

# 航空エンジン分野への基礎工学の貢献と産学連携

東京大学大学院工学系研究科

航空宇宙工学専攻

教授

渡辺 紀 徳



## 1. はじめに

航空エンジン産業は日本の基幹産業の一つとして発展し得る可能性が高く、関連産業を含めたものづくりを通じて競争力の強化に資するとともに、国民の安心・安全の増進に貢献する産業と考えられる。経済産業省・独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) により策定されている技術戦略ロードマップ<sup>(1)</sup>でも、このような認識のもと、技術と産業の今後の展開について詳細に検討されているところである。また、基礎となる高温・冷却技術や空力技術、燃焼技術、材料技術、および数値シミュレーション技術などは、国内の学術や技術が国際的にも高いレベルにあるため、これらを十分に生かすことで将来の発展が見込める産業分野と言える。

日本のジェットエンジン技術および産業は着実に発展を続けており、民間エンジン開発では欧米メーカーによる国際共同開発の重要なパートナーとなっている。また、防衛エンジンでは純国産エンジンが継続的に開発・運用されてきている。

しかしながら、民間エンジンにおける国際的なシェアはまだ大きくなく、これを拡大するためには、実証レベルや実機開発まで視野に入れて、新たな技術開発を戦略的に実施していく必要がある。発展にはさまざまな要素が必要となるが、学術界の目からは、革新的かつ基盤的な技術の創出と実機への応用が、今後の日本の発展に非常に重要と思われる。

この度、東京大学に IHI との共同研究契約により、「将

来航空推進システム技術創成」社会連携講座が設置された。これを機に国内の航空エンジンに関する基礎研究とメーカーの技術開発を有効に結合し、日本のエンジン技術を飛躍的に高めるような活動を、広範な連携も行いながら展開したいと考えている。

本稿では大学における工学の現状を踏まえ、航空エンジン技術に資する基盤研究の進め方や、産学連携活動の重要性などについて、社会連携講座の活動や学会の活動の紹介も含めつつ考えてみたい。

## 2. 航空エンジン分野の基礎工学と産学連携

ジェットエンジンは言うまでもなく高度な技術集約型の製品である。文部科学省の分類でもこの分野は総合工学の一つに位置付けられる。立脚する工学分野としては、流体工学、熱工学、燃焼工学、伝熱工学、構造・材料工学、制御工学、機械要素工学などが挙げられる。

日本の大学における機械工学系の学科・専攻では、通常これらの工学分野ごとに講座や研究室が設けられ、教育研究を実施している。このため、各分野を統合する視点で活動を行うことが少なく、システム技術を生み出すという観点からは長い間一つの問題と認識されている。一方、20年ほど前から、研究対象の基礎的現象への遡行が積極的に行われてきた。これは研究の独自性や応用技術への基礎的知見、手段、シーズの提示などの観点からは一つの見識であるが、他方で統合技術の視点からは重要な要素が欠落する結果をもたらしている。

このような状況のなかで、大学にジェットエンジンなど

具体的な名称の看板を掲げることは難しくなっている。講義でも詳細には取り上げられず、流体機械などの講義のなかで少し触れられる程度が一般的である。また、関連学協会の会員統計を見ても、この分野で大学に所属する若手の会員は非常に少なくなっている。しかしながら近年になって、科学技術立国の重要性の再認識や、ものづくり教育への意識の高まりが契機となり、大学でも「もの」への回帰が目立つようになった。機械系学科としては、まっとうな方向への揺れ戻しと見える（あえて注記すれば、筆者の所属する航空宇宙工学専攻では、一貫してものにこだわった教育研究が行われてきており、IHI とも協力体制にある<sup>(2)</sup>）。

