

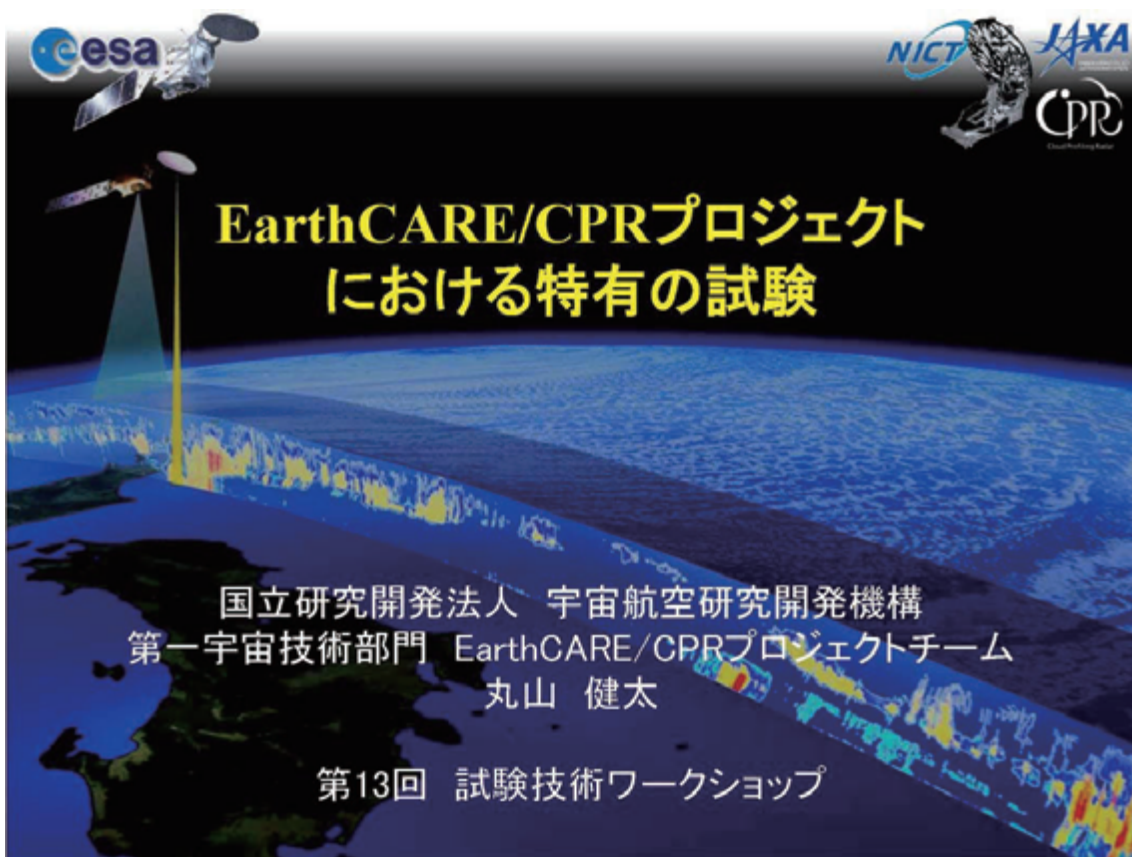
6.7. EarthCARE/CPR プロジェクトにおける 特有の試験

宇宙航空研究開発機構

第一宇宙技術部門

EarthCARE/CPR プロジェクト

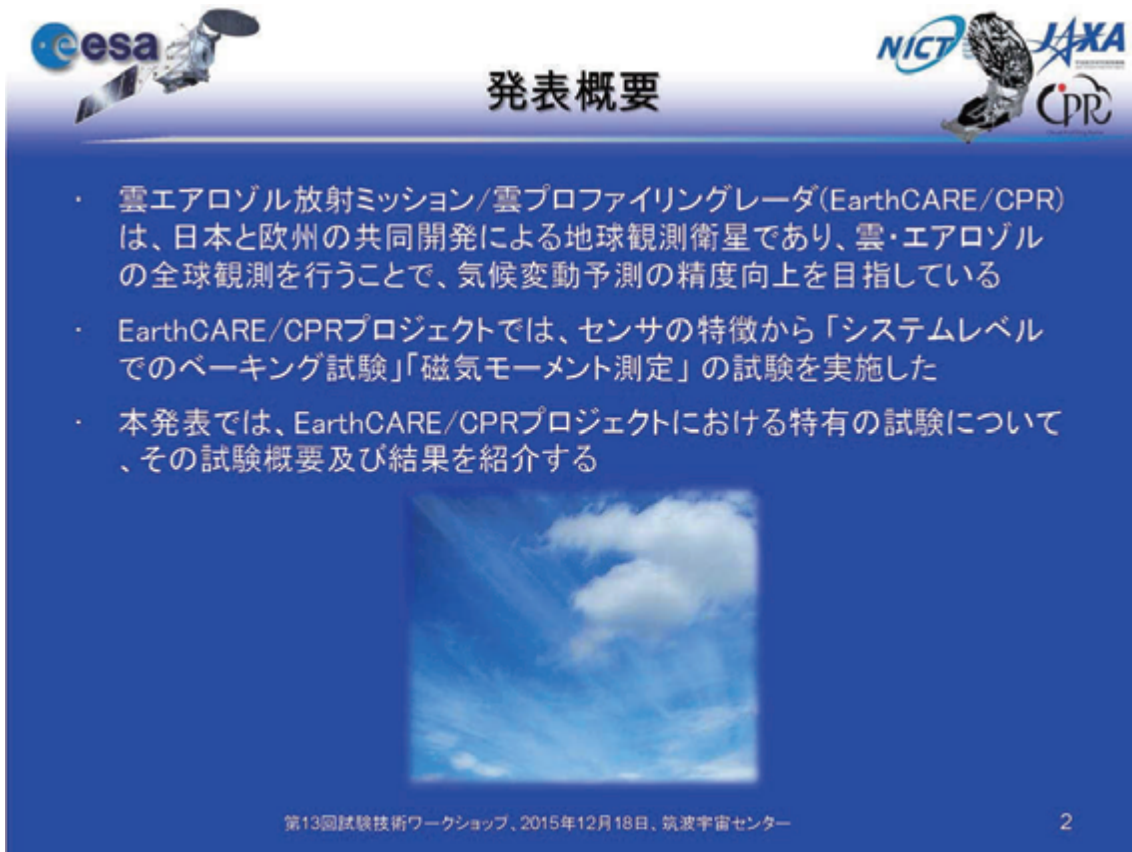
丸山 健太 氏



**EarthCARE/CPRプロジェクト
における特有の試験**

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
第一宇宙技術部門 EarthCARE/CPRプロジェクトチーム
丸山 健太

第13回 試験技術ワークショップ



発表概要

- ・ 雲エアロゾル放射ミッション/雲プロファイリングレーダ(EarthCARE/CPR)は、日本と欧州の共同開発による地球観測衛星であり、雲・エアロゾルの全球観測を行うことで、気候変動予測の精度向上を目指している
- ・ EarthCARE/CPRプロジェクトでは、センサの特徴から「システムレベルでのベキング試験」「磁気モーメント測定」の試験を実施した
- ・ 本発表では、EarthCARE/CPRプロジェクトにおける特有の試験について、その試験概要及び結果を紹介する

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



目次



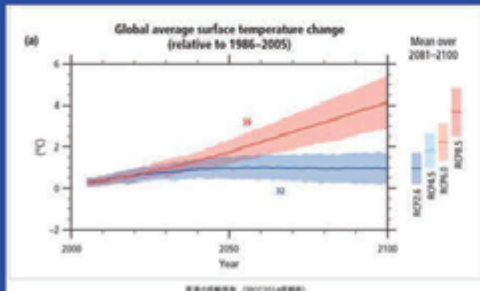
1. EarthCARE/CPRのミッションは？
2. EarthCAREとは？
3. CPRとは？
4. EarthCARE/CPRの開発状況
5. システムレベルでのベーキング試験
6. 磁気モーメント測定
7. まとめ



1. ミッション概要



- ・ 地球温暖化に関する最新のIPCC報告書では、100年後の気温は最大で**2.6度～4.8度**上昇することが予測されており、**2.2度の誤差**がある
- ・ 例え2.2度でも温度が異なると環境への影響が変わり、その対策も違ってくることになる(過去100年間の温度上昇は0.8度前後)
