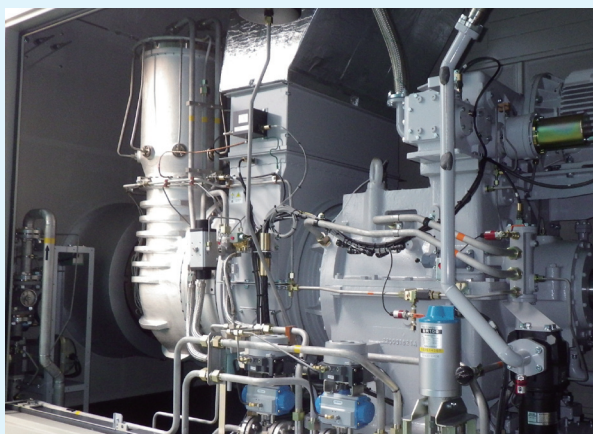


1.7MW級 高効率・低エミッションガスタービン「M1A-17」

1.7MW Class High Efficiency and Low Emission Gas Turbine, M1A-17



細川 恭史① Yasufumi Hosokawa
 合田 真琴② Makoto Gouda
 山崎 義弘③ Yoshihiro Yamasaki
 楠本 吉昭④ Yoshiaki Kusumoto
 上村 大助⑤ Daisuke Uemura
 金澤 直毅⑥ Naoki Kanazawa
 則本 篤史⑦ Atsushi Norimoto

当社は日本で最初に発電用ガスタービンを自社開発した後、長年にわたりさまざまな製品の開発を通じて、技術の高度化を図ってきた。これらの豊富な経験を基に、最新の解析技術を駆使して、新たに1.7MW級の発電用ガスタービンM1A-17を開発した。発電端効率は同クラスでは世界最高レベルの26.5%であり、NOx排出値においても35ppm (O₂=0%

換算) 以下 (O₂=15%換算で10ppm以下) と世界最高性能を達成した。2010年4月より当社工場内発電設備にて実証試験機の運用を開始し、2012年以降、日本を含め世界各地で量産機が稼働を始めた。

We have been developing and manufacturing power generation-use gas turbines for a long time ever since pioneering the manufacture and sale of the first such unit in Japan. Based on this rich experience, we developed a new 1.7MW class power generation-use gas turbine, the M1A-17, with latest analysis technology. Its generating-end efficiency is of the world's highest class at 26.5%, while NOx emissions are 35 ppm converted on an O₂=0% basis (10 ppm converted on an O₂=15% basis), also the world's highest performance achieved. The field test machine started operation in a power generation facility at our plant in April 2010, and marketed units started operation all over the world, including Japan, in 2012.

まえがき

近年、災害時の電源喪失や、電力供給の停止に対する電源セキュリティ確保の観点から、分散型電源の重要性がさらに高まっている。また、地球環境保護の観点から、排気ガスに対する規制が世界的に厳しくなっており、発電用ガスタービンにおいてもNOx排出値の低減が求められている。

当社は1972年に日本で初めて産業用ガスタービンの自社開発に成功して以降、さまざまな機種を世に送り出してきた。

た。当社の産業用ガスタービンのラインアップを図1に示す。1980年代後半に開発したM1A-13は、常用機種として国内外で累計約400台の納入実績を誇っている。

M1A-17¹⁾は、豊富な運用実績を持つM1A-13をベースに、当社で培ってきた開発経験や基盤技術を集約し、その信頼性を維持したまま、効率、排気ガス性能を大幅に改善したものである。発電端効率は26.5%、ボイラを含めた場合の総合熱効率は84%となり、このクラスで最高レベルの数値を達成した。

1 M1A-17の概要

M1A-17は、2段遠心圧縮機、3段軸流タービン、単筒缶型燃焼器が主要構成要素である。燃焼器は拡散燃焼器、またはDLE(Dry Low Emission)燃焼器が搭載可能であり、特にDLE燃焼器搭載型をM1A-17Dと呼称する。M1A-17Dのカットモデルを図2に、また主要諸元およびコージェネレーション性能を表1に示す。以下にM1A-17の特長について述べる。

