

NEDO委託事業
「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」
H28年度～H32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 東大名誉教授

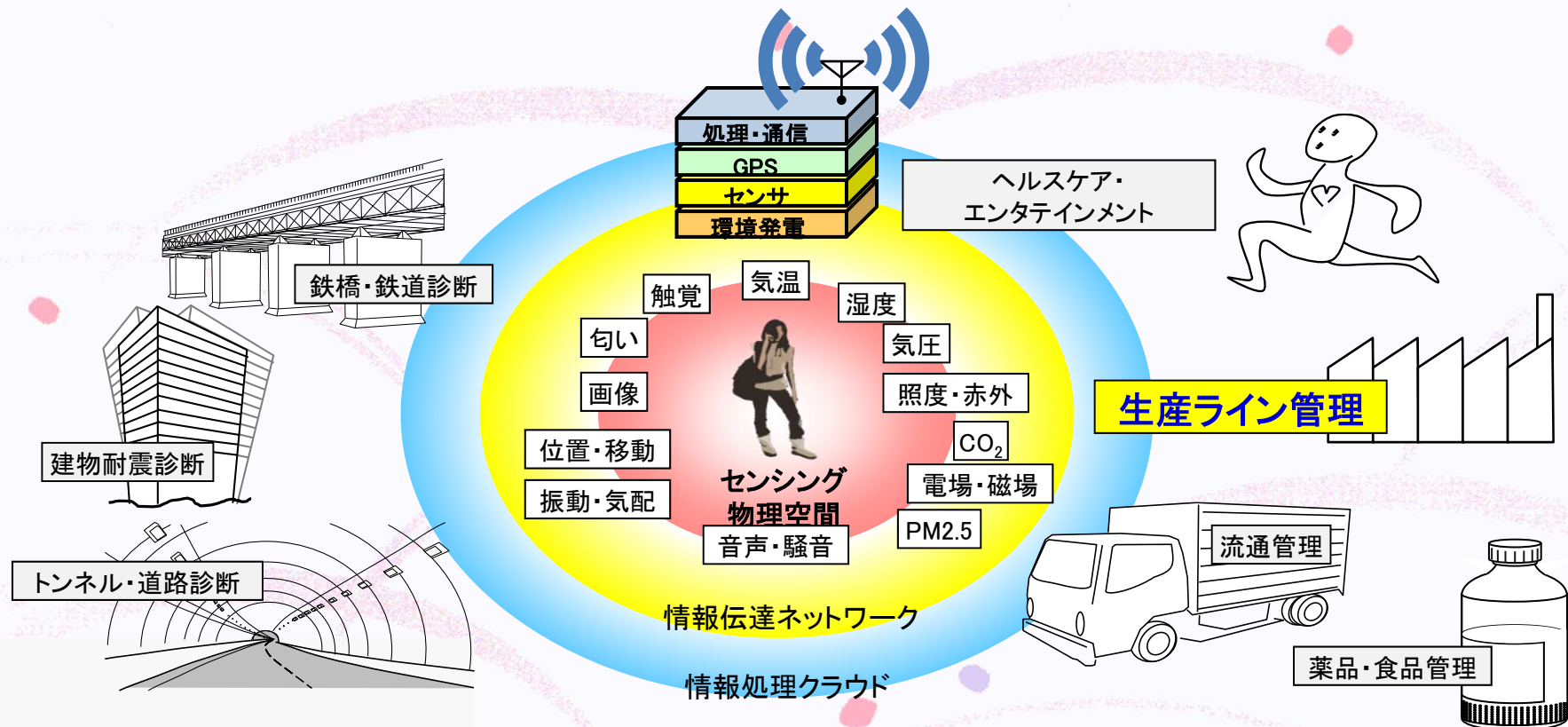
技術研究組合 NMEMS技術研究機構
(株)日立製作所、東京電力ホールディングス(株)、ローム(株)、
富士電機(株)、オムロン(株)、(株)鷺宮製作所、(一財)マイクロ
マシンセンター、静岡大学、東京大学【再委託】、(一財)電力中央
研究所【再委託】

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

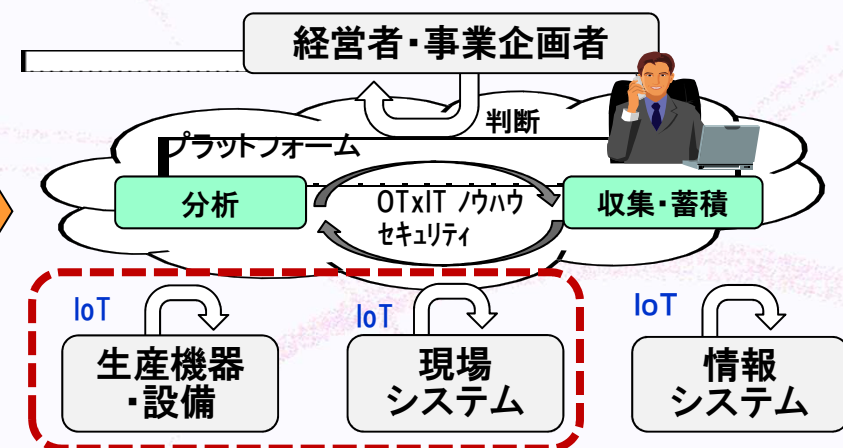
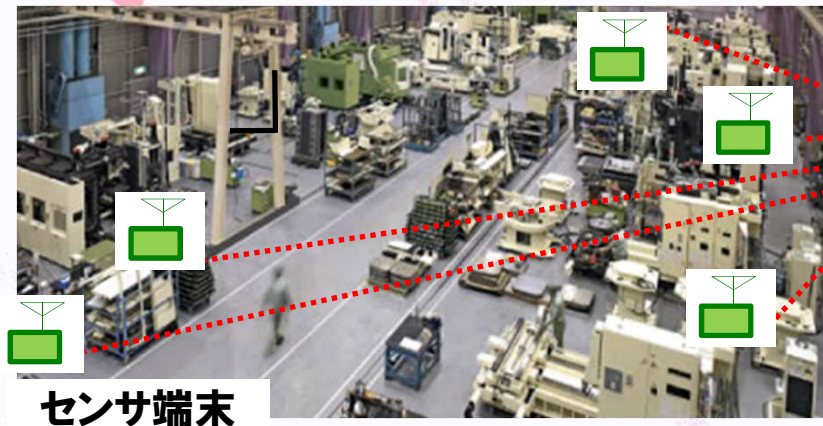
- 測定すべきパラメータ(例:周波数帯域)を自動調整
 - 測定データから知りたい情報を自動抽出
 - 有価情報の抽出で、送信データを圧縮
 - 無線通信、無給電、無交換(電池)
- センサ選定が楽
信号の解析が楽
通信と蓄積が楽
センサ設置が楽



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 μ 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



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

従来技術

センサ

センサ設置(有線)

サーモカメラ

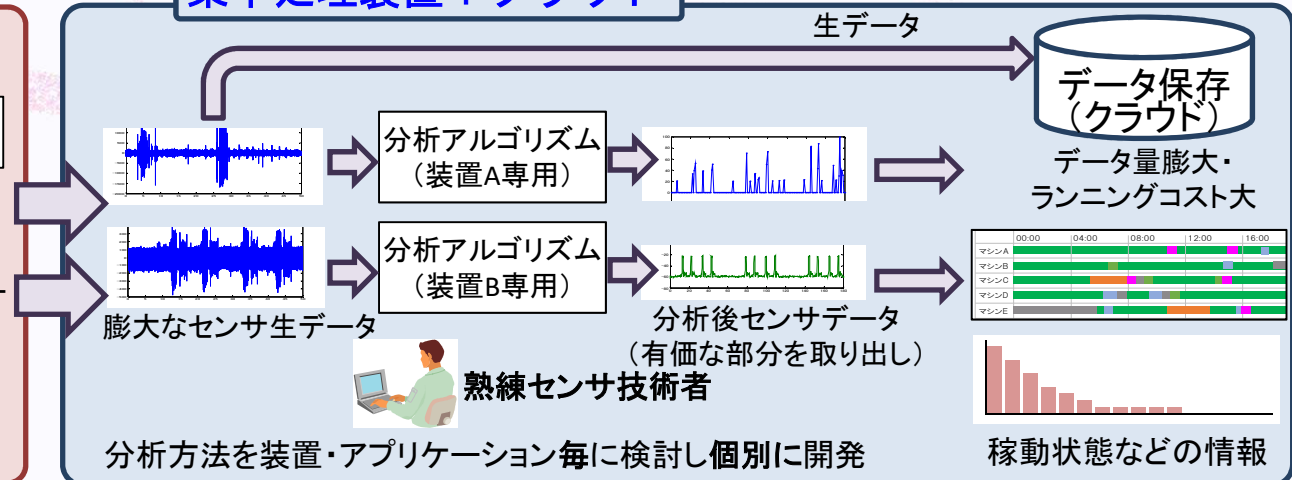
ガス検知器

振動センサ



有線センサを設置。敷設コスト大のため設置数を限定、もしくは新規導入設備に限定

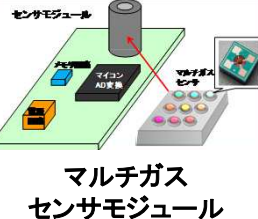
集中処理装置+クラウド



本技術

スマートセンサ設置(無線・自立電源)

無線スマートセンサ端末 (赤外線アレーセンサ版)

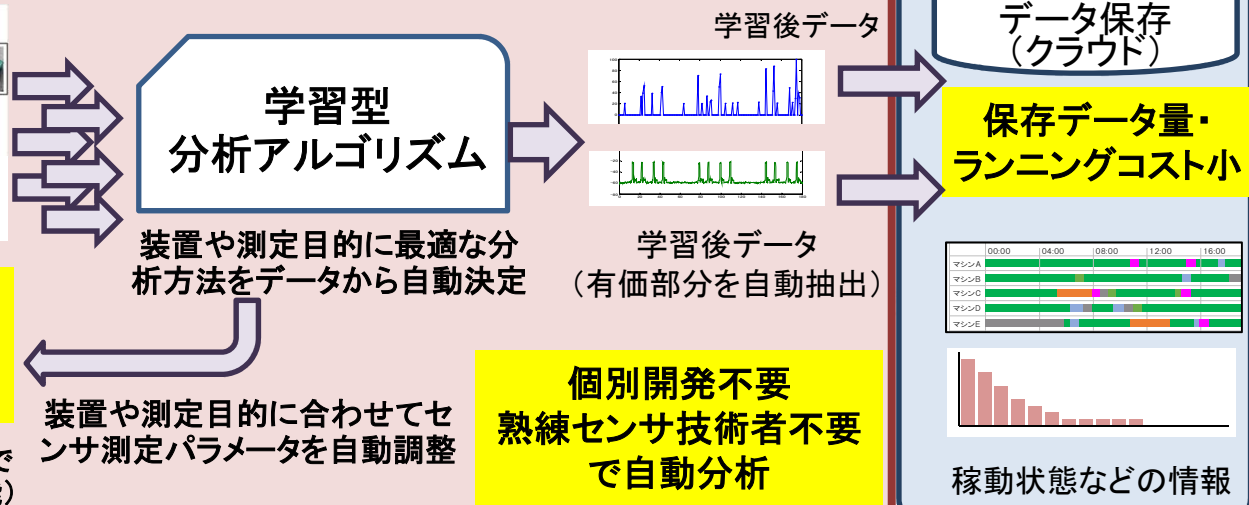


測定パラメータ
自動検討・調整
熟練作業不要

振動発電モジュール

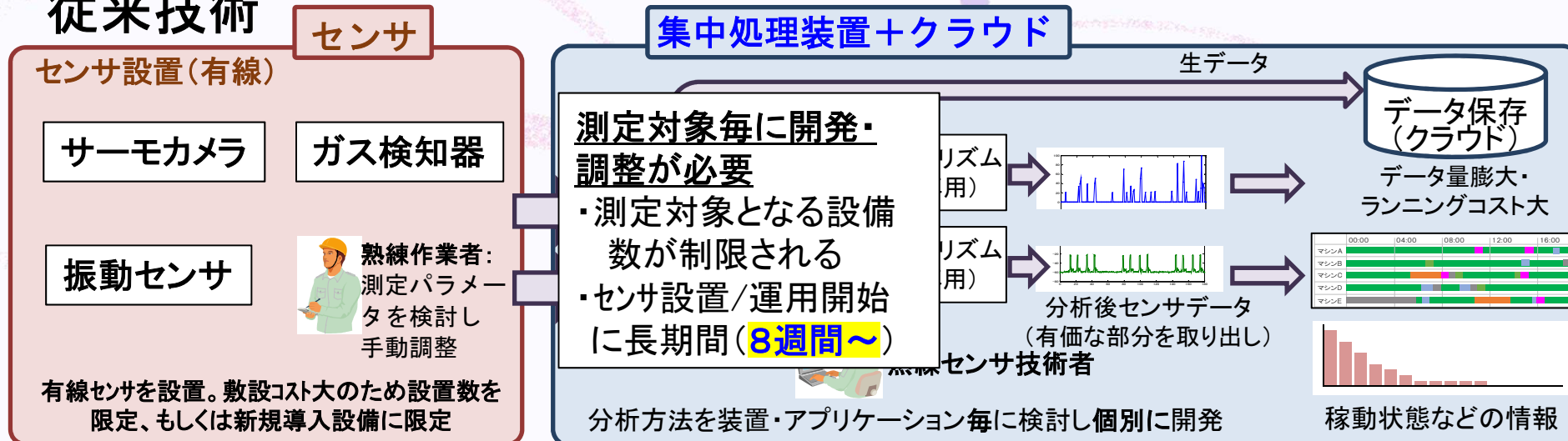
無線・自立電源のスマートセンサを設置(敷設工事無しで容易に設置、レガシーな設備を含めてデータ収集可能)

エッジ (センサ+コンセントレータ)

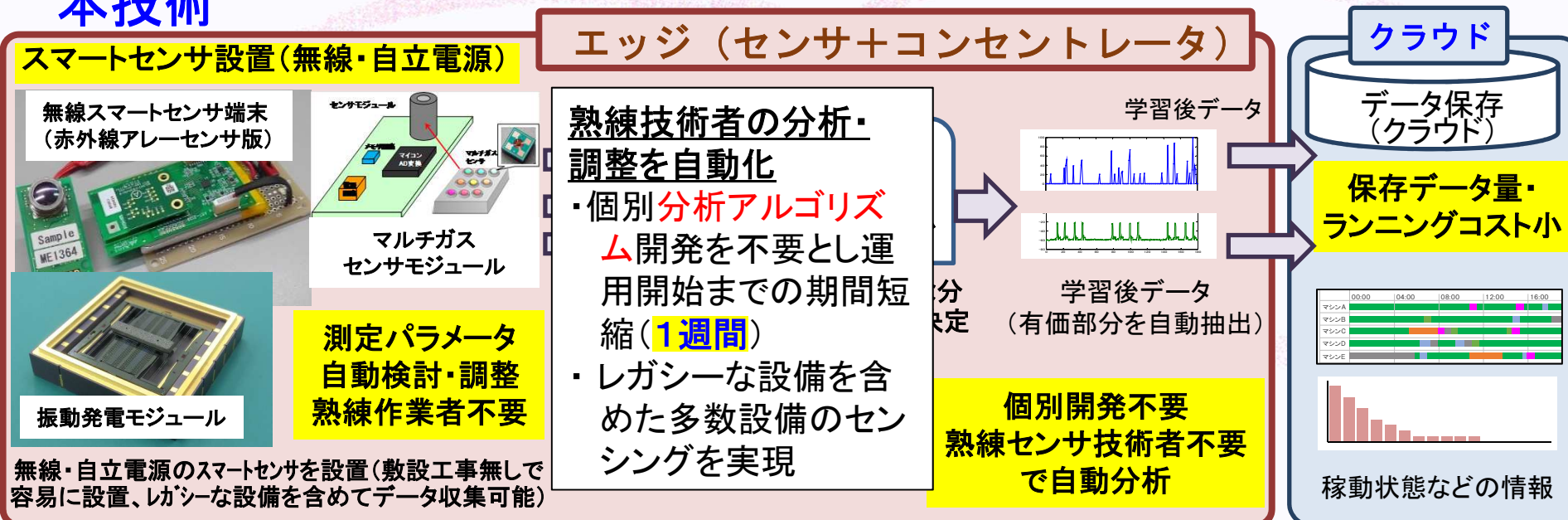


スマートセンシングシステムの優位性

従来技術

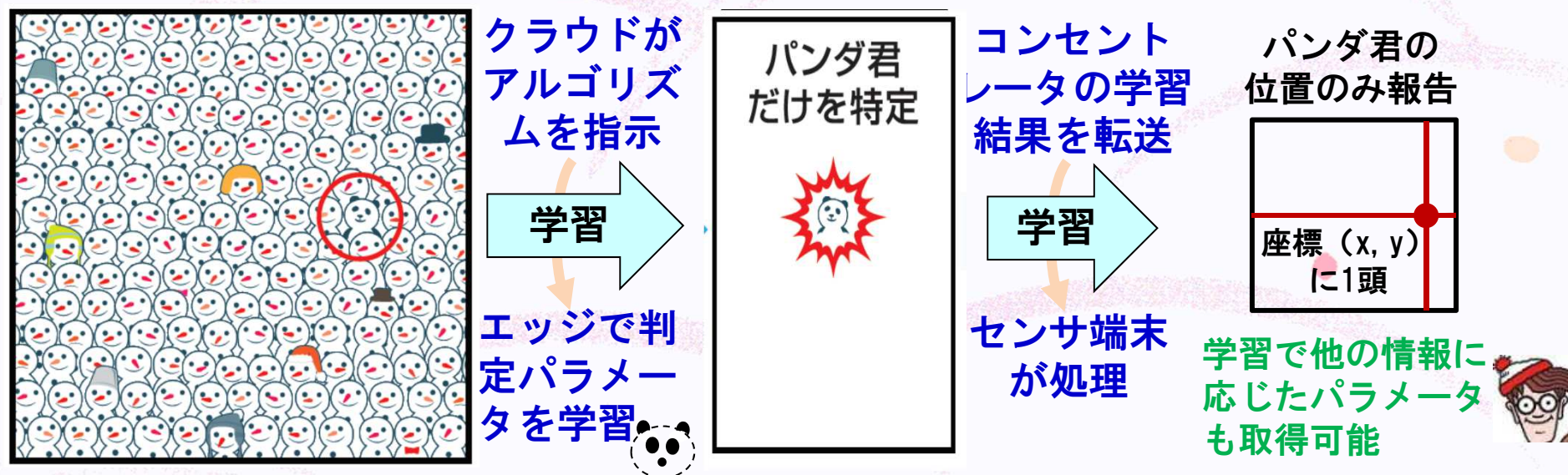


本技術

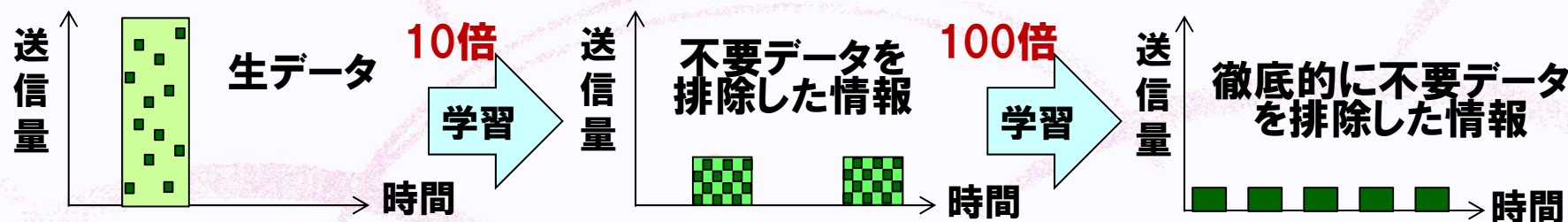


学習型スマートセンシングシステムの概念

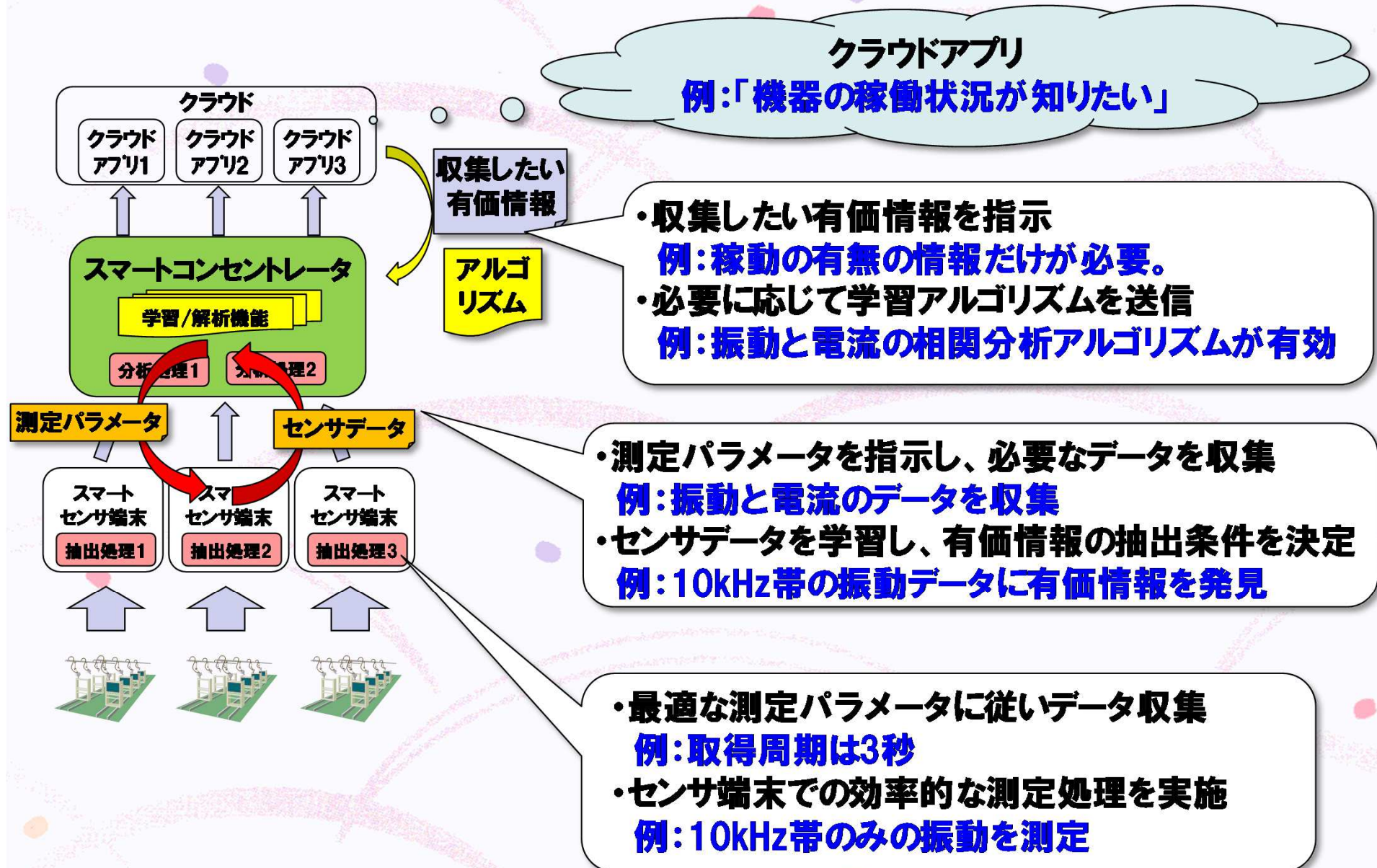
- 課題: 従来のクラウド集中型では、通信負荷・コスト増大で大規模工場監視が困難
- 解決手段: **学習式エッジ分散型**を用い、環境発電で収集する**情報密度を100倍増**



