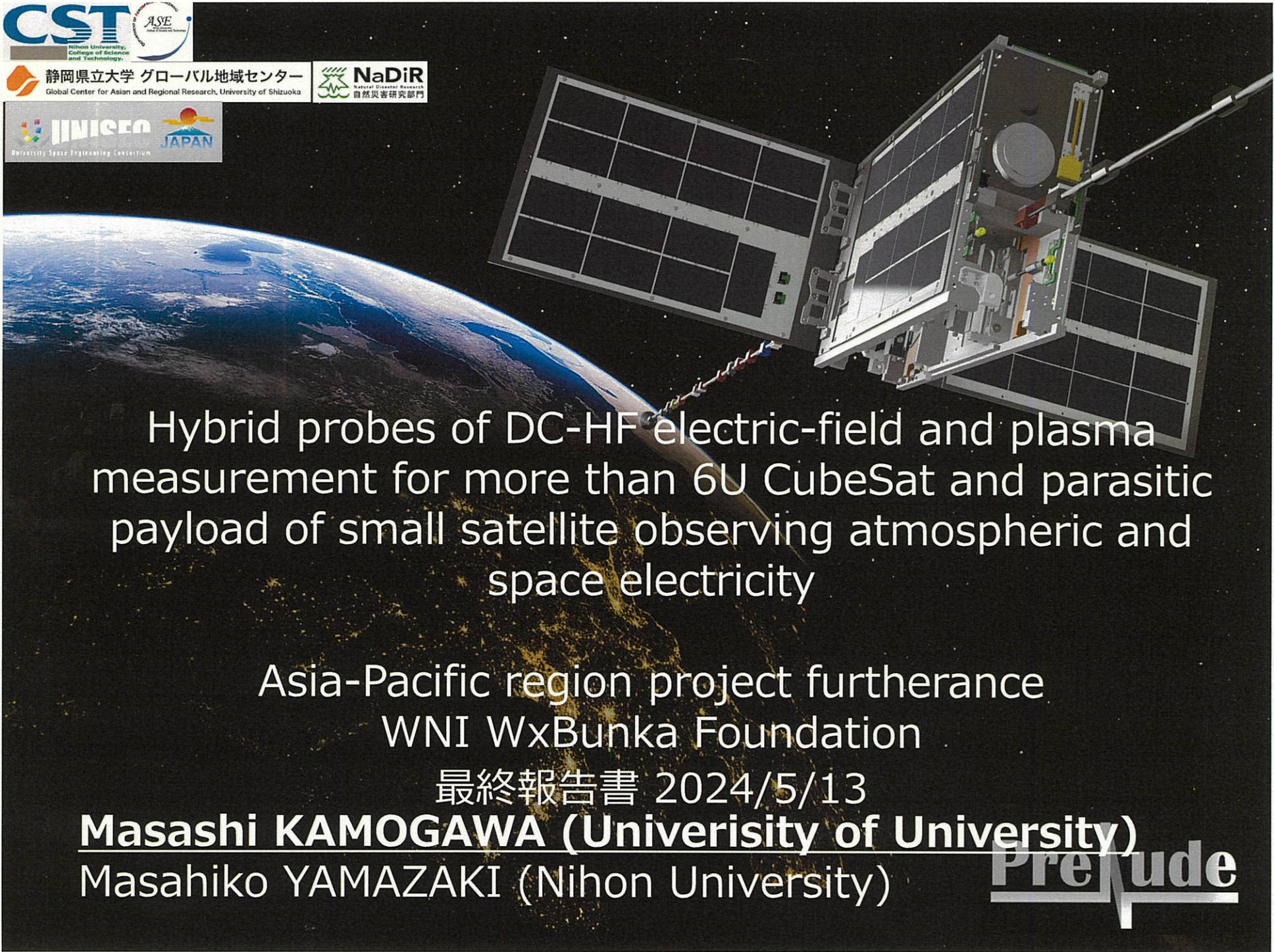




静岡県立大学 グローバル地域センター
Global Center for Asian and Regional Research, University of Shizuoka

NaDiR
Natural Disaster Research
自然災害研究部門



Hybrid probes of DC-HF electric-field and plasma measurement for more than 6U CubeSat and parasitic payload of small satellite observing atmospheric and space electricity

