

宇宙開発に関する重要な研究開発の評価
LNG 推進系飛行実証
プロジェクトの中間評価結果
(案)

平成 18 年 10 月 24 日
宇宙開発委員会 推進部会
LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会

| | |
|--|----|
| 1. 評価の経緯 | 1 |
| 2. 評価方法 | 1 |
| 3. LNG 推進系飛行実証プロジェクトの概要 | 2 |
| 4. LNG 推進系飛行実証プロジェクトの中間評価結果 | 3 |
| 参考 1 宇宙開発に関する重要な研究開発の評価について | 7 |
| 参考 2 LNG 推進系飛行実証プロジェクトの評価実施要領 | 9 |
| 参考 3 LNG 推進系飛行実証プロジェクトの中間評価に係る推進部会の開催状況 | 22 |
| 付録 1 LNG 推進系飛行実証プロジェクトの評価票の集計及び意見 | 23 |
| 付録 2 LNG 推進系飛行実証プロジェクトの開発状況について (略) | |
| 付録 3 LNG 推進系の設計変更に伴う GX ロケットの事業性への影響について (略) | |
| 付録 4 構成員からの質問に対する回答 (略) | |
| 付録 5 LNG 推進系の再着火を考慮した GX ロケットの打上げ能力について (略) | |
| 付録 6 LNG エンジン技術課題評価報告書 (略) | |

1. 評価の経緯

宇宙開発を効率的かつ効果的に推進するため、宇宙開発委員会においては、「宇宙開発に関する重要な研究開発の評価について」(参考1)に基づき、重要な研究開発の評価を行い、その結果を公開するとともに、宇宙開発委員会として独立行政法人宇宙航空研究開発機構(以下「JAXA」という。)が実施するプロジェクトの実施内容や実施体制等に係る助言を与えることとしている。

LNG 推進系飛行実証プロジェクトについては、宇宙開発委員会において平成14年度に「開発」移行のための事前評価を行ったが、その後、複合材推薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の技術課題が発生しており、「開発」移行時から状況が大きく変化しているため、宇宙開発委員会推進部会の下に 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」という。)を設置し、中間評価を行った。

2. 評価方法

評価は、LNG 推進系飛行実証プロジェクトのうち、「開発」段階における複合材推薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の発生に伴う JAXA の対処の方向性を対象とし、推進部会が定めた評価実施要領(参考2)に即して小委員会が実施した。小委員会の構成員は参考2の別紙1のとおりである。

評価は、以下の項目について実施した。

(1) 複合材推薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力

変動の発生に伴う技術的対策の方向性

(2) 開発計画(スケジュール、実施体制等)

(3) GX ロケット計画支援の方向性

評価の進め方は、まず、JAXA から LNG 推進系飛行実証プロジェクトの開発状況について説明を受けるとともに、LNG 推進系の技術移転先として本プロジェクトと密接に関連する GX ロケットについても、主としてその事業性に関して石川島播磨重工業株式会社(以下「IHI」という。)から説明を受けた。次に、各構成員に評価票(参考2の別紙2)により、評価項目ごとに意見、判定を求めた。

本報告は、各構成員の意見、判定を集約して、中間評価結果としてとりまとめたものである。本評価に係る小委員会の開催状況は、参考3のとおりである。

なお、本報告の末尾に構成員から提出された全意見並びに JAXA 及び IHI の説明資料を付録として添付した。

3. LNG 推進系飛行実証プロジェクトの概要

LNG 推進系飛行実証プロジェクトは、GX ロケット第2段推進系を飛行実証の機会と捉え、次世代使い切り推進系への応用、再使用型への発展等の将来輸送系の研究開発におけるさらなる多様性を確保すること及びその開発成果の技術移転により GX ロケットの開発を支援することを目指したものである。

本プロジェクトは、当初、旧宇宙開発事業団(以下「NASDA」という。)が、民間提唱により平成17年度を目処に開発される GX ロケットの第2段を活用して飛行実証を行うものとして提案された。これを受けて、宇宙開発委員会計画・評価部会及びその下に設置された LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小

委員会は、平成 14 年 5 月から 8 月にかけて「開発」着手前段階における事前評価を実施した。しかしながら、評価の結果、

LNG 推進系プログラムのロードマップと LNG 推進系飛行実証プロジェクトの位置付け、基盤技術の成熟度、打上げ安全に必要な技術情報の開示の見通し等の指摘事項が示され、LNG 推進系飛行実証プロジェクトについては、開発に着手せず、研究を継続することが妥当であるとされた。

これらの指摘事項に対する NASDA のその後の対応の状況を踏まえ、宇宙開発委員会計画・評価部会及び LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会は平成 14 年 12 月に審議を再開し、平成 15 年 3 月には、「開発」段階に進むことを妥当とする評価結果をとりまとめた。なお、この再審議の説明において、LNG 推進系飛行実証プロジェクトは、LNG 推進系プログラムのロードマップ第 1 段階であるガス押し・アブレータ方式による基盤技術の修得を目指し、将来的にその成果を第 2 段階の再生冷却・ターボポンプ方式による高性能 LNG エンジン技術の修得につなげていくものとされた。

その後、NASDA が実施した基本設計の結果、比推力が当初目標から大幅に低下するとともに、質量が GX ロケットシステムの要求を大幅に超過することが判明した。さらに、複合材推薬タンク及び複合材ヘリウム気蓄器の実機大サイズ試験において、複合材タンクに剥離が発生したため、代替形態案の検討に着手した。この検討においては、開発リスクを避けるとともに、民間が要望する打上げ能力及びスケジュールをできる限り尊重した結果、複合材タンクを金属タンクに変更し、推薬量を増やすとともに、推薬供給方式をガス押し方式からロードマップ第 2 段階で修得するターボポンプ技術の一部取り入れたブー

ストポンプ方式に変更することとなった。

しかしながら、平成 17 年 8 月には、この代替形態案のエンジン燃焼試験において、エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動及び推力低下が発生した。そのため、原因究明及び対策の検討を行うとともに、今後の開発を着実に進めるため、再度仕様の見直し案を設定し、新たな開発計画をまとめた。

今回の中間評価の対象となった開発計画では、試験機 2 機のうち、1 号機の飛行実証では再着火の実施を取り止めたが、2 号機で再着火機能を取り入れることによって、一定の打上げ能力を確保する方向で検討している。試験機 1 号機用の LNG 推進系の民間への引渡し時期は平成 22 年度の予定である。

4. LNG 推進系飛行実証プロジェクトの中間評価結果

(1) 複合材推薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の発生に伴う技術的対策の方向性

i) 複合材推薬タンクの不適合に伴う金属タンクへの設計変更

当初計画において、GX ロケット第 2 段として複合材推薬タンクを用いたガス押し方式を選択することで軽量化やシステムの簡素化を行う方針とし、高信頼性化、低コスト化を目指したことは、ユニークでコスト競争力のある推進系構想として評価できる。

一方で、サブスケールタンク試験では複合材推薬タンクのフィージビリティを確認したものの、実機大サイズ試験において、複合材推薬タンク及び複合材ヘリウム気蓄器に相次いで不適合が発生したことは、計画の根幹となる部分の技術的裏付けが不足していたと言わざるを得ない。

ただし、複合材タンク技術の修得は、LNG 推進系の固有の基盤技術の修得と区別できるものである。複合材タンクの不適合については、既に相当の検討・解析が行われており、技術課題の解決に見込まれる期間と費用を考慮すると、現状では、本プロジェクトの要求を満たすことはできないと考えられる。従って、本プロジェクトの目的である LNG 推進系の基盤技術の修得及び開発成果の民間への技術移転を実現するために、開発要素の少ない、実績のある金属タンクへ変更することはやむを得ない。

ただ、これにより、ガス押し方式によるシステムの簡素化という利点を失う一方、ターボポンプ方式による高圧燃焼化にもつながらない、中途半端なものを追求するものとなっている。また、打上げ能力の低下を招来している。

なお、複合材タンクは汎用性が高く、その技術を修得することは、我が国として世界に誇れるものとなることから、要素技術として、本プロジェクトを通じて修得した技術の研究を継続的に進めることが望ましい。

ii) エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動に対する対策

エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動は、原因究明試験結果の解析から、噴射面又は燃焼室に未燃推進薬が蓄積し、一時に燃焼したことによる可能性が高いと推定されている。これに対する対策として噴射器外周の LNG 噴射量を削減し噴射面近傍の温度分布を上昇させること及び噴射器を設計変更して燃焼面を噴射面に近付けることが計画されている。この燃焼圧力変動の原因と対策の方向性については、JAXA の LNG エンジン技術課題評価委員会に

おいても評価を行っており、この対策によって燃焼圧力の過大な変動が抑制されることについては、概ね妥当であると考えられる。

しかしながら、提案されている対策の妥当性は、燃焼試験を通じて慎重に確認していくことが重要である。JAXA においては、今後、発生メカニズムの解明を進めるとともに、バックアップ案を含めて対策確認試験を行い、必要に応じて長秒時試験を追加することとしており、これらを通じて実機レベルの丹念なデータ収集と分析を着実に積み重ねていくことが求められる。

(2) 開発計画（スケジュール、実施体制等）

開発計画に関連して、第一に指摘しなければならないことは、この開発において目指す目標について(1))で述べたように問題があることである。即ち、LNG 推進系の基盤技術の修得という観点からは、ブーストポンプ・アプレータ方式は諸外国の動向と比較すれば、決して魅力的ではない。また、その開発過程には、LNG 推進系の将来を見たとき必ずしも活かない部分が存在している。一方、民間による事業化の支援という観点からは、ペイロードの低下により顧客の幅を大きく狭めることになるのではないかと懸念がある。

また、これまでの 3 年あまりにわたる開発の状況をみると、当初における技術的課題に対する見込みの甘さのほか、基礎データの積上げの不十分さ、第 2 段エンジンの開発を実施する JAXA と GX ロケット計画を推進する民間側との連携及びそれぞれの体制の不十分さ等が指摘される。これ

