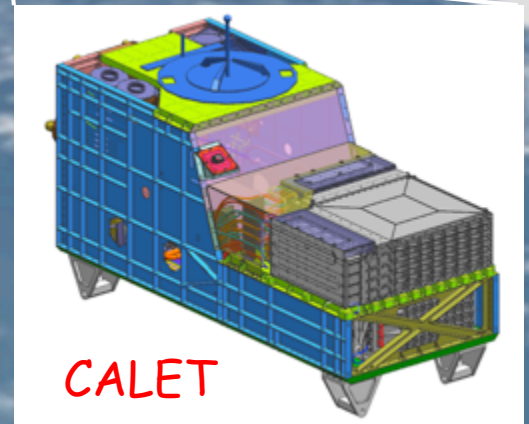
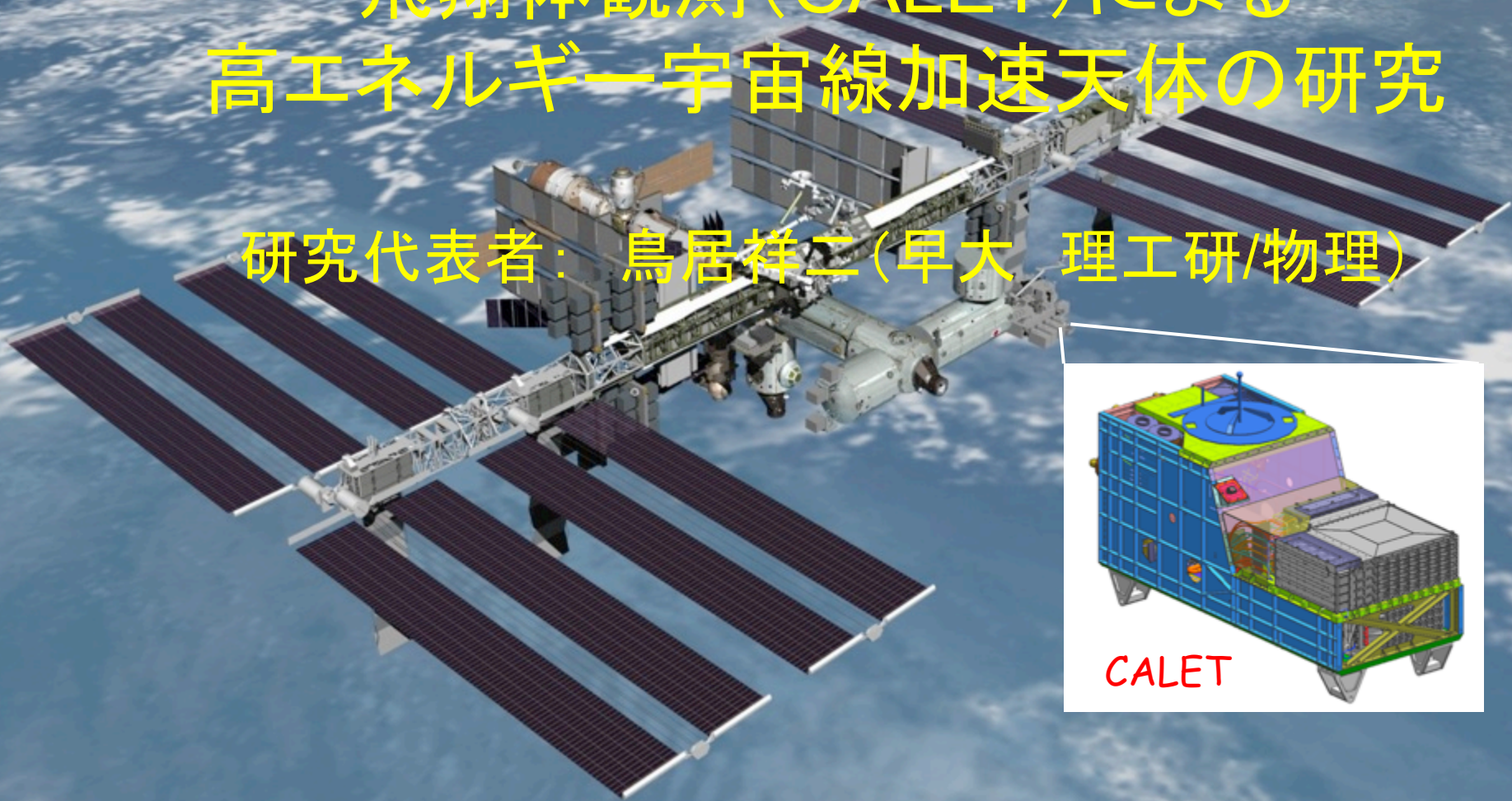




飛翔体観測 (CALET) による 高エネルギー宇宙線加速天体の研究

研究代表者: 鳥居祥二 (早大 理工研/物理)



共同利用研究概要(2015)

■ 研究内容

- CALET観測最適化のためのシミュレーション計算及びデータ解析

■ 発表概要

- CALET観測目的・装置
- 初期運用までの経過
- 初期観測データ
- 地上運用システム

■ 予算 旅費 150千円

支出（予定）内容： 研究打ち合わせ、小研究会

■ 共同利用 計算機（シミュレーション計算）

参加研究者及び研究補助

早稲田大学 笠原克昌、小澤俊介、浅岡陽一、Mutz H Martin、赤池陽水、植山良貴、仁井田多絵、岡田侑子、佐藤文佳、田中正文、土屋恵里子、大和啓一、神尾泰樹

宇宙線研究所 寺澤敏夫

神奈川大学 田村忠久、清水雄輝

横浜国立大学 柴田禎雄、片寄祐作

芝浦工業大学 吉田健二

立命館大学 森正樹

弘前大学 市村雅一、倉又秀一

茨城大学 柳田昭平

茨城高専 三宅晶子

CALET Collaboration



O. Adriani¹⁹, Y. Akaike³, K. Asano¹⁷, Y. Asaoka²³, M.G. Bagliesi²², G. Bigongiari²², W.R. Binns²⁴, S. Bonechi²², M. Bonghi¹⁹, J.H. Buckley²⁴, A. Cassese¹⁹, G. Castellini¹⁹, M.L. Cherry⁹, G. Collazuol²⁶, K. Ebisawa⁵, V. Di Felice²¹, H. Fuke⁵, T.G. Guzik⁹, T. Hams³⁰, N. Hasebe²³, M. Hareyama⁶, K. Hibino⁷, M. Ichimura², K. Ioka⁸, M.H. Israel²⁴, A. Javid⁹, E. Kamioka¹⁵, K. Kasahara²³, Y. Katayose²⁵, J. Kataoka²³, R. Kataoka³², N. Kawanaka³³, H. Kitamura¹¹, T. Kotani²³, H.S. Krawczynski²⁴, J.F. Krizmanic³¹, A. Kubota¹⁵, S. Kuramata², T. Lomtadze²⁰, P. Maestro²², L. Marcelli²¹, P.S. Marrocchesi²², J.W. Mitchell¹⁰, S. Miyake²⁸, K. Mizutani¹⁴, A.A. Moiseev³⁰, K. Mori^{5,23}, M. Mori¹³, N. Mori¹⁹, H.M. Motz²³, K. Munakata¹⁶, H. Murakami²³, Y.E. Nakagawa⁵, S. Nakahira⁵, J. Nishimura⁵, S. Okuno⁷, J.F. Ormes¹⁸, S. Ozawa²³, F. Palma²¹, P. Papini¹⁹, B.F. Rauch²⁴, S. Ricciarini¹⁹, T. Sakamoto¹, M. Sasaki³⁰, M. Shibata²⁵, Y. Shimizu⁴, A. Shiomi¹², R. Sparvoli²¹, P. Spillantini¹⁹, I. Takahashi¹, M. Takayanagi⁵, M. Takita³, T. Tamura^{4,7}, N. Tateyama⁷, T. Terasawa³, H. Tomida⁵, S. Torii^{4,23}, Y. Tunesada¹⁷, Y. Uchihori¹¹, S. Ueno⁵, E. Vannuccini¹⁹, J.P. Wefel⁹, K. Yamaoka²⁹, S. Yanagita²⁷, A. Yoshida¹, K. Yoshida¹⁵, and T. Yuda³

