

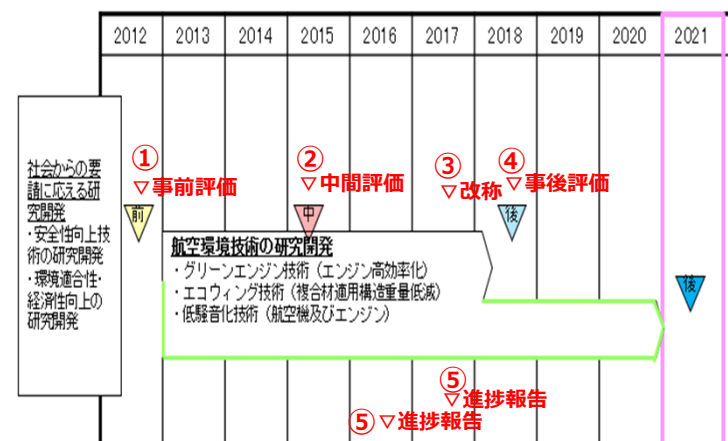
【事後評価補足資料】
航空環境技術の研究開発／
環境適合性・経済性向上の研究開発
（低騒音化技術（航空機））

2021年（令和3年） 8月23日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構（JAXA）

経緯

- ① 航空委#39(2012.8)で「航空環境技術の研究開発」の事前評価を受け、本研究開発に着手。
- ② 航空委#47(2015.6)で中間評価を実施。
- ③ 航空委#54(2017.5)で機体騒音低減技術実証の課題名が「環境適合性・経済性向上の研究開発」へ改称。
- ④ 航空委#60(2019.1)で2020年度まで課題実施期間の機体騒音低減技術実証を除く課題について事後評価を実施。機体騒音低減技術実証は進捗状況を評価外で報告。
- ⑤ 評価に加えて、研究開発の進捗状況を航空委#52 (2016.11)及び航空委#56 (2018.2)で報告。



研究開発の構成と実施内容

i) 飛翔を用いた予備実証

飛翔に対して低騒音化設計を適用して予備実証を実施し、騒音低減効果が得られる設計であることを確認するとともに、騒音低減量を正しく測定・評価するための試験プロセスを確立した。

ii) 飛翔を用いた飛行実証 (1)

飛翔に対して低騒音化設計を適用して飛行実証を実施し、実機飛行環境において当初計画を超える大幅な騒音低減効果を確認することにより、世界に先駆けて実用性のある低騒音化設計の基盤技術を確立した。

iii) SpaceJet (旧MRJ) を用いた飛行実証 (2)

リージョナル機への低騒音化設計の効果検証に向けたSpaceJet (旧MRJ) を用いた飛行実証は、SpaceJetの開発計画変更に伴い、中断した。飛行実証 (1) の成果を踏まえ、SpaceJetの高揚力装置、降着装置それぞれについて実用化を考慮した低騒音化デバイスを設計し、騒音低減量の目標値が達成できることを風洞試験により確認した。さらに、低騒音化設計技術を中型旅客機に適用するための研究開発を実施し、その成果に基づきボーイングを加えて中型旅客機での飛行実証に向けた体制が、本研究開発終了後に構築された。また、音源計測技術を活用して騒音源モデルを開発し、空港騒音予測モデルとして社会実装を目指す体制を構築した。

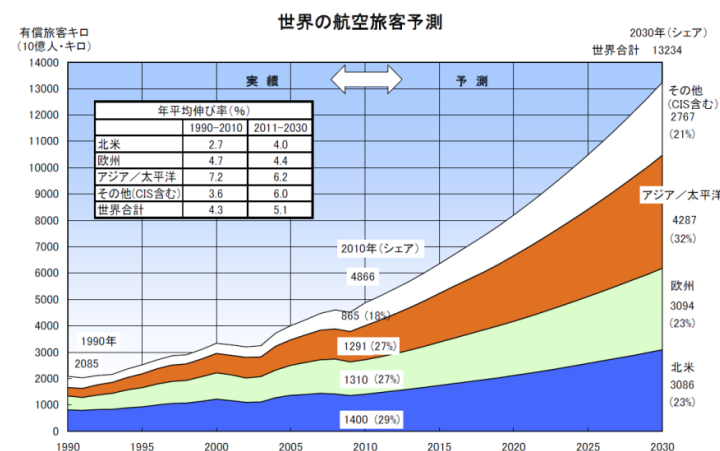
- 0. 機体騒音低減技術実証（FQUROH）の概要
 - 1. 成果概要
 - 2. 計画変更について
 - 3. 計画変更後の低騒音化技術開発の成果
 - 4. 騒音計測技術等の社会実装活動の成果
 - 5. 中間評価におけるご指摘への対応
 - 6. 科学技術基本計画への貢献状況
 - 7. 今後の展望

(背景その1) 民間航空機の低騒音化の必要性

- 航空機騒音は、1960年代から空港周辺に与える騒音は大幅に低下しているものの、現在でも空港周辺の地域社会、エアラインにとって最も明示的な影響を与えている環境問題（左下図）。
 - ✓ 飛行経路の下の土地の利用制限、空港周辺の民家の騒音対策
 - ✓ 騒音レベルによって空港の夜間運用制限、エアラインが支払う空港離発着料が決められる
- 低騒音化しなければ、今後の航空輸送（離発着回数）の増大に伴い騒音被害も拡大する。
 - ✓ 航空輸送量の増加率は年5%、20年間で2.6倍に増加すると予想されている（右下図）。
 - ✓ 離発着回数が2倍になれば3dBの騒音被害の増加に相当する。
 - ✓ 旅客機一機あたり、離発着回数による騒音被害の増加を上回る低騒音化が必要。



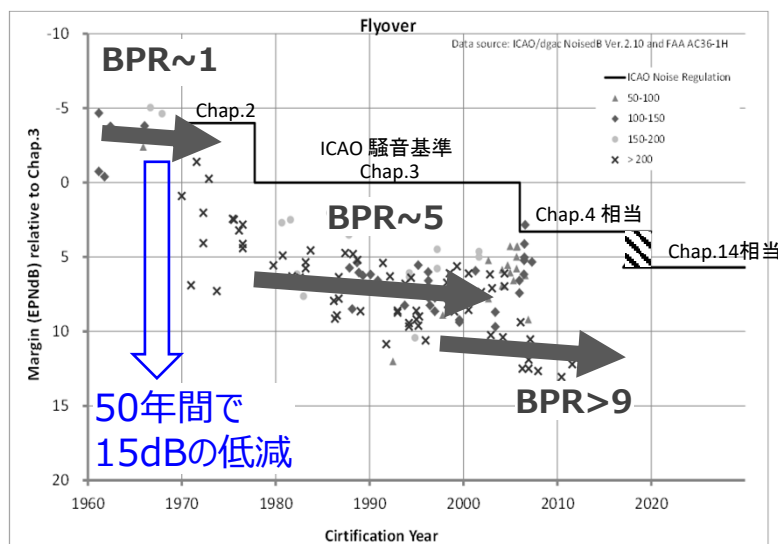
成田空港周辺で環境騒音基準を
超えている第1種騒音区域



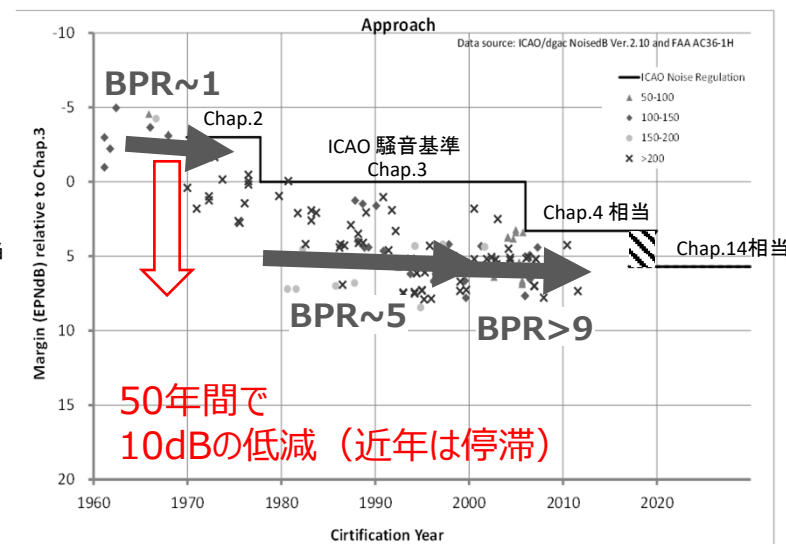
(財) 日本航空機開発協会 (JADC) 資料より

(背景その2) 機体騒音の予測と低減の必要性 (参考1)

- 離陸上昇時はエンジン騒音が主体で、バイパス比 (BPR)の向上に伴い大幅に低減 (左下図) 。
 - ✓ エンジン出力が高いため、主要な騒音源になっている (ジェット騒音、ファン騒音)
 - ✓ 技術トレンドとして**バイパス比を向上させる方向であり、今後も騒音低減が期待**できる。
- 着陸進入時は低騒音化が停滞している (右下図) 。
 - ✓ エンジン出力が低いため、機体騒音がエンジン騒音を上回り、主要な騒音源になってきており、将来の**低騒音化のボトルネック**になりつつある。 (参考1)
 - ✓ エンジンのみを音源とする離着陸騒音予測手法では高精度な騒音予測が困難になってきている。



