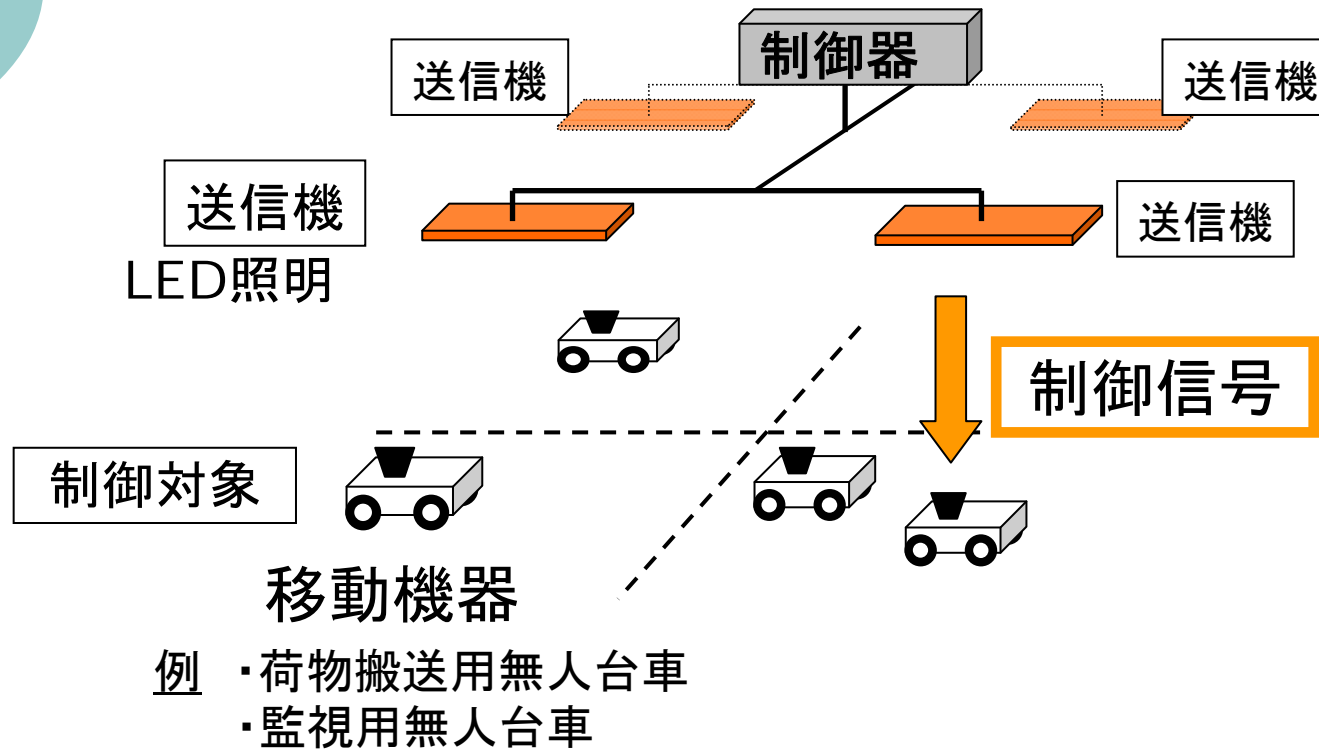


複数移動機器制御のための セルラ可視光通信システム

片山研究室
朝倉 俊

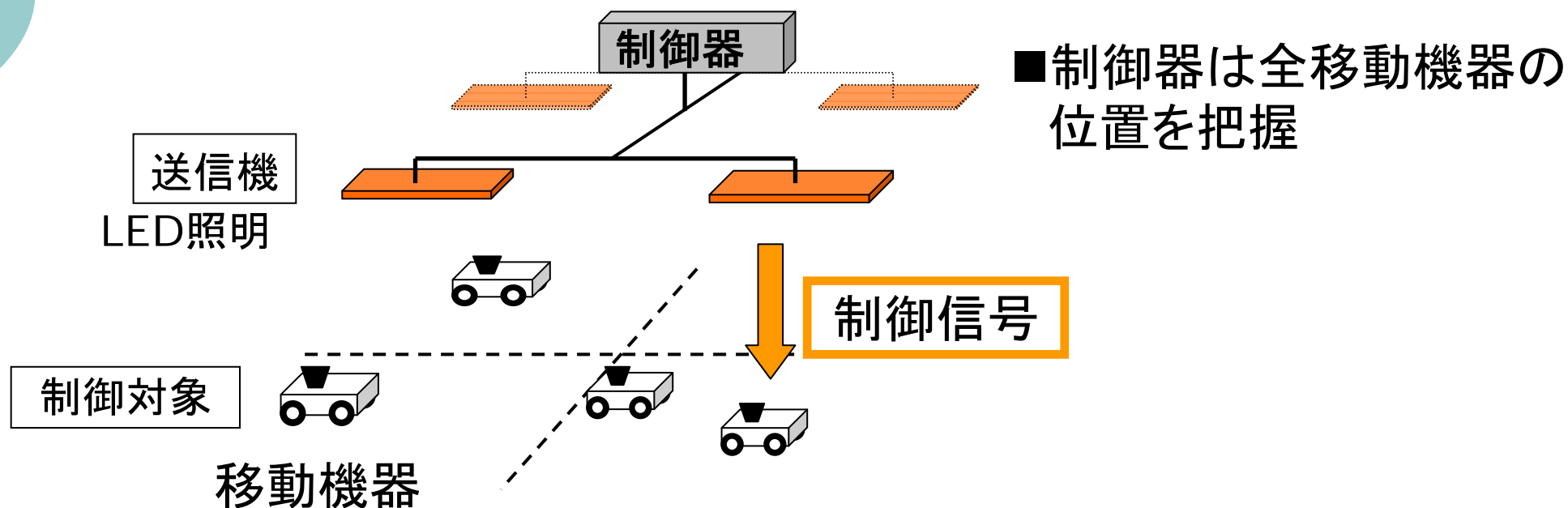
可視光通信による複数移動機器制御



可視光通信：光源の光強度を変調して伝送

- 他の無線機器との併用可能
- 照明機能＋通信機能

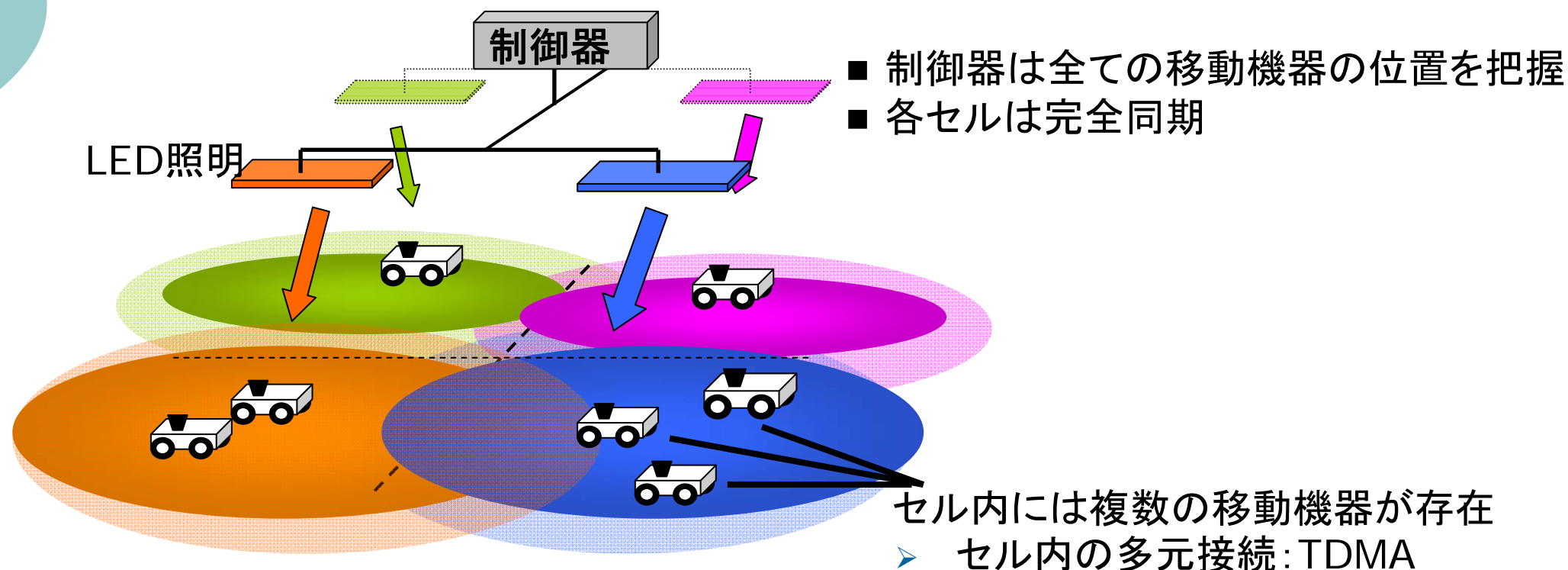
複数移動機器制御



機器制御

制御対象の状態が変動するため
一定周期毎に情報伝送が必要

セルラ可視光通信システム



セルラ可視光通信システム

LED照明器を基地局とみなしたセルラシステム

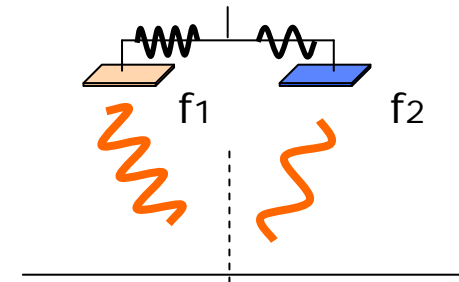
- チャンネルの利用効率
- × セル間に生じる干渉の影響

セルラ可視光通信システムの既存研究

既存研究 セル間干渉対策

□ キャリア変調を用いた周波数分割[1]

