

無線センサネットワークにおける 通信経路および消費電力量シミュレータ

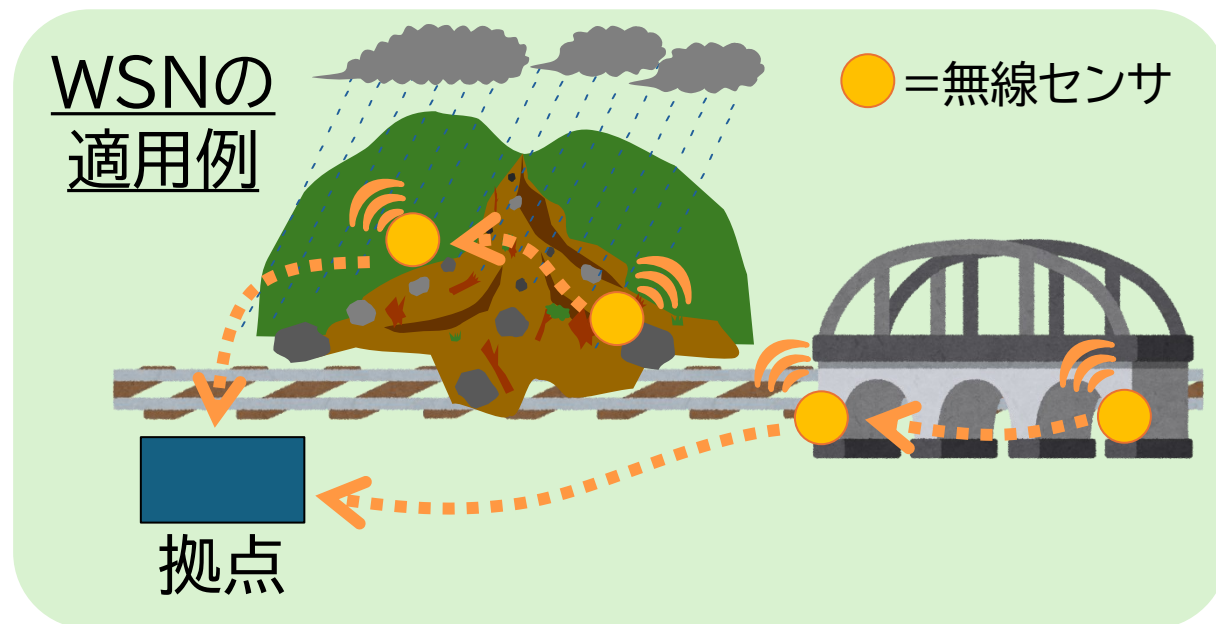
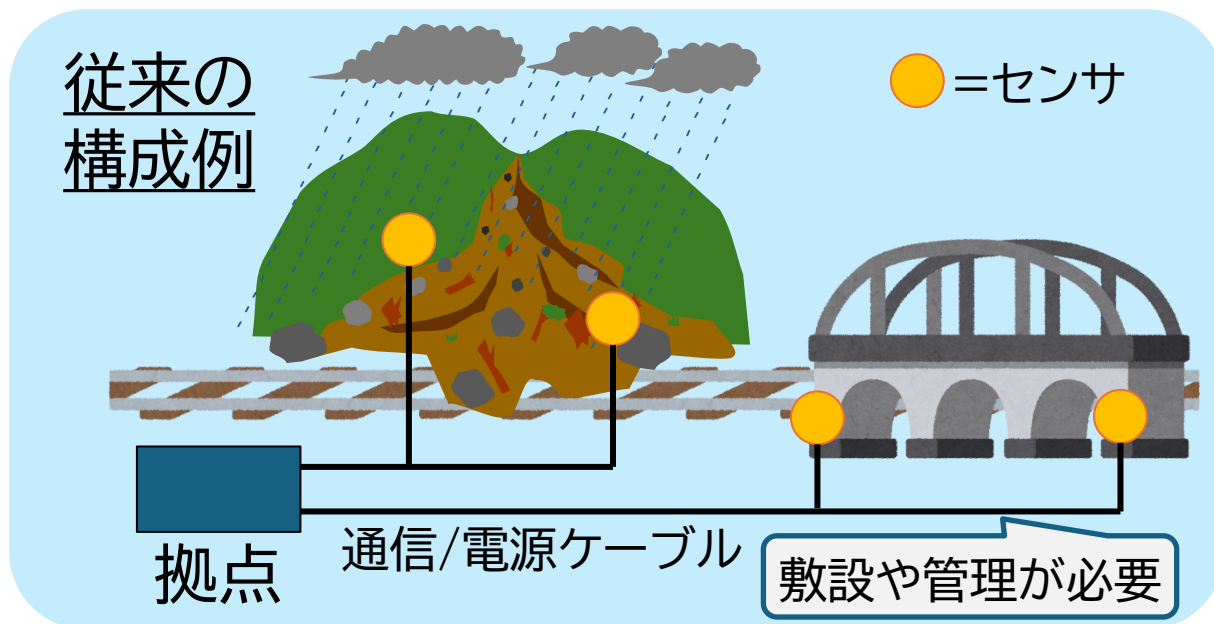
情報通信技術研究部 通信ネットワーク研究室
研究員 細川 雄太

- 背景
- 通信品質および消費電力量のシミュレーション手法
- WebベースのWSNシミュレータの開発
- シミュレータの有効性・推定精度検証試験
- シミュレータを活用したネットワーク設計の実施手順
- まとめと成果の活用

背景：無線センサネットワーク(WSN)

Railway Technical Research Institute

- 設備の状態や沿線環境を監視するニーズが増えている
- 長距離伝送/低消費電力に対応した通信方式の実用化が進む
→ 無線センサネットワーク(WSN)の導入が現実的に



