

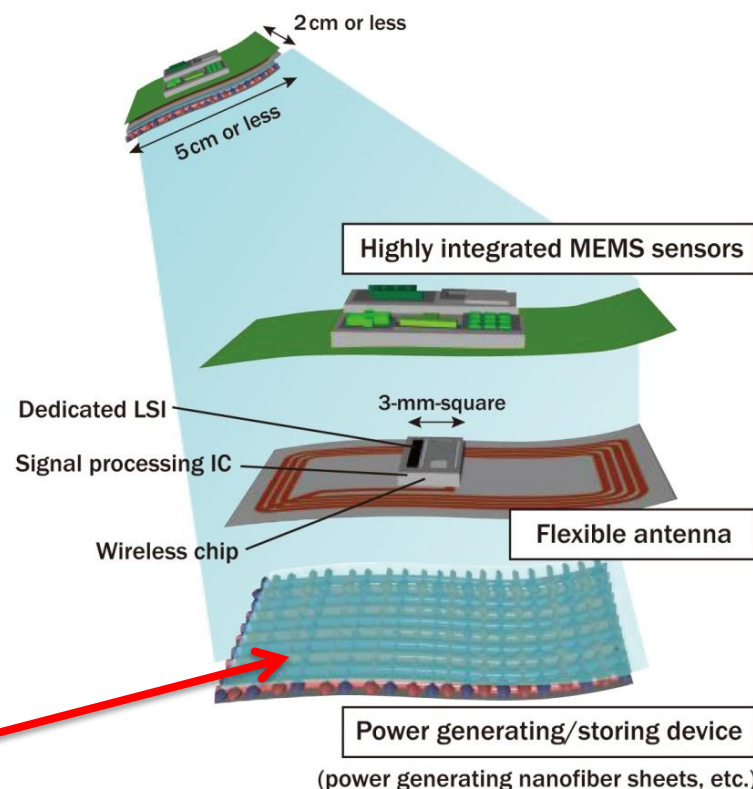
# 見えた！ グリーンMEMSセンサ端末の姿

技術研究組合NMEMS技術研究機構  
グリーンセンサネットワーク研究所  
つくば研究センター  
伊藤寿浩

# グリーンMEMSセンサ端末とは？

- 平均消費電力： $< 150 \mu\text{W}$
- フットプリント：20 mm x 50 mm以下（絆創膏サイズ）
- フレキシブル化が可能

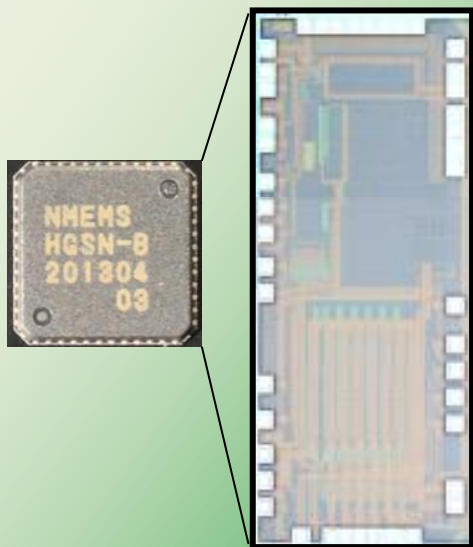
（通信機能と温度センサが搭載された“本体”のサイズが3 mm角）



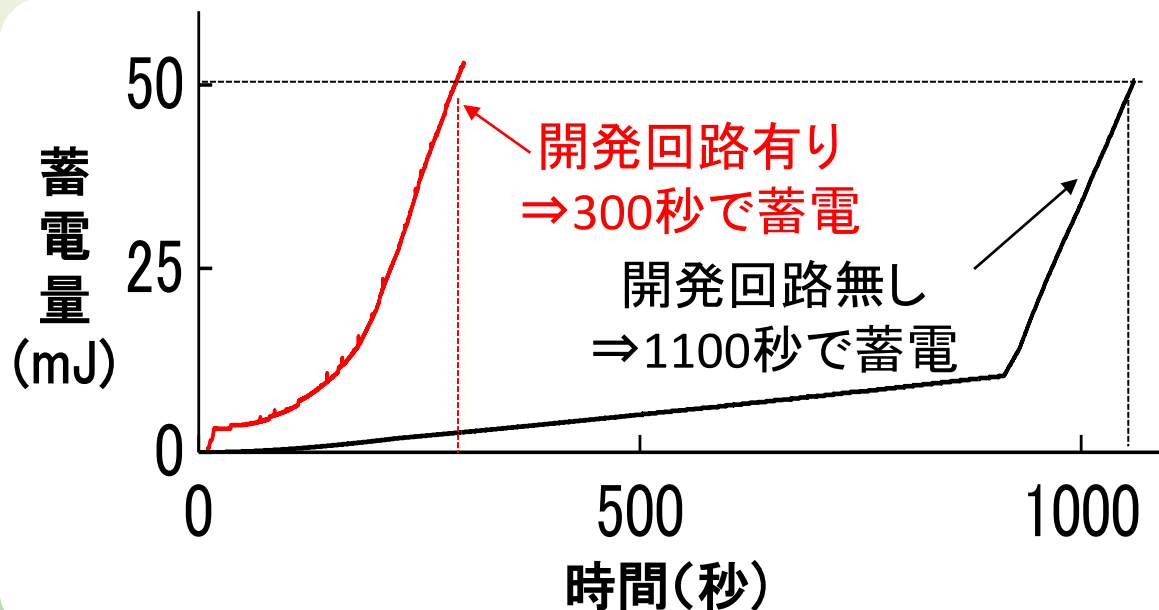
次の講演「出来てきたファブリック型自立電源」

Power generating/storing device  
(power generating nanofiber sheets, etc.)

# 自立電源を支える技術



センサ端末用LSI  
(1.2×3.0mm)



端末用LSIと自立電源による蓄電時間の実測例

エネルギーマネジメント回路を搭載したセンサ端末用LSIを開発  
エネルギー利用効率の向上(従来比3倍)を実証

# 本体とアンテナ

昨年のNMB展の報告「見えてきた……」

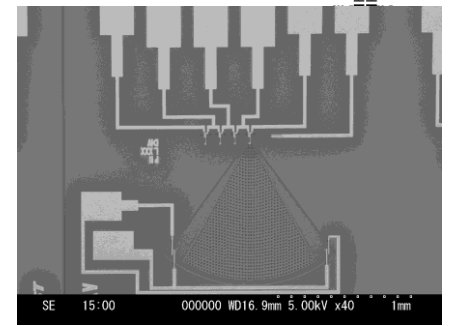
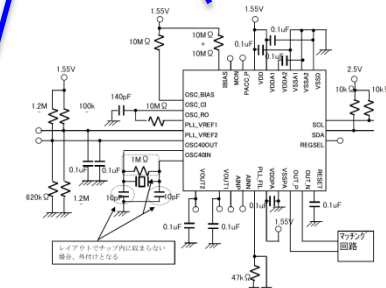
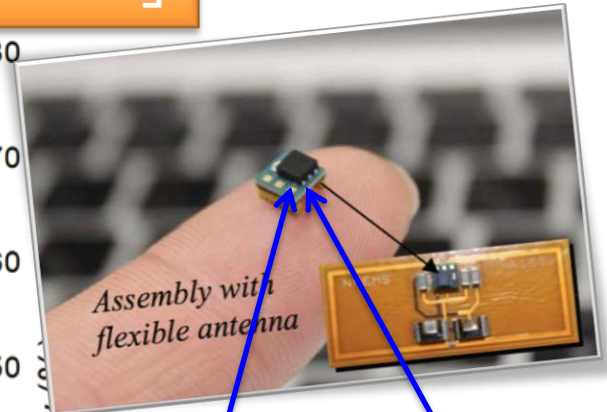
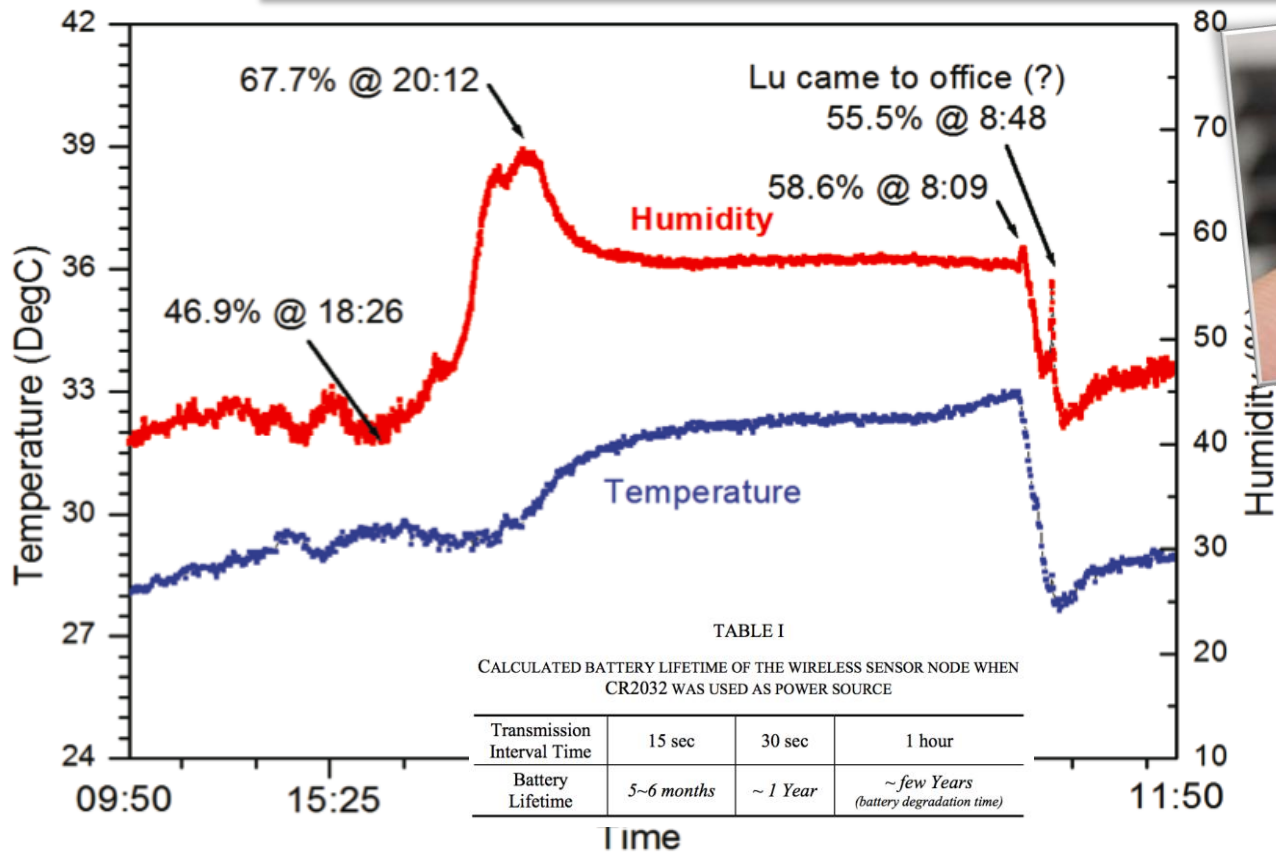
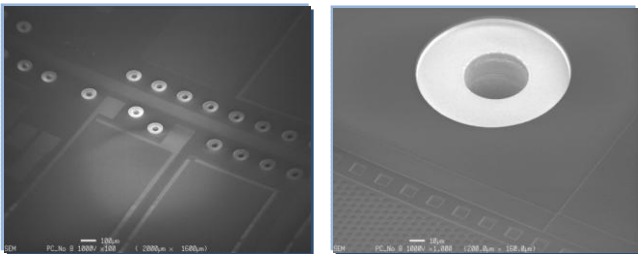
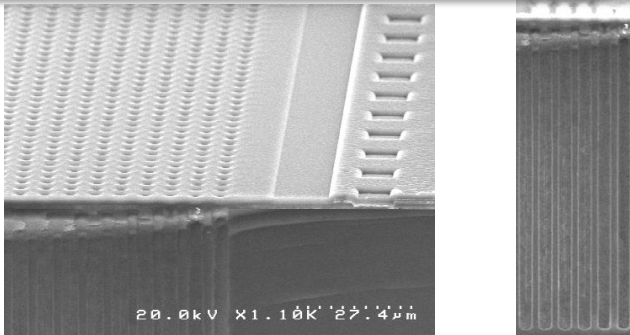


