

乱気流動揺低減システムの研究開発

航空プログラムグループ 運航・安全技術チーム
アソシエイトフェロー 井之口 浜木



乱気流動揺低減システムの研究開発

航空プログラムグループ
井之口 浜木

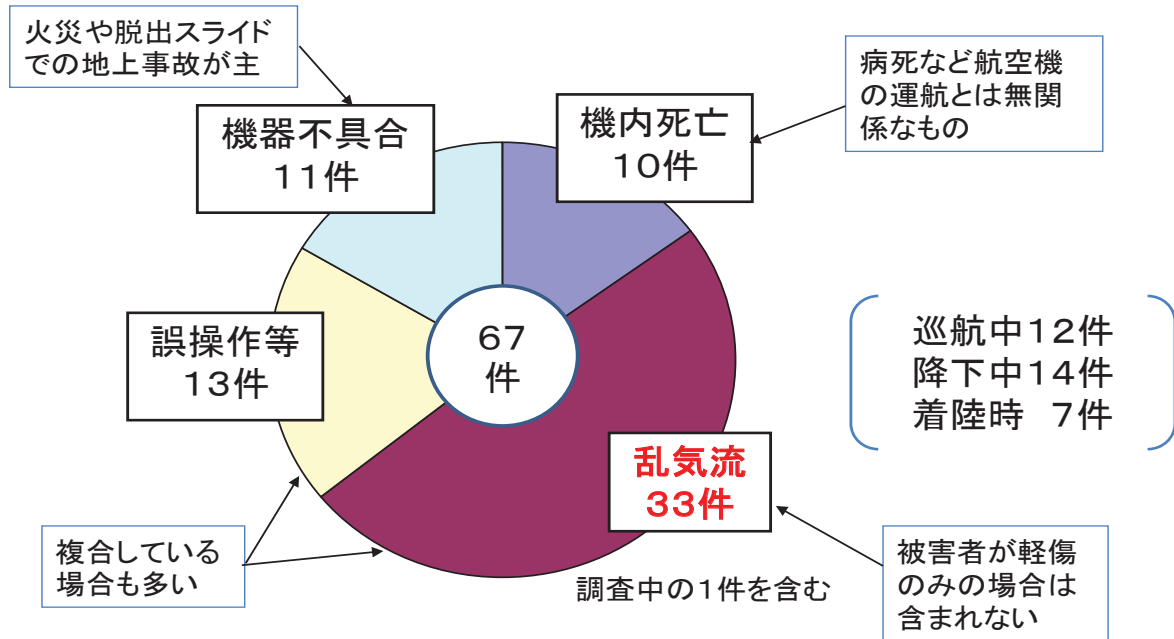
本日の発表内容

- 航空機事故
- ドップラーライダー概要
- これまでに開発したライダー
- これからの研究開発技術
- まとめ



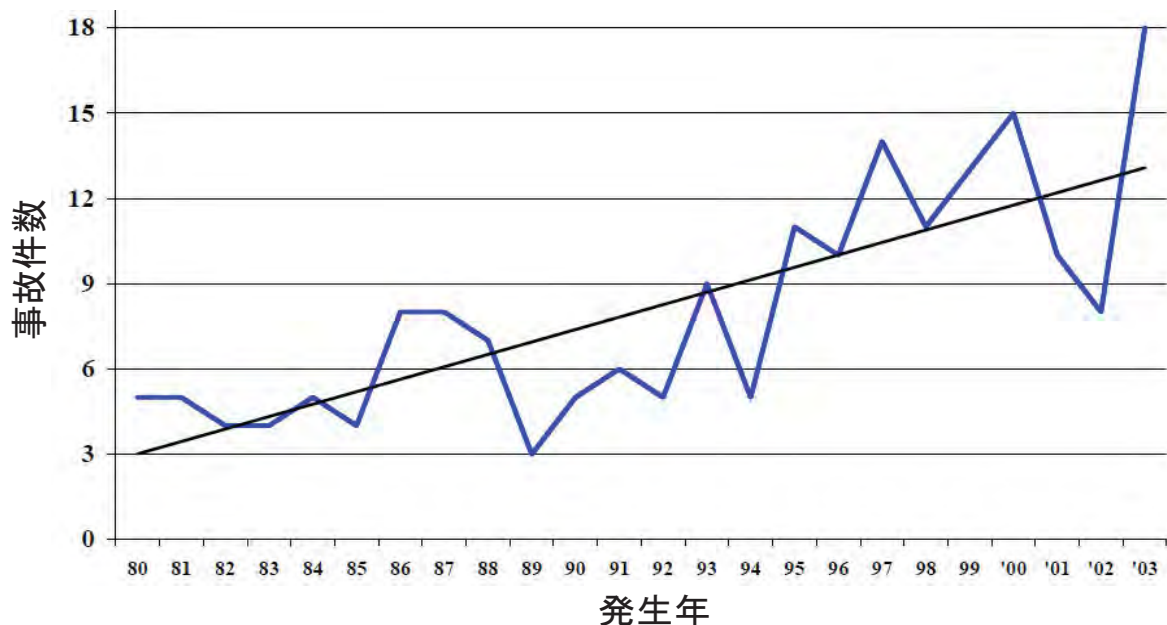
我が国の大型航空機の事故

運輸安全委員会報告書(1990～2011)から集計



米国旅客機の乱気流事故 (1980-2003)

NTSB統計



現状の乱気流対策

事前情報

- ・気象予報： 上空の局所的な予報は困難
- ・搭載気象レーダ： 雨雲を伴わない乱気流は検出不能
- ・先行機からの情報： 局所的、短時間の乱気流には対応不能

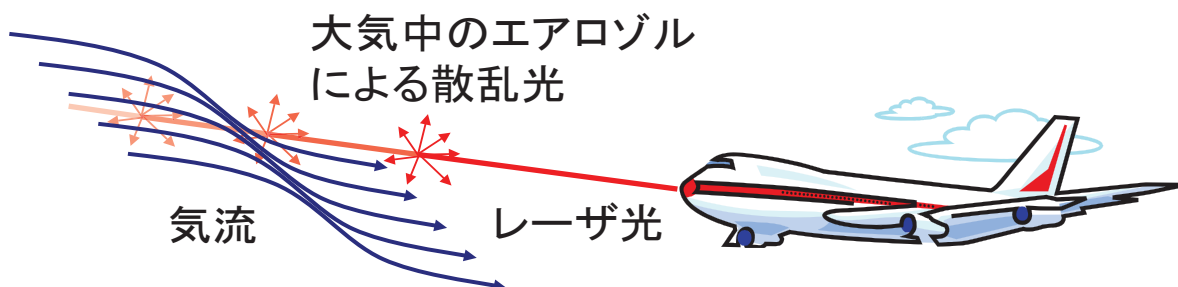
被害低減

- ・シートベルト： サービス低下になるため常時装着は困難
- ・ガスト低減制御： 揺れの初動には対応不能
- ・客室サービスの中断： 揺れてからでは手遅れ
- ・領域回避： 事前情報がない場合には対応不能

