

第 1 期気候変動観測衛星（GCOM-C1）
プロジェクトの事前評価質問に対する回答

平成 20 年 2 月 12 日

宇宙航空研究開発機構

【本資料の位置付け】

本資料は、平成20年1月28日に開催された第2回推進部会における第1期気候変動観測衛星（GCOM-C1）プロジェクトの説明に対する構成員からの質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の回答をまとめたものである。

● 2. 背景及び位置づけに関連する質問

2-1	米国のNPOESSや欧州にも地球観測衛星プログラムがあるが、観測におけるそれらとの国際的分業体制がどうなっているか。	頁 5
2-2	リリース基準精度や標準精度が、海外の衛星のセンサと比較してどの程度のものであるか示し、SGLIの世界の観測センサの中での位置づけを明確にしてほしい。	頁 9

● 3. 目標に関連する質問

3-1	国際的な協調の説明の中で、米欧の計画で不足している午前の観測を“補う”、とありますが、午前の軌道をとることにに関して、より主体性のある理由を挙げることはできませんか。例えば、ADEOSとの関係、海色観測との関わりなど。	頁 11
3-2	標準プロダクトに関して三段階の精度を設定し、サクセスのレベルと対応付けられています。22～23頁の表を拝見しますと、リリース基準精度から目標精度までの間で大幅な精度の向上を目指されているものが多々見受けられます。参考までに、一例として、陸圏において、森林のバイオマスの精度を、リリース基準精度100%から目標精度20%まで向上させるのに、どのようなアプローチをとられる方針であるか、概略をお示しいただけませんか。	頁 12
3-3	偏光観測はSGLIの特徴の一つと見受けられますが、GCOM-C1のミッションにおいて、どのように活かされるのでしょうか。23頁の表の中で、陸上エアロゾル（近紫外）と陸上エアロゾル（偏光）を比べますと、リリース基準、標準、目標の三精度とも同じ値になっていますが。	頁 14

● 5. システム選定及び基本設計要求に関連する質問

5-1	NPOESSはVIIRSの開発が難航し、打上げが延期され、コスト増加が生じているという話がある。SGLIはそのような状況がないのか、それともそこまで追い込んでいないのか、技術的に難易度が低いのか等、VIIRSの現在の状況とVIIRSとSGLIの差異について併せて述べ、問題が無いことを示してほしい。	頁 16
5-2	センサ開発について、SGLIの各コンポーネント、サブシステムの各レベルが、どのようなレベルに達していて、次のステップでどうやるのか。	頁 20
5-3	センサ開発について、フロントローディングの中で苦労しているものがあるか？苦労している点について個別に具体的に示せないか。	頁 22
5-4	ADEOS II用のGLIでは開発が相当に手間取った上に、宇宙空間で水分が抜けることによってGLIカメラ構造に寸法変更が発生して焦点が狂うのでは無いか等、最後までUnknownな問題があったように思います。GLIの軌道上における性能評価結果はどのようになっていますか？またGLIからのLesson-Learnedとしてどのようなものがあるか。	頁 27

	り、SGLIにはどのように反映されていますか？更にミッション機器の仕様はどのような場で議論されて決定されましたか？	
5-5	衛星バスの Heritage（軌道上実績のある衛星バスの実績をどのように活用しているか）はどのようになっていますか？このミッションでの新規開発部分がありますか、またその場合にはどのような先行開発が行われていますか？	頁 28
5-6	衛星バス、ミッション機器別に、主な輸入品にどのようなものがあるか教えてください。輸入品の中には、長期的には国産化を図る計画のものがありますか？	頁 30

● 6. 開発計画に関連する質問

6-1	GCOM-C1 プロジェクトが今般「開発研究」に移行する準備が整ったという事は、重要な開発要素は概ね完了し、その他の要素についても今後の開発研究及び開発段階で解決すべき課題とその解決方法が見通せていると理解して良いのでしょうか。	頁 31
6-2	バス機体についての質問です。GCOM-C1は、GCOM-W1のバス系機器80%もの共有化をはかり互換性を持たせる設計にするとのことですが、なぜ経費がたったの10%（20%）しか削減できないのでしょうか。民間の発想ですと30%、40%削減は当たり前前の数字として提示され、50%削減目標など立て必死にすべての効率化を図りますが、いかがでしょうか？	頁 32
6-3	GCOM-C1の開発期間（予備設計開始より開発が終了するまでの期間）は約5年半と見積もられています。一方GCOM-W1は同期間が約4年半となっている。 衛星バスについてはGCOM-W1の80%以上を流用することによりコストも開発期間も短縮できるがGCOM-C1の方が観測センサ等の構成機器が多いため全体として開発資金はほぼ同等となったと説明されている、ならばGCOM-W1と比較して予備設計、基本設計にそれぞれ倍の開発期間を要するというのは長すぎないか。 衛星の開発期間を短縮する事はJAXAの課題の一つであると認識していますが、GCOM-C1の開発にあたって開発期間短縮の為に従来のやり方と較べてどの様な改善をしようとしているのか説明していただくと有難い。	頁 33
6-4	実施体制の中で、利用研究機関のほとんどが国内機関に限られているが、本計画が国際的な期待を受けている中で、海外の機関とのより積極的な成果利用をさらに行う必要性はないのか？	頁 34

● 2. 背景及び位置づけに関連する質問

【質問番号 2-1】外国の地球観測衛星との関係

【質問内容】

米国のNPOESSや欧州にも地球観測衛星プログラムがあるが、観測におけるそれらとの国際的分業体制がどうなっているか。

【資料の該当箇所】推進2-1-2 18ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

(1) 観測頻度・時刻の分担

可視～熱赤外による光学観測では雲があると地表面が観測できないため、それを補うための高頻度の観測が必要になります。また、変化の早い雲の観測周期を小さくするためには、やはり高頻度の観測が必要になります。この観測頻度の確保のために、午後の時間帯の観測には、現在、米国のAqua衛星に搭載された従来型のMODISセンサによる観測が実施されており、将来も米国NPOESS衛星に搭載される先端型のVIIRSセンサによる観測が継承される予定です。他方午前時間帯の観測には、現在、欧州のMETOP衛星に搭載された従来型のAVHRRセンサによる観測が実施されており、この時間帯を将来、先端型のセンサであるSGLIが同じく先端型のセンサである欧州のSentinel-3と共に分担する予定としております。国際分担以外の午前軌道の選択理由は、質問番号3-1の回答にも示しましたので合わせて参照ください。