らに関しては、両者において検証され、今後に向けて改善策が講ぜられていると認められるが、そのさらなる徹底が必要である。

この徹底を前提にし、かつ、ブーストポンプ・アブレータ方式を目標にするとすれば、その目標達成に向けての開発スケジュール、実施体制等については、特に問題視しなければならないことはない。

(3) GX ロケット計画支援の方向性

本プロジェクトは、LNG 推進系技術の開発を進め、その成果を移転することにより、民間の GX ロケット計画を支援することを目的としているが、この観点からしたとき、前に述べたとおり、今回の JAXA が提案するブーストポンプ・アブレータ方式では、ロケットの打上げ能力が当初計画に比較して低下し、GX ロケットの顧客の幅を大きく狭めることになるのではないかと、ひいては、その事業性に対し悪影響が生ずるのではないかと、との懸念が生ずるに至っている。

一方、この JAXA の提案は、開発成果の移転を受けたいとする民間側の“平成 22 年度引渡し”という強い要望を受けるものである。この民間側の“平成 22 年度引渡し”の要望は、これまでの GX ロケット計画の遅れを踏まえ、顧客の信頼をつなぎとめるためには大変重要なポイントであるとの考えに基づくもので、事業者感覚を忖度すれば、理解できるところである。

従って、このプロジェクトが民間の GX ロケット計画を支援することを目的としている限り、この“平成 22 年度

引渡し”の点については、十分なる考慮が必要である。

(4) 総合評価

以上述べた諸点を踏まえ、本プロジェクトについては、次のとおり取り進めることが適切である。

再生冷却・ターボポンプ方式については、現在のところ研究段階として取り組んでいるところであるが、LNG 推進系の基盤技術の修得及び GX ロケット計画の支援のいずれの面からみても、これを目標とすることが適切である。従って、再生冷却・ターボポンプ方式を本プロジェクトの第一次的目標とし、できるだけ早期に開発に移行することができるよう、研究を加速する。

ブーストポンプ・アブレータ方式については、再生冷却・ターボポンプ方式が開発スケジュール等の観点から、第一次的目標とすることができないような事態に至った時に備えて、引き続き開発を継続する。この場合、まずはエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の技術課題の解決に向けた対策確認試験を着実に実施するべきである。研究開発リソースを有効に活用する観点から、再生冷却・ターボポンプ方式による場合にも現在の試験設備を活用できるようにすることを念頭に置くとともに、いずれの方式の開発にも共通して必要となる LNG エンジン性能特性、LNG 再着火特性等のデータ取得を進めるべきである。また、ブーストポンプ・アブレータ方式の打上げ能力向上の方策についても検討を深めることが望ましい。

再生冷却・ターボポンプ方式に関し、1 年半程度を目処に開発スケジュール、開発費等を明確にし、その時点で、

上記 及び の開発方針の再検討を行う。

(参考1)

なお、再生冷却・ターボポンプ方式に関しては、上記に示した LNG エンジン開発における技術成果・経験に加え、これまでの H 系ロケット開発の経験が最大限活かされるよう努めるべきである。

宇宙開発に関する重要な研究開発の評価について

平成 18 年 4 月 19 日
宇宙開発委員会

1. 目的

宇宙開発を効率的かつ効果的に推進するため、「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」(以下「評価指針」という。)等に基づき、重要な研究開発の評価を行い、その結果を公開するとともに、宇宙開発委員会として独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が実施するプロジェクトの実施内容や実施体制等に係る助言を与えることを目的とする。

このため、重要な研究開発について、推進部会において平成 18 年度の評価を行う。

2. 評価方法

評価指針の評価対象要件に合致する重要な研究開発について、その目標や効果、実施体制等について評価する。

3. 評価の対象

評価は、次の段階のプロジェクトを対象に実施する。

- (1) 事前評価(企画立案フェーズにおけるフェーズアップのための評価)
- (2) 中間評価(実施フェーズにおける評価)
- (3) 事後評価(実施フェーズ終了時での評価)

また、各プロジェクトのうち、重要な状況変化等があるものについて、必要に応じ、進捗状況確認を行う。

4. 日程

評価については、対象とするプロジェクトの状況に応じて、適宜実施する。

5. 推進部会の構成員

別紙のとおり。

6. 会議の公開

「宇宙開発委員会の運営等について」(平成13年1月10日宇宙開発委員会決定)に従い、推進部会は、原則として公開とし、特段の事情がある場合には、非公開とすることができるものとする。

宇宙開発委員会推進部会構成員

(委員)

| | | |
|-------|------|----------------|
| 部会長 | 青江 茂 | 宇宙開発委員会委員 |
| 部会長代理 | 松尾弘毅 | 宇宙開発委員会委員 |
| | 野本陽代 | 宇宙開発委員会委員(非常勤) |
| | 森尾 稔 | 宇宙開発委員会委員(非常勤) |

(特別委員)

| | |
|--------|-----------------------------------|
| 大島まり | 国立大学法人東京大学大学院情報学環教授 |
| 黒川 清 | 国立大学法人東京大学先端科学技術研究センター客員教授 |
| 小林 修 | 東海大学工学部教授 |
| 佐藤勝彦 | 国立大学法人東京大学大学院理学系研究科教授 |
| 澤岡 昭 | 大同工業大学学長 |
| 鈴木章夫 | 東京海上日動火災保険株式会社顧問 |
| 住 明正 | 国立大学法人東京大学気候システム研究センター教授 |
| 高柳雄一 | 多摩六都科学館館長 |
| 中須賀真一 | 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科教授 |
| 中西友子 | 国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科教授 |
| 長谷川真理子 | 国立大学法人総合研究大学院大学葉山高等研究センター教授 |
| 廣澤春任 | 宇宙科学研究所名誉教授 |
| 廣田陽吉 | 社団法人日本経済団体連合会宇宙開発利用推進会議企画部会長 |
| 水野秀樹 | 東海大学開発工学部教授 |
| 宮崎久美子 | 国立大学法人東京工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科教授 |
| 山根一眞 | ノンフィクション作家 |

別紙

(参考2)

LNG 推進系飛行実証プロジェクトの評価実施要領

平成 18 年 9 月 25 日

平成 18 年 10 月 17 日改訂

推進部会

1. 趣旨

LNG 推進系飛行実証プロジェクトは、GX ロケット第 2 段推進系を飛行実証の機会と捉え、次世代使い切り推進系への応用、再使用型への発展等の将来輸送系の研究開発におけるさらなる多様性を確保すること及び GX ロケットの開発を支援することを目指したものである。

本プロジェクトについては、「開発」移行後に複合材推薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の技術課題が発生したため、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)においては、それらの技術課題の解決に向けてシステム設計の変更等の技術的対策を実施するとともに、開発計画の見直しを行っている。

このように、本プロジェクトについては、平成 14 年度の「開発」移行時の事前評価から大きく状況が変化していることから、「宇宙開発に関するプロジェクトの評価指針」(平成 17 年 10 月 3 日 宇宙開発委員会推進部会)に基づき、宇宙開発委員会として中間評価を行う。

2. 評価の目的

JAXA が実施する LNG 推進系飛行実証プロジェクトを効果的かつ効率的に推進するため、「開発」段階における技術課題の発生に伴う JAXA の対処の方向性について助言することを目的とする。

3. 評価の対象

LNG 推進系飛行実証プロジェクトのうち、「開発」段階における複合材推薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の発生に伴う JAXA の対処の方向性を評価の対象とする。

4. 評価項目

- (1) 複合材推薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の発生に伴う技術的対策の方向性
- (2) 開発計画(スケジュール、実施体制等)
- (3) GX ロケット計画支援の方向性

5. 評価の実施体制

今回の中間評価は、LNG 推進系に関する技術的な観点からの審議が必要となることから、推進部会の下に、LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会(以下、小委員会という。)を設け、関係分野の専門家による評価を実施する。小委員会の構成員は、別紙 1 のとおりとする。

小委員会においては、前項の評価項目について評価を行い、評価報告書を取りまとめる。小委員会の構成員は、JAXA からの説明を踏まえ、別紙 2 の評価票へ記入を行うことにより評価する。とりまとめた報告書は、推進部会に報告する。

推進部会においては、小委員会の評価報告書を確認した上で、「開発」段階における技術課題の発生に伴う JAXA の対処の方向性の妥当性について総合的に判断する。

6. 中間評価の進め方

| 時期 | 部会 | 小委員会 | 内 容 |
|--------|--------|------|-------------------------------|
| 9月下旬 | 持ち回り審議 | | LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会への審議付託 |
| 9月26日 | | 第1回 | LNG 推進系飛行実証プロジェクトの説明 |
| 10月13日 | | 第2回 | LNG 推進系飛行実証プロジェクトの説明 |
| 10月17日 | 第8回 | | 小委員会における審議状況について |
| 10月24日 | | 第3回 | 評価報告書のとりまとめについて |
| 11月2日 | 第10回 | | 中間評価結果について |

7. 関連文書

LNG 推進系飛行実証プロジェクトの評価に当たっての関連文書を別紙 3 に、LNG 推進系飛行実証プロジェクトに関する宇宙開発委員会における過去の評価結果を別紙 4 に示す。

8. 会議の公開

「宇宙開発委員会の運営について」(平成 13 年 1 月 10 日宇宙開発委員会決定)に従い、小委員会は、原則として公開とし、特段の事情がある場合には、非公開とすることができるものとする。

LNG 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 松尾弘毅 宇宙開発委員会委員
 青江 茂 宇宙開発委員会委員
 森尾 稔 宇宙開発委員会委員(非常勤)

(特別委員)

