

# 電磁波エネルギー回収技術の研究開発

Research and Development of Radio Wave Energy Harvesting

研究代表者: 小林 聖 株式会社国際電気通信基礎技術研究所

研究分担者: 久々津直哉<sup>†</sup> 北沢祥一<sup>†</sup> 鴨田浩和<sup>†</sup> 阿野進<sup>†</sup>

野瀬浩一<sup>††</sup> 池永佳史<sup>††</sup> 野口宏一郎<sup>††</sup> 吉田洋一<sup>††</sup>

<sup>†</sup>株式会社国際電気通信基礎技術研究所

<sup>††</sup>ルネサスエレクトロニクス株式会社

---

# 目次

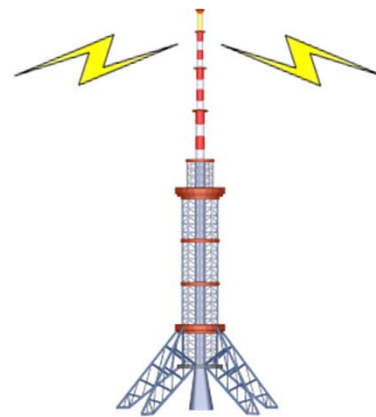
---

- 背景
- 研究開発の目標と設定課題
- 各課題の目標達成内容
  - 具体的な検討内容および到達点
- 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み
- まとめ

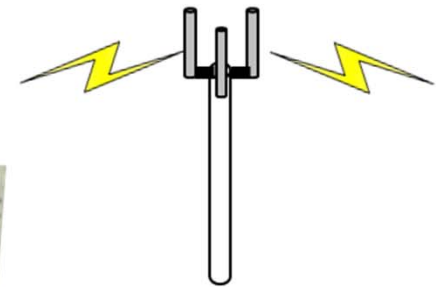
# 背景

- 安心・安全・快適・便利な社会を実現するために、多数のセンサーや電子デバイスが無線でネットワークに接続されたIoT(モノのインターネット)に注目。
  - 電源の確保が重要な課題。
- 太陽光、風力等の自然エネルギーを利用した発電について数多く検討。
  - 天候・気象に大きく左右されることが課題。