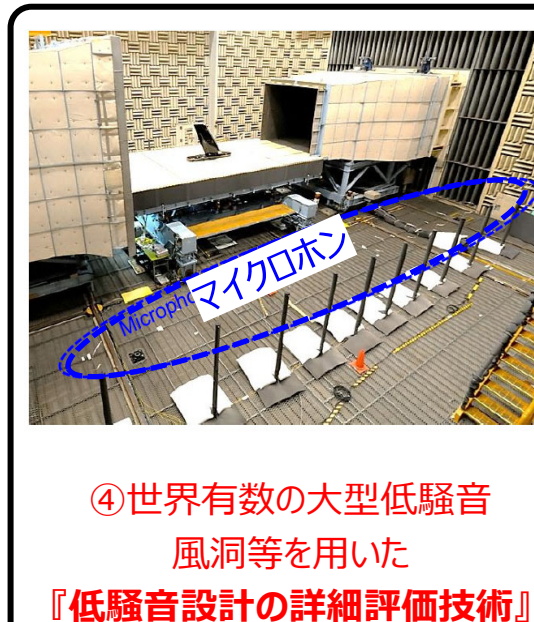
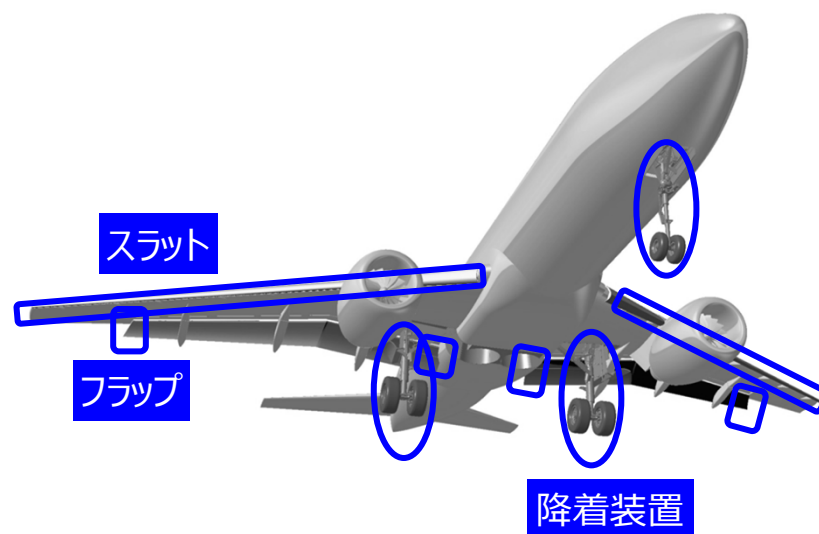
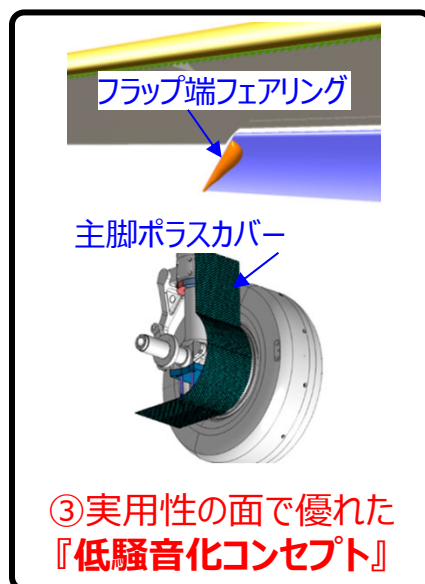
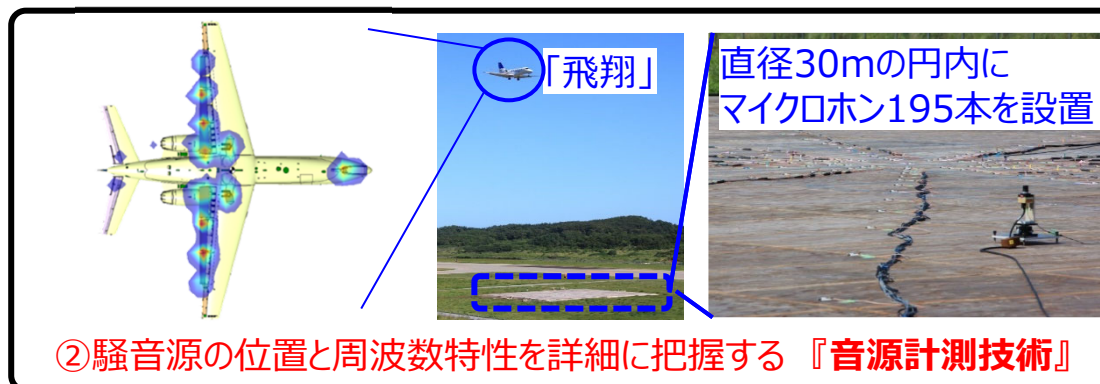
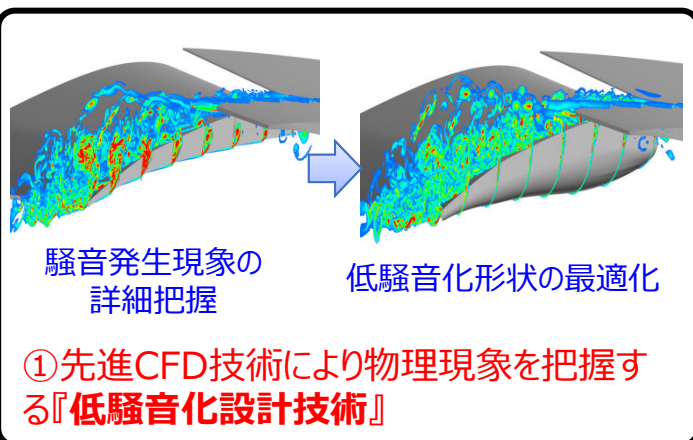
離陸上昇時 (Flyover) の騒音低減推移
エンジン出力 (大)



着陸進入時 (Approach) の騒音低減推移
エンジン出力 (小)

(背景その3) 機体騒音概要とJAXAの騒音低減技術の概要

- 機体騒音は風切り音がその原因（主翼とスラット間の隙間、フラップの端、脚） **(参考2)**。
- JAXAは機体騒音低減に向けて4つのキー技術を企業と協力して開発した。



各部からの風切り音を低減する改造を飛行に施し、飛行実証する

- 構造設計、飛行性能解析に基づく飛行安全性の証明により、大阪航空局より、航空法11条ただし書に基づく飛行許可を取得

低騒音化デバイスを装着して飛行する飛翔



フラップ低騒音化の改造



主脚低騒音化の改造

FQUROHの目的

- 現在、国際的にも空港周辺地域の騒音低減のボトルネックになっている高揚力装置および降着装置に対する低騒音化技術を、将来の旅客機開発ならびに装備品開発に適用可能な段階まで成熟度を高める。
- これにより、国内航空産業界における国際競争力強化に貢献するとともに、空港周辺地域社会における騒音被害、エアラインの運航コスト（着陸料）の軽減に貢献する。

FQUROHの目標

- 旅客機の機体騒音の主音源である高揚力装置と降着装置それぞれに対する低騒音化技術を実機に適用し、**飛行試験により低騒音化の効果があることを実証することにより、実用化に必要な設計技術を獲得する**（TRL4の技術をTRL6まで高めることに相当する、下図青枠）。



技術的な達成基準として2段階の基準を設定

1. 2018年度までに、『飛翔』を用いた実機飛行環境において、高揚力装置、降着装置のいずれかについて、低騒音化設計が狙った周波数帯で1dB以上の騒音低減効果があることを実証する。
2. 2020年度までに、『SpaceJet (旧MRJ)』を用いた実機飛行環境において、高揚力装置、降着装置それぞれについて、低騒音化設計の結果、2dB以上の騒音低減量が得られることを実証する。

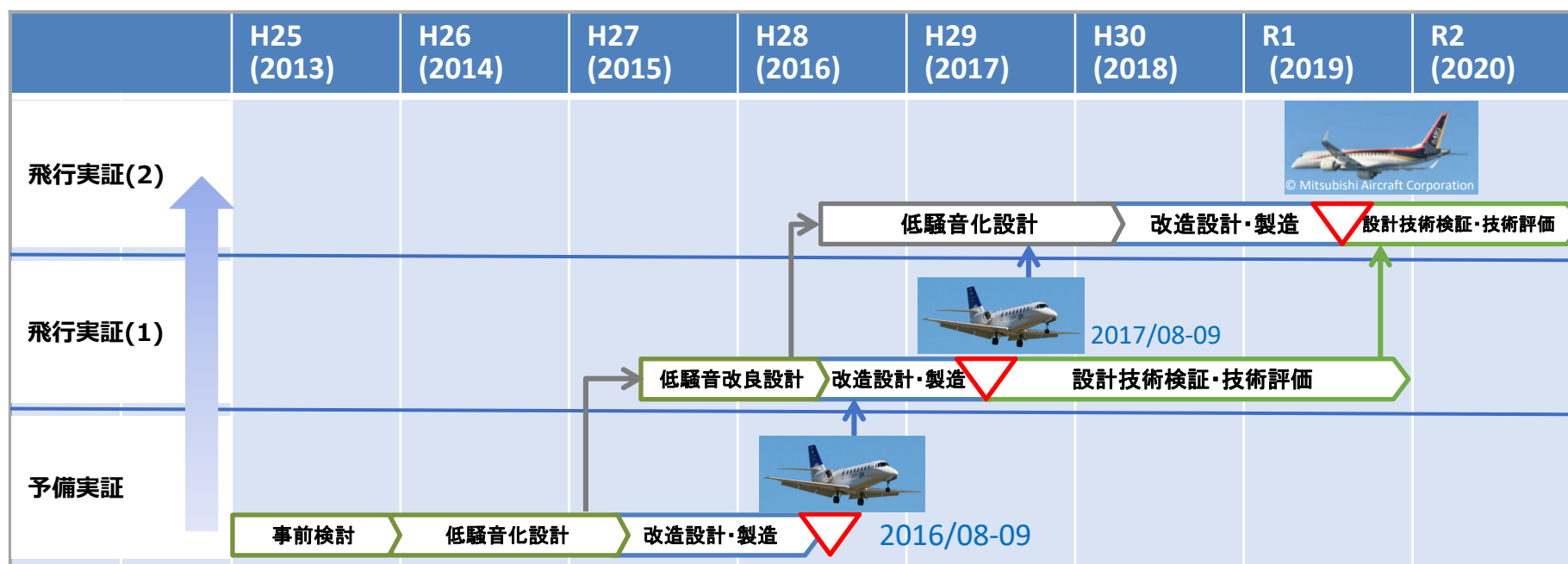
達成基準の設定の考え方

- 低騒音化の対象について
 - ✓ 将来の機体の設計によって卓越する音源は入れ代わるため、主音源であるフラップ、スラット、降着装置それぞれの要素レベルでの低騒音化を対象とする。
- 低騒音化基準の数値の与え方について
 - ✓ 低騒音化設計技術の獲得を目標とするため、騒音低減量を成功基準とする。
 - ✓ 飛行実証成果として、既存機体の改造の制約を考慮したうえで、海外技術動向を見ても国際的に高いレベルとする。

- SpaceJetの競争力の一つである低騒音性をさらに強化するものとして、国内メーカーと目標値を共有。
- 最近では、ボーイングでも機体騒音低減技術の飛行実証の必要性が示されるなど、国際的にも興味が高い部位を低騒音化の対象として設定。

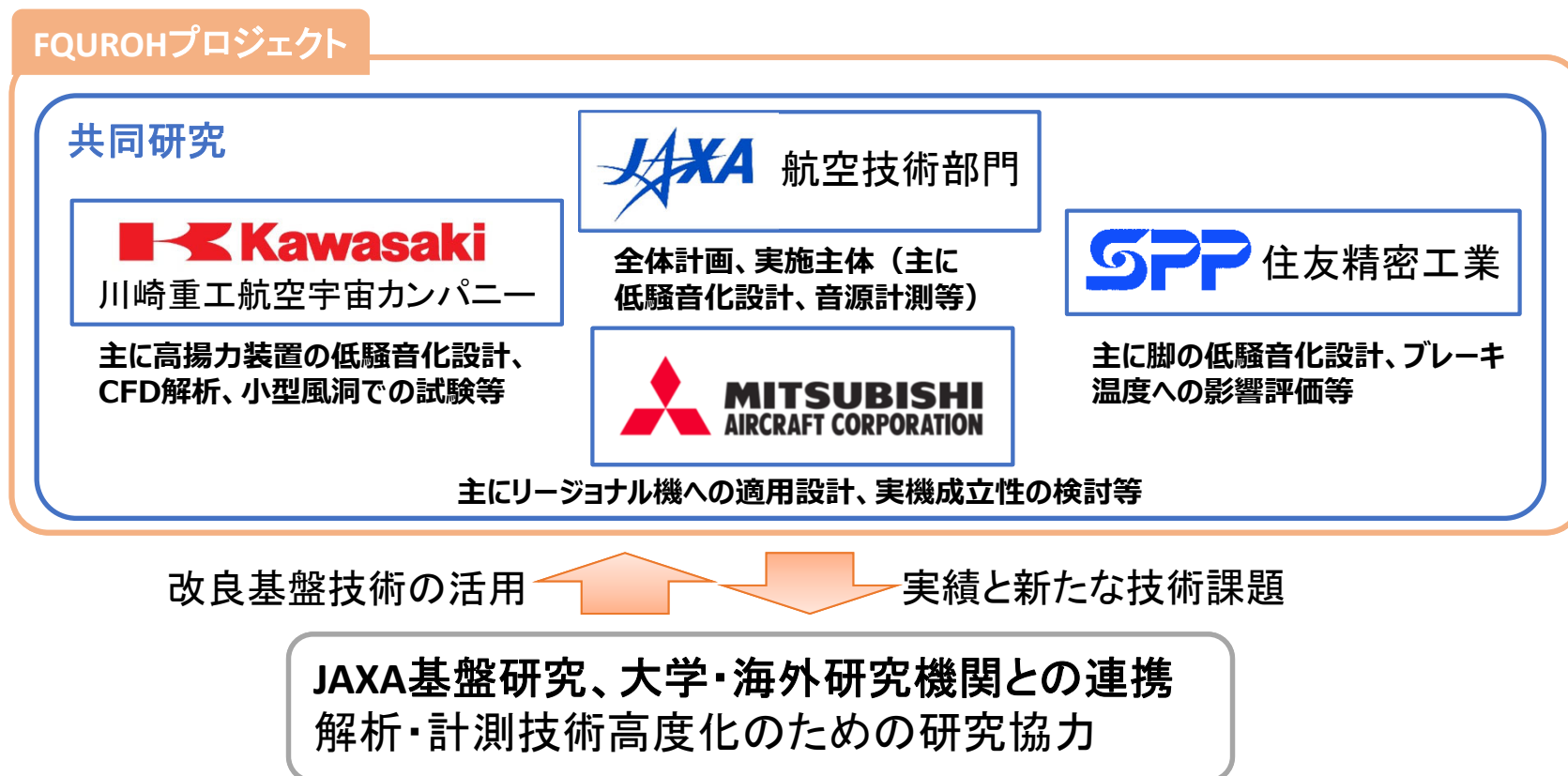
FQUROHのスケジュール

- JAXA実験用航空機「飛翔」と「SpaceJet」を使い、3段階の飛行実証により低騒音化設計技術の獲得を行う。
- 予備実証 飛翔：機体改造、飛行許可等を含む実証飛行試験プロセスの確立
- 飛行実証 (1) 飛翔：低騒音化設計技術の評価。実機スケール効果データ等の取得
- 飛行実証 (2) SpaceJet：低騒音設計の最適化により設計技術の獲得



