

「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」

# ライフラインコアモニタリング プロジェクト最終成果報告会

～ライフライン系都市インフラへの  
自立電源無線モニタリングシステムの活用～

コアモニタリング研究体  
研究体長 伊藤 寿浩  
東京大学新領域創成科学研究科教授  
(国立研究開発法人 産業技術総合研究所)

2018年10月18日

成果展示ブース: 7-E(ホール7)

## ■ 本研究開発の目的、概要

- ・従来の熱供給ポンプにおける保守メンテナンスの課題
- ・本システムの用途とユーザメリット
- ・技術開発課題、開発項目、目標とする端末

## ■ 最終目標、開発成果、波及効果・今後の展開

- ・振動センシング・MEMS発電デバイス(～100Hz振動発電)の開発
- ・発電デバイスの8インチウエハプロセス・パッケージ技術の開発
- ・ペットボトルキャップサイズ(P型)のセンサ端末の開発
- ・920MHzマルチホップネットワークシステムの開発
- ・異常検知・劣化診断システムの開発

## ■ まとめ

# 本研究開発の目的

■**都市インフラ(ライフライン)**は、経験にもとづく目視・聴音点検が主体であり、近年各種の遠隔管理システムが進化しているとはいえ、普及については緒に就いたばかり。

■病院、地域エネルギー供給施設等のインフラはその公共性も高く、その中核となる発電機、**ボイラ、ポンプ等の回転機器をコア**としたシステムの保全が都市機能の安定化・安全化に重要な役割を担う。

■本研究開発では、ライフラインのコア設備の早期異常検知、健全性確保が行える、低コストの常時モニタリングシステムの開発を目的とする。

# 本研究開発の概要

ライフライン(熱供給)のポンプを対象とした振動監視の無線化により、有線方式での制約(配線・センサ取付工事)を無くし、異常振動固有の周波数情報だけを収集するP型(ペットボトルキャップサイズ)端末により、複雑かつ膨大なログ解析を必要とせず、異常検知・メンテナンス時期予測が行えるモニタリングシステムを開発

地域医療支援病院(約500施設)



クラウド型モニタリングシステム



- ◆都市インフラの  
コアモニタリング
- ・広域エリアでの監視
- ・情報の一元管理

地域冷暖房施設(国内約140ヶ所)

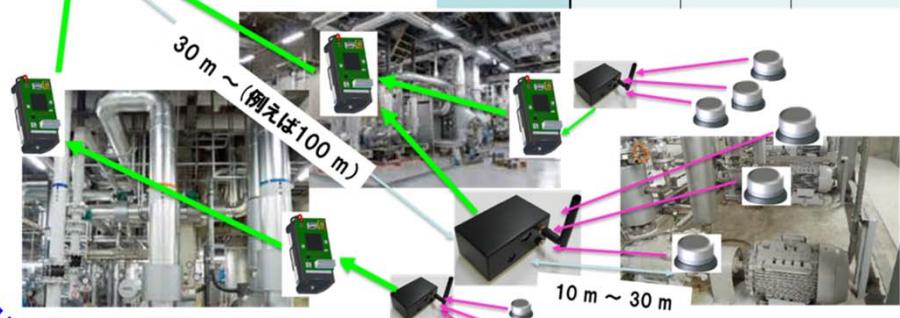
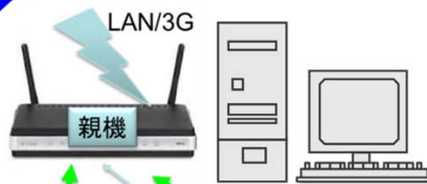


監視室での  
遠隔監視

ポンプモニタリング  
システムの開発

ポンプ異常原因の特定  
フォルトディクショナリーの構築

異常原因	原因 1	原因 2	原因 2	原因 3
異常診断 サーミスタ温度T	-	F	N	-
鹿威し間隔 $\Delta t$	F	F	F	F
1kHz振動 パルスカウント	N	N	N	F
2kHz振動 パルスカウント	2UP	N	F	N
...				



コアモニタリング研究体

# 従来の保守メンテナンスの課題

## 【保守メンテナンス】

従来の劣化診断は定期巡回において、保守員の経験と勘に頼っているのが現状で異常を発見した時には、既に遅く被害が甚大となっている場合が多い。

### ■回転機器全般

- ・定期巡回による目視、異常音・温度上昇の確認、電流値の検針
- ・スポットにて簡易振動計による振動測定



サーモカメラ



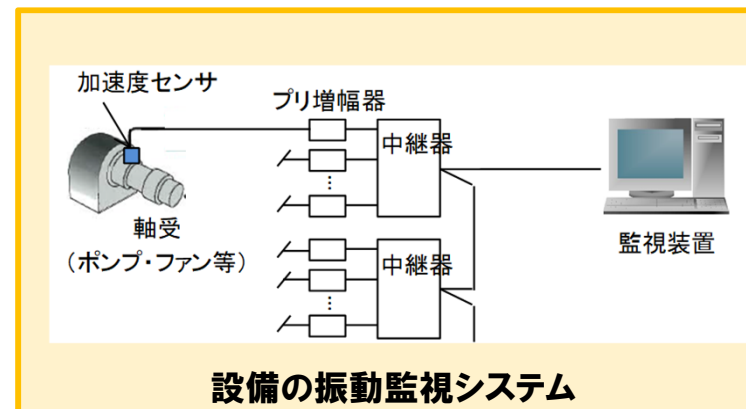
ペン型振動計



電流値の検針

## 【診断システム】

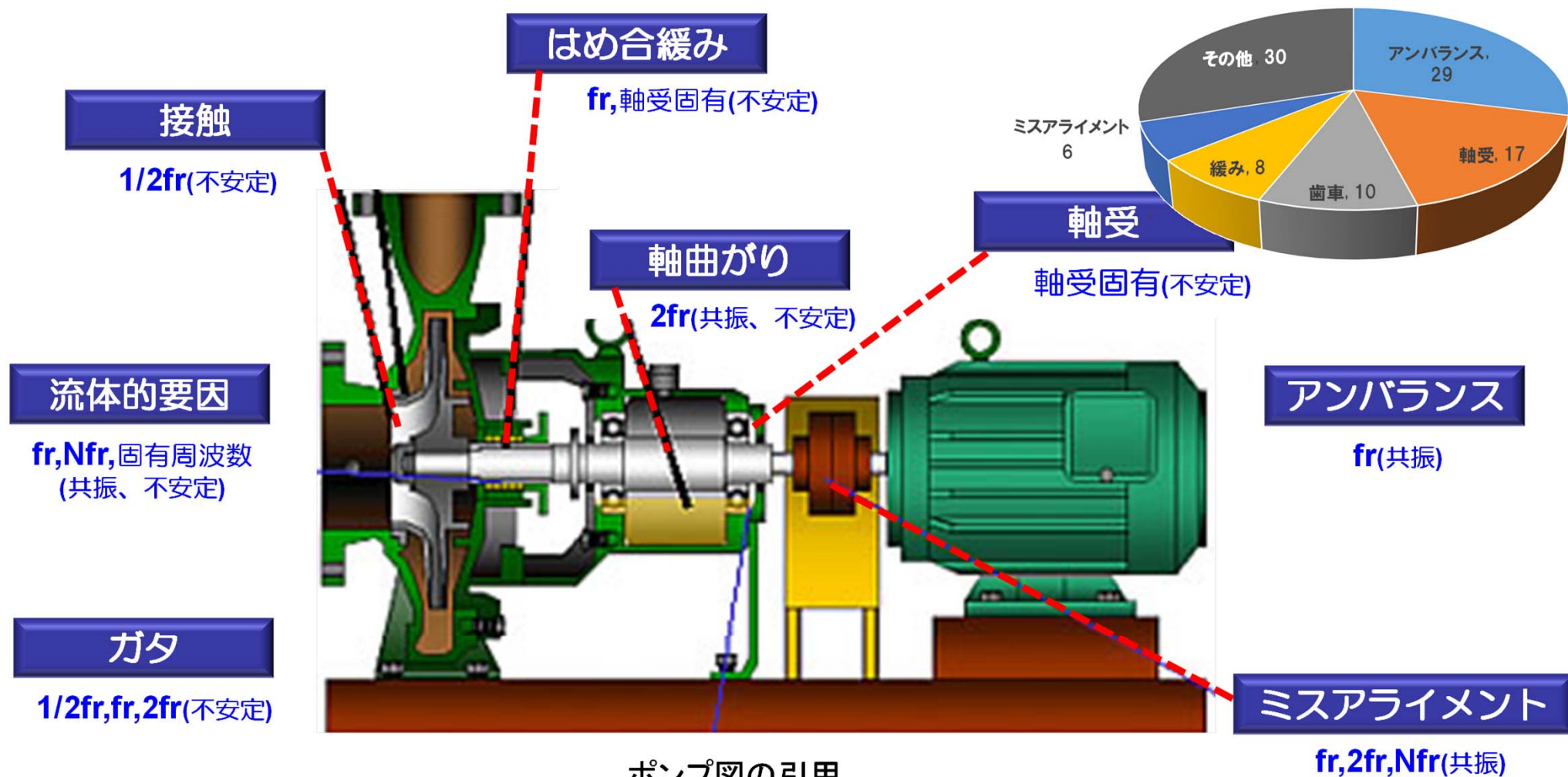
センサ端末や設置工事に費用がかかると共に、建物に合わせたシステムの構築が必要となるため、投資費用が高くなり普及が進んでいない。



# ポンプの異常監視に関する現場の声

多々ある異常振動から、先ずは不具合の有無を検知したい

富士時報 Vol.74 No.4 2001



ポンプ図の引用

[http://www.idemitsu.co.jp/eng/product/solution/solution\\_11/pump\\_1.html](http://www.idemitsu.co.jp/eng/product/solution/solution_11/pump_1.html)

fr:回転周波数

# 本システムの用途とユーザーメリット

## 【コア(=ポンプ群)モニタリングシステムの用途】

### ①定常監視

- ✓ 経年劣化・異常の検知
- ✓ ポンプ個体差の傾向管理

### ②非定常監視

- ✓ 地震にてシャットダウン時からの施設エリア毎、配管系統毎の状態監視、復旧可否の高確度判断
- ✓ 定期修理後の修理不良の発見



## 【ユーザー機関のメリット】

- 設備の稼働率向上・・・バックアップ機器が不要になる
- 保全費用の削減・・・軸受の保全間隔が、メーカー推奨間隔(3年ごと)から軸受寿命(3~40,000稼働時間)に延長可能

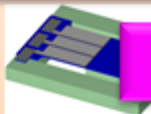
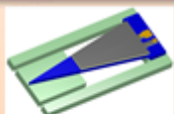
- 有線の(モニタリング)システム: 敷設コストを含め100点程度のモニタリングシステムで1000~2000万円  
→普及のためには一桁安価にする必要あり
- 無線システムの課題
  - ✓ (敷設コストは低いが)有線と同じデータ通信容量・品質は得られない。品質を上げようとするれば、無線センサ端末の消費電力の増加/サイズ増大/高コスト化を招く、端末の自立電源が困難になり、電池交換等の(端末の)メンテナンスコストが増大
  - ✓ 端末に供給される電力量が限られるため、取得データ量も(著しく)制限される

- ◆ 限られたデータ量で状態モニタリングを可能にする技術
- ◆ 限られた発電量で自立動作する低コスト端末
- ◆ 低コスト・低消費電力の高信頼性無線通信システム  
などを開発する必要



