

その1 ジェットエンジン騒音と航空機騒音基準の動向

石川島播磨重工業（株） 中村良也

1. はじめに

現在、航空機の騒音基準強化についての議論が I C A O / C A E P を舞台に最終的な詰め段階に入っている。来年1月に開催が予定されている C A E P 5 に向け強化案の絞り込みが計られており、各国政府当局、エアライン、メーカー、空港などの関連する機関・団体間で、それぞれの主張はあるものの何とか合意点を見出そうとしている。現在の Chapter 3 基準は制定されて既に四半世紀になろうとしており、最近では環境要求の強い地域を中心に空港独自規制などのいわゆるローカルルール化が拡大し、航空機の市場の決定ファクターになってきている。これは I C A O にとってはその存在意義が問われることであり、メーカーやエアラインにとっても非常に不便なことなので、Chapter 3 強化の必要性については共通の認識となっている。

一方、基準強化を支える騒音技術については、従来技術は成熟段階に達しつつあり、C A E P 5 以降求められていくであろう更なる基準強化にはこのままでは対応できなくなる可能性がある。技術の研究開発には時間が必要であり、その技術が航空機に搭載されて空港環境の改善をもたらす、世界にゆきわたるには多くの年月を要する。こうした状況をふまえ E U や N A S A では環境要求に密着した形で研究プロジェクトの立上げが相次いでいる。

本日は以上のような、航空機の騒音基準強化をめぐる最新状況と、ジェットエンジン騒音の低減技術の最近の動向について報告したい。

2. 騒音基準の動向

航空機の騒音レベルは高バイパス比化の流れとファン騒音低減対策の取組みで著しく減り、世界の民間航空機の総計騒音レベルも輸送量の増加にもかかわらず減少傾向を保ってきている。しかし Chapter 2 機のフェーズアウトが終わる 2002 年以降次第に増加に転じると予測されており、これを抑えて総騒音量を維持あるいは低減していくために更なる騒音低減対策が必要と考えられている。（図 2-1）

航空機に関する環境基準は I C A O (International Civil Aviation Organization) Annex 16 Volume 1 (騒音)、Volume 2 (エミッション) として定められ国際的な標準となっている。

空港騒音は機体の最大離陸重量に対して、離陸、側方、着陸のそれぞれの地点における規制値が定められている。亜音速ジェット機および大型プロペラ機にたいしては 1977 年以前の型式証明取得機に対しては Chapter 2 が、それ以降の機種に対しては Chapter 3 が適用されている。また、空港独自の規制として夜間規制や、騒音レベルに応じた発着枠の規制などを設けている所が増えて来ており、航空機に対する実質的な騒音要求を決めているとも言える（図 2-2）。こうした中で Chapter 3 の見直しの検討が ICAO CAEP (Committee on Aviation Environmental Protection) で行われてきており、これまで先進国と途上国、航空機産業の有無などにより、各国の足並みがなかなか揃わなかったが、上述したように次の CAEP 5 で取り上げられる予定で、これに向け各国航空当局、航空機・エンジンメーカ、エアライン、空港当局などで構成されるワーキンググループで調査検討が進められている。また Chapter 2 適合機についても 2002 年までの運航禁止が I C A O で合意された後、主要国で次々に批准され、航空業界は旧式機の処分あるいはハッシュキットを装着して延命を計るなどの対

応を迫られている。

SSTについては、コンコルドは騒音基準設定以前に就航開始されたため適用除外となっているが、次世代SST開発着手時には新基準が設定されていることが必要であり、CAEPの中にタスクグループが作られ調査が始まった。亜音速機並みの低いレベルが求められるとの前提に基づき、SSTの特性に合わせた基準のありかたが検討されたが、昨年末のHSCTプログラムの中止に伴い、このタスクは凍結されている。

3. 騒音低減技術

図3-1に示すように初期のジェットエンジンから今日の高バイパス比ファンエンジンに至る間に大きく低減してきているが、推進効率を上げるためにとられた大風量を低速で排気する方法がジェット騒音低減の上でも有効であったことが大きな理由になっている。高バイパス比ファンエンジンではファン騒音が支配的な音源になるが、図3-2に示すように様々な低減対策がとられている。

3. 1 ファン騒音低減技術

(a) 動静翼枚数比の最適化

動静翼の干渉で発生した音波はダクト内を伝播して外部に放射されることになるが、ダクト遮断という現象があって音波のモードによってダクト内を伝播するものとしなないものがある。静翼枚数が動翼枚数に比べて多い程伝播できるモードの数が少なくなり騒音低減上有利となる。また静翼枚数が動翼枚数より多い場合、発生するモードは動翼と逆向きに回転するため動翼で反射されやすくなり、吸音面積を大きくとれる排気側に向かうためさらに都合が良い。しかし静翼枚数を増加させていくと空力設計上のバランスから翼弦長を短くする必要があり、翼振動の問題が出てくるのでむやみに多くするわけにはいかない。

(b) 動静翼間隔の確保

騒音上は動静翼間隔が大きい程翼列間の空力干渉が小さくなって有利であるが、エンジン全体の設計の中で適度な妥協が要求される。ファンでは動翼翼弦長の2倍程度を確保する例が多い。

(c) 静翼取付け角／ストラット形状の最適化

ファン後方に位置するストラットはエンジンを翼から吊り下げるための支柱や、潤滑や発電機駆動軸などのサービスラインを通すため部厚いものになり、周方向に非一様なポテンシャル場を形成しその影響が静翼を通過してファンまで及び、干渉騒音を発生する。このため静翼の取付け角を周方向に調節したり、ストラット断面形状を改良したりしてポテンシャル擾乱を小さくする工夫がなされるようになってきている。

3. 2 ジェット騒音の低減対策

(a) ミキサおよびロングカウル

ジェットの混合を促進しジェット速度を早く低減して騒音源の領域をせばめる。初期のターボジェットでは菊花状のミキサを始め、シュートミキサ、チューブミキサ等の種々の形態が試みられた。ターボファンではコア側とバイパス側で同軸ジェットを形成するが推進効率の向上もねらってローブミキサやロングカウル（バイパス側のノズルを伸ばしたもの。吸音ライナを装着する場合もある）が用いられることも多い。最近ではノズル出口をノコギリ歯形状としてミキシング効果を狙った「シェブロンノズル」が注目されている。（図3-3）

(b) ミキサエジェクタ

ミキサにエジェクタダクトを組み合わせて外部流を導入し、エジェクタ出口でのジェット速度を更に低減させる方法で、次世代SST用騒音低減デバイスの有力な候補と考えられている。エジェクタダクトに吸音ライナを装着し、ミキサでジェット径を小さく分断して高周波側にシフトさせた上で騒音を吸収すれば更に効果的に吸音できる。

(c) その他

超音速ジェットでは普通速度分布を逆転させて外側ジェット速度を内側より大きくする逆転速度分布や、ジェットノズルの中心にプラグ（栓）を挿入して円環状ジェットにするプラグノズル、衝撃波の緩和もねらった多孔型プラグ、ジェットの下側を高温ジェット層で覆うことにより地表への放射を抑制する熱的音響遮蔽、スクリーチを消す効果のあるタブ付ノズル等様々なアイデアについての研究が行われている。

3.3 吸音ライナ

以上のように騒音の発生をできるだけ抑えたうえで、音波の伝播過程であるダクトに吸音ライナを張りつけ伝播を減衰させる。ファン等の回転騒音には多孔板とハニカムを組み合わせた吸音ライナが用いられており、抵抗型減衰効果とリアクティブ相殺効果の2つの吸音メカニズムが働く。前者は音波がライナを通過する際多孔板の孔を空気が入り出すがこのときの粘性減衰やジェットの運動量損失を利用するのに対し、後者はライナ底からの反射波と入射波が打ち消し合う効果を利用するもので、ハニカム深さが音波の1/4波長となる周波数を中心に消音されることになる。またハニカムを二層にして有効周波数域を広げたものも用いられている。

ジェット騒音に対しては広帯域に低減効果のあるバルク型ライナが有効である。これは多孔質材料や繊維質材料を表面板の下に詰めたものだが、高温ジェット気流に曝されるため耐熱性が要求される。SST用としてセラミック系の多孔質複合材の研究が始められている。

4. 騒音技術の将来展望

環境問題への対応は航空輸送の健全な発展にとって不可欠の課題であり、騒音やエミッションの低減技術の研究開発に各国で取り組んでいる。特に欧米では環境基準の強化要求を背景に研究が立上げられているように見える。

米国ではNASAを中心にAST (Advanced Subsonic Technology) やUEET (Ultra Efficient Engine Technology) プログラムが、欧州ではEUがTEFA (The Environmentally Friendly Aircraft) に続き新プログラムが来年から立ち上がり、我が国でもHYPRに続きESPR (超音速輸送機用推進システム) やAMG (先進材料利用ガスジェネレータ) 等のプログラムがそれぞれ進行中であり、これらの中では騒音やエミッションの低減技術が中心課題として取り込まれている。これらの例について以下に紹介する。

亜音速機については高バイパス比化によるジェット騒音の低減や、ファン騒音低減対策が実りこれまでにかなりの低減効果が得られている。更なる騒音低減としては超高バイパス比化、ファン衝撃波制御、ナセル形状や吸音材の改良などがあるが、いずれもこれまでの技術の延長線の上であり飛躍的な改善は期待できない。寧ろ最近の現実としては機体・エンジンの軽量化や性能向上が結果として騒音低減に寄与しており、この傾向は今後も続くと考えられる。騒音予測の精度向上も計られており、重量や性能とのトレードオフの最適化がより精度良くなってきていることが騒音低減につながってい

ることも見逃せない。ファン騒音低減の将来技術としてANC（Active Noise Control）の適用研究が始められていることを付け加えておく。特に将来超大型エンジンが出てくれば低周波騒音対策に有効となる可能性がある。図4-1にこれらの更なる低騒音化への取組みについて示す。

次世代SST機についてはジェット騒音の低減なしには実現は有り得ず、ミキサエジェクターノズルにより外部流を導入して排気速度を下げると同時にミキサで高周波側にシフトさせた騒音を吸音材で低減する方法が期待されており、成果も上がりつつある（図4-2にHYPRにおける研究状況を示す）が、実用化に向けて軽量化や格納機構の開発、吸音材の耐久性向上などの課題が残されている。