Fig. 5. Recorded temperature and humidity by using 2<sup>nd</sup>-prototype wireless sensor node and coin battery (CR2032 x 1) as the power supply.

# 「本体（モジュール）」を支える技術

## Viaキャパシタ内蔵型Siインターポータ



## 短電文化技術

- 128-FSKにおいて同期コードやチェックコードレスの短電文送信を実現
- 2値FSKと比較すると、1/7以上の低消費電力化が可能

### 短電文化



FFTによる時系列周波数スペクトラムをメモリに保存し、詳細解析を行うことにより同期を行うため削除

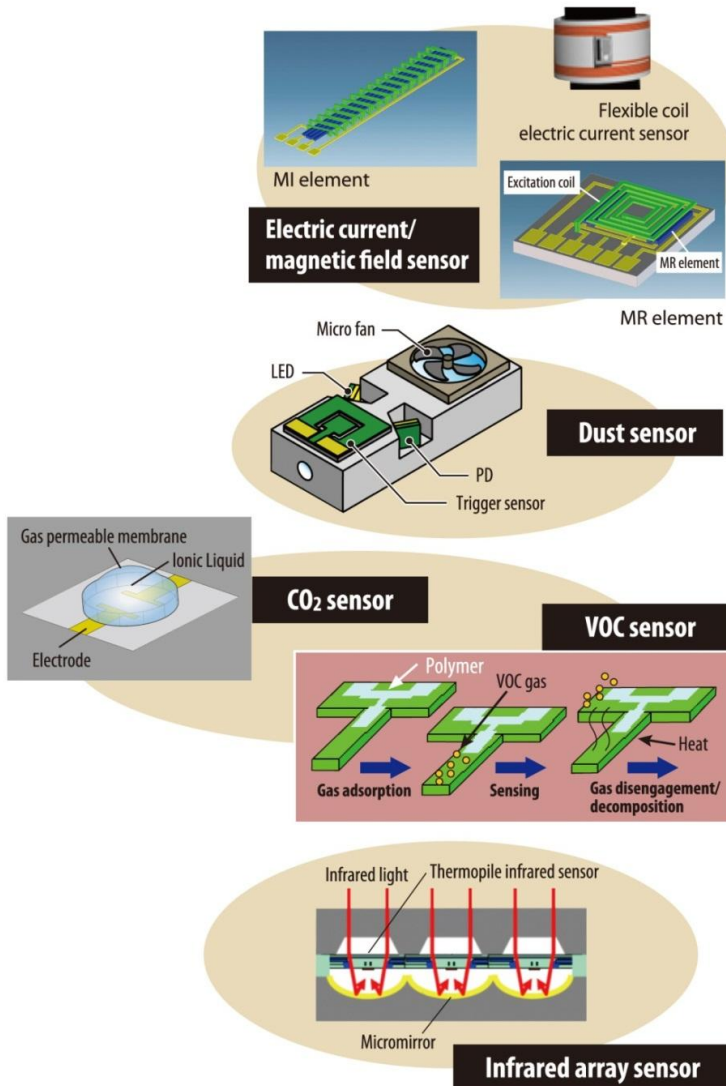
多値化により1/7

短電文のため不要

128-FSK, 送信データが14bitの場合、送信シンボルはたった2bit



# グリーンMEMSセンサの姿

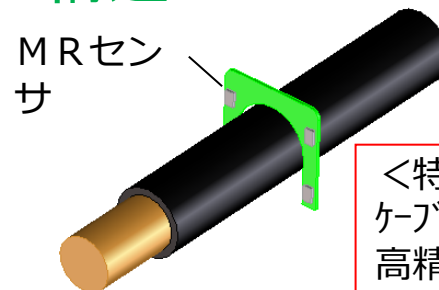
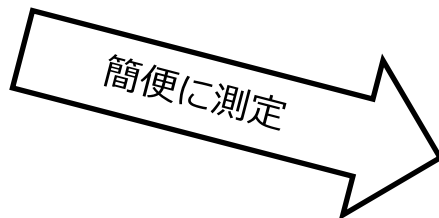
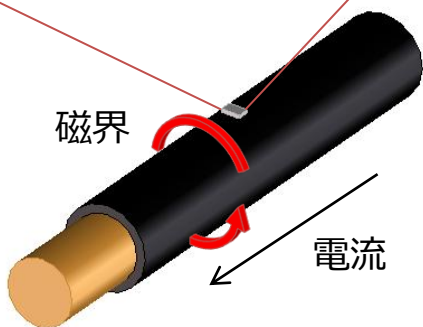
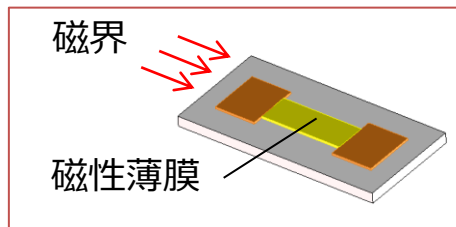




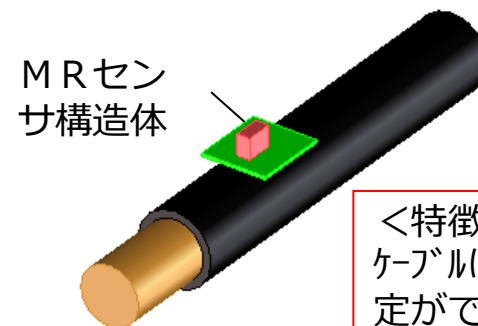
# 非接触で電力使用量を可視化する 高感度電流・磁界センサの開発

- 無線対応が可能な100μ W以下の超低消費で駆動する、超小型でかつ高感度なセンサ
- ファクトリー等の現場で扱いやすく、高いSN比の実現する、センサ及び周辺デバイスの構造

低消費電力高感度MRセンサ



<特徴>  
ケーブルを囲う構造により  
高精度に電流測定が可能



<特徴>  
ケーブルに貼るだけ電流測定ができる簡便性

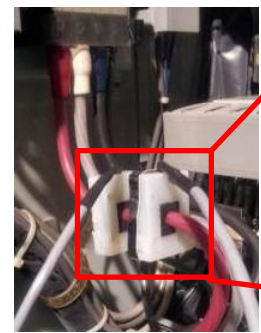
試作・評価中の電流センサ構造例（ブースで展示）



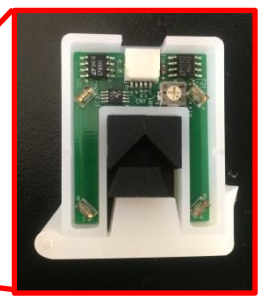
# 今の姿

■ ファクトリにおいて実証実験を実施し、提案した電流・磁界センサによって消費電流をモニタリングできることを実証(※有線端末)

