

宇宙機の情報伝送資源とデータ取得戦略

2013年12月17日

宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所

戸田 知朗

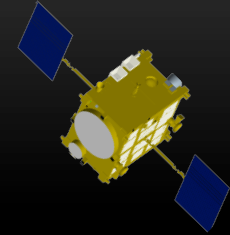
はじめに

- 宇宙通信といえば、
 - 宇宙機-地球局間。
 - 宇宙機間。
 - 宇宙機内部の機器間インターコネクト技術。
- 取り上げるのは、最も一般的なイメージと思われる宇宙機-地球局間にまたがる情報伝送技術。
 - 地球近傍。
 - 深宇宙
- これらの間でデータ取得戦略は異なって当然。
 - 本日の主題は、この戦略（設計）の一端のご紹介。
- 用語について
 - アップリンク：地球局から宇宙機へ向かう回線。コマンド回線。
 - ダウンリンク：宇宙機から地球局へ向かう回線。テレメトリ回線。



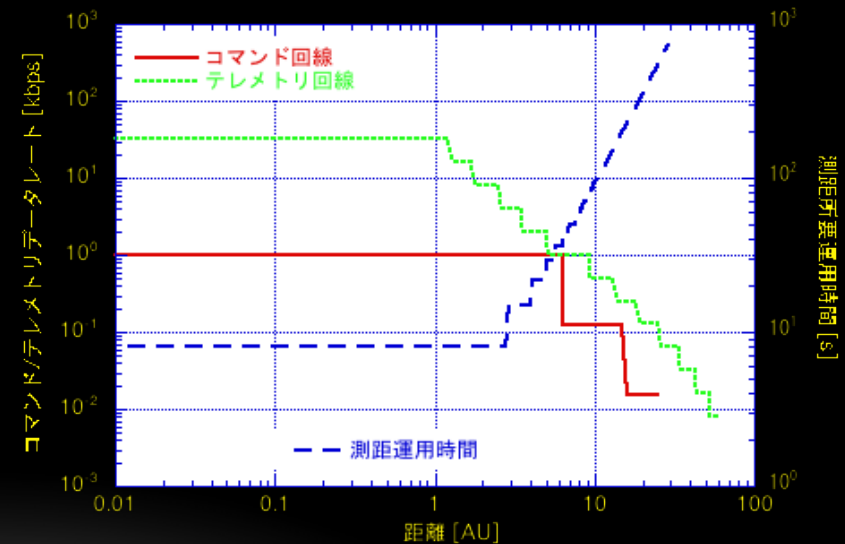
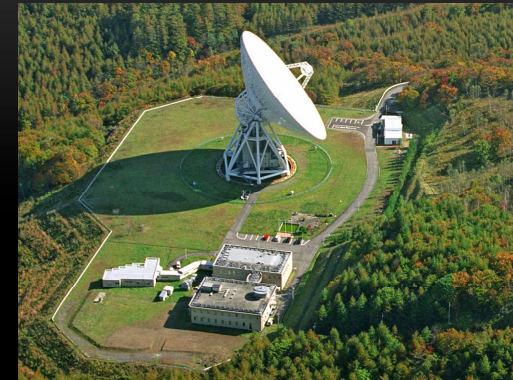
宇宙通信の構成要素

- 宇宙機
 - 衛星、探査機、着陸機（ランダー）、移動車（ローバー）、分離機など。
 - それぞれは、更にアンテナ、通信機、電力増幅器、計装などからなり、その運用は姿勢制御、熱制御、電力条件に拘束される。
- 地球局
 - アンテナ（制御装置含む）、通信装置（周波数標準含む）、電力増幅器、低雑音増幅器などからなる。
 - 立地環境により性能は強く影響を受ける。
- 距離、軌道、電波伝播など。
 - 距離：数百kmから数億km、主として損失に考慮。
 - 軌道：可視条件からアンテナ指向まで追跡運用へ影響。
 - 伝播：損失、ゆらぎとして無視できない。



宇宙機と地球局という資源

- 宇宙機資源
 - 搭載コンポーネント。
 - 質量/重量、電力、サイズ。
- 地球局資源
 - 臼田64m局。
 - その他に、34m局1基、20m局2基、10m局5基などが追跡局としてある。
 - サイズ、立地環境、対応周波数帯。



宇宙通信（宇宙機-地球局）を支える柱

- 第1に地球局の性能・質
 - ISAS/JAXAの深宇宙探査でいえば、臼田64m局の存在が大きい。
 - 地球近傍ミッションにおいても、この点は同様。
 - 地球局性能が、探査の活動域を決定し、科学観測の成果量を決める。
 - 地球局性能の範囲で、宇宙機通信の設計を最適化するに過ぎない。
- 第2に宇宙機の通信システム
 - 宇宙機システムのあり方が、ミッションコストを左右する。
 - システムは、そのあり方がミッションを駄目にしかねない点において注意が必要で重要であるが、宇宙通信では特に、搭載システムだけでイノベーションが起きるものではない。

