

# スマートユーティリティネットワークの 研究開発、標準化及び普及化の動向

児島 史秀

独立行政法人情報通信研究機構 (NICT)

ワイヤレスネットワーク研究所 スマートワイヤレス研究室

E-mail: f-kojima@nict.go.jp

ユビキタスフォーラム '13.06

～スマート革命がもたらす社会生活の変化～

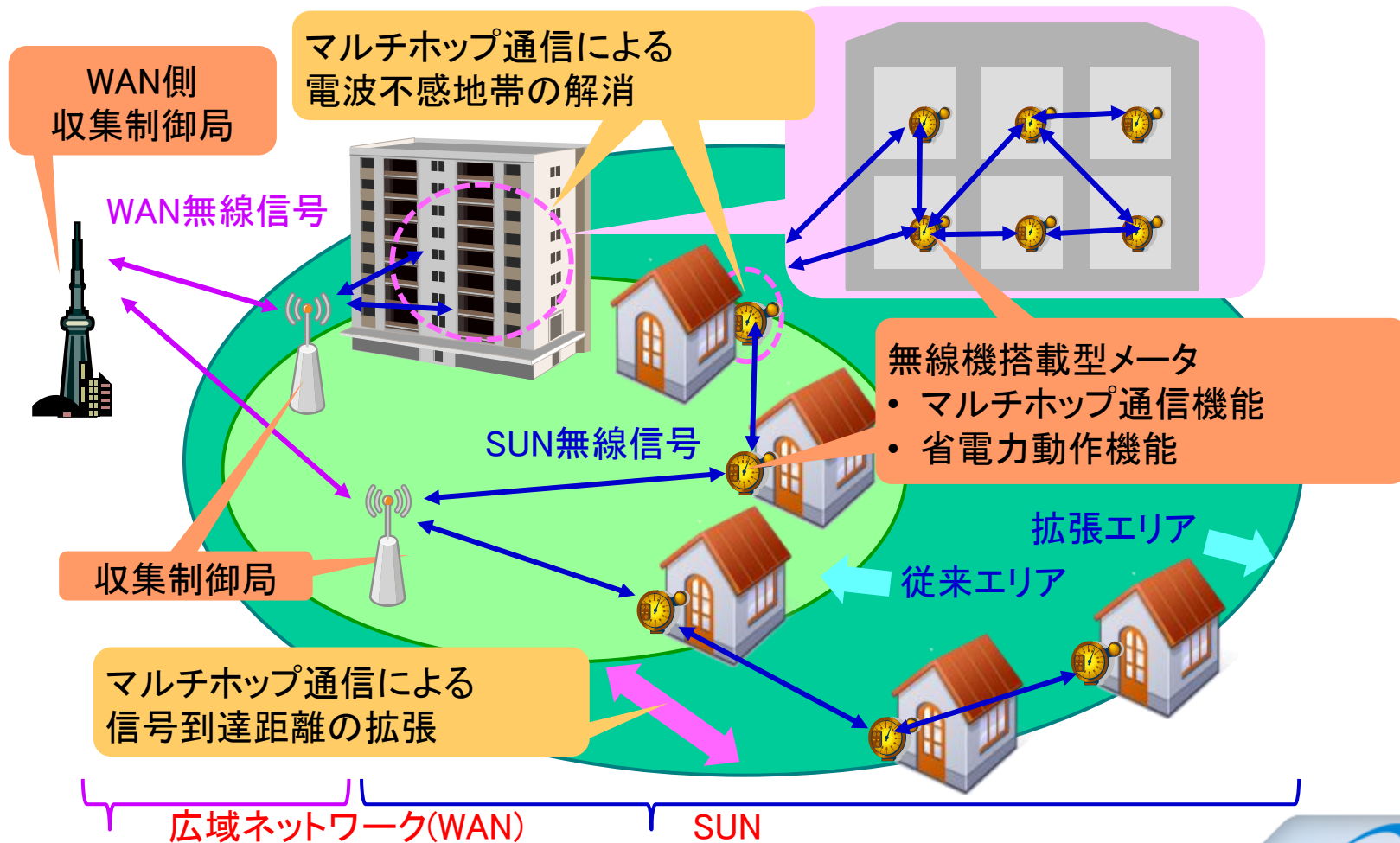
2013年6月21日

広島国際会議場

- 本発表では、スマートメータ用無線システムであるスマートユーティリティネットワーク(SUN)に関する標準化、普及化の動向を説明し、NICTにおける研究開発を紹介する
  - ▶ スマートメータ用無線の概要
    - ▷ SUNの利用形態: 効率的なエネルギー消費データ収集と制御
    - ▷ SUNの所要条件: 省電力動作、サービスエリア拡張等
  - ▶ IEEE 802委員会における標準化
    - ▷ IEEE 802.15.4g/4eタスクグループにおいて2012年3月標準化終了
      - IEEE 802.15.4g: FSK ベースのPHY仕様提案
      - IEEE 802.15.4e: 省電力型MAC仕様提案
  - ▶ 標準化後の展開
    - ▷ 規格認証団体Wi-SUNアライアンスの設立によるIEEE 802.15.4g無線機間の相互接続性の実現
  - ▶ NICTにおける研究開発
    - ▷ 省電力型マルチホップ通信の検討
    - ▷ SUN無線機の開発と実証試験
      - 福島県川内村における放射線量モニタリング実証
      - 世界初のIEEE 802.15.4g/4e準拠無線機の開発
    - ▷ マルチサービス対応型SUNスタックの検討
      - 物理層、MAC層、上位層仕様の検討
      - ECHONETLite の実装
  - ▶ 将来的拡張と結論

# スマートメータ用無線の概要

- 電気/ガス/水道等の各種メータにSUN無線機を搭載し、マルチホップ通信(多段中継)を行いながら効率的にエネルギー消費データ(検針データ)を収集
- 収集データに基づいた、理想的なエネルギー消費形態への制御を行うことも可能

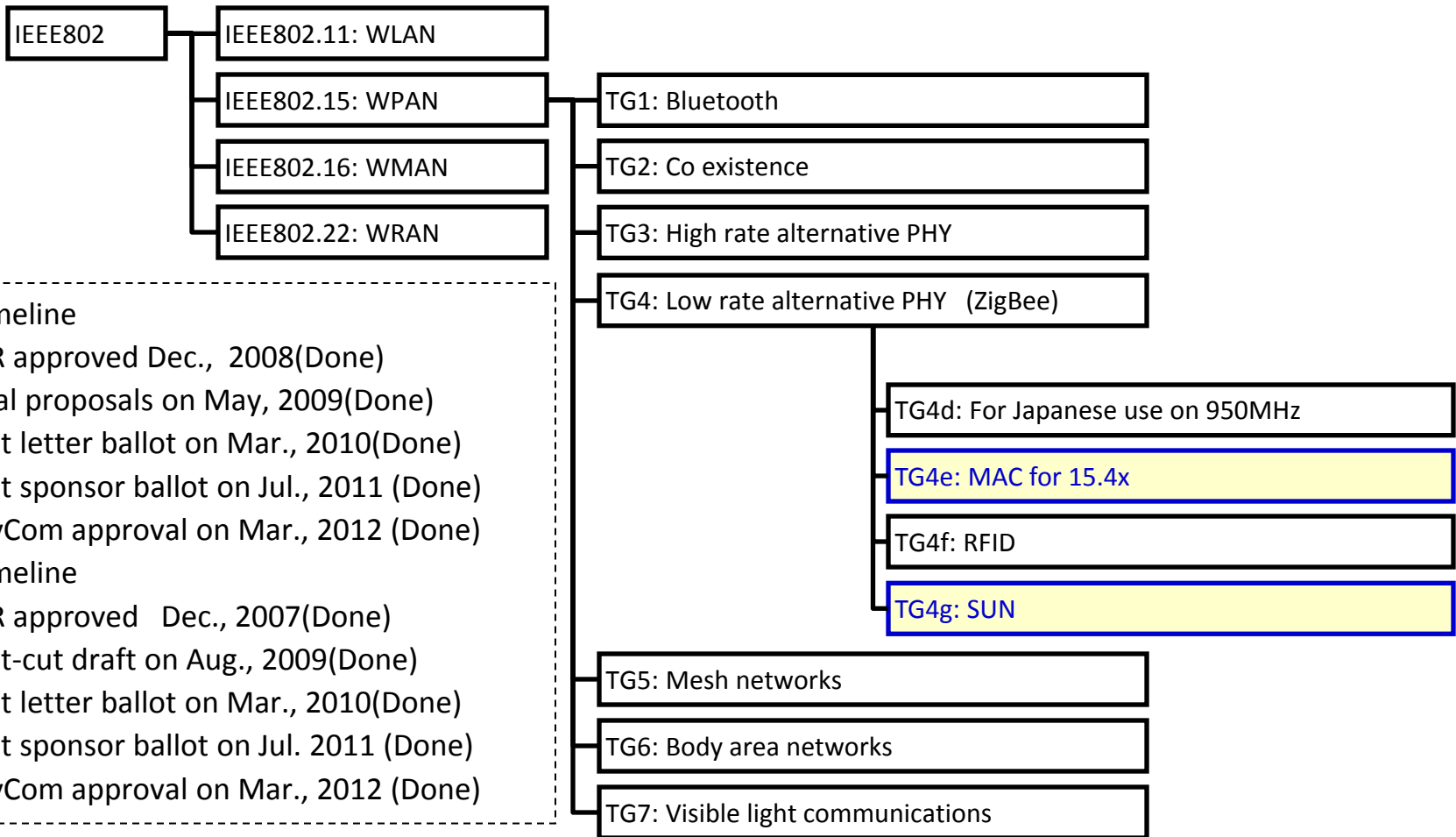


- SUN の所要条件:
  - ▶ 技術的要件
    - ▷ 基本要件
      - 省電力動作
        - » 電池による10年以上の動作
      - サービスエリア拡張
        - » マルチホップ通信(多段中継、バケツリレー)の効果的適用
    - ▷ 付加的要件
      - インターネット/クラウドとの連携
        - » 状況に応じた効果的なエネルギー消費削減が可能
        - » インフラ側は、移動端末対応等の無線システムの利点を楽しむ
      - 柔軟なシステム周波数割当て
        - » 将来的なひっ迫に対する加入者容量の向上
        - » コグニティブ無線技術、TVホワイトスペース技術等との連携
      - 非常時通信への対応
        - » 省電力動作や、ロバストな無線通信手段を有効利用
  - ▶ 社会的要件
    - 国内/国外での普及を推進するための適切な標準化が必要

# IEEE 802委員会における標準化

# IEEE 802 委員会の構成(抜粋)

- タスクグループ IEEE 802.15.4g、IEEE 802.15.4e が、SUNのためのPHY層仕様、MAC層仕様をそれぞれ策定している



- TG4g timeline
- PAR approved Dec., 2008(Done)
  - Final proposals on May, 2009(Done)
  - First letter ballot on Mar., 2010(Done)
  - First sponsor ballot on Jul., 2011 (Done)
  - RevCom approval on Mar., 2012 (Done)
- TG4e timeline
- PAR approved Dec., 2007(Done)
  - First-cut draft on Aug., 2009(Done)
  - First letter ballot on Mar., 2010(Done)
  - First sponsor ballot on Jul. 2011 (Done)
  - RevCom approval on Mar., 2012 (Done)

- IEEE 802.15.4g は、SUNへの適用のために必要となる標準規格IEEE 802.15.4のPHY変更を策定するタスクグループ
- IEEE 802.15.4g の主な特徴:
  1. 3つのPHY方式(FSK, OFDM and OQPSK) が共存し、割当周波数に応じて独自の諸元が決められている
    - ▷ 国内では、920MHz帯におけるFSK方式が主流
  2. PHY フレーム構造が変更されている
    - ▷ SFD(フレーム開始表示フィールド)がフレームのFEC(誤り訂正符号)に関する情報を含む
    - ▷ フレーム長1500オクテットまで対応するPHY ヘッダ拡張
  3. 異なるPHY間の共存・干渉回避のために、共通信号(CSM; Common Signaling Mode )を用いるMPM(Multi-Physical layer Management) 機構が採用されている