△光電気変換における非線形性



■ ベースバンド変調を用いた時間分割

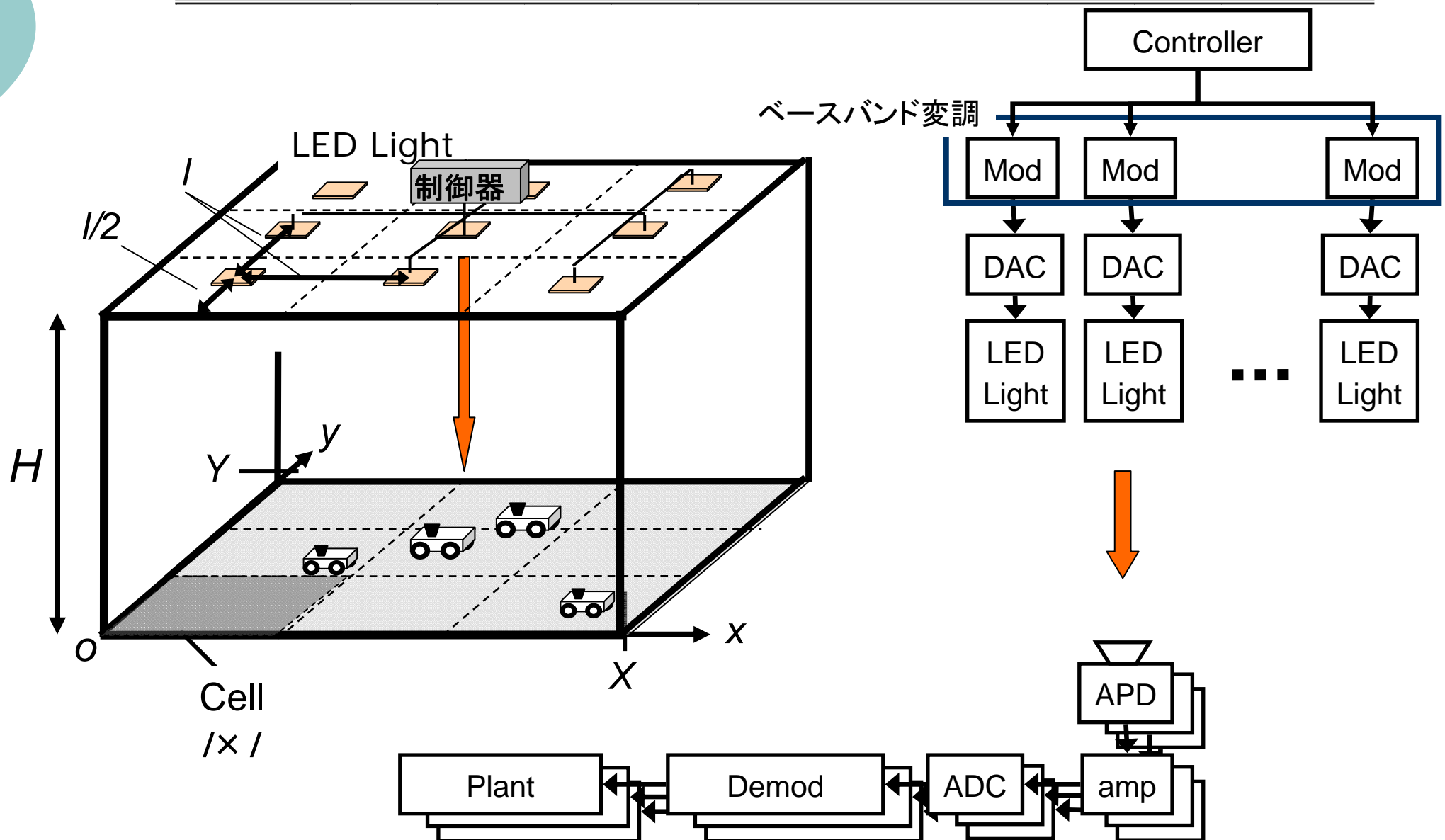
移動機器の位置を知っているため
干渉の影響があるところのみにセル間干渉対策

目的

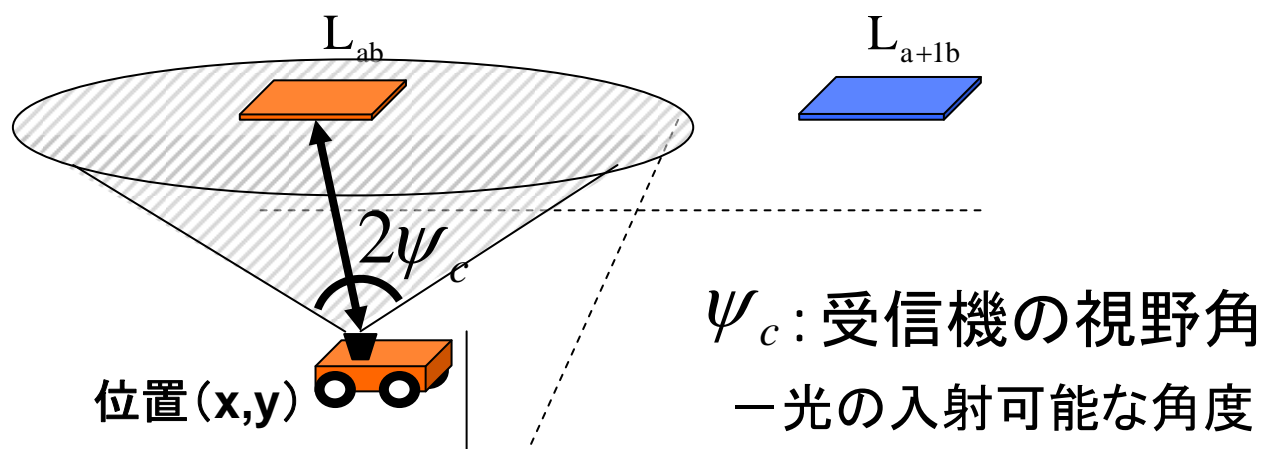
ベースバンド変調を用いた セルラ可視光通信システムにおける セル間干渉の影響評価と対策

- セル間干渉の影響評価
 - 受信機の視野角によるセル間干渉の影響評価
- セル間干渉対策
 - 協力伝送方式による干渉対策
 - 提案方式の制御可能機器数の評価

想定環境・システムモデル



受信信号光電力



照明器 L_{ab} からの平均受信信号光電力 R_{ab}

$$R_{ab}(x, y) = P_{ab} \cdot h_{ab}(x, y)$$

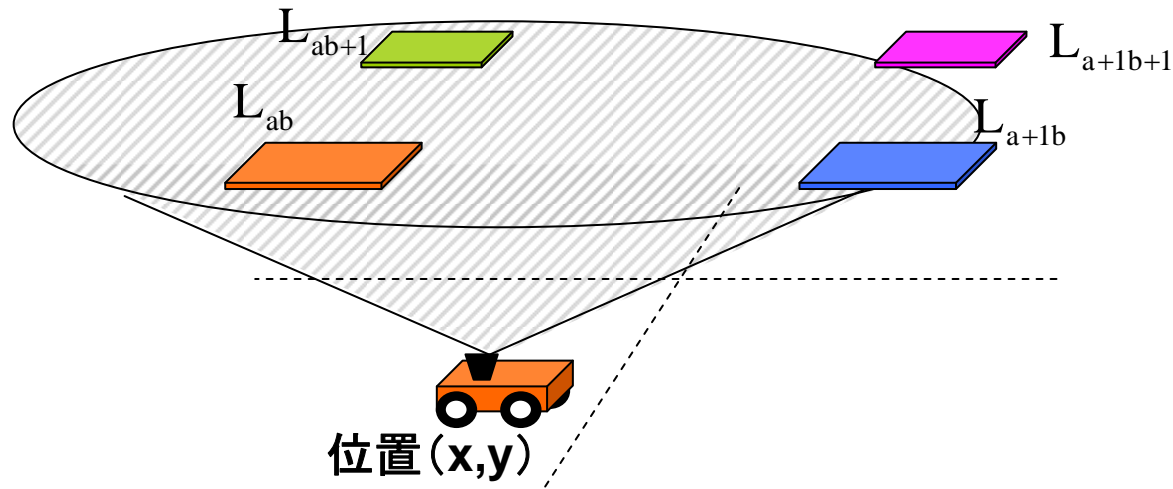
□ P_{ab} : 照明器 L_{ab} の平均送信信号光電力

□ 照明器からのDCゲイン $h_{ab}(x, y)$ は、ランベルト放射で近似 [3]

$$h_{ab}(x, y) = \begin{cases} \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} \int_{-\frac{\beta}{2}}^{\frac{\beta}{2}} \frac{(m+1)S_{\psi_c}}{2\pi d^2} \cos^m(\phi_{(x,y)}) \cos(\psi_{(x,y)}) d\alpha d\beta & (0 \leq \psi_{(x,y)} \leq \psi_c) \\ 0 & (\psi_c > \psi_{(x,y)}) \end{cases}$$

