巻 頭 言

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# 『産業用中小型ガスタービンと適用事例』の特集によせて

# Preface to "Small and Medium Capacity Industrial Gas Turbines and their Applications"

寺澤 秀彰*1
TERASAWA Hideaki

我が国の産業用ガスタービンの歴史は国家プロジェクトとして高効率ガスタービンの開発を目指した『ムーンライト計画』（1978年～1987年）が起点となる。この成果を基にして，プロジェクトに参画した複数の国内メーカーが産業向けに高効率ガスタービンの商品化を行うことになる。この開発機は主に臨海コンビナートの大規模工場内の電力供給設備として採用された。発電後のガスタービン廃熱から蒸気を生産し，生産工程に合わせた形で蒸気利用や蒸気タービンによる発電設備に供給され，熱電比にマッチする形で省エネルギーの促進が図られた。これらのガスタービン自家発電設備は日本の素材産業の製造原単位の改善や環境負荷軽減に大きく貢献してきたと言える。今回『産業用中小型ガスタービンと適用事例』の特集号を発行するにあたり，産業分野でのガスタービン適用分野の広がり，国内で導入されたガスタービンの歴史などを紹介し，今後の更なる活躍のための提言などを述べたい。

臨海コンビナートで使用される産業用ガスタービンの設計思想は生産設備で発生する副生ガスなどの燃料を使用し，連続運転と現地での開放点検を主体とする設計思想と保守方法が主流であった。1990年代に省エネルギーの推進が叫ばれる中，一般産業向け工場への熱電併給システム（コージェネレーション）の導入が盛んに行われた。導入事例の増加に伴い，1991年にガスタービン自家発電設備のユーザー会として『日本ガスタービンユーザー会』が発足した。ユーザー会に加入しているユーザーの多くは臨海コンビナートにてガスタービン自家発電設備を運用しており，設備の信頼性を維持しつつ生産ラインの２年連続運転にガスタービン自家発電設備を合致させるべく，過去にユーザー会で活発な意見交換が行われた。現在，各設備での運用に応じた改善検討が進み，２年連続運用方法が確立している。これに対して，断続的な運用を行うような工場では起動発停が多くなるため，サイクル疲労に対する耐久性に優れた航空機転用型のガスタービンを選定する傾向にあった。海外のOil & Gas向けのガスタービンは航空機用ガスタービンの特長を設計に反映した産業向け軽量ガスタービンが主流であり，航空機と同様の管理（例えば現地でのボアスコープ点検やガスタービン取替による保守など）を前提とした機種が多数開発された。現在の国内小型ガスタービンの市場では，産業向け軽量ガスタービンが主流となっている。Fig. 1に国内に導入された代表的なガスタービンを開発年と出力別にプロットした。図から分かるように，1980年代の黎明期，1990年代～2000年代の成長期を経て，現在はOil & Gas市場を踏まえた大規模工場向けと一般産業向けの２つの市場に先鋭化している。

産業向けのガスタービン用途としては①発電，②機械駆動の大きく２つに分類される。国内では非常用発電を含めて圧倒的に発電向け市場が大きく，機械駆動のガスタービンはポンプ駆動や船舶用などのガスタービンが若干存在する程度である。発電設備の省エネルギー推進のため，排熱を有効活用するのが一般的で，排ガス直接利用や蒸気のプロセス利用，蒸気タービンでのコンバインドなどが主な利用方法である。

使用する燃料の多様性を求められるのも産業向けガスタービンの特徴である。常用で使用するコージェネレーションでは環境重視の観点から都市ガス仕様でDLE（希薄予混合燃焼器）が主流となっている。移動する媒体（船舶など）は液体燃料を使用し，化学・石油精製プラントでは原料生成過程で排出される副生ガスを主体とする。非常用発電機は油燃料を主体とするが，2011年の東日本大震災での計画停電の経験から首都圏では長期間の停電の備えとして都市ガスとのデュアル仕様を選定するケースもある。

海外に目を向けるとOil & Gasの市場では多数の機械駆動（メカニカルドライブ）ガスタービンが活躍している。２軸ガスタービンは回転数の変速域が広く，メカニカルドライブに適した構造である。代表的な事例としては天然ガス液化プロセスの冷凍圧縮機の駆動源としての利用，ガス田から需要地までを結ぶ天然ガスのパイプラインにおけるブースターコンプレッサなどが挙げられる。

原稿受付　2020年１月20日
＊1　日本ガスタービンユーザー会　事務局長
東京ガス㈱ソリューション技術部
〒105-8527　港区海岸１－５－20
E-mail: terasawa@tokyo-gas.co.jp



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

移動機関にガスタービンを使用する例も国内外にある。自動車用に開発されたガスタービンが300kW未満のマイクロタービンとして利用されている。また，ヘリコプター用のガスタービンを転用して列車に搭載した例や航空機転用ガスタービンによる高速艇などの駆動に利用されている。

日本ガスタービンユーザー会が主催している技術交流会で最近議論の中心になっている内容はガスタービン自家発電設備の高経年化に伴う信頼性の低下や保守費用の上昇に関する対応である。経済性を考慮して，最新鋭の設備への更新を計画するユーザーや部分更新を検討するユーザーなど，対応方法は多種多様の状況である。今後の展開の中で開発要件として重要なキーワードは部分更新を検討する際の各種レトロフィット（ガスタービンモジュール交換，ガバナーなどの電装品，補機類インターフェースなど）の整備であろう。設備全体の更新を検討する場合のキーワードは経済性，信頼性，環境性，保守性などで，高効率によるTITアップに対して，ガスタービン高温部品の十分な耐久性や制御信号の冗長化による誤動作防止はMUSTと考えられる。保守性については工場の省人化に対応して，現地で実施する開放点検などのユーザー負担の軽減も重要と考えられる。

本特集号の論説の中の主なポイントを挙げると①最新の解析技術を活用した高効率で耐久性の向上を目指して開発されたガスタービンの紹介，②環境負荷軽減のためのDLE燃焼安定性強化の開発，③脱$CO_2$社会への取組としてのアンモニア燃焼の開発，④２軸高効率ガスタービンを活用した発電及び機械駆動ガスタービンの各種事例，⑤航空機の特徴を活用した再生可能エネルギーの調整用電源の紹介，⑥総合エンジニアリングを活用した浮体式LNG発電プラントなど活躍の場は大変広い。ガスタービン開発に携わる方々には，今後も産業界の要望を的確に受け入れ，市場に合致したガスタービン開発によって，益々の産業の発達に貢献できる商品を提供し続けることを期待したい。

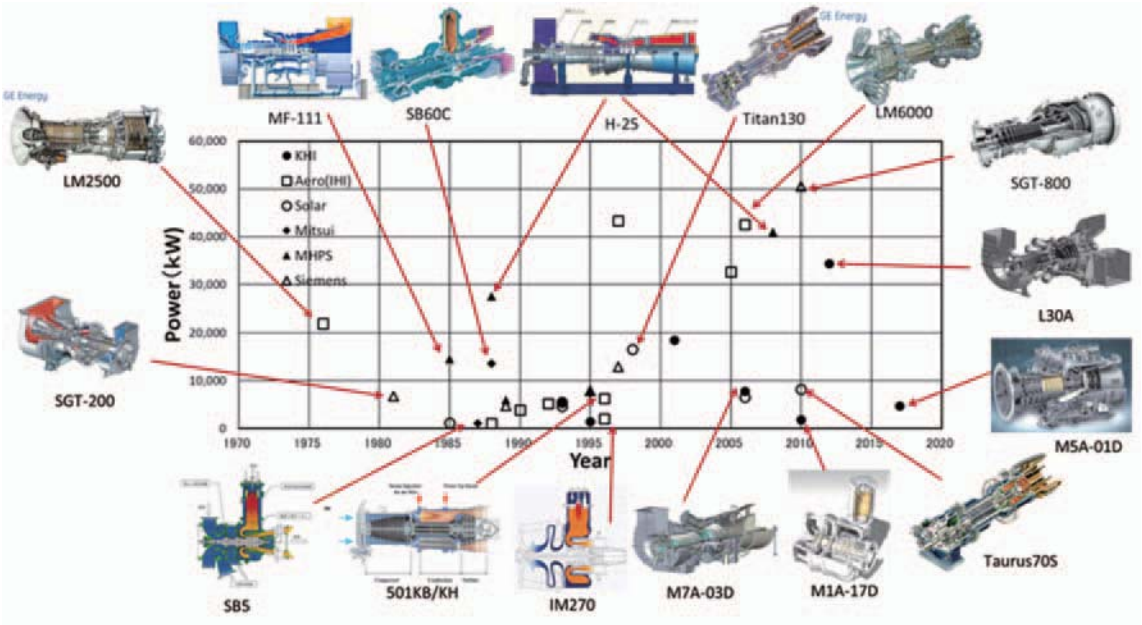



Fig. 1　Typical gas turbines introduced in Japan

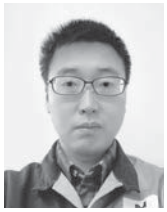


Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# 1MW級SB5Nガスタービンの開発とコージェネレーション設備の紹介

# Development of 1MW SB5N Gas Turbine and Cogeneration Facility



黛 健斗*1　西江 俊介*1　藤浪 賢*1　王 潞宇*1　山名 克巳*1
MAYUZUMI Kento　NISHIE Shunsuke　FUJINAMI Masaru　WANG Luyu　YAMANA Katsumi

**キーワード**：ガスタービン，コージェネレーション，1MW，総合効率
**Key Words**：Gas Turbine, Cogeneration, 1MW, Total Efficiency

## 1．はじめに

近年多発する台風や大地震等の自然災害による大停電リスク回避のため，企業や工場等で分散電源として自家発電設備の導入が増加している。自家発電用に使用されるガスタービンは高い排気エネルギーを有するため，その熱エネルギーを蒸気等で回収することにより，発電した電気と合わせて高い総合効率を得ることができる。このようなガスタービンコージェネレーション（電気と熱）設備は省エネルギーに貢献出来るため，特に熱需要の割合が大きい工場等の自家発電用設備として多く導入されている。

㈱三井E&Sマシナリーは，1960年代より自社開発したガスタービンを産業用発電設備として納入してきた実績を有する。1989年にはコージェネレーション需要の高まりを受け，1MW級SB5ガスタービン用いたGP1000コージェネレーション設備を共同開発し多数納入してきた[(1),(2)]。

しかしながら，近年の地球温暖化対策に伴う$CO_2$排出の抑制やランニングコストの削減といった観点から，より一層の高効率化が求められている。同社ではSB5ガスタービンをベースとし，より環境負荷が低く経済性に優れた新たなガスタービンSB5Nの開発に着手し，同ガスタービンを用いたコージェネレーション設備の初号機を2019年10月に納入した。

本稿では，SB5Nガスタービンの開発とそのコージェネレーション設備について紹介する。

## 2．1MW級SB5Nガスタービンの開発

### 2.1　コージェネレーション性能

Table 1に，SB5Nを用いたコージェネレーション設備の性能を示す。発電端出力をSB5と同等とし，熱回収率の改善によって総合効率が73%から83%へ大幅に向上した。これは中間冷却器の廃止及び圧縮機，燃焼器，タービン等，各要素の高効率化により実現した。さらに燃焼器の改良による低NOx化を図るとともに，IGV（Inlet Guide Vane）制御によって低NOx運転の負荷範囲を拡大した。

Table 1　Performance of cogeneration（60Hz / 50Hz）

| Gas turbine | | SB5 | SB5N |
|---|---|---|---|
| Fuel | | City gas 13A | |
| Air mass flow | kg/s | 4.9 | 5.8 |
| Output power ※ | kW | 1,090 | 1,090 / 1,060 |
| Steam output | ton/h | 3.0 | 3.8 |
| Total efficiency | % | 73 | 83 |
| NOx ($O_2$=16%) | ppm | 20<br>75%～100% | 15<br>50%～100% |

※Including power for fuel gas compressor 50kW

Inlet air temperature：15℃
Atmospheric pressure：1013hPaA
Humidity：60%
Intake/Exhaust pressure loss：0.981/1.961kPa
Steam pressure：0.785MPaG
Feed water temperature：60℃

### 2.2　SB5Nガスタービン

Fig. 1(a)(b)に，それぞれSB5とSB5Nの断面図を示す。Table 2に，SB5Nの開発にあたりSB5から変更した構造上の主な箇所を示す。圧縮機はSB5と同じく遠心式２段であるが，１段と２段の間にあった中間冷却器を廃止した。燃焼器はSB5と同じく単缶式であるが，低NOx化を図るため予混合管形状の改良を行った。軸流式タービンは段数を４段から３段へ削減した。

SB5Nでは圧縮機の入口に新たにIGVを採用している。IGVで吸込空気風量を調整することにより部分負荷でも

原稿受付　2020年１月10日
＊1　㈱三井E&Sマシナリー 産業機械事業部 設計部
〒706-8651　玉野市玉３丁目１番１号



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

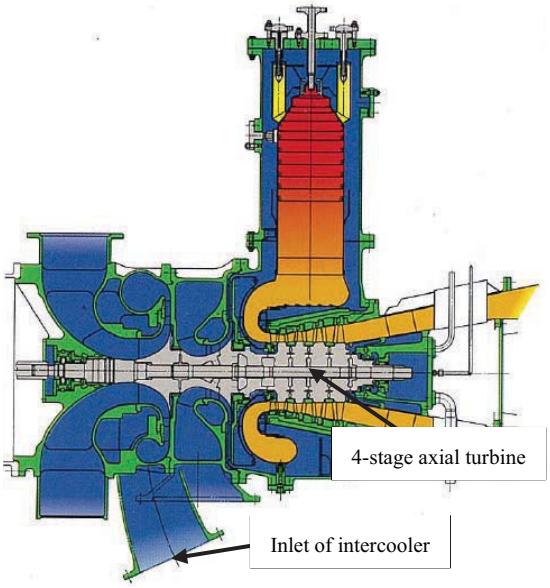



Fig. 1 (a) Cross section of SB5

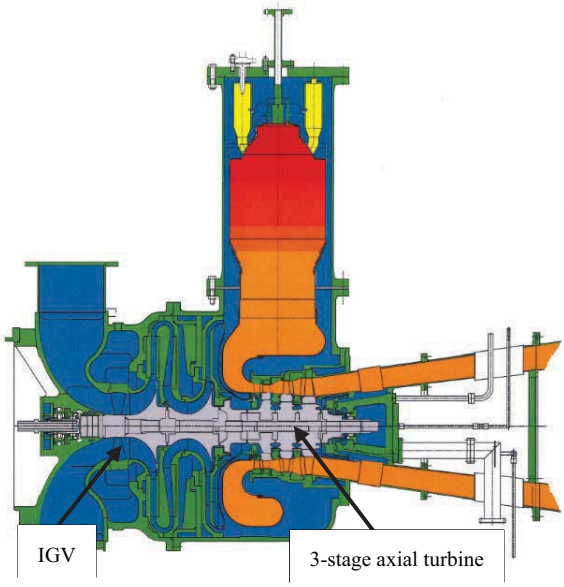



Fig. 1 (b) Cross section of SB5N

Table 2 Main changes from SB5 to SB5N

| Elements | Changes |
|---|---|
| Centrifugal compressor (2-stage) | Abolition of intercooler<br>Abolition of bleed valve<br>Adoption of IGV |
| Combustion chamber | Improvement of premix tube |
| Axial turbine | Reduction the number of stages (from 4-stage to 3-stage) |

低NOxかつ良好な燃焼効率を得ることができる。また，中間冷却器の廃止に伴い，抽気弁を廃止した。

### 2.3　SB5Nガスタービン 各要素の開発

#### 2.3.1　圧縮機

SB5Nでは中間冷却器および抽気弁を廃止し，IGVによる吸込空気風量の制御を行うこととした。遠心圧縮機自体もこれに合わせ再設計を行うにあたり，高効率化のため３次元CFD解析を多用している。

インペラの負荷配分や各要素のパラメータ決定等の基本設計には，これまで同様mean line計算による１次元設計を用いている。一方，近年のCFD技術と計算機能力の向上により，先端隙間，漏れ通路，インペラを含めた圧縮機全体でのCFD解析が実用的なレベルで可能となっている。CFD解析結果と試験機データとの比較検証を行った上で圧縮機の再設計を行った。

Fig. 2に，遠心圧縮機２段全体解析のモデルと流れ場を示す。１次元設計をもとに通路・インペラを基本設計し，CFD解析による各要素すなわちIGV，インペラ，ディフューザ，リターンチャネルの最適化を実施した。その後漏れ通路の影響を考慮した圧縮機全体のCFD解析を実施し，再度通路形状・翼形状の修正と流れ場の改善を行い，圧縮機全体の性能改善を図った。

その他，圧縮機入口ケーシングの形状をCFD解析によって見直し，入口からIGV出口までの損失を，IGVを備えていないSB5と同程度に抑えている。

Fig. 2 Velocity distribution of 2-stage compressor model

#### 2.3.2　燃焼器

**１）低NOx燃焼器**

SB5Nの燃焼器は，単缶式で中央に１本のパイロットバーナを備え，その周りに６本の予混合管のメインバーナを備えている（Fig. 3）。これら部品構成はSB5と大きく変わらないが，SB5NではNOx排出量をSB5の20ppmから15ppmへ25％削減するとともに，低NOx運転の負荷範囲を75％負荷以上から50％負荷以上へと拡大している（Table 1）。

**２）予混合管の設計**

低NOx化にあたり，予混合管の形状を見直し，燃焼器に供給する予混合気の不均一率（予混合管出口での予混合気の濃度範囲／平均値）を低減した。また，燃焼安定性を高めるため，予混合管に供給する空気流量配分の最適化を図った。Fig. 4に，予混合管の単体試験装置を示す。予混合管内の濃度分布計測から，予混合気の不均一率をSB5の40分の１まで低減したことを確認した。



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

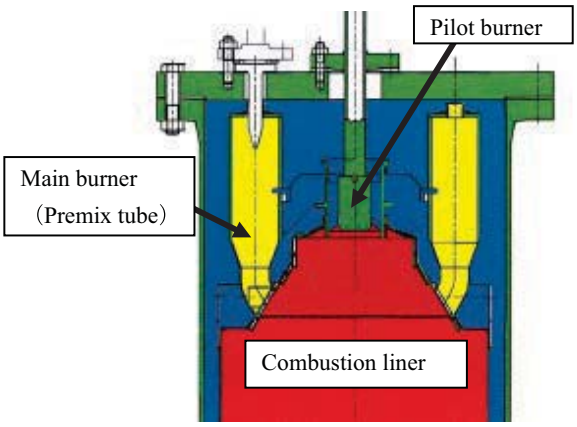



Fig. 3 Cross section of upper side of combustion chamber

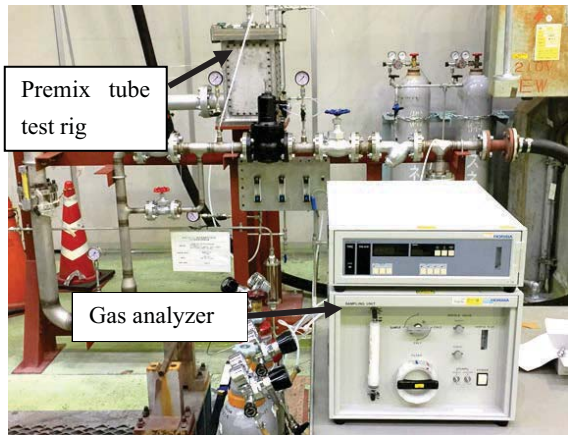



Fig. 4 Unit test of premix tube

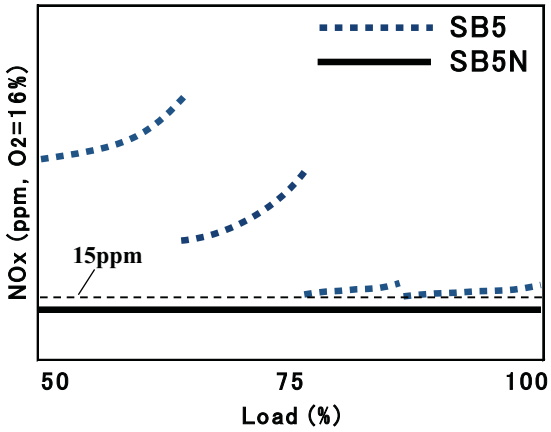



Fig. 5 (a) NOx emissions

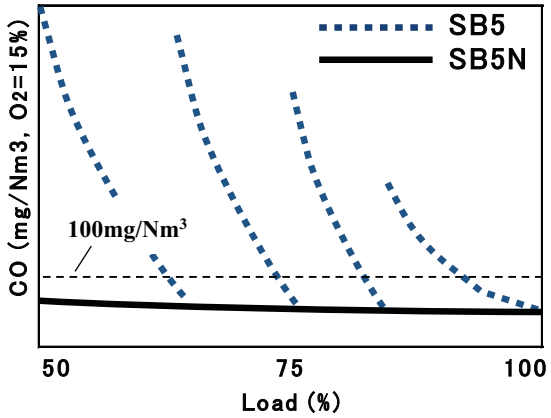



Fig. 5 (b) CO emissions

### 3）部分負荷での低NOx運転（IGVによる吸込空気風量の調整）

SB5では6本の予混合管それぞれの上流に遮断弁がついており，負荷が上がるごとに予混合管の本数を増やすステージング制御を行っていたが，SB5Nでは圧縮機入口のIGVで吸込空気風量の調整が可能なため，ステージング制御を廃止した。Fig. 5（a）（b）に，各負荷でのNOx排出量とCO排出量を示す。SB5では予混合管の本数を切替える度にNOx排出量とCO排出量の変動があったが，SB5Nでは常に低い排出量となっている。これは部分負荷での吸込空気風量をIGVにより調整することで燃焼効率を上げ，安定的に低NOx運転が可能となったためである。これにより50％負荷以上でNOx排出量 15ppm（$O_2$=16％）以下，CO 排出量100mg/$Nm^3$（$O_2$=15％）以下で運転が可能となった。

### 4）燃焼ガスの温度分布低減

燃焼器を出た燃焼ガスはトランジッションダクトを経由してタービン入口に導入される。タービン入口での燃焼ガス温度分布は，高温ガスにさらされるタービン部品の寿命に大きく影響するため温度分布の低減を図った。Fig. 6に，タービン入口のガス温度分布を計算するための圧縮機出口からタービン入口までのCFDモデルを示す。燃焼器内筒の下部に設置している希釈空気孔の数，直径，角度等が異なる数ケースを計算し，タービン入口温度分布が最も小さい仕様を採用した。開発試作機では，タービン出口での温度分布計測値とCFD計算結果が良

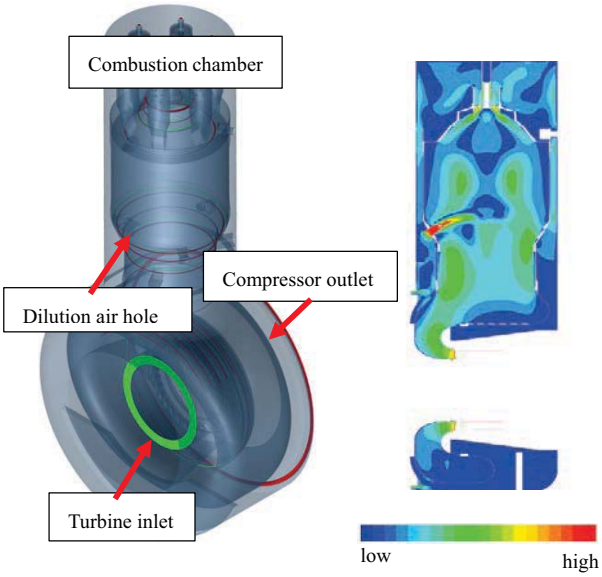



Fig. 6 （Left）CFD model from compressor outlet to turbine inlet（Right）Velocity distribution of the model（cross section）



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

く一致することを確認した。

**2.3.3　タービン**　Table 4に，構造面の変更点を示す。軸流式タービンの段数を４段から３段に削減し，SB5よりも動翼周速を増加させ，かつ高負荷とした翼を採用した。空冷翼の採用は冷却空気を減らすため１，２段動静翼から１段動静翼のみに変更した。また，中間冷却器を廃止したことで冷却空気温度が従来よりも上昇したが，タービュレンスプロモータ付サーペンタイン流路を改良し，翼冷却効率の向上により翼寿命を従来機と同等にした。

Table 4 Comparison of turbine structure

| Gas turbine | SB5 | SB5N |
|---|---|---|
| Number of turbine stages | 4 | 3 |
| Air cooled blade | 1st and 2nd stage stator and rotor | 1st stage stator and rotor |

今回の開発ではFEM及びCFDを駆使することによって高温部品の寿命と空力性能を確認している。
ロータ部品は，熱伝導解析，機械的応力及び熱応力解析により部品強度を評価し，応力が高い箇所は形状変更を通じて応力を低減している。

Fig. 7に，タービン全段CFD解析の例を示す。使用したCFDソルバは事前に実施された翼列実験結果との比較から十分な計算精度を確認している。二次流れや翼先端隙間等による損失を低減し，最終形状にて計画性能を満たすことを確認した。

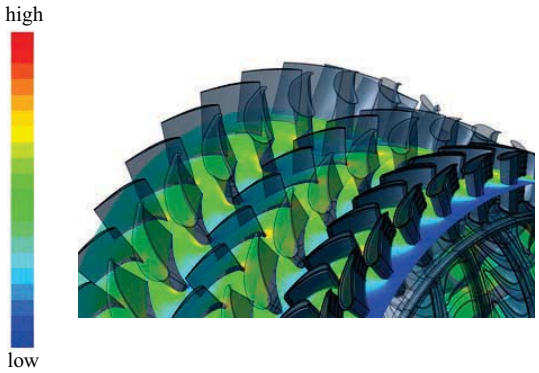



Fig. 7 Velocity distribution of turbine full-stage model

タービン後方にある排気ディフューザについては，全長及び入口出口の面積比，ストラット位置を見直すことにより損失の低減を図った。Fig. 8に，CFD解析の例を示す。構造の見直しによりSB5と比較して静圧回復率が10%改善した。

### 2.4　社内試運転

2018年秋頃より，社内設備にてSB5N開発試作機の試運転を開始した（Fig. 9）。主に以下の試験を行った。

・起動特性試験
・性能試験

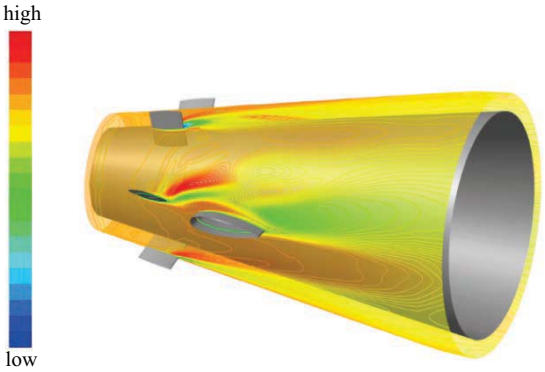



Fig. 8 Velocity distribution of turbine diffuser

・負荷遮断試験
・過速度トリップ試験
・100時間連続運転

起動特性試験ではIGV制御による失火やサージング等の問題なく起動ができることを確認した。また，流体の温度・圧力，機械的振動，高温部品のメタル温度，排ガス成分等の各種計測を実施し，計画範囲内であることを確認した。試運転後の開放点検では，各部品の健全性を確認した。

性能は発電端出力1,090kW，総合効率83%を達成した。

Fig. 9 SB5N in house test facility

## 3．SB5Nコージェネレーション設備

### 3.1　ガスタービンパッケージ

Fig. 10に，SB5Nガスタービンの標準パッケージを示す。分散型発電システムとして都市部のビルや工場に設置されることが多いことが予想されるため，パッケージの小型化は重要なポイントである。SB5ガスタービンパッケージを踏襲することで省スペース化を実現し，更に部品の共通化によるメンテナンス性の強化と信頼性の維持を図った。屋外配置を標準とし，機側１mで85dB以下の防音設計としている。

**3.1.1　燃料制御ユニット**　SB5ではメインバーナ上流の遮断弁を負荷に応じて切り替えるステージング制御を



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

採用しているため，メイン燃料ラインに複数の遮断弁が必要であった（Fig. 11 (a)）。一方，SB5NではIGV制御による低NOx運転を採用することにより遮断弁は１つとなったため，燃料制御ユニットの省スペース化が実現した（Fig. 11 (b)）。