5. まとめ

最近の航空機（大型固定翼機）の騒音基準の国際動向や低減技術の動向について紹介した。

現在 Chapter 3 強化に向けた検討・調整がICAO/CAEP の場で大詰めの段階にあるが、CAEP 5以降もますます環境に適合した航空機・エンジンが求められていくと予想される。一方、従来の騒音低減技術は成熟段階に達しており、これに応えるためには騒音低減技術のブレークスルーが必要である。また新技術が実機に適用され環境上のメリットが社会にゆきわたるまでにはそれなりの年月が必要となる。研究開発の計画・推進にあたっては騒音基準強化などの環境要求の動きにリンクさせ、国際的にも協力して諸対策を進めていく必要がある。

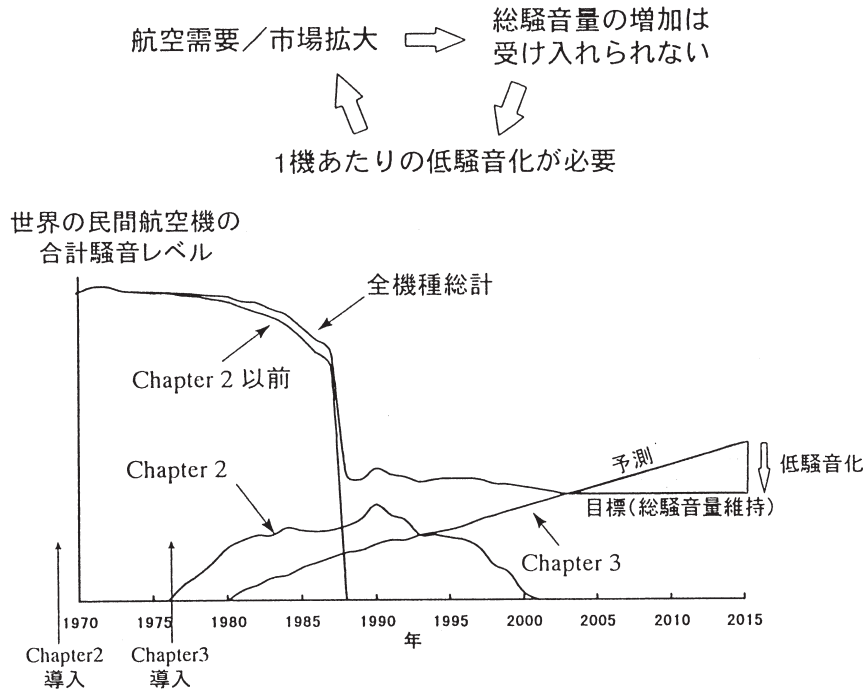


図 2-1 低騒音化の必要性／総騒音量からの要求

- ICAO
- ・Chap.2機運行禁止(～2002年)
 - ・CAEP5に向けChap.3 強化の動き

- 空港独自規制
- ・ロンドン
 - ・アムステルダム
 - ・ワシントン国際
 - ・ジョンウェイン
 - ・成田、大阪、福岡等

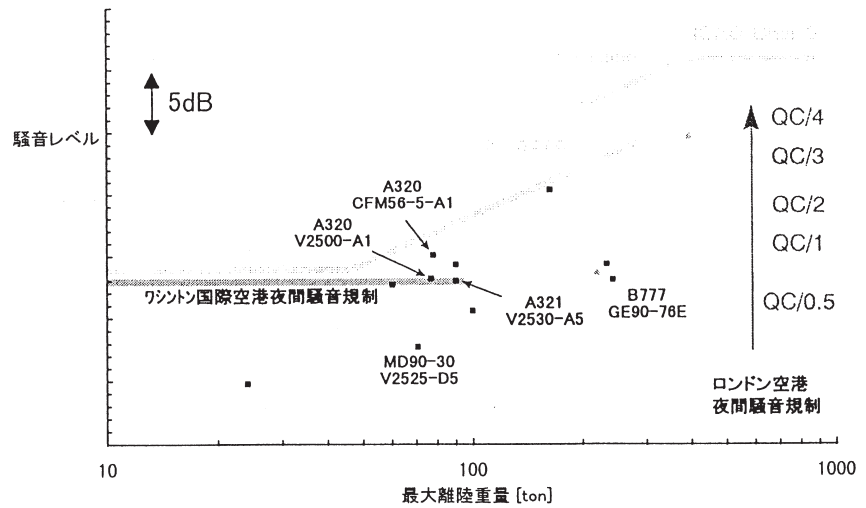


図 2-2 ICAO騒音基準と空港独自規制

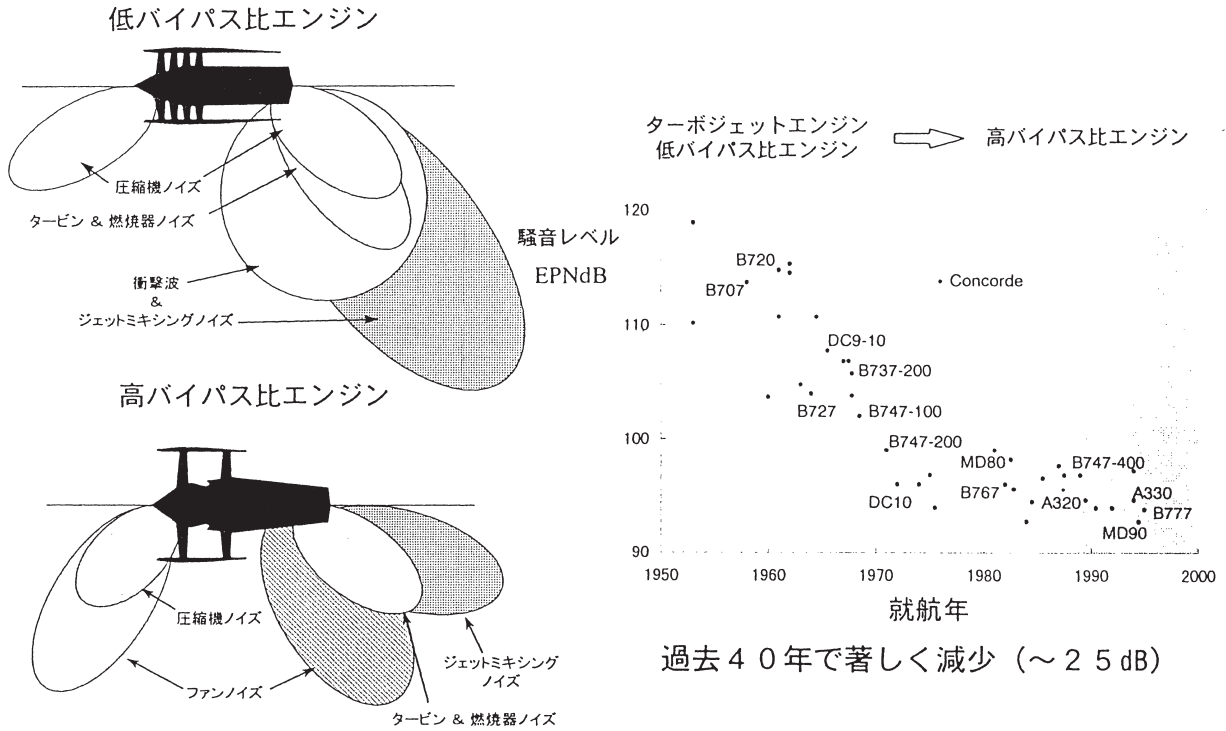


図 3-1 航空機騒音の推移

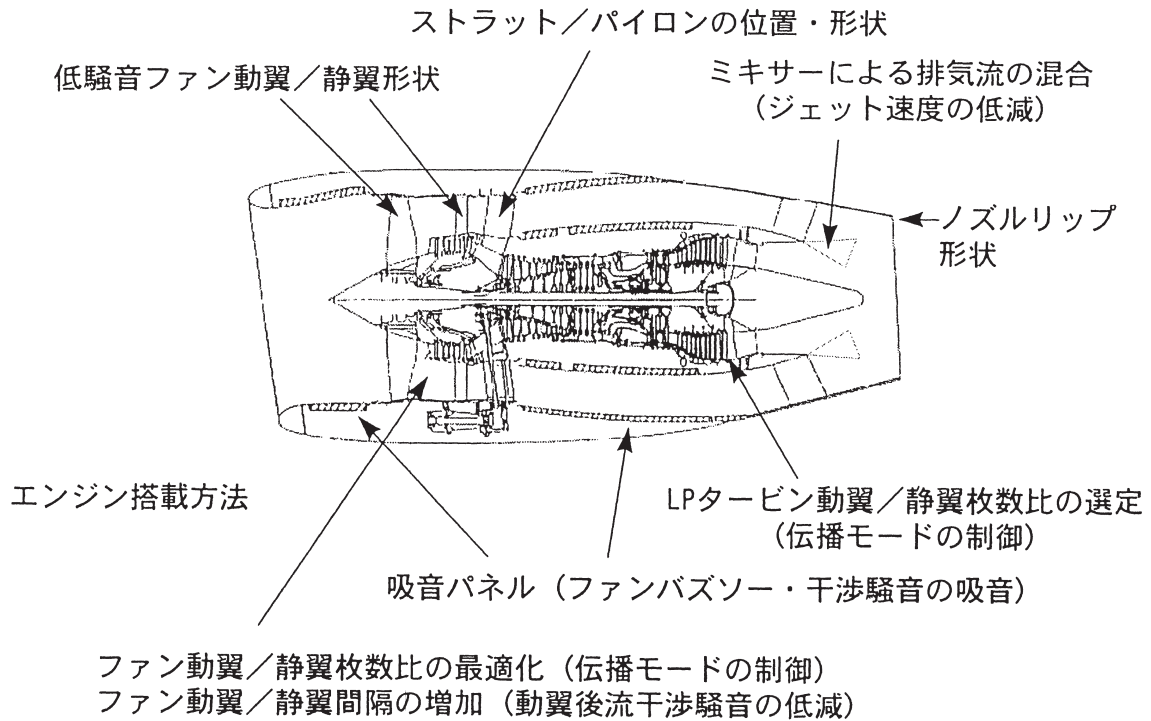


図 3-2 代表的なエンジン騒音低減技術

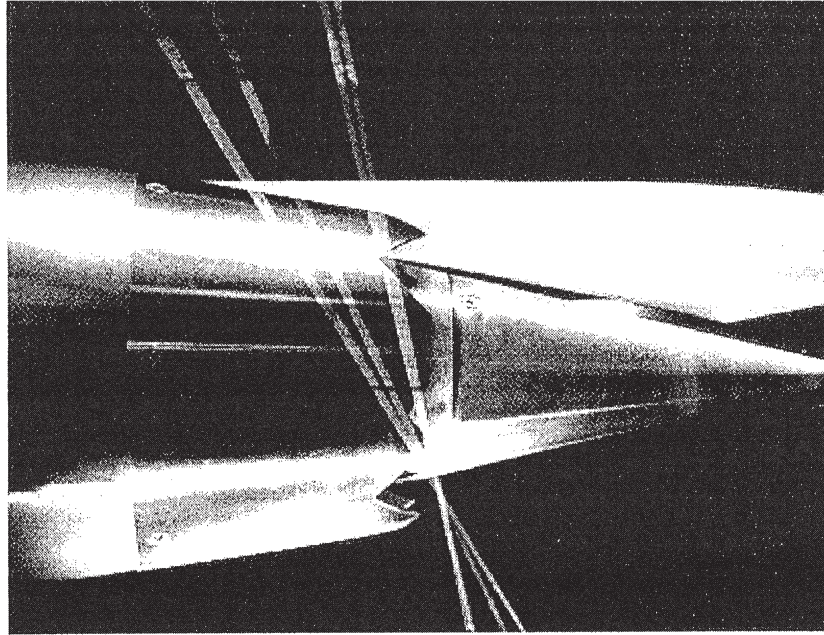


図3-3 シェブロンノズル (FLIGHT INTERNATIONAL, 20-26 Oct. 1999 より)

ファンノイズ低減

- ・非定常翼列干渉制御／衝撃波制御
- ・アクティブノイズコントロール
- ・超高バイパス比化

ジェットノイズ低減

- ・ミキサーエジェクターノズル
- ・先進ミキシング技術
- ・可変サイクル

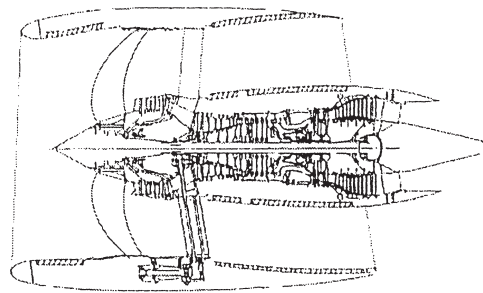
ナセル設計の改良

- ・先進吸音ライナー
- ・ナセル形状 (スカーフ、タービンハンプ)

機体

- ・揚抗比改善／機体軽量化
- ・ギヤー／フラップ騒音の低減
- ・エンジン搭載方法 (翼遮蔽効果)
- ・飛行手順 (カットバック、急角度進入)

超高バイパス比エンジン



次世代SSTエンジン

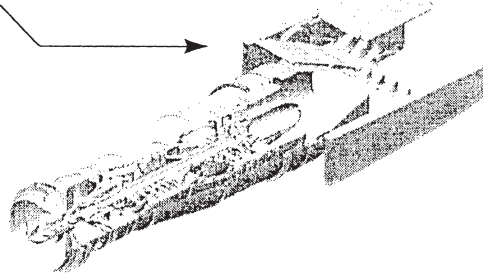
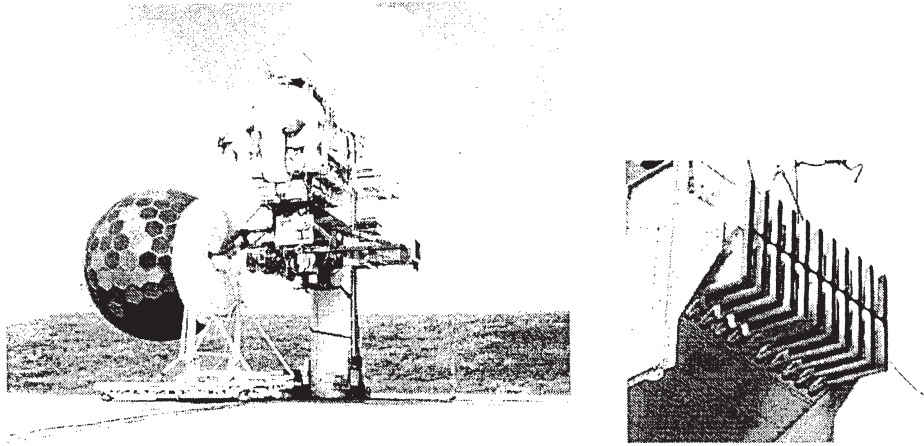
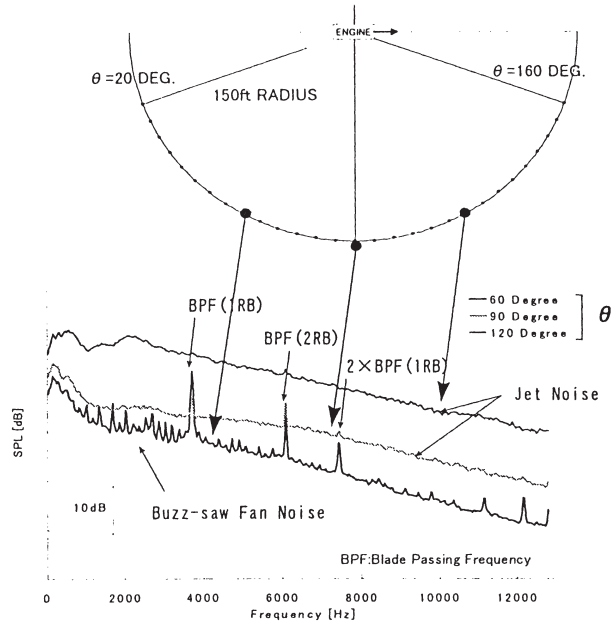


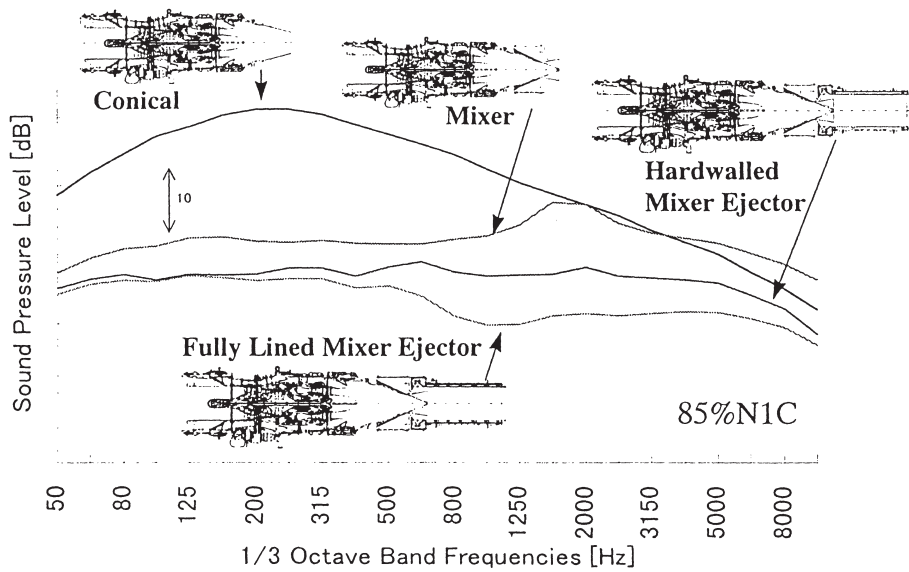
図4-1 更なる低騒音化への取組み



(a) ミキサーエジェクタノズル搭載によるエンジン騒音試験



(b) 遠距離場騒音計測結果の例



(c) ミキサーエジェクタノズルによる騒音低減効果の例

図4-2 HYP Rにおけるミキサエジェクターノズルの研究開発

第11回 航空安全性向上と航空機環境適合に関する研究交流会
テーマ「航空騒音」

ジェットエンジン騒音と航空機騒音基準の動向

- 1) はじめに
- 2) 基準動向
- 3) 技術動向
- 4) まとめ

2000. 10. 4

石川島播磨重工業(株)