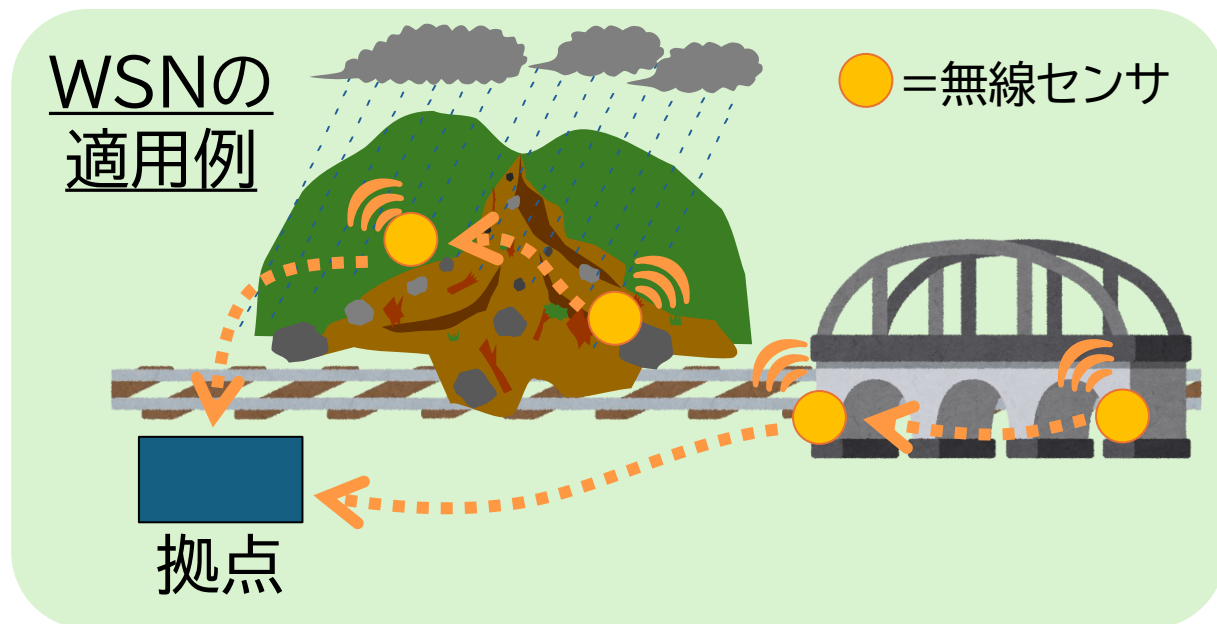
- WSN導入によるメリット
 - 既存の有線ネットワークの置き換え ⇒ ケーブル等の保守費用削減
 - ケーブル敷設が困難な箇所へセンサ設置 ⇒ 将来的な作業の省力化

WSN導入時の課題と本研究の目的

Railway Technical Research Institute

課題

鉄道事業者がWSNの導入を検討する際、通信品質や消費電力を考慮した設計が必要だが、机上で検討できる手段が確立されていない



✓センサの種類
✓センサの位置
✓データ伝送頻度

△適切な通信方式
△中継装置の配置
△バッテリー交換周期

・ネットワーク設計
・工事費、設備費の算出
・ランニングコストの試算

目的 WSNの導入検討時に必要な、通信品質や消費電力量の推定手法を確立

Wi-SUNおよびLoRaを対象としたシミュレータを開発

- 背景
- 通信品質および消費電力量のシミュレーション手法
- WebベースのWSNシミュレータの開発
- シミュレータの有効性・推定精度検証試験
- シミュレータを活用したネットワーク設計の実施手順
- まとめと成果の活用

シミュレーション手法の提案

Railway Technical Research Institute

目的 WSNの導入検討時に必要な、通信品質や消費電力量の推定手法を確立

シミュレーション手法

入力

設置条件

センサ/拠点位置、中継器の配置
アンテナ種別、アンテナ高さ...

データ条件

データサイズ、送信周期...

通信方式条件

通信速度
伝送距離と到達率との関係...

