

特集：産業としての航空（飛行機を飛ばす製品たち）

我が国航空機産業の現状と課題について

梅原 徹也^{*1}

UMEHARA Tetsuya

1. はじめに

航空機産業の現状，その中におけるエンジン産業の位置付け，課題及びその解決のための国の政策について紹介いたします。

1.1 我が国航空機産業の現状

我が国航空機産業の現状について，データ等で見ると，2006年度（平成18年度）生産高約1兆1388億円，従業員数約2万4千人となるなど，着実な成長を続けており，平成18年度は過去最高の生産高を記録している。

生産高の品種別の構造を見れば，機体とその他の部品が約60%（6,823億円），エンジンが約30%（3,304億円），補機等の関連機器が約10%（1,261億円）となっている。この構成比の推移を1991年以降で見れば，機体の約60%は，25年間の間ほぼ横ばいであるが，エンジンは25年間の間に約20%から約30%までに増加してきている。

1991年からの伸び率で見ても，航空機産業の生産高133%（8,566億円→1兆1388億円），機体139%（4,916億円→6,823億円）に比べて，エンジン195%（1,694億円→3,304億円）となっており，品種別に見たエンジンの生産高の増が際立っていることが読み取れる。これは80年代後半以降のV2500，トレントシリーズの開発・生産を始めとした，RSP方式による国際共同開発への本格的な参画に起因しているものと思われる。

また，官需と民需の構成比率でみると，2006年度は，

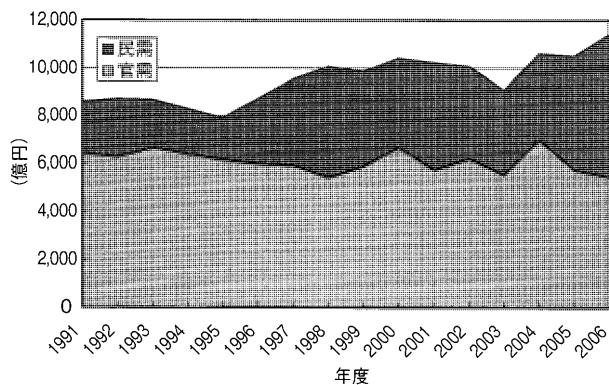


図1 航空機工業の生産額推移

原稿受付 2008年6月20日

*1 経済産業省 製造産業局 航空機武器宇宙産業課
〒100-8901 東京都千代田区霞が関1-3-1

官需47.6%，民需52.4%であり，初めて率が逆転をした。同様に1991年と比較すれば，官需74.7%，民需25.3%から大幅にその構成比が変化しており，生産高で見ても，官需が6,403億円から5,425億円へ減少しているのに対し，民需は2,163億円から5,963億円へと大幅に増加している。これは，エンジンに限らず機体についても，本格的なRSP方式による国際共同開発への参画が要因となっている。

表1 航空機工業の年度別生産（売上）額の推移

年度	売上高（億円）			構成率（%）	
	官需	民需	合計	官需	民需
1991(H03)	6,403	2,163	8,566	74.7%	25.3%
1992(H04)	6,235	2,451	8,686	71.8%	28.2%
1993(H05)	6,639	2,011	8,650	76.8%	23.2%
1994(H06)	6,366	1,899	8,265	77.0%	23.0%
1995(H07)	6,121	1,786	7,907	77.4%	22.6%
1996(H08)	5,969	2,724	8,692	68.7%	31.3%
1997(H09)	5,898	3,618	9,517	62.0%	38.0%
1998(H10)	5,403	4,646	10,049	53.8%	46.2%
1999(H11)	5,857	3,985	9,842	59.5%	40.5%
2000(H12)	6,652	3,749	10,401	64.0%	36.0%
2001(H13)	5,711	4,508	10,219	55.9%	44.1%
2002(H14)	6,173	3,892	10,065	61.3%	38.7%
2003(H15)	5,516	3,536	9,052	60.9%	39.1%
2004(H16)	6,976	3,612	10,588	65.9%	34.1%
2005(H17)	5,705	4,790	10,496	54.4%	45.6%
2006(H18)	5,425	5,963	11,388	47.6%	52.4%

※「平成20年版日本の航空宇宙工業」(社)日本航空宇宙工業会

表2 品種別年度別生産（売上）額の推移

年度	売上高（億円）			構成率（%）		
	機体	エンジン	その他	機体	エンジン	その他
1991(H03)	4,916	1,694	1,956	57.4%	19.8%	22.8%
1992(H04)	5,133	1,754	1,799	59.1%	20.2%	20.7%
1993(H05)	5,171	1,834	1,645	59.8%	21.2%	19.0%
1994(H06)	4,970	1,770	1,525	60.1%	21.4%	18.4%
1995(H07)	4,916	1,506	1,484	62.2%	19.1%	18.8%
1996(H08)	5,391	1,728	1,574	62.0%	19.9%	18.1%
1997(H09)	5,831	2,030	1,656	61.3%	21.3%	17.4%
1998(H10)	6,097	2,322	1,630	60.7%	23.1%	16.2%
1999(H11)	5,888	2,406	1,548	59.8%	24.4%	15.7%
2000(H12)	6,694	2,251	1,456	64.4%	21.6%	14.0%
2001(H13)	6,221	2,538	1,460	60.9%	24.8%	14.3%
2002(H14)	6,238	2,446	1,380	62.0%	24.3%	13.7%
2003(H15)	5,251	2,453	1,348	58.0%	27.1%	14.9%
2004(H16)	5,948	2,538	1,202	61.4%	26.2%	12.4%
2005(H17)	6,203	3,057	1,236	59.1%	29.1%	11.8%
2006(H18)	6,823	3,304	1,261	59.9%	29.0%	11.1%

※「平成20年版日本の航空宇宙工業」(社)日本航空宇宙工業会

このように、最近25年間を見れば、民間航空機用の機体、エンジンの国際共同開発への参画を基礎とした産業成長が読み取れる。

1.2 世界の航空機産業との比較

一方で、我が国産業全体から見た航空機産業の位置付けとしては、全GDPの約0.3%（平成17年度）を占めるに過ぎず、生産高は、着実に増加しているものの、自動車産業の49兆円、一般機械31.2兆円に比べれば、まだまだ小さい数字となっている。世界各国航空機産業の対GDP比率は、フランス1.7%、イギリス1.4%、カナダ1.5%、アメリカ1.3%となっており、各国に比べてもその寄与度はまだまだ低いものといえる。

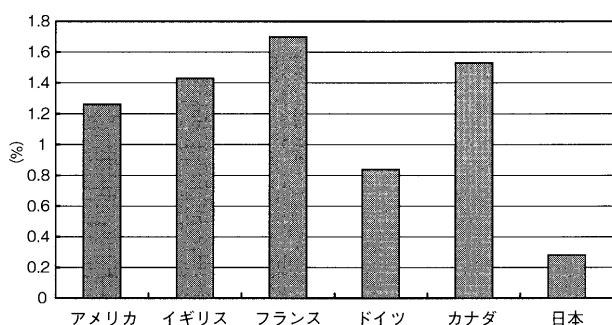


図2 2006年度各国航空宇宙工業売上対GDP比率

2. 航空機需要の予測

航空機産業の将来予測についてみれば、2007年現在、世界中で運航されている民間航空機（ジェット機）数は、約16,000機であるが、今後20年間で約30,000機程度の需要が予測されている。（財）日本航空機開発協会調べ）

その中において、特に今後の成長が期待されているサイズの新規需要は、主に地域間輸送に用いられる、120-169席クラスの約10,000機、100-119席クラスの約5,000機、60-99席クラスの約5,100機となっている。

将来において、我が国航空機産業が更に成長するためには、これらサイズの機体、エンジン市場に対応した開

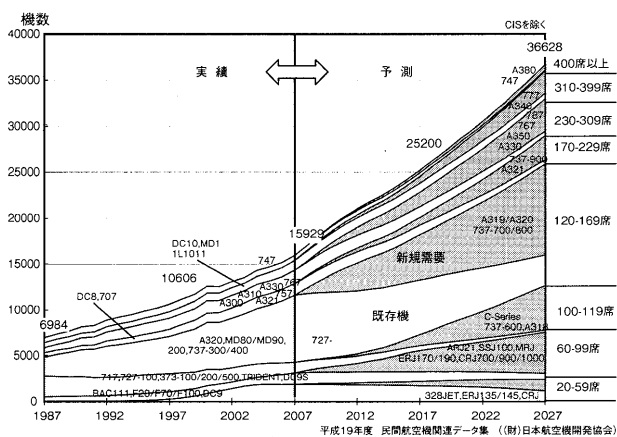


図3 航空機需要予測

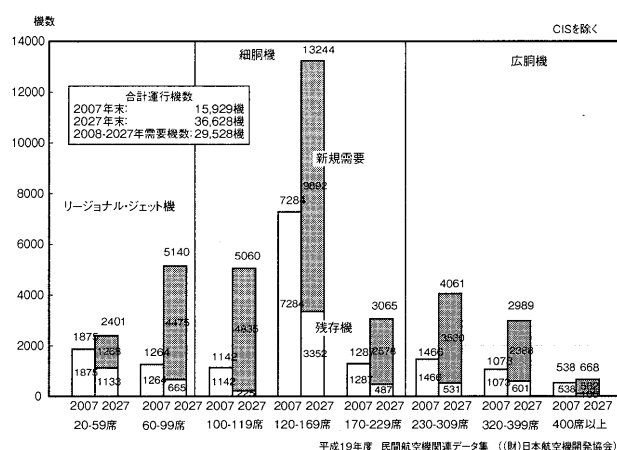


図4 サイズ別ジェット機運航機数需要予測

発参画を念頭においた、技術の蓄積、経営の戦略が重要なポイントと言える。

3. 航空機産業の特徴

航空機産業の特徴としては、部品点数の比較で見れば、自動車の約3万点と比べて100倍程度の約300万点と言われおり、その規模の大きさが現わされている。

航空機に求められる性能としては、安全性、環境適応、経済性の要求が他の製品に比べて相当程度、厳しいものとなっている。部品点数の多さに加え、厳しい性能要求に対応するために、最先端技術が高度に集積した製品となっている。

例えば、機体構造からエンジン構造まで用いられる炭素繊維複合材、チタン合金等の最先端材料技術、機体形状、エンジン設計に用いられる空力設計技術等の最先端シミュレーション技術、アビオニクス等の最先端制御システム技術といった、最先端かつ高信頼性技術が集積された産業である。特に、エンジン分野では、燃費性能向上等に直結するため、最先端技術の集積が大きいものとなっている。

航空機産業の構造について見れば、航空機を構成する素材・材料を例に取っても、チタン合金、アルミ合金、鉄鋼材、炭素繊維複合材といった相当種類の素材・材料から成立している。これら多種多様な材料メーカーに加え、これらの高精度加工・成形技術を有するメーカー、部品・部材メーカーを包含した産業となっている。企業規模から見れば、高精度の材料加工・成形等を支えているのは技術力を有する中小企業である。このように、航空機産業は、川上産業から川下産業まで、様々な企業規模の大きなすそ野をもつ産業分野である。

特に、エンジン分野においては、最近の原油高騰、地球環境問題（CO₂削減、リサイクル性能等）に対応するため、更なる性能向上、軽量化等が要求されており、材料技術、加工技術の高度化、多様化が進むものと予測され、航空機産業は、更に多種多様な分野を包含した産業構造に拡がるものと思われる。

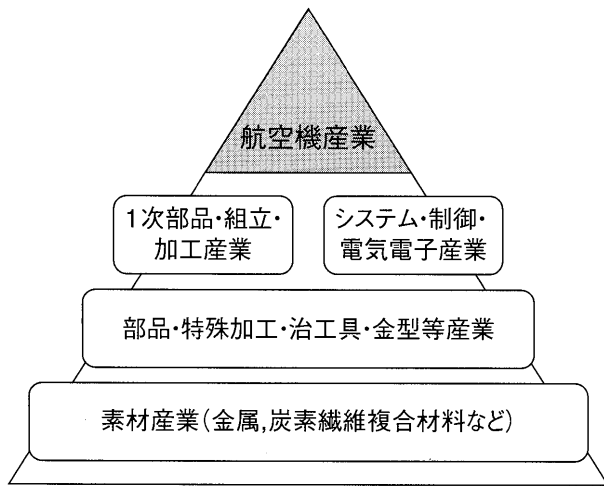


図5 高度信頼産業

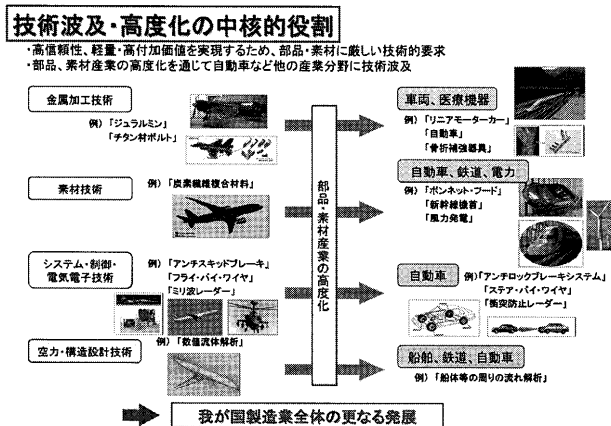


図6 技術波及

産業政策上において、こういった特徴を有する航空機産業を支援し、振興を図ることは、単なる航空機の開発生産にとどまらず、我が国の産業全体を振興することに繋がり、効果の大きい政策であると位置付けられる。

4. 航空機産業の変遷

4.1 我が国航空機産業の変遷

我が国の航空機産業の変遷について見てみると、大きく以下のようなフェーズに分けることができる。

- ①戦後、ポツダム勅令によって、航空機の開発・生産が禁止された、いわゆる空白の7年間を経て、禁止が解かれた50年代の官需を中心とした海外メーカーのライセンス生産の時代
- ②60年代前半の我が国初の民間国産機YS-11の開発・生産の時代
- ③80年代に始まるボーイング社、エアバス社との機体国際共同開発への参画時代
- ④MRJ国産旅客機開発の開始

エンジン分野でみれば、J3の開発に始まり、独自の国産開発、V2500等の国際共同開発を行ってきた。特にFRJ710は、1971年から1981年にかけて旧工業技術院

大型プロジェクトとして開発された。当時、国内に高空環境の試験装置が無かったため、ロールス・ロイス社の試験装置を借りての実証が行われ、この実証試験がきっかけとなり、日本のエンジン技術が認められ、RJ500エンジン開発に発展した。後にプラット・アンド・ホイットニー社等を含めた、IAE体制によるV2500エンジンの開発に繋がっている。

V2500等のRSP方式での国際共同開発事業への参画等を足がかりに、1980年代までの部品のサプライヤーから、80年代後半以降、着実にそのシェアを増大させるとともに、部品単位からモジュール単位での参画へと変化してきている。現在では、ファン、シャフト、低圧タービン、燃焼器部品などでは日本の企業無しには、エンジン開発が成立しないところまでの成長を遂げている。

我が国航空機産業の歴史

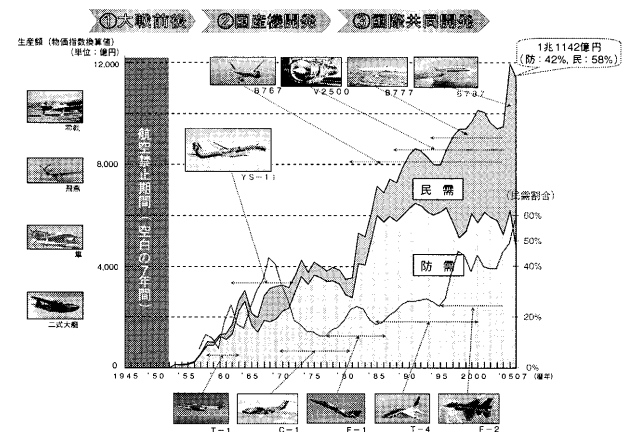


図7 歴史図

4.2 航空機産業界の再編と新たな企業参画

機体メーカーでは、1990年代、米国において、国防予算の減少を背景とした(1989年から1998年までの間に約30%減)、航空機関係企業の再編がおこった。ボーイング社とマクドネル・ダグラス社、ロッキード社とマーチン・マリエッタ社、ノースロップ社とグラマン社、レイセオン社とビーチ社の会社合併・再編がなされ、大きく4大メーカーとなっており、民間航空機ではボーイング社が中心となった。

欧州においては、90年代の仏、英、独、西のコンソーシアム型式のエアバスインダストリーから、EADS(ヨーロッパ・エアロノーステック・ディフェンス・アンド・スペース)が創設され、現在のエアバス社への統合・再編がなされた。

1990年代後半には、ボーイング社、エアバス社の2大メーカーが中大型機開発で競争する中、カナダのボンバルディア社、ブラジルのエンブラエル社が、リージョナルジェットクラス(70-90席)に新規に参画し、現在では、同クラスのシェアを2分するまでに成長している。さらに、2000年代に入り、リージョナルジェットク

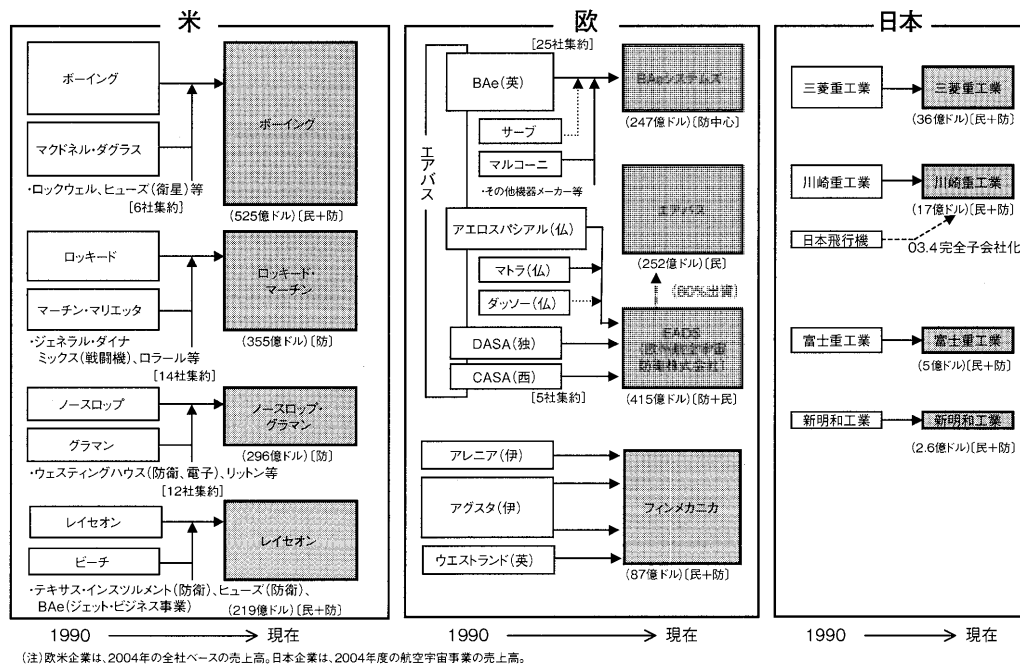


図8 機体メーカー再編の図

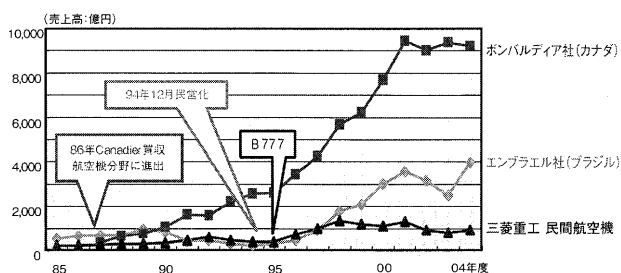


図9 エンブラ、ボンバル参画とその成長

ラスには、中国（中国航空工業第1集団公司AVICによるARJの開発）、ロシア（スホーイ社、イリューシン社、米ボーイング社の共同によるRRJシリーズの開発）、日本（三菱航空機機によるMRJの開発）が参画を表明するなど、先行のボンバルディア社、エンブラエル社を含めた開発競争がおこりつつある。

また、先発の2社、中国、ロシアは、リージョナルジェットクラスを足がかりとして、70～90席とB737、A320クラスの間となる100～120席へと戦略的に開発を進めつつある。

一方で、エンジンメーカーを見ると、米国のGE社、プラット・アンド・ホイットニー社、ハネウェル社、英国のロールス・ロイス社、仏国のスネクマ社、独国のMTU社など、大きな再編等を経ることなく現在に至っている。これは、エンジン開発が元々国際共同開発を行うなど、開発及び資金リスクを分散してきたことによる存続が続いているためと思われる。

4.3 ビジネスモデルの変革

航空機開発のビジネスモデルは、コスト低減（生産効率の向上）、開発・生産リスク低減の観点から、昨今、

大きな変革が生じている。

従来は、機体の基本設計から開発・生産に至るまでの全てをボーイング社、エアバス社などの機体メーカーが行い、サプライヤーと呼ばれる部品メーカー等が生産・供給する形態であった。

しかしながら、最近では、機体メーカーは、主翼などの主要な構造を含めて、構造モジュール毎に、設計、開発、生産から部品の調達までもをサプライヤー（Tier 1と呼ばれている。）に委ね、最終のインテグレーション、開発・生産管理、コスト管理のみを行うという方式が一般化しつつある。

生産効率の向上を目指し、自社開発・生産体制から、製造部門の分離、外注比率の拡大、在庫管理・生産方式の変革が実施されている。これにより、装備品メーカー、部材メーカーを含めたサプライチェーンにも変化がおこっており、実装・使用される部材サプライヤーは機体メーカーとの交渉ではなく、開発・生産担当部位メーカーとの交渉が必要となるなど、生産の階層化が進んでいる。例えば、B787の開発においては、ボーイング社は、主翼開発を三菱重工（株）に、コックピット設計等を独立のスピリット社にまかせるなど、これまでの開発では考えられない方式を採っている。この中において、日本メーカーがTier 1となり35%のシェアをもつまでになっている。

また、エアバス社においても、A380開発遅延、A350計画変更を受け、こういった開発・生産プランへ移行するなど変革が始まりつつある。

こうした開発・生産方式の変化は、日本メーカーにとってみれば、元々得意とする部品開発から全体設計を学び、航空機ビジネスを更に深く得ることに繋がり、

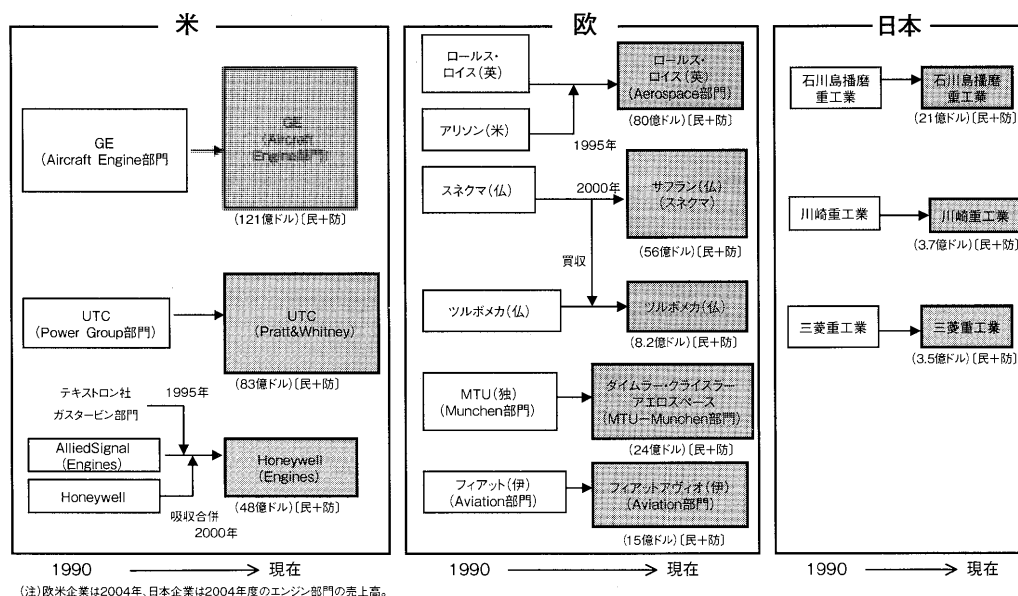


図10 エンジンメーカーの再編の図

【B767】	【B777】	【B787】
＜ワークシェア＞ 15% ＜日本担当部位＞ 胴体、貨物扉、主脚扉	＜ワークシェア＞ 21% ＜日本担当部位＞ 胴体、中央翼、主脚扉、貨物扉等	＜ワークシェア＞ 35% ＜日本担当部位＞ 主翼、胴体、中央翼 等

図11 日本担当部位及び比率の変化

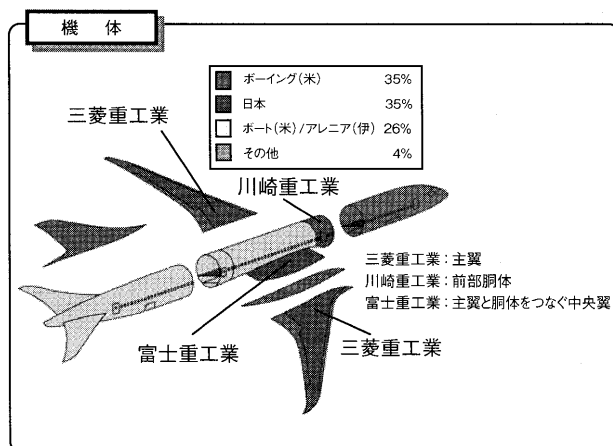


図12 B787機体開発シェア図

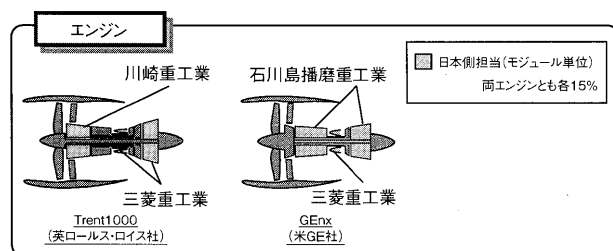


図13 TRENT1000, GEnx開発シェア図

今後の国際共同開発事業における大きな役割を担うことが期待される。

5. 現在の主な技術開発

5.1 国際共同開発事業 (B787)

機体開発として、ボーイング社のB787開発にシェア35%で開発に参画し、主翼、前胴、中央翼等を担当している。

エンジン開発として、ロールス・ロイス社が中心となったTRENT1000, GE社が中心となっているGEnxに開発シェア15%で開発に参画し、TRENT1000では、中圧圧縮機モジュール、燃焼器モジュール、低圧タービン・ブレード、GEnxにおいては、低圧タービン、シャフト、燃焼器部品を担当している。

5.2 MRJ開発

本年3月末に事業化決定された、70-90席クラスのMRJ (三菱リージョナルジェット) について、三菱航空機㈱が開発を実施している。

5.3 環境適応型小型航空機用エンジン開発 (エコエンジン)

既存エンジンに比べ、燃費効率、整備性、静粛等を抜本的に向上させた50席クラスの小型航空機用エンジンの実用化に向けた技術開発を実施。

5.4 航空機用先進システム基盤技術開発

航空機の環境適合性、運航経済性、安全性といった要請に対応した、先進的な航空機システムに係る技術基盤を確立するため、先進パイロット支援システム、航空機システム先進材料技術、航空機用エンジンギアシステム等に関する研究開発を実施する。

5.5 次世代航空機用構造部材創製・加工技術

航空機の軽量化、高性能化を実現する先進材料の構造体への大幅な導入を早期かつ効率的に実現するため、先進材料に係る諸問題を解決すべく次世代の構造部材の創製及び加工技術を開発する。

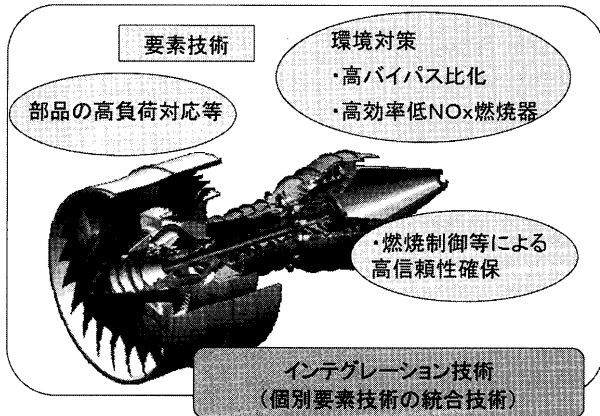


図14 エコエンジン概念図

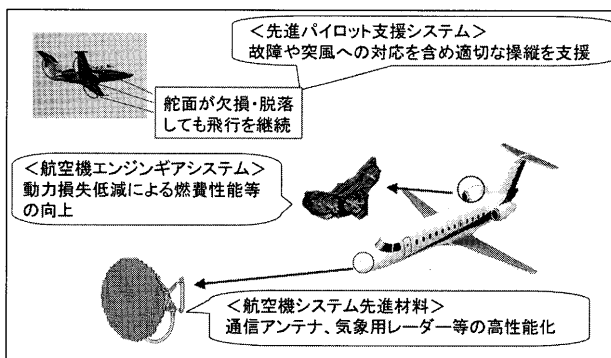


図15 航空機用先進システム基盤技術概念図

5.6 超音速輸送機実用化開発調査

現在、航空機の巡航速度はマッハ0.8～0.9程度であるが、これを上回る高速での巡航を可能とする航空機の開発のために必要な研究開発及び技術調査を実施。

具体的には、世界的に高い評価を受けているHYPR/ESPRプロジェクト等これまでの研究成果を活用しつつ、環境適合性及び経済性の面から超高速輸送機を開発するために必要な技術的課題を抽出し、研究開発及び検討を実施。

5.7 小型民間輸送機等開発調査

防衛省の次期輸送機（C-X）、救難飛行艇（US-2）等を民間用途に活用することを目的として、海外における民間転用の事例調査、市場調査等を実施。

6. まとめ

これまでをまとめてみると、我が国航空機産業は、その歴史的にも、戦後、欧米メーカーのライセンス生産、経営を学び取ったYS-11、国際共同開発による技術の蓄積、発展、そして国産旅客機の開発と、世界の航空機産業の潮流にのりつつ、その技術力、経営力の蓄積が着実かつ確実になされてきており、既に、機体、エンジンの双方において、日本企業の開発・生産への参画なしに、国際共同事業が成立しないところまで来ている。

しかしながら、航空機産業においても、当然ながらコスト競争力の問題から、ボーイング社、エアバス社が海外メーカーの開発・生産の比率を増加させるなどの展開が始まりつつある。また、後発のボンバルディア社においては、メキシコ等の国において、その国の技術力を活かした（メキシコは、従来から自動車産業の生産拠点として、エンジニア等の育成がなされており、基盤的な技

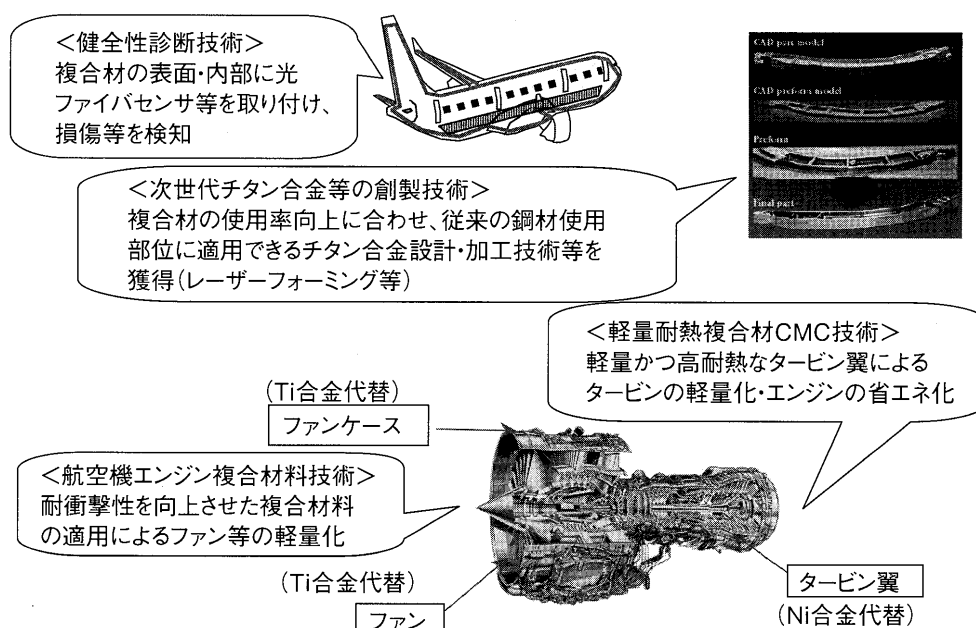


図16 次世代航空機用部材概念図

術力は有していた。)生産、組み立ての一部を行うなど、サプライチェーンのグローバル化が進行しつつある。我が国においても、担当部位の生産・サプライチェーンをどのように、アジア諸国に移していくかが課題の一つといえる。

また、これからの10～15年程度を考えれば、先ずは、現在進行中であるリージョナルジェット、ビジネスジェットクラスにおける我が国が中心となった全機開発を成功させ、この参画を足がかりに、我が国技術の信頼性向上を図り、機体更新時期を迎えつつある最大市場の150席クラスのB737、A320への国際共同開発にどのようなシェアをもって参画するかが大きな鍵となる。これらの実現のためには、加えて、基盤となる材料、部材など

の技術開発が極めて重要であり、国産全機開発、国際共同開発、部材等開発を三身一体となって進める必要がある。

特に、最近の環境問題、原油高騰への対応から、エンジン分野においては、これまでの型式とは異なる新しいコンセプトのGTF(ギアード・ターボ・ファン)エンジン、オープンローター形式のエンジンの開発が始まっており、これまでの技術の単なる延長では、シェアの地図が大きく変更され、日本企業が遅れをとることが充分にあり得る。しかしながら、逆に更なるシェアの拡大、将来の我が国を中心とした全機開発への大きなチャンスでもあると言えることから、積極的なキーテクノロジーへの挑戦等を産学官で進めていくことが重要となる。

特集：産業としての航空（飛行機を飛ばす製品たち）

民間航空機用エンジン産業について

平塚 真二^{*1}

HIRATSUKA Shinji

1. はじめに

ガスタービンの特性を活かした応用先として航空機用エンジンがあるが、その産業規模は現在では約6兆円／年（図1にその国別規模を示す）となっている。

本稿ではそのエンジン産業のうち、民間航空機用エンジンに焦点をあてて紹介してゆく。

また図1からも明確ながら、日本での当該産業は欧米に比べまだまだ規模が小さく、今後も成長・拡大をするための課題等についても考察を加えた。

なお、エンジン産業の紹介においては民間航空エンジンに直接関係はない方々にもご理解いただけるように努めたので、業界／専門家の方々には周知の内容ばかりと思われるが、あらかじめご容赦願いたい。

また、民間航空のなかで数人乗りのクラス、いわゆる、General Aviationと呼ばれる分野については知見を持たないため、今回は紹介の対象から外させていただいた。

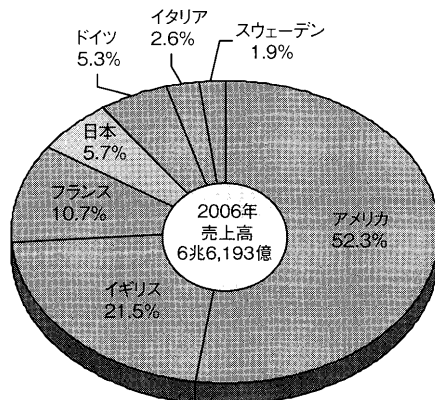


図1 航空機エンジン業界の国別売上規模（民・防を含む）

2. 世界のエンジン産業

2.1 三大エンジン・メーカー

第二次世界大戦前夜にWhittle卿やvon Ohain博士の偉業により産声をあげた航空機用ガスタービンエンジンは、英国のRolls-Royce社（以下RR）、米国のGeneral Electric社（以下GE）並びにPratt & Whitney社（以下PW）の3社に引き継がれ、育てられていく。当初は時代背景から軍用として開発・量産が進められた一方で、

主にその高速性／快適性から民間航空への応用も注目され、1950年代に入ると英国のComet機や米国のボーイング707機、またDC-8機などのいわゆるジェット旅客機の就航により本格的なガスタービンエンジンによる民間航空の幕が上げられた。

その後も図2に示すような発展をして現在に至っている。大きな流れで見ると、推力の大型化を追求しながら高バイパス化を実現し経済性と環境適応性を向上させ、さらにはその技術を発展的に中・小型のクラスへ展開していった。その結果、昨年度（2007年）の統計では、世界で約34000機のガスタービンエンジンによる民間航空機が運行されるまでに拡大してきている。

このように拡大した民間航空機用のガスタービンエンジンではあるが、その創成期に引き継ぎ育ての親になった上述の3社が今もなお、その市場をほぼ独占状態にあるというのが実情である。参考までに現在までのベストセラーエンジン（Top 6）を表1に示す。

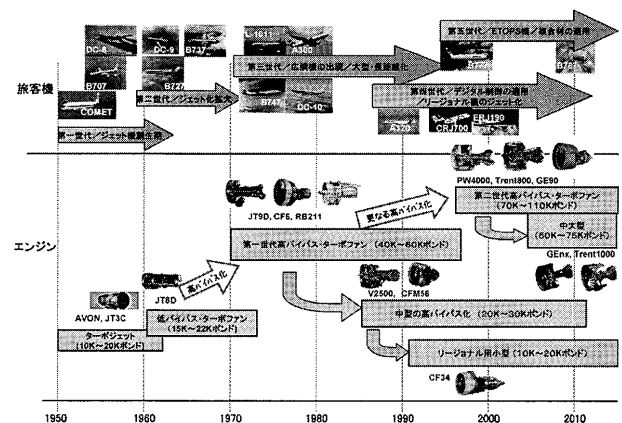


図2 民間ジェットエンジンの変遷

表1 世界のベストセラーエンジン（Top 6）

順位	エンジン	納入台数（約）	メーカー
1位	JT8D	15000台	PW
2位	CFM56	14000台	CFMI（*1）
3位	CF6	6500台	GE
4位	RB211	4600台	RR
5位	V2500	3500台	IAE（*2）
6位	JT9D	3300台	PW

（*）：GEとSNECMA（仏）による合弁会社

（*）：RR, PW, JAEC（日）, MTU（独）による合弁会社

注）現在の民間用納入台数で比較。あと数年でV2500は4位に浮上する予定

原稿受付 2008年6月30日

*1 財団法人日本航空機エンジン協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-2-2

この独占状態の要因については次項で触れるが、ここではその3社について簡単に紹介する。

・RR社

1906年に自動車メーカーとして設立された英国の名門企業。現在は自動車事業からは撤退し、航空エンジン事業を中心に2006年の売上は約\$12Bで、従業員数は約33,000人。Whittle卿のエンジンを引き継いだエンジンの創世記はリーダー的存在で、Conwayの開発により世界で初めてターボファンエンジンを実用化。次いで第一世代の高バイパスターボファンであるRB211で3軸構造を世界で初めて実用化（3軸構造は現在でも開発・製品化しているのはRRのみ）。しかし複合材製のファンブレード開発の失敗などによる巨額な投資負担などで1971年に倒産。英国政府の援助により再生し、現在はTrentシリーズなどの主力機種を積極的に展開中。

・GE社

1878年にエジソンにより設立され、現在では世界でも有数な巨大複合企業。2006年の航空機用エンジン部門の売上は約\$13Bで、従業員数は約38,000人。1950年代に圧縮機の可変静翼機構を世界で始めて実用化するなどしたが、当初は民間エンジン事業では低迷していた。その後CFM56により挽回し、第2世代の高バイパスターボファンの時代ではGE90で世界最大推力を達成、また複合材製のファンブレードの実用化にも成功。

・PW社

1925年に設立。米国を代表する巨大複合体であるUTCグループの一員として航空エンジン事業を展開。2006年の売上は約\$11Bで、従業員数は約38,000人。ジェット旅客機創世記から拡大期にかけて、JT3Dで2軸構造を初めて実用化。またその発展型のターボファンエンジンJT8Dの大ヒットにより業界のリーダー的存在となった。その後、他2社からの追い上げを受け、第2世代の高バイパスターボファン時代では、大型エンジンでやや低迷気味ながら、一方で、Post-JT8Dを狙って新しいコンセプトであるGTF（Geared Turbofan）エンジンの開発に取り組み中。

2.2 民間エンジン事業の現状

その創世記から育ての親となった3社が半世紀以上を経ているに市場を独占している要因について考えてみると、次のようなエンジン事業の特徴に深く関係していると思われる。

① 高い安全性／信頼性の要求

高速で高空を飛行する航空機のエンジンであるので、当然その安全性／信頼性において非常に厳しい基準が設けられており、エンジンメーカーが新しいエンジンを製

品として世の中に送り出すためには、その厳しい安全基準を満足させて、且つ顧客が求める高性能を発揮させる必要がある。従って新たなエンジン開発においては実績に裏づけされた設計・製造をベースとしてその上に高性能を追求するための新たな技術を適用してゆくことになる。この実績のある設計・製造においてRR、GE、PWはそれぞれの設計基準や製造スペック、またそれらを裏付けるデータベースを創世記から現在に至るまで自社固有の財産として構築・進化させている。この財産の有無が3社以外の市場参入を大きく阻んでいる要因のひとつである。仮に新規参入を狙うメーカーはこの財産を作ったうえで、それに基づく製品を開発し、さらに実運行させて実績をつくるというサイクルを少なくとも一度はまわさないとならず、次に示す大きな投資とリスクを覚悟しなくてはならない。

② 多額の開発投資と長期間の回収

新たなエンジン開発において、いくら実績のある設計・製造をベースにしているとは言え、エンジンとしての仕様の差異や、高性能化のための新しい技術を少なからず取り入れているので、安全基準を満足することを実際の試験で実証しなくてはならない。このため、通常では8～10台程度の試作エンジンを製作し各種実証試験をおこなっていく。更にはエンジン単体としての実証が完了しても、その後、搭載機の装備品としての実証も行わねばならない。このような開発にかかる時間と費用は非常に大きく、現状、エンジン単体の開発だけでも3～4年を要して費用は数百億円～1千億円程度（エンジンの大きさで差異あり）と言われている。加えて、この開発の前には個々の新しい技術開発が長時間・多額な費用をかけて行われており、またエンジン開発後には、搭載機での実証の時間と費用も要する。

一方、その莫大な開発投資の回収においては、量産開始後しばらくは、原価低減が進んでいないことや、厳しい販売競争による大幅値引きなどで収益はあがらず、エンジンが運行されるにつれ発生する補用部品の販売まで待たねばならず、投資回収までに非常に長い期間を要しているのである（一般的には投資回収は量産開始後10年以上を要すると言われている）。

このような事業性のため、エンジンメーカーは技術力のみならず、資金的にも強靱な体力が求められる。またいくら体力があっても投資額の莫大さ故に、（先にRR社紹介でも触れたような）失敗すればメーカー自体の存続まで危うくする危険性を伴っている。

③ 国際共同開発体制

大きな開発投資並びにリスクは3大メーカーにとっても重荷であるので、これを分散するために現在ではエンジンは国際共同開発体制が一般的になっている。これには大きく分けて、合弁会社方式（JV）とRSP方式と

表2 代表的なJVの概要

	IAE	CFMI
設立	1983年	1974年
参画企業 (シェア)	RR(33.5%), PW(32.5%), JAEC(23%), MTU(11%)	GE(50%), SNECMA(50%)
製品	V2500	CFM56

JAEC: IHI, KHI, MHIにより設立

の2種類があり、JVの代表的なものとして、3大メーカーのうちの2社であるRR, PW, それにJAEC(日本), MTU(独)とが参加しているIAE社, またGEとSNECMA(仏)で構成されるCFMI社がある(それぞれの紹介を表2に示す)。

一方、RSP方式は、3大メーカーそれぞれのエンジン事業に他メーカーがパートナーとして参加する形態で、パートナーは参画比率に応じて、R(Revenue & Risk, 収入とリスク)をS(Share)するという形態であり、1990年代以降の新しいエンジン開発はすべてこの方式で進められており、現在の国際共同開発の主流となっている。

JV方式に比べ、RSP形態での大きな違いは、エンジン事業の母体は3大メーカーであり、彼らはOEM(Original Engine Manufacturer)と呼ばれ、開発されたエンジンはそのOEMの製品となる(対顧客や対航空局上の権限・責任を持つ)ことにある。そのためパートナーの参画できる内容は限定されて、前述のJVとは大きく異なるところである。またパートナーの中でも、そのレベルは、自ら設計・開発・量産およびプロダクトサポートの一部まで行う場合(Tier 1と呼ばれる)から単純に部品の製造のみの場合(Tier 3)まで幅広くなっている。(表3に各事業形態での参画範囲を示す)

このRSP方式では、パートナーにとっては前述の財産を持たずに事業に参入ができ、自分の技術力の向上や事業の拡大を図れるメリットがあるが、一方で、エンジンメーカーとして最も重要な対顧客や対航空局上の活動・経験からは遠ざかってしまい、更には新たなエンジン開発で必要となる(前述の)財産の構築もおろそかになっ

表3 国際的パートナーシップの形態別参画範囲

	Supplier	RSP			JV	OEM
		T3	T2	T1		
権限・責任	プログラム・リスク/費用の分担	○	○	○	○	○
	販売収入の受領	○	○	○	○	○
	事業の意思決定の参加				○	○
業務範囲	担当部位の製造	○	○	○	○	○
	担当部位の品質管理	○	○	○	○	○
	担当部位の設計・開発		○	○	○	○
	プロダクトサポート, MRO			○	○	○
	エンジン全体設計取りまとめ				○	○
	プログラム全体管理				○	○
	マーケティング, 営業, 契約				○	○

○: 参画可能 注) T1: Tier 1, T2: Tier 2, T3: Tier 3

てしまうという副作用も秘めている。この副作用は将来的に3大メーカーに対抗する可能性を秘めたTier 1クラスにとって、自ら新規に市場へ参入することを阻む方向へ、ボディーブローのように効いてくるのである。

以上、本項では世界の民間エンジン産業全体について概要をご紹介したが、次に我々日本の民間エンジン産業について次項より触れる。

3. 日本のエンジン産業

3.1 歴史

日本では航空用ガスタービンエンジンの始まりは、第二次世界大戦中のネ20エンジンの開発からはじまるが、残念ながら敗戦により中断。その後GHQによる航空関係の研究・開発禁止時期のいわゆる「空白の7年」を経て、1950年代中頃より米軍のJ33, J47などのオーバーホールなどから再び動き始める。更には、1950年代後半から60年代にかけて国産エンジンJ3の開発やJ79エンジンのライセンス生産などを通して、技術、設備等のポテンシャルを高めてゆく。1970年代に入り、世界の民間航空業界では(2項で紹介したごとく)、第一世代の高バイパス・ターボファンエンジンの出現により、広胴機による長距離・大量輸送の時代が幕をあげていたころ、日本でも本格的な高バイパス・ターボファンエンジンの技術を確認すべくFJR710エンジンの研究・開発プロジェクトが立ち上がる。このFJR710の完成度の高さがRRの目に留まり、当時出現が予想されていた130席クラス機用で推力20000ポンドのRJ500エンジン開発を日英共同で行うXJBプロジェクトにつながり、日本が本格的に民間エンジンに参入することになってゆく。

その後、市場要求の変化から目標を150席クラス機(推力も25000ポンド)に上げ、また当時の第2次オイルショックによる燃料高騰傾向から、性能面でも更なる高性能化の必要性が生じ、開発費も当初の倍近い見通しになったため、新たな仲間を模索し始めていた。一方、RR以外の3大メーカーである、PW, GEも着々と同様クラスの新エンジン開発の計画を進めており、双方から日英グループへ共同開発の打診があったが、結果的に日英はPWと組む選択をし、PWグループのMTU, FIAT(伊)も含めた5カ国(後にFIAT脱退により、現在は4カ国)での合弁会社、IAEが1983年に設立され、V2500エンジン(図3)の開発が開始された。一方、GEは先にSNECMA(仏)と設立していたCFMI社により、CFM56による同クラスエンジンの開発に着手する。

この段階で日本は空白の7年間での遅れを取り戻すべく、高い志による独力思考で取組んだFJR710により技術を高め世界の民間エンジン市場に事業母体の一員としての参入を果たした。しかし、一方でV2500の開発は難航を極め、更には量産化後の湾岸戦争などで、市場の一時的落ち込みによる販売の停滞などで民間エンジン事業の厳しさを味わうことになる。しかし、その後の市場回

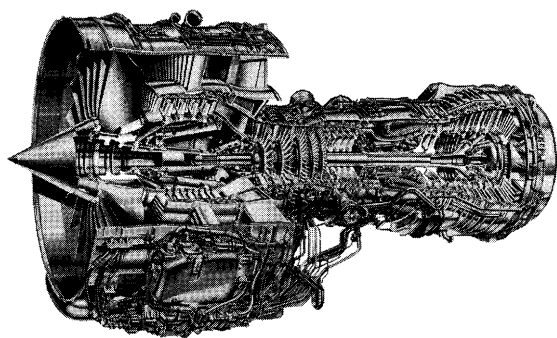


図3 V2500エンジン

復に伴い、V2500エンジンはその高性能さを売り物に販売を延ばし、現在では参画した日本メーカーの収益の柱となっていると同時に、事業母体の一員となって参画できたことで学べたことの多くが、その後の様々な事業拡大への基礎をつくりあげたと言える。

一方、世界ではその後、第2世代の高バイパスターボファンの開発や第1世代の高バイパスターボファンの技術の小型／いわゆるリージョナル機への展開へ動きだす。ここで3大メーカーは、それぞれの新たなエンジン開発へ取組んでゆくなかで、巨額の開発費やリスク分担のため引き続き国際共同開発の方向を進んだものの、それまでのJV方式からRSP方式への転換を図る。その動きのなかで日本は先のV2500事業で築いたものを糧に、RSPとして参画して個々の技術力向上と事業の規模拡大を着々と図り、国際共同開発の（Tier 1クラスの）パートナーとしての地位を確実なものにしてきている。

（以上の経緯を世界の動きと並べて図4に示す）

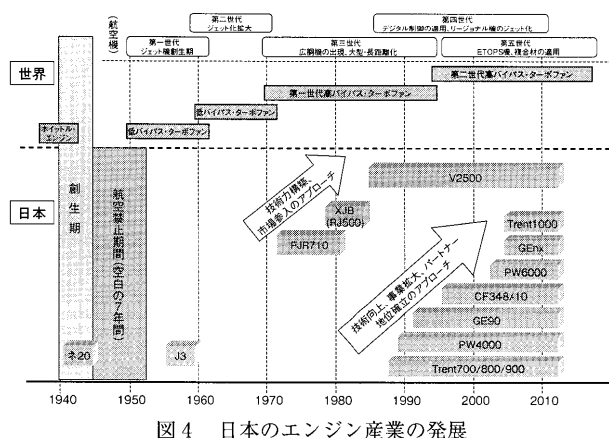


図4 日本のエンジン産業の発展

3.2 日本の製品群

前項のような歩みを経て、現状日本はどのような製品群を持っているのかについてご紹介する。まず参画している主要エンジンとその参画形態を時系列的に整理すると図5となる。

