

二輪移動ロボットを用いたフォーメーション形成と走行領域の指定

東京都立大学 システムデザイン学部 機械システム工学科

B4 外岡奨悟 (児島研究室)

1. 研究背景と目的

- 近年、ロボット技術の目覚ましい発展により様々な場面でロボットが人の代わりに活躍することが期待されている。
- ロボット同士が的確に**フォーメーションを形成**することができれば、実行する作業の幅や効率の向上が可能である。



Fig.1:Khepera IV

研究目的 (研究内容)

- フォーメーション形成を達成する。
- 走行領域の指定も同時に達成させる。

2. 二輪移動ロボットと仮想構造の導入

移動ロボットのモデル化^[1]

- 移動ロボットを座標軸上で考える。この時、運動モデルは速度 v_i と角速度 ω_i を入力とすると(1)式のように表される。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{\theta}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

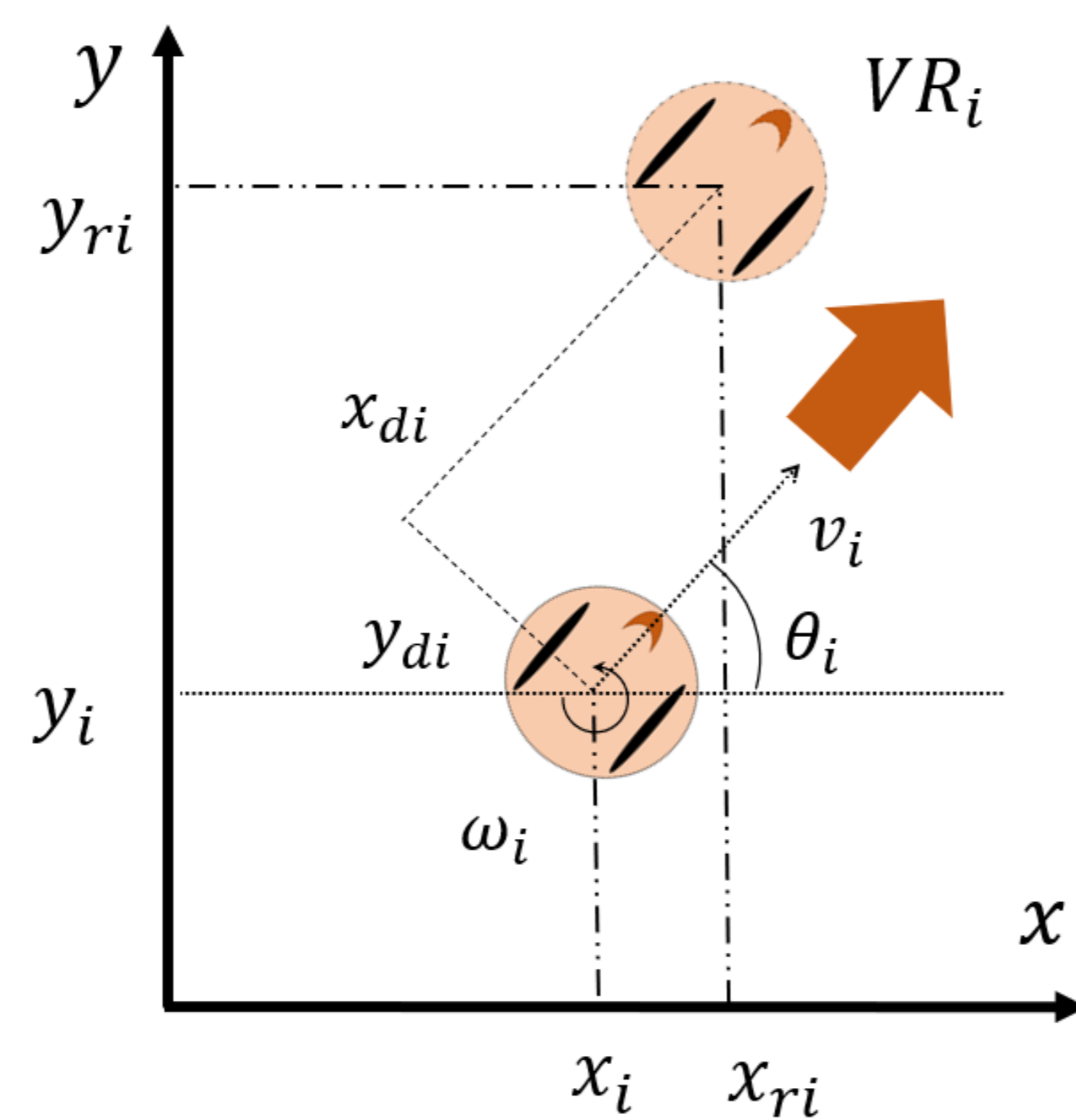


Fig. 2:仮想構造

仮想構造の状態を表す式

- 移動ロボットから**一定の距離に固定された仮想のロボット**を考える。(Fig.2)
- 仮想構造に基づく状態方程式は(2)式のように定められる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{ri} \\ \dot{y}_{ri} \\ \dot{\theta}_{ri} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_i \\ B_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix} \quad B_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -x_{di} \sin \theta_i - y_{di} \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & x_{di} \cos \theta_i - y_{di} \sin \theta_i \end{bmatrix} \quad (2)$$
$$B_\theta = [0 \quad 1]$$

3. フォーメーション制御と合意問題

仮想構造の活用方法^[2]

- フォーメーション形成の問題は仮想ロボットを導入することにより**各々のロボットの仮想構造を一致させる問題**、つまり仮想ロボットの**合意問題**に帰着させることができる。

