

革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)
「オンデマンド即時観測が可能な
小型合成開口レーダ衛星システム」

平成29年4月20日

プログラム・マネージャー
白坂 成功

目 次

1. 研究開発構想
2. ハイリスク・ハイインパクトな取組みのポイント
3. 研究開発実施体制
4. 平成28年度取組み、進捗及び成果
5. 研究開発プログラムの見直し内容について
6. 海外のSAR衛星の開発状況

解決すべき社会的課題等

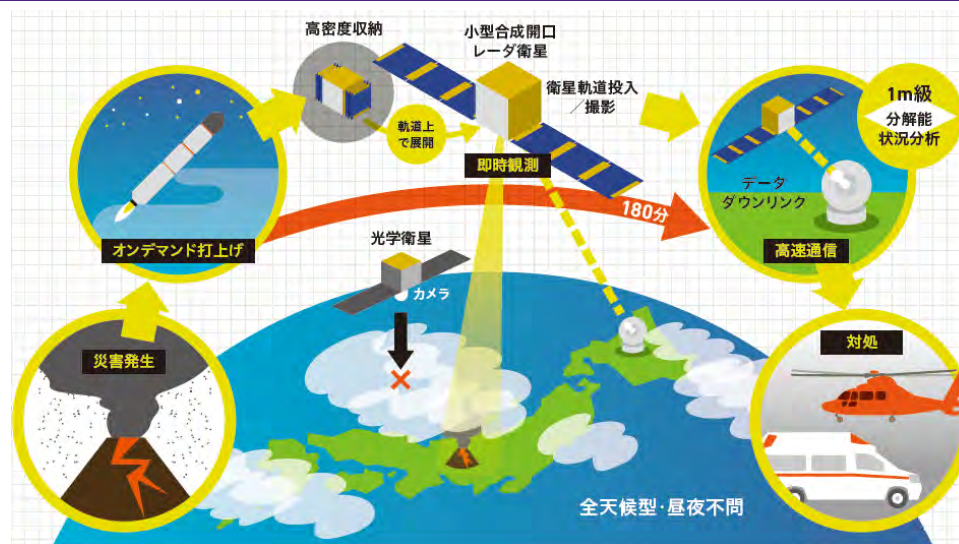
自然災害の発生等の緊急対応をするためには、周辺領域を含めた状況の把握が必要であるが、現在は情報収集が十分であるとはいいがたい。国民の安全をより確かなものとするために、**雨天・強風・夜間**でも、自然災害等の**緊急対応時に、被災地周辺領域を含めた状況**を速やかに把握可能とすることが必要である。

災害状況把握のリクエストから
即時に衛星打上げ・観測を実施



光学カメラでは実現不可能な
全天候対応・昼夜問わない観測が可能

オンデマンド即時観測 が可能な 合成開口レーダ 衛星システム



広域の同時状況把握に最適な
衛星による地球観測

ImPACTプログラムにおいて、**オンデマンド即時観測の実現**に取り組む

SAR衛星で『オンデマンド即時観測』を行う上での主要課題



衛星の打上げにかかる
作業時間を極力短く

- ✓ 射場でのロケット整備作業時間の短縮
- ✓ ロケットへの衛星搭載作業時間の短縮

作業時間を短くするためには・・・

- ロケットは作り置きができ、且つ射場での移動が簡便な**小型固体ロケット**とする必要
- 衛星は、上記の**小型ロケット**に搭載可能で、且つ**積込みが容易となるサイズ・重量**にする必要

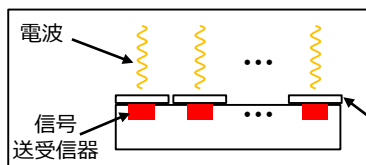
- オンデマンド即時観測に対応するには**SAR衛星は小型・軽量化が必要**
- 目安としては**重量：100kg級、収納時体積：1m立方以下**を想定

2. ハイリスク・ハイインパクトな取組みのポイント

【SAR衛星の飛躍的小型化・軽量化の実現】

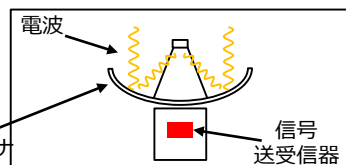
【従来のSAR衛星での主流方式】

TerraSAR-X



(フェーズドアレイ方式)