大学における基礎研究は通常、いわゆる TRL (Technology Readiness Level) の 1～3 程度を担うとされ、将来的に実機に適用される技術のシーズを生み出すことが期待される。しかしながら日本では大学・研究所の研究者と企業の技術者が緊密に情報交換を行って連携を図る体制が必ずしも整備されていない。産学連携ができていないと言われるゆえんである。原因はいろいろあるが、大学側では細分化された工学分野がどのように統合されてジェットエンジンに結実するかというビジョンが明確でなく、おのおのの研究者が行っている研究の実用技術につながるイメージがつかめていないこと、さらにエンジン性能に自分の研究がどの程度インパクトがあるかという情報がないこと、などが挙げられる。打開の手だてとしては、まずは相互に情報交換する機会を増やすことが重要である。学会の講演会など諸活動はその機能がある程度果たしているが、まだまだ不十分と言えよう。また、基礎研究を産業技術まで結びつけるには、技術開発全体をコーディネートし、適切にマネージする活動や人材が極めて重要である。欧米のメーカと大学・研究所の間では、これらの関係がはるかに上手にマネージされているように見受けられる。

状況を急速に改善するのは難しいかもしれないが、たとえばジェットエンジンに関する研究開発プロジェクトが産学官連携で実施できれば、大幅に状況が変化するのではないかと期待される。そのなかで次世代を担う人材の育成も行われ得るであろう。将来的には基礎研究が日本の航空エンジンの基盤技術力を高めるのに役立ち、国際共同開発のなかでの競争力強化や、日本主導のエンジン開発などに貢献できるようになることを強く望みたい。

### 3. 学会における航空エンジン技術の検討

公益社団法人日本ガスタービン学会では、「ガスター

ビンを考える会」(以下、考える会)がガスタービン・ジェットエンジン技術の研究開発について検討を行っている。産学官から参加を募り、産業用と航空用のガスタービンそれぞれに関して技術や業界の現状・周辺状況・今後の展開・国際戦略などについて自由な雰囲気です話し合っており、経済産業省・防衛省・NEDO などからも参加してもらい、年に 5～6 回会合を開催している。

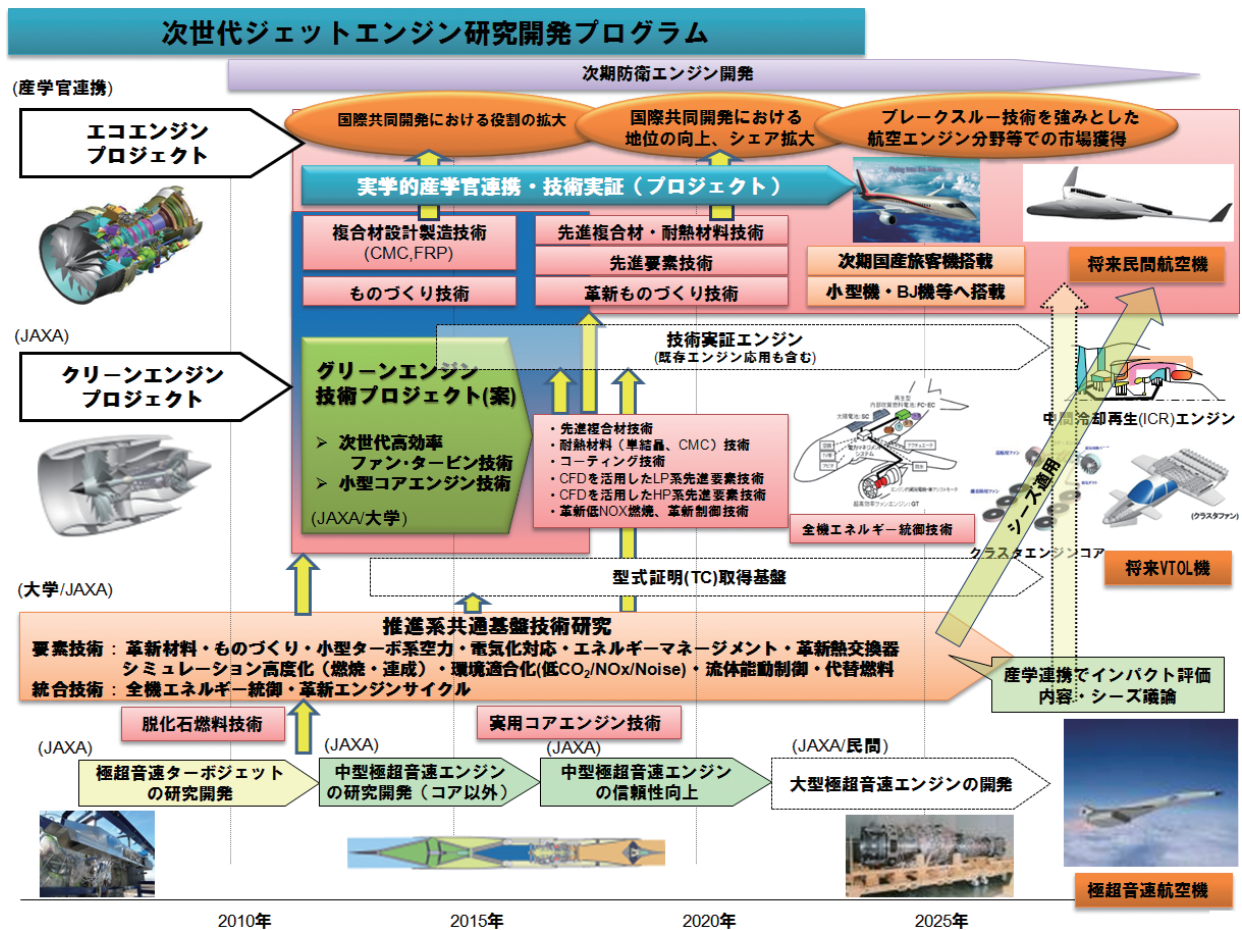
考える会ではこれまでに産業用、航空用の技術ロードマップを作成してホームページや学会誌で公開しており、現在はロードマップを基に研究開発プロジェクト案を作成している。