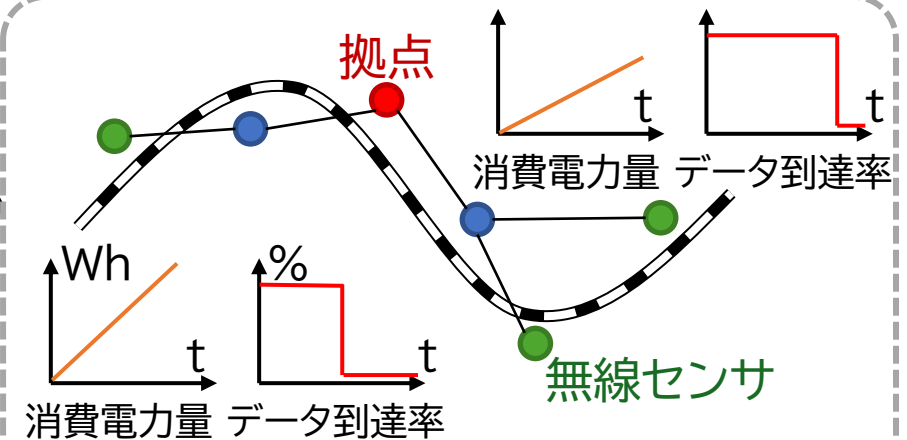
計算モデル

データ到達率推定

トポロジー推定

消費電力推定

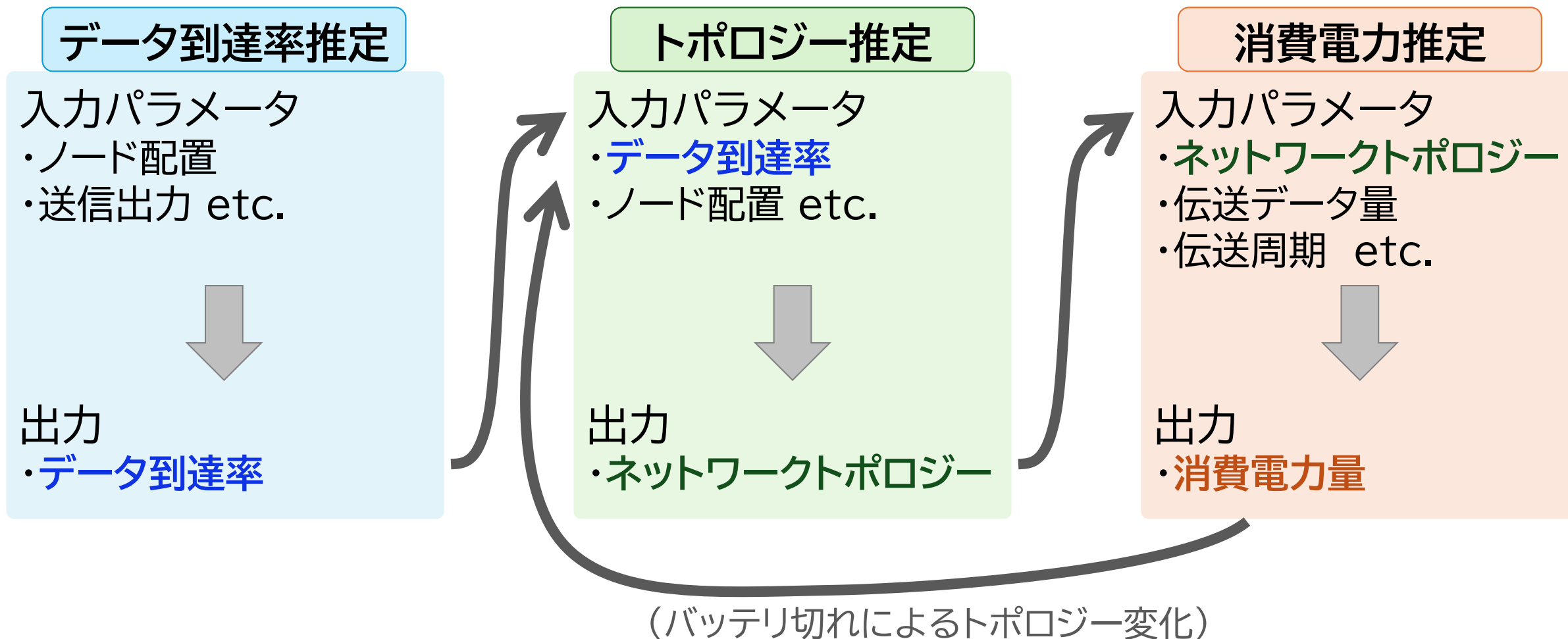
出力



**ノード配置や通信方式、
バッテリー交換頻度を検討可能**

計算モデルの連携

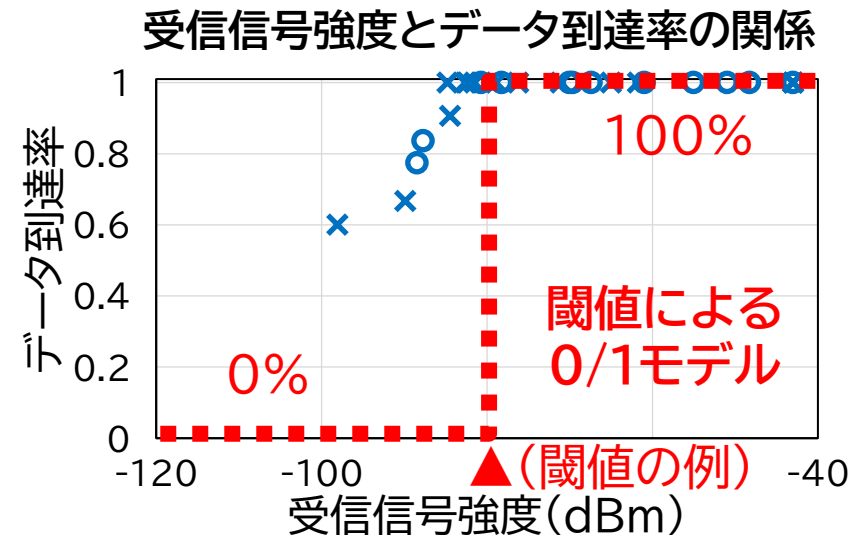
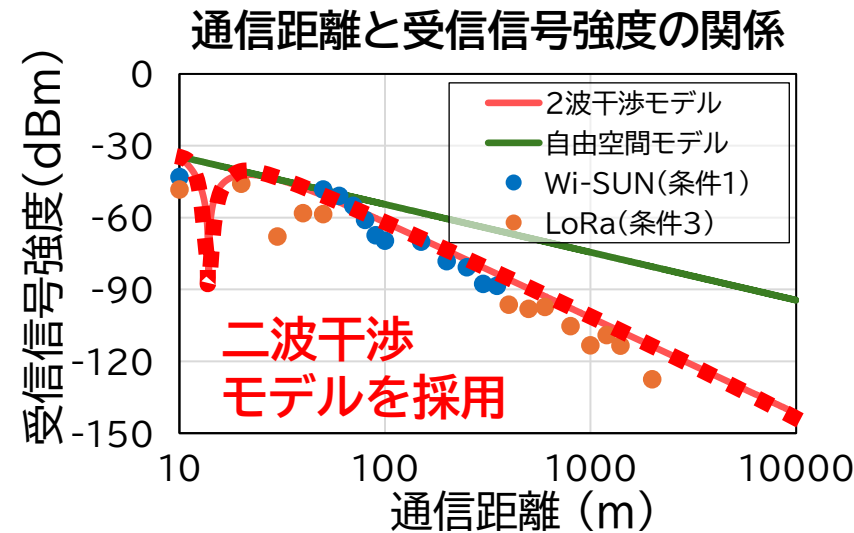
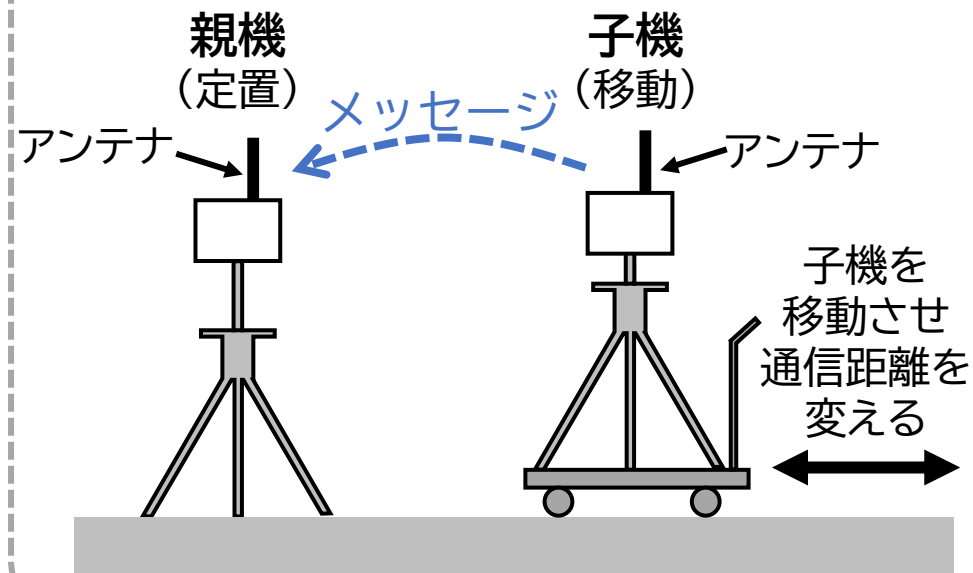
- 3つの計算モデルが相互に連携しシミュレーションを実行



計算モデル: データ到達率推定

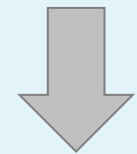
Railway Technical Research Institute

- 基本特性測定試験
 - 直線の高架上で距離を変化させ、受信信号強度・データ到達率を測定

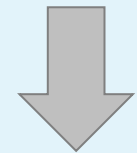


入力パラメータ

- ・ノード配置
- ・送信出力 etc.



