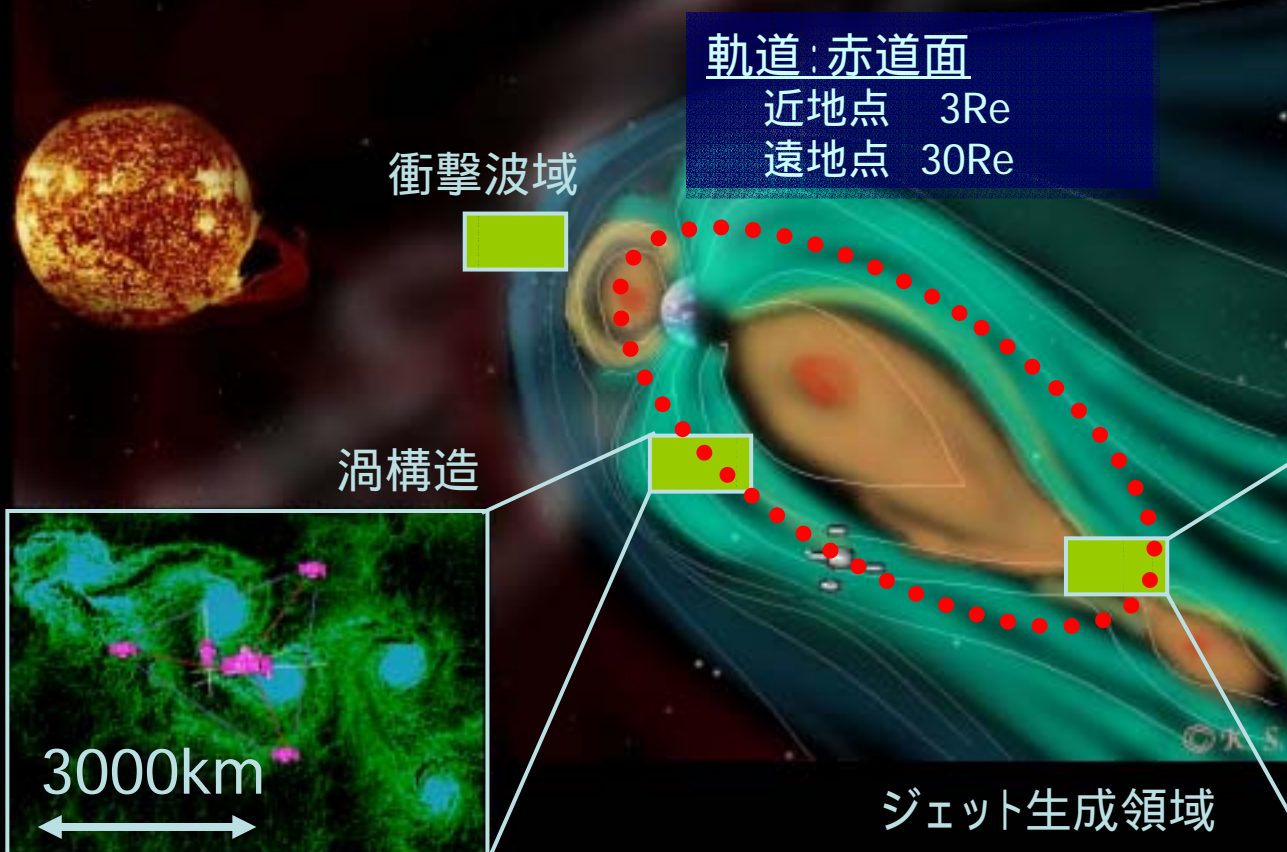


SCOPE-戦略

地球磁気圏のキー領域へ“編隊”を投入し、

高い分解能で“**時空**”を分離する！



親・子1+3の5機編隊
Spin軸: 軌道面垂直



<子/近> 数10km
<子/遠> 数1000km(可変)

SCOPE-軌道

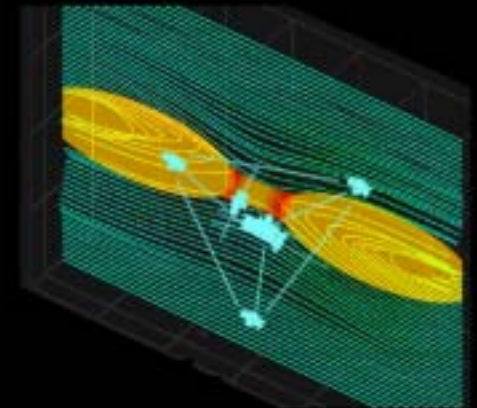
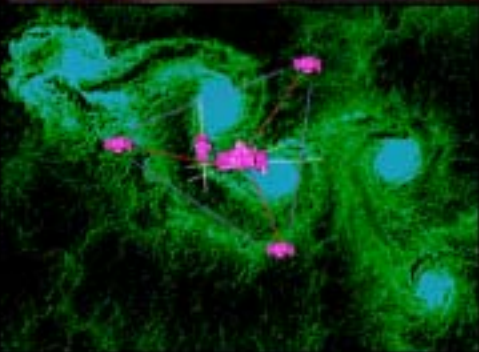
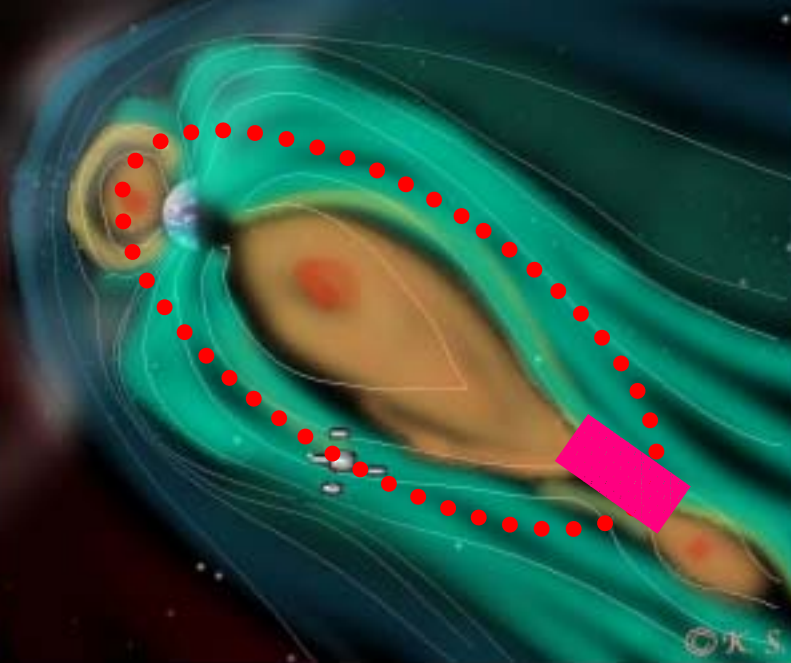
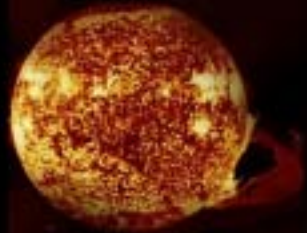
・観測軌道： $3 \times 30R_e$