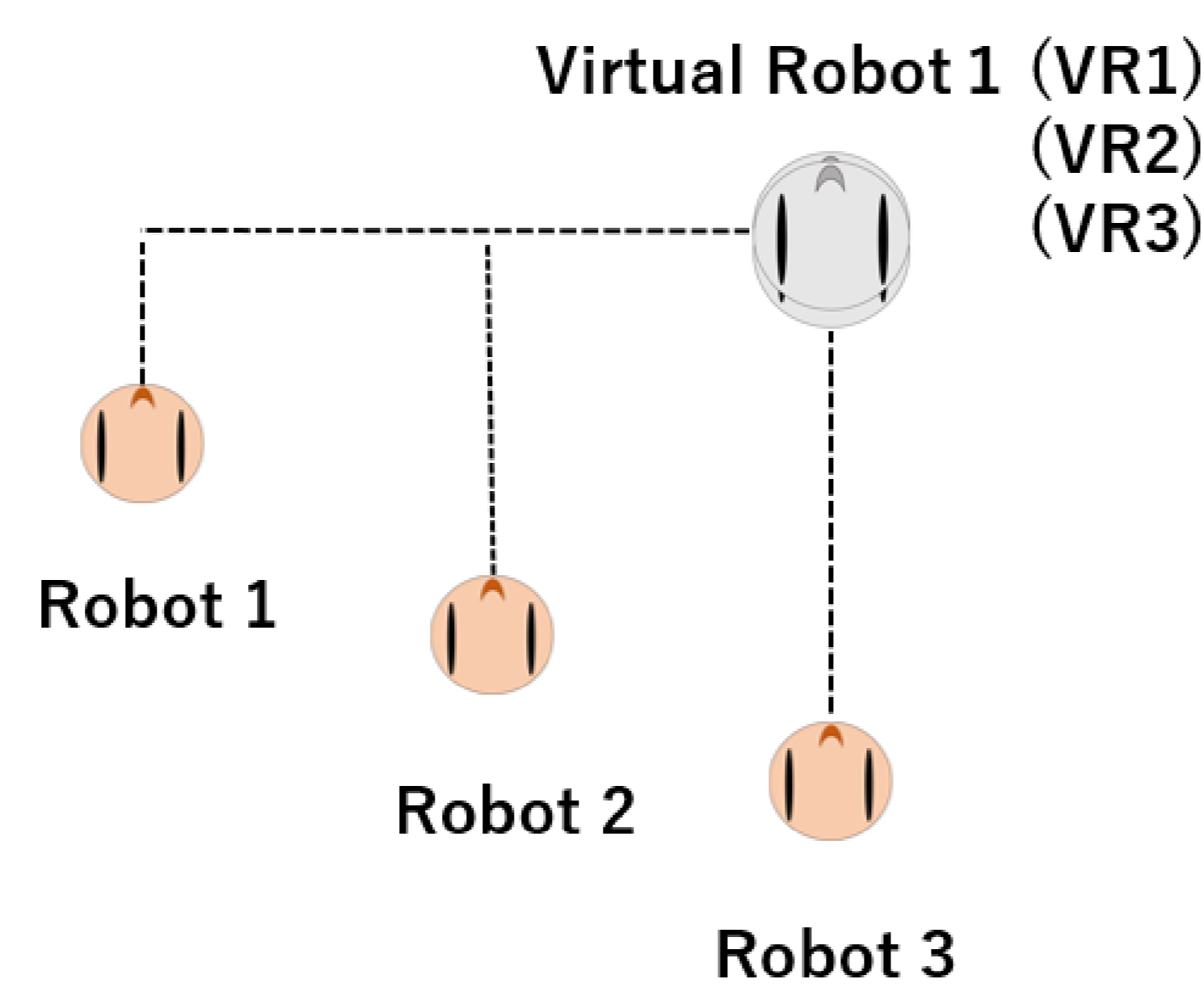


Fig.3:仮想ロボットの合意

制御方法

- r_i を仮想ロボットの現在位置座標, r_i^* をフォーメーション形成時の**基準位置**からの相対位置とする。
- (3)式の \hat{r}_i の値をすべての移動ロボットにおいて**合意させることでフォーメーションを形成**することができる。