- 1) Aoyama Gakuin University, Japan
- 2) Hirosaki University, Japan
- 3) ICRR, University of Tokyo, Japan
- 4) JAXA/SEUC, Japan
- 5) JAXA/ISAS, Japan
- 6) St. Marianna University School of Medicine, Japan
- 7) Kanagawa University, Japan
- 8) KEK, Japan
- 9) Louisiana State University, USA
- 10) NASA/GSFC, USA
- 11) National Inst. of Radiological Sciences, Japan
- 12) Nihon University, Japan
- 13) Ritsumeikan University, Japan
- 14) Saitama University, Japan
- 15) Shibaura Institute of Technology, Japan
- 16) Shinshu University, Japan
- 17) Tokyo Institute of Technology, Japan
- 18) University of Denver, USA
- 19) University of Florence, IFAC (CNR) and INFN, Italy
- 20) University of Pisa and INFN, Italy
- 21) University of Rome Tor Vergata and INFN, Italy
- 22) University of Siena and INFN, Italy
- 23) Waseda University, Japan
- 24) Washington University-St. Louis, USA
- 25) Yokohama National University, Japan
- 26) University of Padova and INFN, Italy
- 27) Ibaraki University, Japan
- 28) Ibaraki National College of Technology, Japan
- 29) Nagoya University, Japan
- 30) CRESST/NASA/GSFC and University of Maryland, USA
- 31) CRESST/NASA/GSFC and Universities Space Research Association, USA
- 32) National Institute of Polar Research, Japan
- 33) The University of Tokyo, Japan



CALET はISSに向けて打上げられました！



- ① 8月19日: JAXA種子島宇宙センターから、20時50分49秒にH2-BロケットによってCALETを搭載したこうのとり5号機(HTV-5)が、国際宇宙ステーションに向けて打上げられました。



- ② 8月24日: HTV-5が国際宇宙ステーションのロボットアームにより把持されました。



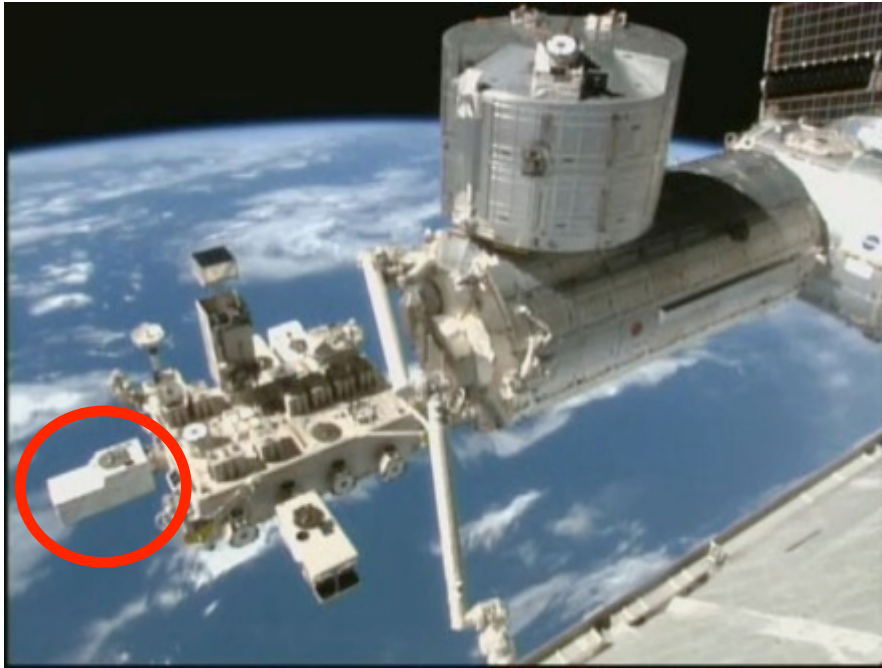
- ③ その後: HTV-5が国際宇宙ステーションにドッキングしました。



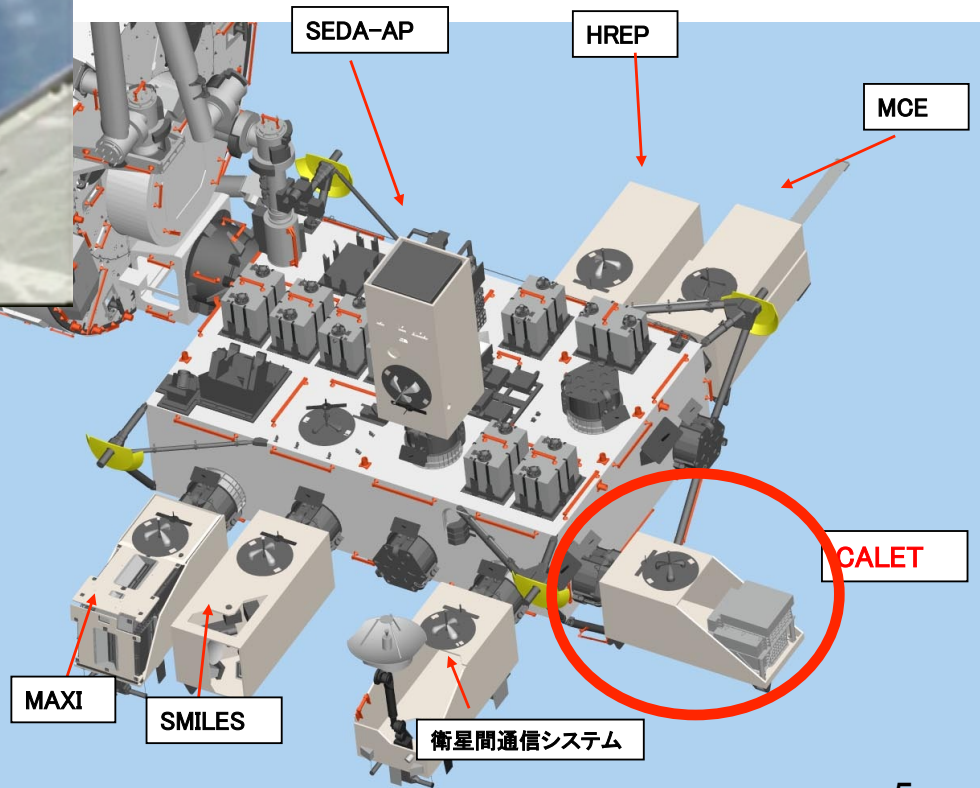
- ④ 8月25日: CALETが日本実験棟船外実験プラットフォームのNo.9ポートに設置され、装置の稼働が始まりました。



CALETを船外実験プラットフォームに設置 (2015~)