遠地点が太陽反対方向にあるときに

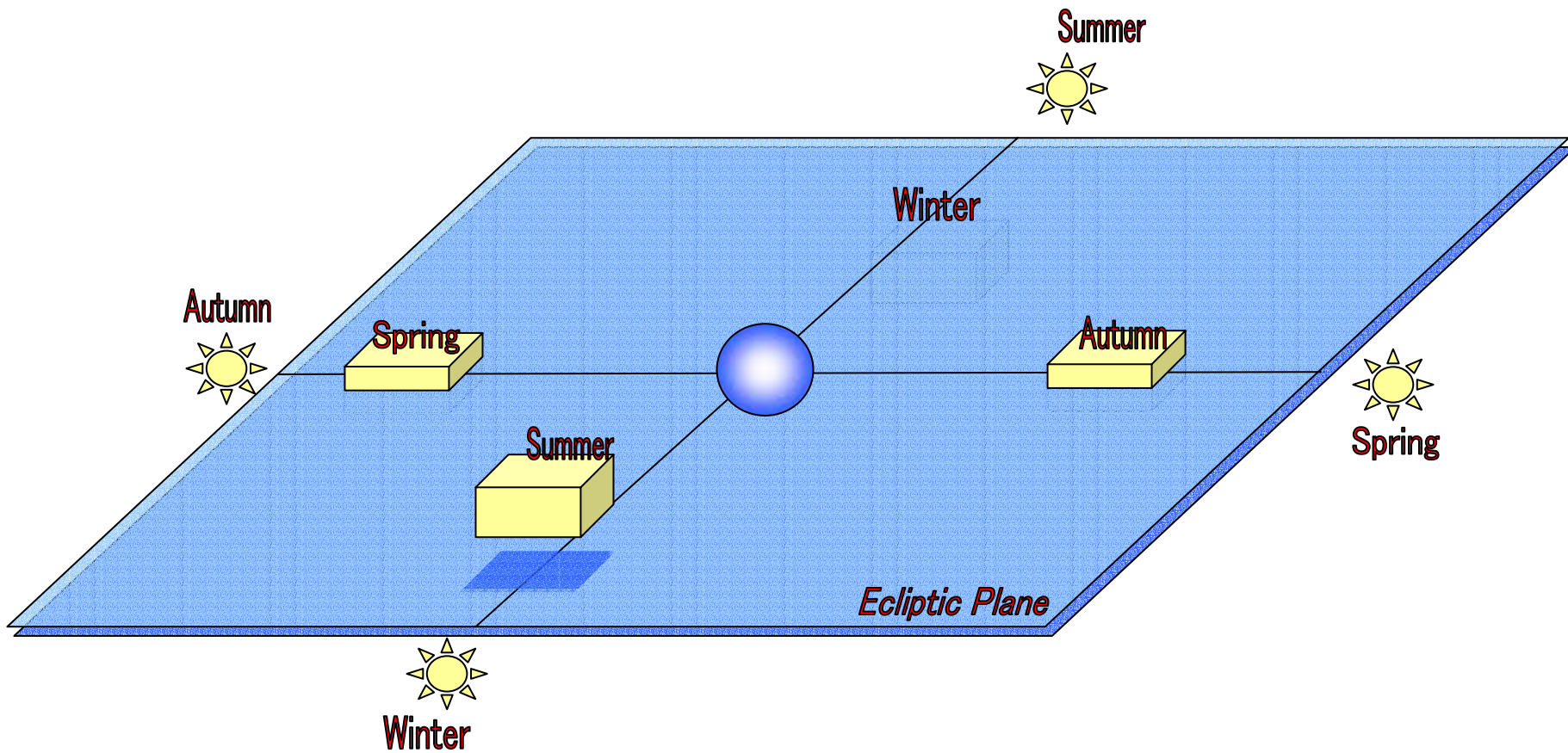
→遠地点がTail Boxに位置すること

→遠地点速度方向が磁気中性面に平行
(15度以内が望ましい)

地球磁気圏尾部の
磁気中性面へ！



Tail Box(平均的磁氣中性面位置)



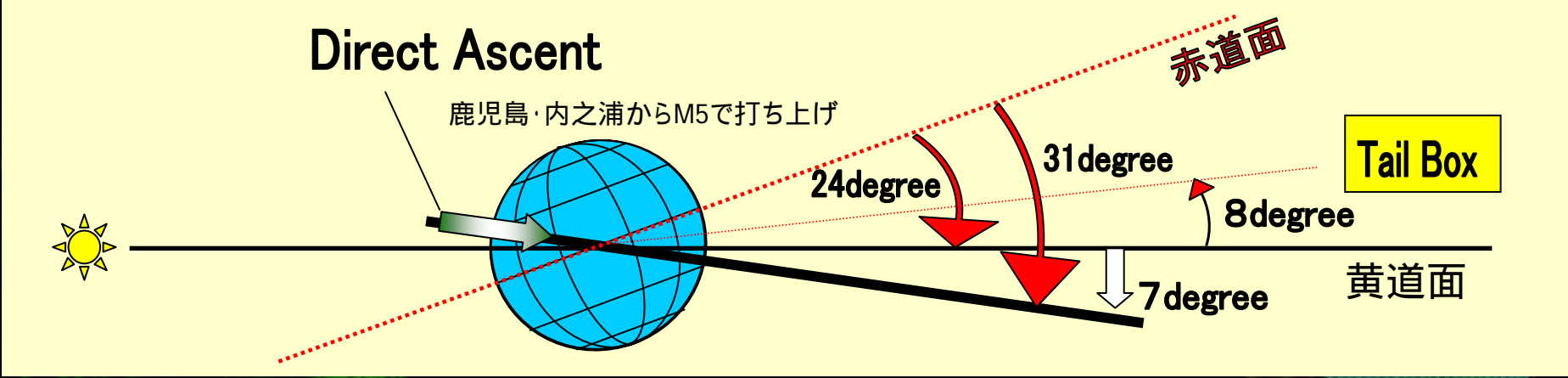
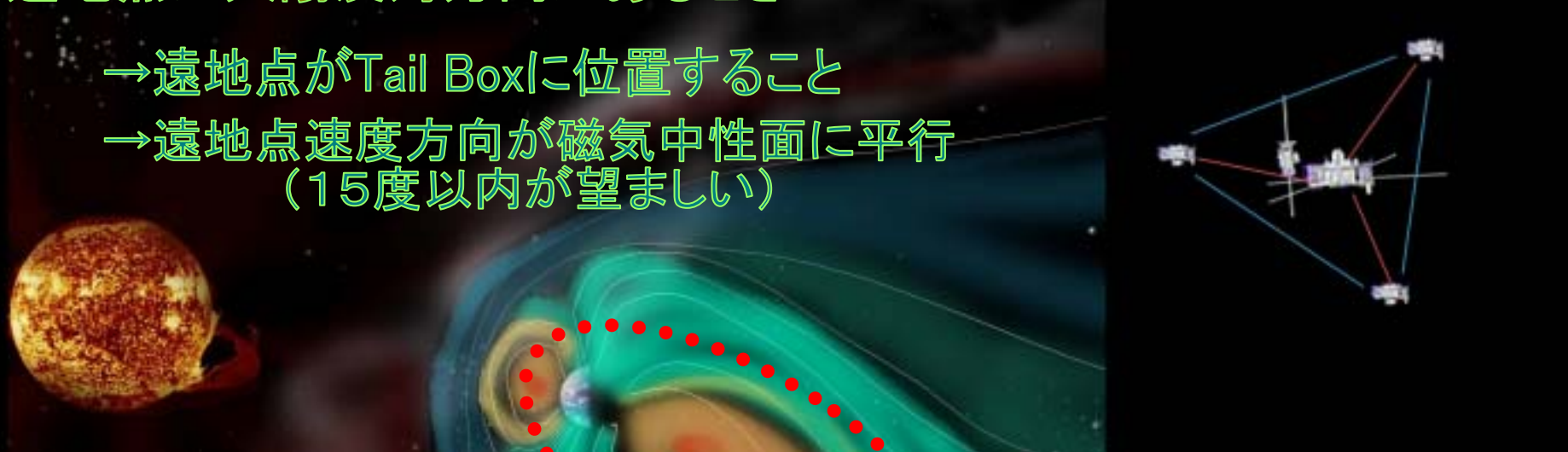
SCOPE-軌道

・観測軌道: $3 \times 30R_e$

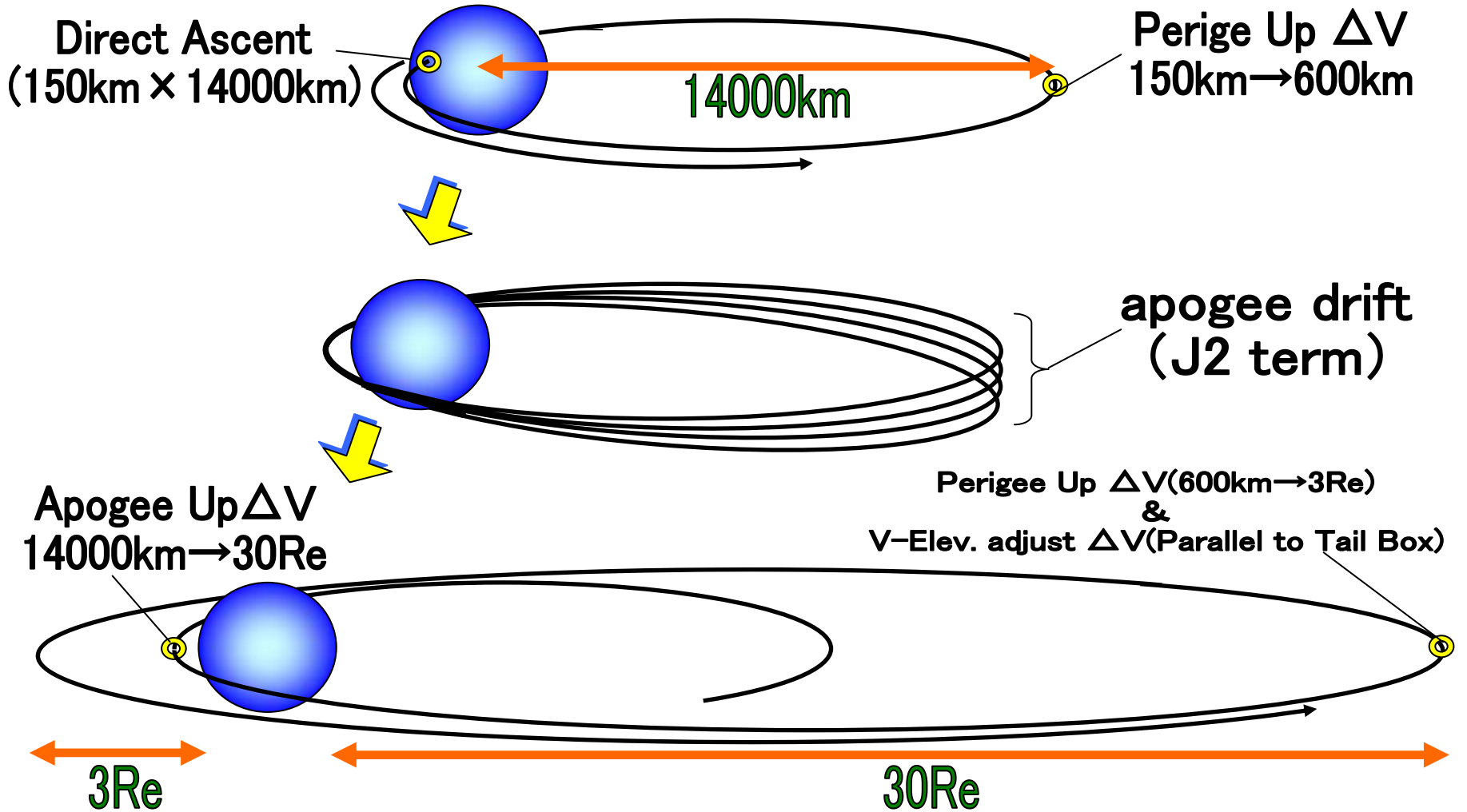
遠地点が太陽反対方向にあるときに

- 遠地点がTail Boxに位置すること
- 遠地点速度方向が磁気中性面に平行
(15度以内が望ましい)

