

# 気象衛星ひまわりの高機能化技術開発 ～ひまわり後継衛星への宇宙環境観測機能 及び気象観測機能の同時搭載に関する調査研究～

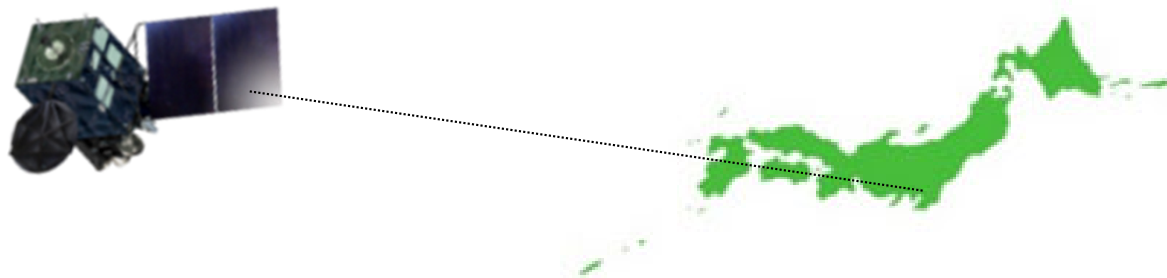
2024年12月13日（金）

第30回 衛星開発・実証小委員会

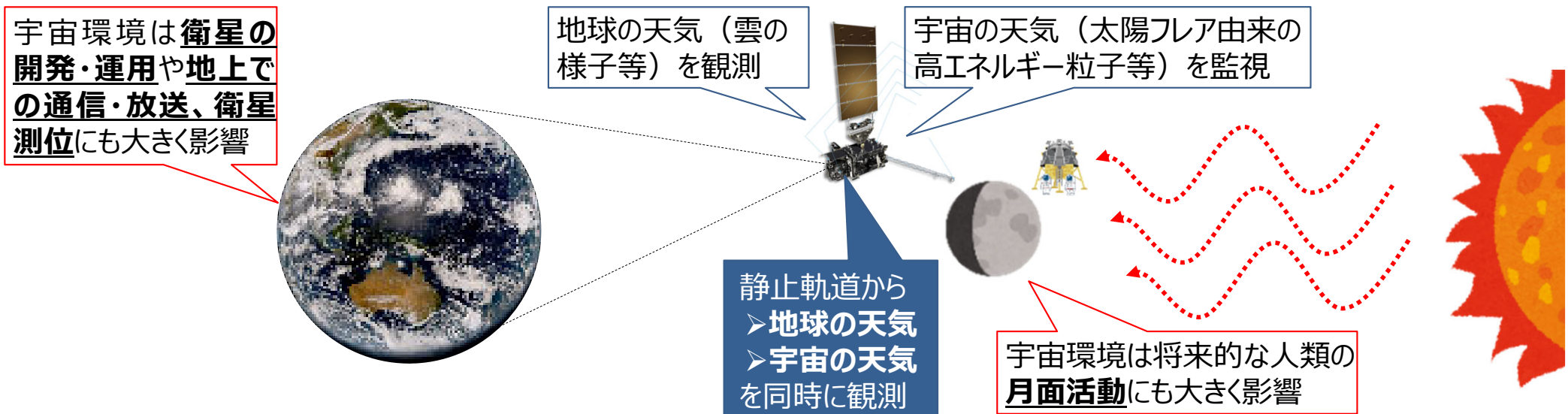
気象庁 情報基盤部 気象衛星課

勝山 健一

- 宇宙状況把握や衛星の運用、地上での通信・放送、衛星測位等の安定的な利用には、太陽活動、電離圏、磁気圏の状況に関するより精度の高い宇宙天気予報が重要。
- 気象データは防災、交通、産業等の多様な分野での活用が進められているが、他データと連携した高度な分析を促進させるためには、より精度が高い気象観測・予測データが重要。
- 宇宙天気予報や気象予測の精度向上には、宇宙空間での宇宙環境観測データやアジア太平洋地域の気象データを常時取得・解析することが極めて有効。
- 静止軌道位置は限られた資源であり、日本を常時監視するために最も適した位置（東経140.7度の赤道上空）にあるひまわりを活用し、宇宙環境観測を担当する総務省と、気象観測を担当する気象庁が、連携して検討を進めることが必要。



- 総務省との連携の下、静止軌道からの宇宙環境観測技術と気象観測技術に係る下記調査研究について実施した。
  - 静止軌道からの宇宙環境観測を実現する新たな観測センサ技術の開発を実施。（総務省）
  - 静止気象衛星への宇宙環境観測機能と気象観測機能の同時搭載に関する技術調査を実施。（気象庁）
- 総務省と気象庁が連携して、ひまわり8号・9号の後継機による“地球の天気”と“宇宙の天気”の高機能同時監視の実現を目指す。



➤ ひまわりを活用し、宇宙環境と気象の高機能同時監視を実現するため、総務省の下で開発が進められる宇宙環境センサについて、開発状況や後継衛星の整備状況に応じて、製作や運用に必要な下記の調査研究を実施した。

