



戦略的情報通信研究開発セミナー2017

# M2Mネットワーク

2016/12/21

京都大学大学院 情報学研究科

通信情報システム専攻

守倉 正博



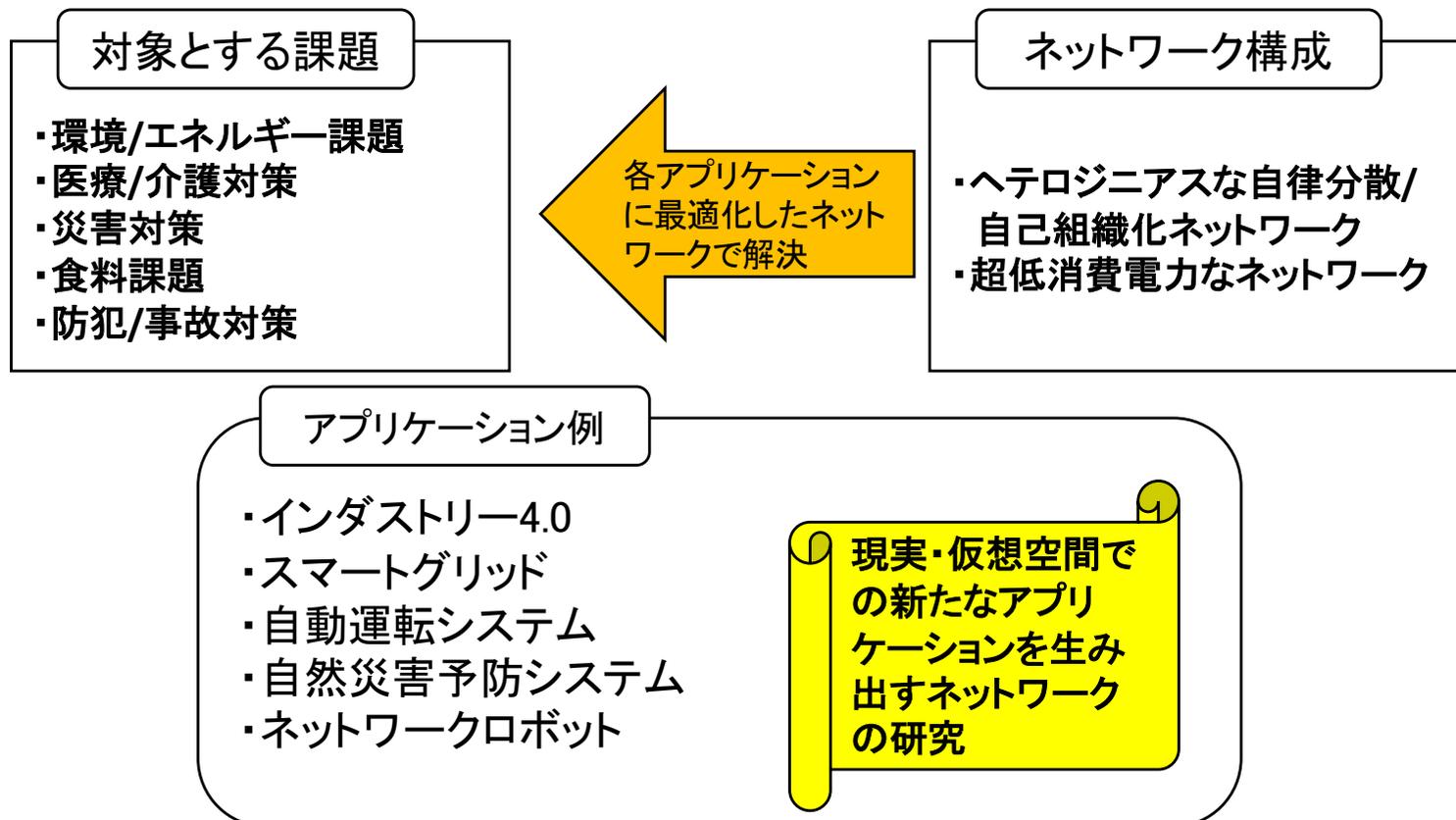
# 目次

---

1. M2Mネットワークへの期待
2. 無線LANと無線PANの共存
  - 無線PANを用いたヘルスケア –
3. バッテリーレス無線センサーネットワークの提案
4. まとめ

# M2Mネットワークへの期待

人間の聴覚・視覚を基本とした通信を超越する機械間の通信ネットワークを構築することにより、安心安全でヒトと環境にやさしい持続可能な社会を目指す。



---

## 2. 無線LANと無線PANの共存

– 無線PANを用いたヘルスケア –

# 無線PANを用いたヘルスケア

## M2Mネットワーク実現に向けた無線PANの普及

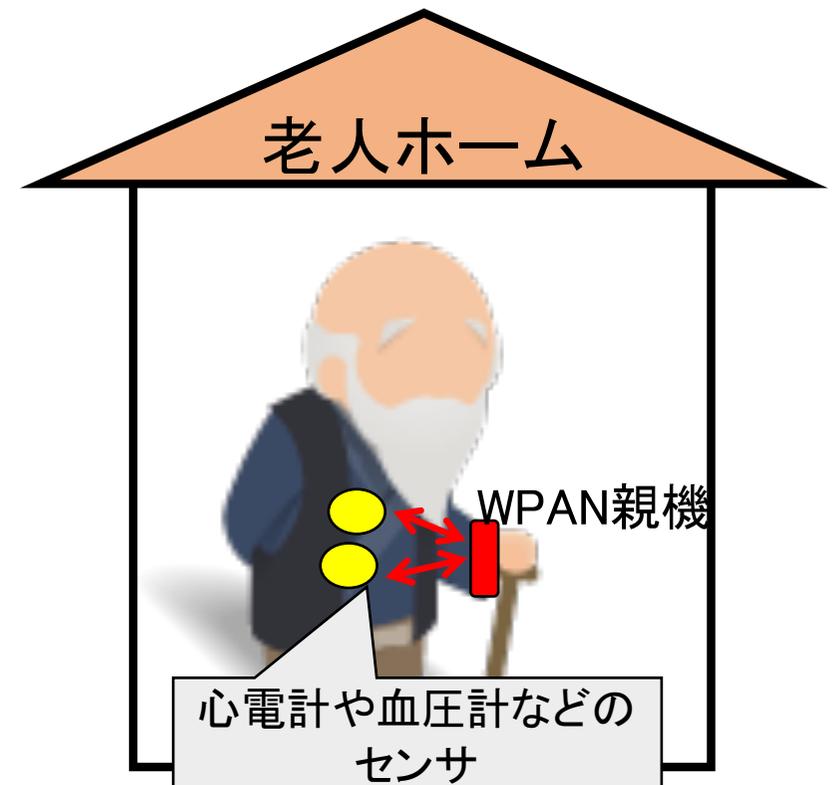
- 用途: ヘルスケア, HEMSなど
- 規格: IEEE 802.15.4 (ZigBee), Bluetooth Low Energyなど