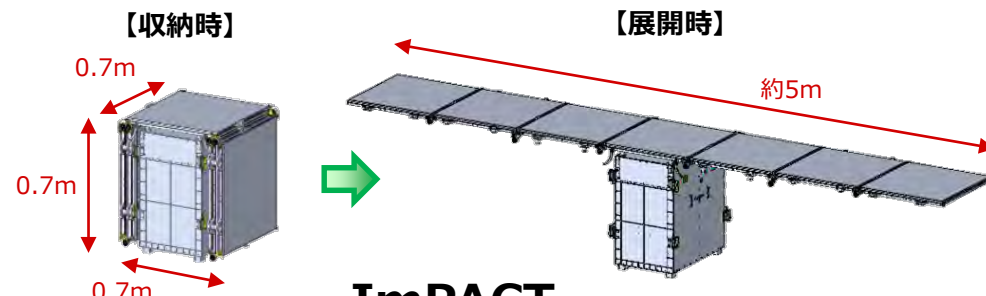
TecSAR



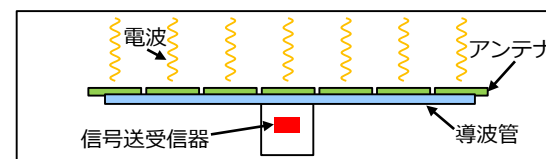
(パラボラアンテナ方式)

	TerraSAR-X	TecSAR	
分解能	1m	1m	
衛星質量	1,230kg	300kg	
コスト	100億円 超	100億円 超	
サイズ	収納・展開時 Φ2.5m×5m	収納時 Φ1.5m×3m	展開時 Φ3m×3m

【ImPACTでの採用方式】



ImPACT



(平面スロットアレイアンテナ方式)

ImPACT	
1m	
100kg 級	
約20億円	
収納時 一辺約0.7mの立方体	展開時 0.7×0.7×5m

- 平面アンテナによるX帯の高利得送受信実現のため、単一送信器ながら長さ5mパネル全面の位相を揃える技術、及びパネル間を導波管で給電する技術等を開発
- アンテナパネルの巻込収納方式によりロケット搭載時の体積を最小化
- 一方、軌道上では大型衛星に比肩するサイズまで展開し、高性能を実現

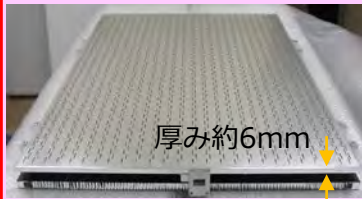
2. ハイリスク・ハイインパクトな取組みのポイント

【SAR衛星の飛躍的小型化・軽量化の実現】

- 衛星SARとして初めて、アンテナ内部に軽量のハニカム構造を利用した平面スロットアレイアンテナ（東工大 後藤・安藤 両名誉教授・廣川教授等考案）を採用。パネル間は電波を導波管で伝送。
- 平面アンテナを分割し収納する技術(巻込み式展開機構)と共に、分割したパネル間の電波伝送を低損失かつ非接触で実現する技術(非接触 導波管対向給電方式)を開発
- 本方式の衛星用SARアンテナとしての有用性が実証されれば、小型SAR衛星のみならず、従来の大型衛星等の衛星ビジネス全体にインパクトを与える可能性大。