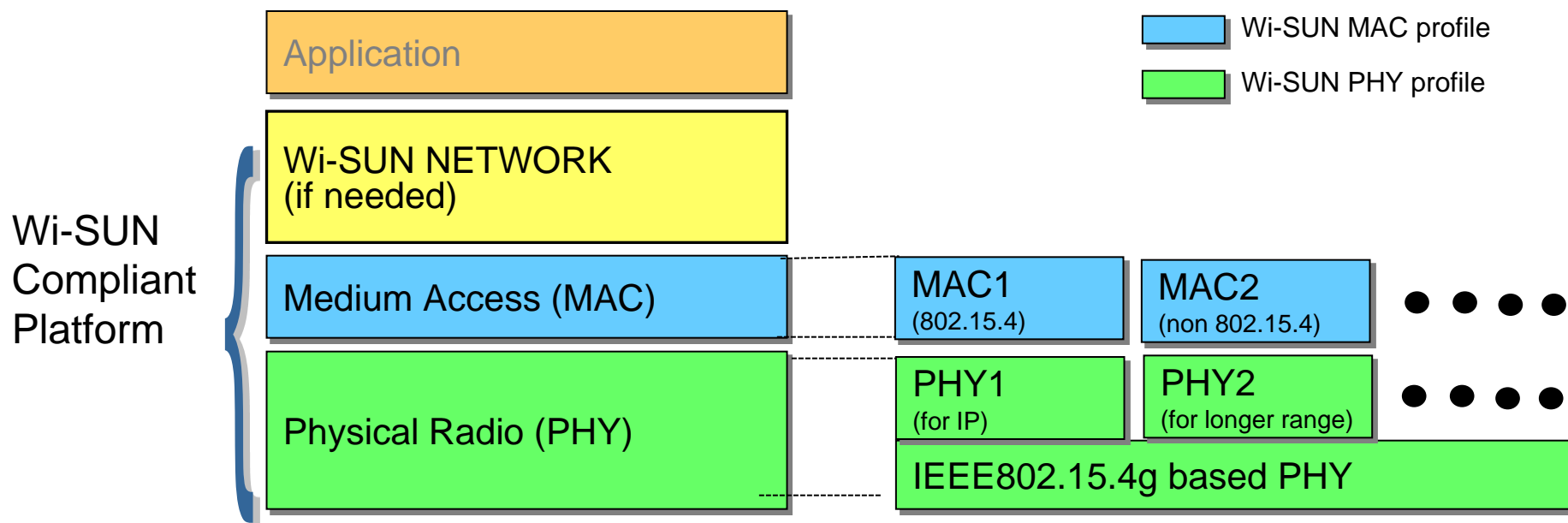


- TG4e は、TG4gを例とするすべての“PHY変更規格”をサポートするために必要となる標準規格IEEE 802.15.4のMAC変更を策定するタスクグループ
- SUNに関連するIEEE 802.15.4e の特徴:
  - ▶ 低消費電力のためのMAC変更が提案されている
    - ▷ スーパーフレーム構造の変更によるもの
      - LE Superframe
    - ▷ MACプロトコルの定義によるもの
      - CSL (Coordinated Sampled Listening)
      - RIT (Receiver Initiated Transmission)

# 標準化後の展開

- Wi-SUN アライアンスは、IEEE 802.15.4g規格を用いる無線機の世界初の規格認証団体(2012年1月24日設立)
  - ▶ 設立の背景
    - ▷ IEEE 802.15.4g規格策定後、次の理由等による普及化の遅れが予想された
      - 認証、ならびにベンダ間相互接続性試験を行う機関が存在しなかった
      - IEEE 802.15.4g規格を物理層仕様とする無線機需要の中にも、上位層仕様に多様性がみられた
        - » 例えば、IEEE 802.15.4やIEEE 802.15.4e 以外のMAC層仕様等
  - ▶ プロモータメンバ(アライアンスの運営を行う)
    - ▷ アナログデバイスズ、富士電機、村田製作所、NICT、オムロン、大崎電気、ルネサス、シルバースプリング、シスコシステムズ
  - ▶ Wi-SUNアライアンスのミッション
    - ▷ IEEE 802.15.4g-2012、IEEE 802.15.4-2011規格に基づく無線機要求仕様の策定
    - ▷ ベンダ間相互接続性試験手順の策定
    - ▷ 相互接続性試験手順書、試験設備を具備する試験機関の設立
    - ▷ 市場動向の調査
    - ▷ 営業計画の作成
    - ▷ 他の標準化・認証団体への寄与、ならびに当該団体との連携

- Wi-SUNにおける認証・相互接続性試験の対象は、原則として物理層とMAC層であり、これをWi-SUNプロファイルと定義する
  - ▶ 必要に応じて上位のネットワーク層を含める
  - ▶ アプリケーションに応じて、複数のWi-SUNプロファイルを検討する
- 物理層仕様はIEEE 802.15.4g規格をベースとすることが前提
- MAC層以上の仕様は特にベースを限定しない



# NICTにおける研究開発①: 無線機開発と実証

- SUNに適した新規周波数の調査、基礎実験
  - ▶ 400MHz、950MHz帯
  - ▶ 総務省技術試験事務「400MHz帯以下における特定小電力無線システムの高度利用技術に関する調査検討」(平成19年度～21年度)
- IEEE802.15.4gベースの物理層に接続可能な低消費電力、ロングライフ型MACの開発→IEEE802.15.4eに提案
- SUN用無線機の開発および実証試験



# 伝搬特性評価: 実験概要

## 装置外観図



## 装置諸元

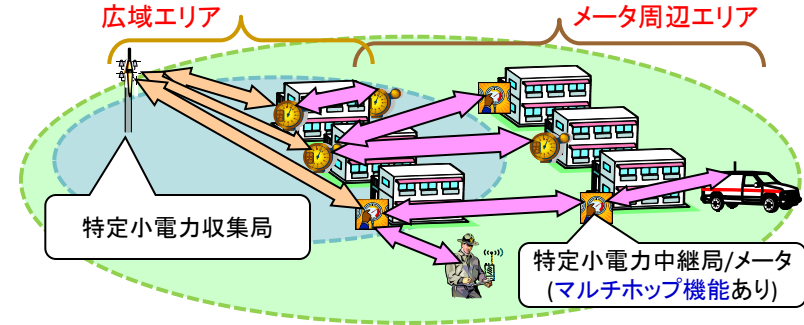
データレート625kbpsの測定用信号系列を用いた、約1kmの距離分解能による遅延プロファイル測定を想定

実験周波数帯	426MHz, 950MHz帯MHz
電波の型式	X7W/G7W/N0N
帯域幅	~799kHz
最大空中線電力	10dBm
空中線利得	2.15 dBi
アンテナ	ホイップ(V偏波)

## 実地測定の検討

エリアに関して2種類のパラメータを設定し、それぞれについてデータ取得を検討した。システムとしてのデータ伝送経路は、2エリアの結合によって成立

- ・ **広域エリア**  
高位置にある収集局に向けて、低位置のメータからデータ伝送
- ・ **メータ周辺エリア**  
低位置のメータ間のデータ伝送。マルチホップ通信あり



### 広域エリアにおける実地測定検討

- ・ 試験信号の送信装置(Tx)を5m程度の高所に設置: 収集局を想定
- ・ 1m程度の低所にある受信装置(Rx)によって以下のデータを取得:
  - ・ 受信電力
  - ・ 遅延プロファイル
- ・ 受信装置を実験車両に搭載し、移動経路に沿った測定ポイントでそれぞれ静特性データを取得
- ・ 送受信を入れ替えた場合の特性も取得

### 実地測定イメージ



### メータ周辺エリアにおける実地測定検討

- ・ 建物付近にある送信装置(Tx)、受信装置(Rx)によって以下のデータを取得
  - ・ 受信電力
  - ・ 遅延プロファイル
- ・ 受信装置を実験車両に搭載し、移動経路に沿った測定ポイントでそれぞれ静特性データを取得

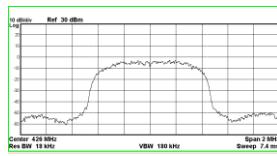
### 実地測定イメージ



さらに、エリアに関するパラメータの他に、以下のパラメータについて検討した

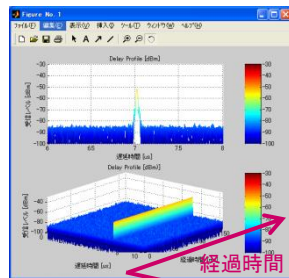
- ・ 見通し状態に関するパラメータ: 低位置のメータ間のデータ伝送。マルチホップ通信あり
- ・ メータ設置状態に関するパラメータ: 遮蔽、水没、埋没等、メータ設置状態を表すパラメータ

## 測定用信号形成例



## 遅延プロファイル解析例

### 遅延プロファイル



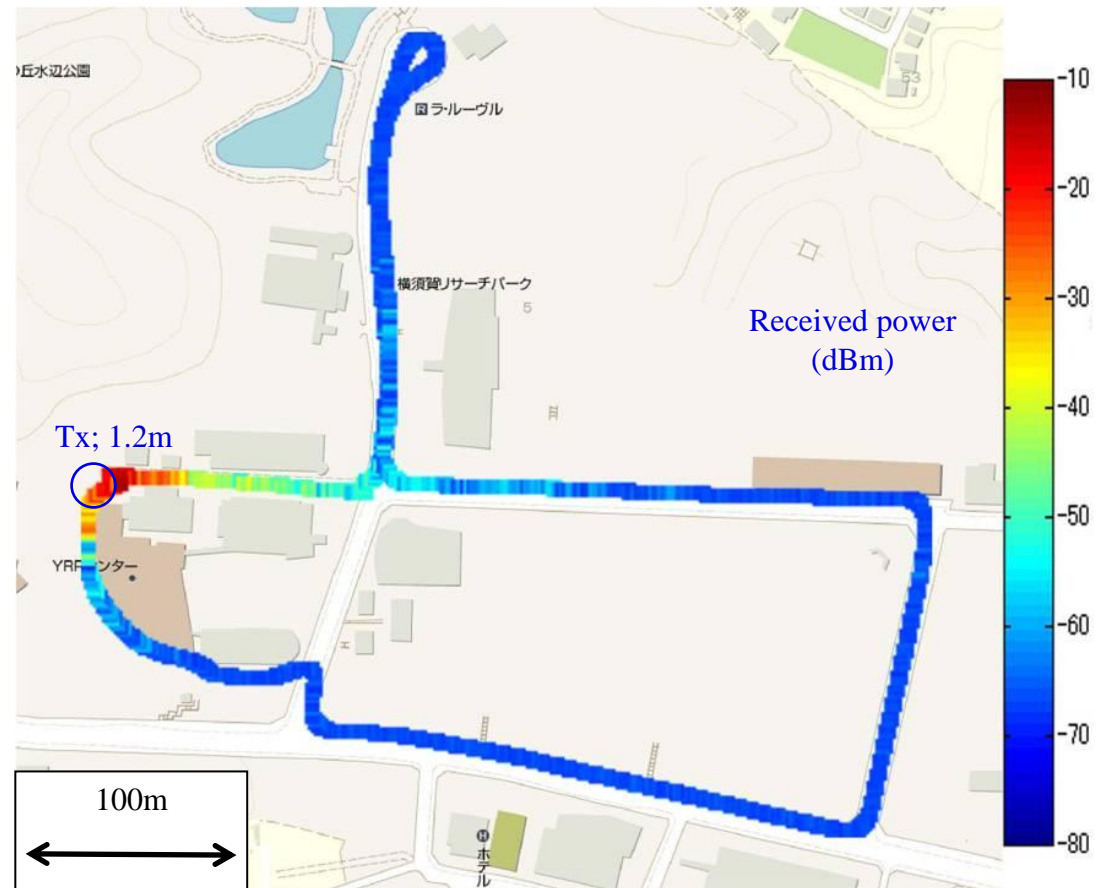
### 遅延プロファイルの時間的な変動

遅延時間

- 送信電力10mW時、-60dBm以上の受信電力が得られるエリアは200m程度

Center frequency	953.0MHz
Transmission power	10mW
Antenna gain	2.15dBi
Antenna height	1.2m
Modulation scheme	BPSK
Signal bandwidth	768kHz
Symbol rate	312.5kbps

