

# 「ロケットの射場点検作業の自動化」とその技術の 「民生用LNG(液化天然ガス)気化設備」への適用について

## 1. はじめに

社団法人日本航空宇宙工業会と株式会社ギャラクシーエクスプレスは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より「次世代輸送システム設計基盤技術開発」プロジェクトを共同受託している。このプロジェクトのうち「次世代LNG（液化天然ガス）制御システム技術開発」の概要を紹介する。これは、射場において打上げるまでの複雑なロケット点検作業を効率化するものであり、作業期間の短縮・コスト低減を図り、国際競争力の向上に資するために実施された。

また、現在、安価な燃料CNG（圧縮天然ガス）を使用している天然ガス自動車の利用者が増えつつあるが、天然ガス供給ステーションにおいてCNGを自動車に供給するために設置されるLNG気化設備を取り上げ、同設備に対する本技術の適用の可能性について合わせて報告する。

## 2. ロケット射場点検作業の効率化とその技術の民生用システムへの応用について

射場においては、ロケットがシステムとして正常に動作するかどうかを地上で確認した後、打上げることになる。一般にロケットの点検作業は、人手に頼ることが多いため、人為ミスによる作業の手戻り等が発生し、従来は打上げ経験の豊富な欧米に比較して点検作業に長期間を要していた。

このロケットの点検作業期間が長期化すれば、打上げ関係者等の拘束期間が長期化し、ひいては打上げコストの増大を招く大きな要因となっている。また、我が国においては射

場を使用できる期間が限られており、その中で将来増えると予想される打上げ回数を確保して行く必要がある。これらのことから、商業打上げ市場で競争力を確保しビジネスを拡大するためには、ロケットの点検期間を、現在の30日間から、欧米並みの20日間程度にする必要がある。

このような必要性から、ロケットの点検作業を自動化することにより点検作業の効率化並びに人為ミスの低減を図り、点検作業の短縮化を図る「自己診断・自立対応型機体点検自動化システム技術（次世代LNG制御システム技術）」の開発が計画された。

また、この技術は他の産業分野への適用可能性も考慮しつつ開発を進めることとされており、天然ガス自動車にCNG（圧縮天然ガス）を供給するための天然ガスステーション、さらに燃料電池自動車に対して必要となる水素供給ステーション（天然ガス改質方式タイプ）での液化天然ガスの気化設備への応用等が想定されている。

## 3. 開発する技術と他産業分野への応用

ロケットの作業点検期間の短縮を図る技術としての「ロケットの射場点検作業の自動化技術」及び、その技術の「民生用小型LNG気化設備の制御系」への適用可能性について検討した結果の概要につき以下に述べる。

### 3.1 ロケットの射場点検作業の自動化技術：

ロケットはシステムが大規模で点検箇所が多く複雑な機器で構成されている。一方、作業は手作業が多く、治工具の手動操作ミスに

みられるようなヒューマンエラーもあり、故障発生を防ぐため点検を確実にし、安全なシステムとする必要がある。また、作業全体にわたる進捗状況の把握や全体の統括は、全面的に人手に頼る方式が取られており、結果として、工数や日数が大幅に掛かってしまっている。従って、ロケットの射場点検作業については、点検期間をできるだけ短縮化すること、及び人為ミスによる不具合を削減することが大きな課題となっている。

これらの課題を解決するため、各作業を極力自動化することにより、ヒューマンエラーを排除し作業の効率化を図ること、及び操作ミス／判断ミスに対する監視を強化し、異常事態の回避操作を自動化し、システムの安全化を行う必要がある。本技術は、これらの必要性に対する対策を考慮し研究開発を行った。

ロケットの射場点検に関わるシステム全体は図1に示すように「発射管制システム」、「射点地上設備」及び「アビオニクスシステム（航空宇宙電子システム）」の三つの要素から構成される。

各要素の役割を以下に説明する。まず「発射管制システム」は、試験指揮者との情報のやり取り及び自動処理の流れの統括管理を行う役割を有する。次に「射点地上設備」は、発射管制システムまたはアビオニクスシステムからの指令信号により処理を開始し、地上設備のセンサ、バルブを使用してロケット機体の点検作業を支援する。さらに「アビオニクスシステム」は、発射管制システムからの指令信号を解釈・処理し必要な操作を実行し、ロケット機体のセンサからのデータをもとに、ロケット機体及び実行中の点検状況を判定し、結果を発射管制システムに伝達する役割を有している。

