

先進的固体ロケットシステム 実証研究WGの活動について

宇宙科学研究所

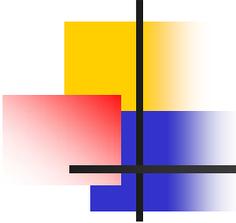
徳留 真一郎 後藤 健 佐藤 英一 羽生 宏人

固体ロケット研究の意義(1)

- 固体ロケットシステムは、宇宙活動の自在性を維持するためのわが国が保有する重要な宇宙輸送基盤技術.
- より有用な輸送手段として成熟させるためには、現在の技術を一層洗練させる(高信頼性)と共に、効率良く低コストで運用できるシステムに発展させることが必要.
- M-Vロケットまでにシステムの根幹をなす技術を獲得してきているが、運用を含めた最適点に到達するためには、さらに踏み込んだ技術開発を行うことが必要.
- 低コスト化に関しては、材料選定とその調達方法、製造技術とプロセス効率化といった産業レベルでの検討まで踏み込んだ研究開発を実施。(例えば、輸入原料を使用することで発生するコストなどは、国産化によって抜本的に見直すなどの対策)
- 上述の目標を共有した研究開発の推進により、システムレベルの最適な技術解を見出すことができる.

固体ロケット研究の意義(2)

- 固体ロケットの主要コンポーネントは、固体推進薬, ケース材料, ノズル材料等の耐断熱材である。これらに関わる研究は、各部試作段階での評価から最終的には実機レベルの地上燃焼試験によるシステム評価までが一連の活動となる。
- フライト前の試験ができない固体ロケットモータは、事前の健全性を確認する検査技術が極めて重要である。検査手法の簡素化, 高度化は信頼性の向上だけでなく、運用段階の低コスト化にも寄与する重要な技術分野と位置づけられる。



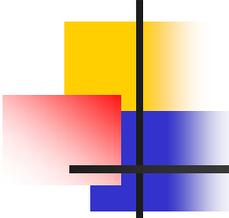
WG活動の背景と目的

背景

- 迅速かつ頻繁な成果創出による宇宙利用の活性化を狙って、即応型の小型衛星打上げシステムの技術検討が活発化
- 機体がコンパクトになり即応性に優れる固体ロケットは、ポテンシャルの高い候補。イプシロンロケットの早期打上げが望まれる。
- ISASの先進的固体ロケット技術研究の成果活用の動機。

目的

- ISASの先進的固体ロケット研究の成果及び本格的飛翔体実験技術の基盤を活用し、イプシロンロケットの低コスト化技術の実証、先進的固体ロケットシステムに関わる技術基盤を構築する。
- 実証的な研究成果により宇宙科学研究や次世代の輸送系技術研究を加速，活性化させる。



固体ロケットシステムの高度化

- 革新的な即応性, 柔軟性, 自在性を有し, 推進性能および軌道投入精度が十分に高められている衛星打上げ用の固体ロケットシステムへ発展
 - 即応性: ミッション・ターンアラウンド時間の短縮と即時発射性
 - 柔軟性: ミッション変更など状況の変化に柔軟に対応するI/F
 - 自在性: 地上固定設備に依らない自律的な飛行運用
 - 高性能: 燃焼特性を向上, 環境負荷を低減させた固体推進系
 - 高精度: 軌道投入精度を向上させる工夫, 制御機能

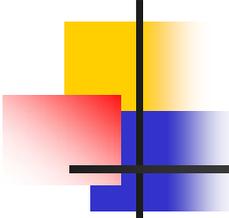


機能・性能の向上によってもたらされる費用対効果の向上

【先進的固体ロケットシステム】

利便性に優れた即応型システムを実現するための方策と課題

特長	目的	方策	課題
即応性	準備期間短縮	ミッション機器インターフェースの共通化	共通バス
		地上準備期間の短縮化 (製造・組立・チェックアウト時間短縮)	作り置き・検査技術 モジュール化(工場組立) 機上点検システム
		打上実施手続きの簡素化	法整備(規制緩和) 手順一元化
柔軟性	ミッション変更対応	汎用共通機体システムの確立	最終段液体ステージ 誘導制御系調整
自在性	射点選択の自由度	自律型航法誘導制御(NGC)システムの導入	GPS/INS複合航法
		衛星通信回線を利用した データ取得・追跡管制(TT&C)システムの導入	衛星回線利用技術
		可搬型地上支援システム(GSE)の確立	システム技術開発