青木隆平 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科教授
 後藤貞雄 前東京ガス株式会社顧問
 鈴木章夫 東京海上日勤火災保険株式会社顧問
 棚次巨弘 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター長
 長島利夫 国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
 中須賀真一 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科教授
 八柳信之 前千葉科学大学危機管理学部教授

LNG 推進系飛行実証プロジェクト 評価票

構成員名： _____

JAXA 及び民間は、以下を目的として官民協働で GX ロケット計画を実施してきました。

【民間】

国際市場で競合し得る、高性能で安く、信頼性の高い商用ロケットの開発

【JAXA】

LNG 推進系基盤技術の修得

の成果の GX ロケット計画への技術移転、すなわち、民間の要求条件に合致するものを開発してその成果を移転することによる支援

1. 複合材推進薬タンクの不適合及びエンジン燃焼中の燃焼圧力変動の発生に伴う技術的対策の方向性

(1) 複合材推進薬タンクの不適合に伴い金属タンクへ設計を変更したという技術的対策の方向性が、LNG 推進系基盤技術の修得及びその成果の GX ロケット計画への技術移転に対し妥当であるかを評価して下さい。

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。)

(2) エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動は、JAXA が提示している技術的対策の方向性に沿って、対策を着実に実施すれば克服可能なものと見ることができるとかを評価して下さい。

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。)

2. 開発計画 (スケジュール、実施体制等)

今回の計画見直しに至った原因の分析を踏まえ、スケジュール、実施体制等の開発計画が、LNG 推進系基盤技術の修得及びその成果の GX ロケット計画への技術移転に対し的確なものとなっているかを評価して下さい。

特に、関係企業との責任分担関係及び JAXA のプロジェクトチームに付与される権限と責任の範囲が明確になっているかについて評価して下さい。

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。)

3. GX ロケット計画支援の方向性

本件審議の過程において、LNG 推進系技術開発の進め方に関連し、まず第 1 段階としてブーストポンプ・アブレータ方式を目指すとの点について、種々の意見が出ました。この開発のステップの踏み方は開発成果の移転を通じての支援を受ける側である民間事業者からの開発成果引渡し時期(平成 22 年度)に関する強い要望を受けてのものであるとの説明がありました。

については、上記のような状況を勘案し、提案の開発のステップの踏み方と GX ロケット計画支援の方向性についてご意見を下さい。

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。)

LNG 推進系飛行実証プロジェクトの 評価に当たっての関連文書(抜粋)

我が国における宇宙開発利用の基本戦略

(平成 16 年 9 月 9 日 総合科学技術会議)

2. 宇宙開発利用の意義、目標及び方針

(1) 意義

国家戦略技術としての重要性

宇宙開発利用で必要とされる技術は、さまざまな高度技術の統合の上に成立つ代表的な巨大システム技術であり、科学技術創造立国を標榜する我が国にとって、国の持続的発展の基盤となる重要な国家戦略技術として位置付けられる。さらに宇宙開発利用は、第 2 期科学技術基本計画の重点 4 分野である情報通信分野、環境分野の推進に不可欠である。また、宇宙開発利用における技術は多くの工学分野における極限技術の集大成とも言える領域であり、その技術力の向上活動自体が広範な分野における技術の飛躍的進歩をもたらし、これらを通じて幅広い技術革新の進展を促すことになる。

我が国の総合的な安全保障への貢献

宇宙開発利用は、近年の国内外における政治・経済・社会の急激な情勢変化を踏まえ、我が国の総合的な安全

保障に重大な影響を及ぼすさまざまな情報・事象を正確かつ迅速に収集、伝達するために、もっとも有効な手段のひとつである。

(2) 目標

経済社会の発展と国民生活の質の向上

国際競争力の強化などを通じた宇宙産業の基幹産業への成長促進や、宇宙という特殊環境を舞台にした活動を通じた革新的な技術や新たな付加価値とビジネスチャンスの創出により、我が国の経済の活性化に貢献する。同時に、研究開発の成果を踏まえ、宇宙インフラと地上インフラの各々の特徴を活かした最適なシステムを構築し、効率的かつ効果的な利用の促進により、国民生活に真の豊かさをもたらす。

(3) 方針

我が国の国際的地位、存立基盤を確保するため、諸外国における宇宙開発利用の状況を踏まえつつ、我が国は人工衛星と宇宙輸送システムを必要な時に、独自に宇宙空間に打ち上げる能力を将来にわたって維持することを、我が国の宇宙開発利用の基本方針とする。

そのため、技術の維持・開発においては、信頼性の確保を最重視する。また、重要技術の自律性を高めるため、適切な選択と重点化を行った上で、ソフト面も含めた基盤的技術を強化するとともに、技術開発能力を維持する。

なお、研究開発目標の設定や研究開発計画の策定に関しては、利用者の要求を十分に反映することが可能となる仕組みを構築する。

3. 横断的推進戦略

(1)

(2)

(3) 産業化の推進

産学官の役割のあり方

産学官の役割のあり方は、「民でできることは民で」を基本原則とする。その上で、民の役割は事業化リスクを分担することであり、官の役割は、その技術開発に公益性が認められる場合、失敗を伴う可能性もあるような高い技術開発リスクを分担し、その実証を行うことである。さらに官の役割は、大型試験設備などの維持・整備を行い、基礎的技術の蓄積と開発支援を行うことである。また、学の役割は独創的、基礎的な研究を行い、人材養成を行うことである。

宇宙開発利用のプロジェクトを推進するには、産学官がこれらの役割分担を踏まえた上で、連携して実施することが望ましい。官民連携プロジェクトなどを推進するに際しては、官は民の技術開発や事業運営に係る能力を有効に引き出すとともに、これを維持、発展させることが重要である。また、大学における研究開発成果が産業化に寄与できるような連携システムを確立する必要がある。加えて、連携のあり方としては、産学官だけではなく、宇宙開発担当機関同士の連携強化と宇宙利用機関との連絡調整の緊密化も必要である。

なお、産業化を推進するための官民の役割整理に際しての重要な項目として、国の研究開発成果の民間移転の

あり方に関して、制度と具体的な手続きなどを定めることが求められる。

4. 分野別推進戦略

- (1)
- (2) 輸送系

ロケット開発・運用方針

政府の人工衛星の打上げに国産ロケットを優先的に使用することを基本とする。また、我が国の民間企業が人工衛星を打ち上げる場合にも、国産ロケットの使用を奨励する。

(c) GX ロケット

GX ロケットは、将来の国内外市場における衛星打上げビジネスに積極的に参画することを目的として、米国の実績ある技術と我が国の開発技術を組み合わせ、官民協力の下、民間主導で開発中の中型ロケットである。

GX ロケットについては、開発計画、官民分担、運用計画、安全性確保の保証について具体化に十分留意しつつ、官はその分担に従い、必要な技術移転などを通じて、開発を支援する。官の分担である研究開発は、将来輸送系の検討の際の多様性の確保と宇宙技術の産業化に資するプロジェクトとして実施する。

宇宙開発に関する長期的な計画

(平成15年9月1日 総務大臣、文部科学大臣、国土交通大臣)

I. 我が国の宇宙開発に関する基本的考え方

2. 我が国の宇宙開発の目的と基本方針

(1) 我が国の宇宙開発の目的

経済社会への貢献

変化する時代の要請に的確に対応し、経済社会に対して積極的に貢献するため、成果の社会還元等の推進等により、国際的な競争力を有する産業への成長促進につなげる。また、宇宙環境利用の優位性を最大限に活かし、新たな付加価値、新産業の創出に貢献し、幅広い技術力のすそ野を形成する契機となる活動を行う。

3.

4. 研究開発の重点化の考え方

(1)

(2) 官民の役割分担

宇宙産業が将来の我が国の基幹産業に発展し、経済社会の発展に寄与するため、利用を見据えた研究開発が不可欠であり、研究開発の企画構想段階から、官民が連携・協働体制を構築し、イコール・パートナーシップの下で宇宙開発を進める。宇宙開発は、技術集約度が高く、また、手作りに近い一品生産品をシステムとして統合する必要があり、技術力を維持、継承し発展させていくため、官民が役

割分担を明確化した上で取り組む。

今日までの我が国の宇宙開発の蓄積を踏まえて、「民間でできることは民間で」との方針の下、国は、民間では実施困難なリスクの大きい研究開発、宇宙実証等を行い、その成果を速やかに民間移転することにより、産業競争力の強化に寄与する。

また、産業化の段階においては、新たな宇宙利用の可能性を探るとともに、必要な基盤的な技術開発を行うことにより、その可能性の顕在化に資する。このため、信頼性や安全性の向上のための宇宙実証の推進、宇宙における実証・実験機会の提供、民間では整備できない大型試験施設・設備の供用、打上げ射場の整備充実を推進する。

なお、民間においては、我が国が得意とする分野の技術優位性を活かし、その事業化に関する責任とリスクを踏まえ、宇宙の利用拡大に向け、魅力あるサービス等の提供に努めることを期待する。

個別のプロジェクトの推進に当たっては、以上の基本的な考え方の下で、あらかじめ官民の役割分担を明確にした上で推進する。

II. 重点的に取り組む業務に係る目標と方向

2.

