

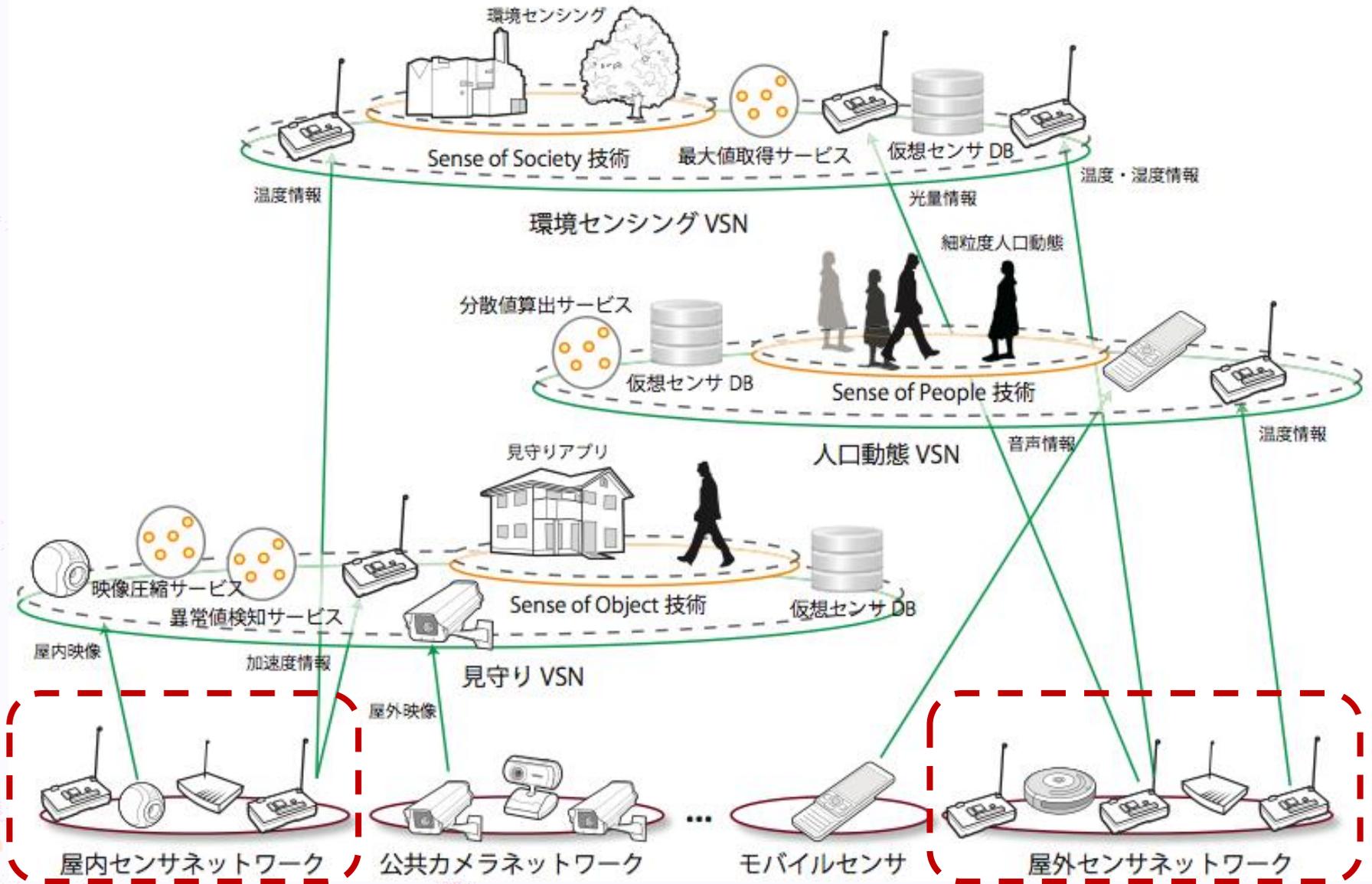
NEDO委託事業
「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」
H28年度～H32年度

**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**

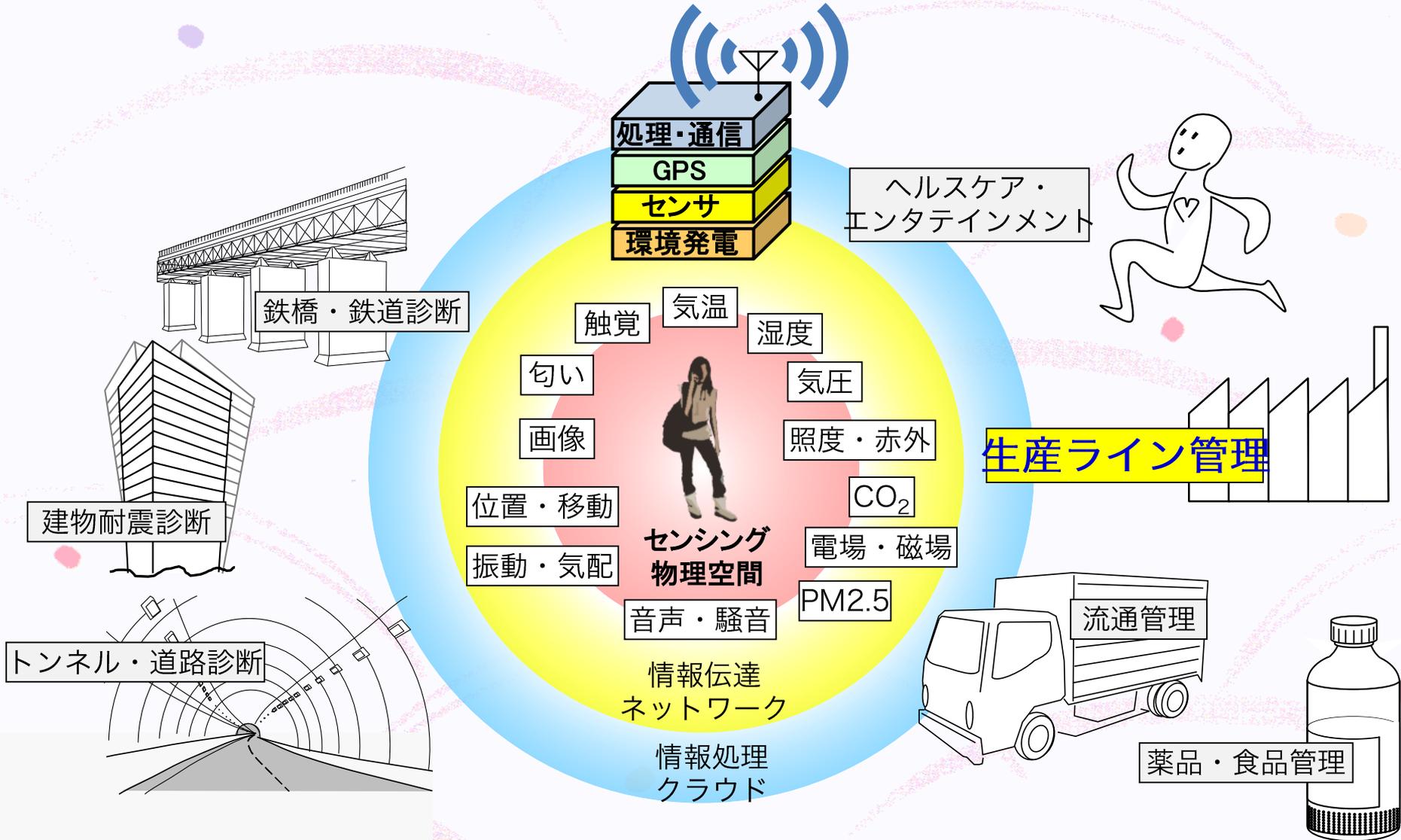
**環境発電の微小電力で収集可能な有価情報を100倍増
～学習効果で不要な生データを徹底排除～**

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、(一財)電力中央研究所

IoT センシングネットワークと無線センサ



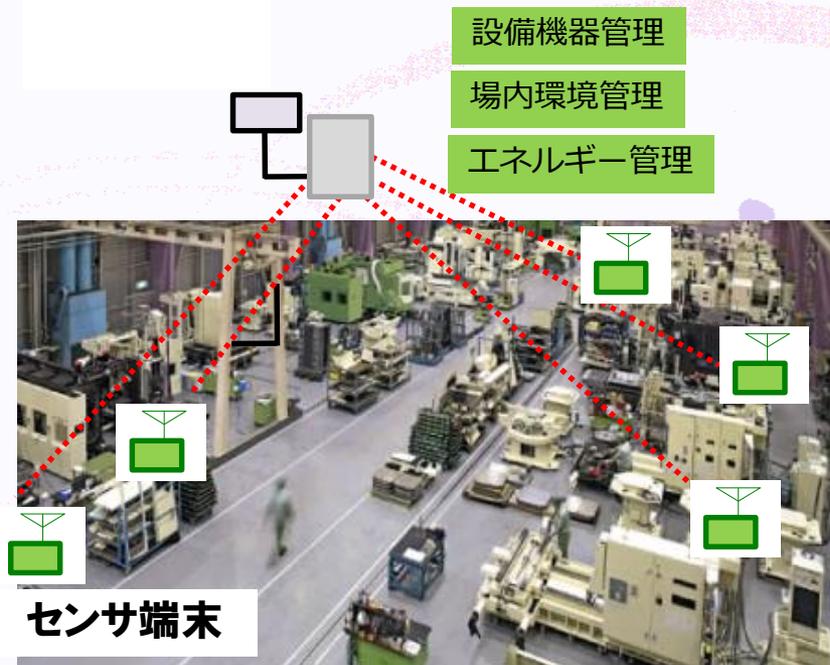
無線センサネットからスマートセンシングシステムへ



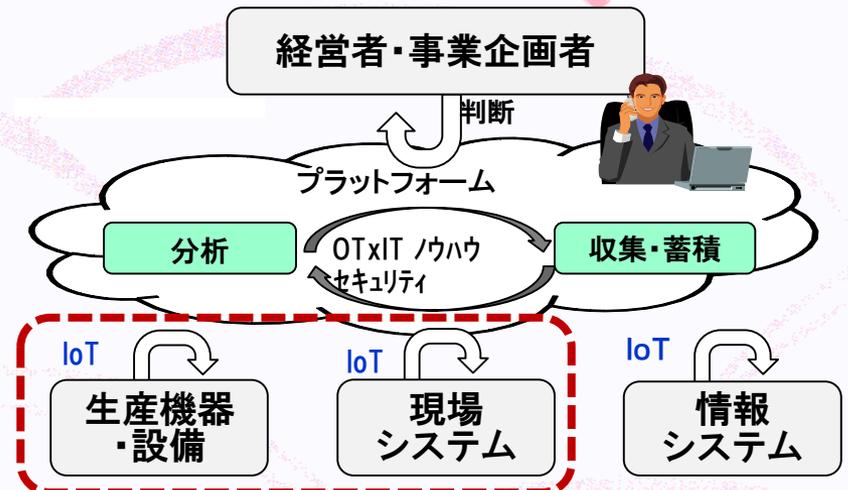
スマートセンシングシステムの研究背景

- IoTによる生産性革命の実現には、**現場情報の収集・蓄積と分析**を行い、分析結果に基づく経営視点での**全体最適化**が必要である。
- 全体最適化の実現には、従来より行われてきた生産システムからの個別データ収集に加え、人手で収集していた**日常点検(五感)**や**生産品の品質**等もデータ化し、収集する**有価情報量の増加**が必須

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*



現場情報の自動収集システムの構築が必要
現場システムからの情報を収集・蓄積・分析・対策案を行い
経営視点での最適化と新たなバリューチェーンを創生

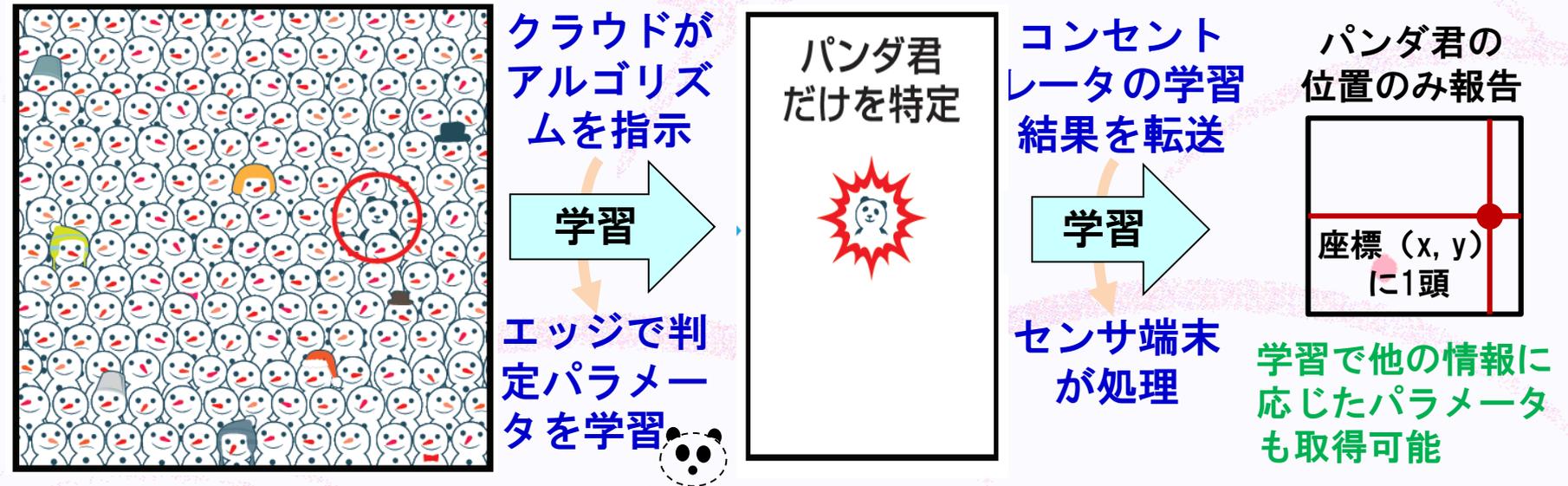
スマートセンシングシステムの研究課題

- 有線センサや点検により現場データが収集されているが、**センサ増設は配線や電源制約より困難**。また、環境発電の電力では**少量データに限定**され、産業機器の制御や状態判断には**情報量が不足**。
- **設置場所や測定対象毎に異なるセンサやアルゴリズムを開発**する必要があり、多量の機器・設備のうち**一部の測定対象のみに限定**。
- 多量のセンサデータを**クラウドへ一元的に集約・解析**し**有価情報を抽出**するのは、**通信量やクラウド側の負荷が過大**。



学習型スマートセンシングシステムの概念

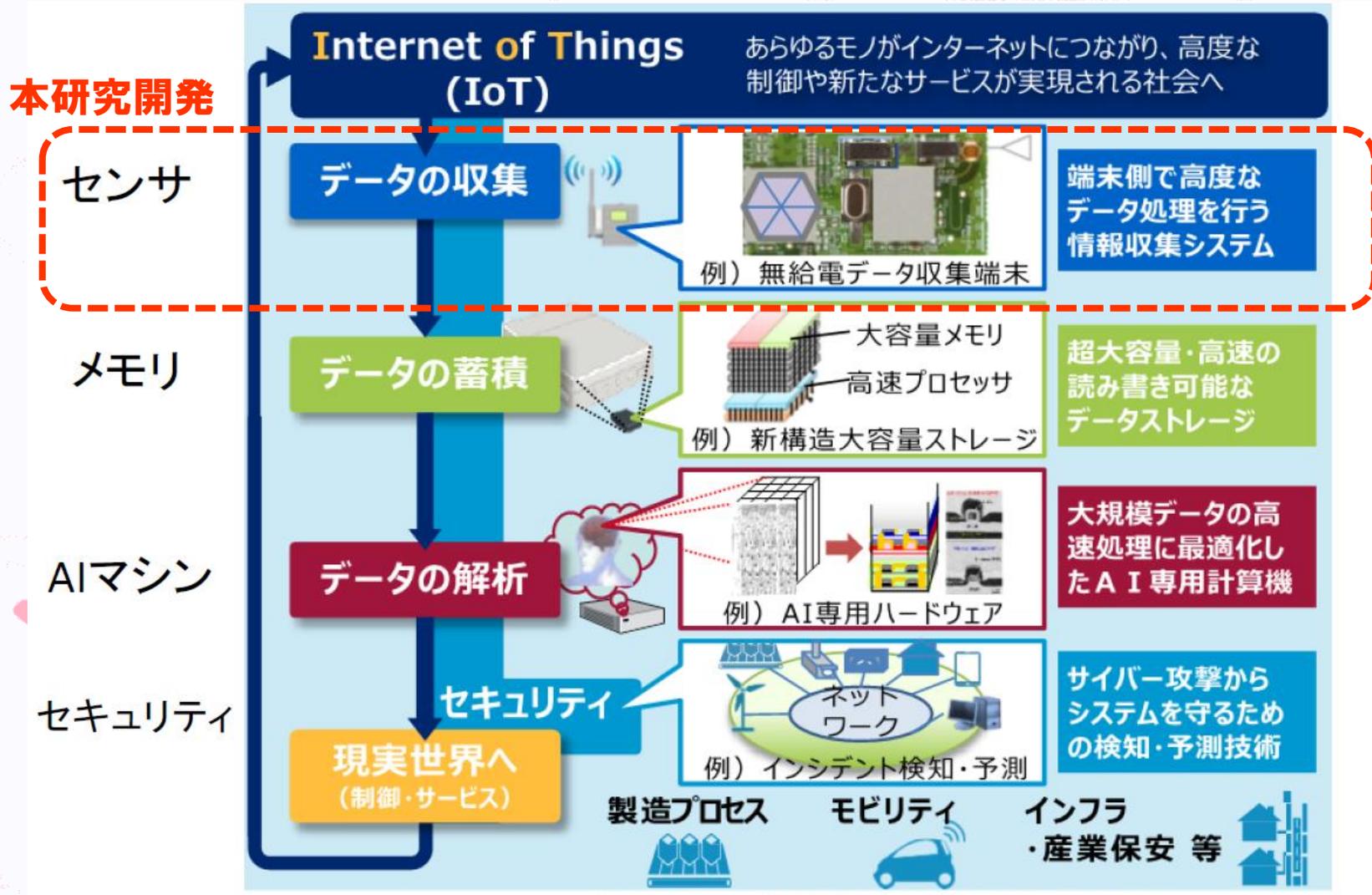
- 課題: 従来のクラウド集中型では、通信負荷・コスト増大で大規模工場監視が困難
- 解決手段: **学習式エッジ分散型**を用い、環境発電で収集する**情報密度を100倍増**