- ・ 気温予測に誤差をもたらす大きな要因として、「**雲・エアロゾル**」が挙げられており、地上設備や気象衛星だけでは観測できなかった**全球的な分布や内部構造の解明**が期待されている





2. EarthCARE概要



EarthCARE(Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) : 雲エアロゾル放射ミッション

雲やエアロゾルの鉛直分布や形状情報を観測



ATLID Atmospheric Lidar
大気ライダー (355 nm 高エネルギーレーザー)

CPR Cloud Profiling Radar
雲プロファイリングレーダー (94 GHz ドップラーレーダー)

MSI Multi-Spectral Imager
多波長イメージャ (フッシュルーム方式カメラ)

BBR Broad-Band Radiometer
広帯域放射収支計

雲や弱い雨の鉛直分布や、上昇・下降運動を観測


雲やエアロゾルの水平分布を観測

長波及び短波帯域の放射収支エネルギーを観測


開発機関	欧州宇宙機関(ESA) / 情報通信研究機構(NICT) / 宇宙航空研究開発機構(JAXA)
打上げ	2018年予定 Soyuzロケット
設計寿命	3年
質量	約2.2 ton
衛星軌道	太陽同期準回帰軌道 降交点通過地方時: 14:00、軌道高度: 約400 km、 軌道傾斜角: 97.05度、回帰日数: 25日

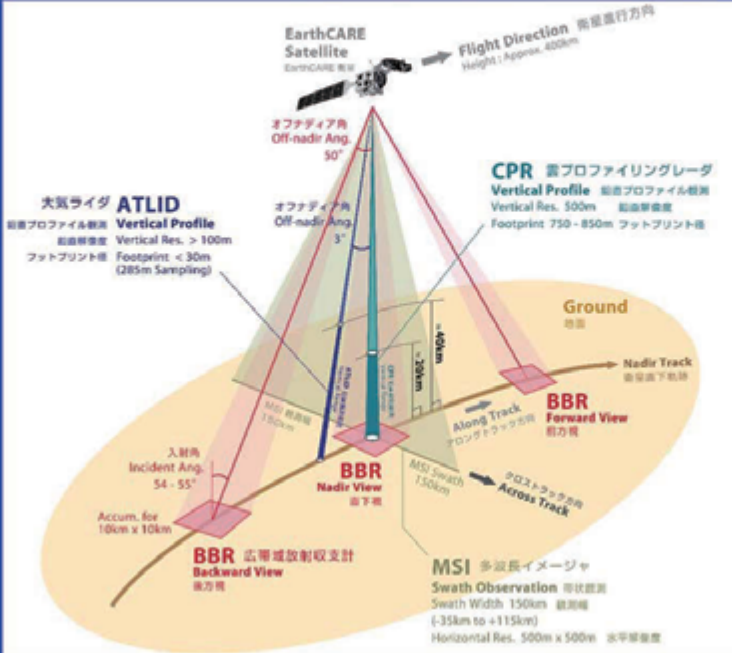
第13回試験技術ワークショップ, 2015年12月18日, 筑波宇宙センター

5



EarthCARE観測の概略図





EarthCARE Satellite
EarthCARE衛星
Flight Direction 衛星飛行方向
Height: Approx. 400km

ATLID 大気ライダー
Vertical Profile 鉛直プロファイル観測
Vertical Res. > 100m
Footprint < 30m (285m Sampling)

