



グリーンMEMSセンサ端末・ネットワークシステムを実現する共通基盤技術

短電文化を用いた 超低消費電力無線通信技術の開発

(独) 産業技術総合研究所

岡田 浩尚

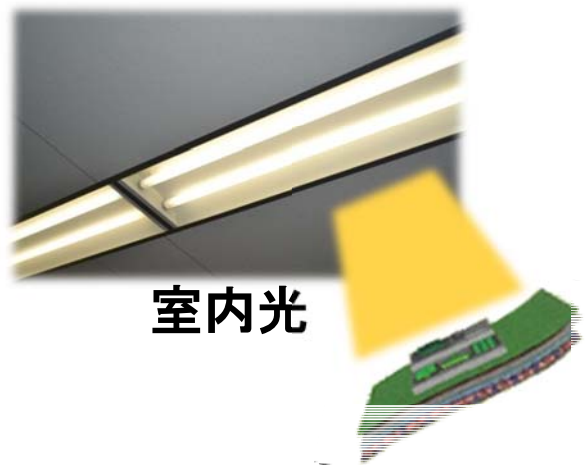


NMEMS 技術研究機構



1. 背景と目的
2. 開発テーマ概要・目標
3. 開発内容と取り組み
4. 超低消費電力無線通信技術の開発
5. ネットワーク・応用分野
6. まとめ

1. 背景と目的



グリーンセンサ

・自立電源 → 徹底した低消費電力化必要

特に無線は消費電力が大きいため、
低消費電力化が必要

低消費電力無線通信プロトコル

- ・ ZigBee : メッシュネットワーク可
- ・ Bluetooth LE : 携帯電話への接続が容易

} 高信頼性を求めている

課題：高信頼性が不要なセンサネットでは消費電力が大きい

グリーンセンサでは電力や塵埃量などを送信

→ 必ずしも100%の通信信頼性を必要としない



NMEMS 技術研究機構



2. 開発テーマ概要・目標

本研究の目標

右図条件での端末の低消費電力化手法の開発



具体的には、

送信端末の仕事量(送信時間 x 電力)の低減

(電力の低減は難しく、低減率も多くは望めない)

本研究では**送信時間の低減技術**を開発した。

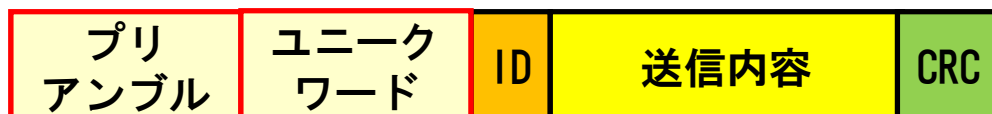
3. 開発内容と取り組み

送信時間低減技術の開発

- ・ 送信時間は ビットレート(bit/s) と **電文量(bit)** で決まる
- ・ 最大ビットレートは必要な通信距離によって決まる
→ **電文量の低減化技術**を開発する

電文量低減化イメージ

従来の電文フォーマット



短電文化後



この分だけ低消費電力になる

受信部の支配的なノイズである
白色雑音は帯域に比例
→ 低ビットレート → 狭帯域 → SN増

短電文化実現の主な課題

- ✓ 最適な短電文化手法の検討
- ✓ 単純な電文となるため、他システムからの不要信号排除手法が必要



NMEMS 技術研究機構

CRC : 巡回冗長検査



4. 超低消費電力無線通信技術の開発

多値化:1つの物理量に複数の意味を持たせる

1回音を出して0,1を表現する場合、

太鼓音
0

シンバル音
1

2レベル(2bit)



2値FSK(周波数偏移変調)

128レベルを表現するには7回音を出す必要がある ($2^7=128$)

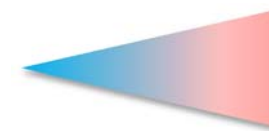
例:88は2進数では1011000

0 → 太鼓音、1 → シンバル音

シ 太 シ シ 太 太 太

7倍の
時間が必要

最低音
0000000



最高音
1111111

128レベル(7bit)