### 【総務省】

- ①電子センサ開発
- ②陽子センサ開発
- ③帯電モニタ開発
- ④共通回路部開発

### 【気象庁】

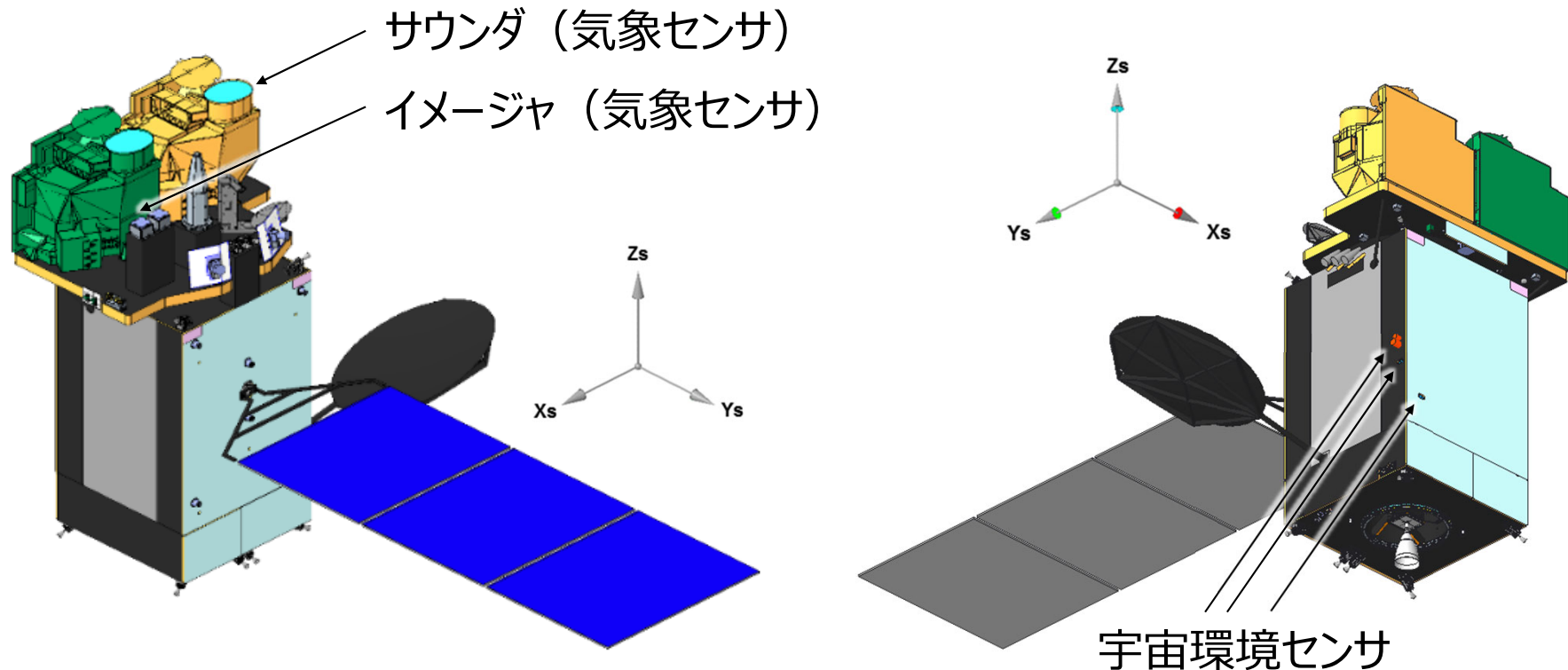
- ⑤インタフェース要件の整理  
(概ね共通回路部開発と並行して実施)
- ⑥同時搭載性評価  
(概ね宇宙環境センサ開発と並行して実施)
- ⑦製造工程で必要な業務要件等の必要な資料の整理  
(インタフェース要件整理、同時搭載性評価を踏まえて実施)

		R3	R4	R5
総務省	①・③	基本設計	EM製造・試験	
	②	概念検討・要素試験	基本設計	EM製造・試験
	④	予備設計	基本設計	EM製造・試験
気象庁	⑤	評価 (予備設計段階)	評価 (基本設計段階)	評価 (EM製造段階)
	⑥	評価 (基本設計段階)	評価 (EM製造段階)	評価 (最終段階)
	⑦	業務要件案の作成	業務要件案の精査	業務要件確定

※EM：エンジニアリングモデル

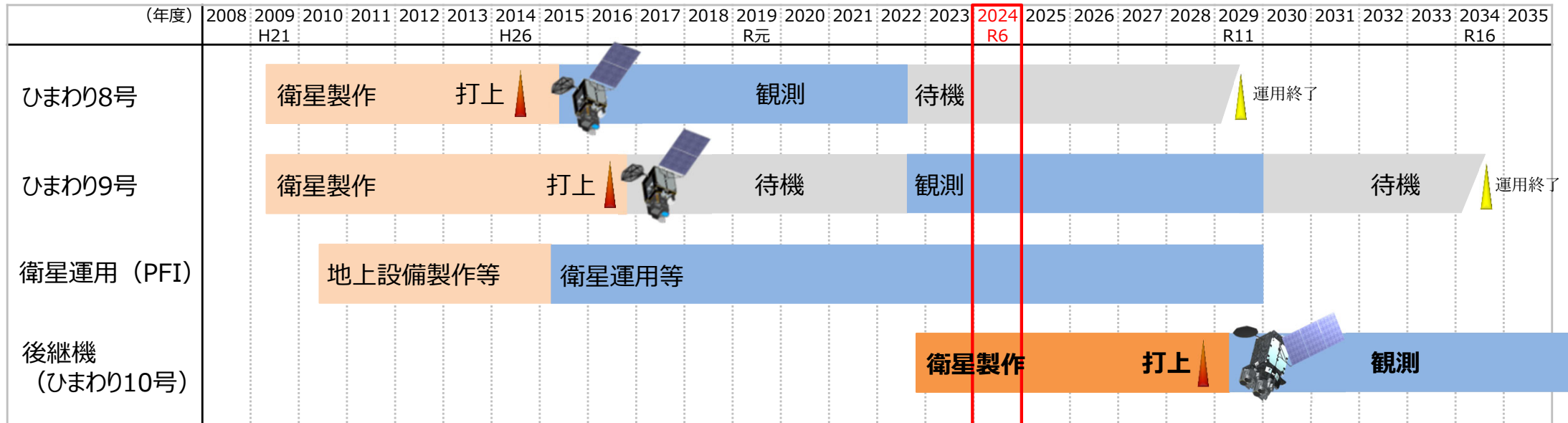
※①～④については、R6の9月末まで契約延長

- ▶ 宇宙環境センサと気象センサの同時搭載性に関する調査研究を令和3年度から委託している有人宇宙システム株式会社より、同時搭載性に関する評価等を取りまとめた報告書を令和5年度に受領した。
- ▶ 宇宙環境センサと気象センサを同時に運用した場合における地上とのデータ送受信の成立性や各センサが相互に与える影響（擾乱等）を評価し、同時搭載時における運用が実現可能であるという結論が得られた。