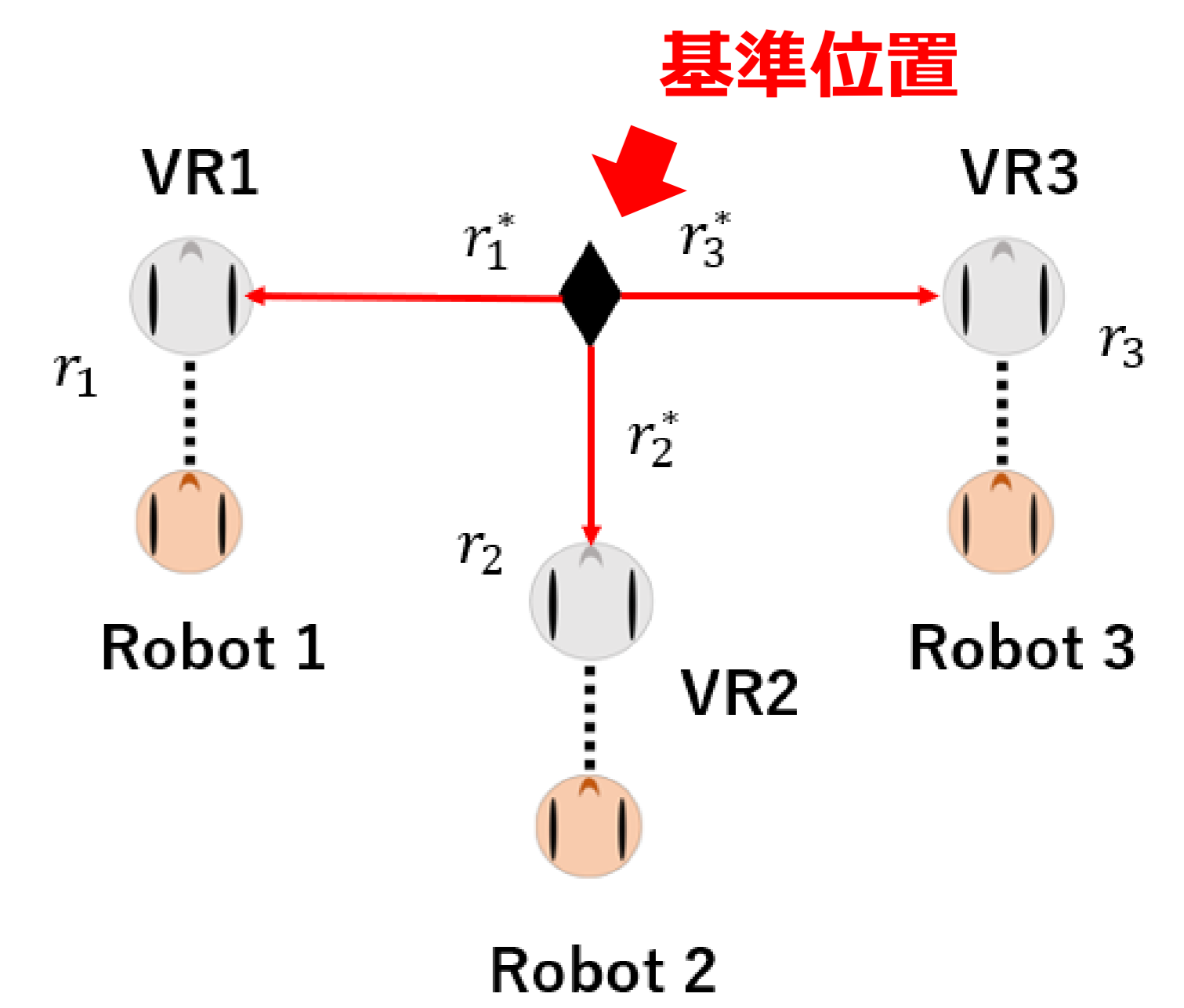


Fig.4: 基準位置を用いた合意

$$\hat{r}_i = r_i - r_i^* \quad (3)$$

4. 走行領域の指定

ポテンシャル法^[3]