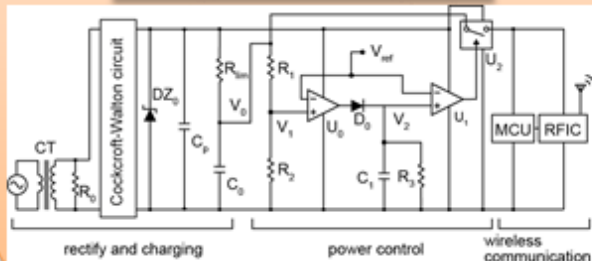
# 研究開発項目

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



産総研

鹿威しセンシング方式



地域医療支援病院、都市熱供給プラント等

マイクロマシンセンター

ウェハレベル集積化プロセス

センサ端末  
の開発

明星電気

超小型センサ端末 (振動発電駆動)



高砂熱学工業

モニタリングシステム  
の開発  
と実証システム  
構築・実験

ペットボトル  
キャップサイズ

無線中継機

低消費電力  
マルチホップ  
無線ネット  
ワークの開発

無線親機

沖電気工業

クラウド

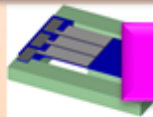
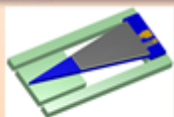
回線

データ収集  
装置

構造的に複雑な環境下で通信の信頼性確保

# 研究開発項目

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



産総研

鹿威しセンシング方式

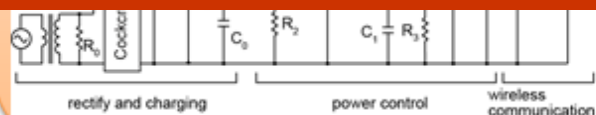
地域医療支援病院、都市熱供給プラント等

マイクロマシンセンター

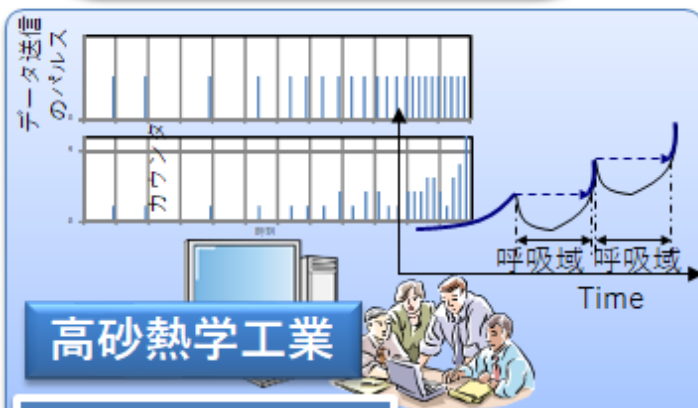
ウェハレベル集積化プロセス

(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(2) コアモニタリング用AIN圧電デバイスのウエハレベルパッケージ技術の開発(マイクロマシンセンター)



(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)



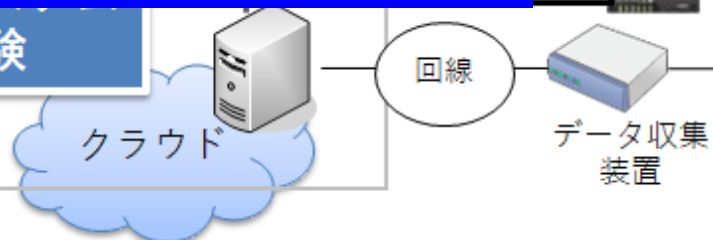
ペットボトル  
キャップサイズ

低消費電力  
マルチホップ  
無線ネットワーク


(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)

(5) コアモニタリングシステムの開発と実証(高砂熱学工業)

構築・実験

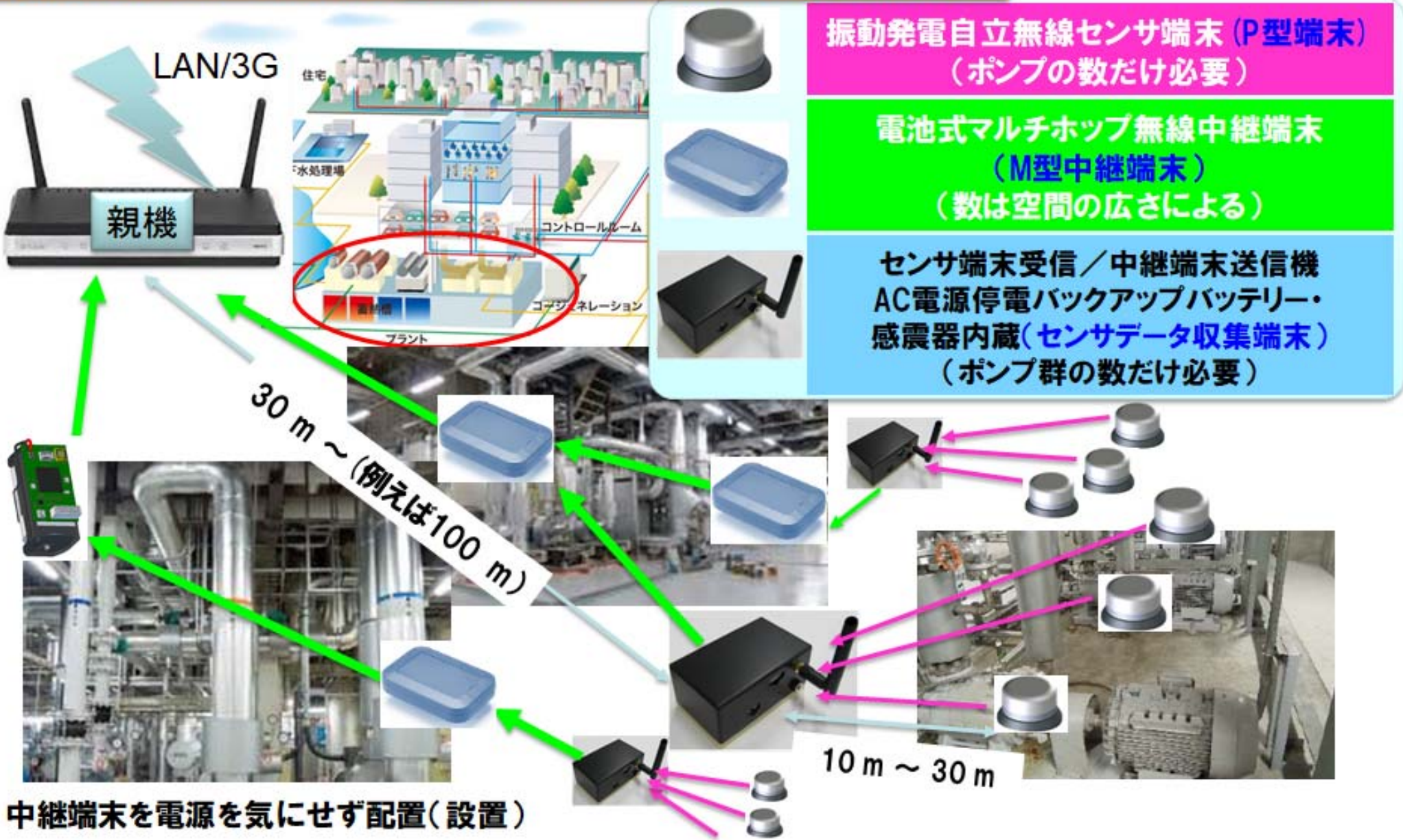


# 目標とする端末

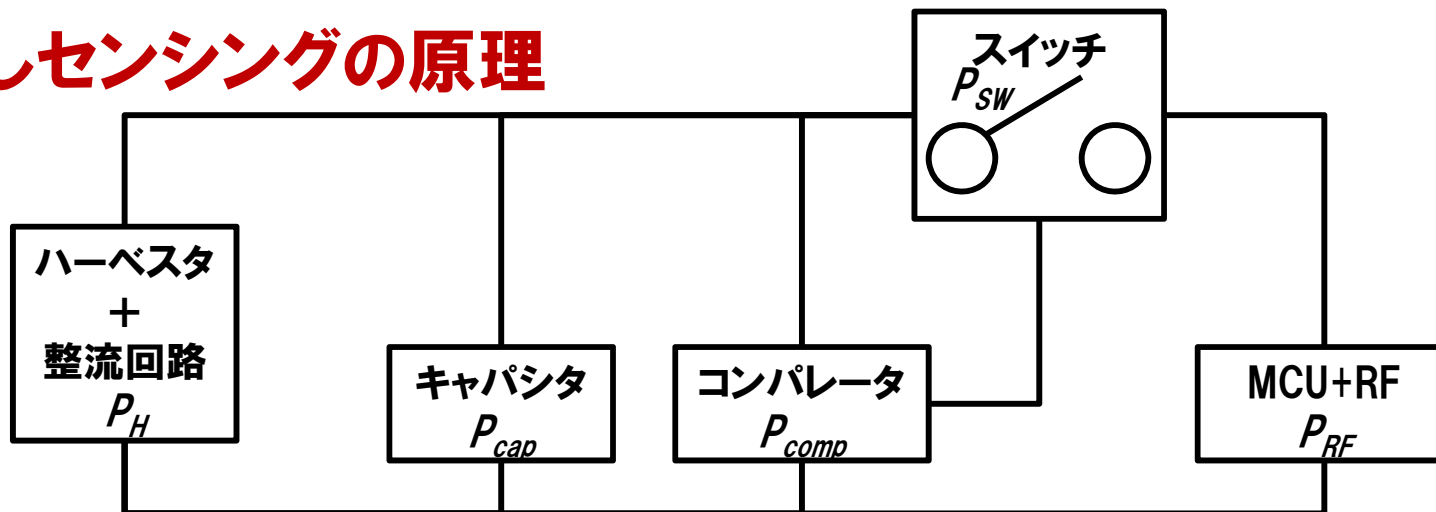
基本計画端末仕様	研究終了時の端末(P型)
振動または変位 + 温度計測機能	圧電発電型振動センサ + 半導体温度センサ
1回/時以上の無線通信	10分に1回程度の非同期送信可 (鹿威し方式)
自立電源動作	センサの振動発電のみで動作(端末消費電力:5 $\mu$ W以下)
地震等の突発事象検出	データ収集端末に搭載(震度4相当の地震で動作)
サイズ:概ね7cmx10cmx5cm以下	ペットボトルキャップサイズ 
無線通信:免許不要、通信距離30 m以上	920MHz特定小電力, 直接30m以上通信できる箇所に適用
信頼性:10年以上	実環境下で10年以上