88番目は
1011000

多値(128値) FSK

4. 超低消費電力無線通信技術の開発

低消費電力通信に最適な多値化とは？

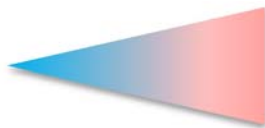
1回音を出して0,1を表現する場合、



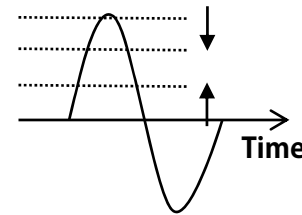
音叉



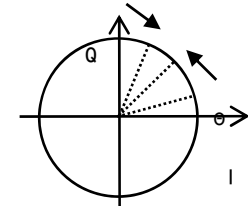
最小音量
0000000



最大音量
1111111



振幅(音量)

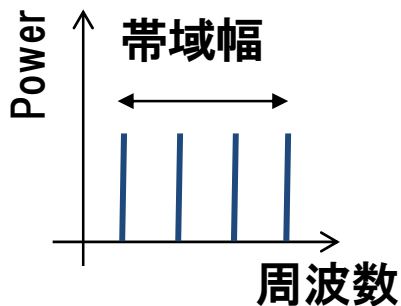


位相

多値ASK(振幅偏移変調)

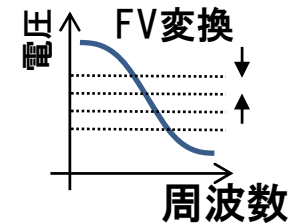
多値化するほどSN低下
→ 電力増加が不可欠

周波数で多値化する場合...



