

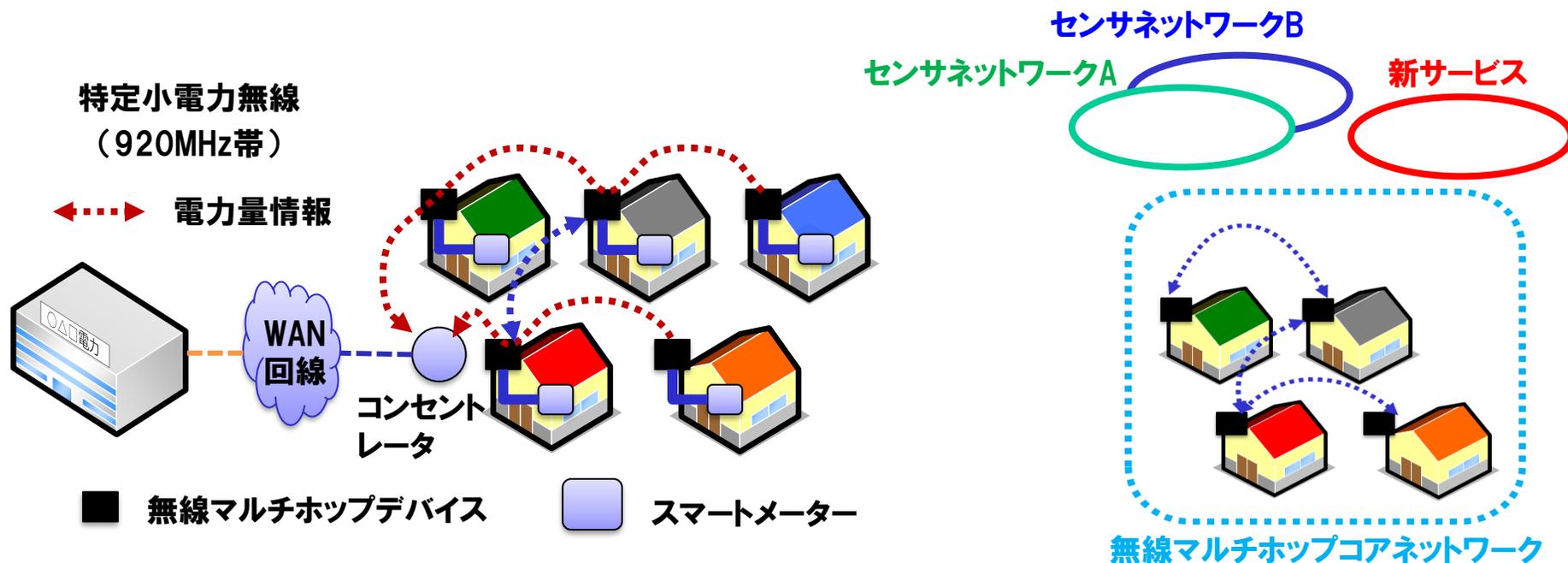
# ネットワーク技術応用とソフトウェア開発の 技術トピック

2023.9.1

日本大学 工学部 情報工学科  
日本大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

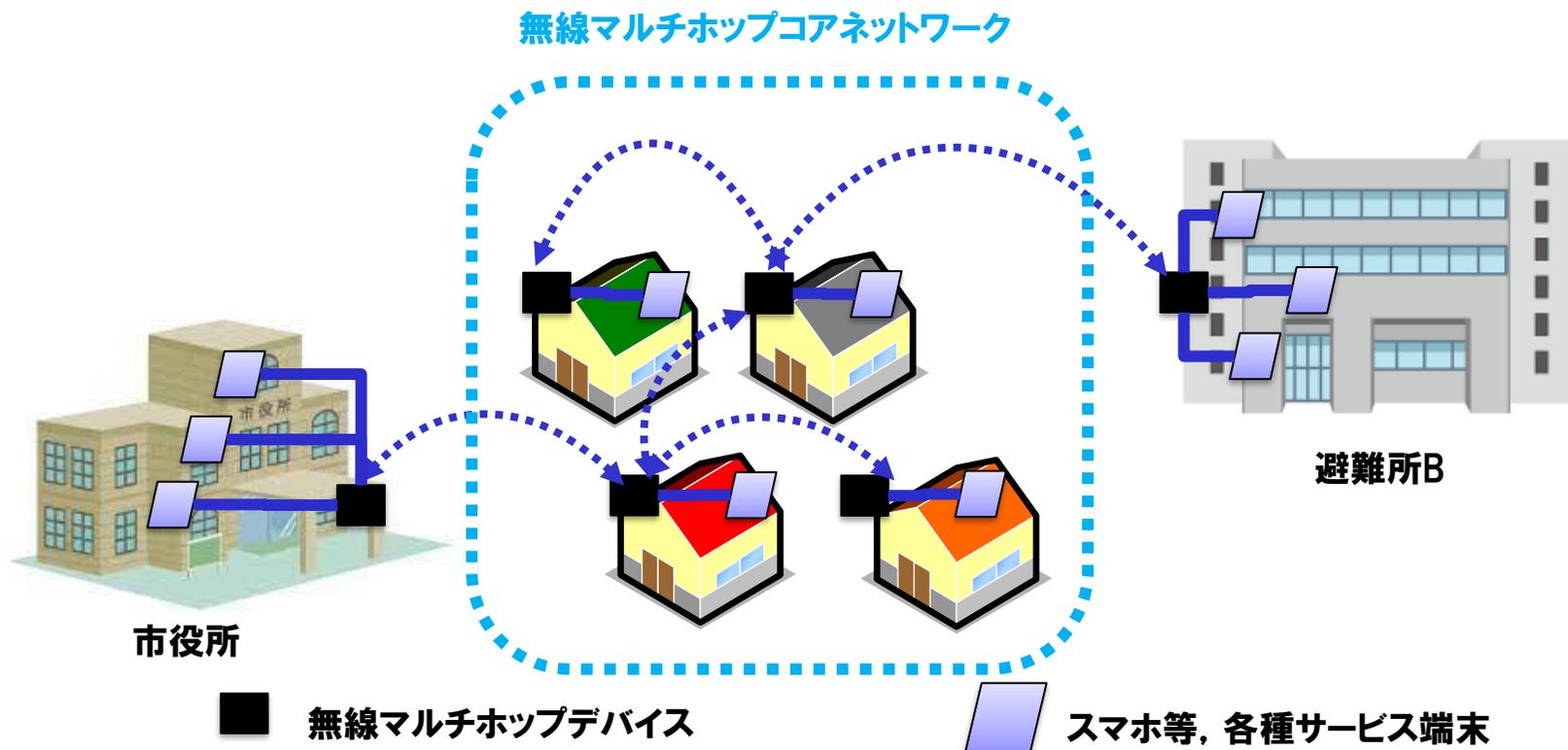
# 実空間を捉える「デバイス連携」IoT・センサNWのPF的活用

- 実空間を捉えるセンサやデバイスが連携する無線マルチホップネットワーク※がプラットフォームとして活用できれば、新たなサービスを創生できるのではないか
  - ※例えば、全国の電力ユーザの電力使用量をスマートメーターが観測し、**約8割**のユーザが戸建て住宅で無線マルチホップ通信が常時運用されている。約2割のユーザがマンションでPLCを使い、約1割のユーザが携帯電話網を使っている。



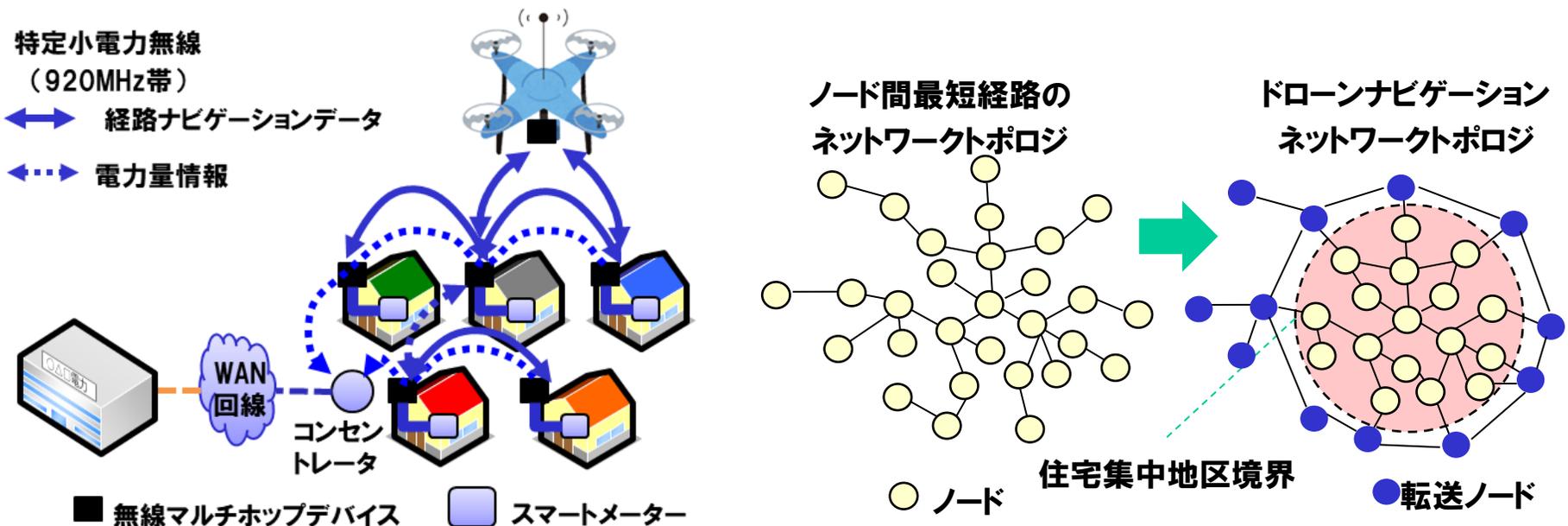
# 地域に根差したローカル放送・通信手段に

- 各家庭への防災行政無線
- デジタル回覧板, チラシ, クーポン
- 電話やメールでのやり取りがとても困難になり情報を入手することが難しい実際の被災地での災害時情報共有



# ドローンの安全かつ効率的な経路ナビゲーションに

- 物理的な航行経路をノードとリンクの仮想的なネットワークモデルにマッピングし、ルーティング技術に基づくドローン航行に最適な経路構築
- ドローンの経路構築には、安全の確保のために集中地区内のノードを可能な限り迂回する仕組み [1]
  - 集中地区: 危険な航行経路である住宅集中地区
  - 点在地区: より安全で優先される航行経路である住宅点在地区



[1] K. Ueda and T. Miyoshi, "Autonomous Navigation Control of UAV Using Wireless Smart Meter Devices," J. of Telecommun. and Info. Tech. (JTIT), The Nati. Institute of Telecommun., Republic of Poland, No.2, pp.64-72, Jul. 2019.

# Reactive型プロトコル (AODV) ベースの経路構築方式

- Reactive型の代表例であるAODV [2] をベースに航行時間と安全性を考慮した最適経路を構築 [3]
  - 最適化問題の**決定変数相当**を*i*とし、**i番目**に届いたRREQメッセージを、**目的関数相当**である式 (1) を用いて評価する

- **目的関数**

$$\min\left\{\alpha \times \frac{D_i}{v_1} + (1 - \alpha) \times T_i\right\} \quad (1)$$

