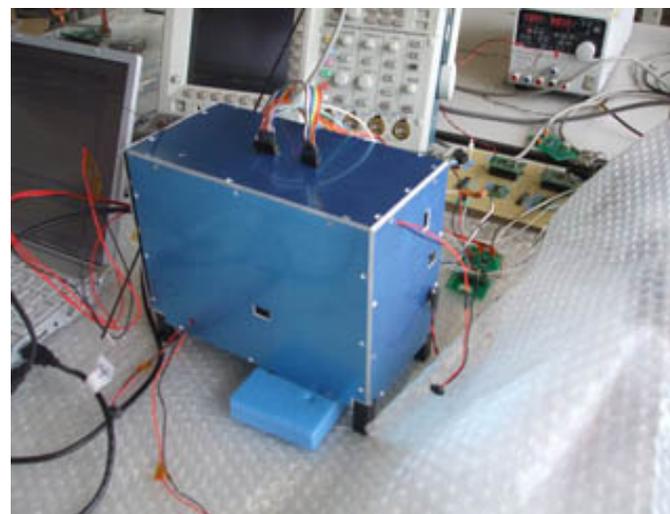
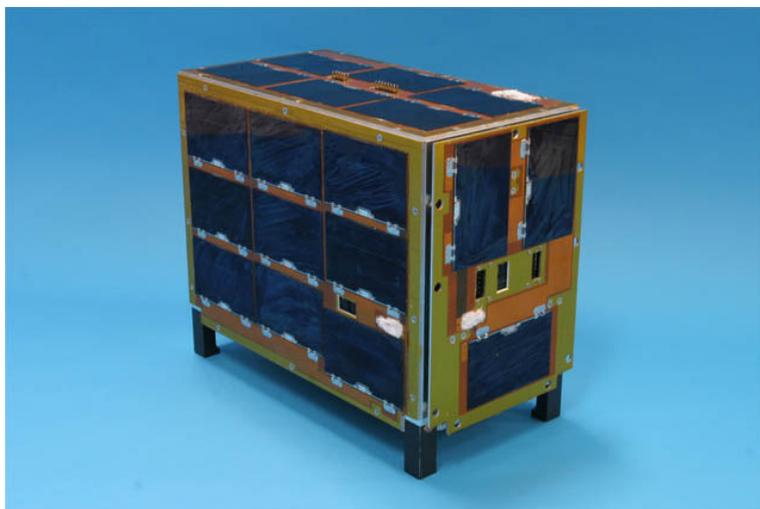


Cute-1.7 + APD IIにおける 姿勢決定・制御系の開発



尾曲邦之、藤原謙、根田康美
前野正樹、芦田宏樹、藤橋幸太、松永三郎
(東京工業大学)

2007.10.30

宇宙科学技術連合講演会(札幌)

本発表の概要

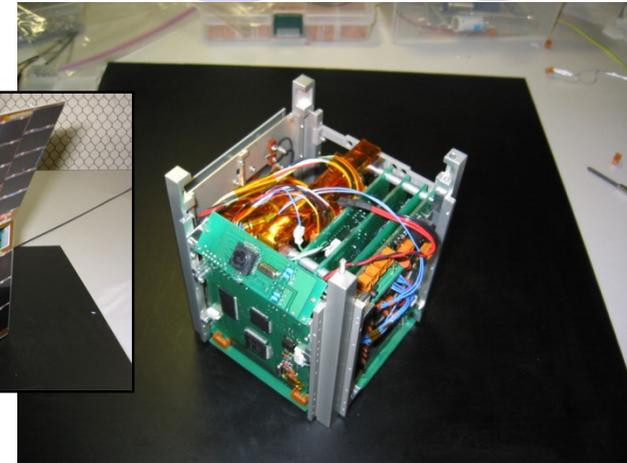
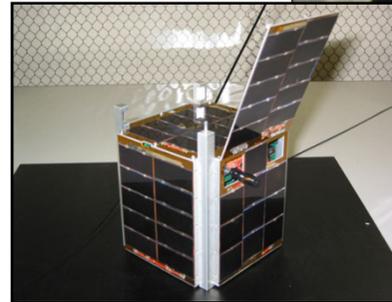
- Cute-1.7 + APDの簡単な紹介
 - PDAを搭載した衛星、ソフトウェアの軌道上更新
 - 姿勢系のミッション紹介
- 姿勢決定システムとアルゴリズム
 - ハードウェアとその精度について
 - アルゴリズムとシミュレータ試験
- 姿勢制御システムとアルゴリズム
 - ごく簡単にまとめ