同じ電力で
同じSNの
通信が可能

但し、復調部にFV変換ではなく
各周波数を独立して検出で
きるFFTを用いる



使用可能な全帯域を用いた多値FSKを使用

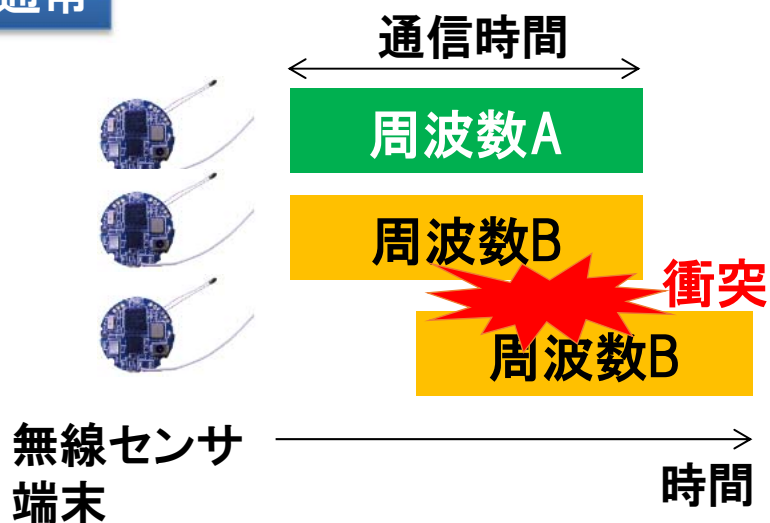


4. 超低消費電力無線通信技術の開発

多値FSKの課題

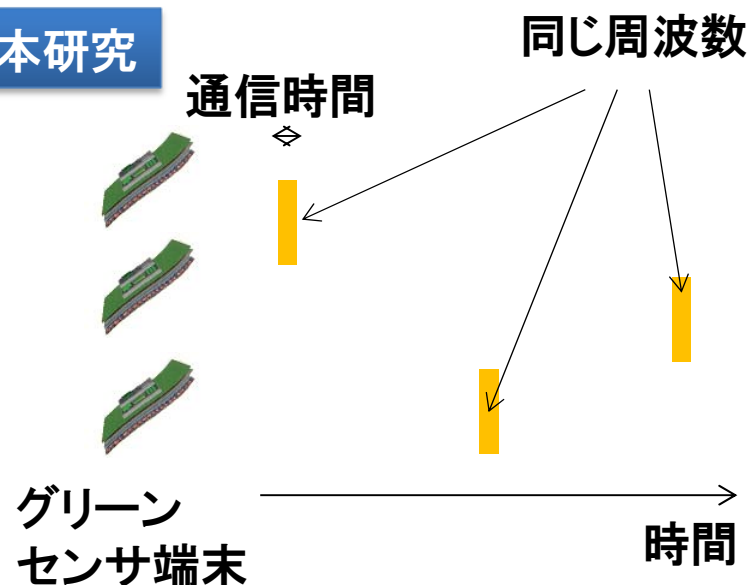
- 全端末が同じ周波数帯を使用するため、多元接続に問題がある可能性がある

通常



信頼性を確保するため、端末毎に異なる周波数を使用する

本研究

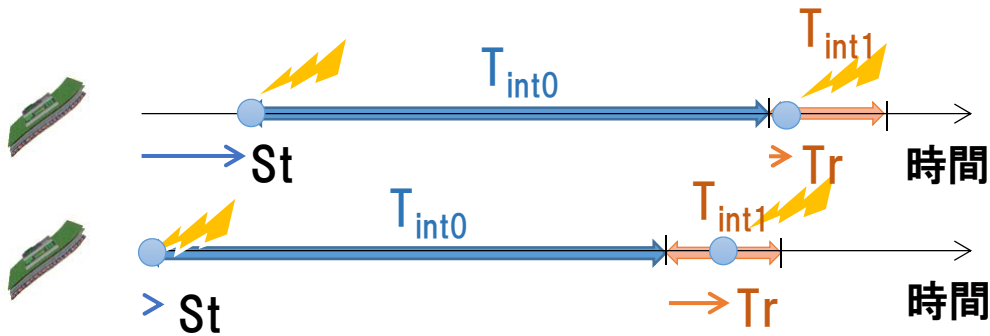


送信情報量が少なくし、同じ周波数でも衝突する確率を低減する
(本システムでは1%の衝突確率まで許容)

4. 超低消費電力無線通信技術の開発

電文衝突確率の見積もり

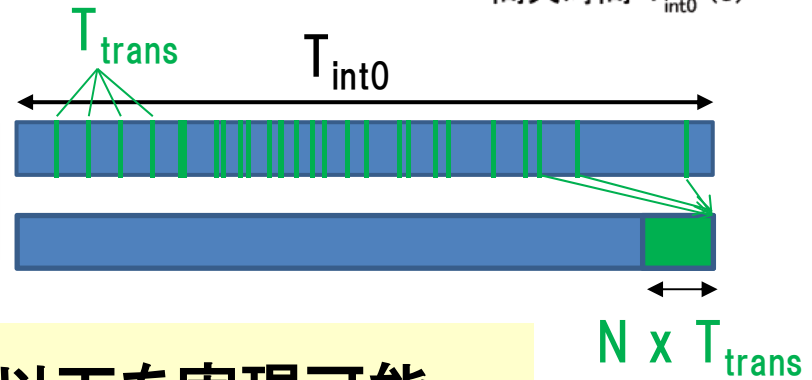
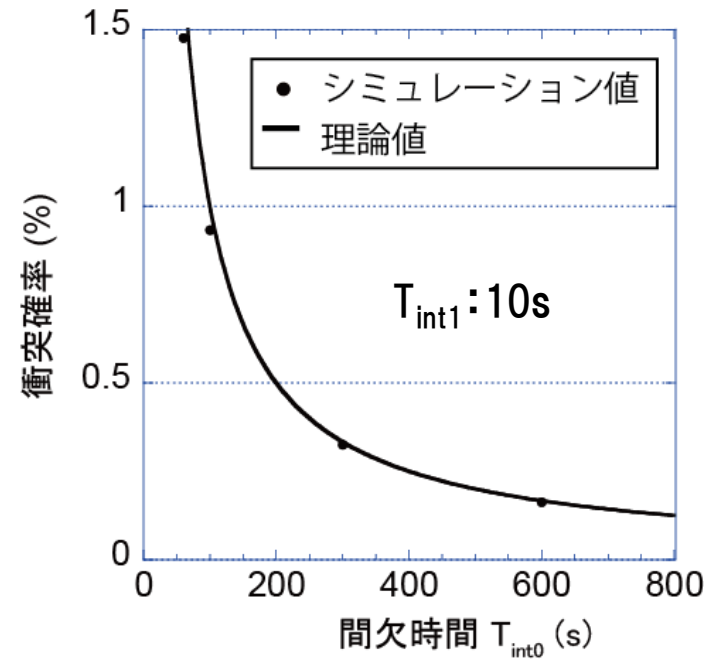
モデル 端末数(N):1000, 通信時間(T_{trans}):1ms