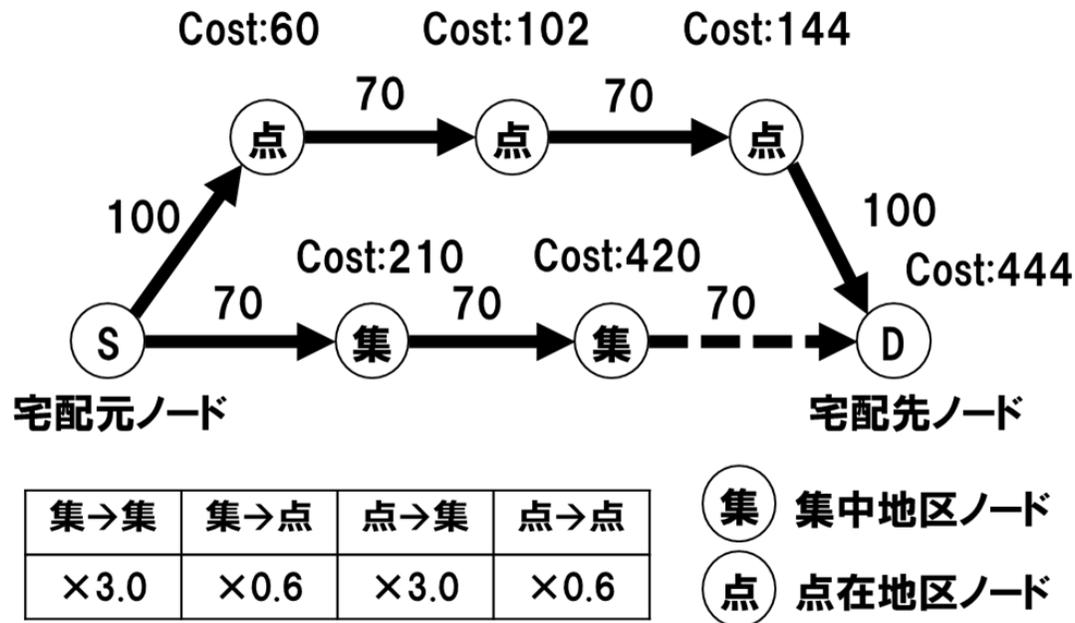
- $T_i$  : 移動機が送信元から**i番目の**RREQメッセージを受信したノード時点まで移動するのにかかる時間
- $D_i$  : 移動機が送信元から**i番目の**RREQメッセージを受信したノード時点まで集中地区内を移動する距離(集中距離)
- $v_1$  : 集中地区内を移動するときの速度
- $\alpha$  : 航行時間と安全性の観点をバランスよく評価する値

[2]

[3] Y. Kokubun, T. Yamazaki, R. Yamamoto, T. Miyoshi, K. Ueda, "Reactive Route Construction for UAV Delivery considering Travel Time and Safety using Wireless Multi-hop Network," IEICE Commun. Exp., Vol.11 No.7, pp.405-410, Apr. 2022.

# Proactive型プロトコル (OLSR) ベースの経路構築方式

- 経路表を事前に作成しておき、経路要求にすぐ応答できる  
Proactive型の代表例であるOLSR [4] をベースに最適ルートを構築 [5]
- すべてのノードに自身が集中地区か点在地区かの情報を付与
  - 経路計算時に物理距離をリンクコストとしたダイクストラ法を利用
  - 物理距離にリンク安全度で重み付けをすることにより  
移動距離の超過と集中地区を避けた経路を構築することが可能



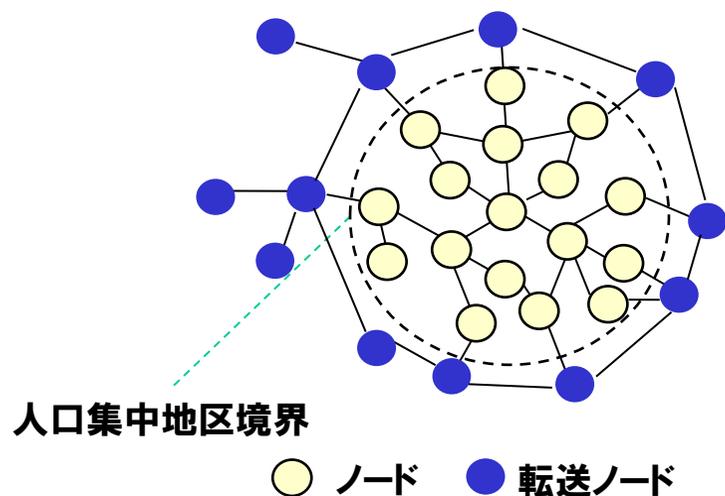
[4]

[5] H. Gunji, T. Yamazaki, R. Yamamoto, T. Miyoshi, K. Ueda, "Proactive Route Construction for UAV Delivery considering Distance and Safety using Wireless Multi-hop Network," IEICE Commun. Exp., Vol.11 No.7, pp.411-416, Apr. 2022.

# 評価の手法

- 実環境上に近いモデルで実験するために、NS-3を利用してシミュレーションを行う
- 3×3のエリアでシミュレーションを作成
  - 中心を集中地区，周辺を点在地区
- 1マスのサイズ：333m×333m
- 電波の届く範囲：125m

