　高性能ガスタービン制御装置

CSIシリーズ制御装置の基本的な構成は，機側の信号変換，中央制御装置及びマンマシンインターフェイスに大きく区分することができる（図1）。信号変換は，機側と中央制御室間の長距離伝送によるノイズの影響を最小化する目的で，機側において物理信号を電流信号或いは光信号（リモートI/O）に変換している。リモートI/Oによる光信号伝送はノイズの影響を完全に排除することが出来ると同時に，多量の信号を伝送できるため機側と制御室間のケーブルを大幅に削減することが可能である。中央制御室にはCSI制御装置のシステムキャビネットが設置される。システムキャビネット内は，主演算装置であるGCUを含む演算セクション，外部からの信号をGCUが読み込める信号に変換する信号変換セクション及び外部からハードワイヤで信号を入力するためのターミナルセクションに分かれる。

原稿受付　2006年11月17日
＊1　石川島播磨重工業㈱　航空宇宙事業本部
原動機プラント事業部
〒135-8710　東京都江東区豊洲3－1－1　豊洲IHIビル

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

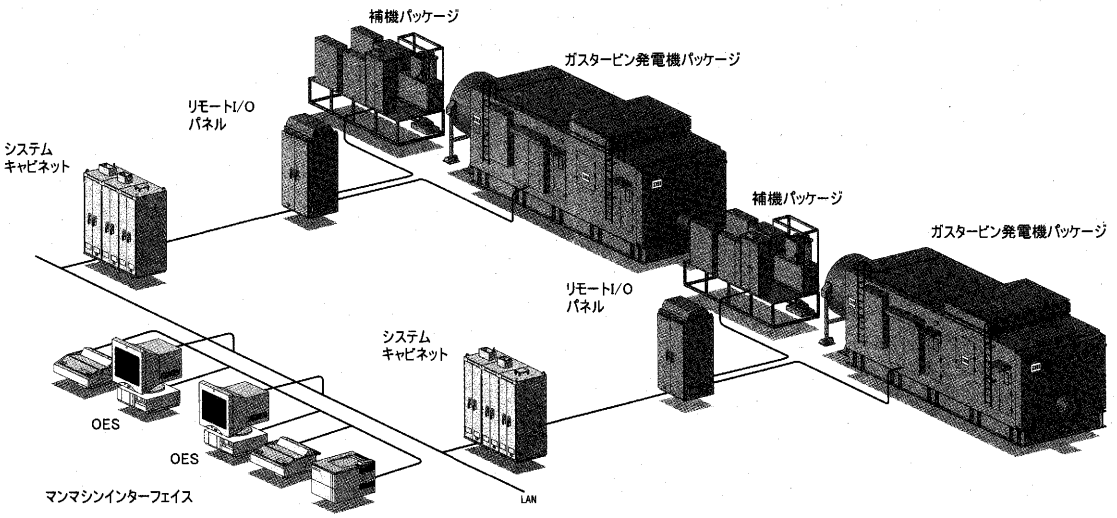


図1　CSIシリーズ制御装置システム構成図

表2　ガスタービン制御ユニット仕様

基板名称	仕様
CPU	CPU：Mobile Pentium Ⅲ　@800MHz シリアル通信：RS232C　2CH LAN　10Base-T/100Base-Tx 2CH
AI	• AD変換　4μs • 分解能　14ビット • チャンネル数　32CH
AO	• DA変換　6μs • 分解能　12ビット • チャンネル数　8CH
DI	• 入力点数　80CH
DO	• 出力点数　80CH • 出力方式　オープンコレクタ

主演算装置のGCUはIEEE-1014規格に準拠したVMEバスのコンピュータユニットであり，高速で大量の演算が可能である（表2）。信号変換器セクションは外部から入力した信号を絶縁し，GCUに信号を出力する役割を持つ。接点信号はリレーによる絶縁，アナログ信号はガルバニックアイソレータによる絶縁を全入出力点数行っている。

CSIシリーズでは，オプションとして二重化による冗長系システムを構成することが可能である。

冗長系にすることの利点は，万が一，制御システムのハードウェアに故障が発生してもプラント制御を継続できることにあり，ハードウェアモジュールの自己診断機能と多重化センサの選択アルゴリズムにより実現している。

また，制御ユニットの二重化切り替えについては，切り替え時にバンプレスでの制御の継続を確保するために，ユニット間で制御データを共有し，継承する必要がある。本制御装置では光ファイバによる高速伝送機能を有したデュアルポートメモリ基板を開発して使用している（図2）。

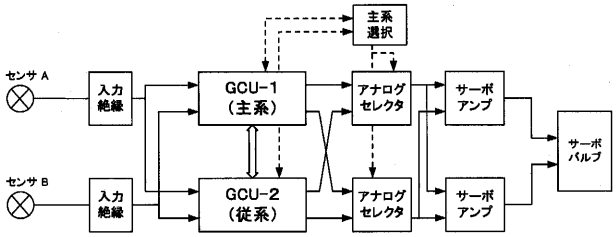


図2　二重化冗長系システム構成図

3.2　高性能DLEガスタービン制御

近年の環境規制において，ガスタービンの排ガスに含まれるNOxを低減するために，燃焼器に燃料と共にNOx低減水，または蒸気を噴射する手法が一般に用いられている。しかし，そのためには，NOx低減水およびその水を処理する水処理設備が必要となり，水の供給および設備の設置場所を確保しなくてはならない。

最新の技術では，水，または蒸気を使用せずに，燃焼制御によりNOxの低減をはかるDLE（Dry Low Emission）制御が注目をあびている。燃料量と空気量の割合（空燃比）を制御することで希薄燃焼を起こし，NOx排出量を低減する。当社のガスタービンではIM270，およびLM6000で実績がある。

特に，LM6000でのDLE制御では，燃料流量，燃料の性質（低位発熱量，比重，など），およびガスタービンの主要パラメータ（回転数，圧力，抽気弁開度，など）から，燃焼温度を計算し，予め設定された，NOx，CO放出量が少ない最適な燃焼状態となるように抽気量を変化させることで空燃比を制御する。その計算および制御は非常に複雑で膨大な量であり，且つ高速な演算を要求され，従来のDLEでない制御に比較して，10倍か

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

ら20倍の演算能力が必要となる。

CSI シリーズでは，高性能マイクロプロセッサを搭載した CPU 基板を開発して採用し，また，多演算サイクルにより，高速な応答性が要求される制御は高速な演算サイクルで，高速な応答が要求されない制御については低速な演算サイクルで実行することで，制御演算の効率的な負荷分担による CPU パフォーマンスを最大限に生かしたシステムとすることで，DLE 制御を実現している。

3.3 統合プラント発電制御装置

コージェネレーション発電設備では，ガスタービン発電機の他にプラントを構成する機器として，排熱回収ボイラーを始め，燃料ガス圧縮機，水処理装置，冷却水設備などの機器や，配管系統に配置される様々な作動弁等の BOP (Balance Of Plant) 機器が存在する。これらの BOP 機器を運転制御するために従来は，ガスタービン発電機制御盤とは別に DCS (分散制御システム) を装備することが常であった。その理由の一つは，航空転用型ガスタービンに求められる制御演算速度と BOP 機器制御に求められる制御演算速度がオーダー的に異なることが挙げられる。CSI シリーズ制御装置では，演算サイクルを多段階に分けて制御演算を行うことが可能であり，ガスタービンから BOP までを一つの制御装置で運転制御できるようにした（図 3）。

また，制御装置の盤面にはガスタービン運転用の操作パネルだけではなく，BOP 制御監視に必要なメータ類も装備されており，それらが自立盤 2 面（W1660mm × D1300mm × H2350mm）で構成されている（図 4）。

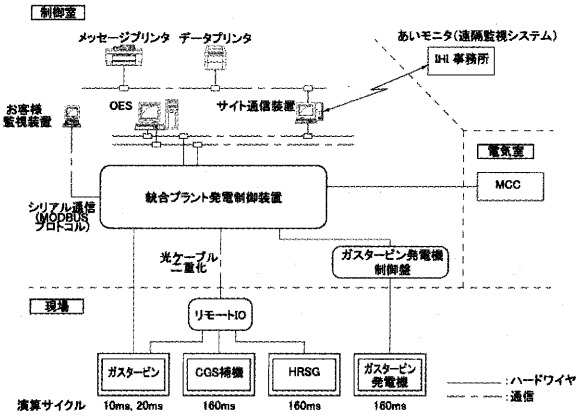


図 3 統合プラント発電制御装置構成図

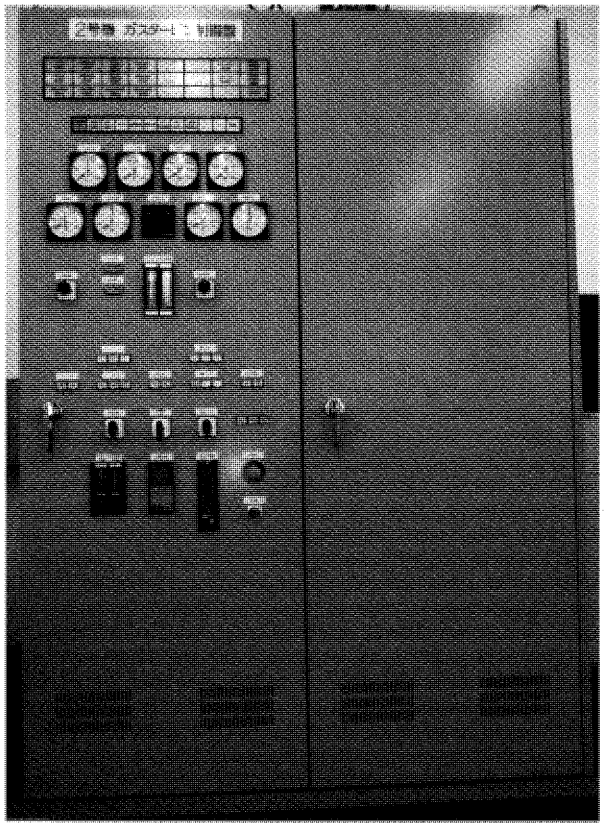


図 4 統合プラント発電制御装置外観

3.4 プラント最適制御

ガスタービンコジェネレーション設備では，複数のガスタービンで構成される場合がある。このような設備では，それぞれのガスタービンを個別に制御する個別制御と，設備全体を制御するプラント最適制御が必要となる。プラント統合制御では，台数制御，最適負荷分担制御，負荷選択制御などが行われる（図 5）。

特に，当社の独自システムである IM400を使用した熱電可変型システム（FLECS）では，蒸気需要に合わせて，ガスタービンへの噴射蒸気量を変更することで，無駄なく，効率よく電力と蒸気を供給することが可能である。即ち，蒸気需要が高いときには，ガスタービンに噴射する蒸気を減らして蒸気需要に対応し，蒸気需要が低いときには，余剰蒸気をガスタービンに噴射して発電電力を増大させる。(蒸気優先モードの場合。)

しかし，その一方では，刻々と変化する電力および蒸気需要に追従して，複雑な計算により個々のガスタービンの最適な運転ポイントを見つけ出し，オペレータの手によってそのポイントで運転することは，煩雑さとオペレータの負担を考えると非常に困難なものとなっている。

これに対して，当社の CSI シリーズでは，燃料費，買電価格，などを計算要素に入れて，制御装置内で

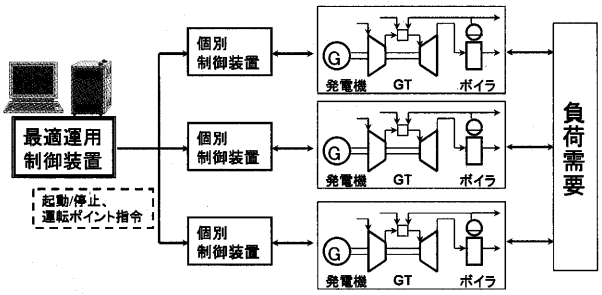


図 5 プラント最適制御構成図

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

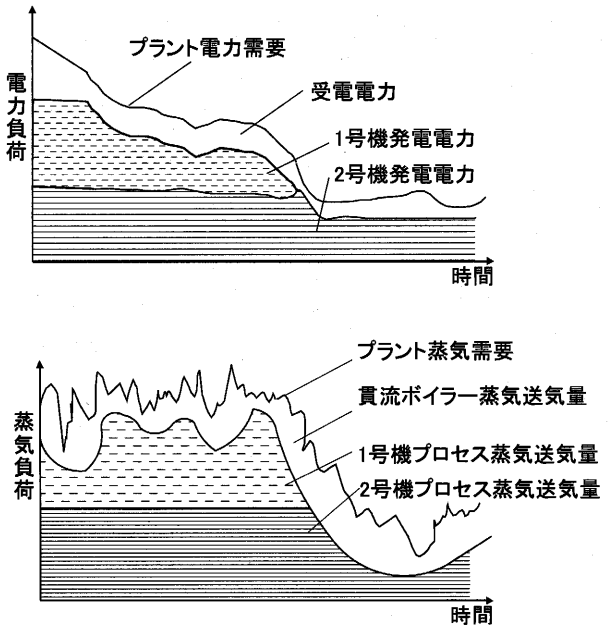


図6　プラント最適制御運転トレンド

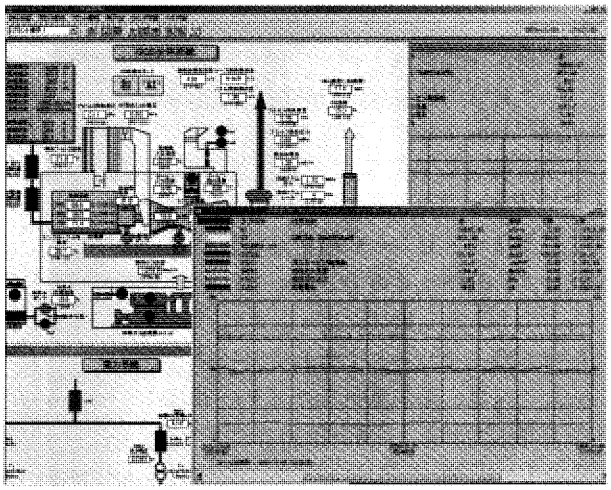


図7　リアルタイムモニタリング画面

FLECSの簡易モデルを計算することにより，その時点での需要に対するそれぞれのガスタービンの最適な運転ポイントを導き，自動でそのポイントで運転する制御機能を実現している（図6）。

3.5　マンマシンインターフェイス機能

CSIシリーズのマンマシンインターフェイスには，大きく分けて，プラントの監視，警報管理，データ収集を行うOESと，プラントエンジニアリングを行うLogiCADがある。

(1)　OES (Operator's & Engineer's Station)

OESは，プラント運用中のプラント操作／監視，警報管理，また，過去の運用データを解析などに使用するためのデータ収集を行うマンマシンインターフェイスツールである。

図8　プラント操作画面

MS-Windows*2を採用することで，オペレータにとって，操作性がよく，使い易いシステムとなっている。

OESを使用することで，ガスタービン発電プラントの日常の監視・運転操作，および異常発生時の早急な解析と復旧が可能である。

(a)　リアルタイムモニタリング機能

プラントの運用状態を，トレンドおよびグラフィック表示にて1秒サンプリングでリアルタイムに表示して監視する機能である。（図7）

トレンドでは，1画面8点のデータを表示することができ，最大100画面まで登録することが可能である。

グラフィック表示では，プラントの各系統（P&ID），およびガスタービン固有のデータを，一目で分かりやすく表示する。

(b)　プラント操作

プラントの開始／停止，補機の動作指令／停止指令などを，OES操作画面上のPBを操作することで実行する。（図8）

(c)　データ収集

運用管理，および異常発生時の解析を目的として，プラントおよびガスタービンの運用データを収集する機能である。

異なるサンプリング周期と収集期間を持つ機能を有して，用途に合わせて収集したデータを使い分けることができる。

- ヒストリカルデータ：サンプリング周期1秒，収集期間24時間，30日
- SST (Start and Stop Trend) データ：サンプリング周期1秒，収集期間20分，64件
- TDS (Trip Data Strage)：サンプリング周期10m秒，

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

図９　警報管理画面

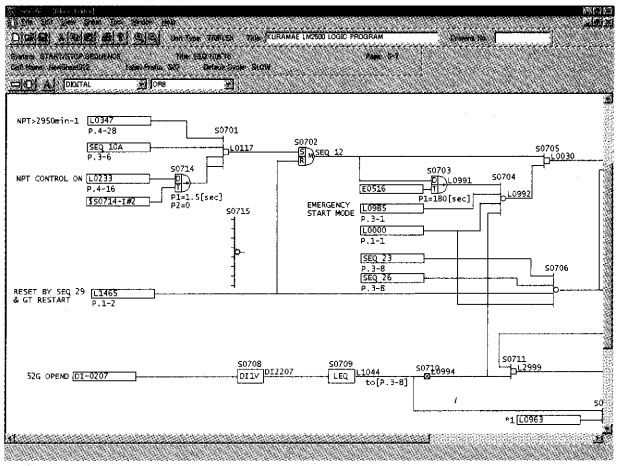
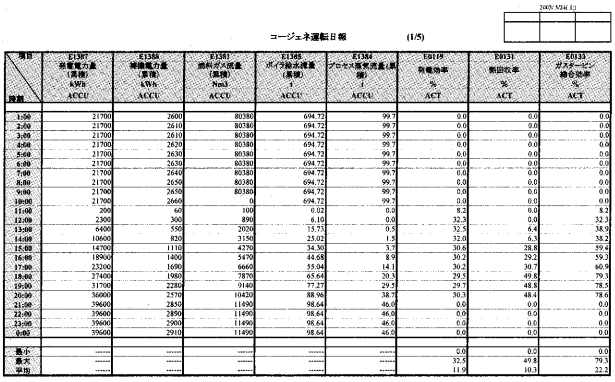


図11　LogiCAD 表示



コージェネ運転日報　(1/5)

時間	E1387 発電電力量 (累積) kWh ACCU	E1388 補機電力量 (累積) kWh ACCU	E1381 燃料ガス流量 (累積) Nm3 ACCU	E1385 ボイラ給水流量 (累積) t ACCU	E1384 プロセス蒸気流量 (累積) t ACCU	E0119 発電効率 % ACT	E0131 熱回収率 % ACT	E0133 ガスタービン総合効率 % ACT
1:00	21700	2600	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
2:00	21700	2610	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
3:00	21700	2610	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
4:00	21700	2620	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
5:00	21700	2630	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
6:00	21700	2630	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
7:00	21700	2640	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
8:00	21700	2650	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
9:00	21700	2650	80380	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
10:00	21700	2660	0	694.72	99.7	0.0	0.0	0.0
11:00	200	60	100	0.02	0.0	8.2	0.0	8.2
12:00	2300	300	890	6.10	0.0	32.3	0.0	32.3
13:00	6600	550	2020	15.73	0.5	32.5	6.4	38.9
14:00	10600	820	3150	25.02	1.5	32.0	6.3	38.2
15:00	14700	1110	4270	34.30	3.7	30.6	28.8	59.4
16:00	18900	1400	5470	44.68	8.9	30.2	29.2	59.3
17:00	23200	1690	6660	55.04	14.1	30.2	30.7	60.9
18:00	27400	1980	7870	65.64	20.3	29.5	49.8	79.3
19:00	31700	2280	9140	77.27	29.5	29.7	48.8	78.5
20:00	36000	2570	10420	88.96	38.7	30.3	48.4	78.6
21:00	39600	2850	11490	98.64	46.0	0.0	0.0	0.0
22:00	39600	2890	11490	98.64	46.0	0.0	0.0	0.0
23:00	39600	2900	11490	98.64	46.0	0.0	0.0	0.0
0:00	39600	2910	11490	98.64	46.0	0.0	0.0	0.0
最小	------	------	------	------	------	0.0	0.0	0.0
最大	------	------	------	------	------	32.5	49.8	79.3
平均	------	------	------	------	------	11.9	10.3	22.2

図10　帳票印刷

収集期間３分，64件

(d)　警報管理

警報管理は，警報・イベントメッセージ，警報表示，および警報パネルにより行われる。

警報の発報は，警報パネルの該当ランプの点滅（および警報音）によりオペレータに通知され，その詳細内容は，メッセージに記録される。また，警報表示により，現存する警報項目一覧を確認することができる。（図９）

(e)　チューニング

制御ロジック中のパラメータ（例：PID の比例ゲインなど）をオンラインで変更し，プラントチューニングすることができる。

(f)　帳票

日報，月報を定型フォーマットで印刷，電子ファイル（Excel フォーマット）で出力する。（図10）

(2)　制御ロジック編集ツール（LogiCAD）

LogiCAD は，プラントの制御ロジックを編集，管理するツールである。制御装置における制御ロジックの記述については，従来はテキストベースのものが主流であったが，CSI シリーズではいち早く CAD ベースで編集するツールを開発して採用している（図11）。

CAD ベースとすることで，次のような利点があり，作業の効率化，品質向上に貢献している。

(ア)編集が容易で，且つ視覚的にロジックが理解しやすい。

(イ)印刷するとそのまま図面として使用できる。

表３　上位コンピュータとの通信仕様

◎シリアル通信	
物理層	RS232C，RS422，RS485
通信速度	9600bps ～19200pbs
プロトコル	MODBUS＊3
◎ Ethernet 通信	
通信速度	100Mbps，10Mbps
プロトコル	（通信相手に合わせて調整）