Asia-Pacific region project furtherance
WNI WxBunka Foundation

最終報告書 2024/5/13

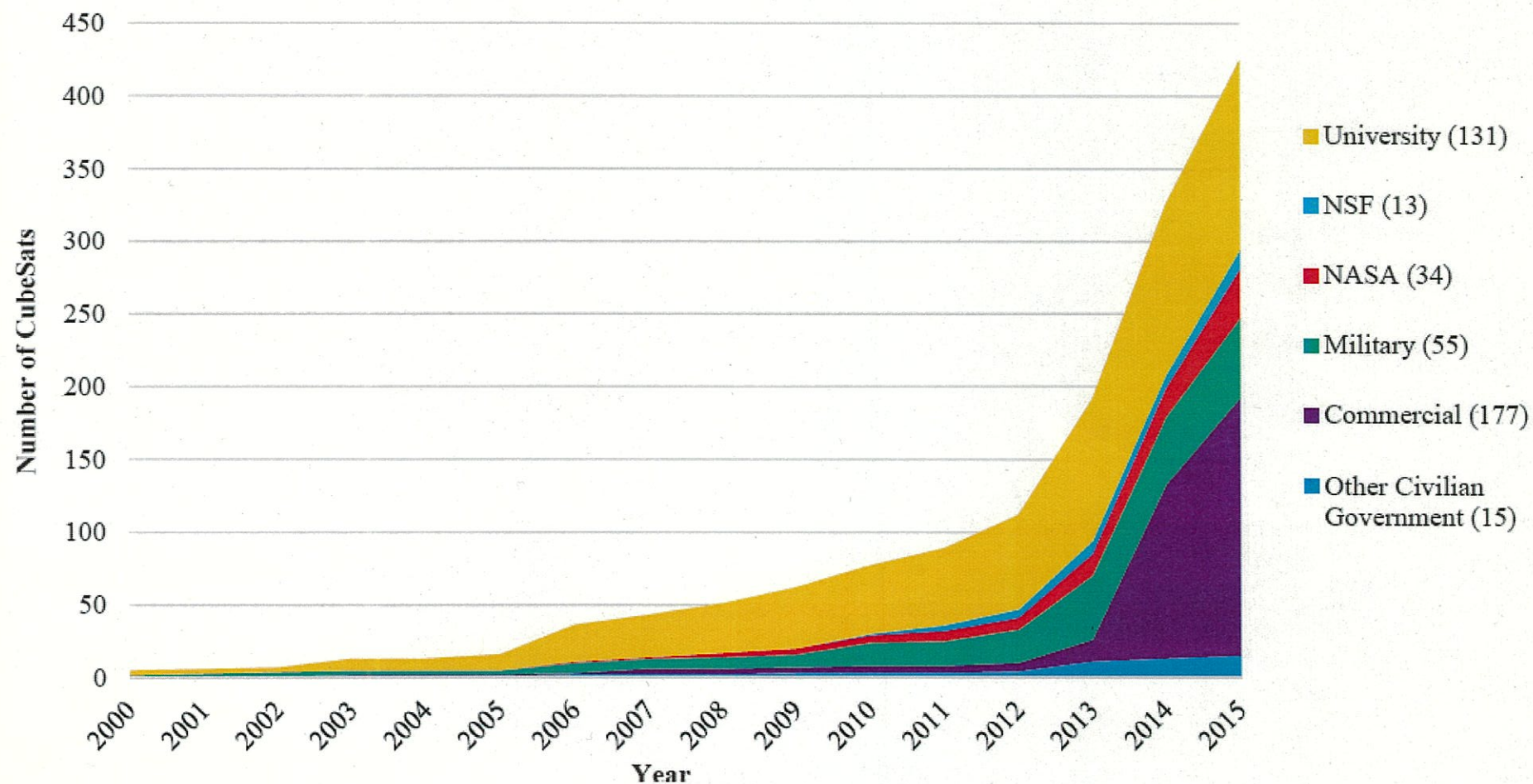
Masashi KAMOGAWA (University of University)

Masahiko YAMAZAKI (Nihon University)