受信信号
強度



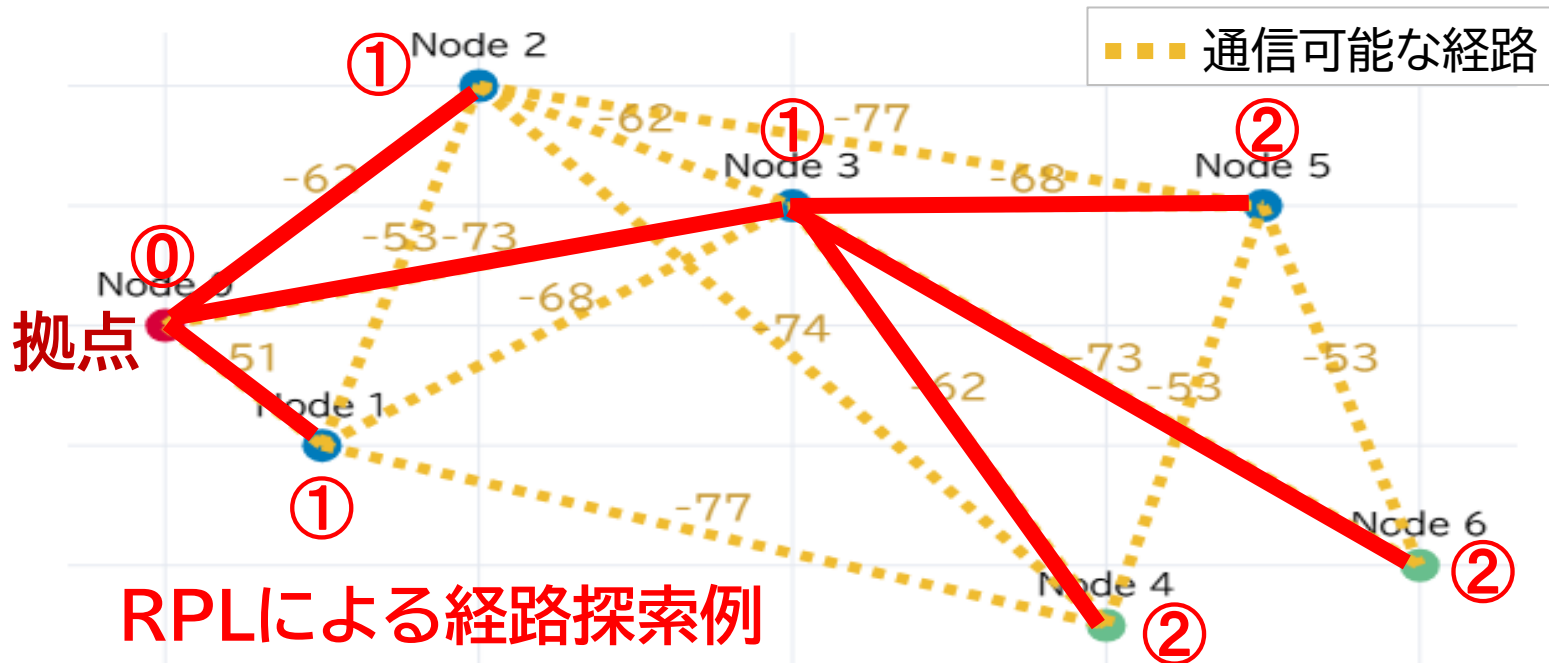
出力

- ・データ到達率

計算モデル: トポロジー推定

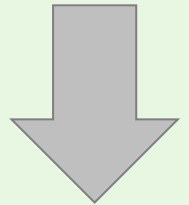
Railway Technical Research Institute

- 各ノードから拠点までの伝送経路を推定
 - マルチホップ伝送可能なWi-SUNなどの通信方式で採用されているRPLを使用
 - RPL: 低電力無線ネットワーク向け経路探索手法



入力パラメータ

- データ到達率
- ノード配置 etc.



