

# 高集積センサネットワークにおける 異種無線を用いた電力効率化の研究

2020/02/04（火）卒論最終発表

公立はこだて未来大学 システム情報科学部  
情報システムアーキテクチャ学科 高度ICTコース  
稲村浩研究室配属 戸澤涼

1. 背景
2. 目的
3. 関連研究
4. 提案手法
5. 電力実測実験
6. 考察
7. まとめ

# WSN ( Wireless Sensor Network ) とは

- **IoT** ( バッテリ駆動のセンサ ) におけるネットワーク技術
- 「利用用途」ごとに様々な規格が用意されている
  - **遠くに多くのデータ**を送信したい ⇒ LTE
  - **近くに少ないデータ**を送信したい ⇒ BLE

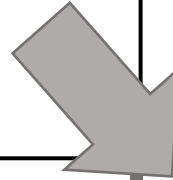
	短距離	長距離
広帯域	Wi-Fi	LTE 3G WiMAX
狭帯域	BLE	NB-IoT LoRaWAN SIGFOX

## [補足]

- 広帯域 : 送信データ量が大きい
- 狭帯域 : 送信データ量が小さい

- **低消費電力**で**広範囲**をカバーする無線通信
- **電源確保が困難な場所**で**電池交換を極力少なく**済ませたい

	短距離	長距離
広帯域	Wi-Fi	LTE 3G WiMAX
狭帯域	BLE	NB-IoT <b>LoRaWAN</b> SIGFOX



