# 平成23年度

# 航空機等に関する技術開発動向調査報告書

平成24年3月

財団法人航空機国際共同開発促進基金

## はしがき

財団法人航空機国際共同開発促進基金は、平成21年度から調査研究事業の一つとして、一般会計による「航空機等に関する技術開発動向調査」事業を実施している。 本報告書は、平成23年度に実施した調査研究について、その成果を取り纏めた調査報告書である。

21世紀に入り既に10年以上経過しており、世界の航空機市場はグローバル化が一段と加速され、事業投資規模も益々拡大し、競争も激しくなって来ている。この世界市場に対する我が国の基本姿勢は、国際協調と国際貢献を伴った産業規模の拡大であり、我が国の航空機産業の発展は世界舞台で主導的役割と貢献を果たすことにより達成される。この認識の上で重要な課題は、国際共同開発の場での役割を高める先端技術開発の更なる促進を図ることを基盤とし、確固たる戦略に基づいて選定した開発プロジェクトを強力に推進し、多様な形態の国際共同開発プロジェクトの促進と拡大に結びつける体制等を構築して行くことである。

航空機等の国際共同開発事業の更なる促進と的確な遂行のために、国内外の最新技術開発動向を調査し、必要な情報を収集し、編纂して資料として取り纏めておくことが本事業の目的であり、当基金にとって重要な事業である。このために、平成23年度も当基金内に航空機等に関する外部専門家等から成る「技術開発動向調査委員会」を設け、航空機等の開発・製造に関する我が国の政策や国内外の技術開発動向の現状確認と分析、将来展望等の調査研究を実施した。

この調査研究報告書が航空機等の国際共同開発事業を促進する上で、業務上有効なものとなり、延いては我が国の航空機産業の拡大・発展に貢献することになるものと確信する。

平成24年3月

財団法人航空機国際共同開発促進基金 会 長 佐々木 元

平成23年度技術開発動向調査委員会委員名簿

区分	氏 名	所 属・ 役 職					
委員長	戸田 勧	早稲田大学 理工学術院総合研究所 名誉研究員 元 JAXA 理事 総合技術研究本部長					
委員	阿部 茂樹	三菱重工業(株) 航空宇宙事業本部 民間航空機事業部 民間機技術部 次長					
	伊藤 健 宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 風洞技術開発センター主幹研究員 低速風洞セクションリーダ						
	奥田 章順 (株) 三菱総合研究所 戦略コンサルティング本部 参与 チーフコンサルタント						
	津江 光洋	東京大学大学院 工学系研究科航空宇宙工学専攻 教授					
	土屋 武司	東京大学大学院 工学系研究科航空宇宙工学専攻 准教授					
	守屋 信彦	(株) I H I 航空宇宙事業本部 民間エンジン事業部 新機種開発部 技術グループ担当課長					
事務局	おおり   おおり						

## 平成23年度 報告書目次

第1章	はじめ	)(Z	
1. 1	調査事	「業の趣旨と目的 ······	]
1. 2	調査委	員会の構成と運営 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	]
第2章	民間射	「空機等の国際共同開発に関する動向 「空機等の国際共同開発に関する動向	
2. 1	調査対	*象期間   ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2. 2	我が国	]の航空機産業に関わる政策等の動向 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2. 3		I空機等に関する技術研究開発の主要動向 ·····	6
2. 3		民間航空機市場及び機体開発動向 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2. 3	3. 2	エンジン関係	12
2. 3	3. 3	装備品関係	16
2. 3	3. 4	航空システム、航空管制関係 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
2. 3	3. 5	無人機、飛行制御関係	24
第3章	その他	型資料の分析	
3. 1	関係団	]体の刊行物における動向情報	29
3. 1	. 1	平成22年度委託研究成果報告書((社)日本航空宇宙工業会) · · · · · ·	29
3. 1	. 2	平成23年度航空機関連動向情報((財)航空機国際共同開発促進基金)	32
3.2	大学•石	开究機関・企業等から公表された動向情報 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	34
3. 2	2. 1	第49回飛行機シンポジウムにおける国内の研究開発動向 ・・・・・・・・	34
3. 2	2. 2	第2回JAXA航空プログラムシンポジウムにおける研究開発動向・	35
3. 2	2. 3	日本航空宇宙学会第 42 期通常総会及び講演会における研究開発動向・	37
3. 2	2. 4	第43回流体力学講演会における研究開発動向 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	38
3. 2	2. 5	第53回構造強度に関する講演会における研究開発動向 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	36
3. 2	2. 6	その他国際学会等における研究開発動向 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	40
第4章	平成 2	3年度海外調査報告	
4. 1	調査目	的	42
4. 2	調査結	果概要	43
4. 3	訪問先	面会者一覧	47
第5章	まとめ		
5. 1	今後の	調査課題	49
5 2	亚成 2	3年度調査のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	51

## 財団法人航空機国際共同開発促進基金

## 添付資料

- 資料1 関係省庁の刊行物リスト(平成23年1月~平成23年12月)
- 資料2 関係団体の刊行物リスト (平成23年1月~平成23年12月)
- 資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト(平成23年1月~平成23年12月)

#### 第1章 はじめに

#### 1. 1 調査事業の趣旨と目的

財団法人航空機国際共同開発促進基金は、航空機工業振興法に基づく指定開発促進機関として、開発助成金の交付の対象となる航空機、航空機用エンジン及び装備品等の国際共同開発事業を選定し、助成業務の的確な実施を遂行することにより、我が国の航空機産業の拡大を促進することを業務の主目的としている。また当基金は、同時に助成業務の的確な実施に必要な知識及び能力を有することを求められており、今後益々航空機等の国際共同開発事業の拡大と多様化が予想される中で、航空機等の国際共同研究開発を行う者等に対する助成事業の遂行に必要な情報を収集し、分析、編纂して資料として取り纏めておくことは有効なことである。平成21年度から開始した技術開発動向調査事業では、外部の航空機等に関する専門家等から成る「技術開発動向調査委員会」を設置して、毎年度航空機等の技術開発動向等に関わる最新情報を収集し、現状確認と分析、更には将来展望等を取り纏めることを目的とする。

#### 1. 2 調査委員会の構成と運営

#### (1) 調査委員会の構成

平成23年度の技術開発動向調査委員会のメンバーは、冒頭の委員会構成表に示すとおり、学界・公的研究機関・航空機関係業界等の専門家7名から構成されている。委員長には航空宇宙分野で幅広く活躍されている早稲田大学理工学術院総合研究所の戸田 勧 名誉研究員にご就任いただき、多大のご教示とご指導を賜った。

#### (2) 調査委員会の運営

委員会の運営は全員参加型の委員会活動を旨とし、実際の調査活動を分担して 行い、委員会にて全体の合意を形成する方針で臨んだ。具体的には以下の様な運 営を実施した。

#### ア. 活動内容の具体的イメージ創り

本調査事業の趣旨・目的・活動内容について委員全員のイメージ合わせと認識の共通化を図り、極力中味の明確化に努めた。

#### イ. 情報の共有化と共通化

航空機等の研究開発事業に関する技術研究開発動向について、委員会での活発な議論の展開と因るべき情報の共有化と共通化を図った。

## ウ. 共通課題の抽出

航空機等の技術研究開発動向に関する議論から抽出される、時宜を得た課題についての共通化を図った。

## 第2章 民間航空機等の国際共同開発に関する動向

#### 2. 1 調査対象期間

平成23年度の調査対象期間は平成23年1月1日から平成23年12月31日の1年間とし、この期間に発刊、刊行された航空機等の技術研究開発に関する情報を収集し、分析と編纂作業を実施した。

## 2. 2 我が国の航空機産業に関わる政策等の動向

本年3月11日に未曾有の東日本大震災が発生し、震災と大津波による甚大な被害とその後の福島原発事故に対する迅速な対応を、全ての政府機関が最優先で実施する必要に迫られ、平成23年における航空機産業に関わる政府施策の進展は遅れ気味となった。一方、欧州経済危機の悪化を主要因とする世界的な経済不況にも関わらず、高止まりした原油価格と新興国を中心とした航空需要の大幅な回復に後押しされ、低燃費航空機の需要が急拡大した一年でもあった。また、世界的にLCC (Low Cost Carrier)の台頭が顕著となり、円高対応に苦しむ日本の空にもLCCの波が押し寄せ、官民共に新たな対応が迫られた。以下に今年度の航空機産業に関わる政策動向等をまとめる。

#### (1)経済産業省「産業構造ビジョン」と「技術戦略マップ」

平成22年6月に経済産業省から「産業構造ビジョン2010」が刊行され、 日本の航空機産業を「次世代環境航空機の世界拠点」として高付加価値化するこ とを目指すが明記され、現在1.2兆円規模の航空機産業売上高を2020年には2 倍の2兆円に、2030年には3倍の3兆円とする達成目標を示し、これを確実なも のにして行くとの方向性が示された。これに向けて、部品・モジュール分担から の脱皮を図ることが航空機産業の目標として掲げられ、①MRJ の推進と防衛省機 の民間転用の推進による国産機の実現、②高い技術力を持つ部品・素材ソリュー ションの提供による国際共同開発における役割の拡大、③他産業の革新技術も活 用した製造業の総動員による厚みと競争力のある高付加価値航空機産業の実現に 取り組むアクションプランが挙げられた。また、引き続いて発表された「技術戦 略マップ2010」の中では、日本の航空機産業の成長に向けて、次世代中小型 民間機(737後継機等)の国際共同開発に於ける主要部位の担当やエンジン分 野での50%以上の役割分担を担うことによる日本主導のエンジン開発といった 強気の姿勢が示されていた。平成23年9月に開かれた産業構造審議会総会(第11 回)10.20では、新成長戦略の先端分野である航空機産業に対する官民一体となった 大胆な施策の必要性が改めて論じられ、機体やエンジンの部品・モジュール分担 から脱却と、完成機ビジネスが成功するには、ファイナンス・整備に至る総合的 ソリューションの提案と一定条件下の政府保証など金融面での政府支援が必要で あることが論じられた。なお、平成23年8月に3年以上遅れていたボーイング社との次世代国際共同開発機である787型機が型式証明を取得し、9月に商用運航を開始して、今後の本格的な量産による航空機産業の生産高の押し上げが期待される一方、昨年末のエアバス社A320neoエンジン換装型派生機の開発決定に続いて、本年8月にボーイング社が737MAXエンジン換装型派生機の開発を正式決定したことから、我が国の次期国際共同開発機に対する戦略の見直しが必要な状況ともなっている。[資料1/P2011D001、002参照]

(2) 国土交通省「日米相互認証制度の政府間協定」と「オープンスカイ」交渉平成21年4月27日に、日米両国間で「航空の安全の増進に関する日米政府間協定」の本体協定及び耐空性の実施取決め(BASA: Bilateral Aviation Safety Agreement の EA: Executive Agreement と IPA: Implementation Procedures for Airworthiness)が締結された。本協定に関しては、平成22年度に国産開発航空機等の日米相互認証へのプロセス具体化に向けて、日本政府(国土交通省航空局)に提言を行うために、日本航空宇宙工業界(SJAC)に作業委員会(相互認証推進委員会)が設置され、①開発・製造、②運航・整備、③MROの3領域について提言の取り纏めが実施された。平成23年には国産機MRJの製作が進められ、平成24年後半に予定される飛行試験開始に向けて相互認証の詳細取決め協議が進められた。

一方、平成22年10月25日に、日米オープンスカイ了解覚書(MOU)が両政府代表(馬淵国土交通大臣、ジョン・ルース駐日米国大使)により署名され、日米の航空規制は完全に自由化された。この政府の新成長戦略(平成22年6月18日閣議決定)を受けた、各国とのオープンスカイ交渉はその後も引き続き進められ、平成23年度には、カナダ、オーストラリアとの合意がなされ、更に平成24年1月には英国との間で合意に至り、日本とのオープンスカイ合意国・地域は13ヵ国・地域にまで拡がった。また、オープンスカイ交渉の進展と共に、台頭するLCCの波が我が国にも押し寄せ、LCC各社の日本への乗り入れが本格的に始まることから、これに対応した空港施設の増設(LCC専用ターミナル)等を含めた空港行政のあり方と戦略を検討する必要性から、国土交通省内に新たに航空政策懇談会が設置され、平成23年12月2日に第1回航空政策懇談会が開催された。また、世界的に拡大するビジネスジェット機の使用に伴い、各国から批判のある日本への乗り入れ規制を緩和する方針が新成長戦略にて同様に定められ、首都圏では成田空港に専用ターミナル・駐機場・CIQ設備の新設が進められている。[資料1/P2011D003、資料2/P2011D102参照]

(3)「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS)」 米国の NextGen や欧州の SESAR に代表される次世代航空交通システムに関す るビジョンの策定と基礎研究開発が推進されている。これらは、ICAOが策定した2025年を目指した航空交通管理に関する指針に基づいた長期計画であるが、日本国内では平成22年12月に、「将来の航空交通システム(ATM/CNS)に関する長期ビジョン(CARATS: Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems)」が取り纏められ、公表されている。この中で、将来の航空交通システムの構築に当たっての7項目の数値目標が定められている。①安全性の向上(安全性を5倍)、②航空交通量増大への対応(管制処理能力を2倍に向上)、③利便性の向上(定時性・就航率・速達性を10%向上)、④運航の効率性向上(燃料消費量を10%削減)、⑤航空保安業務の効率性向上(効率性を50%向上)、⑥環境への配慮(CO2排出量を10%削減)、⑦航空交通分野における日本の国際プレゼンスの向上。平成22年12月からは、新たに「将来交通システムに関する推進協議会」が設置され、CARATSの達成に向けたロードマップが作成された。平成23年度には継続した活動が実施され、ロードマップの一部見直し等が検討された。

#### (4) 武器輸出三原則の緩和

平成23年12月27日に、「防衛装備品等の海外移転に関する基準」についての内閣官房長官談話が発表され、防衛装備品等の海外への移転について新たな基準が定められた。①平和貢献・国際協力に伴う案件については、厳格な管理が行われることを前提として、防衛装備品等の海外への移転を可能とする。②我が国の安全保障に資する防衛装備品等の国際共同開発・生産に関する案件については、我が国との間で安全保障面での協力関係がありその国との共同開発・生産が我が国の安全保障に資する場合に実施することとし、当該案件への参加国による目的外使用や第三国移転について我が国政府による事前同意を義務付けるなど厳格な管理が行われることを前提として、防衛装備品等の海外への移転を可能とする。これにより、今後は友好国との戦闘機などの国際共同開発・生産に日本企業が参加する道が開けると共に受注の機会が拡大することになり、日本の航空機産業の技術力と生産能力の向上を図る機会が増えることが期待されることとなった。

#### (5) 温室効果ガス(CO2)規制関連活動

## ア. ICAO CAEPの動き

ICAO CAEP (International Civil Aviation Organization - Committee on Aviation and Environmental Protection 国際民間航空機関 航空環境保全会議) は、3 年毎に本会議が開催され、その間は年に一回ステアリンググループ会議 (SG) が開催され、各ワーキンググループ (WG) からの問題提起に対して意思決定を行い、CAEP 本会議に上程する仕組みとなっている。2010年の CAEP 8 において、航空機の CO2 排出基準を 2013年の CAEP 9までに設定することが決定されているが、WG3 (CO2 Task Group – CO2TG) が目的とする CO2 排出認証基準の策定

が難航しており、2011 年に開かれた 3 回の WG3 でも、CO2 排出基準指標(燃費 効率指標)についての合意が得られず、現時点で指標は、①SAR(Specific Air Range 航続率)と②MF/D(Mission Fuel/Distance 想定運航パターンに基づく燃費)の二案に絞り込まれてきているのみである。本年 9 月 12 日~16 日に北京で開かれた SG2011 では、スケジュールについて、①2012 年 2 月末までに燃費効率指標を最終的に選定することと、②当初の計画通り 2013 年末までに航空機の CO2排出基準を完成することを目指すことの 2 点が合意されたが、2013 年までの設定は困難な状況で、2015 年へと延期する提案もなされている。基準策定が難航しているのは、CO2 排出単位を巡航中のみか全飛行行程で定めるのか、基準は重量当りで設定するのか有償荷物や航続距離に関連させるのか、またファミリーではどのように定めるのかなどの点が争点になっているからで、基準によっては航空機メーカーの設計や運航業者に重大な影響を及ぼすことにもなる。

[資料2/P2011D101、資料3/P2011D 201 参照]

イ. 欧州連合域内排出量取引制度 (EU Emissions Trading System – EU ETS) の動き 2005 年 1 月 1 日に発効した欧州連合域内排出量取引制度 (EU ETS) は、これまではエネルギーを大量に消費する製造工場等の産業設備に限られて適用されていたが、2011 年にはこれを EU 域内に乗り入れる全ての航空機に適用する方針を決め、2012 年 1 月 1 日から発効することを正式に公表した。これに対し、EU 連合域外から乗り入れる全ての航空会社が反対を表明し、米国政府や中国政府は欧州委員会に対して提訴する方針を示した。この動きは、ICAO の CAEP による航空機温室効果ガス(CO2)排出規制に関する策定が予定どおりに進まない現状に対して、EU が一石を投じたようにも見え、2012 年 1 月 1 日の発効以後は各国、各規制機関、航空事業者各間での賛否両論と具体的な規制基準に対する議論が、より活発化してくると思われ、推移を慎重にフォローする必要がある。

