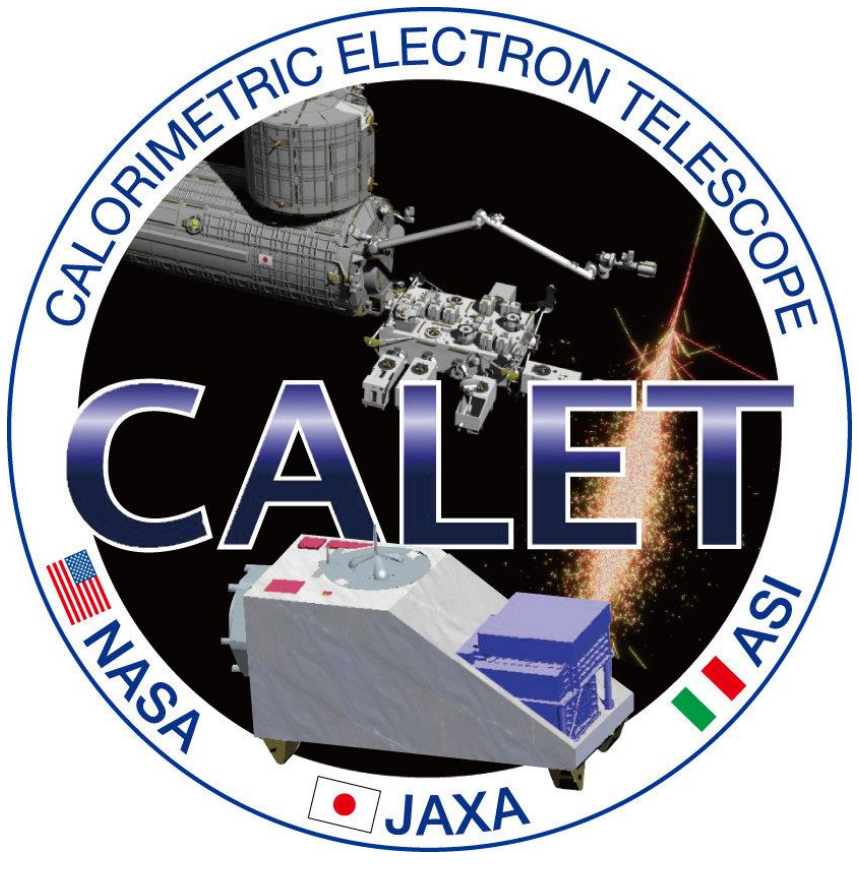


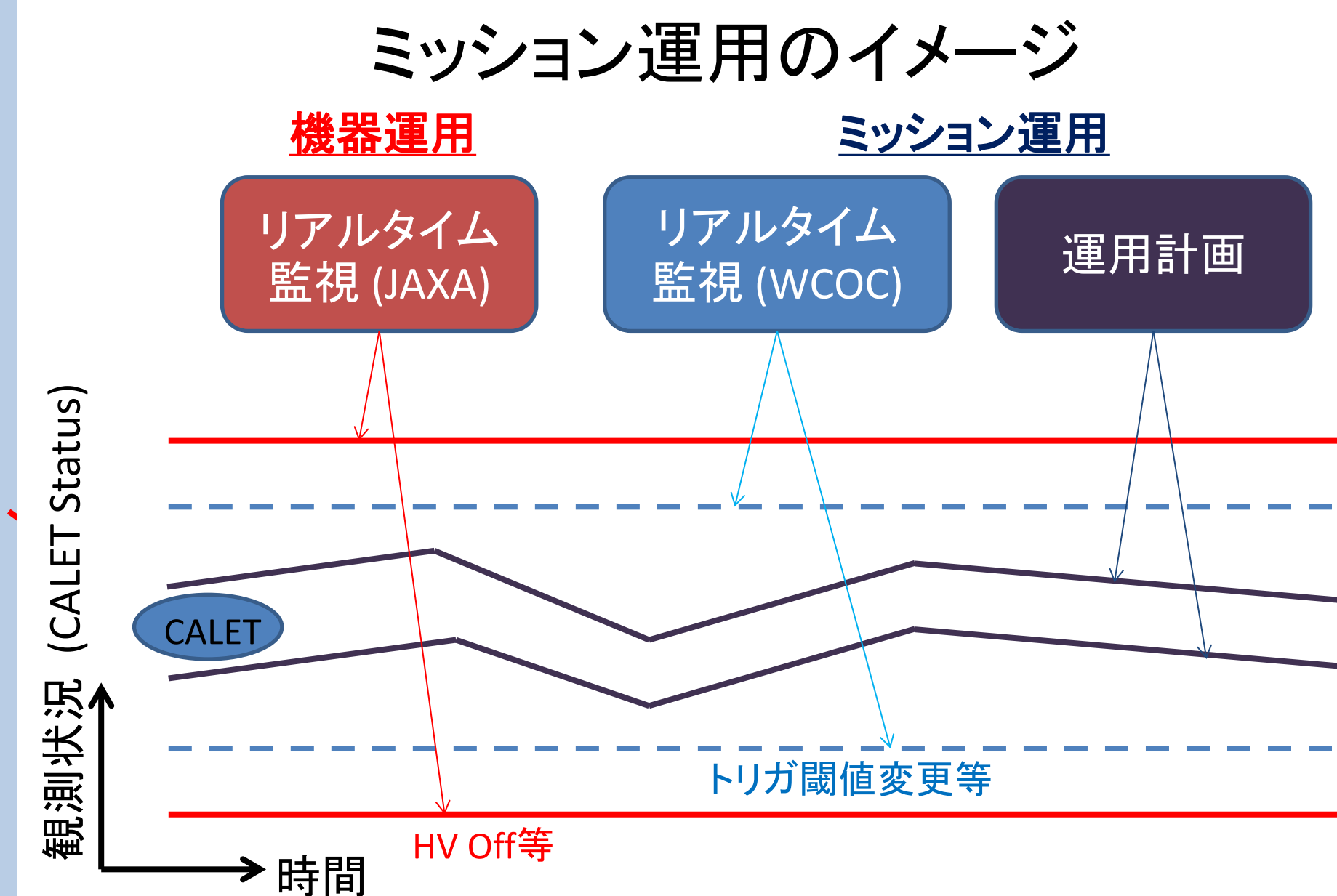
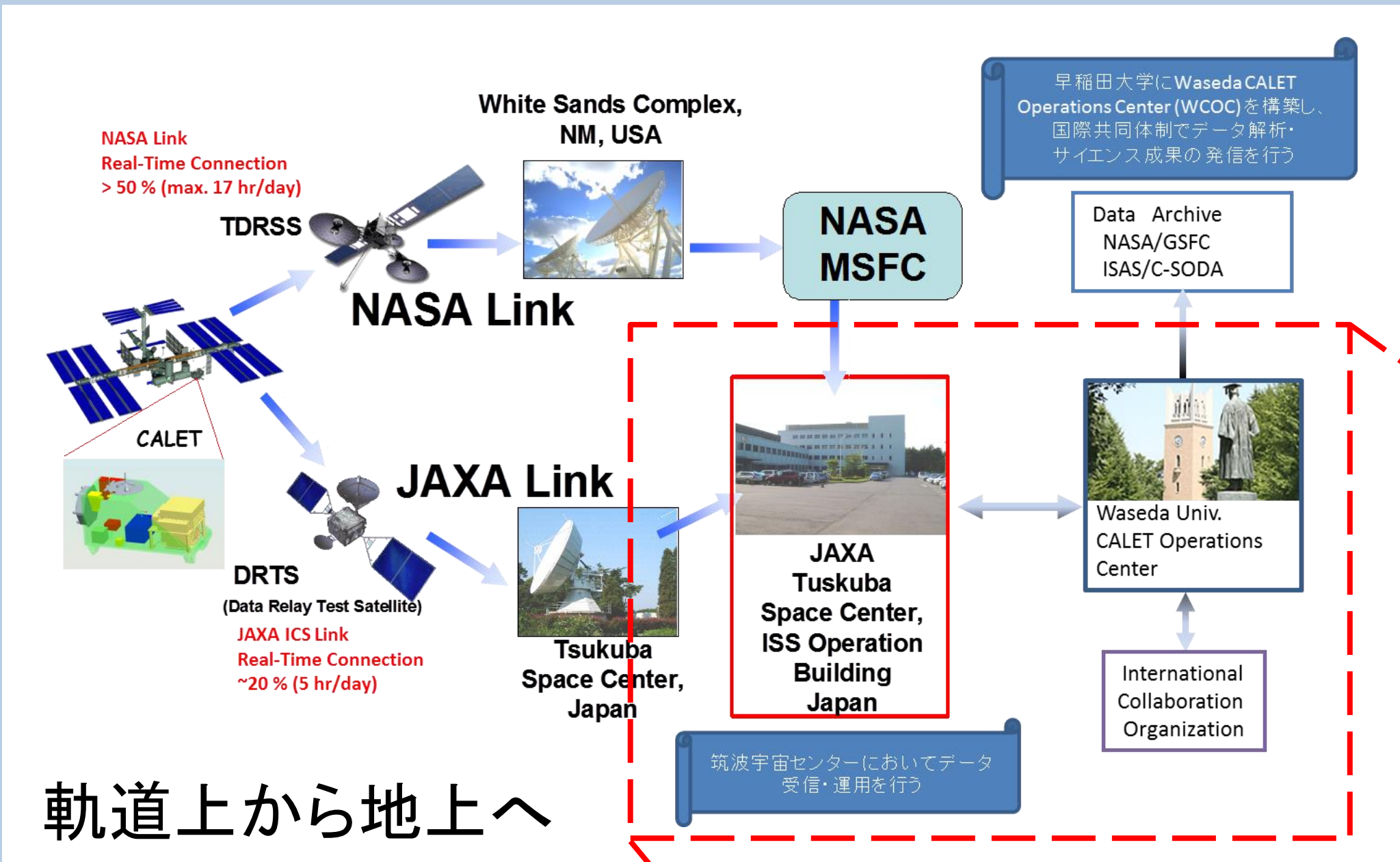
Waseda CALET Operations Center (WCOC) におけるミッション運用

早大理工研¹, 早大先進理工², 早大国際教育センター³, 神奈川大工⁴, JAXA/SEUC⁵, JAXA/ISAS⁶, 東大宇宙線研⁷

浅岡陽一¹, 鳥居祥二^{1,2}, 笠原克昌¹, 小澤俊介², 神尾泰樹², 下村健太², 仁井田多絵², 力石和樹², Holger Motz³, 田村忠久⁴, 清水雄輝⁵, 上野史郎⁶, 富田洋⁶, 赤池陽水⁷, 他CALETチーム



概要: CALETは国際宇宙ステーションにて長期観測を行う高エネルギー宇宙線観測装置である。撮像型と全吸収型を組み合わせた計30放射長の分厚いカロリメータを搭載し、1GeV-20TeVの広い範囲で電子のエネルギースペクトルを高精度で決定する能力を持っている[1,2]。国際宇宙ステーション軌道上でCALETが取得するデータは、これまでに実施されている他の船外実験と同様に、NASAとJAXAが有する2種類の伝送経路を利用してJAXAにて受信する。軌道上での観測開始に向けて、CALETの状態を常時監視し適切な機器運用を行うための地上運用システムがJAXAにて準備されている。早稲田大学にも、JAXAの地上運用システムと連携し、ミッション運用とデータ解析を行う Waseda CALET Operations Center (WCOC) が設置され、観測開始に向けてハードウェアやソフトウェアの準備を進めている。WCOCにおけるミッション運用は、(1)運用計画、(2)リアルタイム監視、(3)科学解析用データ処理によって構成される。各項目の詳細と軌道上運用開始に向けた準備状況について報告する。



主なミッション運用手段:

- **運用計画**
 - スケジュールコマンドファイル作成
 - マクロコマンドファイル作成
- **リアルタイム監視**
 - リアルタイムデータの受信
 - QLによる監視 ⇒ コマンド送信依頼
- **科学解析用データ処理**
 - Level0データの受信 ⇒ 検証
 - Level1データの作成 ⇒ 配信

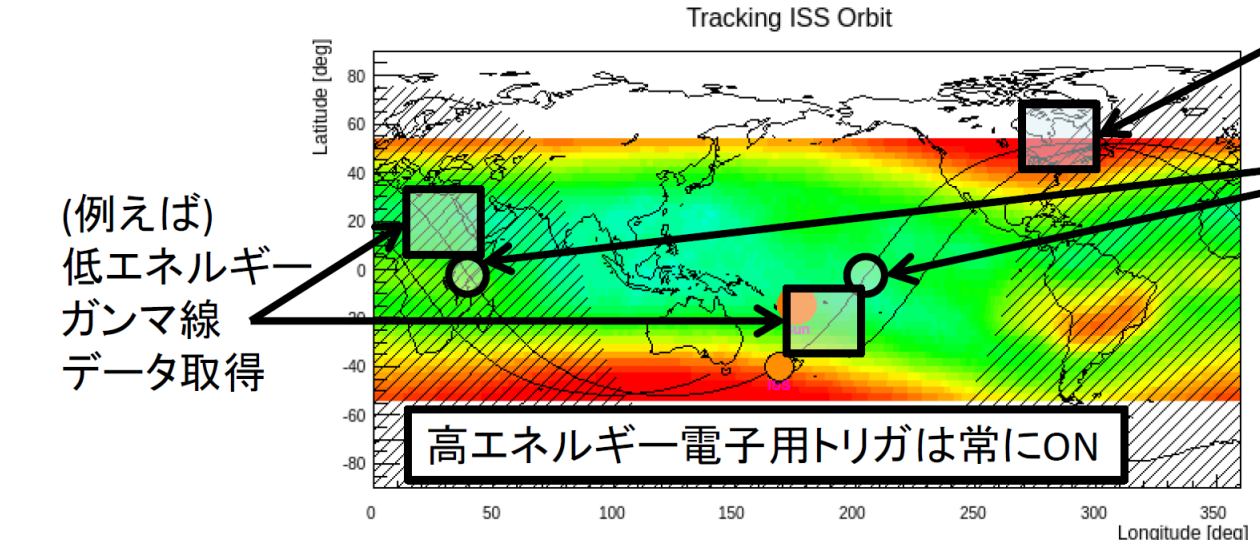
(注) Level0: 科学解析用生データ, Level1: 科学解析用一次処理データ

運用計画

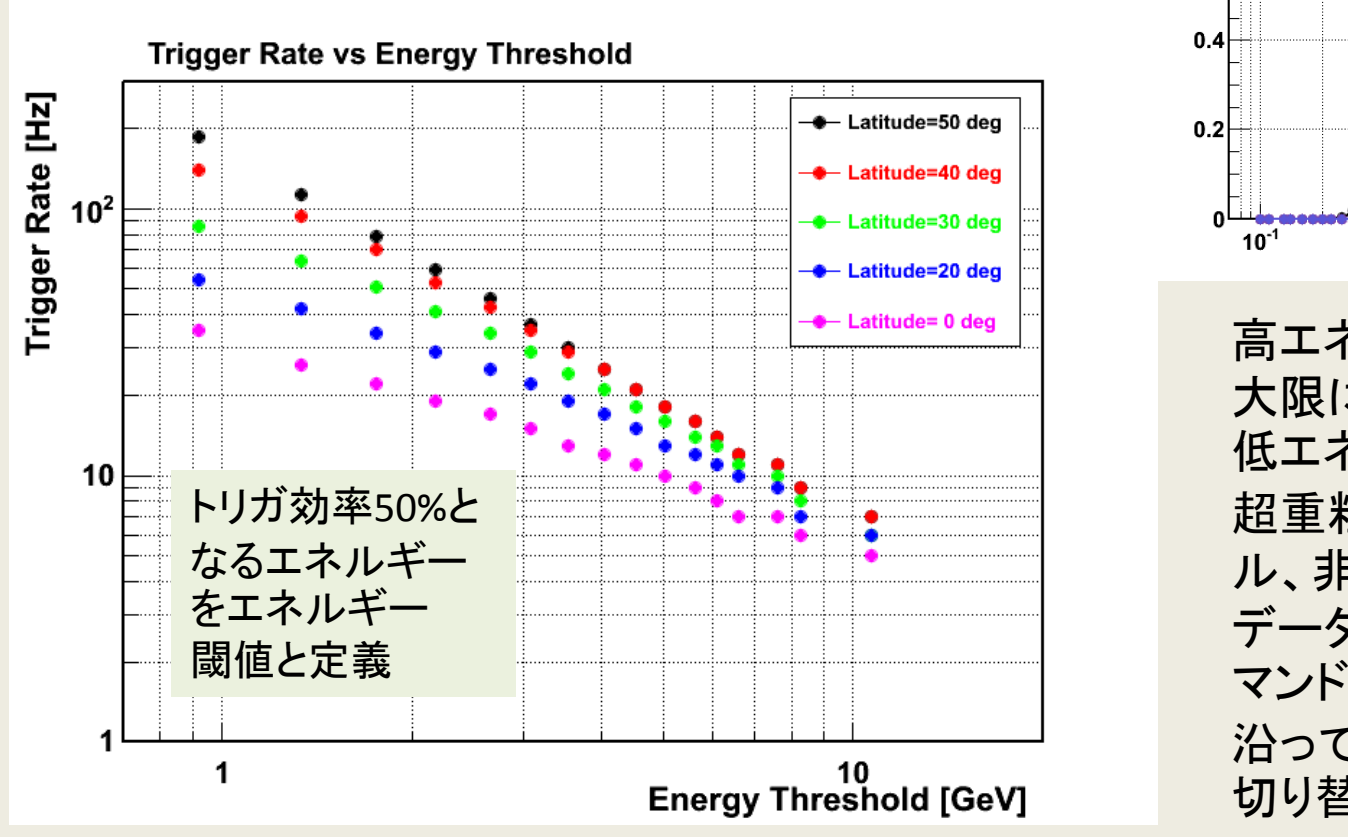
- **観測条件の最適化**
 - 主目的の高エネルギー電子は常に取得 ⇒ **地道にExposureを積み上げることがミッション運用の最重要事項**
 - 低エネルギー電子、ガンマ線の効率的な取得には最適化の余地あり
 - BG (トリガーレート) vs Signal (ターゲットの宇宙線)
- **日毎の観測モード計画**
 - スケジュールファイルによる具体化
 - 観測モードの変更
 - 較正データ取得タイミング・取得量の最適化