3. 宇宙活動基盤の強化

(1)

(2) 宇宙輸送システム

i) 当面の宇宙輸送需要に応えるロケット

(重点的に取り組むプログラム)

LNG 推進系

民間主導で開発される中小型衛星打上げ用の GX ロケットについては、民間との協働プロジェクトとして技術実証を行うことにより、効率的な技術開発が可能である。国は、第2段に採用予定の LNG 推進系の開発と、その技術実証を行う予定であり、これまでの評価結果を踏まえ、確立した技術を民間に移転する。LNG 推進系の開発に当たっては、同技術が将来の輸送系の有望な選択肢であることを踏まえ、開発過程においても適時適切にプロジェクトの進行状況を評価し、技術実証を行う。

独立行政法人宇宙航空研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標（中期目標）（平成15年10月1日 総務大臣、文部科学大臣、国土交通大臣）

III. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する事項

1. 自律的宇宙開発利用活動のための技術基盤維持・強化

(A) 宇宙輸送系

(5) LNG 推進系

次世代基幹ロケットのキー技術の有力な候補である LNG 推進系の技術を確立することを目的として、LNG 推

進系の研究開発を行い、民間主導で開発される中小型衛星
打上げ用の GX ロケットの第 2 段を活用した、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関する 宇宙開発委員会における過去の評価結果（抜粋）

LNG 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
LNG 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。

計画・評価部会審議結果

(平成14年8月21日 宇宙開発委員会 計画・評価部会)

2. 審議の結果等

2-1 新機関における宇宙開発活動の重点化の検討に資するもの

(2) LNG推進系飛行実証プロジェクト

LNG推進系飛行実証プロジェクトは、我が国で初めての

民間提唱ロケットであるGXロケットの第2段を活用して、宇宙開発事業団がLNG推進系の飛行実証を行うプロジェクトである。・(略)・

本部会は、平成14年6月26日、LNG推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会から、別添のとおり報告を受け、慎重に審議した結果、一部の委員から異議が表されたが、指摘事項への対応の準備に応じて再審議することとし、「

宇宙開発事業団として、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ず、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こと、

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り、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こと、

ロケット全体のリスクを管理する上で必須である打上げ安全に必要な技術情報の開示について、GXロケットが第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ため、米国政府による技術輸出許可の見通しも含めて、必要な情報が開示可能であることを確認する必要があること、から、総合的に判断してLNG推進系飛行実証プロジェクトについては、開発に着手せず、研究を継続することが妥当である。」との評価小委員会の報告を了承した。

なお、LNG 推進系の開発は、我が国で初めての民間提唱ロケットである GX ロケットの第 2 段エンジンとして宇宙実証を行う計画である。そのため、LNG 推進系の開発は、GX ロケット構想自体の内容及び進捗状況に左右される。また、宇宙開発事集団の研究開発は、民間への技術移転を通して、民間の活力を活かしつつ、宇宙開発利用の諸目標に貢献することが期待されている。このため、今回、技術移転先として予定されている GX ロケット構想の意義等についても議論を行った。その結果、以下の論点が出された。

我が国が輸送系において自律性を確保する方針との整合性
国際市場における競争力の優位性確保の見通し
官民の役割分担の在り方

LNG 推進系飛行実証プロジェクトの評価報告書
(平成 15 年 3 月 10 日 宇宙開発委員会 計画・評価部会
LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会)

総合評価

前回評価における指摘事項を踏まえ、研究段階にある当該プロジェクトの進捗状況の確認、及び要望を以下のようにとりまとめた。

LNG 2 段推進系の開発は、将来の輸送系に関わる LNG 推進系プログラムの第 1 段階として、適切に位置付けられている、

平成 17 年度を目途とする飛行実証には、最優先の目標である燃焼、複合材構造などの基盤技術の開発・成熟を果たして臨むこととし、関係者は開発に関わるリスクを許容している、

ロケットシステムとしての LNG 2 段推進系、及びその各要素について適切なトレードオフがなされ、外部の研究者と協力して基盤技術の開発が進められている。

民間企業が主導するロケットのシステム開発体制が整えられ、事集団との協定において合意される役割分担の具体化が進められている、

事業団において、ロケットの受託打ち上げに向けた安全評価体制が整備され、民間企業が委託を希望するロケットについて、打ち上げ安全に必要な情報開示が可能であるとの見通しが示されている、

ことから、開発に進み得る研究成果、実施体制が概ね整っている状況を確認した。なお、ロケット打ち上げについて、「国」が負うべき責任の根拠として、

安全評価基準を定めて新機構の打ち上げ業務に適用し、受託打ち上げについては、関係者が責任分担、保証体制を明示した受託打ち上げ契約を締結する、ことが適当であるとした要望を提示した。

以上を総合して、本評価小委員会は、今後適切に情報が開示され、開発過程においても適時適切にプロジェクトの進行状況が評価されることを前提に、「LNG 推進系飛行実証プロジェクト」が「開発」段階に進むことが妥当であると判断した。

宇宙開発に関する重要な研究開発の評価結果
(平成15年7月31日 宇宙開発委員会 計画・評価部会)

4. 審議の結果等

4-4 進捗状況等を確認する重要な研究開発

(14) LNG 推進系飛行実証

(概要・意義等)

LNG 推進系飛行実証は、将来の輸送系開発にとっての有望な選択肢の一つである液化天然ガス(LNG)推進系技術に関して、その技術開発の第一段階として、以下の技術開発・実証を行うものであり、総開発費は約158億円(飛行実証2回を含まず(飛行実証については現在調整中)、文部科学省分のみ)を想定している。

- ・ガス押し方式によるLNG推進系基盤技術
- ・複合材による推進薬タンク

(目標)

本プロジェクトにおいては、これらに応じて、その実現のための技術開発要素も明確にした上で、LNG 推進系基盤技術の修得及び民間への技術移転が、具体的目標として明確に設定されており妥当である。

(官民の役割分担)

本プロジェクトは、民間主導のGXロケットの第2段としてLNG 推進系の飛行実証を行うものであるため、官民の役割分担が明確に定義されている必要がある。平成14年度に行われた宇宙開発委員会における評価では、その作業分担ならびに費用分担を確認した上で、NASDAの役割はGXロケットの2段

に採用予定のLNG 推進系の開発と試験機2機による技術実証に限定されており妥当であると判断した。また、飛行実証後は、民間に技術を移転し、その後の一切の事業リスクは民間が負うこととなっており、この観点でも役割分担は明確である。

(期待される成果の利用等)

本プロジェクトの成果の利用に関しては、上述のように、開発されたLNG 推進系がGXロケットの第2段として有効に利用される計画であり、民間による打上げ事業の推進の観点からも適当である。

また、本プロジェクトの目的として掲げたとおり、将来の輸送系を視野に入れたLNG 推進系技術の研究開発において、本成果が活用されていく構想であり、着実な技術開発の遂行の観点からも適当である。

(開発計画等)

平成17年度に予定している飛行実証に向けて、現時点で、以下のような作業が概ね順調に実施されていることが確認された。

- ・推進系コンポーネント試験
- ・複合材タンクのフルスケール常温・低温試験

また、平成14年度に行われた宇宙開発委員会における評価においてなされた指摘・勧告についても計画に反映・配慮されている。

今後、LNG エンジンの燃焼試験ならびに推進系としての認定試験が予定されている。飛行実証に向けて、打上げまでのスケジュールを考慮しても、開発計画は概ね妥当と考えられるが、設計の過程で質量超過という課題が見られることから、技術的対策を含め、官民の協調・連携をさらに強化して、これに対す

る適切な対処がなされる必要がある。

(参考3)

(実施体制)

本プロジェクトの実施体制についても、上述の官民分担を踏まえ、NASDA 内及び関係機関の役割が明確に定義されており、プログラム調整会議を設置し関係者間で定期的に調整作業を実施するなど、開発の適切な遂行が図られるものとなっており妥当である。

(審議結果)

これらの結果、本プロジェクトの実施状況及び今後の計画は適切であると判断される。

LNG 推進系飛行実証プロジェクトの中間評価に係る
LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会の開催状況

【第1回 LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会】

日時：平成18年9月26日(火)10:00～12:40

場所：三田共用会議所 第3特別会議室

議題：

- (1) 宇宙開発に関する重要な研究開発の評価について
- (2) LNG 推進系飛行実証プロジェクトの中間評価について
- (3) その他

議題(2)の一部については、民間企業の商業上の機微な情報に該当するものが含まれるため、「宇宙開発委員会の運営等について」第13条ただし書に基づき、非公開審議とした。

【第2回 LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会】

日時：平成18年10月13日(金)10:00～12:20

場所：三田共用会議所 第3特別会議室

議題：

- (1) LNG 推進系飛行実証プロジェクトの中間評価について
- (2) その他

【第3回 LNG 推進系飛行実証プロジェクト評価小委員会】

日時：平成18年10月24日(火)10:00～12:00

場所：三田共用会議所 第3特別会議室

議題：

- (1) LNG 推進系飛行実証プロジェクトの中間評価について
- (2) その他

付録 1

LNG 推進系飛行実証プロジェクトの
評価票の集計及び意見

評価結果

| | 妥当 | 概ね妥当 | 疑問がある | 評価不能 |
|------------------------------|----|------|-------|------|
| 1 技術的対策の方向性 | - | - | - | - |
| (1)複合材推薬タンクの不適合に伴う金属タンクへ設計変更 | 1 | 3.5 | 3.5 | 0 |
| (2)エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動に対する対策 | 1 | 4 | 2 | 1 |
| 2 開発計画 | 0 | 2 | 5 | 1 |
| 3 GX ロケット計画支援の方向性 | - | - | - | - |

技術的対策の方向性

(1) 複合材推進薬タンクの不適合に伴い金属タンクへ設計を変更したという技術的対策の方向性が、LNG 推進系基盤技術の修得及びその成果の GX ロケット計画への技術移転に対し妥当であるかを評価して下さい。

| | 妥当 | 概ね妥当 | 疑問がある | 評価不能 |
|------------------------------|----|------|-------|------|
| (1)複合材推薬タンクの不適合に伴う金属タンクへ設計変更 | 1 | 3.5 | 3.5 | 0 |

評価根拠のコメント

【妥当】

1. 複合材推薬タンクの採用については相当の検討、実験・解析が破壊力学による評価を含め行われ、現状では、本タンクはプロジェクトの要求を満たすことは出来ないと考えられる。仮に研究段階にまで戻って本タンク技術のさらなるブレイクスルーを目指すとしても、時間と費用、成否の点で、商用ロケットの開発という目的下では現実的ではない。一方、金属タンクは、実績があり課題も少ないと考えられる。

