

C-1 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発（複数衛星運用のための統合運用システムの研究開発）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

用語集の例

用語	用語説明
ALOS-2	平成 26 年 5 月 24 日に打ち上げられた JAXA が開発した地球観測衛星
CCSDS	1982 年に各国の宇宙機関により設立された宇宙データシステムの国際規格を検討／推奨する委員会
SLE	CCSDS が定める衛星－地上システム間や地上システム間のインタフェースプロトコル
UNIFORM-1	平成 26 年 5 月 24 日に打ち上げられた和歌山大学が開発した超小型衛星
衛星データ利用促進プラットフォーム	衛星データを容易にワンストップで統合的に検索・閲覧するためのシステムであり、内閣府が開発したシステムである。現在、本システムの運用を(株)パスコが担当している。
ほどよし 1 号機	平成 26 年 11 月 6 日に打ち上げられた東京大学が開発した超小型衛星

C－1－1 事業の目的・政策的位置付け

C－1－1－1 事業目的

衛星画像は自然災害をはじめ、広域に渡る災害の被災状況を把握するのに役立ち、先の東日本大震災においても多くの衛星画像が利用された。特に被災前の画像との比較や、刻一刻と変化する被災地の状況を継続的にかつ広域的に観測することが可能である衛星は、救助活動やその後の復興において欠くことのできないツールである。

防災以外にも農業における収量予測や資源探査、環境監視など衛星画像は広範囲な分野において利用されているが、各国が保有する衛星は独自の衛星軌道を周回し、独自の撮像計画に基づき運用が行われており、必ずしも効率的な連携がなされているわけではない。また衛星システムも各国独自のものに最適化されているため、連携する場合であっても最終的なアウトプットである衛星画像ベースでのデータ共有などとなる。

本研究開発では、我が国が保有する衛星システムにおけるコンステレーション衛星運用をコアとして、将来、日本製衛星システムを保有する各国のシステムとも連携を可能とする統合運用システムの研究開発を行う。

C－1－1－2 政策的位置付け

ベトナム、タイをはじめ ASEAN 各国には、防災や農業管理等を目的とした衛星保有の機運が高まっており、現実には多くの国から我が国の衛星技術を活用した衛星システム構築の支援要請を受けている。これらの要請を各国単位で対応するのではなく、要請を束ねることで各国が拠出する経費以上のメリットを享受できるシステムとして、戦略的提案を ASEAN 諸国に提示することが重要である。各国の衛星をネットワーク化することにより、「高い撮像頻度」と「迅速な情報提供」を可能とするシステムを構築することが可能となり、ASEAN 諸国のニーズだけでなく、我が国のユーザにも役立つシステムとすることが可能となる。

C－1－1－3 国の関与の必要性

経済産業省では、我が国の宇宙開発利用の競争力強化の一環から、「小型化等による先進的宇宙システムの研究開発」、「可搬統合型小型地上システムの研究開発」、並びに「超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発」等を実施してきた。

こうした取り組みの成果を踏まえ、ベトナム政府との間で円借款による小型合成開口レーダ衛星 2 機の調達並びに宇宙センター設立について合意した。

今後、小型衛星の需要が拡大するにつれ、我が国の衛星システムの競争力強化のため、我が国及び日本製衛星システムを含む各国の複数の衛星システムを有機的に連携し、高い撮像頻度を確保するための、我が国独自の「衛星コンス

テレションシステム」の開発が必要である。

C-1-2 研究開発目標

C-1-2-1 研究開発目標

我が国が保有する衛星システムにおけるコンステレーション衛星運用をコアとして、将来、日本製衛星システムを保有する各国のシステムとも連携を可能とする統合運用システムの研究開発を行う。