中村 良也

(p 1 1 ~ p 2 9)
講演当日利用のOHP資料



低騒音化の必要性／総騒音量からの要求

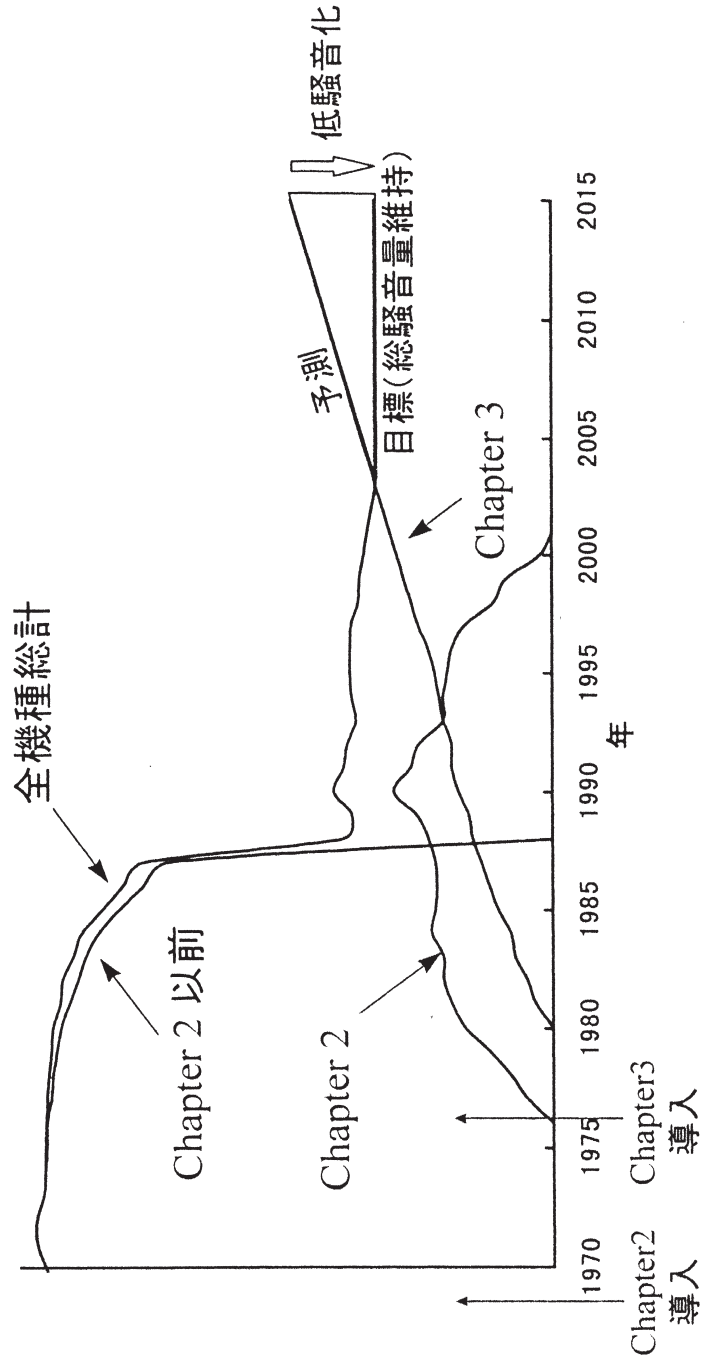
総騒音量の増加は
受け入れられない

航空需要／市場拡大



1機あたりの低騒音化が必要

世界の民間航空機の
合計騒音レベル



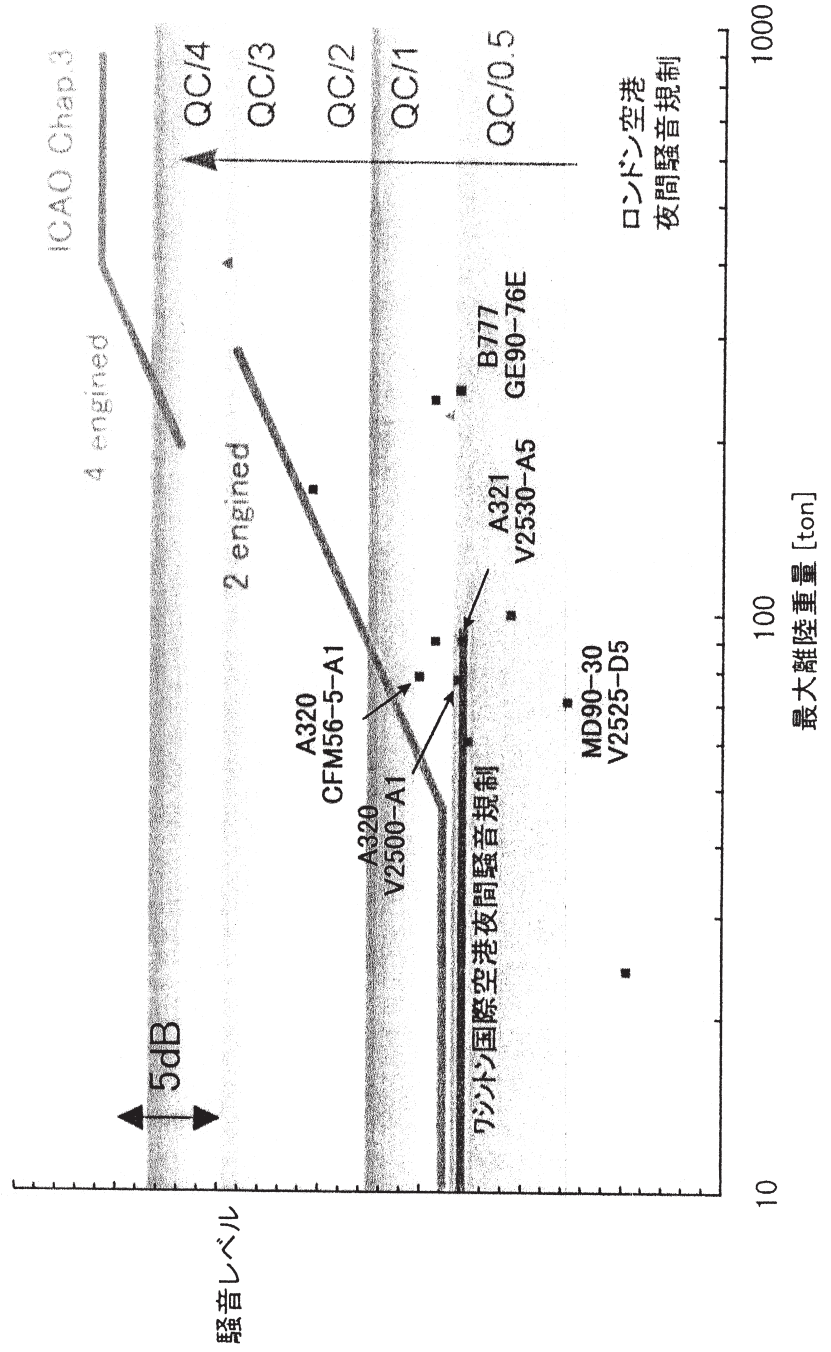


ICAO騒音規準と空港独自規制

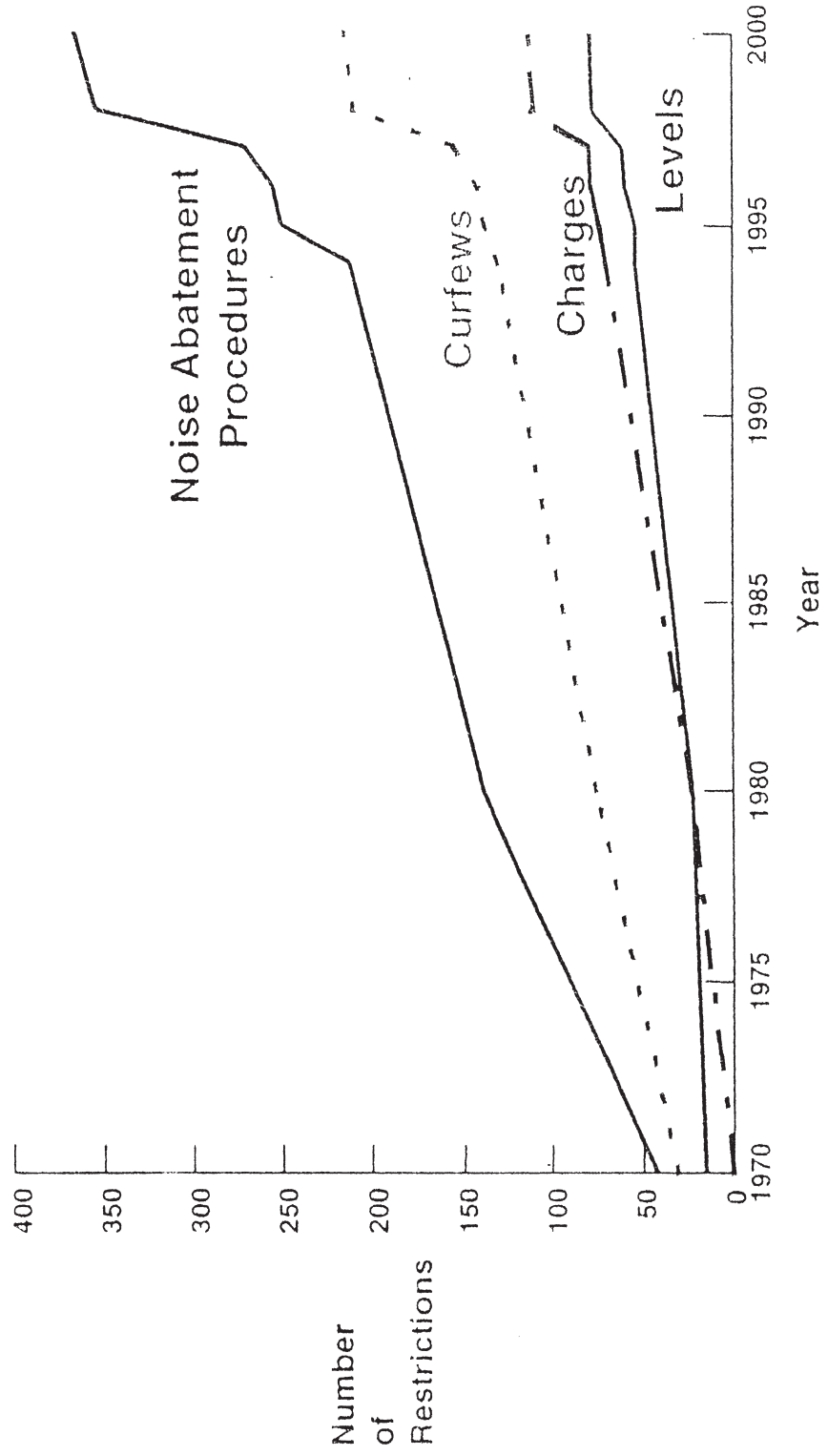
- ICAO
 - ・Chap.2機運行禁止(~2002年)
 - ・CAEP5に向けChap.3強化の動き