# 無線センサネットワークシステム

柔軟なルーティングが可能なマルチホップ中継端末と片方向通信  
(低コスト)センサ端末を適切に組み合わせてネットワークを構成

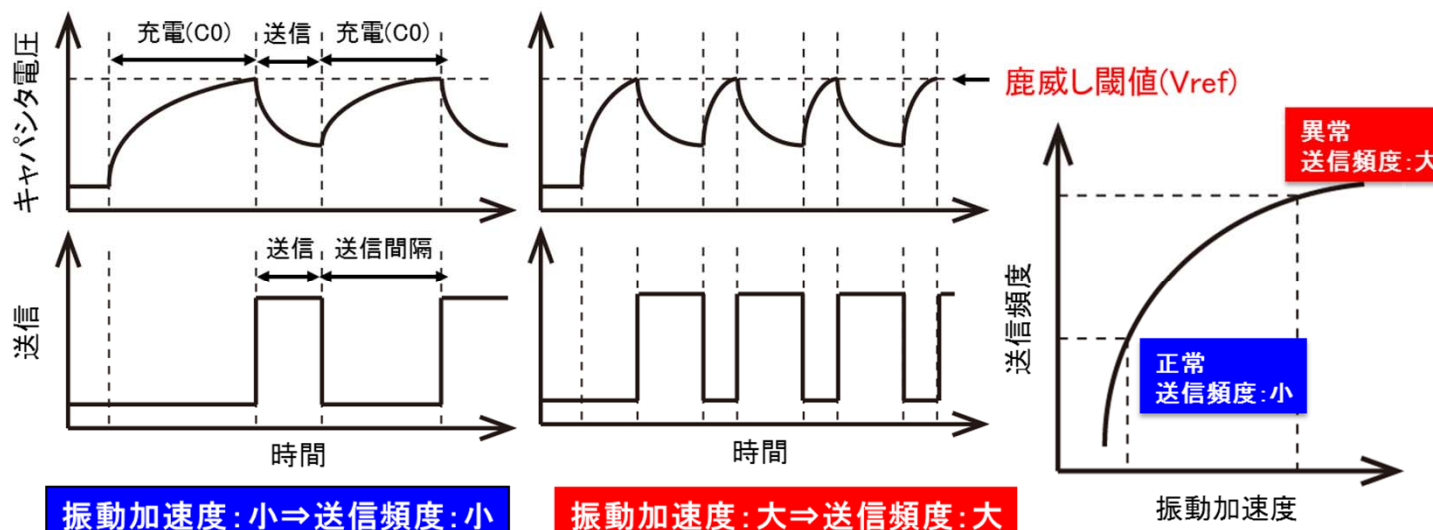


## 鹿威しセンシングの原理



### 動作原理

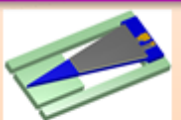
- $P_H > P_{comp} + P_{sw}$  のときキャパシタが充電される
- キャパシタの電圧 > コンパレータの設定電圧でスイッチがON
- キャパシタの電力でMCU+RFが動作して、端末のIDを送信
- 送信がどれくらいの頻度で来てるかで振動状態を判定



# 研究開発項目

地域医療支援病院、都市熱供給プラント等

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



産総研

鹿威しセンシング方式

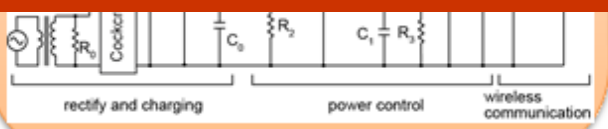
マイクロマシンセンター

ウェハレベル集積化プロセス



(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(2) コアモニタリング用AIN圧電デバイスのウエハレベルパッケージ技術の開発(マイクロマシンセンター)

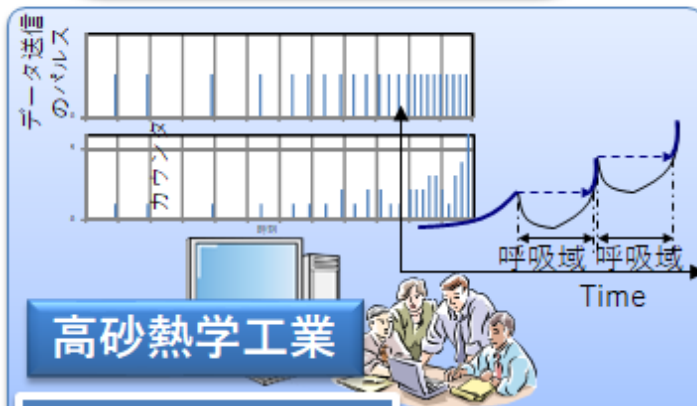


(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)

ペットボトル  
キャップサイズ

低消費電力  
マルチホップ  
無線ネットワーク

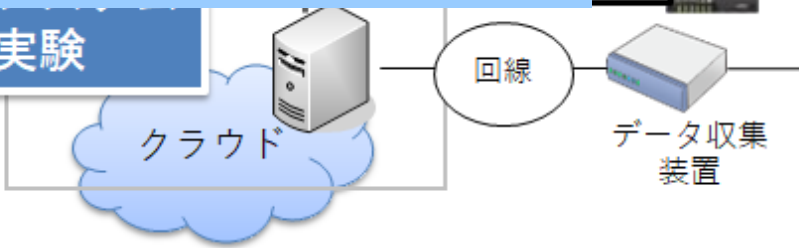
(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)



高砂熱学工業

(5) コアモニタリングシステムの開発と実証(高砂熱学工業)

構築・実験



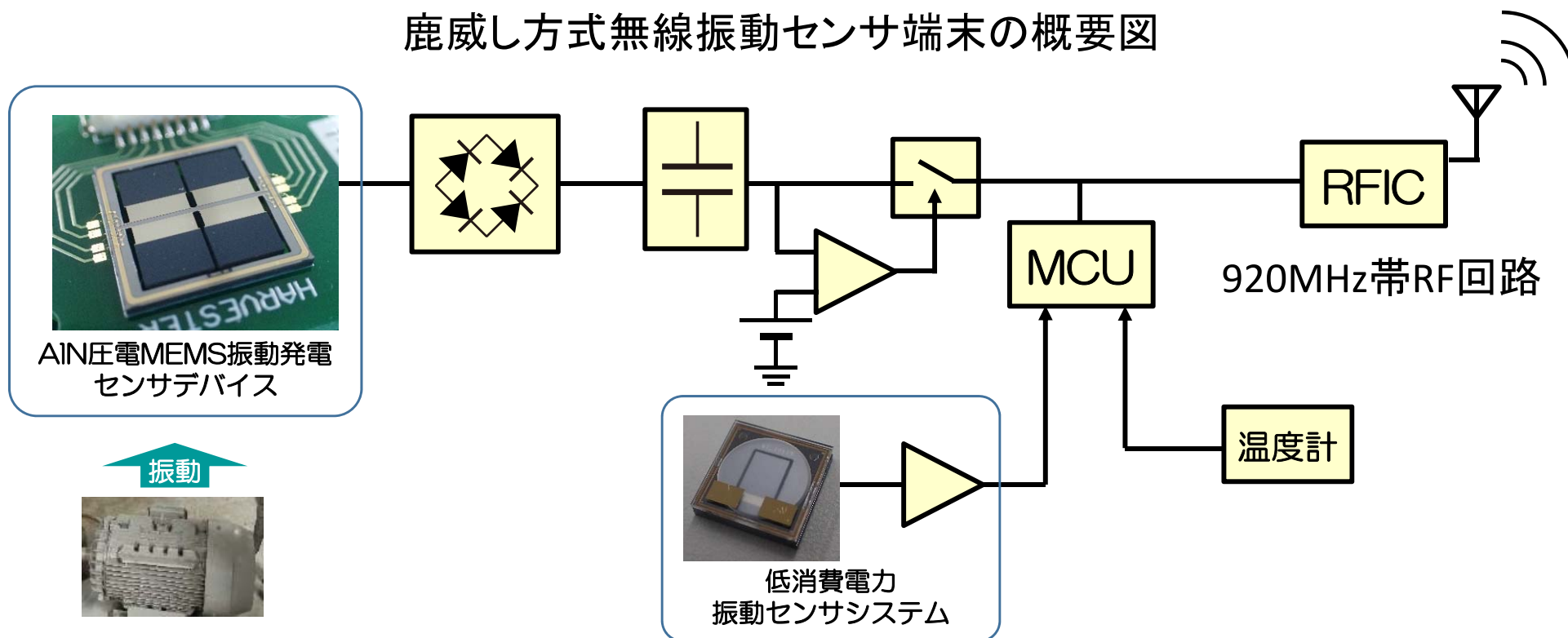
沖電気工業

構造的に複雑な環境下で通信の信頼性確保

【開発最終目標】

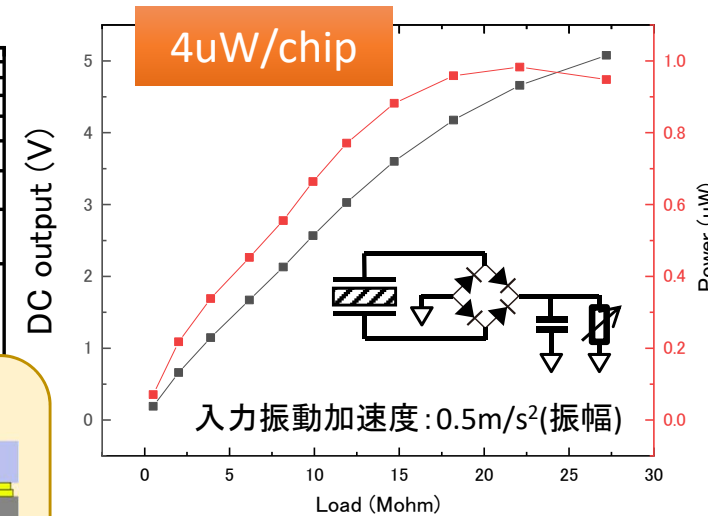
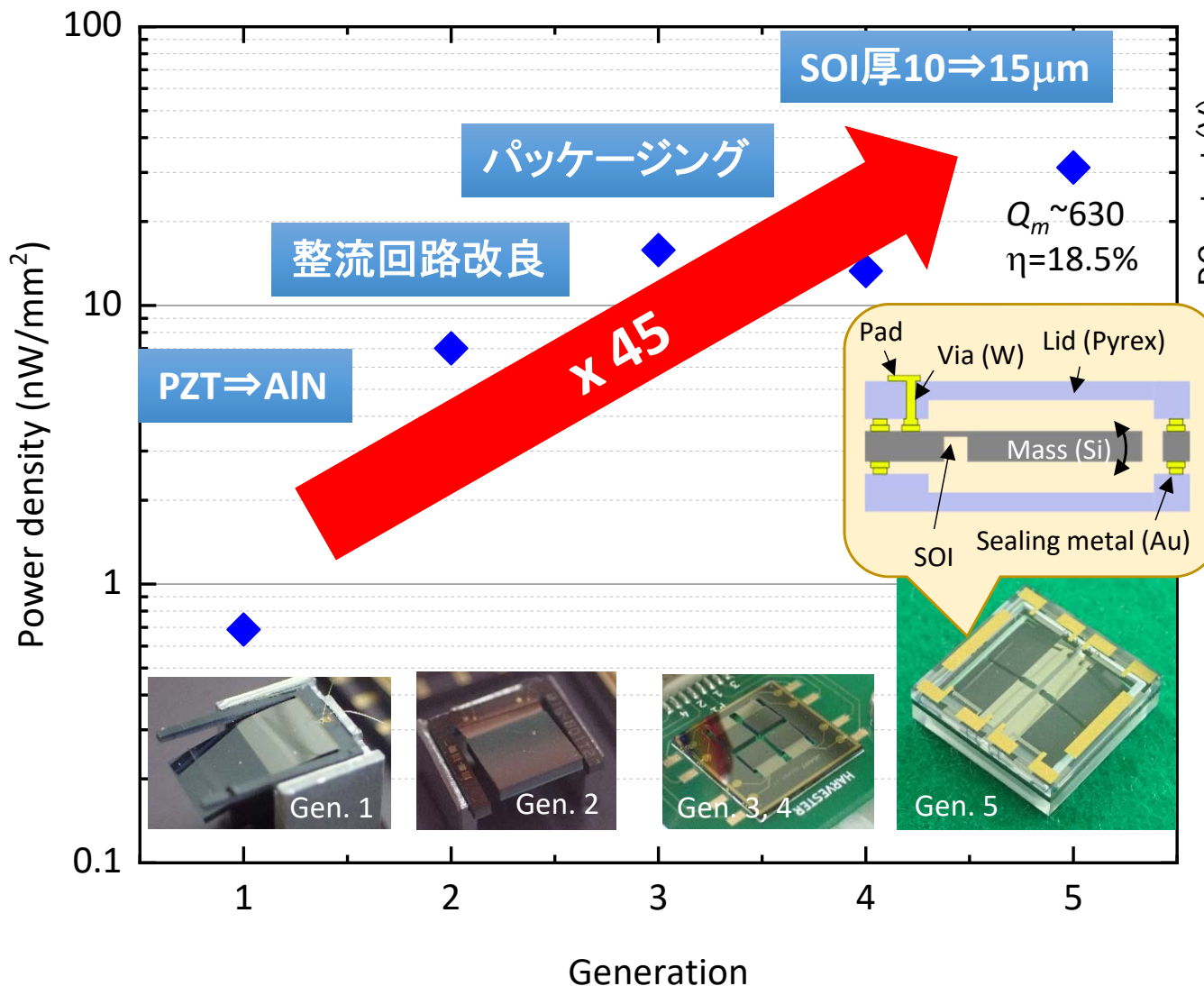
- a) AIN圧電MEMS振動発電センサデバイスの開発
  - ・1チップ当たり5  $\mu$ Wの電力を発生することのできる振動発電センサデバイスの開発
- b) 無線振動センサ端末の開発
  - ・待機電力を極限までに削減した“鹿威し”方式回路に圧電MEMS振動発電デバイスと高感度高周波振動センサを組み込んだ、小型で長寿命の無線振動センサ端末の開発