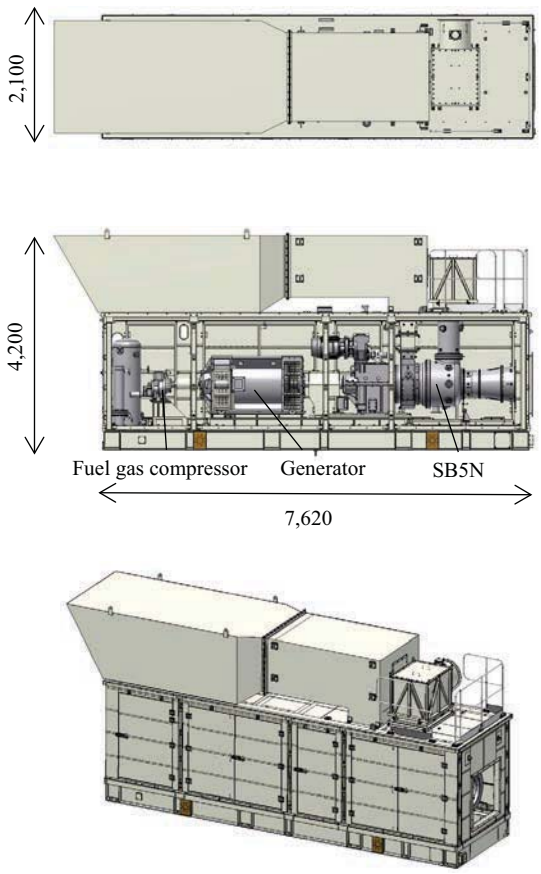
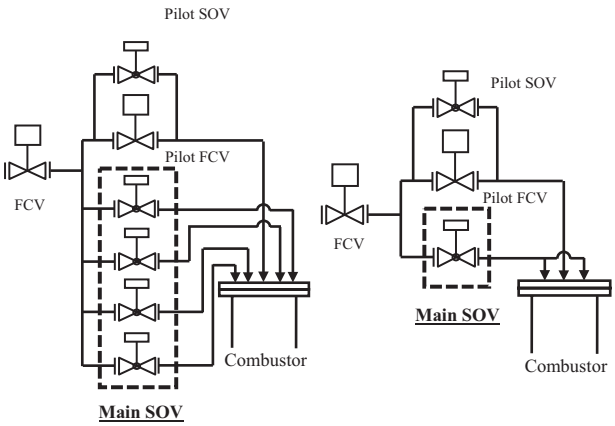



Fig. 10　SB5N gas turbine package




(a) SB5　　(b) SB5N

Fig. 11　Fuel gas system diagram

**3.1.2　潤滑油装置**　起動及び停止時に使用するモータ駆動の補助潤滑油ポンプと減速機軸端駆動の潤滑油ポンプを有し，潤滑油冷却器，温調弁，調圧弁，潤滑油フィルタ等全てパッケージ内に納めている。潤滑油冷却器の標準は水冷タイプだが，オプションとして冷却水を必要としない空冷タイプを採用できる。

**3.1.3　発電機**　発電機には自由通風型を採用し，冷却空気をガスタービンの吸気ダクトを利用してエンクロージャ内に取り込む。発電機の冷却に使用した空気をエンクロージャ内に排気して，ガスタービンパッケージ内の冷却及び換気に再利用している。

**3.1.4　燃料ガス圧縮機**　燃料ガス圧縮機は発電機の軸端駆動とし，ガスタービン及び発電機の共通台板上に設置することにより燃料ガス圧縮機専用の駆動機を省略して省スペース化を図った。また，ガス圧縮機の負荷制御はスライド弁で行ない，起動時はスライド弁の操作により負荷を軽減し，起動トルクを少なくしている。

### 3.2　排気ガスボイラ

ボイラはフィンチューブを用いた貫流式ボイラを採用している。ボイラ給水はエコノマイザを経て蒸発部で飽和蒸気となる。この蒸気はセパレータを通してプロセスへ送気する。ボイラにはセパレータ圧力を一定に制御するための一次圧力制御弁と余剰蒸気を大気に放出するための余剰蒸気放出弁を標準で装備しており，水位制御および蒸気圧制御によりボイラの運転制御を行なっている。

### 3.3　コージェネレーション設備

SB5Nコージェネレーション設備の標準配置をFig. 12に示す。設備の寸法は，長さ15,900mm×幅4,800mmとなっている。

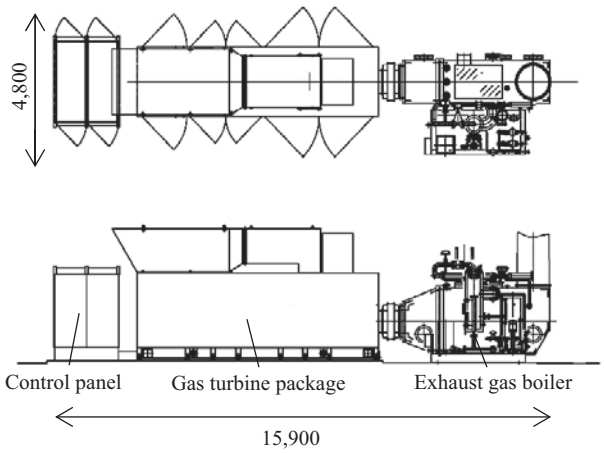



Fig. 12　SB5N cogeneration facility

## 4．初号機納入

SB5Nガスタービンコージェネレーション設備の初号機を兵庫県内の企業に納入し，2019年10月から商業運転を開始した（Fig. 13）。同サイトには1999年にSB5コージェネレーション設備GP1000を納入しており今回はそのリプレースとして納入した。同社向け設備は，夏場の



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

電力需要ピーク時でも発電出力の低下を抑える吸気冷却器を搭載し，構内の電力需要に対応するとともに，発生蒸気を構内プロセス及び空調設備に利用している。

Fig. 13 First commercial SB5N cogeneration facility

## 5．おわりに

ガスタービンコージェネレーション設備は，高い総合効率によって省エネルギー化すなわち$CO_2$削減に貢献できる。今後も自家発電用設備として活躍の場は拡がっていくものと期待される。㈱三井E&Sマシナリーはこの度1MW級のSB5ガスタービンを改良し，コージェネレーション設備として総合効率を向上させたSB5Nガスタービンを開発した。同社はこれからも継続的に開発を行い小型ガスタービンコージェネレーション設備の普及に取り組んでいく所存である。

## 参考文献

(1) Saruya, T., Uehara, K., Fujino, K. and Takagi, T., DEVELOPMENT OF THE GAS POWER 1000 COGENERATION SYSTEM WITH A 1MW INTERCOOLED GAS TURBINE, 1989 ASME COGEN-TURBO, 3rd International Symposium on Turbomachinery, Combined-Cycle Technologies and Cogeneration, pp. 183-191.

(2) 杉村ほか，1000kW高効率ガスタービンコージェネレーション設備，三井造船技報，Vol. 138, No. 10 (1989), p. 95.



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# Solar Turbines製Taurus 70の最新技術動向
# Technical Improvement of Solar Turbines Taurus 70

内野 孝*1
UCHINO Takashi

**キーワード**：ガスタービン, Taurus 70, エミッション, 効率, 信頼性
**Key Words**：Gas Turbine, Taurus 70, Emission, Efficiency, Reliability

## 1．はじめに

米国Solar Turbines社では1956年にガスタービンMarsを開発して以降，Table 1に示す様にメカニカルドライブ用と発電用共に幅広い出力レンジのガスタービンをラインナップしている。

Table 1　Gas turbine Ratings[1]

| Gas turbine Models | Mechanical Drives | Generator Sets |
|---|---|---|
| | kW | kWe |
| Saturn 20 | 1185 | 1210 |
| Centaur 40 | 3500 | 3515 |
| Centaur 50 | 4570 | 4600 |
| Mercury 50 | N/A | 4600 |
| Taurus 60 | 5740 | 5670 |
| Taurus 65 | N/A | 6500 |
| Taurus 70 | 8290 | 8180 |
| Mars 90 | 9860 | 9450 |
| Mars 100 | 11860 | 11350 |
| Titan 130 | 17500 | 16530 |
| Titan 250 | 23790 | 23100 |

当社は1979年よりSolar Turbines社とのパッケージング契約の基にガスタービンを輸入し，当社で設計，製作する燃料系統および潤滑油系統補機類，制御機器と組合せ，日本国内向けに発電装置パッケージを製品として提供している。本稿ではSolar Turbines社の８MWクラスの最新ガスタービンであるTaurus 70について紹介する。

## 2．Taurus 70および発電装置パッケージの特徴

### 2.1　主要諸元

Taurus 70は実績のあるTaurus 60の設計を基に開発され，1995年の販売開始以降，細かな改良を積み重ねながら出力と効率，信頼性，エミッション性能の向上を継続的に行っている（Fig. 1）。

2017年に性能改善した最新のTaurus 70の主要諸元をTable 2に，断面図をFig. 2に示す。

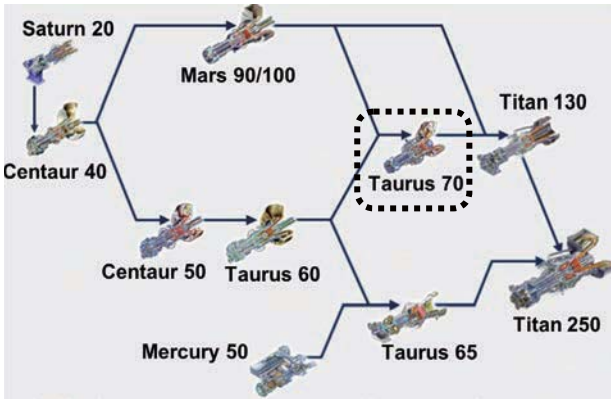



Fig. 1　Product evolution

Table 2　Specification of Taurus 70

| | |
|---|---|
| Type | Open cycle, Single shaft gas turbine |
| Compressor | 14 stage Axial flow |
| Turbine | 3 stage Axial flow |
| Combustion Chamber | Annular type |
| Pressure Ratio | 16.5 |
| Fuel injector | 12 Lean premixed<br>Dry Low Emission injector |
| Output Power | 8180 kWe at 15 ℃ |
| Exhaust Flow | 95,150 kg/hr |
| Exhaust Temp. | 515 ℃ |
| Efficiency | 34.4 %（Generator terminals） |
| Emission | NOx < 15 ppm（at 15%$O_2$） |

原稿受付　2020年１月17日
＊１　㈱IHI原動機 技術センター GT製品開発部
GTパッケージ設計グループ
E-mail: uchino0602@ihi-g.com



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

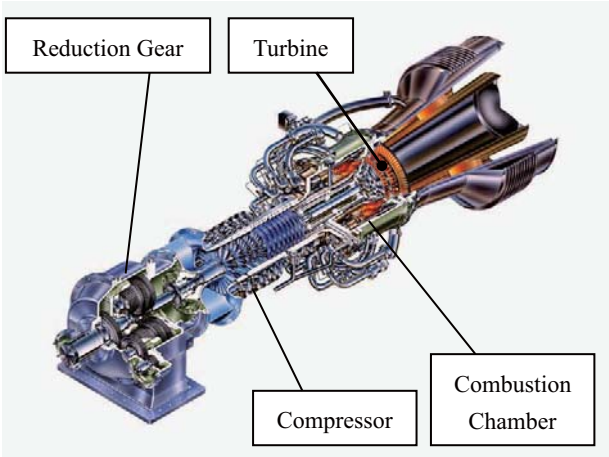



Fig. 2 Taurus 70 gas turbine cross section

### 2.2 主要構造

圧縮機は可変静翼を持つ軸流14段で，圧力比は16.5：1である。

燃焼器はアニュラー型であり，12本の燃料噴射弁を配置したDLE方式の希薄予混合燃焼システム（SoLoNOx）を採用している。また，この燃焼器は燃料噴射弁を交換する事で，ガス燃料・液体燃料のいずれかに加え，双方の燃料に運転中に切り替え可能なデュアルフューエル方式に対応可能である。始動時の点火は，燃焼器に差し込まれた点火トーチを火種にしている。

タービンは軸流３段で，１段目と２段目に空冷翼を採用し，さらに耐熱コーティングを施している。

### 2.3 発電装置パッケージ

発電装置パッケージ内機器は，ガスタービンおよび減速機を除いて当社にて独自に設計・製作しており，多様な仕様に合せた製品を提供している。

### 2.4 燃料制御システム

燃料制御システムはSolar Turbines社で実績のある方式を踏襲した上で，制御機器は当社で独自に設計している。Fig. 3に燃料制御システムの系統図を示す。パイロット燃料流量とメイン燃料流量は個別の制御弁により流量を制御し，安定した燃焼とエミッション性能の改善に寄与している。

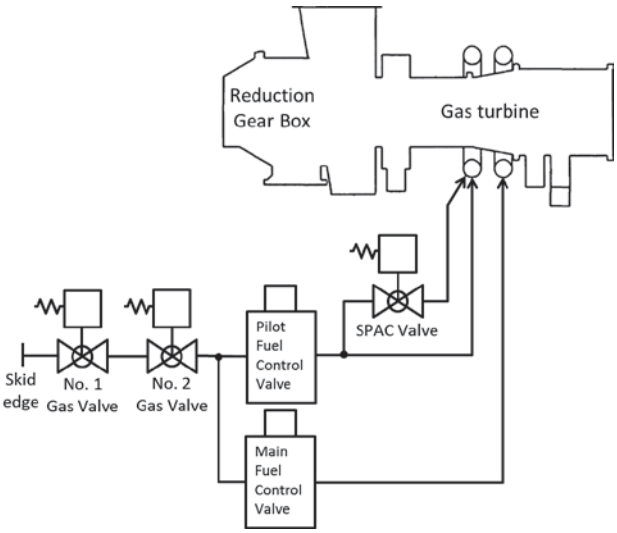



Fig. 3 Fuel control system schematic

### 2.5 過負荷保護装置

電力系統事故等に起因する過負荷からガスタービンを保護するために，カップリングにシャーピンを設け，過負荷時にはこれを破断させることで機械的に保護しているが，破断したシャーピンの交換作業が完了するまでの間はガスタービン発電装置を運転することができない。これを嫌い，落雷等による瞬時電圧低下による瞬時的過負荷が生じても，発電装置の運転継続を要望されるケースがある。

この要望に応えるため，当社ではトルクリミッタを適用した過負荷保護装置を提供している。トルクリミッタは摩擦力でトルク伝達を行う構造で，この摩擦力を調節することで，伝達トルク上限値を任意に設定する事が可能になっている（Fig. 4）。トルクリミッタを用いる事で，Fig. 5に示す瞬時電圧低下時のピークトルクが発生しても，トルクリミッタがスリップする事で過負荷トルクをガスタービン側に伝えず，損傷を防ぐことができる。尚且つ，シャーピン方式による保護装置と異なり，動作時に機械的な破壊を伴わないため，負荷が再度伝達トルク上限設定値以下に下がれば，そのまま運転継続をすることも可能である。

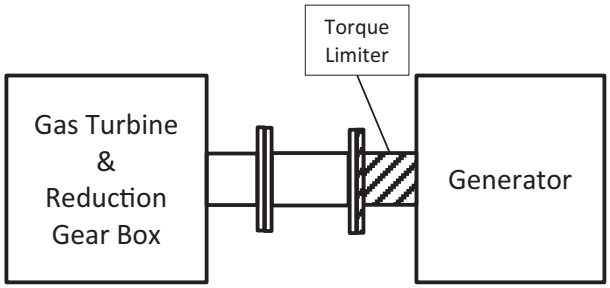



Fig. 4 Torque limiter

## 3．Taurus 70に適用される最新技術

### 3.1 燃料噴射弁

アニュラー型燃焼器にオンサイトでの交換が可能な燃料噴射弁を取付ける構造は，以前からの構造を踏襲したものであるが，エミッションと燃焼振動を改善するため，次の改良を行っている。

・エアロダイナミクスの改良
・燃料と空気の混合気形成の改良
・燃料分布の均一化

また，製造方法と構造を変更し，スワラーを鋳造一体成型に変更する事で，信頼性とエミッション性能を向上させている。変更前後のスワラーの形状と燃料分布の比較をFig. 6と7に示す。



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

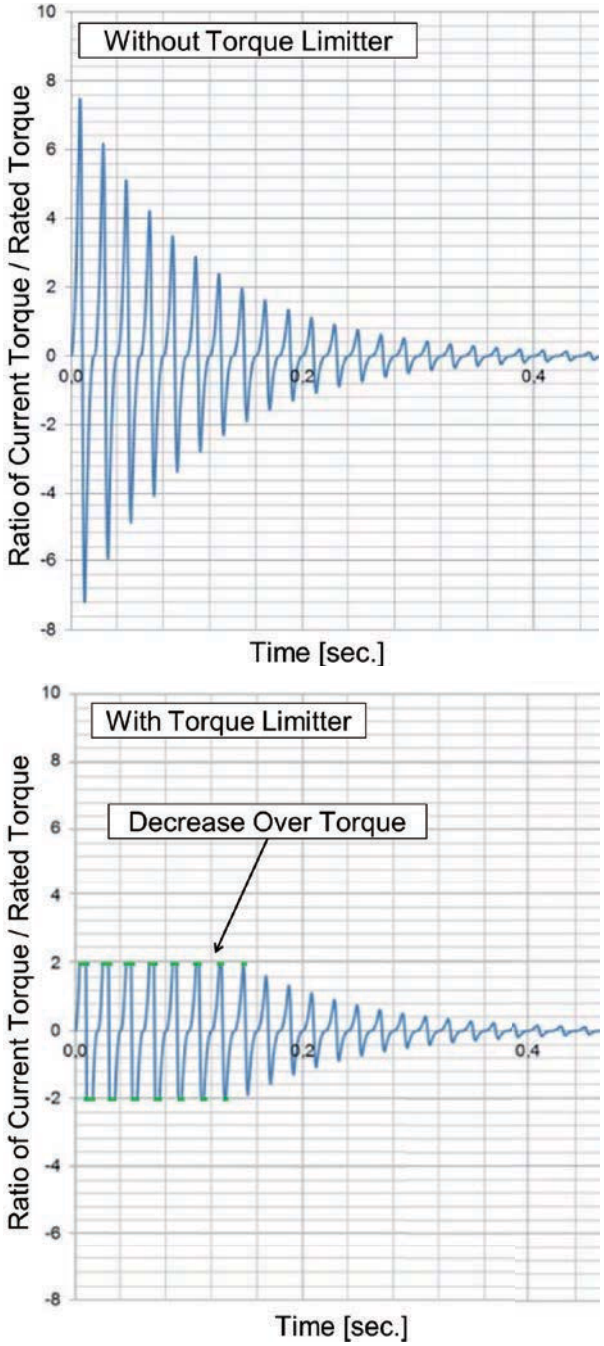
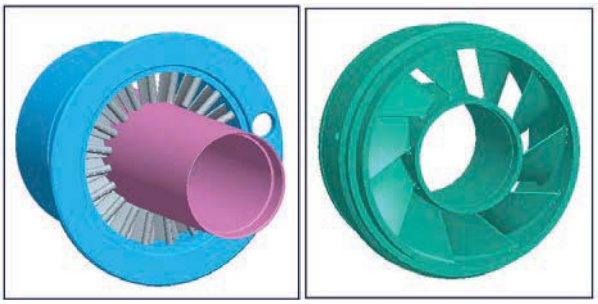
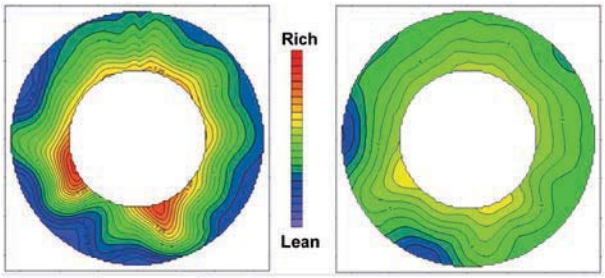



Fig. 5　Effect of Torque limiter



Legacy　　Modern

Fig. 6　Fabricated swirler and Cast swirler




Legacy　　Modern

Fig. 7　Fuel mixing profiles

### 3.2　燃焼器

アニュラー型燃焼器のライナーは高温の燃焼ガスに曝されるため，冷却性能とエミッションの改善を目的に，ライナーを裏側から冷却する背面冷却ライナーに改良している。Fig. 8と9に改良前後の図を示す。

背面冷却ライナーにすることで，燃焼器内の燃焼ガスが冷却空気により希釈される事が無くなり，希薄燃焼時のCOおよびHCの生成を抑制し，NOx低減が可能な希薄燃焼領域をより希薄な方向に広げている（Fig. 10）。

### 3.3　SPACシステム

燃焼器内で発生する燃焼振動は，時として燃焼器ライナーの損傷を引き起こすため，Taurus 70ではSPAC（Sprit Pilot Active Control）システムを採用し，燃焼振動を抑制している。SPACシステムはFig. 3に記載のSPACバルブを閉じる事で，12本の燃料噴射弁のうち半数の６本の燃料噴射弁のパイロット燃料噴射を止め，燃焼器内に温度と圧力が異なる領域を生成し，円周方向の燃焼振動モードの発生を抑制する（Fig. 11）。

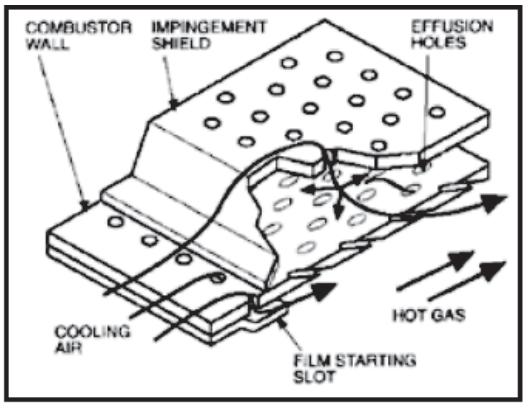



Fig. 8　Effusion cooling（Legacy SoLoNOx）

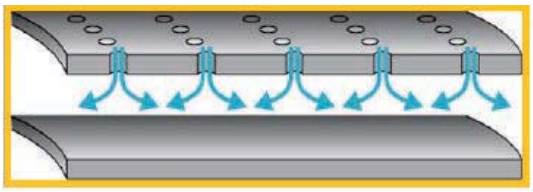


Fig. 9　Backside cooling（Modern SoLoNOx）



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

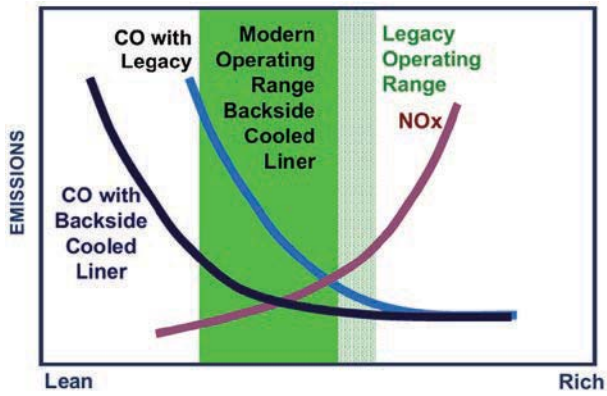



Fig. 10 NOx reduction operating range

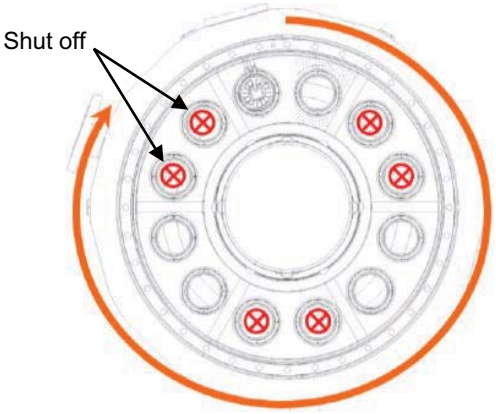



Fig. 11 SPAC system overview

### 3.4 BAMシステム

燃焼器内の燃焼振動を計測するため，BAM1.0（Burner Acoustic Monitor）システム（Fig. 12）を適用していたが，これを発展させ次の変更をしたBAM 2.0システムに改良している。

・耐熱温度を向上させた圧力センサーに変更
・圧力センサーを点火トーチに取付け，燃焼器内の圧力を直接計測できるよう改良

これらにより，BAM1.0システムに付随していた配管を不要とし，計測システムの信頼性を向上させている事に加え，燃焼振動によるエンジンの損傷を防ぐためのパイロット燃料アクティブ制御を実現している。

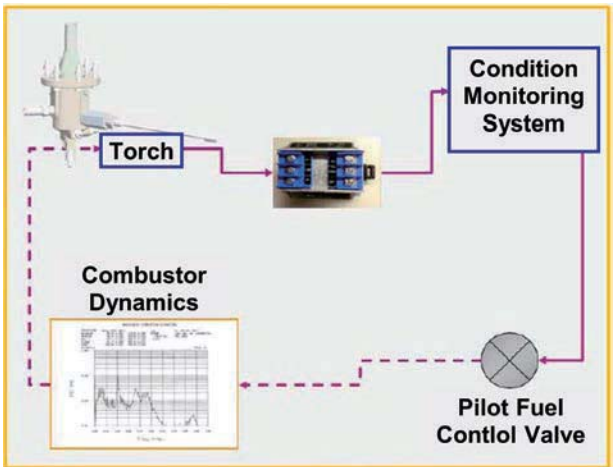



Fig. 12 BAM with Active control

### 3.5 Enhanced emission control

旧来のSoLoNOxシステムは，低NOx運転が可能な負荷領域が50～100%に限定されており，50%以下の負荷領域ではNon-SoLoNOx運転に切り替えていた。最新の制御システムでは，この切り替えポイントを無くし50%以下の負荷領域においてもエミッション性能を改善させている（Fig. 13）。

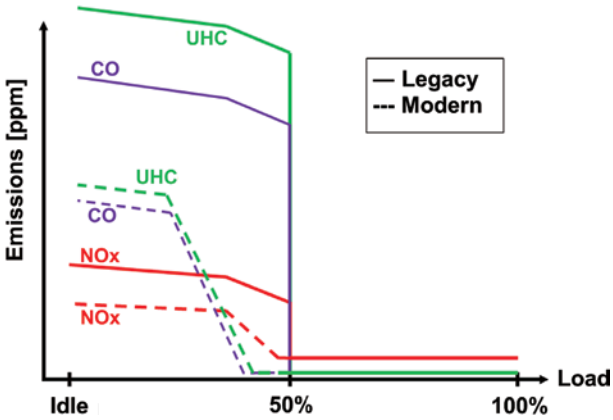



Fig. 13 Emission of Enhanced Emission Control

## 4．最新のTaurus 70の適用事例

本稿で紹介した最新技術を適用したTaurus 70は，日本国内初号機の稼働開始を2020年度に予定している。

また，前述のメカニカルドライブ用ガスタービンにも同様の技術が適用されている。

## 5．おわりに

本稿では，最新のTaurus 70に適用された技術の一端を紹介したが，このガスタービンは1995年の販売開始以来，改良の積み重ねによって出力と効率，信頼性，エミッション性能を向上させてきた。今後もさらなるユーザー満足度向上を目指して改良される事に加え，パッケージ全体の最適化，信頼性向上，メンテナンス頻度の削減に継続的に取り組んでいきます。

## 謝　辞

本稿の作成にあたり資料提供頂いた，Solar Turbines Inc.木原謙氏に謝意を表します。

## 参考文献

(1) Solar Turbines Inc.
＜https://www.solarturbines.com＞
（Accessed on 8th January, 2020）.