3.6　上位コンピュータとの通信機能

生産管理システムなどのプラントの運用状態を管理するシステムへ，データおよび警報内容を伝達するためにハードワイヤを使用すると膨大な量の入出力点数となり，入出力モジュール，ケーブル数の増大によるコストアップ，信頼性の低下を招くことになる。

このような場合には，情報の伝達に通信によるデータ伝送を用いる。

CSI シリーズでは，上位コンピュータとのデータ伝送は，ゲートウェイにより実現している。ゲートウェイは，CSI シリーズ内のデータ伝送プロトコルから，通信相手との共通のプロトコルに変換する機能を有している。また，通信の物理層については，シリアル通信（RS232C，RS422，RS485），および Ethernet 通信に対応している（表３）。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

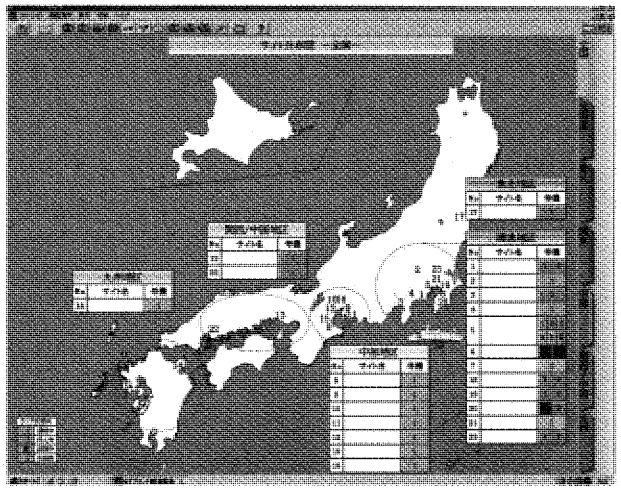


図12　あいモニタ表示

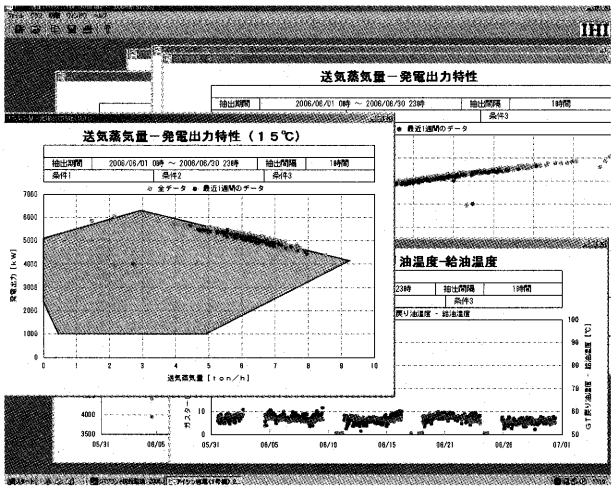


図13　傾向管理表示

3.7　遠隔監視

当社が納入したガスタービンプラントで発生したトラブルを，早急に解析して解決するために遠隔監視システム「あいモニタ」を構築している（図12）。

遠隔監視システムでは，サイトのプラント運転データをインターネット経由で当社データサーバへ送信し格納する。トラブル発生時には，設計およびカスタマサポートエンジニアが，このデータを技術者端末を用いて解析して，原因の究明，解決策の立案を行う。

遠隔監視システムのデータの流れは，サイト側から当社側への一方向として，サイト側は外部からデータを受け入れないことでセキュリティを確保している。

また，蓄積されたデータのガスタービンエンジンパラメータなどの傾向を監視することで，傾向管理を行い，劣化などにより故障する前の交換提案などが可能となっている（図13）。

4．おわりに

CSI シリーズ制御装置は，高精度・高速応答が求められる航空転用型ガスタービンの制御装置として開発・適用されてきており，既に90セット以上の実績を上げている。さらには，本論説で取り上げたようなガスタービン以外の BOP 機器を含めた統合制御装置，或いは複数台のガスタービンの負荷配分や蒸気配分などを最適制御する制御装置としても実績を積んできている。今後も，CSI シリーズ制御装置の応用を拡大していきたい。最後に，本制御装置の開発・適用に携わってきた多くの方々，適切な助言を頂いた多くの方々に感謝の意を表して結言とする。

参考文献

(1)　荒畑実，他：大型ガスタービン用制御システム，石川島播磨技報，1998 Vol.38 No.5

＊2：MS-Windows は Microsoft 社の登録商標です。
＊3：Schneider Electric の商標及び登録商標です。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

特集：発電用ガスタービン設備における制御技術の動向

AHAT 発電設備の制御

片桐　幸徳*1
KATAGIRI Yukinari

キーワード：ガスタービン，吸気噴霧冷却，増湿塔，低 NOx 燃焼器，再生サイクル，水回収，制御システム

1．はじめに

ガスタービンの燃焼用空気に湿分を注入してタービンの高効率化を図る AHAT（Advanced Humid Air Turbine）システム[(1),(2)]の研究を進めている。AHAT システムは，1981年に提案された HAT システム[(3)]向け圧縮機の中間冷却器を吸気噴霧冷却器に置き換えたもので，ガスタービンの圧力比や燃焼温度の上昇に頼ることなく，システム熱回収の工夫により高い発電効率が得られる点に特徴がある。

AHAT は，資源エネルギー庁の補助事業として，2004年から3年間のスケジュールで高湿分空気を利用した新型ガスタービン発電システムの要素技術開発と，パイロットプラント建設によるシステム成立性検証を進めている。本プロジェクトには㈱日立製作所，財団法人電力中央研究所，住友精密工業㈱の3社が参加しており，2006年10月からは茨城県ひたちなか市にパイロットプラントを建設し，AHAT のシステム成立性検証を目的に試験運転を開始している。

本稿では，現在試験運転中の AHAT パイロットプラントの概要と，パイロットプラントで使用するプラント運転制御システムの構成について紹介する。

2．AHAT パイロットプラントの概要

2.1　システム概要

AHAT システムは，(1)圧縮機入口での微細液滴噴霧（Water Atomization Cooling : WAC），(2)圧縮空気（以下空気）の増湿とタービン排ガスからの熱回収，(3)排ガスからの水回収の3点を特徴とした中小容量ガスタービン向け発電システムである。AHAT パイロットプラントのシステム構成を図1に示す。

パイロットプラントでは，空気への増湿手段として，増湿塔を採用した。WAC によって部分的に加湿された圧縮空気は，空気冷却器で熱を回収したのち，増湿塔においてほぼ飽和状態にまで増湿される。増湿塔で使用する加湿水には，空気冷却器及び給水加熱器にて加温した熱水を用いる。

増湿塔で加湿され，再生熱交換器にて高温となった空気は，燃焼器において燃料（天然ガス）の燃焼用空気と

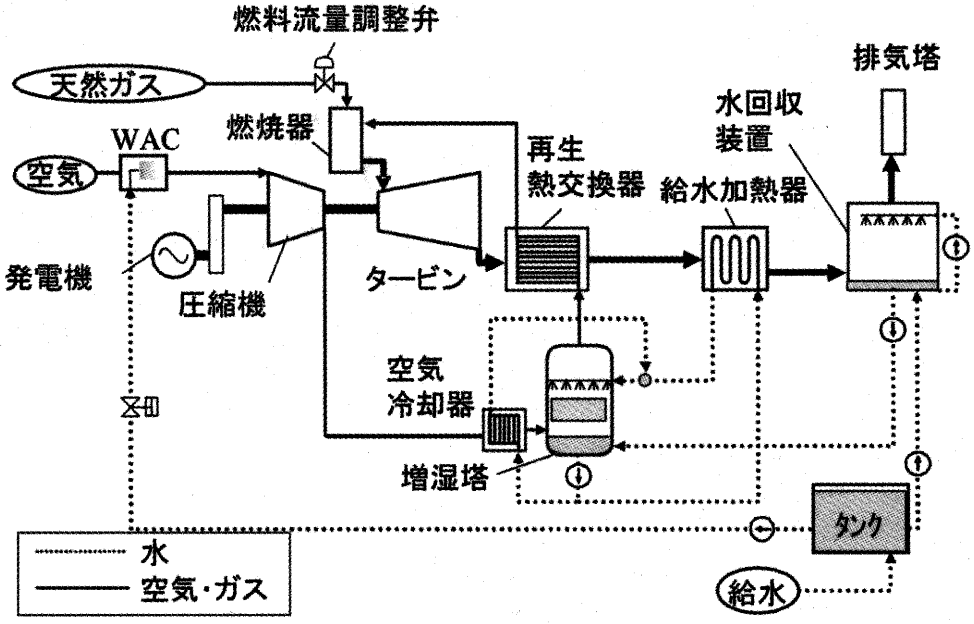


図1　AHAT パイロットプラントのシステム構成

原稿受付　2006年11月9日
＊1　㈱日立製作所 電力・電機開発研究所
〒319-1221　茨城県日立市大みか町7－2－1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

して用いる。燃焼用空気に加湿空気を用いる効果としては，空気質量流量の増大及び燃焼時の体積膨張によるタービン出力の増大，燃焼温度の低下及び NOx 排出量の削減などが挙げられる。

排ガス中の水分は，水回収装置上部からの散水によりそのほとんどが回収される。パイロットプラントでは，回収後の給水を水回収装置下部のタンクに一時的に貯留した後，加湿水として増湿塔下部へ補給する。

2.2 AHAT 制御システムの概要

パイロットプラントの運転・制御システムの構築に当たっては，ガスタービンの運転・制御に加えて WAC，増湿塔，水回収装置など水系統の運転・制御を含めた統合的なプラント制御システムが必要である。パイロットプラント向け AHAT 制御システムの構成を図 2 に示す。

AHAT 制御システムは，ガスタービン制御装置，プラント制御装置，発電機制御装置を有する分散制御システムであり，各装置毎に機器保護，補機制御，調節系制御機能を有する。これら装置は監視・制御 LAN を通じてオペレータコンソール（工業用 PC 及び汎用 PC）から操作する。また，ハードワイヤによる警報表示，非常停止機能を備え，非常時においてもプラントを安全に停止することが可能である。

なお，本プラントは試験設備であることから，プラントで得られた電力は全量を負荷試験装置にて熱に変換・消費する。そのため，ガスタービン制御装置には負荷試験装置の制御機能を含む。プラント運転時には，オペレータコンソール上から負荷試験装置における電力消費量を指定することによりプラント全体の目標出力を決定する。

3．プラント制御方式

3.1 AHAT 制御系の概要

3.1.1 制御系統

AHAT 制御システムに実装した主な制御系統を表 1 に示す。

ガスタービン制御装置は，負荷試験装置制御，燃料流量制御，WAC 制御を担当する。なかでも燃料流量制御は起動制御，速度制御，負荷制御，排気温度制御からなり，各制御で得られた燃料指令から最も低い値を燃料流量指令（Fuel Flow Demand : FFD）として選択する。これは既存のガスタービン制御システムとほぼ同じである。また，制御装置は FFD 及び後述の燃料流量計画に基づき，燃料流量調整弁（Gas flow Control Valve : GCV）を制御する。

一方，プラント制御装置では，増湿塔及び水回収装置下部に貯留した加湿水及び給水の水位や循環水量の流量を制御するほか，装置の起動・停止に必要なバルブの開閉を制御する。

3.1.2 安全・保護方式

プラント保護動作の考え方を表 2 に示す。パイロットプラントでは，主機であるガスタービンの保護を最優先とし，ガスタービンに異常が検知された場合にはタービントリップと同時に増湿塔及び WAC における加湿を停止する。トリップ時の加湿停止は，空気中の湿分がタービン内部で凝縮するのを回避するためである。一方，プラント制御装置は増湿塔・水回収装置のポンプ運転を継続し，ガスタービン再起動に備える。

これに対し，プラント側機器，例えば空気加湿に用いる給水ポンプに異常が検知された場合には，タービン・プラントの双方をトリップすることにより，タービン，

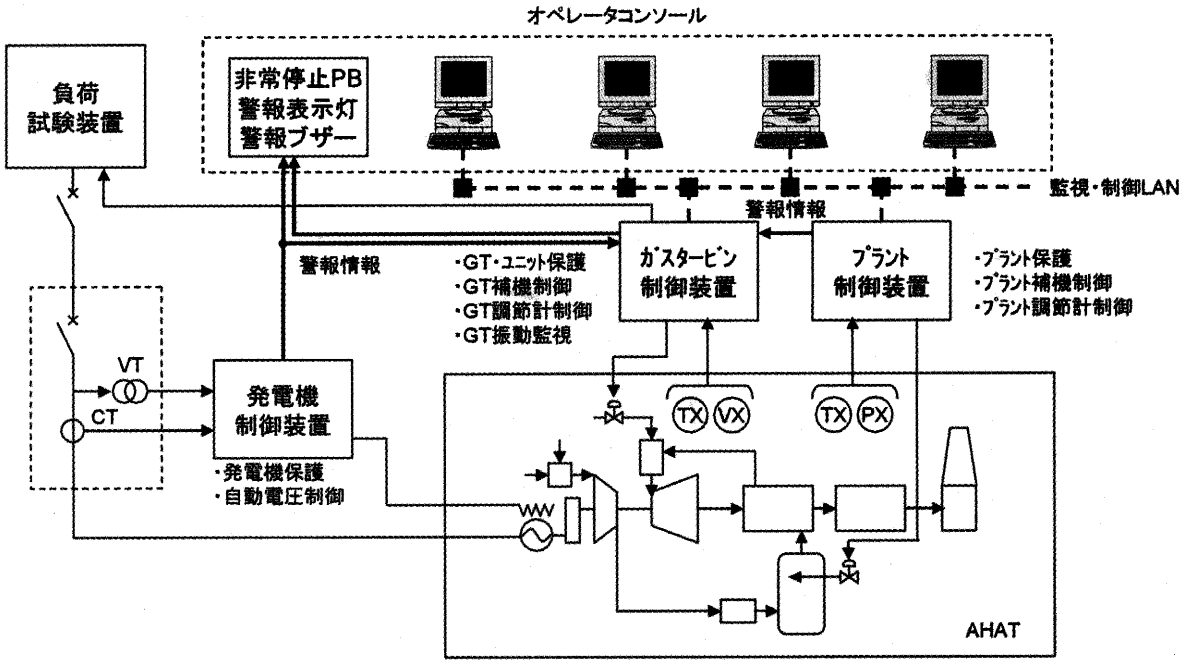


図 2　AHAT 制御システム構成

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

表1 AHAT 制御系統

No	制御装置	名 称	
1	ガスタービン制御装置	負荷試験装置制御	
2		燃料流量制御	GCV制御
3		・起動制御	
4		・速度制御	
5		・負荷制御	
6		・排気温度制御	
7		WAC制御	
8	プラント制御装置	増湿塔制御	
9		水回収装置制御	

GCV : Gas flow Control Valve

表2 プラント保護動作

	ガスタービン保護動作	プラント側保護動作
ガスタービン異常検知	タービントリップ ・燃料遮断 ・WAC停止 ・ターニング開始	プラント運転継続 ・増湿塔加湿停止 ・ポンプ運転継続
プラント側異常検知		プラントトリップ ・増湿塔加湿停止 ・ポンプ運転停止

プラント双方の機器を保護する。

3.2 燃料流量制御

AHAT 制御システムに特有となる燃料流量制御，WAC 制御，増湿塔制御の各制御方式に関してその概要を説明する。

パイロットプラントでは，燃焼器に多孔同軸噴流クラスターバーナを採用した[4]。バーナ構成を図3に示す。燃料ノズルヘッダには231本の燃料ノズルが取り付けら

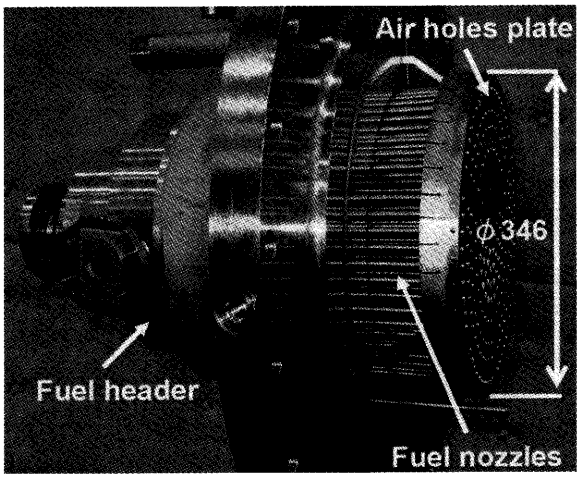


図3 多孔同軸噴流クラスターバーナの構成

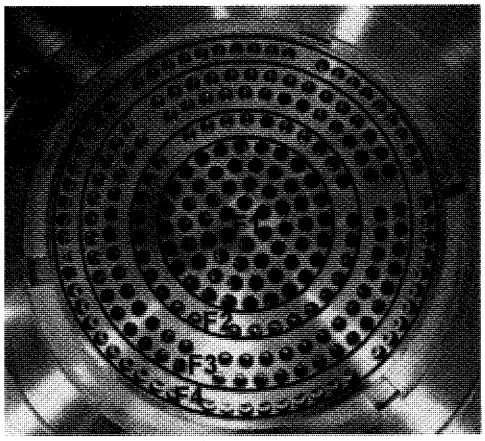


図4 燃料ノズル及びノズル群

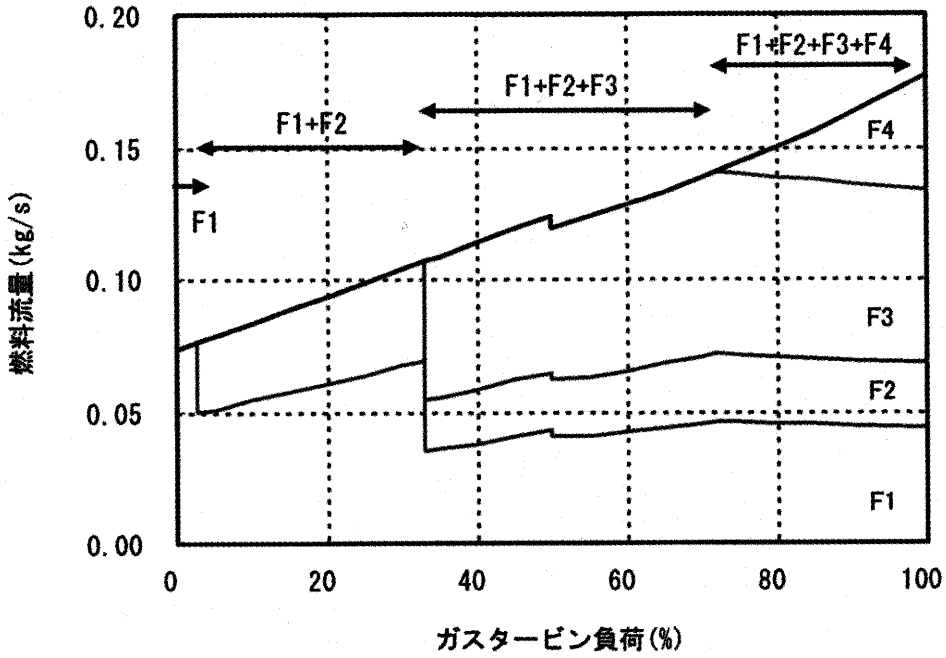


図5 燃料流量計画値

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

れており，その１本１本に対応した空気孔を備えた空気孔プレート（外径φ346）がフランジに取り付けられた構造となっている。

231組の燃料ノズルと空気孔のペアは同心状に８列配置されている。図４に示すように，ノズルは中心から４列（第１列～第４列）が第１群（Ｆ１），第５列が第２群（Ｆ２），その外側の２列（第６，７列）が第３群（Ｆ３），最外周（第８列）が第４群（Ｆ４）と群分けされており，それぞれの群ごとにヘッダに設けたフランジを通して燃料が供給可能である。

本バーナの着火は中央のＦ１のみに燃料を供給することでおこない，ガスタービンの定格回転数無負荷条件付近まではＦ１単独で昇速させる。それ以降の負荷上昇過程ではＦ１の外周のＦ２（第５列）に燃料を投入して運転し，以降，ガスタービンの負荷上昇に応じて，周囲のＦ３（第６列と第７列の２列），Ｆ４（第８列）に燃料を供給する。

図５に各負荷における燃料流量の計画値を示す。

第１群は起動～昇速～３％負荷までの燃焼を担当し，それ以上の負荷では１群＋２群での燃焼となる。パイロットプラントでは，ガスタービン負荷50%一定条件において増湿を開始する計画であり，増湿塔起動前の30%負荷で第３群を，起動後の72%負荷で第４群を着火する。

燃料流量制御では，前述の燃料流量指令（FFD）及びプラント目標出力を４つの燃料制御回路に送出し，図５の燃料流量計画値に応じて各群の GCV を制御する。

3.3 WAC 制御

WAC 用吸気噴霧ノズルを図６に示す。本ノズルは高圧（5MPa 以上）の給水を用いて水滴を微粒化する一流体ノズルである[5]。

パイロットプラントでは吸気ダクトに本ノズルを18本設置し，ノズルからの噴霧量を切り替えることで吸気加湿量を制御する。ノズルレイアウトを図７に示す。

噴霧量の切り替えには，吸気噴霧水ヘッダ出口の電磁弁Ａ１～Ａ９を用いる。電磁弁一つでノズル２本が動作することから，弁の開閉により９段階（WAC 停止時を含めると10段階）での噴霧量切替が可能である。