実際に設置された様子



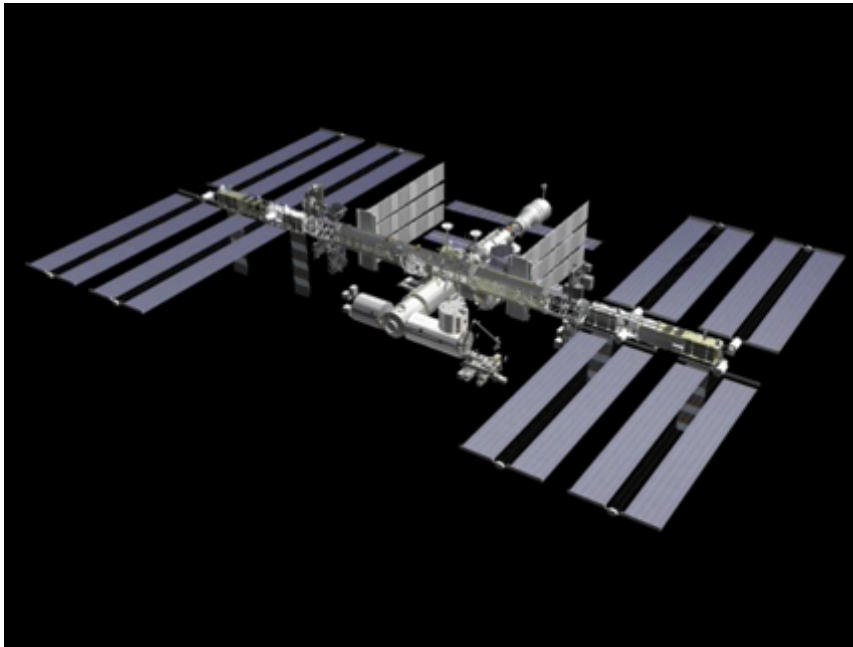
模式図



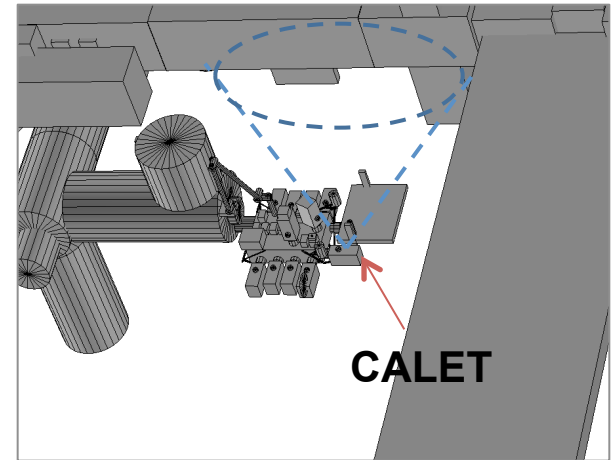
CALET観測の視野

設置位置と視野

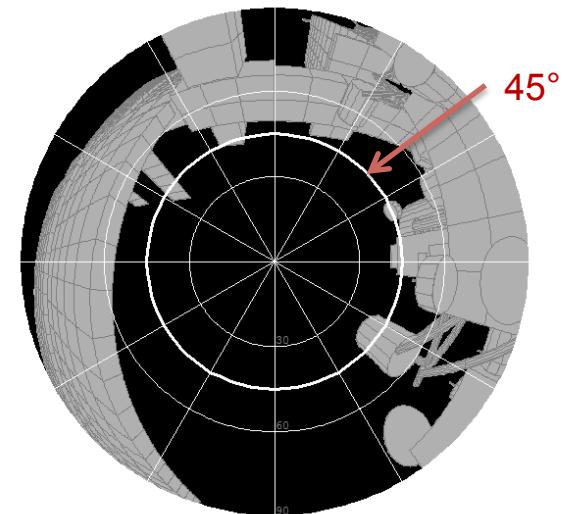
JEM-EFの先端に位置するport #9に設置し、
CALの視野角 45° を確保。
(一部の物質量の少ない構造物を除く)



国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟に搭載されるCALET



ISS簡易モデル



CALの視野図



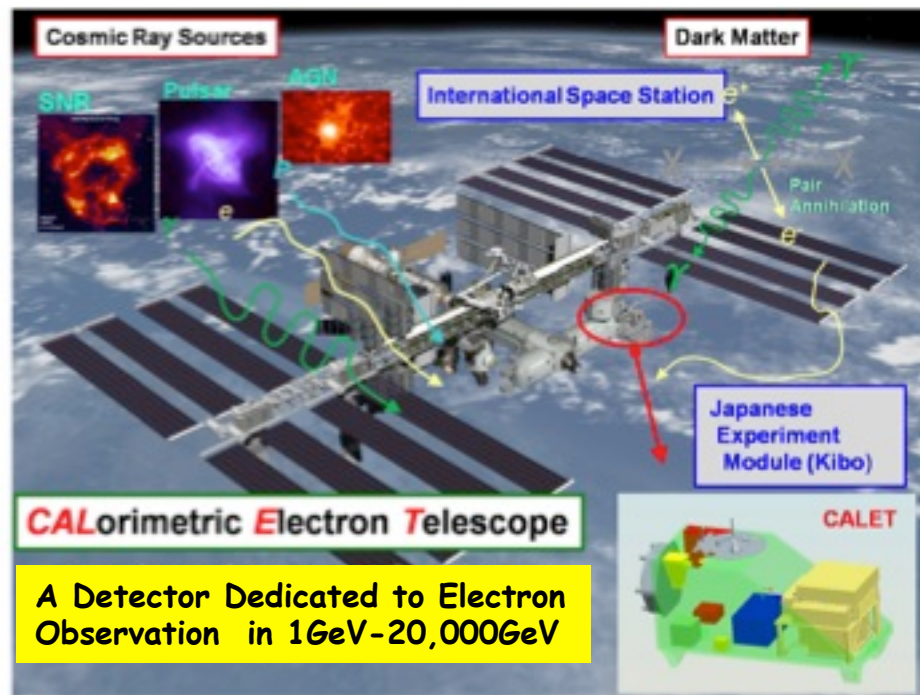
CALETによる科学観測

カロリメータ (CALET/CAL)

- 電子: 1 GeV – 20,000 GeV
- ガンマ線: 10 GeV – 10,000 GeV
(ガンマ線バースト: > 1 GeV)
- 陽子・原子核:
数10GeV – 1,000 TeV
- 超重核:
Rigidity Cut 以上のエネルギー

ガンマ線バーストモニタ (CGBM)

- 軟ガンマ線: 30 keV – 30 MeV
- 硬X線: 3keV – 3 MeV



観測目的

観測対象

宇宙線近傍加速源の同定

TeV領域における電子エネルギースペクトル

暗黒物質の探索

電子・ガンマ線の100 GeV-10 TeV領域におけるスペクトルの”異常”

