

# L N G推進系飛行実証プロジェクトの 評価報告書

平成14年6月18日

宇宙開発委員会 計画・評価部会

L N G推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会

## 総合評価

各項目についての評価と、各委員から出された総合評価を踏まえ、一部留保する委員もあったが、本評価小委員会では、以下の3項目にまとめ、今後とりうる方向を示した。

長期的には、LNG 推進系プログラムの選択肢としての有用性は認められる。しかしながら、NASDAとして、水素系エンジンの信頼性向上を重点的に推進している状況下で、LNG 推進系に開発着手し、その飛行実証を平成17年度に行う緊急性について積極的な根拠は認められなかった。今後、LNG 推進系プログラムのロードマップを明らかにした上で、LNG 推進系飛行実証プロジェクトの位置づけを明確にする必要がある。

「研究」段階にあるプロジェクトとしては、開発を意識したエンジン燃焼試験、複合材タンク試験など、かなりの努力が払われており、概ね妥当であると判断する。しかしながら、「研究」段階に達成されるべき成果のうち、他の選択肢との比較検討がほとんど実施されていない。今後、費用対効果の観点から将来展開を見据えたターボポンプ方式等他の選択肢との比較検討を実施すべきである。また、基盤技術の成熟化を図るため、今後、燃焼反応、複合材タンクの剥離・座屈に関する解析を実施し、試験データと併せて総合的な検討を行うべきである。

打上げ安全に必要な技術情報の開示は、ロケット全体のリスクを管理する上で必須である。本プロジェクトの飛行実証手段であるGXロケットは、第1段エンジンのみならず、誘導制御系、全段システムインテグレーションに至るまで米国企業の支援を受けるものであるため、米国政府による技術輸出許可の見通しも含めて、現時点では、打上げ安全に関して必要な技術情報開示については、打上げの安全基準を作成した上で、基準により要求される技術情報が開示可能であるとの説明があった。今後、このことを確認する必要がある。また、全体システムの開発・管理体制及び共同開発に係わる役割分担と責任を明らかにすべきである。

以上のことから、本評価委員会は、LNG 推進系飛行実証プロジェクトは、「開発」段階に着手せず、「研究」段階を継続して、上記の諸課題の解決に向けて、民間と協力して、内容充実を図ることが妥当であると判断した。

- 目 次 -

1 .	はじめに	1
2 .	適用・参考文書	1
3 .	評価の目的	1
4 .	評価実施要領	1
5 .	評価結果	2
5 . 1	意義の確認	2
5 . 2	目標及び優先度の設定	3
5 . 3	要求条件への適合性	3
5 . 4	開発方針	4
5 . 5	基本設計要求の妥当性及びシステムの選定	4
5 . 6	開発計画	5
5 . 7	リスク管理	6
5 . 8	実施体制	6
5 . 9	資源配分	7
5 . 10	総合評価	7
図	(リスト、図1～6)	9
付録1	評価票	13
付録2	質問と回答	21
付録3	評価票の集計および意見	85
参考1	LNG 推進系飛行実証プロジェクトの事前評価について	
参考2	LNG 推進系評価小委員会 開催経緯	

## 1. はじめに

宇宙開発事業団（以下、NASDA という）は将来の使い切りロケットの第1段ブースタや再使用輸送系に向けて LNG 推進系の研究を行っている。NASDA が開発着手を要望する LNG 推進系飛行実証プロジェクトは、民間提唱により平成17年度を目途に開発される GX ロケットの機会を捉え、その第2段を活用して飛行実証を目指している。本評価の直接の対象は LNG 2 段推進系に関わるプロジェクトであるが、これに加えて、GX ロケットがシステム全体としての機能・性能を満たす上で2段推進系に要求されるインターフェイスについても配慮し評価を行った。

評価の方針は、宇宙開発委員会評価指針特別部会報告書「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」（適用文書、以下「評価指針」という）に則って行われた。

## 2. 適用・参考文書

### (1) 適用文書

宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針（平成13年7月18日 宇宙開発委員会 評価指針特別部会）

LNG 推進系飛行実証プロジェクトの評価実施要領（平成14年5月21日 LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会）

宇宙開発に関する基本計画（平成13年6月28日 総務大臣・文部科学大臣・国土交通大臣）

### (2) 参考文書

LNG 推進系飛行実証プロジェクト（平成14年5月21日 宇宙開発事業団）

GX ロケットの全体構想（平成14年5月21日 石川島播磨重工業株式会社）

## 3. 評価の目的

NASDA が、民間提唱の GX ロケットの第2段を活用して、LNG 推進系の飛行実証を行う「LNG 推進系飛行実証プロジェクト」について、「開発」着手前段階における事前評価を実施し、計画・評価部会の調査審議に資する。

## 4. 評価実施要領

「評価指針」では、「個々のプロジェクトの評価にあたっては、本評価指針を踏まえて、事前に評価実施要領を定めることが必要である。」としている。これに従い、実施要領作成の方針を

範囲を LNG 2 段推進系（図 1）とする、  
現「研究」段階で行われた実績を評価する、  
LNG 推進系プログラムの長期的な観点も考慮する、  
プロジェクト/プログラム管理を含む GX ロケットとのインターフェイスも評価する、  
として実施要領を定め、本評価に適用した（適用文書）。

## 5. 評価結果

評価小委員会は 3 回にわたって開かれ、第 1 回では評価実施要領の作成、プロジェクトの説明（参考文書）と質疑応答、第 2 回では提出された質問票・回答（付録 2）を中心とした質疑応答、第 3 回では各委員からの評価票（付録 3）の取りまとめを行い、本評価報告書を作成した。GX ロケットは本評価の対象外であるが、これに関しても数多くの意見が委員より寄せられた。そうした意見のうち、インターフェイスに関わるもの以外は本文に取り入れてないが、全ての意見は、付録 3 に収録した。評価票については、専門から大きく外れた項目についての判定を辞退される委員もおられたので、その場合は判定の集計に含めていない。

### 5.1 意義の確認

#### (1) 意義の位置付け

LNG 推進系飛行実証プロジェクトが踏まえるべき意義は、「宇宙開発に関する基本計画」の中に「使い切りロケットについては、我が国の衛星打ち上げ需要への柔軟な対応力の強化の観点から、民間提唱によるロケット開発活動等も念頭に置きつつ、国際水準の信頼性、経済性を有するロケットに関わる研究開発を進める」と見出される。本プロジェクトは、「NASDA がこれまでに開発してきた水素推進系技術に加え、LNG 推進系技術を蓄積することにより、使い切りロケットのブースタ 1 段（固体補助エンジンの代替を含む）や再使用型輸送系などの将来輸送系研究開発におけるさらなる多様性を確保する」として上記の意義を具体化している。NASDA の LNG 推進系プログラムは、その方向性において一致しているが、GX ロケットによる飛行実証が適切であるかについては疑義が出された。その主なものは、LNG 推進系プログラムのロードマップ（段階的目標達成）を描いたとき、LNG 技術が水素技術に比べて容易ならば、本プロジェクトが費用対効果を念頭に第 1 段階として適切か（5.4 参照）H-A ロケットがやっと稼動し始めたばかりで、なぜいま新たなロケット開発に着手するのかなどである。

**判定：疑問がある**

( 2 ) 意義の重点化

NASDA の LNG 推進系プログラムにおける意義としては、第 1 に技術実証 ( 科学技術的 ) であるが、将来を見通せば低コスト化 ( 経済・商業的 ) 環境適合性である。他方、GX ロケットの第 2 段であることから商業化への貢献がその意義であるとの意見もあった。

判定：概ね妥当

( 3 ) 期待利益の損失

将来輸送系の観点からは選択肢の拡大として評価できる。他方、基盤技術の成熟度・新規性( 5.5(1)参照 )、システム・インターフェイスの透明性( 5.5(2) 参照 ) などは明らかでなく、平成 17 年度打上げの緊急性は認め難い。

判定：疑問がある

5 . 2 目標及び優先度の設定

( 1 ) 目標の設定

目標の設定としては内容、達成時期が問われている。内容については、「 LNG 推進系を開発して基本技術を修得し、所定の軌道において飛行機能を実証して性能データを取得する」として合理的に設定されている。しかし達成時期としては、平成 15、16 年度での 2 年間の開発スケジュールは余裕がなく、5 . 1 ( 3 ) に記すように平成 17 年度を目途とする緊急性は認められない。

判定：疑問がある

( 2 ) 目標の優先度の設定

「再着火」を含む技術達成を目標とした飛行実験の成功基準は適切に規定されている。( 付録 2 質問 # 6 ) しかし、目標年次が尚早、システムとして整合するか、基盤技術修得とコストのデータ取得も重要との意見がある。

判定：「妥当」と「疑問がある」が同数 ( 付録 3 集計表参照 )

5 . 3 要求条件への適合性

LNG 2 段推進系に限れば適合性は認められるが、LNG 推進系プログラムのロードマップに照らして整合しているか、基盤技術の修得が十分にできるか、など疑義もあった。

判定：概ね妥当

#### 5.4 開発方針

官民の協力は理解できるが、役割分担とその進め方が不明確である。GXロケットとのインターフェイス項目については、管理文書が示されているが(図2)、ロケットに強く求められる信頼性を確保するため、設計余裕、冗長性、ロバスト性をロケット全体としてどう整合させるか、などの基本設計方針が示されていない。また、LNG技術が水素技術に比べて容易ならば(図3)、その特徴をLNG推進系のコスト低減、信頼性向上にどう生かしているかが開発方針に反映されていない。

**判定：疑問がある**

#### 5.5 基本設計要求の妥当性及びシステムの選定

##### (1) 技術的熟成度・見通し

限定した方式のエンジン、構造についてかなりの試験が行われているが、「研究」段階としては十分に技術項目を洗い出し、見落としを防ぐべきである。微量推薬成分を考慮した燃焼反応解析、寸法効果を考慮した複合材タンク剥離・座屈解析(5.5(2) 参照)など「研究」としての基盤の成熟度については懸念がある。

**判定：概ね妥当**

##### (2) オプション比較、選定案の妥当性

「評価指針」では、「コストも含め複数のオプションを比較検討する」とあるにも拘わらず単一方式(ガス押し/アブレーション)のみ提示されている。

###### エンジンサイクル方式

ガス押し式が技術的に簡便な方式として選定されている。LNG推進プログラムの視点からは、適用範囲、コストを念頭において小型・低圧のターボポンプ式オプションも検討すべきである。

**判定：概ね妥当**

###### エンジン仕様

特に問題はないが、選定した方式による性能限界を示し、仕様決定の根拠を明らかにすべきである。

**判定：概ね妥当**

#### エンジン冷却方式

第1段階として簡易なアブレーション方式の採用には異論はなかった。方式選定にあたっての技術、コストについて再生冷却方式等、他のオプションとの比較は無かった。

**判定：概ね妥当**

#### エンジン・ジンバル方式

H-A ロケットで用いられた電動式を踏襲しているのも構造的には問題ないと思われるが、バッテリー駆動電源部の制御インターフェイス立証方針を明確にすべきである。

**判定：概ね妥当**

#### 推進薬タンク仕様

新規開発項目であるアルミライナ複合材タンクについては、縮尺モデルについてかなりの回数の試験が行なわれた。一方、アルミ合金等、より単純な材料を用いた場合とのコスト、リスク比較が行われていない。また、複合材剥離・座屈解析に基づく複合材、アルミライナ層の寸法効果、座屈強度等のパラメータ抽出を行い、試験結果判定に用いるべきである。

**判定：概ね妥当**

#### GXロケットとのインターフェイス

インターフェイス仕様書(図2)は今後作成とされているが、LNG推進系の電気系の視点から、ジンバル駆動制御(軌道制御)、指令破壊などの打上げ(飛行、射場)安全に関わるGXアビオニクス(誘導制御)系とのインターフェイスが不透明である。インターフェイス設計・立証方針について、システム設計思想が示されていない。判定は「LNG2段推進系機械インターフェイス」か「アビオニクス関連」かの見方で分かれた。

**判定：「概ね妥当」と「疑問がある」が同数(付録3 集計表参照)**

### (3) システム選定の合理性

エンジンについて単純な方式を選択したことは認めるが、基盤技術成熟度、コスト見積もり精度を念頭に置いたオプション検討についての説得力が希薄である。

**判定：概ね妥当**

5.6 開発計画

(1) 試験計画

ロケット全体としてのインターフェイス立証評価(5.5(2) 参照)、H-Aロケット等を開発してきたNASDAの実績に照らした評価項目の抽出過程が見られなかった。また、HATS試験は、平成16年度に計画されており、開発手戻りの懸念がある。

**判定：疑問がある**

(2) 飛行実証取得データ

項目は出揃っているが、地上試験評価との関連性が明らかでない。

**判定：概ね妥当**

5.7 リスク管理

(1) ハードウェア

エンジン、構造体とも開発を目途に、かなりの試験回数を重ねている。他方、「研究」で固めておくべき開発スケジュールにおけるクリティカルパスの見通し、基盤技術の成熟度(5.5(1)、5.5(2) 参照)及び技術項目の見落としなどが十分に確認出来ない。また、FMEAの実施が未熟である。判定は「試験実績」か「研究充実度」かの見方で分かれた。

**判定：「概ね妥当」と「疑問がある」が同数(付録3 集計表参照)**

(2) ソフトウェア

LNG推進系自身は、ハードウェアのみであるが、GXロケットのソフトウェア(主にアビオニクス系)により駆動される。LNG推進系の受動的立場から、ハード・ソフトのインターフェイス立証・整合方針が不明確である。(5.5(2)、6.(1)参照)

**判定：概ね妥当**

(3) 組立、射場、追跡管制

LNGを用いているので、水素に比べリスクが軽減される。但し、H-A打上げを含む種子島射場の設備余裕、射場における複合材検査計画(付録2 質問#18)の複雑さなどに疑問がある。また、LNG推進系/GXロケット

の作業分担が未定であるが（図 4）、NASDA が担当する射場安全管理に関わる技術情報開示（アビオニクス系を含む）について不透明である。

**判定：概ね妥当**

#### 5.8 実施体制

GX ロケットプログラムとの関係において、実施体制には未定の箇所が多く、かつ民間側には米国企業支援が深く関わっている。（図 4）その支援内容は「米国企業の所有する高度なインテグレーション技術・システム設計技術等」、「アビオニクス系」等とされ、LNG 推進系を除く飛翔体のほぼ全システムに亘っている。宇宙条約により、打上げ国は損害賠償の無過失責任を負う。国（実施担当 NASDA）が安全評価に必要とする技術情報は、要求に応じて全て開示されねばならない。これに関して（付録 2 質問 # 28、IHI # 6）民間側より、打上げ安全に関して必要な技術情報開示については、打上げの安全基準を作成した上で、基準により要求される技術情報が開示可能であるとの説明があった。今後、このことを確認する必要がある。また、全体システムの開発・管理体制及び共同開発に係わる役割分担、その責任（図 5、図 6）が、開発着手を判断すべき現時点で不明確である。また、「研究」段階としては、大学、研究機関の研究者から基盤技術についての協力を得る体制が見受けられない。

**判定：疑問がある**

#### 5.9 資源配分

LNG2 段推進系に関する開発費の資金計画は定まっているが、実証機 2 機及び不具合発生によって生じる費用の分担は明らかになっていない。また、要求純度の LNG の長期的な調達、コストも重要な項目である。

**判定：概ね妥当**

#### 5.10 総合評価

以上の各項目についての評価と、各委員から出された総合評価を踏まえ、一部留保する委員もあったが、本評価小委員会では、以下の 3 項目にまとめ、今後とりうる方向を示した。

長期的には、LNG 推進系プログラムの選択肢としての有用性は認められる。しかしながら、NASDA として、水素系エンジンの信頼性向上を重点的に推進している状況下で、LNG 推進系に開発着手し、その飛行実証を

平成17年度に行う緊急性について積極的な根拠は認められなかった。今後、LNG推進系プログラムのロードマップを明らかにした上で、LNG推進系飛行実証プロジェクトの位置づけを明確にする必要がある。

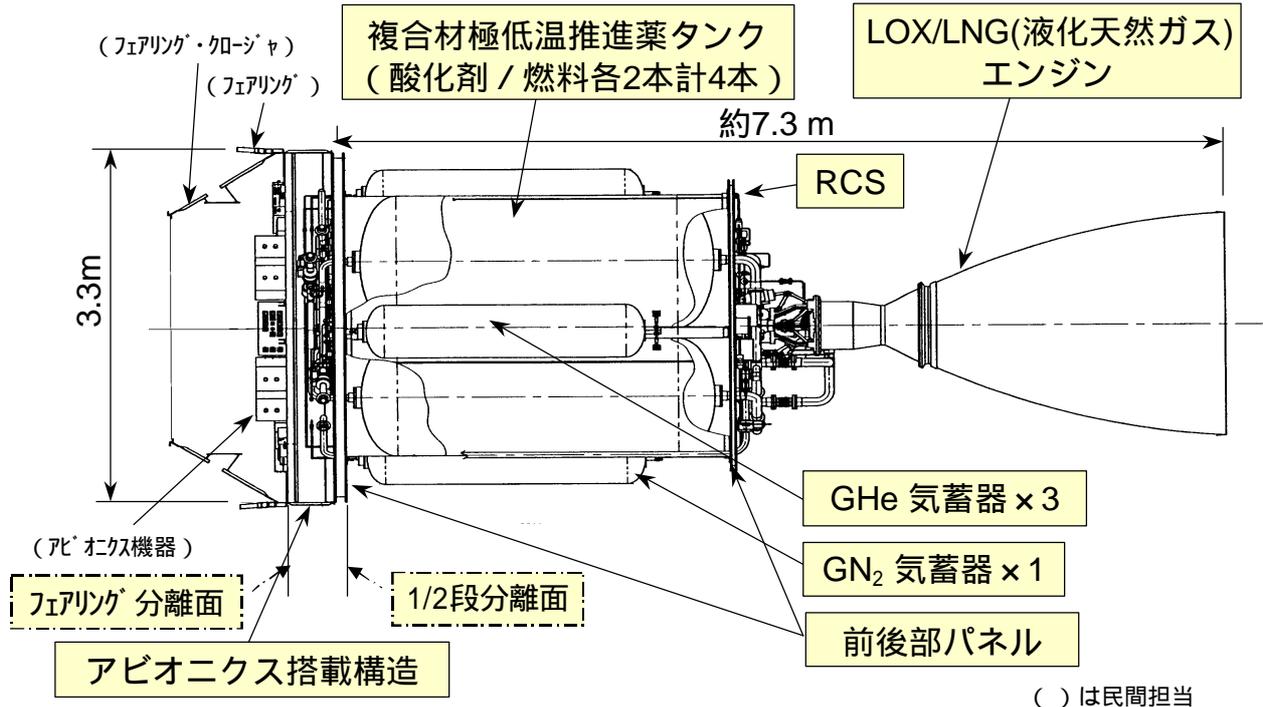
「研究」段階にあるプロジェクトとしては、開発を意識したエンジン燃焼試験、複合材タンク試験など、かなりの努力が払われており、概ね妥当であると判断する。しかしながら、「研究」段階に達成されるべき成果のうち、他の選択肢との比較検討がほとんど実施されていない。今後、費用対効果の観点から将来展開を見据えたターボポンプ方式等他の選択肢との比較検討を実施すべきである。また、基盤技術の成熟化を図るため、今後、燃焼反応、複合材タンクの剥離・座屈に関する解析を実施し、試験データと併せて総合的な検討を行うべきである。

打上げ安全に必要な技術情報の開示は、ロケット全体のリスクを管理する上で必須である。本プロジェクトの飛行実証手段であるGXロケットは、第1段エンジンのみならず、誘導制御系、全段システムインテグレーションに至るまで米国企業の支援を受けるものであるため、米国政府による技術輸出許可の見通しも含めて、現時点では、打上げ安全に関して必要な技術情報開示については、打上げの安全基準を作成した上で、基準により要求される技術情報が開示可能であるとの説明があった。今後、このことを確認する必要がある。また、全体システムの開発・管理体制及び共同開発に係わる役割分担と責任を明らかにすべきである。

以上のことから、本評価委員会は、LNG推進系飛行実証プロジェクトは、「開発」段階に着手せず、「研究」段階を継続して、上記の諸課題の解決に向けて、民間と協力して、内容充実を図ることが妥当であると判断した。

## 図のリスト

- 図 1 LNG 推進系コンフィギュレーション
- 図 2 文書管理体制
- 図 3 LNG 推進系の必要性
- 図 4 LNG 推進系飛行実証プロジェクトの責任範囲
- 図 5 民間との役割分担
- 図 6 LNG 推進系飛行実証プロジェクトの開発体制