## 2. 3 民間航空機等に関する技術研究開発の主要動向

#### 2. 3. 1 民間航空機市場及び機体開発動向

#### (1) 市場予測

債務危機、燃料価格、気候変動、資源争奪、その他多くの要因が航空宇宙産業の将来予測を極めて難しくしている。財政赤字で欧米では軍需予算大幅削減の方向だが、一方でアフガニスタンでの戦争は継続し、イラン情勢は世界経済の先行きを不透明にしている。一般に世界の航空輸送量の伸びは低下し、コスト上昇で航空会社の利益は減少しているが、その一方で、原油価格の高騰により、787,777,737MAX,A320neoといった低燃費の機体の受注が増加しており、航空機メーカーの受注残は増加し、増産が加速されている。反対に双発機に比べ燃費の劣る747,A380,A340(エンジン4発搭載)の受注は伸び悩み、Airbus 社はA340についての生産終了を発表した。また、ビジネス機でも大型機材は比較的好調だが、小型機やヘリは極めて低調である(19)。

#### (2)米国航空機需要

AIA によると 2011 年の米航空宇宙防衛業界の売上高は予想ほど悪くはなく、軍用機 7%増、民間機 3%増、ミサイルと宇宙 2%増で合計は 2011 年の 3.5%増の \$218B に達した。また、NASA のスペースシャトルの中止、 JSF や V-22 Osprey 計画などの縮小により、今後 10 年で1 兆ドルの歳出削減が予想される一方、 2011 年は民間部門の受注が 23%増の \$107B に達し、 Boeing 社では 2014 年までは前例が無いほどの増産態勢に入り官需の不調を補うと予測され、 2012 年も 2011 年と同様の高い売上が期待される (26)。

## (3) 航空機販売予測

2011年の総受注 / 純受注と出荷機数は Airbus 社が 1608/1419と 534、 Boeing 社が 921/805 と 477で、いずれも Airbus 社が Boeing 社を上回り、金額でも受注は Airbus 社が \$4B上回ったが、出荷は Airbus 社の \$32Bに対し大型機の比率が大きい Boeing 社が \$33Bであった。 2012年は 737Max による巻き返しで、 Boeing 社がいずれも首位になる可能性が高い。 Bernstein社は「 Boeing 社が 787 生産を 2013年までに10機 / 月とするのは難しい。 A350の重量超過は深刻で -1000 は推力不足で第 2 のエンジン・コアが必要となる。また、 737Max は A320neo の倍の開発費を要し、性能改善量は劣る。」との評価を行っている。 2012年の主要機体メーカー各社の販売機数と売上高は、下表のように予測されている (19)。

衣 2.3.1-1	2012 ~ 2016 年各任販元機数とシェノ丁側 (Forecast International) ***							
	Dogina	Ainbug	Domhondion	Embroon	ΛΤD	Othona	Toto	

	Boeing	Airbus	Bombardier	Embraer	ATR	Others	Total
機数	3328	3200	532	459	341	607	8467
(%)	(39. 3)	(37.8)	(6.3)	(5.4)	(4. 0)	(7. 2)	(100)
売上高\$B	435. 9	398. 0	20.8	17. 0	7. 6	14. 7	894
(%)	(48.8)	(44. 5)	(2.3)	(1.9)	(0.9)	(1.6)	(100)

## (4) ボーイング社の動向

## ア. 全般

2011年は出荷 477 機 (737 x 372, 747 x 9, 767 x 20, 777 x 73, 787 x 3) 、総受注 921機 (737 x 625, 747 x 7, 767 x 42, 777 x 202, 787 x 45) 、取消を差引いた純受注は 805機で、2010年の出荷 462機、総受注 625機、純受注 530機に対して受注は大幅に上回った。受注にはSouthwest航空の 737MAX x 150機、 American 航空の 737-800 x 100機、 Delta 航空の 737-900ER x 100機などが含まれ、 777は年間新記録の、 737Maxは15社から 1000機以上の発注とコミットを得た。ボーイング社 CEO は、「顧客は記録的な発注により、我々の製品と従業員が作り出す品質に信頼を示した。受注残は 3771機に達し、2012年の目標は 787の生産安定と全製品の出荷増である。次の 2年間で 737は月産35機から 38機へ、 777は 7機から 8.3機へ、 787は 2.5機から 10機にする。」と述べた (34)。

#### イ. 747-81 開発状況

FAA は旅客機仕様の 747-8I に型式設計変更(ATC)を承認した。 Boeing 機種としては最大の機体で、最大離陸重量 442 t、全長 76.3m、全幅 68.5m である。 GEnx-2B 装備の当該機は、2011年8月の 787 及び 747-8F に続く Boeing 社としては2011年における 3 機種目の型式証明取得だが、先行 2 機種の遅延で当該機も予定より 2 年遅れの ATC 取得となった。受注残は VIP 仕様 9 機、ローンチカスタマーであるLufthansa航空からの 20機などを含む計38機。その他中国政府の承認待ちであるAir Chinaからの 5 機と香港航空から15機の引合いがある  $^{(18)}$ 。

#### ウ. Boeing 787

2011年末に 787-8 の FAA 及びEASAの型式証明取得を完了。2009年12月の初飛行から約2年を認証に要した (10)。2011年の 787 納入は ANA 向けの 3 機 (Trent1000 Package-B 装備の長距離用)であった。インド航空や日本航空向けの GEnx-1B 装備の機体は、FAA が 300 時間の Functionality & Reliability 試験を必須としたため、試験機初飛行が2012年1月中旬、型式証明は2月以降となる。2012年の出荷予定は61機から45機に下げたが、2013年末の月産10機の目標は変えていない。既に56号機の部品受領が始まったが、飛行試験用6機の内の3機を含む59機が設計変更組込み再作業を必要とし、出荷計画を狂わせている。再作業が不要な機体は63機目以降。 Charleston 工場で最初に組立中のインド航空向け46号機は今年前半に出荷予定だが、2機目の組立も始まり、2013年末までには Everett 工場での月産7機に合わせ、Charleston では月産3機とする計画である (27)。

一方、787 の派生型機となる 787-9 初号機のローンチ顧客、New Zealand 航空への引渡しは2013 年から2014年に延期されたが、部品製作がサプライヤーで始まった。305cm 長くなる前胴および後胴担当の KHI と Alenia 社では、生産治具の検証を開始した。787-9 に続く派生型機 787-10X を Boeing 社内で計画中。2014年の EIS を想定した全長 62.8m の-9より 15% 長い胴体延長型で、最大離陸重量は-9とほぼ同じ 251 トン、座席数 320 席、航続距離 6,900nm、エンジンは最大推力 76,0001b の GEnx または Trent 1000 となる。Boeing 社によると当該機は A350-900 より 11%、 -1000 より 5 %経済性があると予測 (15)。

#### エ. 737MAX 開発動向

Boeing 社は現行 737NG のエンジンを Leap-1B に換装した機体(右図)を性能、 信頼性、居住性を最大化するという意味で 737MAX と命名し、再ローンチした。既存の 737-700/800/900 ファミリーに対応して 737-MAX7/MAX8/MAX9 とし、販売機数の少なかっ た 737-600 対応の仕様を削除した。

American 航空からの 100 機 (2018年納入開始予定)を含む5社から計 496 機の受注があり、その多くが米国外からの発注である。Boeing 社によると737MAX は既存A320と比較して17%、A320neoと比較しても5%燃費性能がよく、それにより運用コストも8%低いとのこと。運用開始を2017年とし、ローンチから運用開始までを64~76ヶ月としている (11)。

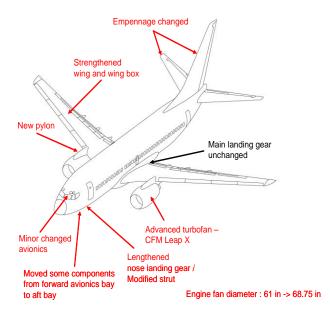


図 2.3.1-1 737MAX 仕様計画

#### 才. Boeing 777 改良型検討

Rolls-Royce が Trent XWB を 97,000lb まで増強してA350-1000の性能向上を図ったのに対抗し、Boeing 社は 777 の電子航法機器・エンジンおよび空力形状を改善した 777 + や、更に野心的に構造、各種系統、エンジンを大幅に変更した、新型の 777-8X や 777-9X の開発を検討している。GE はこれに対応して、GEnx や Leap-X の技術を取り入れた GE-90 の後継となる GE9X を検討している  $^{(20)}$  。

#### (5) エアバス社の動向

#### ア. 全般

Airbus 社 CEO の発表によると、「Airbus 社は4500機もの受注残を抱えて大変重要な時期を迎えた。昨年は出荷量の 3 倍の1600機も受注したが、今年の受注は590機程度とされる出荷量とほぼ同等であるべきだろう。サプライ・チェーンの限界から生産が滞り、顧客を待たせるようなことは繰返したくない。A320の月産42機への増産は既に決定し、44機を検討中で、2020年までに50機とする目標は変えていないが、当面は円滑な増産に配慮して余り急ぎたくない。」とし、好調な販売状況と生産拡大の必要性を示唆している。出荷量は2010年に510機、2011年に534機、2012年は570機の計画で、更に記録を更新する。A320は年末に42機/月に達し、A330も9.5機/月、A380は3機/月に向かう (18)。

#### イ. A350 開発動向

Airbus 社はドイツの Stade 工場で製造された A350 用複合材主翼上面外板の初号機を、英国のBroughton組立工場に出荷。長さ 32m、幅6mのこの外板は、Airbus 社によると世界最大の民間機用単一複合材部品であるとのこと。なお、スペインの Illescas 工場で

製造中の下面外板も、間もなくBroughton工場に出荷される。また、A350-900 用 Keel Beam の初号機が、フランス Nantes 工場から St. Nazaire (仏) の胴体組立工場に搬入された。この中央翼梁は長さ  $16.5\,\mathrm{m}$ 、幅  $4.3\,\mathrm{m}$ で、 $1.2\,\mathrm{h}$ ンの重量のうち  $70\,\mathrm{\%}$  が複合材でできているとのこと。一方で、Airbus 社が  $777\,\mathrm{c}$  に対抗する機体として開発を進めている A350-1000 については、2011 年  $6\,\mathrm{f}$  のパリエアショーで Airbus 社が発表した Rolls Royce 社製 Trent XWB エンジンの大型化による A350-1000 の性能改善案に対し、ローンチ顧客の Qatar 航空は、なお航続性能や経済性で  $777-300\mathrm{ER}$  に劣ると不満を述べ、これに Air Lease 社も同調している。中東などの高地高温空港での離着陸性能が  $777-300\mathrm{ER}$  に劣る上に、 $-900\,\mathrm{e}$  の間でエンジンの互換性がないことに関し不満があがった。今後 A350-1000 については、機体・エンジン双方の仕様改善が必要とされると考えられる (9). (12)

#### ウ. A320neo 開発動向

A320neo の2011年の受注は好調で1,529 機に達した。Airbus 社は現在のA320の翼端フェンスを、高さ2.5mのシャークレットと称する大型翼端デバイスに換装した試験機(図2.4.1-3)を公開し、数週間内に試験を始めると発表した。このデバイスは現型式ではオプション、NEO では標準装備される。3000マイル程度の路線では最大3.5%の燃費が向上し、また離陸性能が向上することにより、離陸重量を現状より最大3t増加することが可能となり、先進エンジン採用と合わせ燃費削減の効果が期待される<sup>(16)</sup>。



Engine fan diameter : 68.3 in (CFM56) or 63.5 in (V2500)
-> 81 in (GTF) or 74 in (Leap X)



図 2.3.1-3 A320 Sharklet Wingtip

#### 図 2.3.1-2 A320neo 仕様計画

#### (6) リジョナルジェット

#### ア. MRJ 開発動向

YS-11 に続く国産民間機 MRJ は、2008年の全日空からの受注を受け、2008年春に三菱航空機(株)を設立し、MRJ の設計・調達・販売・カスタマサポート事業を子会社化し開発が進められている。試験・製造は三菱重工業が担当。新型エンジンの搭載や最先端の空力設計、複合材の使用などにより燃費の大幅な低減を実現し、運航経済性と客室快適性の改善を可能としている。風洞試験を始めとする各種地上試験を実施し、

## 財団法人航空機国際共同開発促進基金

現在、設計の最終段階にある。販売については、2008年の全日空に続き、2009年にトランス・ステーツ・ホールディング社、2011年に ANI Group Holding Ltd と覚書を締結し、125機の受注がある。2010年9月に発表された三菱航空機のリリース情報では、初飛行を2012年度に初号機の納入は2014年度を予定している。



図 2.3.1-4 MRJ 就航予想図

#### ✓ . Bombardier C-Series

座席数 110 席の CS100 は2012年初飛行、2013年後半出荷予定であり、座席数 130 席の CS300 と合わせて90機の受注を獲得している。 Bombardier 社の CEO は C-Series は 2014年及び2015年が売切れ状態で、2016年も枠の60%が埋まっている。 2013年末の初出荷を護り、2014年は40機、2015年 80機、2016年 120機、最終的には月産20機の生産計画としている。瀋陽製の胴体やAlenia製の安定板などを含む飛行試験初号機の組立も始まり、Al-Li 製胴体の疲労試験は18万時間まで完了し24万時間に向けて続行中だが、想定以上に頑丈であった、と述べた。

また、Bombardier 社は総ての系統を統合する CIASTA (Complete Integrated Aircraft System Test Area) にあるアイアン・バードで、先ずはセンタ・ペデスタル、スロットル及び FADEC ソフトを含む系統を発電機と模擬エンジンに接続して最初の作動試験を始めた。型式証明取得に CIASTA で 4800 時間の試験が計画されている。同社は「生産形態の総ての系統と総てのソフトを同一建物内に統合したのは世界で初めてで、Boeing 社の 787 用 ITV (Integrated Test Vehicle) でも総てではない」と述べている。主操縦系統・油圧・電子及び電気系統を含む全系統の 90% のハードとソフトが ISTCR

(Integrated System Test and Certification Rig)を形成し、残り 10% の ECS の Rig は少し遅れる。 CIASTA は各種系統の慣熟と能力拡大に C-Series 計画を通して活用される (34)。

#### ウ. Embraer ERJ

2011年の ERJ 出荷量は 105 機で、2010年の 100 機から 105 機に微増。 Embraer 社は Airbus 社や Boeing 社が大型狭胴機市場を強固に守っていることを理由に新型狭胴機の 開発を断念し、代わりに 2018年までに「第二世代」の E-Jet を開発すると発表。20億ドルを投じ E-Jet のエンジン換装 / 胴体延長型を開発するとのこと。従来の70~ 120 席から E195 の胴体延長型 132 席まであり得るが詳細は未定。現行の CF34 エンジンの換装は決まったが、同クラスでGEが開発中の先進ターボファン "Passport 20"の採否に 関しては明言を避けた  $^{(15)}$ 。

## エ. COMAC ARJ21

ARJ21-700は、2011年中に幾つかの耐空証明飛行試験を完了し、型式証明取得のために CAAC に引渡す前の TIA (Type Inspection Authorization) 段階に入ったと述べた。計画開始から9年目で、ローンチ顧客の成都航空への引渡しは2011年末から1年遅れる。なお海外販売に向け FAR25 の型式証明取得のため、COMAC と CAAC の招待で FAA が

Shadow Certi-fication を行う予定。また、 ARJ21 の開発遅延はC919 開発を長引かせる可能性がある。 FAA は ARJ の型式証明承認後にC919 の型式証明承認に動き出すと主張しているが、C919 は既に FAA が関与すべき段階まで開発が進んでおり、これ以上進むと FAA は将来とも認証に関与しないという決断をする可能性もある  $^{(22)}$ 。

#### オ. Sukhoi Suerjet 100 (SSJ100)

SSJ100 は2010年に初号機を Armavia 航空に引渡し、2011年は13機の出荷予定に対し4機を Aeroflot 航空に渡したのみだが、機体の運航時間 / 日は高かった。今年は年初にEASAの型式証明を取得し20機出荷する計画で、新たな顧客への円滑導入のため訓練センターを拡充する。また、受注残は 168 機となった (28)。

#### (7) ターボプロップ動向

ATR 社は成長の新フェーズに入る。 2011年は2010年の倍の記録的 157 機を受注し、受注残も増え、出荷は2011年の54機に対し、2012年は72機が目標となっている。新製品では開発に \$2B 、 4 年かかる90席ターボプロップ機も検討中だが、事業化は未定。次の20年の需要予測は50席機 x 500機、70席機 x 1600機で、例え90席機を開発しても50~70席を疎かにはできない。昨年の50~90席分野の受注は、ジェット機に対しターボプロップ機が85%を占め、内ATR 社が80%を獲得。受注残もターボプロップが77%でATR 社が70%を占める(20)。

#### (8) ゼネラル航空

FAA の統計では米でのビジネスジェット機運航は2009年から増加が続いており、昨年は11月末までに国内300万回、海外60万回の計360万回となり、年末には2010年の380万回を3%上回ると予測している。最多機種はCessna Citation XLS family が32万回、続いてHawker 750/850/900が30万回、空港別にはNew York 市Teterboroが12.3万回、Westchester county が6万回、Dullesが5.7万回となっている。

一方で2011年はビジネス航空機販売は再び低調な12ヶ月であった。低迷する世界経済の下、特に伝統的な市場である米欧でビジネス機の需要も、それによるサービスも軟調だった。大型長距離機と VIP 仕様の旅客機は中国やロシアなどの新興市場の需要に支えられて回復の兆しが見えたが、小型機材は過去3年間低迷したままで、中古市場には機材が溢れ、価格は過去最低を記録した。このため多くの機種が生産中止や開発中断になった (36)。

#### [2.3.1 章出典(1)~(36):各、資料3/P2011D202~D237]

#### 2. 3. 2 エンジン関係

#### (1) 全般動向

2011年も次期単通路機向けエンジンが関心を集めた。エアバスの A320neo は 2010年末の正式ローンチ以降順調に受注を伸ばしたが、搭載エンジンは当初シェアをほぼ独占したプラット&ホィットニー (P&W) 製PW1100G-JMをCFMインターナショナル(CFMI)製 LEAP-X が追い上げ、6月のパリ航空ショーでは受注総数で逆転したと発表された。その後は両エンジンとも受注、選定数を伸ばした結果、12月時点では拮抗している(1),(2)。