Prelude

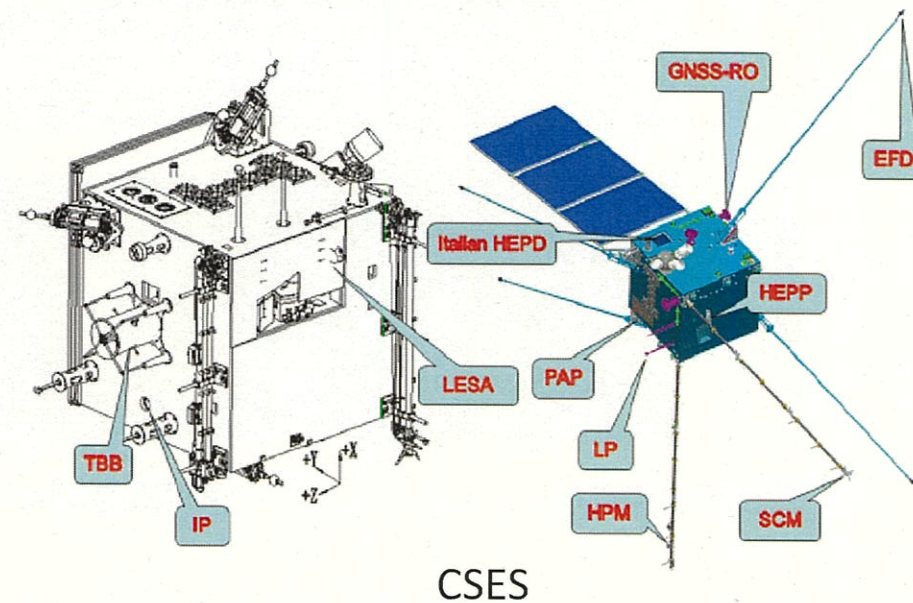
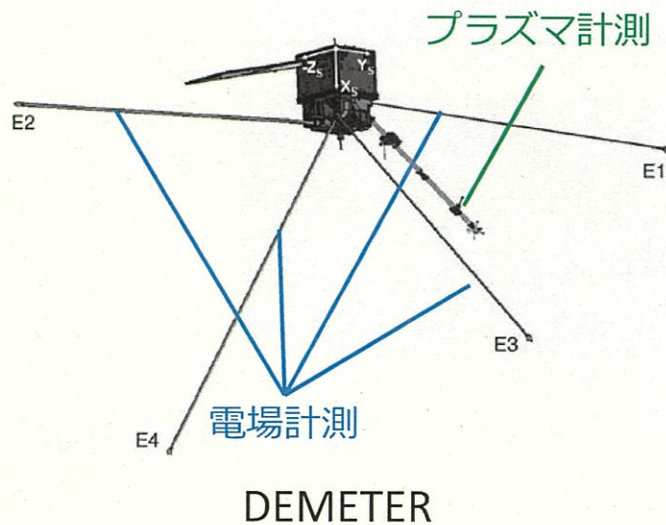
CubeSatの開発増加

<https://nap.nationalacademies.org/read/23503/chapter/3>



開発背景

- ❖ 宇宙からの電磁気観測は小型～大型衛星が担ってきた
 - ❖ 高品質なデータを取得するため、センサを大規模に展開
 - ❖ **開発の規模が大きく費用が高い**
- ❖ 1980年代より、電離圏および磁気圏における地震位発生する変動現象が報告
- ❖ DEMETER（フランス）による地震先行現象の観測実績と課題
 - ❖ 2004-2010年の6年2ヶ月の運用
 - ❖ M4.8以上の地震発生0-4時間前に、夜間VLF帯電磁波の強度現象を観測
 - ❖ **統計的解析やメカニズム解明に必要な高サンプリングレートのデータ数が不足している**
- ❖ 後発の類似衛星：CSES（中国）、KazSat-1（カザフスタン）



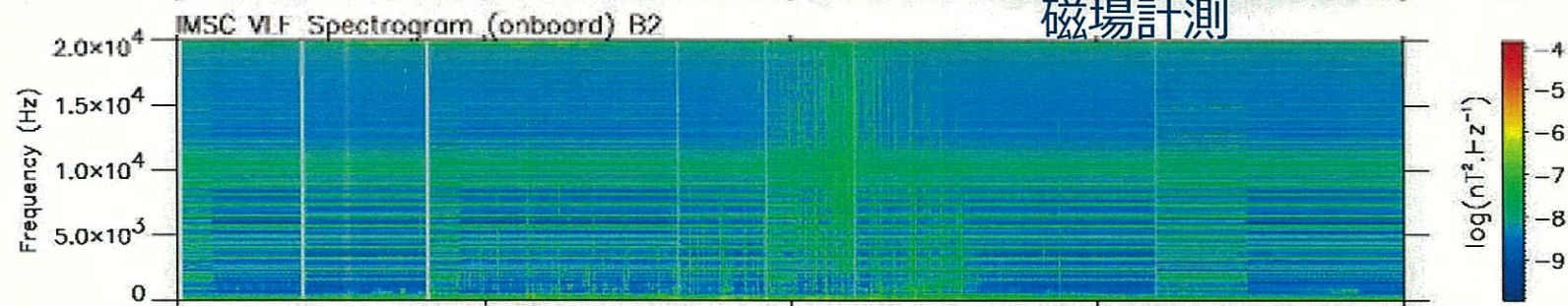
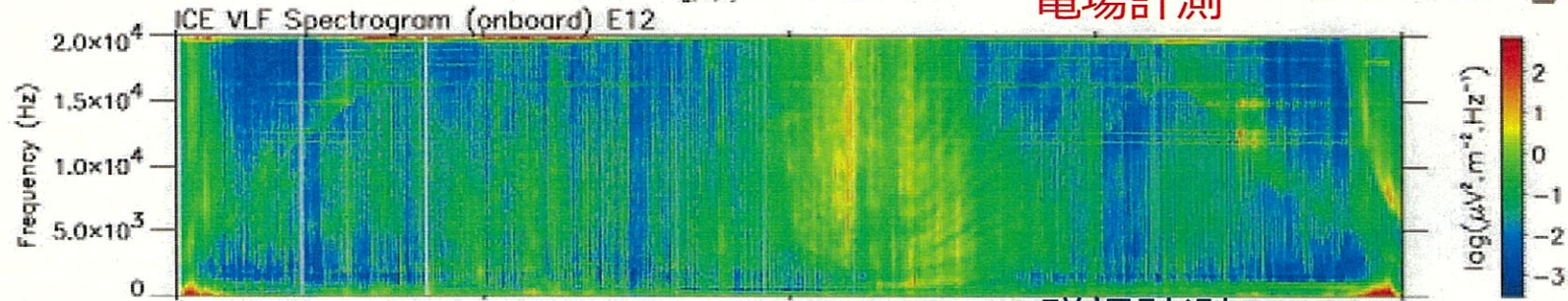
電場計測と磁場計測の感度の差