( ) は民間担当

図 1 LNG推進系コンフィギュレーション

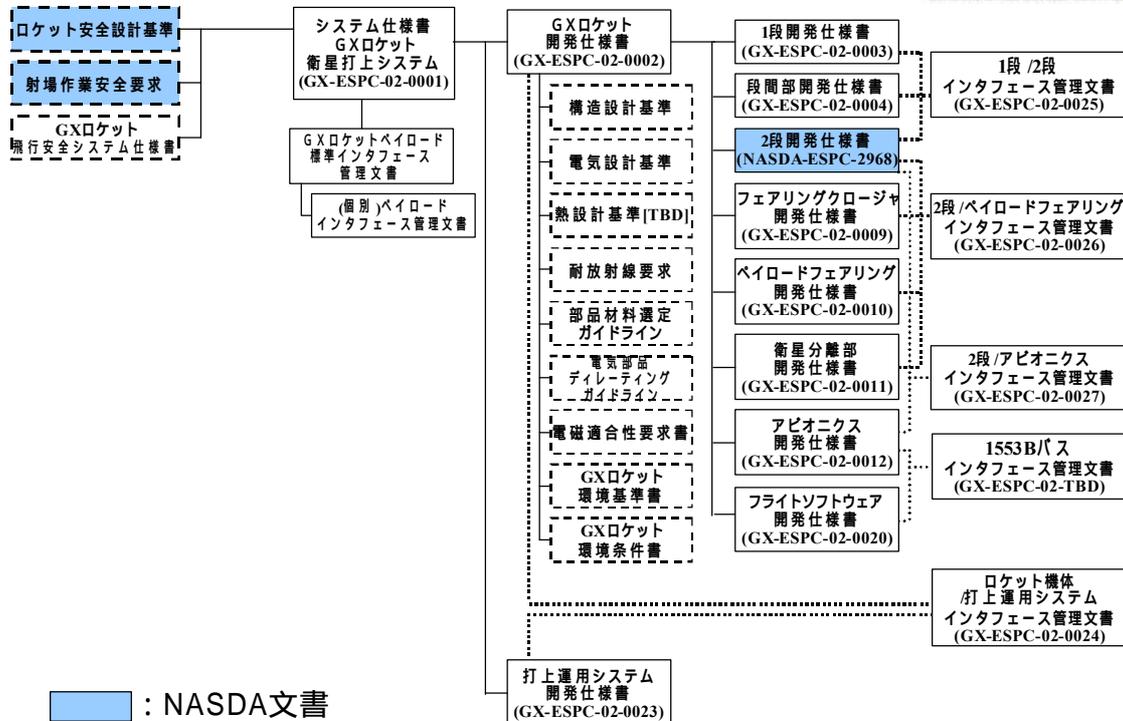


図 2 文書管理体系

LNG推進系の特徴を生かし、**水素推進系技術と組み合わせる**ことで、将来輸送系の実現に向けてさらなる**多様性を確保**することが可能

**高い推進薬密度、比較的高い比推力**

ブースタ段への適用による機体の小型化  
大推力エンジンの実現が比較的容易

機体の低コスト化  
サブシステム数の削減  
機体の低コスト化、高信頼性化

**低コスト**

推進薬単価が安い、取り扱い性が良い

推進系開発コスト、実機運用コストの低減

**高い再使用性**

すす発生等少なくエンジン再使用が容易

再使用型輸送系への適用が容易

**宇宙空間での貯蔵性**

液体水素に較べて蒸発率が小さい

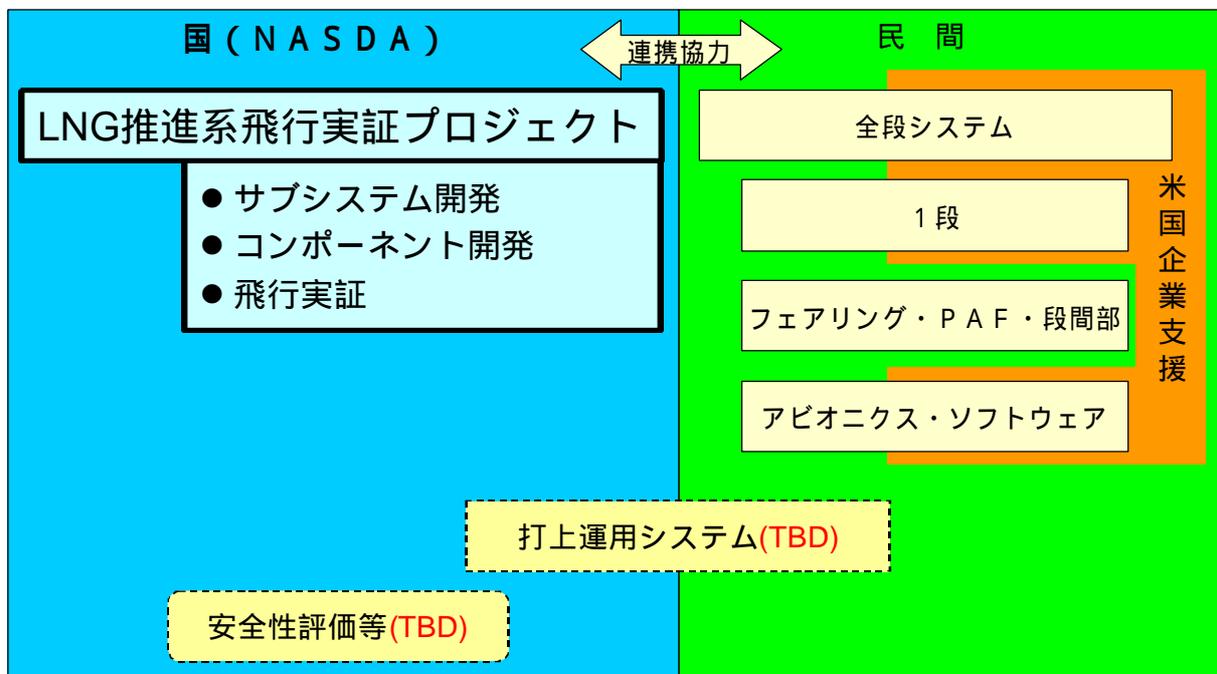
長期間運用する軌道間輸送機の高性能化に寄与

**高い安全性**

漏洩・引火の危険性が低い

有人活動も含めた運用リスクの低減に寄与

**図 3 LNG推進系の必要性**



**図 4 LNG推進系飛行実証プロジェクトの責任範囲**

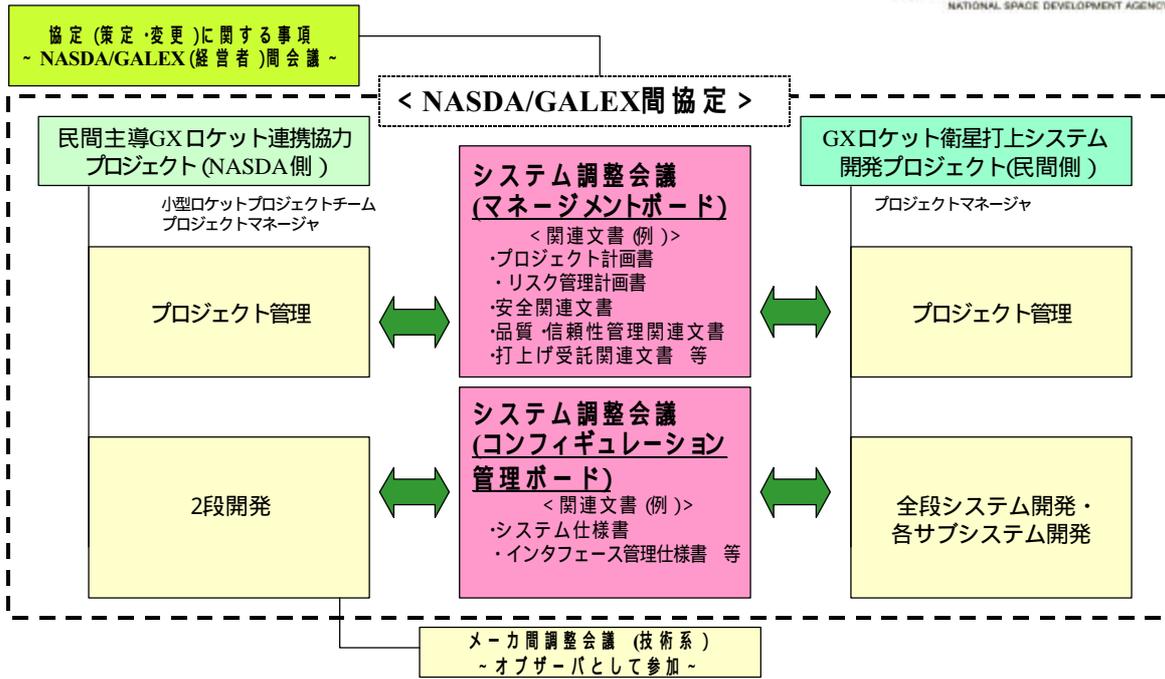


図5 民間との役割分担

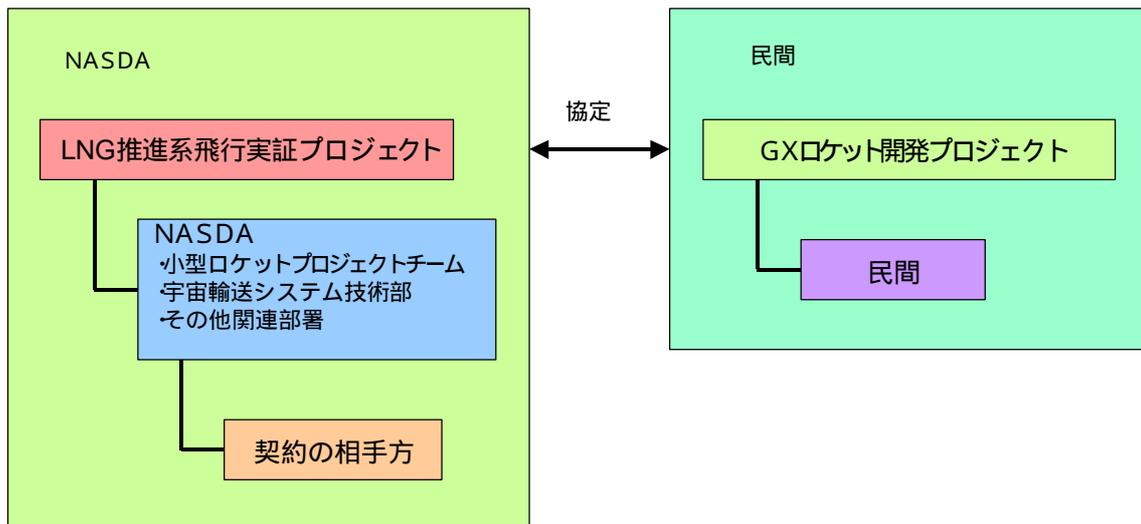


図6 LNG推進系飛行実証プロジェクトの開発体制

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 評価票

構成員名：\_\_\_\_\_

## 1 意義の確認

## (1)意義の位置付け

ロケット戦略としての大きな流れの中で、先行および後続のプロジェクトとの関連から、当該プロジェクトの意義がどのように位置付けられているかを確認し、その妥当性について評価してください。

妥当    概ね妥当    疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## (2)意義の重点化

科学的、社会的、経済・商業的などのどこに第一の貢献を約束しているのか、確認される重点についてその妥当性を評価してください。

妥当    概ね妥当    疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## (3)期待利益の損失

当該プロジェクトが実施されなかった場合の損失評価から確認された必要性について、評価してください。

妥当    概ね妥当    疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 2 目標及び優先度の設定

### (1)目標の設定

プロジェクトの成否を適切に判断できる具体的目標 (内容、数値目標、達成時期等)が、合理的に設定されているか、その妥当性について評価してください。

妥当    概ね妥当    疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

### (2)目標の優先度の設定

設定された複数が複数存在する場合は、その優先度の設定が合理的であるか、その妥当性について評価してください。

妥当    概ね妥当    疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 3 要求条件への適合性

設定された具体的目標 (内容、数値目標、達成時期等)および優先度について、当該プロジェクトの位置付けおよび意義に沿うものであるか、その妥当性について評価してください。

妥当    概ね妥当    疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 4 開発方針

プロジェクトの開発方針が、設定された目標や優先度を合理的に反映したものであるか、その妥当性について評価してください。GXロケット開発方針との整合性 (設計方針、プロジェクト管理)についても評価してください。

妥当    概ね妥当    疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 5 基本設計要求の妥当性およびシステムの選定

(1)GXロケットの基本設計要求および今までの研究実績を踏まえた上で、LNG推進系の技術的成熟度・見通しについて、その妥当性を評価してください。

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(2)コストを含めたオプションの比較検討から、下記の事項について選定案の妥当性を評価してください。

エンジンサイクル方式 (ガス押し式、ターボポンプ式)

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

エンジン仕様 (推力、燃焼圧力、混合比、ノズル開口比等)

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

エンジン冷却方式

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

エンジンジンバル方式 (または、姿勢制御方式)

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

推進薬タンク仕様 (個数、材料等)

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

GXロケットとのインターフェース (機械的、電氣的)

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(3)サブシステム毎に新規開発か既存品かの提示を受け、目標と照らし合わせてシステム選定が合理的であるかどうかについて、その妥当性を評価してください。

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 6 開発計画

下記の項目について、開発フェーズ移行後の開発計画が合理的なものであるか目標と照らし合わせて、その妥当性を評価してください。

(1) 試験計画、評価項目（エンジン性能・耐久性、再着火特性、液面制御特性、推進薬蒸発率データ等）

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(2) 飛行実証における取得データ項目

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 7 リスク管理

LNG推進系の開発に関して、リスク評価が実施され、リスク低減方法の検討が十分に行われているかについて、その妥当性を評価して下さい。

(1) ハードウェア (製造、検査)

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(2) ソフトウェア (検証)

妥当      概ね妥当      疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(3)組立、射場整備、追跡管制 (期間短縮、マンマシンインターフェース、フェールセーフ等)

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 8 実施体制

宇宙開発プロジェクトの目的、規模、難易度等を考慮し、プロジェクトチームの役割、関係機関や企業の役割分担等、実施体制の明確さにつき、その妥当性について評価して下さい。

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 9 資源配分

プロジェクトの技術開発目標の優先度を踏まえて、宇宙開発事業団の資源配分やシステムの技術的な条件設定などが適切に行われているか、その妥当性について評価して下さい。開発コスト、機体コストの目標値についても評価してください。

妥当 概ね妥当 疑問がある

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

## 10 総合評価

その他、全般的な点についてコメントを記入下さい。

# 質問と回答

## 質問一覧

(NASDA分)

(1/4)

NO	分類番号 (NASDA- )	質問事項	質問者	質問概要
1	意義-1	LNG 推進系の必要性	宮村	メタン推進系が今まで開発されなかった背景とその変化
2	意義-2	GX ロケット計画の意義と LNG 推進系の目標コストの関係	宮村	システムと LNG 推進系の目標コストの調整の具体的な方針 目標コストを達成するための技術課題は何か。
3	意義-3	中、小型衛星打上げシステム	榎谷	基幹ロケットの M-V、H- A の能力との相互利用は考えられぬか (例えば、H- A の一段にこの二段を載せる等)
4	意義-4	公害問題	榎谷	液水 / 液酸による無公害システムを目指したが、この問題への対応は。
5	意義-5	H- A、M-V のバージョン	榎谷	GX ロケットのような、海外のシステムを一部に利用する方法は基幹ロケットにも採用可能か。
6	目標優先度-1	目標及び優先度の設定に関連して	栗木	目標としては、「飛行性能・機能データの取得」が妥当 確認項目に対応させ、優先度、達成度の占める割合を示すこと。特に再着火しなかった場合の成功率はいくらか。 平成 17 年度でないといけない理由(NASDA、GX)
7	要求条件-1	要求条件への適合性に関連して	栗木	アラスカ産 LNG が入手できない時の LNG コストは。 メタンの「すす」は、再生冷却、ターボポンプ化に不利。 LNG 推進系の実用化に、他所で躊躇する理由があるのか。
8	要求条件-2	LNG 推進系開発からの要求条件	栗木	今回の「ガス押し/アブレーション冷却」方式が、LNG 推進系開発プログラムにおいて妥当か。
9	開発方針-1	机上、地上試験と試験機における評価確認の役割分担	宮村	試験機における必須確認項目について、どのようなアプローチで抽出し、役割分担を策定しているか。
10	開発方針-2	開発方針に関連して	栗木	GX ロケット以外の代替の実証手段のオプション検討も示すこと。 LNG 推進系と他のシステムとの I/F において、それぞれが十分な余裕を持っている事をどのような試験で確認しているか。 地上試験で模擬不能な項目について、どのようにミッションを確保するのか。 2 回の飛行実証が成功すれば、民間への技術移転は可能か。

NO	分類番号	質問事項	質問者	質問概要
11	システム選定-1	技術的課題	八柳	<p>燃焼圧力を 1Mpa とした理由。            アブレーションの評価は十分か。            再着火性の評価は十分か。            LNG の純度管理と比推力性能への影響の評価は十分か。            アブレーション材とのつなぎ目からのリークの問題はないか。            噴射器の噴口寸法はどのように設計したのか。            HATS 試験計画はどうなっているか。</p>
12	システム選定-2	複合材タンクの技術課題	宮村	<p>複合材タンクの開発において、設計と製造の協力、役割分担、情報の共有化・共用を推進する方針は明確か。</p>
13	システム選定-3	基本設計要求の妥当性及びシステムの選定に関連して	栗木	<p>本プロジェクトでの実証項目の立証・評価の状況は。            推進薬制御の具体的方法は。            TVC アクチュエータは H- A と同じものか。            射場設備 I/F、追跡管制 I/F は規程されているか。            C*効率とは何か            炭化量は、炭素付着量も含むのか。区別可能か。            複合材タンク</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・他の構造材料オプションとのトレードオフを行ったか。</li> <li>・「タンクの L/D が大きいほど軽量」は本当か</li> <li>・タンクの技術的課題について、寸法効果は悲観的か楽観的か。</li> <li>・圧力容器の安全率はいくらか。</li> <li>・アルミの低温脆性等を考慮して解析しているか。</li> <li>・構造試験は、環境条件、履歴条件等の静的、動的パラメータを十分に考慮しているか。</li> <li>・各層の厚さはいくらか。</li> <li>・層間剥離検査はどのような非破壊検査法で行われているか。</li> </ul>
14	システム選定-4	LNG/LOX 燃焼に関する化学物理	藤原	<p>LNG は多成分混合燃料であるため、成分のバラツキによる化学的・物理的性質の変化を把握する必要がある。これをどの程度考慮しているか。</p>
15	システム選定-5	化学/物理反応パラメータ/物性定数の相違による振動燃焼への影響	藤原	<p>供給される LNG の化学物理物性定数の違いが、振動燃焼モード、燃焼終了時の化学平衡状態、ノズル内膨張後の化学的/熱的非平衡状態に及ぼす影響をどの程度考慮しているか。</p>
16	システム選定-6	バッフル部損傷の対策	栗木	<p>燃焼試験で発生した、バッフルハブ及びフィンの接合部損傷に対する対策、設計変更はどのようになされたか。</p>

NO	分類番号	質問事項	質問者	質問概要
17	システム選定-7	複合材タンクの座屈回避設計と試験	栗木	アルミライナの降伏を前提とした座屈回避設計（解析）はどのようなものであり、試験により実証されているか。
18	システム選定-8	複合材タンクのハザード解析	栗木	複合材タンクのアルミライナの座屈が局所的に生じた時のハザード解析は行われているか。
19	開発計画-1	LNG 推進系の基本技術	宮村	修得すべき基本技術が、どのようなアプローチで明確にされたのか。 抽出された基本技術が、開発試験計画にスケジューリング化、実行に移す時の考え方は。
20	開発計画-2	開発計画の整合性について	宮村	システムからのI/F要求変更に対応できる開発計画になっているか。
21	開発計画-3	開発計画に関連して	栗木	LNG 推進系の引き渡し後（平成 17 年度）は、すべてGX側の責任で行われるのか。
22	開発計画-4	開発計画の整合性	栗木	LNG 推進系のレビューが、GX ロケットのレビューより後に行われるのは、開発計画としては整合していないのでは。
23	リスク管理-1	リスク管理について	八柳	GX ロケット実用段階に入ってから、輸入第 1 段推進系或いはNASDA 提供の第 2 段推進系不具合による失敗の責任の所在は。
24	リスク管理-2	リスク管理に関連して	栗木	軌道上のみで実証可能な項目について、ミッションカセに及ぼすリスクとその管理方法は。
25	リスク管理-3	LNG の要求純度、中長期の入手、コスト	後藤	LNG のエンジンへの要求純度は。純度が変化する場合の対応は。 中長期的な高純度 LNG の安定的入手の見通しは。 輸送費がLNG 価格に大きく影響することについてどう考えるか。
26	実施体制-1	官民分担	川崎	NASDA/GALEX 間協定は主務官庁の認可を受けるのか。 官民の分担は、最終的に誰が定めるのか。
27	実施体制-2	官・民開発役割分担について	八柳	コンポーネント、実証機の提供、打ち上げ運用をNASDA が行うのに、「民間主導」とは何をさすのか。
28	実施体制-3	実施体制に関連して	栗木	システム・インテグレーション確認試験は、GX 側で行うのか。 LM 社の支援する H/W、S/W に問題が発生した場合の内容開示について合意がなされているか。 不測の事態が GX 側担当分に発生した時の負担増加は、GX 側で負うのか。
29	実施体制-4	実施体制に関連して	井口	LNG エンジン開発の遅れ等により、システム開発に与えた損害は民間側で負うのでしょうか。 LNG エンジンの宇宙実証では、NASDA はエンジンを提供する以外の費用負担はないと考えてよいか。 国と民間の分担の調整はいつまでに決まるのか。

( I H I 分 )

( 4 / 4 )

NO	分類番号 (GX- )	質問事項	質問者	質問概要
1	意義-1	G X ロケット の市場見通し	川崎	積載物に内外の官・民需の開拓する意向が不明。
2	意義-2	開発期間	後藤	平成 17 年度打ち上げとあるが、開発期間は十分か。
3	意義-3	G X ロケット の全体構想	梶谷	H- A の補完的役割の意味
4	意義-4	G X ロケット の将来需要予測	藤原	最も楽観的に考えた需要予測でも良いから具体的に伺いたい。
5	概要-1	G X ロケット における米 L M 社との関係	川崎	米国政府の干渉は防げるのか。 システムインテグレーションの責任は日本側か。
6	運用体制 -1	G X ロケット の運用体制	梶谷	全システムインテグレーションは誰が担当するの か。 種子島での打上げスケジュールは、( 基幹ロケット と ) どのように調整されるのか。
7	目標優先 度-1	緊急性	栗木	平成 17 年度に打ち上げる理由
8	リスク管 理-1	リスク管理に 関連して	栗木	軌道上のみで立証可能な項目について、G X ロケット のミッションサクセスに及ぼすリスクとその管理方 法。
9	実施体制 -1	実施体制に関 連して	栗木	システム・インテグレーション確認試験は、GX 側で行うのか。 LM 社の支援する H/W、S/W に問題が発生した場合の 内容開示について合意がなされているか。 不測の事態が GX 側担当分に発生した時の負担増加 は、GX 側で負うのか。

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 23 日	
		一 連 番 号	NASDA - 意義 - 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	LNG 推進系の必要性	質問者名	宮村鐵夫	
<p>【問 欄】 資料番号： 評価 1-4 頁： 6</p> <p>メタンの利点を水素・ケロシンと比較して総合的に優れていることは p.6 の資料より理解できる。</p> <p>さらにメタンを燃料とした推進系が今まで開発されてこなかった背景（例えば、技術的難易性あるいは開発資源の制約等が考えられるが）とその変化について説明をしていただくと、現状における LNG 推進系の必要性理解が深まる。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>メタンを燃料とした推進系が今まで開発されてこなかった背景について、日本と世界のこれまでの状況を、添付のとおりまとめましたので、ご参照願います。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 14 年 5 月 30 日

## メタンを燃料とした推進系が今まで開発されてこなかった背景について

メタンを燃料とした推進系が今まで開発されてこなかった背景について、日本と世界のこれまでの状況を整理した。

### 1. 日本（NASDA）における状況

N - ロケットから、米国デルタロケット技術の導入により、ケロシン燃料及びストアラブル推進薬を用いた、大型液体ロケット推進系技術を習得、蓄積した。

上記経験を踏まえつつ、H - ロケットで上段液体水素ステージ（LE-5）を開発し、高性能推進系技術保有国としての地位を確立した。

H - ロケットでの開発技術をベースに、「米国技術依存からの脱却」を重要開発戦略として、H - ロケット開発に着手した。

システム検討段階において、ブースター燃料として炭化水素（ケロシン、メタン）及び液体水素をトレードオフしたが、主として以下の理由から液体水素を選択した

- ・当時、日本で最も研究開発蓄積があったのは液体水素  
ケロシンは運用経験は豊富だが要素技術を全て米国に依存しており、メタンは経験が極めて少
- ・当時、世界の推進系技術の頂点は米国スペースシャトルの主エンジンであるSSME（2段燃焼サイクル、再使用可能な液体水素エンジン）
- ・大推力高性能液体水素エンジンの開発は、LE-5 エンジンからの技術開発の必然の流れであり、H?II 開発戦略とも合致した
- ・液体水素によるブースタステージは、機体容積の観点から炭化水素に較べると不利であるが、固体ロケットブースタ（SRB）と組み合わせて使用することによりシステムとして成立

H?II ロケットで、大推力高性能液体水素エンジン技術（LE-7）を確立し、H?IIA ロケットの開発（LE-5B、LE-7A エンジン）以降で、同技術を熟成発展させてきた。液体水素推進系技術は、高性能推進系技術として、今後とも推進系必須技術である

将来推進系の多様性確保に向け、各種技術蓄積等も背景に、LNG推進系に新たに注目している

LNG推進系は、水素推進系に置き換わる技術ではなく、水素推進系と共存して将来の大型化・低コスト化などの輸送系需要に対応する技術であり、むしろ固体推進系を置き換えてゆく候補技術として位置づけている。