出力

- ネットワークトポロジー

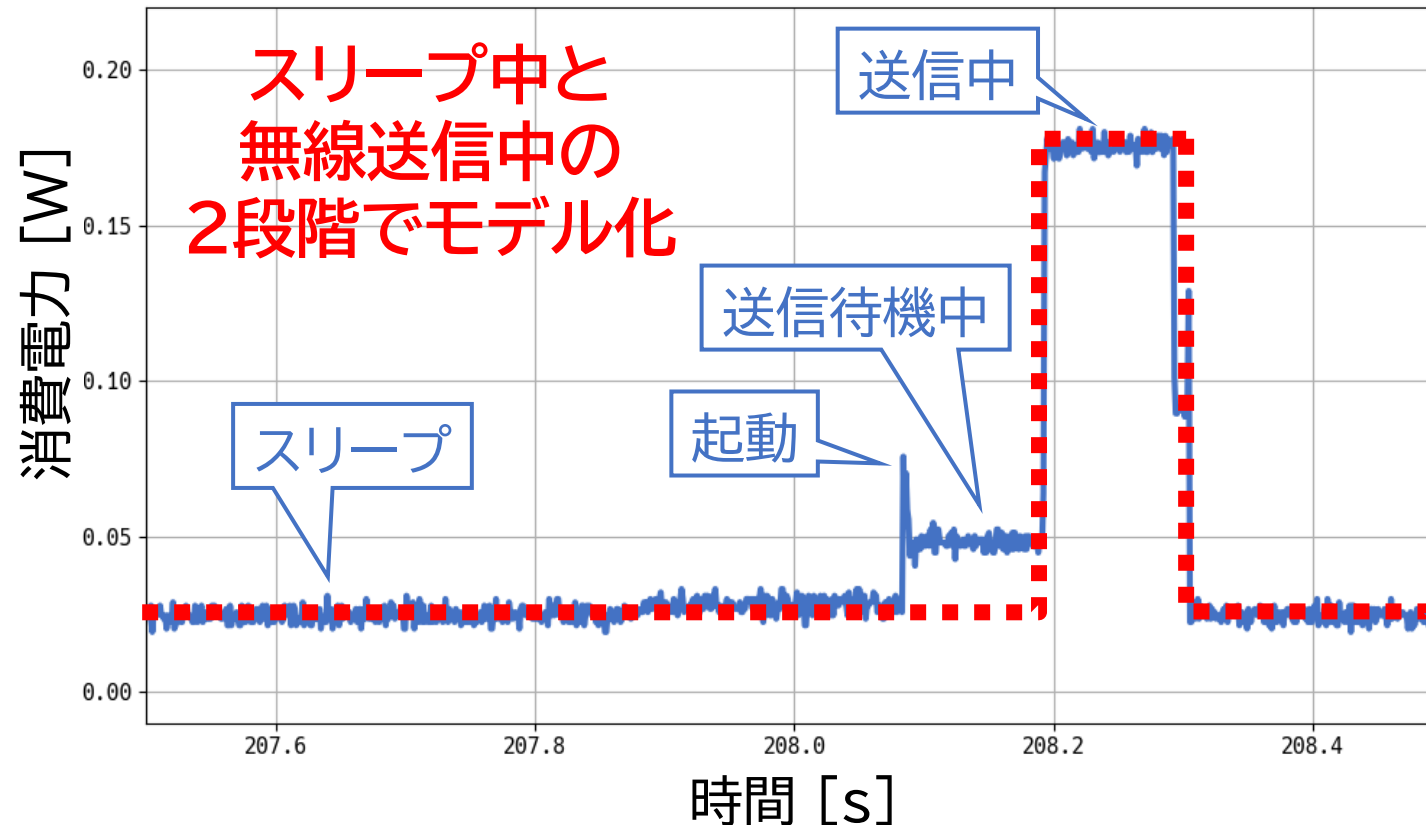
✓ 実装の変更により、他の探索手法も利用可能

計算モデル: 消費電力推定

Railway Technical Research Institute

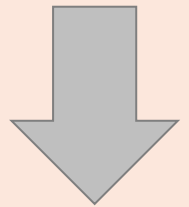
- 消費電力値の積算により消費電力量を算出
 - スリープ中・送信中の2段階でモデル化

Wi-SUN無線モジュールの消費電力測定例



入力パラメータ

- ネットワーク
トポロジ
- 伝送データ量
- 伝送周期 etc.



出力

- 消費電力量

- 背景
- 通信品質および消費電力量のシミュレーション手法
- WebベースのWSNシミュレータの開発
- シミュレータの有効性・推定精度検証試験
- シミュレータを活用したネットワーク設計の実施手順
- まとめと成果の活用