これに対するボーイングの動向が注目されていたが、7月に米アメリカン航空が大量の 単通路機発注を発表し、その中に737エンジン換装型が含まれていたことでボーイングの 意思決定が明らかになった。エンジンにはCFMILEAP-Xの独占採用が決まり、8月末に は737MAXとして2017年の運航開始に向けて正式ローンチが発表された。機体構造上の 制約からエンジンのファン径、バイパス比ともA320neoに比べ小さくなる計画で、重量 や空力上の特失を含めた機体トータルでの競争力については様々な観測がある一方でエ アラインの支持を集め、半年足らずの間に700機(エンジン1400台)の受注を獲得した。

エアバスとボーイングに、Cシリーズで先行するボンバルディアを加えた3社の当面の開発方針が確定したことで、単通路機市場におけるエンブラエルの動向が次の焦点となる。最後まで慎重に他社の動向を見極めた同社は、Eジェット・シリーズのエンジン換装にも十分な需要があるとの判断をしており、 $2017\sim2018$ 年の引渡し開始に向け2012年半ば頃までには機体の仕様を固めるものとみられている  $^{(3)}$   $^{(4)}$  が、130 席級までのストレッチも検討中とされ、要求推力に関連してエンジンのモデル間共通性が問題となる。現行のCF34 シリーズを代替するエンジンについてはゼネラル・エレクトリック (GE) がビジネス機向けに開発中のPASSPORT 20 を発展させた高バイパス比ターボファン、P&W のギアード・ターボファン (GTF)、ロールス・ロイス (RR) が ADVANCE2 の計画名で検討中と伝えられる二軸式のターボファンが候補になると考えられている。

中・大型機の分野ではボーイングにおいて 787-8、747-8 の開発が完了して商業運航が開始された。787 のエンジンについては RR トレント 1000、GE GEnx-1B とも性能向上のための改良が今後も続けられると伝えられている。エアバス A350XWB は機体の大幅な設計見直しに伴う再度のスケジュール遅延が報じられているが、エンジンについても長距離仕様である A350-1000 は重量増のため推力増強が要求されている。A350-1000 は777-300ER を直接に脅かす機体となるため、ボーイングはこれに対抗して 777 の改良を迫られることになるとみられる。ここには GE が現行の GE90 シリーズの後継エンジンを用意するとみられる他、RR はトレント XWB を発展させた新型の 3 軸式ターボファン、P&W も大推力 GTF エンジンを開発して参入を図る可能性がある  $^{(5)}$ 。

中期的には、主力となる小型機市場でエアバスに続きボーイングが現行機の改良に踏み切ったことにより、このカテゴリで完全新規設計による次世代機の登場が当面なくなり、エンジン各社は2025年以降を目標に定めて超高バイパス比、オープンロータ、高圧縮比

化、高温化といった革新技術の開発、実証を進めている。ヨーロッパでは Clean Sky 構想の下、エンジンの革新的な対環境性改善を図る研究プログラムとして SAGE と呼ばれる産官学共同の開発プロジェクトが進行中であり (6)、米国でも NASA や FAA と GE、P&Wが次世代エンジン技術の研究開発に取り組んでいる (7)。いずれも CO2 や NOx の大幅な低減と燃料消費率の改善を目標に掲げているが、オープンロータや超高バイパス比ターボファンの登場により、機体構造全体の見直しやインテグレーション技術の開発の必要性が併せて議論されている (8)。



図 2.3.2·1 Joined Wing と呼ばれる次世代輸送機(ロッキード・マーチン社 HP より)

## (2) 主要各社の動向

ア. ゼネラル・エレクトリック (GE) / CFM インターナショナル (CFMI)

GE・スネクマの合弁企業 CFMI が開発する LEAP-Xターボファンは、COMAC C919、エアバス A320neo 向けに加えて、ボーイング 737MAX への独占採用が発表された。 737MAX 向けモデルは、機体の地上高の問題からファン径が 68 インチと決定された (9) 。 A320neo 向けモデルの 78 インチ (PW1100G は 81 インチ) にバイパス比で及ばないが、各要素技術の向上により現行の CFM56-7 に対し  $13\sim14\%$ の SFC 改善を CFMI では見込む。この LEAP-X 開発の技術的な中核となる新設計の高温部実証プログラム [eCORE] が圧縮器、燃焼器および高圧タービンの性能と新素材の耐久性などの確認を目的に GEで進められており、2011 年 5 月には eCORE2 と呼ばれる全規模コアエンジン試験が GEイブンデール工場で開始され、10 段/圧縮比 22 の新型高圧圧縮機等の評価が行われた (10)。 最終段階となる eCORE3 は 2012 年に試験を完了する計画で、並行して低圧系を含めた LEAP-X 実用エンジンの開発が本格化する。

LEAP-X と同じ eCORE の技術を適用してボンバルディアの大型ビジネス機グローバル 7000/8000 向けに開発が進められる PASSPORT20 (旧計画名 Tech X) は、エンブラ

エルの  $\mathbf{E}$  ジェット・シリーズのエンジン換装型などの次期リージョナル機搭載エンジン への発展が検討されている  $^{(11)}$ 。

ボーイング777改良計画への対応としてはGE9Xと呼ばれる次世代大推力エンジンのコンセプト検討が進められているが、これはGEnxターボファンに、eCOREの技術を発展・応用したものとなる計画である(10)。

2025年以降に登場する将来エンジン技術としては、NASA、FAAと共同で先進ファンの要素研究・実証試験を進めていることが伝えられている。これにはダクテッドファンとオープンロータの両方のコンセプトが含まれ、キーとなる軽量化、騒音低減技術と可変ピッチ機構の開発に取り組んでいると伝えられる (7)。

## イ. ロールス・ロイス (RR)

エアバス A350XWB は度重なる設計見直しにより大型、長距離化し、A350-1000 ではエンジンに 97,000 ポンド級の推力を要求するに至った。RR はこれに-800/900 向け Trent XWB からの派生型エンジンを提供する計画で、Trent XWB-97 として 2014 年の運転試験開始を目標に基本設計を開始している (10)。

単通路機市場では A320、737 両シリーズのエンジン換装計画に大手エンジンメーカーでは唯一関与しないことになった RR は、2025 年以降に登場する革新的次世代機に向けてオープンロータを軸とした先進エンジンの開発に注力するものとみられる。 RR は SAGE プログラムに主導的な立場で参画する一方、10 月にギアドターボファンを含めた次世代小型機用のエンジン開発について P&W との提携を発表し注目を集めた (12)。

## ウ. プラット&ホィットニー (P&W)

ピュア・パワーPW1000G シリーズ GTF は三菱 MRJ、ボンバルディア C シリーズ、IRKUT MC-21 および A320neo 向けに 4 モデルが  $2013\sim2016$  年の商業運航開始を目指して開発が進められている。6 月には最も先行する C シリーズ向けの PW1500G が同社の 747SP を使用して GTF の実用エンジンとしては初のフライト・テスト・ベッド (FTB) による飛行試験を開始した。2012 年には三菱 MRJ 向けの PW1200G も FTB 飛行試験が始まる (10)。PW1500G および PW1200G のエンジン型式承認は 2012 年第 4 四半期を予定、後続する A320neo 向け PW1100G・JM と MC-21 向け PW1400G は 2014 年後半の型式承認取得を目指す。なお A320neo に関しては日本航空機エンジン協会(JAEC)の下で日本企業の参画が決定し、MTU を含めた合弁会社が設立されており、この体制で 2012 年より地上運転試験が開始される。

将来技術に関しては、P&W は現在開発中のものからさらに 15%の燃費改善を実現する次世代エンジンの試験準備を進めていると伝えられる。将来 GTF エンジンはバイパス比  $15\sim20$ 、亜音速流ファン、遊星ギアなどの先進技術を用いたもので FAA の高効率エンジンプログラムの中で進行中である (7)。



図 2.3.2-2 PW1524G ギアード・ターボファンのフライト・テスト・ベッド

[2. 3. 2 章出典(1)~(12): 各、資料 3 / P2011D238~D249 を参照]

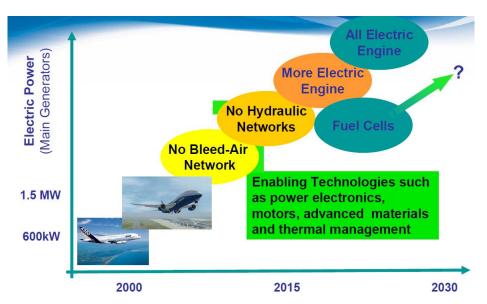
#### 2. 3. 3 装備品関係

#### (1) 安全と電動化の流れ

航空機の装備品は、フライトデッキシステム、飛行制御システム、降着システム、油 圧システム、空調/与圧システム、電源システム、キャビン・システム等から構成され る。近年、安全に関わる研究や MEA (More Electronic Aircraft)、AEA (All Electronic Aircraft) や、MEE (More Electronic Engine)、AEE (All Electronic Engine) に向け ての航空機やエンジンの電動化に関わる研究が目立っている。

国内では航空機用先進システム基盤技術開発で「先進パイロット支援システム」<sup>1)</sup>等の技術研究開発が取り組まれている。海外では米国 NASA の「The Aviation Safety Program」や航空機メーカや装備品メーカが研究開発を行っており、EU では 2007 年~2013 年の EU フレームワーク・プログラム 7 で複数のプロジェクトが進行中である。

電動化については、ボーイング、エアバス、ボンバルディアや主要エンジン・メーカ、装備システム・メーカなどが将来の方向性について幾つかの研究報告を行っている。例えば、ボーイングは図に示すようなロードマップを示している。ボーイング 787 では電動化が進み、空調やキャビン内圧力制御、油圧ポンプの駆動、エンジンスタート、主翼の氷結防止、ブレーキなどが電動化されている。そして、2020 年頃には MEA が実現され、燃料電池の適用も進むとしている<sup>2)</sup>。

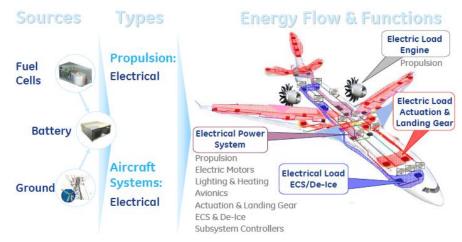


出所) Boeing「Future Aircraft Power Systems - Integration Challenges」<sup>2)</sup> 図 2.3.3-1 ボーイングの MEA、MEE 等へのロードマップ



出所) Boeing「Future Aircraft Power Systems - Integration Challenges」<sup>2)</sup> 図 2.3.3-2 ボーイングの 787 での電動化の動向

エンジンでは将来に向けて、オープンロータ、さらにゼロエミッションの電動エンジンとして HSSCM (High Speed Super Conducting Motor)  $^{3)}$ などが検討・研究されている。



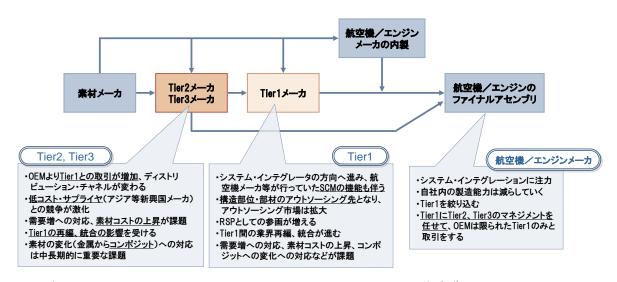
出所) GE Aviation Services

「Electric power technologies for all electric aircraft」 3)

図 2.3.3-3 GE Aviation Services が示している旅客機の電動化

#### (2) スーパーTier 1 の考え方

航空機の装備システム・メーカ、特に高度なインテグレート能力を有する Tier 1 クラスの欧米メーカは、複数の航空機メーカ(ボーイング、エアバス、ボンバルディア、エンブラエル等)にシステムを供給することで、市場における影響力を高めている。特に大手航空機メーカがリスク・シェアリング・パートナーの数を絞ってきたことで航空機開発や量産段階で大手装備システム・メーカなどのリスク・シェアリング・パートナーへの依存度が高まっている。このため、キーとなる装備システム・メーカの位置づけは、ますます重要となっている。

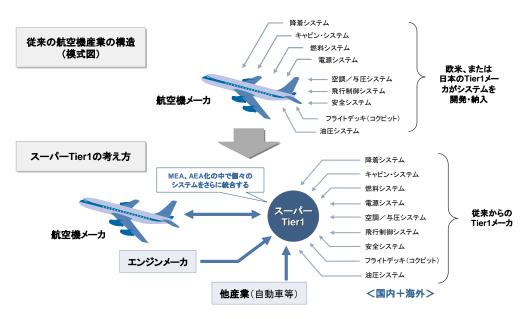


出所) National Institute for Aviation Research を元に MRI 作成 4)

図 2.3.3-4 航空機産業界における Tier 1メーカの役割の重要性増加

一方、航空機の MEA、AEA 化の進展が進んでいった場合、装備システムのインテグレート化が一層進み、装備システムの統合化(ネットワーク化)がなされていくと考えられる。現状、大手の装備システム・メーカはそれぞれが得意なシステムに特化する傾向が強いが、電動化(エレクトロフィケーション)の進展で、個々のシステムを担当するインテグレータをとりまとめるスーパーTier 1 が登場する可能性がある。スーパーTier 1 の登場は、他産業を含めて新たな業界再編につながることとなろう。

例えば、ユナイテッド・テクノロジーズは、傘下に航空機関連事業としてプラット・アンド・ホイットニー、ハミルトン・サンドストランド、シコルスキーを有するが、2011年にグッドリッチを買収<sup>5)</sup>、現状、エンジン関連については、エンジンからカウリング、関連システムを含む全体をカバーしつつある。



出所)委員会討議をもとに作成

図 2.3.3-5 将来の航空機装備産業におけるスーパーTier 1 のイメージ

[2.3.3 章出典(1)~(5):各、資料1/P2011D004 及び 資料3/P2011D250~D253]

## 2. 3. 4 航空システム、航空管制関係

#### (1) NextGen 及び SESAR

2011 年 3 月、FAA は NextGen の実行計画の最新版を発表した 1)。それによると、現時 点で NextGen が進めている計画の一つは、ADS-B (Automatic Dependent Surveillance -Broadcast) のための地上施設の開発である。ADS-B とは航空機が自機の位置などを定期 的に放送する装置であり、この信号を受信する装置を搭載した航空機は周辺の航空機を計 器表示することができる。また地上に受信機を設置すれば、レーダと同様に航空機の位置 を監視することができる。ADS-B は米国では 2020 年に搭載が義務化され、航空機への搭 載が広まりつつある。 今後、 航空会社と共同でその他の課題に取り組み、 2018 年までに航 空機の運航遅延の35%改善をめざす。それによって、2018年で230億ドルの利益、14億 ガロンの航空燃料の削減、1400 万トンの CO2 排出削減を航空会社等にもたらすという試 算を示している。また、計画を進める上での問題の一つは、経費の取得にあるとしている。 NextGen の成功には、官民に広く利益をもたらすとの理解促進が欠かせないと述べている。 2011 年 3 月、SESAR Joint Undertaking は、アムステルダムで開催された ATC Global 2011 Conference において SESAR Forum が開かれ、SESAR Release 2011<sup>2)</sup>を発表した。 これは、航空交通管理が抱える問題に対し、新しくあるいは改善されつつある開発中であ るが産業化前の段階にある解決策をまとめたものである。およそ 300 の SESAR プロジェ クトのこれまでの初期の状況をまとめ、産業化と次の開発に向かうための実証計画が示さ れている。また、2011 年末までに全欧州の SESAR 関係機関によって 29 の実証試験が完 了すると述べられている。なお、2012年3月に開かれるATC Global 2012 Conference に は国土交通省航空局の職員の出席が予定され、CARATSの紹介とともにSESAR、NextGen、 CARATS の現状と今後の展開に関する討論が予定されている。



図 2.3.4-1 SESAR プロジェクトにおいて実施されている実証試験  $^{20}$ 

加えて SESAR、NextGen の協調の重要さが認識されている 3)。例えば 2010 年 1 月には、欧州と米国の当局者は SESAR、NextGen 間の SWIM (System Wide Information Management, 広域的情報システム管理: 詳細は後述) の相互運用性に関する仮契約を行

った 4)。ATC Global 2012 Conference でも討議の予定がある。

#### (2) CARATS ロードマップ

ICAO のグローバル ATM 運用概念に基づく NextGen、SESAR に相当する「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS, Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems)」が国土交通省航空局を中心として 2010 年度にまとめられた。CARATS では7つの項目、「① 安全性の向上」、「② 航空交通量増大への対応」、「③ 利便性の向上」、「④ 運航の効率性向上」、「⑤ 航空保安業務の効率性向上」、「⑥ 環境への配慮」、「⑦ 航空交通分野における我が国の国際プレゼンスの向上」と具体的な数値目標を設定している。また、達成度評価のための指標も挙げている。

さらに、2011年に CARATS の実現に向けたロードマップが作成された  $^{5,6,7)}$ 。本ロードマップは、運用改善 (OI, Operational Improvement) に関する 39 施策とそれらを実現するために必要な技術等 (EN, Enabler) に関する 16 施策から成っている。OI は空域編成・運航前・運航中・運航後に分類されており、EN がその OI 全体を支える構造になっている。各施策は、ほぼ 2025年度までに、研究開発、導入の意志決定、導入準備の期間を経て実際の導入となるチャートで示されている。