受信機の視野角外の光は無視

複数照明器からの受信信号光電力

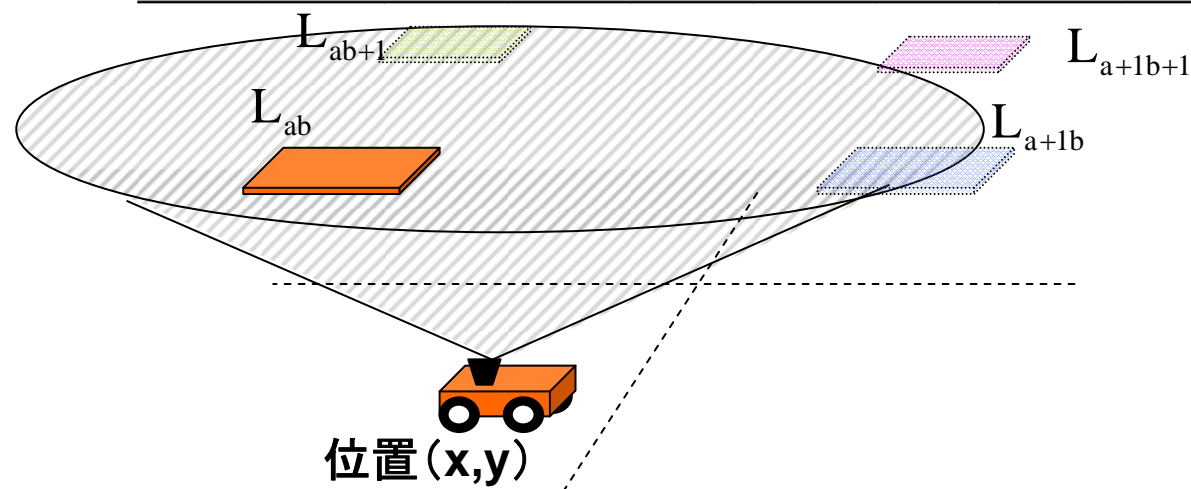


合計受信信号光電力

$$R(x, y) = R_{ab}(x, y) + R_{a+1b}(x, y) + R_{ab+1}(x, y) + R_{a+1b+1}(x, y)$$

複数の照明器が視野角内に入る場合
各照明器からの受信信号光電力の足し合わせになる

所望信号光電力



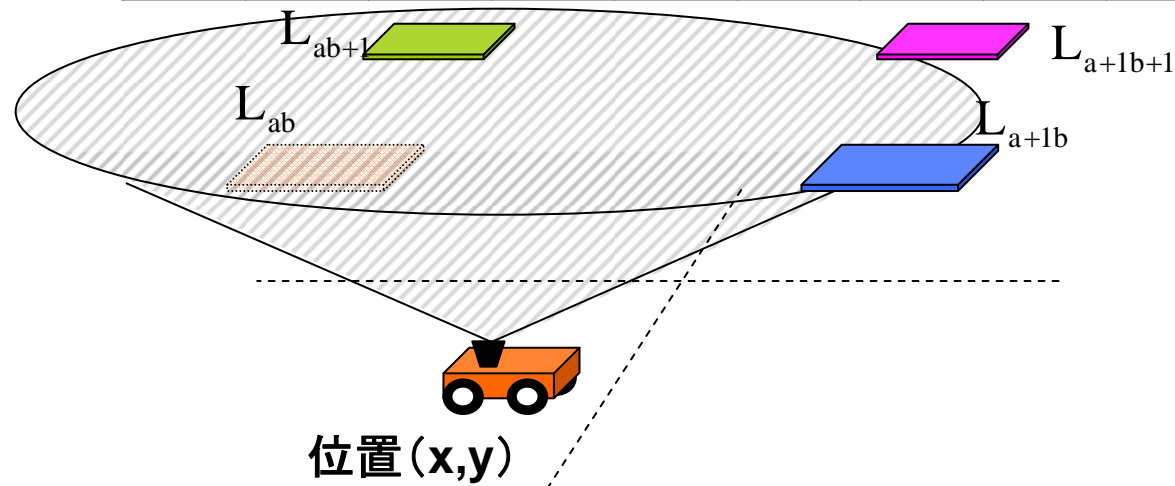
合計受信信号光電力

$$R(x, y) = R_{ab}(x, y) + R_{a+1b}(x, y) + R_{ab+1}(x, y) + R_{a+1b+1}(x, y)$$

平均所望信号光電力: S

• 自セルの照明器からの信号光電力

干渉信号光電力



合計受信信号光電力

$$R(x, y) = R_{ab}(x, y) + R_{a+1b}(x, y) + R_{ab+1}(x, y) + R_{a+1b+1}(x, y)$$

平均干渉信号光電力: I

•他セルの照明器からの信号光電力の合計

通信可能領域・干渉領域

通信可能領域

$S > I$ となる領域を通信可能領域とする

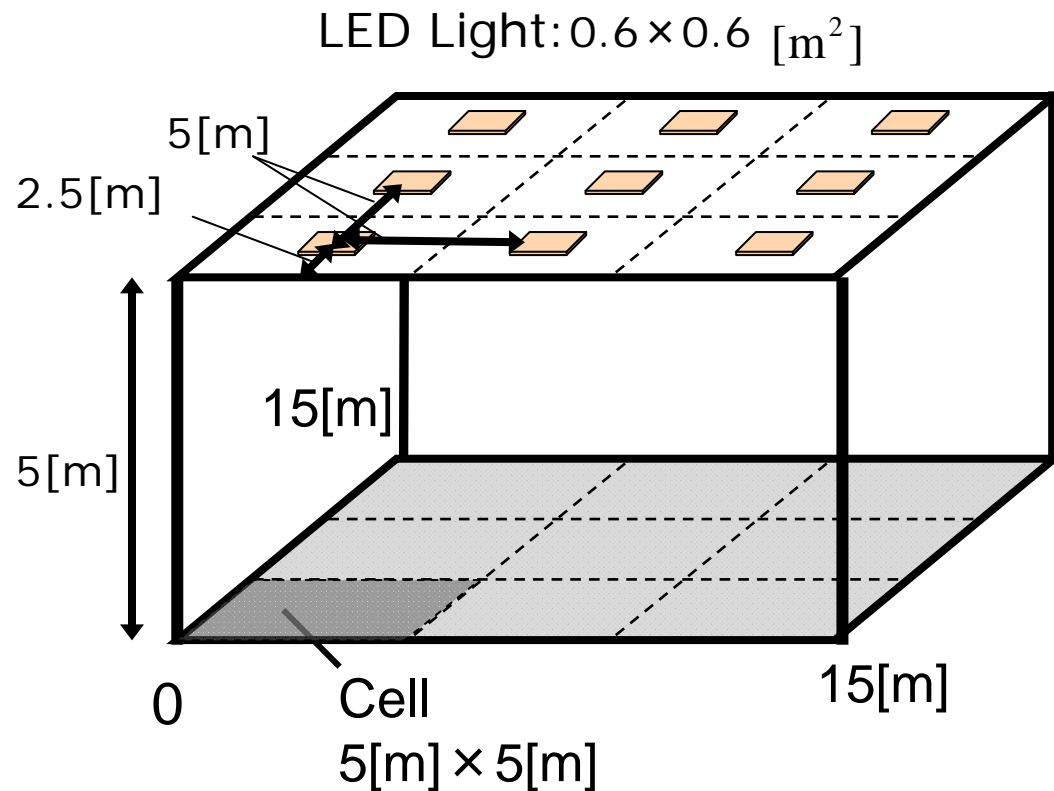
- 通信可能領域は干渉によって誤りが生じない領域

干渉領域

$S \leq I$ となる領域を干渉領域とする

- 干渉領域は干渉により誤りが生じ得る領域

数値解析



解析諸元

部屋の大きさ $X \times Y$	15 × 15 [m ²]
照明器の数 $A \times B$	3 × 3
照明器の大きさ $\alpha \times \beta$	0.6 × 0.6 [m ²]
照明器 中心間距離 l	5 [m]
部屋の高さ H	5 [m]
照明器の半値角 $\Phi_{1/2}$	60 deg
レンズの屈折率 η	1.5 [cm ²]
受光面積 S	1.0

干涉領域

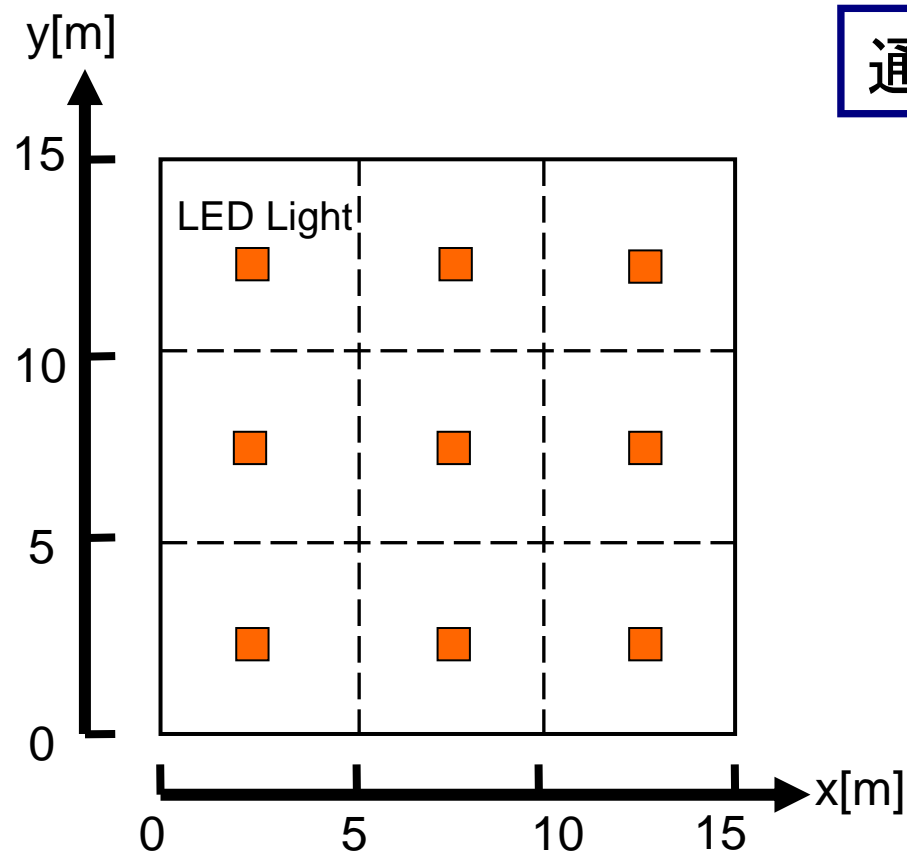
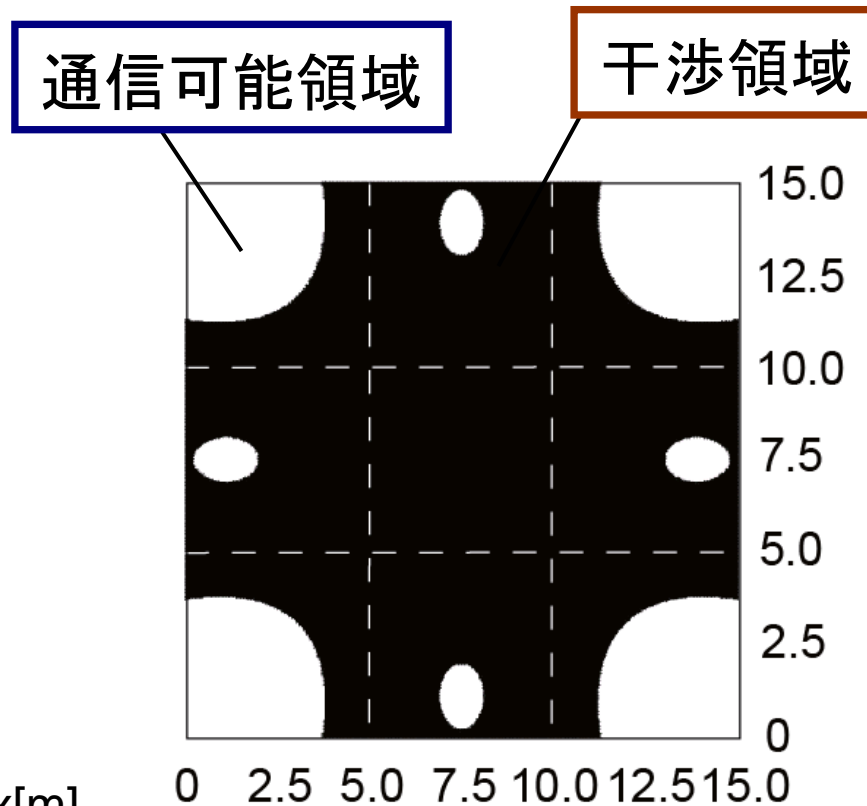
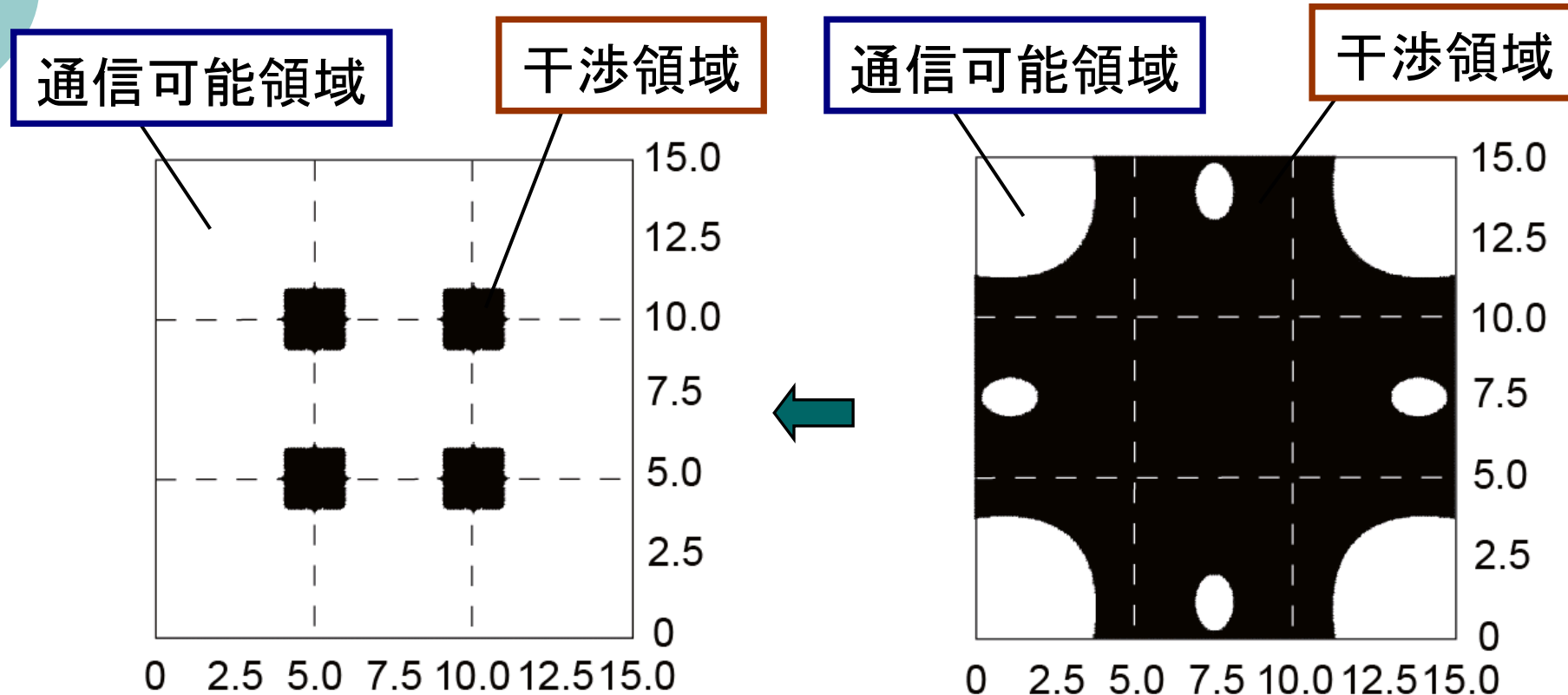