CPR 雲プロファイリングレーダー
Vertical Profile 鉛直プロファイル観測
Vertical Res. 500m 鉛直解像度
Footprint 750 - 850m フットプリント径

BBR 広帯域放射収支計
Backward View 後方観測
Accum. for 10km x 10km

BBR 広帯域放射収支計
Nadir View 直下観測

BBR 広帯域放射収支計
Forward View 前方観測

MSI 多波長イメージャ
Swath Observation 帯状観測
Swath Width 150km 観測幅 (-35km to +115km)
Horizontal Res. 500m x 500m 水平解像度

Ground 地面
Nadir Track 直下観測軌跡
Along Track アロングトラック方向
Across Track アクロストラック方向

詳細は以下のURL参照
http://www.eorc.jaxa.jp/EARTH/CARE/about/inst_geometry_j.html

第13回試験技術ワークショップ, 2015年12月18日, 筑波宇宙センター

6



3. CPR概要

- ・ CPR (Cloud Profiling Radar): 雲プロファイリングレーダ
- ・ JAXA/NICTの共同開発による**世界初の衛星搭載ミリ波ドップラーレーダ**
- ・ **雲や弱い雨の鉛直分布や、上昇・下降運動**を観測する
- ・ 衛星搭載観測センサとして**世界最大の直径2.5 m**、さらに鏡面精度も**60 μmRMS以下**の大型・高精度のアンテナを有する



CPRエンジニアリングモデル

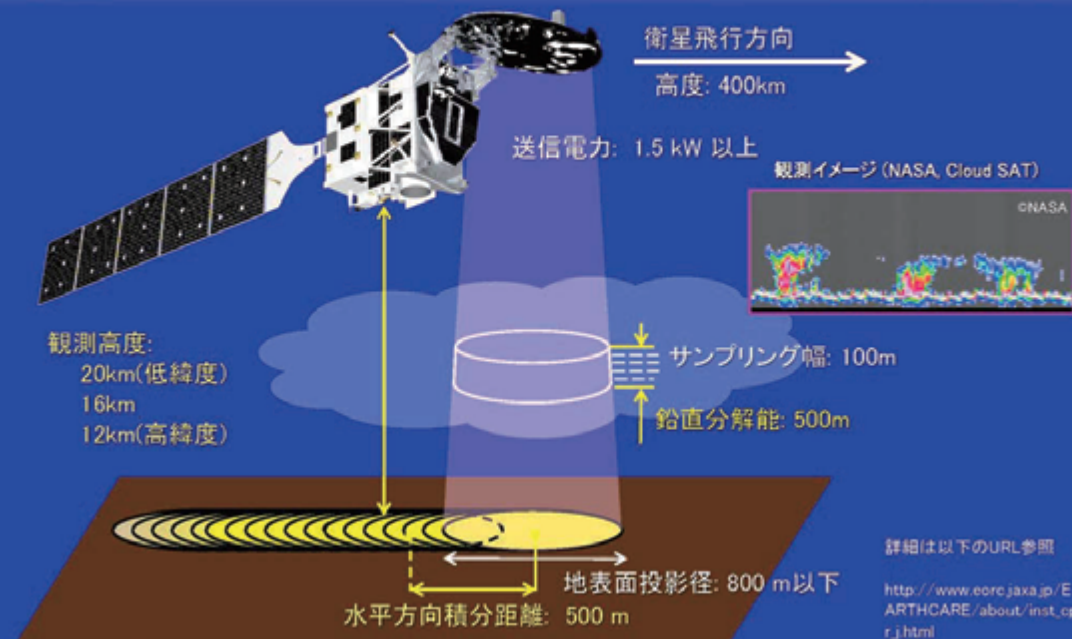
中心周波数	94.050 GHz
アンテナ開口径	2.5 mΦ
アンテナビーム幅	0.095 degrees
送信性能	
- 送信電力	1.5 kW 以上
- パルス繰り返し周波数	6,100 Hz ~ 7,500 Hz (可変)
- パルス幅	3.3 μs
最小受信感度	< -35 dBZ (10 km積分時)
ドップラー速度計測	
- 計測幅	±10 m/s
- 計測精度	1.3 m/s (受信感度: -19 dBZ、10 km積分時)
鉛直分解能	500 m
質量	約270 kg

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター

7



CPR観測の概略図



第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター

8



4. EarthCARE/CPRの開発状況 (1/2)



- ・ 開発状況と今後のマイルストーン
 - 現在 CPRプロトフライモデルの製造 & 試験中
試験完了後、衛星システム(ESA)に引渡し
 - 2018年 衛星打ち上げ

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター

9



5. システムレベルでのベーキング試験 (1/10)