(2) 各センサの特長と役割分担

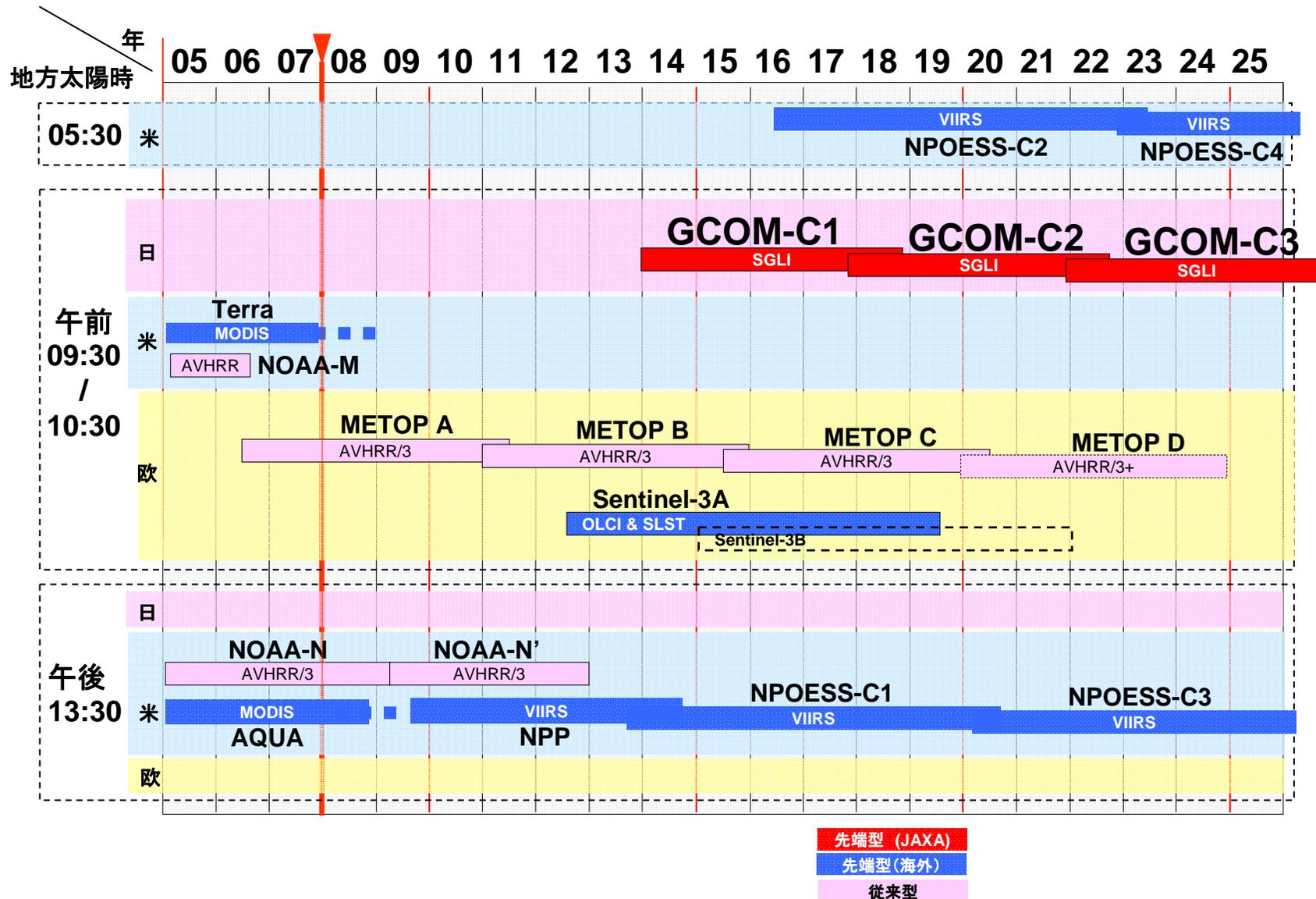
GCOM-C1に搭載されるSGLIの特長は、陸上エアロゾルの高精度観測のための近紫外波長や偏光観測機能、陸上バイオマス（地上部バイオマス）推定のための多方向観測機能および陸・沿岸の詳細観測を行う250m分解能による観測機能といった、変化に富んだ日本の国土や、発展著しい東アジアからの物質流入の観測に適した機能を持っていることに優位性を持ちます。

一方で、米国NPOESS衛星に搭載されるVIIRSは3000kmという広い観測幅によって1日で地球全体を観測可能であり、多くの熱赤外チャンネルを持つことに優位性があります。また、欧州Sentinel-3衛星に搭載されるOLCIとSLSTという2つのセンサは、300mの比較的高い分解能と9チャンネルの多方向観測によって地表面温度を高精度に推定できることに優位性があります。これらの海外センサによる観測と、SGLIの高精度エアロゾル観測&多方向植生観測、高分解能陸沿岸観測を組み合わせることで地球環境変動をより効果的に監視・解明することが期待できます。

質問 2-1
回答別紙

国際的な観測協調体制と観測運用計画

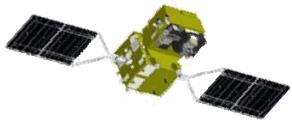
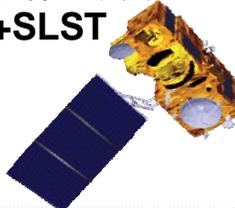
全球観測用多波長光学センサの計画



SGLIと海外センサとの比較



SGLIの特長は、変化に富んだ日本の国土や、発展著しい東アジアからの物質流入の観測に適した、陸域エアロゾル観測に有利な近紫外と偏光観測機能、植生(バイオマス)観測に有利な多方向観測機能、陸沿岸域観測に必要な250m分解能観測機能

	日本先端型 GCOM-C/ SGLI 	海外先端型(米) VIIRS、MODIS 	海外先端型(欧) OLCI+SLST 	従来型(米・欧) AVHRR 
共通的な観測で 国際的な 観測網に貢献	可視~熱赤外 全球観測機能 (19ch)	可視~熱赤外 全球観測機能 (22ch)	可視~熱赤外 全球観測機能 (25ch)	可視~熱赤外 全球観測機能 (5~6ch)
陸上エアロゾ ル観測機能	近紫外観測機能	なし	なし	なし
	偏光観測機能	なし	なし	なし
植生(バイオマ ス)観測機能	多方向観測機能(2ch) (可視-近赤外)	なし	多方向観測(9ch) (可視-熱赤外)	なし
陸・沿岸 詳細観測機能	250m観測機能(11ch)	なし(5chのみ370m)	300~500m観測	なし
	熱赤外チャンネル(2ch)	熱赤外チャンネル(7ch)	熱赤外(3ch)	熱赤外(2ch)
特長のある 観測機能	1150~1400km観測幅	約3000km観測幅	約1200km観測幅	約2800km観測幅

質問 2-1
回答別紙

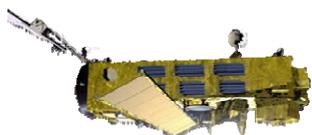


運用中



Aqua/MODIS
(米国)

Aqua: NASAが2002年に打ち上げた午後軌道の地球観測衛星
MODIS: 中分解能撮像分光放射計



ENVISAT
/MERIS, AATSR
(欧州)

ENVISAT: 欧州宇宙機関が2002年に打ち上げた環境観測衛星
MERIS: 中解像度画像分光計
AATSR: 改良型アロングトラック走査放射計



MetOp/ AVHRR
(欧州、EUMESAT)

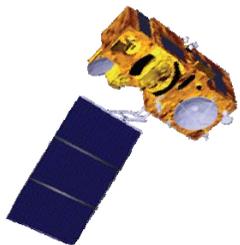
MetOp: 気象実用衛星
AVHRR: 改良型高分解能放射計
EUMESAT: 欧州気象衛星機構

将来計画



NPOESS/VIIRS
(米国)

NPOESS: 米国極軌道環境観測衛星システム
VIIRS: 可視熱赤外放射計



Sentinel-3/
OLCI & SLST
(欧州、ESA)

Sentinel: 欧州宇宙機関環境監視ミッション
OLCI: 海陸色観測器
SLST: 海陸面温度(放射計)

【質問番号 2-2】 SGLIの世界における位置づけ

【質問内容】

リリース基準精度や標準精度が、海外の衛星のセンサと比較してどの程度のものであるか示し、SGLIの世界の観測センサの中での位置づけを明確にしてほしい。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 35ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

海外の衛星センサと比較する場合、必ずしも全てのSGLIプロダクトについて同等のプロダクトが定義されているわけではないため、代表的なプロダクトについて別紙の表のようにまとめました。表では、SGLIプロダクトの標準精度と海外衛星センサの精度値との比較を行っております。

表に示したSGLIプロダクトの精度値は、衛星データからプロダクトに変換する際の理論的な限界値に加え、比較する地上観測の測定誤差等をも考慮した値となっております。それに対し、海外衛星センサの精度値は、定義が明確に定義されておらず、理想的な条件における理論的な限界値のみが示されている可能性があります。

SGLIでは、IPCCで取り上げている気候数値モデルの高精度化への貢献と全球森林炭素量の監視（第2回推進部会資料 推進2-1-2、p.10-12参照）を行うことを目的として、エアロゾルおよび植生観測に重点をおき観測機能を強化しております。具体的には、陸上エアロゾルを観測するのに適した近紫外域観測機能および偏光観測機能を備えるとともに、植生観測（地上部バイオマス）に適した多方向観測機能を有しております。特に前者の陸上エアロゾルの観測機能は、米国のNPOESSや欧州のSentinel-3の搭載センサにはないSGLI独自の機能となっています。また、植生観測（地上部バイオマス）についても、表に示したように、SGLIでのみ精度が規定されております。

陸上エアロゾルや地上部バイオマス以外のプロダクトについても、SGLIの標準精度は、概ね米国のNPOESSや欧州のSentinel-3に搭載されるセンサのプロダクトとほぼ同等の精度を有しており、先端型センサとして、海外衛星センサとの協力観測を行うための性能を十分備えております。