⇒ 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

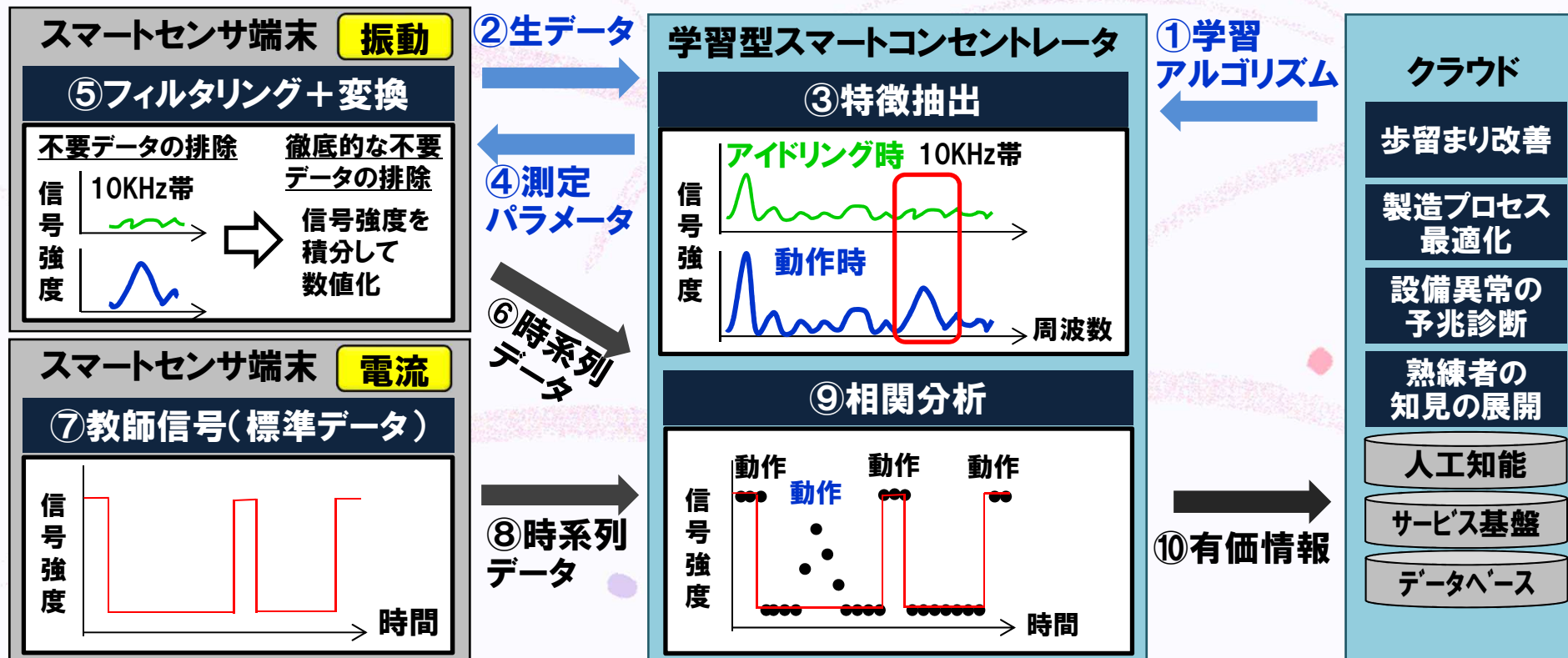


学習型スマートセンシングの流れ



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

■ 複数のセンサ端末ー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

研究開発内容と役割分担

スマートセンサ端末要素技術開発

①- (1) スマートセンシング
フロントエンド (SFE) 回路 (日立製作所)

①- (3) 低電力無線モジュール (ローム)

②産業向けスマートセンサ
(1) 省電力ガスセンサ (富士電機)、
(2) 赤外線アレーセンサ (オムロン)

③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])

スマートセンサ端末

赤外線 ガス 開発品

振動 電流 市販品

動的センシング制御

低電力無線通信

自立電源 (振動発電)

①- (3) スマートセンサ端末の開発 (ローム)

①- (2) 産業設備の状態監視
アルゴリズムの検証
(東京電力ホールディングス)

測定対象と環境を学習・判断し
測定パラメータに自動反映

クラウド

分析・管理

DB

学習
支援

経営情報として
フィードバック

従来比100倍の
有価情報を取得

稼働状況

保守状況

工程品質

仕掛状態

⋮

①- (1) 学習型スマート
コンセントレータの開発
(日立製作所)

研究開発内容のポイント

スマートセンサ端末要素技術開発

①- (1) スマートセンシング
フロントエンド (SFE) 回路 (日立製作所)

①- (3) 低電力無線モジュール (ローム)

②産業向けスマートセンサ
(1) 省電力ガスセンサ (富士電機)、
(2) 赤外線アレーセンサ (オムロン)

③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])

500μW振動発電
+ 省電力デバイス

自律センサノード

①- (3) スマートセンサ端末の開発 (ローム)

動的パラメータ変更

五感代替計測

複数ガス検出 +
特定ガスを選択

広視野 + 注視

学習で最適化

①- (2) 産業設備の状態監視
アルゴリズムの検証
(東京電力ホールディングス)

測定データ

測定対象と環境を学習・判断し
測定パラメータに自動反映

高信頼双方向通信

動的センシング制御

クラウド

分析・管理

DB



経営情報として
フィードバック

従来比100倍の
有価情報を取得

稼働状況

保守状況

工程品質

多様な対象に対応

学習 + 複数センサ融合

①- (1) 学習型スマート
コンセントレータの開発
(日立製作所)

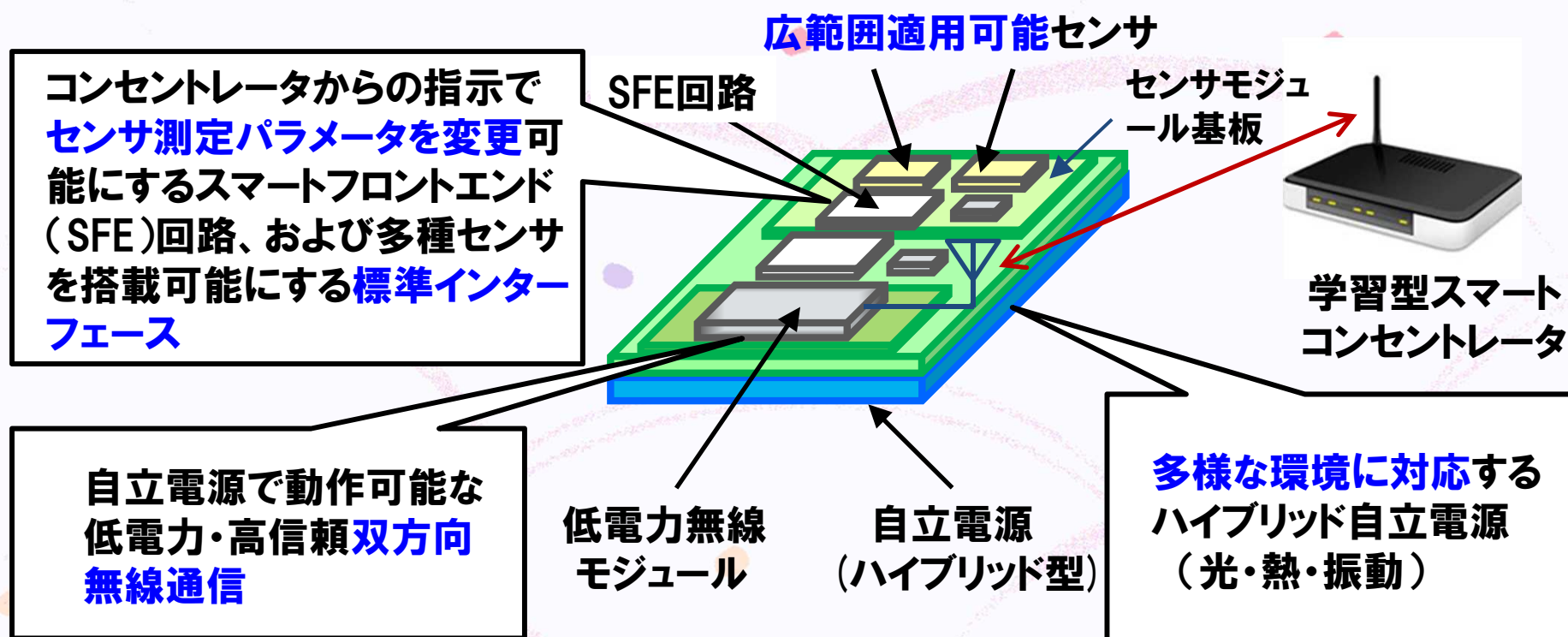
開発するハードウェアの優位性

なぜ今更センサ・端末ハードウェアを開発するのか：

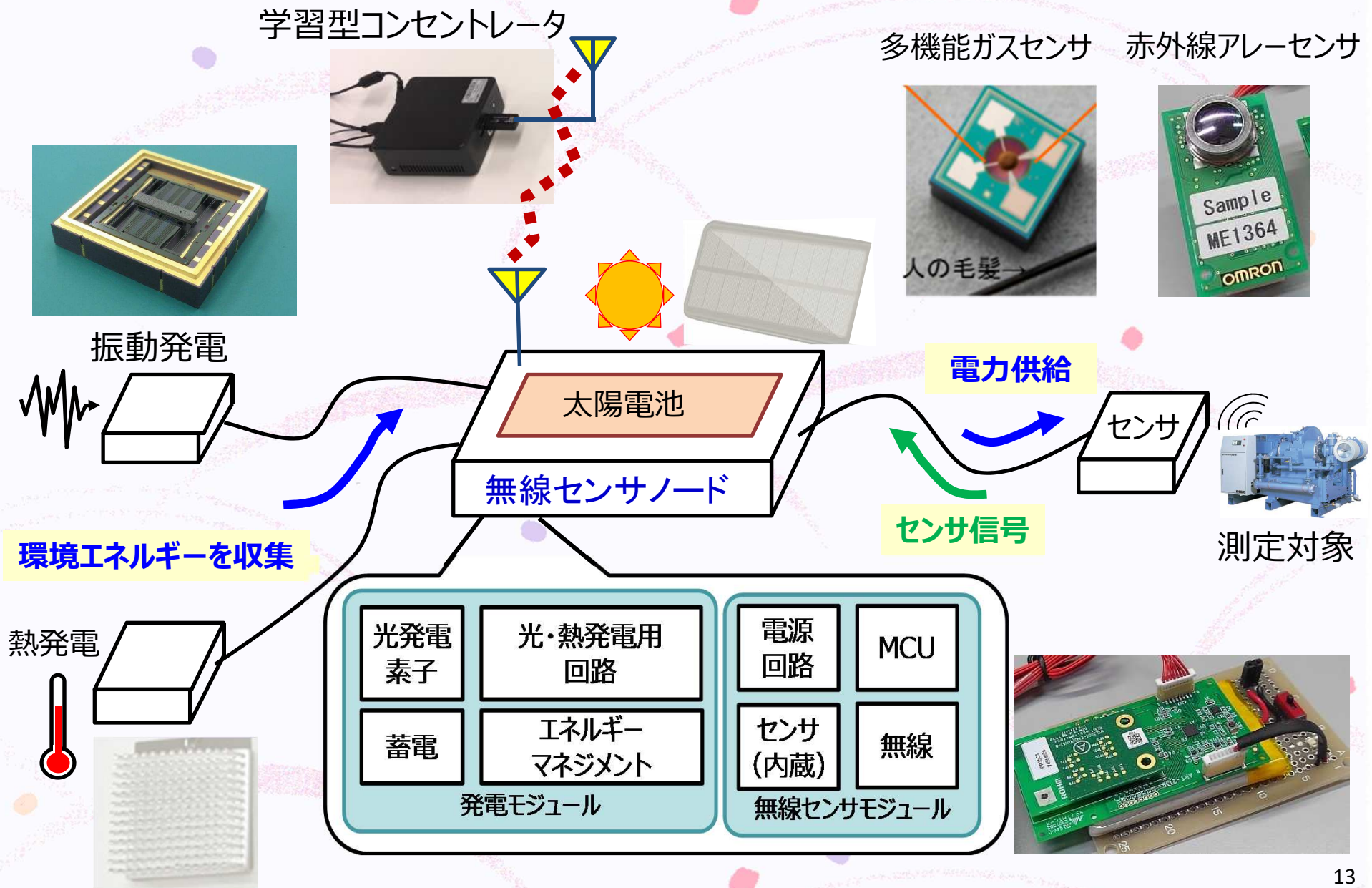
■ 機能に余裕のあるセンサを用い、動的に測定するシグナルを絞り込むことにより(センサ計測の専門家不要で)的確なセンシングが可能 ← システムからの要請

■半導体技術、MEMS技術で作るセンサは量産効果を生かす必要があるため、多機能で汎用のセンサを少品種・大量生産し、それを多くの場面に適用可能にすることが重要

← センサ商品化からの要請



ハイブリッド環境発電モジュールと無線センサノード



中間・最終目標(総括)

研究開発項目	中間目標(H30年度) (①- (3)、②- (1) はH30年度で開発終了 ②- (2) はH29年度で開発終了)	提案時点での最終目標 (H32年度)
①- (1) 学習型スマートコンセントレータの開発	・学習型センシングシステムを試作し、有価情報の 100倍化を実験環境で検証	・ 工場環境で有価情報100倍化を検証 し、IoT基盤技術としての有効性を実証
①- (2) 産業設備の状態監視アルゴリズムの検証	・ 状態監視アルゴリズムの構築 ①生産設備の稼働状況把握 ②産業設備の状態把握	・実証試験の完了 状態監視アルゴリズムの検証
①- (3) 低消費電力・高信頼性無線センサ端末の開発	・高信頼性無線センサ端末の開発 学習型スマートセンシングシステムに適用可能 自立電源で駆動可能な低消費電力端末	SFE回路: センサ測定パラメータを変更可能にする制御回路、及び多種センサを搭載可能にする標準インターフェース 低電力無線モジュール: 自立電源で動作可能な低電力・高信頼双方向無線通信 自立電源 (ハイブリッド型): 多様な環境に対応するハイブリッド自立電源 (光・熱・振動)
②- (1) 設備の異常を検出する省電力型ガスセンサの開発	・複数の対象ガスに対応したマルチガスセンサを実現する要素技術開発 ・正常環境を学習し、 異常の予兆を検出するアルゴリズムの原理確認	
②- (2) 低消費電力な赤外線アレーセンサの開発	・赤外線アレーセンサモジュールの開発 (サイズ2cm×5cm以下、消費電力 200μW以下)	
③微小振動で連続的な高出力可能な自立電源の開発	・発電電力 500μW以上 (24mm□以下) ・振動発電モジュールのサンプル提供開始	・振動発電デバイスの ウェアレベル製造工程の構築

産業向けスマートセンサ、及び 高効率振動発電デバイスの開発

技術研究組合NMEMS技術研究機構
LbSS サブリーダー

東京大学 先端科学技術研究センター
教授 年吉 洋

研究開発内容と役割分担

スマートセンサ端末要素技術開発

①- (1) スマートセンシング
フロントエンド (SFE) 回路 (日立製作所)

①- (3) 低電力無線モジュール (ローム)

②産業向けスマートセンサ
(1) 省電力ガスセンサ (富士電機)、
(2) 赤外線アレーセンサ (オムロン)

③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])

①- (2) 産業設備の状態監視
アルゴリズムの検証
(東京電力ホールディングス)

スマートセンサ端末

赤外線 ガス 開発品

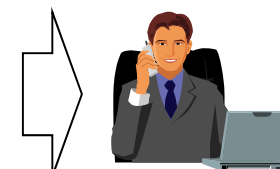
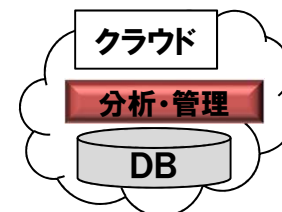
振動 電流 市販品

動的センシング制御

低電力無線通信

自立電源 (振動発電)

①- (3) スマートセンサ端末の開発 (ローム)



経営情報として
フィードバック

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

①- (1) 学習型スマート
コンセントレータの開発
(日立製作所)

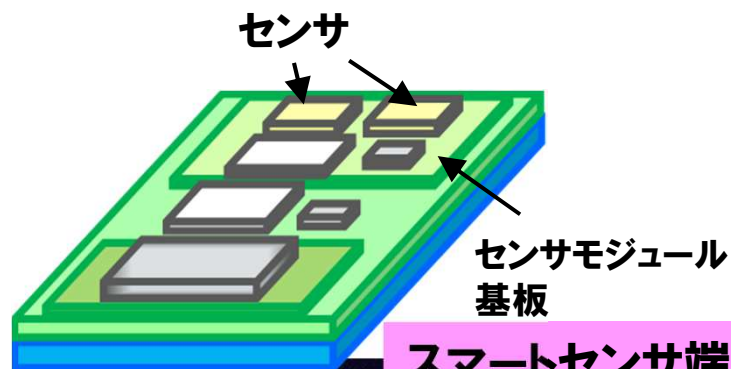
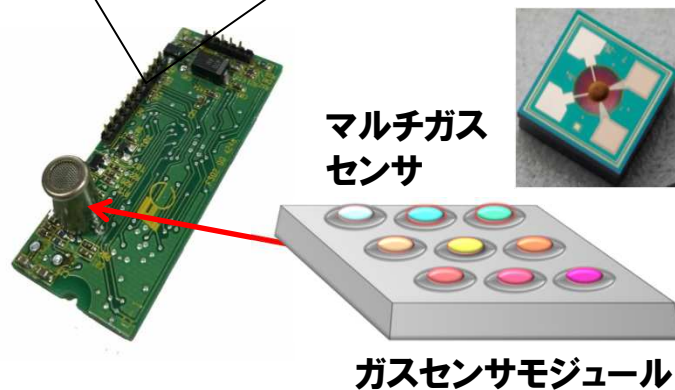
測定対象と環境を学習・判断し
測定パラメータに自動反映

測定データ

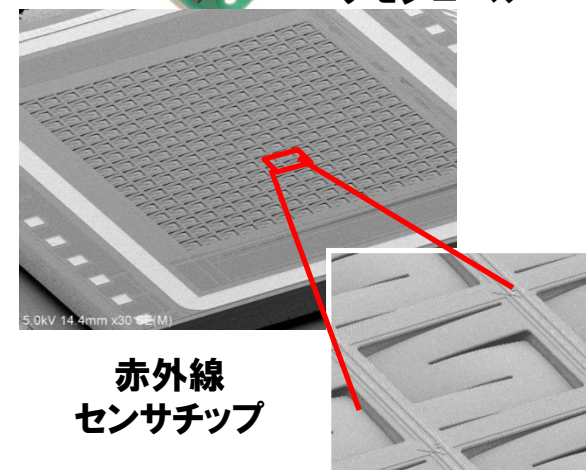
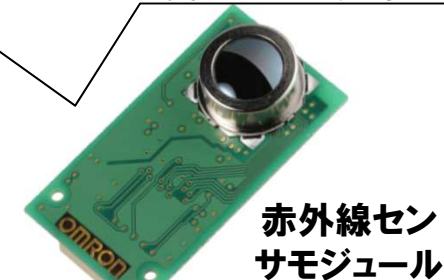
産業分野を対象としたスマートセンサの開発

温度分布やにおいなどの信号から、有意なデータを選択的に、必要な頻度で測定するなど、計測パラメータを柔軟に動的制御し、有価情報を効率よく収集するスマートセンサを開発