sigfox

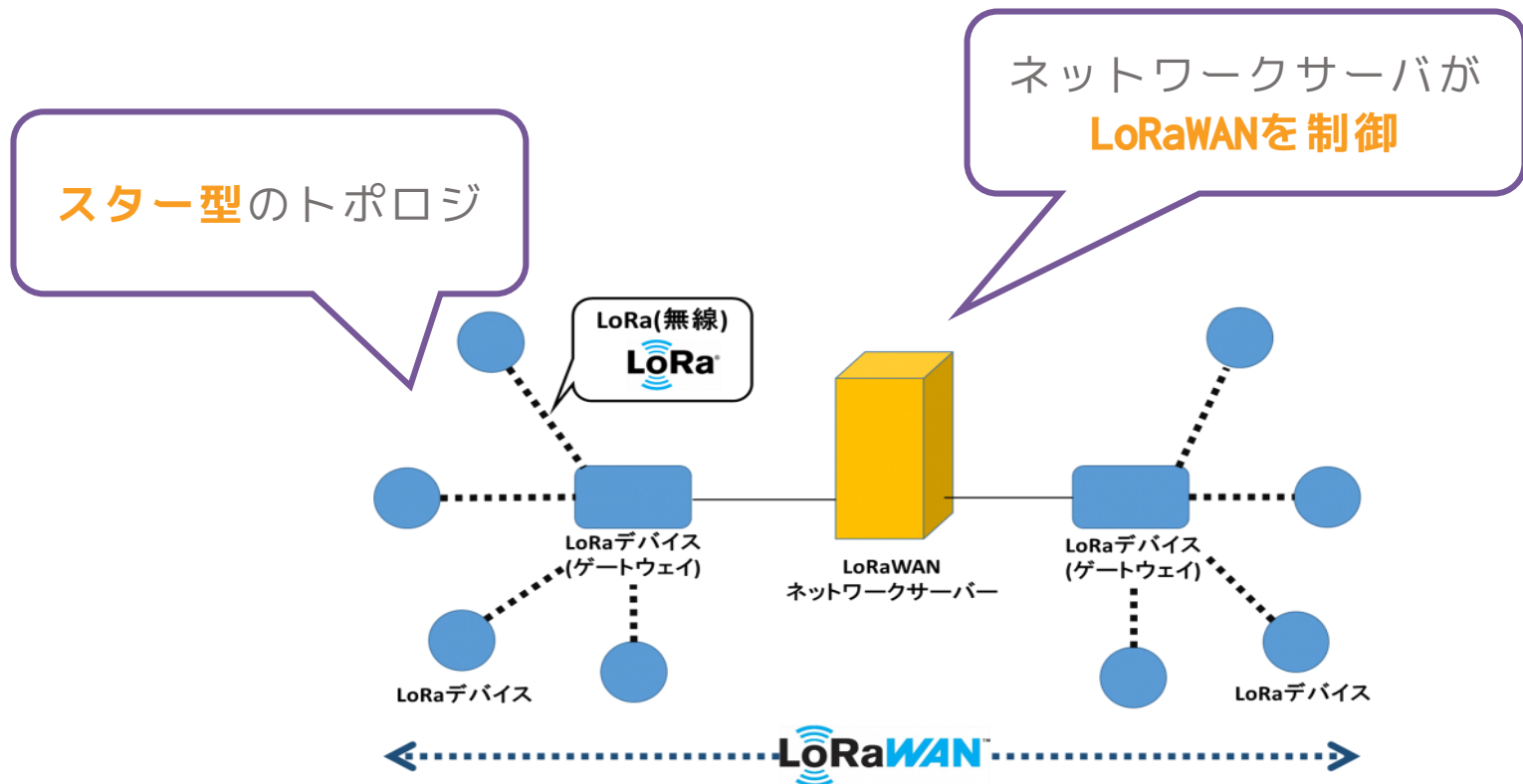


NB-IoT™



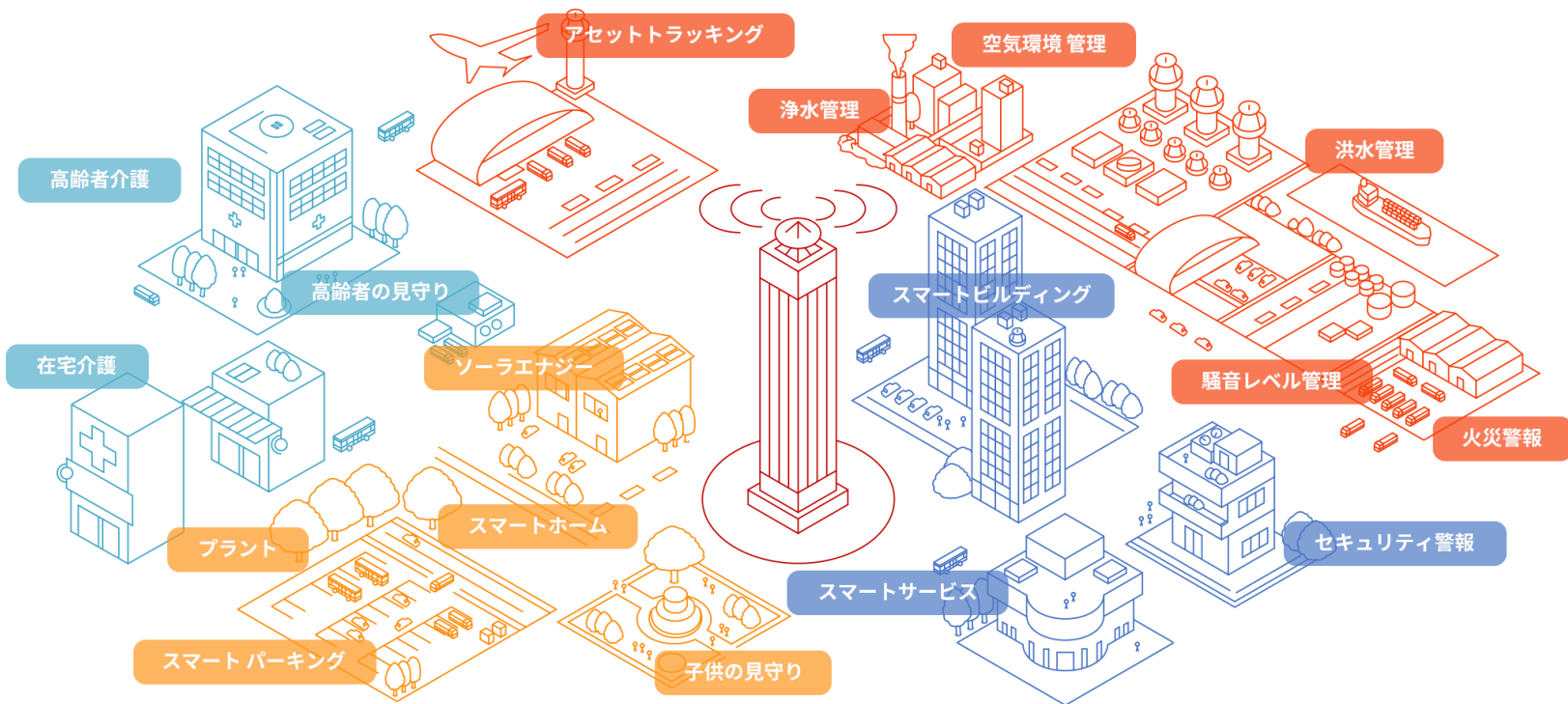
LoRaWAN™

- **低電力・長距離通信**に特化した無線通信規格（LPWANの1つ）
- 免許不要の帯域で動作，安価に導入可能
- **拡散率**という**通信距離とデータ量を制御**する値が存在



- デバイスが安価，利用に免許を必要としない

⇒ **都市部のような密集した地域**では，  
**センサノードは隣接している**可能性がある



LoRaWANに接続する**センサ数が増加した場合**に

**頻繁な衝突によるパケット到達率の低下**

≡ スケーラビリティの課題



**再送による、消費電力の増加を引き起こす**

【補足】

- スケーラビリティ：機器やソフトウェア、システムなどの拡張性、拡張可能性のこと

**消費電力効率化**のために  
ノードのスケールビリティを**管理**することで  
省電力な異種無線の適応機会を**確保**する



- LoRaWANにおける **ネットワーク効率化**のための  
ノードのグループ構成法と通信制御方式 [1]
- LPWA通信を利用するIoTプラットフォーム向けの  
**電力効率を考慮した**ゲートウェイ配置手法の検討 [2]