以上のように、海外の先端型センサとほぼ同等の精度を有しながら、欧米にはない独自のプロダクトを生成することができる最先端のセンサーとなっています。

各国先端型センサのプロダクト精度の比較



下表は、各国の先端型センサで作られる代表的なプロダクトについてまとめたもの。

圏	プロダクト ([]内は観測される物理量の 単位を示す)	GCOM-C1 / SGLI (日本)		NPOESS / VIIRS (米国)	Sentinel-3 / OLCI & SLST (欧州)
		標準精度	目標精度	Thresholds 注1	Thresholds 注1
共通	衛星観測放射輝度 [可視-短波長赤外域: 反射率 %, 熱赤外域: 輝度温度 K]	可視-短波長赤外: 5% 熱赤外: 0.5K	可視-短波長赤外: 3% 熱赤外: 0.5K	可視-短波長赤外: 2% 熱赤外: 0.5K	可視-短波長赤外: 2% 熱赤外: 0.3K
陸	地上部バイオマス [t/ha]	草原: 30% 森林: 50%	草原: 10% 森林: 20%	規定なし	規定なし
	地表面温度 [K]	2.5K	1.5K	2.5K	1K (goal)
大気	海洋上エアロゾル [-]注2	0.1	0.05	0.03	規定なし
	陸上エアロゾル(近紫外) [-]注2	0.15	0.1	機能なし	機能なし
	陸上エアロゾル(偏光) [-]注2	0.15	0.1	機能なし	機能なし
海洋	海面水温 [K]	0.8K	0.6K	0.5K	0.5K
雪氷	雪氷面温度 [K]	2K	1K	1K	1K (goal)

注1: NPOESS、Sentinel-3ともに、特に記載が無いものは標準精度相当の数字を記載。SGLIの精度は、衛星データからプロダクトを抽出する際の理論的な限界値に加え、地上観測における測定誤差に起因する不確定性等をも考慮した値となっている。それに対し、海外衛星センサの精度値には、理論的な限界値のみが示されていると思われるが、詳細については明確には定義されていないため不明である。

出典: (NPOESS) VISIBLE/INFRARED IMAGER/RADIOMETER SUITE(VIIRS) Sensor Requirements Documents (SRD) for NATIONAL POLAR-ORBITING OPERATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE SYSTEM (NPOESS) SPACECRAFT AND SENSORS, June, 2000

(Sentilen-3) SENTINEL-3: MISSION REQUIREMENTS DOCUMENT, February 2007

注2: 光学的厚さとしての精度を示している。

● 3. 目標に関連する質問

【質問番号 3-1】 午前軌道をとる理由

【質問内容】 国際的な協調の説明の中で、米欧の計画で不足している午前の観測を“補う”、とありますが、午前の軌道をとることに、より主体性のある理由を挙げることはできませんか。例えば、ADEOS との関係、海色観測との関わりなど。

【資料の該当箇所】 推進 2-1-2 18 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

GCOM-C/SGLI が午前の軌道を選択した理由には、(1) 地表面を観測する際に重要となる晴天率の日中変動特性を考慮したこと、さらに(2) 日本がこれまで打上げてきた ADEOS、ADEOS-II が午前軌道を取ってきたこと、(3) 漁業への実利用を考慮した場合の配信時刻に有利なこと、が挙げられます。さらに、国際的な観測協力の中で欧米の計画で不足している部分を補うことが可能となります。

(1) 晴天率の日中変動特性の考慮

米国地球観測衛星の MODIS 観測データの解析結果では、北緯 70 度～南緯 70 度を平均して見た場合、午前 10 時半の方が午後 1 時半に比べて晴天域の割合が 3%程度(海域で約 2%、陸域で約 4%)大きくなりました。この傾向は地域によって異なり、特に夏季の陸域では、日射で地面が暖められる午後の時間帯に積雲が発達する傾向があり、月平均の晴天率の差が 10%になる場合も見られました。したがって、海色や植生などの地表面の観測はもちろん、海上や陸上のエアロゾルを観測する場合においても、晴天域を観測する機会をより多く確保できる午前軌道の方が望ましいと判断しております。

(2) ADEOS、ADEOS-II 継承

日本がこれまでに打上げてきた光学センサには、ADEOS に搭載された海色海温走査放射計 OCTS と ADEOS-II に搭載されたグローバルイメーჯャ GLI があり、いずれも午前軌道に投入されております。どちらも、日本の衛星観測データの解析技術の向上に大きく貢献してきております。これらの代替えセンサデータを含む午前軌道光学センサによる長期間データの資産や経験を今後も生かしていく上で、GCOM-C1 を午前軌道に打上げる意義は大きいと考えております。

(3) 漁業への実利用への考慮

漁業利用の面においても、午前軌道の観測データであれば、午前中にクロロフィル濃度、海面水温の情報が漁業関係者に提供できれば午後の出漁に間に合うため有用であるとの要請をいただいております。

以上を考慮した結果、GCOM ミッションの目標を達成する上では、午前側の観測時刻が望ましいと判断しております。

【質問番号 3-2】 標準プロダクトの三段階の精度に関連して

【質問内容】 標準プロダクトに関して三段階の精度を設定し、サクセスのレベルと対応付けられています。22～23頁の表を拝見しますと、リリース基準精度から目標精度までの間で大幅な精度の向上を目指されているものが多々見受けられます。参考までに、一例として、陸圏において、森林のバイオマスの精度を、リリース基準精度 100% から目標精度 20% まで向上させるのに、どのようなアプローチをとられる方針であるか、概略をお示しいただけませんか。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 21～23 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

GC0M-C1/SGLI標準プロダクトの地上部バイオマス推定アルゴリズムは、植生表面の3次元形状の違いを二方向性反射の違いとしてとらえることによって正確に推定することを目指しております。現在想定している（森林）地上部バイオマスの推定手法は、二方向性反射モデル（BRDF）等から森林の樹冠形状を推定し、樹冠径、胸高直径、樹高などを求めて地上部バイオマスを求めるものです。この中で精度に大きく影響を与えるのは、「①衛星観測による植生BRDFの推定」、「②植生BRDFから地上部バイオマスへの対応付け」であり、①について従来の衛星にないSGLIの軌道方向の多方向観測機能を用いて正確なBRDFモデルを推定する予定です。②については、適用できる植生種類毎のモデルに基づいて構築し、地上観測による検証データの蓄積によってより精度を確保する予定です。

SGLI標準プロダクトの3段階の精度は、以下の計画に沿うものです。

（1）リリース基準精度100%は、従来の推定手法（隣り合った衛星軌道による多方向視等による）によって、打ち上げ後1年以内に達成しうる数値として設定しております。この手法では、植生指数などとバイオマスの関係を用いた経験的な推定式を利用します。以上を踏まえてリリース基準精度を設定しております。

（2）標準精度50%は、（1）に加えてSGLIの特長である軌道方向の多方向観測による陸上植生の3次元情報を用いた新しいバイオマス推定アルゴリズムを用いることで、達成しうる数値として設定しております。従来の衛星ではできない「衛星進行方向の前後方向から」観測できるため、（1）の方法に比べて精度が向上します。

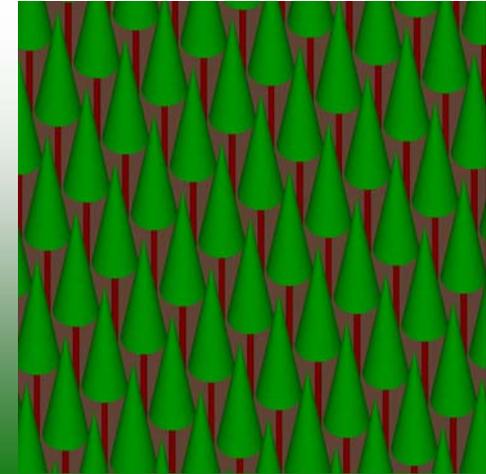
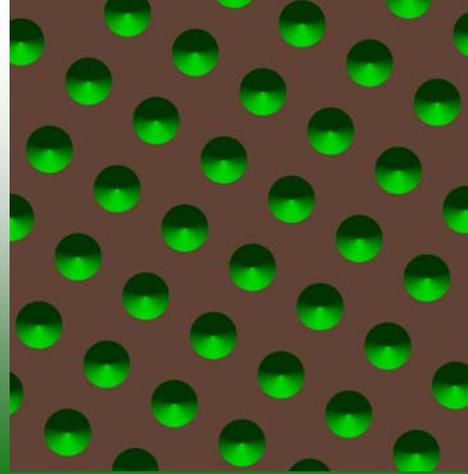
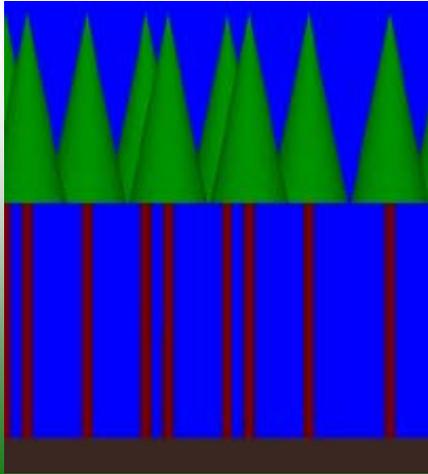
（3）目標精度20%は、さらに地上計測による検証データを蓄積し、推定アルゴリズムを改善することにより到達しうる目標として設定しております。