#### (3) GBAS

航空機の進入着陸は GPS 単独測位では不可能である。国際民間航空機関 ICAO (International Civil Aviation Organization) は、GPS に補強システム (Augmentation System)を導入し、すべての運航に衛星航法を導入する方針を定めた。その一つが地上型補強システム GBAS (Ground-Based Augmentation System)である。GBAS は進入着陸する航空機を経路に誘導するために、空港内に設置された基準局から VDB (VHF Data Broadcast, 108~117.975MHz)により補強情報を放送し、局所的に GPS を補強する狭域 DGPS (Differential GPS)を構成する。GBAS により、CAT-I から CAT-III の精密進入、ターミナル空域での運航(曲線パスの設定)、進入復行、出発経路の誘導、空港内での地上走行の誘導などが可能となる。GBAS の実用化に向け、安全性と国際標準に準拠したプロトタイプの開発が完了し、2011年7月には、関西国際空港に設置された GBAS 地上システムと B787に搭載された GLS (GNSS Landing System)の組み合わせによるアプローチを含む検証飛行を実施し、満足のいく成果を上げた8.9。

#### (4) 広域マルチラテレーション

首都圏空港の容量増強に向けて、羽田空港は第4滑走路が供用され世界でも稀な井桁方式となり、成田空港はB滑走路を延伸し同時平行離着陸が導入される予定である。空港容量の増大に伴い、安全かつ効率的な空港運用方式の高度化が求められている。そのために、電子航法技術究所と航空局は、広域マルチラテレーション(WAM, Wide Area Multilateration)の導入に向けて研究を進めている10。関連技術として、空港面におけるマルチラテレーション(Multilateration)がある110。空港面監視のための空港面探知レーダ ASDE(Airport Surface Detection Equipment)は、航空機の識別情報が得られない、性能が天候に依存する、建物と干渉するなどの問題があったが、マルチラテレーションに

よると、航空機トランスポンダから送信される信号を 3 局以上の地上受信局で受信して、 航空機の識別と位置情報を得ることができる。仙台空港において基礎的な評価試験を行い、 関西国際空港、成田空港、羽田空港において評価用装置を利用した導入試験を実施してい る。これを空港周辺空域の監視にまで適用したのが、広域マルチラテレーションである。 ターミナルレーダに代わり、航空機トランスポンダが送信する航空機衝突防止装置 ACAS (Airborne Collision Avoidance System) からの信号と二次監視レーダ SSR (Secondary Surveillance Radar) の応答を複数の受信局で検出して航空機の位置情報を得る。現在、 羽田、成田の両空港で評価試験を行うため、関東に新たな実験装置の設置を行っている。

#### (5) JAXA ジェット飛行実験機「飛翔」

JAXA は 2009 年度より導入を進めていた Jet FTB(Flying Test Bed)「飛翔」(Cessna Citation Sovereign(Cessna Model 680 Sovereign))に実験機として計測装置等を搭載するための改良、機能整備を行い、2011 年度中に運用を開始する予定である <sup>13</sup>。飛行試験を検証するために必要なフライトシミュレーションを作るため、飛行データから空力係数を推算する研究を行っている <sup>14</sup>。今後、MRJ を始めとする国産旅客機の開発とそれらの高性能化に関わる飛行実証、型式証明審査の手法や基準等に対する技術提案や知見の提供、国内航空機器メーカ及び JAXA が研究開発した装備品の飛行実証、次世代運航システムに関わる飛行実証に活用することにしている。



図 2.3.4-2 ジェット飛行実験機「飛翔」13)

#### (6) 東日本大震災を受けて 15, 16, 17)

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、航空システムと航空管制のあり方を見直す契機となった。地震発生直後、成田空港と羽田空港が数時間に亙って空港の離発着を制限したため、飛行中の各便に目的地変更や出発地への帰着などが発生した。とくに長距離を飛行し両空港に接近しつつあった国際便は、代替空港の調整に追われた。71機の国際便が関西空港、新千歳空港、横田基地、中部国際空港などへダイバート(当初の目的地以外の飛行場への着陸)した。航空機のダイバート調整は、福岡にある国土交通省航空交通管理センター(ATM センター)が行うことになっている。ATM センターは、受け入れ可能な代替空港について提供できる施設の運用状況を把握し、関係機関へ情報提供することになっている。今回の地震では、飛行中の航空機と地上を結ぶデータ通信システム ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System)等の地上設備が被害を受

け、上空の航空機は状況がつかめずに混乱するケースがあった。また、長距離を飛行した後の国際線旅客機で、残り燃料に限りがあるところ、指示された代替空港には受け入れ限度を超えているとして断られ、その後、着陸可能な空港を探しながらぎりぎりの飛行を迫られたケースもあった。幸い燃料切れで墜落した機体はなかったが、今後、ダイバート調整等の航空運航マネジメントシステムの見直しが必要である。また、飛行中の航空機を安全に空港に着陸させるために、緊急時の混乱した状況においても情報を正確に把握し伝達する方法が必要である。情報共有と地上・機上での状況認識向上は、CARATSでも解決されるべき課題の一つである。

情報共有は航空機の通常運航においても重要であり、SWIM (System Wide Information Management, 広域的情報システム管理)と呼ばれる情報システムの構築が計画されている。これは、運航に係る全ての情報を包括的に管理し、関係者と航空機が必要な情報にアクセスできる情報ネットワークである。また、機上で交通情報を取得し、間隔確保などに利用する航空機間隔維持支援装置 ASAS (Airborne Separation Assistance System)の研究開発が進められている。航空機は自機の位置などを定期的に放送する装置 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)を搭載しており、この信号を受信する装置を搭載した航空機は、周辺の航空機を計器表示することができる。また、地上側に受信機を設置すれば、レーダと同様に航空機の位置を監視することができる。ADS-B は米国では 2020 年に搭載が義務化され、搭載が広まりつつある。ADS-B の機能を応用して、ADS-B 送信機を持たない航空機の位置も地上側から提供するシステム、TIS-B (Traffic Information Service - Broadcast)がある。これは航空交通情報を機上側に放送する地上システムである 18)。TIS-B は車両搭載で移動可能なため、災害時の防災へりなどへの応用が期待されている。これらのシステムは通常の運用を想定しているが、このような技術が実用化されることにより、災害時においても航空機の安全飛行に寄与する。

東日本大震災では被災地に最大で約300機の救援航空機が集結した。JAXAでは災害時などに局所地域に集結したヘリコプタの運航管理を行うD-NET (Disaster Relief Aircraft Management System Network, 災害救助航空機情報共有ネットワーク)を提案している19)。これはJAXAが進めるプロジェクト DREAMS (Distributed and Revolutionary Efficient Air-traffic Management System)の研究課題の一つである。集結した多数のヘリコプタと地上の災害対策本部等の間で情報共有を行い、リアルタイムで変化する災害の発生状況や機体の運航状況に応じて、各機体への任務割り当てや飛行の指示などの運航管理を行い、救援活動の効率性と安全性を向上するシステムである。現在、実証試験を進めており、シミュレーションにより有効性を確認している。

[2.3.4章 引用文献等(1)~(19):各、資料3/P2011D297~D315]

#### 2. 3. 5 無人機、飛行制御の技術開発動向

#### (1)無人航空機

#### ア. 概要

無人航空機 (無人機) UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 最近は Unmanned Aerial System と呼ばれることも多い) は、自律的にあるいは遠隔操縦によって飛行する無人の航空機である。有人航空機にとって極めて dull、dirty、dangerous なミッションをこなすのが役割と言われている。構想自体は航空技術の創成期である 1910 年代からすでに存在した。米国が軍事目的の無人機開発における世界的リーダーであることは言うまでもなく、本格的に実用的な機体の開発を始めたのは 1950 年代である。ターゲット・ドローンと呼ばれる標的機としてまず実用化した。その後、無人機は 1970 年代からエレクトロニクスの発達と原動機の小型化・軽量化・低コスト化が進んだことにより、急速に発展を遂げてきた。近年は、アフガニスタンやイラクなど、自軍の人命損失を最小限に抑えるため多用されている。



図 2.3.5-1 RQ-4 Global Hawk¹)

製造者: ノースロップ・グラマン社 運用者: アメリカ合衆国(空軍,海軍,NASA)

初飛行: 1998 年 2 月 28 日 運用開始: 2004 年 11 月 16 日



図 2.3.5-2 RQ-1 Predator<sup>2)</sup>

製造者: ジェネラル・アトミックス社 (ジェネラル・アトミックス・エアロノー ティカル・システムズ社)

運用者: アメリカ合衆国 (空軍), イタリア (空軍), イギリス (空軍), トルコ (空軍)

運用開始: 1995 年



図 2.3.5-3 RQ-16 T-Hawk<sup>3)</sup>

製造者:ハネウェル社

運用者:アメリカ合衆国(海軍,陸軍),

イギリス

初飛行:2003年

## イ. 日本における開発動向

日本での無人機開発は民需向け、産業用向けが主流であり、農薬散布、架線工事、災害調査、空中写真撮影向けなどに開発が行われている。防衛用途には、標的機としての開発が中心である。



 $\boxtimes 2.3.5-4$  RMAX type II G

回転翼機タイプの代表がヤマハ発動機製の産業用無人ヘリコプタ RMAX である。現在、 2000 機近い無人航空機が日本に存在するといわれ、そのうち 1500 機が RMAX であると 発表している。ヤマハ発動機の無人ヘリコプタは、1980年代に水田の農薬散布を目標に開 発が始まった。たとえば、RMAX type II G は、最大離陸重量 97kg、ペイロード重量 16kg、 飛行時間 90 分以上であり、初心者でも操縦しやすいような制御系が組み込まれている。 また、農薬散布以外の用途として、東京大学地震研究所と共同で、あらかじめ決められた 経路に沿って飛行可能な自律飛行型 RMAX を使って、北海道有珠山観測を行っている 4)。 また、ヒロボーはヤマハ特約店として、RMAX を使用して農薬散布に加え、空中測量、監 視等を行っている。さらに、ヒロボーは千葉大学野波教授のグループと共同で、小型無人 ヘリコプタに搭載可能な小型高性能な自律航行装置と自律制御飛行技術の開発、中国電力 と共同で山間部の送電線設備の巡視・点検業務に無人へリコプタを使用する検討を行って いる。なお、自衛隊も遠隔操縦式の富士重工製無人ヘリコプタを使用して、空中から広範 囲の情報を収集するシステム FFOS(Flying Forward Observation System)を持ってい る。キャリオ技研(愛知県名古屋市)は、災害時の探索用に電動へリコプタの研究を精力 的に進めている5。現在、電池性能・モータ性能・MEMSセンサの普及を受けて、たとえ ば Quadrotor に代表される電動多発ヘリがキットとして安く手に入りやすくなった。これ は不安定ではあるがヘリコプタに比べると操縦しやすく、室内で飛行可能な玩具も市販さ れており、大学等の研究室で回転翼機の研究に取り掛かりやすくなった。結果、飛行制御 等の研究で海外、国内で盛んに研究されるようになっている。

固定翼機タイプとしては、フジ・インバック 6の機体がよく知られている。2002 年から開発が始まり、自律飛行可能エンジン機を開発し、ほぼ自動離着陸も成功している。最も大型の機体で離陸重量 50kg、飛行時間 20 時間、航続距離は 2000km を超えている。飛行実績も豊富であり、空撮・気象観測・大気採取に加え、国立極地研究所と共同で南極地域での長距離気象観測飛行に成功もしている。2011 年 3 月 20 日と 24 日に政府の要請を受けた(株)エアフォートサービスは、フジ・インバックとともに福島原発の空撮に成功している。この飛行は片道 71km、飛行時間 1 時間 10 分ほどであり、福島市街上空を数 km (高

度 1200m) 飛行する飛行経路であった  $\eta$ 。市街地上空も飛行させたということは、安全性 に自信を持っていることを示している。

JAXA も無人航空機の研究をおこなっている。大規模地震や風水害による広域災害時に、迅速かつ詳細な被災情報を収集できる無人機システムを目指し、2005 年から研究を本格化している。主に航空プログラムグループ無人機・未来型航空機チーム ®、研究開発本部飛行技術研究センター先進無人機セクション ®で研究がなされ、固定翼小型無人機を中心に複数の形態の垂直離着陸型無人機、無人飛行船システムの飛行実証も含めた研究を行っている。

一方、固定翼無人機は空撮などの実務作業に加えて、先進的な制御システムのテストベットとして活用もされている。有人機では危険な飛行試験を無人機で行う。たとえば、東京大学と富士重工は耐飛行制御システムの実証実験に無人航空機を使用し、飛行中の機体を実際に破損させ飛行実証を行う試験に、民間機として世界で初めて成功した 10,20)。

#### ウ. 東日本大震災における無人機の飛行 11,12)

2011年3月11日に発生した東日本大震災とその後の福島原発事故は、無人機の認識を 一変させた。原発事故に対応するため無人機を活用する長所は、放射線濃度が高い場所で あってもその影響を受けずに飛行可能であり、小型・軽量・安価であるため、墜落しても 機体と地上の被害は軽微である点にある。また、24時間の連続監視が可能ある。一方、短 所としては、重量物を搭載出来ないこと、無人機の飛行に際し有人機に対する警告が必要 なこと等である。地震発生直後の3月11日から(日本政府の要請より前から)、米国は Global Hawk の飛行を開始し、原発災害が顕在化してからは原発を中心に飛行している。 Global Hawk はグアムから 3 機が運用され、合計 19 フライト、400 時間の飛行があった 模様である。一方、原発建屋の調査には T·Hawk が4機投入された。これは東京電力の依 頼が東芝、ウェスティングハウス社、ハネウェル社へと伝わり実現したものである。福島 原発で実際に運用された T-Hawk などの機体は、すべて東京電力が運用責任者として導入 した。なお、T·Hawk は何機か制御不能に陥り不時着している。一方で、国内の無人機の 使用は自衛隊も含め躊躇せざるを得なかった。墜落事故、失敗のリスクを恐れ、また産業 用の無人へリコプタは農薬散布を中心として高い実績があるが、放射線が機体に与える影 響が未知であったこと、運用者の被ばくの問題、電波法の規制などが躊躇の理由であった。 一方、自衛隊の FFOS は演習場での運用実績しかないため、運用上の信頼性が不十分との 判断で投入されなかった。日本の機体による事故後初の原発上空の飛行は、3 月 20 日と 24 日のフジ・インバック社の機体であった $^{9}$ 。その後、7 月 27 日に日本原子力研究開発 機構は、原発から 20~30km 圏内の放射線量を RMAX(離着陸は遠隔操縦,計測時は自 動飛行)で計測したという報道があった。その後、無人ヘリコプタを放射線量調査に使お うとしているが、電線などの障害物回避が課題になっている模様である。今後は広範囲に わたる長期的な放射線量計測・管理が必要であるが、避難地域(準無人地帯)以外の有人 地帯での運用が課題である。また、津波被害の調査のために、千葉大学が電動6発ロータ の無人ヘリコプタを用いて5月9日に岩手県宮古市で、東京大学・早稲田大学・アイコム ネットの共同チームが電動固定翼機を用いて6月3日に千葉県九十九里海岸北部(下永井 海岸)で空撮を行った 13)。また、防災科学技術研究所はゼノクロス(鹿児島県鹿児島市)

らと共同で遠隔操縦のラジコンヘリ、モータパラグライダを用いて、南三陸町などの被災 状況の空撮を行っている <sup>14)</sup>。

#### エ. 無人機の安全基準

日本の無人機の安全基準の制定は、日本産業用無人航空機協会(JUAV)が中心となって進めている <sup>15)</sup>。フジ・インバック社による福島原発や被災地での飛行は居住者が居る地域の上空を飛行していたが、居住地域等の上空飛行の安全基準は現在、制定途中である。東京電力により運用された無人機は運用者の判断で今回飛行する決断をしたものと考えるが、この経験は居住地域等の上空および有人航空機との共存の考え方に影響を及ぼすことになるであろう。無人機は今後災害復興のための有効な手段ではあると考えられるが、運用に際して多角的検討と多方面とのコンセンサスが重要である。今回の震災を教訓として、安全基準の早期制定が望まれる。

一方、無人機に関する国際的な安全基準策定の動向として、国際民間航空機関(ICAO)での検討がある。ICAO では Remotely Piloted Aircraft(遠隔パイロット航空機)を非分離空域で運用するための検討を進め、2011 年 3 月に無人航空機の運航方式およびパイロット(Remote Pilot)のライセンスを含む無人航空機システムに関する ICAO Circular 328 が発行された  $^{16}$ 。この発行によって、各国当局は無人機(ただし、遠隔操縦の無人機)の運航に関する法制化に向けた動きが出てくると思われる。

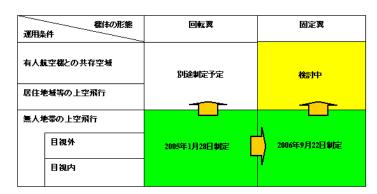


図 2.3.5-5 日本産業用無人航空機協会による安全基準の制定 15)

#### 才. 将来動向

当面、防衛省は福島原発事故の教訓を踏まえ、フジ・インバックの機体と米ボーイング社の ScanEagle を購入する方針を固めた。海外製は輸出規制やメンテナンスなどの問題もあり、国産無人機の導入が本来は望ましい。取り急ぎ日米のメーカから無人機を導入し、それらを試験評価しつつ、将来の無人機開発に繋げたいとの思惑があると思われる。無人機は非常時のみならず、その特性を生かして、離島および日本周辺の広域な経済水域の警備活動にも有用であるとの認識もある。

将来、遠隔パイロット航空機のみならず完全自律の無人航空機に対しても、その飛行が他の航空機に悪影響を与えないこと、有人航空機の航空交通管制と同様の扱いが可能になるほど飛行安全性が向上すれば、有人航空機と無人航空機で空域を分ける制限はなくなり、両者が共存する時が来るであろう。無人航空機は、センシング以外の用途として、長時間