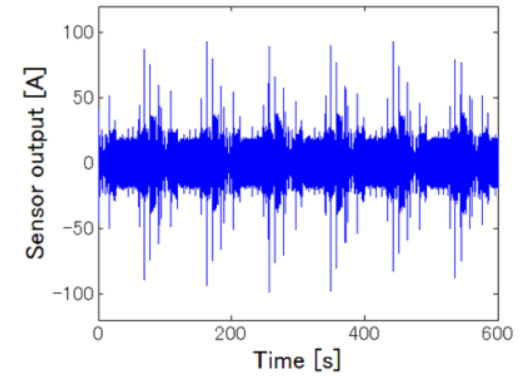
実証対象装置(NC加工機)とセンサ設置のようす



提案した電流・磁界センサ

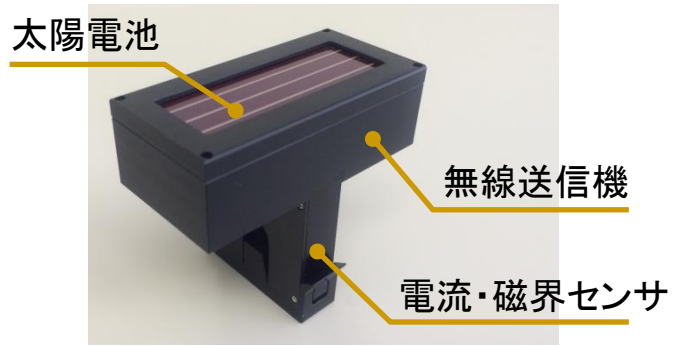


消費電流モニタリング結果

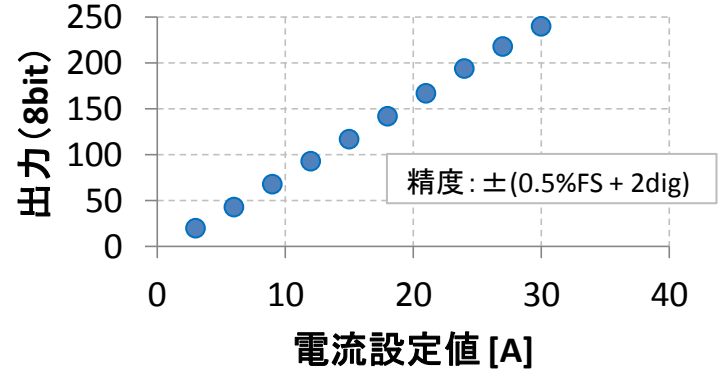


■ 自立電源と無線送信機を搭載した電流・磁界センサを試作

自立電源&無線送信機を搭載した端末



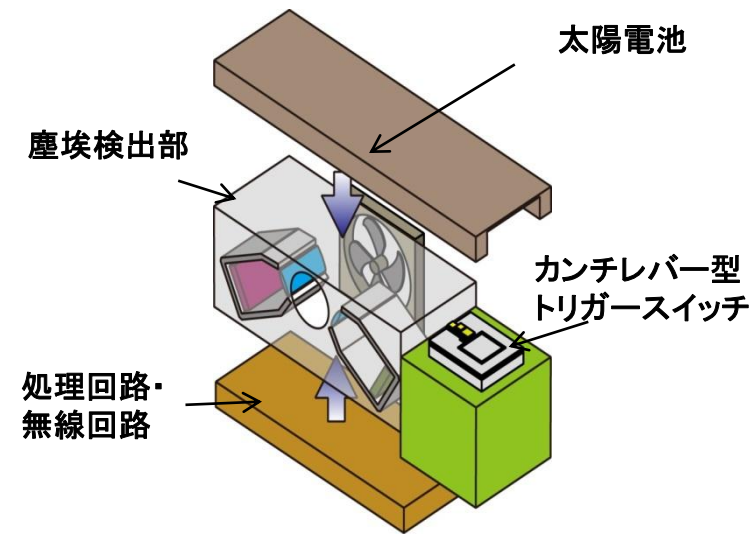
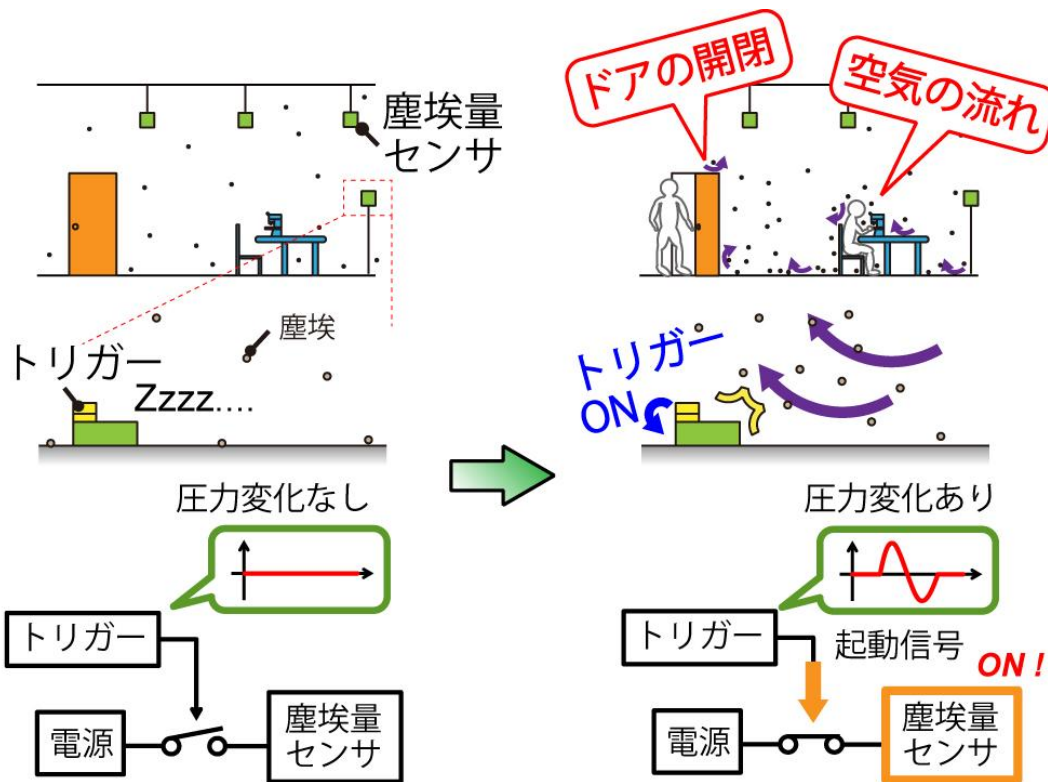
出力特性





# イベントドリブン型塵埃量センサの開発

- 空気の流れや気圧の変化を低消費電力で検出するトリガースイッチの開発
- 無線通信機能を有するイベントドリブン型小型低消費電力塵埃量センサの開発

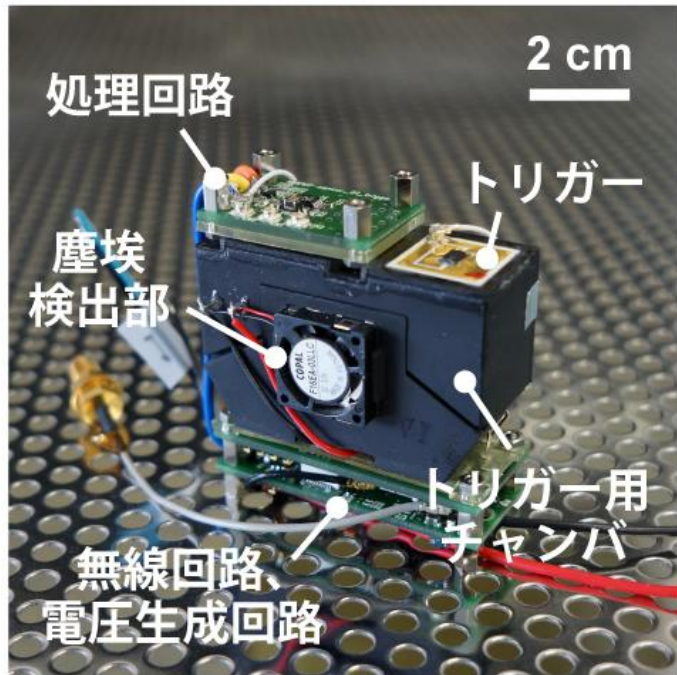


## イベントドリブン型塵埃量センサの構成

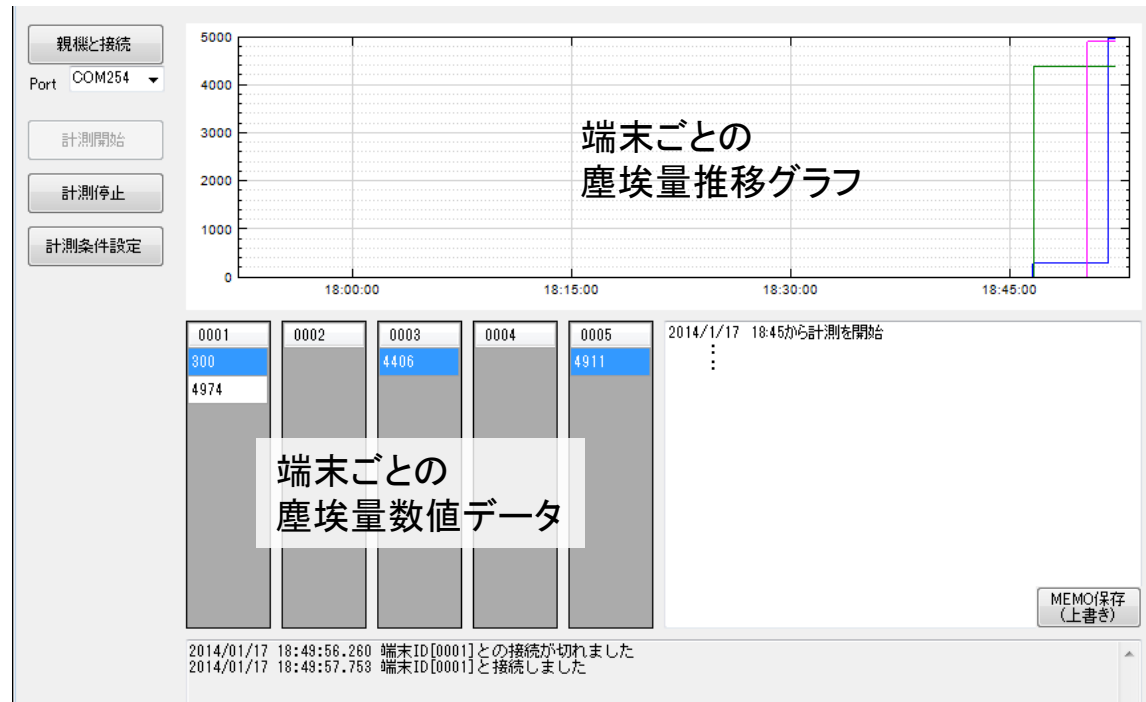
トリガースイッチによって必要なときのみ塵埃センサを動作させることにより、端末全体の待機時の消費電力を $3\mu W$ まで削減