事前に揺れが予測できれば、これらの対策はさらに有効となる



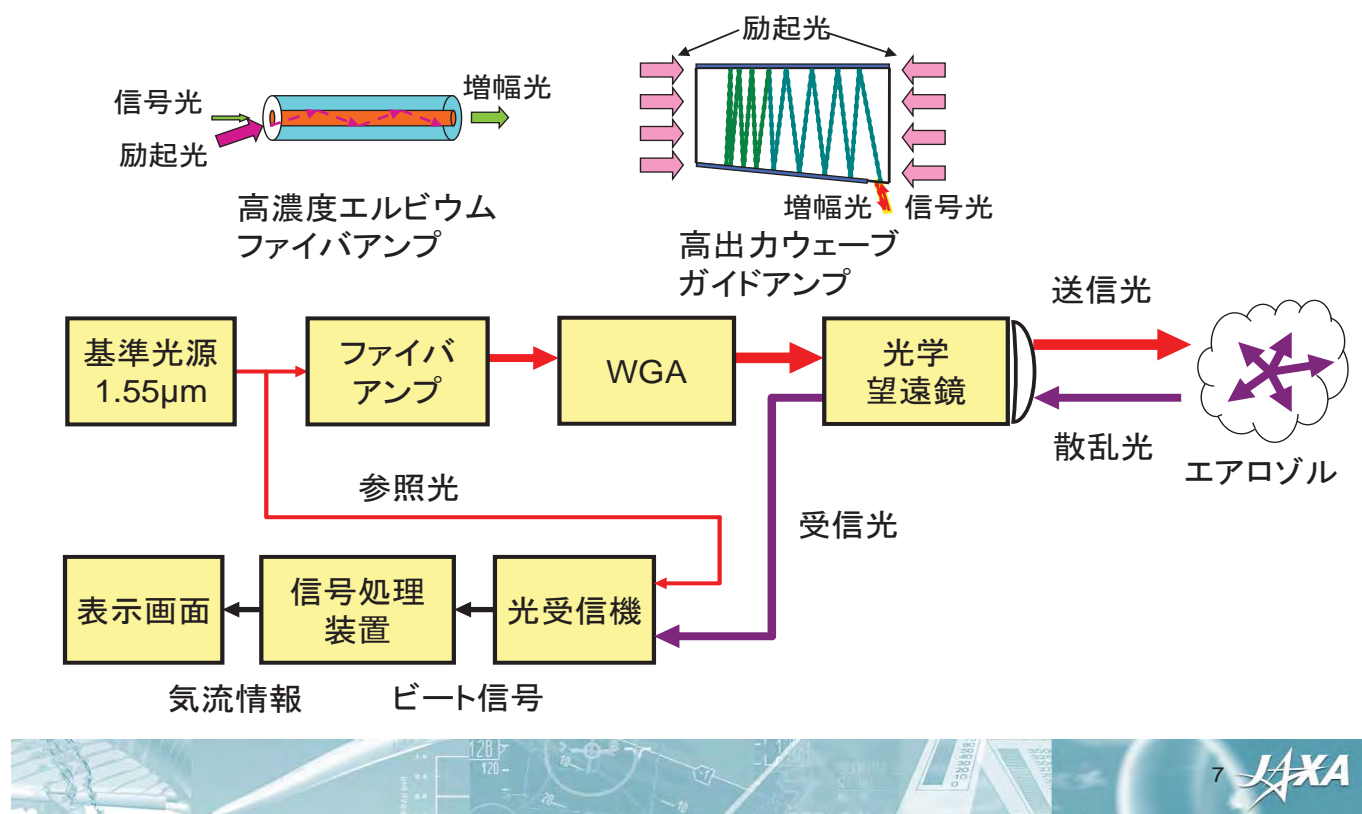
航空機搭載ライダー概念図



ライダー(LIDAR: Light Detection And Ranging)
ドップラー効果による光の波長変化を検出



JAXAドップラーライダーの構成



これまでに開発したライダー



ライダー高高度モデル

- ▶ 性能・仕様
- ・観測距離: 1~30km
 - ・空間分解能: 300m
 - ・出力レート: 1Hz
 - ・重量: 148kg
 - ・消費電力: 1875W

高高度(40000ft: 12000m)
での観測距離5kmを実証



対気速度計測ライダー

- ▶ 性能・仕様
- ・観測距離: 300~1050m
 - ・空間分解能: 75m
 - ・出力レート: 1Hz
 - ・重量: 46kg
 - ・消費電力: 224W

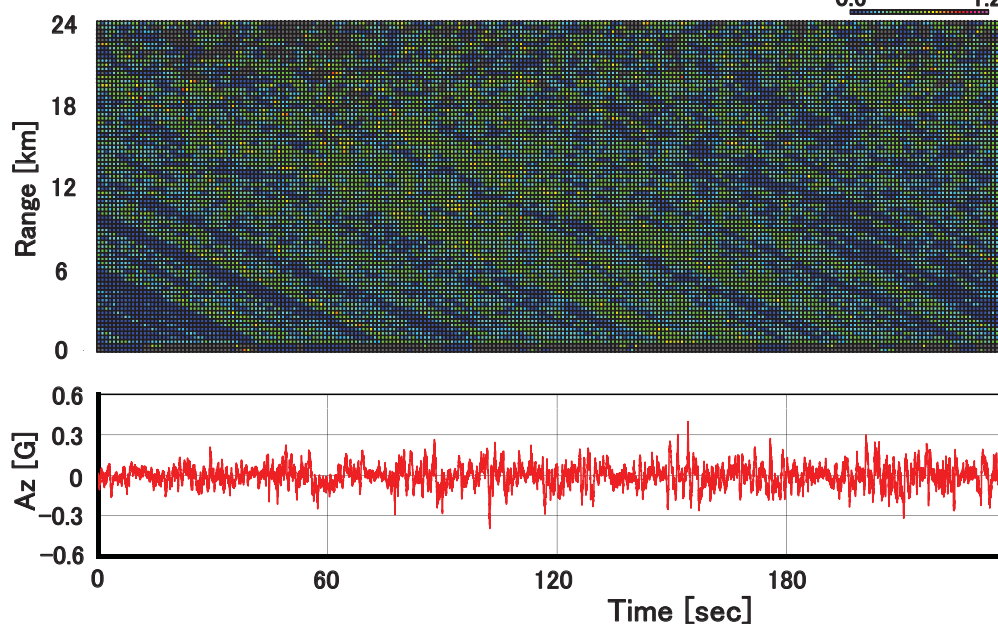
対気速度計測精度(0.24m/s)を実証

ジェット機飛行実験



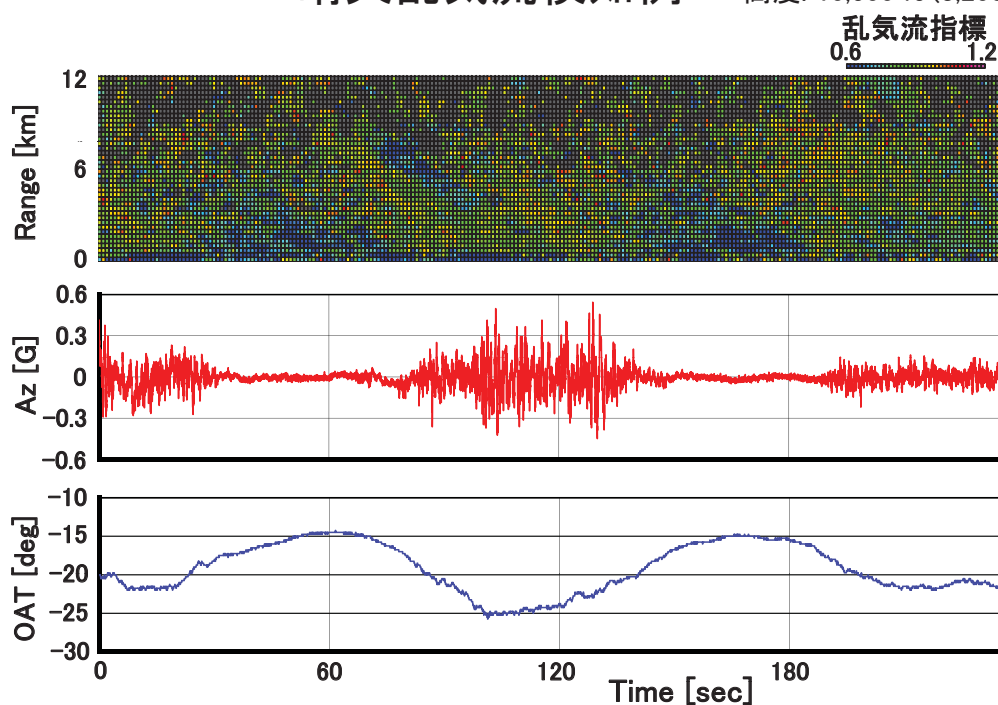
低高度での観測例 高度: 3,500 ft (1,070m)

乱気流指標
0.6 1.2



晴天乱気流検知例

高度: 10,500 ft (3,200m)