高エネルギーシャワートリガー
この高エネルギーシャワートリガーにより、高エネルギーのガンマ線、陽子、原子核は全て同時に取得される。

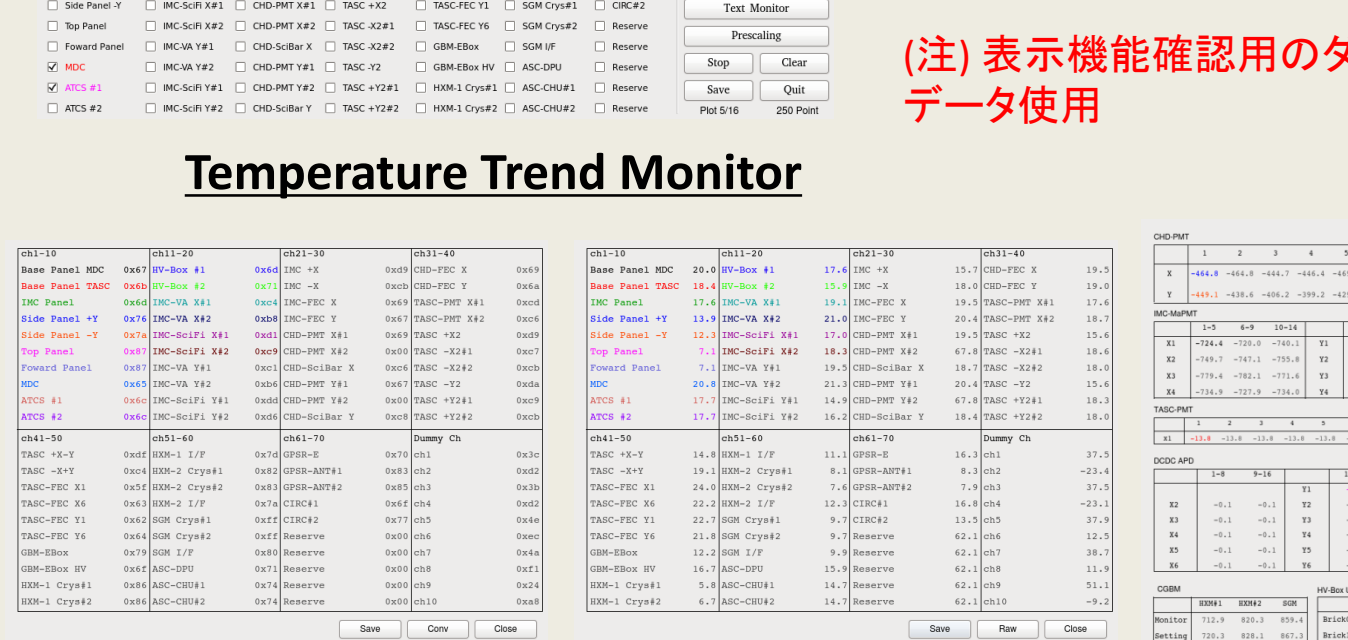
低エネルギー電子データ取得
ベデスタルデータ取得
スケジュールファイル: 時刻+コマンドの列



運用計画を立てるためには、電子に対するエネルギー閾値とトリガーレートの関係を予測しておく必要がある。また、トリガーレートは地磁気カットオフにより大きく変化する。そのため、トリガーレートのエネルギー閾値・緯度依存性をシミュレーションにより評価した。



高エネルギー電子の統計量を最大限に確保しつつ、状況に応じて低エネルギー電子、GRBガンマ線、超重力粒子等のデータや、ベデスタル、非シャワー事象といった較正データを取得する。スケジュールコマンドファイルにより、ISS軌道に沿って、トリガーモード等を適切に切り替えていく運用が実現可能。