WG活動のスコープとゴール

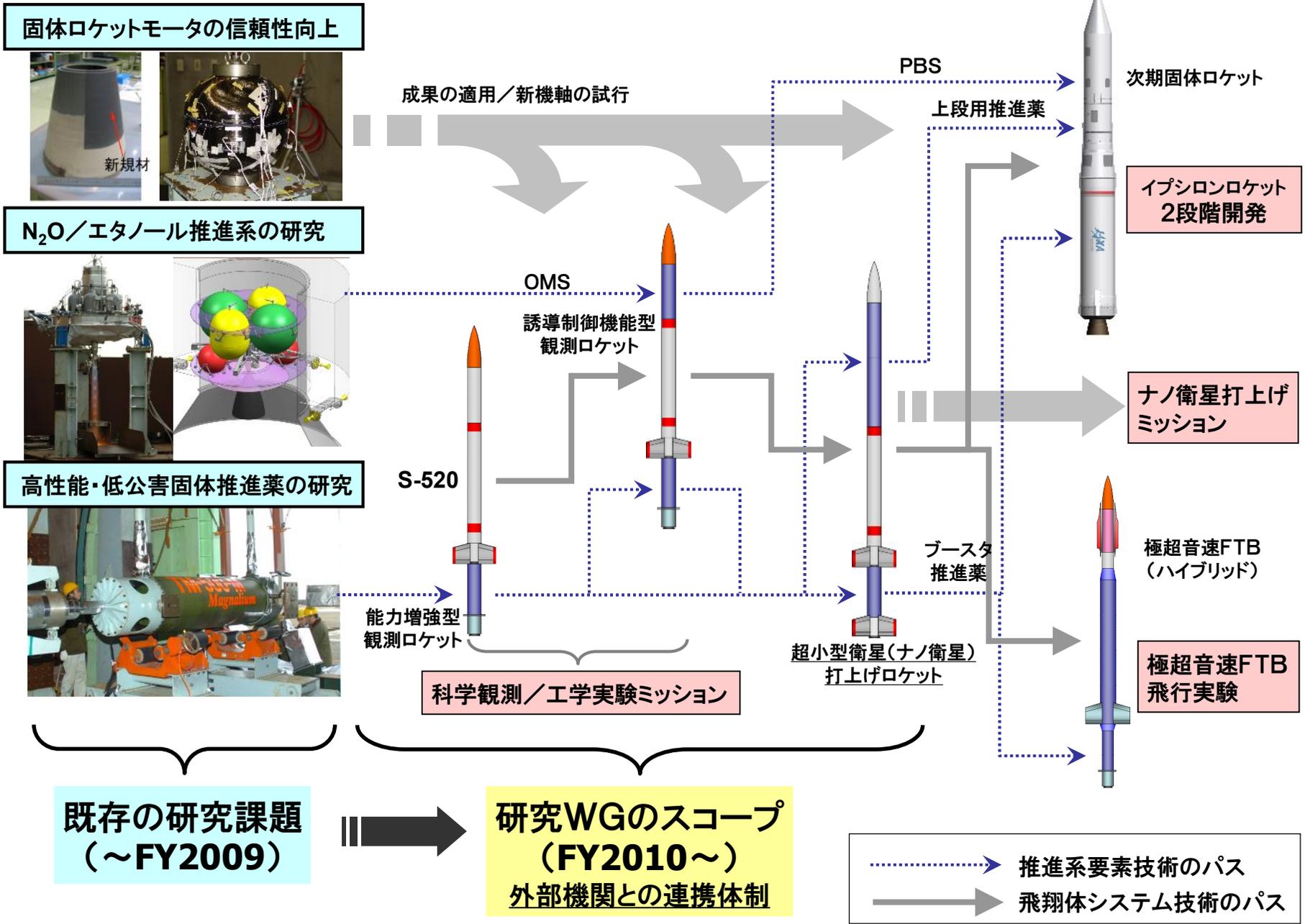
スコープ

- 固体ロケットシステムに関わるISAS既存の研究テーマを拡大・発展
- イプシロンロケットの2段階開発における低コスト化技術の投入, 次世代輸送システムへの適用を目指す先行技術の研究と技術基盤の整備
- 基礎研究の範囲で観測ロケット派生型の小規模機体システムによる実証研究を遂行

ゴール

- 低コスト化に寄与する技術をイプシロンロケットに早期に適用する.
- 機能増強型の観測ロケットにより, 新しい科学観測ミッションあるいは工学実験ミッションを試行する.
- 機体システム研究の成果を活用した極超音速FTBについて具体的な実証研究のプランを策定する.