航空用ガスタービンのロードマップ<sup>(3)</sup>は経済産業省の技術戦略ロードマップを参考に、長期展望を入れて検討を行った。日本の航空エンジン技術の目標を「エンジンの完成機開発と市場の獲得」と「国際共同開発における役割の拡大」に集約している。続いてロードマップに基づき、日本の現状を踏まえて今後想定される研究開発プログラムの基礎的な線表を第 1 図のように作成した<sup>(3)</sup>。四つの横方向の帯が分野別のプログラムに対応し、横軸は年代で 2030 年程度までを想定している。一番上の帯はエコエンジンプロジェクト後に、産学官連携により民間エンジン技術を進展させていくものである。プロジェクトを通じ、国際共同開発への参加レベルの高度化を、ものづくりや材料など日本の得意とする分野を中心に実現していく。二番目の帯は独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が主体となり、大学も参加して実用的な要素技術を研究開発するものとなっている。早期に技術実証エンジンを獲得整備し、要素技術が実証できる環境を整える。三番目の帯では大学を中心として JAXA などとの連携により基盤技術を研究し、シーズを創出するプログラムを描いている。右上向きの矢印はシーズを実用化する方向を示している。四番目の帯は極超音速エンジンを開発するプログラムで、当面は JAXA が中心となって推進することを想定した。

この基礎線表を基に、技術の現状も勘案し、以下の五つの重点技術項目を抽出した。

- (1) 革新材料・ものづくり技術
- (2) 革新エンジン用小型高効率ターボ系空力技術
- (3) 電気化対応およびエネルギーマネジメント技術
- (4) 革新エンジン用小型超軽量熱交換器技術
- (5) 燃焼・連成を含むシミュレーションの高度化

これらの研究開発を産学官連携により遂行することで、日本のエンジン技術の優位性と独自性を大幅に高める。



第 1 図 次世代ジェットエンジン研究開発プログラム案<sup>(3)</sup>

これを Phase I とする。項目により違いはあるが、TRL 5～6 の実証レベルまでを目標とし、それぞれについて研究開発計画を立案している。その後は開発した要素技術を統合することにより、実証エンジンを開発する Phase II につなげることを目指している。