小型衛星開発

2003/6

CUTE-Iを打ち上げ

- ・10cm立方
- ・1kg
- ・通信とセンサデータの取得に成功



2006/2

CUTE-1.7 + APDを打ち上げ

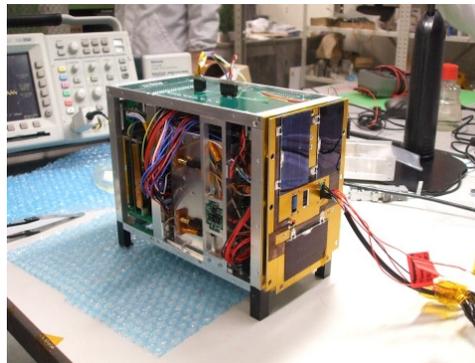
- ・完成品を積極利用とその最小限度の利用（分解、不要部分の除去）
- ・ミッション重視



2008/3/6

Cute-1.7の成功と二号機の開発

- 半分成功、半分失敗
 - PDA → 正常動作
 - マイコン → 三週間後に異常発生、復帰できず
- 二号機の開発 (Cute-1.7+APD II)
 - 不具合箇所の整理と対策
 - ミッションの確実遂行を目標



メインコンピュータ

- 日立PDA NPD-20JWL

- インテルPXA-250 (400MHz)、FPUなし
- Microsoft Windows CE
- SD-RAM 32MB
- SDカード、USBを使用可能

- プログラム

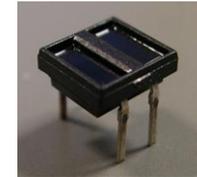
- Main.exeとミッションごとに実行ファイルを持つ。
- すべてのプログラムは軌道上で更新可能。
- プロセスの優先度を用いた安全設計。
- プロセス間通信は、WinSockを利用。