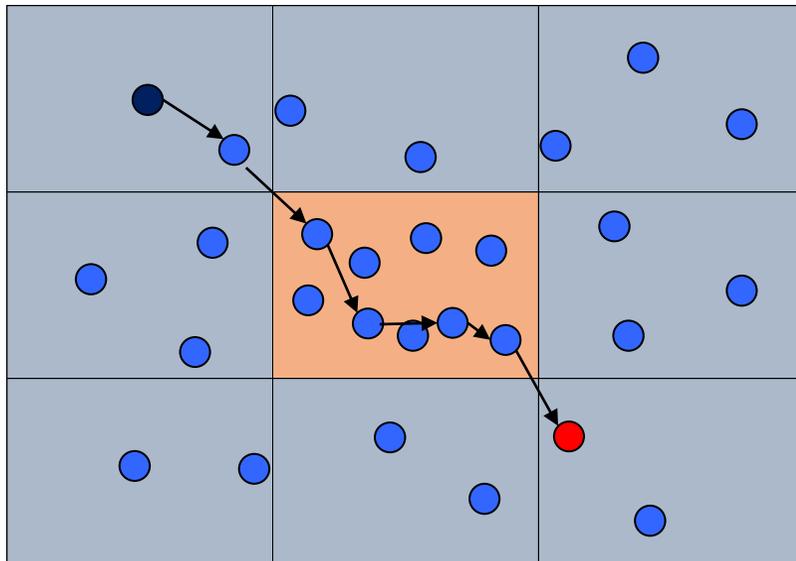
小型無人機ナビゲーション  
ネットワークトポロジ



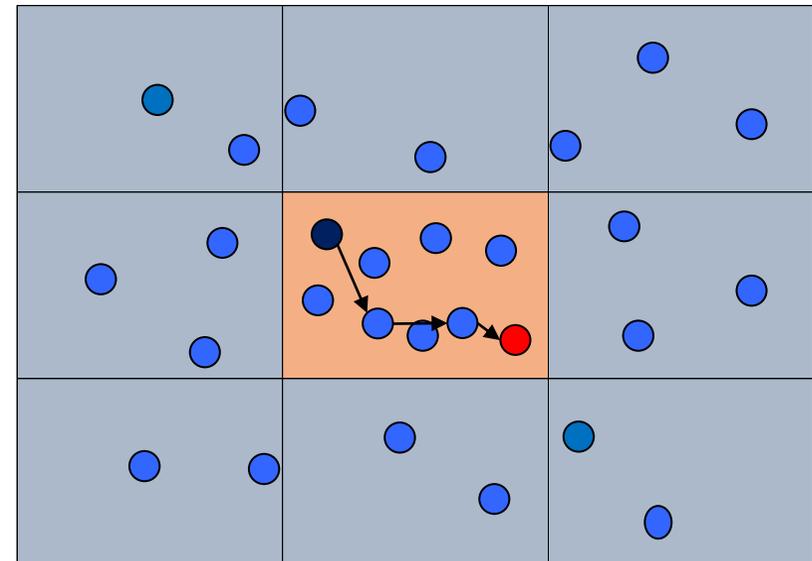
点在地区 20個	点在地区 20個	点在地区 20個
点在地区 20個	集中地区 50個	点在地区 20個
点在地区 20個	点在地区 20個	点在地区 20個

# 評価の手法

- ノードは各エリアにランダムで配置
  - 送信元と送信先のノードは配置後に指定
- 送信元と送信先は2パターンで検証
  - 実験1: 点在地区(左上)から点在地区(右下)への経路を作成
  - 実験2: 集中地区(中心)から集中地区(中心)への経路を作成



実験1 点在地区→点在地区

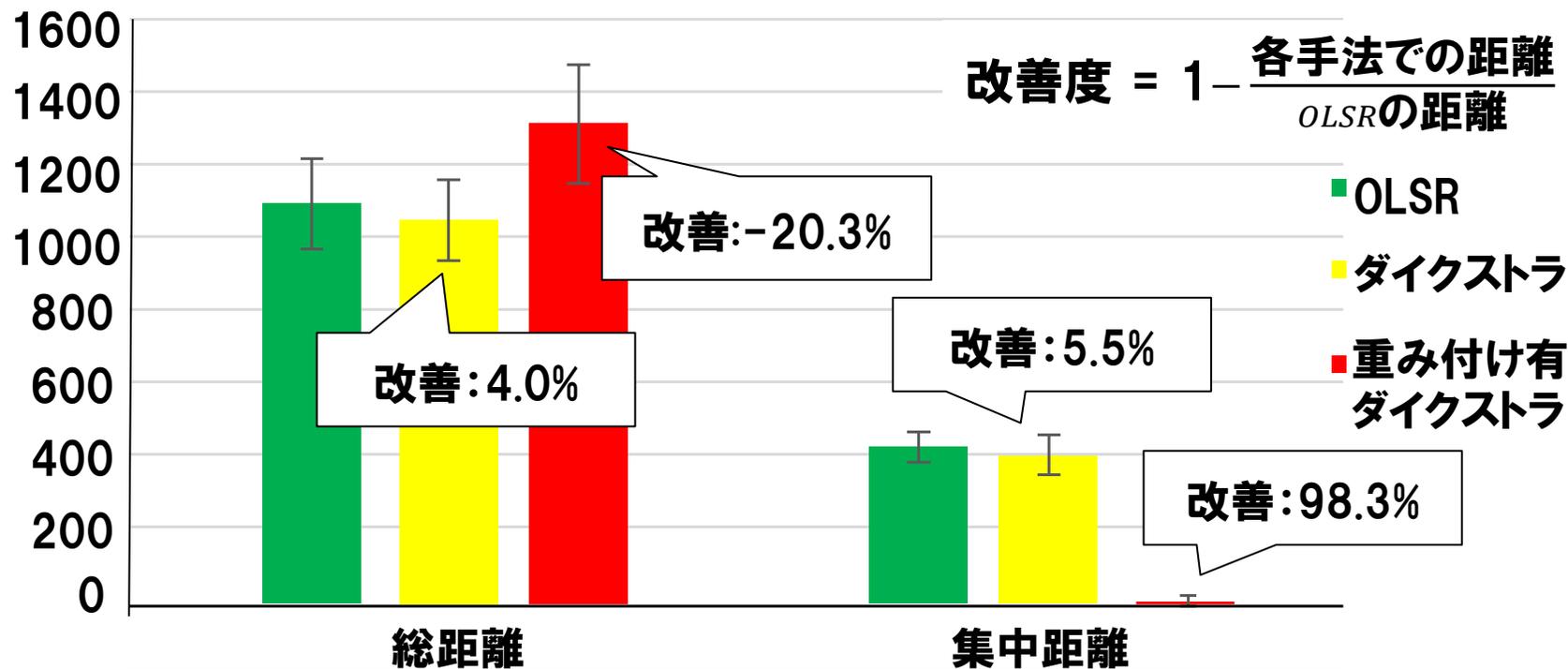


実験2 集中地区→集中地区

# 実験1の結果

## ■ 構築した経路の総距離と集中地区距離(集中距離)を比較

- 重み付け有ダイクストラ法での総距離はOLSRと比較して約20%増加したが、集中距離は約98%の改善
- 改善度が100%でないのは、集中地区を避けると総距離が伸びすぎるケースが含まれていた