宇宙線の起源と加速機構の解明

電子及び陽子・原子核の精密なエネルギースペクトル、超重核のフラックス

宇宙線銀河内伝播過程の解明

二次核/一次核(B/C)比のエネルギー依存性

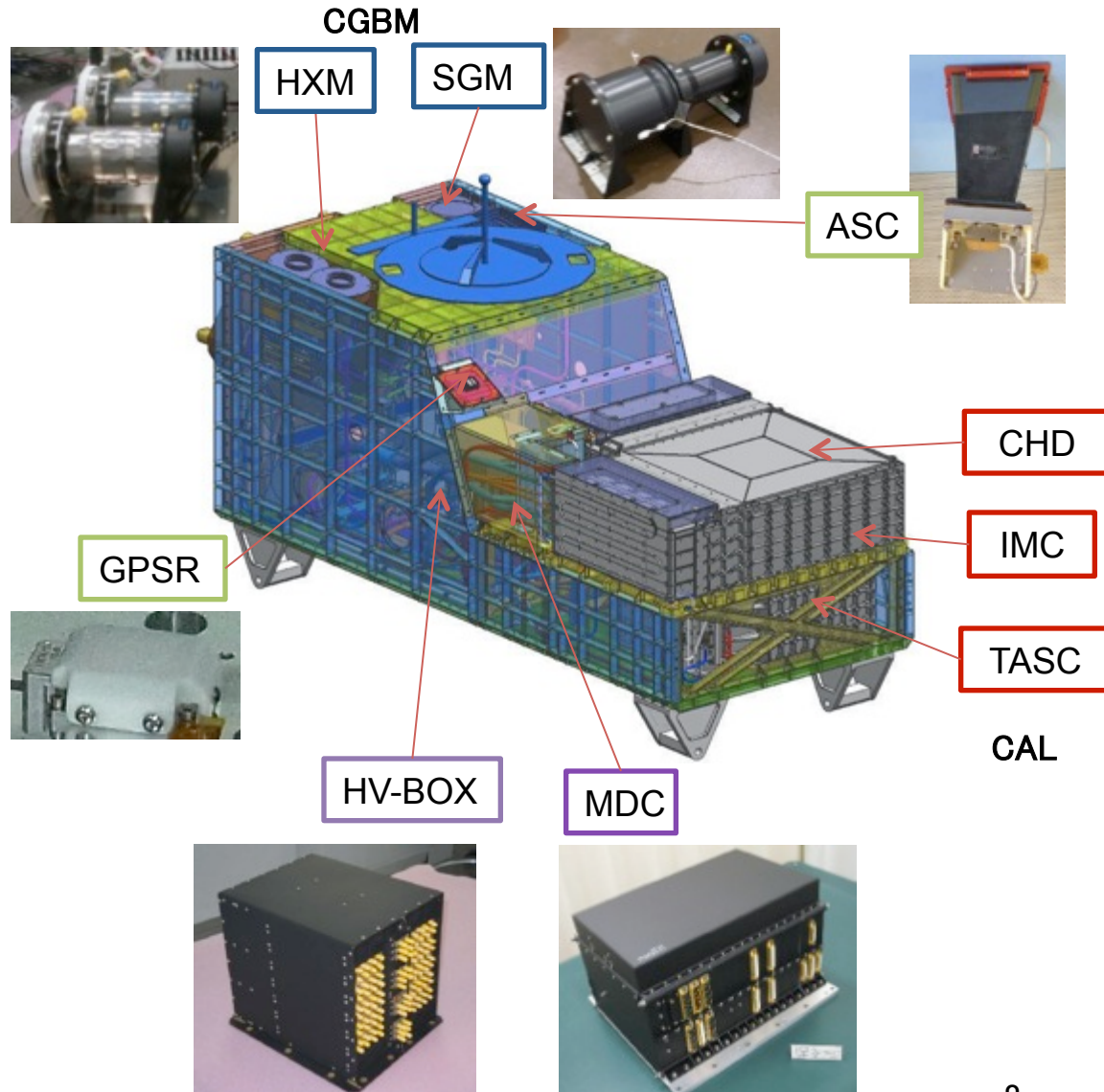
太陽磁気圏の研究

低エネルギー(<10GeV)電子フラックスの長・短期変動

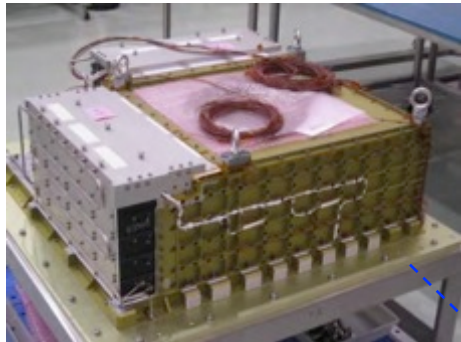
ガンマ線バーストの研究

3 keV – 30 MeV領域でのX線・ガンマ線のバースト現象

CAL
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Charge Detector (CHD) ▪ Imaging Calorimeter (IMC) ▪ Total Absorption Calorimeter (TASC)
CGBM
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hard X-ray Monitor (HXM) LaBr₃ : 7keV~1MeV ▪ Soft γ-ray Monitor (SGM) BGO : 100keV~20MeV
データ処理・電源
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mission Data Controller (MDC) 制御、データ送受信、トリガ、電源 ▪ HV-BOX 高電圧電源 (PMT:68ch, APD:22ch)
サポートセンサ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Advanced Stellar Compass (ASC) 観測装置の方向測定 ▪ GPS Receiver (GPSR) イベントへの時刻付け(<1ms)



CALET構成機器



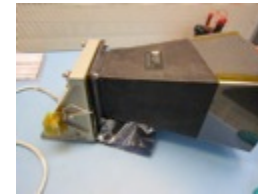
CHD/IMC [CAL]



GPSR-ANT



HXM#1, #2 [CGBM]



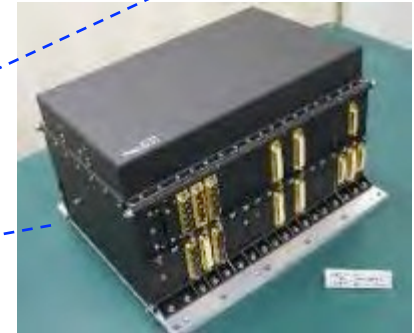
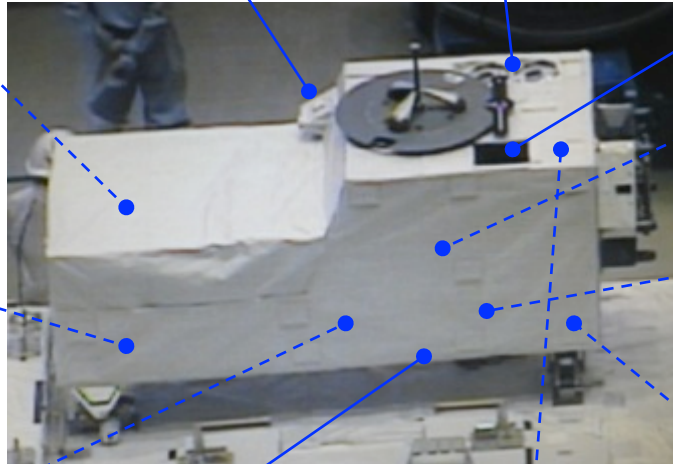
CHU(buffle付)[ASC]



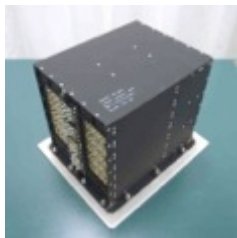
DPU[ASC]



TASC [CAL]



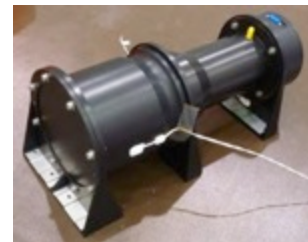
MDC



HV-BOX



CIRC



SGM [CGBM]



GBM-EBOX[CGBM]

CAL構成機器

カロリメータのコンポーネント

● 検出器アセンブリ

- CHD: プラスチックシンチレータ(EJ200)
PMT(R7400-06相当品)
- IMC: シンチレーティングファイバー(SCSF-78)
64ch MaPMT(R7600相当品)
- TASC: PWOシンチレータ(SICCAS製)
PMT(R-7400-06相当品)
PD/APD(S1227-33/S8664-10相当品)

