

超高速輸送機実用化開発調査  
(革新的推進システム)  
の概要について

平成27年3月26日  
株式会社 IHI

# 目次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等

# 1. プロジェクトの概要(1/2)

概 要	ロケットエンジンを用いた超高速輸送機の形態に対し、LNGロケットエンジンの開発実績をベースとし、ロケットエンジンの適用可能性、或いは搭載可能なロケットエンジンの実現可能性についての評価を行う。
実施期間	平成23 年度～平成25 年度 （3年間）
予算総額	0. 20億円(平成23年度) 0. 20億円(平成24年度) 0. 16億円(平成25年度)
実施者	(株)IHIエアロスペース(平成23年度) (株)IHI(平成24年度～平成25年度)※
プロジェクトリーダー	平成23年度 (株)IHIエアロスペース 佐藤 豊 平成24年度～平成26年度 (株)IHI 木元 健一※

※平成24年度より補助金交付先変更を実施

# 1. プロジェクトの概要(2/2)

これまでに実用化された超高速輸送機として英仏共同開発によるコンコルドが挙げられるが、音速突破の際の衝撃波(Sonic Boom)の問題を解決できなかったために、商業的に成功しなかった。

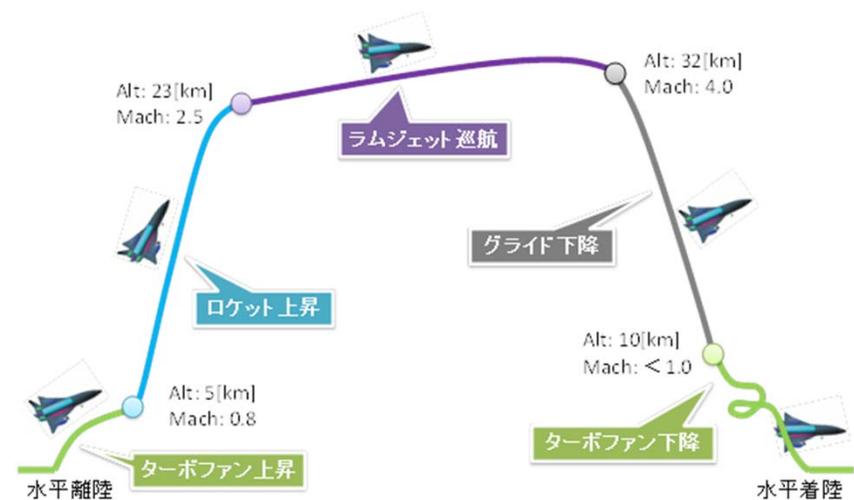
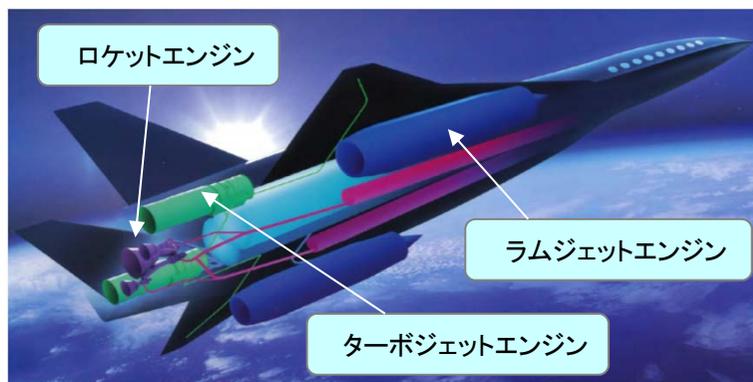
最近、その計画が公表されたフランスEADS社のZEHST(Zero Emission Hyper Sonic Transport)計画では、ロケットの飛行経路に類似したほぼ垂直の飛行経路をとり、その中で音速突破させることにより地上へのSonic Boomの影響を極小化する構想である。

このような飛行経路を実現するために、ZEHSTでは3種類のエンジンを搭載し、飛行プロファイルに対してそれぞれ機能分担・最適化された推進システムが検討されている。

ZEHSTにおけるロケットエンジンとしては、初期構想として液体水素/液体酸素の組合せによるエンジン搭載が検討されている。

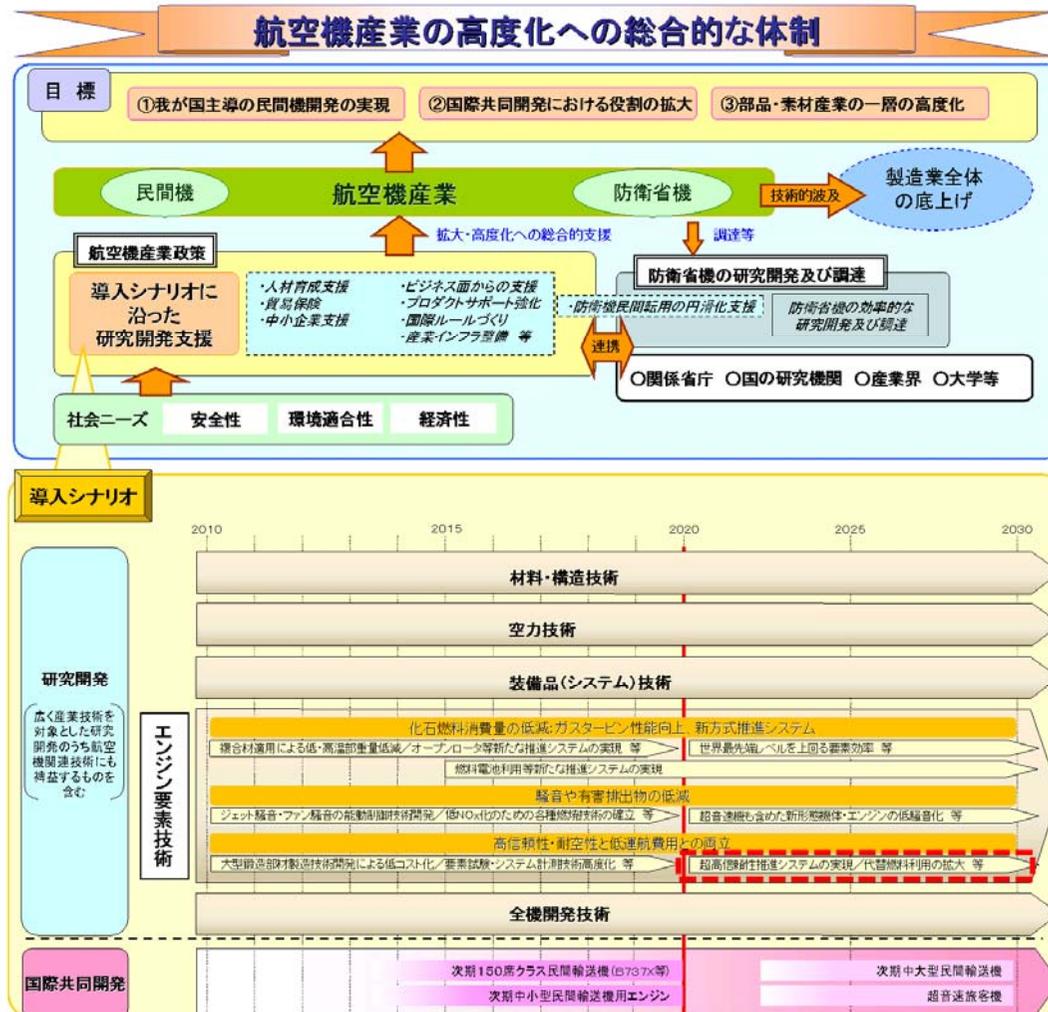
一方、我が国で研究開発が進んでいるLNGロケットエンジンがZEHSTに採用できれば、機体のコンパクト化・運用性の向上が期待でき、ZEHST計画が国際共同開発となった場合に、推進システムの主要部分に貢献できる可能性がある。

