

# 小惑星フライバイにおける追尾撮像システム構築を目指した制御系の検討

## Control system design for asteroid tracking and imaging system during a flyby

○橋爪 康矢, 宮田 喜久子, 原 進 (名古屋大学)

○Koya HASHIZUME, Kikuko MIYATA, Susumu HARA (Nagoya University)



### 1. 背景

小惑星フライバイにおいて、対象を追尾撮影することで、観測時間の増大と多方面からの撮影が可能になることが期待されている。

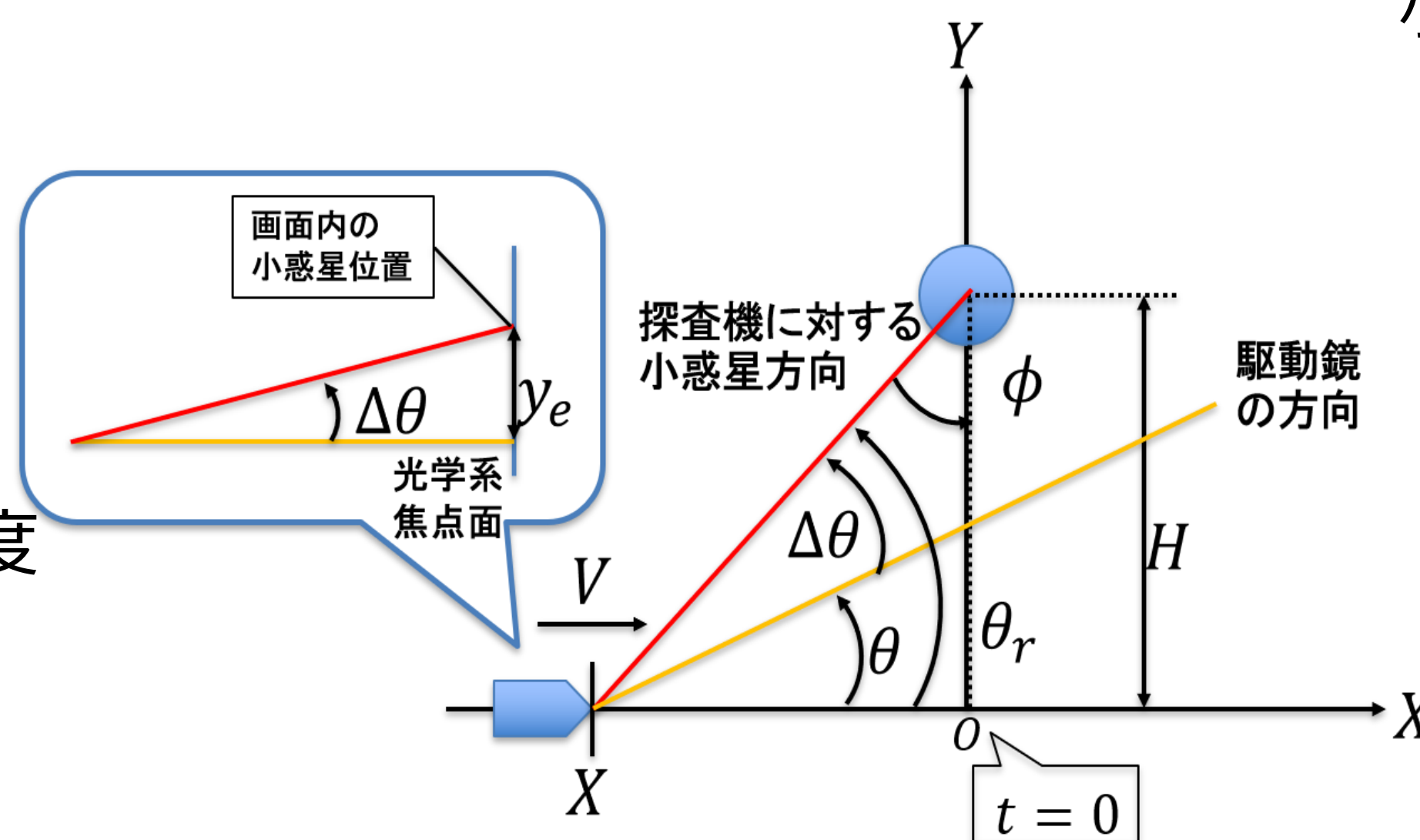
#### 問題点

小惑星と探査機が最接近する付近において、小惑星方向の目標角速度が非常に大きくなり、カメラ画像からのフィードバックだけでは小惑星を完全に追うことができない。

#### 本研究の目的

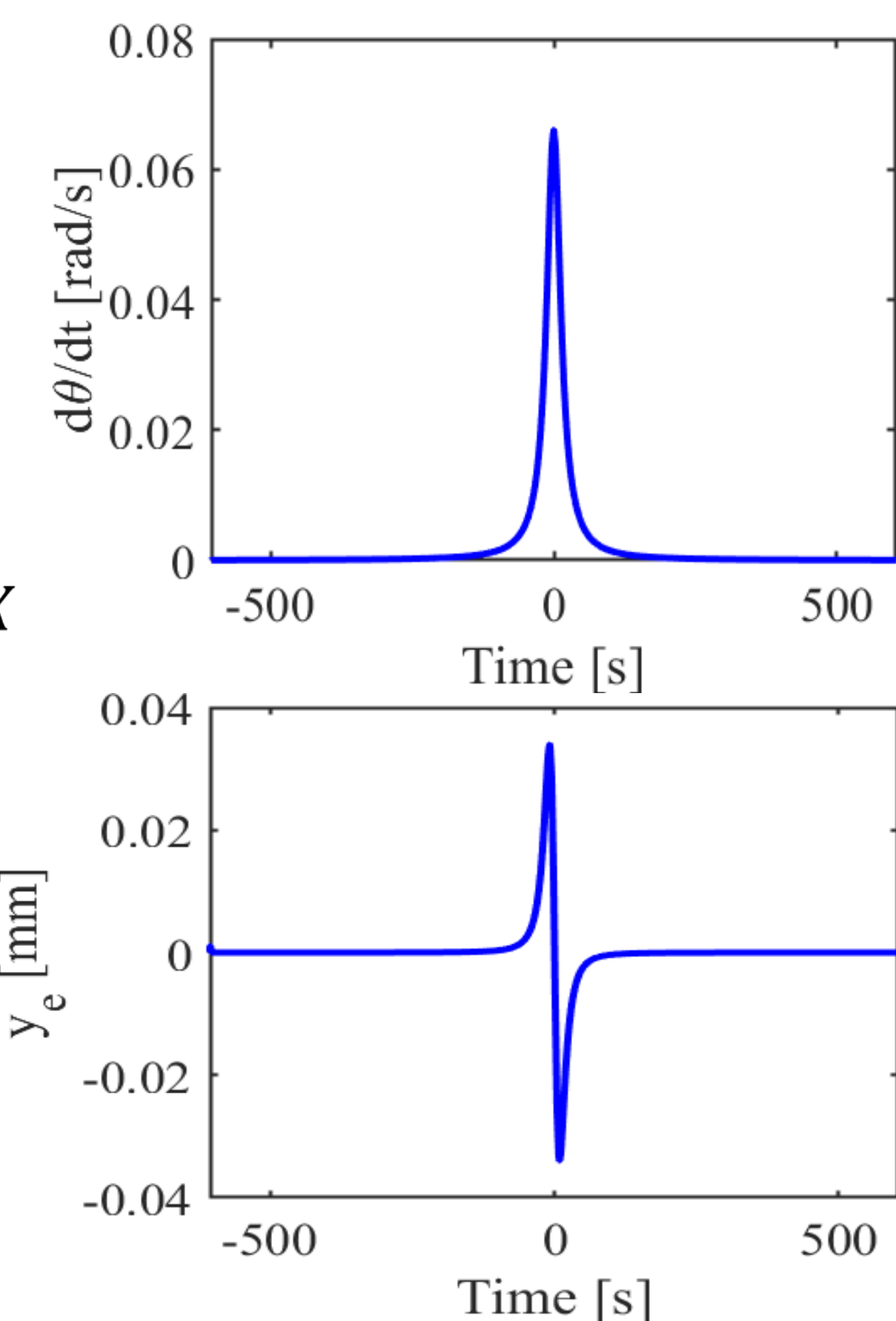
最接近点付近でも画像のぶれが少なくかつ様々な誤差に対してロバストな制御系の設計