実施エリア

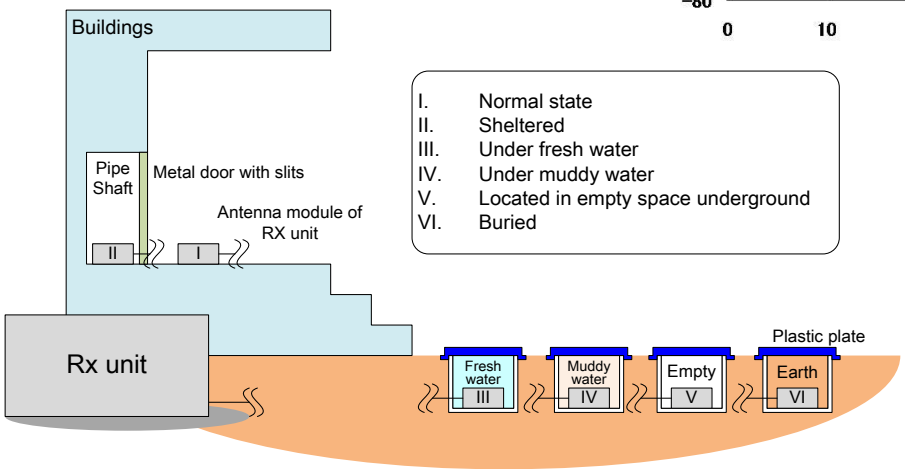
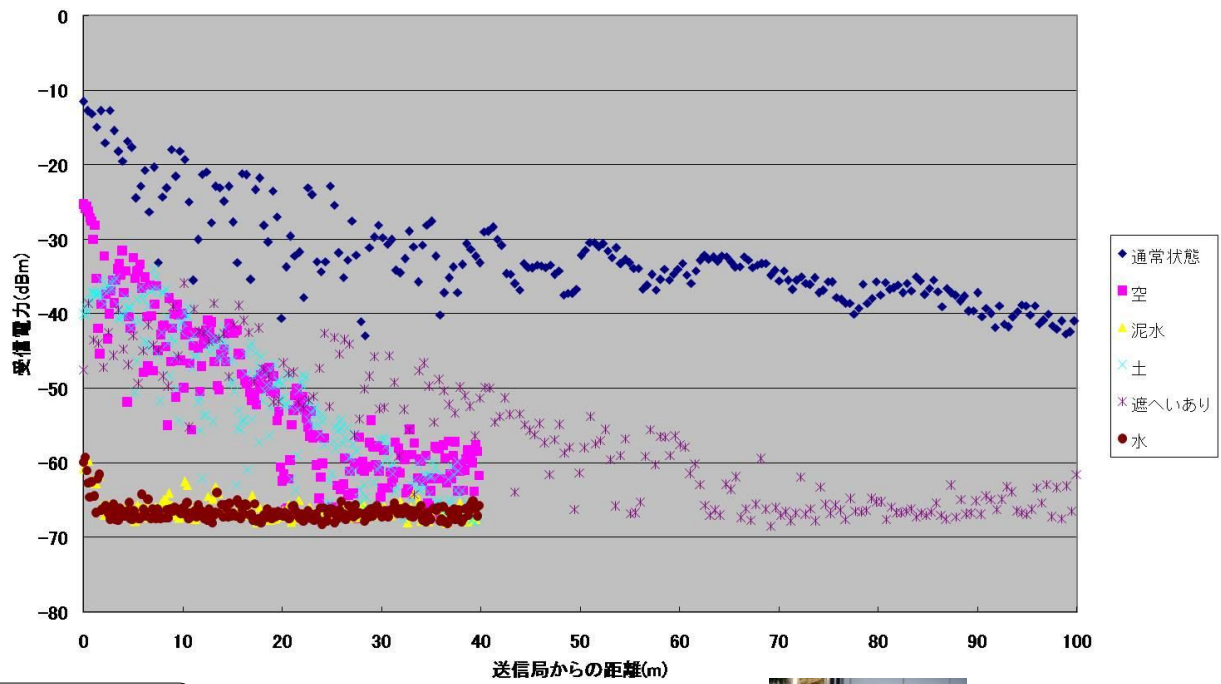




● メータの設置状況について、相対的に以下の減衰を受けることがわかった

- ▶ 遮蔽: 20dB減衰
- ▶ 水没(水): 40dB~50dB減衰
- ▶ 水没(泥水): 40dB~50dB減衰
- ▶ 埋没(土なし): 20dB~30dB 減衰
- ▶ 埋没(土あり): 20dB~30dB減衰

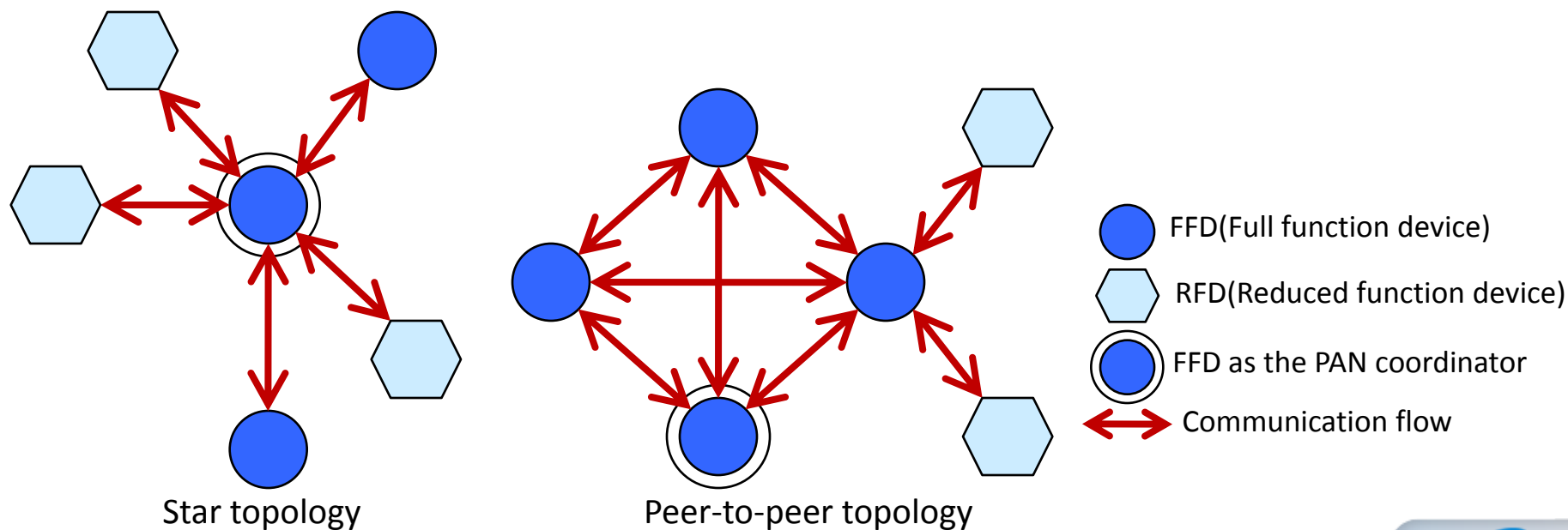
劣化量評価 近辺計測



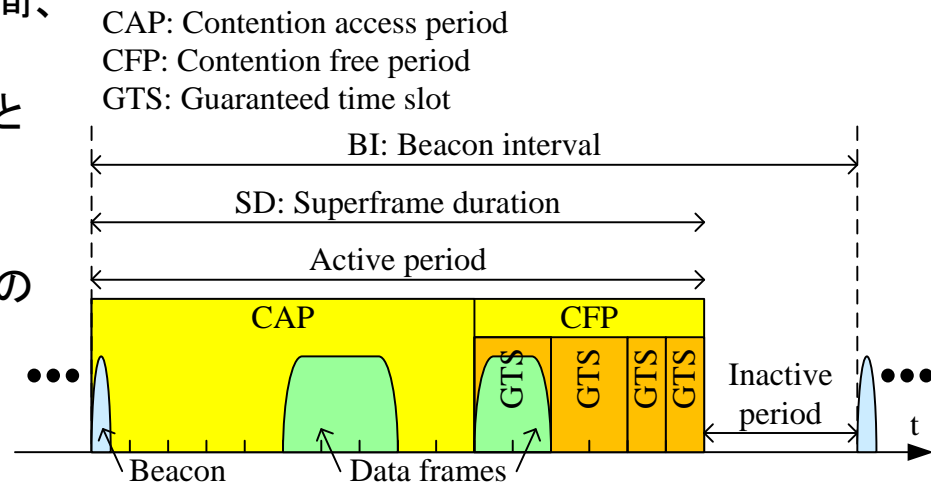
メータ設置状況を想定したアンテナ配置の例



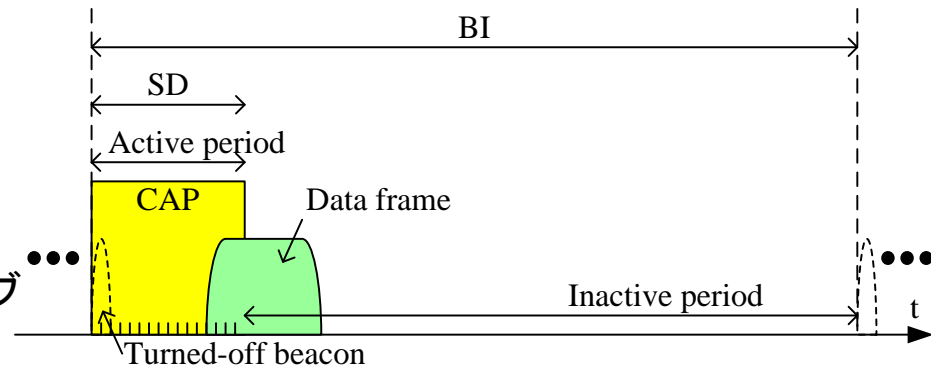
- 既存規格IEEE 802.15.4のトポロジを運用
  - ▶ 2種類の無線デバイス
    - ▷ FFD (Full function device): 新規デバイスのPAN加入承認、スーパーフレームの定義が可能
    - ▷ RFD (Reduced function device): 以上の機能を有しない機能制限型デバイス
  - ▶ 2種類のネットワークトポロジ
    - ▷ Starトポロジ(Beacon-enabled PAN): デバイス間にマスター・スレーブの関係。マスターが定期的な同期用信号(ビーコン)を送信することによるTDMA制御
    - ▷ Peer-to-peerトポロジ(Non-beacon-enabled PAN): 全デバイスが対等。CSMA制御



- StartポロジにおいてFFD は、定期的なビーコンの送信によりTDMA制御を行う
  - ▶ BI(ビーコン間隔; TDMA周期): アクティブ期間、非アクティブ期間から成る
    - ▷ アクティブ期間: スーパーフレーム長(SD)として定義され、CAPとCFPから成る
      - CAP: コンテンションアクセス期間
      - CFP: タイムスロット(GTS)予約型のコンテンツンフリーアクセス期間
    - ▷ 非アクティブ期間: スリープ期間
- 既存スーパーフレームの変更による省電力化
  - ▶ ビーコンの休止
    - ▷ BI によるTDMA制御は保持
    - ▷ ビーコンは原則オンデマンドで送信
  - ▶ アクティブ期間外までのデータ送信延長
    - ▷ 受信希望者だけが受信延長
    - ▷ データサイズに関わらず、短いアクティブ期間の運用が可能