⇒ 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

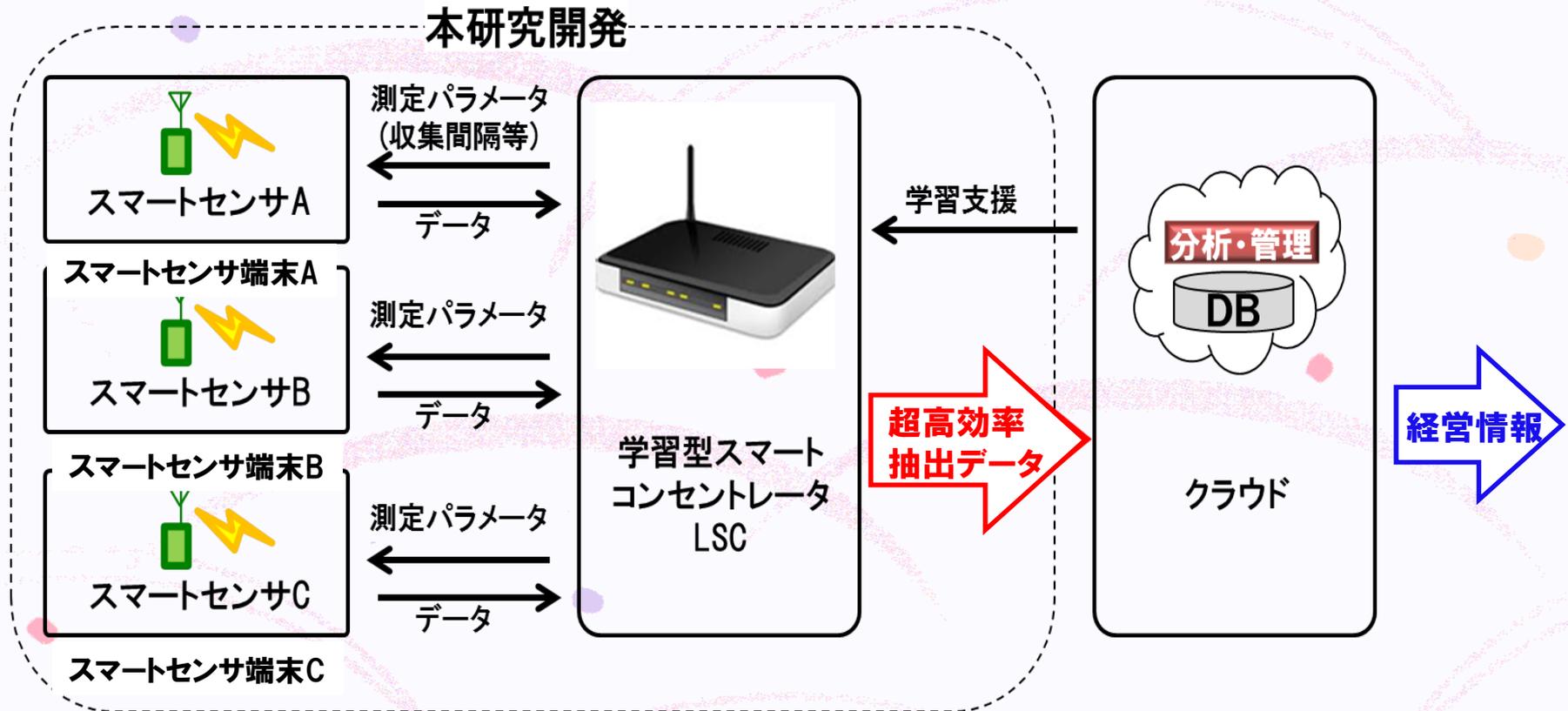


LbSS: IoT推進のための横断技術開発プロジェクト中の位置付け



出典：平成28年度概算要求資料（経済産業省、2015）

LbSS: 学習型スマートセンシングシステムの開発概要

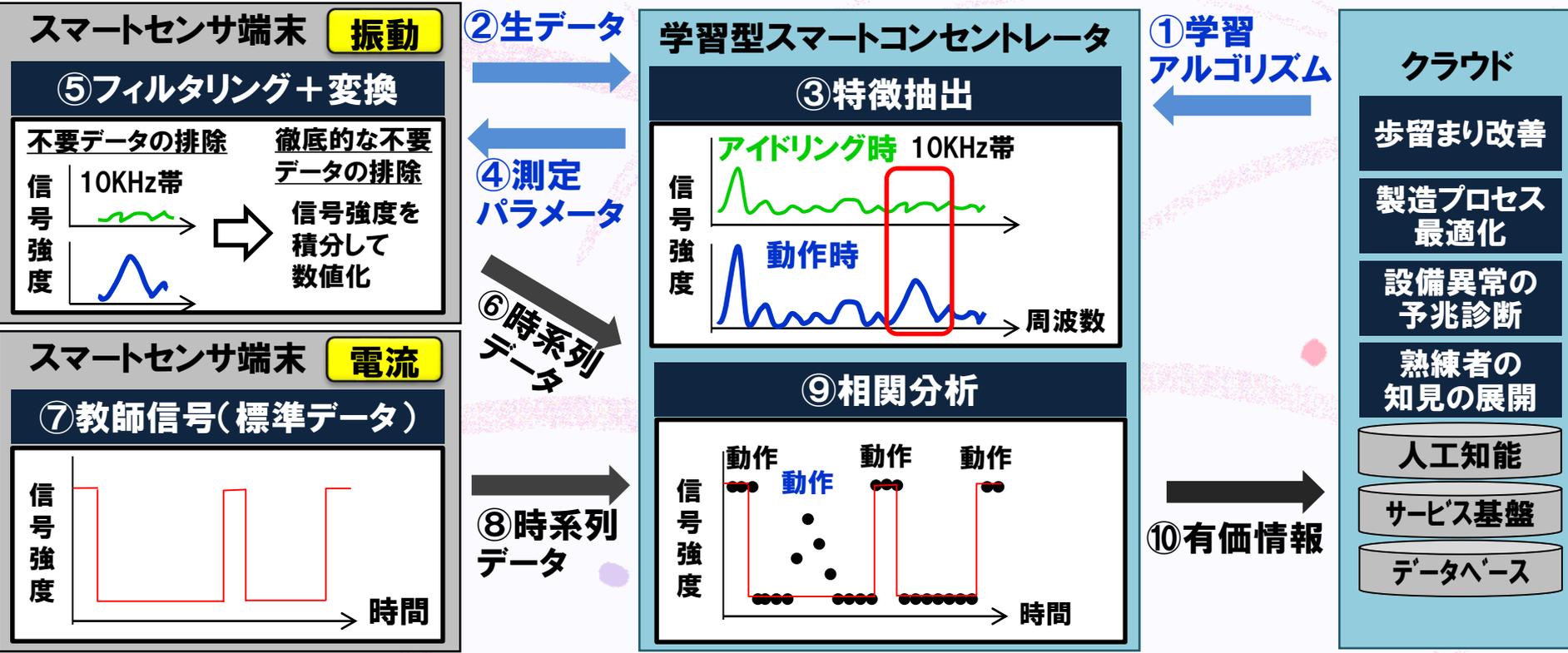


リアルワールドIoTセンシング → より適確かつ迅速な経営情報の取得

- エッジ学習機能により、現場情報を超高効率に抽出（従来の100倍～1000倍）
- 超高効率抽出データをクラウド（分析・管理用）へ送出
- 従来の100倍～1000倍の量の分析・管理用ビッグデータ

学習型センシングの流れと意義

■ 複数のセンサ端末—コンセン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動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

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)

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
(鷲宮製作所、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])

500 μ W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

稼動状況

保守状況

工程品質

学習
支援

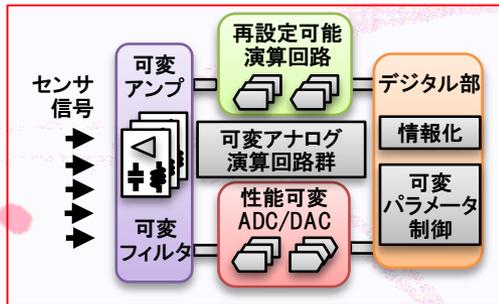
多様な対象に対応

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)

LbSS: スマートセンサ端末の構成

① センサ測定パラメータを変更可能にするSFE回路※、および多種センサを搭載可能にする標準インターフェース



*SFE...スマートセンシングフロントエンド

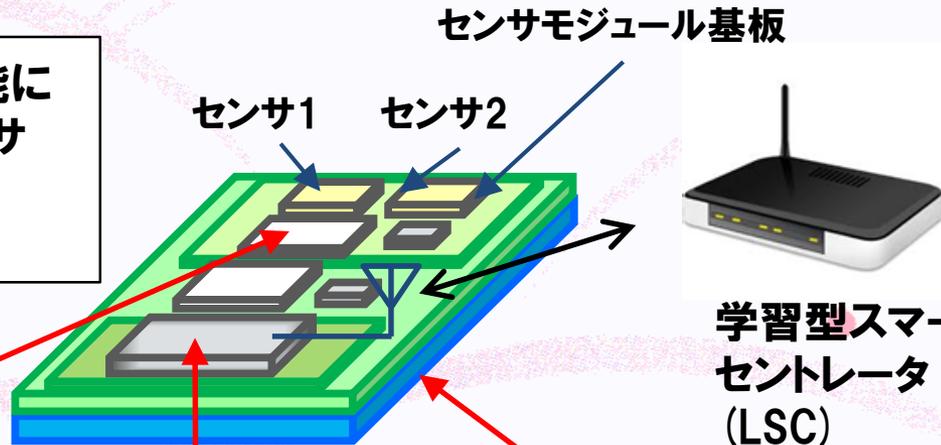
① SFE回路

② 低電力無線モジュール

③ 自立電源 (ハイブリッド型)

② 自立電源で動作可能な低電力・高信頼双方向無線通信

③ 多様な環境に対応するハイブリッド自立電源 (光・熱・振動)



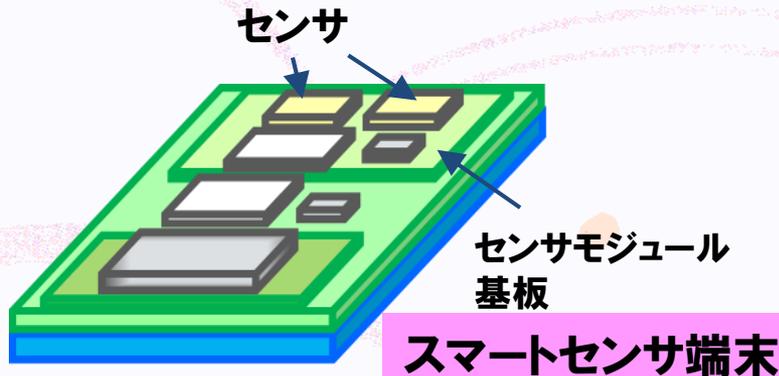
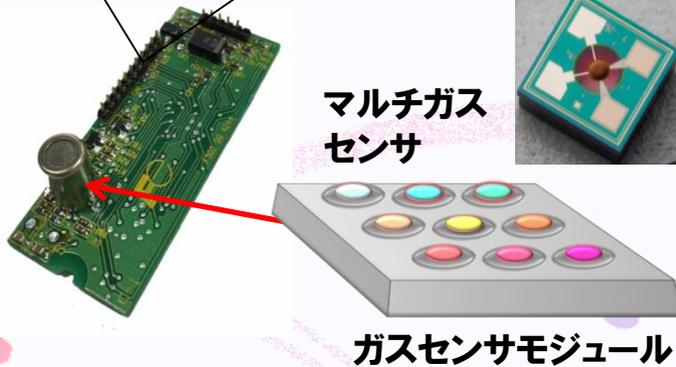
産業分野を対象としたスマートセンサの開発

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

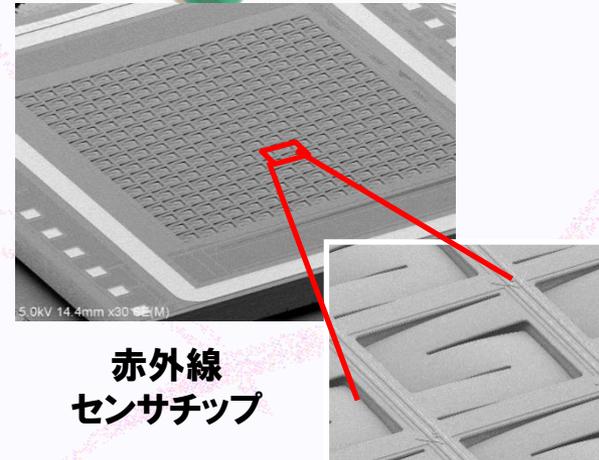
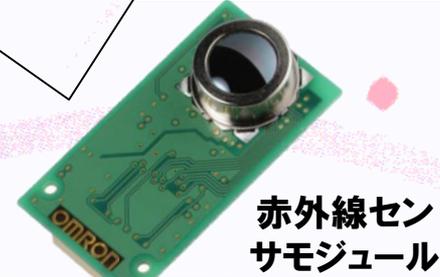
装置の動作に伴うにおいデータを取得



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

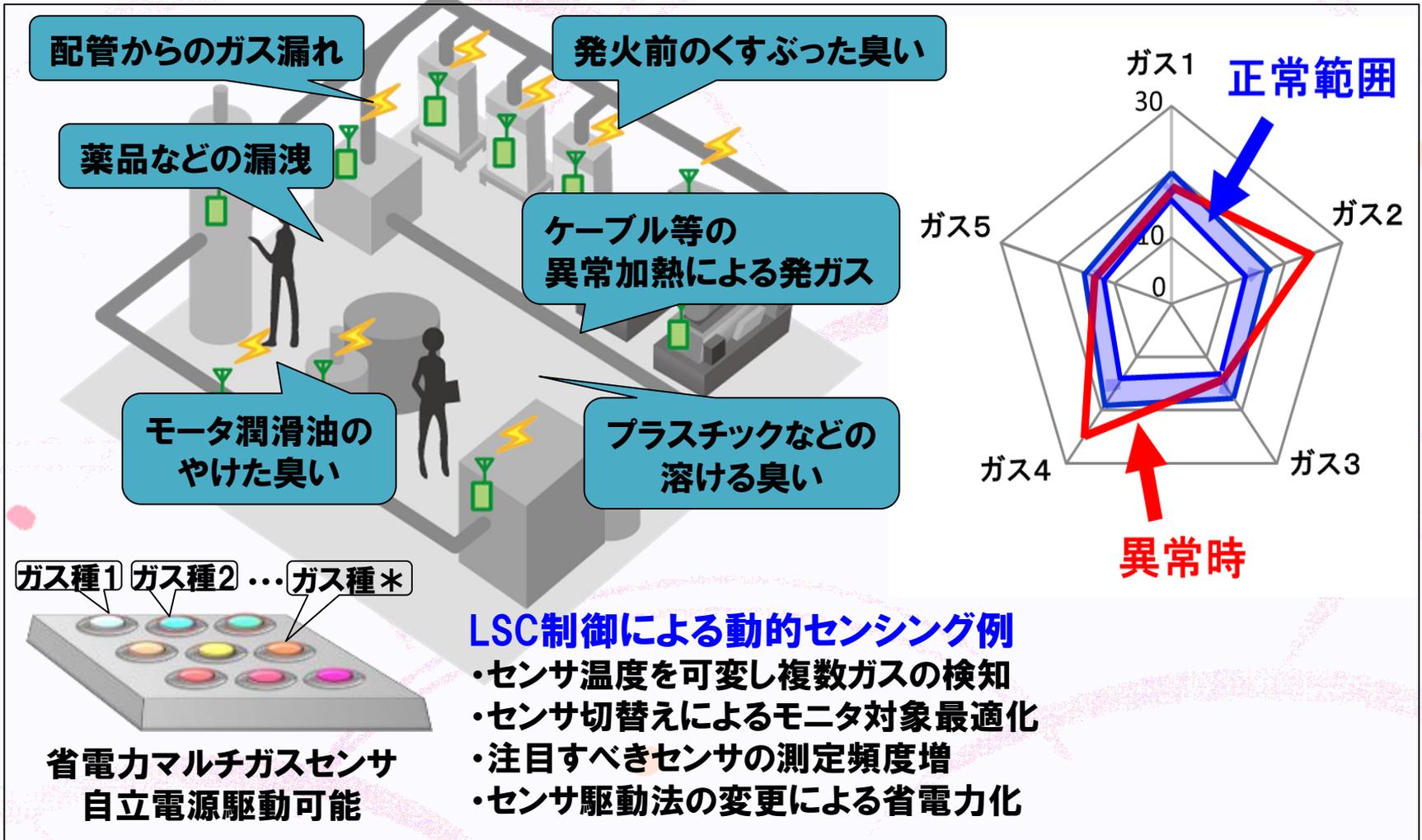
担当: オムロン

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

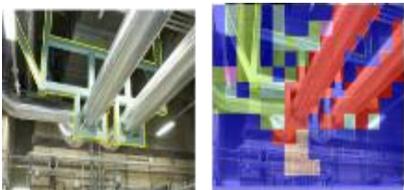
マルチセンサにより複数の環境ガスをモニタし、学習により正常時をモデル化
従来、点検者が感じていた異臭の検出や常時モニタリングが可能



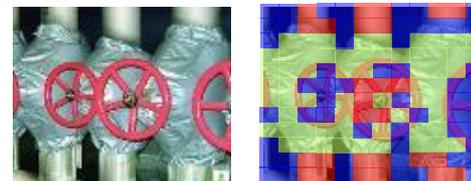
赤外線アレーセンサの活用例

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



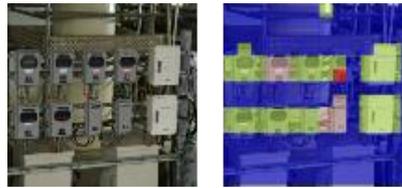
断熱材欠損による熱モレ監視



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



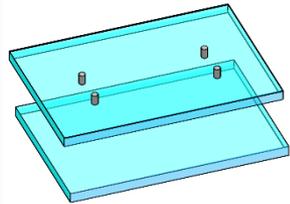
	設置直後		学習後
有価情報:	1	→	16
画素数:	256	→	64
温度分解能:	2℃	→	1℃
測定頻度:	1回/分	→	2回/分

振動発電デバイスの新たな取組み

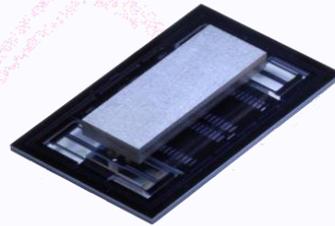
- 高イオン電荷密度エレクトレット、微細電極構造 →
- インターポーザ、ウエハレベル真空パッケージ →

- 高い発電効率
- 広帯域、安価

ウエハレベル真空パッケージ

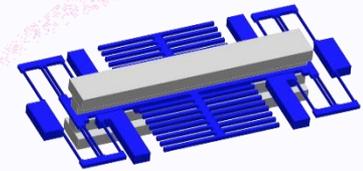


製造原価
1/10



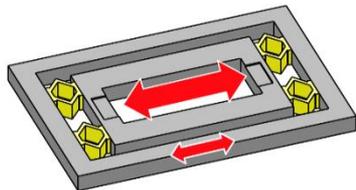
振動発電素子

高イオン電荷密度エレクトレット

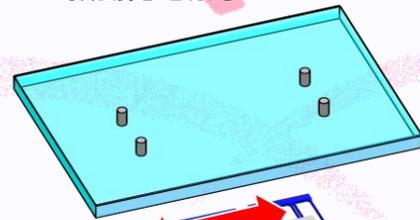


帯電電圧400V
→出力1.5倍
スループット100倍

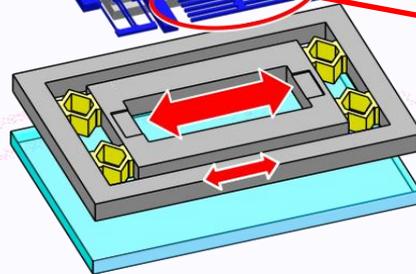
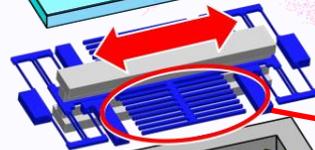
インターポーザ広帯域・振幅増幅