- ポテンシャル関数を定めることにより、その関数の座標成分ごとの偏微分から勾配を求め、進むべき方向とする方法。

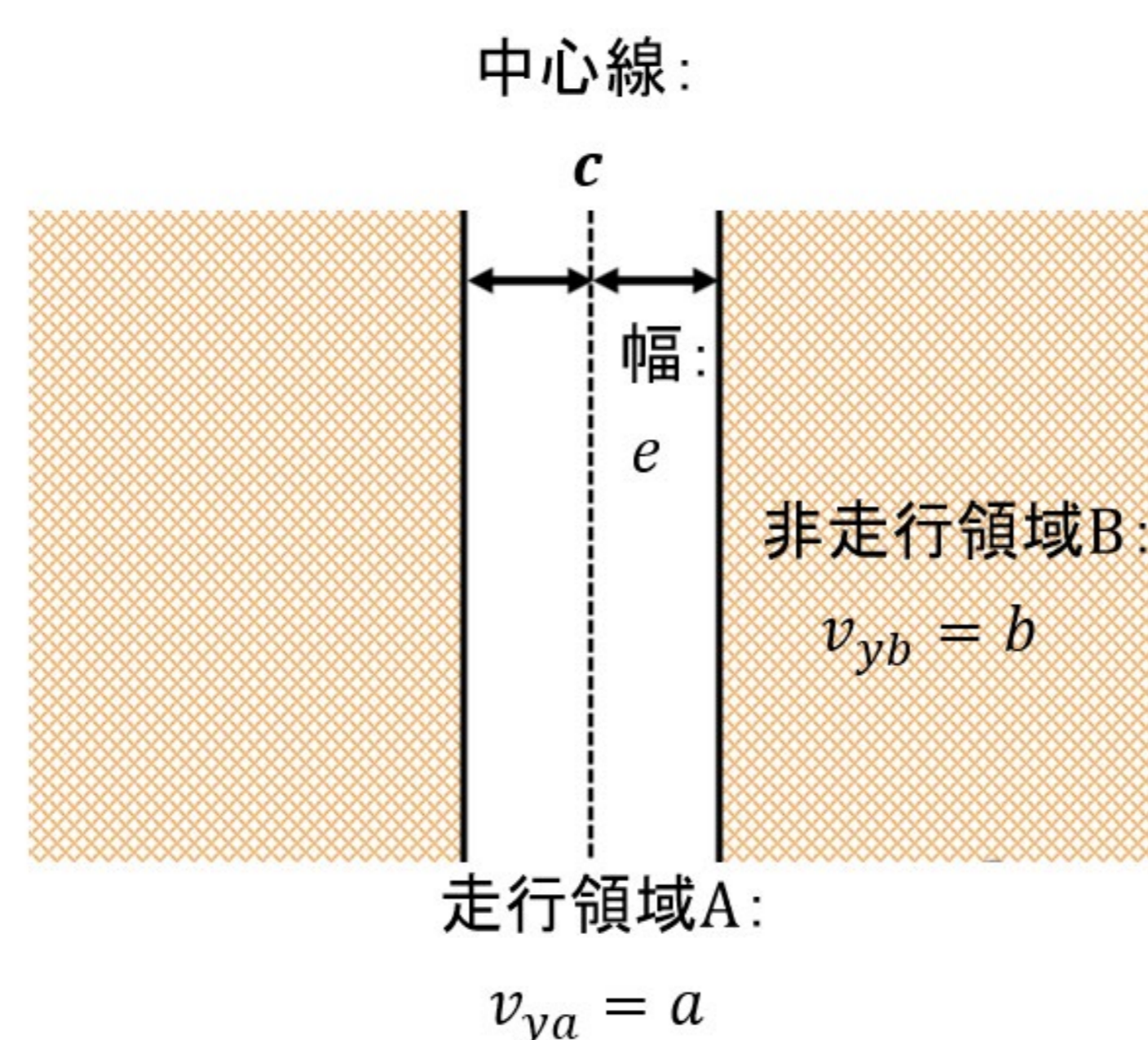


Fig.5: 走行領域の設定
y:方向の指定走行速度

ポテンシャル関数

$$U = \frac{(a - v_{yi})(x_i - c)^2}{d} \quad (4)$$

d:ポテンシャル関数のパラメータ

- 係数**によりロボットが走行領域内の指定速度に到達するとポテンシャル関数の入力が入力になる。
- 二次関数**をcの値だけ平行移動しており、その傾きに沿って非走行領域Bから走行領域Aに移動する入力が発生する。

6. 考察

- シミュレーション結果から、フォーメーション形成と走行領域の指定が共に達成されていることがわかる。
- Robot 2が走行領域内でも直進していないのはフォーメーションを形成するためである。
- この性質は制御則に含まれるゲインにより調節可能である。

5. 制御則とシミュレーション結果

フォーメーション形成の制御則

$$\dot{v}_{ri} = -k_{vr}(v_{ri} - v_i^*) - \sum_{j \in N_i} (k_p(\hat{r}_i - \hat{r}_j) + k_v(v_{ri} - v_{rj})) \quad (5)$$

v_i^* :目標速度

$k_{vr}, k_p, k_v > 0$:フィードバックゲイン

$$v_{xi}^* = -\frac{2(a - v_{yi})(x_i - c)}{d} \quad (6)$$

制御則の目標速度にポテンシャル法を用いることにより、走行領域の指定を導入する

$a = 0.5$ [cm/s]:領域B
 $b = 50$ [cm/s]:領域A
 $c = 150$ [cm]
 $d = 700$
 $e = 30$ [cm]