(a) Superframe in IEEE 802.15.4 MAC



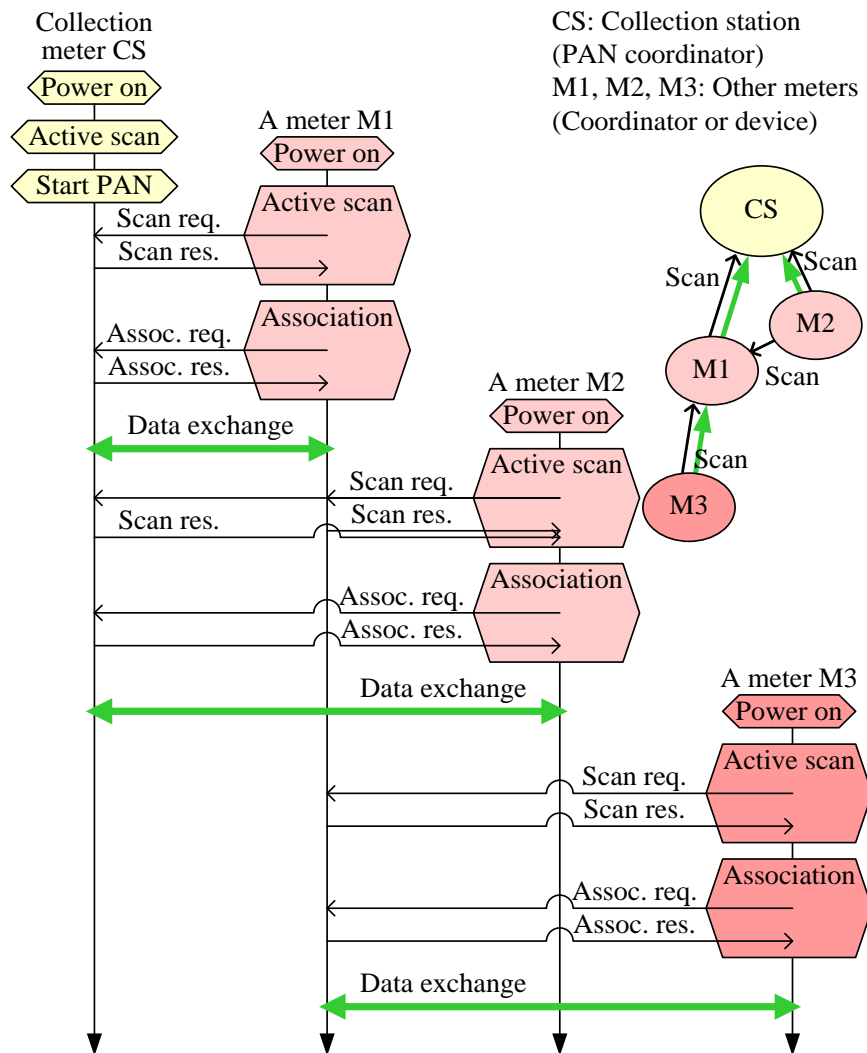
(b) Modified superframe proposed in IEEE 802.15.4e

## ● 電源投入時

- ▶ SUN収集局(CS; Collection Station)は PAN IDならびに自身のスーパーフレームを定義し、PANを立ち上げる
- ▶ メータはアクティブスキャンにより、収集局や、他のメータ(FFDで収集局に接続済のもの)を発見し、アソシエーションを行う

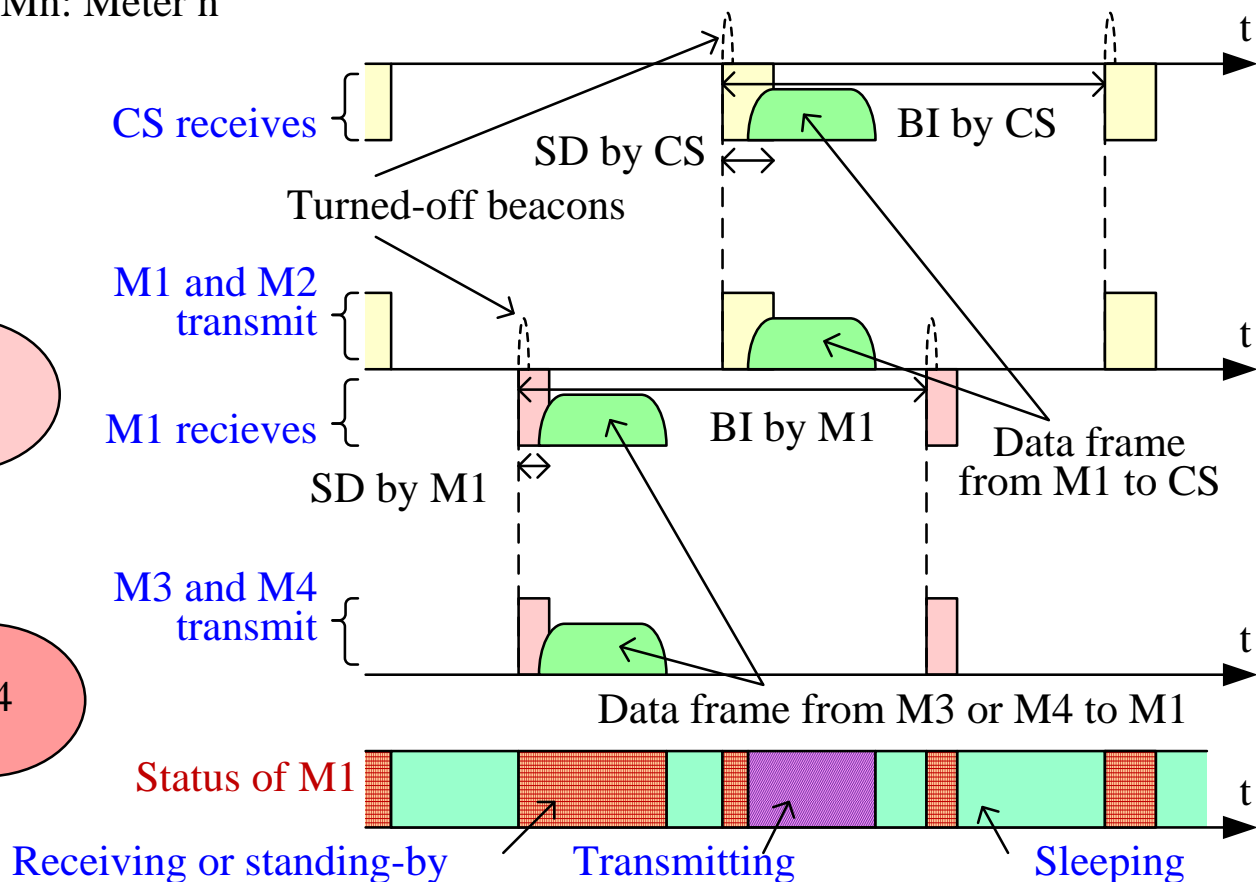
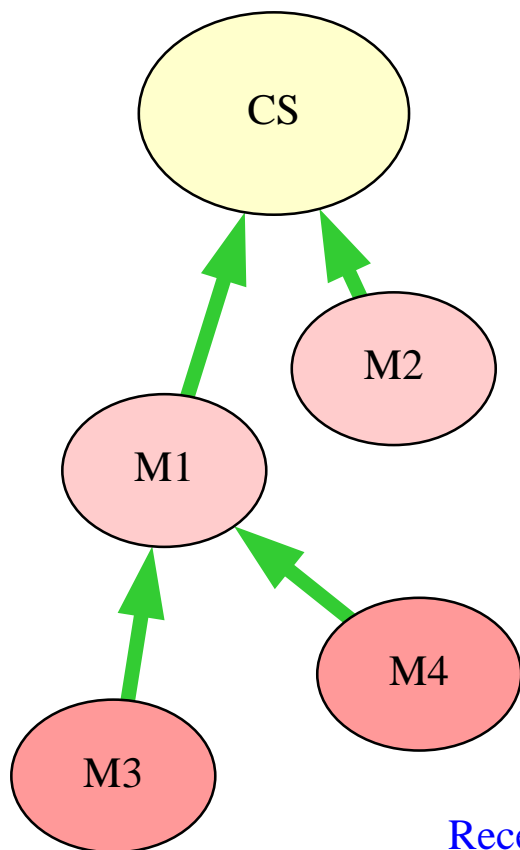
## ● アソシエーション後

- ▶ FFD は、他の新規メータ等によるアクティブスキャンに応答し、自身のスーパーフレームを通知する
- ▶ FFDは、アソシエーション要求があった場合に、これを受理することができる



- 収集局を根とするTree状のネットワーク形状を実現
  - ▶ 本図では、メータM1が、CSの定めるスーパフレームと、自身で定めるスーパフレームの2種類の通信周期に従いながら収集局へのデータ中継を行っている

CS: Collection station, Mn: Meter n





- 3段階のPhaseから成るプロトタイプ開発を行った

- Phase 1: 小型ロングライフ小電力無線デバイス
  - ▶ 小型端末の試作
  - ▶ 独自の無線通信仕様



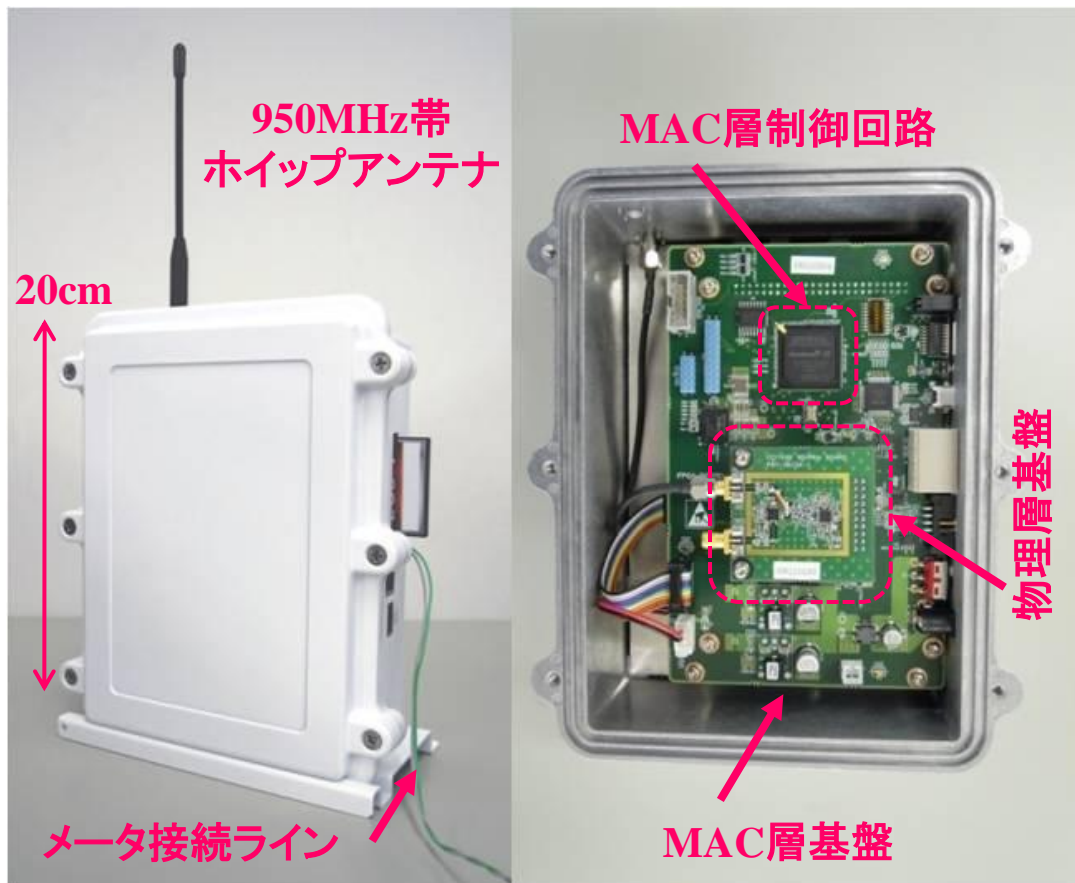
- Phase 2: PHY/MAC詳細仕様検討用試験装置
  - ▶ 標準規格を意識したPHY/MAC方式の基礎実証試験



- Phase 3: IEEE 802.15.4g/4e準拠SUN実証装置
  - ▶ IEEEドラフト準拠のPHY/MAC方式を実装
  - ▶ ガスメータとの接続、実証試験