動作周波数帯: 920 MHz, 2.4 GHz  
今回は2.4 GHz帯の使用を想定

老人ホームやオフィスにおいて,  
生体センサを用いた健康状態モニタリング  
システムの運用を想定する



同一場所で既存の無線LAN(WLAN)が運用  
されることが考えられる



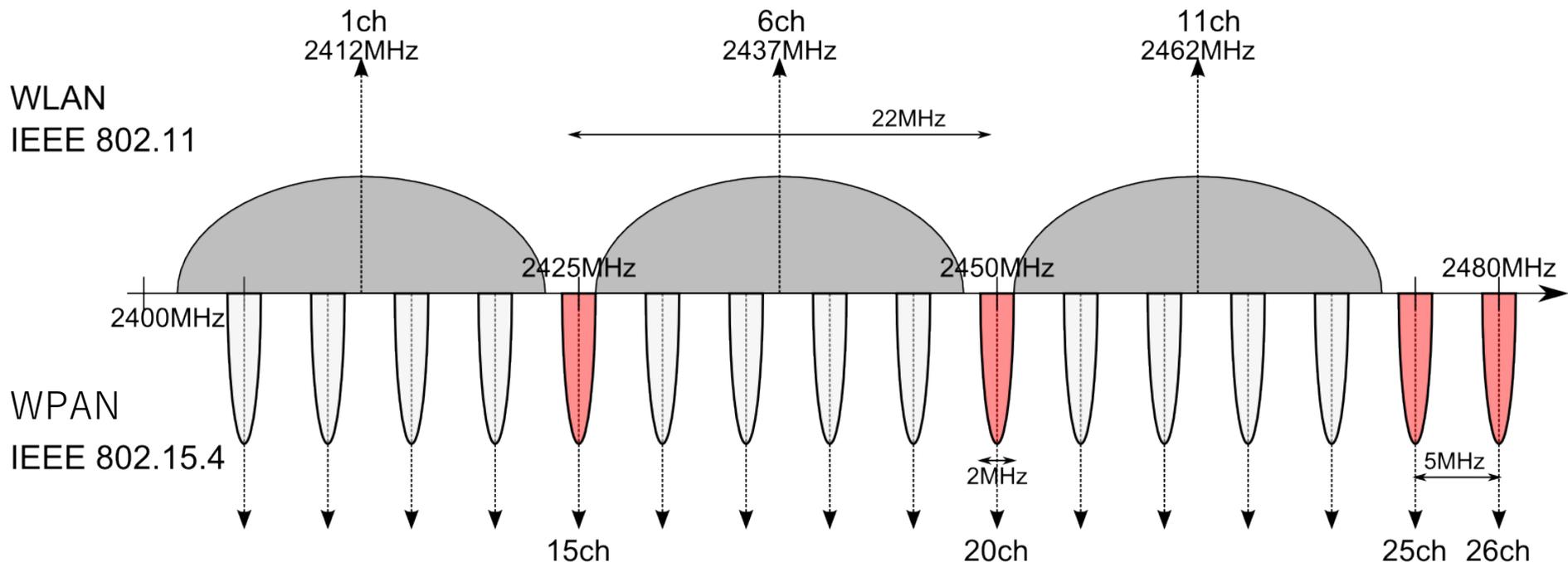


# 課題1: 無線LANと無線PANとの共存の問題(1/2)

## 無線LANと無線PANはいずれも2.4 GHz帯を使用

### 問題点1

- 無線LANの干渉を受けない無線PANチャンネルが不足する
- 無線LANが4チャンネル以上使用している場合, 両ネットワークのチャンネルが重なる

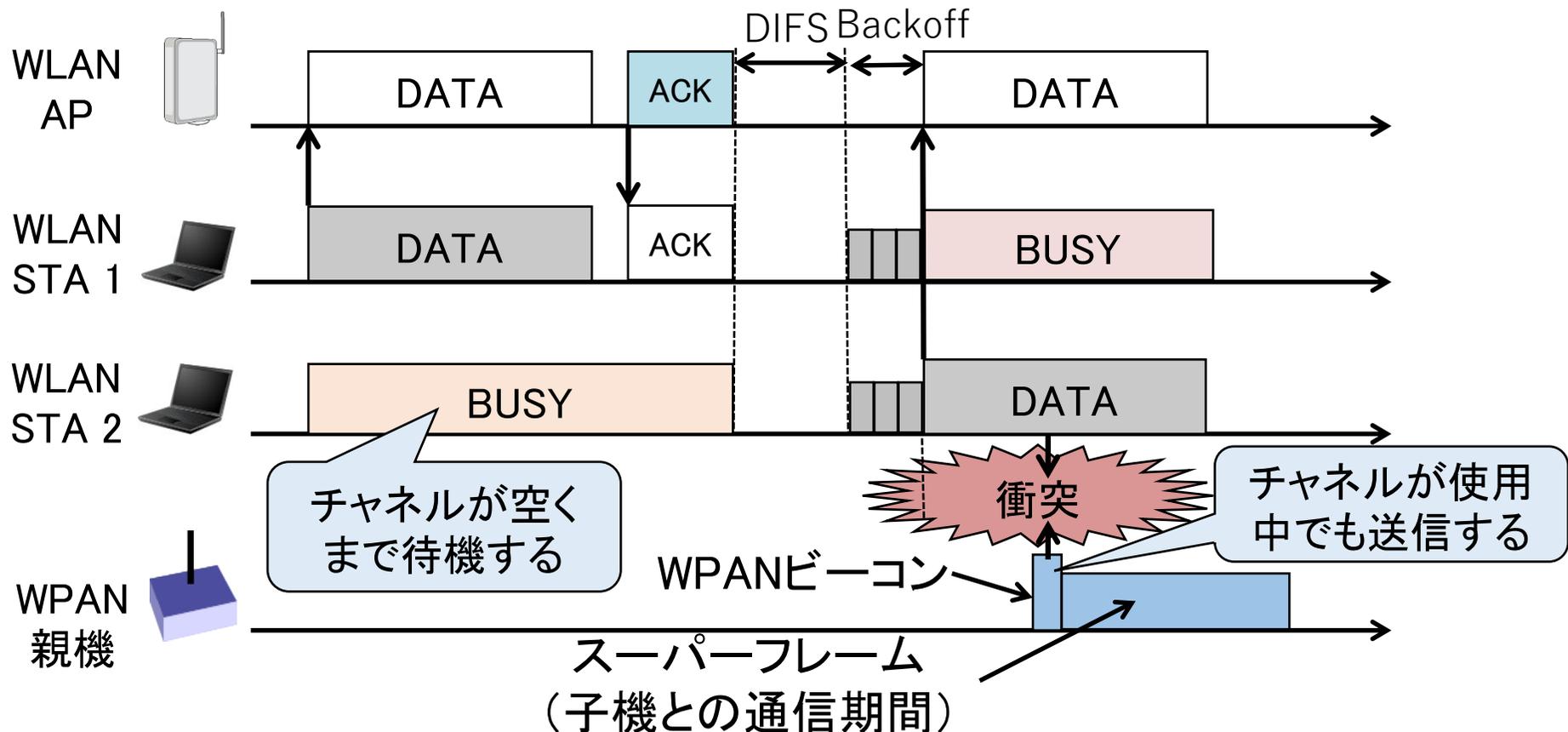


# 課題1: 無線LANと無線PANとの共存の問題(2/2)

## 無線PANのビーコンはキャリアセンスなしで送信される

### 問題点2

- 無線PANビーコンと無線LANデータフレームが衝突する



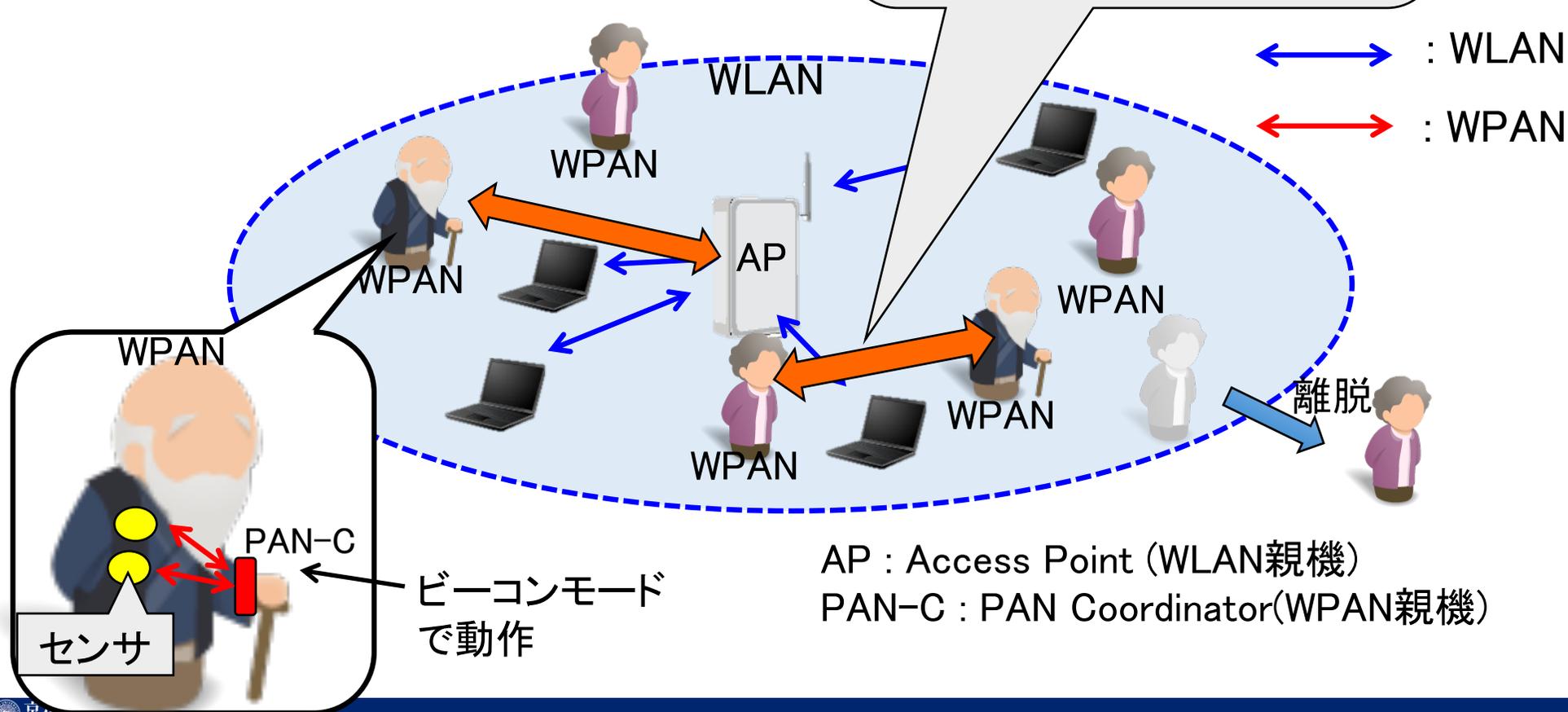
# 対象とするシステムモデル

無線LANセル内に多数の無線LANセル

- 一人一人がWPANを形成し、PAN
- 多数のWPANが密集したり、WPA

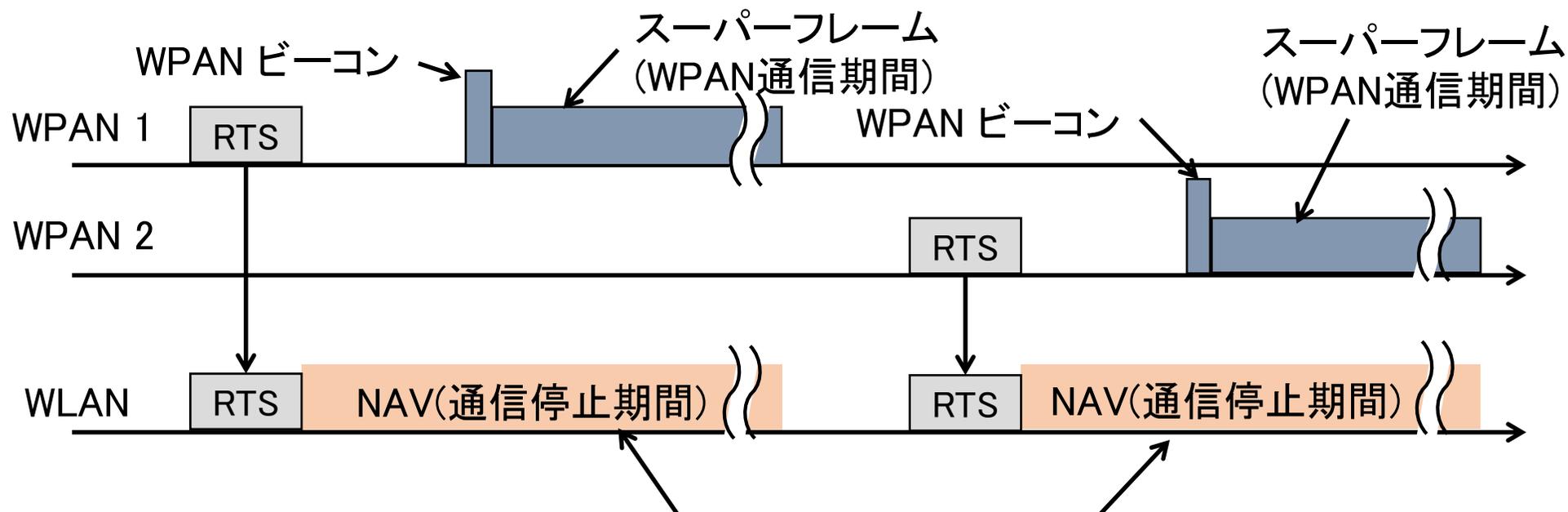
課題2

複数WPANが存在する場合の問題



## 課題2: 複数WPANが存在する場合の問題点

### 複数WPANが独立にチャンネル獲得



WPANシステムが複数存在する場合、WLANに多くの通信停止期間が割り当てられる

#### 問題2

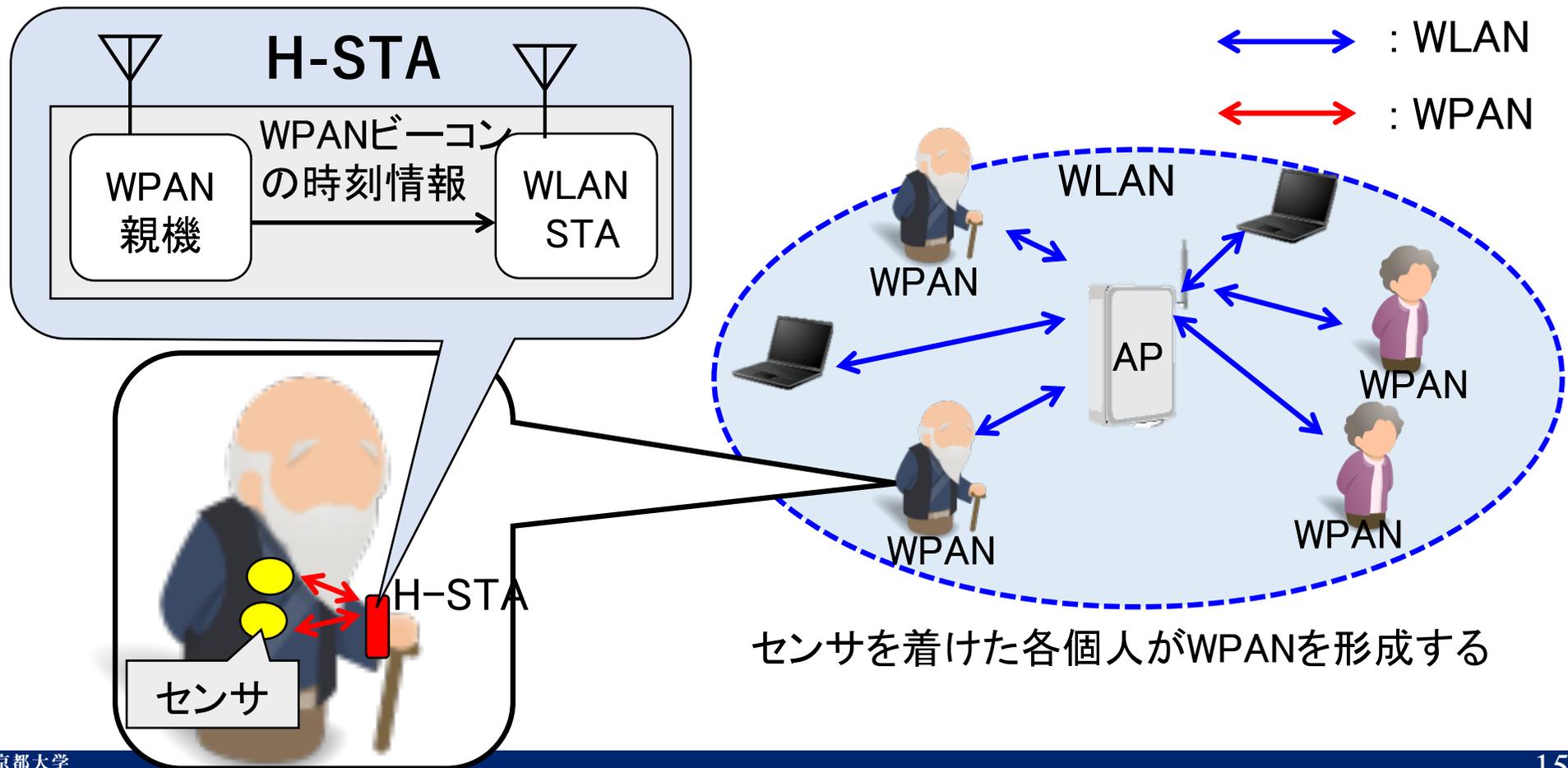
複数WPANとの共存時にWLANのスループットが低下する

# 提案方式：HYSAC方式

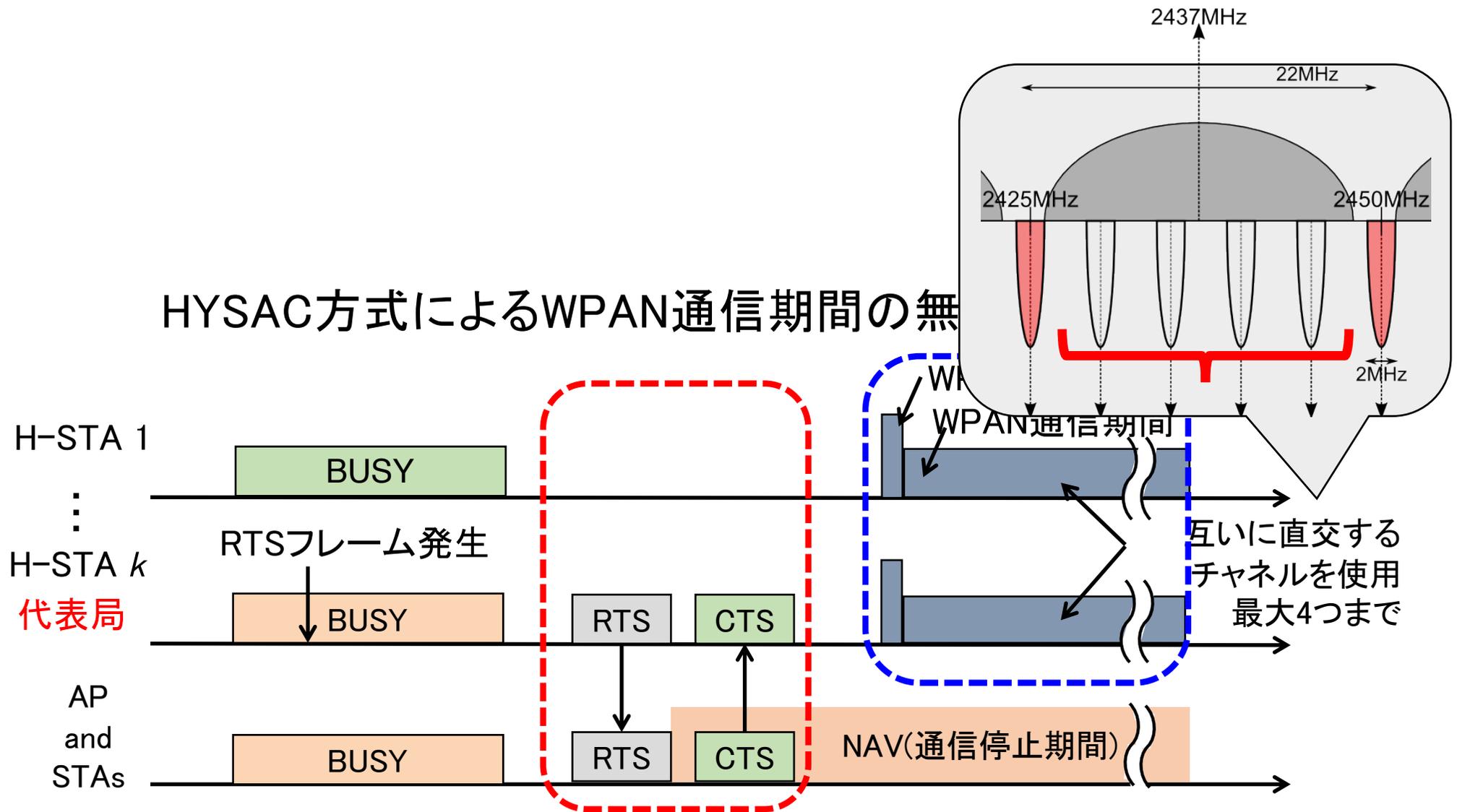
## HYSAC (Hybrid station-aided coexistence)