## [目的]

- **消費電力量を抑制**

## [提案手法]

### 周波数利用効率の向上

- 適切な伝送量を割り当て、伝送時間を最適化  
⇨ 拡散率に基づいたタイムスロットの割り当て

### 送信衝突の抑制

- センサをグループ化し、代表者が周囲の通信を代理送信  
⇒ LoRaWANに接続するセンサの台数の低減

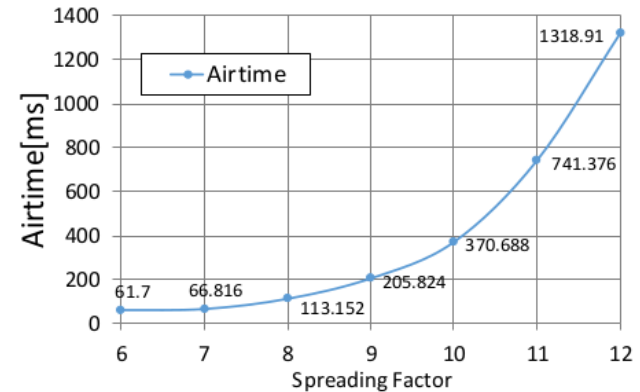


図2 SFによる通信時間の変化

## [補足]

- 拡散率 (SF: Spread Factor) : 送信データ速度に対する拡散符号速度の比(データ量 ÷ 通信時間 ÷)
- タイムスロット : データを送るとき、一つのチャンネルが占有する時間間隔

## [課題]

- 通信を集約する際に、**センサ間通信の手法が明記されていない**  
⇒ LoRaWANは、**センサ間通信が未対応**
- グループを作成するには、**センサの位置を手動で登録する**必要がある  
⇒ 都市部のような密集した地域ではセンサの台数が多く  
その**全てを手動で登録するのは現実的ではない**
- 代表者に長距離通信の回数が偏る  
⇒ **特定のセンサの消費電力量が増加**する

## [課題]

- グループを構成する際の手順が明記されていない

## [目的]

- 消費電力の平準化

## [提案手法]

### 輻輳の抑制

- 拡散率に基づき,

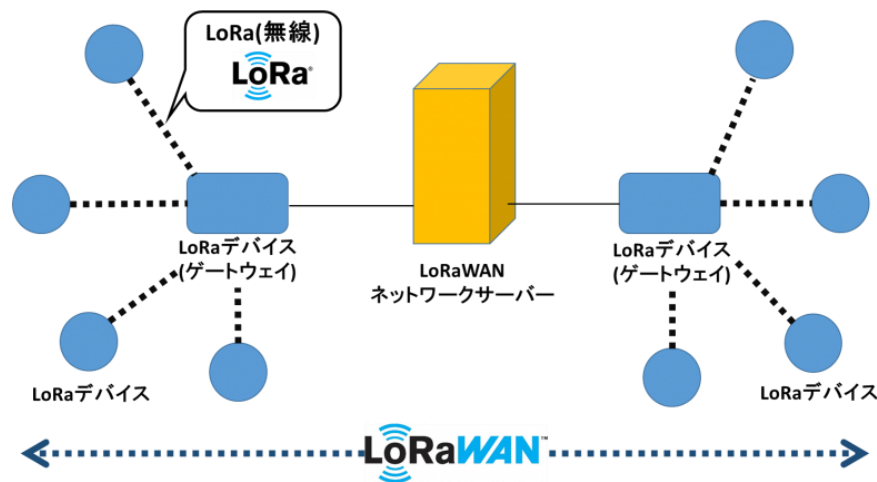
通信距離と消費エネルギーのトレードオフを考慮した

ゲートウェイの配置を最適化

≡ ゲートウェイから遠い通信は,

通信時間が長く消費電力が大きい

ため  
拡散率をもとに, ゲートウェイの配置場所を考慮



[補足]