# 今の姿

- 無線通信により測定結果をPC上にリアルタイムで表示できる小型塵埃センサ端末を試作



試作した塵埃センサ端末の外観



PC上に表示される測定結果

# イオン液体のCO<sub>2</sub>吸着を用いた低消費電力 CO<sub>2</sub>濃度センサの開発

## ■ 研究のポイント

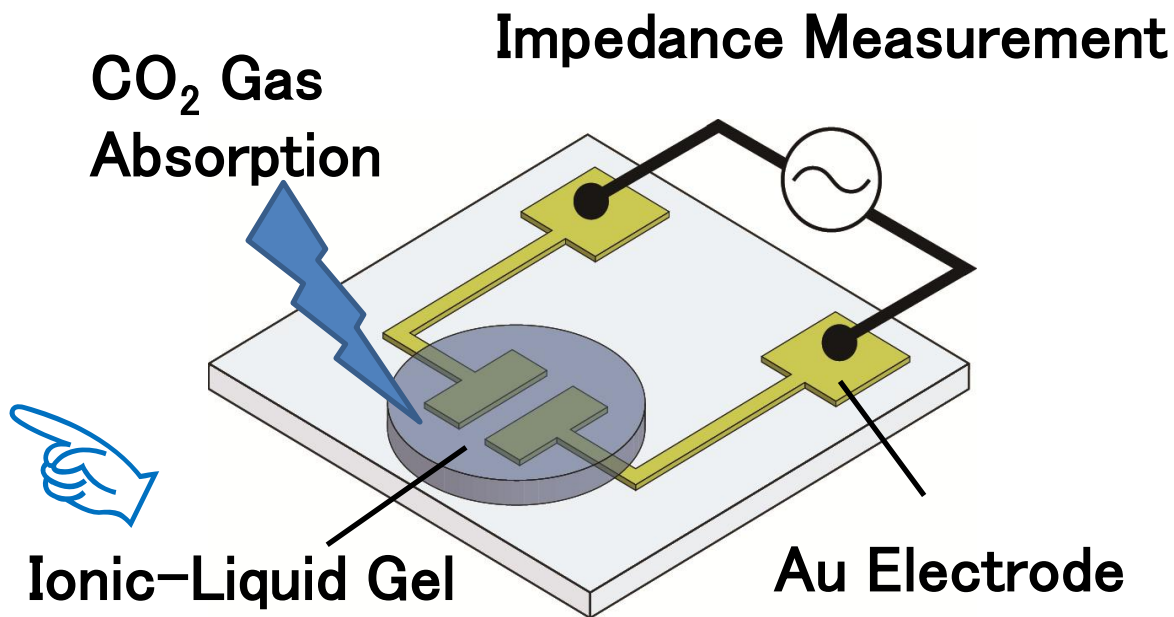
従来のCO<sub>2</sub>センサ(NDIR, 固体電解質)と比べ, ①低消費電力 (1/100~1000以下)  
②高速検出 (10s程度) ③小型化 (1cm×1cm)を実現したCO<sub>2</sub>センサを開発

## ■ 特徴

- ・光源やヒーター用いない
- ・インピーダンス変化を利用したシンプルなセンサ

## ■ イオン液体に着目

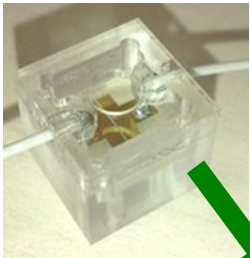
- ・CO<sub>2</sub>を特異的に吸着
- ・導電性が高い
- ・安定性が高い



# 今の姿

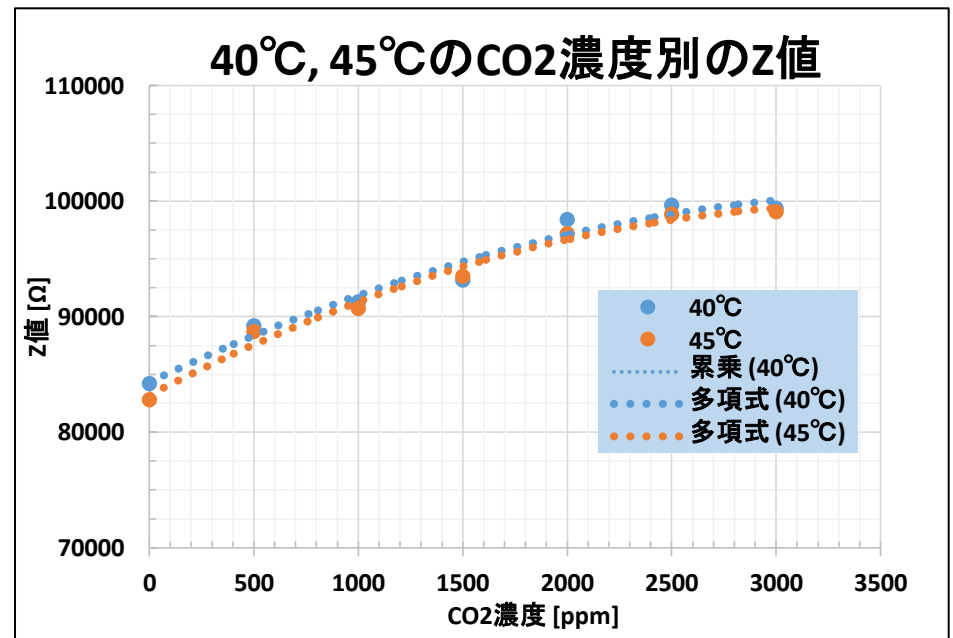
## ◆ CO<sub>2</sub>センサおよびセンサ端末

CO<sub>2</sub>センサ (1cm × 1cm)



CO<sub>2</sub>センサ端末 (2cm × 5cm)

従来より計測時間が非常に短く、  
低消費電力なセンシングが可能！



分解能100ppmで検出可能  
※センサのみの消費電力

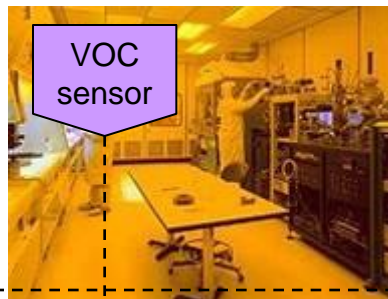




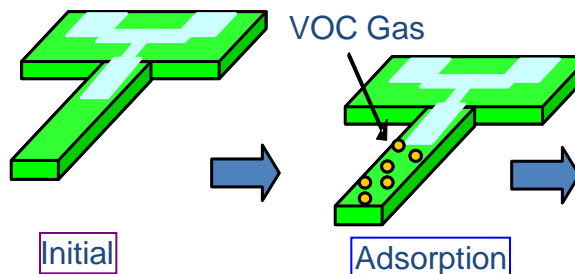
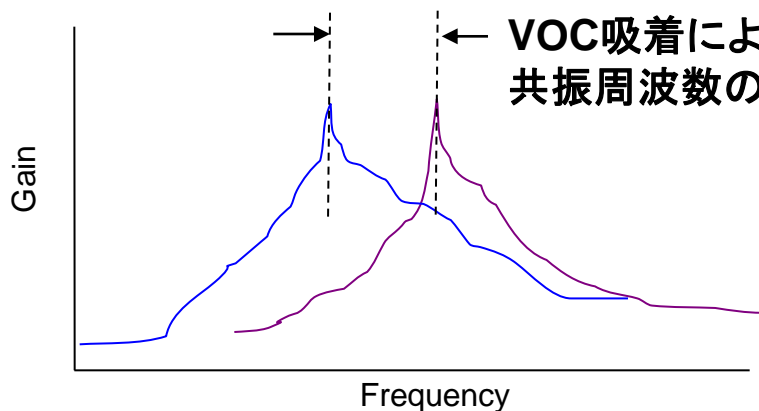
# センサネットワーク用VOC (揮発性有機化合物)濃度センサの開発