DEMETER

Date (y/m/d): 2010/03/05

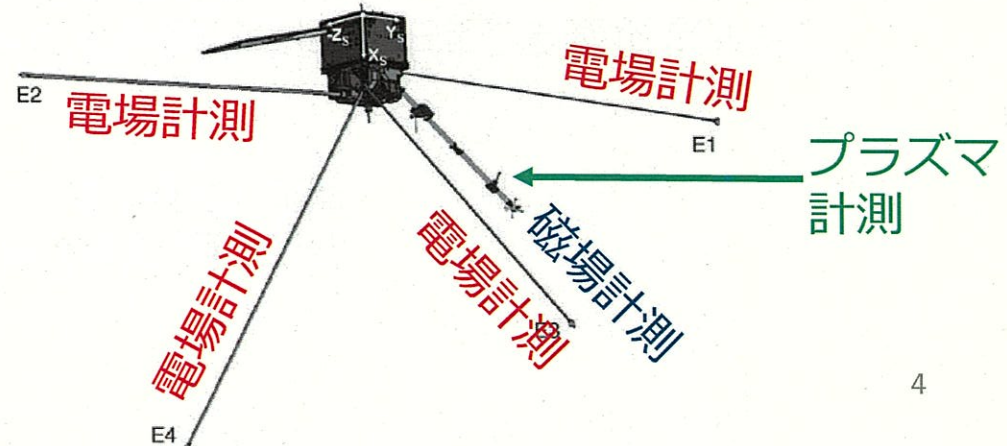
電場計測

Orbit: 30366_1



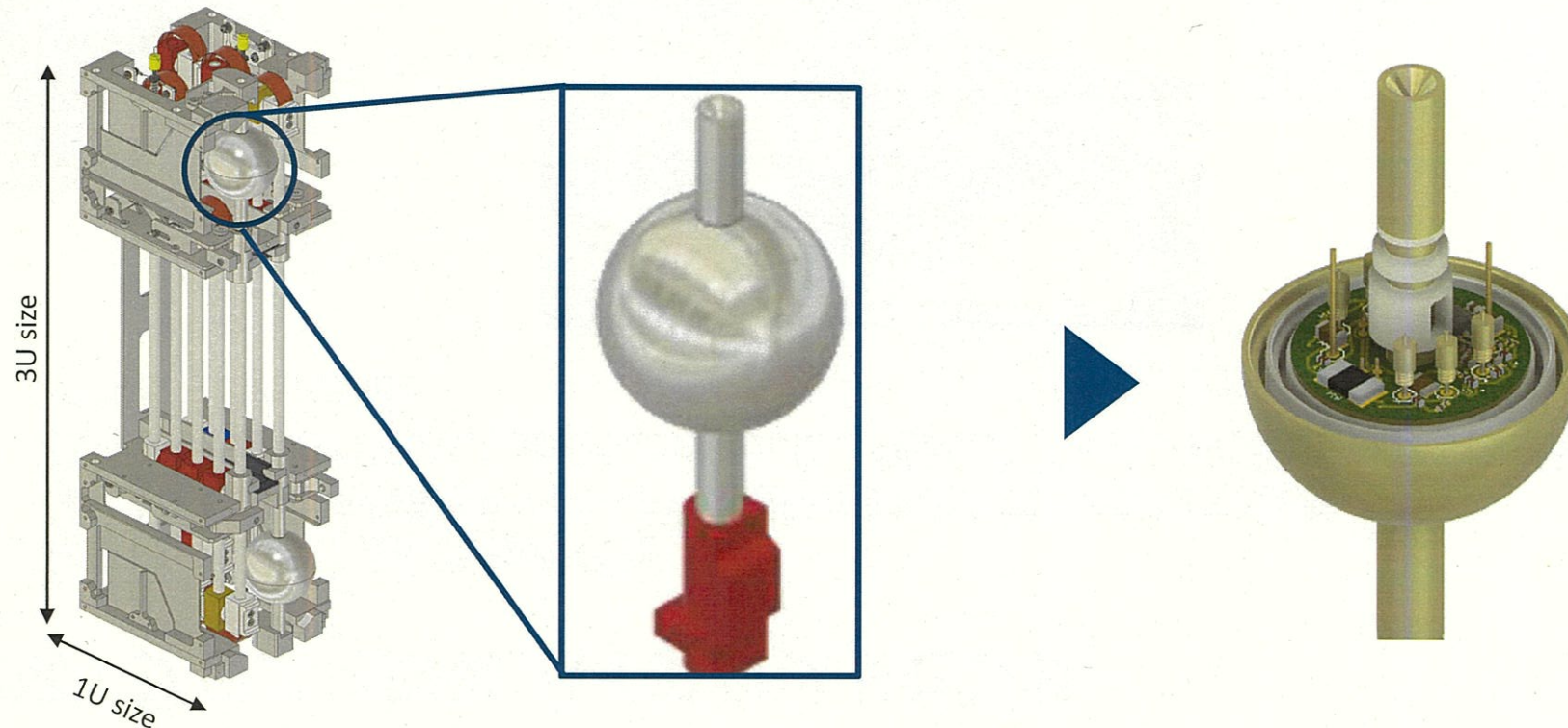
UT/LT	14:54:30/22:26	15:03:07/21:57	15:11:44/21:39	15:20:21/21:16	15:28:58/20:03
Lat.	-52.09	-20.99	10.34	41.63	72.02
Long.	112.97	103.53	96.83	88.98	68.38
Inv. Lat.	-67.19	-34.39	2.78	37.18	67.14

- ✓ 磁場計測ではホイスラー（雷起源のプラズマ中電波）が一部しか見えない。