したがって技術的な観点からは金属タンクに変更することは妥当と考えられる。

なおタンクの設計変更およびエンジン自体の課題により、ロケットの性能が所期の値より低下した開発費用も増加していることは留意しておく必要がある。

【概ね妥当】

2. 平成 22 年度という期限を厳密に守るのであれば、事業的側面から安全側に考えて、新たな不具合発生の可能性が極めて低

い金属製タンクへの設計変更は止むを得ない。

しかし一方で、複合材製タンクは汎用性が高く、既に多くの技術の習得が進んだ現時点では、少なくとも JAXA 単独でもこれに関わる技術開発を継続することが望ましい。

3. LNG 推進系の開発にとって目玉の一つである複合材推進薬タンク技術の修得という目的から外れるが、やむをえぬ措置である。

然しながら商用ロケット開発と言う目標設定において、根幹をなす部分が結果的に成立しないと言うことは、技術的裏付けが不足していた計画であったと言わざるをえない。

4. 複合材推進薬タンクは本プロジェクトにとっての不可欠な要素ではないので取り合えず金属タンクで設計する事は止むを得ない。将来の課題としてはより軽量の複合材タンクはロケットの一つの要素技術として開発を継続すればよい。

しかしながらタンクの問題以外にもエンジン比推力低下、質量増加等いずれも研究段階で見通しをつけておくべき課題であると考えられるところから本開発計画が杜撰であったと言われても止むを得ないと思う。

5. 《事務局注:「概ね妥当」と「疑問がある」の両方にチェック》

複合材タンクからアルミタンクへの見直しは、ローカルには妥当であるが、開発失敗に伴い、本来なら計画全体の見直しが必要である。推進薬タンクの設計変更と、LNG 推進系基盤技術習得との関連性を見出すのは困難である。元々アルミと CFRP は熱膨張率の差が大きいので、複合材タンクとして纏めることは極めて難しい。この組み合わせはリスクが高いので、設計者なら先ず避けて通る組み合わせである。アルミと CFRP の組み合わせで複合材タンクが出来ないのだから、

金属タンクに変更するのは当然の帰結であるが、複合材タンクあつてのガス押し式推進系であつた筈である。また複合材タンクの他にも、開発の初期段階から低圧燃焼の液々衝突式のインジェクタでは予定した性能が出ないことが明確になっている。その他質量増加も加わって、当初目指した打上げ性能が得られなくなった。そのため 1 段推進系も当初計画とは完全に異なつたシステムとなつており、GX ロケットそのものも当初計画とは完全に異質のものとなつている。CFRP タンクが失敗に終わったのにも係わらず、小手先の変更で開発を進めてきた方法論は極めて疑問である。ロケットはトータルシステムとして整合していることで始めて意味のあるものとして成り立つものである。LNG 推進系基盤技術の修得及びその成果の GX ロケット計画への技術移転、そのものの意義が変質している。

【疑問がある】

6. 当初の目論見では、タンクの圧力を高めることでタービンなどの複雑な機構を排除し、かつ、それでも重量増加を最小に抑えることで 2 段ロケットとして成立すること、また、簡単なシステムにすることでコストを下げ信頼度を上げることを目指していたはずで、それが実現できて初めて世界的にもユニークでコスト競争力のある推進系、GX ロケットの 2 段として利用できる推進系、となるわけであり、それが当初国の開発予算をつけた際の Rationale であつたはずである。その前提が崩れた段階で、この開発および実機による実証自体の価値自体が（ゼロにはならないが）相当ゼロに近いレベルにまで下がつたと思われる。

GX への技術移転に関しても、当初のスペックが相当のレベ

ルでダウン（ペイロードが50%以下）し、かつ複雑化によりコスト増・信頼性低下をもたらしたにもかかわらずビジネスモデルとして成立し続けられるという主張は納得しがたく、こんな中途半端な状態での技術移転の意義があるのか、大いに疑問である。

7. 技術習得の中途半端な断念：

たどり着いた対策を基本として、更に、実現性を探る方が良い。（メタル選択は、予想される最悪事態のバックアップ）

独自可能な技術アピールの消失：

複合材タンクは、技術の先進性を日本が世界に誇れる恰好の目標アイテム。

技術波及効果の看過：

大小さまざまな高圧クライオ容器の複合材成型は、GXのように機能と要素構成の極端な単純化を狙う構造に肝心かなめとなる技術、さらに、GXの展開シナリオ（大型ブースターあるいは宇宙軌道小スラスターなど）を左右する要因。

8. LOX/LNG 推進剤は、LOX/ケロシンには及ばないものの LOX/LH2 よりも比重が大きいことから、打上ロケットの初段に適しており、また、LNG は LH2 に比較すると宇宙での貯蔵性にも優れていることから軌道間輸送機（OTV）にも適している。更に、LNG は LH2 よりも安価であり、ケロシンより低公害であることから LOX/LNG 推進系は将来有望である。以上のような基本的な観点から LNG 推進系の基盤技術を見た場合、初段用推進系としては燃焼圧力の高圧化が必要であるが、初段用推進剤タンクの容量は大きく、タンク加圧方式はターボポンプ供給方式に比較して重量の点で不利である。また、OTV 用推進系としては推進剤の気化を抑制した貯蔵性

の向上が必要であるが、推進剤タンクを加圧すると低温推進剤の温度が上昇するため、長時間の貯蔵性に問題がある。しかし、打ち上げロケットの上段推進系のタンクとしては、過度な高圧化や貯蔵性も必要ないので、GX ロケットの2段目として、複合材タンクを用いた加圧方式を選択することによって、軽量化やシステムの簡素化による高信頼性化、低コスト化を目指したことは評価できる。しかし、複合材タンクの不具合によって、従来の金属タンクに変更し、ブーストポンプを追加したことによって、タンク加圧供給方式によるシステムの簡素化もなく、ターボポンプ供給方式による高燃焼圧力化にも繋がらないものとなり、むしろ両供給方式の悪い部分を抱え込む状態になっている。

以上の観点から、推進剤タンクを金属タンクに変更するのであれば、ブーストポンプ供給方式ではなく、本格的なターボポンプ供給方式に変更し、再生冷却式燃焼器を用いたガスジェネレーターサイクルにすることによって、先に述べた LOX/LNG 推進系の利点を活かした将来の基盤技術が構築できるものとする。

(2) エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動は、JAXA が提示している技術的対策の方向性に沿って、対策を着実に実施すれば克服可能なものと見ることができると評価して下さい。

| | 妥当 | 概ね妥当 | 疑問がある | 評価不能 |
|------------------------------|----|------|-------|------|
| (2) エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動に対する対策 | 1 | 4 | 2 | 1 |

評価根拠のコメント

【妥当】

1. 燃焼圧のスパイクは、分科会の議論でも今後の長時間燃焼で絶対に生じないという結論は出ていないと判断するが、これが生じた場合にも制御は可能であるという点では合意は得られていると思う。

【概ね妥当】

2. 平成 18 年 10 月 13 日付 JAXA の回答書 31 ページの通りであれば多少総花的な点ではありますが良いと思う。
3. エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大な変動は、噴射面または燃焼室に未燃推進薬が蓄積、燃焼したことによる可能性が高いと推定されている。これに対する対策としてフィルム冷却流量を削減し、混合比を均一化すること、および噴射器を変更して燃焼面を噴射面に近づけることが計画されている。この対策によって燃焼圧力の過大な変動は抑制されることについては概ね妥当であると評価できる。

しかし、この対策による副作用に注意する必要がある。この対策の有効性は 270 秒間程度の燃焼試験によって確認されたものであり、実際の飛行時の燃焼時間（500 秒間）において予測される副作用として、噴射面の焼損やアブレーター燃焼室壁の焼損等が考えられる。

したがって、燃焼圧力の過大な変動の問題は、以上のような副作用と合わせて、今後に予定される長時間燃焼試験の結果を踏まえて総合的に解決する必要がある。

4. 燃焼室冷却および噴射方式に則した変動メカニズム究明：膜冷却に伴う過剰な燃料溜まりに起因するパルス燃焼は、F-1 エンジン開発においても、燃焼室と噴射器エレメントの速

成振動や噴射形成される燃焼面位置の変動とならび大きな開発課題だったと聞き及ぶ。圧力変動の源は熱放出の時間微分なため、これをシミュレーション制御する実験は困難であり、実機レベルの丹念なデータ収集と分析結果に拠らざるを得ないと判断する。長秒時の追試を含め、着実な燃焼試験をもとに改良を加える対策・方向性は妥当と判断する。

噴射面焼損など対策に介在する危険性：

火炎位置を噴射面に近づける対策は、精度ある熱収支予測（隅部と中央の干渉を含め）が前提となろう。

定性的にせよ、計算機シミュレーションはじめ、あらゆる解析手法を駆使して熱流動伝達現象ごとの各エネルギー項のブレークダウンを至急探って、実験データと突合せ実施することを勧める。

5. エンジン燃焼中の燃焼圧力の過大変動については、相当の検討・実験・解析により現象の詳細がかなり見極められていると考えられ、また LNG エンジン技術課題評価委員会における専門家の評価も行われている。したがって提示されている方向性はおおむね妥当と考えられる。

この場合、今後現象について改善策を実行していく中で、技術課題評価委員会でも指摘されている種々の可能性、考え方、対応も念頭に置き、必要に応じさらに専門家の意見を聞いて、状況変化やさらなる課題発生時に迅速かつ的確に対処しうるようあらかじめ方向性を確認しておくことが望まれる。

この種の問題の解決には、的確なエンジニアリングジャッジメントが重要と思われる。そのためには、最初にすべての可能性を列挙し徹底的に検討して、すべきこととしなくてもよいことを明らかにして問題の本質を捉えるようにし、次