②- (1) 設備の異常を検出する
省電力型ガスセンサの開発
担当: 富士電機
装置の動作に伴うにおいデータを取得

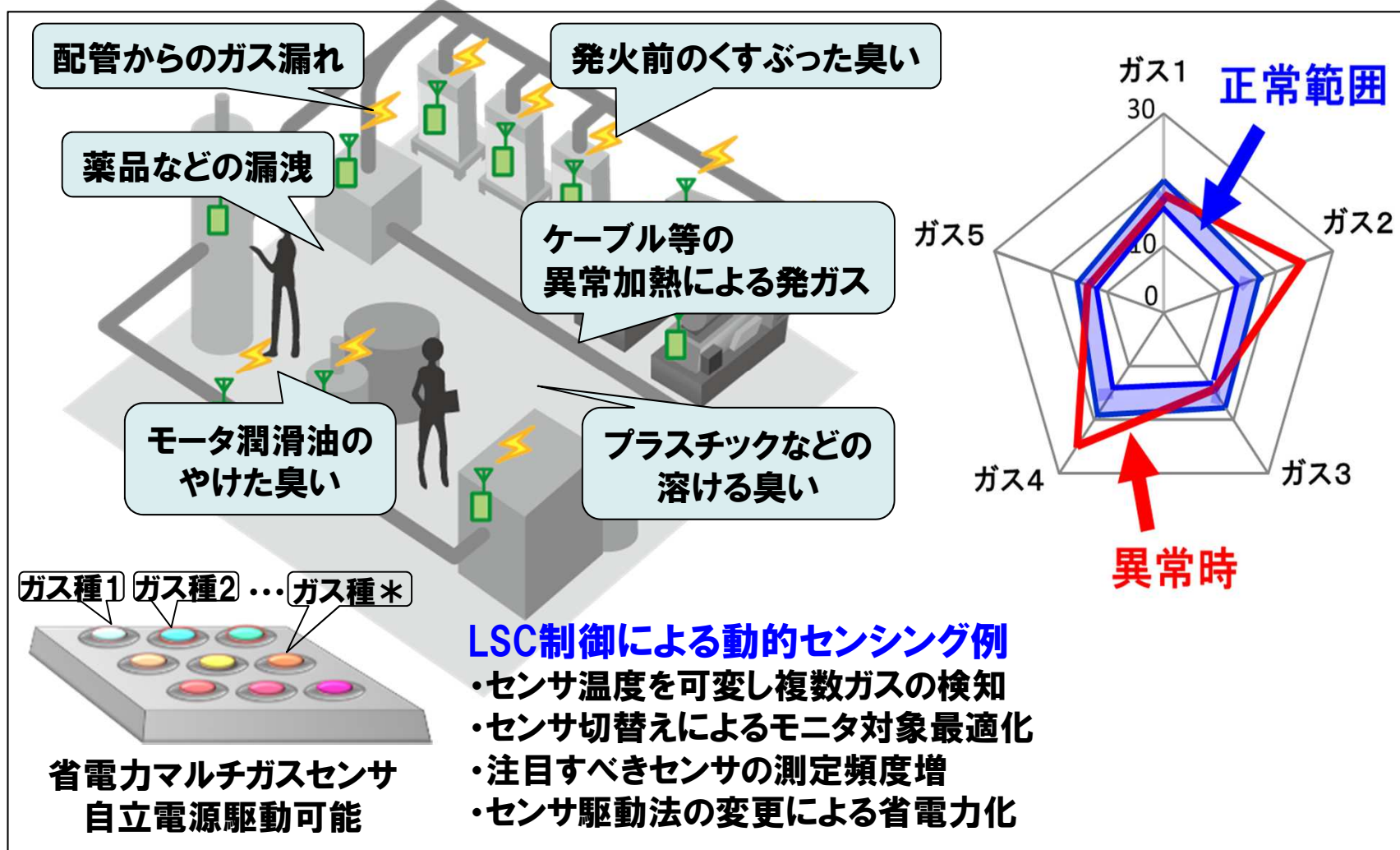


②- (2) 工場内の温度分布を非接触で計測する
低消費電力な赤外線アレーセンサの開発
担当: オムロン
装置の動作に伴う温度データを非接触で取得

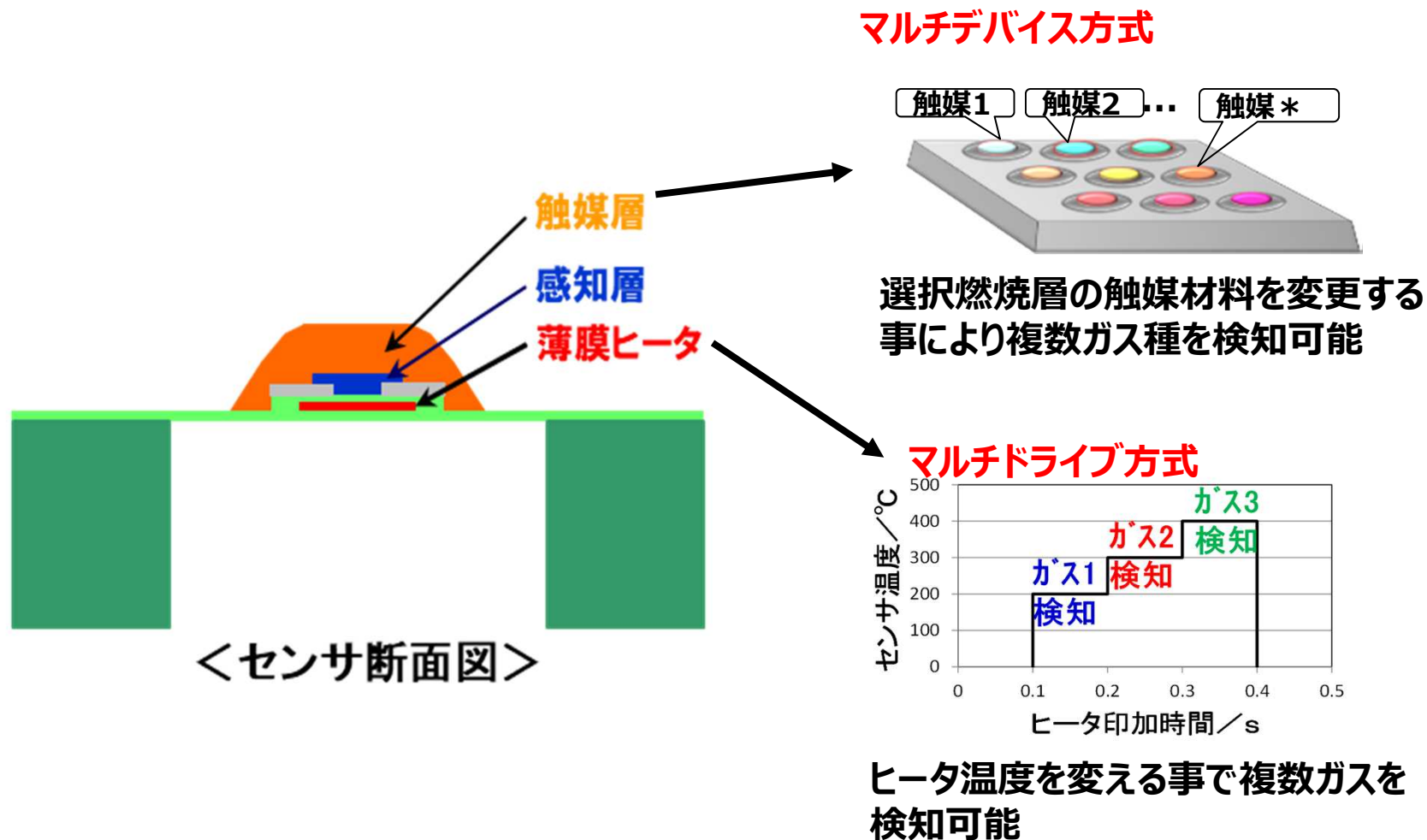


ガスセンサの適用例

マルチセンサにより**複数の環境ガスをモニタし、学習により正常時をモデル化**
従来、点検者が感じていた**異臭の検出や常時モニタリングが可能**



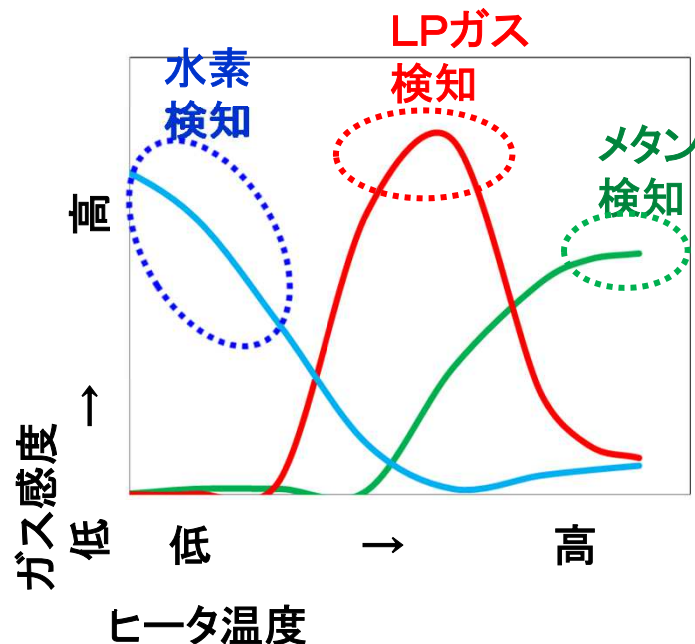
MEMSガスセンサの特徴



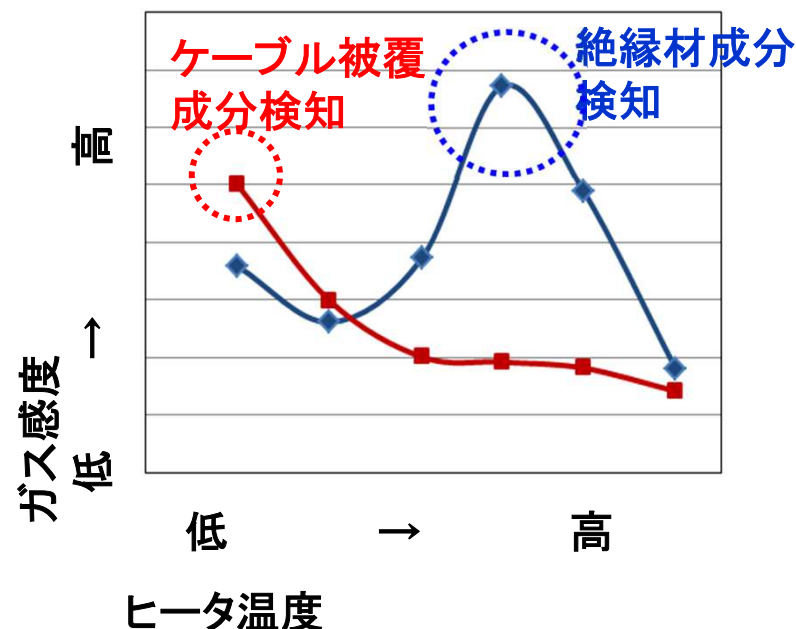
2方式の組合わせにより複数ガス検知を実現する

ガスセンサの感度特性例

■ 燃料ガスの漏洩 (触媒A)



■ 発熱によるにおい (触媒B)



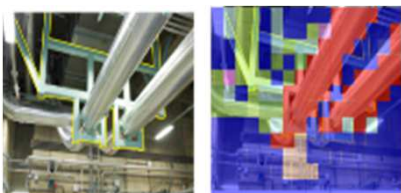
ガスセンサの適用例

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

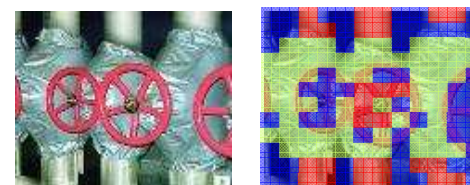
赤外線アレーセンサの活用例

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



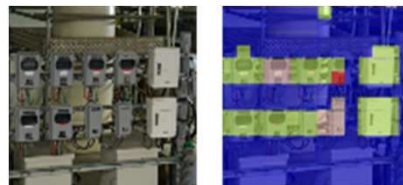
断熱材欠損による熱モレ監視



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

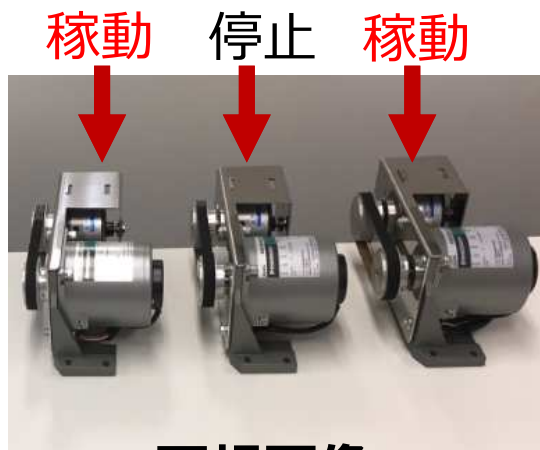
赤外アレーセンサを用いた画素選択

赤外線アレーセンサ無線端末を用いた温度測定最適化システム

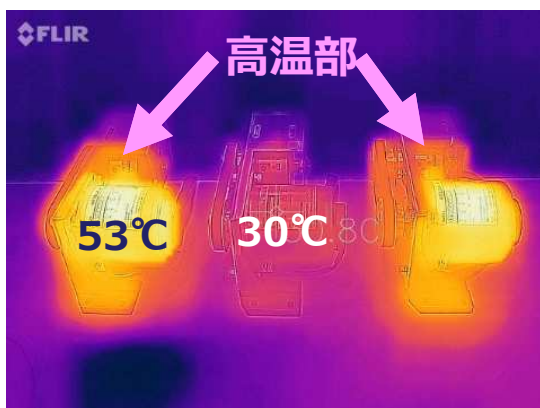


赤外アレセンサを用いた画素選択によるデータ量低減

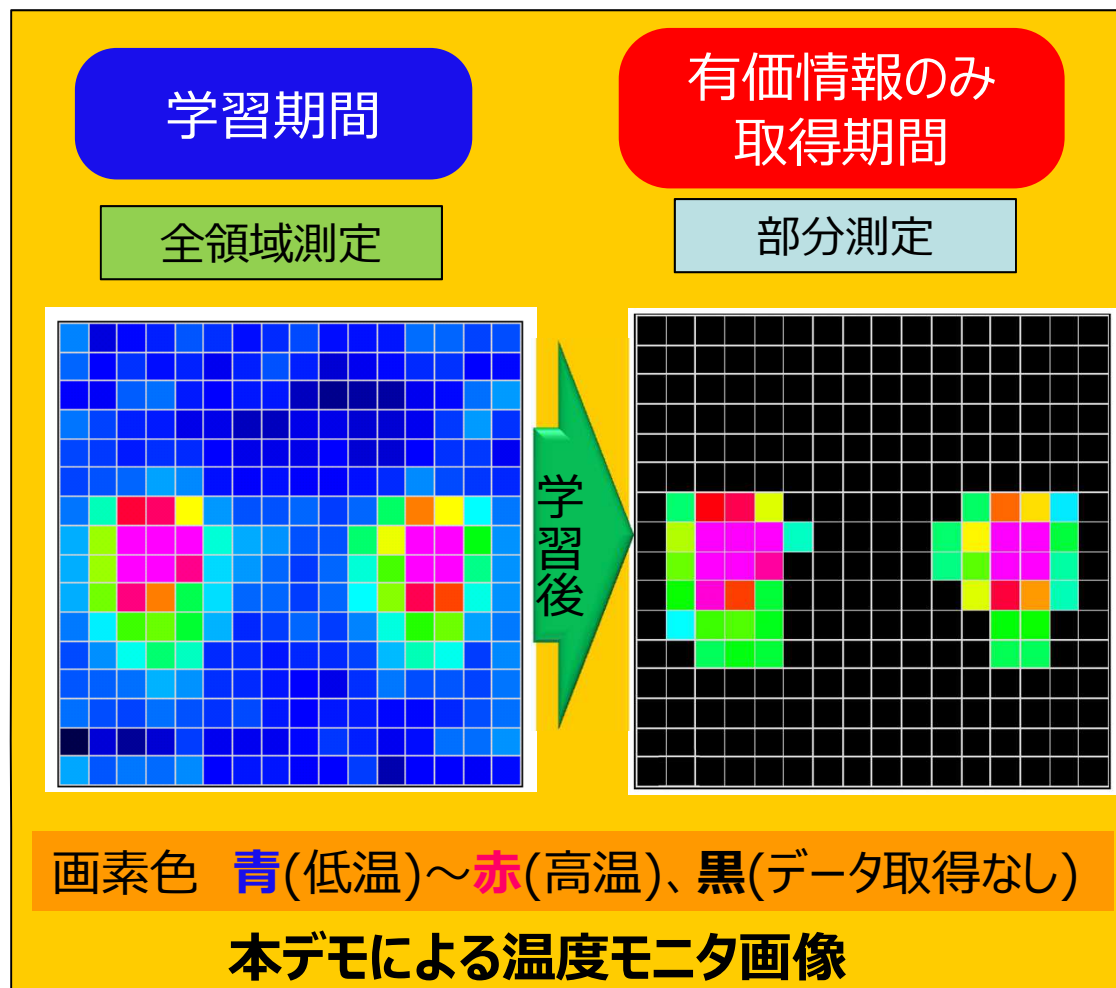
◆ 学習後は、高温部のデータのみを取得します。



可視画像



サーモグラフィ(市販)画像



研究開発内容と役割分担

スマートセンサ端末要素技術開発

①- (1) スマートセンシング
フロントエンド (SFE) 回路 (日立製作所)

①- (3) 低電力無線モジュール (ローム)

②産業向けスマートセンサ
(1) 省電力ガスセンサ (富士電機)、
(2) 赤外線アレーセンサ (オムロン)

③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])

①- (2) 産業設備の状態監視
アルゴリズムの検証
(東京電力ホールディングス)

スマートセンサ端末

赤外線 ガス 開発品

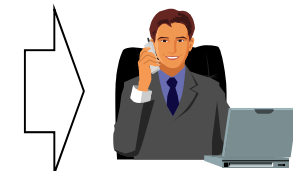
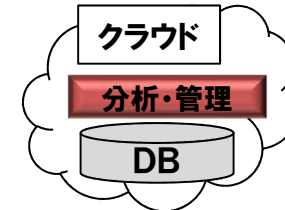
振動 電流 市販品

動的センシング制御

低電力無線通信

自立電源 (振動発電)

①- (3) スマートセンサ端末の開発 (ローム)



経営情報として
フィードバック

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

①- (1) 学習型スマート
コンセントレータの開発
(日立製作所)

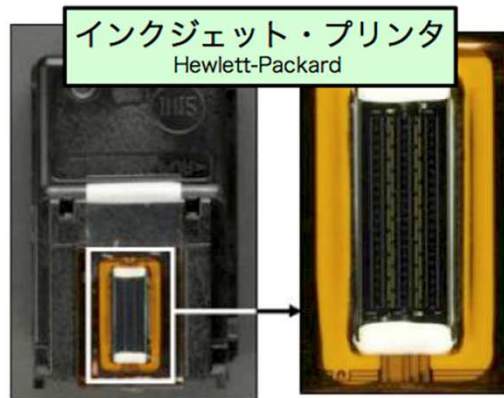
測定対象と環境を学習・判断し
測定パラメータに自動反映

測定データ

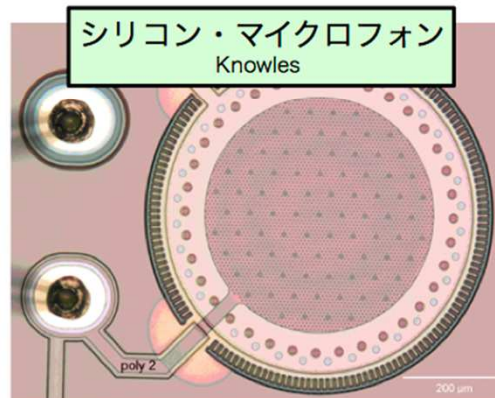
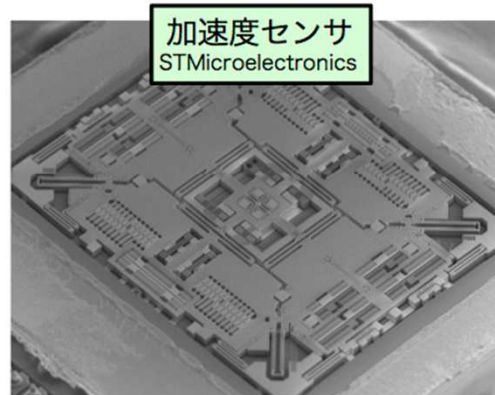
MEMS発電とは？

◆ MEMS (Micro Electro Mechanical Systems ・ メムス)

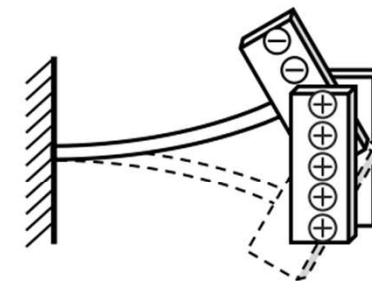
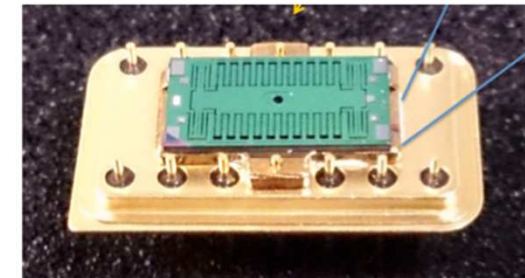
MEMSアクチュエータ (電気信号→物理的工作)



MEMSセンサ (物理的工作→電気信号)



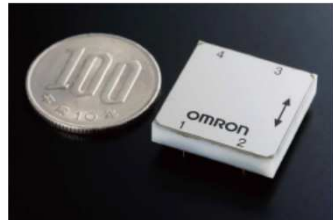
MEMS発電素子 (物理的工作→電気エネルギー)



【本研究の発電原理】
永久電荷（エレクトレット）に
よる静電誘導

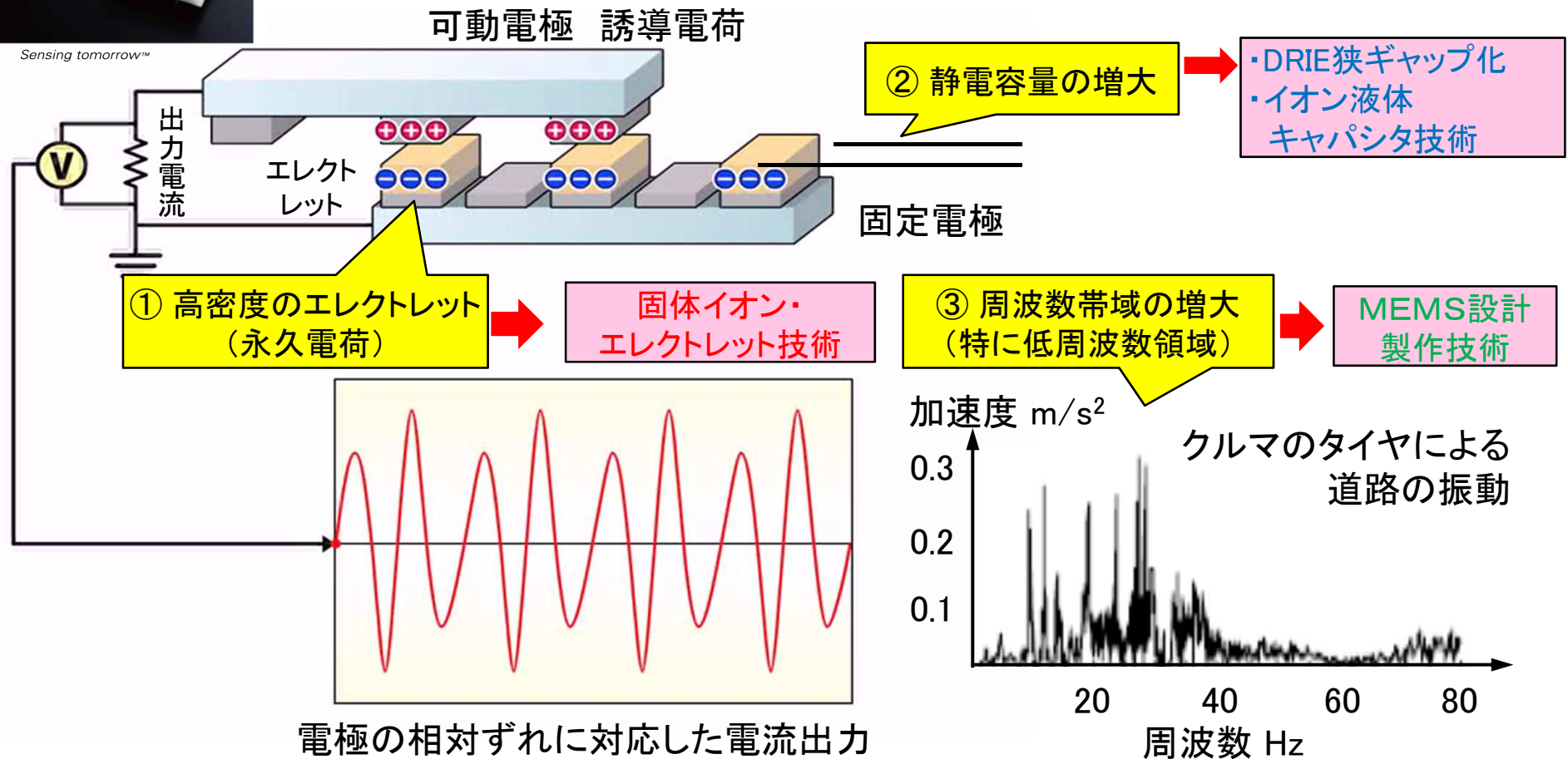
※東京大学年吉研究室ホームページより

振動発電の原理と高効率化



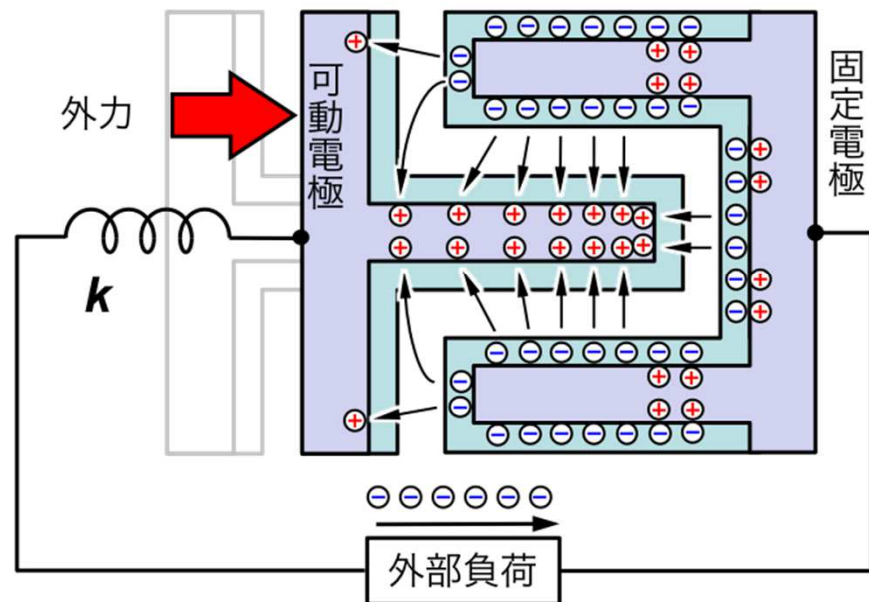
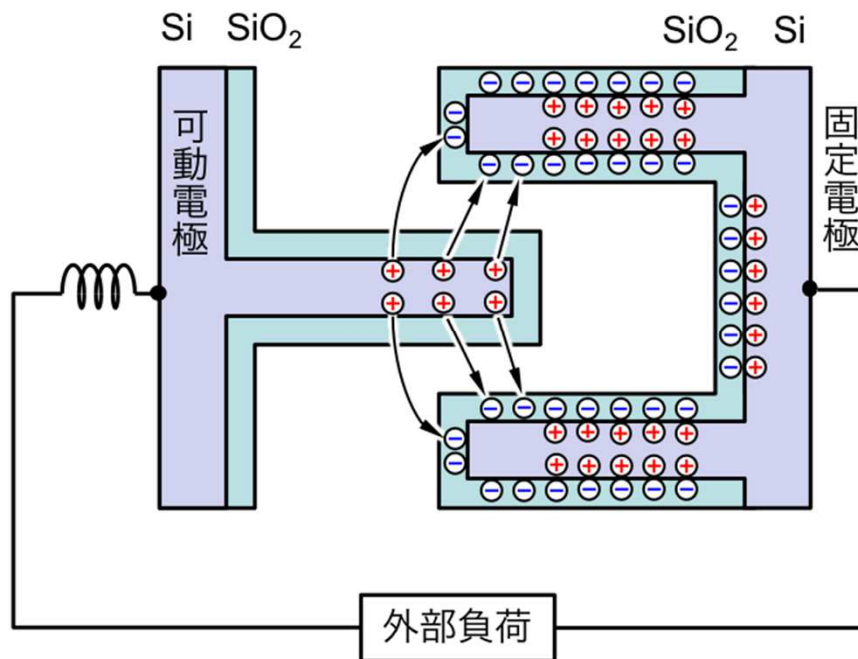
Sensing tomorrow™