地球磁気圏尾部の
磁気中性面へ！

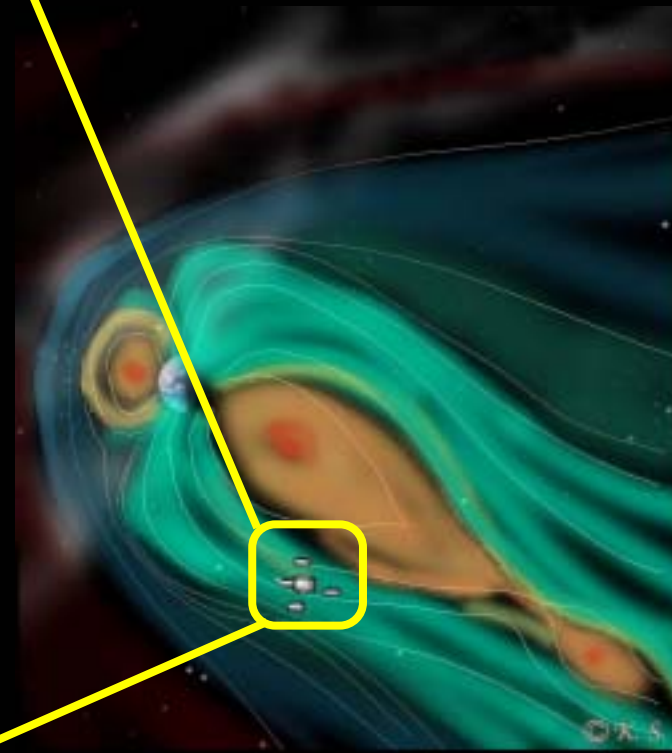
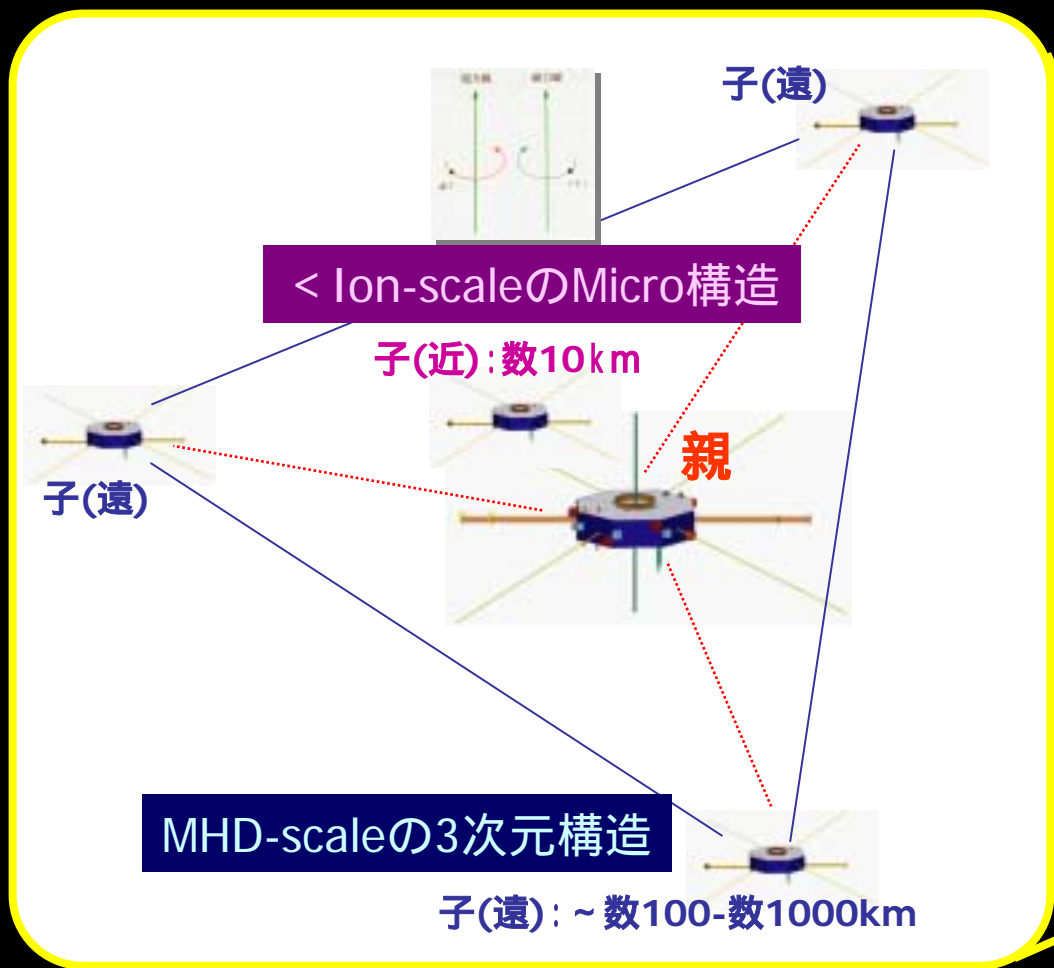


投入シーケンス例

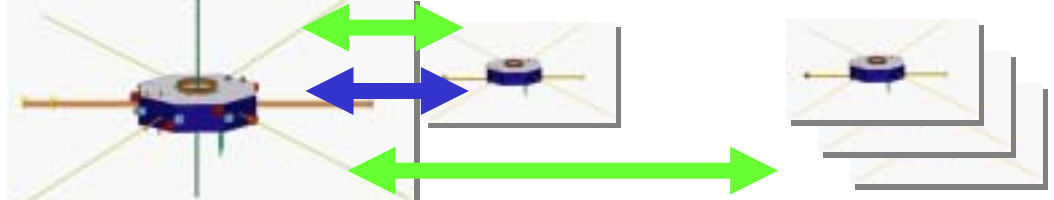


SCOPE-衛星

限られた資源で、誰も見ていない世界へ到達するには.....



「親衛星に資源を集中」し、妥協のない観測を！



親衛星

子衛星 [近:1, 遠:3]

電子

- FESA (低エネルギー・高時間分解)
- MESA (中エネルギー)
- HEP-E (高エネルギー)

- EISA (低エネルギー)

高速
高感度
eV-MeVをカバー

粒子

イオン

- FISA (低エネルギー・高時間分解)
- IMSA (低エネルギー・質量分析)
- MEMS (中エネルギー・質量分析)
- HEP-I (高エネルギー)

- EISA (低エネルギー)

マクロ量の“時空観測”

粒子 & 電磁場

- WPC (波動・粒子相関器)

波動-粒子の
“超高速観測”

磁場

- MGF (DC・低周波磁場 < 128Hz)
- WFC-B (高周波磁場 < 10kHz)

- MGF (DC・低周波磁場 < 64Hz)

高速
高感度
E/B各3軸をカバー

電磁場

電場

- EFD (DC・低周波電場 < 128Hz)
- WFC-E (高周波電場 < 100kHz)
- SPECTRUM (高周波電場 < 10MHz)