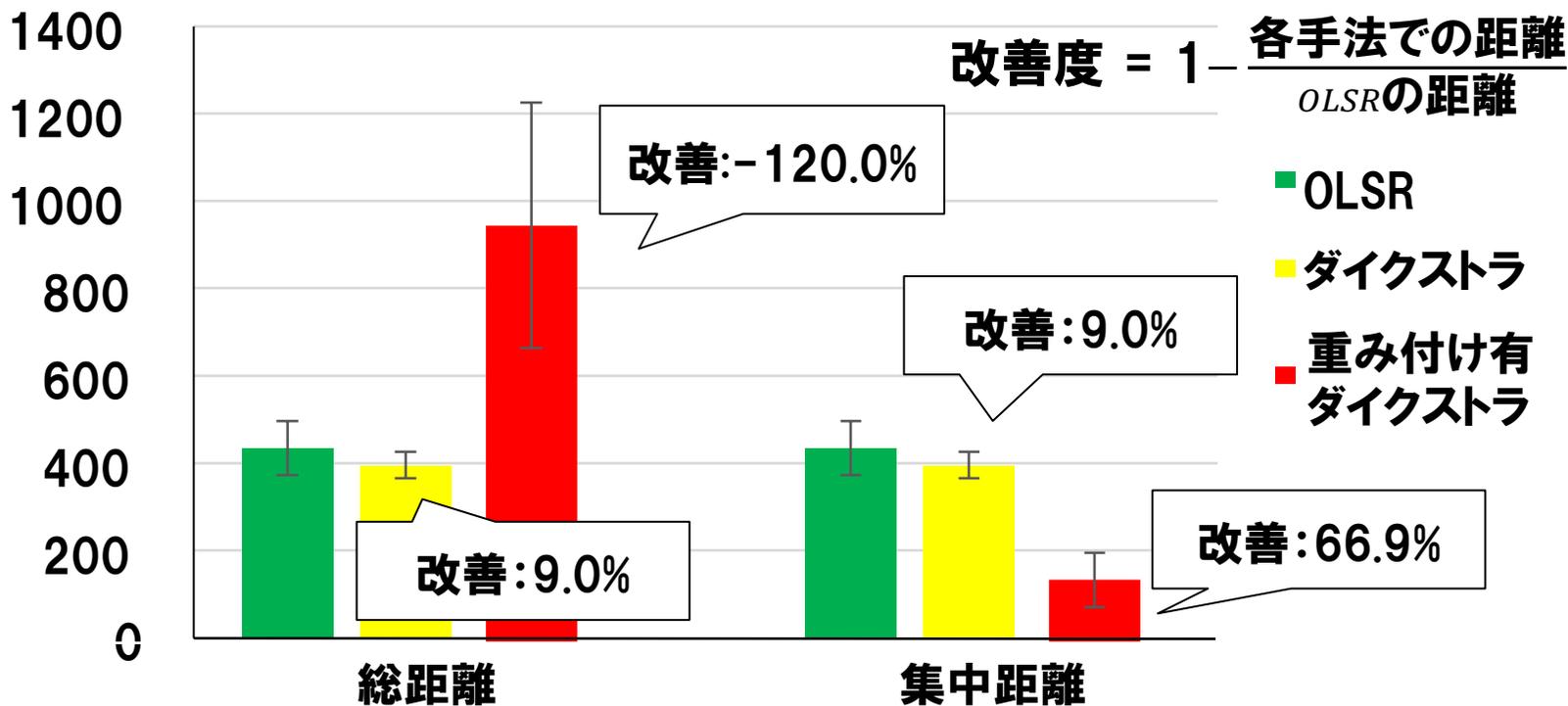


距離	1102.8	1058.0	1326.8	432.1	406.9	7.4
----	--------	--------	--------	-------	-------	-----

# 実験2の結果

## ■ 構築した経路の総距離と集中地区距離(集中距離)を比較

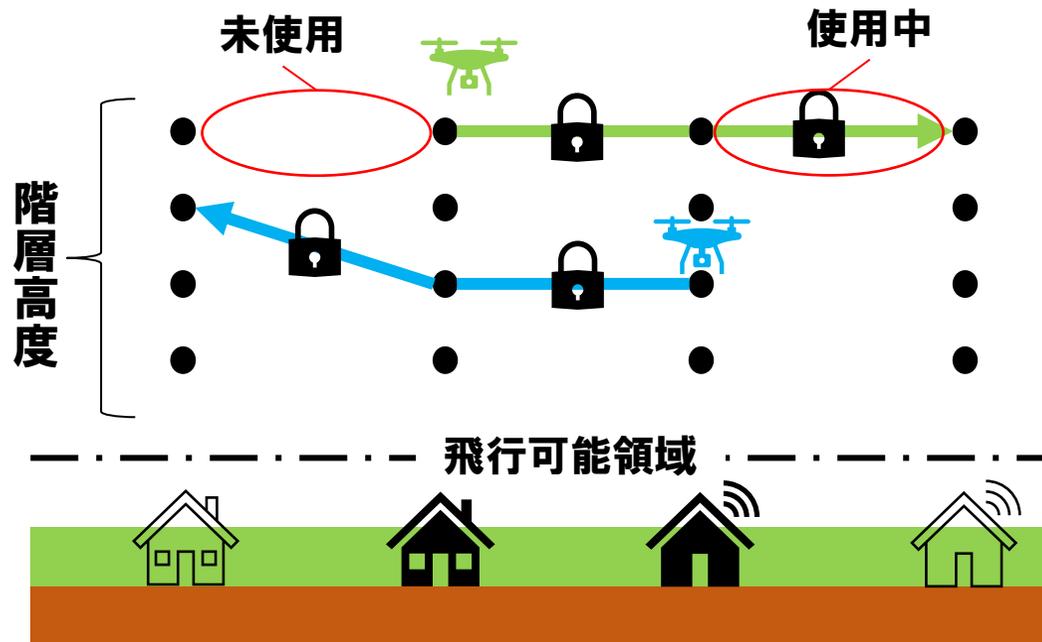
- 重み付け有ダイクストラ法での総距離はOLSRと比べると約120%増加したが、集中距離は約70%改善
- 実験2では送信元と送信先で必ず集中地区を経由するため、実験1ほどの改善は見られなかった



距離	434.3	395.4	955.4	434.3	395.4	143.6
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

# 衝突回避リンクロック階層化方式

- 複数の移動機で経路を構築する場合，衝突の可能性があった
- ある移動機が経路に使用するリンクをロックすることで，経路の重複による衝突を回避する方式(リンクロック方式) [6]
- リンクに階層高度を持たせ，複数台の移動機で一つのリンクを使用可能にした方式(階層化方式)