# 4. 委託事業終了後の宇宙実証に向けた取組状況

- 現行の静止気象衛星ひまわり8号、9号は令和11（2029）年度までに設計上の寿命を迎える。
- 線状降水帯や台風等の予測精度を抜本的に向上させるため、大気の三次元観測機能「赤外サウダ」など最新技術を導入した次期静止気象衛星の整備に令和5（2023）年に着手。
- 宇宙環境センサと気象センサを同時搭載した次期静止気象衛星について、令和11年度の運用開始に向け、着実に整備を進める。



# ひまわりの高機能化研究技術開発 ～宇宙環境観測技術の開発～

衛星開発実証小委員会・成果報告

2024年12月13日

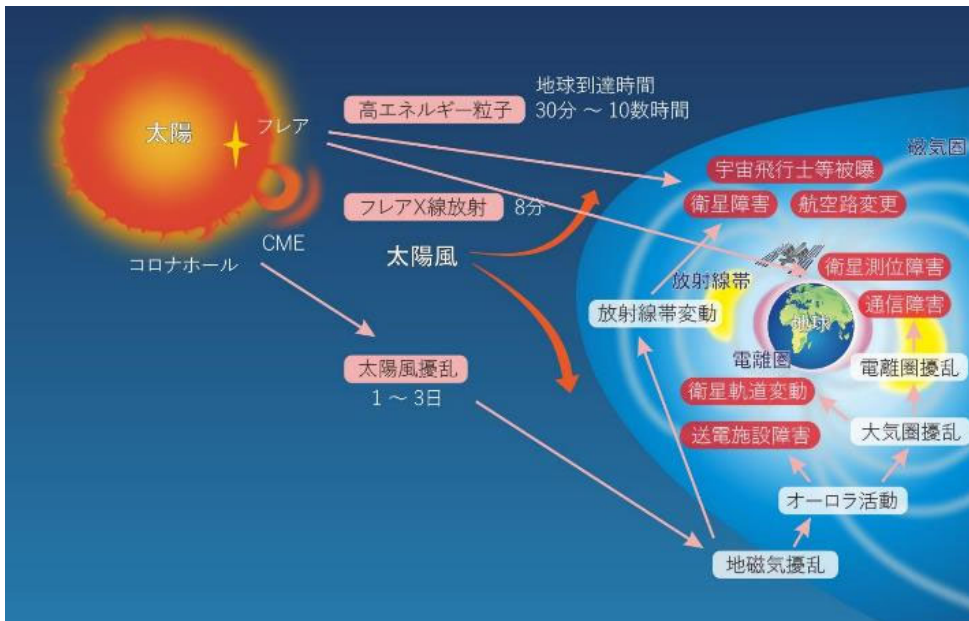
説明者：総務省

国立研究開発法人情報通信研究機構（委託事業者）

# 研究開発の背景

- 太陽フレアが大規模に生じると、電気を帯びたガスや人体に有害な高エネルギーの粒子、放射線(X線など)が地球方向に大量に放出され、短波放送や航空用無線の障害、GPS等の衛星測位への影響、人工衛星の機器の故障等につながる恐れがある。
- このため、総務省・国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が連携し、24時間365日の有人運用により、太陽活動や磁気圏・電離圏を観測・分析し、宇宙天気予報を提供している。

※総務省・NICTでは長年にわたり電波の伝わり方の観測等を行なっており、宇宙天気予報業務はこれらが発展した取組



地上の観測設備等で  
電離圏等を観測・分析

➡

観測データを基に、  
伝搬異常を予測

➡

宇宙天気予報を  
配信

太陽電波観測システム

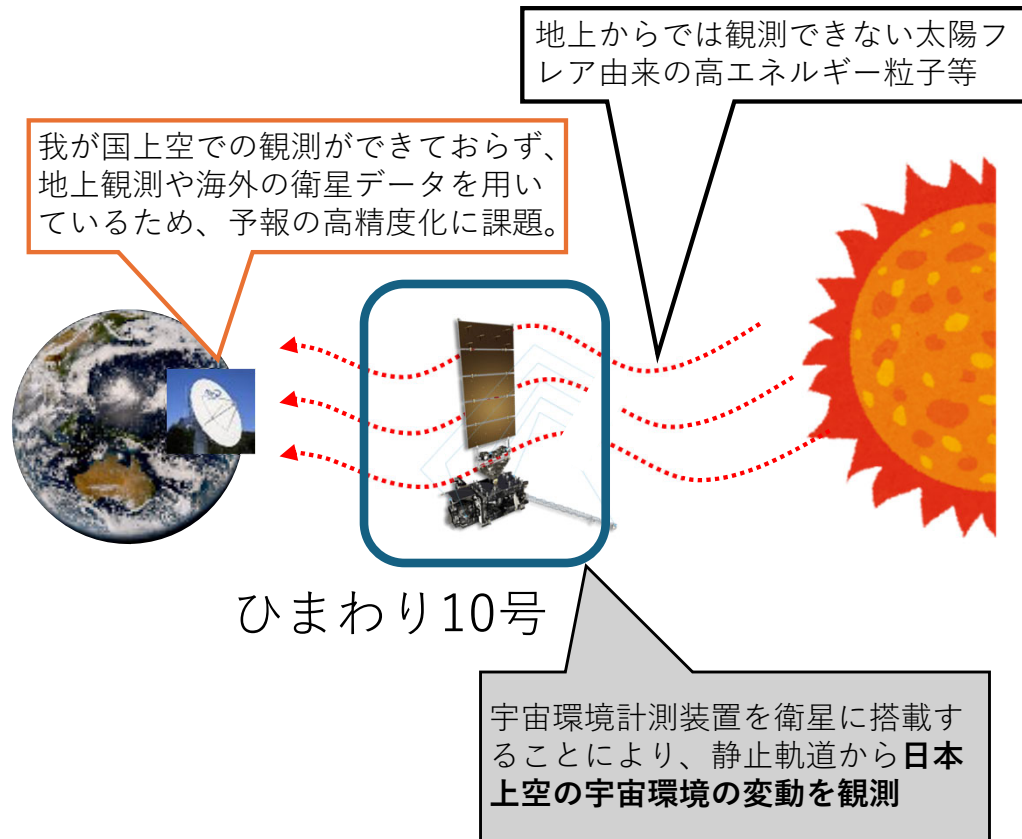
電離圏の異常で電波が吸収

太陽フレアの活動規模を予測



# 研究開発の背景

- 現状の宇宙天気予報では、地上の観測設備や海外の衛星データを活用。
- 太陽フレア等による影響を高精度に分析・予測するためには、地上から観測できない我が国上空の宇宙空間における宇宙環境の変動を観測することが必要であることから、宇宙環境センサの開発に取り組んでいる。