に経済的、時間的な面も考慮して対応の優先順位をあらかじめ付けておく。これにより、開発における無駄や、予測が異なった場合の迅速な対応が可能となり、経済的、時間的ロスを最小限にとどめることができると考えられる。

【疑問がある】

6. まだまだ現象の物理的理解には程遠く、提示されている案も「現状の理解」に基づいたものでしかなく、まだまだ今後、数多くの試験により「仮説の立案 検証」のプロセスをイタレーションしていく必要があると思われる。提示されたプランはすべて予想通りにいくことが前提となっており、そんなに甘くはないと思う。甘くないことはこれまでの開発で明確になったはずである。LNG 推進系の技術習得としてみた場合、ここは、じっくりと時間をかけて徹底的に「現象の把握・理解・モデルの構築」に努め、その結果をもとに理論的根拠にのっとった対策をとるべきであり、それが将来の大きな力となるはずである。安易に代替案に走るのは、この追求を放棄することであり、その意味ではよくない。

問題は 22 年度引渡しと言う納期が決められていることで、そのような状況で研究開発を続けると、間に合わなくなると代替案に走る必要があったりして、本来めざすべき「現象の根本的理解」につながらず、またしても中途半端な成果になってしまうと思われる。これまでの試験結果から、「そんなに簡単なメカニズムで説明できる系ではない」ことが判明したのだから、それに対応したじっくりした研究開発戦略で対応していく必要があろう。

「研究」の側面と「間に合わせなければならない」という「開発」は切り離して考えていかねば、常に中途半端なアウ

トプットとなる。

7. 方向性は定性的には妥当であると思われるが、未だ提案されている対策がフィジブルであることが確認されていない。燃烧器は極めてセンシティブな要素であり、僅かな設計変更で特性が大幅に異なる可能性が高い。更に開発中のエンジンの特性として、対策が妥当であったかどうかは、長時間試験の結果でないと最終的な確認が出来ない可能性もあり、開発のリスクが高い。従って、この段階で対策が上手く行くという前提でその他の作業を進めることには問題がある。最小限でも後半年から 1 年の成果を見て開発リスクの有無を判断する必要がある。これまでわが国で開発してきた液体ロケットエンジンは、ほぼ同様なコンセプトのエンジンが外国では既に完成あるいはそれに近い状態にあって、必ず答えがあるシステムであった。それに対して今回開発を目指している LNG エンジンは、システムの良否は別として、世界で初めての方式であり、また燃烧ガスのすぐ隣で氷結が発生するという極めて特異なエンジンである。従って必ず答えがあるとは限らない。その根本的な差を十分認識する必要がある。

【評価不能】

8. 当事者が妥当な対策であると考えれば、小委員会に諮るまでもなく、対策を施した噴射器（お金や時間がかかるのであればサブスケール）の燃烧試験を早急に実施すべきであって、その結果をもって当該委員会に諮って欲しい（フルスケール供試体製作に時間がかかるのであれば、サブスケールで燃烧実験を先行させ、その結果を提示の上で議論すべきものとする）。

現時点での評価は困難である。

2. 開発計画

今回の計画見直しに至った原因の分析を踏まえ、スケジュール、実施体制等の開発計画が、LNG 推進系基盤技術の修得及びその成果の GX ロケット計画への技術移転に対する確なものとなっているかを評価して下さい。

特に、関係企業との責任分担関係及び JAXA のプロジェクトチームに付与される権限と責任の範囲が明確になっているかについて評価して下さい。

| | 妥当 | 概ね妥当 | 疑問がある | 評価不能 |
|--------|----|------|-------|------|
| 2 開発計画 | 0 | 2 | 5 | 1 |

評価根拠のコメント

【概ね妥当】

1. 研究から開発へとフェーズを移す困難さ：

コンコルドなどを見れば、ロケットに限らず、設計段階で研究と開発の両フェーズを行き来する事態になると容易に開発費が4倍にも達する例は多い。研究では現象の根源まで探ろうと際限ない、一方、開発では期限内に仕上げようと短視眼に陥りやすい。今回の見直しは、丁度狭間で選択と切り、評価は概ね妥当と判断せざるを得ない。

LNG エンジン仕様のふがいなさ：

アブレーティブ冷却で衝突型噴射を LOX - LNG に適用する設計は、再生冷却をメタンでなく LNG で実施する冒険に比べれば、良い選択であろうし、同軸噴射との比較データも得られて知見が広がる。しかし、燃焼器技術到達レベルの点から下位である。また、何と云っても、ISP を大きく下方修正

せざるを得ない点は不甲斐ない。燃焼効率やノズル効率の向上の目処を示さないと GX にも載せてもらえそうにないと自覚を促したい。

JAXA 内部はもちろん、大学はじめ他機関と連携して、燃焼不安定対策と同様、早急に改良を図るべきであろう。

事業性（ビジネス）への懸念：

GX をビジネスと直結するには時期尚早の印象がしてならない。ただ、当初の極端な簡単設計概念が成立するならば、実験（研究）機と実用機の中間的な位置づけとしてのハードウェア役割が果たせて十分意義あるプロジェクトに成り得ると思われる残念である。国内で展開された技術をシステム統合を通じてハードウェアにまとめる過程は大変重要であり、また、海外からの技術移転といえども、運用・評価を独自で行えるインフラを構築できるならば意義が見出せよう。LNG エンジンの仕様変更を踏まえて、GX 仕様の見直しは必至と思われるが、LNG エンジンを上段に積むことの意味を（将来のブースターないし軌道スラスタ化、さらに、メタンエンジンとの関係も含めて）再考しながら、企業側から開発の魅力とスケジュールをアピールする努力が望まれる。要は、宇宙への関心を広げる中で、ビジネスを探ってゆくわけであろう。日本では、前者の役割を JAXA が握っているため、企業側と JAXA プロジェクトチームという構図にならず、JAXA と企業側という構図になってしまう点が両者の責任体制の分担を議論する際に課題といえるかもしれない。企業側がコンソーシアムを組み、JAXA を事業性からリードする実施体制も一考かもしれない。

2. 今回の計画見直しに至った原因の技術的分析は十分に行わ

れ、取り組み方についても若干の分析は行われている。

その結果を反映して今回計画されたスケジュールは、ロケット性能と経済性を犠牲にしつつも、開発のリスクをあらかじめ分析し、実績の重視、現試験設備に対応した構造、実物大あるいは実燃焼時間による試験など、技術的、時間的に出来るだけ確実に所期の目的を達成できるよう努めている。

実施体制についてはこれまでと基本的には大きな枠組みの変更はなく、またこれが計画見直しの原因になったとは判断されない。

以上から、スケジュール、実施体制等の開発計画はおおむね妥当と判断される。

なお、これまでの開発の状況について考えて見ると、プロジェクトマネジメントにもっと力を注ぐ必要があるように思われる。困難な課題や予測されない事態への対応では、プロジェクト員全員が目的を確認し同じくして協力し、洞察力と技術力をもち、自由でありかつ統制されている組織と人の実現が重要と思われる。

プロジェクトの最終目標（ロケットの性能、高度および重量）についてはさらに十分に議論されるべきと考えられる。

【疑問がある】

3. まず、以下のような理由で、見直し案のLNG推進系による2段ロケットは、GXがビジネスとして進めていく上で不適合であると考えざるを得ない。

ペイロードが当初よりも50%近く（一部それ以上）もダウンしてしまった。

2段の設計変更で、当初考えていたシンプルなシステムから「いろんなところにパッチをあてたような」複雑でこ

ってりしたシステムになってしまい、コストが大幅に増、信頼性も低下してしまうことが予想される。

により、LNG推進系を採用する意義自体もなく、対案として既存の2段ロケット（LE-5など）を使わない理由がなくなってしまった。

またLNG系の基盤技術の習得と言う観点からも、一步先を目指している諸外国の動向などと比較しても中途半端な目標設定となっている。つまり、ビジネスと研究開発の妥協案をとろうとするあまり、結局、どちらにとっても中途半端な目標スペックになってしまっている。

もう一つの大きな危惧は、このプロジェクトを進めるチームのモチベーションの問題である。JAXAのLNG開発のこれまでの経緯を見ても、いいかげんな予測（当初のISPや重量予測など）遅い対応などずさんなプログラム管理が見え見えである。このような低レベルのモチベーションでいいものができる道理もなく、モチベーションを再度高める意味でも、目標再設定を含めてプログラムの大幅な改革が必要な時期に来ていると考える。これを先延ばしにするともっと悲惨なことになると予想される。

4. A. もともと平成14年6月18日付プロジェクトの評価報告書によれば「他の選択肢との比較検討がほとんど実施されていない...」「基盤技術の成熟化を図るため、今後、燃焼反応...に関する解析を実施して試験データと併せて総合的な検討を行うべきである。」等の理由から開発段階への移行は否定された。

B. にもかかわらず平成15年3月10日付プロジェクト評価

報告書によれば「最優先の目標である燃料、複合材構造などの基板技術の開発・成熟を果して臨むこととし、...」「今後適切に情報が開示され、開発過程に於いても適時適切にプロジェクトの進行状況が評価される事を前提に、...」と条件付ながら開発段階への移行が認められた。

今回の中間評価に於いて、JAXA から提示された資料に於いても上述の基本的な問題に、応えているとは言い難く、平成 18 年 8 月の JAXA、LNG エンジン技術課題評価委員会の報告書に於いても何人かの専門家は未だ疑問を表明されている。

基本的な部分で課題を積み残したまま先へ先へと進めるやり方が今までの大幅予算超過或いは大幅な日程遅れを生じた遠因であると思われるし、このままこのやり方を続けるのであれば「平成 22 年民間引渡し」「予算追加 250 億円」も鵜呑みには出来ない。