①平面スロットアレイアンテナ

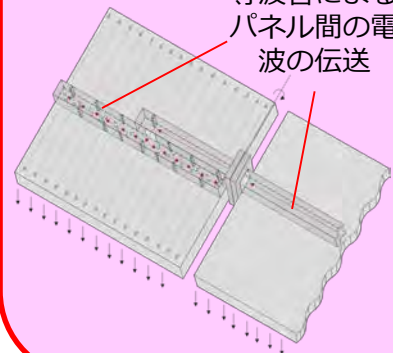
アンテナ表面



10G以上の加速度に耐え、
厚さ約6mmの薄型化、
重さ1kg程度の軽量化、
低コスト化を実現

アンテナ裏面

導波管による
パネル間の電
波の伝送

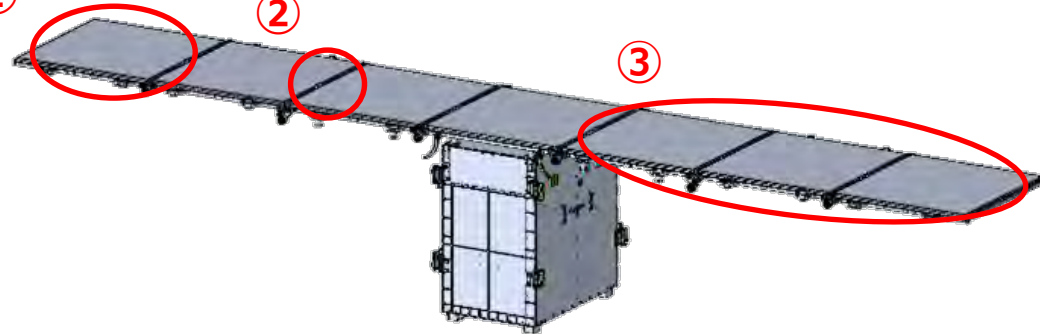


1kW級の大送信出力
電波の伝送を、配線
を用いず、導波管で
実現

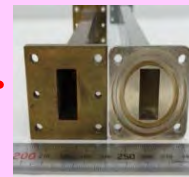
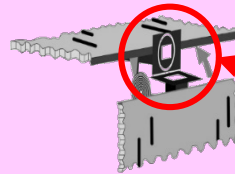
①

②

③

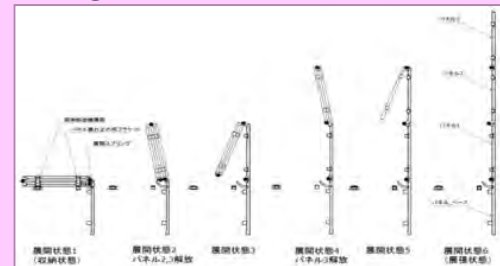


②非接触 導波管対向給電方式



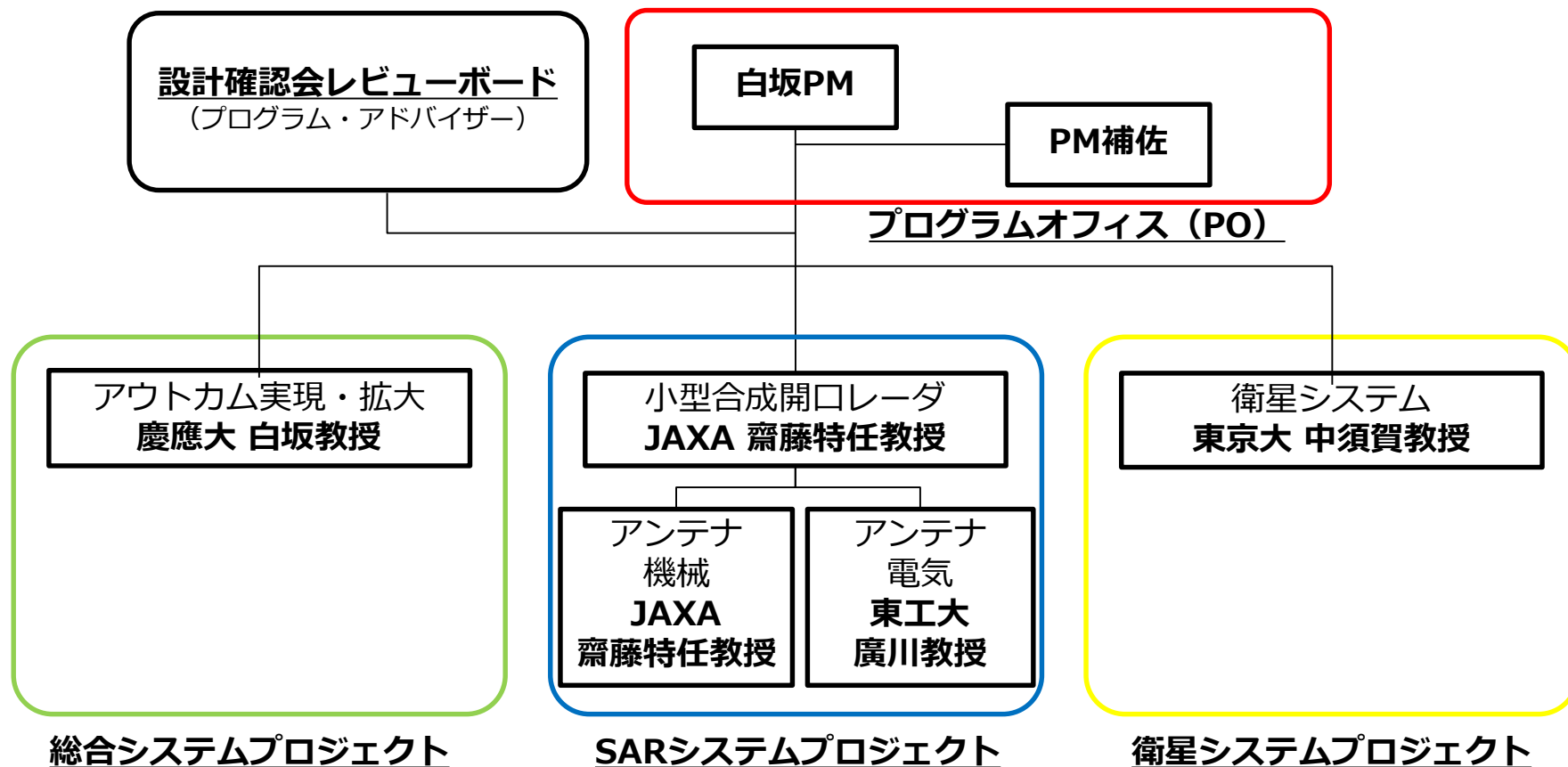
元々は地上用の通信技術に独自の
技術を加えることで、X帯の
衛星SARでは困難だった長経路
の信号伝送を低損失で実現