これらのエンジンの中で、日本は主にいわゆる低圧系からその担当を拡大してゆき、徐々にではあるが、高圧系への参入を図っていて、具体的な各メーカー別の製品

群を整理すると表4となる。

このような製品群を見てみれば、低圧系中心ではあるが、翼、フレーム／ケース、並びにディスクやシャフトといったコモディティを日本は得意としているところにひとつの特徴がある。特にディスクやシャフトは航空エンジンではLLP（Life Limited Parts）と呼ばれ、エンジンの安全性上から重要部品に指定されており、担当できるメーカーは限られているものである。

エンジンはその安全性を保証するため、大きく分ける「Fail Safe Philosophy」と「Safe Life Philosophy」という2つの考え方で設計される。前者は仮に何らかの理由である部分が故障や破損した場合でも、それが致命的な事象に進展しないように食い止める設計がなされているというものであるが、後者はその設計が出来ない場合、故

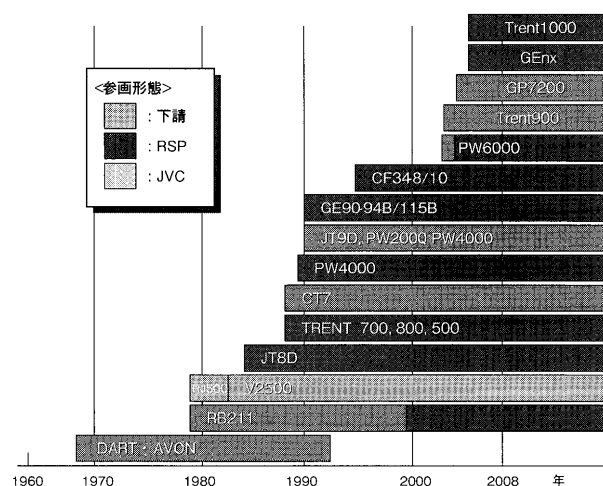


図5 日本が参画した主要な民間エンジン

表4 日本メーカーの製品群

メーカー	海外パートナー	機種名	部位
朝日航空機エンジン協会 (JAEC)	IAE	V2500	IHI: Intermediate Case Module, Fan Case Rear, LP Shaft KHI: Fan Case Front, LPC Disc MHI: LPT Disc, ACC Valve
	GE	CF34-8/-10	IHI: LPT Module, HPC Blade, LP Shaft, Fan Rotor KHI: AGB
	GE	GEEnx	IHI: LPT Module, HPC Blade/Vane, LPT Shaft
IHI	RR	Trent1000	KHI: IPC Module MHI: Combustor Module, LPT Blade
	GE	GE90	LPT Disc, LPT Blade, LP Shaft
	RR	RB211-524	LPT Blade, IPT Disc/Shaft
	RR	Trent700/800/900	LPT Blade, IPT Disc/Shaft
	RR	RB211-535	IPT Disc, LPT Blade, LP Shaft
	RR	Trent900	LPT Blade
川崎重工業 (KHI)	GPEA	GP7200	Mid Fan Shaft, HPC Stub Shaft
	PW	JT8D/PW2000/PW4000	LP Shaft
	RR	RB211-524	LPT Disc, LPT/IPT/LPT Case
	RR	Trent700/800	LPT Disc, LPT/IPT/LPT Case
	RR	Trent500	IPC Drum, LPT/IPT/LPT Case
	RR	RB211-535	LPT Disc, LPT Case
三菱重工業 (MHI)	PW	Trent900	IPC Case
	PW	PW4000	Stub Shaft, LPT Seal, HPT Seal, LPC Vane, LPT Case
	PW	JT8D	Turbine Case, Turbine Blade
	PW	PW4000	Combustor, Diffuser Case, LPT
	PW	PW6000	Diffuser/Combustor Module, LPT Disc, Rotating Seal
三菱重工業 (MHI)	PW	PW500	Turbine Support Case, Bearing Housing
	PW	PW150	Turbine Support Case, Exhaust Duct
	GE	CF34	Combustor Case

障や破損自体を発生させないように予め十分な設計余裕を持った寿命を設定し、寿命が来たら新品に交換するという考え方である。しかしながら寿命の長短は顧客から見れば経済性に大きく影響するため、民間エンジンの場合、LLPの寿命の長短はその商品価値に直結する。従ってメーカーにとっては、いかに長寿命を保証できるかが問われることになり、LLPの設計に用いる材料特性値や強度解析手法などは極めて精度の高いものが要求される。また、製造面においては設計段階で想定している各種特性を確実に実現し再現し続けることが必要なので、極めて高い製造品質保証が求められる。このような面からも日本の製造業の強みを発揮できている製品群と言える。

(様々な仮定を含んではいるが、現状をベースにした試算では今後10年以内に世界の民間航空機の50%以上は日本製のLLPを搭載していると予測される)

4. 今後の民間エンジンの動向

前項まで、世界並びに日本の民間エンジン産業の現状について紹介してきたが、本項では今後の世界の動向について触れてみたい。

4.1 競争の激化

世界の民間航空輸送は(地域で格差があるが)、年間平均で約5%の規模で今後も成長を続けると言われており、将来的な発展が見込まれる分野である。しかし裏返せば、そのために新規参入の増加による益々の競争激化が予想される分野でもある。まず我々の顧客であるエアラインにおいて、各種規制緩和も契機となりLCC(Low Cost Carrier)と呼ばれる格安運賃での新たなエアラインが市場に多く参入し、歴史ある大手を脅かす存在になってきている。そのためエアラインにとってのコスト低減は今後益々激しさを増し、我々航空機/エンジン産業はその要請に応えていかねばならない。そのため現在産業をリードしている欧米では、①高い経済性や環境適応性を実現するための革新技術の研究開発、②更なるリスク分散や製造コスト低減のためのサプライチェーンのグローバル化の推進に力を注ぎ始めている。

4.2 欧米の活発な研究開発

1項の図2でも紹介したごとく、民間エンジンは推進効率の向上や低騒音化のために、1960年代よりターボファンエンジンの高バイパス化が大きな技術的なステップアップとなって進化してきた。第一世代ではそのバイパス比は4~6程度、第二世代ではそれが8~10程度まで上げられてきている。またガスタービンとしての高出力化や熱効率を改善する地道な各種技術開発は継続的に行われ、その効果を反映している最近開発中のエンジンクラスでは、全体圧力比は50程度、タービン入り口温度で1700℃近くまでに達し、1950年代の初期のエンジンに比べ、燃費では約半分程度にまでなってきた。

しかしながら、昨今の世界的な環境問題の深刻化や燃料価格の急激な高騰傾向などにより、更なる経済性や環境適応性向上が求められており、航空産業を主要な基幹産業としている欧米ではその技術開発に向けて産学官が連携して大きく動き出している。欧州、米国ともに時期と技術向上の具体的な目標を定め、その目標に向けて様々な技術開発を進めてゆくものであり、欧米が設定した目標を図6に示す。

欧州の研究開発目標

The ACARE Goals 2020	Engine contribution to ACARE goals (relative to 2000 in service engines)
<ul style="list-style-type: none"> • Reduce perceived noise by half (10 EPNdB) • Reduce NOx by 80% • Reduce CO2 by 50% 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce noise by 6 EPNdB at each certification point • Reduce NOx by 80% • Reduce CO2 by 20%

米国の研究開発目標

National Aeronautics Goal	Near Term (<5 years : 2012-2015) N+1 Generation	Mid Term (5-10 years : 2018-2020) N+2 Generation	Far Term (>10 years : 2025-) N+3 Generation
Noise: (cumulative below Stage 4)	-32 dB	-42 dB	-62 dB
Emissions (LTO NOx): (below CAEP2)	-70%	-80%	-80%
Performance: Fuel Burn	-33%	-40%	-70%

図6 欧米の研究開発目標

このようなまとまった動きはまず欧州から始まり、すでに色々な技術開発を進めており、その成果を集めて実証機による実証フェーズに移行するところまで来ているものもある。エンジン関連では、更なる高バイパスを実現する技術群、あるいは軽量高性能の熱交換器による再生サイクル化など多岐に渡るが、その実現性から一番注目されているのは更なる高バイパス化技術であり、候補として検討されているものを整理すると図7のようになる。

一方、米国ではUEET(Ultra-Efficient Engine Technology Program)のようなNASAが主導する各種技術開発が進められていたが、欧州のように全体でまとまった形とはなっていなかった。しかし最近になって「航空機における研究開発および関連基盤に関する国家

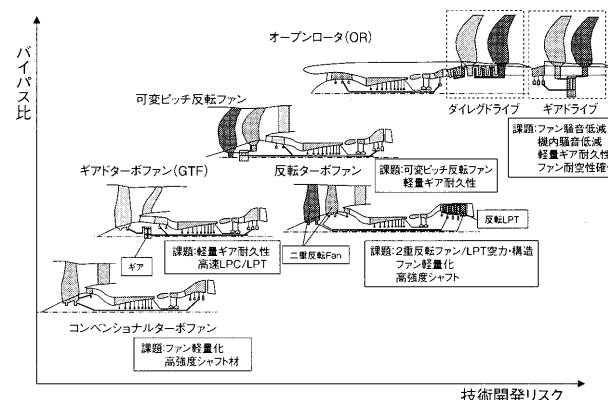


図7 高バイパス化に向けた各種コンセプトと課題

計画」なるものをまとめ、昨年、2007年12月にブッシュ大統領がこれにサインしたのを受け、今年度中には具体的な中身のプロジェクト計画をまとめると言われている。(図6の米国の目標はその国家計画で定められたものである)

欧米は今後も航空産業をリードするために、次世代技術開発に向けて大きく動き出しているのである。

4.3 サプライチェーンのグローバル化

他の産業のグローバル化により工業的な基盤の整備が進み、航空産業においてもアジアを中心とするサプライチェーンの新しい地域が増えつつあるが、エンジン部品の場合、その精度や品質管理面での高い要求から一朝一夕に拡大は出来ず、まだまだ地道な努力が必要な地域が多い。しかし長期的な戦略のもとRR, PW, GEの3大メーカーを中心に各メーカーは積極的に自らのサプライチェーンの拡大に力を注いでいる。

5. まとめ (今後の日本の課題)

最後にまとめとして、今までご紹介したことを踏まえて、日本の民間エンジン産業の課題について考えてみる。

まず、日本の状況を世界のメーカーとその売上規模や事業参画レベルで比較して改めて整理してみると図8の

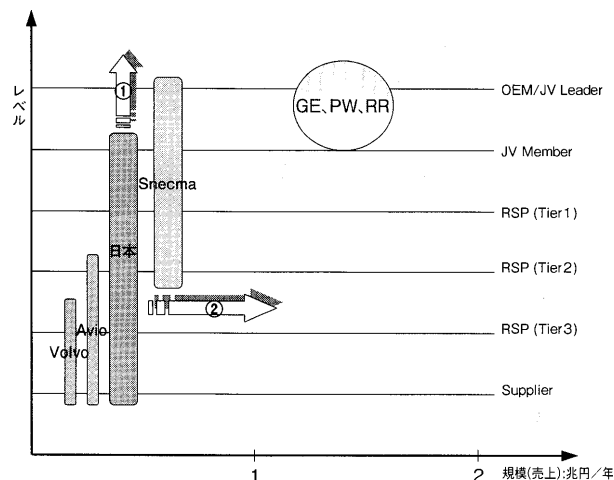


図8 日本と世界のメーカー比較

ようになる。

今後、日本の民間エンジン産業が更に発展するためには、上図で①と②の双方の方向に伸ばす必要があり、これはまさに、先に紹介した過去の日本の動きに例えると、①が1970年代のFJR→RJ500→V2500と展開した動き。②が1980年代後半からRSPとして多種エンジン事業への参画した動きと言える。しかしながら、当時とは日本の周りの環境や置かれている状況面で大きく異なっており、①や②への方向は同じでも、この先は格段に質を高めたアプローチが必要になると思われる。そして、それがどのようなアプローチになるとしても、日本の固有の高い技術力の確保とそれに裏づけされる優れた製品群の保有がベースになることは間違いのないであろう。

この点から現在の日本の課題を見てみると、まず技術の研究開発における産学官の連携を再び活性化させる必要がある。そのためにも、先に紹介した欧米の動きのように明確な目標を共有して研究開発を進め、最終的にはシステムとしての実証まで完遂させるという体制を構築するところから急いで始めなくてはならないであろう。

一方、優れた製品群の保有という面では、すでに日本の強みとなっているものにおいて、更に強みを高めることも必要と思われる。その一例としては、ディスクやシャフト（或いはその他、日本が得意としている製品群）において、その大半を海外の専門メーカーに依存している材料の製造について、国内メーカーとの技術開発により国産化し、日本全体として更なる競争力をつけることも有効と思われる。

過去の民間エンジン産業の経緯や今後の世界の動向をみれば、現在は大きな変革期の波が再び押し寄せている時期とも思われ、この波をいかに積極的に乗り切って前に進めるかが、おそらく20年後の日本のエンジン産業の姿に大きく影響することであろう。

参考文献

- (1)「平成20年度版世界の航空宇宙工業」 日本航空宇宙工業会, 2008
- (2)「航空機エンジン国際共同開発20年の歩み」 日本航空機エンジン協会, 2001

特集：産業としての航空（飛行機を飛ばす製品たち）

I H I 民間エンジン事業の現況と今後について

井上 浩一*¹
INOUE Koichi

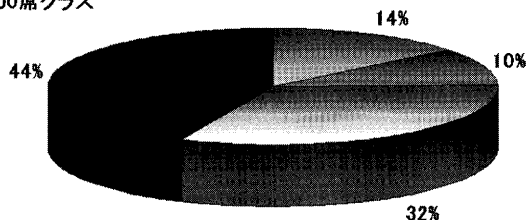
1. 民間エンジンRSP（リスク アンド レベニュー シェアリング プログラム）事業の概要

当社の民間エンジン事業は、GE, RR, PWという3大エンジンメーカーとの共同事業であるRSP事業（Collaborationも含む）、これら3大エンジンメーカー中心とする各社からの部品製造工事、エンジンオーバーホール・整備事業の3つの事業から成り立っている。今回は3つの事業のうち最大の事業であるRSP事業と部品製造工事を中心に説明したい。

当社は、1983年にエアバス社中型機A320シリーズに搭載のV2500エンジンプログラムにIAE（International Aero Engines）のもと日本航空機エンジン協会（以下JAECという）の一員として参加以来数々のエンジンプログラムに参加してきた。現在は、GE社のRSPプログラムであるB777搭載のGE90プログラム、70-90席リージョナルジェット搭載のCF34プログラム、B787・B747-8搭載のGENxプログラムに参加、またRR社のRB211, Trent700, Trent800, Trent500, Trent900の各エンジンプログラムにRSPもしくは部品製造請負という契約形態で参加している。また、PW社に対しては、PW4000, PW2000等のロングシャフトの部品製造工事を行なっている。

従って、当社の民間エンジンの製品ラインアップは、70-100席クラスのリージョナルジェットに搭載される小型エンジンから130-180席クラス対応の中型エンジン、

■ 300席以上
■ 200-300席クラス
■ 130-180席クラス
■ 70-100席クラス



（注）2009年度 見通し・出荷台数ベース

図1 セグメント別構成比

原稿受付 2008年5月26日

*1 (株)IHI 航空宇宙事業本部 民間エンジン事業部
〒135-8710 東京都江東区豊洲3-1-1
豊洲IHIビル

200席-300席クラス対応の大型エンジン、300席クラス以上対応の超大型エンジンというすべての機体セグメントに対応したものとなっている。（図1参照）

売上ベースでは2000年が400億円弱規模であったものが、2001年の米国同時多発テロの影響により2001年、2002年、2003年は伸び悩んだものの2004年からは回復基調となり、2006年において1,000億円を突破し、2007年においては1,300億円程度を見通しており、今後も順調に拡大していくものと考えられる。（図2参照）

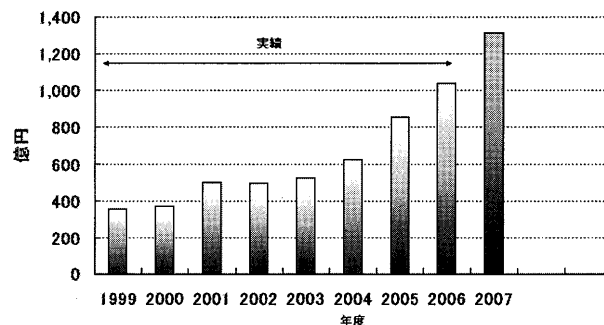


図2 IHI 民間エンジン事業部 RSP売上高実績と見通し

2. セグメント別エンジンプログラムの概要

1) 300席以上クラス（GE90, Trent 800, Trent 500, Trent 900, GP7000等）

GE90, Trent 800ともRSPとして参入。

担当部位は主に低圧タービンシャフト、ディスク、ブレード。

とりわけB777-200LR/300ERに独占搭載されているGE90の受注が好調で、2007年以降においては、年産150台を超えるペースとなっている。GE90エンジン売上台数実績・見通しは以下のとおり。（図3参照）

2) 200-300席クラス（GENx, Trent 700等）

GENx, Trent 700ともRSPで参入。

担当部位は低圧タービンモジュール、高圧圧縮機ブレード。

助成事業であるGENxはB787, B747-8に搭載され、2008年にエンジン型式承認を取得すべく開発作業を鋭意実施中である。今までに累計で約1,100台の受注を確保している。

B787用のGENxエンジンは同じく助成事業である

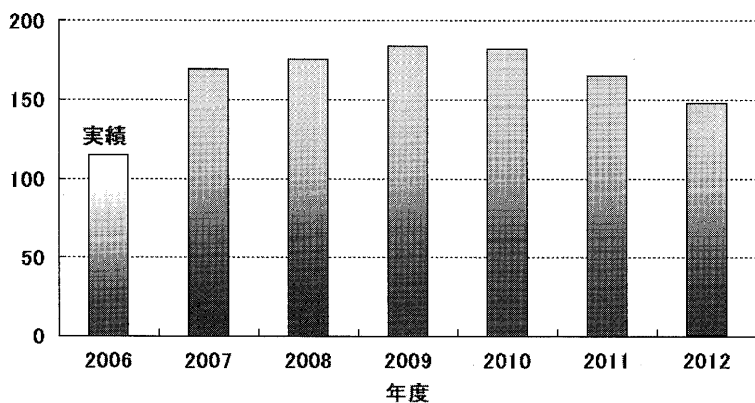
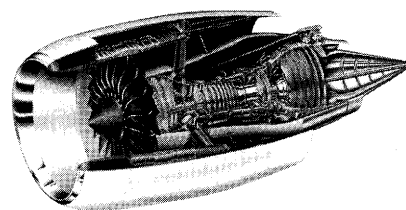


図3 GE90売上台数推移



GE90エンジン

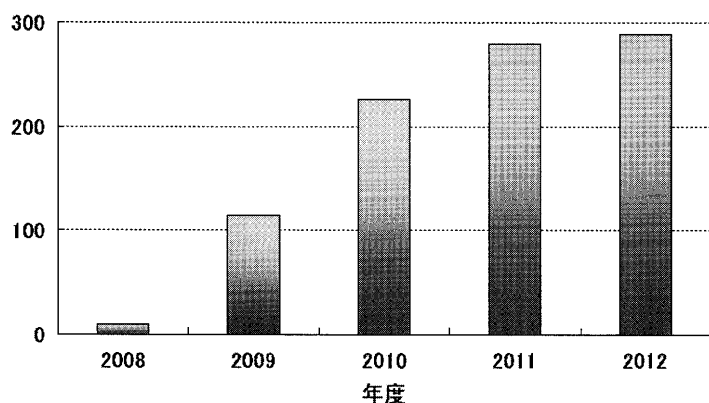
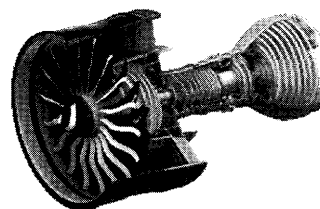


図4 GEnx売上台数推移



GEnxエンジン

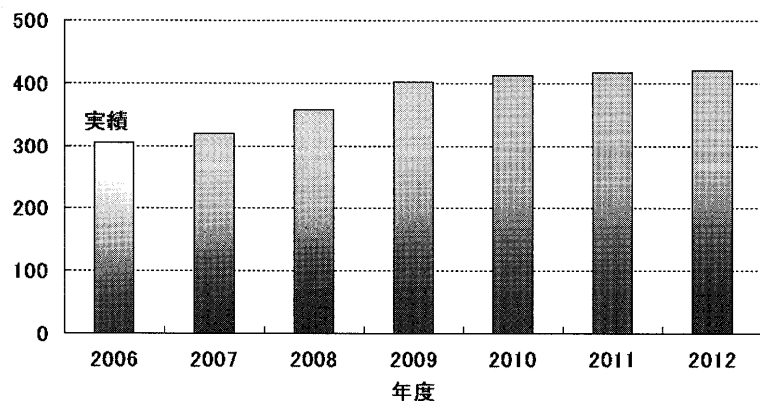
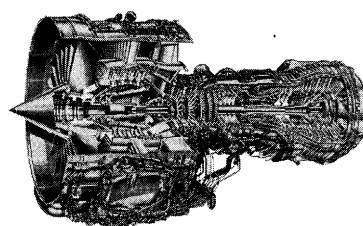


図5 V2500売上台数推移



V2500エンジン

Trent 1000エンジンと競合している一方、B747-8用のGEnxエンジンは独占搭載となっている。GEnxエンジンの売上台数見通しは以下のとおり。(図4参照)

3) 130-180席クラス (V2500)

JAECの一員としてJoint Venture (IAE) 形式で参加。担当部位は、ファンモジュール、低圧圧縮機、低圧シャフト等。

当社が初めて本格的に取り組んだ民間エンジンビジネスであり、A319、A320、MD90に搭載されている。今までにオプションも含めた受注台数は6,000台を超えており、出荷台数も3,400台を超えている。V2500エンジン

の売上台数実績・見通しは以下のとおり。(図5参照)

4) 70-100席クラス (CF34-8, 10)

CF34-8,10ともRSPで参入。担当部位は、低圧タービンモジュール、ファンブレード、高圧圧縮機ブレード等。CF34は助成事業であり、JAECパートナーであるKHI殿はギアボックスを担当している。リージョナルジェットであるCRJ700/900、EMBRAER 170/190、ARJ21に独占搭載されており、今までの確定受注がCF34-8については約1,700台、CF34-10は約1,200台となっている。CF34プログラムは1999年の量産エンジン売上開始以降、2005

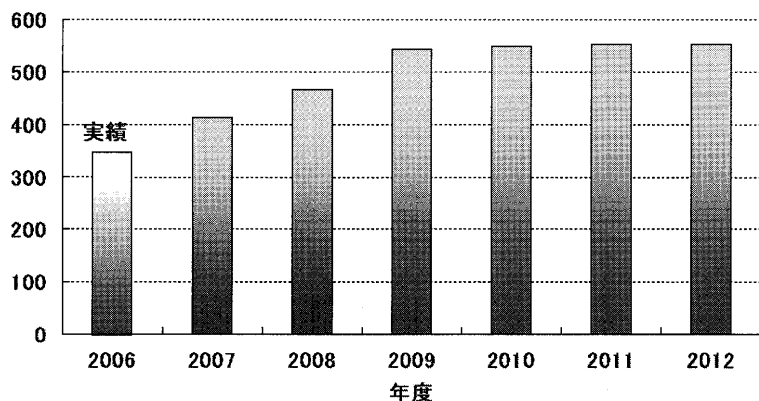
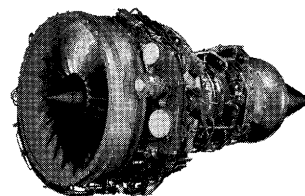


図6 CF34売上台数推移



CF34エンジン

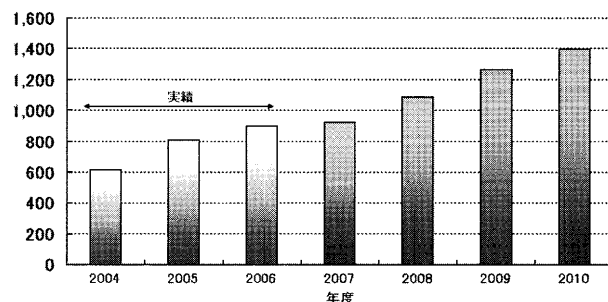
年には売上台数累計1,000台を超えるなどかつてないスピードで売上が急速に立ち上がってきたプログラムであり、2007年以降においては、年間400台～500台の生産規模と見通している。CF34エンジンの売上台数実績・見通しは以下のとおり。(図6参照)

3. I H I の技術優位性

V2500においてはファンモジュールを主に担当しており、GE90、GENx、CF34等のエンジンは低圧タービン部の部品およびモジュールを担当しているが、これはI H Iの空力設計能力からモジュール部品製造・組立のトータルインテグレーション能力を各エンジンメーカーから評価されてのものである。

4. 民間エンジン事業の当面の課題

昨年は、エンジン部品の出荷が納期に対し遅れるといった納期問題も一時に比べて落ち着きを見せ始める一方、Airbus、Boeing社ともに過去最高の受注を獲得した年でもあった。昨年の両社の受注機数合計は2,881機と3,000機に迫り、2005年に打ち立てた2,140機を遥かに上回るものであり、こうした航空機需要の急激な増加に



(注) RSP主要機種: V2500・CF34・GE90・GENx

図7 I H I 民間エンジン事業部 RSP主要機種
新製エンジン出荷台数見通し

伴い、2008年以降の弊社の新製エンジン部品の出荷台数の見通しも年率10%超で順調に推移していくものと見通している。(図7参照)

一昨年に弊社エンジン事業の発祥の地である田無工場が相馬第2工場として移転・再稼動したが、昨年10月には早くも相馬第4加工棟の起工に着手した。弊社としては、豊富な需要に応えるため供給体制を一層確実なものとする一方、品質の確保といった面からも更なる改善を積みあげ、顧客満足を追求する。

特集：産業としての航空（飛行機を飛ばす製品たち）

世界の空へ 飛行機を飛ばすKawasakiのPower

永田 康史*¹
NAGATA Yasushi

松広 純二*¹
MATSUHIRO Junji

Key words : Gas Turbines, Turbine Engines, Aeroplane, Power Units, Gear Box, FADEC

1. はじめに

当社のガスタービンの歴史は、1942年当時の陸軍の委託を受けた「ネ」シリーズのジェットエンジン開発にさかのぼり、1943年12月23日には、ラムジェットエンジンである「ネ-0」エンジンにより、補助エンジンとしてではあるが、我が国初の飛行試験を成功させている。戦後の空白期を経て、1954年に米極東空軍のジェットエンジンのオーバーホールを開始したのが、今日のガスタービン事業の原点となっている。

現在、当社のガスタービン製品群は、図1に示すように「航空防衛」、「航空民需」、「船用」および「産業用」と空・海・陸にまたがる4つのビジネスユニット（BU）で構成されており、これらのBUは、市場、顧客は異なるものの、技術基盤や生産基盤において共通する部分が多い。

「航空防衛」BUでは、欧米メーカーの機種種のライセンス生産とオーバーホールを実施することでスタートし、品質管理技術、特殊工程などの生産技術、整備マニュアルなどの整備技術を取得し、「T53」エンジンや「T55」エンジンを初めとする防衛省のヘリコプタ用エンジンの製造・オーバーホールを実施すると共に、国産開発エンジンに対しても開発を分担し、我が国の防衛技術基盤の一翼を担ってきた。最近では、自社独自の技術による小型ターボジェットエンジンで無人標的機という新たな分野に参入している。

「航空民需」BUでは、航空防衛エンジンで培った人材、

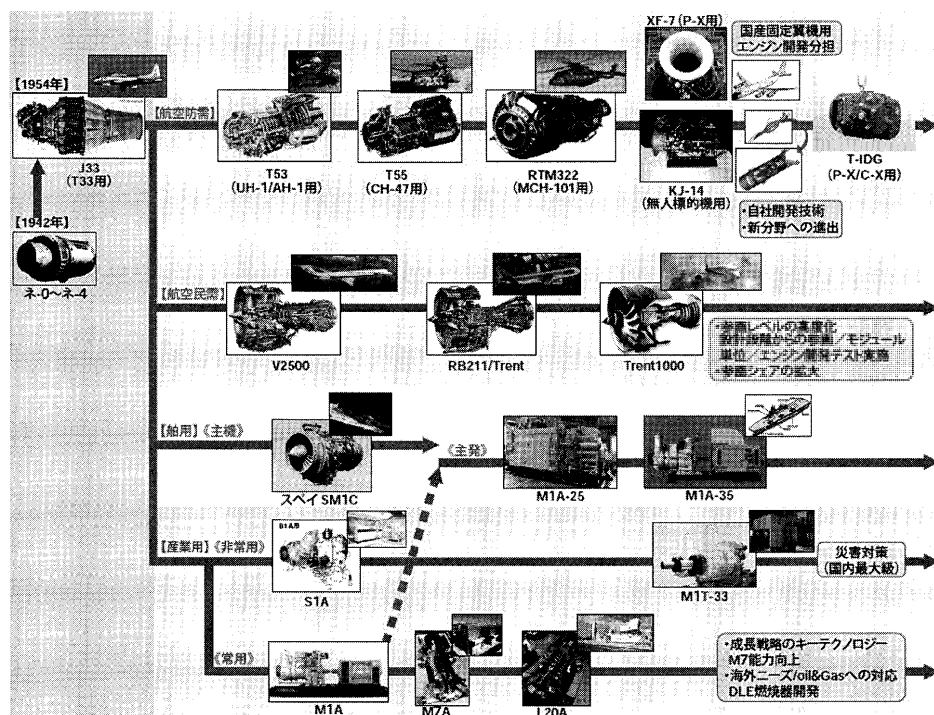


図1 主要製品の沿革

原稿受付 2008年6月2日

*1 川崎重工業(株) ガスタービン・機械カンパニー
ガスタービンビジネスセンター 技術総括部 航空エンジン技術部
〒673-8666 明石市川崎町1-1

生産基盤をもとに、国家プロジェクトとしての1970年代の国産「FJR」エンジンから、1980年代の国際共同開発「V2500」ターボファンエンジン開発に初期設計段階から参画したのを初めとして、海外メーカーのプロジェクトにもリスク&レベニューシェアリングパートナーのスキームで参画し、部品レベルの出荷が始まって、最近では、モジュールレベルで製品を出荷するまでにその技術力を高めてきている。

「船用」BUでは、航空エンジンで培った生産技術、後方支援技術、整備技術をもとにロールス・ロイス社と技術提携した航空転用型のガスタービン「オリンパス」、「タイン」、「スペイ」エンジンの製造とオーバーホールを実施してきている。

航空用の共同開発に参画する一方で、「産業用」BUでは、当社単独で自社開発したガスタービンにより、非常用発電装置、常用コージェネ発電装置などの新規分野を開拓してきた。

このように、当社は「航空用」で培った技術を元にさまざまな分野に波及させて業容を拡大し、また、「船用」、「産業用」で得られた経験と技術を「航空用」にフィードバックすることで競争力強化を図ってきている。以下にその基盤となった「航空用」の製品と製品開発を支える要素技術の一端について述べる。

2. 飛行機を飛ばす製品紹介

2.1 防衛省航空機用エンジン

(1)ヘリコプタ用エンジン

防衛省のヘリコプタ用エンジンについては、1967年に米国ライカミング社（現ハネウェル社）と技術提携して輸送用ヘリコプタUH-1用「T53」ターボシャフトエンジン（1,300馬力級）を初号機納入し、1973年からはライセンス国産を開始し、以来、対戦車ヘリコプタAH-1用「T53」ターボシャフトエンジン、大型輸送用ヘリコプタCH-47用「T55」ターボシャフトエンジン（4,300馬力級）を、陸上自衛隊、航空自衛隊向けにライセンス生産、オーバーホールを担当している。2003年からは、海上自衛隊向けに掃海/輸送用ヘリコプタMCH-101用「RTM322」ターボシャフトエンジン（2,000馬力級）を担当している。

(2)高揚力装置（Boundary Layer Control（BLC）装置）

ヘリコプタ用エンジンと当社ギア・圧縮機技術を活用した航空機用装置として海上自衛隊向け救難飛行艇US-2用の高揚力装置（BLC装置：図2）を製造している。これは荒れた海上にも安全に離着水するための低速飛行を可能とする、翼の境界層制御用空気送風機であり、エンジンと同様に機体の心臓部となるものである。

「BLC装置」は、BLC圧縮機、駆動用エンジンおよびエンジン吸気ダクトから構成され、BLC圧縮機およびエンジン吸気ダクトは自社技術にて開発し、駆動用エン

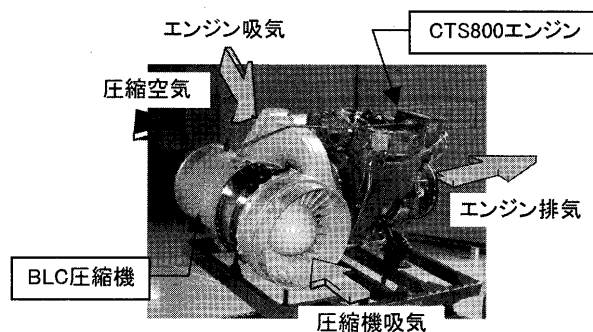


図2 救難飛行艇用高揚力装置（BLC装置）

ジンはヘリコプタ用エンジンとして豊富な実績をもつ米国LHTEC社の1,300馬力級ターボシャフトエンジン「CTS800」を採用しており、FADEC（Full Authority Digital Electronic Control）により優れた制御性、信頼性、保守性を得ている。

(3)KJ14ターボジェットエンジン

これまで小型の無人機や標的機などに搭載されるジェットエンジンは、国内において外径φ350mm、推力200kgf級のものが実用化されてきているが、それより小型（外径φ200mm前後）のジェットエンジンは、価格と性能を両立させることが難しく、ニーズはあるが実用化されていないのが現状であった。また、海外において実用化されているものはあるが、その用途や性能を考慮すると非常に高価となることが採用の支障になっている。

小型で低価格なジェットエンジンとしては、ラジコン機などに搭載されるホビー用のものが国内外にあるが、これらはあくまで遊具用としてのものであり、低空での飛行しか想定していないため、高空での性能や着火性などは保証されていない。

そこで、軽量、低価格、メンテナンス性などに加え、高空での性能や着火性に対する要求を満足する外径φ200mm、地上静止での推力約70kgfを想定した小型ジェットエンジン「KJ14」（図3、表1）を開発した。

性能を維持しながら製品の小型化を図ると、各構成部品が高性能、高密度となり、高価になる傾向がある。しかし、ジェットエンジンとしては簡素な構造および簡便な補機システムを研究して部品点数の削減に努め、また、



図3 小型ジェットエンジン（KJ14）

表1 エンジン主要諸元

エンジン形式	1軸ターボジェット
推力*	70 kgf (地上静止)
乾燥重量	16 kg
最大外径	200 mm
全長	450 mm

※非搭載時, ISA (International Standard Atmosphere)

安価な材料や民生部品を積極的に活用して低価格化を図ることを目標として設計した。

各要素の設計, 試験の後, エンジンを試作して地上における性能を確認した。さらに, 高空性能試験設備 (ATF: Altitude Test Facility) で高空での性能および着火性を実証してエンジンの製品化へと進めた。

今後は様々なアプリケーションの機体に搭載できるように用途拡大に向けたエンジンのファミリー化を進める計画である。

2.2 民間航空機用エンジン

(1)V2500ターボファンエンジン

当社は, 日本航空機エンジン協会 (JAEC) の一員として「V2500」ターボファンエンジンの国際共同開発に参画し, ファンケース, 低圧圧縮機の設計, 製造を担当している。「V2500」エンジンは, 1989年からAIRBUS社のA320にて商用運行を開始し, これまでの生産台数の累計は, MD-90用を含め 3,500台を越えている。

ファンケースは, 軽量化を優先して当時としては珍しいチタン合金を採用したため, 外径1,700mm級の大型鍛造素材を鍛造メーカと共同で開発した。また, ファンケースの重要な機能の一つとしてコンテインメント性 (ファン動翼が飛散しても破片をケース内に閉じ込める) を確保しつつ軽量化するため, スピンピット内にてコンテインメント試験を繰り返し実施し, 最適となるファンケースのケースの板厚を設定した。

低圧圧縮機は, 「V2500-A1」(25,000lb級) は3段, 「V2500-A5/D5」(30,000lb級) は4段の圧縮機で構成されている。「V2500」エンジンは, FAA (米国連邦航空局) のエンジン型式認定を取得するため, 低圧圧縮機の設計, 製造を分担するのみならず, 型式認定取得に必要となるディスク過回転試験, LCF (低サイクル疲労) 試験や動・静翼のHCF (高サイクル疲労) 試験も分担し実施したことで, 日本として航空エンジンの型式認定に関する技術力の向上を図ることができた。

(2)RB211/Trentシリーズエンジン

ロールス・ロイス社 (RR社) の大型ターボファンエンジンは, ロッキード社のL-1011トライスター機に搭載された「RB211-22B」エンジンを初めとして, 以来一貫してRR社独特ともいえる低圧系/中圧系/高圧系からなる3軸構造を採用している。

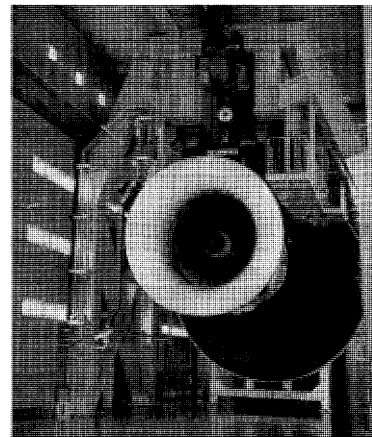


図4 大型セルでのTrentエンジン運転状況

当社は, 1980年よりRR社「RB211-22B」エンジンのタービンケースの部品生産に参入し, その後「RB211-524G/H」, 「RB211-535E4」エンジンの部品生産も担当してきている。これを通じてビジネスの手法や製造品質の信用を蓄積した上で, 事業上リスクを伴うレベニューシェアリングパートナーのスキームでの開発参画へ移行し, Trentシリーズの「Trent700」, 「Trent800」エンジンでは, タービンディスク/ケーシングの製造, 「Trent500」, 「Trent900」エンジンでは, 中圧圧縮機ドラム/ケーシングを担当している。

また, 「Trent500」エンジンからは, エンジンの開発試験も担当するようになり, 当社明石工場の国内最大級の大型ファンジェットエンジン運転設備を利用してエンジン運転 (図4) を実施している。

(3)Trent1000エンジン

ボーイング社B787用に開発されたRR社の「Trent1000」エンジンは, 3軸構造であるRB211/Trentエンジンシリーズの最新エンジンであり, これまでの既存エンジンで実証された技術をベースとすることで開発リスクを低減し, Trentシリーズとしては最短の開発期間で, 2008年8月にエンジン型式承認を計画通り取得している。

当社は, 「Trent1000」エンジンでは, 中圧圧縮機

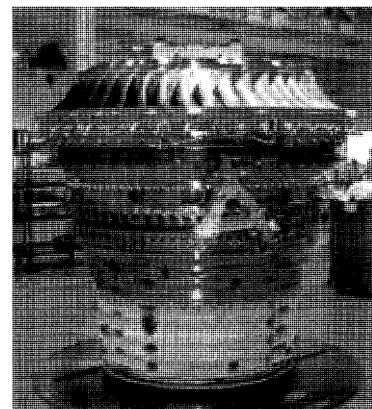


図5 「Trent1000」エンジンのIPCモジュール

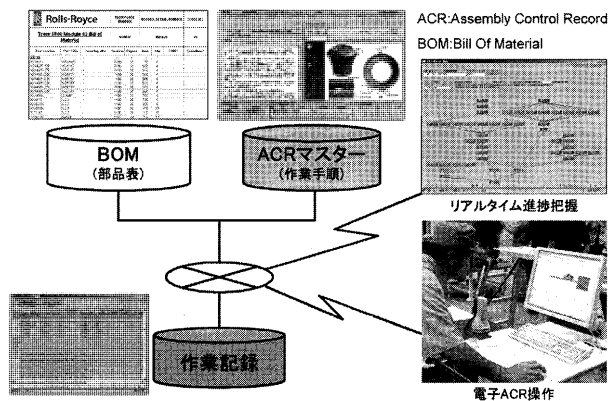


図6 「Trent1000」ペーパーレス組立システム

(IPC) モジュール (図5) を、設計段階を含め、製造・組立まで一貫して担当しており、モジュール組立工程においては、図6に示すような自社開発の組立システムを構築し、ペーパーレス化することで、工期短縮や組立品質向上などを実現している。また、「Trent500」同様に信頼性向上のためのエンジン試験についても、図4に示す運転セルにて実施する計画である。

2.3 トランスミッション関連製品

当社では、高速・大馬力を伝達する薄肉ギヤおよび小型・軽量ハウジングの設計・精密加工に関する技術を核として、ヘリコプター用トランスミッションを開発するとともに、その技術をターボファンエンジン用 AGB (Accessory Gearbox) の開発に展開してきた。また、この技術にトラクションドライブ技術と制御技術を組み合わせて IDG (Integrated Drive Generator) を開発している。

(1)ヘリコプター用トランスミッション

当社のトランスミッション開発の歴史は、我が国初の国産ヘリコプタ BK117 用トランスミッション (1,000 馬力級：図7) の独自開発 (1981 年から出荷開始) に始まり、MD ヘリコプタ社と共同開発した MD900 ヘリコプタ用トランスミッション (1,000 馬力級：図8) は、1993 年から製造出荷している。

また、防衛省開発の純国産ヘリコプタ OH-1 用トランスミッション (1,400 馬力級：図9) は 1998 年から出荷しており、さらに、アグスタ・ウェストランド社と共同開発した AB139 ヘリコプタ用インプットモジュール (1,600 馬力級：図10) を 2001 年から製造出荷している。

(2)CF34 AGB (Accessory Gearbox)

AGB は、エンジンから動力を受け取り、エンジンを作動させるために必要な燃料ポンプ、オイルポンプ、発電機等の補機を駆動させる機能を担うものである。

当社は、1996 年からボンバルディア社 CRJ700/900 や エンブラエル社 Embraer170/175 向け General Electric 社

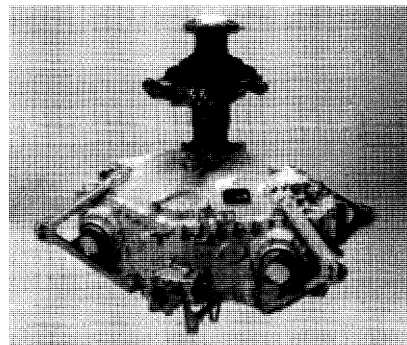


図7 BK117用トランスミッション

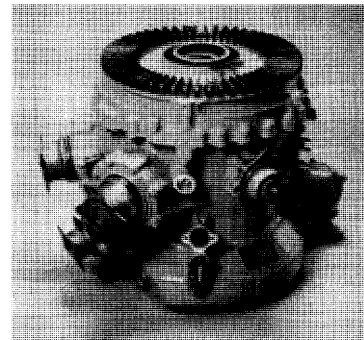


図8 MD900用トランスミッション

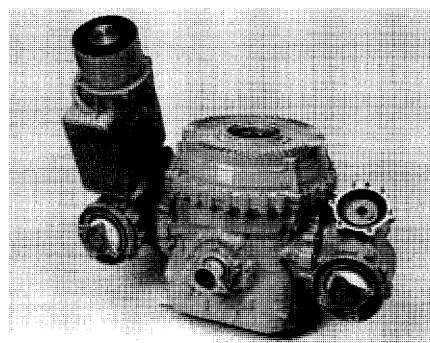


図9 OH-1用トランスミッション

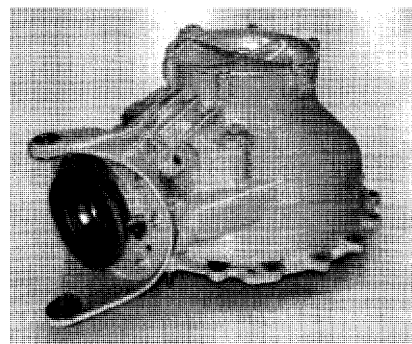


図10 AB139用インプットモジュール

(GE社)「CF34-8C/E」ターボファンエンジン用 AGB の開発に、2000 年からはエンブラエル社 Embraer190/195 向け GE 社「CF34-10E」用 AGB の開発に参画し、設計、製造を分担している。また、2005 年からは中国航空工業第一集团公司 ARJ21-700/-900 向け GE 社「CF34-10A」用 AGB の開発にも参画している。

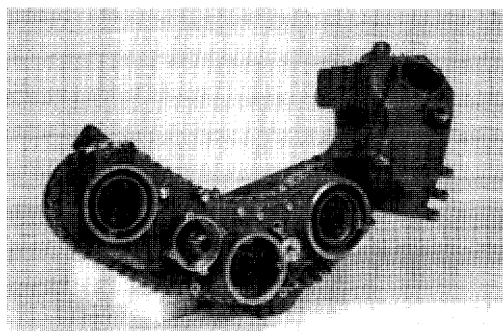


図11 CF34-8 Accessory Gearbox

「CF34-8C/E」用 AGB (図11) は、量産開始から8年で1,500台、「CF34-10E」用AGBでは3年で500台を製造し商用運航中であるが、運用において不具合の発生はなく大きな信頼を得ている。

(3)T-IDG®

IDGとは、航空機エンジンに搭載され、一定周波数交流電力（一般に400Hz・115V）を供給する装置で、エンジン回転数に拘らず発電機ローターを一定回転数に保つために無段変速機（CVT）を内蔵している。従来、このCVTには油圧変速機が使用されてきたが、当社では動力損失低減、高信頼性を狙い、CVTにトラクションドライブを使用した新方式IDG（T-IDG®）（図12）を開発した。

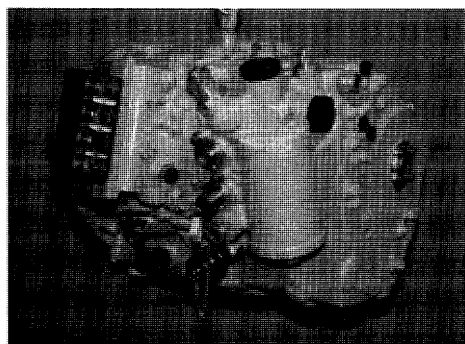


図12 T-IDG®外観

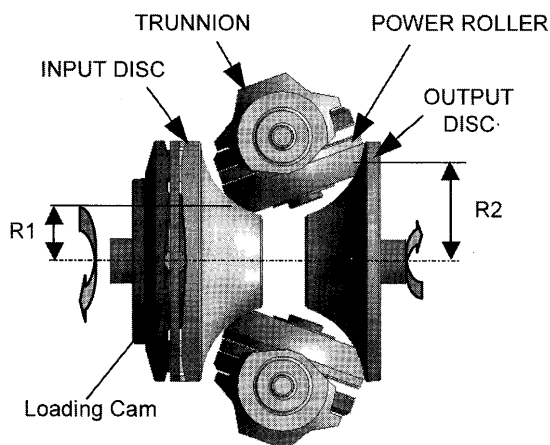


図13 トラクションドライブCVT原理

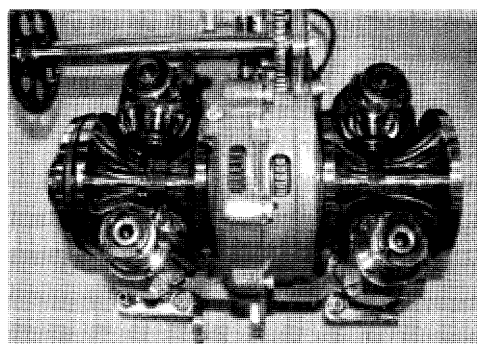


図14 トラクションドライブ

トラクションドライブは特殊オイル（トラクション・オイル）の粘性を利用して動力を伝達する方式で、形状を図13のようにすることで入出力回転数を無段階に変速することができる。図14にT-IDG®で使用しているトラクションドライブCVTを示す。T-IDG®は、トラクションドライブの高速化、動力をギヤにも分担させるパワースプリット機構、高度な電子油圧制御、全姿勢対応オイルシステム等の採用により、航空機搭載機器に対する過酷な運用要求をクリアするとともに、駆動部における動力損失の大幅低減を達成し、燃費向上、オイルクーラーの簡素化に寄与している。

3. 製品開発を支える要素技術

3.1 燃焼器要素技術

当社は、「FJR」、「HYPR」、「ESPR」や「小型エコエンジン」および「XF5」、「XF7」といった経済産業省や防衛省の航空エンジン開発プロジェクトにおいて、常に燃焼器モジュールの開発を担当し、燃焼器開発技術の蓄積に努めてきた。

近年、環境保護の観点から排出ガスに関する規制が厳しくなる傾向にあり、国際民間航空機構（ICAO）により、空港周辺を対象として1986年に規制が導入されて以来、段階的に厳しくなっている。ここでは、この規制強化に対応していくために、当社が現在進めている低NO_x燃焼技術の研究開発状況について紹介する。

(1)低NO_x化の手法と技術課題

NO_xは火炎温度の高い領域で発生するため、燃料と空気の混合気濃度を薄くして燃焼させるリーンバーン方式が火炎温度を低く抑えることができ、低NO_x化のポテンシャルが高い。当社は、本方式をベースに燃焼器への適用化を進めている。本方式は、低NO_x化には優れている反面、着火特性や低出力条件における燃焼効率の維持が難しいため、高出力時の低NO_x化と低出力時の燃焼効率や着火等の特性を両立させることのできる燃料噴射弁技術の開発が、本燃焼方式をベースとした燃焼器開発にとって重要である。

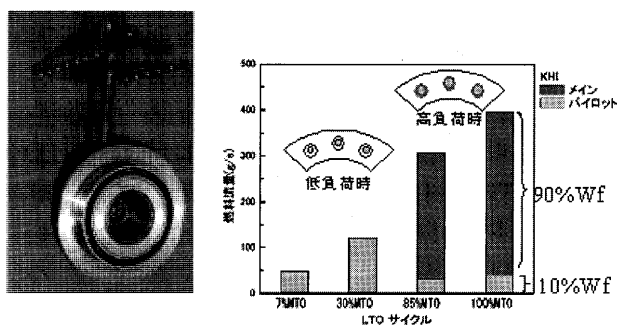


図15 リーンバーン燃料噴射弁

(2)リーンバーン燃料噴射弁

経済産業省の進める「小型エコエンジン」プロジェクトにおいて、当社が現在開発中の燃料噴射弁例を図15に示す。本噴射弁は、高出力条件でリーンバーンさせて低NO_x化を図るメイン燃料ノズルと、着火時からすべての作動点で燃焼させて火炎の安定化を図るパイロット燃料ノズルを同心上に組み合わせる形式で、エンジンの作動条件に応じてメインおよびパイロット燃料ノズルへの燃料分配を最適化している。

