

# 反射波や回折波を含むGPS信号を用いる 移動ロボットの状態推定

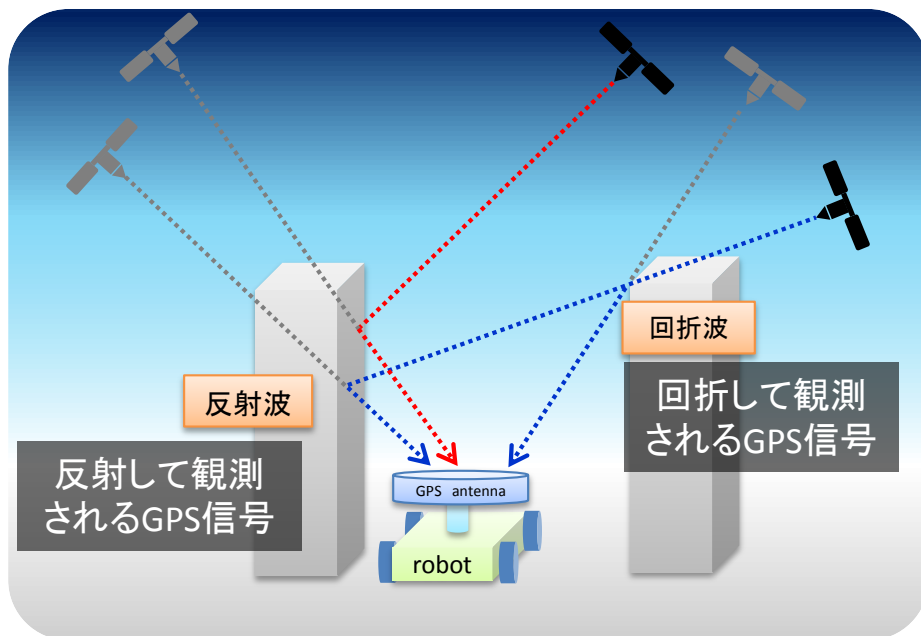
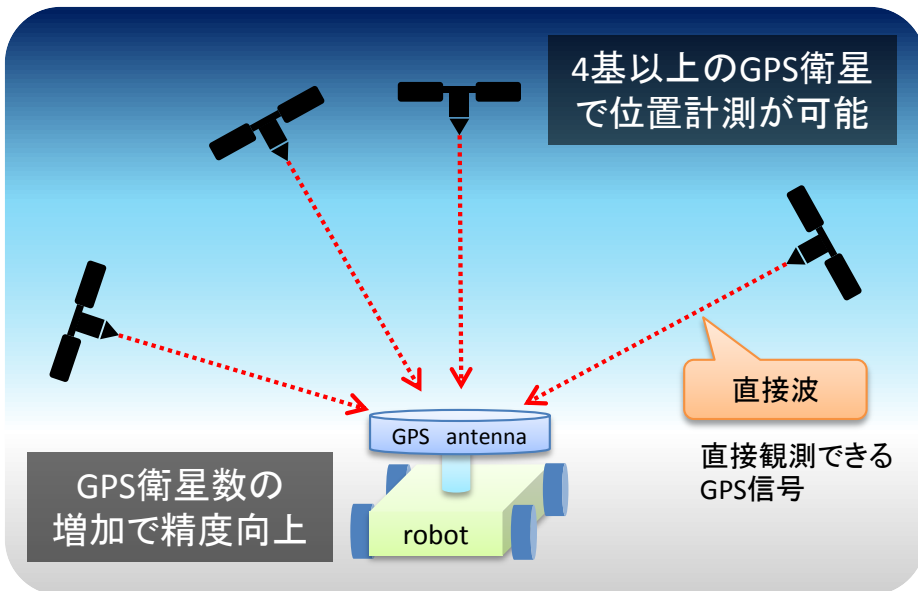
---