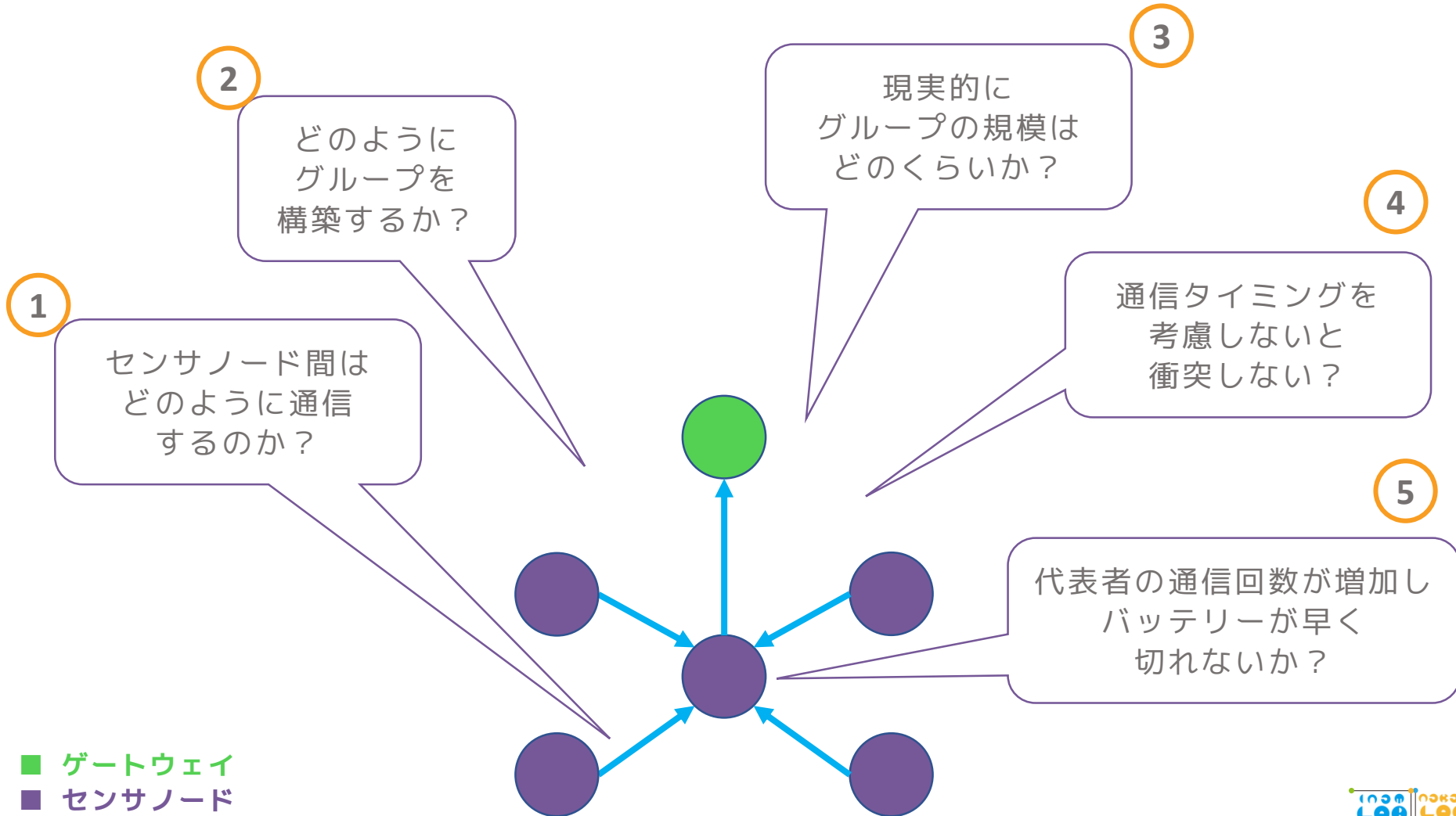
- 輻輳：ネットワークが混雑している状態

## [課題]

- 拡散率をエネルギー消費のみをもとに決定している
  - ⇒ 近場に**同じ拡散率を割り当てた端末**がいると、**通信の衝突が発生**
- ゲートウェイに接続できるデバイス数の上限が考慮されていない
  - ⇒ ゲートウェイの同時接続台数には限りがあり、**通信の衝突が発生**

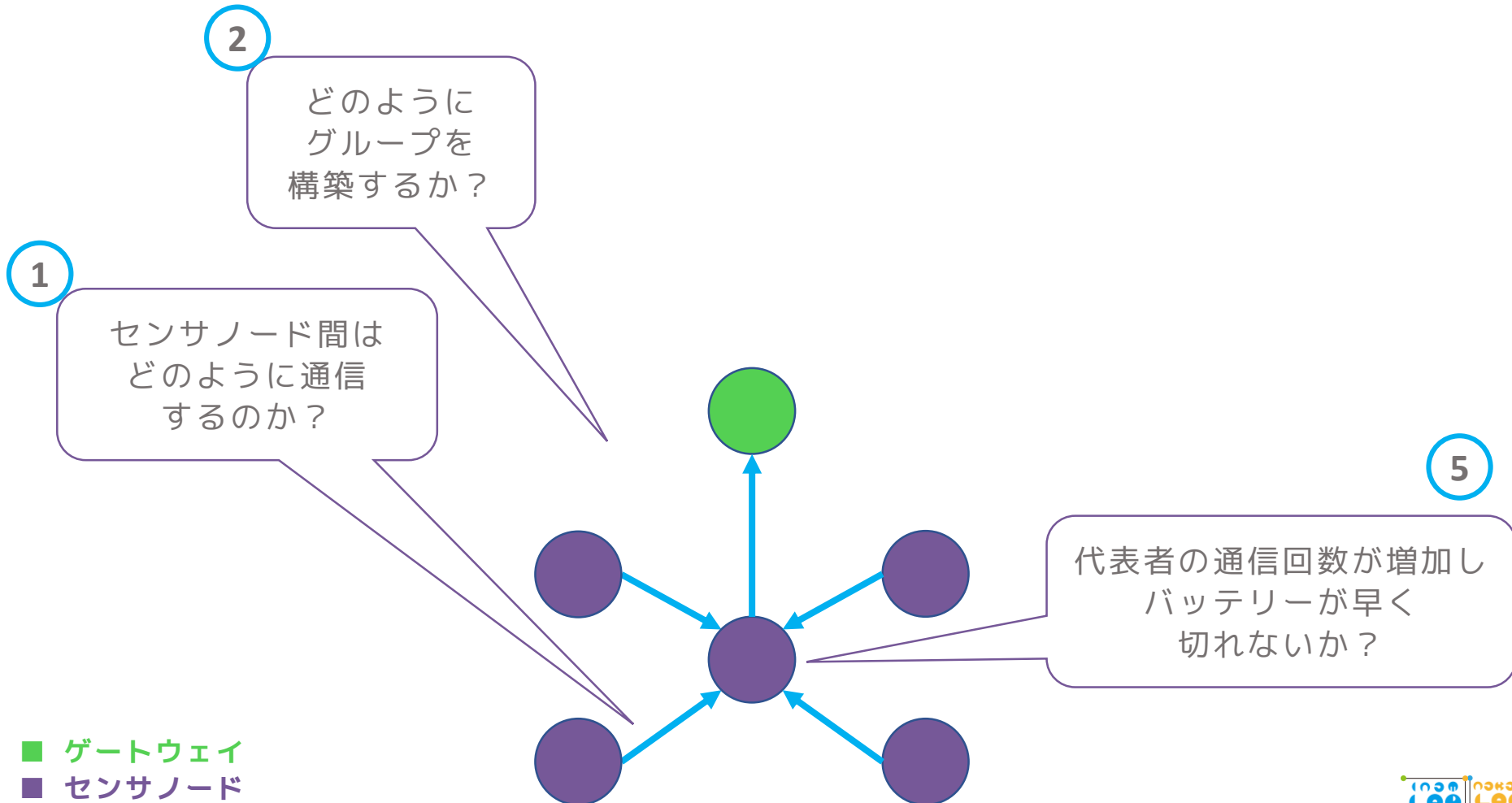
## 異種無線（ **BLE** ・ **LoRaWAN** ）による センサノードのグループ化