滞空による空中通信基地局化、一般航空路へ参入しての貨物輸送、災害時の救助活動にも 使われるようになると思われる。

#### (2) 飛行制御 - 先進パイロット支援システム

社団法人日本航空宇宙工業会(SJAC)は経済産業省からの委託を受けて、General Aviation を対象とした「航空機用先進システム基盤技術開発(先進パイロット支援システム)」の研究開発を 2008 年度から 2011 年まで実施した <sup>17)</sup>。機体故障が発生しても安全に飛行を継続する「耐故障飛行制御システム」 <sup>18,19,20)</sup>、パイロットの操縦を向上させる「知的操縦支援システム」 <sup>21)</sup>、乱気流検知システムを活用することにより気象レーダでは探知できない突風領域を避けて飛行し、仮に避けられなかったとしてもその影響を軽減する「突風対応制御システム」 <sup>22,23)</sup>の 3 つの課題を含む。たとえば、「耐故障飛行制御システム」に関係して東京大学と富士重工は、小型無人航空機を用いて飛行中に機体が破損しても安定した自動飛行が可能となるニューラルネットワークを用いた飛行制御システムの実証実験を行った。その結果、2011 年に民間航空機タイプの機体では世界で初めて飛行実験に成功した <sup>10,20)</sup>。



図 2.3.5-6 耐故障飛行試験に民間航空機タイプの機体として世界初成功

[2.3.5章 引用文献等(1)~(23): 各、資料3/P2011D316~D338]

#### 第3章 その他資料の分析

- 3. 1 関係団体の刊行物における動向情報
- 3.1.1 平成22年度委託研究成果報告書(社団法人日本航空宇宙工業会)

社団法人日本航空宇宙工業会革新航空機技術開発センターの平成 22 年度委託調査研究成果発表会が平成 23 年 7 月 6 日に開催され、2 会場に分かれてそれぞれ 8 件,合計 1 6 件の研究成果が報告された。

#### (1)「航空機工業国際競争力強化技術」に関する研究発表

第一会場では、「航空機工業国際競争力強化技術」に関する研究発表が行われた。推進分分野では、株式会社 IHI による「航空用エンジンにおけるファンへの着氷低減技術の研究」では、航空エンジン用ファンを対象とした防氷技術の開発を目的として、ハブ側でバックスイープさせたスイープ翼、および空気の流れ方向から見た翼腹側の投影面積比率を小さくした翼形状を提案し、着氷量の低減効果を確認している。また、超撥水性の防水コーティング塗料を開発し、その防水効果を確認しており、これらの成果は今後求められる高バイパス比・低周速のエンジン開発に有用であるとしている。また、同社による「航空エンジンにおける回転体の光学ひずみ・振動計測技術の研究」では、回転体のひずみ・振動計測に光ファイバー技術を用いた光学的計測技術を適用する際に問題となる、回転部と静止部を接続する光伝達部での光信号損失を低減させるための技術に関する基礎実験を行った。熱拡散技術により光ファイバーのコア径を局所的に拡大させた TEC (Thermally-diffused Expanded Core) 化ファイバーの使用、および回転軸の軸受として静止軸受を使用することが、光信号損失低減に有効であることを確認している。

制御分野では、三菱重工業株式会社による「全舵面不作動時の推力による代替飛行制御技術に関する研究」が実施された。パイロットの操縦意図を受け、飛行制御コンピューターを介してエンジン推力を自動的に調整するのみで機体の操縦を可能にする推力飛行制御技術の確立を目的として、推力飛行制御則および自動着陸オートパイロットの設計を行い、パイロットシミュレーション結果からその有効性を確認している。また、同社による「リージョナルジェット機を対象としたダイナミックインバージョン飛行制御技術に関する研究」では、制御則内部に航空機特性に関するデータベースを有することで派生型機への適用が容易に可能となる上記飛行制御則を設計・開発し、ノミナル設計ポイントにおいて安定性および飛行特性が設計目標を満足することを確認するとともに、派生型機への適用が可能であることを明らかにしており、今後パイロットシミュレーション試験による本制御則の評価を実施する予定とのことである。同じく三菱重工業株式会社は、「Integrated Fault/Damage Detection and Isolation (IFDDI) 技術に関する研究」において、ソフトウ

ェア的検知手法へのトリガ信号生成器としてハードウェア的検知手法を用いた IFDDI 技術の確立を目的として、ハードウェアおよびソフトウェア検知部をそれぞれ開発し、それらの評価を行った。今後、ハードウェアおよびソフトウェア両検知部を統合させることで IFDDI 技術を確立し、ハードウェア・イン・ザ・ループ試験によりその妥当性を検証する予定である。

機体・空力分野では、川崎重工業株式会社による「ヘリコプター用ブレードの低コスト 製造方法の研究」が実施された。ブレードに要求される性能・強度を満足した上で、従来 の製造手法であるプリプレグ積層に対し 30%以上のコスト削減を達成するため、プレイデ ィングおよび RTM という従来の低コスト技術に、開繊糸および熱可塑ベールという新技術 を導入することで、ブレードの性能向上を図る手法を提案し、それに基づいた製造方法に より試作されたブレードが実機ブレードとして適用可能となる見通しが得られている。 また、三菱重工業株式会社および株式会社ジーエイチクラフトによる「高性能複合材治具 の研究」では、大型構造に適用可能な軽量および高性能な治具用複合材と炭素発泡体で構 成される新ハイブリッド成形治具の開発を行い、従来のインバー製治具に対する性能の優 位性を確認するとともに、翼桁構造成形のための新ハイブリッド治具を試作し、CFRP パ ネルの試作に成功している。住友精密工業株式会社による「チタン基複合材(TMC)の降 着装置部品の実用化研究」では、Ti 合金シートを用いた HIP 法を活用した TMC 試験クー ポンを製作し、比強度・比剛性・静強度・疲労強度等の材料特性を把握するとともに、FOD 試験による破壊形態の確認を行っている。今後、降着装置の主要構造部材について実機サ イズのモデル供試体を試作し、構造強度および FOD 試験による実体評価を実施する予定で ある。

#### (2)「環境調和型航空機技術および国際競争力強化技術」に関する研究発表

第二会場では、「環境調和型航空機技術および国際競争力強化技術」に関する研究発表が行われた。推進分野では、昭和飛行機工業株式会社により「高耐食性アルミダブルフレキシブルコアの研究」が実施された。航空機エンジンのナセル部の吸音パネルへの適用が期待されている、米国製のクロム酸コーティング処理アルミダブルフレキシブルコアよりも耐食性に優れ、環境影響の少ないリン酸陽極処理アルミダブルフレキシブルコアを開発し、物理的および機械的性能は米国製と同等であるが、耐食性は優位であること、および吸音特性は米国製と同等であることが確認されている。また、株式会社 IHI による「航空エンジンのタービン翼に適用する冷却空気削減技術の研究」では、現有技術では効率的な冷却が困難であるタービン翼の前縁および後縁部に適用可能な革新的冷却法として、翼前縁には Vortex Reducer Hole 法を、また翼後縁には Skin Turbulator 法の適用を提案し、数値シミュレーションを用いることでそれらの詳細形態の選定を行った。前縁については、翼性能とのトレードオフ機能およびロバスト性を評価し、後縁については熱伝達率向上を目標値まで達成する改良を実施することを計画している。

機体・空力分野では、住友精密工業株式会社および日立金属株式会社により「高強度ス テンレス鋼の実機適用推進と改良開発に関する研究」が実施された。重量軽減と小型化・ 腐食防止の観点から降着装置構造材への高強度ステンレス鋼の適用が期待されていること から、高強度ステンレス鋼 HSL180 を開発し、実機適用に向けた材料規格 MMPDS を取得 するとともに、曲げ特性・疲労特性および耐食性が良好であることが確認され、降着装置 部材としての有効性が確かめられている。富士重工業株式会社による「軽量ファイバーメ タルの研究」では、軽量かつ耐衝撃性の高い材料である軽量ファイバーメタルを翼リーデ ィングエッジに適用することを目的として、金属層に Mg-Ti 合金を用いたファイバーメタ ルを創成し、その比強度および比剛性が AI 合金と同等であること、鳥衝突試験における耐 衝撃性はAl合金と同等であるが層間剥離が生じなければ36%の軽量化が達成されることを 明らかにしている。また同社による「革新的軽量金属構造材料の研究」では、機体軽量化 に寄与することが期待されている CFRP やハニカム構造材料と同等の低密度と比強度を有 し、かつ低製造コスト化が見込まれるアルミ合金系ポーラスアルミについて、その高強度 化を図るとともに、低コスト製造プロセスの開発を行っているが、実用化に向けてさらな る高強度化と内部品質の最適化が必要とのことである。日本飛行機株式会社による「チタ ン合金のインクリメンタルフォーミング技術の研究」では、未だ実現されていないインク リメンタルフォーミングによるチタン合金成形技術を高周波誘導加熱の適用により確立さ せ、クリープ成形による矯正と応力除去を組み合わせた加工プロセスにより、高い加工精 度と優れた形状精度を得ることに成功し、チタン合金部品の低環境負荷と低コスト製造が 可能となることを確認している。川崎重工業株式会社による「航空機 HLD 騒音低減技術の 研究」では、高揚力装置 (HLD) であるフラップ翼端の空力特性を損なうことなく、空力騒 音を抑える実用的な騒音低減技術を開発することを目的として、数種類のフラップ形状に ついて風洞試験および CFD 解析を行い、騒音低減効果と空力特性がいずれも良好な形状と してフラップ上面突起型を提案している。また、同社と日本飛行機株式会社による「最適 化技術を応用した高揚力装置の設計技術開発」では、CFD 解析と多目的遺伝的アルゴリズ ムによる最適化手法を組み合わせた2次元 HLD 断面設計技術を開発し、その2次元設計に おいてモーフィングとスポイラ・ドループを組み合わせることで揚力の増大及び抵抗低減 と失速遅延効果が得られることを明らかにするとともに、モーフィング機構・構造の検討 結果から、駆動系に形状維持機能を持たせた機構様式および伸縮材料のモーフィング構造 への適用を提案している。

[参考文献:資料2/P2011D103、104参照]

#### 3.1.2 平成23年度航空機関連動向情報(財団法人航空機国際共同開発促進基金)

#### (1) 平成23年度航空機業界動向情報(月次)

財団法人航空機国際共同開発促進基金で毎月関係団体向けに配信している航空機業界動向情報での平成23年度の主要トピックスは、第2章および第3章にて取り纏められた動向と等しく、787型機と747-8F/I型機の型式認証(TC)取得に向けた動きと認証取得および初号機の納入、エンジン換装型派生機A320neoの開発と737型機の後継機開発に関する動き(ボーイング社は、最終的にA320neoと同様なエンジン換装型派生機737MAXを開発することを8月に正式決定)、また、これらの機体を含む次世代民間輸送機に搭載される新型エンジンの開発状況等が話題の中心となっていた。このような状況を踏まえ、本動向情報として11月に特集号を編集し、「次世代(将来型)新型航空機の開発動向」についての記事を纏め、解説を付加して刊行した。[資料2/P2011D105参照]

その他の大きな話題としては、リーマンショック後停滞していた航空旅客及び貨物需要が 2010 年に大きくリバウンドした傾向が、2011 年もある程度は維持されたものの、航空各社の収益は 2010 年に比較して落ち込んだこと、その一方で、高止まりした燃料価格とアジア・中東地域を中心とする航空需要の旺盛な伸びが牽引して、航空各社が一斉に低燃費航空機へのフリートの更新に動いたことから、エアバス、ボーイングの 2 大航空機メーカーの民間航空機受注高が至上最高を記録したこと、また、両社の増産により、引き渡し機数が大きく伸びたことが話題となった。一方、この傾向は 2 大メーカー以外の航空機メーカーには余り波及せず、一部の機体を除いてはリージョナルジェット機やビジネスジェット等の市場は依然として厳しい局面状態が年間を通して続いた。

2011年後半には、ボーイング社で開発中の787型機と747-8F及び-8I型機の遅れていた型式認証(TC)取得が相次いで受領され、顧客への納入と商用運航(EIS)が開始されて話題となった。特に787-8型機のローンチカスタマーである全日空への納入と運航開始は大きな話題となり、環境対策と乗り心地を格段に改善したことが人気を呼んで、就航記念の香港行きチャーター便や先行就航した国内定期便はいずれも満席の状態が続いているとのことである。

一方、エアバス社が開発中の A350XWB 機は開発の遅れが顕著となり、既に初飛行時期を延期していることから、メーカーは完成時期を変更していないものの、2013 年度中の EIS には疑問が呈されている。また、既に運航を開始して生産能力の引き上げを図っている A380 型機に関する新たな強度上の不具合が報じられている反面、新型単通路型機と同様に既存の最新型単通路機や双通路型機は依然大きな受注残機数を抱えており、エアバス、ボーイング両社はこれら機種の更なる生産レート引き上げに奔走していることが多く報じられた。

# (2) 平成23年度航空機関連動向解説事項解説概要

平成23年度も財団法人航空機国際共同開発促進基金では、航空機等に関する解説事項選定委員会を開催し、時宜を得た航空機に関するテーマを選定して解説概要を作成した。 平成23年度は、次の7件の解説事項を選定し、各専門分野の執筆者に依頼して、解説概要を作成した。

- ① 航空機運航への気象情報の活用
- ② 複合材の航空機適用への課題と国際競争力強化
- ③ エアラインが望む飛行機~売れる飛行機と売れない飛行機~
- ③-1 パイロットの訓練・審査の概要
- ④ 複合材構造ヘルスモニタリング技術の実用化の現状と課題
- ⑤ エコな航空機を実現するための空力技術
- ⑥ 日本における小型無人機の利用概況

これらの解説概要は、毎年、財団法人航空機国際共同開発促進基金のホームページに追加 掲載されている。解説概要への 2011 年の年間アクセス件数は、279,991 件 (月平均 23,333 件) であり、前年比でアクセス件数は伸びており、航空機関係事項に対する一般の関心が 高まっている表れと見ることができる。

[参考文献:資料2/P2011D106~D112参照]

- 3. 2 大学・研究機関・企業等から公表された動向情報
- 3. 2. 1 第49回飛行機シンポジウムにおける研究開発動向

2011 年 10 月 26 日~10 月 28 日に金沢で開催された第 4 9 回飛行機シンポジウムでは、国内の航空機の技術研究開発の全般における成果報告、研究発表が行われた。特に将来技術の取り組みとして注目すべき環境技術のセッションについては、3.5 項で詳細に述べた。その他の発表項目についても、下記に列記するとおり、航空機に関する多様な研究成果発表や講演が行われた。特に、東日本大震災を受け、災害時にどのように航空機を活用するかという視点で発表された、特別講演やパネル講演および企画講演が多く見られた。

#### 特別講演

- 東日本大震災における航空機の活動状況について:山根峯治(JAXA)
- 日本におけるヘリコプタ研究について:齊藤茂(JAXA)
- o 航空機の性能劣化モニターとその回復施策及び消費燃料削減の取り組み: 桂田 健(日本航空)
- o 航空安全再考~東日本大震災·福島原発事故から学ぶこと:鈴木真二(東大)
- o 次世代運航システム (DREAMS) の研究開発計画について:張替正敏 (JAXA)

## パネル講演

o 震災における航空宇宙科学技術の役割と課題

#### 企画講演 : 11 企画 112 件

- o 災害時に貢献する航空機
- o 環境に配慮した将来型航空機技術
- o CARATS 実現に向けた研究開発
- o 最近の航空宇宙材料の研究
- o グリーンアビエーション
- o 航空宇宙・機器システムの最近の動向
- o 機体開発に必要な風洞試験技術
- o ヘリコプタの先進技術
- o 空気力学の新潮流
- o 航空機製造における最新生産技術とその課題
- o 無人機の科学観測への応用

学生講演 : 24 件

一般講演 : 29 セッション、103 件

航空機設計(6)、空気力学(4)、飛行力学(7)、特殊航空機(3)、航空交通管理(2)、航空機運航・整備、機器・電子情報システム、風洞試験、原動機・推進、先進パイロット支援システム研究開発(2)、D-SEND#1。(括弧内は各セッション数)

[参考文献:資料3/P2011D340参照]

#### 3. 2. 2 第2回 JAXA 航空プログラムシンポジウムにおける研究開発動向

2011 年 9 月 8 日に日本科学未来館で開催された JAXA 航空プログラムシンポジウムにおいて、JAXA で実施されている航空機技術研究の最新状況が報告された。本シンポジウムでは、特に「環境に優しい航空機を目指して」、「公共のニーズに応える」、「航空交通のニーズに応える」とのテーマに基づき技術講演が行われるとともに、エンジン、構造・複合材、誘導制御・航法、空力騒音、計測などの要素技術から、超音速機、電動無人機などのシステム技術まで多岐にわたる報告が行われた。具体的な発表項目は、下記の通り。

#### 技術講演

- o 航空機の機体騒音の予測と低減技術の研究
- o 超音速機のソニックブームと低減技術の研究
- 低NOx化技術の研究開発
- o 水素燃料ジェットエンジンの実証研究
- 災害救援航空機情報共有ネットワーク(D-NET)の研究開発(消防防災ヘリ、ドクターヘリへの適用)
- o 公共のニーズに応えるヘリコプタ飛行技術の研究(就航率と安全性の向上を目指 して)
- o 災害監視無人機システムの研究開発
- o 航空機開発における JAXA 風洞群の役割と将来像
- o 次世代運航システム(DREAMS)について

#### 展示発表

- o CO2 排出削減を目指した将来旅客機の概念検討
- o 異物衝突の研究について
- o インテリジェント制御の研究
- o ファンバイパスダクト内の損失改善を目指したCFD
- o D-SEND#1 試験実施結果について
- 静粛超音速機技術の研究開発の概要
- o 航空機搭載用乱気流検知システムの研究開発
- o 精密曲線進入のシミュレーション実験
- o 災害監視無人機システムの研究開発(監視画像利用システム)
- o 小型電動VTOL機の研究開発
- o 航空機構造ヘルスモニタリングを目指した光ファイバセンサの研究
- 多軸振動非接触自動計測システム(MaVES)の開発と活
- o リサイクル複合材に関する研究
- o 複合材構造の雷撃損傷に関する研究
- o 航空機の環境負荷低減に向けた空力技術による取り組み
- o 航空機騒音の低減のための音響予測技術