## 2. 世界における状況

世界の宇宙開発における推進系技術開発の流れとして、まず前段階に固体、ストアラブル、ケロシン推進系技術があり、その発展として液体水素推進系技術が出現した。

上記推進系技術を保有する国にとって、これまでケロシンと液体水素の中間的な性格を有するLNG推進系の新規開発需要よりは、むしろ打上げ機の新規開発需要（機体大型化、高性能化）の方が大きく、既存推進系技術の改良発展に力点が置かれてきたものと推測される。

これまで、メタン推進系が世界的にも実用化されなかった最大の理由としては、性能、密度が水素（高性能）とケロシン及びストアラブル推進薬（高密度）の中間に位置し、既存推進系技術をあえて置き換えるほどのインパクトに乏しかったという点が挙げられる。

なお、水素だけのブースターステージ構成は機体容積の観点から不利であり、密度の高い推進薬との組み合わせ運用が将来にわたって有利との認識は、おおよそ世界の主流である。

世界的にも、将来計画を含め液体水素のみのブースターステージ構成例は少ない。

（EELVとして開発中の米国ボーイング社デルタIVのみ）

ブースターステージの高密度推進薬への指向は、将来性の観点から固体やストアラブル推進薬よりは炭化水素推進薬を指向しており、炭化水素推進薬の中では、従来からのケロシン推進薬への指向する動き（米国）と、新規のLNG推進薬への指向（欧州）する動きがある。

ケロシン、LNGのどちらを指向するかは、各国の蓄積技術等の背景により異なっている。

- ・米国では、ソビエト連邦崩壊後にロシアの保有する2段燃焼サイクル高性能ケロシンエンジン技術（比推力340秒程度）を手に入れた背景もあり、既に取り扱い経験の豊富なケロシンを、炭化水素系燃料の最有力候補として指向する動きがある。
- ・一方、ケロシン推進系について特に執着すべき技術蓄積／実績経験等を有しない欧州においては、より将来性のあるメタンを指向する動きがあり、メタンエンジンに関して豊富な試験実績を有するロシアと長期協力協定を結び、真空中推力400トン級、再使用可能なLOX／メタンエンジン（通称ボルガ：Volga）の研究開発を行う構想がある。

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14年 5月 23日	
		一連番号	NASDA - 意義 - 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	GXロケット計画の意義と LNG 推進系の目標コストの関係	質問者名	宮村鐵夫	
【問 欄】 資料番号： 評価 1-4 頁： 10				
<p>国際競争力のある打上システムを開発するためには、信頼性とコストの両立が重要となる。システムと LNG 推進系の目標コストの調整の具体的な方針は。</p> <p>また、目標コストを達成するための技術課題は何か。</p>				

【回答欄】

ご指摘のように、GXロケット打上システムの商業化（産業化）に対しては、高信頼性及び低コストが国際競争力確保の重要な要素と考えています。

一方、LNG推進系技術の習得に関しては、高信頼性は必要ですが、低コストに関しての重要度は商業化に比べ高くはないと考えます（技術習得が基本目標のため）。

とはいえ、官民協力して実施することから両目標を達成することの重要性は認識しています。

「システム側とLNG推進系側の目標コスト調整の具体的方針」として、次を掲げています。

今回NASDAが修得（確認）すべき技術項目を満足させるためのLNG推進系が、GXロケット全体システム側の要求する運用コストに合致していること。

開発段階初期において、目標コスト配分設定を行い開発すること。

上記に関する実施状況や変更が必要な場合の調整は、民間/NASDA間のプログラム調整会議にて調整される。

「目標コストを達成するための技術課題」としては、新規技術（LNGエンジン、複合材極低温タンク）における開発要素が当然対象となりますが、開発における技術課題を極力小さくするための方策を採っています。具体的な内容をつぎに示します。

システムレベルでは、

- (1) 開発作業は、評価方法や、文書の承認、提出等の文書管理手続き等、各種の設計管理について、ISO9000に基づいた管理の実施により、信頼性の確保を図るとともに、管理作業の自動化を促進し、効率化を図る。
- (2) 解析技術やシミュレーション技術の向上を図るとともに、不具合の予防活動を通して、潜在的な不具合の消し込みを行い、不具合発生を防止することにより、コスト上昇を抑制する。
- (3) コスト管理、リスク管理について計画を策定し、計画に基づき、管理を実施するとともに、重点管理項目と認識して充実した管理体制で開発に臨む。

推進系レベルでは、

- (1) 推進系システムは、シンプルなガス押し式を選定することにより、運用コスト・開発コスト抑制と信頼性確保の両立を図る。
- (2) 新規開発部分のリスクの低減及びコスト評価精度を上げるための、早期試作試験の着手（目標実機コスト配分に対する達成度評価状況を添付資料に示します。）

回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成14年 6月 5日
-------	-------	-------	-------------

表 目標実機コスト配分及び達成度評価 (1/2)

コンポーネント名称		分類	ターゲットコスト (単位:百万円)	ターゲットコスト達成度評価	
構造系	LOXタンク	新規技術による 新規開発	185	<ul style="list-style-type: none"> <li>・早期から試作試験を実施し、製造工程の確立を進めることで、コスト評価を実施</li> <li>・平成13年度までで完了したフルスケールタンク#1の試作により、コスト達成目処を得た状況</li> <li>・タンク内部に実装する液位センサや渦防止板等のコスト評価については、今年度実施するフルスケールタンク#2試作時に実施</li> </ul>	
	LNGタンク				
	前部パネル	既存技術による 新規開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存技術の範囲での開発品のため、実績に基づく妥当なターゲットコスト設定が可能</li> <li>・今年度の試作試験の実施により、達成度合いを評価</li> </ul>	
	後部パネル				
	プレス				
アピオニクス搭載構造					
加圧供給系	GHe気蓄器	既存技術による 新規開発	130	<ul style="list-style-type: none"> <li>・過去の実績を基にターゲットコストを設定しているが、形状が異なるため、コスト達成度評価には製造工程の確立が必要</li> <li>・今年度の試作試験の実施により、製造工程を確立し、達成度合いを評価</li> </ul>	
	バルブ類	既存品			
	センサ類	既存技術による 新規開発			<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存品のためターゲットコストを達成可能</li> <li>・仕様の詳細調整の中で、追加試験の有無を早期に抽出 (今年度実施予定)</li> </ul>
	配管類				
エンジン系	噴射器	既存技術による 新規開発	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>・早期から試作試験を実施し、製造工程の確立を進めることで、コスト評価を実施</li> <li>・平成13年度までの実機型エンジン (エンジニアリングモデル相当)の試作試験において、噴射器のコンフィギュレーションが確定し、コスト達成目処を得た状況</li> <li>・今年度実施する認定モデルエンジン設計の中での軽量化設計結果をコスト評価に反映要</li> </ul>	
	燃焼室	既存技術による 新規開発			<ul style="list-style-type: none"> <li>・早期から試作試験を実施し、製造工程の確立を進めることで、コスト評価を実施</li> <li>・平成13年度までの実機型エンジン (エンジニアリングモデル相当)の試作試験において、燃焼室のコンフィギュレーションが確定した状況</li> <li>・今年度実施する認定モデルエンジン設計の中での軽量化設計結果をコスト評価に反映要</li> </ul>
	ノズルエクステンション	既存技術による 新規開発			<ul style="list-style-type: none"> <li>・過去の実績を基にターゲットコストを設定しているが、サイズが大分異なるため、コスト達成度評価には製造工程の確立が必要</li> <li>・今年度実施する製造性を考慮した実機設計の結果及び、次年度実施する試作によりコスト評価を実施</li> </ul>
	推進薬弁	既存技術による 新規開発			<ul style="list-style-type: none"> <li>・過去の実績を基にターゲットコストを設定しているが、仕様が異なるため、コスト達成度評価には仕様を満足する設計の確認が必要</li> <li>・実機型エンジン燃焼試験時に試作を実施し、コスト評価を実施</li> </ul>
	予冷弁	既存技術による 新規開発			<ul style="list-style-type: none"> <li>・過去の実績を基にターゲットコストを設定しているが、仕様が異なるため、コスト達成度評価には仕様を満足する設計の確認が必要</li> <li>・実機型エンジン燃焼試験時に試作を実施し、コスト評価を実施</li> </ul>
	バルブ類	既存品			<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存品のためターゲットコストを達成可能</li> <li>・仕様の詳細調整の中で、追加試験の有無を早期に抽出 (今年度実施予定)</li> </ul>
	センサ類				

表 目標実機コスト配分及び達成度評価 (2/2)

コンポーネント名称		分類	ターゲットコスト (単位:百万円)	ターゲットコスト達成度評価
点火器系	点火器	既存技術による 新規開発	30	<ul style="list-style-type: none"> <li>過去の実績を基にターゲットコストを設定しているが、仕様が異なるため、コスト達成度評価には仕様を満足する設計の確認が必要</li> <li>実機型エンジン燃焼試験時に試作を実施し、コスト評価を実施</li> </ul>
	バルブ類	既存品		
	センサ類	既存品		
	GOX気蓄器	既存品		
	GCH4気蓄器	既存品		
TVC系	アクチュエータ	既存技術による 新規開発	50	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術の範囲での開発品のため、実績に基づく妥当なターゲットコスト設定が可能</li> <li>今年度の試作試験の実施により、達成度合いを評価</li> </ul>
	バッテリー	既存品		
	コントローラ	既存品		
	センサ類	既存品		
RCS系	スラスタ	既存技術による 新規開発	45	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術の範囲での開発品のため、実績に基づく妥当なターゲットコスト設定が可能</li> <li>過去の開発実績を多数有し、コスト評価が可能であるが、次年度の試作試験により過去の実績を基にターゲットコストを設定しているが、形状が大分異なるため、コスト達成度評価には製造工程の確立が必要</li> <li>今年度の試作試験の実施により、製造工程を確立し、達成度合いを評価</li> </ul>
	GN2気蓄器	既存技術による 新規開発		
	バルブ類	既存品		
	センサ類	既存品		
	配管類	既存技術による 新規開発		
火工品系		既存品	20	既存品のためターゲットコストを達成可能
合計			600	各系のコスト評価状況を考慮して、さらにコンポーネントレベルのターゲットコストを設定し、目標達成を目指す。

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月24日	
		一連番号	NASDA - 意義 3	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	中、小型衛星打上げシステム	質問者名	梶谷利男	
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 4		頁： 3		
<p>LNG 推進系開発の意義に記された事項は賛成であるが、本来ならこのシステムはブースターに使用するのがよく、上段用には適当とは思えない。一般的に言って、GXシステムは中、小型衛星打ち上げシステムとしては第一段を能力を絞っている。わが国の基幹ロケット M-V、H-IIA の能力との相互利用（M-V の能力の上限値、H-IIA の能力の下限値）は考えられぬか？（例えば H-IIA の一段にこの二段を載せる等）</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>本飛行実証プロジェクトの目的は、LNG 推進系に関する飛行実証を行うことであり、その成果を基に今後 LNG 推進系としての高性能化や大型化を目指すこととしています。</p> <p>今回開発する LNG 推進系の仕様については、上記目的及びGXロケット特有のシステム要求を考慮して決定されたものであり、他のロケットとの相互利用は現状では考慮していません。</p>				
回 答 者	虎野吉彦	回答年月日	平成14年 5月30日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 1 4 年 5 月 2 4 日	
		一 連 番 号	NASDA - 意義 - 4	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	公害問題	質問者名	梶谷利男	
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>従来のがが国のロケット開発の目標の一つに、液水/液酸による無公害システムを目指したが、この問題への対応は？</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>現在の我が国のロケットとしては、H - AロケットとM - ロケットがありますが、H - Aは液酸/液水+固体、M - は全段固体で構成されています。</p> <p>G Xロケットで採用している LOX/LNG は、すすの発生がほとんどなく、液酸/液水同様クリーンな燃料であり、また 1 段に採用している RP-1 も燃焼ガスに含まれるのはすすであり、固体燃料に比べて低公害であると言えます。</p> <p>NASDA としては、LNG 推進系技術を確立することにより、将来的には大型/高性能ブースタ化を目指しており、無公害/低公害システムの実現を目指すことも可能と考えます。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 1 4 年 5 月 2 7 日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月24日	
		一連番号	NASDA - 意義 - 5	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	H- A、M- のバージョン		質問者名	梶谷利男
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>GX ロケットシステムのような進め方は、基幹ロケット（H-IIA、M-V）についても採用する事が可能と考えるのか？（例えば海外のシステムを一部に利用する方法）</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>NASDAが担当する「LNG推進系飛行実証プロジェクト」は、GXロケットを飛行実証手段として活用することであり、GXロケットシステム全体の開発としては本プロジェクトの範囲外となります。</p> <p>GXロケットは民間主導で開発を行う商業ロケットであるのに対し、基幹ロケット（H-IIA、M-V）は国の政策に基づき開発が行われることから、GXロケットシステムのような開発の進め方の採用可否については別途議論が必要であると考えられます。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成14年 5月28日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 24 日	
		一 連 番 号	NASDA - 目標優先度 - 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	評価実施要領 項目 4 . 2 に関連して		質問者名	栗木恭一
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>「基本技術の修得」は NASDA が研究として当然行うべき内容であり、「飛行性能・機能データの取得」が飛行実証の目標である。</p> <p>フライト毎のミッション・サクセスを 100%として、優先度、達成度の占める割合を示すこと。頁 20 の確認項目に対応させるとどうなるか。再着火しなかった場合の成功率は？</p> <p>緊急性（頁 22）：平成 17 年度でないとなりに間に合わないのか。NASDA の理由、GX の理由は？</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>各質問に対して以下の通り回答いたします。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 「基本技術の修得」は NASDA が研究として当然行うべき内容であり、「飛行性能・機能データの取得」が飛行実証の目標である。 ご指摘の通りと考えます。</li> <li>● フライト毎のミッション・サクセスを 100%として、優先度、達成度の占める割合を示すこと。頁 20 の確認項目に対応させるとどうなるか。再着火しなかった場合の成功率は？ 別紙の通り回答いたします。</li> <li>● 緊急性（頁 22）：平成 17 年度でないとなりに間に合わないのか。NASDA の理由、GX の理由は？ 緊急性については、下記の通りです。  <ul style="list-style-type: none"> <li>▶次世代の輸送系研究開発における多様性確保の観点から、LNG 推進系は必要な基盤技術。</li> <li>▶実用化されていないことから、まず LNG 推進系の基本特性を把握することが重要。</li> <li>▶民間が開発を行う GX ロケットと連携して、効率的に飛行実証を実施し、基本技術修得を計画。</li> <li>▶GX ロケットは、商業衛星市場への早期参入を目指し、平成 17 年度の初号機(試験機)打上げを計画。</li> <li>▶民間計画と整合を取って、GX ロケットでの飛行実証を実現するために、平成 15 年度から LNG 推進系の開発に着手することが必要。</li> </ul> </li> </ul>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 14 年 5 月 28 日

【質問】

フライト毎のミッション・サクセスを100%として、優先度、達成度の占める割合を示すこと。頁20の確認項目に対応させるとどうなるか。再着火しなかった場合の成功率は？

【回答】

各フライト毎のミッション・サクセスを100%とすると、表-1及び-2に示す通りとなります。

表-1 GXロケット試験機1号機におけるミッション・サクセス・クライテリア

技術的達成度	レベル1
達成基準	飛行実証#1でのデータ取得
確認項目	
エンジン性能評価データ	45%
再着火特性データ	35%
推進薬制御特性データ	10%
熱制御特性データ	10%

優先度	技術的達成度
優先度:1	レベル1 (100%)
優先度:2	レベル1 (100%)

再着火しなかった場合の成功率  
65%

表-2 GXロケット試験機2号機におけるミッション・サクセス・クライテリア

技術的達成度	レベル2	レベル3	レベル4
達成基準	飛行実証#2でのデータ取得	2回の飛行実証での現象の再現	2回の飛行実証での設計の最適化
確認項目			
エンジン性能評価データ	20%	25%	-
再着火特性データ	15%	15%	5%
推進薬制御特性データ	5%	-	5%
熱制御特性データ	5%	-	5%

優先度	技術的達成度
優先度:1	レベル2、レベル3 (合計:85%)
優先度:2	レベル2、レベル4 (合計:60%)

再着火しなかった場合の成功率  
65%

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 1 4 年 5 月 2 4 日	
		一 連 番 号	NASDA - 要求条件 - 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	評価実施要領 項目 4 . 3 に関連して	質問者名	栗木恭一	
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>アラスカ産の LNG が入手出来ないときのコストは？（頁 6）</p> <p>メタンの「すす」発生は再生冷却を行うと増大し、冷却効果を減ずると思われる。ターボポンプ化にとって不利ではないか。</p> <p>「日本が始めて実用化」とあるが（頁 4）、他所で躊躇する理由があるのか。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>LNG そのものの単価は非常に安価であり、産地によるコストの差はありません。調達時のコストとしては、ほとんどが輸送費になります。アラスカ産の LNG が入手できない場合には、蒸発ガスの再液化により、メタン純度の低い LNG から純度の高い LNG を得ることができます。再液化に関しては、各ガス会社で既に取り組みされており、その調達におけるコストは、使用量及び輸送形態が支配的になります。</p> <p>炭化水素系燃料ですすが発生するのは、コーキング温度(この温度になると炭素が析出する)を超えた場合です。再生冷却を行う場合にもコーキング温度以下での使用であれば、冷却性能に問題はありません。LNG のコーキング温度は 978K と高く、一次解析を行った結果では、その範囲内で十分 LE-7 相当の冷却性能を確保可能な見通しを得ております。</p> <p>世界で実用化されていない理由としては、水素推進系ほど高性能（高比推力）でなく、ケロシン推進系ほどコンパクト（高密度）でもないという、ある種の中間的な性格のため、既存推進系技術をあえて置き換えるほどの牽引力になりきれなかったという点が挙げられます。国内試験データ及び文献等による限り、実現に関して特に重大な技術課題は確認されておりません。</p> <p>（参考） 最近では、メタンの有用性が見直されつつあります。例えば、大推力メタン（LNG）エンジンの開発を欧州が計画しています（ボルガエンジン）。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 1 4 年 5 月 2 7 日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月27日	
		一 連 番 号	NASDA - 要求条件 - 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	GXロケットシステム要求と LNG推進系開発ステップとの妥当性	質問者名	栗木恭一	
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 4		頁： 13、30		
<p>現在想定されているLNG推進系は、GXロケットからのシステム要求を満たす必要があるが、それが本来のLNG推進系の開発の1ステップとして実証すべき要求条件に相反するものはないか。今回のエンジン仕様について、初期段階の開発としての妥当性が見えない（例えば、今回のエンジン仕様が「ガス押し/アブレーション冷却」と簡易すぎて、次のターボポンプ/再生冷却へのステップが大きくなりすぎるのではないかなど）(P13、P30)</p>				
【回答欄】				
<p>飛行実証単独の立場からは、LNGエンジンをターボポンプ化/再生冷却化することが技術的により好ましいと思われませんが、LNG推進系としてコストアップすることや開発期間/リスクが相対的に増加することから、GXロケットに対してはメリットが少ないシステムになります。これらを考慮した結果として、今回の推進系仕様としました。</p> <p>ターボポンプ化/再生冷却化については、これまでの試験結果等よりクリティカルな技術課題は少ないと判断しており、飛行実証の第1ステップとしては必ずしも必須ではないと考えます。</p> <p>本推進系飛行実証プロジェクトでは、LNG推進系を実機に適用するための以下の各種技術を総合的に開発/飛行実証します。世界でも飛行実績が無いシステムであり、これらの飛行実証が相対的により重要度が高いと考えています。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ LNG関連各種解析予測技術 ( 燃焼性能予測、流体挙動/熱挙動予測など )</li> <li>・ 飛行中におけるLNG取扱い技術 ( エンジン予冷、推進薬温度/位置制御など )</li> <li>・ 打上げにおけるLNG取扱い技術 ( LNG充填/排出、打上前エンジン予冷など )</li> <li style="padding-left: 20px;">( 参考 )</li> <li>・ 複合材推進薬タンク製造運用技術 ( 加圧式のため比較的高圧の複合材タンク )</li> </ul>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成14年 5月30日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 23 日	
		一 連 番 号	NASDA - 開発方針 - 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	机上、地上試験と試験機における評価確認の役割分担について	質問者名	宮村鐵夫	
<p>【問 欄】 資料番号： 評価 1-4 頁： 34</p> <p>試験機における必須確認項目について、「地上試験の妥当性の検証、模擬不可能な項目がある」としているが、どのようなアプローチで該当する確認項目を抽出し、役割分担を最終的に策定されているのか。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>別紙の通り回答いたします。</p>				
回 答 者	虎野吉彦	回答年月日	平成 14 年 5 月 29 日	

試験機による必須確認項目については、以下の考え方で分類しました。

#### 地上試験の妥当性を検証する項目

地上での模擬試験手法がある程度確立しているもので、地上試験結果の妥当性を飛行試験により検証する項目（エンジン性能、再着火特性等）

#### 地上試験で模擬不可能な項目

実作動環境（加速度、振動、真空、空力加熱、無重力等）を考慮すると、地上での模擬試験ができず解析予測等が主体となるもので、飛行試験によりその妥当性を検証する項目（推進薬制御、熱制御等）

また、飛行試験（及び開発作業）における確認項目の抽出にあたって提供したアプローチ及びその結果は、以下の通りです。

### 1) 過去の開発経験 / 技術蓄積のトレースによる、必要確認項目の抽出

本 LNG 推進系の開発にあたって、過去の極低温推進薬（液体水素 / 液体酸素）第 2 段の開発経験に基づき、開発開始から飛行実証試験に至るまでの基本的な開発ステップと各ステップにおける確認項目の抽出を実施

第 1 ステップ：コンポーネントレベルの確認（エンジン、タンク、加圧供給系等）

第 2 ステップ：組み合わせ試験による確認（BFT<sup>\*1</sup>、CFT<sup>\*2</sup>、GTV<sup>\*3</sup>等）

第 3 ステップ：飛行実証試験による確認

\*1：厚肉タンク燃焼試験、\*2：実機タンク燃焼試験、\*3：地上総合試験

### 2) LNG 推進系特有要素の抽出と整理に基づく、必要確認項目の抽出と追加

上記項目に対し、本 LNG 推進系の特有開発要素である LNG エンジン及び複合材タンクについて技術要素の整理を行い、以下を必要確認項目として追加

#### < LNG エンジン >

- ・燃焼安定性
- ・アプレータ冷却性能
- ・燃焼性能
- ・コンポーネント耐久性

#### < 複合材タンク >

- ・複合材圧力容器設計手法の確立
- ・製造行程の確立
- ・CFRP / アルミライナ間剥離回避
- ・ライナ座屈回避
- ・耐圧性能及び軽量化
- ・支持構造部強度 / 剛性

### 3) 地上試験では模擬不可能項目の洗い出し、開発作業における確認方法決定

以上の必要確認項目について、地上での実作動環境模擬試験が実施できない項目等を洗い出し、試験機による必須確認項目として設定。これらの項目に対して飛行前までに確認すべき内容及びその方法を、技術的妥当性を評価し決定。

#### < エンジン性能、再着火特性 >

地上燃焼試験結果より飛行時の性能 / 特性を予測、飛行実証試験により確認

#### < 推進薬制御、熱制御 >

地上試験が困難なため、解析結果に一定の余裕を考慮して設計パラメータを設定  
飛行実証試験により解析の妥当性と精度を評価

なお、以上の必要確認項目については、各開発フェーズにおける審査会において、コンプライアンスマトリックス（開発項目の確認手段と確認程度を示すマトリックス表）を評価することにより、その妥当性を確認することとしています。本 LNG 推進系のコンプライアンスマトリックスについては、現在作成中です。