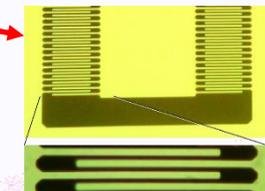
利用可能周波数
帯域 1.5倍



MEMS微細電極構造



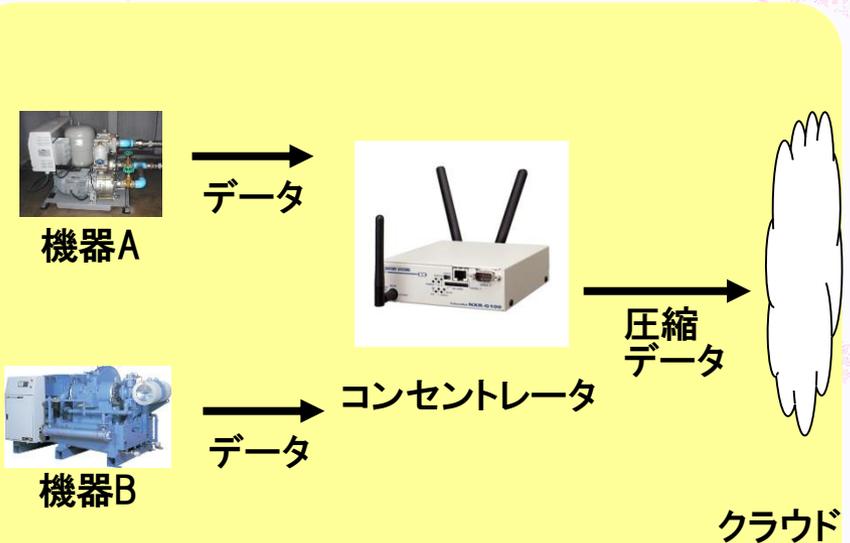
〔振動発電素子構造図〕



電極間距離1/5
出力 1.5倍

従来技術に対する学習型スマートセンシングシステムの優位点

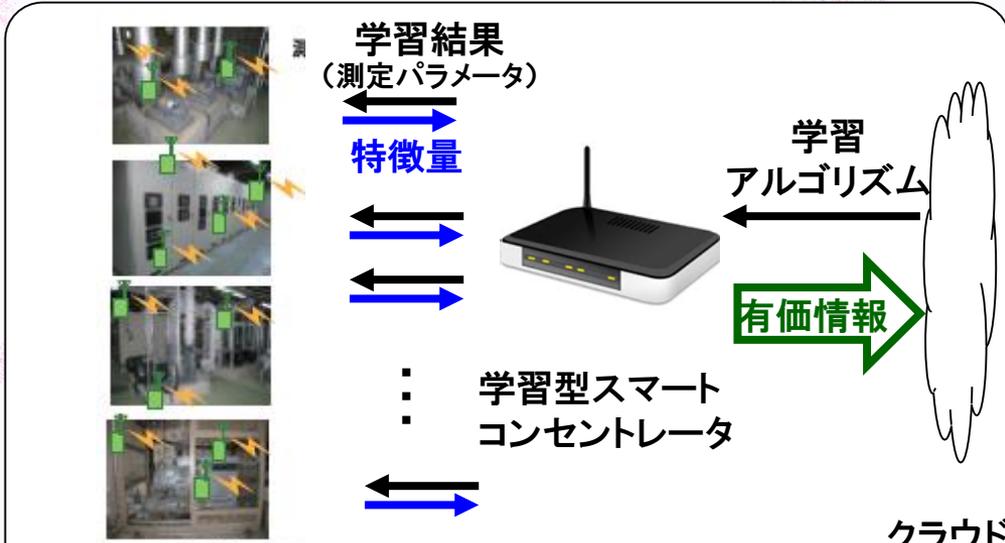
- 学習により特徴量を自動抽出し、多様な機器を対象としたセンシングシステムを短期間で構築(生産工程の変化などにも柔軟に対応可能)
- センサ端末の測定最適化により収集する情報量を飛躍的に増加し、センシングシステムを定期点検の代替から、工場全体を最適化する手段へと昇華



限定された機器
+ 有線接続

年月	技術	有価情報量	設置可能センサ数 (振動センサの例)	収集周期 (秒)
2016/5	クラウド 集中処理	1	20	3600
2020/3	エッジ 処理	5	100	3600
2030/4		25	500	3600

従来のエッジコンピューティング



多種多様な機器・設備 +
無線スマートセンサ端末

年月	技術	有価情報量	設置可能センサ数 (振動センサの例)	収集周期 (秒)
2016/5	クラウド 集中処理	1	20	3600
2020/3	学習型 エッジ 処理	120	200	30
2030/4		1200	1000	3

本提案(学習型センシングシステム)

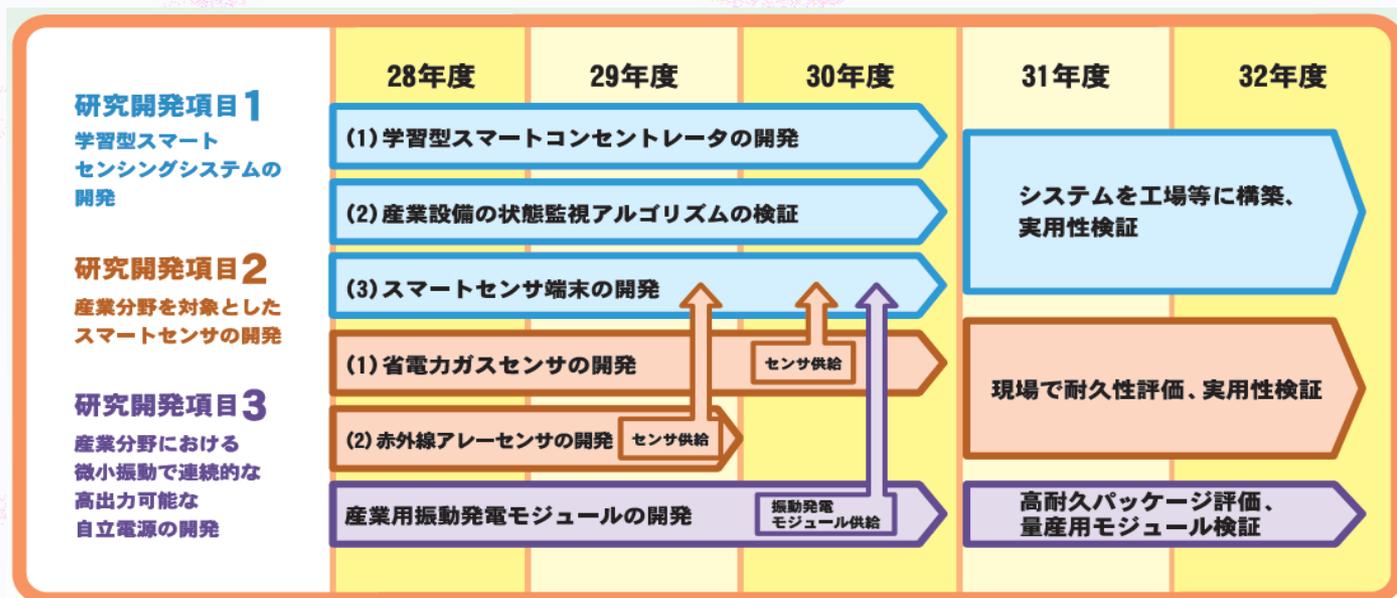
IoT社会に向けたMEMSセンサとセンサシステムの取組み

学習型スマートセンシングシステムの開発

- ① 有価情報を高めるための自立型センサ端末/
学習型センシングアルゴリズムの開発
- ② 測定パラメータ可変型スマートセンサ
(赤外アレイセンサ、マルチガスセンサ)の開発
- ③ 製造プロセス革新で小型・安価、高効率発電デバイス開発



H31年度から実証予定



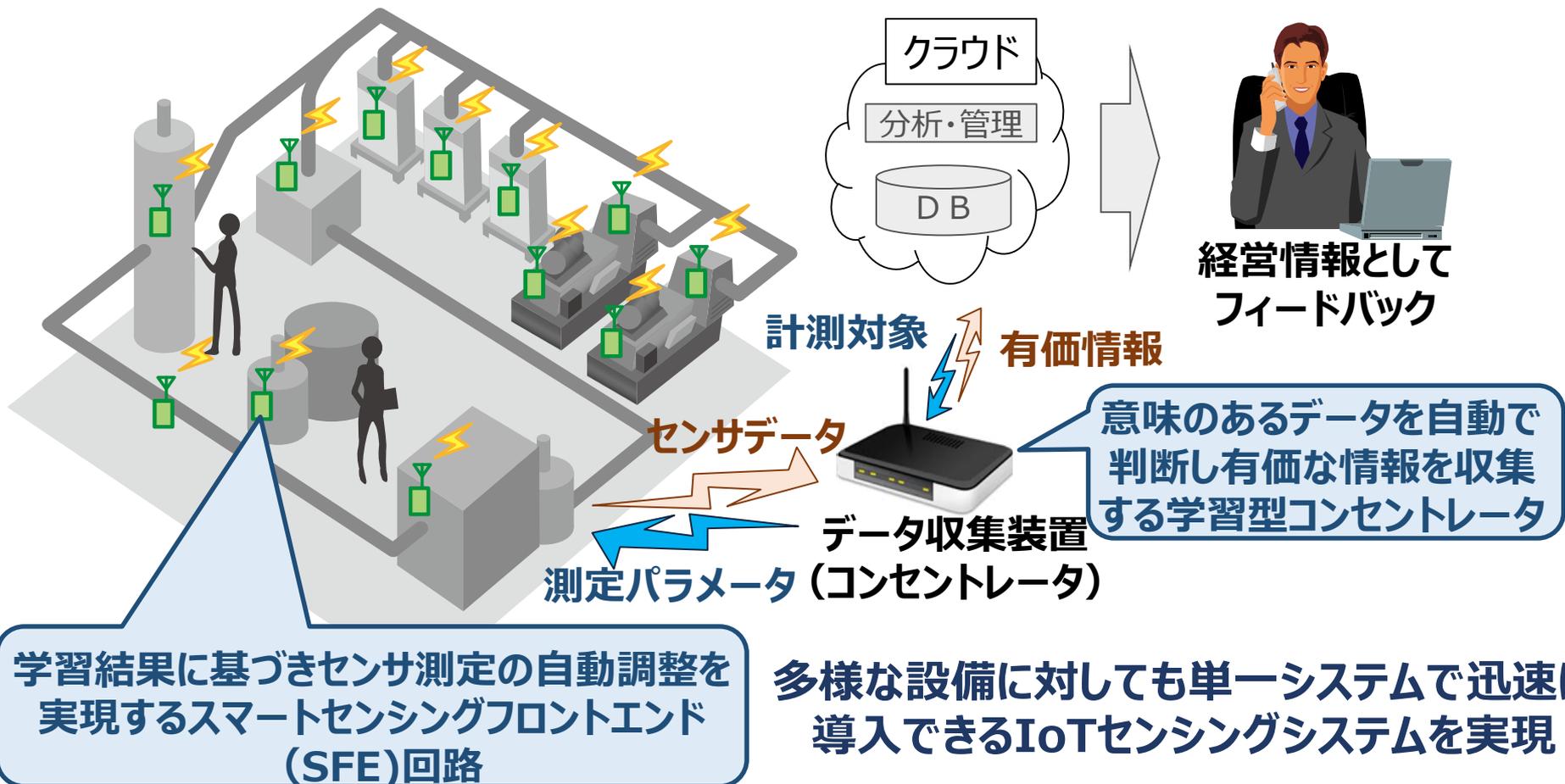
学習型スマートセンシングシステムの開発

技術研究組合NMEMS技術研究機構
LbSS サブリーダー

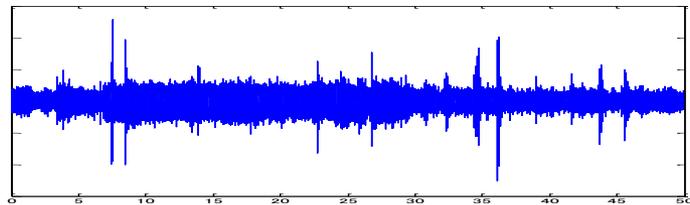
株式会社日立製作所 研究開発グループ
エレクトロニクスインベーションセンタ
高浦 則克

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する学習型センシングシステムを開発。多数・多種の機器/設備モニタリングを実現し、環境発電で収集可能な有価情報を従来の100倍化



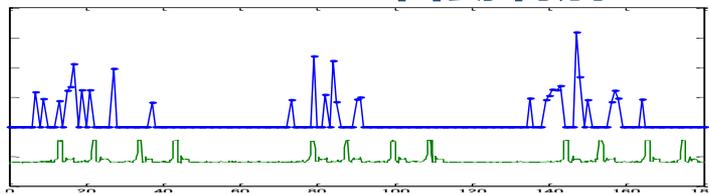
学習型アルゴリズムの原理検証を完了



機器の動作音データ



アイドル時と稼動時の音の違いを自動判別



自動抽出された有価情報
(設備の稼動状態)

- 実際の工場設備データで検証
- センサデータから有意の信号を自動分析
- 分析結果を測定パラメータに反映することで低電力測定可能な見込みを取得

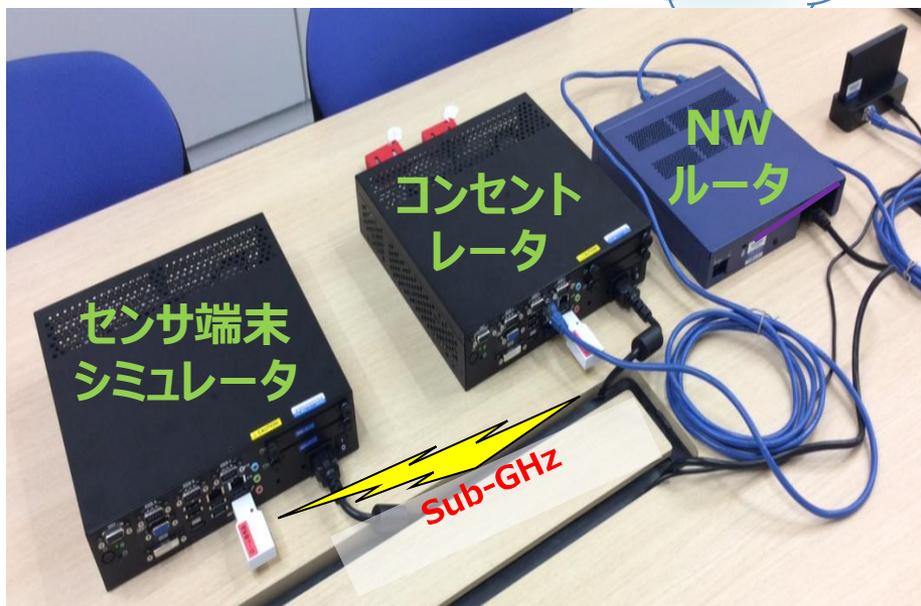
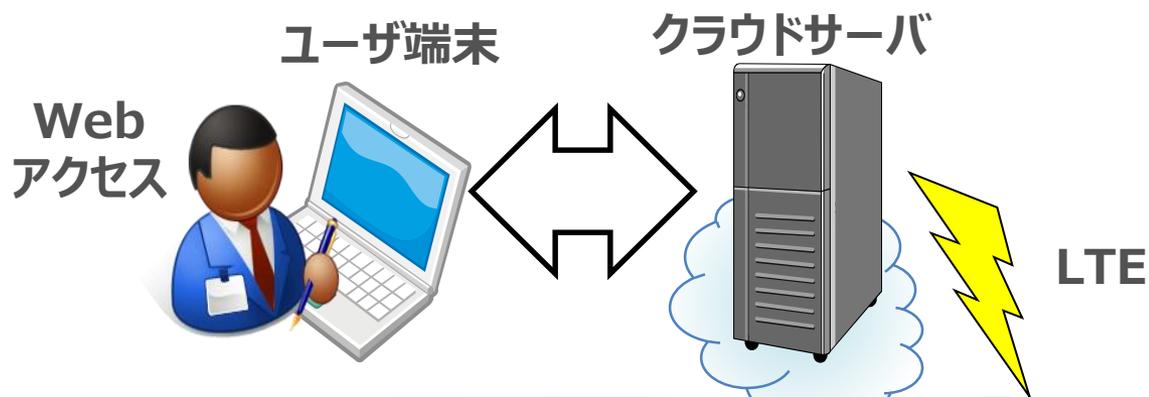
スマートフロントエンド(SFE)回路の基本設計を完了



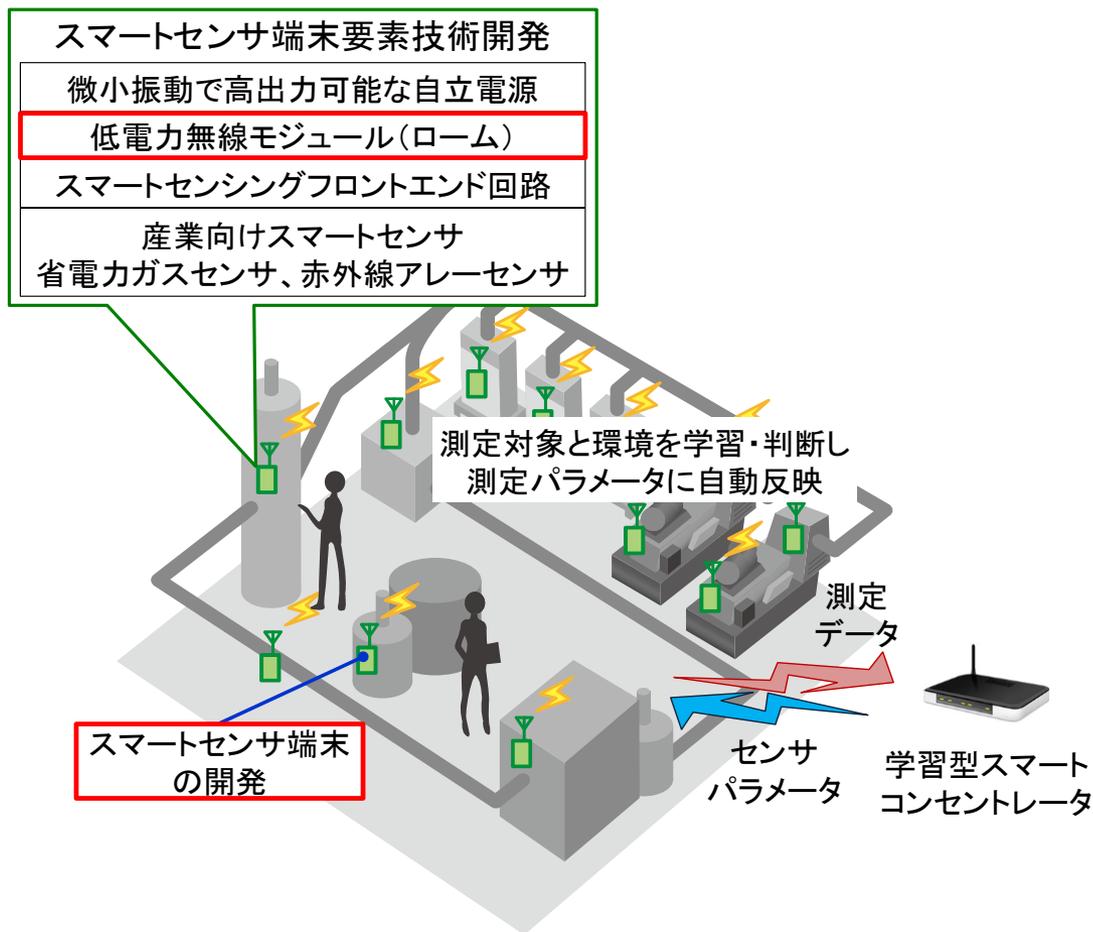
- ・可変アナログ回路によりセンサ信号処理を動的に変更するフロントエンド回路を設計
- ・学習結果を端末におけるセンサ測定に反映するハードウェアを実現可能な見込み