本調査研究事業ではZEHSTをモデルとして、LNGロケットエンジンの超高速輸送機における適合性を、安全性・経済性・環境適合性・技術的実現性などの観点から評価し、今後の技術開発の方向性を模索することを目的とする。



## 2. プロジェクトの目的・政策的な位置付け

経済産業省及び新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)では、航空機分野の導入シナリオを策定し、これに基づいて事業を実施している。本事業は、エンジン要素技術の1つとして、「超高信頼性システムの実現／代替燃料利用の拡大等」に該当するものであり、基盤技術確立を目的とした研究開発項目に位置づけられている。



### 3. 目標

超音速輸送機に対するLNGを燃料としたロケットエンジンの適用可能性、或いは超音速輸送機に搭載可能なロケットエンジンの実現可能性についての評価を行う。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1)燃料の検討	液体水素、液化メタン、ケロシンと液体酸素の組合せに対し、超音速輸送機向けロケット燃料としての得失について総合的に検討を行い、燃料の選定を行う。	超音速輸送機の機体システム、商用運用性、有人安全性に大きく影響を与えるロケットエンジンの燃料組合せに対し総合的な評価を行う必要があるため。
(2)システムの検討	商用・有人輸送に適すると考えられる上記で選定した燃料を用いた超音速輸送機についてシステム検討を行う。	超音速輸送機に対し、上記で選定された燃料を用いた機体システムとしての成立性を評価する必要がある。
ア) 機体システム仕様に適合するロケットエンジンの基本仕様設定	システム検討の結果からエンジンの要求仕様を設定し、要求に合致するエンジンの概念設計を行い基本仕様を設定する。	超音速輸送機に搭載可能な上記燃料を用いたロケットエンジンの実現可能性についての評価を行うため。
イ) 推進モジュールなどの概念設計	AIRBUS 社より入手する情報に基づき、燃料供給系を含めた推進モジュールの概念設計を行う。	常温でガス化する極低温燃料であるため、従来の商用航空機とは異なる推進モジュール設計が必要のため。
ウ) 実用化に係る課題の抽出	航空機用ロケットエンジンとして、実用化のための課題を抽出し、技術開発計画の初期検討を行う。	超音速輸送機におけるロケットエンジンについて、実用化に係る課題を抽出する。
i) エンジンの繰り返し使用に関わる課題	エンジンの繰り返し使用に関わる課題の抽出及び解決策の検討	商用運用性に関わるエンジン繰り返し使用について、実用化に係る課題を抽出する。
ii) 有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法	有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法の検討	有人機への適用に必要な信頼性・安全性について、実用化に係る課題を抽出する。

## 4. 成果、目標の達成度(1/6)

超音速輸送機に対するLNGを燃料としたロケットエンジンの適用可能性、或いは超音速輸送機に搭載可能なロケットエンジンの実現可能性についての評価に関して、いずれも以下の成果を達成した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1)燃料の検討	液体水素、液化メタン、ケロシンと液体酸素の組合せに対し、超高速輸送機向けロケット燃料としての得失について総合的に検討を行う。	液体水素、液化メタン、ケロシンと液体酸素の組合せに対し、超高速輸送機向けロケット燃料としての得失について検討し、メタンを選定した。	達成
(2)システムの検討	商用・有人輸送に適すると考えられる液化メタンを燃料とした超高速輸送機についてシステム検討を行う。	商用・有人輸送に適すると考えられる液化メタンを燃料とした超高速輸送機についてシステム検討を行った。	達成
ア)機体システム仕様に適合するロケットエンジンの基本仕様設定	システム検討の結果からエンジンの要求仕様を設定し、要求に合致するエンジンの概念設計を行い基本仕様を設定する。	システム検討の結果からエンジンの必要推力を設定し、要求に合致するエンジンの概念設計を行い基本仕様を設定した。	達成
イ)推進モジュールなどの概念設計	AIRBUS 社より入手する情報に基づき、燃料供給系を含めた推進モジュールの概念設計を行う。	AIRBUS 社より入手する情報に基づき、燃料供給系を含めた推進モジュールの系統・搭載性設計を行った。	達成
ウ)実用化に係る課題の抽出	航空機用ロケットエンジンとして、実用化のための課題を抽出し、技術開発計画の初期検討を行う。	航空機用ロケットエンジンとして、実用化のための課題を抽出し、技術開発計画の初期検討を行った。	達成
i) エンジンの繰り返し使用に関わる課題	エンジン繰り返し使用に関わる課題を抽出し解決策を検討する。	エンジン繰り返し使用に係る長寿命化、ヘルスマニタ等課題を抽出し解決策を検討した。	達成
ii) 有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法	有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法を検討する。	有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法を抽出し解決策を検討した。	達成