**ひまわりの高機能化研究技術開発**  
宇宙開発利用推進費（研究開発期間 R2年度～R5年度）

EM（エンジニアリングモデル）の開発 から



PFM（プロトフライトモデル）の開発 へ

**次期静止気象衛星（ひまわり10号）に搭載する宇宙環境計測装置の開発**  
電波利用料（研究開発期間 R6年度～R11年度）

# ひまわりの高機能化研究技術開発 ～宇宙環境観測技術の開発～

衛星開発実証小委員会・成果報告

2024年12月13日

総務省

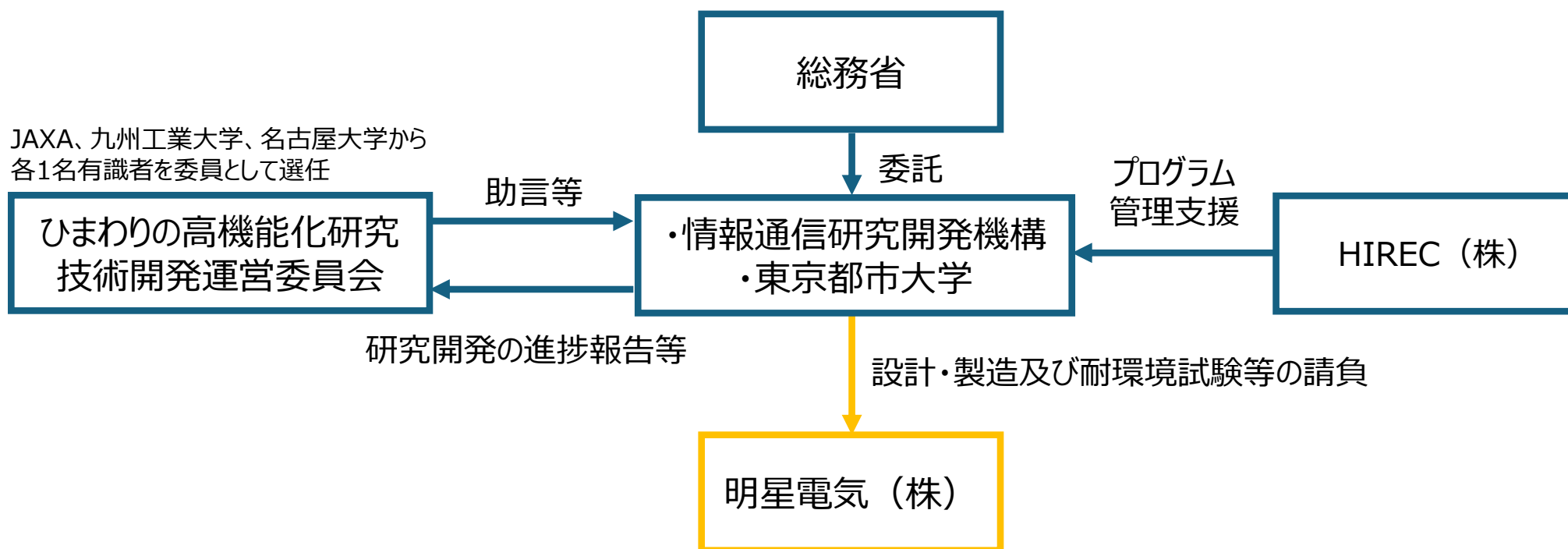
説明者：国立研究開発法人情報通信研究機構（委託事業者）

# 研究開発の目標（技術課題）

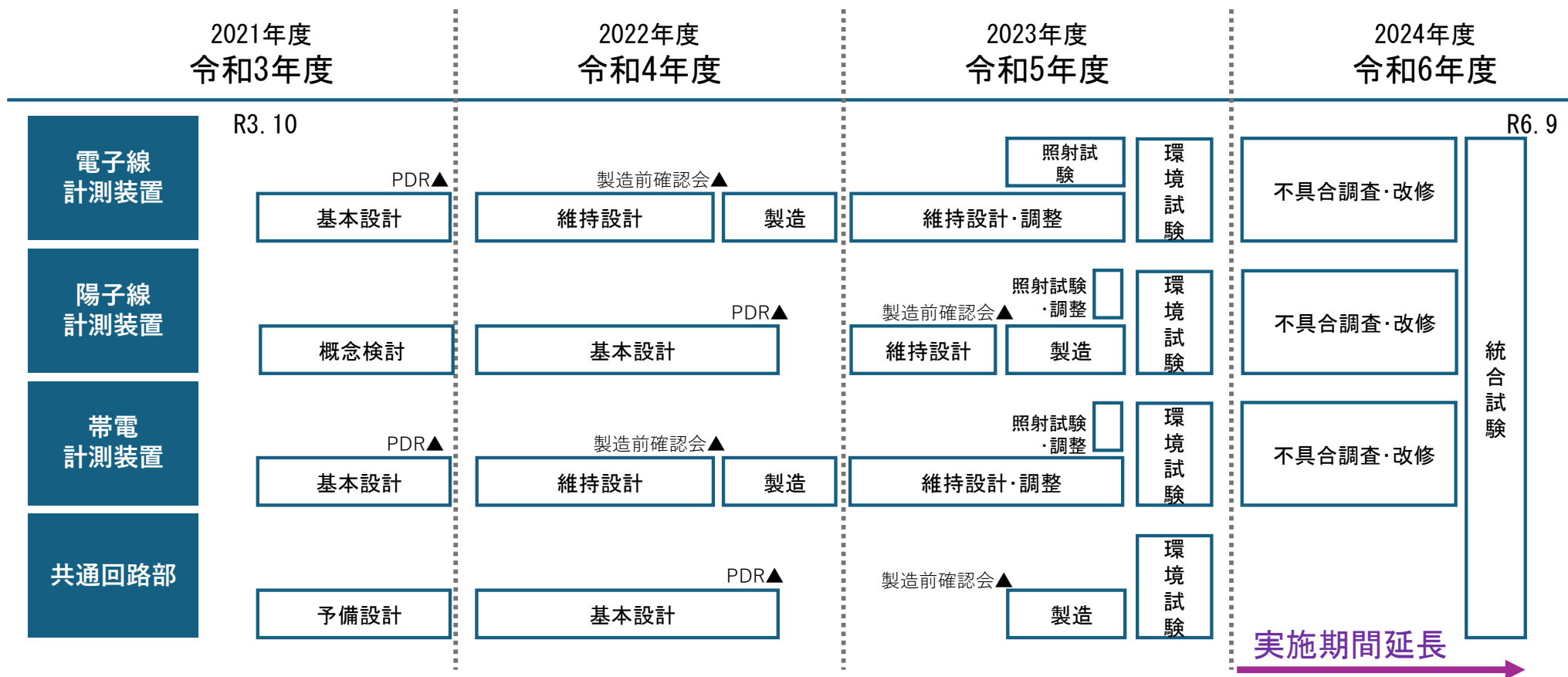
- 高エネルギー電子線を計測する装置の研究開発
  - ✓ 衛星不具合の要因となる電子線を現在運用中の宇宙環境データ取得装置 (SEDA) よりも広いエネルギー範囲で監視するため、シリコン半導体素子を複数枚積層し、各層を通過する電子線が生成する信号を従来よりも高速に処理することで、50 keVから5MeVまでの広いエネルギー範囲の電子線を計測。
- 高エネルギー陽子線を計測する装置の研究開発
  - ✓ 衛星不具合や劣化の要因となる陽子線を、現在運用中の宇宙環境データ取得装置 (SEDA) よりも広いエネルギー範囲で監視するため、数百MeVよりも低エネルギーの陽子線の計測に適した積層シリコン半導体素子と、数百MeVからGeV域の高エネルギー陽子線の計測に適したチェレンコフ光検出器を組み合わせることにより、10 MeVから1GeVまでの陽子線フラックスを計測。
- 人工衛星の材料内部の帯電量と分布を計測する装置の研究開発
  - ✓ パルス静電応力法を用いて断熱材に使用されるような絶縁体厚よりも十分薄い空間解像度で固体誘電体中の空間電荷分布を計測。
  - ✓ 障害リスクを監視するため  $0.5\text{C}/\text{m}^3$  程度の空間電荷量を計測。
- 計測装置をひまわり後継機に搭載可能とする共通回路部の研究開発
  - ✓ 計測機器と衛星バスシステムを接続する統合インタフェース機能を有する共通回路部を開発。

# 研究開発体制

総務省よりNICT・東京都市大学が委託を受け、NICTが研究開発計画の立案・管理を実施し、NICTから明星電気（株）が宇宙環境計測装置の設計・製造及び耐環境試験等を請け負うことで研究開発を実施した。