また、2) に示した項目については、特に本 LNG 推進系の成立性を左右する重要確認項目であり、要素試作試験および燃焼試験等による確認をこれまで実施してきています。結果について別表にまとめましたのでご参照下さい。

以上

確認項目	確認内容	確認方法	現在までの確認結果	(説明資料対応ページ)	今後の課題
燃焼安定性	エンジン始動/停止シーケンスの確立	フルスケール燃焼室による燃焼試験	ハードスタート、着火スパイク等を抑え安定着火できる始動シーケンスを確立 後燃えを小さく抑える停止シーケンスを確立	54, 55	認定モデルエンジンにおける再現性確認
	有害な燃焼振動の発生有無確認	フルスケール燃焼室によるボン試験 燃焼中に火薬で圧力変動を印加し、変動が収束する早さ(安定度)を評価	2回のボン試験により良好な安定度を確認	56	同上
L N G エ ン ジ ン ア ブ レ ー タ 冷 却 性 能	アブレータ材配置設計手法の確立	フルスケール燃焼室の前段階としてサブスケール燃焼室による燃焼試験	アブレーション材配向角をパラメータとして燃焼試験を実施し、冷却特性及び製造性を両立できる設計パラメータを確立できた	50	認定モデルエンジンにおけるアブレーション性能の確認
	アブレータ冷却性能	フルスケール燃焼室による燃焼試験におけるアブレータ炭化量の解析予測と実際との比較	ほぼ解析予測に一致する、試験結果が取得され、設計解析予測手法の妥当性を確認した	58	試験結果をもとに、アブレーション材厚さを必要最小とし軽量化を図る
燃焼性能	比推力の確認	フルスケール燃焼室による燃焼試験	要求 $345 \pm 5$ 秒に対し、約340秒	57	認定モデルエンジンにおける性能の再現性確認
	特性排気速度効率(試験値/理論値)	同上	目標97%に対して実績 94? 95% 燃焼室延長による効率改善を試みたが効果が無く、最終的にシステム側の判断により現状で許容	57	同上
コンポーネント 耐久性	燃焼室の耐久性	フルスケール燃焼室による燃焼試験 試験回数/試験秒時を累積し、試験後のコンポーネントの健全性を評価して耐久性を検証	MDC(353秒)燃焼試験後のアブレーション材に局所的なエロージョン等の有害な損傷が無いことを確認	59	認定モデルエンジン(アブレーション材厚さ最適化)における耐久性の確認
	噴射器の耐久性	同上	MDC(353秒)燃焼試験を含む、14回/716秒の耐久性を確認	59	認定モデルエンジンにおける耐久性確認
	バルブ/シール等の耐久性	同上	耐久性に起因する不具合実績無し	59	同上

確認項目	確認内容	確認方法	現在までの確認結果	(説明資料対応ページ)	今後の課題	
複合材圧力容器設計手法の確立	シリンダ部分の設計手法の確認	500サブスケールタンク(直径500mm)試作試験(シリンダ部のt/Dを実機と相似に設定) 常温耐圧試験、低温耐圧試験を実施	常温耐圧試験、低温耐圧試験結果良好であり、シリンダ部設計手法の妥当性を確認	64	フルスケールタンクによる最終確認(LNGフルスケールタンクは既に完成し、一部試験実施中)	
	ドーム部分の設計手法の確認	BBM#1サブスケールタンク(実機サイズドーム、1/2長さシリンダ)及びBBM#2サブスケールタンク(1/2スケールモデル)試作試験 常温耐圧試験、低温耐圧試験を実施	BBM#1で製造に伴うライナ破断不具合が発生したが、製造工程改善したBBM#2で良好な試験結果を取得し、ドーム部設計手法の妥当性を確認	65,66	同上	
複合材タンク	製造工程の確立	実機サイズ相当タンク製造性の確認	BBM#1サブスケールタンク(実機サイズドーム、1/2長さシリンダ) 常温耐圧試験、低温耐圧試験を実施	製造工程中に発生したドーム部ライナーの剥離/屈曲によって加圧中にライナー破断 製造工程中のライナ応力状態の確認及び座防止策の重要性を認識	65	同上
		CFRP/ライナー間の接着を確実にする工程の確立 製造工程中のライナ歪み	BBM#2サブスケールタンク(1/2スケールモデル)試作試験 常温耐圧試験、低温耐圧試験を実施	常温耐圧試験、低温耐圧試験結果は良好であり、製造工程の妥当性を確認	66	同上
	CFRP/アルミライナ間剥離回避	ライナ座屈を回避するための重要要素である左記剥離回避に関する製造行程/運用オペレーションの確立	500サブスケールタンク、BBM#1サブスケールタンク、BBM#2サブスケールタンクと段階を追って、剥離回避策の妥当性を確認する	同左(製造工程中のライナ歪み計測及び接着時の内圧/温度条件改善を行い、CFRP/アルミライナの接着度合いをより強化する剥離回避を適用し、その妥当性を確認した)	66	同上
	ライナー座屈回避	ライナ座屈を回避するための製造行程/運用オペレーションの確立	500サブスケールタンク、BBM#1サブスケールタンク、BBM#2サブスケールタンクと段階を追って、座屈回避策の妥当性を確認する	同左(タンクの製造及び運用においてライナー座屈が発生しないような、タンク圧力運用パターンを設定し、試験においてその妥当性を確認した)	(66)	同上
	耐圧性能及び軽量化	実機タンクについての耐圧性能を維持し、軽量化を行う	500サブスケールタンク、BBM#1サブスケールタンク、BBM#2サブスケールタンクと段階を追って、軽量化し、耐圧性能を確認	同左(各試験結果に基づき、次フェーズタンクの軽量化設計に反映し、目標重量を満足するフルスケールLNGタンクの試作を完了。LOXについても目標重量を達成する見込み)	67	同上
	支持構造部強度/剛性	支持構造部の強度/剛性の確認	フルスケールタンクの耐圧試験、荷重試験による強度/剛性の確認	解析による確認とあわせ、フルスケールタンクによる強度剛性試験を一部試験実施済み	67	同上

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 1 4 年 5 月 2 4 日	
		一 連 番 号	NASDA - 開発方針 - 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	評価実施要領 項目 4 . 4 に関連して		質問者名	栗木恭一
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>LNG 飛行実証：代替の実証手段のオプション検討も具体的に示すこと（頁 3 0 , 7 7）. NASDA のプログラム・リスク管理として重要 .</p> <p>LNG 推進系と他のサブシステムとのインターフェイスにおいて，それぞれが十分な性能余裕（燃焼秒時，インピーダンス整合など）を持っていることは，どのような試験によって確認されているか .</p> <p>地上試験で模擬不可能な項目に対し，いかにしてミッション・サクセスを保証するのか .</p> <p>飛行実証回数：NASDA としては 2 回のフライトにおいて目標をほぼ達成すれば民間への技術移転は可能としてよいか .</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>( 1 ) 以下のケースを検討中です。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ S R B - A 利用： S R B - A の低燃速型 / 短縮型 / クラスタ型等を組み合わせ、ブースターとして利用する形態</li> <li>・ H - A 利用： H - A ( 1 段、 S R B - A ) をブースターとして利用</li> </ul> <p>( 2 ) L N G エンジン、極低温複合材タンクについては、要素試作試験（以下）を研究フェーズに実施しており、同試験結果を踏まえ、システム側と調整の上、マージンを確保した 2 段システム仕様の設定を行っております。今後実施する開発試験においても、引き続き性能余裕を確認していく計画です。</p> <p>電気的インタフェースについても、過去の実績を踏まえ余裕ある設計を行っていますが、最終的には別途組み合わせ試験により確認する計画です。</p> <p style="padding-left: 20px;">L N G エンジン：燃焼試験（ミッション燃焼秒時（ M D C ）での連続燃焼試験を含む）</p> <p style="padding-left: 20px;">極低温複合材タンク：常温 / 低温耐圧試験、常温 / 低温荷重試験</p> <p>( 3 ) 地上試験で模擬不可能な項目があるため、ミッションサクセスを地上試験のみで完全に保証することは難しいと考えております。しかしながら、地上での開発試験結果に基づき、最大限性能予測評価を行い、リスク低減に努める計画です。</p> <p>( 4 ) 2 回のフライトにおいて目標を達成すれば、民間への技術移転は可能と考えております。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 1 4 年 5 月 2 9 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 22 日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	技術的質問	質問者名	八柳信之	
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ GX ロケットの開発を「民間主導」で行うと言う大前提には基本的に賛成出来るが、以下の点が不明確。</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">今回提示された資料だけで全てを判断出来ない。</p> <p style="margin-left: 20px;">例えば</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃焼圧力を 1MPa に選定した理由(総合的判断基準はどのようになされたか)</li> <li>・ アブレーションの評価は十分か、アブレーションによる比推力への影響評価は十分か</li> <li>・ 再着火性の評価は十分か</li> <li>・ LNG の純度管理と比推力性能への影響の評価は十分か</li> <li>・ NASDA 資料 p.53 、 280 秒試験で噴射器からリークの発生があったと記されているが、アブレーション材とのつなぎ目からのリークは問題にならないか</li> <li>・ 噴射器の噴口寸法設計法はどのようにしたのか</li> <li>・ HATS 試験計画はどうなっているか</li> </ul>				
<p>【回答欄】</p> <p style="margin-left: 20px;">回答を別紙に示します。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 14 年 5 月 27 日

## (1) 燃焼圧力を 1MPa に選定した理由(総合的判断基準はどのようになされたか)

燃焼圧をパラメータとして構造質量最小となるように加圧式推進系の最適化を行って決めています。

## (2) アブレーションの評価は十分か、アブレーションによる比推力への影響評価は十分か

アブレーションの評価については、サブスケールのものから実機相当のものまで、現在までに実施してきており、実機設計を行う上で必要な評価（解析モデルの精度向上）は完了しているものと判断致します。サブスケール試験においては、材質や繊維の巻き角度（配向角）等について、評価を実施し、最適な（冷却性能やコスト）選定を実施しており、その成果を反映したフルスケール試験により局所エロージョンや冷却性能に関して評価を実施しております。

アブレーションによる比推力への影響についてですが、アブレーションにより発生するガスは、主流の燃焼ガス流量に対して非常に少量で無視できる範囲の量であるため、性能への影響はないものと考えております。また、炭化層が樹脂の分解ガスの発生により膨潤する事象が確認されてはいますが、この現象による比推力への影響評価を実施し、十分小さいことを確認しております。

## (3) 再着火性の評価は十分か

再着火については、現状試験による確認は実施できておりませんが、LNG エンジン、システム的に単純なガス押し式を採用しているため、着火シーケンスや着火特性等、初回着火と再着火で大きな違いはないと考えております。再着火で考慮すべき項目は

- ・ コースティングから再着火シーケンスに入るまでの予冷
- ・ 初回燃焼後の噴射面状況（凍結等）
- ・ コースティング中のエンジンパーズ

等が挙げられます。

これらの項目に関しては、今後解析や BFT（今年度実施予定）の中で検討 / 評価を行っていく計画です。

## (4) LNG の純度管理と比推力性能への影響の評価は十分か

LNG の純度管理については、調達時に成分表の提出を受けております。平成 11 年度より燃焼試験を実施しておりますが、その間に供給された LNG の純度は平均 99.7%（99.6～99.8%；要求は 99%以上）であり、大きなばらつきは見られていません。現状 LNG 純度の比推力への影響評価としては実施しておりませんが、上記範囲であれば影響はないことを確認しております。（NASA-SP-273 によりメタン 99%、プロパン 1%のときの理論計算をした結果、純メタンの場合との性能差は、0.1 秒以下（0.025%以下）となっています。）

後藤委員よりご指摘ありましたが、99%以上の純度の LNG はアラスカ産のみですが、メタン純度の低い LNG の蒸発ガスを再液化することにより 99%以上のメタン純度の LNG が得られますので、長期に渡って利用していく場合には、そのような調達方法についても検討可能であると考えます。

(5) NASDA 資料 p.53 、 280 秒試験で噴射器からリークの発生があったと記されているが、アブレーション材とのつなぎ目からのリークは問題にならないか

噴射器からのリークとは、噴射器本体の接合部からのリークを指しております。当初噴射器本体への噴射リングやハブ・フィンの接合に電鋳を使用しておりました。電鋳採用の最大の理由は製造コストの削減です。しかし、燃焼試験においてたびたび電鋳接合部よりリークが発生し、その度に接合強度の向上のための工程追加を重ねることにより、低コストのメリットが薄れ、結局最終的には、実績のあるロー付けに変更することとなりました。

噴射器と燃焼室との結合部のシールについても、いくつか候補を選定し、使用してきましたが、現在選定しているものにおいて連続 353 秒、累積 413 秒の耐久性を確認しております。今後引き続き耐久性についての評価を進めていきます。

現在まででサブスケールも含めて 3 種類

- ・ メタル C シール
- ・ フェイスシール
- ・ ヘリコフレックスシール

を供試しておりますが、最終的にヘリコフレックスシールを選定し、耐久性の評価を継続しているところです。(実績の高いナフレックスシールは高価であり、低コストシールの評価を進めてきました。)

(6) 噴射器の噴口寸法設計法はどのようにしたのか

噴射器の噴射孔設計は、設計担当メーカーである IHI の過去の実績 ( 2 液式エンジンや LOX/ケロシンエンジン等 ) に基づき、微粒化に必要な推薬の噴射速度が得られるよう設定しております。

(7) HATS 試験計画はどうなっているか

HATS 試験計画については、平成 11 年度に設備改修計画も含めて検討を実施しております。NASDA 角田の LE-5B HATS 設備を改修して使用する計画であります。試験計画の概要 ( 案 ) を以下に示します。

- 供試体 ; 認定モデルエンジン + ノズルエクステンション ( HATS 試験用低開口比 (52.5 程度)Type )
- 供試体台数 ; 1 台
- 試験回数 ; 1 2 回 ( 内訳は下表のとおり )

		回数	秒時	総秒時
HATS試験	短秒時燃焼試験試験	3	10	30
	作動範囲確認試験	6	30	180
	MDC試験	1	353	353
	再着火試験	1	7	7
	再々着火試験	1	7	7

- 試験実施時期 ; 平成 16 年度上期 ( 設備改修は平成 15 年度に実施 )

以上

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 23 日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	複合材タンクの技術課題	質問者名	宮村鐵夫	
【問 欄】 資料番号： 評価 1-4		頁： 63		
<p>複合材タンクの技術課題の見落としを少なくするため対応として、設計と製造の役割分担・責任を明確にすることが重要であると考えられる。P.63 の確認すべき技術課題（2）の「製造工程の確立」を進めるためには、設計仕様の影響を受けるところから設計仕様と製造管理特性の関係を明確にする進め方も大きく影響する。この設計仕様の製造管理特性への変換について、設計と製造のコラボレーション、役割分担、情報の共有化・共用を推進する方針は明確になっているか。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>ご指摘の点につきましては我々も重要であると考えており、製造工程の確立において設計と製造性の両立を図るため、予備設計フェーズである現在まで、設計側と製造側が一体となり取り組んだ形で B B M サブスケールモデルの要素試作試験を実施し、その結果を受けて、製造に十分配慮したフルスケールタンクの設計及び試作を実施し、製造性の確認を行いました。複合材タンクの製造工程及び選定理由を添付資料に示します。</p> <p>さらに、開発フェーズにおいては、設計と製造のコラボレーションをより強化するため、変更が発生した場合の迅速な相互対応を目的とし、専門委員会を設け、確実な開発を行っていく計画です。</p> <p>また、製造工程における工程 F M E A を行い、設計と製造がそれぞれの課題について共通認識を持ちその改善に向け協力する等の実施を検討中です。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 14 年 6 月 5 日	

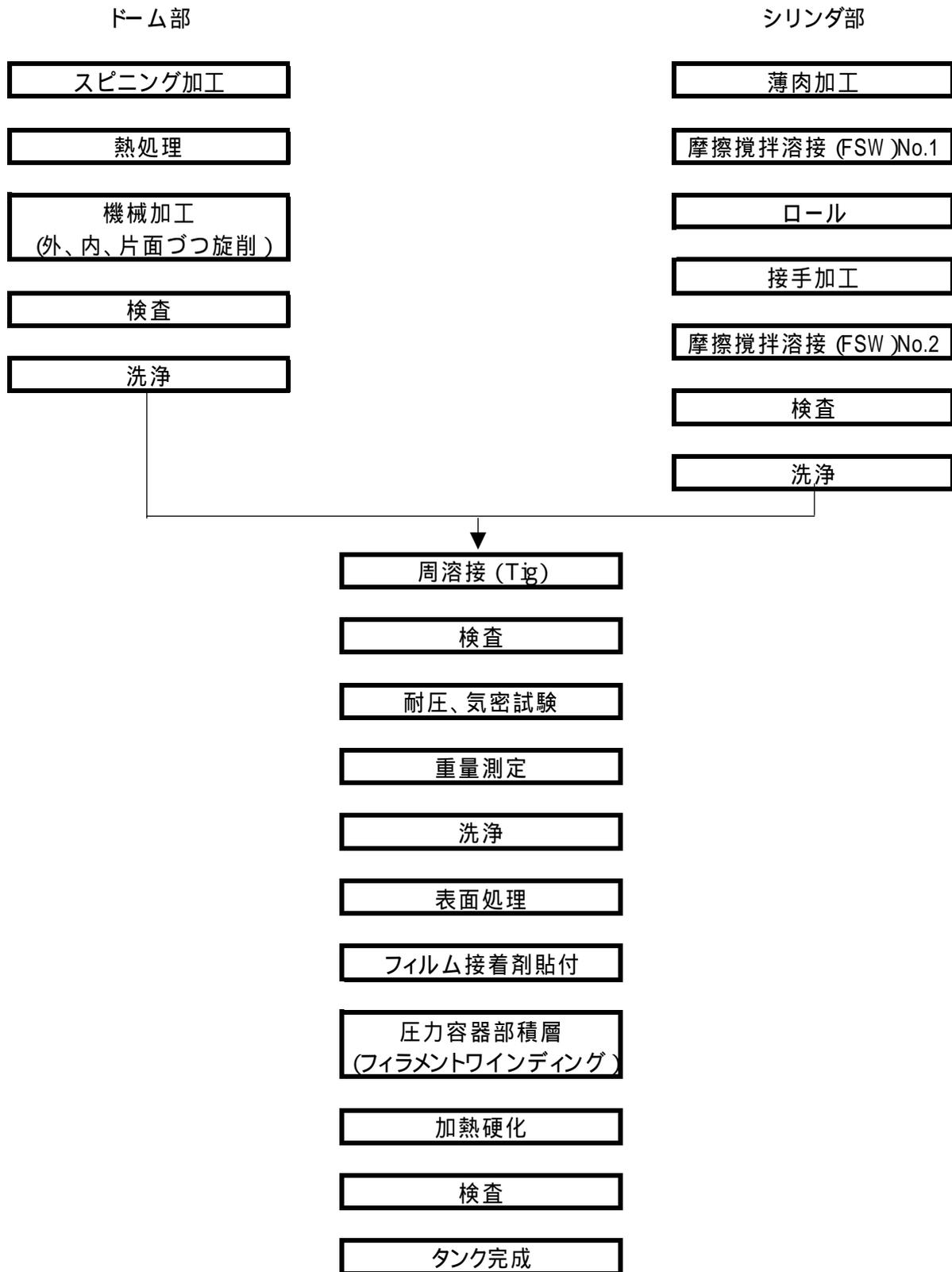


図 複合材タンク 製造フロー

別表 アルミライナ表面処理方法トレードオフ

処理名	製造用接着への 適用実績	LNG推進系実 機処理の可否	強度 at高温 :130 at低温 :-155	特徴	総合
PAA (注1)	有			多孔な被膜で投錨効果大(注5)、 実績多	
FPL (注2)	有			強酸高温処理	
DE (注3)	無			酸化膜の除去のみ、処理は常温	
CAA (注4)	有	×	(-)	多孔な被膜で投錨効果大(注5)、 処理プロセス複雑	×

注1:PAA(Phosphoric Acid Anodize)~ 燐酸陽極処理

注2:FPL(Forest Products Laboratory)~ エッチング(硫酸 - クロム酸)

注3:DE(Deoxidize)~ エッチング(硝酸 - クロム酸)

注4:CAA(Chromic Acid Anodize)~ クロム酸陽極処理

注5:多孔性(CAA PAA FPL> DE)

表 複合材タンク製造工程の選定理由

No.	工程名称	工程の概要	選定理由
1	ドームスピニング加工	ドーム部形状をスピニング加工により成形	コストダウンを目的に板金工程を採用
2	ドーム内外面機械加工	スピニング加工後のドームの内面、外面を最終寸法に仕上げするための旋削工程	ドーム部板厚分布を精度良く実現するために最低限の機械加工を実施
3	シリンダ薄肉加工	シリンダ部は一般部と溶接部で肉厚が異なるため機械加工を実施	精度要求を満足するために機械加工を選定
4	シリンダ溶接 (FSW) No.1	平板どおしの突合せによる溶接	FSW選定の理由は、以下のとおり。 (1) 溶接ビードが盛り上がりず、ビードのブレンド等の後処置が不要。仮付け等も不要で、前処理・後処理を含む、作業時間が大幅に短縮できる。 (2) 機械設定で溶接条件を決めるため、作業による品質のばらつきが無い。 (3) 溶接自体のスピードが速く、大量生産向き。 (4) 溶接強度がTig溶接に比べて若干高い。
5	ロール加工	シリンダ形状にするためのロール加工	本方法のみ実施可能
6	シリンダ溶接 (FSW) No.2	ロール後の軸方向溶接	FSW選定の理由は、No.4と同様
7	ドーム / シリンダ周溶接 (TIG)	2式のドーム部とシリンダ部を結合する溶接	本来であればFSWが採用できればベターなのですが、以下の理由でTig溶接を採用 (1) 曲面上のFSWを実施しようとする、ワークを固定して自動的に回転する大がかりな機械と治具が必要になる。 (2) 裏に数トンの荷重に耐えられる当て板を設置する必要があり、ドームで蓋をすると当て板を中に入れられなくなる。即ち、最後はどうしてもTig溶接にならざるを得ない。
8	表面処理 (磷酸陽極処理)	接着力向上のために実施するアルミライナに対する表面処理	複数の処理をテストピースにて確認し、最も接着力強化が可能な処理方法を選定 (トレードオフ結果を別表に示す。)
9	フィラメントワインディング (FW)	アルミライナへのCFRPの巻き付け工程	FW選定の理由は以下のとおり。 (1) ドーム部とシリンダ部を一体で成形可能であり、製造コストを削減できる。 (2) 製造設備は大型固体ロケットのものを流用可能であり、開発コストを削減できる。