FQUROHの体制

- 技術開発ニーズを有する航空機・装備品メーカーとの共同研究体制により実施。技術成熟度が低い要素技術研究・実証段階から企業と責任分担に応じて資金分担する費用構造となっている。
- 基盤研究との連携・協力により常に活用する基盤技術の高度化

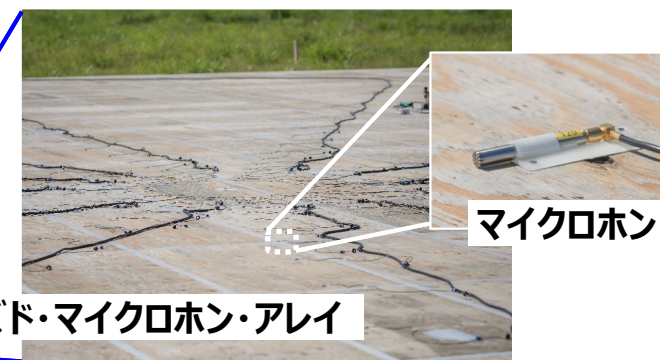
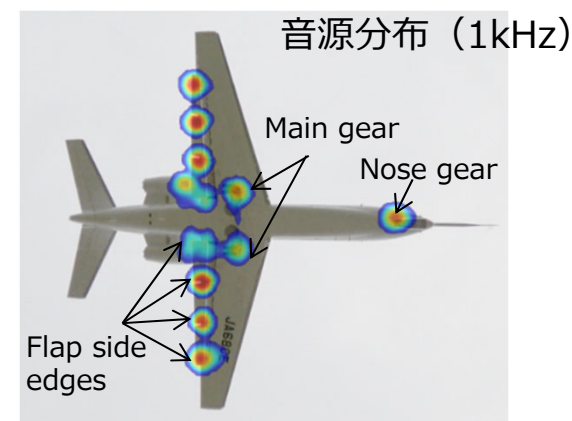
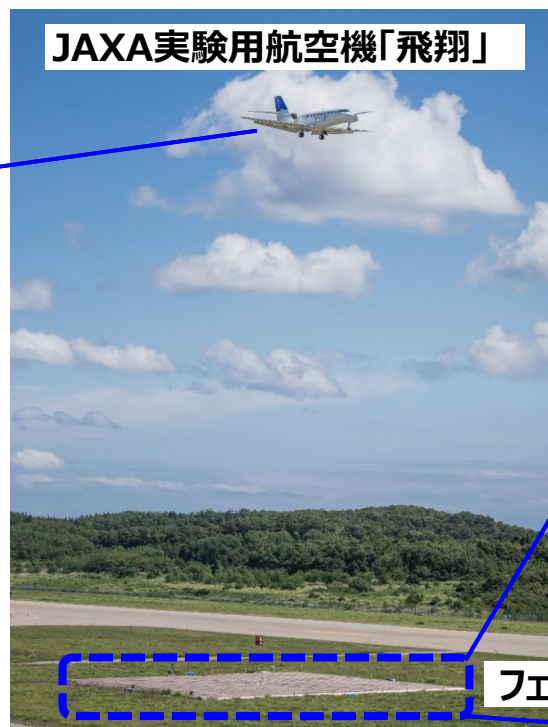


1. 成果概要：予備実証（2016.9）

飛行試験プロセスを確立し、飛行実証（1）に向けた設計技術の正しさと課題を確認した。

- ナビゲーションシステム “Tunnel-In-the-Sky”(TIS) による正確な飛行
- 通過位置・速度のクイック計測、高精度な飛行経路の計測
- フラップは低騒音化設計の狙い通り、1kHzでは5dB以上の大幅な騒音低減を達成。
- 2～3kHz付近で、フラップ端から予想以上の異音が発生し、騒音が増加する課題を抽出。
- 脚騒音は1dB程度の低騒音化に留まり、改善余地があることを確認。

参考3

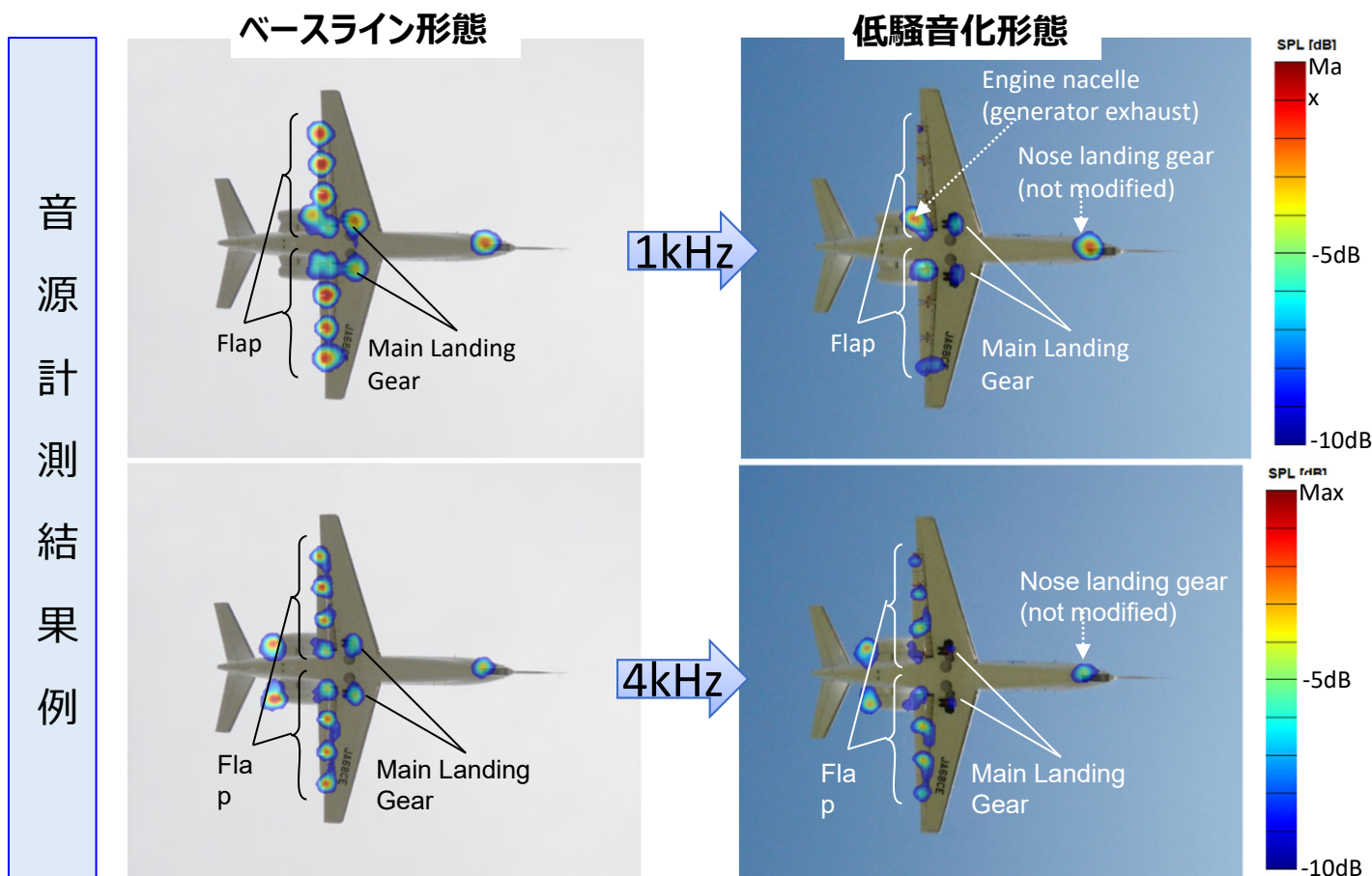


1. 成果概要：飛行実証（1）（2017.9）

音源計測の結果（下図）に基づく低騒音化の成果概略は以下のようにまとめられる。

参考4

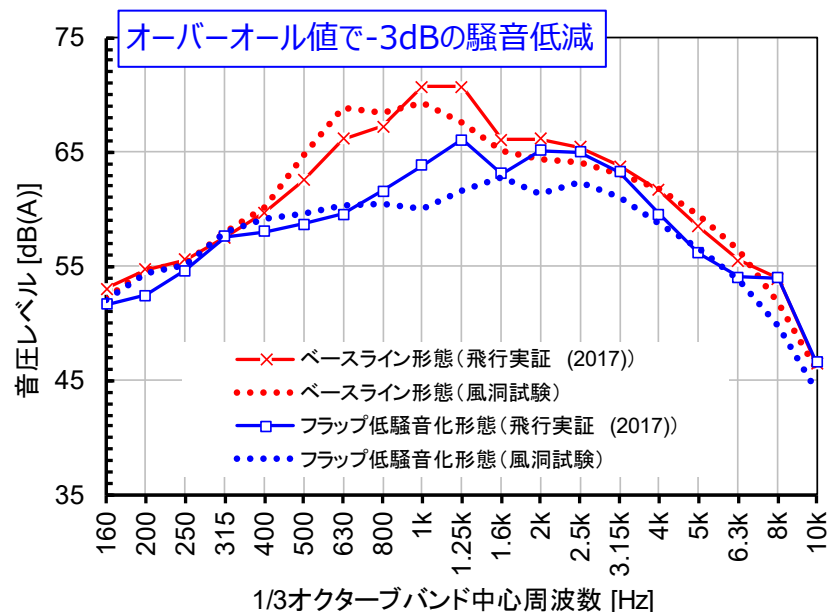
- フラップの騒音は予備実証同様、500Hz~1kHzで、5dB以上の大幅な低騒音化を達成した。
- 2~3kHz付近のフラップ端からの異音の原因を先進CFD技術により究明し、その対策を施した結果、騒音の増加は見られなくなった。
- 主脚の騒音は、脚収納部等の低騒音化により、4dBの低騒音化を実現した。