全国遍く利用されている  
放送用、携帯電話用の  
電波のエネルギーとして  
の利用に着目。



放送局送信所



携帯電話等  
基地局

電磁波エネルギー回収パネル

# 研究開発の目標と設定課題

生活空間に存在する放送・通信用の未利用の電磁波を、電気エネルギーとして再利用する電磁波エネルギー回収技術を確立し、実証実験によりその効果を確認

## 複数帯域対応高効率アンテナ技術

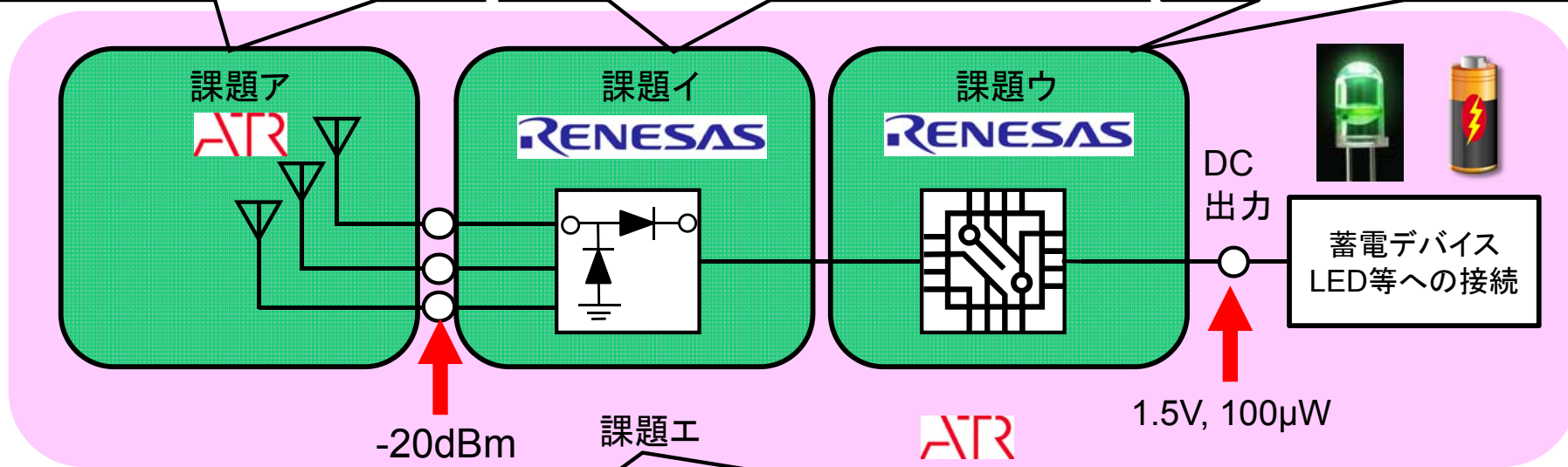
- 複数帯域に対応した高効率のアンテナ
- 使用シーンに合わせた周波数選択手法

## 高順電流ダイオード検波回路技術

- 複数アンテナを利用した
  - 高効率RF-DC変換回路
  - 高順電流ダイオード構造の開発

## 電源回路構成技術

- 複数アンテナを利用した
  - DC/DCコア回路の高効率化
  - 低消費電力ICの開発



## システム設計及び実証実験

- 各課題で開発のデバイスを統合したRPH (Radio wave Power Harvesting)パネルの開発
- 電波暗室および実環境での実証実験

**ATR** : 国際電気通信基礎技術研究所

**RENESAS** : ルネサスエレクトロニクス

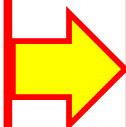
# 研究開発の達成内容

## 目標(総合)

-20dBmの電力がRF-DC変換回路へ入力される環境において、1.5V程度の電圧で100μW以上の電力を得ること。

## 到達点

電波暗室に構築した評価系において、目標以上の約1.5V、120μW出力を達成。実デバイスの駆動も確認。



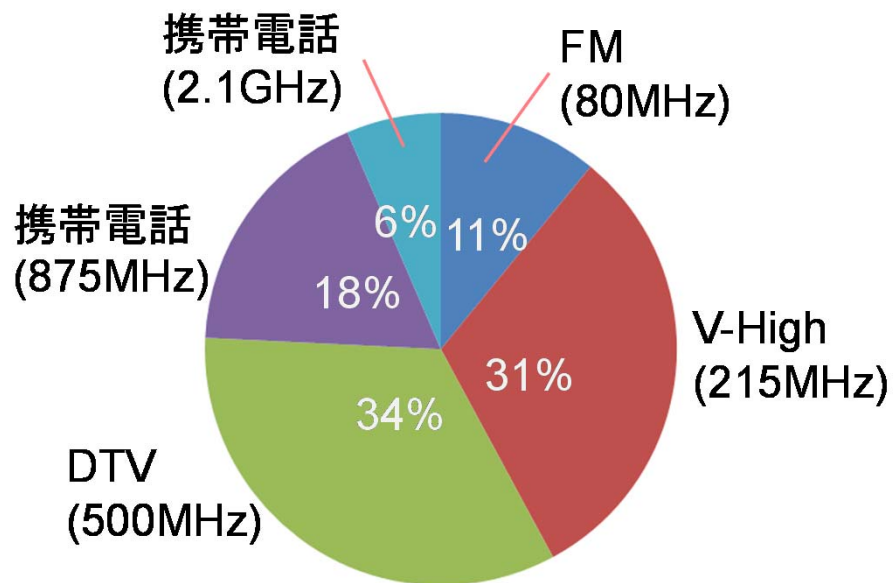
課題	達成内容	担当
<b>ア) 複数帯域対応高効率アンテナ技術の研究開発</b> a) 高効率・複数帯域対応アンテナ技術 b) 周波数選択技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均アンテナ開口効率<b>63%</b>を達成。</li> <li>AMC反射板付アンテナを開発し周波数選択手法の有用性を確認。</li> </ul>	ATR
<b>イ) 高順電流ダイオード検波回路技術の研究開発</b> a) 複数アンテナ対応のRF-DC変換回路 b) 高順電流・低逆リーク電流ダイオード技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>電磁波エネルギー回収用の集積回路技術を確立し、RF-DC変換回路として各周波数とも<b>30%以上の電力変換効率</b>を実現。</li> </ul>	ルネサスエレクトロニクス
<b>ウ) 電源回路構成技術の研究開発</b> a) 複数アンテナ対応のDC/DCコア回路技術 b) 低消費電力の電源IC技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.5V出力で電力変換効率<b>78%@100μW負荷</b></li> <li>RF-DC変換回路と合わせたトータルの電力変換効率<b>27%</b> (35% × 78%)を達成。</li> <li>無負荷時の<b>自己消費電流2.8μA</b>を達成。</li> </ul>	ルネサスエレクトロニクス
<b>エ) システム設計及び実証実験</b> a) システムの設計・構築 b) 実証実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>電波暗室の評価系で約<b>1.5V</b>で<b>120μW出力</b>を達成。</li> <li>実環境でのエネルギー回収で、LCD温度計を連続駆動。</li> </ul>	ATR