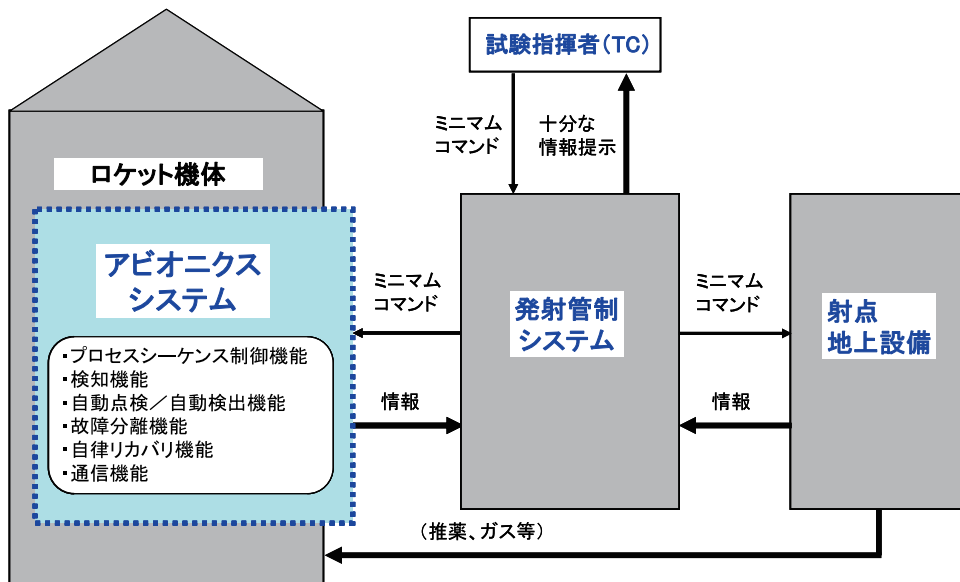


図1 ロケット機体点検に関わるシステムの全体構成

射場における作業の内、機体点検に関わる作業は概ね以下の流れで進む。

#### (1) システム点検

- ・ ロケット機体が健全であることを確認する作業
  - － 機体電源投入、電子機器確認、電気系統点検、推進系点検、誘導制御系点検、火工品点火系統点検、自動カウントダウンシーケンス点検等
- ・ 気蓄器充填・リークチェック
  - － 気蓄器充填に先立つ漏洩点検、気蓄器充填、および気蓄器充填後の漏洩点検を行い、気蓄器タンクおよびラインに異常の無いことを確認する作業
  - － 気蓄器充填加圧、リークチェック等

#### (2) カウントダウンリハーサル

- ・ リハーサル準備
  - － 発射リハーサルに必要となる設備の準備と条件設定を行う作業
  - － バッテリ充放電等
- ・ 発射リハーサル
  - － 発射手順に従って、各機器の動作の確認を行う作業
  - － 機体最終チェック、推進燃料充填、酸化剤充填、フライトパラメータ計測・入力、カウントダウンシーケンス、推進燃料リサイクル等

#### (3) カウントダウン準備

- ・ 衛星を機体に搭載後、カウントダウンへの最終準備を行う作業
  - － 機体最終チェック等

#### (4) ターミナルカウントダウン

- ・ 最終カウントダウン作業
  - － 推進燃料充填、酸化剤充填、フライトパラメータ計測・入力、カウントダウンシーケンス等

技術開発は、人手で行っていた部分が多かった上記の作業を自動化の対象として行った。

まず、ロケット機体に対する自己診断・自律対応型機体点検自動化システムの技術仕様とそれを実現するための処理手順を設定し、これらの仕様を実現するための機体点検自動化ソフトウェア及び制御機器を含む6種のアビオニクス機器の開発（設計・製作・試験）を行った。

次に、ロケット機体側機器（機体タンクや各種センサー、アクチュエータなど）や地上側設備（貯蔵タンク等の射点地上設備や発射管制システムなど）の状態を模擬する各種シミュレータ設備を開発した。

さらに、これらの開発したアビオニクス機器と各種シミュレータ設備を接続して、システムの有効性を確認するための実証試験を実施した。なお、この実証試験においては、実際の射場での機体点検作業と同レベルの試験手順による確認を行った。

これらの実証試験で取得したデータを評価した結果、主要な作業である「システム点検」で約40%、「カウントダウンリハーサル」で約25%、「カウントダウン準備」で約10%機体点検工期がそれぞれ短縮され、全体では、以下に示すように約30%短縮されることを確認した。