空港独自規制

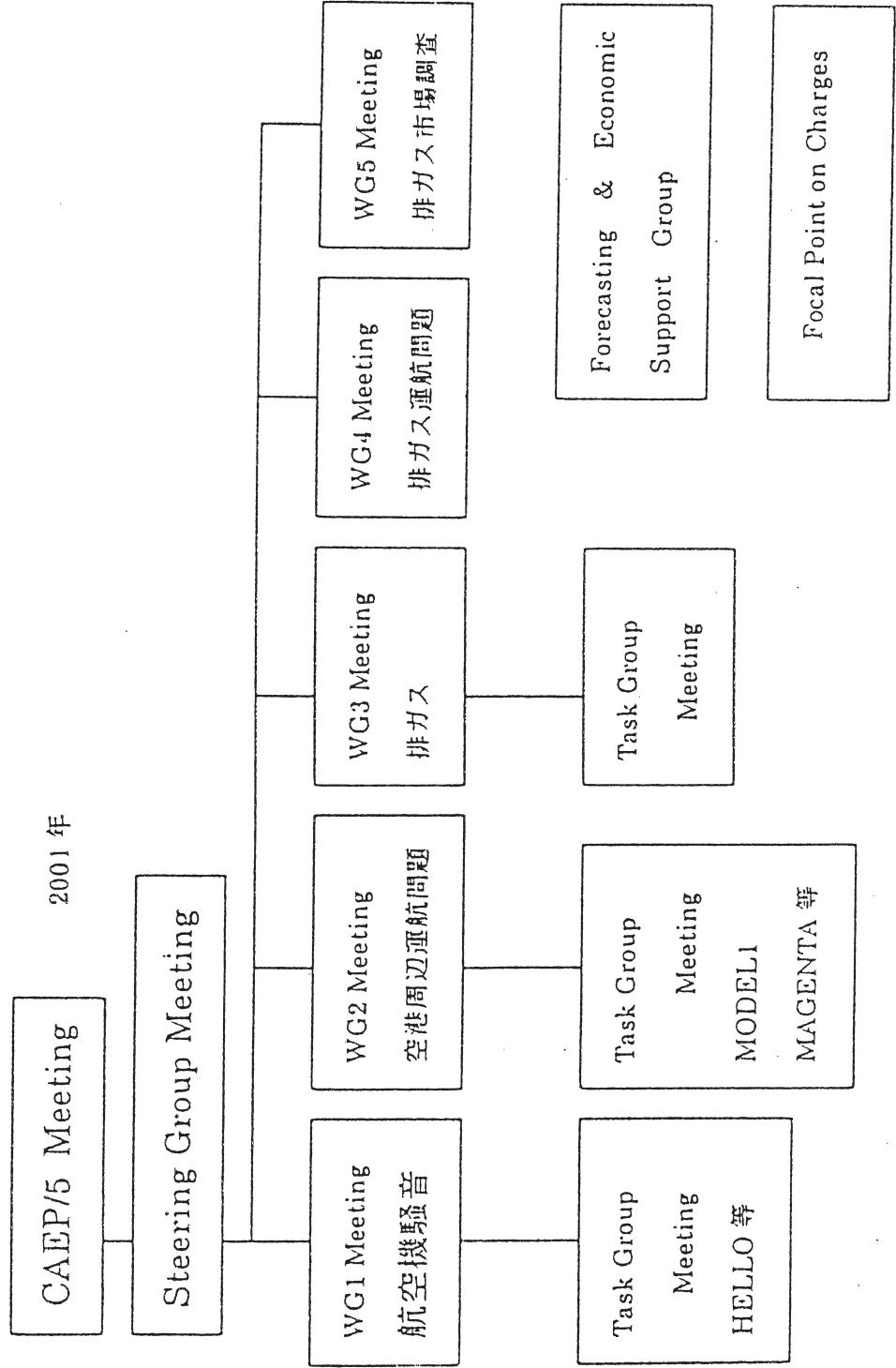
- ・ロンドン
- ・アムステルダム
- ・ワシントン国際
- ・ジョンウエイン
- ・成田、大阪、福岡等