可変アナログ機能を持つSFE回路の試作検証用ボード

センサデータを遠隔収集分析できる研究用システムを構築完



- ◆ 学習型スマートセンシングシステムを実現する高信頼性無線
- ◆ 自立電源で駆動可能な低消費電力無線スマートセンサ端末

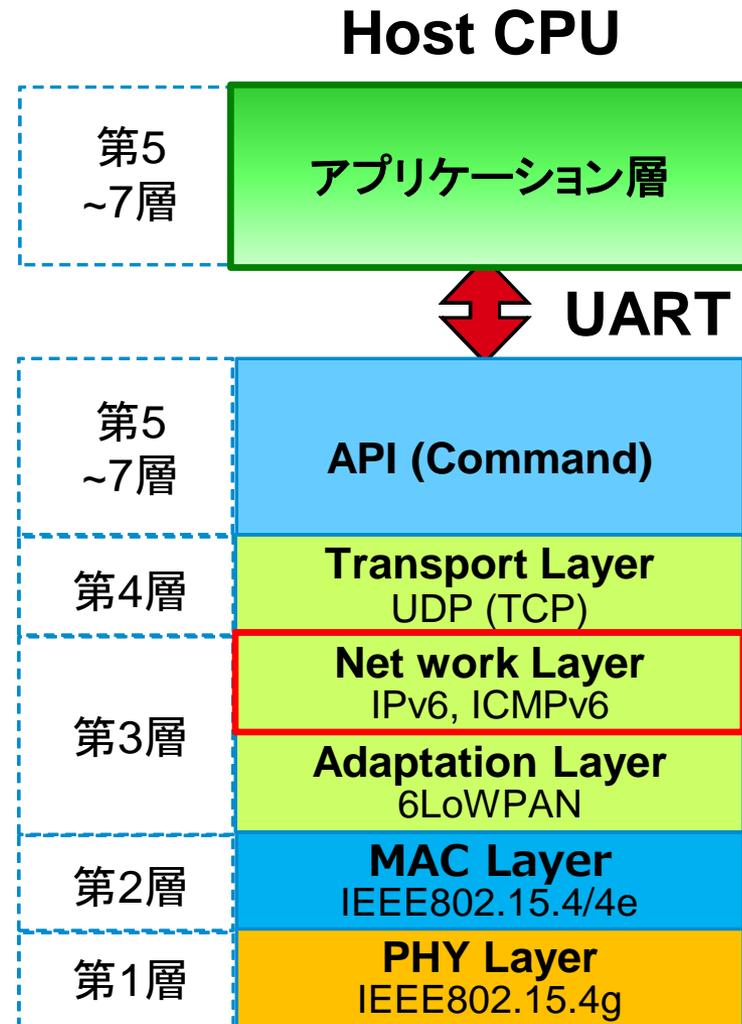


無線モジュール

- ネットワーク層を開発し、低消費電力なマルチホップ通信を移植
 - 上記にて低消費電力化を行い、環境発電駆動に近付けた

メッシュネットワーク無線通信

- ネットワーク仕様の基本部分の検討を完了
- アルゴリズムを実証するためのソフトウェア開発を行い、メッシュネットワーク通信の評価環境の構築を完了

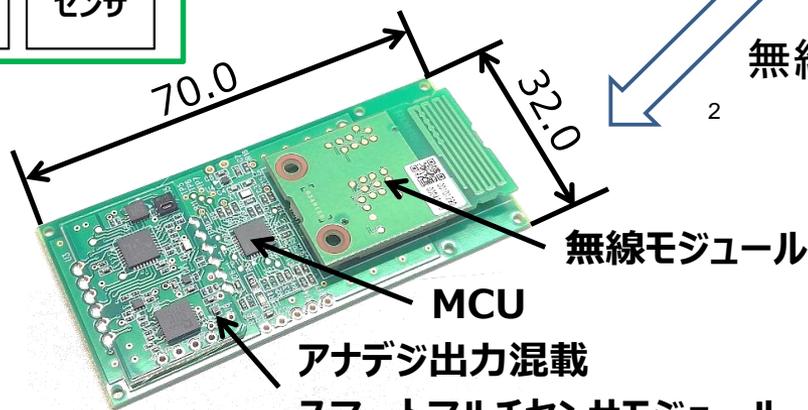
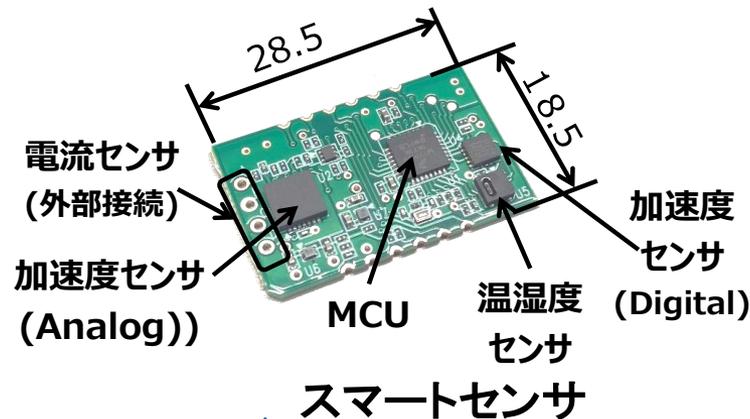
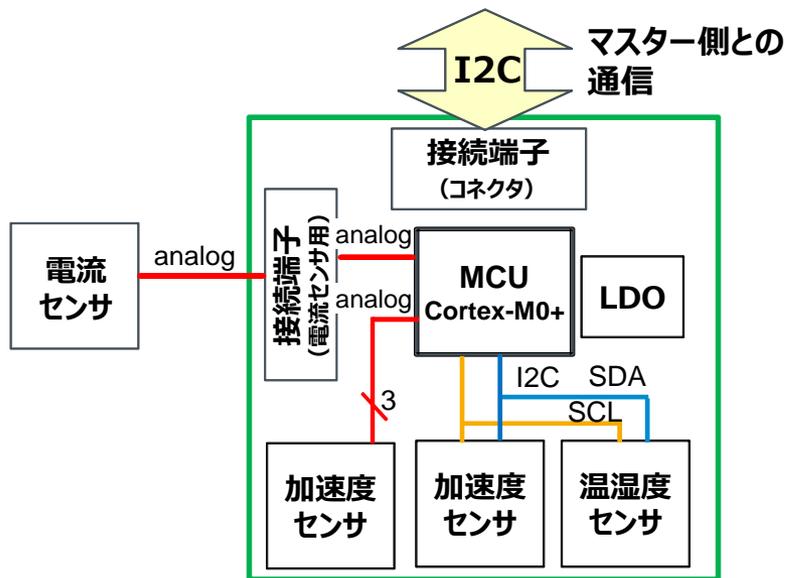


これまでの成果 無線スマートセンサ端末

センサモジュールを搭載した2種類の無線スマートマルチセンサ端末を開発

- ① デジタル出力スマートマルチセンサ、② アナデジ出力混載スマートマルチセンサ

【単位:mm】



無線化
2

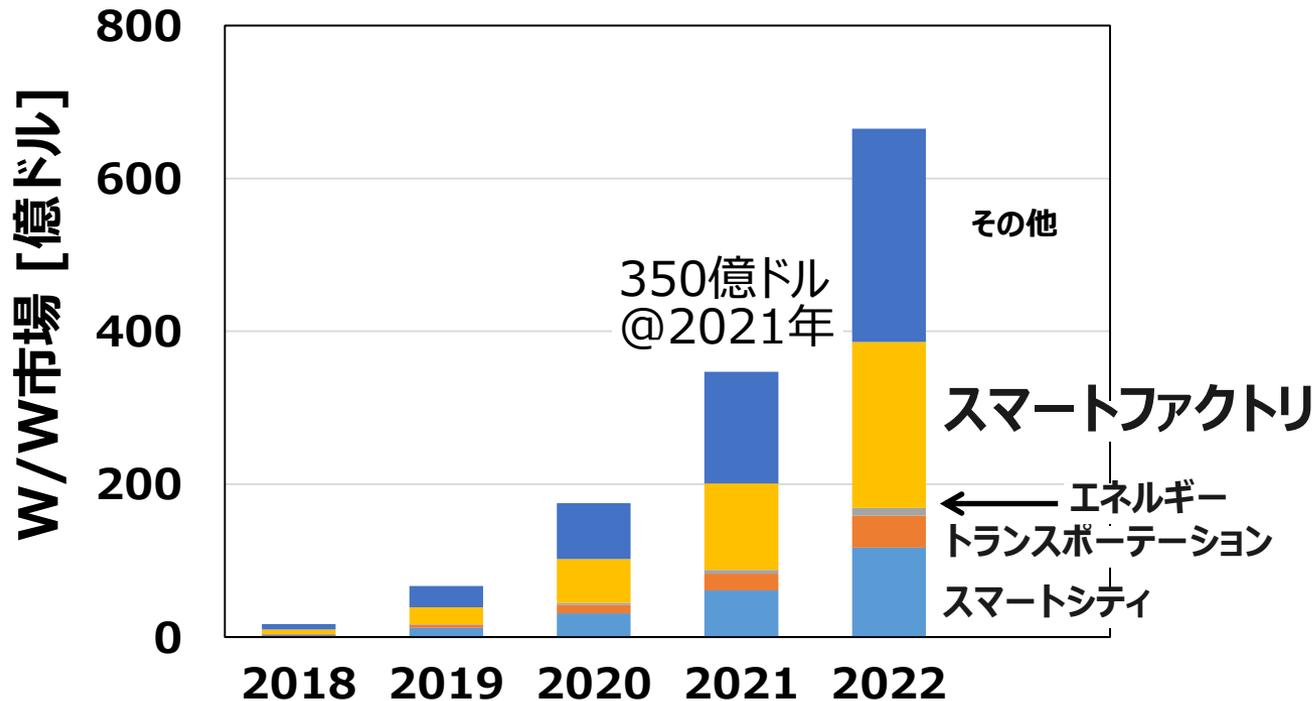
アナデジ出力混載
スマートマルチセンサモジュール
無線スマートマルチセンサ端末 (アナデジ出力混載)

実証化の取り組み

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

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データの送信が困難



LTE

**LTE 128kbpsで扱えるセンサの数
(rawデータ通信)**

画像(30KB/秒)^{*1} : 0.53個

振動(400KB/分)^{*2} : 2.4個

温度・電流・ガス等
(数十B/秒など)^{*1} : 250個

通信及びストレージに要するランニングコスト

ネットワーク:有線 4ドル/TB*³, 無線 (LTE) 2900円/月/台*⁴
 ストレージ :24ドル/TB/year*³

カメラからクラウドへ	通信費/年 (有線)	ストレージ費/年(3年間保存)
Raw 4K UHD データ圧縮 X1	2713万円	2億5312万円
H.264p60 データ圧縮 X200	14万円	127万円

工場全体の見える化	石油コンビナート・プラントのケース* ⁵					
	通信費/年 (LTE)			ストレージ費/年 (3年間保存)		
	画像	振動	温度・電流等	画像	振動	温度・電流等
Rawデータセンシング 有価情報 X1	3億2625万円	1億4500万円	445万円	3815万円	1695万円	52万円
	4億7570万円			5562万円		
学習型スマートセンシング 有価情報 X100	326万円	145万円	445万円以下	38万円	17万円	52万円以下
	916万円以下			107万円以下		

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

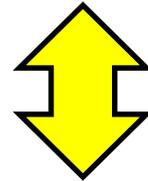
*2LbSSの知見を基に推定、*3 スタンフォード大学講演 “*Vision and the Deep Learning Explosion*” by Dr. Chris Rowen

*4 https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2017/09/26_00.html

*5 画像センサ 5千台、振動センサ 1万台、温度・電流センサ等 3万2千台をLbSSで想定

学習型スマートセンシングシステムを説明

設備の温度変化、油漏れ、添加剤の揮発・漏れ、制御盤・配管のメータについて、振動センサ、赤外線アレー、ガスセンサ、画像センサを用いてデータ収集する。複数個・複数種センサのデータから定常値を学習し、そこからの変化や逸脱を把握することで、異常・劣化を自動的に検知

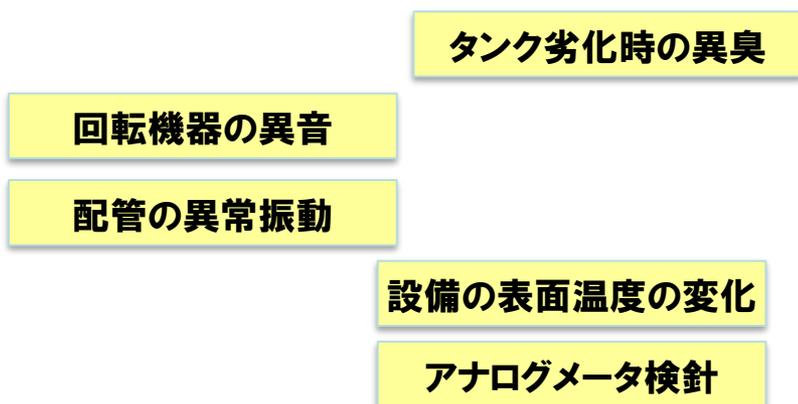


対象業種	ヒアリング内容
共通	<ul style="list-style-type: none"> ・解決したい課題、要望、収集したい情報 ・モニタリング・センシングの手段 センサ種類/無線ネットワーク/自立電源/セキュリティ
石油コンビナート・プラント	広域な生産設備の日常点検の現状
加工・組立(大規模)	マルチ生産ライン・工場全体の見える化の取り組み
加工・組立・食品(中小)	センシングの対象(主機ユーティリティ・制御盤, 等)
発電・送電	センサー端末とネットワーク構築のボトルネック

① 石油化学ユーザのご要望

- ・巡回員の五感を代替する設備常時監視、不安定な設備の集中監視
- ・異常の早期発見と原因究明の両立
- ・無線センサの拡充、小型化による容易な設置

② 収集したい情報



③ モニタリング・センシングの手段

センサ	用途
振動	回転機、配管の振動(接触)
音響	回転機、配管からの音(非接触)
温度	設備の温度(接触)
赤外線アレー	設備、配管の温度(非接触)
画像	アナログメータ読取り(圧力、流量)
ガス	油漏れ、添加剤の揮発

④ 学習型スマートセンシングシステムが提供できる価値

- ・センサ(市販品・開発品)を組合わせて五感を代替、自立電源でメンテナンスフリー
- ・異常状態を定義してデジタル化、有価情報でリアルタイムセンシング、必要なRawデータも収集
- ・低消費電力・高信頼性長距離無線センサ端末をプラント全体に設置して監視

加工・組み立て工場(大規模)のヒアリング結果

① 加工・組み立てユーザのご要望

- ・オーバーホール・更新の時間管理(TBM)から状態管理(CBM)への移行
- ・既存システムアドオンによるセンシングシステムの追加
- ・生産工程における不良品と設備劣化との紐付け

③ モニタリング・センシングの手段

センサ	用途
電流、振動	起動時突入電流、加工部品の振動
画像	金型の摩耗、機器設定ズレ(高解像度)
可視カメラ	設定表示、動線管理(動画)
赤外線アレー	冷却用配管のつまり・流体温度(非接触)
ガス	油・薬品漏れ、ドラム機器の焦げ

配管のつまり、温度

始業時機器の設定・ズレ

金型の摩耗

油・薬品漏れ

加工部品の振動、熱

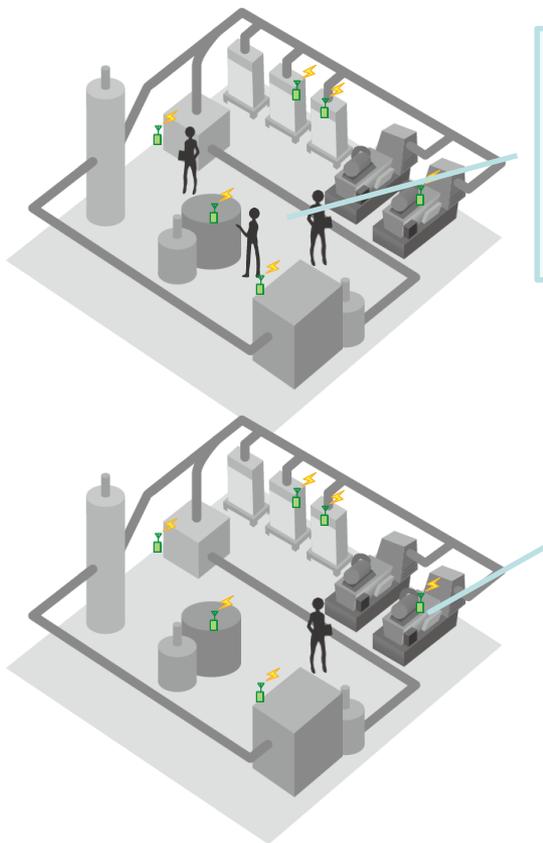
④ 学習型スマートセンシングシステムが提供できる価値

- ・センサ(市販品・開発品)を組合わせて五感を代替、状態監視アルゴリズムを構築
- ・スマートコンセントレータで現場データとクラウドのナレッジを融合し、工場全体が見える化
- ・製品の時系列データ、設備のイベントデータを自動収集して品質管理のデジタル化

産業設備の状態監視アルゴリズムの検証

工場等にある産業設備の保守・管理では、現場作業員が実施している日常保守・点検が重要な要素を占めています。

こうした五感を活用して実施している日常点検作業のセンシング化を目指し、設備の状態を把握できるアルゴリズムの検討・構築・検証を実施します。



- 人による点検では、見に行ったときの状態しかわからない
- 五感による点検は、判断基準などで個人差がある
- 記録簿の記述に統一性を持たせるのが難しい
- 熟練作業者の減少等により技能継承が難しい

↓ LbSSで補完

- 高頻度で状態監視することで見逃しを低減
- 学習型システムにより、センサ調整・解析を自動化し、多様な機器の状態監視を簡単に実現
- 熟練者の判断基準をデータ化することで、共通の判断基準を構築



↓ 経営情報としてフィードバック

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	稼働状態把握、聴覚代替
マイクロホン	稼働音の把握、聴覚代替
赤外線アレー	設備温度、過熱・温度上昇検知、触感代替
温度・湿度センサ	過熱・吸湿等の五感代替
マイクロホン	稼働音の把握、聴診代替
漏洩電磁波センサ	電源盤の部分放電検出、聴覚代替
臭いセンサ	過熱・漏洩等に伴う臭気検出、嗅覚代替
可視カメラ, 塵埃センサ	設備外観、汚れ、現場指示値検出、目視代替

測定結果から、スマートセンサ端末に必要なセンサ仕様を検討

○測定実施例

4.5kW冷凍機



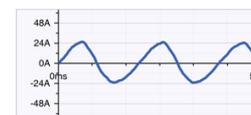
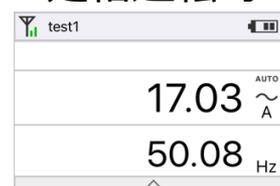
波形記録計



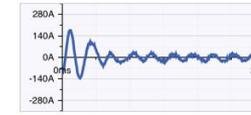
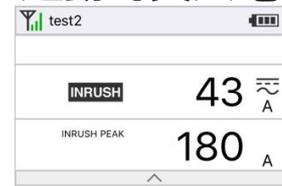
振動センサ

マイクロホン

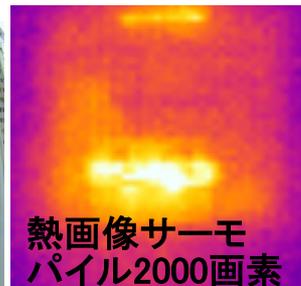
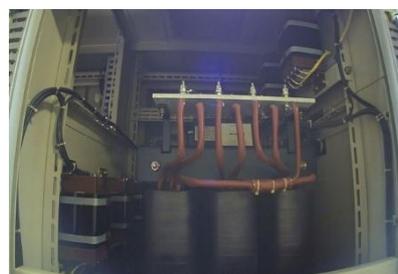
定格運転時



起動時突入電流



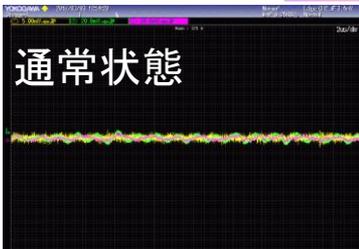
受電盤



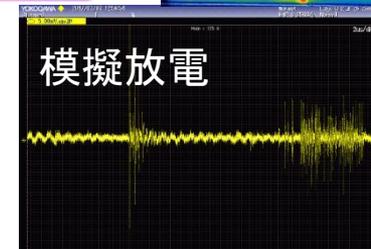
40.0°C
20.0°C



31.4°C



通常状態



模擬放電

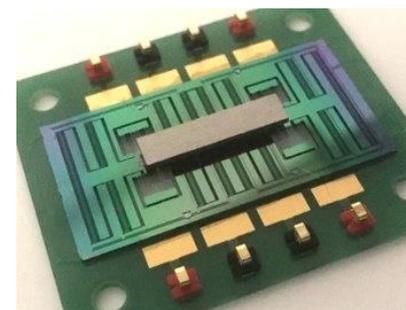
漏洩電磁波

- ・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
- ・電波の回折性に優れたサブGHz周波数帯無線を用いた信頼性の高いメッシュネットワークの構築
- ・測定データもとづく設備の稼働状態把握、及び五感代替可否の検証
- ・ユーザーヒアリングを継続し、システム検討へのフィードバックを行う