Webベースのシミュレータ開発

Railway Technical Research Institute

- WSNの通信品質・消費電力量のシミュレータを構築

- WSNのノード配置や
変調方式を机上で容易に
比較・検討可能

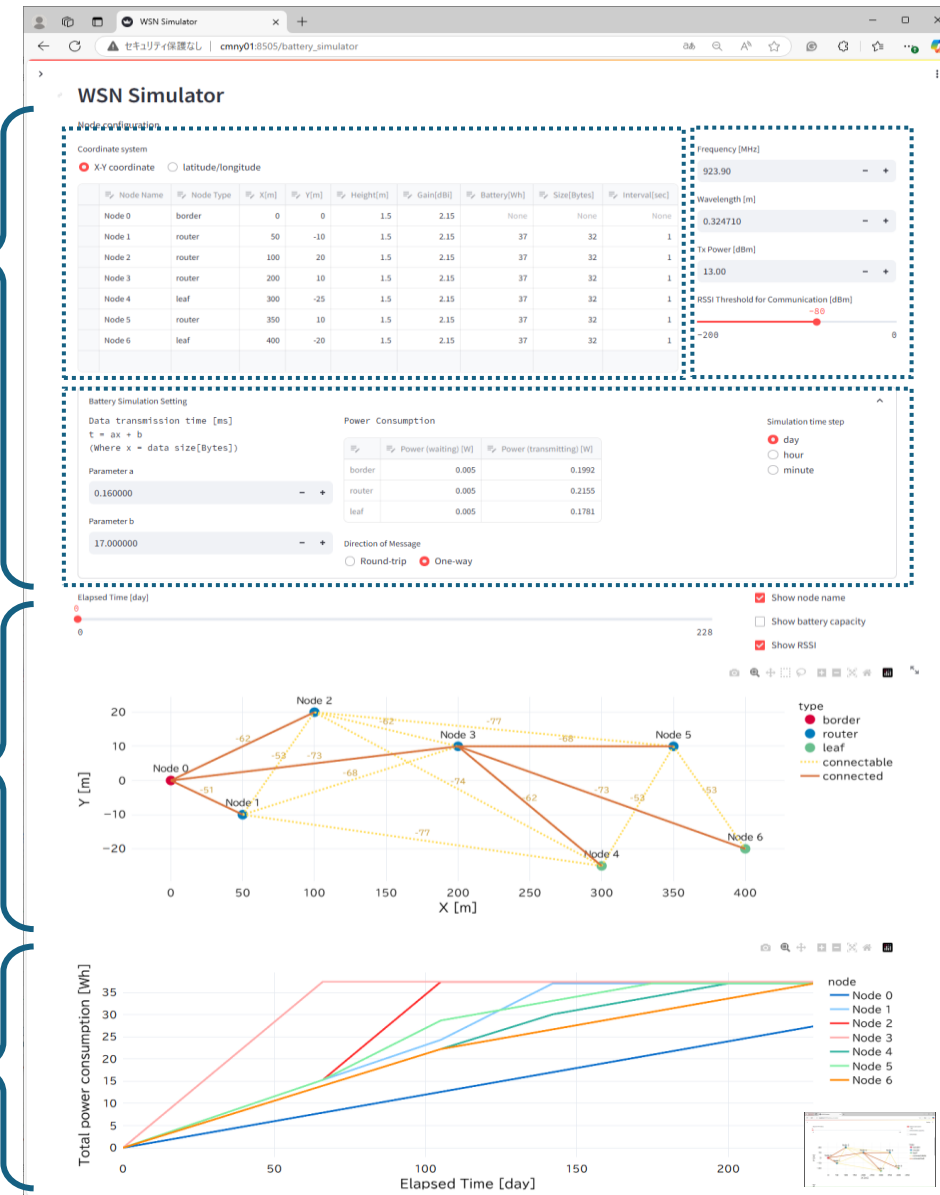
パラメータ入力部

- Webブラウザから利用可能

- 個別のPCにはインストール不要
- 簡易な操作で
シミュレーション実行
- 必要なパラメータを
入力すると直ちに
計算結果を可視化

ノード配置・
通信経路の表示

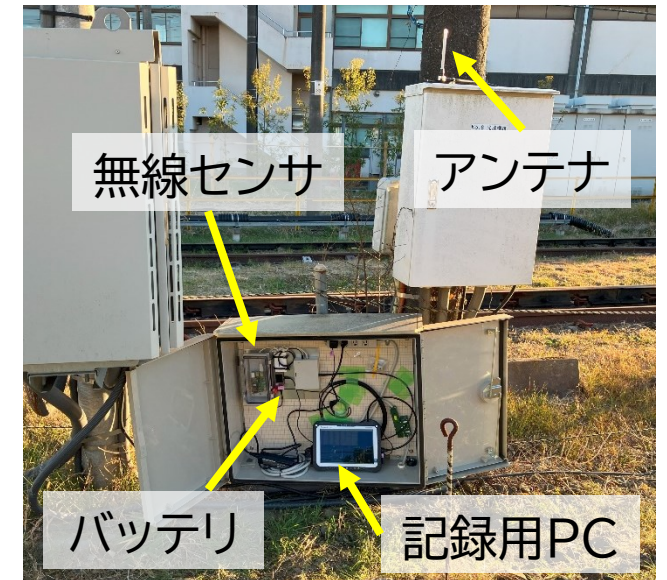
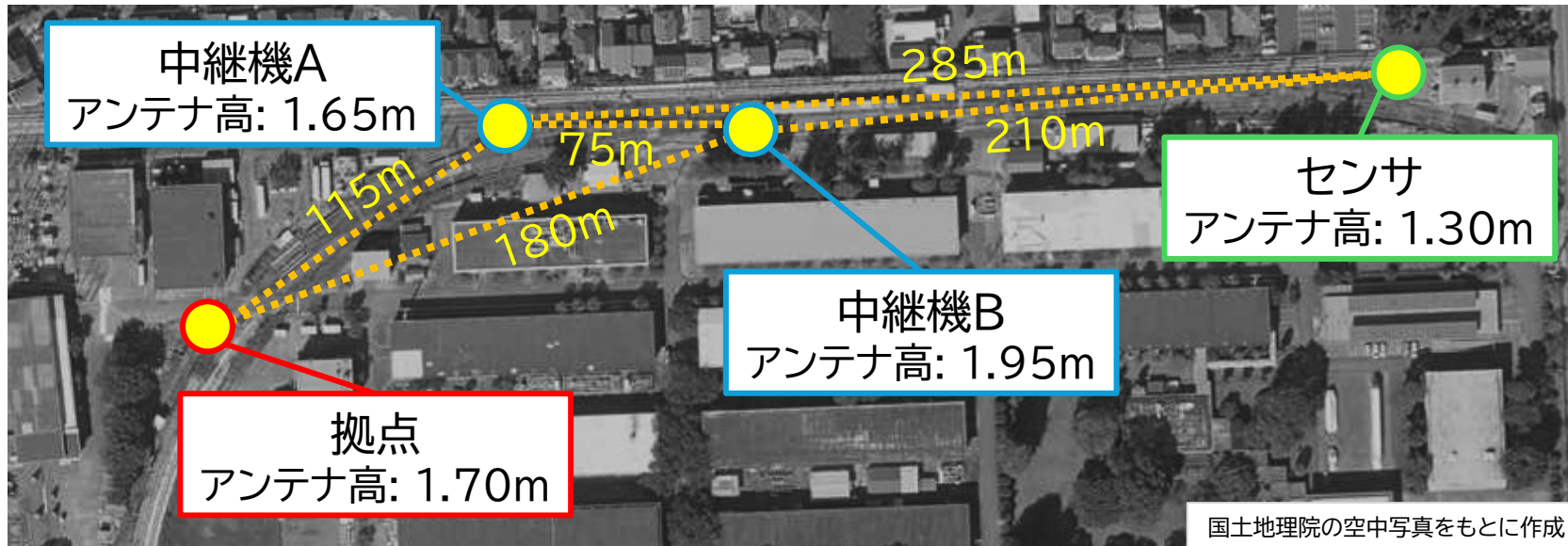
累積消費電力量の
時系列グラフ



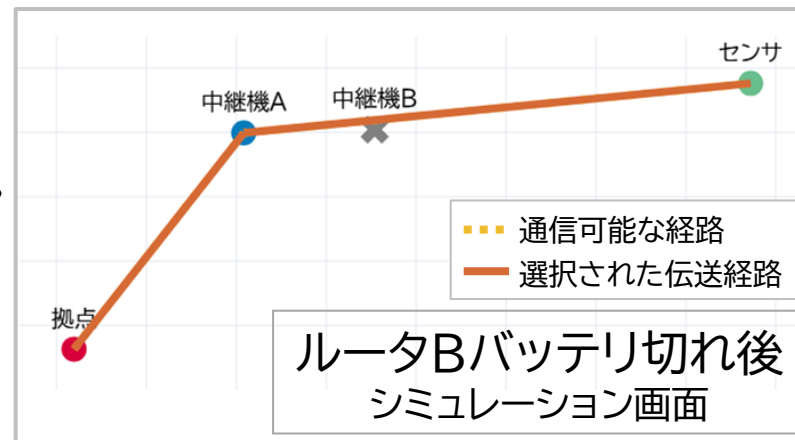
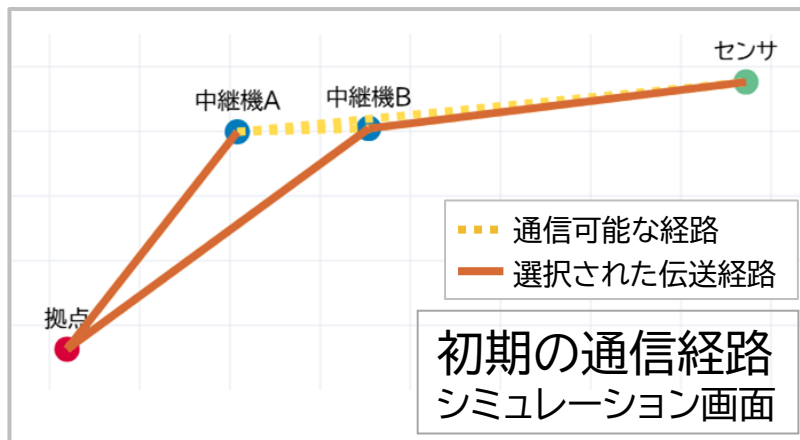
- 背景
- 通信品質および消費電力量のシミュレーション手法
- WebベースのWSNシミュレータの開発
- シミュレータの有効性・推定精度検証試験
- シミュレータを活用したネットワーク設計の実施手順
- まとめと成果の活用