階層高度	1	2	3	4	5	6	7	8
フラグ	0	0	1	0	0	0	0	0

使用フラグは最大 8bit 利用  
1:使用中 0:未使用

# 評価手法

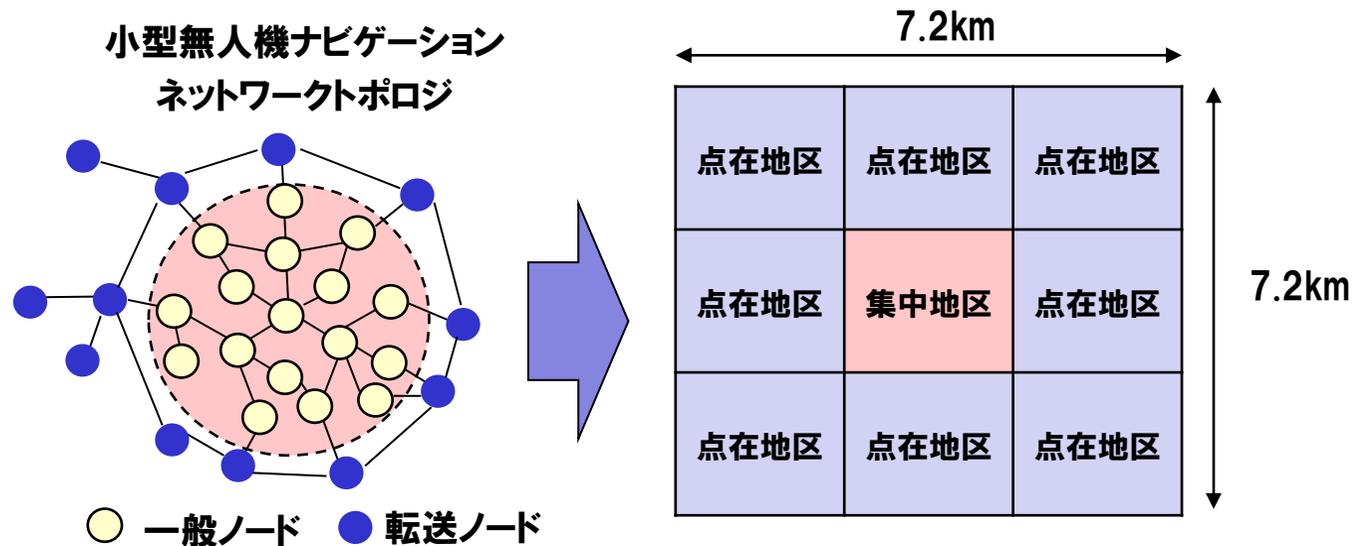
---

- NS-3のOLSRモジュールに変更を加え、シミュレーションを作成
- 10, 20, 30, 40台の移動機で経路構築をおこなう
- **実験1:従来方式(リンクロック無)の経路コンフリクト率**
  - リンクロック方式で経路コンフリクトがどの程度改善されるかを確認
- **実験2:リンクロック方式での経路構築失敗率**
  - リンクロック方式によって発生する経路構築の発生率を確認
- **実験3:階層化有リンクロック方式で経路構築失敗率**
  - 2階層にした階層化による経路構築失敗率の改善を確認
- 各実験を100回繰り返し、平均値と標準偏差を求める

# 評価手法

## ■ 3×3に分割されたランダムノード配置モデル

- 一般ノードを集中地区ノードとして中心部にランダムで40ノード配置
- 転送ノードを点在地区ノードとして集中地区周辺にランダムで20ノード配置

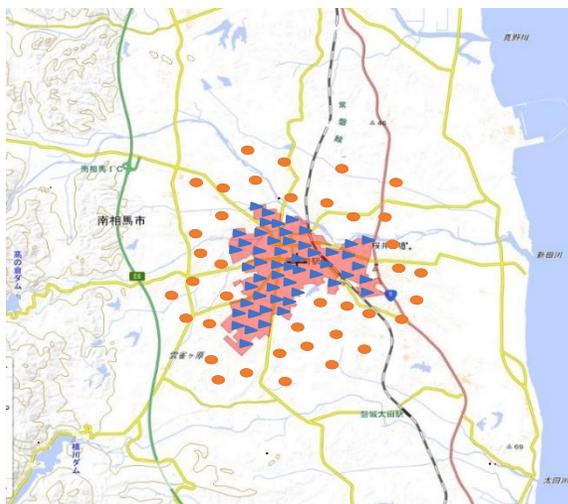


- ノードの追加, 移動, 削除は無い
- 各ノードの電波到達範囲は1.5km
- 実験1回におけるノード配置と送信元・送信先の組み合わせは, 実験1, 2, 3で共通
- 点在地区へのリンクは重みを0.6倍, 集中地区へのリンクは3.0倍

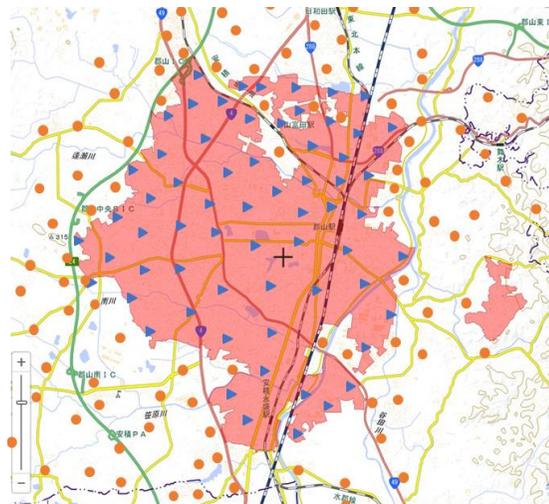
# 評価手法

- 福島県内にある実際の地域もモデルに使用
  - 南相馬市モデル: 約100家屋を1クラスタとして1クラスタにつき1ノードが中継機能を有するノードとする
  - 郡山駅周辺モデル: 十分な間隔を維持して配置