1. 試験目的

- ✓ コンタミネーションに非常に敏感なATLIDに配慮し、JAXAとして十分にMREF(Antenna Main Reflector)の真空ベーキングを実施すること
- ✓ JAXAにおける将来のLidar搭載衛星の開発に向けて、システムのベーキング手法の検討の一助とすること

2. 実施内容

- ✓ 主要アウトガス成分のスクリーニング
- ✓ クーポン評価
- ✓ MREFベーキングの終了条件の確定
- ✓ MREFベーキング試験



第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター

11



5. システムレベルでのベーキング試験 (2/10)



□ 主要アウトガス成分のスクリーニング

- MREFベーキング試験の供試体に含まれるすべての材料に関して、以下の条件でアウトガス成分をスクリーニングした

TML ≥ 1%、RML ≥ 1%、CVCM ≥ 0.1%、使用量 > 100 g

□ クーポン評価

- 上記でスクリーニングされたアウトガス成分が含まれるクーポン (MREFテストピース)を用いて、アウトガスレート測定した (研究開発部門・第一研究ユニット協力の元)



MREFテストピース:

主成分、製造方法がほぼMREFと同一のものであるが、真空環境には晒されていないもの

アウトガスレート測定条件:

MREFテストピース温度: **+55°C**、QCM温度: **-20°C**

第13回試験技術ワークショップ, 2015年12月18日, 筑波宇宙センター

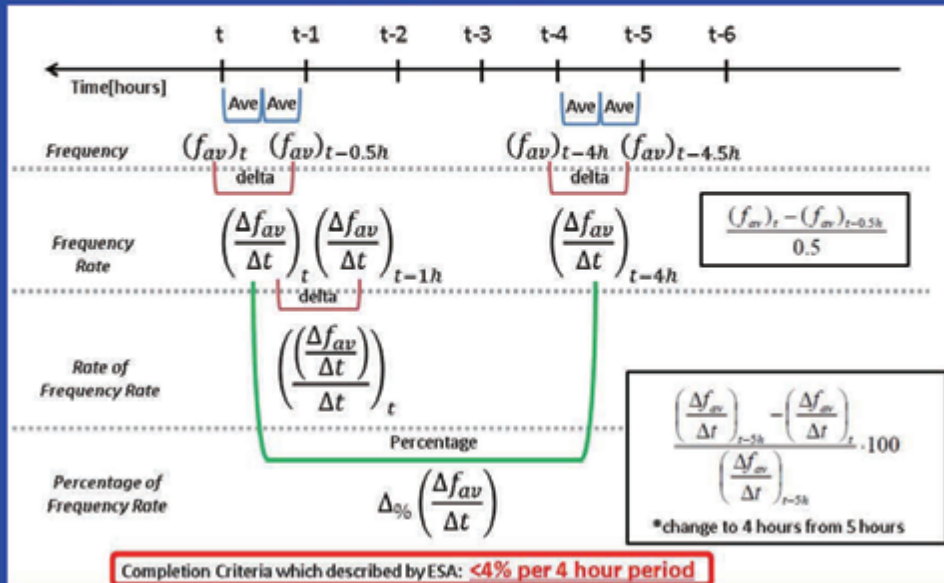
12



5. システムレベルでのベーキング試験 (3/10)