## ■ゴール

環境中のVOCをモニタリングして排気システムに消費する電力を低減させるための**低消費電力・小型・低価格**のVOC濃度センサを開発する

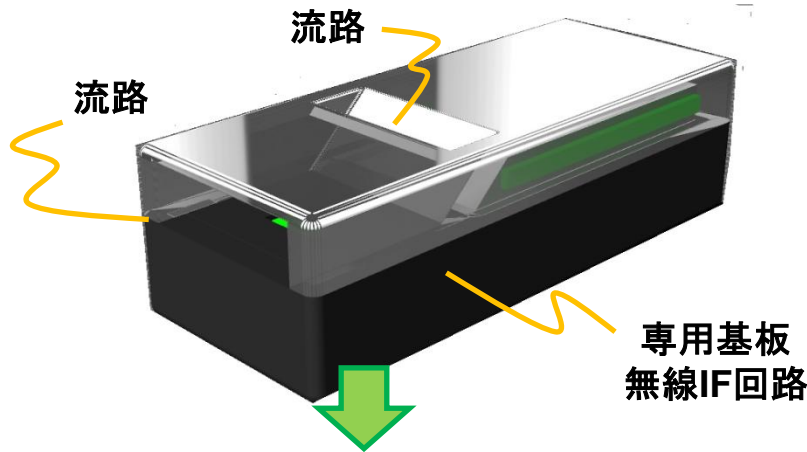


## ■センサの原理

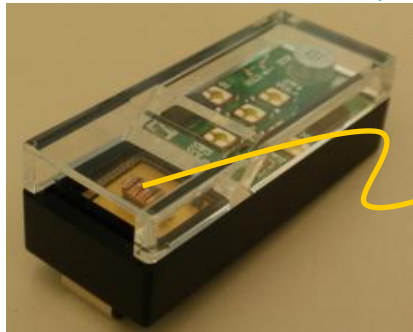


# 今の姿

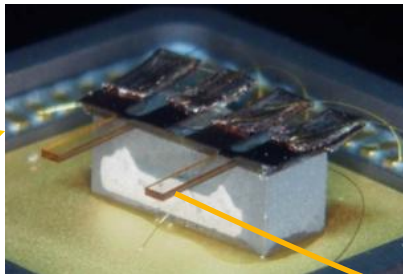
- VOC濃度センサモジュール (VOC濃度センサ・低消費電力回路・無線IF回路)を開発した。
- トルエン暴露による共振周波数シフトの繰り返し再現性を検証した。



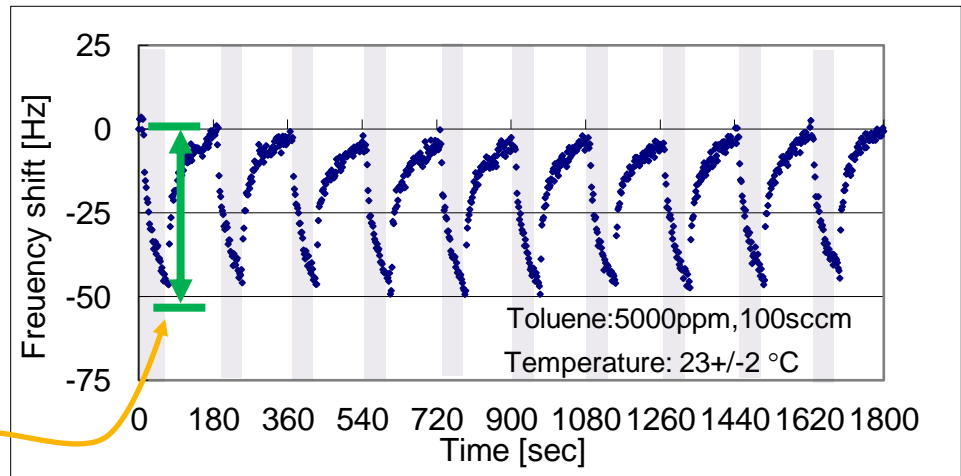
**VOC濃度センサモジュールの特徴**  
低消費電力(0.1mW)  
小型(20(W)x50(L)x15(H) [mm<sup>3</sup>])  
低価格(¥1000-/センサモジュール)  
ワイド測定レンジ(100-5000ppm)



VOC濃度センサモジュール



VOC濃度センサ



トルエン暴露による共振周波数シフトの短期繰り返し再現性  
(トルエン暴露: 図中グレーゾーン)



# 人の数と動きがわかる 小型・低消費電力な人感センサの開発

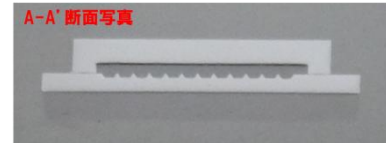
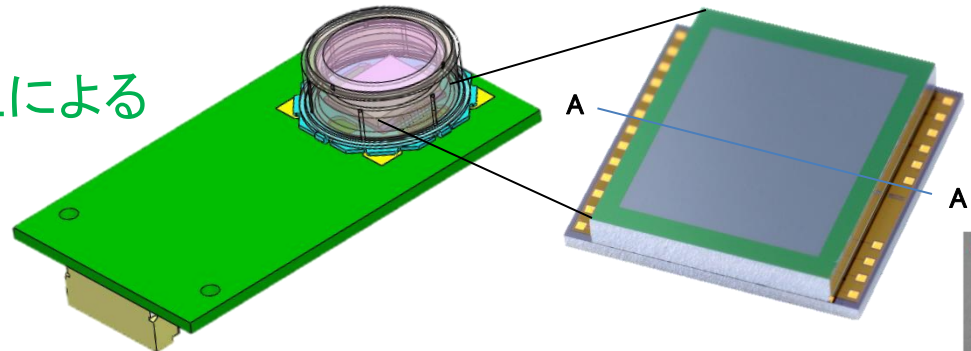
■ 研究のポイント: 世界で初めてウェハレベル真空封止技術を活用した人感センサ向け小型 & 高感度16x16素子非接触温度センサの開発

[狙い]

| 空調による省エネ手法                        | エネルギーロスの要因             | 省エネ効果[%] |      |     | 必要なセンサ |                 |     |
|-----------------------------------|------------------------|----------|------|-----|--------|-----------------|-----|
|                                   |                        | 夏期       | 中間期  | 冬期  | 温湿度    | CO <sub>2</sub> | 人検知 |
| ① 不在エリアの設定温度緩和/停止<br>(人検知による自動制御) | 不在エリアの無駄運転             | ~13%     | 0%   | ~6% | ○      |                 | ○   |
| ② CO <sub>2</sub> 濃度にもとづく換気量制御    | 過剰換気<br>(基準値: 1000ppm) | ~8%      | 0%   | ~8% |        | ○               | ○   |
| ③ 中間期の窓開閉ガイダンス<br>(温暖な気候時の自然換気)   | 無駄運転                   | 0%       | ~30% | 0%  | ○      | ○               |     |

[センサの特徴]

ウェハレベル真空封止による  
赤外線センサ素子の  
高感度化



NMEMS 技術研究機構

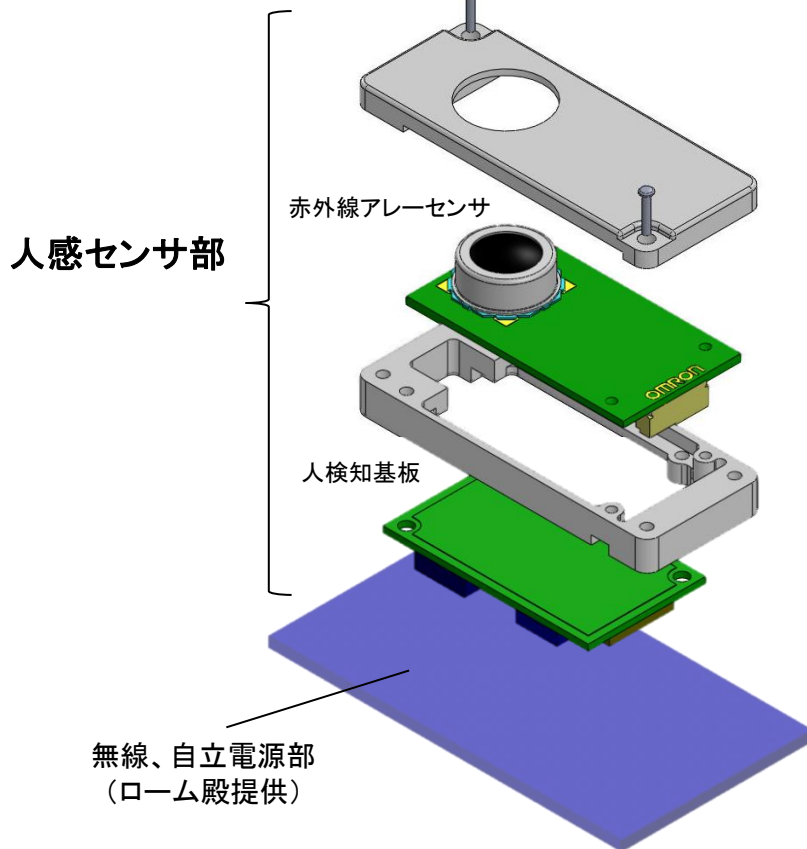




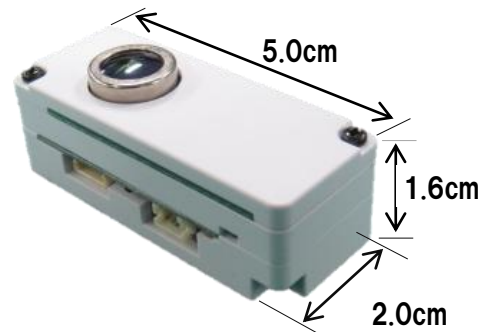
# 今の姿

ウェハレベル真空封止を利用した高感度赤外線センサの間欠駆動により、小型・低消費電力な人感センサ部を実現

## 【センサ端末の構造】



## 【作製した端末】



間欠駆動により  
平均消費電力100uW  
を達成

1回/min動作時の平均消費電力  
95uW  
(駆動電圧3.0V)

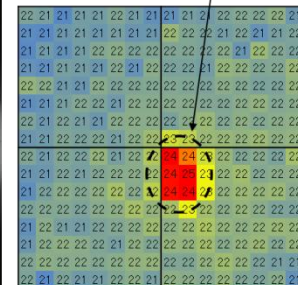
## 【人検知結果】

(可視カメラ画像)



(赤外線センサ熱画像)

人と検知される領域(赤色部)