多方向観測とバイオマス計測の原理

鉛直下向き観測

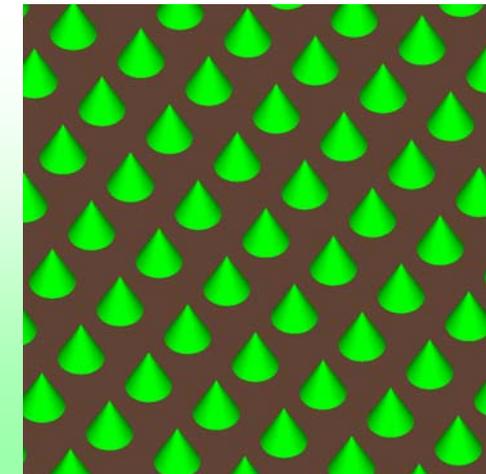
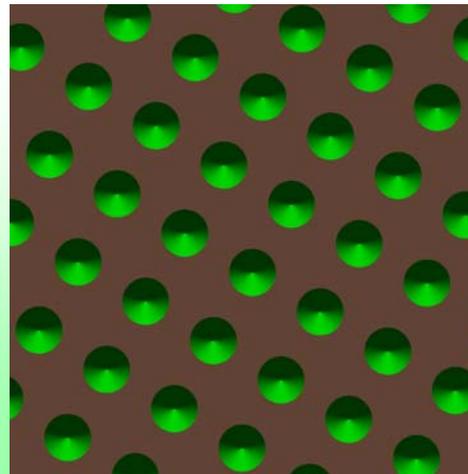
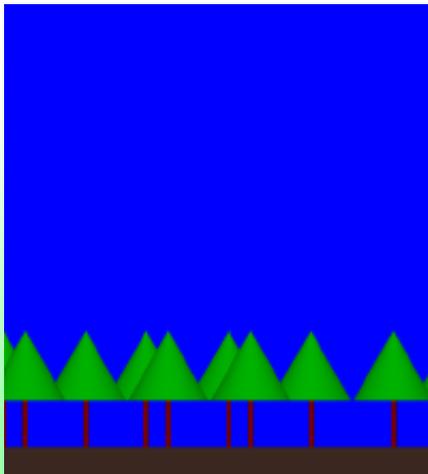
斜め方向観測

バイオマス大



同じ ↑ ↓ センサ内植生被覆率 ↑ ↓ 大 小

バイオマス小



【質問番号 3-3】 偏光観測について

【質問内容】 偏光観測はSGLIの特徴の一つと見受けられますが、GCOM-C1のミッションにおいて、どのように活かされるのでしょうか。23頁の表の中で、陸上エアロゾル（近紫外）と陸上エアロゾル（偏光）を比べますと、リリース基準、標準、目標の三精度とも同じ値になっていますが。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 18、23、35ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

偏光観測機能は、陸上エアロゾルの観測精度を向上させるために、GLIで実績のある近紫外域チャンネルによる観測機能に加えて、SGLIで新たに備えた観測機能です。別紙の表に、それぞれの観測機能で得られるエアロゾル情報をまとめました。

近紫外域チャンネルを用いた観測により、陸上エアロゾルの光学的厚さと光吸収特性（全エアロゾルに占める煤粒子あるいは土壌粒子の割合）が分かります。一方、偏光観測により、光学的厚さと粒子の大きさを判別することができます。気候学的に地球の放射収支を見積もる観点では、前者の近紫外域観測で得られる光学的厚さと光吸収特性が重要な物理量となります。しかし、得られた光吸収特性が、都市大気汚染や森林火災などの燃焼起源から発生する比較的小さな煤粒子によるものであるのか、それとも黄砂などの砂漠起源から発生する粒が大きな土壌粒子によるものかについては、情報が得られません。そこで、偏光観測機能によって粒子の大きさの情報を得ることができれば、光を吸収する粒子の発生源に関する情報を得ることができます。

地球の温暖化の進行に伴い、森林火災や黄砂などの自然起源のエアロゾルの発生源や発生頻度は今後大きく変動する可能性があります。また、人間活動の拡大に伴うさらなる大気汚染の深刻化が懸念されております。したがって、偏光観測機能で得られるエアロゾルの発生源に関する情報は、エアロゾルによる気候形成への影響を見積もる上で有益な情報となります。

なお、プロダクトの算出単位としては、近紫外域チャンネルおよび偏光チャンネルをもちいて、それぞれ独立にエアロゾル情報を抽出することが可能です。そのため、抽出精度については、各手法で共通に抽出できる光学的厚さで定義されております。23頁の表に示した精度値は、ADEOS-IIに搭載されたGLIやPOLDER-2（SGLIより粗い空間分解能で偏光多方向観測を行う光学センサ）による推定実績の延長線上として設定しております。近紫外域チャンネルを用いる手法では、解析の中で仮定する地表面反射率に含まれる誤差が抽出精度に影響しております。また、偏光チャンネルを用いる手法では、放射輝度に比べて微小な大気の偏光度の情報をを用いるために、僅かなセンサノイズや放射輝度の校正誤差が抽出精度に影響しております。それぞれの手法の特徴を考慮し、また、衛星データの精度評価に用いる地上観測値の誤差要因についても検討した結果、精度目標は同じ数値になっております。

陸上エアロゾル抽出手法の特徴

観測に用いる波長域 および機能	光学的厚さ	粒子の大きさ	光吸収特性	備考
近紫外域	○	×	○	光吸収特性は、全エアロゾルに占める煤粒子あるいは土壌粒子の割合の目安となる。 粒子の大きさは分からない。
偏光＋多方向	○	○	×	粒子の大きさ情報は、エアロゾルが小さな煤粒子なのか、大きな土壌粒子なのかを判別する目安となる。 光吸収特性は分からない。

● 5. システム選定及び基本設計要求に関連する質問

【質問番号 5-1】 NPOESSについて

【質問内容】

NPOESSはV I I R Sの開発が難航し、打上げが延期され、コスト増加が生じているという話がある。S G L Iはそのような状況がないのか、それともそこまで追い込んでいないのか、技術的に難易度が低いのか等、V I I R Sの現在の状況とV I I R SとS G L Iの差異について併せて述べ、問題が無いことを示してほしい。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 18ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

V I I R Sは、現在運用中のMOD I Sの機械走査方式（走査鏡回転による走査）を機能拡張した鏡筒回転による機械走査方式を採用した単一の放射計です。これに対して、S G L IはV I I R Sとほぼ同等な性能を持つ光学センサですが、それまでの単一放射計の単純な機能拡張による実現ではなく、S G L I-V N RとS G L I-I R Sという2つの放射計により分担して実現します。その意味で、S G L Iは開発実績のある同タイプの光学センサであるA D E O S搭載O C T SやA D E O S-II搭載G L Iとも観測方式が異なります。

これは、観測チャンネル数を36チャンネルから19チャンネルに削減する一方で、ほとんどのチャンネルを1kmから250mもしくは500mにした高分解能化と偏光・多方向観測機能を追加したことが背景にあります。即ち、G L Iと比べて増加した観測機能・性能要求に対応する解として、単一の放射計の機能拡張による実現ではなく、2つの放射計により実現するという方式です。要求される観測機能・性能を2分割することにより、S G L I-V N Rの設計は、可視・近赤外波長域の観測に最適化することができ、これまでのA D E O S搭載A V N I RやT e r r a搭載A S T E R/V N I Rの電子走査方式の技術を踏襲しています。また、S G L I-I R Sの設計は、赤外波長域の観測に最適化した設計とすることができ、O C T SやG L Iの機械走査方式の技術を踏襲しております。要約すれば、性能向上のための技術的困難さを低減し、過去の実績技術を活用できるようなシステム設計を実施したということです。