欧米のメーカーとの関係のなかで、民間ジェットエンジン技術と産業を発展させていくには多大な困難が伴うが、これまでの技術の進展を踏まえれば、展開の可能性は大きいと思われる。国際的な戦略性をもちつつ産学官連携体制の構築発展を進め、有効な研究開発プロジェクトを推進していくことが重要である。そのためには技術を担う若い人材が多数必要であり、プロジェクトを通じての育成が期待される。

#### 4. 「将来航空推進システム技術創成」社会連携講座の活動

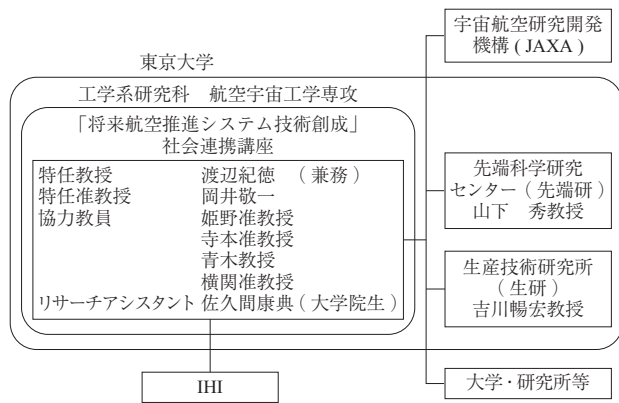
東京大学大学院工学系研究科・航空宇宙工学専攻は、IHI との共同研究契約により、2012 年 12 月に「将来航空推進システム技術創成」社会連携講座を設置した。その後 2013 年 4 月までに構成メンバがそろい、本格的な

活動を開始している。

講座は将来の航空輸送発展のため、安全で高度な環境適合性を有する革新的な航空推進システムの実現を目指し、先端のおよび基盤的な技術を創成すること、ならびに人材を育成することを目的としている。また、航空エンジンの技術発展に関し、研究者や技術者、およびユーザや関連官庁の方々が集まる拠点としての機能が発揮できれば、関係者間の連携を促進する役割も果たせるものと思われる。

#### 4.1 講座の体制

第 2 図に講座の運営体制を示す。筆者が特任教授を兼務し、JAXA 航空本部から出向で岡井敬一博士が特任准教授を務めている。ほかに協力教員として、航空宇宙工学専攻の青木隆平教授（構造材料工学）、寺本進准教授（熱流体工学・流体数値解析）、姫野武洋准教授（熱流体工学・二相流）、横関智弘准教授（構造材料工学）が参加している。また、東京大学の生産技術研究所から吉川暢宏教授、先端科学技術研究センターから山下秀教授に参加してもらい、材料関係の研究で協力いただいている。一方、JAXA 航空本部とは新規の共同研究契約を締結したう



第2図 社会連携講座の運営体制

で岡井特任准教授を介した連携を取っている。今後、ほかの大学や研究所の方々にも可能な範囲で協力の輪を広げていきたい。

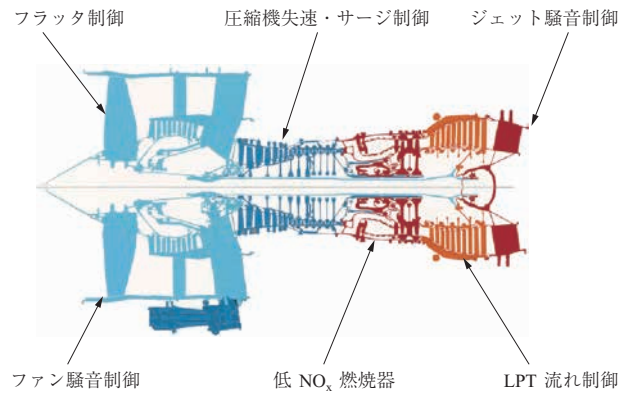
#### 4.2 教育研究

講座の研究内容の大枠を設定するにあたり、1年以上にわたって広範な討議を行った。メーカーとしてのニーズや学術的な興味と重要性、日本のエンジン技術の方向性と戦略、双方の研究リソースおよび国内の関連リソース、人材育成上の価値、等々をさまざまに検討した結果、以下の3分野を設定し、重点的に共同研究を進めることとした。