WAC はガスタービンが定格回転数に達して以降に起動停止操作が可能となるが，大気温度５℃以下の条件において WAC を噴霧した場合，噴霧水が圧縮機入口で凍結するアイシング現象を生ずる可能性がある。そこで，パイロットプラントでは，大気温度が５℃以下となった場合に WAC を停止するようインターロックを設けている。

3.4 増湿塔制御

増湿塔の概略を図８に示す。増湿塔は，圧力容器下部から空気を，上部から給水を供給し，気液接触により空気を加湿する装置である。塔内には気液接触面積の増大を目的に充填物を装荷しており，この充填物に向けて塔上部から給水を散布する。給水は充填物の表面上に水膜

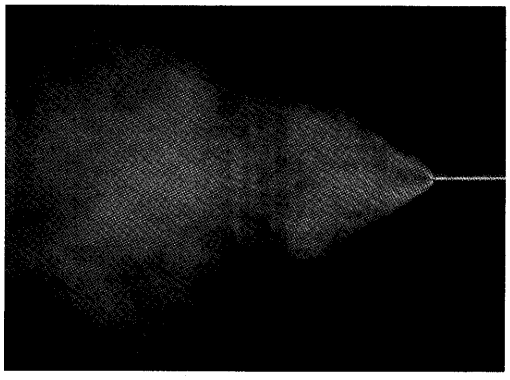


図６　WAC 用吸気噴霧ノズル

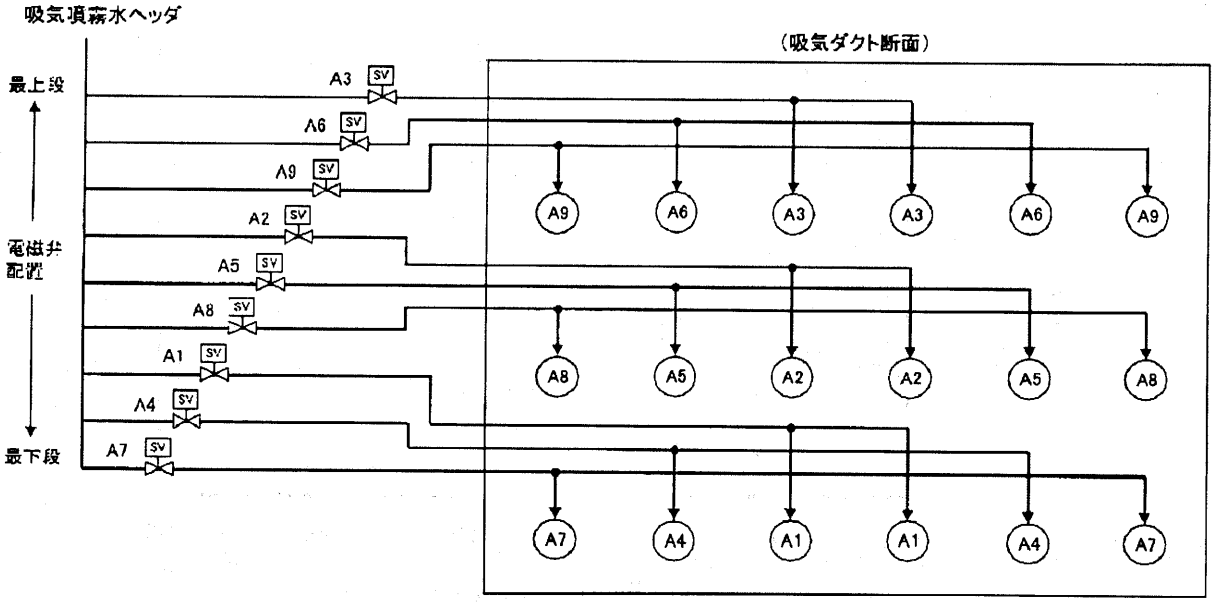


図７　WAC 用噴霧ノズルレイアウト

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

を形成しつつ流下し，水膜表面からの蒸発により空気を加湿する。未蒸発の給水は増湿塔下部に貯留したのち，給水として塔上部へと環流する。

増湿塔における空気加湿性能は，塔高，塔径，充填物の形式のほか，空気及び給水の入口条件（温度・流量・空気絶対湿度），塔内圧力等によって変化する[6]。空気加湿量は燃焼器の燃焼状態及びプラント全体性能に関わる重要なパラメータであることから，パイロットプラントでは空気加湿量を連続的に計測・監視する。

一方，運転・制御の観点からは，ガスタービン運転中に増湿塔を加湿開始・停止した場合に，空気加湿量が最も変化すると考えられる。そこで，パイロットプラントの設計・計画に際しては，給水の散布開始・停止時の特性をシミュレーションにより予測し，ガスタービン及びプラント全体への影響を評価している[7]。

ガスタービン部分負荷運転において増湿塔を起動した場合の空気特性について，図９にその解析例を示す。

ガスタービン運転中に増湿塔を起動・停止する場合，増湿塔上部から散布した給水が気流同伴により下流側機器（再生熱交換器等）に飛散しないよう，遮断弁を瞬時に切り替える必要がある。解析では，給水散布開始・停止の切替時間を約１秒と仮定し，動特性シミュレーションを実施している。

解析の結果，増湿塔起動時には，給水から空気への熱移動により，増湿塔出口空気温度が上昇した。増湿塔入口空気温度及び入口給水温度もまた変化するが，これは増湿塔の上流に設置した空気冷却器での熱回収量の変化，給水温度の変化等によりシステムの平衡状態が変化したことが原因である。

増湿塔出口絶対湿度は約30秒で静定値の70%まで上昇し，その後は入口空気温度，入口給水温度の上昇に伴って徐々に上昇する特性が得られている。

次に，増湿塔を停止した場合の空気特性について図10にその解析例を示す。

増湿塔停止時には，給水から空気への熱移動が停止することから，増湿塔出口空気温度が低下する。給水の停止により充填物表面から給水が蒸発し，増湿塔出口絶対湿度は約30秒で無加湿状態へと移行する。

なお，シミュレーションでは，増湿塔加湿切替時にタービン回転数の変動がみられたものの，燃焼器の失火・タービン排気温度の異常上昇等タービントリップに繋がる事象は見られなかった。

4．AHAT パイロットプラントの外観

現在試運転中の AHAT パイロットプラントに関し，その外観を図11に示す。

パイロットプラントでは，写真左側の円筒（吸気ダクト）より空気を取り込み，除塵・ WAC の後にガスタービンエンクロージャ（写真中央）へと吸気する。

エンクロージャ右にはタービン排気系統として再生熱交換器，給水加熱器，水回収装置を接続しており，水回収装置上部から排気塔経由で排気する。

図において，増湿塔はエンクロージャの背後に位置しており，エンクロージャの上方に塔頂部及び配管が見られる。増湿塔の塔高は約８m であり， AHAT では水回収装置（約11m・排気塔高さ含む）に次ぐ高さの構造物である。

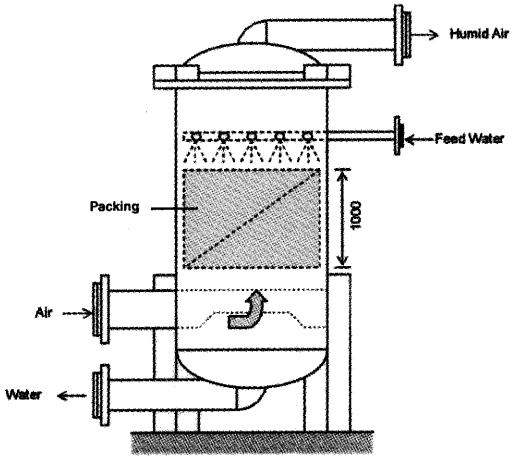


図８　増湿塔の概要

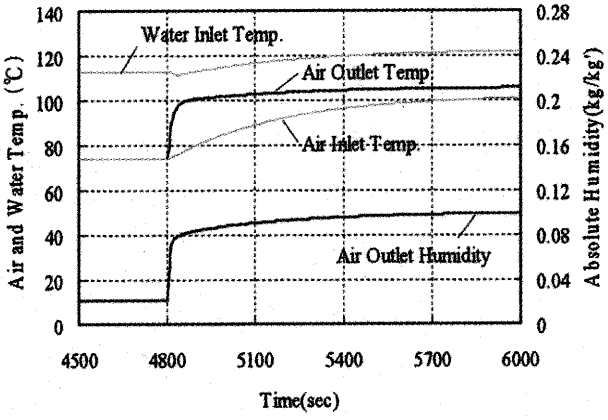


図９　増湿塔加湿開始シミュレーション

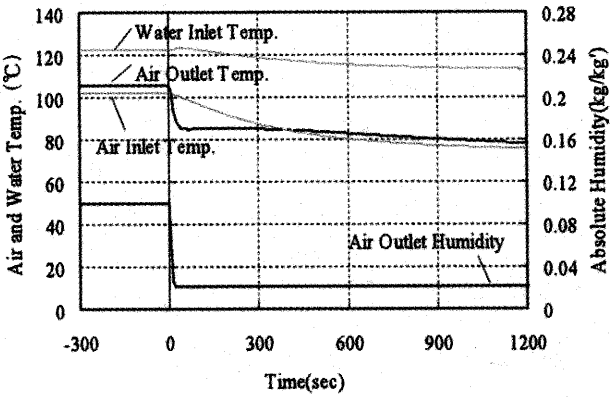


図10　増湿塔加湿停止シミュレション

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

5．おわりに

ガスタービンの燃焼用空気に高湿分空気を用いるAHATには，燃焼時のNOx，CO_2の発生が少ない点，蒸気タービンを用いることなく，ガスタービン単独でコンバインドサイクルと同等以上の効率が期待される点などに特徴がある。制御面では，蒸気タービンとの協調運転が不要となる等のメリットがあるが，一方で増湿塔・水回収装置などAHAT特有の機器との協調・制御が必要となる。これら機器の詳細な運転・制御方式についてもパイロットプラントで確認する予定である。

なお，AHATの開発に当たっては，資源エネルギー庁からエネルギー使用合理化技術開発費補助金の支援を受けている。ここに謝意を表する。

6．参考文献

(1) S.Hatamiya : Proc. of ASME Turbo Expo GT-2004-54031
(2) 幡宮重雄：日本ガスタービン学会誌，Vol.34 No.2 (2006) p.18
(3) 中村弘巳，山本和夫：火力原子力発電，Vol.32 No.12 (1992) p.1587
(4) 小金沢知己，三浦圭祐，斉藤武雄：日本機械学会 第11回動力・エネルギー技術シンポジウム (2006)
(5) 井上久道他：第11回液体微粒化シンポジウム (2002)
(6) H.Araki : Proc. of ASME Turbo Expo GT2005-68671
(7) 片桐幸徳他：日本機械学会 第10回動力・エネルギー技術シンポジウム (2005)

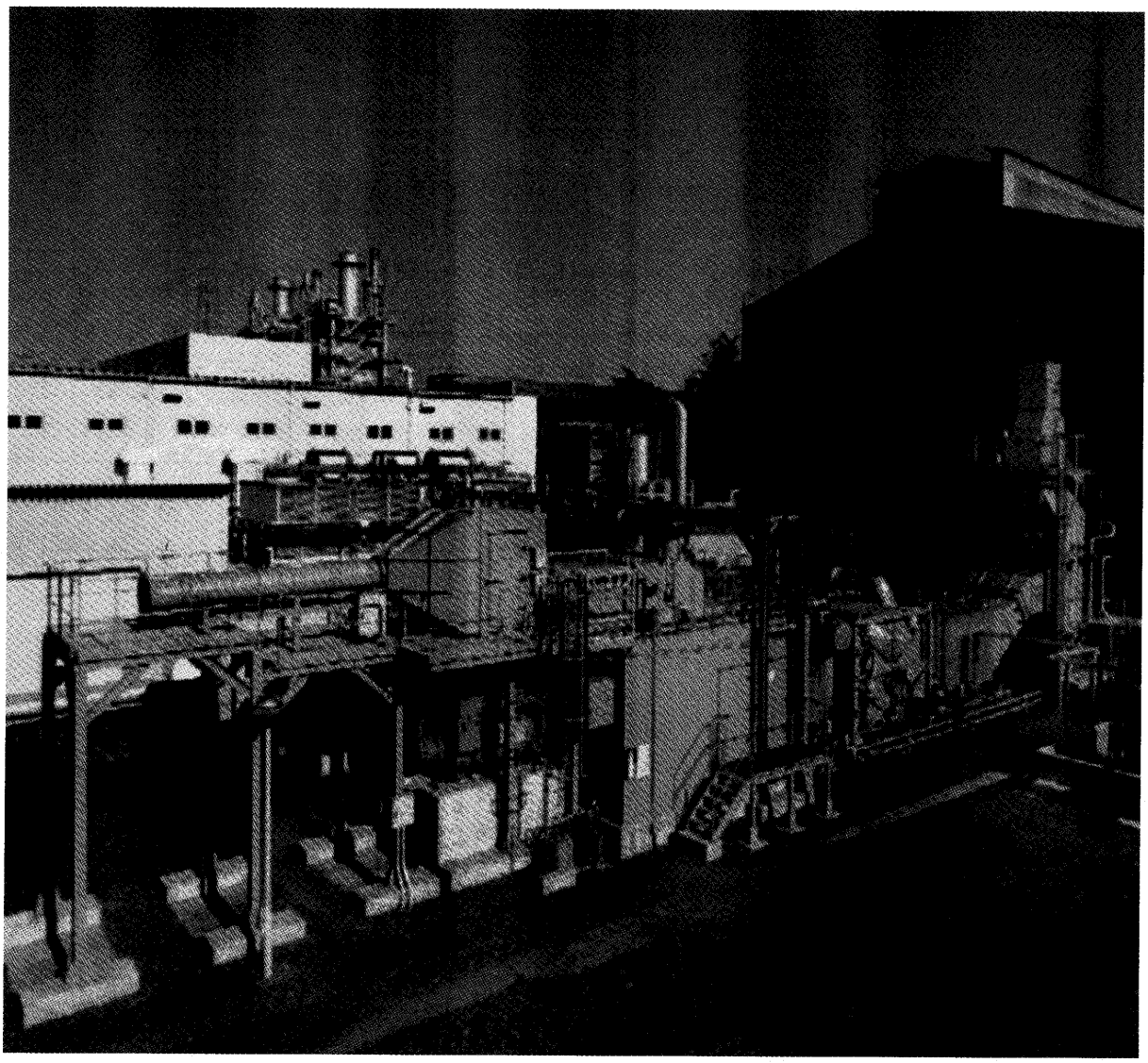


図11 AHATパイロットプラントの外観

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

特集：発電用ガスタービン設備における制御技術の動向

小中容量ガスタービン発電設備の制御

佐藤　毅*1
SATO Tsuyoshi

キーワード：ガスタービン，制御装置，監視装置，ＰＬＣ，データ転送，コージェネレーションシステム
Gas Turbine, Control Device, Monitoring Device, PLC, Data Transfer, Cogeneration System

1．はじめに

当社では，600kW 級～18000kW 級までの自社開発ガスタービンを使用したコージェネレーショシステム，及びコンバインドサイクルシステムを数多く納入している。

これらのシステムに使用するガスタービンエンジンは，発電容量の小さい順にＳ７・Ｍ１クラス，Ｍ７クラス，Ｌ20クラスの３種類に大別される。

ガスタービンの制御において，これらのエンジンクラスによる詳細な制御の違いはあるものの基本的なシステム構成並びに制御についての考え方は全てのクラスにおいて共通である。

ここでは，小・中型ガスタービンとの観点から10000kW 以下（Ｍ７クラス以下）の当社ガスタービン制御装置及び監視装置についての共通事項について紹介する。

2．ガスタービン制御装置のシステム構成

当社では，ガスタービン並びにその付帯設備の制御装置として，汎用 PLC (Programmable Logic Controller) を採用している。これらの PLC は，CPU 及び電源を二重化しており，万一運転している CPU（電源）が故障しても，瞬時にスタンバイ側の CPU（電源）に切り替るホットスタンバイ方式が採用されており，CPU（電源）の故障時でもガスタービンの継続運転を可能としている。

また，使用する PLC は，国内メーカー製のみでなく，顧客要望に応じて海外メーカー製を使用する場合もある。

制御装置は，ガスタービンの制御を行う「ガスタービン制御装置」，冷却塔等のプラント関係の制御を行う「プラント制御装置」，ガスタービン制御のための各種パラメータを設定するための「メンテナンス用タッチパネル」，顧客が操作，状態監視等を行うための「オペレーション用タッチパネル」で構成される。

また，ガスタービンの状態監視を行うための「監視用データ採取装置」，運転・故障データを当社監視センターへデータ転送するための「監視用データ転送装置」も装備される。

ガスタービン制御装置に入力される回転速度や排気温度信号はガスタービンの制御にとって重要な信号である。これらのセンサーは多重化することにより，センサーの異常時には，制御及び故障検出回路から切り離すことでガスタービンの運転を継続できるシステムとしている。

3．ガスタービン制御装置の制御項目

ガスタービン制御装置は，ガスタービンの始動・停止制御だけでなく，力率・電圧制御や自立並列運転時の負荷分担制御等発電機の制御も行う。

これらの制御に必要な各種パラメータは，ガスタービン制御装置に格納され，当社メンテナンス用タッチパネルから容易に設定変更が行えるようにしている。

しかしながら，これらのパラメータはガスタービンの制御にとって重要な設定であり，間違った設定を行うとガスタービンの制御が行えなくなるばかりではなく，ガスタービンを損傷してしまう可能性もある。

そこでタッチパネルアクセスのためにパスワードを設定し，当社サービス員等以外には操作できないようにしている。

3.1　始動・停止シーケンス制御

客先オペレーション用タッチパネルからの始動・停止操作により，制御シーケンスは補機類の制御も含め自動的に行われる。ガスタービンの運転モードとして，「手動モード」，「半自動モード」，「全自動モード」の３種類があるが，「全自動モード」とした場合には，始動時には，ガスタービンの運転から遮断器の投入，負荷取りまで，停止時には，負荷移行から遮断器の解列，ガスタービンの停止までが自動的に行われる。

3.2　デュアルフューエル制御

燃料としてガス，液体の２種類を使用する場合には，手動操作（オペレーション用タッチパネルからの指令），又は，ガス燃料関係の故障信号による自動燃料切替信号により，燃料の自動切替を行う。

ガスと液体燃料の組み合わせのみでなく，組成の異なる２種類のガス燃料を使用したデュアルガス燃料にも対応した実績もある。

原稿受付　2006年11月９日
＊１　川崎重工業㈱明石工場　ガスタービン・機械カンパニー
システム技術部　電気制御技術課
〒673-8666　兵庫県明石市川崎町１－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