個々の技術に関しては、段階を踏んだ確認を実施しています。クリティカルな要素に関しては先行部分試作により、評価を終了しています。コンポーネントレベルの性能評価のために現在組立作業を実施しており、今年半ばに性能確認を実施する予定です。具体的な評価項目に関しては、質問票No. 9の回答として記載しましたので合わせてご参照ください。

なお、初期のV I I R S開発において難航していると報道された検知器の冷却性能については、既にS G L Iの先行部分試作において所望の温度に冷却できることを確認できています。

質問 5-1
回答別紙

SGLIとVIIRSの実現方式の違い

米国

MODIS

機械走査方式(走査鏡回転方式)
412 nm – 14.3 μ m (4つの検知器)
36チャンネル(250m x 2, 500m x 5, 1km x 29)

同一方式の拡張により
ユーザ要求に対応

VIIRS

機械走査方式(鏡筒回転方式)
412 nm – 12 μ m (3つの検知器)
22チャンネル, (371m x 5, 742m x 17)

日本

GLI

機械走査方式(走査鏡回転方式)
380 nm – 12 μ m (5つの検知器)
36チャンネル(250m x 6, 1km x 30)

2つの放射計により
ユーザ要求に対応

SGLI-VNR

電子走査方式
380 nm – 865nm (1種の検知器*1)
13チャンネル(250mx10, 1km x 3)

*1 非偏光と偏光は、同一種類の検出器を採用

SGLI-IRS

機械走査方式(走査鏡回転方式)
1.05 μ m – 12 μ m, (2つの検知器)
6チャンネル (250mx1, 500mx2, 1kmx3)

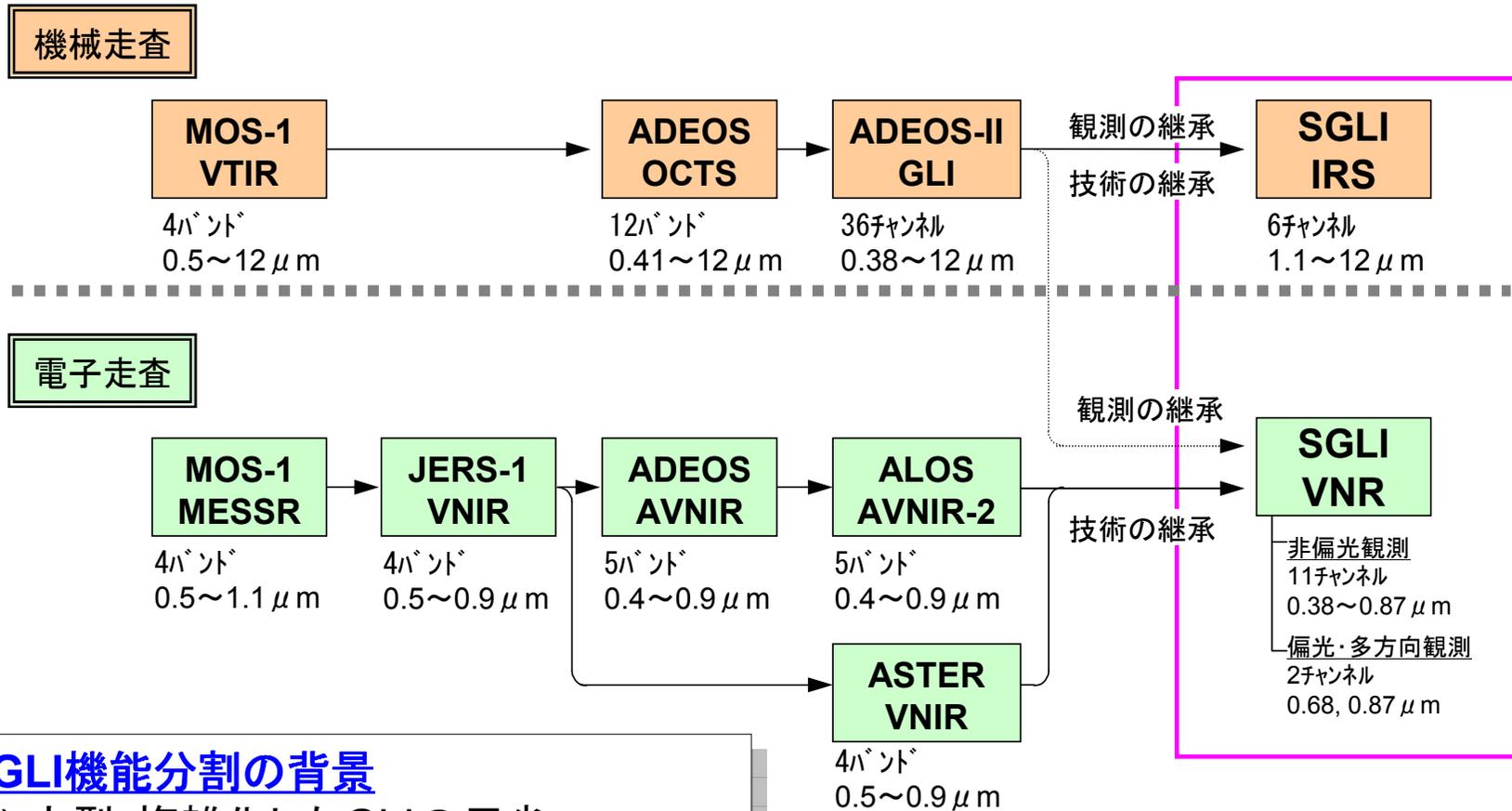
【凡例】

機械走査方式

電子走査方式

質問 5-1
回答別紙

SGLI観測方式採用の背景

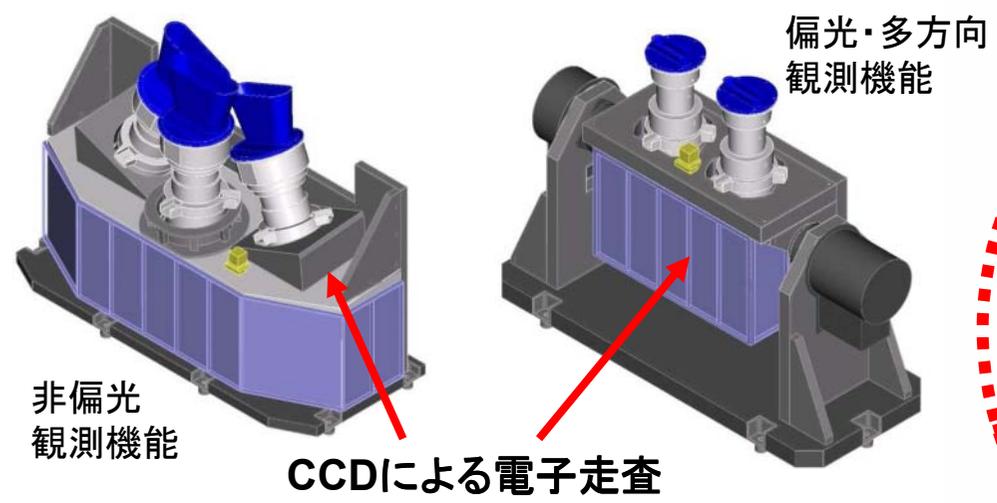


SGLI機能分割の背景

- (a) 大型・複雑化したGLIの反省
- (b) 250m観測機能の実現
- (c) 偏光多方向観測機能の実現
- (d) センサ機能分散によるサバイバビリティ向上

