

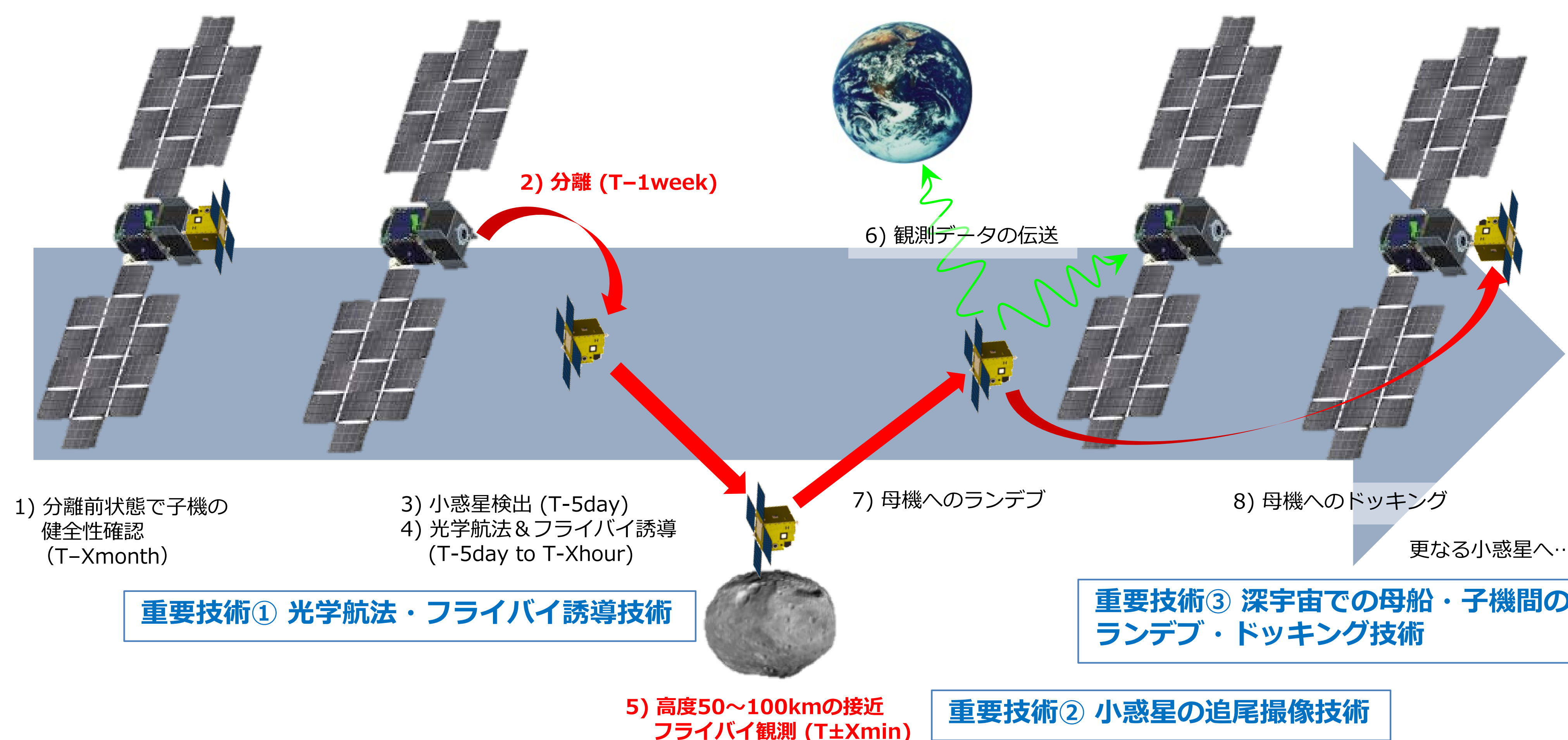


DESTINY+ミッションにおける 小惑星Phaethon近接フライバイ観測のための 超小型探査機PROCYON miniの検討

P-130

船瀬龍, 稲守孝哉, 五十里哲, 尾崎直哉, 中島晋太郎, 川添悠子 (東大),
荒井朋子, 小林正規 (千葉工大), 岩田隆浩, 大槻真嗣, 坂東信尚, 富木淳史, 川勝康弘 (JAXA)

超小型機PROCYON miniによる小惑星Phaethon近接フライバイ観測



小惑星Phaethonをフライバイする際に、母船DESTINY+本体から10kg程度の超小型機PROCYON miniを放出し、母船は安全な通過距離を維持しつつ**超小型機が小惑星の至近距離を高速 (~25km/s)通過しながら小惑星の詳細観測**を行う。