(1) 高効率

M1A-17では、後述する各要素効率の改善などにより、同クラスで世界トップレベルの発電端効率26.5%を達成している。また排気ガス温度も従来機と同程度としているた

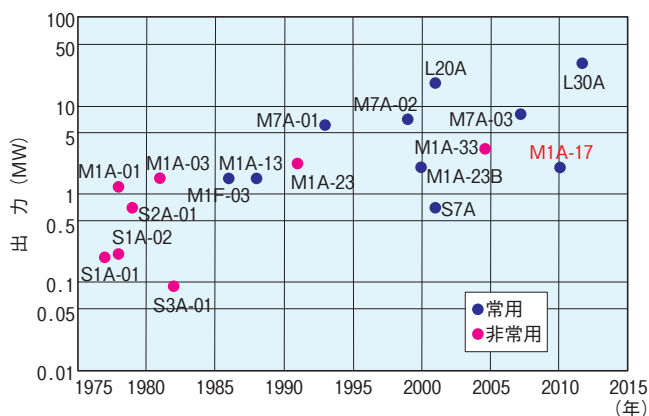


図1 当社産業用ガスタービンラインアップ
 Fig. 1 Lineup of industrial gas turbines

め、発電に加え、排気ガスを利用して蒸気を発生させるコージェネレーションシステムとして84%という高い総合効率を可能としている。

(2) 低エミッション

DLE燃焼器には当社にて実績のあるM7Aで用いられているシステムを採用し、高い信頼性を継承している。また、DLE燃焼器搭載型ガスタービンとしては、世界トップレベルであるNOx値35ppm以下 (O₂=0%換算) を実現した。

(3) 高信頼性

M1A-17は、高い信頼性を誇るM1A-13とロータやケーシングなどの基本構造を同じとし、機械的な信頼性を継承し

ている。また、回転数や軸受などもM1A-13と同じとし、周辺機器も他機種で実績のあるものを採用しており、システム全体として信頼性を継承している。

2 各要素の改良設計

(1) 圧縮機

圧縮機は2段遠心式を採用している。従来は回転体であるインペラの設計にのみCFD解析を用いていたが、今回は静止側部品にもCFD解析を適用し、回転体・静止体の一体解析を実施して、静止体流路内の逆流を防止するなど通路形状の最適化を図った。圧縮機1、2段の内部流れ解析例を図3に示す。このような解析技術を用いることで、遠心式圧縮機では最高レベルの効率を達成することが可能となった。

(2) タービン

タービンは3段軸流式で、1段目に冷却翼を採用している。タービン設計において、構造面ではブレード先端を凹型にするチップ*シニング構造(図4)を採用することにより漏れ損失の低減を計り、またタービン部のケーシング材料には低膨張材を採用することで、定格運転時にチップクリアランス**が最小となるよう設計した。これにより、翼先端部からの漏れが少なくなり、より多くの流体エネルギーをタービンにて回収可能となった。空力面では、最新

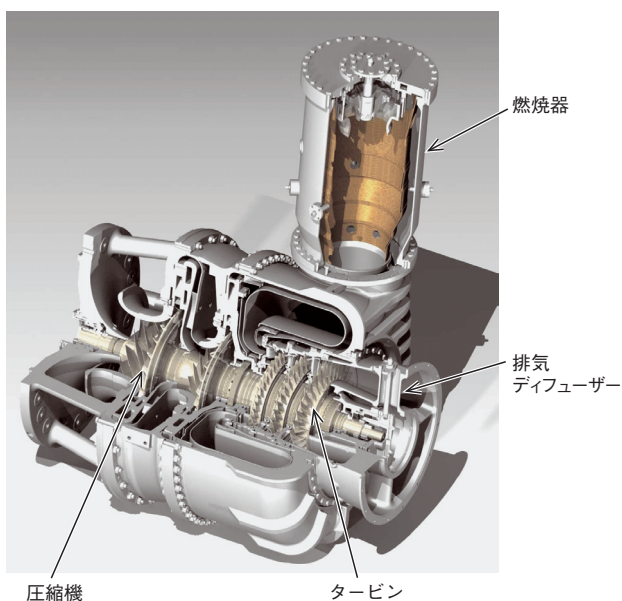


図2 M1A-17Dカットモデル
Fig. 2 Cut model of M1A-17D gas turbine

表1 M1A-13D/M1A-17Dの主要諸元および性能
Table 1 Main specifications and performances of M1A-13D and M1A-17D

