

NEDO委託事業  
「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」  
2016年度～2020年度

超高効率データ抽出機能を有する  
学習型スマートセンシングシステム(LbSS)  
の研究開発

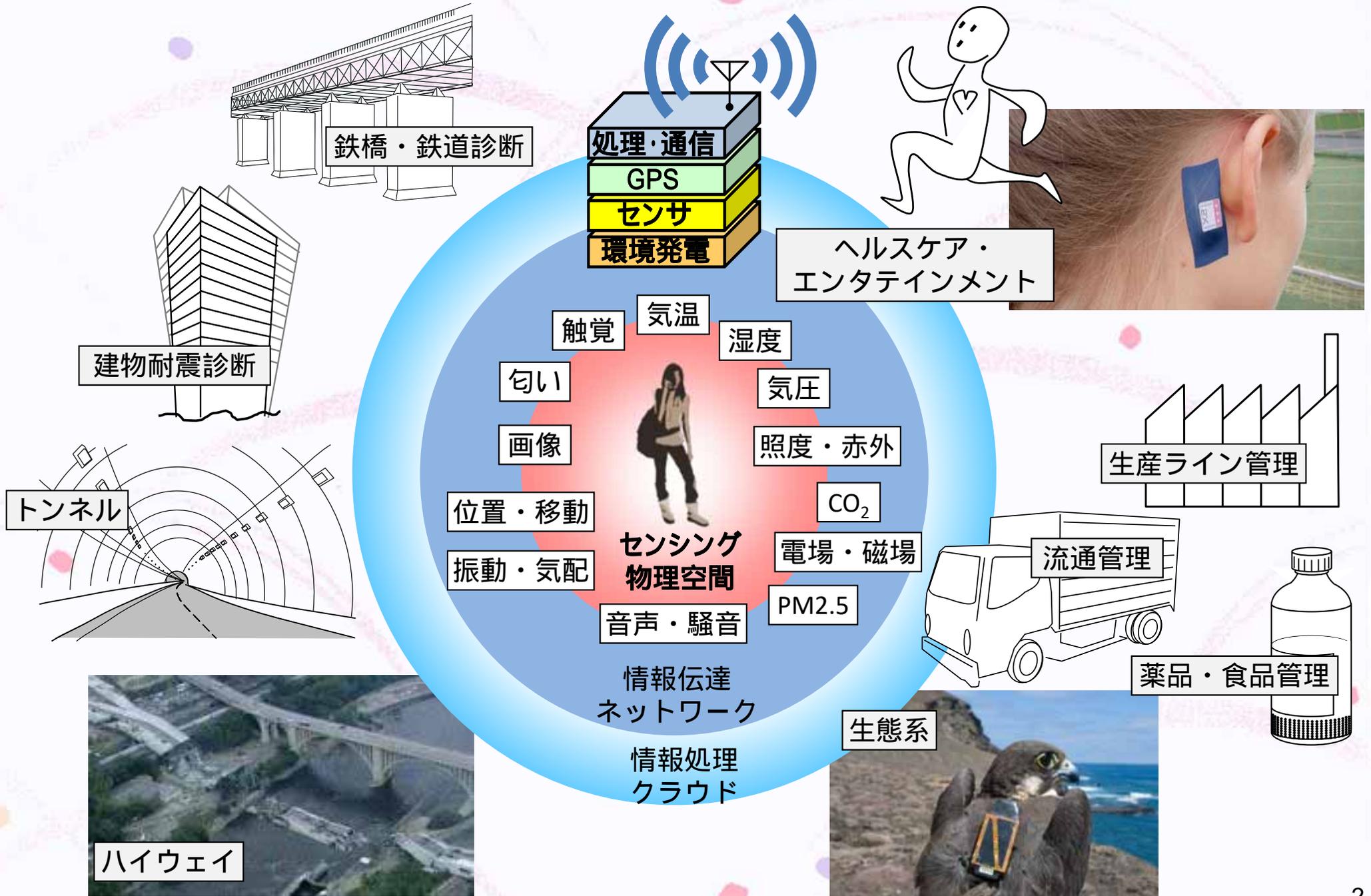
環境発電の微小電力で収集可能な有価情報を100倍増  
～ 学習効果で不要な生データを徹底排除～

LbSSプロジェクトリーダー 藤田 博之 東京都市大学教授

技術研究組合 NMEMS技術研究機構

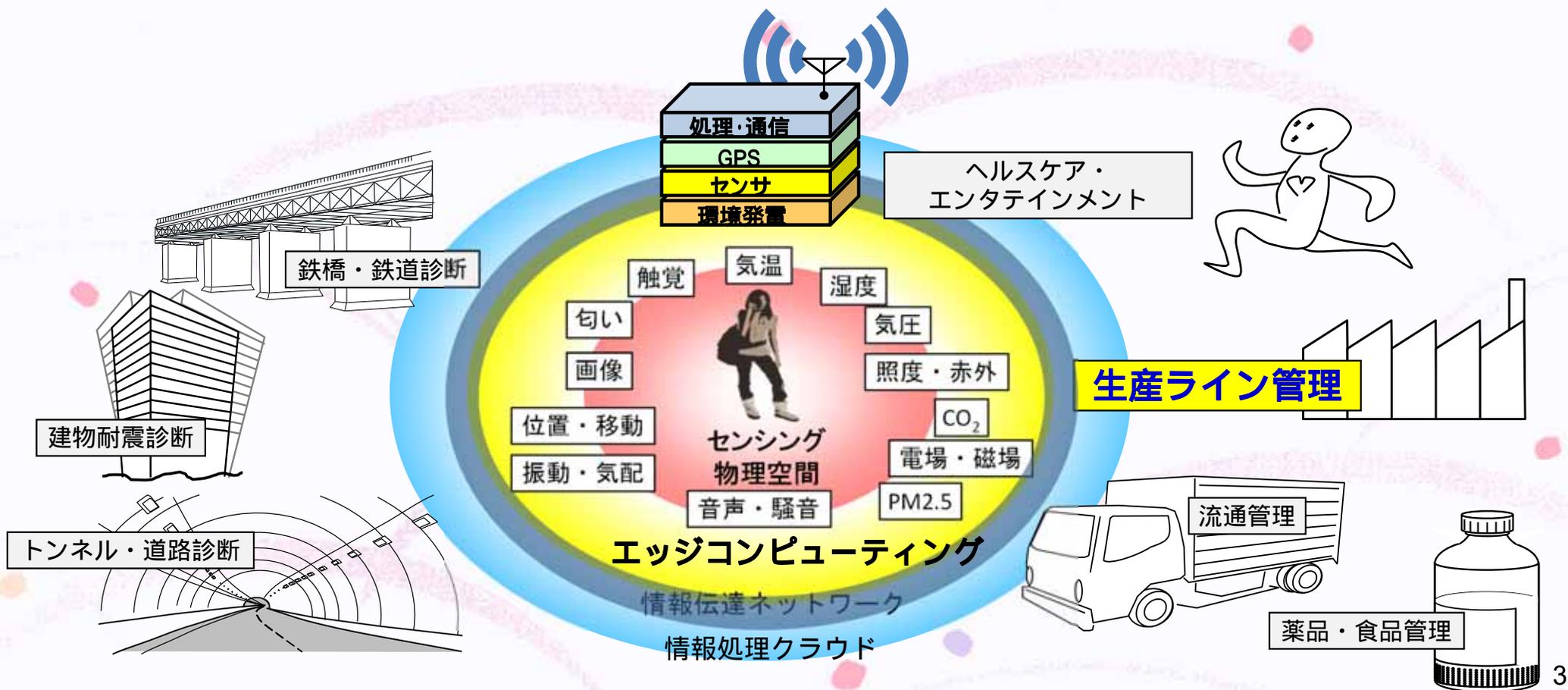
(株)日立製作所、東京電力ホールディングス(株)、(株)東光高岳、  
ローム(株)、富士電機(株)、オムロン(株)、(株)鷺宮製作所、  
(一財)マイクロマシンセンター、静岡大学、東京大学【再委託】、  
(一財)電力中央研究所【再委託】

# IoT センシングネットワークと無線センサ



# 無線センサネットからスマートセンシングシステムへ

- 測定すべきパラメータ (例: 周波数帯域) を自動調整
  - 測定データから知りたい情報を自動抽出
  - 有価情報の抽出で、送信データを圧縮
  - 無線通信、無給電、無交換 (電池)
- センサ選定が楽  
信号の解析が楽  
通信と蓄積が楽  
センサ設置が楽



# スマートセンシングシステムの研究概要

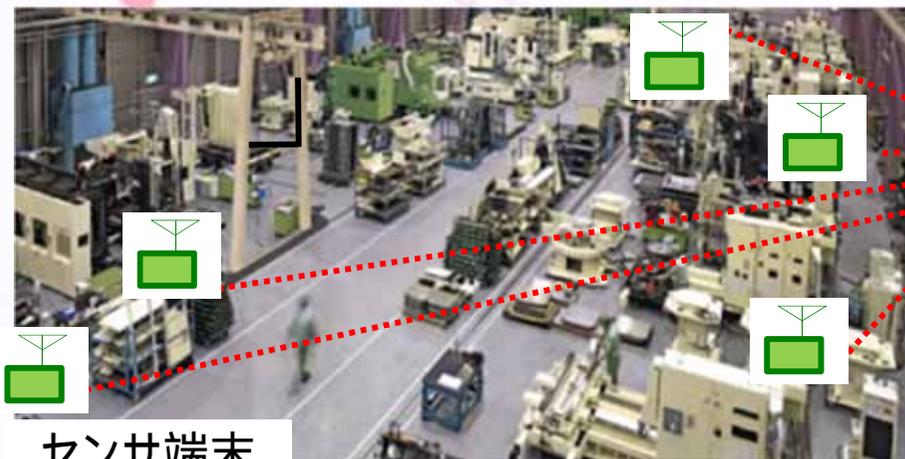
**背景:** 工場のデジタル化が進展する中、IoTによる生産性向上が喫緊の課題であり、既設**ラインやレガシー設備** (工作機械の80%以上が導入から10年超) への**センサ設置とネットワーク接続が必要**なため

**内容:** 学習機能を備えた**エッジ処理**により**データ量・データ送信量を削減**する**スマートセンシングシステム**、**高信頼無線通信**による**動的センシング**で**自動最適化**する**スマートセンサ端末** (赤外線アレ-、ガスセンサ)、**センサ端末の無給電動**作を実現する**環境発電 (振動発電)**

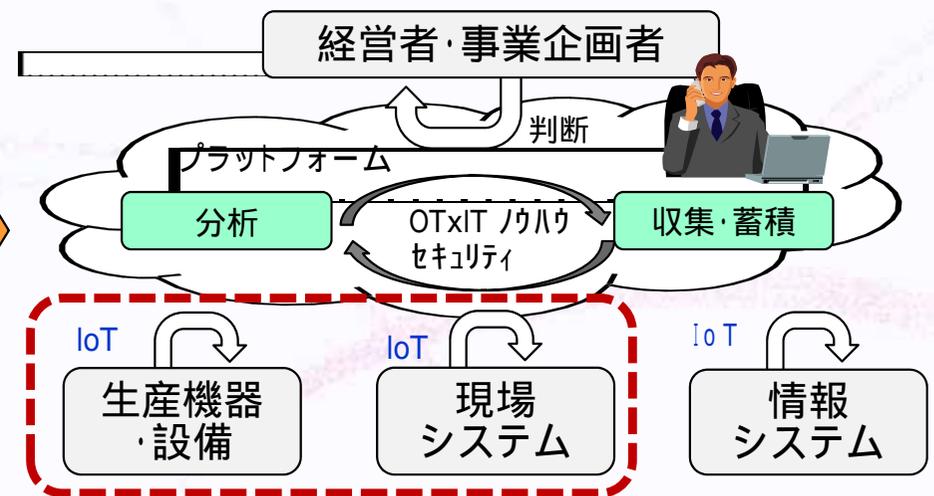
**目標:** 多種多様な**機器・設備**から**高効率に有用データを抽出** (従来比100倍)、**設備環境から高効率で振動発電** ( 500  $\mu$  W )

**効果:** **工場の機器制御や状態判断**を、**環境を問わず取り出せるエネルギー** (振動、光、熱) で**実現するシステム**を、**機械停止なく軽い設備負担**で構築可能

生産システムからの個別データ収集・監視



センサ端末



経営効率化のための現場情報の収集\*

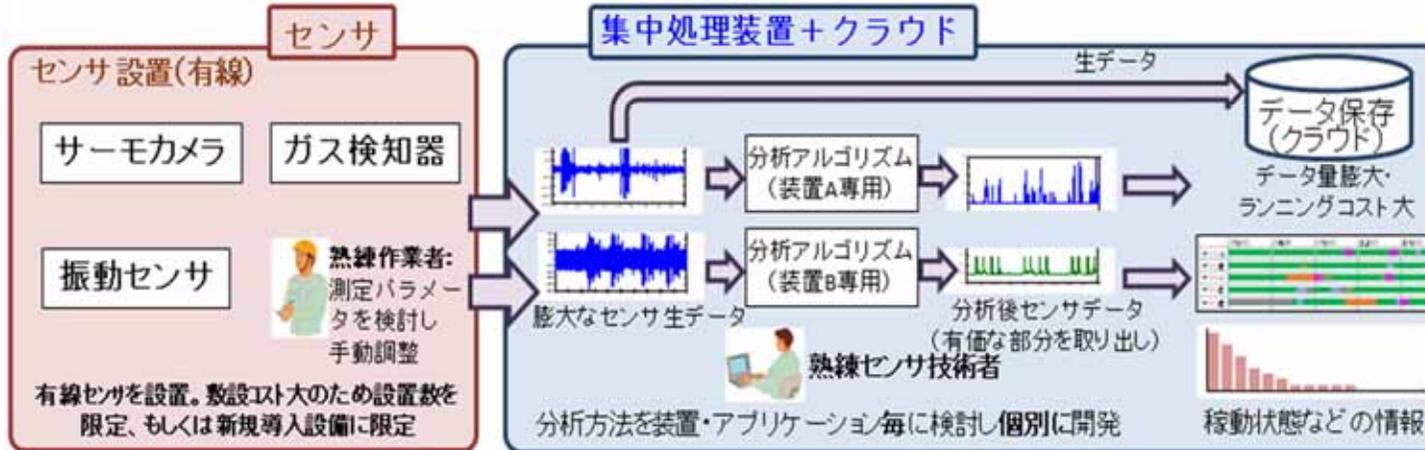
\* 出典: 日立評論 2016 Vol.98 NO.4 P.58

# スマートセンシングシステムの優位性

## ■IoT(工場のデータ収集) 導入のハードル (従来技術)

- ・種類/型式の異なる設備状態を把握するにはシステムの個別開発、センサ毎の個別調整と実験の繰り返しによるアルゴリズム検証が必須
- ・センサ設置/配線工事やセンサ維持管理コスト高く、広域への多数設置は困難

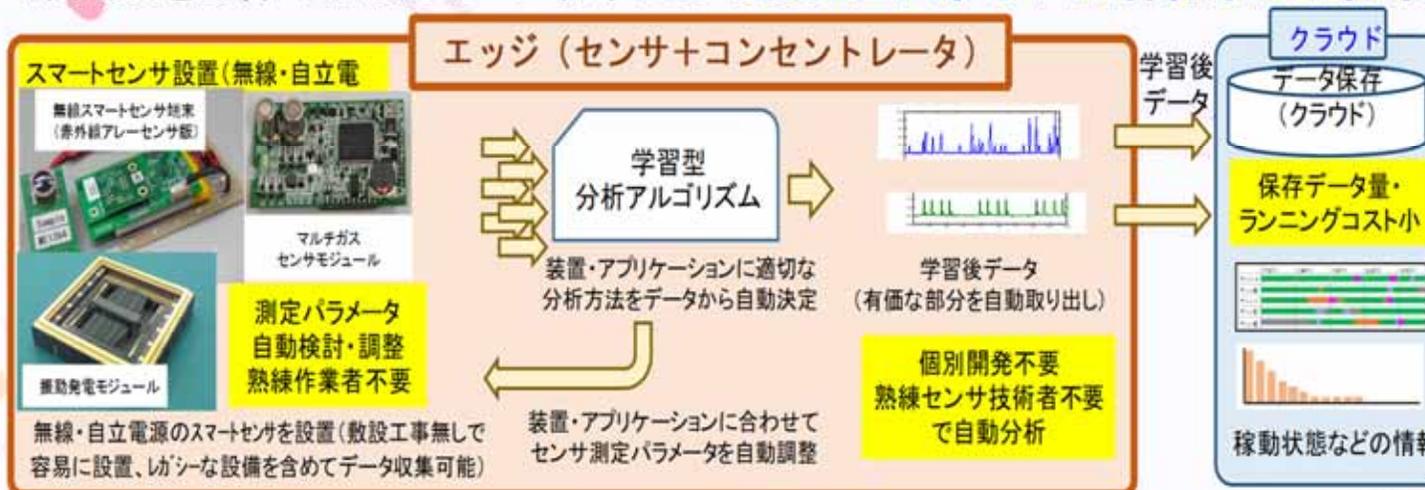
⇒ PoCだけで終わって本格導入に至らない!