同一周波数で動作する無線LANと複数無線PANとの共存方式

- 両無線機器の統合端末H-STA (Hybrid station) を利用



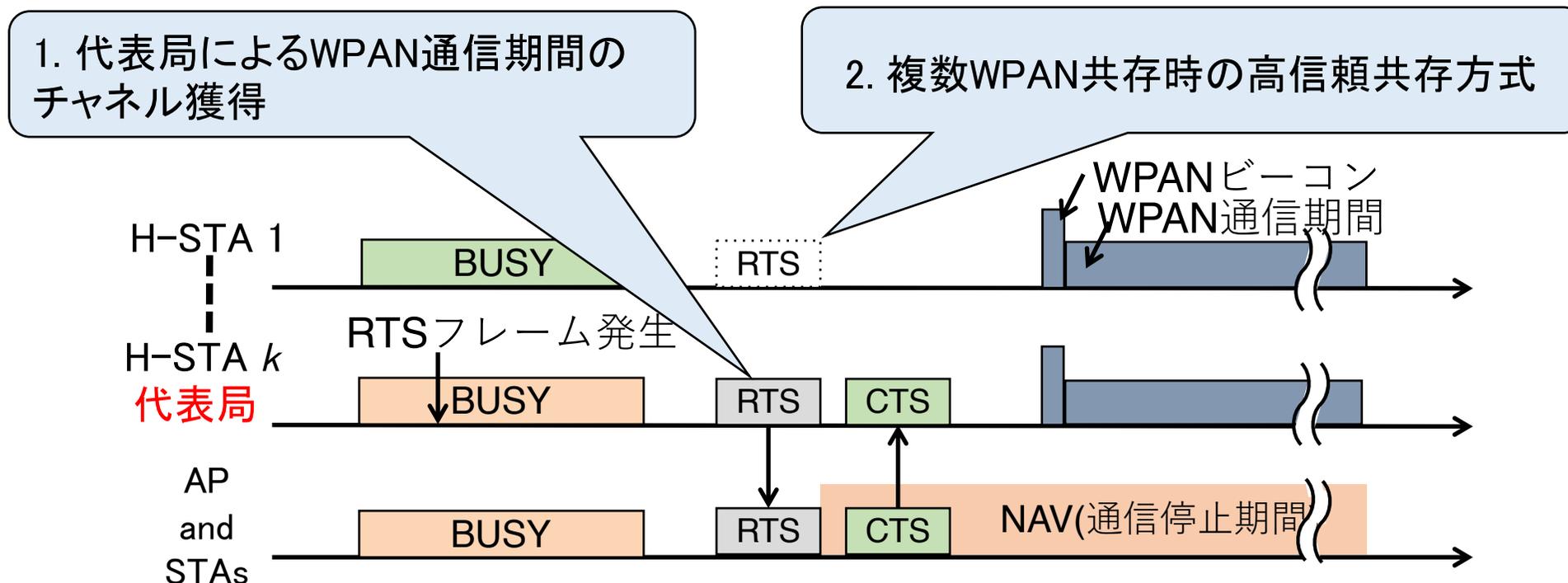
# HYSAC方式の概要



# WPAN通信期間のチャネル獲得方式

HYSAC方式のチャネル獲得方式には2つの提案法を含む

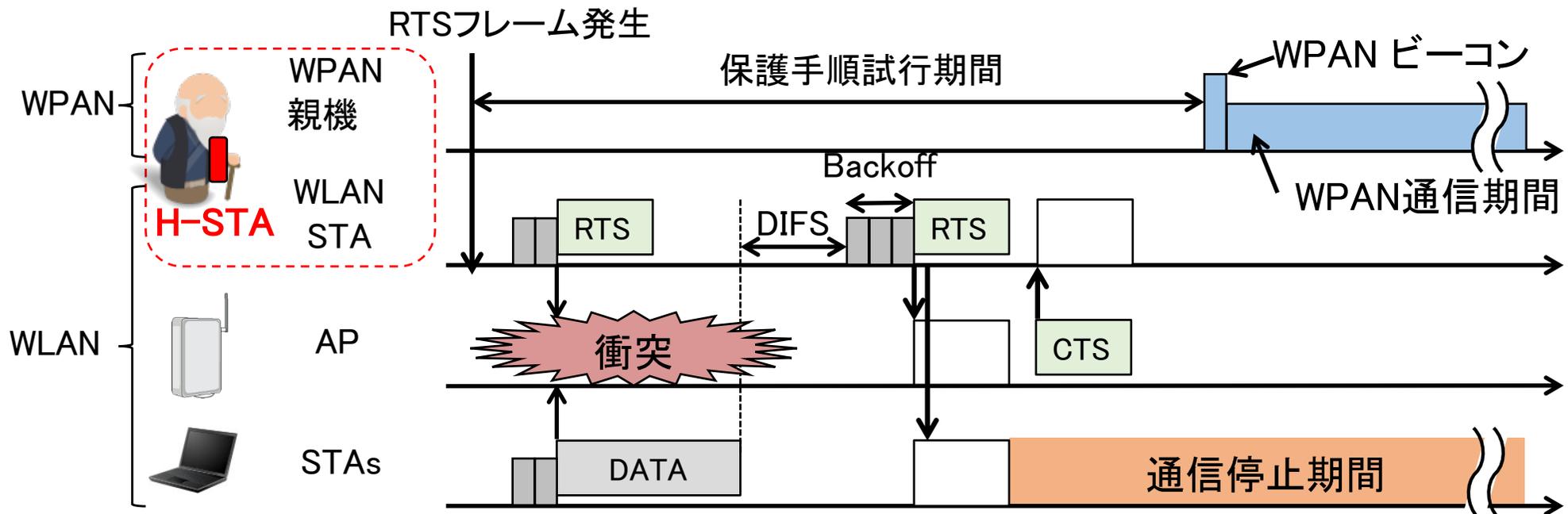
1. 代表局(第一にチャネル獲得を行うH-STA)によるチャネル獲得方式  
(単独WPANによるチャネル獲得)
2. 複数WPAN共存時の高信頼共存方式(複数WPANとの協調)



# 1. 単一WPANによるH-STAのチャネル獲得

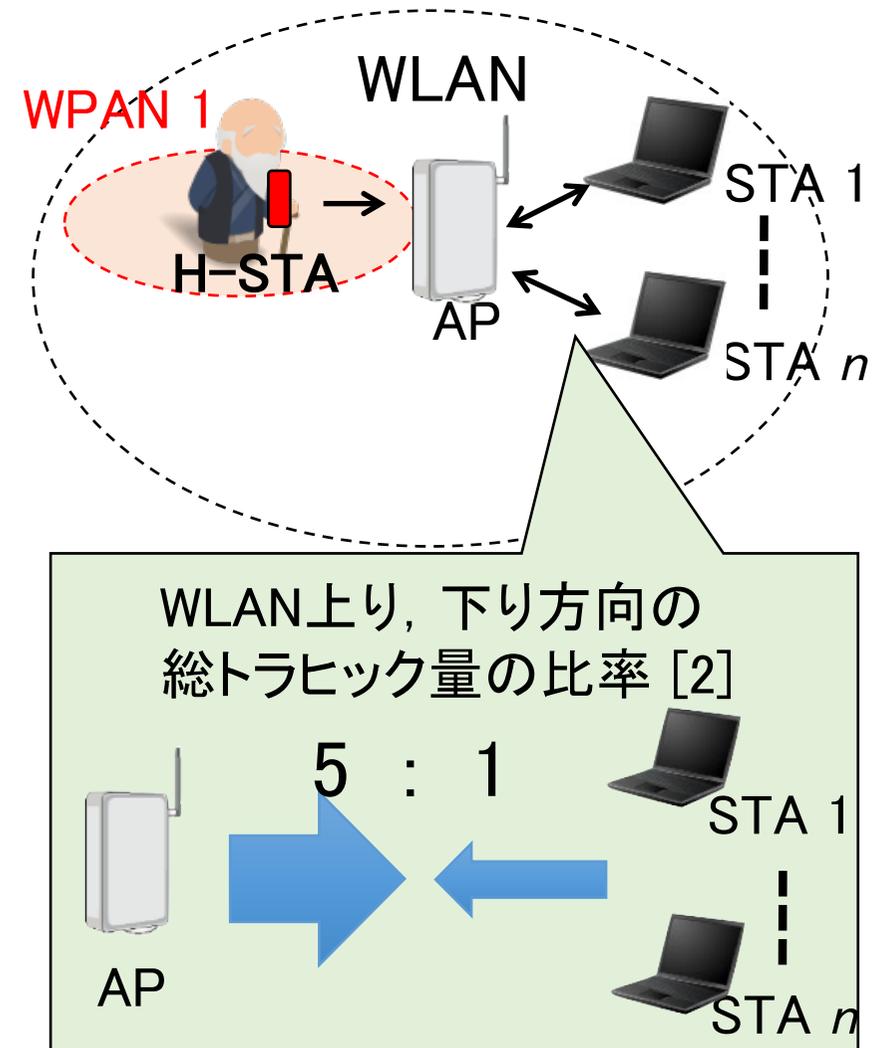
従来方式よりも高い確率でWPANの通信期間を獲得することができる

1. H-STAはWPANビーコン送信に先立ち、WLANの制御信号RTS(Request for send)フレームをAPに送信
2. RTSフレームが衝突した場合はRTSフレームを再送
3. APからCTS(Clear to send)フレームが返送されると、WLANの通信停止が完了



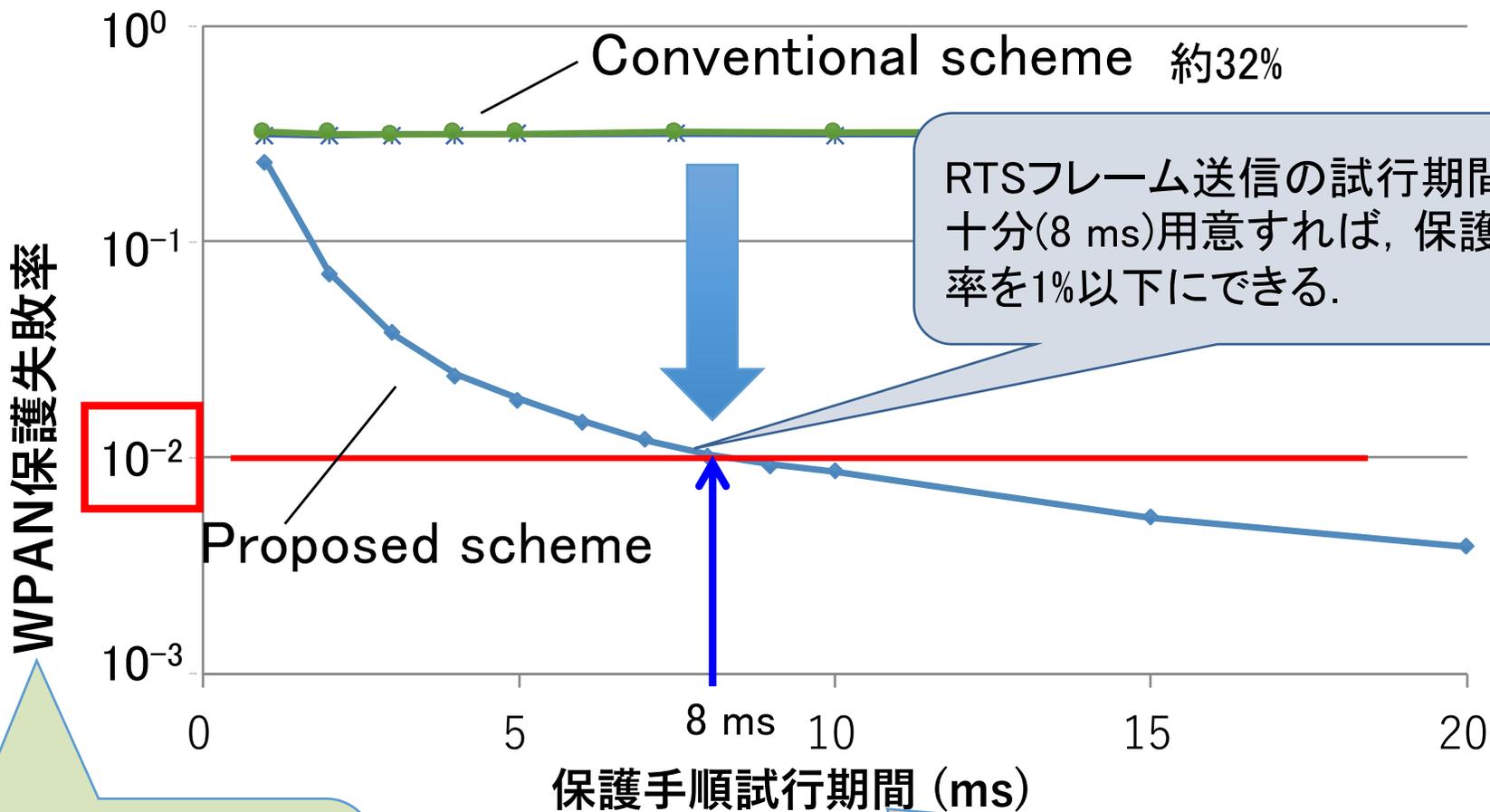
# シミュレーション諸元

WLAN IEEE 802.11g	STA数 $n$	10 台
	Data rate	24 Mbit/s
	MAC ペイロード長	下り 1500 B 上り 300 B
	印加トラヒック量	飽和モード
	スロットタイム	$9 \mu s$
	CWmin	STA : 15 AP : 3 H-STA : 0
WPAN IEEE 802.15.4	WPANシステム数	1
	ビーコン周期	122.88 ms
	スーパーフレーム長 (WPAN通信期間)	15.36 ms