Noise Restrictions Continue to Grow

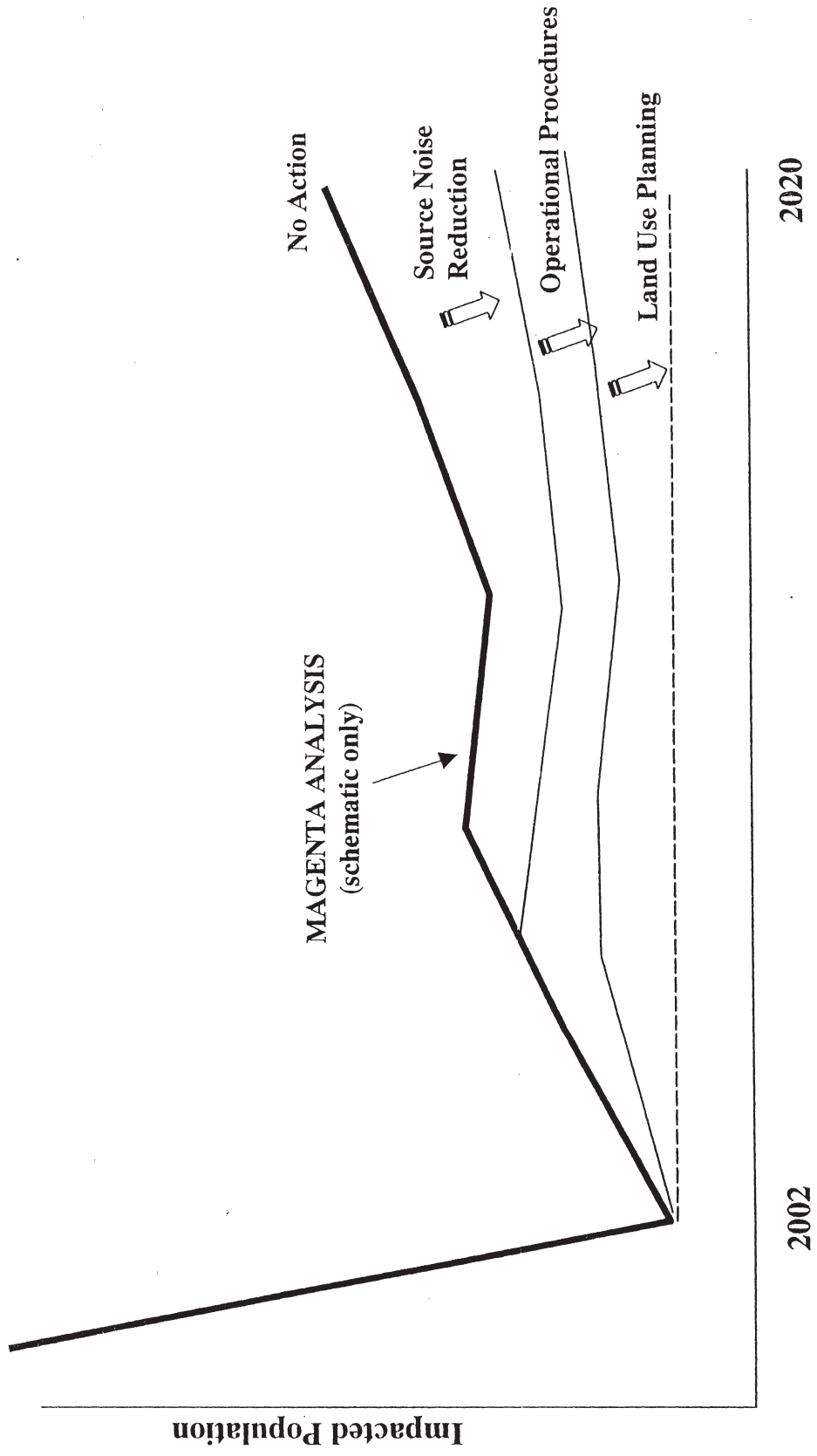


ICAO.CAEP の構成について



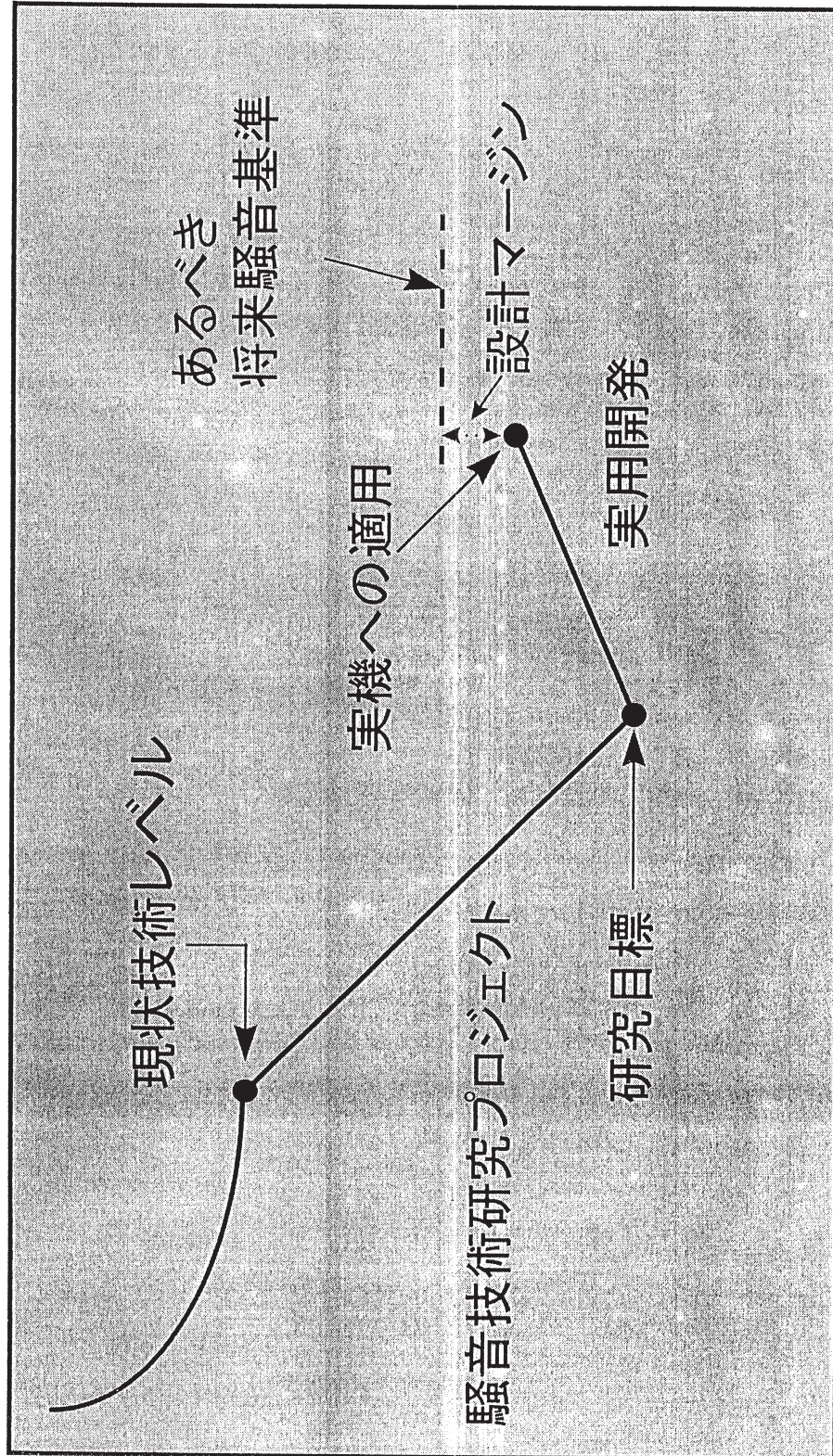
BALANCED APPROACH

Especially For Regions Where More Action is Needed to Maintain 2002 Situation

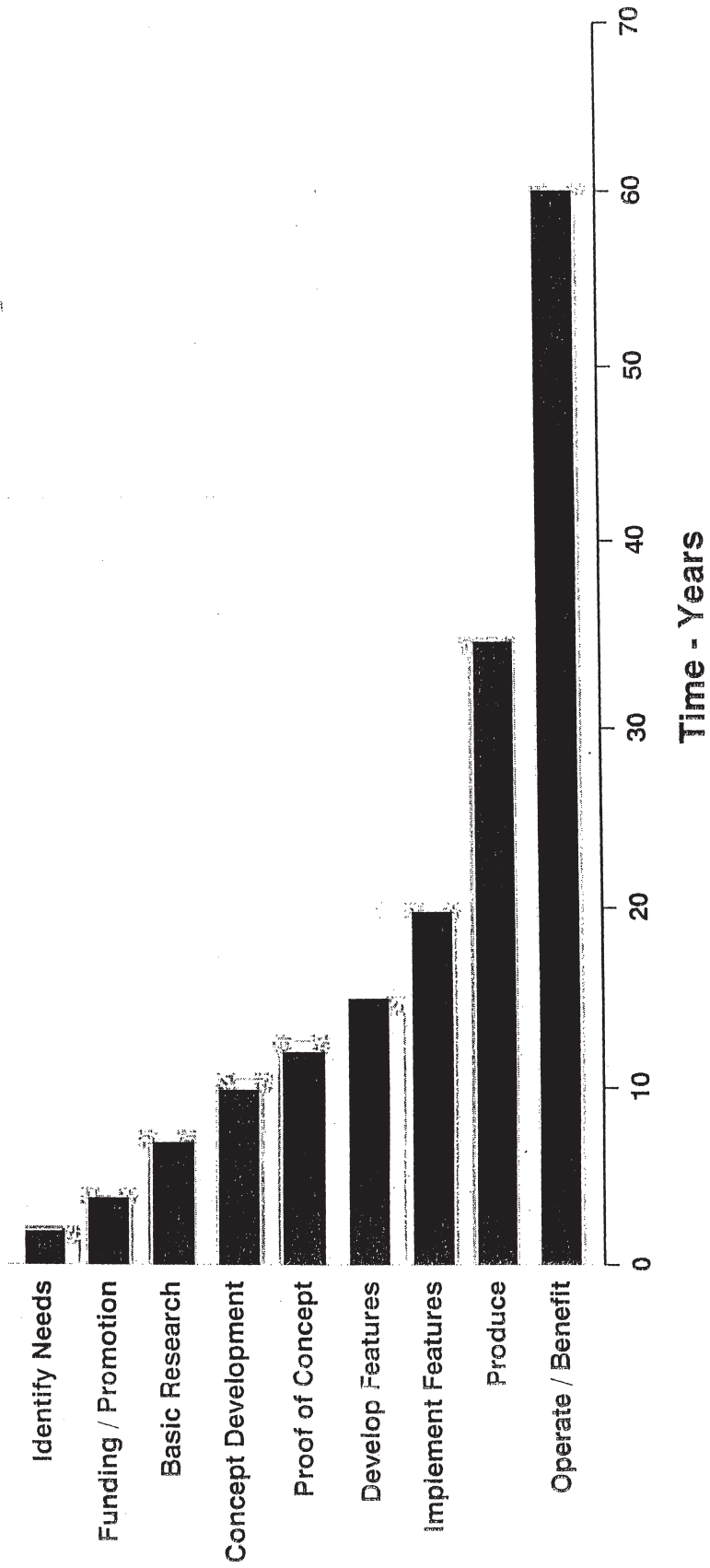


低騒音技術の研究開発と実機への適用

将来の騒音基準に備えた研究プロジェクトの立上げ
実用化に必要な時間とマージンの考慮

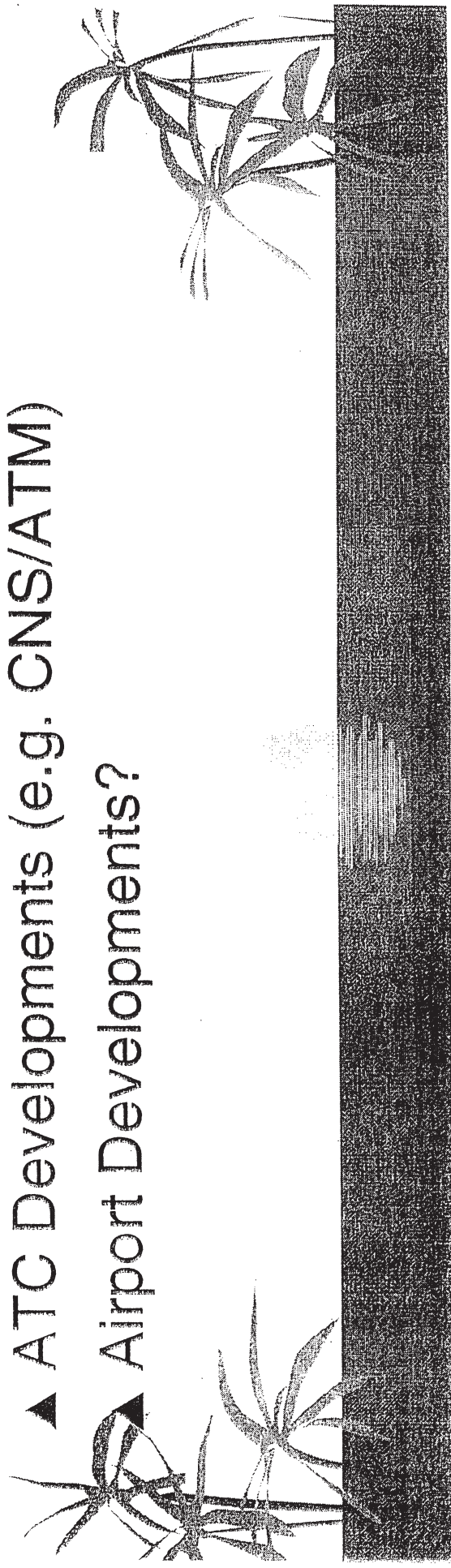


Noise Technology Development