同心に燃料ノズルを組み合わせる噴射弁開発の難しさの1つとして、パイロットとメインノズル間に生ずる干渉の適正化がある。これが着火や安定燃焼特性に多大な影響を与えるからである。このため、CFD流れ解析やレーザー噴霧計測といったツールを駆使して、精度よく空気流れ場や燃料分散分布を把握して、科学的かつ効率

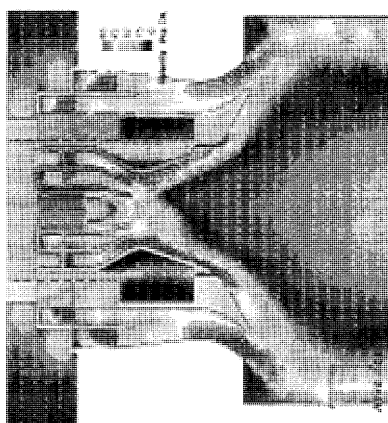


図16 燃料噴射弁部のCFD解析例

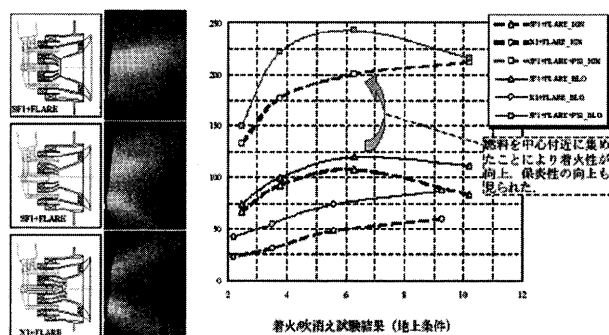


図17 レーザー噴霧計測結果と着火特性の相関

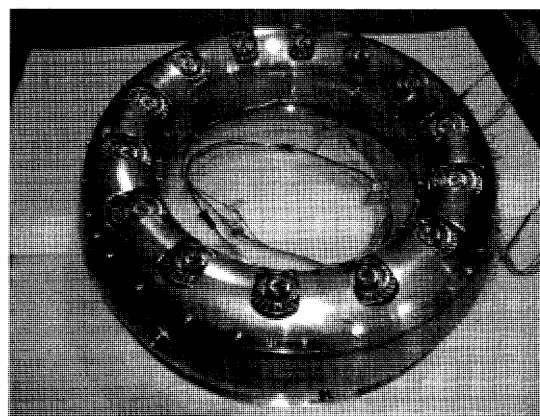


図18 試作環状燃焼器

的な開発に努めている。図16にCFD流れ解析例、図17にレーザー噴霧解析と着火特性との相関を示す。

このように開発した燃料噴射弁をセクタ燃焼器および環状燃焼器（図18）に搭載して実温実圧試験を実施し、燃焼器システムとしての性能を評価した結果、現行規制の約37%レベルまでもNO_x低減ポテンシャルを確認した。現在も更なる高性能化のため改良を続けている。

今後は、蓄積した低NO_x燃料噴射弁技術を、国産エンジンへの適用はもとより、海外エンジンメーカーとの共同研究開発を経ての実用化をも目指している。

3.2 構造強度解析技術

航空機に搭載され、その推進装置となるジェットエンジンは、同じガスタービンエンジンでも他の分野に使用されるエンジンに比べ、軽量化や安全性といった点でより厳しい仕様が要求される。軽量化は耐久性と相反する場合が多く、設計においては多くの部品について有限要素法等のシミュレーション解析を行い、強度要求を満足した上で重量を最小とする最適化設計が行われている。

近年の民間航空機用エンジンでは、その効率を向上させるために高バイパス比化が進んでおり、これによってコア部に比べて大きなサイズとなるファンケースの軽量化は、エンジン全体の軽量化に大きく貢献できる。ファンケースの設計において考慮される主要な強度要求の一つとして、前述のコンテインメント、すなわち、「ファン動翼が飛散した場合に破片がエンジン外部に放出されないよう閉じ込める」という要求があるが、従来は経験式に基づき設計し、リグ試験やエンジン試験による妥当性確認が行われていた。計算機の高性能化やシミュレーション解析技術の進歩によって、飛散したファンブレードがファンケースへ衝突するような事象（図19）の計算も可能となっており、現在ではファンケースの最適化設計に対して積極的に利用されつつある。

また、ファン動翼が飛散した時に発生する荷重は、多くの静止系部品にとって最も厳しい荷重の一つであり、この事象のシミュレーション解析はファンケース以外の部品の最適化設計にも利用できるものである。

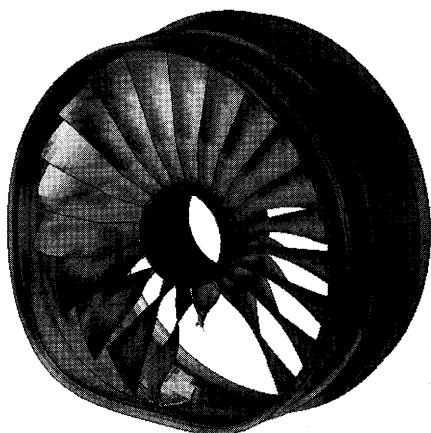


図19 ファンブレードの飛散シミュレーション解析

ファンケースの軽量化においては、コンテインメントエリアの限界板厚を求めるだけでなく、エンジンによってはコンテインメント用のリブを設置することで一般板厚が薄く出来るよう形状的に工夫したり、ファンケースの外側にケブラーを巻きコンテインメント性能を持たせる形態を採用しているものがあり、最新のエンジンではファンケース素材を金属から複合材に変更することによって軽量化を実現しているエンジンも登場してきている。

3.3 制御技術

現在、航空機用エンジンの制御は、コンピュータ技術を活用し、エンジン全体の高度な自動制御を行うFADECの実用化によって、エンジンの始動、定常運転、加減速、停止の全ての制御を自動で行うだけでなく、エンジンの異常発生時における操作やエンジンの監視におけるパイロットの負荷の低減を実現している。

当社では、防衛省の新小型観測ヘリコプタ（OH-1）用エンジンの開発に参画し、我が国初の量産FADEC（図20）を開発した。このFADECは、当社が独自開発した制御系設計手法である α パラメータ制御系設計手法に基づく高い外乱特性を有するフィードバック制御、吹き消え検知・自動再着火などの異常検知と回避機能、2重冗長系+自己診断機能によるフェイルセーフ機能などの特長を有し、航空機エンジン用としての高い性能と信

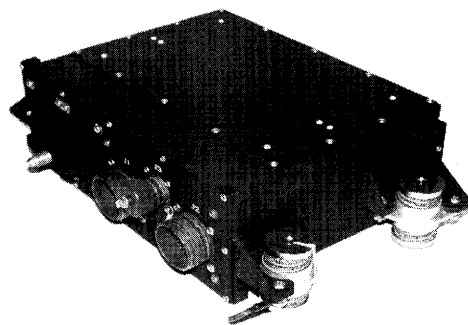


図20 新小型観測ヘリコプター搭載FADEC

頼性を実現した制御装置として、現在も継続して製造・運用されている。

今後の航空機用エンジンの制御装置は、コンピュータ技術を生かした航空機の飛行制御との統合化により、機体システム全体としての機能・性能の向上を目指し、複雑で大規模なシステムへと発展していくものと考えられている。

これに対し、当社では、航空機の飛行制御と結合させることで、機体システム全体としての性能、機能の最適化を図るためのシステム統合技術であるIFPC（Integrated Flight and Propulsion Control）技術に関する研究の一端として分散制御に関する研究を実施している。分散制御は、システムをスマート機器や小規模制御装置等により分散させ、複雑化するシステムに柔軟に対応しつつ、さらなる高性能化を実現できる技術として期待されている。

今後、当社では、高い制御技術とFADEC開発技術を基盤として、電子システムの観点から、さらに航空機を高性能でかつ安全で扱いやすいものとなるよう、システムの高度化を目指している。

4. あとがき

本特集では、当社の「飛行機を飛ばす」製品とその製品開発を支える要素技術の一端を紹介したが、これからもガスタービン技術を絶え間なく向上させ、空・海・陸の世界市場に向けて、環境に優しい世界トップレベルのガスタービンを開発・市場投入することで、世界の人々の豊かな生活と地球環境の未来に貢献していきたい。

特集：産業としての航空（飛行機を飛ばす製品たち）

空飛ぶ三菱のエンジン製品 PWエンジンとRR-Trent1000エンジン

鈴木 洋一*1
SUZUKI Yoichi

1. はじめに

三菱重工の航空機エンジン事業は1952年に、R2000等の航空機用ピストンエンジンの修理作業にて再開した。暫くしてJ3の開発、航空機始動空気源用としてGCM1Bガスタービンコンプレッサの開発、YS-11用DART-10の修理、ターボシャフトエンジン、小型ターボエンジンの製作、修理を行った後、1971年にC-1輸送機用のエンジンとして選定されたJT8Dスタンダードエンジン（JT8D-STD）の生産を開始した。この時期から当社とPratt & Whitney社との関係が深まり、当社の民間航空機エンジン事業はPratt & Whitney社のエンジンプログラムに参画することで拡大していった。JT8D以降にPratt & Whitney社が開発したすべての民間航空機エンジンに携わってきたが、ボーイング787用エンジンの選定からPratt & Whitney社が離脱したことが転機となり、2004年にRolls Royce社のTrent1000プログラムに参加し今日に至っている。ここでは、当社が参加してきたPratt & Whitney社エンジンとTrent1000エンジンでの当社担当部位について述べる。

2. Pratt & Whitney社エンジン

2.1 JT8Dエンジン

JT8D-STDはPratt & Whitney社がJ52ターボジェットエンジンをベースに民間機用に開発したターボファンエンジンで、推力62.2kNから77.4kNをカバーしている。ボーイング社の727に搭載された後737-100 / -200及びDC-9に搭載され、現在までに、10,000台以上が生産され、4,500機以上の機体に使用された。しかし、騒音規制により、運行機体数は減少していったが、騒音を低減するハッシュキットが開発され、相当数のエンジンが現在も運行されている。当社は1971年にC-1用のJT8D-STDの生産を開始し、1981年に本機生産を終了した後、運用維持交換部品の生産に移行した。一方で、Pratt & Whitney社と民間用生産契約を結んでおり、ディスク等の生産を行っている。図1にJT8D-STDと当社生産部品を示す。ディスクは運用中に破壊した場合、ケースによるコンテインメントが出来ないため、機体の損傷に

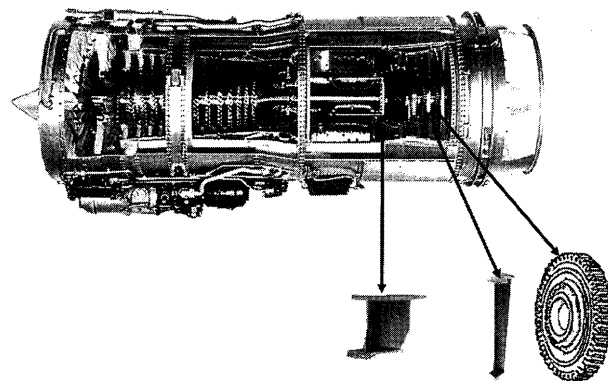


図1 JT8D-STD

つながる。そのため、素材、加工、検査の基準が厳しく設定されているが、特にチタン合金を材料とするディスクは、加工条件による表面品質が影響され易く、特別な加工条件の設定と、検査が要求されている。1990年の後半に、後述するJT8D-200にてディスクのバーストによる事故が発生し、運用中の全てのエンジンに対して、特別検査が実施されると共に、当社の部品生産工程においても、検査等の再確認が実施された。JT8D-STDは727にて就航し、順調に運行台数が増加していったが、更に需要にこたえるためには、Stage 3の騒音規制対応と、燃料消費改善が必須であった。これに対応するためには、ファン径を大きくしてバイパス比を上げる必要があり、JT8D-200が開発された。JT8D-200は新型ファンと改良型タービンにより、82.2kNから96.5kNの推力をカバーしているが、また燃焼器を改良することにより、NO_xとスモークを低減している。本エンジンはMD-80の唯一のエンジンとして搭載されており、2900台以上が生産されている。その後、騒音を低減するハッシュキットが開発され、Stage 4の騒音規制まで対応可能となり2000台近いエンジンが現在も運行されている。当社はJT8D-200エンジンのプログラムに参画しディスク以外に、低圧タービンケース、ブレードを担当することとなった。低圧タービンケースは内部にベーンおよびシールが組みつくため、複雑なフック加工と耐摩耗処理が施されている。本エンジンのブレードは外観上は最近のブレードの設計概念と大きな差異はないが、当時の鋳物技術の限界のため、翼後縁厚さは、厚いものであった。図2にJT8D-200エンジンと当社の主要生産部品を示す。

原稿受付 2008年6月25日

*1 三菱重工業(株) 名古屋誘導推進システム製作所
〒485-8561 愛知県小牧市大字東田中1200

表1 JT8DおよびPW6000

エンジン	型式	推力	型式証明	エンジン寸法(mm)			ファン部			圧縮機部			タービン部	
				全長	径	ファン径	翼枚数	バイパス比	圧縮比	低圧段数	高圧段数	全圧縮比	高圧段数	低圧段数
JT8D-STD	-STD	62kN-77kN	1964年EIS	3,048	1,080	1013	27	0.96	2.1	2+6	7	16-18	1	3
JT8D-200	-200	82kN-96kN	1979年	3,914	1,390	1250	34	1.74	1.9	1+6	7	17.1-21	1	3
PW6000	PW6122A/ PW6124A	80kN-107kN	2004年	2,748	1,585	1,435	24	4.8-5.0	-	1+4	6	26.1-28.2	1	3

表2 高バイパス比ターボファンエンジン

エンジン	型式	推力	型式証明	エンジン寸法(mm)			ファン部			圧縮機部			タービン部	
				全長	径	ファン径	翼枚数	バイパス比	圧縮比	低圧段数	高圧段数	全圧縮比	高圧段数	低圧段数
JT9D	-7	202kN-210kN	1969年	3,255	2,427	2,325	46	5.1	1.6	1+3	11	21-22	2	4
	-7R4	213kN-249kN	1980年	3,371	2,463	2,355	40	4.8	1.7	1+4	11	23.4-26.7	2	4
PW2000	PW2037他	170kN-191kN	1983年	3,592	2,154	1,994	36	5.3	1.7	1+4	12	27.4-31.9	2	5
PW4000-94	PW4060他	222kN-276kN	1986年	3,371	2,463	2,377	38	4.8-5.1	1.7	1+4	11	26.3-32.0	2	5
PW4000-100	PW4168他	285kN-308kN	1993年	4,143	2,718	2,535	34	5.1	1.8	1+5	11	35.4	2	5
PW4000-112	PW4084	376kN	1994年	4,868	3,001	2,845	22	6.4	1.7	1+6	11	34.2	2	7
	PW4098	436kN	1999年	4,945	3,035	2,868	22	5.8	1.8	1+7	11	42.8	2	7
GP7000	GP7200	311kN	2006年	4,750	3,150	2,964	24	8.7	-	1+4	9	45.6	2	6

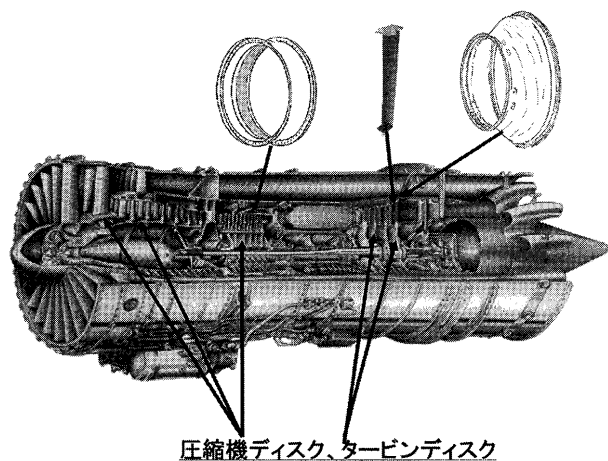


図2 JT8D-200

また表1にJT8Dとその後継に位置づけられるPW6000(後述)の仕様を示す。

2.2 JT9Dエンジン

JT9Dエンジンは、Pratt & Whitney社による初めての民間広胴機用の高バイパスエンジンであり、747に搭載されたあと、767、A300、A310、DC-10に搭載されている。JT9Dは707、DC-8に搭載されていたJT3Dと比較すると、単段の改良型ファンブレードを採用して、バイパス比が飛躍的に大きくなっている。またタービン入り口温度はJT3Dの900℃レベルから、1350℃レベルまで高温化が進められ、新材料を使用した空冷翼が採用された。燃焼器も軸長を短くしながら、高温化と排気改善が行われている。JT9D-7R4モデルではワイドコードファンが新たに開発され、高圧タービン1段には単結晶材が採用されている。またJT9D-7R4には2台のエンジンを搭載する機体用として180分のETOPS (Extended-range Twin-engine Operations) が承認されている。当社は

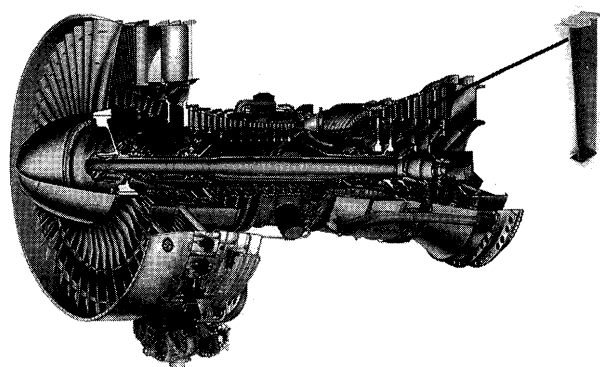


図3 JT9D-20

JT9Dの低圧タービンブレードの製造を行った。図3にJT9Dエンジンの概要を示す。また表2にJT3D以降のPratt & Whitney社の民間広胴機用の高バイパス比ターボファンエンジンの仕様を示す。

2.3 PW2000エンジン

PW2000はJT10Dの推力を757用に増大したエンジンで、推力164.5kNのPW2037が開発されたが、後に推力が191.1kNに増強されたPW2043が開発されている。当社は燃焼器の他に高圧圧縮機ケースおよび、ディスクを担当している。図4にPW2000の概要と当社の担当部位を示す。

2.4 PW4000エンジン

PW4000エンジンはJT9Dの後継エンジンとして開発され、搭載される機体に対応した推力を得るために、ファン径が94インチのPW4000-94、100インチのPW4000-100、112インチのPW4000-112の3シリーズが開発されている。PW4000-94はA310-300、A300-600、747-400、767-200 / -300および、MD11に搭載され、

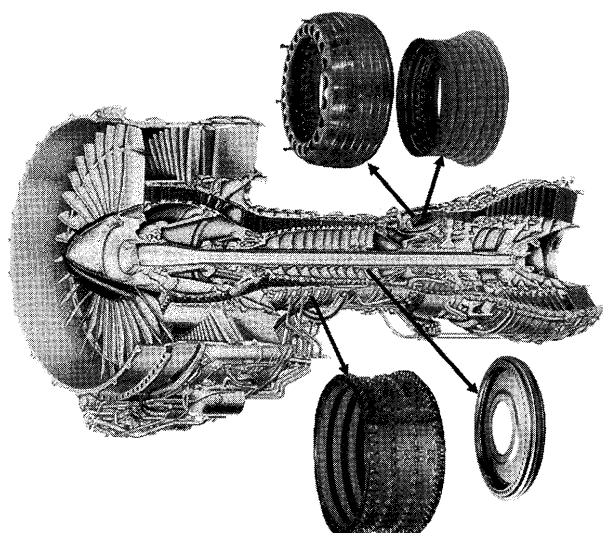


図4 PW2000

PW4000-100はA330に搭載され、PW4000-112は777に搭載されている。PW4000-94が最初にベースエンジンとして推力231.2kNから275.6kNをカバーするエンジンとして開発された。JT9Dと比較すると、ファン径、エンジン長さはほぼ同じであるが、高回転の圧縮機により圧力比が高められ、高圧タービンには改良単結晶材等の先進材料が導入されている他、ACC (Active Clearance Control) によりタービンの性能を向上させ、FADEC (Full-Authority Digital Electronic Control) によるエンジンの効率的なコントロールで燃料消費率の低減と信頼性を向上させている。また部品点数はJT9Dと比較して約半分となり、メンテナンスコストを下げている。続いて開発されたPW4000-100は推力範囲を286.7kN-304.9kNまでカバーしている。推力を増大させるために、100インチファンが採用され、低圧圧縮機、低圧タービンが変更された。また燃焼器にはFLOAT-WALLと呼ばれるセグメント式ライナーが採用されている。本エンジンはPW4000-94の運行経験が開発に反映されており、商用就航前に90分のETOPSの承認が与えられその後180分に延長されている。その後続くPW4000-112は推力範囲が大きく増大したことに伴い、ファン径が112インチに変更された。ファン動翼は従来のスナバーつき中実ファンに変わり、超塑性成型、拡散接合を用いた中空ワイドコード翼が用いられ、空力性能の改善、耐久性の向上が図られている。高圧圧縮機の段数はPW4000-94と同じであるが、最新の空力設計翼採用により、大幅な性能改善が達成されている。圧力比が上昇し、タービン入口温度が1640℃レベルまで高くなるため、先進単結晶材料の導入等が図られている。PW4000-112は、373kN推力のPW4084、400kN推力のPW4090、435.6kN推力のPW4098が順次開発されている。

当社は1987年にPW4000エンジンプログラムへの参画を開始し、その後順次担当範囲を拡大、10%シェアでプ

ログラムリスクを持つパートナーとなっている。低圧ブリードダクト、高圧圧縮機ケース、燃焼器モジュール部品、低圧タービン部品、及びACCマニホールドを担当している。ブリードダクトはブリード空気流量の調整機能を持つ複雑な部品で、かつ径が大きいため素材を含め寸法の管理に労力を要している。PW4000-94およびPW4000-100の高圧圧縮機ケースは当初、一体型構造のケース内部に分割されたセグメントが取り付けられ、圧縮機ブレードとの隙間を確保する構造になっていたが、運用中に圧縮機のサージが発生したため、改良設計が必要となった。後で開発されたPW4000-112の高圧圧縮機ケースは、各段毎に独立したリングタイプに変更されて、このリングタイプのケースの採用により、PW4000-112の圧縮機の対サージ性能が大きく改善されている。そのためこのリングタイプのケースはPW4000-94及びPW4000-100のサージ対策として採用され、運行されている大部分のエンジンのケースがこのリングタイプに交換されつつある。燃焼器モジュールの主要部品は燃焼器と燃焼器ケースである。PW4000シリーズで燃焼器担当となったことは、当社の民航エンジン事業での大きなステップとなった。以後、燃焼器は当社の基幹部品となり、継続して以後のエンジンでも担当することとなる。現在就航中のPratt & Whitney社の中型および大型民航エンジンであるPW2000、V2500、PW4000、PW6000の燃焼器はすべて当社が担当している。PW4000-94の燃焼器はロールドリフトと呼ばれるリング状部品を組み立てた構造となっている。PW4000-100、PW4000-112の燃焼器は、FLOAT-WALLと呼ばれるセグメントライナーで構成されるもので、セグメント化による、耐久性の向上及びメンテナンス性に優れている。最大推力モデルであるPW4098ではNO_x低減のために改良エアブラスト方式の燃料ノズルを採用したTALON (Technology for Advanced Low NO_x) 燃焼器が開発された。このTALON燃焼器はPW4000-94、PW4000-100用にも開発され、NO_x低減のためのオプションとして従来の燃焼器との交換が可能となっている。燃焼器ケースは燃焼器部の高温、高圧ガスを保持するため耐熱合金で出来ており、素材製造、加工いずれも先進技術が適用されている。燃焼器部位では上記以外に、ベアリング室周りの空気、オイル配管類があるが、これらはエンジン外部からは目立たないが、エンジンの運転機能に直接影響を及ぼす重要な部品である。低圧タービン部品は、ブレード、ノズルガイドベーンおよびディスクを担当している。PW4000-112の開発では低圧タービンの設計はMTU社が担当することとなり、低圧タービンの形状はPW4000-112で大きく変わった。素材は高温化に対応するために先進材料が使用されている。ACCマニホールドは高圧タービンケースおよび低圧タービンケースにファン出口空気を吹き付ける微細な孔が空けられたチューブから構成される。高圧タービンケース用の

チューブはケース上のボスを迂回して取り付けられるため、複雑な形状をしており、通常の板金成型と溶接の組み合わせでは製造が困難のため、高圧油圧成型法が用いられている。当社のPW4000シリーズの主要担当部品とエンジンの概要を図5、図6、図7に示す。なお本エンジンシリーズではPW以下の4桁数字にて、搭載機体と推力を示しており、ボーイング用エンジンは40、エアバス用は41、マクダネルダグラス（後にボーイング）用は44が与えられ、下の2桁は推力のkポンドを示している。

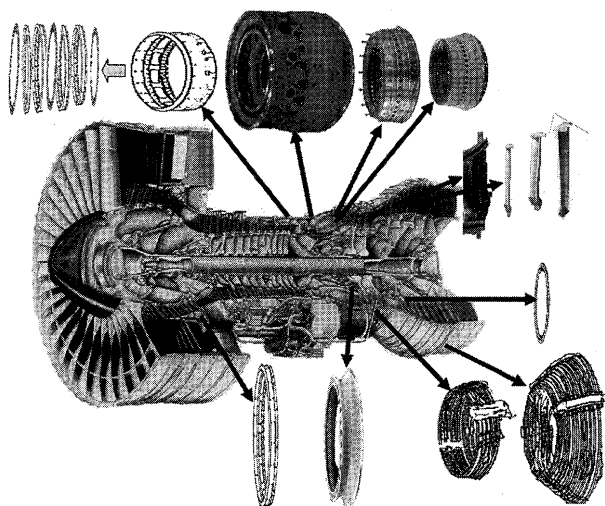


図5 PW4000

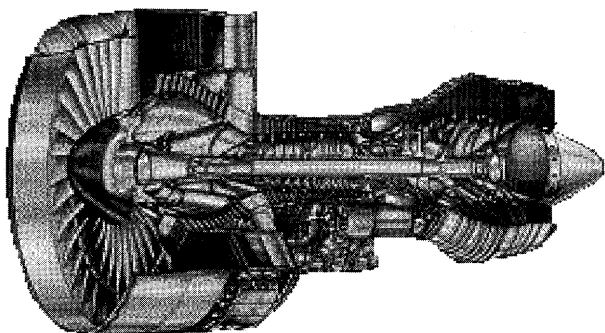


図6 PW4000-100
当社担当部位はPW4000-94と同等

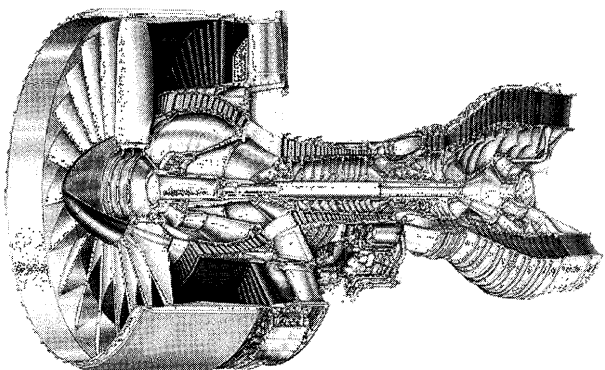


図7 PW4000-112
当社担当部位はPW4000-94と同等

2.5 GP7000

GP7000はPratt & Whitney社のPW4000の低圧系とGE社のGE90の高圧系を組み合わせ、A380用に開発されたエンジンで推力は340kNから363kNをカバーしている。ファン径116インチ、バイパス比9.1でPratt & Whitney社としては最大のファンである。当社は低圧系のブリードダクトを製造している。図8にGP7000の概要を示す。

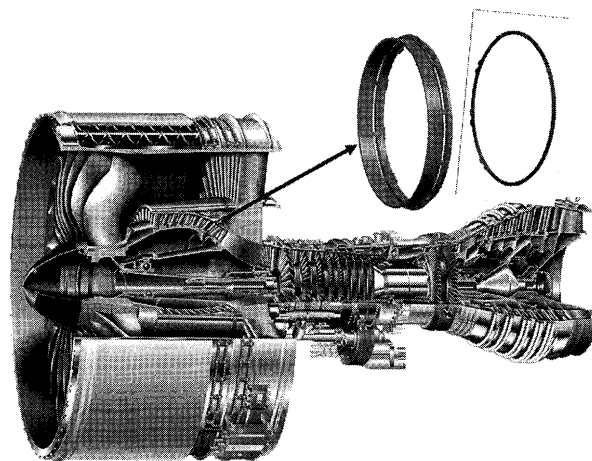


図8 GP7000

2.6 PW6000

PW6000は100席用狭胴機A318のエンジンとして開発され、推力98.3kNから105.9kNのターボファンエンジンである。LAN航空が本エンジンを採用し、商業運行が開始されている。このエンジンはエアラインの運用コストを下げることを主眼に開発されたエンジンで、部品点数を少なくするために、圧縮機、タービンの段数を下げ、また異物吸い込み時の損傷を軽減する構造とし、シンプルな燃焼器構造を採用することで、維持コストの低減、耐久性向上を実現している。一方で環境基準に対しては十分なマージンを持つ設計となっており、騒音はStage 4を、排気ガスはCAEP 6（Committee on Aviation Environmental Protection）の基準を十分下回る設計となっている。当社は本エンジンの燃焼器モジュールと低圧タービンプレードを担当している。燃焼器モジュール

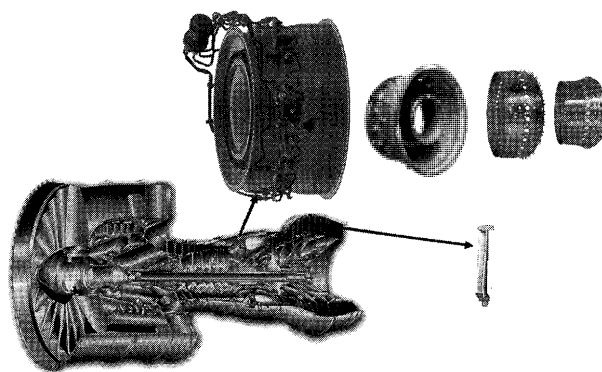


図9 PW6000

は、燃焼器、燃焼器ケースの他、ベアリングコンパートメント、配管類、サポートケース等から構成され、これらをモジュールに組み立てている。図9にPW6000の概要と、当社の担当部位を示す。

3. V2500

1983年に日本航空機エンジン協会の一員として、V2500に参画した。Pratt & Whitney社との協業関係にあった当社は、ファン部位以外に、Pratt & Whitney社の担当である高圧タービン部位に含まれる高圧タービンケース、ならびにACCシステムを担当した。ACCシステムはファン出口の空気を取り入れるダクトと、流量を制御するバルブシステム及び、その取り入れた空気を高圧タービンケース周りに導入し、ケースに吹き付けて冷却するためのチューブから構成される。バルブシステムは、バルブ開閉機構と、それを制御する電気サーボ、燃料作動アクチュエーターから構成される。高温下でエンジン振動が付加される過酷な条件で使用されるために、システムの型式証明取得の試験には厳しい環境が付加され、耐久試験を繰り返し実施している。さらに商用運行に入ってから、耐久性能改良を先取りするために、耐久試験を相当期間続けた。高圧タービンケースは、ACCシステムを通して、運転条件に対応した流量に制御された、冷却空気にて冷却される。これにより、ケースの熱的に収縮する量と、内側のブレードの伸び量とが、運転条件に対応して制御され、ブレードとケース（正確にはケース内部に取り付けられたシール）との間隙を最適値に保ち、タービンの効率を向上させることが出来る。ケースは高温高压ガス保持器であり、ブレード飛散時のコンテインメント機能を持つが、さらにACCシステム冷却による半径熱収縮が効果的に実現する構造となっている。

4. Trent1000

Trent1000はRolls Royce社が787用として開始した推力236.4kNから311.1kNをカバーするエンジンで、一機種にて、短距離用787-3、長距離用787-8、ストレッチ長距離用787-9に対応する設計となっている。JT8D以降、当社とパートナーの関係を維持してきたPratt & Whitney社が、787用エンジンの選定から離脱し、Rolls Royce社

とGE社がエンジンサプライヤーとなった。当社はRolls Royce社とTrent1000プログラムでのパートナーシップについて協議を重ね、最終的に燃焼器を当社が担当することで参画に至った。Trent1000は、既存のTrentシリーズの技術をベースにしており、当社が担当する燃焼器もTrent900の構造を踏襲したTiled Combustorと呼ばれるもので、鑄造タイルを燃焼器内側に取り付ける構造をしている。排ガス性能を一層向上させるために、燃焼空気、冷却空気を制御する孔等に、改良が行われている。CCOC（Combustion Chamber Outer Case）と呼ばれる燃焼器ケースはRolls Royce社にとって、初めての、一重ケースであるが、高温高压ガス容器であるため、その設計要求はもっとも厳しいクラスに分類されている。そのため、素材、加工いずれも厳しい検査と工程管理を実施している。燃焼器の他に、当社は低圧タービンブレードの1段から6段までを担当している。ブレード設計には最新の3次元設計翼が採用され、薄い翼厚設計となっている。図10にTrent1000での当社担当部位を示す。

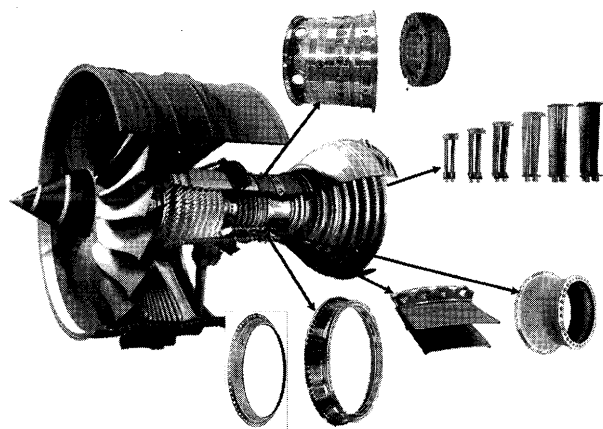


図10 Trent1000

5. 終わりに

三菱重工における、民間航空機エンジン事業の歩みと、かかわってきたエンジンおよびその部品について紹介した。今後も民間航空機エンジンのマーケットは拡大してゆくことがほぼ確実であり、当社の設計、製造規模を一層拡大して行くことで本分野の発展に貢献してゆく所存である。

特集：産業としての航空（飛行機を飛ばす製品たち）

スラストリバーサカスケード（CFRP）

宮路 浩司^{*1}
MIYAJI Hiroshi

キーワード：カスケード，CFRP，スラストリバーサ，航空エンジン，ターボファンジェット

1. はじめに

航空技術の進歩に伴い、航空機はより大型になり、またエンジンの出力およびバイパス比の増加と相まって、ますます効率よく乗客や貨物を運べるようになった。空港、それも滑走路という地球規模で見れば非常に限定的な空間でしか離着陸できない航空機にとり、短距離での着陸能力は、空港の選択・路線開設の柔軟性といった、利用者の利便性向上に欠かすことができない。特に大型航空機を短距離で安全に停止させるため、カスケードを使用した逆噴射装置が一般的になってきた。“逆噴射”という言葉が知られている一方、その機構および種類、そして逆噴射装置の部品であるカスケードについては、ほとんど知られていない。日機装では数々の機種のエンジンに対し、逆噴射装置の部品であるカスケードをCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic＝炭素繊維強化樹脂）で製作してきた。本稿では普段目にすることが少ない、逆噴射装置（スラストリバーサ）およびカスケードについて紹介する。

2. 着陸時の減速

航空機を含め乗り物の停止方法として最もシンプルな方法は、ホイールブレーキである。我々が普段使用している自動車の機構と同様、ディスクローターをブレーキパッドで挟み、タイヤと地面との摩擦力で停止する方法である。しかしながら自動車よりはるかに重く、高速で着陸する航空機の場合、自動車とは比較にならないほど長い停止距離を必要としてしまう。従ってホイールブレーキのみの減速機構しか持たない場合、雨天・凍結などの過酷な状況においては滑走路内で停止できないことも考えられる。

路面状態に左右されない減速方法のひとつに、ドラッグシュートがある。機体の最後部に格納された減速目的のパラシュートを放出し、空気の抵抗を利用して停止する。スペースシャトルの帰還シーンでよく目にするこの機構は、軽量で効果的である。しかしドラッグシュート

それ自体が非常に傷つきやすく、毎回再使用に備え破損箇所の点検や射出機構への再格納作業を必要とする。さらにドラッグシュートを展開した場合、切り離さない限り飛行機が制御不能になることから、旅客機には不向きな停止装置であるといえる。

また、降着装置に網やワイヤーを引っ掛けて停止させる、路面状態に左右されない減速方法もある。滑走路にダンパー等を介して取り付けられたワイヤーや網を、降着装置や牽引フックに引っ掛けることにより、航空機のブレーキを使用せず短距離で停止させることができる。しかしながら急減速するため停止装置および機体に多大なストレスを与えることから、旅客機に使用するにはあまりに過酷な機構である。

これらの理由からなるべく外部の装置や念入りの点検を必要とする機構に頼ることなく、短距離着陸を可能とする装置として開発されたのが逆噴射装置である。これには大別してPostexitタイプとカスケードタイプの2つの機構に分けられる。エンジンのバイパス比によって適切な機構があり、近年の高バイパス比化に伴い逆噴射装置にはカスケードタイプが採用される場合が多くなってきている。

3. バイパス比とその逆噴射装置

近年バイパス比が10を超える、ジェットエンジンを搭載した航空機が登場している。バイパス比とは「高速プロペラあるいは多翼ファンを通過する流量」を「タービンコアを通過する流量」で除した値のことであり⁽¹⁾、一般的に比が大きいほど推力あたりの消費燃料が少なく、同時に騒音も減少する。

1) ターボジェットエンジン及び低バイパス比エンジンの場合

ターボジェットエンジンの特徴は、ガスタービンコアの流量のほとんどが排気ジェット推力となることにある。そのため逆噴射として利用できる推力は排気口からの高温のジェット排気であり、ジェット排気を直接遮断・制御して前方へと噴出させるPostexitタイプが最適な装置であった⁽²⁾。ナセル後部に格納された耐熱合金製の貝殻

原稿受付 2008年6月3日

*1 日機装株式会社複合材カンパニー 複合材製品工場技術部
〒421-0496 静岡県牧之原市静谷498-1

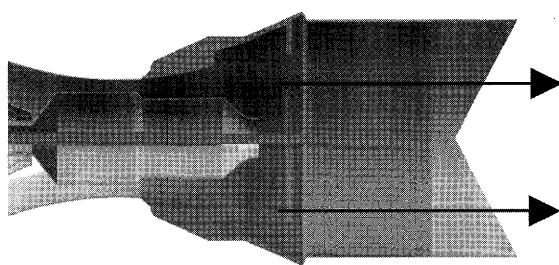


Fig. 1 a Postexitタイプ逆噴射装置通常状態

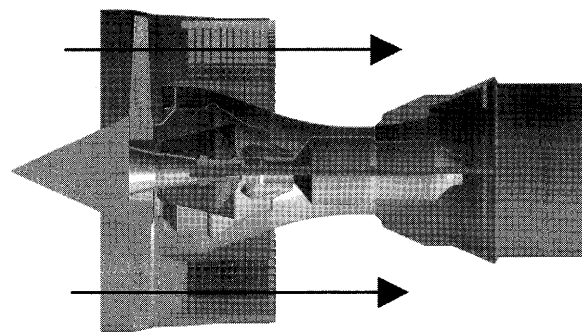


Fig. 2 a Cascadeタイプ逆噴射装置通常状態

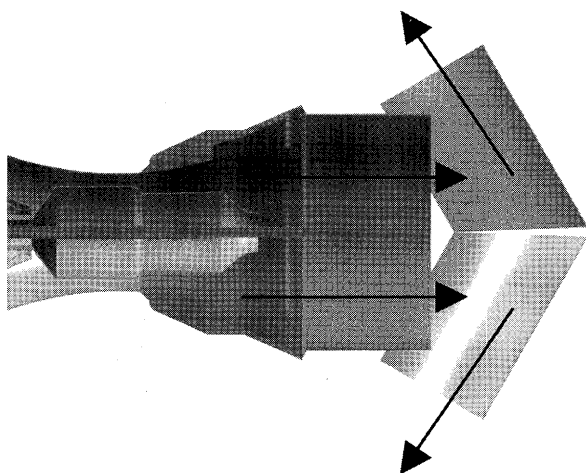


Fig. 1 b Postexitタイプ逆噴射装置作動状態

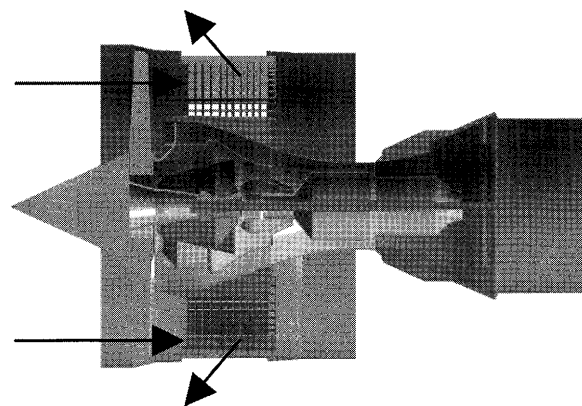


Fig. 2 b Cascadeタイプ逆噴射装置作動状態

形状の装置は、着陸時に展開してガスタービンエンジン後部へのジェット排気を完全に遮断する。遮断されたジェット排気はそのまま進行方向へと噴出され、逆噴射装置として機能する (Fig. 1 a, Fig. 1 b)。

2) 高バイパス比のターボファン・ジェットエンジンの場合

ターボファン・ジェットエンジンはガスタービン出力の大部分をバイパスファンの回転力に使用しているため、推力をバイパスファンから得ている。この逆噴射装置はバイパスファン後部をせき止め、ファンカウルの後部を後退させて生じた開口部からバイパスファンを通過するエアーを放出する。その際カスケードによりエアーが進行方向へと噴出される (Fig. 2 a, Fig. 2 b)。

初期の航空機用ガスタービンエンジンでは、バイパスエアーを利用したカスケード式逆噴射装置とタービンコアからのジェット排気を使用したPostexitタイプの逆噴射装置とを併用していたものもあった。しかし近年はバイパス比の増大により逆噴射装置の推力が増加するにつれ、カスケード式の逆噴射装置が増え、カスケードに対しても従来以上の強度が要求されてきている。

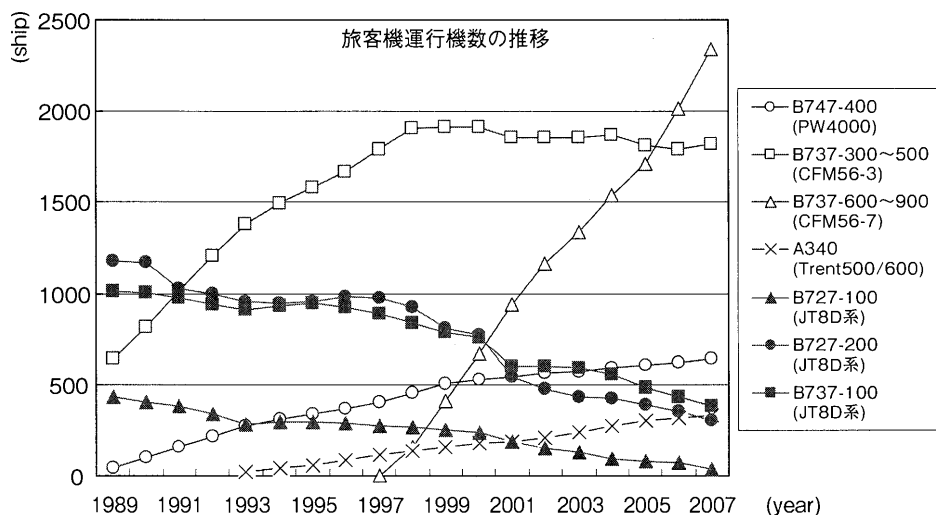
4. 代表的なカスケード式エンジンと開発

ジャンボジェットの愛称で知られるBoeing 747型機が空に舞った1980年代、Boeing 737型機のような小型ジェット旅客機の世代交代がなされた1990年代、そして更なる高バイパス比エンジンが登場した2000年代と、

カスケード式逆噴射装置を採用したエンジン搭載機が増加している。旅客機運行機数の推移に示されるように、JT8Dに代表される低バイパス比エンジンを搭載した航空機は減少傾向にあり、それらの航空機はPW4000, CFM56, Trent 500/600といった高バイパス比エンジンを搭載した航空機にとって替わられている (Fig. 3)。

日機装における、最初のCFRP製カスケードはPW4000用カスケードである。それ以前のカスケードはアルミニウム合金またはマグネシウム合金製であったため、繰り返し使用による疲労を原因とした亀裂が発生することがあった。逆噴射装置メーカー各社とも疲労強度が高く軽量のCFRP製カスケードの開発を進めていたが、複雑な形状のため製作することが難しかった。そのような中、日機装は顧客と協力しCFRP製カスケードの開発に成功した。カスケードは通常使用の逆噴射および、離陸中止時における緊急停止推力にも耐えなくてはならない⁽²⁾。これらの性能は認定試験にて確認される。このPW4000向けCFRPカスケードは通常使用の噴射および緊急停止噴射を織り交ぜた200サイクルもの逆噴射装置の認定試験に合格し、既存のアルミ製カスケードがCFRP製カスケードへと置換されるきっかけとなった。

1990年代にはCFM56-3カスケードの開発が行われた。このカスケードは初めて日機装で製品を設計し、強度解析および認定試験を実施したエポックメイキングともいえる製品である。製品はカスケード本体とカスケード間のギャップを塞ぐ目的のアングルから構成されており、

Fig.3 ジェット旅客機の運行状況推移³⁾

CFRPで製作された両者をファスニングにて接合している点が特徴である。さらに認定試験では静荷重試験の他、75,000回におよぶ疲労試験を行い、全ての試験をパスした。現在は同エンジンの派生型であるCFM56-7⁴⁾を搭載した737 New Generation向けカスケードの生産が主となっており、このカスケードはエンジンがCFM56-3からCFM56-7へと変更されたことに伴い、より効率よく大型化された完全新設計品となっている。

2000年代には日機装として初めてAirbus社向けA340のエンジンに搭載されるカスケードの開発が行われた。Rolls-Royce社のTrent 500/600向けカスケードでは耐熱要求が引き上げられるという、製品の仕様に大きな変化があった。室温における材料の状態と成形が完了した製品状態とを詳細に比較分析することで、硬化過程における樹脂流動を予測し、最適な形状設計が可能となった。

5. カスケードの構造と製造工程紹介

カスケードの主要部品は大きく分けて4つの部品から構成されており、いずれもCFRP製とするには複雑な形状をしている。以下にその具体的な部品名称と、役割を

紹介する。

カスケードの構造

1) ストロングバック (縦羽根部)

エンジン中心軸に対して平行に配置された部品であり、逆噴射エアーを周方向へと導く役割を持つとともに、カスケードに発生するストレスを受ける強度メンバーとしての役割を持つ。逆噴射時に吹き抜けるバイパスエアーが機体を直撃せず、また地面の砂塵を巻き上げないように、噴射方向をエンジンに取り付けられる位置によって変えている。

2) ペーン (横羽根部)

エンジン中心軸を取り巻くように配置された部品であり、逆噴射エアーを前方へと導く役割をする。ペーンの出口角度はカスケード内の各位置によって異なっており、必要十分な量のエアーが定められた方向へ噴射されるように設計されている。

3) フォワードフランジ

カスケードを支持部材に取り付ける箇所であり、1枚のカスケードを複数のボルトで支持部材へ固定してい

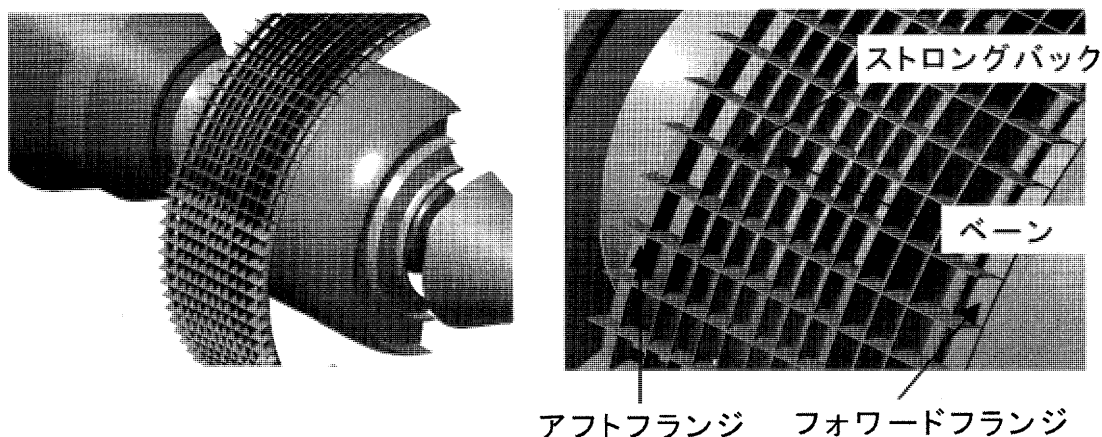


Fig.4 カスケードの部品名称

る。支持部材は金属であることが多いため、接触面には電食防止を目的としてガラス層を設け、絶縁処理を施している。

4) アフトフランジ

カスケードの後端を支持部材に取り付ける箇所である。フォワードフランジと同様に絶縁処理されているが、取り付け相手となるナセルの構造によってはフランジ形状を持たない場合もある。またカスケードによってはアフトフランジや取り付け支持部材そのものが省略され、カスケードそれ自体が構造部材となる設計も見られる。(Fig. 4)

カスケードの製造工程

材料は炭素繊維にエポキシ系の熱硬化性樹脂を含浸させたプリプレグを使用している。プリプレグは納入後、一定のロール毎に受入検査を行っており、仕様通りの特性を有しているか確認される。この受入検査で合格したプリプレグのみがカスケードをはじめとした製品材料として使用される。積層する部品をプリプレグから切り出した後、ハンドレイアップ法にて積層し、真空バッグした後、オートクレーブを使用して成形する。この裁断からバッグまでの工程は異物混入がないように隔離され、同時に温湿度管理された作業室で行われている。成形後のカスケードは図面どおりの形状に機械加工され、全数寸法検査が行われる。検査項目はカスケード1個あたり100箇所を超え、ベーンの出口角度や各部材の厚みが設計どおりの寸法であることが確認される。寸法検査後、強度試験にて要求値を満足した製品が出荷される。