観測する詳細な地形情報から小惑星の形成史などの情報が得られる事が期待される。また、ダスト検出器等の分析機器によるその場の観測も予定している。

小惑星観測終了後に再び母船が小型機を回収することにより、**次の目的地となる別の小惑星を同様に近接フライバイするマルチフライバイ探査**も目指している。

重要技術① 光学航法・フライバイ誘導

PROCYONでの設計条件も踏まえた表1に示すような条件で光学航法・誘導のモンテカルロシミュレーションを行った結果、**3 σ の誘導精度14km**、**最悪側の必要 ΔV 17m/s**で誘導できることが分かった。

光学・電波複合航法(DDORを含む)、DESTINY-PROCYON mini間の相対VLBI、ステレオ光学航法などの方法を用いることにより、目標とする高度50kmに対して十分小さな誤差での誘導を実現できると考えている。

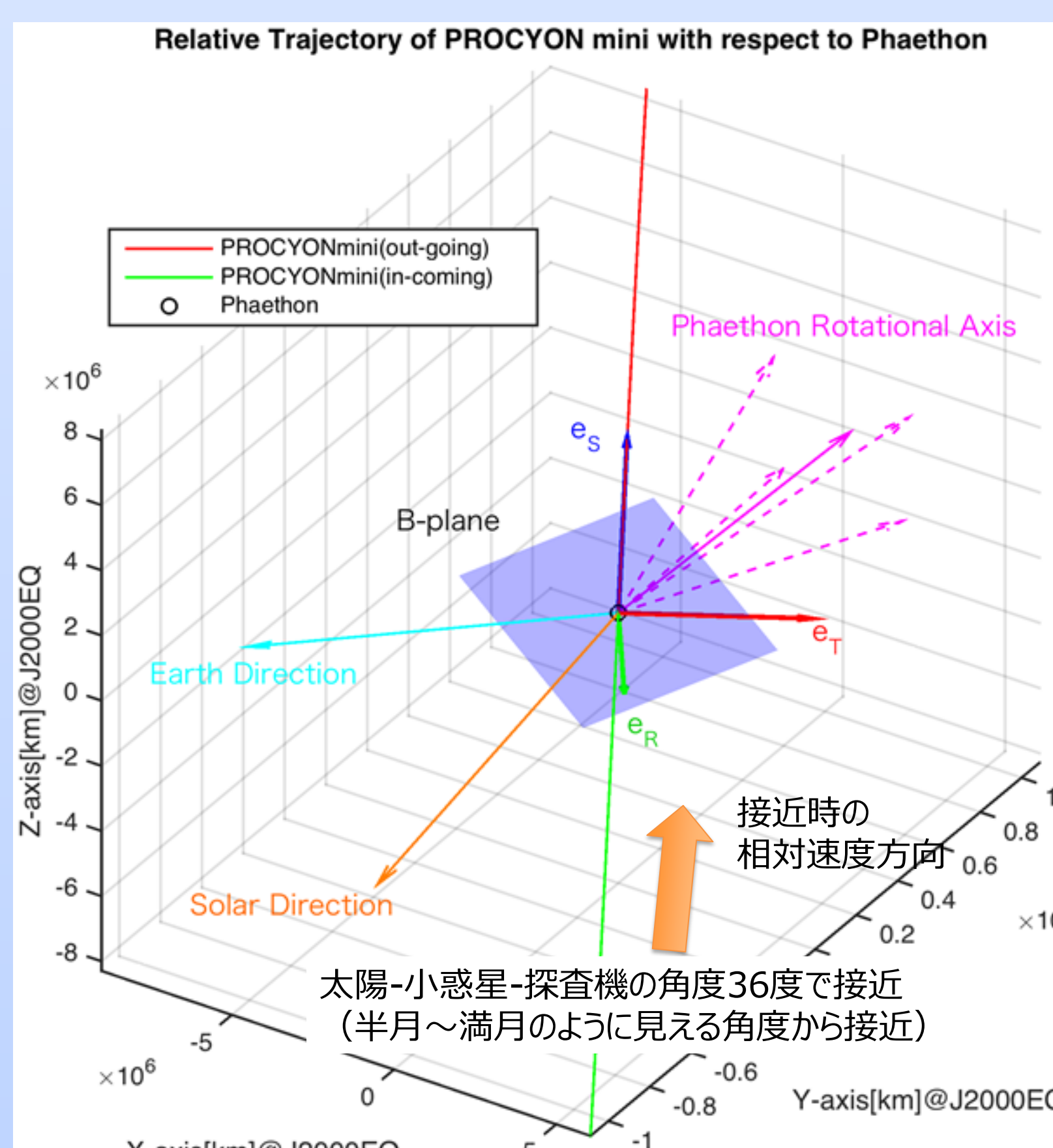


表1 光学航法及びフライバイ誘導条件

全体	光学航法開始日数: 最接近5日前 誘導開始日時: 最接近3日 Phaethon - PROCYON mini間の相対速度: 24.7[km/s] ダイナミクス: 線形化相対運動
決定精度	観測方程式: $x(t) = V_{rel}(t_f - t) \cdot \tan \theta(t)$ (光学情報のみ) 角度分解能: 3.6e-5[rad] 初期位置決定誤差: $\delta x(t_0) = 300[\text{km}]$ @ 3 σ 初期速度決定誤差: $\delta v(t_0) = 3[\text{m/s}]$ @ 3 σ 光学画像撮影頻度: 1時間/枚 推定則: 線形パッチフィルタ
誘導則	TCM回数: 5回 誘導タイミング: 3日前(TCM1), 1.79日前(TCM2), 18.1時間前(TCM3), 4.92時間前(TCM4), 1.04時間前(TCM5) (最適スペーシング則により計算)

図1 Phaethonへのフライバイ軌道 (Phaethon中心相対座標系)