# 研究開発スケジュール（実績）



# スケジュールの延長について

- NICTが外注により製造していた宇宙環境計測センサのエンジニアリングモデル（EM）について、試験機関の火災や半導体不足の影響で製造及び試験が遅れた。また、令和5年度末に下記表に示すように、電子線・陽子線計測装置の耐環境試験時と帯電計測装置の性能試験時に不具合が発見された。
- そのため、実施期間を6カ月延長して、原因調査、改修、および再試験を行い、所望の要件を満たすことを確認した。

	電子線計測装置	陽子線計測装置	帯電計測装置
事象	振動試験2軸目後の電気性能確認時に、高電圧モータが異常値を示した。	振動試験1軸目を実施中に異音が発生した。	計測信号に機器由来のノイズがあり、電荷量の評価が適切に出来ず、また計測信号に周期信号が重畳されている。
原因	振動試験1軸目で高圧配線が固定不良によって断線したため、処置後に追加振動試験を実施した。その後、2軸目に進んだが、疲労が累積していたことにより、高圧素子周辺のはんだ部が割れ、リードが破断した。	低エネルギー側センサケーブルのシールド用の銅テープと接着材が想定外の場所の施工されていたため、取り付け面の密着度が不足し、振動により破損した。また、一部のボルトの締結力が不足していたため、緩みが発生した。	周辺機器由来のノイズが、アンプ、電源、グラウンド部等から混入している。
処置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高圧素子を交換</li> <li>• 高圧素子底面に固着を追加</li> <li>• 高圧素子周辺のはんだ付け直し</li> <li>• 累積疲労を考慮し必要箇所を再度はんだ付け</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 取り付け面でのシールド施工を実施せず、密着度を確保</li> <li>• 締結箇所の追加</li> <li>• 皿ネジに接着剤を塗布</li> <li>• 損傷部品は新規製造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 混入経路の特定</li> <li>• 混入経路に適したノイズ対策を実施</li> <li>• 出力信号処理によるノイズ除去</li> </ul>
結果	改修後の再振動試験および統合試験を実施し、耐環境試験への適合性を確認	改修後の再振動試験および統合試験を実施し、耐環境試験への適合性を確認	ノイズ対策と出力信号処理によって不要な信号を低減、適切な電荷量評価結果を確認