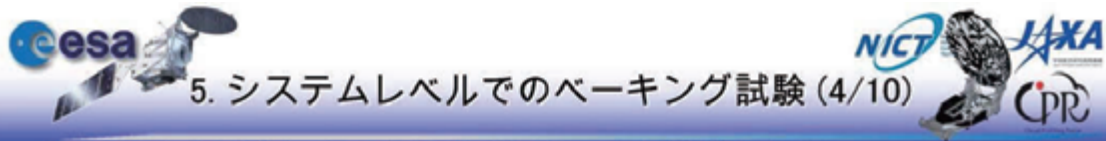


□ MREFベーキングの終了条件の確定

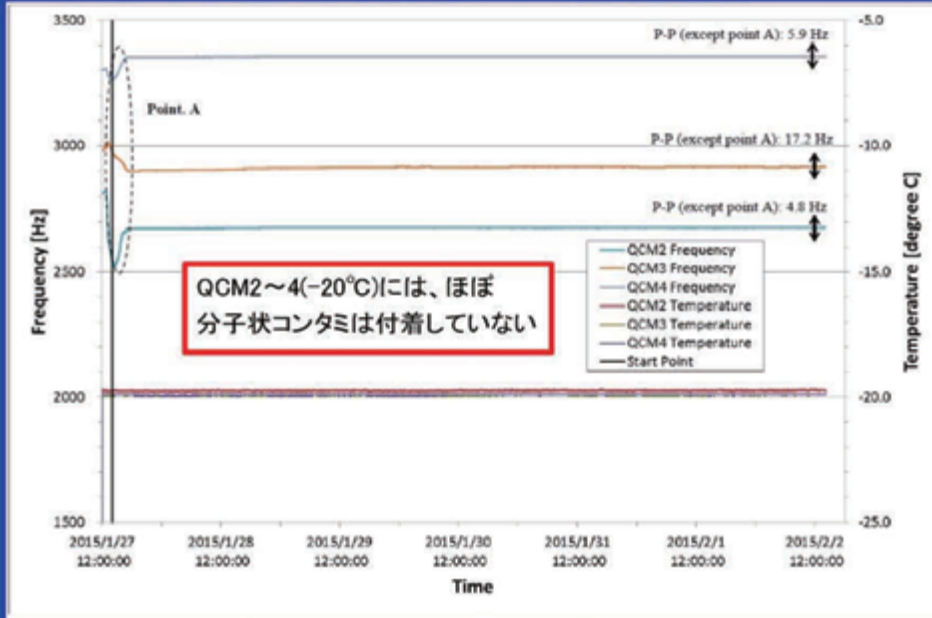


第13回試験技術ワークショップ, 2015年12月18日, 筑波宇宙センター

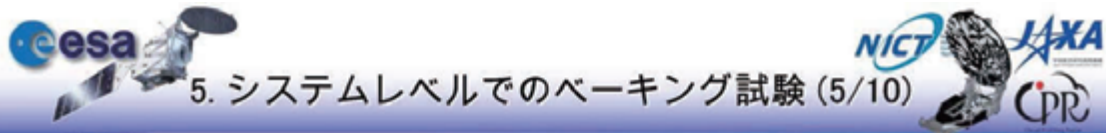
13



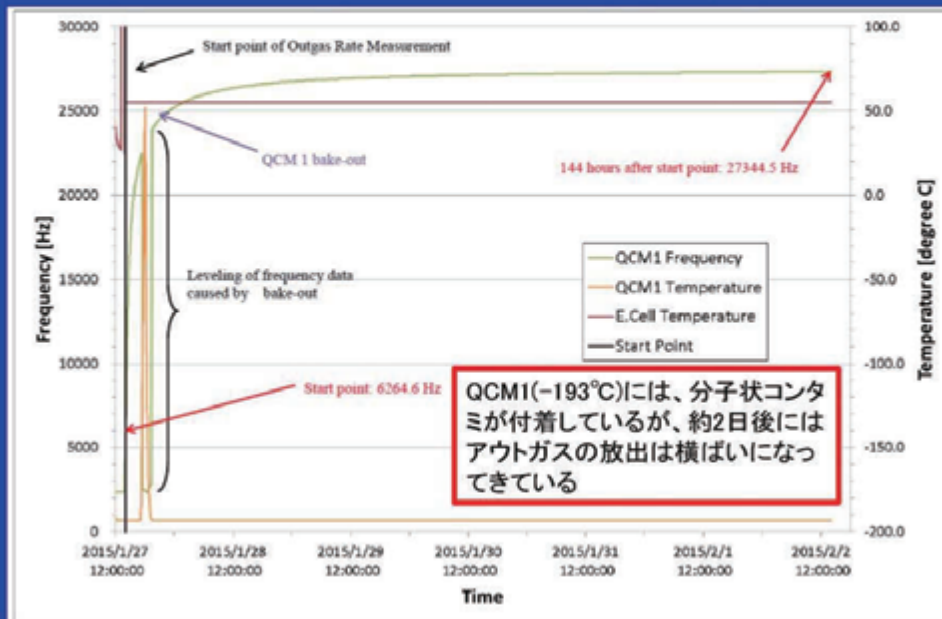
□ MREFテストピースのアウトガスレート測定結果(1/3)



第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



□ MREFテストピースのアウトガスレート測定結果(2/3)



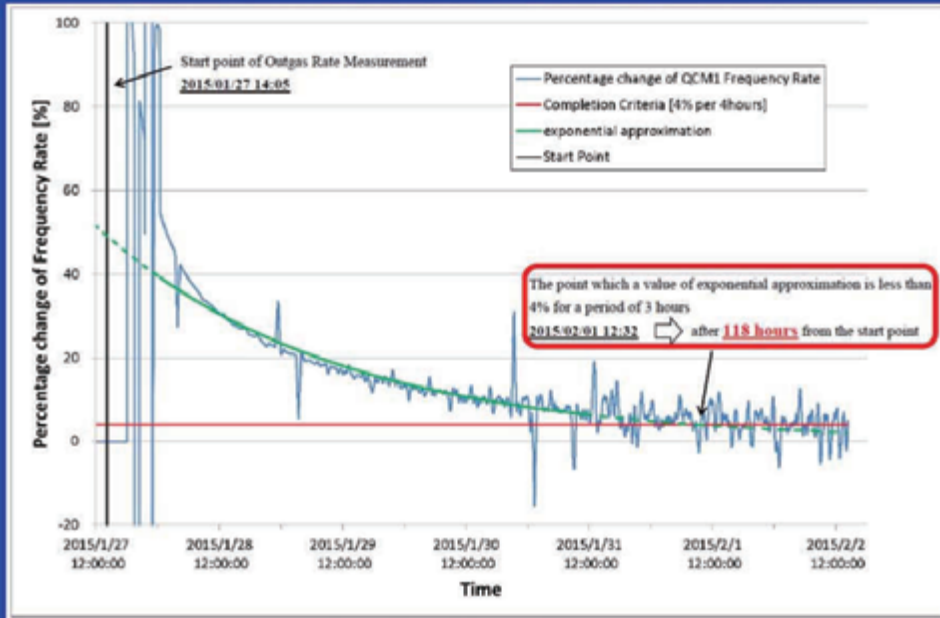
第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



5. システムレベルでのベーキング試験 (6/10)



□ MREFテストピースのアウトガスレート測定結果(3/3)



第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



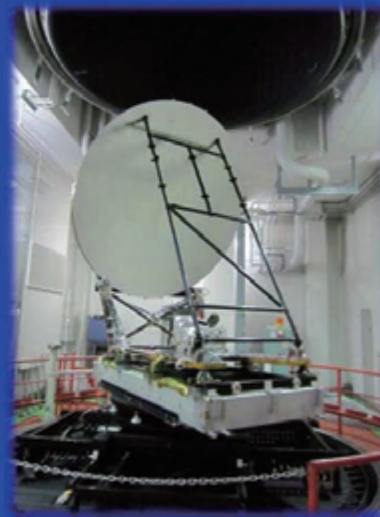
5. システムレベルでのベーキング試験 (7/10)