St (スタート時刻): 0 から T_{int0} の範囲の乱数
 T_{int0}, T_{int1} (間欠時間): 定数
 T_r (衝突回避のための時間): 0から T_{int1}

$T_{int0} \gg T_{int1}$ の場合の理論式

$$p(\%) = 100 \times N \times T_{trans} / T_{int0}$$

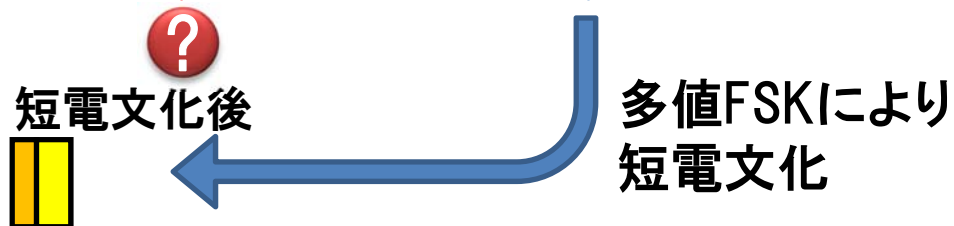
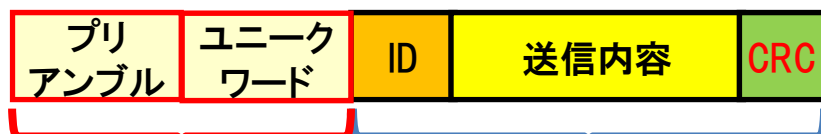


$T_{int0} > 100s$ であれば衝突確率1%以下を実現可能

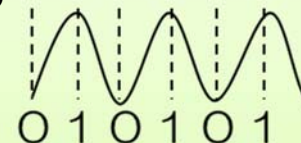
4. 超低消費電力無線通信技術の開発

プリアンブル、ユニークワードレス通信

従来の電文フォーマット



● プリアンブル: bitの意味はなく波形に意味があり、**端末と受信機の同期**に用いる



Si4013では 32bitを推奨

● ユニークワード: どこからがデータの始まりかを示す**フレーム同期**に用いる。通常16bit程度

課題: プリアンブル(PR)やユニークワード(UW)は多値化できない

→ PR, UWを削除し、同期無しで生じる損失が、PR, UW分を送信する電力より小さくなるようにしたRP, UWレス受信器を開発する

4. 超低消費電力無線通信技術の開発

プリアンブル、ユニークワードレス通信

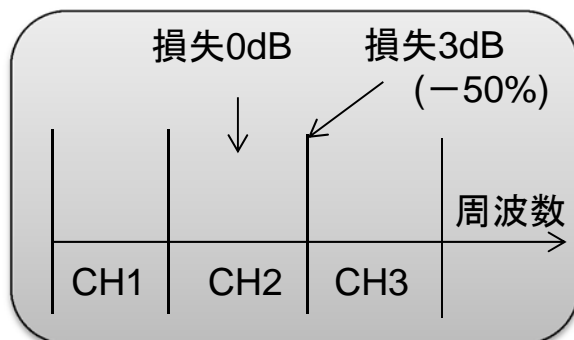
PR:32bit, UW: 16bit, ID: 10bit, Data:8bit 計66bitを送信する場合、
データ部は128値の多値化により3シンボルになるしたがって、
PR, UW分は $48/51=0.94$ → 電力の94%をPR, UWで使用