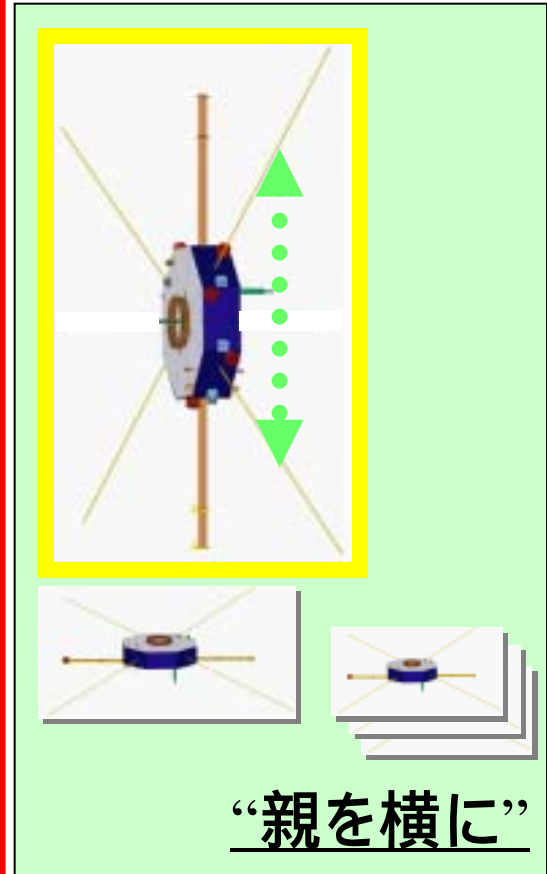
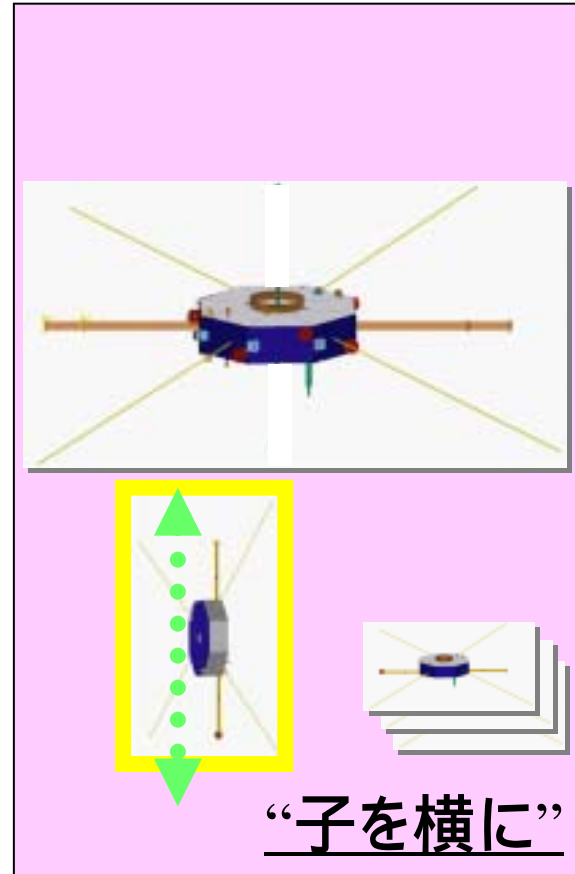
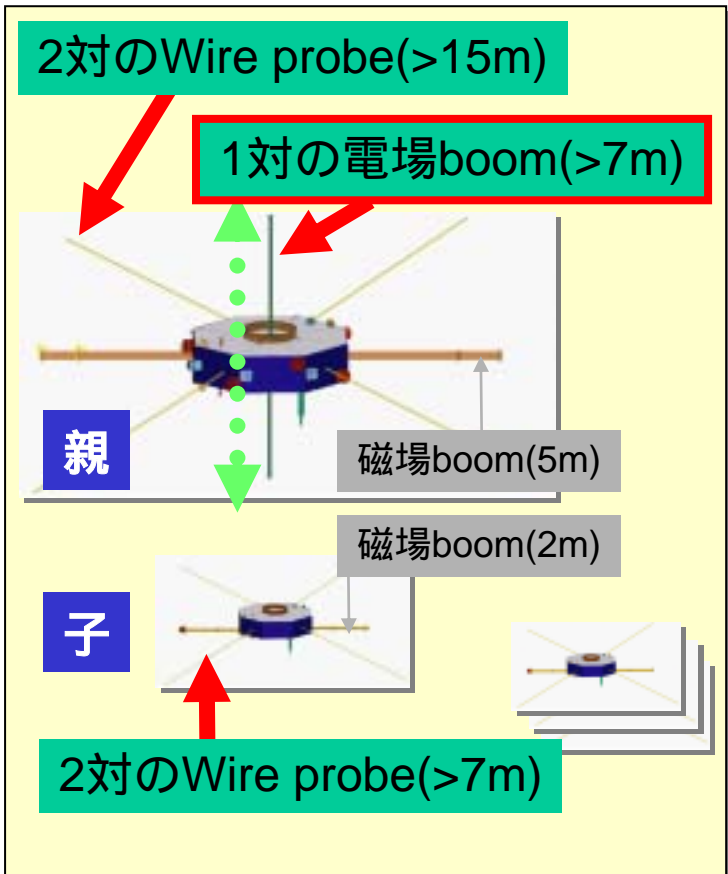
- EFD (DC・低周波電場 < 64Hz)
- WFC-E (高周波電場 < 20kHz)

マイクロ量の
“高速時空観測”

	案1: Nominal
親衛星	黄道面垂直
子衛星(近)	
子衛星(遠)	
Merit	同一の「子・孫衛星」
Demerit	短いZ軸アンテナ Spin速度低 Despun部の配置

案2: 子衛星を横転
黄道面垂直
黄道面平行(太陽指向)
「Z方向」の高精度計測
異なる「子衛星」(コスト増)

案3: 親衛星を横転
黄道面平行(太陽指向)
黄道面垂直
「Z方向」の高精度計測
親衛星の難度増 (通信・分離)



検討概要

1. リソース(質量)

- 現状、マージン 3 kg (子衛星並列搭載時)
- マイナスマージン(~ -50kg) (子衛星段重ね搭載時)

2. 軌道投入・子衛星分離シーケンス

3. 推進系

- 500N₂液(Isp=325 sec)、調圧式タンク
- 子衛星の衛星間距離調整の移動距離は5,000km

4. 通信系

- X帯でKSC 34m アンテナを利用して4Mbpsは<17 Reでのみ成立

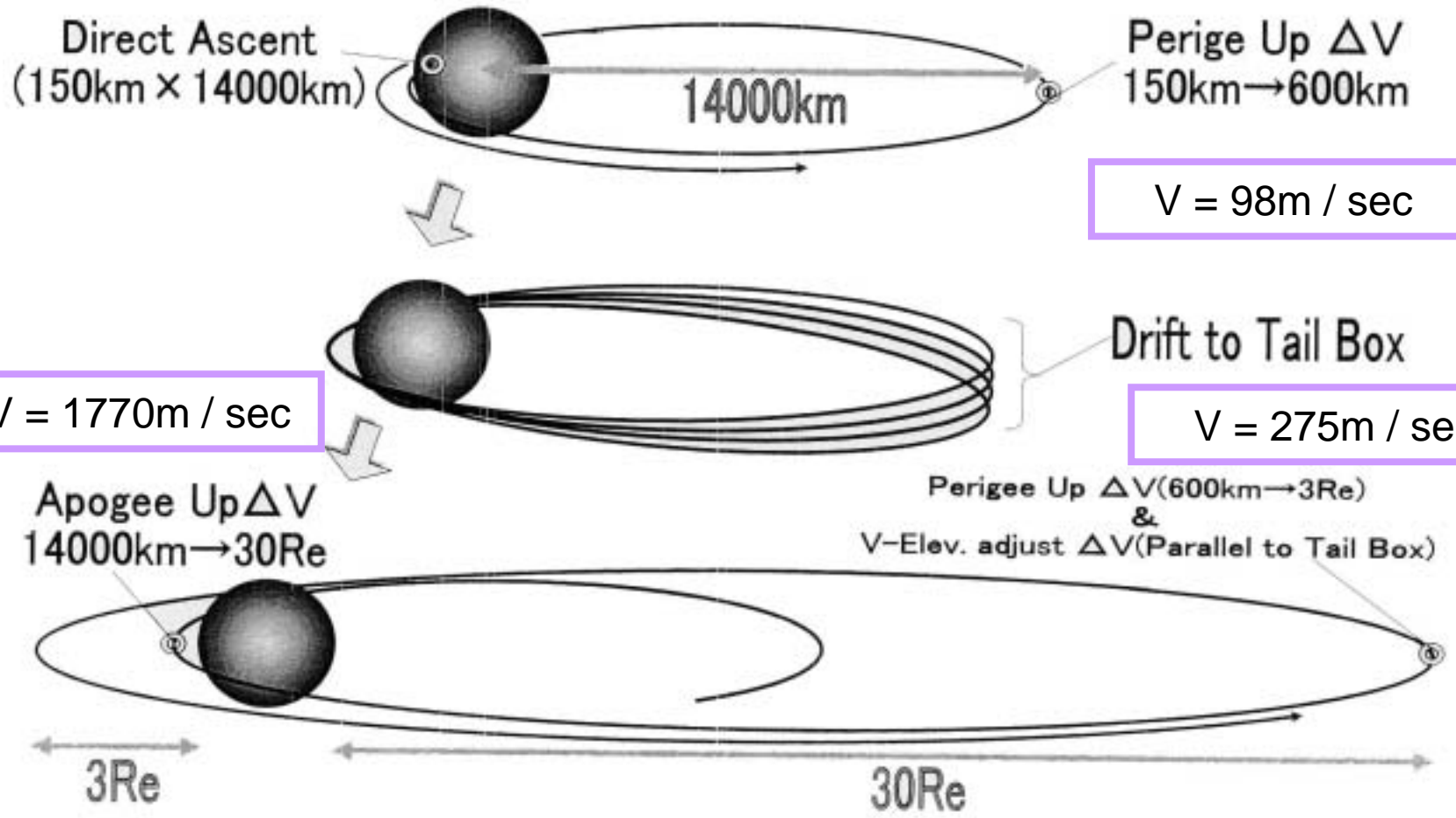
5. 衛星間通信

- 近子衛星はS-band オムニアンテナ使用で400kbpsを確保可能
(100 km程度まで)