図: 想定環境(上面図)



干涉領域: FOV=90

干渉領域



干渉領域: $\text{FOV} \doteq 38.37 (\psi_{\text{cmin}})$

干渉領域: $\text{FOV} = 90$

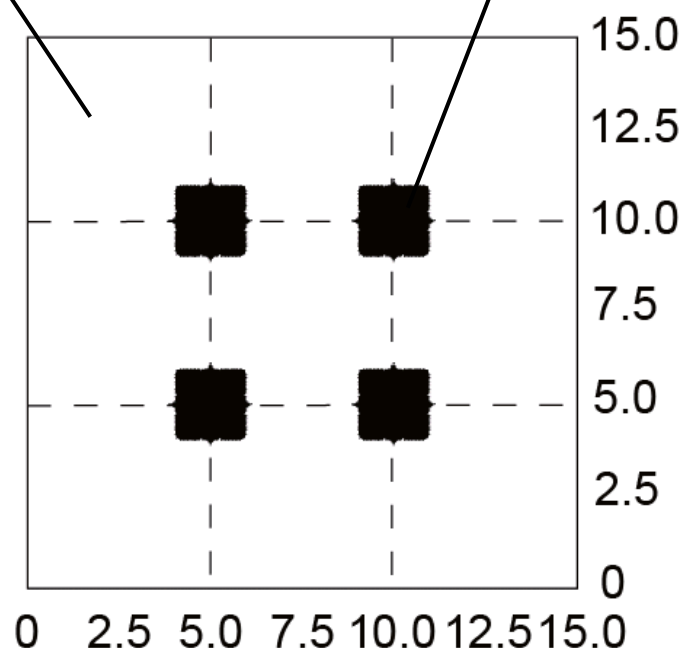
視野角により干渉領域が減少

ψ_{cmin} : セル内で所望の照明器が視野角内に全て入る限界角度

干渉領域

通信可能領域

干渉領域



視野角を適切な角度に狭めても
干渉領域が存在

干渉対策

干渉領域のみに対して
干渉対策を行う

干渉領域: $FOV \doteq 38.37 (\psi_{cmin})$

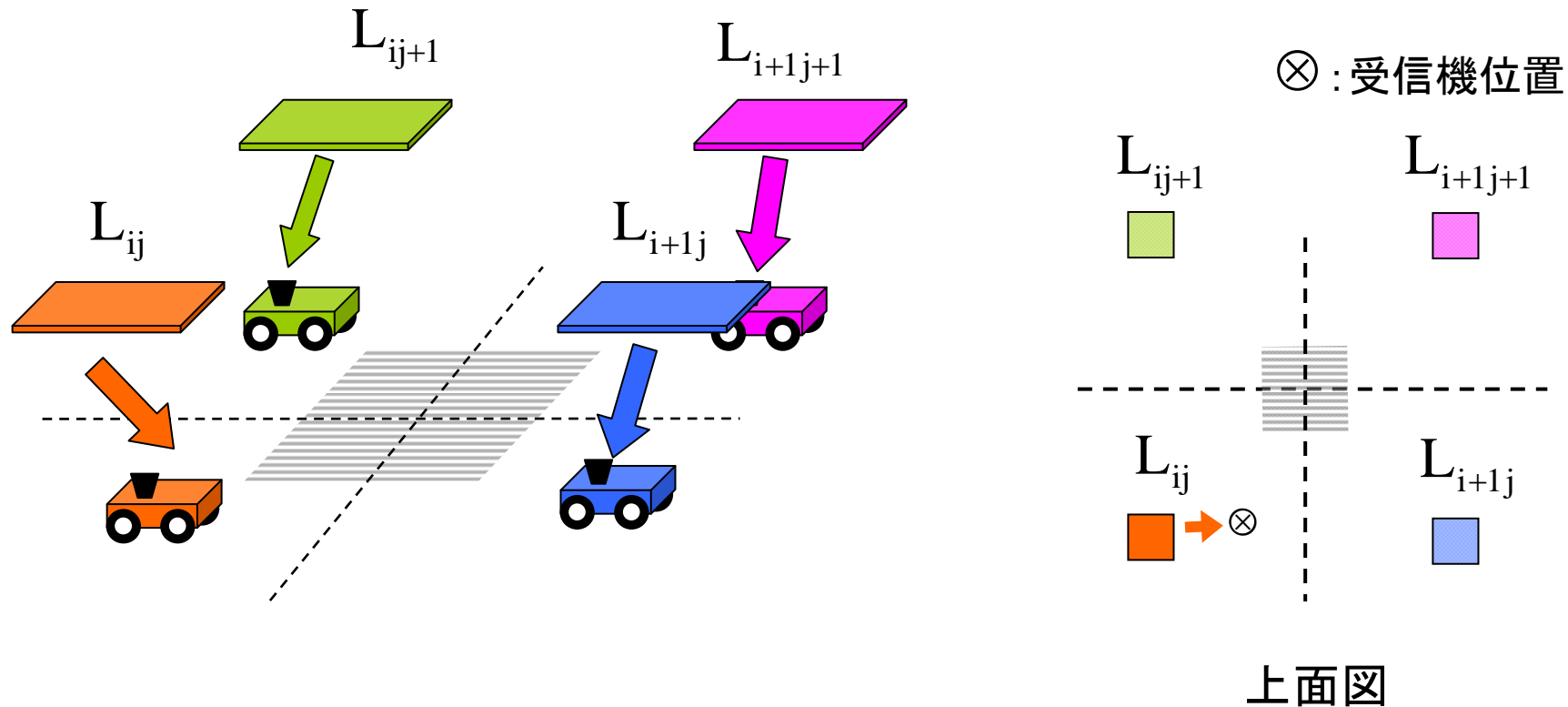
ψ_{cmin} : セル内で所望の照明器が視野角内に全て入る限界角度

目的

ベースバンド変調を用いた セルラ可視光通信システムにおける セル間干渉対策

- セル間干渉の影響評価
 - 受信機の視野角によるセル間干渉の影響
- セル間干渉対策
 - 協力伝送方式による干渉対策
 - 提案方式の制御可能機器数による評価

