

JEM-GLIMS ミッションの概要

牛尾 知雄 (大阪大学)、鈴木 睦 (ISAS)、佐藤 光輝 (北大)、森本 健志 (阪大)
高橋 幸弘 (東北大理)、芳原 容英 (津山高専)、菊池 雅行 (極地研)
Umran Inan (スタンフォード大)、山崎 敦 (ISAS/JAXA)、阿部 琢美 (ISAS/JAXA)
河崎 善一郎 (阪大)

はじめに

GLIMS は、雷放電及び高高度発光現象 (Sprite など) の光学及び電波観測を行うミッションである。宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟船外実験プラットフォーム第二期ポート共有利用ミッションの一つとして、選定されたものであり、2011 年の打ち上げとその後の数年間にわたり雷放電及び高高度発光現象の観測を行うことを目的としている。

現在、開発移行審査をクリアし、製作段階に入っている。本報告では、開発移行に際し、設定したミッション内容に関して記述し、概要とする。

ミッション目的

JEM-GLIMS(Global Lightning and sprItE MeasurementS on JEM-EF)ミッションでは、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験モジュール(JEM)曝露部(EF)に設置されるポート共有利用実験装置内部に、CMOSカメラ2台、フォトメーター6台で構成する光学観測機器と、VLFレシーバ1台と、VHFセンサ2台からなる干渉計機器を設置し、全球的な雷、高高度放電発光および地球ガンマ線を観測する。その目的は、1) 雷放電および高高度放電発光の全球分布とその変動を太陽非同期観測から求めること、2) スプライト水平構造の観測と対応する雷放電進展過程の時間・空間分布の差及び放射される電磁パルス強度との対応関係の特定、3) 高高度放電発光現象の分光観測による窒素分子イオン発光の確認と電子エネルギーの特定、4) 雷放電・スプライトとガンマ線放射の生起時間の差と放電過程の特定、である。JEM-GLIMSでは、サイエンスアウトプットを最大限にするために、JEM-GLIMSとほぼ同時期に打上げられるISSでの雷・地球ガンマ線観測ミッション(ASIM)と、小型衛星からの雷・地球ガンマ線観測ミッション(TARANIS)と連携した観測を行う。

(1) 全地球規模の雷放電および高高度放電発光現象の時間空間分布の解明

JEM-GLIMS では、光学観測機器による夜側での過渡発光の検出、および VHF 干渉計による昼側・夜側での雷放電電波の検出を行う。これによって、雷放電と高高度放電発光現象の全球的発生頻度分布を世界で初めて定量的に特定することを目的とする。この全球発

生頻度分布に、高高度放電発光による微量気体生成の数値計算結果を組み込むことによって、雷放電および高高度放電発光現象が地球大気組成変化に対して及ぼす影響を定量的に解明できると期待される。

(2) 高高度放電発光現象の水平空間構造の解明

JEM-GLIMS では、2 台の CMOS カメラと 6 台のフォトメーターによって、雷放電および高高度放電発光の光学天底観測を行う。さらに世界で初となる宇宙空間からの VHF 干渉計観測を行う。これによって雷放電路の時間空間発展と、高高度放電発光の水平空間構造を明らかにし、雷放電水平電流とそこから放射される EMP が高高度放電発光の発生条件に果たす役割を特定することを目的とする。これによって、スプライトの発生メカニズムとして主流とされてきた数々のモデルに対し大きな修正を迫るとともに、これまでに無い新たな発生メカニズムを確立すると期待される。

(3) 高高度放電発光現象の近紫外域における分光観測

JEM-GLIMS では、6 台のフォトメーターによって、高高度放電発光の近紫外域における分光天底観測を行うことを目的とする。特に N_2 2P バンドと N_2^+ 1N バンドの発光スペクトルの精密観測から、発光を引き起こす電子のエネルギーを特定することによって、電子の分布関数の推定と電子加速メカニズムの妥当性を評価できると期待される。

(4) 地球ガンマ線の発生起源の解明

JEM-GLIMS では、光学観測機器と VHF 干渉計を駆使し、地球ガンマ線を引き起こす雷放電の特性を明らかにする。JEM-GLIMS で得られる地球ガンマ線生起雷放電のプロパティと、ASIM, TARANIS で得られる地球ガンマ線データから、地球ガンマ線が雷放電のどの放電プロセスで発生したのか、発生起源はどこにあるのか、そもそも地球ガンマ線の起源は雷なのかということを、世界で初めて解明すると期待される。