研究成果の連続性



イプシロン2段階開発への貢献

イプシロンロケットの二段階開発案(第1回SAC推進部会説明資料より抜粋)

21 (2009)	22 (2010)	23 (2011)	24 (2012)	25 (2013)	26 (2014)	27 (2015)	28 (2016)	29 (2017)
	SAC評価 △			打上げ △				
予備設計	基本設計	詳細設計	維持設計					
					設計・開発試験		製造・試験	
	低コスト化研究							打上げ △

SAC評価済み

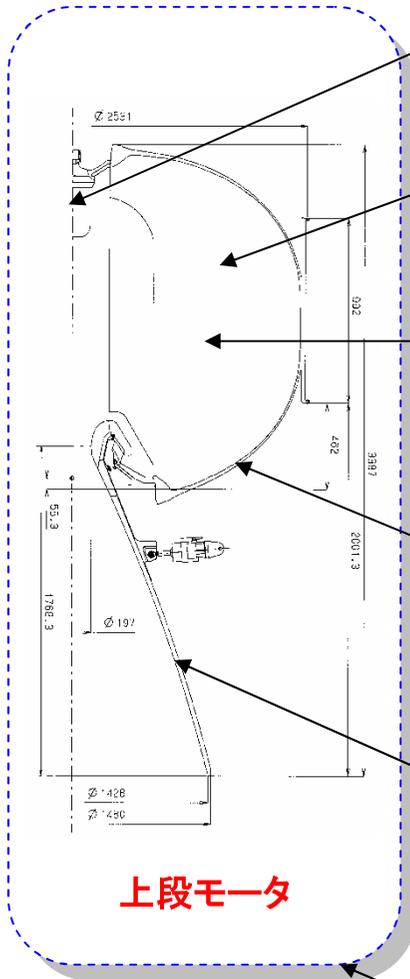
技術成熟度の評価

固体推進系研究のイプシロンへの貢献策(案)

イプシロン ロケット開発		上段サブサイズ地燃 ★		★ 初号機フライト (M-V, H-IIA活用形態 ...5年3機程度)		新規開発サブサイズ~フルサイズ地燃 ☆	☆ 最終形態フライト
ISAS先進的 固体ロケット システム研究	☆ 小規模地燃	☆ 小規模地燃					
新たな枠組み のイメージ (H29打上げ ターゲット)	研究~開発研究(宇宙研) 推進薬, ノズルライナなど			☆ サブサイズ技術実証地燃	開発研究~開発(輸送ミッション本部センター) 推進薬, ノズルライナなど		

固体ロケットモータの関連技術(技術要素群)

開発に必要な技術群



点火器設計技術

- ・点火方式(前方or後方着火)
- ・着火遅れ評価基準, 火工品技術

非破壊検査技術

- ・検査手法(モータケース、推進薬、ノズル)
- ・ヘルスマニタリング技術

推進薬設計&製造技術

- ・AP粒度配合調整による燃速設計
- ・触媒添加による燃速調整技術
- ・高AI燃焼効率による低Ispロス技術(低スラグ推進薬製造技術)
- ・マルチバッチ充填技術(燃速ばらつき小)

