

低炭素排出と静粛性を目指した吸音ライナ技術の研究



航空技術部門 航空環境適合イノベーションハブ

長井健一郎、榎本俊治、北條正弘、大木純一、久保 凱、岡村直行、生沼秀司、石井達哉

吸音ライナとは？ ～背景と目的

吸音ライナの構造

- 吸音ライナは、**孔あき表面板**と**ハニカムコア**で構成されます。穴と背後の空間によって、ヘルムホルツ共鳴器が形成され、**共鳴現象**を利用して騒音を低減します(図1.1)。
- 航空用エンジンでは、エンジンナセル内側およびエンジン本体の一部に取り付けられ、ファンや圧縮機などの騒音低減に用いられています(図1.2)。

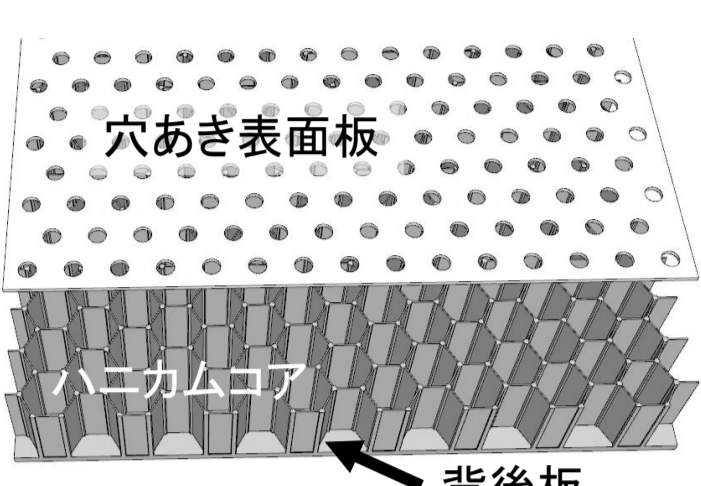


図1.1 吸音ライナの構造

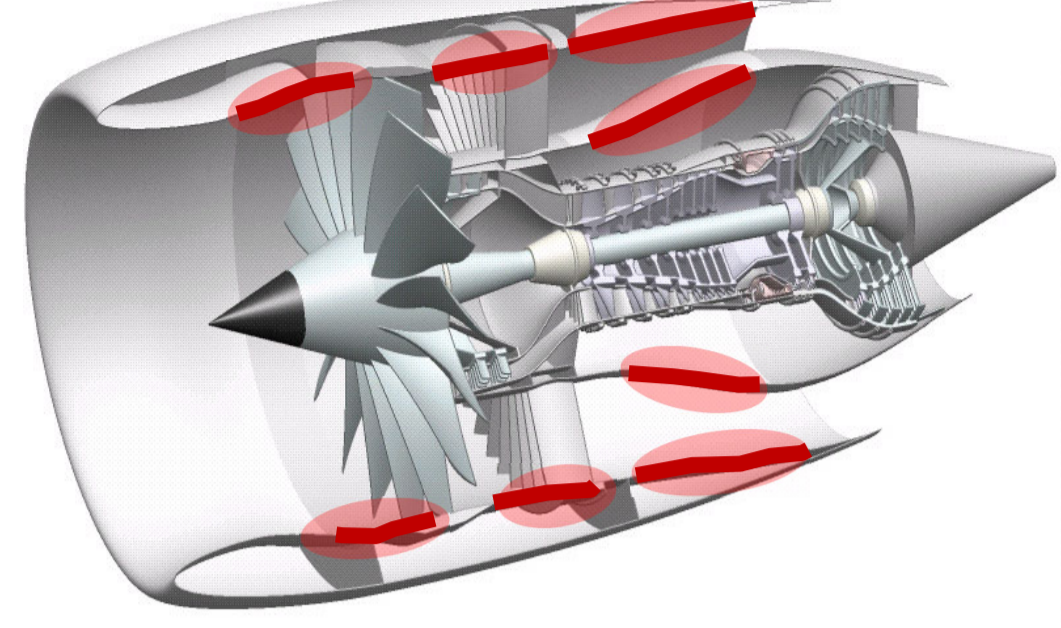


図1.2 航空エンジンへの吸音ライナ適用箇所

新型機開発における課題

- 近年のエンジン開発においては、ファン径、すなわち**バイパス比を大きく**することでエンジンの効率を向上させています。また、巡航時に抵抗となる**ナセルを縮小**することも効率向上が期待できます(図1.3)。さらにはエンジンを構成する各部品を**軽量化**することも有効です。