## 4. 成果、目標の達成度(2/6)

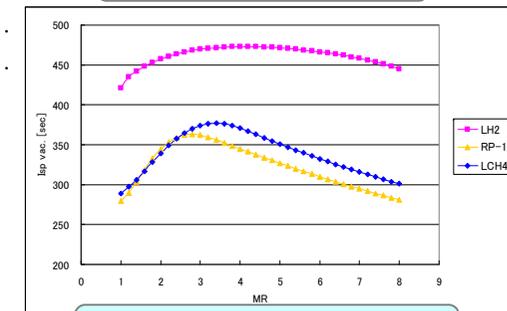
### (1)燃料の検討

ロケットモードで使用する搭載燃料について、代表的な以下の燃料/酸化剤の組合せに対し、推進性能、有人機体に適用する場合の安全性、航空機機体への搭載方法、輸送/貯蔵などのロジスティックス、製造/調達のコスト、などの各側面から、超高速輸送機向けロケット燃料としての得失について総合的に検討し、メタンを選定した。

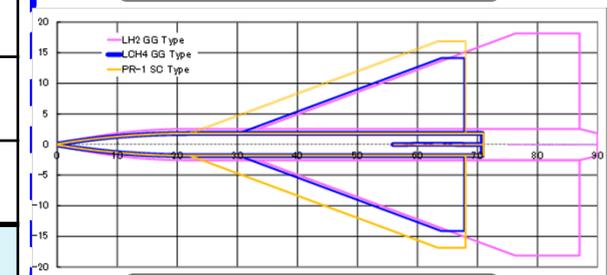
	水素	ケロシン(RP-1)	メタン(LCH4)
推進性能 (比推力)	○Ispは最も高い 430sec	×Ispは低い 335sec	△Ispは比較的高い 350sec
機体サイズ	×タンク大/翼大 密度小71kg/m <sup>3</sup>	△タンク小/翼大 密度大807kg/m <sup>3</sup>	○タンク小/翼小 密度大425kg/m <sup>3</sup>
安全性	×漏れ易く、爆発し易い 引火範囲4.0~75%	○爆発し難い・ 引火範囲0.7~5.0%	○漏れ難く、爆発し難い 引火範囲5.0~15%
再使用性	○煤発生が無く メンテナンスが容易	×煤発生が多く メンテナンスが難しい	○煤発生がほとんど無く メンテナンスが容易
運用性	×極低温取扱難 沸点20.3K	○常温取扱容易 沸点440K	○低温取扱容易 沸点111.6K
搭載性	×円筒タンク 断熱材厚い	○インテグラルタンク 断熱材無し	△円筒タンク 断熱材薄い
貯蔵性	×長期保管が難しい 蒸発率1.8%/月	○長期保管が可能 ただし、ヒータが必要	△長期保管が可能 蒸発率0.3%/月
推薬コスト (製造方法)	×高い1900円/kg	△比較的安い1000円/kg	○安い100円/kg
環境性 (CO <sub>2</sub> 排出)	×製造中CO <sub>2</sub> 発生大 飛行中CO <sub>2</sub> 発生無	△製造中CO <sub>2</sub> 発生小 飛行中CO <sub>2</sub> 発生大	○製造中CO <sub>2</sub> 発生小 飛行中CO <sub>2</sub> 発生小
	×	△	○

	LH2/GG	LNG/GG	RP-1/SC
Length[m]	90	70.8	71
Dia.[m]	5.1	3.6	3.6
WingSpan[m]	31.2	24.6	30.1
WingArea[m <sup>2</sup> ]	1000	510	760
MTOW[ton]	314	340	481
DryWeight[ton]	125	100	132
Tubofan Th[kN]	1024	1536	2048
Ramjet Th[kN]	298	248	316
Rocket Th[kN]	4422	4790	6773

燃料による機体仕様比較



燃料による推進性能(Isp)比較

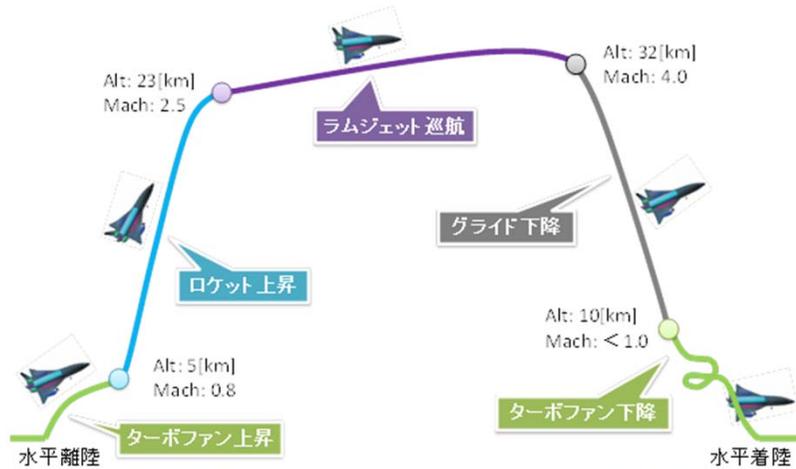


燃料による機体サイズ比較

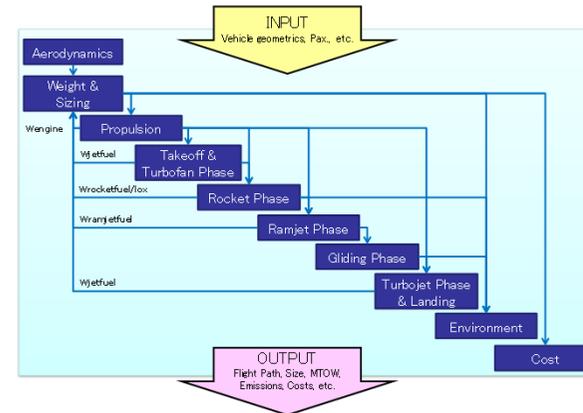
# 4. 成果、目標の達成度 (3/6)