C-1-2-2 全体の目標設定

表 C-1-2-2-1. 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
それぞれが独立した衛星システムとして運用されている地球観測衛星群を、あるトリガーとなる事象を契機に、複数の衛星が必要に応じて有機的に連携し、参加した全てのリソースを最大限活用し運用可能な衛星コンステレーションシステムの研究開発を行う。	我が国の衛星システムの利便性を高めるためには、様々な機関で開発、運用されている衛星をあるトリガーとなる事象を契機に連携させ、迅速かつ高い頻度での撮像を実現し、衛星画像利用者に対する要求受付、データ提供等のサービス向上を図ることが必要である。 また、JAXA や他機関の地上局を統合運用システムに接続することにより、災害時の運用性及び迅速性を向上させる必要もある。

C-1-2-3 個別要素技術の目標設定

表 C-1-2-3-1. 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
(1) 自律自動複数衛星管制システムの開発	a. 複数衛星管制マネージメント（管制、軌道）機能の開発	複数衛星の管制運用、軌道管理運用を実施するための機能を開発し、検証する必要がある。
	b. 複数衛星リソースマネージメント（撮像計画、予約）機能の開発	複数衛星のリソースを管理し、各衛星の撮像計画を立案するための機能を開発し、検証する必要がある。
	c. 地上局マネージメント（複数局管理）機能の開発	複数の地上局のリソースを管理し、各地上局の利用計画を立案するための機能を開発し、検証する必要がある。
	d. 高度なセキュリティ機能の開発	複数衛星の運用、データを保全するため高度なセキュリティを有したシステムの設計が必要である。
	e. 高信頼性システムの開発	複数衛星の運用及びデータ提供サービスを継続的に実施するため運用停止のないシステムの設計が必要である。
(2) ニアリアルタイム・オンデマンドシステムの開発	a. 複数同時画像処理機能の開発	複数衛星で取得した観測データを同時に並行処理するための機能を開発し、検証する必要がある。
	b. 複数衛星データアーカイブ（分散、集中、同期）機能の開発	複数衛星で取得した観測データを保存・管理し、適切に検索できる機能を開発し、検証する必要がある。
	c. ターミナル方式、クラウド方式によるオペレーション機能の開発	システムを構成する計算機リソースを様々な機能で効率的に利用し、共通的な端末から柔軟に様々な運用を実施するための機能を開発し、検証する必要がある。

C-1-3 成果、目標の達成度

C-1-3-1 成果

C-1-3-1-1 全体成果

複数の衛星が必要に応じて有機的に連携し、参加した全てのリソースを最大限活用し運用可能な衛星コンステレーションシステムに求められる機能・性能要求を分析し、システム仕様を確定した。