測定対象毎に開発・調整が必要  
 ・測定対象となる設備数が制限される  
 ・センサ設置/運用開始に長期間(8週間~)

## ■LbSSシステムの優位性

- ・学習型分析アルゴリズムで個別のシステム開発・調整・実験を不要とし、導入に必要な期間を1/8に削減
- ・環境発電動作の無線センサ端末により設置コスト小、熟練作業者の作業不要で容易に設置可能

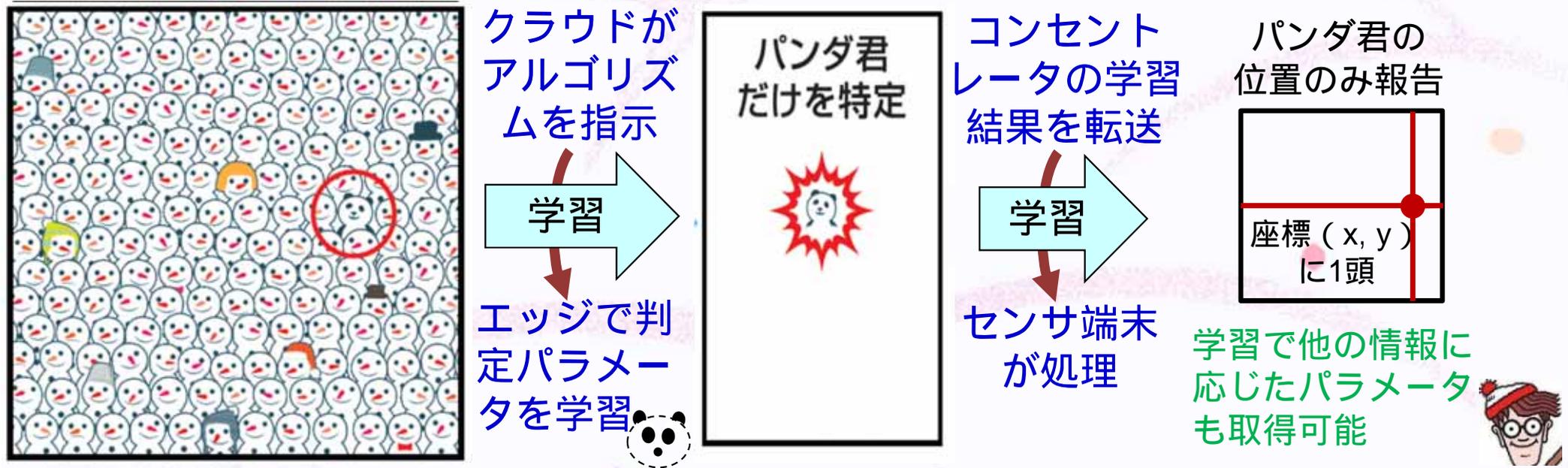


熟練技術者の分析・調整を自動化  
 ・個別分析アルゴリズム開発を不要とし運用開始までの期間短縮(1週間)  
 ・レガシーな設備を含めた多数設備のセンシングを実現

# 学習型スマートセンシングシステムの概念

課題: 従来のクラウド集中型では、通信負荷・コスト増大で大規模工場監視が困難

解決手段: 学習式エッジ分散型を用い、環境発電で収集する情報密度を100倍増

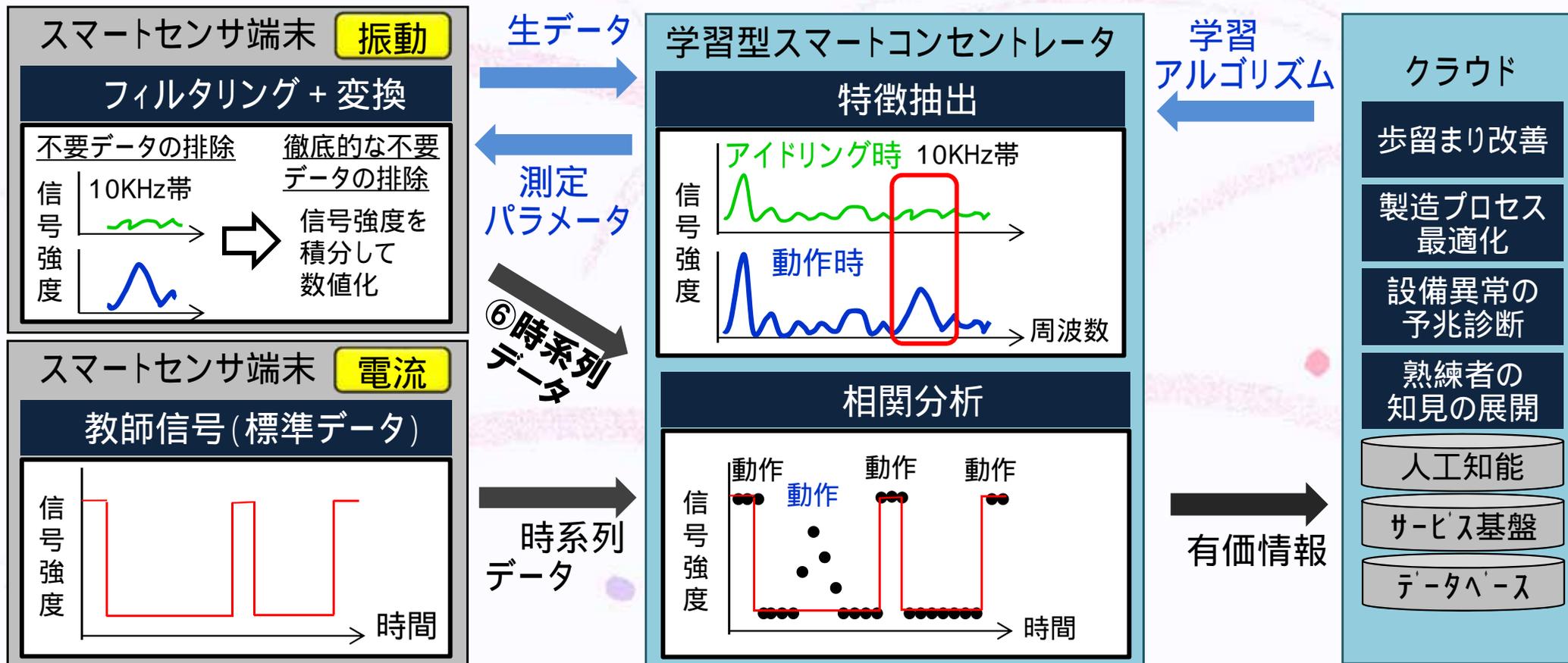


生データの送信は非効率的、不要データを排除した情報のみの送信が効率的



# 学習型センシングアルゴリズム：複数センサによる稼働状況監視の例

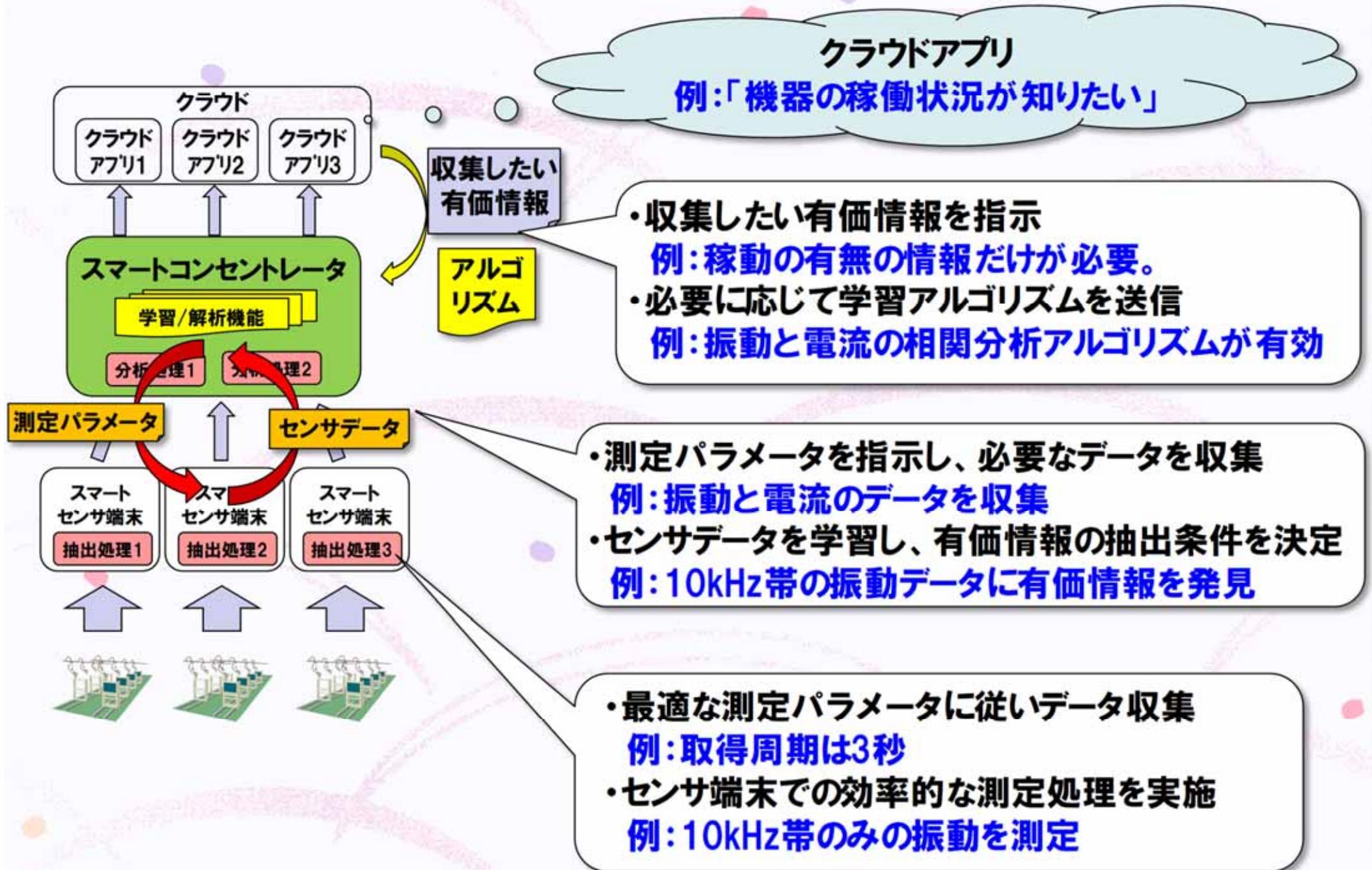
複数のセンサ端末-コンセントレータ間の学習や測定最適化で有価情報を自動収集



有価情報量100倍(送信頻度増・送信量減・センサデータ連携増)で新たに実現すること

歩留まり改善	秒単位のリアルタイム稼働状況監視と工程品質向上
製造プロセス最適化	工場全体に亘る多種多様な生産物の仕掛状態の一括・一貫モニタリング
設備異常の予兆診断	長期的な保守状況の履歴蓄積によるデータベース構築とデータ解析
熟練者の知見の展開	点検自動化と機器情報の見える化による統合的管理

# 学習型スマートセンシングの流れ

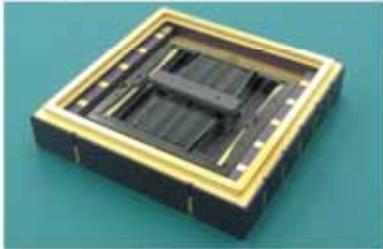


# ハイブリッド環境発電モジュールと無線スマートセンサ端末

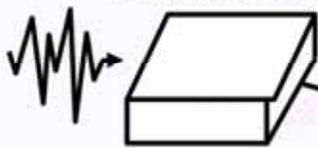
学習型コンセントレータ



多機能ガスセンサ 赤外線アレーセンサ



振動発電



太陽電池



電力供給

センサ

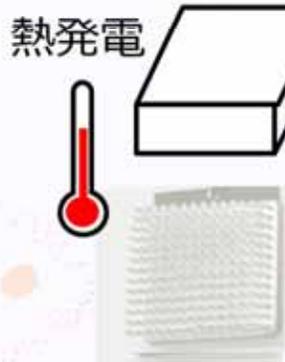


測定対象

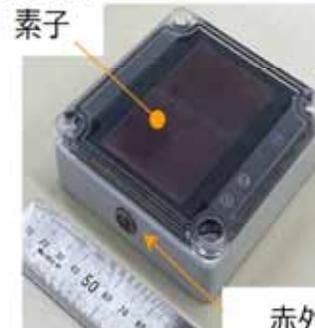
センサ信号

環境エネルギーを収集

熱発電



光発電素子



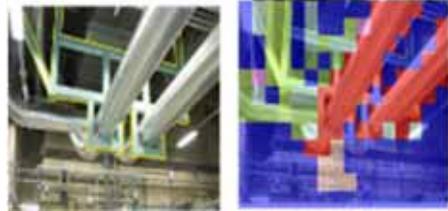
無線スマートセンサ端末

赤外線アレーセンサ

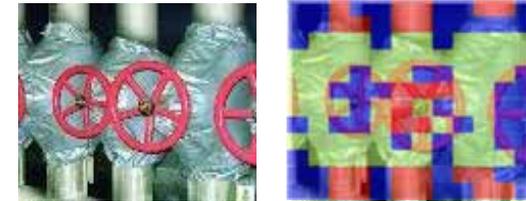
# 赤外線アレーセンサの活用例

広範囲の温度を非接触で計測し、  
設備の稼働状態・加工品の加工状態・エネルギーロス等を監視

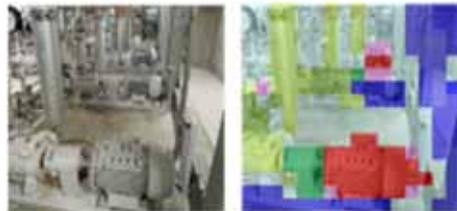
配管からの蒸気モレ監視



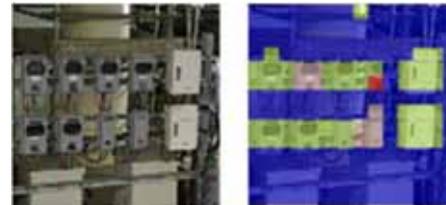
断熱材欠損による熱モレ監視



モーターの稼働状況監視



配電盤の稼働状態監視



【その他】

- ・搬送ラインにおける加工品の流動監視、加工後の品質検査
- ・ガスセンサや電流センサ等の他のセンサとの連携による異常モードの判別

動的に温度測定条件を変更することで、有価情報量が増加

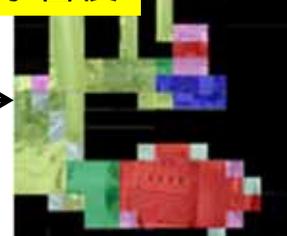
(活用例)

学習によりモーター周辺に測定範囲を限定し、高頻度・高温度分解能で測定する

設置直後



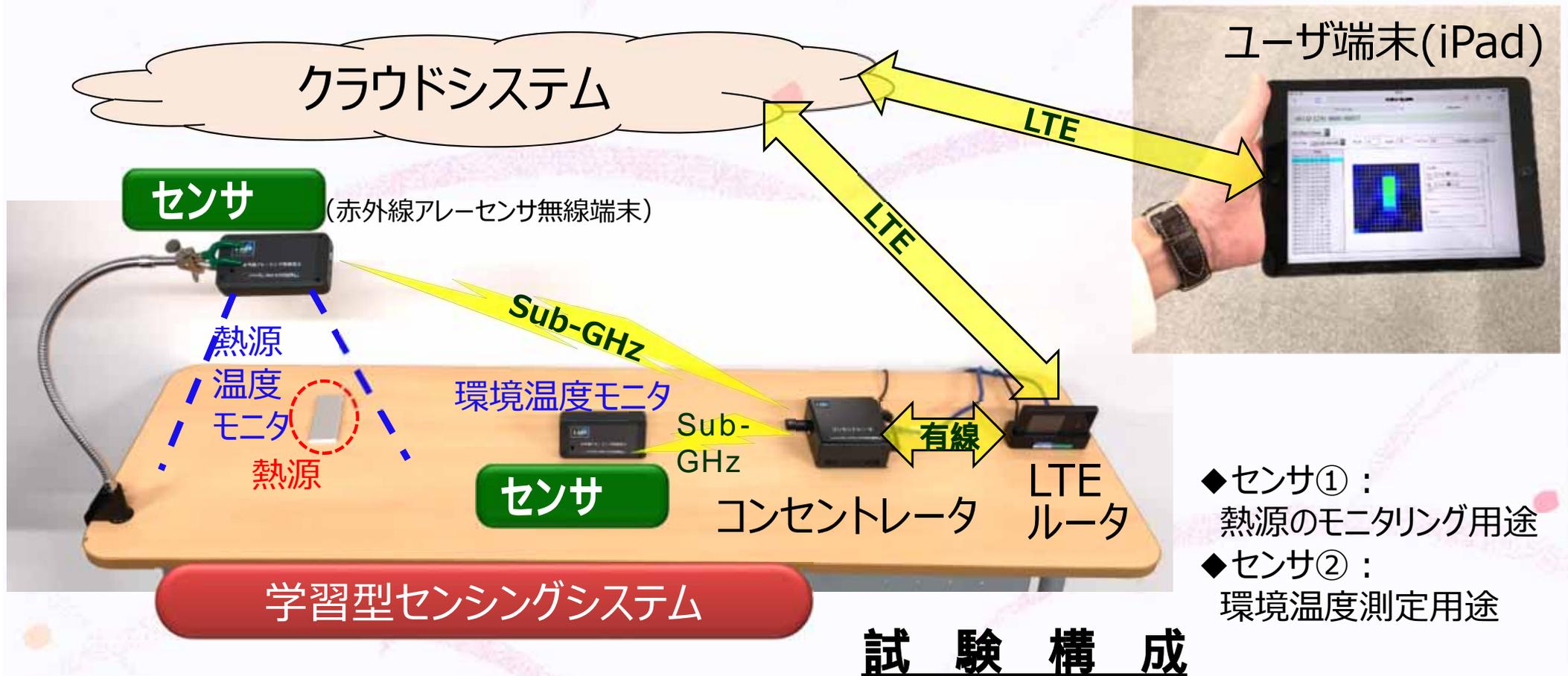
学習後



	設置直後	学習後
有価情報:	1	16
画素数:	256	64
温度分解能:	2	1
測定頻度:	1回/分	2回/分

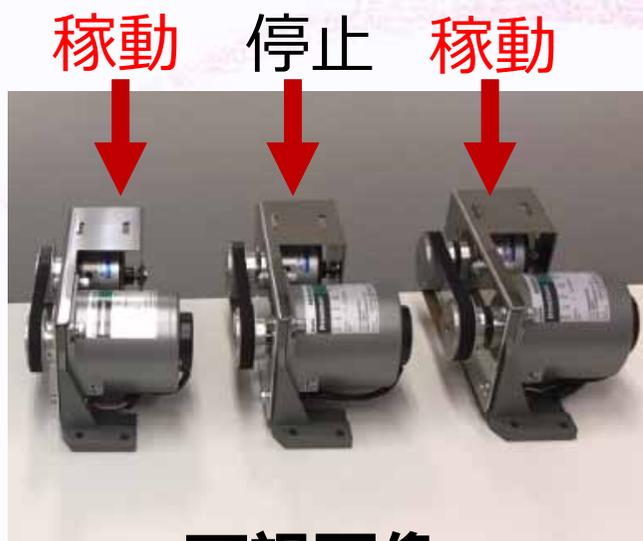
### コンセントレータへの2センサ収容とセンサデータ連動

- 赤外線アレーセンサを用いた温度監視システム（クラウドシステム接続環境）において、2センサをコンセントレータに収容し、センサデータを連動させることで、学習後に閾値を自動設定する機能を実現し、実験室環境で検証。
- これにより、複数センサをコンセントレータに収容し、センサデータを連動させるセンシングシステム構築が可能となる。