モータケース設計・材料技術

- ・ケース材料(プリプレグ・繊維)
- ・繊維積層方式、方法
- ・インシュレーション材&厚さ設計

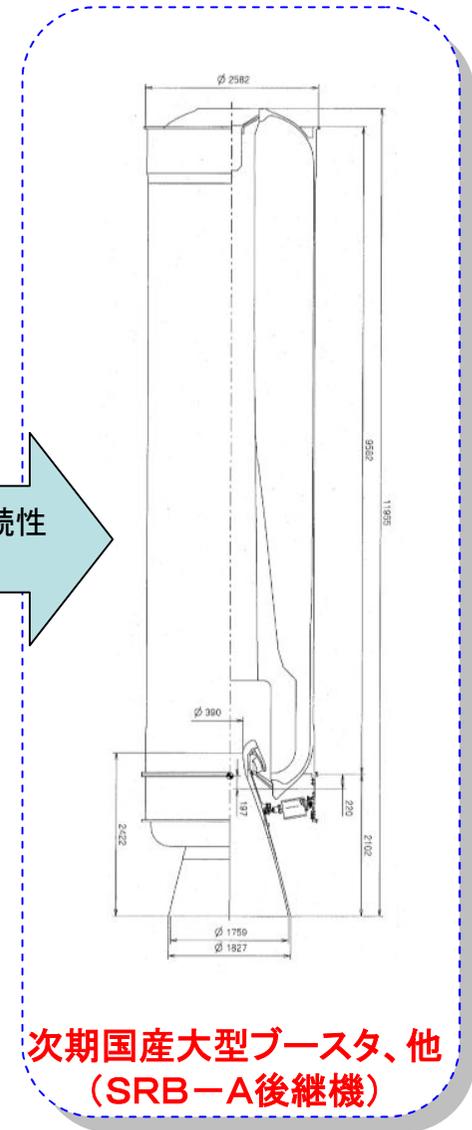
ノズル設計技術

- ・スロート設計(材料・形状)
- ・開口部ライナ設計(板厚・材料)
- ・最適ベル型ノズル設計(アルミナ衝突回避手法)
- ・フレキシブルジョイント(F/J)設計
- ・MNTVC設計(応答速度、ほか)

性能評価技術

- ・地上燃焼試験技術(大気、真空スピン)

技術の連続性
発展性



次期国産大型ブースタ、他
(SRB-A後継機)

イプシロンロケット低コスト化技術研究

(小型固体ロケットモータ向け関連技術)

実機適用を早期に実現させるため、イプシロン・ロケットの低コスト化関連技術研究の優先度を高める。また、高信頼性、環境適合性に関わる技術研究を推進することにより、固体ロケットモータ開発に関わる技術維持、向上を目指す。同時に、開発基盤の維持整備に努める。

高性能・低環境負荷固体推進薬の研究

- ・環境適合性技術の獲得
- ・高性能化による打上げ能力向上
- ・B3適用→段階的に下段へ

固体ロケット非破壊検査技術の研究

- ・検査プロセスの省力化、省設備化
 - ・検査工程の簡素化
- による低コスト化

FBGによる構造ヘルスマニタリング技術の研究

- ・光ファイバをセンサに用いることによる軽量化、多重化による計装の省力化
- (部品点数削減による低コスト化)

無毒液体推進系の研究

- ・脱ヒドラジン新型PBS
(環境適合性技術の獲得)
- ・ロケットの運用における設備簡素化、省力化
- ・将来輸送技術への展開

耐熱複合材燃焼器適用上段推進系高性能化

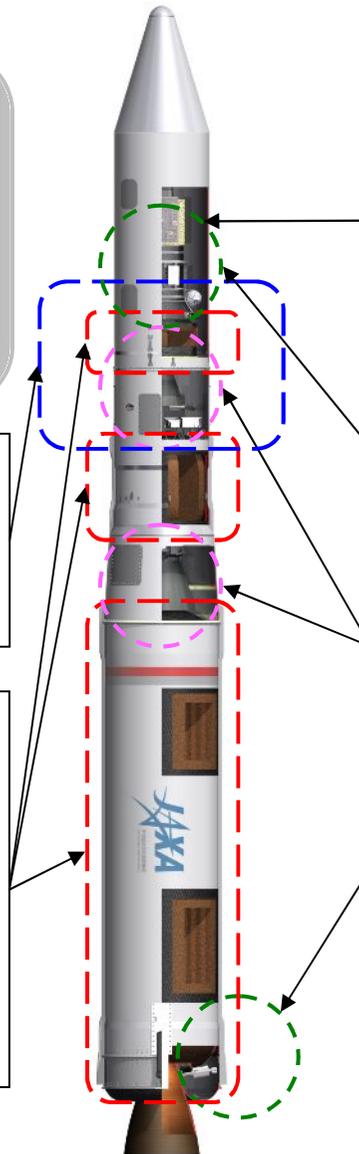
- ・高性能化、軽量化による打上げ能力向上

固体ロケットモータ先進的複合材の研究

- ・ノズル開口部ライナのコストの低減
- ・軽量化による打上げ能力の向上(B2, B3)