姿勢決定ミッション概要

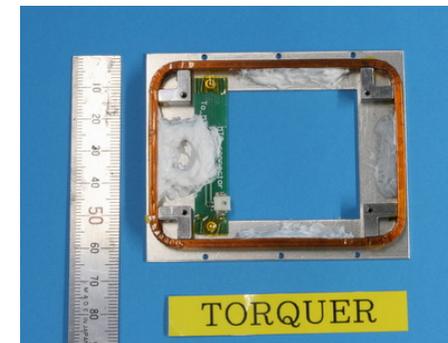
- CubeSatクラスの衛星で、どこまで姿勢を決定できるか

- 小型センサの利用
- 配置方法を工夫
- 共通電源で動作、共通のデータ収集装置
- 高度な姿勢決定アルゴリズム



- CubeSatクラスの衛星で、どこまで姿勢を決定できるか

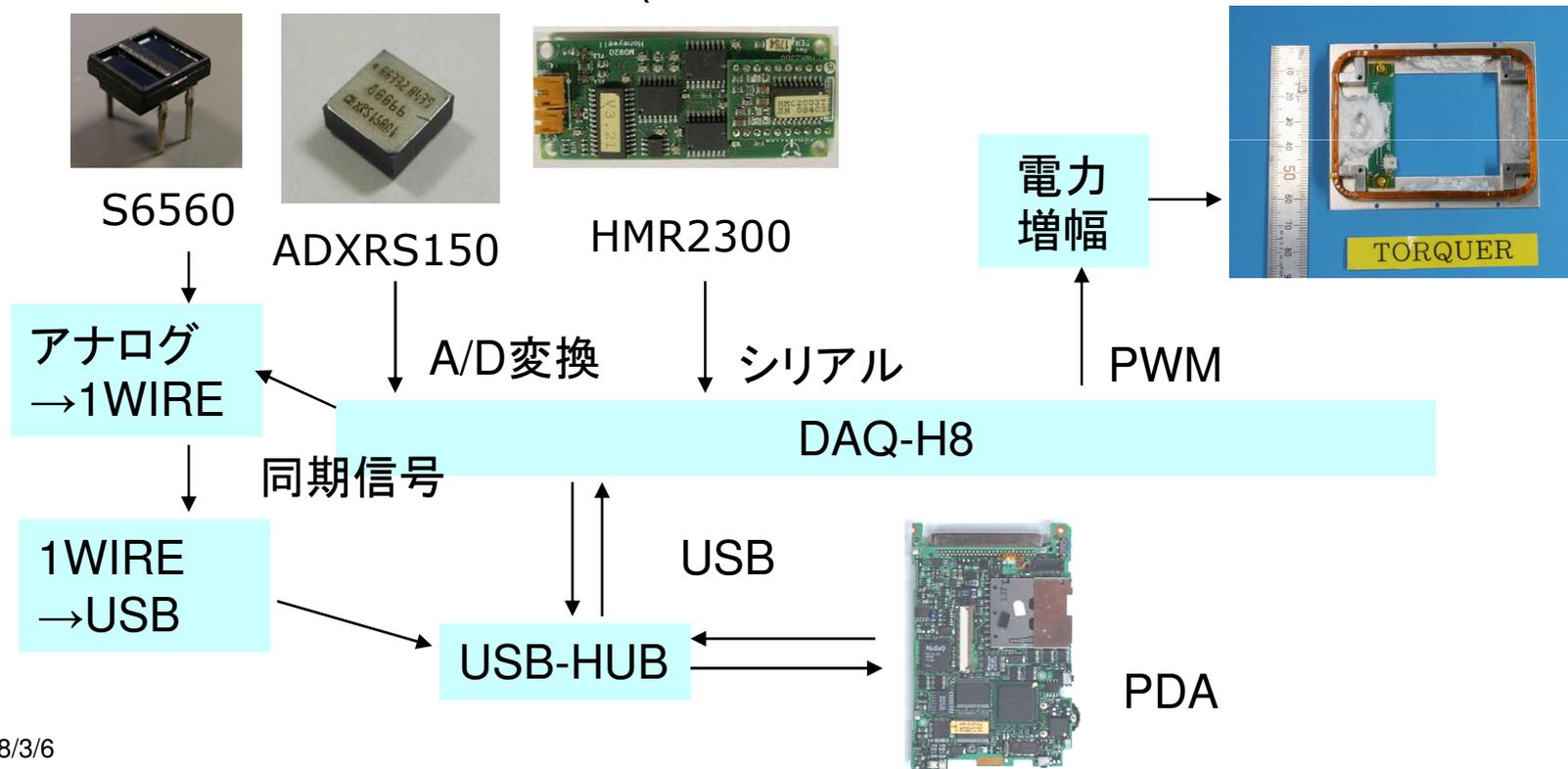
- 磁気トルカのみを利用



姿勢制御・決定系ハードウェア

- 姿勢決定と姿勢制御

- 最小のセンサ・アクチュエータ構成で姿勢を制御する
- オンラインで軌道計算(TLE利用)



ジャイロ

- ADXRS150 (× 三軸)

- ノイズ

- 0.000873 rad/s/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (スペック)

- 0.015 rad/s (実測) → ノイズ帯域 1kHz

- 温度変動は1%以下

- バイアス

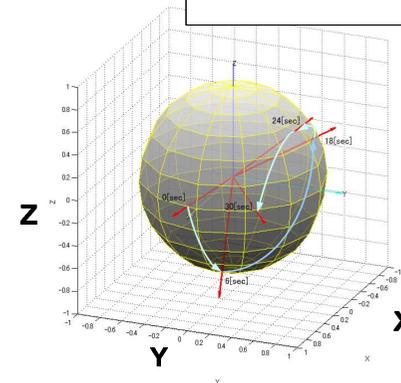
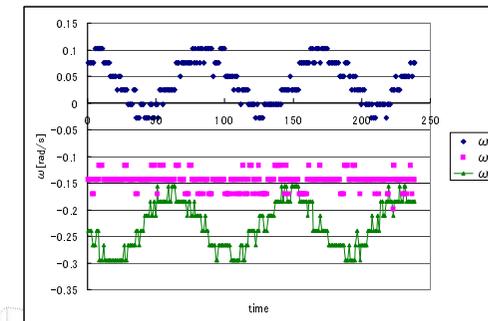
- 大 → どう補正するかが課題