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# IHI原動機 中小型ガスタービンの適用事例

# Applications of Small and Medium Gas Turbines Provided by IHI Power Systems

野原 隆樹*1
NOHARA Ryuki

キーワード：ガスタービン，コージェネレーション，コンバインドサイクル
Key Words：Gas Turbine, Cogeneration, Combined Cycle

## 1．緒言

地球温暖化対策を目的とした$CO_2$排出量削減の要求は国際的に益々高まり，近年では削減目標値の宣言が要求されつつある。各国で再生可能エネルギーへの傾倒や，水素燃料利用の取り組みが加速しているが，経済，社会の維持発展のためには，未だ化石燃料にも頼らざるを得ないのが実情である。化石燃料による発電手段として$CO_2$排出量削減に寄与できるガスタービン発電への期待は高い。ガスタービンは1 MW以下の小型から数百MWの大型まで幅広いレンジで使われており，大型ガスタービンは主に社会インフラを支えるベースロード電源としての役割を担ってきたのに対し，中小型ガスタービンは，少ない設置面積で比較的短期間に建設が可能であることから，分散電源としての役割が大きく，工場，オフィスビル，商業施設や工業団地などに多数導入されてきた。また，高速起動性，高い負荷追従性のメリットを生かし，非常用発電設備への適用の他，再生可能エネルギーの電力変動を補完する用途にも期待が寄せられている。本稿では，株式会社IHI原動機の産業用中小型ガスタービンの適用事例について紹介する。

## 2．製品ラインナップ

株式会社IHI原動機は，旧 新潟原動機株式会社，旧 株式会社ディーゼルユナイテッド，株式会社IHIの旧 原動機部門が合併し，原動機に関する事業を統合した組織として2019年7月に発足した。ガスタービンの他，陸用ディーゼル，舶用ディーゼル，ガスエンジンなどの各種原動機，発電プラントを取り扱っている。Fig. 1に当社が取り扱うガスタービン機種のラインナップを示す。1 MW以下から70 MWまでの各クラスでシームレスに製品を揃え，お客様のニーズに沿った最適な機種を提供している。

本稿では この中からIM270及びLM6000ガスタービンの適用事例について紹介する。

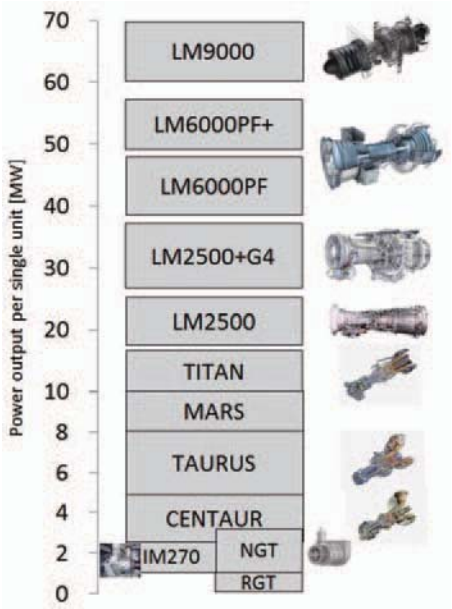



Fig. 1 Gas-turbines provided by IHI power systems

## 3．IM270ガスタービン

### 3.1　製品概要

IM270は，株式会社IHIにて開発した1軸型のガスタービンで，遠心圧縮機2段，軸流タービン3段と，希薄予混合燃焼方式による低NOxの単管型燃焼器で構成される。Fig. 2に機関の断面図を示し，Table 1に代表的な性能表を示す。2,000 kW，2,500 kW（蒸気噴射）の出力帯にて，多数の発電プラントを納めてきた実績があり，お客様のニーズに合わせて多様な発電プラントを提供してきた。次項にて各形態の特長を解説する。後半ではライフサイクルコスト削減の取り組みについても紹介する。

原稿受付　2020年1月9日
＊1　㈱IHI原動機 陸用事業部
〒101-0021　千代田区外神田2-14-5
E-mail: nohara6583@ihi-g.com



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

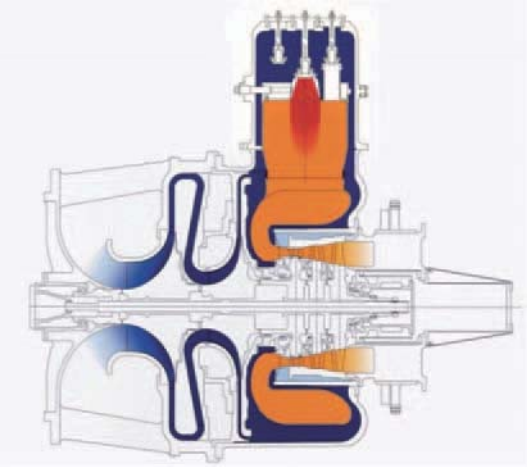


Fig. 2 Cross section of IM270 gasturbine

Table 1 IM270 power plant performances

| System type | Simple Cycle | Cogeneration | Variable heat and power (IHI-FLECS) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Max. Power | Max. Steam supply flow |
| Power Output | 2,000 kW | 2,000 kW | 2,500 kW | 2,000 kW |
| Efficiency | 25.4 % | 25.4 % | 28.2 % | 24.9 % |
| Heat recovery efficiency | – | 64.7 % | 29.7 % | 51.7 % |
| Total thermal efficiency | – | 90.1 % | 57.9 % | 76.6 % |
| NOx (16 %$O_2$) | 20 ppm | 20 ppm | 20 ppm | 20 ppm |

LHV basis, ISO standard condition, with reduction gear and inlet/exhaust losses

### 3.2 IM270ガスタービン適用事例

単管型燃焼器の特長を生かし，コアエンジンモジュール（圧縮機，タービン）を共通ユニットとし，用途に合わせて燃焼器のみを組み替えることで，多様な形態に適用が可能である。以下に各形態の特長を解説する。

**3.2.1 コージェネレーション** コージェネレーションは，これまで当社が納めてきたIM270を適用したプラントで最も多い形態である。ガスタービンと排熱回収ボイラの組み合わせにより，電力最大2,000 kWとプロセス蒸気最大 6 t/hの供給が可能である。ガスタービンは排ガス温度が高く排熱回収効率が高いため，他の内燃機関では達成しえない高い総合効率が実現できる。近年では，追焚蒸気ボイラの導入により，クラス最高の総合効率90.1 %を達成し，2018年にコージェネ大賞[1]を受賞した。

**3.2.2 熱電可変型コージェネレーション** 標準のコージェネレーションは蒸気，電力供給の比率が一定となるため，設備の導入にあたっては，蒸気と電力の需要バランスに合わせて仕様を決めることが重要である。しかしながら，季節や時間帯によっては蒸気と電力の需要バランスが変化し，蒸気が供給過剰となる場合がある。この課題に対し，蒸気と電力の比率を調整できる熱電可変型のIM270-IHI-FLECS（Flexible Cogeneration System）を製品として提供してきた。余剰となった飽和蒸気を燃焼器に最大2.5 t/hまで噴射し，発電出力を2,000 kWから2,500 kWまで増加させることができる。従来，燃焼安定性上から困難とみられていた希薄予混合燃焼器への蒸気噴射技術を製品化したものであり，排出NOxはドライ仕様と同じく，20 ppm（16 %$O_2$換算）以下の達成が可能である。蒸気需要の変動が大きい工場，オフィスビル用の発電設備に適用した事例が複数ある。Table 1に性能仕様を示し，Fig. 3にシステム概要を，Fig. 4に送気蒸気量と発電出力の関係を示す。

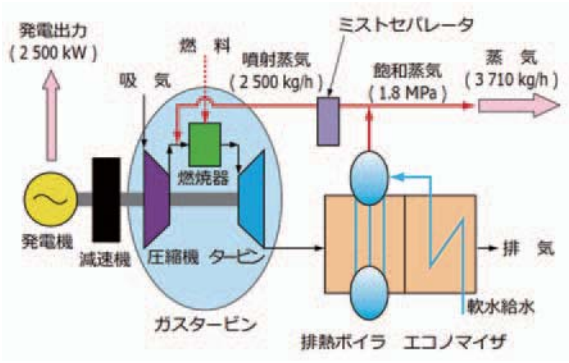



Fig. 3 IM270 IHI-FLECS System flow[2]

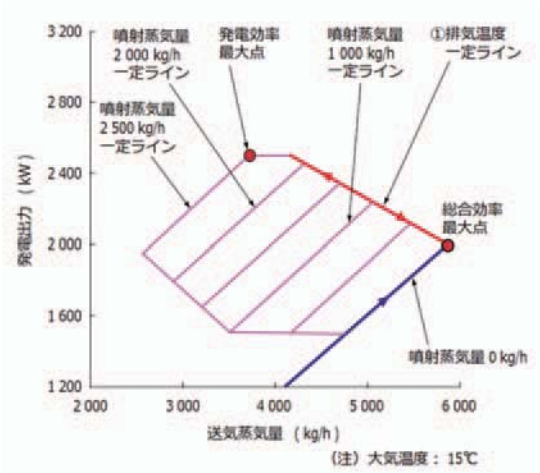



Fig. 4 Process steam flowrate versus power output[2]

**3.2.3 非常用発電設備（デュアルフューエル）** 非常用発電設備，特に防災用では起動から40 秒以内の電圧確立が求められるが，IM270においても提供が可能である。起動時には電動スターターのアシストにより加速を行い，短時間で定格回転まで加速が可能である。非常用発電専用機の場合は，主に灯油を燃料とするが，非常用，常用兼用機の需要も高く，常用時は都市ガス燃料により運用し，非常時には灯油燃料による運用が可能なデュアルフューエルタイプを製品化し，これまでに複数の納入事例がある。非常時には40 秒以内の電圧確立が可能であることに加え，発電を維持したまま，ガス⇔灯油のシームレスな燃料切り替えができ，非常時の燃料インフラの状況に応じて，燃料を選択して運用が可能である。Fig. 5にデュアルフューエルタイプ燃焼器の断面



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

図を示す。燃焼器の中心に配置したパイロット燃料ノズル１本と周状に配置した6本のメイン燃料ノズルから構成され，両ノズルにガス燃料，液燃料の供給が可能である。燃料切り替え指令から約30 秒で燃料切り替えを完了できる。

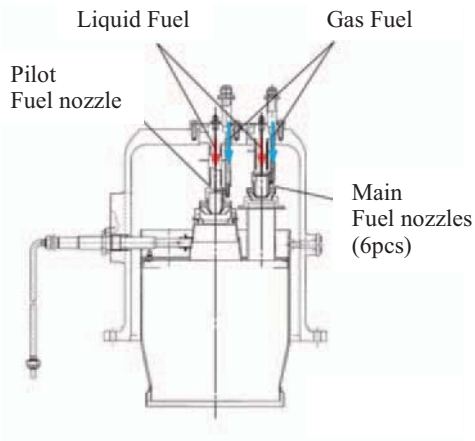



Fig. 5　Cross section of dual fuel combustor

**3.2.4　燃料多様化への取り組み**　国内では燃料として都市ガス，灯油を用いる事例が多いが，多種燃料への対応の需要も多くあり，当社でも燃料多様化の開発に継続的に取り組んでいる。IM270においては，プロパン，特A重油，LCO（Light Cycle Oil）への対応を行ってきたが，近年では以下に解説するVOC（Volatile Organic Compound）や，アンモニア焚きの対応に取り組んでいる。

１）VOC（Volatile Organic Compound）

シンナー等の揮発性有機化合物の総称をVOC（Volatile Organic Compound）と呼んでおり，工場等での製品製造時や，印刷用インクなどに使用されている。VOCは大気汚染の原因物質であるため，大気への放出は大気汚染防止法で規制されており，VOC排出設備は排出基準の遵守が義務付けられている。従来は，揮発したVOCを回収した後，化石燃料を用いて焼却処分されてきた。この課題解決のため，VOCが持つエネルギーを燃料として用いたのがVOC焚き型IM270[3]である。３.２.２項で解説した蒸気噴射型の燃焼器を用いて，蒸気に液VOCを噴射して蒸気・VOCの混合気体を生成した後，燃焼器に噴射する方式を用いた。液VOCを気化させるため過熱蒸気を用いている。投入したVOC熱量の分だけ主燃料である都市ガス流量を減らすことができ，VOC成分，濃度，処理量の変動に応じて都市ガス燃料は自動でコントロールされるため，逐次変動する出力要求に追従が可能である。蒸気1.3 t/hに対し最大400 kg/hのVOCを混合することで，都市ガス流量を約30 %削減することができた。また排出NOx，COへの影響も軽微である。Fig. 6にシステム概要を示す。

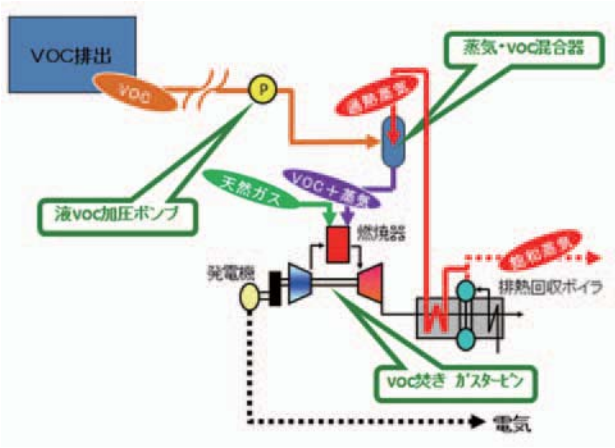



Fig. 6　Cogeneration system of VOC energy recovery[3]

２）アンモニア

近年の脱$CO_2$社会実現の取り組みのため，水素を燃料としたガスタービンの開発が各社にて行われている。水素ガスをそのまま燃料として用いる他に，当社では水素キャリアとしてアンモニア$NH_3$を燃料として利用することで，$CO_2$を排出しない技術の開発に取り組んできた。都市ガス，アンモニア混焼用の燃焼器を開発し，IHI横浜事業所に設置したIM270発電プラントにて実証運転に成功し，アンモニア混焼率20 %を達成した。現在，さらなる混焼率アップの研究に取り組んでいる。液アンモニアは液体水素と比較して保管方法や輸送が大幅に容易であり，インフラ整備，維持管理のコストが低い。単位体積当たりのエネルギー密度でも優位性が高く，水素キャリアとして注目されており，アンモニアを燃料とした内燃機関の実用化への期待は高い。

**3.2.5　ライフサイクルコスト削減**　常用発電プラントでは初期導入コストのみならず，運用ライフサイクルコストの低減が求められており，特に定期的な交換を必要とする高温パーツの長寿命化の要望が高く，部品長寿命化の取り組みを継続的に行っている。本稿では，冷却最適化により冷却空気総量は増やさずに，クリープ寿命を改善したブレードをリリースしたので紹介する。

１）タービンブレード冷却改良

１段タービンブレードは圧縮機出口空気を用いて内部冷却している。１段ブレードの交換周期はクリープ寿命が律速となっており，寿命延長には冷却空気量の増加が有効であるが，発電効率低下のデメリットがあるため，実施は見送られてきた。一方で，使用済ブレードの切断組織を観察した結果，Fig. 7に示すように前縁部で顕著にラフト化した組織が見られ，クリープ進展が顕著であることが分かった。さらにブレード表面温度分布の推定結果からも前縁部温度が高いことが判明したため，前縁部の冷却強化を実施した。Fig. 8に示すように冷却空気として圧縮機出口空気を用い，ブレード内で前縁部と後縁部に配分して供給しているが，冷却空気総量は変更せず，前後の流量配分比を変更して前縁部の冷却を強化す



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

ることで，発電効率を落とさずにクリープ寿命を改善した。試作ブレードによる実証運転後の断面組織の観察結果およびミニチュアクリープ試験の結果から，従来品と比較し約1.4倍のクリープ寿命延長の効果が得られていることを確認し，製品として正式にリリースした。今後は，この冷却改良型ブレードを用いてメンテナンスインターバルの最適化を行い，ライフサイクルコストの削減に取り組む。メンテナンスインターバルの律速となる他部品の改良についても今後取り組んでいく。

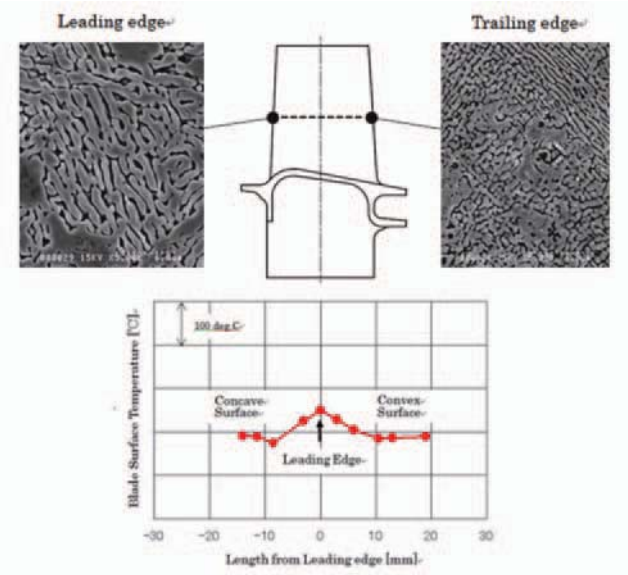



Fig. 7 Distribution of blade surface temperature and raft structure of leading edge

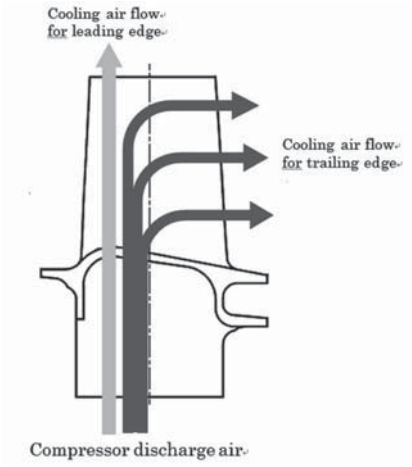



Fig. 8 Cooling air flow in turbine blade

## 4．LM6000ガスタービンの適用事例

### 4.1 製品概要

LM6000は，GE社の航空エンジンCF6-80C2をベースとして発電，機械駆動用に開発されたガスタービンで，低圧圧縮機５段，高圧圧縮機14段，高圧タービン２段，低圧（出力）タービン5段から構成される２軸型の構造を持つ。航空転用型ガスタービンのメリットである軽量，コンパクト，高効率，高速起動の特長を有し，用途に応じて，低NOx型のDLE（Dry Low Emission）燃焼器，高出力型のSAC（Single Annular Combustor）燃焼器の選択が可能である。またDual Fuelに対応できる他，エンジン吸気への水噴射による出力増強などの形態をオプションで用意している。Fig. 9 にエンジン外観，Table 2に代表性能を示し，次項から発電設備への適用事例を解説する。

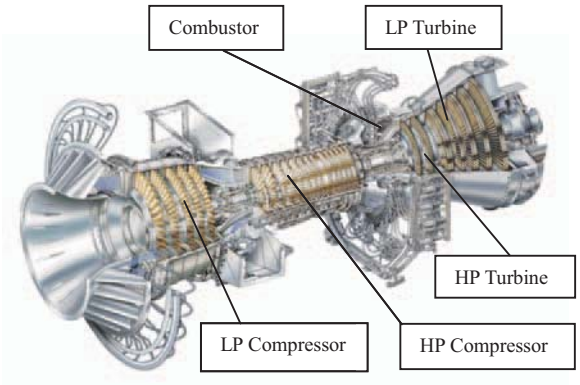



Fig. 9 Cross sectional image of LM6000 gasturbine[4]

Table 2 LM6000 power plant performance

| | Model | | LM6000 PC | | LM6000 PD/PF | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Combustor type | | SAC | | DLE | |
| | Option | | | SPRINT | | SPRINT |
| Simple cycle | Power Output | MW | 43.4 | 48.7 | 42.5 | 47.5 |
| | Efficiency | % | 40.1 | 40.3 | 41.2 | 41.3 |
| Combined cycle GT:1 × ST:1 | Power Output | MW | 55.3 | 62.1 | 55.2 | 59.8 |
| | Net Efficiency | % | 51.0 | 51.3 | 53.3 | 52.7 |
| Combined cycle GT:2 × ST:1 | Power Output | MW | 111.1 | 124.8 | 111.0 | 120.2 |
| | Net Efficiency | % | 51.3 | 51.5 | 53.6 | 53.0 |

LHV basis, ISO standard condition, with reduction gear and inlet/exhaust losses

### 4.2 LM6000ガスタービン適用事例

Fig. 10に当社が納めた発電プラント実績を示す。日本国内に加え，タイ，オーストラリアで多数の実績があり，近年ではモザンビークに100 MWクラスのコンバインドサイクル発電プラントを納入した。次項に発電設備の適用例を解説する。

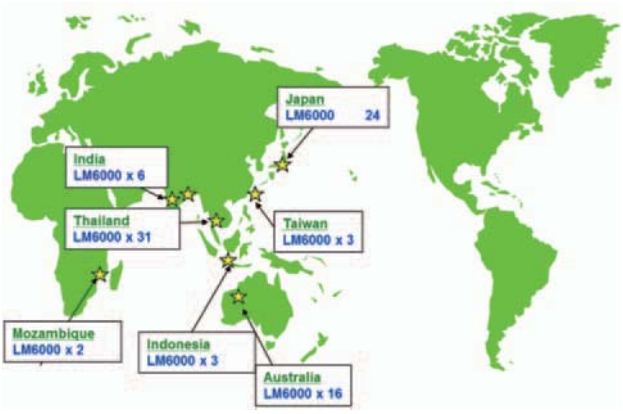



Fig. 10 Delivery record of LM6000 power plants



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

**4.2.1　シンプルサイクル**　航空エンジン用に設計された軽量ローター，ケーシング構造を有し，高速起動，負荷追従性のメリットを生かして，柔軟な運用が可能である。主に負荷変動が大きい工場，資源採掘，工業地帯への電源供給として多数の納入実績がある。また，電力需要の増加に合わせて電力を供給するピークカットの用途や，後述する再生可能エネルギーの電力変動を補完する用途に適合性が高い。

**4.2.2　コンバインドサイクル**　当社が納めたプラントで最も多い形態で，特にLM6000ガスタービン２台＋排熱回収ボイラ２台＋スチームタービン１台の２-２-１の構成で100 MWクラスのコンバインドサイクルを多数建設してきた。ガスタービン吸気に水噴射をするSPRINT™システムや，吸気冷却装置を用いて，高温環境化においても出力を維持することが可能である。付随する復水器，ガス供給設備などのBOP（Balance of Plant）機器を含めたEPC（Engineering, Procurement, Construction）によるプラント建設で多くの実績がある。Fig. 11にコンバインドサイクル発電の概念図を，Fig. 12にコンバインドサイクルプラント全体の外観例を示す。

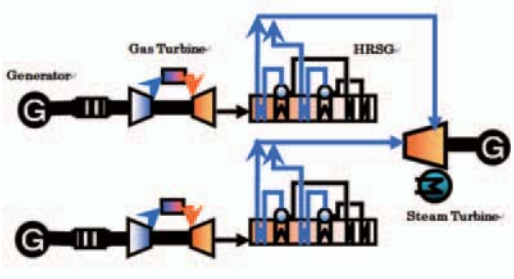



Fig. 11　Concept of 2-2-1 combined cycle

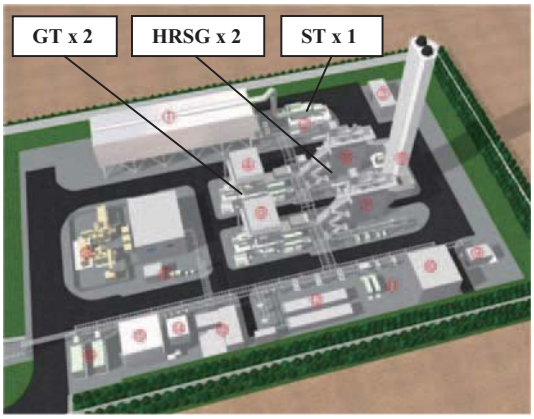



Fig. 12　Overview of 2-2-1 combined cycle power plant

**4.2.3　高速起動**　LM6000は，航空エンジン用に設計された軽量ローター，ケーシング構造により，高速起動が可能であり，シンプルサイクルの場合，最速で着火から５分で最大電力の供給が可能である。Fig. 12に高速起動時のパターンを示す。この特長を生かし，発電需要の急速な変化に追従できるメリットがある。

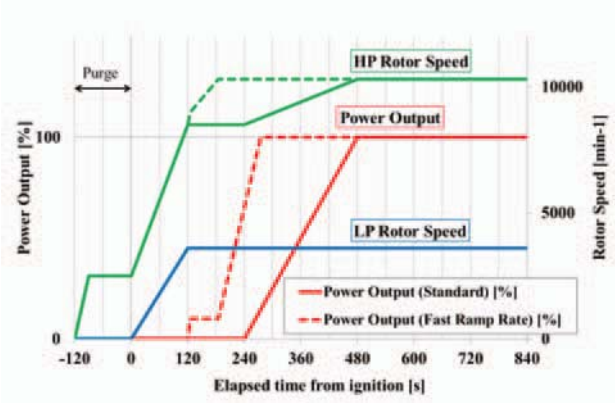



Fig. 13　Start-up profile of LM6000[4]

**4.2.4　調整用電源**　各国にて再生可能エネルギーの導入量が増加しているが，風力，太陽光による発電には不確実性のデメリットがある。夜間に太陽光発電量が下がるのに反して電力需要が急増する時間帯においては，需給バランス調整用に機動性を有する発電手段が必須となっている。風力発電においては，短時間の間に発電量の変動を繰り返すことから電圧安定化の調整も必須となる。この課題解決に高速起動性，高い負荷追従性を持つ航空転用型ガスタービンが適している。Fig. 14に航空転用型ガスタービン，重構造型ガスタービン，ガスエンジンの負荷追従性の比較を示す。単位時間当たりの許容負荷変動量（kW/s）および許容負荷変動率（%load/s）は航空転用型ガスタービンに優位性があり，特にLM6000は突出した負荷追従性を有していることがわかる。このメリットを生かし，主に米国でLM6000をスピニングリザーブとして用いる事例がある。Fig. 15にスピニングリザーブの概念図を示す。ケース１は，発動指令を受けてからガスタービンを起動，同期速度に到達してから遮断機を閉じて電力を供給する従来のピークカットの形態である。ケース２は，遮断機を閉じた状態で発電機を常に同期させて無効電力を供給できるシンクロナスコンデンサーとして用いることで電圧安定化に貢献，電力需要に応じてガスタービンをクラッチインさせて電力を供給する形態。ケース３は，常時系統と同期させてガスタービンを無負荷状態で運転しておき，需要に応じて電力を供給する形態である。

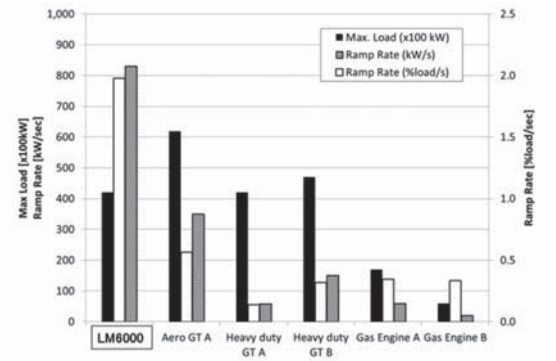



Fig. 14　Comparison of ramp rate of various engines



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

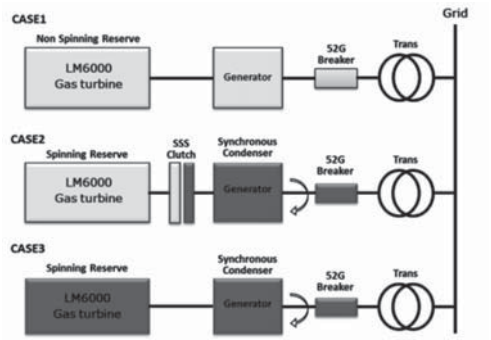



Fig. 15 Concept of spinning reserve with gas turbine

### 4.2.5 Fast Power40 製品紹介

これまでに解説してきた多様な形態にて多くの発電プラントを納入してきた実績があるが，受注から引き渡しまでの標準工期は約1.5～2年としてきた。一方で，電力不足が深刻な地域では，早期の送電開始の要望が高いことから，シンプルサイクル形態を超短納期で提供するFlexible & Fast Powerのコンセプトで，LM6000を用いたFast Power40を開発した。パッケージ設計をゼロベースで見直し，従来形態に比べて大幅にコンパクト化を図り，現地での据え付け工期の大幅な短縮が可能となった。Fig. 16に従来パッケージとの比較を示し，以下に特長を述べる。

- 重量・外形寸法を従来比で約50 %削減
- 現地据付工事を約2週間で完了
- Dual Fuel（ガス，液）に対応
- 常設のみでなく，仮設設置，移設が可能
- 高効率，低NOx，高速起動の特長は有したまま
- 冷却水が不要

これらの特長を生かし，以下のような需要，市場への適用を計画している。

- 発電インフラ未整備地域での早期電力供給。
- 再生可能エネルギーとの協調・統合の早期確立。
- 工期が長い大容量発電プラント完成までのテンポラリーな電力供給による早期の商用運転開始。
- 大幅にコンパクト化したパッケージサイズにより，既設のガスタービンパッケージを超短期間でリプレイス。
- 仮設設置，移設により地域の電力事情に合わせてフレキシブルな設置，運用。

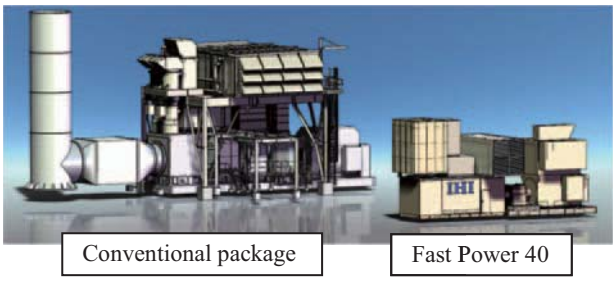



Fig. 16 External view of Fast Power 40

## 5．予防保全システムによるMTBFの改善

当社では，ガスタービンプラントの安定運用，信頼性向上を目的として，異常データを検知する予防保全システムを開発運用しているので紹介する。遠隔監視装置「あいモニタ」を用いて各プラントから運転データを収集し，正常，異常のデータベースを構築。正常データとの比較や直近データの挙動から異常を検知してトリップ前に処置することで，MTBF（Mean time between failure）改善の効果が得られている。Fig. 17にシステム概要を，Fig. 18に近年のMTBFの改善結果を示す。

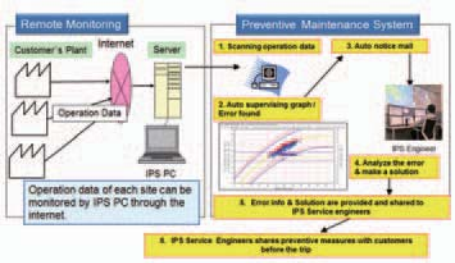



Fig. 17 Concept of preventive maintenance system

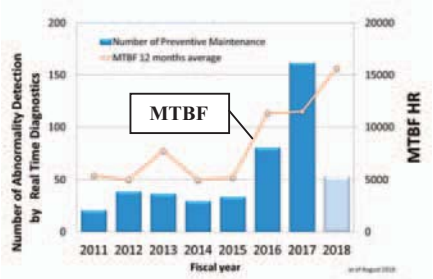



Fig. 18 Reliability improvement by preventive maintenance

## 6．まとめ

本稿では株式会社IHI原動機が提供するガスタービンの中からIM270，LM6000を用いた発電プラントの適用事例を紹介した。近年，再生可能エネルギーへの投資拡大により，ガスタービン発電市場は落ち込んでいるが，電力安定供給の面からエネルギーミックスのバランス配分は重要であり，今後もガスタービン発電は一定の役割を担っていくものと考える。当社でも引き続き市場のニーズに合わせた製品開発，システムソリューションに取り組んでいく。

## 参考文献

(1) コージェネ財団 コージェネ大賞2018 <https://www.ace.or.jp/web/gp/gp_2018.html>（参照日 2019年12月20日）.
(2) 田中淳史，製品紹介 IM270 IHI-FLECS，石川島播磨技報, Vol. 45, No. 2（2005-6）, pp. 103-104.
(3) 田中敦士，平野学，永濱淳哉，野原隆樹，VOC 焚きGTコージェネの実用化：IM270 IHI-FLECS, クリーンエネルギー , Vol. 25, No. 3（2016）, pp. 43-48.
(4) 野原隆樹，LM6000ガスタービン発電プラントの技術紹介，日本ガスタービン学会誌，Vol. 44, No. 1（2016）, pp. 14-19.