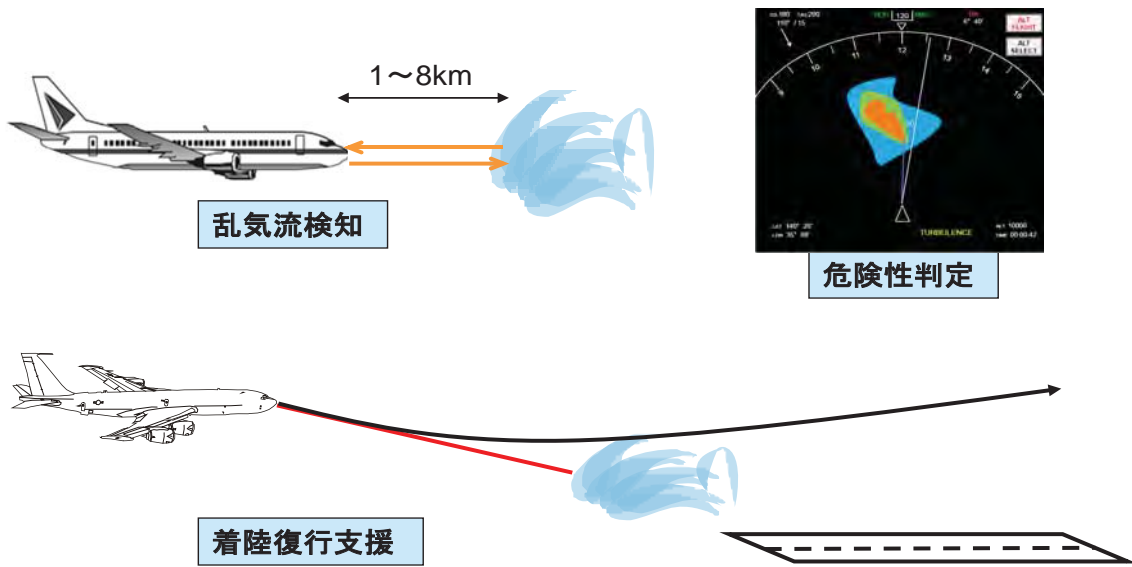


研究開発の目的および目標

- 乱気流事故防止に有効な技術を獲得する
- 我が国の航空装備品産業育成に貢献する
- 世界最先端の技術開発を実施し、実証する



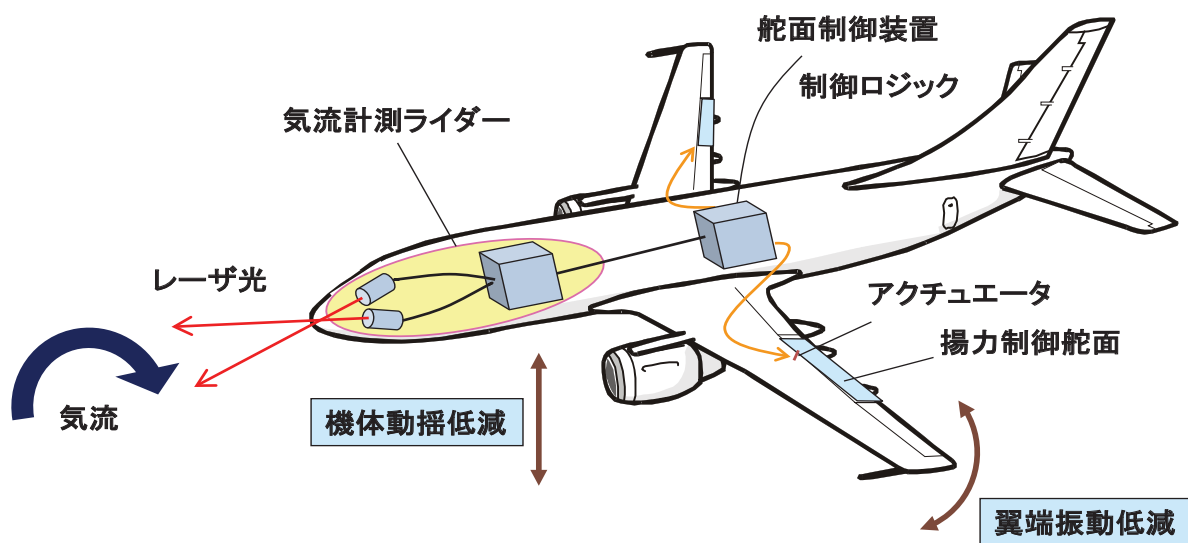
これからの研究開発技術 低高度での利用



乱気流回避システム



これからの研究開発技術 低高度以外での利用

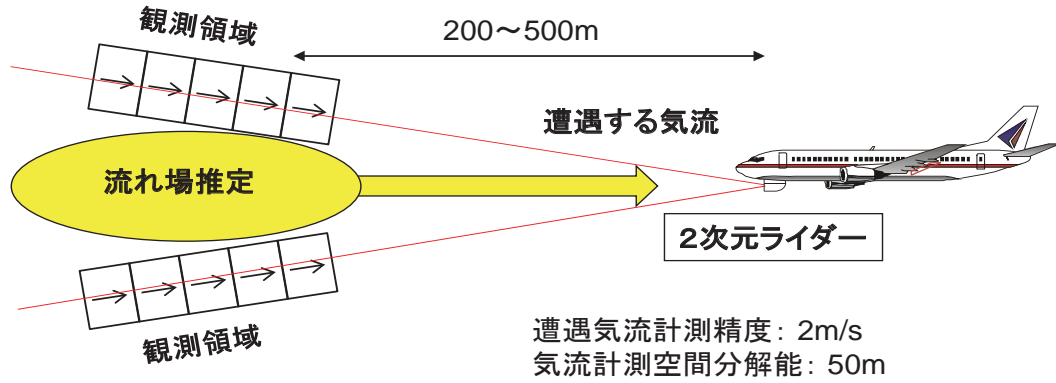


突風応答・荷重軽減システム



気流計測ライダー

複数の観測領域のデータから、全体の流れ場を空力シミュレーションにより再構築し、実際に遭遇する気流ベクトルを推定する

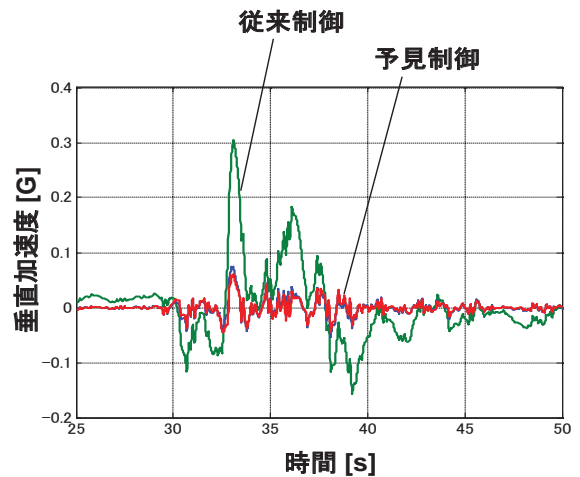
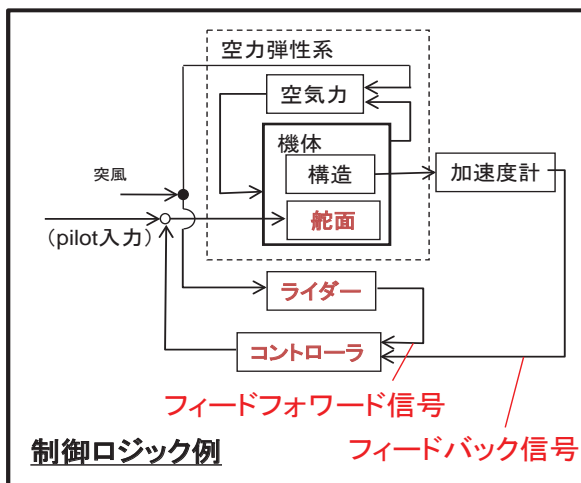


制御ロジック

加速度計等の情報によるフィードバック制御と
ライダー情報によるフィードフォワード制御の統合



先進的な予見制御

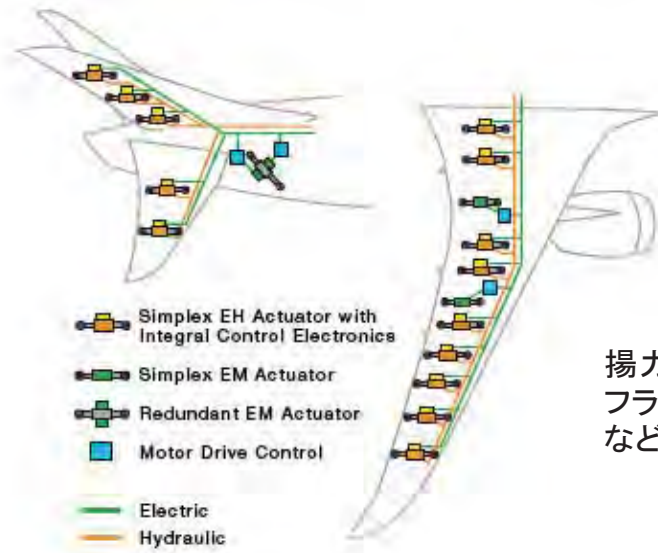


シミュレーション結果



アクチュエータおよび揚力制御舵面

動揺低減システムのために多数のアクチュエータを装備すると配線・配管の重量が増加するため、小型軽量で応答性の高いアクチュエータとデータバスの開発を行う



揚力制御舵面としては、フラップロン、スポイラーなどの利用を検討する



まとめ

- ・乱気流事故は高比率で、しかも増加の傾向にある
- ・乱気流事故を減らす目的でドップラーライダーを開発しており、晴天乱気流の検知に成功した
- ・低高度では十分な観測距離を実証した
- ・高高度では観測距離が不足している
- ・今後はライダーを利用した動揺低減システムの研究開発に注力する



