

ひまわりの高機能化研究技術開発

基本計画書

1. 目的

近年、人工衛星を用いる通信・放送・測位等は、我々の生活において不可欠な情報を提供する社会インフラとなっている。一方、太陽からの電磁波や高エネルギー粒子、太陽風と呼ばれる太陽からの高速のプラズマ流により、通信・放送・測位等の電波利用に対する不具合や、人工衛星、電力網等への影響を与えることが知られている。宇宙及び地上の技術システムの性能と信頼性に影響を与えたり、人間の生命と健康を危険にさらす可能性のある、変動する太陽表面、宇宙空間、そしてその影響で乱れる地球の地磁気や上層大気の状態である「宇宙天気」の監視及び予報を行うことが、これらの安定した利用に必要である。また、人工衛星を用いた通信・放送・測位に不具合が発生した場合、太陽活動による自然現象か、システムの故障あるいは意図的な干渉によるものかを早急に判断するためには、「宇宙天気」の常時監視が必要となる。

現在、我が国では宇宙天気の状態を常時監視する衛星を持たないため、米国等の海外の衛星データを使わざるを得ない状況にある。しかし、静止軌道上の高エネルギー粒子の分布は一様ではなく、我が国上空の静止衛星付近の宇宙環境は米国上空とは異なることから、我が国上空の宇宙天気を正確に把握できていないのが現状である。

米国では、安全保障の観点から宇宙天気を宇宙ゴミ（デブリ）、地球近傍天体（隕石等）とともに SSA（Space Situational Awareness：宇宙状況監視）の基本要素と位置づけ、NASA（アメリカ航空宇宙局）及び DoD（アメリカ国防総省）が監視を行っている。欧州では ESA（欧州宇宙機関）が同様の位置づけで宇宙天気監視体制の強化を行っている。我が国においては、2017 年 9 月の大規模太陽フレア発生以降、地上からの宇宙天気監視体制の強化が進められているものの、衛星による宇宙天気監視はいまだ実現しておらず、他国の衛星に頼ることなく宇宙天気を監視する体制を確立することが必要である。

以上の背景のもと、本計画は、太陽フレア起源の高エネルギー粒子を静止軌道で計測し、我が国上空の宇宙空間の状況を把握、予報するためのデータを取得する技術を開発し、アジア域の静止衛星の保全及び電波の安定利用に資することを目的とする。具体的には、静止軌道上の高エネルギー粒子（電子・陽子）の計測装置及び衛星帯電を監視する観測装置を開発し、2028 年度をめどに打ち上げを目指す静止気象衛星ひまわり後継機にこれらの装置を搭載して宇宙環境の継続的な監視を行う。現行の静止気象衛星ひまわり 8 号・9 号にも高エネルギー粒子の測定装置が搭載されているが、当該衛星に帯電・被ばくを引き起こすエネルギー帯を十分カバーできていないため、観測エネルギー帯を拡張するための研究開発を行う。

2. 政策的位置づけ

- ・宇宙基本計画（令和2年6月30日閣議決定）
「産業・科学技術基盤を始めとする宇宙活動を支える総合的な基盤の強化」において、宇宙環境のモニタリング（宇宙天気）が主な取り組みの一つとされており、「宇宙環境の変動への対応力を更に高めるため、国内外の関係機関等と連携し、電離圏や太陽活動等の観測・分析システムの更なる高度化を図る」旨が記載されている。
- ・宇宙基本計画工程表（令和2年12月15日宇宙開発戦略本部決定）
8. 宇宙状況把握において、「宇宙状況把握に係る能力構築や将来的な能力強化のため、米国と連携した宇宙状況把握に必要な運用要領等の具体化、JAXAを始めとした関係政府機関等との連携、米国や仏国等との二国間・多国間協力、民間事業者との宇宙状況把握に関する情報共有のあり方等の具体的な取組を推進する。また、防衛省は、宇宙空間の電磁的環境情報等に関しJAXAに加えて、宇宙天気情報の活用についてNICTとの連携を進める。」旨が記載されている。
- ・宇宙基本計画工程表（令和2年12月15日宇宙開発戦略本部決定）
20. スペースデブリ対策において、「宇宙天気の観測やその予報、またそれらを応用した衛星やデブリの軌道に影響を及ぼす大気ドラッグの推定のための大気モデルの研究など、デブリの観測、抑制に資する取り組みを推進する。」旨が記載されている。
- ・宇宙基本計画工程表（令和2年12月15日宇宙開発戦略本部決定）
24. その他産業・科学技術基盤を始めとする宇宙活動を支える総合的な基盤の強化において、「電離圏観測に関し、東南アジア諸国と連携し、衛星測位の誤差要因の一つである電離圏の乱れの検出について研究を進める（再掲）。電離圏や磁気圏、太陽活動を観測、分析し、24時間365日の有人運用による宇宙天気予報を実施する。宇宙天気ユーザーズフォーラム、宇宙天気ユーザー協議会を通じて関連情報の提供及びニーズ調査を行う。国内外の関係機関等とも連携し、観測・分析システムの高度化を図るとともに、観測データを用いたシミュレーション研究により宇宙天気予報システムの高精度化等を進める。」旨が記載されている。