永久電荷密度の増大、静電容量の増大、柔軟な共振周波数設計

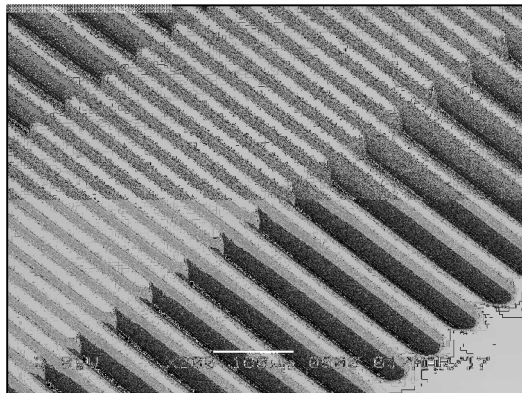


エレクトレットとは？

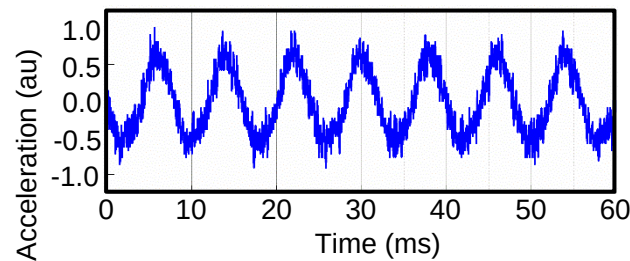
◆ 絶縁体中の永久電荷，静電誘導



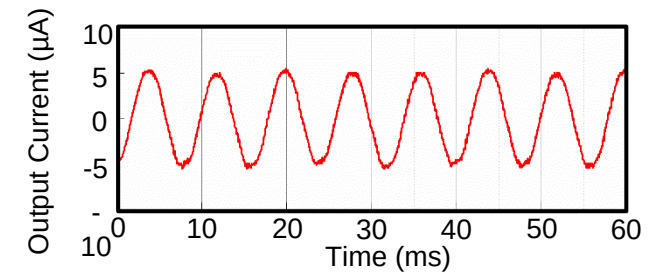
SEM像



外部振動

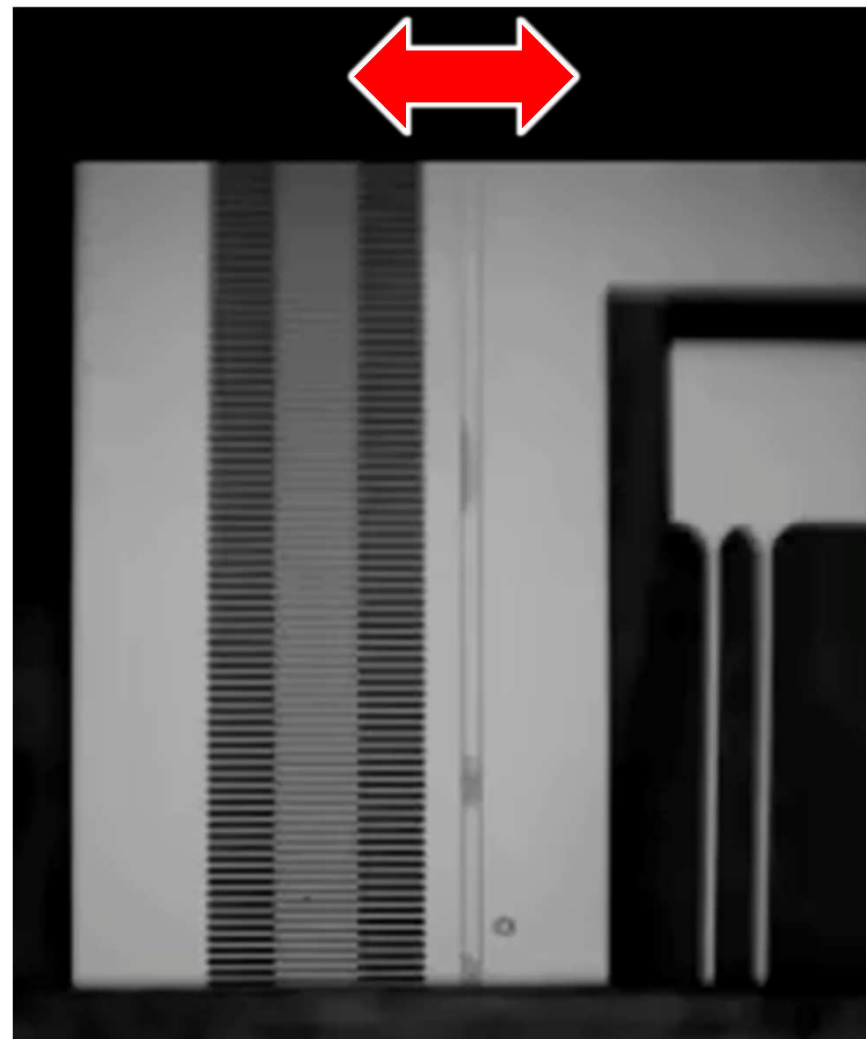


発電電流

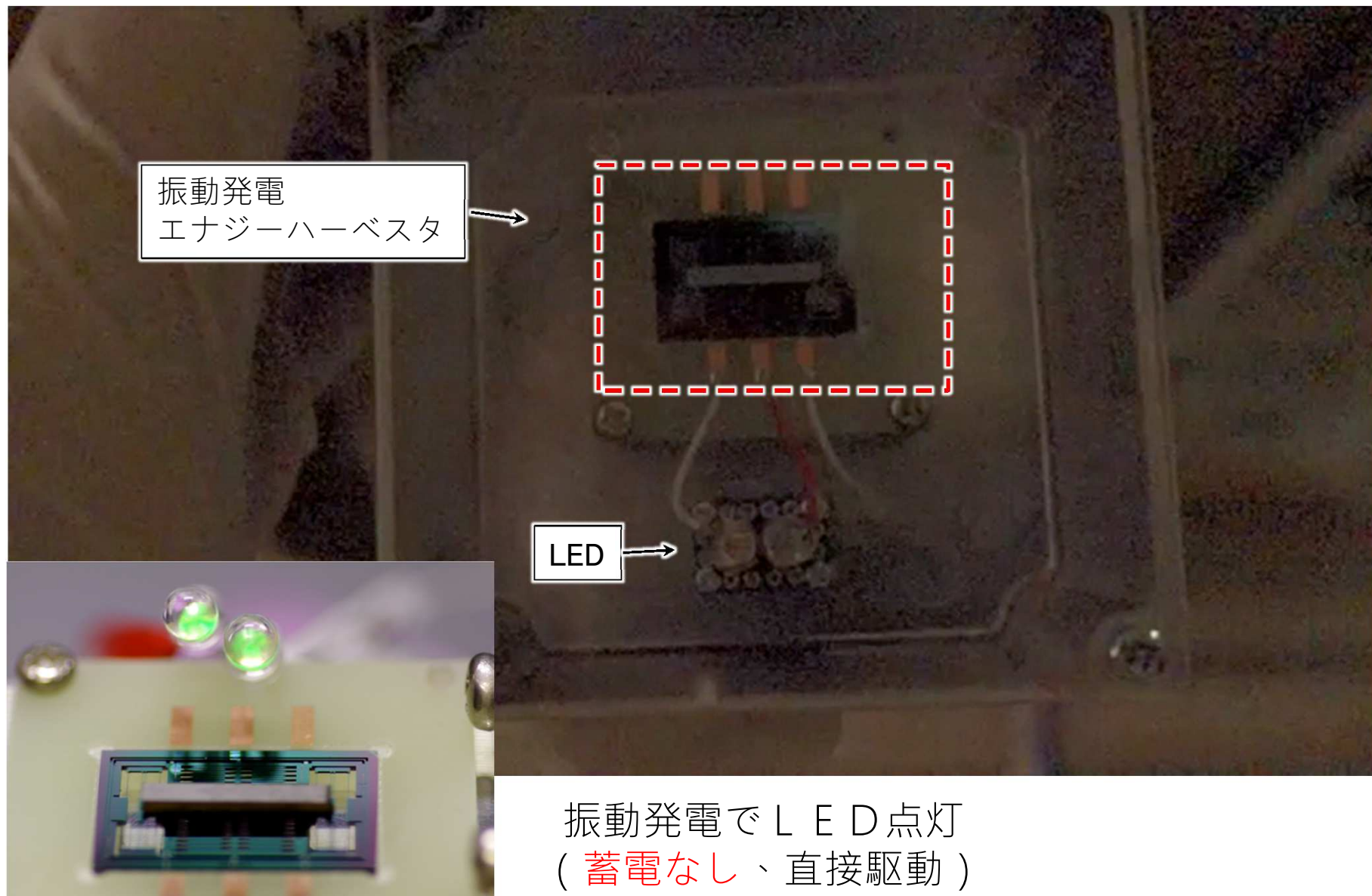


くし歯電極？

- ◆ 数 μm のギャップの対向するくし状の電極（可動と固定）



発電デモンストレーション



各種エレクトロニクスの必要電力

大電力→間欠駆動、小電力→連続駆動

Device	Power	Current	Voltage	Note
LoRa WAN (Class A)	23 μ W sleep 115 mW peak	7 μ A 35 mA	3.3 V	Excluding power for Raspberry Pi
ZigBee	60 mW peak	20 mA	3.0 V	IEEE 802.15.4, datasheet [6]
Apple Watch	52 mW avg	13.8 mA	3.76 V	Battery 250 mAh for 18 hours by official benchmark protocol [7], [8]
Bluetooth 4.0 (BLE)	45 mW peak	15 mA	2.0 ~ 3.6 V	Manufacturer datasheet [5]
GPS Tracker (BLE)	↑ (intermittent)	↑ (intermittent)	3.0 V	CR2016 (90 mAh) for 1 year [10]
Felica (readout)	~ 15 mW peak	~ 5 mA	3.0 V	Manufacturer datasheet [9]
Hearing Aid	~ 1 mW avg	0.67 mA	1.4 V	Battery 100 mAh for 150 hours [1]
Heart Pace Maker	33 μ W avg	13 μ A	2.5 V	Battery 1.15 Ah for 10 years [2]
Analog Clock LSI (Wrist Watch)	2.8 μ W avg	1.0 μ A	2.8 V	Manufacturer datasheet [3]
	0.39 μ W avg	0.25 μ A	1.55 V	Manufacturer datasheet [3]
Timer IC	88 nW avg	35 nA	2.5 V	Manufacturer datasheet [4]

[1] Zinc-Air type, iCellTech, PR536

[2] Medtronic Advisea MRI A3DR01

[3] SEIKO NPC Corp., <http://www.npc.co.jp/product/clock/>

[4] Texas Instruments TPL5010/TPL5110

[5] Lapis Semiconductor, <http://www.lapis-semi.com/jp/semicon/telecom/ble.html>

[6] Texas Instrument, http://www.tij.co.jp/lstds/ti_ja/wireless-connectivity/zigbee/technical-documents.page

[7] <https://www.apple.com/watch/battery.html>

[8] <http://www.onefruit.co/blog/2015/06/29/how-big-is-the-42mm-apple-watch-battery/>

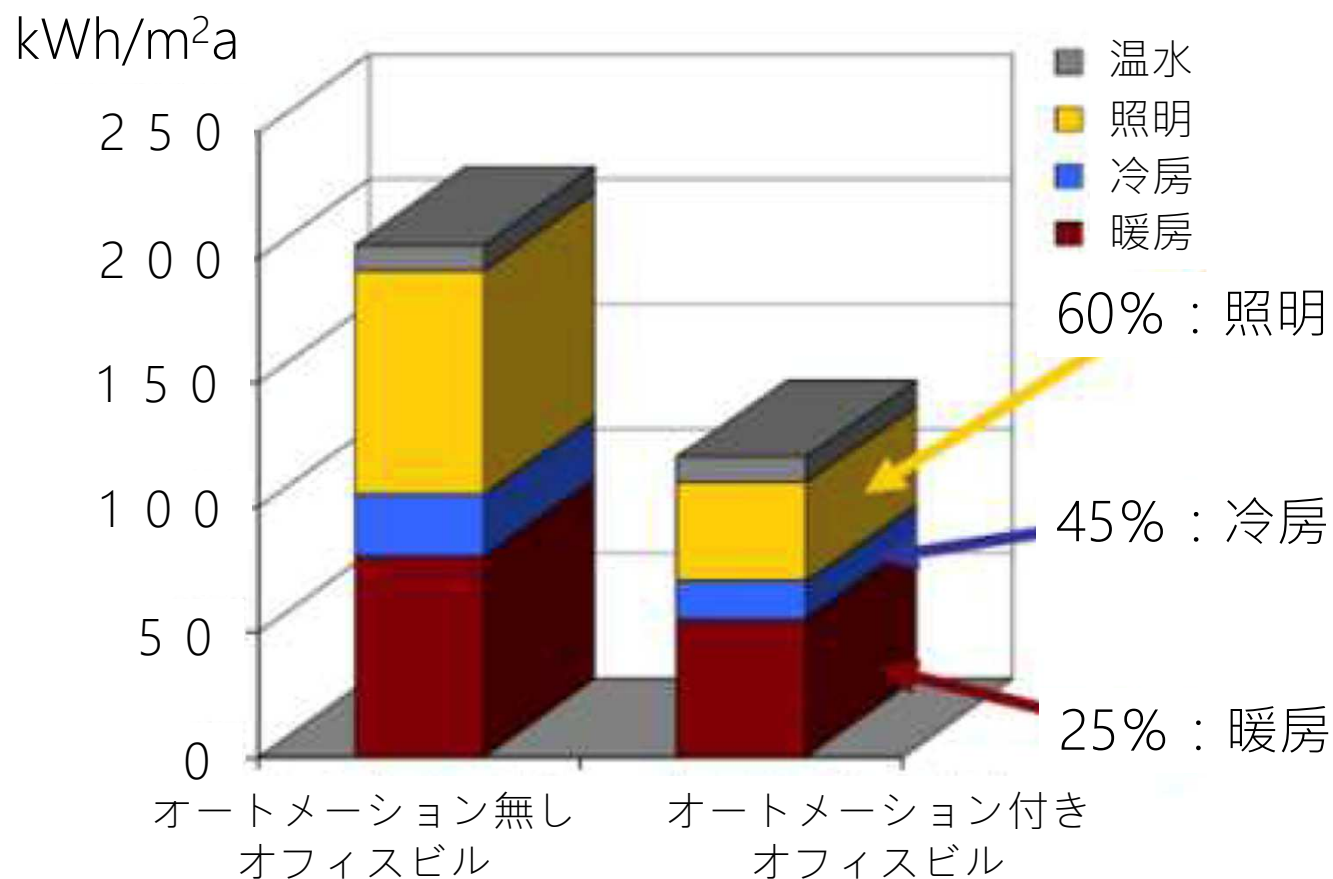
[9] <http://nocoly.co/>

[10] TrackR, <https://get-trackr.io/>

エネルギーハーベスタの社会的・経済的価値

- ◆ オフィス空調電力削減・CO₂モニタ
→ 空調センサによる実時間制御

ビル管理法
CO₂ < 1000 ppm

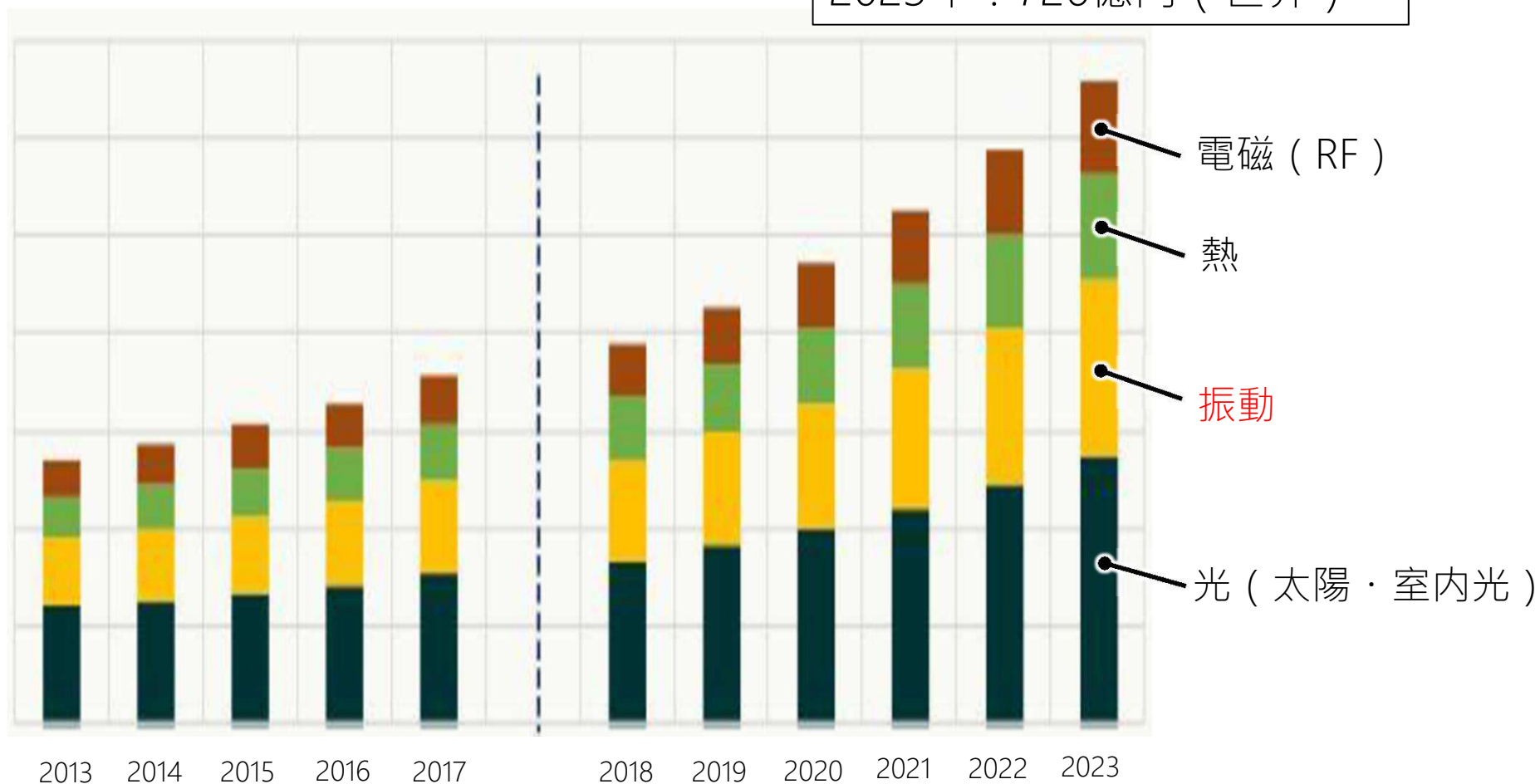


出展) 平成27年度成果報告書 情報収集事業未開拓技術シーズの発掘調査

エナジーハーベスタ市場

◆ エナジーハーベスタ市場予測

2023年：726億円（世界）



P&S Market Research (2018年3月)

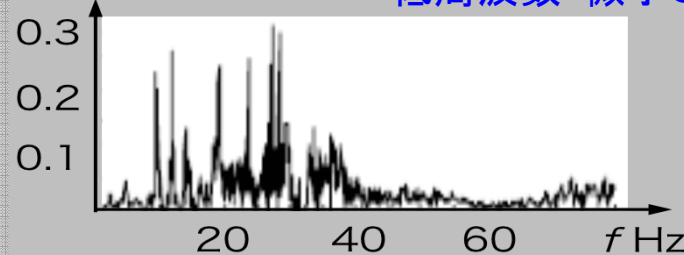
エネルギー・ハーベスタに使える未利用エネルギー源

◆ 振動発電ならば、夜間・屋内でも比較的大きな未利用エネルギーを回収可能

方式	環境振動			太陽光	熱	電磁波	風
	静電 (本研究)	圧電	電磁石				
エネルギー 密度 W/cm^2	中 10^{-3}			中～大 10^{-4} 10^{-1}	小 10^{-5} (～室温)	小 10^{-6}	中 10^{-3}
暗所・夜間の 利用	○			×	○	○	○
封止の 適合性	○ 完全封止			×	○	○	×
組立の 必要性	○ モノリシック	○ モノリシック	×	○ モノリシック	×	×	×
適用周波数	低～高	高	高	—	—	—	—
備考	バネと電極を 独立で設計 可能。低周波 数に対応可 能。	機械歪による 発電は低周 波数では電 圧を取り出せ ない。		積層化不可 要面積			

振動発電に関する内外状況

Accel m/s²



低周波数・微小Gな環境振動スペクトルへの対応？

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

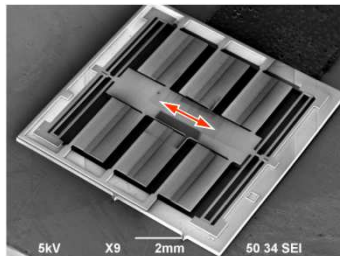
低周波数
↓
剛性低く
質量重く

$$F = m \cdot a$$

微小加速度
↑
質量重く

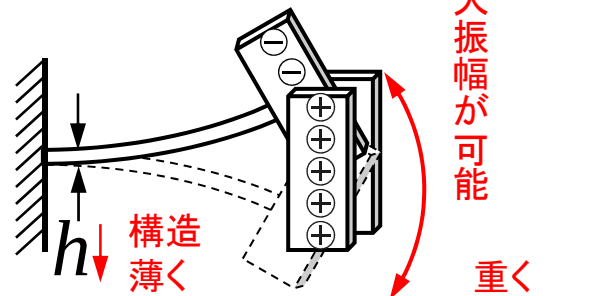
静電方式

電極の相対的動きで発電



本研究

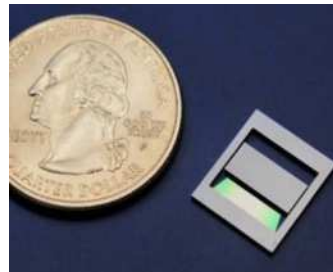
インパルス駆動
150 μW



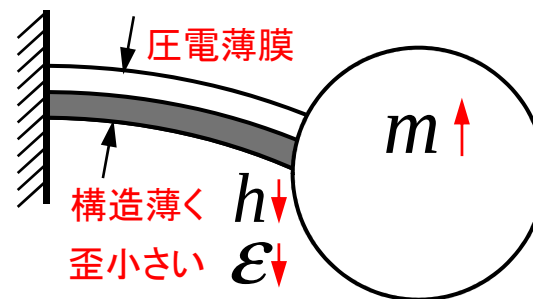
- 薄い梁で電極を大きく振ることにより、効率よく発電
- 微細化による電極数・表面積拡大で、小型でも容量大

圧電方式

圧電膜の歪で発電



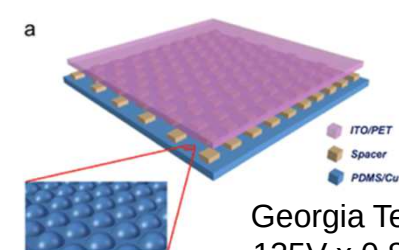
MicroGen System
50μW, 15V
100Hz, 0.1G
Δf < 2Hz
15 mm x 15 mm