## 長距離伝送の利用を削減する既存手法を活用する場合の課題





## 卒業研究において対応した課題



## 課題に対するアプローチ

① センサノード間はどうのように通信するのか？

⇒ **消費電力削減のため**，異種無線の導入に関する検討

② どうのようにグループを構築するか？

⇒ **グループ決定のため**，センサ起動時のプロトコルに関する検討

③ 代表者の通信回数が増加しバッテリーが早く切れないか？

⇒ **バッテリー残量平準化のため**，代表者の入替方式に関する検討

## 消費電力削減のため、センサノード間通信には異種無線を適用

- 近距離通信：BLE
- 長距離通信：LoRaWAN

### ■ ゲートウェイ

■ グループメンバー (GM: Group Member)

■ グループリーダー (GL: Group Leader)

→ LoRaWAN

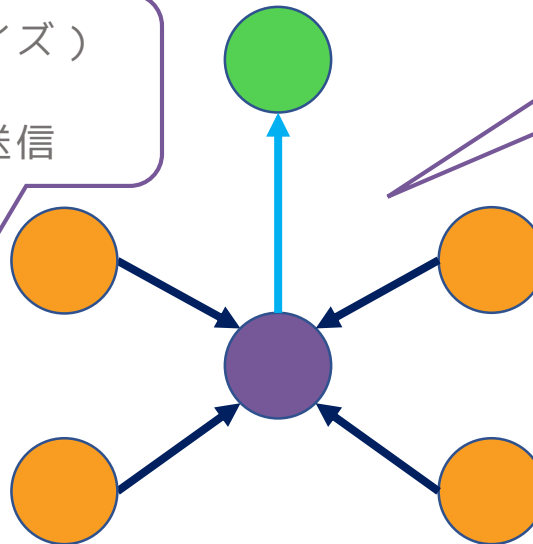
→ BLE

**GM:** 接続情報の発信 (アドバタイズ)

**GL:** 接続情報の受信 (スキャン)

⇒ 接続確立, センサデータ+α送信

**GL:** 集約データの送信



## グループ決定のため、センサ起動時のプロトコルに関する検討

- 以下の3点が必要となる
  - ① 自身から見える周囲のセンサ情報の収集
  - ② 収集した情報をもとにグループの構成
  - ③ グループ構成の通知

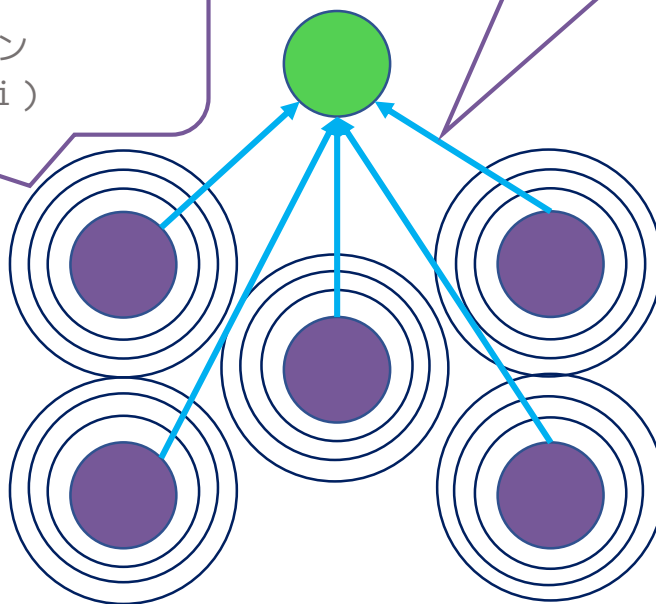
## グループ決定のため、センサ起動時のプロトコルに関する検討

### ① 自身から見える周囲のセンサ情報の収集

- ゲートウェイ
- センサノード
- LoRaWAN
- BLE

LoRaWANの固有IDを発信 : アドバタイズ  
⇒ ex: 000b78fffe052c58  
周囲のノード情報を受信 : スキャン  
⇒ 固有ID・BLEの信号強度 (RSSI)