九州工業大学 大学院 工学研究院  
機械知能工学研究系知能制御部門

西田 健

NISHIDA Takeshi

# 1. はじめに



## GPS (Global Positioning System)

反射・回折波の排除 直接波のみを利用する準備

- GPS信号の強度の利用
- 3次元地図と衛星の予測高度の利用

衛星の陰 直接波を観測可能なGPS衛星が4基を下回る領域

- 高層ビルの周囲・樹木の下等は衛星の陰になる。

計測精度向上の従来手法 他の情報の併用

- 地図の利用
- デッドレコニングの併用

➤ 反射波・回折波を利用できないだろうか？

## 2. 反射波や回折波を利用するためのアイデア① ～ノイズに関する仮説～

仮説

反射・回折波を含む  
GPSの位置情報

=

真の位置

+

時変ガウス分布に従うノイズ

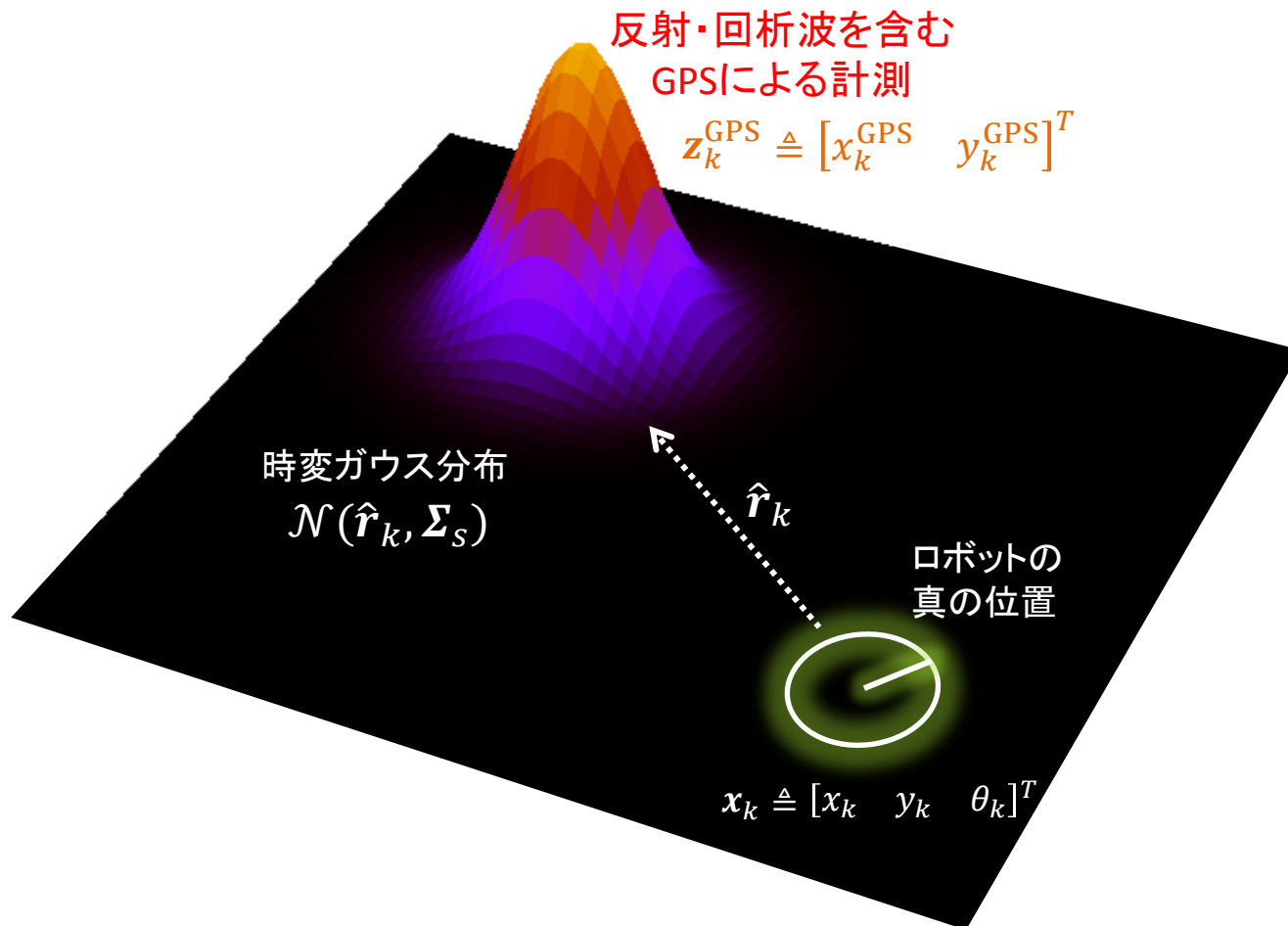


Fig. 1 Relationship of the robot position and noise distribution.