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月24日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 3	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	評価実施要領 項目4・5に関連して	質問者名	栗木恭一	
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>頁28に挙げられた項目の立証・評価の状況は？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>—研究段階で完了している項目，</li> <li>—開発段階で予定している項目，</li> <li>—飛行で実証される項目，</li> </ul> <p>推進薬制御の具体的方法は？</p> <p>TVC アクチュエーター（電動式）はH-11Aと同じものか，BATはLNG推進系に入るのか．</p> <p>射場設備インターフェイス，追跡管制系インターフェイスは規定されているか．</p> <p>C*効率とは何か．</p> <p>炭化量は炭素付着量も含むのか．区別できるのか．</p> <p>複合材タンク</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>—他の構造材料オプションとのトレードオフを行ったか（信頼性，コストについて）．</li> <li>—「タンクの（長さ／直径）が大きいほど軽量」（頁42）とするとパイプが理想的？</li> <li>—技術的課題（頁63）について，寸法効果（サブスケールからフルスケールへの）は悲観的，楽観的のどちら側に出るか？</li> <li>—圧力容器の安全率はいくらか．</li> <li>—アルミのLNG/LOXとの低温脆性，stress corrosion 適合の基礎データを用いて解析しているか．</li> <li>—CFRP/アルミライナ間剥離を含む構造試験は環境条件（充填状態，加圧・振動等加速状態，スロッシングなど），履歴条件（残量変化，再着火など）等の静的及び動的なパラメタを十分に変えて行われたか．</li> <li>—各層の厚さはいくらか．</li> <li>—層間剥離検査はどのような非破壊検査法で行われているか．</li> </ul>				
<p>【回答欄】</p> <p>研究、開発、飛行実証を通じて段階的に必要な評価、検証を実施する計画としております。従って、研究段階で評価を完了している項目はありません。</p> <p>複合材タンクの製造・検査技術のみ開発段階で完了し、その他は開発段階における地上試験及び飛行実証を通じて、評価を完了する計画です。</p> <p>推進薬制御は、加圧ガスによる制御及び姿勢制御装置(RCS)による加速度発生により行います。最も制御が必要なのは、コースティング後の再着火前の制御であり、RCSにより加速度を発生させ、出口側に推進薬を移動し、加圧ガスにより必要圧力まで加圧するというシーケンスをとります。</p>				

【回答欄】(つづき)

TVC アクチュエータにつきましては、H- A のものと同一メーカーにより GX ロケットの仕様に合わせて新規開発する計画であります。基本的な設計思想は H- A のものと同じになります。TVC アクチュエータ、コントローラ、バッテリーとセットで開発を行う予定です。

射場設備とのインタフェースについては、P.84 に示すロケット機体/打上運用システムインタフェース管理文書により規定されます。現状、打上運用システム全体構想検討を実施しているところであり、ドラフトレベルの規定となっております。

衛星と追跡管制系とのインタフェースについては、GALEX 社が構築すべき問題です。C\*効率とは、特性排気速度効率のことであり、特性排気速度 (C\*) の実測値と理論値の比で表されます。C\*とは、燃焼によって発生する熱量の指標と考えて下さい。理論 C\*とは与えられた混合比と圧力の元で理想的に燃料が燃えたときに発生する熱量で、これに対して実際には「燃え残り」があるため実測値は理論値より低くなります。従いまして、理論値と実測値の比は、燃焼における熱効率ということになります。

炭素はアブレータ材の樹脂が炭化したもので、燃焼ガス中の炭素が付着したものではありません。従いまして、炭化量はアブレータ材の炭化層の厚みで評価しています。

複合材タンク

- (a) 推進薬タンクは、軽量化のための新規技術修得を目指し、複合材タンクを採用する方針で進められています。よって、他の構造材料とのトレードオフは行っておりません。コストについては、極力低減するために製造方法 (FW) 等の選定を行っております。
- (b) 推進薬タンクは圧力容器としての機能だけでなく、2 段推進系構造の一部とする機能も持たせており、システムから与えられたエンベロープの中でのスペース効率と推進薬タンクの機能を考え合わせ、現在の 1 m 程度の長胴型タンク形態を選定しています。
- (c) サブスケールタンクの試作試験は、CFRP/ライナ間剥離回避やライナ座屈回避等の複合材タンクの成立性を評価する上で重要な技術課題の確認を最短時間で実施でき、フルスケールに移行する上でのリスク低減に寄与しております。各技術課題と評価ステップを別紙に示します。本表に各課題のスケール効果の大小についても示しております。圧力容器としては、板厚と直径の比 ( $t/D$ ) を合わせることで、サブスケールで機能性能を模擬できますでの、サブスケールでの評価でフルスケールと同等の評価が可能です。
- (d) 安全率は、宇宙用高圧ガス機器技術基準の複合圧力容器に対する安全係数に従い、1.5 以上としております。
- (e) アルミは、面心立方格子で低温脆性の心配がないと認識しています。LOX/LNG に接する環境下で応力腐食を起こさない金属を選定しています。
- (f) 昨年度サブスケール構造モデル試験と称して、複合材タンクを含む推進系構造の成立性を評価するための試作試験を実施しております。その中で、振動負荷、充填量変化の影響等の確認を行っております。この結果を反映してタンク設計要求、開発試験計画を精査しております。今後の開発試験 (フルスケール構造試験や CFT) の中でさらに評価を深める計画であります。なお、試験間には CFRP/アルミライナ間の剥離の有無を確認する検査も実施計画しております。

- (g) 複合材層とアルミライナ層はほぼ1：1となっております。複合材層は、フープ層とインプレイン層で構成されますが、各層約半分づつの厚みとなっております。
- (h) 超音波探傷法（反射法）により、CFRP/アルミライナ間及びCFRP層間剥離の検査を実施しております。

回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成14年 5月30日
-------	-------	-------	-------------

表 複合材タンクの開発課題と評価ステップ

開発確認項目（開発課題）		500	BBM	BBM#2	フルスケール#1	フルスケール#2
設計	塑性変形処理後ライナ座屈回避	シリンダ				
		ドーム	-	×		
	LN2充填時ライナ剥離回避	シリンダ				
		ドーム	-	×		
	設計手法確認 （接着環境条件の最適化含む）	シリンダ				
		ドーム	-	×		
	圧力容器強度確認	シリンダ		×		
		ドーム	-	×		
	溶接部強度確認	縦		×		
		周		×		
	支持構造部強度確認		-	-	-	
	内部デバイス機能確認		-	-	-	-
加圧サイクル確認		-	-	-	-	
製造	ライナ製造性確認	シリンダ				
		ドーム	-	×		
	ライナ溶接性確認	縦		-	-	
		周				
	接着剤施工性確認					
	FW時ライナハンドリング確認					
	FWキュア時製造性確認					
	接着環境条件の適切化		-	×		
	接着硬化タイミング適切化		-	×		
	接着力向上		-	×		
	支持構造部製造性確認		-	-	-	

注記) ...実機もしくは実機同等とみなせる供試体による確認

...サブスケールモデルでの確認 (サブスケールでの確認で、フルスケールと同等の評価が可能な項目)

...サブスケールモデルでの確認 (フルスケールに移行する際にスケール効果を考慮する必要がある項目)

× ...不具合発生により未確認

- ...該当せず

■ ...評価実施済み

■ ...今後計画 (FY14実施予定)

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 24 日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 4	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	LNG/LOX 燃焼に関する化学物理	質 問 者 名	藤原俊隆	
<p>【質問欄】 資料番号： 評価 1-4 頁：</p> <p>僕自身が未だ十分勉強して議論している段階でないので、全て「可能性」を指摘しているに過ぎません。</p> <p>後藤委員からの指摘にもありました様に、LNG は多化学成分混合燃料である為、その化学的性質にバラツキが有る。バラツキの範囲を抑えておき、その範囲における化学的性質（層流燃焼速度、反応誘起距離、発熱反応時間、簡略した挙句の素反応群）と物理的性質（特に微粒噴霧化時間、噴霧から気相への蒸発速度、超臨界蒸発 / 燃焼）の変化を、数値計算 / 実験 / 理論考察によって、きちんと抑えておく必要が有るだろう。これについては、現在どの程度の考慮が払われているか？僕の考えでは、純粹メタンを想定しただけの解析 / 実験では不十分と思われるが、多成分混合気体として、どの範囲に迄 LNG を絞ればいいのか？</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>現段階では、使用する LNG をアラスカ産に限定することによって、成分のばらつきは 1% 以内（実績では 0.2%程度）であり、成分のばらつきによる化学的性質の変動範囲を抑えております。実際に、99%メタン / 1%プロパンでの性能計算結果では、比推力（ISP）に変化のないことを確認しております。（NASA-SP-273 によりメタン 99%、プロパン 1%のときの理論計算をした結果、純メタンの場合との性能差は、0.1 秒以下（0.025%以下）となっています。）また、現時点までの燃焼試験においても、成分の変動による影響は確認されておられません。引き続き、成分管理及びその影響については評価していく計画であります。</p> <p>なお、アラスカ産 LNG が入手できなくなった場合でも、メタン純度の低い LNG の蒸発ガスの再液化により純度の高い LNG を入手することは可能です。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回 答 年 月 日	平成 14 年 5 月 29 日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 24 日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 5	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	化学 / 物理反応パラメーター / 物性定数の相違により、振動燃焼等にどのような差が想定されるか。	質問者名	藤原俊隆	
<p>【質問欄】 資料番号： 評価 1-4 頁：</p> <p>燃焼室中の振動燃焼現象モードは、化学物理物性定数の関数である。従って、想定される或る程度の物性定数の違いが、供給される LNG に存在する時に、(1) 生じ得る振動燃焼モードが変化する可能性、(2) 燃焼終了時の化学平衡状態の差、(3) ノズル内膨脹後の化学的 / 熱的非平衡状態の差が在り得る。それ等が殆ど省略出来る程度に小さければ良いのだが、何れにしても事前の推算を行っておく必要が在る。これ等の検討はどの程度なされているのか？</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>このサイズの液体ロケットエンジンで考慮すべき燃焼不安定は、高周波燃焼不安定（音響振動）になります。これは燃焼ガス温度に最も敏感ですが、これまでに広い作動範囲（燃料混合比を変化させることによって燃焼ガスの当量比を変える）において、燃焼が安定であることを確認しています。混合比 3 ~ 4 の範囲で試験をしていますが、この範囲では LOX の量に対して LNG の量が 30% 近く変化することになり、発生熱量（燃焼ガス温度）も 10% 以上変化します。試験ではこの範囲に対して燃焼が安定であることを確認しています。これに対して、LNG の成分変化による発生熱量の変化は、数%程度です。さらにアラスカ産に限定すれば、その変化は全く無視できる程度になります。従いまして、供給される LNG の成分変化の影響は十分小さいと考えます。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 14 年 5 月 29 日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月27日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 6	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	噴射器接合部の対策・設計変更について	質問者名	栗木恭一	
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 4		頁： 53		
<p>フルスケール燃焼試験の結果で、(その2)まではバッフルハブ或いはフィンの接合部損傷が見られたが、その後の対策・設計変更はどのようになされているのか。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>フルスケールでの燃焼性能確認試験(その2)までは、噴射器本体への噴射リングやハブ・フィンの接合に電鋳を使用しておりました。電鋳採用の最大の理由は製造コストの削減です。しかし、燃焼試験においてたびたび電鋳接合部よりリークが発生し、その度に接合強度の向上のための工程追加を重ねることにより、低コストのメリットが薄れ、結局最終的には、実績のあるロー付けに変更することとなりました。</p> <p>従いまして、対策としては接合工程の変更を取っております。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成14年 5月27日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 27 日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 7	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項			質問者名	栗木恭一
【質問欄】 資料番号： 評価 1 - 4		頁： 63		
<p>複合材タンクについて、アルミライナの降伏を前提とした座屈回避設計（解析）はどのようなものであり、試験により実証されているか。</p>				
<p><b>【回答欄】</b></p> <p>アルミライナは昇圧時に、降伏領域まで使用します。従いまして、除圧時に座屈が発生する可能性があり、それを回避するためには、CFRP とアルミライナが強固に接着されている必要があります。</p> <p>アルミライナの座屈は、以下の段階で発生する可能性があります。</p> <p>(1) 製造時のフィラメントワインディング及びキュア時（適切な内圧保持）</p> <p>(2) タンク成形後の常温塑性変形圧力処理後の除圧時</p> <p>設計段階では、製造～試験までの各フェーズにおいて解析を実施し、ライナ・CFRP・接着のそれぞれの MS（余裕安全率）を算出し、ライナ座屈を引き起こさないことを評価しております。</p> <p>上記設計に基づき、試作試験を実施し、製造条件を含む設計の妥当性を BBM 試験等により検証しております。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 14 年 5 月 30 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 1 4 年 5 月 2 7 日	
		一 連 番 号	NASDA - システム選定 - 8	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項			質問者名	栗木恭一
<p>【質問欄】 資料番号： 評価 1 - 4 頁： 6 3</p> <p>複合材タンクについて、アルミライナの座屈が万一、局所的に生じた時のハザード解析は行われているか。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>N A S D A が開発担当する 2 段推進系について、予備設計レベルでのハザード解析を実施しております。</p> <p>射場での取扱いではアルミライナの座屈は発生しない設計としていますが、CFRP / アルミライナ間に剥離が発生した場合、座屈の可能性が否定できません。そのため、剥離検査・管理を射場においても実施することを計画しています。</p> <p>万一、タンクライナの座屈が発生した場合でも、過去の試験実績等から推進薬の大量漏洩は無いと考えており、加えて、タンクが包絡されている段間部には、窒素空調を行う計画であることから、クリティカルなハザードには至らないと考えています。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 1 4 年 5 月 3 0 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 23 日	
		一 連 番 号	NASDA - 開発計画 - 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	LNG 推進系の基本技術	質問者名	宮村鐵夫	
<p>【問 欄】 資料番号： 評価 1-4 頁： 19、44、70</p> <p>LNG 推進系の修得すべき基本技術が、 p .44 の LNG 推進系構成品ツリーと関連させてどのようなアプローチで明確にされたのか。</p> <p>さらに、抽出された修得すべき基本技術をが p .70 の LNG 推進系開発試験計画へとスケジューリング化、実行に移すときの考え方は。</p>				

【回答欄】

構成品ツリーと基本技術は1対1には対応しませんが次のように考えています。

本LNG推進系において修得すべき基本技術としては、LNG推進系技術（エンジン系、及び推進薬加圧供給系）及び複合材極低温タンク技術があり、これらは推進系構成品ツリー中で以下のように分類・整理されています。

- ・LNG推進系技術（加圧供給系、エンジン系、点火器系）
- ・複合材極低温タンク技術（構造系）
- ・その他のシステム構成技術（TVC系、RSC系、火工品系）

推進系開発試験については、p.44に示す分類（添付 1）により次の考え方で計画しております。

- (1) 「新規技術による新規開発品」と識別された複合材極低温タンクについては、サブスケール試作試験による成立性判断を実施、さらに、段階を追った（STEP by STEP）開発を設定
- (2) 「既存技術による新規開発品」と識別された構成品については、段階を追った（STEP by STEP）開発を設定、また、各構成品の開発難度に応じたスケジュールを設定
- (3) 「既存品」と識別された構成品は、システム開発試験での機能検証を実施
- (4) 各試験結果が次試験へフィードバックできるよう必要なスケジュールを確保

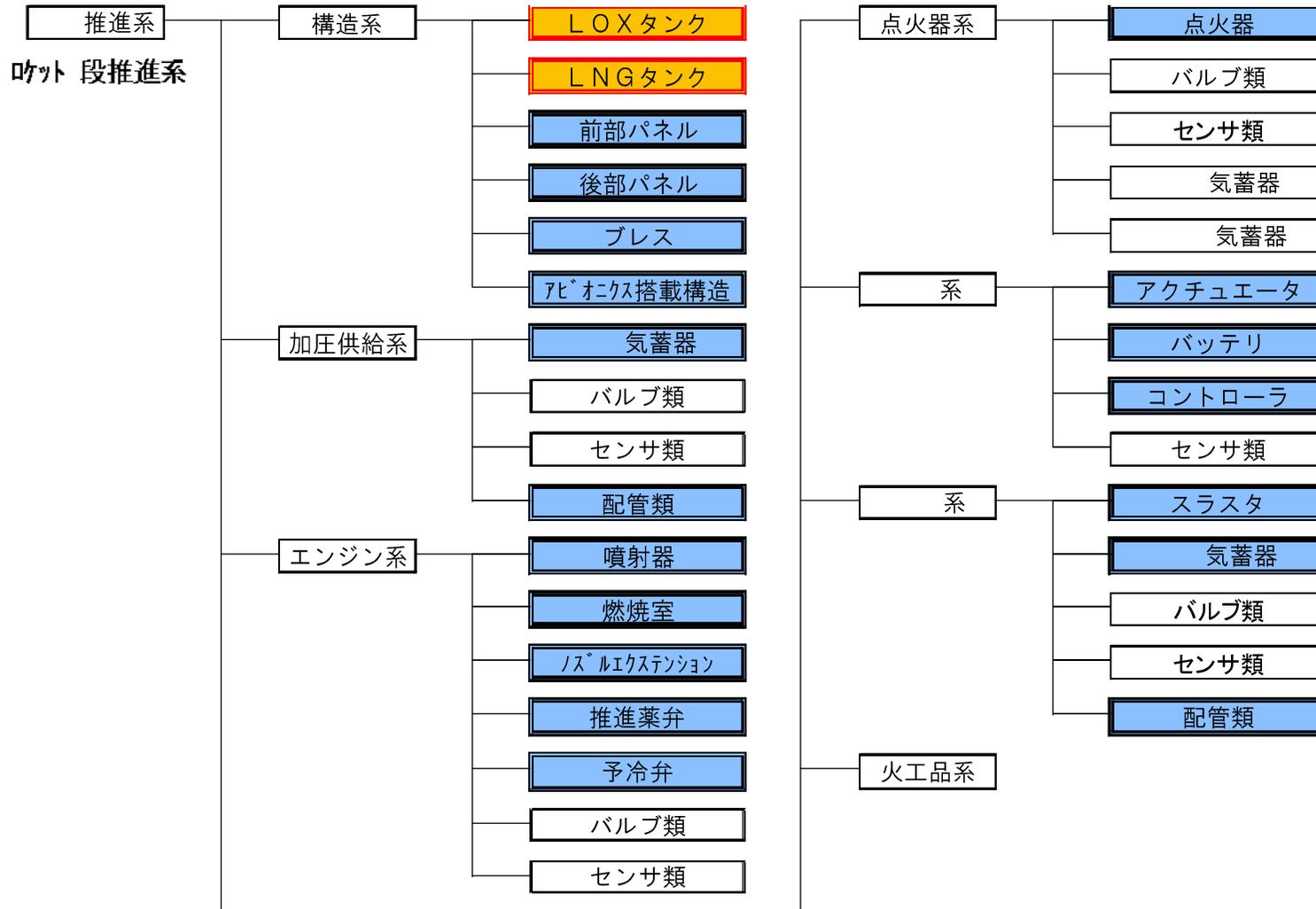
推進系構造品と p.70 に示す各開発試験を関連付けた開発試験フローを添付 - 2 に示します。各構成品の開発計画は、上述の考え方に基づき概ね実現できていると考えていますが、「既存技術による新規開発品」のうち、ノズルエクステンションについては、平成16年度実施予定の高空燃焼試験（HATS）まで機能/性能検証ができないため、開発スケジュールにおけるリスクの1つと考えております。但し、N - ロケット2段SSPSでの技術を流用することでそのリスクを低減しています。

（参考）段階を追った開発

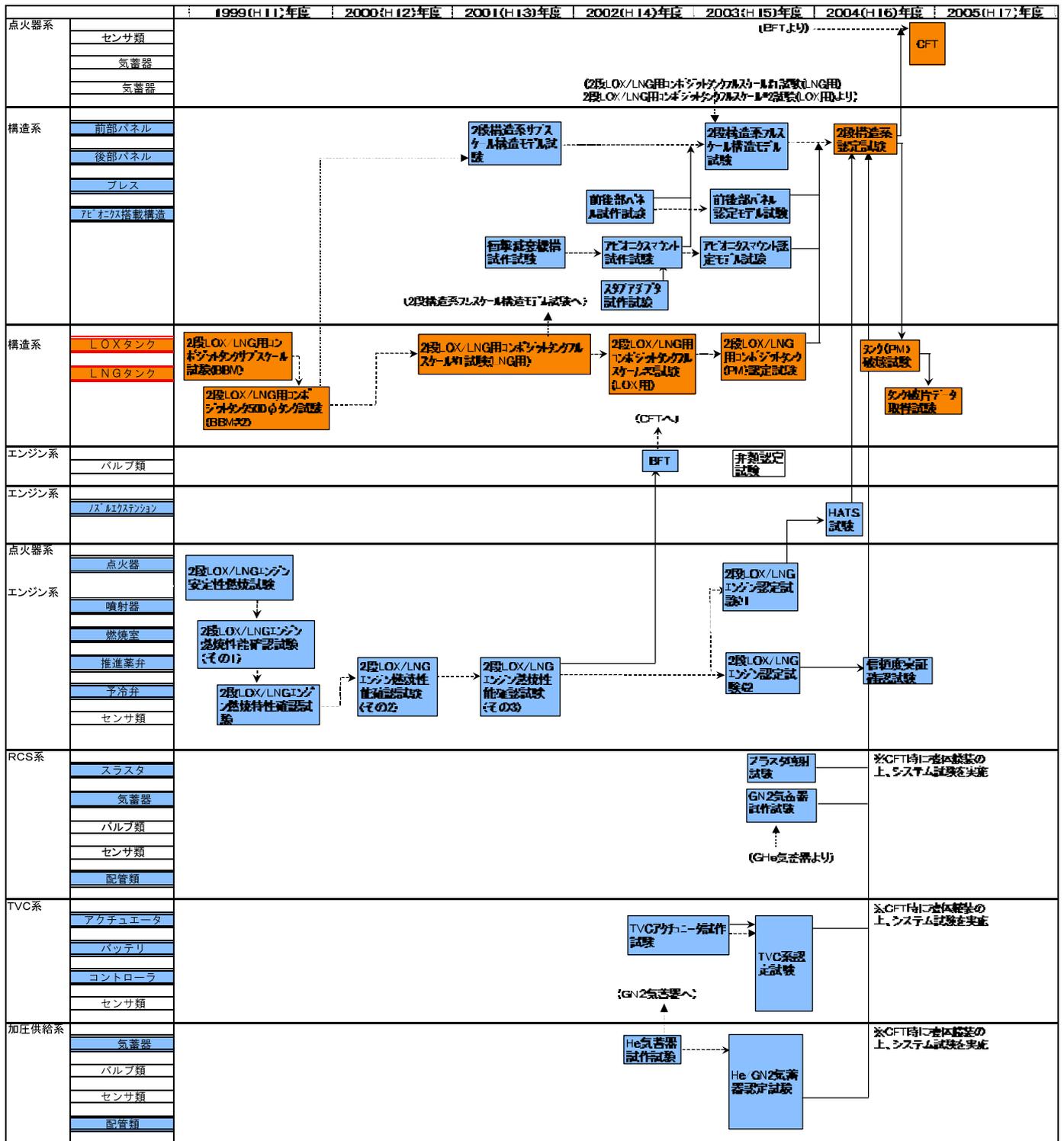
部品レベルの試験    コンポーネントレベルの試験    サブシステムレベルの試験  
システムレベルの試験

回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成14年 6月 5日
-------	-------	-------	-------------