→ 本研究では3dB以下の損失

(実質6シンボル分送信すれば同程度のSN)を実現する
PR, UWレス受信機を開発する

6/51≒1/10の低消費電力化

プリアンブルについて

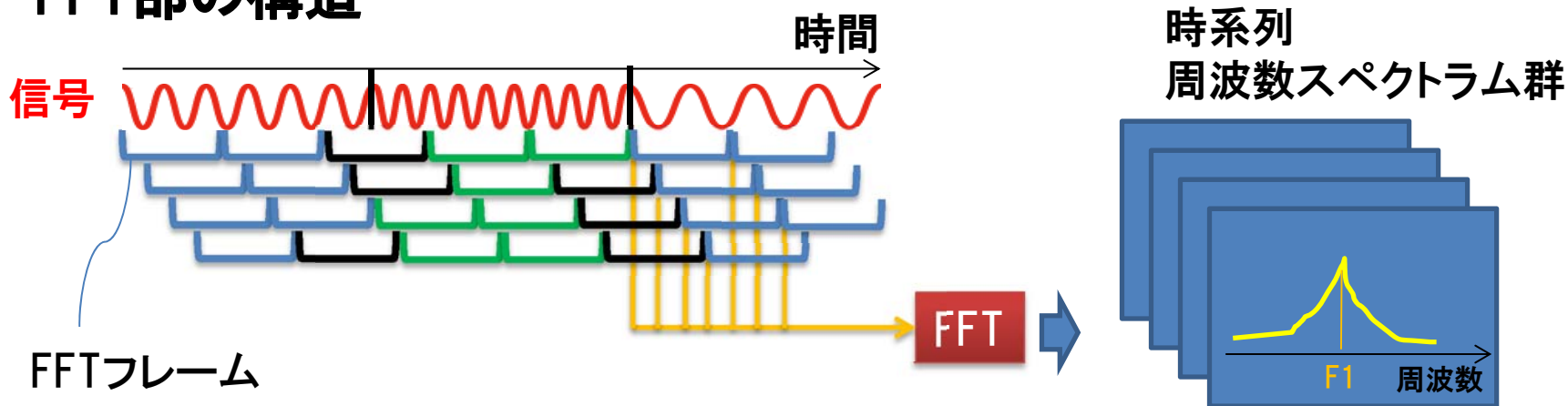


損失の見積もり

1MHz帯域で128値のFSKを行い、端末に±20ppmの水晶振動子を使用すれば、2.2dB以下の損失とすることが可能

4. 超低消費電力無線通信技術の開発

FFT部の構造



電文開始位置ずれを低減するため、通常の4倍の速度でFFTを行い、7フレーム分の結果を平均して使用する場合、
→ 0.2dB程度の損失(ユニークワード分)

3dB以下の損失でプリアンブル、ユニークワードレス通信が実現できるシステムを開発した

従来の電文フォーマット



削除

短電文化後



特許2件出願



NMEMS 技術研究機構



4. 超低消費電力無線通信技術の開発

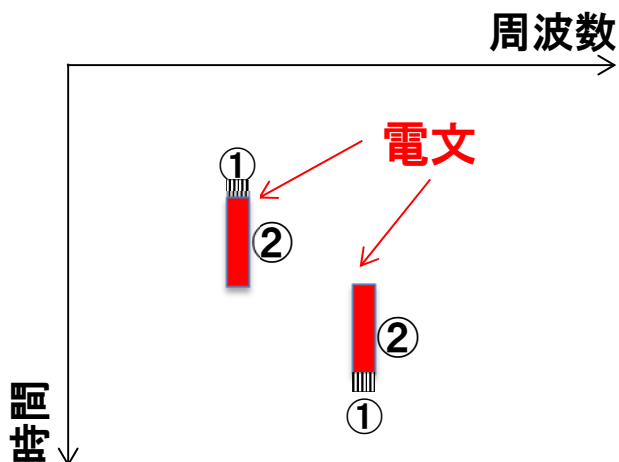
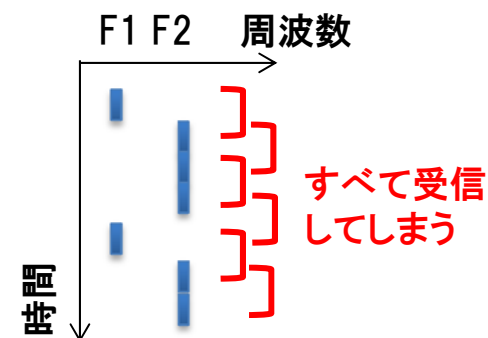
不要信号除去手法の開発（CRCの代替手法）