JEM-GLIMS ミッションの、ミッション要求は、表1にまとめられる。

表1 JEM-GLIMSミッションのミッション要求

	要求項目
[SR1]	雷放電とそれに伴う諸発光現象の時間空間分布を特定する
[SR2]	スプライトの水平構造と雷放電との関係を特定する
[SR3]	スプライト・落雷と地球ガンマ線との関係を特定する

※ SR : Science Requirement

成功基準

JEM-GLIMSミッションにおける成功基準は、表2にまとめられる。また、各クライテリアによって達成できるミッション要求項目を表下に付記する。

表2 JEM-GLIMS ミッションの成功基準

	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
全 球 分 布	CMOS カメラもしくは VHF 干渉計により、1 年以上の観測を実施し、発生頻度分布の季節変化を確定	1 km の位置検出精度、20 μ s の絶対時刻精度で $\pm 51^\circ$ の緯度帯の 80%以上を 2 年以上の期間観測を実施し、雷放電の気象モデルへの同化と高高度放電発光による大気組成変化の推定に資するデータの取得	3 年以上の観測を実施し、新たな放電形態をもつ高高度放電発光現象を発見する
水 平 構 造	CMOS カメラおよび VHF 干渉計により、1 例以上のスプライト天底観測データを取得し、雷放電水平進展とスプライト水平構造の時間的・空間的差を確定	高高度放電発光を 1km の空間分解能、50 μ s の時間分解能で検出し、雷放電の放電過程を 10km の分解能、50 μ s の時間分解能で検出し、高高度放電発光の発生条件を明らかにする	雷放電水平電流の EMP による発生条件を含めた新たな高高度放電発光発生メカニズムの構築
電 子 温 度	—	フォトメーターによる N2 1P, 2P および N2+ 1N の絶対測光観測を行い、スプライトを 1 イベント以上検出し、電子温度を特定する	全ての高高度放電発光現象に対する電子温度推定と電子加速メカニズムの理解
地 球 γ 線	—	—	地球ガンマ線の発生と関係をもつ雷放電を、空間分解能 1km、絶対時間分解能を 50 μ s で検出し、地球

			ガンマ線の発生に関わる雷放電放電過を特定すること及び、統計的観測データから地球ガンマ線の起源と発生メカニズムの理解
V L F	VLF レシーバにより、雷放電起源の VLF 波動を 1 例以上検出する	高高度放電発光に伴う VLF 波動を 10 μ s の時間分解能で検出し、高高度放電発光を励起した雷放電の特徴を明らかにする	地球ガンマ線を励起した雷放電の特徴を明らかにする
達成	[SR1]	[SR1] + [SR2]	[SR1] + [SR2] + [SR3] + α

機能概要

JEM-GLIMSは、雷放電および高高度放電発光現象からの発光を撮像および測光観測し、さらに雷放電からの電磁波も同時観測する機能を有する。

JEM-GLIMS搭載のCMOSカメラは、雷放電および高高度放電発光現象の発光過程を、CMOS検出器によって撮像観測する機能を有する。異なる透過波長帯域をもつフィルタを装着した2台のCMOSカメラ画像データから、オンボードでトリガ検出および画像演算処理を行う。フォトメーターは、雷放電および高高度放電発光現象の発光強度の絶対測定を行う機能を有する。異なる透過波長帯域をもつフィルタを装着した6台のフォトメーターを稼働させ、発光強度の時間変化を高速に分光観測する。VLFレシーバは、雷放電からのVLF波動を観測する機能を有する。VLFレシーバのアンテナは、ポート共有利用実験装置(バス部)の底面部に鉛直に取り付ける。最後にVHF干渉計は、雷放電からのVHF波動を干渉計観測する機能を有する。アンテナは、ポート共有利用実験装置の底面部に2台配置する。

JEM-IMAPおよびGLIMSは、共通で独自のGPS受信機能を持ち、1 pps (pulse per sec)信号を用いてIMAP-GLIMS内の時刻同期を行う。IMAP-GLIMSの全ての構成機器は、IMAP-GLIMS共通データ処理系(MDP)とインタフェースし、コマンド及びテレメトリのサービスを受ける。