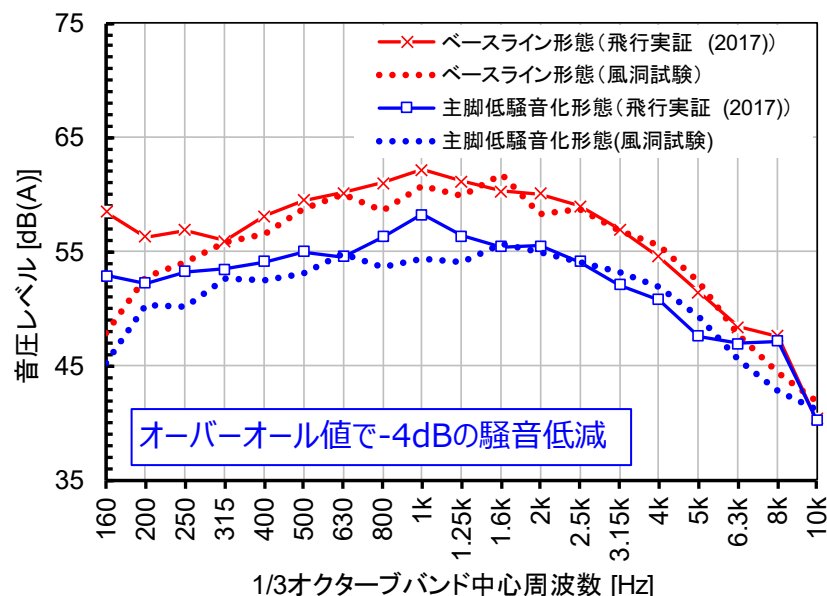
1. 成果概要：低騒音化設計方法の正しさの検証

音源の騒音スペクトル分析による定量評価結果（下図）

- 低騒音化前後の飛行試験データ（赤／青実線）の比較により、成功基準を満たすことを確認した。
- 飛行試験データ（実線）と設計データ（破線）との比較から、設計データが騒音特性を非常に良く予測していることを確認、設計方法の正しさを示した。
- 2017年の飛行実証の成果を日本航空宇宙学会（2018年4月、2019年4月）、米国航空宇宙学会（2018年6月）の特別セッションにて報告。今後の航空機低騒音化を期待させる成果として注目された（Aviation Week & Space Technology / July 30 – August 19, 2018）。



フラップ騒音：18%スケール設計データvs 実機データ



主脚騒音：実スケール主脚単体設計データvs 実機データ

- スペクトルは十数回以上の計測結果を平均したもの。
- 計測点直上通過時の1/3オクターブバンド騒音スペクトルに関して、設計時の風洞試験結果（設計データ）を飛行試験結果と比較。
- 全データは基準試験飛行条件（高度200ft (61m)、大気速度140kt (72m/s)）に補正。

※EPNLと同等の評価手法
(参考5)

1段階目の成功基準を満足した。

飛翔による飛行実証(1)(2017)を経て得られた成果

- 前頁の成果を ICAOの基準における航空機騒音の評価法に基づき総合評価した結果※、
「計画を大幅に超えるレベル」の低騒音化を達成
 - ✓ フラップ : -2.1 dB、
 - ✓ 主脚 : -4.0 dB
- 過去の欧米の飛行実証と比べ、先進的なCFD技術を風洞試験とともに活用するという、低騒音化設計のコンセプトの効果が大きく表れた結果であると考察している。
- 実機飛行環境下でのフラップと主脚に関する低騒音化設計の技術実証から、プロジェクト開始前には見通せていなかった低騒音化設計技術を獲得した。
- 国際的にも実機データによる詳細検証は初であり、旅客機の低騒音化技術の確立に確実に道を切り開くことができた。

実証した技術等の先進性・先端性・優位性

- 独自の低騒音化コンセプトによる世界初のフラップ低騒音化の実証、詳細なデータ比較による設計技術検証など、世界に先駆けて実用性のある低騒音化設計の基盤技術を確立した。→参考6,7
- 国際的な研究開発をリードする段階まで技術力を高めた。その先進性・先端性・優位性は、論文、特許の件数が多いことから明確に示されている。→参考8

人材の育成

- JAXAとメーカーとの共同研究体制により、低騒音化のアイデアから飛行実証までステップアップするプロセスとマネジメントの経験を、JAXAのみならず共同研究相手先のメーカーを含めた技術者・研究者が得られ、研究開発を通じて各人の能力向上と育成を図ることができた。

2. 計画変更について：外部要因の説明

SpaceJetの開発遅延を受け、飛行実証（2）は見送り、2段階目の成功基準は未達となった。

- SpaceJet開発遅延状況変化（2018年度）を受け、実証時期が2022年度に遅延する見込みとなり、更に2020年度にはSpaceJet開発が一旦停止することになり、飛行実証の見込みが立たなくなった。
- 一方、機体騒音低減の技術確立の必要性は国際的にも高まっていることから、実証時期が遅延する分、更なる低騒音化技術を開発する必要性が生じている。**（参考6,7,9）**

見直した計画の目的、意義・価値

- 航空輸送量の増大から、空港周辺での騒音被害が顕在化していること、エンジンの低騒音化の進捗に伴い、機体騒音の低騒音化の必要性が高まり、世界動向からみても、高揚力装置や降着装置から生じる騒音の低減技術を確立することが喫緊の課題であることに大きな変化はない。
- FQUROHプロジェクトの意義、価値を継承しつつ、そのスコープを拡げること、SpaceJetの開発が再開された場合でも技術的な対応を可能にすることを計画見直しの方針とする。
- 具体的には、FQUROHで対象にしたSpaceJetに加えて、それよりも大型の旅客機における機体騒音低減に貢献する研究開発、ならびに空港進入時の空港の騒音対策に貢献する研究開発を行う。

2. 計画変更について：変更した計画の概要

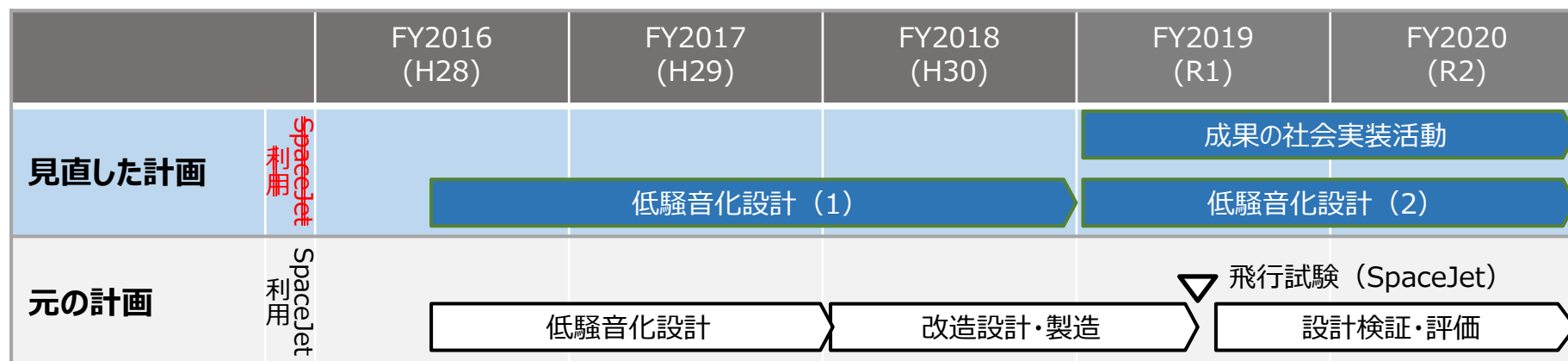
実施項目

1.低騒音化設計（2）：旅客機向けの低騒音化技術の開発

- ①: **SpaceJetを具体的な対象とした低騒音化設計に関する研究開発**：飛翔を用いた飛行実証を通じて得た設計知識、知見を活用し、国内共同研究企業と連携して構造・空力成立性を踏まえた低騒音化設計を実施する。
- ②: **中型旅客機の4輪主脚騒音の理解**：海外OEM(ボーイング)とともに、国際的に広く利用されている中型旅客機の4輪主脚騒音の物理現象を理解する。

2.成果の社会実装活動

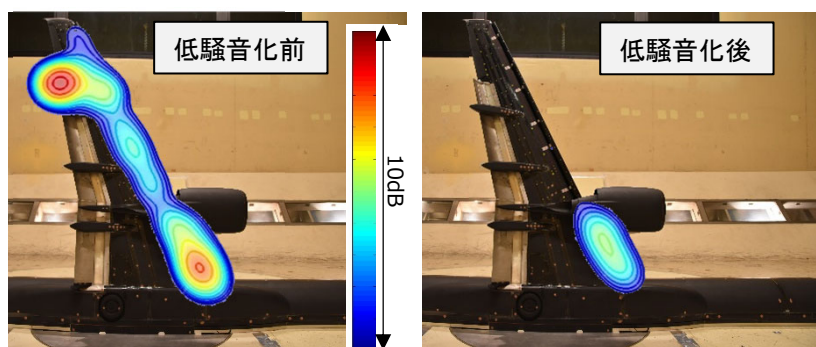
実機騒音源計測に基づく騒音源モデル構築：空港騒音対策に資する航空機騒音音源の寄与を把握するため、航空機騒音DBを取得、空港騒音対策に有効な騒音予測モデルを開発する。



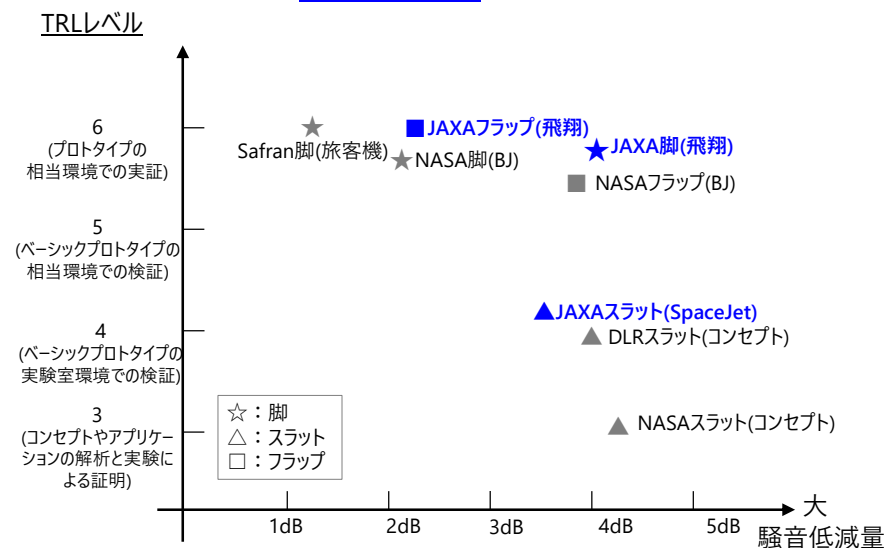
3. 計画変更後の低騒音化技術の開発成果①

1.-①: SpaceJetを具体的な対象とした低騒音化設計に関する研究開発の成果概要

- 目標は高揚力装置、降着装置それぞれについて、実用化を考慮した形状とした上で、**実証試験が可能なコンポーネント毎にステークホルダと共に設定した騒音低減量**が見込めること。
- 風洞試験により目標を達成（**高揚力装置で3.3dB、脚で4.5dBの低減量**）した。飛翔ではできなかった脚収納性を考慮した構造成立性を満足するなど、SpaceJetを用いた実証試験に供するデバイス形状の見通しを得た。
- **成果の受け取り手である国内メーカーとの共同研究**を通じて、合同で風洞試験・CFD・実機成立性の検討を行うことで、**各社の技術力向上に貢献するとともに、共同特許(4件)も生まれた。メーカーへの技術移転も積極的に行い、国内産業界の国際競争力確保に貢献した。** ➡参考8
- 騒音低減の効果として、**本設計技術が多くの旅客機に適用される場合に、被害地域の面積は-2dBで約70%、-4dBでは約50%に縮小すると予想される。** ➡参考10



村山他、「JAXA機体騒音低減技術の研究開発(FQUROH+)における高揚力装置低騒音化研究」、第53回流体力学講演会/第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム(2021年)