通信可能領域にいる移動機器への情報伝送



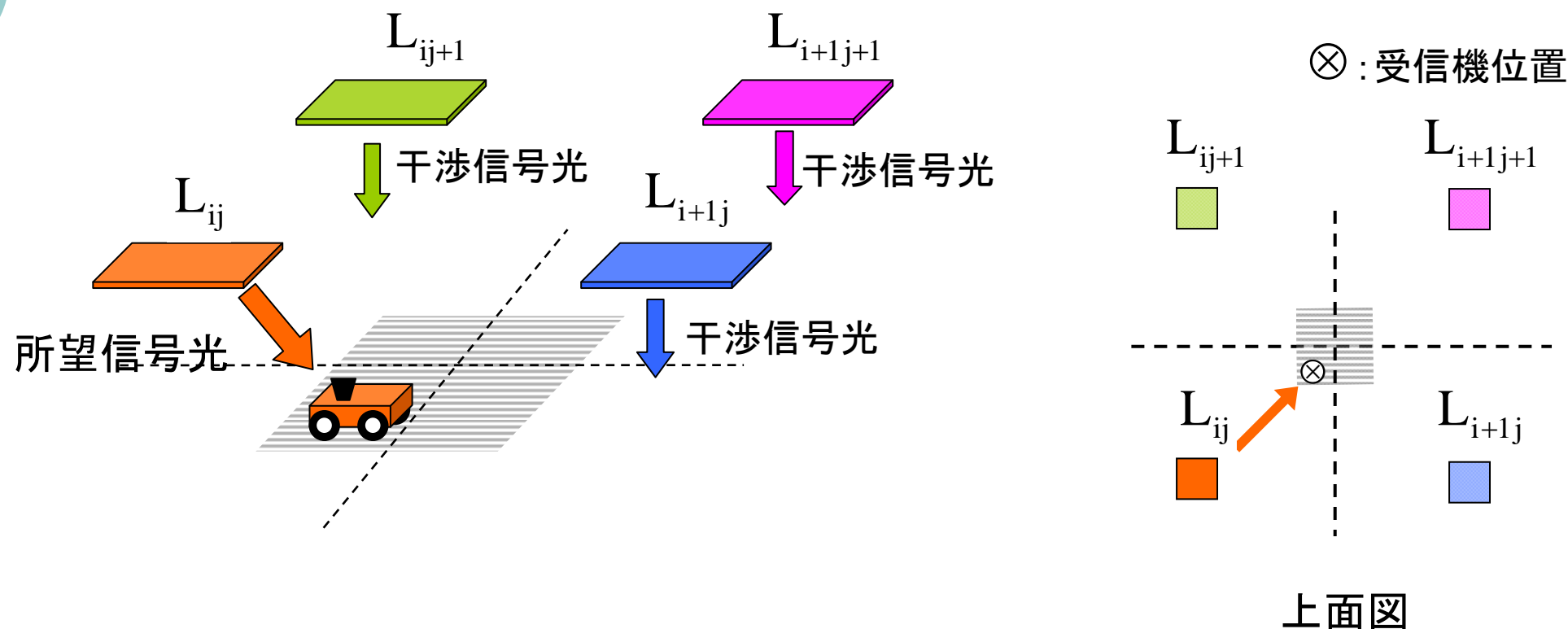
通信可能領域にいるセルには
セル間干渉の誤りなく情報を伝送できる

$$R_{ij} > \sum_{a \neq i} \sum_{b \neq j} R_{ab}$$

平均所望信号光電力: S

平均干渉信号光電力: I

協力伝送



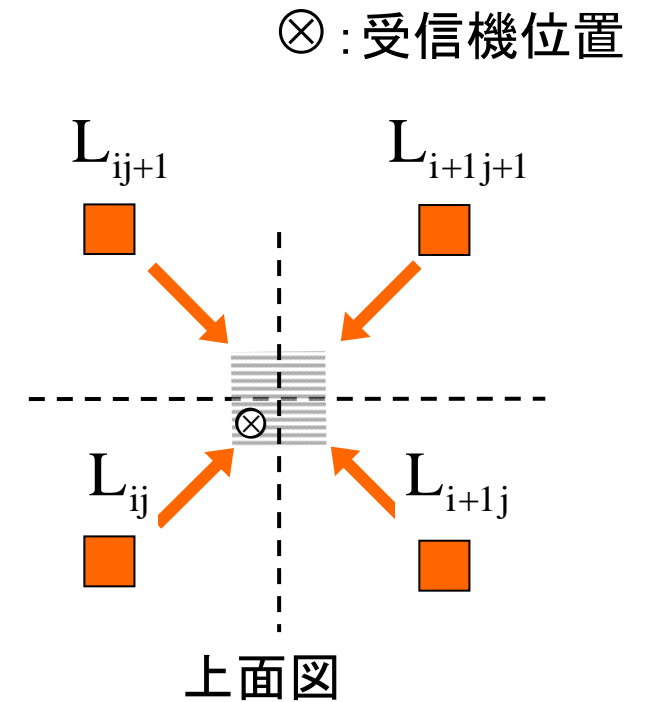
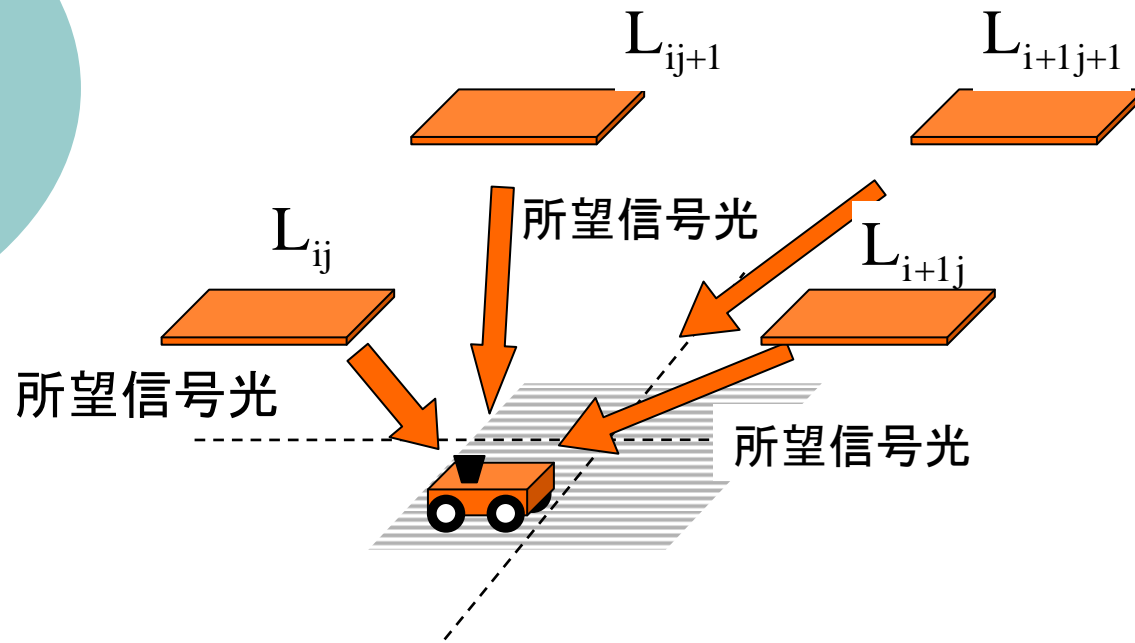
- 干渉信号光電力が大きく干渉対策が必要

$$R_{ij} \leq \sum_{a \neq i} \sum_{b \neq j} R_{ab}$$

平均所望信号光電力: S

平均干渉信号光電力: I

協力伝送



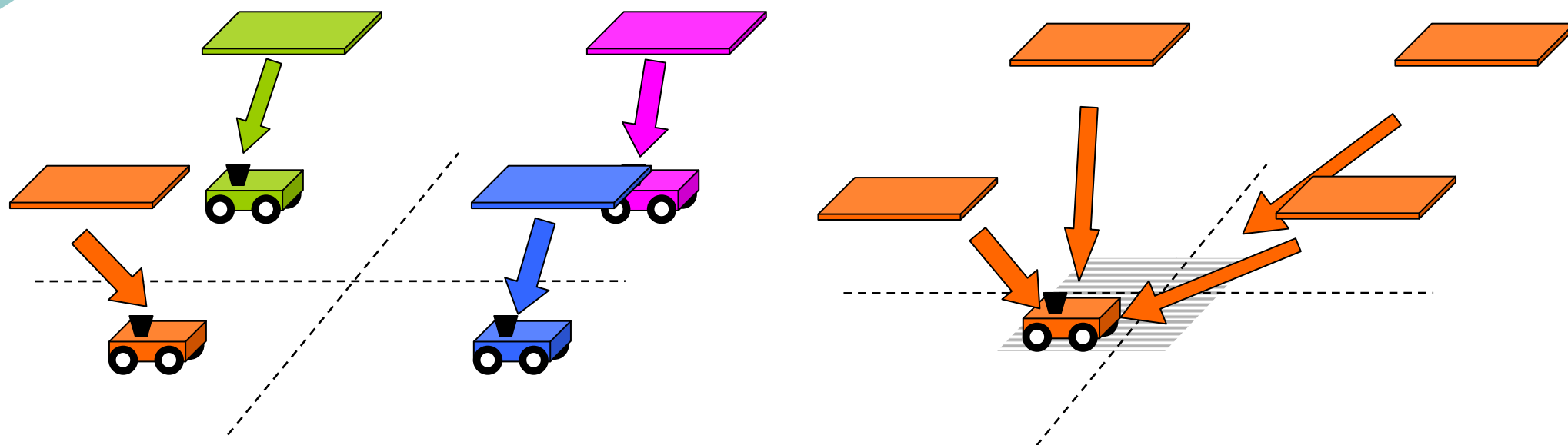
干渉領域にいる機器に対して
4台の照明器が協力して伝送を情報する

$$\longrightarrow \underbrace{R_{ij} + R_{i+1j} + R_{ij+1} + R_{i+1j+1}}_{\text{平均所望信号光電力: } S} > \underbrace{\sum_{a \neq i, i+1} \sum_{b \neq j, j+1} R_{ab}}_{\text{平均干渉信号光電力: } I}$$

