

超小型リモートセンシング衛星「PRISM」の開発

東京大学大学院工学系研究科
航空宇宙工学専攻中須賀研究室
田中利樹

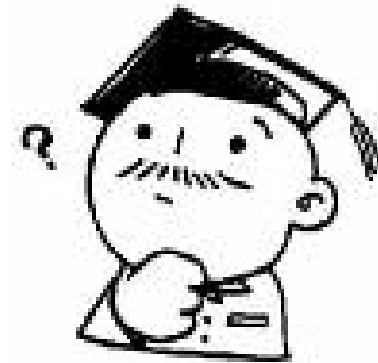


Contents

- PRISMプロジェクト概要
- ミッション定義
- システム概要
- 開発状況
- 学生によるマネージメント
- 反省

Contents

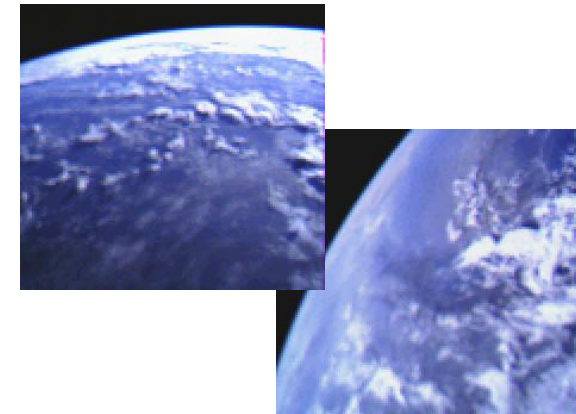
- PRISMプロジェクト概要
- ミッション定義
- システム概要
- 開発状況
- 学生によるマネージメント
- 反省



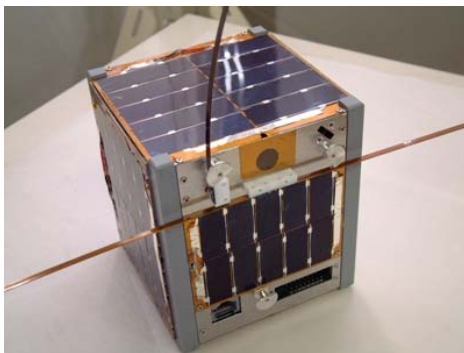
PRISMプロジェクトは
どうやって始まったの？

PRISMプロジェクト発足前夜

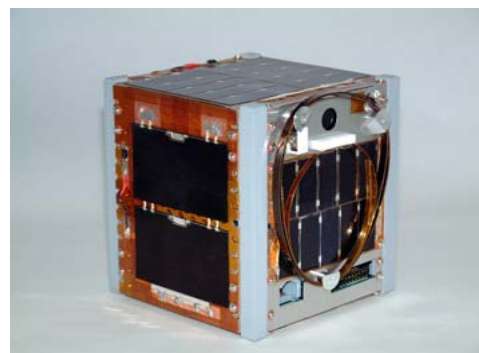
- CubeSat XI ('00~'05)
- $10 \times 10 \times 10$ [cm³]、1 [kg]
- 民生部品を用いたバスの実証
- 研究室でも衛星が作れる



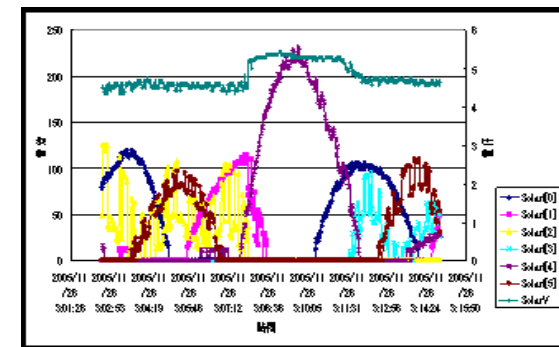
XI-IV取得画像



CubeSat XI-IV
2003年6月30日打上



CubeSat XI-V
2005年10月27日打上

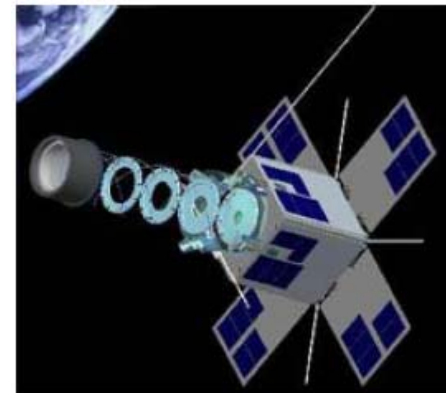


XI-Vハウスキーピングデータ

PRISMプロジェクト思想

- XIで培った技術の継承、発展
- 超小型衛星の可能性を広げる
- 超小型衛星でのリモセン分野を開拓
- 可視光領域で高分解能の画像取得に挑戦

PRISM衛星概観



打ち上げ機会

- 2009年1月21日打ち上げ
- GOSATのサブペーロードとして、HⅡAロケット(JAXA)によって打ち上げられる。



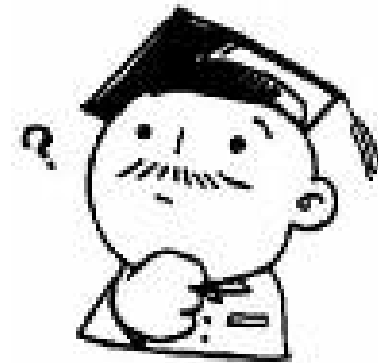
HII-A (JAXA提供)



GOSAT (JAXA提供)

Contents

- PRISMプロジェクト概要
- ミッション定義
- システム概要
- 開発状況
- 学生によるマネージメント
- 反省



PRISMプロジェクト
で何をするの？

ミッション定義

- 「超小型衛星による柔軟部材を用いた軽量・コンパクトな光学系の実証」
 - 超小型衛星に搭載できる光学系の開発
 - 超小型衛星によるリモセンの活性化

運用中の衛星との比較

| Year | Satellite | Resolution [m] | Mass [kg] |
|-------------|--------------|----------------|-----------|
| 1999 | IKONOS | 0.8 | 726 |
| 2000 | Tsinghua 1 | 50 | 50 |
| 2005 | TopSat | 2.5 | 110 |
| 2008 | PRISM | 30 | 8 |

予想写真

- 撮影範囲8km²
- 分解能30m/pixel
- リモートセンシングに使用可能

8km



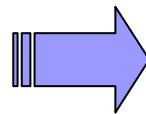
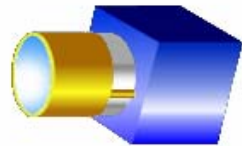
©Google

伸展ブーム

- 本ミッションを達成するためにカギとなる技術
- 超小型衛星で高分解能な画像を取得するには？
- 柔軟部材を構造に組み込んだ望遠鏡
- 小さく折りたたんで打ち上げ、軌道上で大きく使える

