

ロケットの開発におけるヴァーチャルプロトタイピングシステムの機能要件および仕様の確立

Establishment of Requirements and Specifications for Virtual Prototyping System for Development of Rockets

榛澤 和 敏 株式会社ギャラクシーエクスプレス技術部 部長
大槻 靖 情報システム部横浜センター 課長
石田 士 朗 情報システム部技術グループ 課長

2002 年度，2003 年度に NEDO プロジェクトとして取り組んでいる「ヴァーチャルプロトタイピング技術の研究開発」について，株式会社ギャラクシーエクスプレスおよび当社が共同でまとめた成果について紹介する．本システムは，ロケットの開発に際し，機体の組立てや射場での組合せ試験に先立って，設計の妥当性をコンピュータ上のシミュレーションで確認し，ハードウェア製作後の設計変更や改修を極小化することを目的とする．本稿では本システムが満たすべき機能要件およびシステム仕様について述べる．

In fiscal year 2002 and 2003, Galaxy Express Corporation and IHI have continued the project named “The research and development of virtual prototyping technology” which is consigned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). This system aims at decreasing the cost and term of development caused by design change or repair to the hardware. In the development process of a launch vehicle, this is achieved by confirming the validity and conformity of the design before the assembling of a launch vehicle or combination test at the launch site. In this paper, the requirements that should be satisfied by virtual prototyping are discussed.

1. 緒 言

2002 年度，2003 年度に NEDO プロジェクトとして取り組んでいる「ヴァーチャルプロトタイピング技術の研究開発」について，株式会社ギャラクシーエクスプレスおよび当社が共同でまとめた成果について紹介する．

本システムは，ロケットの開発に際し，機体の組立てや射場での組合せ試験に先立って，設計の妥当性・適合性をコンピュータ上のシミュレーションで確認し，ハードウェア製作後の設計変更や改修を極小化することを目的とする．

本稿ではこのシミュレーションシステムをヴァーチャルプロトタイピングシステムと呼び，これが満たすべき機能要件およびシステム仕様について述べる．

2. システムのねらい

ロケット開発では，部品点数が極めて多く大規模であるため，従来は試作機を製作することはせず，開発後期で実機を用いて初めてシステム全体の妥当性を確認していた．開発後期での不適合の発見は，設計変更・改修などの後戻り作業を発生し，コストおよび開発期間を増大させる主な

要因になっていた．

本ヴァーチャルプロトタイピング技術の研究開発によって，大規模で複雑なシステムについても，ハードウェア製作前に不適合の発見と設計への反映が可能になる．これによって開発後期での不適合の発生とそれに伴う設計変更作業を極力削減し，ロケットのシステム設計作業期間の短縮を図る．第 1 図にヴァーチャルプロトタイピングシステムのねらいを示す．

3. ヴァーチャルプロトタイピングシステムの要件

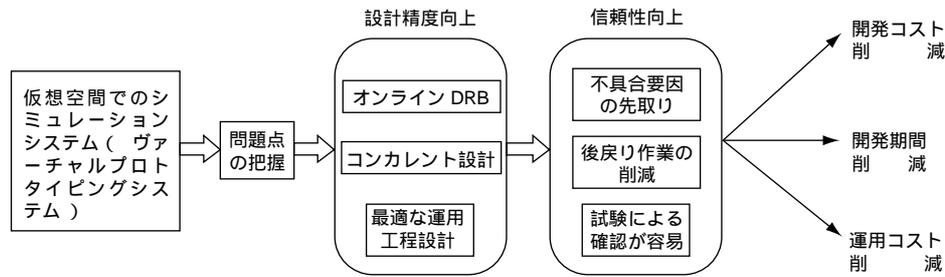
現状のロケット開発における問題点を分析し，システムとして必要となる要件をまとめた．

3.1 現状分析および問題点への対応

ロケットの射場組立発射整備作業の一般的な特徴を以下に示す．

(1) 複数の会社が共同で開発を行う

ロケット開発においては，複数の企業が異なる CAD (Computer Aided Design) を使って各段ごとに設計・製造して，その後射場に搬入され初めて全段の組立・試験および機体と設備の組合せ試験などの射