EXAMPLES OF PRO-ACTIVE PROGRAMS

- ▲ US (FAA/NASA) Noise Technology Program
 - Interim Goals
 - Longer Term Goals
 - Stretch Goals
- ▲ European Noise Technology Program
- ▲ ATC Developments (e.g. CNS/ATM)
- ▲ Airport Developments?



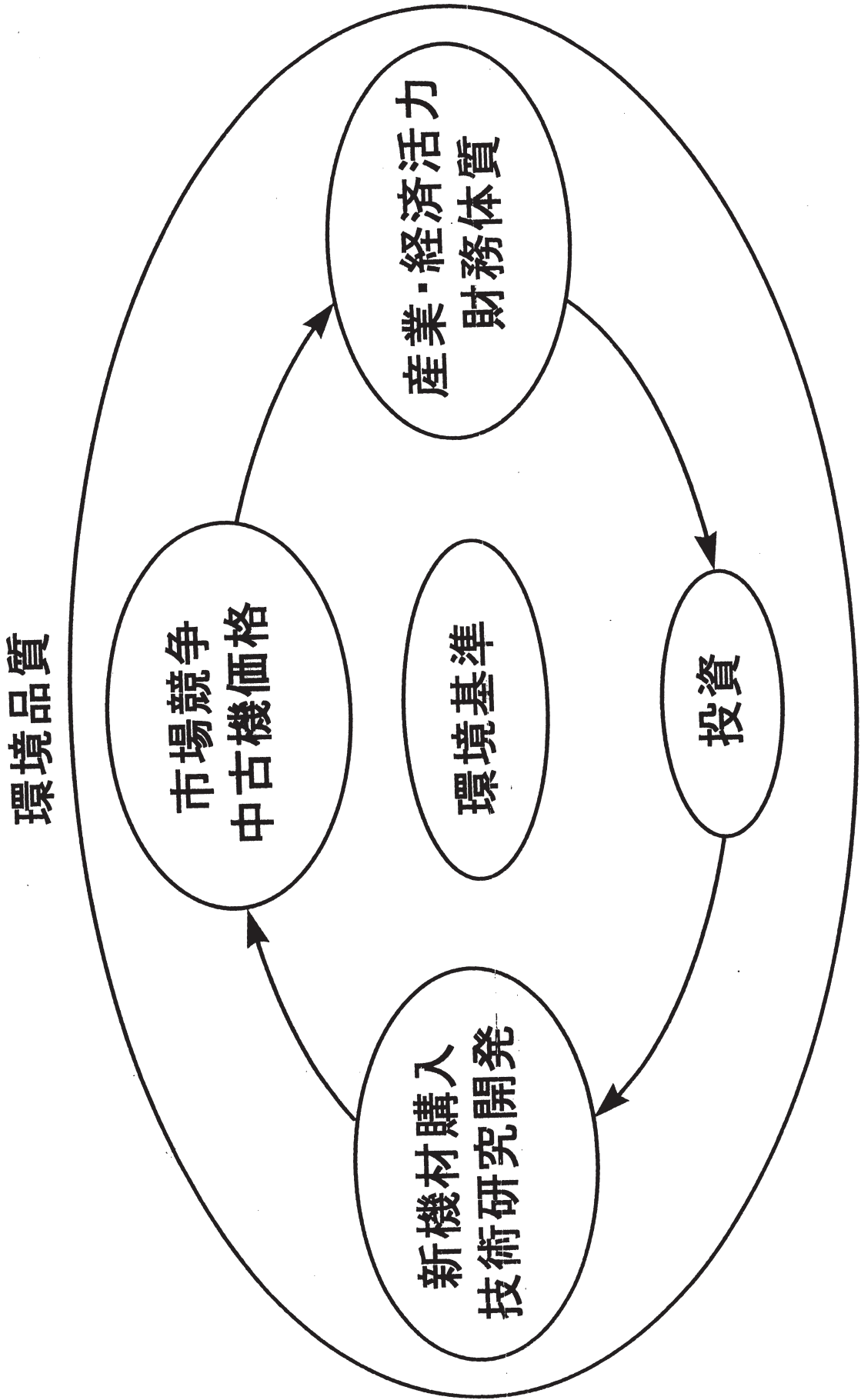
航空機環境基準の現状

- 国際的な横通しが必要。
 - ・ICAOで統一ガイドライン作成し、各国が国内法として批准して発効
- しかし各国間で意見の違いが出やすい。
 - ・南北問題
 - ・航空機産業の有無
 - ・地勢、地理的条件(空港立地条件)
- 各国毎や空港毎のローカルルールが拡大。
 - ・ICAOの役割への期待