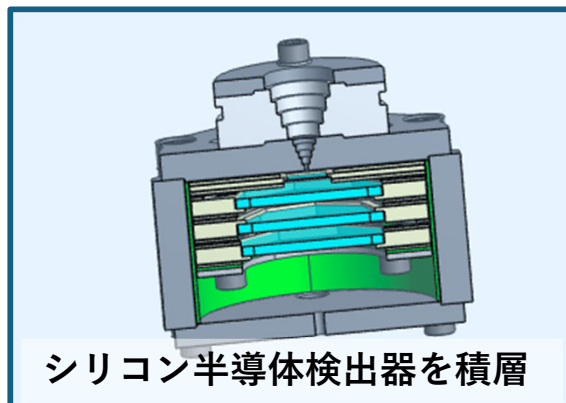
# 実施結果（全体サマリ）

1. 積層されたシリコン半導体検出器を用いて、広いエネルギー範囲で電子線を計測する装置を開発した。
2. 積層されたシリコン半導体検出器とチェレンコフ光検出器を用いて、広いエネルギー範囲で陽子線を計測する装置を開発した。
3. パルス静電応力法を用いて、絶縁体材料内の空間電荷分布を計測する装置を開発した。
4. 複数の計測機器の搭載性を高めるために、衛星バスシステムとのインタフェースとして共通回路部を開発した。
5. 静止衛星搭載用宇宙環境センサEM開発完了確認会を実施し、上記機器の開発完了とプロトフライトモデル（PFM）の開発への移行について承認された。

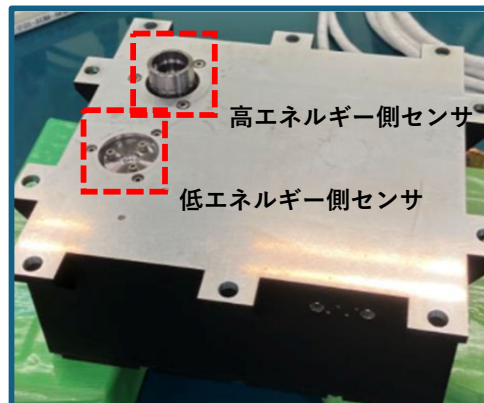
# 研究開発成果1. 電子線計測装置

低エネルギー側計測器は4枚、高エネルギー側の計測器は7枚のシリコン半導体を積層し、従来より高速で処理が可能な設計を採用、現在ひまわり8号、9号で運用中の宇宙環境データ取得装置 (SEDA : 200 keV - 4.5 MeV) よりも広いエネルギー範囲 (50 keV - 5 MeV) で計測可能にした。

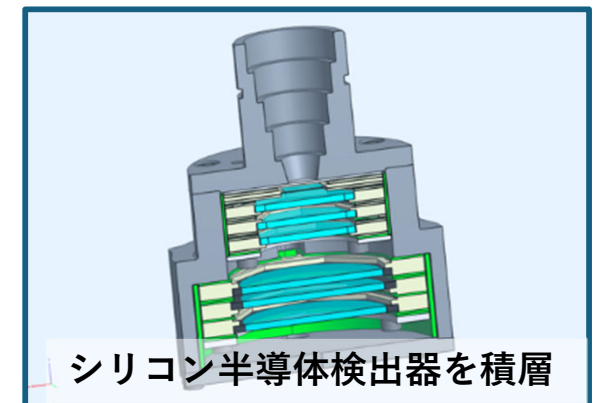
性能項目	低エネルギー側センサの性能	高エネルギー側センサの性能
計測エネルギー範囲	50 keV - 1.3 MeV	800 keV - 5 MeV, >2 MeV
視野範囲	±20.3度	±22.1度
計測可能フラックス範囲	$1.6 \times 10^3 - 1.6 \times 10^8$ [/cm <sup>2</sup> /str/s]	$1.1 \times 10^1 - 3.4 \times 10^5$ [/cm <sup>2</sup> /str/s]
エネルギーチャンネル数	8 (対数均等割)	8 (対数均等割)



低エネルギー側センサ概略図



電子線計測装置EM



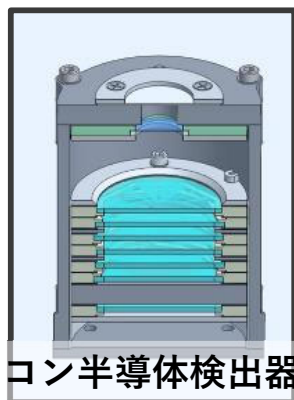
高エネルギー側センサ概略図



# 研究開発成果2. 陽子線計測装置

低エネルギー側計測器はシリコン半導体検出器、高エネルギー側チェレンコフ光検出器を用いることで、現在ひまわり8号、9号で運用中の宇宙環境データ取得装置 (SEDA : 15 MeV – 100 MeV) よりも広いエネルギー範囲 (10 MeV – 1 GeV) で計測可能にした。

性能項目	低エネルギー側センサの性能	高エネルギー側センサの性能
計測エネルギー範囲	10 MeV – 500 MeV	350 MeV – 1 GeV, >1 GeV
視野範囲	±20.1 度	±20.6 度
計測可能フラックス範囲	$1.7 \times 10^{-1} - 1.0 \times 10^5$ [/cm <sup>2</sup> /str/s]	$1.2 \times 10^{-1} - 1.0 \times 10^2$ [/cm <sup>2</sup> /str/s]
エネルギーチャンネル数	12 (対数均等割)	4 (対数均等割)