第 1 図 ヴァーチャルプロトタイプングシステムのねらい
Fig. 1 Target of virtual prototyping system

場整備作業が行われる。

(2) 生産量が少ない

射場におけるロケット機体の組立発射整備作業は、多くても年に数回程度であり、ヒューマンエラーを防止するほど作業の成熟度が向上しないという側面もっている。

(3) 作業環境・使用設備が特殊である

ロケットの組立発射整備作業は、特有の環境、設備が必要になるため、試作段階で射場と同一の環境、設備での事前の手順検証などが実施できない。

(4) 機体・設備のインターフェース検証時期が遅い

機体が高価であり、かつ巨大であるため、機体の射場への搬入はその打上作業の直前とせざるを得ない。この結果、ロケット機体間および機体・設備間のインターフェース確認行為が開発後期となってしまう。

(5) 機体ごとに設計変更が発生する

ロケットは、打上げごとに発生した不適合事象に対する対策を講じながらその信頼性の維持・向上を図るため、機体ごとにそのインターフェース条件や運用条件・手順が変更される可能性がある。

(6) 手作業比率が高い

ロケットの製造、試験、射場での機体組立発射整備作業は、作業員による手作業の割合が高い。

前項の一般的な特徴を踏まえて、ロケットの設計、製作および射場での機体組立発射整備作業における問題点の分析を行った。主な問題点は以下のとおりである。

- ・他社とのインターフェース管理がタイムリーになされていない。
- ・開発後期・運用段階になって初めて干渉などの不適合が発見される。
- ・開発後期・運用段階での不適合の検出が、適切に各設計者にフィードバックできていない。
- ・作業者の作業負荷、機器や設備へのアクセス性などの

確認が、実際の製造、試験の段階にならないと実施できない。

以上の問題点は、現在、開発を進めているヴァーチャルプロトタイプングシステムを活用することによって開発の早い段階で識別し、改善を図り、開発後期での不適合事象の極小化につなげていく。第 2 図にロケット開発作業の流れとヴァーチャルプロトタイプングシステムの効果を示す。

3.2 システム機能要件

前項の問題点を解決するため、システムに必要となる機能要件について調査、検討し、以下のように洗いだした。

(1) CAD データの変換機能

ロケット開発のインテグレータは、各社から提供される異機種種の CAD システムのデータをまとめて全体の整合性を確認することが必要である。しかし、CAD 間のデータ形式の違いから一つのシステム上での確認が困難である。

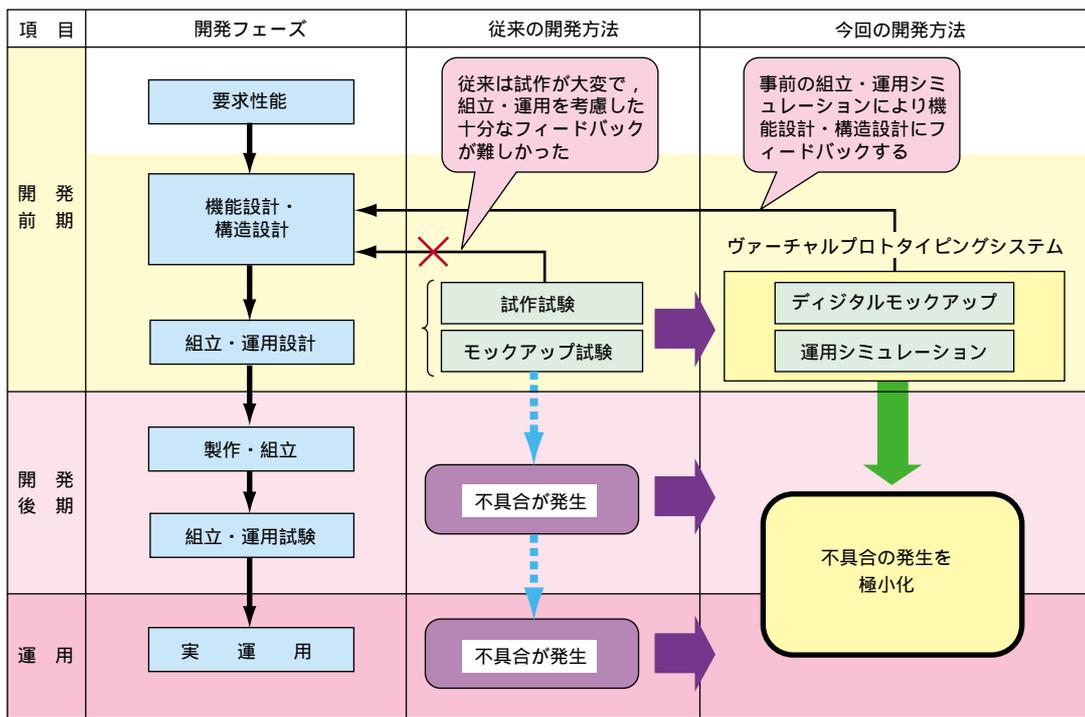
この問題解決のため、複数の CAD データを本ヴァーチャルプロトタイプングシステムで利用可能にし、統一的な中間ファイルへの変換を行う必要がある。