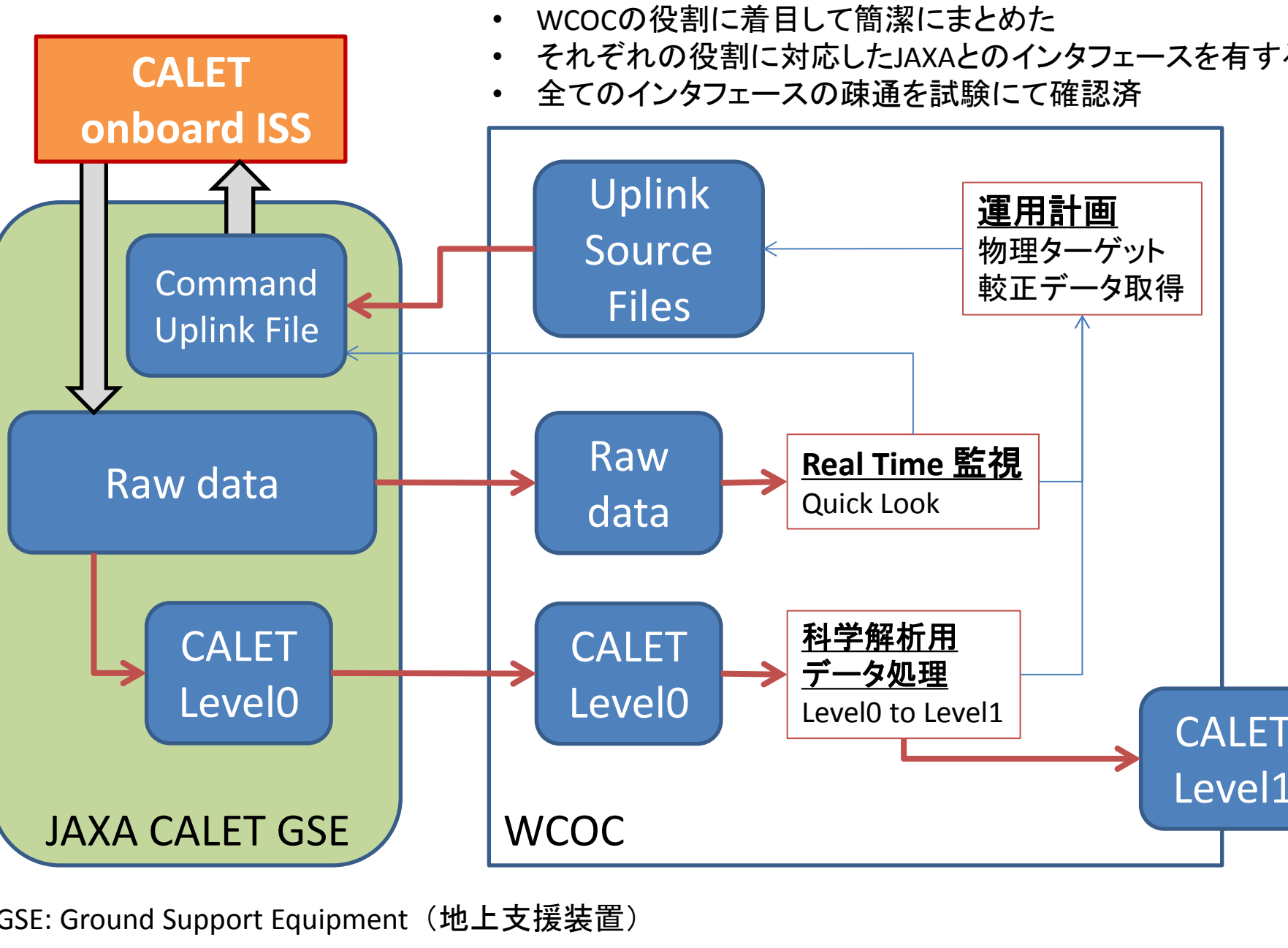


HKデータモニタ用QL表示するトレンドの指定が柔軟に行え、かつ全チャンネルの生値、工学値も常時確認可能。また過去状況の表示や部分拡大、範囲指定も自由に行える。CALETのシステム試験でも、装置状態の監視に使用している。

- まとめと展望:**
1. **WCOCの役割:** WCOCには運用計画、リアルタイム監視、科学解析用データ処理の3つの役割があり、これらを通してミッション運用を実施する。
 2. **WCOCの準備状況:** JAXA CALET-GSE とのI/F試験が完了した。CALET地上システム全体の検証においても、軌道上データ模擬システムを用いて作成したシミュレーションデータやツールを使用し、現実的な性能試験が行っている。
 3. **予定:** CALET全体のスケジュールと整合して順調に進捗しており、運用開始に向けて運用訓練や地上システム全体の最終検証が予定されている。

本研究は、JSPS科研費 26220708 (基盤研究S 研究代表者 鳥居祥二) (H26-H30) 及び私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (研究拠点形成) (H23-H27)による助成を受けています。