機種	M1A-13D	M1A-17D
型式	開放単純サイクル1軸式	
圧縮機	2段遠心式	
タービン	3段軸流式	
燃焼器	単筒缶型(DLE)	
発電端出力 (kW)	1,470	1,660
燃料消費量 (m ³ N/h)	541	555
送気蒸気量 (kg/h)	5,040	5,150
発電端効率 (%)	24.1	26.5
熱回収効率 (%)	57.9	57.7
総合効率 (%)	82	84.2
NOx値 O ₂ =0%換算 (ppm) (運転領域)	NOx<75 (75~100%)	NOx<35 (70~100%)

〈性能算出条件〉
 吸気温度：15°C
 大気圧力：101.3kPa(高度0m)
 吸/排気圧損：0.98/2.45kPa
 燃料：都市ガス13A

発電機効率：96%
 NOx対策：希薄予混合燃焼
 排熱ボイラ：蒸気圧力0.83MPaG
 給水温度60°C

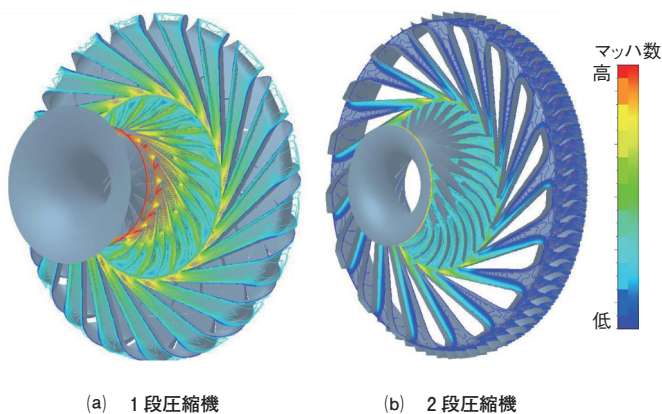


図3 圧縮機内部流れCFD解析結果(マッハ数分布)
Fig. 3 CFD results of compressor internal flows

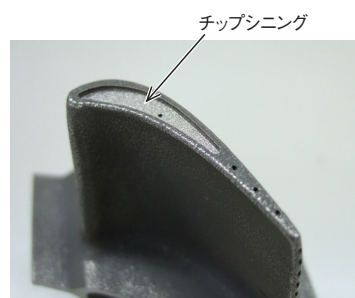


図4 チップシニング構造
Fig. 4 Tip thinning structure

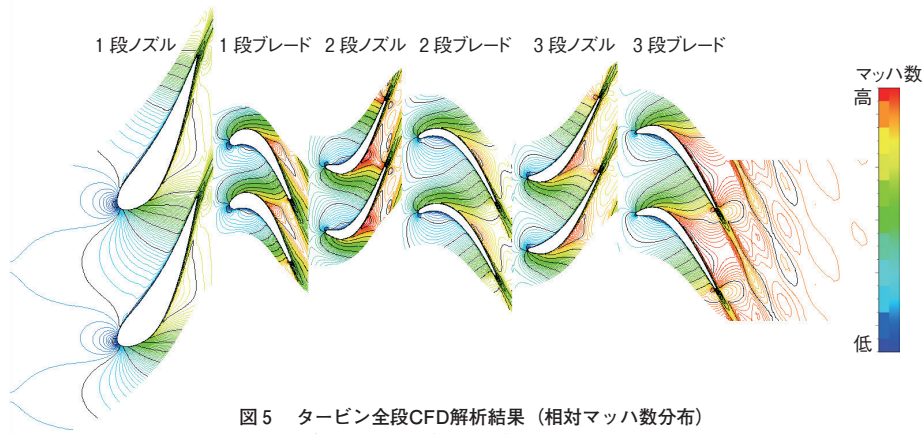


図5 タービン全段CFD解析結果（相対マッハ数分布）
Fig.5 CFD results of all turbine stages

のCFDツールを用い単段解析実施後、全段による解析を行い、通路形状・段仕事配分の最適化を行った。全段CFD解析結果を図5に示す。

* チップ：タービン動翼先端

** チップクリアランス：タービン動翼と動翼を覆っているタービンシュラウドとの間に形成される翼端隙間

(3) 排気ディフューザ

排気ディフューザは、流路を拡大させることで流速を落とし、静圧回復をはかりながら排気ガスを排出する部品である。流路内には、内径側に配置される軸受部品などを保持するため、ストラットが設置されている。ストラットは

排気ガス通路内にあるため、その形状、本数、配置が排気ディフューザ性能に大きく影響する。M1A-17では、CFDによる流れ解析によりストラットの配置および形状検討を実施し、逆流域を最小限にするなど圧力損失を低減した。M1A-13, M1A-17の排気ディフューザCFD解析例を図6に示す。M1A-17ではストラット本数低減などにより、M1A-13に比べて流れの剥離、逆流域などが低減されていることがわかる。

(4) DLE 燃焼器

燃焼器には、当社で実績のある、希薄予混合燃焼と追い焚き燃焼方式を採用している。パイロットバーナ、メインバーナ、追い焚きバーナの3種類のバーナで構成され(図7)、パイロットバーナは主に着火・保炎用、メインバーナおよび追い焚きバーナは、主に低NO_x運転時に使用される。エミッション低減には、燃焼領域における燃料濃度分布を可能な限り均一にすることが効果的である²⁾。そのため、CFD解析を適用し、バーナ部において空気と燃料を効率的に混合させるようバーナ部や流路の形状を最適化した。また、燃焼器単体試験およびエンジン試験により、NO_x値は35ppm (O₂=0%換算)以下を実現、M1A-13に比べNO_x排出特性は約50%改善した。NO_x排出特性を図8に示す。