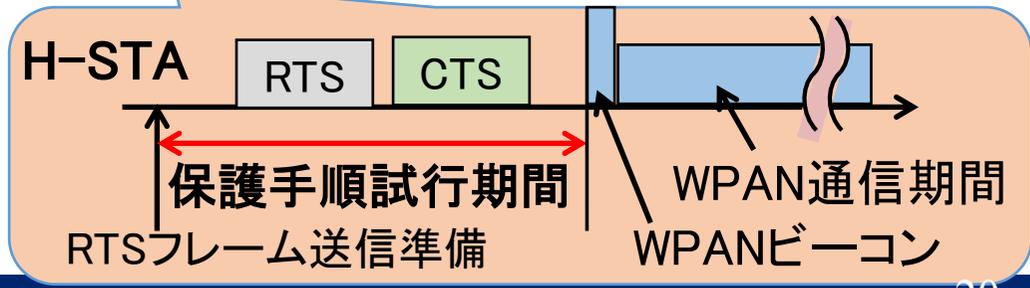
[2] C. Na, et al., "Measured Traffic Statistics and Throughput of IEEE 802.11b Public WLAN Hotspots with Three Different Applications," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 11, Nov. 2006.

# WPAN保護失敗率(単一WPANとの共存)



RTSフレーム送信の試行期間を十分(8 ms)用意すれば, 保護失敗率を1%以下にできる.

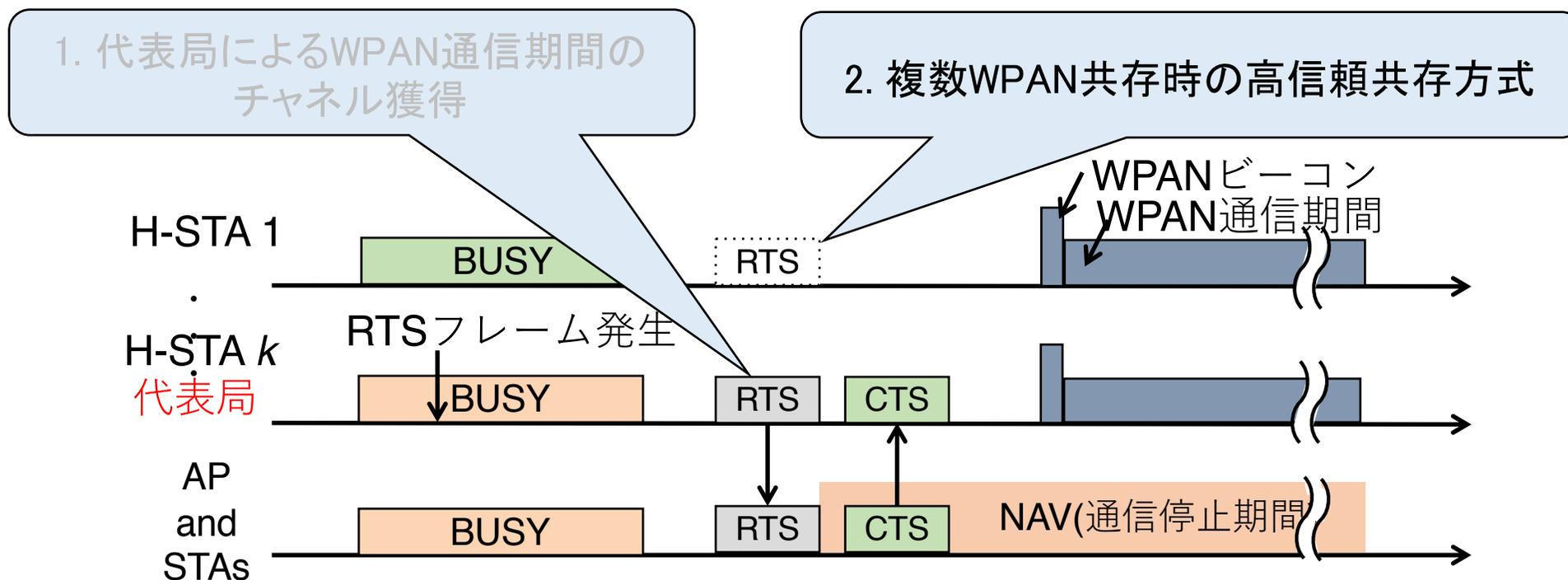
WPANビーコン送信までにチャネル獲得が間に合わない確率



# WPAN通信期間のチャネル獲得方式(再掲)

HYSAC方式のチャネル獲得方式には2つの提案法を含む

1. H-STAによるチャネル獲得方式(単独WPANによるチャネル獲得)
2. 複数WPAN共存時の高信頼共存方式(複数WPANとの協調)



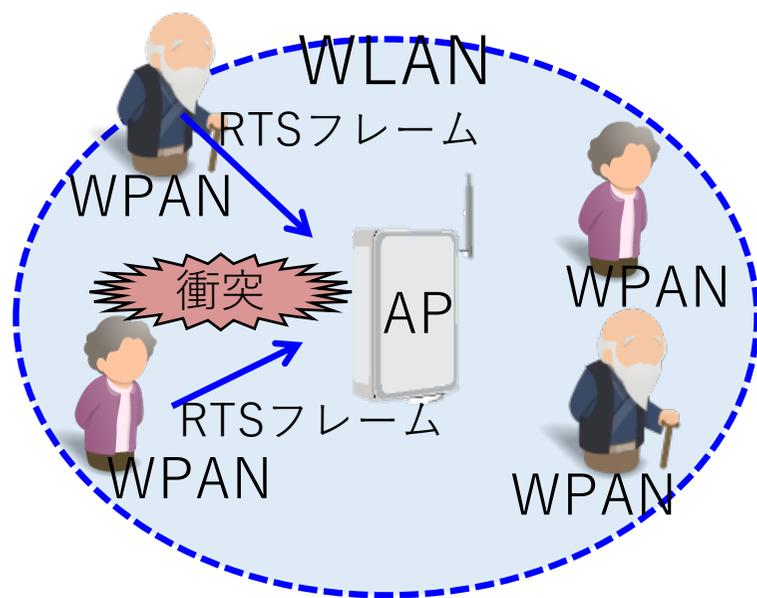
# 複数WPAN共存時の問題点

ヘルスケア分野での使用では以下の問題が考えられる

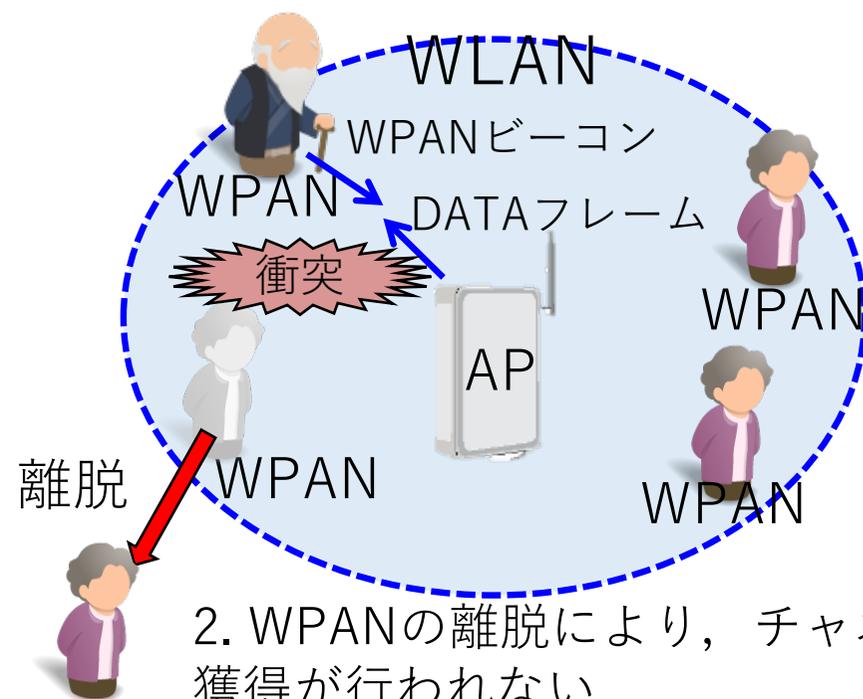
1. WLAN内に多数のWPAN(センサを着けた人)が集まる  
→ □RTSフレーム同士が衝突

