

航空分野における「安全・安心」の向上を目指して



人および物資の輸送手段としての今日の航空機の発展は、安全性向上への長年のたゆみない挑戦を抜きに語ることはできません。航空機事故は人的、経済的、社会的に非常に大きなインパクトを与えるため、ほかの主要な輸送手段である鉄道、自動車、船舶以上に安全性の確保が重要視され、それが乗客の安心につながります。ここでは、航空機に関する安全性向上の必要性と課題を最初に述べ、次に安全性向上に向けた個別の技術的な取り組みを宇宙航空研究開発機構（JAXA）における研究活動を通じて紹介します。

航空分野の安全性向上の必要性と課題

航空機は故障や損傷があってもその場で停止することができないという点が、ほかの輸送手段との根本的な違いといえます。そのため、旅客機では、1時間の飛行当たりの致命的な故障確率が 10^{-9} 以下であることが要求されるなど、数百項目にわたる最低限の基準（耐空性基準）が国の航空法施行規則により定められ、その基準を満足した航空機しか飛行することができません。その安全性を保証するための手続きとして、耐空性基準への適合性検査に基づく、機種ごとの型式証明制度、機体ごとの耐空証明制度が航空法によって定められています。このような安全性の保証があって初めて、乗客の安心が確保され、航空機が人を運ぶ輸送手段として成立します。一方、この基準を満足していても、航空需要が増加し、総飛行時間が増えれば、必然的に事故数は増加することになります。よって、今後20年で航空輸送需要が2倍以上に増加すると予測されているな

か、安全性の向上は継続的に挑戦しなければならぬ課題です。

航空機の安全性は、設計、製造、整備、運航のすべてのフェーズにおいて、航空機だけでなく空港、管制などのインフラも含めて安全性が保証されることによって最終的に確保されます。以下で、航空機の安全上重要な技術課題のうち、航空機構造、気象影響、運航方法の3点について課題の詳細とその

具体的な解決策をJAXAにおける研究を中心に紹介します。

航空分野の安全性向上技術とJAXAの取り組み

1. 航空機構造に関する安全技術

a. 安全性の証明方法

航空機の構造は、軽量化と強度の両立が不可欠となります。安全性を確保したうえでこれらを達成するために、

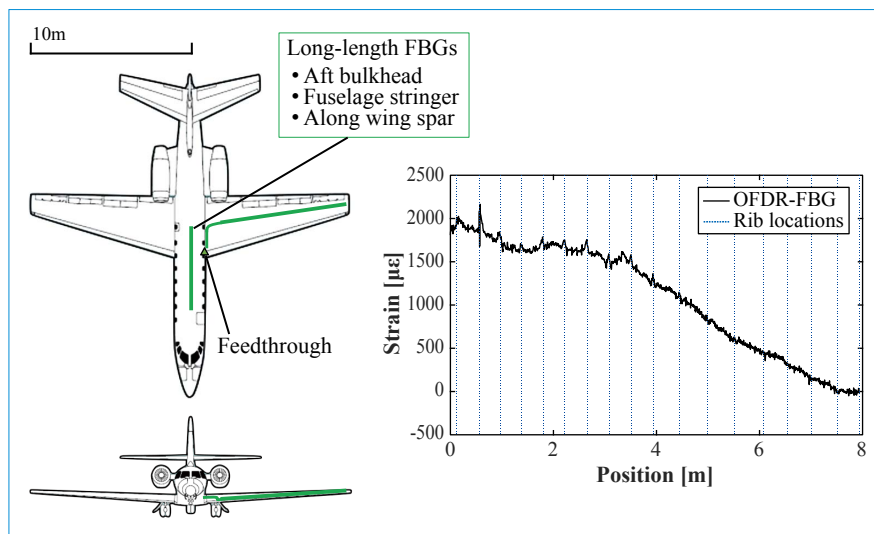


図1 実験用航空機「飛翔」に搭載したSHM配置図(左)と主翼ひずみ計測結果(右)