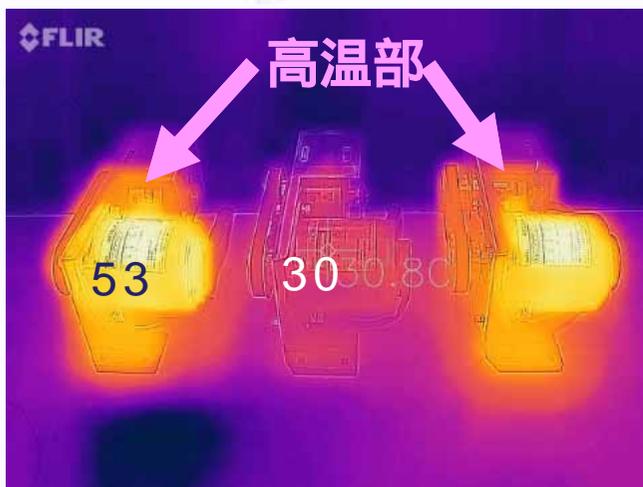


# アプリケーション: 赤外線アレーによるモーター温度監視

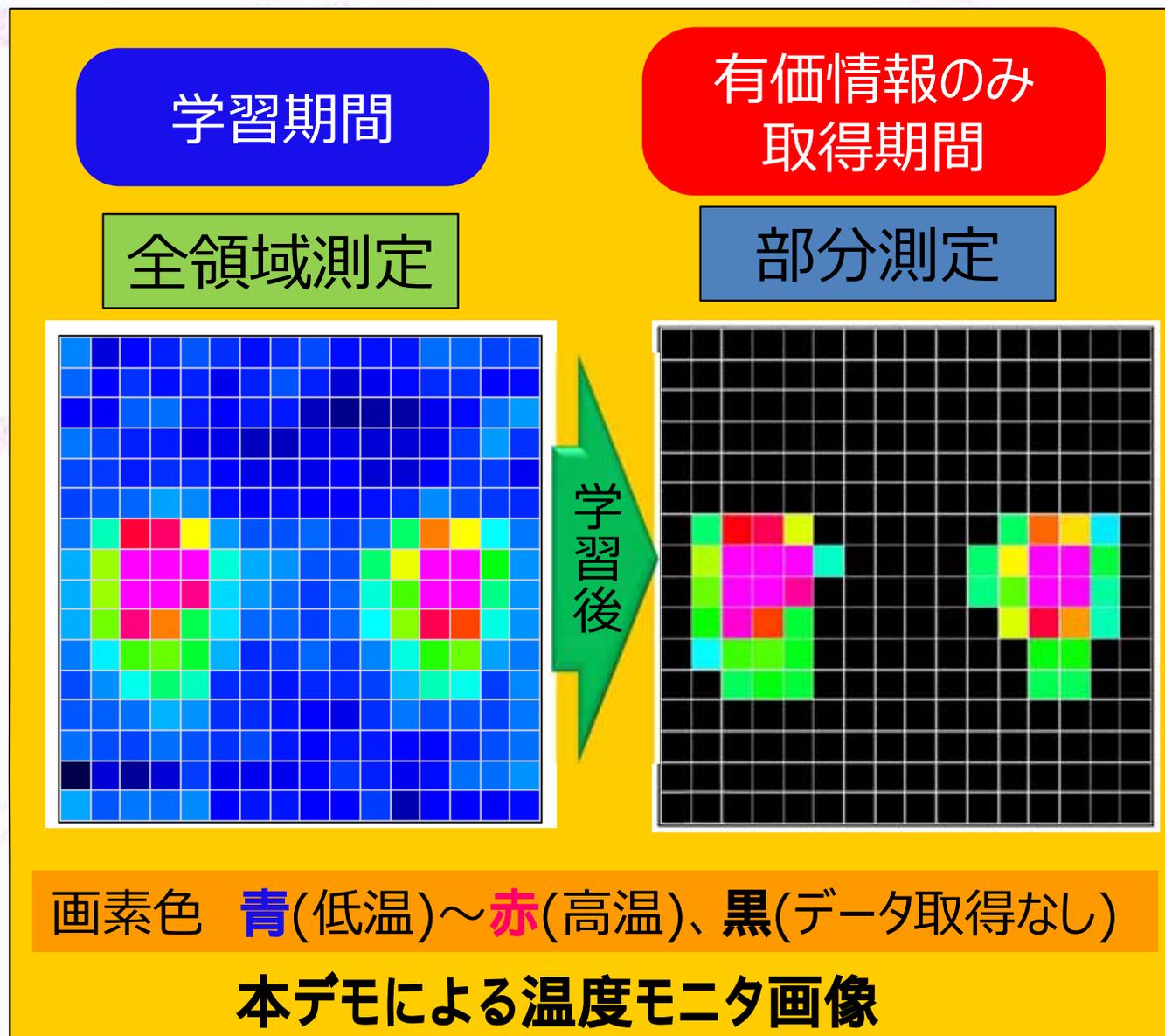
## 学習後は、高温部のデータのみを取得



可視画像

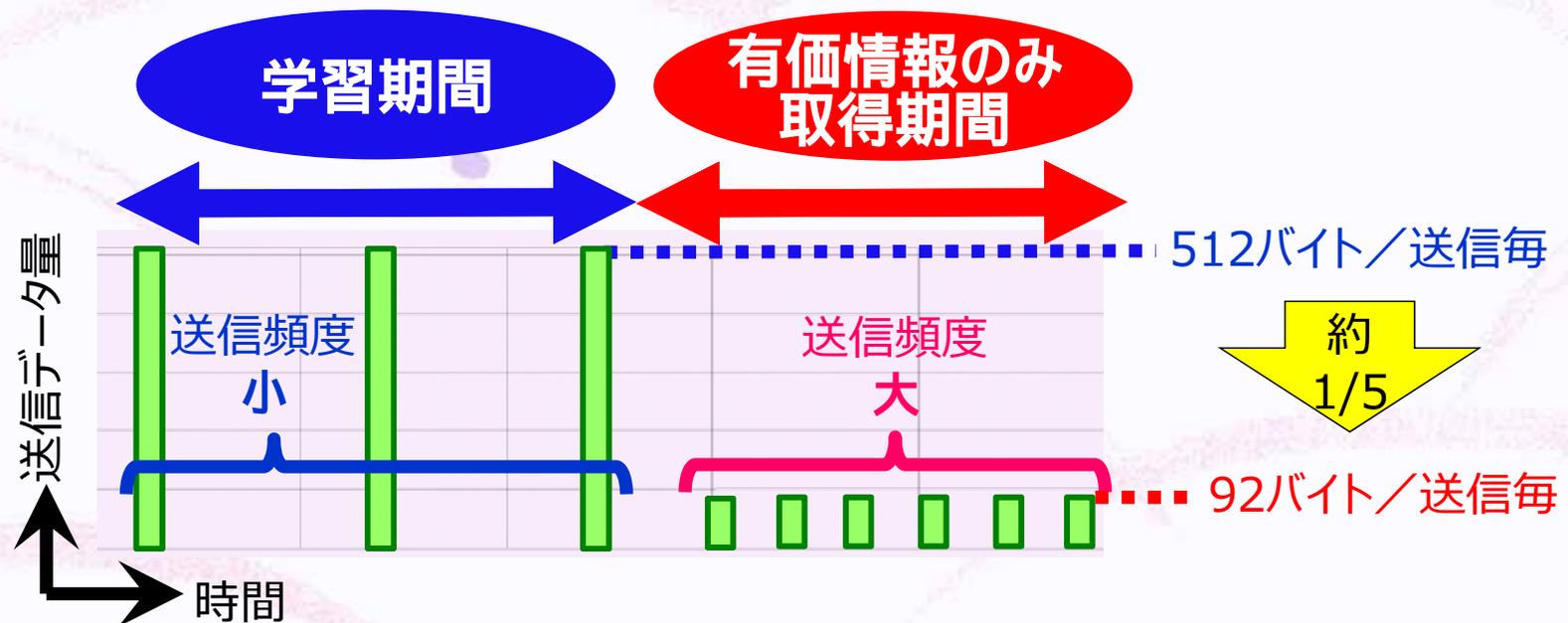
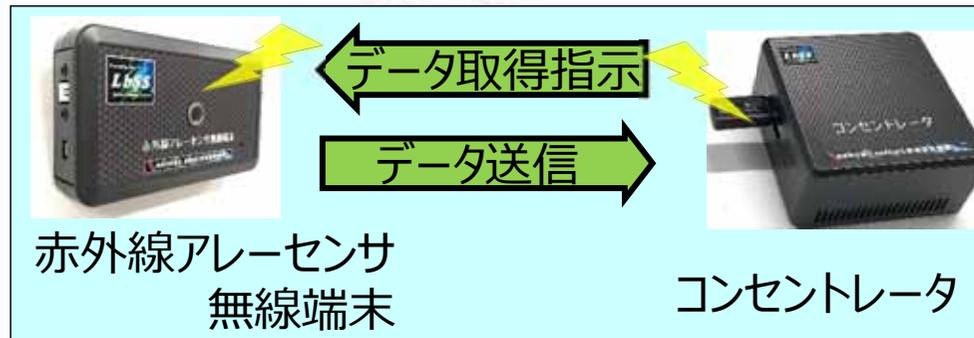


サーモグラフィ(市販)画像



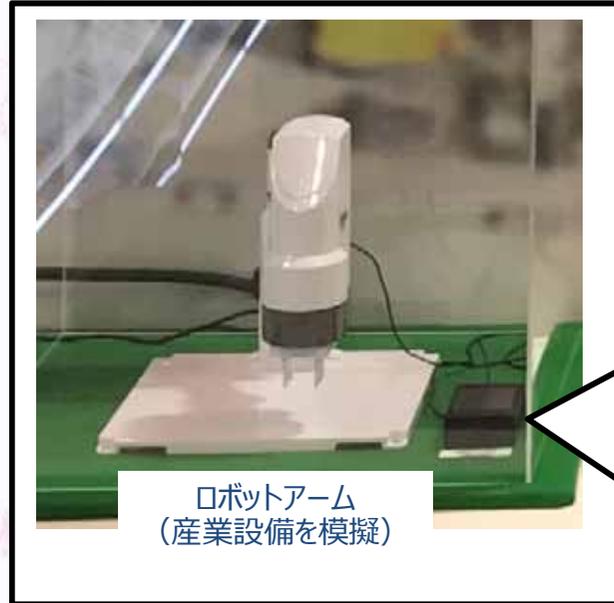
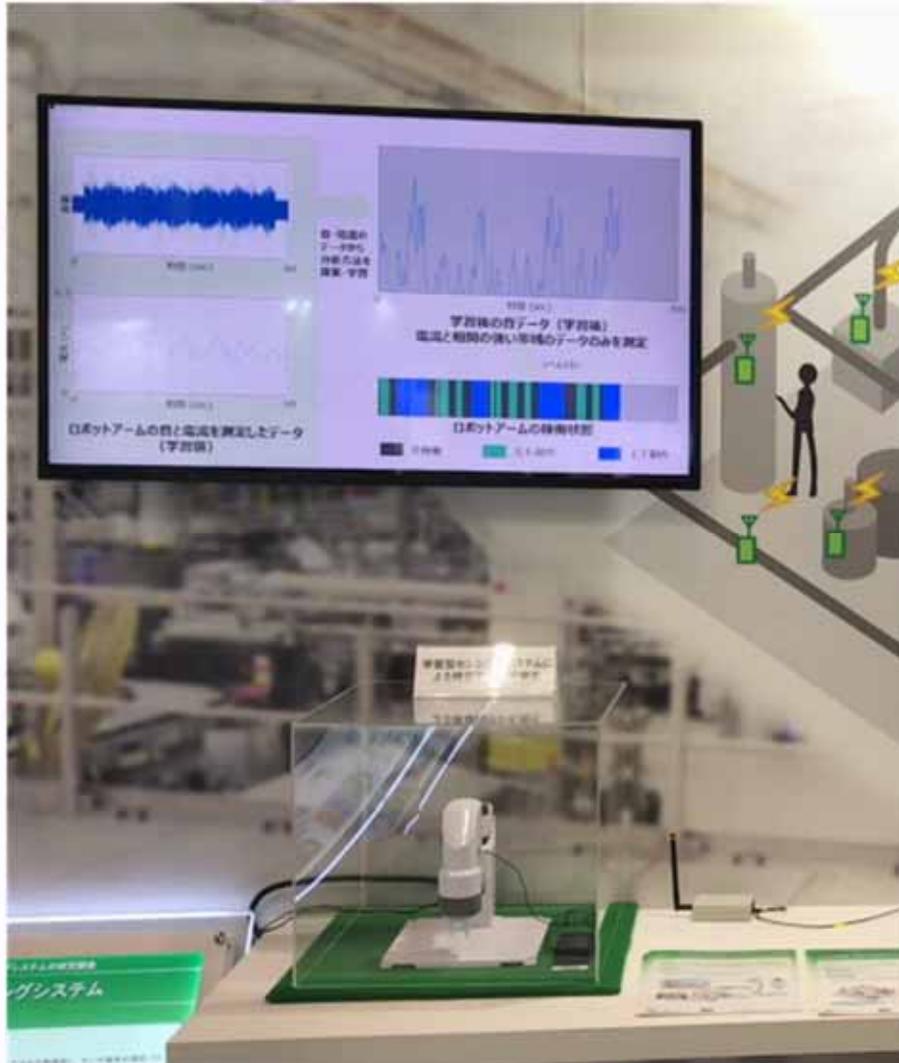
# 学習適用例: 赤外線アレー送信データ量の削減

- 本例の場合、学習後は送信データ量が約1/5以下に低減
- 端末に環境発電を用いる場合、送信頻度の増加が可能



# 音、電流センサのフュージョンによる産業機器 の状態監視システム

デモ展示

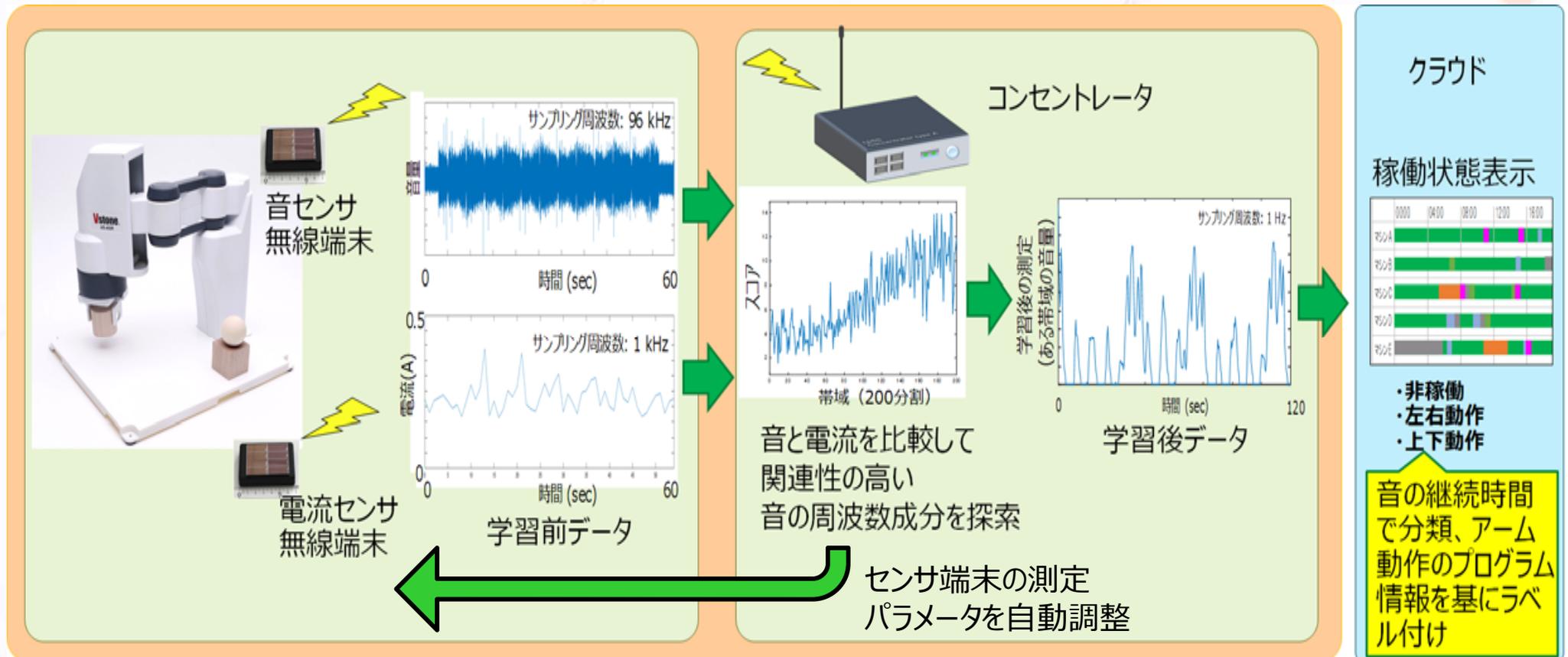


開発したスマートセンシングシステム：

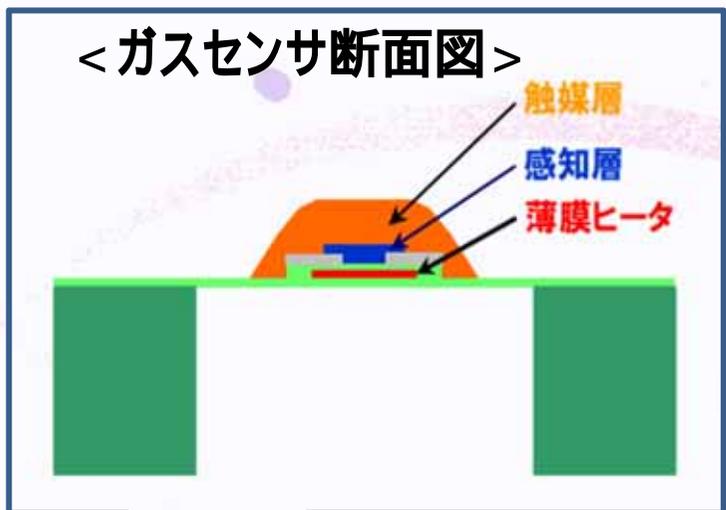
- ・後付けの無線センサによる動作音を測定
- ・バッテリー交換不要(環境発電)で動作可能  
約500  $\mu$ Wの消費エネルギー  
で、ほぼリアルタイムに動作を見える化