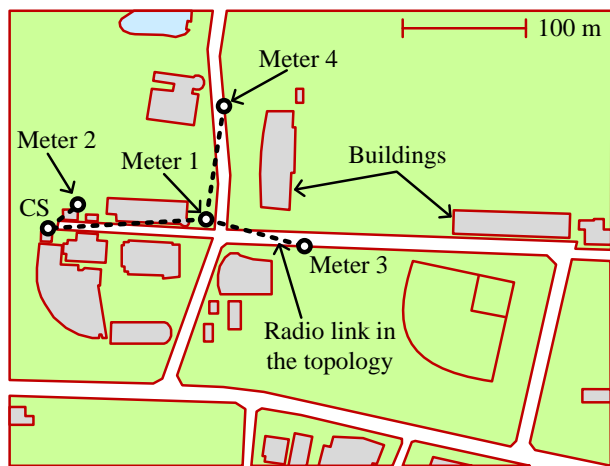


- IEEE802.15.4g/4e ドラフト準拠のPHY/MAC仕様実装
- LE-Superframeの実装
- ガスメータとの接続・動作の実証試験

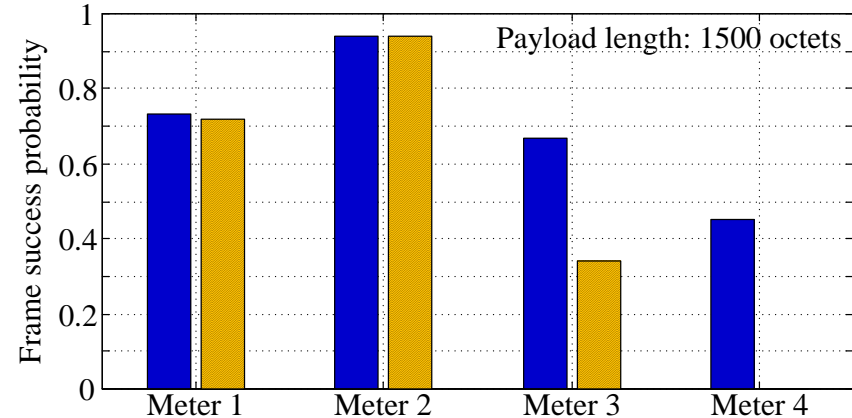
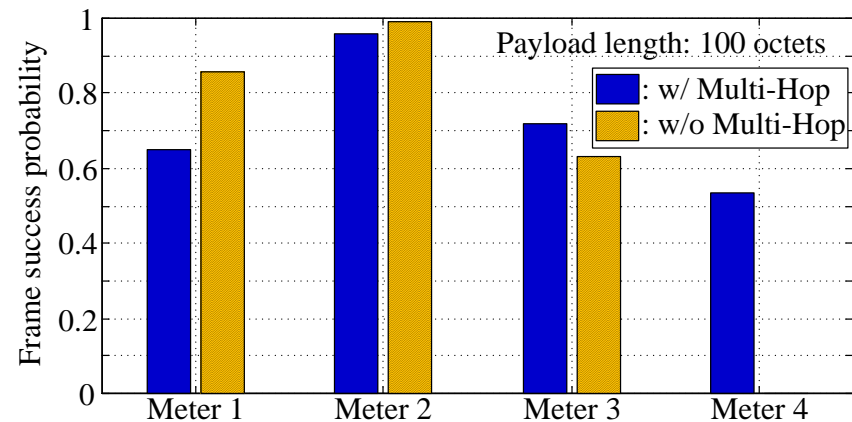


装置諸元	
Frequency	953MHz
Transmission power	10dBm
Modulation scheme	2GFSK
Data rate	50/100/200kbps
Payload length	~1500octet
MAC scheme	IEEE 802.15.4e
Routing scheme	TREE routing

- マルチホップ通信によるサービスエリアの拡張効果を確認
- LE-Superframeの実装により、アクティブ期間長以上のデータ (1500octet) の通信を達成



Experimental setup	
Frequency	953MHz
Transmission power	10dBm
Modulation scheme	2GFSK
Data rate	100kbps
Payload length	100/1500 octet
Frame arrival interval	60s
MAC scheme	IEEE 802.15.4e
Beacon interval	9.83s (BO=10)
Active period length	76.8ms (SO = 3)
Routing scheme	TREE routing





# SUN無線機実証: ガスメータ

- ガスメータ実機とのインタフェースを具備し、検針値の収集を実証



スマートメータ 検針・制御システム

目盛設定

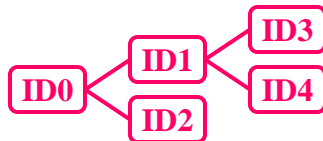
**SUNによるスマートメータ検針・制御システム**

No.	ID	受信時刻	検針時刻	メータ値
29	3	10:28:40	10:25:45	000004.813
28	1	10:28:30	10:28:08	000004.813
27	4	10:28:20	10:25:47	000006.177
26	2	10:28:10	10:25:51	000004.817
25	4	10:25:40	10:24:47	000006.177
24	3	10:25:20	10:24:45	000004.813
23	2	10:25:10	10:24:51	000004.817
22	3	10:24:40	10:23:45	000004.813
21	1	10:24:30	10:24:08	000004.813
20	4	10:24:20	10:23:47	000006.178
19	2	10:24:10	10:23:51	000004.817
18	4	10:23:30	10:22:47	000006.165

メータ 4

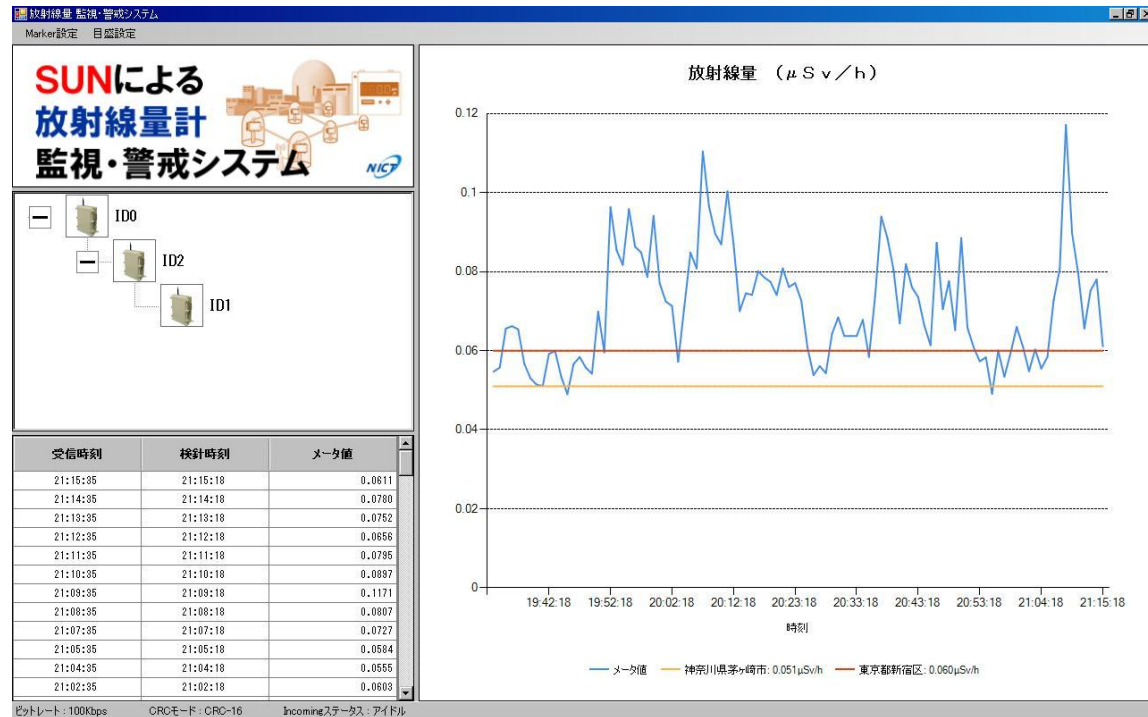
メータ1	メータ2	メータ3	メータ4
000004.813	000004.817	000004.813	000006.177
メータ5	メータ6	メータ7	メータ8

収集・制御局(ID0)と、4台のメータ(ID1~4)の、無線によるツリー形状の中継経路を表示。ここでは、ID0の下にID1と2が接続し、ID1の下にさらにID3と4が接続。



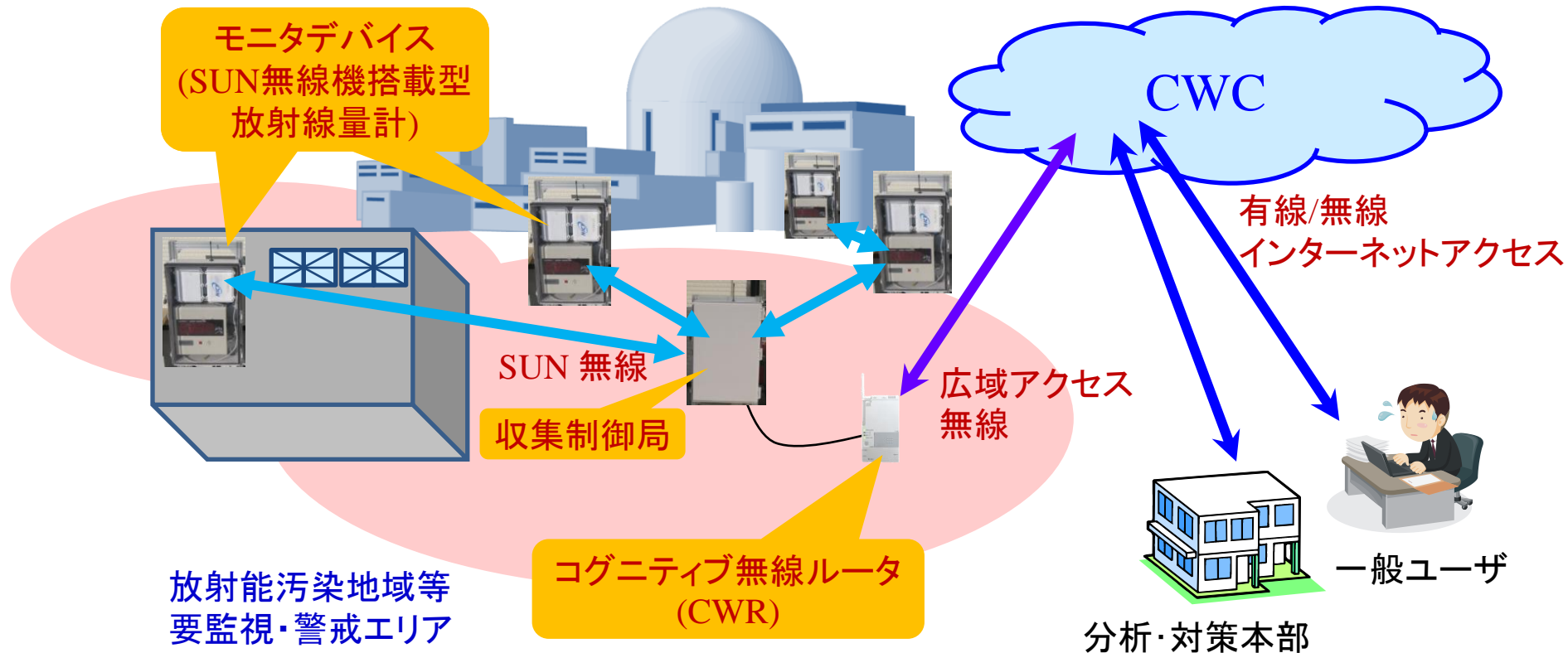
収集制御局(ID0)に到来する、4台のメータからの検針値 (メータ値; 単位は [m<sup>3</sup>]) をそれぞれ表示。ここでは、メータ 4 (ID4) の検針値の時間的な増加を示している。

- 放射線量計との接続により、放射線量データの時間変化を伝達
  - ▶ 放射線量の高い地域において人が立ち入らず、長期間にわたり放射線量を監視する手段の一形態を実証



# 放射線量モニタリングシステムへの適用

- 要監視・警戒エリア内の放射線量計間をSUN無線で結び、全放射線量計の測定データをリアルタイムで収集
- 収集データは、コグニティブワイヤレスクラウド(CWC)等広域ネットワーク上サーバにアップロードされ、全世界からのアクセス・活用が可能
- 福島県川内村における設置実績(2011年12月~2012年3月)