3. 計画変更後の低騒音化技術の開発成果②

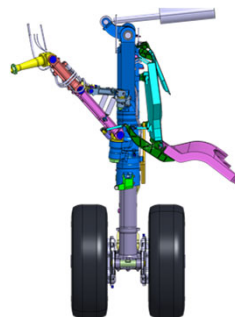
1.-②: 中型旅客機の4輪主脚騒音の理解

新たな成果受け取りでの開拓を目標として、ボーイングとの共同研究を立ち上げ、**中型旅客機を対象に脚騒音に関わる現象理解と低騒音化に向けた議論**を行う。

- ボーイングと共同研究を締結（2020年7月）し、先方の飛行試験結果を入手した。JAXAの役割である現象解明に向けた主脚非定常CFD解析に着手した。
- JAXAでの飛行実証成果を基に、ボーイングと将来の研究開発構想を調整した結果、**共同で飛行実証構想を検討することに合意**を得た。
 ➔ 2021年6月に、対象を脚と高揚力装置に拡大して、**中型旅客機による飛行実証を検討する共同研究契約を締結**した。



飛翔の脚
FQUROHの対象



SpaceJetの脚
1.-①の対象

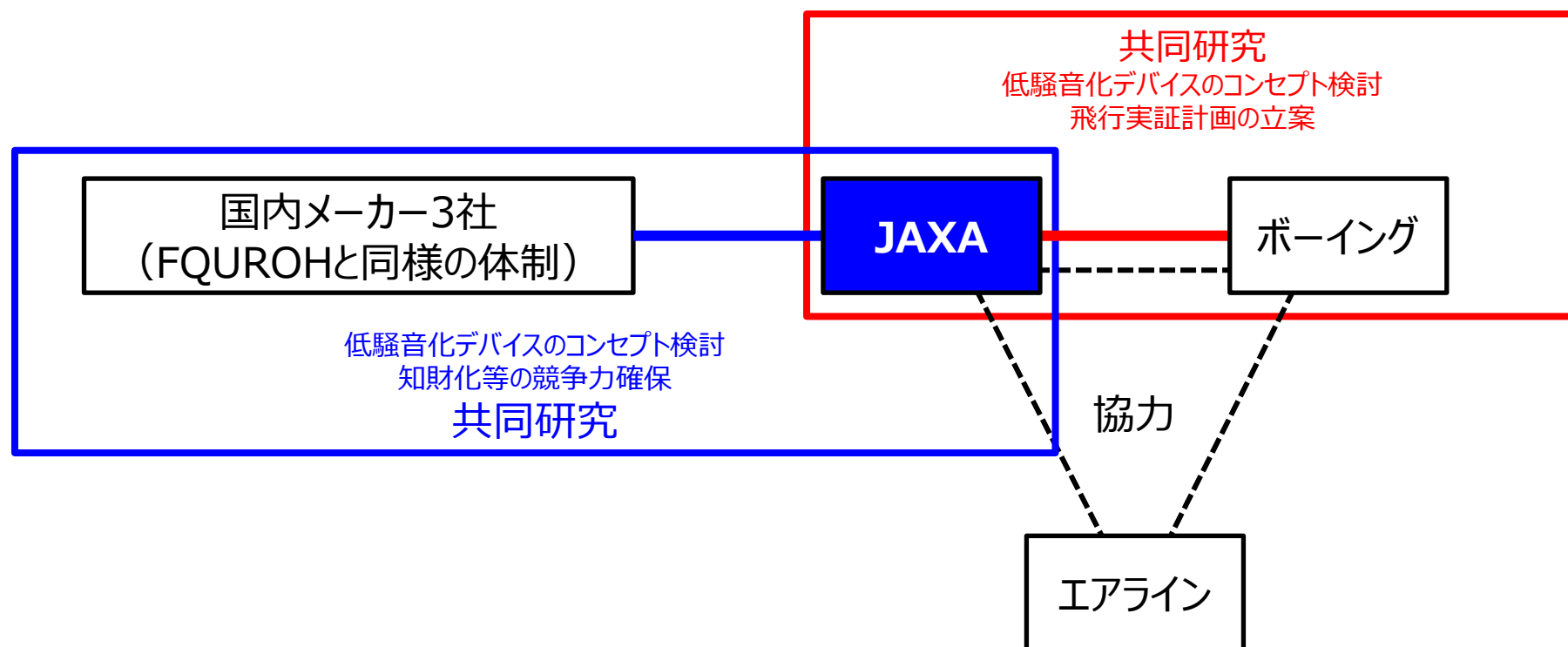


B787の脚
1.-②の対象

3. 計画変更後の低騒音化技術の開発成果③

低騒音技術の研究成果により構築することができた研究開発体制

- 本研究開発成果を元に、国内3社とJAXAが連携して低騒音化技術開発を行い、ボーイング-JAXA間の共同研究を通じて飛行実証し、社会実装を加速できる枠組みを構築した（2021年度）。
- 飛行実証計画に対しては国内エアラインとの協力体制も視野に連携を進めている。



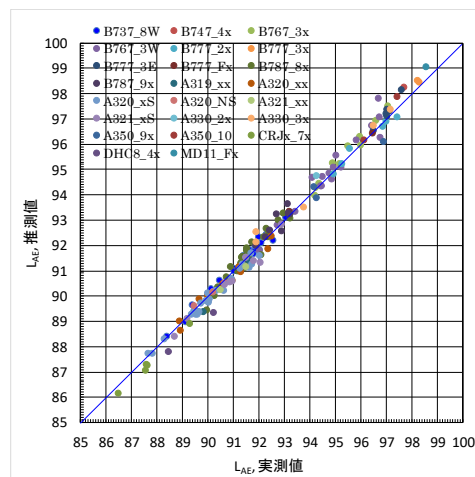
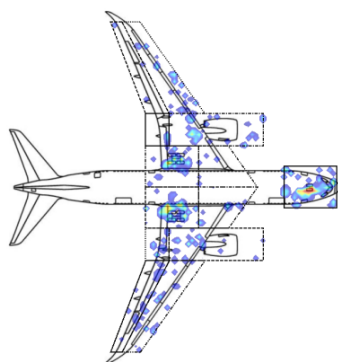
4. 騒音計測技術等の社会実装活動の成果①

2.: 実機騒音源計測に基づく騒音源モデル構築

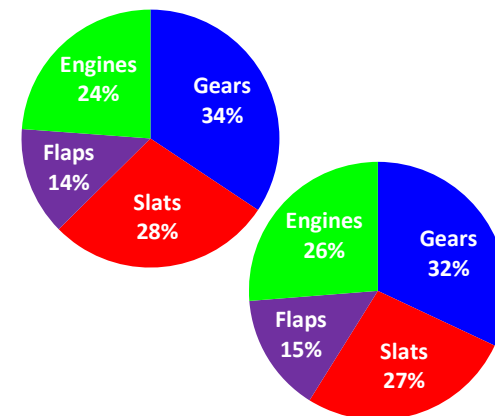
- 国内主要空港の飛行ルートや滑走路拡張等の検討において航空機騒音の悪化が懸念されている。
- 運航方法などの対応策を検討するためには騒音を定量予測する必要があるが、現行の騒音予測モデル（JCABモデル）では航空機全体を一つの音源（エンジン騒音が主体）としてみなしているため、十分な予測ができない。
- FQUROHの音源計測技術を活用して、エンジン、高揚力装置といった音源毎の寄与度を推算可能にするために、成田空港で民間航空機の音源分布を測定（2019年5月）。
- 音源の評価手法の高速化と改良を進め、個々の音源要素の寄与度に基づいて予測した騒音レベルが十分な精度をもつことを示した。（実測値に対して $\pm 0.3\text{dB}$ の精度、同機種で搭載するエンジンが異なる場合、それによる騒音の差異を抽出することが可能なレベル）



成田空港での測定の様子と計測した音源分布



推定値と実測値との比較

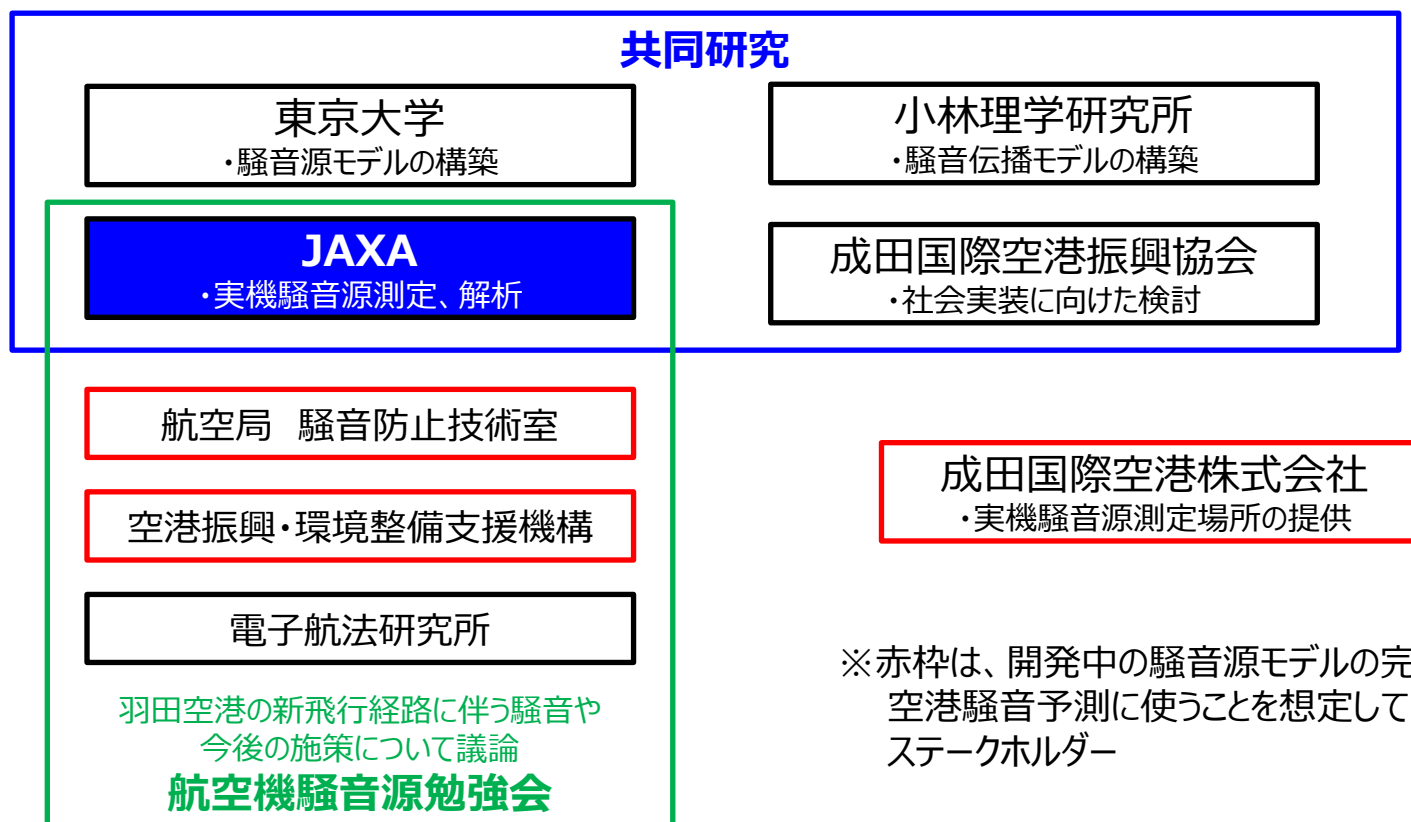


音源要素の寄与度の違い
(エンジンが異なる同一機種)

4. 騒音計測技術等の社会実装活動の成果②

騒音源モデルの成果に基づき構築できた社会実装の体制

- JCABや空港事業者が、着陸進入フェーズにおける任意の高度・速度・エンジンレート・高揚力装置および脚の展開状況における地上騒音を予測できるように、騒音源モデルを拡張し、技術支援・移転を行う。
- FY2021から航空局騒音防止技術室が進める予定の既存のJCABモデルの改良において、JAXAと共研各社で開発した予測技術が実装、運用される見込み。