# 学習適用例: 稼働時の細かな動作モード(上下・左右)を分離可能 学習前データ量(100kB/秒) 学習後(2B/秒)に削減

- ・音と電流を比較して関連性の高い音の周波数成分を探索
- ・関連性の高い成分のみを測定するようにセンサ端末の測定パラメータを自動調整



# 省電力ガスセンサの構成



## マルチデバイス方式



選択燃焼層の触媒材料を変更する事により複数ガス種を検知



## ガスセンサモジュール

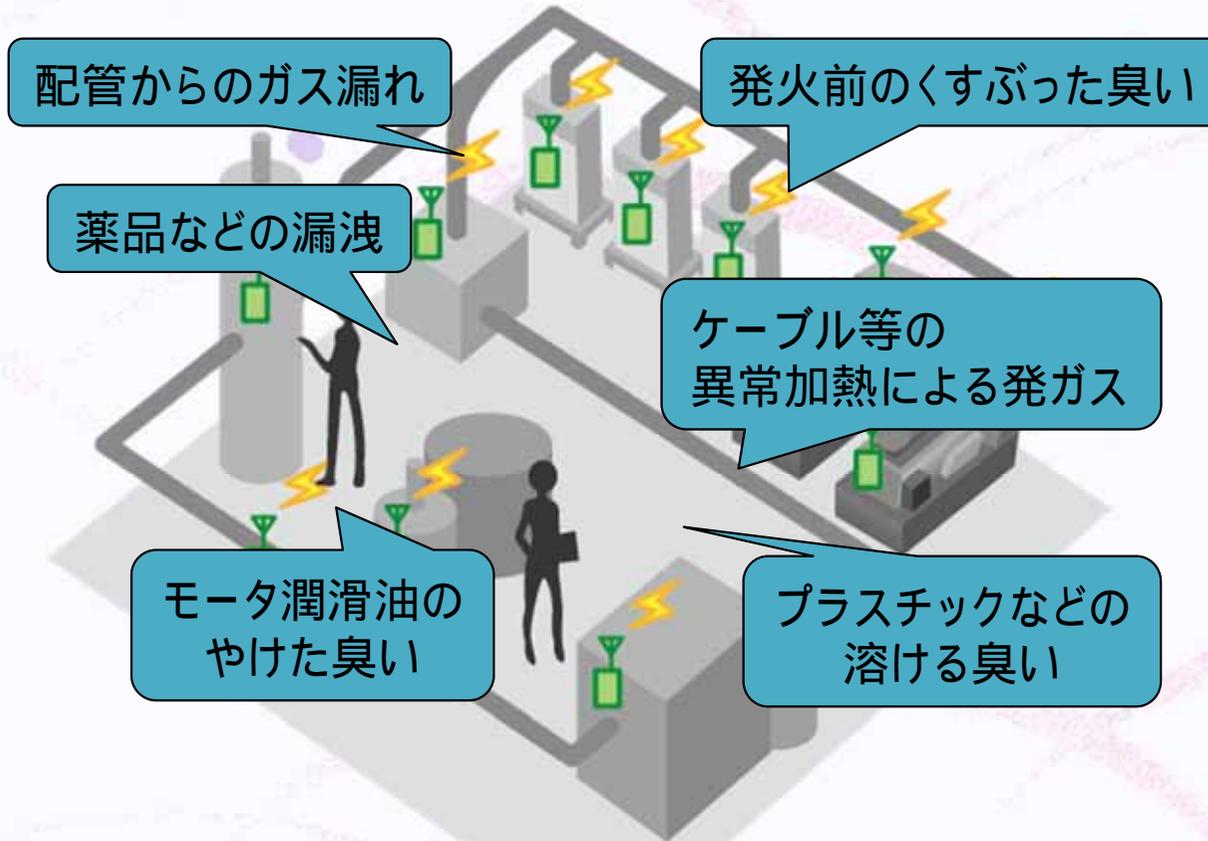
消費電力: 200 $\mu$ W以下、サイズ: 4cm $\times$ 8cm

## マルチドライブ方式

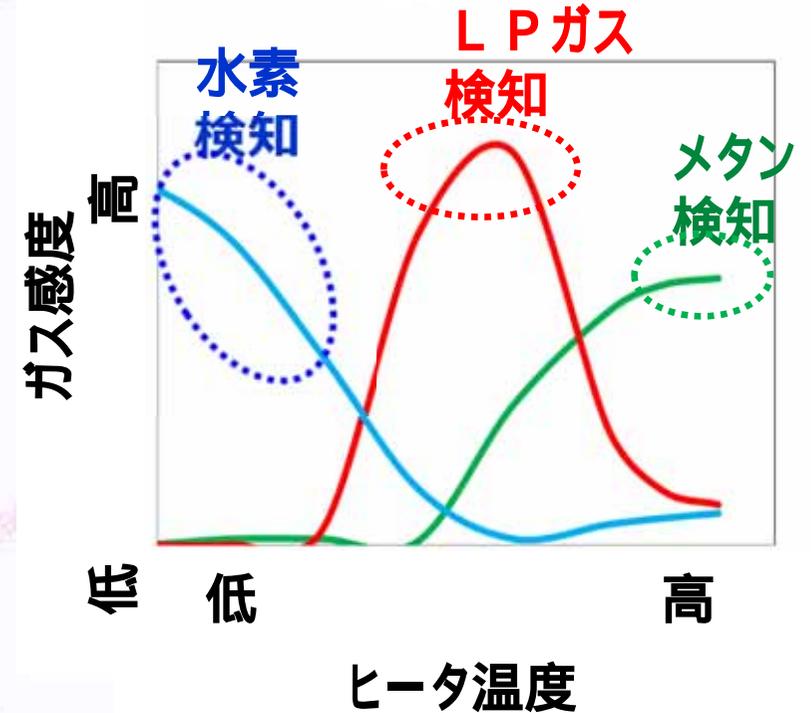


ヒータ温度を変えて複数ガスを検知

# ガスセンサの適用例



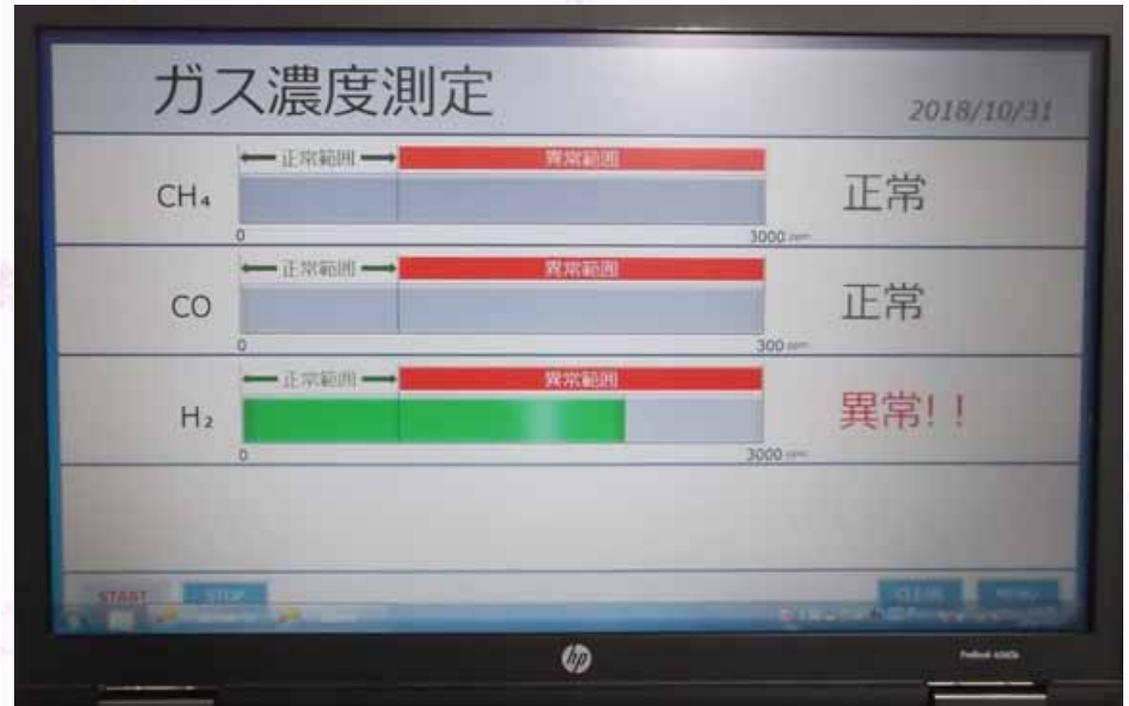
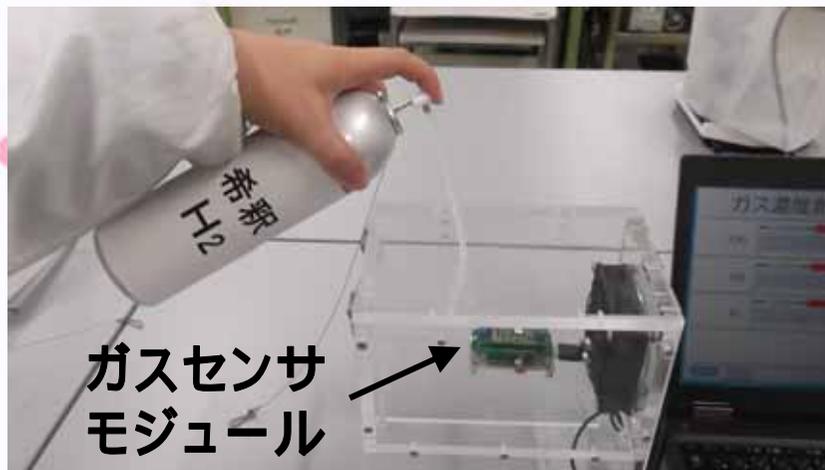
## ■ 燃料ガスの漏洩



適用例	対象ガス例
燃料ガスの漏洩	<b>CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、LP</b> 、ジメチルエーテルなどの <b>可燃性ガス</b>
火災初期の発生ガス	無煙熱分解/くすぶり燃焼：CO <sub>2</sub> 、 <b>CO</b> の発生が多い、その他、HCl、HCNなど
薬品などの漏洩	溶剤： <b>エタノール</b> 、IPA、 <b>アセトン</b> 、アセチレン、トルエン、ベンゼンなどの <b>揮発性有機化合物 (VOC)</b>
発熱によるにおい	プラスチックの加熱： <b>ベンゾチアゾール</b> 、スチレン、 <b>エチレン</b> 、 <b>エタン</b> 、 <b>プロパン</b> 、 <b>ブタン</b> など ケーブル等の過熱： <b>2-エチルヘキサノール</b> 、 <b>1-ブタノール</b> 、 <b>1,3,5トリイソプロピルベンゼン</b> など
設備の異常監視	油のにおい成分： <b>ヘプタナール (C<sub>7</sub>H<sub>14</sub>O)</b> 、油入機器診断： <b>メタン</b> 、 <b>H<sub>2</sub></b> 、 <b>エタン</b> 、 <b>エチレン</b> 、 <b>アセチレン</b>

# ガスセンサによる3種ガスの選択検知(昨年度デモ展示)

密閉容器内にガスセンサモジュールを設置し、3種類のスプレー(メタン・CO・水素)の1つを容器内に噴霧しガスを検出する



# 振動発電

100Hz, 0.15Gで 500 $\mu$ W以上発電

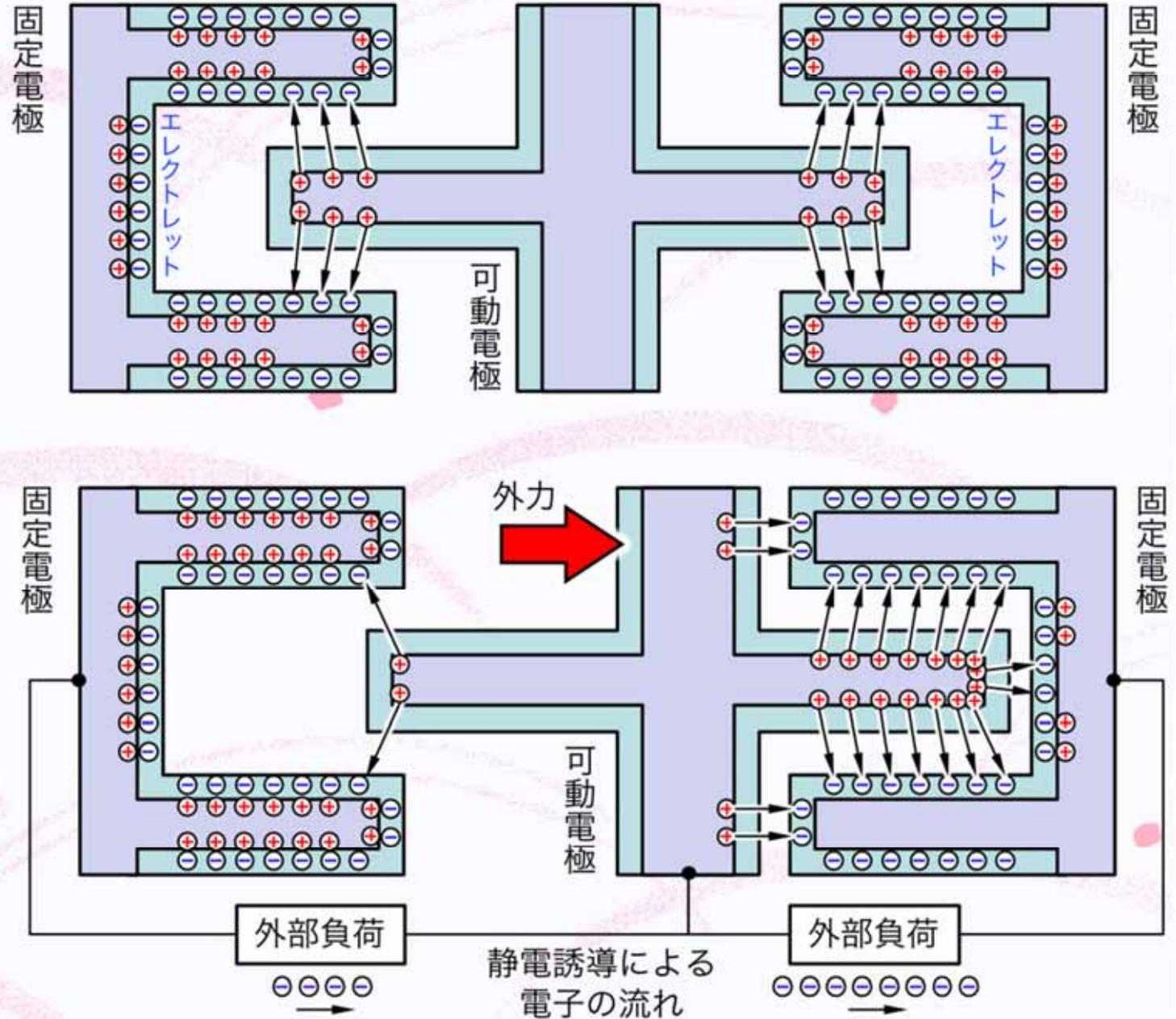
◆ 微小振動発電の様子（出力682 $\mu$ W）

- 周波数：97.3 ~ 98.2 Hz
- 加速度：1.8 m/s<sup>2</sup><sub>(0-P)</sub> = 0.13 G<sub>rms</sub>



理論限界 =  $0.5 \times (1.9108 \text{ g} + 47.9 \text{ mg}) \times 2\pi 95\text{Hz} \times 540\mu\text{m} \times 2.5\text{m/s}^2 = 789 \mu\text{W}$   
 ・  $E_H$  (効率) =  $682\mu\text{W} / 789\mu\text{W} = 0.92$

# 発電方法



# 実際のデバイス, おもり, パッケージ

## ◆ 実証試験用デバイス

セラミックパッケージ  
3.1 cm × 3.1 cm

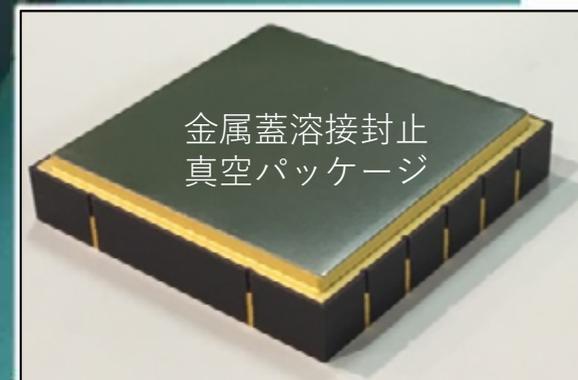
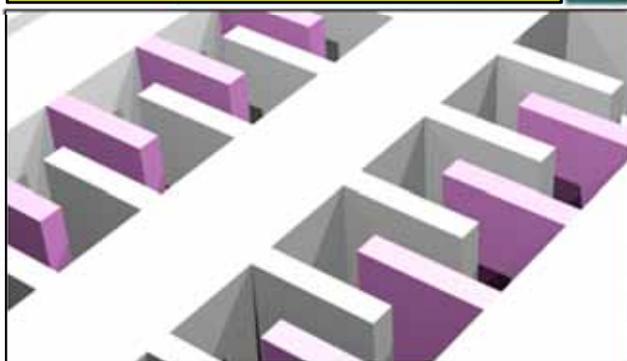
MEMSチップ  
シリコン製  
2.1 cm × 2.1 cm

櫛歯電極  
エレクトレット  
帯電 400 V

原理検証試作品  
2018.07

金属おもり  
焼結タングステン  
1 グラム

真空封止  
0.1 Pa



# 研究開発スケジュール

	2016	2017	2018	2019	2020
学習型スマートセンシングシステムの開発	学習型スマートコンセントレータの開発(日立)			システムを工場・プラント等に構築、 実用性検証	
	状態監視アルゴリズムの検証(東京電力HD)				
	スマートセンサ端末の開発(ローム)				
産業分野を対象としたスマートセンサの開発	赤外線アレセンサの開発(オムロン)	センサ供給	省電力ガスセンサの開発(富士電機)	センサ供給	振動発電モジュール実証適用
産業分野における微振動で連続的に高出力可能な自立電源の開発	産業用振動発電モジュールの開発 (鷺宮製作所、静岡大学、マイクロマシンセンター、 東京大学(再委託)、電中研(再委託))			高耐久性パッケージ評価、 量産用モジュール検証	

# ユーザヒアリングに基づくセンシングシステムの実用性検証

ユーザーニーズ					有価情報収集の検証
業種	目的	対象設備	具体例		
成形加工 	<ul style="list-style-type: none"> <li>設備稼働の安定化</li> <li>ユーザーによるシステム構築 (部外者立ち入り禁止)</li> </ul>	成型機	稼働状態 (動作・停止のタイミング・時間) の把握	設備安定度 (稼働状態を自動抽出・監視)	
		ポンプ・エアバルブ	消耗品交換時期の最適化		
		ヒーター	配管の温度測定		
		ホッパ	原材料の揮発成分の検知		
食品プラント 	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンディションベースメンテナンス</li> <li>点検の遠隔可視化</li> </ul>	受変電設備	日常パトロール頻度の低減	設備状態変化 (一定値からのズレを自動抽出)	
		アナログメータ	設備常時監視、不安定設備の集中監視		
部品製造工場設備 	<ul style="list-style-type: none"> <li>熟練者の知見の展開</li> <li>メンテナンスデータのデジタル化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管</li> <li>配線</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>液漏れ、温度、振動</li> <li>端子発熱、焦げ</li> </ul>	平常時特徴を類型化 (いつもと違う状態を検知)	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>工作機械</li> <li>回転機器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ツールの摩耗検知</li> <li>振動・音・温度の異常検知</li> </ul>		