- o 航空機音響環境予測技術の実用展開に関する研究
- o 風洞試験を模擬した空力解析技術の研究
- o CFD による航空機ジェットブラストの遠方速度場予測
- o ガスタービンエンジンにおける燃焼不安定性に関する実験研究
- ο 燃焼合成の燃焼工学的研究
- o パイロット視覚情報支援技術"SAVERH"
- o 小型無人機による昼夜連続近接リモートセンシング技術の開発
- o 空力試験風洞における騒音計測技術(静かな航空機の実現を目指して)
- o 空力騒音低減に向けた時系列PIV計測技術
- o 風洞試験における「不確かさ」の活用

また、神戸市北消防署副署長の中地弘幸氏による「大規模災害時の航空機による救援活動の現状と課題」と題する特別講演があり、過去の災害対応に対する航空機の活用状況を教訓に今後のこの分野のさらなる技術開発の重要性が示された。

[参考文献:資料3/P2011D341、D342参照]

## 3.2.3 日本航空宇宙学会第42期通常総会及び講演会における研究開発動向

平成23年4月14、15日の両日、日本航空宇宙学会第42期通常総会及び講演会が東京で開催された。東日本大震災の影響で開催が危ぶまれたものの、懇親会が中止された以外は通常通り実施された。講演会では、「環境に優しい航空機を目指して~Green Aviation への挑戦」と題したオーガナイズドセッション(OS)や、特別講演「日立グループの環境戦略」、「Hondaの環境技術への取り組みについて」などが企画され、引き続き環境問題に関する関心が高まっていることが感じられた。

## 特別講演

- 「日立グループの環境戦略」 平野学 ((株) 日立製作所)
- 「Honda の環境技術への取り組みについて」 小村規夫 ((株) 本田技術研究所)
- 「先進的エネルギーシステムのデザイン」 中田 俊彦 (東北大学)

#### パネル講演

○ 「航空ビジョン実現への課題と新たな提言」

## 企画講演: 3企画 34件

- 「環境にやさしい航空機を目指して~Green Aviation への挑戦」
- 「惑星探査の空気力学」
- 「航空宇宙における研究クラスター~分野・組織横断にむけて~」(若手企画)

# 一般講演: 8セッション 28件

制御(10), レーザ・プラズマ応用(6), CFD(3), ATM(2), 燃焼(3), EFD(4)

#### [資料3/P2011D343参照]

3. 2. 4 第 43 回流体力学講演会(FDC)/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウムにおける研究開発動向

平成23年7月7、8日に第43回流体力学講演会(FDC)/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2011(ANSS)が東京で開催された。本シンポジウムは、流体力学講演会(FDC)と航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム(ANSS)が合同で開催されたものであり、主として流体力学及び数値シミュレーション技術に関する研究発表が行われた。

#### 特別講演

- 「早稲田大学の演劇博物館」 秋葉裕一 (早稲田大学)
- 「流体力学における変分法の話」 中道二郎 (JAXA)

## 企画講演 7 企画 62 件

- 「EFD/CFD 融合技術」
- 「サイレント超音速空力技術」
- 「航空宇宙の空力音響技術」
- 〇 「先進流体計測技術」
- 「デトネーションエンジン」
- 「非定常空気力学」
- 「宇宙輸送及び再使用技術」

## パネル講演

○ 「先端 HPC から実機開発への道」

#### 一般講演: 16 セッション 50 件

宇宙機・衛星(4)、噴流・乱流(4)、プラズマアクチュエータ(4)、衝撃層・境界層(3)、低 Re 数(6)、衝撃波(2)、解法・格子(3)、超音速機設計・風試(3)、レーザー(3)、解離電離気流特性(4)、翼の空力特性(4)、ロケットフェアリング(4)、アブレーション・非平衡流(3)、飛翔シミュレーション(2)、失速・剥離抑制技術(3)

[参考文献:資料3/P2011D344参照]

# 3. 2. 5 第53回構造強度に関する講演会における研究開発動向

第53回構造強度に関する講演会が、平成23年7月27日から29日まで秋田市で開催された。基礎研究に重点がおかれた研究発表が多く見受けられた。

# 特別講演

- 「Aeroelasticity 革新航空機構造を目指して -」 中道二郎(JAXA)
- 「深海から探る地球の歴史 恐竜絶滅から石油の生成まで -」 佐藤時幸(秋田 大学)

若手奨励賞候補一般講演: 5件

一般講演: 18 セッション 79 件

薄膜(9)、複合材(13)、構造物・飛翔体(10)、C/C コンポジット(5)、インフレータブル構造(4)、フラッタ(4)、衝撃・損傷(13)、剪断・座屈理論(5)、振動(9)、き裂(4)、梁・テザー(3)

[資料3/P2011D345参照]

#### 3. 2. 6 その他国際学会等おける研究開発動向

- (1) 17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (32nd AIAA Aeroacoustics Conference) 平成 23 年 6 月に開催された 17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (32nd AIAA Aeroacoustics Conference)<sup>1)</sup>では、「ジェットノイズ(Jet Noise)」、「数値計算 (Computational Aeroacoustics)」、「機体および高揚力装置の騒音(Airframe and High Lift Noise)」、「ターボ機械およびコアエンジンの騒音(Turbomachinery and Core Noise)」 などのセッションが行われた。その中でもジェットノイズに関する研究発表が最も多く、基礎的な機構解明のみならず、Micro Jet、Slotted Air Injection、fluidic injection from a rotating plug などを用いた騒音低減に関する研究が紹介された。また、「Airframe and High Lift Noise」ではフラップノイズ、翼後縁からのノイズ、脚騒音、スラットノイズなどを対象とした研究発表が行われ、「Turbomachinery and Core Noise」では燃焼騒音に関する研究が活発に行われているようである。オープンローターの騒音については、1セッションで研究発表は8件のみであり、主として Counter-Rotating 方式のオープンローターにおける騒音現象の把握に主眼が置かれている状況と思われる。
  - (2) 41st AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit 及び 49th Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition

41st AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit<sup>2)</sup>では、Co-Flow Jet Airfoil Mixing、Distributed Active Bleed、Fluidic Diverter Actuators などによる流れの制御、特にプラズマアクチュエーターに関する研究が多く発表されていた。49th Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition<sup>3)</sup>においても、ジェットノイズ、プラズマアクチュエーター、Wedge-Shaped Porous Flaps、Water Microjets などによる流れの能動制御に関する研究が比較的多く発表されており、また、燃焼の基礎研究以外に代替燃料の評価などの研究も見受けられた。

#### (3) 52nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures

, Structural Dynamics and Materials Conference/ 19th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference/ 13th AIAA Non-Deterministic Approaches Conference/ 13th AIAA Dynamic Specialist Conference/ 12th AIAA Gossamer Systems Forum/ 7th AIAA Multidisciplinary Design Optimization Specialist Conference<sup>4)</sup>では、ヘルスモニタリング・コンポジット材料・ナノコンポジットやカーボンファイバーコンポジットなどのナノ構造材料、モーフィング翼などの研究が紹介された。また、一般的な工学やヘルスモニタリングへ適用する非決定論手法に関する研究発表が多くなされていた。

(4) 11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference

11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference, including the AIAA Balloon Systems Conference and 19th AIAA Lighter-Than-Air Technology Conference<sup>5)</sup>では、「Arrival & Departure」が 3 セッション組まれており、High Density Departure/Arrival Managemen、Arrival Trajectory Optimization、Trajectory-Based Arrival Management、Trajectory-Based Takeoff Time Predictions などの研究発表が行われ、この他にも Traffic Flow Management、Trajectory Management、NextGen に関する研究などが報告されている。また、二酸化炭素や窒素酸化物排出に基づいた航空機の環境性能評価、Multi-Event Trajectory Optimization Methodology、Electric Taxing、RNAV/RNP Arrival and Departure Procedure を用いた局所的な運航管理による環境負荷低減手法の研究や推進機関としてのオープンローターの評価に関する研究などが行われている。

## (5) International Gas Turbine Congress IGTC '11 Osaka

平成23年11月13~18日に大阪で開催されたInternational Gas Turbine Congress®では、特に航空用エンジンを対象としたOSは企画されなかったが、ガスタービンに関する幅広い分野の研究発表が行われ、中でもタービンおよび圧縮機の空気力学、振動・騒音、フィルム冷却の熱伝達、燃焼器・燃焼現象、ターボチャージャーなどに関する研究が多く見られた。また、環境問題と二酸化炭素排出削減に向けた航空用エンジン開発における短期戦略と長期戦略を話題としたパネルディスカッションが開催されるなど、推進分野でも環境問題への関心が依然として高い状況にあると思われる。

[出典(1)~(6):各、資料3/P2011D346~D351参照]

# 第4章 平成23年度海外調查報告

#### 4. 1 調査目的

#### (1)調查目的

航空機等に関する、技術開発動向調査委員会にて調査課題として取り上げたテーマについての掘り下げ調査の一環として、海外調査を実施する。平成23年度の調査課題として抽出されたテーマは以下のとおりで、本掘り下げ調査として先進技術開発の進んでいる欧州の研究施設、大学、企業等を訪問先として検討する。

- ① 次世代及び将来民間航空機用エンジンの技術研究開発動向の実態調査
- ② 次世代航空機の技術研究開発動向と将来航空機用先端技術研究開発の実態調査 (可能であればSESAR構想の研究開発状況等についても調査)

#### (2)調査対象先の選定

調査目的に沿って欧州の主要研究機関、大学、企業等を検討し、以下を訪問先として選定した。

## Safran/SNECMA (Villaroche, France)

EU Framework 研究の SAGE 2 にて研究を進めている Open Rotor の研究開発実施状況と次世代エンジン Leap-X の開発状況、及び Safran グループ全体の航空機産業関連技術研究開発状況等を調査し、フランス及び欧州における将来航空機エンジンの技術研究動向・方向性等に関する Safran/SNECMA 社の見解を入手する。また、生産設備や試験設備等の視察と開発関係者との意見交換等を実施する。

# <u>DLR – German Aerospace Center (Cologne, Germany)</u>

DLR で実施している将来航空機関連技術のテーマ及び研究開発状況等を調査する。また、風洞設備を含む研究施設の視察や研究者との意見交換等により、ドイツ国内及び EU での将来航空機と最先端技術の研究開発動向を探る。更に可能ならば、ドイツにおける航空機関連技術の研究開発において政府研究機関が果たす役割、大学・企業との連携・協力体制等について調査する。

#### ENSMA - Ecole Nationale Superieure de Mecanique et d'Aerotechnique (Poitiers, France)

欧州での航空関連の大学教育及び大学での研究状況を調査する目的で、今回はフランスで燃焼関係の研究を多く実施している ENSMA を訪問し、産学連携の実施状況や研究テーマの動向、実施状況等を、研究者との意見交換や研究施設の視察を通して調査する。

# Airbus (Toulouse, France)

世界の2大航空機メーカーである Airbus 社を訪問し、次世代機の開発状況や将来の航空機と航空技術、それらの研究開発実施状況等について情報入手を図る。また、生産設備等の視察を実施する。

### Rolls-Royce plc. (Derby, UK)

次世代航空機用エンジンの開発状況と将来航空機用エンジン技術の研究開発状況を調査する。特に EU Framework 研究の SAGE 1 にて研究を進めている Open Rotor の研究開発実施状況及びその他の将来エンジン技術の研究開発状況と実施動向について情報入手を図る。また、生産設備等の視察を実施する。

#### 4. 2 調査結果概要

## (1) 日程・調査団メンバー

## 調査日程

H23.11.13(日):成田出発、Paris 到着

H23.11.14(月): Safran/Snecma 社(Villaroche)訪問、夕刻 Koeln に移動

H23.11.15(火): DLR 訪問。夕刻 Paris 経由 Poitiers に移動

H23.11.16(水): ENSMA 訪問、夕刻 Toulouse に移動

H23.11.17(木): Airbus 社訪問、夕刻 London 経由 Derby に移動

H23.11.18(金): Rolls-Royce 社訪問

H23.11.19~20日: London 経由、Frankfurt から帰国

H23.11.21(月):成田到着

# 調査団メンバー

戸田 勧 委員長(調査団長)、津江光洋 委員、野﨑 明 企画調査部長(事務局)

## (2) Safran/Snecma 社

パリから東南に車で約 1 時間 (約 50Km) の田園の中にある Safran グループの Snecma 社主力 Villaroche 工場を訪問し、航空エンジン関係の研究開発状況等を調査。 Snecma 社は従業員が 12,400 人、売上 42 億ユーロの航空エンジン及びロケットエンジン専業メーカで、民間機用エンジンの大半は GE との Collaboration による CFM56, CF6, GE90, GP7200 の量産エンジンが mainline。 CFM56 は 2010 年 12 月 31 日現在で 22,000 台以上を出荷し、 CFM56 の後継となる Leap-X1C エンジンを 2015 年の TC 取得を目標に開発中。また、 NPO Saturn 社(露)と PowerJet 社を設立し、 リジョナル機 Sukhoi Superjet 向け SaM146 エンジンを開発 (2011 年 5 月 EIS)。 その他、ビジネスジェット機用スラスト 9,500~12,000 Lb の Silvercrest エンジンを独自開発している。

研究開発は多岐に亙って実施しており、航空エンジン関係では Leap-X に適用すべ

く RTM ファン動翼( $\phi$ 70 ")の開発に注力すると共に、ACARE2020 SRA 及び ACARE2050 Vision に対し、CMC LPT/ Open Rotor Engine/ Innovative cycle engine(Variable/Intercooled/Regenerative cycle 及び Pulse detonation cycle/Hybrid PDE-turbine)等の研究テーマを  $2018\sim25$  年の開発プログラムへの Technology transfer に向けて研究開発している。Open Rotor については EU の SAGE 2 プログラムに積極的に参画しており、課題の騒音についても解決策はこれからと言った状況であるが、モデル試験・解析等はかなり進んでいるとの印象を受けた。また、グループ内ではエンジンとナセルの最適化や More Electrical Aircraft、最新 Landing Gear の研究開発等も実施している由。Safran グループ全体としての研究開発費は 2010 年度で 12 億ユーロ(売上の 11%)、関連する社員は全体の 20%を占め、2010年の特許出願数は 426 件とのこと。研究開発にも相当注力して実施している様子が伺えた。

最新の研究開発状況を聴取後、CFM56組立ラインにてGEから入荷の高圧コアモジュールを組み付ける状況等の説明とテストセルの案内、説明をしてくれたが、訪問時エンジン運転はしていなかった。その後Snecma Museum案内して貰い、Snecma発祥時の製品である航空用レシプロエンジンから歴代の量産ジェット/ファンエンジン、及びロケットエンジン、衛星用エンジン等の展示品についての説明を受けた。組立工場やテストセルは上手くアレンジされ、生産性は高いと感じられた。

#### (3) DLR, Koeln 本部

Koeln にある DLR 本部を訪問し、航空関係の最新研究開発状況を聴取した。DLR は設立が 1968 年で、研究予算は Operation を含めて 2010 年は 7 億 4500 万ユーロ。その内、航空関係は 2 億 1500 万ユーロで、研究予算の大半は宇宙関連が占めているが、新エネルギー関連の研究にも 5300 万ユーロを充当して太陽熱エネルギー発電等の研究を実施しているとのこと。

民間航空機関係は大きく4分野に分けられ、固定翼機関連が42%、エンジン関連が19%、ロータ機関連9%、新航空交通システム及び航空管制関連が30%を占めている。また、各種試験設備を有し、風洞に関しては DNW (Deutsch-Niederlaendische Windkanaele)傘下の10個所の風洞設備と、ETW (European Transonic Windtunnel)の遷音速風洞を持っている。最新の研究課題にはH2搭載燃料電池飛行機の実験機 (ANTARES H2)による研究や、軽量材生産技術センター (Center of Lightweight Production Techniques:約30人)を設立して複合材料の研究(特にCFRPの製造法)に注力 (EADS/Airbus 以外にBoeing とも研究実施)していること、などがある。共同研究先及びスポンサーとしては、Airbus, Eurocopter, MTU, Rolls-Royce, DFS, Lufthansa等、欧州内の航空関係企業が多く含まれており、EREAのメンバーとなってONERA, NLR等との共同研究も多く進めている。

長期研究 (2020~2050 年目標)テーマとしては、Alternative fuel (bio-fuel との混合; H2 燃料は機体側の理由から懐疑的)、New Engine Concept (Recuperative, Distributed

Engine)、Laminar Flow Concept (Hybrid Laminar Flow/SAC)を実施しているが、BWD (Blended Wing Body for Large Aircraft) や Supersonic/Hypersonic (Frankfurt~Sydney間を90分で結ぶ) については、余りやっていないとのこと。Combustion 関係は Lean pre-mix combustion により Low NOx and low CO2 Combustor (NOx は80%減、CO2 は50%減)を研究している。Open Rotor の開発に関しては、Airbus が2026年以降のA320の後継機への適用を考えている様であるが、騒音の問題については楽観視しておらず、2020年にはCFM56レベルには達するだろうが、それでは不十分だろうとの見解であった。Aeronautics 関係の研究統括リーダである Horst Hueners 氏から研究状況を聴取した後、推進技術研究所と材料研究所、及びETWの遷音速風洞設備を案内されたが、材料研究所ではDLRで開発したWHIPOX (Wound highly porous oxide composite) と名付けた高温セラミックマトリックス複合材について、試作品を示されながらの詳しい説明を受け、今後の実用化への意気込みを感じた。