6. 衛星のサイジング

- 650mm × 450mm(子衛星並列搭載時) (電力で決まる)
- 1300mm × 300mm(子衛星段重ね搭載時) (搭載性で決まる)
- 親衛星はタンクサイズ削減と中央下部デッキの削減でタンクを下方に移動し、機器搭載密度をあげる

Orbital Sequence



子衛星の運用軌道

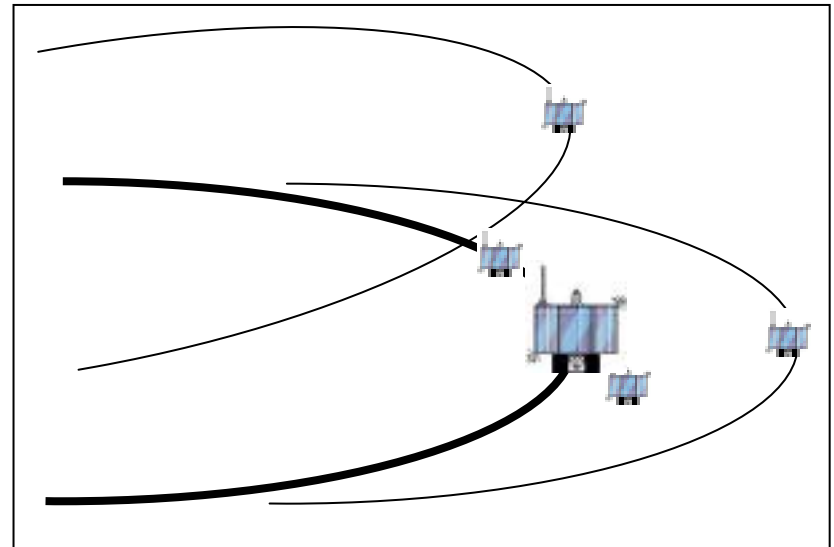
◎ 親衛星の運用軌道を基準に、

Z方向：軌道傾斜角を変える。

Y方向：アポジ、ペリジ高度を変える。

X方向：親機に先行させる。

近距離衛星：



子衛星分離から編隊完成までの運用

- Z方向子機分離

- 最終運用軌道とアポジ点でZ方向にL異なる軌道に最終 Vで投入(Lは運用時衛星間距離)
- 子衛星Zを分離

- X方向子機分離

- 親衛星は運用軌道に入る。(ノードで面外 $V=22.86\text{m/sec}/1000\text{km}$)
- ペリジでアポジ高度がL/2高くなるように V
- 半周回後、アポジでペリジ高度がL低くなるように V
- 半周回後、ペリジでアポジ高度をさらにL/2上昇するように V
- 子衛星Xを分離 (V 総計=16.26m/sec/1000km)

- Y方向子機分離

- アポジでペリジ高度が0.335L低くなるように V
- 1周回後、アポジでペリジ高度が元に戻るように V
- 子衛星Yを分離 (V 総計=15.94m/sec/1000km)

推進系トレードオフ

項目	500N2液式	固体モータ+20N2液	20N系2液スラスタ
主要構成	2液式500Nメインエンジン コアキシャル+ラジアル 23N1液 タンジェンシャル 3N1液	固体メインモータ コアキシャル 20N2液 ラジアル 23N1液 タンジェンシャル3N1液	コアキシャル 20N2液 ラジアル 23N1液 タンジェンシャル3N1液
lsp	325 sec (500N) 170 sec (姿勢制御)	300 sec (max. 固体) 294 sec (20N)	294 sec (20N2液)
必要推薬(運用軌道投入まで)	857 kg	705 kg (固体) 198 kg (2液)	916 kg
軌道変換時間	1.24 H	1分程度	長時間噴射が必要 6.62H
排熱	メインノズル冷却要	固体モータ排熱	20Nノズル排熱考慮
容積	780mm × 2 700mm × 2 300mm × 1	900mm × 1000mm 520mm × 2 460mm × 2	800mm × 2 720mm × 2 300mm × 1

SI ビットレート

親衛星 (~4Mbps)

プラズマ / 粒子計測装置

最高データレート
6Mbps + 3.1Mbits/spin

分解能選択、データ選択、圧縮後
平均(24時間連続仮定) データレート

200kbps (45分 / 1日: 最高分解能データ)
(0.5秒分解能連続データ+spin 依存データ)

DC磁場計測装置

16kbps

5.2kbps

プラズマ波動計測装置

4.4Mbps

200kbps(約20%の割合の波形データ)

(DC電場計測装置)

(波動スペクトル、電場連続データ)

イメージング観測器(option)

子衛星(近)

2Mbps

40kbps

計

約440kbps

子衛星(近) (~400kbps)

DC磁場計測装置

8kbps

2.4kbps

プラズマ波動計測装置

2Mbps

38kbps(約8%の割合の波形データ)

(DC電場計測装置)

(波動スペクトル、電場連続データ)

計

約40kbps

子衛星(遠) (~400kbps)

プラズマ / 粒子計測装置

192kbits/spin

16kbps (2秒分解能連続データ: 4秒スピン)

DC磁場計測装置

8kbps

2.4kbps

プラズマ波動計測装置

2Mbps

22kbps(約4%の割合の波形データ)

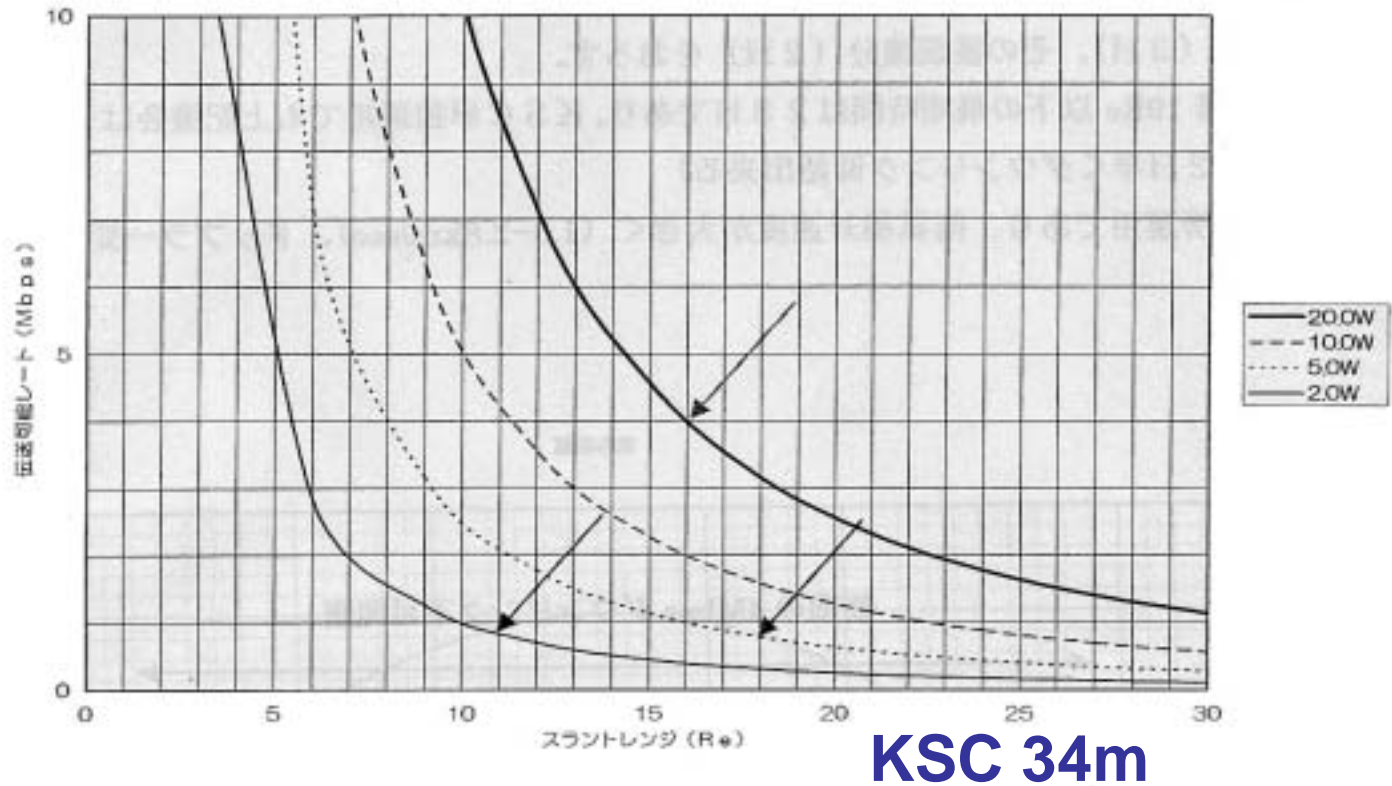
(DC電場計測装置)

(波動スペクトル、電場連続データ)