南相馬市モデル



郡山駅周辺モデル



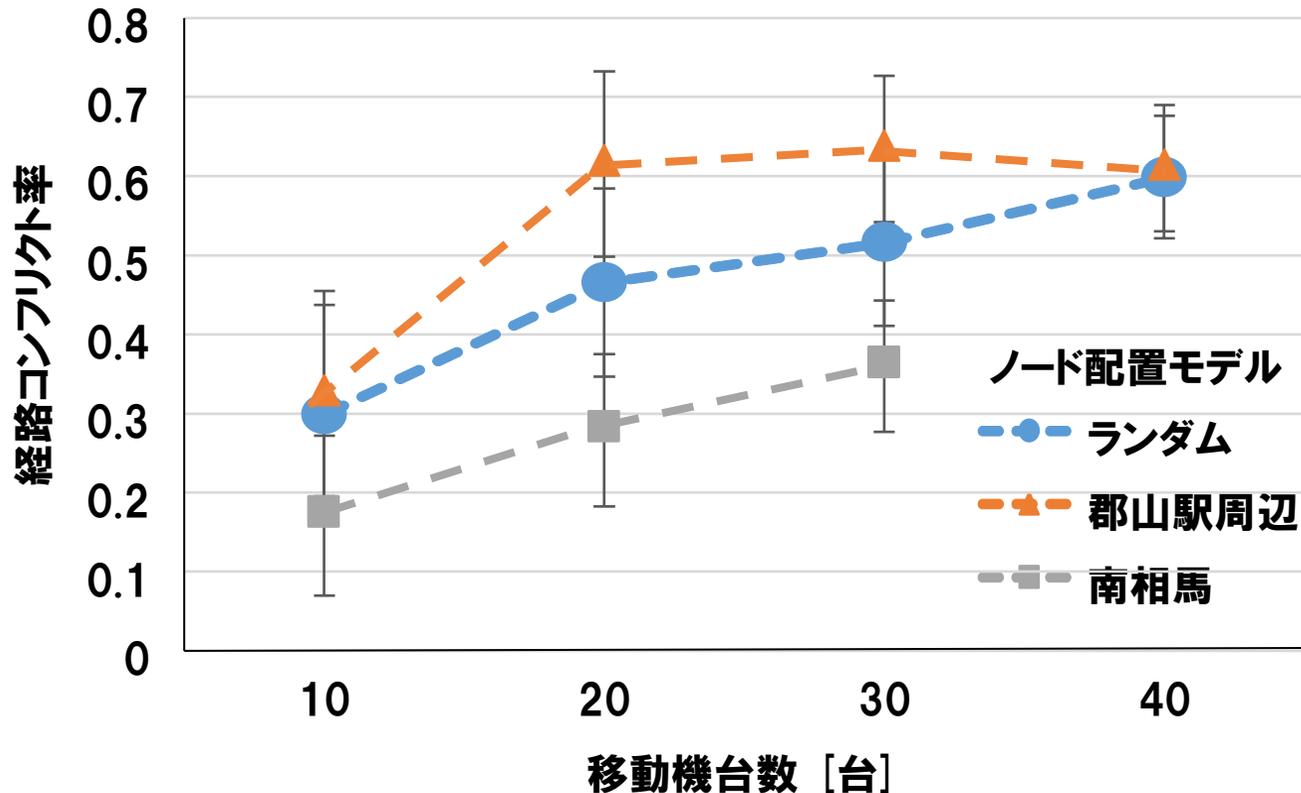
▶ 集中地区ノード  
● 点在地区ノード

モデル	サイズ	点在ノード数	集中ノード数
郡山駅周辺	12km×12km	120	64
南相馬市	6km×6km	35	55

# 評価結果

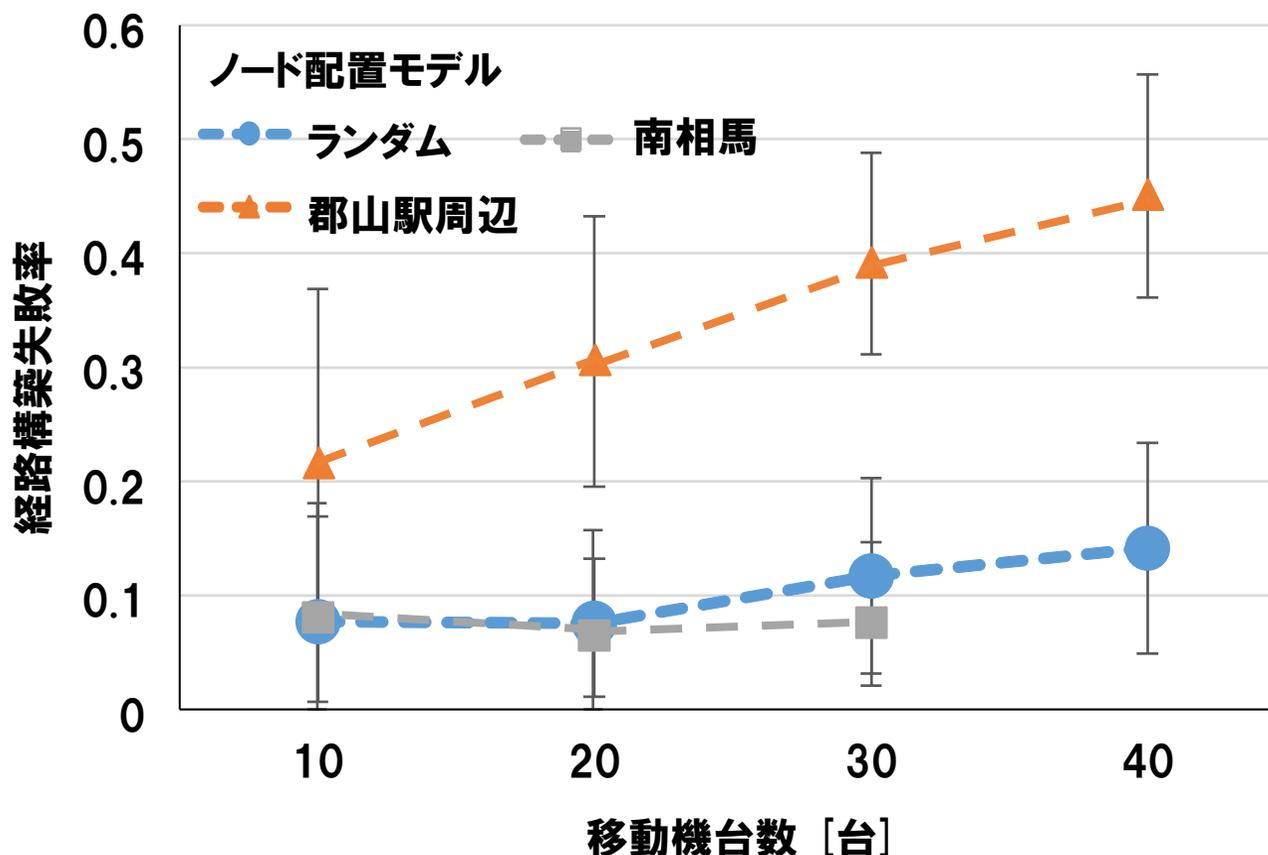
実験1: 従来方式とリンクロック方式による経路コンフリクト発生率の比較

リンクロック方式の導入で  
経路コンフリクトの発生を抑制



# 評価結果

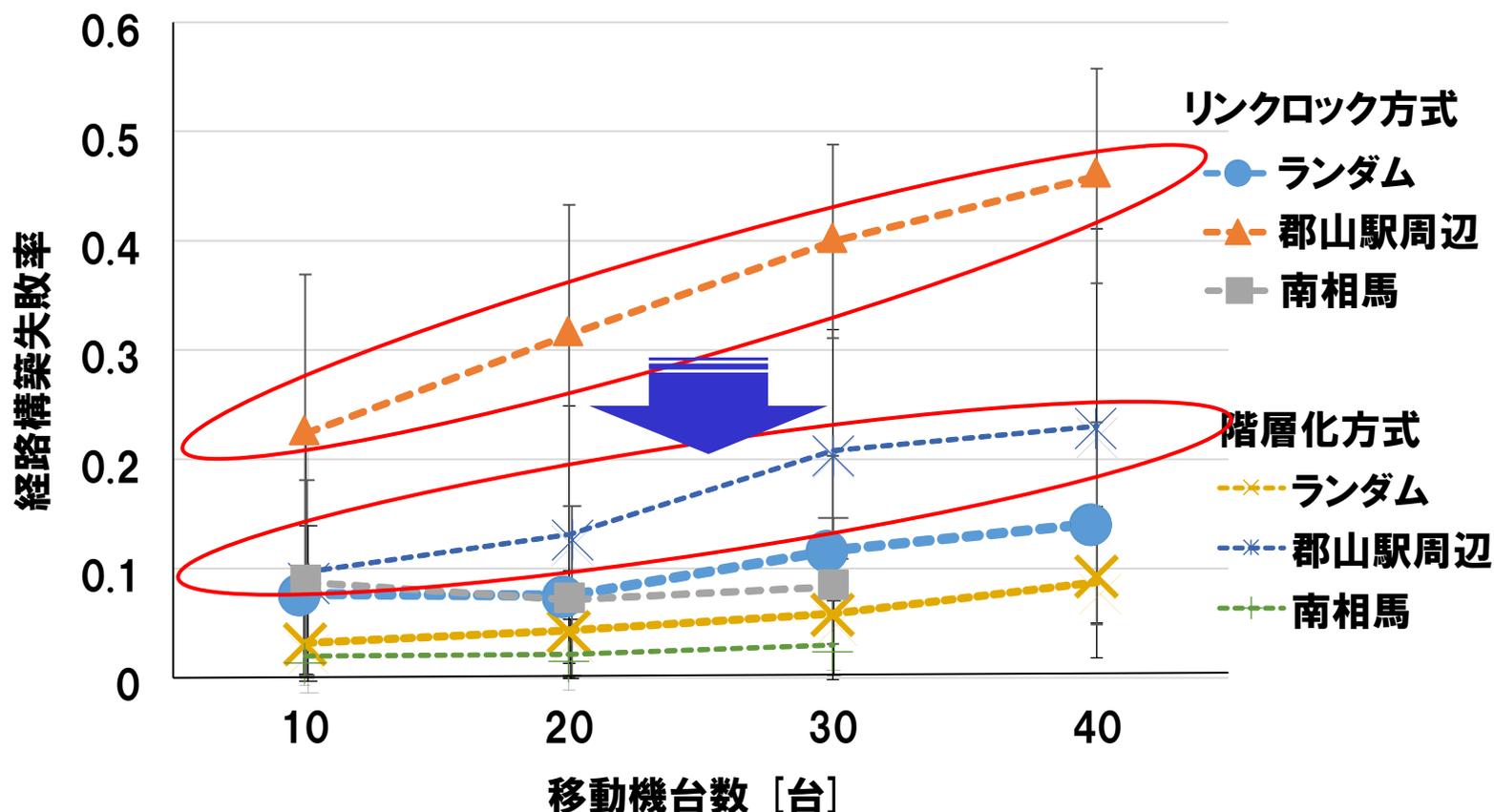
- 実験2:リンクロック方式における経路構築失敗率
  - 台数が増えるとともに経路構築失敗率が増加
  - モデルサイズに対してノード数が多ければ多いほど経路構築しやすい
  - リンクロック方式のみでは構築できる移動機台数に大きな制限がかかる



# 評価結果

## ■ 実験3:階層化有リンクロック方式における経路構築失敗率

- リンクロック方式のみと比較して経路構築失敗率が改善
- 郡山駅周辺モデルでは大幅な改善を確認
  - ノードの配置方法によって提案方式の効果が変化している可能性がある



## まとめ

---

- デバイス・センサネットワークのプラットフォームもあるといいのではないか
- データ空間のみのプラットフォームのみならず、物理空間のモビリティの制御プラットフォームなどは重要
- モビリティの制御には、移動体独立と中央集中制御のバランス、経路と移動の分散制御モデルと実装の検討

# 参考文献

- [1] K. Ueda and T. Miyoshi, “Autonomous Navigation Control of UAV Using Wireless Smart Meter Devices,” J. of Telecommun. and Info. Tech. (JTIT), The Nati. Institute of Telecommun., Republic of Poland, No.2, pp.64–72, Jul. 2019.
- [2] C. E. Perkins, E. M. B.-Royer, and S. R. Das, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing,” IETF, RFC3561, Jul. 2003.
- [3] Y. Kokubun, T. Yamazaki, R. Yamamoto, T. Miyoshi, K. Ueda, “Reactive Route Construction for UAV Delivery considering Travel Time and Safety using Wireless Multi-hop Network,” IEICE Commun. Exp., Vol.11 No.7, pp.405–410, Apr. 2022.
- [4] T. H. Clausen, and P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR),” IETF, RFC3626, Oct. 2003.
- [5] H. Gunji, T. Yamazaki, R. Yamamoto, T. Miyoshi, K. Ueda, “Proactive Route Construction for UAV Delivery considering Distance and Safety using Wireless Multi-hop Network,” IEICE Commun. Exp., Vol.11 No.7, pp.411–416, Apr. 2022.
- [6] H. Gunji, T. Yamazaki, R. Yamamoto, T. Miyoshi, K. Ueda, “Methods for Constructing Collision Avoidance Route for Multiple Unmanned Aerial Vehicles Using OLSR-Based Link Hierarchization,” IEICE Commun. Exp., Vol.12 No.1, pp.7–12, Jan. 2023.