ME
MO

航空新分野創造プログラム

航空プログラムグループ 超音速機チーム
チーム長 吉田 憲司



航空機プログラムシンポジウム2012

航空新分野創造プログラム

航空新分野創造プログラム検討タスクフォース

吉田憲司

(航空プログラムグループ 超音速機チーム)

1

目次

1. はじめに

- (1) JAXA航空の事業目的
- (2) 現在の航空輸送システムの課題
- (3) 航空輸送に対する多様な要求の例

2. 航空新分野創造プログラムの全体概要

- (1) 目的
- (2) システム設計技術の必要性
- (3) システム設計技術主体の活動イメージ
- (4) 研究開発のフレームワーク(例)
- (5) システム検討チームの活動イメージ

3. 航空新分野創造プログラムの検討対象

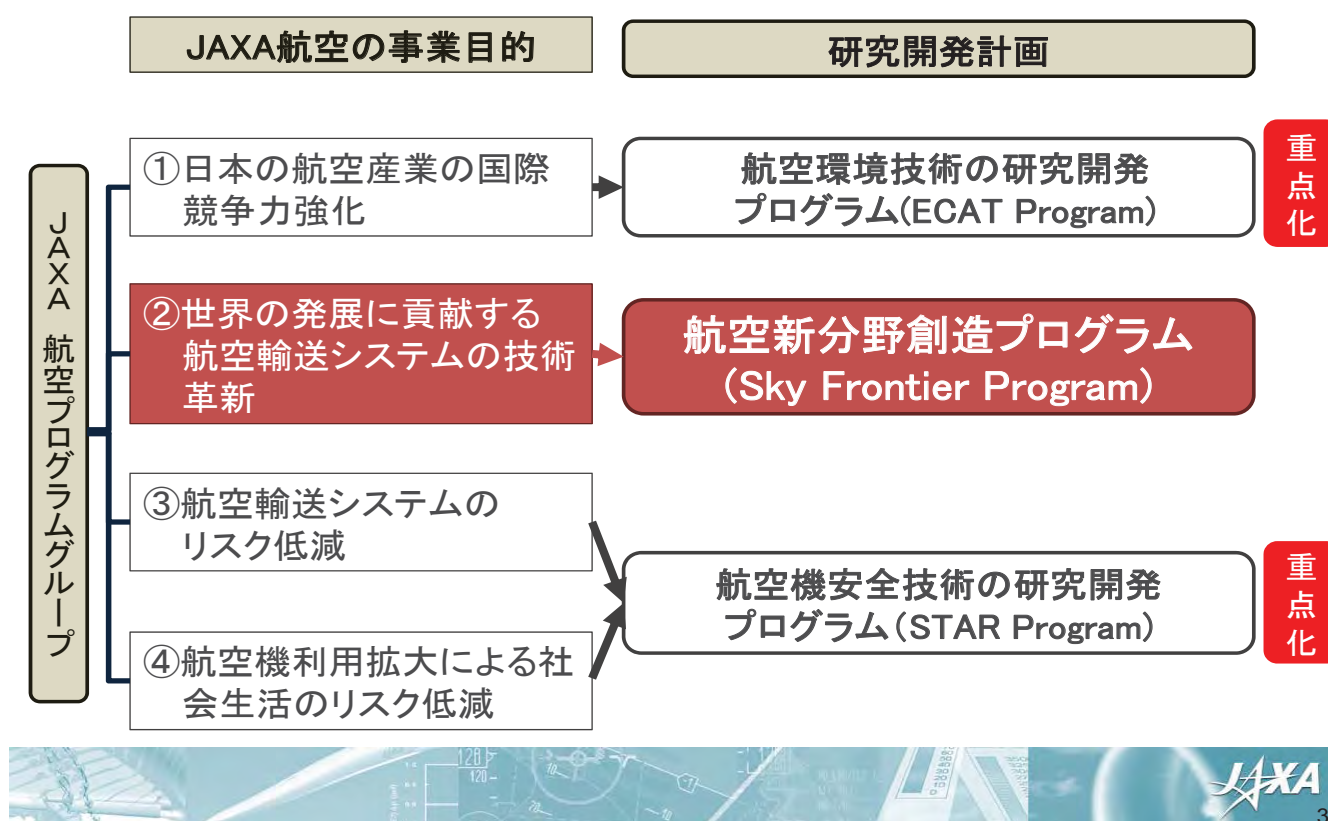
- (1) 検討課題の候補例
- (2) 関連技術(民需)の国際動向
- (3) JAXAにおける関連技術の開発実績(計画含む)
- (4) JAXAにおける関連技術の研究状況
- (5) 取り組み(案)
- (6) 研究計画(案)

4. まとめ

- (1) 航空新分野創造プログラムの位置付けと目標
- (2) 検討課題(候補)の意義



(1-1)はじめに: JAXA航空の事業目的(案)



(1-2)はじめに: 現在の航空輸送システムの課題

① 速度域の選択肢を十分に提供できていない

- ・自動車、鉄道による輸送には、速度域の選択肢がある
- ・航空輸送の現在の主流は、経済性重視の観点から亜音速機のみ
- ・空を飛べることのメリットを最大限生かし切れていない

② 場所を問わない利用形態を十分に提供できていない

- ・現在の主流は、中規模以上の空港(ジェット旅客機が離発着可能な滑走路長を保有)を前提
- ・空を飛べることのメリットを最大限生かし切れていない

③ 環境影響に対する懸念が払拭できていない

- ・現在は、低騒音化、低NO_x化、低CO₂化に向けた技術改善の途上
- ・自動車、鉄道に比べて、航空機特有の環境対策が遅れている

(1-3)はじめに:航空輸送に対する多様な要求の例



(2-1)航空新分野創造プログラムの全体概要

目的

航空輸送に本来求められるポテンシャルを革新する航空機概念を創出し、その実現を可能とする鍵技術を確立すること

○環境/安全性に加え、航空輸送に本来求められるポテンシャルとは？

・航空輸送の利便性向上と未来型追求

○それらを革新する航空機概念とは？

・利便性向上:時間短縮化 (高速化:超音速/極超音速飛行)

空間利用拡大化 (適所性:短距離/垂直離着陸飛行)

・未来型追求:電動化 (電動ファン/ハイブリッド発電)