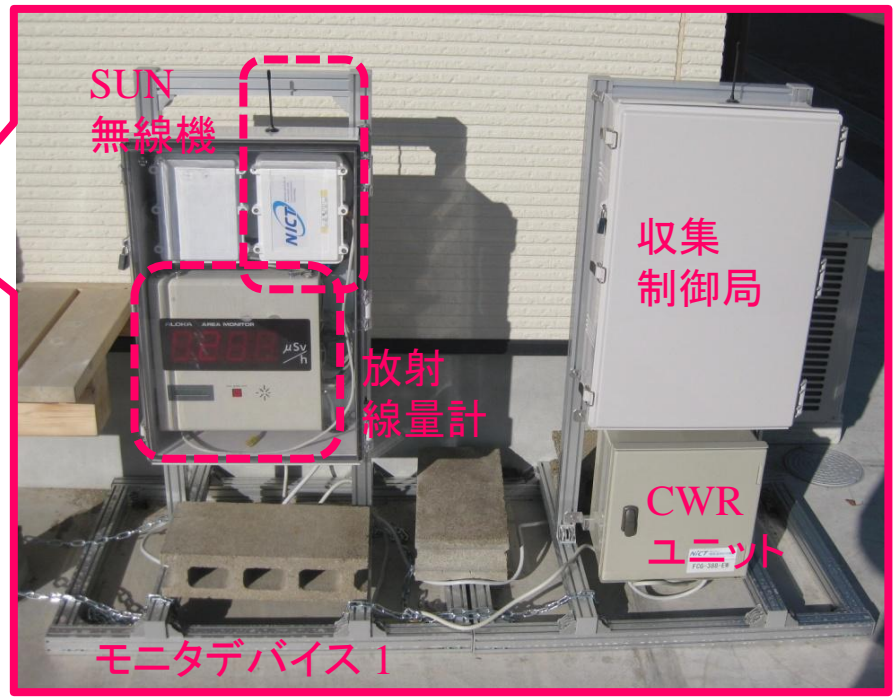
- モニタデバイス (SUN無線機搭載型放射線量計) 2台と、コグニティブ無線ルータ (CWR)と接続した収集制御局1台を設置



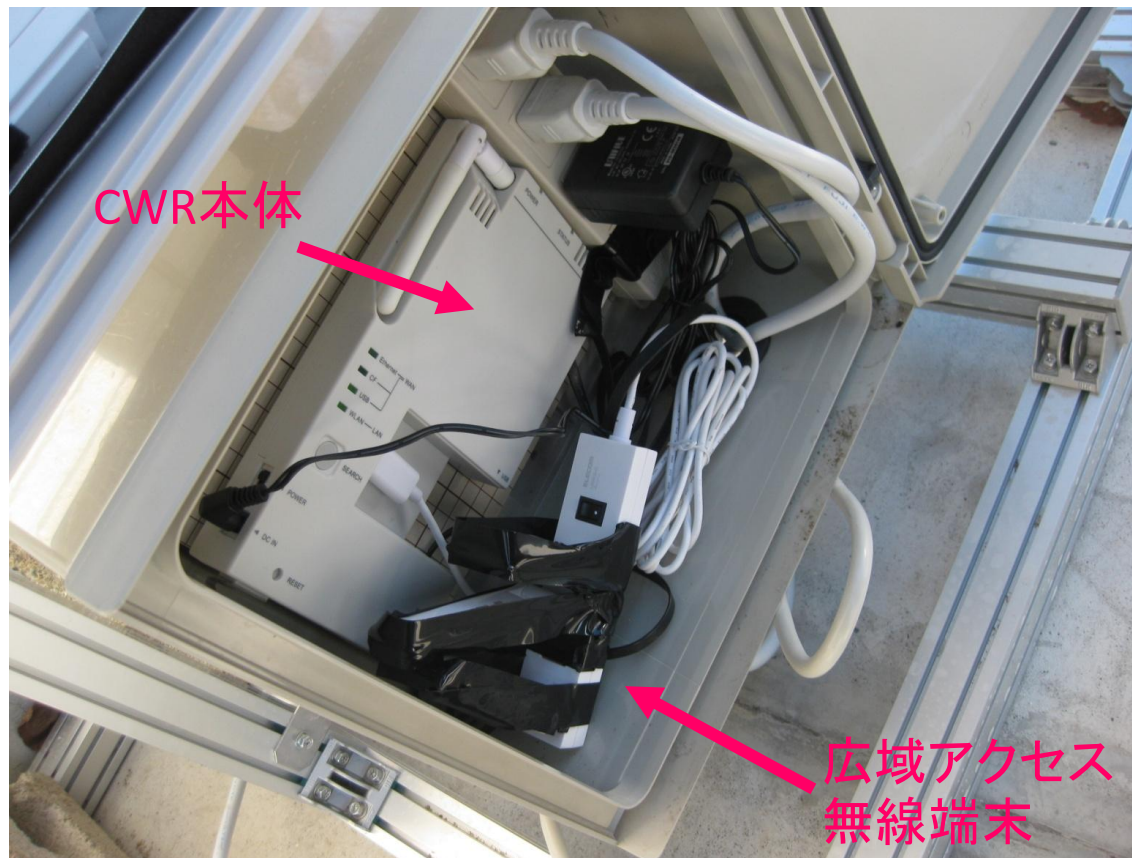
一般諸元	
モニタデバイス筐体サイズ	60 cm × 40 cm × 18 cm
モニタデバイス全高	100 cm
放射線量計諸元	
検出部高さ	50 cm
測定線種	ガンマ線
検出器	シリコン半導体検出器
測定エネルギー範囲	50 keV - 6 MeV
測定線量範囲	0.1 - 999.9 $\mu$ Sv/h
SUN無線機設定値	
送信電力	10 mW
周波数	955.6 MHz
変調方式	2GFSK
データレート	50 kbps
MAC	IEEE 802.15.4e
アクティブ期間比率	0.8 %
ルーティング	Tree routing
放射線量データ送信間隔	60 s
コグニティブ無線ルータ諸元	
広域アクセス無線	WILLCOM, EMOBILL, NTTdocomo
コグニティブ無線網仕様規格	IEEE 1900.4



- 各モニタデバイスは、放射線量計の測定値データをSUN無線機を通じて定期的に発信
- 収集制御局は測定値データを収集し、コグニティブ無線ルータを通じてインターネット上にアップロード

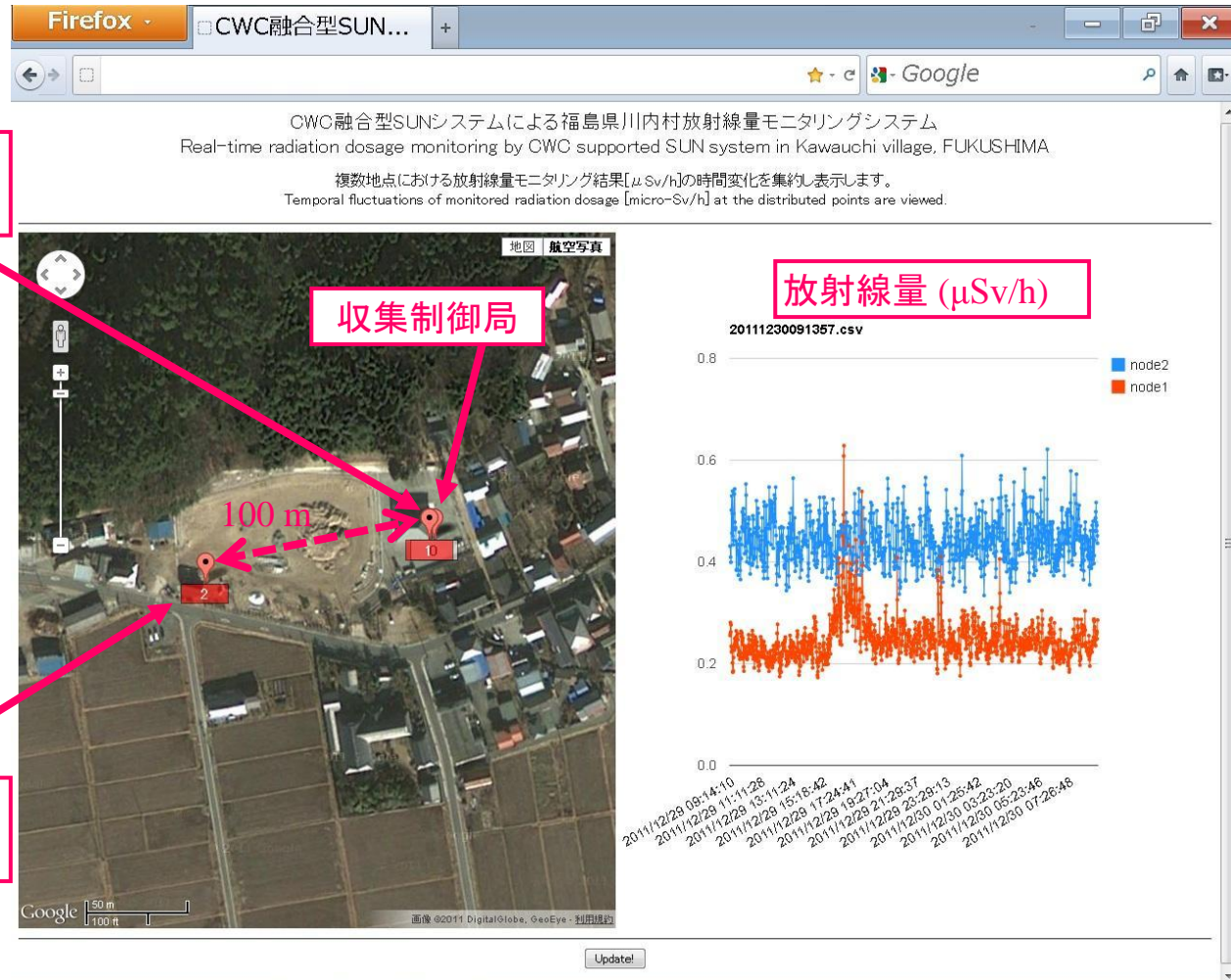


- コグニティブ無線ルータは、現在利用可能な広域アクセス無線リンクを検出・選択し、インターネット接続環境を提供



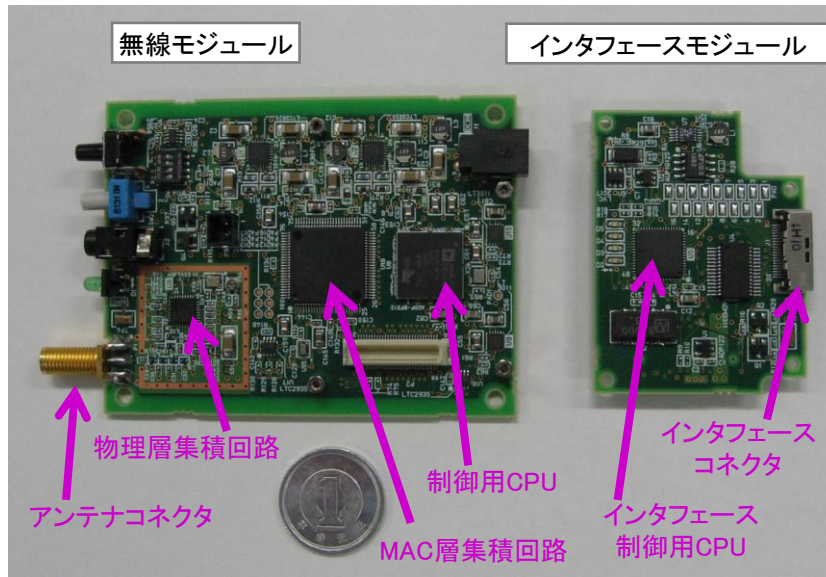


- 放射線量測定値の地理的・時間的変動を、インターネットを介して確認



# 小型・省電力SUN無線機の開発

- IEEE 802.15.4g/4e仕様最終版に準拠した小型・省電力SUN無線機を世界で初めて開発
  - ▶ 標準規格IEEE 802.15.4g/4eに準拠した物理層・MAC層仕様
    - ▷ 国内920MHz帯に対応した物理層仕様 (技術基準適合証明取得済)
      - FSK変調による低コスト実装
      - 検針値等の短データから、2047オクテットの長データまで柔軟に対応
    - ▷ 省電力動作を可能とするMAC層仕様
      - 適切なスリープ期間の設定により平均消費電流を低減
  - ▶ マルチホップ通信をサポート
  - ▶ 上位層プロトコル対応のための拡張が可能
  - ▶ ソフトウェアによるインタフェースの拡張が可能