要求分析・仕様設定に当たっては、統合運用システムを利用して実施する事業計画を民間事業者が検討し、この事業計画を分析して開発するシステムの仕様を決定した。

システム仕様に基づき、統合運用システムを開発し、システム全体としての機能・性能確認及び運用性確認を実施した。

統合運用システムの全体構成図を図 C-1-3-1-1 に示す。

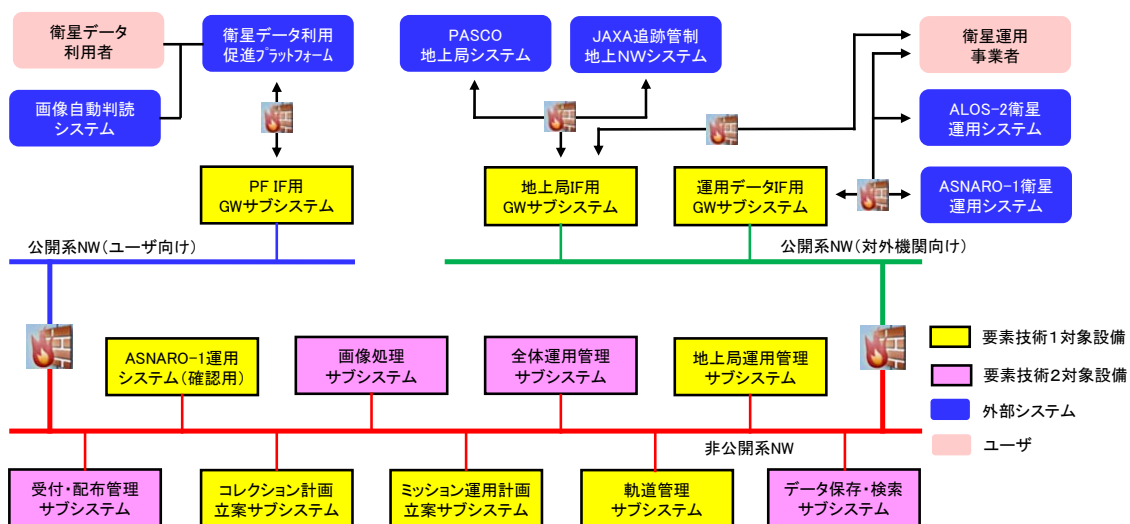


図 C-1-3-1-1 統合運用システム全体構成図

C-1-3-1-2 個別要素技術成果

(1) 自律自動複数衛星管制システムの開発

わが国の所有する高分解能地球観測衛星システム（本研究開発期間内に運用中或いは将来の計画衛星を含む）のコンステレーション運用、また、ASEAN 等の海外において日本製衛星システム等を導入する国々の衛星を含めた統合運用を行うため以下の機能を有する衛星管理システムの開発し、機能・性能の実証を実施した。

a. 複数衛星管制マネージメント（管制、軌道）

- ① 衛星管制機能（ミッション計画立案）では大型衛星、小型衛星、超小型衛星を問わず最大 50 機まで、軌道管理機能については同最大 30 衛星まで対応可能な拡張性を有する。
- ② ASNARO-1、ALOS-2 に加え、ほどよし 1 号機、UNIFORM-1 の軌道情報を入手し、軌道管理を実施する機能を具備した。
- ③ ASNARO-2 及びベトナム衛星の衛星管制機能、軌道管理機能については、将来的に統合運用システムに組み込むことを想定し、容易に機能付加できるよう拡張性を持たせた。ただし、今後打上げ予定の衛星に対する管制機能の拡張性の確認用として、簡易的な衛星管制機能として機能確認用 ASNARO-1 運用システムを整備した。
- ④ ASNARO-1 の衛星管制機能については、ASNARO-1 運用システムの機能限定版である機能確認用 ASNARO-1 運用システムを整備することとした。管制系のインタフェースについては、国際標準である宇宙データシステム諮問委員会（CCSDS）の Space Link Extension（SLE）を採用し、その内容をインタフェース条件書の衛星運用事業者間インタフェース編にまとめることで、将来の衛星運用事業者の追加に対応できるようにした。

b. 複数衛星リソースマネージメント（撮像計画、予約）

- ① 本研究開発の対象衛星である ASNARO-1、ALOS-2、ほどよし 1 号、UNIFORM-1 の軌道情報をもとに撮像機会の検索機能を具備した。国内、海外、大型、小型、超小型を問わず、最大 50 衛星（同時に使用出来るのは軌道情報を保持できる最大 30 衛星）まで対応可能な拡張性を有する。
- ② ASNARO-1 運用システムに対してはオンラインで撮像要求及び処理要求をインタフェースする機能を具備した。ALOS-2 運用システム、ほどよし 1 号機運用システム及び UNIFORM-1 運用システムに対しては運用者が介在することで撮像要求、処理要求をインタフェースする機能を具備した。
- ③ ASNARO-1 の撮像計画立案機能については既存の ASNARO-1 地上システムの開発及び運用を行う（株）パスコと調整を行い、統合運用システムでコレクション計画立案、ミッション計画立案を行い、オンラインでインタフェースを行う機能を具備した。
- ④ ASNARO-2 及びベトナム衛星の撮像計画立案機能については、将来的に統合運用システムに組み込むことを想定し、容易に機能付加でき