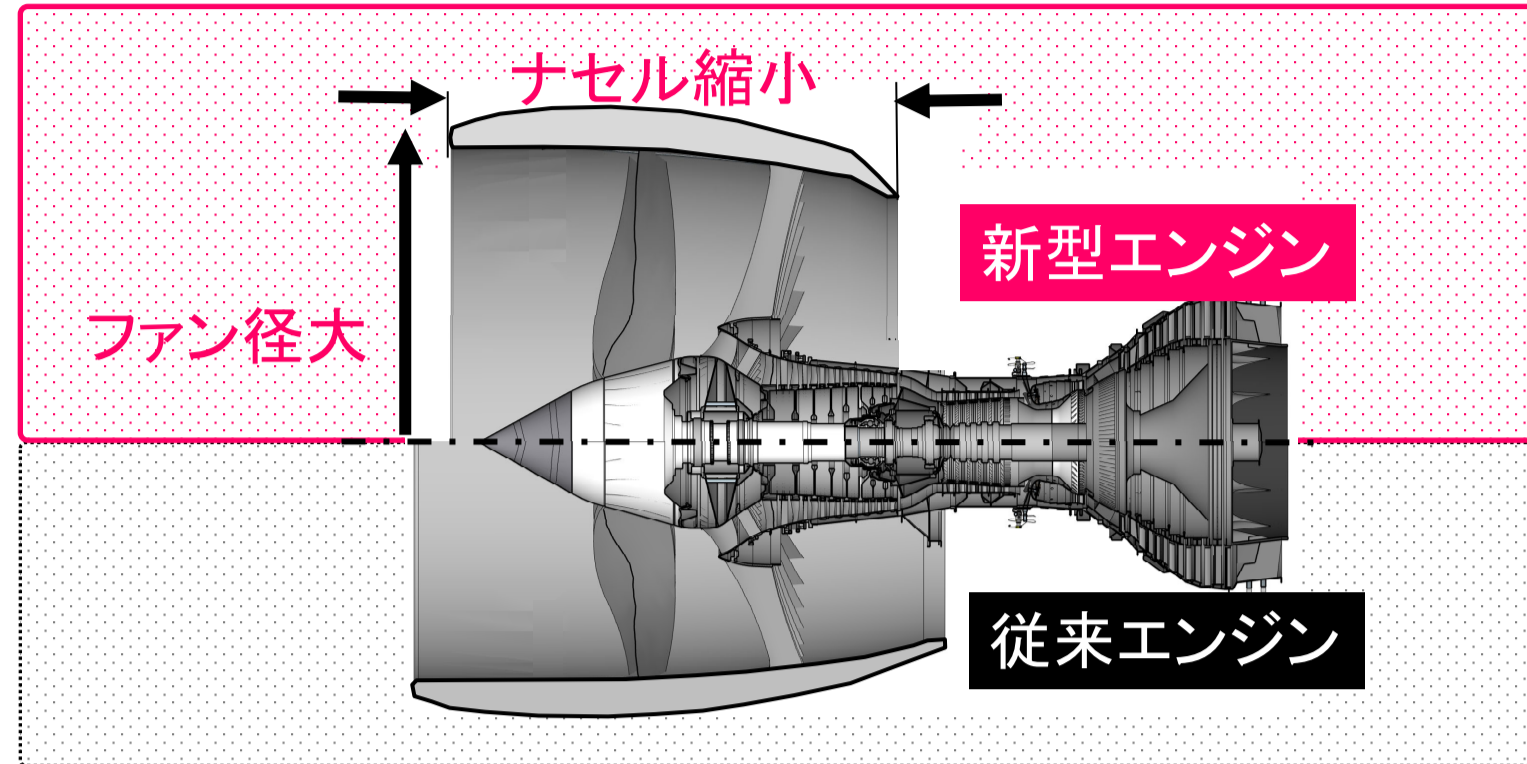


図1.3 エンジン開発の傾向

研究開発の目的

- 吸音ライナにおいても**軽量化の要求**があり、材料や製法の見直しによりその余地は十分あると考えられます。
- ナセルの縮小は吸音ライナが施工できるエリアの減少につながりますので、従来どおりの吸音性能を維持するためには、**単位面積あたりの吸音性能向上**が必要となります。
- このため、本研究開発では、以下の2つのテーマについて取り組んでいきます。
 - エンジン重量軽減を実現する**軽量吸音ライナ技術の開発**
 - 単位面積あたりの吸音性能を向上させる**高効率吸音ライナ技術の開発**

軽量化・低コスト化へ ～軽量吸音ライナ

樹脂による一体成形で軽量化を実現

- 通常の吸音ライナは、①表面板、②ハニカムコア、③背面板の3層構造です。ハニカムコアには通常アルミ製のものが使われています(図2.1、図2.2)。
- メーカ(株式会社IHI)との共同研究において、この3層構造を**樹脂による成形で一体製造**する方法を考案しました(特許登録済み、図2.3)。
- まず金型を用いて樹脂パネルを成形し、最後に表面板に穴をあけます。
- これにより、従来のアルミ製吸音ライナと比較して、**約40%の軽量化**と**約30%の低コスト化**の見込みとなりました(※メーカによる試算、図2.4)。