③巻込み式展開機構



収納時厚み15cmの高収納性とモータ等
を用いないシンプルな展開方法を実現

3. 研究開発実施体制



4. 平成28年度の取組み、進捗及び成果

全体の状況

- ✓ 全体的に順調に進捗。
- ✓ 衛星システム、SARシステムともに基本的な設計は完了。SARシステムはより詳細な設計を行うフェーズに移行。
- ✓ 試作評価等により設計の妥当性を確認した機器について、地上での検証用モデル（EM）の製造に着手。夏頃にEM試験が本格化する予定。
- ✓ 平成28年9月末から約2週間をかけて大規模な全体設計レビュー会を開催。第三者の視点から開発に順調な進捗を確認。

達成目標に対する状況

【分解能：1m級】

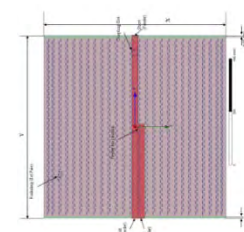
- ✓ 1m分解能の実現は、アンテナ電気系、大電力増幅器等を含めた信号送受信系の解析・試作評価等により成立性確認。

【重量：100kg級】

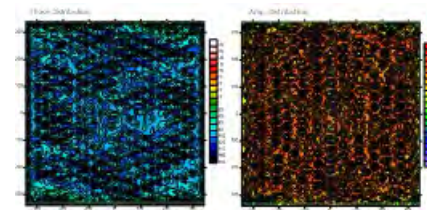
- ✓ 現在のところ150kg台。今後のEM評価等を通じて、重量占有率の高いSARや電源系等を中心に更なる軽量化を進める。

【即時利用性】

- ✓ 自動・自律化の検討により、目標達成可能なシナリオを構築したため、ソフトウェア製造に移行予定。



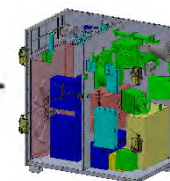
アンテナパネル
設計結果



アンテナ面RF信号分布解析結果
(左:位相、右:振幅)



衛星外形
形状

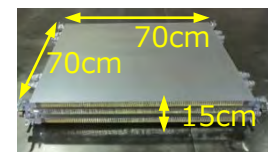


衛星内部
機器配置

コア技術開発の進捗状況

【世界最軽量・高密度収納アンテナ】

- ✓ 巻込収納により、両翼収納時70cm→展開時5mとする展開動作は、試作品を用いたエアベアリング試験により成立性を確認。
- ✓ 衛星打上げ時にかかる振動に対する耐性を確認するため、アンテナパネル4枚を結合した片翼モデルを製造して衛星を模擬した構体と組合せ、夏頃に試験を実施する予定。



アンテナ収納時
サイズ (片翼)