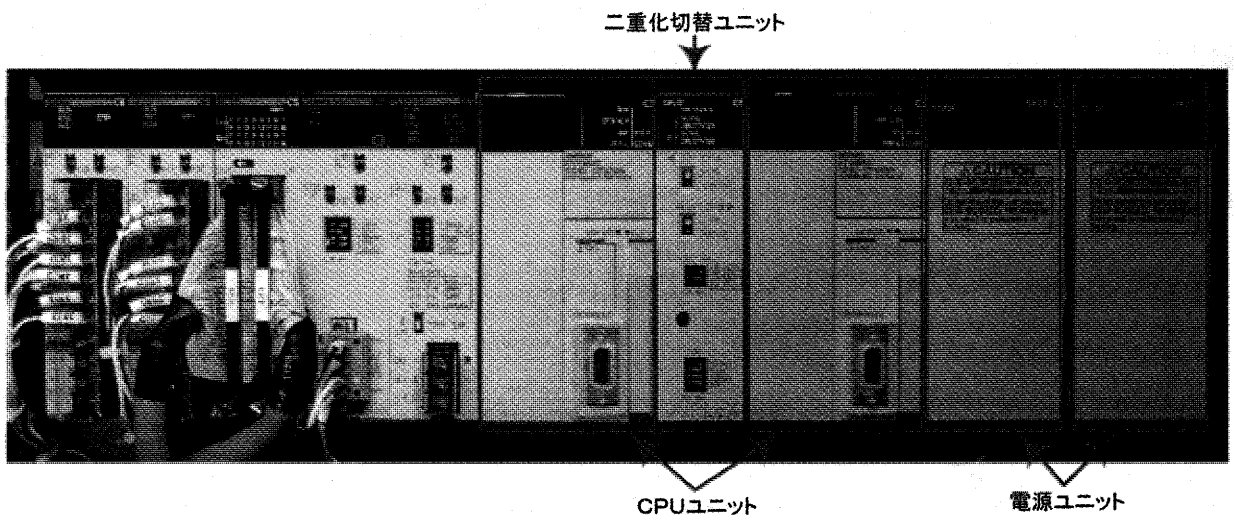


図１　ガスタービン制御・監視装置　システム構成

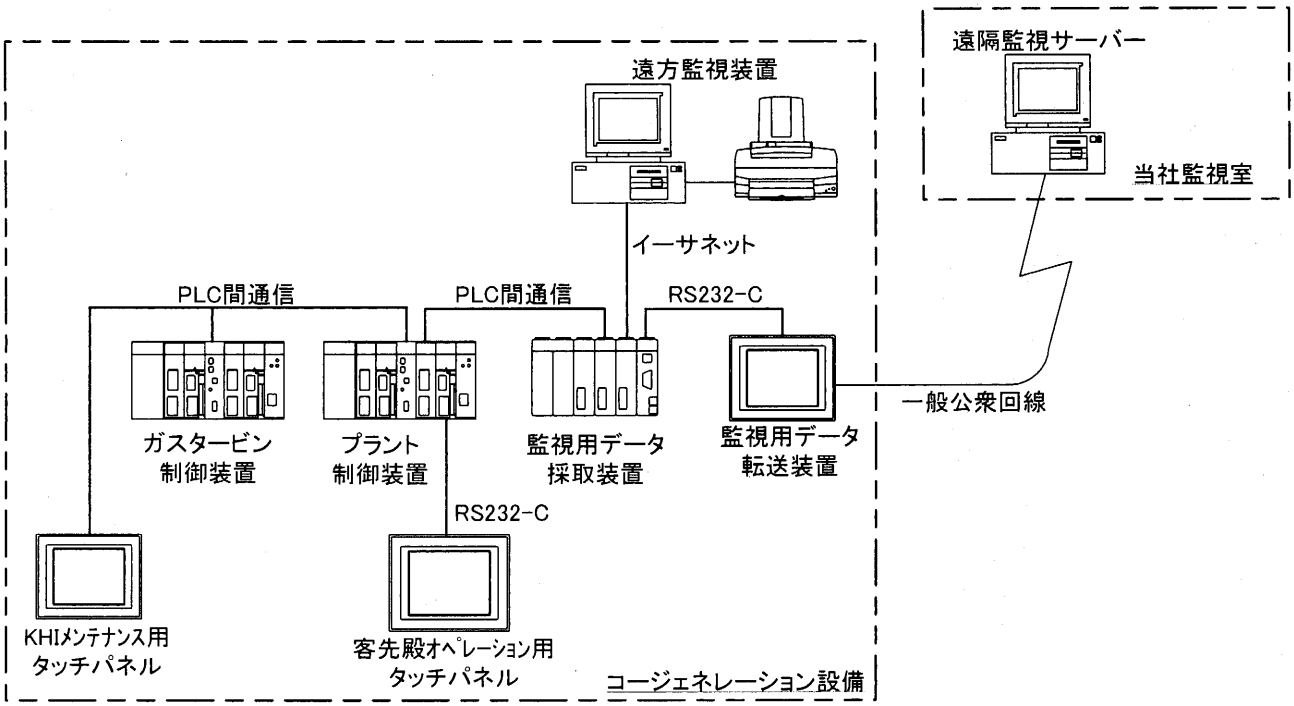


図２　ガスタービン制御・監視装置　システム構成

3.3　低 NOx 制御

排ガス中に含まれる NOx を低減するために，水噴射，蒸気噴射，DLE（Dry Low Emission）の３種類の制御を選択できる。

個々の制御はガスタービンの運転状態や発電機電力の状態により自動制御される。

制御開始のタイミングは，制御方法により異なるため，設備設置後の負荷の状態，日々の運転方法，設置地域の各自治体の基準等を勘案し，適切な制御方法を選択する必要がある。

例えば、蒸気噴射の場合は，ガスタービン及び排熱ボイラが運転し，蒸気圧力が昇圧するまでは，蒸気噴射は行えない，等である。

最近の動向としては，水や蒸気を使用しないＤＬＥ制御を採用する場合が多くなってきている。

3.4　熱電比可変形蒸気噴射制御

排熱ボイラで生成された蒸気を燃焼器に噴射することで，燃料流量を増加させること無く発電機出力を増加させることができる制御である。夏場等蒸気需要が少なく，逆に電力需要が増えるような場合に，余った蒸気を有効に活用することができる。

Ｍ７クラスでは，常に設定した蒸気流量を燃焼器に噴射する「噴射量一定モード」とプロセス側の蒸気ヘッダの圧力が一定になるように蒸気噴射量及び発電機電力を変動させる「ヘッダ圧一定モード」の２種類を標準装備

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

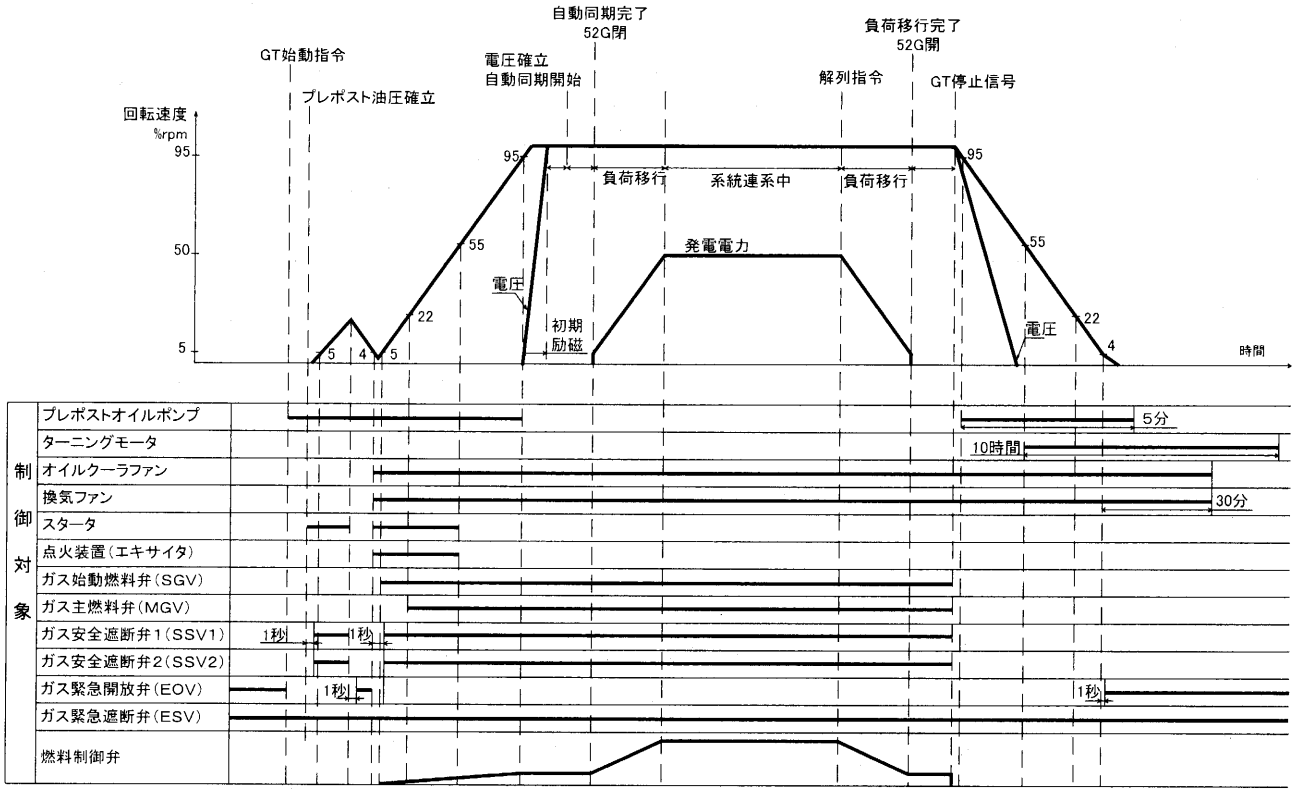


図3 ガスタービン始動・停止タイミングチャート

し，顧客の蒸気・電気デマンドに応じられるよう設計している。

3.5 電力制御

3.5.1 発電機出力一定制御

ガスタービンは，吸気温度によって発電できる出力が変わってくる。制御装置は，各吸気温度におけるガスタービンの定格出力を折線カーブで記憶しており，通常はこの定格出力値と等しくなるように燃料を制御する。

3.5.2 タービン入口温度（TIT）制限

タービン入口温度（TIT）は，排気温度から制御装置内部にて演算により求められる。系統連系中にこのTITがあらかじめ設定された設定値を超えると，発電機出力を減少させ，TITを減少させる。

3.5.3 受電電力一定制御

系統連系中，受電電力があらかじめ設定された受電電力値を下回ると，発電機出力を減少させ，受電電力が設定値以下とならないようにする。この設定は，客先オペレーション用タッチパネルにて変更可能としている。

3.5.4 自立並列運転中の負荷分担制御

ガスタービンが同じ系統に複数台設置される場合，自立運転中には，負荷分担制御を行う。市販品でも同様機能はあるが，定格出力が一定として分担制御が行われる。ガスタービンは，吸気温度により定格出力が異なるため，当社標準では，各ガスタービンの吸気温度による定格出力を使用し，負荷率が均等となるように分担制御を行う。

また，負荷分担の演算は各制御装置毎に行っており，共通の制御装置を装備する必要がないため，例えば，2台中1台がメンテナンス等で停止中の場合，残りの1台は停止中の1台を切り離して1台のみとして運転することができる。

ガスタービンが1台のみの場合には，周波数が一定となるように制御を行う。

3.5.5 力率一定制御、電圧一定制御

発電機又は受電力率を一定に制御するために，発電機自動電圧制御装置（AVR）に対して，電圧上昇・下降のパルス信号を出力する。発電機・受電力率のどちらを有効にするかは，客先オペレーション用タッチパネルからの信号等により切替ができる。

各制御のパラメータはメンテナンス用タッチパネルより制御装置に記憶される。また，受電力率制御を行う場合には発電機力率により制限がかけられる。

自立運転中には力率制御に加え，電圧制御も行う。ガスタービンが複数台ある場合，力率は各ガスタービンの計測力率の平均値となるように制御される。

4．ガスタービン監視装置

4.1 遠隔監視装置

当社では，ガスタービンの故障解析，診断支援を目的として，遠隔監視システムを標準装備している。

始動停止時，故障発生時等の各種データは，監視用データ採取装置に蓄積され，監視用データ転送装置経由

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

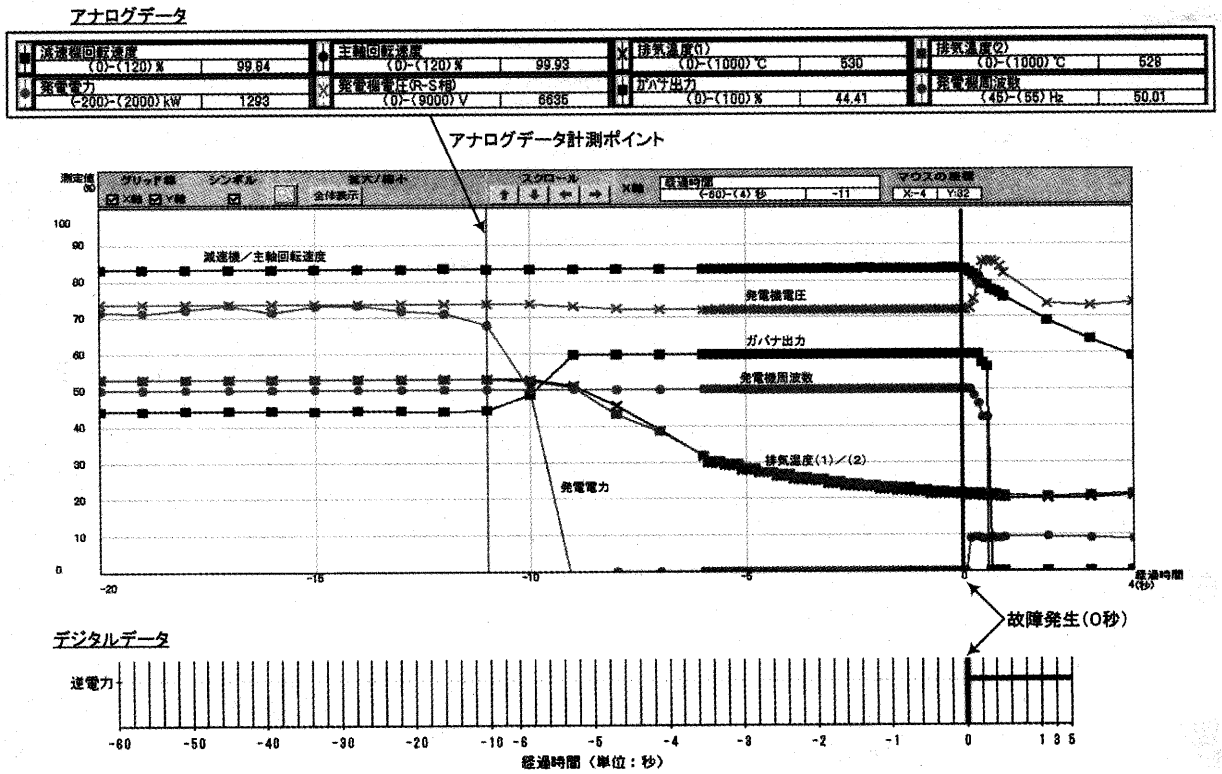


図４　遠隔監視故障時データ

にて，当社工場内遠隔監視サーバーにデータ送信される。

本システムでは，ガスタービン運転中の毎正時データ（１時間毎のデータ）も保存，転送される。正時データは，１日１回24時間分のデータを送信し，故障データは故障発生時に送信される。

データ送信手段として，アナログ電話回線を使用する方法，インターネットを経由する方法，顧客社内LANシステムを経由する方法等，数種類の転送方法を準備している。

4.2　遠方監視装置

当社では，顧客工場内等現地に設置する遠方監視装置も装備可能である。この場合にも監視用データ採取装置を利用し，イーサネット等を使用し，故障監視も含めたガスタービン運転状態の監視が行える。

近年では，納入先に既に顧客プラント設備を監視するための監視設備が設置されており，これらの既設システムに，当社コージェネレーション設備の各種制御及び故障状態，計測信号等を通信により入力するような例が多くなってきている。

このような場合にも当社ではイーサネット通信，FLネット通信（イーサネット通信プロトコルをベースとした異種メーカー間通信），海外メーカー製品との通信等多様な通信方式の実績を持っている。

5．最後に

ガスタービン制御装置は，時代の変遷により使用する機器に違いはあるものの，当社での発電設備販売当初より一貫して当社にて開発・維持管理を行い，標準システムとしている。

これに対して，プラント制御装置やデータ採取装置についてはプラント個別仕様や顧客の要望等に応じ，物件毎に変更が必要となる装置ではあるが，物件に共通なコアとなる部分は標準化し，変更必要な箇所のみを変更するようにし，標準化した部分については当社にて維持管理するようにしている。

これにより，標準システムと異なるシステムとなった場合にも柔軟に対応できるようにしている。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

高熱応力負荷による単結晶材料のラフト化試験

Rafting Test for Single Crystal Superalloy under High Thermal Stress Application

松下 政裕*1 MATSUSHITA Masahiro
福山 佳孝*1 FUKUYAMA Yoshitaka
藤沢 良昭*1 FUJISAWA Yoshiaki
陳 錦祥*2 CHEN Jinxiang
吉岡 洋明*3 YOSHIOKA Yomei
日野 武久*3 HINO Takehisa

Abstract

Experimental equipment has been built to evaluate high heat-resistant materials under the turbine blade operating condition. This equipment heats the outer surface of a test piece with three propane and oxygen fueled burners, while it cools the inner surface by forced convection of water or air. The experimental conditions are decided by conducting preparatory tests, heat transfer analysis and structure analysis. Using this equipment, a cylindrical straight pipe of single crystal superalloy CMSX-2 was tested at maximum material temperature of about 1000 degree Celsius for 80 hours. The results show that raft structure occurs only under the influence of thermal stress.

Key words：Rafting, Single Crystal Superalloy, Thermal Stress, Turbine Blade, Heat Transfer

1．はじめに

地球環境への配慮から，各種発電プラントや輸送関連機器に使用されているガスタービンの高効率化が強く求められている。ガスタービンを高効率化するために最も有効な手段はより高温の燃焼ガスを利用することであり，近年ではタービン入口温度は1700℃レベルまで考慮する必要がある。このようなタービン入口温度の上昇には，高温部材の耐熱温度の向上と冷却技術の進歩が大きな役割を果たしている。材料の耐熱温度向上は，等軸晶から一方向凝固，単結晶材料と変遷してきており，特に，Ni基単結晶合金は，タービンの耐熱材料として，現在も新材料の開発が盛んに行われている。

このNi基単結晶合金では，主強化析出相であるγ'相をマトリックスのγ相に整合析出させることにより強化を図っているが，高温で応力を負荷した場合に，立方体形状のγ'相が成長し，筏状に連なるラフト組織を形成することが知られている[1]。このラフト組織形成には，γ相とγ'相の格子定数ミスフィットと弾性率の差が大きく影響し，材料使用環境での温度，応力，ひずみ，時間によって異なる組織形状になることが知られている[2]。また，クリープ強度に影響をおよぼすことがわかっているが，まだ，測定データも少なく，ラフト組織に関するさらに深い理解が必要とされている。

Ni基単結晶合金がタービン翼として使用される場合，動翼では回転による遠心力，動翼と静翼の両方では冷却に伴う温度勾配による熱応力が，ラフト組織形成に大きく影響する。このうち遠心力を模擬するラボ試験として高温下で機械的応力を負荷する材料評価試験はいくつか行われている[3]。例えば，クリープ試験によるラフト組織形成について，結晶方位に対する連結方向の研究[4]や，破断寿命評価[5]等が行われている。一方，熱応力に関する材料評価はほとんど行われておらず，さらに，現在，ガスタービンの実熱流束を再現できるような材料試験装置もほとんどない。一般に，材料が拘束なしに温度上昇した場合は，熱膨張は生じるが，熱応力は発生しない。しかし，Ni基単結晶材料は，γ相とγ'相の2相からなるため，温度上昇に伴う弾性率の違いからも熱応力は発生する。また，熱応力は熱膨張によるひずみが拘束される場合に大きくなり，遠心力が作用する場合とでは応力とひずみの発生状況が異なる。さらに，タービン翼では前縁部のように冷却に伴う大きな温度勾配が生じている部分があり，熱応力によるラフト組織形成が支配的な場合がある[6]。このため，ラフト組織形成における，温度，応力，ひずみ，時間の関係を，熱応力に対して調べることは重要であり，新材料のタービン翼での実用化のためには，材料評価として今後さらに重要になってくると考えられる。

以上のことから，筆者らは，単結晶材料のラフト組織

原稿受付 2006年5月12日
校閲完了 2006年12月26日
＊1 宇宙航空研究開発機構 環境適応エンジンチーム
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7－44－1
＊2 東京大学
＊3 ㈱東芝

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

形成挙動を調べるために，熱応力を主眼にした高熱流束の材料評価試験装置の製作を行っている[7],[8]。本報告では，これまで製作してきた試験装置についての検証と，単結晶材料のラフト組織形成が熱応力のみによっても生じることの確認を行ったので，その試験結果を示す。

2．高熱流束バーナーリグ試験装置

本装置は，円筒試験体に対し，外側をバーナーにより加熱し，内側を水または空気により冷却し，試験体の厚さ方向に温度勾配をつくり，冷却タービンの温度境界条件を模擬する実験装置となっている。試験装置の構成は，引張強度試験機（島津オートグラフ AG-100KND-E 形），酸素プロパンバーナー（日本酸素）による加熱装置，冷却水および空気配管系，計測系，回転駆動装置からなっている。図1に試験装置概略図，図2に回転駆動装置外観を示す。

ここで，回転駆動装置とは，円筒試験体を軸中心に周方向に回転させる装置であり，バーナー加熱による周方向の温度場を均一化するために考案，製作した装置である。本装置を製作した当初は，3本のバーナーで加熱するため複雑な温度場となり，温度場，応力場と試験体の組織変化との関係を結びつけることが困難であった。そこで，試験体を回転させることにより周方向の温度を均一化し温度場の推定を容易にした。また，試験体はOリングによる固定のみ行っており，上下方向への伸びが拘束されることによって発生する応力を緩和している。

加熱は3本の酸素プロパンバーナーによって行い，加熱条件の調整は，リニアパルスモータを使用したバーナー移動装置により，試験体とバーナーの距離を調整することにより行っている。バーナー移動は，専用 PC（PC-9821Xa20）によって自動制御しており，加熱冷却を繰り返すサイクリック試験も行えるようになっている。火炎