- ・ 環境適合性の飛躍的な向上（省エネルギー化、低排出物化、低騒音化など）
- ・ 機体／エンジン統合最適化（エネルギーマネジメントの高度化など）
- ・ 素材・ものづくり技術の高度化

##### (1) 環境適合性分野

この分野は筆者がリーダーを務めている。エンジン騒音や圧縮機非定常空力などの分野で IHI との共同研究を長年実施しており、これらを核として発展させる計画である。寺本准教授、姫野准教授および井上智博特任准教授が参加し、数名の大学院生も交えて頻繁に研究会を行い、テーマの討論や情報交換、進行中の研究のレビューなどを行っている。当面、空力関係の研究を進めながら、流れの制御の応用に力点を置いて今後のテーマを検討している。第3図は今後考えられる制御項目の例である<sup>(4)</sup>。他方、このような制御技術や流れ現象の基礎的な解明が、エンジン全体の性能にどのようなインパクトをもつかは、従来それほど明確にされていない。そこで、エンジン性能解析の高度化研究の成果を基に、各研究項目の全体性能に対する感度を見通し良く評価する



(注) LPT: Low Pressure Turbine (低圧タービン)

(エンジン断面図提供: 一般財団法人日本航空機エンジン協会)

第3図 制御技術の項目例<sup>(4)</sup>

技術についても議論している。

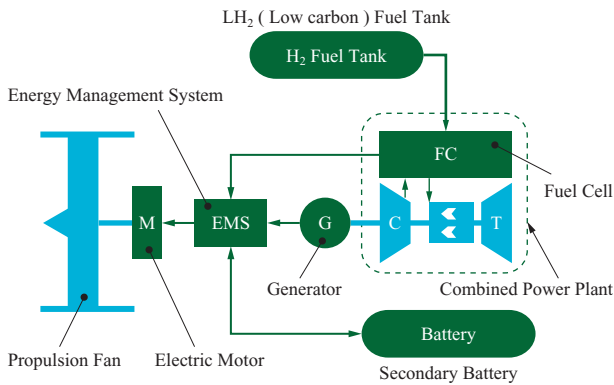
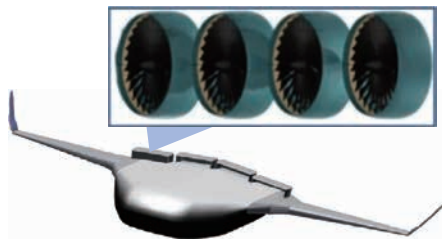
##### (2) エネルギー分野

この分野では、従来の関連研究者の枠を超えたネットワークを構築して、革新的な航空推進システムの概念検討や中核要素技術の開発を行う計画である。リーダーを岡井特任准教授が務め、制御・性能関係の技術者と研究会を開催してテーマの検討を行っている。当面、新概念エンジンシステム、電動化とエンジン・機体統合、燃料電池の実用化に向けた基礎技術などを取り上げる。この分野の独自性は、エンジンだけでなく機体全体のエネルギーマネジメントシステム(EMS)を構築して、飛躍的な省エネルギーや環境負荷の低減を実現する点である。機体関係の研究者との協力により、日本独自の技術を展開する可能性が期待される。

第4図は JAXA で研究されている新コンセプト推進システムの例である<sup>(5)</sup>。ガスタービンと燃料電池のハイブリッド発電による電力を、EMS を介してモータに供給し、電動ファンで推力を得るシステムとなっている。本講座では JAXA との共同研究を実施し、エンジンコンセプトの検討を通じてエンジン・機体統合最適化の指針を明らかにする計画である。

