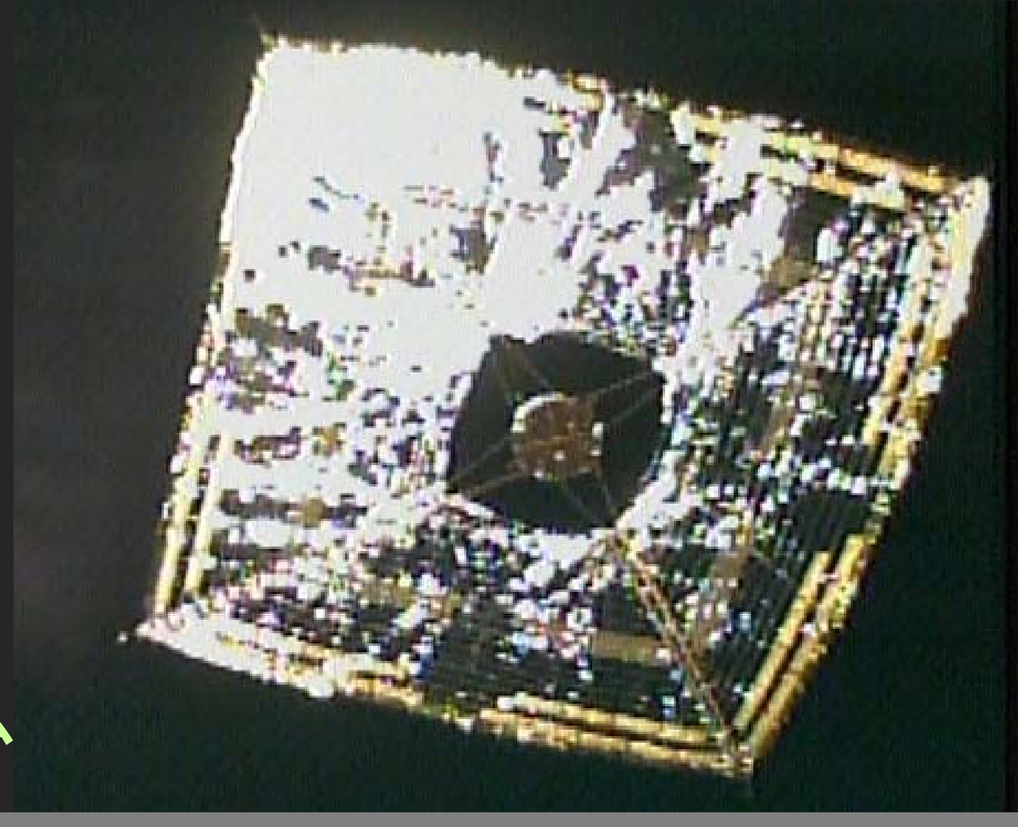
P1-074

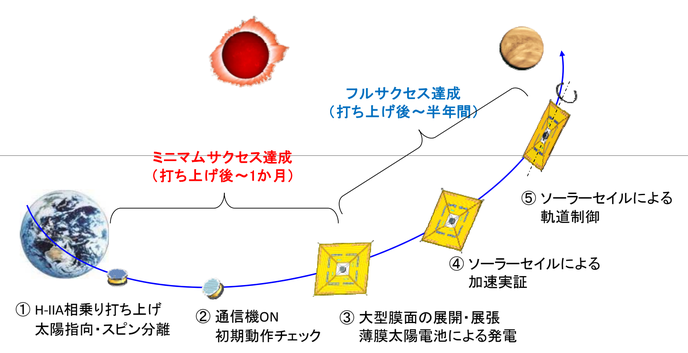
IKAROSの光圧加速実証について

佐伯 孝尚, 津田 雄一, 船瀬 龍, 中宮賢樹,
池田 人, 山口 智宏, 三桝 裕也, 石橋 史朗,
谷口 正, IKAROSデモンストレーションチーム



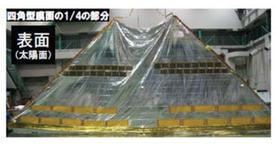
IKAROSのミッションシナリオ

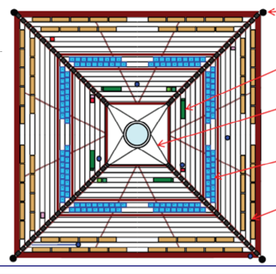
- 6/9に二次展開完了．以後光圧加速の実証フェーズ



IKAROSの膜面

打ち上げ予定		2010/5/18 @種子島宇宙センター
打ち上げロケット		H-IIA
形状	本体	φ1.6m×h0.8m 円筒型
	膜面	φ20m 一辺14m 四角型(展開後)
重量	打上げ時	310kg ※膜面重量含む
	ドライ	290kg
	膜面	15kg ※先端マス4個 2kg含む
軌道		金星遷移軌道
姿勢制御方式		スピン