RTSフレーム送信を1台(代表局)だけが行うとすると

2. センサを着けた人の移動に伴い, WPANがWLANから離脱する  
→ □代表局が離脱すると, WLANから干渉を受ける



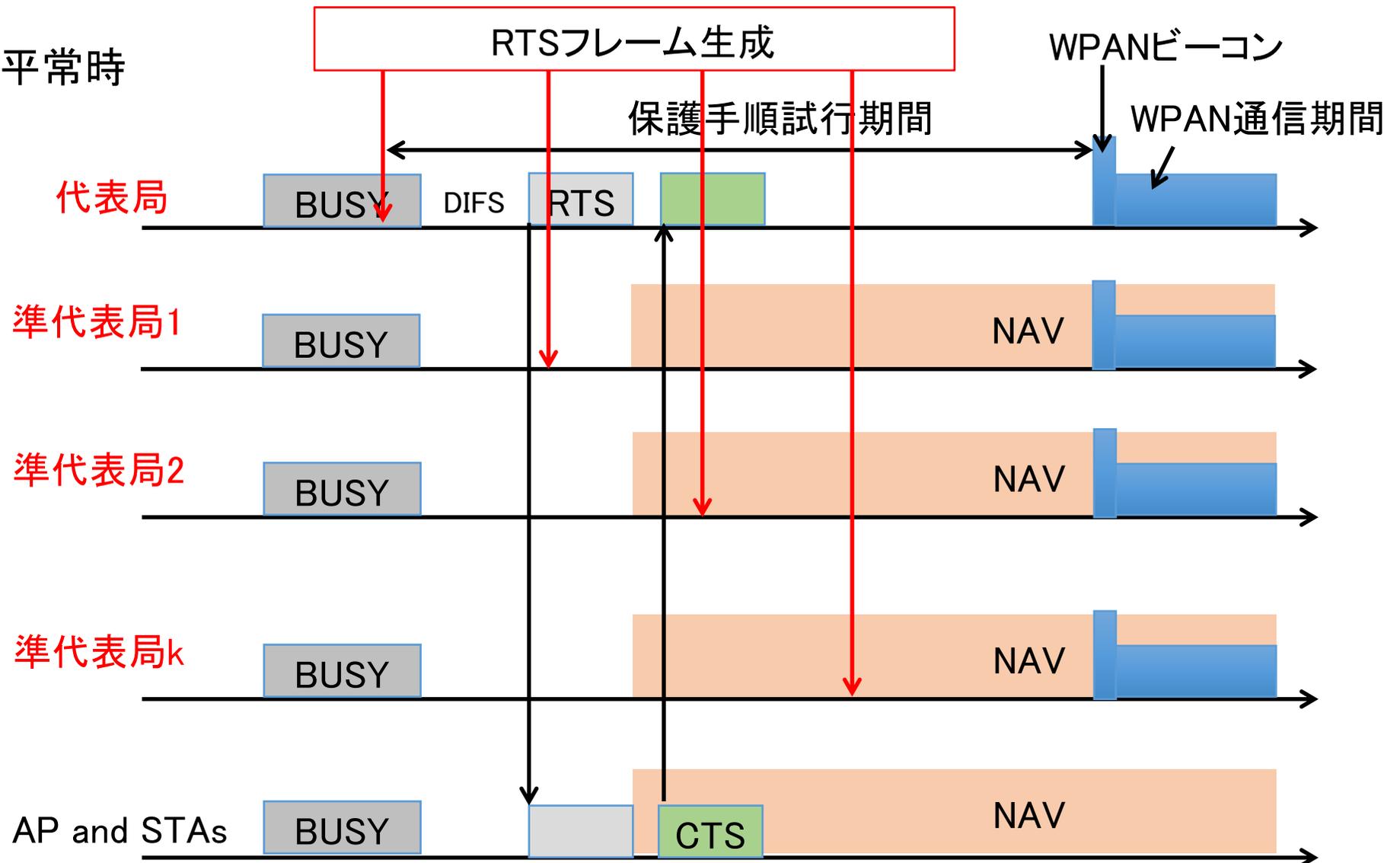
1. RTSフレーム同士の衝突



2. WPANの離脱により, チャンネル獲得が行われない

# 複数WPAN共存時の高信頼共存方式の手順 (1/2)

1) 平常時



---

# 3. バッテリーレス無線センサーネットワークの提案

# 無線機のバッテリーレス動作

無線機器数の著しい増加

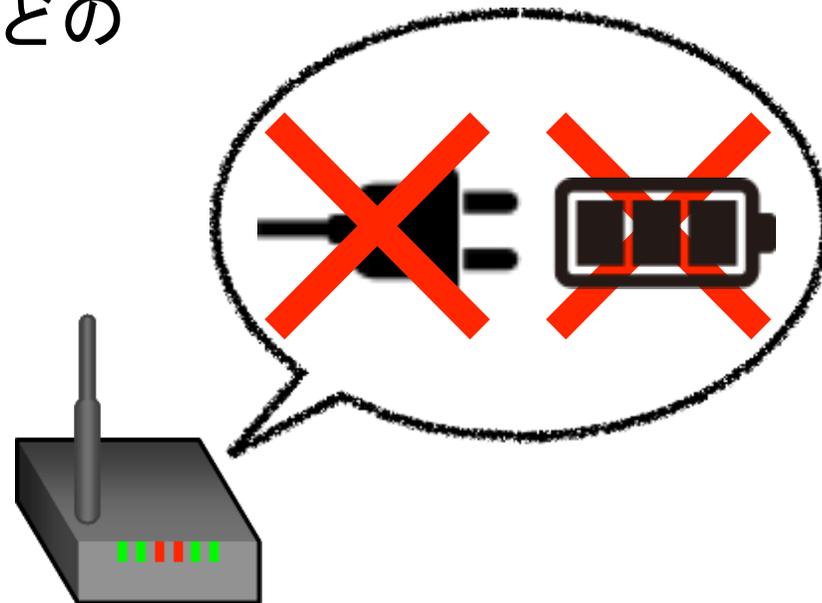
背景) M2M, IoT, ビッグデータなどの普及



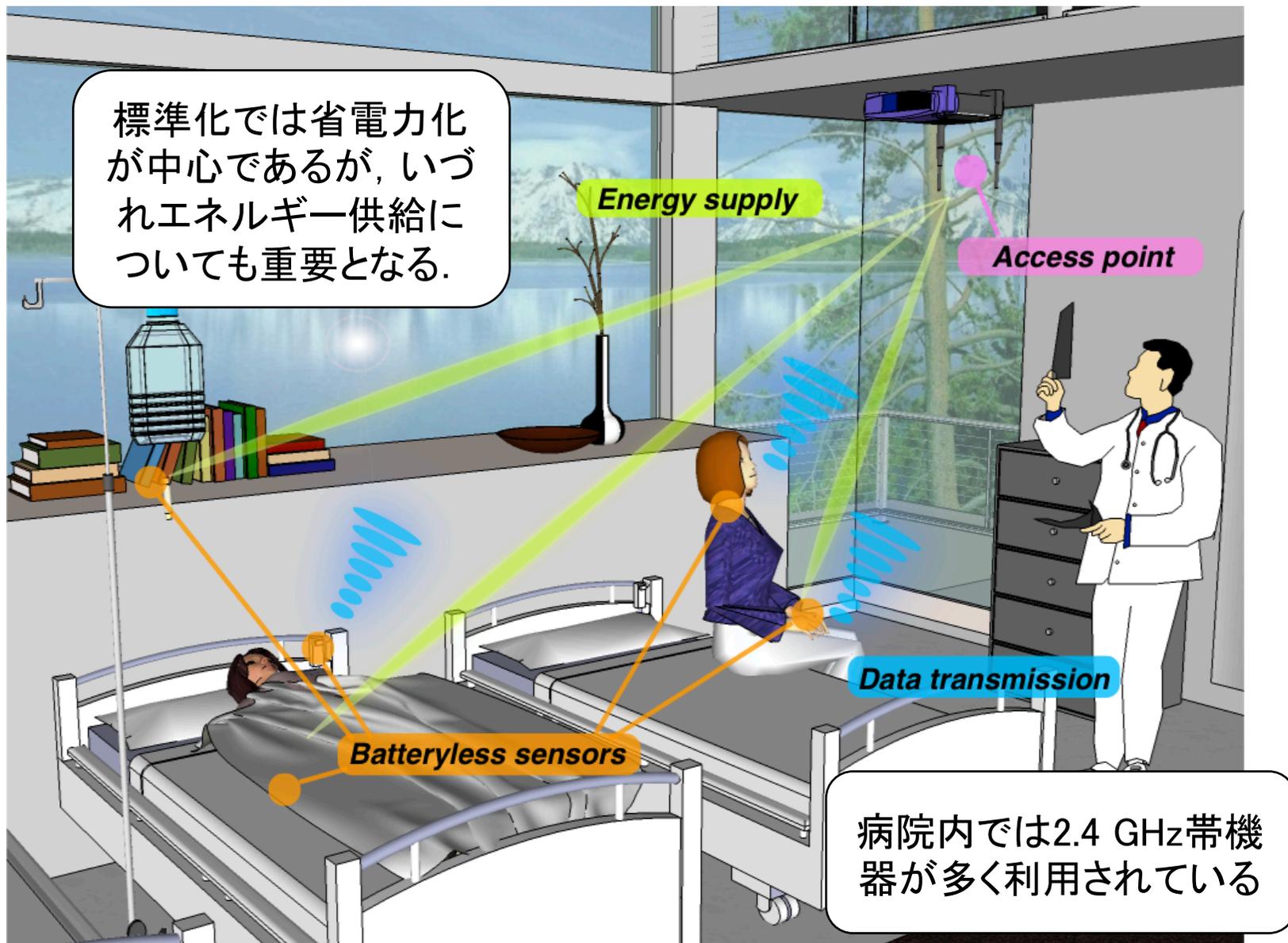
無線機の**バッテリーレス**動作

→ 電源ケーブルや電池などの  
管理コストを削減

本研究では  
マイクロ波送電に着目



# バッテリーレス無線センサーネットワーク



# マイクロ波送電



## マイクロ波送電の長所

### vsエネルギーハーベスティング

- 供給電力が大きく変動しない
- 能動的な給電が可能

### vs他の無線送電方式

- 送電距離が長い



# 無線通信規格IEEE 802.11ah

---

本研究では、マイクロ波送電により給電する対象をIEEE 802.11ah準拠の端末と想定

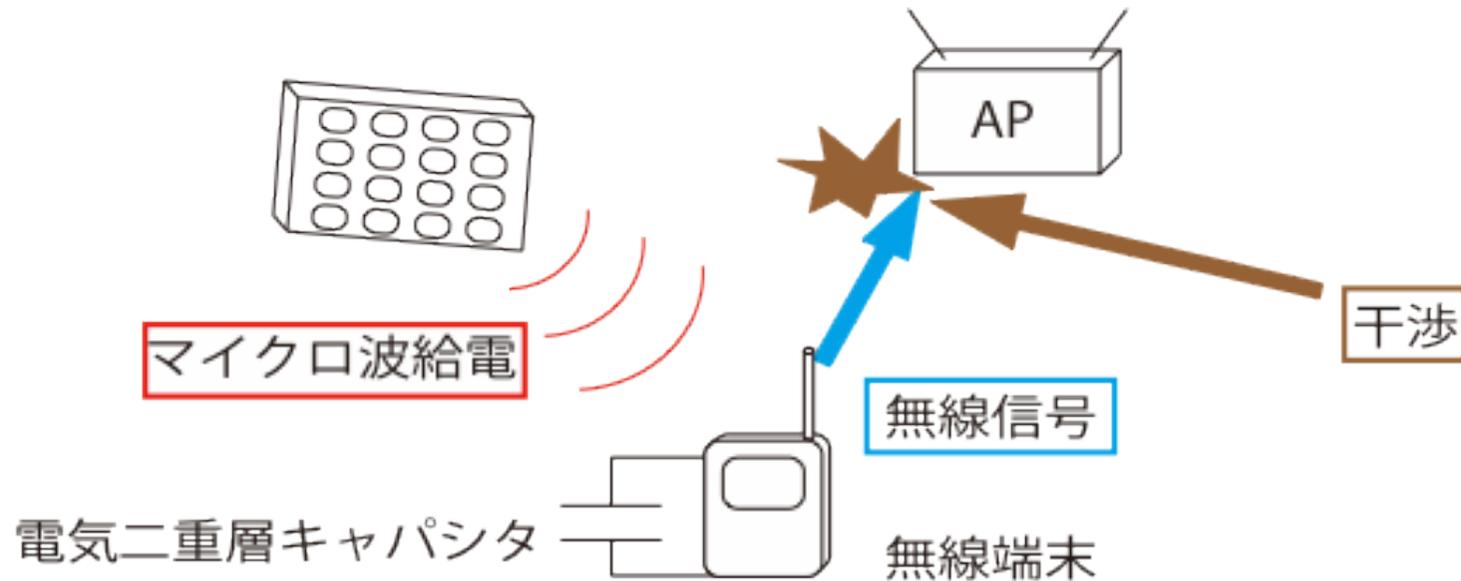
## IEEE 802.11ahの特徴

- センサネットワークへの利用を目的
- 900 MHz帯を使用
- 1 kmの最大通信距離
- 6000台の最大収容端末数
- 150 kbit/s以上の伝送レート

IEEE 802.11ahは現在策定段階であるため、仕様の類似するIEEE 802.11g準拠の機器へのマイクロ波を用いた給電について検討

# マイクロ波送電

無線で電力を供給する技術



マイクロ波給電と無線信号が干渉



給電と通信の時間的な  
スケジューリングが必要

# マイクロ波送電と無線通信の共存

マイクロ波送電は電波資源を利用するため、特に給電が通信を妨害し得ることについて検討が必要

想定される解法

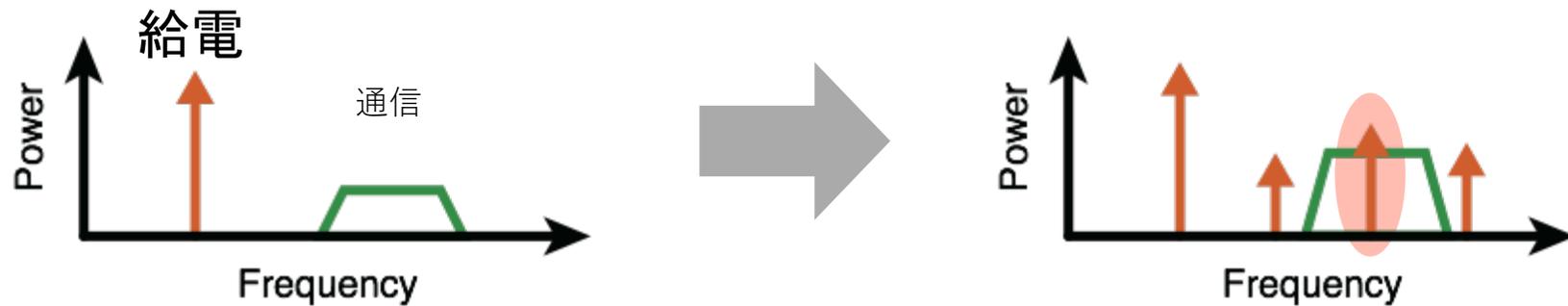
- 通信帯域と給電帯域とを分ける
- キャリアセンス機能※に任せる

※帯域の使用状況を調べ、  
使用を検出した際には送信を延期する機能

先行研究[1]にて、IEEE 802.11g準拠の端末に2.4 GHz帯のマイクロ波を放射する調査を実施され、以降に示す**3つの問題点が確認されている**

[1] N. Imoto, et al., “Experimental investigation of co-channel and adjacent channel operations of microwave power and IEEE 802.11g data transmissions,” IEICE Trans. Commun., vol.E97-B, no.9, pp.1835–1842, Sept. 2014.