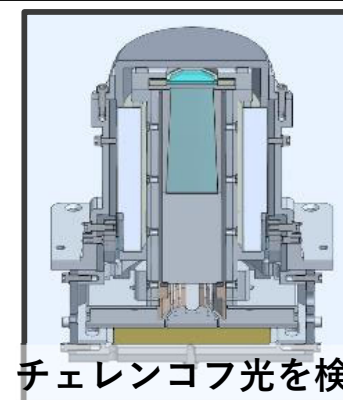
シリコン半導体検出器を積層

低エネルギー側センサ概略図



低エネルギー側センサ 高エネルギー側センサ

陽子線計測装置EM



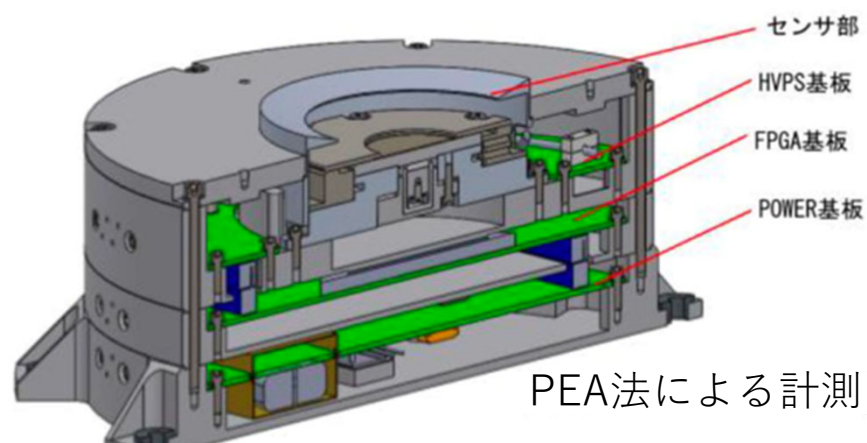
チェレンコフ光を検出

高エネルギー側センサ概略図

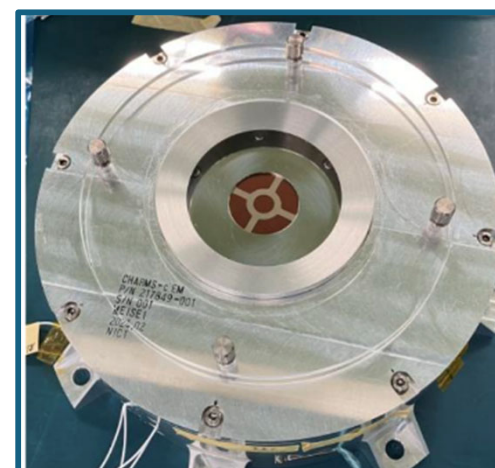
# 研究開発成果3. 帯電計測装置

パルス静電応力法を用いて、人工衛星の断熱材に使用されるような絶縁材料の厚さ10%以下の空間解像度で、固体誘電体中の空間電荷分布を計測可能とした。また、計測下限を $0.5\text{C}/\text{m}^3$ 以下とすることで絶縁材料内で放電が懸念される数十 $\text{C}/\text{m}^3$ 程度を計測可能とした。

性能項目	帯電計測装置の性能
計測下限	$\sim 0.5\text{C}/\text{m}^3$
視野範囲	$\pm 75$ 度
位置分解能 (半値幅)	9.2% ( $11.5\mu\text{m}$ ) *



帯電計測装置概略図

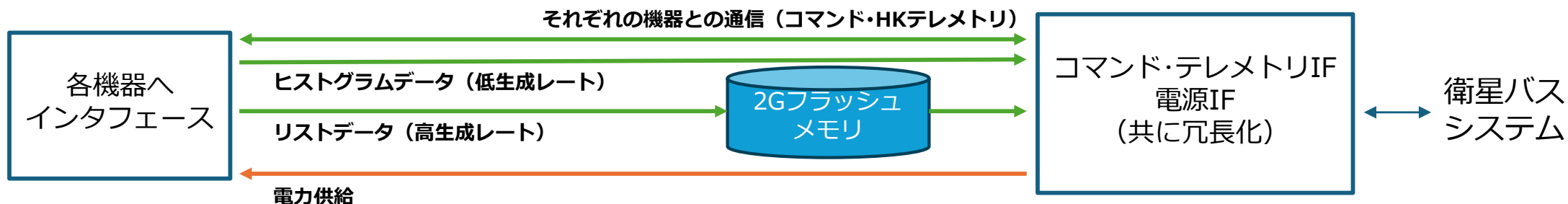


帯電計測装置EM

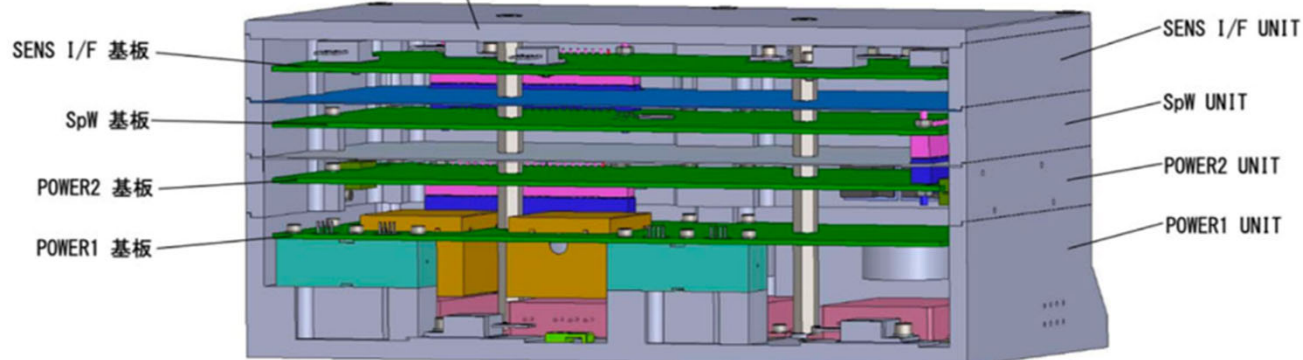
\*センサ調整により高分解能化の余地あり

# 研究開発成果4. 共通回路部

各計測機器を衛星バスシステムと接続する機能を持ち、冗長化されたコマンド・テレメトリIFおよび電源IFを有する。地上から送られてくるコマンドを各機器へ振り分ける機能や短時間にダウンリンクレートを超えるデータを生成するリストデータを、一時的に記録する機能を有する。



筐体厚 6mm (アルミニウム)