## 2. 反射波や回折波を利用するためのアイデア② ～状態フィードバック系の構成～

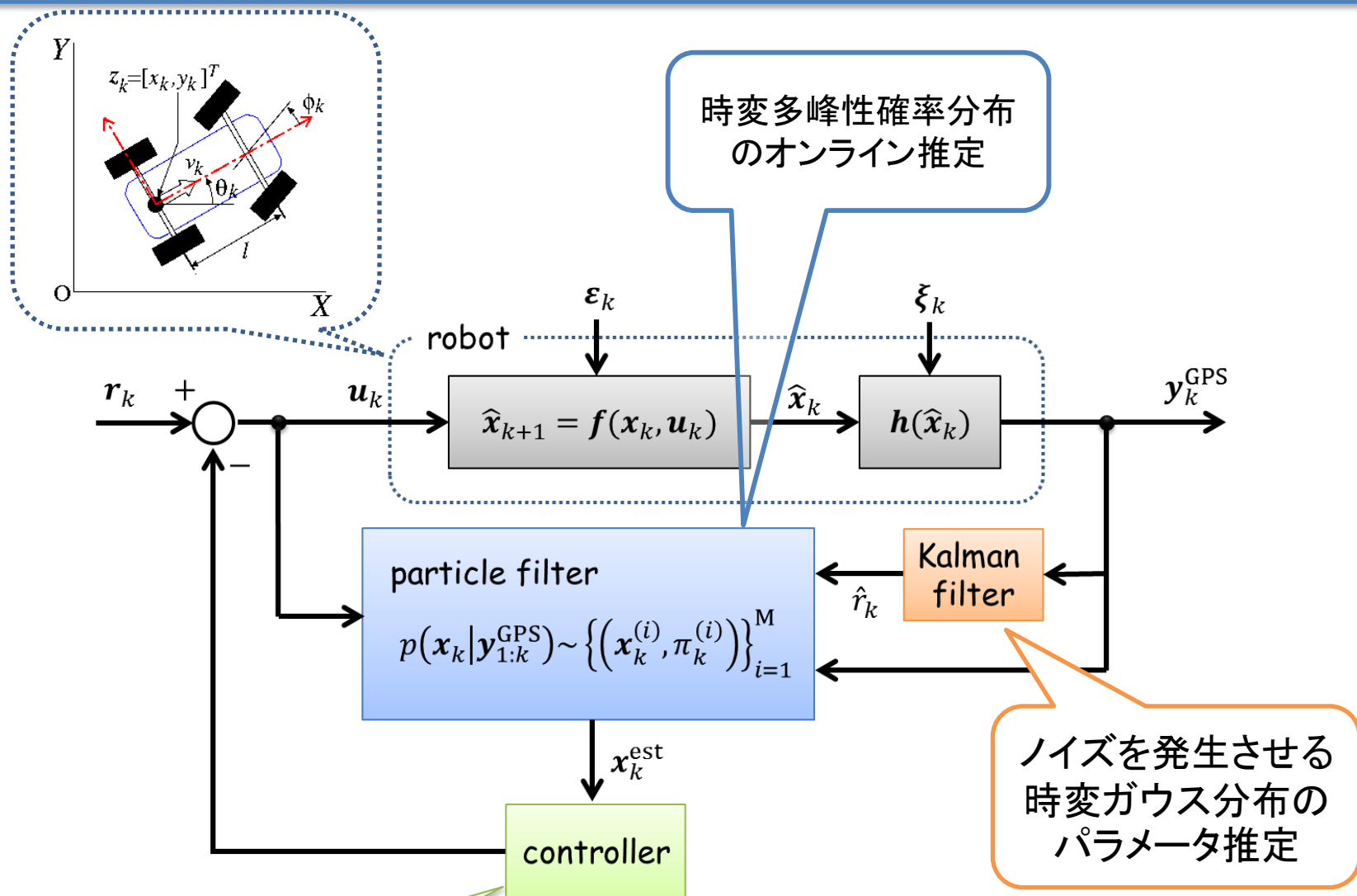


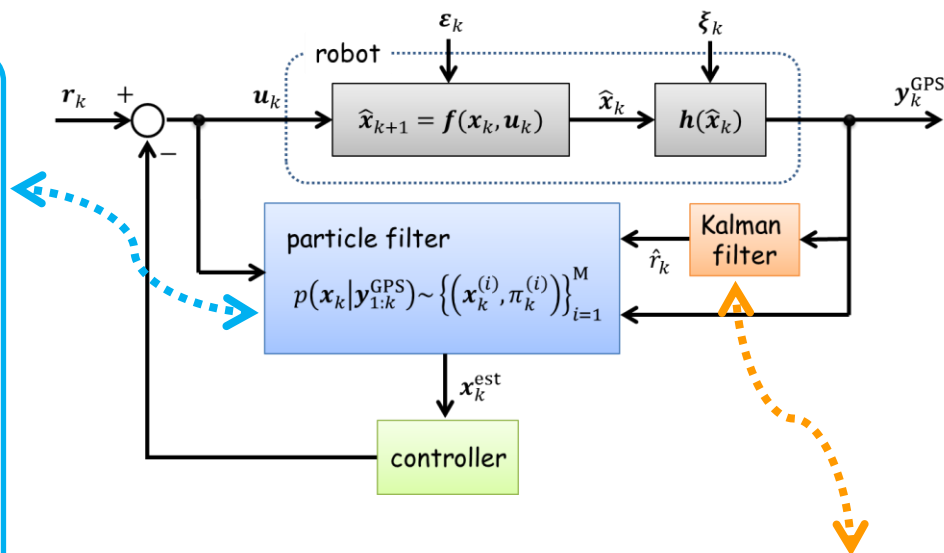
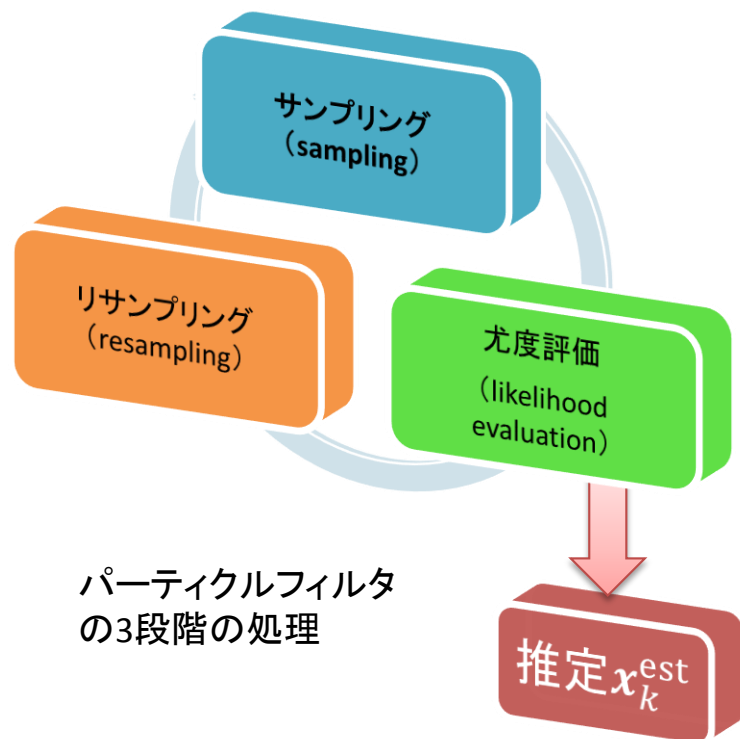
Fig. 2 State variable diagram of the proposed control system.