# 学習型スマートセンシングシステムの開発

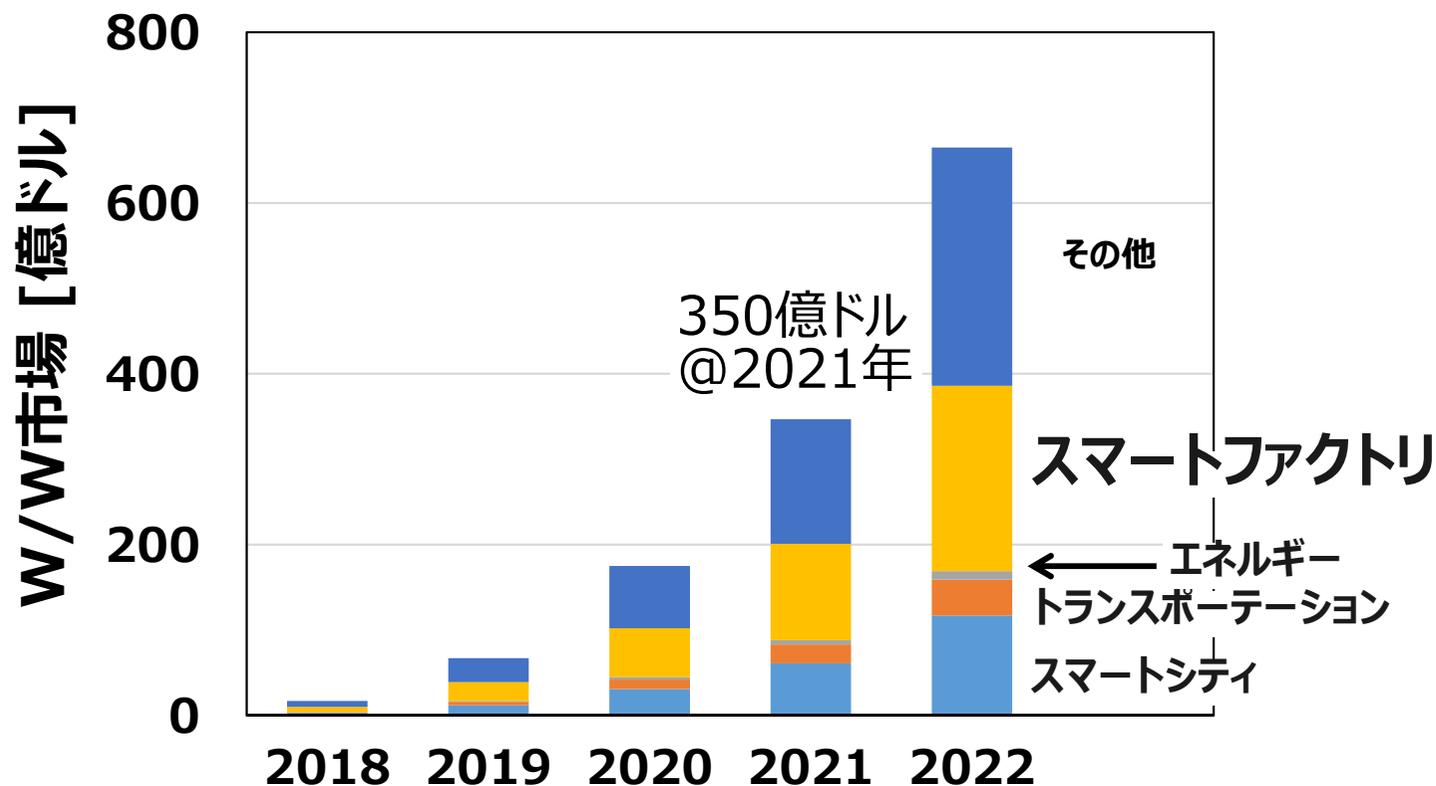
技術研究組合NMEMS技術研究機構  
LbSS サブリーダー

株式会社日立製作所 研究開発グループ  
エレクトロニクスインベーションセンタ  
高浦 則克

## 工場のスマート化による改善ポテンシャル

- ・省エネルギー: 6~12%(工場の省エネルギーガイドブックより)
- ・生産効率やリードタイム: 20~30%(LbSS参加企業実績より想定)

エッジ・フォグコンピューティング市場の動き 年率30~50%で成長中



出典: ケンブリッジコンサルタント調査資料

## 石油コンビナート・プラント



## 加工組立工場



対象業種	ヒアリング内容
共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解決したい課題、要望、収集したい情報</li> <li>・モニタリング・センシングの手段</li> <li>センサ種類/無線ネットワーク/自立電源/セキュリティ</li> </ul>
石油コンビナート・プラント	広域な生産設備の日常点検の現状
加工・組立(大規模)	マルチ生産ライン・工場全体の見える化の取り組み
加工・組立・食品(中小)	センシングの対象 (主機ユーティリティ・制御盤,等)
発電・送電	センサー端末とネットワーク構築のボトルネック

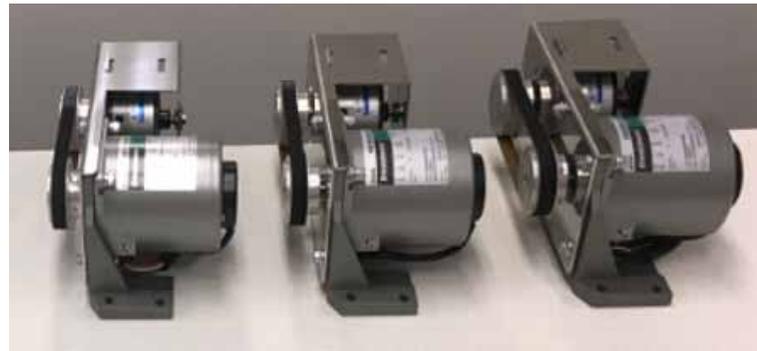
## 電流・振動・音

稼働状態把握  
例：産業機械



## 赤外線アレー

設備温度  
例：産業モーター



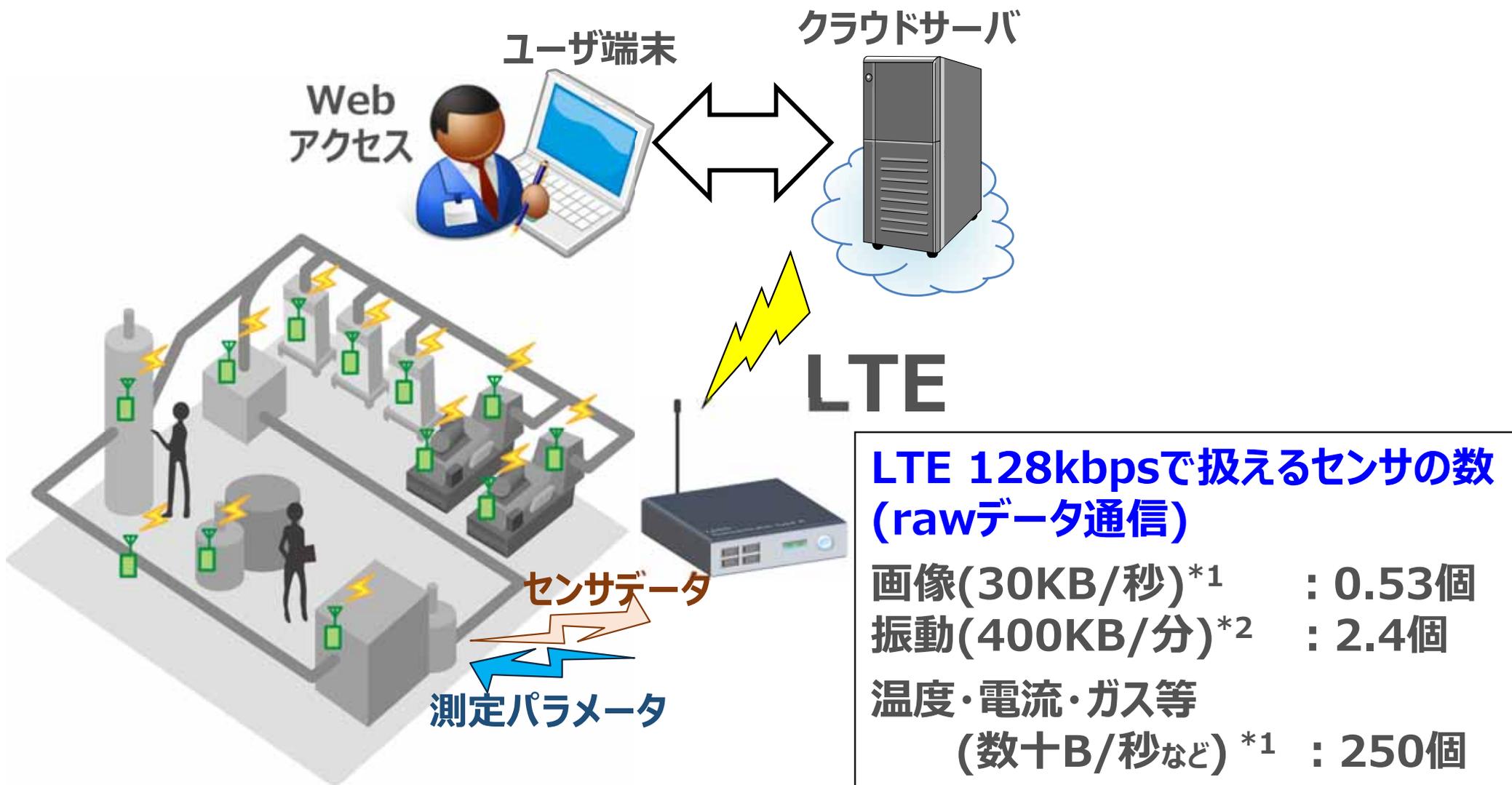
## 可視カメラ

現場変化検出  
例：配電盤内



センサ	用途（五感代替）
電流センサ	起動・停止把握、目視代替
振動センサ、音	稼働状態・音の把握、聴覚代替、聴診代替
赤外線アレー	設備温度、過熱・温度上昇検知、触感代替
可視カメラ, 塵埃センサ	設備外観、汚れ、現場指示値・変化検出、目視代替
温度・湿度センサ	過熱・吸湿等の五感代替
漏洩電磁波センサ	電源盤の部分放電検出、聴覚代替
ガスセンサ	過熱・漏洩等に伴う臭気検出、嗅覚代替

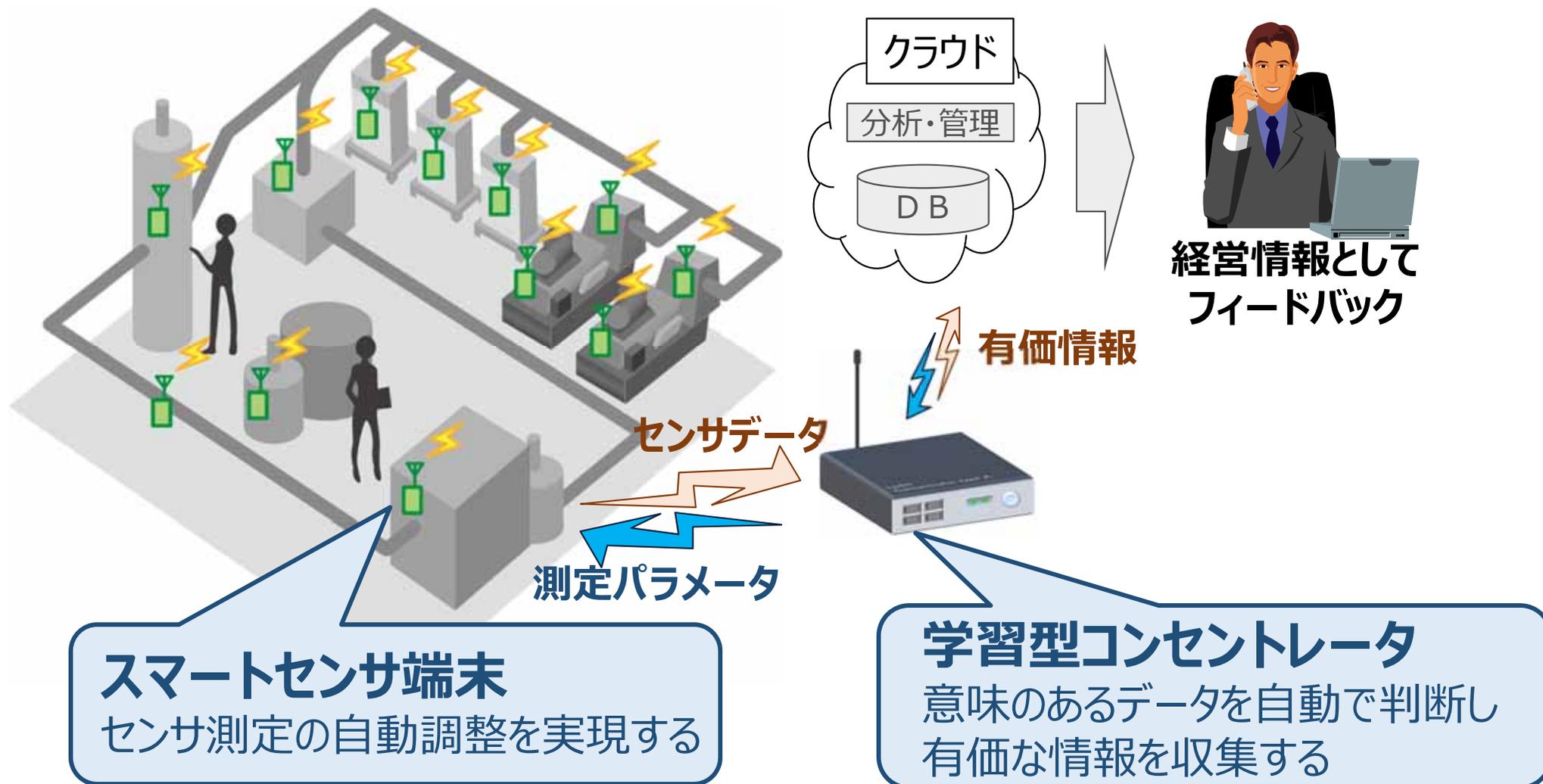
## 無線の帯域制限で画像・振動センサのrawデータ送信が困難



出典: \*1 “製造現場における無線ユースケースと通信要件(要約版)第1.0版、国立研究開発法人情報通信研究機構2017年

\*2 LbSSの知見を基に推定

センサデータを基に測定条件を自動調整し、多数・多種機器/設備モニタリングを実現、有価情報を従来の100倍化

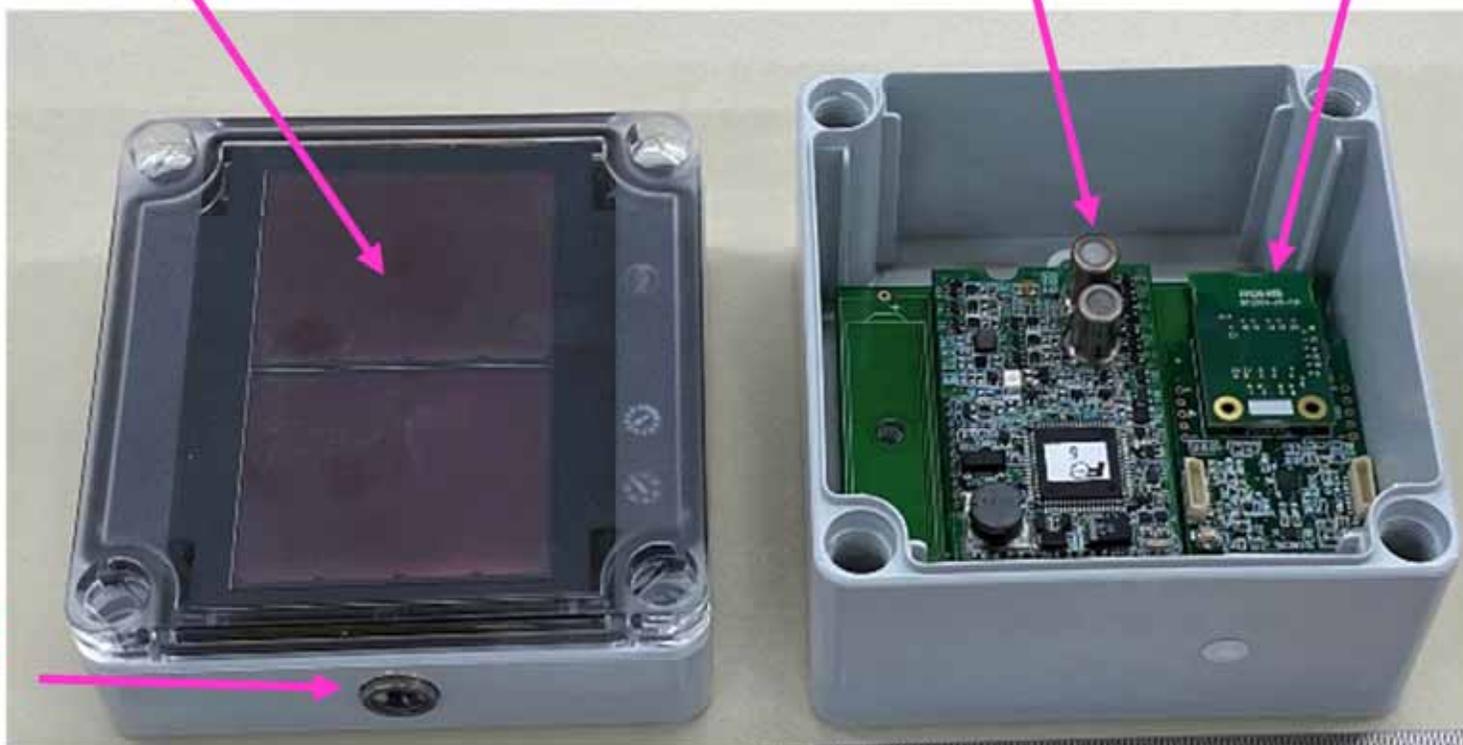


- ・環境発電動作により電池交換不要
- ・10x10cmの小型・防水筐体により実工場環境で使用可能

光発電素子  
(熱発電/振動発電も併用可)