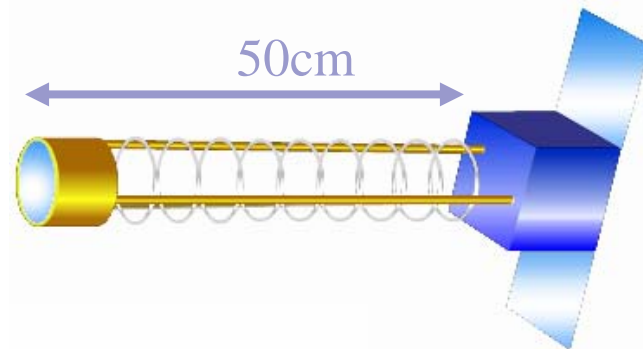
<<打ち上げ時>>

10cm



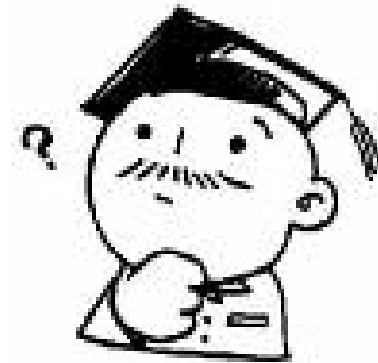
<<地球観測時>>

50cm



Contents

- PRISMプロジェクト概要
- ミッション定義
- システム概要
- 開発状況
- 学生によるマネージメント
- 反省



どういう設計になっているの？



全体システム

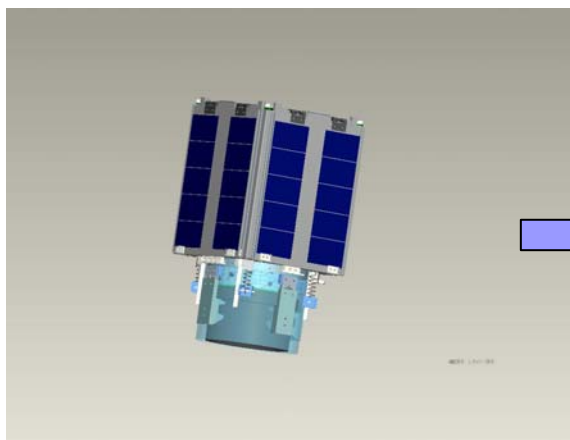
■ 3つの展開機構

- アンテナ、パネル、ブーム

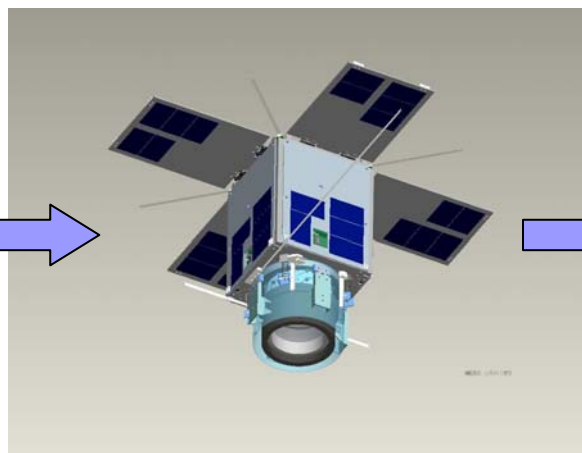
■ 性能の高い超小型衛星汎用バスの開発

- モジュール化
- 高精度の姿勢制御 ($\sim 0.5\text{deg/s}$)
- 高速通信 ($\sim 9600\text{bps}$)
- 複数のCPUを分散配置、バスラインを用いた系間通信 (CAN2.0B)
- 将来の超小型衛星開発に役立つ技術