- ✓ 電場計測がいかに感度が良いかよく分かる。



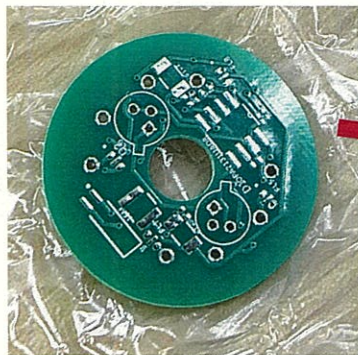
PRELUDEのセンサユニット特徴

- ❖ 3Uサイズのセンサユニット
 - ❖ メリット：低コスト, 開発期間の短縮
 - ❖ デメリット
 - ❖ 搭載可能なサイズに制約
 - ❖ センサの搭載数や精度担保のための工夫が必要
- ❖ ブームを伸展することで, センサ間隔を3.3mに保ち分解能を小型衛星クラスに
- ❖ 電場観測, プラズマ観測を1種類のセンサが担い, 搭載機器を最小限に
- ❖ 衛星電位を一定に保つ電子放出機を搭載

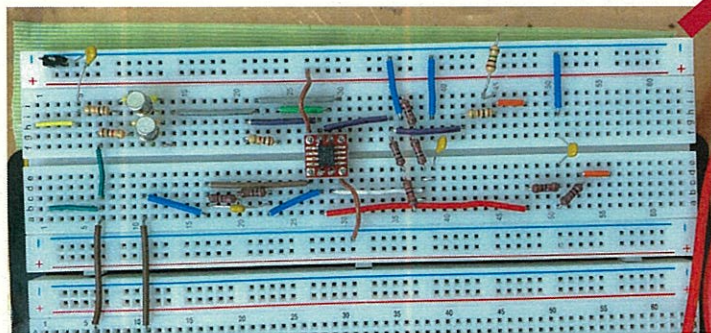
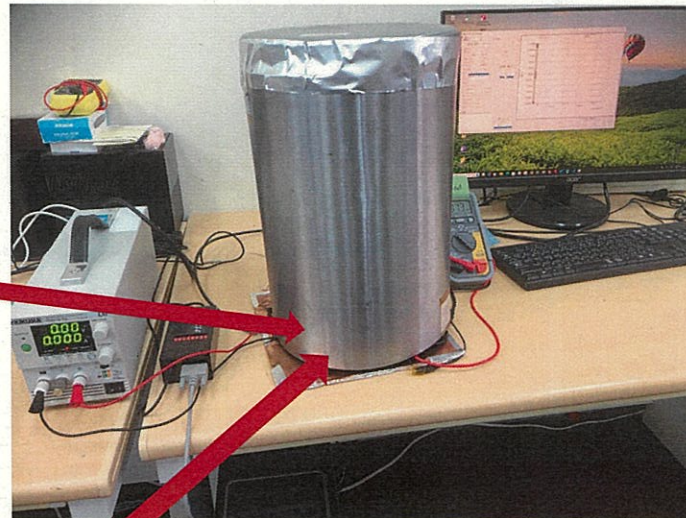