パーソナル化

○航空機概念を創出し、鍵技術を確立するためには？

・「システム設計視点での技術研究開発」を主体とした活動が不可欠

システム設計技術の研究開発



(2-2) システム設計技術の必要性

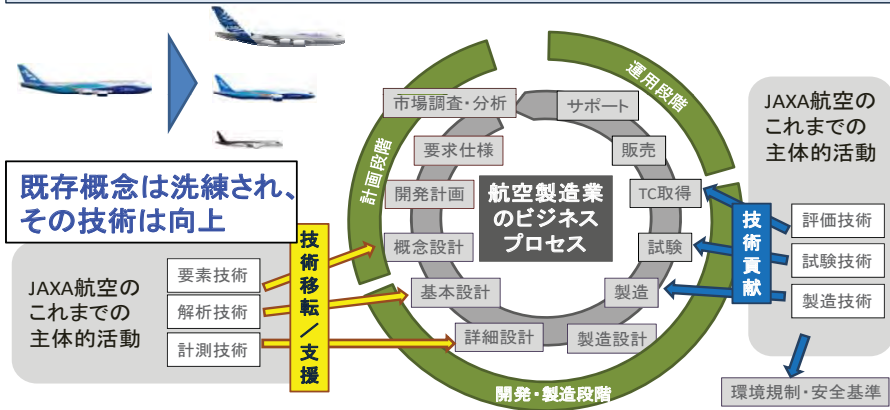
ビジネスプロセスに対するJAXAのあり方の現状と課題

現状

OMRJなどの開発に伴い、ビジネスプロセスとそれに対するJAXAの在り方が確立しつつある。

課題

○既存概念は洗練されるが、**新しい航空機概念は創出され難い。**



既存概念は洗練され、その技術は向上

技術移転/支援

JAXA航空のこれまでの主体的活動

要素技術
解析技術
計測技術

環境規制・安全基準

対策

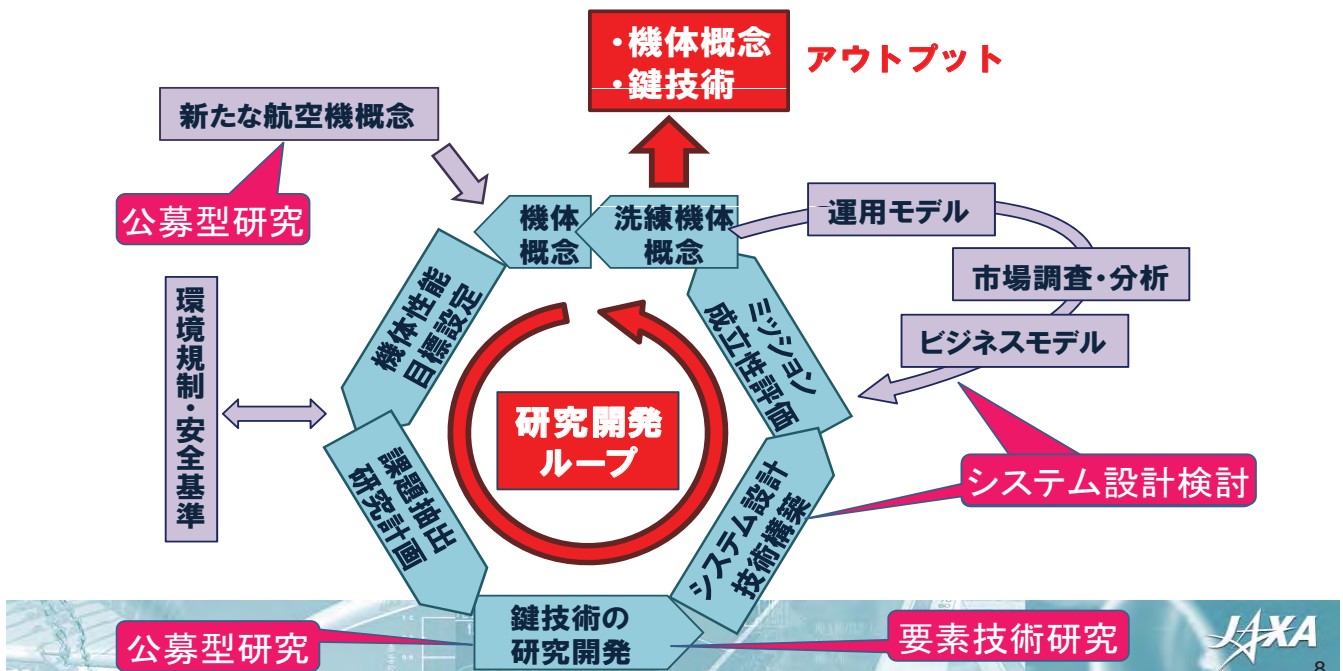
○ビジネスプロセスの上流にあり JAXAだからこそできる新しい航空機概念の創出活動を強化

システム設計技術主体の研究開発活動











(2-3) システム設計技術主体の活動イメージ

- 大学等の斬新なアイデア ⇒ 公募型研究
- JAXA独自の鍵技術 ⇒ 要素技術研究
- 産業界の豊富な経験と知識 ⇒ システム設計検討



(3-3) JAXAにおける関連技術の開発実績(計画含む)

	1960	1970	1980	1990	2000	2010
超音速機/ 極超音速機 SST/HST					小型超音速実験機 (NEXT-1 @2005) 	低ブーム設計概念実証機 (D-SEND#1 @2011) 
					極超予冷却ターボエンジン 地上燃焼試験 (@2008) 	(D-SEND#2 @2013) 
短距離/垂 直離着陸機 V/STOL		垂直離着陸機 (VTOL FTB @1970) 	短距離離着陸機 (STOL“飛鳥” @1986) 			垂直離着陸機 (QTW無人実験機 @2011) 
電動航空機 EA						電動推進システム実証機 (FEATHER @2014) 

(3-4) JAXAにおける関連技術の研究状況(1/2)

超音速機技術の研究開発状況

(1) 次世代超音速機技術の研究開発(NEXSTプログラム:1997-2005)

- ① 超音速巡航時の空気抵抗低減技術の開発(NEXST-1プロジェクト)
 - ・超音速自然層流翼設計技術: NEXST-1実験機で飛行実証(2005)→特許出願(2010)
- ② 機体/推進系干渉抵抗低減技術の開発(NEXST-2プロジェクト)
 - ・非軸対称エアリアルール胴体設計技術: 風洞試験で検証(2003)
 - ・可変インテーク設計技術: 風洞試験で検証(2003)



NEXST-1実験機

(2) 静粛超音速機技術の研究開発(S3プログラム:2006-2014)

- ① 静粛超音速研究機設計技術の開発(S3TDプロジェクト)
 - ・低抵抗/低ブーム設計技術: S3TD基本設計で風試検証(2008)→特許取得(2012)
 - ・低抵抗技術: 自然層流機首模型で風試確認(2010)→特許出願(2010)
 - ・構造重量軽減技術: S3TD実大主翼を用いた地上試験で確認予定(2012)
 - ・低速高揚力装置設計技術: 小型SST形状模型で風試検証中(2012-2013)
- ② 低ソニックブーム設計概念実証(D-SEND)プロジェクト
 - ・低抵抗/低ブーム設計技術: D-SEND#2飛行実験で技術実証予定(2013)
 - ・空中ブーム計測技術: D-SEND#1実験で健全性確認(2011)



S3TD研究機



D-SEND#2

③ 国際連携、等

- ・ICAO/CAEPソニックブーム基準策定検討に技術メンバーとして参加(2007-)
- ・NASA、ONERA、DLRとSST関連の個別テーマについて共同研究(5件)を実施中
- ・NASA/FAAソニックブーム飛行試験のブーム計測に参加(2009, 2012)



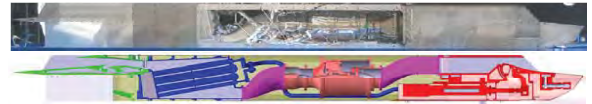
(3-4) JAXAにおける関連技術の研究状況(2/2)

その他の研究状況

(1) 極超音速機技術(HST)の研究

① 極超音速エンジン技術の研究

- ・予冷ターボジェット技術: 地上燃焼試験でエンジンシステムの健全性確認(2008)
- ・飛行実験技術: ISAS気球利用型実験機(BOV)での飛行実験方式の課題解決(2010)



予冷ターボジェットエンジン

② 極超音速機設計技術の研究

- ・システム統合設計技術: ミッション解析を通してベースライン機を策定(2010)
- ・要素技術: 空力解析、耐熱・冷却構造設計、熱管理、耐熱複合材、等を推進中



極超音速旅客機
(構想図)

(2) 短距離/垂直離着陸機(V/STOL)の研究

① クラスタファンの研究

- ・クラスタファン・システム技術: 基礎技術として確立し、技術移転(2007)



QTW模型飛行実験

② 4発タンデム型ティルトウイング機(QTW)の研究

- ・システム統合技術: 無人機(模型)による基礎試験(飛行実験)で確認中(1998~)

(3) 電動航空機(EA)の研究

① 電動推進システム技術の研究(FEATHERプロジェクト)

- ・冗長系モータ/エネルギー回生機構技術:
改造モータグライダーを用いて飛行実証予定(2014)



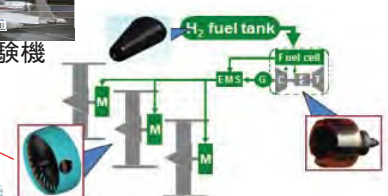
FEATHER実験機

② コア分離型電動推進システム技術の研究

- ・電動ファン技術: US特許取得(2件: 2008, 2009)
- ・ハイブリッド発電システム技術: 燃料電池に関して基礎試験中(2009~)



将来の適用対象例



コア分離型電動化推進システム(構想図) 15

(3-5) 航空新分野創造プログラムの取り組み(案)

革新的航空機システム概念に関わる研究開発計画(案)