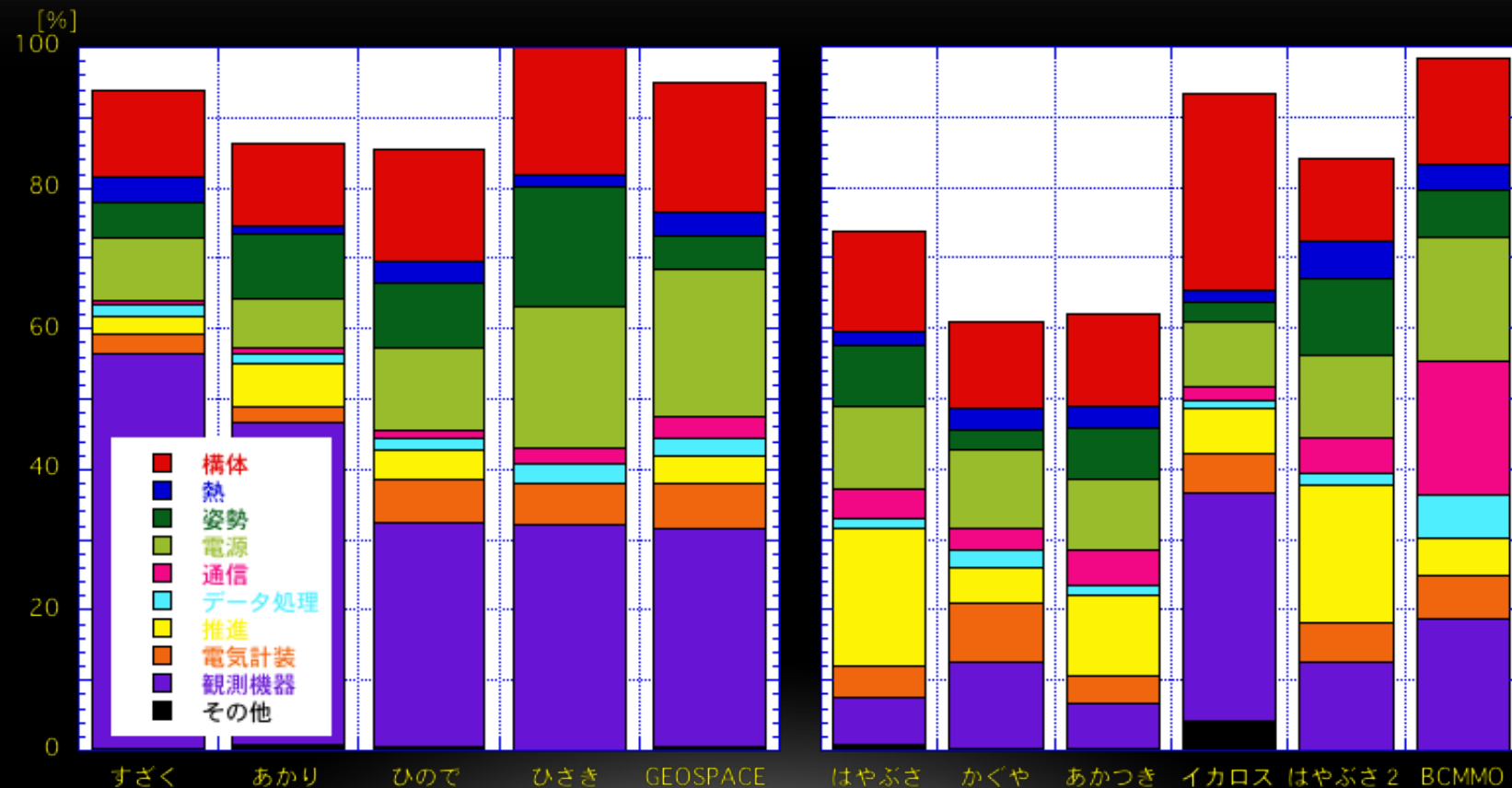
傾向から見る科学衛星・探査機

- 2000年以降打上げの衛星・探査機

名称		打上げ年	ウェット重量	総消費電力
はやぶさ	HAYABUSA	9-5-2003	510.974	688.25
すざく	SUZAKU	10-7-2005	1669.54	634.16
あかり	AKARI	22-2-2006	926.65	515.6
ひので	HINODE	23-9-2006	892.685	732
かぐや	KAGUYA	14-9-2007	3014.28	1266.6
あかつき	AKATSUKI	21-5-2010	519.51	550.9
イカロス	IKAROS	21-5-2010	307.4	226.38
ひさき	HISAKI	14-9-2013	348.393	545.9
はやぶさ 2	HAYABUSA2	22-11-2014	594.84	971.47
GEOSPACE	GEOSPACE	24-12-2015	356.27	594.1
BCMMO	BCMMO	20-8-2016	229.64	374.8