サイズ	82mm × 70mm × 35mm (アンテナを除く)
重量	165g
周波数	926.3MHz ~ 927.9MHz
送信電力	20mW
変調方式	2GFSK
伝送速度	50kbps、100kbps、200kbps
最大データ長	2047octets
通信距離	約600m
電源	単1形電池 × 3、単3形電池 × 3、AC電源
インタフェース	RS-232C、RS-485、U-LINE (追加拡張可能)



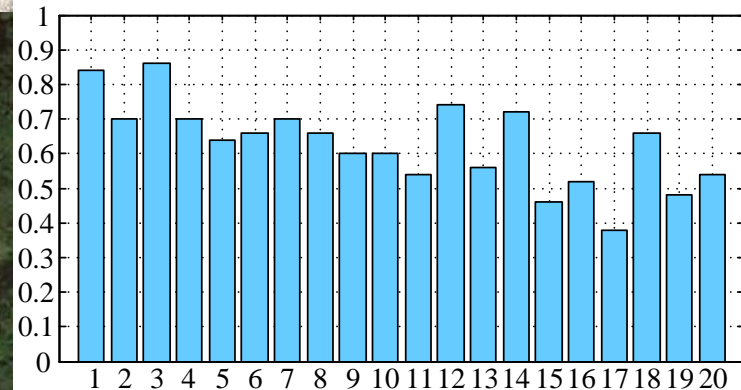
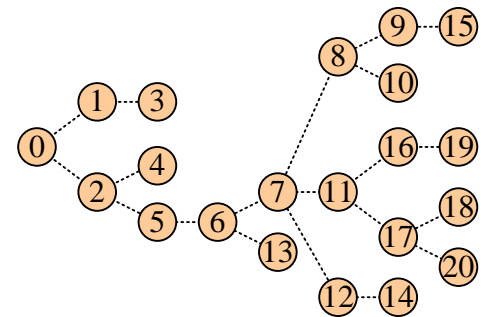
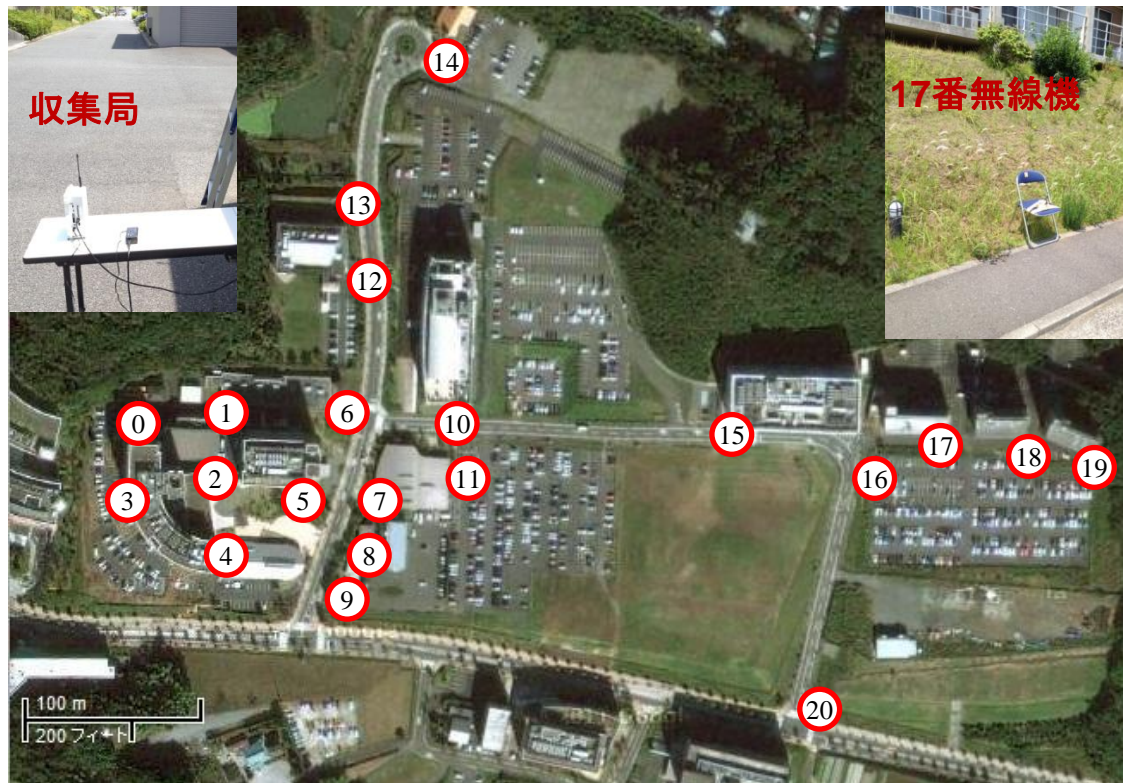
# データ収集実証

## 実証時パラメータ

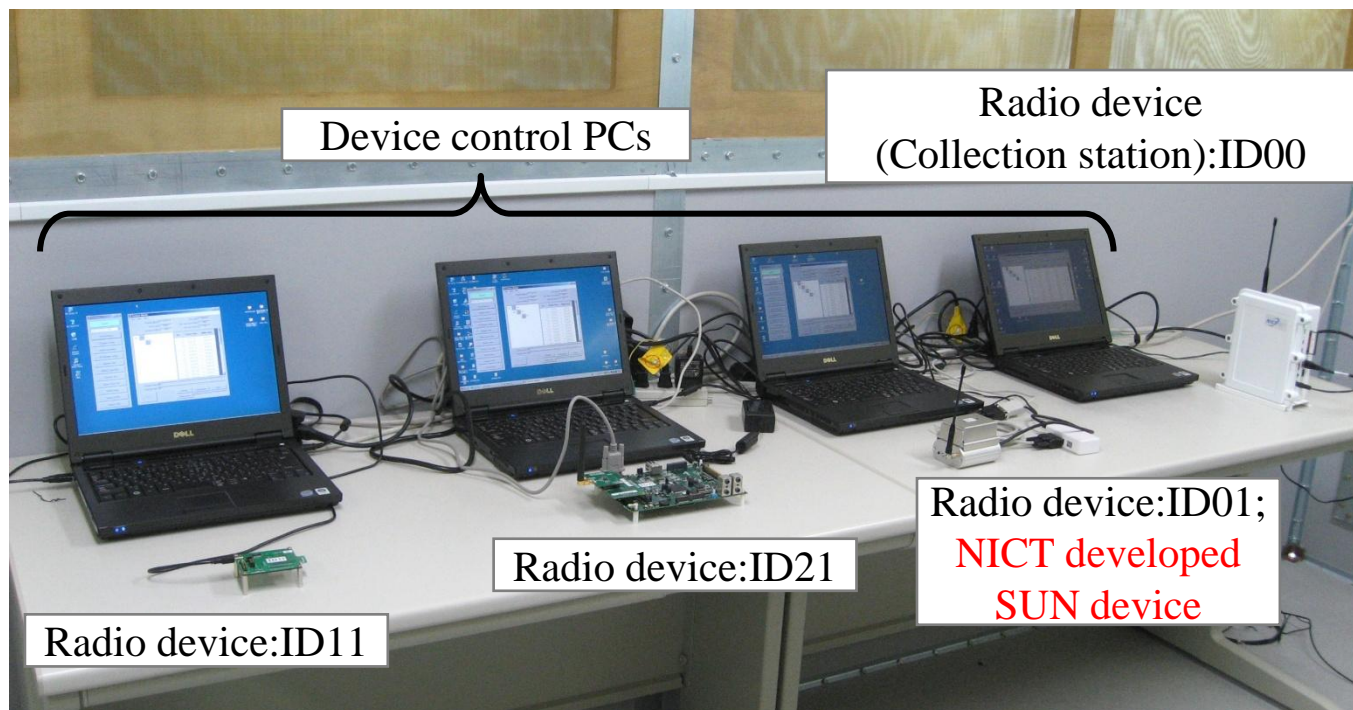
周波数	920MHz
送信電力	20mW
ビーコン間隔	9.83s (BO=10)
アクティブ期間長	76.8ms (SO = 3)
休止ビーコン数	60 (=589.8s)
変調方式	2GFSK
データレート	100kbps
データサイズ	100、1000オクテット
データ発生間隔	240s

- 920MHz帯省電力マルチホップ無線機を20台配置し、省電力スーパフレームの適用による屋内外でのデータ収集実証に成功している
  - ▶ 通信距離: 見通し内で**1ホップ500m程度**の通信距離を確認
  - ▶ 屋外実証: 500m程度の郊外地(以下)におけるデータ収集実証
  - ▶ 屋内実証: ビル内にて、1階、2階、3階に散在する無線機からのデータ収集を実証

## 屋外実証時の無線機配置 (0番が収集局)



- NICTが開発したIEEE 802.15.4g/4e標準規格準拠の小型・省電力無線機が、物理層およびMAC層の両面から、他社開発の無線機との相互接続性を保持することが実証された





- マルチホップ通信による自律分散的なネットワークポロジ構築動作を確認した

The screenshot displays the FormRxMeas software interface. At the top, there are configuration fields: Terminal address (0), Select Hz channel [MHz] (920.6), Total bits (1552000), Bit rate (50Kbps), CRC mode (CRC-32), Total error bits (0), File name, and BER (0.000000E+00). There are 'Clear' and 'Output to file' buttons. Below the configuration is a 'Radio network topology' diagram showing a multi-hop network with nodes ID00, ID01, ID21, and ID11. A table of 'Collected data' is shown, listing transmission details for various packets. At the bottom, there are status indicators for 'Incoming status' (Not operational) and 'Outgoing status' (Idle), along with control buttons: Topology Reconfig, Disassociate, Reset, and Timer.

No.	ID	Received time	Generated time	Send bit	Error bit	CRC
97	21	08:37:40	00:00:33	16000	0	0
96	11	08:37:20	00:00:32	16000	0	0
95	1	08:37:18	00:00:33	16000	0	0
94	21	08:37:06	00:00:32	16000	0	0
93	11	08:36:50	00:00:31	16000	0	0
92	1	08:36:48	00:00:32	16000	0	0
91	21	08:36:36	00:00:31	16000	0	0
90	11	08:36:20	00:00:30	16000	0	0
89	1	08:36:18	00:00:31	16000	0	0
88	21	08:36:06	00:00:30	16000	0	0
87	11	08:35:50	00:00:29	16000	0	0
86	1	08:35:48	00:00:30	16000	0	0
85	21	08:35:36	00:00:29	16000	0	0
84	11	08:35:20	00:00:28	16000	0	0
83	1	08:35:18	00:00:29	16000	0	0

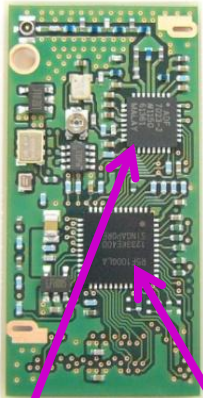
# NICTにおける研究開発②: 無線機のさらなる高度化へ

# 高度化無線機の開発

- Wi-SUNプロファイルに対応したプロトコルスタックを選択実装
  - ▶ 標準規格IEEE 802.15.4gに対応した物理層
    - FSK変調による低コスト実装仕様 (国内920MHz帯技術基準適合証明取得済)
    - 検針値等の短データから、2047オクテットの長データまで柔軟に対応
    - 所望受信品質に応じてシステムティック誤り訂正符号を適用可能
  - ▶ 省電力動作を実現するMAC層
    - 適切なスリープ期間の設定により平均消費電流を低減可能
    - 標準規格IEEE 802.15.4e、ANSI/TIA PN-4957.200を選択実装
  - ▶ 上位層プロトコルおよび外部機器対応のためのインタフェースを具備
    - マルチホップ通信 (多段中継) をサポート可能
    - ECHONET Liteをサポート可能 (TTC JJ.-300.10規格準拠)
    - インタフェースのソフトウェア拡張が可能

無線モジュール

40mm × 20mm



物理層集積回路

制御用MCU

(裏面)