3. 目 標

（1）政策目標（アウトカム目標）

大気の庇護を受けない宇宙空間での静止衛星は、銀河や太陽起源の高エネルギー粒子にさらされ、誤動作や不具合が発生するリスクがある。このリスクを軽減、回避するためには、衛星近傍の宇宙環境を定常的に計測し、具体的な対処を促すための警報を発信し、事業者が対応するための時間を確保する必要がある。また、衛星の帯電状況を常に監視することで、宇宙環境変動に対する衛星の状況変化を把握することが可

能となり、衛星設計標準にその結果を反映して、宇宙環境変動に強い衛星を設計する指針を得ることが期待できる。

そこで、静止衛星の高エネルギー粒子に対する抗たん性の向上を目的として、①高エネルギー粒子（電子及び陽子）について、衛星運用に不具合をもたらすエネルギー領域の測定を可能にするセンサと、②当該のエネルギー領域の高エネルギー粒子にさらされた衛星本体の帯電状態を監視する内部帯電モニタを開発し、上記のリスクを軽減することにより、我が国上空を中心とする衛星の安定運用に資することを目標とする。

(2) 研究開発目標（アウトプット目標）

これまで科学衛星の開発で培ってきた高エネルギー粒子及び衛星帯電のセンサ技術を基に、国内外研究機関と連携し、静止軌道上での宇宙環境を定常的に観測することを可能にするセンサを開発する。右図に示すように、現行の静止気象衛星ひまわり8号・9号に搭載されているセンサの観測領域は電子200 keV-1 MeV、陽子20-80 MeVであるが、これまでの観測結果を全てカバーしていない。そこで、本研究開発では、観測領域を現行装置より拡張した広観測領域の高エネルギー粒子センサを開発する。また、衛星が実際に帯電している状況を把握するため、衛星材料内部の電荷分布を計測可能な内部帯電モニタを開発することを目標とする。

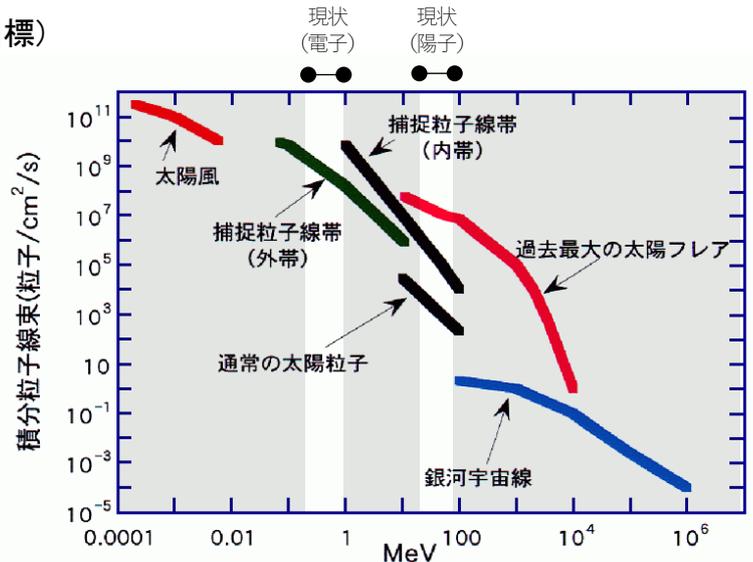


図 宇宙放射線のエネルギースペクトル

【出典】藤田 和信 宇宙放射線環境のゆくえ、放射線科学、40 (4)、124 (1997)

注 現行のひまわり8号・9号に搭載されているセンサの観測領域 (●-●)

4. 研究開発内容

① 概要

静止気象衛星ひまわり後継機に気象観測装置と同時搭載可能な宇宙環境監視装置の技術開発を行う。将来の宇宙天気予報の高度化を目的として、宇宙放射線監視技術及び衛星帯電監視技術を確立する。