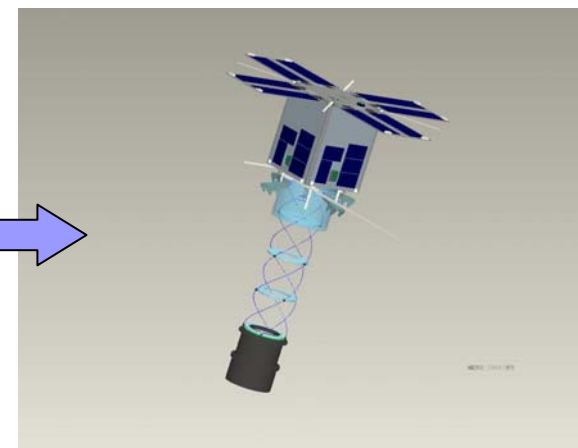
展開機構



1. 打ち上げ時

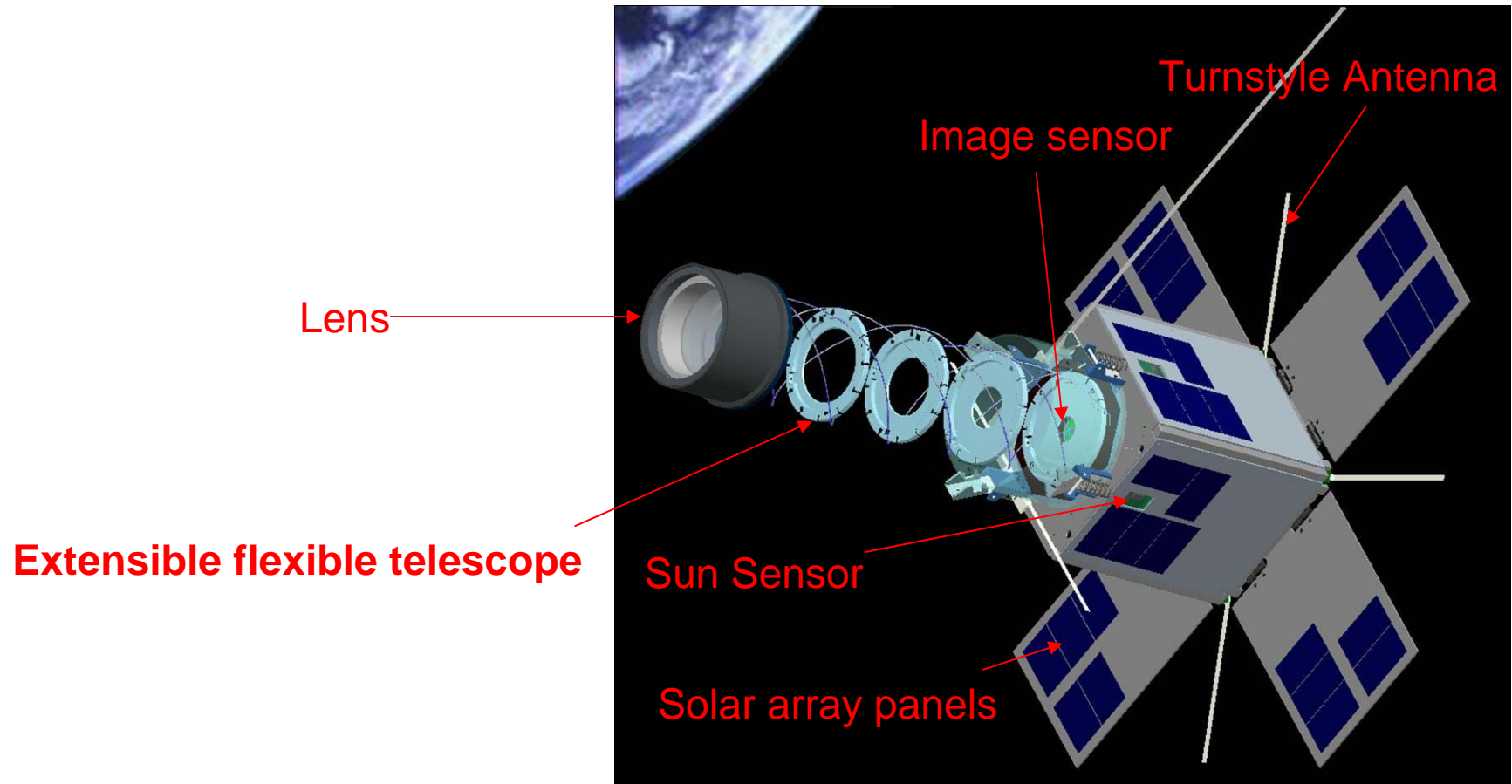


2. パネル展開



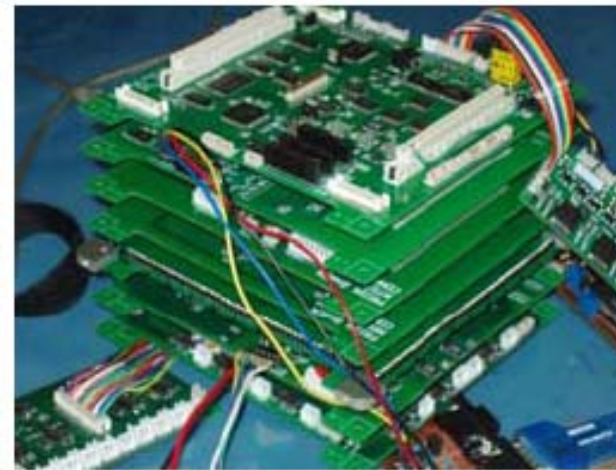
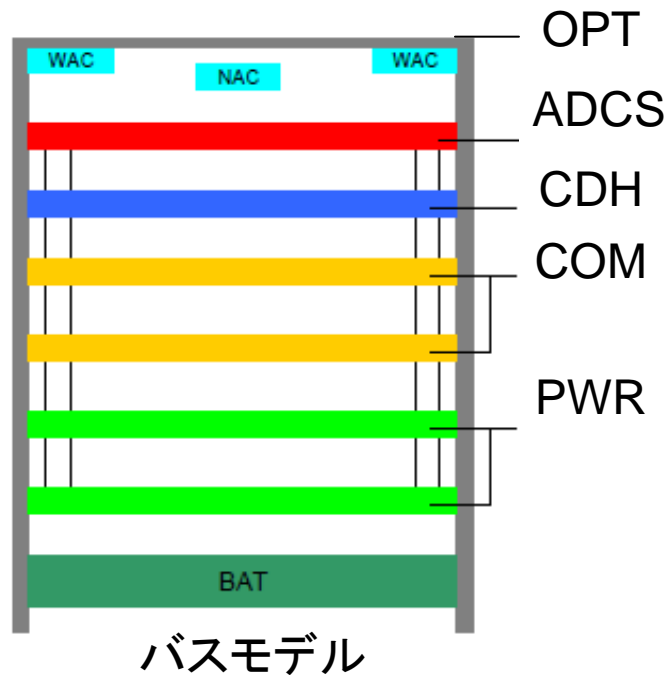
3. ブーム展開