場合によってはたった2シンボルしか送信しない

128値FSK 送信データ:ID 6bit, Data 8bit ⇒ 2シンボル

課題:他システムからの不要信号を誤受信する

⇒ 時系列周波数スペクトルにデジタルフィルタをかける

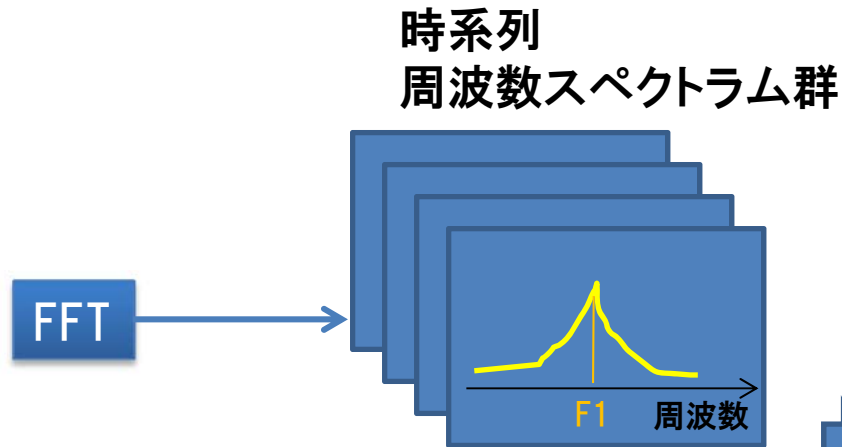


- ①所定の電文長以上の電文を排除
(電文の前後に受信強度はノイズレベルであることを確認する)
- ②それぞれのシンボルの受信強度はほとんど同じことを確認する

特許1件出願

4. 超低消費電力無線通信技術の開発

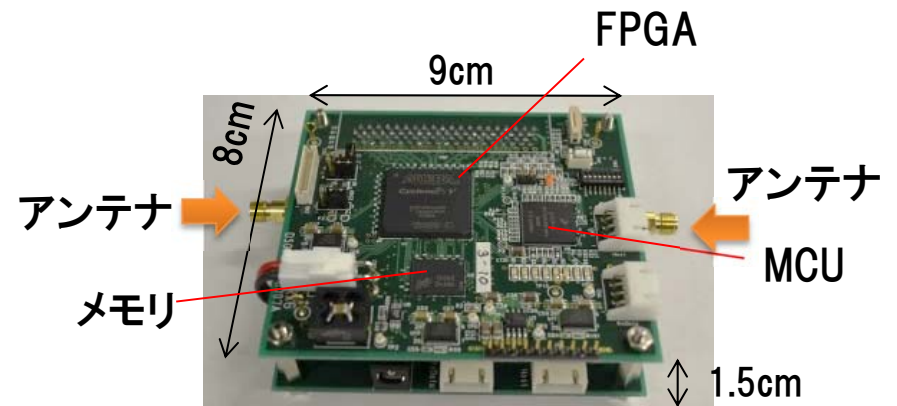
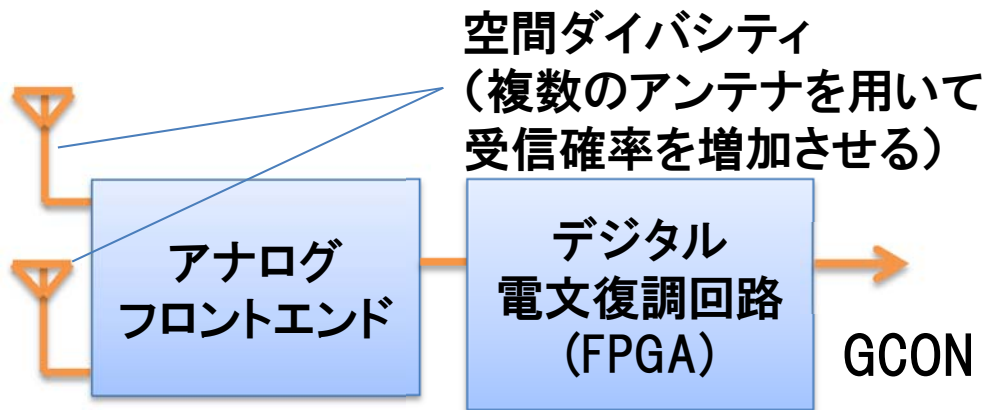
復調部の構造



```
F0: 0000 000  
F1: 0000 001  
  ⋮  
  ⋮  
F127: 1111 111
```