先端マス:0.5kgのおもりで膜面の展開・展張をサポート
(4個のマスのうち1個に加速度センサ搭載)

ダストカウンタ:圧電素子により宇宙塵を計測する

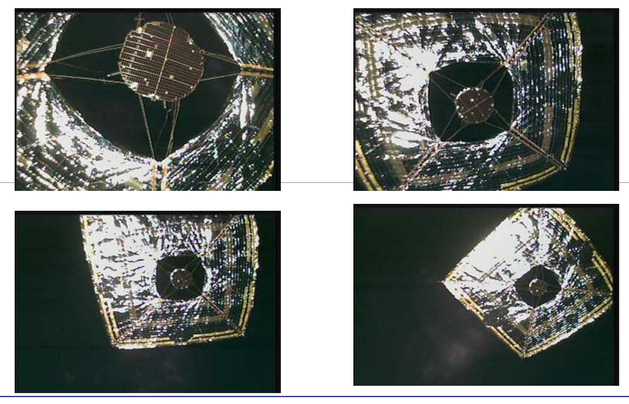
テザー:膜面と本体を結合する

薄膜太陽電池:厚さ25μmのアモルファス・シリコンセル

液晶デバイス:反射率を変更して姿勢制御を行う
(その他，帯電計測パッチ，温度計も搭載)

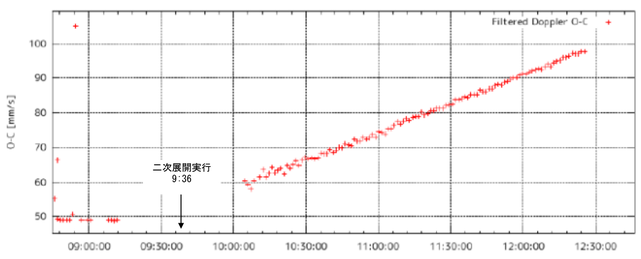
二次展開後のDCAMの写真

- 膜面が完全に展開していることを確認



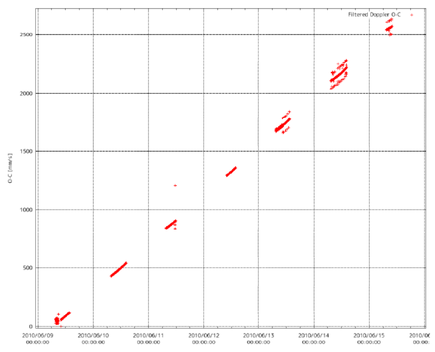
ドップラーによる光圧加速の確認

- 二次展開前後のドップラー O-C
  - 展開前後でO-Cに不連続な変化がみられる
  - → 展開直後から光圧による加速度を受けていることがわかる.



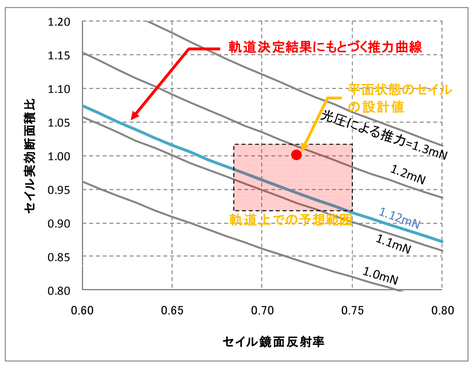
ドップラーによる光圧加速の確認 (2)

- 二次展開後1週間のドップラーO-C
  - 二次展開後継続的に加速していることを確認



展開直後の光圧加速度推定結果

- 光圧加速度推定結果（セイル展開直後）
  - 所定の性能が出ていることを確認



R&RR軌道決定

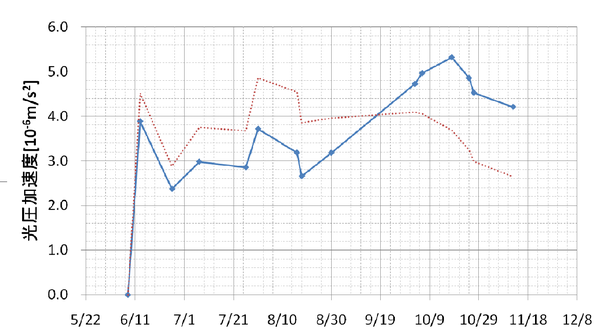
- IKAROSでは，展開後，RCS運用を行わない期間(こースティングアーク)を設け，R&RR軌道決定を実施.
- 2010/12までに約20回の軌道決定作業を実施
- 定常作業として実施している軌道決定は，平板+Small Forceの光圧モデル
- 軌道決定誤差の第一要因は姿勢決定精度