## 2. 反射波や回折波を利用するためのアイデア② ～状態フィードバック系の構成～

### カルマンフィルタとパーティクルフィルタによる状態量推定

パーティクルフィルタで多峰性  
確率密度の時系列を追跡

運動モデルと計測モデルの確率密度関数の合成  
は多峰性確率密度関数になる

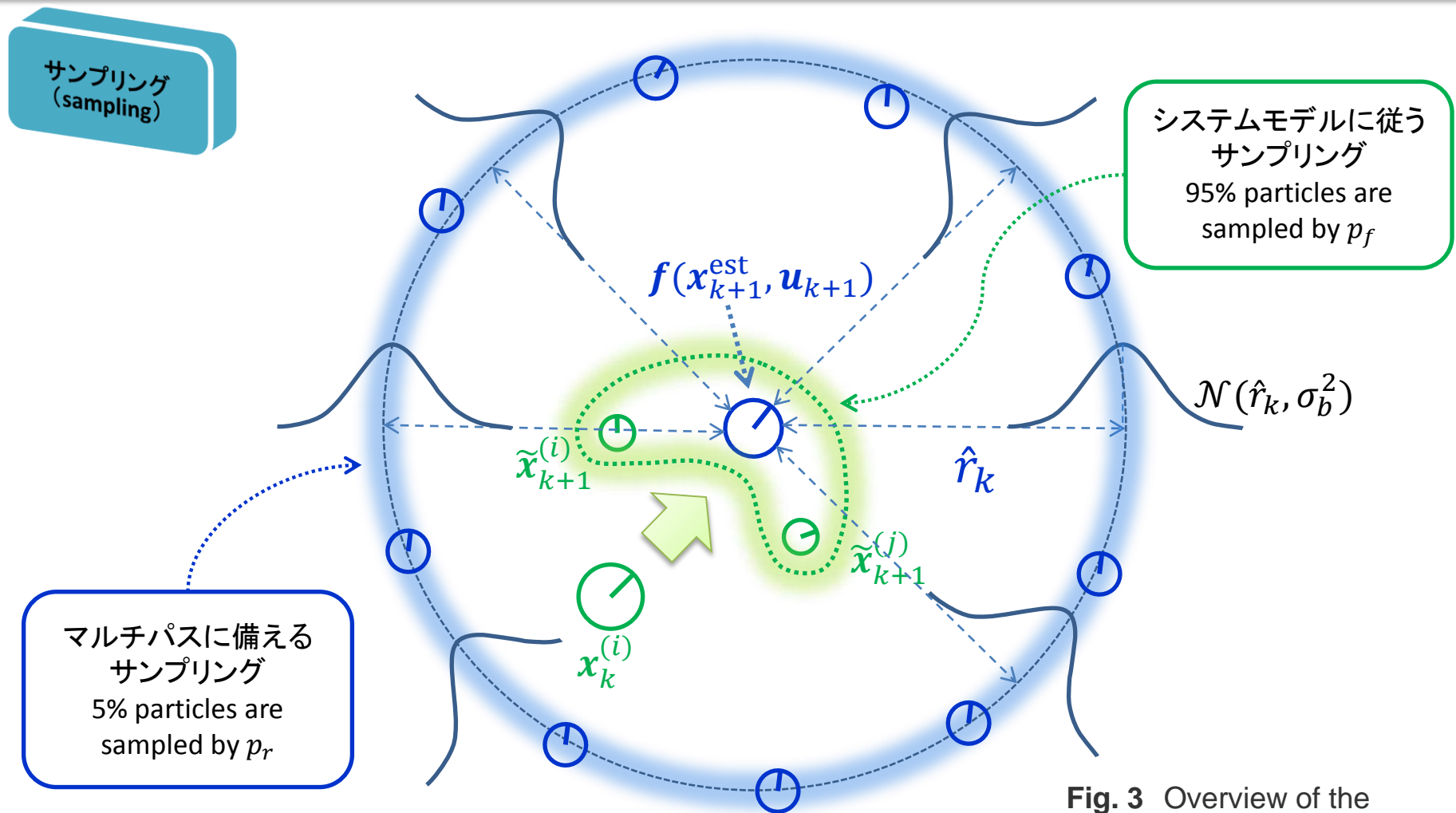


カルマンフィルタでノイズのバイアスを推定

- 反射・回折波を含むGPS計測のノイズの分散は直接波のみのそれよりも大きくなる傾向がある。
- 真の位置からのバイアス  $\hat{\tau}_k$  が大きく移動する。

ガウス分布に従うノイズを適応的に推定

## 2. 反射波や回折波を利用するためのアイデア③ ～サンプリングの工夫～



1

粒子の一部を反射・回折波対策として、同心円状に配置

2

同心円の半径(ノイズのバイアス)をカルマンフィルタで推定.

3

バイアス推定 $\hat{r}_k$ をパーティクルフィルタの尤度評価に利用

## 2. 反射波や回折波を利用するためのアイデア④ ～尤度評価の工夫～

尤度評価  
(likelihood  
evaluation)

$$P_h \left( y_k^{\text{GPS}} \mid x_k^{(i)} \right) = \frac{1}{2} P_{\text{direct}} \left( y_k^{\text{GPS}} \mid x_k^{(i)} \right) + \frac{1}{2} P_{\text{shadow}} \left( y_k^{\text{GPS}} \mid x_k^{(i)} \right)$$