## (4) ENSMA - Ecole Nationale Superieure de Mecanique et d'Aerotechnique

フランス Poitier 市にある ENSMA を訪問し、航空関係の教育・研究状況等を調査した。1948 年設立の ENSMA は 1993 年に Poitier 市郊外にあるテーマパーク Futuroscope に隣接した学術研究区域に移転し、企業と連携した実践教育と研究を積極的に推進して実績を上げているとのこと。特に研究部門を一つにして、「Institut P'(Pprime)」と称する研究専門の別組織を設立し、そこでは大学教育とは別の企業との共同研究に特化した研究活動だけを実施しており、研究員は教育には一切携わっていないとのこと。 Institut P'は正職員 330 人、パートを含め 540 人が勤務し、年間予算 2460 万ユーロの内、研究費は約 1000 万ユーロ。その半分の 500 万ユーロはパートナー企業からの資金であるとのこと (最大は Snecma の 1.4M ユーロ)。 研究組織は ①Physics&Material (研究員 112), ②Fluides/Thermique/Combustion (182), ③General Mechanics and Structures & System Complexes (36) の 3 部門で構成され、②の部門で Supersonic & Transonic、Plasma、Laser、Non-premix flames、Electro-Fluid Dynamics 等の航空推進系・燃焼系の多岐に亙るテーマに関する研究を実施している。なお、Detonation の研究に関してはフランス唯一の Lab.であるとのこと。

研究状況等を聴取した後、大学構内の研究設備(Detnation 試験装置他)及びジェット推進研究施設(Martel facility)等にて研究設備と実施している研究内容についての説明を受け参考になった。

#### (5) Airbus S.A.S

Toulouse にある Airbus 本社を訪問し、Airbus の現状と将来機に向けた研究開発状況 を調査した。最初に Airbus 社の概況が説明され、Airbus 社の 2010 年の業績及び 2011 年の受注状況は好調で 2010 年は 510 機売上げ、2011 年 10 月末現在の受注は A320neo の旺盛な受注に牽引されて 1372 機を数えている。今年 10 月末現在の売上も 418 機を

超え、年度としては 530 機程度になるとのこと。また、A330 は Boeing 787 の開発が決定された後も 700 機以上を受注し、現在迄に 1178 機の確定受注を得ている。一方、A380 の受注は 238 機になり、生産レートの引き上げが課題。A350 XWB の開発は多少遅れているが 2014 年 EIS は変わっていないとのこと。今後のサプライチェーンについては EU に拘ることは決して無く、①Market Access、②Cost Competitiveness、③Risk、④Access to Resources を総合的に検討して、Strategic Countries を選定して行く方針であるとのこと。

将来機に向けた技術研究開発は ACARE の目標値、Emissions/ Green Manufacturing/ Recycling を課題として研究に取り組んでいる。具体的には、Swept wing technology (Normal/Hybrid Laminar Flow), Simulation methods, Alternative fuel 等の研究を実施しているが、H2 fuel に関しては Huge tank と危険性の risk から実現は懐疑的である。複合材の採用に関して、A350 XWB では 53%が複合材となっているが、Single Isle 機での複合材は、生産レートの問題もあり、考えていない。また、複合材に関しては製造法だけでなく、設計的な課題も多いと考えている。

研究開発状況等を聴取した後で、A380 の組立工場にて A380 の生産状況の説明を受けた。訪問当日で生産レートは月産 2.44 機とのこと。また、組立リードタイムは、Working day で組立自体に 8 日、各種試験に 30 日とのこと。工場内は A380 を同時に 4 機組立て、6 機同時に試験を実施するスペースが取ってあり、現リードタイムにて月産 3 機(年産 36 機)まで Toulouse 工場で生産レートを上げることは可能な模様。

#### (6) Rolls-Royce plc.

Derby にある Rolls-Royce 社を訪問し、エンジンの研究開発状況を調査した。 Snecma 社と同様に各種の将来エンジン技術の研究開発に取り組んでいることの説明 を受けたが、Open Rotor (SAGE 1)に関しては (機体側の計画遅れもあり) 研究計画を 遅らせているとの説明があった。また、Open Rotor に関しては、Puller と Pusher のど ちらになるかは現段階で確定しておらず、両形態の研究を進めているとのことであった。

具体的な研究開発テーマとして、<u>Comprehensive technology demonstrator</u>の研究開発の 実施等の説明があった。

- Core technology: E3E-2 shaft (in Germany), E3E-3 shaft (in UK)
- ・Core test: Advance 2 core test continuing; Advance 3 first core test 4Q2011 in Bristol これら Core の開発と同時に <u>Lean burn system demo.</u> (ALECSYS: Trent 1000 エンジンで 2014 年に実施) や <u>Light weight composite fan system</u>、<u>CMC</u>、<u>Cooled cooling air system</u> (2 banks of HEX の採用: Inter-cooling technology に繋がる) 等の研究開発を進めている との説明を受けた。

また、Rolls-Royce は将来エンジンとしての Potential Game Changer として、次の 6 項の研究を進めているとのこと。

- ① Open Rotor
- ② Advanced Cycles
- ③ Pressure Gain Combustion (Cambridge 大と共同研究実施)
- 4 Engine-Airframe Optimization (EADS labs)
- 5 Integrated Electrical Systems
- ⑥ Adaptive Cycles

なお、Rolls-Royce 社の研究開発費は、年間約£7~800M (製品開発費を除く)とのこと。 研究開発状況の説明を受けた後に Rolls-Royce Museum と Test Engine 工場にある Trent XWB を見学させてくれた。 Test Engine 工場には、試験実施後の Trent XWB エンジンが 1 台置いてあったが、既にファンは取卸され検査に回されていた。 これまでの Trent エンジンからの大きな変更として、 XWB エンジンでは初めて Fan Casing を複合材化し、2 段 IPT を採用している。 また、 XWB エンジンは Trent シリーズでは最大の出力になることから、 Rolls-Royce 社も注力して開発に当たっている様子であった。

#### 4. 3 訪問先面会者一覧

## Safran/Snecma 社

Alain Coutrot, Vice President – Research & Technology, R&T Direction, Safran Vincent Garnier, Research and Technology Vice President

Nam Tran, VP International Sales Asia Pacific
Olivier Longeville, VP Products Strategy & Market

Jerome Gregoire, Public Relation Manager

#### DLR - Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt e.V.

Horst Hueners, Program Director - Program Directorate Aeronautics

- Dr. Christoph Becker, Head of Main Department Strategy and International Relations
- Dr. Thomas Weissenberg, Head of Department International Relations
- Dr. Thorsten Nix, International Cooperation Strategy and International Relations
- Dr. Stefan Reh, Dept. Director of Inst. Metallic Structures & Hybrid Material Systems
- Dr. Guido Dietz, Managing Director ETW GmbH (European Transonic Windtunnel)

Dieter Schimanski, Manager Tests & Operations ETW GmbH

## ENSMA - Ecole Nationale Superieure de Mecanique et d'Aerotechnique

Denis Lemonnier, Dept. Head ISAE (Institut Superieur de l'Aeronautique et de l'Espace) Jean-Paul Bonnet, Directeur Institut P'

Marc Bellenoue, Professor Institut P'

Tadashi Kageyama, Professor Emeritus

# Airbus S.A.S.

Luis Nobre, Head of International Cooperation, North East Asia – Airbus Strategy and Future Programmes

Dale King, Senior Manager - R&T Partnerships & Co-operation

# Rolls-Royce plc.

Peter D. Price, Director of Engineering and Technology – Civil Aerospace Alan Newby, Chief Engineer – Civil Future Programmes Andy Fry, Head of Supply Chain Strategy – Civil

## 第5章 まとめ

#### 5. 1 今後の調査課題

(1) 平成23年度の技術研究開発動向調査結果を纏めると、3年以上遅れていたボーイング社の787型機の型式承認(TC)取得と就航開始、および、同様に開発が1、2年遅れていた747-8F/I型機の型式承認(TC)取得が相次いでなされたことと、世界中で就航している民間航空機の半数以上を占めるA320型シリーズ機と737型機がいずれも最新型エンジンを搭載するエンジン換装型派生機の開発に踏み切ったこと(A320neo型機及び737MAX型機)が主要動向のトップに挙げられる。特にA320neo型機と737MAX型機の正式開発決定は、A320型機と737型機の新設計型後継機の開発が2025年以降の出現に先延ばしされてことを意味しており、また、これに伴う次世代中小型民間機用エンジン開発についても、先行しているP&W社のGeared Turbo Fan (GTF)とGE社のLeap-Xエンジンの開発に拍車がかかると共に、R-R社が進めている先進二軸/三軸ファンエンジンや欧米で別個に実施しているオープン・ローターには、開発計画の見直しと修正が迫られることになった。

787 型機と同様に複合材を多用している、エアバス社の次期先進航空機 A350XWB 型機の開発プログラムは、787 型機と同様な問題から遅れが顕著となり、2013 年の初飛行試験と就航は数ヶ月遅れの状況となっている。

今年度の調査期間において、ボーイング社とエアバス社は開発ローンチした A320neo型機と737MAX型機の受注ラッシュに引っ張られて記録的な受注を達成したが、これらは高騰した燃料価格の高止まりと環境に配慮したグリーンテクノロジーが運航、製造両面の航空機産業にしっかりと根付いたことの表れと考えられる。

- (2) このような状況から、機体および装備品の技術研究開発動向として、環境技術、機体構造、機体システムを含め、次のような項目が今後の調査課題として重要となる。
  - ・次世代中小型民間輸送機の開発動向(A350XWB, A320neo, 737MAX)
  - ・次世代中大型民間輸送機の開発動向(777-X等)
  - ・二大メーカ以外による小型機、次期リージョナル機、ビジネス機の開発動向 (C-Series, MRJ, ARJ100, MC20, COMAC919等)
  - ・機体の高効率化、騒音低減技術の研究開発動向
  - ・対環境技術 (脱クロム等) の技術動向
  - ・高強度プリプレグ複合材の動向
  - ・低コスト複合材(RTM: Resin Transfer Molding 等)の技術動向
  - 熱可塑複合材の動向
  - ・EME(Electro Magnetic Effect)対応技術の動向

- ・高強度アルミ合金 (Al-Li 合金等) の開発動向
- ・その他先進金属材料(Mg合金、チタン合金等)の開発動向
- ・ 先進操縦システム (軽量化、安全性向上等) の動向
- モジュラーアビオニックスの動向
- ・More Electric (アクチュエータ、防氷システム、空調システム等) 技術の動向
- ・光ネットワーク技術(データ処理、Wire Harness 等)の動向
- ・燃料電池等の電気システム技術の動向
- (3) 今年度の調査対象期間中に、A320neo 型機の開発ローンチを追うようにして、 737MAX 型機の正式開発が決定したことにより、次世代航空エンジンの開発は中小型 民間輸送機用エンジンが先陣となって開発が進められるものと予想され、その成否が 将来エンジンの開発計画全体に及ぼす影響が非常に大きいと考えられる。

このような状況も踏まえて、エンジンに関する今後の調査課題として以下を重点的に 掘り下げ調査することが必要である。

- ・次世代中小型民間輸送機用エンジン開発の動向(GTF、Leap-X、他)
- ・セラミックス基複合材 (CMC) の開発動向
- ・炭化ケイ素繊維複合材の開発動向
- ・エンジン及びナセルの騒音低減化関連技術の開発動向
- ・熱可塑複合材を含む炭素繊維複合材のエンジンへの適用拡大(軽量で高効率な低圧 系システム関連技術等)
- ・環境適合性向上に資するための先進燃焼システム関連技術の開発動向
- ・その他熱効率の向上に資する先進機械要素関連のエンジン技術開発動向
- ・その他エンジン高効率化、CO2/NOx低減、騒音低減技術の開発動向
- ・オープンローターの研究開発動向(革新的なファンローター駆動システム関連技術の開発動向)
- (4) 運行支援、安全性証明、標準化・スタンダードの整備に関するものとしては、次のような項目が調査課題となる。
  - ・NextGen、SESAR、CARATS 各プログラムの進捗状況と相互調整状況、及び目標 値達成に向けた高度航空管制システム技術の開発動向
  - ・先進航空交通システム (ATM)、航法システムの開発動向
  - ・先進運行支援システム技術、情報ネットワーク技術の開発動向
  - ・安全運航、自動操縦システムの開発動向
  - ・RFID等のプロセス管理技術の動向
  - ・型式証明(TC)に係わる標準・スタンダード等の変更を含む規則改正の動向
  - ・Virtual Testing 技術(モデリング・シミュレーション)の動向

### 5. 2 平成23年度調査のまとめ

財団法人航空機国際共同開発促進基金は、平成21年度下期から、外部の航空機等に関する専門家等から成る「技術開発動向調査委員会」を設置し、調査対象期間における航空機等の技術開発動向等に関わる情報を収集し、分析した上、必要に応じて将来展望等を含めて報告書を編纂する事業を開始した。

平成23年度は昨年度に引き続き、年間を通した対象期間において、航空機等に関する技術開発動向について広く情報を集め分析する委員会活動を実施し、調査課題に対する世界的な技術研究開発動向について取り纏めることができた。また、次世代民間航空機や将来機の研究開発動向、次世代民間輸送機用エンジンの開発動向等について、最新技術研究開発を実施している欧州の研究機関(DLR)、大学(ENSMA)、製造企業(Safran/SNECMA、Rolls-Royce、Airbus)を訪れ、実地調査する機会を得て、有益な最新情報を入手することができたことは大きな成果であった。

これらの調査結果を取り纏め編纂した本報告書が、我が国の航空機等の国際共同開発の促進と航空機産業の発展に貢献することができれば、幸いである。

資料1 関係省庁の刊行物リスト(平成23年1月~平成23年12月)

資料番号	標題
P 2011 D 001	経済産業省産業構造審議会総会(第11回)議事要旨
	( <a href="http://www.meti.go.jp/committee/summary/eic0009/011_giji.html">http://www.meti.go.jp/committee/summary/eic0009/011_giji.html</a> )
P2011D002	経済産業省産業構造審議会総会(第11回)配布資料
	( <a href="http://www.meti.go.jp/committee/summary/eic0009/011_haifu.html">http://www.meti.go.jp/committee/summary/eic0009/011_haifu.html</a> )
P 2011 D 003	国土交通省第 1 回航空政策懇談会議事概要·配布資料
	( http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk19_000004.html )
P 2011 D 004	経済産業省航空機用先進システム基盤技術開発(2)先進パイロット支援システム
(]	http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100325b05j08.pdf)
P2011D005	国土交通省「第1回将来の航空交通システムに関する推進協議会」
	( http://www.mlit.go.jp/koku/koku fr13 000007.html )
P 2011 D 006	内閣府 平成 23 年交通安全白書
	( http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h23kou_haku/index_pdf.html )
P2011D007	文部科学省 航空科学技術委員会(第35回) 2011年1月31日
( http://www.mext.go.jp/b menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/004/gijiroku/1302682.htm )	
P 2011 D 008	文部科学省 航空科学技術委員会(第36回) 2011年9月7日
( <u>http://w</u>	ww.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/004/gijiroku/1311878.htm)

# 資料2 関係団体の刊行物リスト(平成23年1月~平成23年12月)

資料番号	標題
P 2011 D 101	日本航空宇宙工業会会報 2011.12 月号 (No. 696) pp.35-37
P 2011 D 102	IADF 資料 23 航企 0210 第 1 号 日経産業新聞フォーラム 2012「日本企業の本
格的グローバル化に向けて~ビジネスジェットの果たす役割~」参加報告, H24.2.9	
P 2011 D 103	SJAC 平成 22 年度委託研究成果発表会参加報告、IADF 23 航企 0706 第 1 号
P 2011 D 104	H22 年度革新航空機技術開発センター委託研究成果報告書 (H23 年 3 月社団
	法人日本航空宇宙工業会)
P 2011 D 105	航空機業界動向情報「次世代(将来型)新型航空機の開発特集(平成 23
	年 11 月)」 IADF 23 航企 1107 第 1 号
P 2011 D 106	IADF 航空機等に関する解説概要 23-1「航空機運航への気象情報の活用」
	( http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H22 dokojyoho/23-1.pdf )
P 2011 D 107	IADF 航空機等に関する解説概要 23-2「複合材の航空機適用への課題と国際競
	争力強化」
	( http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H22_dokojyoho/23-2.pdf )
P 2011 D 108	IADF 航空機等に関する解説概要 23-3「エアラインが望む飛行機~売れる飛行
	機と売れない飛行機~」
	( http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H22_dokojyoho/23-3.pdf )
P 2011 D 109	IADF 航空機等に関する解説概要 23-3-1「パイロットの訓練・審査の概要」
	( http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H22_dokojyoho/23-3-1.pdf)
P 2011 D 110	IADF 航空機等に関する解説概要 23-4「複合材構造ヘルスモニタリング技術の
	実用化の現状と課題」
	( http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H22_dokojyoho/23-4.pdf )
P 2011 D 111	IADF 航空機等に関する解説概要 23-5「エコな航空機を実現するための空力技
	術」
	( http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H22_dokojyoho/23-5.pdf )
P 2011 D 112	IADF 航空機等に関する解説概要 23-6「日本における小型無人機の利用概況」
	( http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H22_dokojyoho/23-6.pdf )