## (2) システムの検討

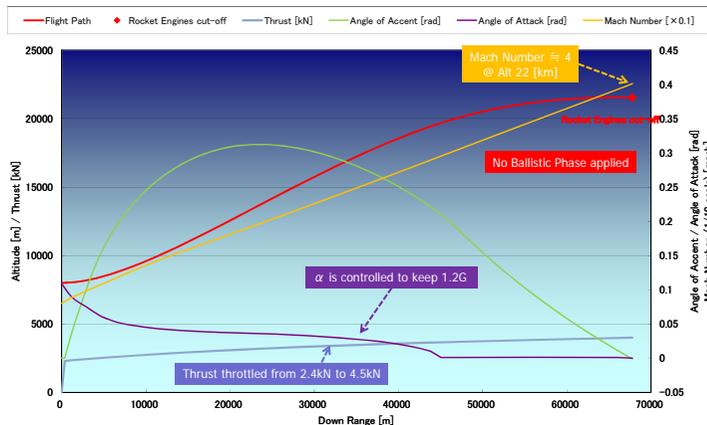
有人輸送に最も適すると考えられる液化メタン (LNG) を燃料としたロケットエンジンを搭載した超高速輸送機についてシステム検討を行い、エンジンに対する要求事項を整理した。



垂直上昇と高高度巡航によりSonicBoomの影響を極小化した超高速輸送機の飛行プロファイル



超高速輸送機システム検討による燃料消費の少ない最適経路とコンパクトな機体の選定およびロケットエンジン推力の設定



ロケットフェーズ燃料消費最小飛行経路解析例

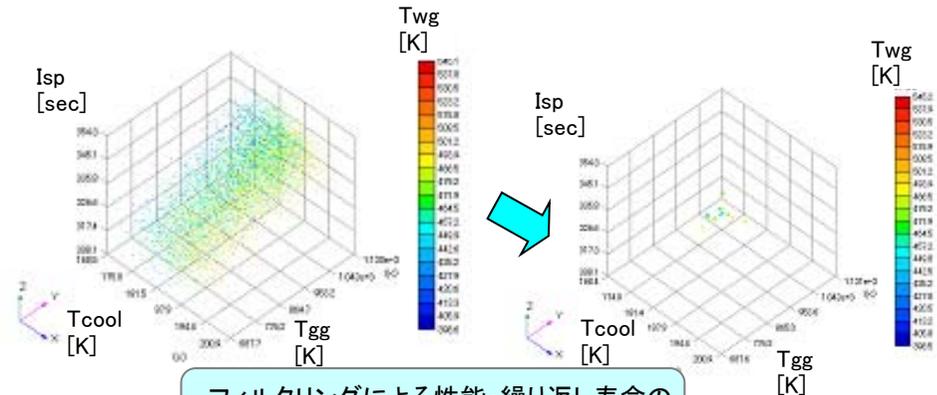
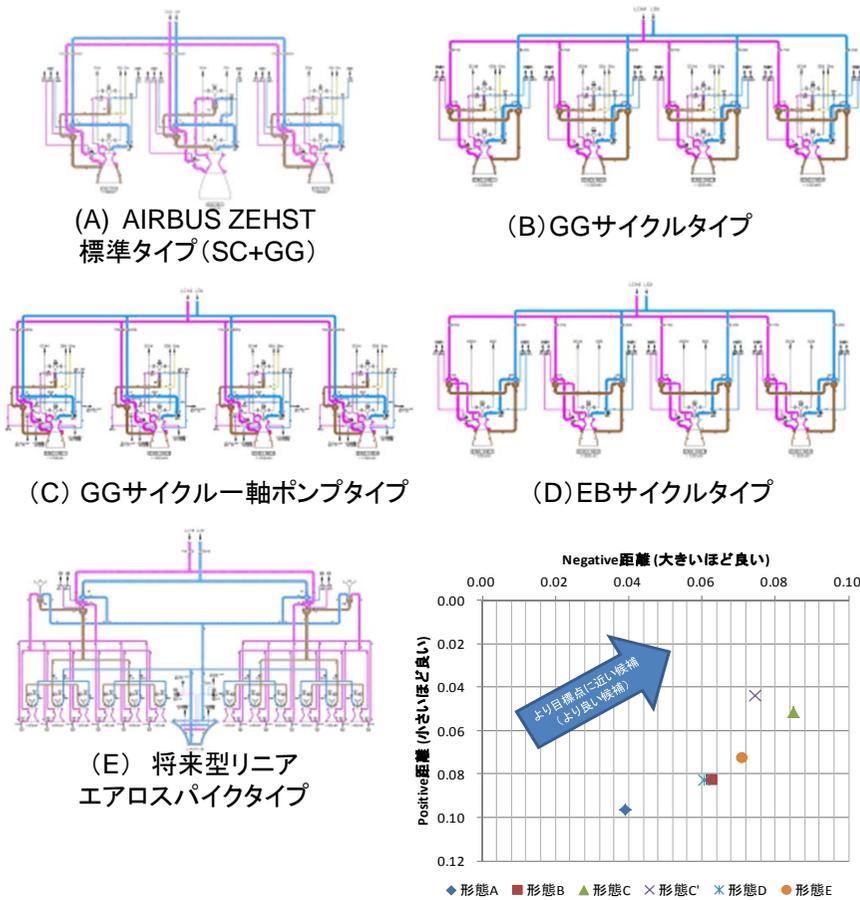
LH2 GG TYPE (EADS Baseline)	ZEHST TYPE	LCH4 GG TYPE
90.0 [m]	Length	70.8 [m]
5.1 [m]	Diameter	3.6 [m]
6 × 10 [seats]	Seats	4 × 15 [seats]
31.2 [m]	Wing Span	24.6 [m]
1,000 [m2]	Wing Area	510 [m2]
314,441 [kg]	MTOW	340,610 [kg]
125,306 [kg]	Dry Weight	100,424 [kg]
4,422 [kN]	Rocket Thrust	4,790 [kN]
431 [s]	Rocket Isp	344 [s]