(2) 動的・静的機械干渉の検出機能

静的干渉とは、組立工程の進行中の状態ではなく組立完了時の各要素部品が互いに固定され終わった状態の干渉である。これに対して動的干渉とは、互いに固定状態に至る途上の移動経路においての他要素との干渉である。本ヴァーチャルプロトタイプングシステムはこの動的・静的機械干渉をシミュレーションで検出できるようにする必要がある。

(3) 逆変換機能

シミュレーションで発生・確認された不適合に対する対策が機器や治工具の形状修正である場合、当初、設計部門で作成した元の CAD データに対し、変更をフィードバックすることが必要である。その際シミュレーションで使用した簡易的なデータ形式 (ポリゴン



第2図 ロケット開発作業の流れとヴァーチャルプロトタイピングシステム
Fig. 2 Rocket development flow and effect of virtual prototyping system

データ)での問題点(干渉など)と元のCADデータとの当該問題点箇所との対応づけが必要である。

(4) 人間モデルのシミュレーション機能

作業者の機器や治工具へのアクセス性、体と物の干渉、作業姿勢の妥当性を検討する目的で、人間モデルを複数配置して動的・静的シミュレーションを行うことが必要である。

以上の機能要件で、特に今回開発する技術のポイントとしては逆変換および人間モデルのシミュレーションの二つである。この部分を中心にシステムとしての仕様を検討した。

4. ヴァーチャルプロトタイピングシステム仕様

機能要件に対するシステム設計を行い、ヴァーチャルプロトタイピングシステムとして満足すべきシステム仕様を設定した。第3図にヴァーチャルプロトタイピングシステムの全体構成を示す。

4.1 CADデータ変換サブシステム

設計部門で作成した異機種種のCADモデルデータを、本ヴァーチャルプロトタイピングシステムに取り込むためのサブシステムである。本サブシステムで対応するCADシステムは、ロケットなどの大規模システム開発で使用されている主要なCADである以下の3種類とした。