5. 中間評価（2015年度）におけるご指摘への対応

中間評価におけるご指摘	ご指摘への対応（低騒音化技術（航空機））
特に次世代エンジン及び小型旅客機における燃費低減及び低騒音化等の環境性能に訴求する優位技術を獲得する意義は大きく、当技術を重点投資し、世界トップレベルの要素技術に確立することが重要である。	世界に先行して飛行実証を行うことで、<u>国際的な研究開発をリード</u>する段階まで技術力を高めた。
現状の要素技術では光るものを持っているが、航空エンジン、主翼として仕上げた時に、競争力のある世界に優越する物ができるかという観点からは、更なる体制の強化が必要である。	国内産業界の旅客機開発<u>動向の変化に柔軟に対応</u>するよう、当初計画を変更した。
ICAO 等世界的な動向に応じて、計画等に関して柔軟性を持って対応することが必要である。	変更した計画では、<u>ボーイングを取り込み</u>、日本の技術力をアピールし、<u>成果の社会実装を加速できるような枠組み</u>を構築した。
適切な予算規模を考慮しつつ実機地上試験や飛行実証試験の実施を推進し、システム技術の実証と設計技術を確立することは研究開発のアプローチとしては優れている。一方、近い将来の航空機産業の国際競争力向上を意図するならば、各要素技術をインテグレートする知的基盤、体制が弱いこと等、日本の航空産業の問題点を認識し、その解決に向けての方策を積極的に取り入れるべきである。	変更した計画、新たな体制の下で検討を進めている将来の研究開発構想では、実機に低騒音化技術を適用した飛行実証をベースにするなど、<u>システムインテグレート</u>の観点で、<u>従来の計画を維持・向上する検討を進めている</u>。
FQUROH プロジェクトに関しては、エンジン騒音のほうへ目が向けられやすい騒音関連技術において、何故機体騒音を低減すべきかという面での説明努力をより一層強化していくことが、本プロジェクトの有用性を社会に広く認識してもらうために重要である。	FQUROHプロジェクトの成果を航空機騒音源モデルとして仕上げるために新たに構築した共同研究体制においては、<u>大学、研究所等を含めることで、FQUROHプロジェクトの体制にはない技術的な知見を取り入れた</u>。
aFJR 及び FQUROH プロジェクトについては、JAXA内にプロジェクトチームが設置され、一定の期間内において目標を達成するためにリソースを集中的に投入できる体制が構築され、より効率的な体制となっていると判断する。また、産業界や学界との広範囲な連携はその実績を認めるとともに、今後も公募型研究等を推進し、日本の産学で眠っているシーズを発掘できる体制作りを積極的に進めるべきである。	また、上記の共同研究体制でできた騒音源モデルを<u>社会実装するための具体的なユーザを取り込み</u>、これまでエンジン主体であった騒音源モデルの改良を通じて、<u>機体騒音を予測可能な騒音源モデルが実装・運用される見込みを得た</u>。
より使用できる技術であるために、システムティック・インテグレーションを意識してバランスのとれた要素技術開発を心がけ、航空機全機開発の中でのエンジンや翼技術の向上を目指す必要がある。そのため、安全技術とも一体化させ「環境に配慮し安全な新世代国産航空機」を究極の目標とすべきである。	JAXA航空技術部門において、<u>プロジェクト成果を踏まえたうえで、「今後10年を見据えて取り組むべき研究開発領域」、「研究開発領域を踏まえた直近5年の研究計画」等を検討し、報告書として取りまとめた</u>。

6. 科学技術基本計画への貢献状況

研究開発計画に掲げられる取組の推進を通じて科学技術基本計画に貢献した

研究開発計画

第5章 国家戦略上重要な基幹技術の推進

1. 航空科学技術分野

(1) 社会からの要請に応える研究開発

イ. 環境適合性・経済性向上技術の研究開発

(中略)

機体については、空港周辺地域の騒音低減のボトルネックになっている高揚力装置及び降着装置の低騒音化技術の研究開発を行い、将来の旅客機開発並びに装備品開発に適用可能となるように技術成熟度を高める。また、乱流摩擦抵抗低減技術等の機体抵抗低減技術の研究開発を進め、飛行実証等の技術実証を行う。さらに、複合材を初めとした各種材料を、それぞれの特性を活(い)かして機体に適用する等、材料開発から機体構造設計までをつなぐ技術の研究開発を行い、機体重量の飛躍的な軽量化を目指す。

研究開発計画

第5章 国家戦略上重要な基幹技術の推進

1. 航空科学技術分野

(3) 航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発

我が国の航空産業の持続的な発展に向けて、我が国が得意とする数値流体力学（CFD）等の数値シミュレーション技術を飛躍的に高めるとともに、試験・計測技術、材料等の評価技術等の基盤技術を維持、強化していくことが重要である。

特に、航空機開発の高速化、効率化、高精度化に貢献する航空機設計技術の確立を目指し、非定常CFD解析技術をベースに空力、構造等の多くの分野を統合した解析技術（例：統合シミュレーション技術）等の開発を行う。

直接の成果

高揚力装置及び降着装置の低騒音化設計技術の確立

低騒音化設計技術を適用した低騒音化デバイスの騒音低減効果の風洞試験及び飛行試験による実証により、高揚力装置、降着装置の低騒音化設計技術を確立。

研究開発計画の取り組み
を直接推進

間接の成果

基盤技術の強化

風洞試験技術、飛行試験技術、CFD解析等の分野において、新たな解析・試験手法を開発。

（例：個々の騒音源を分離可能な音源計測技術、正確に所定経路を飛行可能なナビゲーション技術、実機の複雑形状に適用可能なCFD解析格子生成技術）

風洞試験・飛行試験・CFD
解析技術等の基盤技術の
強化に寄与

本研究開発

7. 今後の展望

低騒音設計技術の社会実装に向けた活動

- 本研究開発成果に基づき、国内メーカーを中心とする連携体制に新たにボーイングを加えた体制の下で、中型機を対象とする機体騒音低減技術の飛行実証に向けた検討を進める。国内メーカーとJAXAが共同研究により開発した低騒音化技術を、ボーイングとJAXAの共同研究を通じて飛行実証する枠組みにより、研究開発成果の社会実装を加速することを目指す。

騒音源モデルの社会実装に向けた活動

- 騒音源モデルの成果に基づき構築した体制の下で、空港騒音予測モデルとして社会実装することを目指す。

航空環境技術の研究開発 事後評価補足資料の参考

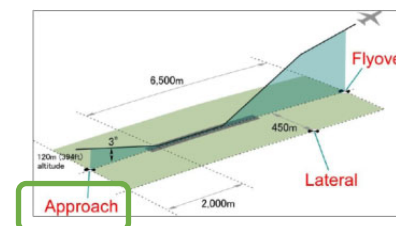
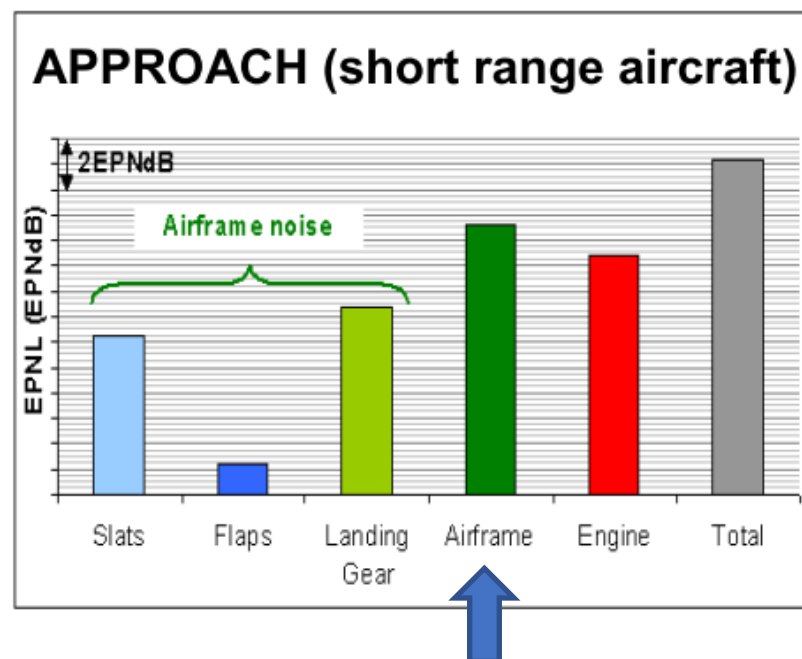
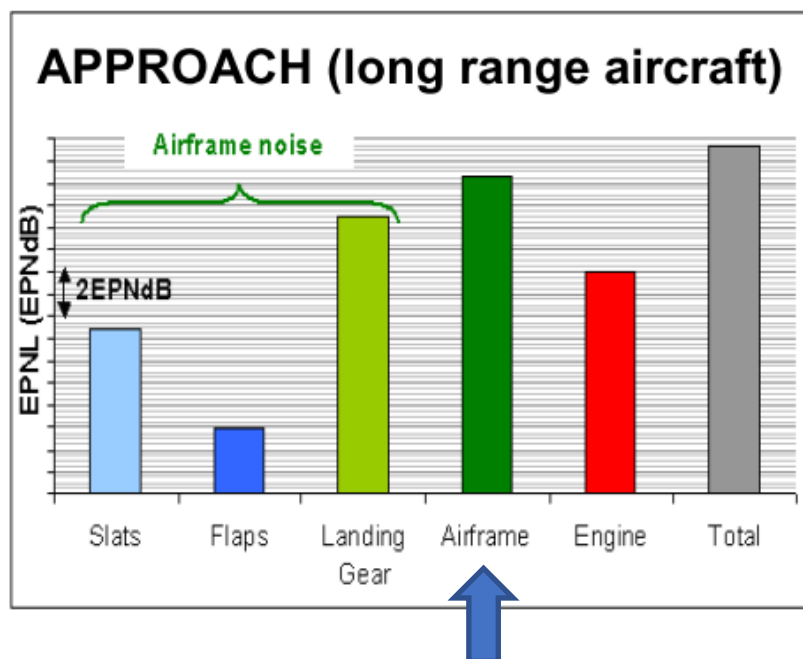
2021年（令和3年）8月23日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構（JAXA）

(参考 1) 着陸進入時の航空機騒音の内訳

2008年時点でも着陸進入時には機体騒音がエンジン騒音よりも卓越しており、騒音化技術を確認しなければ、今後の低騒音化のボトルネックになる。

Aircraft Noise Source Breakdown: (Dobrzynski, 2008)



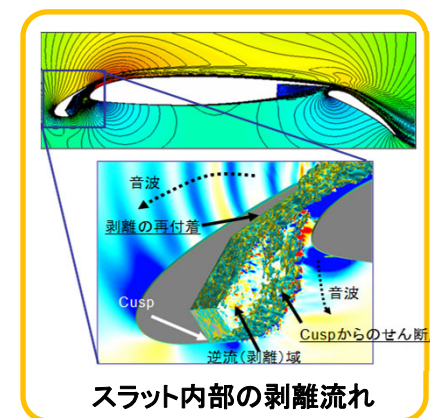
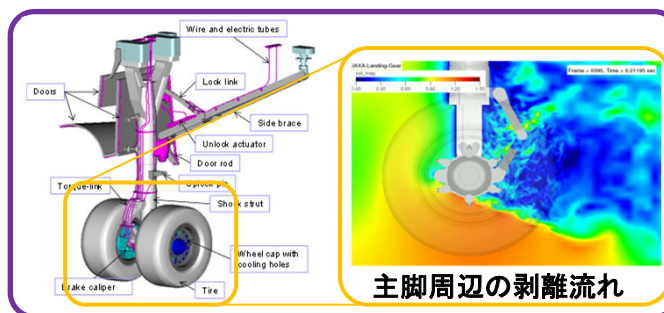
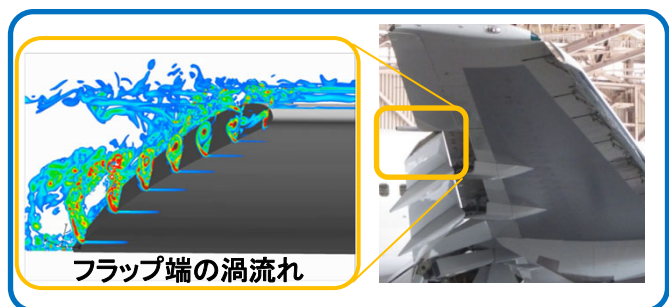
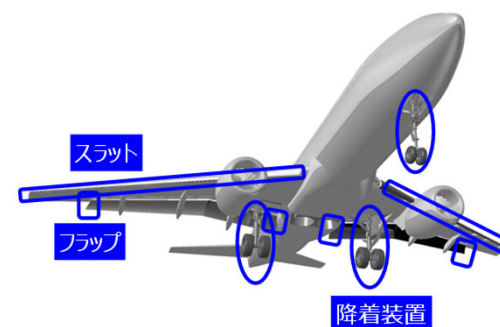
主音源の騒音発生原因とその対策