AIRBUSベースラインタイプ(水素燃料)とメタン燃料タイプの機体システム及びエンジン仕様比較検討結果

# 4. 成果、目標の達成度(4/6)

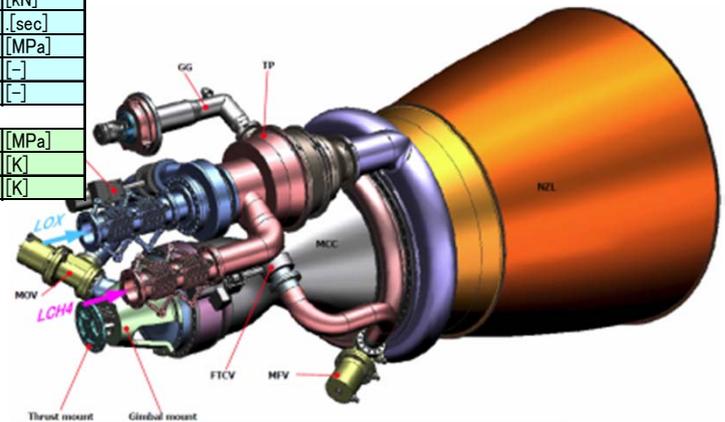
## ア) 機体システム仕様に適合するロケットエンジンの基本仕様設定

機体システム検討の結果から、ロケットエンジンに対する要求推力を設定し、要求に合致するエンジンの概念設計を行い、エンジンサイクルおよび基本仕様を設定した。



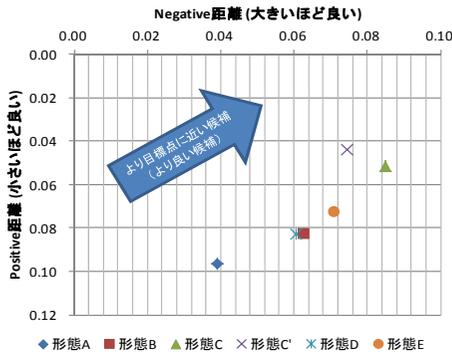
フィルタリングによる性能・繰り返し寿命のバランスの取れたエンジン設計解の抽出

Item	Spec.	Unit
Engine		
Thrust	1200	[kN]
Isp vac	344	[sec]
Pc	11.7	[MPa]
MRc	3.14	[-]
MRgg	0.19	[-]
Regenerative Chamber		
Press. Drop	3.72	[MPa]
CH4 Out Temp.	188	[K]
Inner Wall Temp.	457	[K]



超高速輸送機用LCH4/LOXエンジン概念検討結果

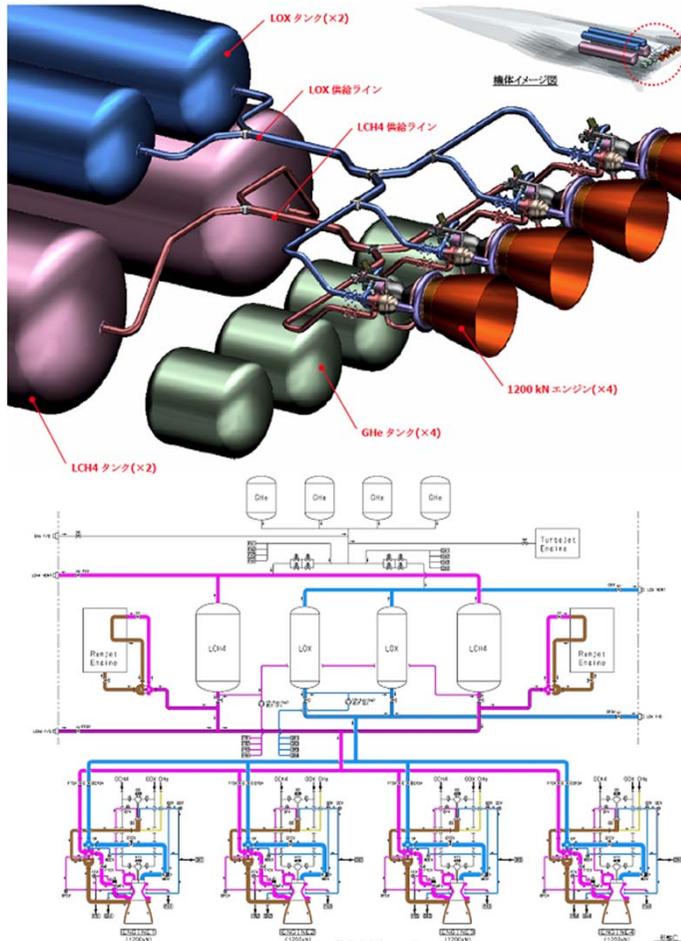
エンジンサイクル特性比較によるGGサイクルー軸ポンプの選定



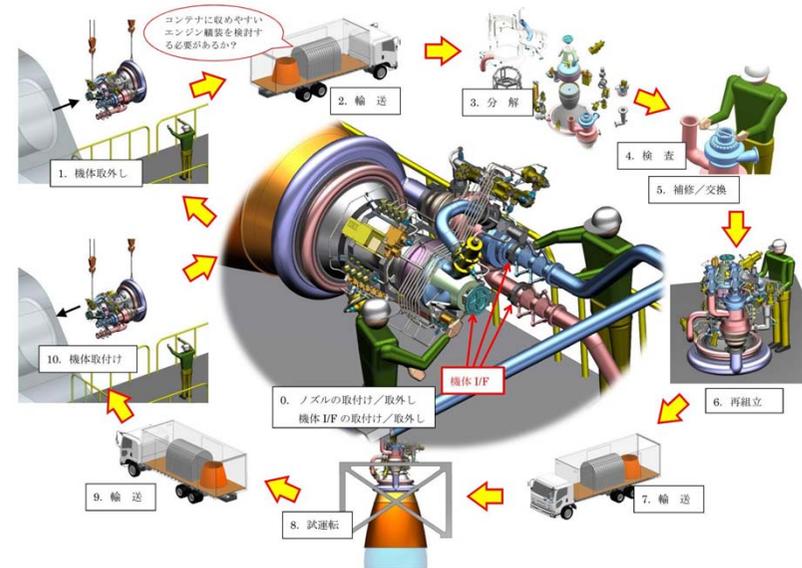
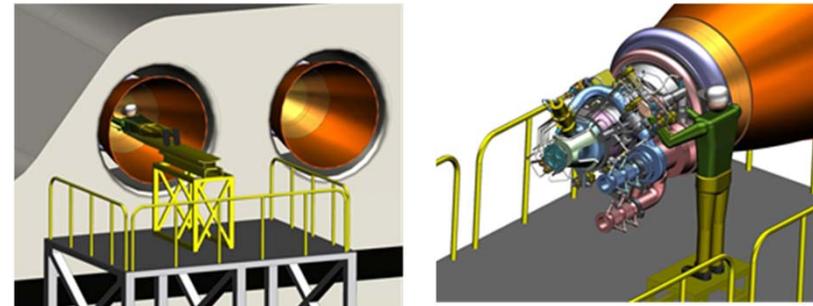
## 4. 成果、目標の達成度(5/6)