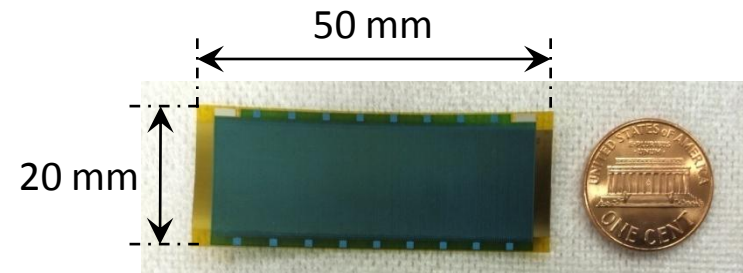
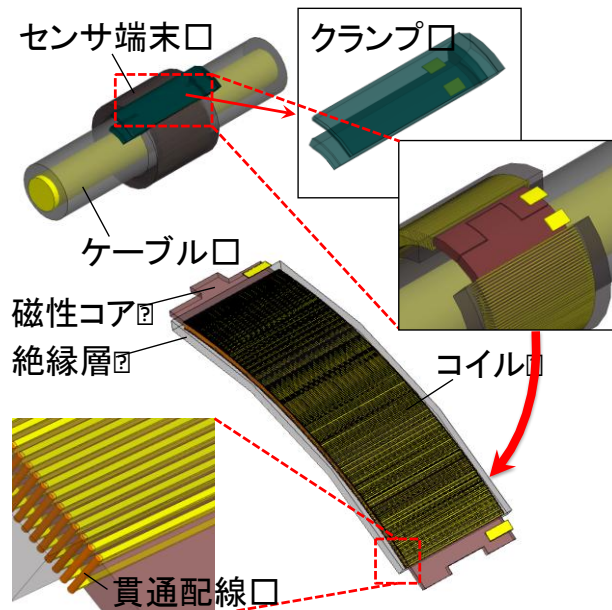


\* 赤外線センサ出力の  
平均回数0回

# 電力使用量「見える化」のための センサネットワーク用フレキシブル電流センサ

## ■ 研究のポイント

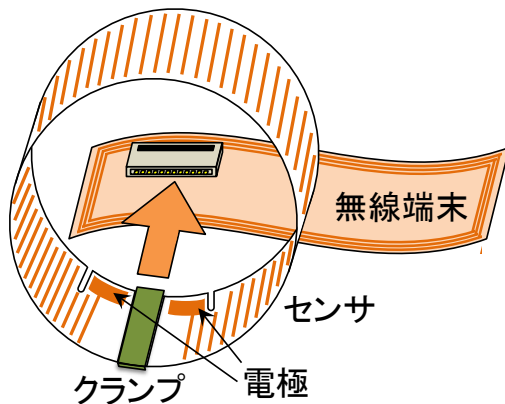
- 敷設スペースを大幅に減少できる、「巻き付け式」フィルム型電流センサを開発
- 小型(50mm × 20mm)、フレキシブル(厚さ100μ m)



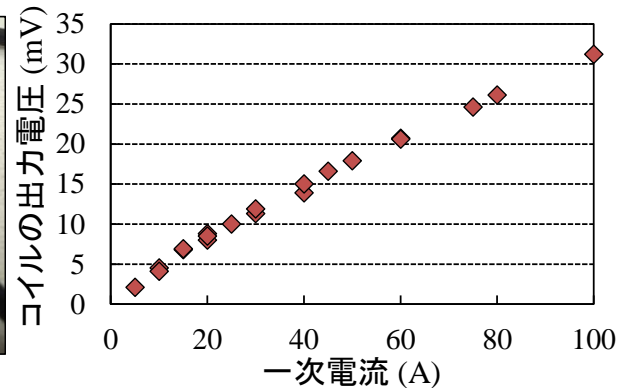
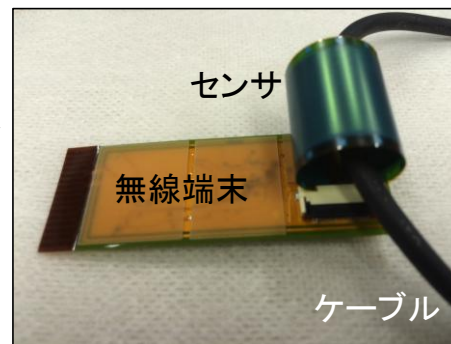
開発したフィルム型  
電流センサ

# 今の姿

- 無線端末と組み合わせることで、ワイヤレスセンサネットワークを構築
- コイルに発生する二次電流を活用して無線端末に給電



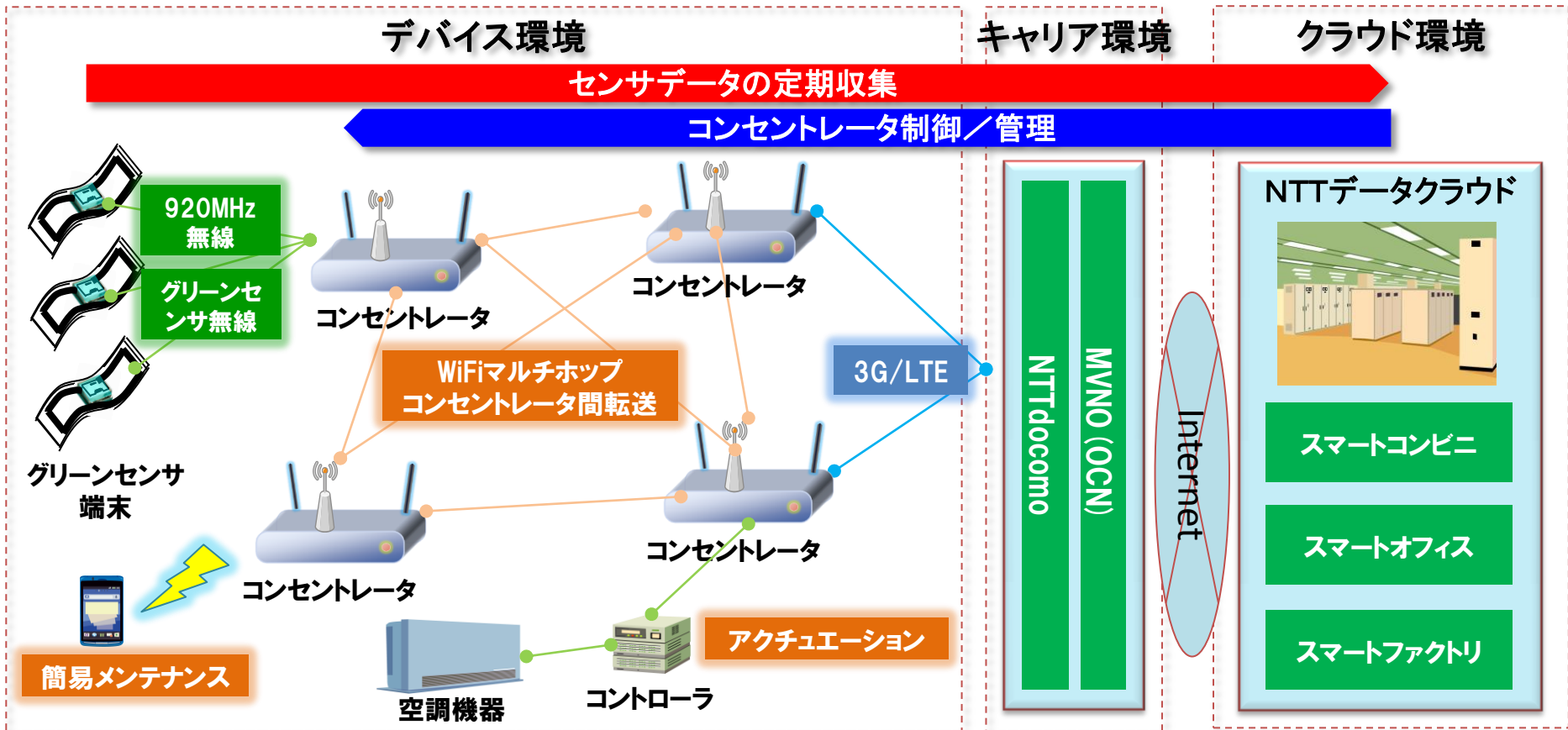
無線端末との接続



センサの特性評価

# 実証を支える技術

- WiFiマルチホップ機能を開発。メッシュネットワーク構成でのコンセントレータ間データ転送を確認
- クラウドから3G/LTEを介して、コンセントレータを経由した空調機器アクチュエーションを実現
- グリーンセンサ端末、受信機との接続を実施。クラウドへのセンサデータ送信を確認





# スマートコンビニへの社会実装 グリーンセンサによる省エネ対策・設計技術の開発

■ コンビニエンスストア (CVS) という比較可能な多くの店舗 (2,000 店) に約20,000個の無線センサを実装。長期モニタリングデータを活用した省エネ10%を実現or省エネ10%に資する具体的対策の提示



2.4GHz & 950MHz  
マルチ受信機



2.4GHzクランプ



950MHz (or 920MHz) 環境センサ

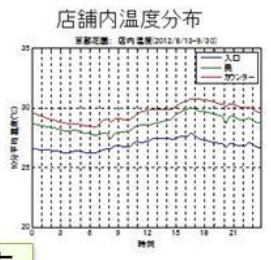
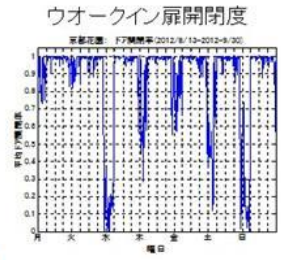


全国2,000店舗  
実装2012年夏

[世界]  
マクドナルド  
約29,000店舗  
スターバックス  
約14,000店舗  
KFC  
約17,000店  
セブンイレブン  
約48,000店舗

約200店舗  
実装2013年3月

## 電力プロファイリング



### 抽出された要因

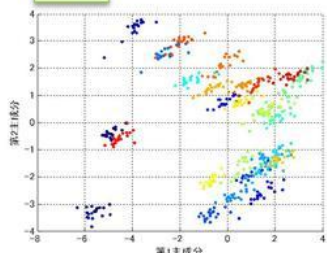
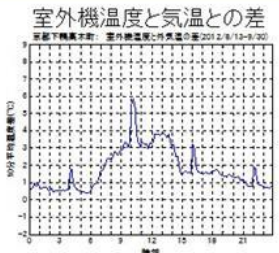
1. 気温・天候
2. 店舗構造
3. 断熱性
4. 室外機環境
5. 店舗の温度分布
6. 機器メンテナンス
7. オペレーション
8. デフロスト