航空機の騒音問題と排気ガス問題

	騒音	排気ガス
特徴	一過性、地域限定。空港計画、運航計画への影響大。	空港周辺の問題に加え、地球環境の問題あり、将来に蓄積。
影響評価	確立済み(EPNL,LDN等)。世界全体としてはコンタ内の人口で評価。	研究途上(輸送、反応モデル…)
低減技術	従来技術は成熟段階(亜音速ジェット機)、技術のブレークスルー必要。	低NOx燃焼技術革新中。高効率化(CO2)との両立性。
基準適用対象と範囲	機体(離陸、側方、着陸時)	エンジン(現状LTOサイクル)。巡航時の規制化の動き)

環境品質のサイクル



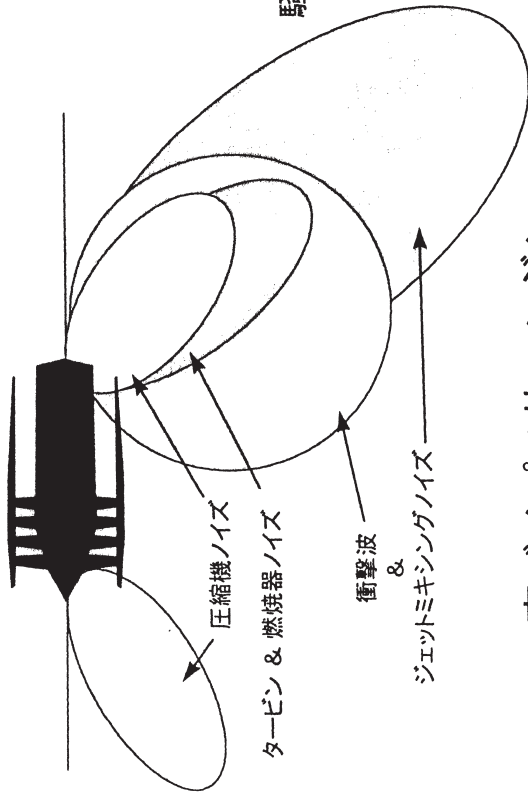
環境基準について

- 1) 騒音も排気ガスも発生源の低減技術の向上や環境影響度の科学的解明に今後も努力が必要。基準強化とリンク／先行した研究投資要。(欧米で航空環境研究活発化)
- 2) 但し発生源対策だけでなく、運航方式や管制の効率化、土地利用等の対策の総合的推進が必要。また騒音対策と排気ガス対策は相反することがあり、バランスに留意要。
- 3) 環境基準設定には、技術的可能性、経済的合理性、環境保全効果の3条件が必要。環境が保全されるよ
うな良いサイクルに市場のメカニズムで回していく触
媒の働きを！

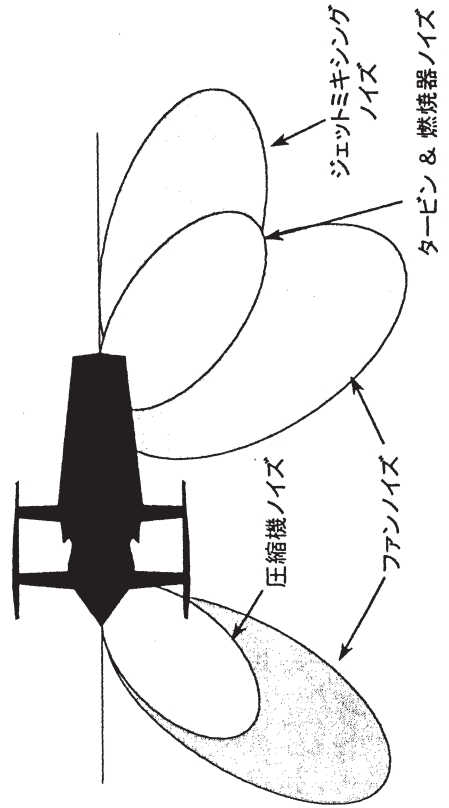


航空機騒音の推移

低バイパス比エンジン



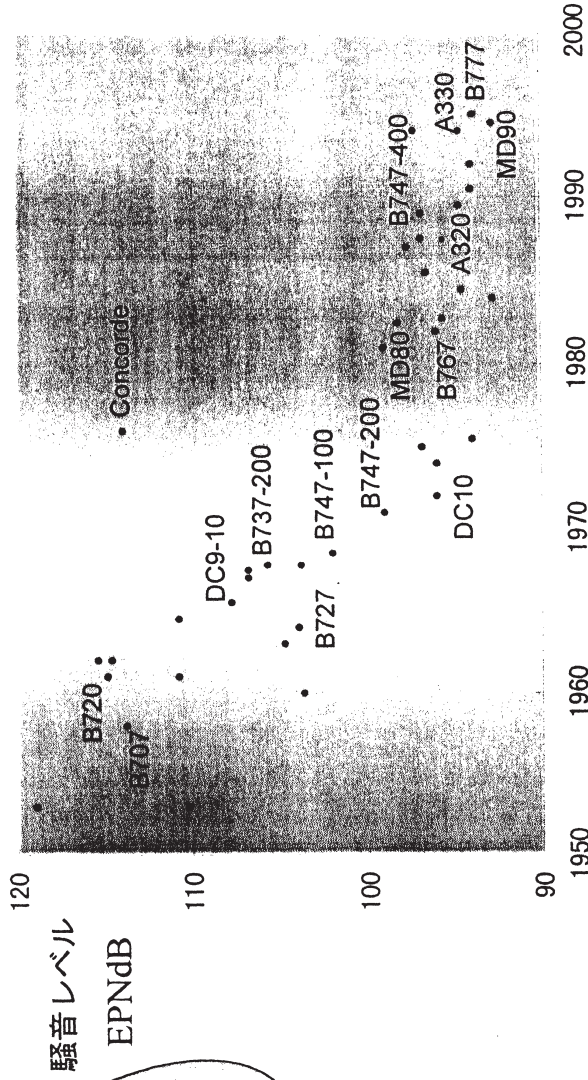
高バイパス比エンジン



ターボジェットエンジン
低バイパス比エンジン

↑

高バイパス比エンジン



過去40年で著しく減少 (~25dB)

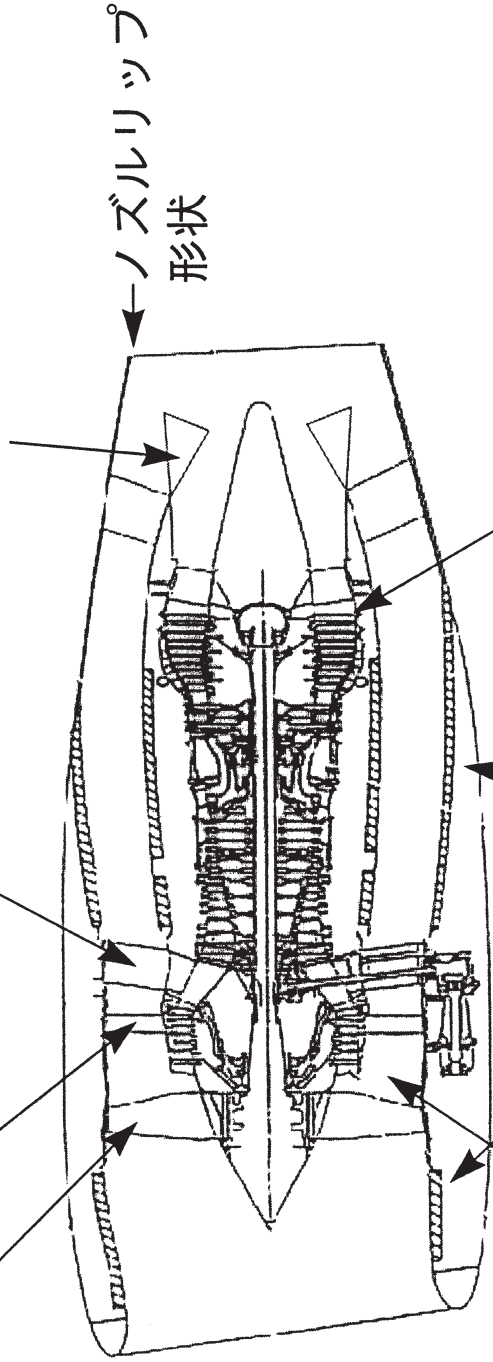


エンジン騒音低減技術

ストラット／パイロンの位置・形状

ミキサーによる排気流の混合
(ジェット速度の低減)