---

## 具体的な検討内容および到達点

# 電力束密度の測定

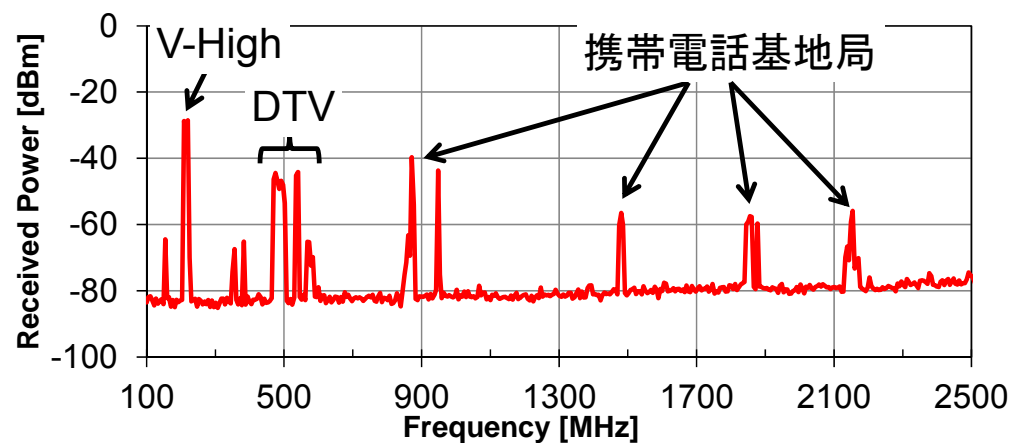
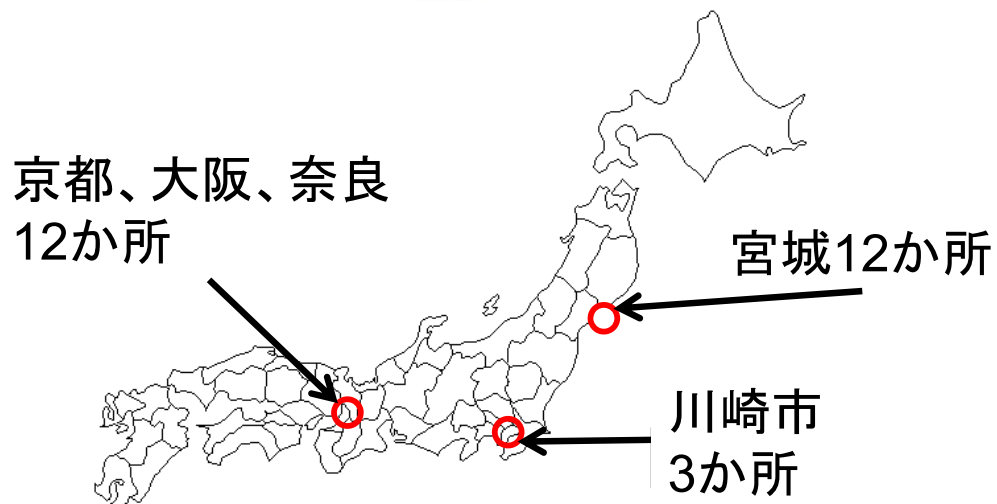
実環境での電波環境を測定し、回収対象の周波数を決定