プロジェクトの開発状況について（平成 18 年 9 月 26 日 JAXA）の 106 ページの開発スケジュールを見ても（おそらく従前と変わらず）どこがクリティカルパスであるのか、どのイベントが最重要なのか等の記述がないので「全てがうまくいけばこうなります。」という記述にしか読めない。

当面は期限を決めて最大の問題点である燃焼圧変動に絞って検討し、解決策が見出せた時点で新たな開発計画をスタートさせては如何でしょうか。

5. 官民が共同で最新技術を開発し実用化しようという本プロジェクトの目的は、今後の我が国の宇宙開発におけるパイロット的手法として大いに推進すべきものである。しかしながら基板技術開発と事業化のための開発を同時並行的に行うこ

とが最善だとは思えない。本来 JAXA は技術基盤の整備を産学の協力を得ながら着々と進め、技術開発が進んだ段階でこれを速やかに民間に移転すべきであろう。

本プロジェクトは既に相当の段階に進んではいるが、宇宙開発における官民共同プロジェクトの推進に関する方針についてのコンセンサスを今一度確認した上で、22 年度という期限とは別に JAXA としては最先端の要素技術開発を進めるべきである。一方で、事業化に関わる部分は全面的に企業側が責任を持つべきであり、必要な技術はこれが JAXA 側にあれば遠やかに取得するという立場で臨むことを期待する。

6. LNG 推進系は、世界的に見ても実用化された例はなく、その基盤技術の修得にはリスクが件う。従って、その成果を予定されたスケジュールに沿って打上ビジネスを志向する GX ロケット計画に技術移転することには無理がある。ビジネスを志向するのであれば、できるだけ既存の技術やハードウェアを流用し、新規の開発要素はできるだけ避けて、コストおよびスケジュールを計画内に収めるのが基本である。GX ロケットの初段に用いる予定の米国のアトラスロケットの初段には、ロシアで開発された既存の RD - 180 エンジンを用いており、先に述べた趣旨に沿ったものである。しかし、GX ロケットの上段では、全く相反する趣旨の LNG 推進系の研究開発が行われており、ビジネスを志向する開発なのか、将来の基盤技術の修得を志向した研究開発なのか、当該プロジェクトの趣旨が曖昧である。

GX ロケット全体の健全性を前提とした 2 段 LNG 推進系の開発でなければならない。従って、関係企業は LNG 推進系を供給する JAXA に対して GX ロケット全体に関する主要な

情報を開示できる体制にすべきである。そして、双方でGXロケットの健全性を逐次検証すべきである。特に、打上能力や射場での飛行安全に関する情報交換を密にすべきである。

7. 実機開発にGOが掛かってほぼ4年を経過して技術成果がほぼ0と言うことは、開発の方法論および体制に問題があったと言わざるを得ない。また、新規技術開発において技術実績の評価と取入れ、更に積上げ方式の開発を行ってこなかったのは、方法論としては問題である。

まず問題と思われるのは、新しいテクノロジーの開発では基礎研究の結果に基づいて設計が進められるのに対し、分科会の席で報告された韓国の例のような、基礎的なデータの積み上げが為されていない。また全機システム設計に、JAXAが直接的にはタッチしていないことも問題である。ロケットのシステム設計は、機体の設計のみでは無く試験設備、射場設備の設計から射場運用および打上げ後の追跡管制、地上安全等、非常に幅の広い総合作業であり、多分野の専門家の経験と知恵が必要な作業である。G-G間のテクノロジートランスファ合意が為されていない限り、Lockheed-Martinがその指導をしてくれているとは思えないし、仮にそうだとした場合も種子島特有の条件があり、打上げ能力一つにしても大きく影響される。打上げ条件を精査した結果、高度500kmの打上げ能力も季節によっては公表値から大きく低下することが明らかとなった通りである。当初にミッション計画である高度800km軌道の打上げ能力は更に大幅に低下することは明らかである。JAXAの直接の関与が無い限り、ロケット全体システムの設計およびその妥当性評価は不可能であると考えられる。

JAXAとGX社の間では、インタフェース会議で事を決め

ているというのも、初めての作業形態ではないか。GXロケットはAtlasシリーズの1つに加えられると言うギャラクシー社の説明も釈然としないが、日本の企業と政府が資金を出して開発し、種子島から打ち上げる以上日本のロケットであり、米国企業のために開発するロケットではない。日本のロケットである以上、ロケット打上げ責任を負ったJAXAの指導の基で、JAXAと民間メーカーが一体となって開発するのが正しい方法であり、JAXAが全機システム設計に直接的には関与しないとすることは、体制としては不適切と考える。また、号機毎の解析作業が米国企業のツールを使用して米国に於いて実施されると言う体制も、衛星ミッション如何では問題となる可能性がある。

ロケット全体の設計内容に関する説明が無かったため、全機システム設計がどこまで進んでいるかわからないが、サブシステムの設計仕様は、エンジンのフィジビリティが確認出来て初めて固まるというのが常識的である。Nロケットの開発時、米国のMcDonnell-Douglas社およびRocketdyne社の技術指導の基での開発でも、開発開始から初号機打上げまで4.5年を要している。この場合は、2段推進系の仕様がDeltaロケットとかなり類似であったため、推進系関連部品には既存品が多くあったが、推力11.5Tonクラスの低圧燃焼推進系は極めてユニークな仕様であるため、部品の開発に時間を要する可能性も高い。従って平成22年完成は、開発スケジュール上も極めてクリティカルであると思われる。

わが国では、推進系分野に置いて、これまで米国の技術援助に基づいたNロケット2段推進システムの開発、0からスタートして全て自主開発を行ってきたH-I、H-II、H-IIAの

LOX/LH2 推進系の開発等、国際的にも認められている開発実績がある。LNG 推進系開発のこれまでの経緯を見ると、これらの経験が生かされてきたとは思われない。

【評価不能】

8. 上記 1-(2)の問題に目処が見つからない限りは開発計画全体（スケジュール、費用）への影響が大きすぎるので、現時点で回答保留とせざるをえない。バックアップ技術による開発シナリオも必要と考えるが、技術的裏付けをしっかりとっていない限り同様なパスを繰り返すことになる。

いずれにしても万難を排して、上記 1-(2)に早急に着手すべきと考える。関係企業との責任分担関係及び JAXA のプロジェクトチームに付与される権限と責任の範囲について、及び当該委員会の所掌範囲も含めて再確認すべきと考える。特に以下の事項についてどのように考えるべきか。

打ち上げ能力の許容範囲（棚次委員の指摘している高度 800 km の太陽同期軌道への能力が約 3 分の 1 程度まで低下すること）等「重要仕様の変更とそれに伴う費用の発生」にかかわる決定の権限と責任の所在。

1-(2)の結果次第ではシナリオ 2 へ移行することになると思われるが、1-(2)に費やすべき時間・費用の制約に対する決定の権限と責任の所在。

シナリオ 2 への移行にかかわる決定の権限と責任の所在。

3 GX ロケット計画支援の方向性

本件審議の過程において、LNG 推進系技術開発の進め方に関連し、まず第 1 段階としてブーストポンプ・アブレーター方式

を目指すとの点について、種々の意見が出ました。この開発のステップの踏み方は開発成果の移転を通じての支援を受ける側である民間事業者からの開発成果引渡し時期（平成 22 年度）に関する強い要望を受けてのものであるとの説明がありました。

については、上記のような状況を勘案し、提案の開発のステップの踏み方と GX ロケット計画支援の方向性についてご意見を下さい。

コメント

1. 前記 2 項でも述べたが、先端技術開発と事業化推進が同時に進行している現状は、好ましい姿ではない。しかし現時点では、事業者側の要望を尊重すべきである。

一方で事業者側は、採算性や（1 段目エンジンの供給確保などの外的な要因を含めた）事業の成立性に多くの疑問がある中で、本事業を自身の責任と資金で進めていく覚悟を明確にし、これ以上の国からの支援獲得には慎重に対処すべきである。

2. 1、2 で述べたことの繰り返しになる。部分的に追加コメントする。

前に述べた理由で、LNG の目標設定は 22 年度という引渡し時期にとらわれることなく、将来に向けて最適なスケジュールを引いて、その中で行うべきであると考え。ただし、ビジネス的に 22 年度引渡しが極めて重要な要件であると国が納得した場合は再考を要する。以下に検討の道筋を述べる。

ビジネス的に見た場合、GX ロケット側が提示された 2 段の

スペックでビジネスモデルが成り立つということが正しいのであれば、技術移転に関しては意義があると考えるが、今の段階ではその根拠が薄弱である。今回のプロジェクトは、ビジネスのために特定企業が行う開発に対し、国が金銭的支援をするという初めての試みであり、今後の先例となるので、注意深い対応が必要である。「売れないロケット」に国が投資したとなると、アセスメントをちゃんとしたのかということ問われ、大きな問題になることが予想される。

ビジネスとしての成立性を、会社が「成立性あり」と主張するのを信じるだけでなく詳細情報を精査して国が独自の判断をすべきか、そこは内政干渉のようで難しいところであるが、個人的な意見としては、技術の専門家だけでなく、ビジネスや経済の専門家なども入れて、どこまで会社がリスク分析、市場予測、ラーニングカーブのモデル化などを正確にかつ公平に行っているかの評価を非公開で実施すべきだと考える。また、LNG系とは直接関連はないが、1段ロケットをLM社に任せていること、ロシアのエンジンを使っていることに関し、どのようなリスクが生じ、それに対する対策は万全であるか、G-Gの契約が必要であれば、それも国がちゃんと担保できるか、などのプログラムリスクの評価も必要であると考え。22年度の引き渡し要求も、きっちりとした理由があるかどうかを評価すべきであろう。その結果、ビジネスにおける十分な勝算が見込まれ、22年度引渡しとその重要な前提になる、ということであれば、LNG系の将来計画をそれにあわせて一部カスタマイズすることはアクセプタブルであると考え。