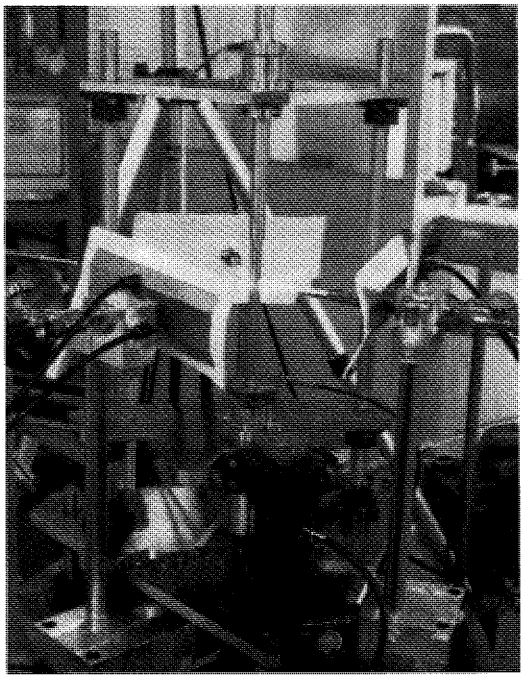


図2　回転駆動装置外観

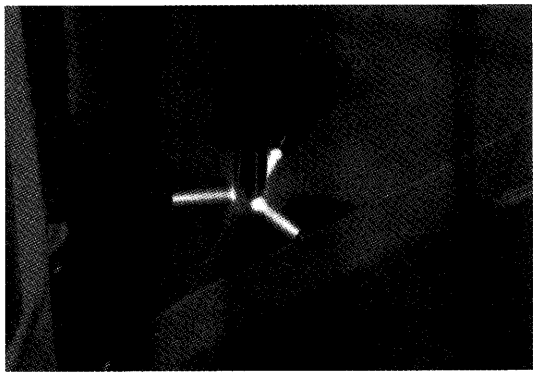


図3　加熱状況

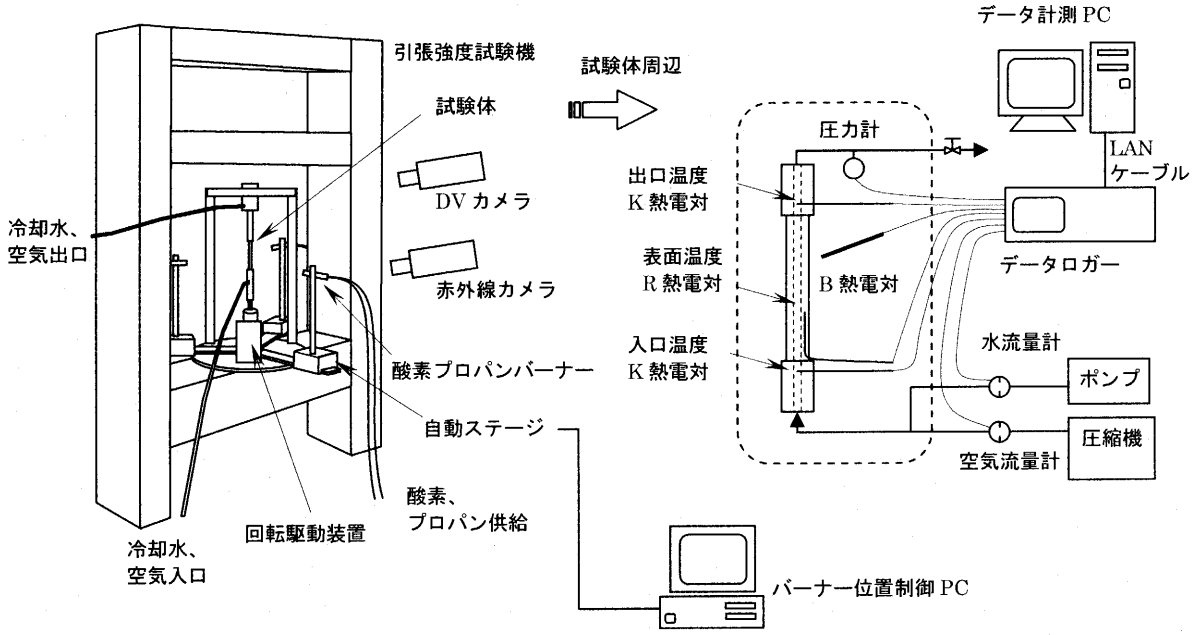


図1　高熱流束バーナーリグ試験装置概略図

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

の調整は各バーナーの燃料供給（酸素，プロパン）に対し流量計（コフロック 3850DS）を設置し，手動で行っており，流量データは，デジタルデータとして後述の計測系ですべて記録している。図3に加熱試験の様子を示す。

本試験装置では，冷却に水または空気を切り替えて使用できるようになっており，どちらも出口弁により手動で流量の調整を行っている。圧力，流量はデジタルデータとして後述の計測系ですべて記録している。水冷却の際，循環式の冷却水を使用し，試験体内部へのスケール付着防止と，一定温度による冷却が行えるようになっている。

計測系は，データロガー（YOKOGAWA DATA ACQUISITION UNIT MX100），制御記録PCによって構成されている。加熱用バーナーのプロパン流量，酸素流量，冷却水および空気の圧力，流量，出口温度（K熱電対），入口温度（K熱電対），装置周辺の温度（3点，K熱電対），バーナー火炎近傍温度（2点，B熱電対），試験体温度（埋め込み熱電対，R熱電対）等を一括して計測している。

また，赤外線カメラ（Inframetrics 760）による表面温度分布の計測，DVカメラ（Sony DCR-TRV900）による外観の監視，デジタルカメラによる撮影も行っている。図4に赤外線カメラによる温度分布例を示す。

3．装置特性検証

本装置構築の目的は，タービン翼前縁に相当するような大きな熱応力を再現することである。そのため，単結晶合金にラフト組織が形成される条件として，少なくとも金属温度800℃以上，応力200MPa以上で長時間の加熱が可能である性能が必要とされる。

本装置がこの条件を満たすことを検証するため，まず，予備実験を行った。その実験の一覧を表1に示す。また，それぞれのバーナー位置に対する表面最高温度の関係を図5，図6に示す。図5は，試験体にR熱電対をNiロウによって埋め込み，バーナーの位置を変化させ，表面の温度計測を行った結果であり，試験体は回転させていない。図6は，試験体を回転させた場合の赤外線カメラによる表面温度計測の結果である。

表1 実験内容一覧

	材料	外径	内径	冷却	回転	記号
1	SUS304	30	6	水	停止	△
2	SUS304	30	6	空気	〃	○
3	CMSX-2	15	5	水	〃	◇
4	〃	25	5	〃	〃	×
5	SUS304	12	4	循環水	〃	□
6	〃	〃	〃	〃	回転	■
7	TMS138	12	4	〃	〃	◆

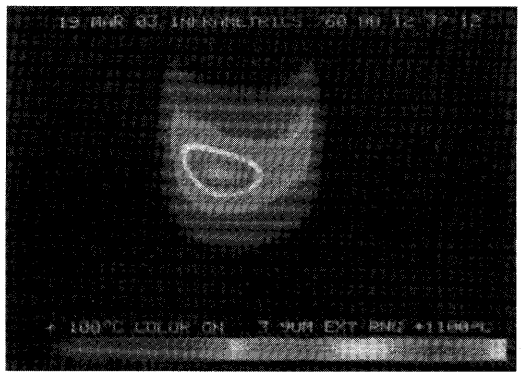


図4 加熱時試験体表面温度分布（赤外線カメラ）

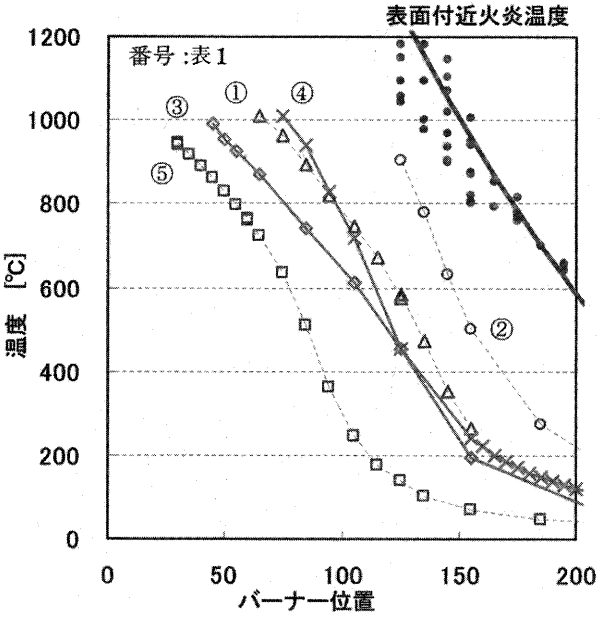


図5 バーナー位置に対する表面最高温度
（回転なし、埋め込み熱電対）

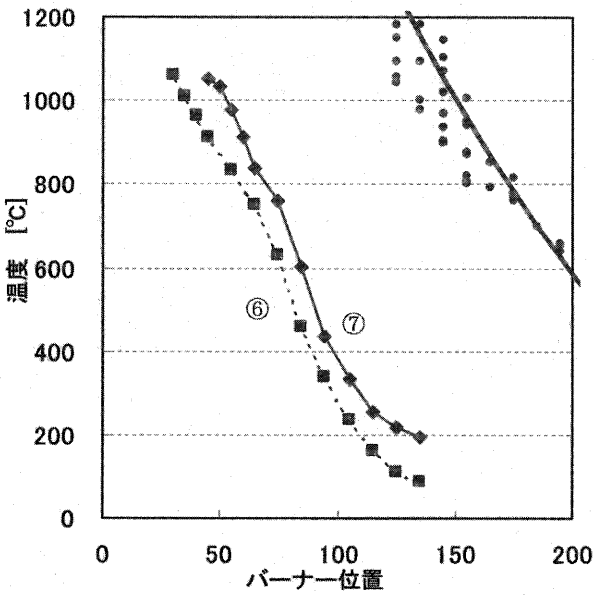


図6 バーナー位置に対する表面最高温度
（回転1.87秒/周、IR計測値）

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

加熱は，全て，長時間加熱が可能な安定したバーナー火炎が得られた状態（酸素4.8SLM，プロパン1.2SLM）に固定し，冷却は，水冷却では入口温度は常温（循環時20℃，非循環時約15℃），流量0.074kg/s，空気冷却では入口温度13.5℃，流量470NLMである。

今回行った予備実験のすべての試験体で，表面最高温度800℃を超える加熱が行えた。また，回転装置の導入により，同一のバーナー位置での表面温度は下がっているが，バーナーを近づけることで，1000℃以上の温度での実験ができており，さらに高温での試験も可能である。

さらに，試験体の詳細な温度分布，応力分布は，実験で計測した表面温度，冷却水入口温度，出口温度，流量をもとに，三次元熱伝導解析を行い算出している。

例として，予備実験における試験体3（CMSX-2,外径15mm，内径5mm）のバーナー位置40mm（試験体表面から32.5mm）での温度分布，応力とひずみ分布の解析結果をそれぞれ図7，図8に示す。ここで，試験体内部表面温度は160℃強と高温になっており，このような部分では核沸騰が起こっていると考えられる。この部分では，熱流束計算から，核沸騰の発生を判断し，近似式による熱流束計算を行っている。応力解析では，熱伝導解析によって求めた試験体外表面，内表面の温度分布を境界条件として，応力，ひずみを算出した。解析コードはNastran for Windows Visual 2004を使用し，弾性係数については異方性も考慮した解析を行っている。

このとき，図7にみられるように，肉厚5mmの試験体において，内外の温度落差900℃程度の急激な温度勾配を与えることが出来ている。また，図8の応力分布では，冷却している内面で大きな引張り応力が作用し，ラフト組織の形成が予測される試験体表面付近の高温部では，半径方向の応力はほとんどなく，軸方向，周方向に500MPaを超える大きな圧縮応力が作用している。ひずみ分布では，熱応力がほとんどみられない半径方向に2％程度のひずみが生じており，大きな圧縮熱応力が生じている軸方向，周方向にも1％程度のひずみが生じている。

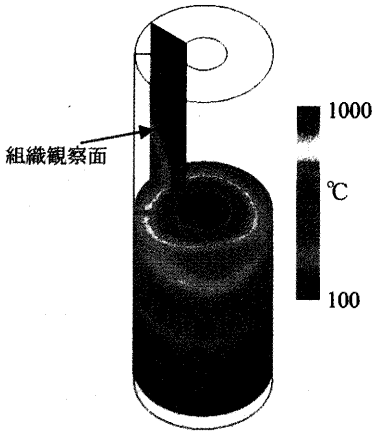
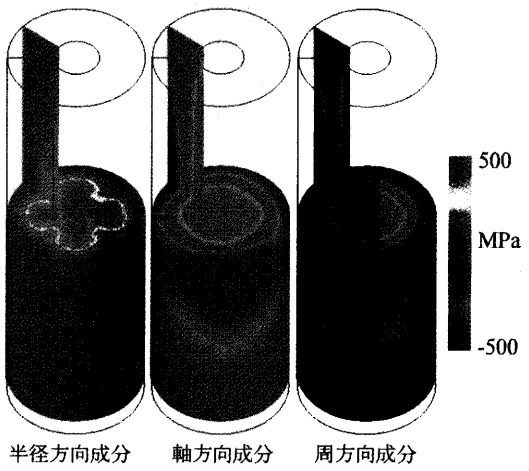


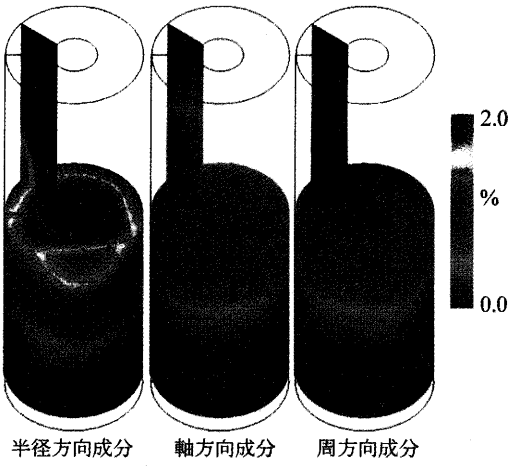
図7　熱伝導解析による温度分布

また，図9に回転を行った場合と回転を行わなかった場合の試験後の表面の外観を示す。回転駆動装置によって周方向に均一な加熱を行うことが出来ている。回転を行わない場合は，図7，図8に示したような3次元的な温度分布を考慮して，温度，ひずみ，応力と組織観察を結びつける必要があるが，回転させることにより，周方向に均一な温度，応力，ひずみ分布として取扱うことが出来るので，ラフト組織形成との関係が明確になると考えている。ここで，今回の回転時における最高温度は周方向でバーナー中心位置と2つのバーナーの中間位置に約100℃（1050℃－950℃）の温度変化があり，回転速度1.87sec/周では，深さ1mmのところでも47℃ほどの温度変動が生じていることになる。より均一な二次元温度分布の実現には，さらに高速での回転や，バーナー本数の増加などが必要であろう。

このように，試験体の寸法，バーナーの位置，回転の有無，冷却方法（水，空気）の組み合わせにより，単結晶合金にラフト組織が形成される条件（800℃以上，200MPa以上）を満たすさまざまな金属温度分布，熱応力分布での試験が可能な装置であることが確認された。



(a)応力分布



(b)ひずみ分布

図8　応力分布とひずみ分布

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

4．単結晶材の熱応力による組織変化

4.1 実験条件および試験体

上記試験装置を用いNi基単結晶合金CMSX-2の熱応力のみの負荷によるラフト組織形成の確認実験を行った。試験に用いた単結晶合金CMSX-2の組成を表2に示す。

表2 CMSX-2の合金組成 [mass%]

	Ni	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti	Ta	Re
CMSX-2	Bal.	8	5	0.6	8	6	1	6	−

熱応力ラフト組織形成実験では，以下の2種類の試験を実施した。

①試験体は，外径15mm，内径5mmの円筒形状（前述予備実験試験体3と同一形状）で，バーナー位置40mm（試験体表面から32.5mm）で回転はしていない。冷却は，水冷却を使用し，入口温度は常温（約15℃），流量0.074kg/sである。加熱時間は80hであるが，連続加熱試験は燃料供給の制限から出来なかったため，6～7hの加熱試験を繰り返し行い，総加熱時間を80hとした。

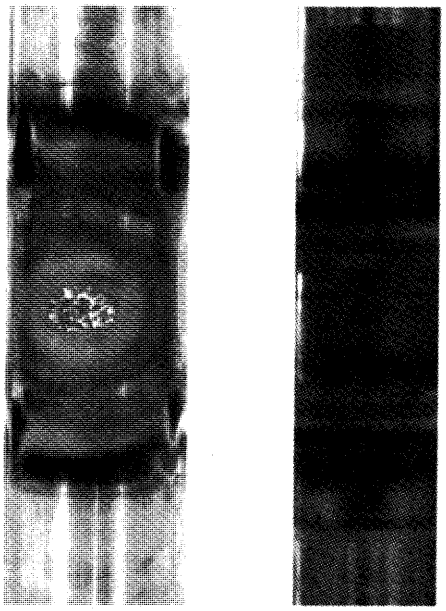
②試験体は，外径12mm，内径4mmの円筒形状であり，バーナー位置45mm（試験体表面から39mm）で回転しながら加熱を行った。冷却は，循環式の水冷却を使用し，入口温度は常温（約20℃），流量0.074kg/sである。加熱時間は約5hであり，サイクリック加熱（3min加熱，3sec冷却）を100サイクル行った。

加熱は，どちらの試験もバーナー燃料流量（酸素4.8SLM，プロパン1.2SLM）は一定に固定し，その際の表面最高温度は試験①では1056℃，試験②では1095℃となっている。また，組織観察では，局所位置での温度応力を算出している。

4.2 組織変化

加熱試験を行った試験体に対し断面組織観察を行った。断面観察試験片は，樹脂に埋め込んだ後，鏡面まで研磨を行い，王水にてエッチングを行った。図10に示したものは，加熱前の組織であり，γ'相は立方体形状になっており，その寸法は0.4μm程度である。図11，図12に組織観察結果を示す。図はバーナー火炎が当たった箇所を中心とした上下方向断面を示している。

まず，試験①では，図11aにみられるように，加熱表面に長さ約7mm，最大深さ150μmのγ'相が消失した無析出帯が観察された。また，無析出帯の直下（10μm程度）では，ラフト組織が崩れた状態になっており，さらに深い部分ではγ'相が連結，粗大化したラフト組織の形成が認められ，最大約1mmの深さまでラフト化が生じていた。図12aは深さの異なる位置での，上下方向断面のラフト組織であり，それぞれの位置での温度，軸方向応力，半径方向応力，軸方向ひずみ，半径方向ひずみを示してある。ラフト組織の大きさは，加熱表面に近い



回転なし（Φ15） 回転あり（Φ12）

図9 加熱試験後の試験体表面（CMSX-2）

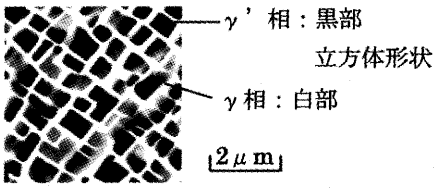
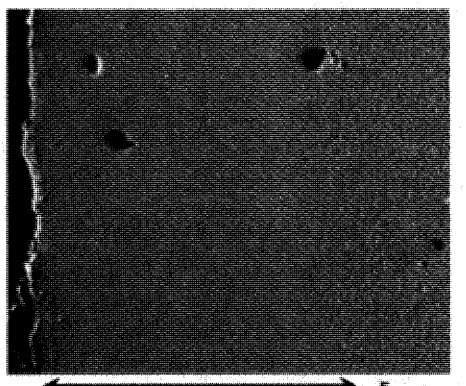
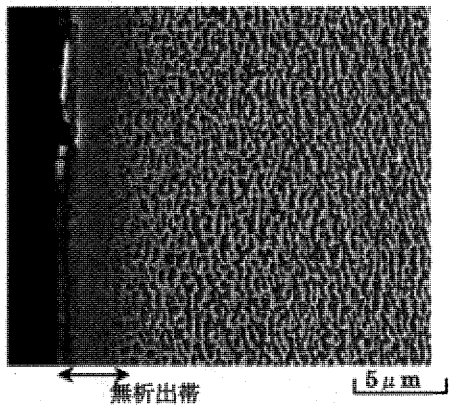


図10 CMSX-2基材組織



(a)80時間連続加熱試験（回転なし）



(b)5時間サイクリック加熱試験（回転あり）

図11 火炎中心付近の組織

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

ほど縞の間隔が広く，深くなるほど縞の間隔が狭くなる。

ここで，Ni基超合金のラフト時のγ'相の連結方向は，γ相と析出相であるγ'相の格子定数差（格子定数ミスフィット）と負荷応力に依存すると考えられている。今回の実験条件では，格子定数ミスフィットは負であり，圧縮応力に対しては平行に，引張応力に対しては垂直にラフト組織が形成される。前述の構造解析結果から，表面付近では半径方向の応力はほとんどなく，この断面では，軸方向の圧縮応力が大きく作用している。この場合，圧縮応力に対し平行なラフト組織が形成されることとなり，組織観察結果と一致する。

また，試験②では，図11b，図12bにみられるように，約5h（100サイクル）という短時間の加熱にもかかわらず，すでに400μm程度の深さまで，立方体形状組織が破壊され始めている。ここで，試験①の80h連続加熱試験結果では，1030℃以上になっていた150μmの深さまでγ'相が完全に消失していた。そのため，さらに，長時間の加熱試験を行った場合，大幅にγ'相の完全消失部分が広がり，ラフト組織形成がより深くまで進行することが考えられる。

5．まとめ

本報告では，熱応力によるラフト組織形成の試験を行うために製作した高熱流束の材料評価試験装置の検証を行った。また，その試験装置を使用し，単結晶材CMSX-2の熱応力のみの作用によるラフト組織形成について調べ，温度，熱応力の関係を明らかにする研究に本装置は有効であることを示した。以下，得られた結果をまとめると，