共通回路部概略図



共通回路部EM

# 静止衛星搭載用放射線及び帯電計測装置エンジニアリングモデル（EM）開発完了事前説明会/確認会

RMSがPFM設計・開発段階へ移行可能かの評価を行うため、NICT内で組織された委員会により、開発成果に対する確認会を実施。

## 事前説明会/確認会の参加メンバー

### 委員会構成メンバー

委員長：NICT研究系理事

副委員長：電磁波研究所所長

委員：他の衛星開発に携わるNICT職員（5名）

外部有識者：ひまわりの高機能化研究技術開発運営委員会委員

オブザーバ：気象庁、総務省宇宙通信政策課



EM開発完了確認会の様子

（2024年9月3日 NICT 3号館1階セミナー室）

## 委員会による事前説明会/確認会の実施状況

EM開発完了事前説明会  
（7月25日（木）実施）

質問票受付・回答

EM開発完了確認会  
（9月3日（火）実施）

PFM設計・開発に移行して  
良いと判断

- 各機器に対する設計、製造、試験等の結果を事前説明会において報告
- 質問票を受け付け、開発プロジェクトからの回答を実施（総質問数：28件）
- 回答を含めた各機器に対する設計、製造、試験等の結果を、確認会において報告
- 委員会による審議の結果、PFMの設計および開発に移行して良いと判断

# プロジェクト評価結果の留意事項に対する回答(1/2)

## 【プロジェクト評価結果の留意事項】

### ⑤ひまわりの高機能化技術開発 (R2-05)

(1) 本事業の研究成果に基づき、気象センサと同時に宇宙環境センサを搭載可能な後継衛星の製作をスケジュール通り開始した点は評価できる。

(2) (a) 本プロジェクトは今年度で終了となるが、事業終了後は本プロジェクトで開発した試験モデルの活用に向けた取組を継続するとともに、(b) 宇宙天気ユーザーフォーラムやユーザー協議会衛星分科会を通じて、国内の宇宙天気データ利用事業者からの情報収集を実施し、ビジネス検討やガイドラインの制定に向けた調整をしっかりと進めていくことが必要である。

## 留意事項 (1) 及び (2) (a) に対する対応状況

- 令和6年度から総務省委託事業「次期静止気象衛星（ひまわり10号）に搭載する宇宙環境計測装置の開発」を受託し、ひまわり10号に搭載可能な宇宙環境センサのプロトフライトモデル（PFM）の開発を開始した。
- ひまわり10号（2029年度運用開始）の衛星運用等事業に係る共同調達に向け、当該共同調達の実施方針を公開（令和6年11月1日）。
- 宇宙環境センサにおけるNICT内の研究開発体制について、当該宇宙環境センサ開発プロジェクトのプロジェクトマネージャーの設置や研究員の増員（3名）、品質管理事業者の参加等、本プロジェクトを着実に実施するための体制を強化した。



# プロジェクト評価結果の留意事項に対する回答(2/2)

## 留意事項(2)(b)に対する対応状況

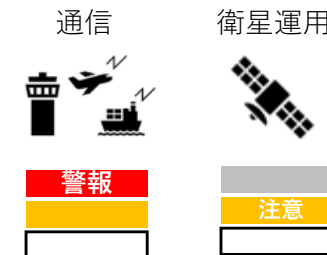
- 宇宙天気情報利用者からの情報収集や交流のため、**宇宙天気ユーザーズフォーラム及び宇宙天気ユーザー協議会**の総会や衛星分科会を始めとする各種分科会を開催した。
- 宇宙天気予報の市場調査によって80社以上の企業ニーズの聴き取りを実施**し、衛星運用分野を含む各分野の**ユーザーの宇宙天気利用状況やニーズ・シーズマッチングの課題、社会実装に向けた課題の検討**を進めた。
- 調査によりニーズの高い分野を同定、衛星運用、衛星測位・ドローン、観光分野のビジネス向けコンセプトムービーを製作**し、イベントや企業訪問で利用した他、APIを利用したデータ提供プラットフォームの構築の検討等取組を進めた。
- 社会的影響の大きさも考慮した**新たな警報基準を用いて自動でメールを配信する新警報発信システム**を開発し、基準が策定済みの**通信・放送(HF帯)、宇宙システム運用(衛星)、航空機人体被ばく分野についてテスト運用を開始し、今年度中の一般への公開に向けて準備を進めた**。また、警報受領後の対処方針(ガイドライン)についても合わせて公開できるように策定を進めている。
- 国際標準化活動として、ISO TC20 SC14 において人工衛星の宇宙環境及び衛星耐放射線設計に関する標準化を検討した。また、**CGMS(気象衛星調整会議)にひまわり10号搭載予定のセンサ開発状況や静止気象衛星の宇宙環境計測装置の相互校正等に関する情報を入力**した。



宇宙天気ユーザーズフォーラムの開催



宇宙天気ユーザー協議会の開催



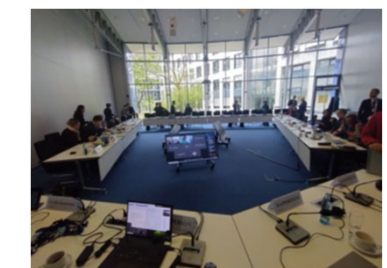
**通信・放送(HF帯)**  
**警報**: 昼間側広範囲でHF帯全域使用不可  
**注意**: 昼間側広範囲で低周波数使用不可  
 平常: 影響なし

**基準: 社会的影響の規模**

新たな警報基準を用いた新警報発令システムの開発・運用



ビジネス向けコンセプトムービー製作(衛星運用、測位、観光分野)



気象衛星調整会議作業部会(2024年4月24日ドイツ・ダルムシュタット)

# 今後の予定

- 令和6年度から総務省委託事業「次期静止気象衛星（ひまわり10号）に搭載する宇宙環境計測装置の開発」において、**ひまわり10号に搭載可能な宇宙環境センサのプロトフライトモデル（PFM）を開発中。**
- ひまわり開発の知見を活かし、民間とも連携して廉価版のセンサ開発を行うなど、民間の技術移転を目指す。
- 帯電センサについては気象庁との調整の結果、ひまわり10号には搭載しないこととなったが、今後他の衛星への搭載機会を活用した宇宙実証を目指す。
- 引き続き、気象庁と協力しながら、ひまわり10号の打ち上げに向けて、各種手続を進めていく。