鹿威し方式無線振動センサ端末の概要図

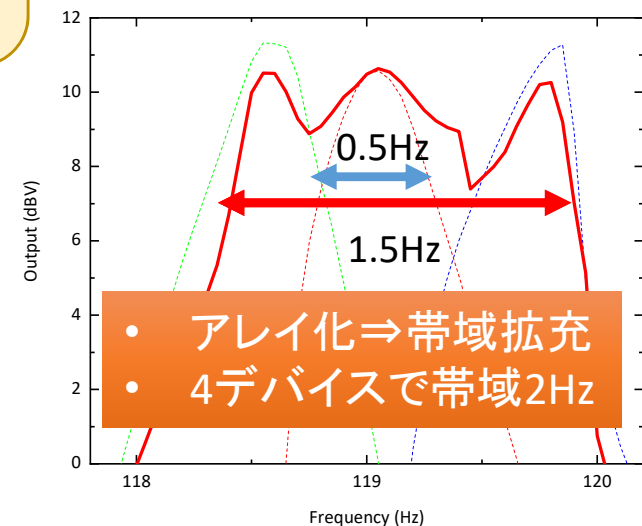


## 成果の概要 a) AlN系圧電MEMS振動発電デバイスの開発

・1チップ(15mm角)当たり4 $\mu$ Wの発電量を達成



片持ち梁一つの出力-負荷特性



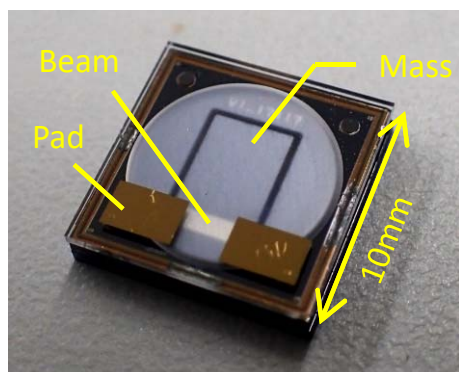
- アレイ化 $\Rightarrow$ 帯域拡充
- 4デバイスで帯域2Hz

アレイ化デバイスの出力-周波数特性

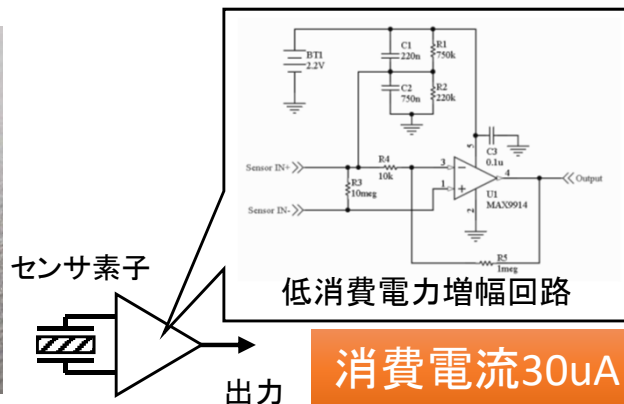


## 成果の概要 b) 無線振動センサ端末の開発

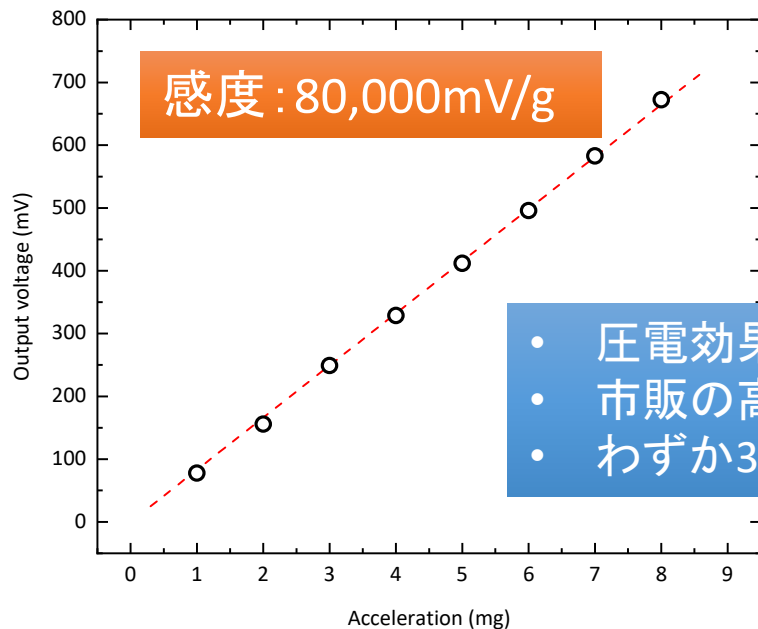
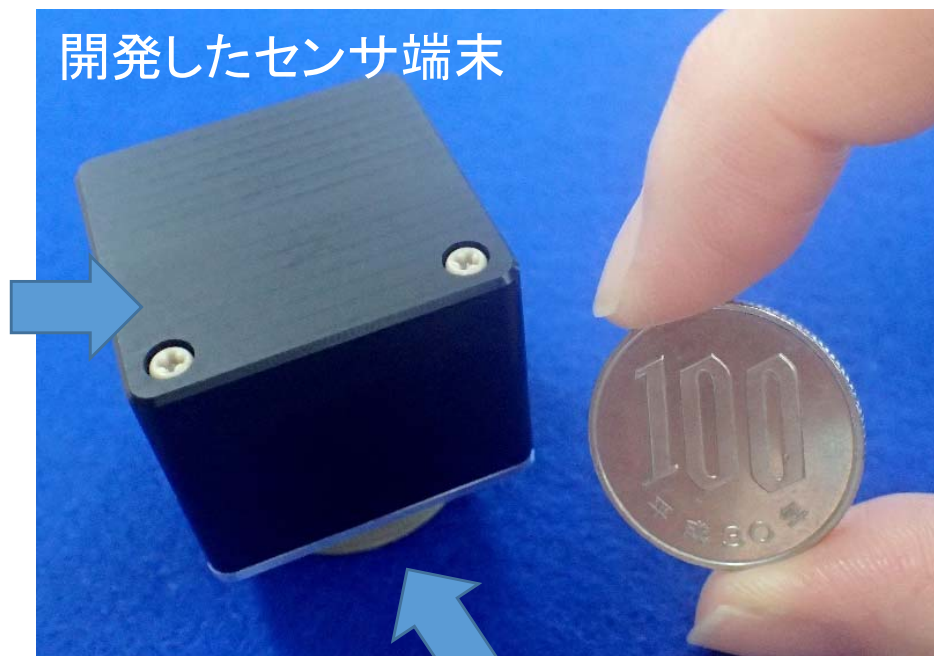
- 高感度(80,000mV/g)かつ低消費電力(消費電流30uA) 振動センサを開発
- 振動発電センサデバイス、高周波振動センサを組み込んだ鹿威し方式センサ端末を開発



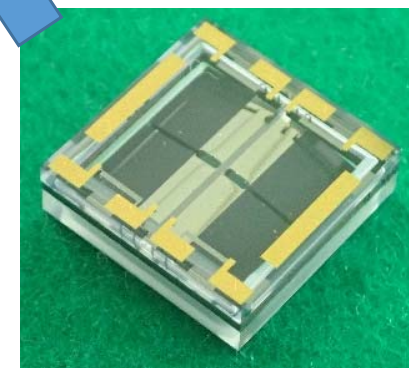
試作した振動センサデバイス



開発したセンサ端末



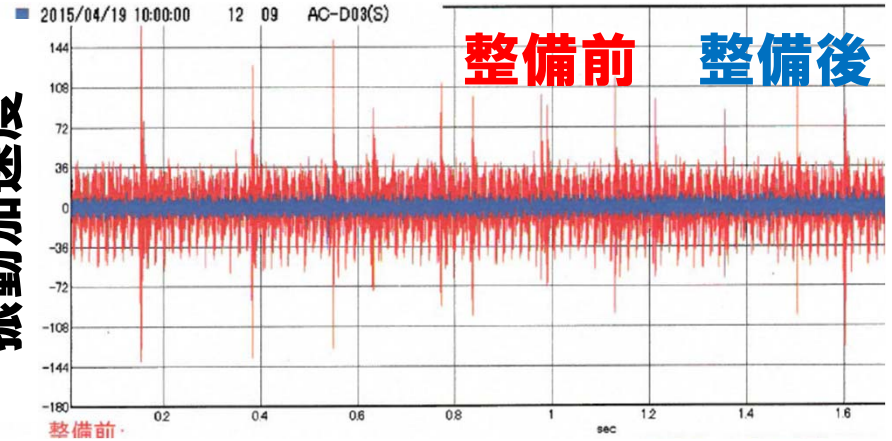
- 圧電効果+機械共振=低消費電力&高感度
- 市販の高感度加速度センサよりも2桁高感度
- わずか30uAの消費電流



振動発電センサデバイス



ポンプ振動の  
振動加速度



早期異常検知・メンテナンス時期予測を行うための、  
長寿命 (>10年)・小型の無線振動センサ端末



化学工場の配管、ポンプ



飲料・食用油などの食品製造  
工業における、ポンプやタンク



半導体装置の真空ポンプ



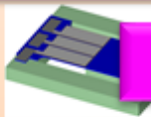
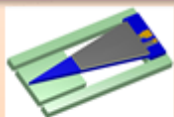
船舶のエンジン回りなど  
手の届きにくい箇所