展開機構



モジュール化

- サブシステムを単位とした階層構造
- 共通I/Oインターフェースにより協働
- 新規衛星開発への転用が可能



バス実物

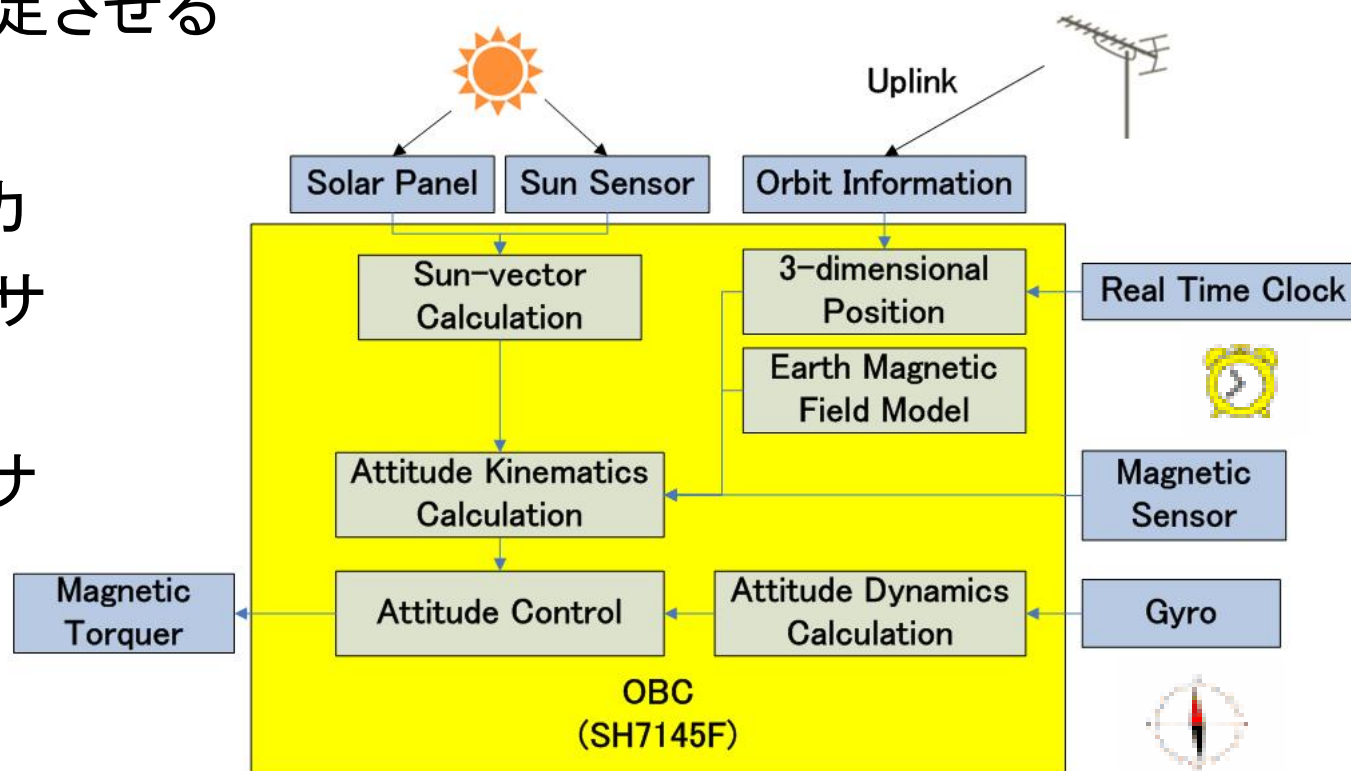
姿勢制御系

■ 役割

- レンズを地球に向ける
- 姿勢を安定させる

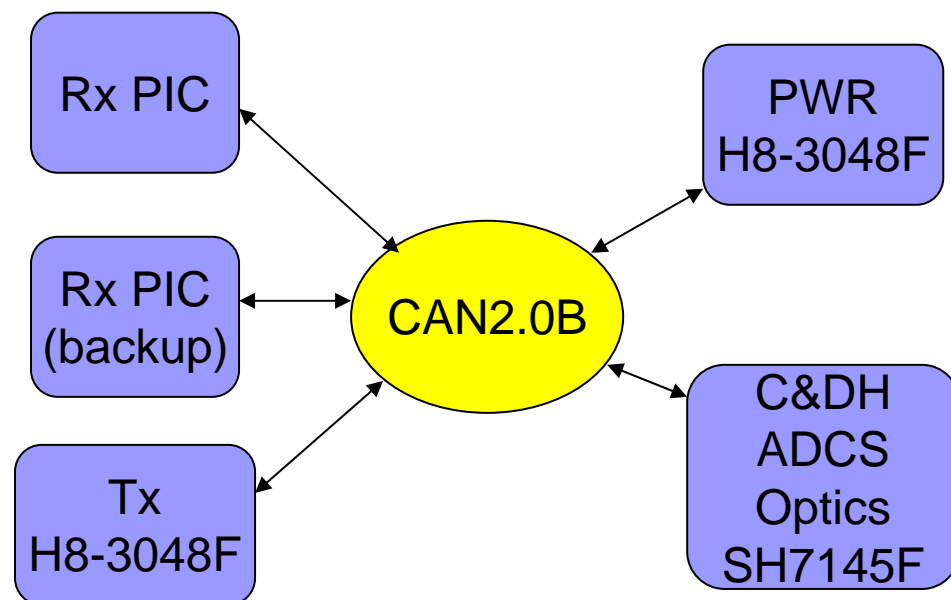
■ 搭載機器

- 磁気トルカ
- 磁気センサ
- ジャイロ
- サンセンサ



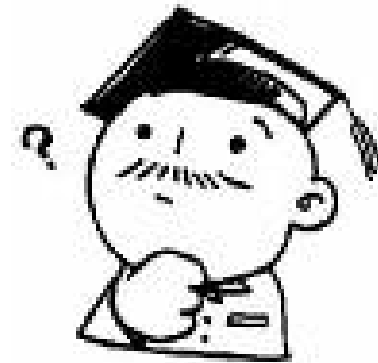
CPUの分散配置

- PRISMは5つのCPU搭載している
- 全てのCPUはCAN busにより接続
- ケーブルやシステムの複雑性を解消



Contents

- PRISMプロジェクト概要
- ミッション定義
- システム概要
- **開発状況**
- 学生によるマネージメント
- 反省



今年の開発は何が
すすんだの？



開発経緯

- BBM ～2002年2月
- 1stEM 2005年12月～
- 2ndEM 2007年6月～
- CDR 2007年11月
- 3rdEM(ミッション系のみ) 2007年12月～
- FM 2008年3月～

今年のPRISMプロジェクト成果

- ISTS学生セッションにて浜松市長賞
- 宇宙科学連合技術講演会
- ハムフェア・JA2008
- 清華大(中国)との交流
- 2ndEMを経てFMの完成
- FMでの環境試験クリア

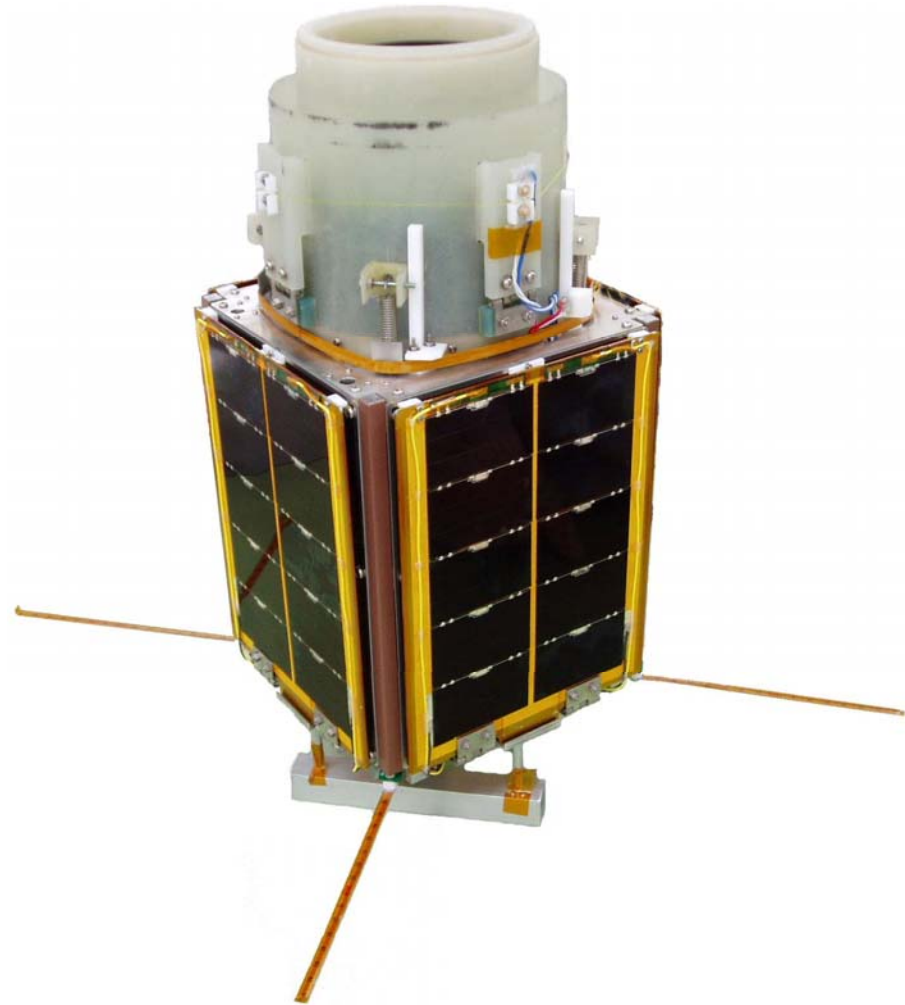
ISTSにて



現在の状況

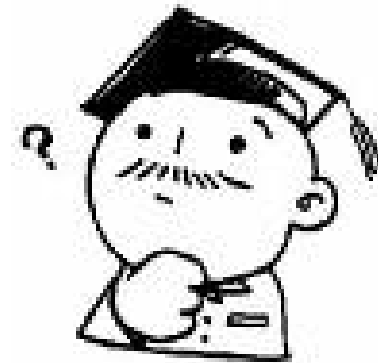
- 開発を終了
- 打ち上げに向けて待機中

Now Waiting.....