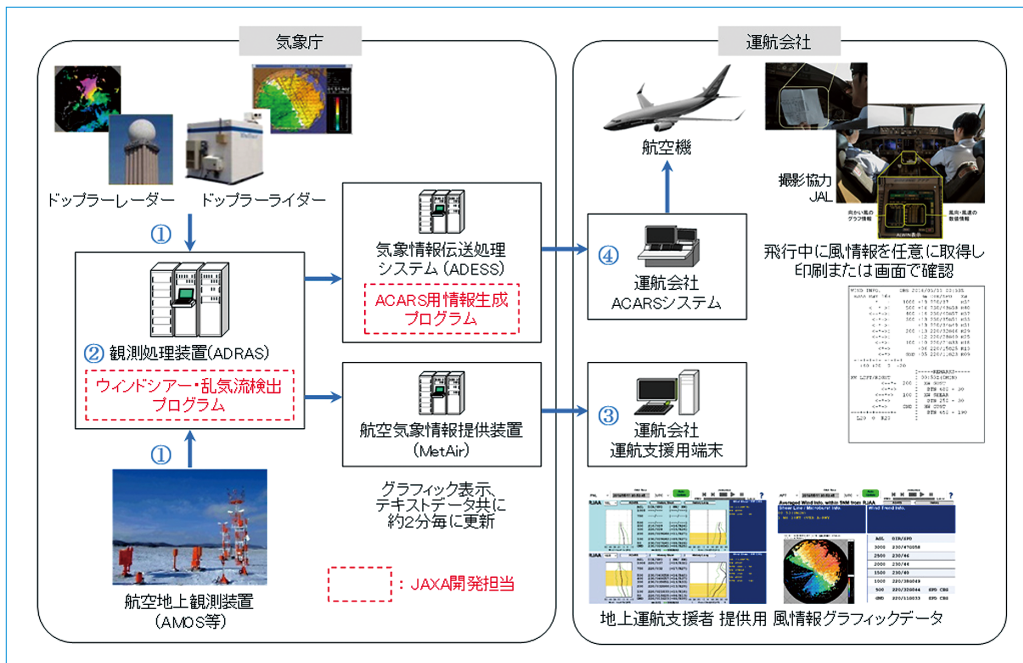


図2 ALWINの風情報提供の流れ

航空機構造の設計および強度については、材料レベルから全機試験までの階層ごとに必要な証明を行う必要があります (Building Block Approach)。また、過去の事故・重大インシデントを受けて、航空機構造には、安全寿命、フェールセーフ、損傷許容、WFD (Widespread Fatigue Damage) という概念が導入されてきました。

b. 複合材の接合技術

航空機に使用される材料は、軽量化を目的として、従来のアルミ材料に対して、複合材であるCFRP (炭素繊維強化プラスチック) の適用比率が増加し、近年運用を開始したB787 (ボーイング) などでは機体重量の約半分がCFRPになりました。航空機では、ボルトやリベットによる機械結合が一般的ですが、機械加工による工期増、応力集中、重量増のデメリットがあります。しかし、これらのデメリットを軽減できる接着構造は、安全性に直結する接着強度や耐久性などに不明な点が多く、実機への適用は進んでいません。これらの課題を解決するために、

JAXAでは、接着面に表面処理などの工夫を施した複合材の接合技術の研究を行っています。

c. 構造ヘルスマモニタリング

滑走、離陸、巡航などの各飛行フェーズにおいて航空機に作用する荷重の頻度、大きさは機体の寿命に大きな影響を与えますが、これらの荷重の結果として発生するひずみを高精度で予測することは困難です。JAXAでは、光ファイバーを用いたSHM (Structural Health Monitoring) 技術の研究に取り組み、飛行実証試験により、飛行中に胴体および主翼に作用するひずみ分布を詳細に計測することに成功しました (図1)。本技術の実用化により、人間の神経に相当するセンサーを機体の隅々まで行き渡らせることが可能となり、早期の故障検出による安全性向上が期待できます。

2. 気象による影響を防御する技術

国際航空運送協会 (IATA) の統計 (2013~2017年) によると、航空機事故は気象の要因が最多で、全体の29%を占めています。JAXAでは、航

空機運航の安全性に影響する各種の気象¹⁾のうち、とくに影響が大きい乱気流、雪氷、雷の影響を防御する技術について重点的な研究、技術の社会実装を行っています。

a. 乱気流

我が国では離着陸経路上でウィンドシアア (風向・風速の急激な変化) や乱気流などが発生しやすいため、空港気象ドップラレーダーとドップラライダー (レーザー光を用いて気流を観測する装置) により離着陸経路上の風情報をパイロットに提供する空港低層風情報ALWIN (Airport Low-level Wind Information) を開発しました。ALWINは2017年度から、東京国際 (羽田) 空港、成田国際空港で運航支援に活用されています (図2)。さらに、より低コストで全天候観測が可能な風センサー (ドップラソーダー) を使用した低層風情報提供システムSOLWIN (Sodar-based Low-level Wind Information System) も開発²⁾し、2019年8月から鳥取空港で運用が開始されています。