- (EKF)

- Cute-1.7 (一号機の例)

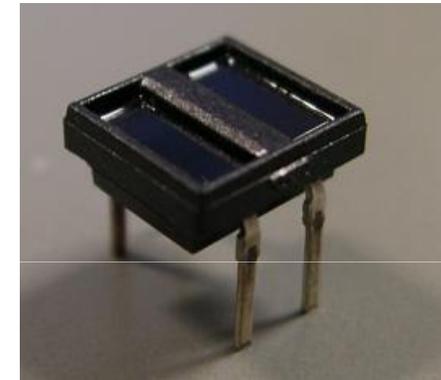
- ニューテーションのみから角速度を推定 → 周期約40s

- 太陽センサ → 周期約30s



太陽センサ

- S6560（5面に配置）
 - 赤外線領域のフォトダイオード（2対）
 - 1素子で1軸の入射角を計測
 - 2組配置で太陽方向を計測
- ノイズ
 - A/D変換後、20mV程度のノイズ
 - 軌道上で最大360 μ w（受光部1.5*1.2 mm²）
 - 電流換算で、180 μ A程度を予想
 - →22k Ω の抵抗で電圧に変換（最大4V）



磁気センサ

- HMR2300 (HMC1001+HMC1002)

- ノイズ

- 標準偏差 $0.02\mu\text{T}$ (実測、PDAオフ時)
- PDAオン時には $0.5\mu\text{T}$ にノイズ増

- バイアス

- 他の機器の影響を大きく受ける
- 増加量にどの程度再現性があるのか測定中
- 全OFF時のバイアスは毎回変動する。(数値)