### イ) 推進モジュールなどの概念設計

AIRBUS 社より入手するインタフェース条件などの情報に基づき、機体へのインテグレーション/商用運用を考慮した、燃料供給系を含めた推進モジュールの概念設計を行った。



超高速輸送機の飛行運用計画に基づいた  
ロケットエンジン推進モジュール概念設計

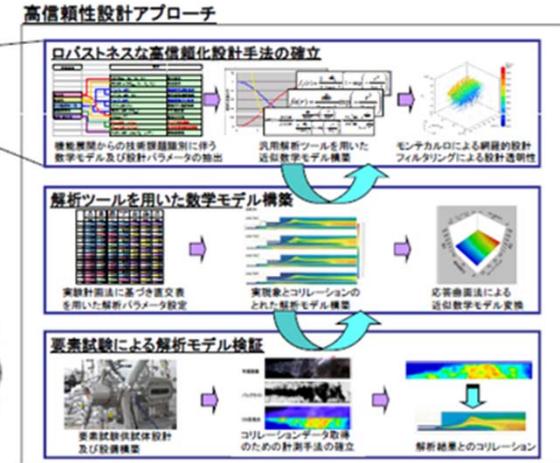
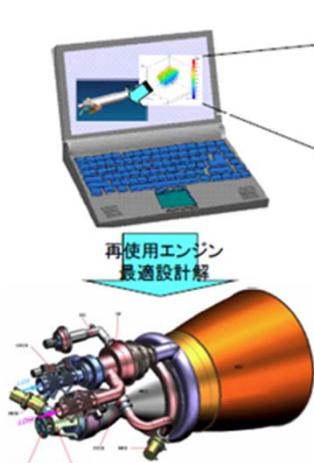
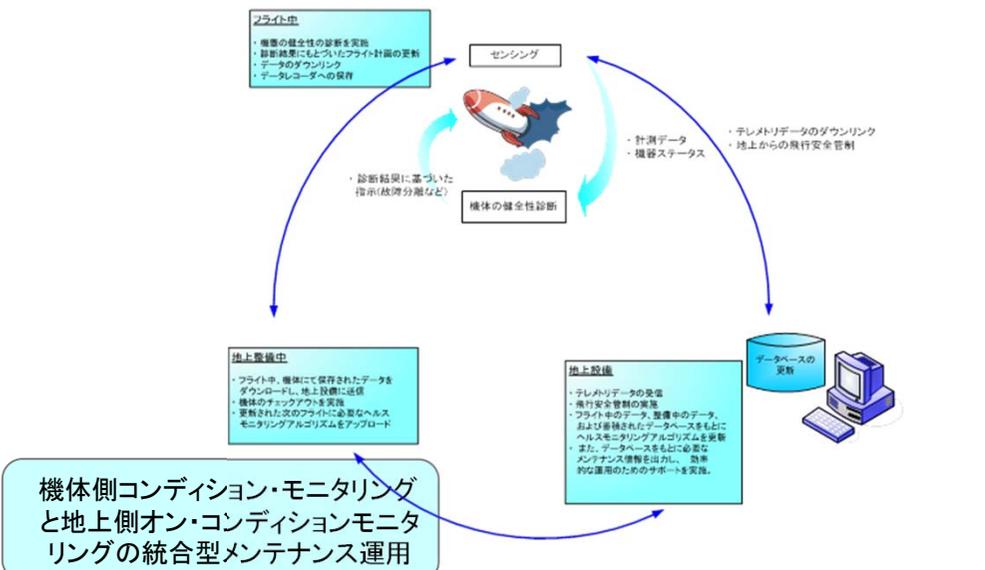


繰り返し使用を前提に効率的な点検・整備計画  
に基づくロケットエンジン艀装の検討

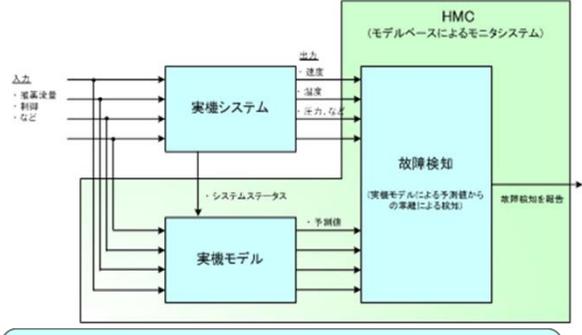
# 4. 成果、目標の達成度(6/6)

## ウ) 実用化に係る課題の抽出

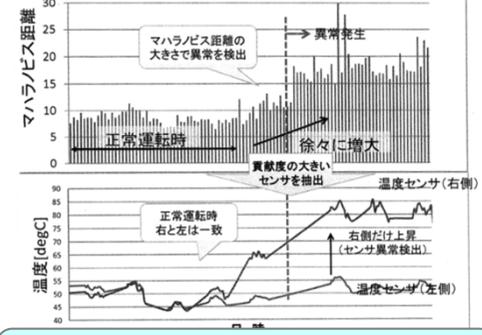
エンジンの繰り返し使用に係る課題(主要構成品の長寿命化、故障診断/ヘルスマonitoring手法、効率的メンテナンスを可能にするエンジン設計)を抽出し解決策を検討した。有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法を抽出し解決策を検討した。



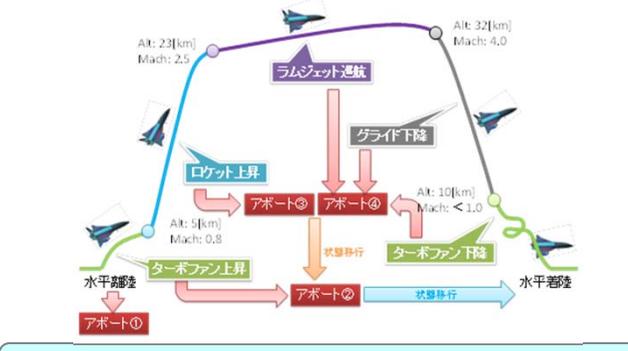
スロットリング運用を考慮した広い作動範囲での安定性を確認する要素試験データに基づく高信頼性設計