店舗で各要因の寄与が異なる

実験群の個性

省エネ対策の個性

比較可能対象であるが

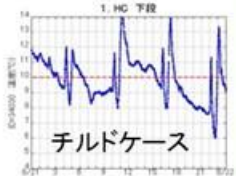
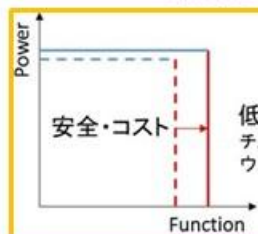
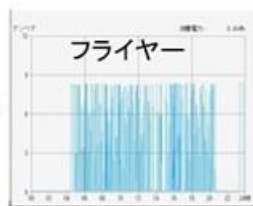
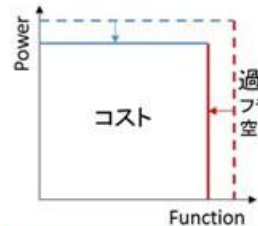
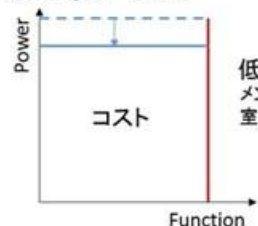


# 25年度成果

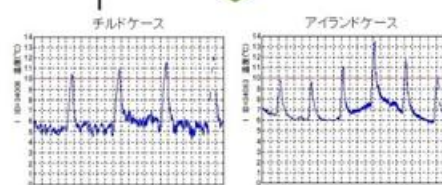
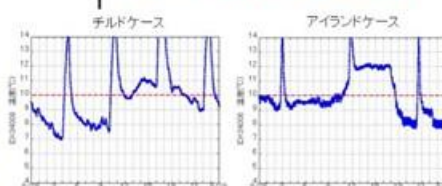
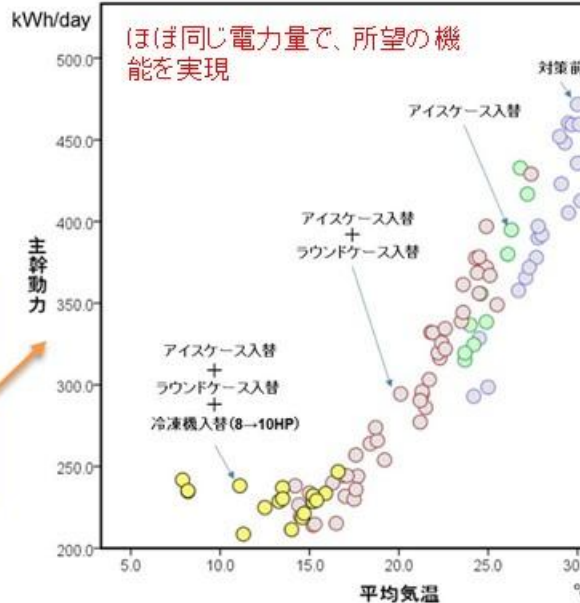
## 【まとめ】

GCONを活用した店舗環境モニタリングを約30店舗で達成。店舗内約30か所の環境データを取得し、機器劣化や、機器レイアウトの不適切さによる増エネ可能性を検証。残されている課題は、第Ⅲ・Ⅳ段階の「相互作用・省エネ設計」で、現在試作中の移動型920MHz環境・クランプセンサ70セット(端末数:820)を用いた店舗モニタリングにより、什器機能や、什器の店内配置の適正化を図る。また、2.4GHzクランプの2チャンネル化と借電化に成功。

## 成果内容



電力を使いながら所望の機能を発揮していない什器を抽出。什器の入替で特性を改善。



コンビニの増エネ: 3つの要因

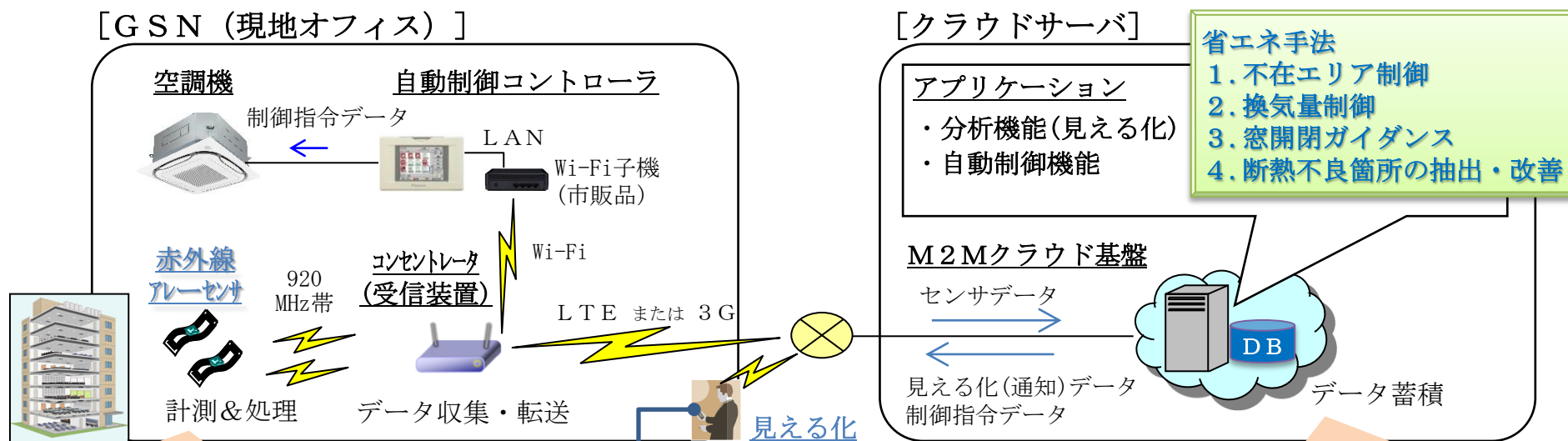
Functionは“温度”



# 天井に貼るだけでスマートオフィスを実現する センサネットワークシステムの開発

■ 中小オフィス(エネ管理者不在、省工事重視)向けシステムを提案。  
(特長: 赤外線アレセンサで部屋を俯瞰し、ロスの発見と即時解消を行う)

## ＜中小オフィス向けGSNシステムの構成＞



### 【特徴1：スマートセンサ】

- ・天井に貼るだけで部屋を俯瞰。
- ・太陽電池と無線機能を一体化し、電源・配線工事を不要化。
- ・リアルタイム処理を可能にする分散処理。

### 【特徴2：スマートアプリケーション】

- ・単一センサで、複数の省エネアプリを運用。
- ・省エネ行動を誘発する情報の作成と見える化。



発生ロス(例: 冷え過ぎ) ※1分毎に情報を更新



# 25年度成果

■省エネアプリ(見える化、自動制御)を開発し、クラウドに実装




⇒試作機(センサ、GCON+クラウド)と統合し、一気通貫の動作を確認

**アプリ概要** ロスの発生場所・種類を抽出し、問題箇所を直観的に知らせる画面を表示(対策も表示/実施)。

アプリ構成

見える化

【凡例】

-  ロス発生場所
-  人の位置
-  温度分布

<要約画面>



**表示内容**

- 室温分布図と人位置を表示。重畳して、大きなロスの発生箇所をアイコンで表示。
- 下欄に、省エネ対策を表示。

<詳細確認画面> 表示内容



■「不在エリア制御」向け  
冷やし過ぎ・暖め過ぎのエリア(人有無で基準を変える)を表示。

■「換気量制御」向け  
換気量が過剰な(人数が定員より少ない)エリアを表示。

■「窓開閉ガイド」向け  
外気温と室温分布図を併せて表示。

■「断熱不良箇所の抽出」向け  
熱の出入りが多いエリア(室温の変化率から特定)を表示。

自動制御

... ロスの発生箇所・種類を元に、制御の対象・内容を決定し、制御指令を送信する(毎分)。

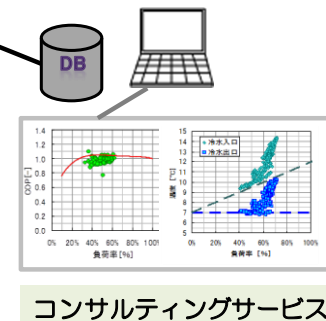
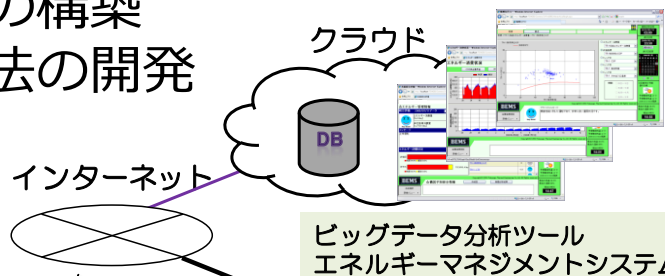
※通信仕様: 日本冷凍空調工業会「HTTPインタフェース仕様」に準拠

# スマートビル用低コスト・メンテナンスフリー グリーンネットワークシステムの開発

## 大規模業務用ビルにおける エネルギーマネジメントによる省エネルギーの達成

- 無線センサネットワークシステムの構築
- データの見える化、データ分析手法の開発

大規模業務用ビル・工場



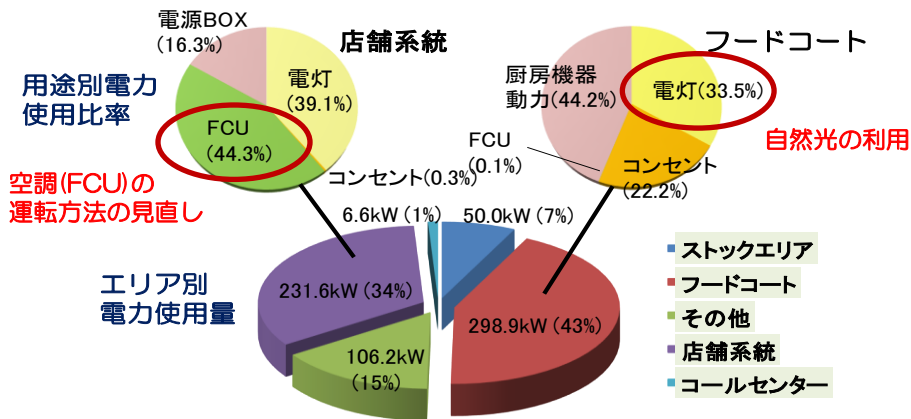
監視制御システム  
省エネ制御  
(機器発停、設定値変更等)