るよう衛星情報を共通パラメータとして保持する機能を具備した。

c. 地上局マネージメント（複数局管理）

- ① 衛星運用事業者からの要求により地上局利用機会検索を実施したうえで、地上局の利用要求をオンラインインタフェースで入力することにより、利用計画を立案し、その結果を地上局運用事業者に出力する機能を具備した。
- ② JAXA が所有する地上局の監視・制御機能については、軽微な改修で実施が可能な局状態データの取り込みを行うこととした。
- ③ ASNARO-1 にて使用するパスコ地上局ネットワークの監視・制御機能については、自動運用が基本でパス運用中に中央からの監視制御は行わなっておらず、また、外部システムと接続する場合、一部情報を秘匿するための機能を新たに追加する必要があるため、計画ベースの運用を行うこととした。
- ④ 地上局は最大 50 局まで対応可能な拡張性を持たせた。

d. 高度なセキュリティ

JAXA の地上システムと同様にネットワークを外部のシステムと接続する公開系とシステム内部の各装置を接続する非公開系に区分し、更に公開系ネットワークは、不特定多数の衛星データ利用者を対象としたネットワークと衛星運用事業者を対象としたネットワークに区分した。

公開系ネットワークと非公開系ネットワークの間にはファイヤーウォールを設置し、外部から統合運用システム内部へのアクセスを監視・遮断することで、外部からの侵入によるシステム破壊や不正利用から防護する機能を具備した。

図 C-1-3-1-2 に統合運用システムのネットワーク概略図を示す。

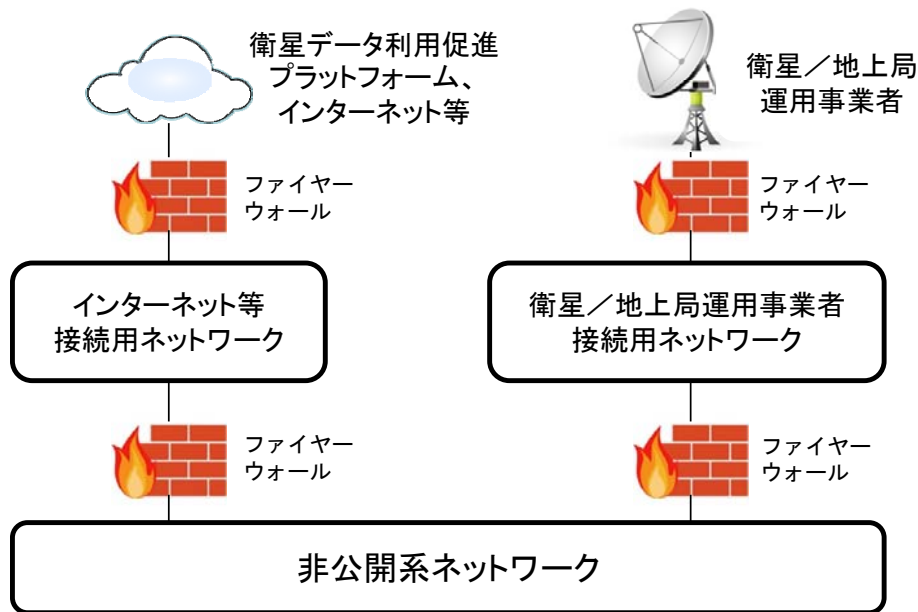


図 C-1-3-1-2 統合運用システムのネットワーク概略図

e. 高信頼性

主要な機器や部品については単一障害点を排除した高可用性とし、障害時の継続稼働を行うためのフォールトトレランス構成や障害からの自動復旧構成を採用することで、計画停止、自然災害等による停止を除き、99.9%の稼働率を実現した。