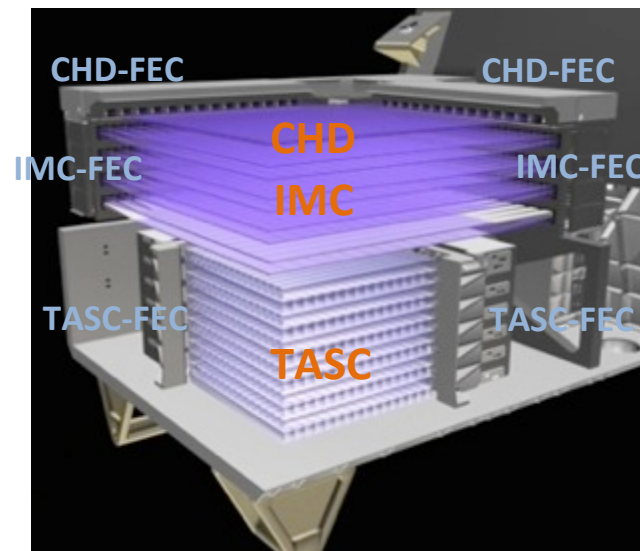
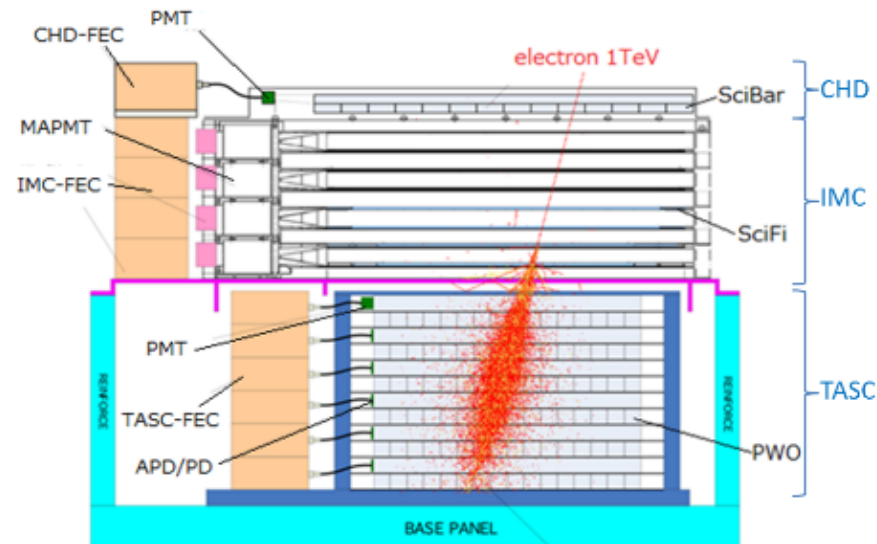
● 検出器構体

- IMC/CHD構体: タングステン板、アルミハニカム
- TASC構体: CFRPセル

● フロントエンド回路(FEC)

- CHD-FEC: CHIC + 整形アンプ + ADC(16bit)
- IMC-FEC: VA32-HDR14.3 + ADC(16bit)
- TASC-FEC: CHIC + 整形アンプ(H/L)
+ADC(16bit)

※CHIC(CALET Hybrid IC)



- (1) 8/19にH-IIB/HTV5により打ち上げ, 8/25にJEM曝露部9番ポートに取り付け, 装置を起動した.
- (2) 8/25~10/8の間, 機能チェックアウトを実施し, 機能・性能に問題が無いことを確認した.
- (3) 打上げ90日後の11/17までミニマムサクセス向け観測を行い, 所定の観測データが取得できた. 以降, 定常プロセスに即した観測を実施している.

8/19 L+0 HTV5 打上げ

8/24 L+5 HTV5 ISS到着・係留

HTV-EP JEM-EF係留
CALET JEM-EF#9取付

8/25 L+6 CALET起動

MDC/GPSR/ASCチェックアウト
IMC/CHD/TASC-FECチェックアウト

8/31 L+12

9/3 L+15

9/4 L+16

機器動作確認

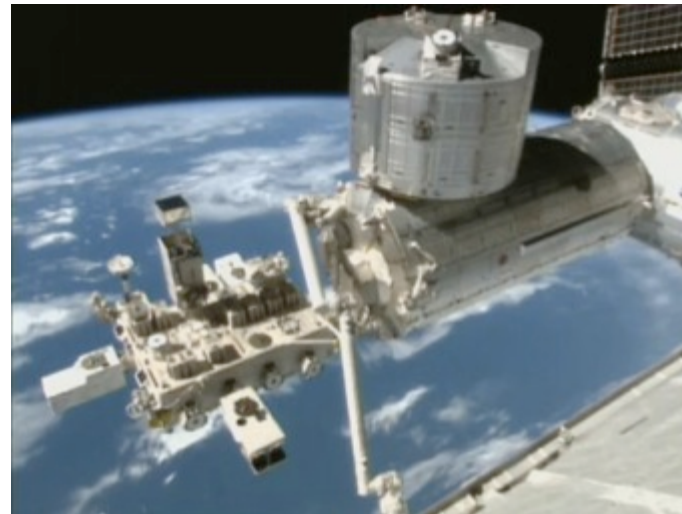
HV-BOX/GBM-EBOX/CIRCチェックアウト
システム(連動機能)チェックアウト

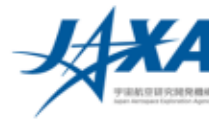
9/14 L+26

9/15 L+27

スケジュールファイル実行試行

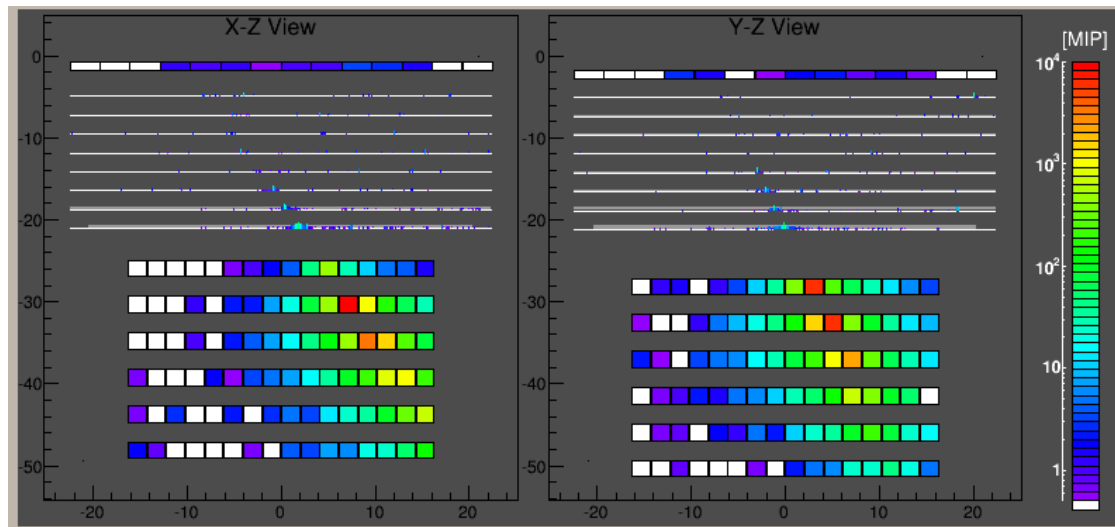
9/18 L+30



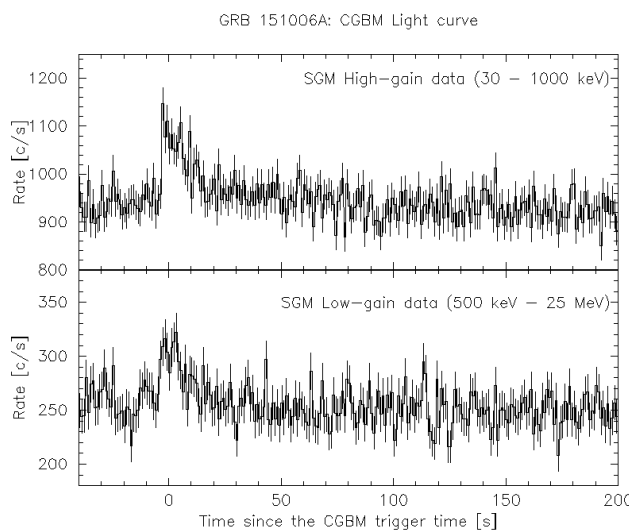


3. 打上げから初期運用迄の経過 (2)

- 9/22 L+34 CGBM高電圧チェックアウト
- 9/24 L+36** **高電圧印加確認**
 カロリメータ必要真空度到達
 CHDチェックアウト
 IMCチェックアウト
 TASCチェックアウト
 カロリメータチェックアウト
 CGBM検知機能チェックアウト
 CALET総合動作チェックアウト
- 10/5 L+47 72時間連続動作確認
- 10/8 L+50** **機能チェックアウト完了**
 カロリメータ
 キャリブレーションデータ計測
- 10/20 L+62 ミニマムサクセス向け観測
 定常観測運用プロセス試行
- 11/17 L+90** **初期チェックアウト終了**
 定常プロセスに即した観測開始