	X	Y	Z
PDAon	+0.26	+3.59	-1.29

+

	X	Y	Z
TX On	+0.38	+1.93	-1.12

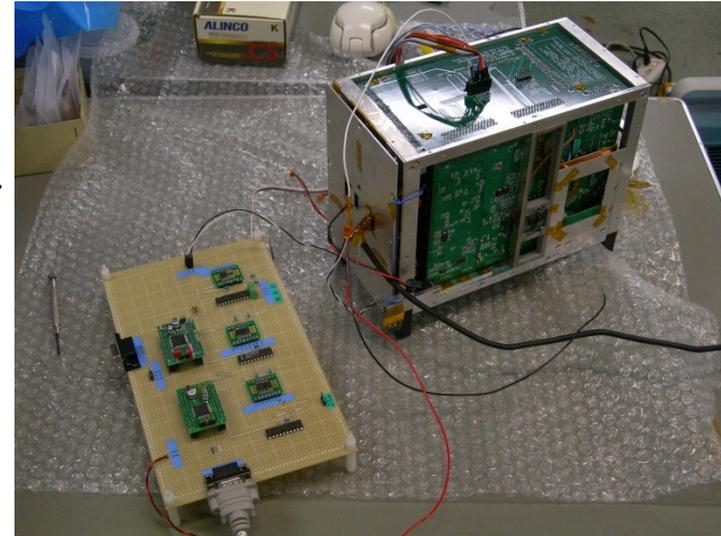
	X	Y	Z
Sum(1+2)	+0.64	+5.52	-2.41

ほぼ=

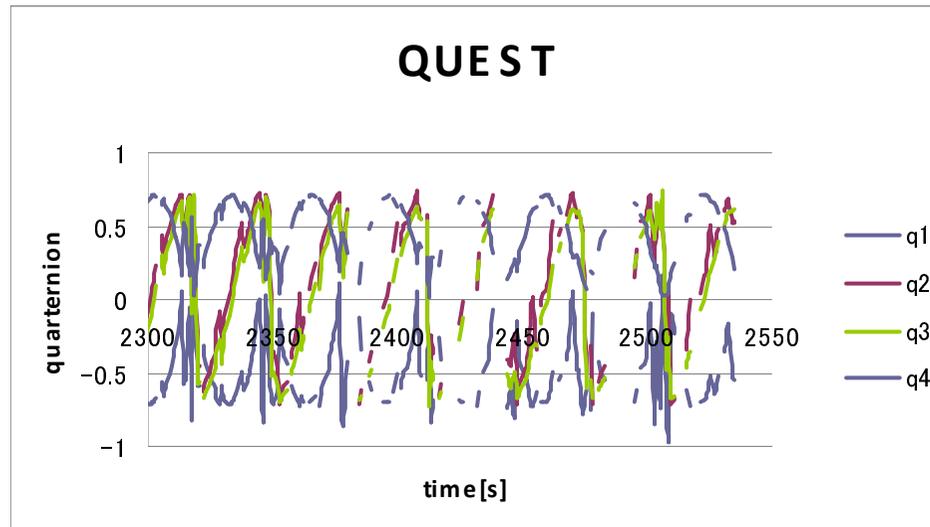
	X	Y	Z
PDA, Tx On	+0.7	+5.53	-2.22

シミュレータ実験

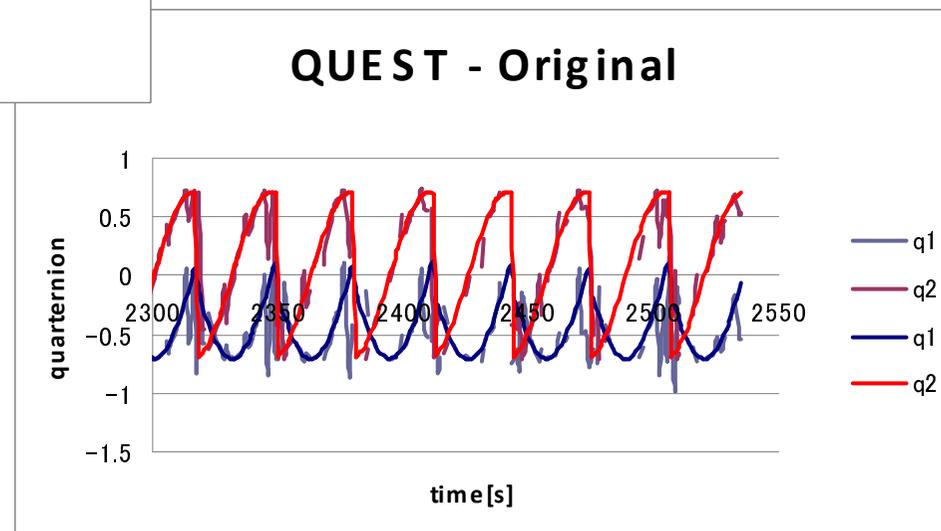
- 軌道シミュレータを開発
 - MATLABで軌道計算を行い、取得できるセンサデータを出力。
 - 衛星が取得する形に変換し、実際にPDAが姿勢を決定。
 - 磁気トルカを駆動した場合、電流センサの値をMATLABに入力し、姿勢の計算に反映させる。
 - 誤差は量子化誤差のみ(D/A8ビット)