**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**

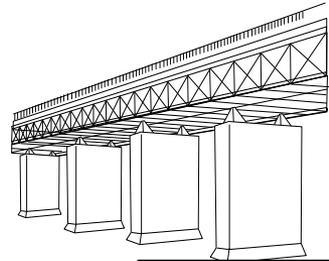
学習型スマートセンシングシステムの研究開発 —高効率MEMS振動発電デバイスの研究—

技術研究組合NMEMS技術研究機構

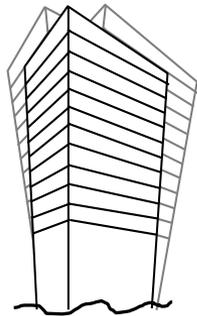


技術研究組合NMEMS技術研究機構
国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授
年吉 洋

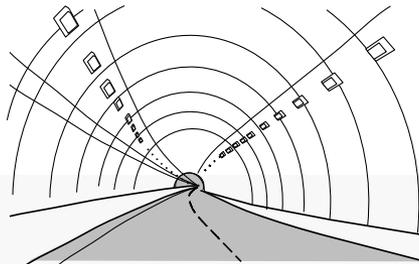
電源を制するものがIoTセンサを制する



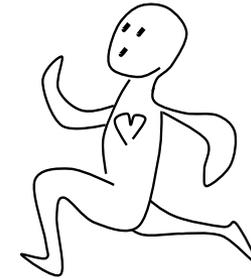
鉄橋・鉄道診断



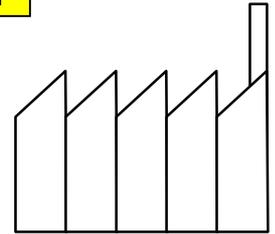
建物耐震診断



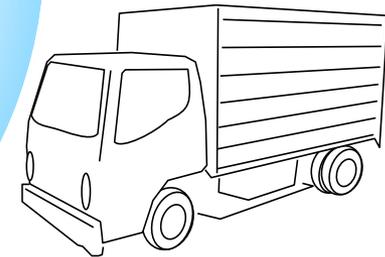
トンネル・道路診断



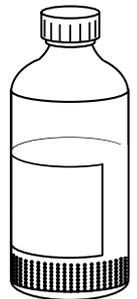
ヘルスケア・
エンタテインメント



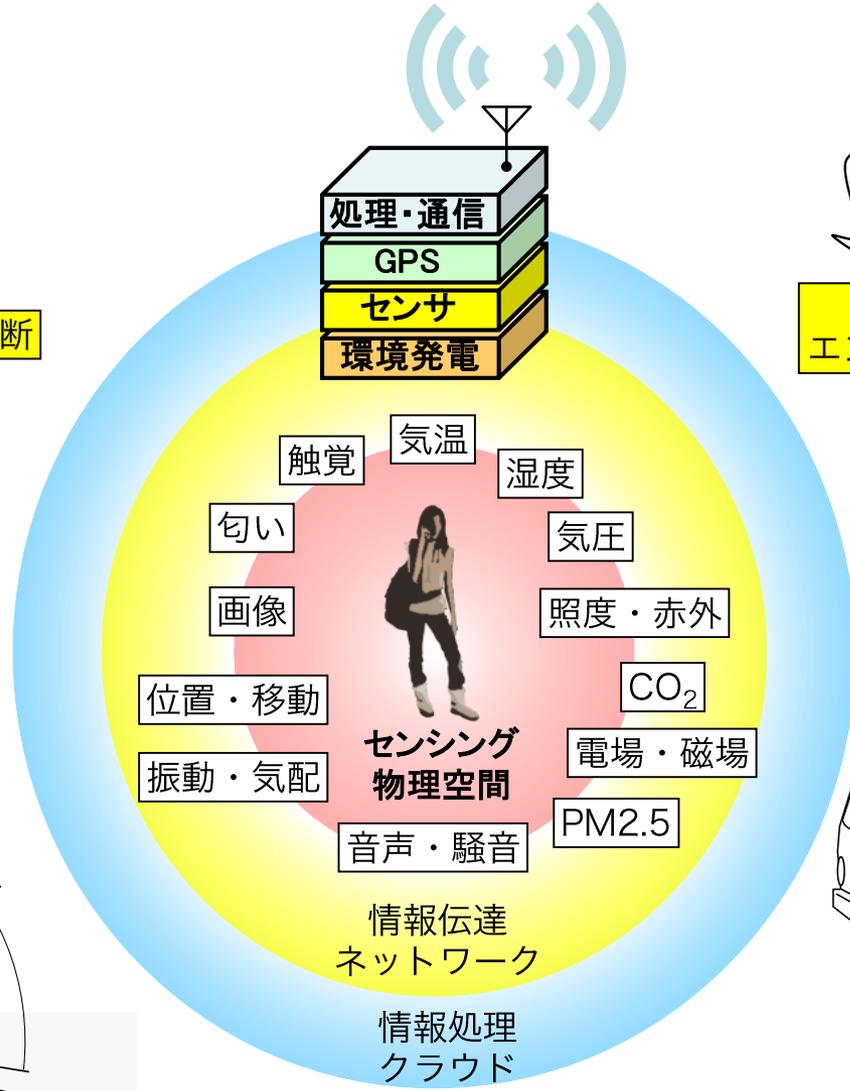
生産ライン管理



流通管理



薬品・食品管理



NEDO先導研究(H27-H28)概要

コンセプト

次世代トリリオン・センサ社会に必要な不可欠な、超高効率の環境振動型発電素子（**エネルギー・ハーベスタ**）の実現に取り組む

概要

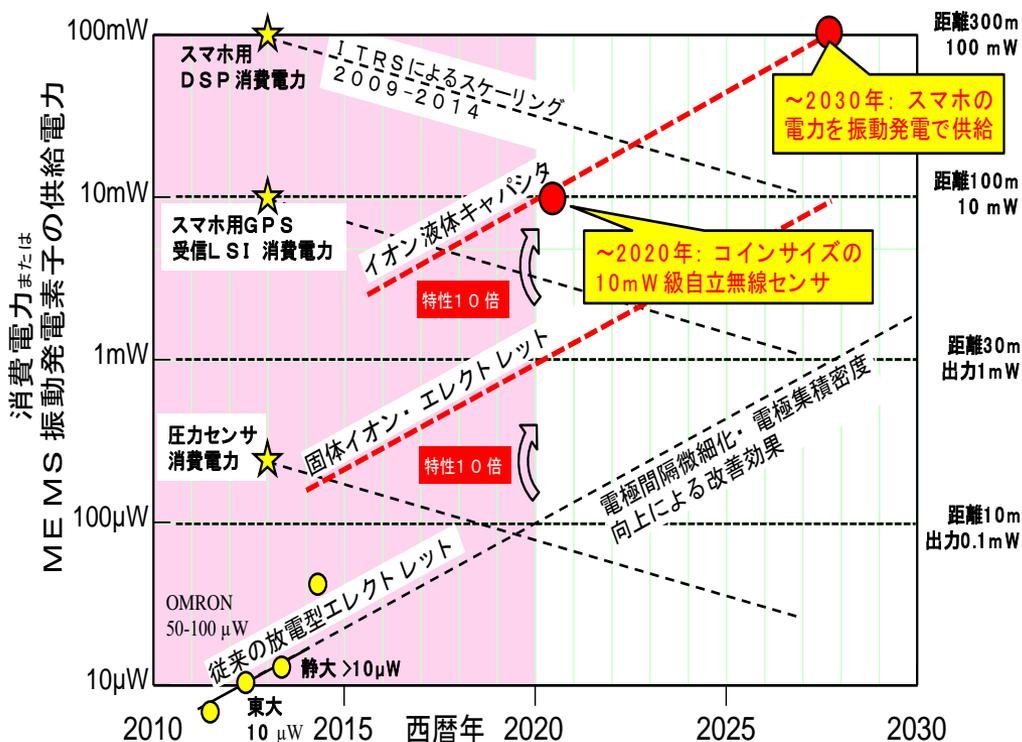
地球上で年間1兆個の超小型センサを生産・消費する近未来の「トリリオンセンサ社会」に必要な、**超高効率の環境振動型発電素子**（再生可能エネルギー）の実現を提案する。MEMS・マイクロマシン技術の新設計・新工法を新たに導入することで、コインサイズの面積で**発電効率を従来比を2桁以上**に飛躍的に高めた**10mW級**の環境発電素子の設計・製作・評価技術確立する。

技術課題 解決手法

静電エレクトレット型環境振動素子の効率を改善するには、

- ①高電荷密度の形成、
- ②電極間ギャップの微細化、
- ③周波数帯域の増大、

の3点が必要であるが、従来研究では解決策は見いだされていない。そこで本研究では、独自の高密度固体イオン・エレクトレット技術、および、大容量イオン液体キャパシタ技術によって、従来の10倍～100倍の発電効率の向上をめざす。



先導研究の成果

テーマ	目標	結果	評価
①高密度固体エレクトレットのエネルギーハーベスタ応用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1mW級の発電 ・ 10年以上の信頼性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1mW以上の出力達成 ・ 推定寿命10年以上 	○
②大容量イオン液体可キャパシタ技術のエネルギーハーベスタ応用	<ul style="list-style-type: none"> ・ イオン液体の高信頼技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・ イオン液体の最適化 ・ 10μW/cm²のメド 	○
③高効率エネルギーハーベスタの開発	固体イオンとイオン液体の融合による設計指針を示す	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固体イオンとイオン液体融合デバイス試作 ・ 設計指針作成 	○
④交通インフラでの振動発電デバイスの導入開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実用面の環境調査 ・ アプリケーションの提案 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実用アプリを想定した振動環境、劣化振動を測定 ・ アプリケーション案提案 	○
⑤オフィス・工場等での環境発電デバイスの導入開発	実用的なアプリケーションとビジネスモデルの抽出	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実用アプリケーション、ビジネスモデル抽出 	○
⑥標準化の戦略立案	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国際標準化に向けた提案活動を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国際標準化提案活動を継続実施 	○

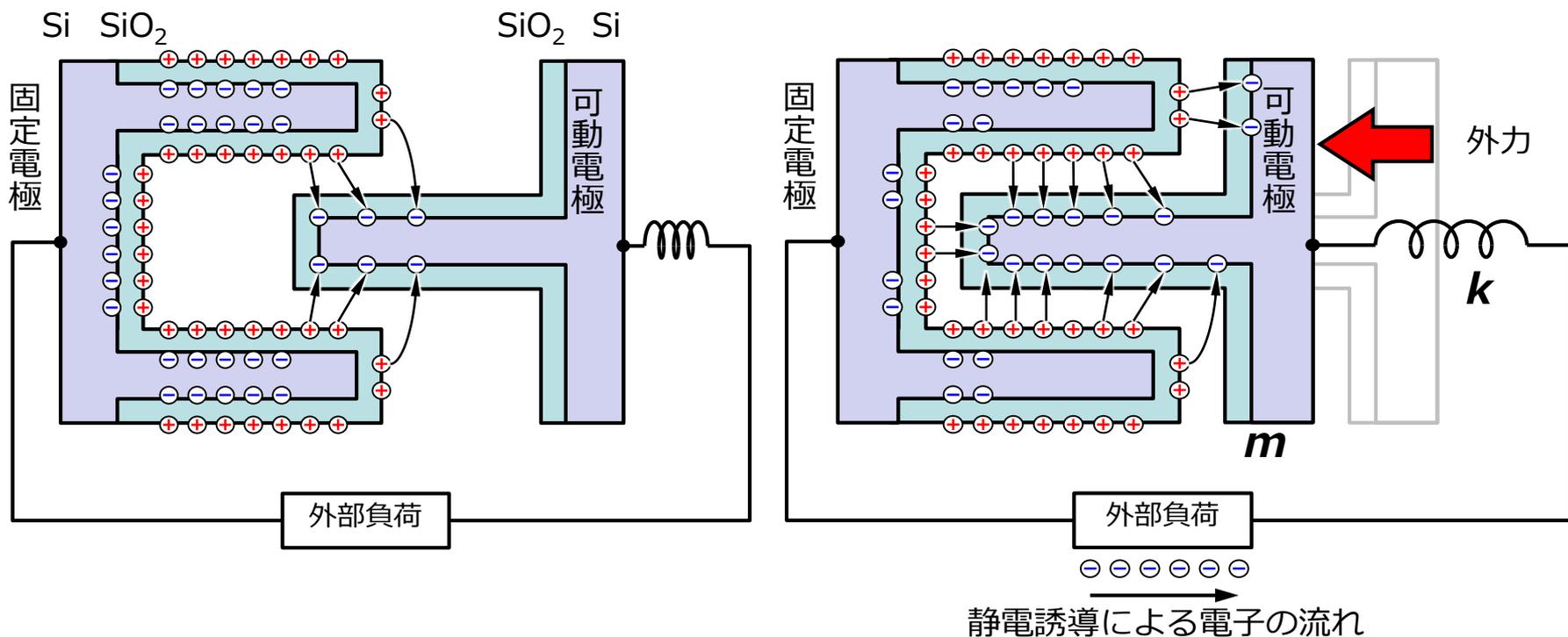
エネルギー・ハーベスタに使える未利用エネルギー源

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			× 入射窓 要清掃	○ 完全封止	○ 完全封止	× 汚染による劣 化
組立の必要性	○ モノリ シック	○ モノリ シック	× 永久磁石 組立	○ モノリ シック	× ペルチェ素子 組立	× コイル 組立	× 振動板 組立
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。	<div style="background-color: yellow; padding: 5px;"> <p>低周波数 ↓ $f_0 = \frac{1}{2\rho} \sqrt{\frac{k}{m}}$ 剛性低い →</p> </div>				

本研究の振動発電手法

絶縁体中の永久電荷（エレクトレット）による静電誘導

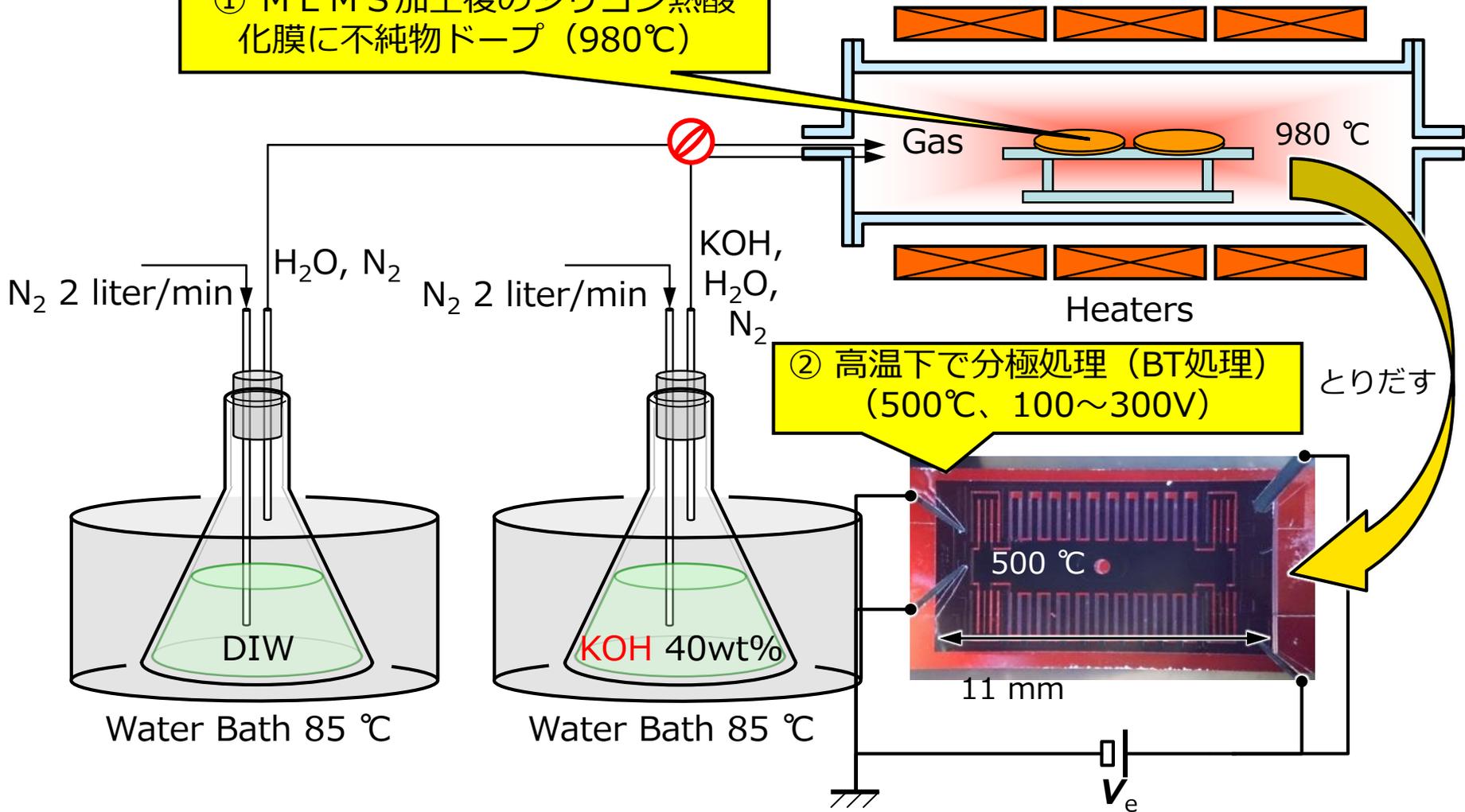


	課題	解決方法
①	高密度のエレクトレットで出力増強	固体イオンエレクトレットの熱・バイアス処理
②	電源としての出力インピーダンスを低減	イオン液体の電気二重層キャパシタ
③	環境振動に適した共振周波数、機械結合係数	狭ギャップ電極、MEMS共振系設計