6. まとめ

以上、簡単ではあるがCFRP製カスケードの役割と製造工程について説明した。次期主力旅客機では軽量化を目的とし、従来以上に多くの部材がCFRPで製造される傾向にある。一方エンジンの燃焼効率向上のためエンジン内部温度の上昇が予想され、CFRPカスケードにとっては非常に過酷な環境になることから、今後はより耐熱性を有する材料を開発し最適な製造方法を研究する必要がある。またCFRPは金属材料と比較し、リサイクル性に乏しい。破碎して再利用をする場合、繊維が切断されているため強度部材に再使用することが難しく、また繊維の切断を回避するためにCFRP製品から樹脂成分を除去する場合、除去方法に多くのコストがかかる。

今後は更なる耐熱性を付与し高性能化されたCFRP製品の開発と、地球環境を十分に配慮した資源循環型CFRPの開発が、メーカーとして取り組むべき課題になると考える。

参考文献

- (1) 長島 利夫, ガスタービンの発明と技術変遷－航空用エンジンを主テーマにして－, 日本ガスタービン学会誌 Vol.32 No.2 (2008), p8
- (2) Treager, Aircraft Gas Turbine Engine Technology Third Edition, (1999), pp217-224, pp444-462, GLENCOE.
- (3) 財団法人 日本航空機開発協会, 航空機関連データ集, 第Ⅱ章 航空機材の推移と現状.
- (4) 木佐貫 勇次, ボーイング737ネクストジェネレーションの概要, 航空技術 No.608, (2005), pp23-24

特集：産業としての航空（飛行機を飛ばす製品たち）

航空機に適用されているわが国の製品群（装備品）

杉田 明広^{*1}
SUGITA Akihiro

キーワード：航空機用装備品、油圧システム、アビオニクス、降着システム、客室機内システム

1. はじめに

わが国の航空機関連産業は第2次世界大戦の戦後処理により、航空機関連企業及び研究機関等は解散し、各種設備等もすべて廃棄されてしまった。わが国の航空機関連産業は1952年まで一切の活動を禁止され、不遇の時代をすごしていた。その後、わが国の航空機用装備品は米軍機用機器の修理等から始まり、防衛庁（現防衛省）機のライセンス生産により本格化し、国内開発も行われるようになったが、世界的なレベルからの遅れは著しく、

近年では航空機本体（機体）の受注はB787、A380等により好調であるにもかかわらず、平成18年度の航空機用装備品の生産額は1,661億円であり、航空機産業全体の生産額1兆1,388億円の約15%にとどまっている。しかも、装備品生産額の7割を防衛機が占めており、民間航空機への装備品生産額は非常に少ない状況にある。

近年のボーイング機への装備品納入状況を表1に、エアバス機への納入状況を表2に示す。最近のボーイング社の調達方式変更により、ボーイング機への装備品供給

表1 ボーイング機への装備品納入状況⁽¹⁾

機種名	参画日本メーカー	部位	参画形態
B767 (210～250席)	三菱重工業 カヤバ工業 小糸工業 小糸製作所 島津製作所 ジャムコ 神鋼電機 住友精密 ソニー ナブテスコ 天龍工業 東京航空計器 東芝 日本航空電子 松下電器 三菱電機 ミネベア 横浜ゴム	主脚扉作動用機器（B767-400） 脚作動用油圧部品 座席 照明機器 フラップ駆動用部品、主脚扉作動用機器 ギャレー、化粧室 電動モーター 脚部品 機内ビデオ装置 フライトコントロールシステム作動用機器 座席 予備高度計 計器表示ブラウン管 加速度計 機内娯楽装置 各種制御弁、計器表示ブラウン管 小型モーター 飲料水タンク	サブコン・サプライヤー
B777 (350席)	カヤバ工業 島津製作所 ジャムコ 住友精密 ソニー ナブテスコ ブリヂストン ホシデン 三菱重工業 横浜ゴム	脚作動用装置、アキウムレーター 主脚作動用機器、貨物扉作動用機器、他 化粧室 脚部品 客室オーディオシステム フライトコントロールシステム作動用機器 タイヤ 液晶表示装置（LCD） 主脚扉作動用機器、前脚ステアリング機器、 前脚扉作動用機器、胴体扉作動用機器 飲料水タンク	サブコン・サプライヤー
B787 (200～300席)	ジャムコ GS Yuasa ナブテスコ ブリヂストン 松下アビオニクス	化粧室 リチウムイオンバッテリーシステム 電源ラック&パネル タイヤ キャビンサービスシステム	サブコン・サプライヤー

原稿受付 2008年6月2日

*1 (株)日本航空宇宙工業会

〒107-0052 東京都港区赤坂1丁目1-14

表2 エアバス機への装備品納入状況⁽¹⁾

機種名	参画日本メーカー	部位	参画形態
A330/A340 (253~335席)	住友精密 ブリヂストン 横河電機	脚作動用装置 脚用タイヤ (A340-500/-600) 液晶表示装置 (LCD) (A340-600)	サブコン・サプライヤー タレス・アビオニックスの下請け
A380 (555席)	ジャムコ 横浜ゴム 横河電機 カシオ計算機 ブリヂストン 松下アビオニクスシステムズ 小糸工業 住友精密 コミー	ギャレー 貯水タンク、浄化槽タンク、新型プリブレグ ディスプレイモジュール 薄膜トランジスタ、液晶パネル 脚用タイヤ エンターテインメントシステム 座席 主翼脚のギア引き込み固定装置 手荷物棚ミラー	タレス・アビオニックスの下請け タレス・アビオニックスの下請け

は大きく後退している。エアバス社向けは順調ではあるが、エアバス社も調達方式の変更を表明しているため、次開発機では非常に厳しくなることが予測される。

2. わが国の装備品状況

航空機で使用される主要装備品は大きく分けて次の8つのシステムに分類される。

- ・油圧システム
- ・与圧・空調システム
- ・燃料システム
- ・推進システム
- ・アビオニクスと飛行制御システム
- ・電源システム
- ・降着システム
- ・客室機内システム

システム毎の概要を2.1項以降に述べるが、先行する海外企業がボーイング社等の指導を受けてシステムレベルでの受注合戦を繰り返しており、企業買収などのM&Aにより自社のテリトリを広げることによって生き残ってきた。わが国企業の技術的水準は格段に向上しているが、海外市場参入にはまだまだ多くの課題を残している。

2.1 油圧システム

航空機における油圧機器システムは稼動部分を遠隔制御する方法として、操縦系、高揚力装置、降着装置等に使用されているが、航空機の高性能化、構造の複雑化、経済性、安全性の追求等によって、軽量化、コンパクト化及び信頼性の向上が要求され、油圧の超高压化、高応答性能化などの改良が急速にすすんでいる。

技術面では、油送配管などの重量軽減のために、高压・超高油圧システム（4,000~5,000, 8,000~10,000PSI）の開発が推進されており、A380やB787では5,000PSI方式が採用されている。また、フライ・バイ・ライト（FBL：Fly By Light）、全電気式航空機（AEA：All Electric Aircraft）等の技術動向に対応できるようにコントローラを一体化したマイコン組み込み型スマートアクチュエータや電気油圧式アクチュエータ（EHA：

Electro Hydrostatic Actuator）などの開発が重要課題となっている。日本ではナブテスコなど数社がEHAの技術開発を行っている。

航空機用油圧機器の供給メーカーとしては、世界に8社程度の主要メーカーがあるが、外国メーカーが多く、これらが世界市場の大きな部分を占有している。我が国メーカーも、かなり高い技術力を蓄積してきている。B777では欧米メーカーとの競争において、ナブテスコは電子制御フライトコントロール・アクチュエーション・システムを一括受注した。B747-8ではフラップ駆動システムを島津製作所が受注し、フライト・アクチュエーション・システムをナブテスコが受注した。（ナブテスコの製品詳細については参考文献(2)を参照されたい）

また、三菱重工業が開発をすすめている次世代のリージョナルジェット（MRJ）においては、油圧システムの開発を米国パーカー・エアロスペース社が担当することになっている。

2.2 与圧・空調システム

与圧・空調システムは乗客と乗員、さらには搭載機器を気圧と温度の変化から守り、安全性と快適性を確保するためのシステムである。また、最近では与圧・空調システムのほかにこの上流のエンジンにおいて取り入れたブリード・エアの圧力と温度を制御する抽気システムや、ブリード・エアを使った翼の防除水システム等までを含めた「統合化エア・システム」という概念も導入されつつある。

最近の航空機では、電子機器の増大に伴い、機体熱負荷も増加する傾向にあり、与圧・空調システムの能力アップも必然的に求められている。与圧・空調システムには種々の方式、サイクルのものが実用化されつつあるが、いずれもエンジンで発生するエネルギーの一部を消費・利用していることに変わりはなく、概して能力アップはエンジンへの負荷増大につながる。そのため、エンジンへの負荷を極力抑制するための効率向上がこのシステムにも求められている。より効率的なシステムを実現する手段として、従来のシンプル・ブートストラップ・サイクル等によって、チルド・リサーキュレー

ション・サイクル，あるいはB777，B767-400ER等に採用されている4ホイール・コンデンシング・サイクルやB787への採用が決まったエンジン・ブリード・エアを使用しない電気式空調システム等が注目される。

航空機用与圧・空調システムの世界的な主要メーカは，米国のハネウエル社，ハミルトン・サンドストランド社及びドイツのリーパー社の3社である。わが国では，島津製作所がハネウエル社と，住友精密工業がハミルトン・サンドストランド社と提携しながら，これまでに国産機用の開発等を通じて開発力を高めてきている。

2.3 燃料システム

燃料システムは，元来，燃料を機体に蓄えて，それを必要に応じてエンジンへ供給することを目的とした装置である。航空機がタンク内に搭載する燃料の量は，エンジンの出力，飛行時間，燃料消費率，機体重量，飛行状態，気象などの諸条件などから計算されて決定される。タンクに蓄えられた燃料は，そこからパイプあるいはホースなどによってエンジンに供給される。近年では，航空機は燃料の消費に応じて機体の重心が移動するため，これを制御する必要がある，計測技術のエレクトロニクスの進歩により，ブーストポンプやバルブ類を統括した燃料移送と重心制御が自動化されるようになってきている。

重心制御は全デジタル電子式エンジン制御装置（FADEC：Full Authority Digital Engine Control）と呼ばれるエンジン制御の一部として行われる傾向にある。FADECの機能は単にエンジン制御だけではなく，エンジンの健全性，整備用諸データの記録，発信などの働きをも付加されるようになってきた。FADECに適合する電子式，超音波式並びに光方式の燃料（重量）計測装置，及びブーストポンプやアクチュエーター等の小型軽量化，信頼性の向上とともに，圧力，温度や位置センサー，更には光電インタフェース等のコンポーネントのデジタル化技術が重要になってきた。

我が国のメーカではシステムの構成機器を防衛需要主体に生産しているが，新開発エンジンはすべてFADEC化の方向にあることから，将来の民間需要の進展に期待をかけてIHI，川崎重工業などでも研究開発が積極的に行われている。

2.4 推進システム

推進システムはエンジンやプロペラ及びそれらの周辺機器より構成されている。ガスタービン为例にとると，そのシステム構成部品には，前項で述べた燃料系統，制御系統の他に潤滑油系統と点火系統がある。これらに対する市場要求は，燃料利用効率の向上と騒音レベルの低減であり，いくつかの新技術が提案され研究されている。燃料効率の改善には，エンジンやプロペラはもちろんであるが，周辺機器の果たす役割も大きい。しかし，推進システムの主要構成機器（FADEC等）はエンジンとの

係わりが深く，ノウハウの秘匿も含めエンジン・メーカが内製している例が多い。

世界の大型機用プロペラ市場は，ハミルトン・サンドストランド社とゼネラル・エレクトリック社がシェアしている。国内では，住友精密工業が唯一の製造メーカとなっており，US-1AやP-3C等のプロペラのライセンス生産とC-130H，Saab340等のプロペラの修理，オーバーホールを行っている。また，川崎重工業がハネウエル社と共同で小型民間航空機用ならびに中型航空機（B737，A320シリーズ）用APU（Auxiliary Power Unit）を開発，生産している。

2.5 アビオニクスと飛行制御システム

2.5.1 飛行システム

最近の飛行機における飛行制御は，急速に発展を遂げたエレクトロニクス技術を軸として生まれた飛行管理システム（FMS：Flight Management System）と能動制御技術（ACT：Active Control Technology）を2本柱として飛行・運用の両面で効率向上を図っている。FMSは航空機を効率よく運用するための総合的飛行管理技術，ACTは制御効率のよい飛行機を作り出すという技術と考えることができ，お互いに相互補完関係にあるといえる。両者はFBW（Fly By Wire）と呼ばれる電気を信号伝達手段とした飛行制御システムにより実現されている。また，こうした飛行制御システムにおいてはシステムの機能増大，複雑化に対する信頼性の向上，対雷対策等が主要課題であり，解決対策の一つとしてフライ・バイ・ライト（FBL：Fly By Light）とよばれる光を信号伝達手段としたシステムの研究が行われ，国内においてもFBLシステムを採用したP-Xが初飛行を成功させている。飛行制御関連機器・システムメーカとしては欧米有力メーカが競争状態にあり，特に米国が一歩進んでいる。我が国では，日本航空電子工業がF-2支援戦闘機の飛行制御コンピュータ・システムの開発を米国と共同で実施した。

2.5.2 航法システム

航法システムは飛行中の航空機の位置（機位）を把握し，安全，迅速，確実に目的地に到着させるためのシステムであり，機体に装備した機器のみで航法データを取得できる自立航法システム，地上航法援助施設や人口衛星からの電波を利用した無線航法システム，衛星航法システム及び着陸誘導システム等多岐にわたっている。特に近年，国際民間航空機関（ICAO：International Civil Aviation Organization）において，将来航空航法システム（FANS：Future Air Navigation System）の開発が進んでいる。FANSの中心である新航法システムは，全地球的航法衛星システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）による洋上管制から，着陸，タクシーウェイ・コントロールに至る航法の一元化を実現することである。各種の無線標識施設や管制用レーダによる援

助を必要とせず、全地球的測位システム（GPS：Global Positioning System）等により自己位置を精度よく計測して飛行するものである。航法機器メーカーは相対的に米国メーカーが強く、我が国は全体的に欧米のメーカーから遅れているが、慣性航法システムやGPS受信機で輸出に成功したメーカーもでてきている。日本航空電子工業がジャイロとともに各種慣性航法装置などを国産している。

2.5.3 フライト・デッキ・システム

フライト・デッキ・システムは、飛行（航法）計器・姿勢表示システムと視覚及び聴覚警報システムに分類され、操縦席のセンターペダスタルに設置され、パイロットが実際に操縦をする機材である。

第4世代航空機といわれるB767、A310及びA340においては、表示の一部統合化、電子化が実用されたが、B777において衛星航法装置、統合情報管理システム等の採用による先進型コックピットへ発展している。次世代のフライト・デッキ・システムは、従来のレイアウトとまったく異なった概念のものとなり、操作システムその他の電子機器の実装方式も表示・操作スペース削減を意図して搭載機器の軽量化/統合化、表示情報の視認性向上のために大型の液晶表示器（LCD）を用いたフルカ

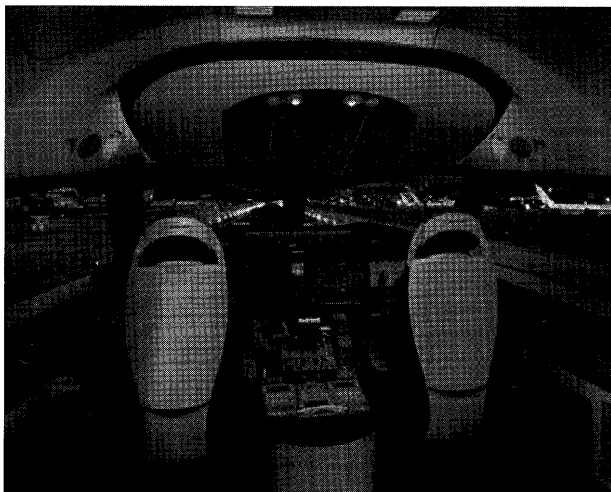
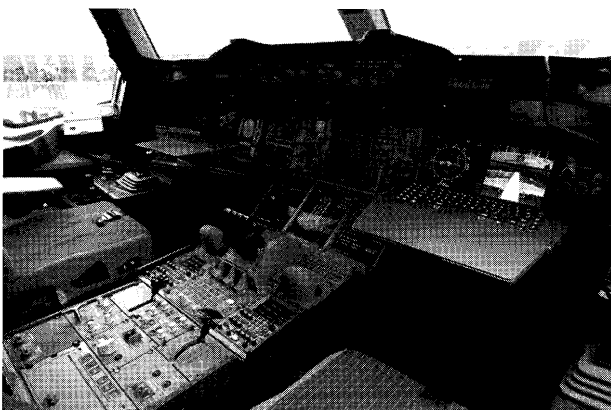


図1 ボーイング787のコックピット⁽³⁾



© AIRBUS S.A.S. 2007 - photo by e'm company / H. GOUSSE

図2 エアバス380のコックピット⁽⁴⁾

ラー3次元グラフィックス表示が主流となってきている。

従来タイプの航空機用計器類では、トキメック、東京航空計器、横河電機、島津製作所などが有力メーカーとなっている。また、新型の液晶表示部などの表示パネルについては、シャープがB787に、横河電機がA380にそれぞれ供給しているが、その周辺回路を含むシステムについては世界水準から立ち遅れている。

また、三菱重工業が開発をすすめている次世代のリージョナルジェット（MRJ）においては、フライト・コントロールシステムの開発を米国ロックウェル・コリンズ社が担当することになっており、日本のナブテスコがフライト・コントロール・アクチュエータの分野で参加することになっている。

2.6 電源システム

航空機の電源システムは、要求の多様化及び技術の進展に伴い、発電方式の多様化、配電システムの高機能化が進んでいる。また、電子機器の増加による消費電力の増加に加え、電気式航空機へ向けての具体的な動きが見られるようになってきた。

電源システムは油圧制御による定速駆動方式（CSD：Constant Speed Drive）による交流定周波電源が現状の主流である。定速駆動方式の新方式としてTraction方式のCSDがP-X、C-Xに採用された。最近米国ではアビオニクスやレーダ等の電力の増加から、270VDC電源が開発され、F-22、F-35などの最新型戦闘機に採用されている。また、Global ExpressやHawker 4000などのビジネスジェット機においてCSDを使用しない可変周波数制御（VF：Variable Frequency）方式の電源が採用され、他の小型機にも検討されている。さらにA380及びB787においてもVF電源が採用され、今後、中・大型機へもVF方式電源の採用が広がる可能性が高い。

一方、高電圧電源利用システムとして、航空機の重量軽減、設計の自由度向上及び最適化、信頼性の向上等を図ることを目的とした全電気式航空機（AEA）や油圧配管を著しく現象させて軽量化を目的としたEHAによる航空機の実現を目指す研究が進められている。B787においては、ブリード・エアを使用しない電気空調システムや、モータ駆動式油圧ポンプの採用により、大幅な電氣化が図られている。主発電機の総発電容量はB777の4倍で、電動機としてメインエンジンの起動にも使用されている。

航空機用電源システムメーカーは世界に10社程度存在するが、その多くは米国に集中し、中でもハミルトン・サンドストランド社のシェアが非常に大きくなっている。国内メーカーは米国メーカーからの技術導入によりCSDや発電機等単体機器の国産を実施し、技術力の向上は著しいものの、その供給は国内に限定されており、国際市場での競争力は弱い状態が続いていた。しかし、近年では、B787においてナブテスコが配電装置の一部をハミルト

ン・サンドストランド社と共同開発し、設計・製造はナブテスコで行うなど電源分野に参入している⁽²⁾。また、神鋼電機は、次世代電源のVSCFコンバータや、主発電機システム、ストアズ・マネジメントシステム（SMS）、ロードマネジメントシステム（LMS）などを我が国唯一の航空機用電源システムメーカーとして航空機やヘリコプターに供給している。

2.7 降着システム

降着システムは、着陸時及び地上走行時の衝撃の吸収、ブレーキ、地上走行時のステアリングを行うシステムであり、緩衝装置、ブレーキ、ホイール及びタイヤ等の機器から成る。飛行中は機能を発揮しない搭載品であるため、常に一層の軽量化、コンパクト化が要求され、新素材の研究が進められている。緩衝装置の主要部材には超高抗張力鋼が通常使用されるが、近年は、耐食性向上及び軽量化の見地からチタン合金や高強度ステンレス鋼の使用が増えており、金属基複合材の適用も研究されている。また、スキッドを防止するブレーキ・コントロール・システムの性能向上、消耗品であるブレーキ及びタイヤの長寿命化や、デジタル制御ブレーキ及びステアリング装置、カーボンブレーキ、ブレーキ温度モニタ、タイヤ圧力モニタ、ラジアルタイヤ、B787で採用が決定した電気式ブレーキ等、技術向上が著しい。

従来、降着システムは構成機器単位で機体メーカーにより調達されていたが、近年は緩衝装置メーカーがシステムインテグレータとなって全構成機器を含んだ降着システムとして受注するのが一般的となった。

世界の大型機用降着システムは2社、北米のグッドリッチ社と欧州のメシエ・ダウティ社がほぼ独占しており、その他のメーカーが単独でこの市場に参入することは難しい状況にある。我が国では住友精密工業が降着システムを独自に設計・製作できる技術水準に達しており、防衛省向けに加えてグッドリッチ社と共同でボンバルディア社のCRJ700/900/1000型機用降着システムを開発製造している。またブリヂストンが開発した従来型

に比して軽量のラジアルタイヤはB777を皮切りにA380、B787等に採用されている。

また、三菱重工業が開発をすすめている次世代のリージョナルジェット（MRJ）においては、降着システムの開発を日本の住友精密工業が担当することになっている。（住友精密工業の製品詳細については参考文献(6)を参照されたい）

2.8 客室機内システム

客室機内システムには、機内娯楽装置、座席、ラバトリ（化粧室）、ギャレー（調理室）、照明、カーペット等がある。このうち娯楽装置については、長時間の旅行を快適に過ごすため新機軸の製品開発が進められ、座席については、航空機重量の約3%を占めることから複合材の利用等による軽量化、長時間飛行に対処するための快適性向上などが検討されている。ギャレーに関しても客室乗務員の省力化のためにヒーティングカートが開発され、各種容器の軽量化が進められている。照明については、小糸製作所が全日空向けに初めて白色LEDを用いた読書灯、表示灯を製造し、既存のB777での置き換えを行っている。LEDの長寿命、低消費電力の特徴に加え、白色光がより読書に良いと好評である。ボーイング社では、現在開発中のB787からはLED方式の読書灯を標準装備することを決定している。

客室機内システムでは、他システムに比べ国際市場への進出に制約が少ないことから積極的に海外進出し、世界でトップクラスのシェアを持つ企業もある。また、品質、コスト、納期について発注元から表彰されるなど、我が国は国際的に高い評価を得ている。

ジャムコや横浜ゴムなどは特にラバトリ、ギャレーで大きなシェアを持ち、小糸工業は安全性を向上させ新機能を負荷したファーストクラス用座席で海外から高い評価を得ている。特にジャムコは、「トータル・インテリア・インテグレーション」として、キャビンインテリアを一括供給できる体制に取り組んでいる（詳細は参考文献(7)参照）。さらに、昭和飛行機は得意のハニカム技

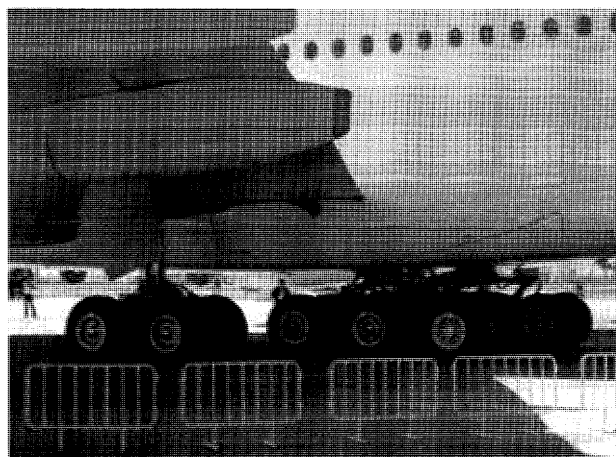


図3 A380の胴体主脚

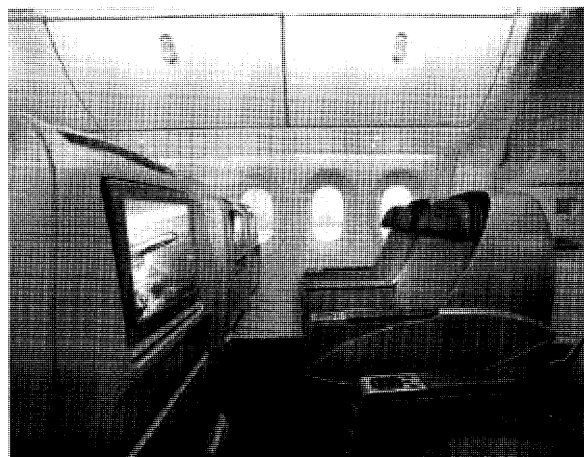


図4 B787のビジネスクラスシート⁽⁸⁾

術を応用して、ボーイング機向けのギャレーやサービスカートなどを生産している。

また、パナソニックアビオニクスはB787への機内娯楽装置の供給が決定している。参考にボーイング社が公開しているB787のビジネスクラスシートの写真を図4に示す。

3. あとがき

現状の国内航空機装備品産業は、強力な欧米企業との熾烈な競争にさらされながら、それぞれ得意とする技術力を高め製品を開発しているが、まだまだ生産規模としては小さい。しかし、近年格段に技術力が向上し、従来出来なかった海外市場への参入を成し遂げている。これまで機体メーカーが担当していたサブシステムの取りまとめ作業が機器メーカーに求められる傾向にあるため、各機器に固有の技術のほかにシステムインテグレータとしての技術力が必要になってきている。

三菱重工業が開発をすすめている次世代のリージョナ

ルジェット（MRJ）などを契機に、今後も、ますます技術力を高め、海外市場に参入していくことに期待したい。

尚、諸般の事情により各社の製品（写真等）を掲載できなかったため、製品詳細をご覧になりたい場合は、参考文献の各社ホームページ等をご参照ください。

参考文献

- (1) 平成20年版 日本の航空宇宙工業 日本航空宇宙工業会
- (2) <http://www.nabtesco.com/hydraulic&aircraft/>
- (3) <http://www.boeing.de/ViewImages.do?id=7740&Year=2005>
- (4) http://www.airbus.com/store/photolibrary/AIRCRAFT/AIRBUS/COCKPIT/att00009193/media_object_image_lowres_HG05346_md.jpg
- (5) <http://www.shinko-elec.co.jp/aerospace/Default.htm>
- (6) http://www.spp.co.jp/category/aerospace/landing_gear/design_catia.html
- (7) <http://www.jamco.co.jp/j/j-interiors/j-tii.html>
- (8) <http://www.newairplane.com-Boeing's New Airplane-the 787 Dream Liner>

1700℃級仮想タービンの構築

Development of a Virtual Gas Turbine System for a 1700 Degree Class GT

佐伯 祐志^{*1}
SAEKI Hiroshi松下 政裕^{*2}
MATSUSHITA Masahiro福山 佳孝^{*2}
FUKUYAMA Yoshitaka吉田 豊明^{*3}
YOSHIDA Toyooki横川 忠晴^{*4}
YOKOKAWA Tadaharu原田 広史^{*4}
HARADA Hiroshi

ABSTRACT

The virtual gas turbine system (VT) in the High Temperature Materials 21 project (HTM21) is a simplified simulation for the comparison of current materials with new materials under its practical use condition. It is very helpful for a materials developer to know about the effectiveness of new materials quantitatively. We had built the first virtual gas turbine system (VT-M10, 1400 degree class GT), and then we extended the work to the future gas turbine condition (1700 degree class GT). This paper introduces development of the VT for a 1700 degree class gas turbine. In this VT, we need a detailed database especially in a high pressure turbine section. The database is built by three groups such as computational fluid dynamics (CFD), heat transfer analysis and structure analysis.

Key words : CFD, Gas Turbine, Heat Transfer Analysis, New Materials, Structure Analysis

1. はじめに

1.1 新世紀耐熱材料プロジェクト

21世紀の経済社会発展の基盤となる各種発電プラントや輸送関連機器の出力、性能の大幅向上と安全性確保には、新耐熱材料の開発が不可欠である。さらに、地球温暖化防止のためにCO₂排出削減が必要であり、エネルギー関連機器を高効率化に導く新耐熱材料への期待が高まっている。このような背景の中、1999年度より、物質・材料研究機構（旧金属材料技術研究所）を中心とする「新世紀耐熱材料プロジェクト」が開始された。

本プロジェクトでは、ガスタービンへの適用を目指して、実用耐熱材料（Ni基超合金）の現行耐用温度を飛躍的に向上させる画期的な新材料を開発することを目標としている。そのため、「仮想タービン」を構築して開発材料のコンピュータ中での検証、タービン諸性能の評価を行うこととしている。

1.2 仮想タービン開発⁽¹⁾

本プロジェクトで構築する仮想タービンは、ガスタービンシステムの設計をプログラムパッケージ化したものであり、特に高圧タービン静翼、動翼の適用材料を選定すると、設計作動条件における出力、熱効率、クリープ寿命、CO₂低減量などが評価される総合プログラムである。この仮想タービンプログラムは、(株)東芝、宇宙航空研究開発機構、物質・材料研究機構が協力して構築を行っている。特に、新規開発材料を適用する高温タービン部に関しては、空力性能、冷却性能、構造強度について、三次元的に詳細な評価を行うための技術を開発し、高度な性能評価が出来るようにすることを目的としている。Fig. 1 に仮想タービンと解析データベース構築の概要を示す。

これまでに、1400℃級の仮想タービンの構築を完了した⁽²⁾が、さらに1700℃級の仮想タービン構築のため、冷却構造の見直しを行った。本報告では、1700℃級の仮想タービン構築のための、高温タービン部における空力性能、冷却性能、構造強度のデータベース構築について説明を行い、1700℃級仮想タービンの改良、解析結果例について報告を行う。

原稿受付 2004年8月31日

校閲完了 2008年6月10日

*1 (株)東芝

*2 宇宙航空研究開発機構 航空プログラムグループ
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1

*3 東京農工大学

*4 物質・材料研究機構

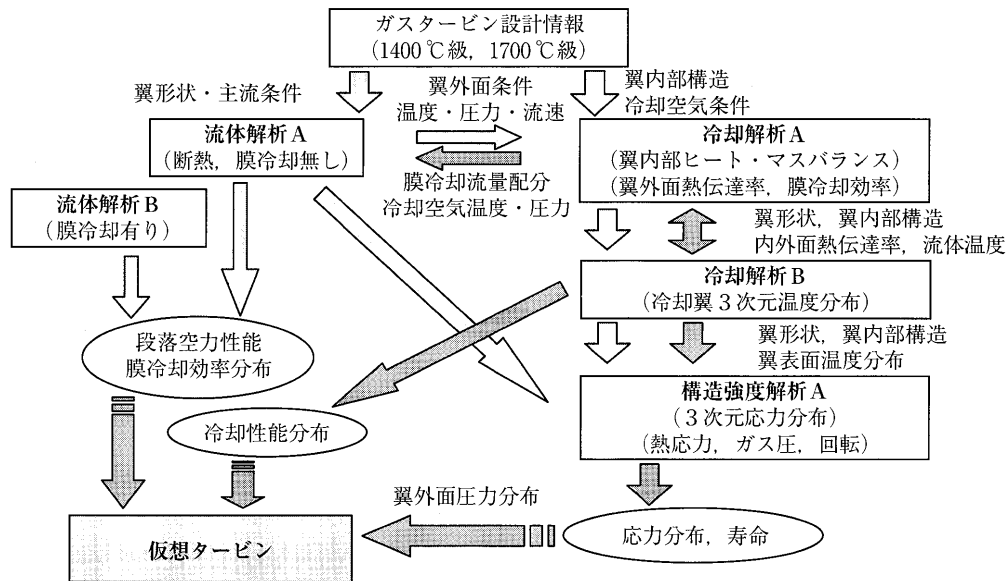


Fig. 1 仮想タービンと解析データベース構築概要

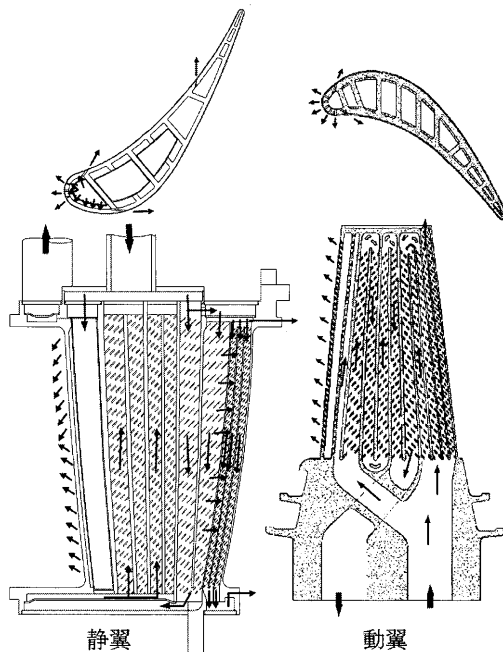


Fig. 2 1700℃仮想タービン冷却翼

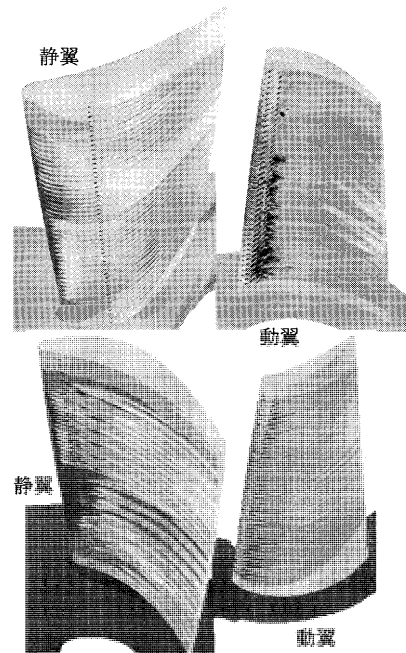


Fig. 3 フィルム冷却タービン翼解析例 (温度分布)

2. 1700℃級の高温タービン冷却構造

1700℃級仮想タービンの高温タービン冷却構造はWE-NET/CO₂回収型高性能ガスタービンシステム⁽³⁾の一段静翼, 動翼を基にしている。Fig. 2にタービン翼の冷却構造を示す。この1700℃級ガスタービンはメタン・酸素燃焼, 水蒸気冷却で設計されたものであるが, 仮想タービンは一般発電用ガスタービン向けであるので, 空力性能, 冷却性能, 構造強度のデータベース構築においては, メタン・空気燃焼, 空気冷却の条件下で解析を行っている。

3. データベース構築

3.1 空力性能評価⁽⁴⁾

空力性能評価では, 静動翼一体解析を含む大規模CFD

を実施し, 翼外面圧力分布, 速度分布, 主流気体温度分布などを算出した。ここでは, 無冷却タービン翼, フィルム冷却タービン翼の両方の三次元数値解析を行った。

Fig. 3はフィルム冷却タービン翼の解析結果の一例であり, 翼表面の気体温度分布を示している。図では, 主流と噴出し流れの相互干渉を含めたフィルム冷却の様子が明確に現れていることがわかる。しかし, CFDの精度検証は困難であり, 今回は, このフィルム冷却を含めた結果を仮想タービンのデータベースには反映させていない。フィルム冷却のCFD精度検証なども含め, 今後の仮想タービンへ反映させるための研究を現在行っている。

Fig. 4に段落 (静翼, 動翼) の断熱効率と冷却空気流量比の関係を示す。計算では, 冷却空気混合による温度

低下は翼列入口にて考慮し、動翼では相対系において効率を評価した。効率は通路部全体の平均値であり、静圧を面積平均し、その他の輸送量は流量平均処理により求めた値を使用した。結果は、1400℃級と1700℃級で異なる性質を示しているが、これは、空力設計（翼形状や反動度設計）とレイノルズ数（粘性損失効果）の相違によるものと考えられる。従来の仮想タービンでは、冷却空気吹き出しによる空力性能に対する効果は、主流減温効果のみ評価していたが、1700℃級仮想タービンでは、この関係を組み込み、空力性能評価を行っている。

また、無冷却タービン翼の結果は、後述の冷却性能、構造強度評価において境界条件の計算にも使用されている。

3.2 冷却性能評価

冷却性能評価では、境界条件を準備し、翼有効部の3次元熱伝導解析（有限体積法）によって、温度分布の算

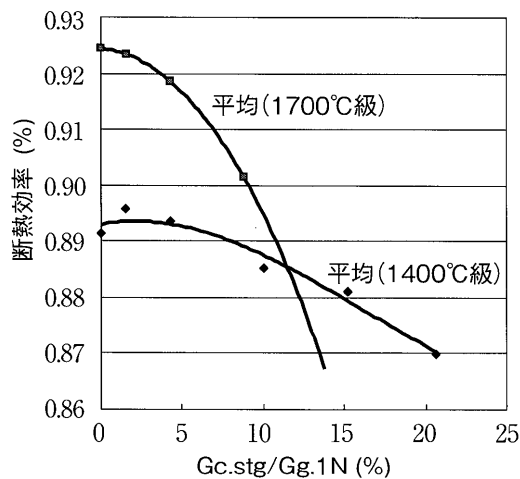


Fig.4 冷却空気流量比に対する段落断熱効率

出を行った。

翼外面の境界条件に関しては、熱伝達率、ガス温度およびフィルム冷却効率をCFDの結果と実験整理式により予測し、翼内面の境界条件に関しても冷却空気流量配分と熱通過による温度上昇を考慮して、実験整理式により、熱伝達率と冷却空気温度を予測した。Fig.5に解析に使用した境界条件の例を示す。境界条件における各種冷却手法の取り扱いは1400℃級のデータベース構築の取り扱いと同じである⁽⁵⁾。

Fig.6に設計点における温度分布解析結果を示す。こ

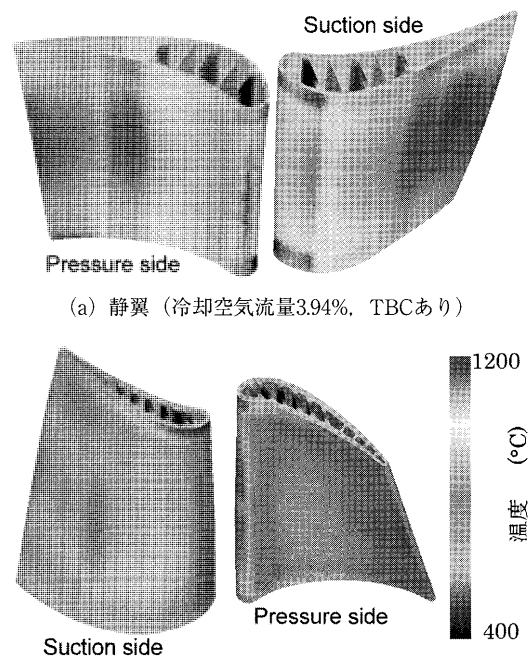
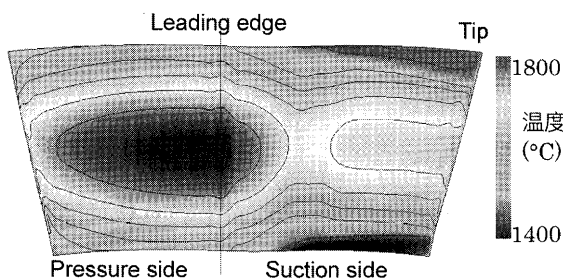
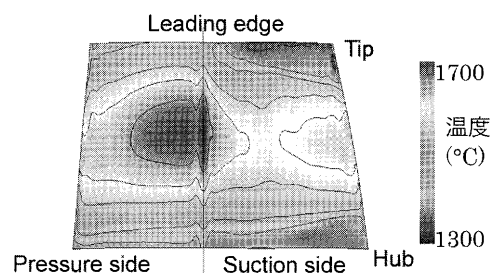


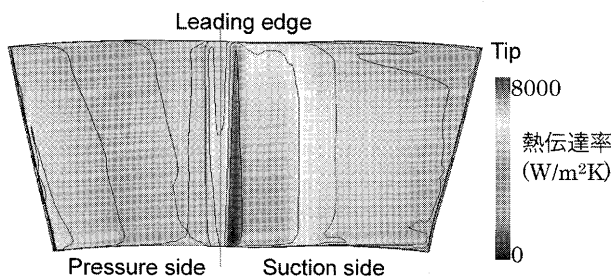
Fig.6 1700℃級冷却翼温度分布（設計点）



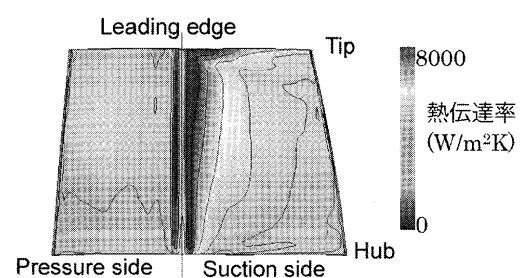
(a) 静翼表面気体温度分布



(b) 動翼表面気体温度分布



(c) 静翼熱伝達率分布



(d) 動翼熱伝達率分布

Fig.5 冷却性能解析における境界条件（設計点）

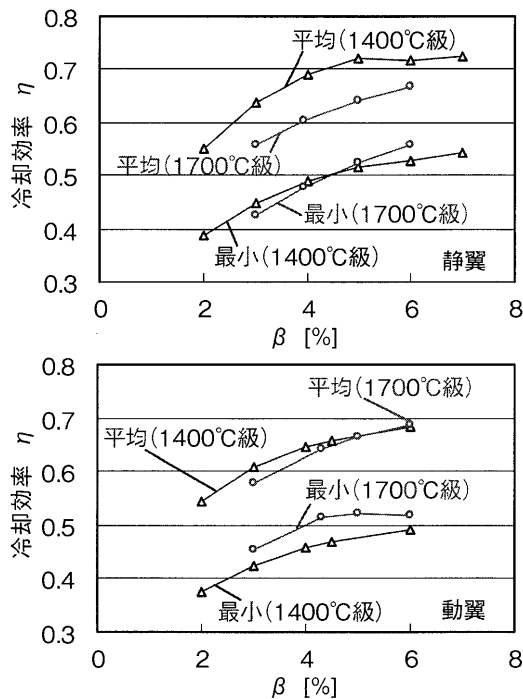


Fig. 7 冷却空気流量比に対する冷却効率

のタービン翼はTBC表面温度1200℃で設計された翼であるが、設計点における解析結果ではこの制限を満たしていることが表されている。

冷却空気流量、TBCの有無、材料物性値などを変化させ、温度分布解析を行い、それぞれの解析結果を基に、仮想タービン用の冷却性能データベースを冷却効率の形で用意した。Fig. 7に冷却空気流量に対する平均、最小冷却効率の変化を示す。1400℃級と1700℃級では冷却構造自体が異なるため冷却空気流量に対する変化の傾向にも違いがみられる。また、先に述べたように1700℃級タービン翼は、本来、蒸気冷却で設計されているため、この解析結果が設計条件を表しているものではない。空気冷却として解析を行ったこの結果では、静翼の平均冷却効率は1400℃級よりも下がっているが、最小冷却効率では1400℃級とあまり変わらず、動翼も1400℃級と同じような傾向を示していることから、仮想タービンで使用するデータベースには十分であると判断した。よって、この関係が1700℃級の仮想タービンでは冷却効率の計算に使用されている。

また、この温度分布の結果は、後述の構造強度評価において境界条件に使用されている。

3.3 構造強度評価⁶⁾

構造強度評価では、1700℃級動静翼の三次元モデルの格子生成を行い、応力解析と寿命評価を実施した。静翼では熱応力と静翼周囲のガス圧力により発生するガス曲げ応力、動翼ではこれらに加えて回転により発生する遠心力を付加した解析を実施した。

Fig. 8に1700℃級動翼の応力解析結果の一例を示す。左

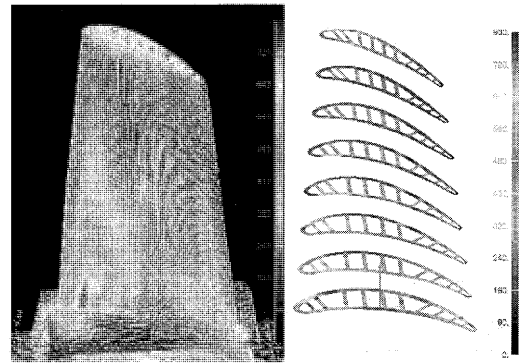


Fig. 8 1700℃級動翼応力分布

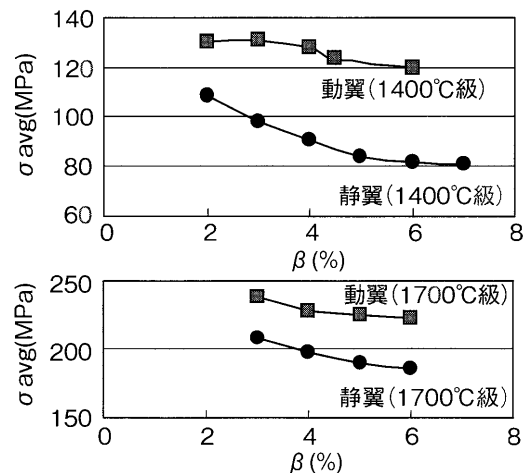


Fig. 9 冷却空気流量比に対する全体平均応力

図は翼表面の応力分布を右図は翼高さ方向各断面内の応力分布を示す。応力はvon Misesの応力で表示した。1700℃級動静翼は試験用設計翼であり、必ずしも、応力や寿命の観点から最適化された翼構造でなく、図に示されるように動翼根部に高応力領域が発生している。また、本構造では翼内部の仕切り肋にも高応力の発生が見られた。

冷却空気量を変化させた場合の温度分布を基に3次元応力分布の解析を実施し、翼高さ方向各断面に発生する平均応力とその断面での最大発生応力に関してデータ抽出を行った。Fig. 9に冷却空気流量比に対する平均応力の変化を示す。これらの値をデータベースとして1700℃級仮想タービンに適用している。

4. 1700℃級仮想タービン解析例

1700℃級仮想タービンでは、タービン冷却翼と無冷却条件に対応する改良を実施した。Fig.10に仮想タービンシステムが対象とする発電システムを示す。本システムでは、ガスタービン1, 2段動静翼に、WE-NET/CO₂回収型高性能ガスタービンシステム⁽³⁾で採用したハイブリッド冷却構造（フィルム空気冷却と回収蒸気冷却の併用構造）を採用し、それに冷却蒸気を供給するためのHRSG（排熱回収熱交換器）からの抽気機構、および、回収冷却蒸気から動力を取り出すための蒸気タービンが設けられている。1, 2段翼の回収冷却蒸気流量比（主

流に対する)と蒸気温度は固定とし、それで下げきれなかった分を空気フィルム冷却で下げるものとした。3段以降の翼は、1400℃級ガスタービンと同様に、空気フィルム冷却のみとした。冷却蒸気流量比および温度の値は、前述のWE-NET/CO₂回収型高性能ガスタービンシステム⁽³⁾開発研究での成果から設定した。

前述のように1700℃級ガスタービンに対して設計された初段動静翼に関して、最新の大規模3次元流体解析(CFD)、3次元有限体積法熱伝導解析(FDM)、3次元有限要素法応力解析(FEM)を実施して、解析データベースを仮想タービンシステムに搭載した。

- ・段落空力性能(冷却空気流量比の影響)
- ・冷却性能(冷却空気流量比の影響, 平均冷却効率と最小冷却効率分布)
- ・構造強度(冷却空気流量比の影響, ガス温度の影響, 平均応力と最大応力分布)

Fig.11に仮想タービンシステムの全体構造を示す。今回の1700℃級仮想タービンでは、ガスタービン設計データベース(GT Design Databases)とガスタービン設計プログラム(GT Design Program)部分が改訂されている。

試算は、3種類の条件で行った。計算条件および結果をTable 1に示す。条件1は実機との比較計算のため

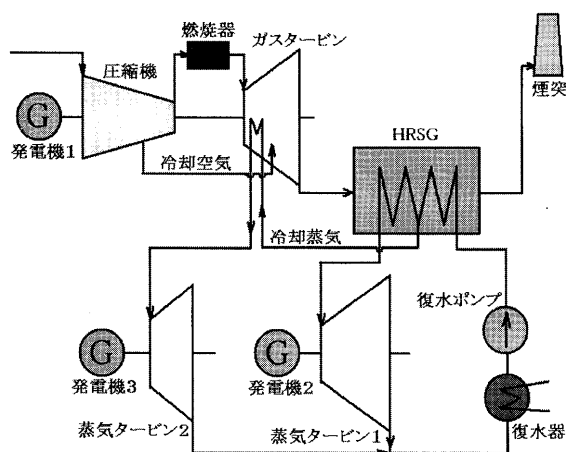


Fig.10 仮想タービン発電システム

の条件である。1700℃級ガスタービンプラントの実機はまだ存在しないので、本仮想タービンプラントと似た構造を有するGE社のMS7001H^{(7),(8)}ガスタービンプラントとの比較を行ったものが、条件1である。比較のためにMS7001Hプラントの値を併記してある。タービン翼材料にTMS-82+⁽⁹⁾を使用し、1, 2段動静翼がハイブリッド冷却構造である等、MS7001Hプラントと異なった点があるため結果が完全に一致することは無いが、両者のプラント熱効率がほぼ一致しており、本仮想タービンプログラムではほぼ妥当な計算が成されていることが分かる。次に、条件1とガスタービンの大きさ(吸い込み流量)がほぼ同じで、翼材料を新世代のNi基耐熱合金であるTMS-138+⁽¹⁰⁾に変更してタービン入口温度を1700℃に上昇させ、それに伴って圧力比も上昇させた場合の計算結果を条件2と3の項に示す。条件2は、空気フィルム冷却のみとした場合で、条件3は、1, 2段動静翼に回収蒸気冷却を併用したハイブリッド構造とした場合である。条件2では、タービン入口温度/圧力比上昇の効果によってプラント熱効率が多少向上するが、フィルム空気量が比較的多く、その損失によって上昇分の効果が十分に得られていないことが分かる。それと比較して条件3の場合は、条件1と比較してその熱効率が2%程度も向上する等、タービン入口温度/圧力比上昇の効果あるいは新世代耐熱合金使用の効果が十分に現れていることが分かる。

5. まとめ

本報告では、1700℃級の仮想タービン構築のため、冷却構造の見直しを行い、それに伴う、高温タービン部における空力性能、冷却性能、構造強度のデータベース構築について説明を行った。さらに、1700℃級仮想タービンの改良、解析結果について紹介を行った。以下に、内容をまとめる。

(1)冷却空気噴出しによる空力性能に対する効果をCFDの解析結果を基に、段落空力性能として、仮想タービンに新たに組み込んだ。

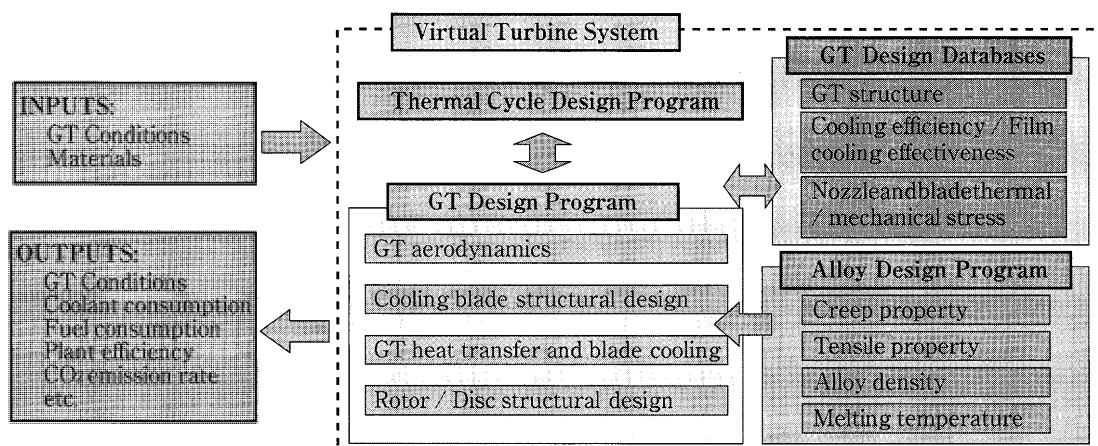


Fig.11 発電ガスタービン仮想タービンシステムの構造

Table 1 1700℃級仮想タービン解析例

		計算条件 1	計算条件 2	計算条件 3	参考: GE MS7001H
計算条件	ガスタービン出力 (級)	197MW	230MW	230MW	—
	タービン入口温度	1500℃	1700℃	1700℃	1500℃ 級
	タービン段数	4 段	4 段	4 段	4 段
	圧力比	23.2	37.5	37.5	23.2
	燃料	LNG	LNG	LNG	LNG
	タービン翼材料	1 段静翼	TMS-82+	TMS-138++	単結晶合金
		1 段動翼	TMS-82+	TMS-138++	単結晶合金
		2 段静翼	TMS-82+	TMS-138++	一方向凝固合金
		2 段動翼	TMS-82+	TMS-138++	一方向凝固合金
		3 段静翼	TMS-82+	TMS-138++	一方向凝固合金
		3 段動翼	TMS-82+	TMS-138++	一方向凝固合金
		4 段静翼	TMS-82+	TMS-138++	一方向凝固合金
		4 段動翼	TMS-82+	TMS-138++	一方向凝固合金
	TBC	全翼施工	全翼施工	全翼施工	全翼施工
結果	ガスタービン吸込流量	558.4 kg/s	555.4 kg/s	555.4 kg/s	558 kg/s
	ガスタービン排気温度	609.1℃	570.7℃	603.6℃	不明
	ガスタービン出力	274.5MW	285.6MW	320.1MW	不明
	ガスタービン熱効率 (LHV基準)	41.45%	44.90%	45.50%	不明
	プラント出力	412.1MW	399.1MW	452.6MW	394MW
	プラント熱効率 (LHV 基準)	60.97%	61.49%	63.04%	60%
	プラント熱効率 (HHV 基準)	54.95%	55.41%	56.81%	53%
	CO ₂ 排出量比	134.87 (kg/s)/kW	124.42 (kg/s)/kW	122.77 (kg/s)/kW	不明
	フィルム	合計	7.04%	27.90%	14.87%
	冷却空気量	1 段静翼	4.41% (蒸気1.89%)	9.03%	6.47% (蒸気1.89%)
		1 段動翼	0.03% (蒸気1.30%)	4.93%	1.50% (蒸気1.30%)
	〔冷却空気〕 主流ガス	2 段静翼	0.93% (蒸気1.89%)	6.85%	4.00% (蒸気1.89%)
		2 段動翼	0.00% (蒸気1.30%)	4.89%	0.00% (蒸気1.30%)
		3 段静翼	1.36%	1.92%	2.25%
		3 段動翼	0.31%	0.27%	0.60%
		4 段静翼	0.00%	0.00%	0.04%
		4 段動翼	0.00%	0.00%	0.00%

(2)冷却空気流量に対する冷却性能, 構造強度のデータベースを1700℃級の冷却構造に合わせ再構築を行った。

(3)構築した1700℃級の仮想タービンに対し, ガスタービンプラント (GE社のMS7001H) と比較計算を行い, その妥当性を示した。

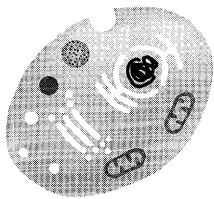
(4)1700℃級の仮想タービンによって, 新世代耐熱合金の使用により得られる効果を明確に算出できることを示した。

現在, 仮想タービンは, 高バイパス比ファンエンジンに適用され, 航空エンジン用仮想タービンの高精度化を目指して, データベース構築を行っている。

参考文献

- (1) Yoshida, T., et al.: "Virtual Turbine: Its State of the Art and Advanced Works in the Project", 第2回高温材料国際シンポジウム "High Temperature Materials 2001", June, 2001.
- (2) Saeki, H., et al.: "Development of a Gas Turbine Design Program Coupled with an Alloy Design Program - A Virtual Turbine", Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo, November, 2003.
- (3) Ito, S., et al., "Conceptual Design and Cooling Blade Development of 1700℃-Class High-Temperature Gas Turbine", Proceedings of ASME Turbo Expo 2003, Atlanta, June, 2003.