- ・Unigraphics
- ・CATIA
- ・Pro/Engineer

4.2 VPシミュレーションサブシステム(VP:ヴァーチャルプロトタイピング)

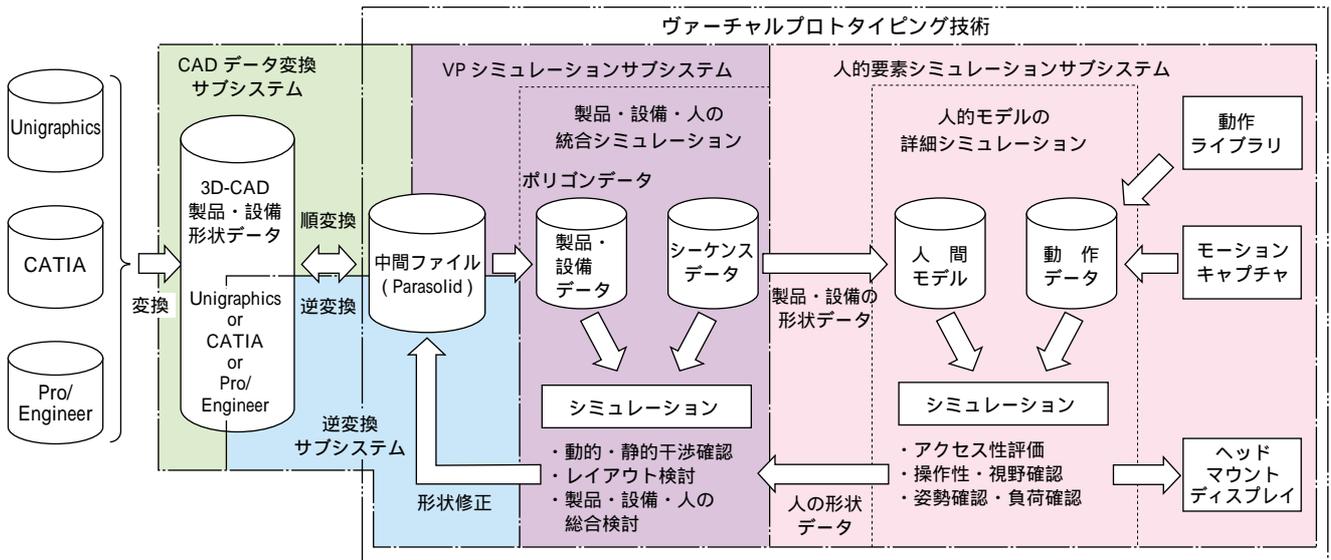
本サブシステムでは、まず設計者が製品の組立工程に対応したシミュレーションのシナリオを作成し、それに従って、機器間の干渉や組立手順の確認をコンピュータ上で行えるようにする。さらに干渉などの不適合が発生した場合にはそれを検出し、次に説明する逆変換サブシステムへのデータの受渡しを行う。

4.3 逆変換サブシステム

設計者がVPシミュレーションサブシステムを利用してシミュレーションを実行する。しかし、干渉などの不適合が発見された場合、不適合を解消するためシナリオの変更や形状の修正を行い、再度シミュレーションを実行する必要がある。本サブシステムではその際の形状修正作業の支援を行う。本サブシステムは以下の三つの機能から成る。

(1) 逆変換機能

VPシミュレーションサブシステムでの形状データを、機器間の位置関係なども含めて設計者が修正可能な中間ファイルの形式に戻すとともに、3D-CADシステム(形状修正モデラ)上に表示する。これによって



第3図 ヴァーチャルプロトタイプングシステムの全体構成
Fig. 3 System architecture of virtual prototyping system