電場・プラズマ観測 ハイブリッドセンサ

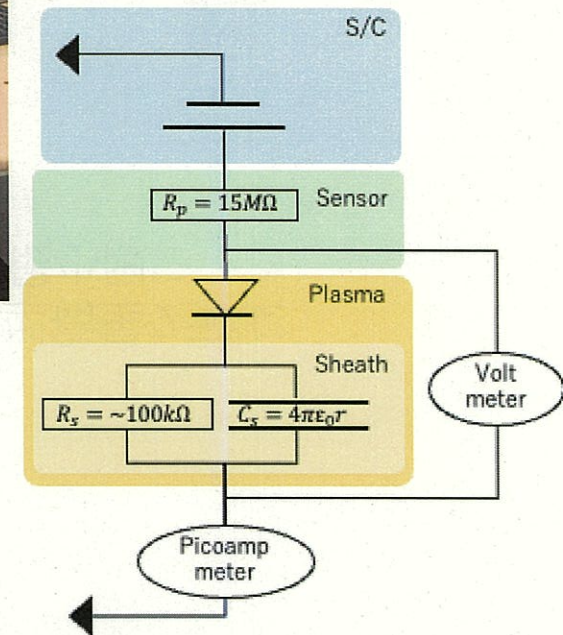
- ❖ 導電性のケージを用いた動作検証
 - ❖ プラズマ環境を模擬したダイオードや定電圧からの出力電圧を計測する実験
- ❖ 21年より設計されていたLab Modelを元に，搭載コンポーネントの選定，設計を行った
- ❖ 24年5月EM品納品



EM基板



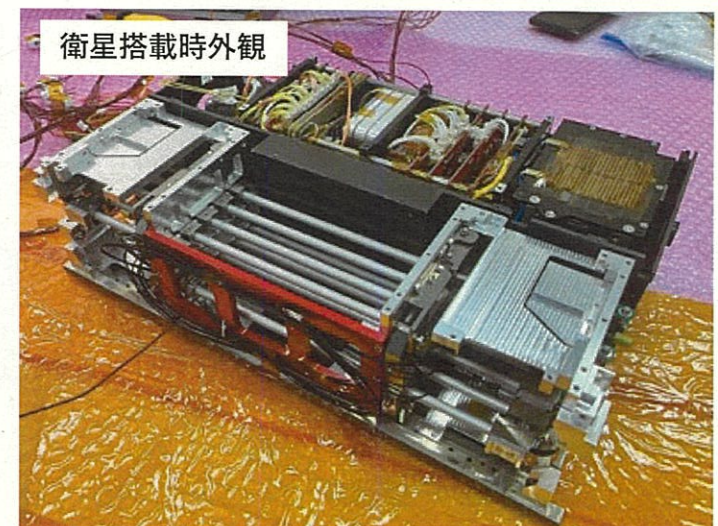
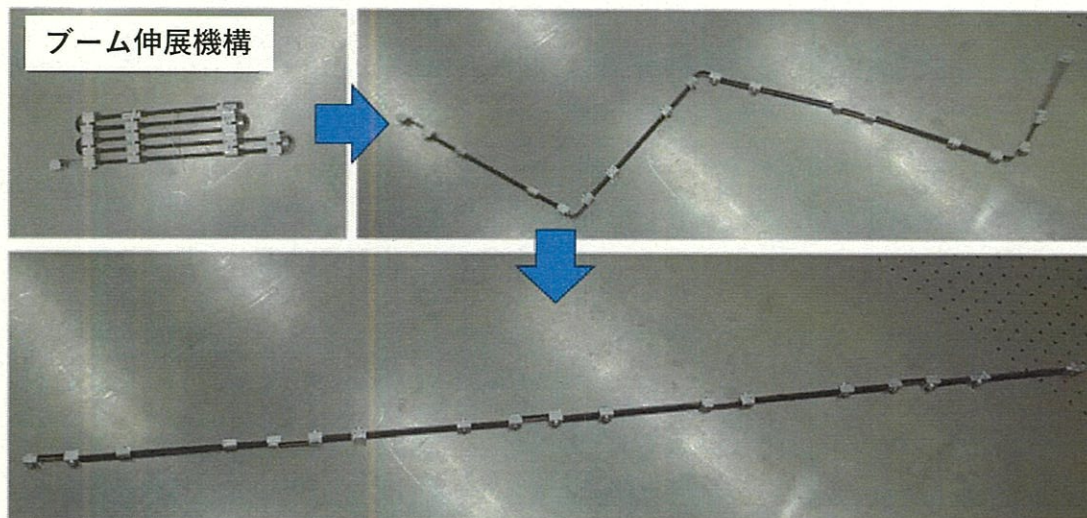
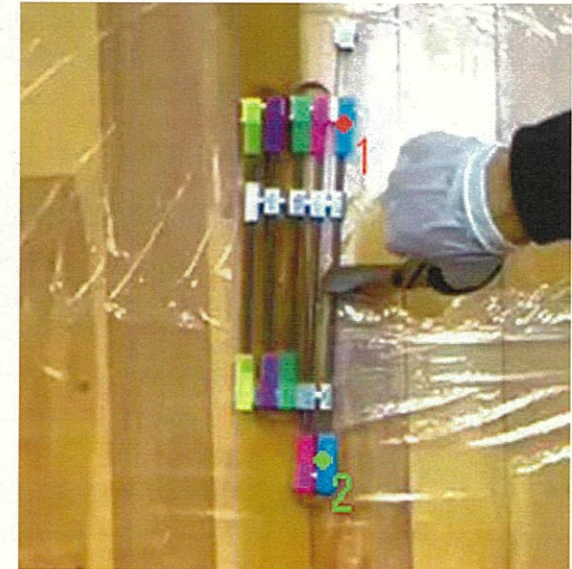
BBM