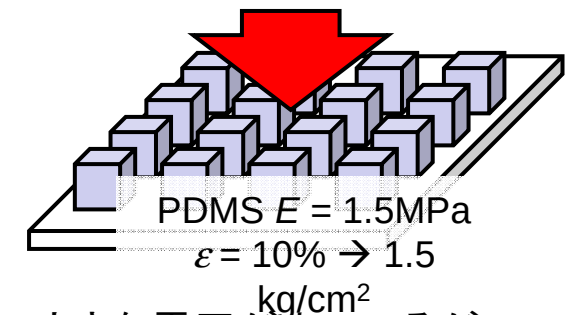
- 薄い梁では歪が小さく、圧電発電は不向き
- 発電量が面積に比例するため、小型化に不向き

摩擦発電

摩擦起電力で発電



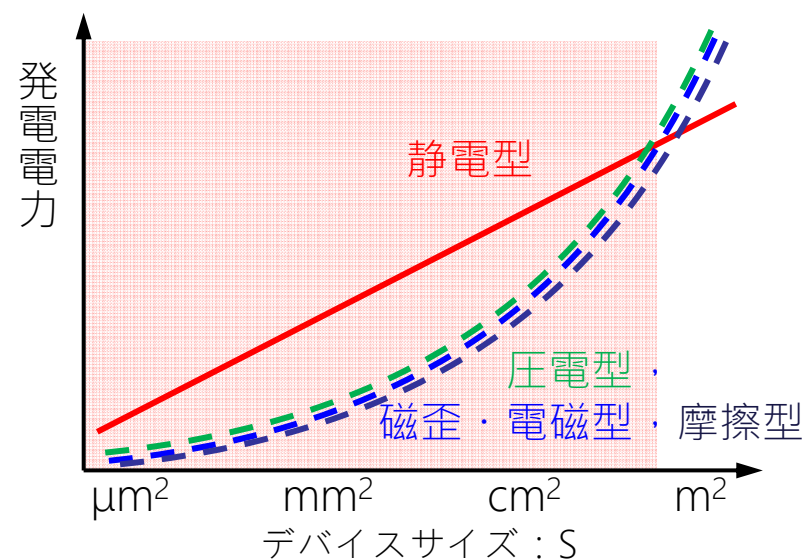
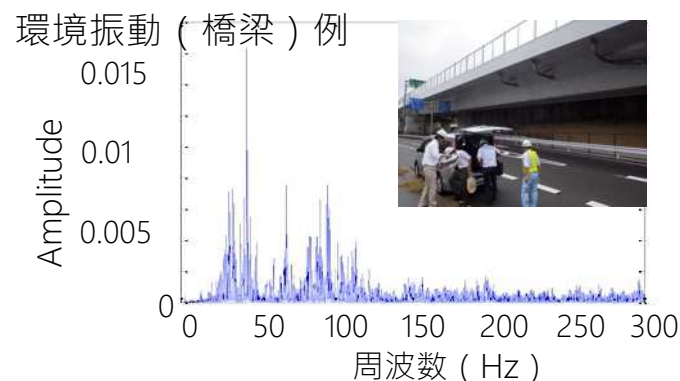
Georgia Tech. Inst.
135V x 0.8 uA/cm²



- 大きな電圧が出ているが、実は強い力で押している
- 材料固有の仕事関数に由来

静電型の特徴①(振動発電比較)

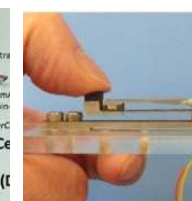
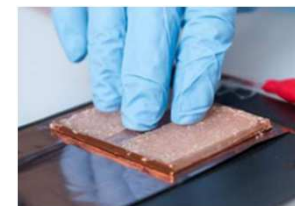
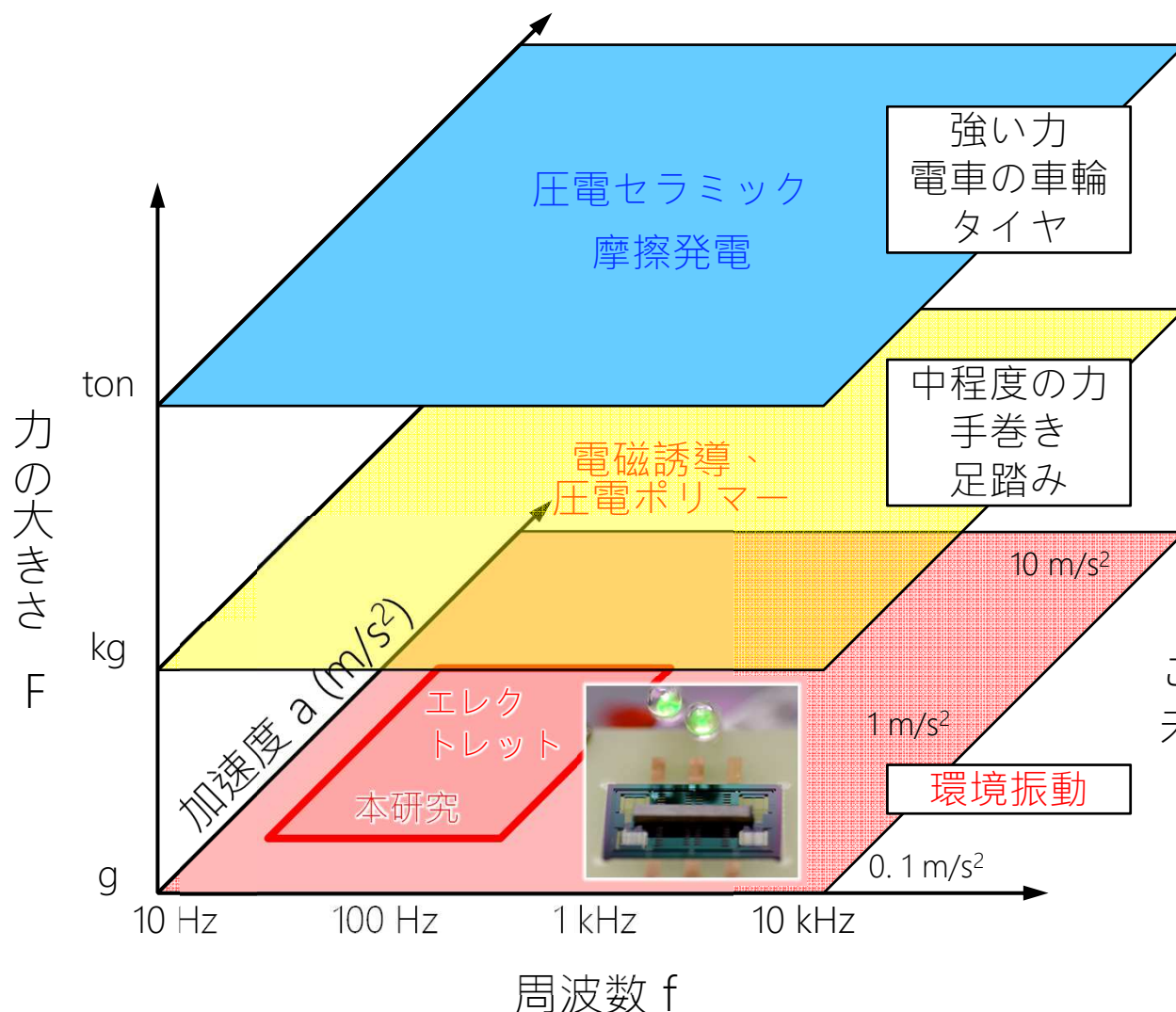
◆ 静電型：小型、低周波数の環境振動に有利



方式	静電型	圧電型	磁歪・電磁型	摩擦トライボ
製品例	OMRON社 (日本) 	MicroGen社 (米国) 	金沢大学 (日本) 	Georgia Tech. Inst. (米国)
発電電力	$P = I \cdot V \propto (S \cdot f)^{\textcircled{1}}$	$P = I \cdot V \propto (S \cdot f)^{\textcircled{2}}$	$P = I \cdot V \propto (S \cdot f)^{\textcircled{2}}$	$P = I \cdot V \propto (S \cdot f)^{\textcircled{2}}$
用途	低周波数・小外力	高周波数	指で弾く	踏む・叩く

静電型の特徴②(振動発電比較)

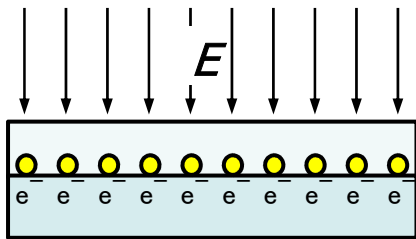
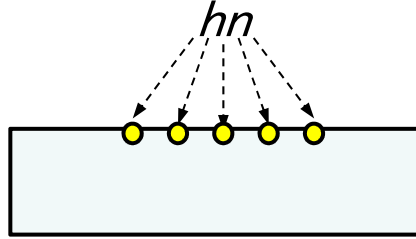
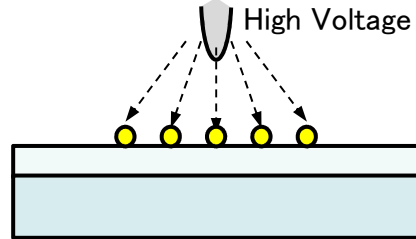
◆ 振動発電のエネルギー源：低加速度，低周波数，小さい外力



これまで顧みられなかった
未利用エネルギーの「発掘」

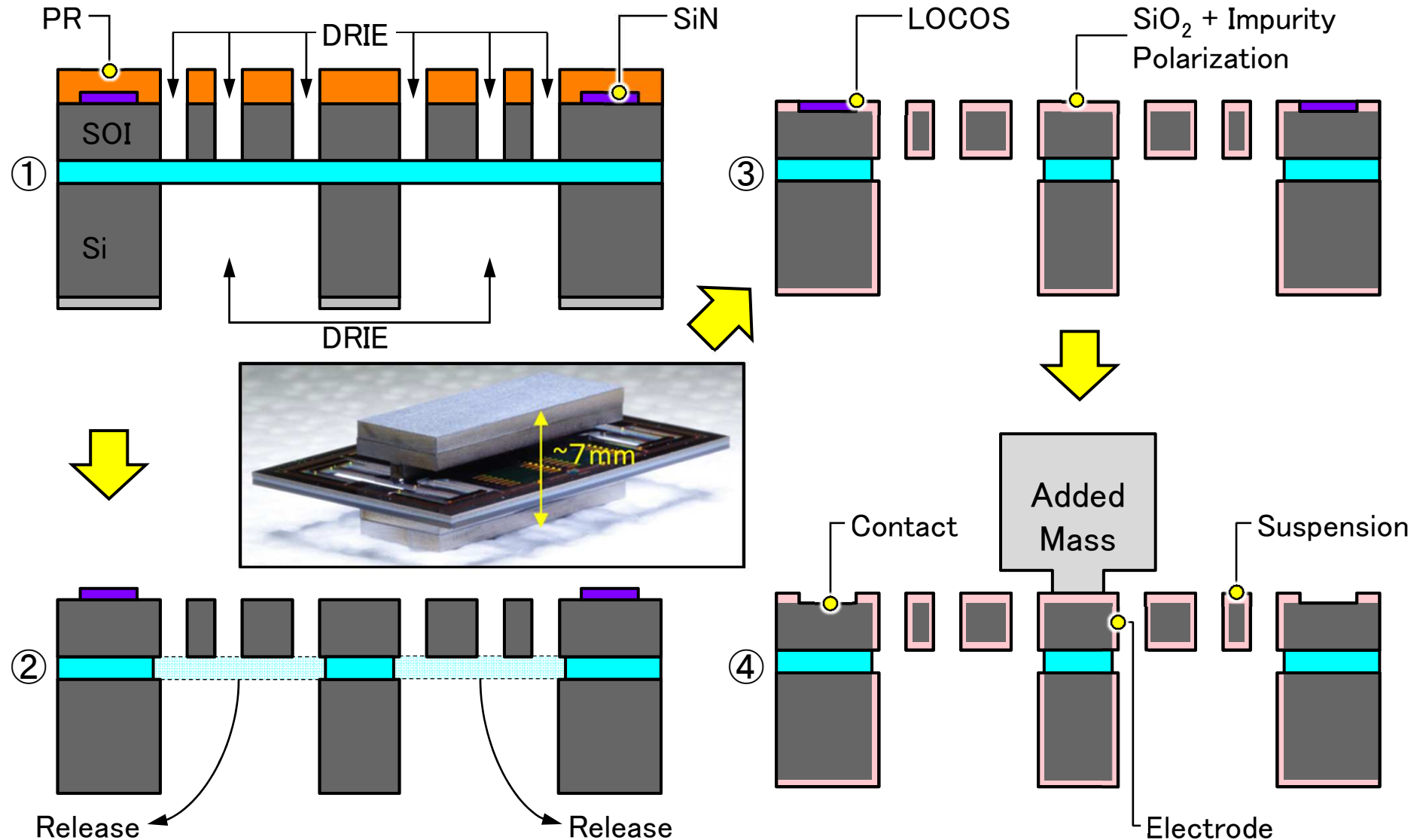
- ・ 周波数 < 100 Hz
- ・ 加速度 < 0.1 G
- ・ 荷重 < 1 グラム重

エレクトレット形成手法の比較

エレクトレット方式	イオン・エレクトレット (本研究)	軟X線法 (NHK放送技研)	コロナ放電法 (旭硝子、他)
デバイス形成原理	 固体イオンの分極処理	 X線による電子剥奪	 電荷注入・表面吸着
面電荷密度	10 mC /m ²	0.1~1 mC /m ²	0.1~1 mC /m ²
側壁への形成	可能 全表面・側面に帯電可	中程度 表面近傍のみ	中程度 広ギャップのみ
ナノギャップ・高アスペクト化	優良 ナノ化により特性改善	中程度 側壁に有機膜塗布	困難 狭ギャップで放電せず
製造コスト	安価 高スループット	高価 X線源・真空装置	中程度
ウエハ均一性	優良 熱酸化膜の均一性<1%	困難 側壁に有機膜塗布	困難 放電イオン密度不均一
荷電電圧の設計自由度	優良 部位・電圧制御可	中程度 可能だが試作例なし	不可 一括形成、単一電圧
MEMSプロセス整合性	優良 完全封止可能	中程度 封止可能	不可 組立工程不可避

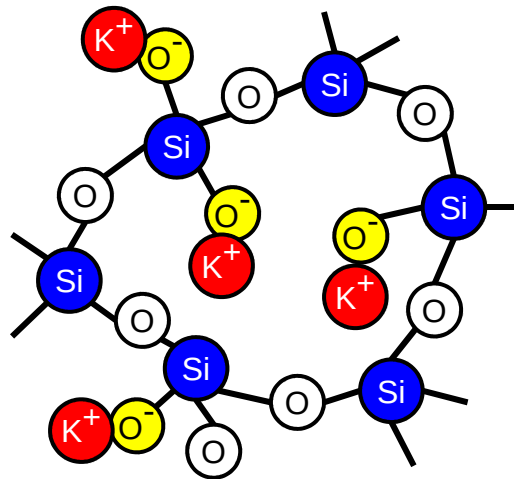
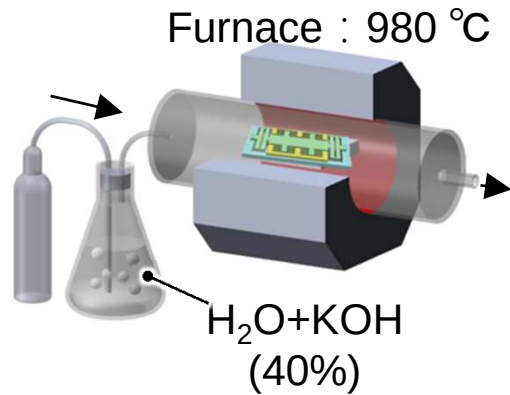
振動発電素子のMEMSプロセス

先にMEMSプロセス、後からエレクトレット化



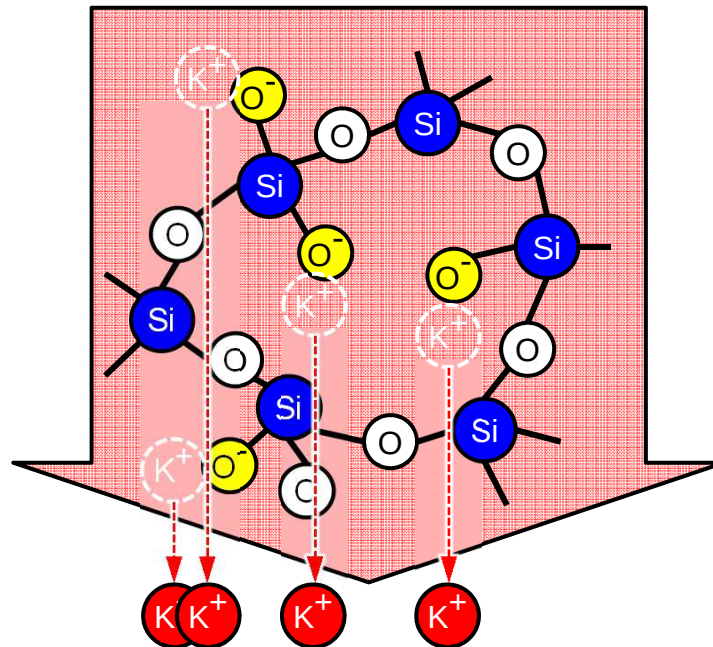
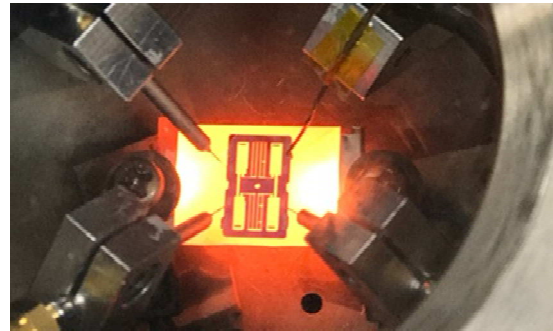
イオン・エレクトレット形成プロセス

① イオンドーピング酸化



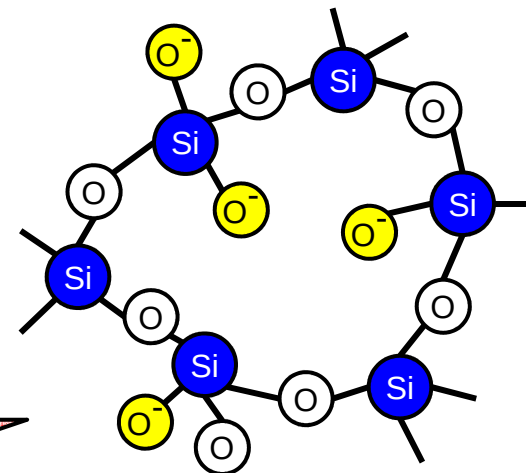
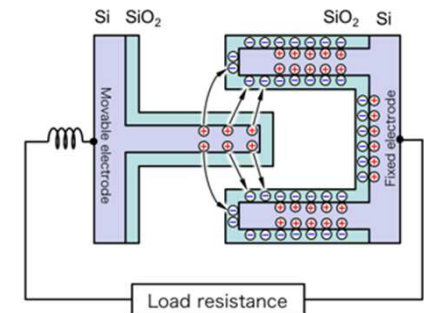
K^+ と SiO^- が中和

② 高温分極・帯電



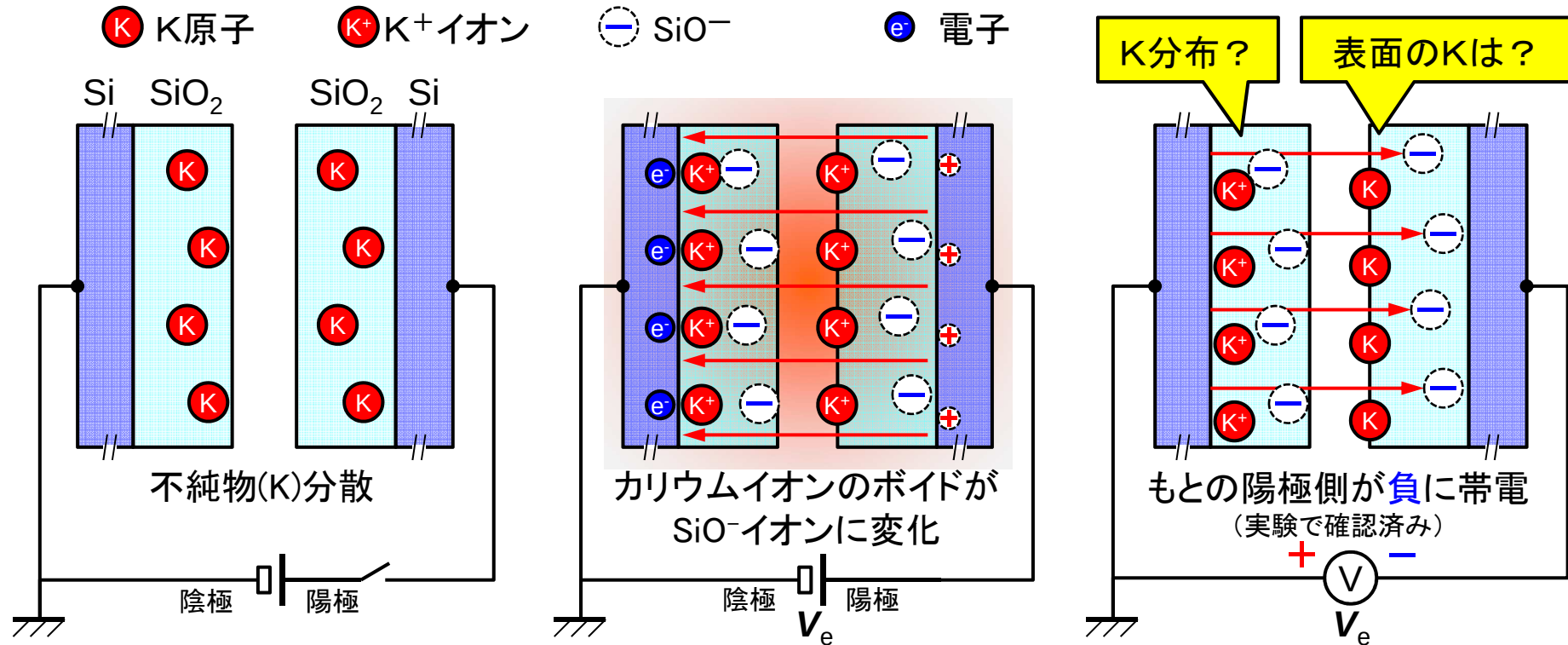
電場により K^+ が移動

③ 冷却・電荷固定



残った SiO^- が負に帯電
(エレクトレット)