静粛超音速機技術の研究開発

OD-SENDプロジェクト

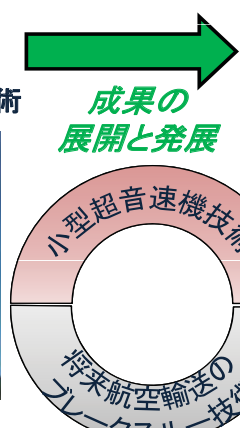
- ・低ブーム機体設計技術
- ・ソニックブーム空中計測技術



小型超音速旅客機設計技術(SST技術)

○ 離着陸騒音低減技術の研究開発

- ・低ブーム/低抵抗機体設計技術
- ・先進モーフィング構造設計技術
- ・低騒音可変推進システム設計技術

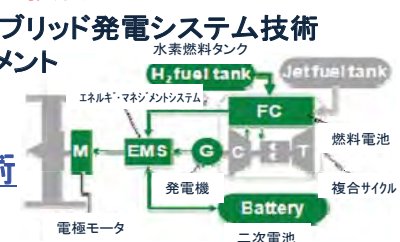


エミッションフリー航空機技術(EA技術)

○ FEATHERプロジェクト

○ ハイブリッド推進技術

- ・電動ファン/ハイブリッド発電システム技術
- ・エネルギー・マネジメントシステム技術



極超音速機技術(HST技術)

○ 機体/推進系統合設計技術

- ・機体・推進統合設計技術
- ・高温複合材・熱防御システム技術

短距離/垂直離着陸機技術(V/STOL技術)

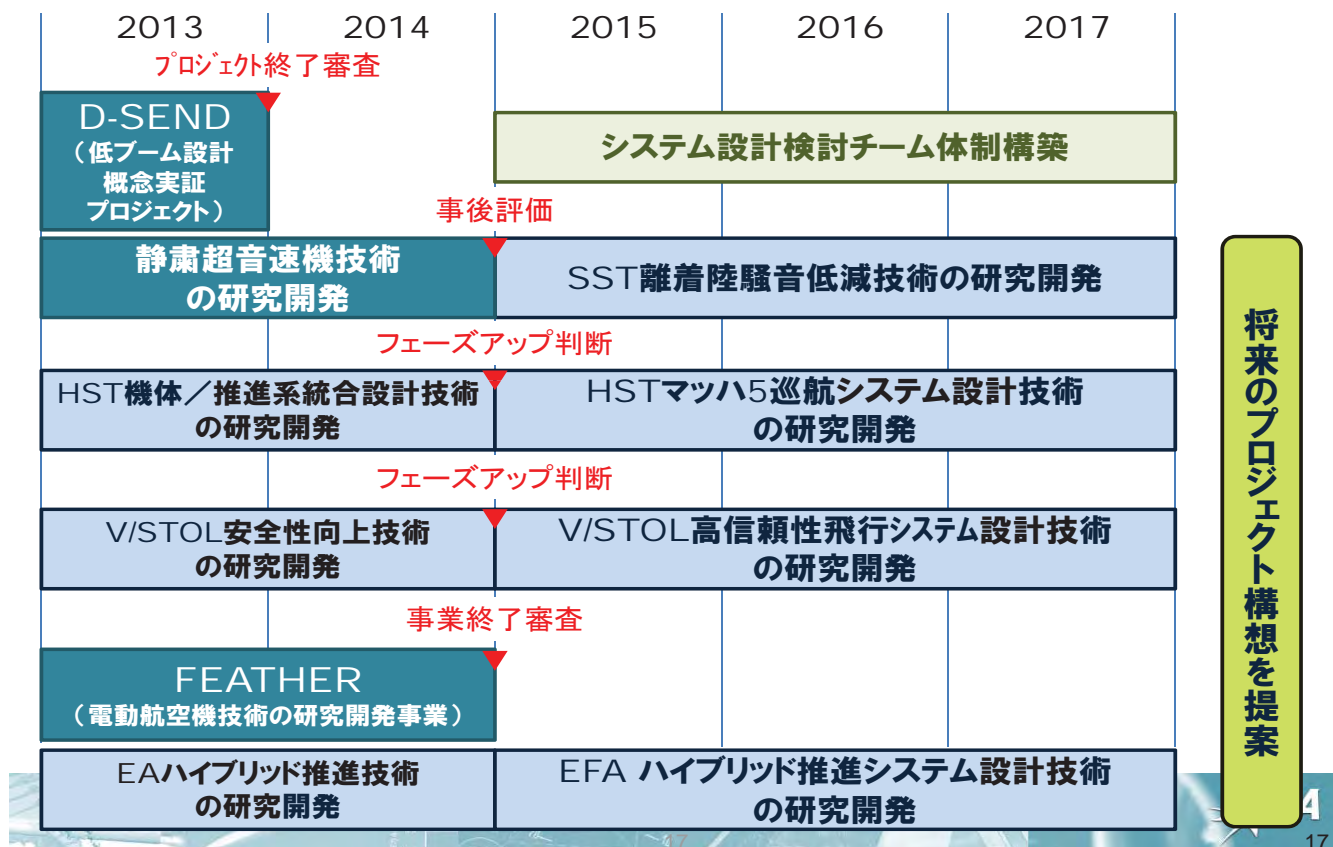
○ 安全性向上技術

- ・4発/ティルトウイングシステム技術
- ・タンデム翼形態性能向上技術
- ・自動遷移・コックピット技術



JAXA

(3-6) 航空新分野創造プログラムの研究計画(案)



(4-1)まとめ:

航空新分野創造プログラムの位置付けと目標

○位置付け

本プログラムでは、JAXA航空の事業目的に沿い、長期的視点に立って継続的かつ系統的に進めておくべき技術研究課題について、JAXA保有技術に立脚した実現可能性のある要素技術を取り上げ、将来の出口を見据えた研究シナリオのもと、公的研究機関として費用対効果を十分考慮して取り組むものである。

○目標

本プログラムでは、将来の新しい航空輸送の革新をもたらす航空機概念の創出とその実現を可能とする鍵技術の目標レベルの設定と具体的な要素技術の研究開発を進め、将来のプロジェクト構想を提案する。



(4-2)まとめ: 検討課題(候補)の意義

○多様な要求に対する答えとして

- SST: **速度の選択肢を提供**(エコノミー症候群などを解決)。安全保障の充実(輸送要求等)
- HST: **SSTと同様**。再使用型宇宙輸送機、防衛機器への応用可。
- V/STOL: 効率的な空域利用により過密化を緩和。**災害時の人・物輸送の適時性が可能**。
- EA: **高信頼性軽量モータ技術の多角的(規模・用途)整備**で、様々なニーズに対応可能。

○航空機概念のフロンティアとして

- SST: **移動時間短縮の付加価値が新たな市場を開拓**。日本の独自技術力を誇示。
- HST: マッハ5飛行技術の確立はサブオービタル機、**極超音速旅客機の実現へ展開可**。
- V/STOL: VTOL旅客機実現への道が開ける。**日本の独自技術力を誇示**。
- EA: **燃費・CO₂排出量を飛躍的に低減することで新たな市場を開拓**。

○政策的、技術的な国家戦略として

- SST: **日本は高速輸送の恩恵国**。システム設計は効果的な技術開発体制と人材育成に貢献。
- HST: **国家の情報収集ニーズ、安全保障技術への対応可**。人材育成にも貢献。
- V/STOL: **地形面で地域格差の少ない安全・安心な広域社会の形成に貢献**。
- EA: **航空機の電動化技術は「低炭素社会の実現」という日本の技術戦略に適合**。