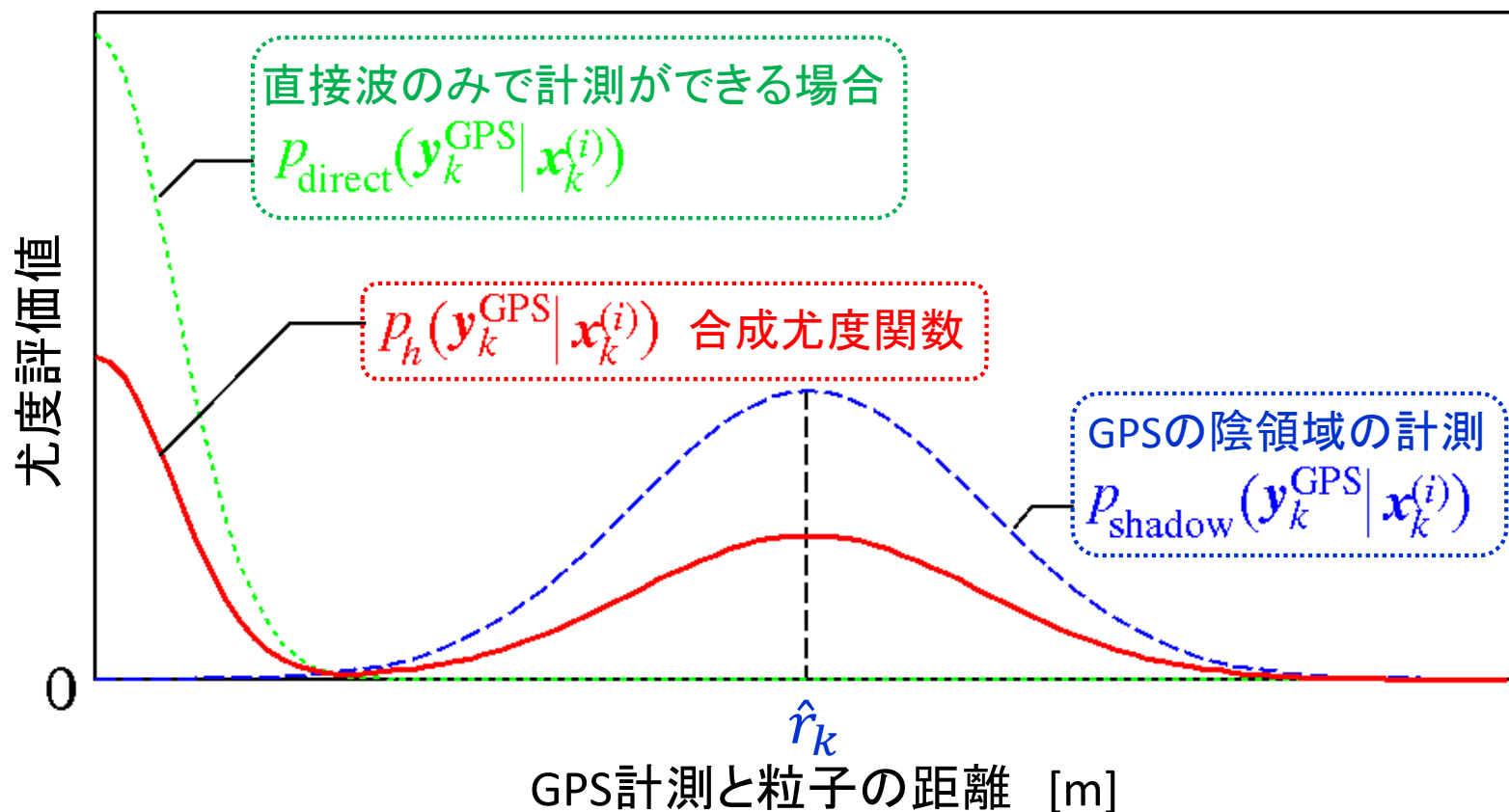


Fig. 4 Likelihood function of a measurement model

### 3. 状態推定と制御

制御  
(control)

リサンプリング処理後に推定  $\mathbf{x}_k^{\text{est}}$  を算出

$$\pi_k^{(i)} \propto \pi_{k-1}^{(i)} P_h \left( \mathbf{y}_k^{\text{GPS}} \mid \mathbf{x}_k^{(i)} \right)$$

$$\mathbf{x}_k^{\text{est}} = \sum_{i=1}^M \pi_k^{(i)} \delta \left( \mathbf{x}_k^{(i)} \right)$$

$$\sum_{i=1}^M \pi_k^{(i)} = 1$$

$\mathbf{x}_k^{\text{est}}$  を用いて制御入力を決定

$$\phi_{k+1} = k_\phi (\phi_k^* \ominus \phi_k)$$

$$v_{k+1} = \text{const.}$$

$$\phi_k^* = \tan^{-1} \frac{y_j^{\text{target}} - y_k^{\text{est}}}{x_j^{\text{target}} - x_k^{\text{est}}}$$