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# 高効率・高性能を誇るシーメンス産業用ガスタービンSGT-750

# SGT-750 Gas Turbine Continues to Exceed Expectations in Mechanical Drive and Power Generation Applications

服部 祐太[*1]　カーク スタァリス[*1]
HATTORI Yuta　Kirk Stalis

キーワード：ガスタービン，産業用，機械駆動
Key Words：Gas Turbine，Industrial，Mechanical Drive

## 1．はじめに

シーメンスの産業用ガスタービンSGT-750は，2010年の市場投入以降，交流発電機駆動（発電）および機械駆動（メカドラ）の両用途向けのソリューションとして評価を得ている。ISO条件の公称出力値として発電用のガスタービンシンプルサイクル運転にて40MWの発電機出力を発生し，メカドラ向けでは最大41MWの動力を生み出すことができる。また，ガスタービン単体効率は，広範囲に渡る負荷帯とパワータービン回転数の範囲で40%超を達成している。さらに，燃焼システムに乾式低エミッション型（Dry Low Emission：DLE）を採用することで，エミッション排出濃度は，現在市場投入されている産業用ガスタービンの全機種の中で世界最高レベルの水準（Single digit NOx）を達成している。

本稿では，高効率・高性能を誇るシーメンス産業用ガスタービンSGT-750の特徴について，非常に要求の厳しいメカドラ用途の要件に着目してまとめている。

そもそも，メカドラ用ガスタービンは，1950年代に主に中東の石油採掘現場向けの原動機として圧縮機・ポンプ駆動用として採用されてきたものである。当時のガスタービンは単体効率が低かったものの，主な仕向け先がOPEXを重視しない国や地域であったこともあり，運転に必要な冷却水が不要で保守が簡単なことに加え，パッケージデザインの導入によりコンパクトかつ軽量なこともあり，CAPEXが低く抑えられるという理由から重宝され多くの地点で建設されることとなった。このように，メカドラ用ガスタービンは石油採掘現場の特徴である狭小な設置エリアとなる石油掘削リグや，電力系統から隔離された地域での運転に適しており，発電用途のガスタービン効率向上と共に，より高性能で信頼性の高い機種へと進化し続けている。

## 2．メカドラ用ガスタービンの特徴

一般的にガスタービンは，１軸式ガスタービンは発電用，２軸式ガスタービンはメカドラ用に適していると言われているが，実際には被動機が一定回転で運転される場合も多く，ガス圧縮機やポンプ駆動において１軸式ガスタービンが使われている例も多い。また逆に２軸式ガスタービンが発電用に用いられることも少なくないのが実態である。

とは言え，ガスタービン起動時，発電用は発電機を定格回転数まで発電機遮断機開のまま負荷を掛けずに昇速が可能だが，メカドラ用は被動機内に作動流体があり，回転上昇と共に負荷が増していくため被動機側の負荷によっては１軸式ガスタービンだとガスタービンが昇速出来ないという問題が生じる。この問題を２軸式ガスタービンが解決しているという基本的な考え方を知っておくとよい。

２軸式ガスタービンは，フリータービン方式とも呼ばれ，Fig. 1に示すように出力タービン（パワータービン）が「ガスタービン空気圧縮機と圧縮機駆動タービン」で構成されるガス発生機から分離独立しているため，パワータービンの回転はガス発生機の回転と無関係になり，低速域でのトルクが大きく，燃料供給量を増減させるとガス発生量が変化し，トルクが増減するためクラッチや流体継ぎ手が不要となる。パワータービンの回転数は，一般に60～100%の範囲で制御可能なため，ポンプ駆動時には回転数変更による吐出量の調節運転に適している。１軸式ガスタービンをメカドラ用として使用する場合，回転数に対するガスタービンの出力特性とポンプ

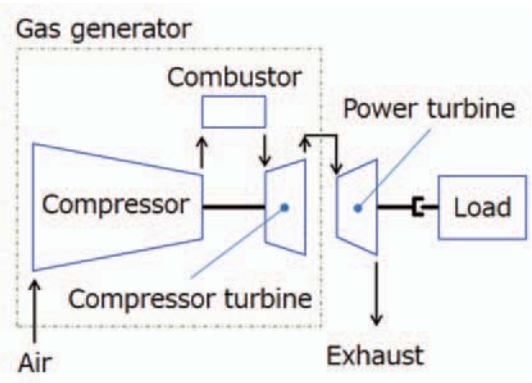



Fig. 1　Twin shaft gas turbine configuration（typical）

原稿受付　2020年１月８日
＊１　シーメンス㈱ガス＆パワー　パワージェネレーション事業部
〒141-8641　品川区大崎１-11-１
E-mail: yuta.hattori@siemens.com



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

などの被動機の負荷特性から，結合（負荷）状態での起動はできないことが多く，クラッチを使用するか起動時のみ負荷がかからない工夫が必要となる。

また，メカドラ用に多く使われるガスタービンは，可燃性ガス・蒸気を多量に取り扱う石油採掘現場や石油化学プラント内に設置されることが多いことから，ガスタービンエンクロージャー内部を若干の正圧に保ちながら強制換気を行うことで，可燃性ガス・蒸気がエンクロージャ内部に侵入することを防止し非危険区域（ゾーン2NE）扱いとすることが多い。このエンクロージャ設計思想はメカドラ用だけでなく，同様の環境（化学プラント等）に設置される発電用ガスタービンにおいても適用されることがある。

## 3．SGT-750ガスタービンの概要

### 3.1　概要および主要諸元

Fig. 2にシーメンスの産業用ガスタービンラインナップを，Table 1にSGT-750の主要諸元を示す。SGT-750はスウェーデンのフィンスポン工場で製造されているSGT-600, 700, 800の設計クライテリアや設計ツールを用いて開発・設計するコンサバティブアプローチとしながら，シーメンスのF型ガスタービンの設計を一部取り入れ，また最新のDigitalization技術を駆使した保守性の更なる向上に努めた最新鋭かつユーザーフレンドリーな設計となっている。

Fig. 2　Siemens gas turbine overview（Industrial & Aeroderivative）

Table 1　SGT-750 technical data overview

| Performance | Power generation | Mechanical drive |
|---|---|---|
| Power output ISO base | 39.8 MW | 41.0 MW |
| Efficiency | 40.3 % | 41.6 % |
| Exhaust gas flow | 115.4 kg/s | 115.4 kg/s |
| Exhaust temperature | 468℃ | 468℃ |

浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備（Floating Production, Storage and Offloading：FPSO）用向けのパッケージには発電用・メカドラ用の用途を問わず，オンショア（洋上）特有の環境を考慮した設計としている。Fig. 3にFPSO向けパッケージの例を示す。

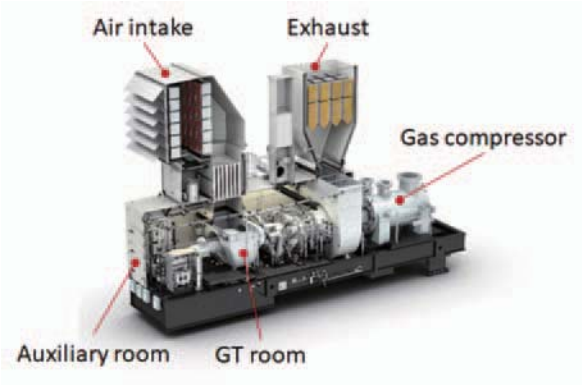



Fig. 3　SGT-750 mechanical drive package（single lift）

SGT-750は，ホットエンドドライブ構成の２軸式ガスタービンで，主要構成要素の特徴は以下の通りである。構造図をFig. 4に示す。

⑴圧縮機

ロータはEB溶接構造を採用したロバストな設計としており，２段可変静翼付き13段軸流圧縮機で圧力比24を実現している。また全段落にボアスコープ点検孔を設けている。吸気フィルターで除去しきれない腐食成分を多く含む環境への設置にはオプションで動静翼へのコーティングが可能である。

⑵圧縮機タービン（ガス発生機）

空冷式２段タービンで圧縮機にボルト締結されている。１段動静翼のみコーティング施工。

⑶DLE燃焼システム

８缶のキャニュラー型燃焼器（4th generation DLE burner）で構成される。NOx排出濃度は天然ガス焚きにて9 ppm（15%$O_2$ 濃度基準）を達成している。

⑷パワータービン

無冷却２段落のフリータービンで被駆動機に接続される。メカドラ用の運転回転数の範囲は3,050 ～ 6,405 rpm（50 ～ 105%）であり，発電用は6,100 rpm一定としギアボックスを用いて発電機同期回転数へ減速する。

また，オンショア向けの特徴として以下を考慮している。

⑸Three point mount

３点支持とし，FPSO（または船体）のたわみやパッケージの熱膨張を吸収できる構造とする。

⑹Single lift

圧縮機等の被動機も含めて一体のベースフレーム上にパッケージ化することで据付期間の大幅削減と省力化を実現する。

⑺Roll & pitch

FPSOは強風，海面の上下動（ヒーブ）や揺れ（ピッチとロール）から受ける加速度に耐える構造とする。またこれらの動きに合わせた潤滑油システムの設計を適用している。



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

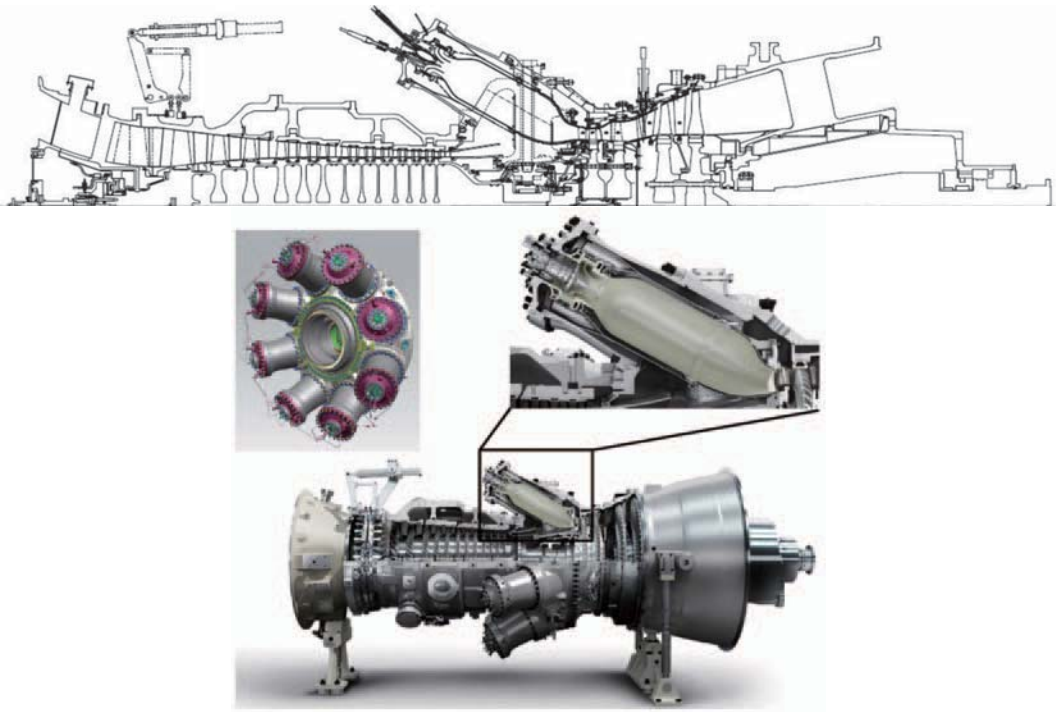


Fig. 4　SGT-750 mechanical overview

### 3.2　DLE燃焼システム

Fig. 5にSGT-750に搭載される第4世代DLEバーナーを示す。このDLE燃焼システムの採用により，GT20%負荷までNOx排出量をわずか9 ppmv（15%$O_2$濃度基準）に抑えると同時にCO排出量も25 ppmv未満（15%$O_2$濃度基準）に保つことができる。DLEモードにてガス燃料および液体燃料（軽油）のいずれも燃焼可能であり，また必要に応じて負荷運転中の燃料切替も可能である。保守性も考慮した設計となっており，燃焼器を交換するのにタービンケーシングを分解する必要がない。

SGT-750に搭載される4th generation DLE burnerは燃料多様化に対応しており，不活性ガス含有量が多い燃料，ならびに40%以上の$CO_2$および50%以上の$N_2$が混合された非常に希薄な天然ガスから，高濃度の$C_{2+}$および$H_2$を含む高反応性ガスまで燃焼可能である。このDLE燃焼システムは，22～60 MJ/$Nm^3$のウォッベ指数値を有する燃料に対応しており，燃焼制御システムに組み込まれた「アクティブ・ウォッベ・アルゴリズム」（Active Wobbe Algorithm：AWA）を用いることでウォッベ指数の急速な変動にも自動的に対応できる。AWAは追加のハードウェアやソフトウェアを必要とせず，標準搭載された計装品と幾つかの運転パラメータを用い，制御システムに直接組み込まれたシーメンス独自のアルゴリズムである。このアルゴリズムにより燃料供給条件や燃料組成が変化するたびに自動的に調整されるので，チューニングもマッピングも不要としている。

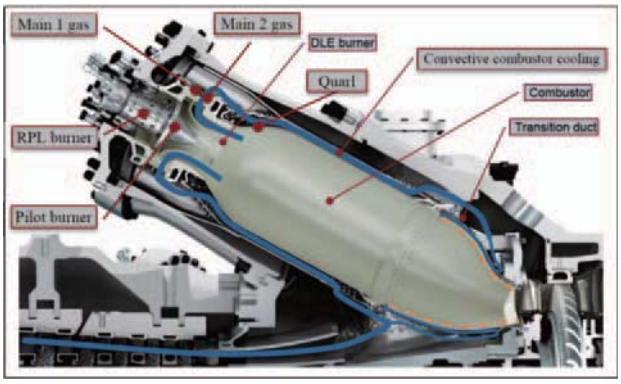



Fig. 5　The 4th generation DLE burner

### 3.3　保守性

SGT-750は，ヘビーデューティ型のロバスト性および柔軟性を維持しながら，航転型のサイズおよび軽量設計の利点を組み入れるように設計してある。オフサイトメンテナンス（ガスタービンパッケージからコアエンジンを一式交換し工場へ持ち込み）を行うことで，17年間に必要な保守日数をわずか17日に抑えることが出来る。この場合は，工場にてオーバーホール後の試験も実施することが可能である。もちろん，ヘビーデューティ型で一般的な現地でのオンサイトメンテナンスも可能であり，ユーザーの要望に合わせたカスタマイズドメンテナンスを提案している。また，FPSO向けのパッケージには24 hours core engine swapと称した24時間以内のコアエンジン交換もオプション提案しており，availabilityの向上に貢献している。Fig. 6はオフショアサイトにおけるコアエンジン交換時の様子を示している。

### 3.4　高温ガス通路部（圧縮機駆動用タービン動翼）のオンライン監視システム

SGT-750では圧縮機駆動用タービン動翼を高速オンライン赤外線監視している。Fig. 7に示すように1段動翼



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

Fig. 6 SGT-750 core engine exchange（off-shore application）

と２段動翼には，それぞれ動翼の背側・腹側・プラットフォームをカバーする２つの赤外線カメラが装備されており，カメラからの情報によって重大な問題に発展する前に異常を検出することが出来る。このシステムにより，運転中の動翼の高解像度画像と実際の表面温度表示が可能になる。

動翼表面温度を評価することで，冷却孔の亀裂や閉塞，TBC剥離を検出し，早期に問題を察知し事故のリスクを軽減することが出来る。

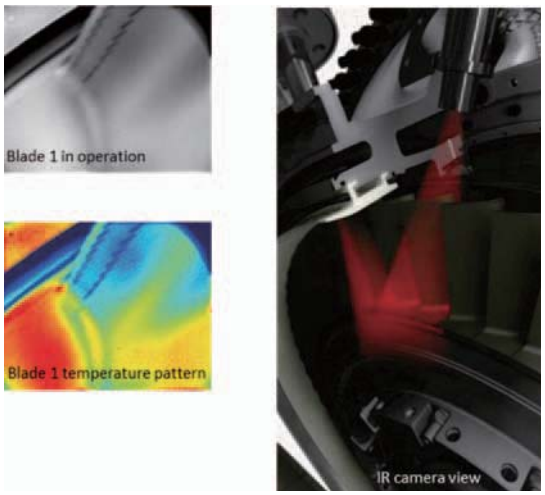



Fig. 7 Infra Red Cameras
（mapped with infrared（IR）cameras during engine delivery test and during regular scheduled inspections）

## ４．実機適用例

### 4.1 熱電併給用途（SGT-750初号機の高温部品オーバーホール状況）

シーメンスではSGT-750を，欧州および南北アメリカにおけるプロジェクトに熱電併給用途（コージェネレーション）向けに供給してきた。SGT-750の初号機は，ベース負荷で運用しており，2018年には運転時間36,000時間で初回のオーバーホール（Level B：高温部品点検）を実施している。Fig. 8に示すように検査したコンポーネントは，ごく軽微な摩耗のみで，当初計画のメンテナンス周期を延長できることが実証出来た。なお，Level Bのオーバーホールは，高温部品点検の位置付けであり燃焼器セクションと圧縮機タービン（ガス発生機）を対象としているため，圧縮機とパワータービンはLevel A（ボアスコープ点検）のみとなる。

また，Fig. 9は定格の41MW運転を想定した場合のSGT-750の標準メンテナンススケジュールを示しているが，このメンテナンスインターバルも被動機負荷に応じた延長提案が可能となっている。

### 4.2 メキシコにおけるメカドラ適用実績（天然ガス圧縮ステーション）

2015年には，３基のSGT-750をメキシコの天然ガス圧縮ステーション向けに供給した。これらのガスタービンは，天然ガスを米国テキサス州からメキシコの発電所および工業団地に輸送するのに重要な役割を果たしている。このプロジェクトは，SGT-750をメカドラ用として使用した最初の事例となった。（Fig. 10に示す）

### 4.3 カナダにおけるメカドラ適用実績（ガス処理施設）

カナダには，SGT-750をガス処理施設向けに供給した。このガス処理施設では，プロセス加熱用のシーメンス社製排熱回収ボイラと組み合わせて，１基のSGT-750を使用してタンデム圧縮機を駆動する。（Fig. 11に示す）

### 4.4 ノルウェーにおけるメカドラ適用実績（FPSO用タンデム圧縮機駆動）

ノルウェー近辺のバレンツ海で運用を予定しているFPSO用の洋上設置のメカドラ用途向けにも，１基のSGT-750パッケージを供給した。このパッケージは，極寒の大気温度と激しい船体運動などの過酷な環境条件に適応できるように専用設計したものである。駆動するガス圧縮機により天然ガスを石油貯留層に再注入して加圧し，天然ガスの捕集もフレアリングも不要にする。（フ

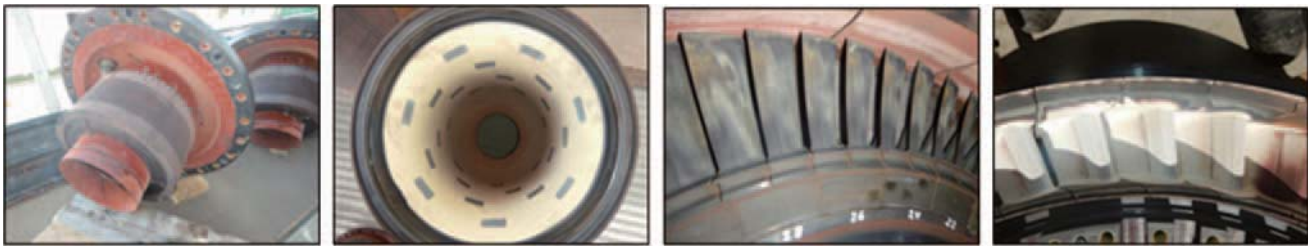


Fig. 8 SGT-750 first hot gas path overhaul results（conducted in Oct. 2018）



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

Fig. 9　SGT-750 Maintenance plan schedule（typical）

Fig. 10　El Encino, La Laguna（Mechanical drive application in Mexico）

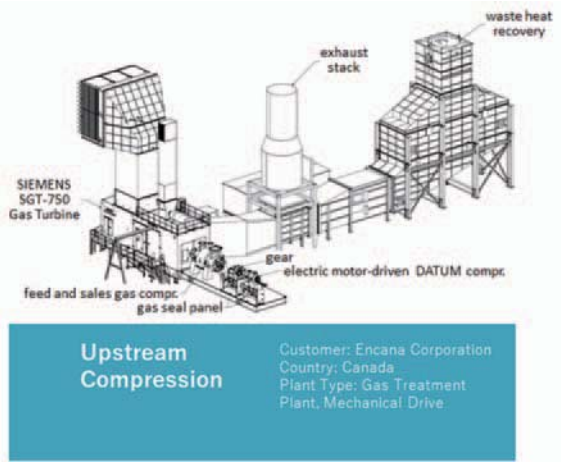



Fig. 11　Encana Pipestone, Canada（Mechanical drive application in Canada）

レアリングは当該地域では許可されていない）さらに，ガスタービンの排ガスエネルギーを回収するため，排熱回収ボイラも供給した。この排熱はプロセス加熱用および吸気系のアンチアイシング（空気圧縮機における氷結防止）設備に利用している。（Fig. 12に示す）

## 5．おわりに

本稿ではメカドラ用ガスタービンの一般的な特徴と，シーメンス製の産業用ガスタービンの一つであるSGT-750への適用技術・実績についてまとめた。SGT-750はシーメンス製産業用ガスタービンのうち，世界中に豊富な実績を有するSGT-600, 700, 800の出力ギャップを埋める機種として開発を進められ，2010年に市場投入された最新鋭の機種である。高効率であることは当然のことながら，今後益々重要度が増していく保守性や環境負荷特性およびフレキシブルな運用性能を強化しており，様々な顧客ニーズに合致するものと確信している。また，2軸式ガスタービンの特長を活かしたメカドラ用アプリケーションとしても市場より高評価を得ている。

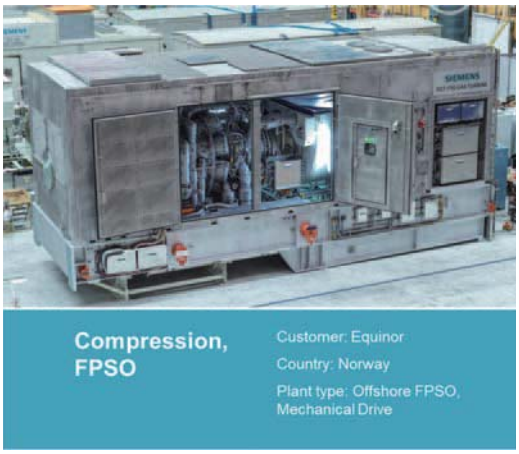



Fig. 12　Johan Castberg, Barents Sea Norway（Mechanical drive application in Norway）

再生可能エネルギーの普及と産業構造の変化に伴い，ガスタービンへの要求事項は従来から大きく変化している昨今，SGT-750の果たすべき役割は大きい。

シーメンスとしては，今後も顧客ニーズの変化や市場動向を見据え，顧客の期待を超える様々なソリューションを提案していく所存である。

## 参考文献

(1)　Anders Hellberg / Siemens
Presented at the 19th Symposium on Industrial Application of GasTurbines（IAGT）Banff, Alberta, Canada -October 17-19, 2011.

(2)　Mikael Nilsson / Siemens
Anders Hellberg / Siemens
Presented at the 20th Symposium on Industrial Application of Gas Turbines（IAGT）Banff, Alberta, Canada -October 2013.

(3)　シーメンス社ホームページ：<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines/sgt-750.html>（参照日 2020年1月8日）.



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# H-100ガスタービンと適用例

# H-100 Series Gas Turbine and Application

荒木 秀文*1　麻生 武志*2　畑谷 岳志*3
ARAKI Hidefumi　ASO Takeshi　HATAYA Takeshi

キーワード：ガスタービン，熱電併給，コンバインドサイクル，機械駆動，LNG，液化
Key Words：Gas Turbine, CHP, Combined Cycle, Mechanical Drive, LNG, Liquefaction

## 1．緒言

世界的な環境意識の高まりにより，再生可能エネルギーの導入が脚光を浴びているものの，火力発電は気候などの条件に左右されず安定稼働が可能で当面は必要不可欠なものである。産業分野では，電力だけではなく，熱や動力も同時に必要とする用途も存在し，産業用ガスタービンには依然として重要な役割が期待されている。

本稿では，三菱日立パワーシステムズの中小型ガスタービンの中で最大出力レンジに属するH-100ガスタービンに関し，ガスタービン本体の概要と，産業用プラントへの適用例を紹介する。紹介する適用例は，排熱回収ボイラの水蒸気で蒸気タービンを駆動しつつ工場にプロセス蒸気を送気する熱電併給コンバインドサイクルの適用例，天然ガス液化プラントにおいて冷媒圧縮機を駆動する機械駆動用としての適用例である。

## 2．H-100の概要

H-100ガスタービン（以下H-100）は，全世界に190台の受注実績（2019年10月末現在）のあるH-25ガスタービンをベースにスケール設計した，ヘビーデューティ形としては世界最大容量の２軸ガスタービンである。2010年に初号機が運開して以降，発電専用として21台が運開済であり，熱電併給用[1]および機械駆動用[2]としての採用も決定している。

H-100は先行して60 Hz用が開発され，続いて50 Hz用が開発された[3]。それぞれの主要諸元とシンプルサイクル，コンバインドサイクル，機械駆動用の場合の性能をTable 1 ～ Table 4に示す。Fig. 1およびFig. 2にH-100の断面図と外観写真を示す。H-100は空気圧縮機および高圧タービン（HPT: High Pressure Turbine）からなる高圧ロータと，低圧タービン（LPT: Low Pressure Turbine）からなる低圧ロータで構成される。高圧ロータの定格回転数は4,580 rpm，低圧ロータの定格回転数は60 Hz用が3,600 rpm，50 Hz用が3,000 rpmである。

空気圧縮機は17段の軸流圧縮機であり，50 Hz用は風量を増加させた設計となっている。

燃焼器は多缶式10缶で構成され，50 Hz用は燃焼ガス温度を上昇させた設計となっている。Fig. 3に燃焼器の概略構造を示す。H-100の燃焼器は近年の厳しい環境規制に応えるべく，低エミッション化を実現するため，当社の大型ガスタービン用低NOx燃焼器をカスタマイズしたもので，燃料ガスと空気を均一，かつ，急速に混合する技術で低NOxと高い信頼性を実現している。燃料はガス/油のデュアルフューエルにも対応可能で，NOx排出濃度は天然ガス焚きで９ppm（@15%$O_2$）以下，油焚きは42 ppm（同）以下が可能である。

タービンは軸流式２軸型４段（高圧２段，低圧２段）構造で，50 Hz用のLPTは60 Hz用のタービン翼を3,000 rpm用として最適化設計している。

シンプルサイクルとしての出力は116 MW，発電端効率は38.3%（50 Hzの場合，LHV：Lower Heating Value基準）であり，ヘビーデューティ型のガスタービンとしては，同クラスでトップクラスの効率となっている。この効率は欧州の$CO_2$排出量規制値である 550 g-$CO_2$/kWhにも適合可能である。コンバインドサイクルとした場合には２on１（ガスタービン×２台と蒸気タービン×１台の組み合わせ）の構成において58.0%（50 Hzの場合，LHV基準）の発電端効率が可能である。これも同クラスでトップクラスの効率であり，我が国の省エ

原稿受付　2020年１月９日
＊１　三菱日立パワーシステムズ㈱ 電力計画部
〒220-8401　横浜市西区みなとみらい３－３－１
E-mail: hidefumi_araki@mhps.com
＊２　三菱日立パワーシステムズ㈱ 中小型ガスタービン技術部
〒676-8686　高砂市荒井町新浜２－１－１
＊３　三菱重工コンプレッサ㈱　営業統括センター 東京営業所
〒105-0014　港区芝５-34-６



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

ネ法にも適合している。

Fig. 4にH-100の起動時の回転数と負荷変化例を示す。H-100は２軸機であるため，起動時は高圧ロータのみに駆動力を与えればよく，点火から定格負荷まで10分での急速起動が可能である。さらに，近年の再生可能エネルギー需要増加に対応して25％ /minの急速負荷変化が可能である。

さらにH-100は２軸機であるため駆動軸であるLPTはHPTの回転数によらず広い速度範囲で運転可能であり，発電用のみならず機械駆動用のドライバーとしても適している。

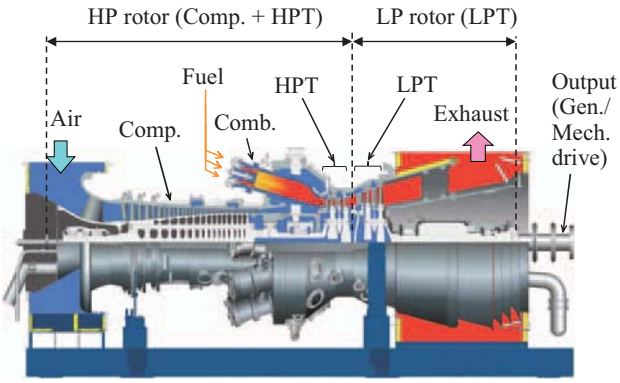



Fig. 1　Schematic of H-100 gas turbine.