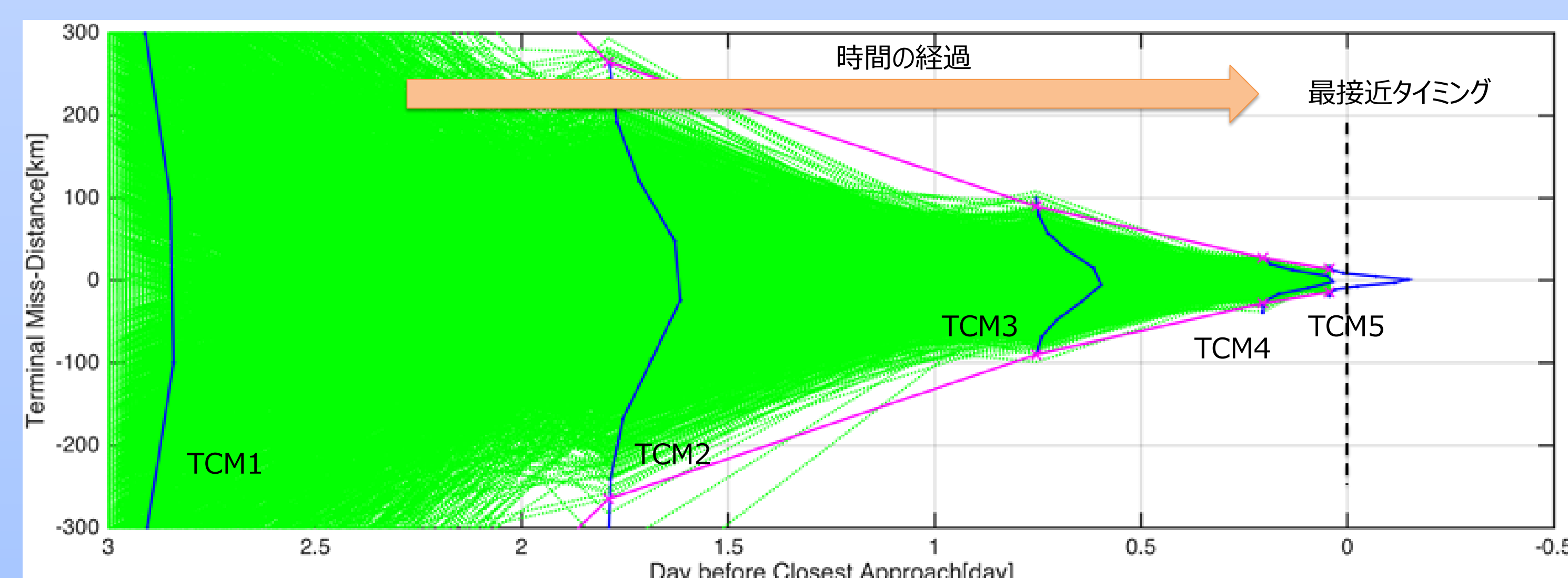


図2 光学航法及びフライバイ誘導による誘導精度の推移。青線は各TCMにおける誘導誤差の確率分布を表し、マゼンダ色の線は3 σ の推移を示している。

重要技術③ ランデブ・ドッキング

厳しい重量リソース制約の中で、安全かつシンプルな分離・結合を実現する方法として、**磁気力を用いた結合・分離機構** (永久磁石と、電磁石 n 通電/非通電で結合/分離を制御) に、母船との安全距離を保つために**母船からの低自由度アーム**を共用する方式を検討中。ランデブのための航法システムとして、相対距離の大きさに応じて**単独レンジング~相互レンジング~UWB(Ultra Wide Band)通信機を用いた相対位置・姿勢決定**を併用して捕獲可能範囲まで誘導する方法を検討中

重要技術② 小惑星の追尾撮像