Contents

- PRISMプロジェクト概要
- ミッション定義
- システム概要
- 開発状況
- 学生によるマネージメント
- 反省



どういう体制で開発しているの？



開発要素の複雑化、
他プロジェクトとの開発期間の重なり、、
もちろん妥協はできない。

**どうやって中須賀研究室はPRISM開発を
のりきったのか**



学生によるマネージメント

■ 開発環境の整備と開発状況の整理

- 開発体制
- ミーティング体制
- 文章管理
- スケジューリング
- 不具合管理☆
- 要素依存ダイアグラム☆
- 新人研修

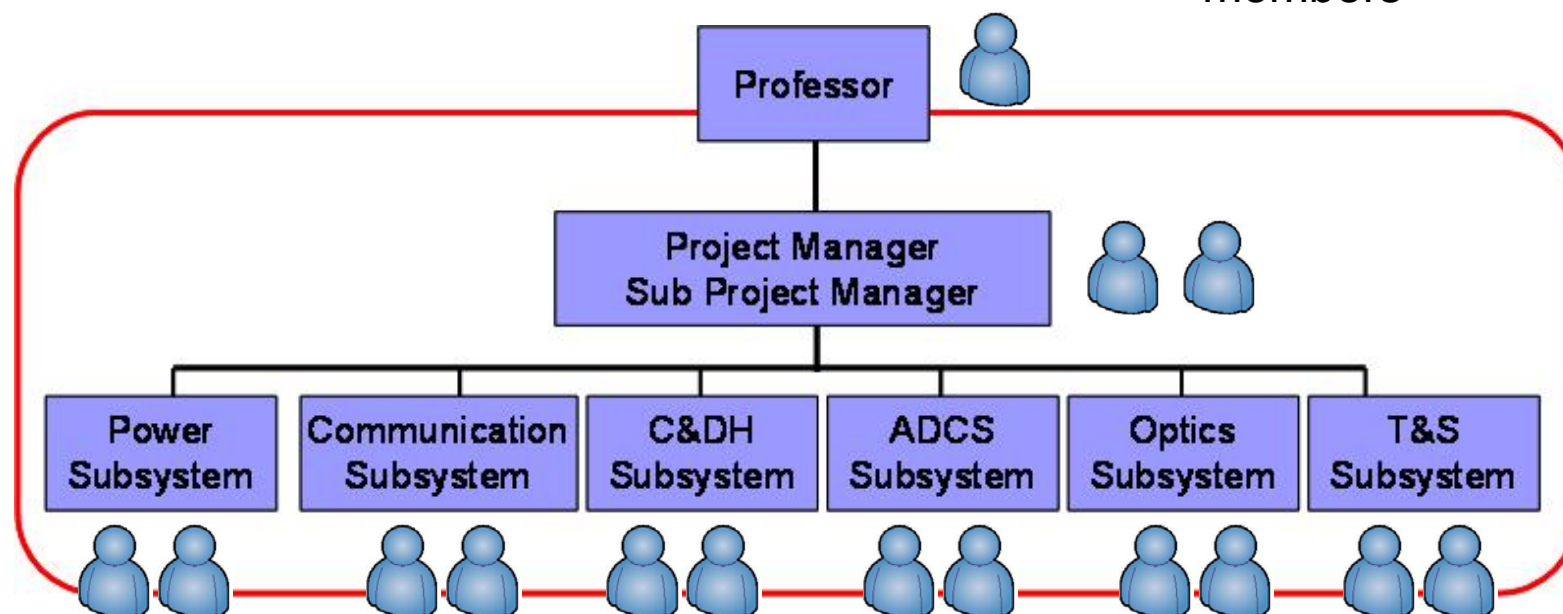
☆マークがついているのは、
特に力を注いだ部分

開発体制

- 教授を除き、全員学生
- 約15名の学生が従事
- 6つのサブシステム

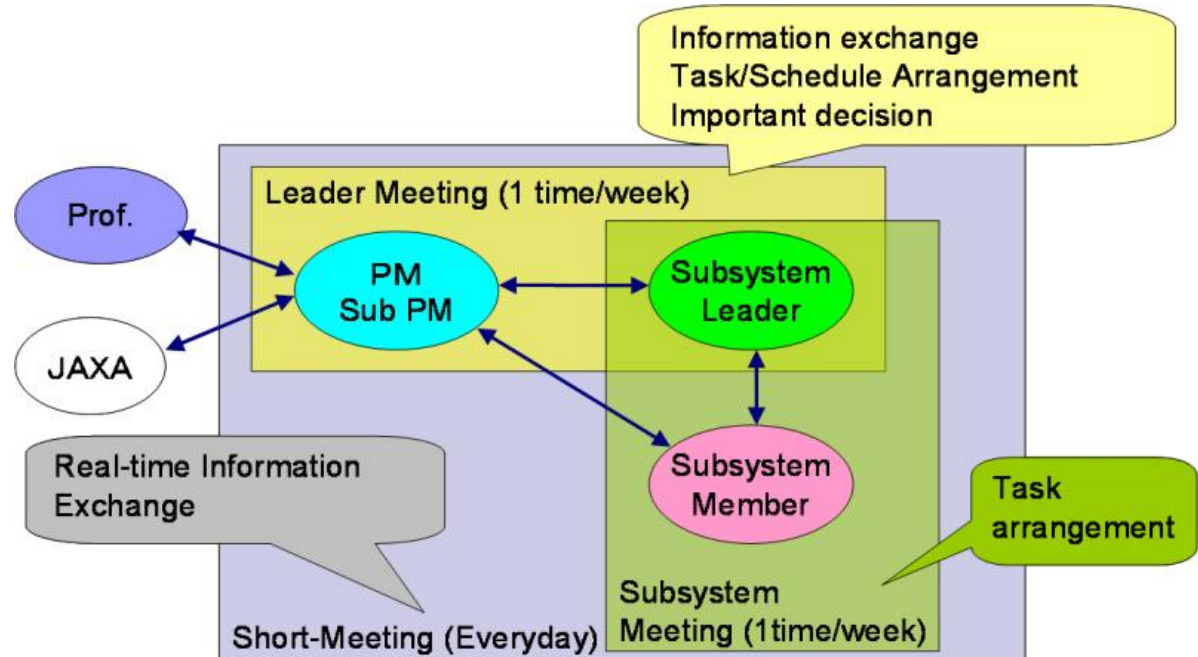


members



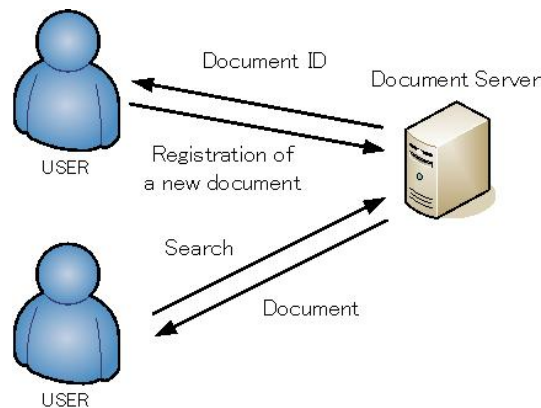
ミーティング体制

- プロジェクトでは情報交換が重要
- 小型プロジェクトではミーティングが最も有効
- 開発を円滑にするために3つに分化する
 - リーダーMTG
 - サブシステムMTG
 - デイリーMTG

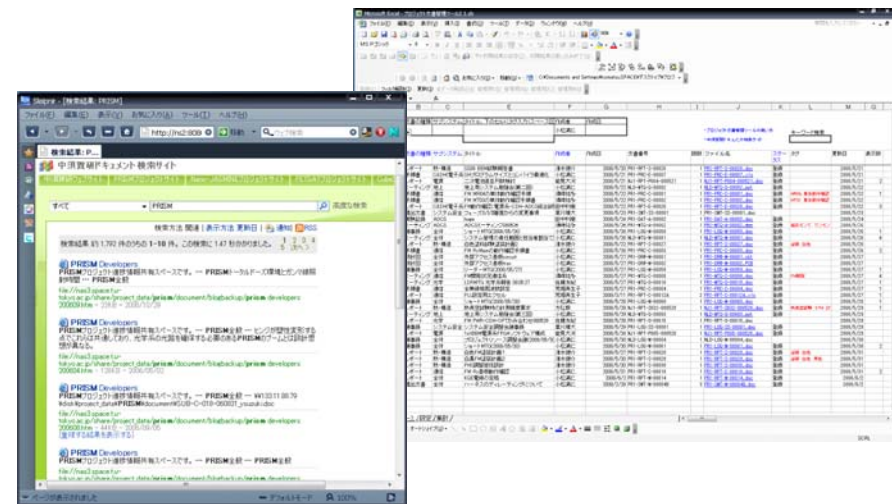


文章管理

- 学生の顔ぶれは2~3年周期で変動
- 情報や技術の継承は非常に重要な問題
- 文章による継承、継承を促進する環境作り
 - 文章のID管理サーバー
 - 文章検索システム



文章管理システム



文章管理ソフトウェア
(MS Excel VBA appli & MS SharePoint Server)