幅広い産業界への応用が期待される

# 研究開発項目

地域医療支援病院、都市熱供給プラント等

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



産総研

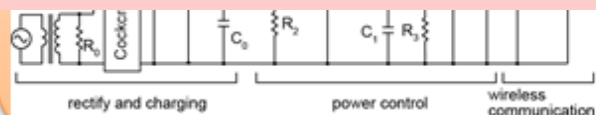
鹿威しセンシング方式

マイクロマシンセンター

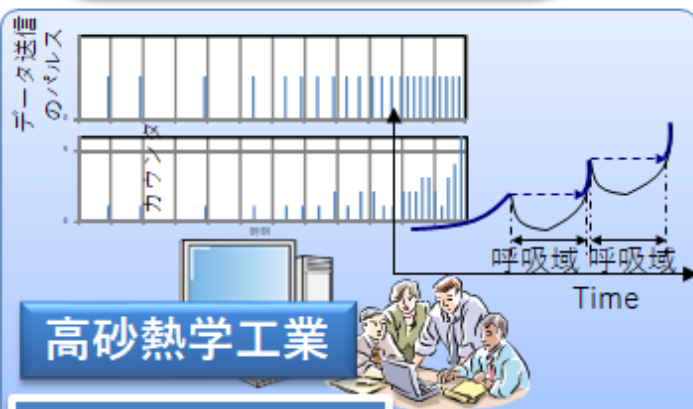
ウェハレベル集積化プロセス

(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(2) コアモニタリング用AIN圧電デバイスのウェハレベルパッケージ技術の開発(マイクロマシンセンター)



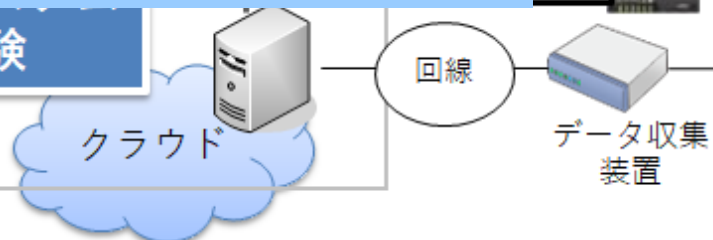
(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)



高砂熱学工業

(5) コアモニタリングシステムの開発と実証(高砂熱学工業)

構築・実験



ペットボトル  
キャップサイズ

低消費電力  
マルチホップ  
無線ネットワーク  
開発

(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)

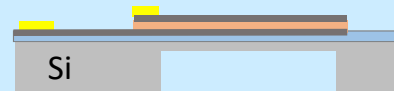
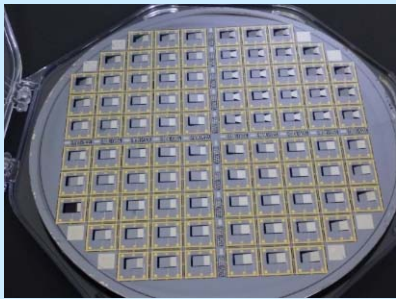


# 【コアモニタリング用AlN圧電デバイスの ウエハレベルパッケージ技術の開発】(MMC)

## 【開発最終目標】

- a) コアモニタリング用AlN圧電デバイス量産プロセス開発
  - ・AlN, ScAlN圧電デバイスの8インチ基板加工プロセスの完成
- b) 高信頼性ウエハレベルパッケージプロセス開発
  - ・圧電デバイスを気密/真空封止するパッケージング工程確立

### a) AlN圧電デバイス量産プロセス開発

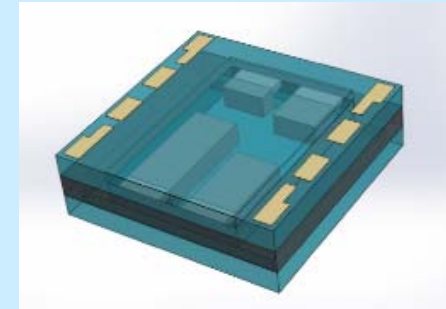


AlN/ScAlN  
圧電カンチレバー

AlN  $d_{33}:6.4$  (pm/V)  
ScAlN  $d_{33}:20$  (pm/V)

8インチAlN/ScAlN  
圧電デバイス加工ウエハ

### b) 高信頼性ウエハレベル パッケージプロセス開発

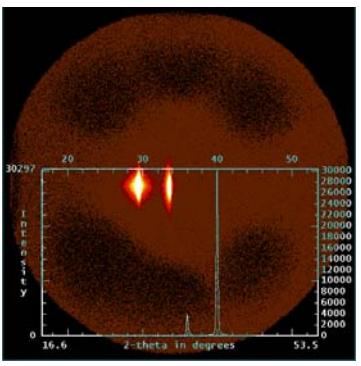


振動センサ/  
発電デバイスパッケージ

# 【コアモニタリング用AlN圧電デバイスの ウエハレベルパッケージ技術の開発】(MMC)

**成果の概要** a) AlN, ScAlN圧電デバイス大口径200mm量産一貫工程完成及び供給

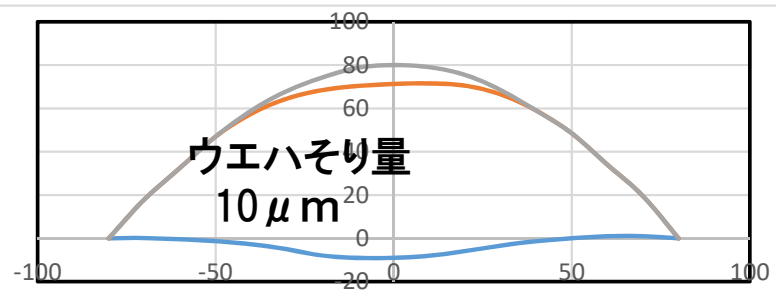
- ・圧電定数 $d_{33} = 15\text{ppm/V}$ 以上の達成
- ・発電用デバイス(100Hz)用及び振動センサ(>1KHz)用デバイス共用プロセスを実現



ScAlN圧電定数  
 $d_{33}: 20\text{ppm/V}$

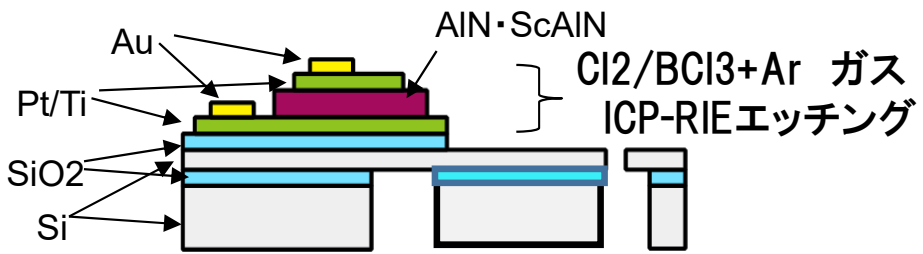
ScAlN膜のXRD例

スパッタ成膜装置を用いた  
ScAlN/AlN膜 高配向成膜技術



AlN膜内部応力(8"φ)測定例

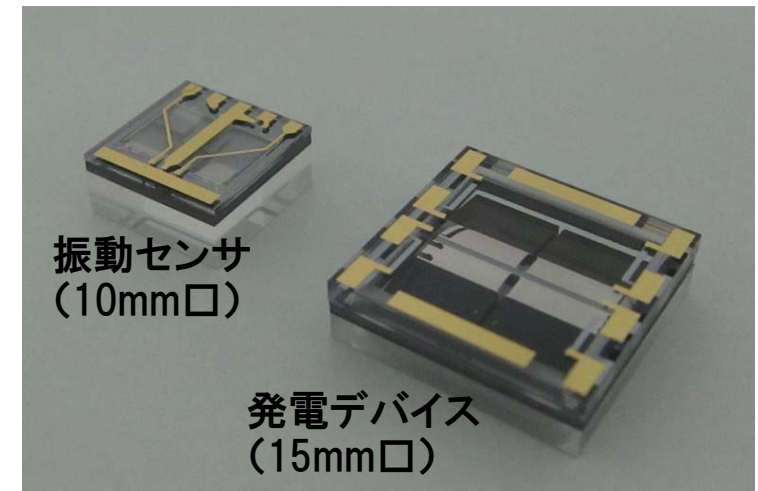
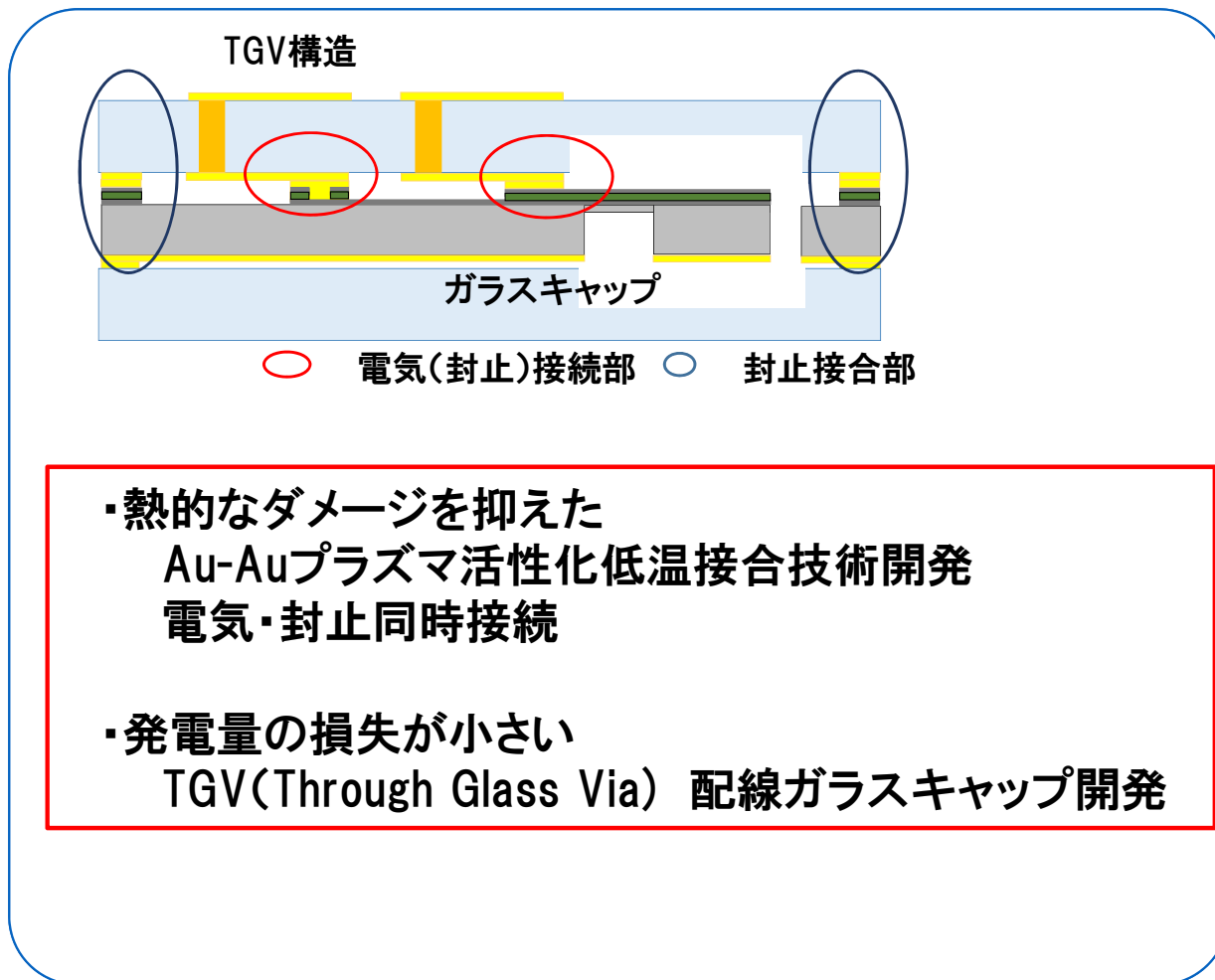
ScAlN/AlN圧電薄膜内部応力制御技術  
・スパッタ条件を制御し、  
そりの少ないカンチレバー構造実現