Fig. 2　Photo of H-100 gas turbine.

Table 1　Major specifications of H-100 gas turbine.

| Item | | Specification |
|---|---|---|
| Gas turbine | Type | 2-shaft heavy duty, horizontal split casing, stacking rotor |
| | Rated speed (HP rotor) | 4,580 rpm |
| | Rated speed (LP rotor) | 3,600 rpm (60 Hz), 3,000 rpm (50 Hz) |
| Compressor | Type | Axial flow, 17 stages |
| Turbine | Type | Axial flow, 4 stages (HP: 2 stages + LP: 2 stages) |
| | Cooling | Air cooled |
| Combustor | Type | 10 cans, reverse flow type, premixed dry low NOx combustor |

Table 2　Simple cycle performance of H-100 gas turbine.

| | | H-100 60 Hz | H-100 50 Hz |
|---|---|---|---|
| Performance | Cycle | 60 Hz | 50 Hz |
| | Rated power | 105,780 kW | 116,450 kW |
| | Efficiency | 38.2% LHV | 38.3% LHV |
| Exhaust | Flow rate | 293 kg/s | 296 kg/s |
| | Temperature | 534 ℃ | 586 ℃ |
| Emmision | NOx | 9 ppm@15%$O_2$ | |
| | CO | 9 ppm@15%$O_2$ | |
| Operability | Turn down load | 50% | |
| | Ramp rate | 8,000 kW/min (Normal) 26,000 kW/min (Fast) | 9,000 kW/min (Normal) 29,000 kW/min (Fast) |
| | Starting time | 22 min (Normal) 10 min (Fast) | |

Table 3　Combined cycle performance of H-100 gas turbine.

| | | H-100 60 Hz | H-100 50 Hz |
|---|---|---|---|
| 1 on 1 | Plant ourput | 150,000 kW | 171,000 kW |
| | Plant efficiency | 55.1% LHV | 57.4% LHV |
| 2 on 1 | Plant ourput | 305,700 kW | 346,000 kW |
| | Plant efficiency | 56.1% LHV | 58.0% LHV |
| Starting time | | 45 min | |

Table 4　Mechanical drive performance of H-100 gas turbine.

| | H-100 - 3,600 rpm | H-100 - 3,000 rpm |
|---|---|---|
| Output | 144,350 hp | 160,780 hp |
| | 107,650 kW | 119,900 kW |
| Efficiency | 38.9% LHV | 38.9% LHV |

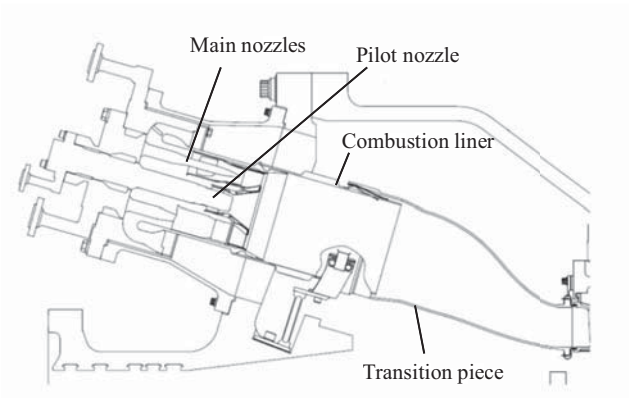



Fig. 3　Schematic of low NOx combustor for H-100.

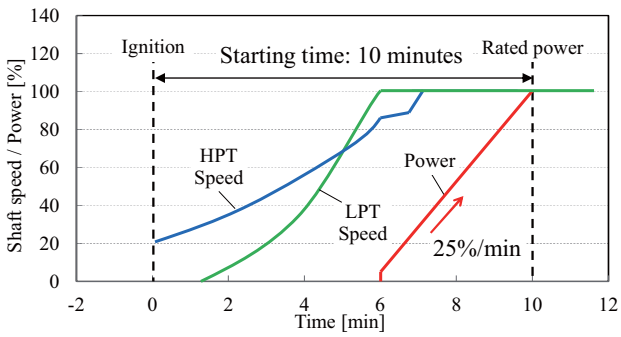



Fig. 4　Example of start-up curves of H-100 gas turbine.



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

## 3．熱電併給コンバインドサイクル

### 3.1 熱電併給について

熱電併給はコージェネレーション（Cogeneration）あるいはCHP（Combined Heat and Power）ともよばれ，発電だけでなく排熱を利用して蒸気や温水を取り出す高効率なシステムである。2018年７月に提示されたエネルギー基本計画[4]において，①省エネルギー ②排熱利用や水素燃料による$CO_2$削減 ③再生可能エネルギーの出力変動吸収 ④停電時のBCP（Business Continuity Plan）対策として，コージェネレーションの導入推進が唱えられている。産業用ガスタービンを用いたコージェネレーションは75%以上の総合効率が可能[5]であり，従来システム（商用電源＋燃料焚ボイラ）の40%程度の総合効率と比較して，高い省エネルギー効果，$CO_2$削減効果，経済性向上といったメリットがある[6]。

熱電併給システムにおいて，熱電比（電気出力に対する熱出力の比）はガスエンジンの場合は0.8 ～ 1.0程度，ガスタービンの場合は1.6 ～ 1.8程度とされている[7]。従来，ガスタービンは熱電比が大きい特性を生かして，多量の熱を消費する事業所での導入が多かったが，震災以降はBCPの観点から電源確保を重視した事業所でのガスタービンの導入も増加している。

### 3.2 H-100を用いた熱電併給システムの適用例

本稿では，電力供給を優先しつつ，プロセス側の熱需要が変化した場合にも柔軟に熱出力を変化させることが可能な熱電併給システムの適用例を紹介する。Table 5にシステムの仕様を，Fig. 5にシステムの概略系統図を示す。

本適用例の熱電併給システムは，H-100ガスタービン２台とHRSG（Heat Recovery Steam Generator: 排熱回収ボイラ）２台，蒸気タービン１台からなる２-２-１構成のガスタービンコンバインドサイクル（GTCC: Gas Turbine Combined Cycle）である。HRSGは非再熱３重圧式であり，性能計画点よりも熱需要や電力需要が増加した場合には，HRSGの排ガスダクト内に設置した助燃バーナーにより排ガスを最大800℃になるまで助燃し，蒸気量や電気出力を増加させる。

蒸気タービンは中間段から蒸気を抽気してプロセス蒸気を供給することが可能な衝動型抽混気復水タービンである。プロセス蒸気の需要が増加した場合は所定の量まで抽気量を増加させることができ，プロセス蒸気の需要が無くなった場合には抽気量を零にすることができる。このように熱需要の変化に応じて蒸気タービンからの抽気量を変化させて熱電比を変化させた熱電可変の運用が可能である。熱電可変システムは，熱と電気の需要が一致しない状態においても外部からの買電量を最小限とし，外部への熱の廃棄を不要とするため，省エネルギーであり，環境負荷の低減効果，経済性向上効果が大きなシステムである。

Table 5 Specification of the presented H-100 2-2-1 cogeneration system.

| Item | | Description |
|---|---|---|
| Gas turbine | Type | H-100 |
| | Number of units | 2 |
| HRSG | Type | Non-reheat, triple pressure |
| | Number of units | 2 |
| | Supplementary firing temp. (if required) | 800 ℃ |
| | Dearator | LP steam utilization |
| Steam turbine | Type | Impulse type, mixed pressure, extraction condensing turbine |
| | Number of units | 1 |
| | Condenser vacuum | 4 kPa abs. |
| Process steam | Temperature | 400 ℃ |
| | Pressure | 4.0 MPa abs. |
| | Return water temp. | 50 ℃ |

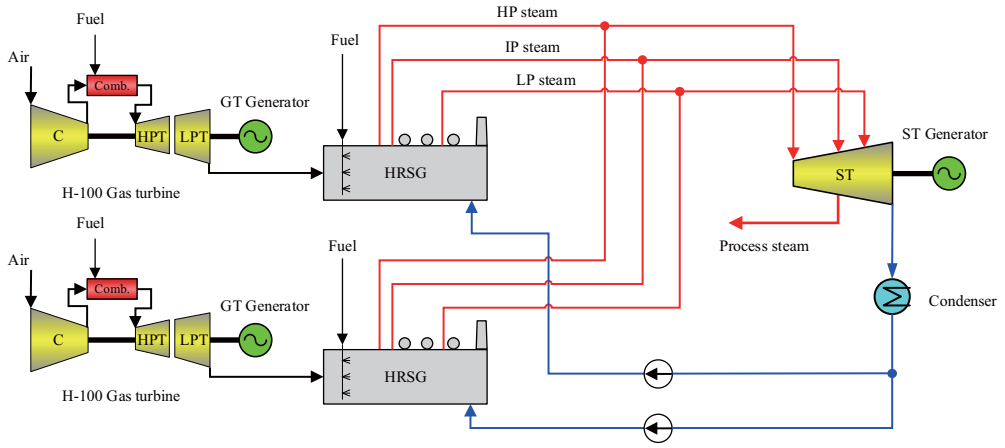



Fig. 5 Flow diagram of the H-100 2-2-1 cogeneration system.



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

プロセス蒸気として400℃，4 MPaを供給する場合の本システムの電気出力とプロセス蒸気流量の運用可能範囲をFig. 6に示す。同図において，助燃（SF: Supplementary Firing）なしの運転範囲（W/O SF）は①②③④に囲まれた領域であり，助燃ありの場合の対応する運転範囲（W/ SF）は①' ②' ③' ④' である。線①②は，ガスタービンが定格出力で運転する条件であり，点①では蒸気タービンからの抽気は無く，抽気量を最大とした点が②である。線③④はガスタービンが50%出力で運転する条件であり，点③では蒸気タービンからの抽気は無く，抽気量を最大とした点が④である。

Table 6に助燃有無それぞれの場合の熱出力が最大となる点の電気出力や熱電比，総合効率等を示す。助燃なしの電気出力は266 MW，熱出力は225 MWtであり，熱電比を 0 ～ 0.85 まで変化させることができる。熱需要が増えた場合には助燃バーナーを起動することにより電気出力 を309 MW，熱供給を292 MWt，熱電比を0.95まで増大させることができる。このように助燃バーナーの起動により電気出力を1.16倍に，熱出力は1.30倍に増加させることができ，熱電比も大きくとることが可能となる。

Fig. 7およびFig. 8に，本システムの運用範囲における電気出力とプロセス蒸気流量，総合効率，発電効率の関係を示す。助燃なしの場合，熱供給なしの点①の総合効率はGTCCとしての発電効率と同一となり，熱供給最大の点②の総合効率は81.0%（LHV基準）となる。これらの図の助燃なし/ありの比較から判るように，同じ電気出力，プロセス蒸気流量を得る場合，助燃なしの方が総合効率および発電効率が高いことから，助燃バーナーは大きな電気出力や熱出力が必要となった場合に運転される。

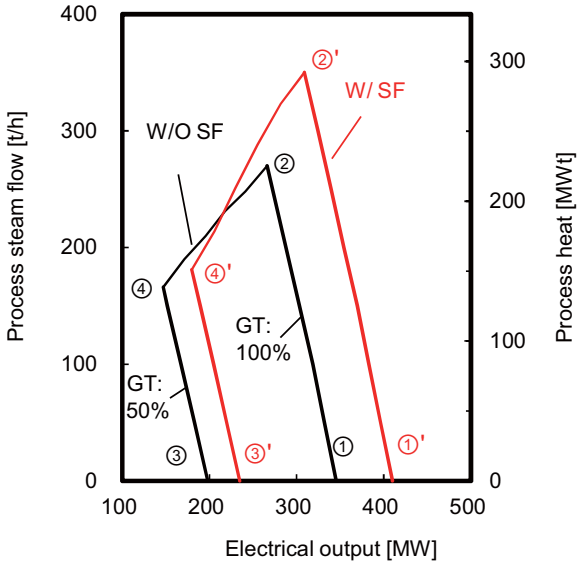



Fig. 6　Range of electrical output and process steam flow of the H-100 2-2-1 cogeneration system.

Table 6　Typical performance of the H-100 2-2-1 cogeneration system at the maximum thermal output with and without supplementary firing.

| Item | Without Supplementary Firing | With Supplementary Firing |
|---|---|---|
| Electrical output | 266 MW | 309 MW |
| Thermal output | 225 MWt | 292 MWt |
| Thermal / Elec. | 0.85 | 0.95 |
| Process steam flow | 270 t/h | 350 t/h |
| Total efficiency | 81.0%(LHV) | 79.1%(LHV) |
| Electrical efficiency | 43.9%(LHV) | 40.7%(LHV) |

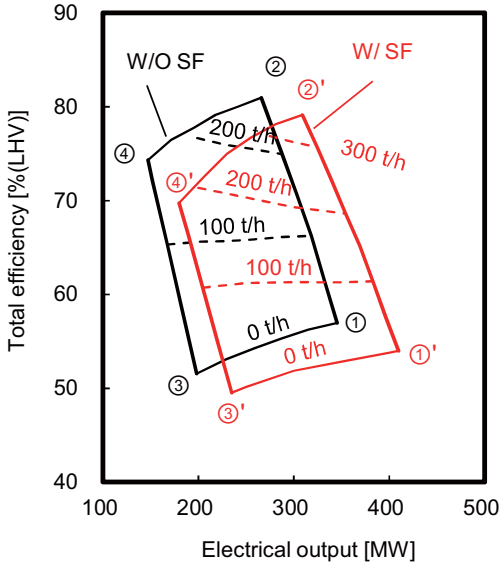



Fig. 7　Total efficiency of the H-100 2-2-1 cogeneration system.

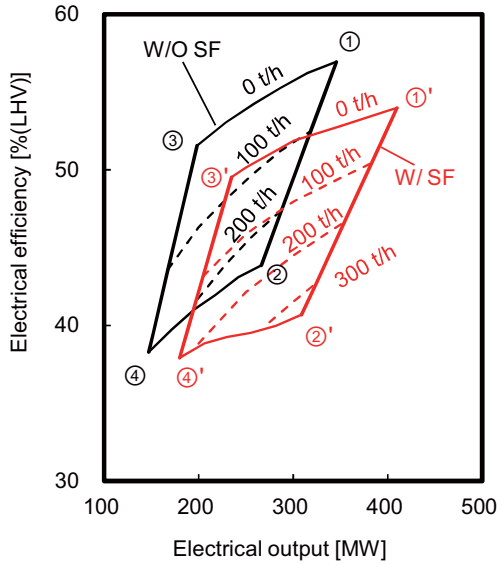



Fig. 8　Electrical efficiency of the H-100 2-2-1 cogeneration system.



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

## 4．機械駆動用

### 4.1 天然ガス液化プラントの概要

世界的に地球温暖化や環境問題に対する関心が高まる中，石油・石炭に比べ環境負荷の低いエネルギー媒体として，天然ガスや液化天然ガスに注目が集まっている。

Fig. 9に，天然ガス液化プラントのプロセス概念図[8]を示す。天然ガス液化プラントでは，ガス田から送られてくる原料天然ガスから液状成分（コンデンセート）を分離後，酸性ガス（硫化水素，二酸化炭素）除去設備，水銀除去設備，脱水設備，NGL分離設備を経由して，液化設備でメタンを主成分とする天然ガスを液化し，LNGタンクに貯蔵する。

1964年に世界初の液化プラントがアルジェリアで運開した当時はプラント１系列当たりの液化天然ガス生産量は年産約40万トンであったが，現在では年産780万トンに達している[9]。近年では中規模ガス田開発用としてフローティングLNGプラントの開発や，中小型液化プラントの開発にも関心が高まりつつある。

液化設備は天然ガス液化プラントの心臓部であり，主に冷媒圧縮機設備と主熱交換器から構成される。1970年代の液化プラントは年産100万トン規模で，冷媒用圧縮機の駆動機に複数台の20～40 MWクラスの蒸気タービンが使われてきた。1980年代に入り設備が簡素化される利点から，冷媒用圧縮機の駆動機は蒸気タービンからガスタービンにとって代わられた。その後，主熱交換器，冷媒圧縮機とその駆動用ガスタービンの発達に伴い，液化プラントが大型化してきた。主流は大型ガスタービンによるスケールメリット追及型の液化設備であるが，近年では，信頼性が向上して長期連続運転が可能になった航空機転用ガスタービンも採用されるようになってきた。

液化プラントで使用されるガスタービンには，広範囲なWobbe指数の燃料に対応可能な低NOx燃焼器が要求される。Fig. 10に，天然ガス液化プラントの燃料ガス系統の概念図を示す。

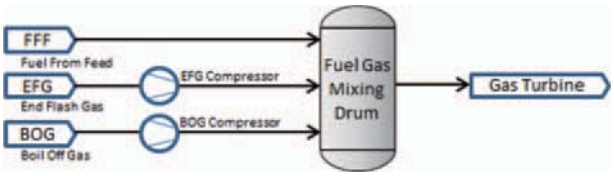



Fig. 10 Fuel gas supply system in LNG plant.

液化プラントの燃料ガスは，原料用フィードガス，窒素除去プロセスで回収したエンドフラッシュガス，LNGタンクから気化したボイルオフガスの三種類のガスをミキシングドラムで混合し，ガスタービンへ供給される。エンドフラッシュガス中には窒素が含まれており，エンドフラッシュガス圧縮機の運転状況により，燃料ガス組成が変動する。ガス組成が変動した場合でも，ガスタービンは安定して運転を継続する必要があるため，燃料ガスミキシングドラムの容量はガスタービンが許容するWobbe指数の変化率に基づいて計画される。燃料ガス供給ラインの圧力は，ガスタービンの要求値に基づいて計画されるため，一般的に圧力比の高い航空機転用ガスタービン用の燃料ガスシステムの方が，ヘビーデューティガスタービン用に比べて設備費が高価となる。

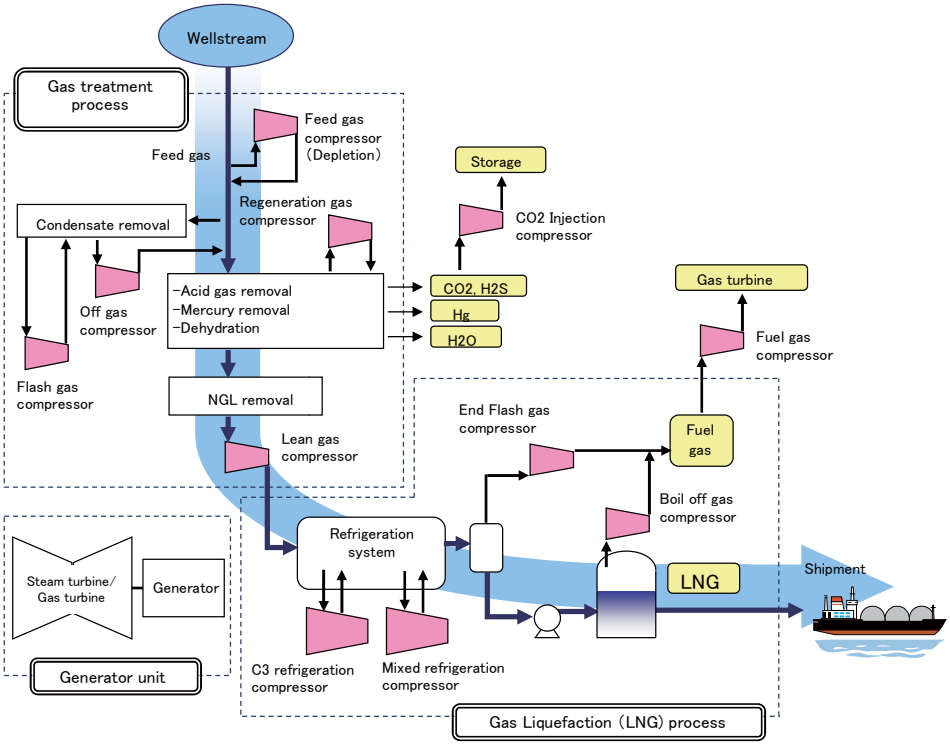



Fig. 9 Schematic flow diagram of LNG plant process[8].



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

### 4.2　H-100を適用した機械駆動システムの特長

液化プロセスとしてプロパン予冷混合冷媒プロセスを用い，冷媒圧縮機駆動用にH-100ガスタービンを適用したストリング構成をFig. 11 に示す[10]。

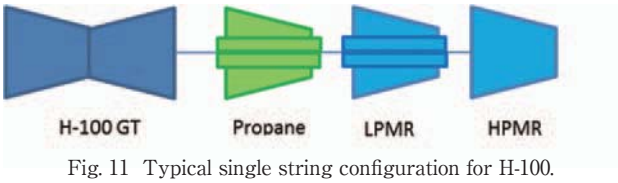



Fig. 11　Typical single string configuration for H-100.

H-100ガスタービンはプロパン冷媒用，低圧混合冷媒（LPMR）用，高圧混合冷媒（HPMR）用の合計３台の冷媒圧縮機を駆動する。H-100ガスタービン１台で計120 MWクラスの冷媒圧縮機を駆動する事ができ，年産300万トンクラスの液化設備に対応する事ができる。

Fig. 12に１軸ガスタービン駆動の圧縮機設備とH-100駆動圧縮機設備の比較を示す[11]。大型の天然ガス液化プラントの冷媒圧縮機駆動用として，H-100と同クラスの1軸ガスタービンを適用した事例は多いが，以下のようにH-100ガスタービンを採用する事で機器点数やプラント建設コスト低減などの多くの利点がある。

シンプルサイクルのガスタービン発電設備では，発電機は無負荷の状態でフルスピードまで昇速される。一方，圧縮機駆動の場合，圧縮機系内に冷媒ガスがあるため，圧縮機の昇速に大きな起動トルクが必要となる。1軸ガスタービンの場合，ガスタービンロータは冷媒圧縮機と連結されているため，ガスタービンの起動装置として10 MWを超える起動モーターとインバーター設備（VSD: Variable Speed Drive）が必要となる。ガスタービン起動後は，起動モーターはヘルパーモーターとして活用され，駆動力の向上に寄与するが，ヘルパーモーターの動力を補うための発電設備が必要になる。また，起動・ヘルパーモーターに関連して機器点数が多くなり，制御も複雑になる短所がある。さらに，圧縮機起動前に冷媒を脱ガスし，圧縮機の起動に必要なトルクを低減する事が要求される。脱ガスされた冷媒は起動後，系内に再充填する必要があり，その間LNG生産量は制限される事となる。

H-100の場合，高圧ロータは冷媒圧縮機から独立しており，発電用シンプルサイクルの時と同様に小型の起動装置でガスタービンを起動する事ができる。また，低圧ロータの起動時発生トルクが大きいため，冷媒圧縮機の冷媒を脱ガスする事なく圧縮機を起動する事ができ，液化プラントの生産性向上にも寄与する事ができる。

また，H-100は2軸構造なので可変速運転が可能であり，冷媒用圧縮機の運転レンジを大きくとる事ができる。その結果，ガスタービン排ガス中の低エミッションを維持したまま，大気温度の変化や原料ガスの経年変化に伴う冷媒圧縮機の負荷変動や，液化プラントの部分負荷運転にも容易に対応する事が可能となる。

次にH-100ストリングを2系列並列して採用した例をFig. 13に示す。

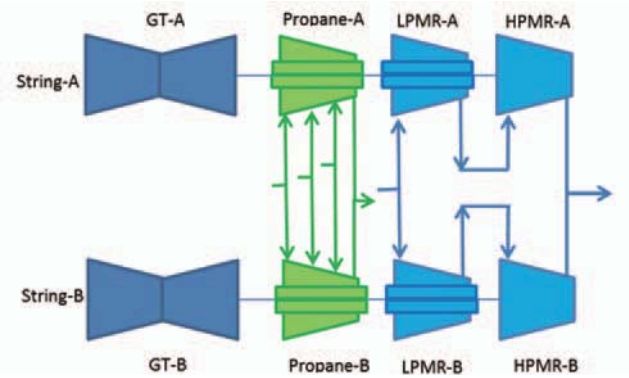



Fig. 13　Typical flow schematic of 2x50% configuration.

ストリングAとストリングBのガスタービン圧縮機設備は同一設計である。プロパン冷媒と混合冷媒は２系列に分かれてそれぞれの圧縮機で昇圧された後，再び合流して液化用主熱交換器へ送られる。H-100ガスタービンが１台の場合，年産300万トンクラスの液化設備に対応する事ができるが，同一設計のストリングを併設した場合は年産600万トンクラスの液化設備に対応する事ができる。

Fig. 14 に典型的な冷媒圧縮機の性能曲線を示す。H-100の出力タービンは70 ～ 105％の速度レンジで可変速度制御を行うことが可能であり，その時の一般的な冷媒圧縮機のターンダウンレンジは15％から20％である。

液化天然ガスの生産量と圧縮機の負荷は相関関係があ

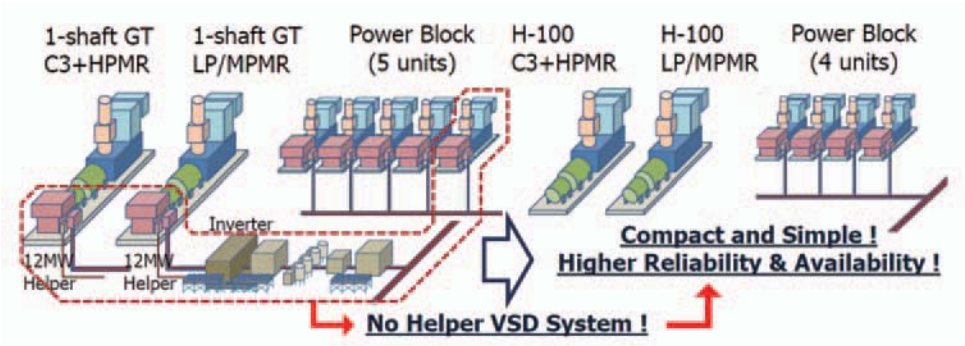



Fig. 12　Comparison between single and dual shaft gas turbine.



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

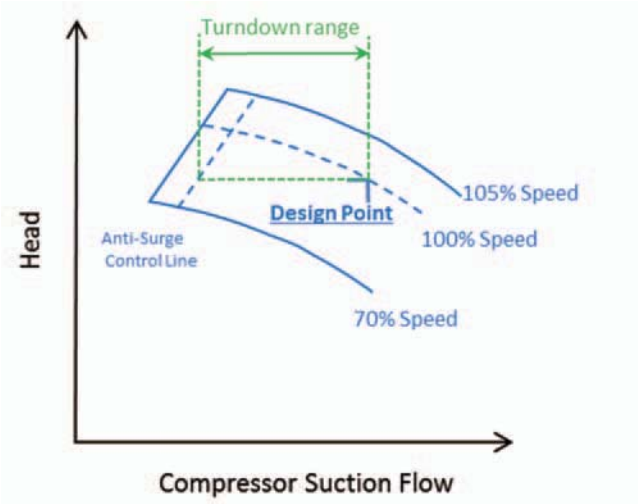



Fig. 14 Typical compressor performance curve.

るので，可変速制御を取り入れることで液化天然ガスの生産量を約80％まで変化させる事ができる。

H-100駆動圧縮機２x50％の構成で年産600万トンクラスの液化設備の場合，Fig. 15 に示すように様々な生産量に対応する事が可能となる。

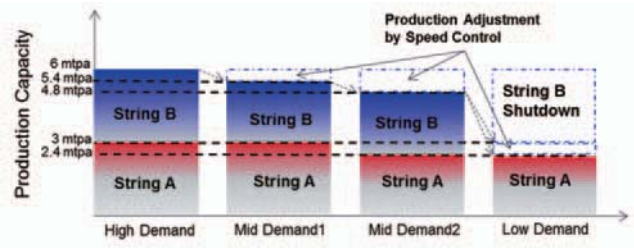



Fig. 15 Production turndown by speed control.