空間分解能10 m/pixelでの表層観測の要求から、超小型探査機のリソース制約も考慮すると、**高度50kmという至近距離を高速 (~25km/s)でフライバイしながら観測を行う必要がある**が、図3のように探査機と小惑星間の相対角速度が大きくなるため、固定カメラでは視野内に対象天体が収まっている時間が極端に短くなってしまふ。

そこで、Phaethonを長く様々な視点から広範囲に観測するため、**小惑星を追尾観測できるシステムを実装する必要がある**。追尾システムを用いることで、**最接近前後5秒間程度、相対角20度から160度**という様々な視点で、サイエンス要求10m/pixを満たす観測を行うことができる (図4)。

追尾システムの実現方法として、PROCYONに搭載されていたような**1軸の駆動望遠鏡**を搭載すること、PROCYON miniの小ささ (慣性モーメントが小さいこと) を生かして**姿勢自体を高速に追尾制御**する方法の2通りを検討中。

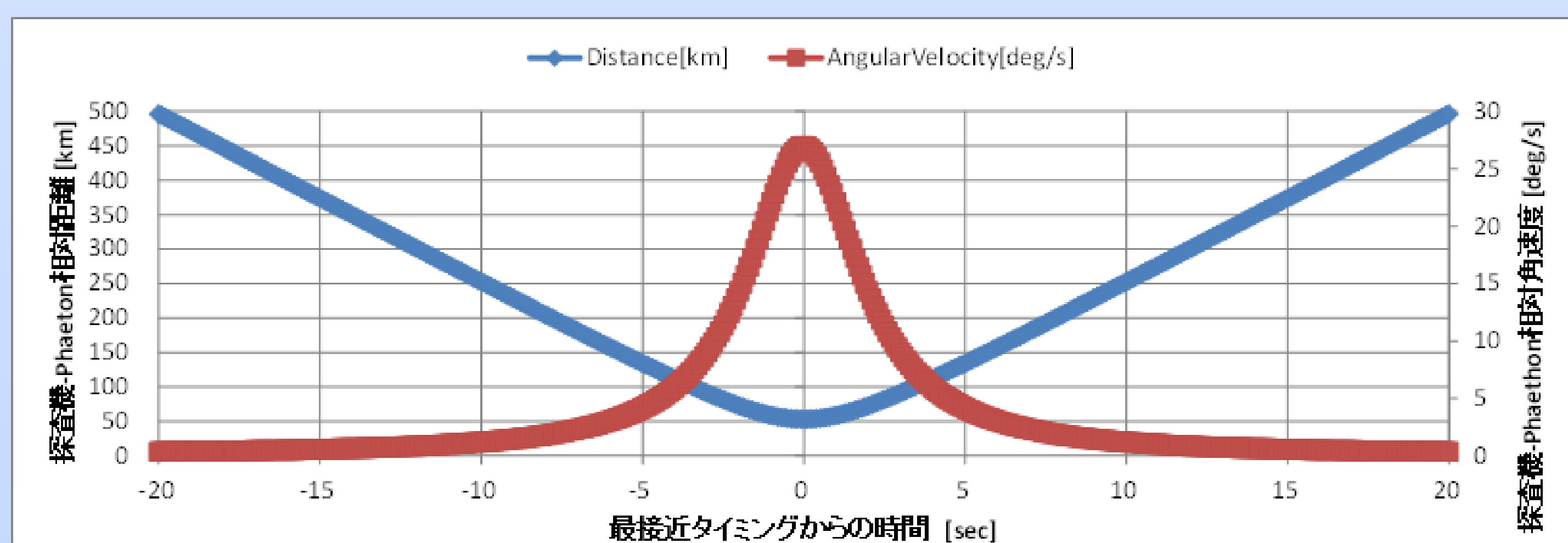


図3 Phaethon最接近時の相対距離と相対角度の履歴(最接近距離50km)