独自技術 固体イオン・エレクトレット

酸化膜中の不純物をイオン活性化、帯電電圧 100~300V

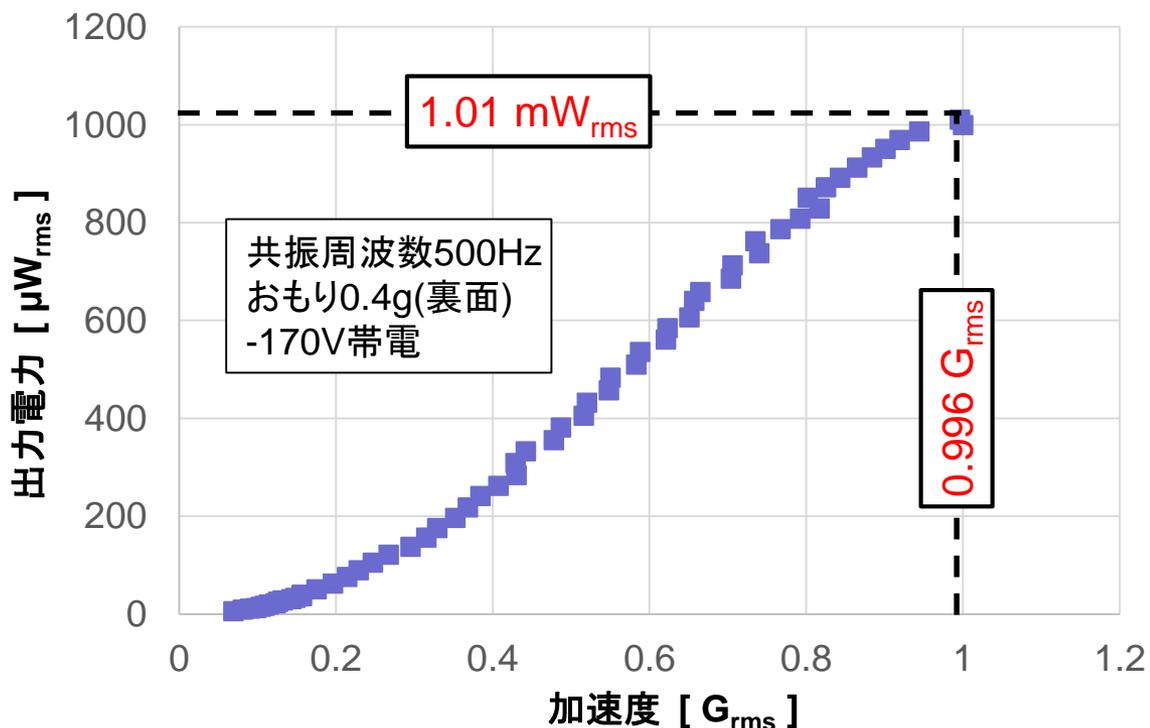
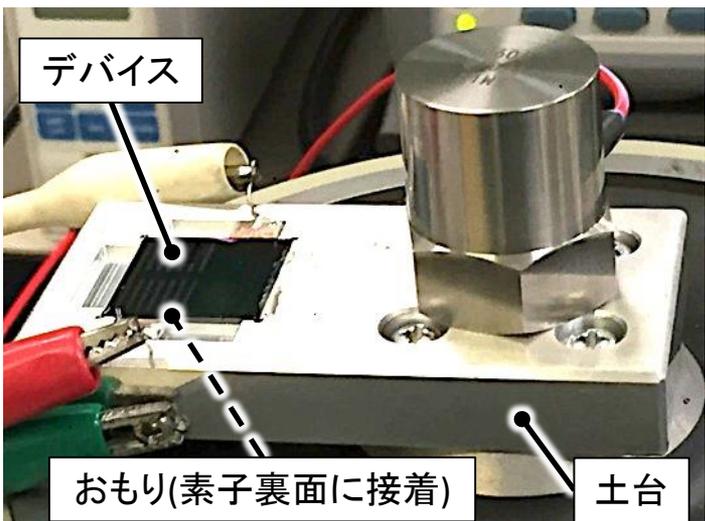
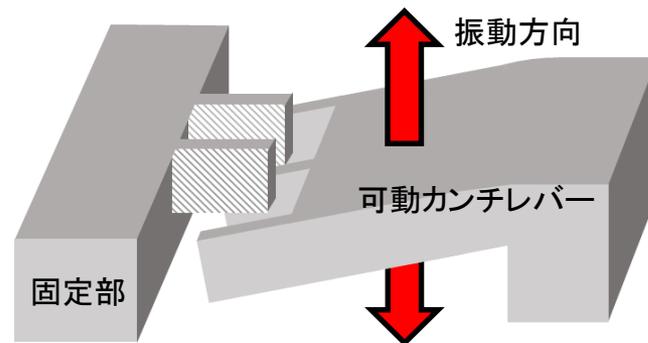
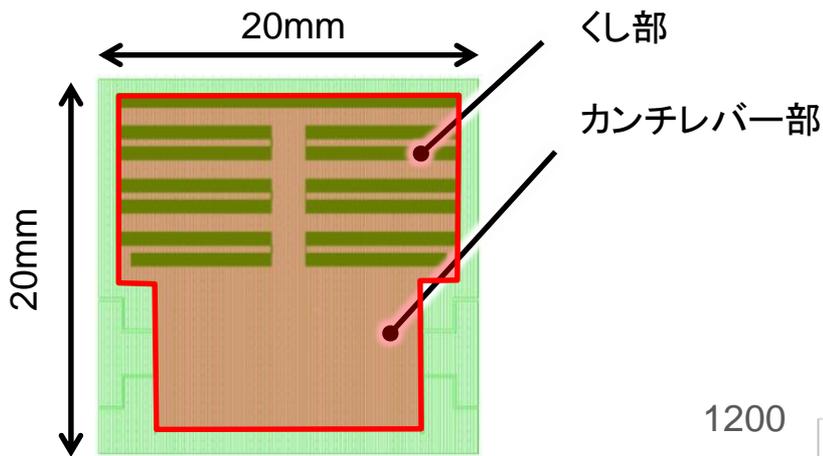
① MEMS加工後のシリコン熱酸化膜に不純物ドーピング (980℃)



MEMS加工より後工程なので、プロセス汚染の心配はない

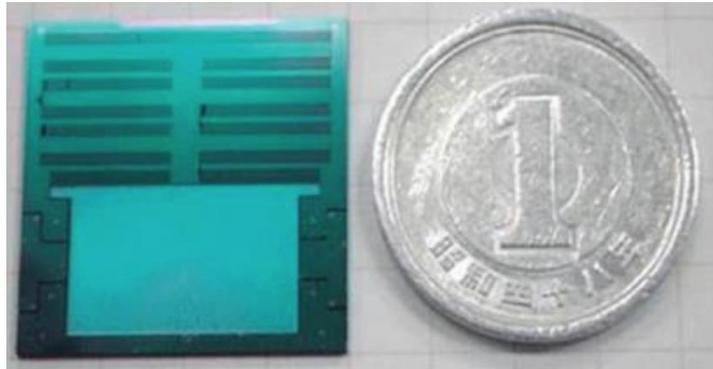
これまでの成果： 振動発電1mWの達成

目標 **1 mW** を達成



成果：プレス発表

コインサイズで1mW発電



〈コインサイズエネルギーハーベスタ〉

日経エレクトロニクス 2017年2月号

Hot News

一元玉大で1mW振動発電、液体使う新原理で10mWも

エレクトレットとMEMSで実現、広い周波数振動を変換

三宅 晋之 2017/01/19 00:00 1/3ページ

出典：日経エレクトロニクス、2017年2月号、pp.20-21（記事は執筆時の情報に基づいており、現在では異なる場合があります。）

この記事どう？

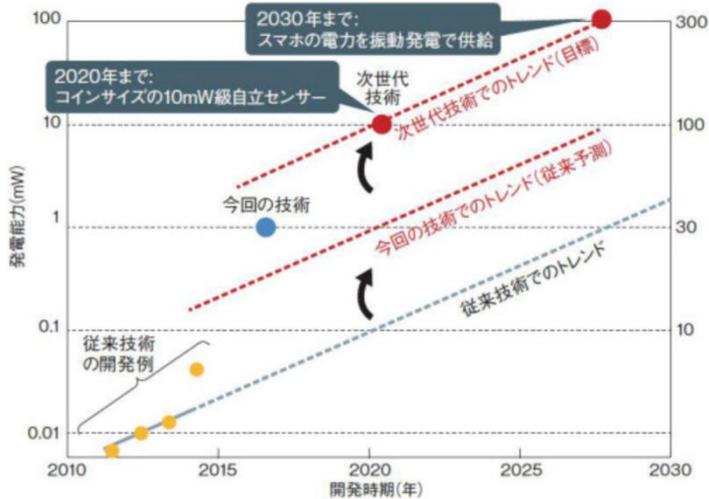
- 読みになつた
- 仕事に役立つ
- 知っておくべき
- 資料請求
- 投票する
- コメント投稿

一元玉ほどの大きさで、身近にある振動から、従来よりも1桁大きな1mWの電力を発生する。このような振動発電デバイスで、空調・冷熱分野の制御機器などを手掛ける富士製作所、東京大学、静岡大学が共同開発した。内蔵する0.4gの重りに周波数500Hz、加速度0.996Grmsの振動を加え、1.01mWrmsを発電することを確認した（図1）。2018年の実地試験、2020年の量産化を目標にする。

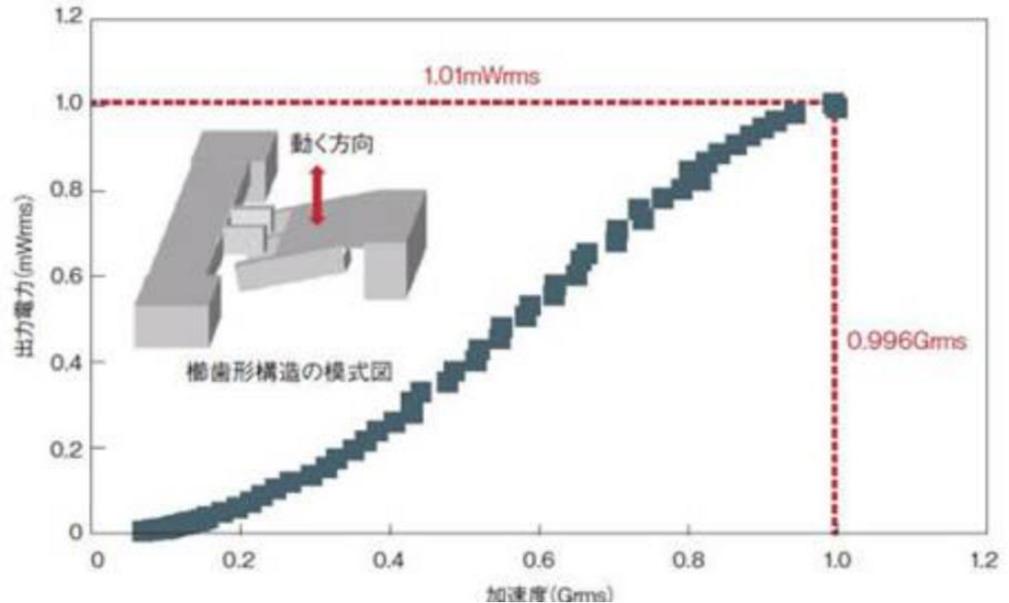
おすすめ情報

- 【テクノロジーオンラインお読み記事】
新型材料を支えるパワエリ建設、インフラ業界にAI融合 AIで道路メンテナンスの効率化 AI実用導入で変わるクラウド業界 便利な有料会員サービスの使い方
- 【読者のイベント】
テクノロジー-NEXT 2017
[6/14] Amazon大賞
[6/17] 読者大会の未来
[6/18] 「クルマAI」業界共創
[6/19] Construction-建設iCT
[6/19] LIDAR革命

「一元玉大で1mW振動発電、液体使う新原理で10mWも～エレクトレットとMEMSで実現、広い周波数振動を変換～」 日経エレクトロニクス、2017年2月号（1月20日発行）、pp. 20-21



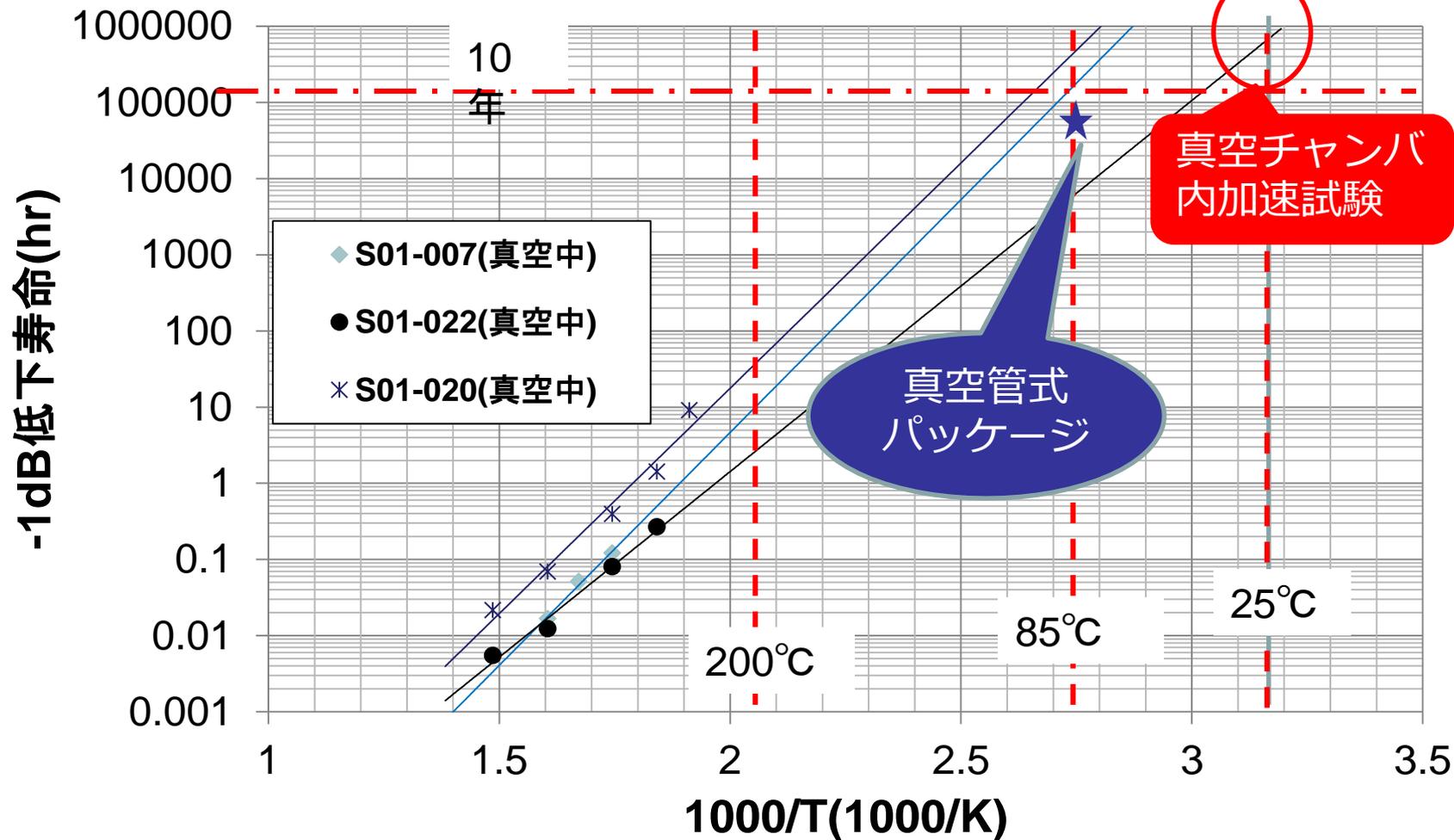
〈発電量推移〉



振動発電素子の信頼性向上

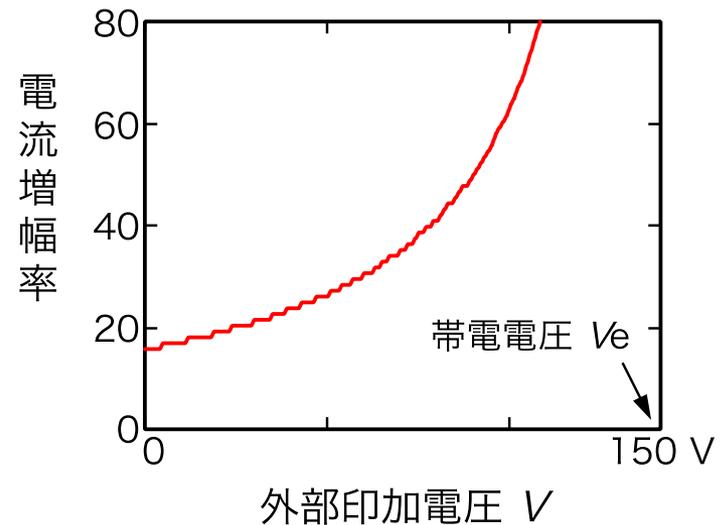
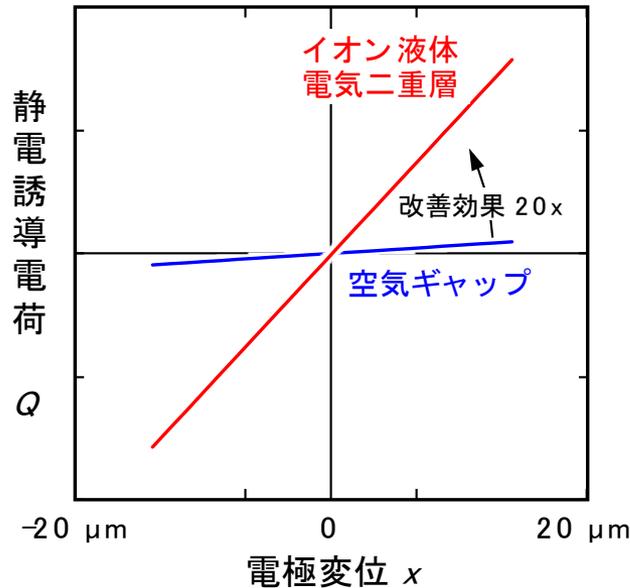
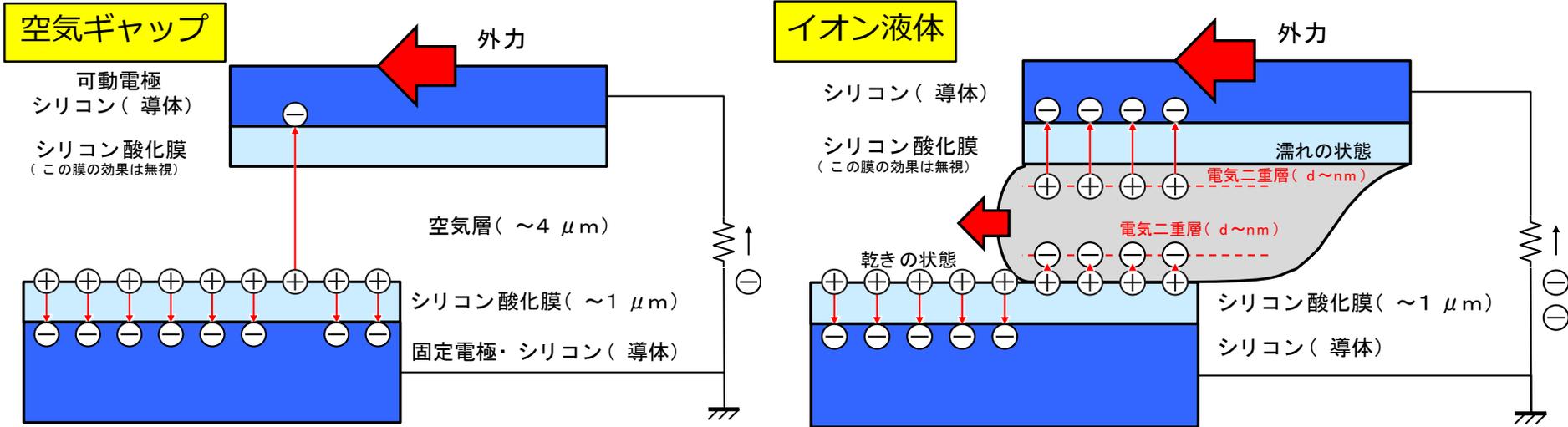
- 特性が-1dB劣化する時間を高温加速試験
- 85℃でも10年以上の寿命を予測