マルチガス  
センサ

無線+MPU  
モジュール



赤外線  
レンズ

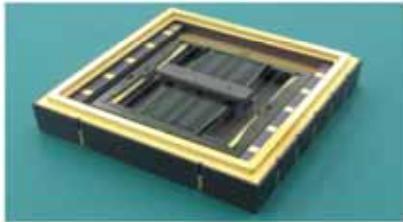
赤外線/音・振動/電流センサ端末

マルチガスセンサ端末

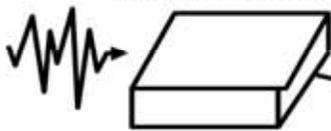
## 学習型コンセントレータ



多機能ガスセンサ 赤外線アレーセンサ

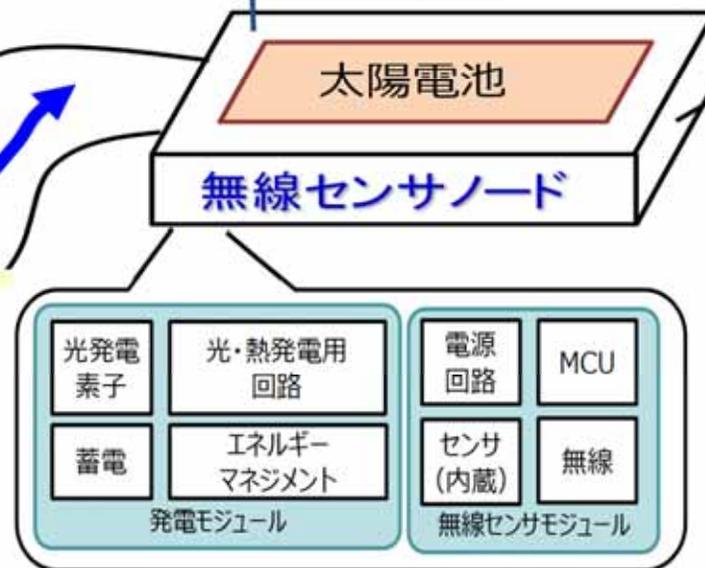
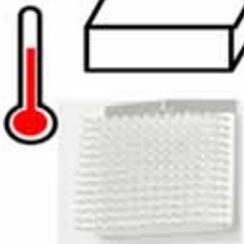


振動発電



環境エネルギーを収集

熱発電



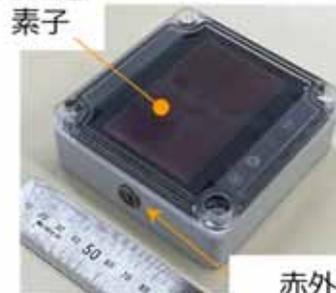
電力供給

センサ信号



測定対象

光発電素子



赤外線アレーセンサ

無線スマートセンサ端末

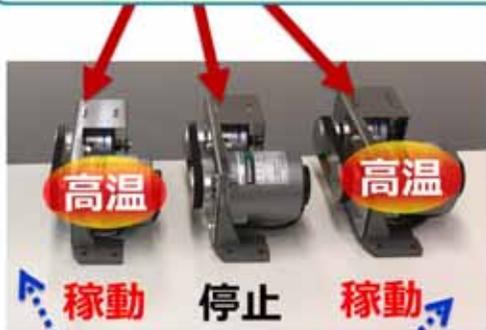
# 赤外線アレーを用いたセンシングシステム

- ◆ 赤外線アレーセンサ無線端末とコンセントレータを接続し、モータの温度をモニタするシステムです。
- ◆ コンセントレータで自動で高温領域（有価情報）を見つけ、高温領域のみをモニタリングします。
- ◆ 測定データが学習アプリケーションを経由することで、有価情報が増加することを示します。

## 構成

### ■ 測定対象：モータ

- 独立に「稼動」「停止」し、稼動すると高温



①モータ温度  
モニタ

### ■ コンセントレータ

- Sub-GHz無線で赤外線アレーセンサ無線端末を2台収容
- 2台のセンサから自動で高温閾値を設定し、モータの高温領域を自動的に抽出する学習アプリケーションが動作
- 学習結果により、モータの高温部のみの画素データを取得するよう、赤外線アレーセンサ無線端末に設定

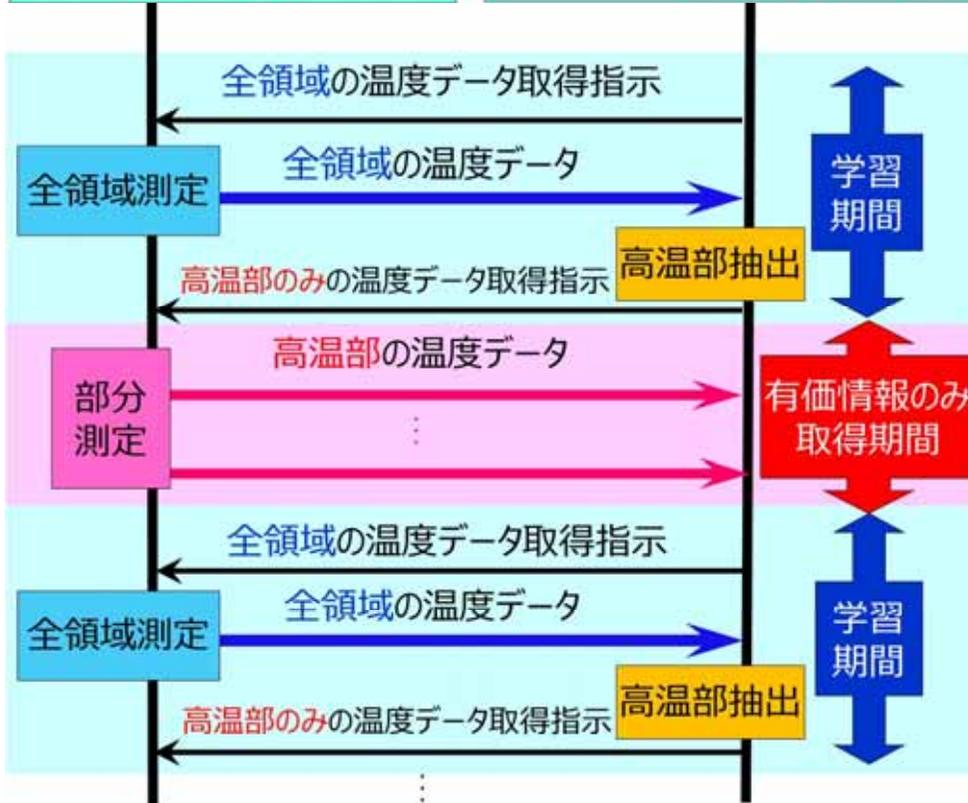
### ■ モニタ用PC

### ■ 赤外線アレーセンサ無線端末

- 256画素（16×16素子）の赤外線アレーセンサを搭載
- 環境温度およびモータ温度をモニタし、コンセントレータの指定する画素の温度データを取得。Sub-GHz無線でコンセントレータに温度データを送信

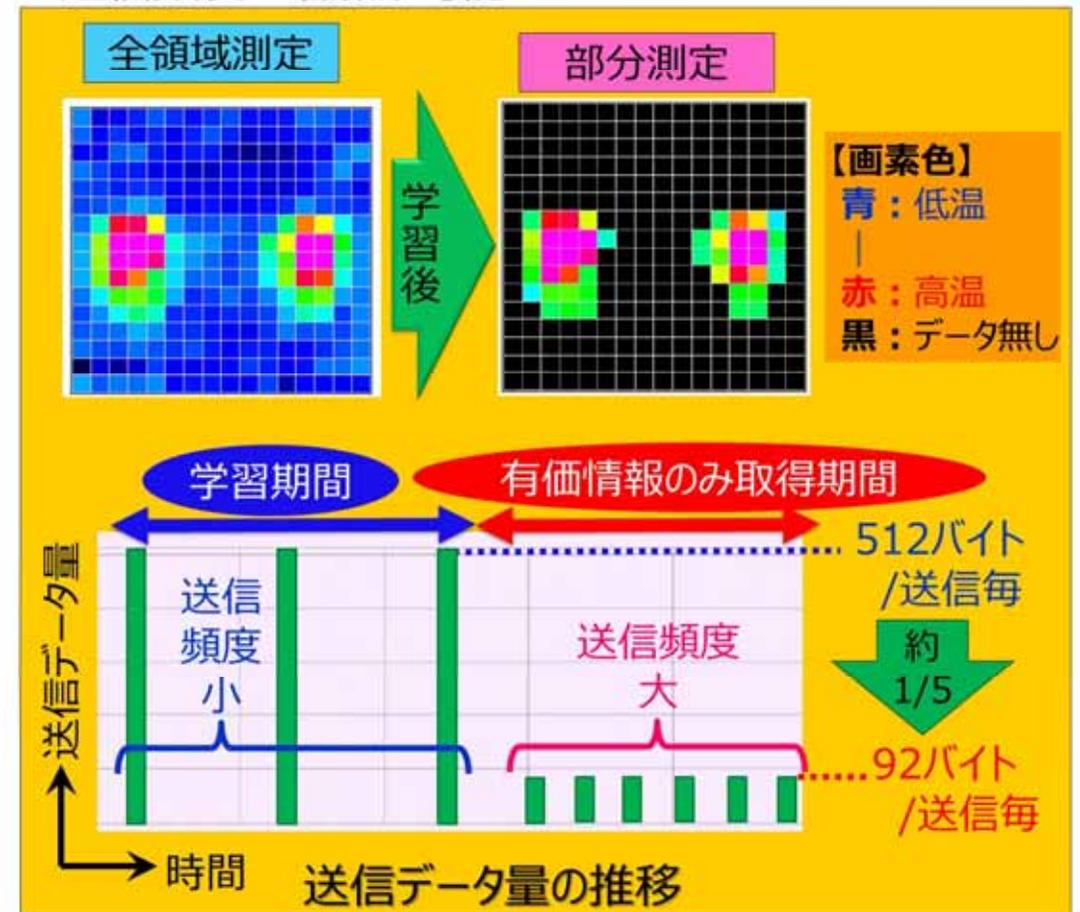
②環境温度モニタ

# 赤外線アレーを用いたセンシングシステム



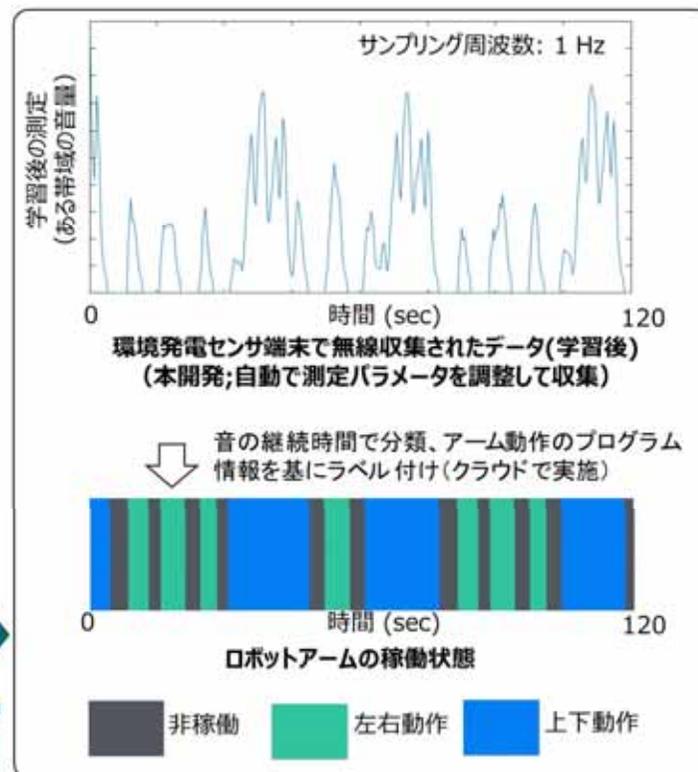
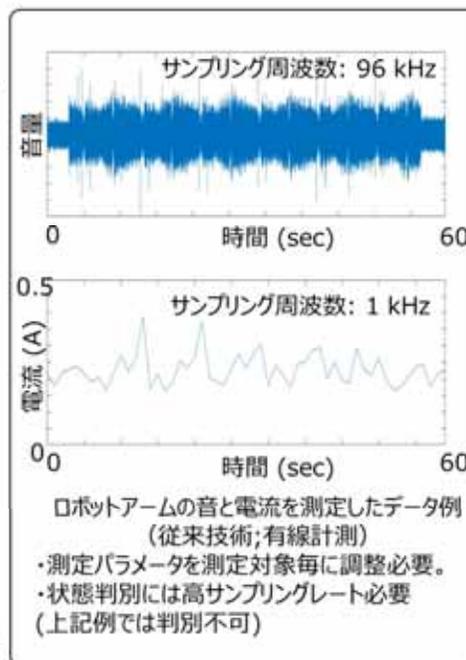
処理シーケンス

- ◆ 学習後は、高温部の温度データのみを取得
- ◆ 本例の場合、学習後は送信データ量が約1/5以下に
- ◆ 端末に環境発電を用いる場合、同一エネルギーでの送信頻度の増加が可能



# 産業用機器 (ロボット)

- ◆スマートセンサ端末により音と電流のデータ収集を行い、自動学習により関連性の高い成分を探索します。その結果を、センサ端末に反映し、ロボットアームの動作に特徴的な音のみを抽出して測定します。これにより、データ送信量は10,000分の1以下となっていますが、稼働状態をモニタリングできています。
- ◆環境発電 (~500 μW) で、ほぼリアルタイムの無線センサによる稼働状態監視を実現しました。振動/音/室内照明により動作可能であり、工場の多くのシーンで無線・バッテリー交換不要で監視可能です。



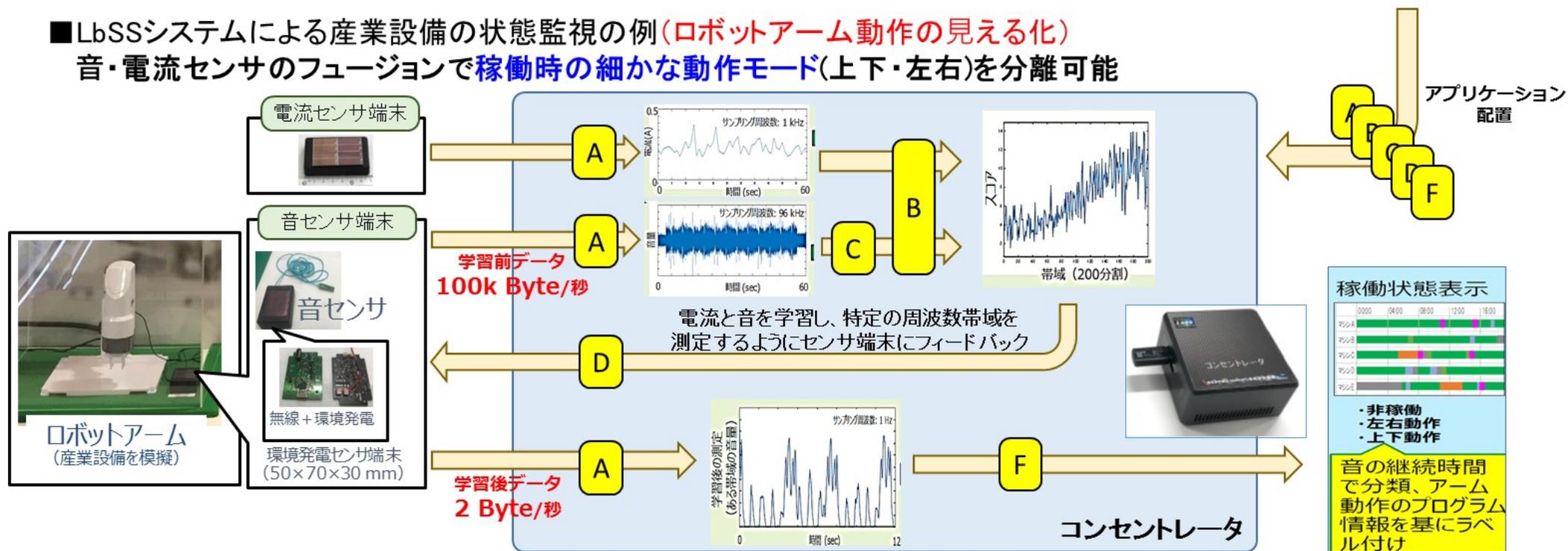
開発システムの実験用に構築した  
産業設備の稼働モニタリングシステム例

学習により測定方法を自動学習  
(音と電流の相関が強い帯域を自動探索)

# 産業用機器(ロボット)

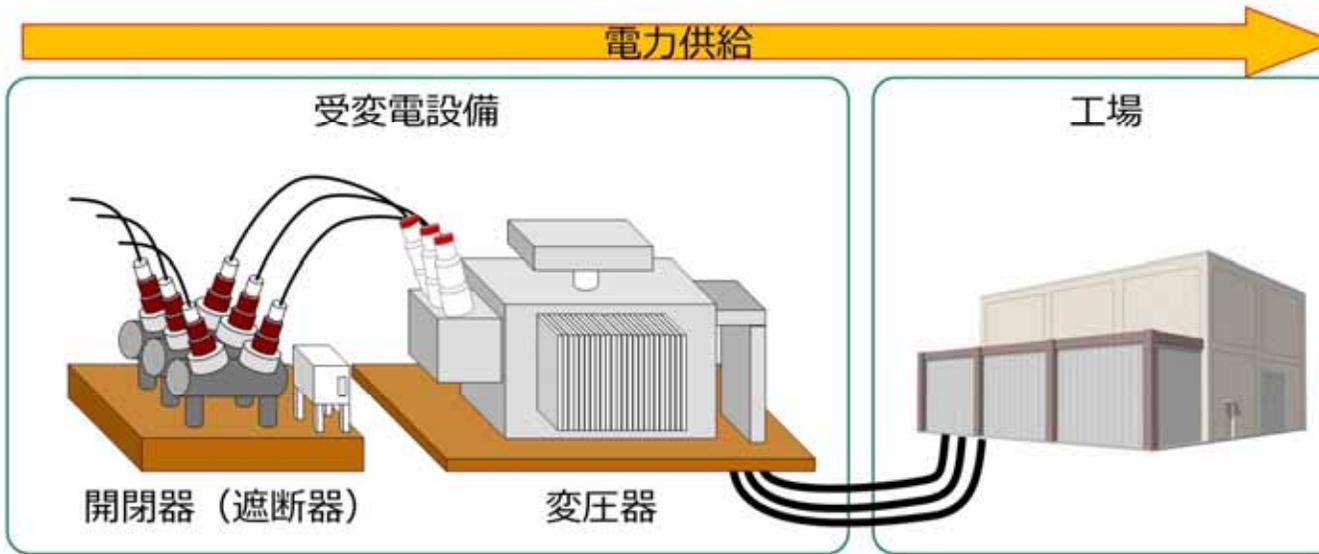
ユースケース		アプリケーション									
		A データ 整形	B 相関 分析	C 周波数 解析	D センサ 制御	E クラスタ 解析	F 閾値 判定	G 真理 判定	H 最大最小 判定	J 画素 選択	
1	ロボットアーム動作の見える化	実験室	○	○	○	○		○			
2	赤外線アレー温度モニタ	検証済	○			○		○		○	
3	射出成型機の稼働モニタ	実証	○	○	○	○	○				
4	受変電設備のモニタ	開始	○	○	○	○		○			