- (4) Nishizawa, T., et al.: "A Three-Dimensional Navier-Stokes Simulation of a Film-Cooled Turbine Stage.", Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo, November, 2003.
- (5) Matsushita, M., et al.: "Construction of Cooling Effectiveness Database Applied to the Virtual Gas Turbine in HTM21 Project.", Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo, November, 2003.
- (6) Chen, J., et al.: "Interface Construction for Thermal Stress Analysis in Virtual Turbine and Its Application.", Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo, November, 2003.
- (7) "GE Announces Development of G and H Gas Turbines", Turbomachinery International, 1995, pp. 16-18.
- (8) 飯田義亮, 他, "1,500℃級コンバインドサイクルシステム", 東芝レビュー, Vol. 56, No.6, 2001.
- (9) Hino, T., et al.: "Development of a New Single Crystal Superalloy for Industrial Gas Turbines", Proc. of the 9th International Symposium on Superalloys 2000, September, 2000.
- (10) Koizumi, Y., et al.: "Development of Next-Generation Ni-Base Single Crystal Superalloys", Proc. of the 10th International Symposium on Superalloys 2004, September, 2004.



不思議なことども

松木 正勝^{*1}

MATSUKI Masakatsu

最近色々の所で不思議を感じることが多くなった。

先ず最も身近な人体でさえも不思議に満ちている。

人体は約60兆個の細胞で出来ているが、これは1個の受精卵が2個の体細胞分裂を46回繰り返した結果である。骨格を始め、総ての臓器、心臓血管系、脳神経系が作られる。

しかしある段階で、ある場所で、減数分裂により卵子、または、精子が作られる。この場合DNAは初期値にリセットされるはずであるが如何にしてリセットが保障されるのだろうか。最近サンショウウオの手足の再生についての研究で、切れた場所の細胞がまるで自らの分裂の段階と三次元的位置を知っているかのように成長を始めるそうである。つまり切断という刺激によって体細胞中のDNAが成長時の段階までリセットされたことになる。

人間のDNAは総て解読され、その機能の一部は分ってきたが大部分は多くの謎を秘めて残っている。外部からの刺激、精神活動による神経の刺激などによって新しい機能が発生した例もある。

人間の血管の総延長は10万km（地球2.5周分）で殆どは毛細血管である。心臓の送り出す血液量は1回の収縮で80mL、脈拍数1分間に60回で毎分4.8L、1日では7000Lになる。大人の血液量は約5.5Lだから血液はほぼ1分以内に循環している。激しい運動をしたときなど極端な場合は毎分25Lを拍出することができる。その為人間は普段の連続出力は100W程度だが、短時間の瞬時出力は1kWにもなる。

血液中の赤血球は1立方mm中に500万個即ち体重70kgの人で約28兆個存在し、寿命は120日なので1秒間に約300万個作られている。また白血球は寿命が3～4日なので1秒間に100万個作られ、その他体細胞をはじめ骨にいたるまで総て時々刻々作り替えられており、総てDNAによって制御されて正確に再生されている。

以上は生命体を維持している循環器についてであるが、人間の特徴を表す脳・神経系について言えば、大脳

皮質だけでも140億個の脳細胞があり、実際に脳細胞は大脳・小脳の神経細胞とグリア細胞から出来ていて総て加えると1500億個にもなる。これ等によって身体の維持を行うとともに高度な知能活動や精神活動を行っている。

ここまでは人体の驚くべき、宇宙スケールの構造の不思議であるが、その集団である人類に起きている不思議の一つに同時性がある。

発明や発見は各所でほぼ同時の起きることが多いことは、経験している人が多い。これは、科学や技術が発展すると次が見えてくるということもあるかもしれない。しかし言語の発生、文字の使用、社会制度の発生、など人類は共通の祖先から発展したように見えることから考えると、人々が同じタイマーを持っていて意識の発現が制御されているようにも見える。

また、適時性の不思議もある。例えば、免疫の研究が進みT細胞白血病が理解される段階になった時、丁度HIVが発生したように見える。これは逆に知識が発展したので発見されたともとれるが、BSEも同じような事象である。

最近エネルギー源としての石油・石炭・天然ガス・ウランなど近代文明発展の基礎であった地下資源の枯渇や地球の温暖化への対応が求められるようになったが、丁度太陽エネルギー利用技術が進み、宇宙船では太陽電池を主電源として使える段階に達している。

更に不思議なのは、みな成長の神話に疑いを持たないことである。地球上で生きてゆかなければならない人類にとって、空気・水・地下資源が有限でその将来が計算できる段階に達しているのに、人々は毎年のプラスの経済成長に努力しており、その限界がそこに見えているのに、である。人口の減少と浪費の停止がその対策であるが、日本はその先頭に立っているように見える。子供の増加を望まないDNAが発現した様にも思える。世界に同時性や適時性が発現して人類が存続することを願い、人事をつくして天命を待つ心境である。

原稿受付 2008年6月16日

*1 日本工業大学 名誉教授

〒177-0044 東京都練馬区上石神井 2-3-9

Stanford大学滞在記

寺本 進^{*1}

TERAMOTO Susumu

1. はじめに

2008年1月から8月までの予定で米国Stanford大学 Center for Turbulence Research (CTR) に滞在しているので、こちらの様子をまとめてみたいと思います。

CTRは乱流を中心とする流体现象を対象としてStanford大学とNASAが1987年に設立した研究所で、IGTC'07でキーノート講演をして頂いた Parviz Moin教授が創設以来Directorを務められています。Moin教授の他、Mechanical EngineeringのPitsch, Iaccarino両教授やAeronautics & AstronauticsのLele教授もCTRで活動しており、これら教授の下で全体では30-40人のPost Doctoral Fellow, Research Associateが研究をおこなっています。いずれも20代後半から30代後半の最もアクティブな年代の研究者であり、このマンパワーがCTRの活力の源になっています。CTRは数値シミュレーション分野で多くの成果を挙げている研究所であり、世界中から様々な研究者が立ち寄って毎週のようにセミナーが開催されています。研究の状況を知るのには非常に良い場所です。

企業との連携も盛んで、Thermal & Fluid Sciences Affiliates Programという企業-CTR連携の枠組みには日本も含む20社が名前を連ねています。

計算機環境はかなり恵まれており、2,000coreクラスのクラスタ2台をはじめとして17台のクラスタを保有する他、プロジェクト次第でDOEやDODの計算機も使っているようです。これらの計算機を使って大規模な応用解析が行なわれる一方、基礎研究をやっている人も多く、全体としては企業や国向けの応用解析とアカデミックな基礎研究をバランス良くやっているという印象です。

2. 研究内容

IGTC'07ではMoin教授にASCプロジェクトのPW6000解析を紹介して頂きましたが、プロジェクトが終了したこともありガスタービン全体解析は一区切りついています。現在はそこから派生した基礎研究と並行して、次期プロジェクトのPSAAP (Predictive Science Academic Alliance Program) で極超音速機に関連した研究が始まりつつあります。

ガスタービン関連としてはPitsch教授を中心とした燃焼関連の研究が盛んで、乱流燃焼モデルの開発、液滴燃焼のシミュレーション、液体ジェットの微粒化過程の直接シミュレーション、燃焼騒音の解析などが行なわれています。基礎的な研究としては、圧縮性流れ向けの高次精度スキームおよびそれを用いた圧縮性乱流解析、ジェットノイズやヘリコプタ騒音の解析、CFD結果の誤差を解析しようとする試みなどが行われています。

私自身は、圧縮機サージの数値シミュレーションに取り組んでいるところです。

3. Stanford大学

御存じのように、Stanford大学は1891年の創立以来16名のノーベル賞授賞者を輩出した名門私立大学です。

大学自体が3,310haの広大な土地を所有しており、キャンパス内は緑が多く大変広々としています。観光名所にもなっているHoover TowerやMain Quadのあるキャンパス中心部は歴史を感じさせる石造り、新しい建物もそれと調和したデザインになっています。キャンパス内は良く整備されており、朝早く行くとあちこちの芝生でスプリンクラーが動き、スタッフが清掃と建物や植栽の手入れをする光景を目にします。Stanford大は学費が年\$34,800と高いことでも有名ですが、キャンパス整備にお金をかけていることも高い学費の一因かもしれません。

学生はカリフォルニアらしく陽気で、夏になるとブックストア前の噴水で勝手に泳ぐ学生が見られます。

大学院では全体の1/3が留学生で、そのうち6割が

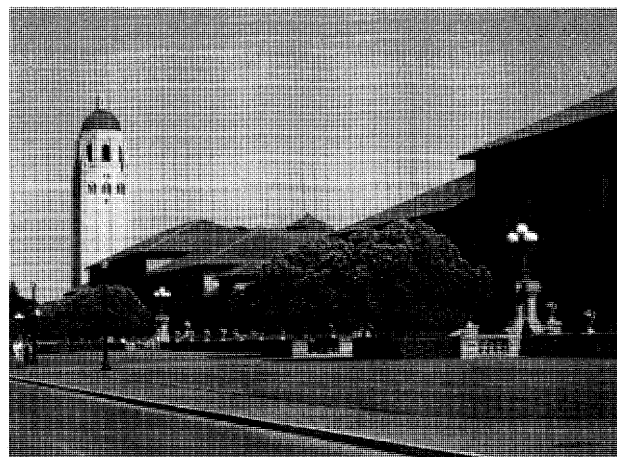


図1 Hoover TowerとMain Quad

原稿受付 2008年6月16日

*1 東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻
〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

アジア系です。94ヶ国からの留学生がいることもあって大学自体が外国人受け入れに慣れており、渡米にあたってビザ等の手続きは大変スムーズでした。Stanfordには留学生以外にも企業派遣、ポスドク、Visiting Scholarなど多くの日本人が滞在していて、CTRにも6月時点で2名の日本人ポスドクとMHI高砂からのVisiting Scholar 1人が仕事をしています。スタンフォード関係の日本人ではスタンフォード日本人会（SJA）という組織を作っており、渡米してからの生活立ち上げではSJAの方々にも随分助けていただきました。



図2 Bookstore前の噴水

4. バイエリアの生活

Stanford大学のあるPalo Alto市はサンフランシスコとサンノゼのほぼ中間にあり、サンフランシスコ空港からは車で1時間弱の場所です。近隣にはNASA Ames, DOE LivermoreがありCTRとも密接な交流があります。大学ではUC Berkeleyが近くですが、こちらとは丁度早慶のようなライバル関係にあるようです。

Palo Altoからサンノゼにかけてのサンフランシスコ湾南側はいわゆるシリコンバレーで、AppleやGoogle等のコンピュータ関連企業が集中した地域です。全体に所得の高い住民が多いこともあって治安は良く、夜遅くスーパーに行っても不安は殆んど感じません。日本人向けの店も色々あるので、日本人にとっては大変住みやすい地域と言えます。長期滞在となると、免許や各種税金など普段の出張では無い手続きも必要になりますが、英語ならある程度は意思疎通できますし、日本人コミュニティがしっかりしているので、異国に来ているという心細さを感じることはありませんでした。

私が滞在している間、1、2月は曇りがちで肌寒かったですが、それ以降はほぼ毎日晴れています。気温は30度を超える日も多いですが、湿度が低いので不快さはありません。ほぼ毎日シャツ一枚で快適に過ごせます。

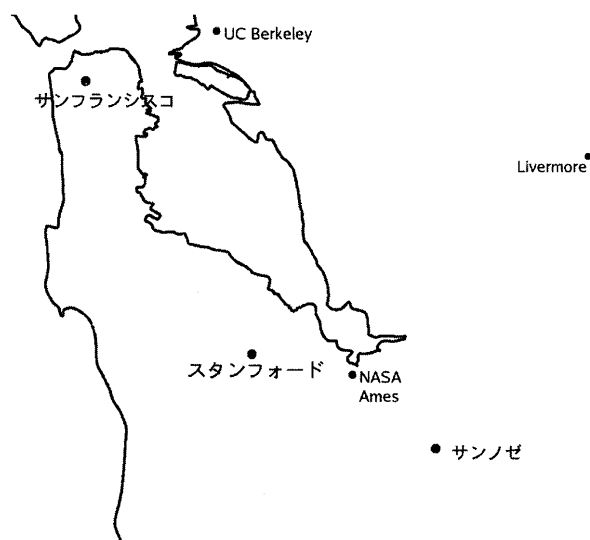


図3 バイエリア

交通はやはり車が中心になります。大学周辺は無料シャトルが20-30分間隔で走り、幹線道路にはバスが運行しているので単身であればバスと自転車だけでも生活できますが、車があった方が格段に便利です。フリーウェイが発達していて図3の圏内なら概ね1時間強で行けるので、週末は日帰りで海や山に行くことができます。気軽にアメリカの大自然を楽しむことができる点は、特に家族連れにとっては大きな魅力です。

この地域で暮らす上での最大の問題は生活コストです。家賃は、大学から少し離れたとしても家族用であれば\$1,500前後はするようですし、大学に隣接した物件ではさらに高くなります。物価も全体に東京よりも高めです。この地域の生活費は全米平均の2.5倍という調査もあるくらいで、地元の人と話を聞いて「ここはとっても良い所だよ。お金さえ持っていればね」と言われることが何回かありました。

5. 最後に

CTRは、大きなプロジェクトや国・企業からのファンドで研究資金を確保していますが、実際の研究活動は大学らしい基礎研究に軸足を置いているように見えます。豊富なマンパワーがそれを可能にしているという面もありますが、資金を提供している側にも直接的な研究成果のみを求めるのではなく、研究レベルの向上に投資しているという意識があるのかもしれませんが、大学における共同研究のありかたという意味で、考えさせられるところがありました。

最後になりましたが、今回の渡航にあたりまして、東京大学やIGTC'07関係の皆様始め、様々な方にご協力いただきましたことを感謝申し上げます。

2007年ガスタービン及び過給機生産統計

ガスタービン統計作成委員会

ガスタービン統計作成委員会は、関係各社の協力を得て2007年1月から12月の間におけるガスタービン及び過給機を生産状況を調査・集計し、生産統計資料を作成した。資料提供を、陸船用ガスタービンについては15社、航空用ガスタービンは3社、過給機は13社に依頼し、提供を受けた範囲で生産統計資料を纏めた。なお、過給機はすべて排気タービン方式のターボチャージャーであり、機械駆動によるものではない。

1. 2007年陸船用ガスタービン生産統計概要

(1) 総台数(図1)は前年の420台に対し391台と、昨年に引き続き前年から減少し、過去6年間で2番目に低い水準となった。出力区分別では小型が35台減少、中型が8台増加、大型が2台減少となり、全体では29台(7%)の減少となった。出力ベースでは前年の4,635MWに対し3,570MWと前年から1,065MW(23%)の大幅な減少となり、こちらも過去6年間で2番目に低い水準となった。

ア) 小型(735kW以下)は、台数は前年と比べて17%減少の167台となったが、出力は前年比0.8%増の64MWとなった。台数は減少したが出力は増加となった。

イ) 中型(736~22,064kW)は、台数は前年と比べて4%増加の195台、出力は25%増加の593MWとなり、台数、出力ともに増加となったが、台数に比べて出力で大幅な増加がみられた。

ウ) 大型(22,065kW以上)は、台数は前年と比べて6%減少の29台、出力は前年比29%減少の2,913MWと、こちらは台数に比べて出力で大幅な減少となった。

(2) 用途別にみると(表1, 図5・6)、ベースロード用、ピークロード用、非常用、艦艇用、その他の用途向けで占められており、台数で最も多いのは非常用発電用の268台(69%)、出力ではベースロード発電用の3,169MW(89%)である。この傾向は例年同様である。

ア) 非常用は、前年に比べ台数では32台減の268台で11%の減少、出力では32MW増の337MWで11%の増加となっている。区分別にみると、小型では台数で18%減少となったが、出力で0.1%の減少、中型では台数で3%の減少となったが、出力で13%の増加となっている。小型、中型ともに台数の減少に対し

て、出力は微減または増加しているのは、各クラスの中で比較的単機出力が大きなものにシフトしているためと思われる。

イ) ベースロード発電用は、前年に比べ台数で26台増の89台で41%の増加、出力では993MW減の3,169MWで24%の減少となっている。区分別にみると、小型が台数で50%増、出力で39%増、中型が台数で88%増、出力で75%増、大型は台数の増減なし、出力で27%減となっている。台数の増加は小型・中型によるもので、出力の減少は、大型の減少によるものである。大型で台数の増減がないにもかかわらず出力が減少しているが、これは単機出力の大きいものが減少したことによるものと思われる。

ウ) その他の用途に区分されたものが、前年に比べ台数で40%の減少となっているが、これは昨年同様、可搬型の小型ガスタービンの台数の減少によるものの他、水ポンプ駆動用のガスタービンの減少も影響している。

(3) 燃料の種類別にみると(表2, 図7・8)、台数ではガス燃料が前年比21%増の85台、液体燃料が前年比13%減の304台となっている。一方、出力ではガス燃料が前年比22%減の3,141MW、液体燃料が14%増の426MWとなっており、台数と出力で増減の傾向が逆転している。構成比率は、台数でガス燃料が全体の22%弱に対し、液体燃料が78%弱、その他の燃料が0.5%と、昨年に比べてガス燃料の構成比が5%程増加している。出力ではガス燃料が88%弱、液体燃料が12%弱、その他の燃料が0.1%に満たない割合で、ガス燃料と液体燃料がほとんどを占めている。

ア) 液体燃料では、台数、出力ともに最も多いのが重油1種で、台数は184台で燃料全体の47%を占めている。出力では202MWで、燃料全体の6%を占めている。重油1種は前年に比べて台数で5%の増加、出力も6%の増加を示している。台数でみると、次に多いのは灯油の66台であるが、前年に比べると42%減となっている。最も少ない軽油は54台であるが、前年比11%減で灯油に比べて減少率は低い。出力では軽油が165MW、灯油が59MWと逆転しており、昨年比をみると軽油が39%の増加、灯油が8%の減少と、台数の減少に対して、軽油では増加、灯油も比較的少な目の減少にとどまっている。

イ) ガス燃料では、台数が最も多いのは都市ガスの45台で、燃料全体の12%を占めている。出力では天然ガスが最も多く2,618MWで全体の73%を占めている。この都市ガスと天然ガスで台数、出力ともにガス燃料の大半(台数94%, 出力90%)を占める、という傾向は昨年と変わらないが、昨年に比べると構成比率は高くなっている。

ウ) 燃料別比率を出力区分別にみると、台数の上位3種は、小型は重油1種(59%), 灯油(24%), 都市ガス(9%), 中型は重油1種(44%), 軽油(21%), 都市ガス(15%), 大型は天然ガス(76%), 高炉ガス(14%), 都市ガス・コークス炉ガス・軽油(各3%)となっている。全体では重油1種(47%), 灯油(17%), 軽油(14%)の割合になった。出力でみると、小型は重油1種(65%), 灯油(22%), 都市ガス(7%), 中型は重油1種(27%), 都市ガス(26%), 軽油(23%), 大型では天然ガス(87%), 高炉ガス(10%), 都市ガス(1%)となっている。全体では天然ガス(73%), 高炉ガス(8%), 重油1種(6%)の割合となった。前年に比べると、台数では小型の液体燃料の減少(20%減)とガス燃料の増加(36%増)、中型のガス燃料の増加(45%増)、出力では台数と同様、小型、中型でのガス燃料の増加(それぞれ17%増、53%増)とともに大型のガス燃料の減少(25%減)等がみられる。特に小型・中型において都市ガスの割合が増加しているのが特徴的であるが、これは前年から見られる傾向である。中型のガス燃料において、天然ガスが台数で前年比2倍弱、出力で5倍強となっていることや、都市ガスの出力が、前年33%の増加を示したのに引き続き、今年も7%の増加を示しているのは、昨今の原油価格の高騰との関連とみられる。

(4) 地域別納入でみると(表3)、台数では国内が前年比54台減の329台、輸出が25台増の62台。出力では国内が前年比796MW減の761MW、輸出が269MW減の2,809MWとなっている。

ア) 国内向けは総台数の84%、全出力の21%を占めているが、前年より台数で14%、出力で51%と減少しており、特に出力で大幅な減少となっている。区分別でみると、小型は台数、出力それぞれ34台減、1MW増、中型では16台減、16MW増、大型では4台減、813MW減となっており、台数では全体的な減少の中、特に小型の大幅な減少(17%減)がみられ、出力では大型の大幅な減少(78%減)がみられる。さらに国内の地域別にみると、台数で大きな変化があったのは北海道で11台、中部で13台、近畿で18台、四国で13台の減少、などである。出力では中国で181MWの増加、東北で273MW、関東で682MWの減少、などである。台数の減少は各地域とも小型・中型の減少によるものである。出力の増減は各地域

とも大型の増減によるものである。中部では台数は減少、出力は増加しているが、これは大型の影響によるものではなく、中型で前年より単機出力が上がったことによるものである。地域別のシェアは台数、出力ともに関東が最も多く、それぞれ国内全体の46%、36%を占めている。

イ) 輸出は総台数の16%、全出力の79%と、前年と比べた全体に占める割合は台数で7%、出力で13%増加している。昨年より25台(68%)増加、269MW(9%)減少しているが、出力では国内の減少が大きいため、全体に占める輸出の比率が相対的に増加する結果になった。区分別でみると中型では24台、101MWの増加となったが、大型では2台の増加に対し、369MWの減少となっており、中型の大幅な増加と大型での単機出力の大きい案件の減少が見られる。輸出先別にみると、台数ではアジア(61%)、中東(16%)、北米(11%)の順になっており、出力ではアジア(68%)、北米(18%)、中東(9%)となっている。アジア向けが台数、出力ともに、前年同様伸びを見せており、輸出全体に占める割合も増加していること、前年は0であった北米向けで中型、大型の実績が出ていること、欧州向けの実績が0であったことなどが特徴としてみられる。アジア向けは台数、出力ともにここ数年増加傾向であるが、地域的にも極東(韓国、中国など)から東南・西アジアまで幅広い国への輸出となっており、対象地域各国の活発な経済情勢の影響がみられる。欧州向けはここ数年必ず実績があったが、今年は0で、例年に無い状況となった。

(5) 被駆動機械別では(表4、図9・10)、これまでと同様に、台数、出力とも発電機がほとんどを占め、台数で93%、出力で98%と、前年と同様の構成比率であった。発電機について出力区分別にみると、台数では前年に比べて小型、大型が減少、中型は増加している。特に小型の減少が大きい(前年比20%減)。一方出力では小型、中型は増加、大型は減少しており、特に中型の増加(前年比33%増)と大型の減少(昨年比29%減)が大きい。推進機は前年と変化なしであった。水ポンプでは小型は2台増に対して0.7MW減、中型が6台の減少に対して9MWの減少となっている。また前年実績があったその他の圧縮機では今年は0であった。

(6) 出力区分別では(表5)、小型では出力区分0～146kWで台数が大幅な減少(前年比74%減)、中型では出力区分4,412～10,296kWが台数で前年比2.5倍増、出力で前年比2.4倍増、大型では出力区分44,130kW以上が出力で前年比33%減少、などがみられる。小型の中でも比較的小さいクラスの減少と、中型の出力区分4,412～10,296kWの増加が特徴的である。台数の多い順では、736～4,412kW、368～735kW、147～367kW

となっており、これは昨年の傾向と変わらない。また出力の多い順では44,130kW以上、22,065～44,129kW、736～4,412kWとなっており、例年どおりの傾向となった。

- (7) 発電用ガスタービンの台数と出力を昨年と比較すると(表6)、事業用において、国内では1台、188MWとなり、台数は前年から3台減であったが出力は83MW増となった。輸出では前年は実績なしであったが、今年は4台、117MWとなった。自家用においては、国内が299台、512MWと、台数で45台減、出力で864MWと大幅な減少、輸出も58台、2,692MWと台数で21台増となったが、出力では386MW減となり、国内の減少が顕著であった。
- (8) 今年から陸船用ガスタービン向けモジュールの生産統計も新たに加えた。2007年の生産実績はGE社のMS9001H向け圧縮機モジュール1台のみであった。2005年まで遡ったところでは、2005年はMS9001H向け圧縮機モジュール1台、2006年はMS7001H向けとMS9001H向けの圧縮機モジュールがそれぞれ1台ずつの2台であった。

2. 2007年航空用ガスタービン生産統計概要

- (1) ターボジェット／ターボファン・エンジンで資料を入手できたのは、F-2支援戦闘機用のターボファンF110のみであり、合計出荷台数は6台、合計推力は774kNであった。(表7、図2参照)
- (2) ターボシャフト／ターボプロップ・エンジンは、前年同様にターボプロップ・エンジンの新規製造は無い。ターボシャフト・エンジンで資料を入手できたのは6機種であり、合計出荷台数は45台、合計出力は79,478kWであった。(表8、図3参照)
- (3) 近年の民間航空機業界の活況をふまえ、今年から新たに民間航空機用エンジン向けモジュールの生産統計を加えることにした。機種の内訳は、V2500のファンモジュール、CF34の低圧タービン及びアクセサリギアボックスのモジュールであり、合計出荷台数は1,116台であった。(図4)
- (4) 日本の航空用ガスタービン生産全体の動向としては、防衛省向けエンジンの新規製造が減少傾向である一方、民間航空機用エンジン向けモジュールの新規製造が増加傾向である。今年の統計では、V2500およびCF34のモジュール生産統計を掲載したが、部品製造も含めるとGE90、PW2000／4000／6000、GP7200、TRENT500／700／800／900、BR710／715など多機種に渡り、その生産規模も相当な額に達している。また、今後、GENX、TRENT1000の部品製造、モジュール製造も本格化するため、民間航空機用エンジン関連の占める割合が増加する傾向は続くと見られる。(出典：社団法人日本航空宇宙工業会「平成19年版 日本の航空宇宙工業」、ISSN 0910-1527)

3. 2007年過給機生産統計概要

- (1) 生産台数(表9・図11)については、圧縮機翼車外径100mm以下の過給機の生産台数は前年比11%増加して、約481万台に達し、圧縮機翼車外径101mm以上の過給機の生産台数は前年比23%増加して36,951台に達している。各クラス別の内訳を見てみると、Class 1、2、6の生産台数が増加傾向にあり、特に、Class 1、2の生産台数増加が著しい。また、Class 11の生産台数は減少傾向となっており、Class 3、4、5、7、8、9の生産台数も昨年並みとなっている。
- (2) 生産形式(表10・図11)は前年度に比べ21形式減少し、196形式であった。内訳は圧縮機翼車外径100mm以下の過給機が2形式増加し(2007年89形式・2006年87形式)、圧縮機翼車外径101mm以上の過給機が23形式減少した(2007年130形式・2006年107形式)。本年の統計においては、過給機形式が減少しているが、これは、過給機の生産を中止しているメーカーが数社あったことによるものである。
- (3) 市場動向としては、Class 1は主に自動車・トラック等の車両用に使用される過給機であるが、近年の排ガス規制強化への対応の為、欧州でのディーゼルエンジンを中心として、装着率が増加し需要が高まっている。また、Class 2は主に建設機械及び、船用補機、タグボート・漁船・フェリー等の船用主機に使用される過給機であるが、これらのマーケットについても需要が伸びているものと推察される。なお、他区分の過給機生産台数については、ほぼ昨年並みとなっているが、近年の造船業界の好調が2007年も維持されたものと推察される。
- (4) 製品ラインナップについては、Class 1の車両用過給機では、可変容量式タービンがラインナップとして普及してきている。Class 2以上の建設機械用及び船用過給機では、エンジンの平均有効圧の上昇及び、排ガス規制への対応の為、高圧力比まで対応可能な過給機のラインナップが一般的なものとなってきている。

Ⅱ. 統計

1. 最近6年間のガスタービン生産推移

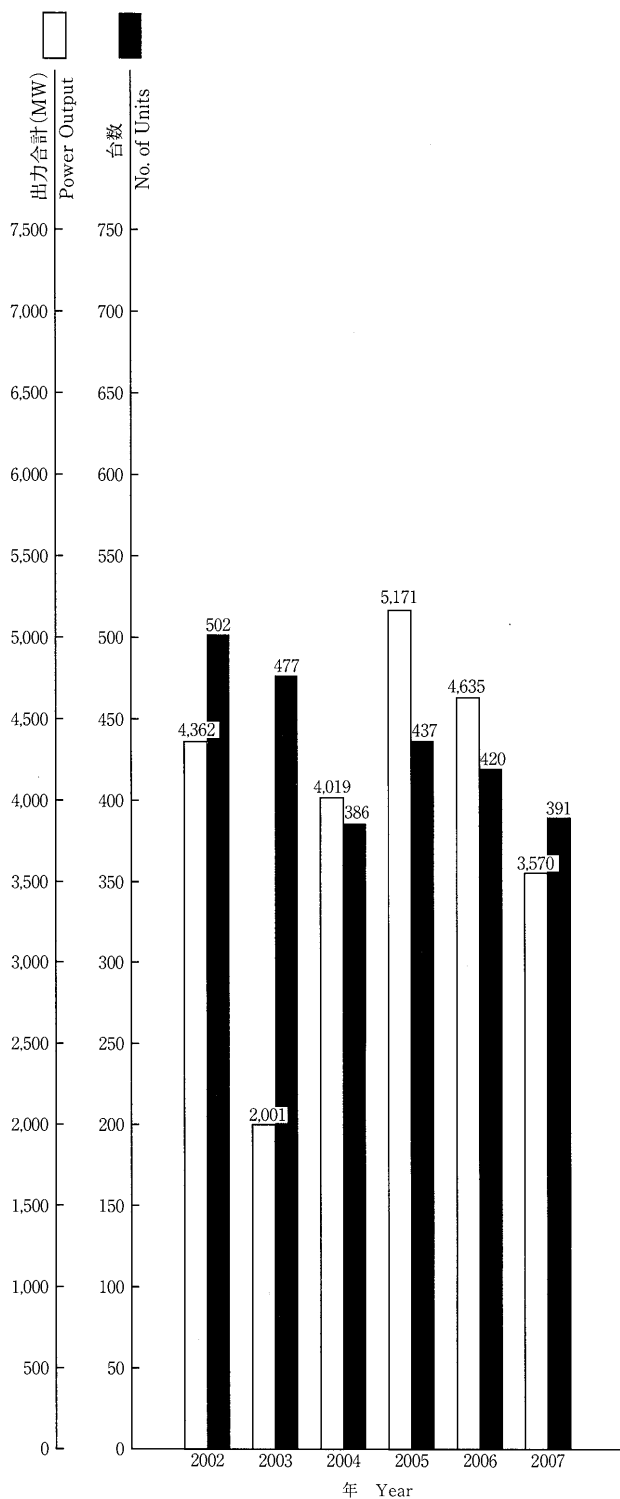


図1 陸船用ガスタービン

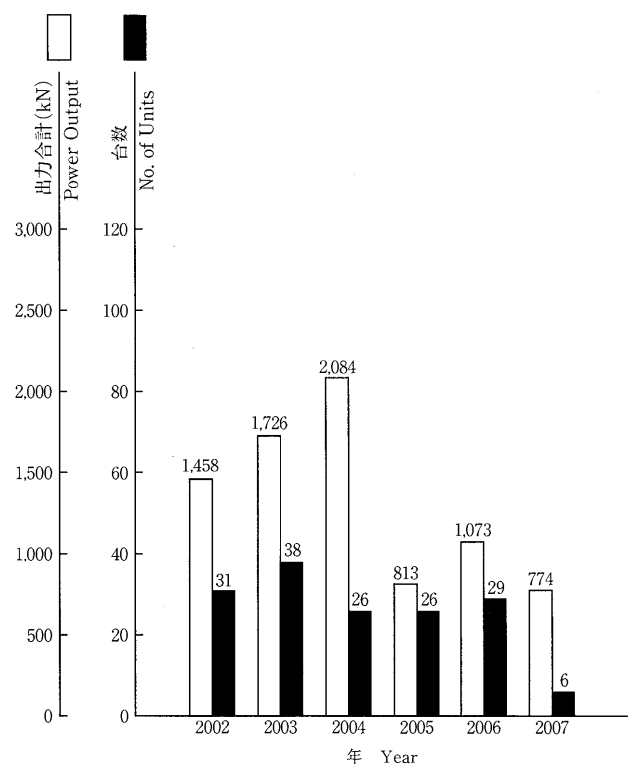


図2 ターボジェット／ターボファン・エンジン

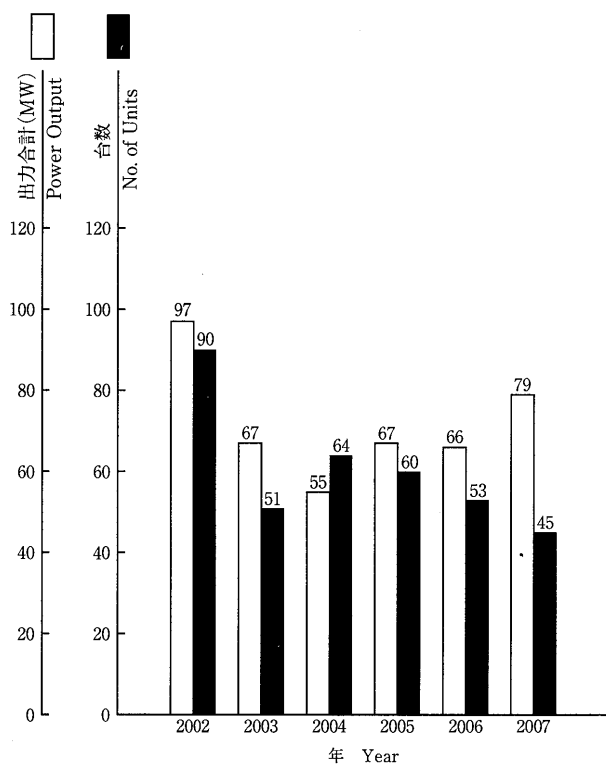


図3 ターボシャフト／ターボプロップ・エンジン

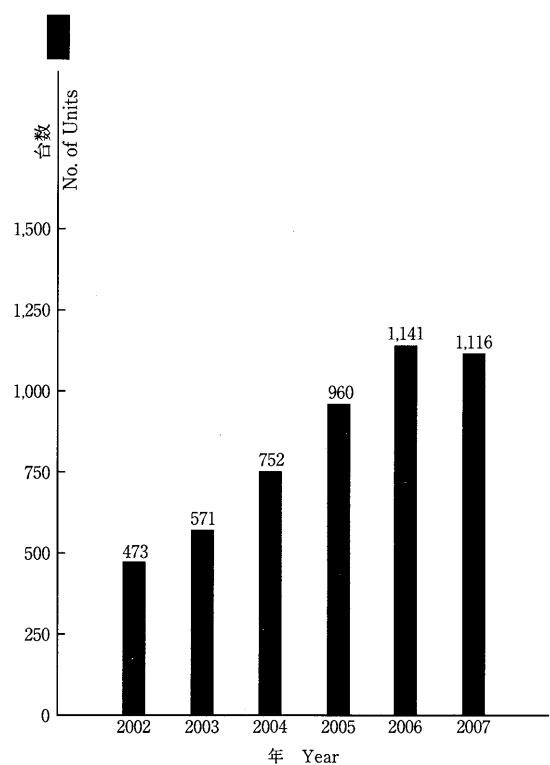


図4 民間航空機用エンジンモジュール

2. 陸船用ガスタービン

表1 2007年用途別生産台数及び出力 (kW)

区分 Size		小型 Small Unit ～735kW		中型 Medium Unit 736～22,064kW		大型 Large Unit 22,065kW～		全出力 Total	
用途 Application	コード Code	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)
ベースロード発電用 Generator Drive for Base Load	BL	15	4,374	45	252,466	29	2,912,610	89	3,169,450
ピークロード発電用 Generator Drive for Peak Load	PL	0	0	1	2,000	0	0	1	2,000
非常用発電用 Generator Drive for Emergency	EM	129	54,060	139	282,670	0	0	268	336,730
商船用 Merchant Marine	M	0	0	0	0	0	0	0	0
艦艇用 Military Marine	MM	0	0	4	48,543	0	0	4	48,543
石油化学プロセス用 Oil Refinery and Chemical Process	OR	0	0	0	0	0	0	0	0
その他のプロセス用 Miscellaneous Chemical Process	PR	0	0	0	0	0	0	0	0
教育用 Education	XP	0	0	0	0	0	0	0	0
空調用 Air Conditioning	ACD	0	0	0	0	0	0	0	0
その他 Miscellaneous	MC	23	5,915	6	7,020	0	0	29	12,935
合計 Total		167	64,349	195	592,699	29	2,912,610	391	3,569,658

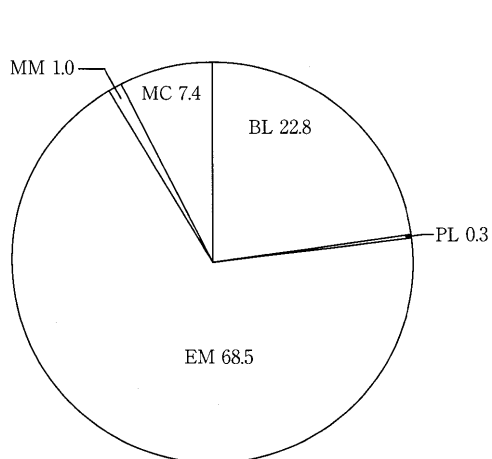


図5 2007年用途別生産台数割合 (%)

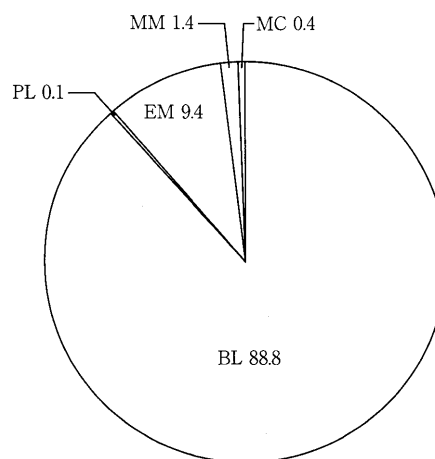


図6 2007年用途別出力割合 (%)

表 2 2007年燃料別生産台数及び出力 (kW)

区分 Size			小型 Small Unit ～735kW	中型 Medium Unit 736～22,064kW	大型 Large Unit 22,065kW～	全 出 力 Total	
燃料種類 Kind of Fuel	コード Code	台数 Units	出 力 Output (kW)	台数 Units	出 力 Output (kW)	台数 Units	出 力 Output (kW)
ガス燃料 Gaseous Fuel	天然ガス Natural Gas	GNG	0	13	92,355	22	2,526,110
	都市ガス Town Gas	GTW	15	29	154,411	1	40,150
	高炉ガス Blast Furnace Gas	GBF	0	0	0	4	292,320
	コークス炉ガス Coke Oven Gas	GOG	0	0	0	1	31,380
	ガス燃料 小計 Sub Total		15	42	246,766	28	2,889,960
液体燃料 Liquid Fuel	灯油 Kerosene	T	40	26	45,350	0	0
	軽油 Gas Oil	K	13	40	137,793	1	22,650
	重油 1 種 Heavy Oil No.1	H1	99	85	159,890	0	0
	液体燃料 小計 Sub Total		152	151	343,033	1	22,650
その他 Miscellaneous Fuel		MF	0	2	2,900	0	0
合 計 Total			167	195	592,699	29	2,912,610

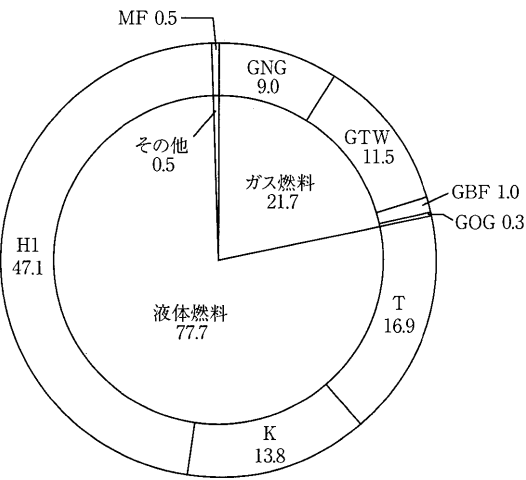


図 7 2007年燃料別生産台数割合 (%)

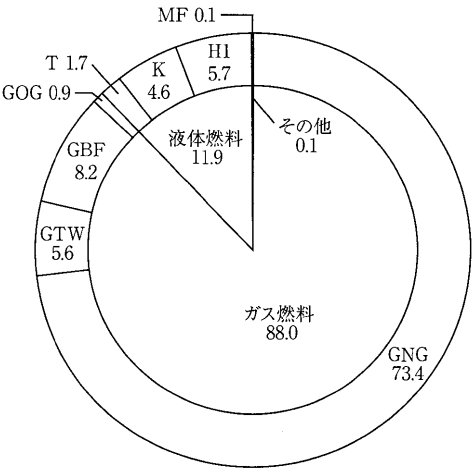


図 8 2007年燃料別出力割合 (%)

表3 2007年地域別生産台数及び出力 (kW)

区分 Size 地域 Location		小型 Small Unit ~735kW	中型 Medium Unit 736~22,064kW	大型 Large Unit 22,065kW~	全 出 力 Total				
		台数 Units	出 力 Output (kW)	台数 Units	出 力 Output (kW)	台数 Units	出 力 Output (kW)		
国内向け Domestic Use	北 海 道 Hokkaido	8	2,877	3	4,400	0	0	11	7,277
	東 北 Tohoku	17	7,176	5	8,900	0	0	22	16,076
	関 東 Kanto	62	26,056	87	205,980	1	40,150	150	272,186
	中 部 Chubu	36	11,943	27	114,040	0	0	63	125,983
	近 畿 Kinki	13	5,818	19	61,401	0	0	32	67,219
	中 国 Chugoku	5	1,800	4	3,970	1	187,500	10	193,270
	四 国 Shikoku	10	2,340	3	2,800	0	0	13	5,140
	九 州 Kyushu	12	5,960	6	13,700	0	0	18	19,660
	沖 縄 Okinawa	2	375	0	0	0	0	2	375
	船用主機 Marine Propulsion	0	0	4	48,543	0	0	4	48,543
	船用補機 Marine Anxiliaries	0	0	2	4,800	0	0	2	4,800
	未 定 Unknown	2	4	0	0	0	0	2	4
	国内向け 小計 Sub Total		167	64,349	160	468,534	2	227,650	329
輸出向け For Export	北 米 North America	0	0	5	17,340	2	498,880	7	516,220
	中 南 米 South Central America	0	0	5	12,640	1	22,650	6	35,290
	ア ジ ア Asia	0	0	25	94,185	13	1,805,570	38	1,899,755
	大 洋 州 Oceania	0	0	0	0	0	0	0	0
	欧 州 Europe	0	0	0	0	0	0	0	0
	旧 ソ 連 Fomer Soviet Union	0	0	0	0	1	91,620	1	91,620
	中 東 Middle East	0	0	0	0	10	266,240	10	266,240
	アフリカ Africa	0	0	0	0	0	0	0	0
	輸出向け 小計 Sub Total		0	0	35	124,165	27	2,684,960	62
合 計 Total		167	64,349	195	592,699	29	2,912,610	391	3,569,658

表4 2007年被駆動機械別生産台数及び出力 (kW)

区分 Size		小型 Small Unit ~735kW	中型 Medium Unit 736~22,064kW	大型 Large Unit 22,065kW~	全出力 Total				
被駆動機械 Driven Machinery	コード Code	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)
発電機 Electric Generator	G	148	58,558	185	537,136	29	2,912,610	362	3,508,304
推進機 Propeller	PRR	0	0	4	48,543	0	0	4	48,543
水ポンプ Water Pump	W	19	5,791	6	7,020	0	0	25	12,811
合 計 Total		167	64,349	195	592,699	29	2,912,610	391	3,569,658

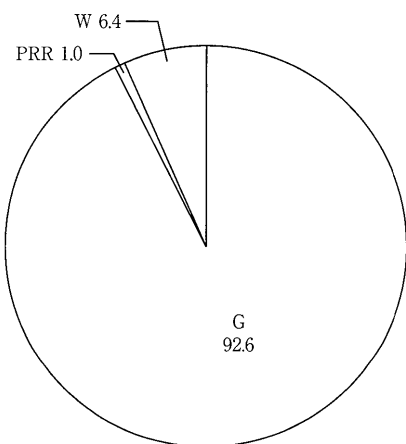


図9 2007年被駆動機械別生産台数割合 (%)

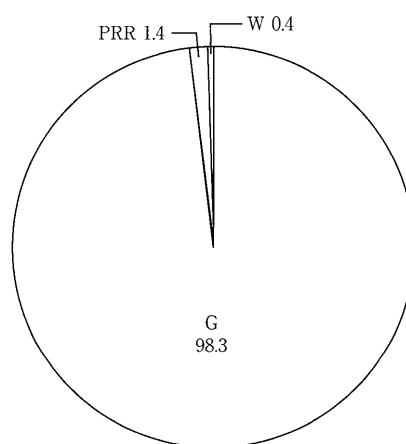


図10 2007年駆動機械別出力割合 (%)

表5 2007年出力区分別生産台数及び出力 (kW)

出力区分 (kW) Units Output		台数 Units	出力 Output (kW)
小 型 Small Unit 0~735kW	0~146	11	523
	147~367	60	14,729
	368~735	96	49,097
	小計 Sub Total	167	64,349
中 型 Medium Unit 736~22,064kW	736~4,412	159	302,095
	4,412~10,296	28	177,161
	10,297~16,180	6	78,443
	16,181~22,064	2	35,000
小計 Sub Total		195	592,699
大 型 Large Unit 22,065kW~	22,065~44,129	17	485,310
	44,130~	12	2,427,300
	小計 Sub Total	29	2,912,610
合 計 Total		391	3,569,658

表6 2007年発電用ガスタービン用途別生産台数及び出力 (kW)

区分 Size			小型 Small Unit ～735kW		中型 Medium Unit 736～22,064kW		大型 Large Unit 22,065kW～		全出力 Total	
用途 Application	コード Code		台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)	台数 Units	出力 Output (kW)
国内 事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	1	187,500	1	187,500
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Domestic/Public Use 国内事業用 小 計 Sub Total			0	0	0	0	1	187,500	1	187,500
国内 自家用	ベースロード発電用	BL	15	4,374	22	163,751	1	40,150	38	208,275
	ピークロード発電用	PL	0	0	1	2,000	0	0	1	2,000
	非常用発電用	EM	129	54,060	127	247,220	0	0	256	301,280
	そ の 他	MC	4	124	0	0	0	0	4	124
Domestic/Private Use 国内自家用 小 計 Sub Total			148	58,558	150	412,971	1	40,150	299	511,679
国内合計 Domestic Use Total			148	58,558	150	412,971	2	227,650	300	699,179
輸出 事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	4	117,170	4	117,170
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
For Export/Public Total 輸出事業用 小 計 Sub Total			0	0	0	0	4	117,170	4	117,170
輸出 自家用	ベースロード発電用	BL	0	0	23	88,715	23	2,567,790	46	2,656,505
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	12	35,450	0	0	12	35,450
For Export/Private Use 輸出自家用 小 計 Sub Total			0	0	35	124,165	23	2,567,790	58	2,691,955
輸出合計 For Export Total			0	0	35	124,165	27	2,684,960	62	2,809,125
事業用	ベースロード発電用	BL	0	0	0	0	8	304,670	8	304,670
	ピークロード発電用	PL	0	0	0	0	0	0	0	0
	非常用発電用	EM	0	0	0	0	0	0	0	0
Public Use 事業用 合 計 Total			0	0	0	0	5	304,670	5	304,670
自家用	ベースロード発電用	BL	15	4,374	45	252,466	24	2,607,940	84	2,864,780
	ピークロード発電用	PL	0	0	1	2,000	0	0	1	2,000
	非常用発電用	EM	129	54,060	139	282,670	0	0	268	336,730
	そ の 他	MC	4	124	0	0	0	0	4	124
Private Use 自家用 合 計 Total			148	58,558	185	537,136	24	2,607,940	357	3,203,634
総 計 Grand Total			148	58,558	185	537,136	29	2,912,610	362	3,508,304

Note : Code Explanation BL : for Base Load PL : for Peak Load EM : for Emergency MC : any other miscellaneous use

3. 航空用ガスタービン

表7 2007年ターボジェット／ターボファン・エンジン
生産台数及び出力 (kN)

生産台数 Number. of Units	6	スラスト合計 ^{*1} Thrust	774
--------------------------	---	--------------------------------	-----

※1 海面上静止最大スラスト
Maximum Thrust at Sea Level Static Condition

表8 2007年ターボシャフト／ターボプロップ・エンジン
生産台数及び出力 (kW)

区 分 Size	0～735kW		736kW～		全出力	
用 途 Application	台数 Units	出力 ^{*2} Output (kW)	台数 Units	出力 ^{*2} Output (kW)	台数 Units	出力 ^{*2} Output (kW)
固定翼機 Fixed Wing Aircraft	0	0	0	0	0	0
ヘリコプタ用 Helicopter	0	0	45	79,478	45	79,478
補助機関駆動用 Aux. Drive Units	0	0	0	0	0	0
合 計 Total	0	0	45	79,478	45	79,478

※2 海面上静止常用出力
Normal Output at Sea Level Static Condition

4. 過給機

表9 クラス別の年間生産台数

区 分 Class	Size 圧縮機翼車外径(mm) Outside Diameter of Compressor Impeller	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
Class 1	0～100	約282万	約288万	約319万	約333万	約435万	約481万
Class 2	101～200	14580	14381	22779	27137	28370	35284
Class 3	201～300	324	447	498	615	557	551
Class 4	301～400	156	214	276	115	263	238
Class 5	401～500	88	84	104	122	173	169
Class 6	501～600	162	191	205	189	183	212
Class 7	601～700	179	156	225	223	224	249
Class 8	701～800	27	23	18	21	65	64
Class 9	801～900	131	126	123	136	193	176
Class 10	901～1000	0	0	0	0	0	0
Class 11	1001～	0	0	0	0	33	8
合計 Total ^{*4}		15647	15622	24228	28558	30061	36951

表10 クラス別の形式数^{*3}

区 分 Class	Size 圧縮機翼車外径(mm) Outside Diameter of Compressor Impeller	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
Class 1	0～100	87	90	87	92	87	89
Class 2	101～200	30	29	29	30	30	26
Class 3	201～300	21	21	21	23	22	14
Class 4	301～400	19	19	20	18	20	14
Class 5	401～500	14	14	15	15	15	11
Class 6	501～600	13	13	12	13	12	11
Class 7	601～700	10	10	13	12	13	13
Class 8	701～800	2	3	4	4	5	5
Class 9	801～900	10	10	11	14	11	11
Class 10	901～1000	0	0	0	0	0	0
Class 11	1001～	1	1	2	2	2	2
合計 Total ^{*4}		120	120	127	131	130	107

※3 形式はいずれも排気タービンである。

Every model is an exhaust turbine type supercharger.