**資料3** 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト (平成23年1月~平成23年12月)

資料番号	標題
P 2011 D 201	Aviation Week & Space Technology, Aug 15, 2011, pp.45-46
P 2011 D 202	Seattle Times, 2012年1月19日
P 2011 D 203	Boeing Frontier, 2011 年 9 月 号
P 2011 D 204	Flight Global, 2012 年 1 月 19 日
P 2011 D 205	Flight Global, 2012 年 1 月 11 日
P 2011 D 206	Flight Global, 2012 年 1 月 20 日
P2011D207	Flight Global, 2011 年 8 月 24 日
P2011D208	Flight Global, 2011 年 5 月 11 日
P2011D209	Flight Global, 2011 年 6 月 23 日
P 2011 D 210	Flight Global, 2011 年 8 月 22 日
P 2011 D 211	Flight Global,2011年8月23日
P 2011 D 212	Flight Global, 2011 年 8 月 30 日
P 2011 D 213	Flight Global, 2011 年 9 月 6 日
P 2011 D 214	Flight Global, 2011 年 9 月 20 日
P2011D215	Flight Global, 2011 年 11 月 7 日
P2011D216	Flight Global, 2011 年 11 月 10 日
P2011D217	Flight Global, 2011 年 11 月 21 日
P2011D218	Flight Global, 2011 年 11 月 15 日
P2011D219	Flight Global, 2012 年 1 月 17 日
P2011D220	Aviation Week & Space Technology, 2011 年 1 月 23 日
P2011D221	Aviation Week& Space Technology, 2011 年 2 月 21 日
P2011D222	Aviation Week& Space Technology, 2011 年 6 月 27 日
P 2011 D 223	Aviation Week& Space Technology, 2011 年 8 月 24 日
P2011D224	Aviation Week& Space Technology, 2011 年 9 月 12 日
P2011D225	Aviation Week & Space Technology, 2011 年 10 月 24 日
P 2011 D 226	Aviation Week& Space Technology, 2011 年 11 月 15 日
P2011D227	Aviation Week& Space Technology, 2011 年 12 月 19 日
P 2011 D 228	Aviation Week & Space Technology, 2012 年 1 月 6 日
P 2011 D 229	Aviation Week& Space Technology, 2012 年 1 月 23 日
P 2011 D 230	ロイター, 2011 年 12 月 22 日
P 2011 D 231	ロイター, 2012 年 1 月 6 日
P 2011 D 232	ロイター, 2012 年 1 月 26 日
P 2011 D 233	Bloomberg, 2011 年 3 月 2 日
P 2011 D 234	Bloomberg, 2011 年 10 月 25 日
P2011D235	Wall Street Journal, 2012 年 1 月 6 日

資料番号          標      題	
P 2011 D 236 Flight International, 2011 年 12 月 19 日	
P 2011 D 237 Flight International, 2012 年 1 月 4 日	
P 2011 D 238 Flightglobal 20 December, 2011 (http://www.flightglobal.com/n	ews/
articles/narrowbody-engines-makers-mark-the-way-in-2012-3658	<u>805/</u> )
P 2011 D 239 Flightglobal 15 December, 2011 (http://www.flightglobal.com/n	iews/
articles/jetblue-puts-pw-back-into-lead-for-a320neo-engines-3660	<u>)55/</u> )
P 2011 D 240 Flight International 25-31 October, 2011	
P 2011 D 241 Flight International 15-21 November, 2011	
P 2011 D 242 Aviation Week & Space Technology, June 27, 2011	
P 2011 D 243 Cleansky HP ( http://www.cleansky.eu/)	
P 2011 D 244 Flightglobal 14 March, 2011 (http://www.flightglobal.com/news	s/articles/
us-engine-makers-gear-up-for-2025-and-beyond-354207/)	
P 2011 D 245 Aviation Week & Space Technology July 18/25, 2011	
P 2011 D 246 Flightglobal 15 November 2011 ( http://www.flightglobal.com/new	s/articles/
us-engine-makers-gear-up-for-2025-and-beyond-354207/)	
P 2011 D 247 Flight International 21-27 June, 2011	
P 2011 D 248 Flightglobal 28 November, 2011 (http://www.flightglobal.com/new	s/articles/
analysis-why-embraers-narrowbody-call-could-be-smart-move-3652	<u>05/</u> )
P 2011 D 249 Aviation Week & Space Technology October 17, 2011	
P 2011 D 250 Boeing 2007 Future Aircraft Power Systems- Integration Challenge	$\mathbf{s}$
( http://www.ece.cmu.edu/~electriconf/2008/PDFs/Karimi.pdf )	
P2011D251 GE Aviation Systems, Electric power technologies for all electric airc	craft
(http://www.geaviation.com/systems/products-and-services/pdf/Elect	ric power
technologies.pdf)	
P 2011 D 252 National Institute for Aviation Research (NIAR), Overview of Comp	osite
Material Trends in Aviation Manufacturing	
(http://webfiles.wichita.edu/cedbr/WIRED comp ov 5 14 08.pdf)	
P 2011 D 253 reuters, 2011/9/22 他	
(http://www.reuters.com/article/2011/09/22/us-goodrich-unitedtechnome	ologies-id
<u>USTRE78L06X20110922</u> )	
P2011D254 Flight Global, 2011年5月31日	
P2011D255 Flight Global, 2011年7月26日	
P2011D256 Flight Global, 2011年8月9日	
P 2011 D 257 Flight Global, 2011 年 10 月 17 日	
P 2011 D 258 Flight Global, 2011 年 10 月 27 日	
P2011D259 Flight Global, 2011年11月16日	

 資料番号	
P 2011 D 260	Flight Global,2011年11月24日
P 2011 D 261	Flight International, 2011年1月18日
P 2011 D 262	Aviation Week & Space Technology, 2011年7月18日
P 2011 D 263	Aviation Daily,2011年9月26日
P 2011 D 264	New Scientist, 2011年6月13日
P2011D265	Flightglobal/Insight "Special Report - Commercial Engines 2011"
P 2011 D 266	(intentionally blank)
P2011D267	(intentionally blank)
P2011D268	(intentionally blank)
P2011D269	(intentionally blank)
P 2011 D 270	(intentionally blank)
P 2011 D 271	(intentionally blank)
P 2011 D 272	(intentionally blank)
P 2011 D 273	(intentionally blank)
P 2011 D 274	(intentionally blank)
P 2011 D 275	(intentionally blank)
P 2011 D 276	(intentionally blank)
P 2011 D 277	$CFMI \not t HP (\underline{http://www.cfm56.com/press/news/full-scale+leap+fan+blade-out})$
+rig+test+yi	elds+outstanding+results+advanced+leap+fan+endurance+test+complete/633)
P 2011 D 278	Flightglobal 14 March, 2011 (http://www.flightglobal.com/news/
	articles/rolls-royce-details-next-generation-engine-studies-354205/)
P 2011 D 279	Flightglobal 27 September, 2011 (http://www.flightglobal.com/news/
	articles/rolls-royce-comes-full-circle-362251/)
P 2011 D 280	Flightglobal 17 November, 2011 (http://www.flightglobal.com/news/
	articles/general-electric-primes-cmc-for-turbine-blades-349834/)
P 2011 D 281	中村「高温用非金属材料の技術動向」日本GT学会誌 38 (3), 140-145, 2010-05-20
P 2011 D 282	Martin M. D'Angelo (GE), et al., N+3 Small Commercial Efficient and Quiet
	Transportation for Year 2030-2035, NASA/CR-2010-216691
P 2011 D 283	E.M. Greitzer (MIT), et al., N+3 Aircraft Concept Designs and Trade Studies,
	Final Report Volume 1/2, NASA/CR—2010-216794/VOL1, VOL2
P 2011 D 284	Sam Bruner (Northrop Grumman Corporation), NASA N+3 Subsonic Fixed
	Wing Silent Efficient Low-Emissions Commercial Transport (SELECT)
	Vehicle Study Revision A, NASA/CR—2010-216798
P 2011 D 285	Marty K. Bradley (Boeing), et al., Subsonic Ultra Green Aircraft Research:
	Phase I Final Report, NASA/CR-2011-216847

P 2011 D 286 第 49 回飛行機シンポジウム講演集 (Proceedings of the 48th Aircraft Sympo-
sium), 2011.10.26~10.28,石川県金沢歌劇座
P 2011 D 287 NASA, Aviation Safety Program, Aircraft Aging & Durability Project, Technic
cal Plan Summary (http://www.aeronautics.nasa.gov/nra_pdf/aad_technical_plan_c1.pdf
P 2011 D 288 NASA, IIFD、http://www.aeronautics.nasa.gov/avsafe/iifd/
P 2011 D 289 NASA, FAA, Next Generation Air Transportation System (NextGen), Human
factors Research Coordination Plan
( http://www.jpdo.gov/library/20110224_FAA_NASA_HFRCP.pdf )
P 2011 D 290 European Union Framework Programme FP7 Aeronautics & Air Transport
Safety Research & Policy, Directorate 'Transport' Unit 'Aeronautics'
Directorate-General for Research and Innovation, European Commission
(http://www.airtn.eu/documents/AirTN/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Presentations/Safety%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20Forum%20F
<u>fety-Research-Policy-FP7-Pablo-Perez-Illana-9Nov.pdf</u> )
P 2011 D 291 Aeronautics and Air Transport Research 7th Framework Programme 2007-
2013, Project Synopses - Volume 1
( http://ec.europa.eu/research/transport/pdf/project_synopses_en.pdf )
P 2011 D 292 ODICIS Project Overview, One DIsplay for a Cockpit Interactive Solution
( https://www.odicis.org/files/file download.php/ODICIS project overview p
$\underline{\text{esentation.pdf?FileID=5}})$
P 2011 D 293 Marivent Corporation
P 2011 D 294 NASA Human Performance Modeling of Synthetic Vision System Use
(http://humanfactors.arc.nasa.gov/ihi/hcsl/publications/SJSU SVSFinal 04.pdf)
P2011D295 Safer コンソーシアム資料
P 2011 D 296 Eurocarbon
P 2011 D 297 FAA: NextGen Implementation Plan, March 2011.
P 2011 D 298 SESAR Joint Undertaking: SESAR Release 2011.
P 2011 D 299 Pinon, O. J., Mavris, D. N., and Garcia, E.: Harmonizing European and
American Aviation Modernization Efforts through Visual Analytics, Journal of
Aircraft, Vol. 48, No. 5, 2011, pp. 1482-1494.
P 2011 D 300 SESAR Joint Undertaking: SESAR JU and FAA work on SWIM
compatibility, News & Press, January, 2010.
P2011D301 小杉正一: CARATS ロードマップ, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)
P 2011 D 302 小杉正一: CARATS 産学官に求められる役割, 第 49 回飛行機シンポジウム,
(2011)
P 2011D 303 小杉正一: CARATS 代表的な施策例, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)

資料番号 標 題

- P2011D304 小野剛,福島荘之介,齊藤真二,吉原貴之,斎藤享,藤田征吾,野崎豊,岩崎隆一郎,鈴木和史: 地上型衛星航法補強システム (GBAS) のシステム設計,第49回飛行機シンポジウム,(2011)
- P2011D305 伊藤正宏、福島荘之介、齊藤真二、藤田征吾、樋上一誠、森岡日出男、長井丈宣、 袴田健一: 関西空港における B787 を用いた GBAS プロトタイプの飛行実験、第 49 回飛行機シンポジウム、(2011)
- P2011D306 宮崎裕己,上田栄輔,角張泰之,二瓶子朗,島田浩樹,古賀禎: 広域マルチラテレーションの評価試験,電子航法研究所研究発表会、(2011)
- P 2011 D 307 http://www.ard.jaxa.jp/research/hikou/hi-plane.html
- P2011D308 上田栄輔, 宮崎裕己, 角張泰之, 二瓶子朗, 古賀禎: 空港面監視用マルチラテレーションシステムについて, 電子航法研究所研究発表会, (2011)
- P 2011 D 309 <a href="http://www.ard.jaxa.jp/research/hikou/hi-plane.html">http://www.ard.jaxa.jp/research/hikou/hi-plane.html</a>
- P 2011 D 310 成岡優: 飛行特性取得のための飛行データ自動抽出方法, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)
- P 2011 D 311 鈴木真二: 大震災に対する空の役割と課題、 http://aviation.u-tokyo.ac.jp/eventcopy/desasterandaviation.pdf
- P 2011 D 312 フォーラム「大規模災害における航空宇宙技術の役割と課題」, 航空会館, 2011 年 9 月 27 日
- P 2011 D 313 パネル講演: 震災における航空宇宙科学技術の役割と課題, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)
- P2011D314 大津山卓哉,小瀬木滋,塩地誠,三垣充彦:拡張スキッタによる交通情報配信の 開発と評価,電子航法研究所研究発表会,(2011)
- P 2011 D 315 小林啓二, 奥野善則: 災害救援航空機情報共有ネットワーク (D-NET) の研究開発 -機上システムの開発-, 第49回飛行機シンポジウム, (2011)
- P 2011 D 317 <a href="http://www.ga-asi.com/">http://www.ga-asi.com/</a>
- $P\,2011\,D\,318 \quad https://commerce.honeywell.com/webapp/wcs/stores/servlet/NECategoryDisp\\ lay?catalogId=10251\&storeId=10651\&categoryId=53439\&langId=-1\\$
- P 2011 D 319 鈴木弘人: 無人へりによる火山観測技術の紹介, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)
- P2011D320 富田茂,北川一敬:回転翼型災害探査用無人機の飛行システムの研究開発,第49 回飛行機シンポジウム,(2011)
- P 2011 D 321 <a href="http://www.fuji-imvac.co.jp/uav.htm">http://www.fuji-imvac.co.jp/uav.htm</a>
- P 2011 D 322 田辺誠治: 災害時における無人機の運用, 第49回飛行機シンポジウム, (2011)
- P 2011 D 323 <a href="http://www.apg.jaxa.jp/research/mujinkimirai/mm-index.html">http://www.apg.jaxa.jp/research/mujinkimirai/mm-index.html</a>

資料番号 標 題

- P 2011 D 324 <a href="http://www.ard.jaxa.jp/research/hikou/hi-mujinki.html">http://www.ard.jaxa.jp/research/hikou/hi-mujinki.html</a>
- P2011D325 東大と富士重工業、機体破損後の航空機の自動飛行実験に成功,東京大学大学院工学系研究科プレスリリース, http://www.t.u-tokyo.ac.jp/tpage/release/2011/060703.html
- P 2011 D 326 フォーラム「大規模災害における航空宇宙技術の役割と課題」, 航空会館, 2011 年 9 月 27 日
- P 2011 D 327 パネル講演: 震災における航空宇宙科学技術の役割と課題, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)
- P2011D328 酒井和也,熊田貴之,松野宣幸,土屋武司,柄沢研冶,鈴木真二,鈴木太郎,橋詰 匠:海岸調査における飛行ロボットの活用事例,第49回飛行機シンポジウム,(2011)
- P 2011 D 329 http://uav.xenocross.net/ppg2kusatu.html
- P 2011 D 330 <a href="http://www.juav.org/menu02/anzen.html">http://www.juav.org/menu02/anzen.html</a>
- P 2011 D 331 ICAO: ICAO Circular 328, Unmanned Aircraft Systems (UAS), ICAO Publications, 2011
- P 2011 D 332 柳田晃, 森田博和, 金井隆幸, 鈴木真二: 先進パイロット支援システム研究開発 1~プログラム概要, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)
- P2011D333 小林直貴,小川春陽,神園仁志,李家賢一,浅川正行:先進パイロット支援システム研究開発2~耐故障飛行制御システムー空力特性計測(第2報),第49回飛行機シンポジウム、(2011)
- P2011D334 吉田圭佑,小杉幸寛,横関智弘,青木隆平,成岡優,日野琢磨,辻本翼,坂口爆,森本明,土屋武司,鈴木真二,高橋則之:先進パイロット支援システム研究開発3~ 耐故障飛行制御システム-機体システム製作,第49回飛行機シンポジウム,(2011)
- P2011D335 佐藤維大,板橋直亮,宮路浩一,高木一寿,橋本良,土屋武司,鈴木真二:先進パイロット支援システム研究開発4~耐故障飛行制御システムー制御システム,飛行試験,第49回飛行機シンポジウム,(2011)
- P2011D336 梅沢翔, 笹本貴宏, 石川忠, 河野充, 林口寛之, 西孝裕樹, 山根章弘: 先進パイロット支援システム研究開発5~知的操縦支援システム, 第49回飛行機シンポジウム, (2011)
- P 2011 D 337 佐藤昌之, 増位和也: 先進パイロット支援システム研究開発 6 ~ 突風軽減制御システム, 第 49 回飛行機シンポジウム, (2011)
- P2011D338 土屋武司,吉田匡志, 沢島史弥, 増位和也: 先進パイロット支援システム研究開発7〜突風回避制御システム,第49回飛行機シンポジウム,(2011)
- P 2011 D 339 電子航法研究所研究発表会(第 11 回平成 23 年 6 月) (http://www.enri.go.jp/report/hapichi/dkh11.htm)
- P 2011 D 340 第 49 回飛行機シンポジウム講演集 (Proceedings of the 49th Aircraft Symposium), 2011.10.26~28, 石川県金沢歌劇座

( http://www.jsass.or.jp/rotcom/program20111007.pdf )

資料番号	標題
P 2011 D 341	JAXA 第2回航空プログラムシンポジウム
	( http://www.apg.jaxa.jp/publication/event/2011/110908.html )
P 2011 D 342	JAXA 第2回航空プログラムシンポジウム前刷集
P 2011 D 343	(社) 日本航空宇宙学会第 42 期通常総会及び講演会
	( http://www.jsass.or.jp/web/modules/wordpress/attach/42_0407.pdf)
P 2011 D 344	第 43 回流体力学講演会(FDC)/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウ
	ム 2011 ( <u>http://www.jsass.or.jp/aerocom/ryu/ryu43/43_program.pdf</u> )
P 2011 D 345	第 53 回構造強度に関する講演会、H23.7.27-29、秋田市
	( http://www.jsass.or.jp/strcom/strcom43/53programf3.pdf )
P 2011 D 346	AeroacousticsFinalMatrixIndex.pdf
P 2011 D 347	FluidsMatrixIndexIP.pdf
P 2011 D 348	ASMFinalMatrixIP.pdf
P 2011 D 349	SDMMatrixFp.pdf
P 2011 D 350	AIAA-MATIO11_Program_Matrix_NEW.pdf
P 2011 D 351	International Gas Turbine Congress 2011 Osaka, Nov 13-18, 2011
( ]	http://www-tran.mech.eng.osaka-u.ac.jp/igtc11/Program_Oct27_2011.pdf)