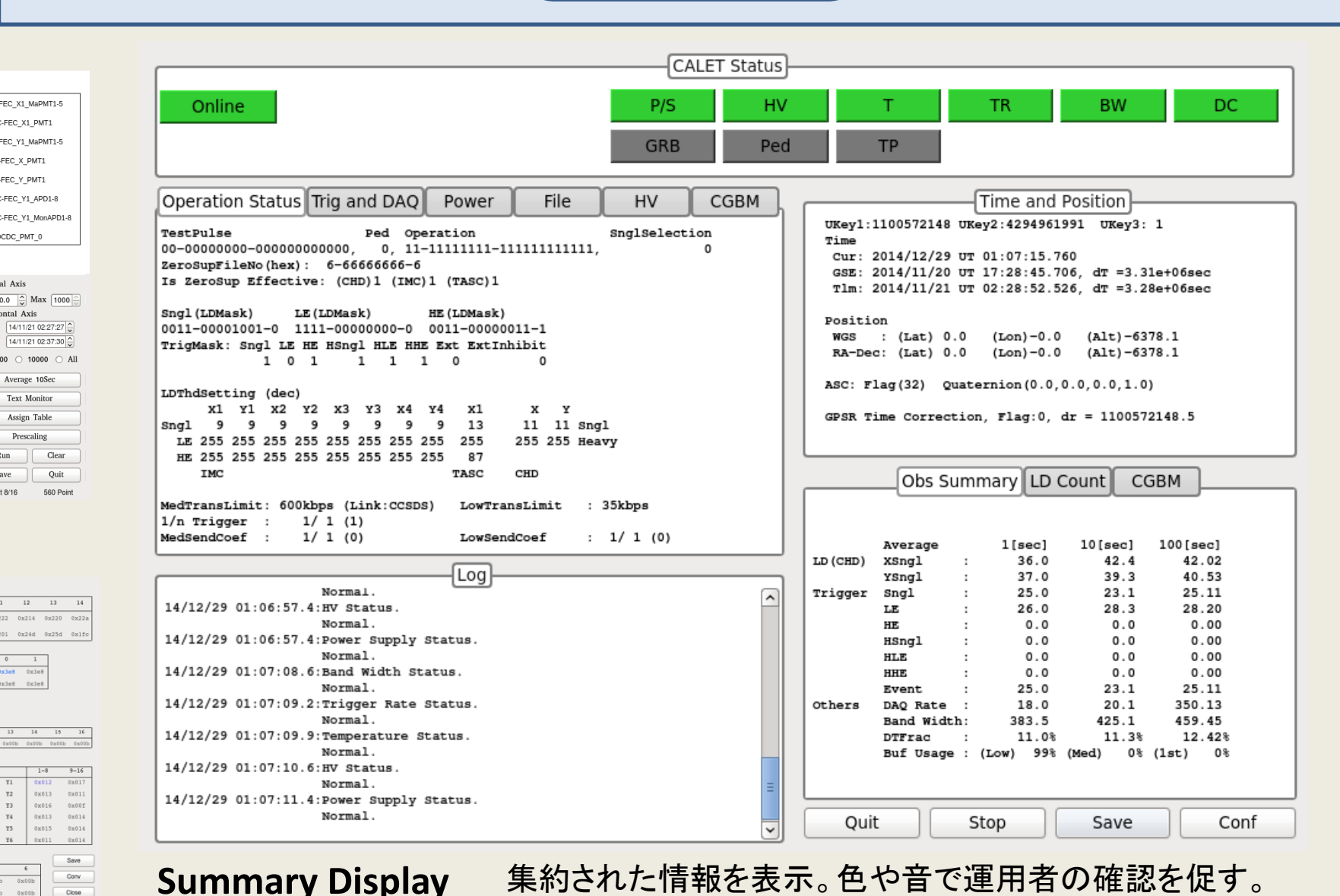
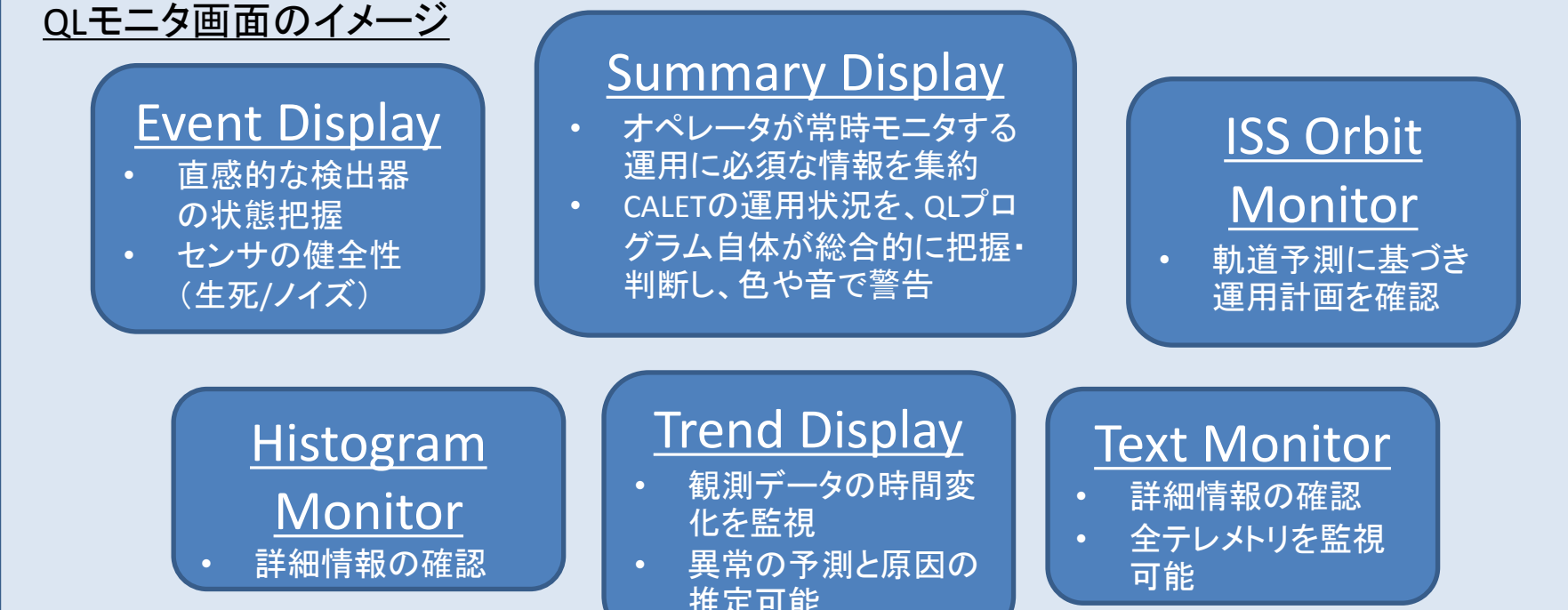
地上システムのデータフロー