# 問題点1: 周波数分割運用時の妨害



増幅器の非線形性[2]

送信を延期

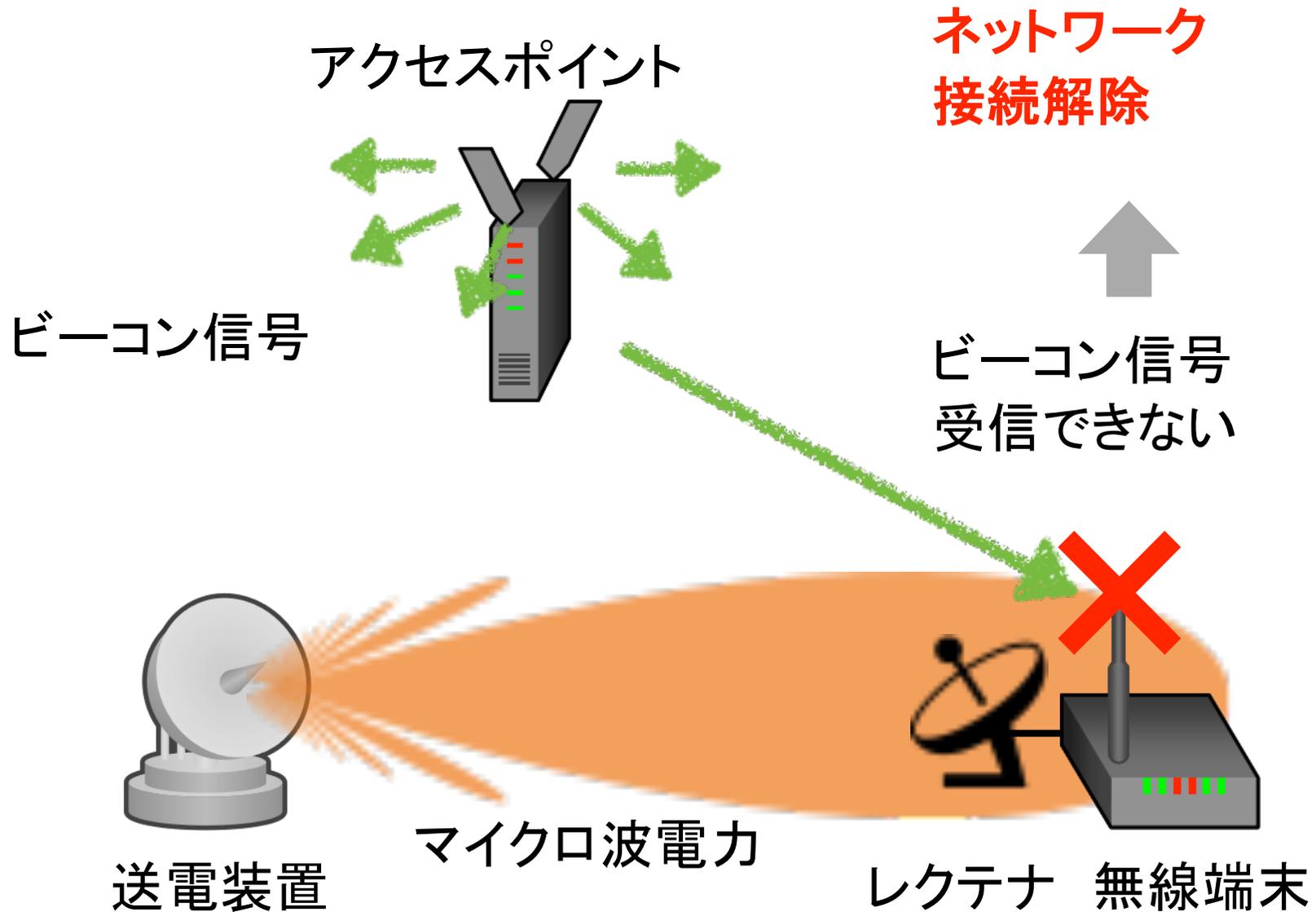


受信できない

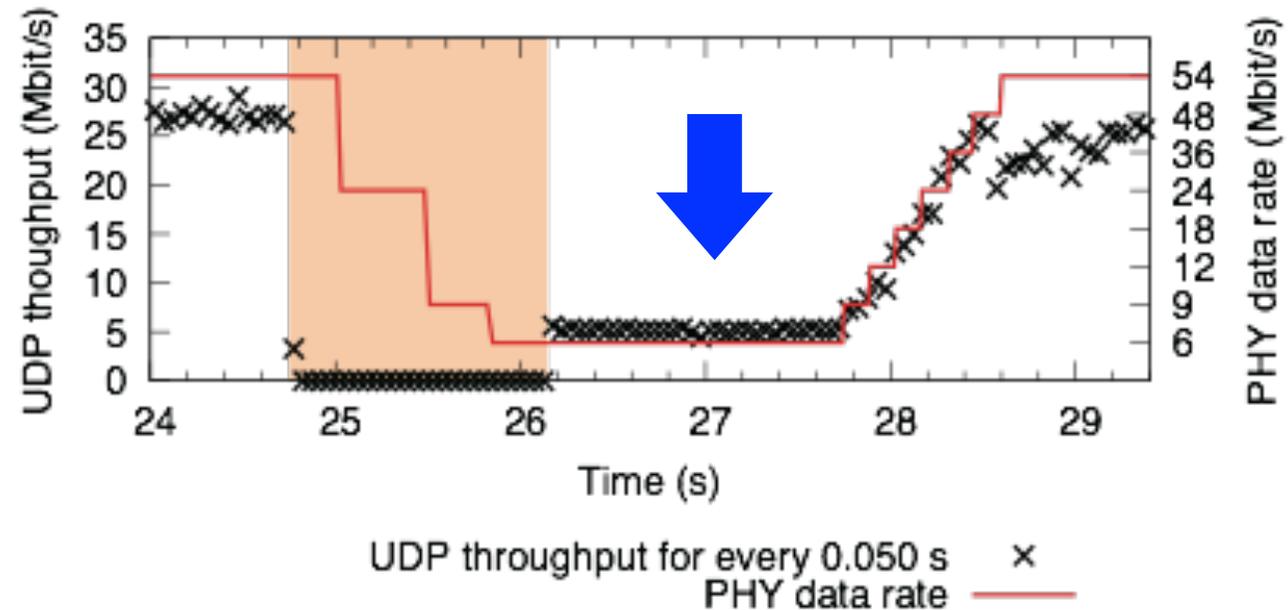
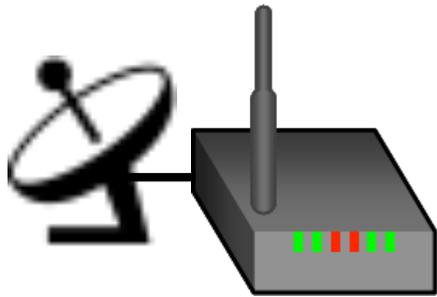


[2] M. Valkama, et al., "Advanced digital signal processing techniques for compensation of nonlinear distortion in wideband multicarrier radio receivers," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.54, no.6, pp.2356–2366, June 2006.

## 問題点2:ビーコン非受信による接続解除



# 問題点3：給電中の伝送レート低下



※ 橙の期間に給電マイクロ波を放射

放射中に伝送レートが低下する原因

時折キャリアセンス機能が帯域利用を検出し損ねる

- ✓ 放射にさらされている中，データ送信
- ✓ 放射のせいで，最低でもACKが受信できない
- ✓ レート制御機構が伝送レートを下げる

# 解決法

---

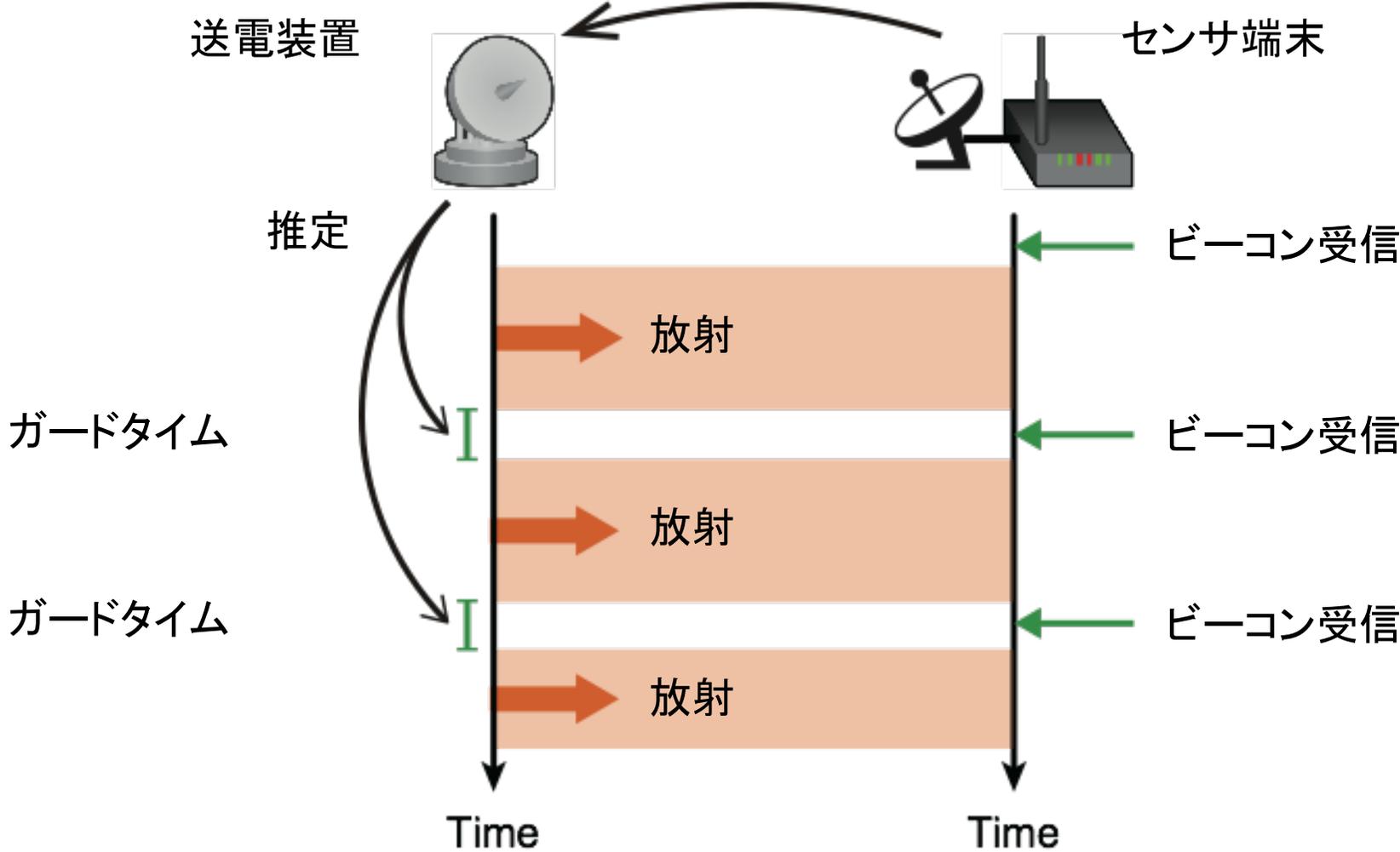
無線LAN端末をマイクロ波で給電する際の  
各問題点を解決することを目的に、  
以下の2つの提案法についてそれぞれ検討

- ✓ **給電・通信の時分割運用法**  
目的) 通信が給電に妨害されないようにする
- ✓ **適応レート制御法**  
目的) 給電中の伝送レート低下による  
スループット減少を低減させる

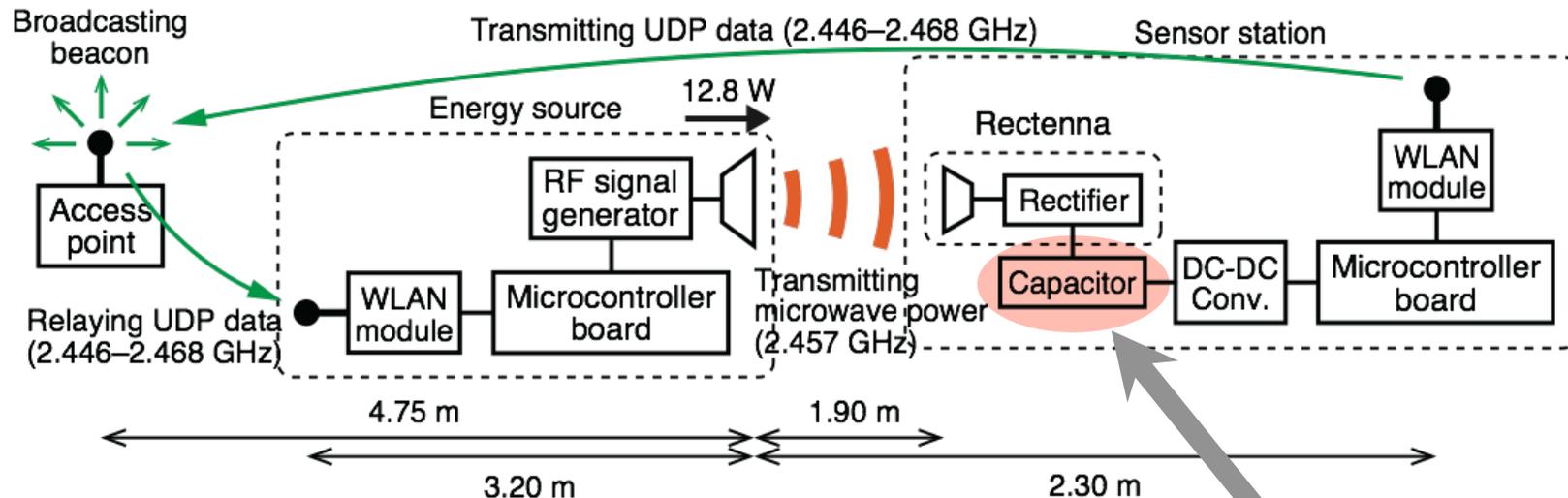
- 給電マイクロ波の周波数を  
通信帯域の中心周波数と同じに設定
  - 隣接でも通信が妨害されることに加え、  
最悪の状況での各提案法の実現性を検討するため
- 単一端末への給電マイクロ波の放射
  - 端末数に関係なく発生する問題の解決を行うため