□ MREFベーキング試験

- 実施場所:
 - ・ JAXA/ISAS 相模原キャンパス
4mΦスペースチャンバ
- 供試体条件:
 - ・ 電気系のサブシステム/コンポーネントは取外した状態
 - ・ MREF表面のMLI/SLIは取外した状態
- 試験条件:

	MREF温度	真空度	試験時間
試験条件	> +55°C (上限: +65°C)	< 0.0013 Pa (目標)	> 120時間
その他	・TQCMはMREF開口面を向けて設置 ・TQCM温度は-20°C ・MREFの昇温はチャンバシュラウドの温度コントロールで実施		



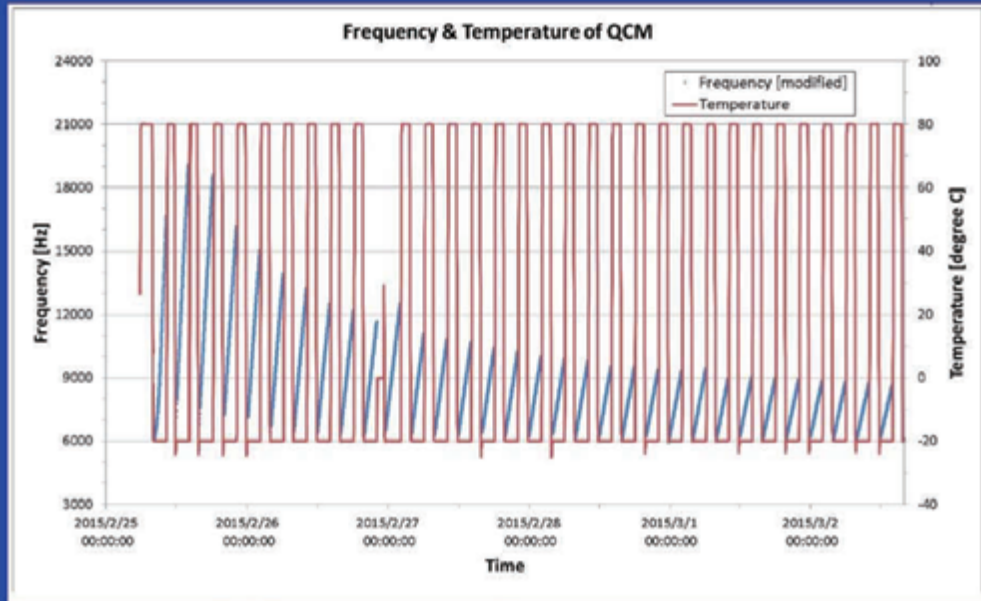
MREFベーキング直後のCPR

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



5. システムレベルでのベーキング試験 (8/10)

□ MREFベーキング試験の結果(1/2)

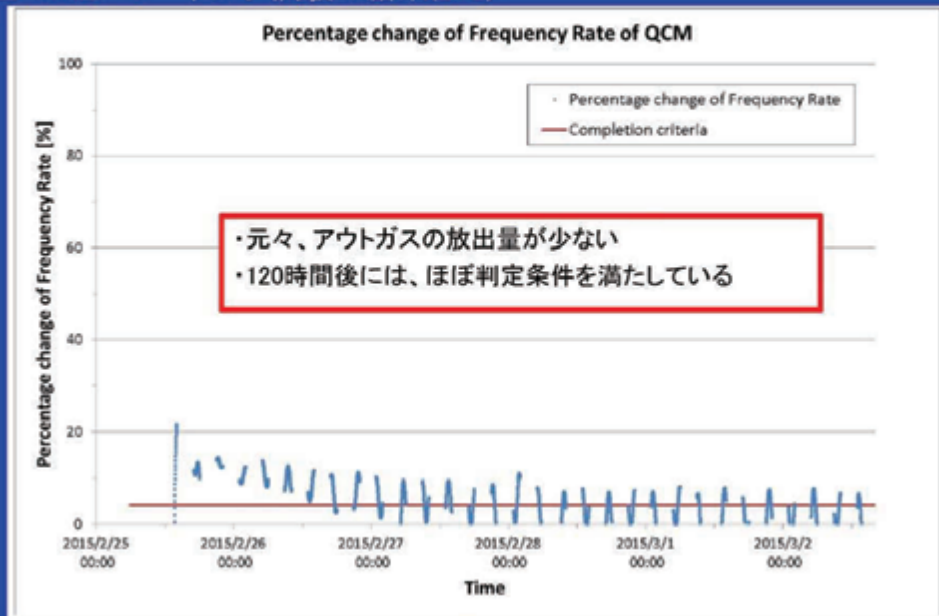


第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



5. システムレベルでのベーキング試験 (9/10)

□ MREFベーキング試験の結果(2/2)



第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



5. システムレベルでのベーキング試験 (10/10)

□ MREFベーキング試験の所感

- ✓ 宇宙機で使用される主要材料の特性(特にアウトガスレート)を把握しておくことは、ベーキングの終了条件の検討に非常に有用
- ✓ 複合材料による供試体のベーキング終了条件を検討する際、テストピースを用いて実際に測定することが非常に有用
- ✓ 複数センサが搭載されるような宇宙機の場合、コンタミに対するインターフェース条件を明確に規定しておくが良い
- ✓ システムレベル(サブシステムレベル)でベーキングを実施できるスペースチャンバがあると、将来のLidar搭載衛星開発の一助となる