$\phi_k^*, \phi_k \in [0, 2\pi)$

$k_\phi$  Feedback gain



## 4. シミュレーション条件

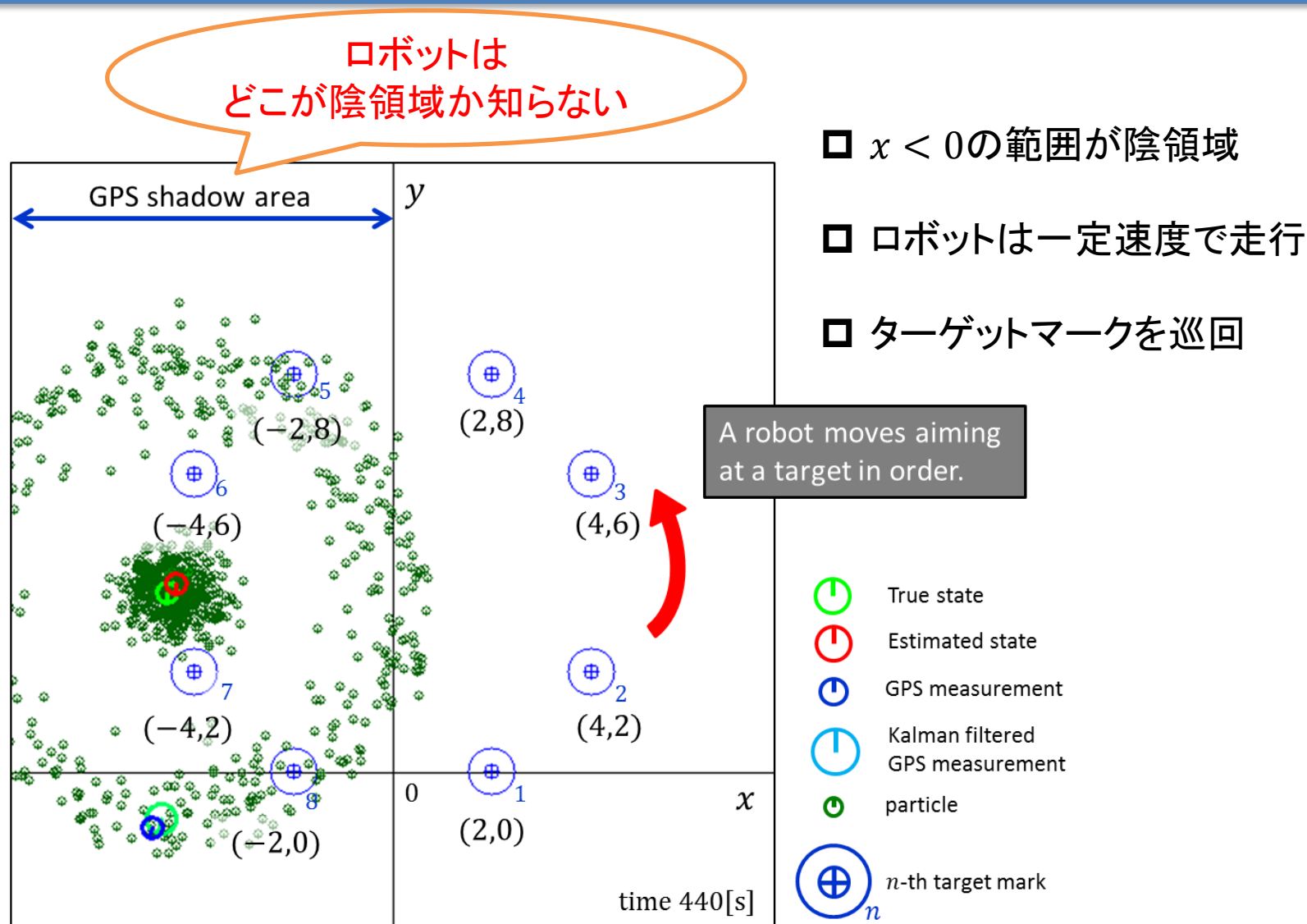


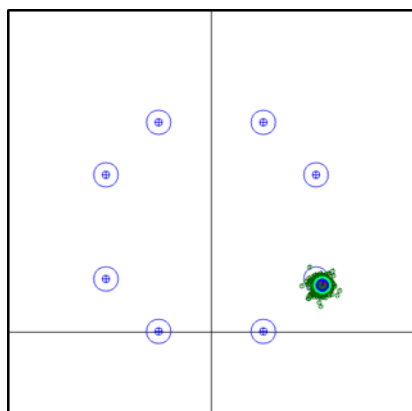
Fig. 5 Conditions of the simulation.

## 4. シミュレーション

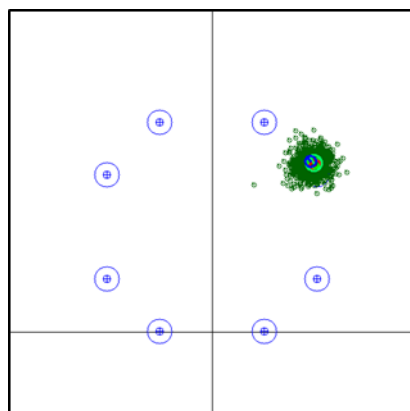
### 提案手法によるロボットと パーティクルの推移

サンプリング  $\tilde{x}_{k+1}^{(i)} \sim p_q(\tilde{x}_{k+1}^{(i)} | x_k^{(i)} u_k)$

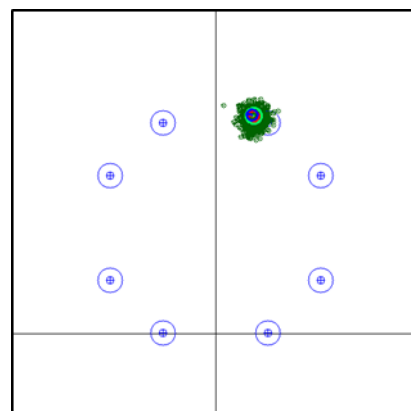
尤度評価  $P_h(y_k^{\text{GPS}} | x_k^{(i)}) = \frac{1}{2} P_{\text{direct}}(y_k^{\text{GPS}} | x_k^{(i)}) + \frac{1}{2} P_{\text{shadow}}(y_k^{\text{GPS}} | x_k^{(i)})$



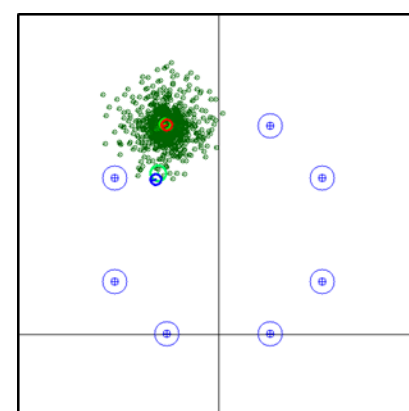
(a) time = 100 [s]



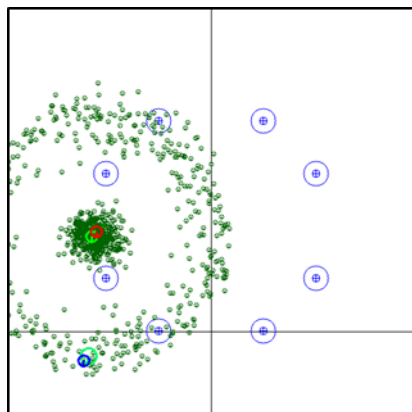
(b) time = 200 [s]



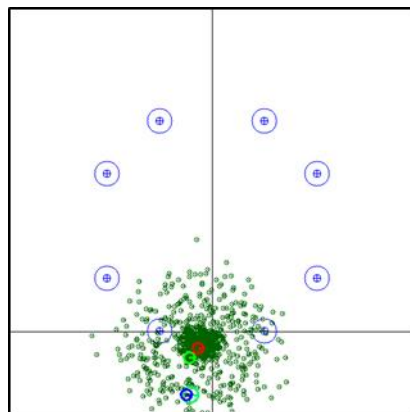
(c) time = 300 [s]