■ LbSSシステムによる産業設備の状態監視の例(ロボットアーム動作の見える化)  
音・電流センサのフュージョンで稼働時の細かな動作モード(上下・左右)を分離可能



# 面電流センサによる部分放電システム

- ◆工場は生産設備に用いる電力を受変電設備（開閉器，変圧器など）により受給しています。
- ◆設備の劣化が進展すると絶縁破壊が発生し，停電，火災，設備損傷などの甚大な損益が生じます。



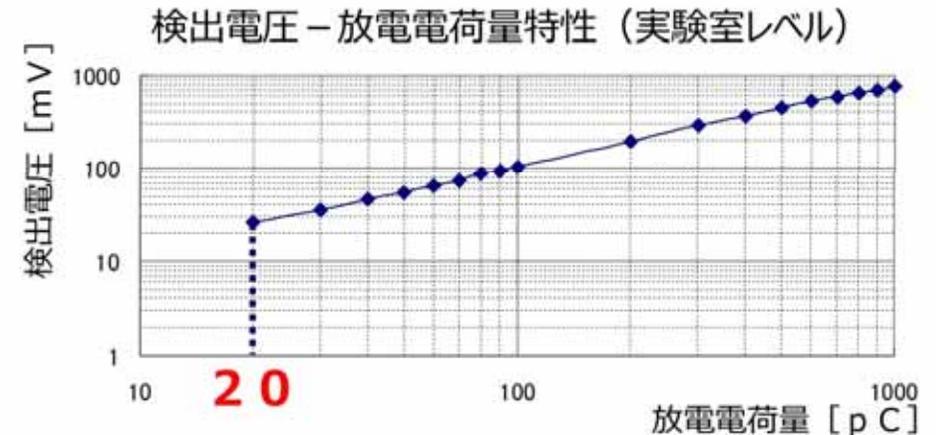
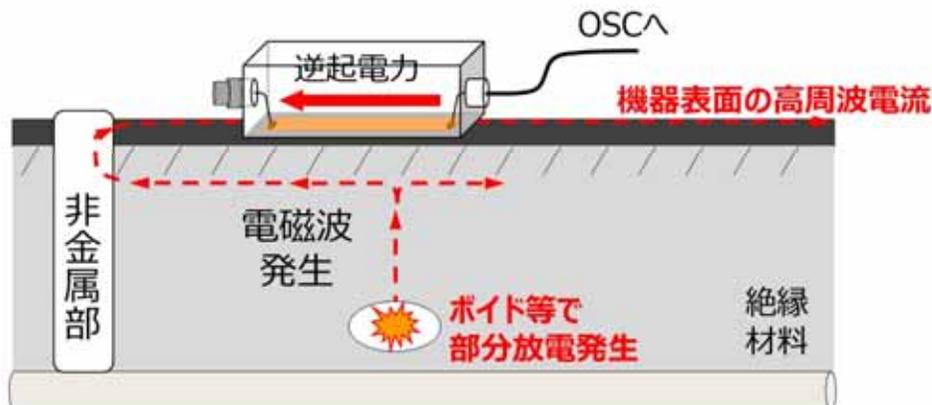
設備の絶縁破壊で電力供給が不可になる



ブッシング破壊※  
(閃絡試験)

※「レジン塗工紙コンデンサブッシング保全方策の確立  
平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会」より引用

- ◆面電流センサは部分放電の発生に伴い機器表面に発生する高周波電流を検出します。

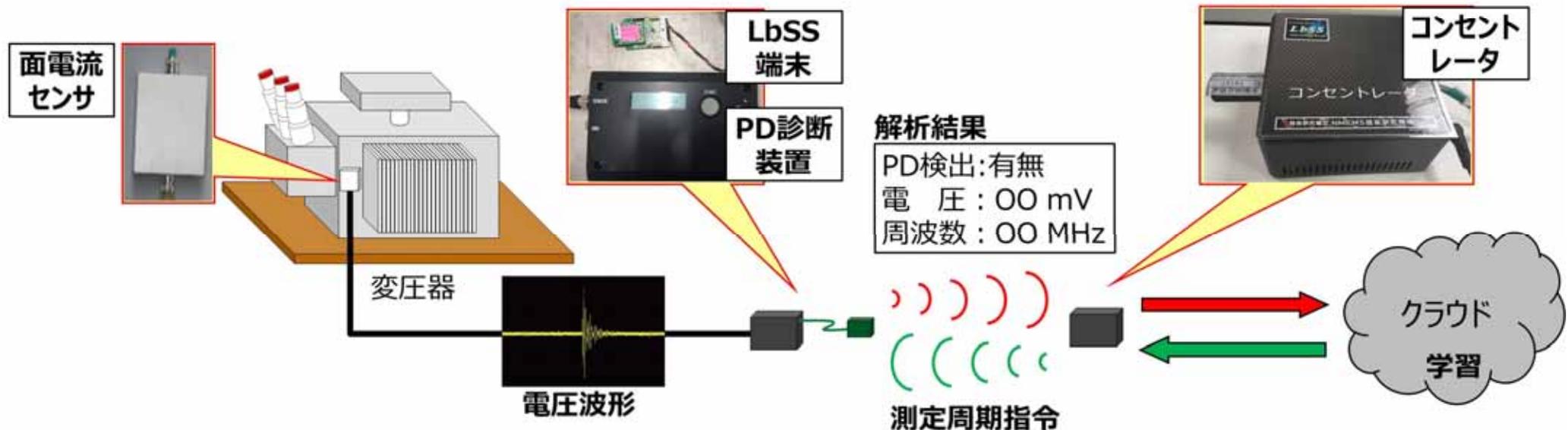


検出電圧 – 放電電荷量特性  
(実験室レベル)

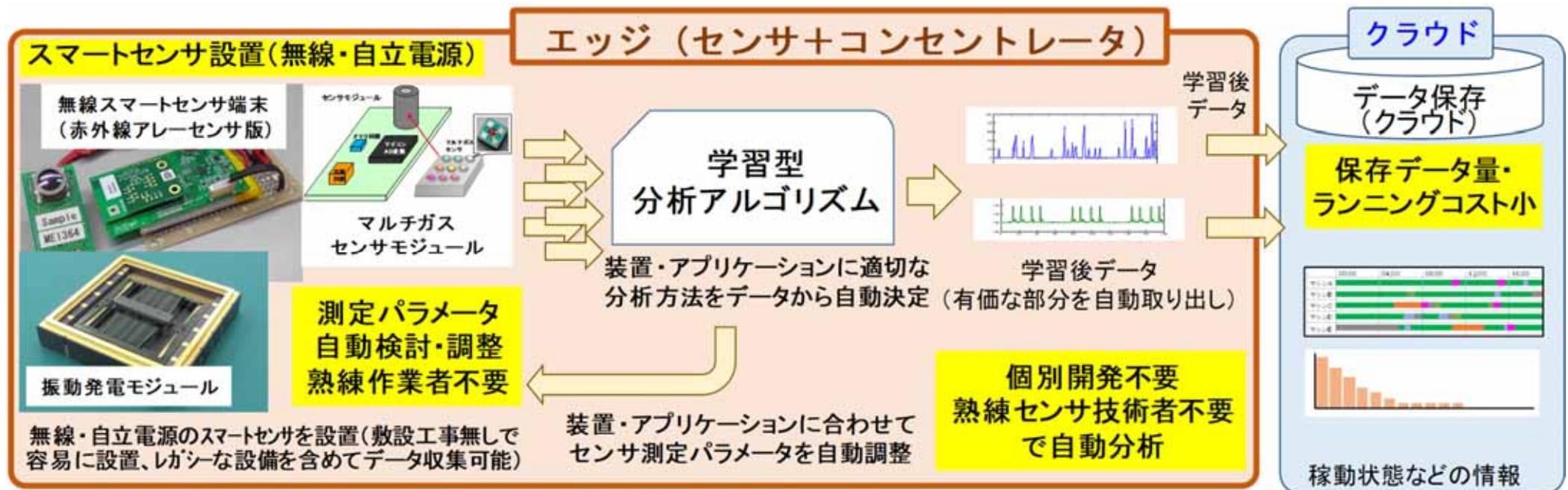
## 現場での活用例

- ◆面電流センサにより得られた電圧波形をPD診断装置に入力することで、測定波形を解析します。
- ◆解析結果（PD検出有無，電圧，周波数）はLbSS端末を通じてコンセントレータへ送信されます。
- ◆コンセントレータは解析結果に基づき測定周期を決定し，センサ端末に指令します。
- ◆以上の自動診断された結果は有価情報として設備管理者に発信されます。

※現在，実際に稼働している工場の受変電設備を対象に監視システムの実証試験を行っています。



- 対象装置やアプリに対し適切な分析法を自動解析し、センサ端末の測定パラメータに自動反映するセンシングシステム
- センサ設置時の個別調整や個別のアルゴリズム開発を不要とし、IoTシステムを短期間で構築
- 効率良い測定パラメータを選択することにより、低消費電力な無線センサ端末でも、価値の有る情報を収集



# 超高効率データ抽出機能を有する 学習型スマートセンシングシステム ( LbSS: Learning-based Smart Sensing System ) の研究開発

- 複数ガスを嗅ぎ分けるガスセンサ（富士電機）
- 熱源の変化に気づく赤外カメラ（オムロン）
- これらを駆動する振動発電素子（鷺宮製作所）

S P L 年吉 洋  
( 東京大学・生産技術研究所、教授 )

# 報告内容：センサ、自立電源

## スマートセンサ端末要素技術開発

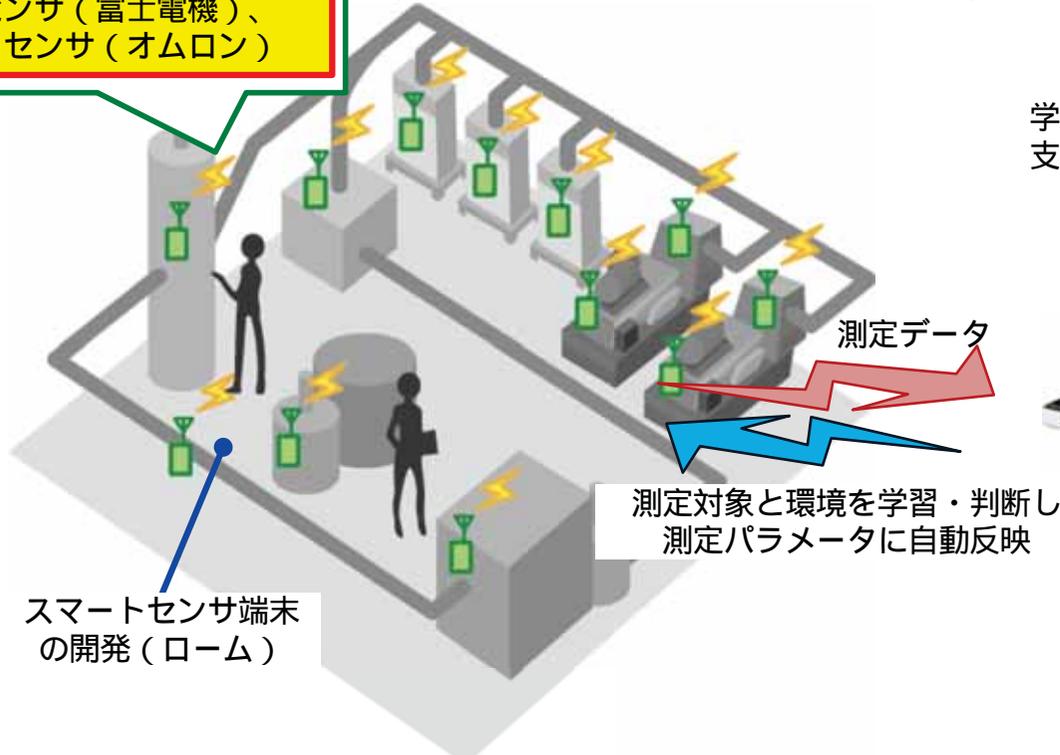
微小振動で高出力可能な自立電源（鷺宮製作所、静岡大学、マイクロマシンセンター、再委託【東京大学、電力中央研究所】）

低電力無線モジュール（ローム）

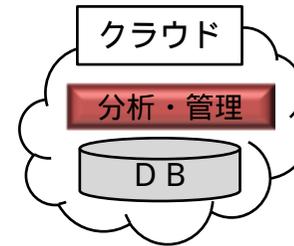
スマートセンシングフロントエンド回路（日立製作所）

産業向けスマートセンサ  
省電力ガスセンサ（富士電機）、  
赤外線アレセンサ（オムロン）

産業モニタリングシステム実証  
（東京電力ホールディングス、日立製作所）



スマートセンサ端末の開発（ローム）



従来比100倍の有価情報を取得

- 稼動状況
- 保守状況
- 工程品質
- 仕掛状態
- ⋮

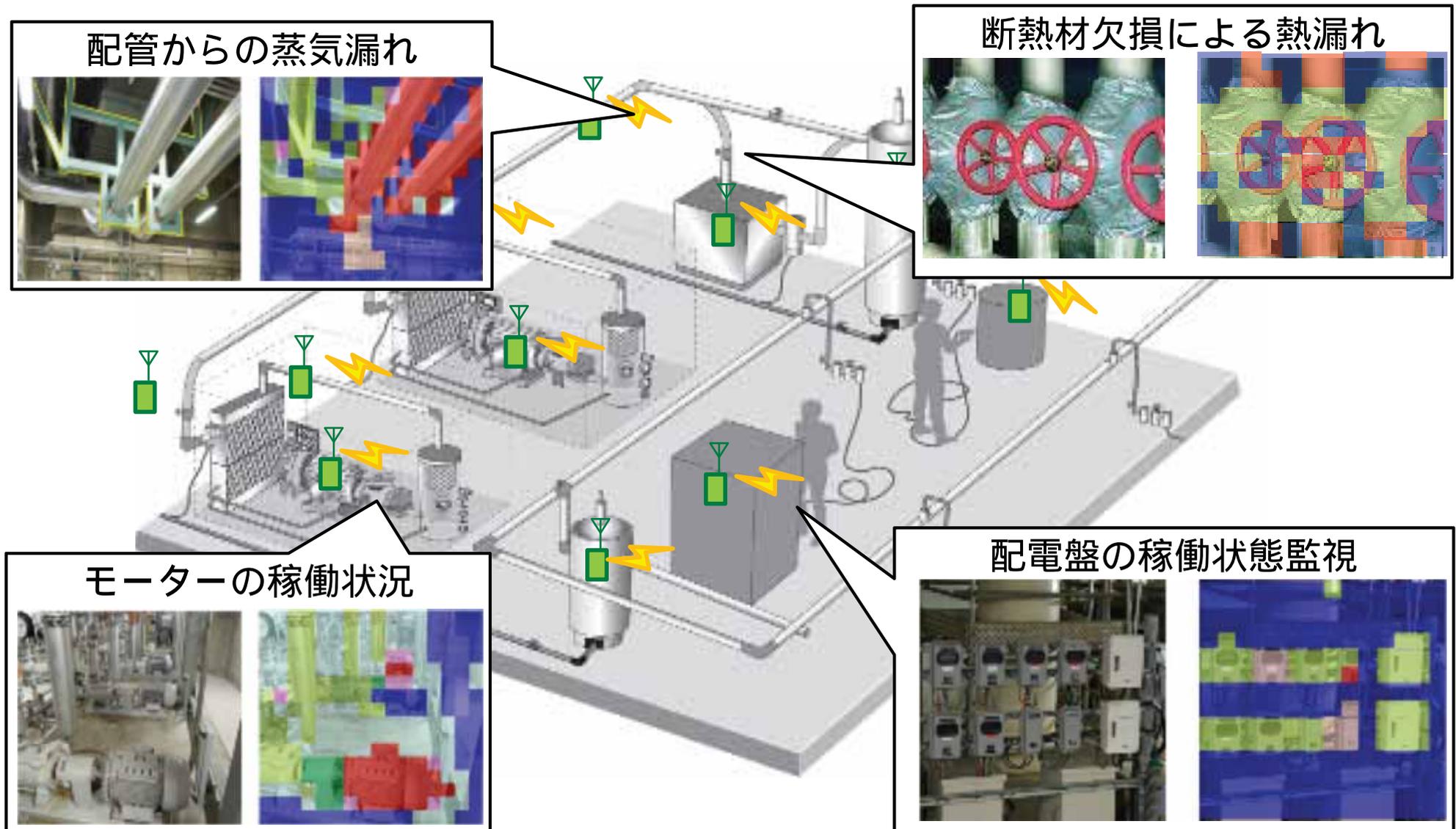
学習支援



学習型スマートコンセントレータの開発（日立製作所）

# スマートな赤外線センサとは？

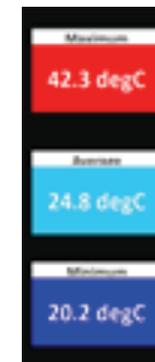
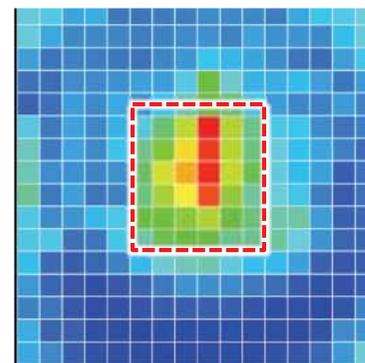
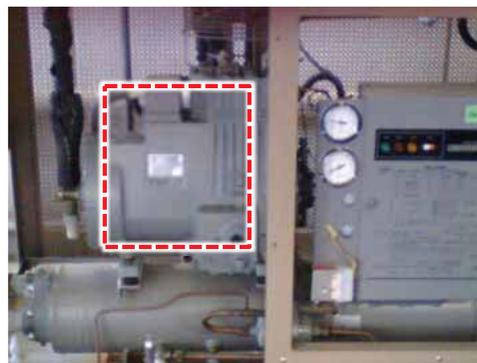
無駄な赤外画像を送らずに、大事なところだけを観察・報告