平均所望信号光電力: S

平均干渉信号光電力: I

協力伝送による伝送効率の低下

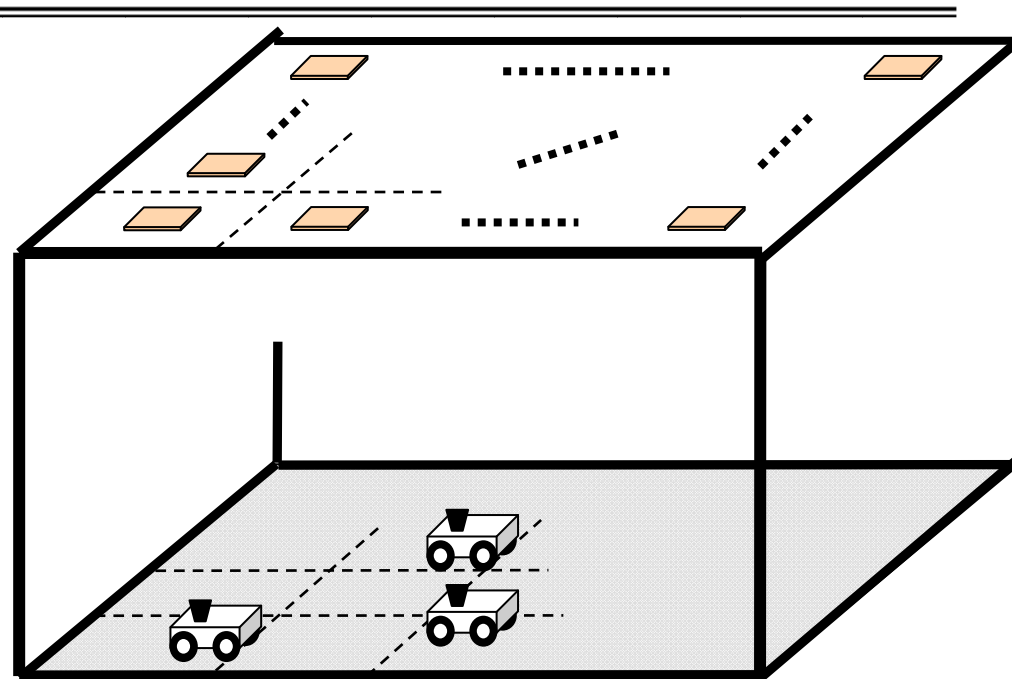


協力伝送

1つの移動機器に対し4台の照明器を使用するため
伝送効率が1/4に低下する

複数移動機器制御

- セル内多元接続: TDMA
(セル間は完全同期)



フレーム時間: 移動機器の制御周期

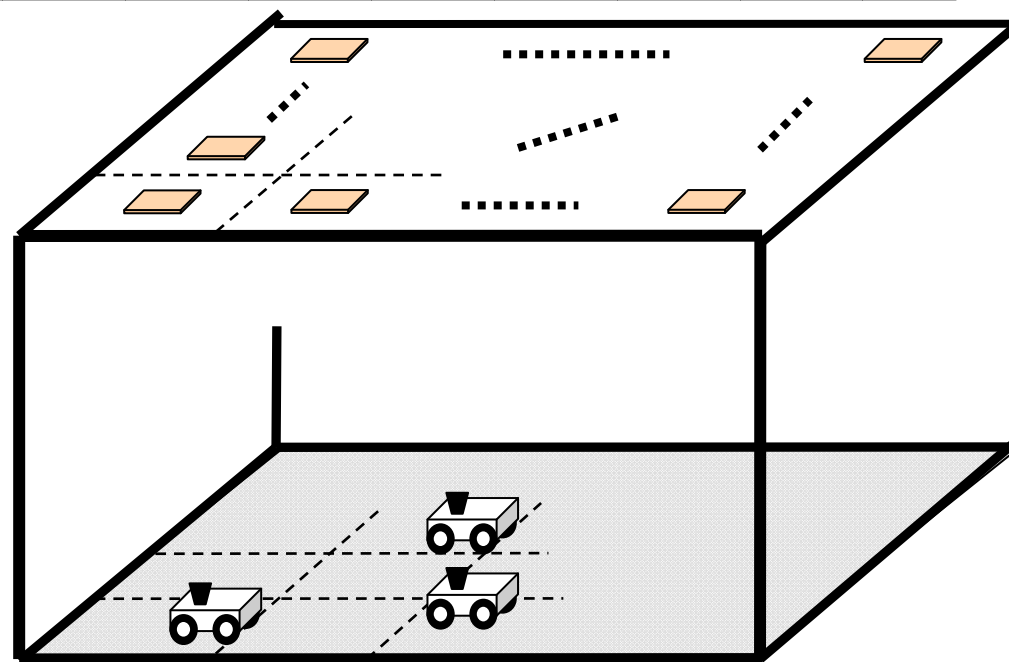
スロット時間: 一台の移動機器に対する制御信号の送信時間

1セルの最大制御機器数: フレーム内のスロット数

屋内の最大制御機器数: フレーム内のスロット数 × セル数

複数移動機器制御

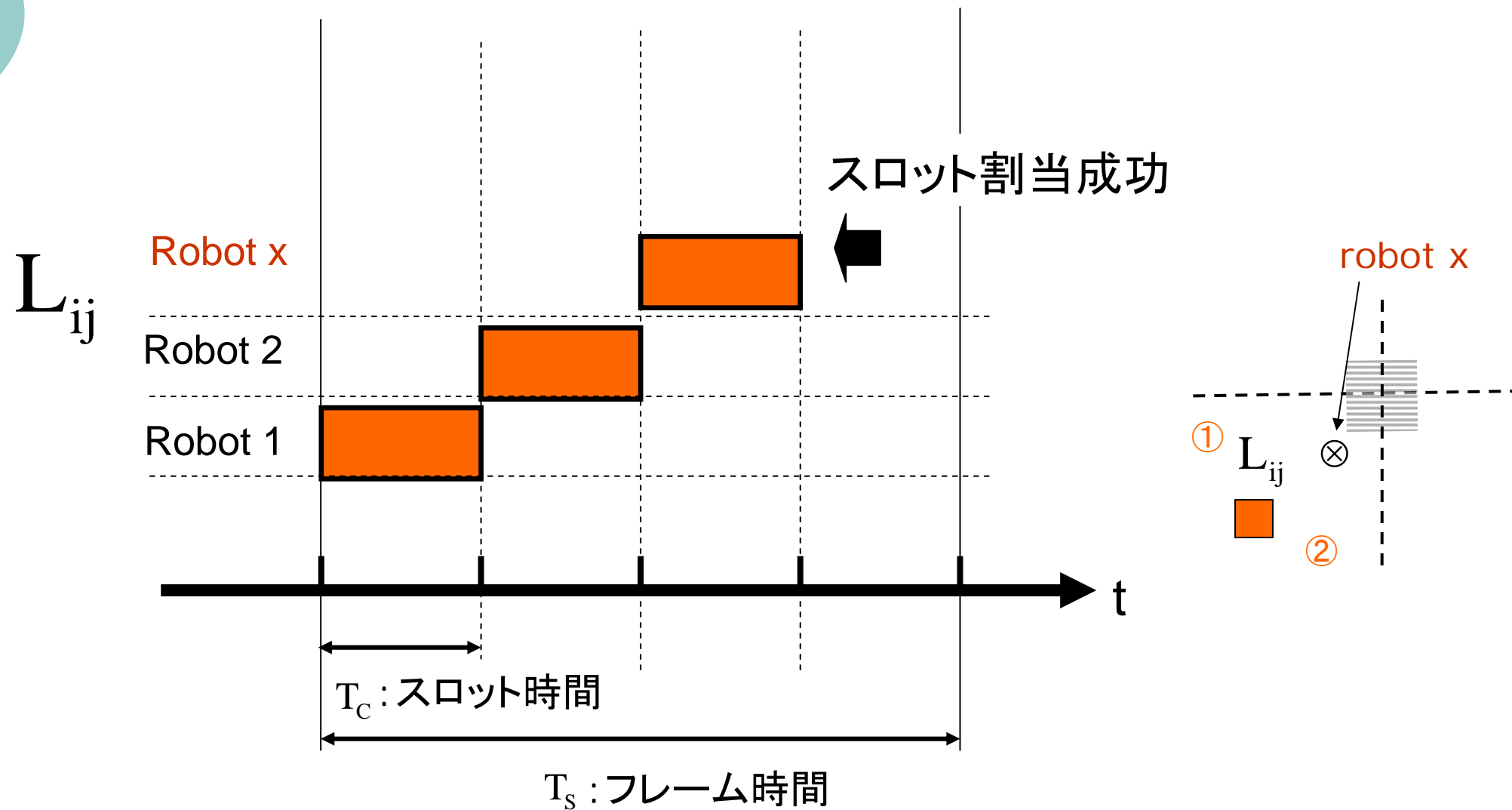
- セル内多元接続: TDMA
(セル間は完全同期)