(2) ニアリアルタイム・オンデマンドシステムの開発

複数衛星を利用したコンステレーションシステムにより得られた大量のデータを最大限に活用するためには、エンドユーザが容易に利活用できる仕組みを作り出す必要があり、様々なユーザが容易に利用できるシステムとするため、以下の機能を有するコントロールシステムを開発し、機能・性能の実証を実施した。

a. 国内外のネットワーク環境による複数同時画像処理

将来的に統合運用システムに画像処理機能を取り込むことを想定し、容易に機能付加できるよう拡張性を持たせた。この拡張性を確認するために機能確認用 ASNARO-1 運用システムを整備し、レベル1 処理機能を具備した。また、同機能確認用システムとのインタフェース条件書を定めることで、将来的に ASNARO-2 等の画像処理機能を取り込むことになった場合に参照できるようにした。

b. 複数衛星データアーカイブ（分散、集中、同期）

- ① 統合運用システムで扱う ASNARO-1、ALOS-2、ほどよし 1 号機及び UNIFORM-1 の画像データを保存管理する機能を具備した。
- ② 保存対象としたデータのカatalog情報を管理する機能を具備した。
- ③ 将来的に ASNARO-2 等の衛星を容易に組み込むめるよう衛星情報のパラメータ化を行うと共にストレージ容量を容易に増加できるよう増設、拡張可能な装置を選定した。

c. ターミナル方式、クラウド方式によるオペレーション

本システムは計算機コストを低減するとともに拡張性・サービス継続性・保守性を担保するために仮想化ソフトウェアによる仮想サーバを構築した、いわゆるプライベートクラウド方式のシステム基盤を採用し、システムを構築した。また、端末による運用を柔軟に行えるよう、運用端末から各サブシステムが構築されたサーバにログインするターミナルサービス方式によりオペレーションを行う機能を具備した。

C-1-3-1-3 特許出願状況等

本研究開発における特許出願及び論文等の投稿・発表はない。

C-1-3-2 目標の達成度

表 C-1-3-2-1. 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1) 自律自動 複数衛星管制 システムの開発	a. 複数衛星管制マネジメント（管制、軌道）機能の開発	ASNARO-1 衛星管制システムを利用することにより衛星管制機能の統合運用システムへの組み込みを検証した。複数衛星の軌道管理を実施するための軌道管理サブシステムを開発した。	達成
	b. 複数衛星リソースマネジメント（撮像計画、予約）機能の開発	衛星のリソースを管理し、適切な撮像計画を立案するためのコレクション計画立案サブシステムを開発した。各衛星の運用を立案するためのミッション運用計画立案サブシステムを開発した。	達成

	c. 地上局マネージメント（複数局管理）機能の開発	複数の地上局のリソースを管理し、利用計画を作成する地上局運用管理サブシステムを開発した。	達成
	d. 高度なセキュリティ機能の開発	統合運用システム内部セキュリティを確保するためにインタフェースする相手方に応じたインタフェース用ゲートウェイサブシステムを開発した。 システム内のネットワークを公開系と非公開系に区分し、系間にファイヤーウォールを設置し、内部セキュリティを確保した。	達成
	e. 高信頼性システムの開発	主要な機器や部品については、単一故障点を排除した高可用性とし、障害時の継続稼働を行うためのフォールトトレランス構成等を採用することで計画停止、自然災害等による停止を除き、99.9%の稼働率を達成するシステムを開発した。	達成
(2) ニアリアルタイム・オンデマンドシステムの開発	a. 複数同時画像処理機能の開発	様々な観測データを画像処理するための画像処理サブシステムを開発した。	達成
	b. 複数衛星データアーカイブ（分散、集中、同期）機能の開発	各衛星の観測データを保存・管理するためのデータ保存・検索システムを開発した。 撮像した観測データ、処理された画像データを注文受付、配布管理するための受付・配布管理サブシステムを開発した。	達成
	c. ターミナル方式、クラウド	プライベートクラウド方式	達成

	ド方式によるオペレーション機能の開発	のシステム基盤を採用し、計算機リソースを効率的に使用するため、各プロセスを全体的に管理する全体運用管理サブシステムを開発した。	
--	--------------------	---	--