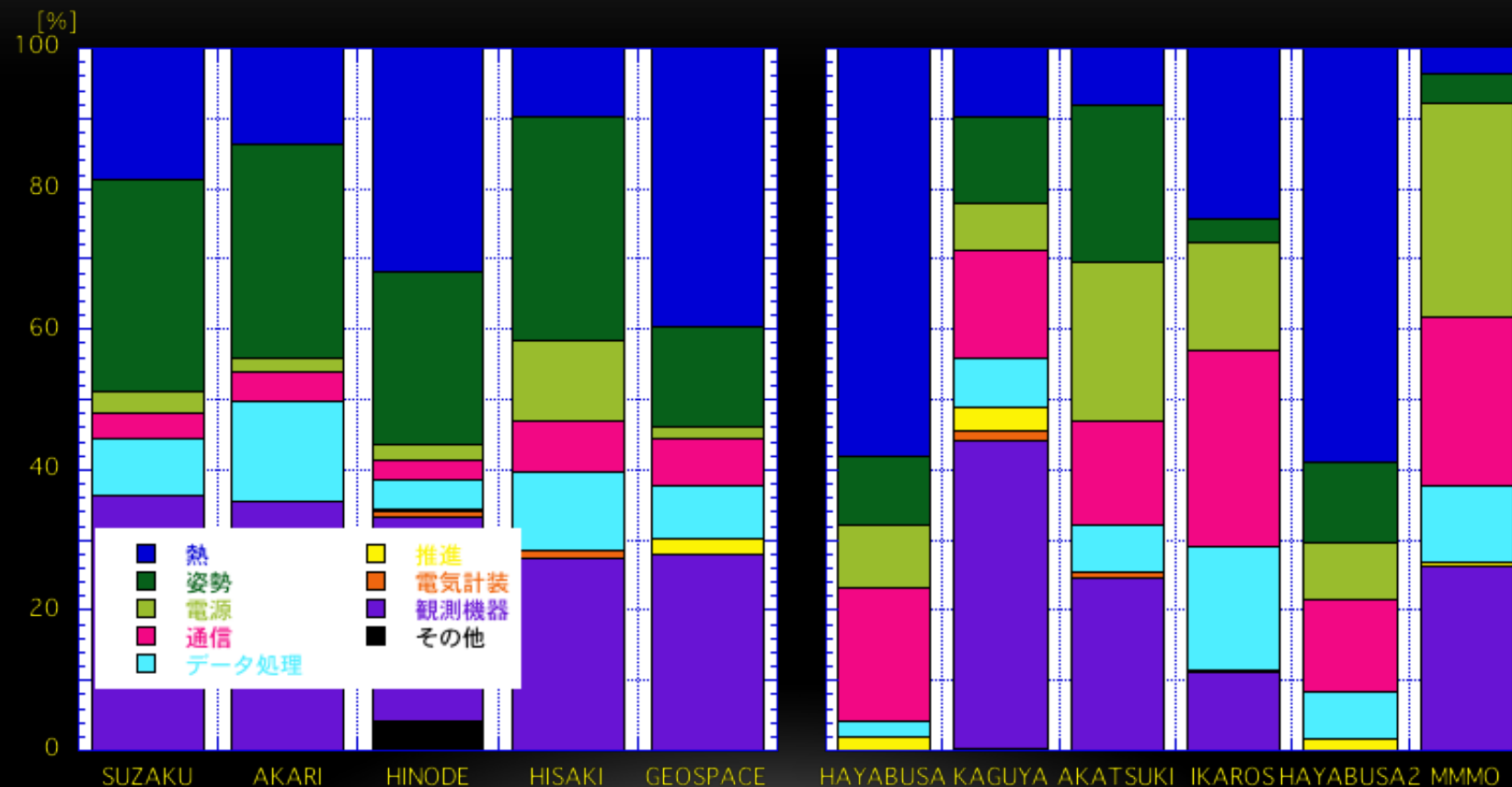
宇宙機資源の通信への割当て（質量）

- ウェット重量比
- 地球周回低高度衛星（～1%）と月惑星探査機（～5%）



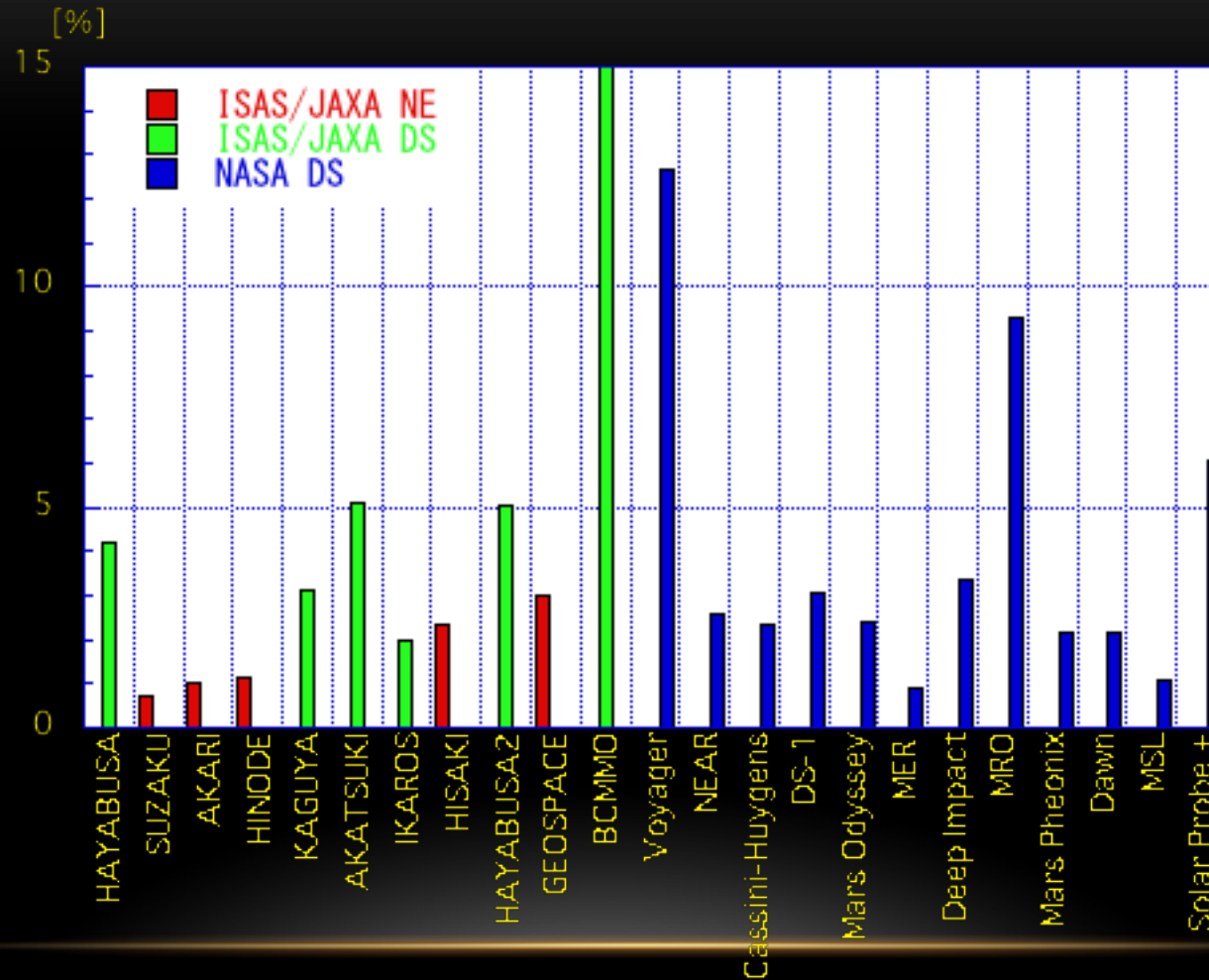
宇宙機資源の通信への割当て（電力）

- 地球周回低高度衛星（～4%）と月惑星探査機（15%以上）



(参考) 重量比における国際比較

- 宇宙機規模は異なるものの、同様の比率



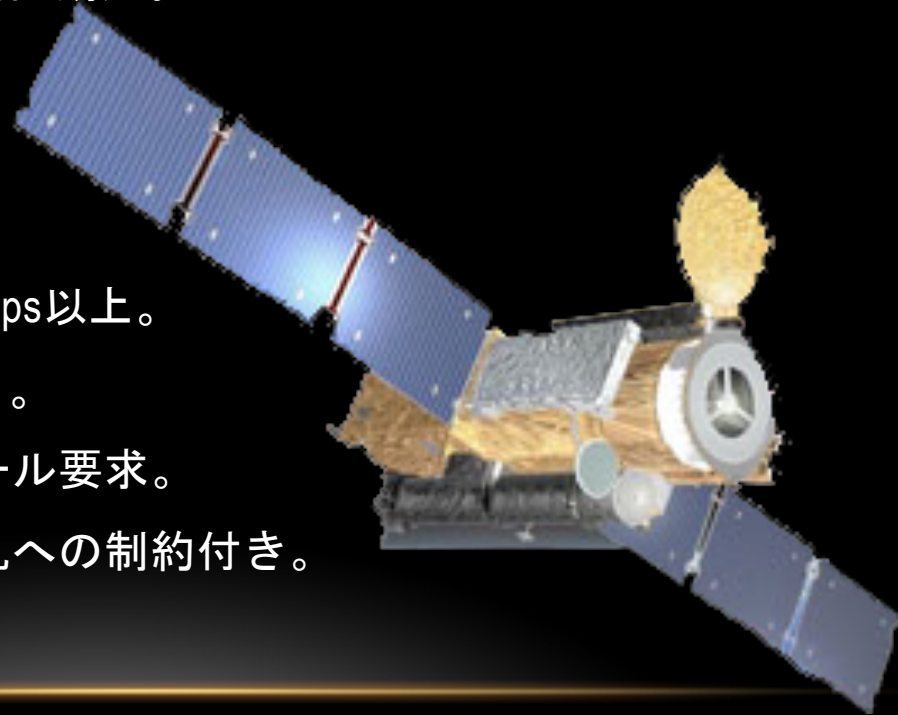
宇宙機からのデータ取得（ダウンリンク）

- 選択肢に応じた設計をしていくことが大事
 - 本日、着目するのは、軌道と通信経路。

宇宙機	軌道	通信経路	姿勢制御	指向制御	データの種類
地球 周回衛星	低高度	直接通信	3軸安定	地球指向	ミッション データ
	長楕円		スピン	任意方向	HKデータ
	静止/地球同期	データ中 継			
月・惑星 探査機	惑星周回	直接通信	3軸安定	任意方向	ミッション データ
	深宇宙		スピン		HKデータ
	月・L点				