質問 5-1
回答別紙

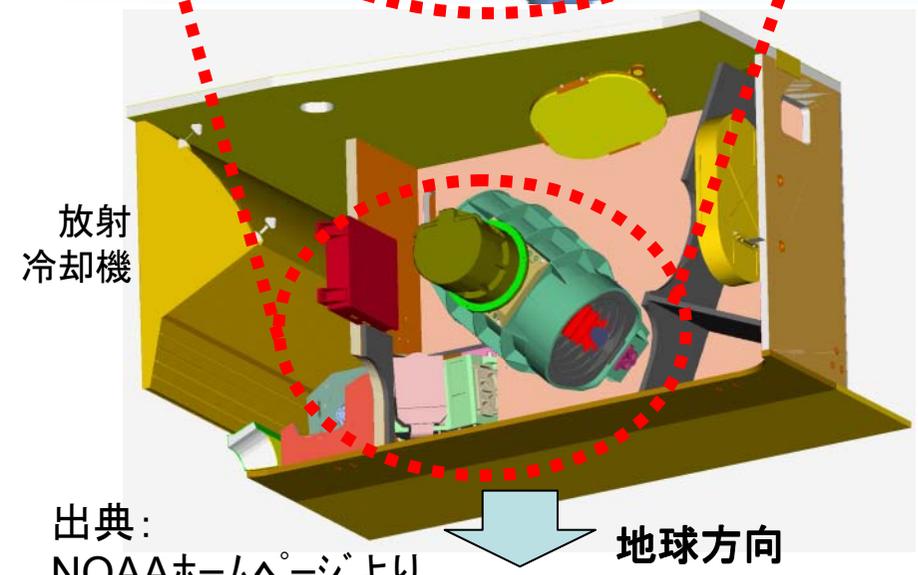
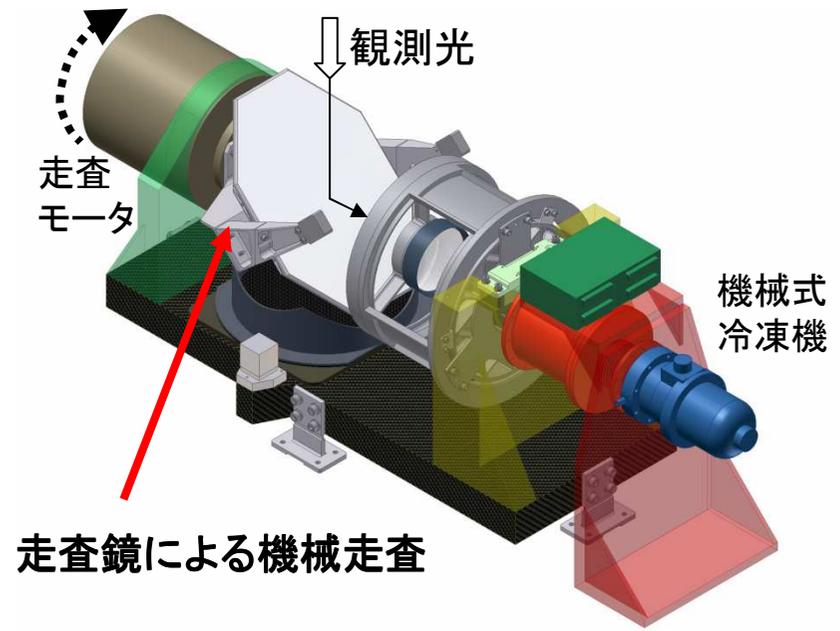
SGLI-VNR観測方式



VIIRS観測方式



SGLI-IRS観測方式



出典：
NOAAホームページより

【質問番号 5-2】 センサ開発の状況

【質問内容】

センサ開発について、SGLI の各コンポーネント、サブシステムの各レベルが、どのようなレベルに達していて、次のステップでどうやるのか。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 35ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

SGLI のセンサ開発は、BBM-EM-PFM という3つのモデルを製作して実施します。(BBM : Bread Board Model, EM : Engineering Model, PFM : Proto Flight Model)

- BBM : SGLI において採用するクリティカルな技術開発要素について確認する試作モデル
- EM : センサ全体* として耐環境性、機能・性能や衛星とのインタフェースを確認するモデル (* 冗長系は除く)
- PFM : 実際に衛星に搭載して打ち上げるモデル

このBBMの試作・試験は、SGLI-VNR/SGLI-IRSの各々について、以下の4つの段階で実施しています。現状では第3段階のコンポーネントの試作・試験・評価を実施している段階です。

- 第1段階 概念設計にもとづく SGLI 観測原理をベースに、検知器等の本質的に観測性能を左右する要素の先行部分試作を実施する。
- 第2段階 先行試作試験結果を含めて、設計・解析を行ない SGLI 観測システム設計をまとめる。
- 第3段階 BBM コンポーネントの試作・試験・評価を実施する。
- 第4段階 コンポーネントを組み合わせた試験を実施し、クリティカルな技術開発要素について評価を行なう。

現在実施中の SGLI 試作試験においては、各コンポーネントが到達している技術レベル(技術成熟度)をベースとなる技術をもとに分析した上で、SGLI に適用した場合の新規性を考慮して上記のBBM試作・試験ならびに先行クリティカル要素の部分試作の範囲を決定しております。

SGLI における技術レベル分析については添付をご覧ください。

SGLIにおける技術レベルの分析

SGLIでは、以下のような技術成熟度分析を実施し、先行部分試作、試作試験、EM製作試験の対象を決定した。

	定義	SGLI対処方針	対象	現在の状況
A	既存機器により技術が成熟しているもの	EMでの評価を実施する	構体、電源、電気回路部	開発移行後に実施
B	過去の実績によりフィジビリティが確認されているが、観測システム性能実現のためのクリティカルな技術開発となるもの	BBMコンポーネントの試作・評価を実施する	集光光学系、フィルタ、検出器、プリアンプ、アナログ信号処理回路、校正部	現在実施中
	特に観測性能を左右する重要要素	コンポーネント製作前に先行部分試作を実施する	ガラス材、フィルタ蒸着、検知器素子性能、アナログ回路、校正デバイス	完了
C	長期の技術データが不足しているもの	評価モデルを製作して、データを取得する	ベアリングの寿命試験	軌道上1.7年までの試験を完了

【質問番号 5-3】 センサ開発のフロントローディング

【質問内容】

センサ開発について、フロントローディングの中で苦労しているものがあるか？苦労している点について個別に具体的に示せないか。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 35ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

質問番号9への回答に示しましたが、SGLIのフロントローディングにおいては、検知器等、本質的に観測性能を左右する要素の先行部分試作から始め、観測システム設計、コンポーネント試作・評価、コンポーネントの組み合わせ試験までの段階的な評価作業を実施しています。

各段階の作業において、その段階の評価作業を適切に行ない、その結果を如何に確実に次の段階に反映していくかが非常に重要と考えて実施しております。例えば、最初に実施した先行部分試作では、以下のような点に留意を払っております。

- 1) 正確に試験結果を評価すること
- 2) 評価結果を設計へフィードバックすること
- 3) 十分な評価となっていない点を、次のコンポーネント試作・評価計画に反映すること

個別状況について、添付資料をご覧ください。

フロントローディング個別状況 [VNR用CCD]

①フロントローディングの目的

- ・VNR用検出器(CCD)に要求される観測性能(ノイズ性能、他)の実現性を確認する。

②先行部分試作

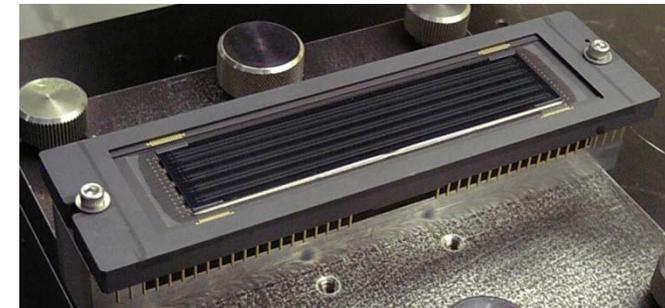
- ・既存4チャンネルCCDによりノイズ特性、リニアリティ、温度特性等の事前評価を実施し、性能の実現性を確認した。

③試作の状況

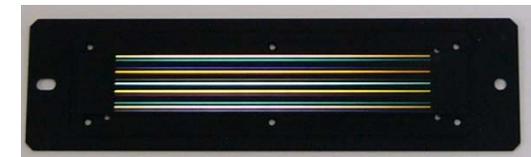
- ・先行部分試作に引き続き、BBM用CCDの設計・製作を完了。
- ・CCD への分光フィルタの実装を完了。

④今後の計画

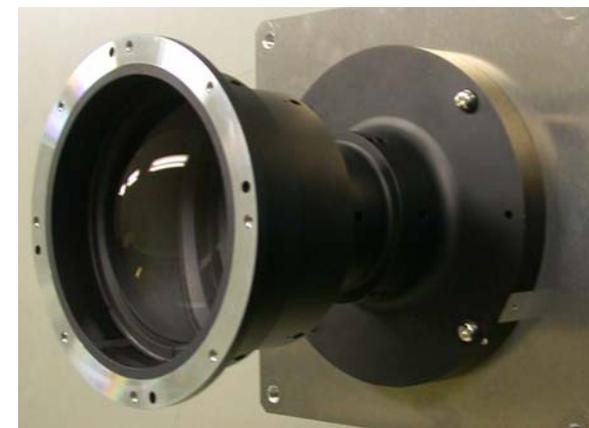
- ・VNR検知器(CCD+分光フィルタ)単体試験による観測性能を評価
- ・鏡筒およびアナログ信号処理回路を組合せた評価により観測性能を評価。