表2 Phaethon接近観測用カメラのスペック検討

最接近距離 km	口径 mm	焦点距離 mm	分解能 rad/pix	ピクセル数 pix	最小空間分解能 m	要求10m/pixを満たしている時間 秒	固定カメラで画角内にPhaethonが収まる時間 秒
50	TBD	70	8.0E-05	2048	4	9	0.7
100	TBD	140	4.0E-05	2048	4	18.5	0.7

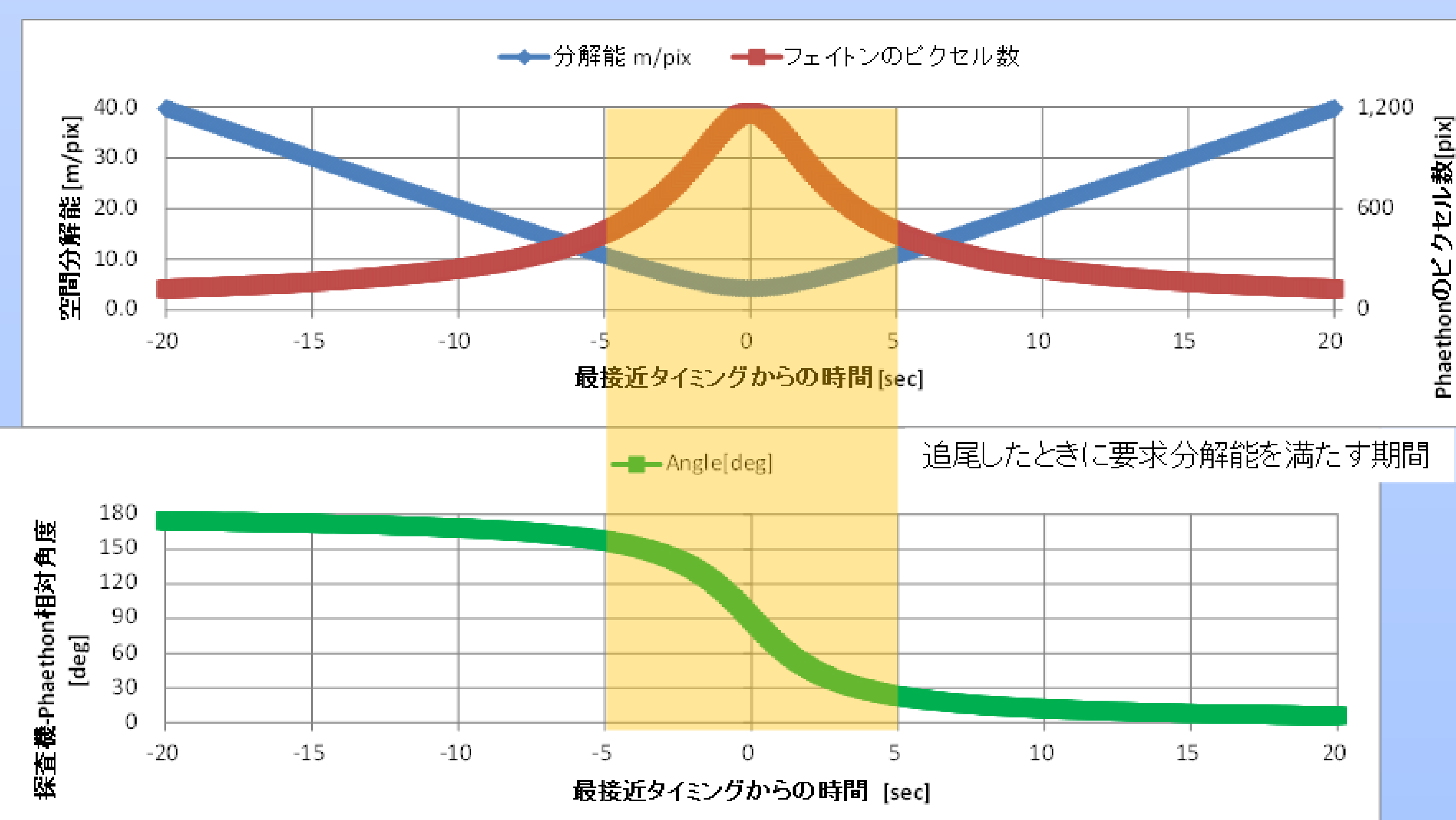


図4 Phaethon最接近時観測条件 (最接近距離50km)