計

約40kbps

回線検討

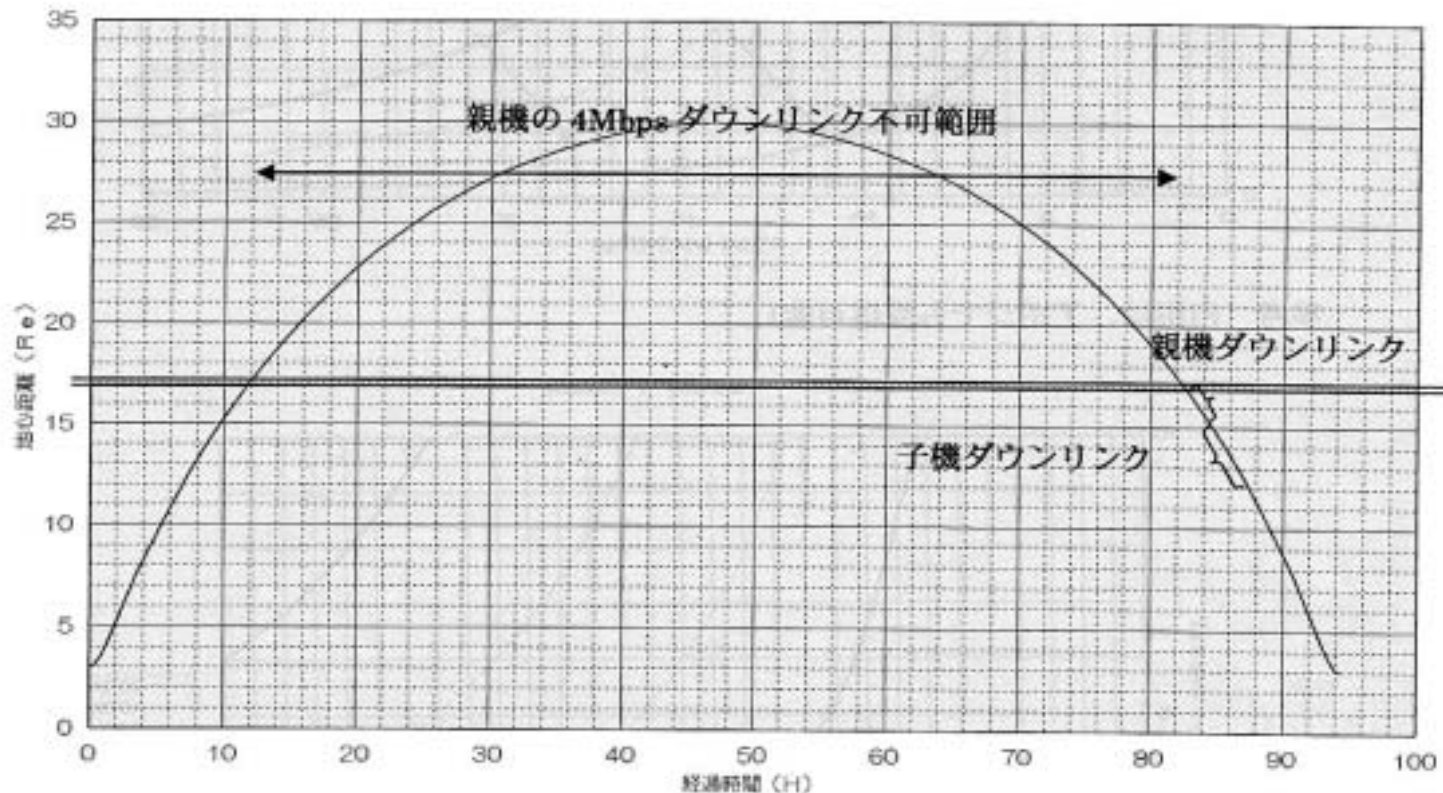


参考 (白田は、アポジでも受信可能)

項目	データレート	送信出力	伝送可能距離	概算軌道半径
親	4 Mbps	20 W	16 Re	17 Re
子(800 kbps	5 W	18 Re	19 Re
子(800 kbps	2 W	11 Re	12 Re

運用案

常に4 Mbps を確保するにはUDSCとKSCの運用を組み合わせる必要



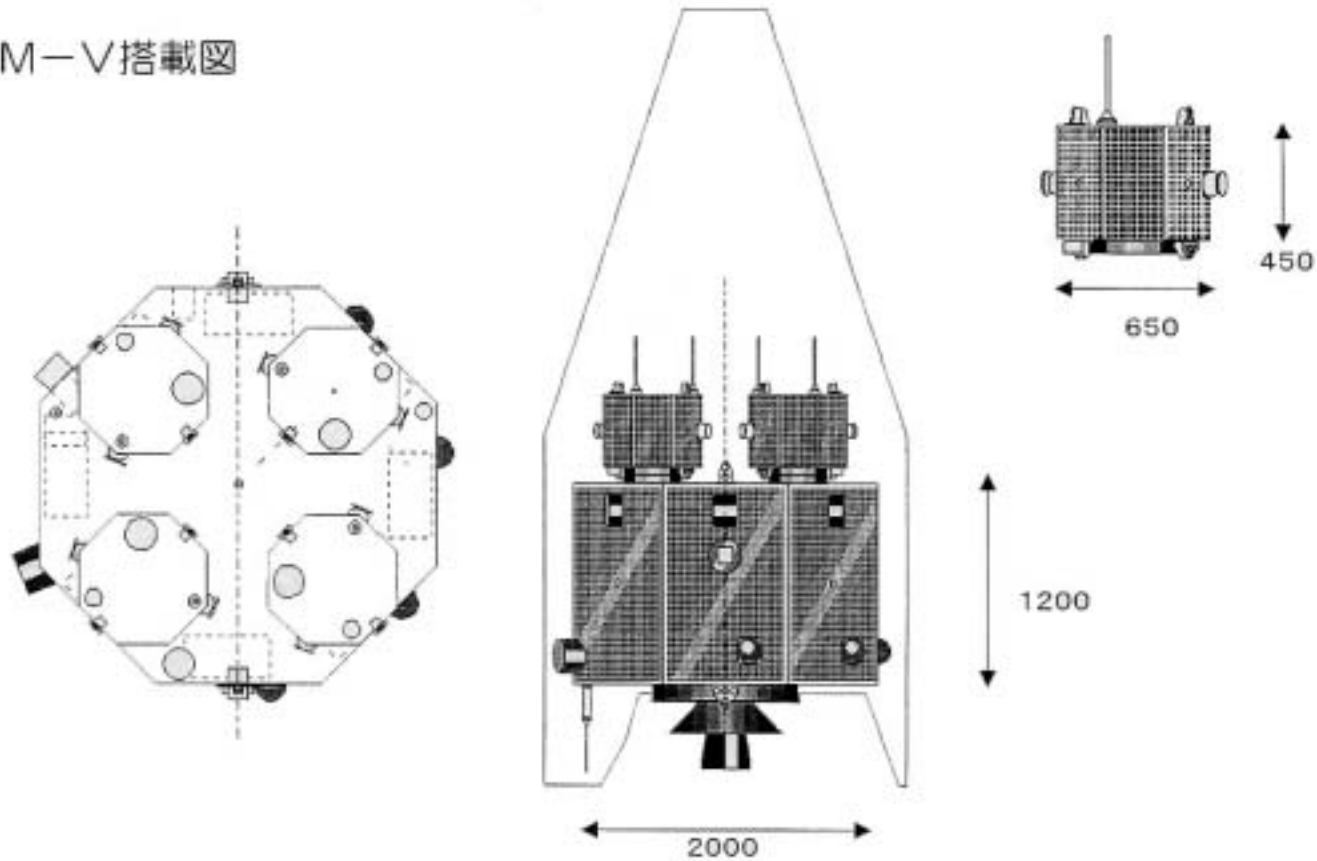
子機 2W 出力のケース

- 地心距離17 ReをすぎたKSC可視タイミングで親のダウンリンク (2H)
- その後、子機3機 (3H)をおろす。
- 地心17 Re以下の飛行時間は約24H、KSC単独運用でも1回は確保。

データレコーダは 100 GB で 20 kg の重量

衛星のサイジング(並列搭載)