##### (3) ものづくり分野

この分野では素材・ものづくり技術をベースに、将来の発展に寄与する新素材とその製造プロセス、ならびに革新的なものづくり技術の研究を実施する。分野リーダーを青木教授が務め、横関准教授が幹事役となっている。また、吉川教授と山下特任教授にも協力いただいている。



(注) C : Compressor  
T : Turbine

(提供 : 岡井敬一氏)

第4図 新コンセプト推進システムの例 (JAXA)<sup>(5)</sup>

メーカー側では現在の開発における喫緊の技術課題は CFRP の強度や破壊現象などの解明、および CMC のエンジンへの適用と認識されており、講座ではこれまでのところ、これらに関する研究を中心に研究テーマの検討を行っている。従来、この分野で航空エンジンに関わっている研究者は少なかったため、この講座で初めてエンジン技術の詳細な現状を知る方も多く、研究会やワークショップは盛り上がりを見せている。

#### 4.3 教育・人材育成活動

講座の重要な役割は大学院生の教育である。講座の活動には日頃から航空宇宙工学専攻の大学院生が参加している。中でも博士課程の大学院生 1 名がリサーチアシスタントとなり、環境適合性分野の研究を進めている。また、各分野の研究会には関連分野の大学院生が参加しており、開発現場における実機の情報を踏まえた研究討論に加わっている。学生にとっては自らの研究と実エンジンとの関わりが理解でき、大きなインセンティブが与えられる機会となっている。来年度からは航空推進の革新技術に関する大学院講義を行うことにしている。

研究会にメーカーや研究機関の若手技術者・研究者も可能な範囲で参加してもらい、討論を通じてこれら若い人たちの知識・経験を増進させることも、技術の発展にとって非

常に重要である。

#### 4.4 今後の計画

講座の設置期間は当面 2015 年度末までとなっている。三つの技術分野それぞれで研究会を開催するのが基本的な活動となり、まずはインパクトの大きい研究テーマを絞り込むのが年度内の課題である。また、分野を横断した講座全体の連携研究会を年 2 回程度開催し、エンジンシステムへの統合の視点から個別の研究を考察する。さらに年 1 回程度、シンポジウム形式のオープンな研究発表会を設ける予定である。教育研究活動のなかで研究者・技術者のネットワークを広げ、日本のジェットエンジン技術の発展に寄与できれば幸いと思う。

### 5. おわりに

日本の産業技術力を強化するため、航空エンジンの分野には大きな期待がもたれる。問題点を指摘しつつ、いくつかの産学官連携の試みを示したが、究極的には基礎研究からエンジン製造までを貫くコーディネーションが必要となる。そのうえで大学としては、将来のエンジンに資する技術を生み出す基盤的な研究を推進し、かつ人材を育成するプログラムを企画遂行する努力を続けていく所存である。

最後に、日頃の教育研究に協力いただいている方々や、社会連携講座を設置していただいた関係各位に深く感謝し、締めくくりとしたい。

#### 参考文献

- (1) 経済産業省：(オンライン) 入手先 < [http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu\\_kakushin/kenkyu\\_kaihatu/str2010/a3\\_4.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2010/a3_4.pdf) >
- (2) 渡辺紀徳：ジェットエンジン・ガスタービン教育研究の一現場から 日本ガスタービン学会誌 Vol. 39 No. 1 (2011) pp. 20 - 25
- (3) 渡辺紀徳：ガスタービンこれまでの 40 年、これからの 40 年：総論 日本ガスタービン学会誌 Vol. 41 No. 1 (2013) pp. 14 - 19
- (4) 渡辺紀徳：東京大学将来航空推進システム技術創成社会連携講座 日本ガスタービン学会誌 Vol. 41 No. 5 (2013) pp. 420 - 422
- (5) 田口秀之、岡井敬一：JAXA における未来型航空エンジンシステムの研究 日本ガスタービン学会誌 Vol. 40 No. 3 (2012) pp. 101 - 105