寿命 > 10年以上



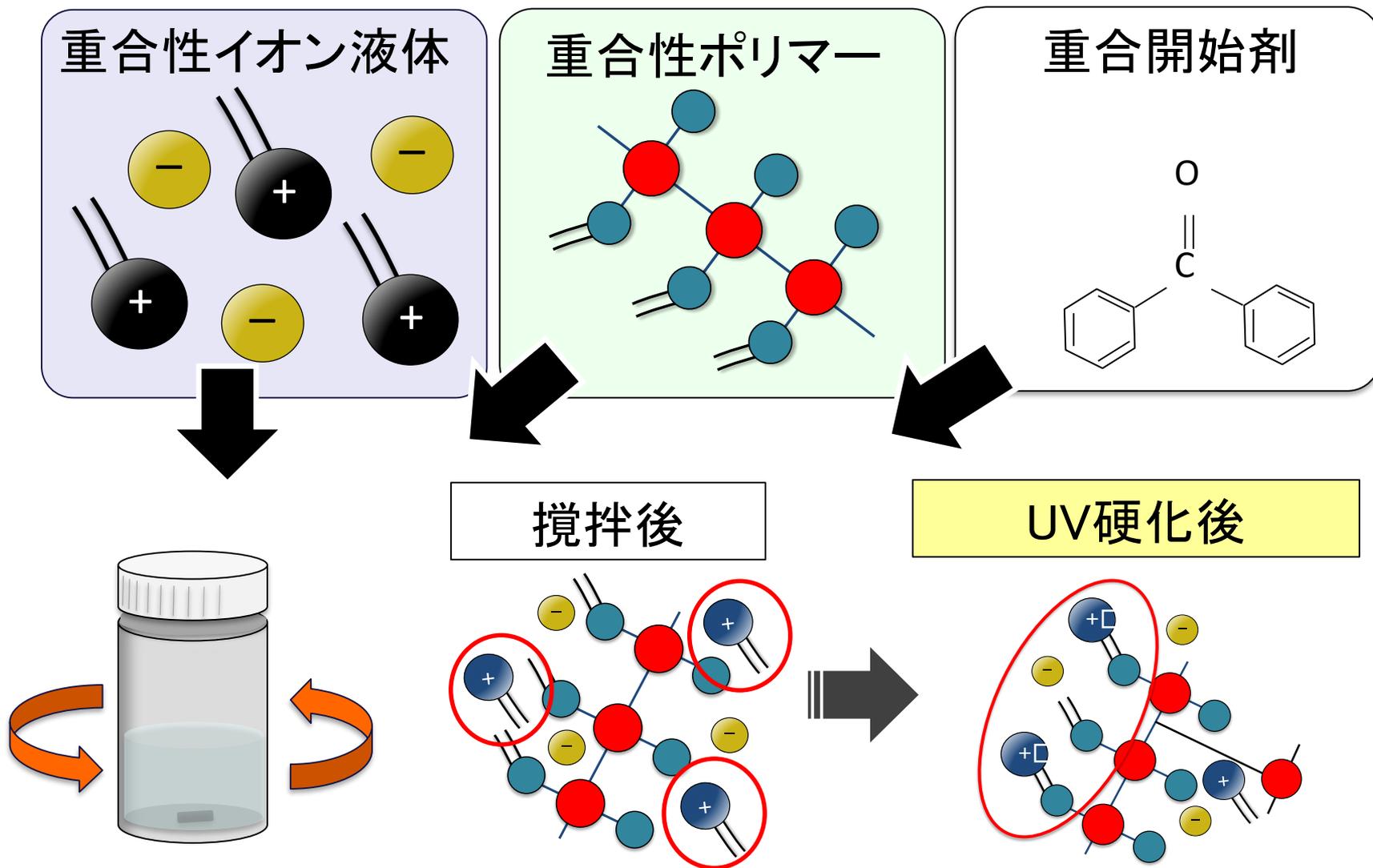
独自技術 イオン液体大容量キャパシタ

低出力インピーダンス化のため極薄 ($\sim \text{nm}$) の電気二重層キャパシタで結合

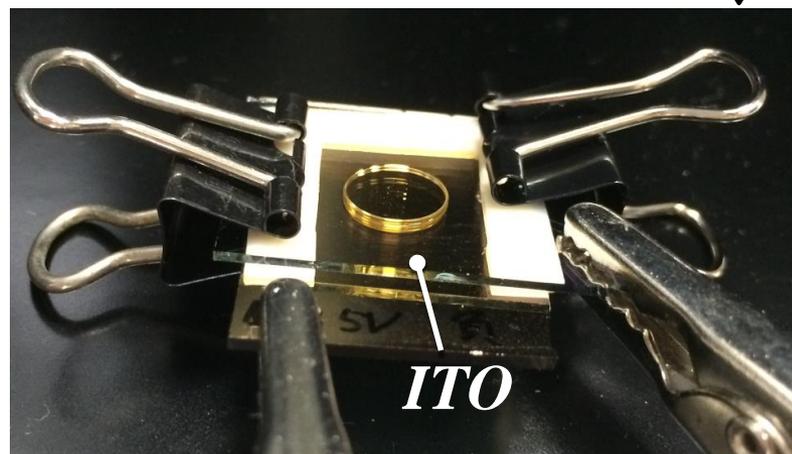
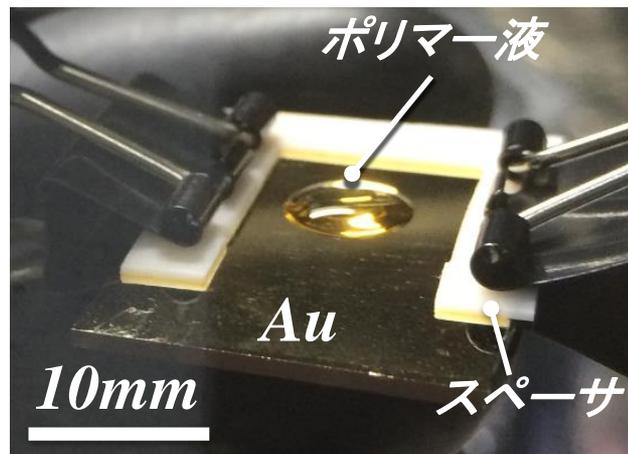
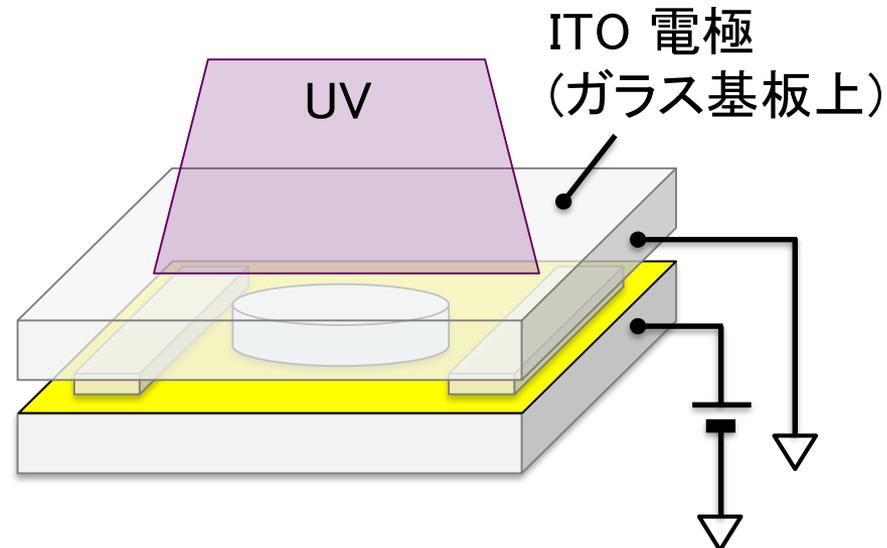
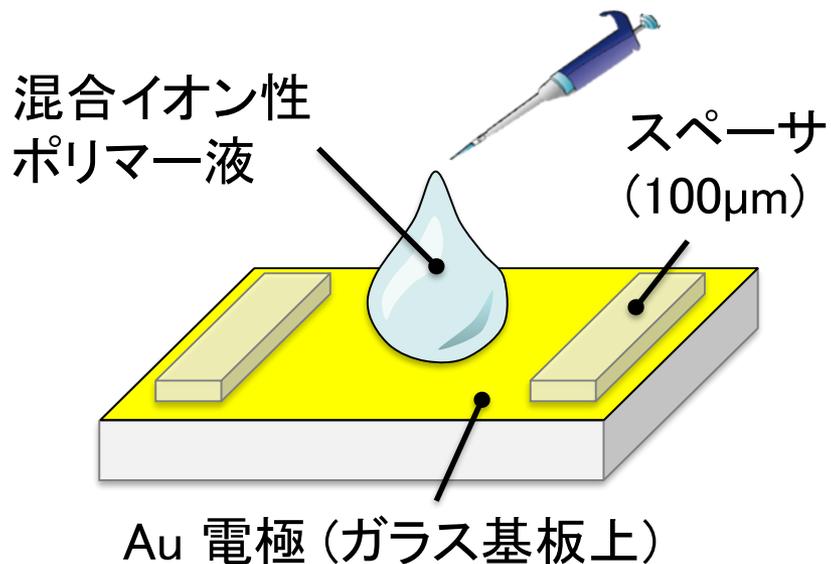