補助推進系GG用低コスト固体推進薬の研究

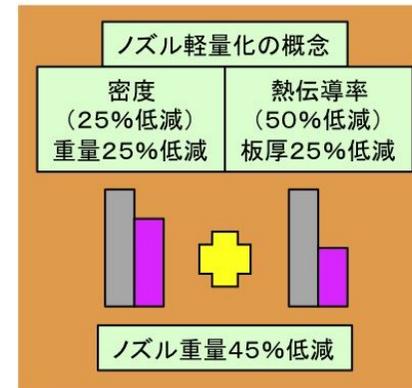
- ・輸入原料廃止による抜本的低コスト化
- ・国産低価格原料適用による調達安定性確保



固体ロケット用先進的複合材料の研究

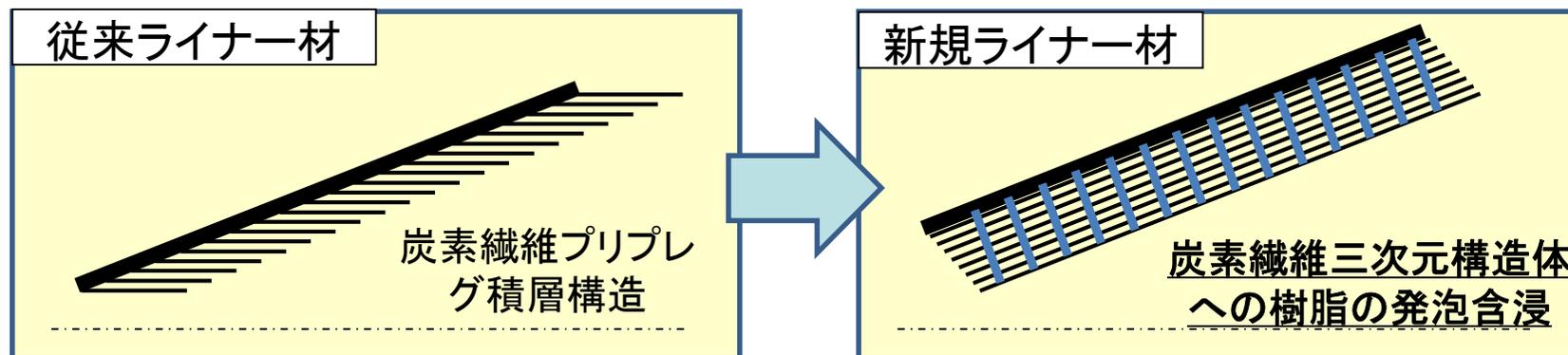
軽量ノズルライナーの開発

- ・従来のテーププリプレグ積層成形のライナー用炭素繊維複合材に替わり、炭素繊維3次元構造体への樹脂の発泡含浸による新規ライナー材料を実現する。
- ・密度 25%、熱伝導率 50%低減によりライナー素材重量を約半分にする。
- ・M-14などでノズルの高開口部に使用されているシリカ繊維系ノズルライナー部分や上段モータの高開口部からの適用を想定している。



新規ノズルライナー材による軽量化の概念

M-14モータのノズル高開口部(シリカ系ライナー使用)



新規ライナー材と従来ライナー材の構造の比較

補助推進系推進薬低コスト化研究

- 現用補助推進系ガスジェネレータGGP-3Aなどは、輸入原料が適用されており、調達のコストや流通の安定性に課題がある。特にコストは1kgあたり数万円となっているため、汎用材料による代替が求められる。
- 硝酸アンモニウム(AN)は、火薬類の分野において酸化剤として広く用いられており、国内調達可能、低コスト材料である。
- ANの吸湿性、結晶転移などの物性改良により実用化を目指している。