◎ M-V搭載図

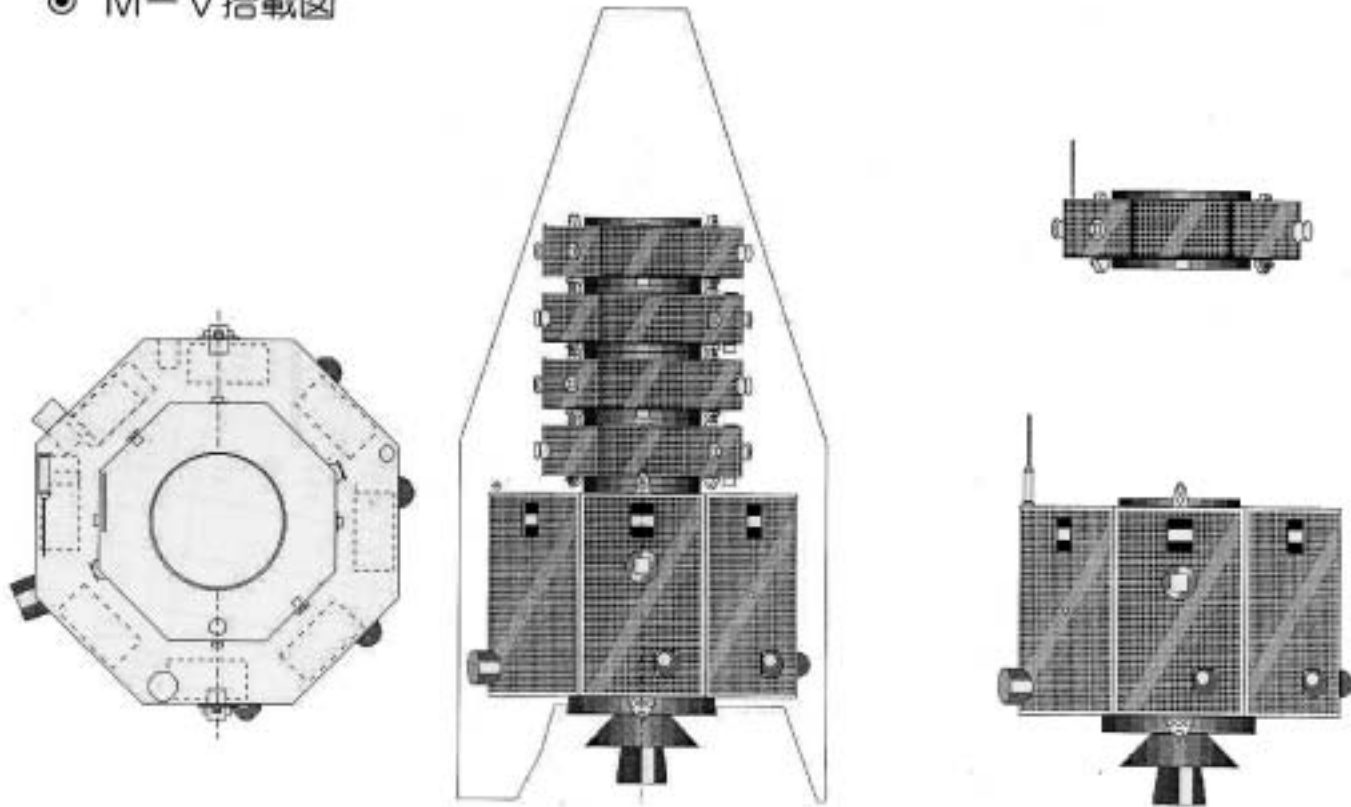


M-Vに搭載

- 親衛星の重量マージンはない。
- 子衛星にはミッション機器のスペースが確保できない

衛星のサイジング(段重ね搭載)

◎ M-V搭載図

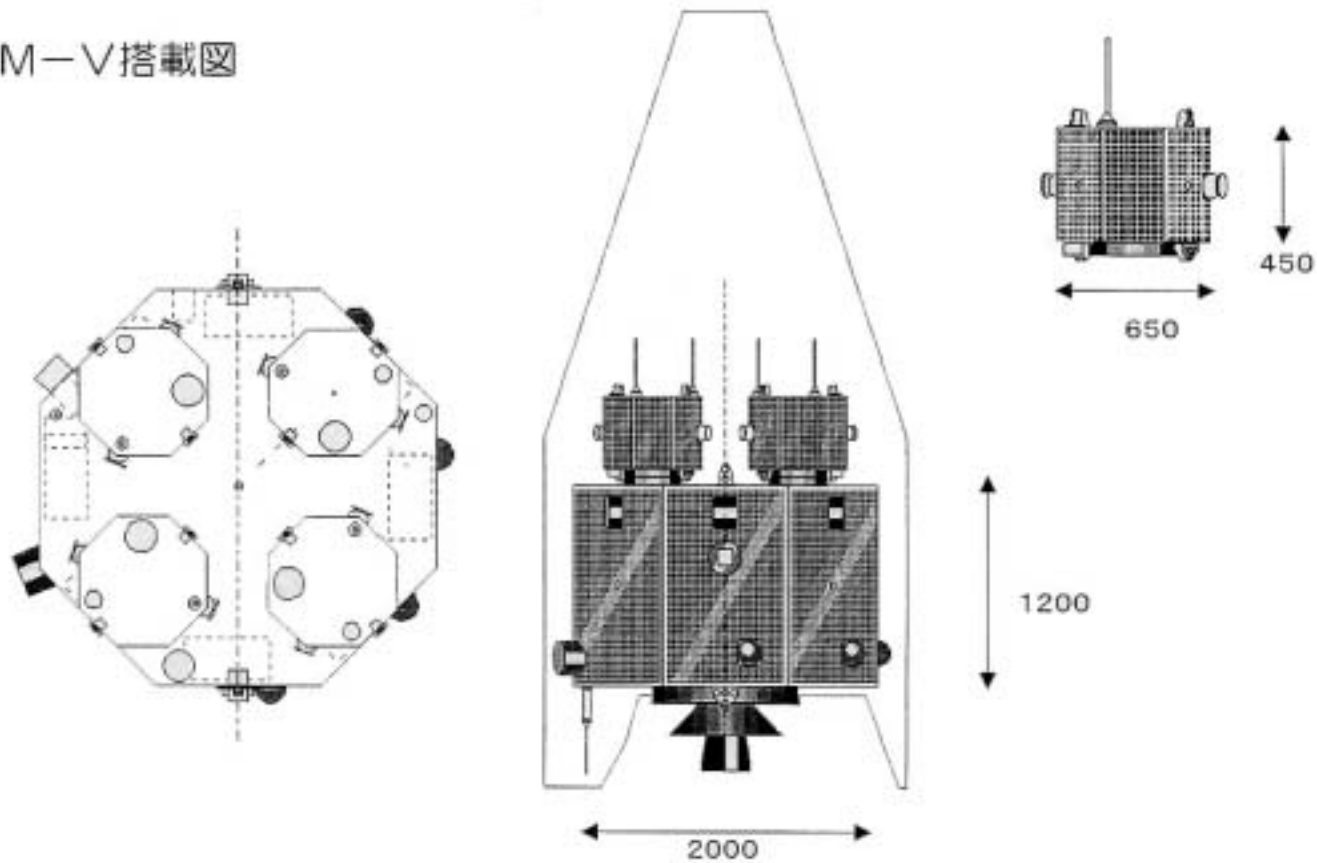


M-Vに搭載

- 下段衛星には上段分の指示が必要 構造補強 = 重量オーバー
- 子衛星にはミッション機器のスペースは確保可能

衛星のサイジング(並列搭載)

◎ M-V搭載図



M-Vに搭載

- 親衛星の重量マージンはない。
- 子衛星にはミッション機器のスペースが確保できない

SCOPE衛星リソースまとめ (重量)

重量 (kg)

項目	親衛星	子(近)衛星	子(親)衛星
ミッション機器	87.0	15.5	15.7
通信系	25.2	13.2	10.4
データ処理系	27.5	7.7	7.7
軌道姿勢制御系	35.6	2.8	2.8
電源系	27.9	11.1	11.1
推進系	65.0	13.5	20.0
熱制御系	17.5	6.3	6.3
構造系	70.0	15.5	15.5
計装系	24.2	7.2	7.2
計	379.9	92.8	96.7
親衛星推薬	857.0		
システム合計	1619.8		マージン=3.3

SCOPE衛星リソースまとめ（電力）

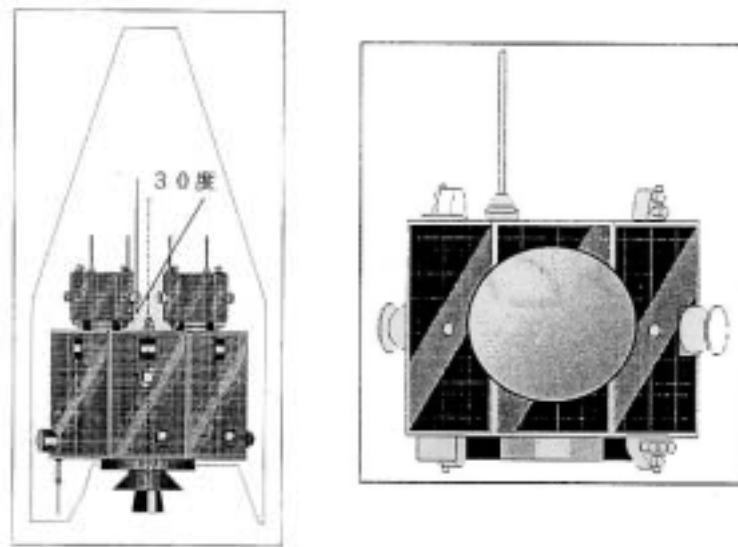
電力(W)

項目	親衛星	子(近)衛星	子(親)衛星
ミッション機器	85.0	3.0	10.0
通信系	128.4	25.0	24.0
データ処理系	75.5	30.8	30.8
軌道姿勢制御系	78.2	1.0	1.0
電源系	12.0	8.0	8.0
推進系	0.0	0.0	0.0
熱制御系	30.0	8.0	8.0
構造系	0.0	0.0	0.0
計装系	40.0	9.0	9.0
計	449.1	84.8	90.8