電力束密度の大きい周波数

- V-High
- DTV
- 携帯電話(875MHz帯)※

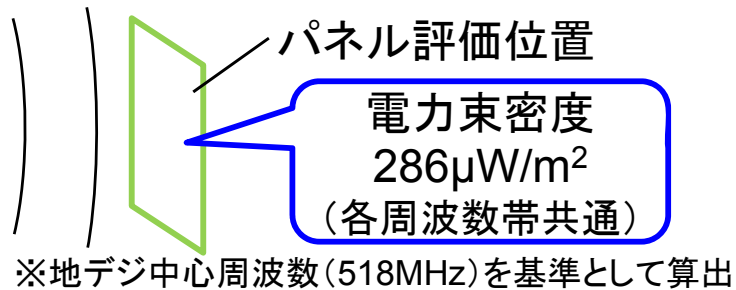
※ 以降800Mと表記



# 到達目標

## ◆ 評価環境

「基準周波数にてダイポールアンテナ(効率80%)で受信した時のアンテナ出力端電力が-20dBmとなるような電力束密度環境下」

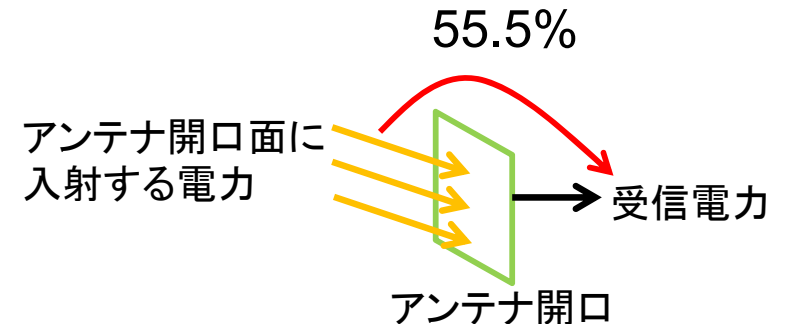


標準的送信局からの距離	
V-High	10 km
DTV	7.5 km
800M	300 m

## ア) アンテナ性能

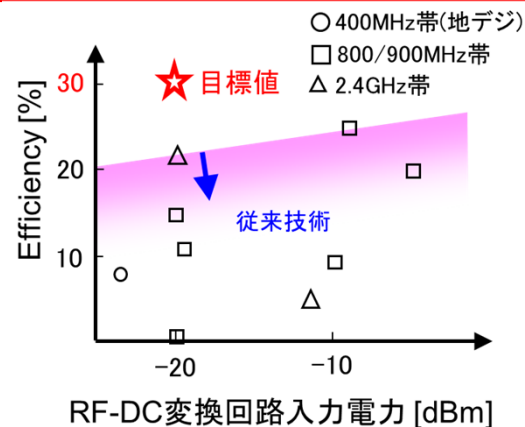
3周波数の平均のアンテナ開口効率55.5%以上

他の3つの目標値から導出



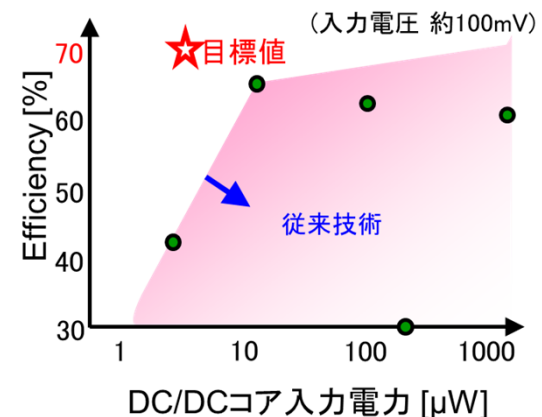
## イ) RF-DC変換効率

-20dBm 入力時に電力変換効率30%以上



## ウ) DC/DC変換効率

1.5V, 100 $\mu$ W負荷時に電力変換効率70%以上

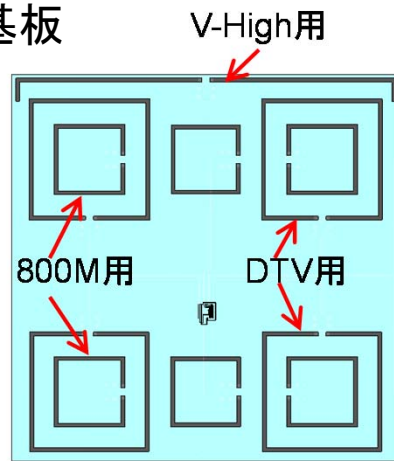




# (ア) アンテナ

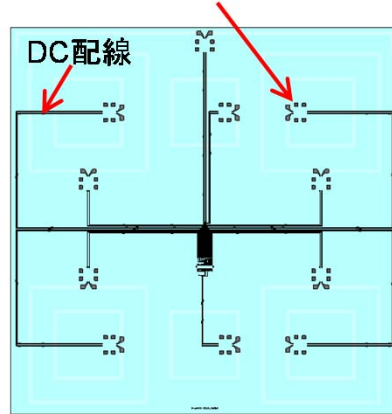
RPHパネル(50cm角アンテナ2×2)での開口効率最大化のため、相互結合・DC配線の影響を考慮し、アンテナ配置を最適化 → 平均で**63%**のアンテナ開口効率

リジッド基板



表面

RF-DC変換回路基板実装場所

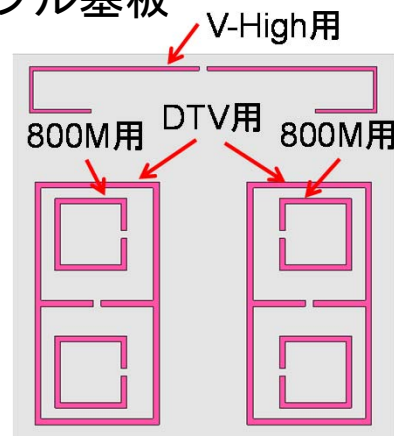


裏面(透視図)

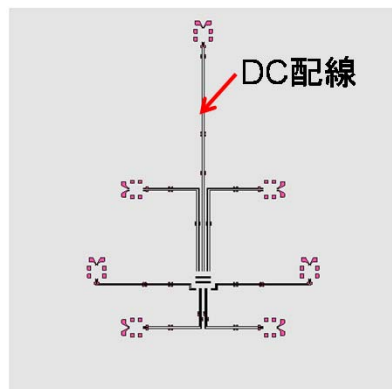
アンテナ開口効率(リジッド基板)

	効率(%)			
	V-High	DTV	800M	平均
シミュレーション	85.2	51.0	39.8	58.7
実測	99	46	44	<b>63</b>

フレキシブル基板



表面



裏面(透視図)

アンテナ開口効率(フレキシブル基板)