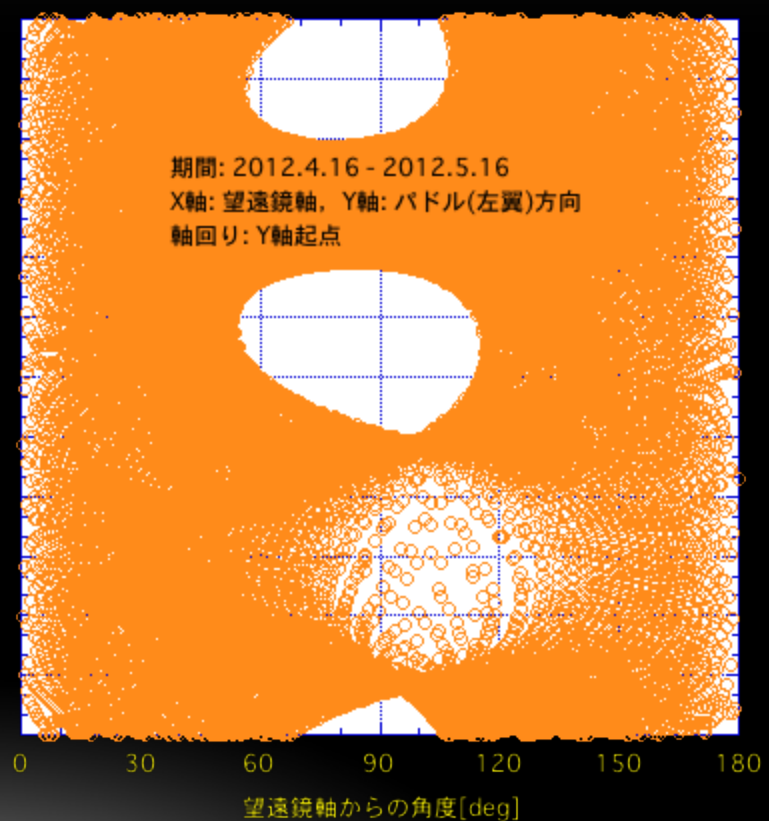
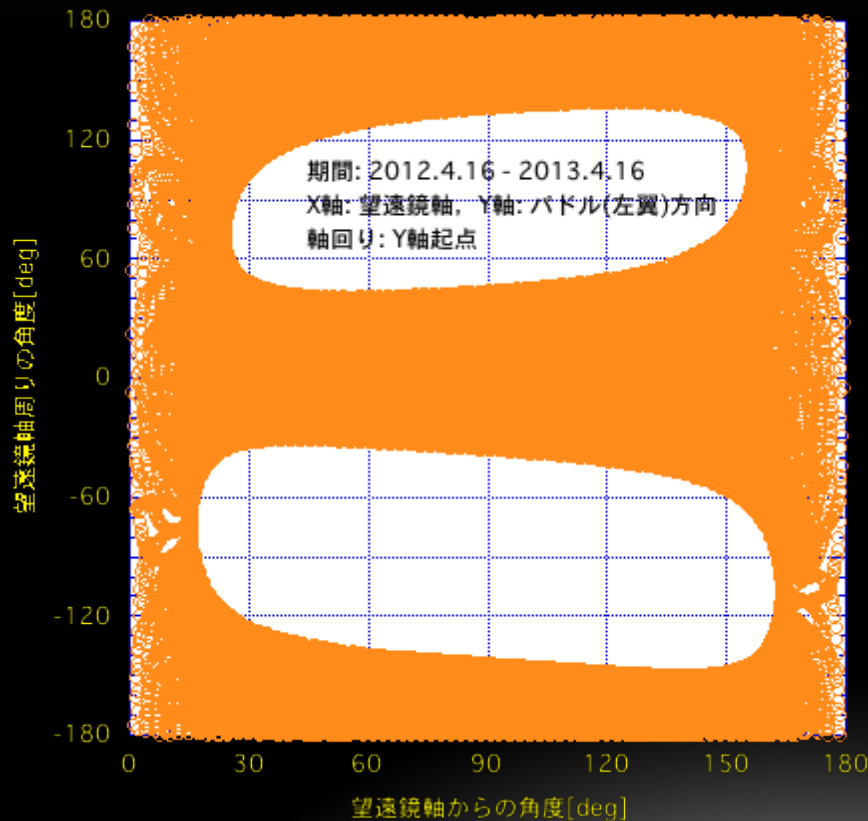
軌道選択とアンテナ覆域

- 軌道選択によるアンテナ設計への影響を紹介
 - 将来太陽観測ミッションのシナリオ
 - 低高度地球周回（太陽同期）。
 - 地球同期。
 - L1点ハロー。
 - 伝送要求
 - 連続8H以上/1日、24Mbps以上。
 - 太陽指向姿勢（常時）。
 - 指向軸周りのロール要求。
 - 観測中の姿勢擾乱への制約付き。



アンテナ覆域への要求

- 軌道計算から宇宙機座標系と地球局の幾何学的配置が決定
 - 地球同期（左）と低高度（右）のケースでは下のような覆域要求が発生。
- L1点は制約なし

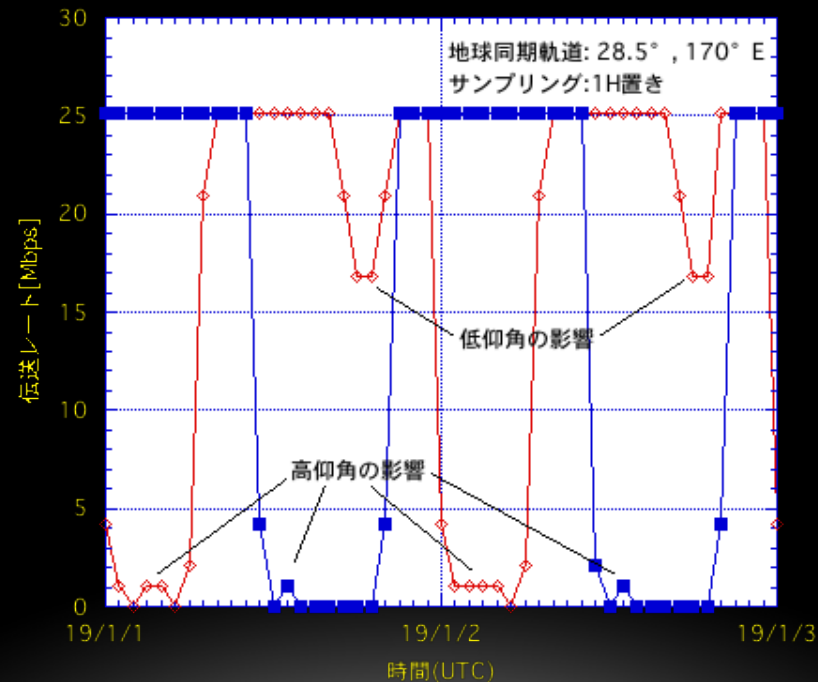


通信要求を満たす解を得るまでの手順

1. アンテナ覆域の確保
 - 軌道の選択→地球同期軌道。
 - アンテナの選択→2軸駆動中利得アンテナ（指向性アンテナ）1対。
2. 通信方式の選択
 - 割当て可能な帯域と要求データレートから判断。
3. 送信電力の確保
 - 地表面電力束密度制限の考慮。
 - 深宇宙での活動ではほとんど無関係といえる。
4. 実現可能なデータレートの確認。
 - 地球局の選択。
 - 回線評価。