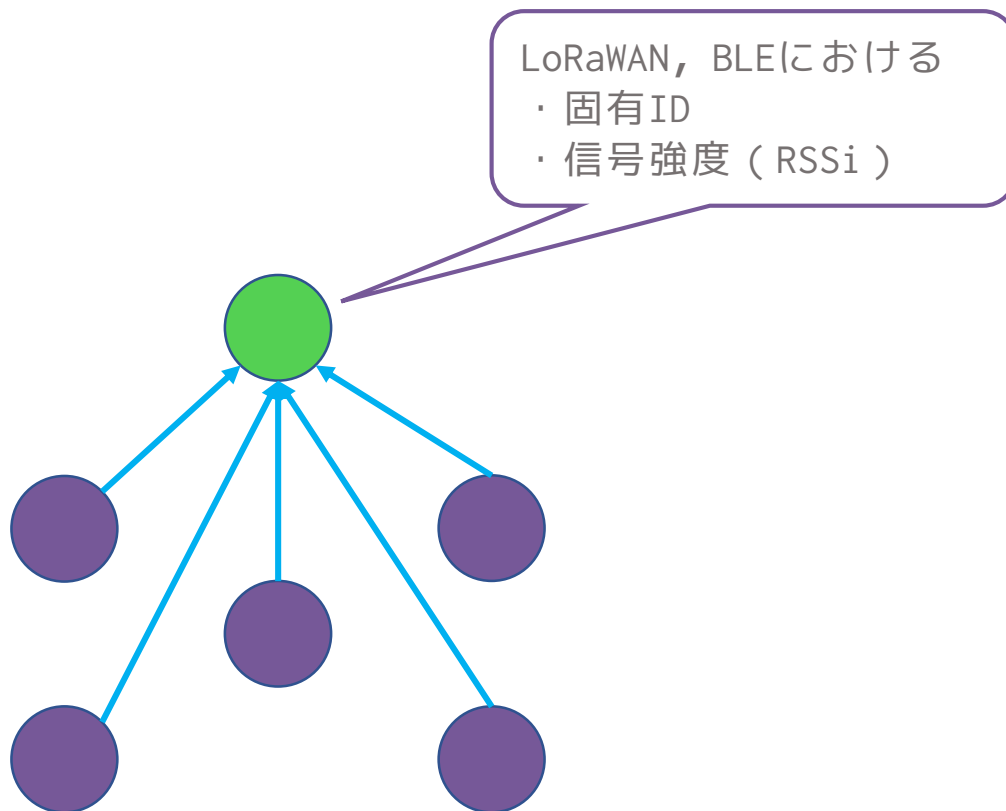
一定期間データを収集したあと  
ゲートウェイへ送信



## グループ決定のため、センサ起動時のプロトコルに関する検討

### ② 収集した情報をもとにグループの構成

- ゲートウェイ
- センサノード
- LoRaWAN

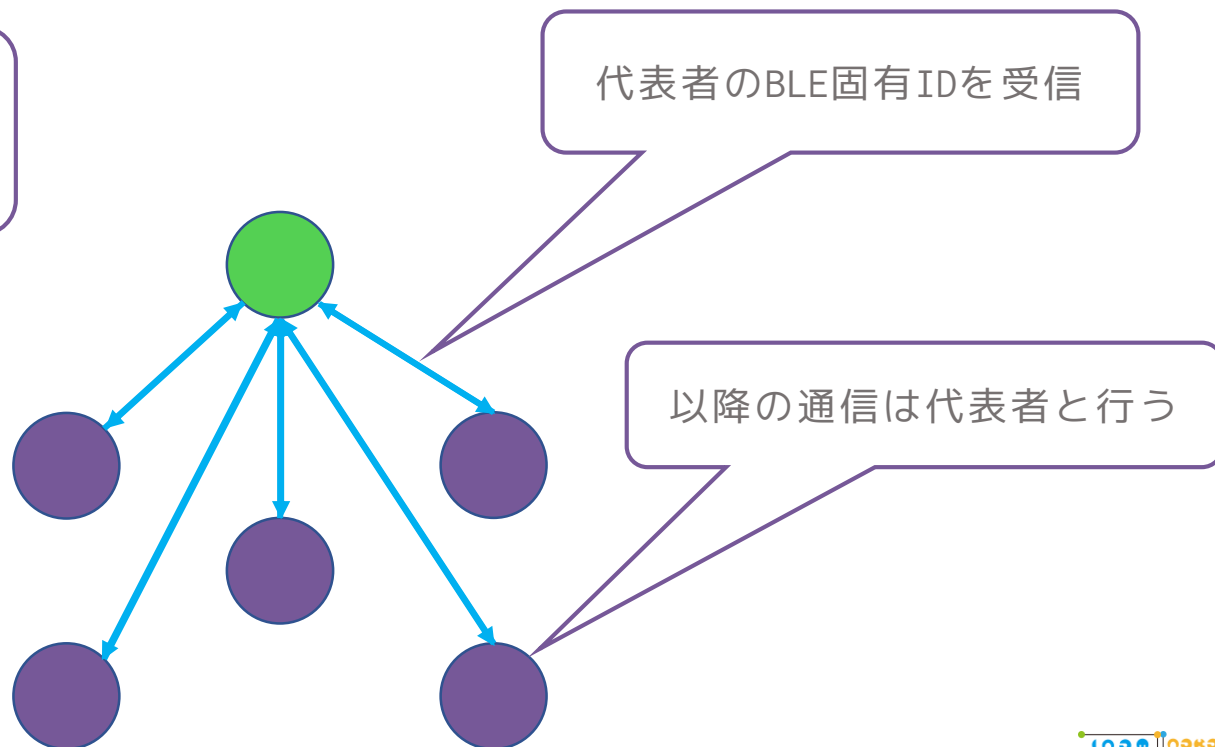


## グループ決定のため、センサ起動時のプロトコルに関する検討

### ③ グループ構成の通知

- ゲートウェイ
- センサノード
- LoRaWAN

[前提条件]  
LoRaWANの仕様上クラスAでは  
**上り通信時のみ下り通信が可能**



## バッテリー残量平準化のため、代表者の入替方式に関する検討

- GLは消費電力を算出し、余裕のあるセンサを次の代表者に決定

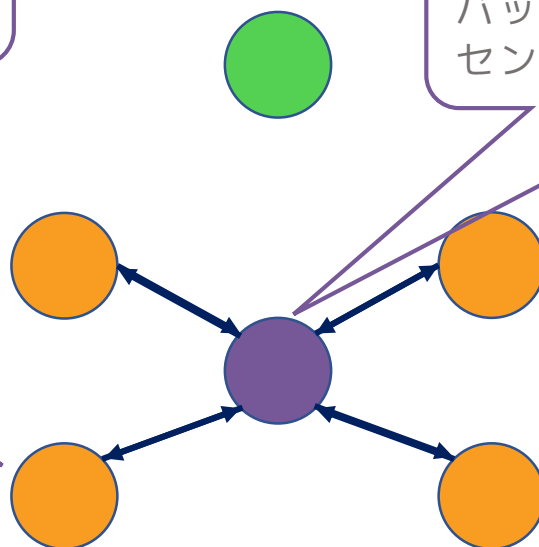
- ゲートウェイ
- グループメンバー (GM: Group Member)
- グループリーダー (GL: Group Leader)
- BLE

[前提条件]

センサは、LoRaWAN・BLEでの  
通信回数を保持している

通信回数を含め  
センサデータを送信

各通信での消費電力をもとに  
バッテリー残量に余裕のある  
センサをGLに決定





## ① 異種無線によるグループ化の適用可能性

≡ 消費電力の観点で提案手法が有効であるか