周波数-bit列のテーブルからデータを復調

メモリ上にあるスペクトル群を解析し、電文を検出



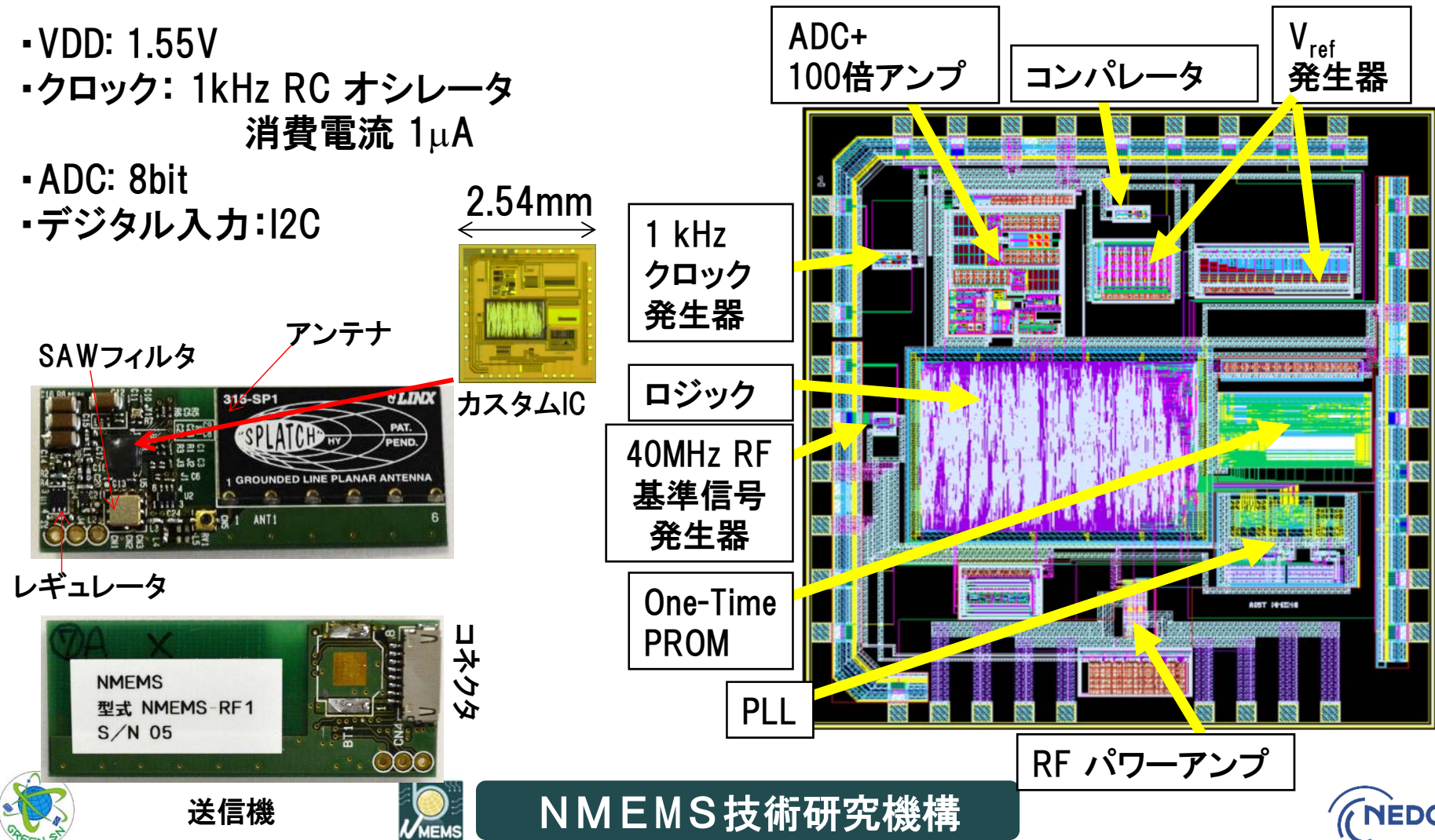
開発した受信機

4. 超低消費電力無線通信技術の開発

本手法を実現する送信機の開発

- ・多値FSK: PLLにより実現
- ・VDD: 1.55V
- ・クロック: 1kHz RC オシレータ
消費電流 1 μ A
- ・ADC: 8bit
- ・デジタル入力: I2C