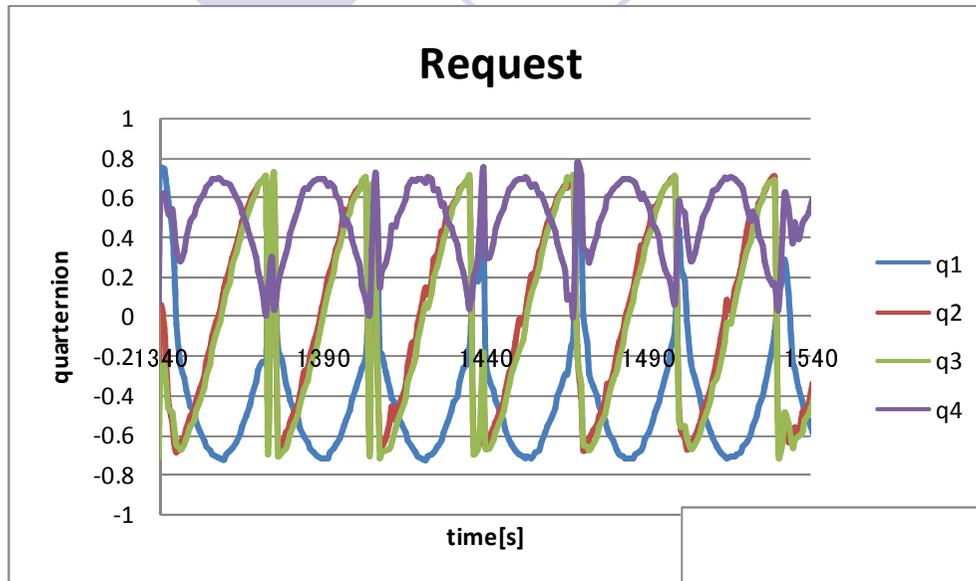
QUEST法



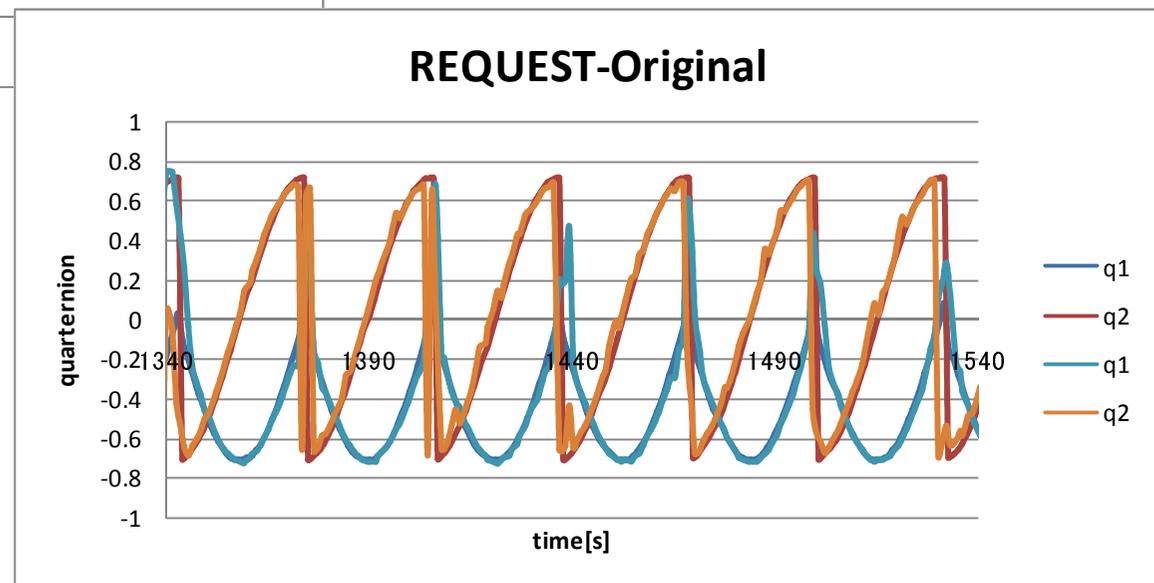
プログラム未完成のため散発的
誤差は大きいが理論曲線の上
のってきている。



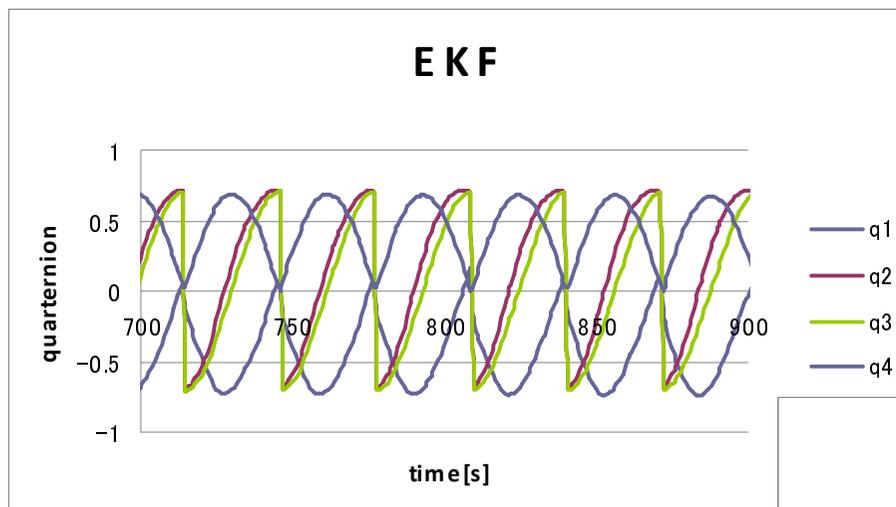