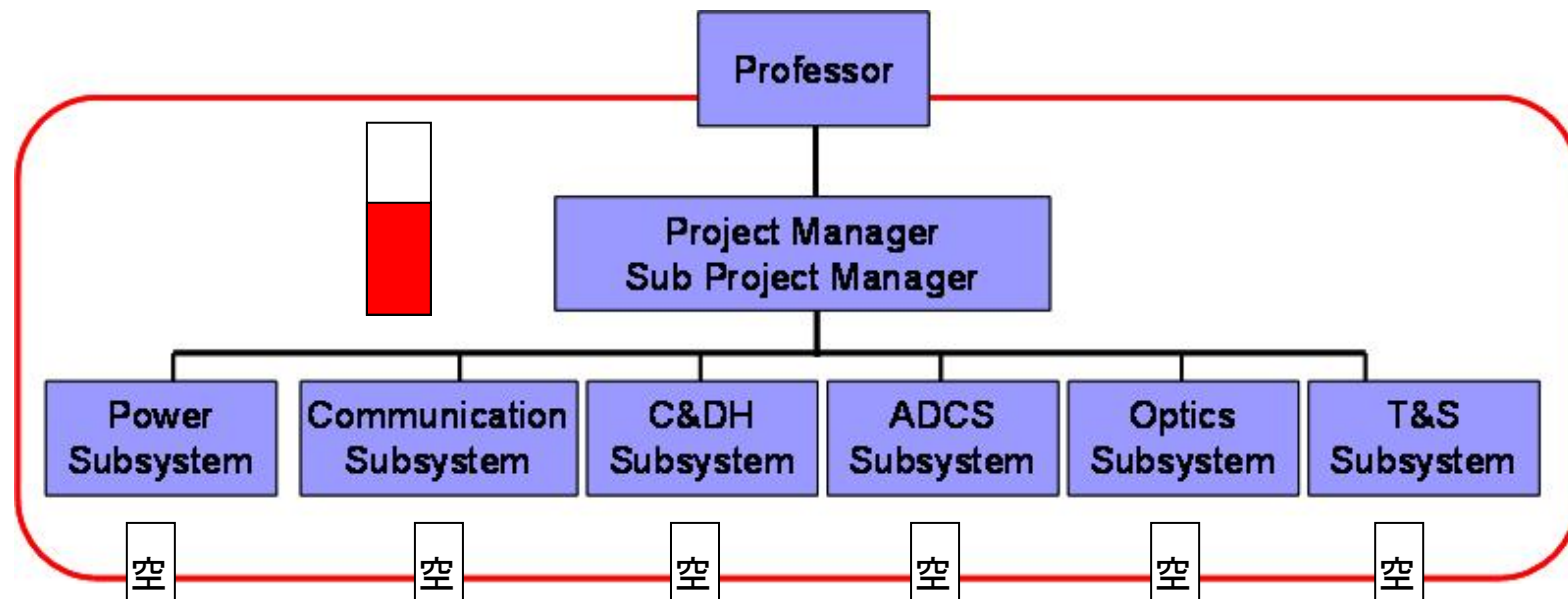


スケジューリング

- スケジュールはマネージメントする
- スケジュールを遅らせるのは想定外の発生
- 想定外の発生はマージンでカバーする
- ではマージンはだれが持つの？
- マージンを管理する意識

PRISMでの例

- サブシステムはマージンを持たない意識
- プロジェクトマネージャーに全バッファを集合



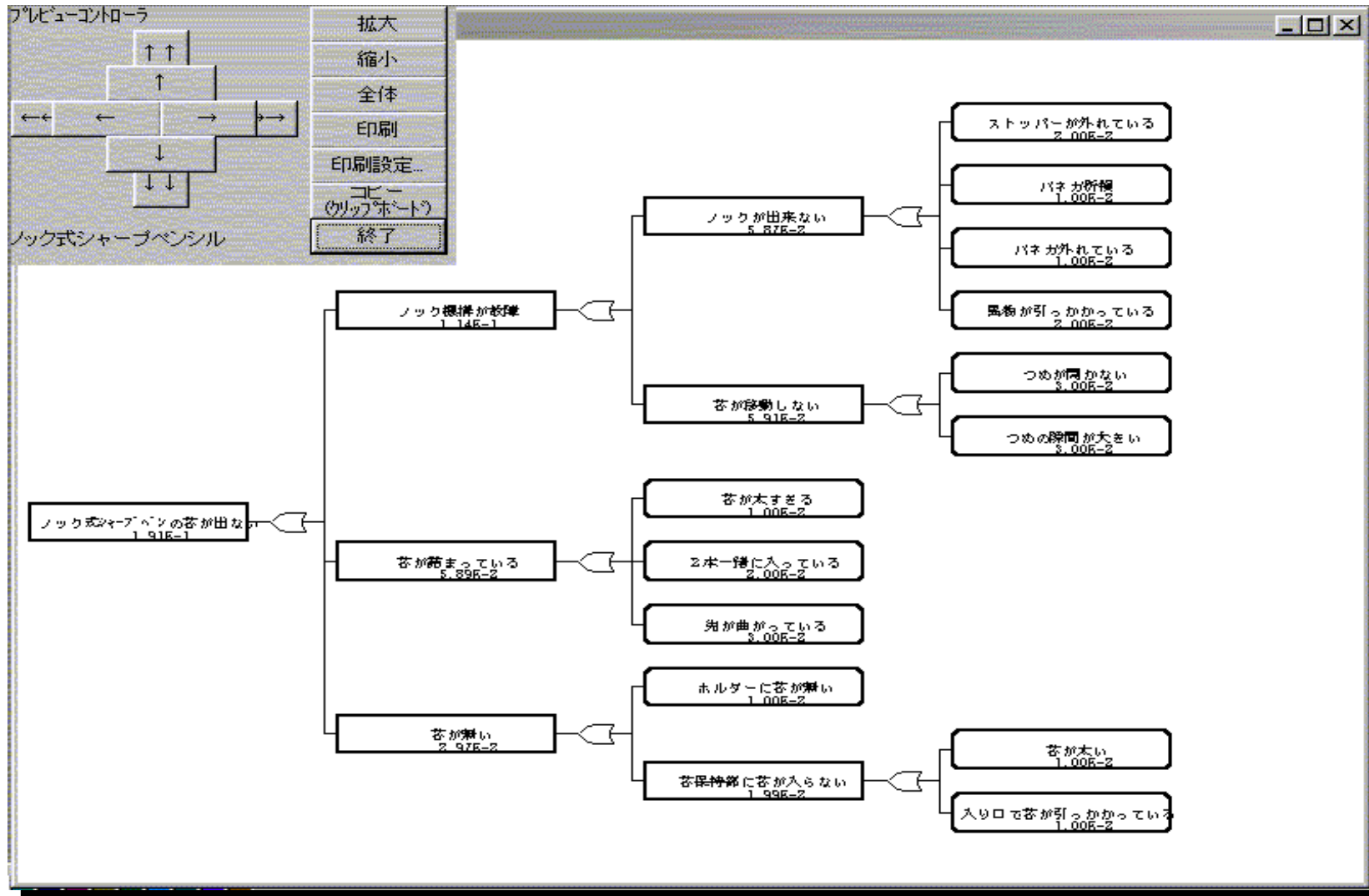
不具合管理

- システムの複雑化に伴い不具合も複雑化
- より解析的な思考の必要性
 - FTA作成の徹底(次ページ)
- 徹底した不具合管理
 - 不具合報告をリスト化して管理(次々ページ)

複数の系が絡んでいて原因が分からないな～。



Fault Tree Analysis



不具合リスト(拡大)