#### 小惑星フライバイ時の幾何学関係



$\theta$ : 駆動鏡の角度,  $\theta_r$ : 探査機からみた小惑星の方向角  
 $\Delta\theta$ : 小惑星方向と駆動鏡の方向のずれ角  
 $H$ : 最接近距離,  $V$ : 相対速度  
 $y_e$ : 画面上における画面中心と小惑星中心とのずれ

#### 追尾目標角速度と撮影画面における小惑星中心の画面中心からの誤差履歴



### 2. 提案する制御系

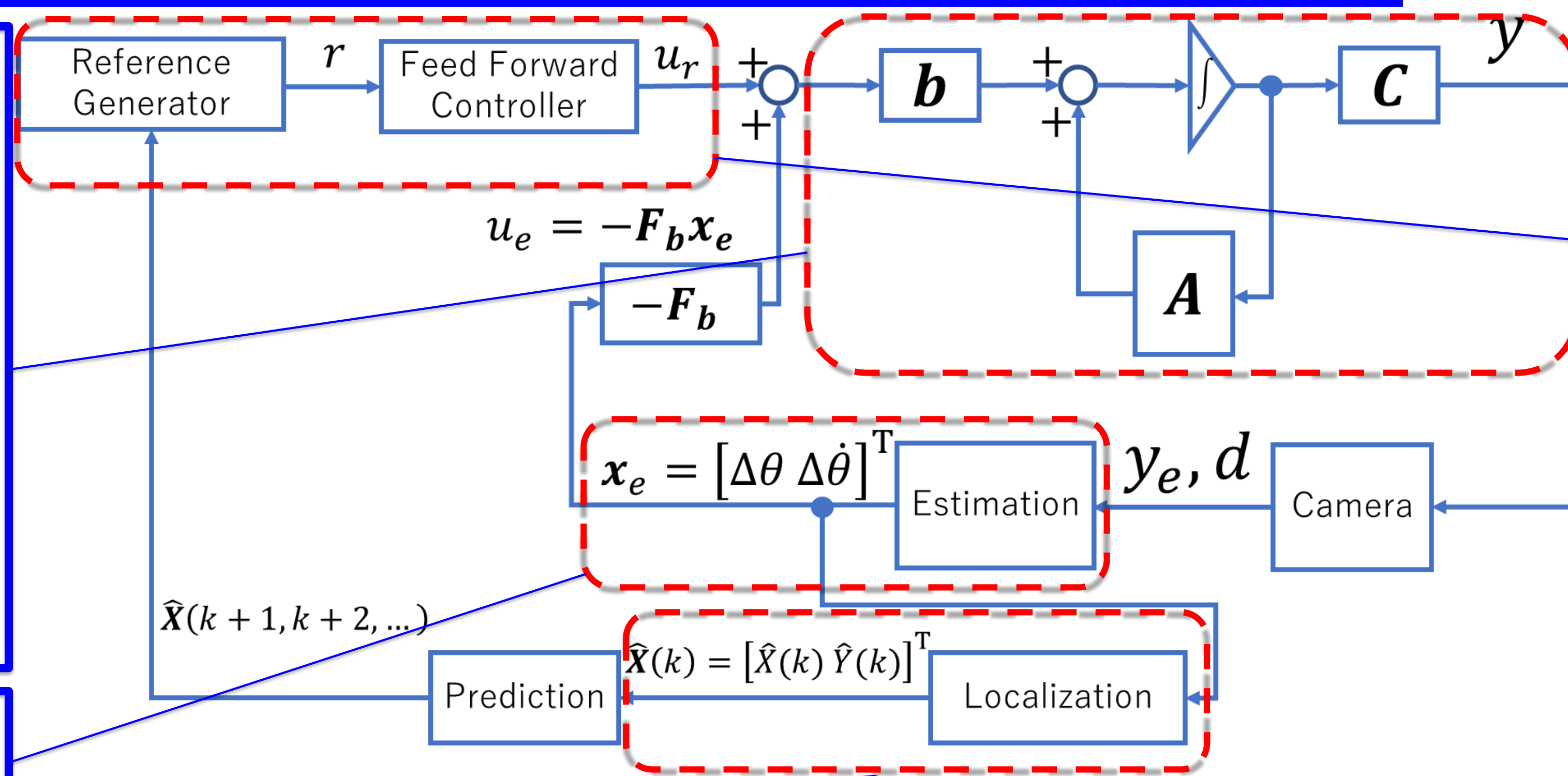
#### ○制御対象 (駆動鏡)