回路図

伸展ブーム

- ❖ 株式会社WEL Researchに開発を依頼，2023年10月末EM納品
- ❖ BBMを用いた伸展試験を実施
- ❖ ブーム伸展時の衛星の挙動シミュレーションを構築した
- ❖ 2024年4月に行った熱試験では，衛星へ搭載し構造確認を行った



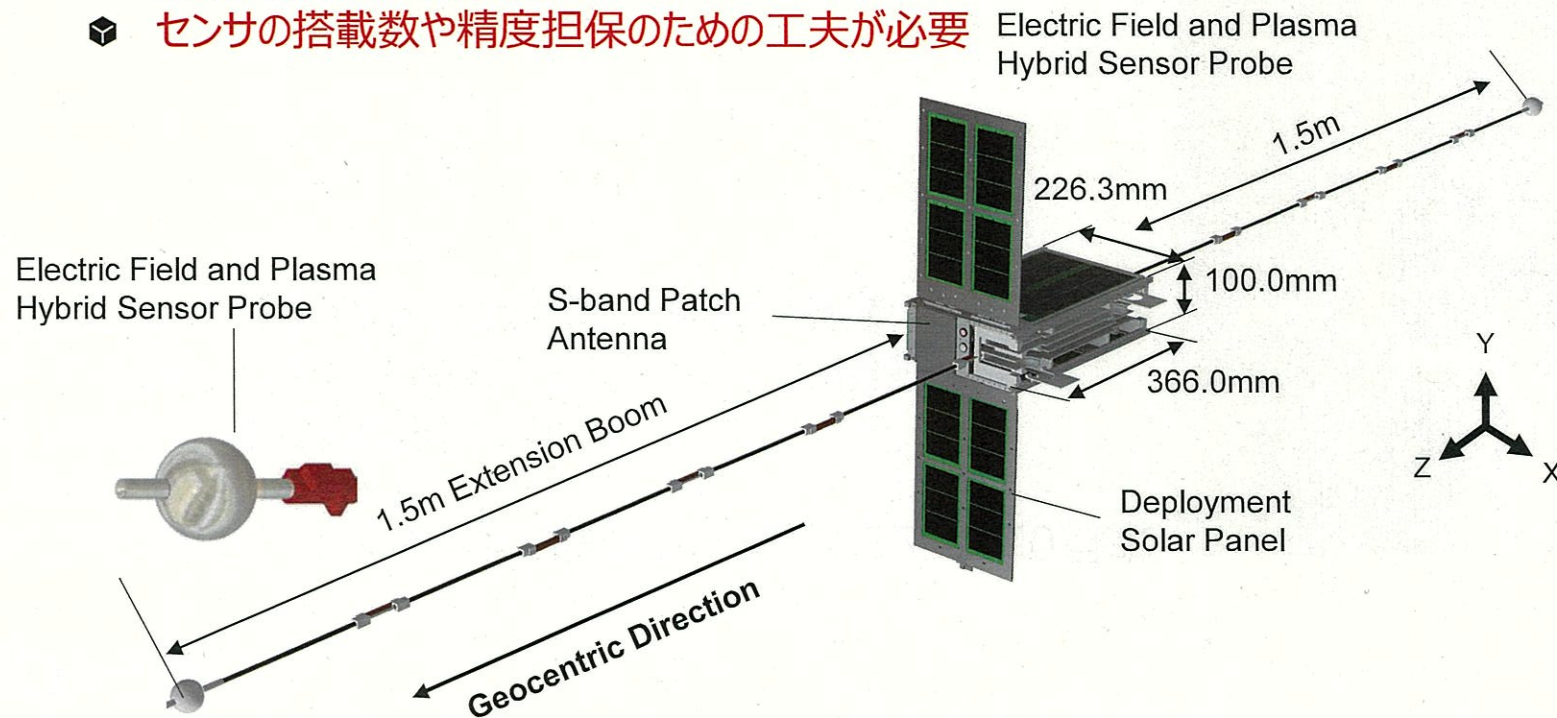
PRELUDEの概要

PRELUDEプロジェクト

- ❖ VLF帯の電磁波強度の変動現象の観測に特化
- ❖ W6Uサイズ(100mm x 226.3mm x 366.0mm)のCubeSat
- ❖ 3Uサイズのセンサユニットを搭載
- ❖ 将来的に複数機でのコンステレーションによる常時広域観測ネットの構築

CubeSatを利用した地球電磁気観測の確立

- ❖ **メリット**：低コスト，開発期間の短縮
- ❖ **デメリット**
 - ❖ 搭載可能なサイズに制約
 - ❖ センサの搭載数や精度担保のための工夫が必要



過去の採択履歴と今後の開発計画

過去の採択履歴と開発内容

年	内容
2018-2020	PRELUDEのBUS部
2021	ハイブリッドセンサのLab Model設計
2022	導電性プローブの設計開発
2023	ハイブリッドセンサのBBM (Bread Board Model) , EMの設計開発

開発計画

年月	内容
2023/2	宇宙校区研究開発機構 (JAXA) の革新的技術実証プログラム 4 号機に採択
2024/6	センサユニットの制御・データ処理基板EM納品 ブーム伸展試験
2024/7	衛星BUSとセンサユニットの統合
2024/8	EM振動試験
2024/9~	EM設計評価会 (CDR) 衛星搭載ブーム伸展試験 電子放出機放電特性試験 他
2025/3	衛星引き渡し