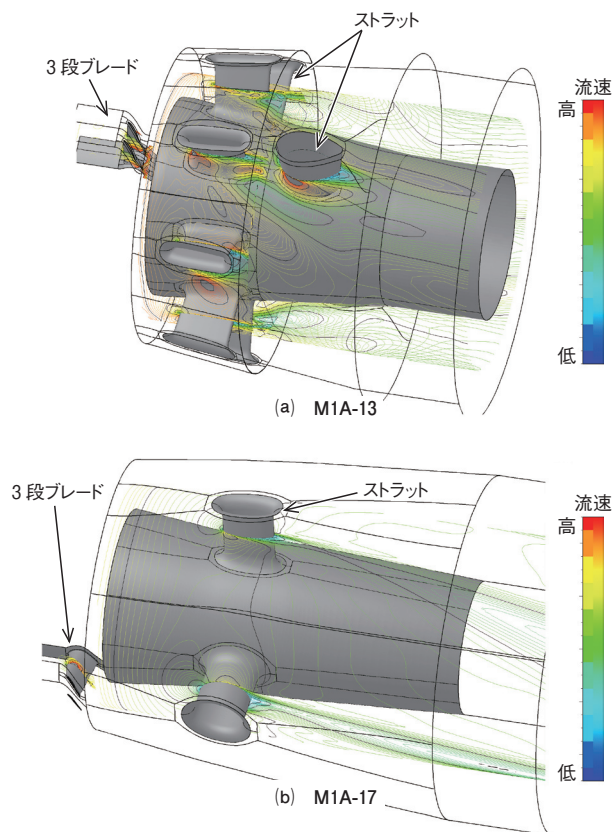


図6 排気ディフューザCFD解析結果（軸流速度分布）
Fig.6 CFD results of exhaust diffuser

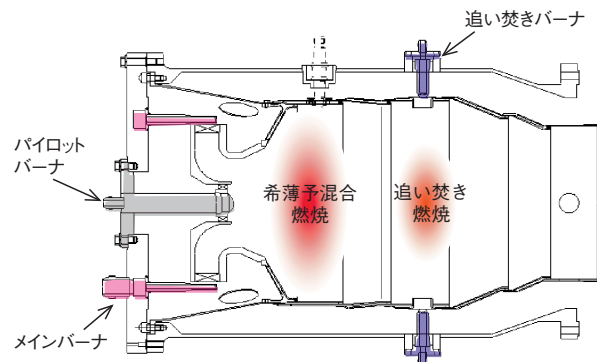


図7 DLE燃焼器
Fig.7 Dry Low Emission combustor

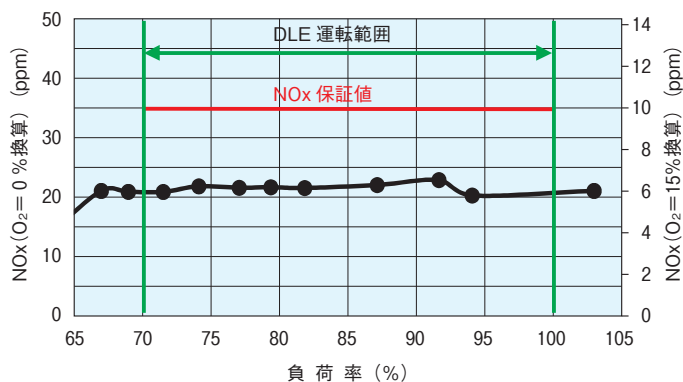


図8 NOx排出特性
Fig. 8 NOx emission characteristics



図9 明石工場内発電設備
Fig. 9 Electric power plant at Akashi Works

表2 M1A-17Dの納入実績
Table 2 M1A-17D track record of deliveries

納入先	国名	使用燃料	排熱利用
エネルギー供給会社A	スイス	天然ガス	ボイラ
エネルギー供給会社B	アメリカ	天然ガス	ボイラ
化学品製造会社	ドイツ	天然ガス	ボイラ
食品製造会社A 1号機	ドイツ	天然ガス	ボイラ
食品製造会社A 2号機	ドイツ	天然ガス	ボイラ
金属製造会社	ドイツ	天然ガス	ボイラ
製紙会社	日本	都市ガス	ボイラ
建築材製造会社A 1号機	日本	都市ガス	乾燥炉
建築材製造会社A 2号機	日本	都市ガス	乾燥炉
建築材製造会社B	日本	都市ガス	乾燥炉



図10 M1A-17Dパッケージ (スイス)