両ストリングを全負荷で運転すると液化天然ガスの生産量は年産600万トンになるが，生産調整が必要な時は，冷媒の流量を制限する事で年産480万トンまで調整が可能となる。さらなる生産調整が必要になった場合は，片方のストリングを停止させ，生産量を300 ～ 240万トンの範囲で調整運転する事も可能である。

## 5．結言

本稿では，三菱日立パワーシステムズの中小型ガスタービンの中で最大出力であるH-100ガスタービンに着目し，ガスタービン本体の概要と，熱電併給システムへの適用例，機械駆動用として天然ガス液化プラントへの適用例を紹介した。

H-100ガスタービンは高効率化の実現と運転実績の着実な積み重ねにより，新設発電用，既設リプレース用および機械駆動用と幅広い用途に対応できる。さらに急速起動と高速負荷変化特性に優れており，電力系統の負荷調整のニーズにきめ細かく対応が可能である。

熱電併給システムは，Business Continuity Plan対応のための自家発電への要求，総合効率の向上による環境負荷の低減，経済性向上などに大きく貢献する。機械駆動用は天然ガス液化プラントの大型化による高効率化，エミッションの低減，２軸ガスタービンの特性による運用性の向上などに寄与する。

今後は世界的な環境意識の高まりにより，ガスタービンに求められる効率，環境性への要求が益々高度なものになると考えられる。さらなる効率，環境性能の向上，負荷変動対応力の向上および信頼性の向上により，ユーザの要望に応えていく所存である。

## 参考文献

(1) 独フォルクスワーゲン向けにH-100形ガスタービンを2基受注 <https://www.mhps.com/jp/news/20190705.html>（参照日 2019年12月17日）.
(2) 機械駆動用H-100形ガスタービンとコンプレッサの主冷凍パッケージが初採用 <https://www.mhi.com/jp/news/story/190402.html> （参照日 2019年12月17日）.
(3) 三菱日立パワーシステムズ㈱，東京電力フュエル＆パワー㈱富津火力発電所2号系列 H-100形ガスタービン換装工事，三菱重工技報，Vol. 54，No. 3（2017），pp. 32-33.
(4) エネルギー基本計画　平成30年7月 <https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf> （参照日 2019年12月17日）.
(5) コージェネの特長 <https://www.ace.or.jp/web/chp/chp_0030.html > （参照日 2019年12月17日）.
(6) 入門講座　中小容量分散型火力発電プラント X. 産業用小型ガスタービンの適用とシステム構成，火力原子力発電，Vol. 71, No. 2（2020）, pp. 852-869.
(7) 速川敦彦，刑部尚樹，正田光次朗，ガスコージェネレーション設備における原動機選定事例紹介，日本ガスタービン学会誌，Vol. 44, No. 5（2016）, pp. 342-346.
(8) Liquefied natural gas（LNG）plants <https://www.mhicompressor.com/en/products/outline/detail/lng.html > （参照日 2019年12月17日）.
(9) 大森英史，LNG製造技術（冷凍圧縮機駆動用ガスタービンの発達），日本ガスタービン学会誌，Vol. 45, No. 5（2017）, pp. 349-354.
(10) Yoneda, K., Hataya, T., Mitsubishi Single String LNG Solution, Gastech 2019 Proceedings, T2.7（2019）.
(11) Horii, N., Hataya, T., The Mitsubishi H-100 Gas Turbine Main Refrigeration Compressor Trains, Proceedings of the 18th International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas（LNG 18）, FP89（2016）.



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# 浮体式LNG発電プラントの開発

# Development of LNG Floating Power Plant

青木 肇[*1] AOKI Hajime　佐藤 洋[*1] SATO Hiroshi　長谷川善幸[*1] HASEGAWA Yoshiyuki　芝原 孝徳[*1] SHIBAHARA Takanori
前野 暢久[*1] MAENO Nobuhisa　合田 真琴[*1] GOUDA Makoto　田中 文康[*1] TANAKA Fumiyasu

**キーワード**：ガスタービン，コンバインドサイクル，浮体式，洋上発電，効率
**Key Words**：Gas Turbine, Combined Cycle, Floating, Floating Power Plant, Efficiency

## 1．緒言

昨今のLNGサプライチェーンの変化やLNG発電への社会的要請を踏まえ，川崎重工（以下，当社）は，当社固有の発電，LNG貯蔵・運搬および造船に関する技術を融合し，「浮体式LNG発電プラント」を開発した。ラインアップはTable 1に示すように２種類あり，ガスエンジンを主機とする30MW級のものと，ガスタービンを主機とする80MW級のものを開発した。Fig. 1はCCPP80の外観イメージである。本稿では，本開発の概要を紹介する。

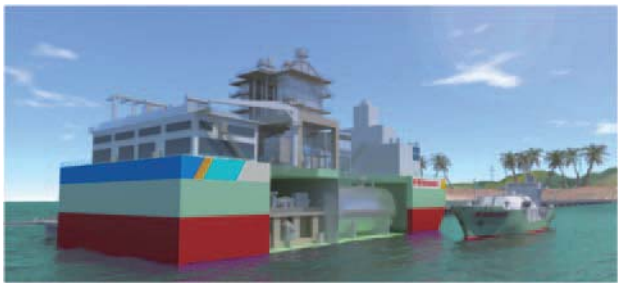


Fig. 1　LNG Floating Power Plant

## 2．開発の背景・目的

### 2.1　背景

新興国における発電需要が増加する中，石炭・石油からの燃料転換や高効率化による地球温暖化対策への期待がLNG発電に寄せられている。

加えて再生可能エネルギー発電の割合増加とその変動調整電源としての期待も高まっている。したがって，LNG発電に期待される機能としては，高効率・クリーン発電の他に，比較的小規模の分散型電源，高い即応性・負荷追従性，燃料インフラも含めた発電インフラ計画開始から送電開始までのリードタイム短縮といった側面も重要視されてきている。

また，島嶼地域の燃料転換や電化率向上対策としての中規模（～200MW）高効率LNG発電プラントと，新たに組成されつつあるLNG洋上サプライチェーンとが融合した分散型のGas to Powerへの期待も高まっている。

### 2.2　目的

当社は，良好な起動性，高い部分負荷効率のガスエンジン，および中規模（～200MW）高効率のガスタービンCCPP（複合サイクル発電）を製品群にラインナップしている。これらの発電技術と，実績に裏付けされたLNGの貯蔵運搬技術ならびに造船技術を融合した「浮体式LNG発電プラント」の開発を目指した。

Table 1　Line up of Kawasaki LNG Floating Power Plant

| Type of line up | Gas Engine 30 | CCPP 80 |
|---|---|---|
| System configuration of power generation | 4 x Gas Engine | Gas Turbine Combined Cycle (2 x Gas Turbine, 2 x Heat Recovery Steam Generator, 1 x Steam Turbine) |
| Power output | Approx. 30 MW | Approx. 80 MW |
| Outside dimension (Length x Breadth x Depth) | 120m ×36m ×6.5m | 110m ×48m ×20m |

原稿受付　2020年１月10日
＊１　川崎重工業㈱エネルギー・環境プラントカンパニー
神戸市中央区東川崎町３－１－１



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

一方，実績のある既存技術の組み合わせとはいえ，浮体式発電は洋上特有の設計条件に起因する初品要素も多い。本開発では概念設計・基本設計までを完了させ，船級[1]機関によるAiP[2] 取得を目的とした。

## 3．開発コンセプト

### 3.1　当社キーテクノロジーのALL in ONE 提供

浮体式LNG発電プラントは，複雑化した機能の集合設備であるため，船体建造の造船所，LNG 関連設備のEPC部門，発電/送電設備のEPC部門など専門分野の違う複数組織の分担・協業が不可欠である。分担・協業が増えると，業務所掌・責任範囲が曖昧となるリスクがある。

造船業を祖業とする当社は，創業以来130年超にわたり事業分野を拡充し，陸海空のものづくりを通じて高い技術・技能を培ってきた。その経験を活かし，当社は，浮体式LNG発電プラント発注者の負担低減を図るため，顧客へのALL in ONEでの提供を基本コンセプトとした。その結果，「浮体式LNG発電プラント」にLNGタンク，気化装置，発電設備，受変電設備等を全て船体搭載することにした。

### 3.2　LNG運搬船

当社は，1981年に本邦初のLNG運搬船を建造・引渡以来，Table 2に示すように大型から小型まで幅広いクラスのLNG運搬船を納入しており，LNGバリューチェーン技術で世界をリードしている。一例としてFig. 2に大型クラスのLNG運搬船の写真を示す。浮体式LNG発電プラントのLNG貯蔵・取扱い運搬ならびに船体技術はこれらのLNGバリューチェーン技術を用いたものである。

Table 2 Delivery record of Kawasaki LNG carrier

| LNG carrier class | Track record |
|---|---|
| Large （ > 125,000 $m^3$） | 35 |
| Middle （19,400 $m^3$） | 2 |
| Small （2,500 $m^3$ ～ 3,500 $m^3$） | 6 |

Fig. 2 LNG Carrier（DFD-E LNGC 182,000 $m^3$ class）

### 3.3　発電設備

当社は，発電効率が同等出力クラスで世界最高水準の独自開発ガスエンジン，ガスタービンを有しており，これらを浮体式LNG発電プラントに採用した。主機となる原動機の仕様・納入実績をTable 3にまとめる。

Table 3 Standard specification and track record of Kawasaki power equipment to be applied for LNG Floating Power Plant

| | Gas Engine | Gas Turbine |
|---|---|---|
| Type | KG-18-V | L30A |
| Power Output (*) (MW gross) | 7.80 / 7.50 (50 Hz/60 Hz) | 34.38 |
| Thermal Efficiency (*) (% gross, LHV) | 49.5 | 40.3 (53.1 (CCPP)) |
| NOx (ppmvd@0 %$O_2$) | < 300 | < 52.5 |
| Track record | 166 | 6 |

(*) Fuel : Methane 100 %

### 3.4　L30Aガスタービン

CCPP 80 の主機であるL30Aガスタービンは，以下のような特徴を有している。

1）高効率

圧縮機の高圧力比化，タービンの高温化，高温部品の冷却技術向上により，30MW級において世界最高の発電効率を達成した。

2）低エミッション

従来機種での実績を蓄積した当社独自のドライ低エミッション（DLE）燃焼技術を展開し，NOxを世界最高レベルの低排出量まで削減した。

3）高い運用性

ガスタービンのオーバーホール間隔 6 年の実現により，運用性を向上させた。さらにオーバーホール時は現地にて整備済のガスタービンと交換する事で，メンテナンス期間を短縮させた。

また近年では，高速負荷変動対応技術の開発や長寿命型TBC（Thermal Barrier Coating）の開発などにも取り組み，製品性向上に努めている。

### 3.5　浮体構造の設計条件

LNG浮体式発電プラントでは，潮位，風，波，津波などによる傾斜・動揺の影響を考慮する必要がある。これらを踏まえた設計条件をTable 4に抜粋する。これらの条件は，外航輸送の後，比較的穏やかな内港湾内（平水域）で係留して運用することを想定したものである。また，極力浅瀬への係留も可能となる様，型喫水に配慮することとした。加えて，一度係留すると，ある程度の長期間係留して発電する想定としたため，自走設備は設けないコンセプトとした。

[1] 船級：安全安心の担保として，セーフティー＆リスクアセスメントを行い，当該船の構造，設備，性能ならびに安全性が一定の基準にあることを証明するため，船級機関が船に与える資格あるいは等級。

[2] AiP (Approval in Principle) : 5.章参照。



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

Table 4　Key design conditions for floating structure

| | |
|---|---|
| Mooring location | Smooth water area (Harbor, river, inside of breakwater etc.) |
| Mooring | Mooring rope and/or mooring pile |
| Max. wind speed | 50 m/s (Max. instantaneous wind speed : 70m/s) |
| Max. significant wave height | 2 m (100 years of return period) |

## 4．浮体式LNG発電プラントの特徴

### 4.1　設備主仕様

当社では，浮体式LNG発電プラントの開発にあたって，その市場調査から東南アジア島嶼地域での数万～数十万人規模の電力需要を対象に，普及が期待される発電規模を30MW ～ 200MWと想定し，まず手始めに，Table 5に主仕様を示す30MW用と80MW用のプラントを開発した。

30MW用のGas Engine 30を例にした全体システム構成をFig. 3に示す。浮体式LNG発電プラントの取合点にて液化LNGを受け入れた後，貯蔵・気化・発電までを行い，陸上送電系統の電圧に昇圧後，送電を行うシステムとなっている。

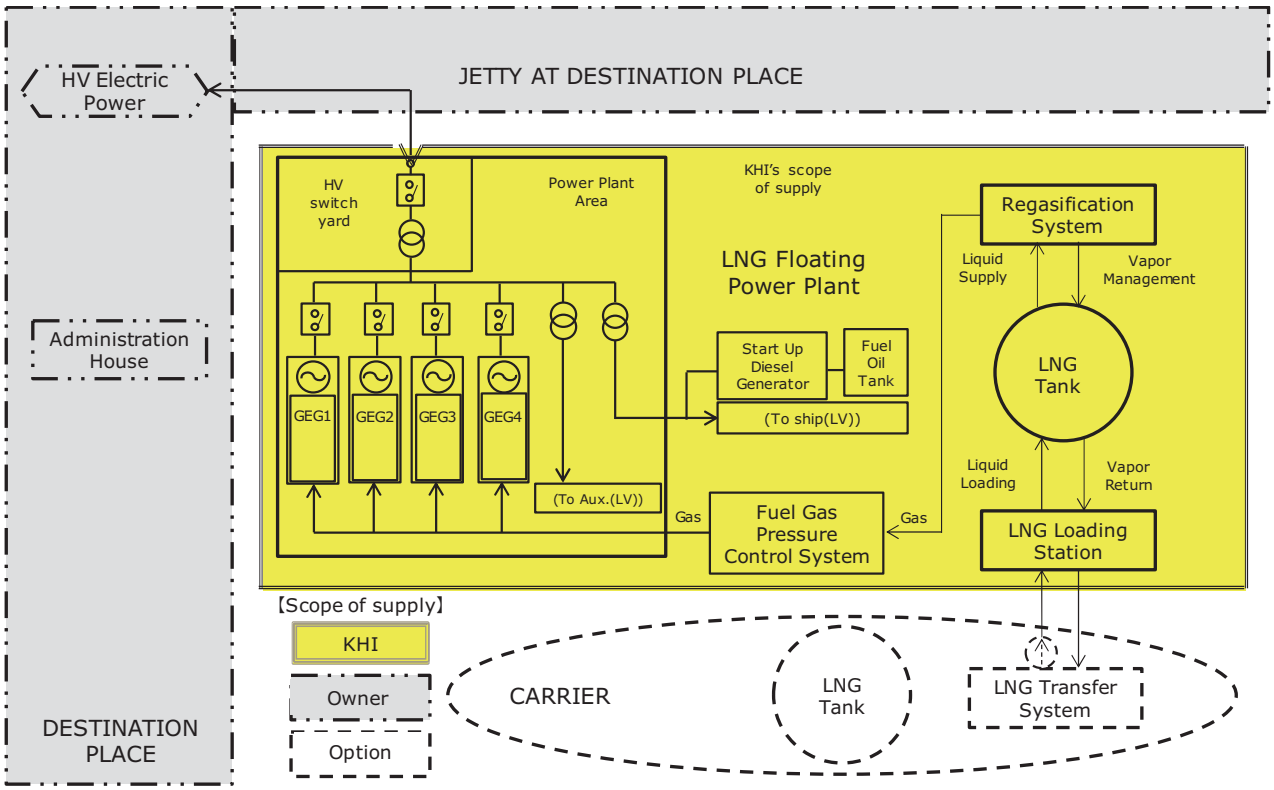
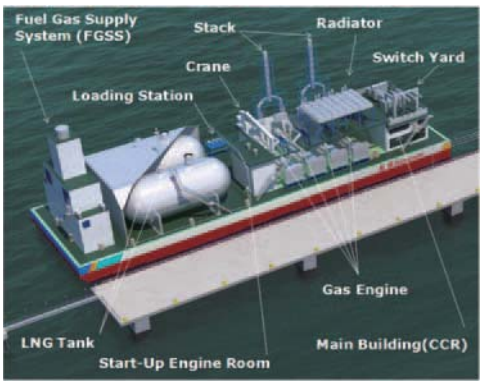
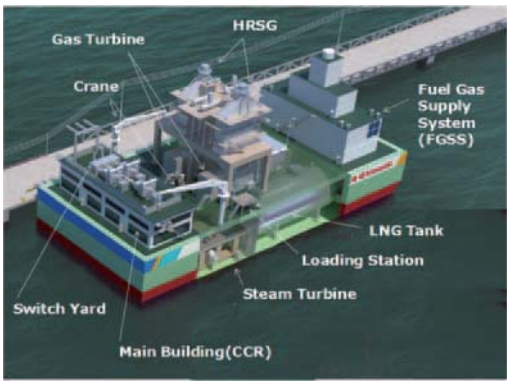



Fig. 3　Overall system configuration（Gas Engine 30 case）



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

Table 5 Major feature of LNG Floating Power Plant

| | | |
|---|---|---|
| Line up | Gas Engine 30 | CCPP 80 |
| Hull | | |
| Ship class notation | DNV-GL + 1A Pontoon Gas Power Plant BIS | |
| Hull type | Barge | |
| Outside Dimension | 120 m (Length) × 36 m (Breadth) × 6.5 m (Depth) | 110 m (Length) × 48 m (Breadth) × 20 m (Depth) |
| Draft | 3.3 m | 10 m |
| LNG Tank | | |
| Tank type | Cylindrical pressure accumulating tank (IMO Type-C), made of aluminum alloy | |
| Capacity × No. of tanks (Equivalent capacity) | 3,500 $m^3$ × 2 tanks (approx. 4 weeks of continuous rating operation) | 5,500 $m^3$ × 2 tanks (approx. 2 weeks of continuous rating operation) |
| LNG bunkering | STS (Ship to Ship) transfer | |
| Power plant | | |
| Type of major equipment × No. of units | Gas Engine (GE) KG-18-V × 4 units | Gas Turbine (GT) L30A × 2 units, Vertical gas flow, dual pressure heat recovery steam generator (HRSG) × 2 units, Mixing, extraction, condensing steam turbine (ST) × 1 unit |
| Cooling method | Radiator cooling (for GE Jacket and balance of plant ) | Sea water cooling (for condenser and balance of plant) |
| Power output & efficiency (at generator terminal. LHV base) (*) | 4 units x 7.8 MW (GE) = 31.2 MW 49.5 % | 2 units x 32.5 MW (GT) + 1 unit x 22 MW (ST) = 87.0 MW 53.1% |
| Fuel | LNG | |
| NOx (*) | ＜300 ppmvd ($O_2$= 0 %) | ＜52.5 ppmvd ($O_2$= 0 %) |
| Operation load range | GE load : 8 % ～ 100 % | GT load : 50 % ～ 100 % (Dry Low Emission combustion mode) |
| Auxiliaries | | |
| Utility supply | LNG regasification system, desalination system, compressed air generator, nitrogen gas supply system | |
| Others | Fire extinguisher, gas / fire detector, accommodation block, air conditioning, water supply and drainage system | |
| Substation & transmission | | |
| Frequency & Voltage (**) | 50 Hz (or 60 Hz) , Max.150 kV | |
| Transmission type (**) | Overhead wire or cable wire | |
| Bird view figures |   |   |

(*) Conditions : Ambient temperature : 15 ℃ , Sea water temperature : 25 ℃ , Fuel : Methane 100 %
(**) Detail conditions shall be discussed and determined by each project.



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

### 4.2　LNGタンク・気化・供給装置

同容量２基のLNGタンク基を装備し，安全性確保と共にメンテナンス時のダウンタイムを抑制する様配慮した。当社製LNG運搬船のLNGタンクは，重量・コストの観点から初建造以来一貫してアルミ製タンクを採用しており，他社建造LNG運搬船への供給も含めて70隻以上の実績がある。タンクの二重構造や断熱構造の仕様は，安全性を確保した当社実績と同じものを採用した。

LNG気化/燃料ガス供給装置についても，LNG運搬船/燃料船で多くの実績を持つLNG気化/燃料ガス供給装置と同等の装置を採用した。

### 4.3　ガスタービンの洋上対応

３.４節で紹介したL30Aガスタービンの発電装置を，浮体式LNG発電プラントに適用するに際し，主に以下の変更を行うこととした。

１）潤滑油系統の変更

船体に要求される傾斜・動揺の影響を考慮した排油配管の勾配設定，潤滑油タンクの形状変更を行った。また，併せて潤滑油タンクのスロッシング対策も加味した。

２）台板の変更

陸上用では個別としているが，洋上用はガスタービン発電装置と発電機を同一台板に設置させて，船体側の変形による軸心への影響を無くした。

３）排気位置の変更

陸上用では発電装置の側面にガスタービン排気出口を設けているが，洋上用は上面に排気出口を設け，発電装置と排熱回収ボイラを組み合わせた設置面積を減少させた。併せて発電装置の形状も見直しした。

### 4.4　出荷，輸送から電力供給までの流れ

浮体式LNG発電プラントの出荷から電力供給開始までの流れを，30MW用Gas Engine 30を例にして説明する。当社造船所にてALL in ONE で建造した浮体式LNG発電プラントは，使用地近隣海域までは重量物運搬船にて輸送し，その後設置海域まで曳航する。係留・設置方法は，設置海域に応じ杭係留もしくは係船索係留を選択し，設置する。陸上の送電施設との接続は，架空線もしくはケーブル等で接続する。

プラント立上時の電力供給については，陸上からの給電，または浮体式LNG発電プラントに搭載された油焚き起動用発電設備による自家発電にて行い，当該電力により各種ユーティリティ，監視設備及びLNG関連設備を起動することとした。

LNGの充填は，バンカリング船を係留させ，LNGホースを接続し，LNGを充填するSTS（Ship to Ship）方式とした。

浮体式LNG発電プラントに搭載された補助ボイラにてLNG気化用蒸気を発生させ，LNGポンプ，圧縮機を起動させた後，ガスエンジン１台を最低負荷にて起動する。ガスエンジンの発電電力にて所内電力をまかなえることを確認した後，送電・負荷上昇を開始する。送電開始後の負荷調整は，電力負荷に応じたガスエンジンの負荷調整により実施される。

### 4.5　安全配慮

本浮体式LNG発電プラントは，発電区域の設備について船級要求によらず，陸用発電で使用される国際規格，例えばボイラに対するASME　Pressure Vessel Codeを適用するものとしているが，船級は発電区画内の設備であってもLNG及び気化後の燃料ガスの取扱いに関する安全配慮を要求しており，特に重要である。

燃料ガス漏洩に関しては，発電区画内の燃料ガス系統の二重管化，あるいは原動機のエンクロージャをESD（緊急停止）区画と定義し対策している。二重管内/エンクロージャ内漏洩検知時は対象機器を緊急停止し，また各区画内へのガス漏れが生じた時は原則区画内機器を停止することにより，漏洩ガスへの引火といった二次災害を防止する。安全上運転継続が必要な設備（検知・換気・非常用照明等）については，防爆対応としている。

ガスエンジン/ガスタービン停止時は，発電区画内の燃料ガス配管を減圧し，燃料ガス漏洩リスクを低下させることとした。

LNGタンクへの進入熱による蒸発ガス（BOG：Boil Off Gas）の発生によりLNGタンク圧力が上昇した場合，通常運転時にあっては，LNGスプレーポンプを用いて上部ガス層の冷却とともに，タンク内温度分布を均一化することによって減圧させる。

BOGは，送電時には圧縮機に送り，ガスエンジン/ガスタービンに送気する。一方，非送電時は，BOGをGCU（Gas Combustion Unit）に送気し，燃焼させて処理する。非常用として安全弁によるベントスタック経由の大気放出系統も設けた。

火災については，船舶規則に則り，区画種類に応じた消火設備（放水/散水，炭酸ガス，泡，粉末，消火器等）にて消火することとした。

ガスエンジン/ガスタービン停止は，陸上給電または起動用発電機に切り替え，電力を浮体式LNG発電プラント所内へ供給することとした。

発電区画及び起動用発電機区画が火災等により給電不可となった場合は，設備搭載の非常用発電機に切り替え，非常用電力を供給することとした。

LNG関連監視設備，火災/ガス検知設備はUPS（無停電電源装置）により監視/検知を継続することにより最大限の安全を確保することとした。

### 4.6　メンテナンス

発電設備に関するメンテナンスの考え方は，基本的に陸用発電設備と同様である。30MW用Gas Engine 30のガスエンジンは，メンテナンス対象機器を１台ずつ停止し，所定のメンテナンスを実施することにより，全停電期間を極力少なくするよう配慮した。80MW用CCPP 80は，陸用の多軸CCPPと同じく，定期点検は全停止期間中に一括して実施することを基本とするが，アク



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

シデント等によるGT，HRSGの停止時は，他系統のGT，HRSGによる運転継続が可能である。

LNG/燃料ガス設備及び船体/船体設備は，船級規則に則った定期検査を受検し，設備の安全性確認を継続的に実施/認証する。

LNGタンク，その他主要回転機器についてはそれぞれ２基以上装備し，メンテナンス時のダウンタイムを抑制する様設計した。

## ５．AiP（Approval in Principle/概念設計承認）

船舶海洋分野では，陸用/航空宇宙等からの転用を含む新技術/新コンセプトに対し，概念設計の段階で第三者機関である船級機関がセーフティー＆リスクアセスメントを行い，この技術/コンセプトが実現可能であることについて船級機関から審査・認証「AiP（Approval in Principle/概念設計承認）」を受けることにより，プロジェクト実施段階でのリスクを低減することが通例である。

LNGを用いて発電する技術については船舶海洋分野では以前から実用化されているが，高圧の電圧を扱い，また陸用等の技術を舶用に比較的容易に転用するための船級規則として，例えばDNV-GLでは2018年１月に船級規則の中にGas Power Plants という表記分類（Class Notation）を追加している。当社の浮体式LNG発電プラントは，DNV-GLの当該Notationに基づくAiPを国内メーカーとして初めて取得した。

なお，具体的実案件の設計・建造時には，船級機関から船級証書（Classification Certificate）を受け，設備の安全及び性能を担保したプラントを提供する。

## ６．結言

本稿では当社が開発したLNGを燃料とする浮体式発電プラントについて紹介した。現在，当社では，LNG燃料バンカリング船の建造も行なっており，同設備とのパッケージ提案も可能である。このLNGサプライチェーンの成熟と共に，本浮体式LNG発電プラントの普及が低炭素化，地球温暖化防止の一翼を担う事が期待される。

更に将来の水素社会を見通し，川崎重工が推し進める水素サプライチェーンと共に排出二酸化炭素ゼロの浮体式水素発電設備への展開も期待される。



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

特集：産業用中小型ガスタービンと適用事例

# アンモニアの燃料利用と小型ガスタービン

# Utilization of Ammonia Fuel and Role of Small Gas Turbine

壹岐 典彦[*1] IKI Norihiko　倉田 修[*2] KURATA Osamu　井上 貴博[*3] INOUE Takahiro　松沼 孝幸[*2] MATSUNUMA Takayuki

**キーワード**：マイクロガスタービン，アンモニア燃焼，水素キャリア，NOx，リッチ・リーン燃焼
**Key Words**：Micro Gas Turbine, Ammonia Combustion, Hydrogen Carrier, NOx, Rich-Lean Combustion

## 1．緒言

地球温暖化による気候変動に対する危機感が高まってきており，低炭素社会や水素社会が真剣に検討されている。温室効果ガス削減目標に着目すると，我が国のエネルギー基本計画では，2030年で2013年度比26%削減，2050年で80%削減となっており，発電分野での化石燃料利用はかなり制約されることになり，原子力もしくは再生可能エネルギーが主力の電源とならざるをえない。再生可能エネルギーの大量導入が期待されるが，系統制約があり，系統安定化のため新たな調整能力が必要となっている。バッテリーの低コスト化が期待されているが，より低コスト化が期待できる水素及び水素キャリアを利用した蓄エネルギー技術の期待も大きくなっている。世界初の液化水素運搬船「すいそ ふろんてぃあ」が2019年12月に進水式を行うなど，脱炭素化に向けた国際水素エネルギーサプライチェーン構築への挑戦が行われている。かかる状況の中，水素キャリアの一つであるアンモニアについても関心が高まっている。内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）で取り上げられたアンモニアに関する研究開発は2019年３月で終了し，2019年４月に一般社団法人グリーンアンモニアコンソーシアムが設立され，社会実装に向けて次のフェーズに移行している。

原稿受付　2020年１月20日
＊１　国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所
〒963-0298　郡山市待池台２－２－９
E-mail: n-iki@aist.go.jp
＊２　国立研究開発法人産業技術総合研究所 つくば東事業所
〒305-8564　つくば市並木１－２－１
＊３　国立研究開発法人産業技術総合研究所 つくば西事業所
〒305-8569　つくば市小野川16－１

## 2．アンモニアの燃料利用

### 2.1　アンモニア

アンモニアは$NH_3$の化学式で表されるとおり，炭素を含まない可燃性物質であり，燃焼後には水と窒素になるため，水素と同様のカーボンフリー燃料として期待されている。窒素は空気から分離可能なため，水素と空気とエネルギーがあればアンモニアは合成できることになる。そこで，脱炭素の観点から，$CO_2$フリーのアンモニアをブルーアンモニア（アンモニア製造過程で発生する$CO_2$を回収），グリーンアンモニア（再生可能エネルギーからアンモニアを製造する）と，水素と同様な呼称が用いられる状況となっている。アンモニアは毒性を有する液化ガスであるため，その製造や利用については様々な規制がある。ただし，屋外で使用する場合は屋内に比べて適用される規制が少なく，取り扱いやすくなる。

### 2.2　燃料としてのアンモニア

アンモニアの燃料利用は古くから行われており，1940年代のベルギーでのバスや，1960年代の米国での超音速のロケットプレーンなどが有名である。また空気と水とエネルギーがあればアンモニアは合成できることから，米国では1960年代には車両用エンジンとして開発が行われ，ガスタービンの試験も行われた。ただし，当時の技術では燃焼効率が不十分で，実用化には至らない状況であった。1970年代には燃料としての研究開発情報は見あたらないものの，窒素酸化物の生成機構解明に用いられた。2000年代になって米国では$NH_3$ Fuel Association が設立され，民間ではアンモニアの燃料利用について再び研究開発が行われるようになった。2010年代頃から，再生可能由来の水素キャリアとして注目され，アンモニアを燃料とする車両が開発され，発電用ガスタービンでの利用の研究開発も始まった。