低騒音ファン動翼／静翼形状



エンジン搭載方法

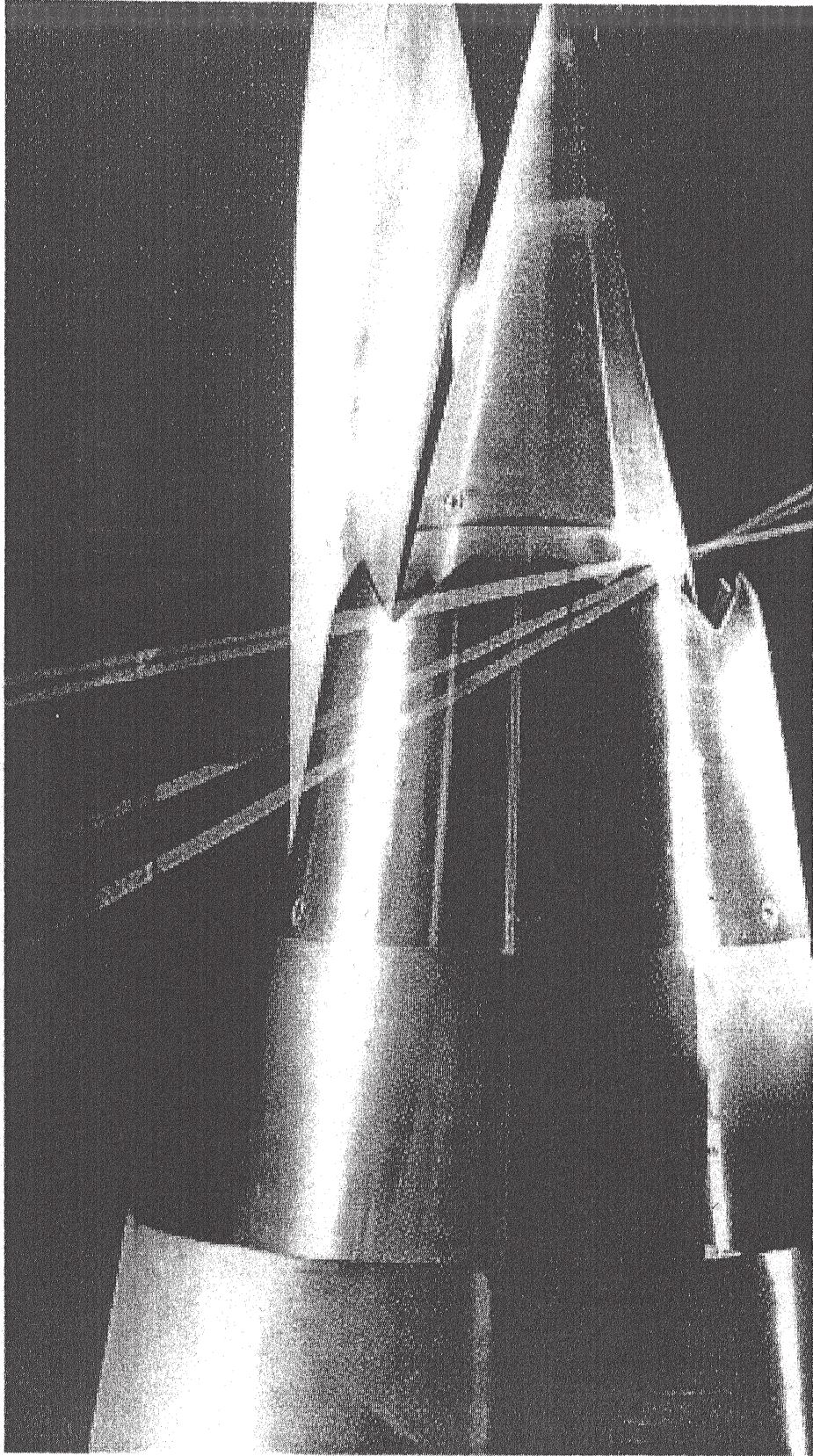
LPタービン動翼／静翼枚数比の選定
(伝播モードの制御)

吸音パネル (ファンバズソー・干渉騒音の吸音)

ファン動翼／静翼枚数比の最適化 (伝播モードの制御)
 ファン動翼／静翼間隔の増加 (動翼後流干渉騒音の低減)

IHI

シェブロンノズル



(FLIGHT INTERNATIONAL, 20-26 Oct. 1999より)



更なる低騒音化への取組み

ファンノイズ低減

- ・ 非定常翼列干渉制御／衝撃波制御
- ・ アクティブノイズコントロール
- ・ 超高バイパス比化

ジェットノイズ低減

- ・ ミキサージェクタノズル
- ・ 先進ミキシング技術
- ・ 可変サイクル

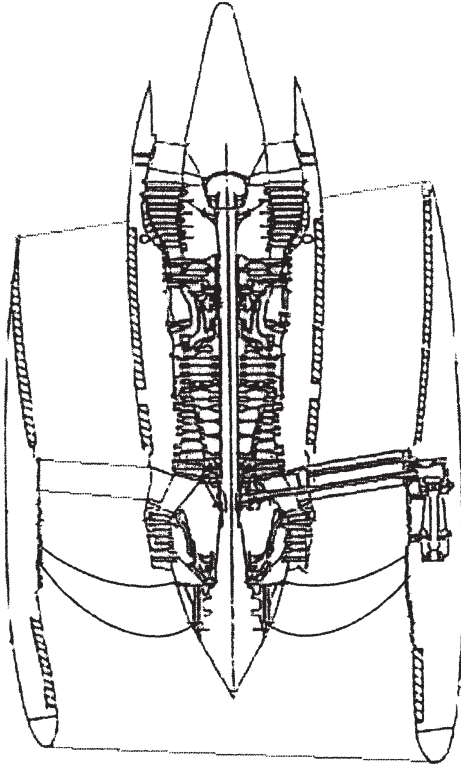
ナセル設計の改良

- ・ 先進吸音ライナー
- ・ ナセル形状（スカーフ、タービンハンブ）

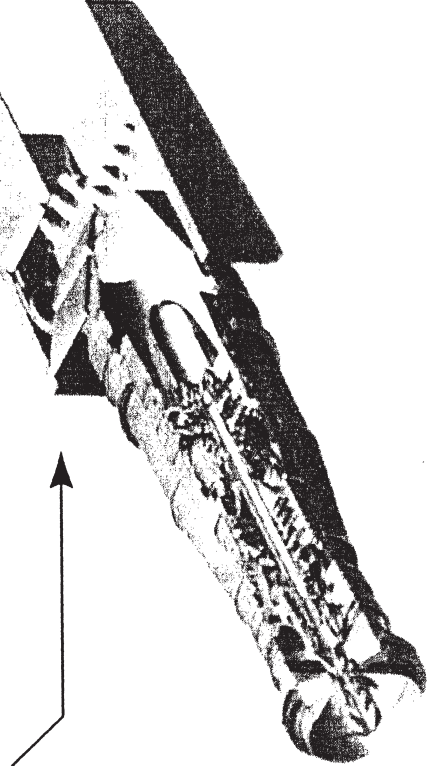
機体

- ・ 揚抗比改善／機体軽量化
- ・ ギャー／フラップ騒音の低減
- ・ エンジン搭載方法（翼遮蔽効果）
- ・ 飛行手順（カットバック、急角度進入）

超高バイパス比エンジン

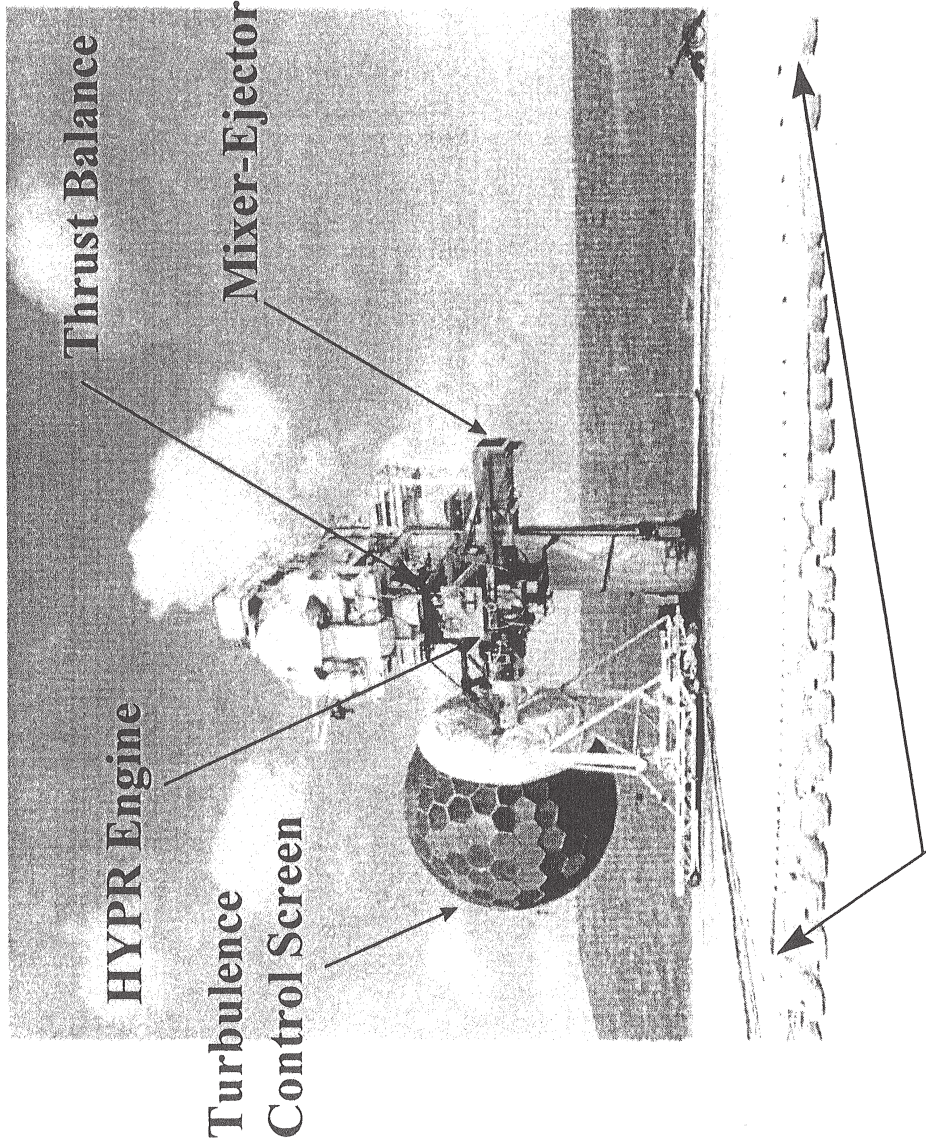


次世代SSTエンジン



IHI

HYPR Demo-Engine at Rolls-Royce Hucknall 11 Bed



Mixer Nozzle

Source Location Mic. Array



Comparison of Noise Spectra for Different Nozzle Configurations