シミュレータの有効性検証

- 所内試験線沿線において、Wi-SUNのWSNを構築



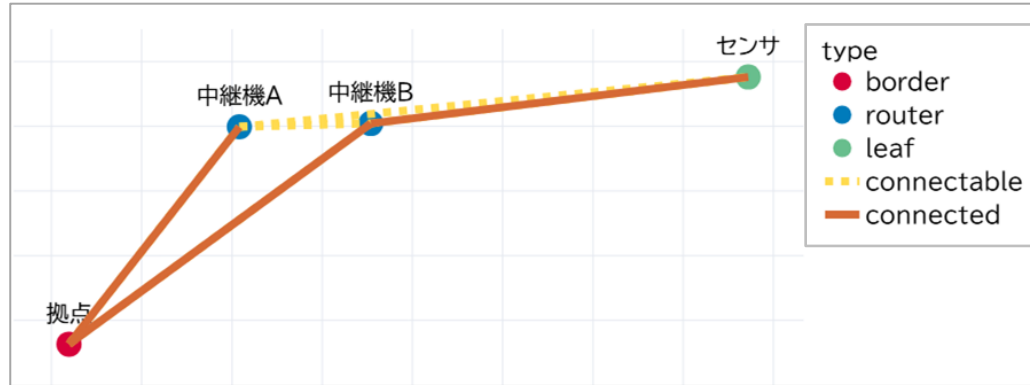
仮設状況



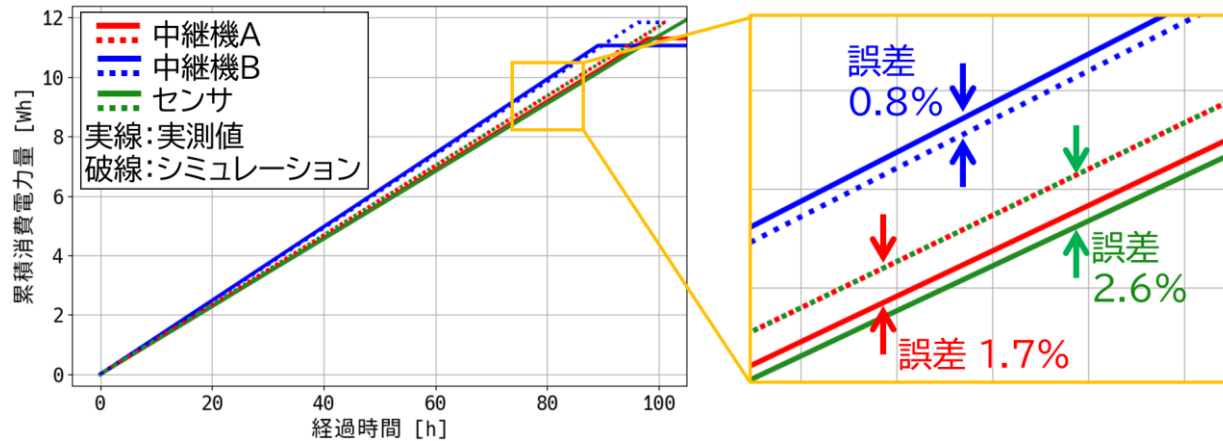
シミュレーション結果
と同様のトポロジー
遷移を確認

シミュレータの推定精度検証

• 伝送経路およびデータ到達率



• 消費電力量



ノード	平均消費電力 [W]		
	推定値	測定値	誤差
中継機A	0.117	0.115	1.7%
中継機B	0.123	0.124	0.8%
センサ	0.117	0.114	2.6%

データ到達率・消費電力量を97%以上の精度で推定可能

- 背景
- 通信品質および消費電力量のシミュレーション手法
- WebベースのWSNシミュレータの開発
- シミュレータの有効性・推定精度検証試験
- シミュレータを活用したネットワーク設計の実施手順
- まとめと成果の活用

シミュレータを活用したネットワーク設計の実施例

Railway Technical Research Institute

シミュレータに入力する主なパラメータ

- ノード配置

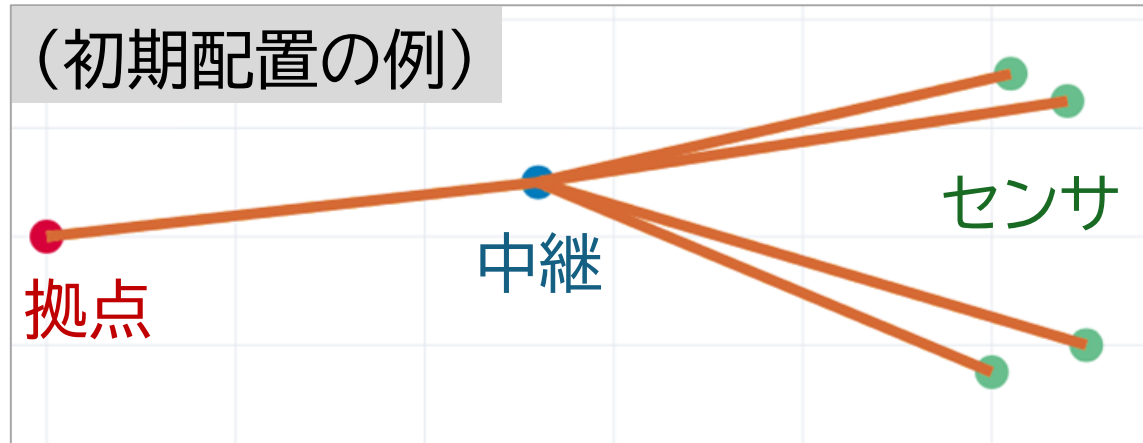
- 緯度経度または相対的な距離
 - ＞ センサを設置したい位置・拠点位置
 - ＞ 中継器の設置候補位置