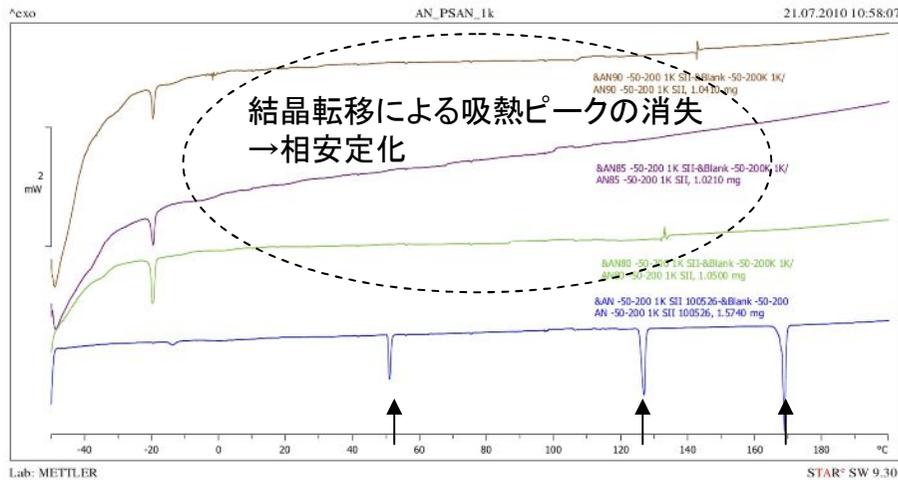


図 相安定化ANの試作

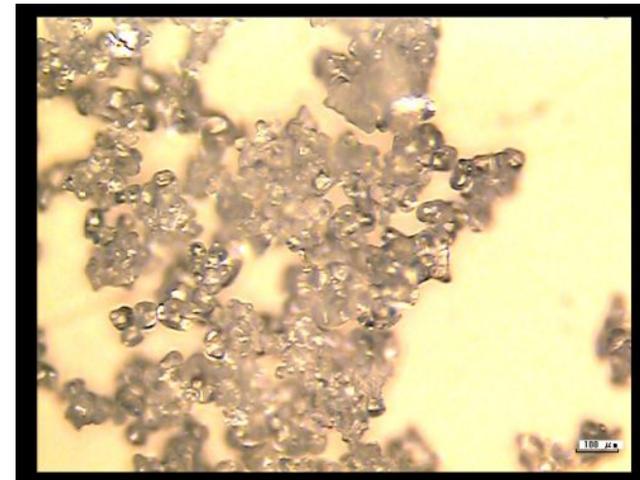


図 相安定化ANの球状微粒子

将来固体推進薬研究 (高エネルギー物質研究会)

SWGの2本柱

中・長期的基礎技術基盤研究

高性能固体推進薬向け
高エネルギー物質(HEDM)研究

獲得した知見・技術の
発展的展開
⇒脱AP系コンポジット推進薬

早期実証・実用化研究

環境対応型ブースタ段ロケット研究
低コスト型固体推進薬研究

◎国内専門研究者による組織活動

宇宙研が主体的役割を果たし、火薬学会
を通じた専門研究者で構成される新たな
研究組織を編成

(宇宙研、東京大学、横浜国立大学、
産業技術総合研究所、ほか)

★大学共同利用機関としての機能を活用

★個々の組織においても有用な研究成果
を獲得するため、連携協力による研究
活動を推進中

JAXA内研究チームとの連携(イメージ)