カロリメータ
TeV領域の電子(候補)イベント



CGBM 初観測GRBイベント
Light Curve(GRB 151006A)

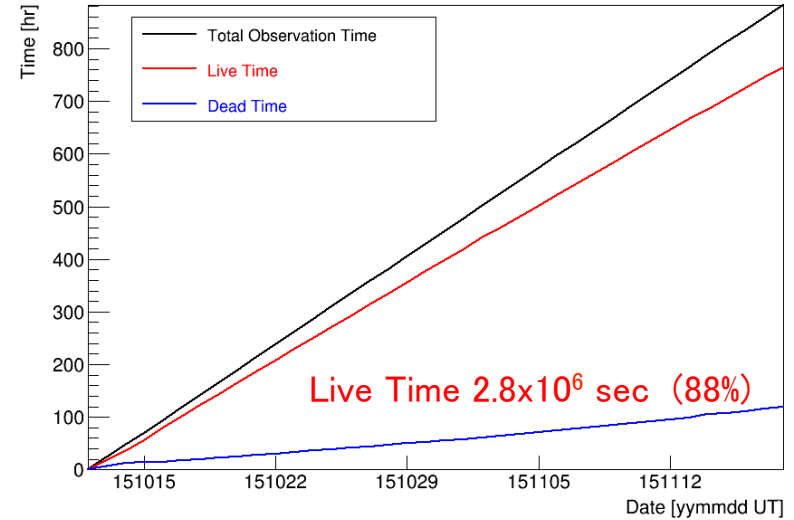


初期観測期間における運用とデータ取得状況

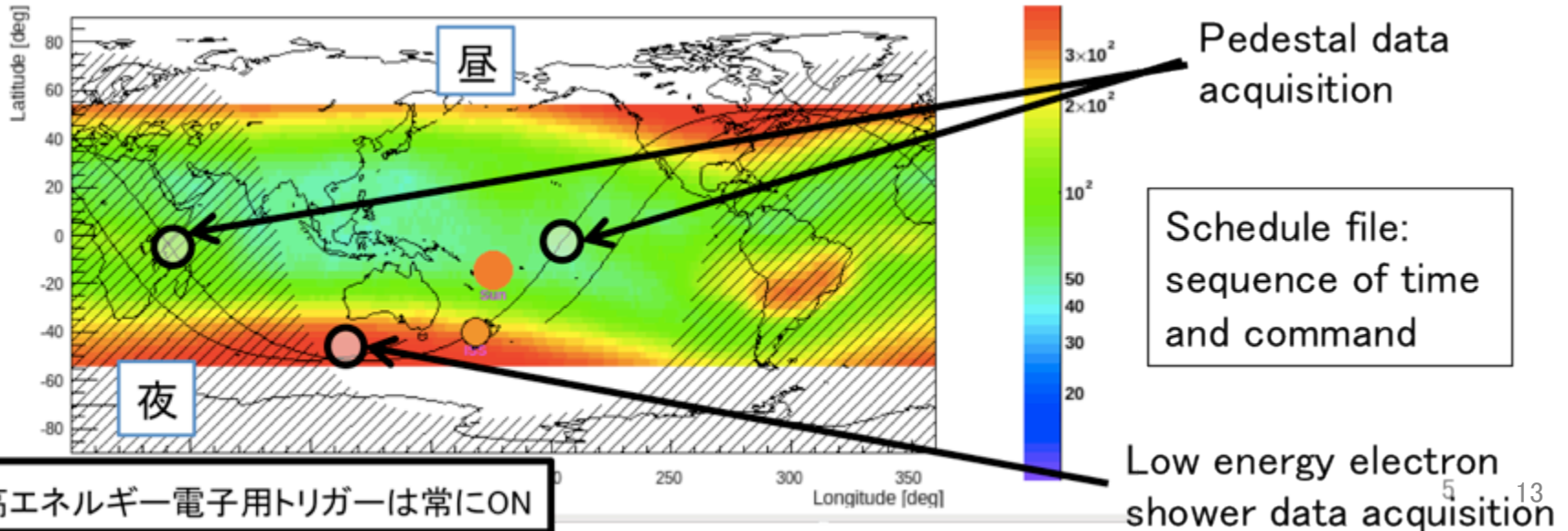
2015年10月12日から2015年11月17日(打上後90日)の期間の主なトリガーモード(高エネルギー電子観測用)における観測運用の積算時間とLive Time

ミニマムサクセス達成のための観測期間を通して、安定した観測(LiveTime~88%)が継続できている。

High Energy Trigger



スケジュールコマンドによる軌道上運用

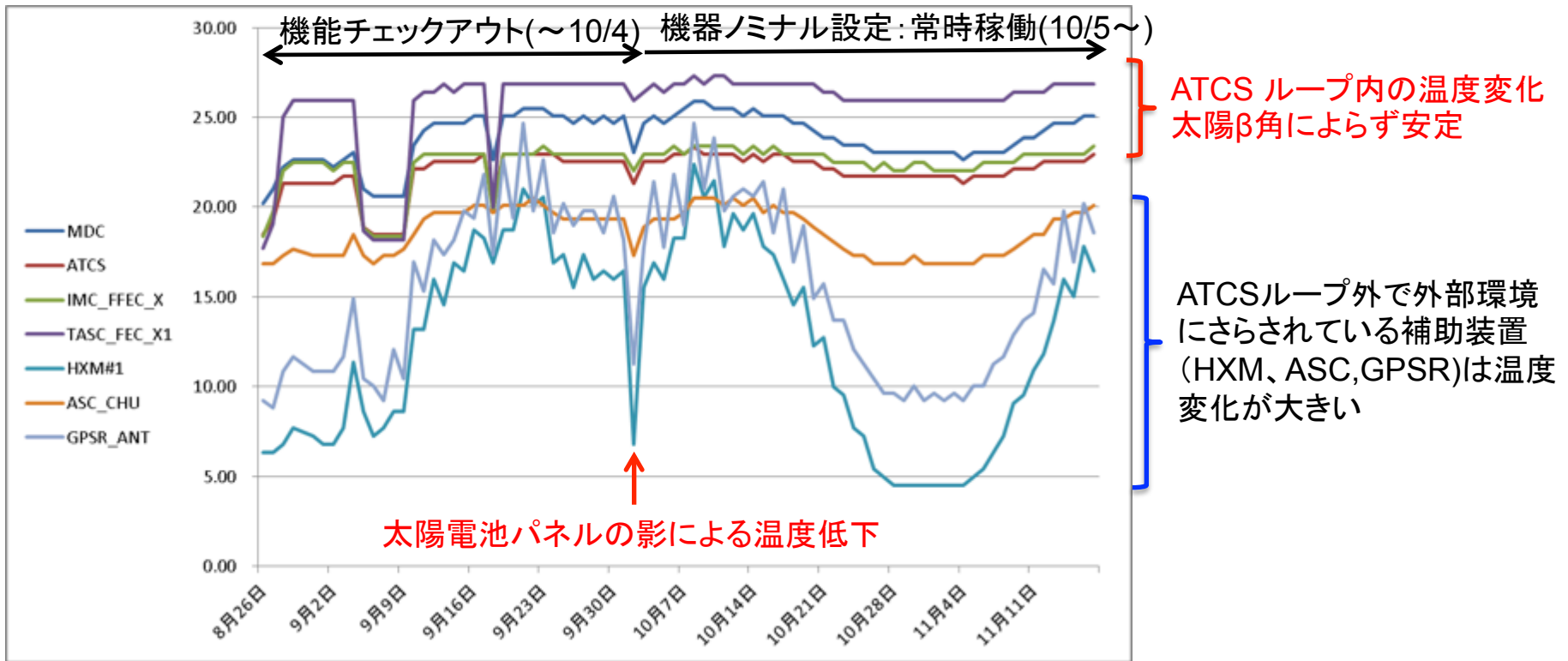




初期観測データ解析結果(HKデータ)