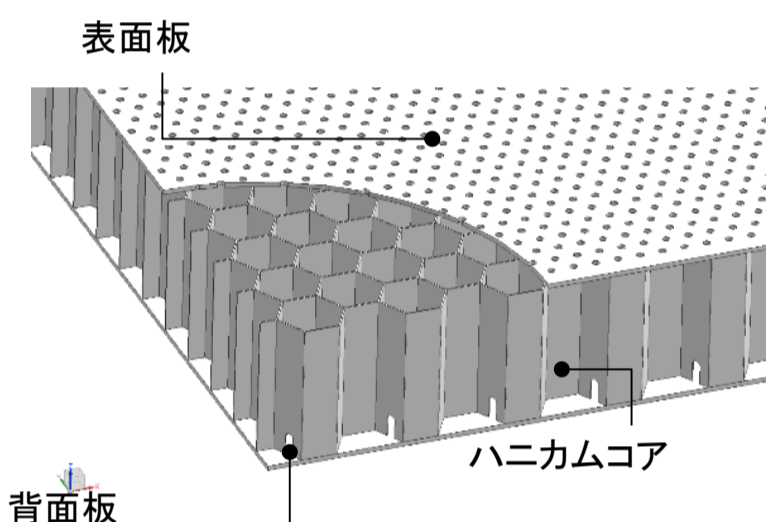


図2.1 一般的な吸音ライナの構造

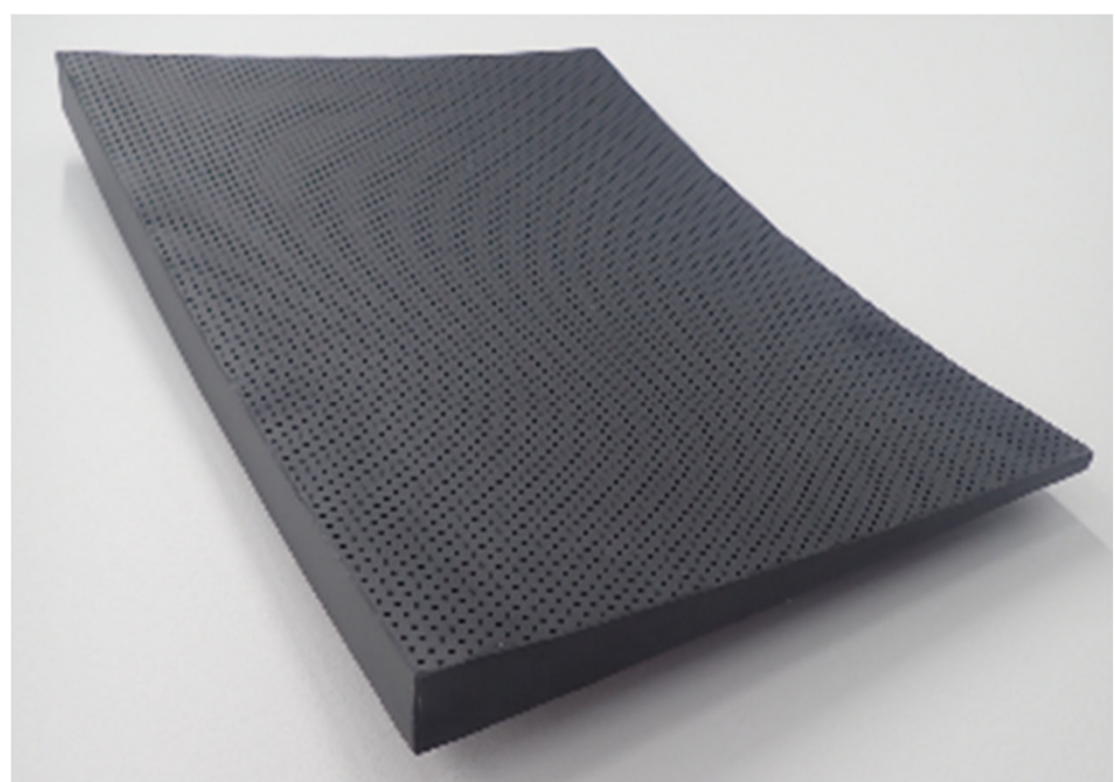


図2.3 樹脂ライナ試作品

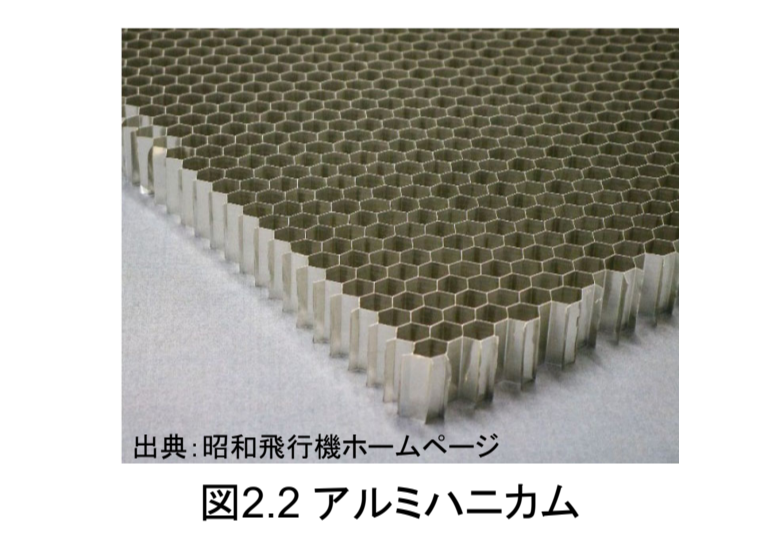


図2.2 アルミハニカム

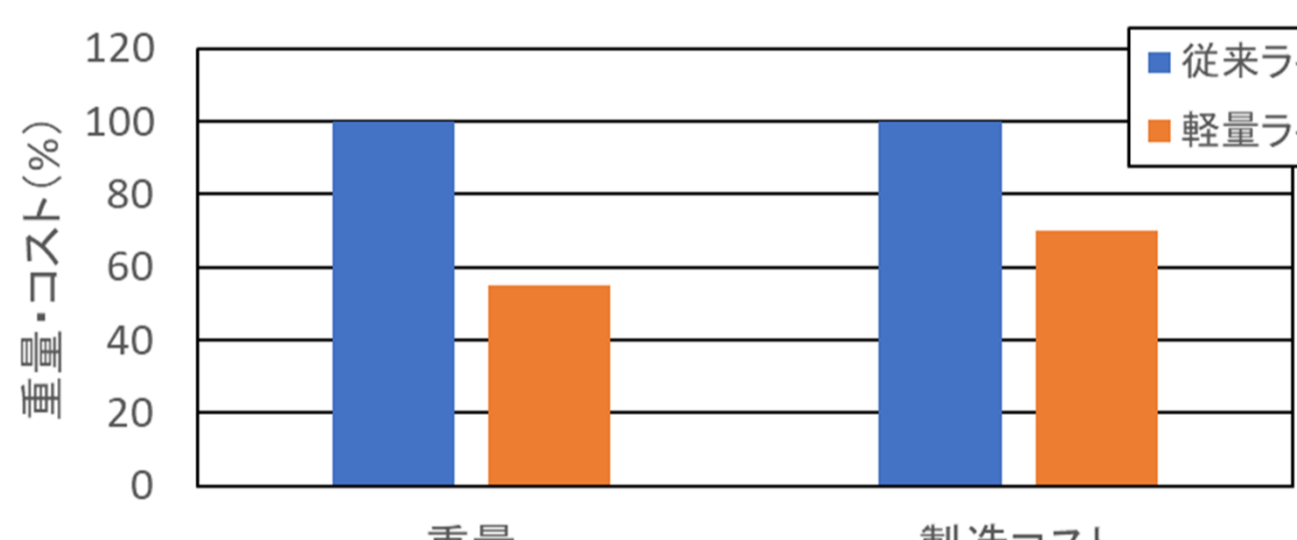


図2.4 従来ライナとの比較

実用化に向けたあゆみ

- 実用化に向けては吸音ライナの強度が重要になってきます。ライナが破損するとエンジンに重大な影響を与えるためです。このため色々な方向から力を加える**各種強度試験**を実施しました(図2.5)。
- また、航空機は様々な環境での運航が想定されますので、紫外線、雨、氷などの**耐環境性試験**を行いました(図2.6)。
- 一方、ライナの音響性能については、まず基礎的な吸音率を垂直入射管で測定します。次に高速流中での音響性能を評価するためJAXAのフローダクト試験装置で試験を行います(図2.7)。
- さらに実際のエンジン環境に近いファン試験装置に搭載して音響計測を行います。このために**清曲させたライナ**を設計製作しました。試験はIHIのファンリグ試験装置で実施しました。