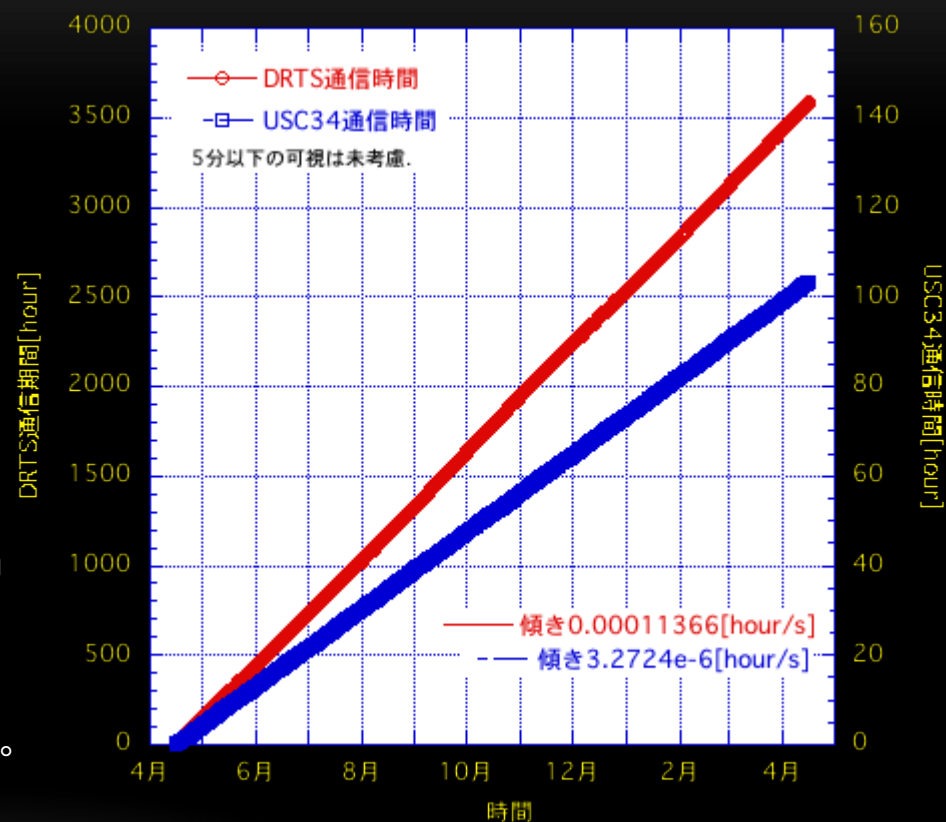
太陽観測ミッションでの回線実現例

- 相対する構体面に置いた1対の2軸駆動中利得アンテナ
 - 地球同期軌道として可視時間帯を確保。
 - 34m級の地球局と組み合わせ、いずれか一方のアンテナで、連続8H以上、16QAM/24Mbps以上を可能にする時間帯がある。



(参考) データ中継という選択肢

- 科学観測でのデータ中継サービス利用は難しい。
- DRTS (こだま) を利用するとした場合
 - 可視時間は地球局 (1局) のみに比べ35倍に。
 - ただし、搭載資源として下記が必要。
 - ALOSの例で、240Mbps/ 150kg、 Ka帯 $\Phi 1.6\text{m}$ 高利得アンテナ。
 - これまでの科学衛星と比べて、 $35 \times 24 = 840$ 倍の取得データ量。
 - ただし、科学衛星の総重量700kg~1.5ton.
 - 中継機能の小型軽量化のため、アンテナを中利得アンテナに置き換えたとする。
 - 中利得アンテナまでは搭載可能。
 - 利得にしておよそ26dB減 (1/400) 。
 - つまり、回線速度は1/400。データ中継のほとんどの利点が失われる。
 - 資源代償が大きすぎる点が問題。