電動化航空機の動向と JAXA における研究開発の概要

航空プログラムグループ 環境適合機体技術チーム
セクションリーダー 西沢 啓



電動化航空機の動向とJAXAにおける研究開発の概要

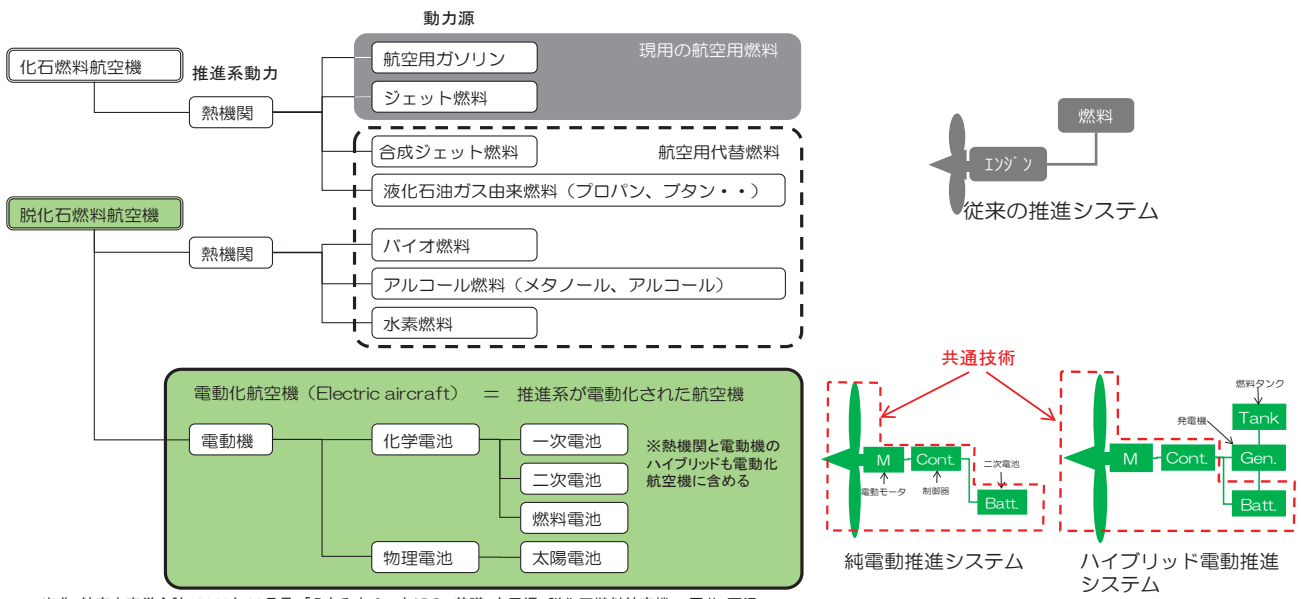
航空プログラムグループ
環境適合機体技術チーム
西沢 啓

目次

1. 電動化航空機とは
2. 電動化航空機の利点と課題
3. 電動化航空機の技術動向
4. JAXAにおける研究開発の概要
5. まとめ



(1) 電動化航空機とは

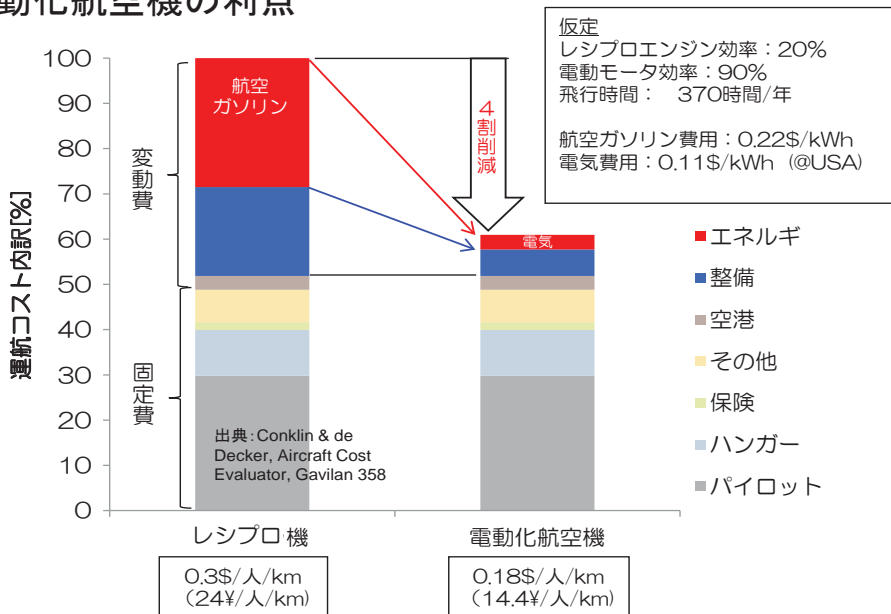


出典: 航空宇宙学会誌 2010年10月号 「えあろすべーすABC 基礎・応用編 脱化石燃料航空機」 岡井・西沢



(2) 電動化航空機の利点と課題 (1/2)

電動化航空機の利点



- 電動化の利点
- 低排出
 - 高効率
 - 高信頼性
 - 低整備費
 - 低騒音
 - 低振動
 - ...
- 出典: Mark D. Moore, The 2008 CAFE Foundation Electric Aircraft Symposium, 2008

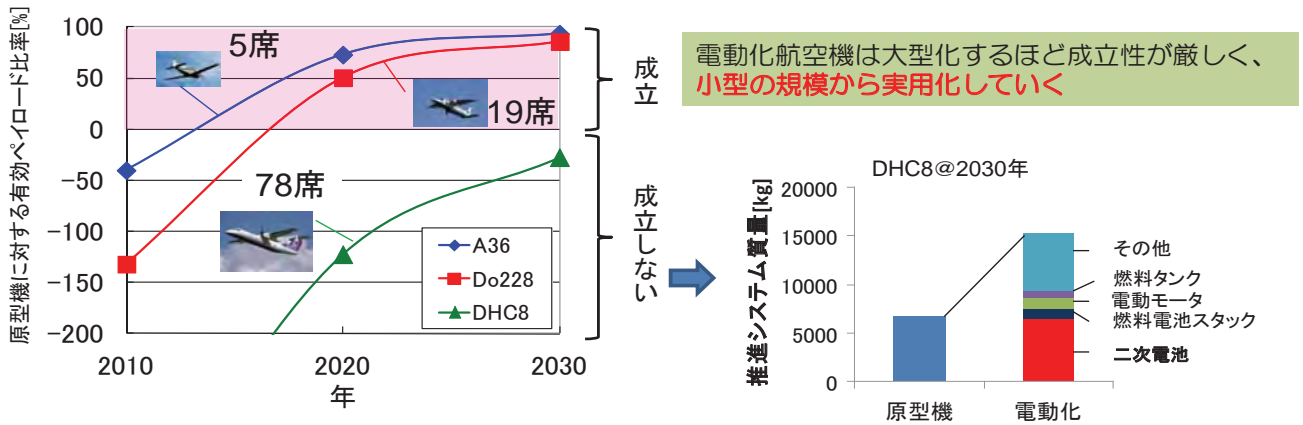
小型プロペラ機 (ジェネラルアビエーション) を電動化した場合の運航コスト削減効果

(※グラフは原価償却費用を含めず(含めると約10%コスト増加))



(2) 電動化航空機の利点と課題(2/2)

電動化航空機の課題



燃料電池を電力源とする電動化航空機の成立性予測

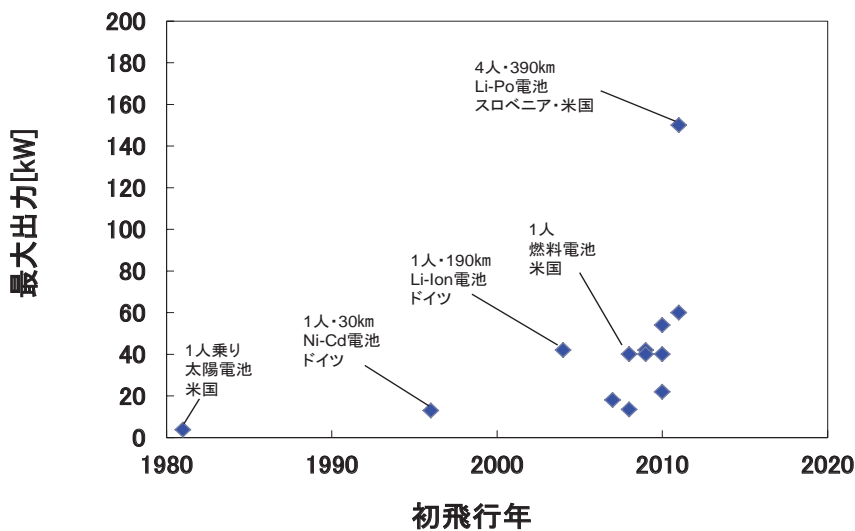
(※各機体はそれぞれフライトミッションを仮定。また、推進システムにおける各要素の性能トレンドを考慮)

出典: 野村他4名「燃料電池航空機に関する基礎的な成立性検討」、第47回飛行機シンポジウム、2008

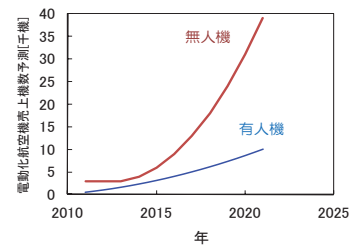
電動化の課題

- 二次電池及び燃料電池システムのエネルギー密度及び出力密度の向上
- 電動モータの出力密度の向上

(3) 電動化航空機の技術動向(1/2)