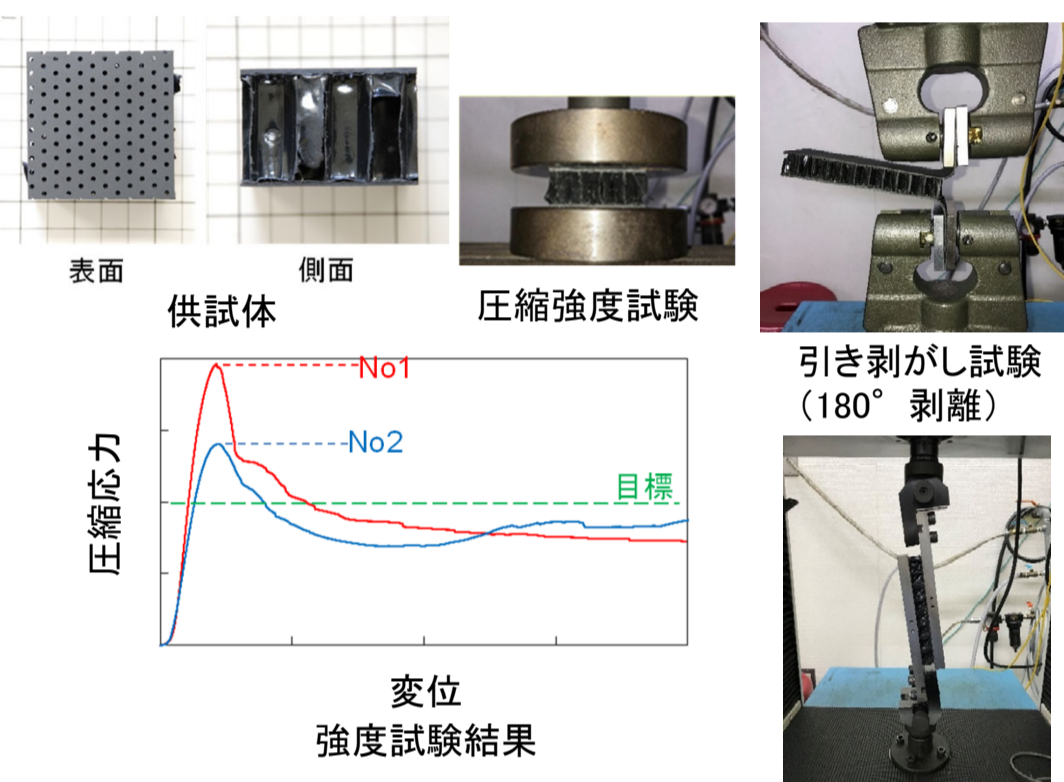


図2.5 各種強度試験

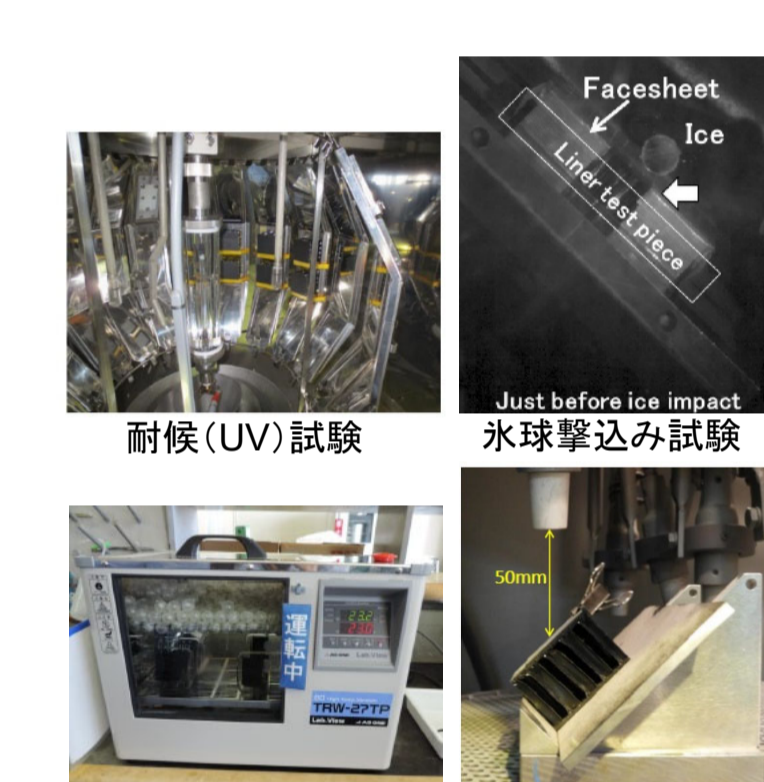


図2.6 各種耐環境性試験

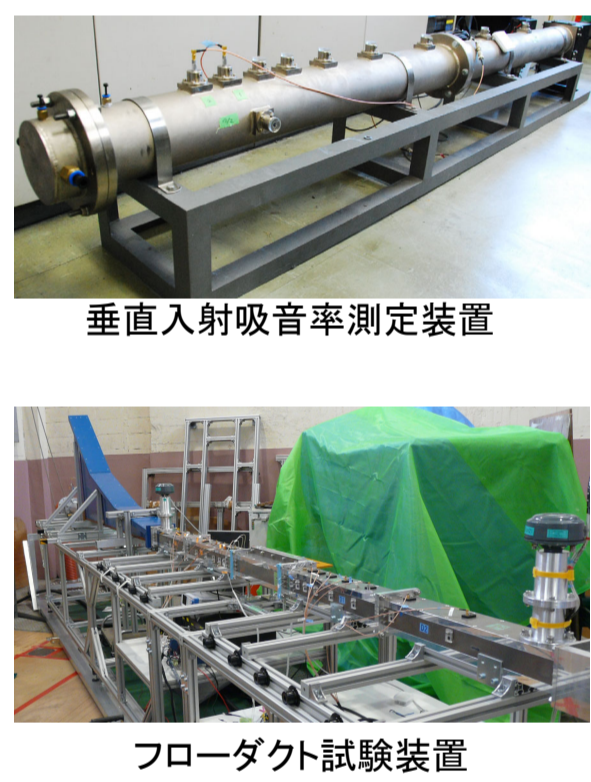


図2.7 各種音響性能試験

エンジン実証試験

- 開発した軽量吸音ライナの**音響特性と構造健全性を実証**するために、JAXAが保有する**F7-10エンジン**を使用した運転試験を行いました(図2.8)。
- エンジンのファンダクトに軽量吸音ライナを搭載し、エンジン回転数を変化させて騒音や振動を計測する運転試験を行いました(図2.9)。騒音計測では、マイクロホンテストセル壁面やエンジンのファンダクトに取り付けました。振動計測では、ひずみゲージを供試体に貼付しました。
- エンジン運転中の軽量吸音ライナの振動レベルは十分小さく、損傷等につながる過大な振動は確認されませんでした。また、試験後の軽量吸音ライナ供試体の外観検査を行い、損傷などの異常もありませんでした。吸音性能についても従来品と同等であることが確認されました。
- JAXAは当初計画していた試験をすべて完了し、**メーカへの技術移転が完了**しました。今後は、**メーカが主体**となって実用化に向けたフルスケール部品試作や耐空性・信頼性評価が行われる予定です。JAXAはメーカの活動を適宜支援していきます(図2.10)。



図2.8 JAXA地上エンジン運転試験設備

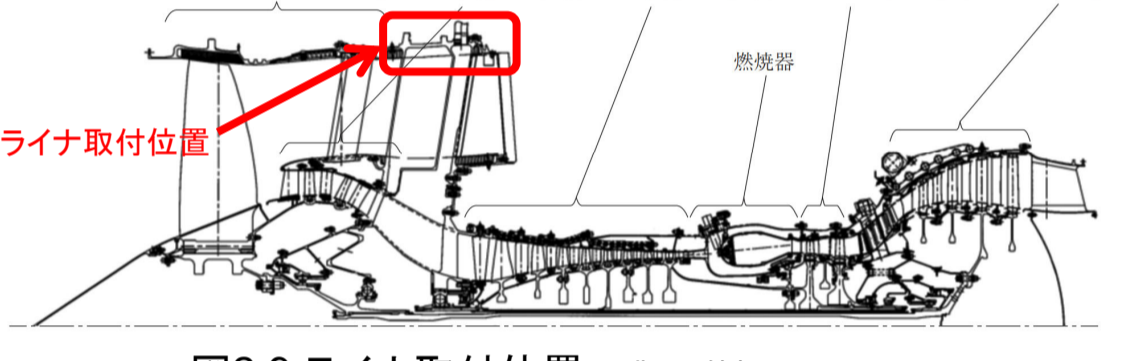


図2.9 ライナ取付位置(出典: IHI技術 Vol.57 No.1, p32 (2017))