プロセス: 0.18 μ m



4. 超低消費電力無線通信技術の開発

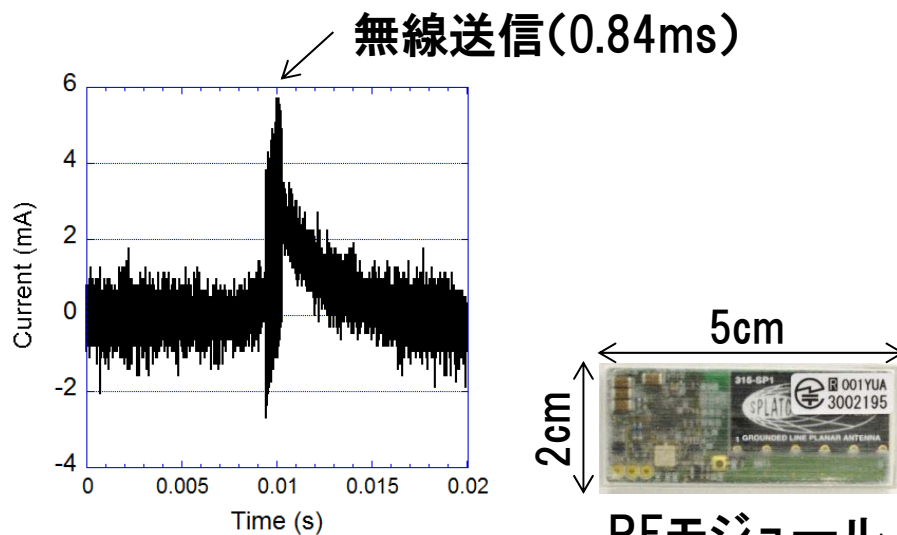
実証試験

磁界、VOC、塵埃、CO₂、電流センサの無線部に使用

達成実績(値)

- ・外形: 5cm x 2cm
- ・送信電力: 10 μ W (@VDD=1.55V, 18bit送信)

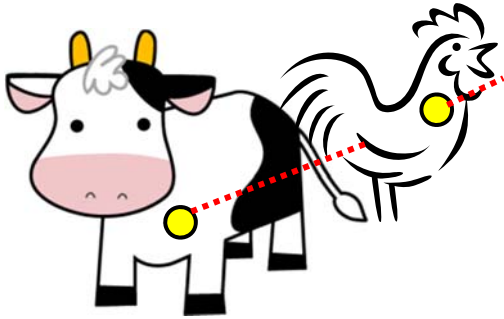
消費電流測定



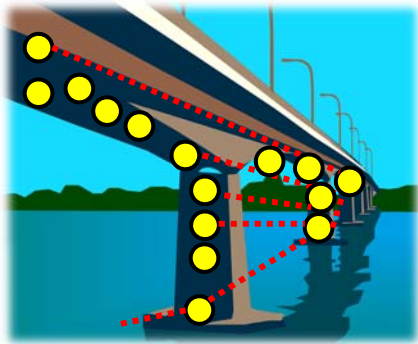
受信システム

単方向遠距離通信で 低消費電力通信が必要なアプリケーション

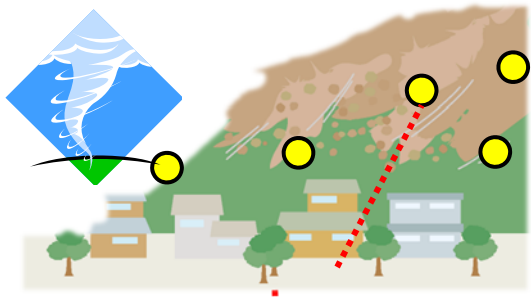
動物健康管理



インフラ管理



広域自然災害予知



6. まとめ

- ・315MHz帯で50m程度の単方向通信、パケット衝突確率を1%以下とする場合の低消費電力無線通信のプロトコルを設計し、それを実現可能な受信機を開発
 - FFTを用いた128値FSK
 - データ部は1/7の電文量
 - プリアンブル(PR)、ユニークワード(UW)レス受信機
 - 損失を1dB程度に抑え、通常5-10byte程度のPR+UWを削除
- ・8値FSKが可能な315MHz帯特定小電力無線局の規格に準ずる送信機を開発し、18bitのデータ送信で $10\mu\text{W}$ であることを実証