第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



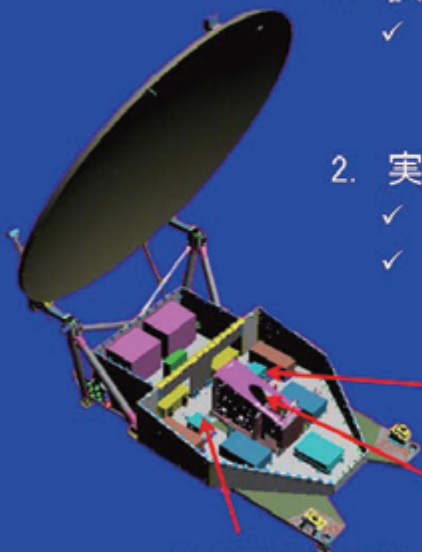
6. 磁気モーメント測定 (1/8)

1. 試験目的

- ✓ CPRの磁気モーメントを把握し、衛星システムに対する影響度合いを確認する

2. 実施内容

- ✓ 磁気モーメント測定
- ✓ 軌道上における衛星の姿勢制御に対する影響評価



クライストロン(内部に強力な磁石)

紫の蓋の中に、5.2kgの軟磁性体インバー

クライストロン(内部に強力な磁石)

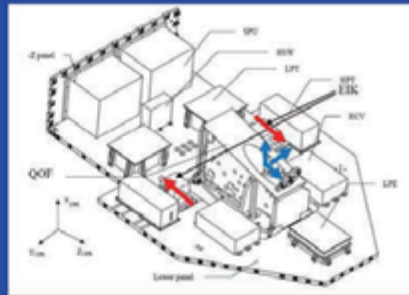
第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



6. 磁気モーメント測定 (2/8)

□ 磁気モーメント測定(1/5)

- CPRには、2つの硬磁性体(EIK: Extended Interaction Klystron)と1つの軟磁性体(QOF: Quasi Optical Feed subsystem)が搭載されている
- EIKは磁気モーメントを打ち消す向きに設置されているが、2つのEIKの距離が離れているためQOFの位置における磁場は残存している。また、QOF内の磁性体の配置及び形状が複雑であり、解析により発生磁気モーメントを求めることは困難
- QOF(フライトモデル)とEIKダミーを用いて、CPRの磁気モーメントを実測することとした



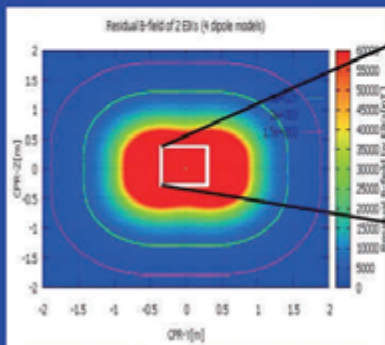
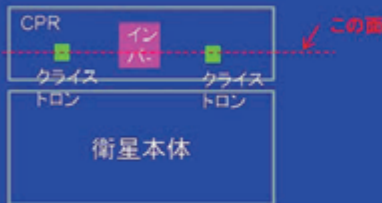
第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



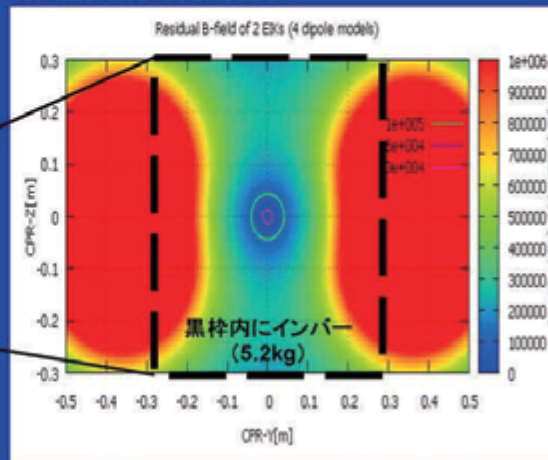
6. 磁気モーメント測定 (3/8)

□ 磁気モーメント測定(2/5)

モデル化した双極子モデルを、クライストロンの位置に合わせて配置(2つのクライストロンは磁場がキャンセルするよに180度反転して搭載されているが73cm離れている)、キャンセル後の残留磁束密度を計算した。



2つのクライストロンによる残留磁束密度



インバー付近での磁束密度量を見積もるために拡大

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター



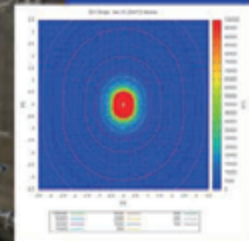
6. 磁気モーメント測定 (4/8)



□ 磁気モーメント測定(3/5)

- 実施場所:
 - ・ JAXA 筑波宇宙センター 磁気試験設備
- 供試体条件:
 - ・ QOF(フライトモデル)+EIKダミー × 2(EIKダミー①、EIKダミー②)
- 試験条件:

	試験条件
Case 1	EIKダミー①単体
Case 2	EIKダミー②単体
Case 3	EIKダミー両方 (EIKダミー①+EIKダミー②)
Case 4	QOF+EIKダミー両方
Case 5	QOF単体 ※人工均一磁場環境下



6. 磁気モーメント測定 (6/8)



□ 磁気モーメント測定(5/5)