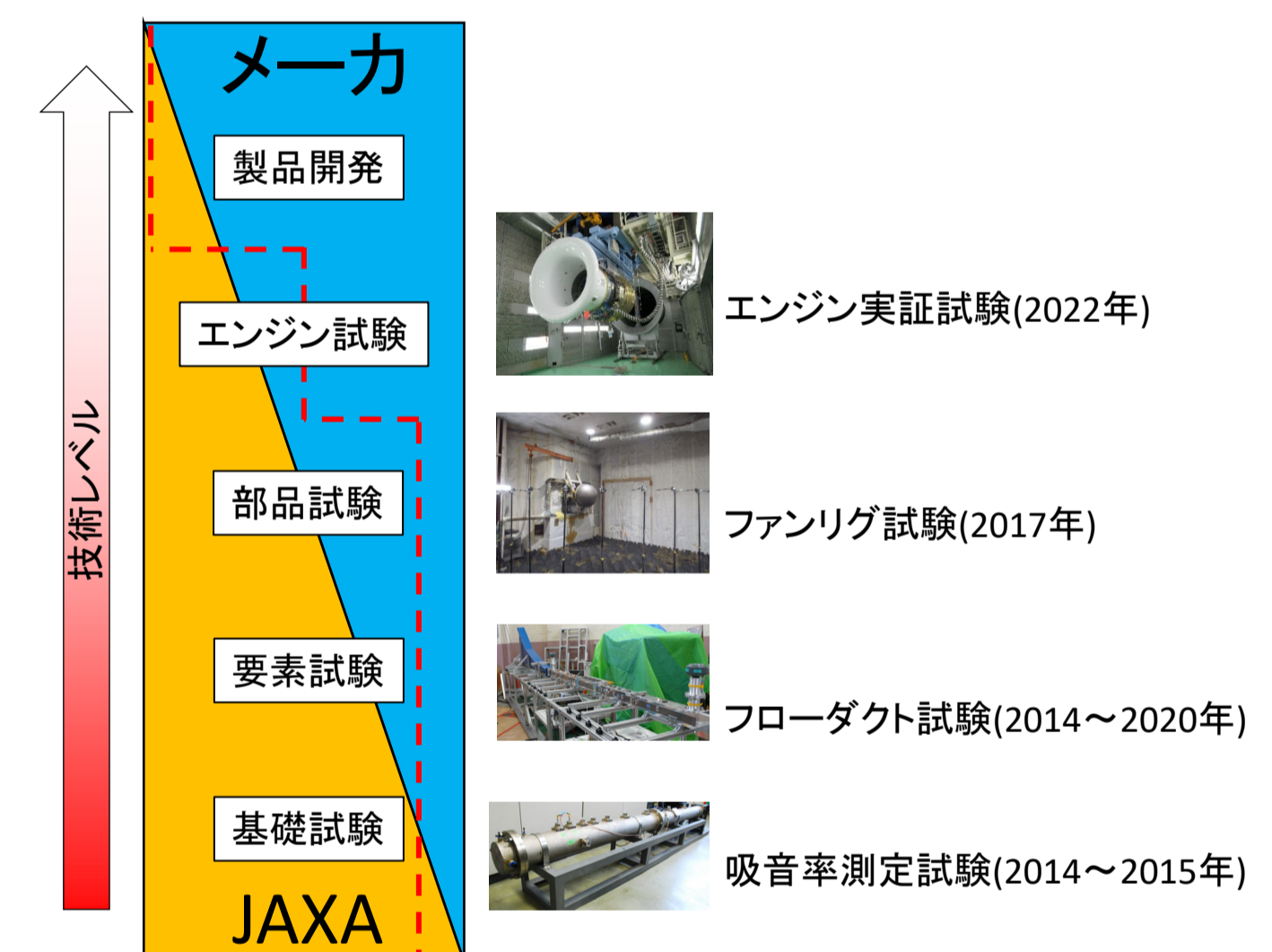


図2.10 JAXAとメーカの役割(例: 音響性能計測)

高性能化へ ～高効率吸音ライナ

新しいアイデアで課題を解決

- 従来の孔あき表面板のライナでは、図3.1のように、**高速の流れになると吸音性能が劣化**することが課題となっていました。数値シミュレーションの結果、図3.2のように流れの影響でセル内に音波が入りこむのが原因ということが分かりました。
- JAXAは**微細多孔フィルム**(Fine Perforated Film: FPF)という薄い金属フィルムに着目し、新しい構造のライナを考案しました(図3.3)。フィルムと孔あき表面板の間に隙間を設けることで図3.4のようにセル内への音波の流入が改善されることが明らかになりました。
- 図3.5では、マッハ数M=0.3における吸音性能を表しています。孔あき表面板にフィルムを直に貼ることで吸音性能が向上し、孔あき表面板との間に隙間を設けることでさらに性能が向上しています。

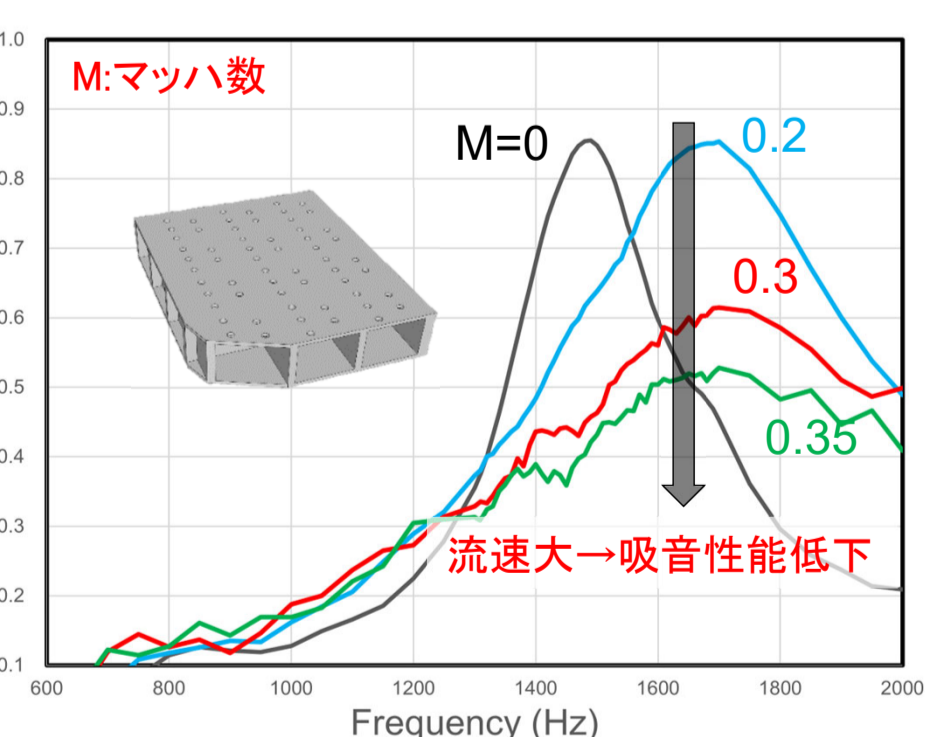


図3.1 各流速におけるライナの吸音性能



図3.3 考案ライナ

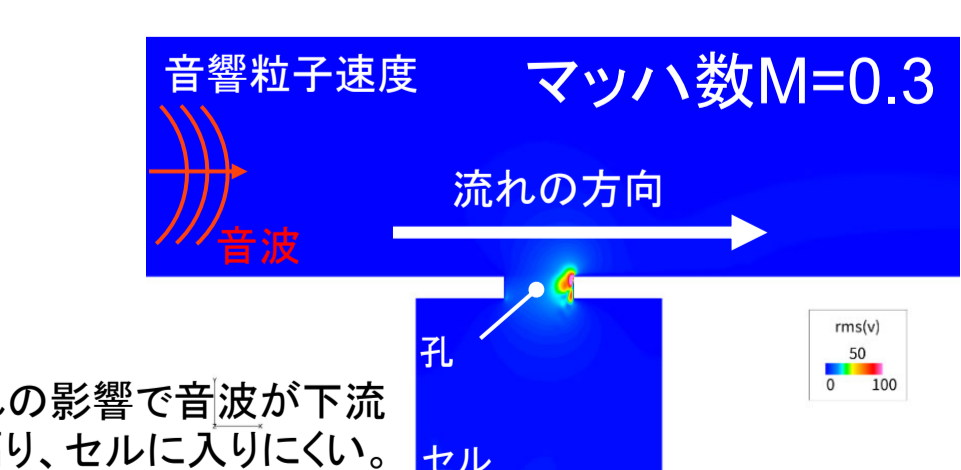


図3.2 解析結果(従来ライナ)