ScAlN/AlN圧電構造形成技術  
・Cl<sub>2</sub>系ガスICP-RIEを用いて  
難エッチング材料をドライエッチング

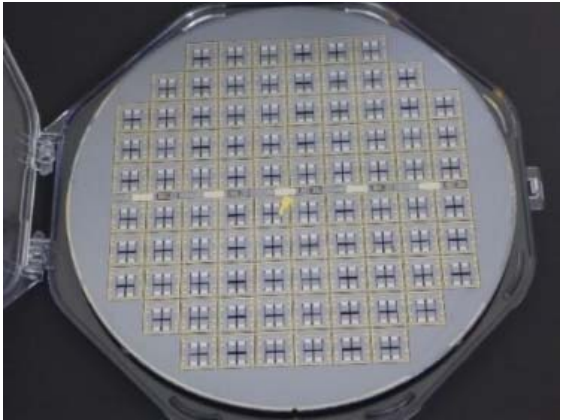
## 成果の概要 b) 高信頼性ウエハレベルパッケージプロセス開発

- ・気密/真空封止可能な低温活性化Au-Au 接合技術を開発  
接合強度100Mpa以上@低温接合250℃以下

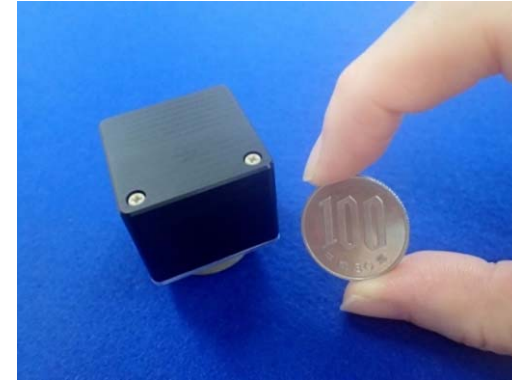
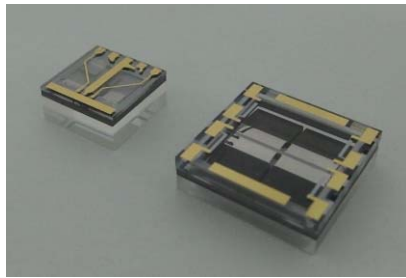


H30年度 振動センサ&発電デバイス

## 大口径基板圧電デバイス加工・パッケージング技術

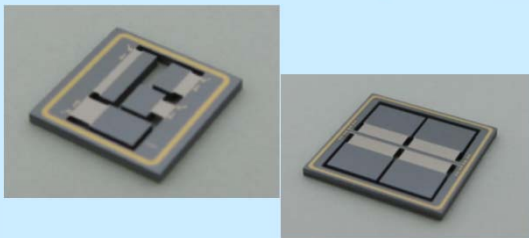


大口径基板圧電MEMS技術



センサ端末に搭載

低温活性化Au-Au 接合技術



圧電MEMS加工技術

各種圧電MEMSデバイスへ展開



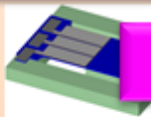
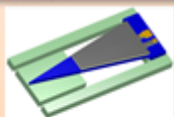
MEMS接合加工技術

各種MEMSデバイス加工  
パッケージング工程へ展開

# 研究開発項目

地域医療支援病院、都市熱供給プラント等

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



産総研

鹿威しセンシング方式

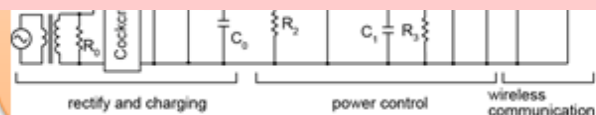
マイクロマシンセンター

ウェハレベル集積化プロセス

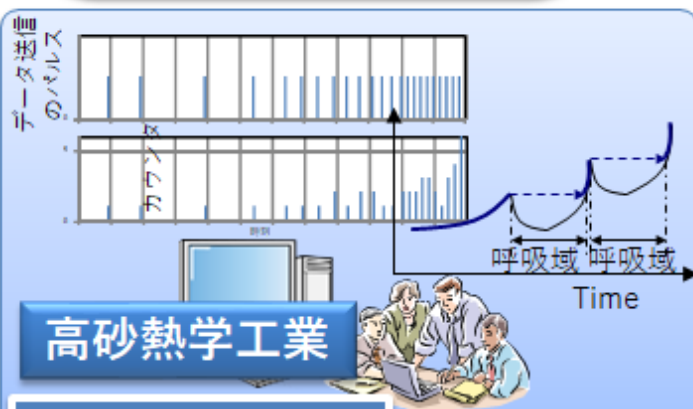


(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(2) コアモニタリング用AIN圧電デバイスのウェハレベルパッケージ技術の開発(マイクロマシンセンター)



(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)



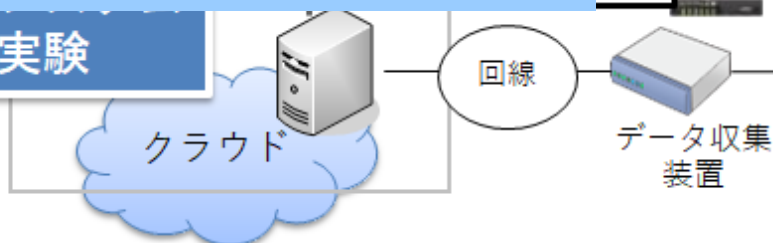
ペットボトル  
キャップサイズ

低消費電力  
マルチホップ  
無線ネットワーク

(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)

(5) コアモニタリングシステムの開発と実証(高砂熱学工業)