# 25年度成果

## 1) 郊外型大規模商業施設

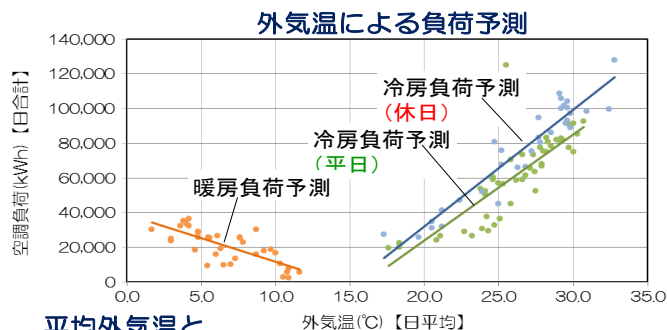
➤ 系統別電力量の詳細計測

⇒ 用途別電力比率により省エネ手法を選定



➤ 空調負荷の詳細計測

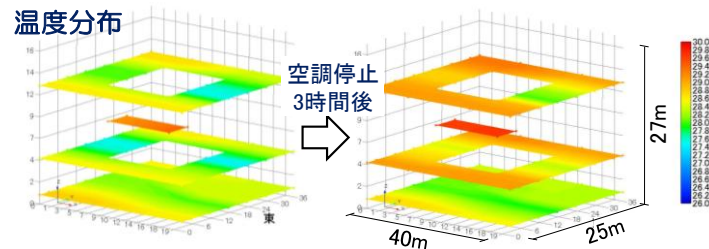
⇒ 外気温度、来場者数により負荷予測可能



## 2) 大規模複合商業施設

➤ 大空間の温度、CO<sub>2</sub>の多点計測、クラウド環境構築

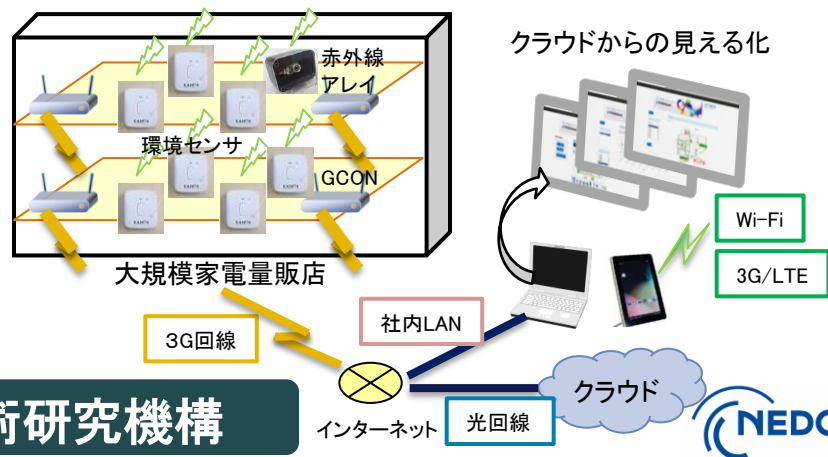
⇒ 室内環境の見える化、省エネ手法の提案



## 3) 大規模家電量販店

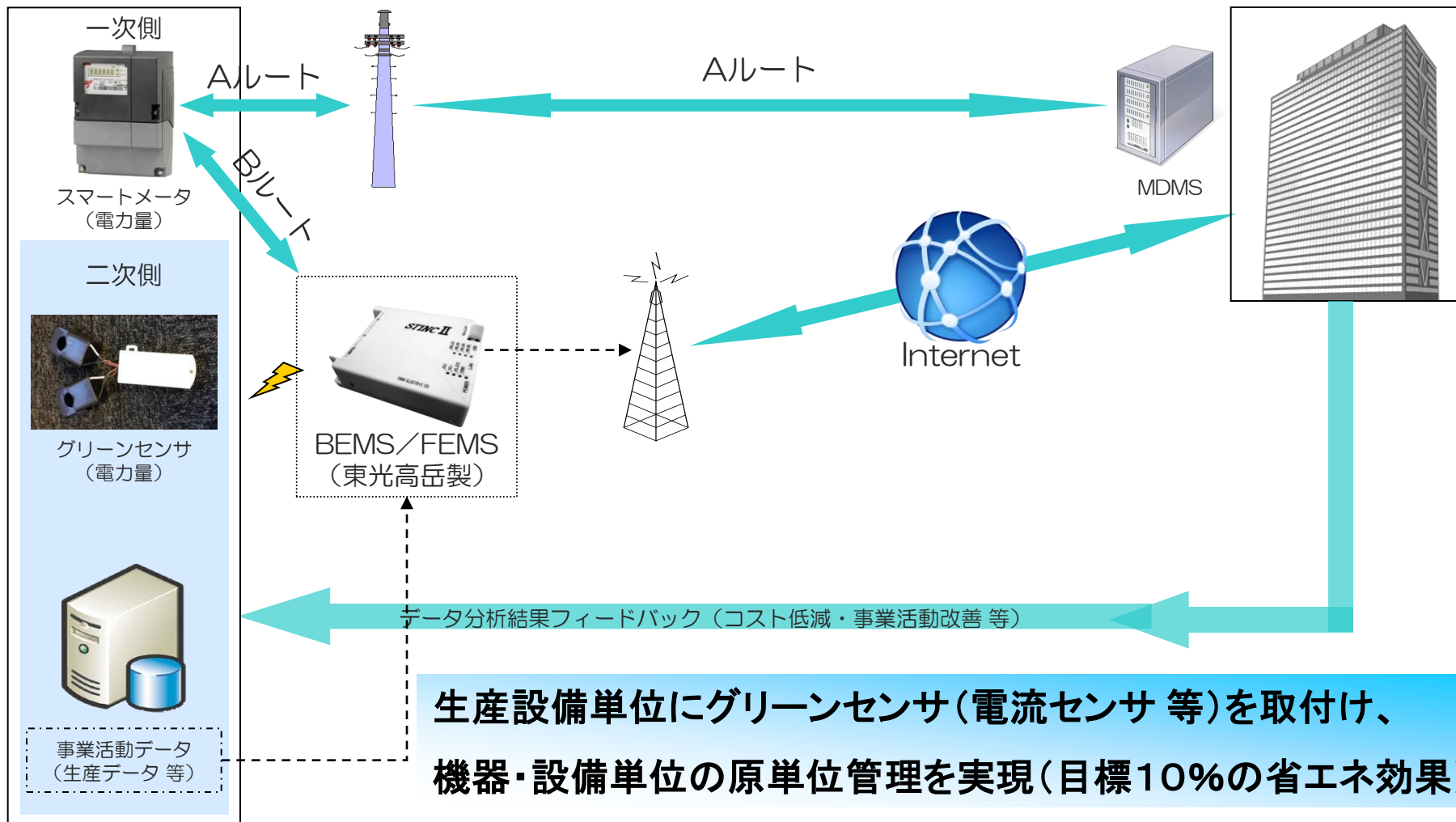
➤ クラウド環境構築(GCON複数台設置)

➤ 赤外線アレイ設置 ⇒ 更なる省エネ提案



# 機器・設備毎の原単位管理を可能とする スマートファクトリ用グリーンセンサネットワークシステムの開発

お客さま側



生産設備単位にグリーンセンサ(電流センサ等)を取付け、  
機器・設備単位の原単位管理を実現(目標10%の省エネ効果)



NMEMS 技術研究機構

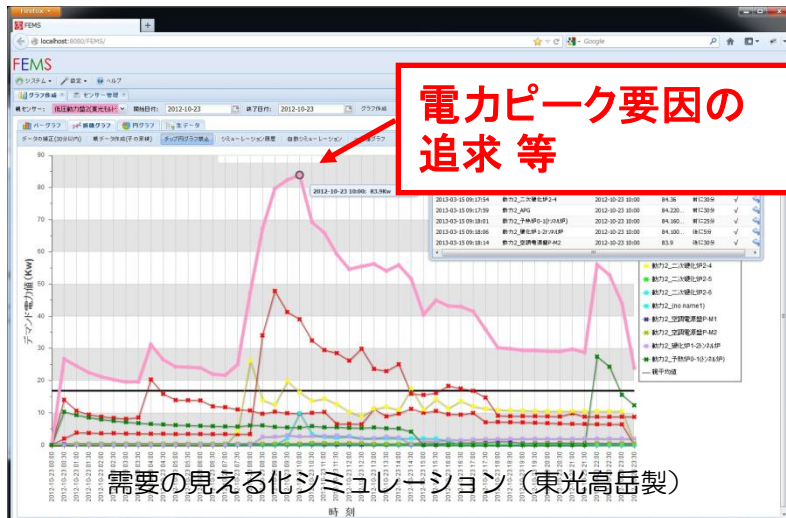




# 25年度成果

- 異業種(一般機械、輸送用機械、金属製品 等)において電力見える化システムを設置

生産データと組合せることにより、生産プロセス単位の 電力ロス・電力ピーク要因の追求が可能となった。



- 工場向け無線クランプシステムの試作を実施

広範な工場・事業場における 無線システムの有効性や 必要となる仕様の抽出が完了した。



ご清聴ありがとうございました。