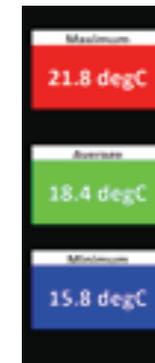
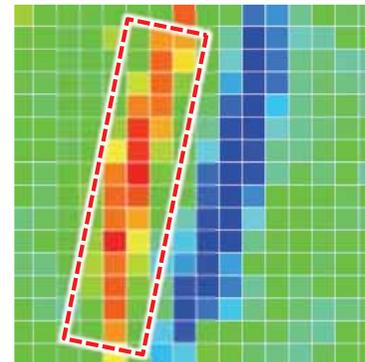
# 熱源異常のシナリオ

故障前の異常過熱を未然に検出

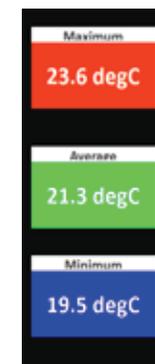
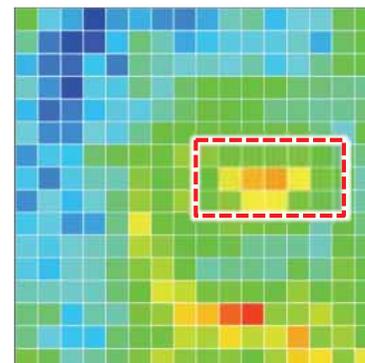
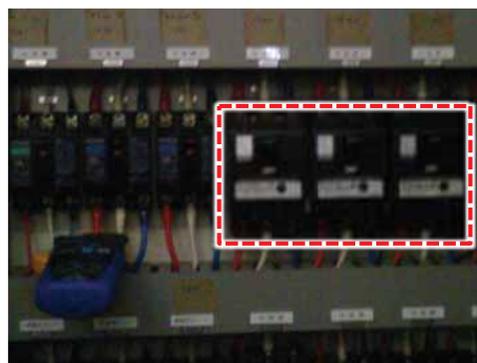
モーター  
表面温度



配管  
冷却水温度



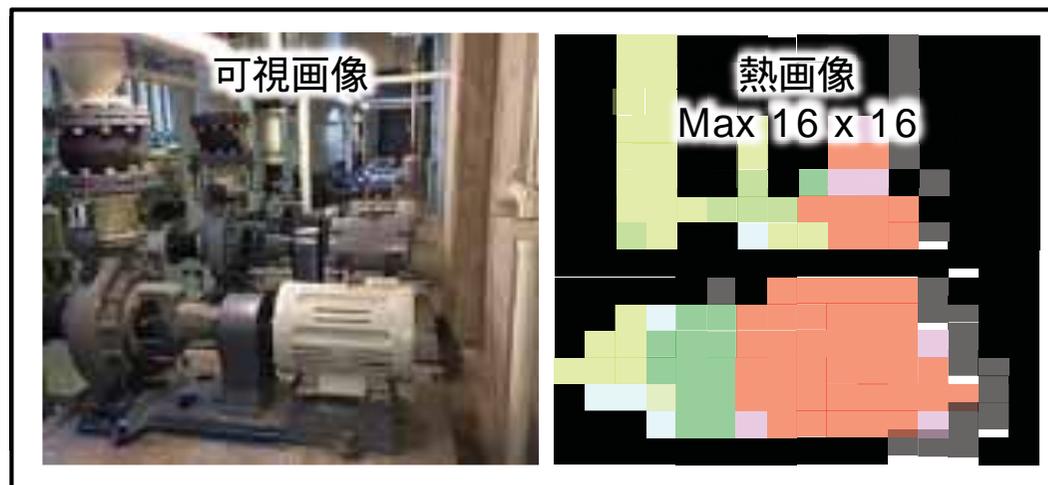
配電盤  
表面温度



# 赤外線アレーセンサ ( OMRON )

画素数、温度分解能可変

項目	値
方式	サーモパイル
寸法	20 mm x 37 mm
温度	0 ~ 100
視野角	90°
画素数	256 = 16 x 16



72 mm x 63 mm

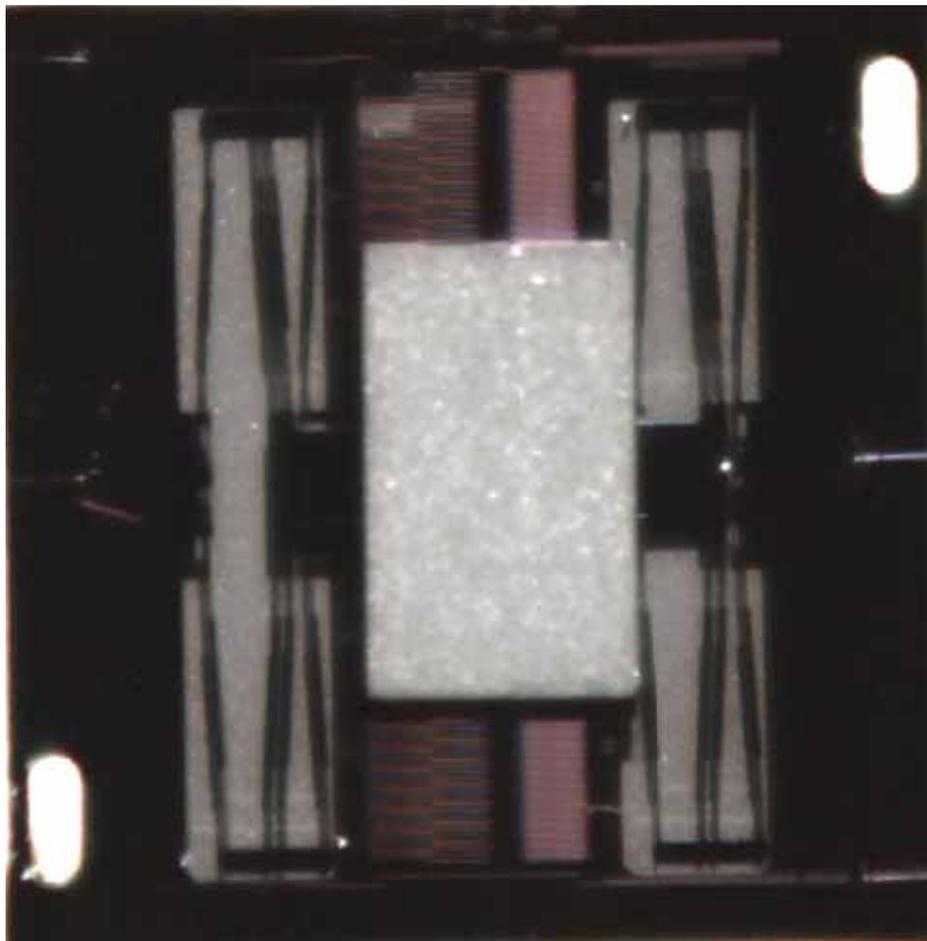


# 赤外線アレーセンサのベンチマーク

広視野角、低消費電力

	本開発	A社	B社	C社
方式	サーモパイル	サーモパイル	サーモパイル	マイクロボロメータ
画素数	256	64	2000	4800
視野範囲	90度	60度	33度	63.5度
画素選択	可	不可	不可	不可
駆動電圧	3 V			
駆動電流	4 mA	4.5 mA	5 mA	50 mA

# MEMS 振動発電 (鷺宮製作所)

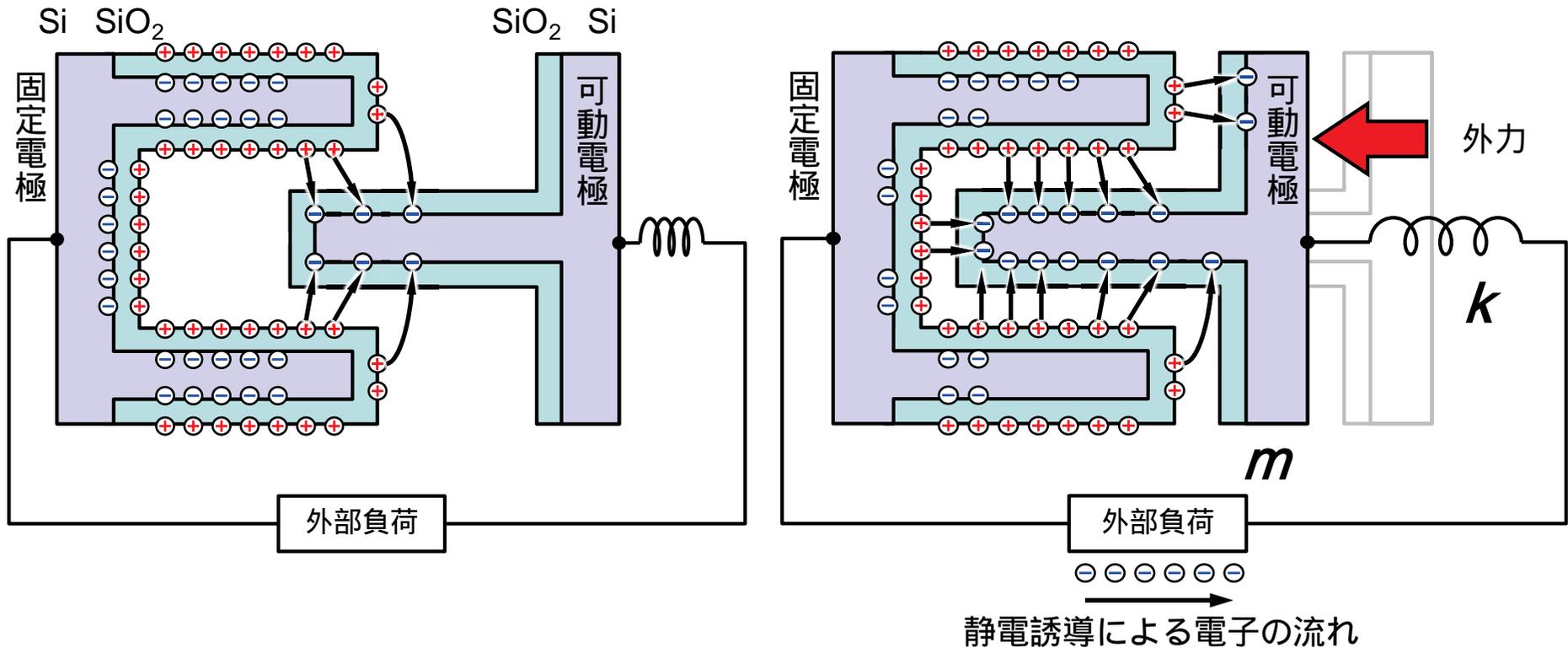


寸法 2 cm 角  
出力 1.5 mW (1.2 G, 300 Hz)  
電力取り出し効率 92%



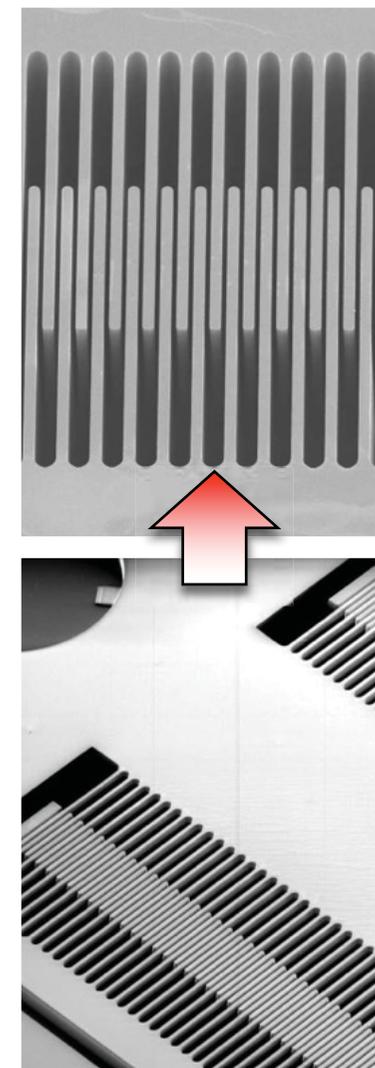
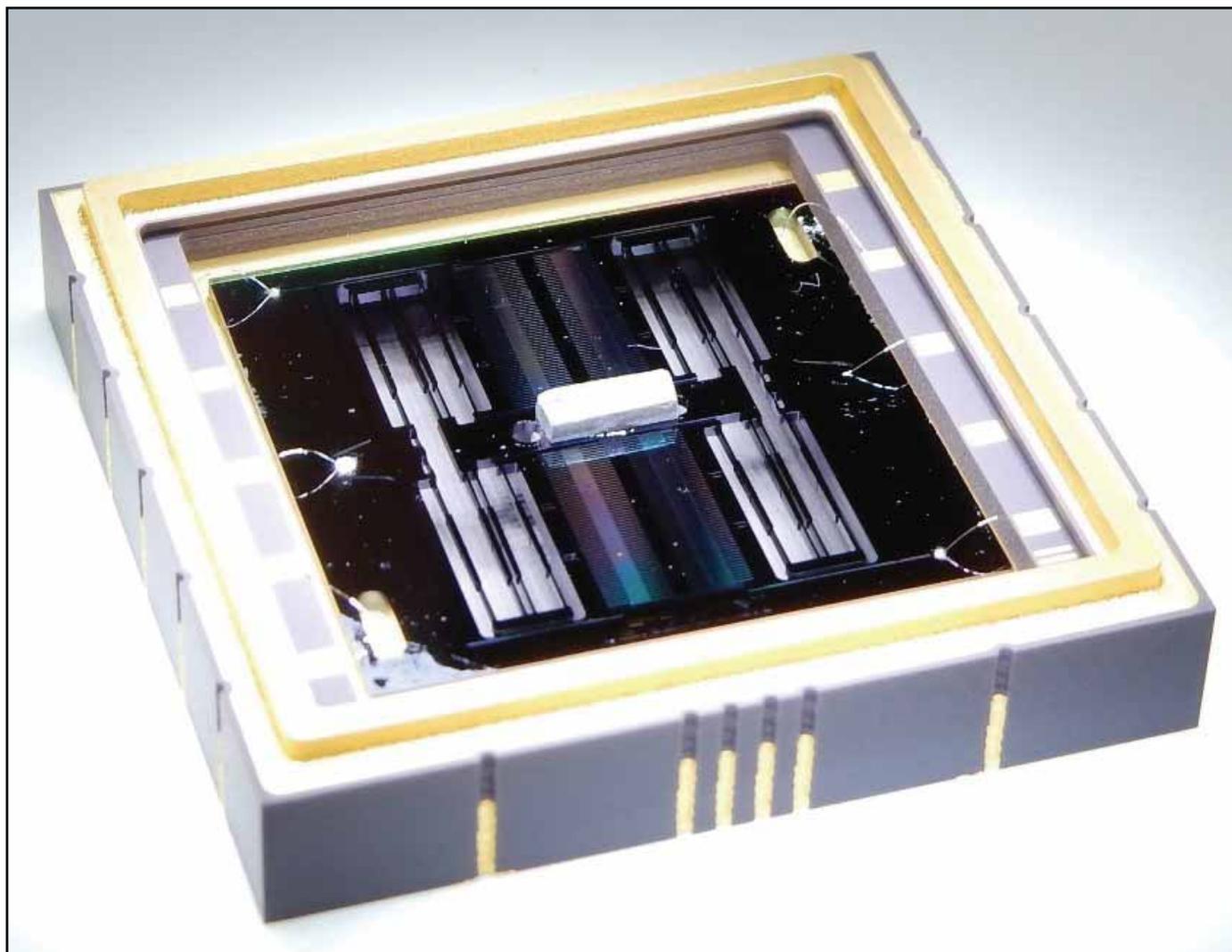
# 静電誘導発電の原理

櫛歯電極表面の高密度永久電荷（エレクトレット）



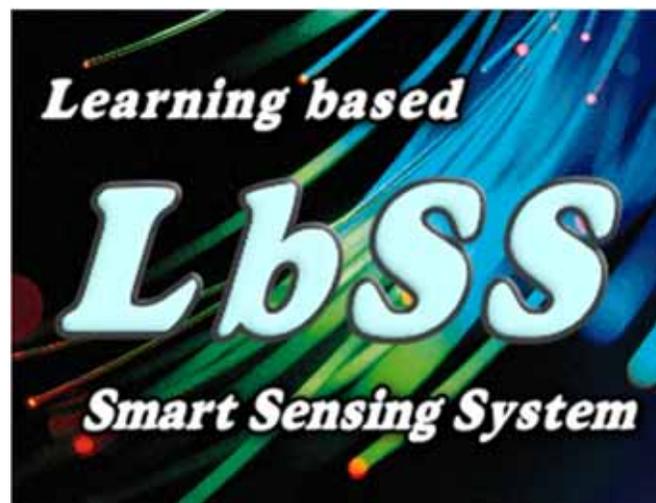
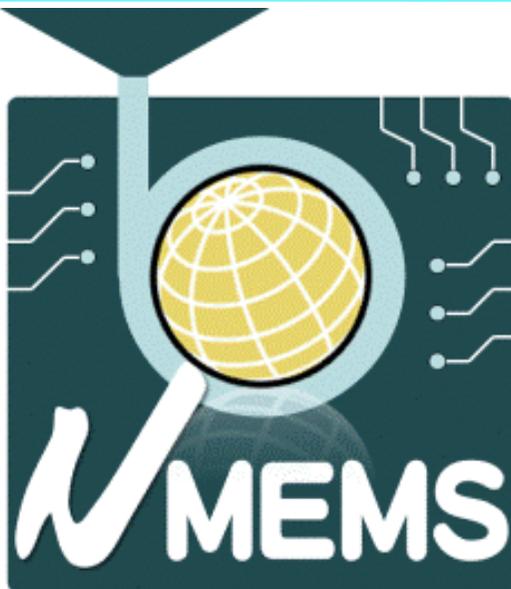
課題	解決方法
出力増強	高密度の固体イオンエレクトレット
出力インピーダンスを低減	イオン液体の電気二重層キャパシタ
環境振動に適した共振周波数	MEMS共振系設計

## エレクトレット（永久電荷）による静電誘導電流



三屋裕幸、芦澤久幸、本間浩章、橋口 原、年吉 洋、「エネルギー回収効率92%のMEMS振動エネルギーハーベスタ」 電気学会・第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム（センサ・マイクロマシン部門大会）、2019年11月19日～21日、アクトシティ浜松





技術研究組合 N M E M S 技術研究機構  
スマートセンシング研究所  
〒101-0026 東京都千代田区神田佐久間河岸67  
MBR99ビル6階

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものです。