

# JAXAにおける旅客機の機体空力騒音研究

横川 譲

独立行政法人宇宙航空研究開発機構  
 (航空プログラムグループ国産旅客機チーム 主任研究員)

山本 一臣

同(同 主幹研究員)



よこかわ ゆずる



やまもと かずみ

## はじめに

近年の環境問題への関心の高まりや、今後予想される航空輸送の増加に伴う空港離発着回数の増大から、空港周辺における航空機騒音の低減要求が急速に高まっています。2006年から適用されたICAO (International Civil Aviation Organization) による新規制値 (Annex 16, Chapter 4) に加え、空港ごとにより厳しい独自の基準が設けられ騒音レベルが着陸料に反映されるため、航空機騒音レベルは運航コストにも影響を与えます。従って、航空機の数十年という寿命期間において段階的により厳しくなると予想される騒音規制に対応するために、新規開発の旅客機では規制値に対するマージンの大きさが機体の市場競争力の観点で重要なファクターになります。

かつては航空機騒音といえばエンジン騒音が主体でしたが、昨今は、エンジンの低騒音化が大幅に進んだ結果として高揚力装置や降着装置 (脚装置) などから発生する機体空力騒音 (いわゆる風切り音) が相対的に目立つ状況となっています (図1)。特に、エンジン出力を下げた空港へアプローチをする着陸時において、エンジン騒音と機体騒音が同レベルになりつつあります。今後、新型の静粛エンジン投入により予想されるエンジン騒音のさらなる低減や、より厳しくなる騒音規制に対応するためには、機体騒音低減

技術の研究開発が必要です。このため、現在開発が進められている国産リージョナルジェット旅客機においても、市場競争力獲得のための差別化技術として取り上げられています。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では、今回の国産旅客機の開発タイミングに合わせ機体騒音予測技術と低騒音化技術の開発を行っています。本稿では、高揚力装置騒音と脚騒音に関して行ってきた研究概要ならびに、その中での鉄道総合技術研究所大型低騒音風洞 (滋賀県米原市) の利用目的と得られた成果について紹介します。

## 機体空力騒音の特徴とアプローチ

今回の機体空力騒音の研究において、JAXAでは、風洞試験や解析により主要な音源を見つけ、騒音発生に至る流体の物理現象を理解し、そのメカニズムに適した低騒音化アイデアを創出し、遠方場騒音データによる実証・評価を行う、というプロセスを適用しています。この中で、遠方場の音圧データによる定量的な評価は、実機での機体レベルを予測するためにも必要な作業となります。しかしながら、機体空力騒音は主として、騒音源である高揚力装置や脚装置などから剥離したせん断層や渦による乱流現象から生じる広帯域騒音であることから、物理現象の理解は容易ではありません。また実機において、高揚力装置は空力性能、構造、コストと相反しない低騒音設計が、脚に関しては構造重量の低減やブレーキの放熱の要求と相反しない空力騒音低減技術の確立が必要になります。従って、これらの現実的な制約の下で上述のプロセスにより騒音を大幅に減らすためには、風洞試験や解析の技術を高度化し、それらを補完的に適用することが必要となります。

このような背景から、今回JAXAでは乱流の非定常運動を計算できるCFD (Computational Fluid Dynamics) 技術であるLES (Large Eddy Simulation) を用いた騒音源と遠方場騒音の解析技術や、風洞試験におけるマイクロフォン

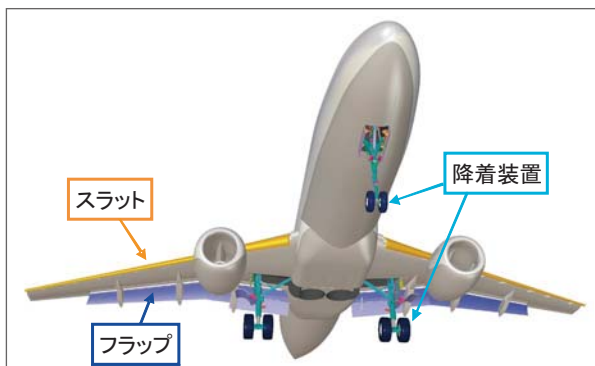


図1 機体空力騒音の主な音源

アレイを用いた音源探査技術の確立を行ってきました。これらを、簡易的なものから実機形状に近いものまで複数の風洞試験模型ならびにCFDモデル形状に適用し、JAXA内風洞試験での音源特定ならびに空力計測データとCFD解析データによる音源付近流れ場の把握を行いました。これらに加え、大型低騒音風洞において取得した正確な音圧データにより、遠方場騒音の評価や低騒音効果の実証を行い、三者を一体として組み合わせたアプローチにより機体騒音の低減研究を進めてきています。

### 高揚力装置騒音

高揚力装置から発生する騒音の研究は、フラップ端を模したNACA0012翼模型に対する風洞試験とLESにより、フラップ端における騒音発生の特徴現象を調べることから着手しました。LESによる解析の検証を行うとともに、翼端渦の形成とその非定常性の発生原因、そして騒音発生との関係について検討を行いました。一方、実機を詳細に模擬した高揚力装置半裁模型に対してマイクロフォンアレイによる音源探査計測を行い、実機形態での騒音源分布の確認と、スラットおよびフラップの騒音源付近の非定常圧力計測を行いました。このスラットに注目したLESを行い、図2に示すようにスラットコブ（スラットの凹みの部分）における剥離せん断層からどのように騒音が発生しているかを理解することが可能になりました。

これらの初期の研究で得られた技術や知見をベースに、詳細に高揚力装置騒音の性質と低減方法を検討していくため、本質を見失わない程度に簡易な3翼素形態の翼模型を設計製作し、風洞試験とCFDを集中的に行いました。模型は図3の写真のように、着陸時の形態を模擬して、フルスパンの前縁スラット、70%スパンのシングル・スロットッド・フラップが取り付けられています。寸法は、半スパン1.35m、高揚力装置収納時の翼弦長0.6m、アスペクト比2.5の矩形翼としました。

始めに、JAXAの2m×2m低速風洞（以下、LWT2）において試験を実施し、空気力、模型表面静圧、音源付近の非定常静圧計測、粒子画像流速測定PIV（Particle Image Velocimetry）による速度場計測を行うとともに、風洞側面に設置したマイクロフォンアレイによる音源計測を行い、データを取得しました。結果として、スラット上には翼幅方向への2次元的な音源に加え、局所的な流れ場の条件に依存した音源も存在することや、フラップ端もスラットと相対的に同レベルの主要な音源となっていることが明らか

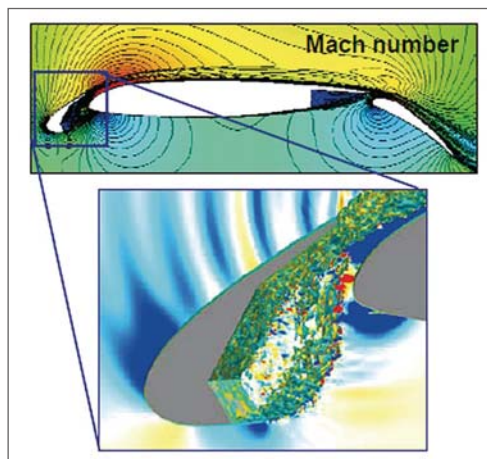


図2 スラットのLES解析結果  
着陸形態の翼周りのマッハ数分布(上)と  
瞬間渦度分布と圧力変動(下)

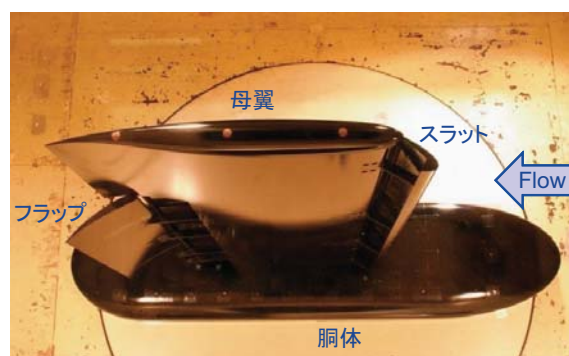


図3 高揚力装置騒音研究用の模型

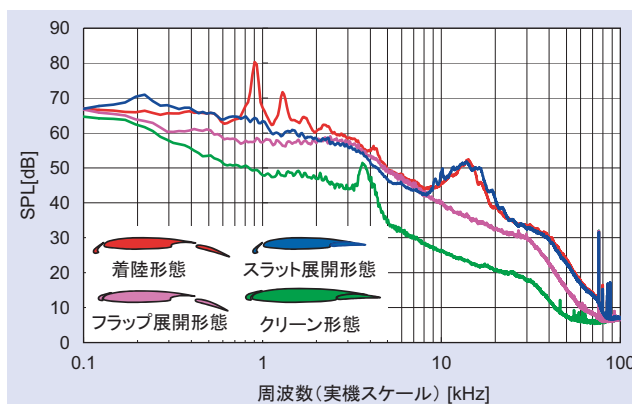


図4 形態ごとの遠方場騒音スペクトル

かとなりました。また風洞試験と並行してLESやRANS（Reynolds Average Navier-Stokes）によるCFD解析を進め、風洞試験での空力計測結果と合わせ、騒音発生メカニズムを考察しました。これらの作業と前後し、大型低騒音風洞にてLWT2では取得できない遠方場騒音データの計測を行いました。無指向性マイクロフォンを模型の側方（翼の上下面方向）に数本設置し、スラットやフラップの展開形態を変えながら計測を行い、図4に示すようにそれぞれが発生する遠方場騒音のデータを取得しました。遠方



場のデータを得たことにより、迎角や風速の騒音への影響や空力と騒音の関連性について定量的な考察を行うことができ、高揚力装置騒音の性質を詳しく理解することが可能になりました。

引き続き実施した騒音低減デバイスや形状修正の研究においては、これらが有用な知見となりました。様々なアイデアを検討し、効果が大きそうなものについて、大型低騒音風洞にて遠方場騒音レベルによる実証と評価を行いました。図5(a)では、低騒音化技術の一例としてスラットにはコブフィルターと呼ばれるデバイスを取り付け、フラップには翼端形状の修正を施した場合の遠方場騒音スペクトルをベースライン形態と比較しています。この結果からオーバーオールで最大10dBの低減化が可能なが明らかになりました。

一方、広帯域騒音の低減とは逆に15kHz付近のピークが増えています。これはスラット後縁のカルマン渦から発生する騒音です。実際には、モデルと実機では後縁形状が異なるため、実機では発生する可能性が低く問題にされて

いません。また、この試験では直径4mのマイクロフォンアレイを使用した音源計測も実施しました。図5(b)では、低騒音形態の場合に音源のレベルが大幅に減少している様子がわかります。今後はより実機に近い形状のモデルを対象に大型低騒音風洞における計測を実施する予定です。

### 降着装置騒音

高揚力装置と並ぶ主要な騒音源である降着装置は、重要な騒音源の特性を予想することが難しいため、研究の進め方としては、まず風洞試験による音源計測と遠方場騒音計測から着手しました。降着装置は、端的に言えば構造部材にアクチュエータやブレーキの配線や配管が設置された鈍頭物体の組み合わせ形状であり、これらから剥離した流れや隙間を通る流れから騒音が発生するため、極端なモデル化をすると本質を失ってしまう可能性があります。従って、研究の初期において実機の形状やスケールを極力模擬したモデルに対するデータを取得しておく必要があると考えました。そこで、100人乗りクラスの旅客機の二輪式主脚を降着装置メーカーに概念設計してもらい、利用する風洞サイズの制約などを加味した上で、最終的には実機の40%スケールの風洞モデルを設計・製作しました。図6に示すように、タイヤ、支柱(シリンダーとピストン)、脚扉、サイドブレースといった主構造物だけでなく、ブレーキキャリパ、トルクリンク、脚扉駆動ロッド、下部脚扉、上部脚扉、ロックリンク、サイドブレース、アップロック用ピン、キャビティ

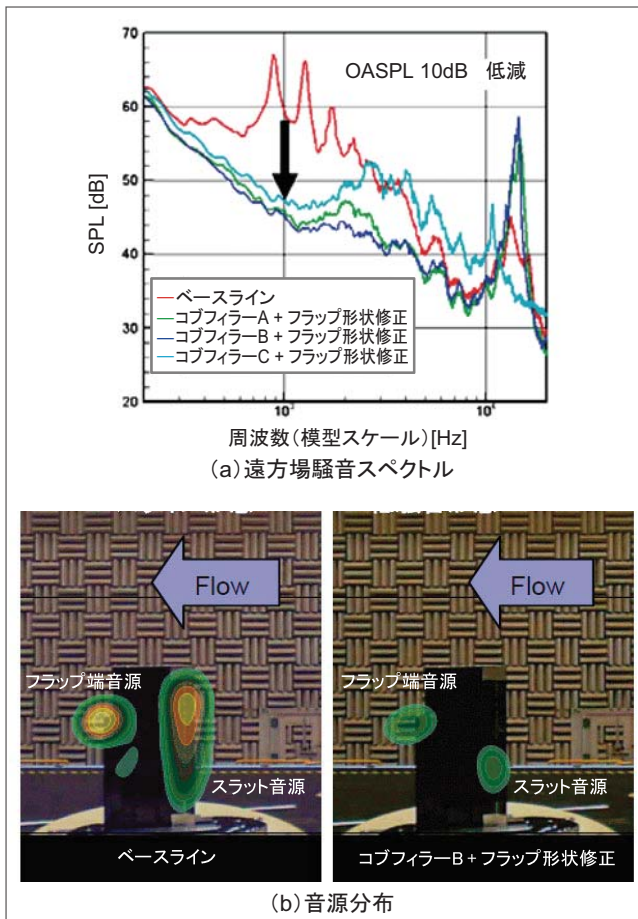


図5 高揚力装置騒音の低減

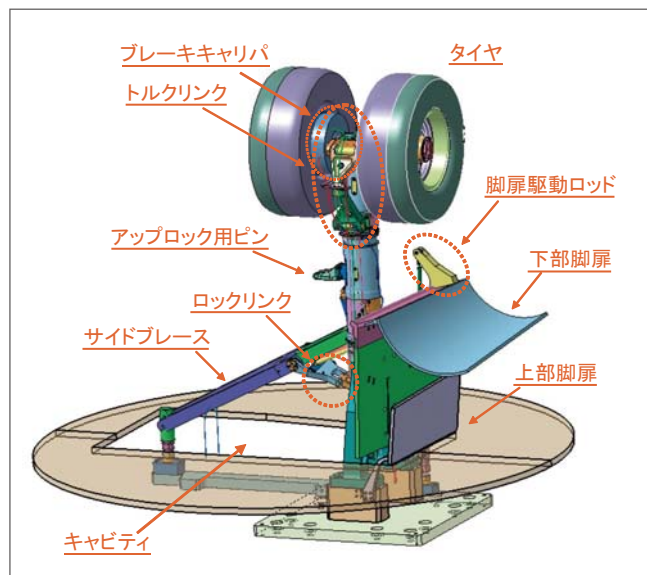


図6 主脚騒音研究用のモデル

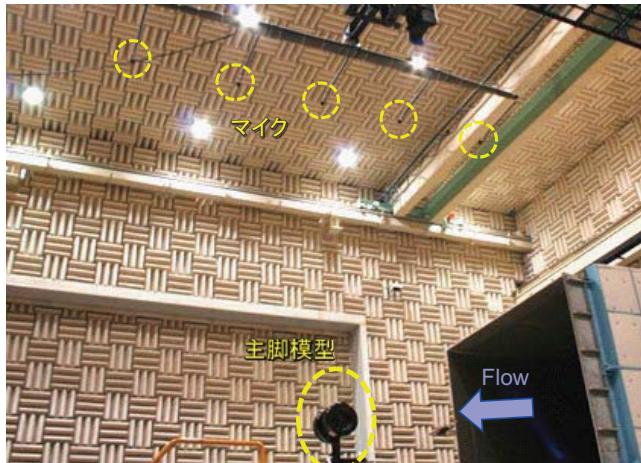


図7 大型低騒音風洞における主脚騒音計測

0.4mです。LWT2での試験においては、高揚力装置の研究と同様にマイクロフォンアレイを用いた音源計測や空力計測を実施した結果、タイヤ間、次いでサイドブレースが主要な音源となっていることが明らかとなりました。その後、大型低騒音風洞にて遠方場騒音を実施しました。試験では、図7に示すように、トラバーサーにマイクを5本設置し、詳細な遠方場騒音指向性データを取得しました。また、模型の主要な部品を着脱したさまざまな形態に対して計測を行い、それぞれの部品の騒音全体への寄与についても考察したところ、図8に示すように、LWT2で音源探査結果と同様にタイヤ間、次いでサイドブレースによる寄与が大きいことが遠方場騒音計測からも確認されました。

一方、風洞試験にて基礎的なデータが蓄積された後、CFDを本格的に開始しました。CFDにて風洞試験模型に設置されている細かいパーツまで全て考慮することは難しいですが、可能な限り複雑形状としてRANSによる定常流れ場の計算を実施し、騒音源になりうる流れ場の特徴を定性的に把握しました。さらにタイヤ間の車軸周囲における非定常流れ場に注目し、計算しやすいように形状を単純化した形態に対するLES解析を行い、その結果を用いてFWH (Ffowcs-Williams Hawkins) 法により遠方場騒音を計算し、風洞試験データによる検証を行いました。

さらに、これらの結果を元に、タイヤ間の騒音を低減するためのフェアリングデバイスを考案し、大型低騒音風洞で遠方場計測を行ったところ、図9に示す通り実機で最も問題となると考えられている1kHz付近において、数dBの効果があることを確認できました。今後はより実機に適したタイヤ間デバイスやもう一つの主要な音源であるサイドブレース騒音の低減を行う予定です。

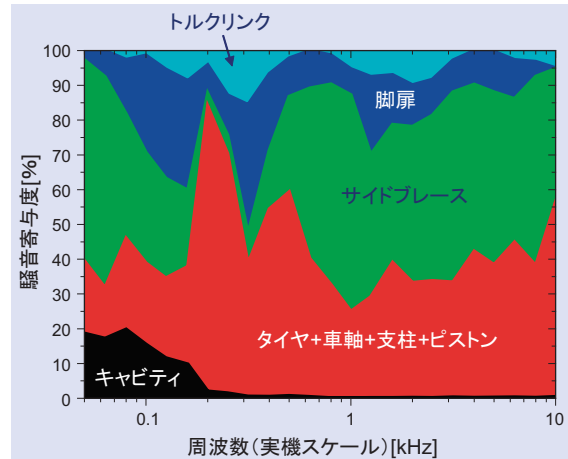


図8 主脚を構成する各要素の騒音寄与度

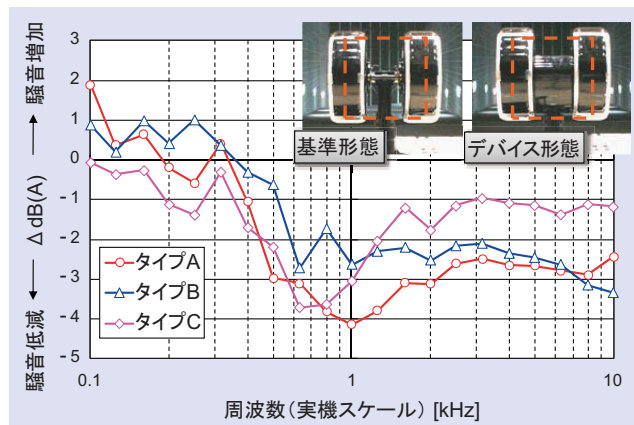


図9 主脚騒音の低減

## まとめ

国産旅客機開発に関連してJAXAでこれまで実施してきた機体空力騒音の研究について、高揚力装置（スラットとフラップ）ならびに降着装置（脚装置）に関する研究の概要と、その中での大型低騒音風洞の利用目的や成果の一部を紹介しました。今後は、高揚力装置に関してはより実機に近い形状に対する低騒音化技術の研究開発を、また、脚騒音に関しては騒音発生メカニズムの更なる理解やデバイスの効果検証を行う必要があります。その中核となる遠方場騒音データについては大型低騒音風洞で引き続き取得する予定です。

## 謝辞

JAXA 航空プログラムグループ国産旅客機チームの機体空力騒音風洞試験において、大型低騒音風洞諸氏には多大なるご支援と技術的アドバイスをいただきました。ここに感謝の意を表します。RRR