② 技術課題

ア) 宇宙放射線監視技術

我が国の宇宙天気予報は、米国の気象衛星 GOES が計測している宇宙放射線のデータを利用している。しかし、米国上空と我が国上空の宇宙環境には差異があ

り、我が国の社会インフラを担う人工衛星の保全のためには、我が国の経度域の静止軌道の状況を把握する必要がある。静止軌道において懸念されるのは、地磁気嵐や太陽フレアの発生に伴う電子線及び陽子線の増大である。現在運用中の静止気象衛星ひまわり 8 号・9 号は、宇宙環境データ取得装置 (SEDA) を搭載し、ハウスキーピング目的 (※1) のために電子線及び陽子線を計測している。静止気象衛星ひまわりによるこれら 2 種の宇宙放射線の計測は、自らがさらされる宇宙放射線のみならず、周囲の他の人工衛星がさらされる宇宙放射線量の推定に利用できるため、宇宙天気の状態監視に有用である。しかしながら、現行装置はハウスキーピング目的で設計されているため電子線・陽子線ともに必要最小限の計測エネルギー範囲しか有していない。今後、ひまわり後継機に搭載される宇宙放射線計測を、我が国上空の宇宙天気の状態監視及び予報に利用するため、国際宇宙環境サービス (ISES) 等が宇宙天気予報の基準としているエネルギー範囲 (電子線については 2 MeV 以上、陽子線については 10 MeV 以上) を持つ計測装置を開発する。

電子線の計測については、現行の装置 (SEDA) で計測可能なエネルギーの下限は 200 keV、上限は 1 MeV である。これに対し、宇宙天気予報の基準はエネルギー 2 MeV 以上の電子線の積算値であるため、計測エネルギーの上限を 1 MeV から 2 MeV 以上に拡張する必要がある。また、2018 年に準天頂衛星システム (みちびき) において重大な衛星障害が発生したが、その原因は 0.1 MeV 以下の低いエネルギーの電子線の増大であった。このことから、今後、同様の障害発生リスクの評価を行うためには、計測可能なエネルギーの下限を下げ、0.1 MeV 以下の電子線を計測する必要がある。

陽子線の計測については、現行の装置 (SEDA) で計測可能なエネルギーの下限は 20 MeV、上限は 80 MeV である。これに対し、宇宙天気予報の基準はエネルギー 10 MeV 以上の陽子線の積算値である。また、エネルギー約 10 MeV の陽子線は、衛星障害のほか、電離圏の乱れ (極冠吸収) を発生させる原因にもなっており、通信・放送・測位等の利用に影響を与える。静止軌道による陽子線の状態把握のため宇宙天気予報基準に合致し、かつ陽子線による通信・放送・測位等の利用に与える影響の評価に資するデータを取得するためには、計測可能なエネルギーの下限を 10 MeV まで拡張する必要がある。また、現行装置の計測可能なエネルギーの上限は 80 MeV であるが、大規模太陽フレア発生時は、エネルギーが 100 MeV 以上の陽子線が急増し、衛星機器や寿命に甚大な影響を及ぼすとともに、航空機高度における放射線被曝の原因となる。特に、被曝線量の高精度な推定には高いエネルギーの陽子線の計測が必須である。そのため、計測可能なエネルギーの上限を 80 MeV から 100 MeV 以上に拡張するための研究開発が必要である。

※1 ハウスキーピング目的：衛星及び搭載機器の運用・維持・管理のためのデータ取得

イ) 帯電量計測技術

宇宙放射線は人工衛星材料内部に侵入し帯電するため、それを起因とした静電放電による不具合を発生させる。過去の衛星不具合の調査結果によると、宇宙環境による不具合の中で帯電・放電は不具合原因の半分以上を占めることが報告(※2)されている。このため近年海外では、米国の宇宙天気研究衛星 COSMIC2 や韓国の気象衛星等には表面帯電計測装置が搭載され始めている。これまで国内では、表面電位が計測可能な装置の開発が行われてきた。しかしながら、帯電材料が衛星不具合の原因となるのは、耐電圧を超えて放電した時であり、放電の発生を予測するには表面だけではなく材料内部を計測するための技術を確立する必要がある。本研究開発では、帯電・放電による衛星不具合発生リスクを監視するため、軌道上で人工衛星材料の帯電量を計測する技術を確立する。特に、人工衛星の信頼性を向上するためには、人工衛星を構成する材料内部における電荷分布及び電荷総量を正確に把握する必要がある。このため、本研究開発では材料内部の計測が可能な電位計を開発する。このような、内部帯電を計測する技術は地上計測では既存の研究があるものの、衛星搭載機としては世界初である。

※2 H.C.Koons et al., The Impact of the Space Environment on Space Systems, AEROSPACE REPORT NO. TR-99(1670)-1, 1999.