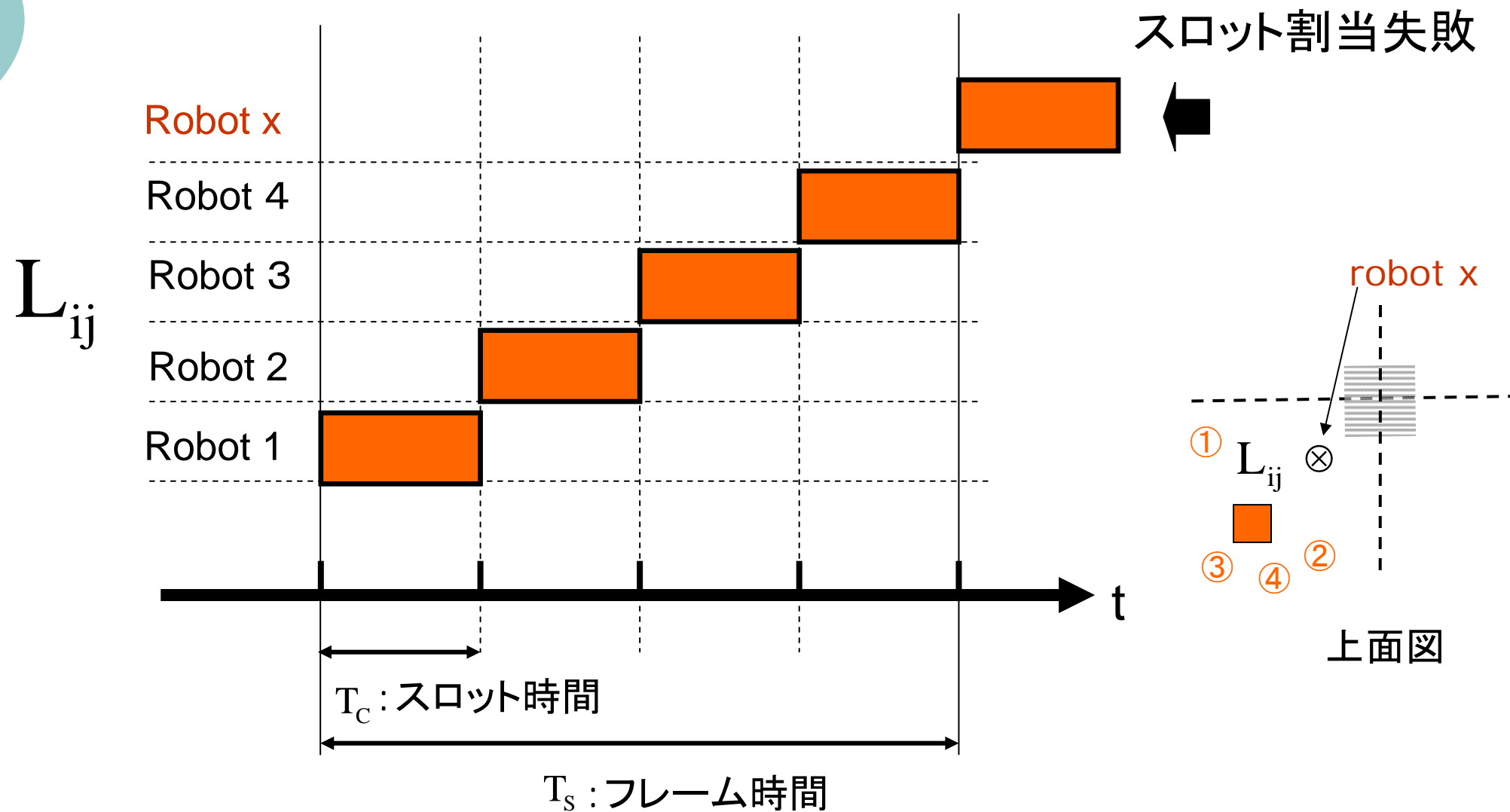
評価尺度

- フレーム内にある機器が制御情報を受け取れない確率
スロット割当てされない確率 + セル間干渉による情報受け取り失敗
- 制御可能機器数の期待値
フレーム内である機器がスロットを割当てられる確率 × 全移動機器数

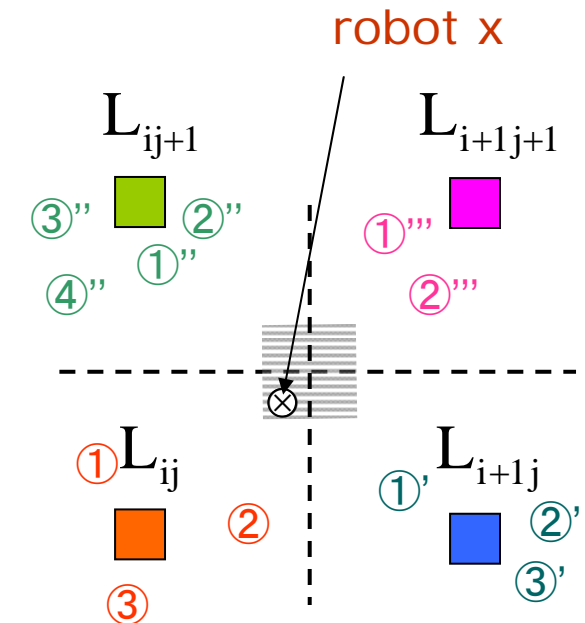
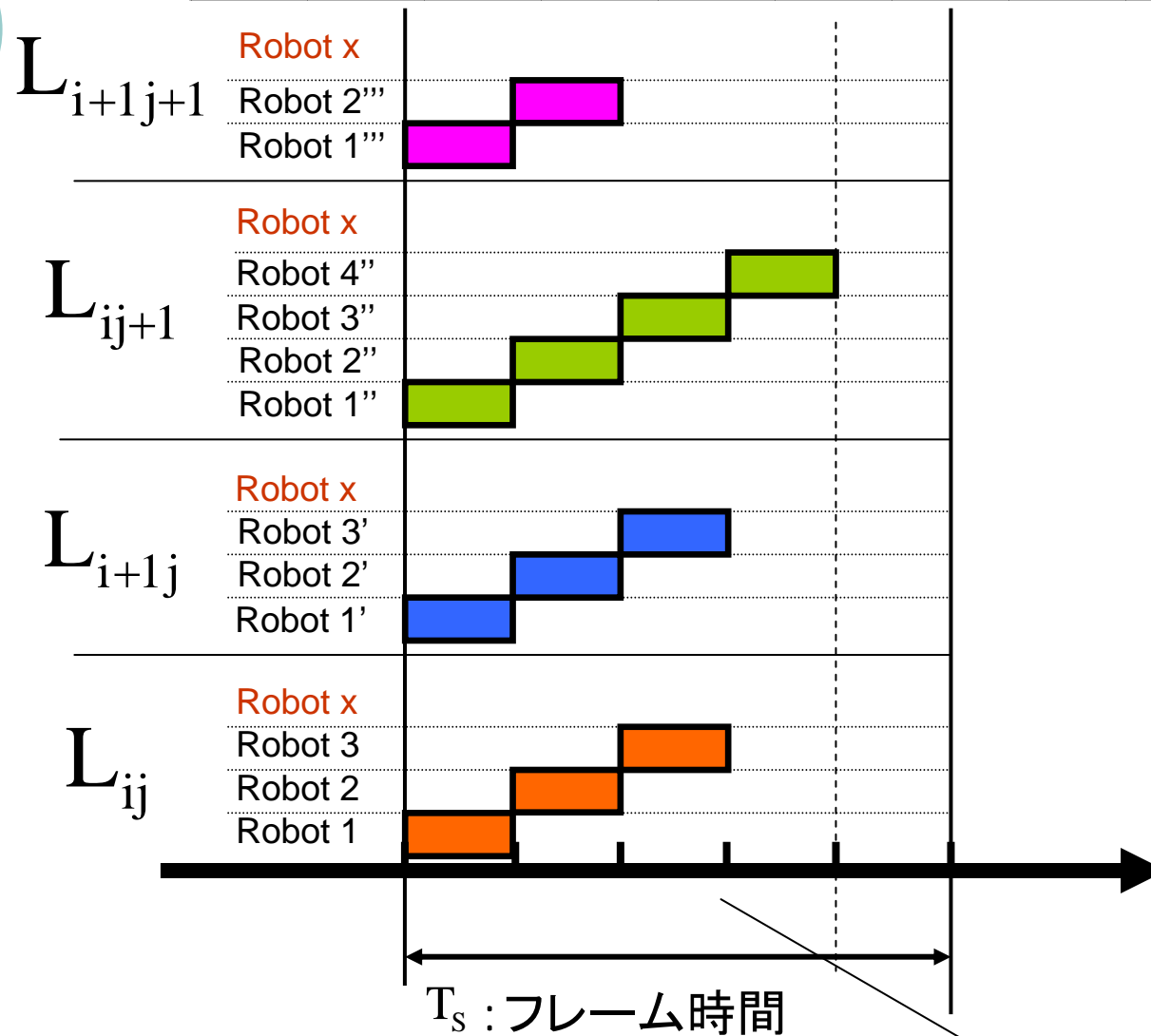
スロット割当成功



スロット割当失敗



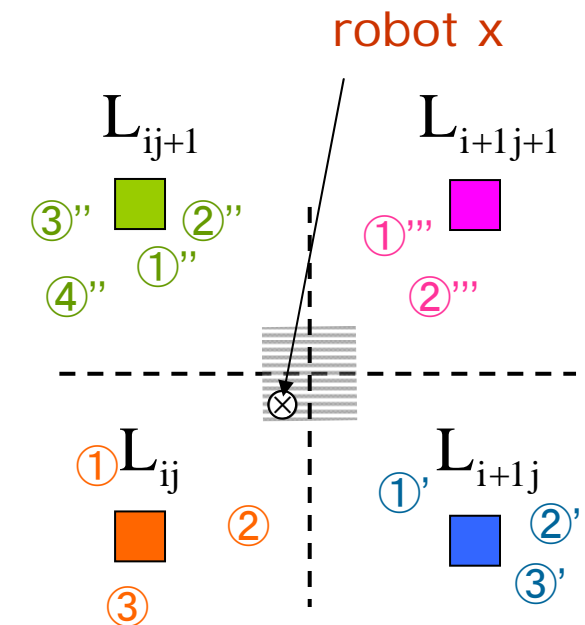
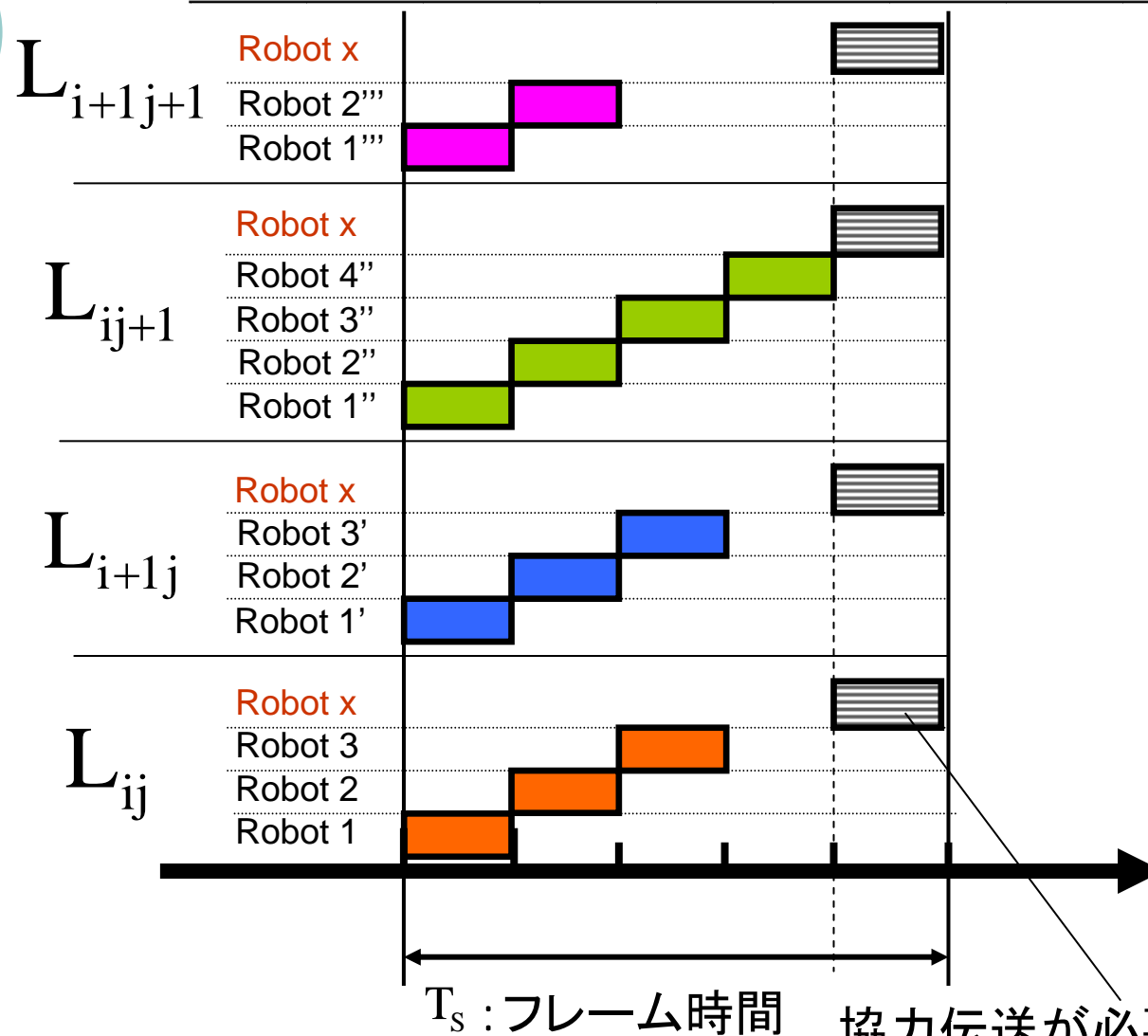
スロット割当: 協力伝送