REQUEST法



かなり滑らかに推移
あきらかにQUESTの問題点を克服できている。



拡張カルマンフィルタ

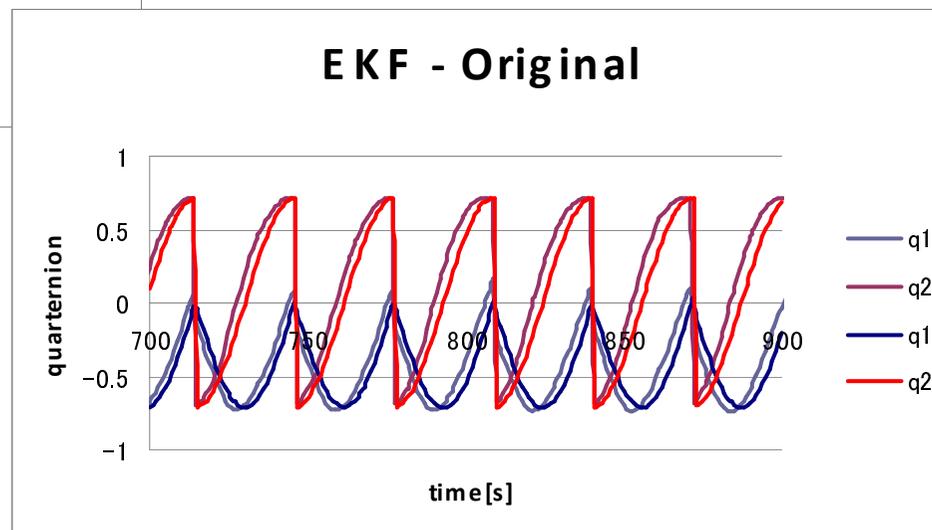


計算データに若干の遅れがみられる。(ただし時刻同期に問題か?)