我が国においては2014年に開始されたSIPエネルギーキャリアのプロジェクトにおいて，燃料電池でのアンモ



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

ニア燃料利用の他に，東北大学をリーダーとして，アンモニア直接燃焼チームが作られ，様々な燃焼装置の研究開発が行われた[2]。ガスタービンについては，東北大学が燃焼の基礎研究を行い，産総研とトヨタエナジーソリューションズがマイクロガスタービンを，IHIが産業用ガスタービンに取り組んだ。三菱日立パワーシステムズと三菱重工エンジニアリングが発電用の大型ガスタービンに取り組み，アンモニア改質装置と水素燃焼器を組み合わせたシステムの研究開発を実施した。また，豊田中央研究所，産総研，JFEエンジニアリング，海上技術安全研究所が車両用や舶用のレシプロエンジンでのアンモニア燃料利用の研究開発を行った。さらに，電力中央研究所，中国電力，東北電力，中部電力，関西電力，IHIが，火力発電所での石炭とアンモニアの混焼の研究開発を行ったり，発電所の燃料としてアンモニアを発電所で利用することの研究開発及び調査研究を行ったりした。工業炉でのアンモニア使用については，大阪大学が基礎研究を行い，大陽日酸，宇部興産，日新製鋼が研究開発を行った。

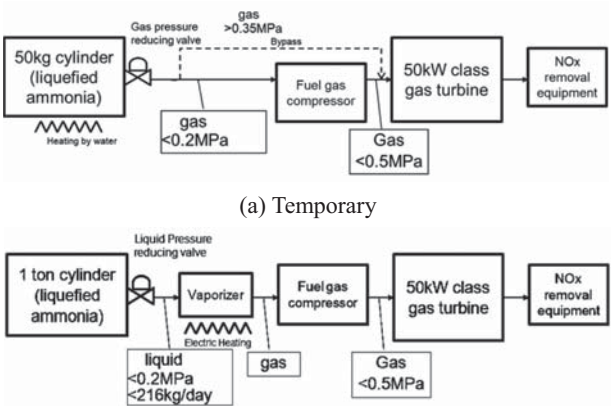
## 3．アンモニア燃焼ガスタービン

### 3.1　アンモニア供給

アンモニア燃焼の研究開発を行う際には，アンモニアガスの供給が先ずは課題となる。燃料として使用する場合，消費量が脱硝装置などでの使用量とは桁違いに増える。例えば，アンモニア燃料だけで50kWの発電を行うには，マイクロガスタービンの発電効率を25%として200kW相当のアンモニアガスを供給する必要がある。200kW（LHV）はアンモニアで38kg/hの供給となる。液化アンモニアは蒸発熱が大きいため，200kW相当のアンモニアガス供給のためには専用の設備が必要である。

産総研ではFig. 1 (a)の仮設の設備でアンモニア燃焼の試験を開始し，アンモニアの取扱についてノウハウを積んでから，1 tonボンベおよび500kgボンベに対応する(b)の供給設備を設置した。アンモニアボンベはサイフォン式となっており，アンモニアガスと液化アンモニアの両方の取り出しが可能であるが，液化ガスであるアンモニアの気化熱を十分に供給する必要があり，大気との熱交換だけでこの熱を賄うには，1 tonボンベの表面積では伝熱面積が不十分である。この場合，ボンベの加熱が考えられるが，ボンベの加熱には法律上の制約があり，電気ヒーターによるボンベの直接加熱はできず，温水による加熱も温度が制限される。このため温水ジャケットによるボンベ加温では，50kWのガスタービンを運転するには1 tonボンベ2本が必要となる。産総研では1 tonボンベ1本で済ませるため，ボンベから液化アンモニアを取り出して，専用の蒸発器で加熱する方式を採用した。

さらに大きなガスタービンになると，取り扱うアンモニアの流量が増えるため，アンモニア供給に関わる法規制は増え，燃料コストもかかるため，アンモニア燃焼の技術開発を小型ガスタービンで開始するのが妥当な選択といえる。




(a) Temporary

(b) Large amount supply of ammonia liquid

Fig. 1　Ammonia gas supply facility

### 3.2　マイクロガスタービン

アンモニアのみを燃料とするシステムを初めから開発するのは困難と考え，起動後に通常燃料とアンモニアの混焼，その成功を踏まえて，アンモニア専焼を行うこととして研究開発を開始した。設置場所に都市ガス供給設備が無かったことから，灯油燃焼のガスタービンを選択した。具体的には，トヨタタービンアンドシステムのマイクロガスタービン（定格：50kW 80,000rpm，Table 1参照）のシステムをベースとして，試作燃焼器，燃料供給系，制御プログラムを改造したガスタービン発電システムを用いて，発電試験を行った。発電した電力は負荷装置で消費させた。本装置は再生器を採用した再生サイクルとなっており，燃焼用空気は再生熱交換器を介してガスタービン排気で予熱されるため，圧縮比が小さいものの，燃焼用空気の温度は高く，アンモニア火炎の保炎に有利な構成となっている。

Table 1　Specification of base micro gas turbine

| | |
|---|---|
| Manufacturer | Toyota Turbine and System Inc. (TTS) |
| Cycle | Regenerative cycle |
| Shaft | Single shaft |
| Compressor | Centrifugal one-stage |
| Turbine | Radial one-stage |
| Rotating Speed | 80,000rpm |
| Electric Power Output | 50kW |
| Fuel | Kerosene |
| Combustor | Single can, Diffusion combustion |

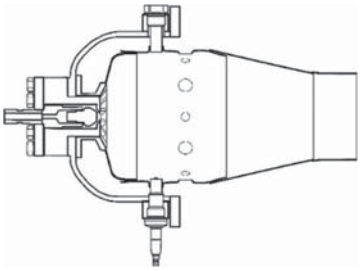
### 3.3　ガスタービン燃焼器

東北大学の基礎研究において，円管バーナではアンモニア火炎の保炎は困難であるものの，旋回流燃焼器はアンモニア火炎の保炎が可能であることが示されていた。

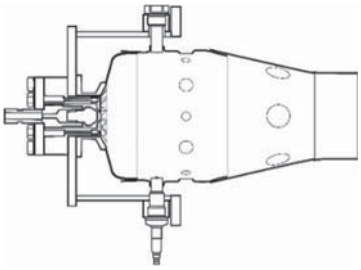


Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

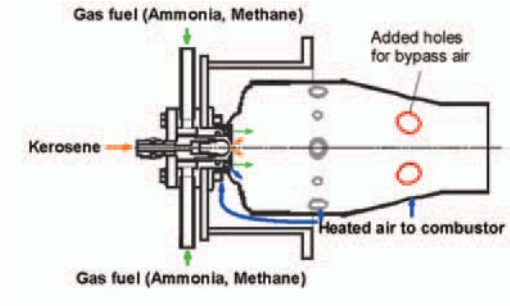
ベースエンジンとなったガスタービンの燃焼器は旋回流燃焼器であり，それを改造してアンモニア燃焼用の試作燃焼器を試作した。具体的には，灯油用燃焼器（Fig. 2 (a)）をバイフュール型の試作燃焼器Step 0 (b)に置き換え，ガスタービンの制御プログラムも変更することで，アンモニアを燃料として使用できるようにした。試作燃焼器Step 0は，灯油の燃料噴射弁を中心に配置したまま，パイロットバーナとして機能させ，その周囲にガス燃料用の噴孔を12個配置することにより，火炎の安定性が高い拡散燃焼方式によってアンモニアガスの燃焼を試みるものである。天然ガスとアンモニアの混焼での実用化も想定して，メタンおよびメタン－アンモニア混合ガスもガス燃料として燃焼を試みた。(c)のように燃焼器ライナーにはバイパス用の空気孔を 6 個設けることで主燃焼領域の燃焼用空気の流量を抑えており，滞留時間を稼いでいる。さらに全体としては燃料リーンな状態であるマイクロガスタービン燃焼器に対して，主燃焼領域の当量比を高めて燃焼を強化する効果も期待できる。



(a) Original kerosene combustor



(b) Prototype bi-fuel combustor (Step 0)




(c) Remodeling points

Fig. 2　Prototype bi-fuel combustor [1]

### 3.4　起動法

Fig. 3およびTable 2 のように灯油を用いてガスタービンを起動し，暖機運転が済んでから，灯油とガス燃料の混焼を開始し，徐々に燃料の供給割合を変更して，ガス燃料での発電運転に切り替えていくことで，試験を行った。灯油の燃料噴射弁は変更していないものの，燃焼器ライナーに空気孔を設けたことにより，空気の供給量が変更になっているが，ガスタービンの起動は可能であった。ただし，起動時にススが発生しやすくなる現象が見られたので，灯油とアンモニアを併用する形で実用化するのであれば，気を付ける必要がある。

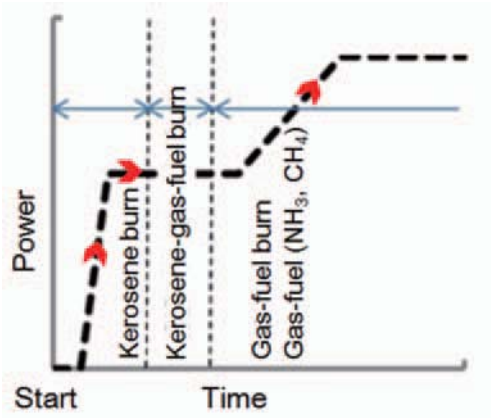



Fig.3　Startup sequence [1]

Table 2　Startup sequence [1]

| $NH_3$ combustion procedure | | $CH_4$-$NH_3$ combustion procedure | |
|---|---|---|---|
| Process | Fuel | Process | Fuel |
| Start-up | Kerosene | Start-up | Kerosene |
| Increasing electric output | Kerosene | Increasing electric output | Kerosene |
| Opening fuel gas valve | Kerosene+$NH_3$ | Opening fuel gas valve | Kerosene + $CH_4$ |
| Stopping Kerosene supply | $NH_3$ | Stopping Kerosene supply | $CH_4$ |
| | | Starting $NH_3$ supply | $CH_4$+$NH_3$ |

### 3.5　アンモニア燃焼

灯油を用いて起動し，アンモニア専焼で定格の8割以上の出力を達成した例をFig. 4に示す。改造を施したガスタービンであるため，定格の80,000rpmよりやや回転数の低い75,000rpmで暖機を行ったのち，発電出力を30kW弱まで上げた状態で，灯油を徐々にアンモニアに切り替えていった。アンモニア専焼となったのちも発電出力を上げていったが，40kWを超える発電出力を得るため，回転数を80,000rpmに上げている。

アンモニア専焼で運転できる発電出力の範囲はFig. 5のように制限されており，発電出力の下限は未燃アンモニアの増加により定めている。燃焼器で発生した未燃アンモニアでも脱硝装置でのNOx処理に利用できるため，



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

NOx処理に必要な量以上に未燃アンモニアが残存する場合を限界と考えている。一方，発電出力の上限は再生熱交換器の保護の観点から定めている。回転数が低くなると空気流量が減って燃焼ガス温度が高くなるとともにタービンの膨張比も低下する。この結果，タービン出口温度が上昇し，すなわち再生熱交換器の高温側の温度が高くなるため，発電出力の上限が低下する。また，改造に伴って発電機関連の冷却状態が変化し，高回転数で高出力の場合，発電機やインバーターの保護のため，気象条件により運転できない場合があった。

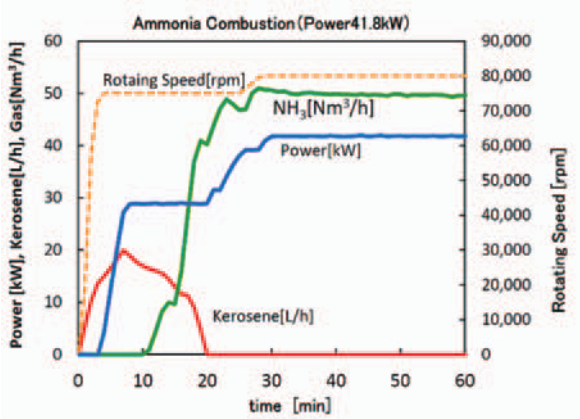



Fig. 4　Ammonia combustion [1]

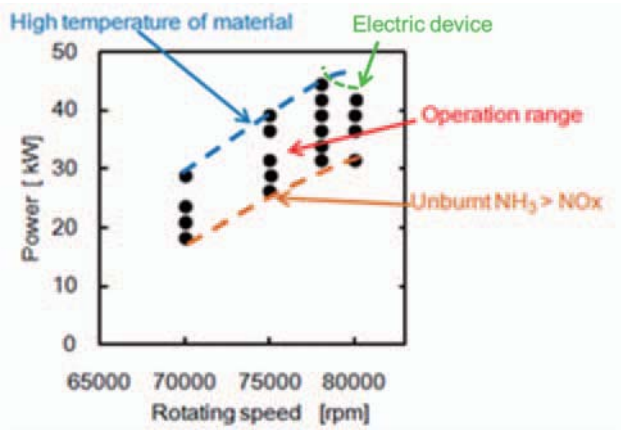



Fig. 5　Operation range of gas turbine firing ammonia [1]

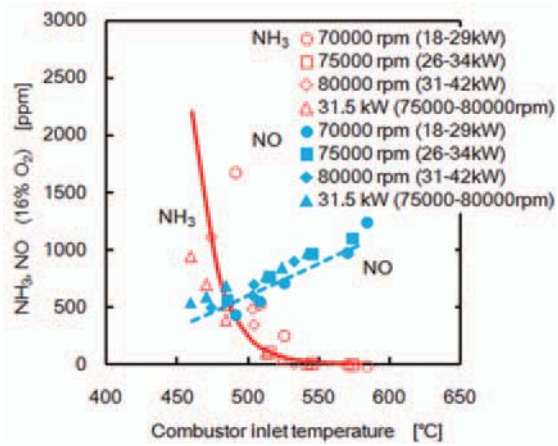



Fig. 6　Emission of ammonia combustion [1]

アンモニア専焼の際の排出ガス成分を脱硝処理前の状態で調べてみると，発電出力が高くなるとNOを主としたNOxが大量に発生し，発電出力が低い条件では未燃アンモニアが残ることが分かったが，Fig. 6のように燃焼器入口の空気温度で整理すると，排出ガス中のNOとアンモニアは回転数によらずに整理できることが分かった。すなわち，アンモニアの完全燃焼には燃焼用空気の予熱が重要であり，一方，燃焼用空気の予熱によりNOが大量に発生する。

### 3.6　メタン-アンモニア燃焼

灯油で起動後に灯油－メタン混焼を行い，メタン専焼を実現し，その後，メタン－アンモニア混焼について実施した。Fig. 7はメタンとアンモニアの低位発熱量が1：1となるように混合して供給した場合の排気ガス成分（脱硝処理前）を示したものである。発電出力を高くしていくと，NOが増加し，$NO_2$はやや減少している。アンモニアとCOは急に減少し高い発電出力の場合にはほぼ残らない。メタンと混焼することで燃焼が強化され，アンモニア専焼では約30kWが発電出力の下限であったが20kWでも発電が可能であった。

メタンとアンモニアの混合比の影響をFig. 8に示す。発電出力が31.4kWでアンモニア専焼では未燃アンモニア

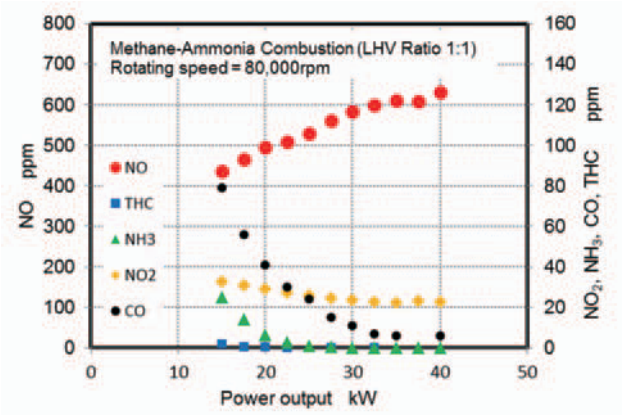



Fig. 7　Emission of methane and ammonia combustion [1]

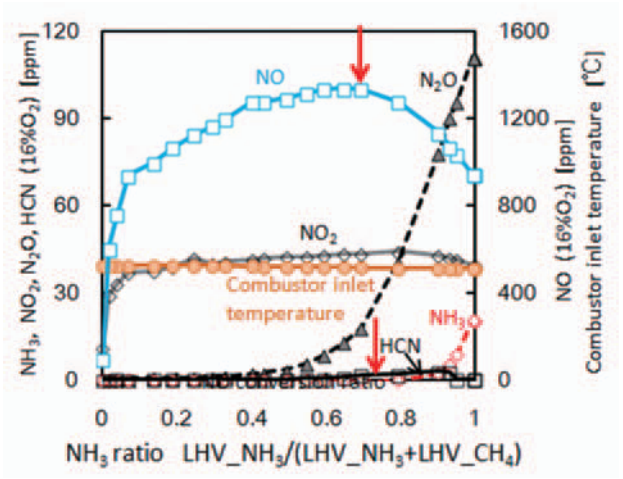



Fig. 8　Effect of ammonia ration on emission (75,000rpm, 31.4kW) [1]



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

が残る条件である。NOにアンモニアの混合比に対してピークがあるが，$NO_2$はほぼ一定である。また$N_2O$はアンモニアの混合比が高くなると急増する。未燃アンモニアはアンモニア専焼では残るが，メタンが1割ほどあればほとんど残らない。Fuel NOxが主と考えられるアンモニア燃焼のNOxのうち最も多いNOにピークがあることは，燃料中のN分の多いアンモニア専焼よりもメタン-アンモニア混焼の方がNOxが多いことを示している。一方，メタン専焼と比較するとアンモニアをわずかに混焼するだけでNOxが急激に増加し，さらにアンモニアを増加していくとNOxはわずかにしか増加しなくなる。これはアンモニアの割合が増加するとともにアンモニアからNOxへの転換率が急激に低下する傾向となっている。

### 3.7　排出NOx低減

アンモニア燃焼用の試作燃焼器を用いたマイクロガスタービンの発電試験では，NOx排出濃度が高いものの，脱硝装置を用いることで，排出NOxを10ppm以下にできた。ただし，実用化を目指すうえでは脱硝装置のコストダウンを図れるよう，燃焼器で発生するNOx濃度を低くすることが期待される。

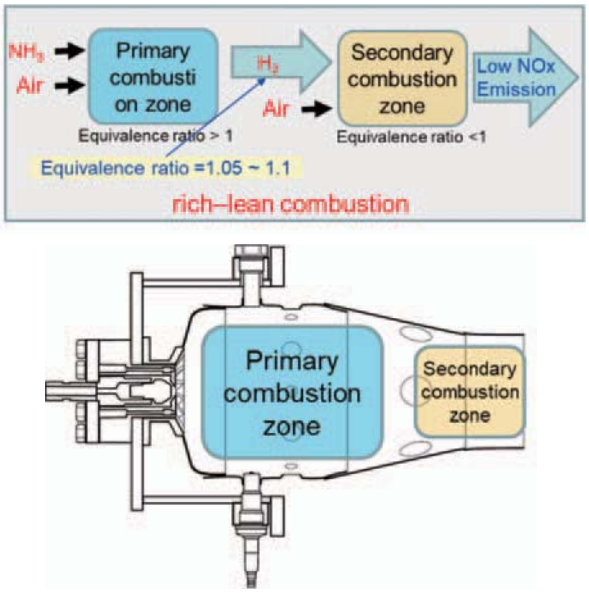
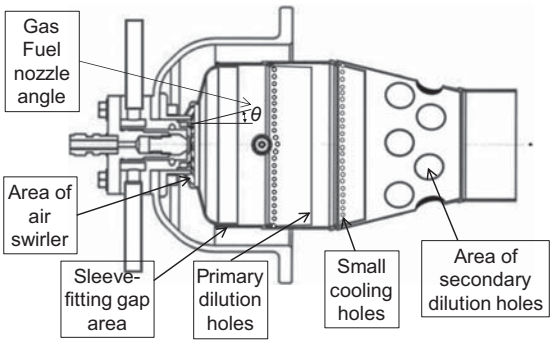


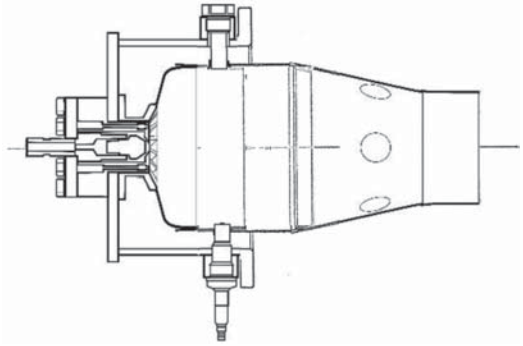

Fig. 9　Rich-lean combustion [1]

アンモニアのNOxへの転換率を考慮すると，アンモニア濃度を高くすることで，NOx発生が抑制される傾向がある。東北大学の基礎研究では旋回流燃焼器でのリッチ・リーン燃焼によりNOx発生が抑えられることが分かっている。当量比1.05 ～ 1.1程度でアンモニアを燃焼させるとNOxも未燃アンモニアも発生しないので，Fig. 9のように残った水素をリーン燃焼できれば，大幅にNOx発生を低減できると考えられる。これをマイクロガスタービン燃焼器で実現すれば排出NOxが低減できる。

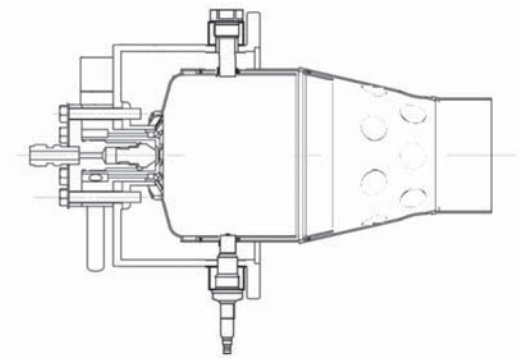
リッチ・リーン燃焼を実現するために，Fig. 10 (a)に示す改造を行って，燃焼器テストリグで排出ガスを調べ，NOの低減効果を確認した上で，Step1の燃焼器がトヨタエナジーソリューションズにより試作された。これを用いて，発電試験を行い，起動可能であることを確認した。その上で燃焼器ライナーの冷却構造を見直し，冷却空気が第一次燃焼領域に極力混入しないようにしたStep2が試作された。一次燃焼領域と二次燃焼領域への空気の供給割合を変更するため，スワラーの流路面積や空気孔の数を変更して試験を行った。




(a) remolding points



(b) Step 1



(c) Step 2

Fig. 10　Low NOx combustor

Step2ではFig. 11に示すように約11kWの低い発電出力でもアンモニア専焼が可能であり，未燃アンモニアや$N_2O$もほとんど残らない。さらに空気の供給割合を変更するとFig. 12のようにNOの低減効果が見られる発電出力の範囲が得られる条件もある。NOx低減効果が得られる運転範囲が限定されるものの，Step2燃焼器を用いてガスタービンを起動し，当初の1/4以下のレベルに低



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

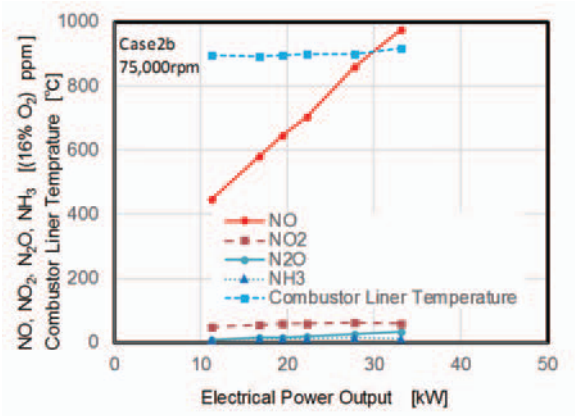



Fig. 11 Example of emission and combustor liner temperature (75,000rpm, Step2, Case2b) [1]

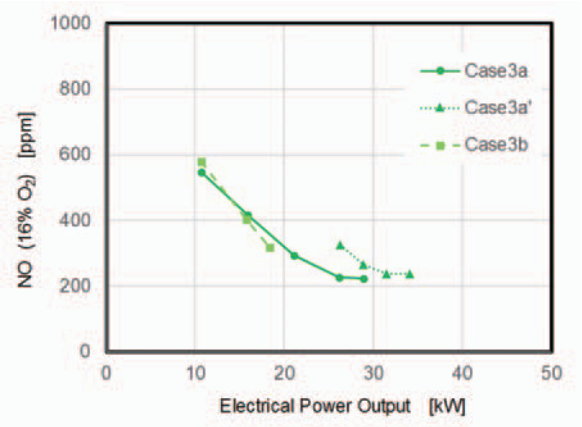



Fig. 12 NO emission (75,000rpm, Step2, Case3) [1]

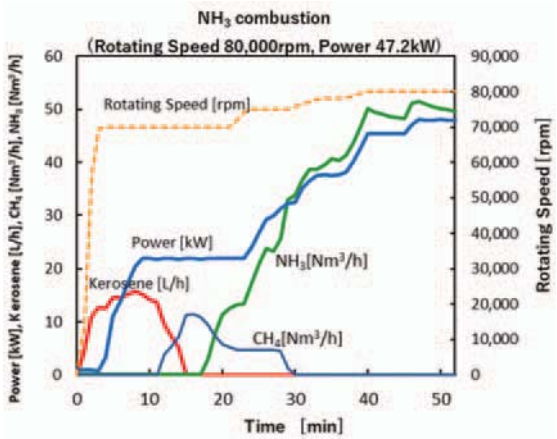



Fig. 13 Operation firing $CO_2$-free ammonia [1]

減しながら，発電試験が行えた。

これらの成果をベースに脱硝装置を内蔵したコジェネレーション用ガスタービンをトヨタエナジーソリューションズは開発した。新しいガスタービンはメタンで起動するシステムとなっており，さらに燃焼器の改良を行い，NOxを200ppm未満とすることに成功した。さらにこのNOx低減技術のノウハウを活かした300kWのアンモニア直接燃焼ガスタービンも開発し，再生熱交換器無しのシステムでもアンモニア専焼発電を実証した。この300kWのマイクロガスタービン試験では産総研の開発した高活性の脱硝触媒も実証された。

以上のように起動に灯油や都市ガスなどを用いるアンモニア直接燃焼ガスタービンについて，リッチ・リーン燃焼により排出NOxを低減した発電が可能であることが実証された。さらに脱硝装置も小型化が可能となっている。

## 4．最後に

SIPエネルギーキャリアにおいて，日揮と産総研を中心とするアンモニア合成のグループでは，従来技術より低温・低圧下でアンモニアを合成できるルテニウム触媒の開発に成功し，小型プラントでの実証試験を行ってきた[3]。$CO_2$フリーアンモニアサプライチェーンのモデルとして，水の電気分解で再生可能エネルギーにより製造した水素，その水素を原料とするアンモニア合成，そのアンモニアを燃料としたガスタービン発電の実証を試みた。この実証では最初のアンモニア直接燃焼ガスタービン用い，発電機の過熱の対策を行った結果，Fig. 13のように47.2kWの発電に成功した。このような$CO_2$フリーのサプライチェーンを目指す上では，アンモニアもしくは水素などでのガスタービン起動が必要である。また，リッチ・リーン燃焼器の改良による排出NOx低下が期待されるとともに，耐久性・信頼性の実証も今後の課題である。

## 謝辞

本研究（の一部）は，内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「エネルギーキャリア」（管理法人：JST）によって実施されました。東北大学小林秀昭先生をはじめ数多くの関係者に多大な協力を賜りました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

(1) 産業技術総合研究所，SIPエネルギーキャリア「アンモニア直接燃焼 アンモニア内燃機関の技術開発」終了報告書，
＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team6-7.pdf＞
（参照日 2020年1月17日）.

(2) 東北大学，SIPエネルギーキャリア「アンモニア直接燃焼」終了報告書，
＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team6-0.pdf＞
（参照日 2020年1月17日）.

(3) 日揮，SIPエネルギーキャリア「$CO_2$フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・輸送関連技術の開発 $CO_2$フリー水素からのアンモニア合成プロセスの構築及び実証」終了報告書
＜https://www.jst.go.jp/sip/dl/k04/end/team3-1.pdf＞
（参照日 2020年1月17日）.