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

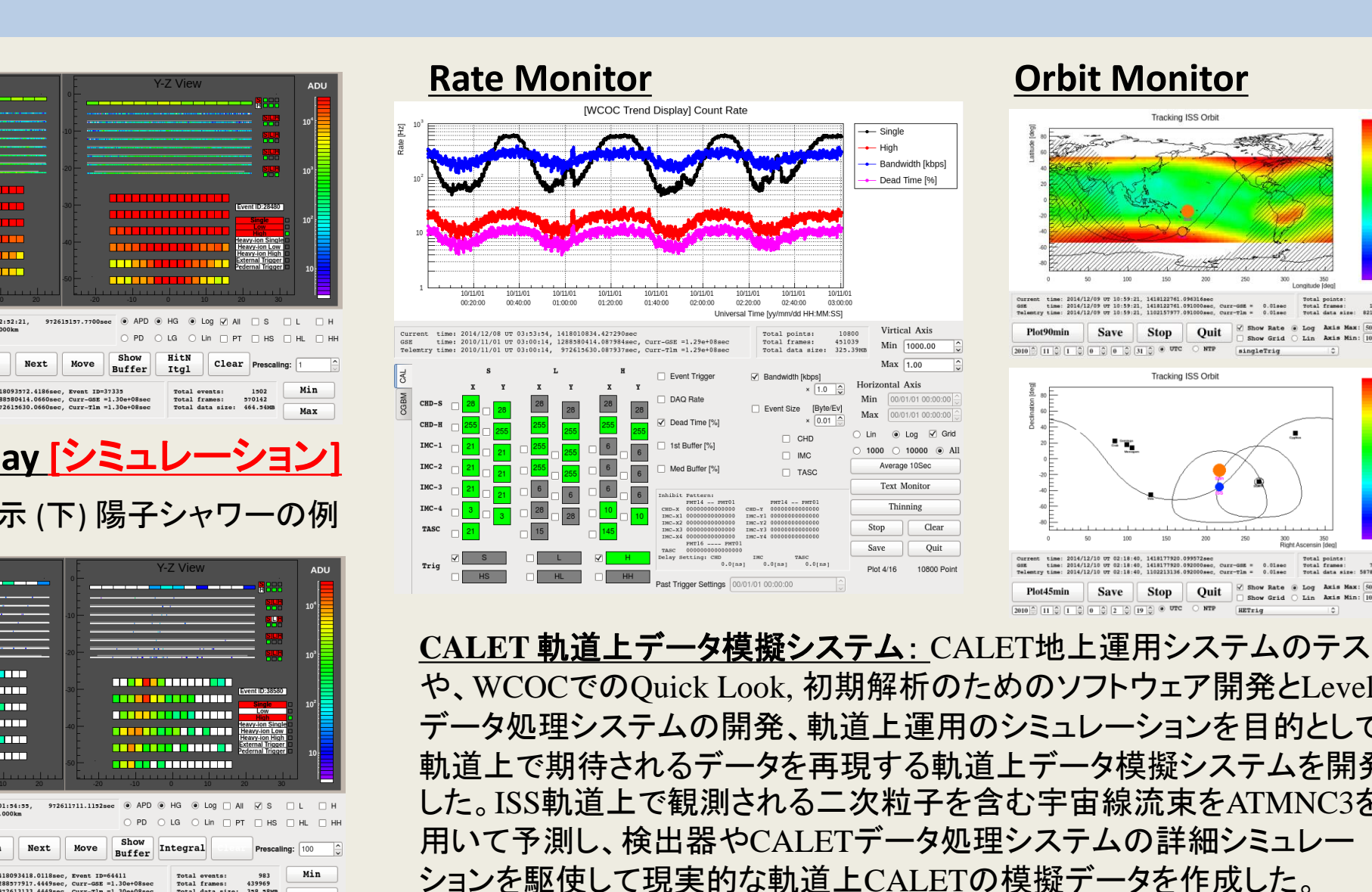
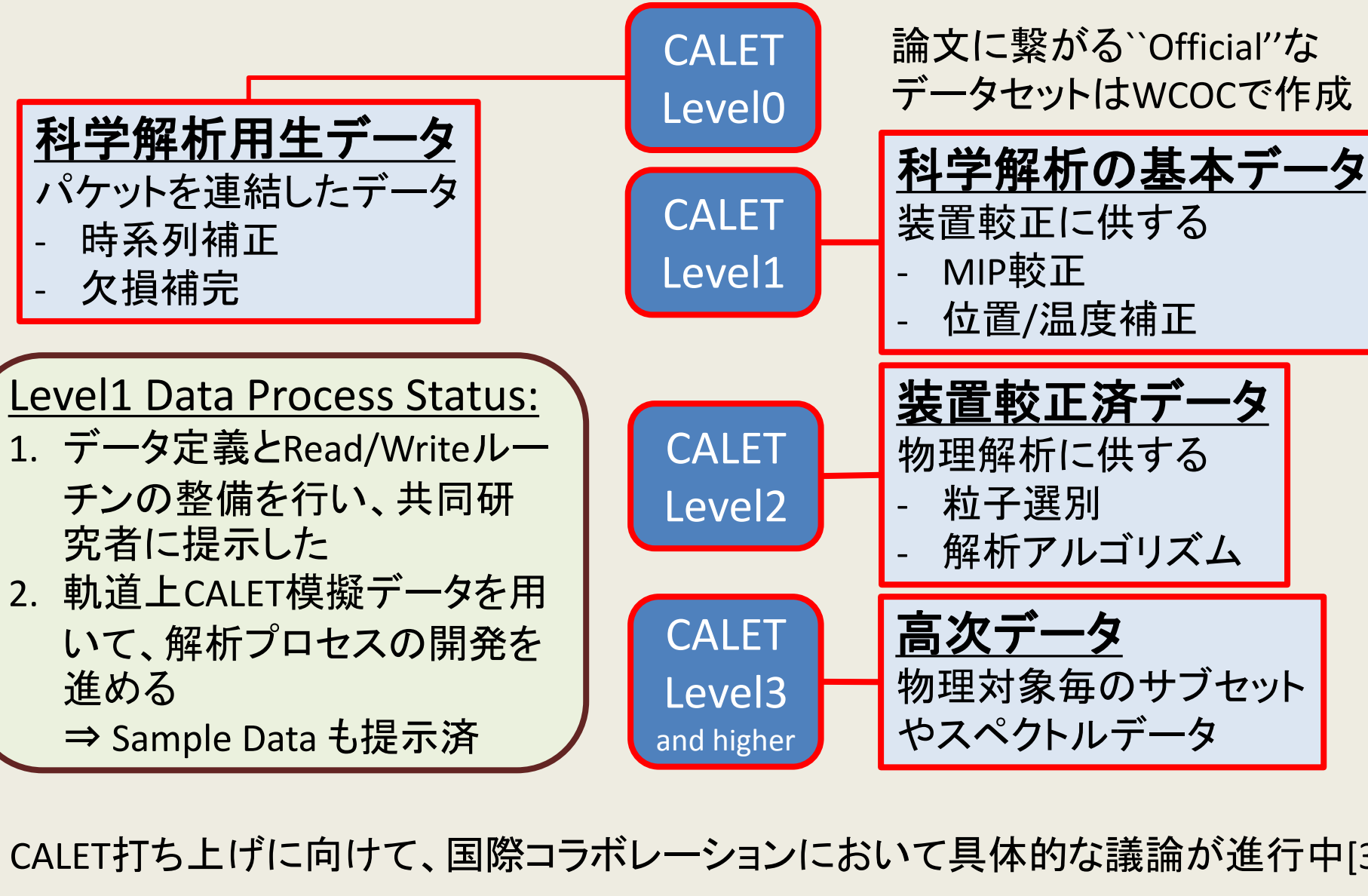
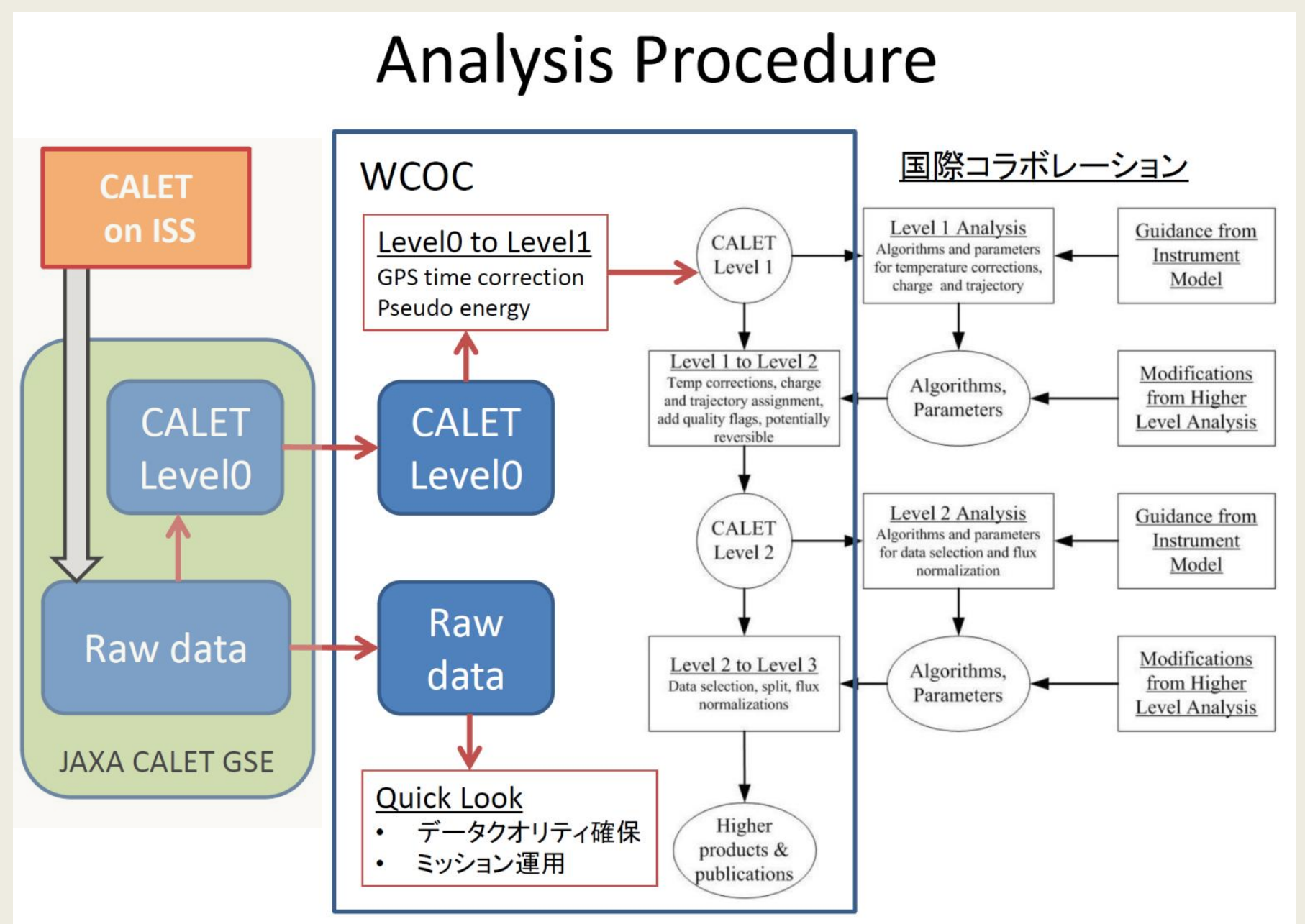
Real Time 監視