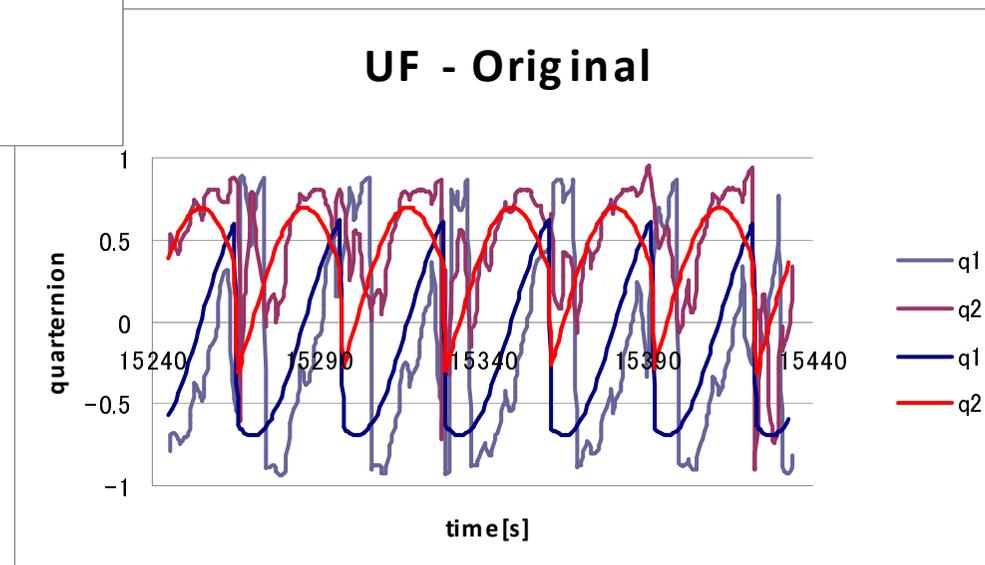
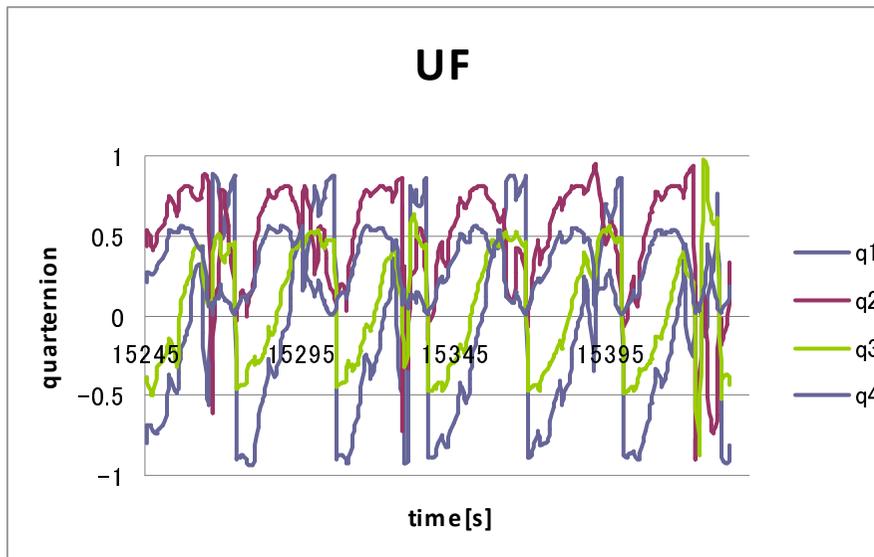
σ は、

ジャイロ 0.015、 0.0

太陽センサ0.35、磁気センサ0.027



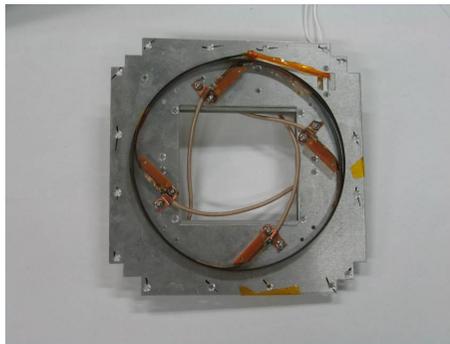
Unscented Filter, (SPKF)



プログラム未調整
今後改良が必要

磁気トルカ

- 東工大が設計（製作を外注）
 - 大きさ、スペック
 - 東海大学・JAXA宇宙研の協力で磁気試験を実施
 - 出力 0.12 Am²
 - PWM駆動、電流センサ搭載

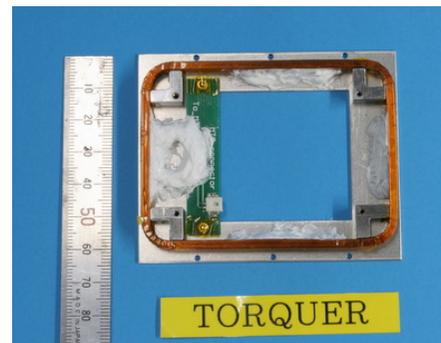


アンテナ

0.07Am²



0.008 Am²



MTQ

0.03 Am²



0.12 Am²

磁気トルカ駆動則

- Bドット則のみ搭載

- 目標角速度 0.02 rad/s

- 姿勢制御評価は写真撮影による

- CMOSカメラを搭載し、地球などの画像情報と比較
- クォータニオン判定で自動シャッター
- カメラ性能
 - 最大解像度: 640 * 512
 - 連射機能: 15fps
 - 視野角: 52度程度
 - JPG形式、サムネイル生成



まとめ

- CubeSatクラスでの姿勢決定・制御実験
- 小型、省スペースのセンサ配置
- 姿勢決定アルゴリズムを比較検証
- 小型磁気トルカを開発し、レートダンピング
- 搭載プログラムはWindows向け、軌道上で更新も可能。