③ 到達目標

ア) 宇宙放射線監視技術

静止気象衛星ひまわり後継機に気象観測装置と同時搭載可能な機器として、現在運用中の宇宙環境データ取得装置 (SEDA) より広いエネルギー範囲の宇宙放射線を監視するための技術を確立する。本研究開発において開発される装置で計測可能な宇宙放射線のエネルギー範囲は、電子線について下限 100 keV 以下・上限 2 MeV 以上、陽子線について下限 10 MeV 以下・上限 100 MeV 以上とし、上限及び下限については可能な限り拡張を目指すことを目標とする。電子線のエネルギー分解能は 50%以下、陽子線のエネルギー分解能は 100%以下を目標とする。これを実現するため、エネルギー分割数を現行 SEDA の 8 チャンネル以上とする。

イ) 帯電量計測技術

静止気象衛星ひまわり後継機に気象観測装置と同時搭載可能な機器として、人工衛星の帯電量を常時計測するための技術を確立する。具体的には、 $10^9 \sim 10^{10} / (\text{cm}^2 \text{ sr s})$ の粒子が試料に入射された際に 5 秒間の積分値で $0.2 \sim 0.5 \text{ C/m}^3$ の帯電量を厚さ方向の位置分解能 $5 \mu\text{m}$ 程度以下で計測する事ができることを目標とする。また、前述条件にて厚さが $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 程度の絶縁材料の帯電分布が計測できることを目標とする。

5. 研究開発期間

令和3年度から令和5年度までの3年間

6. その他 特記事項

(1) 特記事項

- ① 提案者は、下記課題ア、イのいずれか又は複数の課題に提案することができる。なお、いずれの研究開発の受託者も相互に連携、協力して研究開発を行う。
また、課題アの受託者は、本研究開発課題全体の取りまとめを行うものとする。

課題ア 宇宙放射線監視技術

課題イ 帯電量計測技術

- ② 本研究開発は、2028年度をめどに打ち上げを目指す静止気象衛星ひまわり後継機に、気象観測装置と同時搭載可能な機器とすることを想定しているため、検討に当たっては、静止気象衛星ひまわり後継機の担当者、気象庁とも連携すること。

(2) 提案及び研究開発に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記されているアウトプット目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めるとともに、目標を達成するための研究方法、実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制及び達成度を客観的に評価するための実験方法について、具体的に提案書に記載すること。
- ② アウトカム目標の達成に向けた適切な研究成果の取扱方策（研究開発課題の分野の特性をふまえたオープン・クローズ戦略を含む。）について提案書に記載すること。また、本研究開発成果を確実に展開し、アウトカム目標を達成するため、事業化目標年度、事業化に至るまでの実効的な取組計画（事業化及び標準化活動、体制、資金等）についても具体的に提案書に記載すること。
- ③ 複数機関による共同研究を提案する際には、研究開発全体を整合的かつ一体的に行えるよう参加機関の役割分担を明確にし、研究開発期間を通じて継続的に連携するための方法について具体的に提案書に記載すること。
- ④ 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。
- ⑤ 本研究開発は総務省施策の一環として取り組むものであることから、総務省

が受託者に対して指示する、研究開発に関する情報及び研究開発成果の開示、関係研究開発プロジェクトとのミーティングへの出席、シンポジウム等での研究発表、共同実証実験への参加等に可能な限り応じること。

(3) 人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表する等の将来の人材育成に向けた活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。

(4) 研究開発成果の情報発信

- ① 本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施するとともに、実用に向けて必要と思われる研究開発課題への取組も実施し、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省としてインターネット等により発信を行うとともに、マスコミを通じた研究開発成果の発表、講演会での発表等により、広く一般国民へ研究開発成果を分かりやすく伝える予定であることから、当該提案書には、研究成果に関する分かりやすい説明資料や図表等の素材、英訳文書等を作成し、研究成果報告書の一部として報告する旨の活動が含まれていること。さらに、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行う旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発終了後に成果を論文発表、プレス発表、製品化、Web サイト掲載等を行う際には「本技術は、総務省の「ひまわりの高機能化研究技術開発」による委託を受けて実施した研究開発による成果です。」という内容の注記を発表資料等に都度付すこととする旨を提案書に記載すること。