IMAP-GLIMSは、サブシステムとしてポート共有利用実験装置にインテグレーションされる、ポート共有利用実験装置は、標準のインタフェース機器TS-P/HCSM-Pにより曝露パレット(EP)に固定されHTVに搭載されて、H-IIBロケットにより打ち上げられる。軌道上では、標準のインタフェース機器(FRGF)を介して、リモートマニピレータ(JEMRMS)と結合され、JEM曝露部の所定の搭載ポート(EFU)に運搬される。ポート共有利用実験装置は、標準のインタフェース機器(PIU)を介して、EFUに結合され、電力、排熱、通信のサービスを受ける。図1から図4に、ポート共有利用実験装置の概念図を示す。

IMAP-GLIMSがインテグレーションされるポート共有利用実験装置は、JEM曝露部において、2年間、超高層大気発光(IMAP)及び雷・SPRITE(GLIMS)観測のために運用される。運用期間終了

後は、PIUを介して再び曝露パレット(EP)に結合された状態で、HTVに収納され、宇宙ステーションから離脱し、最終的に大気圏に投棄される。

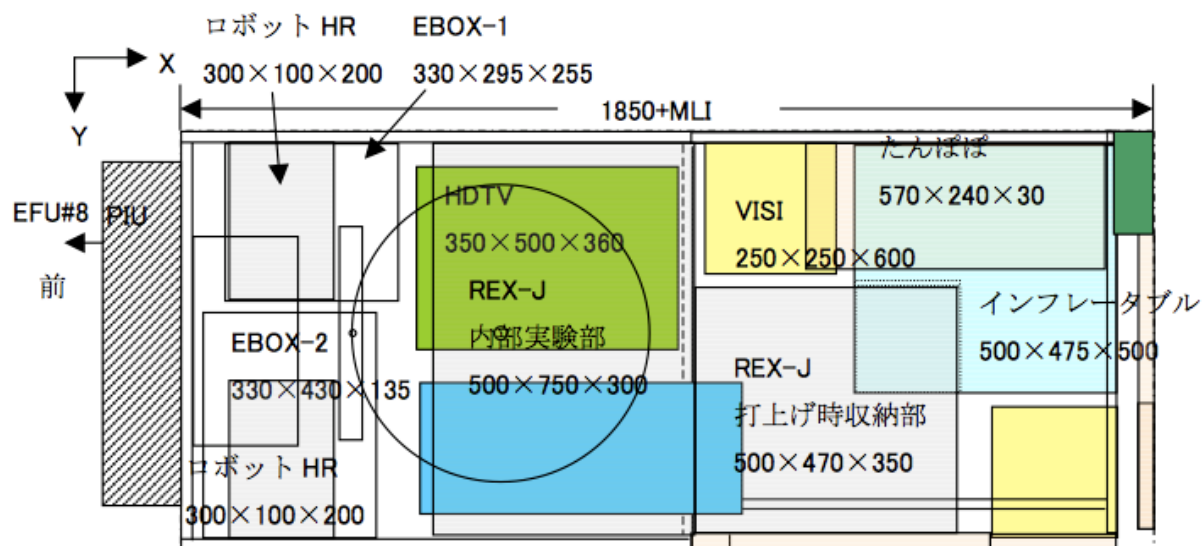


図 1 ポート共有利用実験装置の概念図(上面図)