※4 合計数は、圧縮機翼車外径100mmを越す分を示す。

The figure shows total number of superchargers over 100mm in impeller diameter.

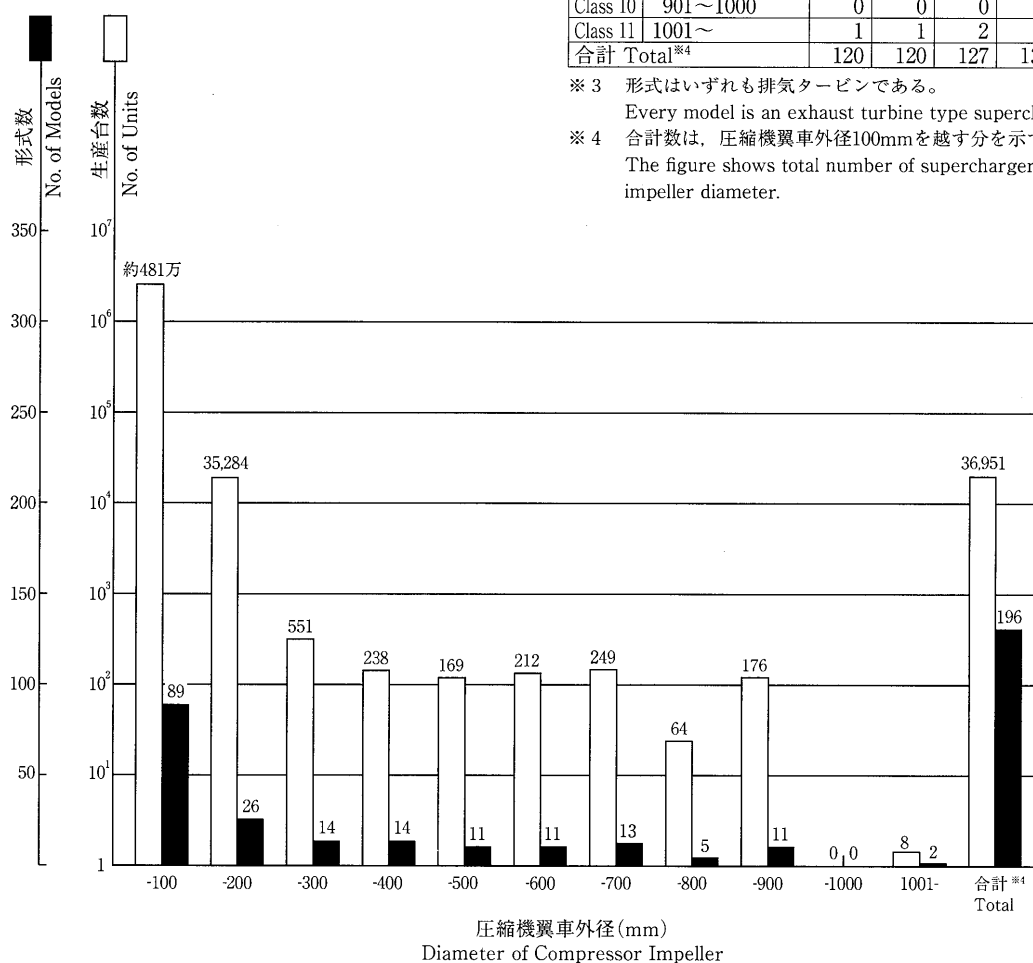


図11 2007年過給機生産台数及び形式数

GTSJ第13期会長の松本正勝氏がISOABE賞を受賞

柳 良二^{*1}
YANAGI Ryoji

Key Word : ISABE, ISOABE Award, NAL, JR100/200, FJR710

2007年9月に北京で開催された空気吸い込み式エンジンの国際会議である第18回ISABE (International Society for Air Breathing Engines) Conferenceに於いて、日本ガスタービン学会第13期会長であり、現名誉会員である松本正勝氏が名誉あるISOABE Awardを受賞致しました。我が国で初めての受賞です。

この会議は、ISABEによって、2年毎に、ISABE会員各国で開催されており、我が国でも1993年に開催されました。第1回ISABE (当時はInternational Symposium on Air Breathing Enginesと呼ばれていました) は航空宇宙用の空気吸い込み式推進機関の研究の国際的連携・情報交換を促進する事を目的に仏・英・米の有志を發起人として1972年にフランスのマルセーユで開催されましたが、これを定期開催の国際会議として定着させるために、数年の準備作業を経て会員国からなる国際団体としてISABEが1983年に正式に発足し (当時はISOABEと呼ばれました。2007年9月以降は、紛らわしいため、ISOABEは使用しないことになります)、準備段階から引き続いて崇城大学の難波昌伸教授と松本正勝氏が日本代表国際委員となっていました。これまで、ISABEが出す賞には、ISABE論文賞、ISABE国際協力功績賞の他に、今回の松本正勝氏が受賞したISOABE Awardがあり、空気吸い込み式エンジンに対して顕著な功績 (Outstanding Contribution) があった人に贈られます。当然、ジェットエンジンの発明者であるDr. Hans von Ohain (1987), Sir Frank Whittle (1989), Dr. Anselm Franz (1991) もこの賞を授与されています。

この度、氏がこのような名誉ある賞を受賞された事は、氏が日本のジェットエンジン研究開発の草分け的存在であり、顕著な研究成果を挙げたからに他なりません。同時に、我が国のジェットエンジン技術の高度さが認められた事も意味しています。特に、GTSJは、我が国唯一のジェットエンジンを含むガスタービンの研究に関する学会であり、元会長にこの賞を贈られた事は、GTSJが培ってきた日本のガスタービン技術が認められたと

言っても過言では無いでしょう。

松本氏は当初通商産業省 (現経産省) 技官に任官していましたが、戦後の航空機に関する研究の禁止が解除され、昭和30年に内閣府に航空技術研究所が設立された年に、総理府技官として航空技術研究所原動機部に配属されました。

日本の航空研究空白時代に、世界の航空機用原動機は従来のレシプロエンジンからジェットエンジンに移っており、世界の航空技術に追いつくためには、まずジェットエンジン技術を確立する事が必要でした。その為、まずは、ジェットエンジンの研究用設備の整備が急務の課題であり、氏は原動機部圧縮機研究室準備室長に任命され、圧縮機の試験設備の整備に着手しました。

ジェットエンジン関係では、1,800kW圧縮機、10,500kW圧縮機の諸空気源を完成させると共に、4,600kW圧縮機試験設備、15,000kW圧縮機試験設備を整備しています。このような試験設備の整備に関連しても、氏は、翼列試験、回転翼列試験などの実験を行って圧縮機に関する研究を進めました。

また、原動機関係ばかりでなく機体関係の空力設備も整備が進められており、測定部寸法2m×2mのマッハ1.4まで試験可能な遷音速風洞の建設が行われていましたが、その主送風機は22.4MWの我が国でも最大の軸流送風機であり、氏はその製作に当たって、まず10分の1模型の送風機を作成して、その設計諸元を求め、それを元として実物の遷音速風洞を実現しました。また、その補助送風機も氏の助言と指導で完成したものです。

このような試験設備を整えつつも、我が国最初の試験用エンジンとして、当時世界的潮流であった垂直離着陸機用の軽量ターボジェットエンジンのJR100/200のエンジンの開発を進め、昭和46年、角田支所で2台のエンジンを付けたFTB (Fling Test Bet) での初飛行を成功させました。この研究開発により、我が国にジェットエンジンの設計に関する貴重な資料、ノウハウが蓄積されました。

氏は、昭和41年に初代原動機部長の山之内正男氏の後をついで、原動機部長となり、前記のJRシリーズのエンジンを完成させるとともに、昭和46年より、我が国初の

原稿受付 2007年5月27日

* 1 宇宙航空研究開発機構 ジェットエンジン技術研究センター
東京都調布市深大寺東町7-44-1



写真1 受賞祝賀会（於東大本郷キャンパス山上会館）

（前列：松本正勝ご夫妻，後列左より，船渡川，小職，坂田，プロイゲルマンス，難波，児玉，永野，長島（敬称略））

高バイパス比ファンジェットエンジンの研究に取りかかりました。FJR710と名付けられたこのエンジンは、当初は通商産業省工業技術院の大型プロジェクトとして地上試験用エンジンとして設計製作されましたが、昭和53年に、航空宇宙技術研究所の研究プロジェクトである短距離離着陸実験機（STOL実験機）「飛鳥」の搭載エンジンとする事が決定され、FJR710エンジンにも実機飛行用エンジンとしての改良が加えられ、昭和60年10月28日に初飛行に成功しました。将に、機体からエンジンまで純国産ジェット機が飛行に成功したのです。このFJR710エンジンの成功が鍵と成って、英国ロールスロイス社との共同研究XJB計画がスタートし、さらにP&Wが加わってV2500エンジンが国際共同開発で完成し、現在AIRBUS A320等の機体に搭載され、世界のベストセラーエンジンと成っています。この事を記念して、FJR710エンジンは、昨年夏に日本機械学会の機械遺産として認定されています。

氏は、これらの我が国航空エンジン研究の草創期から始まり実用エンジンFJR710の完成まで手がけ、昭和54年にはSTOLプロジェクト推進本部副本部長、昭和57年には航空宇宙技術研究所科学研究官を歴任し、昭和58年、定年により退官いたしました。

退職後も、氏は日本工業大学教授として後進の指導に当たられ、GTSJに対しても多大な貢献を行ってまいりました。この経歴が国際的に認められ、今回のISOABE

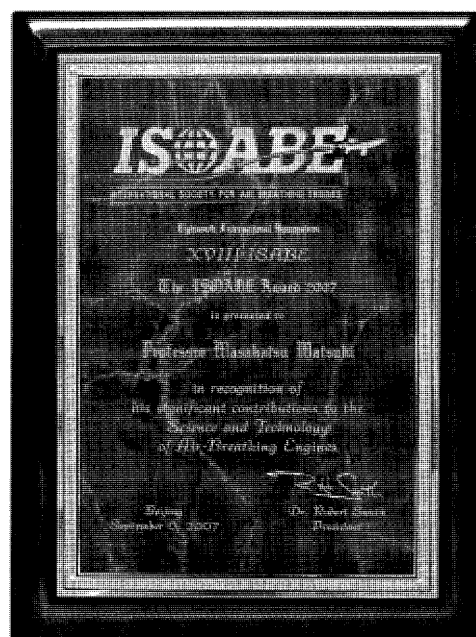


写真2 ISOABE Award

Awardの受賞に繋がったものです。

昨年12月4日、東京大学の長島教授のご尽力により、本郷キャンパスの山上会館で、ささやかな受賞記念パーティが開かれました。写真1はその時の模様です。また、写真2に、氏が受賞したISOABE Awardの楯を示しておきます。

国際ガスタービン会議2007東京大会 報告

国際ガスタービン会議実行委員会

概要

2007年12月2日(日)から7日(金)までの6日間にわたり、(社)日本ガスタービン学会主催の第9回国際ガスタービン会議が、東京都新宿区の京王プラザホテルにて開催された。本大会では、新たに欧州タービン協会(European Turbine Network)の協力を得るとともに、前回に引き続いて米国ASMEのガスタービン部門であるInternational Gas Turbine Institute (IGTI)、日本機械学会、日本航空宇宙学会をはじめとして中国、韓国、英国、フランス、ドイツ、イタリア等世界各国の関連学会の多大なる協力のもと実施された。

本大会の運営に当たり、前回大会と同様に、学会内の臨時組織として組織委員会が設置され、そのもとに実働組織として実行委員会が置かれた。実行委員会の構成は従来通り総務委員会、論文委員会、展示委員会、行事委員会および財務委員会とした。運営にあつては昨今の経済情勢を考慮し、業者への業務委託を最小限に留めるなど、経費削減の努力を図った。

参加登録者数は、国内から413名、海外から17ヶ国、84名の合計497名であり、当初の参加予定数500名をほぼ達成することが出来た。

会議を盛り上げる行事として、Welcome Reception, Banquet, Technical Toursが計画され、いずれも盛会裏に行われ、好評を得た。

展示会は京王プラザホテル本館4階の展示ホール(花の間)およびロワイエにおいて実施した。展示ホールではガスタービン、ターボ過給機、関連機器および数値解析ツール等を中心に39機関からの出展があり、また出展者有志による展示イベントを連日実施する企画などにより、4日間の展示期間中の延べ入場者数は3,900名を越え大変盛況であった。また、4階ロワイエにおいては、

大学の研究室を中心とした(9大学12研究室+本学会)活動紹介をパネルセッションで実施した。

今回の国際会議において採択された論文総数は156編であり、内国内102編、海外54編と前回大会と比較して海外からの採択論文はキャンセルなどもあり若干減少したものの、延べ1300名を超える講演会来場者のもとに盛況であった。

講演は次の区分で行った。

・ Keynote Speech	5 件
・ Invited Lecture	1 件
・ Forum	1 件
・ Panel Discussion	1 件
・ Technical Session	148 件

Keynote Speechは以下の5件を実施した。

- (1) 世界のエネルギーおよび環境問題に対するガスタービンの役割 (福江一郎氏)
- (2) ガスタービンエンジンの高信頼性統合数値シミュレーション (Prof. P. Moin)
- (3) 先進高温構造材料の動向 (Dr. R. E. Schafrik)
- (4) 欧州で推進する航空エンジン産業の技術開発計画 (Prof. Dr.-Ing. K. Broichhausen)
- (5) エンジン信頼性向上のための事前対策 (杉浦重泰氏)

Forumは前回大会に引き続き「電力とエネルギー供給の現状と将来戦略」と題して、インド、中国、韓国、タイおよび日本といったアジア圏の電力事情について紹介した。また、今回は特別企画として「次世代の技術者教育への提言」についてInvited Lectureを実施した。

Panel Discussionは「地球環境問題、エネルギー消費およびガスタービン電力システムの貢献」と題して、2人の司会者と5人のパネリストにより実施し、ETNと米国DOE (Department of Energy) および我が国官界、産業界により近年のエネルギー環境問題に対するガスタービンの貢献について話題提供がなされた。

Technical Sessionは、実機開発、冷却技術、CFD技術、軸流ファン・圧縮機/タービン、遠心圧縮機/タービン、翼振動問題、燃料多様化、燃焼器開発/シミュレーション、不安定燃焼、騒音、伝熱と遷移問題、コーティング技術、運用・修理技術、制御・計測技術、新材料開発、材料評価、マイクロガスタービン、原子力・パワープラント、新サイクル技術など、広い分野にわたり学術講演ならびに活発な質疑がなされた。



国際会議会場の正面入口風景

会議中に行った行事では、Welcome Receptionに約100名、京王プラザホテルのコンコードボールルームで開催したBanquetには140名が参加した。

Technical Tourは訪問先の異なるTour-1とTour-2を設定した。Tour-1には9名が参加、庄和排水機場および物質・材料研究機構を見学し、Tour-2は43名の参加のもと、東京電力 富津および川崎火力発電所を見学した。

以上のように、わが国および海外の共催学会・協力学協会、関連企業および関係者の尽力により、参加登録者数が497名、採択論文総数は156編と目標数をほぼ達成することが出来た。1983年の第3回大会以来、同規模の国際会議を4年に一度のペースで継続的に開催することができ、本国際会議は名実ともに国際的なものとなった。これは、本国際会議が、わが国で唯一のガスタービンに関する国際会議として世界的にも認知されていることの証であると考えられる。(総務委員会)

1. 組織委員会

今回のガスタービン国際会議の運営に当たり組織委員会の位置づけとしては、前回大会より、国際会議の運営、実行に当たるための、日本ガスタービン学会とは独立した外部組織としてその都度テンポラリーに設立する方式を改め、本学会の臨時組織として組織委員会を設立した。

第1回組織委員会は、2006年7月12日(水)に国際会議の実施会場である東京都新宿区の京王プラザホテルにて開催され、住川雅晴氏を組織委員会委員長ならびに議長として選出した後、実行委員会の各委員会から国際会議実施計画(案)等が提案され、承認された。また、組織委員会終了後、希望する各委員をご案内して、京王プラザ内の各会議場や展示会予定会場などを見て頂いた。

第2回組織委員会は、2007年11月9日(金)に同じく京王プラザホテルにて開催され、組織委員会委員、実行委員会委員の交替、追加および予算修正案等の提案がなされ、異議なく承認された。また、各委員会から準備状況および国際会議実施計画の最終案等が報告された。

2. 実行委員会

2007年ガスタービン国際会議を実施するに当たり、準備、実施および運営を行うための実行委員会を設立した。実行委員会は図1に示すように、大田英輔実行委員会委員長、渡辺紀徳副委員長および総務、財務、論文、展示および行事の各委員会の委員長、幹事から構成される。

わが国の経済情勢が相変わらず厳しい中、参加登録者数の予測が困難なため、一層の経費削減を図るべく、前回東京大会と同様に総合事務局を外部業者に委託せず、各委員会毎に分担を明確化して作業を進めることとし、必要最小限の業務だけを外部業者に委託した。

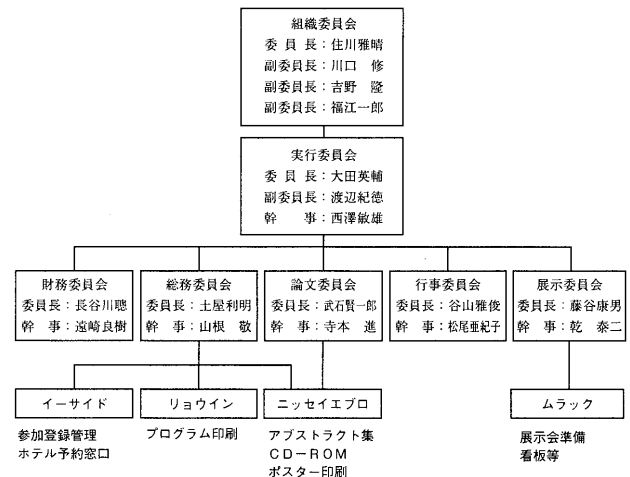


図1 IGTC'07 Tokyoの実施組織

2.1 Collaborating Societies

今回の国際会議においても過去の大会同様、多くの海外の関連学会の協力を得ることができた。中でも前回の第8回(2003)の東京大会に20年ぶりに共催が実現した米国機械学会(ASME)の協力を今回も得ることができたこと、及びEU圏に設立されたETN(European Turbine Network)からの協力が新たに始まったことは大きな成果であった。

米国関係では、ASMEが1977年の第2回および1983年の第3回国際ガスタービン会議のCo-sponsorとして本国際会議をサポートしてきた。しかしながら、ASMEにおけるガスタービン部会(GTD)の変革期とも重なり、国際ガスタービン会議の協力関係について両者の立場の違いから第4回(1987年)以降、前回の第7回(1999年)の神戸大会に至るまで、ASMEの協力は得られなかった。しかしながら、諸先輩の地道なご努力によりASMEのガスタービン部門であるInternational Gas Turbine Institute(IGTI)との共催が前回の第8回(2003年)の東京大会から復活した経緯がある。一方、欧州関連では、前述の如くETNとの協力体制が新たに始まったと共に前回大会に協力が得られなかったイタリアのATI(Associazione Termotecnica Italiana)の協力を得ることが出来た。

今回の大会では、従来から協力をいただいている国内の日本機械学会、日本航空宇宙学会に加え、中国、韓国、米国、英国、仏、独、伊、欧州連合など世界各国の関連学会の共催が得られた。

以下に、今回協力を頂いた13のCollaborating Societiesを示す。

- ・ The American Society of Mechanical Engineers (ASME-IGTI) 米国
- ・ The Chinese Society of Engineering Thermophysics (CSET) 中国
- ・ International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT) 国際組織

- ・ The Institute of Mechanical Engineers
(IMEchE) 英国
- ・ The Japan Society for Aeronautics and Space
Sciences (JSASS) 日本
- ・ The Japan Society of Mechanical Engineers
(JSME) 日本
- ・ The Korean Fluid Machinery Association
(KFMA) 韓国
- ・ The Korean Society of Mechanical Engineers
(KSME) 韓国
- ・ Association Française de Mécanique (A.F.M.) 仏
- ・ Société Française des Thermiciens (S.F.T.) 仏
- ・ Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 独
- ・ Associazione Termotecnica Italiana (ATI) 伊
- ・ The European Turbine Network (ETN) 欧州連合

以上のCollaborating Societiesに加えて、国内22の関連学協会からCooperative Societiesとして協力を頂いた。

2.2 Circular類の発行と各種広報活動

共催、協力学協会等主要な関連学会の学術講演会へのAnnouncementや1st Circularの配布依頼及び学会誌に論文募集の広告を出してもらうなどの広報活動をおこなった。今回は海外からの参加者を増やす目的から、ガスタービン関係者の参加が多い、ASME-IGTI主催のTurbo Expo 2006 (2006年5月)に間に合うように1st Circularを作成し、ASMEの協力のもと会場にて配布を行った。

Announcementの体裁と内容は前回の第8回東京大会(2003年)のものを踏襲し、開催日時・開催場所を周知することを目的とした。2006年1月中旬に原稿作成・見積依頼・印刷発注を済ませて、同年1月末に4000部を印刷、2月末までに国内外の関連箇所へ発送し、あわせて学会ホームページに掲載した。

1st Circularの体裁・掲載内容は前回の第8回東京大会(2003年)のものを踏襲して、論文募集を主目標とした。小冊子として印刷すると共に、詳細はインターネットのホームページ掲載により広報した。2006年4月末までに7000部を印刷し、5月上旬開催のASME Turbo Expo'06にて配布、国内外の関連箇所への発送を行い、学会ホームページに掲載した。

2nd Circularは前回同様、印刷物の形では発行しないこととし、pdf形式でホームページに掲載しダウンロードするようにした。

主な内容は、日本ガスタービン学会会長の挨拶に始まり、主催者、協賛学会、協力学協会、国際交流委員会、助成団体の紹介と以下の情報とした。

- ・ 概略日程、・ Technical Session関係、・ Registrationの案内、・ 行事関係 (Social ProgramとTechnical Tour)、
- ・ 展示会紹介、・ 会議開催場所の案内

これらの内容は、暫定情報も含めて学会ホームページに掲載、随時アップデートして最終的に従来の2nd Circularと同等の内容となるようにした。なお、国際会議に関するホームページ掲載内容は英語版のみとした。

ポスターのデザインは、複数(3社)社からの提案コンペ方式とした。IGTCを象徴するロゴ案と、これが含まれるデザイン案に見積もりを添えた提案7案を審査し、最終案1点を採用した。納品と同時に著作権が当学会に帰属するように著作権譲渡契約締結を取り交わし、次回以降もこのロゴを継続使用出来るようにした。

ポスターは会議と展示会の両方の宣伝を兼ねたものとし、日本におけるガスタービンに関する国際会議であることをイメージできるものを目指してデザインした。赤い翼列でガスタービン回転部を表現し、背景にもグレーで渦状の翼列模様をあしらっている。なお、このデザインはプログラム・アブストラクト集・論文を収録したCD-ROM・名札などにも採用して、統一感を打ち出すようにした。ポスターは800部を印刷し、関連機関へ配布した。

2.3 Programの発行

Programの体裁・掲載内容は前回の第8回東京大会(2003年)のものを踏襲し、当日受付にて参加者に配布し、最終的な情報を提供することを目的に準備を進めた。主な内容を下記に示しておく。

- ・ 主催者、共催学会、協力学協会、International Advisory Committee (IAC)、助成団体の紹介
- ・ 日本ガスタービン学会会長および組織委員長・実行委員長の挨拶
- ・ 登録関係
- ・ 会議日程
- ・ 論文関係紹介 (Keynote Speech, Forum, Panel Discussion, 一般講演など)
- ・ 行事関係紹介 (Social ProgramとTechnical Tour)
- ・ 展示会紹介
- ・ 組織委員会及び実行委員会の委員名簿
- ・ 会場案内 (フロアガイド)
- ・ 日本ガスタービン学会紹介

プログラムは前回と同じA4版とし、会議場ホテル内の4つのフロアに分散している会場が一目で分かるように配慮して、詳細なフロアガイドを背表紙に配置した。

2.4 助成金および特別賛助会費

助成金については、まず、我国のエネルギー分野を支える2団体(電力事業連合会、日本ガス協会)から多額の支援を得ることが出来た。更に岩谷直治記念財団、御器谷科学技術財団、スズキ財団、中部電力基礎技術研究所および東電記念科学技術研究所の7団体より、合計329万円の支援を得ることが出来た。

日本ガスタービン学会の活動を支える本会賛助会員には、特別賛助会費（1口5万円）の支援を依頼し、59社から合計430万円（86口）の支援を受けることができた。

2.5 国際会議への参加登録

参加登録関連の業務は、前回に準じて外部業者に委託することとし、見積額・実績などを総合的に勘案し、(株)イーサイドに決定した。

2007年9月頭からオンライン登録システムの稼働を開始し、事前登録が始まった。事前登録の開始以来、当初の早期割引期限の10月12日までの登録者数は予想以上に芳しくなく、この期限を10月31日まで延長した。その後11月20日のオンラインシステムでの事前登録締切の時点でも、収支均衡のために必要と見積もった参加者数より約100名弱少ない状況であった。

このため、急遽、学会理事・評議員や国際会議組織委員会を通して、国際会議参加のお願いを再度行った。これにより参加者数が増え、最終的な参加登録者数は、合計497名（含む招待者、学生、名誉会員）となった。その国別内訳を表1にまとめておく。（総務委員会）

3. 学術講演会

3.1 概要

前回のIGTC'03では、ASME/IGTIとの共催が再び実現し、ASME会員からの論文が増加した。今回もASME副会長のWisler博士が、ASME/IGTI側の窓口役を務めて下さり、2007年Turbo Expoのターボ機械あるいは伝熱の委員会などで、IGTC'07への参加を呼びかけて下さった。しかし欧米からの論文数はIGTC'03に比べて減少した。過去の個人的なGTSJ会員のネットワークを通じてIGTC'99並の海外からの論文の応募があった。

論文の査読は、IGTC'99から取り入れた全論文（Full Length Paper）を2名の査読者で査読する方式を踏襲し、論文の質を保証するとともに、大幅な修正の必要な論文については再査読も実施した。

IGTCの特色であるキーノート講演については、今回は会場の使用可能講演室の関係から5件に押さえざるを得なかったが、ガスタービンの5分野の最新情報を講演いただき、好評を博した。また、恒例のPanel Discussionは、地球温暖化問題へのガスタービンシステムがどのように寄与できるかを日米欧のそれぞれの地域の特色を生かした取組を紹介していただき活発に討議いただいた。前回のIGTC'03で好評を博したForumは、会場使用の制限から今回は1テーマにつき行った。アジア



参加登録デスク

の電力需要は著しい伸び率を示しているもので、前回のForumから4年が経過し大きく変化していることが予想されたため、その状況をアジアの電力需要Phase IIとして報告いただいた。

講演論文集をCD-ROMで発行し、また聴講時の参照の便を考えた各論文1ページのアブストラクトを1冊にまとめたBook of Abstractsを印刷物としてIGTC'03を踏襲して作成した。

CD-ROM収録の論文総数は156編で、前回とほぼ同数であった。しかし外国からの論文が前回に比べて減少し、論文全体の35%に留まった。1技術論文を十分な時間で講演していただくことを前回同様心がけた結果、6室の平行セッションとせざるを得なかったが、IAC委員会の答申に基づき、休憩時間、開始終了時間の設定に反映した。

3.2 準備経過

2006年3月にIGTC'07論文委員会が発足し、活動が開始された。まずは少人数の委員会でIGTC'07 Tokyoの位置付け・意義を考察し、講演内容、実施形態、日程、1st Circularなどの立案を行った。論文委員会は同年10月の第5回論文委員会から委員数を20名に増強し新論文委員会として発足し、第1回～第4回の論文委員会で立案し実行委員会で承認された基本計画に基づき、IGTC'07の論文・講演に関する実質的な活動を開始した。論文委員会は以後、2007年12月のIGTC'07開催までに計18回の委員会を開催し、論文の募集、論文の査読、Keynote Speech, Invited Lecture, Forum, Panel Discussionの企画、論文集の編集とCD-ROMの発行、アブストラクト集の編集と発行、講演者・司会者への依頼、会期中の講演会場の運営などを担当した。

表1 参加者の国籍別人数

米国 9	独 10	中国 10	韓国 18	英国 10	ロシア 6	イタリア 6	ベルギー 4	インド 2	
オランダ 2	カナダ 1	フランス 1	ノルウェー 1	スイス 1	タイ 1	ポーランド 1	サウジアラビア 1	日本 413	合計 497

論文募集、採否決定および通知は、以下のスケジュールで行った。

2006年12月31日 アブストラクト締切り
2007年1月31日 アブストラクト採否通知
2007年4月30日 査読用全論文締切り
2007年7月30日 採否通知
2007年9月30日 最終原稿締切り

提出されたアブストラクトは189件に達したため、特に応募依頼の活動は行わなかった。アブストラクトは論文委員会で査読した。基本的にはすべてが採択可能なものであったが、そのままでは必ずしも会議の主旨に合致しないもの等も散見され、それらの著者にはコメントを付して採択を通知した。

全論文の査読は、IGTC'99から行っている方式を踏襲し、各論文につき2名の査読者をお願いして行った。査読者への論文割り当ては2編以内を原則とした。査読者の見解を重視しつつ、最終的に委員会で採否を判定した。査読コメントはすべての著者に送り、必要な場合には修正原稿の再査読を行った。採択した論文で書式等が整っていない論文は、最終原稿の段階で、修正を指示した。

ProceedingsをCD-ROMで発行することから、論文原稿は基本的に電子投稿とした。不可能な場合は郵送も選択肢として残したが、実際には全て電子投稿された。また、査読者とのやりとりも全て電子メールで行うことができた。Book of Abstractsに掲載した1ページのアブストラクトも、今回は電子投稿をお願いした。

ProceedingsはCD-ROMの形で700部作成した。Book of Abstractsは印刷物として600部作成し、CD-ROMと共に会場で参加者に配布した。双方にISBN番号を付した。また、全著者より著作権の委譲または著作権の付与を受けている。

講演のキャンセルを可能な限り減らすため、論文集に論文を掲載するための条件として、著者の少なくとも一名が事前登録を行うことを求めた。

3.3 講演会の概要

3.3.1 論文採択状況

査読の結果、表2に示す156件数の論文を採択した。講演の論文数は148編であった。論文の採択数は、前回に比べて4編減少した。外国からの論文数が、54編と前回より19編減少し、国内からの論文が102編と前回に比べて15編増加したが、国際会議に相応しい海外からの論文数の全体に占める割合は35%に留まった。

3.3.2 Keynote speech

ガスタービン関連学術・技術の最新動向について、広範囲の知見を得るため、5件のKeynote Speechを立案し依頼した。海外からはIGTC'03と同数の3名の講師をお招きした。

3.3.3 Forum

IGTC'03を踏襲して、原著論文の提出を必ずしも求

めない“Forum”と名付けたセッションを設け、当該テーマに関する情報交換を行う場を提供した。1つのForumを企画した。司会者2名を配し、活発な討議となるよう計画した。

表2 IGTC'07 Tokyo CD-ROM収録論文集計
* () 内はアブストラクト受理数

	IGTC'07 Tokyo	IGTC'03 Tokyo
Belgium	1	1
Canada	1	
France	1	2
Germany	5	11
India	2	3
Iran	-	3
Italy	7	4
Korea	5	7
Morocco	1	-
Netherlands	1	-
Norway	1	-
Poland	2	2
P.R. China	6	8
Russia	8	8
Saudi Arabia	1	-
Sweden	-	1
Switzerland	-	2
UK	10	11
USA	2	10
国外計	54 (79)	73 (87)
Japan	102 (110)	87 (95)
総計	156 (189)	160 (182)

3.3.4 Panel Discussion

「地球環境問題とガスタービンシステムの寄与」をテーマにPanel Discussionを企画した。地球環境問題に取り組む地域を代表する5名のパネリストに依頼し、日本、欧州、米国における産業界の動向および政策的な取組についてそれぞれ講演をいただいた。司会者2名を配し、活発な討議となるよう計画した。

3.3.5 Organized Session and Invited Lecture

採択された論文から特に現時点において特徴ある技術課題、あるいは将来有望となる技術動向が見られなかったのでIGTC'07ではOrganized Sessionを組まなかった。元IGTIの会長であるGE社D. C. Wisler博士のご好意により技術者教育に関する講演をPlenary Sessionで実施することを企画した。

3.3.6 プログラム概要

以上の企画を盛り込んで全体プログラムを編成した。IGTC'99開催後のIACメンバーからいただいたご意見を参考に、IGTC'03からは1件の発表時間を30分とし、また昼休み等の休憩を長めにとって、ゆとりのあるプランにした。今回の論文数は前回のIGTC'03とほぼ同数であるので、セッションの進行はIGTC'03と同様の6室パラレルセッションで行った。しかし前回とは少し違ってKeynote Speechを7件から5件に減らしたこともあつ

て最終セッションの終了時刻が遅くなることはなかった。

3.4 講演概要

3.4.1 Keynote Speech

Keynote Speech 1

題 目：The Role of Gas Turbine in the Global Energy and Environment Resolution

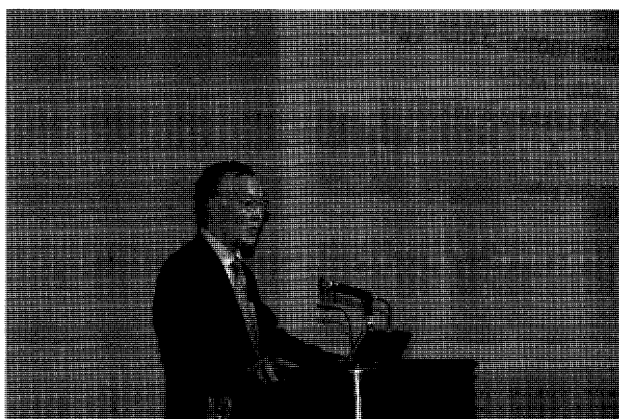
講演者：福江一郎氏（三菱重工業株）

司会者：川口 修氏（慶應義塾大学）

月曜の朝9時と言う時間ではあったが、大ホールにはかなりの聴衆が参集した。最近、環境問題、特に大気中のCO₂排出に関する関心が高まっているが、化石燃料をエネルギー源とするガスタービンの将来については、それを懸念する声もある。そんな中、福江氏の発表は、学会初日の朝一番の最初のKeynote Speechとして、活発な質問こそ出なかったものの、静かな議論を巻き起こしたことは間違いない。

福江氏の発表は、最初に1960年代に開発された初期のヘビーデューティー型ガスタービンと最新の1500℃級；ガスタービンとの比較をし、過去40年間のガスタービンの高温化、技術の進歩に触れた後、話は一転して最近の風車・太陽電池など再生可能エネルギーの新規発注及び将来予測に言及した。早ければ5年以内にも、風車の新規建設容量は、ガスタービンによる新規建設容量を超え、地球上の再生可能エネルギーのポテンシャルが非常に大きいことを強調。一方で、ガスタービン発電設備のkWあたり単価が風車の10分の一であって、CO₂の排出量も石炭火力発電設備の約半分で、建設期間も短く、比較的環境負荷の小さな手ごろな電源として当面は火力発電の主力であるとした。

そのような位置付けから、今後も更なる高効率化を図って行く必要があるとし、1700℃級ガスタービンの開発や石炭IGCC及び燃料電池とのコンバインドサイクル、高温ガス炉における原子力分野へのブレイトンスサイクル適用などの先進技術開発を行ってゆくべきと結論付けた。（福泉靖史）



Keynote Speech 1：福江一郎氏

Keynote Speech 2

題 目：High Fidelity Integrated Numerical Simulation of Gas Turbine Engines

講演者：Prof. Parviz Moin（Stanford University）

司会者：寺本 進氏（東京大学）

流体数値シミュレーション（CFD）は様々な場面でツールとして用いられており既に成熟した技術となりつつあるが、ガスタービンに関する限り定量的な信頼性は不十分であり、実験値との比較を繰り返してチューニングをしたり、データ評価法を工夫するなど、CFDを使う上でのノウハウが必要になっている。ノウハウに頼らずCFDの信頼性を根本的に改善する努力も行われているものの、ガスタービンCFDの信頼性は今後どこまで改善可能なのかについては共通した認識は未だ無い。Moin教授は基礎的な乱流の数値シミュレーションで著名であると同時に、米国ASCIプロジェクトの一環として航空用ガスタービンの大規模数値シミュレーションにも10年近く取り組まれてきた。数値シミュレーションを得意とするグループが、ガスタービンCFDに取り組んで大規模な計算機を駆使した場合、どの程度のシミュレーションが可能になるのか、という観点で講演を頂いた。

講演ではPW6000のFan, LPC, HPC, 燃焼器, HPT, LPT全流路を同時に非定常シミュレーションした結果が紹介された。翼列部分は圧縮性構造格子のRANSコード（SUMb）、燃焼器は非圧縮非構造のLESコード（CDP）で扱い、全体の格子点数は1.6～7.5千万点で1,000CPUを使って2週間程度の計算規模になる。大規模な解析を行うためには周辺コードの整備も重要であり、SUMbとCDPのデータを並列計算機環境下で接続するためのライブラリを新規に開発したほか、並列計算のload balanceにも工夫し1,000CPU以上の並計算機でもscalableな加速が得られている。燃焼器部分のシミュレーション技術開発には特に力を入れており、液体燃料の微粒化モデルや、燃焼モデルも独自に開発されている。また、これらの大規模解析と並行して計算で用いたモデルを検証するための基礎研究も行われており、たとえば微粒化モデルの検証では解適合格子による微粒化過程の



Keynote Speech 2：Prof. P.Moin

直接シミュレーションなども行われていた。

全体として、この大規模シミュレーションによってどのような改善が得られたのかについて明確な答えは示されていないが、ガスタービンの全体解析を行うにあたり必要な技術について検討し、それら技術課題の一つ一つについて大学らしく丁寧に取り組んでいるという印象であった。得られた数値解析結果の迫力もさることながら、それを実現するために払われた努力は我々の研究規模とは桁違いであり、ガスタービンの数値シミュレーションに携わる者として考えさせられた。

比較的基礎的な側面からの講演であったが多数の聴衆が集まり、講演後も活発な質問があった。

(寺本 進)

Keynote Speech 3

題 目 : Opportunities for Advancing High Temperature Structural Materials

講演者 : Dr. Robert E. Schafrik (GE Aviation)

司会者 : 吉岡洋明氏 (株東芝)

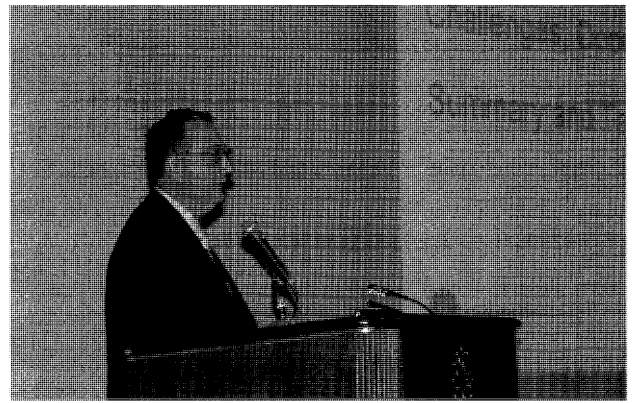
構造材料は、航空エンジンのタービン入口温度を決める上において重要な役割を果たしてきた。ここでは、航空エンジンの開発の歴史を振り返り、材料技術の果たしてきた役割とその変遷を紹介すると共に、今後の取組みを紹介いただいた。

航空エンジンは、ライト兄弟の圧力比4.7、25馬力のエンジンからGE90-115Bの圧力比42、スラスト力115000lbsまでに数々の変革を遂げてきた。材料に対しては、高温環境下で強度と軽量化が求められ、ここでも大きな変革がなされた。

エンジンの開発が始まった当時は、耐熱材料としてはステンレス鋼しかなく、このため商品化は非常に難しいものであった。しかし、1950年代に優れた高温強度材料を求めての調査および開発が始まり、Ni基およびCo基の超合金が生み出された。以来60年に渡り数々の超合金が開発され用いられ続けているが、特に高温部品としては γ' 相析出強化型Ni基合金が、また、中高温では製造性に優れた γ'' 相強化型合金がその主流を成している。ここでは、加工技術に加えて、溶解、鋳造、接合、鍛造の技術革新が成し遂げられた。

なお、超合金は、その使用温度が高くなるにつれ、環境劣化が課題となってきた。このため耐酸化コーティングの開発が精力的に行われた。また、更なる高温化への対応として、遮熱コーティングの開発が行われ、内部冷却との組み合わせで表面温度を下げ熱勾配を制御することに成功している。

このような耐熱温度の向上に向けての取組みは、複合材料ケーシング、René104ディスク、新合金翼、GF-1014シャフト、TiAl低圧タービン翼等、実用化が間近に迫っているものから、Nb-Si合金のような将来を見据えた合金まで、広範な領域に渡って継続して行われて



Keynote Speech 3 : Dr.R. E. Schafrik

いる。

ジェットエンジンの新機種開発のサイクルは近年とみに短くなってきている。ここでは、性能改善に加えて、開発期間の短縮、コスト低減が強く求められており、材料分野もこの要求に対して例外ではなくなっている。

これに対する解として、設計ニーズを材料開発の初期の段階から考慮しリソースの集中を図る、製造技術、使用中の劣化も考慮しR&Dと実用化のギャップをなくす、材料モデルを用いた合金開発ツールの開発といった取組みを挙げている。加えて、OEM (Original Equipment Manufacturer) 同士のコラボレーションと新規領域の開拓への大学と国研の参画が今後ますます重要となってくるとの見解を述べている。

(吉岡洋明)

Keynote Speech 4

題 目 : Challenges and Technological Chances for the Aero Engine Industry: The European Path Forward

講演者 : Prof. Dr.-Ing. Klaus Broichhausen (Bauhaus Luftfahrt)

Dr.-Ing. G. Wilfert (MTU Aero Engines)

司会者 : 大田英輔氏 (早稲田大学)

BL社はバイエルン州賛助のもとにMTU、EADS社などが出資するシンクタンクで、技術開発と製品化、システムサイバネティクス、経済効果など航空産業の将来構想や戦略を扱う。講演者は2006年にMTU社の上級副社長からこの組織の会長に就任した。欧州での航空機産業の現状と将来目標が下記の局面について講演された。

(1)航空産業の現状。“終極商業機の象徴に超音速機”、“ゼロ排出目標”、“原油価格の急激な上昇”など多様な話題を背景に、ギアードターボファン (GTF) 搭載計画やB787とA380の経済的な成功、燃料消費の91年比30%減、A319導入による空港85dB騒音域の1/10程度への縮小、GP7000やTrent900に至る50年間の高バイパス比化による燃料消費減50%、騒音低減20dB超などの現状がまとめられた。エンジン管理費や燃料などが運行コス

トの大きな部分を占める現状も述べられた。

(2)トレンドと挑戦課題。 原油価格上昇により燃料費は全航空コストの50%に達するが、適度であれば、航空機生産は、2022年までの20年間に15,800機が市場に、新型エンジン生産は38,000台を上まわると予想し、その経済効果が述べられた。この間にCO₂低減50%, 騒音低減50%, NO_x低減80%, 燃料消費削減20%を達成する欧州ACARE目標が説明された。

(3)技術開発推進への好機。 2020年頃までは従来型ターボファンエンジンの要素技術とシステム技術を発展させ、その後はすでに開発が始まっている新サイクルと新システムのエンジンにより目標を達成する。

従来型では、ファンと圧縮機を最適に統合し、機械構造の完全性と安全性、最適重量を確保する。遷音速段とケーシング/ケーシングトリートメントの最適な組み合わせによりサージ抑制を計り、安定な高効率水準、共振の減衰など全段特性を改善する。全体エンジン構成の最適化やサージの非定常シミュレーションを行い、操作性向上、効率向上、高度無欠陥性を達成する。全体騒音20dB減のために、低騒音のスウェプトファンやインテークスカーフ、能動型のファン静翼やライナー、シェブロン形ノズル等を導入し遠近両音場音源の対策を行う。

先進エンジンの開発では、CO₂排出減のロードマップが紹介され、ACARE目標の現在比20%減を先進コンセプトのエンジンと中間冷却再生エンジン（IRA）で、30%減をオープンロータ（OR）の実用化により達成する。NO_xについて、圧力比10~70の範囲でIRAやATF, GTF, OR, 中間冷却エンジン（IC）による削減評価を行い、CAEP 2 レベル比80%減のACARE目標を達成する可能性を示している。騒音低減のACARE目標は2020年までに-10dBを達成することであるが、ORエンジンではターボファン以下への低騒音化と有効な機体搭載形式（DREAM Open Rotor）の確定が挑戦目標となり、SILENCER VITALエンジンにさらなる可能性を期待している。「サステナブルな航空」には燃料消費50%削減が必要であるが、GTFさらに熱管理エンジンの開発により-20%, 新構想航空機の開発によりA380比-20%, 運行管理により-10%としている。

(4)欧州での開発道程。 第5次計画のSILENCER（'01-'07）、EEFAE-ANTLE（'05-'05）、EEFER-CLEAN（'00-'05）でエンジンの成立性をすでに確認、第6次のVITAL（'05-'08）、NEWAC（'06-'10）により要素性能を検証する。第7次のDREAM（'08-'10）、CLEAN SKYで、未来型エンジンを実証しグリーンエンジン実現へ提言する。

SILENCER計画では航空会社、大学、研究センターなど51団体が協力し、Squid nozzleや低騒音ファンの開発、ファン静翼の能動制御、着陸装置の低騒音化などにより、エンジンと機体の音源を改善して減音6 dBを図った。EEFAC-ANTLEはRR社が先導する8団体の