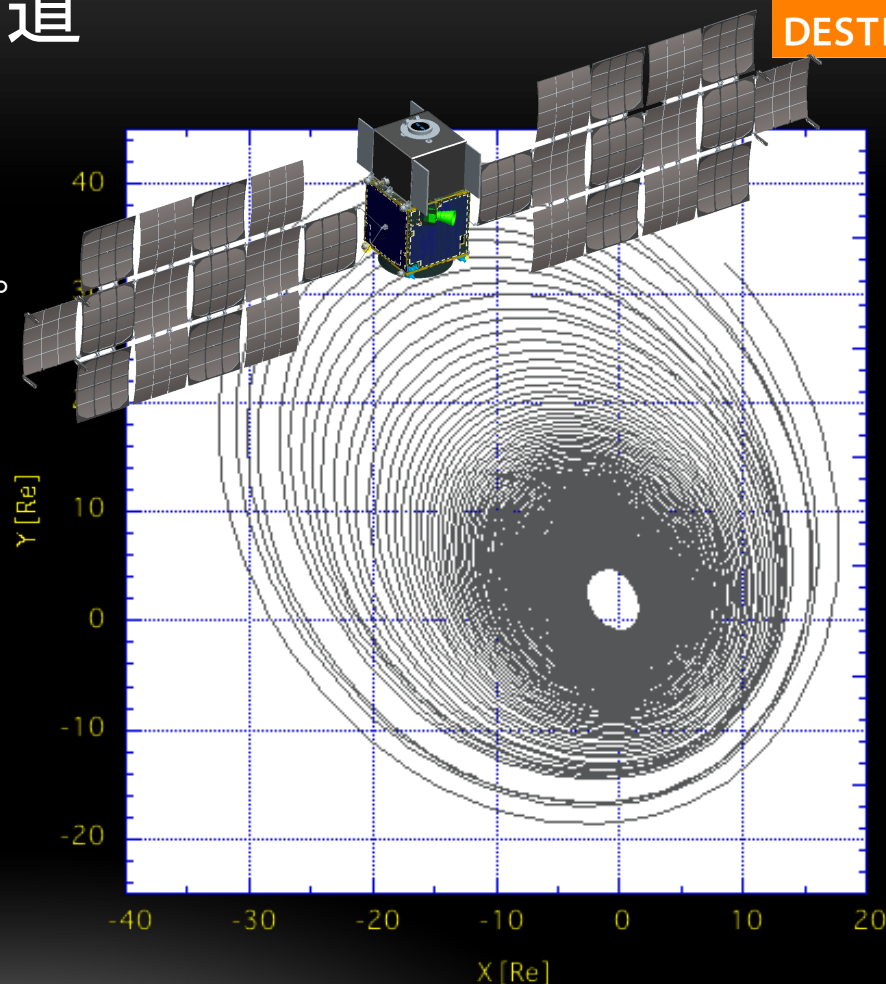
宇宙機までの距離とデータ取得

- 今度は、軌道選択の影響を距離としてしてみる
 - 低高度地球周回衛星。
 - 距離：近い→少ない資源で高速回線を利用可能。
 - 可視：短時間→データ取得の機会は少ない。
 - 取得機会拡大に効果のあるデータ中継には、資源の問題があった。
 - L点の利用
 - 距離：遠い→高速回線の利用には資源の割当てが必要。
 - 高利得アンテナの利用、指向運用の必要など運用の制約も。
 - 可視：長時間→データレートが低くとも、取得量の改善は期待。
- DESTINYのシナリオで両者を比較。
 - DESTINYは、ISAS/JAXA で計画中のミッションの1つ。

DESTINYシナリオの軌道



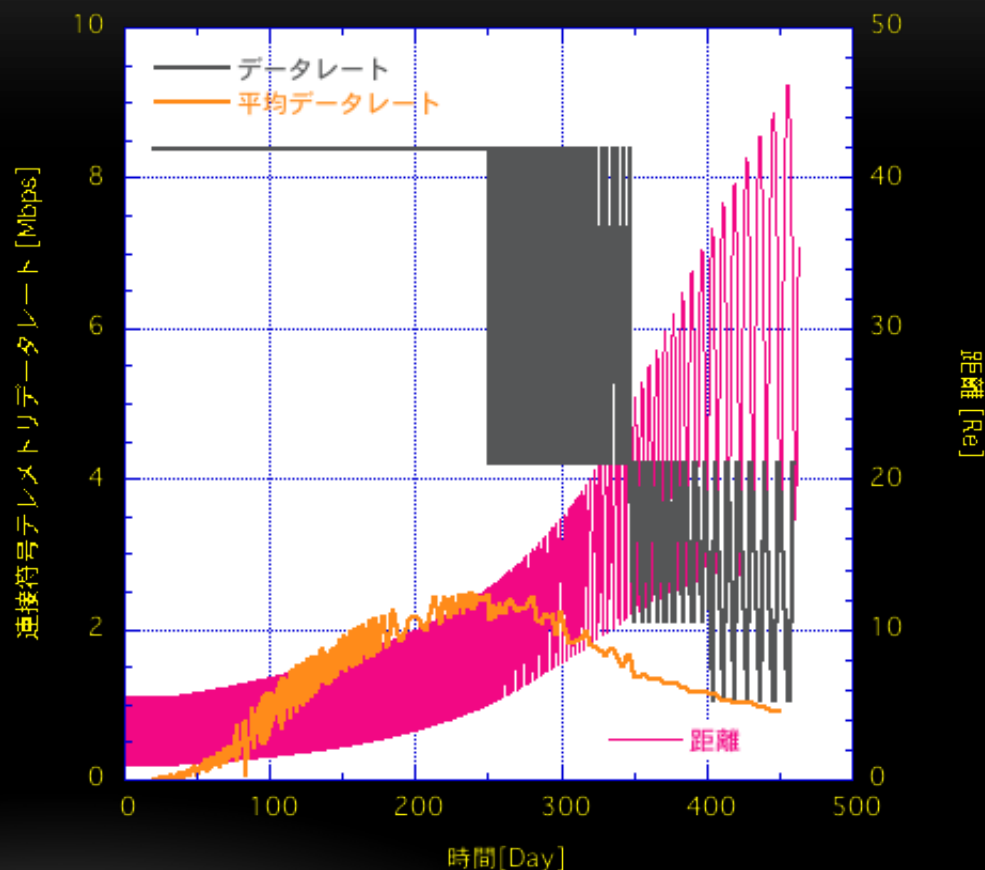
- 軌道設計
 - イオンエンジン加速により遠地点高度を月軌道まで徐々に上昇。
 - 宇宙機と地球局距離をパラメータにデータ伝送を議論するのに向いている。
- 回線評価は低利得アンテナで実施
 - 宇宙機姿勢によらず成立可能な回線。
 - 地球近傍から深宇宙まで、共通した評価になる。