- Case 1、Case 2、Case 3から、EIKダミー単体及びEIKダミー両方の基礎情報を取得した
- Case 4からQOF+EIKダミー両方の磁気モーメント(DC成分)を取得した
- Case 5からQOF単体の磁気モーメント(AC成分)を取得した
- 上記で得られた試験結果に加え、CPRフライトモデルに含まれる変動要素(EIKの個体差、温度変動、組付け誤差等)を加味して、CPRフライトモデルとしての磁気モーメントを算出した

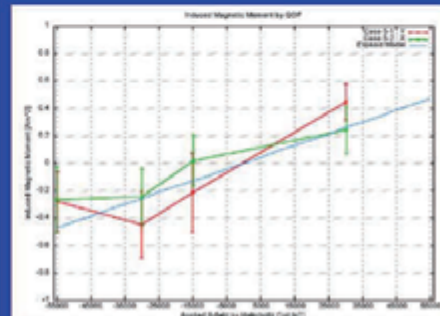
Table 6-1 DC magnetic moment due to hard magnets and soft magnetic materials

	CPR X axis [Am ²]	CPR Y axis [Am ²]	CPR Z axis [Am ²]
DC magnetic moment +/- 1 sigma	0.575 +/- 0.279	2.069 +/- 0.609	-0.835 +/- 0.633

Table 6-2 AC magnetic moment due to soft magnetic materials

	CPR X axis [Am ²]	CPR Y axis [Am ²]	CPR Z axis [Am ²]
Proposed equation for in-orbit evaluation	8035.71 * ambient B[T]	14821.4 * ambient B[T]	
Max magnetic moment in orbit †	0.268	0.215	0.741
Averaged magnetic moment in orbit (Averaged over 25days) †	-0.00004	0.053	0.015

† Maximum and averaged magnetic moment are derived by JAXA internal in-orbit evaluation.





6. 磁気モーメント測定 (7/8)



□ 軌道上における衛星の姿勢制御に対する影響評価

- EarthCAREの軌道および磁場モデル(IGRFモデル)を使用し、CPRの磁気モーメント(DC成分、AC成分)が衛星のAOCSに与える影響度合いを評価した
- 結果、アンローディングへの影響として平均値を算出したところ 10^{-5} [Nm] となり、無視できるレベルではないがクリティカルではないという結論に至った

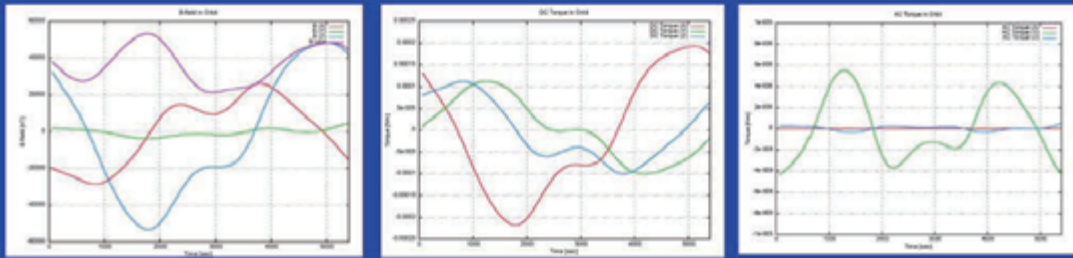


Table 6-3 Evaluated impact to the satellite AOCS (δ sigma worst case)

	DC (N)	DC (Y)	DC (Z)	DC + AC (N)	DC + AC (Y)	DC + AC (Z)
Max torque [Nm]	2.2E-04	1.2E-04	1.4E-04	∅ ¹	∅ ¹	∅ ¹
Averaged torque [Nm]	1.4E-05	-1.4E-06	5.1E-06	1.4E-05	-1.4E-06	5.0E-06

¹ Max torque for combined components are blank because there are timing difference when the max torque induced, in addition, the max torque of AC components are 1 order below those of DC components.

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター

27



6. 磁気モーメント測定 (8/8)



□ 磁気モーメント測定の所感

- ✓ 宇宙機の設計段階において、軟磁性体は極力使用しない方が良い
- ✓ やむを得ず使用する場合は、磁気モーメントが与える影響を事前に評価しておくべき(精度よく解析できるかどうかも含め)
- ✓ 硬磁性体を使用する場合は、あらかじめ磁気モーメントの方向、大きさを事前に確認しておくべき
- ✓ 共同開発等の宇宙機の場合、インターフェース条件を事前に明確にしておく必要がある
- ✓ その他、設備に具備されていれば便利だった機能(CPRの測定は特殊であったと考えるため、他のミッションでは必要ないかもしれない)
 - 地球磁場キャンセル後に一様磁場を印加できる機能(ドイツIABGでは可能)
 - 単体で磁気モーメントが数十Am²となる供試体にも対応できる校正源

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター

28



7.まとめ

- ・ EarthCARE/CPRプロジェクトでは、センサの特徴から「システムレベルでのベークリング試験」「磁気モーメント測定」の試験を実施した
- ・ 本発表では、EarthCARE/CPRプロジェクトにおける特有の試験について、その試験概要及び結果を紹介した
- ・ CPRは、これから本格的なプロトフライト試験を開始し、試験完了後にESAに引き渡され、2018年にEarthCARE衛星として打上げ予定である



CPRプロトフライトモデル
@筑波宇宙センター、電波試験棟

第13回試験技術ワークショップ、2015年12月18日、筑波宇宙センター

29



EarthCARE / CPR



Thank you for your kind attention!

©ESA



Cloud Profiling Radar

<http://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/>

質疑応答

ワークショップ進行の都合上、質疑応答を割愛



図 6-3 ご講演の様子