センサ出力値とモデル模擬値の比較より異常を検知するモデルベース故障診断システム



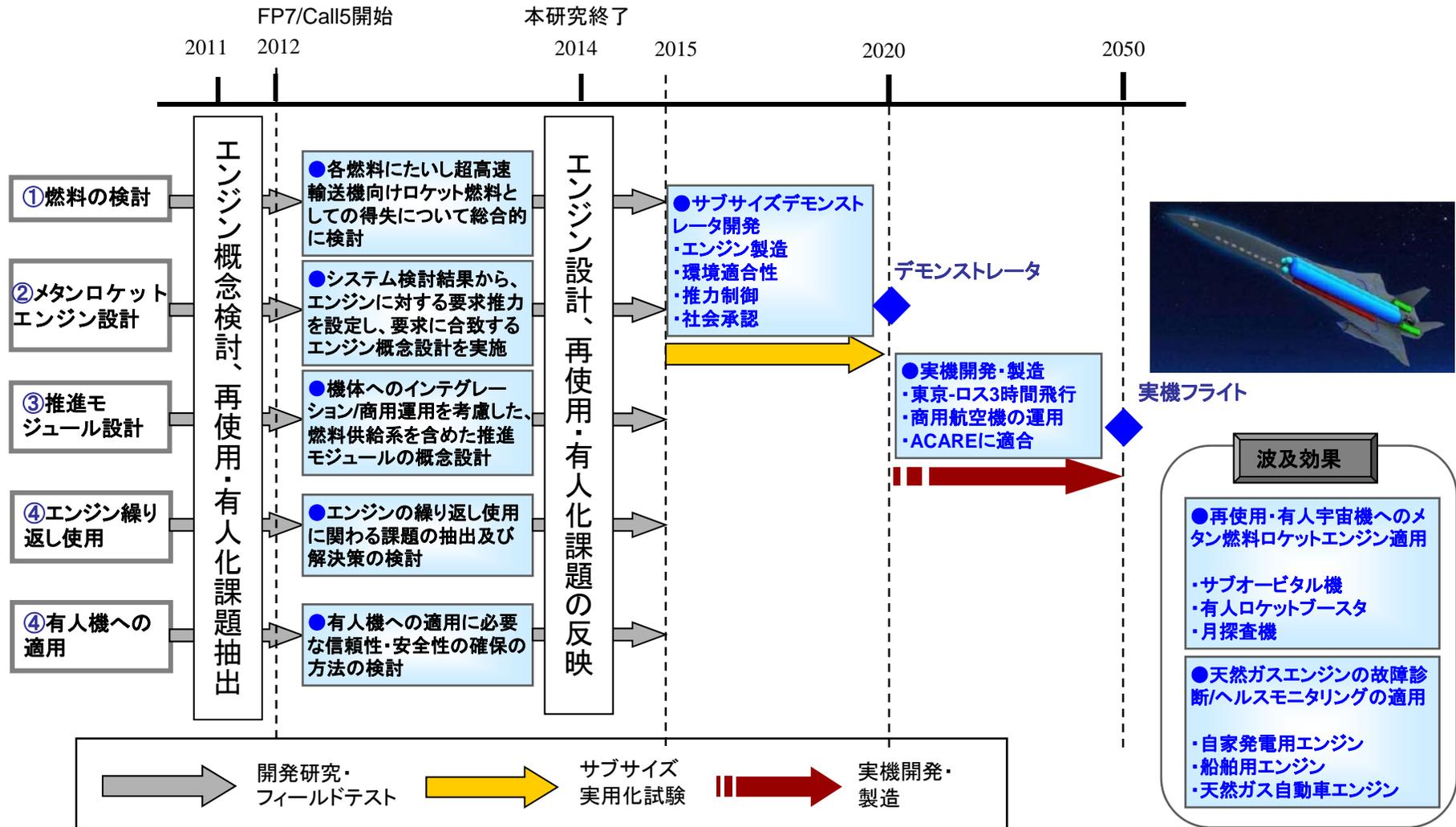
出力値にたいする単位空間との距離より判定するMT法による異常判定システム



飛行中異常発生時のアボート遷移による安全化処置

# 5. 事業化、波及効果(1/2)

我が国で研究開発が進んでいるLNG ロケットエンジンがZEHST に採用できれば、機体のコンパクト化・運用性の向上が期待でき、ZEHST 計画が国際共同開発となった場合に、推進システムの主要部分に貢献できる可能性がある。



## 5. 事業化、波及効果(2/2)

- 本研究のベースラインは、フランスEADS(現AIRBUS)社のZEHST構想である。このZEHST極超音速旅客機は、2020年頃には試作機(プロトタイプ)を製造し、2050年頃には実用機による運行サービスを開始したいとしている。この実用化の中に、本LNGロケットエンジンの研究内容が採用されることを目指している。
- ZEHSTの実用化開発の段階では、ロケットエンジンだけでなく、機体材料/部品の開発などの分野でも我が国の航空機産業が貢献/参入できると考えられる。運行が始まれば、旅客運送業の拡大に大きく貢献出来る。
- 再使用性、有人機適応といった機能を有するメタンを燃料とした超高速輸送機用のロケットエンジンは、サブオービタル宇宙飛行機、有人ロケットブースター、軌道間輸送機等の次世代宇宙輸送システムへの転用が可能である。
- 故障診断/ヘルスマニタリング手法及び効率的メンテナンスを可能にする設計については、自家発電用エンジン、船舶用エンジン、及び天然ガス自動車等近年環境をテーマに導入が進んでいる天然ガスを燃料とした他のエンジンシステムへの応用が期待される。

## 6. 研究開発マネジメント・体制等(1/2)

本事業の開始時点では、平成23年度～26年度の4年間の計画であったが、平成24年度終了時に見直しを実施し、平成25年度までの3年間に期間を短縮して実施することとなった。