従来方式による工期30日

⇒ システム導入後工期21日（短縮率：30%）

この自動化システム技術の中には、故障の検知・検出・自己分離・自律リカバリに関する技術要素が盛り込まれている。この技術の特徴として、実際のセンサーから得られた計測値に加えて、他のいくつかのセンサーからの計測値から推算した値との比較検討を行い、実際のセンサーから得られた計測値の妥当性を判定し、故障の有無や故障発生箇所を判断する機能（センサーの擬似冗長性機能）を有していることが挙げられる。このことは、システムの信頼性を高める上で有効な手法となっている。

### 3.2 「民生用小型LNG気化設備の制御系」への応用：

現在、安価なCNG（圧縮天然ガス）を燃料とする天然ガス自動車の普及とともに、CNGを供給するための天然ガス供給ステーションが増加しつつある。この天然ガス供給ステーションのうち、天然ガス導管が未敷設の地域では、ローリー車等により液体のLNG（液化天然ガス）をステーションまで輸送し、LNG用のタンクに充填した上で、気化設備により

気体状態のCNGにして供給する方式が採用されている（L-CNGステーション）。このL-CNGステーションにおけるLNG気化設備に対して本技術（機体点検自動化システム技術）を適用した場合の有効性について評価したところ、「LNGタンク気化設備への受入れ作業」、「バルブON/OFF確認用リミットスイッチの動作確認」、「低温用バルブの動作確認」への適用が有効であることが分った。

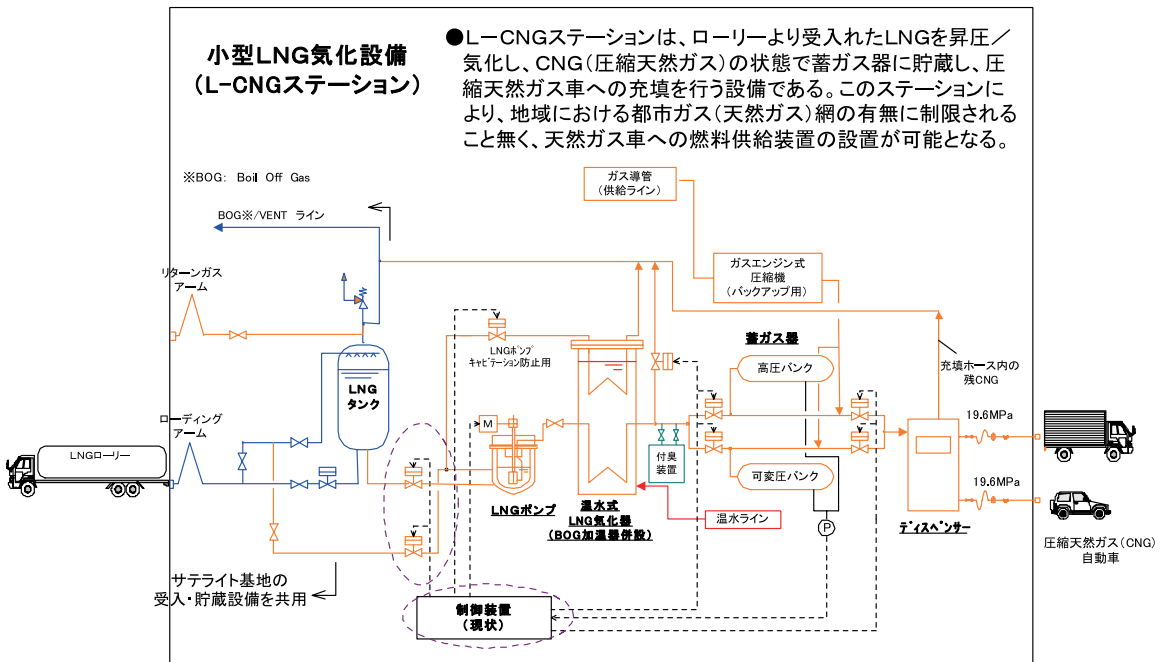


図2 小型LNG気化設備の系統図例

これらの適用性が有効であることが分った箇所のうち、下記の(1)、(2)について、シミュレーション装置を構築し、シミュレーションによる確認試験を行った。なお、試験にあたり、シミュレーションモデルの精度を確保するために、実際に稼動しているL-CNGステーションの協力を得て、実際の運用時のデータを取得し、そのデータによりシミュレーショ

ンモデルを微調整し、実際の稼動状態に一致させるようにした。

#### (1) LNGタンク気化設備への受入れ作業への適用

LNGタンク気化設備へのLNG（液化天然ガス）の受け入れ作業は、通常、熟練者が手動で行っている。

本技術を適用した場合、自動化により、熟練者でなくとも熟練者並みのレベルでの受け入れ作業ができる。また、タンク内槽圧力を低めに制御できることで、手動による受入作業時と比べ、タンク内圧力が安定した状態での受入が可能となり、圧力が滑らかに変化する等、プロセスの挙動（圧力、温度等の時間

変動）が改善されることが確認できた。さらに、現状の設備運用と比較し作業時間が約10%程度短縮されることが分かった。

これらのことから、本技術を適用した場合、作業の信頼性・制御性の向上や省力化が見込め、全体として、安全かつ効率的な作業が実施できることが確認できた。

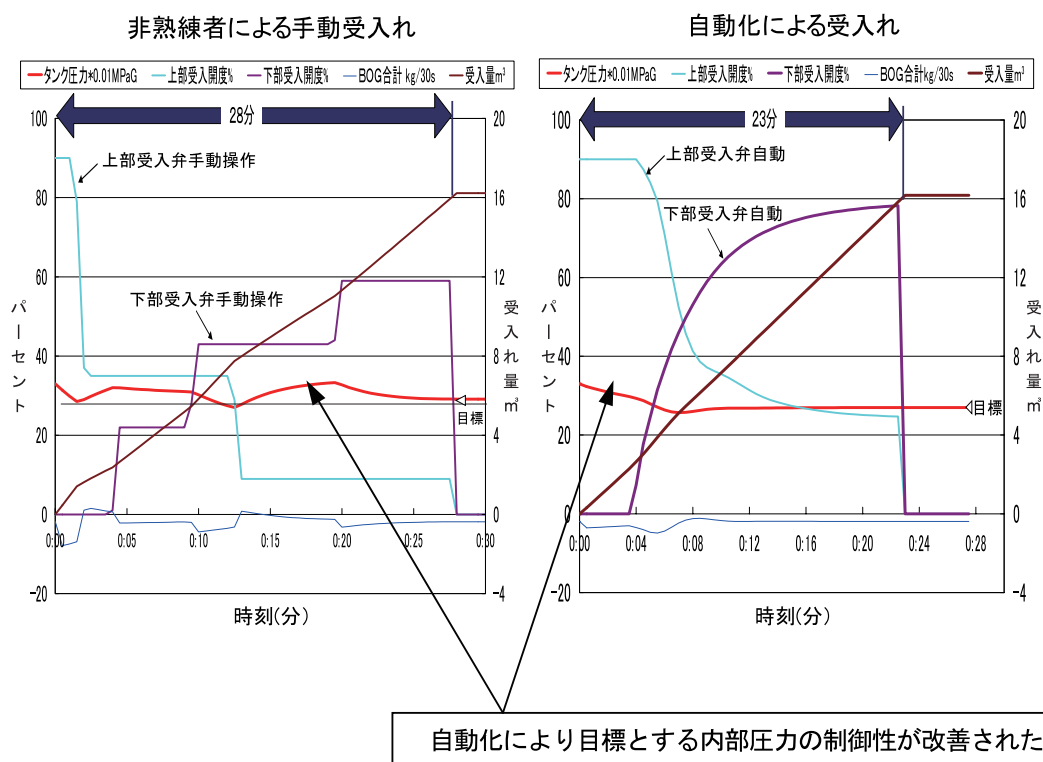


図3 LNGタンク受入れのシミュレーション結果の例

## (2) バルブON/OFF確認用リミットスイッチの動作確認への適用

遮断弁等の開閉により前後の状態が変動（圧力、温度等の時間変動）する箇所において、弁の下流側の状態の変化を本技術で設定した擬似センサーにより感知する（センサーの擬似冗長性機能）手法を適用することにより、バルブ故障・リミットスイッチ故障の有

無をそれぞれ正しく検知できることが、シミュレーションにより確認できた。本技術を適用した場合、設備の信頼性向上が期待できる。

以上、結論として、本技術の小型LNG気化設備への適用が可能であるとともに有効であることが確認された。

#### 4. おわりに

今回開発した「ロケット機体点検作業の自動化技術」によりロケット機体の点検期間が従来よりも約30%短縮できることが、システム実証試験により確認された。合せてこの技術が「民生用小型LNG（液化天然ガス）気化設備」への適用可能性を有していることが確認できた。これらの成果が、今後、ロケットの分野で実用化されて行くとともに、天然ガス関連設備等の他の産業分野に対しても適用されて行くことが期待される。

#### 5. 参考文献

NEDO「次世代輸送系システム設計基盤技術開発プロジェクト」事業原簿

〔(社)日本航空宇宙工業会 技術部部长 松沢 陽一〕