子衛星推進系

- 子衛星単独で～5,000kmレベルの移動能力
 - 最も条件が厳しいZ方向移動の必要推薬は6 kg ($V = 23\text{m/sec}/1000\text{km}$, $I_{sp}=200$)
- 充填率50%のブローダウン1液
 - 充填率を上げれば 240mm のタンクでよい
- 発生電力要求からの衛星サイズ要求
 - MJセルの実行効率を20%として計算
 - 650mm × 450mm の8角柱
- 分離機構
 - 非干渉域として30度を確保。
 - マルマンクランプによる固定方式

子衛星タンクサイズ

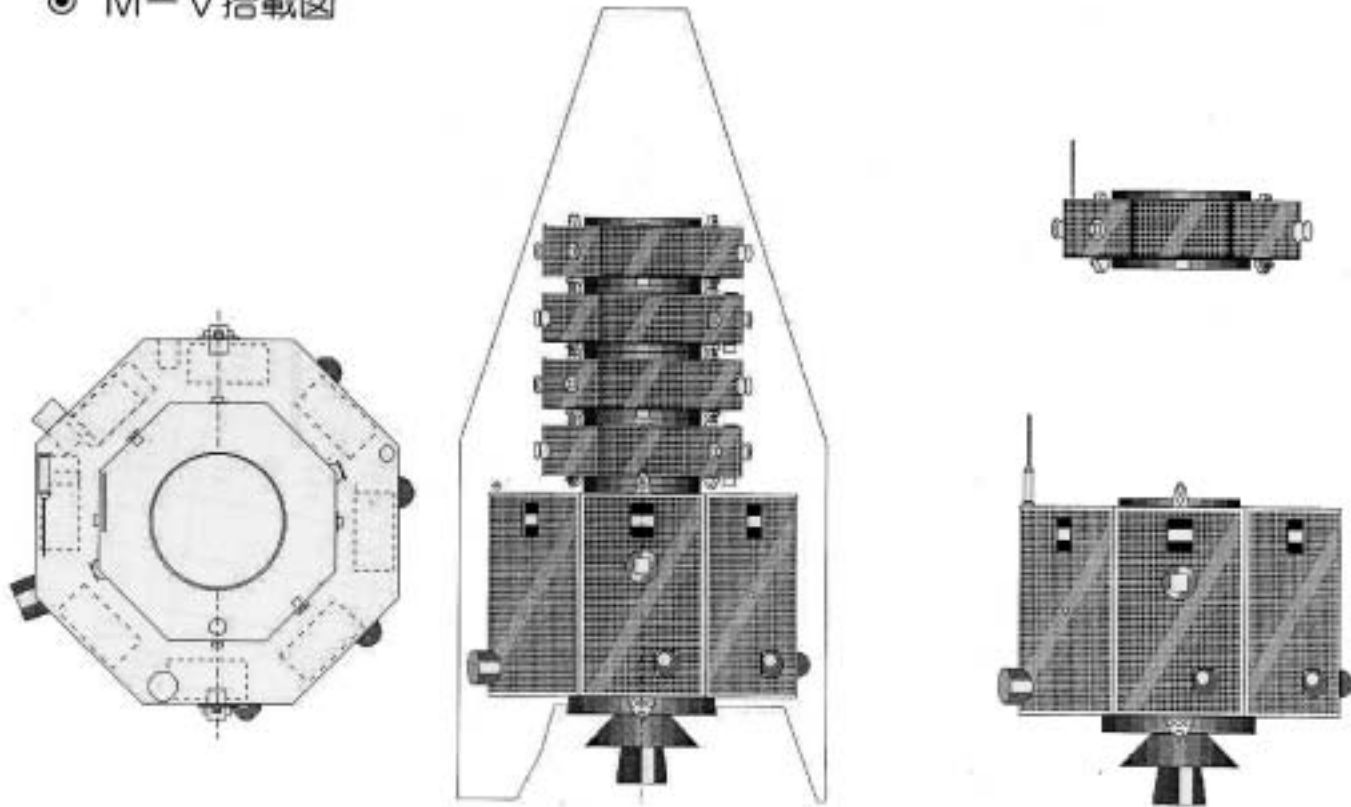


分離時の干渉検討

現状では、ミッション機器の搭載スペースが確保できない！

衛星のサイジング(段重ね搭載)

◎ M-V搭載図



M-Vに搭載

- 下段衛星には上段分の指示が必要 構造補強 = 重量オーバー
- 子衛星にはミッション機器のスペースは確保可能

SCOPE衛星リソースまとめ (重量)

重量 (kg)

項目	親衛星	子(近)衛星	子(親)衛星
ミッション機器	87.0	15.5	15.7
通信系	25.2	2.8	10.4
データ処理系	27.7	7.7	7.7
軌道姿勢制御系	32.1	2.8	2.8
電源系	27.9	11.1	11.1
推進系	65.0	13.5	20.0
熱制御系	17.5	6.3	6.3
構造系	74.0	18.5	18.5
計装系	24.2	7.2	7.2
計	380.6	85.4	99.7
親衛星推薬	857.0		
システム合計	1622.1		マージン=0.9

SCOPE衛星リソースまとめ（電力）

電力(W)

項目	親衛星	子(近)衛星	子(親)衛星
ミッション機器	85.0	3.0	10.0
通信系	128.4	25.0	24.0
データ処理系	75.5	30.8	30.8
軌道姿勢制御系	76.9	1.0	1.0
電源系	12.0	8.0	8.0
推進系	0.0	0.0	0.0
熱制御系	30.0	8.0	8.0
構造系	0.0	0.0	0.0
計装系	40.0	9.0	9.0
計	447.8	84.8	90.8

現在の問題点(並列搭載)

	<問題点>	<対策の選択肢>	<対策のデメリット>
親衛星	重量マージンなし	軽量化	
	Z軸アンテナの搭載 下側:搭載場所がない	片側ならOK	サイエンスへの影響 波動のみならOK?
	HGAの搭載 重量的な制約	MGAのみで運用	4 Mbps < 17 Re (KSC) Ku band が使えない
子衛星	衛星間距離大 R ~ 5,000 km	R < ~ 0	サイエンスへの影響
	タンク大による搭載機器 スペースなし	縦積み	構造重量の増加
	4機搭載:重量マージン無し	3機に減らす	サイエンスへの影響
一般	子(近)の位置決定精度	新規開発項目?	サイエンスからの要請
	重量マージン無し	ペリジ高度 ~ 1,000 km	サイエンスへの影響
	フェアリングが狭い	M-V改?	重量は不利

M-Vをやめる???

将来性が不透明:現時点ではM-Vで検討

M-V搭載の問題点(段重ね搭載)

	<問題点>	<対策の選択肢>	<対策のデメリット>
親衛星	重量マージンマイナス	軽量化	
	Z軸アンテナの搭載 搭載場所がない	上下共搭載不可能 短い棒状なら可能	サイエンスへの影響 波動のみならOK?
	HGAの搭載 搭載場所が無い	MGAのみ使用	4 Mbps < 17 Re (KSC) Ku band が使えない
子衛星	4機搭載:重量マイナス マージン	3機に減らす	サイエンスへの影響
一般	子(近)の位置決定精度	新規開発項目?	サイエンスからの要請
	重量マイナスマージン	ペリジ高度 ~ 1,000 km	サイエンスへの影響



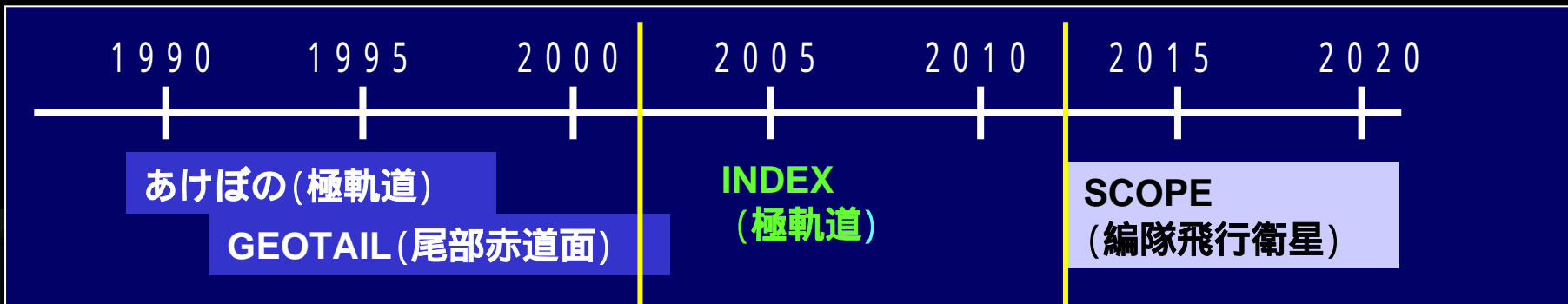
AKEBONO



GEOTAIL



磁気圏編隊計画:SCOPE



Magnetospheric Constellation

NASA
Magnetospheric Constellation
(2012)

との共同観測

MagCon衛星群による
全体像の把握

鍵となる領域を
ズームアップするSCOPE編隊

スケールをまたいで
展開する宇宙プラズマダイ
ナミクスの把握