空港周辺以外では、航空機搭載レーダーで検知できない晴天乱気流が巡航時の乱気流事故の原因となっています。JAXAでは航空機搭載型ドップラーライダーを開発³⁾し、高度1500m以下の低高度領域では事前検知により着陸復行判断に利用可能であることを飛行実証しました。一方で3000m以上の高高度領域では、事前検知が数秒から数10秒前となり回避などの時間が取れないことから、機体前方気流の観測に基づき機体の動揺を低減する技術が必要になります。本技術は、二軸のレーザー光を用いたドップラーライダーにより上下/前後風速を推定し、フィードフォワード制御^{だめん}で舵面を駆動して機体動揺を低減させるもので、今後、トータルシステムの飛行実証を目指します。

b. 雪氷

航空機の翼への着氷は大幅な空力性能の低下を招くため、フッ素ベースの超撥水性^{はっすい}の防水塗料の開発が進められています。またエンジンへの着氷は推力低下を引き起こすため、空力的に着氷しにくいファンブレード形状設計の研究も行われています。

また、滑走路上の雪氷により、オーバーランやスタックといった事故が発生します。そこでJAXAでは、滑走路上の雪氷状態をリアルタイムに測定する埋設型センサーの開発を進めています。センサーから照射した光が雪氷内で散乱する様子から雪氷の厚さなどをAIにより同定する仕組みで、2016年より屋外での埋設実証が行われています。このセンサーが実用化されれば安全な離着陸判断が可能となり、運航効率や安全性の向上が期待されます(図3)。

c. 雷

航空機は1,000~20,000飛行時間に1回は被雷するといわれ、安全性の重要な阻害要因ですが、航空機被雷の

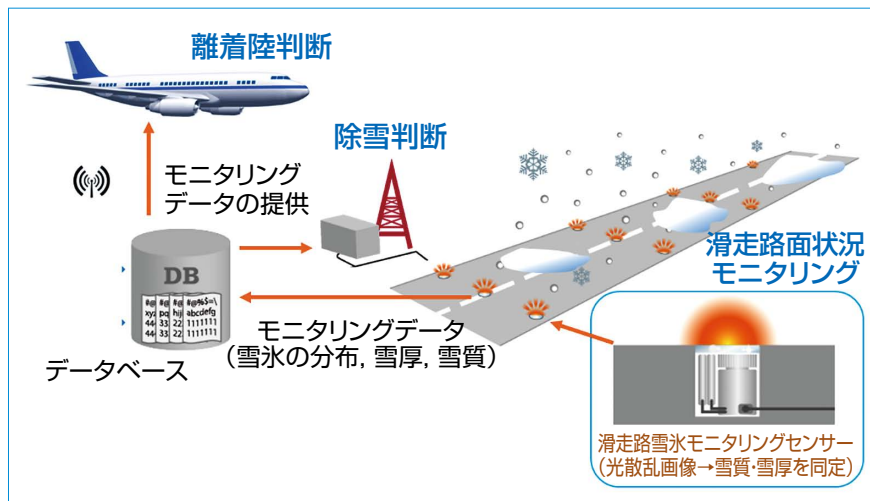


図3 滑走路雪氷モニタリングのイメージ図

ほとんどは、航空機自身が雷を発生させる航空機誘発雷であるため、事前に被雷の危険性を検知することは困難でした。それを解決する技術として、航空機と雲の位置関係や気象条件に基づき航空機誘発雷の発生危険性を推定する技術開発⁴⁾を進めており(図4)、AIの活用による大幅な推定精度の向上が確認されています。

3. 運航方法による安全向上技術

航空機の運航方法を改善することも安全性向上の大きな課題です。安全かつ効率的な次世代航空交通管理の実現に向けて国土交通省が策定した「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)」に沿って、JAXAでは運航上のタスクを自動化、最適化する、パイロット高度判断支援技術(スマートフライト技術)の研究に取り組んでいます(図5)。

a. 低燃費4D運航技術

世界的な流れとして、従来の「空域ごと」の管制から「軌道ベース」の管制へ移行することで、効率的な航空機の運航が目指されています。これは、航空機の位置だけでなく通過時間も指定するという意味で「4D運航」とよばれ