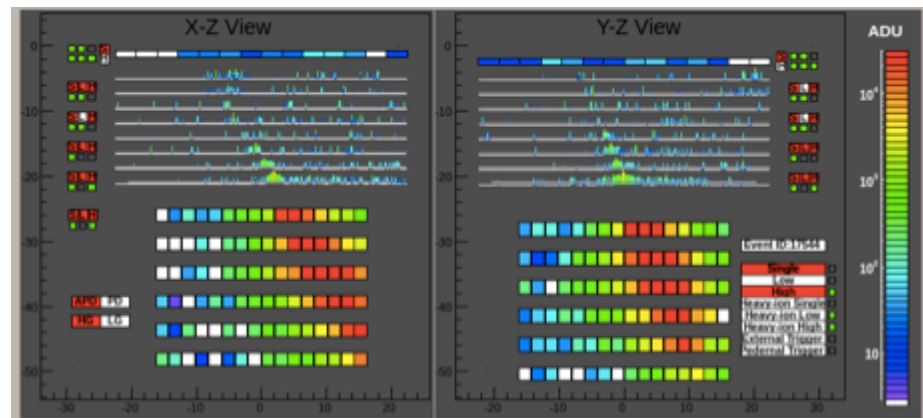
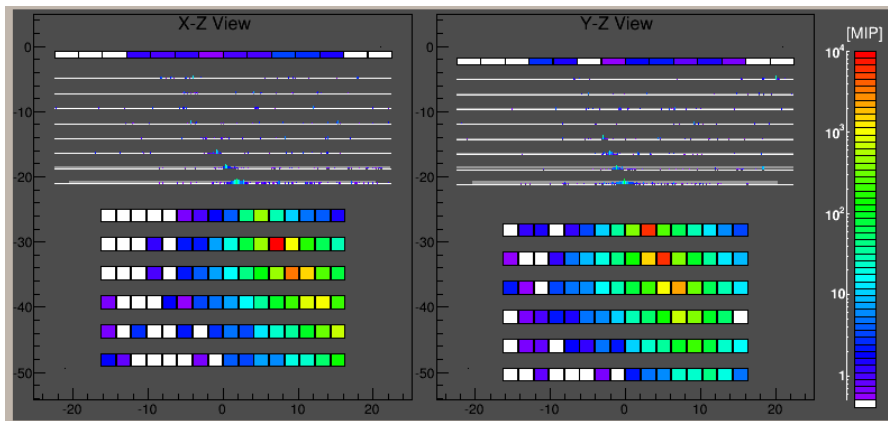
CALET各部の温度変化

観測装置はすべてATCSによる温度制御(～20°C)が行われているので、太陽β角の変化があっても検出器(IMC, TASC)は1°C程度以内の温度変動に抑えられている。



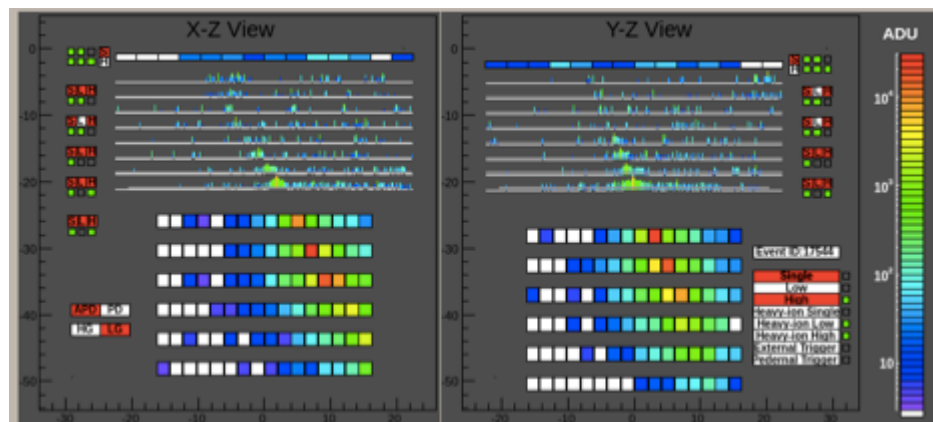
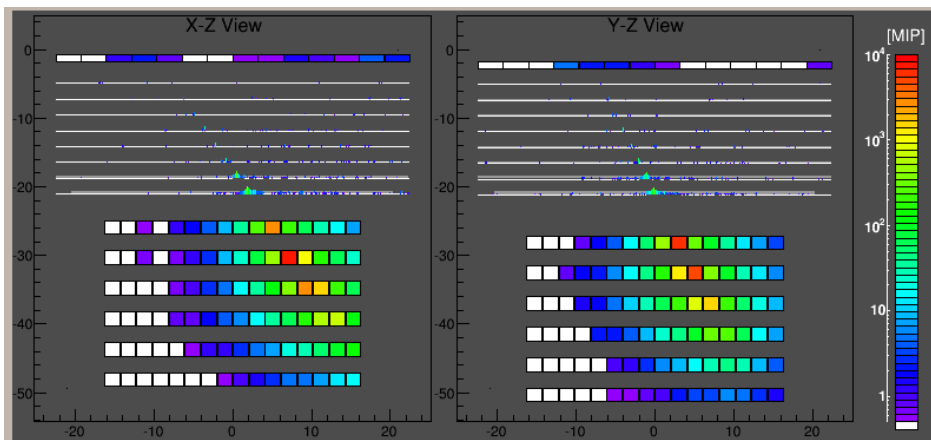
曝露部EFU#9取付以降のCALET各部温度(毎日12:00JST時点の温度をプロット)

~1TeV electron candidate (#1128791625_17544) Raw data (#1128791625_17544)
 (converted to MIP by calibration) (APD-H)



Simulated events (1TeV electron) obtained with same incident position and direction with the observed event

(APD-L)