上面図

通信可能領域にいる機器に優先して
スロットを割当てる

スロット割当: 協力伝送



上面図

協力伝送が必要なセル郡において
通信可能領域にいる機器にスロット割当て終了
⇒協力伝送用にスロット割当て

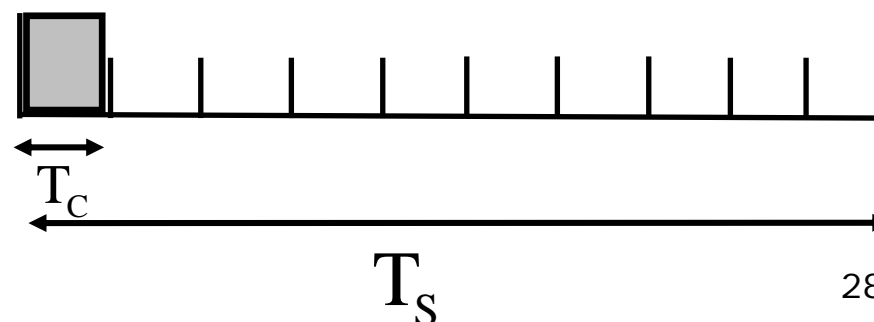
シミュレーション諸元

- 制御情報を受けとれない確率
- 制御可能機器数の期待値

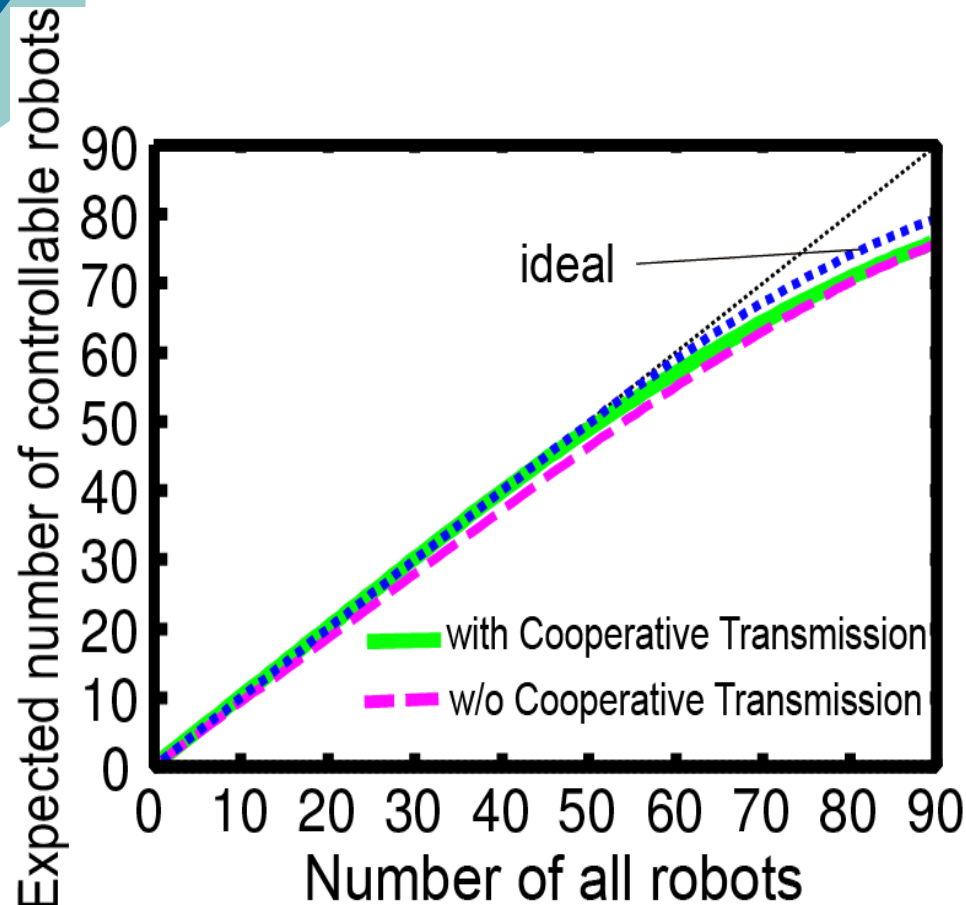
シミュレーション諸元

部屋の大きさ $X \times Y$	$15 \times 15 [\text{m}^2]$
照明器の数 $A \times B$	3×3
照明器の大きさ $\alpha \times \beta$	$0.6 \times 0.6 [\text{m}^2]$
照明器の中心間距離 l	5
照明器の半値角	60 deg
レンズの屈折率 n	1.5
受光面積 S	$1.0 [\text{cm}^2]$

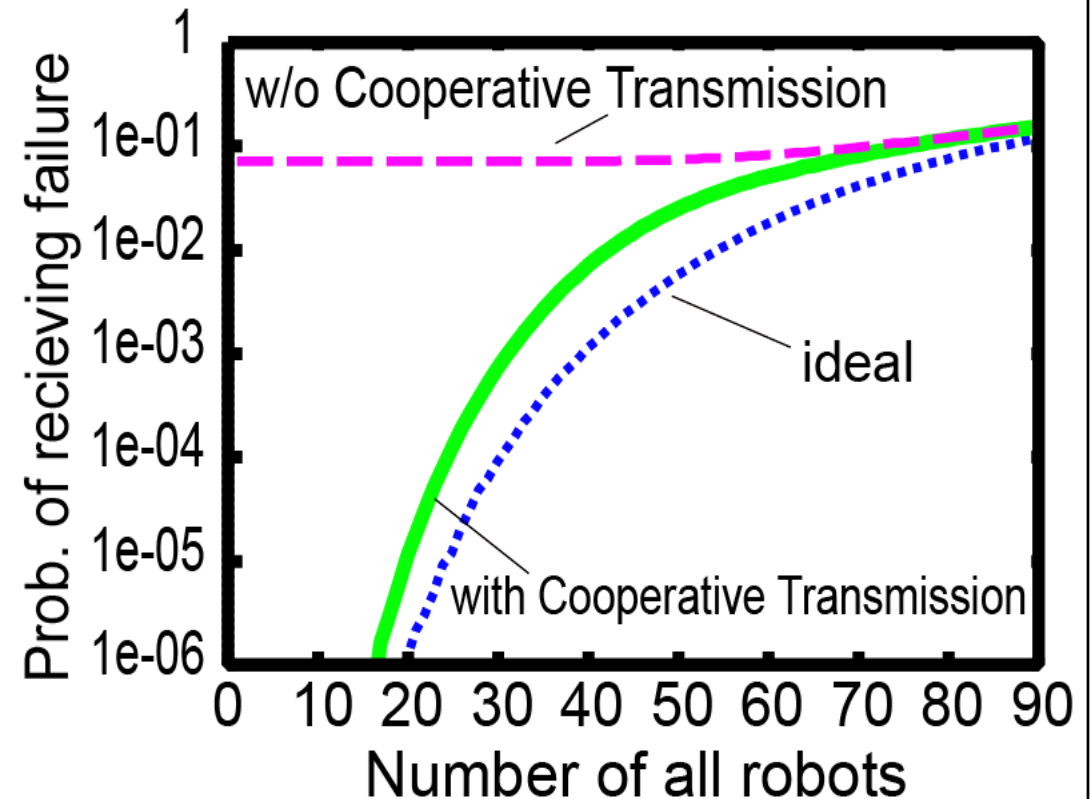
移動機器	ランダム配置
伝送速度	100 [kbps]
情報パケット	1 [kbits]
フレーム時間	0.1 [s]
スロット時間	0.01 [s]
受信機の視野角(FOV)	38.38 deg
雑音	$\Theta = 0$



制御可能機器数の期待値 制御情報を受け取れない確率



- 制御可能機器数の期待値の増加は少ない



- 情報を受け取れない確率が改善
 - 非協力伝送の場合常に全機器数の10%が干渉により受け取り失敗

まとめ

■ セル間干渉の影響、範囲の検討

- 受信機の視野角によるセル間干渉の影響
 - 受信機の視野角により干渉を無視できる領域ができる
 - 受信機の視野角のみでは干渉により通信できない領域が存在する

■ セル間干渉対策

- 協力伝送方式による干渉対策
 - 協力伝送方式を用いることで干渉を無視できる
- 提案方式の制御可能機器数による評価
 - 協力伝送方式を用いた際、
情報が受け取れない確率が減少

<発表業績>

- 電子関係学会東海支部大連合大会 2012年9月
- 電子情報通信学会 光通信システム研究会 2013年1月