エレクトレットの形成メカニズム



(B-1) 初期状態

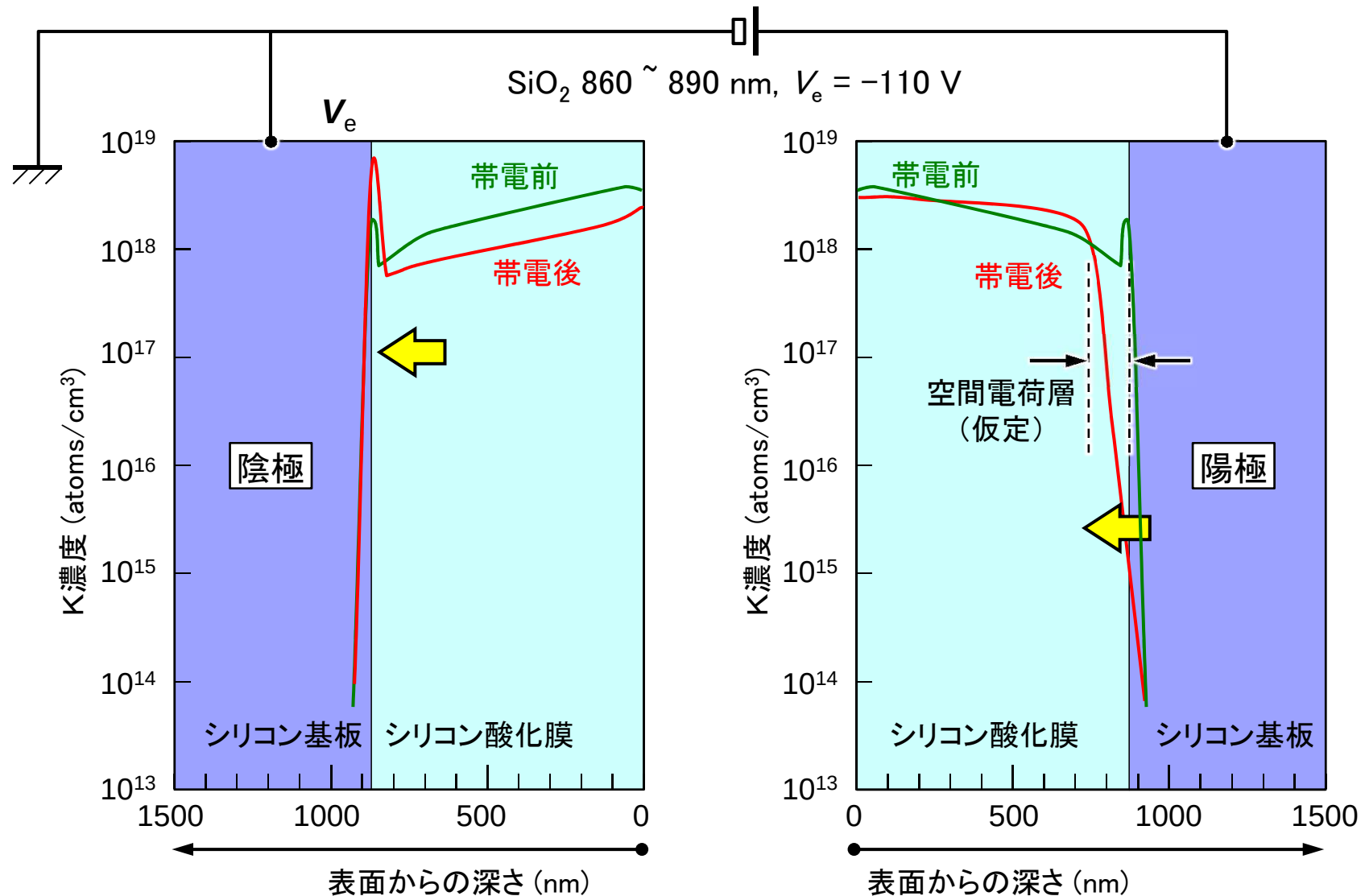
(B-2) 加熱分極処理 650°C

(B-3) エレクトレット化完了

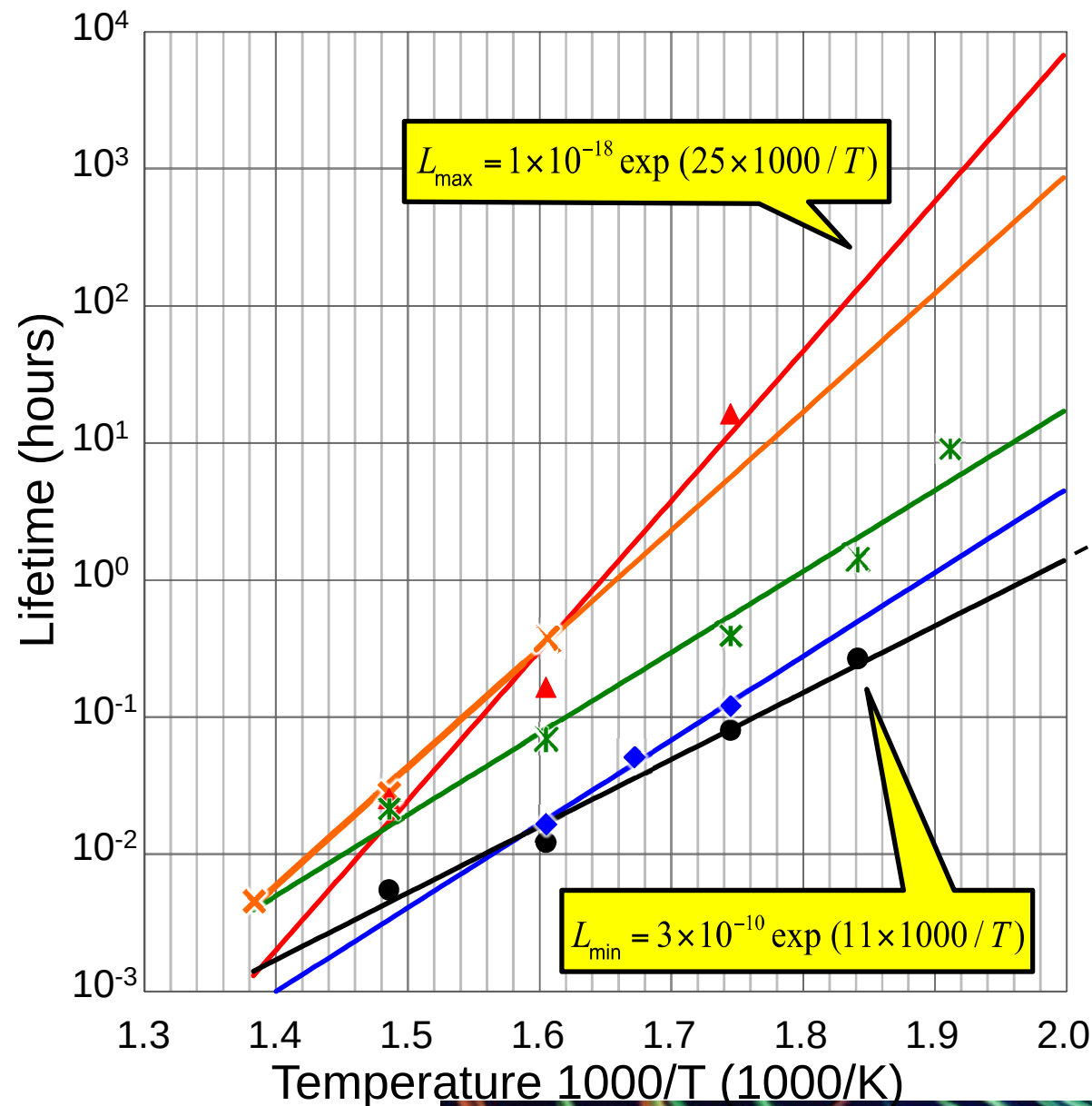
- エレクトレット形成メカニズムの理解 (SIMS解析、STXM解析)
- 初期不純物分布を制御して、エレクトレット電位を増大
- 表面をSiNでキャップした電極は帯電処理できないことも判明

帯電前後のK (カリウムイオン) 分布比較

◆ 分極処理中の電場でK⁺イオンが移動

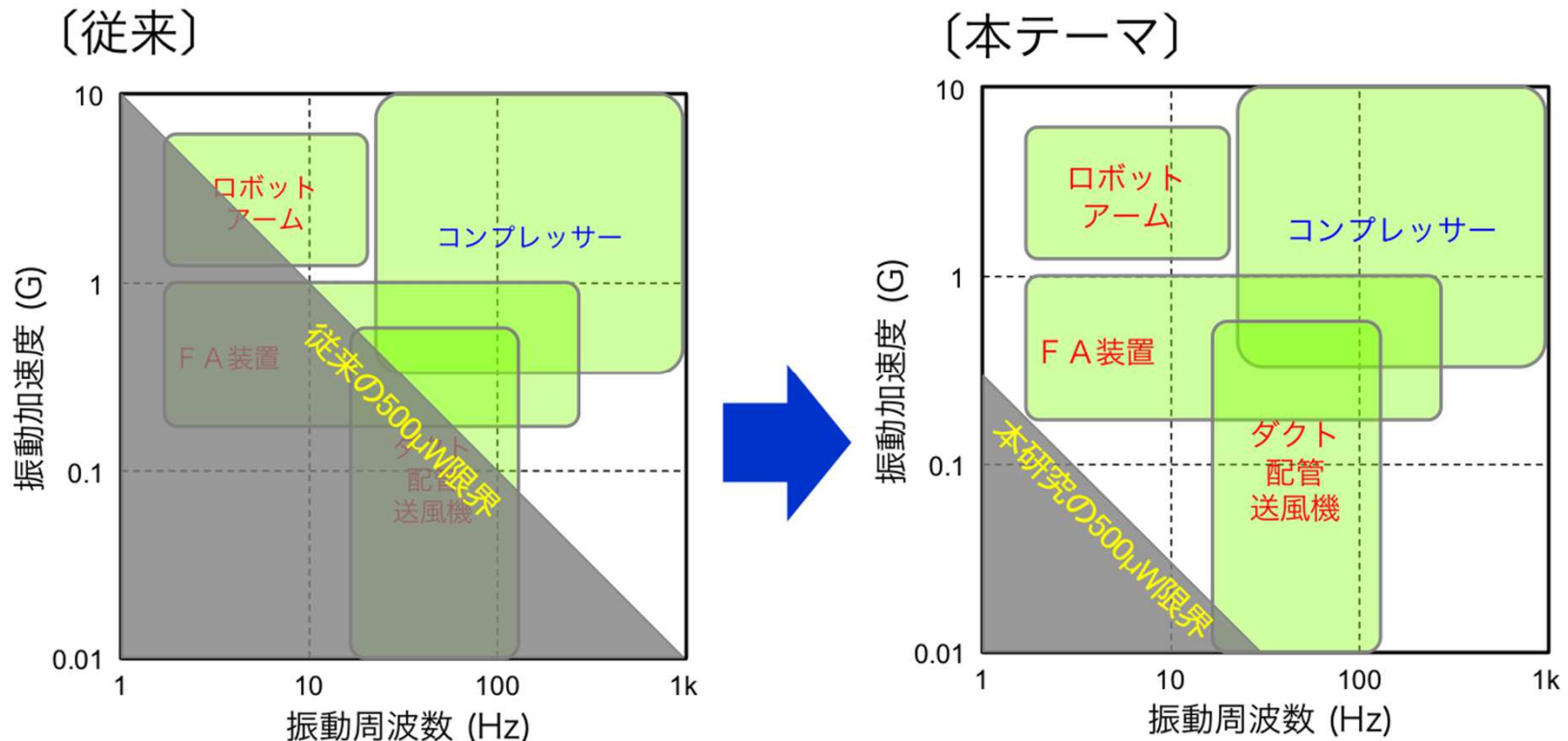


イオン・エレクトレットの信頼性評価



本事業での振動発電の目標

産業分野の設備などの「小さな振動」から $500\mu\text{W}$ の発電をして、センサ駆動・無線通信に必要な電力をまかなうために、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術と独自エレクトレット技術による、**コインサイズの高効率振動エネルギーハーベスタ**を開発しています。「**低い周波数**」でかつ「**小さな加速度**」の振動から $500\mu\text{W}$ 出力できる自立電源を目指します。



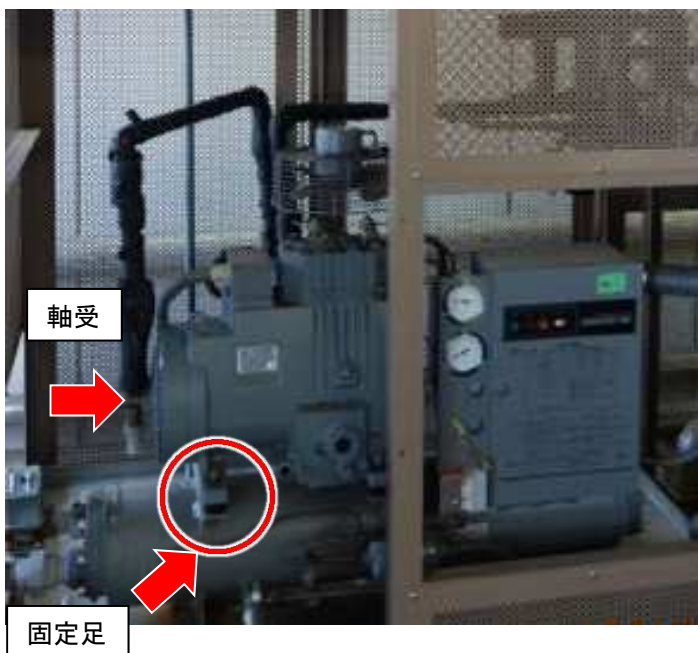
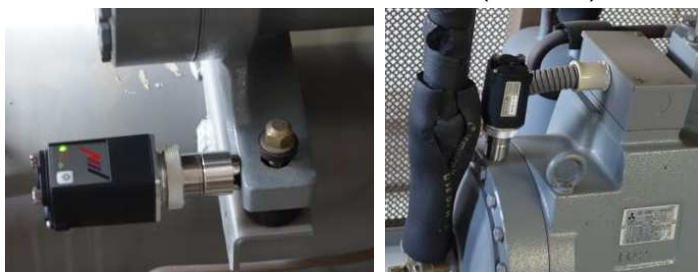
工場内の振動調査

◆ 産業用コンプレッサ等の微弱な振動から 500 μ W 発電

【産業用コンプレッサの振動例】

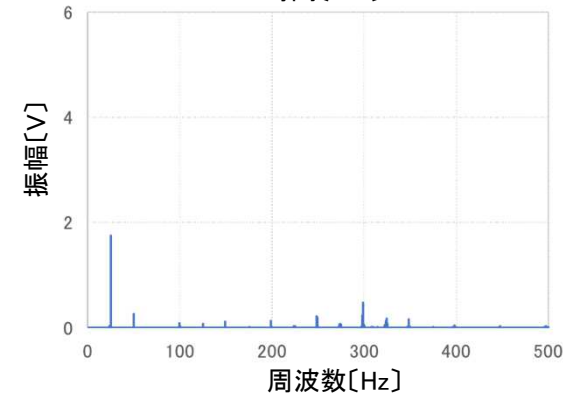
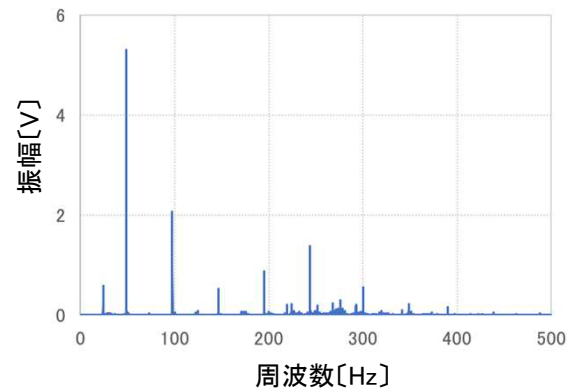
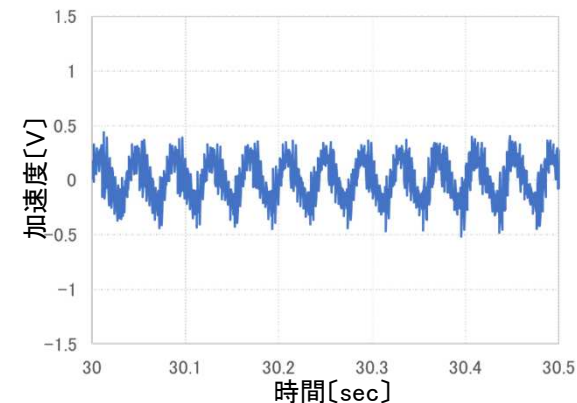
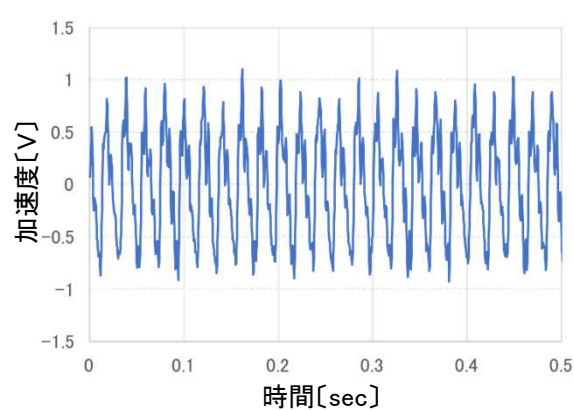
固定足（水平）

軸受（垂直）



固定足（水平） = 0.5 G_{RMS}

軸受（垂直） = 0.17 G_{RMS}



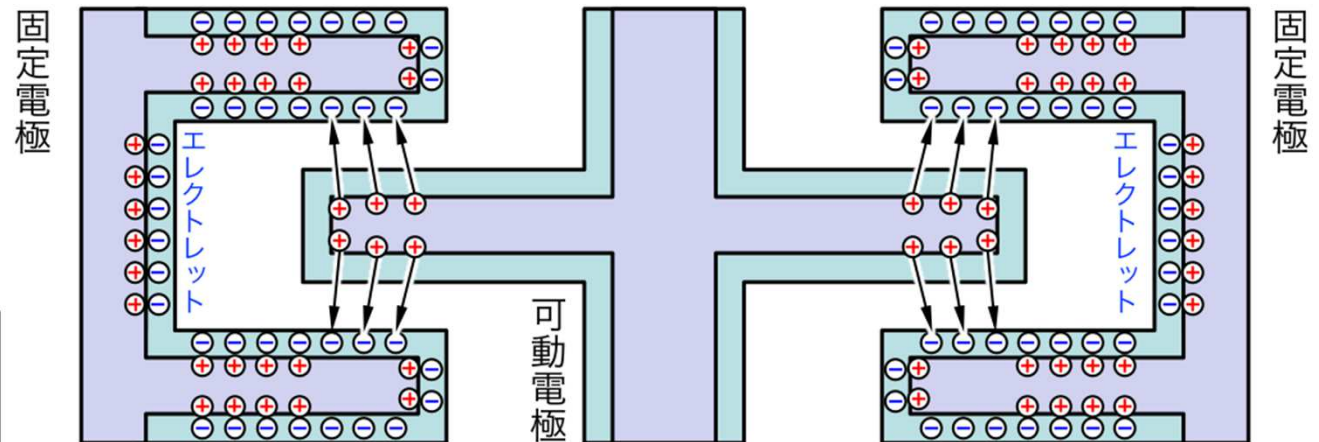
発電方法

【初期状態】

- 可動電極が中立
- 電束は左右対称に分布
- エレクトレットは負電荷

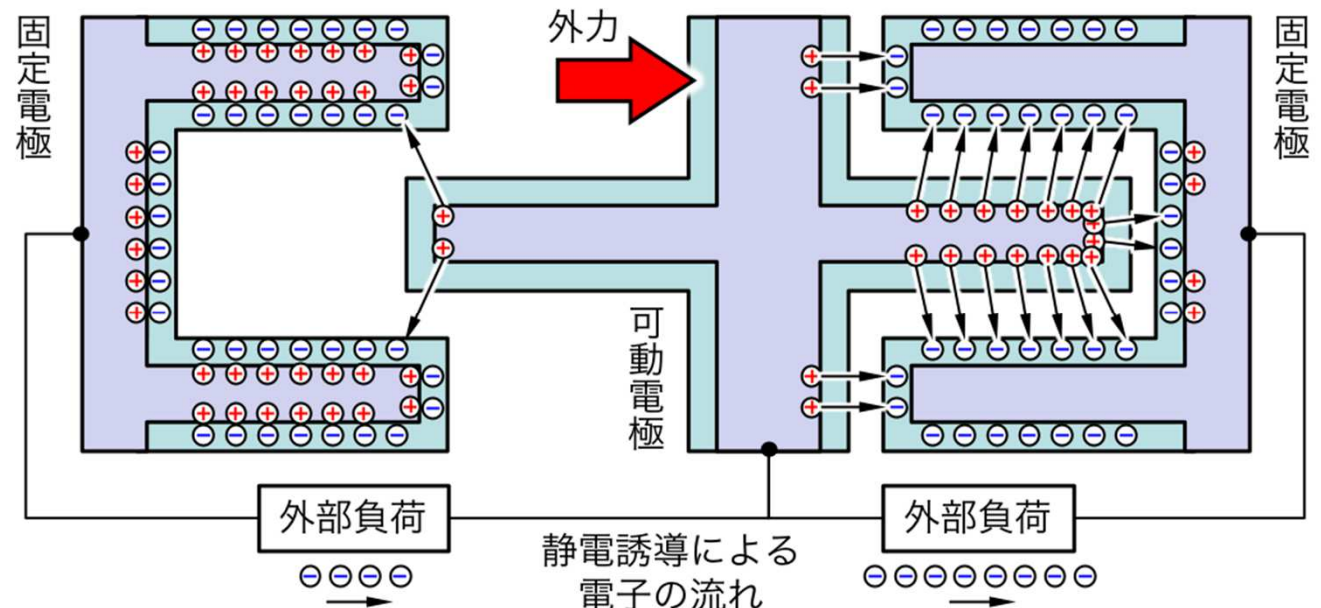
⊖ ⊖ ⊖ エレクトレット (SiO⁻)

⊕ ⊕ ⊕ 正孔 (Si⁺)

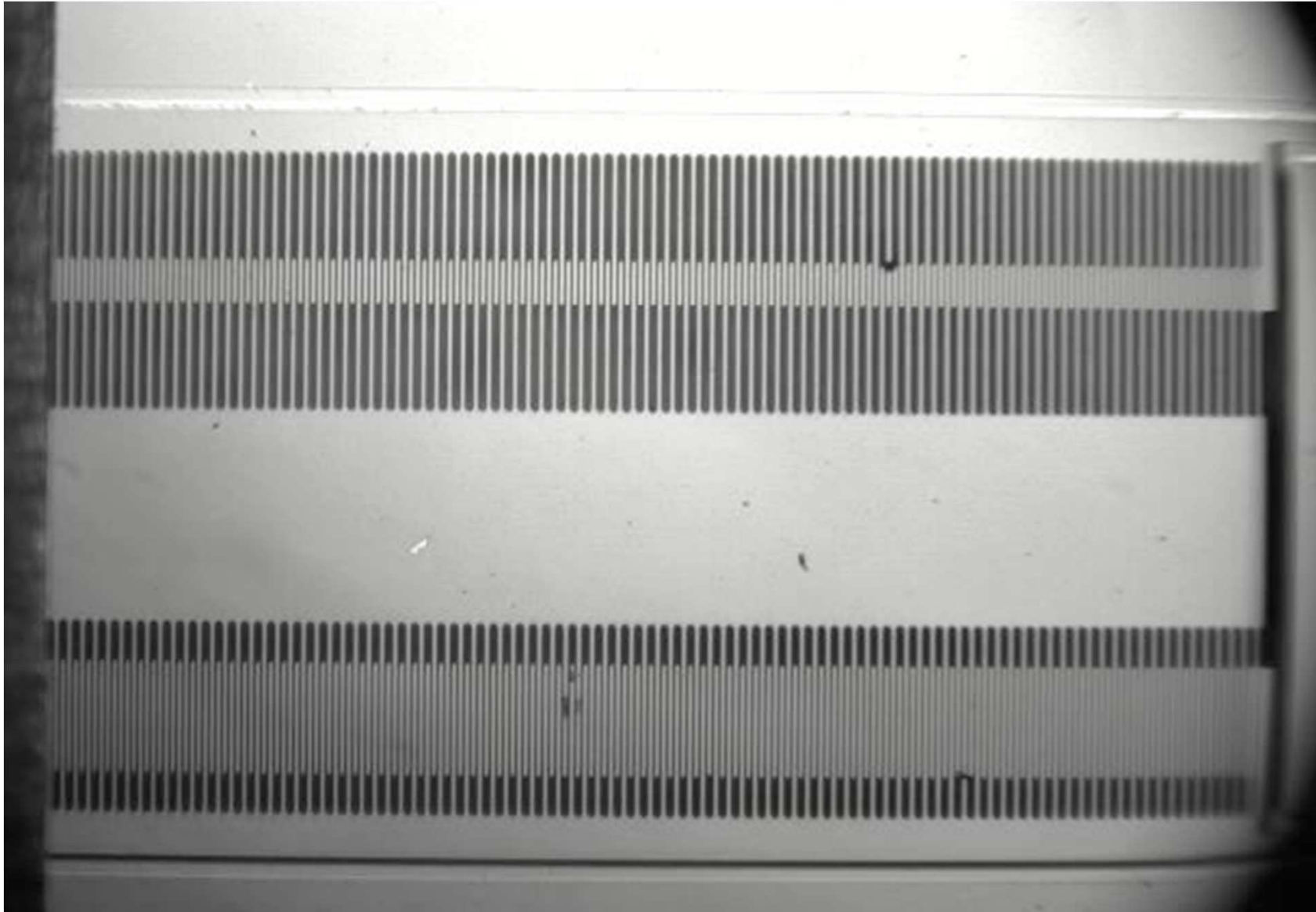


【変位状態】

- 可動電極が右にずれる
- 電場が変化
- 解放された電子が移動
- すなわち振動発電



左右対称エレクトレットくし歯電極



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

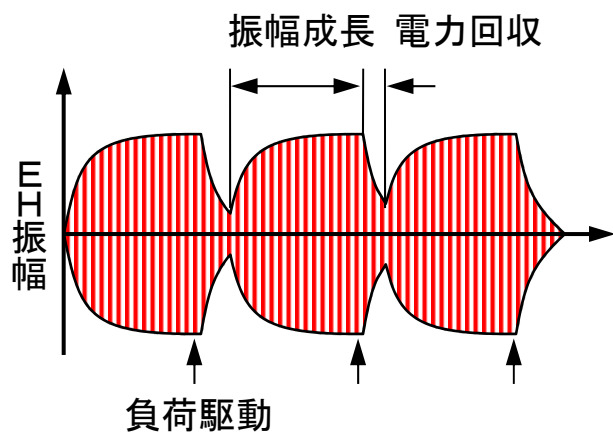
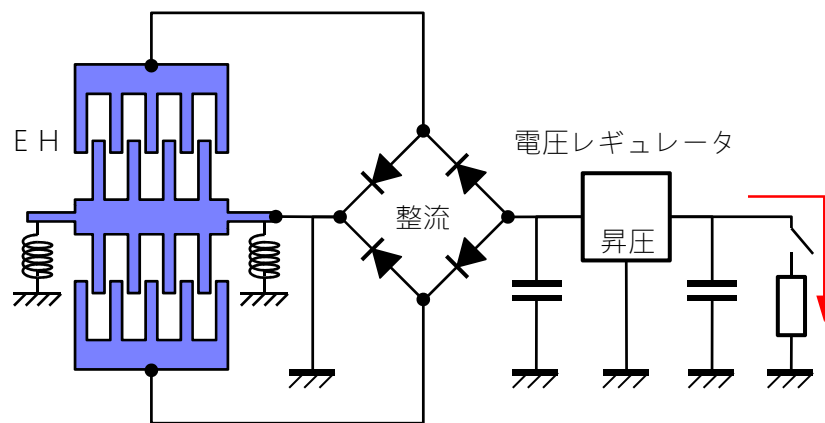
金属おもり
焼結タングステン
1グラム