# 推進系構成品ツリー



: 新規技術による新規開発
  : 既存技術による新規開発
 : 既存品



※ 設計、解析作業及び各部品レベルの単体試験等のフローは本図より省略

- 試験供試体流用
- - - - -> 試験結果フィードバック

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 23 日	
		一 連 番 号	NASDA - 開発計画 - 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	開発計画の整合性について		質問者名	宮村鐵夫
<p>【問 欄】 資料番号： 評価 1-4 頁： 23</p> <p>開発計画の整合性について、システム仕様から LNG 推進系への IF 仕様が最終的に決まる。調整会議でこのことについては、コーディネーションを図り開発を進めているとのことであるが、モジュール化あるいは変更への迅速・効率的な対応の視点からは、IF に関する開発目標が変化しても容易に対応できる試験評価の進め方も重要と考えられる。これについても考慮した開発計画になっているのか。</p>				

【回答欄】

LNG 推進系飛行実証プロジェクトのようにGXロケットプロジェクトとの連携協力にて実施する場合、インタフェースに関する規定は特に重要な要素であり、次の点を考慮し、開発計画を設定しています。

- ・ 開発初期からインタフェース仕様を重要管理項目として管理する。  
(インタフェース・コントロール・ドキュメント [ I C D ] の制定)
- ・ GXロケットは共同開発であることを考慮し、極力クリーンインタフェースにする。  
(言い換えれば、インタフェース相手方に設計変更を極力させないような余裕を持ったインタフェース規定を制定する。)
- ・ インタフェース変更(設計変更)を考慮して、開発スケジュールに余裕を持たせる。

現在の開発試験計画(70頁)は、上記を考慮し設定していますが、スケジュール余裕やインタフェース余裕については、今後更に、これらに関し考えられる変更項目を抽出し、変更に対する対応方針(設計変更内容、追加実施作業[設計、製造、試験等]、必要期間 等)を検討し設定することとし、これにより大きなフィードバックが不要となるようにします。

民間側及びNASDA側それぞれの開発部分については、それぞれのプロジェクトマネージャーが管理・決定権を持つのは当然ですが、関連するインタフェースやスケジュールの整合性等についても、同プロジェクトマネージャーを責任者とする定期的なシステム調整会議(83頁)により調整・管理します。

定期的なシステム調整会議におけるインタフェース変更関連の管理としては次のことを実施します。

- ・ インタフェース関連規定内容のレビューを毎回実施し迅速な情報交換をする。  
変更があった場合或いはありそうな場合、変更内容の試験計画への反映、その評価への反映、コスト計画への反映等についても調整する。
- ・ 上記以外の場では、例えば、各試験の前後において、「試験前確認会」及び「試験後確認会」を実施し、LNG推進系個別仕様及びインタフェース仕様に対し、「余裕を持った試験条件設定となっているか」、「取得データは余裕を持っているか」等の確認を行う。

(参考)

システム仕様、サブシステム仕様(部品を含む)に変更が発生する場合、関連する他のシステム/サブシステム仕様を識別し、全体開発への影響を速やかに把握するための専用開発管理ツールを、全段システムを担当する民間側で、現在構築中です。

当該ツールでは、システムからサブシステム、部品に至るまで要求仕様(及び検証結果)の体系化及び関連付けを行い、要求仕様の変更に対してその影響範囲を正確に網羅することができ、開発の後戻り、製品の重大不具合等の発生を防止するものとなっています。

回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成14年 6月 5日
-------	-------	-------	-------------

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 1 4 年 5 月 2 4 日	
		一 連 番 号	NASDA - 開発計画 - 3	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	評価実施要領 項目 4 . 6 に関連して	質問者名	栗木恭一	
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>インターフェイス確認試験（頁 7 3）において、LNG 推進系の引き渡し後（平成 1 7 年度）は全て GX 側の責任（資源、スケジュール）で行われると理解してよいか。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>インターフェイス確認試験（P . 7 3）の「2 段推進系システム試験」までは、NASDA が責任を持ち開発を行い、その後、LNG 推進系をシステム（GX 側）に引渡します。LNG 推進系の引渡し後は、GX 側で SIT、GTV、SFT を実施し TF # 1 の打上作業となります。</p> <p>この間は、LNG 推進系に係る固有の作業（当該整備作業、当該試験データ評価、当該不具合対策等）以外が GX 側の責任となります。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 1 4 年 5 月 2 8 日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 27 日	
		一 連 番 号	NASDA - 開発計画 - 4	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	GX ロケット開発計画と LNG 推進系開発計画の 整合性について	質問者名	栗木 恭一	
【質問欄】 資料番号： 評価 1 - 4		頁： 23		
<p>GX ロケットの開発計画と LNG 推進系の開発計画とが整合していないのではないかと。通常、要素のレビューがシステムのレビューに先行するはず。( P 23 )</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>「開発計画の整合性 (民間 / NASDA)」( P . 23 ) については、説明が不十分であり、誤解をまねきますので、下記を反映し表を修正します。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ CDR # 1 以降、NASDA 分担部分の設計がキャッチアップしシステムと同じフェーズになる。</li> <li>・ システム PDR に必要な NASDA 分担部分の設計内容を確認するための設計会議を予定していたが表に無いので、「PDR # 1」として追記する。</li> <li>・ 「PDR # 1」追加に伴い、「PDR」を「PDR # 2」とする。</li> </ul> <p>なお、NASDA 分担部分の PDR、CDR の確認事項については以下の通りです。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PDR # 1 : システム PDR に必要な 2 段設計内容の確認 ( 2 段システム仕様、開発試験計画等 )</li> <li>・ PDR # 2 : コンポーネント選定 / 要求仕様の確認</li> <li>・ CDR # 1 : BFT、構造試験評価、GTV 機体製造・設計確認</li> <li>・ CDR # 2 / PQR : CFT、HATS、試験機用機体製造・設計確認</li> </ul>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 14 年 5 月 28 日	

# 開発計画の整合性（民間 / NASDA）



	2001 (H13) FY	2002 (H14) FY	2003 (H15) FY	2004 (H16) FY	2005 (H17) FY
マイルストーン		SRR/SDR PDR	CDR#1		CDR#2 TF#1
システム設計	予備設計(Pre Phase C)	基本設計	詳細設計		維持設計
システム試験					SIT GTV
民間分担部分	予備設計(Pre Phase C)	基本設計	詳細設計	維持設計	
NASDA分担部分	研究フェーズ		開発フェーズ		
		PDR#1	PDR#2 CDR#1		CDR#2/PQR
	概念設計	予備設計 / 基本設計		詳細設計	維持設計

SRR : システム要求審査、SDR : システム設計審査、PDR : 基本設計審査、CDR : 詳細設計審査、PQR : 認定試験後審査

SIT : システムインテグレーション試験、GTV : 地上総合試験用ロケット、TF#1 : 試験機 1号機

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 22 日	
		一 連 番 号	NASDA - リスク管理 - 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	リスク管理について	質問者名	八柳信之	
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ GX ロケットの開発を「民間主導」で行うと言う大前提には基本的に賛成出来るが、以下の点が不明確。 運用の段階に入って、輸入第一段エンジン不調による衛星打ち上げ失敗の場合の責任の所在は。同様に NASDA 提供の第二段エンジン不調の場合は。</li> </ul>				
<p>【回答欄】</p> <p>運用段階においては、第 2 段推進系を提供するのは N A S D A ではなく、N A S D A から移転された技術で製造する民間です。この意味では、運用段階の責任は民間にあります。但し、製造やこれに伴う試験等によらない理由（設計に立ち返った原因）での失敗については、原因究明の責任は N A S D A も負う必要があると考えます。また、試験機については、クロスウエーバの考え方でお互いの（故意または重過失を除き）責任追及は行わないことで協定を締結する計画です。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 1 4 年 5 月 2 7 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月24日	
		一連番号	NASDA - リスク管理 - 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	評価実施要領 項目4.7に関連して		質問者名	栗木恭一
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <p>軌道上のみで立証可能な項目について、LNG 推進系、GX ロケットそれぞれのミッション・サクセスに及ぼすリスクとその管理方法は？</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>LNG 推進系のミッションサクセスクライテリアについては、審査資料（評価1 - 420, 21頁）に示すとおり、各実証確認項目について達成基準及び達成度レベル、また優先度を規定し、これに従いミッションサクセスレベルを評価することとしています。</p> <p>ご指摘のあった各飛行実証項目のミッションサクセスに及ぼすリスクの抽出とその管理については重要と認識しており、当該LNG 推進系開発においては、上記ミッションサクセスクライテリアで規定した達成レベル及び優先度の重み付けに従い、必要達成度を満足させるためのリスク抽出と管理を行います。</p> <p>GX ロケット全体に関する軌道上のみで立証可能な項目については、民間側でのシステム設計部分のリスク解析作業の中で分析されます。その管理については両方でリスク管理計画書を作成して管理する予定です。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成14年 5月30日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 1 4 年 5 月 2 4 日	
		一 連 番 号	NASDA - リスク管理 - 3	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	L N G の要求純度、中長期の入手、コスト	質問者名	後藤貞雄	
【質問欄】 資料番号： 評価 1 - 4		頁： 4 1 , 6		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料に使用するメタンの純度が 99.7%と記述されているが、エンジンの要求純度はいくらですか。L N G のメタン純度が変化する場合の対応はどう考えていますか</li> <li>・ 日本に輸入されているメタン純度はほとんどが 8 0 % ~ 9 0 % です。メタン純度が 9 9 % 以上のものは現在東京ガス・東京電力が共同で輸入しているアラスカ産 L N G のみですが現行契約は 2008 年度までその後は未定です。中長期的に高純度メタンを安定して入手することについてどう考えていますか</li> <li>・ 燃料としての L N G のコストは輸送費が大きく影響しますが、これについてどう考えていますか。</li> </ul>				
<p>【回答欄】</p> <p>エンジンとしてのメタン純度要求は 99%以上です。現在、相生で燃焼試験に供している LNG のメタン純度の実績値が平均で 99.7%となっています。</p> <p>メタン純度のエンジン性能に対する影響を解析した結果、メタン 99% / プロパン 1% の場合でも、比推力の性能値は変化ありません。</p> <p>高純度メタンの LNG を中長期的に安定して入手することについては以下のように考えます。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2008 年まではアラスカ産 LNG が入手できると考えております。</li> <li>・ それ以外の高純度 LNG の入手については、メタン純度が低い LNG の蒸発ガス ( BOG ) 中のメタン純度は 99%以上になり、この BOG を再液化することにより高純度の LNG を得ることができると聞いております。従って、アラスカ産に変わる高純度 LNG は、BOG の再液化により安定して入手できると考えております。</li> </ul> <p>LNG のコストは、主に LNG そのものの価格とローリー車による輸送費から構成されます。従って、輸送距離が長くなれば輸送費が上がるため、LNG コストも上昇します。そのため、種子島に近いガス会社から調達することが、ローリー車で輸送する限りは、コスト低減には望まれます。また、さらにコストを低減するためには、調達量を増やし、バージ船等での輸送が可能な状況になる必要があると考えております。</p> <p>本プロジェクトでの LNG 推進系は上段用であり、使用量が小さいために輸送手段の変更は難しいと考えますが、将来のブースタへの適用では大幅に使用量が増加しますので、バージ船等による輸送が可能となり、目標コストが達成できると考えております。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 1 4 年 5 月 2 8 日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月21日
		一連番号	NASDA - 実施体制 - 1
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会		
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会		
質 問 事 項	官民分担	質問者名	川崎雅弘
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 4		頁： P 8 3	
<p>NASDA / GALEX間協定は主務官庁の認可を受けるのか。 官民の分担は最終的に誰が定めるのか。</p>			
<p>【回答欄】</p> <p>協定について NASDAが外部機関との間に取り決める協定についての主務官庁の許可は不要ですが、宇宙開発事業団法等に基づきその内容を定めることが前提です。 但し、実体としては、協定締結以前にその内容について主務官庁の了解を受けます。</p> <p>官民の分担について 国と民間の分担については、主務官庁を含めて調整中であり、その結果を宇宙開発委員会にて審議し決定されるものと思います。</p>			
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成14年 5月27日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 22 日	
		一 連 番 号	NASDA - 実施体制 - 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	官・民開発役割分担について	質問者名	八柳信之	
<p>【質問欄】 資料番号： _____ 頁： _____</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ GX ロケットの開発を「民間主導」で行うと言う大前提には基本的に賛成出来るが、以下の点が不明確。 技術的リスクを伴うコンポーネント(LNG エンジン、タンク等)、実証機は NASDA から提供を受け、打ち上げ運用も NASDA が行うとなっているが、しからば「民間主導」とは何を指すのか。</li> </ul>				
<p>【回答欄】</p> <p>G X ロケット全体を開発するのは民間であり開発全体責任は民間が負い、事業化も民間が行うことから民間主導と言えます。</p> <p>NASDA は、将来に向けた LNG 推進系の開発とその飛行実証を行うことが目的であり、現在のリソース状況の中で GX ロケットを使うことにメリットがあると判断したものです。民間も、NASDA の開発する 2 段に低コストなどのメリットがあるとの判断で、採用するものと思われます。実証機については、民間から要望がありますが、NASDA としては、この 2 段が問題ないかの実証に必要な機数は 2 機と考えております。この分担についても現在調整中であり、別の場で議論されるものと思います。また、打ち上げについては、現行法規上は NASDA が受託せざるを得ないことから（法規を改正しない、或いは商業打ち上げ法を整備しないと言う前提）、他の方法は無いと考えます。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 14 年 5 月 27 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 24 日	
		一 連 番 号	NASDA - 実施体制 - 3	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	評価実施要領 項目 4 . 8 に関連して		質問者名	栗木恭一
<p>【質問欄】 資料番号 : _____ 頁 : _____</p> <p>システム・インテグレーション確認試験 (end-to-end を含む) は GX 側で行うと理解してよいか .</p> <p>GX 社は LM 社と大幅な支援供与を契約すると受けとれるが ( 頁 8 1 ) , システム・インテグレーションに際して , 支援に関わる H/W , S/W に問題が生じた場合 , 内容開示につき契約合意がなされると理解してよいか .</p> <p>上記を含む不測の事態が GX 側の担当分について発生した場合は , 財政 , スケジュール上の負担増加は GX が負うと理解してよいか .</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>そのとおりです。NASDA は、2 段推進系関連の作業支援及び試験結果の評価支援を行います。</p> <p>システム・インテグレーションで問題が生じたときの処置において、内容開示を求めることについては契約に反映されます。( GX 社回答 )</p> <p>それぞれの担当分において発生した不具合による処置の扱いは協定に盛り込まれるべき事項であり、協定の協議 / 調整の中で決まるものと考えております。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦		回答年月日	平成 14 年 5 月 29 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14年 6月 3日	
		一 連 番 号	NASDA - 実施体制 - 4	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	LNG エンジン開発リスクの負担	質問者名	井口雅一	
<p>【問 欄】 資料番号： 評価 1-4 頁：</p> <p>1 . NASDA が開発を担当する LNG エンジンの開発に失敗した場合、またはスケジュールに遅れが出た場合、LNG エンジンに関する損害は NASDA が負う事になるのでしょうか、システム開発に与えた損害は民間側が全て負うのでしょうか？</p> <p>2 . LNG エンジンの宇宙実証の場合、NASDA は LNG エンジンのみを無償で提供すればよく、他の費用負担はいっさい無いと考えてよいのでしょうか？</p> <p>3 . 国と民間との分担は調整中とのことですが、いつまでに決まるのでしょうか？</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>1 . ご指摘のとおりと考えます。すなわち、クロスウエーバの考え方でお互いの（故意又は重過失を除き）責任追及しないことで協定を締結する計画です。</p> <p>2 . LNG 推進系そのものの提供以外に、少なくとも、LNG 推進系に係る固有の作業（整備作業、試験データ評価、不具合対策等）は NASDA の責任で実施する必用があります。また、これ以外の飛行実証（試験機）費用の分担については現在調整中であり、別の場で議論されると思います。</p> <p>3 . 民間の希望する平成 17 年度試験機打上げを想定すると、平成 15 年度から開発段階への移行が必要であり、そのための予算要求を要します。従いまして、本年夏頃までには分担の調整が完了する必要があると考えます。</p>				
回 答 者	虎野 吉彦	回答年月日	平成 14年 5月 30日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月23日	
		一連番号	GX 意義 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	GX ロケットの市場見通し及び市場開拓戦略	質問者名	川崎雅弘	
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 3		頁： P2 - 3		
積載物に内外の官・民需の開拓する意向が不明。				
【回答欄】				
<p>打上げビジネスとして、官の衛星の開拓や民の衛星の開拓、受注活動の積極的な推進をギャラクシーエクスプレス社が中心となり実施いたします。</p> <p>なお、民の衛星については、海外の打上げ販売会社なども活用して実施できるよう計画しています。</p>				
回 答 者	三好 孝一	回答年月日	平成14年 5月28日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 1 4 年 5 月 2 4 日	
		一 連 番 号	GX - 意義 2	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	開発期間	質問者名	後藤貞雄	
【質問欄】 資料番号： 評価 1 - 3		頁： 2		
平成 1 7 年度打ち上げとあるが、開発期間は十分ですか				
<p>【回答欄】</p> <p>平成 9 年度からシステムの研究を開始し、民間分については現在までにシステム予備設計、サブシステムレベルの要素技術開発についてはほぼ完了しています。          ( LNG 推進系については NASDA 殿資料にてご検討お願いします )          従って、開発期間としては十分と考えます。</p>				
回 答 者	三好 孝一		回答年月日	平成 1 4 年 5 月 2 8 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月24日
		一連番号	GX-意義 3
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会		
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会		
質 問 事 項	GX ロケットの全体構想	質問者名	榎谷利男
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 3		頁： 2	
H-IIA の補完的役割とはどうゆう意味か？			
【回答欄】			
以下の2点の役割を考慮しています。			
(1) 日本の衛星を打ち上げる場合に、H-IIA による打上げでは、スケジュール上困難な場合や、経済的に不利な場合、GX ロケットによる打上げを行い、国内の打ち上げ手段として、H-IIA とあわせて日本の衛星打上げ全体を可能とし、日本の宇宙産業に対して貢献するという補完的役割を持つ。			
(2) H-IIA のデュアルランチのペイロードに関して、何某かの理由により、当初の予定通り打上げが困難となった時、客先（衛星）の打上げスケジュールの要望を満足するために、H-IIA の代わりに GX ロケットにより衛星の打上げを可能とする。または、逆なケースとして、GX の衛星を H-IIA で打ち上げる関係を持つこと。			
回 答 者	三好 孝一	回答年月日	平成14年 5月28日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成 14 年 5 月 24 日	
		一 連 番 号	GX - 意義 4	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	GX ロケットの将来需要予測が欲しい。		質問者名	藤原俊隆
<p>【質問欄】 資料番号： 評価 1-3 頁：</p> <p>GX ロケットの技術的興味 / 必要性、日本としての 2 本立て開発の有効性等、GX ロケットの利点は資料 1-3 によって示されている。処が一方、将来における需要予測については、具体的に示されていない。現段階で明確な予測が出来る位なら苦労しないのだが、僕としては次の様な予測でも良いから伺いたい：「最も楽観的に考えた需要予測」即ち低コスト且つ高信頼性ロケットが開発された暁には、技術的 / 商業的吸引力も手伝って、現在控え目に考えられているよりも遥かに多くの注文が、日本内外から入って来る、と言う様なストーリー例である；それ等について、或る程度具体的に記述して欲しい。</p>				
<p>【回答欄】</p> <p>民間の事業計画に関わるものであり、非公開の場で説明させていただけたらと思います。</p>				
回 答 者	三好 孝一		回答年月日	平成 14 年 5 月 28 日

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月23日	
		一連番号	GX 概要 1	
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会			
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会			
質 問 事 項	GX ロケット構成における米 LM 社との関係	質問者名	川崎雅弘	
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 3		頁： P8、10		
<p>米国政府の干渉は防げるのか。 システムインテグレーションの責任は日本側か。</p>				
<p>【回答欄】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・米国政府については、日本へのロケットに関する技術供与に関して、申請し、承認のもと、検討を行なっています。 既に、開発に必要な技術情報交換についての申請は承認済みであります。</li> <li>・システムインテグレーションの責任は日本側にあります。</li> </ul>				
回 答 者	三好 孝一	回答年月日	平成14年 5月28日	

## LNG 推進系飛行実証プロジェクト 質問票

質 問 票		質問年月日	平成14年 5月24日
		一連番号	GX - 運用体制 1
部 会 名	宇宙開発委員会 計画・評価部会		
委 員 会 名	LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会		
質 問 事 項	GX ロケットの運用体制	質問者名	梶谷利男
【質問欄】 資料番号： 評価1 - 3		頁： 12	
<p>ロケットの運用は民間からの受託により NASDA が打上げ運用とあるが、(1) 全システムインテグレーションは誰が担当するのか？(NASDAはこの受託を受けられるのか？)(2) 種子島射場使用スケジュールは、現状限られた日数の中で、どのように調整されるのか？(基幹ロケットに優先権があるのか？)</p>			
【回答欄】			
<p>(1) 全段システムのインテグレーション、すなわち機体のインテグレーションという作業内容に関しては、民間が担当します。          NASDA 殿には、機体全システムインテグレーション完了後のロケットの打上げ作業を委託する計画ですが、打ち上げ運用作業分担の詳細は H-IIA のケースを参考に今後協議する予定です。  <u>民間が開発を行うロケットの受託打上げを行うには、技術情報(米国が担当する1段に係る技術を含む)が開示され、NASDA として打上げの可否、安全性を判断できる必要があります。従いまして、必要な技術情報の開示ができる枠組みであれば受託は可能です。(NASDA 殿回答)</u></p> <p>(2) 種子島射場の使用スケジュールについては、打上げの委託先であり、また、射場の所有者である NASDA 殿と調整して設定させて頂く予定です。          詳細な調整・協議方法については、今後、調整させて頂きます。  <u>打上げ計画立案時に協議・調整されるものと考えます。優先度については、ミッションによるところであり、当然国のミッション打上げが優先されるものと考えます。(NASDA 殿回答)</u></p>			
回 答 者	三好 孝一	回答年月日	平成14年 5月28日

LNG推進系飛行実証プロジェクト  
評価票の集計および意見(案)

## 1. 意義の確認

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 意義の位置付け	1	3	4	1
(2) 意義の重点化	1	4	3	1
(3) 期待利益の損失	1	0	6	2

## 2. 目標及び優先度の設定

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 目標の設定	0	1	6	2
(2) 目標の優先度の設定	3	0	3	3

## 3. 要求条件への適合性

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
要求条件への適合性	2	3	2	2

## 4. 開発方針

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
開発方針	1	1	4	3

## 5. 基本設計の妥当性およびシステムの選定

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 技術的成熟度・見通し	0	5	1	3
(2) エンジンサイクル方式	1	4	2	2
エンジン仕様	1	4	1	3
エンジン冷却方式	1	4	0	4
エンジンバル方式	1	4	0	4
推進薬タンク仕様	2	3	2	2
GXロケットとのインターフェース	0	3	3	3
(3) システム選定の合理性	1	3	2	3

## 6. 開発計画

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 試験計画、評価項目	2	1	3	3
(2) 飛行実証取得データ項目	1	3	1	4

## 7. リスク管理

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) ハードウェア	1	2	2	4
(2) ソフトウェア	1	2	1	5
(3) 組立、射場整備、追跡管制	0	3	2	4

## 8. 実施体制

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
実施体制	0	1	5	3

## 9. 資源配分

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
資源配分	1	1	3	4

## 1. 意義の確認

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 意義の位置付け	1	3	4	1
(2) 意義の重点化	1	4	3	1
(3) 期待利益の損失	1	0	6	2