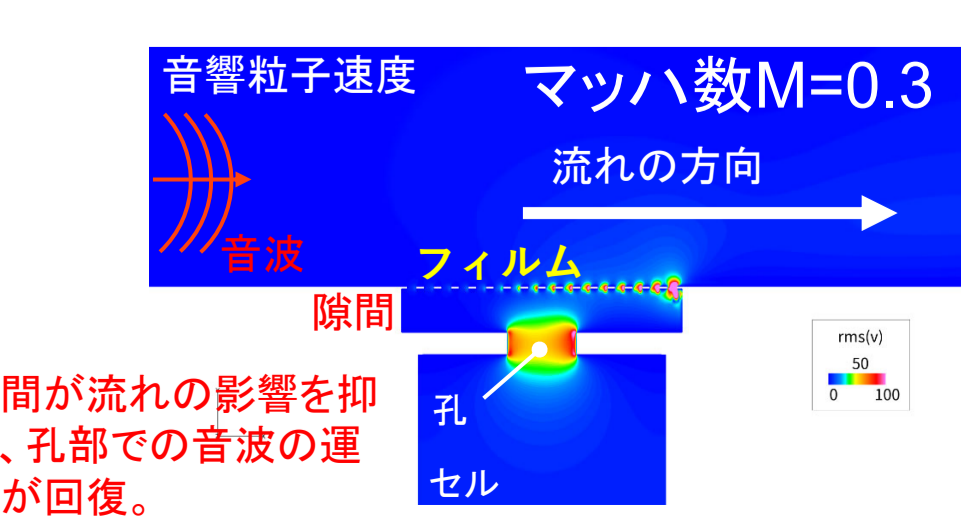


図3.4 解析結果(考案ライナ)

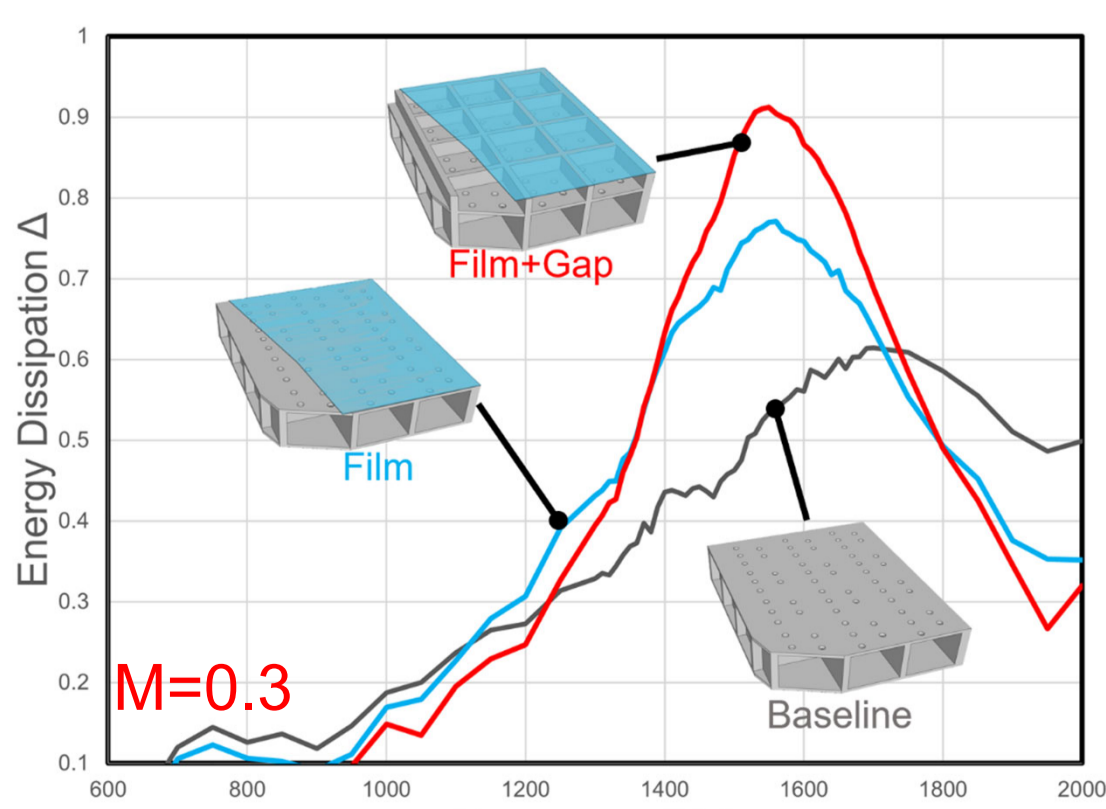


図3.5 各ライナの比較(M=0.3)

開発サイクルの高速化

- 数値シミュレーションでは、**インパルス応答解析**という新たな解析手法を考案しました。音響・振動計測では系の周波数応答を求める一般的な手法ですが、数値シミュレーションでも適用できることが分かりました。この手法により、流れがある条件でもインパルスを入力した一回の計算結果から、吸音ライナの全周波数の応答が算出できるようになり、**大幅な計算時間の短縮**が実現できました。
- 一方、**3Dプリンタの導入**により吸音ライナ供試体の製作時間が大幅に短縮されました。供試体を設計し3Dプリンタに投入すれば翌日には完成して確認試験を行うことが可能となります。1ミリ程度の孔は2次加工なしにそのまま実験できる精度です。また従来の切削加工では実現できなかった形状も造形できるようになり、**設計の自由度が大幅に拡大**しました。
- フローダクト試験装置による流れ場での吸音性能評価手法を独自に構築しました。また最新の垂直入射吸音率測定システムを導入し、計測の高精度化を進めています。
- これらの取り組みの結果、吸音ライナの解析、供試体の設計製作、そして評価試験にかかる時間が大幅に短縮され、従来「週」単位だった開発スケジュールが「日」単位で計画できるようになりました。今回の新しいライナもこの開発サイクルから生まれたものです。