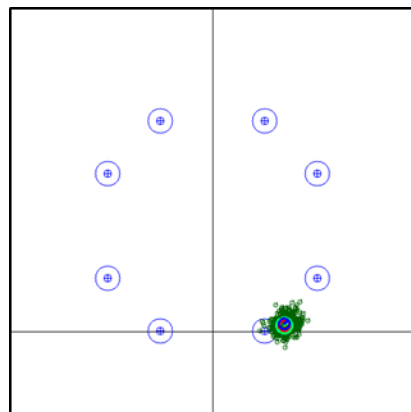
(d) time = 330 [s]



(e) time = 440 [s]



(f) time = 570 [s]



(f) time = 650 [s]

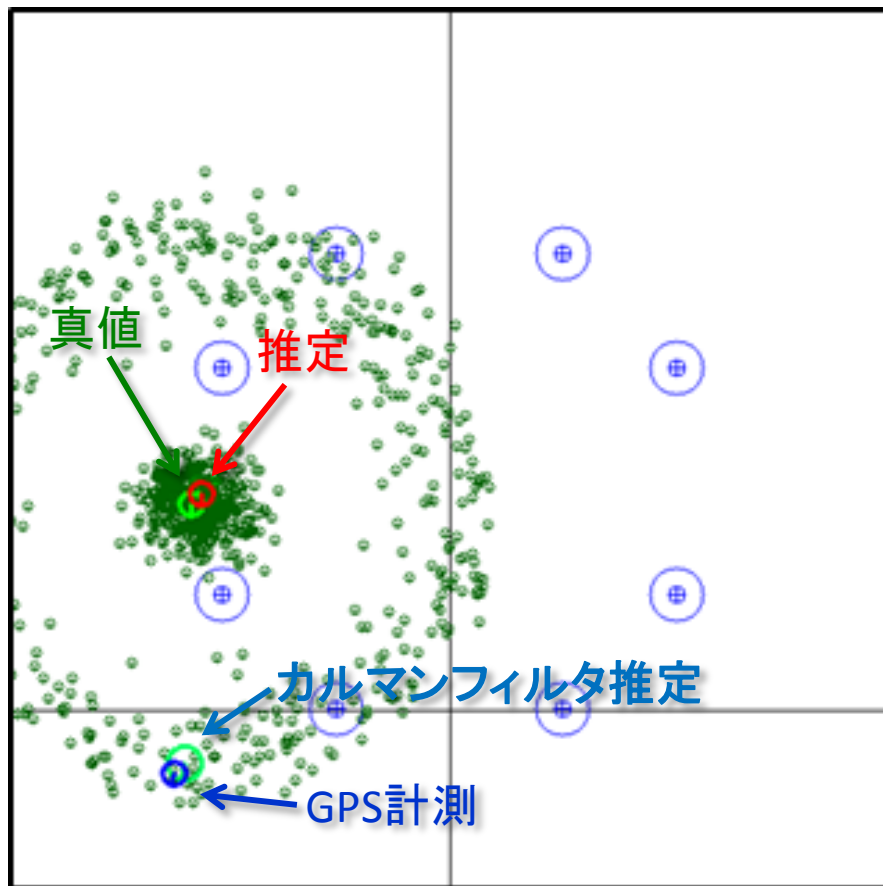


## 4. シミュレーション

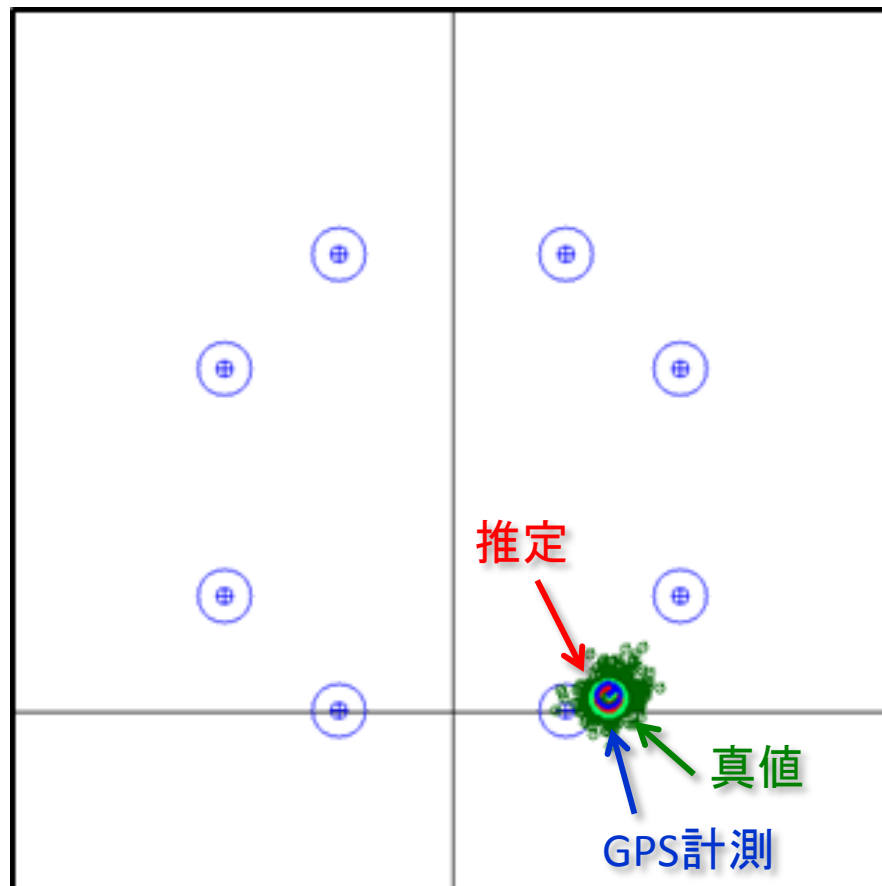
### 提案手法によるロボットと パーティクルの推移

サンプリング  $\tilde{\mathbf{x}}_{k+1}^{(i)} \sim p_q(\tilde{\mathbf{x}}_{k+1}^{(i)} | \mathbf{x}_k^{(i)} \mathbf{u}_k)$