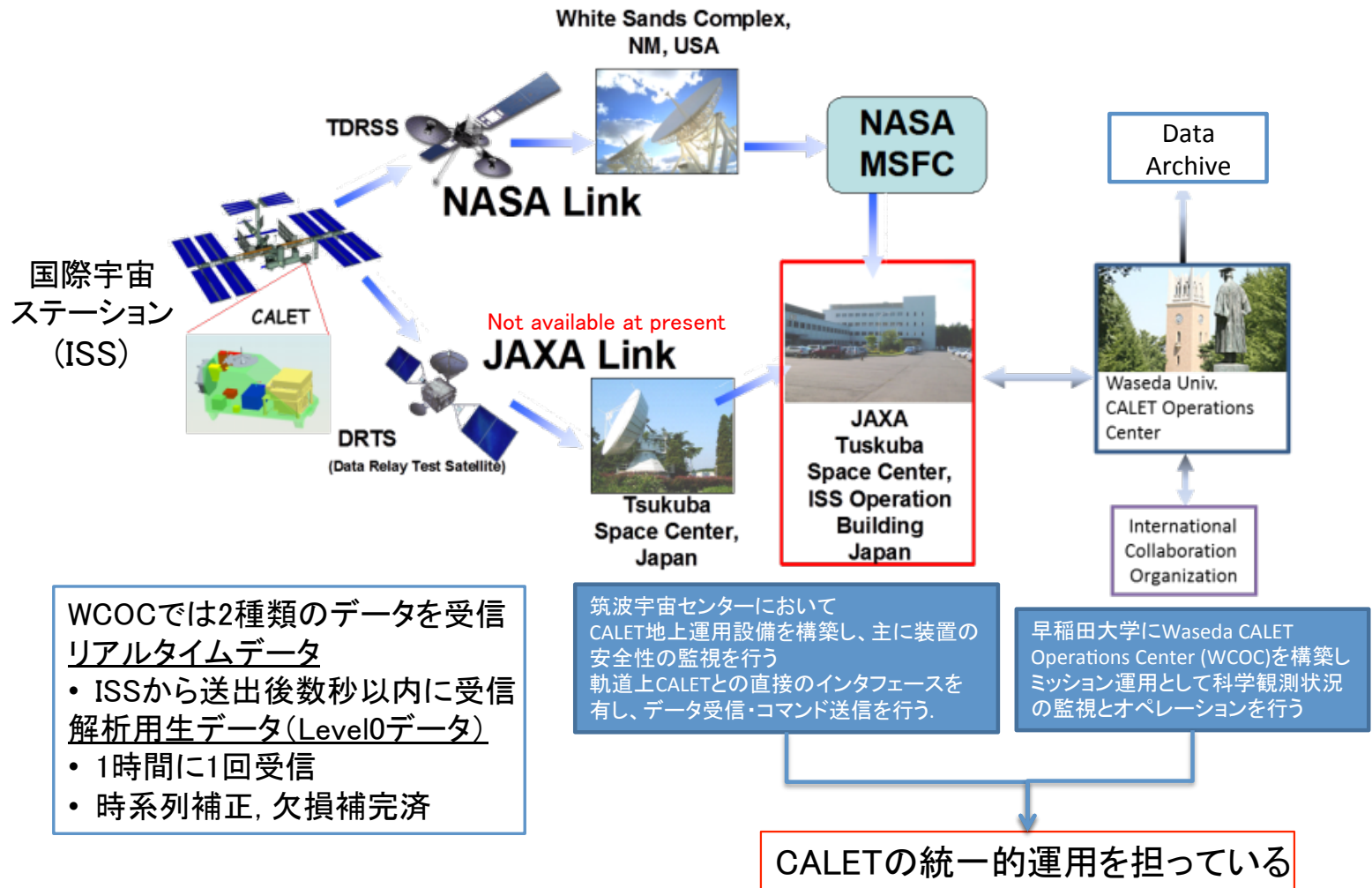


約30日間の観測で電子10GeV
 以上約10万イベントを観測



4. CALETサイエンス運用システム (1)

- NASAリンクの低速・中速系によりリアルタイムデータ及び欠損補完データ (Level0) の Waseda CALET Operations Center (WCOC) での正常に受信している。

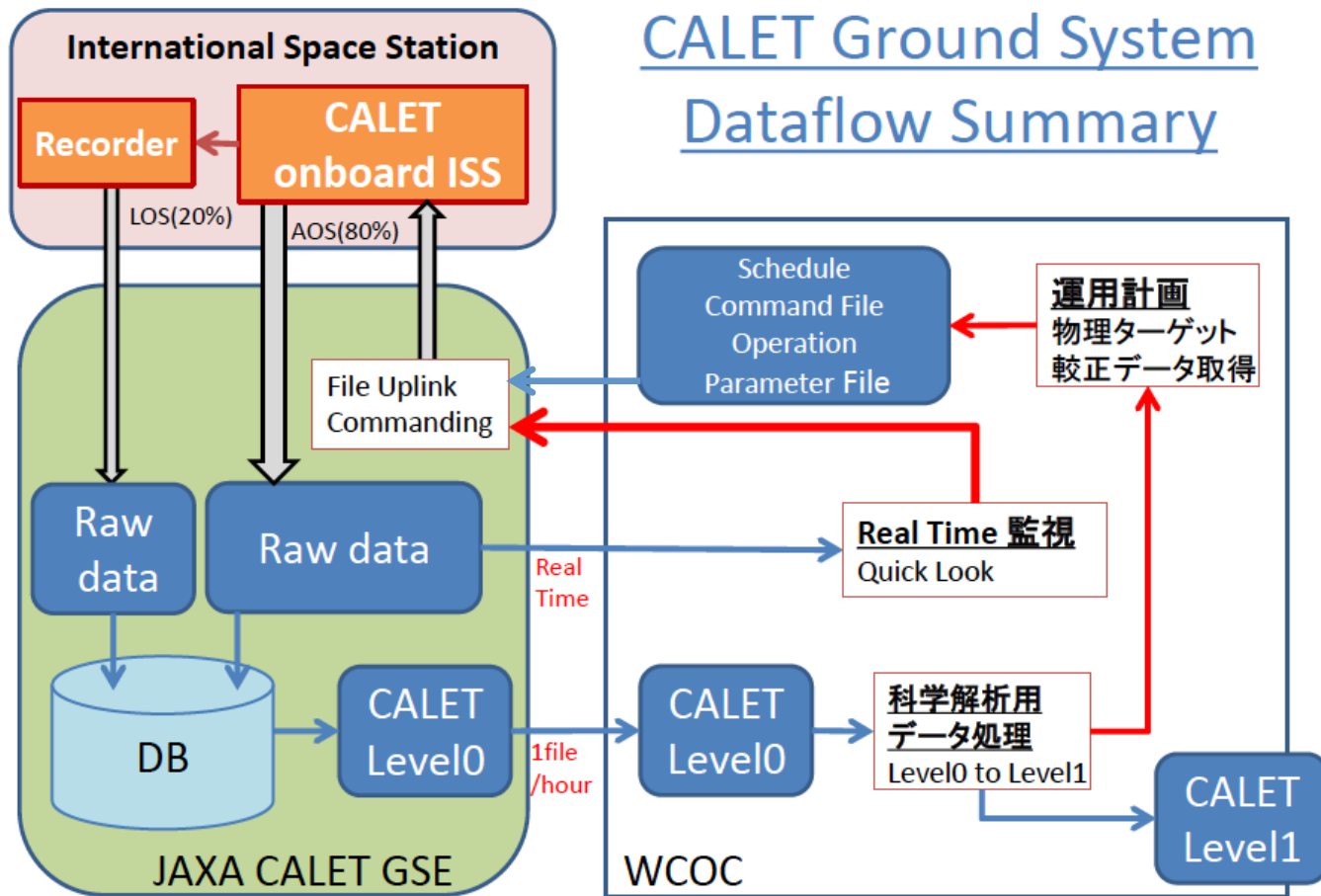


CALETのデータフローとサイエンス運用概念



CALETサイエンス運用システム (2)

- WCOCにおける24時間体制のリアルタイム監視を行い、つくば宇宙センターのオペレーションチームとの共同運用体制を構築した。
- 科学解析用データ処理、国内外研究機関へのL1データ配信、運用計画に基づくスケジュールコマンドの作成による数日間の観測運用の自動化、を実現した。



GSE: Ground Support Equipment (地上支援装置)



まとめと予定

- CALETはTeV領域に及ぶ電子・ガンマ線観測により近傍加速源と暗黒物質の探索を行うほか、陽子・原子核の観測を1000TeV領域まで実施して宇宙線の加速・伝播機構の包括的な解明を行う。さらに、太陽変動やガンマ線バーストのモニター観測を実施する。
- CALET は、JAXAと早稲田大学の共同研究によるプロジェクトである。国際共同ミッションとして、JAXAが米国NASA,イタリアASIと協定を結んで実施している。
- つくば宇宙センターにおけるシステム試験終了後、JAXAにおける「開発完了審査」を経て、種子島宇宙センターへ輸送をおこなった。そして、2015年8月19日にHTV5号機に搭載しH-IIIBロケットで打ち上げられ、船外実験プラットフォーム#9ポートに設置された。
- 現在つくば宇宙センターユーザ運用エリア(UOA)と早稲田大学CAET Operations Center (WCOC)において、初期運用(チェックアウトフェーズ)を実施している。10月初旬からサイエンスデータの取得を実施し、90日間の運用でミニマムサクセスを達成している。今後、2年間の観測でフルサクセスを達成し、その成果により5年間の観測を実現する予定である。