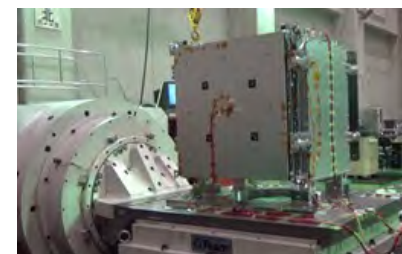
アンテナ収納時



アンテナ展開時

【1kW級高出力マイクロ波増幅器】

- ✓ 基本設計は完了し、試作品により設計どおりの特性が得られていることを検証済み。現在、詳細評価に向けてEM製造中。



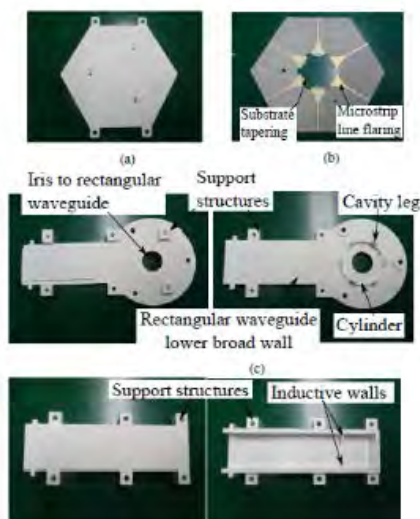
アンテナ含めた振動試験実施の様子

【1.5Gbps高速データ伝送システム】

- ✓ ほどよし衛星4号機での実績品をベースに高性能化に向けた回路設計を実施中。また、送信特性に優れた新型アンプの試作品を製造中。

【オンデマンド・自動・自律化制御】

- ✓ 自動化・自律化の実現に向け、自己診断の実現に必要となるアルゴリズムを開発。12月に打上げ予定の東大CubeSatに本アルゴリズムを搭載し、事前検証を実施予定。



電力合成器
試作品

5. 研究開発プログラムの見直し内容について

(1) プログラム見直しの経緯

当プログラムが開発する小型SAR衛星に対しCSTI及び全体設計レビュー会における外部有識者より以下の3つの重要指摘が示された。

- 災害対応利用に加え**商用利用の側面からも出口戦略の強化**を図るべき
- 災害対応利用においては**平時のデータと組合わせた利用を考慮**すること
- 搭載する機能や**コスト面で優位性が発揮**できるように研究開発を進める必要

これに従い、3つの重要指摘の全てに応える新たな取組みを導入する。

5. 研究開発プログラムの見直し内容について

(2) 見直しのポイント

新たな取組み（小型SAR衛星の多数機コンステレーション）

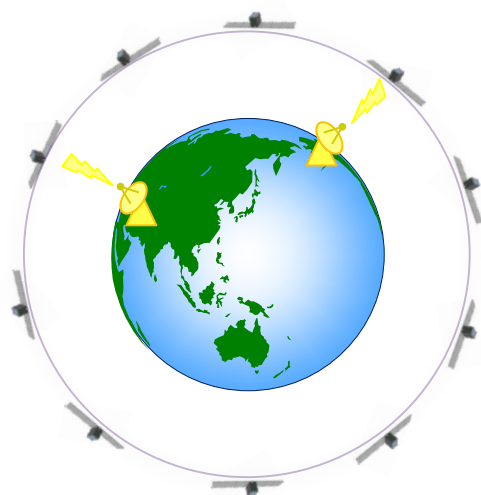
着眼点

○コンステレーションにより全地球規模の常時観測を実現

常時観測により、災害時利用の更なるデータの活用だけでなく、SARデータを活用したい様々なユーザのニーズを喚起し、更なるSARの普及につなげる。

多数機コンステレーションとは・・・

- 多数の小型衛星を軌道上に配備して観測の頻度を上げることで好きな時間に地球上の好きな地点の観測が可能
- 主に米国を中心に、光学衛星を用いた数十～百機超の計画が出現し、実用化に向け各社の開発競争が激化
- この実現には、多数の衛星を同時に運用する際の管制運用の低労力化（運用コストの削減）が必須となるため、個々の衛星が高度に自律化する必要がある



多数機コンステレーション
イメージ

運用方式による比較

運用方式	機数	分解能	高度
オンデマンド	1	1m	300km
コンステレーション	多数 (ex.50)	3m	600km

- コンステレーションに取り組むことで前述の3つの重要指摘に答える
- コンステレーションは、近い将来、雨天や夜間でも観測可能なSAR衛星にも要求があるため、ImPACTでいち早く実現

(2) 見直しのポイント

『全地球規模の常時観測システム』で切り開く新しい商用利用

海外における本邦企業・邦人の 安心・安全への貢献

- 我が国企業は、治安悪化地域も含め今後も積極的に海外に大型プラント等を進出する計画
- 特に危険度が増す夜間に対応し、テロ等勃発時には高頻度な現地情報の更新にも対応するプラント高頻度監視による邦人の安心・安全に貢献