	効率(%)			
	V-High	DTV	800M	平均
シミュレーション	95.6	42.0	32.0	56.5
実測	86	42	29	52

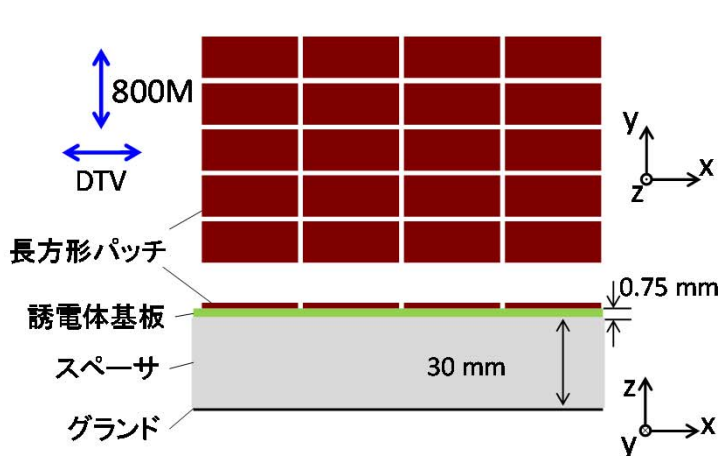
# (ア) より高効率なアンテナ実現に向けた検討

DTV, 800Mの2波で目標の開口効率を達成。  
50cm角のアンテナでの2波での電力回収評価も実施 → CW受信時で**28 $\mu$ W**の電力

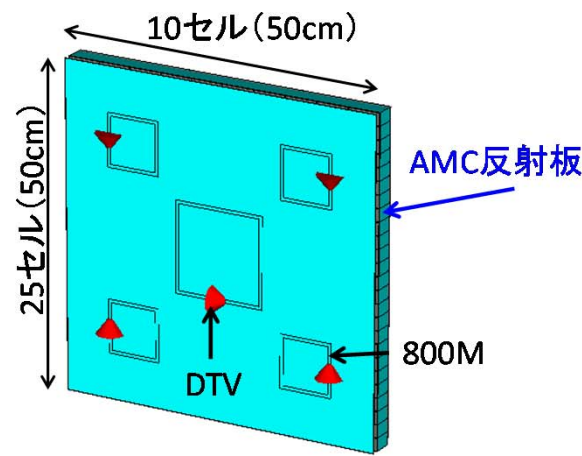
AMC※反射板の導入により

- 壁面にアンテナを設置する際の背面の影響の排除
- 正面方向の利得の向上

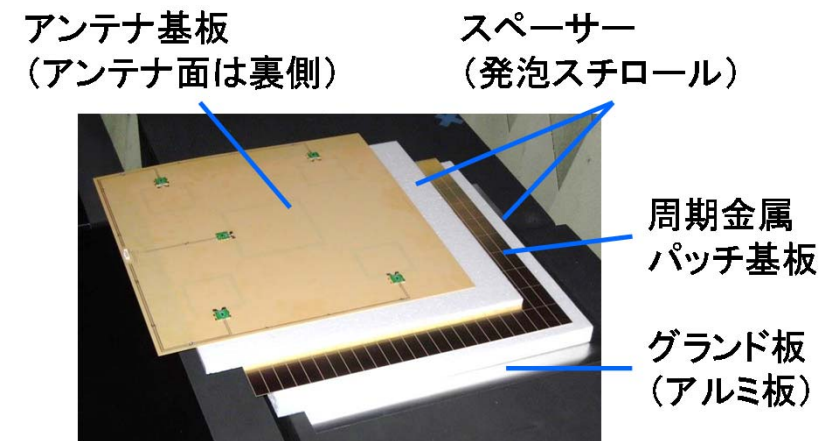
反射位相が $0^\circ$  となる周波数を直交する偏波で別々に調整できる偏波依存AMC反射板を2周波数アンテナへ適用



偏波依存AMC反射板の構造



AMC反射板上の  
ループアンテナ(2周波数)



試作アンテナ

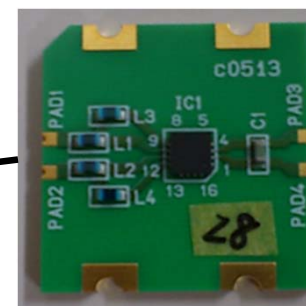
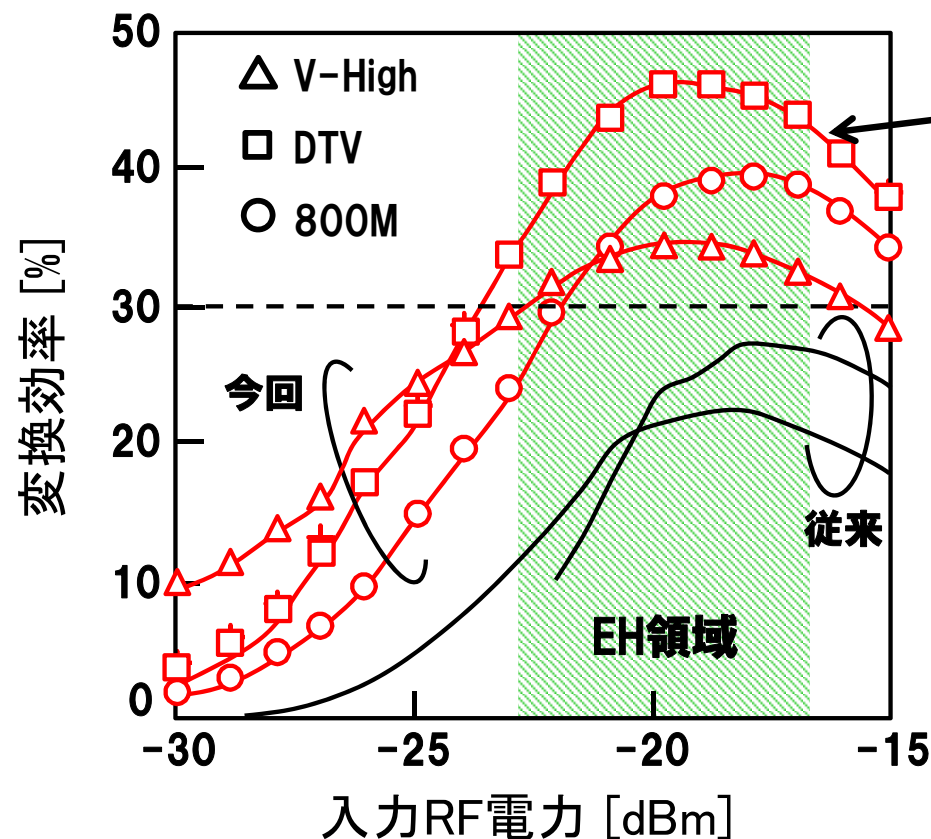
※ AMC: Artificial Magnetic Conductor