- 高揚力装置（スラット、フラップ）、降着装置の剥離した乱流せん断層が引き起こす広帯域の空力騒音
- 対策は剥離流の抑制・制御（形状の流線形化、乱流混合の促進）、発生した音の吸音など

機体低騒音化技術の実用化のための技術課題

- 下記の課題を解決し、実機の騒音低減を確実にできる「設計技術」の獲得が必要
 - ① CFDによる騒音源の流れと騒音予測の精度と信頼性
 - ② 風洞試験でのレイノルズ数効果、計測の精度と信頼性
 - ③ 飛行試験における低騒音設計の高精度な評価
 - ④ 構造強度・重量、空力性能、作動機構・冷却等とのトレードオフ

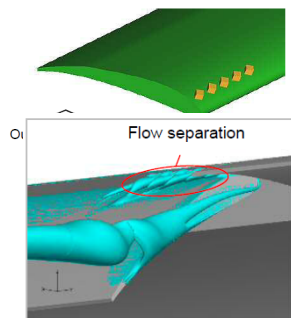
実機飛行試験により技術を確立する。



主音源のフラップと主脚に過去の研究から得られた低騒音化法を適用

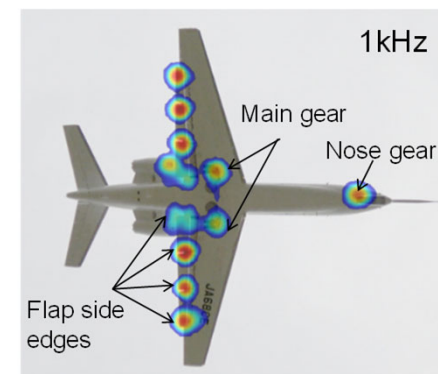
- フラップの端部(全12か所) : 3種類の方法を組み合わせる適用
 - ✓ ①Small Barriers, ②Vortex Generators, ③PRLE(Protruding Rounded Lower-edge)
- 主脚 : 車間に騒音源周囲の流れを減速する手法を適用
 - ✓ ④Porous-plate Cover

①Small Barriers

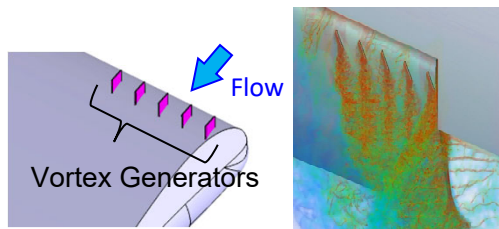


Isotani et al., AIAA2013-2064

JAXA experimental aircraft *Hisho*
based on Cessna Citation Sovereign

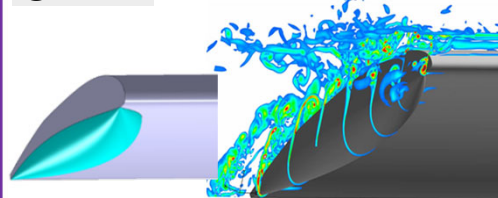


②Vortex Generators



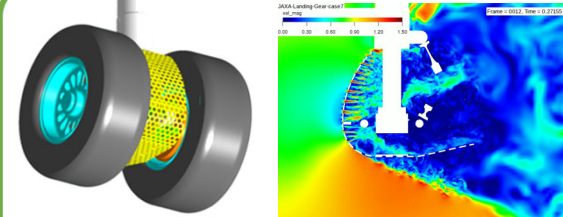
Murayama, et al., AIAA Paper 2017-4030

③PRLE



Murayama, et al., AIAA Paper 2013-2067

④Porous-plate Cover



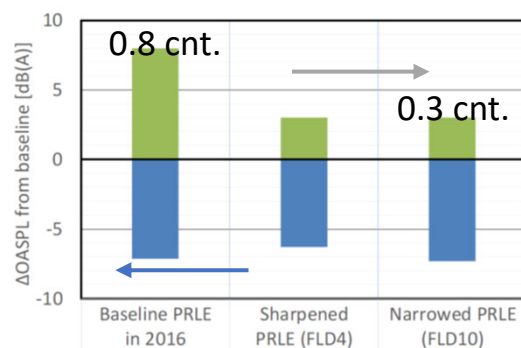
Murayama, et al., AIAA Paper 2012-2279

(参考4) 飛行実証(1)に向けた改良: フラップ

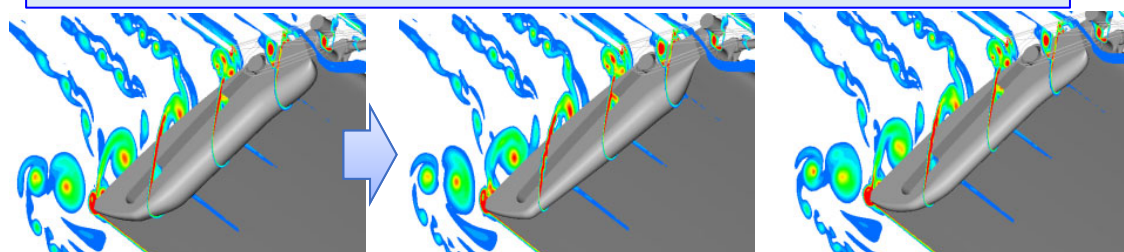
- PRLEの抵抗ペナルティの削減
- Vortex Generatorの騒音低減効果の改良
- フラップ端から発生した予想以上の異音に対する対策

✓ CFDの結果から、下面デバイス取付により作られたキャビティ(空洞)からの音が原因と特定。キャビティ内部容積の最小化、トラック角の丸みづけ、下面デバイスへのラフネス(突起)の取り付けの対策を講じた。

巡航時の抵抗ペナルティの低減



騒音低減量を維持しつつ、巡航抵抗を減らすため、PRLEの幅や曲率を最適化

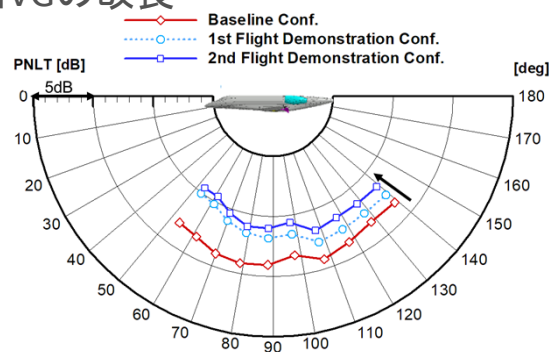


2016年予備実証のPRLE

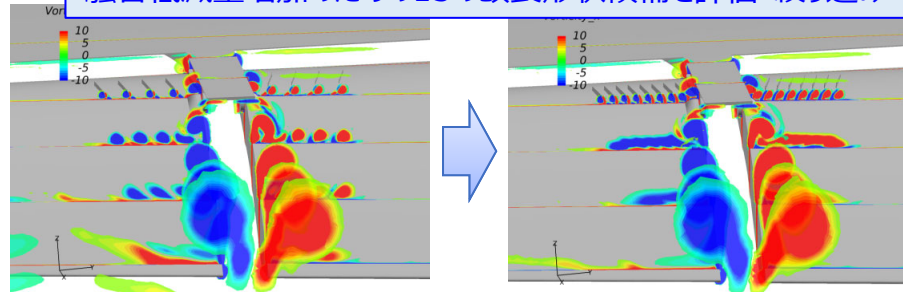
Sharpened PRLE (FLD4)

Narrowed PRLE (FLD10)

上面VGの改良



騒音低減量増加のための15の改良形状候補を評価・絞り込み



2016年予備実証VG

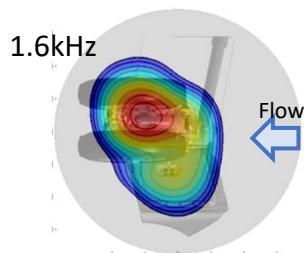
2017年飛行実証(1)用VGs

先進CFD技術により物理現象を把握することで、最適な改良設計や異音対策が可能

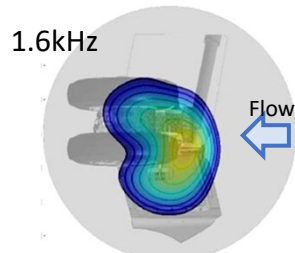
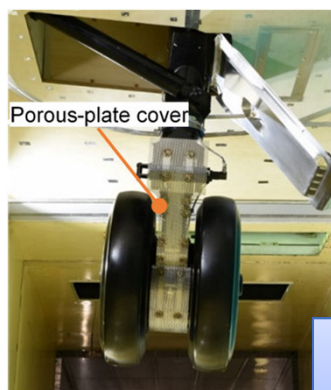
(参考4) 飛行実証 (1) に向けた改良：脚

- 風洞試験に多孔カバーの孔径を小さくし、高周波数の騒音増加を抑制した。
- 脚収納部のキャビティ音を抑えるディフレクター、脚扉の騒音発生を抑える多孔質材など、車間以外の音源を対策し、低周波数域の低騒音化を図った。

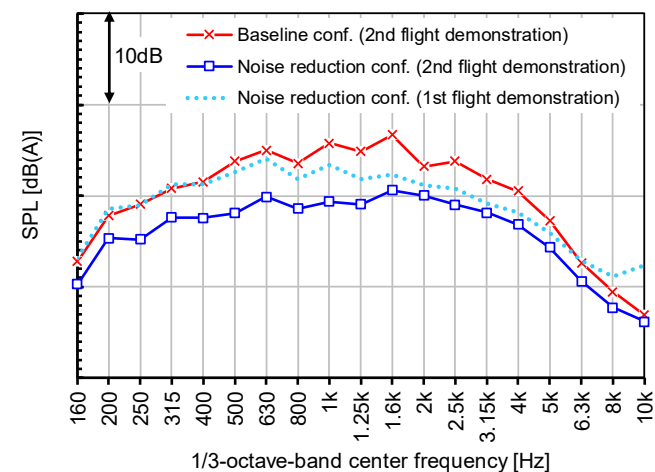
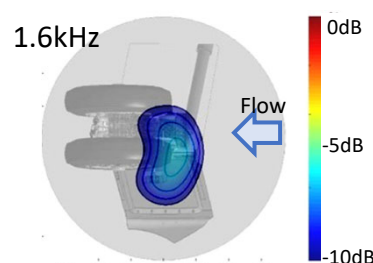
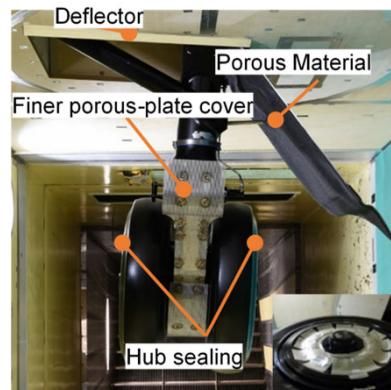
ベースライン