C-1-4 事業化、波及効果について

C-1-4-1 事業化の見通し

統合運用システムにおいては、今後、民間事業者に払い下げられ、別途、研究開発された衛星データ利用促進プラットフォームや画像自動判読システムのみならず、民間事業者が有する提供システム等と連携することにより事業化される見通しである。

衛星画像データの提供サービス、衛星運用サービス等に係るビジネスモデルにおける統合運用システムの位置づけを図 C-1-4-1-1 に示す。

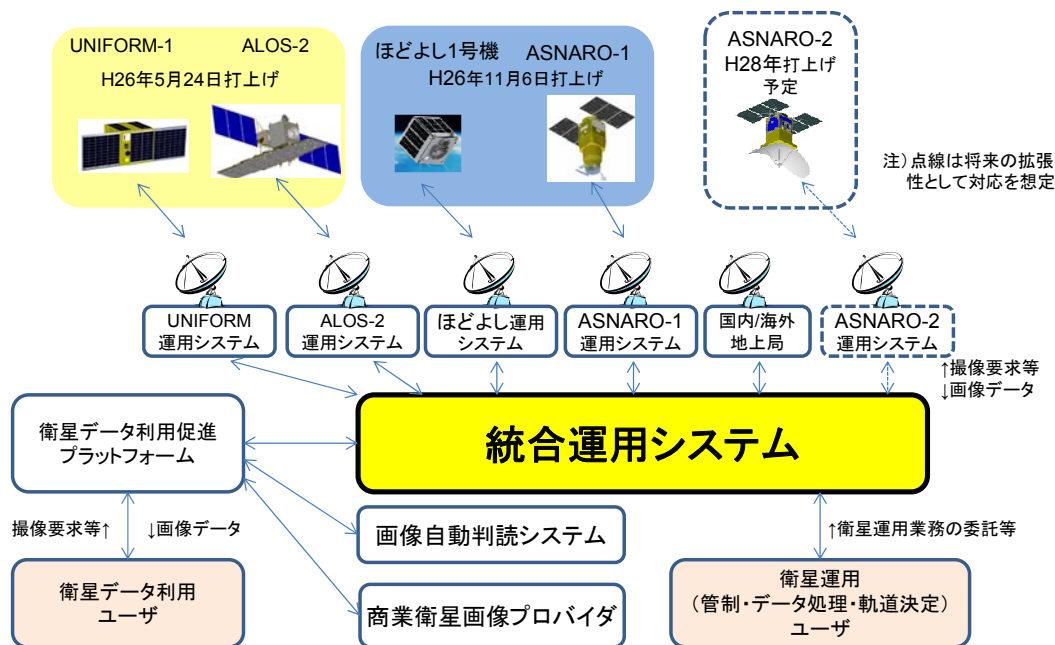


図 C-1-4-1-1 統合運用システムの位置づけ

C-1-4-2 波及効果

1 衛星プロジェクトにおける地上システム開発費、運用経費を用いた場合のコスト削減効果の一例を以下に示す。

<システム開発費>

1 衛星の地上システムを新規に開発した場合、約 15 億円程度の開発費が見込まれる（統合運用システムの開発費をベースとし、地上局の新規建設を除く）。統合運用システムに参画することにより、軌道管理やデータ保存、要求受付・配布等、共通システムを利用することにより、衛星個別で開発すべき機能が不要となり、1 衛星あたり 2～3 割程度のコスト削減が期待できる。

<運用経費>

1 衛星の運用経費は年間数億円程度が見込まれるが、以下の理由により 2～3 割程度のコスト削減が期待できる。

- 本システムに参画する地上局システムが利用可能
- 地上システムを構成する計算機を複数衛星ユーザで共有可能
- 複数衛星同時運用による運用者数の削減

統合運用システムを利用することにより、上記に示したコスト削減効果が期待できることから、超小型衛星を研究開発している大学等では地上局等のインフラ整備を気にせず衛星開発が可能となり、定常的な衛星運用に人員を確保できない衛星利用機関等にとっては、衛星運用を自ら実施せずとも統合運用システムに任せることによって衛星の観測データのみを入手可能となる。