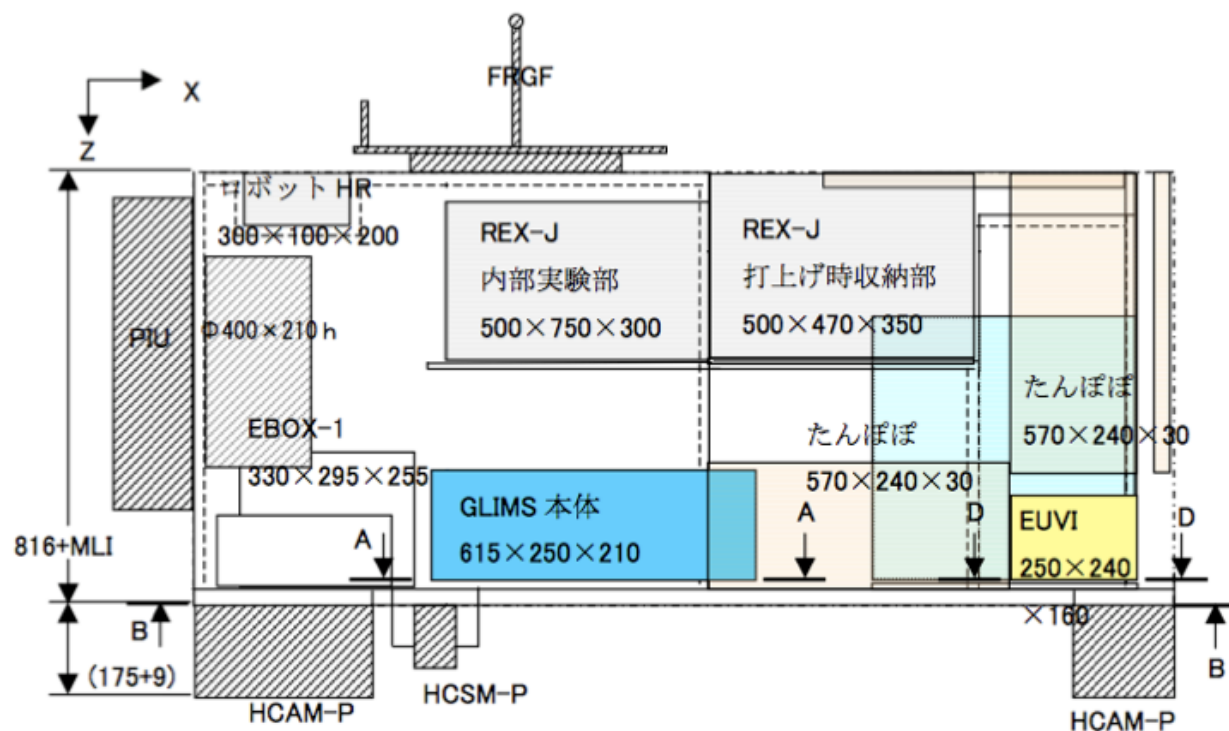


図 2 ポート共有利用実験装置の概念図(側面図 +Y)

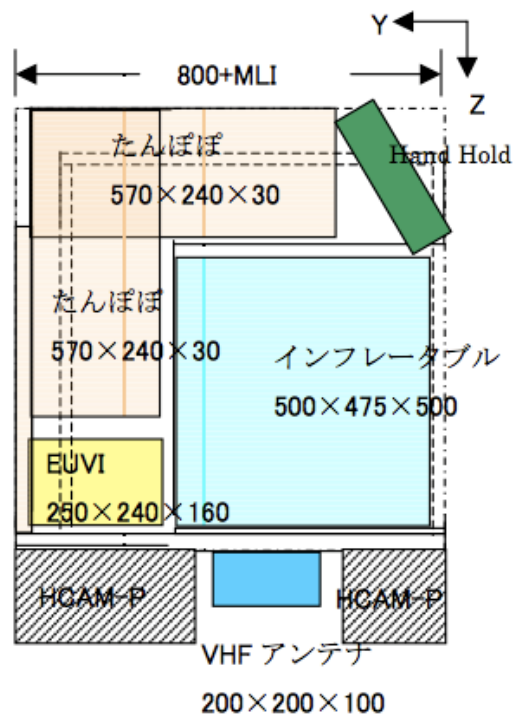


図 3 ポート共有利用実験装置の概念図(側面図)