BBM用 11チャンネルCCD



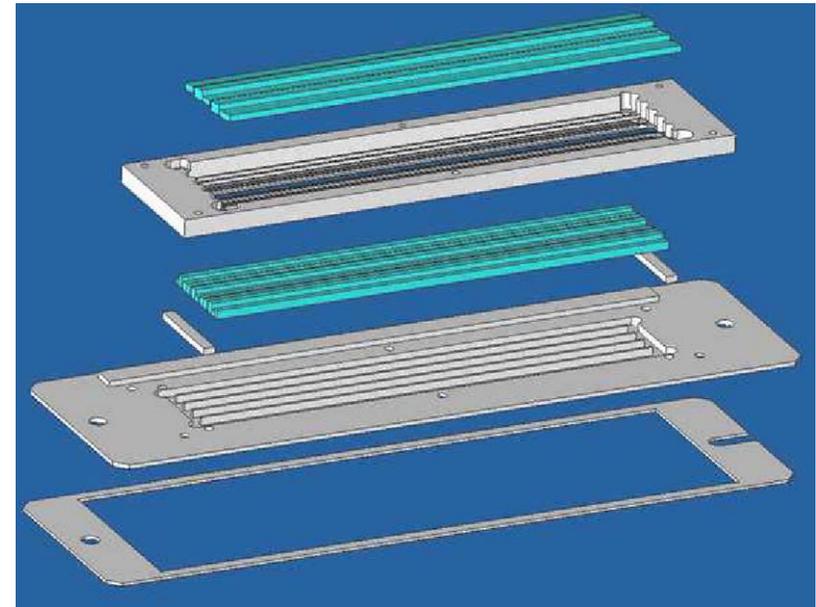
BBM用 11チャンネル分光フィルタ



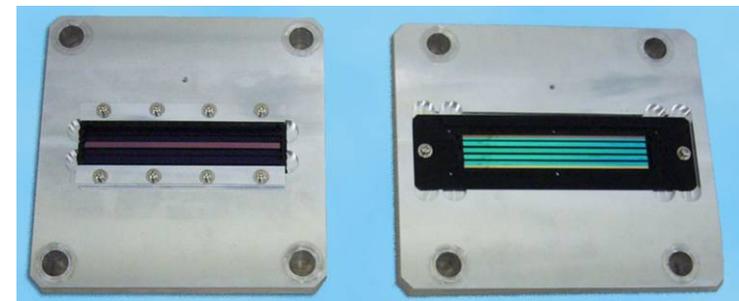
BBM用 VNR非偏光観測用鏡筒

フロントローディング個別状況 [VNR用分光フィルタ]

- ①フロントローディングの目的
 - ・ VNR用分光フィルタに要求される波長特性の実現性を確認する。
 - ・ 分光フィルタの加工及びCCDへの組立手法を確立する。
- ②先行部分試作
 - ・ 蒸着サンプルによる波長特性の評価を実施し、蒸着パラメータの最適化を行った。
 - ・ 分光フィルタ同等品を用いて加工及び組立を実施し、耐環境性を含めた評価試験を行った。
- ③試作の状況
 - ・ 先行部分試作に引き続き、BBM用11チャンネル分光フィルタ製作を完了。
 - ・ 11ラインCCDへの実装を完了。
- ④今後の計画
 - ・ 鏡筒およびアナログ信号処理回路を組合せた評価により観測性能を評価。



分光フィルタ構造図



分光フィルタの先行試作品(環境試験用)

フロントローディング個別状況

[IRS用 SWI検知器]

①フロントローディングの目的

- ・短波長赤外(SWI)検出器に要求される観測性能(ノイズ性能等)の実現性を確認する。

②先行部分試作

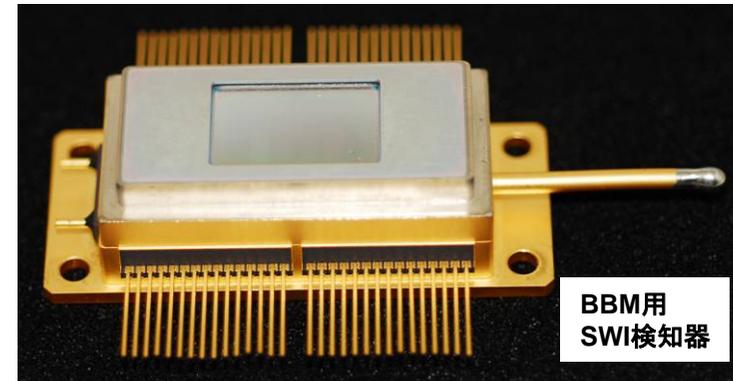
- ・ノイズ性能要求の厳しいチャンネルに対して評価用素子を試作し、性能の実現性を確認した。

③試作の状況

- ・先行部分試作に引き続き、BBM用SWI検出器の設計・製作を完了。(分光フィルタの実装を含む)

④今後の計画

- ・プリアンプと組合わせた検出器単体試験による観測性能を評価
- ・光学系およびアナログ信号処理回路を組合わせた評価により観測性能を評価。



BBM用IRS光学系

フロントローディング個別状況

[IRS用 走査機構部ベアリング寿命試験]

- ①フロントローディングの目的
 - ・IRS走査機構部のベアリングに要求される寿命の実現性を確認する。
- ②先行部分試作
 - ・材質及び潤滑材の異なる3種類のベアリングを製作した。
 - ・打上げ前を模擬した大気中試験を完了。
- ③試作の状況
 - ・軌道上を各々模擬した真空連続回転試験を実施中。(現在、約1.7年分の回転を完了)
- ④今後の計画
 - ・要求寿命に相当する回転数まで、連続回転試験を継続予定。



BBM用
IRS走査モータ



寿命試験用真空槽

※連続回転試験を実施中。

【質問番号 5-4】GLIの軌道上における性能評価結果

【質問内容】ADEOS II用のGLIでは開発が相当に手間取った上に、宇宙空間で水分が抜けることによってGLIカメラ構造に寸法変更が発生して焦点が狂うのでは無いか等、最後までUnknownな問題があったように思います。GLIの軌道上における性能評価結果はどのようなになっていますか？またGLIからのLesson-Learnedとしてどのようなものがあり、SGLIにはどのように反映されていますか？更にミッション機器の仕様はどのような場で議論されて決定されましたか？

【資料の該当箇所】推進2-1-2 35ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

GLIの軌道上における性能評価結果は、JAXA技術資料として報告書がまとめられております（GLI軌道上技術評価報告書）。本報告書に、軌道上のハードウェア評価結果がまとめられており、後続プロジェクトへの反映事項がまとめられております。

例えば、GLI軌道上評価では軌道上のデータと打上げ前の地上試験データと突き合わせた評価が非常に有効でしたので、SGLIにおいては試作試験段階から地上試験データを蓄積・評価し、軌道上評価へつなげていく予定としております。

また、SGLIへの観測要求は、GCOM総合委員会の下にSGLI利用ワーキンググループを作り、ほとんどのGLI主要ユーザも参加の上で要求仕様を決定し、最終的にはGCOM総合委員会において了承いただいております。

なお、ご指摘のGLI構体からの脱湿・熱変形による焦点ずれについては、その影響と推定されるセンサ出力の変動は特に確認されておられません。ただし、この点も含めてSGLIでは十分な設計・評価を実施する計画にしております。

【質問番号 5-5】衛星バスの Heritage

【質問内容】衛星バスの Heritage（軌道上実績のある衛星バスの実績をどのように活用しているか）はどのようになっていますか？このミッションでの新規開発部分がありますか、またその場合にはどのような先行開発が行われていますか？

【資料の該当箇所】推進2-1-2 30ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

衛星バスは、軌道上実績のあるものから選定しています。（説明資料34ページに実績を示しています。）ただし、ミッション要求や部品の廃品種のために、設計変更を行う部分があります。実績機器からの変更は、GCOM-W1 と共通の機器は GCOM-W1 で評価試験を実施します。（現在、評価モデルを製作中）GCOM-C1 特有のミッション要求により、GCOM-W1 と異なる設計を必要とするもの（ミッションデータ処理系）は、GCOM-C1 の開発段階で評価試験を実施する計画です。