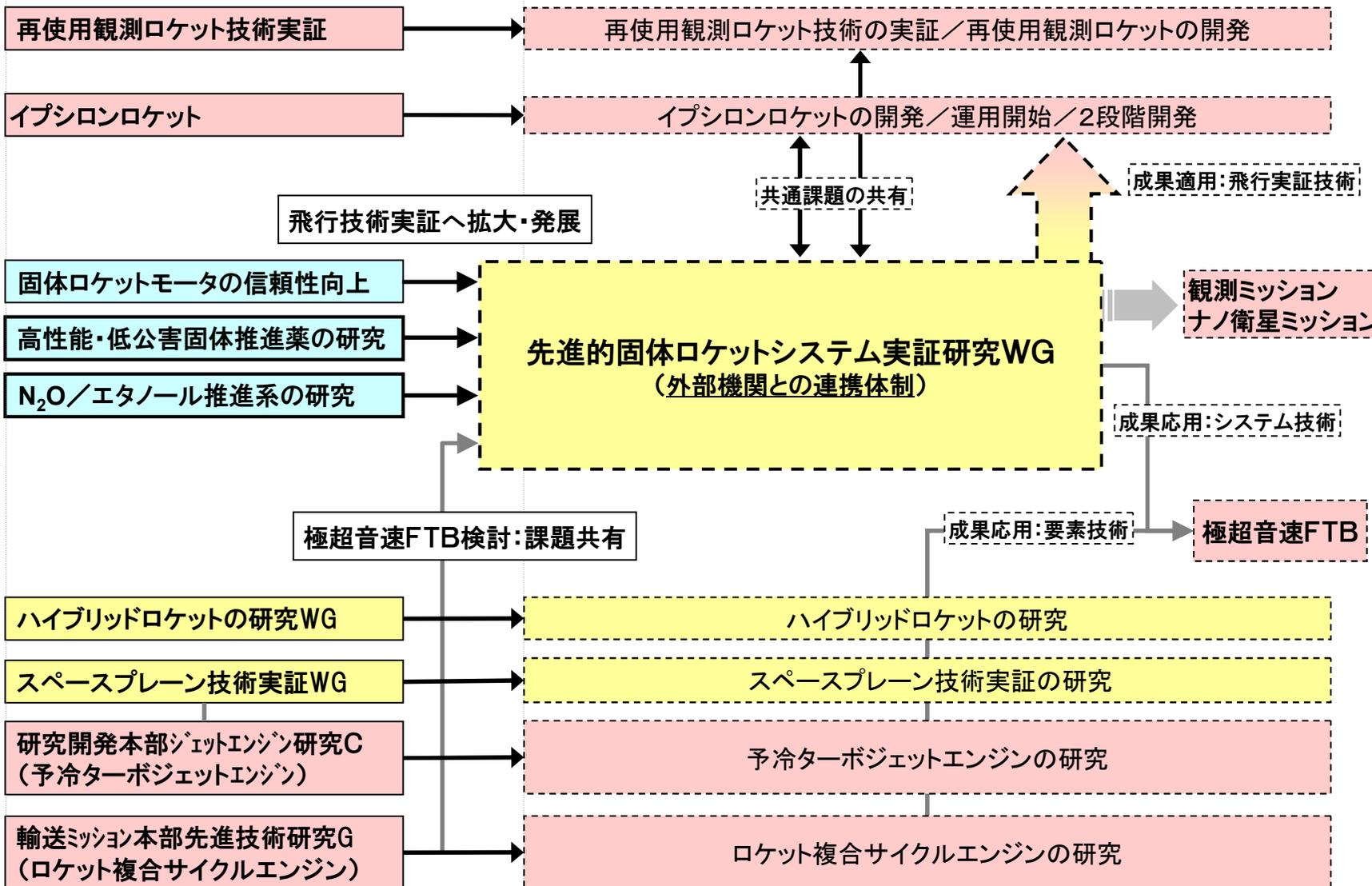
FY2009

FY2010~

プロジェクト/プリプロジェクト/他本部テーマ

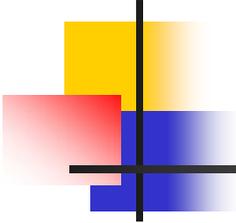
工学委員会研究ワーキング・グループ

工学委員会個別研究テーマ



成果目標(ゴール)

- イプシロン最終形態に繋がる技術開発を推進し、早期実現を目指して以下を目標とする。
 - ノズル開口部ライナ材の低コスト化、軽量化による上段固体モータ技術の向上。特に上段ステージであることを勘案し、材料軽量化による打上げ性能向上に資する技術を獲得する。
 - 非破壊検査技術の高度化により、固体モータ製造時の検査工程を簡素化することで低コスト化を図る。
 - 補助推進系推進薬に適用されている輸入材料の廃止。調達コストの低減および同等以上の燃焼性能を獲得する。
 - 環境適用性を高めた固体推進薬組成の開発を行い、高エネルギー物質を適用した固体推進薬の実現性を明らかにする。
 - 無毒液体推進系技術の獲得を目指す。軽量燃焼器の製造技



まとめ

**観測ロケット派生型の実証研究手段を構築して、
輸送系の革新と宇宙科学の発展に貢献する。**