(1) 酸素プロパンバーナー三本で試験体を直接加熱する高熱流束材料評価試験装置により，1000℃を超える温度で，500MPa以上の熱応力を負荷する材料評価試験を可能にした。

(2) 熱応力のみの作用により単結晶材料CMSX-2に対し，γ'相が消失した無析出帯と，γ'相が連結・粗大化したラフト組織の形成を確認した。

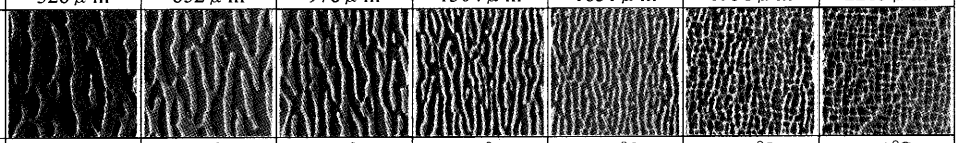
今後，タービン翼前縁などの大きな熱応力がかかる部分への実機適用前の材料評価を行っていく予定である。さらに，引張強度試験機により，試験体軸方向に引張荷重を加え，回転場で発生する遠心力を模擬し，動翼に相当する条件の実験を行う予定でおり，試験体を回転させながら引張荷重をかける装置を現在考案中である。

謝　　辞

本研究を進めるにあたり協力，助言を頂きました㈱石川島播磨重工業の青木祥宏様に謝意を表します。

参考文献

(1) Tien J.K., Gamble R.P., Metallurgical Transactions, Vol.3 (1972), p.2157
(2) Muriei Veron, Proc. of 8th international symposium on Superalloys, (1996), p.181
(3) ㈳日本鉄鋼協会，「耐熱鋼・耐熱合金の高強度化研究会最終成果報告書」，(2000-3)
(4) 三浦信祐，他，鉄と鋼，Vol.90，No.5 (2004-5)，p.250
(5) 小泉裕，他，日本金属学会誌，第70巻，第2号 (2006-2)，p.176
(6) Draper S., et al, Metallurgical Transactions, Vol.20A (1989), p.683
(7) 松下政裕，他，第32回ガスタービン定期講演会講演論文集，(2004-10)，p.131
(8) 松下政裕，他，第33回ガスタービン定期講演会講演論文集，(2005-9)，p.159

深さ	326μm	652μm	978μm	1304μm	1631μm	1958μm	2285μm
画像							
温度	1019℃	985℃	950℃	911℃	868℃	825℃	782℃
応力（軸）	-586MPa	-550MPa	-488MPa	-399MPa	-297MPa	-198MPa	-113MPa
応力(半径)	-21MPa	18MPa	52MPa	87MPa	122MPa	154MPa	179MPa
歪（軸）	1.16%	1.13%	1.09%	1.05%	1.02%	0.99%	0.96%
歪（半径）	1.89%	1.84%	1.75%	1.63%	1.51%	1.39%	1.28%

(a)80時間連続加熱試験（回転なし）

深さ	20μm	86μm	194μm	275μm	376μm
画像					
温度	1095℃	1083℃	1069℃	1060℃	1053℃
応力（軸）	-631 MPa	-612 MPa	-593 MPa	-583 MPa	-576 MPa
応力(半径)	-15 MPa	-9 MPa	1 MPa	9 MPa	18 MPa
歪（軸）	1.29%	1.28%	1.28%	1.27%	1.27%
歪（半径）	2.07%	1.06%	2.04%	2.03%	2.03%

2μm

(b)5時間サイクリック加熱試験（回転あり）

図12　CMSX-2のラフト組織

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

ガスタービンをたとえると・・・

山本　誠*1
YAMAMOTO Makoto

約１ヶ月前，突然，喫茶室の執筆を依頼されました。この喫茶室は，ガスタービン学会でも功なり名を遂げた有名人が歴代の執筆者となっていますので，私のような若輩に声が掛かるということは編集委員会がよほど執筆者の選定に苦戦・苦慮されてのことと思い，及ばずながら執筆をお引き受けすることにしました。読者の皆様には誠に申し訳ありませんが，これから１年間，私の駄文にお付き合いいただければと思います。

第１回の今回は，「たとえ話」についてです。たとえ話は，結婚式の披露宴，大学の入学式・卒業式，歓迎会・送別会等々におけるスピーチの際にしばしば用いられ，話を分かりやすくするための常套手段となっています。たとえ話を上手に利用して話のできる人は理知的に見えますし，話がとてもスマートに聞こえます。読者の皆さんも一度はこの手を使ったことがあるでしょう。たとえ話を効果的に用いた例として，多くの格言が知られています。世界傑作格言集[1]，50音別格言集[2]などをインターネットで眺めてみると，たとえ話を用いた人生についての格言が目に付きます。例えば，「狭い門から入れ。滅びに通じる門は広く，その道はなだらかでこれに入るものは多い（キリスト）」，「人はその生涯の40年間で本文を著述し，これに続く30年間において、前者についての注釈を付加する（ショーペンハウエル）」，「人生は道路のようなものだ。一番の近道は，たいてい一番悪い道だ（ベーコン）」，「人の一生は重荷を背負うて遠き道を行くが如し（徳川家康）」といった誰でも知っている有名なものが並んでいます。これらは，時代を問わず人生を的確に表現しているように思いますし，誰でも何となく納得させられるたとえではないでしょうか。哲学者，小説家，政治家による格言が多く，世間的にも広く知られていますが，科学者による格言も残っているようです。例えば，「人間は一本の葦にすぎない。自然のうちで最も弱いものである。だがそれは考える葦である（パスカル）」，「熱いストーブの上に一分間手を載せてみてください。まるで一時間ぐらいに感じられるでしょう。ところがかわいい女の子と一緒に一時間座っていても，一分間ぐらいにしか感じられない。それが相対性というものです（アインシュタイン）」，「自然は私たちにライオンの尾しか見せてくれない。それでも，ライオンは途方もなく巨大で，とても一度に見ることなどできないものに属していることを私は疑わない（アインシュタイン）」，「私が遠くを見ることができたのは，巨人達の肩に乗っていたからです（ニュートン）」，「事実の集積が科学でないのは，石の堆積が家でないのと同じである（ポアンカレ）」といった格言が見つかりました。面白いものとして，「キリモミは恋愛に似ている。知らないうちに入り込み，抜け出すのは極めて難しい（フォン・カルマン）」や「自然科学は物理学か，さもなければ切手の収集のようなものである。（ラザフォード）」といった格言もありました。

ガスタービンに関するたとえ話や格言はないものかとあちこち探してみましたが，残念ながら，見つけることができませんでした。そこで，マーフィーの法則ではありませんが，独断と偏見に基づいて，オリジナルの格言を考えてみたいと思います。ガスタービンは，空気を吸い込んで圧縮し，そこへ燃料を吹き込んで火を着け，高温高圧になった燃焼ガスの力で外部に仕事をしつつ圧縮機を回し，残ったガスを大気へ排出するという過程を連続的に繰り返しています。このようなサイクルを人生に置き換えてみるのはどうでしょう。空気を吸い込んで圧縮する過程は，小学校から大学に至る詰め込み勉強の時代に相当します。生まれたときには知識も体力も何もない状態ですが，詰め込み勉強で人間としての基礎力を高め，来るべき燃え上がる時代の準備をしている過程です。次に来るのは燃焼過程です。人生では何を燃料にするのか分かりませんが，大学を卒業して社会に出て，何かに熱中しながら20代から40代にかけて人間力を一気に高める過程です。熱中するものは人それぞれで，仕事，家庭，趣味，名誉，給料などいろいろあるでしょう。その後は排気過程で，高められた人間力を使って社会に貢献し，後輩を育てつつ，自分の人間力が消耗して行く時代に相当します。このように，ガスタービンの各過程で生じている現象を人生に置き換えてみると，ひとつの機械であるとは言え，人生とまったく同じことが起きているとたとえられるのではないでしょうか。「ガスタービン，それは人生だ」という“迷”格言を読者の皆さんはどう思われますか。

参考：(1) http://kuroneko22.cool.ne.jp/index.htm
(2) http://kuroneko22.cool.ne.jp/50.htm

原稿受付　2006年11月14日
＊1　東京理科大学工学部機械工学科
〒102-0073　千代田区九段北１－14－６

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

岩手大学航空宇宙推進研究室の紹介

船﨑　健一*1　FUNAZAKI Ken-ichi
山田　和豊*1　YAMADA Kazutoyo
谷口　英夫*1　TANIGUCHI Hideo

キーワード：Gas Turbine, Turbomachinery, Measurement, CFD, Turbine, Compressor, Aerodynamics, Heat Transfer

研究室の現況

始めに研究室の研究環境を紹介する。実験設備としては，タービンの単段回転試験機１台（図１），風洞４台（移動円柱を用いた翼列非定常性能計測用風洞（図２），境界層・伝熱計測用多目的風洞，汎用翼列試験用風洞，伝熱風洞），ゲッチンゲン風洞を有し，圧縮機翼列やタービン翼列に関する様々なテーマに取り組める環境を整備している。

計算設備としては，総 CPU コア数80，総メモリ112GB という PC クラスタシステム（自作）を有しており，ターボ機械の非定常動静翼干渉など様々な大規模計算需要に応えてくれている。大学内の計算設備も利用しており，SGI Altix3000上で，汎用コード CFX を用いた複雑形状物体まわりの流れ解析などを行っている。計算の前処理行程用ソフトとしては，モデル構築用の３D CAD（Pro/E など），格子生成用として Gridgen, Turbogrid, ICEM CFD などが利用でき，後処理行程用ソフトとしては，可視化ソフト FiledView を主に利用している。この他にも ANSYS Multiphysics が用意されており，構造解析や熱伝導解析などに用いている。

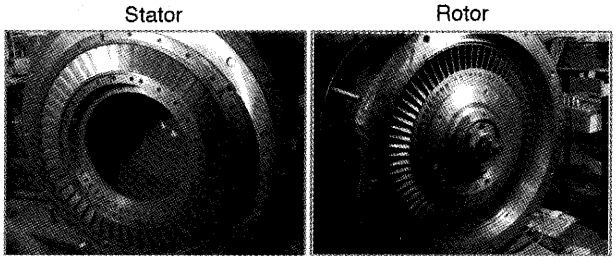


図１　タービン単段回転試験機

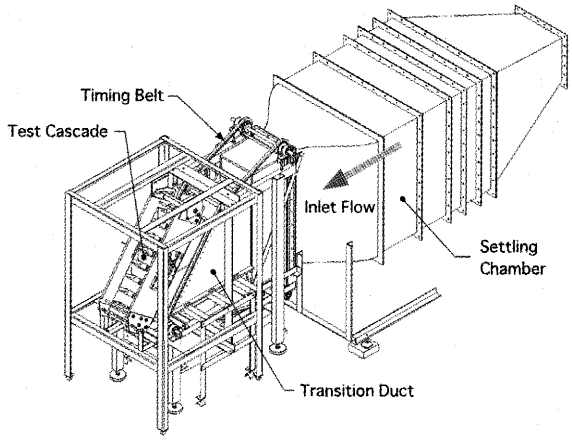


図２　翼列非定常性能計測用風洞

研究室の沿革

研究室は，船﨑が IHI から講師として赴任した平成元年がスタート年である。学生時代には翼列の非定常空力特性や翼励振力に関する特異点解法の開発を行っていたが，IHI での４年間では主に冷却タービン翼に関する研究開発に従事し，その関係もあって，ターボ機械に関する非定常翼列問題と翼内部冷却に関係するテーマを主要研究テーマとして研究室がスタートした。空力と伝熱という「二足のわらじ」的な研究室運営は現在も続いており，それが大きな特徴にもなっている。

当時の非定常翼列問題としては，wake 減衰効果の導入と動静翼間距離の効果の評価を試みていた。その後，Rapid Distortion 理論に基づくより精緻な線形非定常解析法に移行したが，CFD 時代の到来を察知して，理論的な研究から距離を置くようになった。その後，汎用コードが利用できるようになり，それをきっかけとして CFD 関係の研究が増え始めた。平成14年からは山田和豊先生が研究室に加わり，充実した CFD 関連研究が実施できる体制が整った。

実験的な研究としては，wake 通過による境界層バイパス遷移の研究に着手した。この研究では，当初ステンレス箔通電加熱法による熱伝達率計測を行い，wake 通過により誘発される遷移を時間平均的に捉え，間欠度を用いた代数的遷移モデルの構築へと展開した。その後，レイノルズ数効果，主流乱れの効果，圧力勾配の効果などについて詳細に調査し，遷移モデルの精緻化に努め，Funazaki モデルとして利用されている。

翼列試験については，蒸気タービン翼列における二次流れの制御についての研究を行った。また，タービン直線翼列上流に回転円盤の外周上に円柱を取り付けた後流発生装置を設置し，wake によるタービン翼列下流での

原稿受付　2006年11月16日
＊１　岩手大学工学部機械工学科
〒020-8551　盛岡市上田４丁目３－５

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

流れ計測と翼列損失の研究を行った。その後，翼前縁まわりの剥離に与える wake 通過の効果に関する研究を開始し，低圧タービンの高負荷化に関する研究（後述）へと発展している。

伝熱関係の研究としては，乱流促進体を有する矩形流路における熱伝達特性を，感温液晶によって計測する研究を手始めに行った。単純形状の内部流路からより複雑かつリアルな形状のモデル内での熱伝達率計測を経て，現在は複合型インピンジメント冷却構造に関する研究に繋がっている。半円筒モデルを用いた翼前縁まわりの熱伝達に与える wake 通過の効果に関する研究は，その後行った膜冷却を伴う場合の計測を含め，世界的に見ても先駆的な研究であったと考えている。

現在の主要研究テーマ

1　タービン段の効率に与える動静翼列間隔の効果

図 1 に示すタービン回転試験機を用いて，タービン段の効率に対する動静翼列間隔の効果を計測するとともに，非定常 RANS 解析（図 3）も並行して行っている。直感的には wake の効果を避けるために動静翼列間隔を大きくとれば効率が向上するように思われるが，低速での実験の範囲内ではあるが，動静翼列間隔を詰めることで効率は向上する傾向にあり，数値計算の結果でも同様の知見を得ている。原因としては， wake 干渉が動翼内の流路渦の成長を抑制すること，また，間隔が広い場合，静翼からの流出角の影響もあって特にハブ側での境界層が厚くなること，などが考えられるが，詳細については現在調査中である。

2　航空用低圧タービンの高負荷化に関する研究

図 2 に示す翼列試験装置を用いて，低レイノルズ数時に高負荷翼（低ソリディティ翼）の背面上に発生する剥離泡を制御するための研究を行っている。高負荷化にともない逆圧力勾配が強まり，翼背面上で剥離泡が発生するが，剥離泡の存在は翼列の空力性能に大きく影響する。この研究では，上流側の静翼列を模擬する移動円柱列からの wake を翼面境界層と干渉させることで，剥離泡の抑制を試みている。結果としては， wake の混合損失分を入れても，剥離泡を抑制することで全体の効率を向上させる可能性を見出している。

この翼列試験では，翼面静圧，翼下流全圧損失分布及び翼面境界層を計測しており，これらのデータを利用して汎用コード CFX を用いた LES 解析を実施中である。また，山田先生を中心として Compact scheme を用いた高精度 LES 解析コードを開発中である。開発中のコードで剥離境界層の非定常挙動とその崩壊の様子が詳細に捕捉されている（図 4）。

3　複合型インピンジメント冷却構造に関する研究

現在複合型インピンジメント冷却構造内の熱伝達率分布及び主流側のフィルム効率及び熱伝達率分布を計測中である。この実験での流れ場を CFD でも解析中であり，インピンジメント側の熱伝達率の計算値は概ね実験値と一致するが，フィルム効率は傾向的にも実験と大きく異なり，乱流モデルの影響を調査中である。

4　圧縮機における旋回不安定現象と翼先端漏れ流れ

NASA Rotor37などを対象とした CFD により，圧縮機内での翼先端漏れ流れと旋回不安定性現象との関連について詳細に調査している。また，圧縮機直線翼列試験装置により，翼先端隙間からの漏れ流れが圧縮機内の流れ場に与える影響についても研究している。

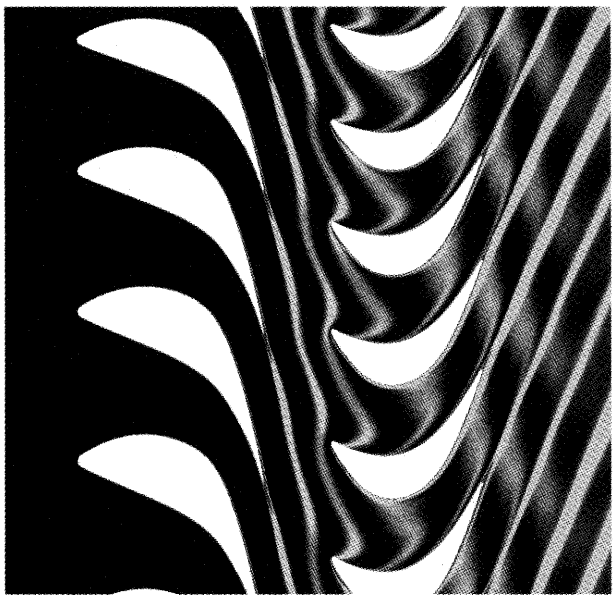


図 3　タービン段空力性能に及ぼす翼列干渉効果

図 4　剥離を伴う低圧タービン翼まわりの LES 解析

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

5　境界層バイパス遷移に関する研究

ターボ機械内の翼面境界層は様々な擾乱の影響を受けてバイパス遷移とよばれる遷移過程を経て乱流化すると理解されている。研究室では上述の様にかなり早い段階でこの問題に取り組み，現在では，熱線流速計による境界層計測でバイパス遷移の素過程と流れの構造の解明を行っている。そのため，7ch 同時計測用プローブを開発するとともに，点源・細線擾乱発生装置を新たに開発している。実験と並行して，間欠度方程式モデルを用いた遷移モデルの開発を進めている。

以上のテーマの他にも，紙面等の都合で詳細はここでは紹介できないが，**新たな数値解法の開発**や，図５に示す**円柱を用いた流体関連振動問題**（今年度から研究室に参加された谷口先生を中心としたテーマ），**翼表面粗さの効果が翼まわりの熱伝達に与える効果に関する翼列試験，二次流れ制御に関する翼列試験，翼面上フィルム効率に関する翼列試験，遺伝的アルゴリズムによる最適化，リアル形状脳動脈瘤を有する脳動脈の流体-構造連成問題**，など，様々な研究テーマに取り組んでいる。

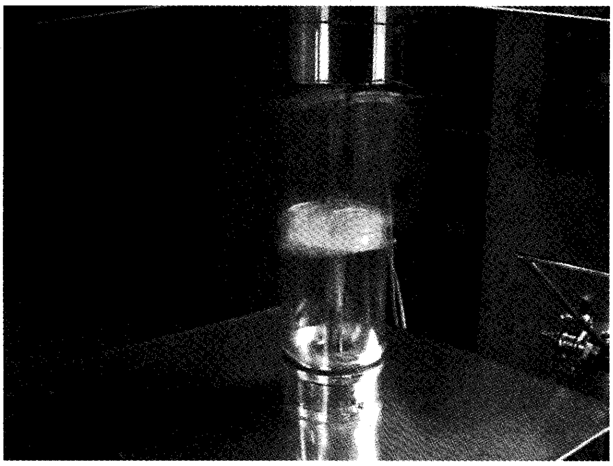


図５　円柱のロックイン振動

多くの方のご支援と，優れた能力と熱意に溢れた学生が数多く研究室に来てくれたこともあり，ある程度整った環境で研究を行えるところまでこぎ着けた。まだ足らない部分も多いが，共同研究などは積極的に展開したいと考えており，気軽にご相談いただければと思う。なお，研究室での研究成果については，下記のサイトで公開しているので，ご興味を持たれた方はご覧頂きたい。

URL http://turbo.mech.iwate-u.ac.jp/Fel/paper1.htm

第35回ガスタービン定期講演会（岐阜）・見学会のお知らせ

平成19年度のガスタービン定期講演会を以下のとおり岐阜県にて開催いたします。講演募集の内容，講演申込締切，見学会等の詳細につきましては，学会誌３月号及び学会ホームページにてお知らせします。

開 催 日：2007年９月19日㈬，20日㈭
開催場所：長良川国際会議場
岐阜市長良福光2695－２

見学会を９月21日㈮に予定しています。
なお，講演申込締切は５月末頃，講演原稿締切は７月末頃の予定です。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

第3回“ガスタービンの将来技術”に関する国際会議

武石賢一郎*1
TAKEISHI Ken ichiro

1．会議の概要

2006年10月11－12日にかけて，第3回“ガスタービンの将来技術”に関する国際会議が，ベルギー，ブラッセルのChâtelain All Suite Hotelにおいて開催された。第1回は2003年7月ブラッセルで，そして第2回は2004年の4月にスロベニアのブレッドで開催され，その後隔年で開催されるようになった。本国際会議は，European Turbine Network（ETN）とThematic Network for Cleaner & More Efficient Gas Turbines（CAME GT）が主催し，AlstomとRolls-Royceが運営し，スポンサーとしてSULZER，MTUなどの欧州のガスタービンメーカあるいは欧米のユーティリティー企業が参加している。また日本ガスタービン学会は第2回から，そして米国機械学会のInternational Gas Turbine Institute（IGTI）は本回から協賛している。