ます。本研究では、さまざまな気象条件や混雑状況に応じて、乱気流回避や燃費向上の観点で最適な速度、高度、経路などを見つけ出し、その情報をパイロットに提供することを目指しています。管制側についても、航空機運航全体の効率を上げるため、到着時間予測の精度向上が必須であり、機体性能とリアルタイムの航空交通流状況(混雑状況)を考慮した管制技術の研究も進めています。

b. パイロットモニタリング技術(E-Crew)

航空機事故の主原因の半分以上にヒューマンエラーが関与しており、安全性向上のためにはそのエラーの低減が必要不可欠です。旅客機運航では2名の乗員が相互に協調・補完しており、乗員間のエラーマネージメントが課題となります。JAXAでは、コックピットにおけるパイロットタスクを、その行動や会話などを通じて自動モニタリングすることで、エラーやその予兆を検出しアドバイスする技術開発を進め、ヒューマンエラーの低減とコックピット省力化の両方の実現を目指しています。

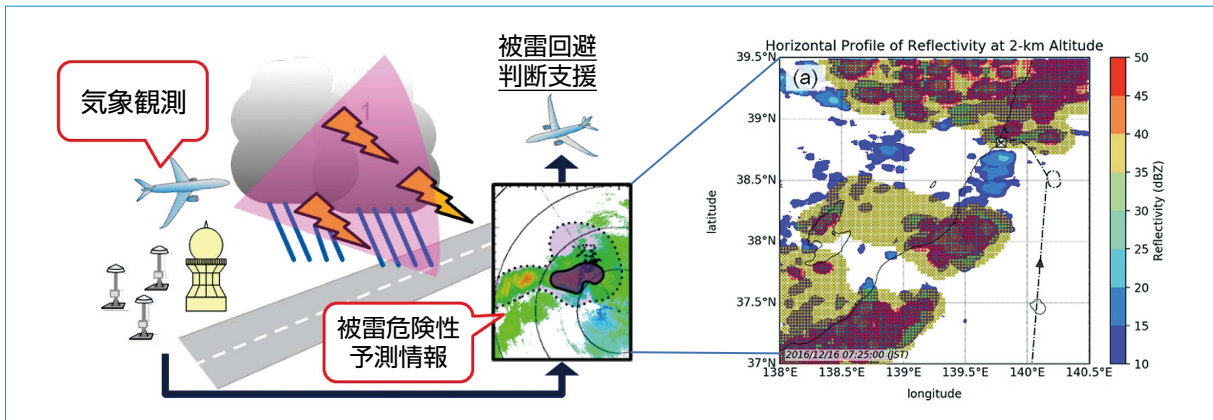


図4 航空機誘発雷の危険性推定



図5 スマートフライト技術の研究

おわりに

ここでは、航空機の安全・安心の重要性、課題、研究面での具体的な取り組みについて紹介しました。安全性の向上を最優先にしてきた航空分野において、今後も継続的な努力が必要であることをご理解いただけたのであれば幸いです。

今後の航空機の発展の方向性として、AIなどのICT技術によって航空機が自動化され無人になることが想定されます。それによって、運航時のヒューマンエラーが回避できる反面、異常時にパイロットの判断や操作に期待する

ことができないことによる、設計や製造上の欠陥やシステム故障の影響の増大、ICT技術の安全性の保証などの新たな課題も生じます。社会の受容性も考慮した上で、航空機が「安心」して乗れる輸送手段として長く社会のインフラとして役立ち続けることが期待されます。末筆ながら、本稿の作成に協力頂いたJAXA航空技術部門 又吉直樹、井之口浜木、濱田吉郎各氏に謝意を表します。[RRR]

文献

- 1) WEATHER-Eyeコンソーシアム：WEATHER-Eyeビジョン，JAXA-SP-16-012，2017
- 2) 又吉直樹，飯島朋子，伊藤芳樹：低層風情報提供システムSOLWINの開発，第56回飛行機シンポジウム，2018
- 3) Inokuchi,H.,et al.：Development of an Onboard Doppler LIDAR for Flight Safety, Journal of Aircraft, Vol.46, No.4, 2009
- 4) Yoshikawa,E. and Ushio,T.：Tactical Decision-Making Support Information for Aircraft Lightning Avoidance - Feasibility Study in Area of Winter Lightning, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol.100, No.8, 2019