Fig.6: 初期位置

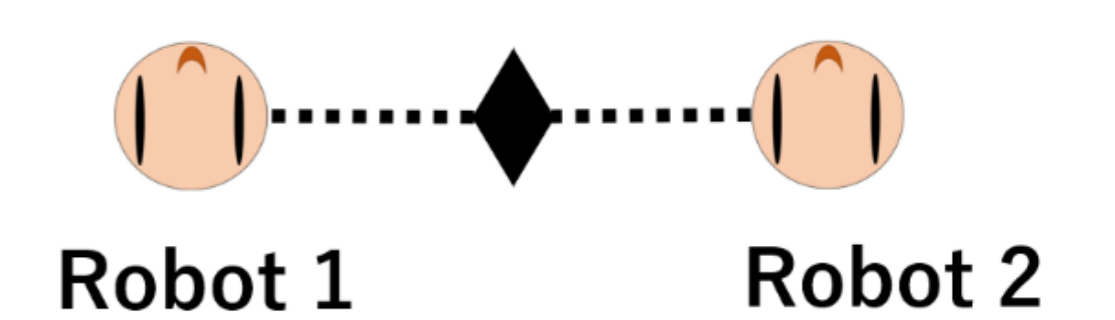


Fig.7: 目標フォーメーション

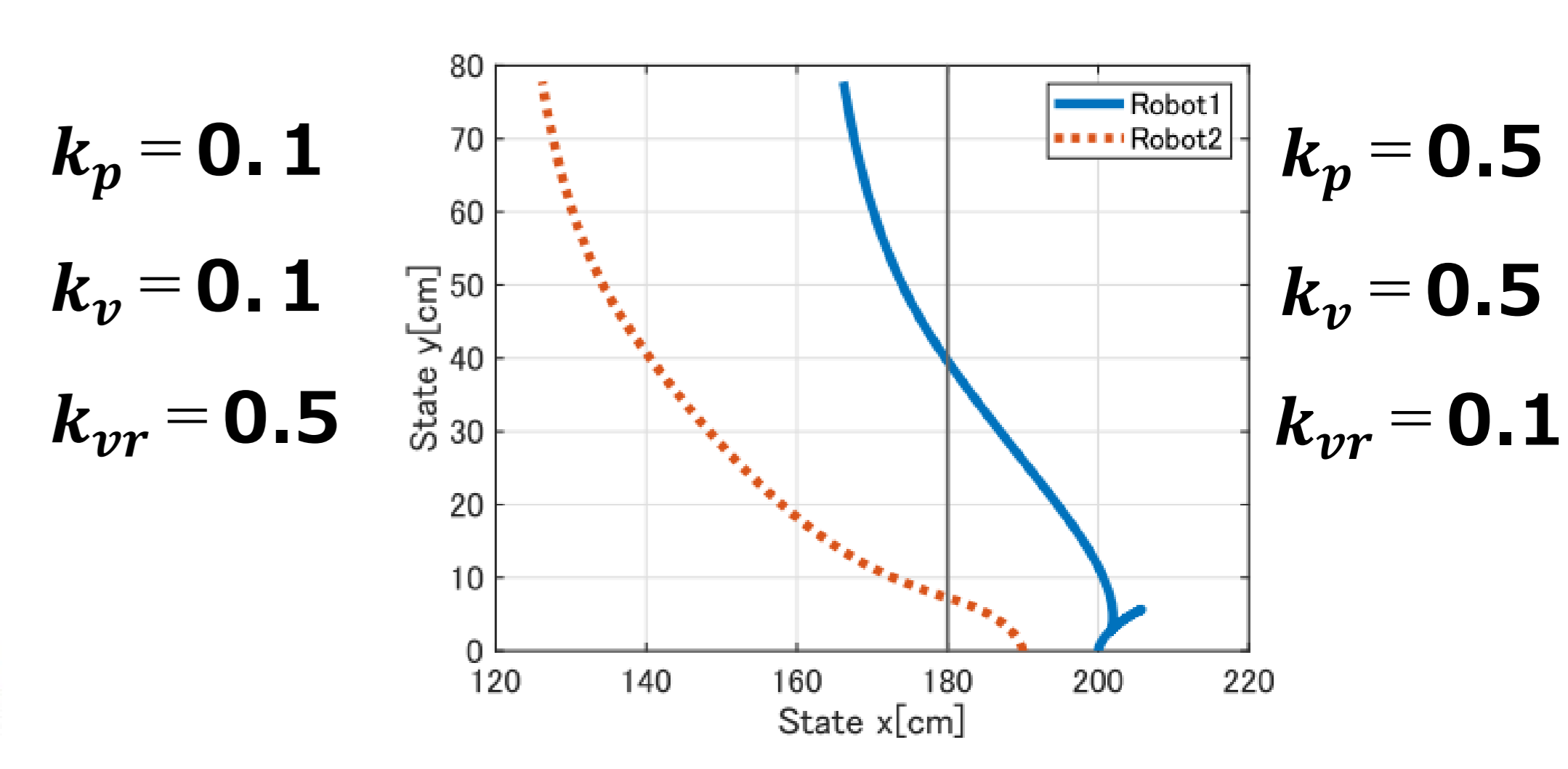
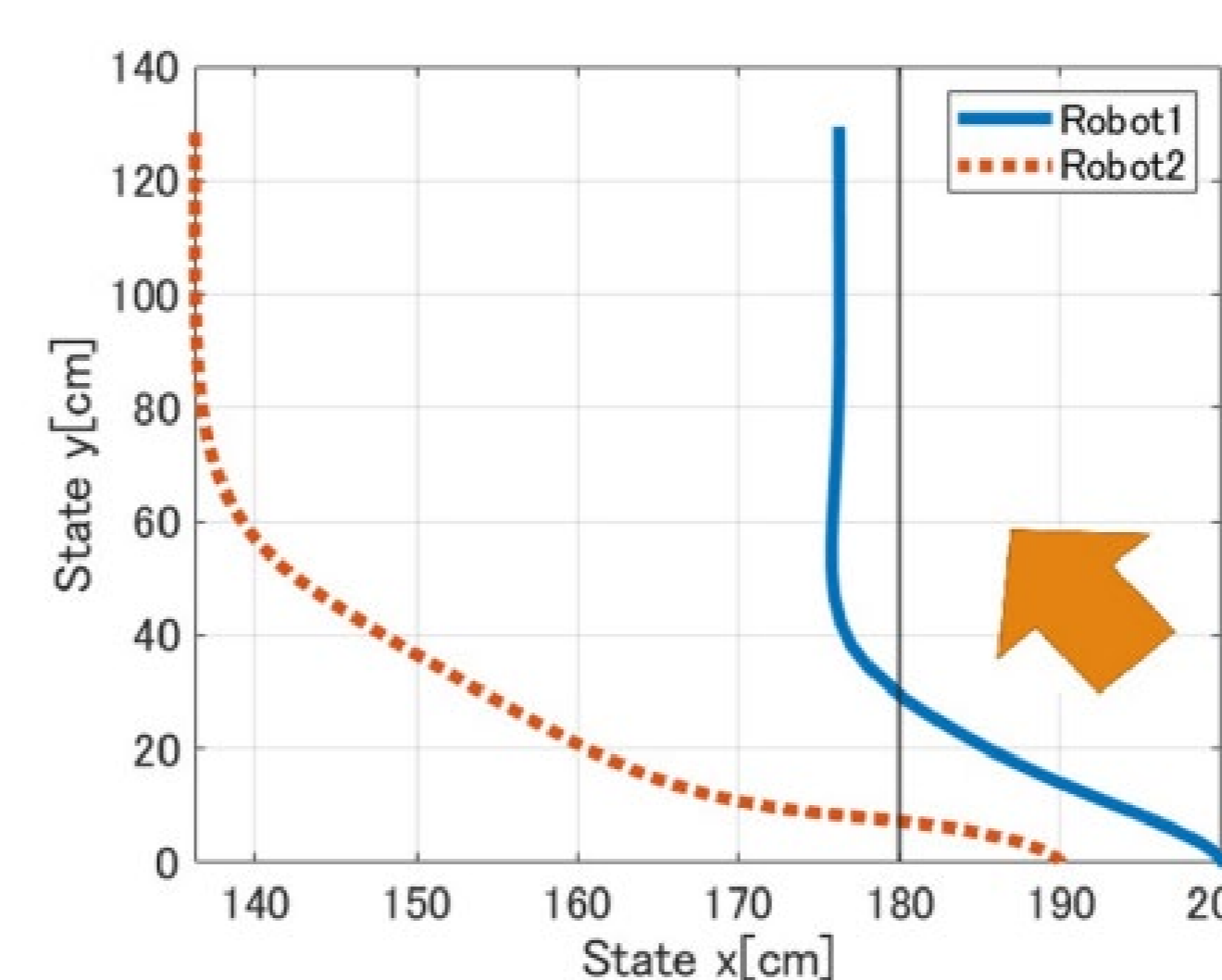


Fig.8: 二輪移動ロボットの軌跡

7. 今後の予定

- 外乱に対応し、実機実験でも正確な応答となるようにする。
- 走行領域内でより複雑な走行を可能にする。
- ロボットの数を増やし、様々なフォーメーションを形成する。

参考文献

[1]池田高, J. Jongusuk, 池田貴, 美多: ノンホロノミック車両のフォーメーション形成制御, IEEJ Trans. IA, Vol.124, No.8, pp.814-819(2004)

[2]桜間一徳: マルチエージェントシステムの制御, システム/制御/情報, Vol.57, No.9, pp.386-396(2014)

[3]宮崎, 鷹羽: 障害物回避を考慮した移動ロボット群のフォーメーション制御, システム制御情報学会論文, Vol. 28, No. 2, pp.50-57 (2015)

System Control Engineering

Kojima Lab.