予備実証時



飛行実証 (1)



1/3 octave-band SPL at 90-degree location in the wind tunnel test
(Corrected to V=140kt (72m/s))

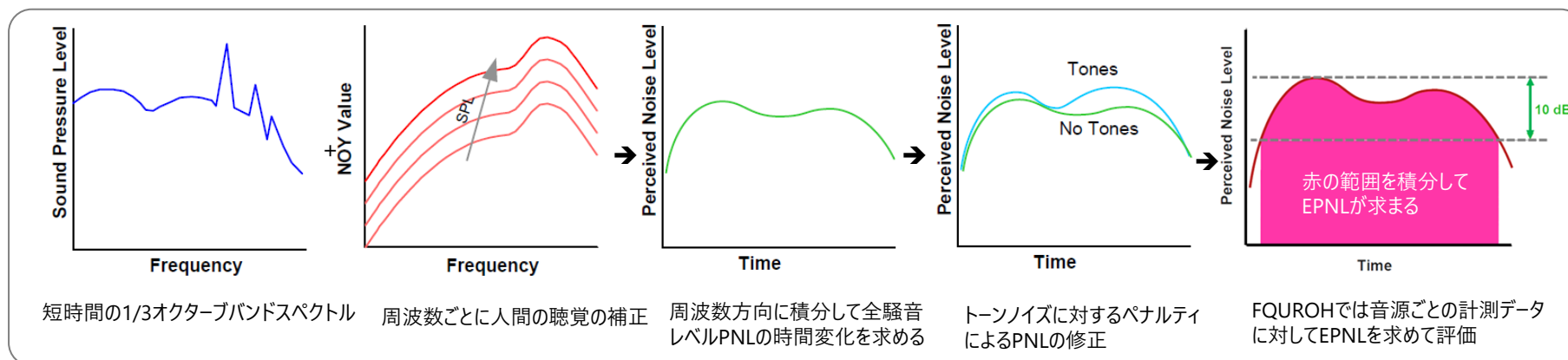
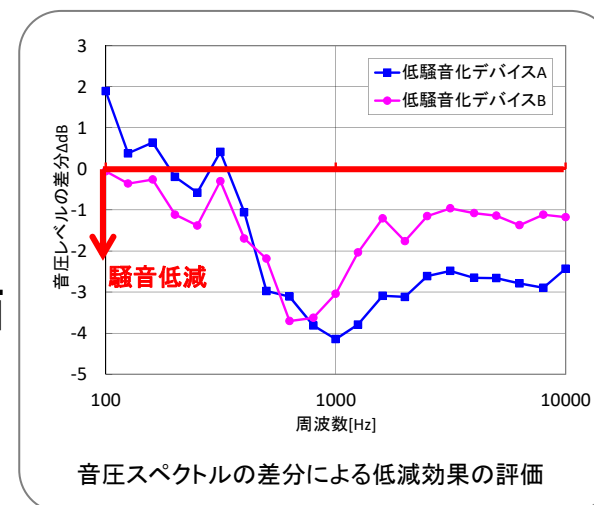
風洞を用いた『低騒音設計の評価技術』により、アイデアの適用評価を高サイクルで行うことが可能

周波数ごとの騒音低減量評価

- Boeingが QTD2プロジェクトで用いた方法。
- 航空機が上空を通過する時の音源計測データから、元の機体を基準にして、低騒音化技術を適用した時に得られる音圧スペクトルの差分 (dB値の差分) で評価。

EPNL (Effective Perceived Noise Level) による評価

- 航空機が上空を通過する時の騒音を、人間の聴感補正を入れて周波数と時間方向に積分し、一つの数値にする方法。
- ICAOの基準において航空機騒音の評価に用いられている。
- FQUROHではEPNLに準じて音源ごとの騒音レベルを求め、低騒音化技術On/Offの差分によって効果を評価する。



(参考6) 機体騒音低減技術の飛行実証動向

➤ JAXA (2016, 2017)

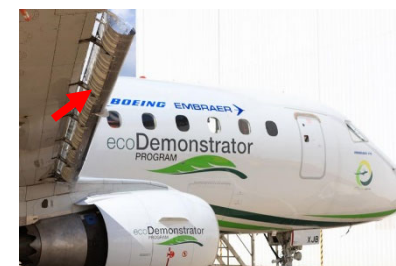
- ✓ 飛翔 (Cessna Citation Sovereign)
- ✓ フラップと主脚の低騒音化



JAXAの飛行試験： AIAA 2018-3300, 4085~ 2987

➤ Boeing-Embraer (2016)

- ✓ E-170 ecoDemonstrator
- ✓ スラットの低騒音化



Boeing-Embraerの飛行試験：
Aviation Week, Jan 24, 2017

➤ EU AFLoNext (2017)

- ✓ DLR A320 実験機 ATRA
- ✓ フラップの低騒音化

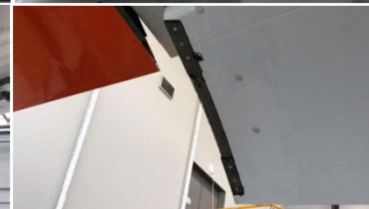
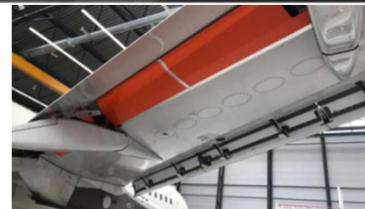
➤ NASA (2017, 2018)

- ✓ NASA Gulfstream GIII
- ✓ 主脚とフラップの低騒音化

NASAの飛行試験： AIAA 2018-2970 ~ 2975

➤ DLR + EU AFLoNext (2018,2019)

- DLR A320 実験機 ATRA
- スラット/フラップ/主脚/
前脚/スポイラーの低騒音化



A320 DLR実験機(ATRA)を使った飛行試験：
Aerospace Testing International, Sep. 24, 2018

➤ Boeing + Safran(2020)

- B787-10 ecoDemonstrator
- 前脚/主脚の低騒音化

FQUROHと欧米の騒音低減技術の比較

- 騒音低減コンセプトに対して低騒音化ポテンシャル（性能）とTRL（実用性に向けた課題）を比較
- TRLについては ◎（現状の構造設計が適用可能）、○（現状の構造設計が適用可能だが、メンテナンス、重量等に課題がある）、△（構造設計に変更が必要）、×（モーフィング等の新構造技術が必要）の4段階で比較
- 成果が未公表な飛行実証として、Boeing – Embraerのスラットの低騒音化技術実証（2017）、DLR + AFLoNextのスラット、フラップ、脚の低騒音化技術実証（2018）がある。

	脚		フラップ		スラット	
	FQUROH	欧米	FQUROH	欧米	FQUROH	欧米
低騒音化コンセプトとメカニズムの比較	- ポラスカバー（速度低減） - フェンス（整流）	ポラスフェアリング（速度低減 + 整流、Safran Landing Systems, NASA）	- PRLE（整流） - VG, SB（渦拡散）	- ポラス端（渦拡散, Airbus, NASA） - Side edge link（整流, NASA）	- カスプセレーション（渦拡散） - オーバーラップ増加（再付着後の変動減衰）	- Cove Filler(CF)（剥離除去, NASA） - 可変ギャップ(速度低減, DLR)
低騒音化ポテンシャル	• -4dB	• -2~3dB	• -4dB	• -3~5dB	• -2~-4dB	• -3~5dB
TRL（実用性に向けた技術課題）	◎	Safran : ○ NASA : △	◎	ポラス端 : ○ SEL : ×	セレーション : ○ オーバーラップ増加 : ○~△	- CF : × - VLCS : △ - 可変ギャップ : △~×
飛行実証時期	2016 FQUROH 2017-2018 NASA		2016 FQUROH 2017-2018 NASA		2016 Embraer-Boeing: 2018 DLR	

論文：査読論文：英文4件、和文1件、解説記事：国内：15件、
査読なし論文、口頭発表：国内56件、国際31件、技術資料：143件

受賞：社外1件（日本航空宇宙学会技術賞）、社内1件（理事長表彰）

特許出願：国内6件、国際6件

特許取得：国内2件、国際9件

技術移転：

- ✓ 連携した国内メーカーに対して報告書10件、形状CADモデル提供19件、風洞試験データ提供9件、飛行試験データ提供12件、CFDデータ提供3件
- ✓ CFD格子生成ソフトウェアMEGG3D*の利用契約38件
*実機の複雑形状のCFD解析格子の生成を容易にするために開発したソフトウェア。企業、大学等で広く使われている。

対外協力等

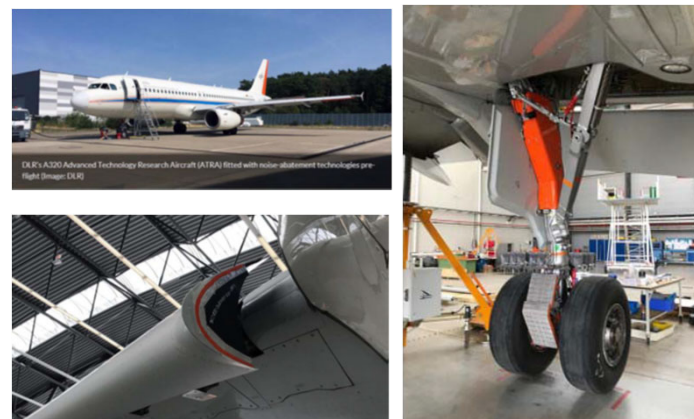
- ✓ ICAO CAEP WG1向けの資料作成：独立専門家レビュー（Independent expert review）**として機体騒音およびCFDに関する最新の技術情報を提供し、騒音低減技術の動向調査資料***の作成に貢献。同資料は、離着陸騒音の将来の基準値設定において、実現可能な範囲を把握するために用いられる。
** ICAO CAEP11 Independent Experts Integrated Review (IEIR) Review Workshop, April 2017.
*** Noise Reduction Technology (NRT), Development Status and Plans by technology area, 5. Airframe; NOISE, Technology Enablers and Future Concepts, 1. High Fidelity Computational Methods.
- ✓ 航空局主催の航空機騒音源勉強会への参加・協力：音源計測技術を活用して旅客機の音源毎の寄与度を推算可能な騒音源モデルを提案。同モデルは、航空局の空港騒音予測モデルの精度向上に活用される見込み。

旅客機を用いた飛行実証では Boeing-Embraer (2017), DLR+AFLoNext (2018)が先行

- Boeing-Embraer (2017) (左図) :
 - ✓ スラット低騒音化にコブフィラーコンセプトを適用している。構造成立性が達成できておらずスラットを収納できない課題がある。
- DLR+AFLoNext (2018) (右図) :
 - ✓ スラット：スラットギャップの変更と端部デバイスによる低騒音化が適用されている。実用性は高いと考えられるが騒音低減量は限定的と予想される。
 - ✓ 脚には構造成立性を想定した技術が適用されている。フラップには端部に多孔質材が適用されている。



Boeing-Embraerの飛行試験 (eco Demonstrator) :
Aviation Week, Jan 24, 2017



A320 DLR実験機(ATRA)を使った飛行試験 :
Aerospace Testing International, Sep. 24, 2018

更なる低騒音化技術の必要性

- 上記の動向と合わせ、実証時期の3年遅れによる陳腐化を防ぐため、技術レベルの向上が必要であることから、スラットと主脚の低騒音化技術向上のために設計サイクルを追加する。

(参考 10) 空港周辺騒音被害の軽減

国内航空産業ばかりでなく、FQUROHの研究開発成果が国際的な機体騒音低減の技術開発を先導すること、また各国研究機関、機体メーカーとの協力に発展することにより、国際的な低騒音化技術の向上が期待される。

機体騒音の低騒音化技術が、エンジンの低騒音化技術の発展とともに多くの旅客機に適用される場合、被害地域の面積は-2dBで約70%、-4dBでは約50%に縮小すると予想される。