## ② 代表者の入れ替え



**BLE, LoRaWANにおける消費電力の参考値が必要**

## 異種無線によるグループ化の適用点の評価

### モデル式（既存方式 / 提案手法）

- $E_{lorawan} = W_{dr2}N$  ( $N \geq 2$ )
- $E_{group} = W_{dr2} + W_{scan} + (N - 1)W_{adv}$  ( $N \geq 2$ )

### グループ化アルゴリズムの適用点を示す関係式

- $E_{lorawan} > E_{group}$

$W_{dr2}$	LoRaWAN ( DR2 ) での1送信あたりの消費電力量
$W_{scan}$	BLE受信側の消費電力量
$W_{adv}$	BLE送信側の消費電力量
$N$	グループのノード台数

モデル式のパラメーター

## 実験概要

- 大学⇔自宅，3.5kmの場所にデバイスを配置
  - 1施行：固定長のデータを30秒間送り続ける
- ⇒ 12施行

GWとセンサの距離	3.5km
データレート（LoRaWAN）	2
拡散率	10

LoRaWANの設定値

シングルボードコンピューター	Arduino Uno R3
LoRaWANモジュール	LoRaWAN Shield for Arduino
LoRaWANゲートウェイ	SW-GW01
マルチメータ（電力計測）	Kotomi Premium