Keynote Speech 4 : Prof.Dr-Ing. K. Broichhausen

プロジェクトで、従来サイクルエンジンの改善を実証し、CO₂削減12%, NO_x削減60%を目標とした。RR社の高負荷高圧圧縮機、ITP社の高負荷低圧タービン、AVIO社の可変中圧タービン、VAC社によるリアフレーム設計などが挙げられる。MTUほか6団体によるEEFAC-CLEAN計画では、中長期利用を目指して、GTF、再生エンジンの先進サイクルについて技術的検証がなされた。GTFの目標はCO₂削減15%, NO_x削減60%, IRAではCO₂削減20%, NO_x削減80%となっている。MTUのコンパクト熱交換器と高速低圧タービン、Snecmaの能動型サージ制御圧縮機、VACの高温タービンリアフレーム、SnecmaとAVIOによる二重円管燃焼器が紹介された。

VITAL計画では、Snecma社が統括し大学を含む60団体が参加し、CO₂ 7 % 減、騒音 6 dB減を目標とし、2重反転ファンおよびGTFの開発がなされる。MTU社が統括するNEWACでは40団体が協力し、6 % CO₂減、16 % NO_x減を目指す。圧力比30程度までIRCエンジンにより大幅な熱効率の向上見込み、圧力比50程度では流れ制御コアのCRTFか能動型制御コアのGTF、圧力比50超では中間冷却コアエンジンが想定されている。能動制御コアエンジンは、HPC前面での空気噴射能動型サージ制御、HPC後段の能動型クリアランス制御、低NO_xPERM燃焼器、燃焼器空気の能動制御冷却などの特徴を持つ。

第7次DREAM計画では、RR社が統括し、急進的なエンジン設計系の検証を行う。目標は燃料燃焼25%減、騒音減3 dB、代替燃料の有効性検証で、直結型とギアード型のオープンローターが対象となっている。

CLEAN SKYはグリーンエンジンの大綱を構築するもので、エンジン実証へのステップを提案する。RRとSnecmaが先導し、試験対象機体は排ガス、騒音、重量、電気系の総合的な完成度と共に、wide/narrow body, regional, helicopterなど種々の選択肢から選ぶ。斬新なモジュール技術、変革されたアーキテクチャが含まれる。

キャパシティとサステナビリティの面で未来の選択肢を“People Mover”とし、そのBL社構想図を示

して締めくくられた。

(大田英輔)

Keynote Speech 5

題 目 : Proactive Approach for Engine Reliability Improvement

講演者 : 杉浦重泰氏

(Aviation Engineering & Business Consultant)

司会者 : 福山佳孝氏 (JAXA)

杉浦重泰氏は2006年12月まで全日空(株)に勤務、一貫して航空エンジン技術部門を歴任され、JT8D, RB211-22B, CF 6, PW4000等に関連して欧米エンジンメーカー(OEM; Original Equipment Manufacturer)と関わって来られた経験から今回の講演を依頼したものである。本学会でユーザーの立場からの御講演は初めてであり、貴重な内容であった。以下、概要を紹介する。

現在の航空エンジンはオンコンデーション・メンテナンス方式が採用され、不具合を未然に防ぐ為にモニタリング・タスクを定期的に定めて実施している。しかしながら全ての故障要因を未然に検出することは不可能であり、故障が起きてから、その原因を追究し、モニタリング手法を開発してフリート全体の信頼性を維持している。一方、モニタリング手法が無い場合には不具合の予想されるエンジンを強制的に取り出し、分解検査/部品交換等を行うことによって運航の信頼性を支えている。この様に、現在の信頼性管理プログラムは、不具合が発生してから原因を探索し、技術対策を取るという後手のやり方(Reactive)であると杉浦重泰氏は指摘している。その為、使用時間或使用サイクルの多いフリートリーダーの航空会社は経年化による不具合を最初に経験する宿命にあり、その都度、エンジンメーカーが有効な対策を実施するまで、生産的、経済的に多大なマイナスのインパクトを受けているのである。

一方、経済性のニーズから双発機でもより長く洋上飛行をすることが求められてきており(ETOPS; Extended Twin Engine Operationsの導入)、エンジン信頼性の維持向上は益々重要な課題となって来た。杉浦氏は現状よりも更に信頼性を維持向上させる為にはこれまでのような後手の(Reactive)信頼性管理プログラムでは限界があり、もっとプロアクティブな(Proactive)手法が必要であると説明した。

講演ではRB211-22B EngineのHP Turbine Bladeの故障要因とその20年後に発生したCF6-80C2のHP Turbine Bladeの故障要因を事例として、その類似性を説明しながら、杉浦氏がGE社に対して提案したプロアクティブな信頼性管理プログラムの事例が紹介された。このプロアクティブな信頼性管理プログラムは、PW4000 WTT(Working Together Team)では『Sugi Method』として紹介され、GE社でも『Leading Indicator』としてその考え方が採用されている。

今後、日本のメーカーが欧米に肩を並べるOEMに成



Keynote Speech 5 : 杉浦重泰氏

るには先行メーカー以上にユーザーの視点を重視した事業展開が必須であり、その意味で貴重な講演であった。

(福山佳孝)

3.4.2 Forum

題 目 : Current Status and Future Strategy of Electricity and Energy Supply in Asian Countries

講演者 : Prof. Sane Shrikrishna Kashinath (IIT Bombay)

Dr. Weiguang Huang

(Chinese Academy of Sciences)

Dr. Dal-Hong Ahn

(Korea Electric Power Research Institute)

Mr. Prutichai Chonglertvanichkul

(Electricity Generating Authority of Thailand)

相沢善吾氏 (東京電力(株))

司会者 : 杉本隆雄氏 (川崎重工業(株))

安田耕二氏 (株)日立製作所)

今後世界の中で、アジアの経済成長は最も顕著と予想されているが、近年のエネルギーの価格高騰(資源確保の問題)と環境の保全問題への対応は、アジア諸国の経済成長の足かせとなりかねない。冒頭に、司会者より、今後成長が大きく予想されるアジアのエネルギー消費見通しとその問題点について提起があり、その後出席者より、各々の専門分野からの発表があった。

最初に演壇に立ったインドのShrikrishna氏からは、「Future Electricity Needs and Supply in India - a GT Perspective」と題して発表があった。地方の貧困問題、急激な経済成長、産業の高度化と言う、インドの抱える主要な問題点に対し、社会経済開発(Socio-Economic Development)が必要であるとして、その中で現在主体の石炭焚きに対して、環境負荷の小さなガスタービンコンバインドサイクルの普及を進めるには、GTコミュニティが、技術のみならず政治や、社会、価値感、国際的な枠組み、地球環境への影響など、全体的な観点を持ち、技術以外の影響因子とのギャップをどう埋めるかを考える必要があるとされた。

次に演壇に立った、中国のHuang氏からはエネルギー供給を石炭に依存する中国社会の問題点について説明



Forumの会場

があった。特に経済成長著しく、エネルギーの消費量が急激に伸びていること、電力需要の予測が、2020年には950,000MWeに達する見込みで、現状火力発電の比率が80%以上であるが、計画ではそれを下げても70%に留まる見込みであること、現状でも東部の広範な地域で、PH5.6以下の弱酸性雨が計測されている事が報告された。その上で、対策としてはIGCCによるクリーンコール技術、原子力発電所の建設、水素燃料利用が主体となるとした。特に、IGCCについては、中国国内での開発の歴史が紹介され、メタノールの製造と発電を兼用したCo-productionの国家開発PJが進んでいることが紹介された。

発表3番手の韓国のAhn氏は、電力会社の研究所の立場から、ガスタービンの高温部品のトラブル対策の実績及び、IGCCの開発状況について説明があった。特に、低NO_x燃焼器の燃焼振動対策についてモニタリングシステムを用いた対策の説明があった。また、IGCCの開発については、2012年までに300MWクラスのIGCCプラントを建設した後、中長期の見通しとして2013年以降に600MWクラスのIGCCを4基程度建設すること、2020年以降に米国のFutureGenの韓国版を目指している計画であることの説明があった。

4番手のタイのPrutichai氏からは、タイの電力計画についての説明があった。現状発電用燃料の66%が天然ガスであり、設置済みの発電所全体の48%がガスタービンコンバインドサイクルと言う、かなりの天然ガス偏重のタイであるが、2007年以降年率5%以上の電力需要増が見込まれるため、今後天然ガス焚きプラントを増やしつつも、石炭焚きコンベンショナルプラント、原子力発電所の建設も計画に入れる意向である。また、民間の発電会社からの電力購入や、近隣諸国からの水力発生電力の購入も視野に入れていると説明があった。

最後に演壇に立った、日本代表の東京電力相澤氏からは、1970年代の石油危機対策として、石油火力を減らし天然ガス火力発電と、原子力発電の拡大をしてきた道のりと、特に天然ガス火力において、常に世界の最高効率を目指して技術開発をリードしてきた歴史の解説があった。そして、その最新の事例として、タービン入口温度1500℃級のMACC2発電所、川崎火力1号系列と富津火

力4号系列の紹介があった。また、国家プロジェクトとして取り組んでいる石炭ガス化コンバインドサイクルにも言及され、今後ガスタービンには更なる高効率化、燃料の多様化、高信頼性、低コストの4つが要求されるとした。また、Asia Pacific Partnership Programを通じて、最新技術のアジア諸国への普及を図り、世界の環境問題に貢献したいと締めくくられた。

5人のパネリストの発表の後、ディスカッションはフロア全体に開放された。中には、言及されていた2社のガスタービンのどちらが優れているか？などユーザーとしてのダイレクトな感想を問う質問も出たが、時間が押していたこともあり、あまり活発な議論とはならなかった。

最後に、議長から地球環境の保全に向け、ガスタービンのエンジニアとしてはまだまだやるべき事があるとして、議場の議論が総括された。(福泉靖史)

3.4.3 Panel Discussion

題 目：Global Environment Problems, Energy Consumption and Contribution of Gas Turbine Power Systems

講演者：Dr. Tony Kaiser (Alstom)

Mr. Christer Bjorkqvist

(ETN-European Turbine Network)

Mr. Richard A. Dennis

(U. S. Department of Energy)

金子祥三氏 (Clean Coal Power R&D Co. Ltd.)

永井和範氏 (NEDO)

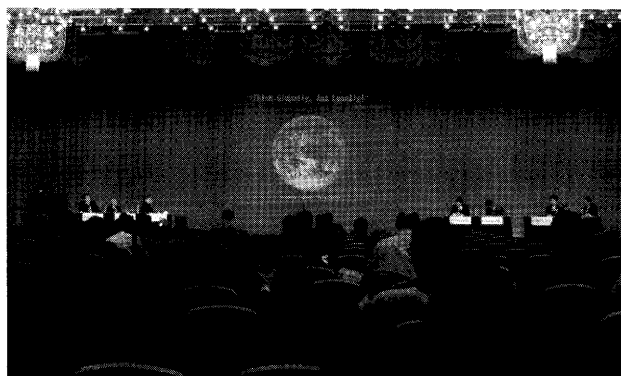
司会者：佐藤幹夫氏 (財電力中央研究所)

武石賢一郎氏 (大阪大学)

会議最終日の最終セッションでは、本題目を総括テーマとするパネルディスカッションを実施した。上記5名の方々をパネリストとして、各パネリストからの話題提供を行い、最後に司会者から全体を通してのまとめがなされた。各話題提供についてのフロアからの質疑も活発になされ、地球環境問題とエネルギーセキュリティに貢献するガスタービンの役割を考える上で有益であった。以下に各パネリストからの講演の概要等を報告する。

EUからはDr. Kaiserが“The European Efforts to Make CO₂ Capture and Storage (CCS) Commercially Viable by 2020”と題して、2020年までに化石燃料発電からのCO₂排出をゼロとするEUのプロジェクトの紹介がなされた。化石燃料発電からのCO₂排出をゼロするにはCarbon Dioxide Capture and Storage (CCS) が不可欠であり、EU全域で大規模なCCS実証プロジェクトが計画されていることなどが報告された。

米国・DOEからはMr. Dennisが“US DOE's Advanced Turbine Program - Coal Based Power Systems with Carbon Capture -”と題して、米国における燃料別発電量構成およびCO₂排出量などの米国のエネルギー事情



Panel Discussion

や電力事情の報告とともに、CO₂回収型石炭ガス化複合発電（IGCC）開発を含むFutureGen プロジェクトにおけるコストや熱効率に関する検討などの紹介がなされた。また、ガスタービン技術開発に関しては、“次世代ガスタービンプログラム”やシーメンスの水素燃焼タービン開発など、米国における次世代ガスタービン技術開発の概要、予算などの説明があった。

また、European Turbine Network（ETN）からMr. Bjorkqvistが“European Energy & Research Policy – Opportunities and Challenges Related to Gas Turbines –”と題して、EUのエネルギー政策や再生可能エネルギー導入目標などの報告や、2020年、2030年および2050年までのCO₂削減に必要なエネルギー技術とガスタービン技術の役割などが説明された。

日本からはCCP研究所の金子氏とNEDOの永井氏から話題提供がなされた。金子氏からは“Contribution of Gas Turbine for Efficient and Clean Use of Coal”と題して、わが国で進められているIGCC実証機の概要などが報告された。利用石炭種の拡大と、将来のCCS対応の上からもIGCCは重要であり、将来的に1500℃級ガスタービンと乾式ガス精製を用いる商用機では送電端効率として46%（HHV基準）が期待されるなどの報告があった。

NEDOの永井氏からは“Outlook for Energy Supply and Demand in Japan and Gas Turbine Technology Development Prospects”と題して、日本と世界のエネルギー情勢と将来見通しおよび2006年5月に発表されたわが国の「新・国家エネルギー戦略」の紹介がなされるとともに、日本の技術戦略におけるガスタービンの役割などが報告された。

「まとめ」では、①中国やインドなどアジア地域でのエネルギー需要の急増でエネルギーセキュリティの確保はますます重要な課題となるとともに、地球環境問題への対応からはエネルギー起源のCO₂排出削減が不可欠である、②埋蔵量が豊富な石炭の利用は今後とも必要であるが、CO₂排出量の多い石炭の利用に当たっては、IGCCなどの技術やCCSの適用が不可避であろう、③ガスタービン技術は将来的にも高効率な発電システムの要である、などの総括がなされた。（佐藤幹夫）

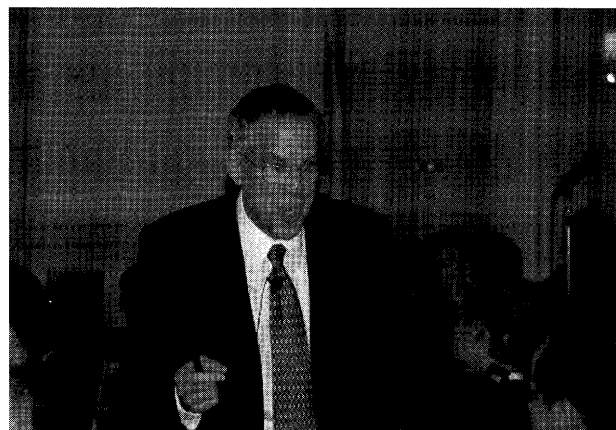
3.4.4 Invited Lecture

題 目：Educating the Next Generation of Engineers - A Call to Action

講演者：Dr. David C. Wisler

（University Programs GE Aviation）

司 会：渡辺紀徳氏（東京大学）



Invited Lecture : Dr. D. C. Wisler

Wisler博士は現在ASME副会長を務めておられるが、2003年IGTC以前にIGTIの会長、その後IGTI担当のASME副会長を歴任され、前回IGTCの開催に際し、ガスタービン学会とASME/IGTIとの協力関係再開に多大な貢献をして下さった。今回のIGTCでもASME/IGTI側の窓口役を務めて下さり、2006年Turbo Expoの委員長会議などで、IGTC'07への参加の呼びかけを積極的にしていただいた。

今回のIGTCでは従来のKeynote Speechとは別に、Invited Lectureという枠組みを設け、Wisler博士に標題のような講義をして頂いた。博士はGE社で、基礎研究を世界各国の大学と共同で行うUniversity Strategic Alliance Programを取りまとめておられる。その活動の中から、価値観や教育のバックグラウンドの異なる各国の研究者、技術者、学生が、共同で研究開発を実施する上での問題点、あるいは将来の望ましい姿等を常に考察し、ASMEの講演会等で提示されている。また、産業界と学界との間の価値観の相違と、そのギャップを埋める手立てについても、従来から多く発言されて来た。今回の講義もそのような内容の一環で、次世代のグローバルな視点を持つ技術者の育成について、産学の連携を含めて重要なポイントを抽出し、教育の行動を喚起する、というものであった。

産業界と学界との価値観や行動原理の相違を埋める重要なポイントとして、学問の世界で唯一解を追求するような価値軸では、多様な解が存在するエンジニアリングの世界を把握できないこと、チームで活動することに高い価値を見出すよう学生を指導するのが重要であること、グローバルな競争力を身につけなければならないこと、スケジュールや予算枠に縛られるビジネスという活動を

理解しなければならないこと、などが指摘された。また、大学教員は会社での仕事の経験を持つべきであり、例えばサバティカル期間を会社で過ごすのが良い、と提案された。

最後に標題にあるCall to Actionとして、多様な要因を含む技術問題に立ち向かうこと、機能性の高い研究開発チームを作り上げること、各自の国際競争力の強化、上述のビジネスの理解、そして産学の連携を挙げられ、講義を締めくくられた。

Wisler博士の講演は、独特の軽快な語り口、その面白さで定評があるが、今回の講義でもピンマイクを装着して会場内を所狭しと歩き回り、ユーモアにあふれるプレゼンテーションを展開された。各国の技術者の気質を比較するくだりもあり、興味深かった。日本の技術者は、組織への帰属意識が高く、ミッション達成への意志が強い、とのことであった。いかがであろうか。

会場は多くの聴衆で埋まり、熱のこもった講義となった。特にメーカー技術者の方々には、普段あまり耳に届かない内容で、興味深かったとの感想をいただいた。

(渡辺紀徳)

3.4.5 一般講演（各分野の講演概要）

(1)診断、制御、計測分野

診断・制御・計測の本セッションでは4編の論文発表が行なわれた。

TS-157はオンラインでの翼端隙間および振動計測システムに関する論文で、システムの完成度は既になかなり高いところまで到達していることが分かる。TS-158は低発熱ガス燃料使用マイクロガスタービンの制御系を H_{∞} 制御で設計し、PID制御等と制御特性を比較検証したものである。TS-159はFAAのRTCA/DO-178Bのガイドラインに従った手法でのエンジン制御系ソフトウェア開発の現在のステータスについて詳述したものである。TS-160は代読発表となったが、燃焼器の圧力振動計測による動特性同定に関するものであった。

セッションの参加者はそれほど多かったとは思えないが、この分野のセッションは日本ではそれほど開催の機会はなく、活発な質疑応答が行なわれた。(田頭 剛)

(2)構造・振動分野

構造振動関係では4編の論文発表が予定されていたが、最後の論文発表はキャンセルになり、合計3編の発表が行われた。

最初の論文は、日本からの発表で、メーカーの現場で経験したガスタービンの故障事例の原因と対策に関する発表であった。長期にわたる運転で発生する故障の主因は、異物の堆積、磨耗、腐食の3つであり、異常振動の形で検出されることが多い。この論文の特徴は、発表例が少ないと思われる長期にわたる運転で発生した故障の事例と対策について紹介していることである。

(TS-071)

二番目の論文は、韓国からのもので、翼列フラッタの安定限界や翼列に作用する強制加振力と翼列のミストチューニングの関係について理論的に検討したものである。空気力を求める際に、従来から用いられてきた進行波解に加えて、定在波解を用いた定式化を行い、両者を比較していることに特徴がある。(TS-072)

三番目の論文は、日本からのもので、ターボチャージャーに直結された40kW級の高速発電機の振動設計に関する事例紹介で、解析対象となっているローターは3円弧軸受で支持されたターボチャージャーである。高速発電機を設計する際には参考となる論文である。(TS-073)

なお、発表がキャンセルされた論文は、ポーランドからのすべり軸受の温度特性と安定性に関する理論的論文で、供給される油の温度に着目した真円軸受についてのパラメータスタディであった。(TS-074)

セッションに参加された方の人数はそれほど多くはなかったが質疑応答は活発であった。(金子成彦)

(3)空力分野

今回も空力関係が最も大きな分野となり、48編の論文が15のセッションに分けて組まれた。

軸流ファン圧縮機分野では、空力設計に関して、BowやSweepの多段効果(TS-049)、前進Sweepの影響(TS-050)、次世代ガスタービン用圧縮機の設計技術の紹介(TS-051)、新しい設計コンセプトによる先進的な圧縮機及び遷音速ファン設計(TS-052, TS-053)、そしてカウンターローテーションファンの開発(TS-054)などの発表があった。Stall関連では、Rotating Stallの実験的研究(TS-055)、可変ピッチファンのStall開始に関する研究(TS-057)が、ロスメカニズム及びロス低減に関しては、軸流圧縮機のロスに関する数値解析的研究(TS-041)、Endwall Contouringによる損失低減(TS-042)、クロッキングの影響(TS-043)、チップクリアランスと衝撃波との干渉(TS-44)が発表された。また、Stall近傍流れにおける問題としてチップクリアランスの影響(TS-045)や非定常現象(TS-046)を扱った論文の発表のほか、圧力比2.5の圧縮機の数値シミュレーション(TS-047)、VTOL機用のリフトファンの空力的な研究(TS-048)などが発表された。

遠心圧縮機関係では、遷音速動翼の入口部のフローパターン(TS-034)、低ソリディティディフューザの数値解析的な研究(TS-035)、インデューサチップからの空気噴出しによるサージ制御(TS-030)、ボリュートのカットバックによる性能向上(TS-031)、及びディフューザ壁へのジェット噴出しによるRotating Stall抑制(TS-032)、さらにはテーパー付きディフューザペーンによる性能改善と騒音低減(TS-033)などの発表があった。

軸流タービンの分野では、最新の空力設計技術とし

て、航空エンジン用高負荷低圧タービンの基本設計評価手法 (TS-058)、高圧/低圧タービンの反転化による性能向上の研究 (TS-059)、次世代ガスタービン用のタービン設計技術 (TS-060) が発表された。また、数値シミュレーションの適用例として、動翼チップ漏れ流れ (TS-061)、低圧タービン翼面における上流ウェイクの非定常流れへの影響 (TS-062)、翼後縁からの渦と Base Pressure との関連 (TS-063)、低圧タービンの LES によるシミュレーション (TS-064) が発表された。その他、可変ノズルタービンの性能予測方法 (TS-065)、極超音速ターボジェット用の高負荷タービンの性能評価 (TS-066)、タービンノズルと動翼の軸方向間距離の性能への影響評価 (TS-067) などが発表された。一方、ラジアルタービンに関しては、ノズルなしの Mixed Flow Turbine の性能予測 (TS-027)、車両用ターボの可変タービンについてのスクロールとノズル部分の CFD 解析 (TS-028) が、マイクロガスタービンの内部熱伝達を考慮した最適化研究 (TS-029) などの発表があった。

CFD 関連では、CFD 解析の生産性向上のためのメッシュモーフニング技術 (TS-037)、タービン翼面孔から水素燃料噴出し燃焼の解析 (TS-038)、Stall 近傍のガスタービン作動解析 (TS-039)、タービン動静翼間キャビティ流れへの CFD 適用 (TS-040) が発表された。

エンジン騒音では、エコエンジンプロジェクトにおける低騒音技術 (TS-024)、CFD による動静翼干渉によるファントムノイズ解析 (TS-025)、LES によるジェットノイズ解析 (TS-026) の発表があった。エアロメカ関係では、タービン翼の共振解析と計測 (TS-021)、基礎的な単翼モデルでのフラッタ解析 (TS-022)、圧縮機翼の強制応答解析 (TS-023) が発表された。今回新しい領域としてガスタービンのアイシング (TS-068)、タービン翼列での凝縮 (TS-069)、予冷ターボエンジンの革新的な除霜方法 (TS-070) などの紹介があった。

(濱崎浩志)

(4) 伝熱分野

伝熱分野は 5 つのセッション合計 16 編の論文が講演された。その構成は、膜冷却 (Film Cooling I, II) 合わせて 6 編、翼冷却 (Blade Cooling) 4 編、外面熱伝達と遷移 (External Heat Transfer & Transition) 3 編と衝突噴流冷却 (Impingement Cooling) 3 編であった。

膜冷却セッション: TS-106 では新しい形状 (Arrowhead Shaped Hall) の膜冷却孔の効果を実験と解析で評価し、新型形状の高性能が報告された。TS-107、TS-108 ではファンシェイプ形状の膜冷却に関して液晶の試験計測と $k-\epsilon$ モデルの解析評価が紹介され、製作時に不可避免的に付与されるコーナーの丸みの影響が議論された。TS-109 では円形とディフュージョン形状の膜冷却噴出しに関する PIV 試験計測と $k-\epsilon$ モデルの解析評価が紹介された。ディフュージョン形状によ

る主流と膜冷却噴流の混合低減等、詳細な現象がオリブ油をトレーサとした PIV で良好に計測された。TS-110 でも円形とディフュージョン形状の膜冷却噴出しの解析と試験の比較検討が報告された。解析に LES を使用する事で時間平均速度分布と共に変動量分布も解析と計測が良く一致するとしている。TS-111 では円形噴出しの RANS、LES 解析と試験結果を比較評価した。LES の結果は RANS に勝る。これは詳細な渦構造を解像する事で横方向の拡散をより正確に考慮しているためと考えた。

翼冷却セッション: TS-112 では複合冷却構造を翼前縁に適用する試験研究が報告された。シャワーヘッド冷却構造にインピンジメントとピンフィンを複合化する事で最大 25% 程度の冷却空気削減が期待できると言う。TS-113 では平板状の複合冷却構造に関して内部流動の PIV 試験計測と解析が比較検討された。インピンジメントの存在による循環流れが試験と解析双方で確認された。TS-114 は複合冷却構造のピン配置の影響を非定常液晶法の計測で詳細に分析した。以前報告された冷却性能の大きな差がピン配置による事を示した。TS-115 では、次世代発電用ガスタービンを想定した膜冷却の試験研究結果が報告された。膜冷却計測には PSP (感圧塗料) を使用、風洞の平板に加えて、静翼と動翼 (回転場) のエンドウォール膜冷却効率の試験計測から 2 次流れの影響などに言及している。

外面熱伝達と遷移セッション: TS-119 は翼の前縁に近づく流れに発生する馬蹄渦内部の詳細構造と熱伝達への影響を PIV、ナフタリン昇華法、DES 解析で検討、報告した。TS-120 は平板境界層の上流側ウェイクを原因とするバイパス遷移に関して、圧力勾配、乱れ度の大きさ、ウェイクの走る方向等の影響を報告した。TS-121 は翼外面熱伝達率を LES によって解析する試みを報告した。LES により、境界層遷移が良く予測され、結果として熱伝達率も良く一致する事が示されたが LES は非常に大規模な解析となる。

衝突噴流冷却セッション: TS-116 は 2 次元の衝突噴流冷却に対する乱流促進体 (リブとディンプル) の影響をナフタリン昇華法により研究した。TS-117 は翼前縁等に相当する凹面の衝突噴流冷却とリブの影響を感温液晶により評価した。TS-118 は傾斜ターゲット板に対する衝突噴流冷却の試験結果を報告した。

講演件数こそ前回 (26 編) に比較して大きく減少したが、講演会には 50 人もの聴講者が集まり、活発な議論が行われた。

(福山佳孝)

(5) 性能分野

性能分野では、合計で 3 セッション、12 編の論文が発表された。

モデリングと動的シミュレーションのセッション (Session C-3 Modeling & Dynamic Simulation) では 5 編の論文が発表された。ヘリコプター用のターボシャ

フトエンジンの性能を市販のモデルベースデザインのためのプラットフォームを用いて解析した発表があった (TS-101)。予冷ターボジェットエンジンのコアエンジンについてマッハ5までの性能をCFDにて評価した発表があった (TS-102)。高圧タービンの低温での試験を元にモデル化した結果と高温での試験結果の相違について検討した発表があった (TS-103)。Virtual Jet Engineの研究開発状況について飛行状態のシミュレーション結果などが紹介される (TS-104) とともに、Virtual Jet Engineをもちいて飛行状態において新しい翼冷却システムの性能、燃料消費等を評価した結果について紹介があった (TS-105)。

発電所関係のセッション (Session F-6 Power Plant) で4編の論文が発表された。コンバインドサイクルについて翼の空気冷却と蒸気冷却の性能を比較し、経済性を評価するシミュレーションが紹介された (TS-094)。再熱ガスタービンのコンバインドサイクルの性能を公表された仕様、運用データ等からモデルを組み立てシミュレーションした結果が紹介された (TS-095)。バイオマス利用を想定したランキンサイクルについて様々な作動媒体を比較し評価した結果が紹介された (TS-096)。HATサイクルについて排気をいったん負圧まで膨張させてから排気圧縮機で排出するサイクルのシミュレーションが紹介された (TS-097)。

新しいサイクルに関するセッション (Session F-8 Novel Cycles) では3編の論文が発表された。酸化鉄を用いた化学ループ燃焼法をコンバインドサイクルに適用してIGCCと比較した結果が紹介された (TS-098)。航空用エンジンを3スプール構造にし、中圧のスプールで発電を行うシステムが紹介された (TS-099)。20W級のマユ型のウルトラマイクロガスタービンについて、圧縮機とタービンを2段にするシステムが紹介された (TS-100)。(壹岐典彦)

(6)開発・運用実績分野

開発・運用実績では、合計で6セッション、20編の論文が発表された。

新技術に関する実証試験関係では2セッション (A-1, B-3) で7編の論文が発表された。HAT (Humid Air Turbine) サイクルの中間冷却システムを吸気に水を噴霧するWAC (Water Atomization Cooling) システムに置き換えたいわゆるAHAT (Advanced Humid Air Turbine) システムに関し、そのパイロットプラントの試験結果に関する論文 (TS-013, TS-014) や、航空エンジン直結駆動発電機用伝達装置の開発試験に関する論文 (TS-014) が紹介された。また、高効率化や省エネを目指した開発として、1700℃級ガスタービンの国家プロジェクトで開発中様々な新技術を紹介した論文 (TS-008) や、高効率コージェネレーションへの適用を狙った金属とセラミックを混用する8MW級ハイブリッ

ドガスタービンの運転実績に関する論文 (TS-009)、光化学オキシダントの原因物質である揮発性有機化合物 (VOC, Volatile Organic Compounds) を回収し、2MW級ガスタービン燃焼器内で燃焼処理し、併せてVOCの燃焼エネルギーも有効に利用するVOC回収ガスタービンコージェネレーションに関する論文 (TS-010) が紹介された。

複合発電関係では1セッション (B-4) で3編の論文が発表された。

IPP用として建設され、2006年6月に運用を開始した2GT+1ST構成の複合発電システムについて、その主要構成要素の特徴、運転制御システムの概要、試運転結果等に関する論文 (TS-005) や既設の事業用複合発電システムへの系列増設に際しての最新型1450℃級ガスタービンの導入に関する論文 (TS-006) が紹介された。1500℃級ガスタービンを使用する複合発電システムMACC (More Advanced Combined Cycle) に関する論文 (TS-007) では、最新の技術として、蒸気冷却燃焼器、蒸気冷却タービン、動翼チップクリアランス制御技術などが紹介されている。

既存の機種をベースにした新機種開発に関するものとして1セッション (A-6) で4編の論文が発表された。

動翼材料の変更、動翼シール構造の改善、動翼空力損失の低減、圧縮機やタービンの空力性能の改善などによる性能向上に関する論文 (TS-001, TS-002) や、既存のガスタービンをツインパッケージ化することによる非常用発電設備の大容量化に関する論文 (TS-004) が紹介された。また、航空転用型ガスタービンの船用原動機としての適用に際しての技術対応及び耐久試験を含む各種試験に関する論文 (TS-003) も紹介された。

マイクロタービン及び過給機関係では2セッション (B-7, B-8) で5編の論文が発表された。MGT (マイクロガスタービン) をPCM (Phase Change Materials) を用いた熱貯蔵システムと組み合わせたコージェネレーションシステムの実証運転に関する論文 (TS-017) が発表された。MGTの高効率化に関する論文としては2編 (TS-016, TS-019) が発表され、1編 (TS-016) はMGTにHATサイクルの概念を適用することを目的としてタービンを最適化設計、製作し、第1段階としてドライ状態での性能試験の結果を紹介したものである。他の1編 (TS-019) はIGTC2003で発表されたトンネル型圧縮機、タービンを持つMGTの続編である。最終的にはセラミック製を目指しているが、本編では金属製のトンネル型圧縮機、タービンを一軸に配置した装置で常温における性能試験の結果が発表された。さらに、MGTをベースとする各種新規システム (例えば、燃料電池とのコンバインドなど) の開発における使用を想定した試験設備に関する論文 (TS-015) が紹介された。特に、各要素及び要素間のボリュームが性能、運転にどのように影響するかについての試験結果が発表された。過給機に

については、過渡応答、過給圧、排気エミッションの改善のためのダウンサイジング設計に関する論文 (TS-018) が発表された。圧縮機、タービンの空力設計の最適化により小型化の際の性能低下が防止できたことが報告された。

航空用ガスタービンエンジンに関するものとしては、回転体のボルト締結部の強度評価手法の確立を目指した研究に関する論文 (TS-020) が発表された。ハブ径の非常に小さいファンブレードにおいては、ブレード折損時のアンバランスが非常に大きくなるためボルト締結部の強度評価手法の確立が重要となる。三次元弾塑性 FEM 解析の結果と引張試験結果とが良好一致を示したことが報告された。(宇治茂一、壹岐典彦)

(7)材料分野

材料分野は、超合金の材料開発に関するものが 1 セッション、その強化・劣化機構、検査・寿命評価技術、補修技術に関するものが各々 1 セッション、材料・コーティングの環境劣化に関するものが 2 セッション、遮熱コーティングとセラミックスの開発・実用化に関するものが 1 セッション、オペレーションに関するものが 1 セッションの都合 8 セッション、23 件の技術論文に係る発表が行われた。

まず材料開発では、d 電子理論に基づき合金設計された第 4 世代単結晶合金に関する発表 (TS-075)、1700℃ 級ガスタービン用に熱疲労強度に優れた単結晶合金の発表 (TS-077)、マイクロガスタービン用に単結晶合金 YH61 をベースに一方凝固および普通鑄造用に改良した材料開発に関する発表 (TS-076) が行われた。

超合金の強化・材料劣化機構と検査・寿命評価技術のセッションでは、異なる γ' 相体積率を有する 3 合金のクリープ劣化挙動に関する発表 (TS-088)、材料のクリープ損傷蓄積に伴う結晶方位分布の変化を電子後方散乱電子回折像 (EBSP) 法を用い定量評価し材料損傷度を評価する手法に関する発表 (TS-089)、平板イメージプレートを用いた X 線回折 (IP-XRD) 法により 3 次元の回折像を定量評価することで組織変化の程度を非破壊的に評価する手法に関する発表 (TS-090)、異なる Re 量を有する 3 単結晶合金で引張・圧縮クリープの非対称性が異なる要因として変形双晶の形成しやすさを提唱した発表 (TS-091)、Phase-field 法を用いた材料シミュレーションを組み込んだ仮想ジェットエンジンの発表 (TS-092)、再生熱処理技術を 1300℃ 級ガスタービンの 2 段動翼に適用し評価した結果の発表 (TS-093) が行われた。また、補修技術のセッションでは、レーザーパウダー溶接を用いた GE MS6001B 初段動翼の翼後縁部の補修の FEM 解析を用いた補修限界に関する発表 (TS-152) と単結晶翼のレーザー補修技術開発として局所溶融の凝固解析を用いた補修条件設定とクーボンテストによる検証に関する発表 (TS-153) が行われた。

環境劣化に関するセッションでは、燃料中の Na+K 量を変化させた燃料を用いたバーナリグ試験結果に基づく高温腐食の熱力学的予測法に関する発表 (TS-079) があり、活発な質疑がなされたほか、メタルコーティングの腐食に関する論文 (TS-080)、コーティング層と基材の間に形成する拡散層厚さの変化からメタル温度を推定する手法に関する論文 (TS-81) が、また、遮熱コーティング (TBC) の剥離要因の一つであるボンド層表面の酸化抑制法に関する論文 (TS-082)、剥離寿命予測法に関する発表 (TS-083)、TBC の縦き裂による熱疲労改善現象に関する発表 (TS-84) が行われた。

遮熱コーティング・セラミックスのセッションでは、1700℃ 級ガスタービン用低熱伝導 TBC に関する論文 (TS-085)、MGC セラミックスの燃焼器タイルあるいはタービンノズルへの適用検証の発表 (TS-086, TS-087) が行われた。

また、オペレーションのセッションでは、動翼のクリープ寿命評価プログラムをベースとしたガスタービンの運用最適化に関する発表 (TS-154)、ヘルスマonitoring と寿命管理に関する発表 (TS-155)、ライフサイクルの信頼性評価方法に関する発表 (TS-156) が行われた。(吉岡洋明)

(8)燃焼分野

燃焼及び燃焼器関連の一般講演は、セッション E 1 (燃料多様化) 3 件、F 1 (燃焼器開発 I) 3 件、F 2 (燃焼器開発 II) 3 件、E 3 (燃焼器のモデリングと数値解析) 5 件、F 3 (マイクロガスタービンの燃焼) 4 件、E 4 (燃焼域内の流れ場と不安定性) 4 件、F 4 (燃料の微粒化とエミッション) 3 件、F 5 (小型航空機用燃焼器の開発) 4 件の合計 29 件であった。前回の 2003 年に比べると、セッション数で 4、発表件数では 12 も増加しており、特に海外からの講演が前回の 2 件から 9 件と大幅に増えるなど、燃焼に関連した環境問題や燃料多様化への関心が世界的に高まっていることが伺われる。そのため、燃焼器開発にかかわる報告には NO_x 排出低減に関するものが多く、将来の 1700℃ 級高温燃焼器の NO_x 排出を低減するために排ガス再循環 EGR を利用する研究 (TS-135)、蒸気噴射を行う低 NO_x 燃焼器であるが多量に噴射しても一酸化炭素 CO の排出が少ないクラスター型燃焼器の研究 (TS-134)、ユーザーが要求する同一燃焼器でガス燃料と液体燃料を使用することのできるデュアルフュエル型低 NO_x 燃焼器の開発 (TS-130) がある。ロシアからは、航空用低 NO_x 燃焼器に関する燃料ノズルの研究 (TS-131) と NO_x 排出 5 ppm 以下を目標とする産業用低 NO_x 燃焼器において燃焼器の滞留時間を十分に確保することで CO の排出と燃焼振動を抑制する研究 (TS-132) が報告された。現在わが国では小型航空機用エンジンの開発が NEDO プロジェクトとして進められているがこの燃焼器に関する研究として、現

在の航空用低NO_x燃焼器の主流であるRich Burn-Quick Quench-Lean Burnタイプを研究するTS-140, TS-141とNO_x低減能力が高く今後主流と期待されるLean Burnタイプを研究するTS-142の他、構造がシンプルで低コストを売りにするTS-143が報告された。燃料多様化のセッションでは発電用ガスタービン燃焼器を対象に、天然ガスに水素を添加することで低NO_xと安定燃焼を両立する燃焼器の研究TS-148, CO₂問題に対応する燃料として有望とされている木質系バイオマス燃料を使用する燃焼器の研究TS-149, 残炭分を多く含む燃料油と炭素粒子の排出に関する研究TS-150が報告された。また、簡易な移動電源として期待されているマイクロガスタービンに関しては、200~数百W級の燃焼器としてTS-144, TS-145が、10~60W級のウルトラマイクロガスタービンの燃焼器としてTS-147が、さらにバイオマス燃料を利用する燃焼器の研究もラボレベルで進められている (TS-146)。燃焼器の開発にCFDを利用する研究も活発で、産業用低NO_x燃焼器を対象に燃焼解析を行いNO_x排出結果との検証を行ったTS-124やLarge Eddy Simulationを適用して大規模解析を行ったTS-123は今後の燃焼CFDの方向性を示すものとなるかも知れない。燃焼システムの寿命設計で重要なライナ壁温をCFDで予測する研究も報告された (TS-125)。燃焼に関係する基礎的な研究についても質の高い報告があった。予混合燃焼に起因する燃焼振動のアクティブ制御技術について光学計測を行い振動抑制とNO_x排出との関係を研究したTS-136, スワール流の強旋回化と混合の関係についてPLIFによる光学計測とLESを用いたCFD混合解析から評価を行ったTS-138の他、航空用燃焼器に用いられるダンプディフューザ-廻りの流れについてLDV計測を行ったTS-137がある。中国からは、メタン燃料拡散火炎を対象に非燃焼と燃焼時の流れ場の光学計測結果について報告があった (TS-139)。燃料の微粒化、噴霧に関しては、ミニジェットエンジンに使用されている燃料ノズルの微粒化特性に関する研究TS-127, 燃料の液柱分裂と衝突微粒化に関して基礎的な実験と数値解析を行ったTS-128, 噴霧火炎を対象に噴霧の粒径分布とすすの生成について実験的研究を行ったTS-129が報告された。最後に、今回の燃焼及び燃焼器関連の一般講演は、質、量ともに充実したものであったと思われるが、質疑応答ではもう少し活発さのほしいセッションもあったように感じられた。(木下康裕)

3.5 講演会のまとめ

IGTCの国際会議は1971年東京で第一回が開催されて以来、ほぼ4年ごとに開催され今回が9回となる。IGTC'03の大会より論文審査をASMEのIGTIとまでは言わないまでも従来以上に査読過程をきっちり行ったことにより論文の質の向上が計れ、その流れは今回の国際会議にも反映されている。今回は論文総数ではIGTC'03と

ほぼ同数であったが、欧米からの論文数が減少した。しかしその減少分国内から多くの論文が投稿され、技術交流が計れたと考える。今後もIGTCが、世界のガスタービン学協会と協力して、世界の、中でもアジア各国のガスタービン研究者・技術者との国際的な交流を発展させる機会を提供し、日本のガスタービンの学術・技術を世界のトップレベルに発展させる原動力となることが期待される。

国際会議の会場が都心の交通の便が良い京王プラザホテルであったことが幸いして、多くの参加者に恵まれ、また会場の運営では経験豊富なホテル側のスタッフのサポートもあってトラブルは皆無で、参加者はホールと6セッション会場で聴講と活発な討議に参加することが出来た。

基調講演、招待講演、フォーラム、パネルディスカッションで講演を行って下さった方々、技術論文を投稿、講演をして下さった方々、技術論文の査読や司会の労を快く引き受けて下さった方々、1年半に亘る講演会の準備と大会運営に協力を惜しまなかった委員の皆様、また会場運営を助けて下さった学生諸君に、心から感謝を申しあげ本報告を終わります。(論文委員会)

4. 展示会

12月3日(月)から6日(木)の4日間に亘り、2007年国際ガスタービン会議東京大会の展示会が京王プラザホテル内の本館4階「花の間」及びホワイエで実施された。前回36社に対して計39社が参加した。また、会場前のホワイエに前回同様に12の大学研究室及び本学会が研究成果資料を展示したほか、初めての企画として希望出展社8社による展示イベントを同会場内で実施し展示会の盛り上げを図った。

4.1 準備経過

本展示会の実施は、展示委員及び出展事務局(展示支援業者)が協力し企画、運営した。出展依頼を平成18年10月12日付で学会会長、組織委員長連名の文書にて送付し出展募集を開始、平成19年6月には39社より予定の小間数70を上回る72小間の申し込みを受け募集を締切った。平成19年8月31日には会場である京王プラザホテルで出展申込社39社に対して出展社説明会を開催した。

また展示委員会は平成18年5月25日に第1回目を開催後、計8回に亘り行い、出展募集要綱作成、出展勧誘方法検討、出展申込状況報告、出展実施要領作成、出展社説明会開催、展示会開催準備作業、会期中の役割分担の検討等を行った。

4.2 出展状況

4.2.1 出展社・出典大学及び展示内容等

(1)展示会-1(花の間)

表3に39の出展会社および法人を記しておく。

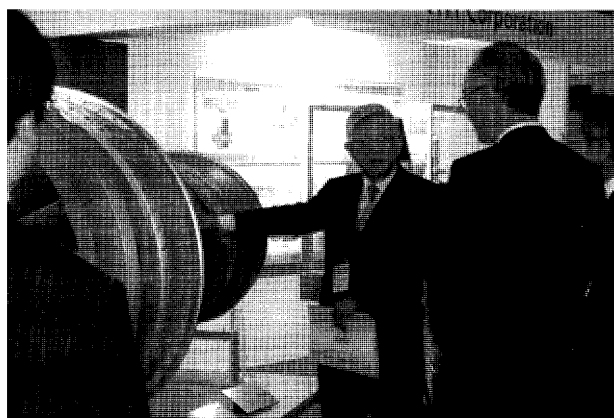


展示会オープニングセレモニー

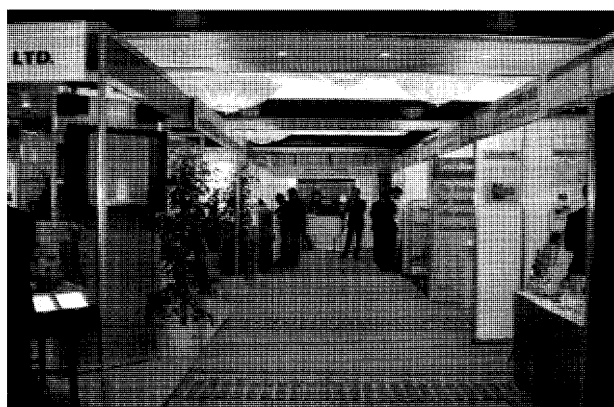
展示内容はガスタービン及びターボ過給器，並びに関連機器・部品・部材，工作機械，計測・データ処理機器・試験器，コンピューター・関連ソフト，出版物等で，特にジェットエンジン実機（CF34）を展示し迫力のある展示を図った。

ブース配置の特徴として，次の点が挙げられる。

- ・会場の周りに小規模ブースを配置し，中央に大きなブースを配置し，縦横に通路を設けた。
- ・関連企業を隣接または近くに配置し，同業社は離して配置する等の工夫を加えた。
- ・今回の新たな企画として会場左端に出展社イベントコーナー（約9m×6m）（1小間：4.5m²）を設け，出展社イベントを実施した。イベントを実施しない時は休憩コーナーとし，商談利用も散見された。



組織委員会委員長の展示会視察



展示会－1（花の間）

(2)展示会－2（ホワイエ）

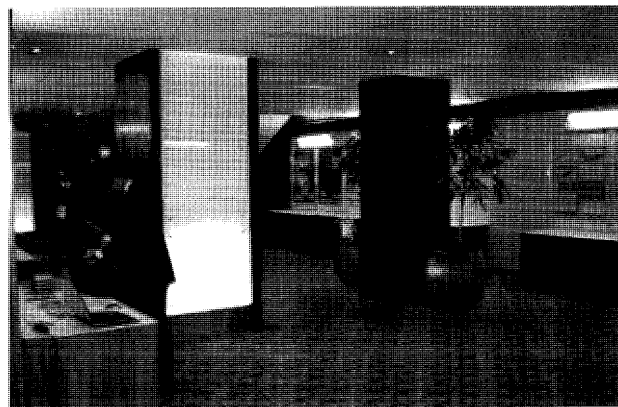
表4に示す12の大学研究室が出展し，最新の研究内容をパネル上及び机上に展示，あるいは，PC画面で紹介した。また，日本ガスタービン学会も各種出版物を展示入会勧誘をおこなった。ブース配置の特徴として，会場ホワイエの周りに展示パネルボードを配置し，展示会場入口からも花の間からも目に付く場所に配置した。

表3 IGTC'07展示会出展法人一覧

宇宙航空研究開発機構	ENDEVCO	住友精密工業(株)
タイコサーマルコントロールズ	ウッドグループ	新川電機(株)
日本ウッドワードガバナー(株)	日本ドナルドソン(株)	シールテック(株)
ダイヤ精密铸造(株)	NTN(株)	(株)鈴木精器工業所
フルーエント・アジアパシフィック(株)	MEE INDUSTRIES INC.	物質・材料研究機構
丸和電機(株)	富士テクノ工業(株)	(株)不二越
PARKER HANNIFIN CORP.	Concepts NREC	アイコクアルファ(株)
アドバンスドデザインテクノロジー	進和テック(株)	極東貿易(株)
三菱重工業(株)	(株)ズノノス/KULITE	金属技研(株)
ハネウェルジャパン(株)	川崎重工業(株)	(株)東芝
(財)日本航空機エンジン協会	石川島精密铸造(株)	(株)IHI
(株)日立プラントテクノロジー	(株)日立製作所	日本バイリーン(株)
三協インタナショナル(株)	(株)ヴァイナス	(株)日立ニコトランスミッション
	計	39法人／72小間



出展社によるイベント



展示会-2 (ホワイエ)

表4 出展大学研究室名

東京大学 渡辺・姫野研究室
首都大学東京 吉業研究室
東京農工大学 吉田(豊)研究室
首都大学東京 湯浅研究室
大阪大学 武石・小宮山研究室, 赤松研究室
東京大学 金子・山崎研究室
日本ガスタービン学会
九州大学 速水研究室
岩手大学 航空宇宙システム研究部門船崎研究室
東京理科大学 本阿弥研究室
京都大学 熱工学研究室
東京理科大学 山本研究室
早稲田大学 流体工学研究室

4.3 入場者数

開催期間中の入場者数を表5にまとめておく。

今回の展示会において前回に比して気づいた事項は下記の点である。延べ入場者数は3915名と前回(合計開催時間32時間)の3735名より180名の増加であり盛況であった。会場が東京/新宿の地の利が良い著名なホテルであったこと、展示会招待状の配布等による事前の集客活動、会期中のオープニングセレモニーや前回より多少広い会場を利用して出展社イベント等を実施したこと等の運営上の工夫、ジェットエンジン実機等迫力のある展示等の努力の成果があったものと考ええる。一般入場者も散見されたが、入場者がガスタービン関係者に限られることより入場者の大幅な増加には限りがあると思われる。

表5 展示会入場者数のまとめ

日程	開催時刻(時間)	入場者数
12月3日(月)	12:00-18:00 (6時間)	1191名
12月4日(火)	10:00-18:00 (8時間)	1245名
12月5日(水)	10:00-18:00 (8時間)	959名
12月6日(木)	9:00-14:00 (5時間)	520名
(合計開催時間) 延べ入場者数	(27時間)	3915名

4.4 展示会のまとめ

全般として、前回と比較して出展社数も増加し、地の利のよい会場の利用、事前の集客活動の実施、迫力のある展示品の展示、会期中の運営上の工夫等によって延べ入場者数も増加し、当初の狙い通りにぎやかな展示会となった。ブースでは出展者と入場者で熱心な質問と説明の場が各所に見られ、今後のガスタービン関連分野の研究、発展に寄せる期待が強いものであると感じ取れた。(展示委員会)