世界中に所在する 重要インフラの常時モニタ

- 経路が長大となるパイプラインや天候の影響を受ける海上プラント等の重要な資源インフラの高頻度モニタ
- 「干渉SAR」と呼ばれる地表の変位を計測するSAR特有の観測手法を用いて、世界中の高速道路などのインフラ老朽化を高頻度モニタ

(2) 見直しのポイント

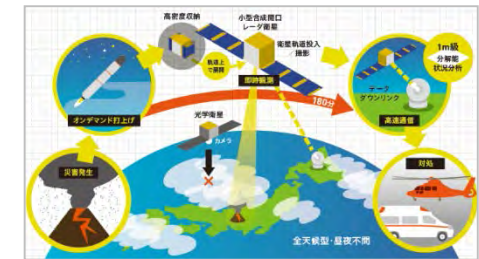
『全地球規模の常時観測システム』の災害対応利用

以下のような多数機コンステとオンデマンド観測を組合わせた運用形態は
災害対応において、より効果のある高価値な情報を生成可能

通常は多数機コンステの定期観測
による平時データのアーカイブ化



オンデマンド即時観測による
被災地域の緊急観測



被災地の
発災**前**の画像



被災地の
発災**後**の画像

変化点
差分抽出

被災状況の把握、展開した部隊の動線の検討、避難経路の確保、復旧計画の立案

(2) 見直しのポイント

小型SAR衛星の低コスト化へのアプローチ

多数機の配備が必須なコンステレーションを実現することにより、小型SARの製造台数が飛躍的に増加。量産に長けた民間の技術を衛星開発にいち早く導入し、低コスト化を実現する。

量産化手法の導入による製造コストの削減：

- ・医療機器産業、自動車及び航空機産業の量産技術の導入 等

軽量化による打上げコストの削減：

- ・3Dプリンタ等を用いた更なる高密度収納アンテナの実現
- ・大電力マイクロ波増幅器への新規デバイスの導入 等

これにより、当初の開発目標であったオンデマンド用途としても低コストで製造が可能に

5. 研究開発プログラムの見直し内容について

(2) 見直しのポイント

プログラム内容の見直し（達成目標）

達成目標を以下のとおり上方修正し、多数機コンステレーションによるサービスを実現するためSAR衛星の更なる小型・低コスト化を実施。但し、性能は当初を維持。

- ✓ SARの分解能 : 1m級 ⇒ 1m級 (性能維持)
- ✓ 重量 : 100kg 級 ⇒ 100kg 以下 (量産時)
- ✓ コスト : 20億円 ⇒ 5億円 以下 (量産時)
- ✓ 即時利用性 : 打上後、数十分～数時間で利用 (性能維持)

プログラム内容の見直し（新たに導入する具体的な内容）

見直しにより、以下の取組みを新たに導入。

- ✓ 低コスト化 : 優れた量産化手法と量産化に対応する衛星システムの検討
- ✓ 軽量化 : 高密度収納アンテナ・大電力マイクロ波増幅器の更なる軽量化、その他のバス・SAR構成機器の軽量化対策
- ✓ 高度自律化 : 衛星多数機の同時運用を低労力で可能にするAI等を活用した衛星の高度自律化
- ✓ 高機能化 : 長寿命化やデータ即時入手性向上等を実現する衛星の拡張機能を検討

6. 海外のSAR衛星の開発状況

1. Iceye : フィンランド

【システム概要】

- 100kg級XバンドSAR小型衛星22機によるコンステレーション
- 分解能 : 10m
- 目的 : 北海航路ユーザに対する流氷分布情報の提供

【近況】

- 2017年に試験機の打上げ・運用を計画
- 2020年のサービスインを目指す

2. NOVASAR-S : 英

【システム概要】

- 400kg級SバンドSAR小型衛星3機によるコンステレーション
- 分解能 : 6m
- 目的 : 一般商用ユーザへのSARデータの提供

【近況】

- 2017年に打上げ・運用を計画

3. NEXTSAT-2 : 韓国

【システム概要】

- 150kg級XバンドSAR小型衛星
- 分解能 : 5m
- 目的 : XバンドSARの開発・実証

【近況】

- 2017年3月に開発開始
- 2020年後半の打上げを目指す

早期の打上げ・運用により、**SARデータサービス分野でのデファクトスタンダード**となることが重要