真空封止
0.1 Pa

金属蓋溶接封止
真空パッケージ

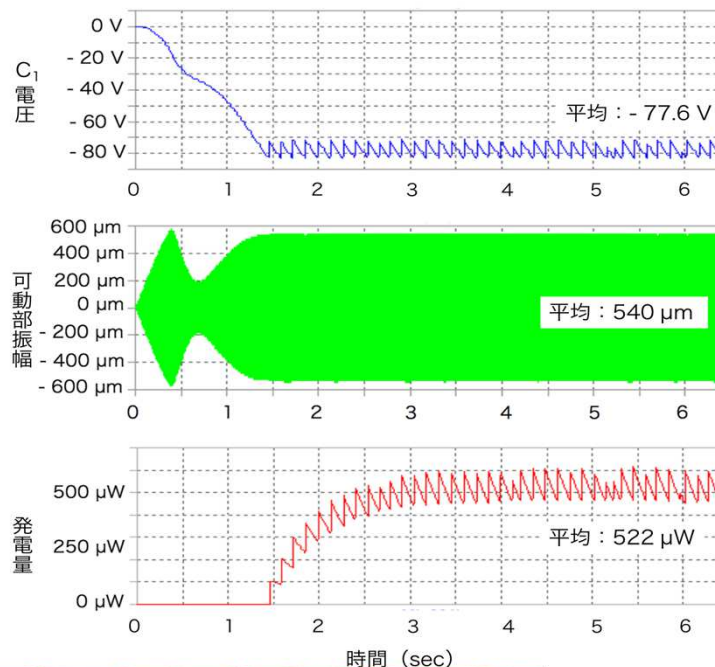
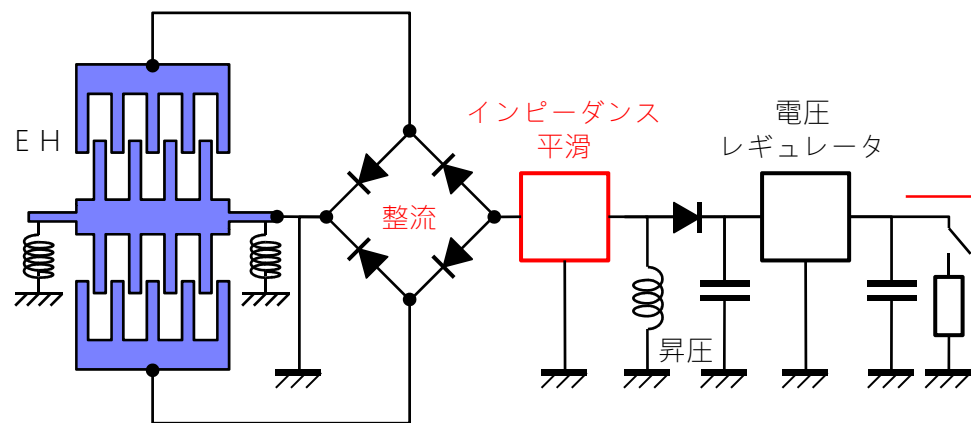
共振維持のための専用回路開発

従来例



共振状態を維持することができない

本事業



負荷制御

共振時の
振幅維持

522 μ W

今後の取り組み

生産現場の自立型センサ端末に搭載可能な、マルチガスセンサ、赤外アレイセンサ、そして超高効率振動発電デバイスを開発しました。

今後は、生産現場での実証実験に向けて、100個程度のセンサ、振動発電デバイスを供給します。

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

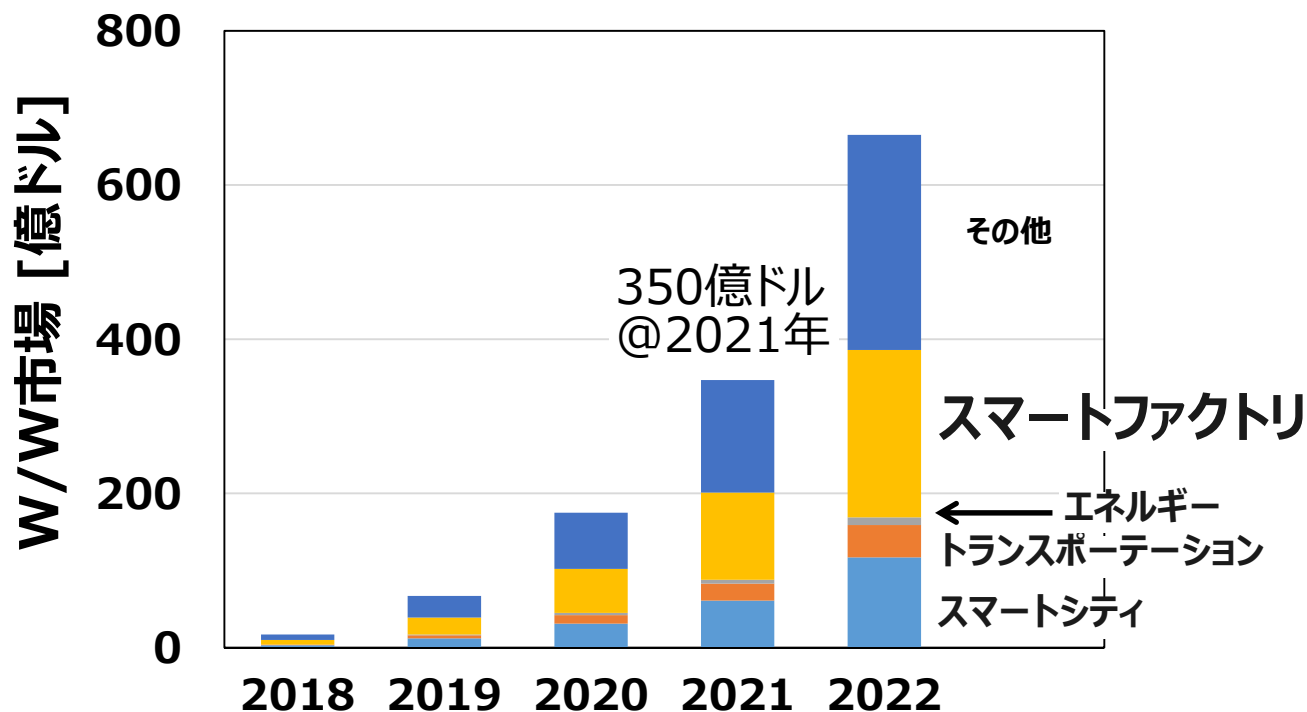
株式会社日立製作所 研究開発グループ
エレクトロニクスインベーションセンタ
高浦 則克

想定市場と参入分野

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

ユーザーヒアリングの実施

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	・解決したい課題、要望、収集したい情報 ・モニタリング・センシングの手段 - センサ種類/無線ネットワーク/自立電源/セキュリティ
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

センサ・用途・測定対象例

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

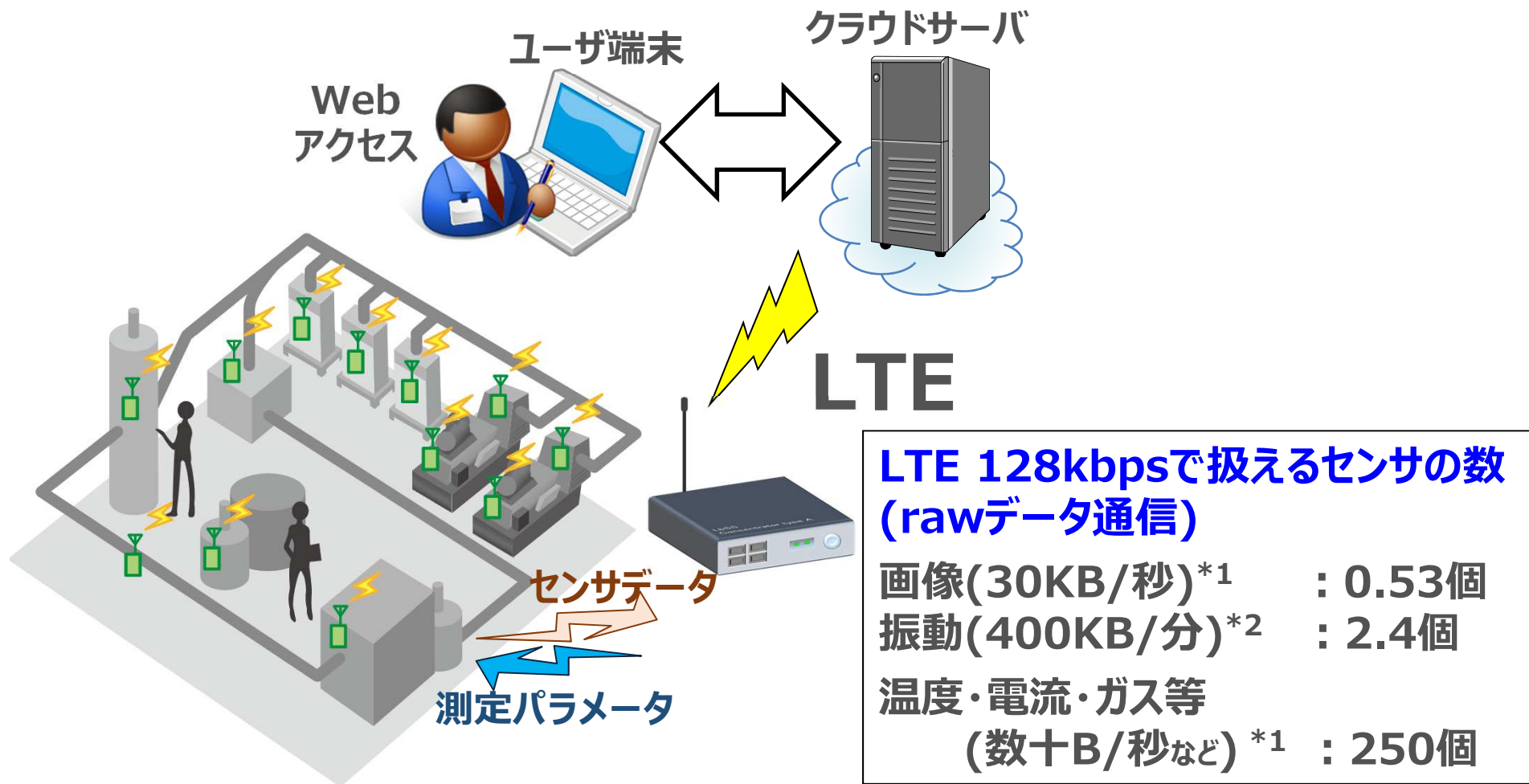
現場変化検出
例：配電盤内



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

工場全体見える化のボトルネック

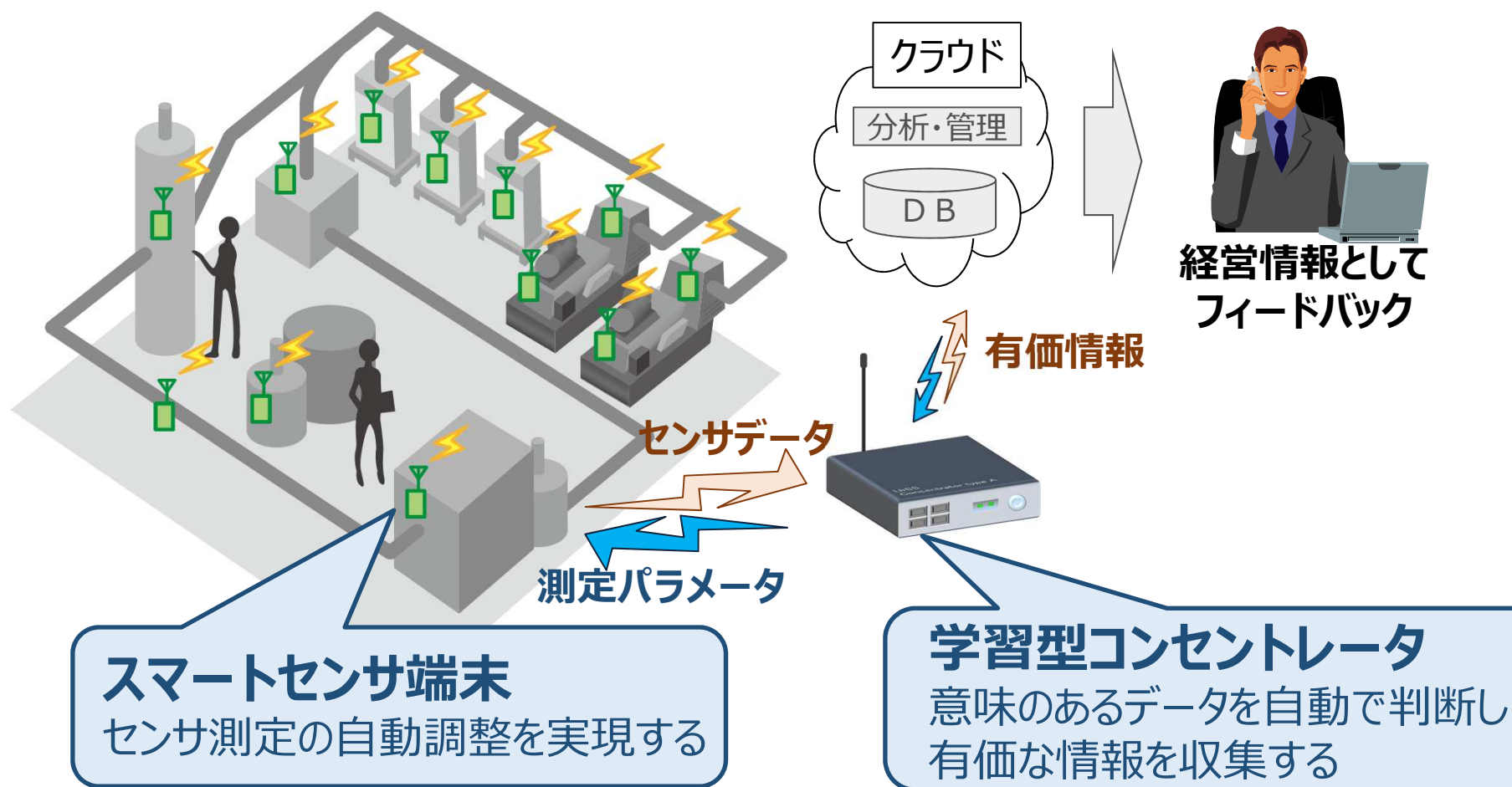
無線の帯域制限で画像・振動センサのrawデータ送信が困難



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

学習型スマートセンシングシステムの開発

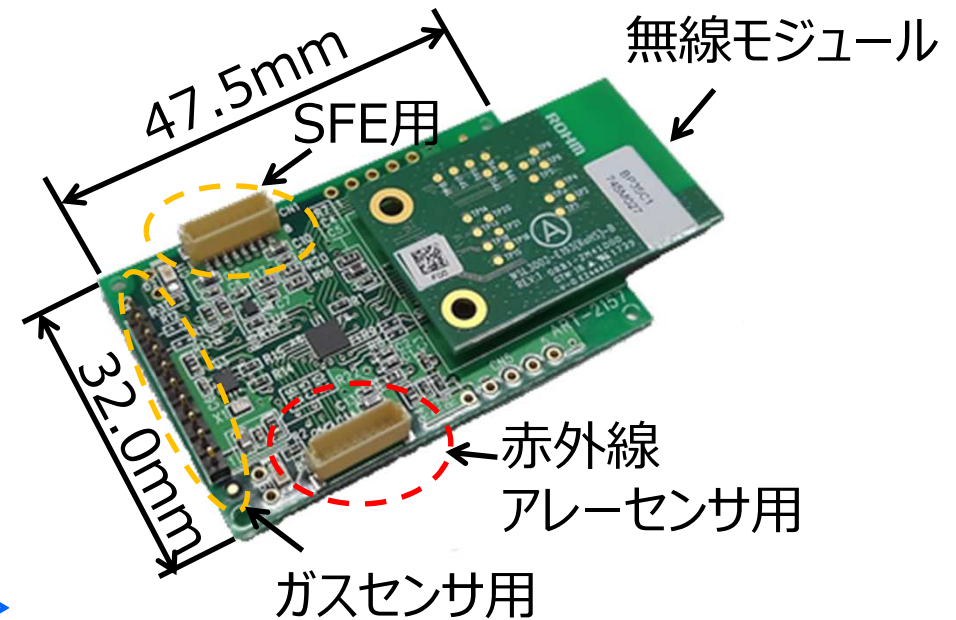
センサデータを基に測定条件を自動調整し、多数・多種機器/
設備モニタリングを実現、有価情報を従来の100倍化



無線スマートセンサ端末

<スマートセンサ端末概要>

- 3V駆動
- 920MHz無線モジュール



<赤外線アレーセンサ搭載例>



コンセントレータ

- 無線スマートセンサ端末を収容
- 学習アプリケーションが動作
- 無線スマートセンサ無線端末にパラメータを設定



無線スマートセンサ端末 & コンセントレータシステム

- 学習型機能に対応し、動的センシングを実現
- コンセントレータの指示に基づくデータ計測と通信

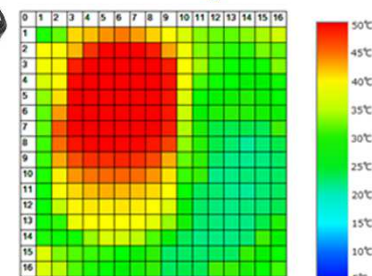
赤外線アレーセンサ無線端末

コンセントレータ

センサデータ表示例



センサデータ
測定パラメータ



通信仕様策定例

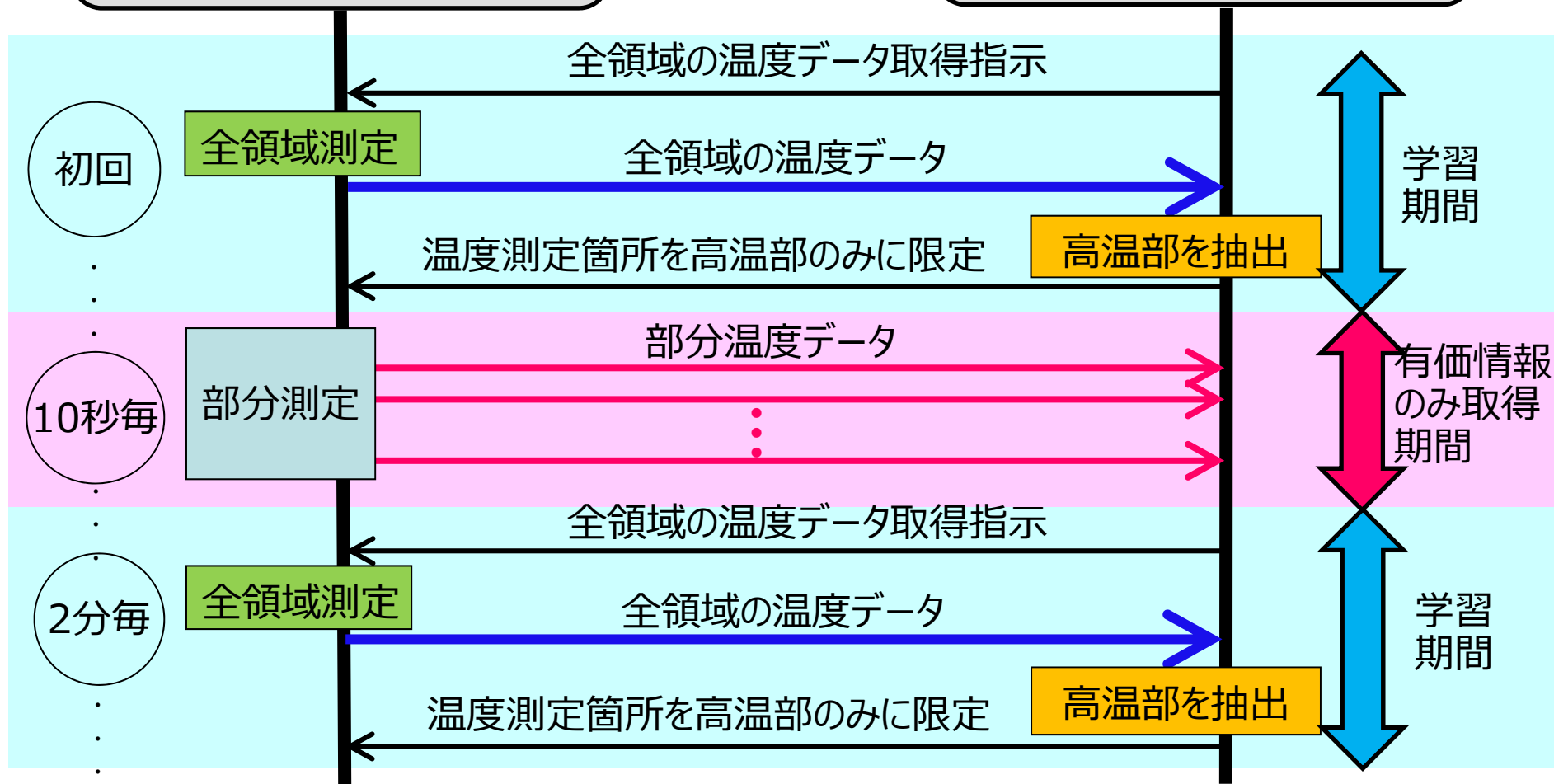
Property Code	Content	Data Type	Data Length	R/W	内容	MCU 初期値
0x0100	画素AD変換平均回数	Byte	1	R/W	0x00 : 1回 0x02 : 4回 0x04 : 16回	0x00
	サーミスタ,VCC電圧 平均回数		1		0x00 : 1回 0x02 : 4回 0x03 : 8回	0x00
	次回計指示測時間設定		2		n : 0x0000 ~ 0xFFFF 時間設定 = R/F WakeUP間隔設定 × n (注) 0x0000, 0x0001は、× 1 設定	0x0064 (×100)
	送信データ種別選定		1		0x00 : 送信なし 0x01 : 温度 0x03 : 温度、電圧 0x05 : 温度、画素 0x07 : 温度、電圧、画素	0x02 : 電圧 0x04 : 画素 0x06 : 電圧、画素
コンセントレータ側から leaf 側に対する要求データ						