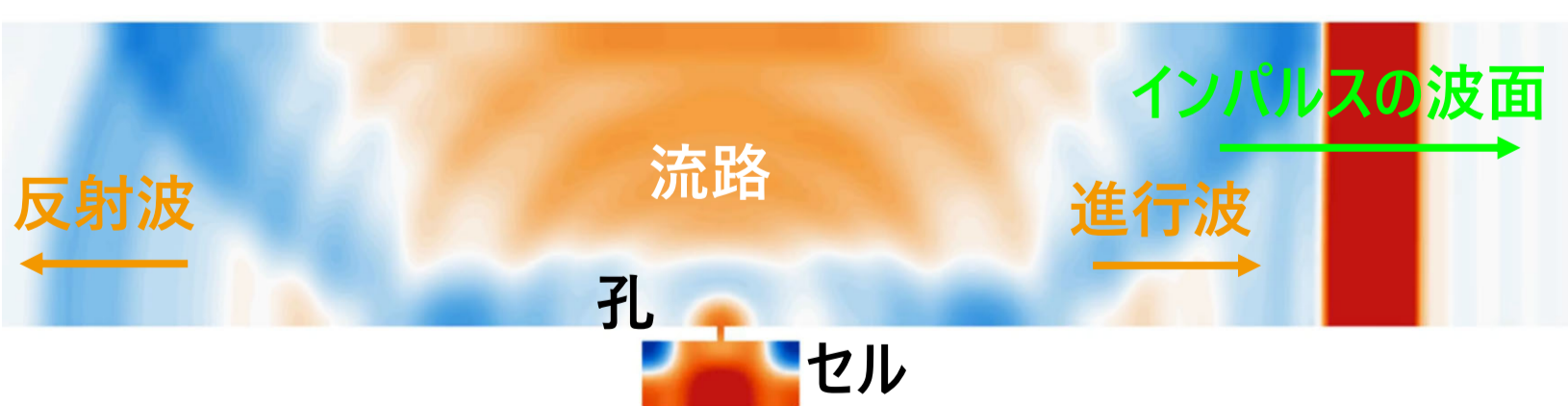


図3.6 インパルス応答解析によるインパルス通過後の流れ内およびセルの挙動



図3.7 3Dプリンタと吸音ライナ供試体

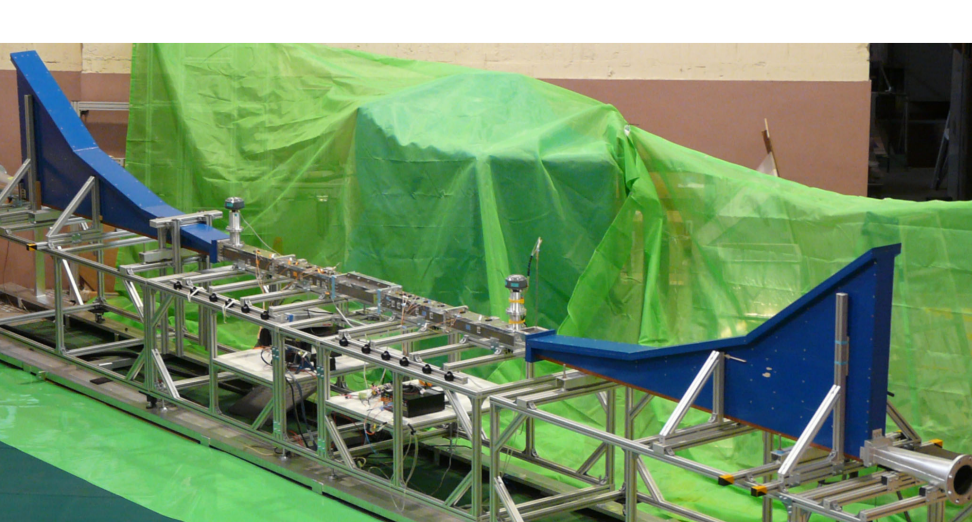


図3.8 JAXAフローダクト試験装置(最大マッハ数0.5。最大音圧150dBの試験が可能)

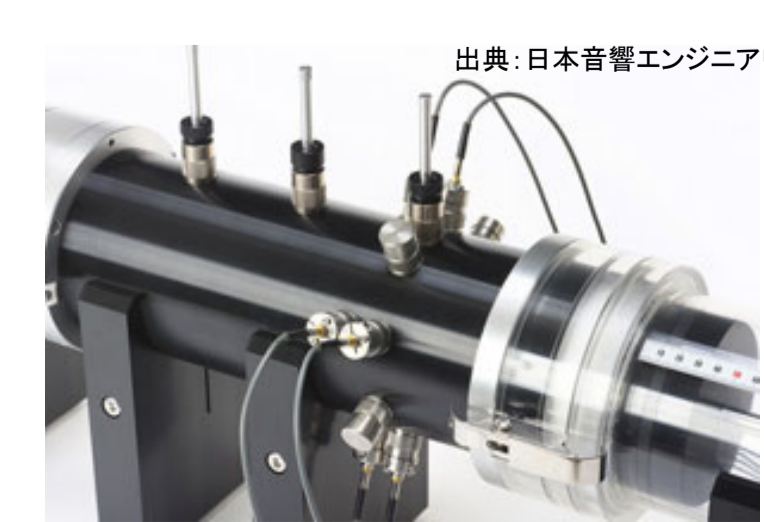
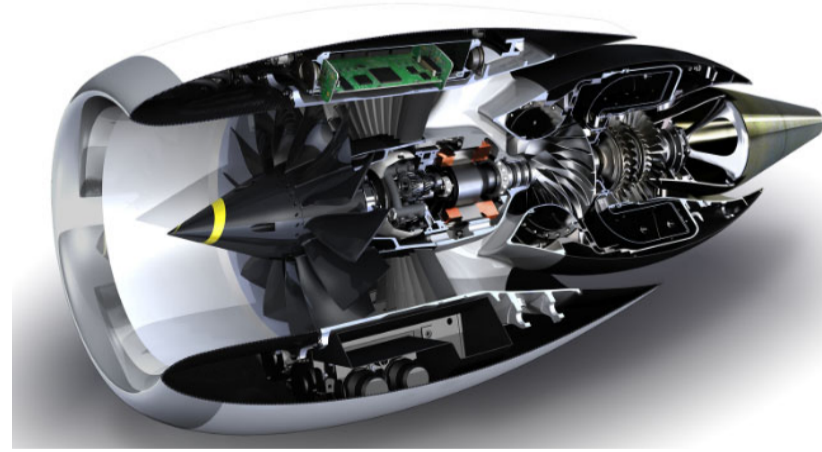


図3.9 垂直入射吸音率測定システム(200Hz~10kHzまでの測定が可能)