また、衛星データの利用ユーザにとっては、様々な宇宙機関が運用している衛星の観測データを一括して利用可能となる等、今後、様々なユーザ、大学、衛星利用機関等の宇宙利用に係る波及効果が期待できる。

C-1-5 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

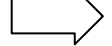
C-1-5-1 研究開発計画

本研究開発は、民間事業者を選定して事業計画及びシステム仕様を検討し、システムの研究開発を行う企業を選定した。

システムの研究開発にあたっては、ウォーターフォール型の開発モデルを採用し、要求確定時、設計終了時、研究開発終了時に社内有識者による審査および技術検討委員会の提言を受けながら、研究開発を進めた。

表 C-1-5-1-1 に本研究開発のスケジュールを示す。

表 C-1-5-1-1. 研究開発計画

実施項目／年度	2 4	2 5	2 6
統合運用システムの 研究開発		民間事業者選定   事業計画検討  概念検討  設計  製作  試験	
		 要求確定  設計終了  研究開発終了	

△：技術検討委員会

C-1-5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、宇宙航空研究開発機構が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先として(株)パスコ、TIS(株)、富士通(株)、新日鉄住金ソリューションズ(株)、ALOS-2 運用・観測データ一般配布共同企業体、日本電気(株)、宇宙技術開発(株)、ラック(株)、ニシム電子工業(株)、(株)アベックス和光、(株)清和設備設計が参加した。

また、東京大学（ほどよし1号機運用システムの開発者）、和歌山大学（UNIFORM-1 運用システムの開発者）、(株)パスコ（衛星データ利用促進プラットフォーム^注開発業者）の支援を受けた。

なお、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトチームとして統合運用システム研究開発室（室長：内藤一郎）（当時）を宇宙航空研究開発機構内に設置するとともに、本研究開発の内容について提言を受けるため宇宙開発利用に関わる地上系、運用系の学識経験者、専門家等からなる7名の有識者による技術検討委員会を設置した。