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

報　告

# International Gas Turbine Congress 2019 Tokyo 開催速報

IGTC2019実行委員会
委員長　**西澤 敏雄**

## 1．はじめに

2019年11月17日㈰から22日㈮まで，International Gas Turbine Congress 2019 Tokyo（IGTC2019 Tokyo）が都内の虎ノ門ヒルズフォーラムで開催された。関係各位のご尽力，ご協力により，盛会のうちに終了することができた。実行委員会の活動は最終報告書の取り纏めまでひきつづき実施するが，ここでは開催結果の概要を速報する。詳細な開催結果については，実行委員会の活動終了後，学会誌にてあらためて報告する予定である。

## 2．参加者

事前登録と当日登録を合わせて計493名の参加があった。外国人は20か国から155名，日本人は338名であった。外国人は前回のIGTC2015とちょうど同数であり，最多である。今回は中国からの参加者が48名と最も多く，つづいてドイツ37名，韓国18名，英国16名，米国10名などが多かった。欧米諸国の他，アジア・中東地域からも前回同様に参加者があり，インドネシア３名，イラン２名，クウェート１名，マレーシア３名であった。また，同伴者等は11名であった。

## 3．講演会

⑴論文発表

アブストラクトの投稿は226件にのぼり，最終的にフルペーパーのレビューの段階では179件の論文を受理・採択した。そのうち１件のキャンセルがあり，発表数は178件であった。その内訳は，国外が96件，国内が82件であり，IGTCとして海外からの論文発表のほうが国内を上回る初めての会議となった。発表予定時間の変更はあったものの，No-showは無かった。

⑵招待講演

今回は招待講演数を大幅に増やし，外国から７名，国内から１名の講演者を招待した。米国NASAグレン研究所のHeidmann博士がNASA航空技術の歴史と展望，ジョージア工科大学（米国）のLieuwen 教授が将来のガスタービン燃焼技術，ハノーファー大学のSeume教授が高信頼性解析の段階的適用による圧縮機空力・空力弾性設計の革新，GE Additive社のPang博士が３次元積層技術による製造技術の展望というテーマでそれぞれ講演され，これら４講演についてはプレナリーセッションとして実施した。

また，ロールスロイスのHaselbach氏が将来の航空機エンジンのキーテクノロジー，インペリアル・カレッジ・ロンドンのVahdati教授が民間航空エンジンファン動翼の空力弾性，インペリアル・カレッジ・ロンドンのMontomoli博士がターボ機械への機械学習適用，JAXAの西澤敏雄博士により高効率軽量ファン・タービン技術というテーマでそれぞれ講演され，これら４講演については，一般講演とのパラレルセッションで実施した。いずれの招待講演も多くの参加者があり，活発な質疑が行われた。

⑶パネルディスカッション

パネルディスカッションも２つのテーマについてプレナリーセッションで行われた。「航空機推進技術の未来：メーカーの展望」では，ジェットエンジン関連の研究機関，メーカーからパネリストが登壇し，広い視野で次世代航空推進の議論が交わされた。「低炭素社会と水素社会におけるタービン技術開発」では，低炭素社会に向けてパネリスト間で活発な討論がなされ，参加者から，参考になったとの感想が多く寄せられた。

Fig. 1　Plenary Lecture

Fig. 2　Panel Discussion



Download service for the GTSJ　member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

## 4．展示

11月18日㈪午後から21日㈭午前までの期間，国内外の28社・機関が虎ノ門ヒルズフォーラム５階の展示会場にブース（合計コマ数62）を出展した。ガスタービン・ジェットエンジンの本体や模型，部品などのハードウェアが展示されたほか，ソフトウェアの展示ブースにも多くの人が集まっていた。これまでと同様にASME/IGTIも展示ブースを設け，事業や出版物の紹介を行った。当学会も2014年からASME Turbo Expoに毎回ブースを出展しており，この出展は双方の継続的な相互交流としての意義を有している。来場者数は延べ約1,000名とカウントされた。また，今回も会場にてアンケート調査を行ったが，回収されたアンケートは今後集計を行い，頂いた意見を次回以降に反映できるよう資料を纏める予定である。

同じく５階のロビーにて，国内大学の関連研究室による展示も11件行われた。A0サイズのポスターが掲示され，コーヒーブレークの時間を中心に，参加者への説明や質疑が活発に行われた。

## 5．行事

初日の11月17日㈰夕方から参加登録が開始され，夕刻には同会場内で歓迎レセプションが開催された。約120名の参加があり，旧交を温め合う人たちや，初めて出会う人たちで賑わった。

11月20日㈬のセッション終了後にはバンケットが実施され，200名を超える多数の参加者で大変盛況であった。握り寿司や利き酒のコーナーが前回にも増して非常に好評だった。太神楽曲芸協会の鏡味仙成氏による太神楽が披露され，日本の古典芸能を楽しむ雰囲気とともに，外国人参加者も演技に一部加わり，おおいに盛り上がった。

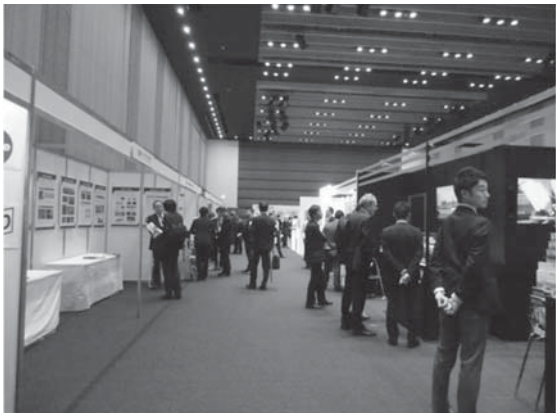


Fig. 3 Exhibition

11月20日㈮にはプラント・ツアーが２つのコースで行われ，国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）および株式会社JERA川崎火力発電所などを見学した。天候はあいにく雨天であったものの，事故もなく無事終了した。また，講演会会期中の昼休みには，虎ノ門ヒルズ森タワーのコージェネシステムを見学するバックヤード・ツアーを今回も実施し，約70名の参加者があった。

## 6．関連イベント

⑴市民フォーラム

11月17日㈰の午後１時から2時30分まで，虎ノ門ヒルズフォーラム内の会場で「ガスタービン市民フォーラム」を開催した。中学生や高校生を含む一般の方々に，ジェットエンジンやガスタービンなどの理解を深めていただくことを目的に，前回IGTC2015と同じく東京大学の姫野武洋先生に講演をお願いした。小学生を含む37名の参加があり，分かりやすく興味のある話だったと好評で，講演後も参加者からの個別質問も長く続いていた。本フォーラムの企画運営はガスタービン技術普及委員会が行った。

⑵女性エンジニアの会

前回に引き続きIGTCに参加する女性参加者に呼びかけを行い，11月21日㈭の昼休みに会場内で会合を開催した。17名の参加があり，女性エンジニアのコミュニケーションが大いに促進されたとのことである。前回IGTCの後，学会内に女性参画推進委員会が発足し，本会は女性の参画を推進する活動の一環と位置付けられている。

## 7．おわりに

本国際会議が盛会に開催できたのは，関係各位のご努力とともに，助成・協賛をいただいた諸団体のご支援のおかげである。特に実行委員会委員各位には，本来業務でご多忙な中，ひとかたならぬご尽力をいただいた。実行委員長として心よりお礼を申し上げる。また，学会事務局のみなさん，渡辺会長，識名副会長をはじめとする学会理事の各位にも，開催に向けて様々なご協力をいただき，深く感謝申し上げたい。会議事務局のイーサイド社と虎ノ門ヒルズフォーラム関係者各位から支援いただいて円滑な運営ができ，たいへんお世話になった。国際委員会を通じて海外からの参加を促進して下さったInternational Advisory Committeeの委員各位にも，御礼申し上げる。最後に，本国際会議に参加していただいた全ての方々と論文の査読に貢献していただいた関係の皆さんに心より感謝し，速報を締めくくりたい。



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

報　告

# 2019年度若手技術者交流会報告

金澤 直毅
KANAZAWA Naoki

2019年12月13日㈮に，川崎重工業株式会社明石工場にて，若手技術者交流会が開催された。この若手技術者交流会は，参加者個々の技術・研究レベルの向上と若手技術者・研究者の情報交換の促進を意図として，毎年開催されている。ガスタービン関連分野で今後中核的な存在として活躍が期待される若手技術者・研究者をメインターゲットにしており，第一線で活躍されている専門家による講義・講演と，参加者による自己紹介・ディスカッションを併せた企画内容となっている。今回は空力をテーマとして関西地区で開催した。メーカーの若手・中堅技術者や大学生27名（11団体）に参加いただき，幅広い交流が行われた。

初めに集会行事委員会の西村委員より，本交流会を通じてしっかり勉強すると共に様々な人と交流していただきたいと開会の挨拶が行われ，参加者は業務・研究の概要や関心のある話題，趣味等の話も交えながら自己紹介を行った。参加者の専門分野を中心とした技術レベルを高めつつ，参加者同士のつながりも強めていきたいという意識の高さが表れた自己紹介が多かった。

講義は，講師に古川雅人氏（九州大学）を招き，「知的可視化によるターボ機械内部の渦流れ現象のCFD解析」をテーマとして講義いただいた。知的可視化の必要性やその具体的手法について解説されるとともに，ターボ機械の内部流れ場で発現する複雑な流動現象を解明した事例が紹介された。CFDの結果から如何にして流体力学的に意味のある情報を労力および時間を掛けずに抽出・表示するかに焦点を当てた実務に直結する講義であった。また，ターボ機械内部の渦崩壊を発見した論文発表当時に苦労された話が大変印象的であった。

講演は，メーカーからの実践的な技術開発の紹介として，松岡右典氏（川崎重工業株式会社）による「ガスタービン用ターボ機械要素のCFD解析と設計利用」と題した講演をいただいた。軸流圧縮機開発におけるCFD解析の適用例を交え，解析・設計技術の変遷，現状の取り組み事例および今後の課題が説明された。L30Aガスタービンの軸流圧縮機開発においては，CFD解析を駆使して設計したものの目標性能に足らず，最終的には試験結果も有効利用して改良設計を行い，目標性能を達成したとのことであった。CFD解析の設計への有効な活用方法について，改めて考えさせられる貴重な話であった。

講義・講演の後に設けた質疑応答とディスカッションでは，踏み込んだ質問がなされ，参加者のモチベーションの高さが表れていた。業務上直面している課題に対して，議論している様子から本交流会の意義を感じた。

質疑応答とディスカッション後は，会場にて懇親会が行われた。懇親会には，交流会出席者の多くが参加され，講師の方々にも出席いただいた。参加者相互の所属を越えた熱心な議論と情報交換が交流会に引き続き行われており，本会の開催趣旨のとおりに，若手技術者間の有意義な場として活用いただけたと思う。

最後に，ご多忙な中，講義，資料等の作成・準備にご尽力いただきました古川氏，松岡氏に感謝すると共に，会場の提供，準備および運営にご協力をいただきました川崎重工業株式会社の関係各位に深く感謝いたします。

（集会行事委員会委員）

講義風景

懇親会風景



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

報　告

# 第48回ガスタービンセミナー報告

河上 誠
KAWAKAMI Makoto

第48回ガスタービンセミナーが，「ガスタービンの最新技術動向」をテーマとして，2020年１月23日㈭，24日㈮の２日間にわたり，東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻将来航空推進システム技術創成社会連携講座と共催し，東京大学 山上会館において開催された。80名の方々にご参加いただき，活発な質疑応答が行われ，盛況の下に無事終了した。講師には，ガスタービン，蒸気タービン，航空用ジェットエンジンに関わるメーカー，大学，研究機関の第一線でご活躍されている方々を迎え，11件のご講演をいただいた。以下に概略を報告する。

１日目は，「セッションⅠ：発電用ガスタービンの最新技術」と「セッションⅡ：航空用ガスタービンのエネルギーマネージメント」の二つのセッションが開催され，計６件の講演が行われた。１.「超臨界$CO_2$タービンの開発について」では，高橋武雄氏（東芝エネルギーシステムズ㈱）が，超臨界$CO_2$サイクル発電システムの特徴と開発状況について紹介があった。２.「アンモニア直接燃焼マイクロガスタービンの最新技術と課題」では，壹岐典彦氏（(国研）産業技術総合研究所）が，SIPプロジェクトにおけるアンモニア燃焼ガスタービン発電において得られた最新技術について紹介頂いた。３.「発電用ガスタービンにおける水素利用」では，岸田宏明氏（三菱日立パワーシステムズ㈱）が，三菱日立パワーシステムズにおける高効率大型ガスタービン，水素含有燃料の燃焼技術，今後の技術開発概要について説明した。４.「燃料問題改善に対するガスタービン燃焼技術の最新動向」では，住田亮氏（GE Gas Power）が，多様なガスタービン燃料の燃焼技術の確立や改善について説明した。５.「機体・運航・動力源を統合した航空輸送エネルギ消費評価に向けた取り組み」では，福山佳孝氏（(国研）宇宙航空研究開発機構）が，JAXAで構築した簡易性能計算システムの概要及びこのシステムを用いて試算した運航およびエンジン性能の影響を説明した。６.「航空用ガスタービンのサーマルマネージメントの動向」では，伊藤優氏（東京大学）が体積・質量を考慮した航空用ガスタービンのサーマルマネージメントについて説明した。

２日目は，「セッションⅢ：航空用ガスタービンの最新技術」，「セッションⅣ：ガスタービンにおけるデジタルデータ活用」の二つのセッションが開催され，計５件の講演が行われた。７.「軸流圧縮機における前方スイープ動翼の効果」では，太田有氏（早稲田大学）が，前方スイープ動翼が軸流圧縮機の性能と失速初生特性に及ぼす影響を実験および数値解析結果より説明した。８.「航空機用エンジンにおける電動化に関する取り組み」では，大依仁氏（㈱IHI）が，航空機システム電動化及びエンジン・システム電動化の技術動向について解説した。９.「航空エンジン用ギアボックスの先端技術と展望」では，坂野孝彦氏（川崎重工業㈱）が，航空機用Gearedエンジンとそれを可能にする最先端のギアボックス技術について紹介した。10.「量産ジェットエンジンのフライトデータを用いたエンジニアリング解析と異常検知」では，瀧口祐氏（㈱本田技術研究所）が，GE Honda Aero Enginesのフィールドデータを使った管理・解析の活動について説明した。11.「電力分野でのAI活用のために必要なこと」では，堤富士雄氏（(一財）電力中央研究所）が，AIの技術進展の紹介及び電力分野での活用方法について説明した。

最後に，ご多忙な中，貴重な内容をご発表いただきました講師の方々，共催いただきました東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻将来航空推進システム技術創成社会連携講座の方々，会場の準備・運営に多大なご協力をいただきました東京大学の関係者の方々，そしてご参加いただきました皆様に，厚く御礼を申し上げます。

（集会行事委員会委員）

講演風景



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

# 「国産ガスタービン・過給機資料集　ー統計，仕様諸元ー［2019年版］」発行のお知らせ

日本ガスタービン学会では，日本国内のガスタービンおよび過給機関係各社のご協力を得て，毎年国内で生産されるガスタービン（陸舶用および航空用）および過給機の資料を収集し，統計を作成して会誌に掲載してきております。これまで，これらの資料を集大成し，広く会員の皆様の便に供するため「国産ガスタービン・過給機資料集」を1979年，1984年，1989年，1994年，1999年，2004年，2009年，2014年に発行し，好評を得て参りました。それから５年が経過し「国産ガスタービン・過給機資料集［2019年版］」を発行することに致しました。ただし，従来の資料集とは異なり，生産実績の掲載を取り止め，Ａ４版約120ページで統計と仕様諸元の２章構成になっております。

**第１章 統計**

毎年日本国内で生産された陸舶用および航空用ガスタービンの動向ならびに出力，台数（全体，地域別，用途別，被駆動機械別，燃料別）などの統計資料を豊富に掲載。特に最近５年間の分を中心に過去５年間の経過もわかるように図表にし，説明をつけて掲載。過給機については，この５年間の動向，生産台数，機種数の統計資料を掲載。

**第２章 仕様諸元**

各社で生産されるガスタービンおよび過給機の標準仕様諸元を表にして掲載。

ガスタービンおよび過給機関係者にとって，日本国内で生産されたガスタービンおよび過給機の統計や仕様諸元等が掲載されているこの資料集は，製造者・使用者・研究者等を含め広くご利用いただけるものと確信しており，個人会員ならびに賛助会員各位のお申込をお願い致します。

記

1．**発 行 日**：2020年２月28日
2．**定　　価**：１冊 15,000円（税，送料別）
　**会員価格**：１冊　8,000円（税，送料別）
3．**申込方法**：下記申込書を学会事務局にお送りいただくか，学会webページ「刊行物申込フォーム」にてお申し込みください。

## 国産ガスタービン・過給機資料集［2019年版］購入申込書

公益社団法人　日本ガスタービン学会　行

**FAX：03-3365-0387　　TEL：03-3365-0095　　E-mail：gtsj-office@gtsj.org**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 氏　名 | | | |
| 連絡先住所 | 〒 | | |
| 所　属 | | | |
| Tel. | | Fax. | |
| E-mail | | | |
| 会員種別 | 会員（No.　　）・　非会員 | 希望部数 | 冊 |

＊送料手数料は，400円（税込）/１冊です。
　２冊以上は，１冊あたり200円（税込）の追加料金をいただきます。
＊お支払の際は，刊行物代金（税込）＋送料手数料の合計金額をお振込ください。

【事務局への連絡事項】

１．送金方法（○印をつけて下さい）　　送金予定日：　　月　　日
　a. 銀行振込　みずほ銀行　新宿西口支店　普通　1812298
　b. 郵便振替　00170-9-179578
　　*口座名は「シャ）ニホンガスタービンガッカイ」です。振込手数料は貴方にてご負担願います。
２．請求書の発行について：　（１）要　　宛名（　　）　（２）不要
３．領収書の発行について：　（１）要　　宛名（　　）　（２）不要



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

# 第33回ガスタービン教育シンポジウム開催のお知らせ

学生及び技術者（ガスタービン初心者）を対象とした標記シンポジウムを開催いたしますので，奮ってご参加ください。

**1．日　　時**：2020年７月９日㈭，10日㈮

**2．場　　所**：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構　調布航空宇宙センター
（東京都調布市深大寺東町７-44-１）

**3．プログラム**：
- ・ガスタービン概論
- ・ガスタービンと流体工学／伝熱工学／燃焼工学／材料工学／制御工学
- ・特別講演（JAXA）
- ・見学会：JAXA調布航空宇宙センター（ガスタービン関連施設等）
- ・懇親会

**4．募集概要**：
⑴対象者：大学，高等専門学校，大学院在籍者，ならびにガスタービン初心者の社会人
⑵定員：60名程度

・教育シンポジウムの詳細および申し込み方法は本誌５月号およびホームページ（http://www.gtsj.org/）に掲載する予定です。

★今年度は関西地区において，第34回ガスタービン教育シンポジウムを2020年９月頃に川崎重工業株式会社明石工場にて開催する予定です。

# 第48回日本ガスタービン学会定期講演会・見学会のお知らせ（予告）

第48回日本ガスタービン学会定期講演会を以下の要領で開催いたします。

講演会開催日　2020年10月14日㈬，15日㈭
講演会開催場所　周南市文化会館
〒745-0874　山口県周南市徳山5854-41
見学会　2020年10月16日㈮

講演申込要領は，学会誌５月号，学会ホームページ（http://www.gtsj.org）に掲載いたします。奮ってご応募くださいますようお願い申し上げます。

講演申込締切　2020年６月19日㈮予定
講演採否連絡　2020年７月17日㈮予定
論文原稿締切　2020年８月28日㈮予定

参加申込方法は，学会誌７月号，学会ホームページに掲載する予定です。



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

## ○本会協賛行事○

| 主催学協会 | 会合名 | 協賛 | 開催日 | 会場 | 詳細問合せ先 |
|---|---|---|---|---|---|
| IMechE（Institution of Mechanical Engineers, One Birdcage Walk, London） | 14th International Conference on Turbochargers and Turbocharging | 協賛 | 2020/5/13-14 | Twickenham Stadium, London | URL：www.imeche.org/turbo |
| （地独）神奈川県立産業技術総合研究所 | 新時代Active Materials 自己治癒するセラミックス・金属―その特性と応用 | 協賛 | 2020/5/19-20 | かながわサイエンスパーク内　講義室 | URL：https://www.kanagawa-iri.jp/learn/researcher/edu_r02/ed02_seminar_2/ |
| 日本機械学会 | No.20-19「第25回動力・エネルギー技術シンポジウム」 | 協賛 | 2020/6/18-19 | 北海道大学・学術交流会館 | URL：https://www.eng.hokudai.ac.jp/edu/div/eneenv/PES25/index.html |
| 日本エネルギー学会 | 第29回日本エネルギー学会大会 | 協賛 | 2020/8/5-6 | 富山国際会議場大手町フォーラム | URL：https://www.jie.or.jp/publics/index/734/ |

## ▷入会者名簿◁

〔正会員〕

山崎 治（東洋エンジニアリング）　　荻野 敦（本田技術研究所）



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

会　告

## ◇2020年度会費納入のお願い◇

2020年度会費（2020年３月１日～2021年２月末日）の納入をお願いいたします。会費は，下記の通りとなっておりますので，2020年４月30日までにお納め下さいますようお願い申し上げます。

なお，口座自動振替をご利用の方は，2020年３月23日にご指定の口座よりお引き落としさせていただきます。

＜2020年度会費（不課税）＞

| | |
|---|---|
| 正会員 | 8,000円 |
| 正会員（65歳以上*） | 5,000円 |
| 学生会員 | 2,500円 |
| 賛助会員　１口 | 70,000円 |

（*2020年３月１日現在）

【納入先】

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，
シャ）ニホンガスタービンガッカイ です。
振込手数料は貴方にてご負担願います。

※会費の納入には，簡単・便利な口座自動振替をお勧め致します。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。ご希望の方は巻末の「預金口座振替依頼書」にご記入の上，学会事務局までお送りください。

◇◇◇

# 編集後記

本原稿を書いているのは３月上旬ですが，我が国にも新型コロナウィルスの脅威が広まっており，各学校は休校，各職場は在宅勤務（テレワーク）などの対応となっているところが多く，非常事態になっています。

つい２週間ほど前まで，乗客乗員約3,700人を乗せた大型クルーズ船が横浜港に停泊しており，日々，船内のCOVID-19（Coronavirus Disease 2019）罹患者の数などが報道され大騒ぎになっていました。その時，クルーズ船のスペックが気になって調べたところ，大人数を収容して世界中を航行するためには相当の電力が必要ならしく，25 MW級の航空転用ガスタービン１基と，８～９MW級のディーゼルエンジン合計４基が発電用に使われていることが判りました。横浜港に世界各国からクルーズ船が来港していることは知っていましたが，大型クルーズ船の多くにガスタービンが搭載されていることを今回のニュースがきっかけで知り，本学会の会員として嬉しい気持ちになりました。

このクルーズ船においては，ガスタービンとディーゼルエンジンの負荷配分を設定可能であり，ガスタービン優先モードは環境に配慮したモード，ディーゼルエンジン優先モードは燃料経済性に配慮したモードだそうです。この情報から，ガスタービンには効率向上のための開発の余地があり，ディーゼルエンジンには環境性改善のための開発の余地があるのかと考えさせられました。

２月中にクルーズ船の乗員乗客全員の下船が完了し，最近はクルーズ船のニュースはほぼ聞かれなくなりました。本号が発行される頃には新型コロナウィルスが終息に向かい，ニュースが忘れ去られることを願ってやみません。

さて，本号では「産業用中小型ガスタービンと適用事例」と題して特集させて頂きました。巻頭言は，適用事例の号にふさわしく，日本ガスタービンユーザー会事務局長の寺澤さんにお願いし，産業用中小型ガスタービンの発展の経緯，ユーザーから開発者への要望などを執筆頂きました。巻頭言に続く記事は，本特集の趣旨に基づき，ガスタービン本体の改良/性能向上の紹介，発電用，コージェネ用，機械駆動用などガスタービンの適用事例紹介に加え，浮体式LNG発電プラントへの適用や，アンモニア直接燃焼ガスタービンの開発など応用的な内容も紹介頂きました。個々の内容については，それぞれの記事をぜひ読んで頂きたいと思いますが，どの記事も本学会誌のために最新の興味深い技術内容を記載頂いております。ご多忙の中，執筆を引き受けて頂いた方々に改めて感謝申し上げます。

（荒木 秀文）


●３月号アソシエイトエディター
荒木 秀文（三菱日立パワーシステムズ）
●３月号担当委員
岩井 裕（京都大学）
加藤 千幸（東京大学）
寺澤 秀彰（東京ガス）
中野 賢治（IHI回転機械エンジニアリング）


（表紙写真）
今回の表紙については，【論説・解説】の著者より流用およびお借りしています。
詳細については，下記記事をご参照ください。


・「『産業用中小型ガスタービンと適用事例』の特集によせて」……（P.77 ～ 78）
・「H-100ガスタービンと適用例」……（P.100 ～ 106）
・「浮体式LNG発電プラントの開発」……（P.107 ～ 112）


# ☘事務局だより✉☘

新型コロナウイルスによる感染拡大のニュースが連日あり，マスクと手洗い・うがいをこまめにするほかは，ほとんどなすすべもなくぼんやりした不安と隣り合わせで生活しています。

この新型ウイルス以外にも家族に花粉症の症状が出ているので中々買えなくなったマスクも備蓄が持つかどうかとひやひや。万一行動制限がかかった時のことを考えて米水乾物やレトルトなども多めに買っておいて，などと考えています。前回のSARS流行より20年近く経ちつい油断しておりましたが，災害は気候災害だけでなくこんなところにも潜んでいることを感じます。

さて，2019年度も５年に１度の国産ガスタービン・過給機統計資料集を２月末に刊行いたしました。2019年版では生産実績は割愛しましたが，統計の章では，生産状況がカラー図表つきでトレンドを把握でき，また，仕様諸元の章では国内主要メーカーの作製するガスタービン・過給機の仕様一覧が確認できます。皆様にも広くご活用ければ幸いです。

学会新年度がはじまる３月から４月は年会費のお支払いをお願いしております。口座振替のお手続きが完了されている方は３月23日にご登録口座より引き落としを実施いたします。口座振替のお手続きが完了していない会員におかれましては，本誌会告をご覧いただき指定口座あてお振込みをお願いいたします。本年度もどうぞよろしくお願い申し上げます。

（田頭 味和）



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.

## 学会誌編集および発行要領（抜粋）

2018年７月13日改定

1．本会誌の原稿はつぎの３区分とする。

A．依頼原稿：学会誌編集委員会（以下，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。執筆者は本学会会員（以下，会員）外でもよい。

B．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。

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

1.2．技術論文の投稿については，「技術論文投稿要領」による。

1.3．英文技術論文の投稿については，Instruction to Authors, JGPP（International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems）による。

2．依頼原稿および投稿原稿は，論説・解説，講義，技術論文，寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事の掲載欄に掲載することとし，刷り上がりページ数は原則として以下のとおりとする。

| | |
|---|---|
| 論説・解説，講義 | 6ページ以内 |
| 技術論文 | 「技術論文投稿要領」による |
| 寄書，随筆 | 3ページ以内 |
| 書評 | 1ページ以内 |
| 情報欄記事 | 1/2ページ以内 |

3．原稿の執筆者は，本会誌の「学会誌原稿執筆要領」に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局（以下，編集事務局）まで原稿を提出する。編集事務局の所在は付記１に示す。

4．依頼原稿は，編集委員会の担当委員が，原稿の構成，理解の容易さ等の観点および図表や参考文献の書式の観点から査読を行う。編集事務局は査読結果に基づいて，執筆者への照会，修正依頼を行う。

5．投稿原稿のうち技術論文以外のものは，編集委員会が審査し，本会誌への掲載可否を決定する。

6．投稿原稿のうち技術論文の審査，掲載については，「技術論文投稿要領」に従う。

7．依頼原稿の執筆者には，学会事務局から原則として「学会誌の執筆謝礼に関する内規」第２条に定めた謝礼を贈呈する。

8．非会員の第一著者には掲載号学会誌１部を贈呈する。

9．本会誌に掲載された著作物の著作権は原則として本学会に帰属する。本学会での著作権の取扱いについては別途定める「日本ガスタービン学会著作権規程」による。

10．他者論文から引用を行う場合，本会誌に掲載するために必要な事務処理及び費用分担は著者に負うところとする。

付記１　原稿提出先および原稿執筆要領請求先（編集事務局）
ニッセイエブロ㈱ 企画制作部
学会誌担当：高橋 邦和
〒105-0003 東京都港区西新橋1-18-17 明産西新橋ビル
TEL：03-5157-1277
FAX：03-5157-1273
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp

## 技術論文投稿要領（抜粋）

2018年７月13日改定

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）ガスタービン及びエネルギー関連技術に関連するものであること。
   3）「学会誌原稿執筆要領」に従って執筆された，日本語原稿であること。
   4）一般に公表されている刊行物に未投稿であること。ただし，以下に掲載されたものは未投稿と認め技術論文に投稿することができる。
      - 本学会主催の学術講演会・国際会議のプロシーディングス
      - 特許および実用新案の公報，科学研究費補助金等にかかわる成果報告書
      - 他学協会の講演要旨前刷，社内報・技報，官公庁の紀要等の要旨または抄録
2. 原則として刷り上がり８ページ以内とする。ただし，「学会誌の掲載料に関する内規」第２条に定めた金額の著者負担で４ページ以内の増ページをすることができる。
3. カラー図は電子版と本学会ホームページ上の「技術論文掲載欄」に掲載し，冊子体にはモノクロ変換した図を掲載する。著者が「学会誌の掲載料に関する内規」第３条に定めた金額を負担する場合には，冊子体もカラー印刷とすることができる。
4. 投稿者は，「学会誌原稿執筆要領」に従って作成された印刷原稿または原稿電子データを，技術論文原稿表紙とともに学会誌編集事務局に提出する。
5. 投稿された論文は，論文委員会が「論文査読に関する内規」に従って査読を行い，掲載可否を決定する。
6. 論文内容についての責任は，すべて著者が負う。
7. 本技術論文の著作権に関しては，「学会誌編集および発行要領（抜粋）」９.および10.を適用する。

**日本ガスタービン学会誌**
**Vol.48　No.2　2020.3**
発行日　2020年３月19日
発行所　公益社団法人日本ガスタービン学会
編集者　佐藤 哲也
発行者　渡辺 紀徳
〒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㈱
〒105-0003 東京都港区西新橋1-18-17
明産西新橋ビル
Tel. 03-5157-1277　Fax. 03-5157-1273

©2020，公益社団法人日本ガスタービン学会

**複写複製をご希望の方へ**
公益社団法人日本ガスタービン学会では，複写複製に係る著作権を一般社団法人学術著作権協会に委託しています。当該利用をご希望の方は，学術著作権協会（https://www.jaacc.org/）が提供している複製利用許諾システムを通じて申請ください。



Download service for the GTSJ member of ID , via 216.73.216.129, 2025/07/02.