世界各国における電動化航空機の初飛行年と最大出力



電動化航空機市場の成長予測例

出典: "Electric Aircraft 2011-2020", IDTechEx

- 電動化航空機の特許出願は1920年代だが、有人飛行の実現は1980年ごろ
- 長期間要したのは、電力源と電動モータの性能が不十分だったため
- 2000年代後半以降、急激に開発が促進し、着実に大型化

(3) 電動化航空機の技術動向(2/2)

電動化航空機の年代別技術動向

年代	～1990	1991 2000	～ 2001～2010	2011～
離陸質量	100kg以下	300kg以下	1000kg以下	2600kg以下
乗員	1人	1人	～2人	～4人
速度	～50km/h	～100km/h	～250km/h	～250km/h
距離	～260km	～30km	～190km(Li-Ion) ～750km(燃料電池)	～320km(Li-Ion) 2000km超(燃料電池)
モータ最大出力	～2.5kW	～13kW	～92kW	～145kW
電動モータ	DCモータ	DCモータ	永久磁石型同期モータ(ネオジウム磁石)	永久磁石型同期モータ(ネオジウム磁石)
電力源	太陽電池	Ni-Cd電池	Li-Ion電池、燃料電池	Li-Ion電池、燃料電池、太陽電池
代表例	Solar Challenger(米)	Silent AE-1(独)	ANTARES 20E(独), Rapid200FC(伊) electric SkySpark(伊)	e-Genius(独), Taurus G4(米)

- 1990年代まではほとんど成立性が無く、電力源は太陽電池であり、出力が小さいため、小規模な機体を低速で飛行させるしかなかった。
- しかし、基幹技術（電動モータ、電力源）の進歩により、2000年代以降性能が飛躍的に向上した。特に、Li-Ion電池、燃料電池、永久磁石型同期モータの適用が大きく寄与した。
- これらの基幹技術は電気自動車の開発が牽引したものであり、今後も電動化航空機の主要な基幹技術は当面の間電気自動車技術の影響を大きく受けることが予想される。



(4) JAXAにおける研究開発の概要(1/4)

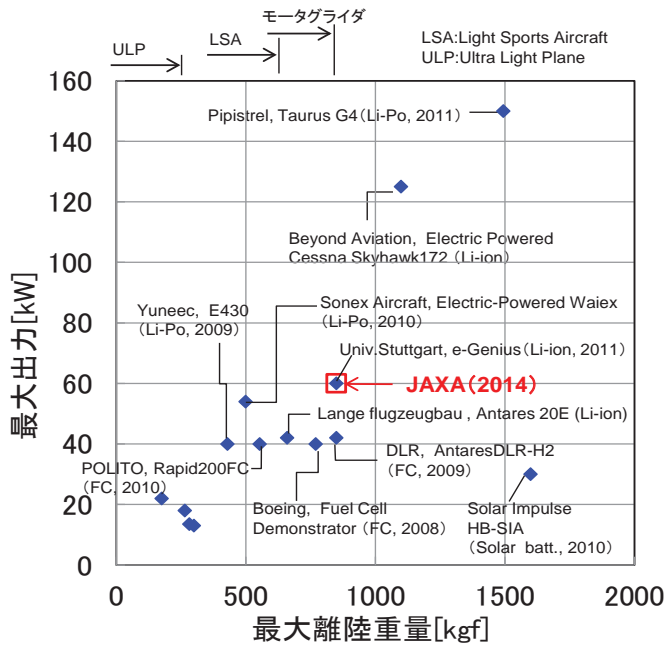
電動化航空機技術の研究開発の意義と目的：

- 電動化は航空機の燃費や整備費を大幅に低減できる革新技術の候補であり、将来の航空機技術の競争力を左右する重要な技術。
- JAXAが先行して電動化航空機における国内有人飛行の前例を作り、国内の電動化航空機開発を促進する。
- 電動化航空機の分野で国際的に優位に立つために必須となる重要キー技術を獲得する。



(4) JAXAにおける研究開発の概要(2/4)

FEATHER事業の概要



ミッション概要

航空機用電動推進システムを開発し、小型航空機（モータグライダー）に搭載して飛行実証する。

電動推進システム概要

電力源：Li-Ion電池(75Ah, 29.6V) 4直列
 電動モータ型式：永久磁石型同期モータ
 電動モータ最大出力：60 kW
 インバータ：IGBT
 冷却：水冷式
 乗員：1名

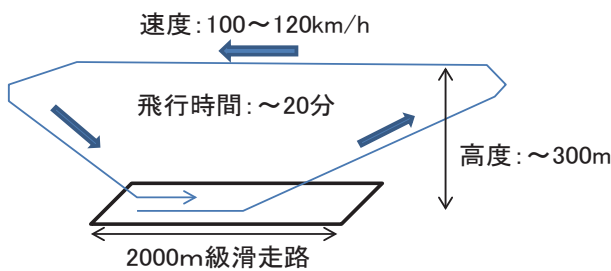
原型機概要

耐空類別：動力滑空機（モータグライダー）
 型式：ダイヤモンド・エアクラフト式
 HK36TTC-ECO
 全幅：16.33m
 最大離陸重量：850kgf
 発動機：ロータックス式 914型
 最大出力：84.5 kW
 乗員：2名



(4) JAXAにおける研究開発の概要(3/4)

FEATHER事業の概要



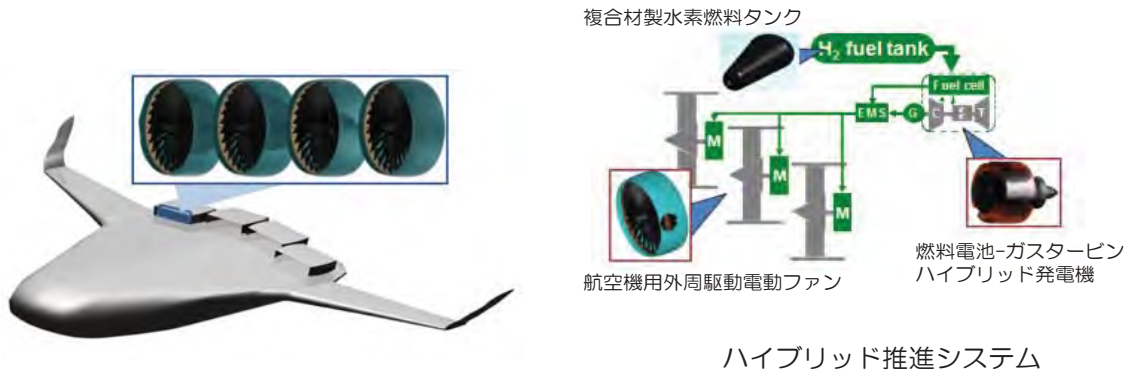
飛行試験の概要

- 滑走路の周囲を場周飛行し、モータシステムの性能及び飛行性能に関するデータを計測
- 独自開発する電動推進システムの基本性能と新しい機能（信頼性向上に関する技術やエネルギー効率向上に関する技術）を飛行実証
- 詳細な計測データから電動化航空機の課題を抽出し、次のステップへ適用



(4) JAXAにおける研究開発の概要(4/4)

EFA (Emission Free Aircraft) ハイブリッド推進システム研究開発の概要



将来の電動化旅客機（150席クラス）の構想図

ハイブリッド推進システム

研究開発の概要

- FEATHER事業で獲得した技術をさらに発展
- 液体水素燃料を用い、燃料電池とガスタービンの複合サイクルを利用した高効率発電機を電力源として、さらに効率を向上
- 旅客機への適用を目指して、高効率・高出力密度の電動推進システムを開発



(5) まとめ

最近の要素技術(二次電池、燃料電池、電動モータ等)の飛躍的な進歩により、電動化航空機は今後着実に実用化の方向へ向かう。

電動化航空機技術は将来の航空機環境適合技術として有力であり、国内においても産学官における研究開発の活性化が求められる。

国内の航空分野にとって、国内産業の強みを活かせる「電動化」という新しい技術トレンドは大きなビジネスチャンスにつながる可能性を有する。

JAXAでは、国内航空機産業の新たな展開へ寄与するため、航空機に特化した電動化技術の研究開発を行い、国際競争力の高い技術の獲得を目指す。