- 無線に関する条件

- 利用を想定する無線周波数・受信感度(受信可能閾値)
 - ＞ 実機による基本特性の測定結果のほか、仕様値を利用した簡易シミュレーションも可能

- 消費電力に関する条件

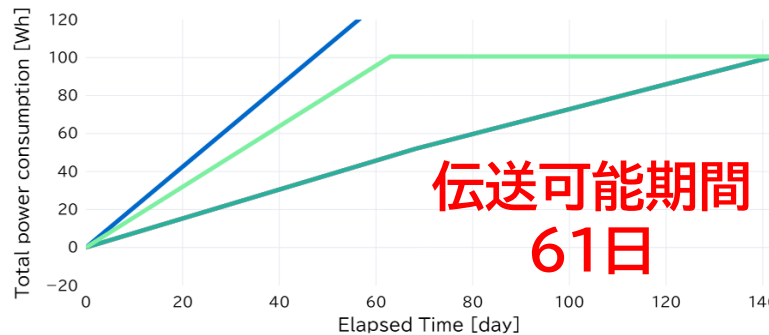
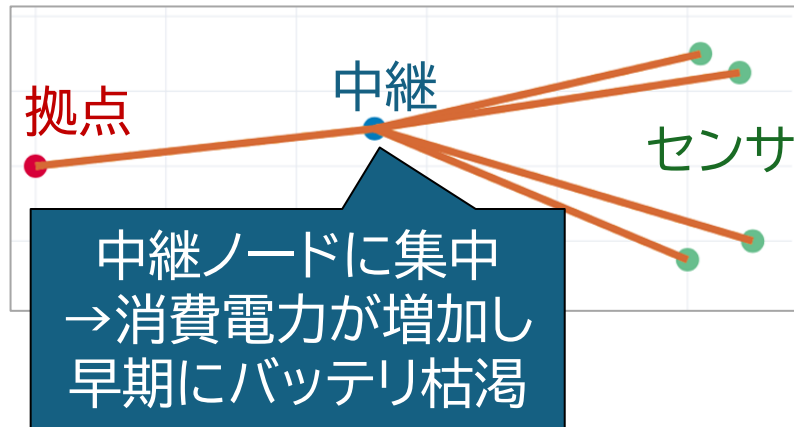
- 無線送信中/スリープ中の消費電力およびバッテリー容量
 - ＞ 使用予定の実機による測定値の入力を推奨



シミュレータを活用したネットワーク設計の実施例

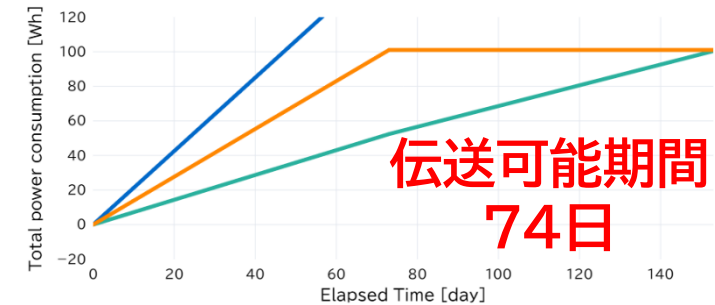
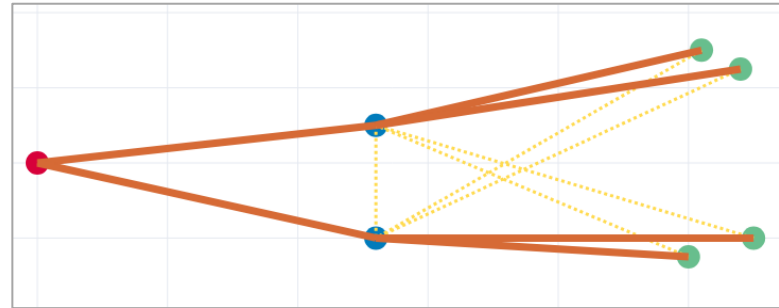
Railway Technical Research Institute

検討初期のネットワーク例

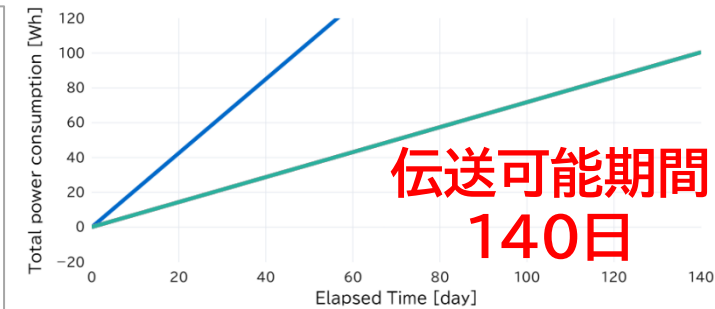
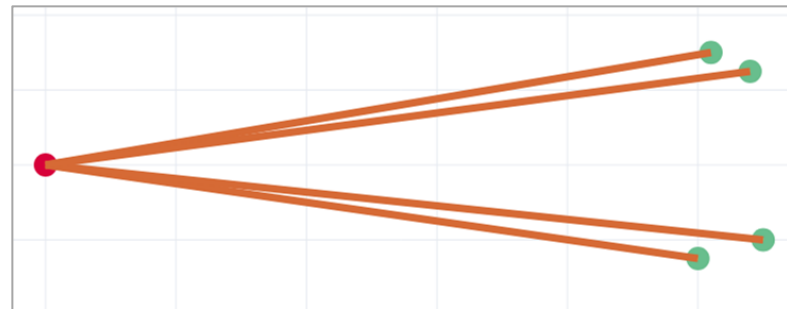


考える対応の例

- 中継ノードを追加（パケットを分散させる）



- 通信方式を変更（長距離伝送可能な方式を選択）



シミュレータの活用により様々な対応パターンを容易に比較・検証

- 通信方式ごとの通信品質や消費電力量の推定モデルを構築
 - 通信品質および消費電力量の推定モデルを開発
 - › WSNの主要通信方式であるLoRaおよびWi-SUNを念頭に実装
 - › 計算モデルの実装により他の通信方式にも拡張可能
- 推定モデルに基づくシミュレーション手法の開発および実装
 - 上記モデルを実装したシミュレータを作成
 - › Web-UIで実装し、WSNの専門知識がないユーザでも容易に操作可能
- シミュレーション手法の有効性検証
 - 試験線沿線に実機のWSNを構築し、シミュレーションと一致
 - 開発モデルと実測値の比較試験において、97%以上の推定精度を確認

- 無線センサネットワークの導入を検討、設計する際に、具体的な[ネットワーク設計の支援](#)が可能
- 設計内容の例
 - [実際の使用条件に基づくWSN](#)のネットワーク設計
 - ＞ 設置条件: センサ位置、拠点位置、アンテナ高さ …
 - ＞ データ条件: センサで監視する項目、データサイズ、伝送頻度 …
- シミュレータの活用例
 - 中継装置の適切な配置を決定
 - 複数の通信方式の比較
 - バッテリ交換周期の試算

- 1) Yuta Hosokawa, Minoru Tanaka, Kazuki Nakamura:
“Easy-to-use Wireless Sensor Network Simulator for Estimating Power Consumption and Communication Availability.” SENSORCOMM 2024: The Eighteenth International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 4-7, 2024