今後の資金計画

- ❖ 提案研究は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の革新的衛星技術実証プログラム4号機に選定され、2025年度打ち上げ予定。

- ❖ Mission試験計画
 - ❖ プローブ展開試験
 - ❖ 真空環境下電子放出機動作試験
 - ❖ プローブ単体熱試験：30万円
 - ❖ 長期運用試験

- ❖ 開発
 - ❖ FM基板
 - ❖ Sensor基板：約5万円
 - ❖ 処理基板(デジタル, アナログ)：約5万円
 - ❖ センサ筐体表面処理：約20万円
 - ❖ センサユニットの制御・データ処理基板シールド構体：約20万円
 - ❖ センサ筐体FMモデル：約50万円

- ❖ 運用
 - ❖ 地上局運用費用：3000万円

プロジェクトの流れ

小型～大型衛星による地球電磁気観測（他研究機関）

- ❖ 1980年代～ 地震に先行する電磁気学的変動現象の報告
- ❖ 2004-2010年 DEMETER（フランス）
 - ❖ M4.8以上の地震において夜間VLF帯電磁波強度減少現象を観測
 - ❖ データ数が少ないことから、統計解析やメカニズム解明までは未達成
- ❖ 後発の類似衛星：CSES（中国），KazSat-1（カザフスタン）

PRELUDEプロジェクト～開発

- ❖ VLF帯電磁波強度減少現象に特化したW6Uサイズの超小型衛星
- ❖ 3Uサイズのセンサユニットを搭載し、電場観測、プラズマ観測を行う
- ❖ 2024年6月EM（Engineering Model）開発終了予定
- ❖ 2024年年内FM（Flight Model）開発終了予定
- ❖ 2025年3月衛星引渡し

PRELUDEプロジェクト～運用

- ❖ 衛星の運用
- ❖ データ解析
- ❖ システムの改善