Fig. 10 M1A-17D package (Switzerland)

3 フィールド試験

M1A-17Dの信頼性確認のため、2010年4月より当社工場内発電所(図9)にてフィールド試験を開始した。DLE燃焼器にて運用を行っており、2012年8月に実運転時間8,000時間を超え、現在も順調に運用中である。

4 量産機について

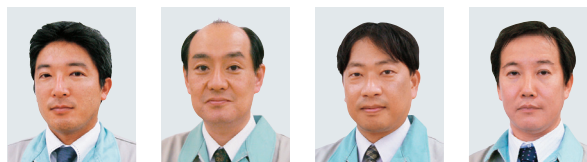
M1A-17は2010年4月より販売を開始した。2012年4月より量産初号機の運用が開始され、2012年6月現在で10台出荷されている。納入実績を表2に、量産初号機であるスイス向けのパッケージを図10に示す。

あとがき

M1A-17は、従来機の信頼性を継承しつつ、最新の高性能化技術を導入し、各要素効率の性能改善により熱効率を大幅に向上した。また、世界トップレベルの低エミッション化を実現した。今後も、フィールド試験において信頼性を実証し続けるとともに、さらなる改良を継続し、エネルギーの有効利用と環境負荷低減に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 細川, 合田, 山崎, 則本: “1.7MW級高効率ガスタービンM1A-17の開発”, 第38回ガスタービン定期講演会 (2010)
- 2) 松本, 青木, 堂浦, 小田, 緒方, 木下: “M7A-03ガスタービンDLE燃焼器の開発”, 第37回ガスタービン定期講演会 (2009)



細川 恭史 合田 真琴 山崎 義弘 楠本 吉昭



上村 大助 金澤 直毅 則本 篤史