参加人数は，約130名であり，欧州が中心で，ベルギー24名，英国22名，オランダ16名，ドイツ13名，イタリア10名，スイス7名，スエーデン4名，フランス3名他スペイン，ポーランド，ノールウェイ，スロベニア，ルーマニア，フィンランド，ポルトガル，キプロス，トルコから参加があった。米国からは5名であり，アジアからは日本4名，韓国3名，インド1名の参加であった。

ETNは1994年のオランダガスタービン協会の会長を務めたA.Mon博士が2005年より会長を務めている。本国際会議は前日に会場の前の道路を挟む向かい側のThe White HotelでWelcome Receptionが開催された。ETNのメンバーが集まり同窓会的雰囲気で和やかに歓談が弾んでいた。Welcome Receptionで挨拶するA.Mon博士の写真を図1に示す。

会議は2日間に渡り，Châtelain All Suite Hotelの会議室を用いて，基調講演は1室で，一般技術講演は2室並行で行われた。会議の状況を図2に示す。

2．基調講演

11件の基調講演が行われた。

• 21世紀へのガスタービン技術

Frost & SullivanのH.Thaler博士は，欧州を中心とするガスタービンの需要動向に付き述べた。大型のガスタービンがアジアで旺盛である。ガスタービンの改良として性能，次に排ガスが上げられる。

R.Reintertsen氏は，ガスタービンの排ガス問題について講演し，北海油田など石油ステーションで使用されるガスタービンのNOxレベルは，沿岸地域でガス炊きで5ppmが要求される時代に入る。Electrabel社のB.Klijnsma博士は，ユーザー側からの視点に立ったR&Dに付き述べた。

• 国際エネルギー政策

D.Taylor博士は，欧州のエネルギー政策と環境問題，

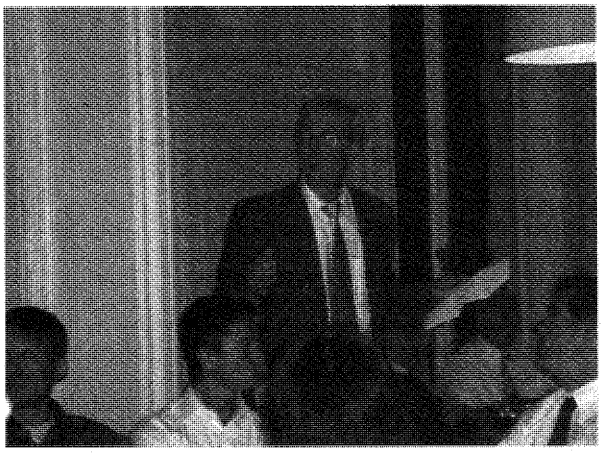


図1　Welcome Receptionで挨拶されるETN会長のA.Mon博士

図2　第3回“ガスタービンの将来技術”に関する国際会議の状況

原稿受付　2006年11月27日

＊1　大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻
〒565-0871　大阪府吹田市山田丘2－1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

特にCO_2排出量に関する取り組みについて述べた。欧州では2006年3月にエネルギーに関するGreen Paperが委員会で採択され，その実行に向けて各国に確認を行った物である。

M.Sato博士は，日本のエネルギー動向を紹介し，さらに将来の石炭利用のIntegral Gasification Combined Cycle（IGCC）の開発状況を紹介された。米国DOEのV.Der博士は市場と技術と政策の相互作用を示して，国－企業間の費用を分担したR&Dのあり方に付いて述べた。国際エネルギー政策のセッションの様子を図3に示す。

• 欧州の研究プログラムとイニシアティブ

P.Dochamps博士は，京都議定書に取り決められた温室効果ガスの欧州削減目標である－8％への種々の取り組みについて述べられた。中でも排ガスから炭酸ガスの分離，貯留に関する試験の詳細が報告された。またFP7（7th Framework Program）に付いて紹介された。W. Kuckshinrichs博士は石化燃料を使う機器の中で，炭酸ガスの排出量を減らす技術，炭酸ガスを分離する技術，膜分離技術に向けての欧州の企業・官・大学が協力して取り組む必要性を報告した。

AlstomのP. Holms博士は欧州のエネルギー産業，研究協会，非政府組織から構成されるZEPの活動を紹介した。ZEPは今後15年間の欧州における発電所の0エミッション達成に向けて，炭酸ガスの分離，貯留技術などの研究のガイドラインと開発とデモ，さらには規制枠と政策およびそれらを実行するロードマップの作成などに貢献している。

• 米日の研究プログラムとイニシアティブ

米国DOEのJ. Strakey博士は，米国の電力の50%は石炭であり，今後2025年までに石炭の消費は50%増加する。2010年には熱効率45～50（HHV）のIGCC，2012年までに90%の炭酸ガスを分離，2015年には60%（HHV）の熱効率を目指す研究開発が必要である。そのため種々の研究が紹介された。水素燃焼タービン，純酸素燃焼タービンなどが紹介されたが，日本でかってWE-NETプロジェクトで実施済みの研究内容のプロジェクトが上がっている事に関して，日本の先見性があるプロジェクトでありながらその後継続していない事を残念に思った。著者はこのセッションで，日本における国家プロジェクト，中でもムーンライト計画が果たした役割と現在の産業用高温ガスタービンの進展に付き述べた。現在進められている1700℃級産業用ガスタービン開発の基礎研究と，タービン入口温度を現状のまま上昇させずに，吸気加湿，圧縮機出口空気加湿，排ガス水分離を行い現行の複合発電システムよりも約10%熱効率の高いガスタービンシステムAHATガスタービンの研究開発状況を報告した。

3．一般講演

22件の発表があった。分野別には，サイクル論・空力性能関連8件，燃焼・燃料5件，材料・補修技術6件，モニタリング・計測・制御3件であった。技術論文においても本国際会議の特徴である地球温暖化防止に関連したガスタービンの寄与がサイクル論的に検討され，バイオマス・石炭などの燃料を地球環境に優しく使用する燃焼技術の開発の形で発表された。またETNの組織を構成するユーザー側に関心のある補修技術，モニタリングの発表があり，通常のガスタービンの国際会議で最も発表件数の多いターボ機械の開発，空力，伝熱などは非常に少ない。

ETN会長のA. Mon博士は，“Priority Research Area within ETN”と題して講演された。その主旨は，ETNは欧州15カ国のガスタービンメーカ，石油会社，補機ユーティリティーメーカ，サービス，R＆D会社，大学，コンサルタント会社，国研など56の組織から成り立っている。協会の優先度は，1にガスタービンの信頼性，2にアベイラビリティー，3にメンテナンスの容易さである。欧州では，2025年でも，電力の70%は石化燃料を使用するので，ガスタービンの重要性が益々増す。Value Chainを共に築こうと呼びかけられた。

図3　国際エネルギー政策の基調講演の状況

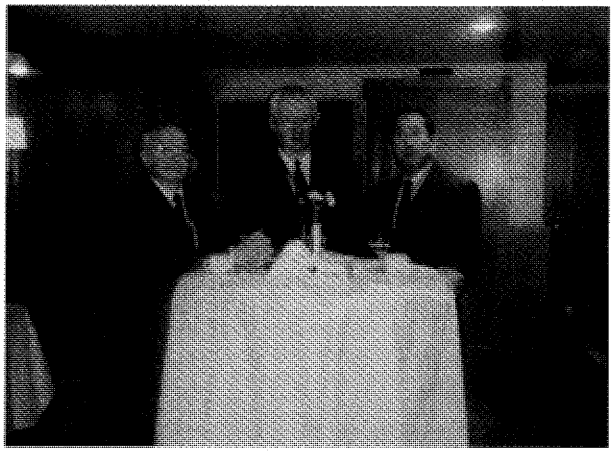


図4　米日の研究プログラムの司会Alstom社D.Pollard博士，基調講演者DOE J.Strakey博士，筆者

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

4．あとがき

欧州では，メーカとユーザーがETNなる組織を作ってガスタービンビジネスを核に，エネルギー政策あるいは地球温暖化問題への対処までを考えた情報発信と情報交換の場を形成している。アジアにおける石油消費の増大と石油高騰，ウクライナへのロシアの天然ガス供給の一時停止が示すように，エネルギー問題は今後益々国際的に重要な問題になって来ている。エネルギー政策，地球環境問題はメーカ，ユーザーなど1社単独に解決できる問題では無い。ETNの活動をモデルに，多くの問題を抱えるアジアの国々と，過去２回の石油危機を省エネルギー技術で乗り越えてきた我が国とが協力して，アジアにおいても同様な活動が出来る組織作りを行って現実的な問題の対処法を考えていくことが必要と考える。このような協力関係によって，我が国の京都で1997年制定された京都議定書（COP-3）に盛り込まれている温室効果ガス削減の目標達成を，ガスタービンを主機とした新しいエネルギー機器で一部分担することが出来ると考える。現在日本が進めている1700℃ガスタービン，IGCCなどの国家プロジェクトも大いに世界から注目されるものになろう。

最後に著者の基調講演に際して，1700℃級ガスタービンとAHATガスタービンの開発研究で資料を提供いただきました三菱重工業㈱と㈱日立製作所の関係者の皆さんに御礼申し上げます。

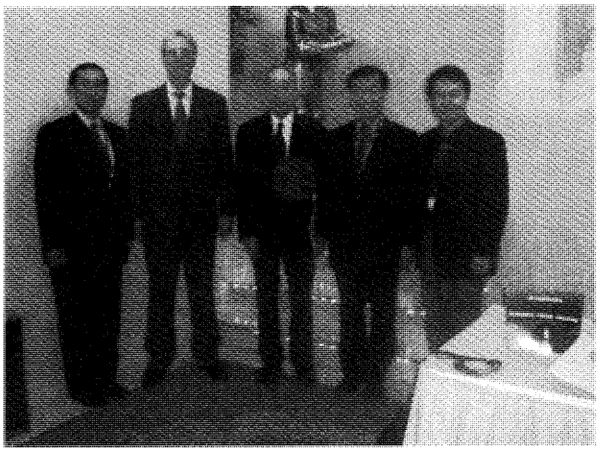


図５　会場のChâtelain All Suite Hotelにて。左より筆者，ETN会長A.Mon博士，早稲田大学大田先生，東京大学渡辺先生，電力中央研究所佐藤博士

◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇

◇2007年度会費納入のお願い◇

2007年度の会費をお納めいただく時期となりました。下記金額を所定の口座或いは事務局宛お送り下さい。

尚，既に銀行引落しの手続きをなさった方は，2007年３月23日貴口座より引落しさせていただきます。

賛助会員	１口	70,000円
正会員		5,000円
学生会員		2,500円

郵便振替	00170－９－179578
銀行振込	みずほ銀行　新宿西口支店
	普通預金口座　1703707

いずれも口座名は㈳日本ガスタービン学会です。

※かねてより会費自動振替のご協力をお願い致しておりますが，未だ手続きをなさっていない方は巻末の振替依頼書にご記入の上，事務局迄お送り下さい。自動振替をご利用されますと振込手数料は学会負担となります。
皆様のご協力お願いいたします。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

稲葉相談役を偲んで

伊藤　源嗣*1
ITO Mototsugu

稲葉相談役は大正13年生まれで，麻布中学から松本高校へ進み，東京工業大学で機械工学を専攻された。昭和21年卒業後石川島芝浦タービンに入社し，ポンプ，タービン，過給機（ターボチャージャ），圧縮機等の開発・設計を担当された。

本学会に関係深い分野としては過給機に一担当者から経営トップに至るまでの全期間関わった他に，民間航空機用エンジンV2500の国際事業にはその草創期から関わり，同事業の開発・量産・PS全般を担当する国際共同企業（J.V.）International Aero Engines AG（IAE）の役員，同社の日本側パートナである㈶日本航空機エンジン協会（JAEC）の理事長をそれぞれ20年近くにわたって務められた。

相談役が直接過給機の仕事に携わられたのは昭和21年に石川島芝浦タービンに入社してから昭和49年に汎用機事業部長を退任するまでの28年間であるが，その間最も力を入れたのはR型過給機の開発とL型・VTR型過給機の機種統合といわれている。

ラジアル・タービンを使用した小型過給機は昭和29年頃から石川島芝浦タービンで技術が蓄積され，昭和31年に初号機として相談役が手掛けたR18型が完成し，その後シリーズ化され建設機械，国鉄車両などに搭載された。昭和37年に石川島芝浦タービンは東芝に吸収合併されたが，過給機と圧縮機の組織と人員だけがIHIに分割吸収合併された。当時設計課長だった相談役は15人ほどの課員と共にIHIに移籍された。当時IHIでも過給機を生産しており，その部門の技術者と合体し40人近くの設計課の課長として機種の統一，課員の融合等に苦労した話を後年伺うことがあった。ラジアル・タービン形式の過給機は稲葉設計課長のもとで開発が続けられ，ヤンマー，ダイハツ，久保田鉄工などの舶用機関に広く搭載され，更にRH型過給機として昭和40年頃からは広く自動車のディーゼル・エンジンにも搭載されるようになり，今では自動車用過給機はIHIグループの主要事業の一つにまで成長している。

一方舶用過給機の分野ではR型より早く昭和29年に石川島芝浦タービンで軸流タービン形式のL26型過給機を開発し，主として漁船のディーゼル・エンジンに搭載された。このL型は石川島重工のIE G型と競合していたが，更なる大型化，高性能化のニーズに応え，BBC社（現ABB）のVTR型を技術提携して導入することになった。BBC社との窓口は長年にわたって相談役が務め両者の良好な協力関係が続き，1998年にはIHIとABBの合弁会社 ターボ システムズ ユナイテッド㈱に発展し，現在に至っている。ターボ システムズ ユナイテッドの設立記念レセプションにおいて相談役がABBから「The God of Turbocharger」と紹介されたことも，又稲葉さんが会長から相談役に退かれた後，現ABB社長のArnet氏に「Turbochargerを含む回転機械のIHIの方針は稲葉さんの後継として誰が責任を持って決めているのか」と筆者自身迫られたこともABBの相談役に対する高い評価と信頼を表すものとして忘れられない。

航空エンジン（航空用ガスタービン）に関しては相談役の関与は経営者として事業に関与されたもので技術的に直接タッチされたわけではないが，IHI，KHI，MHIから成る日本の航空エンジン・メーカーが民間航空エンジン事業に本格参入するきっかけとなった5ヶ国（米・英・独・伊・日，その後伊のFiatが脱落したので現在は4ヶ国）共同事業となった150席クラスの中型旅客機A320シリーズのエンジンV2500の事業母体IAEの設立に当たっては日本側の交渉の中心となり，2年間にわたる困難な交渉をまとめあげ，その後も1988年のV2500の型式承認，量産開始までの期間は年4回，その後も年2回のIAE取締役会にJAECを代表する取締役として積極的に出席され，V2500を現在の生産累計3,000台強，受注残2,000台強という成功事業に導いた功績は特筆するに値する。特にV2500が1991年の湾岸戦争をきっかけとして発注キャンセルが続出し，年間数台の受注に止まることもあった数年間の危機的な停滞期に国内三社から失敗事業として厳しい評価を受けていた間も，今日の成功を確信して常に前向きの指導をして頂いたことは感謝に耐えない。

相談役は企業人としては1983年に当社社長に就任し，造船不況による経営危機，長期にわたった不況による厳しい経営環境のもと，数千人の早期勇退制度の導入を含む経営合理化に，持ち前の明るい人柄で社員の活力を失うことなく取組み，一方公人としては1993年から2001年まで日本商工会議所，東京商工会議所の会頭を務め，財界のリーダーとして政府に中小企業支援策を強く働き掛けるなど，日本経済の発展と地域経済の振興に尽力された。

相談役は経営者としては頭の回転が早く厳しいトップだった反面人情家だった。又無類の座談上手でどんなパーティでも相談役のまわりには人が集まり明るい笑声が湧いていた。座談上手は日本語に止まらず英語でもパーティの賑やかな話の中心にはいつも相談役が居られるという，一寸余人には真似のできない才能を持っておられた。

長年にわたりガスタービン、過給機の発展に尽力されるとともに、経営者としてわが国のガスタービン関連の産業界をリードして頂いたことに深甚の敬意を表し感謝するものであります。心からご冥福をお祈りいたします。

＊1　石川島播磨重工業㈱社長，日本ガスタービン学会元会長

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

水町長生先生を偲ぶ

田中 英穂*1
TANAKA Hideo

日本ガスタービン学会元会長，名誉会員水町長生先生は，ご病気療養中の所，平成18年12月15日享年90歳をもって急逝されました。まことに哀惜の念に堪えません。

水町先生は大正5年7月31日佐賀でお生まれになり，旧制佐賀高等学校を経て，昭和15年3月東京帝国大学工学部機械工学科をご卒業になり，東京帝国大学航空研究所研究嘱託に任ぜられておられます。昭和16年7月陸軍に臨時召集，同年12月召集解除後，同20年7月東京帝国大学助教授に任ぜられ，同大学第二工学部航空原動機学科に勤務の後，同年12月同大学理工学研究所（旧航空研究所）を兼務されました。続いて第二工学部機械工学科勤務の後，第二工学部が生産技術研究所へ改組されたのに伴い，同26年3月より同研究所勤務，そして昭和26年4月より同29年3月まで東京大学工学部（分校）を兼務されました。昭和33年8月「ラジアルガスタービンの研究」により，東京大学より，工学博士の学位を授与され，同年10月東京大学教授に昇任，生産技術研究所熱原動機学部門を担当し，研究と教育に勝れた業績を誉げ，昭和52年4月東京大学を停年退官されると共に，東京大学名誉教授の称号を受けられました。

先生の研究分野は，航空発動機の性能に関する研究および高性能タービンの設計に関する研究に大別でき，研究業績は特にラジアルガスタービンの研究において顕著であります。航空発動機の性能に関する研究では，燃料消費率低減の研究により，A-26機の周回飛行長距離世界記録の樹立に，また冷却器の装備法の研究により，研三高速機の世界最高速度記録達成に貢献されました。さらに排気ガスタービン付航空発動機の不安定運転限界を明らかにし，航空機の高々度飛行の安定性に貢献した功績は大であります。

これに対しラジアルガスタービンの研究は我が国におけるこの方面の研究の創始をなすもので，ラジアルガスタービン特有の動翼損失分布や出口旋回流特性等を明らかにし，最大効率を得るための条件を解明し，ラジアルガスタービンの設計法を確立されました。この設計法により設計製作されたタービンは最高効率90%という世界最高性能を示し，世界的に高く評価され，このラジアルガスタービンに関する学術的業績により，昭和35年4月日本機械学会論文賞を受賞されておられます。

また先生は東京大学大学院数物系研究科機械工学課程の担当教授として多数の学生を指導し，多くの優秀な人材を世に送ると共に，同大学院工学系研究科委員を勤め，東京大学における教育・研究活動に広く貢献されました。さらに生産技術研究所においては第二部主任，各種委員会の委員長および委員として，研究所の管理運営に尽力なさいました。これらの他に成蹊大学や東京都立大学大学院の講師を勤められただけでなく，現職技術者の教育指導にも努められ，我が国の工業界を担う第一級技術者の育成を果たされました。

東京大学を停年退官後は，千葉工業大学教授として勤務，在任中に機械工学科主任として同大学の大学院設置に貢献され，昭和62年3月同大学を停年退職，引続き同年4月より平成4年3月まで同大学非常勤教授として勤務されました。

学会活動としては，日本機械学会においては内燃機関部門委員長，国際交流部会長などの要職を歴任し，更に同学会評議員として同学会の活動に尽力されました。また日本ガスタービン学会の設立に尽力され，先ず昭和47年6月その前身として日本ガスタービン会議を立ち上げ，昭和49年4月同会議の第3期会長を勤められました。同会議の日本ガスタービン学会への発展後も同学会評議員・監事として学会の更なる発展に尽力されました。この間に日本ガスタービン学会主催の1977年度（第1回）および1983年度（第2回）国際ガスタービン会議東京大会においては，それぞれ実行委員長および組織委員長として，我が国のガスタービンに関連する学術・技術の進展ならびに国際交流の発展に大きく貢献されました。これらの学会活動に対する貢献により，昭和62年4月日本ガスタービン学会名誉会員，同63年4月日本機械学会名誉会員に推挙されておられます。

また学会外においても，昭和53年12月設立の建設荷役車輌安全技術協会の初代会長に選任され，昭和59年6月日本機械工業連合会の優秀省エネルギ機器審査委員長に就任し，昭和61年1月には，通商産業省の中小企業近代化審議会専門委員に任命されておられます。特に建設機械，フォークリフトに係る労働災害の防止に対する長年の功績により，昭和61年7月労働大臣功労賞を受賞され，同年10月特殊法人中央労働災害防止協会名誉会員に推挙されておられます。

以上のように先生は，我が国の航空発動機やラジアルガスタービンの分野において，学術研究および教育の両面で大きな貢献をなされた上に，大学ならびに学会の運営や，我が国工業会における労働災害の防止，省エネルギ技術の振興普及に顕著な功績を挙げられ，平成元年11月には永年の御功績によって，勲3等旭日中綬章を授与されておられます。

先生のような人格・識見共に勝れた偉大な指導者を失ったことは，痛恨の極みでございます。ここに故水町長生先生の御功績を偲び，謹しんで先生の御冥福をお祈り申し上げます。