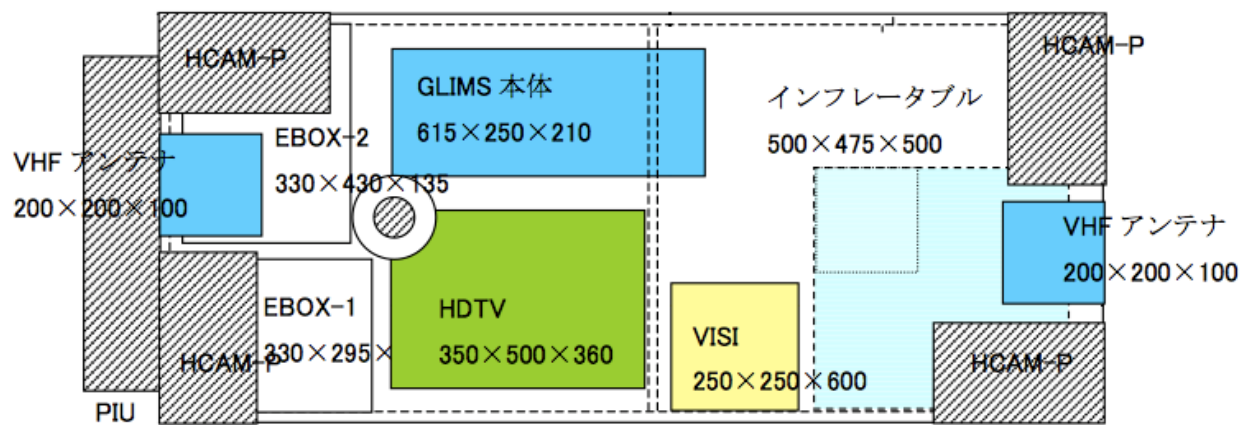


図 4 ポート共有利用実験装置の概念図(下面図)