◆GCOM-C1の衛星バスの設計に対する考え方は、以下の通りです。

・従来技術の活用

信頼性向上、コスト低減、開発期間短縮を図ることを目的に、バス系機器毎の技術成熟度の分析結果に基づいてALOS、SELENE等のフライト実績、WINDS、GOSAT等の開発実績のある技術を採用しました。特に、海外から調達する機器はフライト実績のある既製品とし、新規開発技術はありません。

・共通化

GCOM-C1の衛星バス構体、機器及び機器レイアウトについては、GCOM-W1との共通化を考慮して設計を進めました。その結果、バス系機器の80%以上（41/48品種）を共通化し、互換性を有しています。共通化されない機器は、ミッション機器の変更によるミッションデータ処理系の機器（データレートの増加による符号化器、データレコーダ、送信機）が中心です。

◆GCOM-C1の衛星バスは、Heritage衛星バスからの主な設計変更点は具体的に以下の通りです。

・ミッション要求の変更による設計変更

ALOS、SELENEで実績のあるミッションデータ処理系（符号化器、データレコーダ）を、SGLIのミッションに合わせて変更しています（動作周波数、記録再生方法等）。

・部品の廃品種による設計変更

ALOS、SELENE、WINDS 等で実績のあるテレメトリコマンド系計算機、姿勢軌道制御系計

算機等を代替部品に置き換える変更を行っています。これらは、GCOM-W1 と設計が共通ですので、GCOM-W1 で評価を実施しているところです。

【質問番号 5-6】 輸入品

【質問内容】 衛星バス、ミッション機器別に、主な輸入品にどのようなものがあるか教えてください。輸入品の中には、長期的には国産化を図る計画のものはありますか？

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 34ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

衛星バスの中の輸入品は、説明資料の34ページの表に示しています。この中で、恒星センサに関しては、総合技術研究本部で国産化のための研究が実施されています。

ミッション機器に関しては、VNR用CCDおよびTIR用赤外検知器として輸入品を採用しています。検知器は、その都度ミッションに最適な検知器を選定しており、共通化が困難であることから、2号機を含めて国産化等の予定は未定です。

● 6. 開発計画に関連する質問

【質問番号 6-1】 開発研究への移行について

【質問内容】

GCOM-C1 プロジェクトが今般「開発研究」に移行する準備が整ったという事は、重要な開発要素は概ね完了し、その他の要素についても今後の開発研究及び開発段階で解決すべき課題とその解決方法が見通せていると理解して良いのでしょうか。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 55ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

衛星バスに関しては、説明資料34ページに示しましたように、既存技術を踏襲し、GCOM-W1と設計の共通化を実施しています。ただし、ミッション機器とのインタフェースに関する部分については、設計変更が必要です。現状、設計変更が必要なミッションデータ処理系等の変更内容については仕様レベルで把握しており、従来技術で対応可能であると判断しています。

開発研究段階では、ミッション機器の試作試験結果を反映して、さらに設計変更部分について詳細化する予定です。

開発段階では、設計変更部分の機能・性能を確認する評価モデルを製作し、試験によって確認する予定です。

また、ミッション機器のSGLIに関しては、重要な開発要素に関しては先行部分試作により確認がほぼ終了しています。（具体的な項目については、No. 5-2, No. 5-3の質問票の回答を参照下さい。）

開発研究段階では、コンポーネントレベルでのクリティカルな性能の評価を実施する予定です。

開発段階では、SGLIのシステムレベルの評価モデルを製作し、熱的・機械的環境における評価及びシステムレベルの機能・性能試験を実施する予定です。

以上から、重要な開発要素は概ね完了し、今後の開発研究及び開発段階で解決すべき課題とその解決方法が見通せていると判断しています。

【質問番号 6-2】コストについて

【質問内容】

バス機体についての質問です。GCOM-C1は、GCOM-W1のバス系機器80%もの共有化をはかり互換性を持たせる設計にするとのことですが、なぜ経費がたったの10%（20%）しか削減できないのでしょうか。民間の発想ですと30%、40%削減は当たり前の数字として提示され、50%削減目標など立て必死にすべての効率化を図りますが、いかがでしょうか？

【資料の該当箇所】推進2-1-2 30・42ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

GCOM-W1の衛星バスのコストのうち、打ち上げられる機体（フライト品）の製造・試験費用が約70%を占めています。フライト品の品質・信頼性を確保するためには、製造工程の変更や試験の簡略化を行うことが出来ないため、GCOM-C1についても同等のコストが必要です。

残りの30%は、設計費用および設計確認のための開発試験費用です。GCOM-C1では、ミッション機器がGCOM-W1と異なるため、その変更に伴う設計変更があります。ですが、多くの機器でGCOM-W1と設計の共通化を図ることにより、この部分のコストを30%以上削減しました。衛星バス全体としては、10%のコスト削減を実現しています。

【質問番号 6-3】開発期間について

【質問内容】

GCOM-C1の開発期間（予備設計開始より開発が終了するまでの期間）は約5年半と見積もられています。一方GCOM-W1は同期間が約4年半となっている。

衛星バスについてはGCOM-W1の80%以上を流用することによりコストも開発期間も短縮できるがGCOM-C1の方が観測センサ等の構成機器が多いため全体として開発資金はほぼ同等となったと説明されている、ならばGCOM-W1と比較して予備設計、基本設計にそれぞれ倍の開発期間を要するというのは長すぎないか。

衛星の開発期間を短縮する事はJAXAの課題の一つであると認識していますが、GCOM-C1の開発にあたって開発期間短縮の為に従来のやり方と較べてどのような改善をしようとしているのか説明していただけると有難い。

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 44ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

衛星の開発では、ミッション機器と衛星バスの間で設計情報をやり取りして、それぞれのインタフェースにかかわる部分の設計を進めていきます。

GCOM-C1のミッション機器であるSGLIは、43ページに示すように、BBM-EM-PFMの3段階開発を実施する計画であり、GCOM-W1搭載のAMSR2より技術開発項目が多いため、開発期間が長くなります。このSGLIの設計、製作試験作業に同期するように衛星バス側の作業を設定しているため、全体の開発期間がGCOM-W1より長期になっています。

SGLI完成後の衛星システムインテグレーション・試験の作業は、1年程度の期間なので全体スケジュール短縮の効果は小さいですが、GCOM-W1との設計共通化による組み立て・試験手順の習熟効果等により期間を短縮したいと考えています。

【質問番号 6-4】海外機関との成果利用

【質問内容】

実施体制の中で、利用研究機関のほとんどが国内機関に限られているが、本計画が国際的な期待を受けている中で、海外の機関とのより積極的な成果利用をさらに行う必要性はないのか？

【資料の該当箇所】 推進2-1-2 47、48ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

「海外機関によるより積極的な成果利用」に関しては、ご指摘のとおりと認識しており、日々活動しているところです。GCOM データについては、原則無償で一般研究者に提供を行う計画であり、さらなる利用促進に向けて欧米の宇宙機関と調整を図っています。具体的には、以下のとおりです。

- NPOESS と連携して世界中の気象現業ユーザへの GCOM データの提供と利用を促進する計画であり、この協力は、昨年 11 月の第 4 回地球観測サミット（南ア）においても GEOSS の早期成果の一つとして報告されている。現在、NPOESS を開発している NOAA（米国海洋大気庁）とデータ交換等の協力に関して詳細を協議しているところです。
- GCOM は、全球観測システム (GCOS) の実施計画の衛星観測に対する要求でも重要な計画として確実な実施が要求されており、地球観測衛星委員会 (GEOS) において、その観測データが世界の気候分野の利用者に提供、利用されるための調整を行っています。
- 本年 4 月には、米国ワシントン DC において、日米欧が参加する地球観測セミナーを開催し、GCOM を米国議会スタッフ、政府関係者、メディア等に PR するほか、ノルウェーにおいてヨーロッパの利用機関、研究者を対象に、GCOM に関するセミナーを開催し、GCOM データのヨーロッパ展開を図りたいと考えています。
- GCOM-C1 の開発移行後に、世界の研究者に対して、GCOM-C1 に関する研究公募を実施する予定です。（GCOM-W1 に関しては、1 月に発出済みです。）