実験機材



実験環境

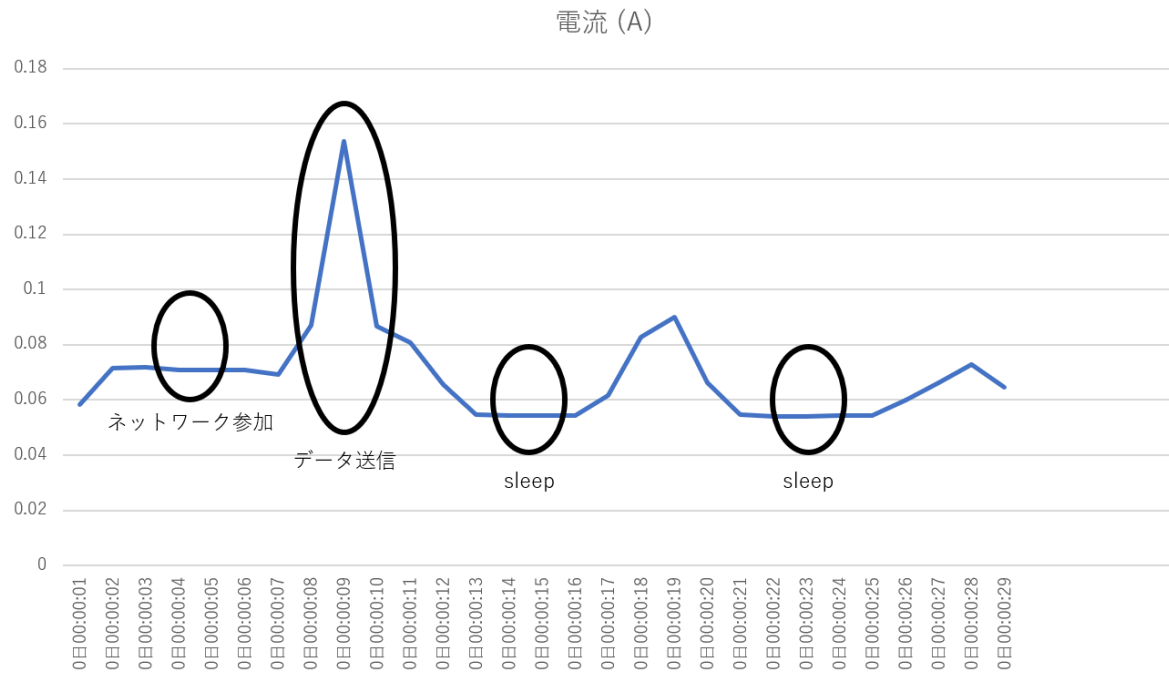


実験の様子

## 実験結果

- 「起動からネットワーク参加」・「データ送信」・「スリープ」

イベントごとに単位時間(s)あたりの平均消費電力を抽出



消費電力測定における各イベント（縦軸：消費電流（mA）, 横軸：時間（s））

## 実験結果

イベント	時間 ( s )	電流 ( mA )	消費電力 ( mW )
起動→ネットワーク参加	7	20	120
起動→ネットワーク参加→データ送信	11	21	105
スリープ	任意	3	15
データ送信	4	29	145

LoRaWAN消費電力実測結果 ( 電圧は5V )

## グループ化アルゴリズムの適用点の評価

### モデル式に代入 (N = 2)

- $E_{lorawan} = W_{dr2}N = 1160mW$
- $E_{group} = W_{dr2} + W_{scan} + (N - 1)W_{adv} = 580.477mW$
- $E_{lorawan} > E_{group}$  を満たし

**1 台あたり, 580mWの削減可能性**

種類	消費電力 (mW)
PD	0.423
CD	0.054

BLE消費電力参考値

イベント	時間 (s)	消費電力 (mW)
起動→ネットワーク参加	7	120
起動→ネットワーク参加→データ送信	11	105
スリープ	任意	15
データ送信	4	145

LoRaWAN消費電力実測結果

- ① **消費電力削減** ⇒ 異種無線の導入に関する検討
- ② **グループの決定** ⇒ センサ起動時のプロトコルに関する検討
- ③ **バッテリー残量平準化** ⇒ 代表者の入替方式に関する検討
- ④ **グループ化の有効性** ⇒ 消費電力実測の実施



**消費電力効率化のため  
異種無線によるグループ化アルゴリズムの  
システム実現可能性の示唆**

## 前述した未解決の課題

① 現実的にグループの規模はどのくらいか？

⇒ グループ化の**性能限界**についての検討

② 通信タイミングを考慮しないと衝突しない？

⇒ グループに割り当てる**拡散率**や**通信タイミング**の検討



**シミュレータでの実装をもって評価**



期間		内容
2020年	3月	情報処理学会 第82回全国大会
	6月	マルチメディア, 分散, 強調とモバイル ( DICOM2020 ) シンポジウム
	7月	課題研究発表 I

- [1] LoRaWANにおけるネットワーク効率化のためのノードのグループ構成法と通信制御方式  
瑞基 湯 素華 小花 貞夫 Proposal on Node Grouping and Communication Control for  
Improving Network Efficiency of LoRaWAN.2018(13),
- [2] LPWA通信を利用するIoTプラットフォーム向けの電力効率を考慮したゲートウェイ配置  
手法の検討近藤正章, & 中村宏. (2017). 情報処理学会研究報告会 , 32(1), 46--53.

## [目的]

- **消費電力効率化**のため，異種無線によるグループ化手法の実現

## [提案手法]

- 異種無線（BLE，LoRaWAN）の適用，グループ化のプロトコル定義

## [実験結果]

- 異種無線によるグループ化は，  
**既存のLoRaWANと比較し消費電力の観点から有効**であるといえる

## [今後の課題]

- グループの**性能限界**についての検討
- グループに割り当てる**拡散率**や**通信タイミング**の検討