構築・実験





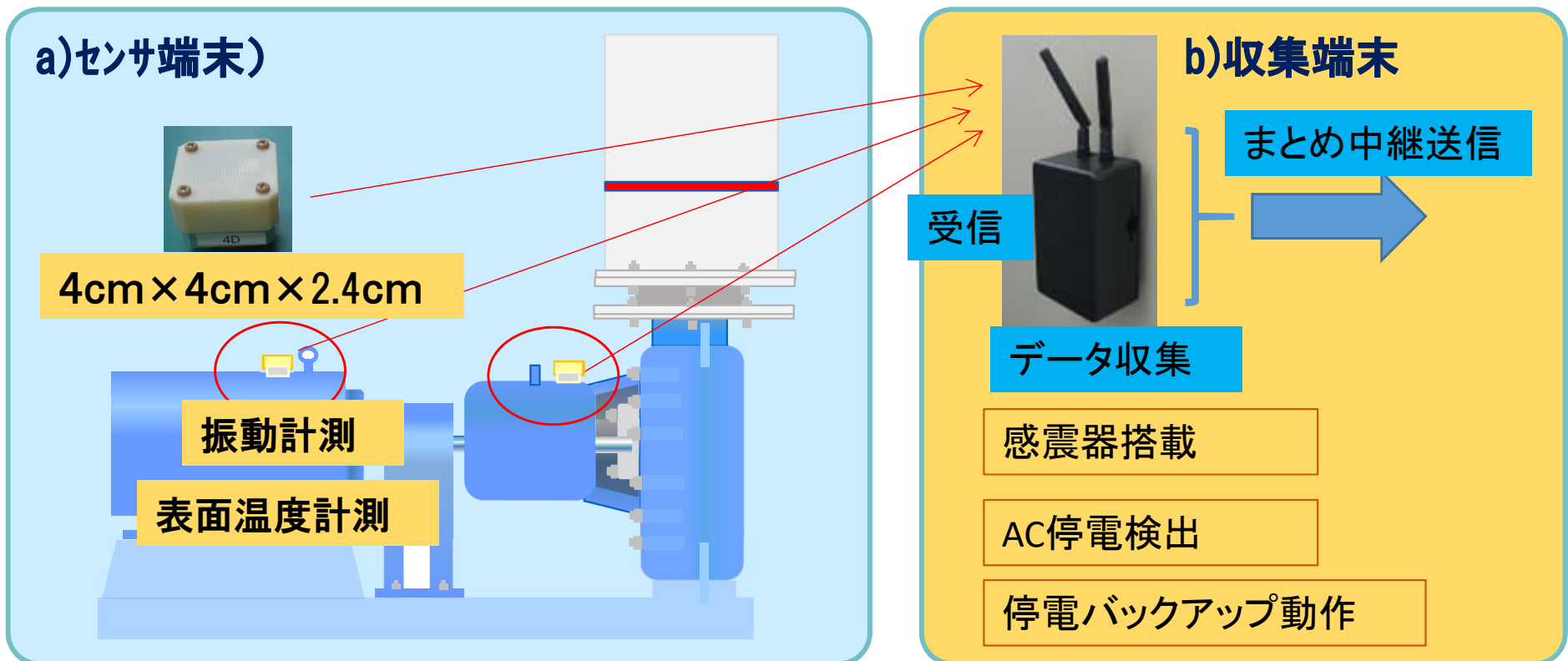
## 【開発最終目標】

### a) コアモニタリング用センサ端末の開発

・ポンプ等の振動検出、表面温度測定データを見通し通信30mの距離を無線通信で収集端末に送信する、小型(4cm×4cm×2.4cm)のセンサ端末の開発

### b) センサデータ収集端末の開発

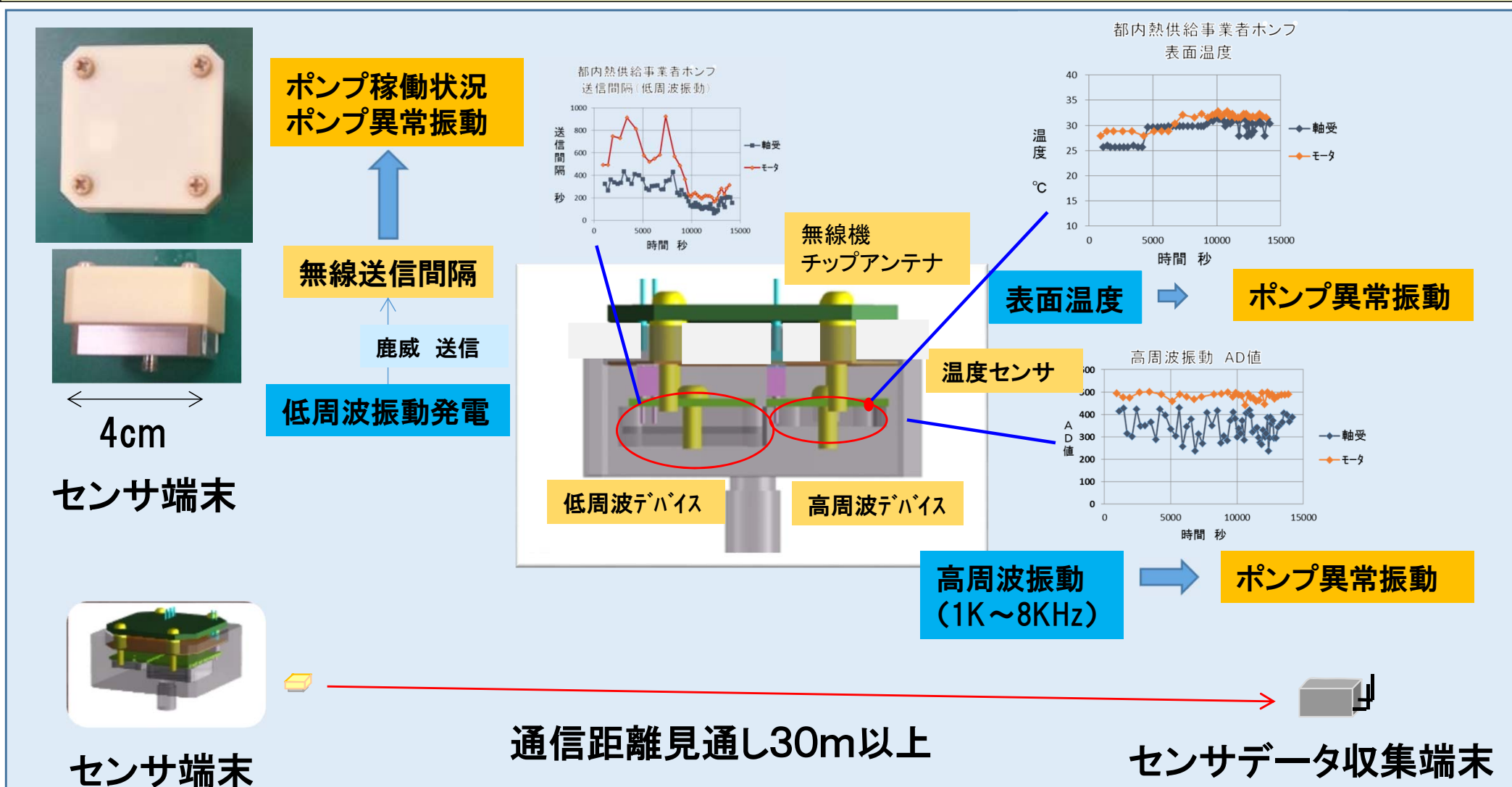
・センサ端末からの無線データを収集し、感震器、停電データを合わせて親機に中継するセンサデータ収集端末の開発



# 【コアモニタリング用センサ端末の開発】(明星電気)

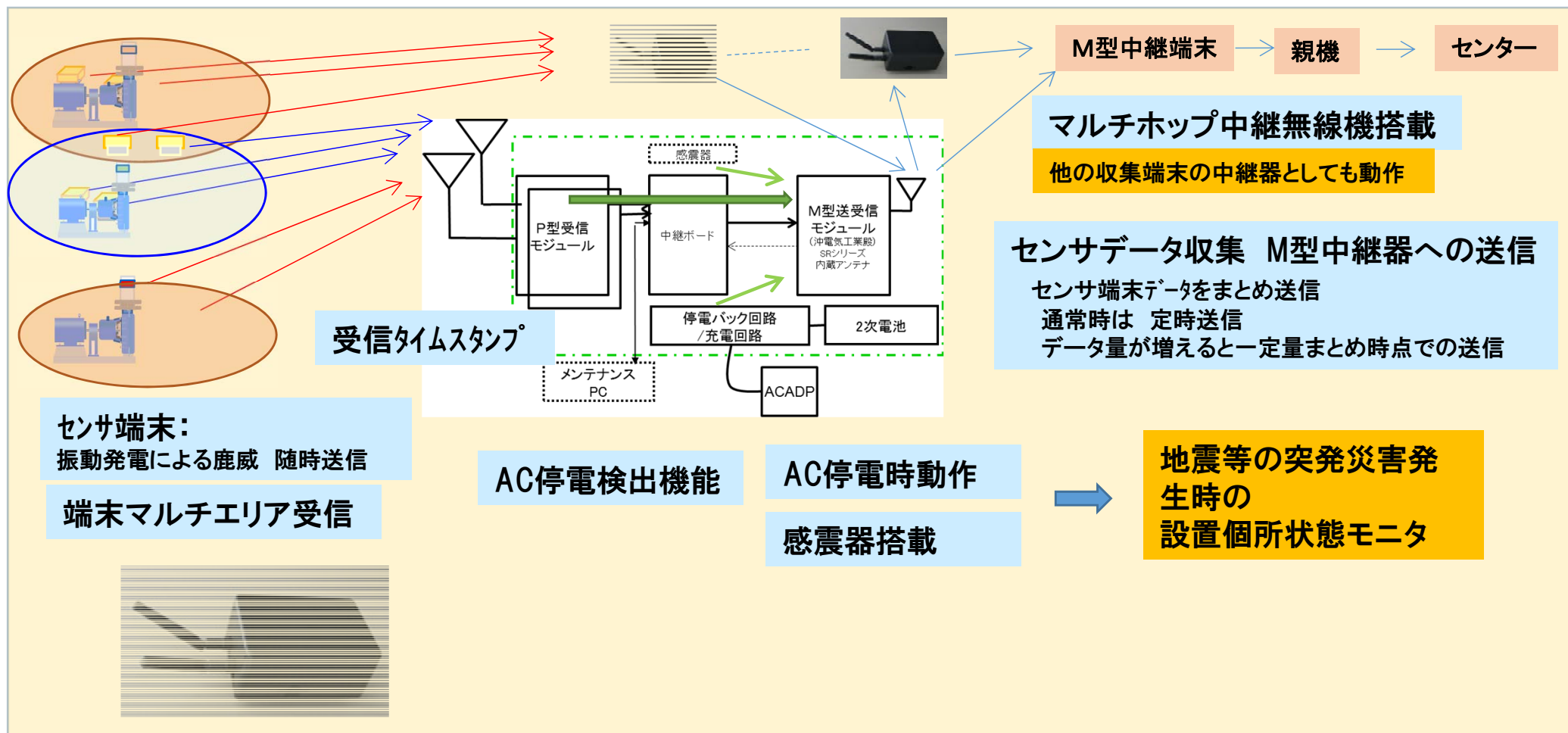
## 成果の概要 a) コアモニタリング用センサ端末の開発

・ポンプ等の振動検出、表面温度測定データを無線通信(見通し通信距離30m)で収集端末に送信する、小型(4cm×4cm×2.4cm)のセンサ端末を開発し、ポンプ上でのデータを測定し送信した。



## 成果の概要 b) センサデータ収集端末の完成

- ・センサ端末からの無線データを収集し、感震器、停電データを合わせてまとめて親機に中継するセンサデータ収集端末を開発した。



## 複合技術開発が創り出す新しいセンサ端末

新材料技術開発 圧電MEMS技術  
低消費電力アナログ回路技術  
超小型振動発電デバイス  
センサデバイス

産総研、MMC

低背 無線端末

小型アンテナ 小型化実装技術

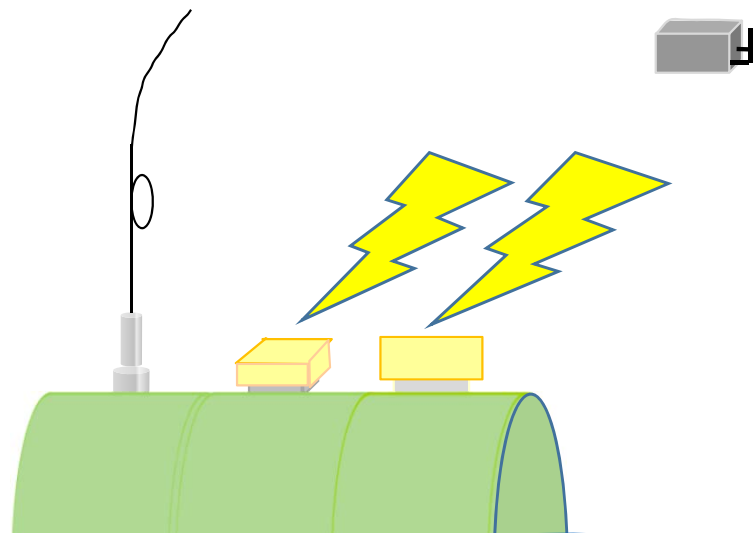
**小型・長寿命**

無線センサ端末

明星電気

工事期間、工事費低減

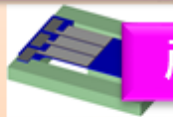
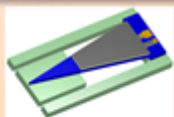
- 配線がなくて  
マグネット使用し簡単に取り付け可能
- 簡易無線通信のため設定不要で  
事前の確認のみで 取付後から即使用可能



# 研究開発項目

地域医療支援病院、都市熱供給プラント等

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



産総研

鹿威しセンシング方式

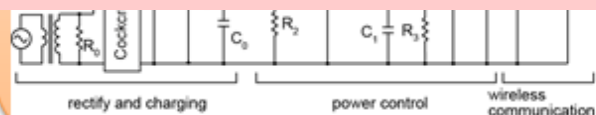
マイクロマシンセンター

ウェハレベル集積化プロセス



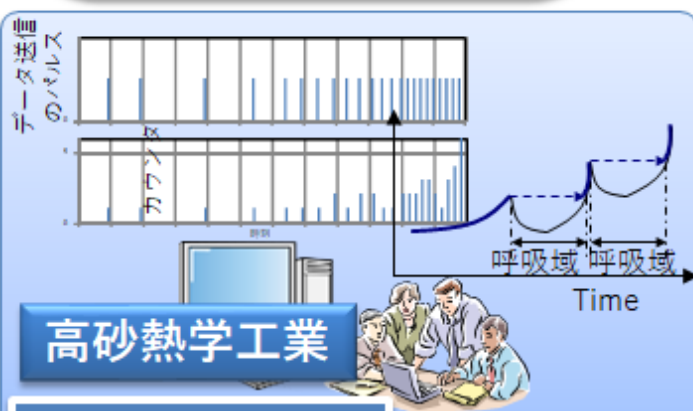
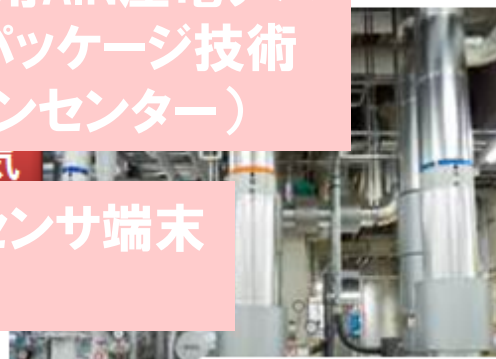
(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(2) コアモニタリング用AIN圧電デバイスのウェハレベルパッケージ技術の開発(マイクロマシンセンター)



(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)

明星電気



高砂熱学工業

ペットボトル  
キャップサイズ

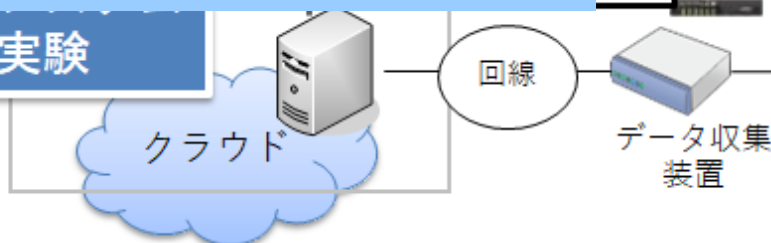
低消費電力  
マルチホップ  
無線ネットワーク

(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)