図 C-1-5-2-1 に本研究開発の実施体制図を示す。

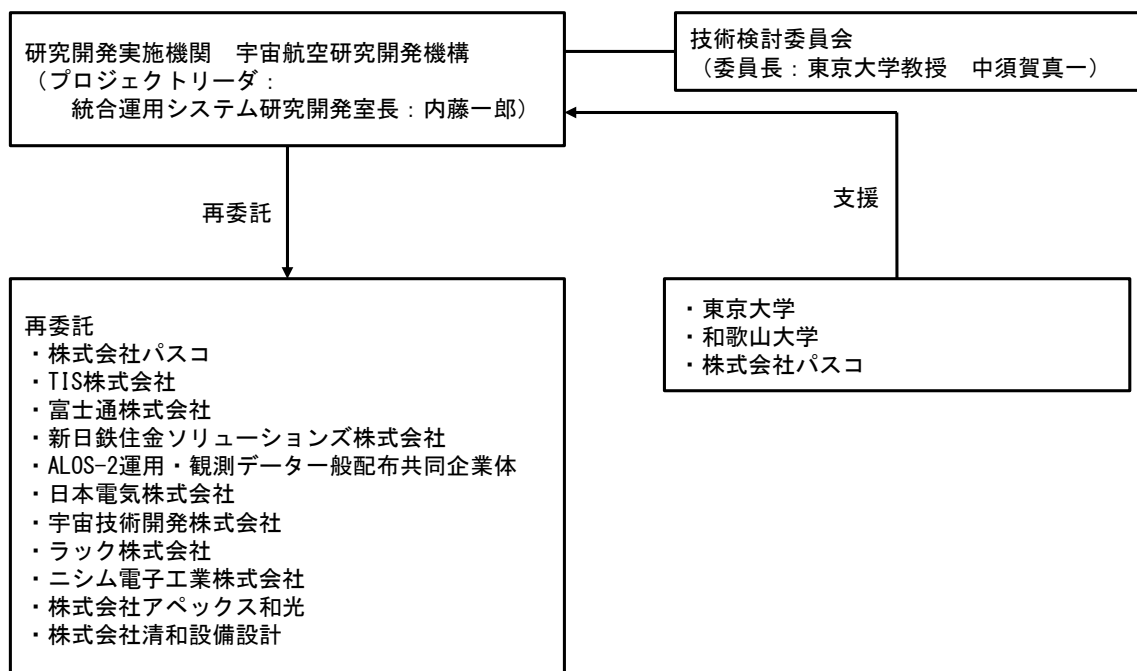


図 C-1-5-2-1. 研究開発実施体制

C-1-5-3 資金配分

表 C-1-5-3-1. 資金度配分

(単位: 百万円)

年度 平成	2 4	2 5	2 6	合計
統合運用システムの研究開発	1,430	0	0	1,430
合計	1,430	0	0	1,430

C-1-5-4 費用対効果

本研究開発によって、複数衛星の運用を統合し、様々なユーザへのサービスを一元化可能なシステムの検証が実施できた。

今後、多数の衛星運用事業者が本システムに参画し、利用することによって以下の示す効果が期待できる。

- a. 複数衛星に対する撮像機会検索サービス（既存サービス）の利用によりセンサ種別を問わず利用可能な衛星の同時検索が可能となり、迅速な情報収集に寄与できる。
- b. 災害状況に応じた迅速かつ適切な撮像要求決定に際し、新たに撮像機会検索サービスと連動するタスキング機能を設け運用者作業をシステム的に支援することで、従来以上の迅速性、撮像の適時性が期待できる。
- c. 利用者は衛星データ利用促進プラットフォームを介して統合運用システムのジオインフォメーション提供サービスを活用することによりワンストップで複数衛星からの情報を取得可能であり、災害対応時における現地の作業負荷低減が可能となる。
- d. 統合運用システムでアーカイブデータを取り扱うことで、統合運用システムでの付加価値サービス追加、ならびに利用者に対する利便性向上（新規撮像に加えてアーカイブ要求も含めたワンストップでの提供）が可能となる。
- e. 民間地上局を利用した直接ダウンリンクサービスの高度化により、最小コストでのサイトダイバーシティの実現、また情報提供の迅速化が可能となる。

加えて以下の考慮により、本システム利用ユーザ以外の衛星運用事業者の効率的な災害時対応の支援が可能となり、システムのさらなる価値向上が期待できる。

- f. 撮像済みエリアを一元的に管理・公開する仕組みの整備により、統合運用システム利用ユーザ以外の衛星運用事業者による効率的な撮像のサポートが可能となる。
- g. 通常時において統合運用システムとインタフェースを持たない大学衛星等が、発災時において自ら収集したデータを統合運用システム経由で利用者へ提供する仕組みを整備することで、提供情報量の拡大が期待できる。

C-1-5-5 変化への対応

様々な変化に対応すべく以下の設計を採用することで将来の拡張への備えとしている。

- a. 統合対象とする衛星及び地上局について、パラメータにより追加・削除を可能な設計とした。
- b. 1つのサブシステム（全体運用管理サブシステム）でシステム監視・制御を一元的に実施することとし、将来の運用変更への対応を容易（改修を最小）とする設計とした。
- c. 外部システム（衛星データ利用促進プラットフォーム、衛星運用事業者、地上局運用事業者）とのインタフェースにおいて、ゲートウェイの役割を担うサブシステム（プラットフォームインタフェース用ゲートウェイサブシステム、運用データインタフェース用ゲートウェイサブシステム、地上局インタフェース用ゲートウェイサブシステム）を置くことで、外部システム連携への対応を容易（改修を最小）とする設計とした。
- d. システムを構成するサーバ類について仮想化技術を採用し、将来の処理追加や能力向上へ柔軟に対応できる設計とした。