設定データレートと平均レートの比較

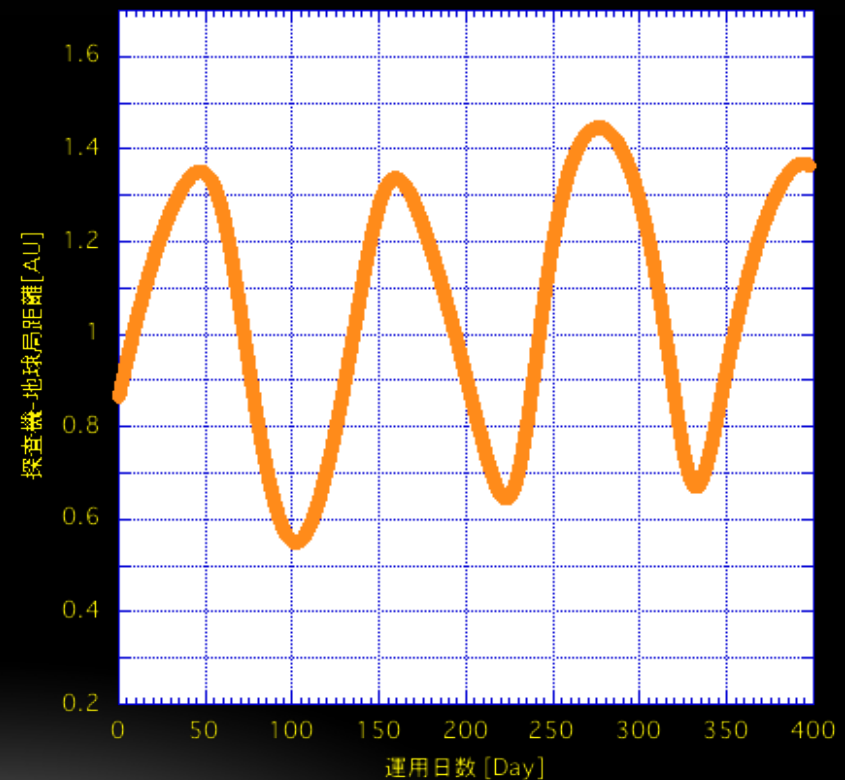
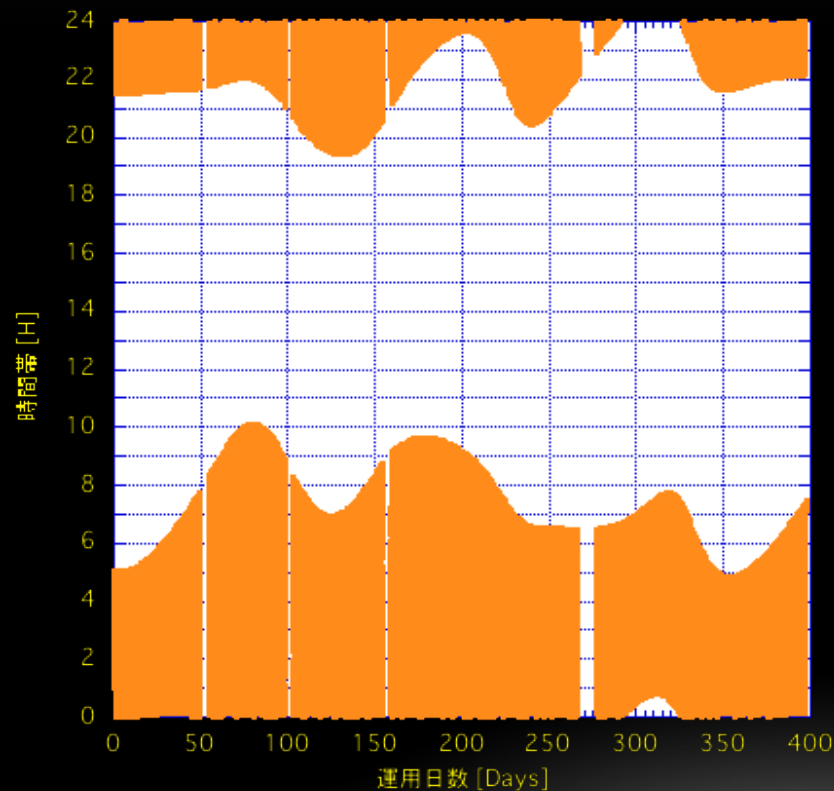


- 設定データレートは運用上利用可能な最大のデータレート
 - ある瞬間のデータレート。
 - データレートは距離増大と共に減少。
- 平均データレートは、非運用時間まで含めて均したデータレート。
 - 極大になる点がある。250日付近。
 - 極大になるタイミングは軌道形状に依存。距離と共に増大する可視時間とで決まる。
- 軌道投入当初に比べても月軌道付近まで高い平均レートが実現。
 - L点などの選択も、データ伝送上、決して不利な選択とはいえない。



深宇宙通信の場合

- 深宇宙通信では設定データレートと平均データレートはほぼ同じ。
 - 設定データレートで考えてよい。
- BCMMO（水星探査ミッション）の可視時間と距離変化の例。



深宇宙通信での取得データ総量

- 可視時間は比較的潤沢
 - 一般に、8H以上。
 - ただし、合などの非運用期間は存在する。
- データレート設定によって、取得データ量が変わる。
 - データレートに影響するのは地上局仰角。
 - 仰角に応じたレート設定が可能であれば10%程度の増量も期待できる。
 - 天候などの確率事象も影響。
- 深宇宙ミッションにおける取得データ量は80GB/年程度
 - 地球近傍のミッション例であるDESTINYでは5TB/年程度。