$$\dot{x} = Ax + bu$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = cx = [1 \ 0]x$$

$J$ : 駆動鏡の慣性モーメント



#### ○フィードフォワード入力の生成(検討中)

**現状**  
画面と小惑星の中心を完全一致させようとしているため、最接近付近で追えなくなっている。

#### 構想

- 探査機の将来位置  $\hat{x}(k+1, k+2, \dots)$  を予想
- $\hat{x}(k+1, k+2, \dots)$  をもとに  $\theta$  の目標値  $r$  を生成
- 目標値  $r$  をもとにフィードフォワード入力  $u_r$  を生成

不確定性、追尾性能を考慮した目標値  $r$  を生成することにより、最接近付近でもぶれがないようにする。

#### ○ $x_e = [\Delta\theta \ \Delta\dot{\theta}]^T$ の推定

$$\Delta\tilde{\theta} = \tan^{-1}\left(\frac{y_e}{f}\right)$$

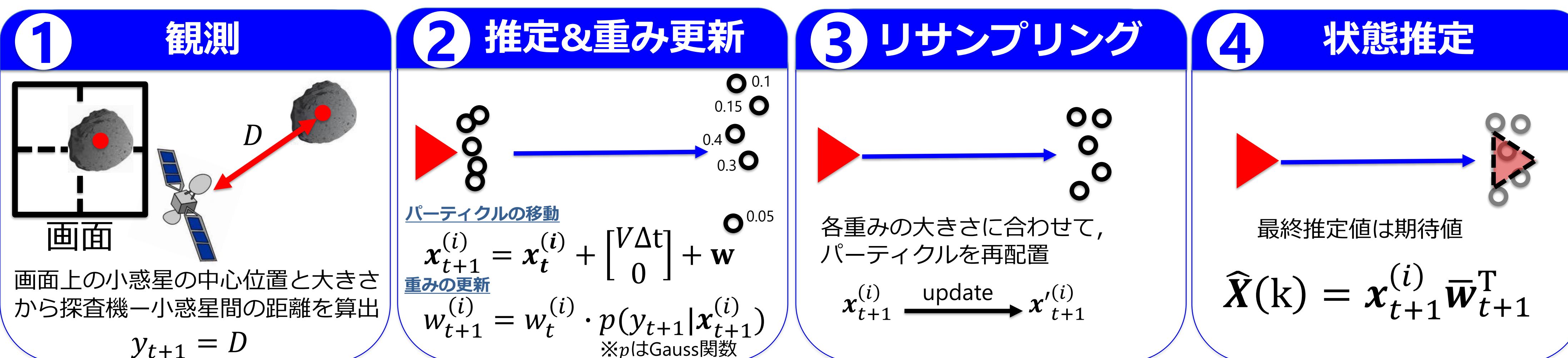
$f$ : 焦点距離

$$\Delta\theta$$

$$\Delta\dot{\theta} = \frac{\Delta\theta(k) - \Delta\theta(k-1)}{dt}$$