5. 行事

行事委員会のミッションは、Welcome Reception, Banquet, Technical Tourの計画、実行である。Welcome Receptionの開催は、Registration初日の日曜日であった。海外からのメンバが主体である事を意識して欧米風のシンプルな会とし、冒頭のGTSJ会長挨拶のみとした。また、立食ビュッフェとし、出来るだけ多くの会員と4年ぶりの会話が出来る事を狙った。

Banquetについては、海外からの参加者による挨拶・スピーチを交え国際会議らしい式次第とすると共に来賓紹介も実施した。また、日本らしさを紹介する余興として、飴細工、べっこう飴細工の日本風屋台を会場コーナーに設置し、製造実演した。食事形式は、Welcome Receptionとは異なり、少し落ち着いた雰囲気での懇談ができるよう着席ビュッフェ方式とした。

Technical Tourは、2つのコースを設定した。1つは、江戸川近傍の洪水防止の為に首都圏外郭放水路庄和排水機場と独立行政法人の物質・材料研究機構とした。もう1つは、最新の1500℃級の発電用ガスタービンが採用されている東京電力(株)川崎、富津の両発電所見学とした。

尚、Accompanying Persons' Programは、ご婦人の参加が多くない事と会場ホテルでのツアー紹介も可能である為、ツアーのパンフレットをRegistration時に配備するのみとした。

5.1 Welcome Reception

会議に先立つ12月2日(日)午後5時より、会議場の京王

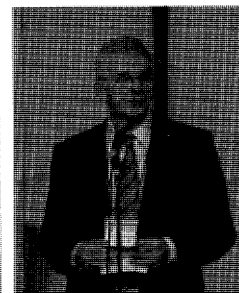
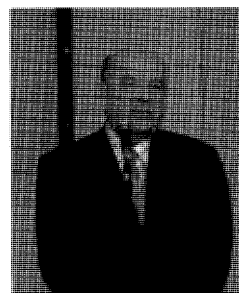
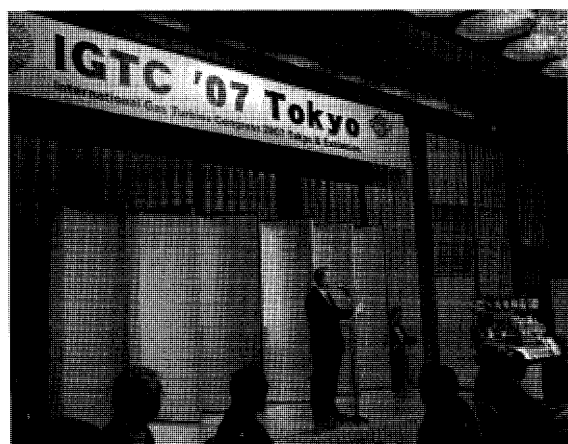


Welcome Reception

プラザホテル4階、扇の間にて、歓迎レセプションが開催された。司会の谷山雅俊行事委員長の開会宣言の後、主催者を代表して、吉識晴夫会長より挨拶が述べられた。参加者への歓迎の辞とともに参加者数、論文発表件数など今回の会議の規模が報告された。レセプションでは参加者の懇談時間を尊重し、直ちに歓談に入った。洋食中心の立食形式で、質・量ともに申し分のない料理に舌鼓を打ち、それぞれ久しぶりの再会に話が弾んだ。外国からの同伴者も散見され、国際会議に相応しいパーティーであった。副都心という地の利もあって、パーティーの参加者数は延べ100名強と盛況であった。午後7時、そろそろお開きということで、司会者から、明日からの会議にはgood conditionで臨もうという締めくくりの言葉に会場がどっと沸き、和やかな雰囲気の中でレセプションは終了した。

5.2 Banquet

2007年12月5日(水)午後7時30分より京王プラザホテル5階コンコードボールルームにおいて140名に達する出席者を得て、谷山雅俊行事委員会委員長の司会のもと、バンケットが開始された。講演発表も3日目となり、緊張したセッションの雰囲気から一転して参加者の顔には寛いだ表情が見られた。まず、住川雅晴IGTC組織委員長による開会の挨拶に始まり、吉識晴夫会長より出席者に対し歓迎の辞が述べられ、そして、来賓として日本機械学会斉藤忍会長の紹介、さらにDieter E. Bohn教授(IACメンバー、アーヘン工科大学)からの祝辞と続き、R. Van den Braembussche教授(IACメンバー、VKI)より乾杯の挨拶がなされた。乾杯の後は歓談となり、テーブル毎に話の輪が広がり、併せて、和洋中華のビュッフェ形式で食事を楽しんだ。今回、組織委員

Banquetでの挨拶と
懇談風景

長、実行委員長、各委員長、招待講演者、本学会会長など指定席の数を限定し、それ以外は自由に着席し、出席者間で歓談できるように企画した。歓談と食事を楽しむ合間に演壇横に設けられた飴細工とべっ甲飴の余興があり、鮮やかさばきで昔なつかしい菓子を作り上げる見事な職人芸を楽しむことができた。宴が盛り上がる中、終わりの時刻も近づき、大田英輔IGTC実行委員長よりIGTC'07各委員会の委員長、幹事の紹介があり、吉野隆前会長より閉会の挨拶を戴いて、9時30分、宴をお開きにした。

5.3 Technical Tour

本会議最終日の12月7日に、テクニカルツアーが2コースに分かれて実施された。

ツアー1では、庄和排水機場（春日部市）と物質・材料研究機構（つくば市）を訪問した。国外からの3名を含む7名と行事委員2名の9名でのツアーとなった。庄和排水機場に到着後、事務所でのビデオ、模型を見ながらの施設説明を受け、排水トンネル、排水ポンプ・駆動用ガスタービンパッケージを見学した。テレビ番組やCMでも利用される排水チューブの大きさには、一同驚かされた。ポンプ設備でもポンプやポンプ駆動用ガスタービンパッケージ内を見学させて頂き、その仕組みなどがよく理解できた。英語での説明もあり、海外からの参加者もカメラを片手に楽しんで頂けた様子であった。昼食後、物質・材料研究機構に到着し、セミナールームでのコーヒープレイク、研究所の概要説明を受けた後、実験設備を見学した。Ni基単結晶の精密鑄造用の真空熱処理炉、TBCの新コーティングシステム研究開発試験装置、クリーブ強度・熱疲労特性評価試験設備など最先端の開発技術をご紹介頂いた。質疑応答では海外からの参加者の熱心な質問があったが丁寧にご対応頂いた。

ツアー2では、東京電力富津火力発電所と川崎火力発電所を訪問した。国外からの14名を含む参加者40名、行事委員2名、総務委員1名（英語での施設説明役として）の43名でのツアーとなった。出発後、川崎から対岸の千葉へのバスの移動にはアクアラインを使い、富津火力発電所に到着した。会議室での英語版発電所紹介ビデオの上映が行われ、対応職員との活発な質疑応答が行われた。続いて発電所の見学を行い、午前中2時間の見学時間を過ごした。昼食後、川崎火力発電所に定刻通り到着した。会議室での日本語版発電所紹介ビデオの上映が行われ、その後質疑応答があり、発電所司令室の見学を行った。発電施設自体は見学することが出来なかったが、バスに乗りし発電所の施設を外部から見学した。

これらツアーの見学において各見学先のご理解とご協力が得られたことに感謝し、紙面を借りてここに厚くお礼を申し上げます。

以上行事に関しては、当初の企画通り無事行われたが、これもひとえに関係各位の御尽力に負うところが大

であった。

6. International Advisory Committeeの開催

IGTC'07の会期中、12月5日(水)の午後12:30から1時間半にわたり、標記委員会（通算四回目）が開催された。参加者は、International Advisory Committeeのメンバーから欧州、アジア、米国など各国の会議参加者計10名と、日本側から吉識GTSJ会長、川口、吉野IGTC組織委員会副委員長、大田IGTC実行委員会委員長、渡辺IGTC実行委員会副委員長を始めとするGTSJ、IGTC主要メンバー及び国際委員ら計14名であった。議事は、①日本側からの歓迎の挨拶、②出席IACメンバー及び日本側出席者の紹介、③国際委員長よりのIGTC'07会議報告、学会国際交流活動の報告と議論の主旨説明、と進められ、これを受けIACメンバーから、本IGTC'07会議及びGTSJの国際活動に対する意見、アドバイスあるいは感想などが出され、またこれに対し日本側からも補足説明が適宜加えられるなど、相互に活発な議論が行われた。以下はその主な内容である。

(1)セッション運営：直前のWithdrawalに関する問題。来るか来ないかわからない人の発表は、セッションの一番最後に配置しておく、またはそういうリスクの高い案件は一つのセッションにまとめてしまう等の工夫必要。各セッションで質疑が極端に乏しい。特に学生の発表の場合、議論が量的・質的に非常に限定されてしまう。指導教官が会場にアテンドすべき。

(2)海外論文数：海外、特に日韓中以外からの論文数が少ない問題。IACメンバーをもっと有効活用すべき。次が2011年ならば、2009年あたりから、IACメンバーや海外のコンタクトポイントにリーフレットを配布するなどして積極的に認知活動をするべき。また海外の航空エンジンメーカーからの参加が少ない。優秀な発表論文はジャーナルへアップされることは事前に報せておくべきではなかったか。会議時期については、他の学会とよく連携し、バッティングしないように調整すべき。

(3)会議HP、配布資料：プログラムがアップされるのが遅い。プログラムに各セッションの司会者の名前が無いのは良くない。

(4)セッション割：最後の最後にパネルを持ってくるのはいかがなものか。かなりの人が帰ってしまっているのでは。基調講演が5つもあるのは多すぎないか？会議全体の主テーマを一つか二つくらいに絞った方が良い。

(5)会議場：セッションルーム以外に、議論の続きができるようなスペースが欲しい。（国際委員会）

7. 国際会議を振り返って

国際会議の準備を始めた2005年の段階では、国内景気が上昇傾向にあり、中国も積極的な産業展開の姿勢を見せている時期であった。地球環境とエネルギー消費への意識が高まり、A380やB787、低燃費の次世代航空機エ

ンジン開発などの報道が賑わっていた。欧州では、GTユーザーのネットワーク（ETN）が作られ、ゼロ排出をスローガンに石炭の有効利用やGT研究の統合化、技術者教育など組織的な展開がなされていた。米国では水素燃焼の研究が産業化へ進みつつあるとの事であった。

このような時に第9回の国際ガスタービン会議を開催することは真に時宜を得たもので、国内外からの参加も多くなると予想され、各界からの参加者が一層に満足する雰囲気での会議を目指す必要性が感じられた。学術セッションが成果を収めることが第一義の目標であるが、そのための環境作りには、Keynote, Forum, Panelそして技術展示、ReceptionとBanquet、そして会場、これらを整えるために各担当委員会では2年超にわたり綿密な計画をたて、交渉をし、実施に当たってきた。

懸念材料も感じられてはいた。一つには世代交代の影響、しかし円滑に準備が進められ、名誉会員の方々の参加も多く、海外からの参加者と共に、各セッション会場は調和の取れた雰囲気であった。航空機エンジンを含めガスタービン産業はそれを主体とする企業に集約されつつあるように感じられていたが、果たして会議や展示への参加についてこれらの企業に多大の負担をお願いすることになった。と共に、ガスタービンの産業から波及する裾野の広がり、そのシステムの持つ環境改善へのポテンシャルが認識される大きな機会を逸したとも思われる。海外参加者が増加するであろうという期待は裏切られたともいえる。海外からの大方はIACのメンバーで、これまでのガスタービン国際会議に誼を寄せられてきた常連とも言える方々で、前回2003年会議でのリピーター、特に世代が下った方々の参加は目立つものではなかった。世代交代がさらに進む4年後の次回国際会議では、海外諸国からの参加を促す手立てが望まれる。最後まで予測が難しい収支についても、多方面からの助成、学会賛助会員の貴重な支援があって、望外の決算となった。

最終的には500名に近い参加者を迎えることが出来た。組織委員会委員、実行委員会委員、学会理事の皆様による多大なご協力に加えて、学会賛助会員企業が社内への参加登録の呼びかけを大々的に行って頂いたことが大きく寄与しており、心より感謝する次第である。しかし、海外参加者が前回よりかなり少なく、海外からの論文発表も全体の約1/3に止まったこと、実行委員長とし忤怩たる思いでもある。海外の協力学会や企業による論文投稿の呼びかけ、Announcement, Circular, 学会Web Siteなどの広報が効果的になるよう工夫も必要であろう。

いろいろの反省すべき課題は次期国際会議の実行部隊に引き継がれるが、今回の国際会議も好評のうちに終了したようである。会議最終日まで多数の出席者があり、印象の強く残る講演が多く見られた。若手の研究者や技術者の講演が大部分を占めているが、これらの方々は諸外国での国際会議や次期会議でも活躍され、先進技術の発信を担われるであろう。この国際会議の使命の一つとも

言えよう。質の高い技術展示と共に充実した国際会議であったと考える。

長期にわたって努力していただいた実行委員各位、支援していただいた組織委員、学会理事の皆様に感謝し、国際会議の終了報告に当たり衷心より御礼を申し上げる次第である。通常の学会業務に加えての大きな負担にも拘らず適切に対処していただいた学会事務局の皆様により感謝申し上げたい。また、会議の場として大きな協力を得た京王プラザホテル、参加登録、展示、会場運営などの業務を手際よく行われた各社に、その好意を記して謝意を表する次第である。

最後に、実行委員会副委員長として、また行事委員会委員長として本会議の成功に腐心され企画されてきた水木新平法政大学教授（当時）は2007年8月、実施を見ずに急逝されたことを記しておく。実行委員会一同と共にそのご冥福をお祈りする次第である。

（実行委員長 大田英輔）

2007年国際ガスタービン会議 東京大会

実行委員会および各委員会 委員名簿

実行委員会

実行委員長	大田 英輔（早稲田大）
副委員長	水木 新平*（法政大、故人）
副委員長	渡辺 紀徳（東大）
幹事	西澤 敏雄（JAXA）

顧問	川口 修（慶応大）
	佐藤 幹夫（電中研）
	吉識 晴夫（帝京平成大）
	塚越 敬三（MH I）

部門委員会

【総務委員会】

委員長	土屋 利明（東京電力）
幹事	山根 敬（JAXA）
委員	吉田 博夫（産総研）
	山本 誠（東理大）
	辻田 星歩（法政大）
	太田 有（早稲田大）
	旭 睦（IH I）
	福田 雅文（上智大）
	幡宮 重雄（日立）
	塚原 章友（MH I）
	石井 博之*（IH I）

【論文委員会】

委員長	武石賢一郎（阪大）
幹事	寺本 進（東大）
委員	藤綱 義行（ESPR組合）
	木下 康裕（KH I）

吉岡 洋明 (東芝)
 濱崎 浩志 (I H I)
 壹岐 典彦 (産総研)
 山下 章 (J A L J E T)
 緒方 隆志 (電中研)
 土井 裕之 (日立)
 幸田 栄一 (電中研)
 田口 秀之 (J A X A)
 大北 洋治 (I H I)
 福山 佳孝 (J A X A)
 松沼 孝幸 (産総研)
 山本 武 (J A X A)
 福泉 靖史 (M H I)
 伊藤 栄作 (M H I)
 古谷 博秀 (産総研)
 宇治 茂一 (I H I)

【行事委員会】

委員長 谷山 雅俊 (東芝)
 委員長 水木 新平* (法政大, 故人)
 幹事 松尾亜紀子 (慶應大)
 委員 川上 忠重 (法政大)
 本阿弥眞治 (東理大)
 山本 勝弘 (早稲田大)
 藤本 一郎 (拓殖大)
 堀川 敦史 (K H I)
 御法川 学* (法政大)

【展示委員会】

委員長 藤谷 康男 (日立)

委員長 後藤 伸穂* (日立)
 幹事 乾 泰二 (日立)
 委員 (幹事代行) 早東 昇 (日立)
 委員 西村 真琴 (日立)
 天本 幹夫 (日立)
 下村 純志 (日立)
 西出 重人 (I H I)
 吉國 孝之 (I H I)
 酒井 義明 (東芝)
 鳥飼 高行 (東芝)
 小森 豊明 (M H I)
 原田 正志* (J A X A)
 乃村 春雄 (K H I)
 井上 俊彦 (K H I)
 坂本 明子 (三井造船)
 須田 祐志 (荏原)
 江藤 浩一 (荏原)
 藤沢 良昭 (J A X A)
 榎本 俊治 (J A X A)
 池田 慈朗* (I H I)

【財務委員会】

委員長 長谷川 聰 (K H I)
 幹事 遠崎 良樹 (J A E C)
 委員 小松 秀明 (日立)
 杉浦 裕之 (K H I)

* 印・・・途中で交代した委員



○ 本会共催・協賛・行事 ○

主催学協会	会合名	共催 /協賛	開催日	会場	詳細問合せ先
日本機械学会	「機械の日・機械週間」記念行事	協賛	H20/8/7	横浜市開港記念会館	日本機械学会 事務局 URL: http://www.jsme.or.jp/
ターボ機械協会	第22回フレッシュマン・サマーセミナー	協賛	H20/8/21-22	大阪大学 豊中キャンパス シグマホール	ターボ機械協会 TEL: 03-3944-8002, FAX: 03-3944-6826, E-MAIL: turbo-so@pop01.odn.ne.jp
日本液体微粒化学会	第4回微粒化セミナー ー液体微粒化の基礎と計測技術ー	協賛	H20/9/2-3	日本大学理工学部 駿河台キャンパス	日本液体微粒化学会 http://www.ilass-japan.gr.jp
日本マリンエンジニアリング学会	第78回 (平成20年) 学術講演会	協賛	H20/9/17-19	ウェルシティ長崎	日本マリンエンジニアリング学会 http://www.jime.jp
日本機械学会	燃料電池の有効活用・開発状況最前線	協賛	H20/9/24	東京ガス(株) 千住テクノステーション	日本機械学会 URL: http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm
日本機械学会 関西支部	第297回講習会「熱エネルギーシステムのフロンティア技術を学ぶ」ーヒートポンプ・蓄熱システムの動向と最新技術ー	協賛	H20/9/25-26	大阪科学技術センター 8階 中ホール	日本機械学会関西支部 TEL: 06-6443-2073 FAX: 06-6443-6049 E-MAIL: jsme@soleil.ocn.ne.jp
Pacific Center of Thermal Fluids Engineering (PCTFE)	第7回Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP-7)	協賛	H20/11/16-19	台湾、高雄市	PCTFE URL http://www.tuat.ac.jp/~pctfe/ , 会長 望月貞成 E-MAIL: motizuki@cc.tuat.ac.jp

2008年度第1回見学会報告

倉田 修
KURATA Osamu

2008年6月3日(火)に千葉県成田市吉岡の日本タービンテクノロジー株式会社(JTT)と株式会社JALアビテック(JAT)の見学会が開催された。当日は雨にもかかわらず、大学・研究所関係、電力会社およびエンジンメーカー等から38名の参加があり盛況であった。

まず、太田学会企画理事より挨拶があった。この見学会はJALエンジンテクノロジー株式会社(JAL JET)の吉岡社長により企画いただいたことが紹介された。次にJTTのヴァーノン・スティーンス社長からご挨拶をいただき、さらに、齋藤副社長から概要についてご説明をいただいた。

JTTは、1988年にJALと新日本製鉄の合併会社として設立され、2000年から米国のPratt & Whitney社とJALの合併会社となっている。米国連邦航空局(FAA)、欧州共同航空局(EASA)、国土交通省航空局(JCAB)、中国当局(CAAC)、シンガポール航空局(CAAS)の認可を受け、ジェットエンジンの高圧タービン(HPT)のブレード・ペーン他の補修・修理を専門に行っている。資本金は4億円、従業員数は約154名である。

取扱うエンジンとしてはV2500-A5/D5のブレード・ペーンとJT9D-7R4D/E, JT9D-7Q, JT9D-7R4G2/H1のブレード・ペーン・シュラウドなどがある。部品はモジュールの状態で搬入される。作業区画は、タービンブレード、1段タービンペーンと2段タービンペーンの3つを中心とし、周囲に共用設備を配している。共用設備はX線など非破壊検査室、被膜を除去するブラスト・ストリップ作業室、クラック内の酸化物を除去する化学洗浄室、レーザー溶接・レーザー孔加工室、セラミック・メタルのプラズマスプレー室と熱処理室などから構成されている。概要説明の後、3班に分かれ、JTTの補修・修理作業を見学させていただいた。

非破壊検査室ではデジタル化されたブレードのX線画像のコントラストや倍率を増減し、先端チップのごみやクラックを検査する。画像データは証明書としてDVDに保存する。ストリップ作業室では高圧水洗浄や化学薬品によりブレードの洗浄と被膜除去を行う。化学洗浄室はフッ化水素を使う工程であり、共用設備の中では最も稼働率が高い。APPS室ではセラミックコーティングをLPPS(Low Pressure Plasma Spray)装置では真空中でメタルスプレーを行なう。LPPSは新日本製鉄の装置を保守し使用している。熱処理室には台車の上に大気圧炉

と真空炉がありコーティング、析出硬化処理と焼入れ・焼きなましを全自動で行う。さらに、作業区画には、電気工事を安全にする活動LOTOの部品と工具や、品質向上の6S(整理、整頓、標準化、維持、安全など)活動の掲示があり、11年以上の無災害日数を記録中である。

その後、質疑応答が行なわれた。修理技術はP&W社の承認を得ていること。V2500のHPTはP&Wの設計があり技術が適用できること。被膜の剥離にはブラストだけでなく洗浄も必要なこと。修理した部品の保証期間や補修履歴の管理法についてなど活発な質疑が行なわれた。

次に、JATに移動した。まず、佐々木社長からご挨拶とご説明をいただいた。JATは1988年設立で、航空機の電気・電子・機械部品や機内空調設備の整備を行なう会社である。成田市吉岡の本社では、客室内エンターテイメント(IFE)の機内音楽・映像プログラムのダビングや編集作業、客室のシート周りのオーディオコントローラー、ビデオディスプレイなど電装品や、コーヒーマーカー、電気湯沸し器、オープンレンジなどの厨房部品を扱っている。

ビデオによる紹介の後、JATの作業を見学させていただいた。ビデオのダビング室やデジタルコンテンツの編集室、作業机の上での厨房部品の修理作業や、オーディオコントローラー修理用の3行5列のモニターなどを見学させていただいた。

JTTでHPTのブレード・ペーンの補修作業を、JATでIFEの作業をご紹介していただき、見学会は盛況のうちに終了した。

最後に、ご多忙中のところ、見学会の準備及び当日いろいろお世話いただいたJTT、JATの関係者ならびにJAL JET吉岡社長に厚くお礼を申し上げます。

(企画委員会)



株式会社JALアビテックの見学会

学会誌掲載論文・記事等別刷の電子情報による提供開始のお知らせ

第33期編集委員会

日本ガスタービン学会では、学会誌に掲載された論文・記事等の別刷を従来の印刷媒体（紙）に加え、電子情報にて提供するサービスを下記要領で開始いたします。

日本ガスタービン学会誌では論文・記事等の掲載に際し、多くの著者の方々から別刷の申し込みを受け、表紙を付けた印刷物として提供してまいりました。しかし、学会誌への投稿がほぼ電子情報化された現在、著者から、別刷も電子情報で入手したいとの要望が多く寄せられております。第33期編集委員会でこの点を協議し、従来からある印刷物に加えて著者の希望により電子情報を記録した記録媒体を提供するサービスを開始する事といたしました。

印刷物の別刷は従来どおりお申し込み頂けますので、電子情報と合わせてご利用ください。新申込書及び新別刷規定は本誌後ろに掲載しますのでご参照ください。

・代金改訂

従来の印刷物の料金は据え置きとします。新たに定める電子情報（記録媒体1枚）の別刷を単独で申し込まれる場合、印刷物の50部相当の代金とします。印刷物と電子情報を同時に申し込まれる場合、印刷物代金に記録媒体1枚毎に6,000円を加算します。詳細は申込書を参照してください。

・提供範囲と時期

電子情報の別刷も印刷物と同様に著者に限り提供します。著者お一人に電子媒体1枚といたします。別刷申し込みは最終原稿入稿時とし、後日のご要求には沿えませんので予めご了承ください。但し、本規定を制定した第33期に限り、遡って電子情報の申し込みを受け付けます。対象は第33期編集委員会担当の学会誌2008年3月号以降の著者の方々です。本件、追加申込み方法などに関しましては学会事務局にお問い合わせください。

・提供する電子情報、ファイル形式と電子媒体

電子情報の内容は学会誌に掲載された体裁と同等とし、印刷物の別刷と同様に学会所定の表紙が含まれます。学会誌がモノクロ印刷の場合、原稿入稿時にカラーの図表を使用されていてもモノクロの電子情報です。学会誌にカラー印刷を希望された頁はカラーで提供します。

提供する電子ファイル形式と記録媒体は学会にて選定します。第33期は、ファイル形式はpdf、媒体はCD-Rとします。

・記録媒体の瑕疵

記録媒体に当該記録媒体を受領した著者を原因としない不具合が発生した場合、学会からの配送日から1年を期限として無償で交換いたします。

・著作権に関する注意

学会に著作権を譲渡された掲載内容に関しましては、私的使用の範囲を超えて無断で使用することはできません。電子情報の使用可能範囲、使用許諾取得方法等不明の点は学会事務局にお問い合わせください。

今後とも日本ガスタービン学会誌へのご投稿及び新サービスのご活用をお願いいたします。

別刷申込書(改訂)

(株)ニッセイエプロ 制作部 気付
(社)日本ガスタービン学会 事務局 行

◎ 印刷物別刷部数 _____部 (50部単位)

◎ 電子情報別刷記録媒体枚数 _____枚

氏名 _____ 所属・部署名 _____

住所 〒 _____

TEL : _____ FAX : _____ E-Mail : _____

日本ガスタービン学会別刷規程

日本ガスタービン学会誌掲載の技術論文、解説記事等についての別刷の作成は以下の規定に基づくものとする。

1. 別刷作成要求者

著者に限る。(連名の場合は、他の連名著者の了解のもとに、筆頭著者を原則とする)

2. 別刷作成要求時期

原稿の著者校正終了時とする。

3. 別刷作成要求方法

所定の別刷申込書の必要事項を記入し、著者校正原稿と共に印刷所へ送付する。

4. 紙媒体別刷作成形式

当該論文・記事等に表紙を付け、製本する。

表紙には、所定のフォームにより、和文及び英文標題、著者所属・氏名、掲載誌発行年月、学会マーク、掲載発行巻・号を印刷する。

5. 電子情報別刷作成形式

当該論文・記事等に表紙を付け、学会が定めるファイル形式で記録媒体に記録する。

表紙には、所定のフォームにより、和文及び英文標題、著者所属・氏名、掲載誌発行年月、学会マーク、掲載発行巻・号を印刷しケースに収め、記録媒体本体表面に同内容を印刷する。

6. 記事の修正

原則として、別刷作成後の記事の修正は認めない。

7. 別刷作成代金

別刷作成代金は、下表による。(送料別)

なお、代金は必要に応じて編集委員会の議を経て改訂を行うものとする。

論文・記事等のページ数	A) 電子情報別刷	B) 印刷物別刷 (印刷部数)				C) 電子情報別刷追加料金
		50部	100部	150部	200部	
基本料金 表紙 + 1 頁	14,000	14,000	15,000	16,000	17,000	6,000
追加 1 頁毎	500	500	600	700	700	0

(注) 電子情報別刷だけの申し込みの場合、上記 A) の代金とする。

印刷物別刷 (従来と同形式) の場合、上記 B) の代金とする。

印刷物と電子情報別刷を同時に申し込む場合、B) に C) を加えた代金とする。

電子情報別刷を複数枚購入する場合、2 枚目以降は C) の代金とする。

本文が 6 頁の論文・記事の場合の 1 例

(1) 電子情報別刷を購入する場合

$$\text{料金} = 14,000 + 500 \times (6 - 1) = 16,500 \text{円}$$

(2) 印刷物別刷を 150 部購入する場合

$$\text{料金} = 16,000 + 700 \times (6 - 1) = 19,500 \text{円}$$

(3) 印刷物別刷を 150 部と電子情報別刷を購入する場合

$$\text{料金} = 16,000 + 700 \times (6 - 1) + 6,000 = 25,500 \text{円}$$

第36回ガスタービン定期講演会（日立）・見学会のお知らせ

第36回ガスタービン定期講演会・見学会を以下のように開催します。プログラム他詳細は、決まり次第、学会ホームページに掲載いたします。また、9月号にも掲載予定です。

主 催：日本ガスタービン学会

共 催：日本機械学会

開 催 日：

- ・講演会 2008年10月15日(水)、16日(木)
- ・見学会 2008年10月17日(金)

開 催 場 所：

- ・日立シビックセンター
- 住所：日立市幸町1-21-1 電話：0294-24-7711 (HP: <http://www.civic.jp>)

講 演 会：

- ・一般講演：空力、燃焼・燃焼器、伝熱、材料、開発、性能、保守等
- ・特別講演：日立の地にゆかりの深い「岡倉天心」について 小泉晋弥氏（茨城大学教育学部教授）
- ・環境問題とエネルギーに関するオーガナイズドセッションを開催予定

参加登録費：

- ・主催・共催学会正会員 13,000円
- ・学生会員 4,000円（ただし論文集無しで1,000円）
- ・会員外 18,000円（ただし学生は論文集有りで7,000円、論文集無しで4,000円）

懇 親 会：

- ・第1日目の講演会終了後、ホテル日航日立（日立市幸町1-20-3）にて開催いたします。
- なお、懇親会参加費として2,000円を徴収させていただきます。

学生による優秀発表の表彰：

- ・初の試みとして、日本ガスタービン学会の学生会員および博士（後期）課程在学中の同会員による発表の内、特に優秀な発表に対して表彰を行うことになりました。

見 学 会：

- ・日時：10月17日(金)
- ・見学先：IGCC、日立製作所AHAT 他を予定
- ・定員45名程度、先着順、講演会登録者に限ります。
- ・参加費6,000円

参加申込方法：

- ・プログラム等詳細決定次第、学会HP（<http://www.soc.nii.ac.jp/gtsj/>）に掲載いたします。HPから登録されるか、9月号掲載参加申込書に必要事項をご記入の上、学会事務局宛にお申し込み下さい。参加登録は、受付の混乱を避けるため、事前登録をお願いします。講演者も参加登録をお願いします。

第16回ガスタービン教育シンポジウム開催のお知らせ

近年、ガスタービン技術の発展にはめざましいものがあり、航空機用ジェットエンジンははじめ大規模発電やコジェネレーション用や船舶用エンジンとして幅広く用いられています。ガスタービンは小型高出力・高効率であることやNO_x排出を抑えることが比較的容易であることから、環境に優しい原動機として今日の人類のエネルギー問題に寄与する大変重要な役割を担っております。また、将来の地球温暖化防止に向けてガスタービンの更なる高効率化・大容量化が強く求められており、多岐にわたる研究・開発分野で若い技術者の活躍が期待されます。この様な背景から、学生及びガスタービン開発に携わる新人技術者を対象とした本年度2回目の標記シンポジウム開催を関西地区で計画しました。会員・非会員を問わず積極的にご参加下さい。

1. 日時：平成20年9月11日(木)、12日(金)

2. 場所：川崎重工業株式会社 明石工場 研修センター（明石市川崎町1番1号）

＜JR西明石駅：下車徒歩25分

JR明石駅：明石市バス「貴崎行き」約10分「マツダ前」下車徒歩3分＞

3. プログラム：

11日(木)	9：30-	受付（明石工場 研修センター）
	10：00-10：10	開会の挨拶
	10：10-11：40	「ガスタービン概論」青山邦明（三菱重工業）
	11：40-13：00	昼食
	13：00-14：30	「ガスタービンと流体工学」川田 裕（大阪工大）
	14：40-15：30	「川崎重工業株式会社におけるガスタービンの開発」永留世一（川崎重工業）
	15：30-17：15	明石工場 生産設備・試験設備、エネルギーセンター見学（官学参加者） 川崎重工業のガスタービン技術の紹介、エネルギーセンター見学 （メーカー参加者）
	17：30-19：00	懇親会
12日(金)		
	9：20-10：50	「ガスタービンと伝熱工学」武石賢一郎（大阪大学）
	11：00-12：30	「ガスタービンと燃焼工学」北嶋潤一（川崎重工業）
	12：30-13：30	昼食
	13：30-15：00	「ガスタービンと材料工学」高橋孝二（三菱重工業）
	15：10-16：40	「ガスタービンと制御工学」足利 貢（川崎重工業）
	16：40-16：50	アンケート記入
	16：50-	閉会の挨拶

4. 定 員：60名

5. 対象者：大学、大学院、高等専門学校在籍者、ならびに技術者（ガスタービン初心者）

6. 参加費：学生(会員：¥2,500, 非会員：¥5,500), 社会人(会員：¥10,000, 非会員：¥15,500)

(注：当日入会可, 入会金¥500, 年会費：学生会員 ¥2,500, 正会員 ¥5,000)

7. 懇親会：参加費 無料

8. 受講修了証の発行：2日間の講義を受講された方は、「ガスタービン教育シンポジウム受講修了証」を発行します。

9. 申込方法：下記の申込書に1)所属 学校名(専攻, 学年), 社名(部課名, 入社年度), GTSJ会員は会員番号, 2)氏名, 3)連絡先住所, TEL, FAX, E-mail, 4)懇親会参加の有無を明記し, 学会事務局宛に, 郵便, ファクシミリ, 電子メールのいずれかにより平成20年8月27日(木)(必着)までに, お申し込み下さい。

10. 参加費の支払：当日支払いですが, 事前の支払いも受け付けます。事前に支払う場合は下記の所に振り込みを行っ

てください。またその旨を学会事務局にファクシミリ、電子メール等でお知らせ下さい。

- 明石工場見学は官学からの参加者（メーカー以外）のみとさせていただきますので予めご了承下さい。
- 明石工場見学にはカメラおよびカメラ付携帯電話の持ち込みが出来ませんので予めご了承下さい。
- 昼食：実費弁当申し込みを承ります（後日注文受付します）。
- 宿泊施設：幹旋はいたしませんので必要な方は各自手配してください。
- 交通：JR西明石駅下車の場合：東改札口を出て南側へ下りる。徒歩7～8分で西門，西門から徒歩15分で研修センター。JR明石駅下車の場合：山陽電鉄南側，南4番のりばより「貴崎行き」，「貴崎循環藤江行き」で「マツダ前」下車徒歩1分で正門，正門から徒歩2分で研修センター。バス乗車時間は約10分。
- 学会事務局：(社)日本ガスタービン学会 〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13 第3工新ビル402
- 振込先：銀行（みずほ銀行新宿西口支店 普通預金1703707）郵便振替（00170-9-179578）

注：開催場所案内図及び詳細については当学会ホームページをご覧ください。（<http://www.soc.nii.ac.jp/gtsj/>）

第16回ガスタービン教育シンポジウム参加申込書

（平成20年9月11，12日）

(社)日本ガスタービン学会 行

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

氏名		懇親会	出 欠
所属		学年，入社年度	
連絡先	〒		
電話		GTSJ会員番号（No. ）	非会員
ファクシミリ		E-mailアドレス	

申込締切日：平成20年8月27日(木)（必着）

月日が経つのは早いもので、本年も前半が終了しました。沖縄は既に梅雨が明け、この号が皆様に届くころには、夏本番であろうと思います。昨年は記録的な猛暑で2地点で国内最高気温を記録した事も記憶に新しいところです。地球温暖化の文字が新聞に無い日が無いほどポピュラーになり、本年の夏はどうだろうと危惧しております。7月7日からは北海道洞爺湖サミット（主要国首脳会議）が開催されます。地球温暖化の進行に歯止めをかけるべく、全世界が温室効果ガスの削減に向け一致団結して行動することが期待されています。合わせて恒常的なエネルギー及び食料価格の高騰が、世界経済に与える影響も大きく、地球号に乗る全ての国が一致団結して事にあたり無ければ、解決出来ない地球規模の問題が山積しており、今回の会議は例年になく重要な位置付けであろうと思います。

今回は特集テーマとして、「産業としての航空」にスポットを当て、日本の航空機産業の歴史、現状及び今後のトレンドについて、国・協会・各メーカーの立場で論じていただきました。わが国の航空機産業の規模はGDP比率で、残念ながら先進国（米国、英国、仏国、カナダ、ドイツ他）に比較して小さいですが、一方国際分業の中で日本企業は技術力を向上させ実績を積んでいる事も事実であります。

又、航空機需要は今後益々増加が予想されており、今後一層安全性を確保しつつ環境低負荷及び燃費向上に対する要求が厳しくなり、ガスタービンエンジン技術に対する技術革新が望める分野として発展すると思います。そのためには各メーカーが現在の強みを活かすとともに、技術研究開発のために産学官の連携を活性化させ推進する必要があります。更に今後とも航空用ガスタービン技術が、電力用の大型ガスタービン技術に反映されて、その相乗効果で環境にやさしく・高効率のシステムが実現されていく事が望まれます。本号が関

連技術者の参考になるとともに、全学会員の情報源として有効であることを願ってやみません。

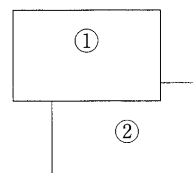
例年通り本号にはガスタービン及び過給機の生産統計が掲載されています。統計データのため、出来るだけ毎年同種のデータによるトレンドを記載してあります。正確な統計資料を毎年残す事は重要な活動であると考えています。千葉委員長（INC）以下各委員の方々ご苦労様でした。

最後になりますが、本号刊行にあたり、執筆者の方々にはお忙しい中、急な原稿依頼に快くお引き受けいただきありがとうございます。編集委員一同、こころよりお礼申し上げます。なお、編集担当理事や委員の交代時期に当たる7月号の企画編集は例年同様新旧委員の共同作業で制作されており、福山委員（JAXA：第32期担当理事）、佐々木委員（IHIエアロスペース）、平田委員（IHI）、加藤委員（東京大学）と武田（富士電機システムズ：第33期担当理事）が担当いたしました。

（武田淳一郎）

（表紙写真） 表紙図表構成

- ①(財)日本航空機エンジン協会（JAEC）殿提供
（V2500エンジン断面図）
- ②JALエンジンテクノロジー殿提供
（V2500搭載MD90-30）



だより

✠事務局 ✠

季節の訪れはこの数年次第に早足になり、夏の暑さも厳しさが増してきているように感じます。この学会誌が皆様のお手元に届くころには東京の梅雨も明け、本格的な夏が訪れ、暑さに耐えつつ涼を求めている時期だと思えます。6月14日には岩手・宮城内陸地震が発生しましたが、会員の皆様にはお怪我等ございませんでしたか。遠く離れた東京でさえ船酔いのように揺れた地震でした。被害に遭われた方々にお見舞い申し上げます。

学会の今年度の行事も順調に進み、6月3日には、日本タービテクノロジー(株)及び(株)JALアビテックに於いて第1回見学会が行われました。当初の定員を上回る大勢の参加者にお集まりいただき、天候には恵まれませんでしたが、盛況

のうちに終了いたしました。

7月3日、4日には第15回ガスタービン教育シンポジウムが、(株)IHI航空宇宙事業本部瑞穂工場にて開催され、こちらも当初の定員を大幅に上回る参加申込をいただきました。会員の方・非会員の方を交え、参加された皆様には有意義な講義と交流の場となったことと思います。

来たる10月15日、16日には、第36回ガスタービン定期講演会が日立シビックセンター（茨城県日立市）にて開催され、翌17日には、勿来IGCC実証施設及び日立製作所AHATの見学も予定されています。詳細は日本ガスタービン学会ホームページをご参照ください。事務局では現在準備を進めており、皆様の積極的なご参加をお待ちしております。 [高田]

月日が経つのは早いもので、本年も前半が終了しました。沖縄は既に梅雨が明け、この号が皆様に届くころには、夏本番であろうと思います。昨年は記録的な猛暑で2地点で国内最高気温を記録した事も記憶に新しいところです。地球温暖化の文字が新聞に無い日が無いほどポピュラーになり、本年の夏はどうだろうと危惧しております。7月7日からは北海道洞爺湖サミット（主要国首脳会議）が開催されます。地球温暖化の進行に歯止めをかけるべく、全世界が温室効果ガスの削減に向け一致団結して行動することが期待されています。合わせて恒常的なエネルギー及び食料価格の高騰が、世界経済に与える影響も大きく、地球号に乗る全ての国が一致団結して事にあたり無ければ、解決出来ない地球規模の問題が山積しており、今回の会議は例年になく重要な位置付けであろうと思います。

今回は特集テーマとして、「産業としての航空」にスポットを当て、日本の航空機産業の歴史、現状及び今後のトレンドについて、国・協会・各メーカーの立場で論じていただきました。わが国の航空機産業の規模はGDP比率で、残念ながら先進国（米国、英国、仏国、カナダ、ドイツ他）に比較して小さいですが、一方国際分業の中で日本企業は技術力を向上させ実績を積んでいる事も事実であります。

又、航空機需要は今後益々増加が予想されており、今後一層安全性を確保しつつ環境低負荷及び燃費向上に対する要求が厳しくなり、ガスタービンエンジン技術に対する技術革新が望める分野として発展すると思います。そのためには各メーカーが現在の強みを活かすとともに、技術研究開発のために産学官の連携を活性化させ推進する必要があります。更に今後とも航空用ガスタービン技術が、電力用の大型ガスタービン技術に反映されて、その相乗効果で環境にやさしく・高効率のシステムが実現されていく事が望まれます。本号が関

連技術者の参考になるとともに、全学会員の情報源として有効であることを願ってやみません。

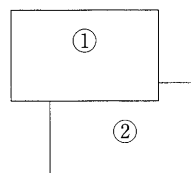
例年通り本号にはガスタービン及び過給機の生産統計が掲載されています。統計データのため、出来るだけ毎年同種のデータによるトレンドを記載してあります。正確な統計資料を毎年残す事は重要な活動であると考えています。千葉委員長（INC）以下各委員の方々ご苦労様でした。

最後になりますが、本号刊行にあたり、執筆者の方々にはお忙しい中、急な原稿依頼に快くお引き受けいただきありがとうございます。編集委員一同、こころよりお礼申し上げます。なお、編集担当理事や委員の交代時期に当たる7月号の企画編集は例年同様新旧委員の共同作業で制作されており、福山委員（JAXA：第32期担当理事）、佐々木委員（IHIエアロスペース）、平田委員（IHI）、加藤委員（東京大学）と武田（富士電機システムズ：第33期担当理事）が担当いたしました。

（武田淳一郎）

（表紙写真） 表紙図表構成

- ①(財)日本航空機エンジン協会（JAEC）殿提供
（V2500エンジン断面図）
- ②JALエンジンテクノロジー殿提供
（V2500搭載MD90-30）



だより ✠事務局 ✠

季節の訪れはこの数年次第に早足になり、夏の暑さも厳しさが増してきているように感じます。この学会誌が皆様のお手元に届くころには東京の梅雨も明け、本格的な夏が訪れ、暑さに耐えつつ涼を求めている時期だと思えます。6月14日には岩手・宮城内陸地震が発生しましたが、会員の皆様にはお怪我等ございませんでしたか。遠く離れた東京でさえ船酔いのように揺れた地震でした。被害に遭われた方々にお見舞い申し上げます。

学会の今年度の行事も順調に進み、6月3日には、日本タービテクノロジー(株)及び(株)JALアビテックに於いて第1回見学会が行われました。当初の定員を上回る大勢の参加者にお集まりいただき、天候には恵まれませんでしたでしたが、盛況

のうちに終了いたしました。

7月3日、4日には第15回ガスタービン教育シンポジウムが、(株)IHI航空宇宙事業本部瑞穂工場にて開催され、こちらも当初の定員を大幅に上回る参加申込をいただきました。会員の方・非会員の方を交え、参加された皆様には有意義な講義と交流の場となったことと思います。

来たる10月15日、16日には、第36回ガスタービン定期講演会が日立シビックセンター（茨城県日立市）にて開催され、翌17日には、勿来IGCC実証施設及び日立製作所AHATの見学も予定されています。詳細は日本ガスタービン学会ホームページをご参照ください。事務局では現在準備を進めており、皆様の積極的なご参加をお待ちしております。 [高田]

月日が経つのは早いもので、本年も前半が終了しました。沖縄は既に梅雨が明け、この号が皆様に届くころには、夏本番であろうと思います。昨年は記録的な猛暑で2地点で国内最高気温を記録した事も記憶に新しいところです。地球温暖化の文字が新聞に無い日が無いほどポピュラーになり、本年の夏はどうだろうと危惧しております。7月7日からは北海道洞爺湖サミット（主要国首脳会議）が開催されます。地球温暖化の進行に歯止めをかけるべく、全世界が温室効果ガスの削減に向け一致団結して行動することが期待されています。合わせて恒常的なエネルギー及び食料価格の高騰が、世界経済に与える影響も大きく、地球号に乗る全ての国が一致団結して事にあたり無ければ、解決出来ない地球規模の問題が山積しており、今回の会議は例年になく重要な位置付けであろうと思います。

今回は特集テーマとして、「産業としての航空」にスポットを当て、日本の航空機産業の歴史、現状及び今後のトレンドについて、国・協会・各メーカーの立場で論じていただきました。わが国の航空機産業の規模はGDP比率で、残念ながら先進国（米国、英国、仏国、カナダ、ドイツ他）に比較して小さいですが、一方国際分業の中で日本企業は技術力を向上させ実績を積んでいる事も事実であります。

又、航空機需要は今後益々増加が予想されており、今後一層安全性を確保しつつ環境低負荷及び燃費向上に対する要求が厳しくなり、ガスタービンエンジン技術に対する技術革新が望める分野として発展すると思います。そのためには各メーカーが現在の強みを活かすとともに、技術研究開発のために産学官の連携を活性化させ推進する必要があります。更に今後とも航空用ガスタービン技術が、電力用の大型ガスタービン技術に反映されて、その相乗効果で環境にやさしく・高効率のシステムが実現されていく事が望まれます。本号が関

連技術者の参考になるとともに、全学会員の情報源として有効であることを願ってやみません。

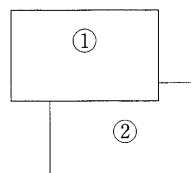
例年通り本号にはガスタービン及び過給機の生産統計が掲載されています。統計データのため、出来るだけ毎年同種のデータによるトレンドを記載してあります。正確な統計資料を毎年残す事は重要な活動であると考えています。千葉委員長（INC）以下各委員の方々ご苦労様でした。

最後になりますが、本号刊行にあたり、執筆者の方々にはお忙しい中、急な原稿依頼に快くお引き受けいただきありがとうございます。編集委員一同、こころよりお礼申し上げます。なお、編集担当理事や委員の交代時期に当たる7月号の企画編集は例年同様新旧委員の共同作業で制作されており、福山委員（JAXA：第32期担当理事）、佐々木委員（IHIエアロスペース）、平田委員（IHI）、加藤委員（東京大学）と武田（富士電機システムズ：第33期担当理事）が担当いたしました。

（武田淳一郎）

（表紙写真） 表紙図表構成

- ①(財)日本航空機エンジン協会（JAEC）殿提供
（V2500エンジン断面図）
- ②JALエンジンテクノロジー殿提供
（V2500搭載MD90-30）



だより

✠事務局 ✠

季節の訪れはこの数年次第に早足になり、夏の暑さも厳しさが増してきているように感じます。この学会誌が皆様のお手元に届くころには東京の梅雨も明け、本格的な夏が訪れ、暑さに耐えつつ涼を求めている時期だと思えます。6月14日には岩手・宮城内陸地震が発生しましたが、会員の皆様にはお怪我等ございませんでしたか。遠く離れた東京でさえ船酔いのように揺れた地震でした。被害に遭われた方々にお見舞い申し上げます。

学会の今年度の行事も順調に進み、6月3日には、日本タービテクノロジー(株)及び(株)JALアビテックに於いて第1回見学会が行われました。当初の定員を上回る大勢の参加者にお集まりいただき、天候には恵まれませんでしたが、盛況

のうちに終了いたしました。

7月3日、4日には第15回ガスタービン教育シンポジウムが、(株)IHI航空宇宙事業本部瑞穂工場にて開催され、こちらも当初の定員を大幅に上回る参加申込をいただきました。会員の方・非会員の方を交え、参加された皆様には有意義な講義と交流の場となったことと思います。

来たる10月15日、16日には、第36回ガスタービン定期講演会が日立シビックセンター（茨城県日立市）にて開催され、翌17日には、勿来IGCC実証施設及び日立製作所AHATの見学も予定されています。詳細は日本ガスタービン学会ホームページをご参照ください。事務局では現在準備を進めており、皆様の積極的なご参加をお待ちしております。 [高田]

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の個人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

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

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブプロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.4 2008.7

発行日 2008年7月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒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
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブプロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

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

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

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の個人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

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

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブプロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.4 2008.7

発行日 2008年7月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒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
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブプロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

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

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

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の個人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

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

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブプロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.4 2008.7

発行日 2008年7月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒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
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブプロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

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

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

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1. 本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。
 - A. 投稿原稿(会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。)
 - B. 依頼原稿(本学会編集委員会がテーマを定めて特定の者に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。)
 - C. 学会原稿(学会の運営・活動に関する記事(報告、会告等)および学会による調査・研究活動の成果等の報告。)
2. 依頼原稿および投稿原稿は、ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説、講義、技術論文、速報(研究速報、技術速報)、寄書(研究だより、見聞記、新製品・新設備紹介)、随筆、書評、情報欄記事、その他とする。刷り上がりページ数は原則として、1編につき次のページ数以内とする。

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

3. 執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し、編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。
4. 会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は、編集委員会が定める方法により審査され、編集委員会の承認を得て、学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては、別に技術論文投稿規定を定める。
5. 依頼原稿および学会原稿についても、編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は、査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。
6. 依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。
7. 学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

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

8. 著作者は、学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。
9. 本会発行の著作物に掲載された記事、論文などの著作物について、著作権侵害者、名誉毀損、またはその他の紛争が生じた場合、当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1. 原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167
ニッセイエブプロ(株) 制作部 編集制作課
E-mail: eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当 佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1. 本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。
 - 1) 主たる著者は本学会会員であること。
 - 2) 投稿原稿は著者の原著で、ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。
 - 3) 投稿原稿は、一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし、要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。
2. 使用言語は原則として日本語とする。ただし、第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合、および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお、原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。
3. 投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし、1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。
4. 図・写真等について、著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。
5. 投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し、正原稿1部副原稿(コピー)2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。
6. 原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。
7. 投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し、編集委員会で採否を決定する。
8. 論文内容についての責任は、すべて著者が負う。
9. 本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては、学会誌編集規定7.および8.を適用する。

日本ガスタービン学会誌 Vol.36 No.4 2008.7

発行日 2008年7月20日
発行所 社団法人日本ガスタービン学会
編集者 福山佳孝
発行者 並木正夫
〒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
(普)1703707
印刷所 ニッセイエブプロ(株)
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel. 03-5733-5157 Fax. 03-5733-5167

©2008, (株)日本ガスタービン学会

複写される方へ

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

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

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、学術著作権協会では扱っていませんので、直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600