# (イ) RF-DC変換回路

入力電力-20dBmで電力変換効率 各周波数とも30%以上を達成

ショットキーダイオードと、集積回路(チップ)を用いたRF-DC変換回路を試作評価

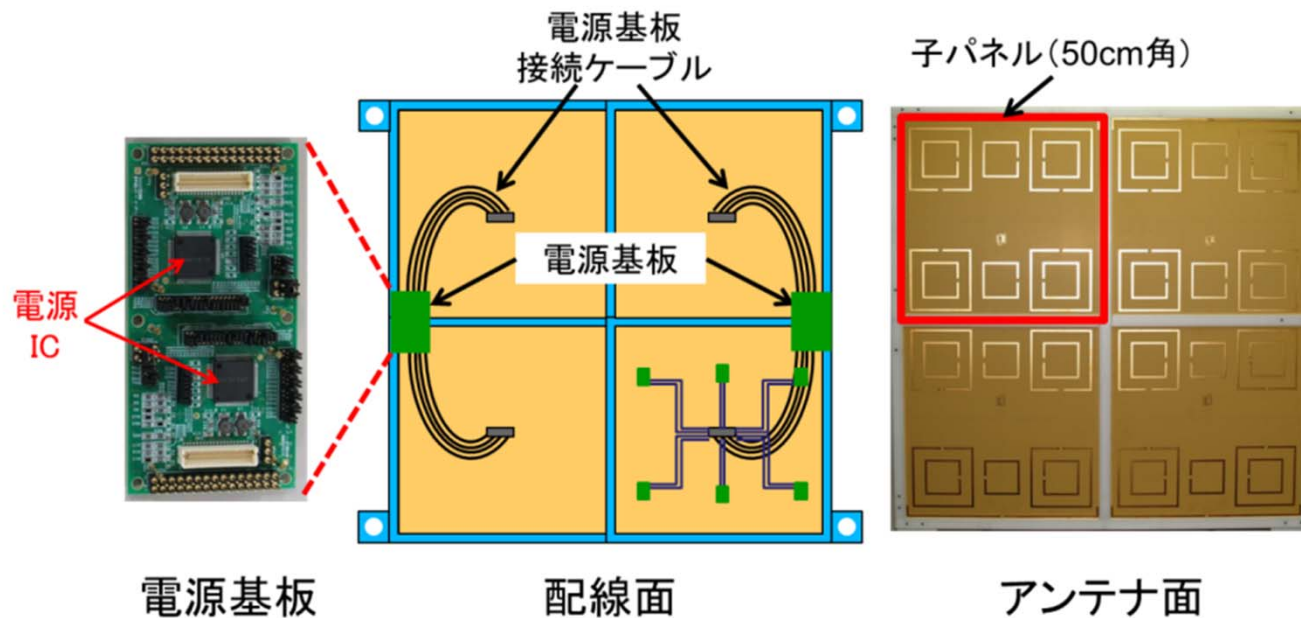
→チップ型RF-DC変換回路方式で最高効率を確認。



## (ウ) 電源回路

DC/DC回路での電力変換効率 **70%以上**を達成

- 入力電圧100mV、出力電圧1.5V、負荷100 $\mu$ Wで上記目標を達成。
- RPHパネル全体(1m角)に搭載するDC/DC回路4個トータルの電力変換効率で **78%@100 $\mu$ W負荷**を達成。またRF-DC変換回路と合わせたトータルの電力変換効率**27%**(35% $\times$ 78%)を達成。
- DC/DC回路4個トータルの無負荷時の**自己消費電流2.8 $\mu$ A**と大幅な削減を達成。



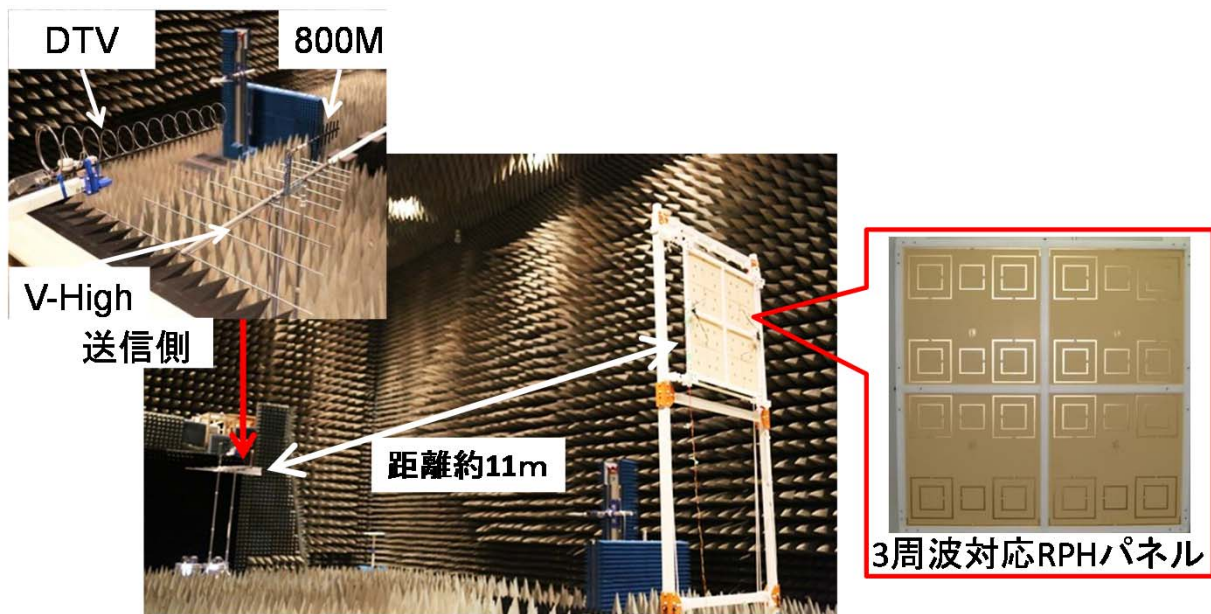
# (エ) 電波暗室内での回収実験

評価環境(各周波数で $286\mu\text{W}/\text{m}^2$ )にて、目標の**1.5V, 100 $\mu\text{W}$** 以上の出力を得た