イオン液体のゲル化手法の開発

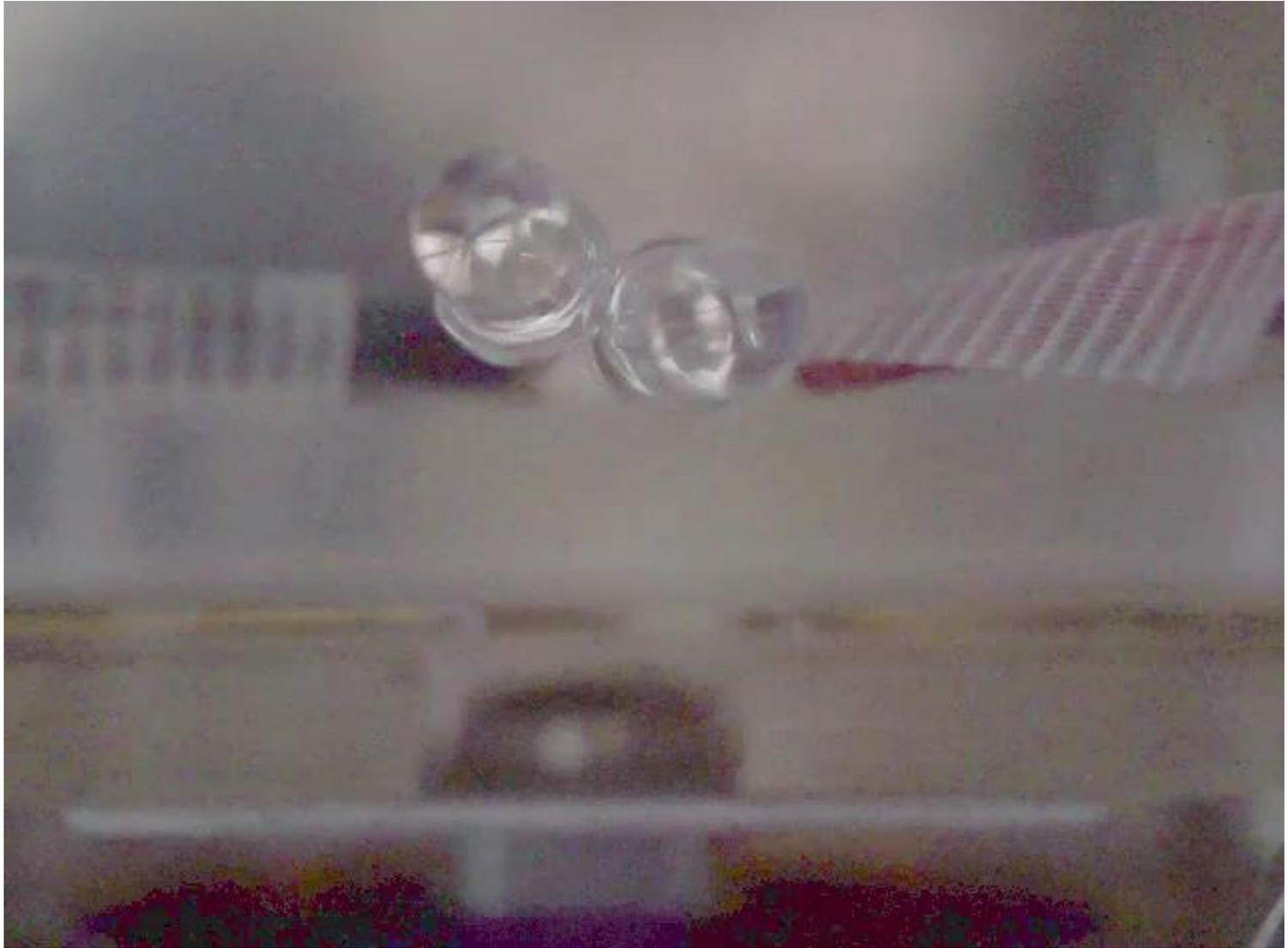
① 材料混合・攪拌



② 滴下・UV硬化工程

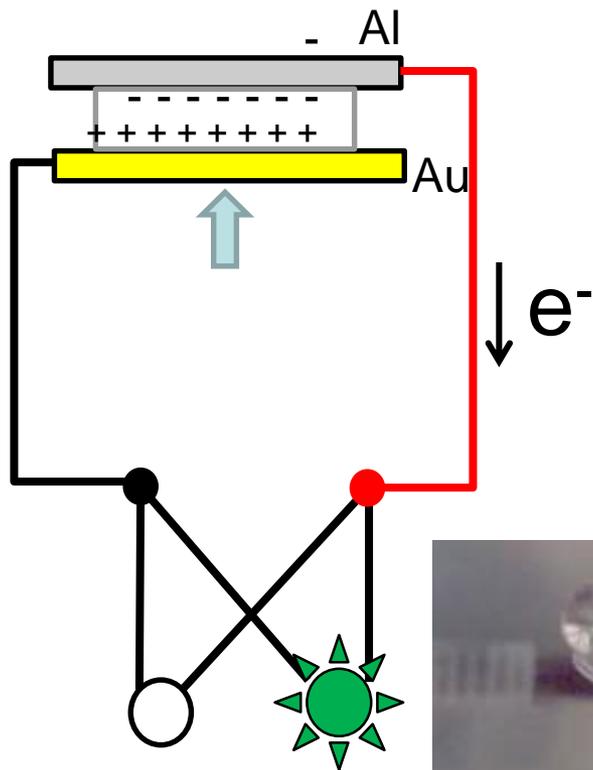


ゲル化イオン液体による発電

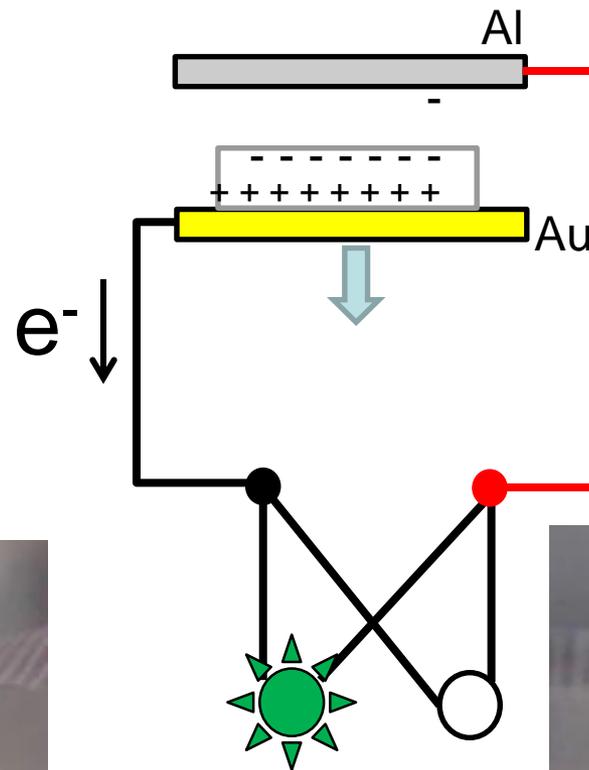


ゲル化イオン液体による発電

アニオン面が上向き
押し付ける時

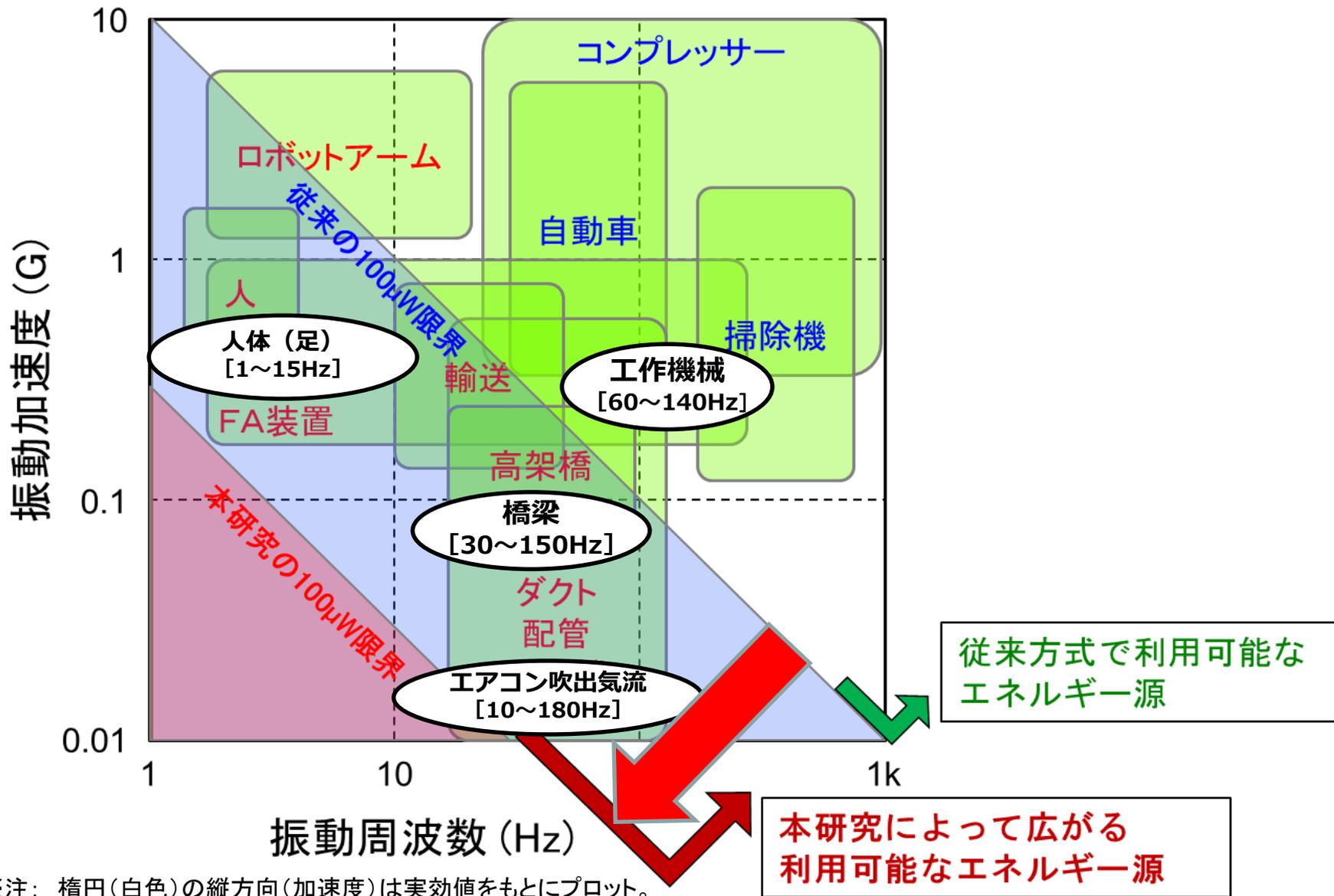


アニオン面が上向き
離れる時



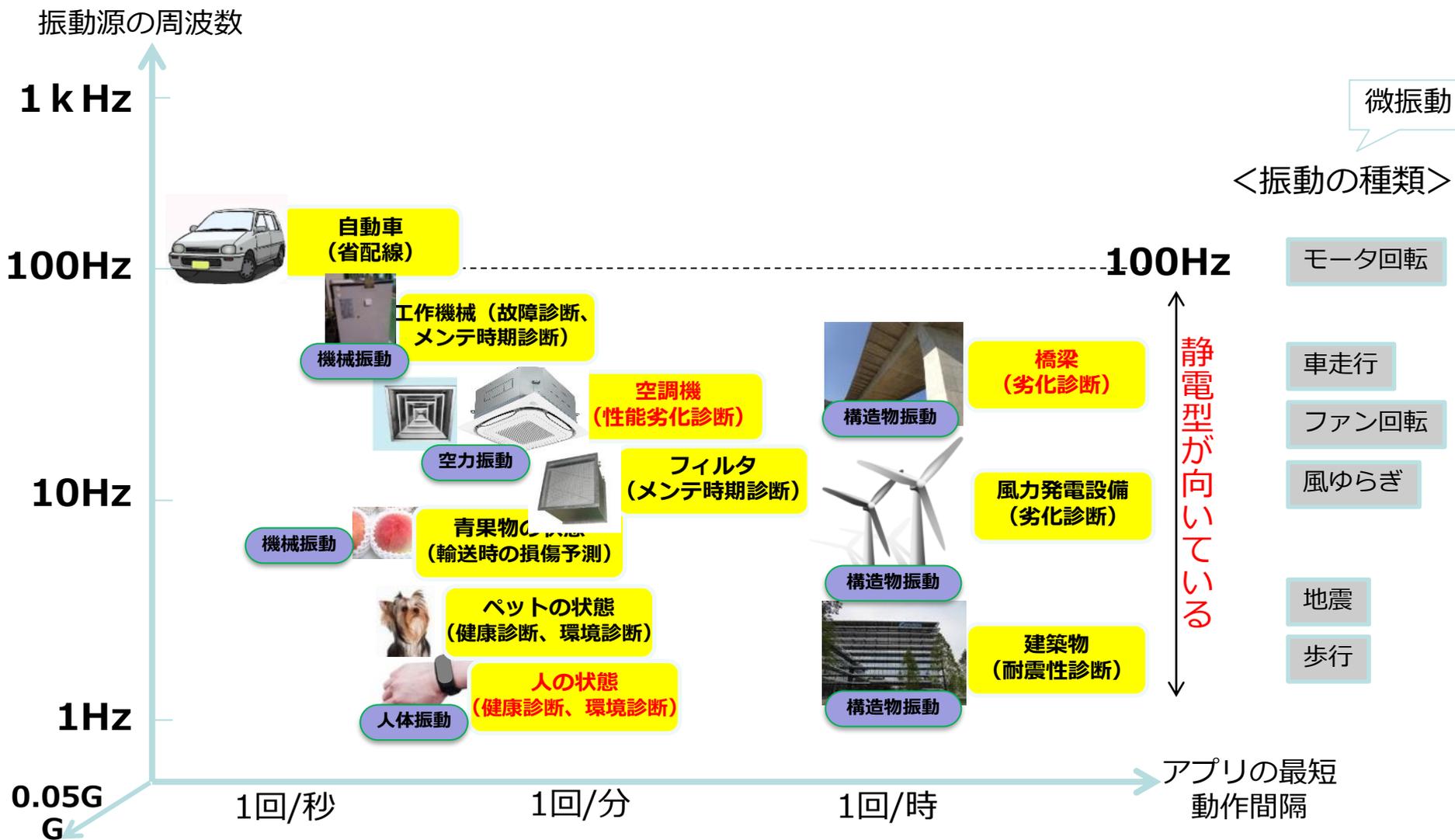
振動発電の高効率化メリット

【目標】・従来は活用できなかった微振動を、発電デバイスの振動源とする



振動モニタリングのアプリ抽出

- 【目標】
- ・ **従来は活用できなかった微振動**を対象に、アプリケーションを抽出。
(圧電型と比較して、**小型で低加速度・低周波数**でも発電できる静電型の特性を活かす)
 - ・ **安心・安全・省エネ・健康**社会を実現する新しいアプリケーションを抽出する (現状案：下図)



本格研究への展開

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

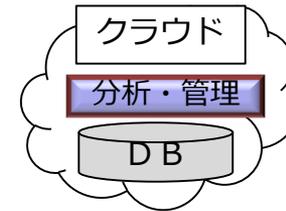
動的センシング制御

低電力無線通信

自立電源 (振動発電)

①-(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)

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

稼働状況

保守状況

工程品質

仕掛状態

⋮

学習
支援

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

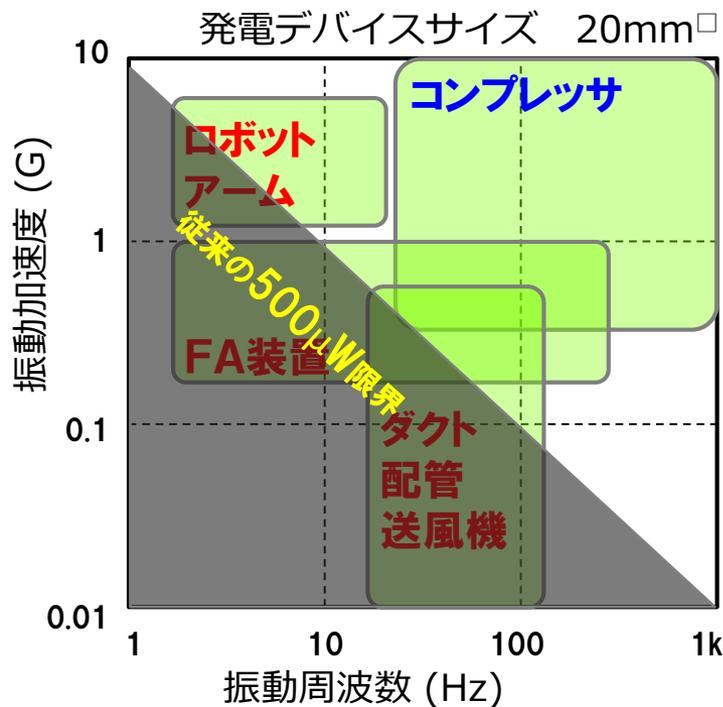
①-(1)学習型スマート
コンセントレータの開発
(日立製作所)



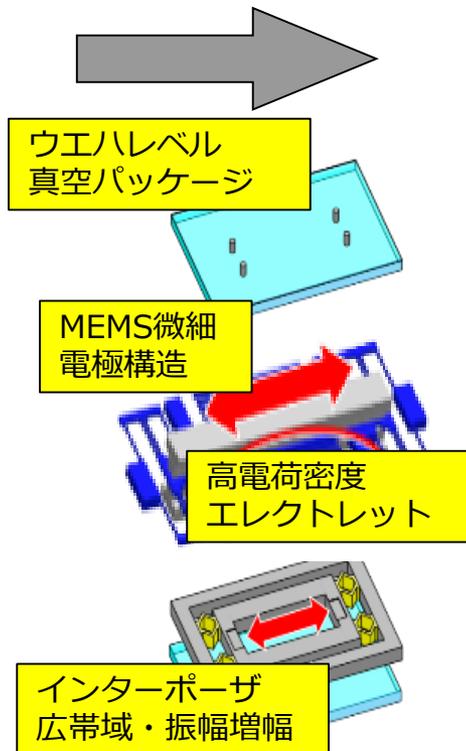
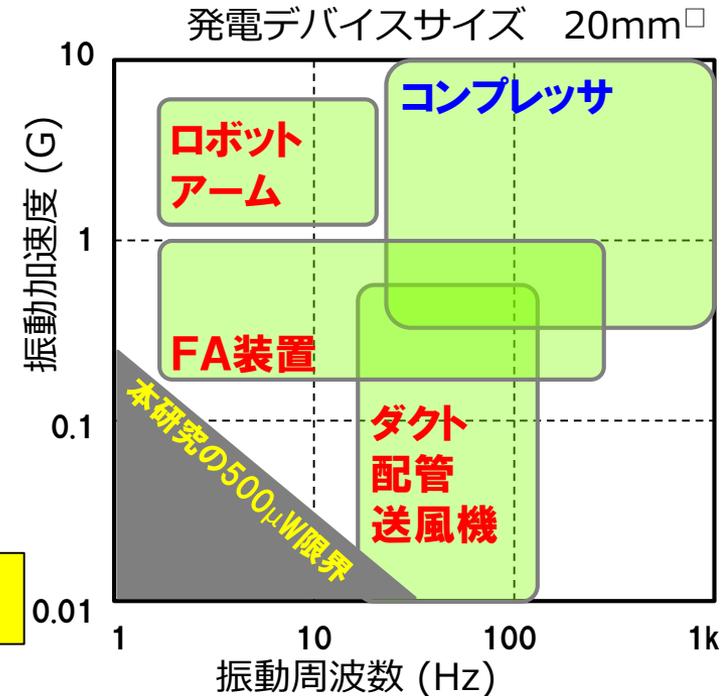
本格研究での振動発電の取り組み

産業用途において、モーターやコンプレッサ等の振動環境において、振動発電デバイスの機械から電気へのエネルギー変換効率を飛躍的に高め、**従来活用**できていなかった低周波数、低加速度の振動環境でも使える自立電源を実現する。

〔従来〕



〔本テーマ〕



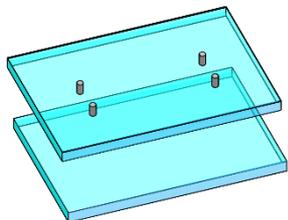
従来利用できなかった領域で発電が可能

本格研究の開発内容

- 高イオン電荷密度エレクトレット、微細電極構造
- インターポーザ、ウエハレベル真空パッケージ

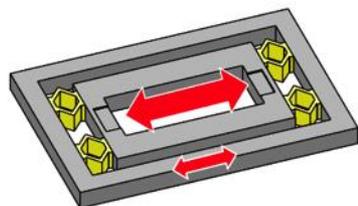
- 高い発電効率
- 広帯域、安価

ウエハレベル真空パッケージ

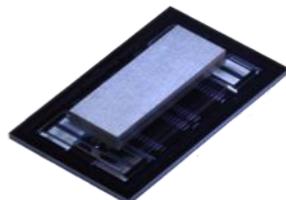


製造原価低減

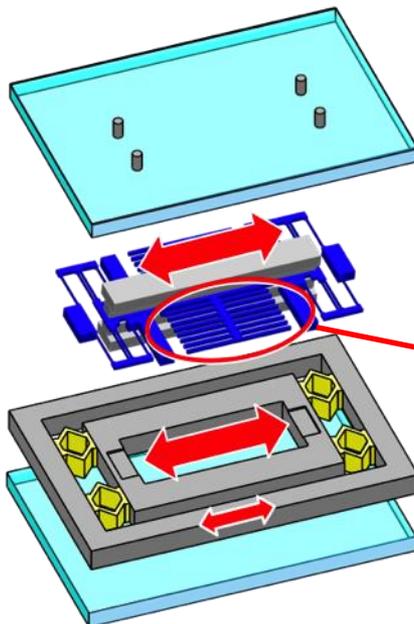
インターポーザ広帯域・振幅増幅



利用可能周波数
帯域 1.5倍

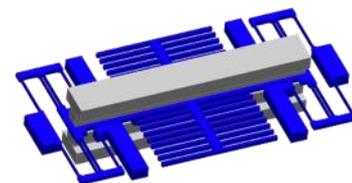


振動発電素子



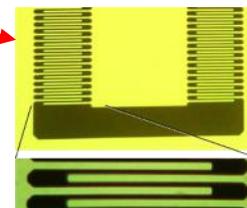
〔振動発電素子構造図〕

高イオン電荷密度エレクトレット



帯電電圧400V
→ 出力1.5倍
スループット向上

MEMS微細電極構造



電極間距離1/5
出力 1.5倍

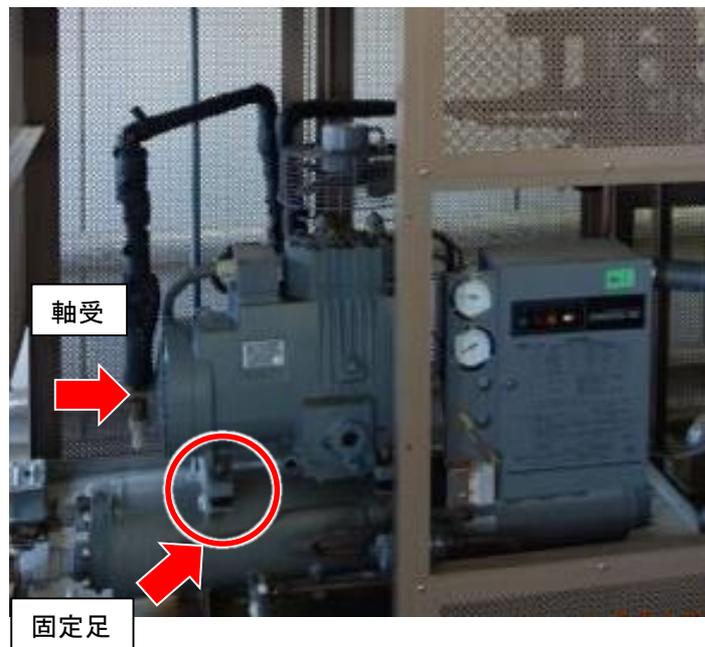
産業機器の振動評価

産業用コンプレッサ等の微弱な振動から500 μ Wの発電を目指してデバイス開発を行います。

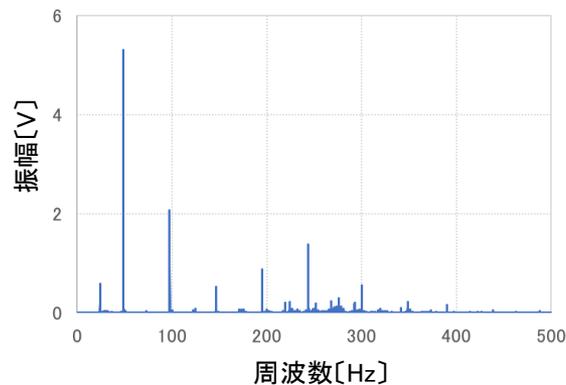
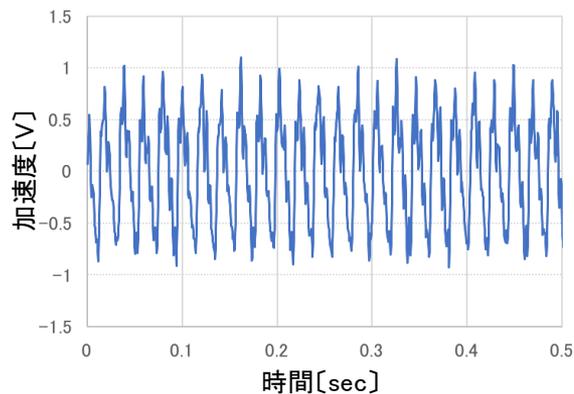
【産業用コンプレッサの振動例】

固定足(水平)

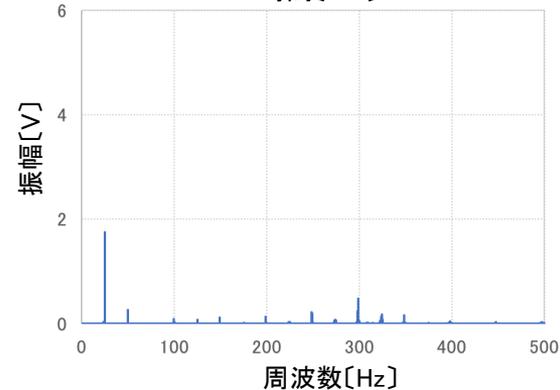
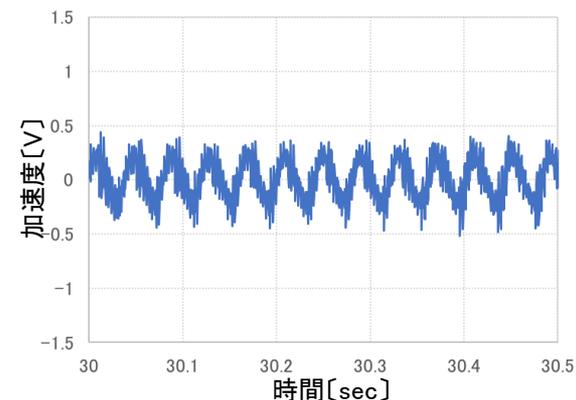
軸受(垂直)



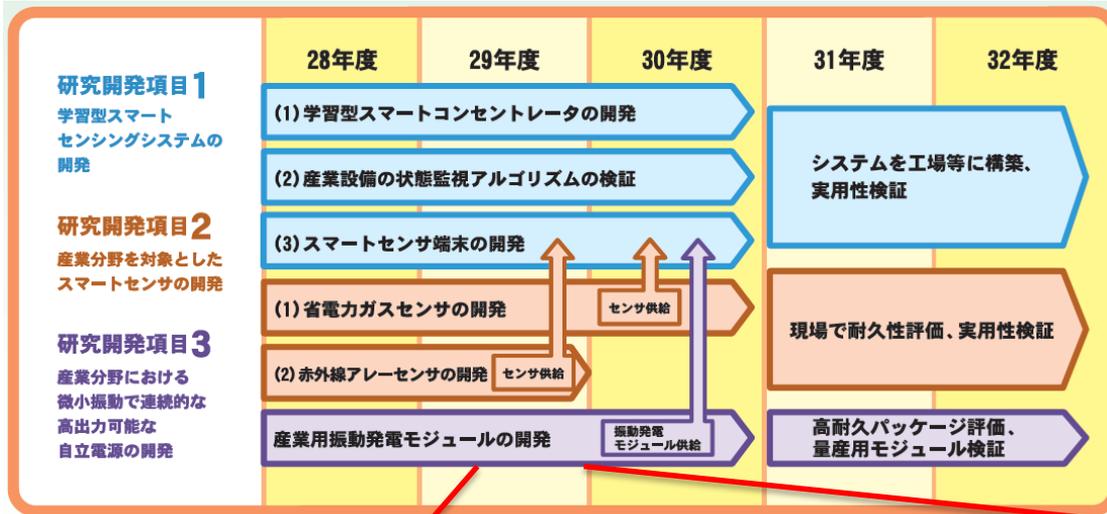
固定足(水平) = 0.5 G_{RMS}



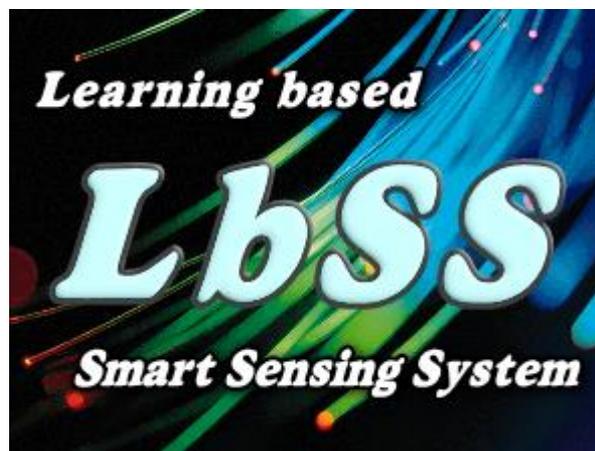
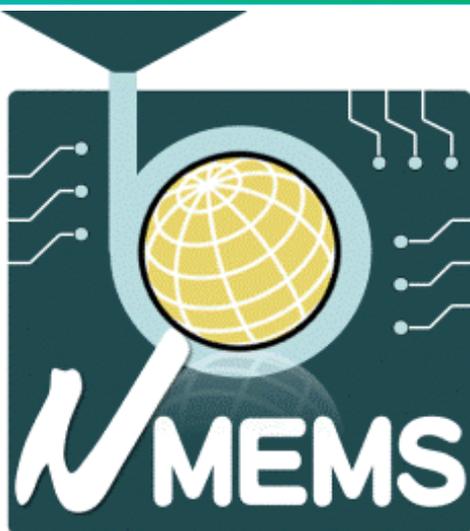
軸受(垂直) = 0.17G_{RMS}



今後の計画



開発項目	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実証用デバイスの設計・製作・評価(含エレクトレット, 回路)	試作品 製作・評価①		試作品詳細設計		試作品 製作②・評価	
広帯域・極低周波対応技術の試作・製作・評価	試作品 作製・評価①			試作品 作製・評価②		
量産化プロセス調査・検証	各プロセス調査			技術調査・解決策立案		



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。

**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「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」
により得られたものです。**

**ヒアリングで貴重なご意見・ご指導をいただきました、石油コンビナート企業
加工・組立企業、さらにユーザヒアリングをご支援頂いた経済産業省、
石油コンビナート高度統合運営技術研究組合
の皆さまに深く感謝申し上げます。**