尤度評価  $P_h(y_k^{\text{GPS}} | \mathbf{x}_k^{(i)}) = \frac{1}{2} P_{\text{direct}}(y_k^{\text{GPS}} | \mathbf{x}_k^{(i)}) + \frac{1}{2} P_{\text{shadow}}(y_k^{\text{GPS}} | \mathbf{x}_k^{(i)})$

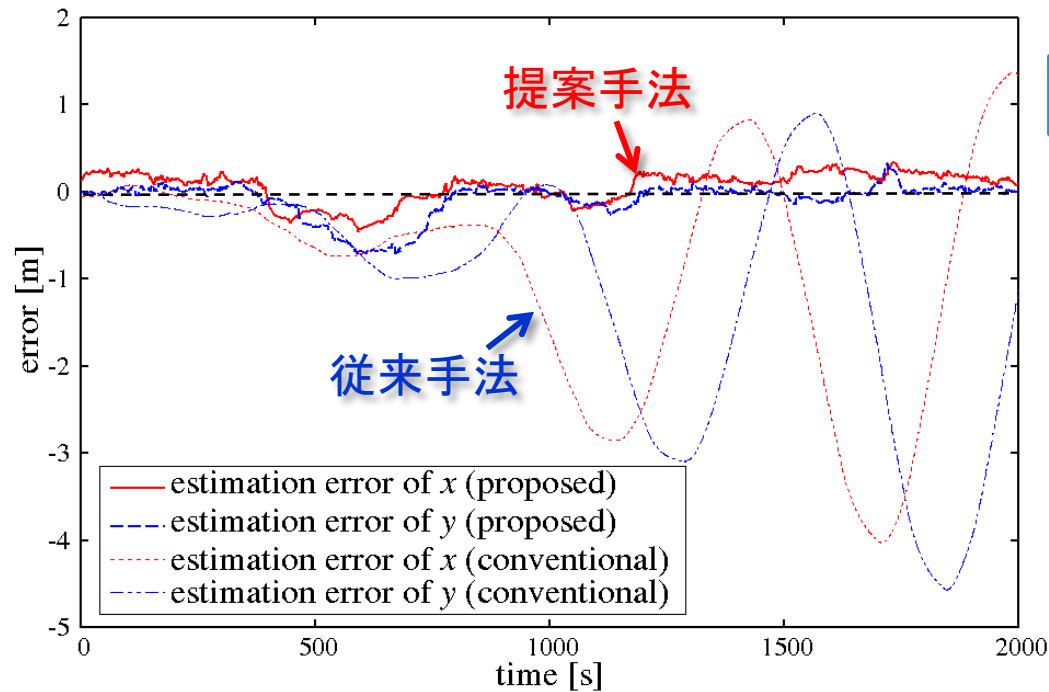


(e) time = 440 [s]



(f) time = 650 [s]

## 4. シミュレーション

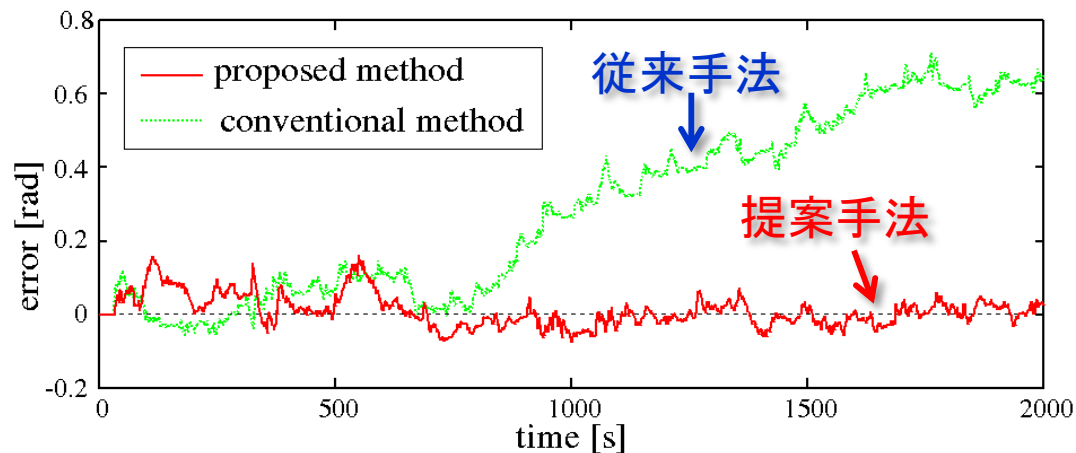


### 提案手法

誤差が一定値以内に留まり、目標の走行制御が達成された。

### 従来手法

誤差が増加・発散・振動する傾向がある。推定誤差の累積と制御の相互作用によって誤差が増幅した。



1

GPS信号による移動ロボットの状態量推定において、反射・回析波を有効利用する手法を提案した。



新たな設備投資を必要としない手法である。



市街地でのGPS計測不能領域を縮小する。



市街地でのGPS計測可能領域での計測精度を向上する。



地図やデッドレコニングとの併用も可能。

2

シミュレーションにより、仮説に基づく検証のみを行っているので、実験により提案手法の有効性を検証する必要がある。



反射・回析波の統計データと、本研究の仮説の整合性を検証。



屋外移動ロボットへの応用。