構成

図5にJEM-GLIMSのシステム構成を示す。また、図6に機器の配置図を示す。さらに、表3、4に各センサーの重量配分および電力配分を示す。

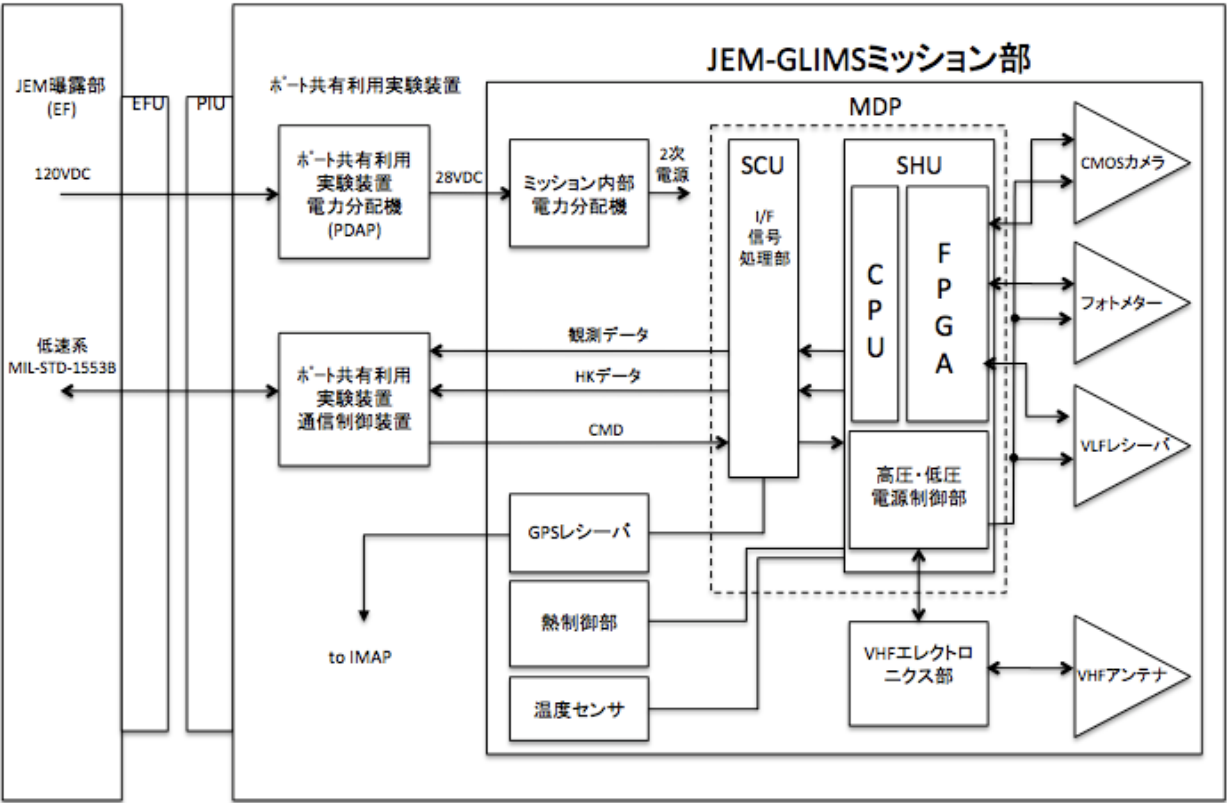


図5 JEM-GLIMSのシステム構成図

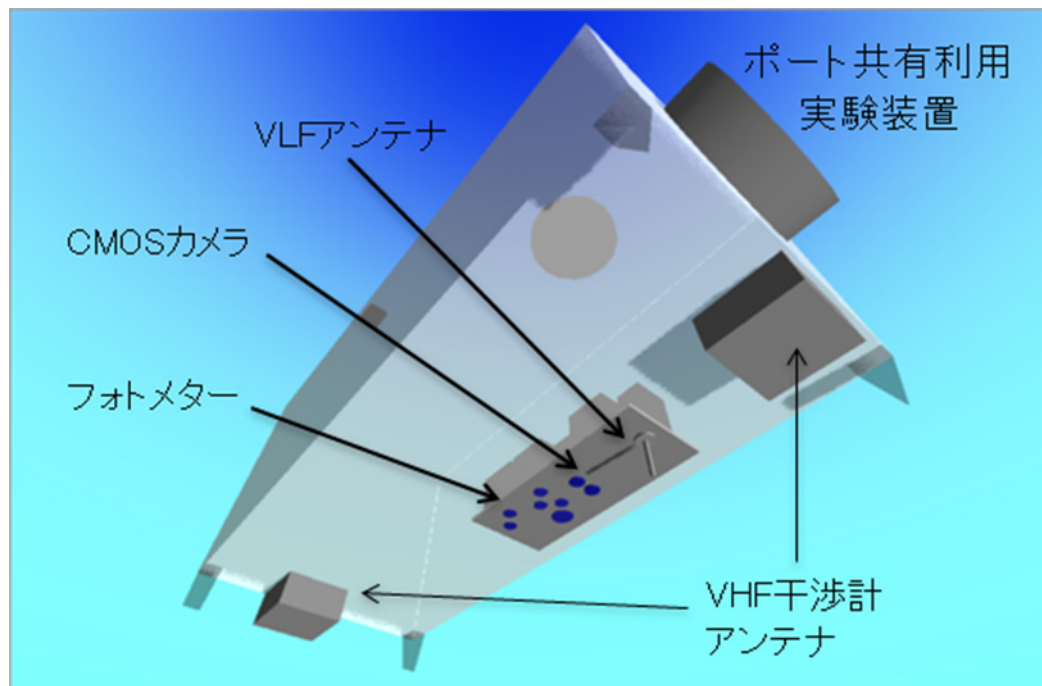


図6 JEM-GLIMSの機器配置概念図

表3 各センサーの重量

	最適設計値 (kg)	マージン (%)	最終設計値 (kg)	備考
LSI	3.1	20	3.7	Sprite-Sat 搭載LSIと同等
PH	3.2	20	3.8	TARANIS 搭載フォトメーターと同等
VLFR	1.3	20	1.6	Sprite-Sat 搭載VLFエレクトロニクスと同等
VITF	4.9	20	5.9	SOHLA-1搭載VHF干渉計と同等
SHU	6.0	20	7.2	Sprite-Sat 搭載SHUと同等
光学定盤	5.8	20	7.0	
TOTAL	24.3	20	29.2	MDP部はIMAPと共通化し光学定盤外に配置

表4 各センサーの電力

	最適設計値 (W)	マージン (%)	最終設計値 (W)	備考
LSI	1.6	20	1.9	Sprite-Sat 1次系電源 V=+16V, I=100mA
PH	6.0	20	7.2	TARANIS フォトメター 1W/台 GLIMSで6台
VLFR	1.6	20	1.9	Sprite-Sat 1次系電源 V=+16V, I=100mA
VITF	8.0	20	9.6	
SHU	7.2	20	8.7	Sprite-Sat 1次系電源 V=+16V, I=450mA
GPSR	1.3	20	1.6	
TOTAL (2次) TOTAL	(25.7)	20	(30.9) 44.3	MDP, GPSRIはIMAPと共通化。消費電力は2次側(+5V, ±12Vの値)

まとめ

本報告では, JEM-GLIMS ミッションの概要を紹介した。より詳細な各機器のサイエンスに関しては, 他の発表を参照頂きたい。