- 電波暗室内の評価系でRPHパネルの目標性能の達成を確認
- 回収した電力でセンサを搭載したZigBee端末が間欠的に動作 → 20秒に1回程度データを送出

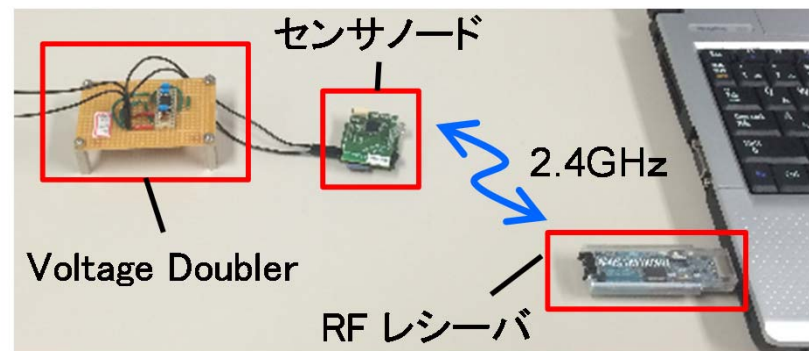
暗室での電力回収実験結果

送信信号形式	負荷抵抗 [k $\Omega$ ]	出力電圧 [V]	出力電力 [ $\mu\text{W}$ ]
CW	11	1.22	136
	18	1.47	120
変調	13	1.26	124
	20	1.46	106



電波暗室での評価系

実デバイス、実アプリケーションの動作を実証



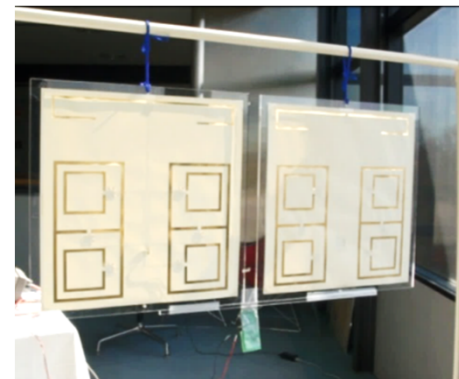
ZigBee駆動実験系

## (工) 実環境での回収実験

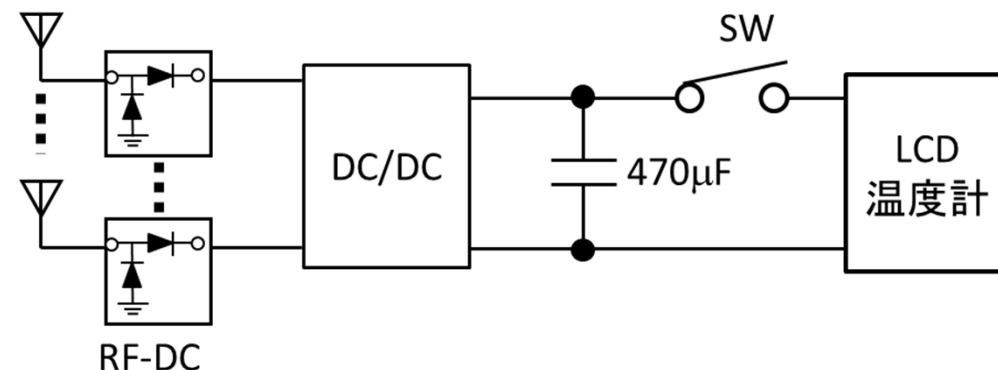
- 放送用の送信所から11km離れたATRの屋内にて50cm角のフレキシブルタイプのアンテナ2枚でV-High, DTVから電力を回収 →  $12\mu\text{W}$ のDC電力
  - 標準ダイポールアンテナでの受信電力はそれぞれ、 $-14\text{dBm}$ 、 $-25\text{dBm}$
- 平均消費電力が $15\mu\text{W}$ 程度のLCD温度計が連続動作



生駒山山頂の送信塔



V-High × 2、DTV × 4、800M × 4



# 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み(1/2)

---

## 今後の取り組み方針

- 応用展開→ センサー等と組み合わせたシステム検討や、防災・社会インフラ関係機関等と連携した実フィールドでの実証実験を行い、実用化に向けた課題を整理する。
- 研究開発成果の要素技術の社会展開を推進し、社会ニーズを見極め、技術普及を目指す。

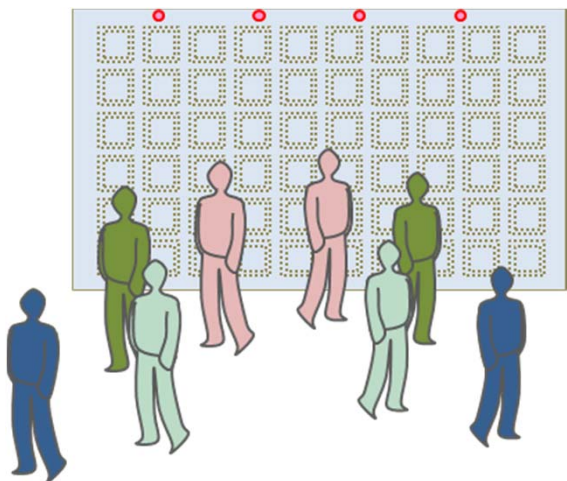


高速道路・橋梁等でのヘルスマモニタリング

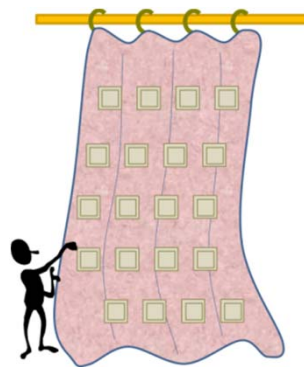
# 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み(2/2)