各軌道決定アークのオーバーラップ評価

評価期間	SRP	arc 1 日	arc 2 日	Over Lap 日	位置 km	速度 cm/sec	推定パラメータ	定常決定値との差 位置 km	速度 cm/sec
7月2日～7日	日照	4	4	2	5.73	6.40	G=0.588	8.75	3.47
							G=0.588	13.27	2.96
7月19日～31日	日照	6	6	-1	49.37	33.0	GDT=1.20 -0.972 0.345	14.78	15.8
							GDT=0.89 -0.794 -0.204	11.16	7.30
7月19日～31日	RADS	6	6	-1	38.19	23.9	GDT=0.910 -0.371 0.365	16.67	13.20
							GDT=0.915 -0.941 -2.00	13.34	8.69
7月19日～31日	PADS	6	6	-1	40.57	18.6	GDT=0.817 -0.060 0.531	16.68	13.8
							GDT=0.961 -1.05 -0.373	13.78	9.24
7月26日～31日	日照	4	4	2	16.24	6.69	G=0.553	9.89	9.64
							G=0.554	11.27	10.8
7月26日～31日	PADS	4	4	2	12.72	9.89	G=0.556	12.40	10.9
							G=0.558	10.74	10.04
8月9日～17日	日照	5	5	1	22.53	6.78	GDT= 0.304 0.672 0.120	38.41	5.99
							GDT= 0.546 0.166 0.161	37.62	17.1
8月9日～17日	RADS	5	5	1	12.02	9.07	GDT= 0.194 0.944 0.180	33.13	6.02
							GDT= 0.648 -0.094 0.038	21.56	17.5
9月28日～10月3日	日照	4	4	2	25.14	15.6	G=0.511	15.64	12.6
							G=0.516	14.57	3.54
10月19日～26日	日照	5	4	1	22.35	20.9	GD=0.50 0.23	35.24	8.00
							GD=0.52 0.20	19.42	15.2

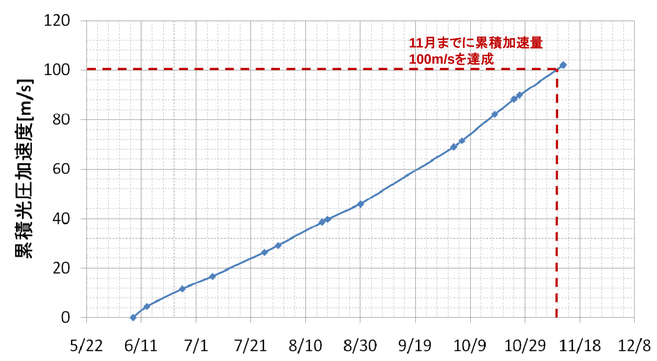
光圧加速度の履歴

- 展開直後からの光圧加速度の履歴



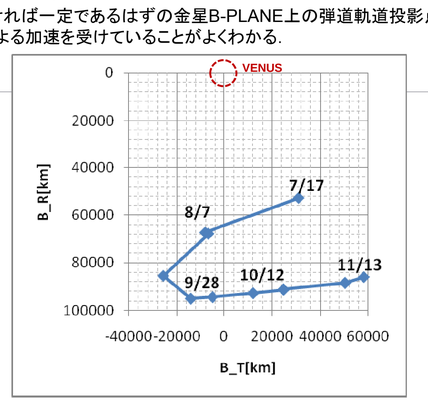
累積光圧加速量

- 累積光圧加速量



金星B-PLANE上の弾道軌道投影点

- 金星B-Plane上の弾道軌道投影点履歴
  - 光圧がなければ一定であるはずの金星B-PLANE上の弾道軌道投影点が移動しており，光圧による加速を受けていることがよくわかる.