社会実装に向けた取り組み

- 社会実装に向けた取り組みとして、2023年度より国内の**航空部品メーカと共同研究**を開始し、ライナの製造方法、構造設計、強度解析などの検討を進めています。
- また、**燃焼振動低減**を目的としたライナ技術の適用研究を海外エンジンメーカと実施しています。
- 小型のターボファンエンジン**(図3.10)を導入し、屋外で騒音計測試験を実施する制御系、計測系などのシステムを構築しました。2021年には、エンジン後部の排気バイパスダクトに吸音ライナを搭載した試験を行いました(図3.11)。設計した2つの周波数帯および全帯域における**低減効果を確認**しました(図3.12)。



| DGEN 380 Specification | |
|------------------------|---------------------------------|
| 製造メーカ | Akira Technologies (仏) |
| タイプ | 2軸、ギアターボファン |
| 全長 | 1.13m |
| ファン直径 | 350mm |
| 重量 | 130kg |
| 推力 | 260kgf |
| バイパス比 | 7.6 |
| 最大速度 | 高圧: 50,687rpm ファン: 13,150rpm |

図3.10 小型ターボファンエンジン

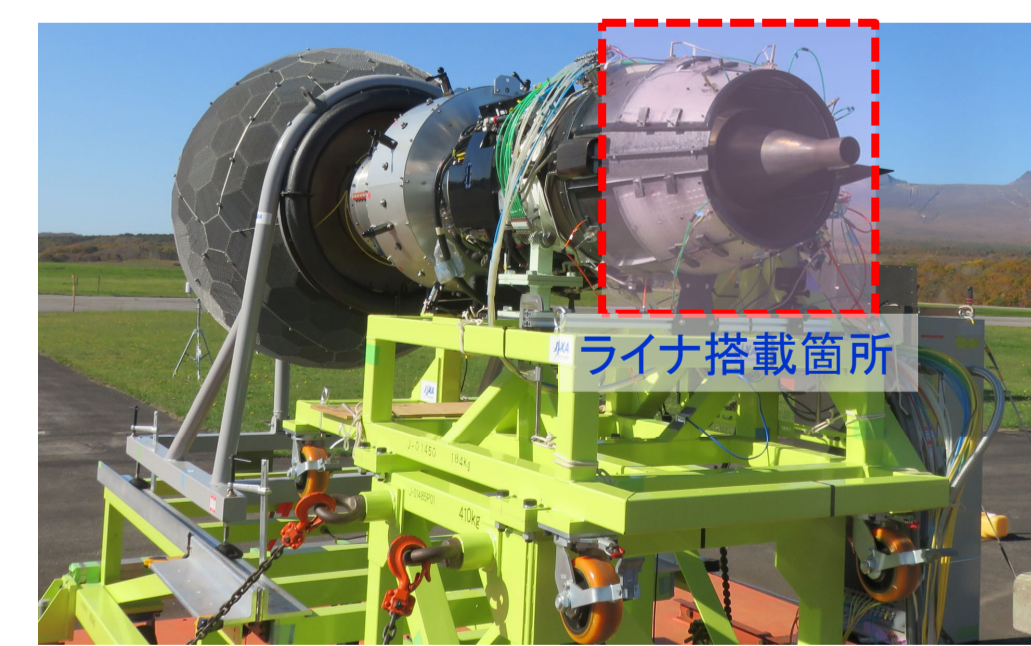


図3.11 ライナのエンジン搭載箇所とライナ写真

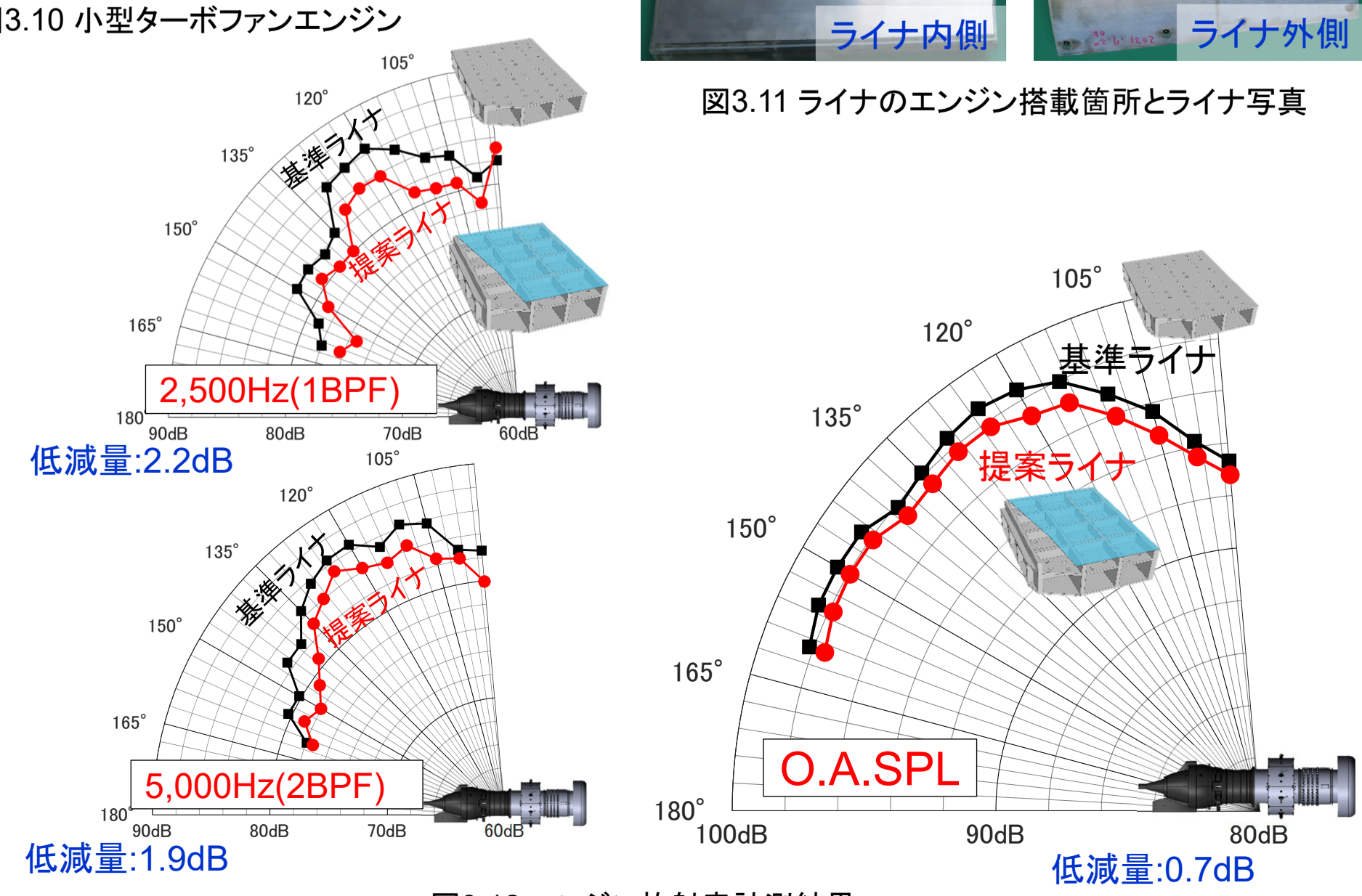


図3.12 エンジン放射音計測結果