## 派生的な展開

- 周波数の動的制御が可能な電磁波シールドや、壁等への埋め込み型センサの電力源。
- 要素技術である高順電流ダイオードや低リークで高効率な電源回路構成技術は、他のエネルギーハーベスタの基幹部品としての利用も可能。
- 無線電力伝送技術の併用や複合的なハーベスティング技術への展開。



壁面にRPHパネルを設置したイメージ



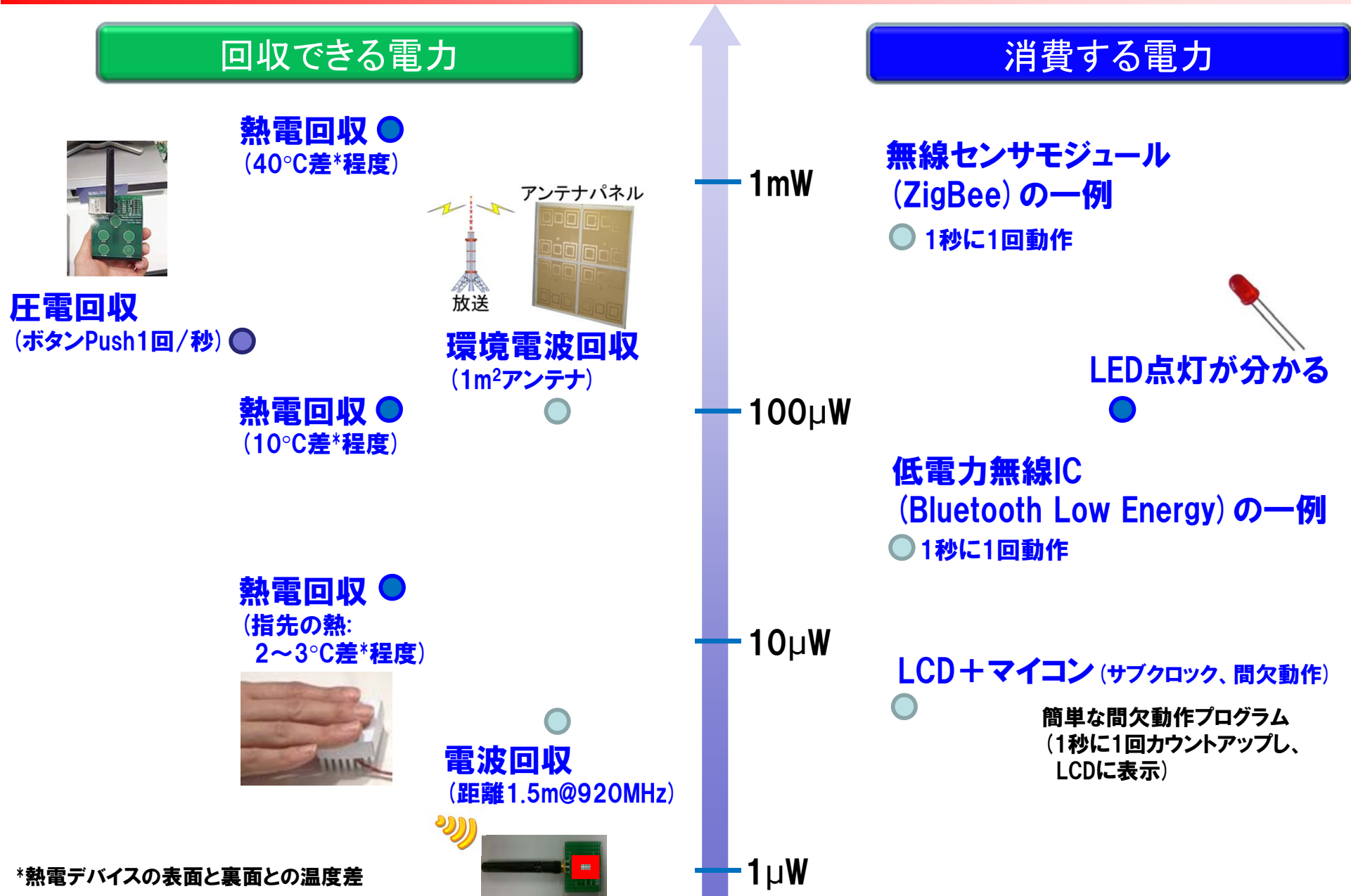
カーテン(緞帳)に、振動エネルギー回収と電磁波エネルギー回収を組み合わせたイメージ



無線電力伝送も併用したトンネル内でのセンサ



# エネルギーハーベストによって、何が動かせるか？



# まとめ

---

- 生活空間に存在する、放送・通信用の電磁波を対象に高効率のエネルギー回収システムを開発
  - アンテナ → 平均開口効率55.5%以上を達成
  - RF-DC変換回路 → 電力変換効率30%以上を達成
  - DC/DC回路 → 電力変換効率 70%以上を達成
- 実証実験
  - 評価基準の電力束密度において目標とする1.5V、100 $\mu$ Wの出力を確認。さらに実デバイスの間欠動作を確認。
  - 実環境において、低消費電力デバイスの連続動作を確認。
- 今後
  - 開発した要素技術の社会展開を推進し、社会ニーズを見極め技術普及を目指す。

謝辞  
本研究は総務省の研究委託「電磁波エネルギー回収技術の研究開発」により実施した。