動作シーケンス

赤外線アレーセンサ
無線端末

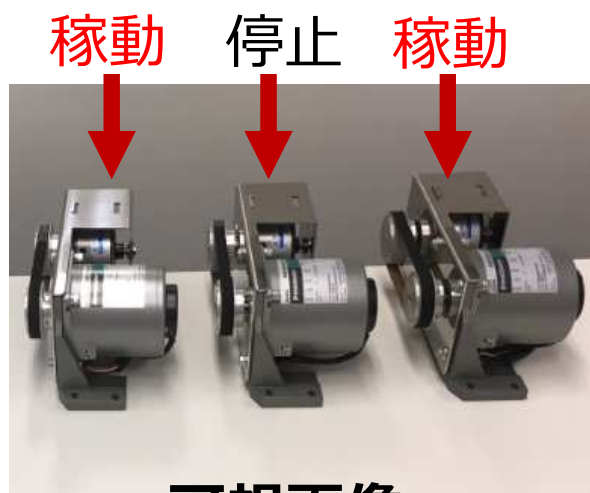


コンセントレータ

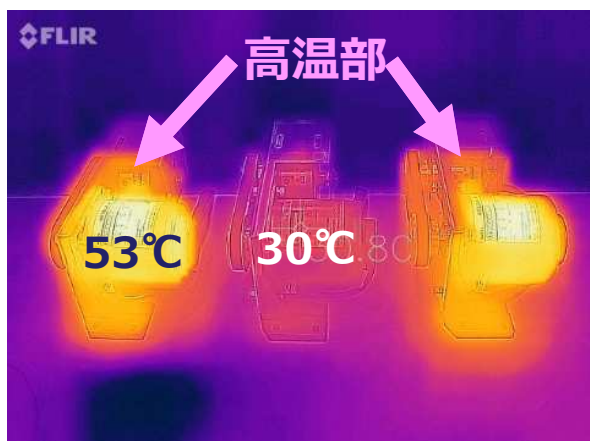


学習適用例1 赤外線アレーによるモーター監視

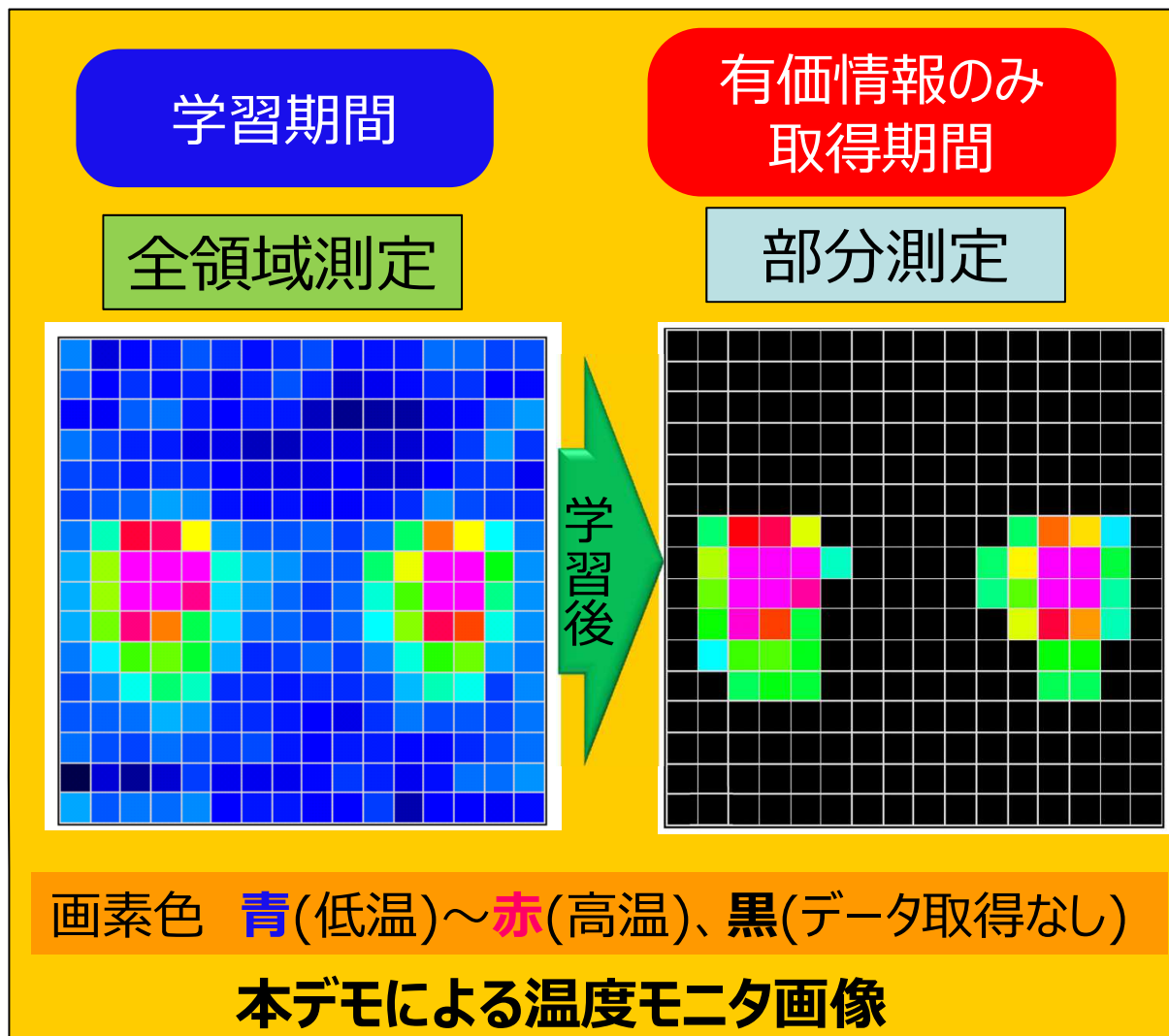
学習後は、高温部のデータのみを取得



可視画像

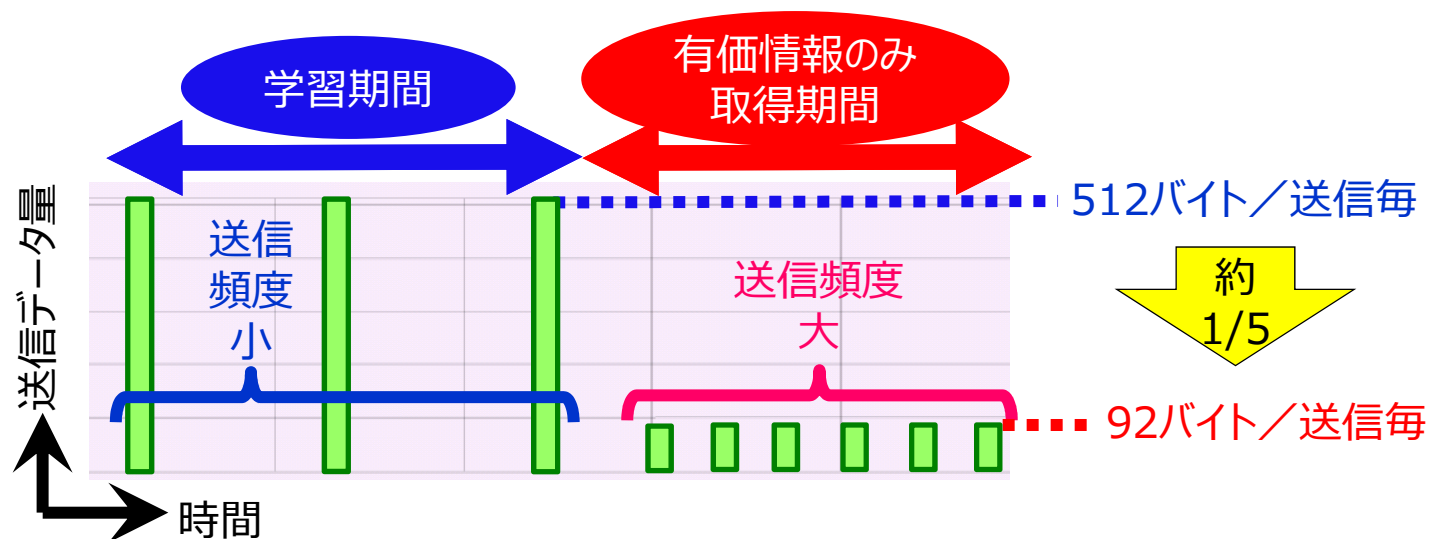
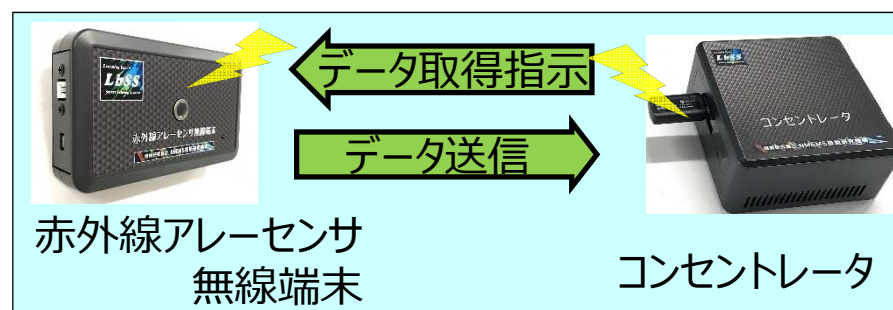


サーモグラフィ(市販)画像



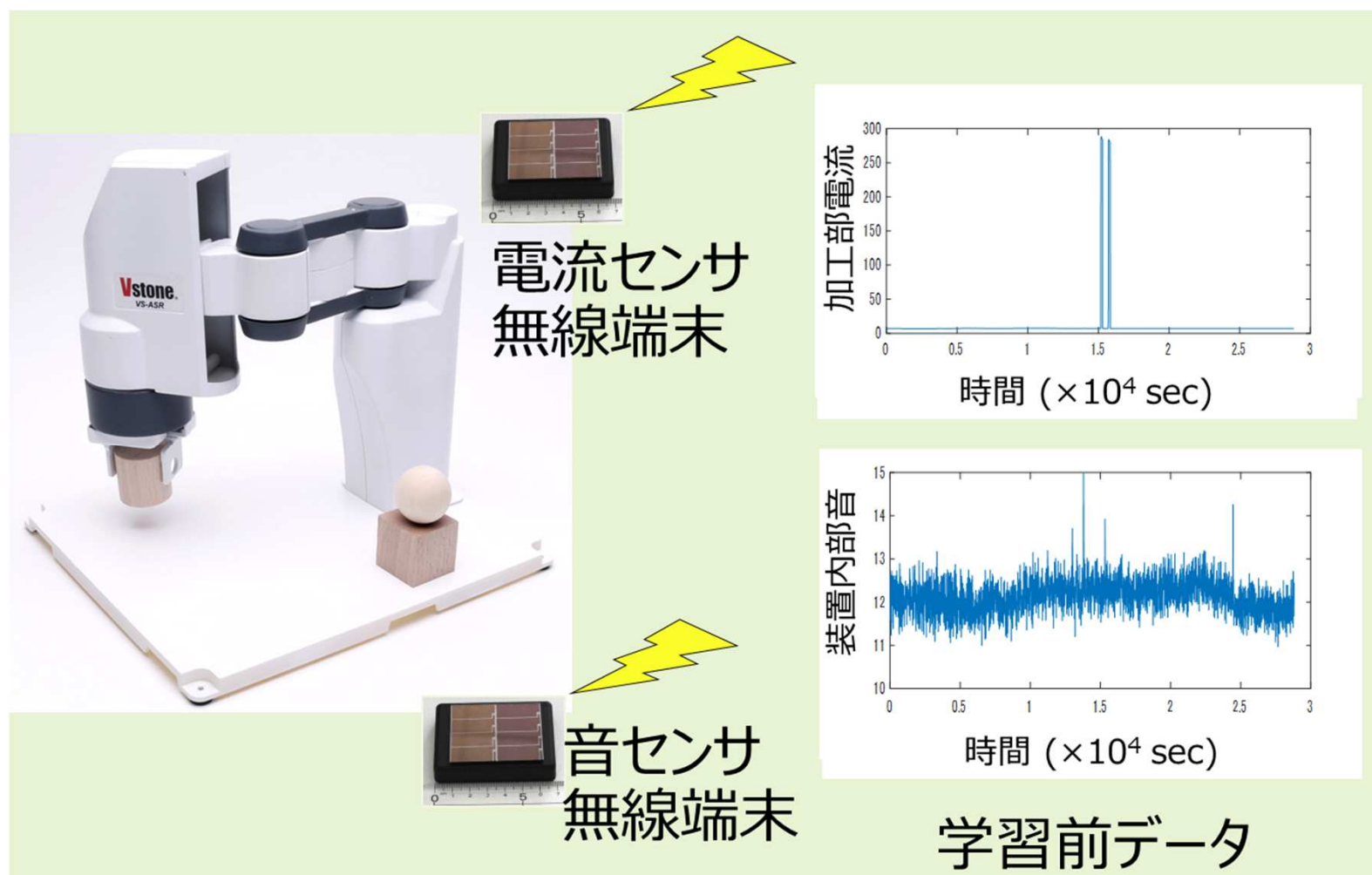
学習適用例1 赤外線アレー送信データ量の削減

- 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



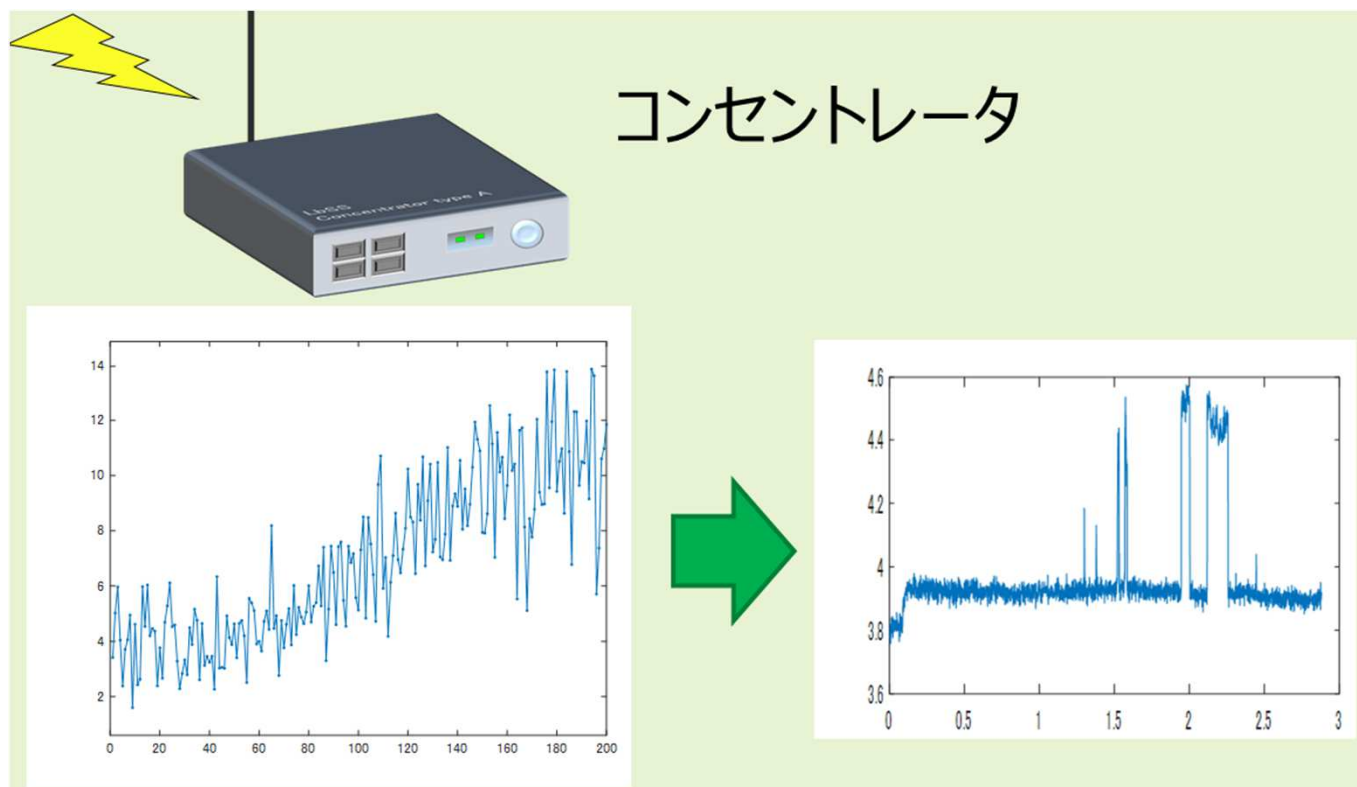
学習適用例2 産業用機器(ロボット)

環境発電を使った電池不要の無線センサ端末でロボットアームの稼動状態を見える化



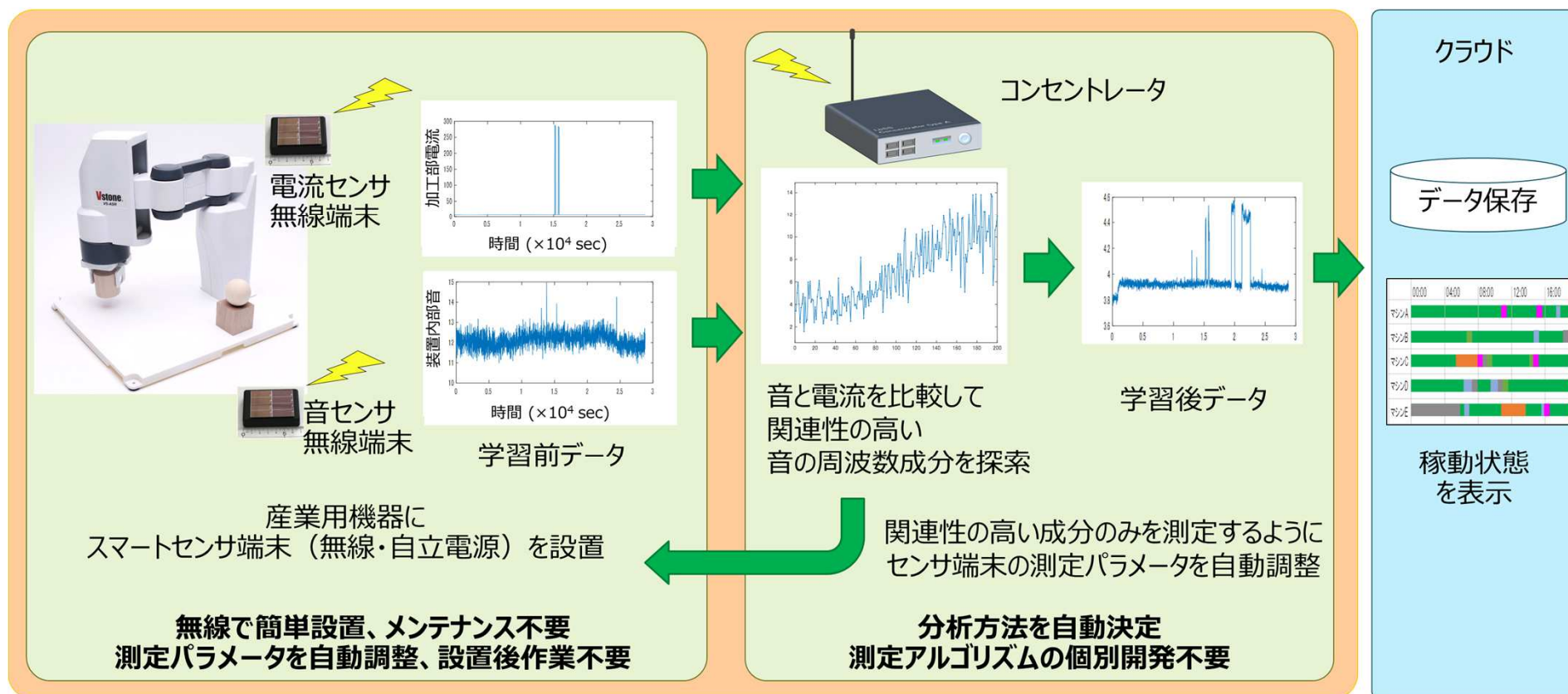
学習適用例2 産業用機器(ロボット)

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



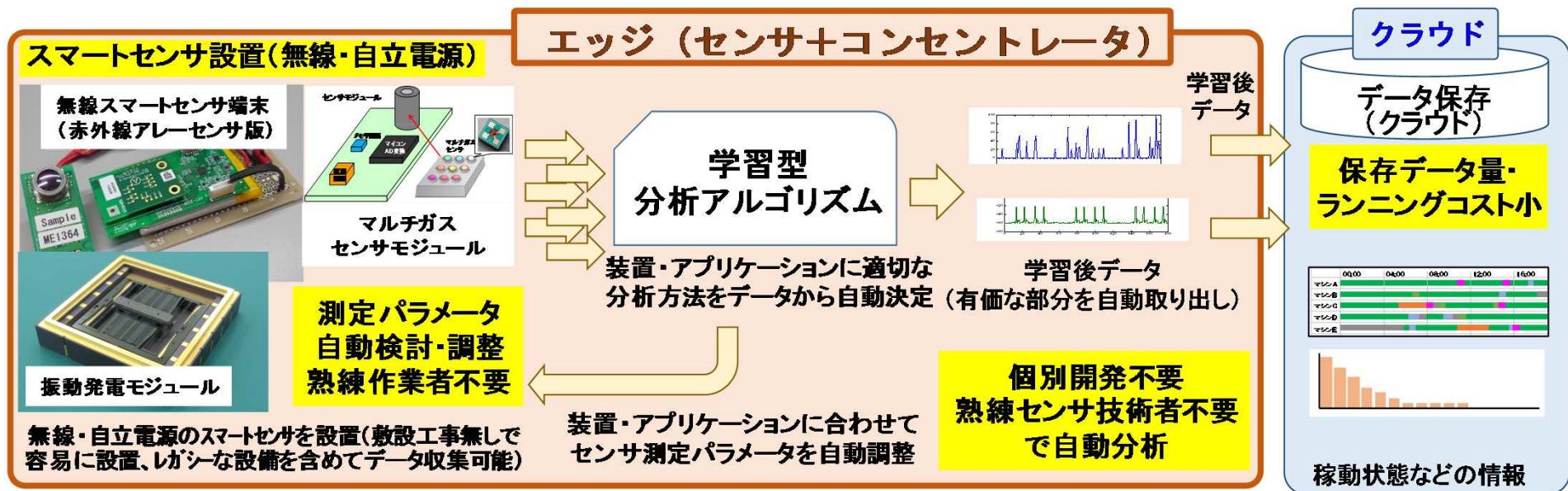
学習適用例2 産業用機器(ロボット)

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



まとめ

- 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



実データに基づく検証により実用的な学習型スマートセンシングシステムの構築と実証

- ・学習型スマートセンサ端末
- ・学習型スマートコンセントレータ
- ・両方を組み合わせた学習型スマートセンシングシステム

LbSSの学習型センシングシステムを用いた実証実験にご関心のある方、ご説明・ヒアリングに伺います

norikatsu.takaura.nd@hitachi.com



技術研究組合NMEMS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。