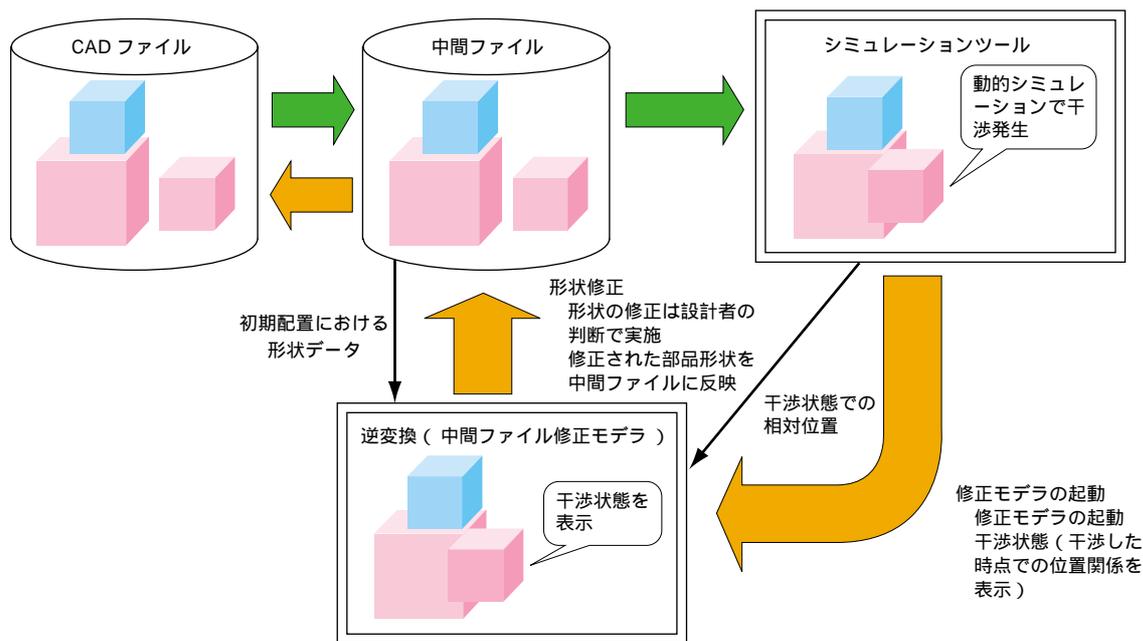
設計者は干渉などの状態を確認しながら必要な修正を容易に行うことができるようになる。第4図に逆変換機能の処理イメージを示す。

(2) スコーク票の作成・管理機能

スコーク票とは、シミュレーションで発生した不適合を記録・管理するための帳票である。本機能では発生したそれぞれの不適合に対応してスコーク票を作成するとともに、それが解消されるまでの過程を帳票上に記録することで処理状況の把握と設計者へのフィードバックを行う。

(3) 変更提案票の作成・管理機能

変更提案票とは、不適合を解決するために実施する再シミュレーションの中で実際に不適合が解消されたものについて、元のCADデータおよびシナリオなどに加えた変更内容を示す帳票である。設計者はこの変更提案のなかから有効と思われるものを選定し、社外を含む関係者への変更依頼を行う。本機能では変更提案票の作成と、設計者の選定結果を含めた変更提案の状況の管理を行う。



第4図 逆変換の処理イメージ
Fig. 4 Image of feedback transformation

4.4 人的要素シミュレーションサブシステム

人的要素とは作業者の機器や設備に対する操作性やアクセス性, 作業者と物の干渉, 人と人の干渉, 作業姿勢の妥当性などの設計における検討項目の総称である。人的要素シミュレーションサブシステム(以下, サブシステムと呼ぶ)ではそのための動的・静的シミュレーションを行う。今回開発するサブシステムの特徴としては以下の二つが挙げられる。

(1) モーションキャプチャによる人の動きのデータの取込み

モーションキャプチャとは人の動きをコンピュータ上に取り込むための専用装置のことで, 実際に人体に取り付けるセンサおよび動きを検出するためのコンピュータから構成される。今回開発するサブシステムではモーションキャプチャで取り込んだ動きを, シミュレーションツール内の人間モデルの動きとして使用することで, シミュレーションを精度よく, 効率よく行えるようにする。今回の用途としては, 次のとおりである

- ・動作データのライブラリ化
- ・特殊な姿勢による作業負荷について, 被験者への

ヒアリングによる評価

(2) リアルタイムシミュレーション

作業者の事前トレーニング用として, VP シミュレーションサブシステムとモーションキャプチャ装置に加えて, 作業者の頭に取り付けて三次元画像を表示する装置であるヘッドマウントディスプレイを組み合わせることで, 仮想空間上で作業シミュレーションを行えるようにする。

5. 結 言

本稿で紹介した仕様に従い, 2003 年度に具体的なシステムの開発および実証試験を実施している。また 2004 年度以降はこの成果を実際のロケット開発に活かしていくとともに, ロケット以外の大規模システムへの適用も図っていく。

謝 辞

本ヴァーチャルプロトタイプシステムの開発および実証試験の実施に当たっては, 社外および社内関係部門に多大なる協力をいただきました。ここに記し, 関係各位に深く感謝いたします。