### 評価根拠のコメント

#### (1) 意義の位置付け

##### 【妥当】

- 液体水素に比較して、メタンの高密度、取り扱いの容易さ、安全性、低コスト等は高く評価でき、LNG推進系の開発実証は意義が大きい。

##### 【概ね妥当】

- LNG推進系飛行実証プロジェクトが踏まえるべき意義は、「宇宙開発に関する基本計画」において「使い切りロケットについては、我が国の衛星打ち上げ需要への柔軟な対応力の強化の観点から、民間主導によるロケット開発活動等も念頭に置きつつ、国際水準の信頼性、経済性を有するロケットに関わる研究開発を進める」と記されている。本プロジェクトは、「NASDAがこれまでに開発してきた水素推進系技術に加え、LNG推進系技術を蓄積することにより、使い切りロケットのブースター段や再使用型ロケットなどの将来輸送系研究開発におけるさらなる多様性を確保する」として上記の意義を具体化している。NASDAのLNG推進系プログラムとして、その方向性は妥当であるが、GXロケットによる実証機会が適切であるかについては疑問がある。
- ガス圧押し式での将来性はあまり期待できないが、開発のステップとしてはどうしても必要なのか。  
試験フライトの目処がないのではないか（一方的な国依存では？）。
- 大規模衛星はH-A、小中規模衛星はGXへ集約していくものとする。LNGエンジンは、排出ガスの対環境性の面からも固体補助エンジンの代替として考えねばならない時代になってきている(H-AのSRBM-Vのエンジンとも)。

##### 【疑問がある】

- H-Aがやっと動き始めたばかりで、かつまだ信頼性も十分に確証を得ていない状況で、また新たなエンジンを作る必要性が見えない。輸送系は信頼性が極めて大事で、それは新しいものを作ることで得られるのではなく、同じものを繰り返し長く使う(試験回数も含めて)ことで高められるはず。1桁以上輸送コストを下げることにつながるのであれば、リスクをおかすこともありうるが、そこまでの可能性は見えない。また、ロケット戦略という観点だけではなく、日本の宇宙開発の将来戦略という観点でも、衛星や他の技術ではなく、再びロケットに投資をする意義が認められない。
- LNG推進系の必要性をメタン(LNG)の利点より説明していること、LNG推進系技術の将来への展開フローを明らかにしていることは評価できる。  
さらに輸送系発展構想の時間軸を考慮したロードマップに基づき、燃料を供給する方式選定についての妥当性も明らかにすることが、技術方式選定の重要性から指摘できる。固体推進系を置き換えていく技術との説明がされているが、LNG推進系適用型では全備重量が増加するなど、他の技術方式との比較検証についてコストにかかわる課題を含めた事前検討が十分になされたかどうか説明が十分でないところが見られる。  
技術開発の重要性を主張するのであれば、いつかは役立つとの信念に基づき技術そのものの価値を明らかにする必要がある。他の技術とのコスト競争力に優位がある/優位を確保するというのであれば、このことを明確にすることが必要である。今回の評価の目的は研究から開発へ移行するフェイズアップにあることから、目標品質、目標コスト、事業的方向性の視点から研究段階から事業化への開発移行の判断ができる資料(課題全体を明らかにした上で、解決状況を見えるようにする資料。解決した課題を説明するだけでなく、研究の目的は未知の部分への取り組みであることから今後解決すべき課題を明確にすることは、事業化移行を考慮したとき重要。)を提示していただきたかった。

- ・ LNG推進系システムは本来ブースターとして開発すべき。(お金がないから現計画でスタートでは国民を納得させられない。まず全体計画をきちんと示すべきである。) その上で、具体的な開発方法を評価すべきである。
- ・ 第2段としての「LNG推進系だけ」は開発の意義を持つが、第1段としてLM社のロシア製ロケットを用いる点に、日本のinitiative保持が強く危惧され、(1)アメリカの言いなりになるか、(2)アメリカ政府によるtechnology transfer禁止条項に引掛かる可能性が強い。第1段にも日本製のロケットを用いるべきだ。

## (2)意義の重点化

### 【妥当】

- ・ 低コストで安全性のあるLNG推進系は、経済的、商業的な面で高く評価でき、発展性も期待できる。

### 【概ね妥当】

- ・ 水素からLNGへの燃料置換により画期的な新技術の開発は、構造系のタンクを除いて少ないように思える。当面はGXロケット計画に照準を当てることにより、LNG推進系の飛行検証のための開発コストを低減することを重点にしていると考えられる。このことから、2005年(平成17年)の初号機(試験機)打上の日程が決められている。このことにより、民間計画との整合性を図り、将来の産業化ということで経済・商業的の側面に視野を入れている。フェイズアップの目的の一つとして、民間が主体となって開発を進めていく事業への支援という側面がある。このように、技術開発から技術の事業化に重点をおくとすれば、信頼性・コスト目標とこれらの検証についてのさらなる広く深い分析が重要になると考えられる。
- ・ 将来輸送系の基盤技術の構築を唱えるのであれば、第一に科学技術的(実用性)貢献であり、第二に社会的(国家戦略、国民への影響)貢献である。
- ・ 将来のM-V代替として低価格が実現できれば意味がある。
- ・ 民間主導型であるから、経済的効率性に重点がある。また、環境適合性の上でも今後のロケットシステムを考える上で意義がある。

### 【疑問がある】

- ・ 現計画では、中・小型衛星打上げシステムの第2段用として提案されていて、米国製第1段(Aトラス)との組み合わせのみが提案されているが、H-Aの第1段との組み合わせも平行的に検討され、システム要求に加えることを考えるべき。
- ・ 民間主導で商業化を狙うことは大いに評価でき、今後のそのような活動のさきがけとしての意義は認める。ただし、本当に売れるのか、売れるとしたら何が決め手になっているのかが明確でなく、事業としてのリスクが極めて大きいと思われる。
- ・ LNG推進系開発だけならば、科学的貢献を意図していると言えるであろうが、これをLM社製第1段と組み合わせ、極めて短期間に達成させる飛行実証プロジェクトにしている点において、第一目標は商業的であると言わざるを得ない。日本の宇宙開発を危機に陥れる可能性を、完全に拭い去るプロジェクトであるとは認め難い。

## (3)期待利益の損失

### 【妥当】

- ・ 本実証プロジェクトが実施されないことは、国策的プロジェクトへの民間活力の導入の機会を失い、官民の連携による新しい技術の実証成果と、その期待利益(国際競争力のある商業ロケットの開発)を失うことになり、損失は大きい。

### 【疑問がある】

- ・ 将来輸送系を狙うのであれば着実な研究開発で基盤を固めること、サブシステム間インターフェイス立証の十分な見通しを得ることが先決で、平成17年度を目途とする飛行実証の緊急性は無い。

- ・我が国の衛星打上げシステムは、国民の理解の上に、M-V、H-Aを開発してきた。先ずこのロケットを十分に使いこなすことが大切。今このプロジェクトが実施されなくても、国として困ることはない。(当面中、小型衛星は海外のロケットとの補完も視野に入れる。)
- ・市場性が見えない段階で逸失利益の評価はできないが、仮に本プロジェクトが実施されなくても大きな損失はない。
- ・幅広く他の技術方式の選定により2段推進系を構成することで、少なくとも技術的には、LNG推進系の開発が実施されないことにより、GXロケット計画の遂行が不可能になるとはいえないのではないかと。現実的には、既に、GXロケットの2段推進系に採用が決まっていると思われるが。  
技術の選択可能性の拡大や宇宙開発における民間の主体性の育成を重視する、さらに技術の独立性・主体性の確保などについては、国としての宇宙開発に関する戦略的な説明も必要ではないだろうか。一般論としていえば、国としての戦略的な取り組みを前提とすれば、宇宙開発に対する民間の積極的な取り組みを支援することは重要である。
- ・第2段としてのLNG推進系を正規に開発し、将来の第1段への発展、固体に代わるブースターへの応用をも目的にし、日本製の第1段と組み合わせて、飛行実証プロジェクトを組むならば、本プロジェクトが実施されなかった場合の損失は大きく、むしろ長期的視野に立って、国家利益の観点から是非実施すべきと考える。
- ・実施されなくても、大きな損失は予想されない。

## 2. 目標及び優先度の設定

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 目標の設定	0	1	6	2
(2) 目標の優先度の設定	3	0	3	3

### 評価根拠のコメント

#### (1) 目標の設定

##### 【概ね妥当】

- ・ 飛行実証を実施し、飛行性能・機能データを修得するという目標、そのための取得すべきデータの項目は明確である。今後その内容、数値目標をさらに具体的にすることが望まれる。

##### 【疑問がある】

- ・ LNG推進系の開発・飛行実証が中心となっている。このため、燃料供給方式についてはガス押し式を採用している。取得した基本特性データ等がターボポンプ化にどのように役立つのかシナリオを明確にされることを期待したい。これにより、基本技術の修得という意味が理解できる。

このためには、展開フローで示しているLNG推進系開発全体での課題と開発すべき技術方式の関係を整理して技術課題全体を明らかにしてロードマップ化し、つぎに達成すべき目標と評価基準、時期(タイミング)を明らかにすることが、研究段階であれば重要ではないだろうか。

- ・ LNG推進系の開発に関しては、具体的目標は難問を避けながらゴールを目指す点で、概ね合理的である。システム全体のインテグレーションに関しては、日米間の諸問題を楽観視し過ぎて居り、数値目標や達成時期が、商業面のみから逆算されている感が強い。

- ・ 試験機(1号及び2号機)の手配ができない場合どうなるのか。飛行実証できるのか。

- ・ プロジェクトの目標、

(1)技術目標は概ね妥当と評価される。

(2)開発スケジュールは2003年度から2年間とのことであるが、全部成功のケースと思われる。これでよいのか。

(3)開発費は国に対していくら要求するのか不明確で、評価不能。

- ・ 「LNG推進系を開発して基本技術を修得し、所定の軌道上において飛行機能を実証して性能データを取得する」とした内容は合理的であるが、達成時期(平成17年度)についての緊急性は認められない。

- ・ 難しい問題であるが、開発経費見積もりが十分なされているかはいささか不明。これまでの例では、必ず開発がスタートしてから必要経費がかさんでいる。

#### (2) 目標の優先度の設定

##### 【妥当】

- ・ LNG推進系開発については、特に困難な技術目標が複数個存在するとは思われず、技術達成「優先度」設定は妥当であると考ええる。

- ・ 第1にLNG推進系の開発実証、第2に低コスト推進系開発成果をGXロケット計画に貢献する(GXロケットのシステム要求を満足する)ことは、妥当であると判断される。

- ・ 「再着火」をふくめ、初号機の成功率を100%として規定されている。

##### 【疑問がある】

- ・ GXロケット計画への協力が意義あり。優先度1の目標達成が現時点では疑問(目標年次も含めて)。

- ・ LNG推進系に関する飛行実証を行うことが最重要目的であるとしているが、将来への飛躍につながる要素技術を明確にした基本技術の修得とコストに関するデータ取得がより重要ではないだろうか。エンジン性能評価データ、再着火特性データ等をさらに要素技術(LNG関連各種解析予測技術、飛行中におけるLNG解析技術等)との関係を明示して説明する必要があるのではないだろうか。  
多方面への展開を将来的には考慮していることから、その限界を見極めることが重要であり、そのための基礎データ取得の視点を明確にすることを期待したい。また、コスト目標が達成できなければ既存技術主体の開発アプローチであることから、LNG推進系の開発意義は大きな影響を受けるのではないかと考えられる。しかし、資料からはコスト低減の課題が明確でないようにうかがわれる。
- ・ GXロケットの第2段ロケットとしては理解できるが、これがシステムとして成り立つかは評価不能。

### 3. 要求条件への適合性

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
要求条件への適合性	2	3	2	2

#### 評価根拠のコメント

##### 【妥当】

- ・ 先ず、GXの開発をおこない、ここで得られたLNGエンジン技術を発展させH-Aとの組み合わせに用いるとか、将来の再使用型往還機の第一段エンジンの候補として考えると、本プロジェクトの意義をそこまで拡張するのであればステップとして妥当であると考えられる。
- ・ 本プロジェクトの位置づけ、意義から判断して、設定された目標は妥当である。

##### 【概ね妥当】

- ・ 要求条件は第2段のLNG推進系のみで考えれば、特に問題はないと思われる。
- ・ 「宇宙開発に関する基本計画」に基づき再使用型輸送システムを視野に入れていることは評価できる。  
民間主導によるロケット開発活動を念頭におくとき、NASDAと民間の考えている優先順位の調整をどのように進めていくかが重要である。システム設計・システム試験、民間分担部分、NASDA分担部分を横断的にマネジメントしていく体制づくり、さらに、将来の大型化/高性能化アプローチとの具体的な関係についても明確にすることが期待される。
- ・ 「GXロケット計画への貢献」と具体的に目標設定すると、第1段の情報が十分開示されない場合において、計画が宙に浮く可能性が有る事を指摘したい。

##### 【疑問がある】

- ・ 飛行実証の見通しが疑問。
- ・ LNG推進系プログラムの目標を将来輸送系ターボポンプ式1段ブースターや再使用輸送系に置くのであれば、何段階で達成するのかをロードマップとして書き、基盤技術の熟成を踏まえて、GXロケットを実証機会とするLNG2段推進系が第一段階として相応しいことが示されるべきである。小規模なターボポンプ式ブースターのオプションについても対費用効果の観点から検討すべきである。

#### 4.開発方針

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
開発方針	1	1	4	3

##### 評価根拠のコメント

###### 【妥当】

- ・ NASDA (LNG推進系)と民間 (GXロケット)が、分担、連携し、また既存技術と新規技術を融合して行う開発方針は妥当と判断される。

###### 【概ね妥当】

- ・ 「ガス押し」が次の発展につながるのか。

###### 【疑問がある】

- ・ LNG推進系はLOX / LH推進系に比べ低温技術の要求が緩いことが特徴であれば (資料 p5)、NASDAとして (資料 p31)コスト低減、信頼性向上をその特徴として設計方針に反映すべきである。GXロケットとのインターフェイスについては、管理文書示されているが (資料 p84)、ロケットに最も強く求められる信頼性をどのように確保するか、設計余裕、ロバスト性、冗長性がロケット全システムとして整合性をどうとるか、などの設計方針が示されていない。
- ・ 国と民間が役割を分担して開発を進めることは評価できる。具体的な進め方では調整会議等を活用していくとのことであるが、役割分担を明確にしつつ、リッチなコミュニケーションと責任ある意思決定をどのように進めていくかについても開発方針として明記できないだろうか。設計の最適化を、2回の飛行回数で飛行実証を行い進める計画である。2回でローカルでなくグローバルに最適化を行うには、飛行実証の前の地上での評価との役割分担が重要になる。この関連を開発方針で明確にする必要はないだろうか。このような視点からは、燃焼試験のアプレータ冷却性能における炭化量予測解析手法の確立と軽量化設計への応用という取り組みは評価できる。
- ・ (1) GXロケットからのシステム要求は不明確で評価不能。  
(2) 補完ロケットとしてのM-V、H-Aとの整合性が具体的に検討されていない。(早急に検討すべき?)
- ・ 設定目標や優先度を確かに合理的に反映している。しかしながら、GXロケット開発計画自身に問題が存在するので、GXとの整合性評価は困難である。

###### 【評価不能】

- ・ GXロケット開発方針の前提となっている第一段エンジンを米国から購入することによる、第三国の衛星打ち上げに対する米国側からの規制や、第一段エンジン不調による衛星打ち上げ失敗への責任の所在などについて、あらかじめ明確になっているのか不明。

## 5. 基本設計の妥当性およびシステムの選定

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 技術的成熟度・見通し	0	5	1	3
(2) エンジンサイクル方式	1	4	2	2
エンジン仕様	1	4	1	3
エンジン冷却方式	1	4	0	4
エンジンジンバル方式	1	4	0	4
推進薬タンク仕様	2	3	2	2
GXロケットとのインターフェース	0	3	3	3
(3) システム選定の合理性	1	3	2	3

### 評価根拠のコメント

#### (1) 技術的成熟度・見通し

##### 【概ね妥当】

- ・ GXロケットの基本設計要求とLNG推進系のこれまでの基礎研究実績等から判断して、GXロケットの第2段として本推進系を適用することは適切と判断される。
- ・ 概ね妥当と考えるが、見落としがないか必要技術アイテムに分類して、アイテム毎の達成度、見通し、データベースの所在等について一覧表にして、それぞれの専門家がチェックする必要があると考える。これをしないと、開発経費の見積もり精度が落ちることになる。
- ・ 十分な地上試験実施済み。
- ・ 調整会議等を通して、GXロケットのシステムからの要求等について双方向のコミュニケーションを進めていることは評価できる。しかし、コンプライアンスマトリクスの整理が現段階で十分になされていないことは、LNG推進系全体の進捗状況の把握に心配が残る。  
さらに、目標コストとその達成状況や事業環境の変化による開発段階での開発目標の変化に対する開発の進め方、試験評価のあり方についての考え方・方針を明確化・共有したりリスクマネジメントについても期待したい。
- ・ LNG推進系と言う新ロケットを開発するに際して、今迄の実績は「一本調子の開発面」に重点を置くのみであり、技術的成熟度や見通しは概ね妥当だが、少し甘い部分を持つ：多成分混合気体の燃焼化学物理」を研究する側面、即ち裾野を広げる基礎研究面が不十分である点は否めない。

##### 【疑問がある】

- ・ 燃焼反応解析、複合材タンク剥離・座屈解析など（質問# 14, 15, 17）、基礎的な研究を基にした主要パラメータ依存性を明らかにし、設計余裕、試験結果を解釈する「研究」段階での作業が不十分である。

#### (2) オプションの比較検討

##### エンジンサイクル方式

##### 【妥当】

- ・ ガス押し方式ならば、短期間で開発可能であり H17年の 1号機打ち上げと言う方針にかなっている。ターボポンプ方式は、第1段へのupgradeを視野に、より長期的に着実に研究されるべきとの考えで結構である。

##### 【概ね妥当】

- ・ 当面ガス押し式とのことであるので、特に異論はない。
- ・ LNG推進系の基本特性を優先して、簡易なガス押し式方式を採用しているとのことである。飛行実証による基礎データの取得を優先したことによると思われるが、技術方式選定における（適用限界を考慮した）技術 / コストの比較も期待したい。  
地上での評価が主体であることから燃焼試験を重点に評価を進めている。進め方については、エンジンに要求される機能・性能中心に行われている。  
さらに、FMEAを活用した意図せざるマイナス機能（いわゆる故障モード）の仮説を試験で検証すべき評価項目の選定との関連を明確にされることを期待したい。故障モードのメカニズムに着目することにより、性能評価のみでなく異常なしというレベルでなく、異常の意味を明確にしたうえで異常がないという信頼性評価、さらにパラメータレベルにおける検証可能になるのではないだろうか。

- ・ 技術的に簡易なガス押し式を採用することは、技術面からも、コストの観点からも妥当であると判断される。
  - ・ コスト面、及びLNGの初めてのエンジン開発と言う観点からすれば概ね妥当であるが、将来発展性も考えればポンプ式(但し、低圧)を選定してもよかったのではないか。
- 【疑問がある】
- ・ 将来性からみターボポンプ式ではないか。
  - ・ 各種方式のコスト、開発リスクなどが将来の利用も含めた段階的実験の意義(ロードマップ上の)として示されていない。

#### エンジン仕様

##### 【妥当】

- ・ 巨視的なエンジン仕様には問題無い。微小重力下における液滴燃料の蒸発や再着火特性については、地上実験に限界がある(要素研究試験は質/量共に十分行われるとしても)ので、技術実証からのデータ取得が特に重要である。この点に対しても、十分な注意が払われている。

##### 【概ね妥当】

- ・ これまでのLNG推進系の研究、エンジンのサブスケールおよびフルスケール燃焼実験の結果等から判断しておおむね妥当と判断される。大気中と真空中の条件の違いを十分に検討することは必要。
- ・ 消極的、上記を概ね妥当とすれば。

##### 【疑問がある】

- ・ 提示されたエンジンの方式でカバーできる性能の上下限が示されていない。HATSによるエンジン性能試験は平成16年度に検証するとなっているが、平成17年度の飛行には余裕が無い。これにこだわらず、十分に時間と回数をかけて検証するべきである。

##### 【評価不能】

- ・ 妥当と思われるが、仕様決定の思想が明確に示されていないので評価は控えたい。

#### エンジン冷却方式

##### 【妥当】

- ・ 保守的なアブレーション方式を採用し、開発期間短縮を諮っている。

##### 【概ね妥当】

- ・ 初めてのLNG推進系に、開発リスクの小さく、簡易なガス押し式/アブレーション冷却方式の採用は適切と判断される。
- ・ ノズルエロージョンもHATSによる確認が必要。
- ・ 消極的、上記を概ね妥当とすれば。

##### 【評価不能】

- ・ LNG推進系の基本特性を優先して、簡易なアブレーション冷却方式を採用しているとのことで、方式選定における技術/コストの比較が明確にされていないので評価は控えたい。

#### エンジンジンバル方式

##### 【妥当】

- ・ 電動式である為、オイル漏れ等の問題を防止している点が評価される。

##### 【概ね妥当】

- ・ H-Aと同じ電動方式を踏襲している。火工品を含む電池を用いるので、電気的インターフェイス確認をとること。
- ・ NASDA説明資料によりおおむね妥当と判断される。
- ・ 消極的、上記を概ね妥当とすれば。

#### 推進薬タンク仕様

##### 【妥当】

- ・ 複合材極低温タンクに関して、かなりの期間を掛けて、基礎 / 開発研究が行われていると判断される。
- ・ これまでの開発結果から複合材タンクの仕様は妥当と判断される。

##### 【概ね妥当】

- ・ 新技術開発による新規開発へのコミットメントは評価できる。また、製造コスト低減、既存製造設備の活用などの配慮が一部行われていることも評価できる。  
一方、新規技術開発取り組みに関してのリスクマネジメントについても期待したい。例えば、複合材タンクの基盤技術としてのアルミ化と複合材の接着の問題があり、意図せざるマイナス機能（いわゆる座屈等の故障モード）を明確にした設計の最適化の考え方とそれを実現するために必要な生産技術との関係を明示していただくことを期待したい。
- ・ 消極的、上記を概ね妥当とすれば。

##### 【疑問がある】

- ・ システムとしての検討データ不明（荷重条件、座屈等）につき評価不能。
- ・ 複合材以外の材料を用いたオプションとのコスト、信頼性（リスク回避）のトレードオフが行われていない。

#### GXロケットとのインターフェース

##### 【概ね妥当】

- ・ インターフェースの最終的な決定は今後の予定であり、現在の時点では問題そのものは顕在化していない。
- ・ 搭載物境界条件の設定と弾力性は。
- ・ 開発計画にしたいが各目標、項目を確実に実施することが必要である。

##### 【疑問がある】

- ・ 「開発方針」に記した通り、インターフェイス（特にアビオニクスに関わる）は仕様書を作るだけでなく、設計思想、立証方法が整合していなければ成り立たない。これに関して十分な納得は得られなかった。
- ・ これが一つの問題点なのであるが、GXロケット情報が十分得られていない（基本的に難しいであろう）ので、インターフェースの詳細評価を行えない。
- ・ 詳細不明につき評価不能。