- WCOCでも24時間体制でCALETの運用状態を監視
- 様々なQLを駆使して科学観測のクオリティを常時モニター [4]
- 必要に応じてJAXAへコマンド送信を依頼



Summary Display 集約された情報を表示。色や音で運用者の確認を促す。

科学解析用データ処理



CALET軌道上データ模擬システム: CALET地上運用システムのテストや、WCOCでのQuick Look、初期解析のためのソフトウェア開発とLevel0データ処理システムの開発、軌道上運用のシミュレーションを目的として、軌道上で期待されるデータを再現する軌道上データ模擬システムを開発した。ISS軌道上で観測される二次粒子を含む宇宙線流束をATMNC3を用いて予測し、検出器やCALETデータ処理システムの詳細シミュレーションを駆使して現実的な軌道上CALETの模擬データを作成した。

- 参考文献:**
1. S. Torii for the CALET Collaboration, "Overview of the CALET Mission to the ISS", Proceedings of the 33nd International Cosmic Ray Conference (Rio de Janeiro, Brazil), CR-IN ID# 0147 (2013)
 2. S. Torii for the CALET Collaboration, "The Calorimetric Electron Telescope (CALET) for High Energy Astroparticle Physics on the International Space Station", IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 132, 8, 603-608 (2012).
 3. T.G. Guzik for the CALET Collaboration, "The CALorimeter Electron Telescope (CALET) ground data handling and processing system", Proceedings of the 33nd International Cosmic Ray Conference (Rio de Janeiro, Brazil), CR-IN ID# 0168 (2013)
 4. 赤池陽水他, "CALETの運用及びデータ解析・管理システムの概要", JAXA-RR-13-010, 99-107 (2014).