3. 平成15年の評価小委員会で検討したLNG推進系システム

は「複合材タンク、ガス押し式エンジンの採用」によって開発期間の短縮、高信頼性システムの実現、低コスト打ち上げを目指すことが主眼であった。従って、システムは「複合材タンク ガス押し式エンジン 低燃焼圧力 低比推力」となるが、「総合的にメリットが有る」と評価するものであった。

今回の小委員会で「複合材タンクの不適合とエンジンに問題を抱えていること」が明らかになったが、民間事業者からの開発成果引渡し時期（平成22年度）に関する強い要望に応えるためには エンジンの問題を1-(2)に沿って、早急に目処を付けるべきであり（注1） エンジン問題に解を見出せない場合に対応する抜本的対策（注2）を立てておく必要がある。（注1）

対策を施した噴射器（お金や時間がかかるのであれば、サブスケールでも可）の燃焼試験を早急に変更すべきである。この際、期限と費用に上限を設け、その範囲内で解が得られない場合には直ちに抜本的対策（注2）へ移るべきと考える。（注2）

ターボポンプ、再生冷却燃焼器方式とするロードマップ第二段階へ切り替えるべく具体的計画を立てておく必要がある（この場合、開発成果引渡し時期の遅れも考慮されるべきである）。燃焼の最大の問題は「LNGを液体のままで燃焼させること」に起因している。LNG再生冷却とすればLE-5エンジンと同様に気液同軸型噴射器が適用でき、安定・高性能な燃焼が可能である。

付記：LNG再生冷却燃焼器の冷却特性、燃焼特性について、小型燃焼器による燃焼実験を旧NALが実施している。LNG

冷却性能については液水の設計手法が適用できること、カーボンのコーキングは無視できること、燃焼性能についても、液酸/液水の設計手法が適用出来て、安定・高効率燃焼が得られることなどが示されている。また LE-5 の LNG 化について旧 NASDA、MHI で検討されていると記憶している。

4. 前述の様に最重要課題である「燃焼圧変動」の解決への見通しが不確かな状況で、引渡し時期優先で、他の開発項目を確定する事は矛盾している。
5. 現状の LNG 推進系の能力は、当初の計画値から大きな隔たりがある。日本ではこの 30 年間に LE - 5 系、LE - 7 系の液水・液酸エンジンを開発した経験があり、関連する技術のデータやノウハウが官民に蓄積されている。従って、第一段階を経て、第二段階に進める開発手法が不可欠であるとは思われない。

韓国では、官民の共同で LNG 推進系の開発が進められており、今年 3 月には BBM レベルのエンジン試験に成功し、近い将来にフライトモデルまで到達する可能性がある。このエンジン (CHASE-10) は、推力 10 トン級で、燃焼室圧力 70 気圧のターボポンプ供給方式のガスジェネレーターサイクルを採用しており、1999 - 2004 年に基礎研究、主要な要素研究を経て、2004 - 2006 年に BBM レベルのエンジンシステムを製作し、燃焼試験によって性能を確認している。

このような韓国での LNG 推進系の研究開発の状況や先に述べたように日本では液水・液酸エンジンに関する豊富な経験とデータがあることおよび LNG 推進系についてのこれまでの成果を踏まえれば、民間事業者が要望する開発成果引渡し時期 (平成 22 年度) まで、あるいは更に 1 年程度の時期

には計画されている第二段階の推進系を完成できるものと考ええる。従って、第一段階を経ることによる経費と時間を節約でき、GX ロケットが当初に掲げた打上能力に近いものが早期に達成できるものと思われる。

6. 時間の制約が言われているが、スケジュール最優先で技術開発を進めることは、これまで国際的にも、またわが国の宇宙開発でもタブーとされてきた方法論の筈である。時間に縛られて中途半端な開発を進めることは、将来に対するリスクを高め、また先送りするだけであると考ええる。

国が資金を投じて開発を行う場合、その目的は何かを明確にする必要があるが、今回のプロジェクトの場合は、会議の場でも議論されているように、主要な目的は次の 2 項目である。即ち、将来に備えた国際的に競争力を持てる技術開発と、当面の日本企業の事業開拓支援である。

前者に関しては、液々式のインジェクタを持った低圧燃焼エンジンは、技術的なリスクが高く、逆に将来性の無い孤立技術である。LOX/LNG 推進系は取扱う温度範囲および推進薬取扱い上の危険性等からも LOX/LH2 推進系の範囲内に留まるものである。またそのほかの点を考えてみても、韓国で研究されているような LNG に求められる純度の問題のような LNG 推進系に固有な基盤技術を除いては、LOX/LH2 推進系が完成されている現状からして、新たに習得すべき重要な推進系関連技術があるとは思われない。一般論としても 2 段階開発は時間と膨大な費用を必要とする開発方式であるが、液々衝突式インジェクタを持ったエンジンと LOX/LNG エンジンに通常採用されている液・ガス式インジェクタを持ったエンジンとは異質のエンジンであるので、LNG 推進系の 2 段

階開発はわが国の技術開発として正しい方法論とは言えない。個人的には LOX/LNG 推進系の適合するミッションに関しては、もう少し見極めを要すると考えるが、何れにしろ、国として研究開発を進めるべきは将来性のあるターボポンプ式の高圧燃焼エンジンの 1 段階開発であるべきである。

後者の観点は宇宙開発委員会の評価範囲外との由であるので、此处では参考意見として述べるが、この点に関しても、国としては場合によっては第 3 者機関に委託する等で、合理性確認の義務がある。よく知られているように、太陽同期軌道のコマーシャルミッションの将来需要予測は精々年 2~3 機と言われており、需要の殆どは所謂ガバメントミッションである。また、低軌道ミッションに付いても、大学の研究教育用も含んで、事実上全てガバメントミッションである。コマーシャル分野では、Globalstar は会社破産前に製造済みの地上予備衛星を Soyuz で打上げる計画があるが、その他 Iridium 等の低軌道ミッションは現実の動きとしては明確ではなく、また最近では大型アンテナを搭載し、且つスポットビームを持ったモバイル通信静止衛星が数多く打上げられる動きから、実現はかなり厳しいのではないかと思われる。逆にこの分野の打上げロケットとしては、Delta-、Soyuz の外に、打上げ費用 US \$ 30 M 程度以下の低プライスで、800 km の太陽同期軌道への打上げ能力 1~1.5 トン程度の打上げ能力を持ったロケットであるインドの PSLV、ロシアの Rockot、ヨーロッパの vega 等目白押しであり、競争は厳しい。一方米国では、極最近 Lockheed-Martin と Boeing 合併の United Launch Alliance が正式に認可される運びとなり、この会社は Atlas-、Delta-、Delta- の、3 種類の衛星の販売、打上げを行

うことになる。GX ロケットもこの販売網に加えられる由であるが、GX の 1 段は Atlas- の 1 段であり Atlas- の 1 段とほぼ同価格或いはそれ以上、2 段は量産ベースに乗っている Centaur に較べて GX の 2 段の方が安くなるとは考えにくいことから、常識的に考えて、GX に競争力があるかは極めて疑問である。

このところ宇宙開発の動向は大きく動きつつあり、わが国としても世界に遅れを取らないためには、今の時点で何をなすべきかが極めて重要である。このような環境下で、わが国として多くの労力と資金を投入して現設計仕様の GX ロケットを打上げることにどのような意義があり、また国際的にどのような評価を受けるかを、冷静に判断する必要がある。

7. 魅力ある開発シナリオとわかり易い打ち上げ舞台

これまで 4 年間の開発遅れをもって、複合材タンク + ガス押し方式から、メタルタンク + ブーストポンプ方式に計画が変更されたわけで、初期設計の目玉はすべて消失している。唯一、変わらぬ仕様は、LNG エンジンである点だけで、それも再生冷却という高度な技術に進むとなれば、怪しくなるように思える。複合材タンクの復活をはじめ、将来の開発シナリオに魅力を与える目標がないと、現在の第一ステップで打ち上げを目指していることは何かそして成功する鍵を手に行っているのかが曖昧となる。それを具体的に明示すること、そして GX が提示している平成 22 年までの期限に適い、かつ、世界に通用する LNG 推進系技術実証に絞ったエンジン供給に全力を尽くすことが JAXA に求められていると思う。総じて、燃焼器不安定変動メカニズムなどの現象解明のための基礎知見は共通するところも多く、応用力を設計に多様に活かすこ

とが肝心であり、打ち上げ成功という舞台を着実に踏んでゆくことから JAXA 全体の実力アップが認められるようになる点は言うまでもない。

技術力と事業力を備えた国産グローバル企業：

企業側にとって、ボーイングやエアバスのようなグローバル企業がない現状は、国産の特徴あるエンジンを工夫し、海外と交渉能力をもつようなレベルを目指して、国内コンソーシアムを組むなど活動努力に励めば、報われる可能性が生まれる隙間があるということであろう。従って、大事な点は、現時点でのビジネスの成立性の証明でなくて、世界に誇る技術力の素晴らしさと貢献度をアピールして国（国民）の支援を得ることにあると考える。JAXA から技術移転を受けるのではなく、技術高揚を迫る役割に立つ発想転換が必要であり、また、積極的に海外と交渉し、その制約・経験などノウハウを今度は JAXA を介して国に伝え、技術立国としての支援を堂々と要請することが大切と考える。国民の支援なくて開発費の目処はつかぬことを覚悟するべきであり、そのためならば、GX の仕様を含めての大胆な計画見直しも率先して提案するほどの若く柔軟な体質を期待したい。

8. LNG 推進系は世界的にも注目されており、民間の商用性の GX ロケット開発を国が支援するという官民協働の基本方針のもと、基盤技術の修得の観点からも、プロジェクトは民間の引き渡し時期についての要望を満たすべく推進されるべきと考える。

今回の変更では技術的な確実性を高めたことにより、性能と経済性の面で原計画より厳しくなっており、この点でより一層の努力が必要である。