MAC層集積回路

無線機実装例と諸元

インタフェースモジュール、  
 バッテリーを具備した無線機  
 の実装例

※ 本無線機のプロトコル  
 スタックのソフトウェア  
 実装 (Porting) も検討  
 可能



920 MHz帯  
 ホップ  
 アンテナ

サイズ	85mm × 70mm × 35mm (アンテナを除く)
重量	165g
周波数	920MHz~928MHz
送信電力	20mW
変調方式	2GFSK
伝送速度	50kbps、100kbps、200kbps
最大データ長	2047octets
通信距離	約500m
電源	単3形電池 × 3、AC電源
消費電流	アクティブ時: 50 mA、スリープ時: 2 mA
外部通信インタフェース	RS-232C、RS-485、U-LINE (追加拡張可能)

- SUN機器は、物理層・MAC層・上位層からなる層構造によってそれぞれ適切に制御されることにより、所望のサービスを実現する。この層構造をSUNスタックと呼称し、各層における制御の選択実装について検討する

- ▶ SUNスタック

- ▷ 上位層

- 物理層・MAC層の存在を前提とした、ユーザアプリケーション提供のための制御を実施

- ▷ MAC層

- 一対一の通信を効率的に実現するための、通信媒体(チャンネル)共用や再送等の制御を実施

- ▷ 物理層

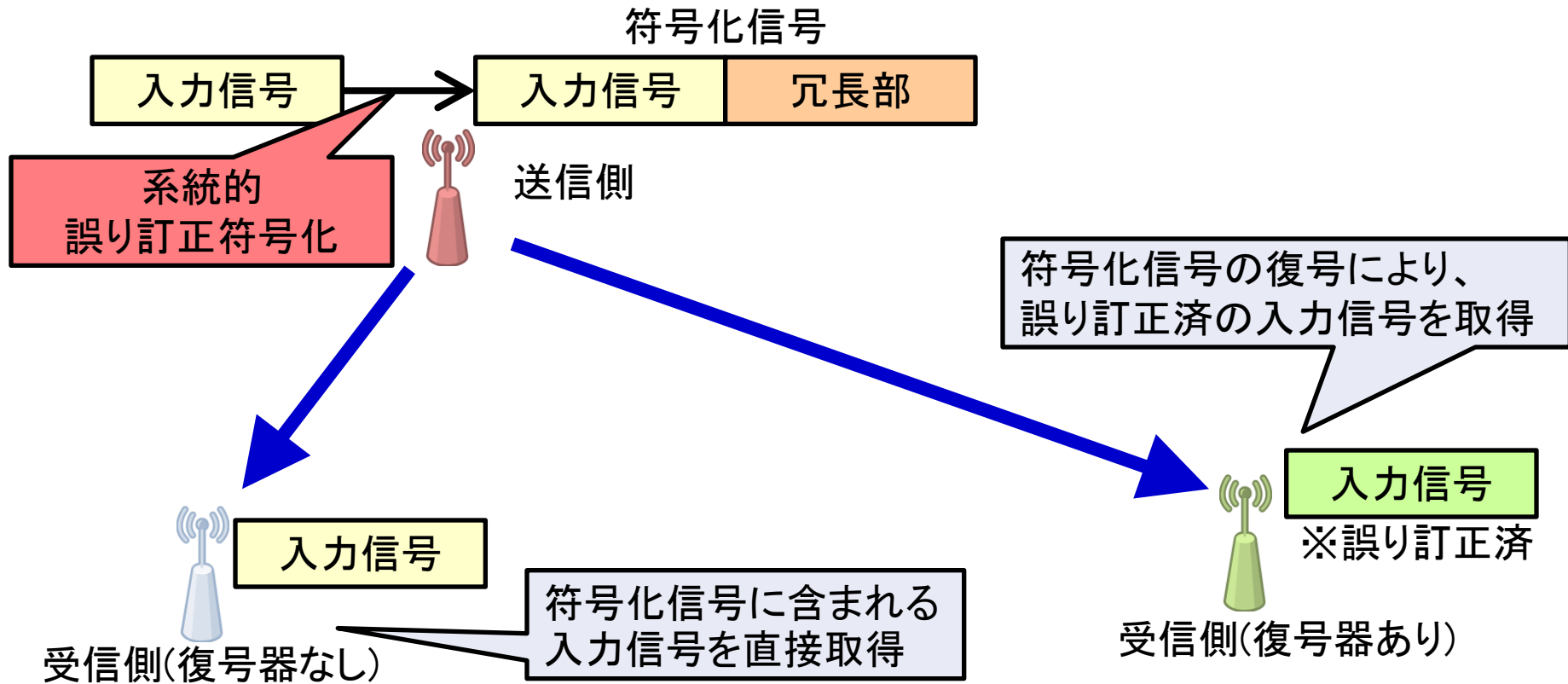
- 無線電波の諸元や信号の符号化形式等、データ伝送形式を規定

※ Wi-SUNアライアンスにおける認証・相互接続性試験の対象は物理層とMAC層であり、必要に応じて上位層を含める。特定のアプリケーションに対するSUNスタックの実装形態はWi-SUNプロファイルと呼ばれている。



# 所要通信品質に応じた誤り制御

- 想定サービスや利用環境に起因する所要通信品質に応じて、受信側で柔軟に無線機構成を選択できる、**系統的誤り訂正符号化**を適用可能
  - ▶ 系統的誤り訂正符号化の場合、入力信号が直接符号化信号の一部に含まれるため、受信側で復号機能を持たなくても原信号の取得が可能



- IEEE 802.15.4/4e規格、ANSI/TIA PN-4957.200規格に準拠するMACをそれぞれ選択実装可能。いずれのMACも、スリープ期間を効果的に活用する省電力動作のための拡張機能を規定
  - ▶ IEEE 802.15.4/4e
    - ▷ 同期型ツリー状ネットワークを用いるビーコンモード、非同期型メッシュ状ネットワークを用いるノンビーコンモードが存在
      - ビーコンモード
        - » 定期的なビーコン信号の送信によりスーパフレームを定義するTDMA型制御
        - » LEスーパフレームの適用による省電力化が可能
        - » スーパフレームを利用したツリー状マルチホップ通信を実現可能
      - ノンビーコンモード
        - » スーパフレームを用いないCSMA型制御
        - » RIT機構の適用による省電力化が可能
  - ▶ ANSI/TIA PN-4957.200
    - ▷ 原則として非同期型メッシュ状ネットワークを用いる。
      - Node announce IE信号の交換による他無線機の発見
      - Flow control IE信号の交換によるチャネル共用の実現
      - Power Saving機構の適用による間欠待受けを利用し省電力化が可能



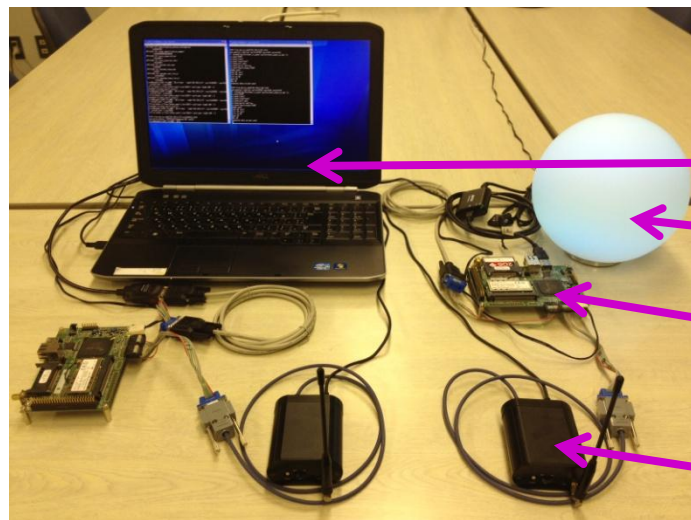
- HEMS標準プロトコルであるECHONET LiteのSUN無線機による実現
  - ▶ 標準規格TTC JJ300.10に準拠したSUNスタックを適用
    - ▷ UDPを利用
    - ▷ 6LoWPANインターフェースを適用
    - ▷ IEEE 802.15.4/4e準拠MACを利用し、ビーコンモードおよびノンビーコンモードの双方に対応

Variable	8 Octet	8 Octet	2 Octet	2-3 Octet	Depends on LOWPAN_IPHC	8 Octet	Variable	2 Octet
IEEE802.15.4g/4e header	Destination MAC address	Source MAC address	Interface Type	LOWPAN_IPHC Encoded	In-line IP fields	UDP Header	ECHONET Lite Payload	FCS



データフレーム構造

ECHONET Liteによる照明の制御を、SUN無線により実現



操作作用PC (操作画面)

照明

IPv6および6LoWPAN インタフェースモジュール

SUN無線機

- 各種IPアプリケーションのSUN無線による実装
  - ▶ 動画像伝送アプリケーション
    - ▷ TCPを利用した低画質IPカメラ信号の伝送を実現
  - ▶ ファイル転送アプリケーション
    - ▷ UDPに基づくTFTPプロトコルによるファイルの分割伝送を実現



**動画像伝送表示画面**



**IPカメラ**

# 将来的拡張と結論

- SUN の所要条件:

- ▶ 技術的要件

- ▷ 基本要件

- 省電力動作

- » 電池による10年以上の動作

- サービスエリア拡張

- » マルチホップ通信(多段中継、バケツリレー)の効果的適用

- ▷ 付加的要件

- インターネット/クラウドとの連携

- » 状況に応じた効果的なエネルギー消費削減が可能

- » インフラ側は、移動端末対応等の無線システムの利点を享受

- 柔軟なシステム周波数割当て

- » 将来的なひっ迫に対する加入者容量の向上

- » コグニティブ無線技術、TVホワイトスペース技術等との連携

- 非常時通信への対応

- » 省電力動作や、ロバストな無線通信手段を有効利用

- ▶ 社会的要件

- 国内/国外での普及を推進するための適切な標準化が必要

## ▷ 付加的要件

### – インターネット/クラウドとの連携

- » 状況に応じた効果的なエネルギー消費削減が可能
  - » インフラ側は、移動端末対応等の無線システムの利点を享受
- コグニティブワイヤレスクラウド(CWC)との連携

- CWCによる、利用状況に応じた適切な無線チャネルの提供
- コグニティブワイヤレスルータ(CWR)によるWAN接続

### – 柔軟なシステム周波数割当て

- » 将来的なひっ迫に対する加入者容量の向上
- » コグニティブ無線技術、TVホワイトスペース技術等との連携

### SUNシステムのTVホワイトスペース利用

- システム共存等を目的とするPHY/MAC仕様が、IEEE 802.15.4mタスクグループにおいて検討されている

### – 非常時通信への対応

- » 省電力動作や、ロバストな無線通信手段を有効利用
- 非常時/災害地におけるSUN活用
- 電力制限を前提としたSUN動作の検討



- ▶ 社会的要件
  - 国内/国外での普及を推進するための適切な標準化が必要  
良質な普及化シナリオが望まれる
    - IEEE 802標準規格による基本技術仕様の策定
    - Wi-SUNアライアンスによる認証・ベンダ間相互接続性実現

- スマートメータ用無線システムであるスマートユーティリティネットワーク(SUN)に関する標準化、普及化の動向を説明し、NICTにおける研究開発を紹介した
  - ▶ スマートメータ用無線の概要
    - ▷ SUNの利用形態: 効率的なエネルギー消費データ収集と制御
    - ▷ SUNの所要条件: 省電力動作、サービスエリア拡張等
  - ▶ IEEE 802委員会における標準化
    - ▷ IEEE 802.15.4g/4eタスクグループにおいて2012年3月標準化終了
      - IEEE 802.15.4g: FSK ベースのPHY仕様提案
      - IEEE 802.15.4e: 省電力型MAC仕様提案
  - ▶ 標準化後の展開
    - ▷ 規格認証団体Wi-SUNアライアンスの設立によるIEEE 802.15.4g無線機間の相互接続性の実現
  - ▶ NICTにおける研究開発
    - ▷ 省電力型マルチホップ通信の検討
    - ▷ SUN無線機の開発と実証試験
      - 福島県川内村における放射線量モニタリング実証
      - 世界初のIEEE 802.15.4g/4e準拠無線機の開発
    - ▷ マルチサービス対応型SUNスタックの検討
      - 物理層、MAC層、上位層仕様の検討
      - ECHONETLite の実装
  - ▶ 将来的拡張と結論

SUNの普及による産業の発展も期待される