# 提案する時分割運用法

センサ端末の通信タイミング情報を共有



# 時分割運用法の実験構成

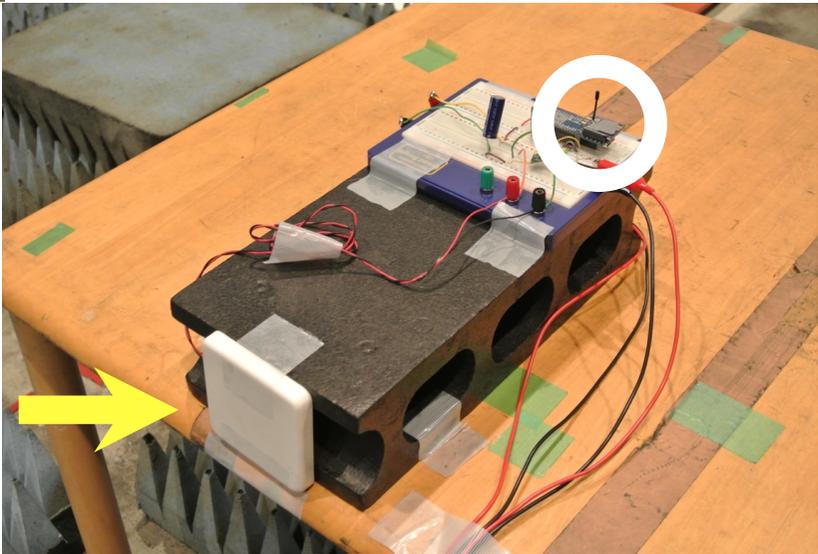
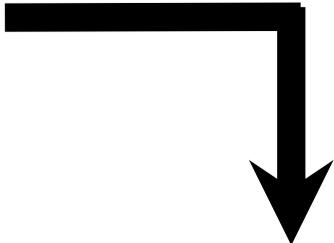
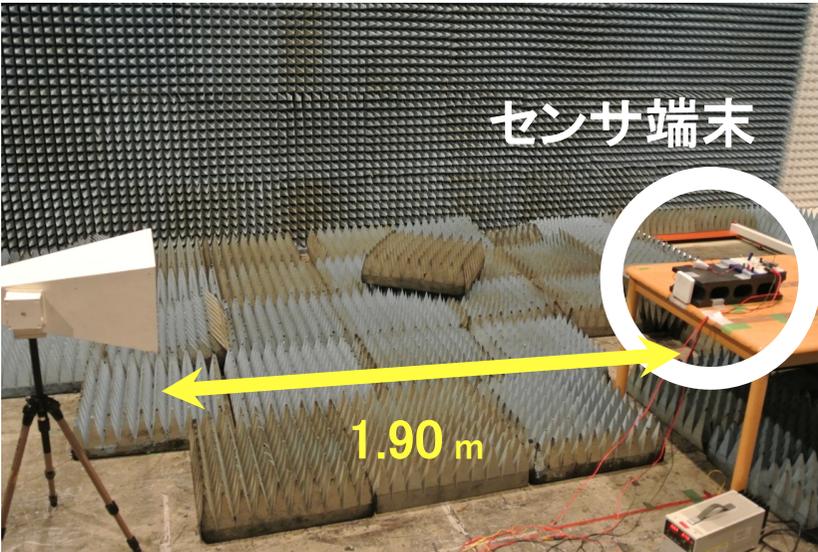


キャパシタの  
エネルギーを使って  
センサ端末を駆動

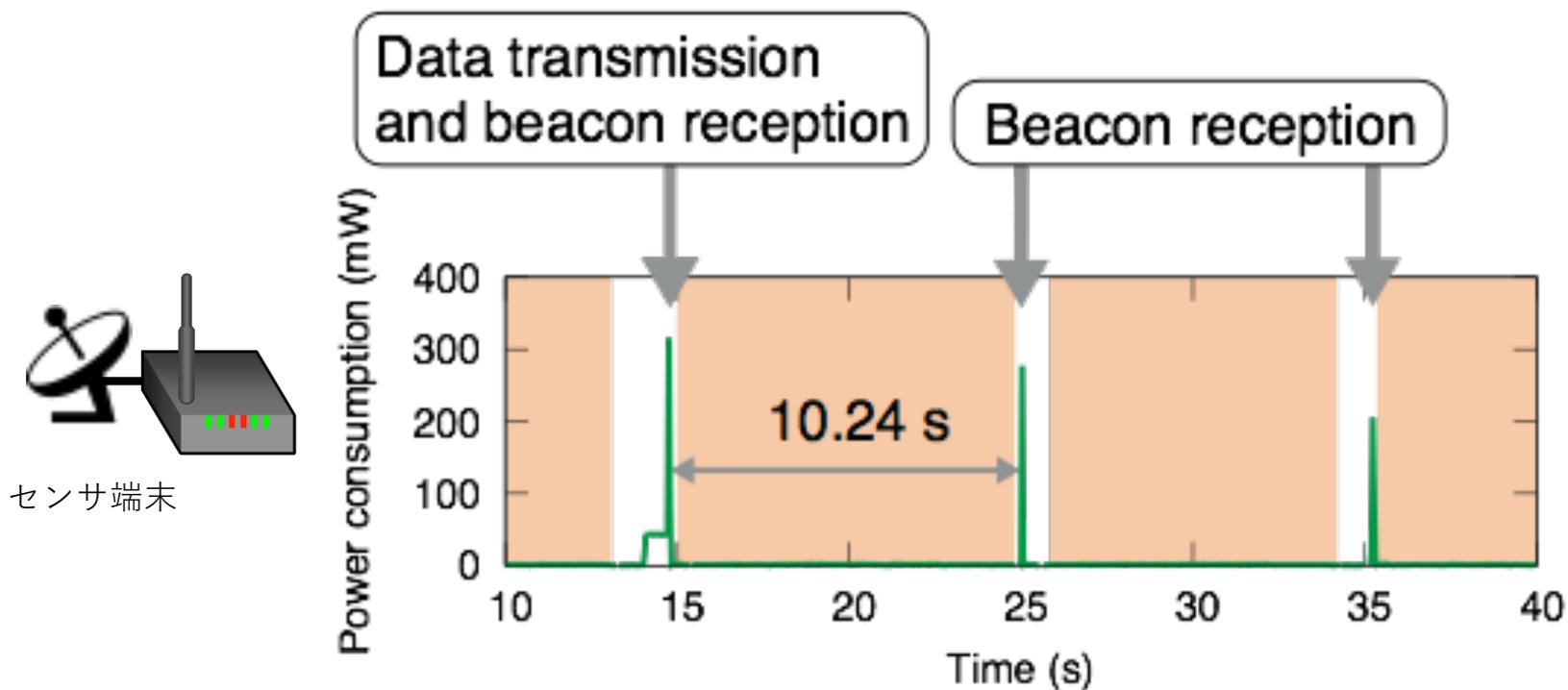
## 諸元

- 送電アンテナ利得16.4 dBi
- レクテナのアンテナ利得7.7 dBi
- キャパシタ容量10 F, キャパシタ耐圧2.7 V
- ビーコン間隔10.24 s

# 実験風景

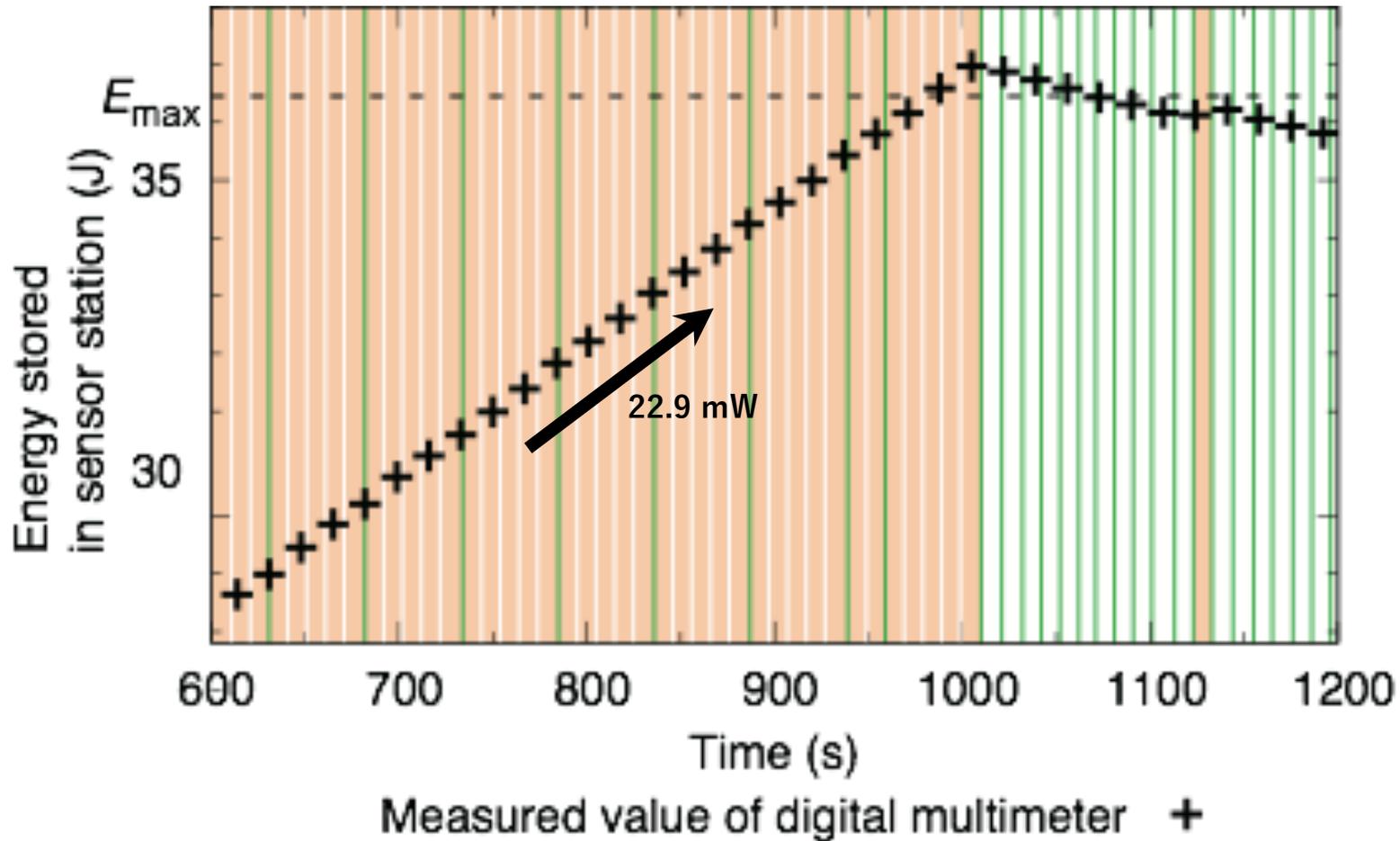


# 提案法の動作



● 橙の期間に給電マイクロ波を放射

# センサ端末残エネルギーの推移



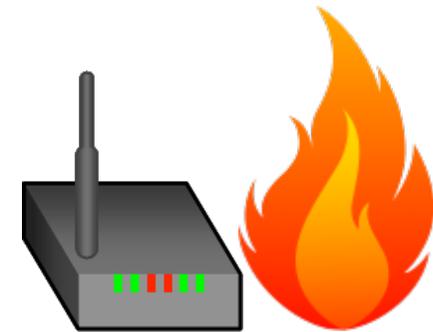
$E_{max}$  はキャパシタを耐圧まで充電したときのエネルギー  
緑線の時刻にセンサ端末がデータを送信  
橙の期間に給電マイクロ波を放射

# 有効範囲解析(結果のみ)

900 MHz帯で給電・通信の双方を運用することを想定  
→通信間隔1分毎の場合, 最大約30 mの送電可能距離

## 利用例

- 高温な場所や有毒物質が蔓延している場所など, 立ち入り困難な場所に配置されるセンサ
- 人間に取り付けるセンサ(体温計, 心拍計など)