| | A | B | C | D | |
|----|------------|------------------|-------|---|---------------------|
| 1 | 文書ID | PR1-RPT-M-08001C | | | |
| 2 | 最終更新者 | 小松 | | | |
| 3 | 最終更新日 | 2008/2/25 | | | |
| 4 | 発生日 | 試験内容 | 報告者 | 現象 | 不具合の原因 |
| 5 | 2008/1/24 | 長期運用試験 | | c-p-g-mdnのダウンリンクが来ない(r-f-p-mdnが電源系から出ていないらしい) | |
| 6 | 2008/1/20 | 長期運用試験 | 須崎 | 磁気トルクで過電流 | |
| 7 | 2008/1/15 | 長期運用試験 | 佐藤 | SHが高速に初期化メッセージを繰り返して吐いている | 外部アクセス基板設計ミス |
| 8 | 2008/1/17 | 長期運用試験 | 佐藤 | SHがフリーズしており、一切の通信ができない | 外部アクセス基板設計ミス |
| 9 | 2008/1/13 | 長期運用試験 | 千蔵 | E5が切れていると、センサデータ値が異常になる | |
| 10 | 2008/??/?? | 長期運用試験 | 小松、千蔵 | P-E5をOFFにすると、各種センサの電源がそこに流れ込む | 回路の設計ミス |
| 11 | 2008/1/17 | 長期運用試験 | 田中 | テレメトリにかかれぬデータがある | ソフトウェアの設計ミス |
| 12 | 2008/1/24 | 長期運用試験 | 田中 | SHシリアル基板のLEDがOFFになり通信ができない | ラインの接続ミス |
| 13 | 2008/1/24 | 長期運用試験 | 田中 | 電源系シリアルからコマンドが送れない | ラインの接続ミス |
| 14 | 2008/1/23 | 長期運用試験 | 三川 | ブームON時間が長すぎて、煙があがった | |
| 15 | 2008/1/19 | 長期運用試験 | 小松 | CAN基板シリアル通信ラインがフリーズ | CAN基板が壊れた |
| 16 | 2008/1/15 | 長期運用試験 | 三川 | ADCSモード遷移コマンドの後で、時々SHの応答が止まる | CANメッセージにゴミがのる。エラーが |
| 17 | 2008/2/6 | 真空試験 | 小松 | CANで12byteのメッセージを8回受信すると9回目で失敗する | エラーが起こる原因自体は未特定。 |
| 18 | 2008/2/6 | 真空試験 | 清水 | たまにCANがとまる | |
| 19 | 2008/2/6 | 真空試験 | 清水 | SHに書き込めなくなる | |
| 20 | 2008/1/22 | 長期運用試験 | 草川 | ADCSコマンド途中でSHが停止 | 暫定的な処置は行ったが、エラーが起 |
| 21 | 2008/1/23 | 長期運用試験 | 三川 | ADCSコマンド途中でSHが停止 | 暫定的な処置は行ったが、エラーが起 |
| 22 | 2008/2/6 | 真空試験 | 清水 | AD変換値がたまにこぶ | |
| 23 | 2008/2/6 | 真空試験 | 清水 | WAC撮影コマンドで撮影せず。WACが故障しそれ以後動かなくなった。 | |
| 24 | 2008/1/18 | 長期運用試験 | 田中 | WAC撮影コマンドで処理が止まり、しばらくするとSHがリセットされる | |
| 25 | 2008/1/22 | 長期運用試験 | 草川 | WAC撮影コマンドでSHがリセットされる。付随現象として、電源系にて以下が検出される ・電池電圧異常 ・E3.3で過電流 同時にDBAT供給源で過電流が発生 | |
| 26 | 2008/1/19 | 長期運用試験 | 小松 | -Y面温度計が異常? | ? |
| 27 | - | 長期運用試験 | 小松 | 磁気トルク断線 | |
| 28 | 2008/1/16 | 長期運用試験 | 草川 | RxMIに対しalvコマンドをうっても返事がない | |
| 29 | 2008/1/15 | 長期運用試験 | - | 解析データから0x0dが消えた | |

komatsu:
原則として08/02/E以前
に設定してあること

不具合リスト(拡大)

| 3 | | | | | | | |
|----|---------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| 4 | 不具合の原因 | 主担当 | 不具合ID | 対策担当者 | 期限日 | 解決/未解決 | 参照ドキュメント |
| 5 | | ??? | X0001 | | | 解決 | PR1-RPT-E-08016 |
| 6 | | ADCS系 | A0001 | | | 未解決 | |
| 7 | 外部アクセス基板設計ミス | CDH系 | C0001 | 小松 | | 解決 | PR1-RPT-E-08002 |
| 8 | 外部アクセス基板設計ミス | CDH系 | C0001 | 小松 | | 解決 | PR1-RPT-E-08002 |
| 9 | | CDH系 | C0007 | | | 解決 | |
| 10 | 回路の設計ミス | CDH系 | C0007 | 田中 | | 解決 | |
| 11 | ソフトウェアの設計ミス | CDH系 | C0008 | ゆ | | 解決 | PR1-RPT-E-08007A |
| 12 | ラインの接続ミス | CDH系 | C000B | 田中 | | 解決 | PR1-RPT-E-08012A |
| 13 | ラインの接続ミス | CDH系 | C000C | 田中 | | 解決 | PR1-RPT-E-08011A |
| 14 | | CDH系 | C000E | 小松 | | 解決 | |
| 15 | CAN基板が壊れた | CDH系 | C000D | 小松 | | 解決、再設計で対応 | PR1-RPT-E-08015 |
| 16 | CANメッセージにゴミがのる。エラーが起こる原因自体は未特定。 | CDH系 | C0002 | 小松 | | 解決、ソフトで対応 | PR1-RPT-E-08014A |
| 17 | エラーが起こる原因自体は未特定。 | CDH系 | C0013 | 小松 | | 解決、ソフトで対応 | PR1-RPT-E-08016 |
| 18 | | CDH系 | C0010 | 小松 | | 継続して様子見 | PR1-RPT-E-08019A |
| 19 | | CDH系 | C0012 | 小松 | | 継続して様子見 | PR1-RPT-E-08018A |
| 20 | 暫定的な処置は行ったが、エラーが起こる原因自体は未特定。 | CDH系 | C000A | 田中 | | 未解決 | PR1-RPT-E-08010B |
| 21 | 暫定的な処置は行ったが、エラーが起こる原因自体は未特定。 | CDH系 | C000A | 田中 | | 未解決 | PR1-RPT-E-08010B |
| 22 | | CDH系 | C0011 | 小松 | | 未解決 | PR1-RPT-E-08017 |
| 23 | | 光学系 | O0001 | 佐藤 | | 未解決 | |
| 24 | | 構造系 | S0002 | 草川 | 2008/2/20 | 解決 | (PR1-RPT-E-08003) |
| 25 | | 構造系 | S0002 | 草川 | 2008/2/20 | 解決 | (PR1-RPT-E-08005A) |
| 26 | ? | 構造系 | S0003 | 電源系に移管→三川 | | 未解決 | |
| 27 | | 構造系 | S0004 | 草川 | | 未解決 | |
| 28 | | 通信系 | R0002 | | | 解決 | PR1-RPT-C-08006 |
| 29 | | 通信系 | T0001 | | | 解決 | |
| 30 | | 通信系 | R0003 | | | 未解決 | |
| 31 | | 通信系 | T0003 | | | 未解決 | |

不具合報告書

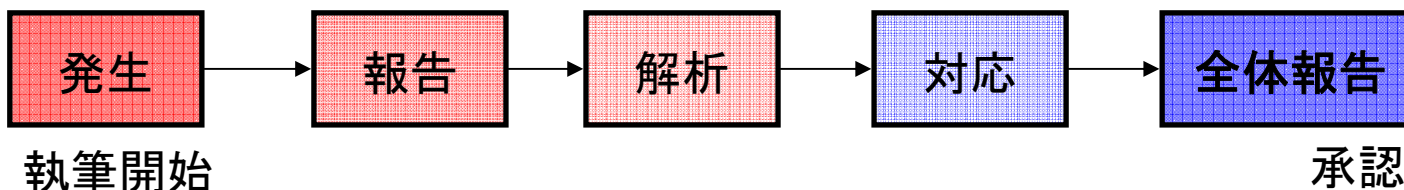
| | | | |
|---|--|---------------|-----------------|
| PR1-RPT-E-08002 | | CDH 系 | |
| Title | | Date | 08/01/17 |
| 運用試験不具合事項 ID=C0001 外部アクセス基板及び PCTOSH | | Author | 小松 |
| Keywords | | No. | 1/3 |
| Relation | | | |

1. 概要

長期運用試験で発生した不具合一つ一つにIDを与え、その原因究明及び対策立案・実施までを本文書にて管理する。

3.8. 解決策

- 2ndEM試験においては、外部アクセス基板以外のレベルコンバータを用いてシリアル通信を行い、かつこのレベルコンバータの電源は、SHがONの状態でしかONしては