#### (3)システム選定の合理性

##### 【妥当】

- ・ 詳細な項目に関して僕は判断する能力を持たないのだが、開発期間を最短にする為に、全般的に的確なシステム選定が行われていると判断出来る。

##### 【概ね妥当】

- ・ 新技術の開発では新規点、既存技術の活用では変更点の管理が重要になる。複合材極低温推進役タンクの設計では、ドーム部とシリンダ部を一体で成型可能な構造にし、製造設備は既存のものが使用できる配慮をしていることは評価できる。評価についても、新規技術にかかわる部分を前倒した進め方になっている。  
一方、複合材極低温推進役タンク技術課題として「製造工程の確立」が述べられている。これが具体的に何を意味するのか、明確にすることが必要ではないだろうか。
- ・ 詳細な内容は示されていないが、大きく見て、第1段に既存技術を適用し、第2段に新規開発のLNG推進系を適用することはおおむね妥当と判断される。
- ・ 基本燃料組成は一定なのか。どう調整するのか。

【疑問がある】

- ・本プロジェクトにおける新規開発項目は複合材タンクである。(資料 p44)システム選定(5.(2)), 剥離・座屈解析が不十分(5.(1))であることから、研究、開発の両面で未熟である。複合材タンクは米国がX-33で失敗していることから、成功すれば見返りは大きい、それだけに基盤技術を十分に成熟させるべきである。
- ・概ね妥当と考えるが、見落としがないか必要技術アイテムに分類して、アイテム毎の達成度、見通し、データベースの所在等について一覧表にして、それぞれの専門家がチェックする必要があると考える。これをしないと、開発経費の見積もり精度が落ちることになる。

## 6. 開発計画

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) 試験計画、評価項目	2	1	3	3
(2) 飛行実証取得データ項目	1	3	1	4

### 評価根拠のコメント

<p>(1) 試験計画、評価項目</p> <p><b>【妥当】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ H17年打ち上げを目指すGXロケット計画に間に合わせる為に、全ての試験計画がかなり急がされている様に見えるが、特に問題点は見当たらない。現段階をphase upして開発フェーズへ移るには、LNG推進系の「上記技術的観点だけならば」大丈夫と判断する。</li> <li>・ 試験計画、試験項目は、開発実証を推進するために妥当と判断される。</li> </ul> <p><b>【疑問がある】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 妥当と思われるが、LNG推進系開発試験計画を立案するときの基本的な考え方、思想を明確にするより望ましい。 一つには、試験項目の抽出をどのように行ったかが、試験計画をみても明らかではない。これは、試験・開発の効率化には重要である。また、試験の計画と実績の対比も重要である。試験の目的とそれを達成するための試験計画の考え方の説明が十分なされていない。実施した試験結果の記述である実績中心の記述となっている。将来の課題を先取りして解決していく試験計画になっているのか判断が難しい。</li> <li>・ 「研究」としての基盤技術（5.（1））、インターフェイスの立証（5.（2））が十分に確立していない段階であり、現段階で「開発計画」の評価をするに至っていない。</li> <li>・ 開発計画がプロジェクト要求に引張られているように思えるが、詳細不明につき評価不能。</li> </ul>
<p>(2) 飛行実証取得データ項目</p> <p><b>【妥当】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 提示されている実証項目は推進系に限られているが、無論他の項目も取得されると考えて良いのだろうか？</li> </ul> <p><b>【概ね妥当】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 飛行実証における取得データについて、技術実証とシステム確認による確認項目の識別、地上試験の検証と地上試験での模擬不可能による必須確認項目の識別を明示していることは評価できる。 さらに、飛行実証が必要な項目の完備性についてどのように検証されたのか、NASDAの組織として蓄積されている経験・知識を活用して見えるように工夫されるとよいと考える。これにより、不完備なところがあったときにより迅速に発見できると思われる。</li> <li>・ 取得できない場合の代替方法はあるのか。</li> <li>・ 資料に示された項目は概ね妥当と判断される。</li> </ul> <p><b>【評価不能】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ すべての考え方が上手いといくどの前提に思える。フィードバックの期間は考慮されているのか。（これによるスケジュールの延びが考えられる。）</li> </ul>

## 7. リスク管理

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
(1) ハードウェア	1	2	2	4
(2) ソフトウェア	1	2	1	5
(3) 組立、射場整備、追跡管制	0	3	2	4

### 評価根拠のコメント

#### (1) ハードウェア

##### 【概ね妥当】

- ・ LNG推進系開発自体においては、H17年打ち上げの可能性が最大のリスクであると思う。それ以外では、情報開示が十分行われると言う前提に立って、第1段とのインターフェースリスクが評価されているのだが、その保証は現段階において得られていない。
- ・ LNGの成分条件、長期的な確保等について、さらに具体的な検討は必要。

##### 【疑問がある】

- ・ 燃焼反応解析、複合材タンク剥離・座屈解析など、基礎的な研究を基にした主要パラメータ依存性を明らかにし、設計余裕、試験結果を解釈する「研究」段階での作業が不十分である。
- ・ 確認項目、確認方法についての根拠を明らかにすることが見落としあるいは重複を少なくするには重要ではないだろうか。従来の経験・知識を活用して確認項目を決めていて、これをコンプライアンスマトリクスにまとめて管理しているとの説明であるが、フルスケール燃焼試験サマリを見てもこのことを理解することは難しい。  
また新規点・変更点の試験評価の計画には、FMEAを活用した設計・開発者の意思表示と情報の共有による事前の調整が期待される。提示されたFMEAの資料をみてのそのレベルは高くない。DRの活用も含めて多様・異質の専門能力のリスクマネジメントへの体系的な活用について検討されることを期待したい。

##### 【評価不能】

- ・ 設計/製造によるリスクはある程度試験が進まないと評価できないが、クリティカルパスについての時間的余裕がないような気がする。
- ・ 未だ十分検討されていないと考えます

#### (2) ソフトウェア

##### 【概ね妥当】

- ・ アビオニクスソフトウェア使用については、栗木主査からも指摘されたが、ISASが保持する技術を出発点として、疑問の有る米国企業への依存を少なくするのがベターである。
- ・ FTA等のツールによりリスク解析を実施、リスクの定量化、提言を図ることは適当と判断される。

##### 【疑問がある】

- ・ 「開発方針」に記した通り、インターフェイス(特にアビオニクスに関わる)は仕様書を作るだけでなく、設計思想、立証方法が整合していなければ成り立たない。これに関して十分な納得は得られなかった。

#### (3) 組立、射場整備、追跡管制

##### 【概ね妥当】

- ・ 「インターフェースドキュメント」での確認が必要か。
- ・ 今後具体化することが必要である。

##### 【疑問がある】

- ・ LNG推進系/GXロケット全システムの作業分担が未定・不明確であるが(資料 p81)、NASDAが担当する打上げ作業の安全に密接に関わるアビオニクス系の技術情報開示について不透明である。(8.実施体制参照)また、射場における複合材剥離検査の実施は複雑であり(質問 # 18)、簡便性を旨とするLNG推進系のリスク管理、コスト低減の観点から疑問がある。

- ・ 年間3機程度の発射を可能にする射場として、種子島が具体的に検討されたとは言えない。保安距離と設備の観点から、日本における現存の射場としては、種子島しか使用出来ないだろうが、十分な検討がなされていると思えない。アメリカで打ち上げるには、解決すべき政治的課題が多過ぎる様に思う

【評価不能】

- ・ ソフトウェアの検証については提示されていないので、評価は控えたい。  
一般論をいえば、ソフトウェア開発についてはハードウェア以上にプロジェクトマネジメントにおける論理の見える化が重要である。リソース、I/Fの明確化等について開発方針を明示した取り組み、バグの顕在化の進め方には重要である。

## 8.実施体制

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
実施体制	0	1	5	3

### 評価根拠のコメント

#### 【概ね妥当】

- ・ 早期の時点で、海外技術の導入条件等を具体化することが必要である。

#### 【疑問がある】

- ・ 実施体制には未定の箇所が多く、かつ民間側に米国企業支援が深く関わっている。(資料 p8 1)その支援内容は「米国LMA社の所有する高度なインテグレーション技術・システム設計技術等」(資料 p12)とされ、LNG推進系を除く飛翔体のほぼ全システムに亘っている。宇宙条約(損害賠償条約)では、打上げ国(NASDA実施担当)が損害の賠償につき無過失責任を負うとされており、国(NASDA)が責任を問われる安全評価に必要な技術情報は、要求に応じて全て開示されねばならない。本小委員会において出された質問(質問# 2& IHI# 6)に関連して、民間側よりLMA社の技術情報に開示できないものがあり得るとの説明があった。このように不透明な実施体制のもとで、打上げ安全に関わるリスク管理を行うことは不可能であると判断した。
- ・ システム調整会議により民間(GXロケット衛星打上システム開発プロジェクト)との役割分担を行っている。文書管理体制は整っているように思われる。開発プロセスのどのタイミング(マイルストーン)で調整するか、自らの判断によるフェイズアップの意思決定のあり方も含めて明示されるとなおよび、役割分担がどこまで具体化されているのか、追加のコスト負担が発生した場合の対応の進め方はどのようにするのか、また全体の意思決定者が明確になっていないように思われる。
- ・ NASDA/IHIの協定内容が不明。
- ・ 官民が基本的にイコールパートナーとして、宇宙開発プロジェクトを推進する最初の試金石である点において、本計画が深い意義を持つ側面は評価される。国際的ブランド性や商業目的で、外国巨大企業と組む気持ちも分る :にも関わらず、本計画中で外国企業が持つ役割分担に問題が在る。
- ・ 民間主導とは言え、NASDA担当分の技術課題はNAL,ISAS、大学等の専門家にも分担してもらわなければならないと考えます。

#### 【評価不能】

- ・ 日米関係が入るので、非常に重要と思うが評価不能。

## 9. 資源配分

	妥当	概ね妥当	疑問がある	評価不能
資源配分	1	1	3	4

### 評価根拠のコメント

#### 【妥当】

- ・ 既往のプロジェクトに比べ、コスト面での意義が大きいため資源配分条件設定は妥当である。

#### 【概ね妥当】

- ・ 従来のN-1ロケット第2段エンジン (LE-3)、H-1ロケット第2段エンジン (LE-5) 比較して、妥当と考えられる。  
その根拠が明確になるように、主要開発試験項目の項をLE-3及びLE-5と比較した説明があるとわかりやすい。

#### 【疑問がある】

- ・ NASDAがコスト低下目的で、外国製部品の使用を拡大する基本方針に異存は無いが、それによって日本の宇宙開発におけるフリーハンドが制約されるレベルの外国依存は、避けられねばならない。アメリカや欧州も、同一の原理で外国製部品の使用を認めていると考えて良い。コストの目標値は現在十分低い、開発/製作段階で幾ら追加されても動きが取れない様な重要部分が、アメリカ製第1段であるとする。
- ・ LNG推進系の開発コストについては説明があったが (資料 p86)、作業分担が不分明であることにより、射場整備、打上げ運用などの経費が明らかでなく全体経費がつかめない。また、NASDAが行う飛行実証機、2機の飛行結果いかにかわらず、更なる負担がNASDAに生ずるのかについても明確でない。
- ・ 資源、責任の分担の文書による確認が必要なのは。

#### 【評価不能】

- ・ 宇宙開発事業団の本プロジェクトへの組織としての取り組みが不明確。最高責任者は理事長なのか。国家予算を使う以上そうなのか。

## 10. 総合評価

### 【A委員】

上記の意見を以下にまとめる：

1. GXロケットとH- A間の競合は皆無であると主張されているが、(1)H- A不具合の際における補完性主張、及び(2)第1段が元来持つ基本推力から判断すると GXロケットはH- Aと何れ競合する危険が存在する。
2. 現在小さな航空宇宙立国でしかない日本が、「異なる2社による2種の大型ロケット」を有する必要は無く、競合による共倒れの危険性と限られたリソースの分散は避けられるべきである。
3. 特に将来において、アメリカの有力会社に技術的initiativeを握られ、spaceへのfree approach, national securityを失う危険性は、今の中に避けられるべきである。
4. この意味において、LNG第2段推進系開発プログラムは、全段国産ロケット開発の枠組みを崩さずに、進められるべきであると考ええる。
5. もう一点留意されるべき問題は、米国連邦政府がLM社の方針通り technology transferに同意するかであり、若し同意が得られなかった場合には、初期目的である「GXロケット+ 第2段推進系」と言う組合せ自体の実現が、危機に直面する。本問題は起こり得ない事では無い。
6. この様な状況においては、「1段H- A+2段LNG推進系」と言う組合せを今後より頻繁に推進し、発射回数の少ないH- Aの信頼性向上にも寄与しながら、長期的視野に立ってLNG推進系を(1)第1段エンジンへupgradeする、(2)補助ブースターとして応用する等の開発方針を取るべきである、と僕は信じる。

### 【B委員】

燃焼試験を中心にした評価が行われてきている。現在の時点では順調に開発が進めているとの自己評価である。研究者がこのような研究結果に自信を持つことは重要なことであるが、合わせてこのような自己評価に至るプロセスが、研究・開発当事者のみでなく第三者に見えるようにしていただくことと有難い。この点に関しては、

NG推進系技術の将来への展開フローが共有化されているか

目標コストからも抽出した技術課題

技術評価の考え方

を特に重要であると考ええる。

のロードマップの共有化については、2段推進系とブースタロケットへのいずれの適用を優先に考慮するかでは、研究課題が異なることから極めて重要と考える。また、研究課題の事業化のタイミングにも影響する。今回の説明ではこのことが明確でないように感じる。

の技術課題の抽出では、燃料体が変化することによる新規技術のみでなく、燃料体のコスト優位をいかにするための技術課題の視点も技術の事業化のことを考慮したとき重要である。このように、技術課題をどのような視点から抽出したのかを明確にしておけば、研究あるいは事業環境変化に対しても柔軟に優先順位を含めた見直しが可能となる利点も生まれる。

の技術評価の考え方では、評価の目的と評価方法の関係を明らかにすることが重要であると考ええる。今回の資料においては、解析モデルによる机上解析、リグ試験、地上試験、実機検証の相互の関係が(炭化量予測解析手法を除いて)十分にかつ明確に説明されていない。評価の目的を共有した相互の役割分担の決定プロセスが見えるようにすることは、研究の進捗状況の把握と資源配分の柔軟性を確保することからも重要ではないかと考える。

さらに、思想を明確にした開発への取り組み、マネジメントを期待したい。LNG推進系の開発は世界初ということであることから、技術そのものに価値があるという説明も重要であり、このためには確固とした開発思想を明確に持ちその妥当性を説得するという力強さが重要であると思われる。説明や資料からはこのことが伝わってこなかった印象をもっている。例えば、LMG推進系での技術は水素推進系からの技術の応用で開発可能であるとの説明が行われているが、これでは新たに研究を進める意義の理解が外部の人間には難しい。

したがって、燃料体としてのLNGの水素、ケロシンとのコスト有意性のみでなく、水素を中心として開発を進めてきた中で今回のLNG推進系の位置づけ、意義を明確にして、これを実現するための技術開発の必要性を明確にするとともに、技術開発の目標に対する現在の達成状況を試験評価結果に基づき客観的に整理・整頓されることを期待したい。

そのためには、技術課題を明確にすることが重要であり、しかもこれを研究の初期において我が国の衆知を結集して行うことが重要であり、このようなリーダーシップの力強さが見えるようにすることを期待したい。研究段階から開発へのフェイズアップ可能性、大規模なプロジェクトに対しての組織的な取り組みを考慮したとき、このことは極めて重要なことであると理解している。

**【委員】**

(1)本プロジェクトの必要性としての、GXロケットによる中、小型衛星打ち上げシステムは日本の基幹ロケット(M-V,H-A)の小改修でも可能ではないか？具体的に検討して欲しい。(種子島にGXロケットの新射場を作る必要があるのか？実際問題として不可能ではないか？)

(2)一方、企業による自由な事業活動は宇宙分野でも重要であるが、世界的に見て事業成功例はない。現状では国の関与がいろいろな分野で必要と考えられる。この事業も国とのかかわりにつき、十分考慮しておく事が必要で、一度きちんと整理して欲しい。

(3)LNGを使うシステムは大型ブースタへの使用を考え、LNGの調達も含め、大型化への基礎研究が重要ではないか？この点ではGXロケットの第二段とはまったく異なるシステムであり、今回の計画も大型化への基礎研究が中心になり、その一部の成果を民間企業が利用するのが良い。これによりNASDAと民間企業の責任も明確に出来るのではないか？(今の開発の進め方では第二段の失敗はNASDAの責任になる。NASDA理事長は、このやり方を承知か？)

**【委員】**

民間主導で、「将来の再使用型ロケットシステムや宇宙往還機用エンジン」への発展性を備えたLNGエンジンを用いたGXロケットの開発に、基本的には賛同しますが、以下の点についてより詳細な検討が必要と考えます。

100億円近いプロジェクトについてGOかNOT GOかを判断するには、説明側、評価側ともにまだ説明不足、消化不足と考えます。

技術面では5-(1)に書いた様に、必要技術の成熟度に関して見落としがないか、見通しがどうなっているのか等について、もっと緻密な精査を行って説明(あるいは情報の提示)する必要があると考えます。

市場調査についても、米国の規制の有無や範囲によって大きく変わってくることにないか(例えばアジアの衛星を自由に打ち上げられるか)、明確にしておく必要があると考えます。LNGエンジンは将来にわたり環境問題において固体ロケットに代わるものと考えられるので、本プロジェクトはこの点においても重要なステップと位置づけられると考えます。

**【委員】**

民間主導により、国と民間が共同、連携して経済性が高く、国際的に競争力のあるロケットを開発実証する意義は大きい。

LNG推進系は、技術面、コスト面で優位性が認められ、本実証プロジェクトの推進は妥当と考えられる。

ただし、一般にLNGは多成分燃料であるので、システムからの要求メタン純度(99%以上)等を明確に規定して開発実証を進めることが重要である。またこの要求純度を満たすLNGの長期的な入手方法、コストについても、開発実証プロジェクトを進める中で検討を深める必要がある。

## 【委員】

各項目についての個々の評価でなく、全体としての評価とコメントを以下に述べる。  
本プロジェクトHについての評価として、LNG推進系の研究開発と、ロケットの産業化からの二つの視点がある。

### (1) LNG推進系：

LNG推進系については、H-IIプランニングに際してのNAL/NASDA共同研究開始当時から15年経過しており、基本的な研究は進んでいるが、その実績については余り知られていないし、今回のプレゼンでも紹介されなかった。

将来構想としては、H-IIAのSRB-AIに取って代わる構想と、再使用輸送系(RLV)のブースターステージ候補とする構想がある。後者の有力候補としては、LOX/LH、LOX/LNG、エアターボラムがあり、実現性をふくめての得失検討がRLVシステム研究に際して重要である。

4-5年後に行われるであろう2段階RLV目標システム選定に当たっては、2段はLOX/LHに決めることには異存はないであろう。ブースターステージとしてはLOX/LHでは機体が巨大になり実現上大きな問題がある。RLVコンフィギュレーション選定の時点では、有力候補の一つであるLNG推進系について、実現見通し、技術課題について十分な知識を得ておく必要がある。

本プロジェクトHは、LNG推進系R&Dロードマップの第一ステップに当たり、あらを探せば多少の技術課題はあるものの、実現困難性はそれほど厳しくないと思われる。今後の開発段階では3宇宙機関の技術力を結集し、大学、学会などの技術協力を受けることが強く求められる。

### (2) ロケット産業化：

わが国の宇宙産業において、企業が自ら資金を投じてリスクある事業に乗り出すことはなかった。全てが国家資金による丸抱えであり、この点はロケット、衛星、宇宙ステーションすべてに言えることである。

1950年代末に私自身が計画した気象ロケット(MT-135)のみが、40年間にわたり1000機超の販売、飛行実績を有し、規模は小さいものの宇宙産業化の成功例であると自負している。

H-II開発中に、その産業化、商業化をめざすためにロケット・システム社(RSC)を設立した。NASDA自体は投資が出来ないため、多数企業によるオールジャパン体制をとったこともあり責任体制が弱く、主な出資企業も自ら投資を行わず官依存体質が続き現在に至っている。

H-IIA民営化については今後の検討によるが、ごく一部を除いて開発資金は国の予算に依存し、その意味では官依存が続くことになろう。

ギャラクシーエクスプレス(GX)は、事業リスクの大きな宇宙事業において、かなりの程度企業が資金を投ずる初めてのケースであり、従来の官に完全依存よりもおおきく一歩踏み出した計画であると評価する。

LNGロードマップの途中段階であるガス押し式推力10トン級ステージを利用して、GXロケットとして商業化する計画については、当然のことながら解決すべき課題が多い。この解決に前向きに対処することが行政に求められていると私は考える。

本格的な宇宙産業化が始まるという今、その試金石としてのGXに対して、文部科学省がどこまで応援できるのか、応援する気があるのかが問われている。GXには多くの課題を抱えていることは間違いないが、宇宙企業初の挑戦に水を差すことは、期待していた宇宙産業化の芽を摘み、その進みが止まることを強く危惧する。

平成 14 年 5 月 15 日  
計 画 ・ 評 価 部 会 長

## L N G 推 進 系 飛 行 実 証 プ ロ ジ ェ ク ト の 事 前 評 価 に つ い て

### 1 . 評 価 の 目 的

宇宙開発事業団が、民間主導のGXロケットの第2段を活用して、LNG推進系の飛行実証を行う「LNG推進系飛行実証プロジェクト」について、「開発」着手前段階における事前評価を実施し、計画・評価部会の調査審議に資する。

### 2 . 評 価 内 容

宇宙開発委員会評価指針特別部会報告書「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」に沿って、開発着手前の事前評価を実施する。評価項目は以下のとおり。

- ・ 意義の確認
- ・ 目標および優先度の設定
- ・ 要求条件への適合性
- ・ 開発方針
- ・ 基本設計要求の妥当性及びシステムの選定
- ・ リスク管理
- ・ 実施体制
- ・ 資源配分

### 3 . 評 価 の 実 施 体 制

計画・評価部会の下に、LNG推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会（以下、小委員会）を設ける。

構成員は別紙のとおり。

### 4 . 評 価 の 日 程

小委員会において平成14年6月中旬を目途にとりまとめを行い、計画・評価部会に報告することとする。

## 別紙

### L N G 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会構成員

#### (委員)

主査	栗木 恭一	宇宙開発委員会
	川崎 雅弘	宇宙開発委員会
	五代 富文	宇宙開発委員会

#### (特別委員)

	宮村 鐵夫	中央大学工学部教授
--	-------	-----------

#### (有識者)

	後藤 貞雄	東京ガス株式会社技術総括
	中須賀真一	東京大学大学院工学研究科助教授
	藤原 俊隆	名古屋大学名誉教授
	榭谷 利男	日本ロケット協会理事
	八柳 信之	東京都立航空工業高等専門学校教授

必要に応じ、専門家の追加を行う。

## L N G 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会 開催経緯

### 第 1 回

日時：平成 14 年 5 月 21 日（火） 13：30～17：00

場所：文部科学省別館（11 階）宇宙開発委員会会議室

議題： LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会の設置について  
L N G 推進系飛行実証プロジェクト評価実施要領について  
GX ロケット全体構想について  
L N G 推進系飛行実証プロジェクトについて

### 第 2 回

日時：平成 14 年 6 月 3 日（月） 14：00～16：00

場所：文部科学省別館（11 階）宇宙開発委員会会議室

議題： LNG 推進系飛行実証プロジェクトに関する質問と回答について

### 第 3 回

日時：平成 14 年 6 月 18 日（火） 13：30～15：30

場所：文部科学省別館（11 階）宇宙開発委員会会議室

議題： LNG 推進系飛行実証プロジェクトの評価実施結果について