(1)燃料の検討

(2)システムの検討

ア)機体システム仕様に適合するロケットエンジンの基本仕様設定

イ)推進モジュールなどの概念設計

ウ)実用化に係る課題の抽出

i)エンジンの繰り返し使用に係る課題

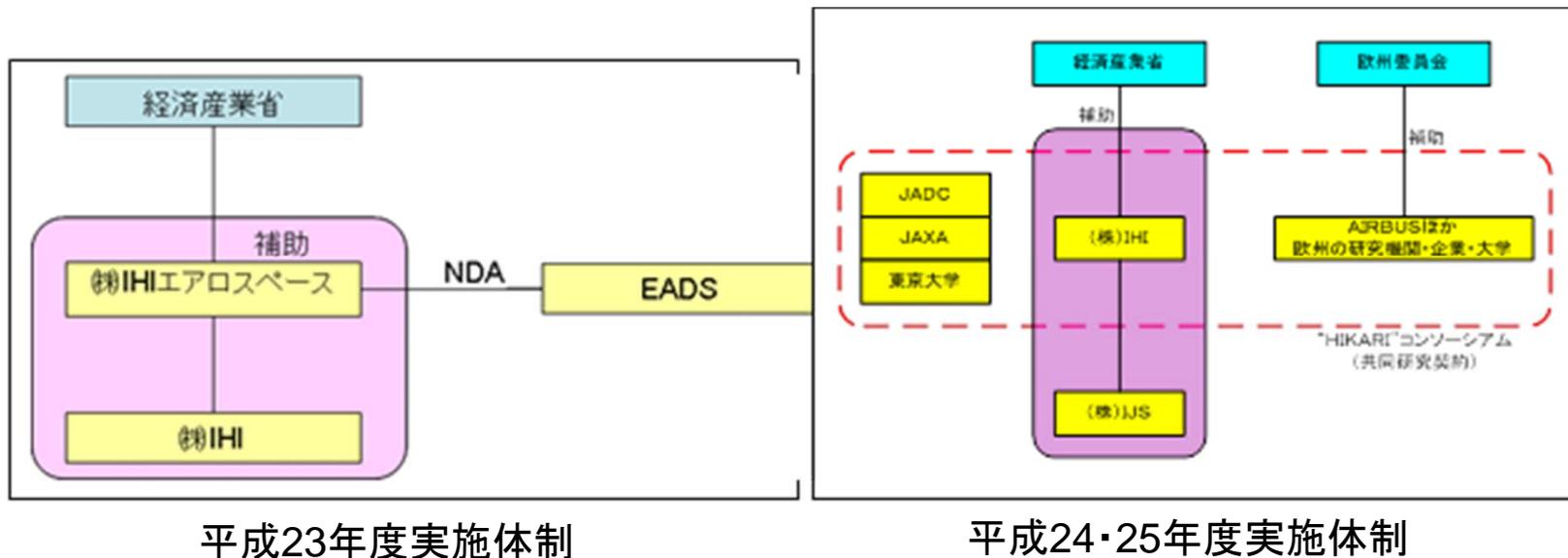
ii)有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法

実施項目／年度	23	24	25	26
燃料の検討	調査検討			
機体システム及びロケットエンジンの検討	概念検討	ロケットエンジン設計		
推進モジュールの検討	概念検討	推進モジュール設計		
エンジンの繰り返し使用に係る課題	調査検討		試験計画	
有人機への適用に必要な信頼性・安全性の確保の方法	調査検討		試験計画	

## 6. 研究開発マネジメント・体制等(2/2)

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、(株)IHIEアロスペース(以下「IA」)が経済産業省からの補助金を受けて実施した。(また、再委託先として株式会社IHI(以下「IHI」)が参加した。)なお、機体システムとのインターフェース条件・制約条件などの情報入手のため、AIRBUS社と秘密保持契約を結んでいる。

平成24年度からは、IHIが交付先変更手続きを経て研究開発実施者となり、IHIジェットサービス(以下「IJS」)を再委託先として指定した。また、平成24年度からは欧州の第7次枠組みプログラム(FP7)の第5次案件公募(Call5)における日欧共同研究“HIKARI”プロジェクトの一部として位置付けられ、日欧の研究機関・企業・大学のコンソーシアムの枠組みの中での実施となった。



## 7. 中間評価の結果

提 言	対 処 方 針
<p>超音速技術の開発は、多くの先進要素技術を生み出す苗床である。個別の技術開発だけでなく、超高速輸送機全体に対する事業シナリオや超音速機への応用計画などを検討してほしい。国際共同開発で有利な立場に立つためには、欧米の下請けとなるのではなく、欧米のもっていない技術力を有することが重要（それが欧米や諸外国から見ての価値となる）。先進要素技術の研究は、一度中断してしまうと技術の復活は困難となる。十分なマーケットリサーチを行い、日本独自の価値を提供できる研究開発を期待したい。</p>	<p>○要素技術を開発するだけでなく、超高速輸送機全体のシナリオ検討や超音速機への応用技術も含め検討してまいりたい。</p> <p>○マーケットリサーチにも重点的に取り組み、日本独自の価値を提供できる研究開発を行うことができるよう努めてまいりたい。</p>
評価小委員会のコメント	対 処 方 針
<p>(1)技術開発戦略について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ターゲットとなるべき技術を見出し、日本独自で、かつ、エッセンシャルな技術となるように繋げていくための戦略を持つことが望ましい。</li> </ul> <p>(2)省庁間連携について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ターゲットを見据えた政策連携が関係省庁間であることが望ましく、プログラム化の観点からも検討することが望ましい。</li> </ul> <p>(3)特許戦略等について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アウトプットをしっかりと押さえてアウトカムにしていくためにも特許戦略が重要であり、プロジェクトリーダー等がよく意識して対応されるように留意すべき。</li> </ul>	<p>(1)技術開発戦略について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○日本にとって価値最大化が図れるような技術開発を検討して参りたい。</li> </ul> <p>(2)省庁間連携について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○日本の航空機産業に貢献する技術開発に向けて、関係省庁の連携を深めて参りたい。</li> </ul> <p>(3)特許戦略等について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○特許戦略の重要性について、プロジェクトリーダー等の意識共有を図って参りたい。</li> </ul>