＊1 東京大学名誉教授，日本ガスタービン学会元会長

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

第34回ガスタービン定期講演会報告

渡辺　紀徳
WATANABE Toshinori

今年度の第34回定期講演会は，2006年10月25日(水)，26日(木)の２日間にわたり，青森県弘前市の，紅葉し始めた弘前城公園を眼前に見渡す，弘前文化センターで開催された。また，10月27日(金)には例年通り見学会が行われた。参加者は115名（学生19名）で，ほぼ例年並みであった。

一般講演は49件で，ここ数年の講演会で定着している件数と同等である。(昨年度はACGT2005と重なったため，若干少なくなっている。）分野別の内訳は以下の通りである。

開発・性能：２セッション６件
材料・損傷：２セッション７件
伝熱：２セッション７件
空力：４セッション14件
燃焼・燃焼器：３セッション12件
サイクル・新燃料：１セッション３件

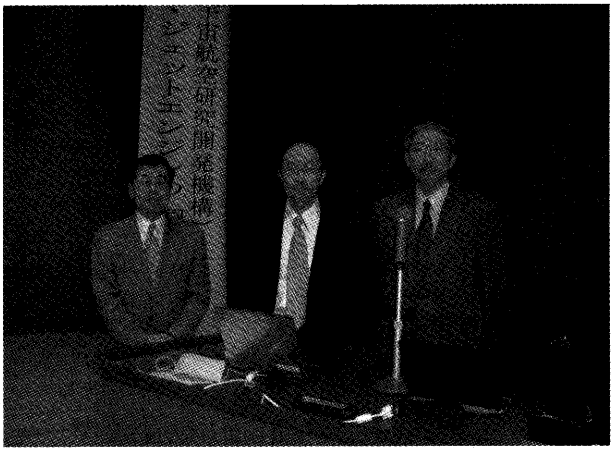
燃焼と空力の分野の発表数が多いのは，定期講演会の従来の傾向である。最近の特徴として，開発，伝熱，空力，燃焼等の各分野で，小型および超小型ガスタービンに関連する研究発表が比較的多く見られること，環境適合性向上のための燃焼，空力，開発分野における研究が増加していること，新燃料に対応する要素技術開発の発表が出始めていること，などが挙げられよう。また，今回は物材機構の原田広史氏，東芝の吉岡洋明氏にお願いし，材料分野の発表を集めて頂いた結果，材料および損傷に関するセッションを充実させることができた。お二方に謝意を表したい。各セッションとも滞りなく進行し，討論も熱心に行われて，充実した講演会であった。

第１日の最終セッションに特別講演を組んだ。今回は青森県文化財保護課三内丸山遺跡対策室長の岡田康博氏を講師にお迎えし，「縄文文化の扉を開く」という演題でご講演頂いた。氏はミスター三内丸山と呼ばれる方で，遺跡発掘のご経験談や，出土品から理解される津軽平野における縄文人の生活様式，活動などについて，魅力溢れるお話をして下さった。縄文時代には，三内丸山などの発掘以前に考えられていた姿よりも，はるかに技術や思想が発達しており，豊潤で活動的な文化であったことが明らかになっている。例えば高度な建築技術による高い搭や，正確な土木工事による大規模な墳墓などの跡が，発掘の結果得られた。また，航海術等に基づいた輸送もすでに存在しており，北陸地方や長野から運ばれてきた素材による装飾品なども出土する。極めて豊富な発掘物に圧倒される思いで，縄文の世界を垣間見た次第であった。

続いて夕刻から，会場を弘前パークホテルに移して懇親会を開催した。吉野隆会長によるご挨拶のあと，田中英穂先生に乾杯の音頭をお願いし，和やかに会話が弾んだ。途中，IGTC2007実行委員長の大田英輔先生より来年のIGTCのアナウンスがあり，また，来年の定期講演会の日程について，学術講演会委員会の古谷博秀幹事から紹介があった。宴も酣のころ，地元の渋谷氏による津軽三味線の演奏があり，高度なテクニックと音色を楽しんだ。

第２日の午後には，近年恒例となっているオーガナイズドセッション「ガスタービン技術の歴史とその継承」を実施した。昨年度までは調査研究委員会と学術講演会

特別講演「縄文文化の扉を開く」の会場



弘前大学との合同セミナー会場にて
お世話頂いた稲村先生（左），児玉講師（中），野崎講師（右）

Download service for the GTSJ　member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

第2室での一般講演の様子

委員会の合同企画として行っていたが，調査研究委員会の活動が終了したため，今回は学術講演会委員会のみによる企画セッションとなった。まず八戸工大の岡村隆成先生が「ガスタービンから教わったこと，伝えたいこと」という題目で講演された。先生は東芝で30年を過ごされ，その後大学に移って6年余りを過ごされた経歴をお持ちである。その経験を踏まえ，まず会社のガスタービン開発で歩んだ道程を話され，開発段階の様々な場面で，どのように物事を考えたか，上司の方々からどのような指摘を受けたか，課題をどのように克服したか，等を詳細に紹介して下さった。その後，大学で考えておられることを含め，今後の技術開発課題の展望についてお示し頂いた。続いて日立製作所の池口隆氏により，「若き研究者と情熱」という熱のこもったご講演を頂いた。同社製H-25の開発経験を中心に，ガスタービン各要素の開発コンセプト，技術課題克服の実例などを豊富な技術データで解説して下さった。それぞれの要素開発では常に世界トップレベルの技術を目指すことや，若い技術者の情熱を傾注させること，そのために適切な組織運営を実現することなどの重要性が熱く語られ，印象的な内容であった。

見学会は27日の朝8時過ぎにバスで出発し，まず黒石市の並木精密宝石㈱を訪問した後，弘前大学の関連研究室を見学した。並木精密宝石は精密加工に高い技術を有し，携帯電話のバイブレーション機構を駆動する小型モーターでは世界トップのシェアを獲得している。もともとレコード針を研磨する仕事からスタートしており，超小型モーターをはじめ，光アイソレータ，磁気ヘッドなどが現在の主力製品である。モーターではϕ1.5mmのものを実用化し，現在はϕ0.9mmのものを開発中である。続いて弘前大学では液体微粒化を中心とする流体工学の稲村先生，CFDの柳岡先生，燃焼の伊藤先生，鳥飼先生の各研究室を見学し，多くの興味深い研究を紹介していただいた。

昨年度に初の試みとして，定期講演会開催地でガスタービンの入門講座を実施したが，今回はその第2回目を企画し，講演会前日の10月24日㈫夕方に，GTSJと弘前大学との合同セミナー「ガスタービン・ジェットエンジンの基礎と先端技術」として開催した。実施にあたり，弘前大学の稲村隆夫先生，鳥飼宏之先生を始めとする諸先生方がご尽力くださり，会場の準備や学生さん，一般の方々への宣伝を精力的に行って下さった。開催場所は弘前大学創立50周年記念会館みちのくホールで，対象を高校生，大学生，一般とし，午後4時30分から2時間のスケジュールで2件の講義を行った。はじめはJAXA野崎理氏による「ガスタービン・ジェットエンジンの『いろは』」で，ガスタービン・ジェットエンジンの作動原理や仕組み，未来のガスタービン等についてやさしく解説して頂いた。続いてIHIの児玉秀和氏により「ジェットエンジンの技術開発について」という題目で，ジェットエンジンの歴史，開発の実際，日本の開発事情などが解説された。弘前大学の先生方のおかげで，学生さんを中心に100名ほどの参加者があり，予想以上の盛況であった。また，地元の二つの新聞社から取材を受け，大いに関心を持たれたようである。

来年度の第35回定期講演会は，IGTC2007と開催時期が接近しないよう，2007年9月20日㈬，21日㈭に開催する。場所は岐阜市の長良川国際会議場である。近くの各務原に川崎重工の岐阜工場があり，吉野会長をはじめ川崎重工の関係各位のご厚意により，同工場を見学させて頂けることになった。見学会を含め，引き続き魅力的な講演会を企画して行きたいと考えている。是非ご参加頂くとともに，ご意見ご希望があれば，お寄せ頂けると幸いである。

最後に第34回定期講演会および見学会の実施に向けて，多大なご協力を頂いた講演者・参加者各位，弘前大学の先生方，弘前コンベンション協会殿，並木精密宝石殿，そして裏方で尽力頂いた事務局と学術講演会委員会メンバー各位に，心から御礼申し上げる次第である。

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

第３２期（平成１９年度）監事・評議員選挙結果

監事(氏名五十音順)

番号	氏　名	勤　務　先
1	川口　修	元　慶應義塾大学
2	山崎　愼一	元　日産自動車

評議員(勤務先五十音順)

番号	氏　名	勤　務　先
1	佐々木　直人	(株)ｱｲ･ｴｲﾁ･ｱｲ･ｴｱﾛｽﾍﾟｰｽ
2	小林　文博	石川島播磨重工業(株)
3	満岡　次郎	石川島播磨重工業(株)
4	米澤　克夫	石川島播磨重工業(株)
5	渡辺　康之	石川島播磨重工業(株)
6	今福　光雄	石川島汎用機械(株)
7	坂本　光男	大阪ガス(株)
8	遠崎　良樹	川崎重工業(株)
9	杉本　隆雄	川崎重工業(株)
10	森脇　健	川崎重工業(株)
11	笠　正憲	川崎重工業(株)
12	山下　直之	関西電力(株)
13	中西　章夫	九州電力(株)
14	坂野　貴洋	中部電力(株)
15	水本　明彦	電源開発(株)
16	森　雅晶	東京ガス(株)
17	相沢　善吾	東京電力(株)
18	和泉　敦彦	(株)東芝
19	佐々木　隆	(株)東芝
20	並木　正夫	(株)東芝
21	吉岡　洋明	(株)東芝
22	関矢　英士	東芝プラントシステム(株)
23	市川　薫	東邦ガス(株)
24	遠藤　幸雄	東北電力(株)
25	佐々木　祥二	トヨタ自動車(株)
26	内田　博	(株)豊田中央研究所
27	川上　雅由	新潟原動機(株)
28	佐々木　啓介	(株)日立製作所
29	滝花　清作	(株)日立製作所
30	大庭　康二	日立造船(株)
31	山本　隆夫	(株)富士電機GT研究所
32	武田　淳一郎	富士電機ｼｽﾃﾑｽﾞ(株)
33	園田　豊隆	(株)本田技術研究所
34	有田　耕二郎	三井造船(株)
35	福泉　靖史	三菱重工業(株)
36	前川　篤	三菱重工業(株)
37	六山　亮昌	三菱重工業(株)
38	濱地　康之	ヤンマー(株)
39	船崎　健一	岩手大学
40	鈴木　和雄	宇宙航空研究開発機構
41	林　茂	宇宙航空研究開発機構
42	福山　佳孝	宇宙航空研究開発機構
43	柳　良二	宇宙航空研究開発機構
44	武石　賢一郎	大阪大学
45	辻本　良信	大阪大学
46	辻川　吉春	大阪府立大学
47	井亀　優	海上技術安全研究所
48	春海　一佳	海上技術安全研究所
49	佐々木　正史	北見工業大学
50	速水　洋	九州大学
51	古川　雅人	九州大学
52	吉田　英生	京都大学
53	益田　重明	慶應義塾大学
54	井上　雅弘	佐世保工業高等専門学校
55	筒井　康賢	産業技術総合研究所
56	藤綱　義行	超音速輸送機用推進システム技術研究組合
57	梶　昭次郎	帝京大学
58	藤岡　照高	(財)電力中央研究所
59	伊藤　高根	東海大学
60	長崎　孝夫	東京工業大学
61	荒川　忠一	東京大学
62	金子　成彦	東京大学
63	長島　利夫	東京大学
64	渡辺　紀徳	東京大学
65	望月　貞成	東京農工大学
66	吉田　豊明	東京農工大学
67	本阿弥　眞治	東京理科大学
68	中田　俊彦	東北大学
69	山本　悟	東北大学
70	黒河　邦彦	(財)日本航空機エンジン協会
71	岡村　隆成	八戸工業大学
72	原田　広史	物質･材料研究機構
73	藤岡　順三	物質･材料研究機構
74	辻田　星歩	法政大学
75	水木　新平	法政大学
76	工藤　一彦	北海道大学
77	杉山　弘	室蘭工業大学
78	黒川　淳一	横浜国立大学
79	太田　有	早稲田大学
80	山本　勝弘	早稲田大学

投票総数	873票	
	評議員	監事
有効票	854	853
無効票	16	3
白票	3	17

先般第32期監事ならびに評議員の選挙を行いました。開票の結果をご報告いたします。　　選挙管理委員長　岡本　洋三

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

平成18年度シンポジウムのお知らせ

平成18年度のシンポジウムを下記の要領で開催致します。「ガスタービンと共用のある燃料電池について」をテーマに，講演と討論を行います。奮ってご参加ください。

1．日　　時

平成19年3月1日㈭　13：00～16：00

2．開催場所

法政大学市谷キャンパス
ボアソナード・タワー19階D会議室
千代田区富士見2－17－1　TEL03-3264-9240

3．講演内容

⑴総論
講師：笠木　伸英 氏（東京大学）
題目：マイクロガスタービンと燃料電池

⑵複合システム
講師：吉葉　史彦 氏（電力中央研究所）
題目：MCFC-GT コンバインド・システムの運転実績及び高効率 MCFC-GT ハイブリッドシステムのシステム検討

⑶複合システム
講師：加幡　達雄 氏（三菱重工業㈱）
題目：大容量高効率 SOFC 複合発電システム開発

⑷応用
講師：曽根　理嗣氏（宇宙航空研究開発機構）
題目：閉空間パッシブ制御式燃料電池の研究

4．参加要領

⑴定員　30名
⑵参加費　¥3,000
⑶申込方法　下記の申込用紙にご記入のうえ2月5日㈪までにFAX，郵送またはE-mailにて学会事務局にお送り下さい。

シンポジウム参加申込書

㈳日本ガスタービン学会　行

申込締切日（平成19年2月5日㈪）
開　催　日（平成19年3月1日㈭）

FAX：03-3365-0387　TEL：03-3365-0095　　**E-mail：gtsj@pluto.dti.ne.jp**

氏　名		GTSJ 会員番号	（会員の方は記入して下さい）
勤務先			
勤務先 住　所	〒	TEL	
FAX			
連絡先	〒		
E-mail			

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

編集後記

新年明けましておめでとうございます。

本年も読者の皆様とご家族の皆様にとって，健やかで幸多き年となります様お祈りしております。

本年は又，「2007年国際ガスタービン会議東京大会」が開催される年でもあります。エネルギーの有効利用と多様化そして環境問題への対応としてのガスタービン及びそのシステム技術に対する期待は益々高まっており，その意味からも東京大会の開催は意義深いものであり，是非成功させたいものです。皆様の積極的なご参加をお願いしたいと思います。

さて，今1月号は「発電用ガスタービン設備における制御技術の動向」と題して発電用ガスタービン及びその発電設備の制御技術の現状を特集してみました。

小型ガスタービンから航空機転用型ガスタービン，石炭ガス化用ガスタービン，蒸気冷却型ガスタービン，更にはHATサイクルガスタービンと，制御の面から見て夫々に特徴ある技術の解説となり，制御についての初心者から専門家の皆様に至るまで興味を持って読んで頂ける特集になったのではと密かに自負しております。

最後になりましたが，本号の発行にあたり，特集はもとより，喫茶室，研究便り，見聞記，報告の各分野で，年末の多忙な時期の急な原稿依頼に対して快くお引き受けいただきました執筆者の皆様に，企画編集者一同心より感謝の意を表したいと思います。　尚，本号は，幡宮重雄委員（日立），辻田星歩委員（法政大学），中村修三委員（荏原），そして西嶋庸正（日立）が企画編集を担当しました。

（西嶋）

〈表紙写真〉

Advanced Humid Air Turbine（AHAT）
パイロットプラントの外観

説明；茨城県ひたちなか市にて試験運転中のAdvanced Humid Air Turbine（AHAT）パイロットプラントの外観（中央）及びシステム概要（左上）。燃焼空気への加湿により，ガスタービン単独で高効率，低NOxを目指す。プラントの発電端出力は3.6MW。試験運転ではガスタービン，増湿塔（加湿装置），再生熱交換器，水回収装置などを組み合わせたAHATシステムの成立性を検証する。

（提供：㈱日立製作所）

☘事務局だより✉☘

街路樹が色づき始めたと思ったら，枯葉で歩道も埋まり，そしてその枯葉もどこへやら…。本格的な冬到来の今日この頃です。

年末年始のお休みもあっという間に過ぎ去り通常の生活に戻りました。

東京のお正月は暖かく過ごしやすかったのですが，その後の3連休は全国的に寒波で成人式での振袖の新成人も寒くて大変だったようです。

皆様も新しい年を迎えて気持ちを新たにしていらっしゃることでしょう。

事務局も年が明けてさっそく1月23・24日よりセミナーが開催されますので，その準備に追われています。例年週末でしたが，今年は火曜日水曜日となりました。そしてその週末の26日には見学会。またまた行事目白押しです。

年度初めとなります3月1日にはシンポジウムが開かれます。会告にもございますので，是非ご参照の上，ご参加くださいますようお待ちしております。

この学会誌にもございますように昨年11月12月と元会長お二方が亡くなられました。日本ガスタービン学会をこれまで支えて下さったかけがえのない方々がいなくなられたのは大きな悲しみです。

残された者が，このガスタービン学会を益々発展させていくことがご供養になると改めて気持を引き締めたことでした。

お二方のご冥福を心よりお祈り申し上げます。　［A］

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

編集後記

新年明けましておめでとうございます。

本年も読者の皆様とご家族の皆様にとって，健やかで幸多き年となります様お祈りしております。

本年は又，「2007年国際ガスタービン会議東京大会」が開催される年でもあります。エネルギーの有効利用と多様化そして環境問題への対応としてのガスタービン及びそのシステム技術に対する期待は益々高まっており，その意味からも東京大会の開催は意義深いものであり，是非成功させたいものです。皆様の積極的なご参加をお願いしたいと思います。

さて，今1月号は「発電用ガスタービン設備における制御技術の動向」と題して発電用ガスタービン及びその発電設備の制御技術の現状を特集してみました。

小型ガスタービンから航空機転用型ガスタービン，石炭ガス化用ガスタービン，蒸気冷却型ガスタービン，更にはHATサイクルガスタービンと，制御の面から見て夫々に特徴ある技術の解説となり，制御についての初心者から専門家の皆様に至るまで興味を持って読んで頂ける特集になったのではと密かに自負しております。

最後になりましたが，本号の発行にあたり，特集はもとより，喫茶室，研究便り，見聞記，報告の各分野で，年末の多忙な時期の急な原稿依頼に対して快くお引き受けいただきました執筆者の皆様に，企画編集者一同心より感謝の意を表したいと思います。　尚，本号は，幡宮重雄委員（日立），辻田星歩委員（法政大学），中村修三委員（荏原），そして西嶋庸正（日立）が企画編集を担当しました。

（西嶋）

〈表紙写真〉

Advanced Humid Air Turbine（AHAT）
パイロットプラントの外観

説明；茨城県ひたちなか市にて試験運転中のAdvanced Humid Air Turbine（AHAT）パイロットプラントの外観（中央）及びシステム概要（左上）。燃焼空気への加湿により，ガスタービン単独で高効率，低NOxを目指す。プラントの発電端出力は3.6MW。試験運転ではガスタービン，増湿塔（加湿装置），再生熱交換器，水回収装置などを組み合わせたAHATシステムの成立性を検証する。

（提供：㈱日立製作所）

☘事務局だより✉☘

街路樹が色づき始めたと思ったら，枯葉で歩道も埋まり，そしてその枯葉もどこへやら…。本格的な冬到来の今日この頃です。

年末年始のお休みもあっという間に過ぎ去り通常の生活に戻りました。

東京のお正月は暖かく過ごしやすかったのですが，その後の3連休は全国的に寒波で成人式での振袖の新成人も寒くて大変だったようです。

皆様も新しい年を迎えて気持ちを新たにしていらっしゃることでしょう。

事務局も年が明けてさっそく1月23・24日よりセミナーが開催されますので，その準備に追われています。例年週末でしたが，今年は火曜日水曜日となりました。そしてその週末の26日には見学会。またまた行事目白押しです。

年度初めとなります3月1日にはシンポジウムが開かれます。会告にもございますので，是非ご参照の上，ご参加くださいますようお待ちしております。

この学会誌にもございますように昨年11月12月と元会長お二方が亡くなられました。日本ガスタービン学会をこれまで支えて下さったかけがえのない方々がいなくなられたのは大きな悲しみです。

残された者が，このガスタービン学会を益々発展させていくことがご供養になると改めて気持を引き締めたことでした。

お二方のご冥福を心よりお祈り申し上げます。　［A］

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.1　2007.1

発行日　2007年1月15日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　野崎　理
発行者　吉野　隆
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㊥1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.1　2007.1

発行日　2007年1月15日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　野崎　理
発行者　吉野　隆
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㊥1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.1　2007.1

発行日　2007年1月15日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　野崎　理
発行者　吉野　隆
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㊥1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.1　2007.1

発行日　2007年1月15日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　野崎　理
発行者　吉野　隆
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㊥1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 3.143.7.232, 2024/10/12.