光圧パラメータ推定

- R&RRデータから光圧パラメータ並進力パラメータ)を推定．現状，3パラメータ推定まで実施している

光圧パラメータ推定に使用したR&RRデータ区間

Arc	Period	Solar cone angle [deg]	Earth angle [deg]	Mass [kg]
1	6/10 – 6/14	12.5 - 13.1	47 - 49	306.44
2	6/21 – 6/26	13.5 - 15.3	42 - 43	305.35
3	7/2 – 7/7	12.7 - 14.6	48 - 51	304.74
4	7/16 – 7/31	15 – 20 ?	48 – 51 ?	302.82
5	8/7 – 8/18	27 – 32 ?	49 - 51 ?	301.06
6	8/26 – 8/30	26 - ?	61 - ?	299.56
7	9/4 – 9/8	30 - ?	80 - ?	299.53

光圧パラメータ推定(2)

- 光圧パラメータ推定結果例

光圧パラメータ推定結果例

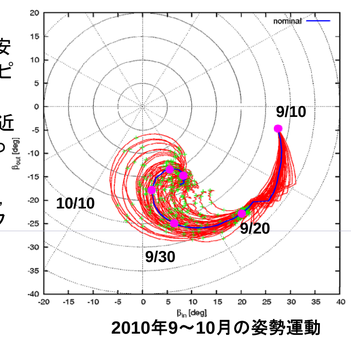
Case	Arc	C_1	C_3	C_5
1	1,2	0.436 (0.051)	-0.609 (0.474)	0.899 (0.237)
2	2,3	0.408 (0.045)	-0.275 (0.350)	0.730 (0.182)
3	1,3	0.415 (0.040)	0.415 (0.437)	0.381 (0.224)
4	1,2,3	0.404 (0.036)	-0.157 (0.334)	0.676 (0.171)

*(Standard deviation) A = 175.74 m²

C1:全反射係数，**C3**:拡散＋輻射係数，**C5**:鏡面反射係数
推定分散を考慮すると，各Arcにおける光学パラメータ推定は consistent.

姿勢ダイナミクスについて

- 姿勢と軌道運動がカップリングするソーラーセイルにおいては，姿勢のダイナミクスを正確に知ることが誘導に不可欠.
- IKAROSは太陽光圧のために，スピン安定化方式の宇宙機ではあるが，そのスピン軸は大きく変動する
- 二次展開後から，スピン軸は太陽方向近くのある平衡点の周りを渦巻運動を行っている.
- 軌道上で観測された姿勢挙動を反映し，IKAROSのために新たな姿勢ダイナミクスモデルを構築した.

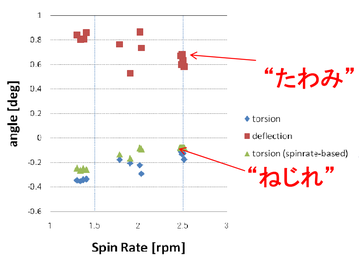


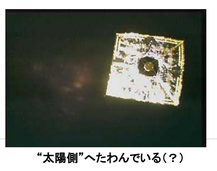
2010年9～10月の姿勢運動

- 赤曲線：光圧トルクモデルによる光圧パラメータ不確定性を加味したモンテカルロシミュレーション
- 青曲線：ノミナル光圧パラメータによるシミュレーション結果
- 紫点：姿勢実績

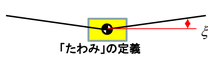
姿勢ダイナミクスによるセイル形状推定

- 姿勢ダイナミクスから逆算したセイル形状推定からは，太陽側へたわみ，かつスピン軸周りにねじれていることが示唆されている.





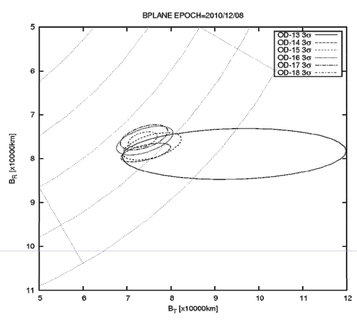
"太陽側"へたわんでいる(？)



「たわみ」の定義

誘導について

- IKAROSは特定のターゲットに対する誘導は行ってはいないが，仮想的なターゲットへの誘導を模擬的に実施してデータを収集している.
- 12/8の金星最接近時の金星B-Plane上での通過点を，太陽光圧により制御する実験を実施中．特定のB-Plane上の点を通過するべく，主としてスピンレートを制御してセイル姿勢履歴を制御している.
- 金星接近直前には，運用割り当ての関係上，軌道決定精度が十分確保できていない現状だが，誤差楕円は順調に(同心円的に)小さくなっている.



金星B-PLANE上の誤差楕円