#### ○Particle Filterを用いた自己位置推定

Particle Filterを用いて、探査機の位置  $\hat{x}(k) = [\hat{x}(k) \ \hat{y}(k)]^T$  を推定する。



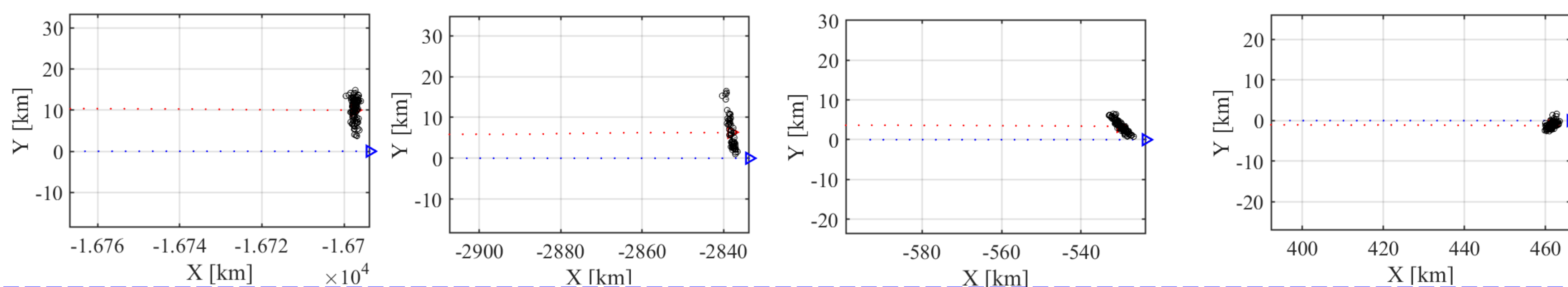
### 3. シミュレーション結果

自己位置推定の精度とその時の画面上の小惑星の写り方をシミュレーションにより確認した。

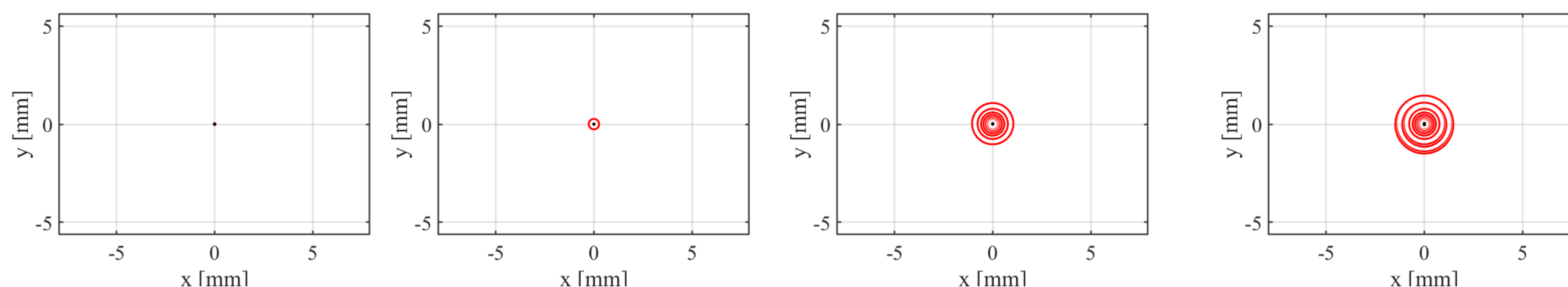
#### シミュレーション条件

- 相対速度:  $V = 33$  km
- 最接近距離:  $H = 500$  km
- 小惑星直径: 5.1 km
- 初期値:  $X_0 = [-20000 \ 0]$
- 初期推定値:  $\hat{X}_0 = [-20000 \ 10]$

#### 位置推定



#### 画面上の見え方



### 4. 結論

- フライバイ撮像のためのシステムの構想を示した。
- パーティクルフィルタによる探査機の位置推定の精度をシミュレーションにより確認した。

#### 今後の展望

- パーティクルフィルタの尤度関数の設定や分散を工夫することで、位置推定精度をあげる。
- フィードフォワード入力の生成の仕方を検討した上で、追尾性能の変化を確かめる。