# 従来の適応レート制御法の問題点

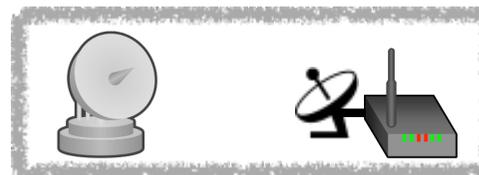
過去に取得した通信品質情報を用いてレートを決定

過去の



のときに取得した通信品質情報

過去の



のときに取得した通信品質情報

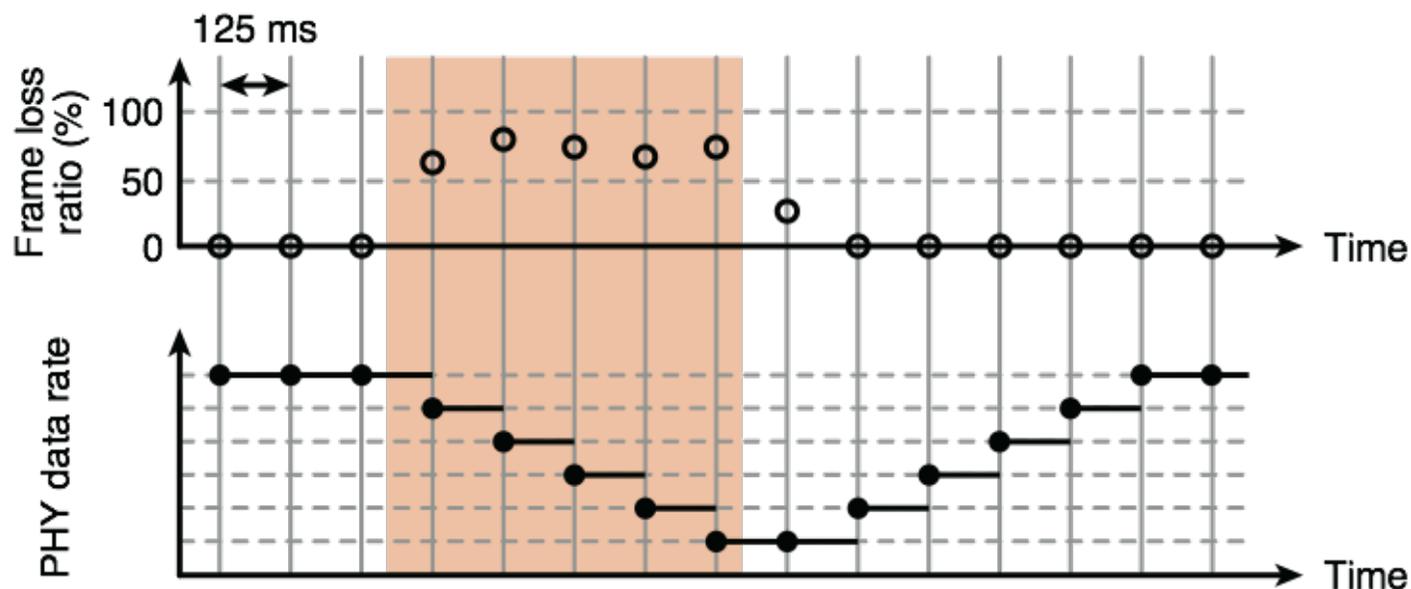
各状態で取得した通信品質情報が混在

決定する伝送レートの精度が低下

# Proportional-Integral-Derivative (PID)

125 ms毎に、次の期間に使用する伝送レートを設定

- ・フレームロス率が14%に近づくように
- ・前回のフレームロス率と偏差の移動平均を使って



◆タイムアウトしたデータ送信をフレームロスとする  
橙の期間に給電マイクロ波を放射

# 提案する適応レート制御法

## の (レクテナ) の出力を利用

しきい値以上



過去の



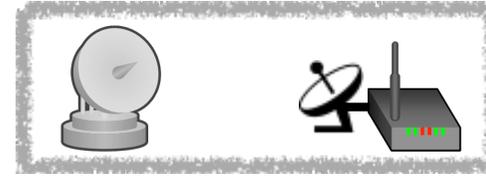
と判定したときに  
取得した通信品質情報

を用いてレートを決定

しきい値未満



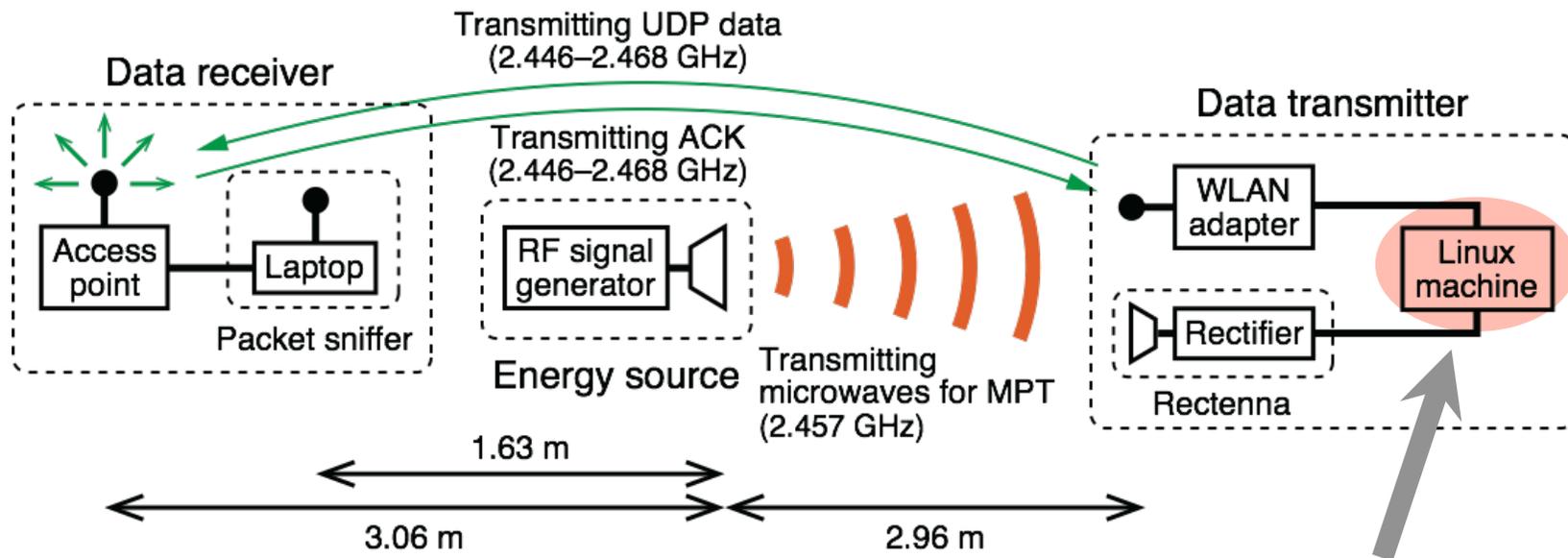
過去の



と判定したときに  
取得した通信品質情報

を用いてレートを決定

# 適応レート制御法の実験構成

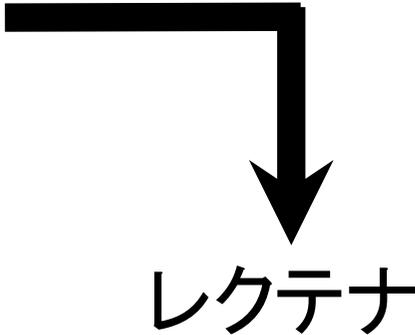
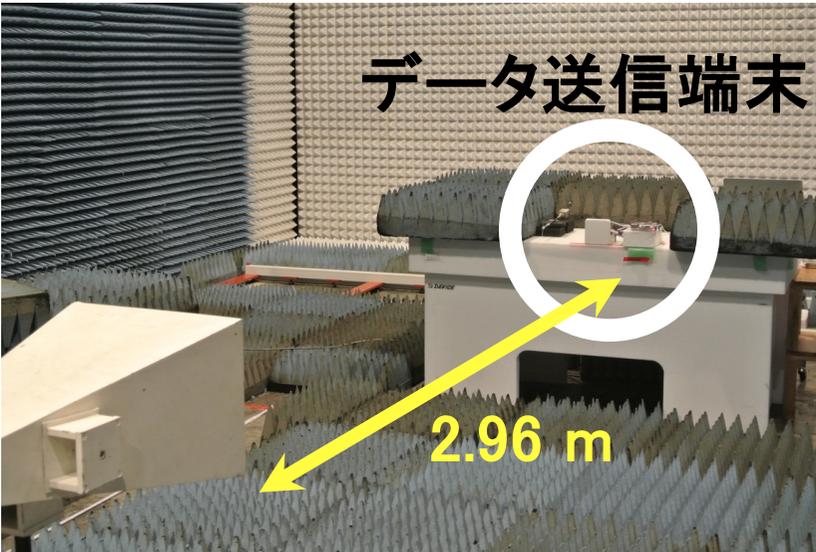


デバイスドライバ修正により  
提案法を実装

## 諸元

- 送電アンテナ利得16.4 dBi
- レクテナのアンテナ利得7.7 dBi
- 使用可能レート(6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s)
- 印加トラフィック54 Mbit/s(飽和トラフィック)
- 給電マイクロ波放射期間1.4 s, 非放射期間5 s

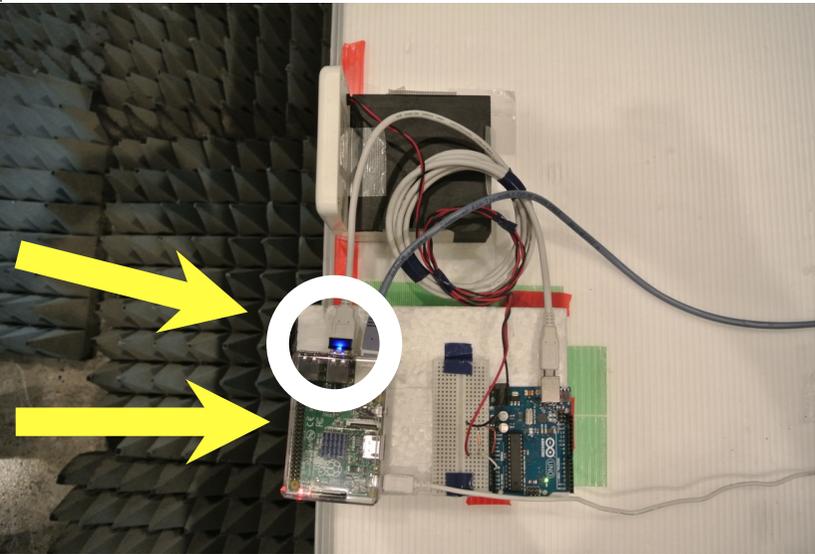
# 実験風景



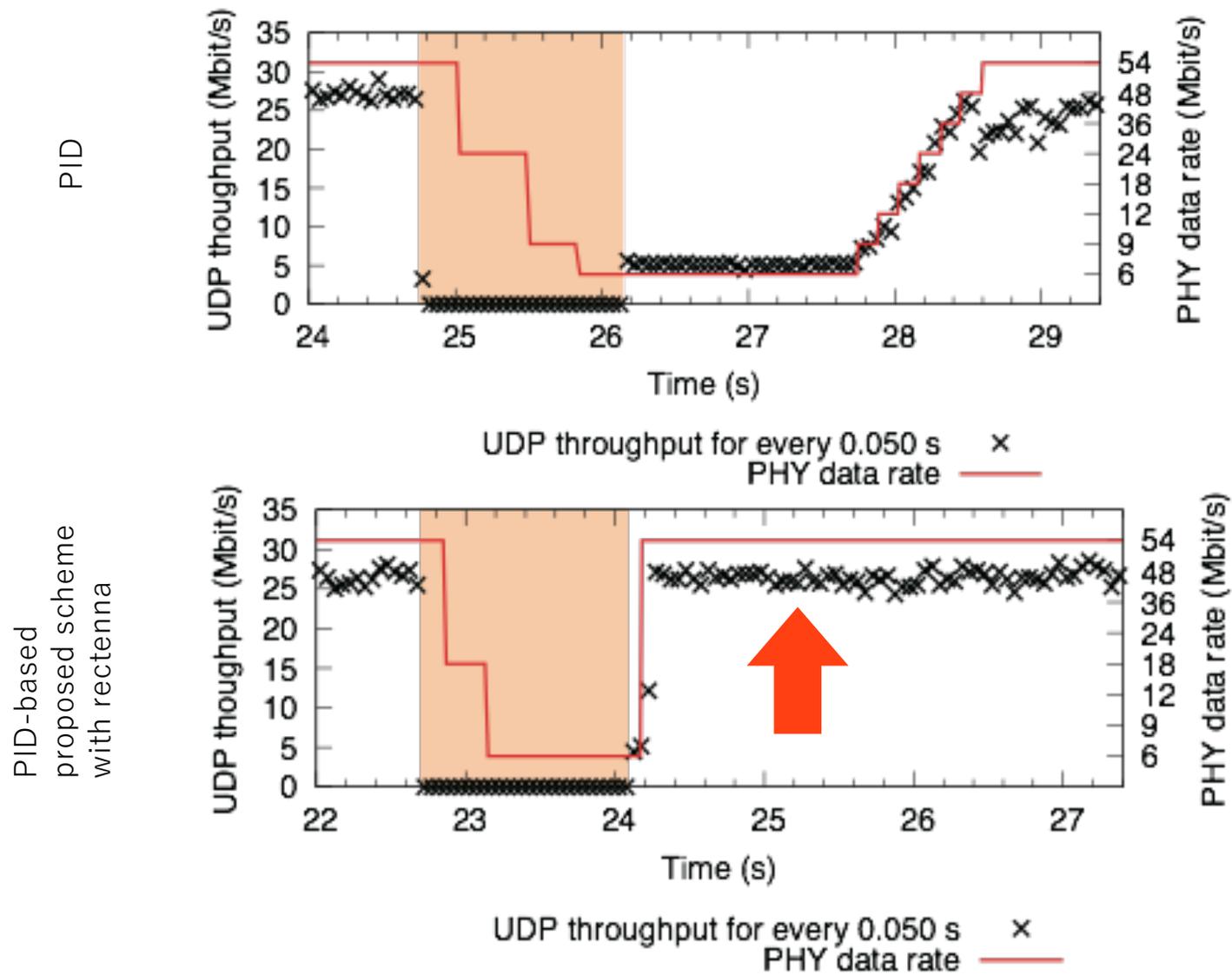
送電アンテナ

無線LANアダプタ

Linuxマシン



# 提案法によるスループットの向上



✓ 橙の期間に給電マイクロ波を放射

# まとめ

---

1. ヘルスケア分野での健康状態モニタリングシステムを想定した場合の、WLANと複数WPANの共存方式を提案した
2. 無線LAN端末のバッテリーレス動作を目的としたマイクロ波送電の利用について提案