不具合の管理

- 解析的思考の徹底

- 手間はかかるがトータルでは効率的

- 不具合管理

- FMフェーズで起きた問題への対応がスムーズ

- 見逃したバグは再発するので必ずつぶす



要素依存ダイヤグラム

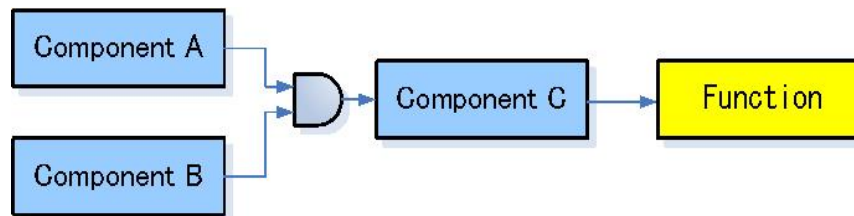
- 小型衛星ではリソースが限られており、多くの矛盾が発生する
 - 体積,重量,電力,コスト etc...
- 開発期間内に必ず完成させないといけない
- この問題を解決するために「要素依存ダイヤグラム」を開発

どっから開発していけばいいのだろう。。。



要素依存ダイヤグラムとは

- 各要素の依存関係を視覚的に記述

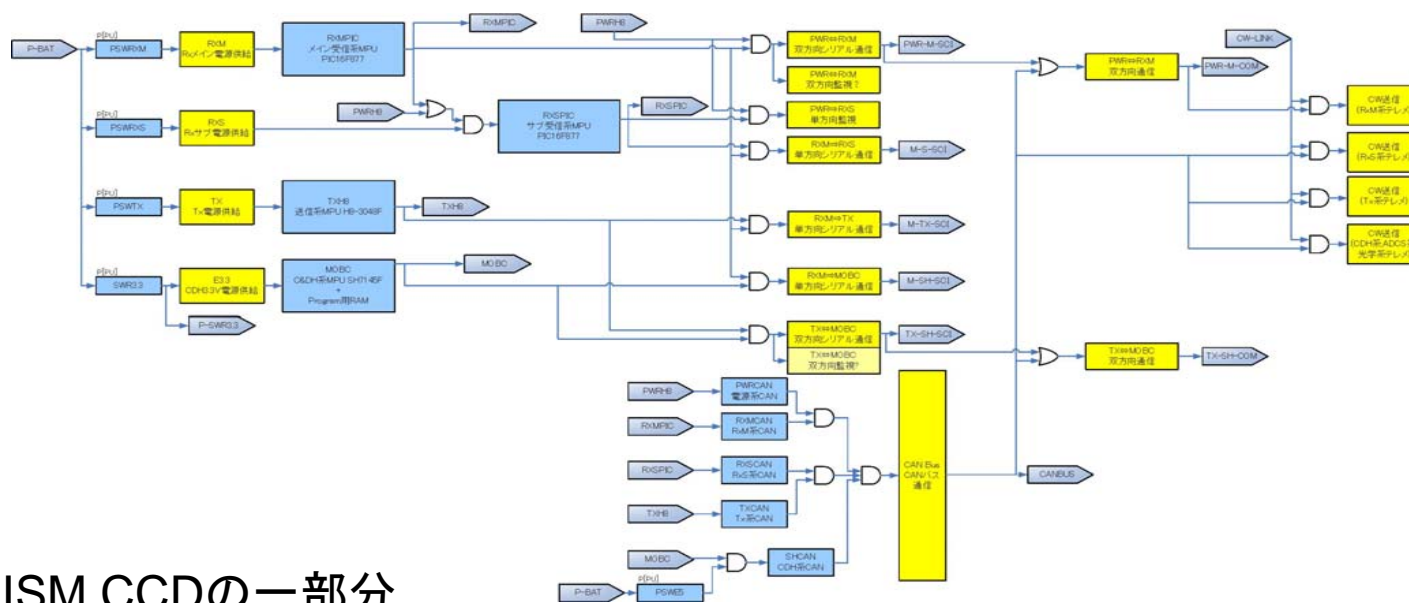


CCDの例

要素Aと要素Bが動かない限り要素Cが動かない
→ 開発の観点から、AとBはCより優先順位が高い

要素依存ダイヤグラムとは

- 衛星全体に適用し
- システムの全容をロジカルに把握



PRISM CCDの一部

要素依存ダイヤグラムの効果

- 要素間の関係、優先順位が確認できる
 - 開発の優先順位を間違えない
 - 統合試験の適切なスケジューリング



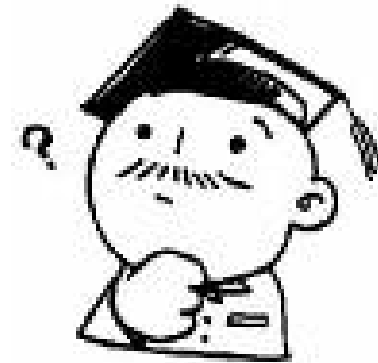


新人研修

- 中須賀研に入れるのは学部4年生から
- ここ二年間は中須賀研の活動に興味がある人を対象に、学部2,3年生に対して新人研修を実行
- 技術ももちろんだが、プロジェクトに入っても考えられる人材の育成を目的に、短期プロジェクト(マイコンを用いた機械の製作)を実践してもらっている

Contents

- PRISMプロジェクト概要
- ミッション定義
- システム概要
- 開発状況
- 学生によるマネージメント
- 反省



開発してみてどう
だった？



開発していて反省点、これから

- まだ打ちあがっていませんが、
 - モジュール化
 - 新規開発への転用には疑問だが、開発の柔軟性有
 - CPU複数配置
 - LOWスペックマイコンでは姿勢制御で必要だろう
 - 各CPUのON/OFFによる効果
 - スケジュール管理
 - やはり遅延。マージンを持つ人を意識するべき。
 - 不具合管理
 - FMでもバグが発生。見逃したバグは再発。必須。
 - 取得する画像のスペクトルの検討
 - たとえば近赤外のスペクトル

WEBサイト

- PRISM Project web site:

<http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/prism/>

- ISSL web site:

<http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/>

- UNISEC GSN (Ground Station Network)
Project web site:


<http://www.unisec.jp/gsn/>





総括

- PRISM は Nano-Scale 規格のリモートセンシング衛星である
- 2009年1月21日打ち上げ予定
- 伸展ブームを用いた光学系を搭載
- より高機能なバスシステム開発
- 学生によるマネージメント
- 次世代の超小型衛星への貢献を目指す



受信協力をお願い

- 1月21日、複数の大学衛星が打ちあがります。
- 地上局を備えている大学の皆さま！
- 同時に打ち上げる大学の皆さま！
- 力を合わせて受信しましょう！！！！
- よろしくお願ひします

m()m



愛称公募のお知らせ

- PRISM衛星の愛称を公募しています。
- 応募にあたっては次の点ご注意ください。
 - ・日本語であること（〇たろう、はなこ etc. × John, Lucy etc.）
 - ・マイナスイメージなものは避ける（ぜつぼう、ついらく、しっぱい etc.）
 - ・公序良俗に反しない、特定の個人・団体等に対する誹謗中傷を含まない
 - ・なるべくミッション（＝地球観測）や外観などをよくあらわしている名前が望ましい
- 良い愛称が思いつきましたら、下記のアドレスまでお知らせください → prism_info@space.t.u-tokyo.ac.jp
- 衛星の名付け親になってみませんか??



ご清聴ありがとうございました

■ HP連絡先

<http://www.space.t.u-tokyo.ac.jp/prism/>

■ 登壇者および研究室連絡先

toshiki@space.t.u-tokyo.ac.jp

prism@space.t.u-tokyo.ac.jp