開発

(5) コアモニタリングシステムの開発と実証(高砂熱学工業)

構築・実験

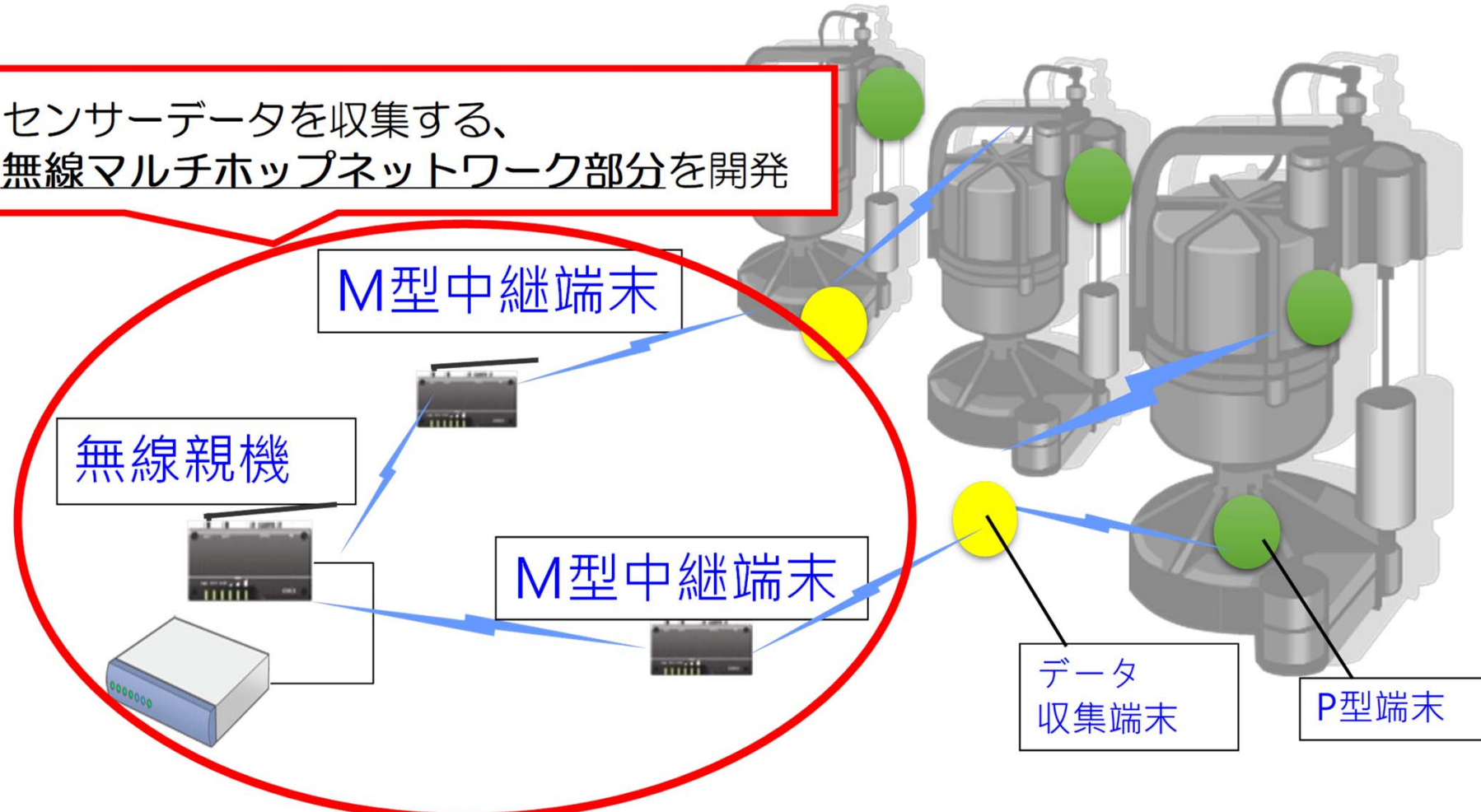


【開発最終目標】

小型電池2本(5000mAh)で10年動作可能なM型中継端末向け省電力無線マルチホップネットワークプロトコルスタックの開発

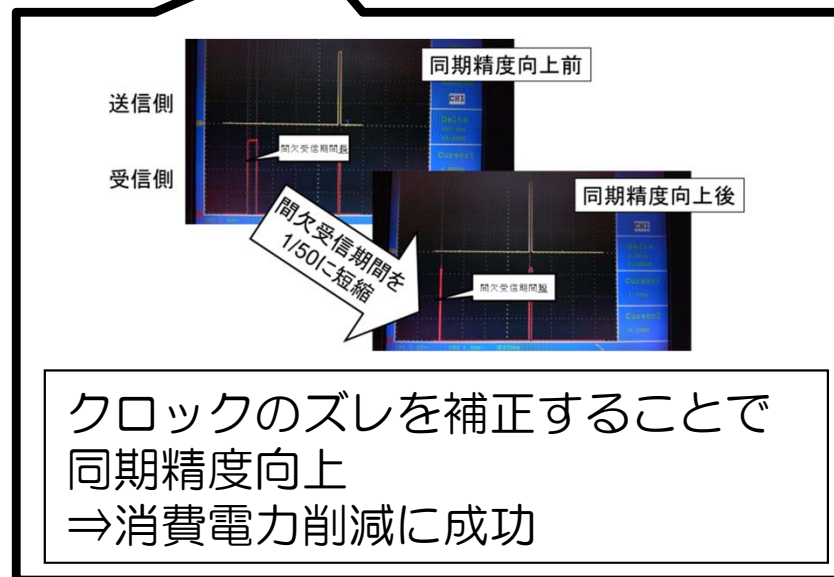
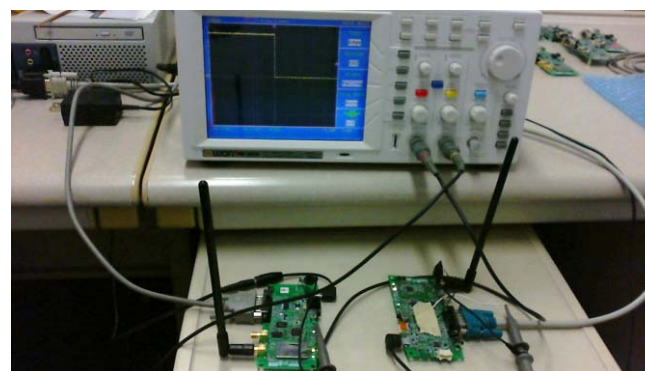
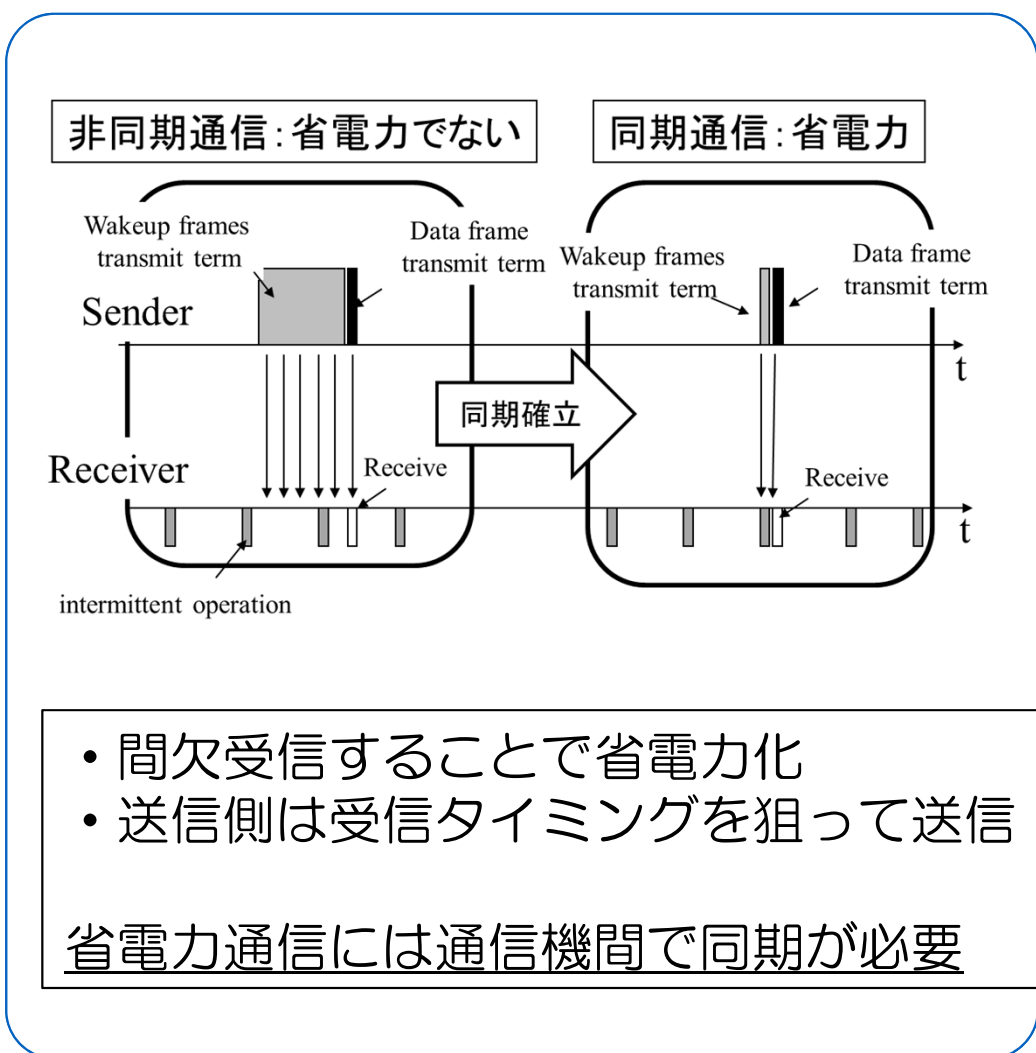
- a) 高精度な時刻同期型の省電力通信方式の開発
- b) データ通信の再送を伴わない衝突回避制御方式

センサーデータを収集する、無線マルチホップネットワーク部分を開発



成果の概要 a) 高精度な時刻同期型の省電力通信方式の開発

・通信機間で自律的にクロックのズレを補正して省電力同期通信を維持することで間欠受信時の受信待ち期間を短縮→消費電力が50分の1に減少

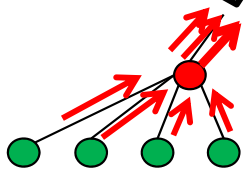


成果の概要 b) データ通信の再送を伴わない衝突回避制御方式

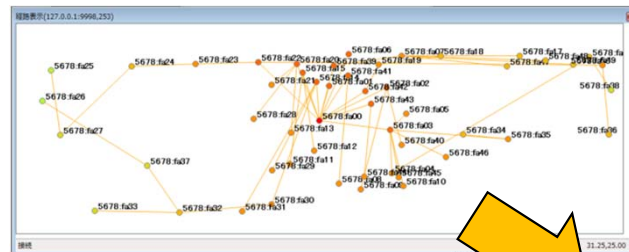
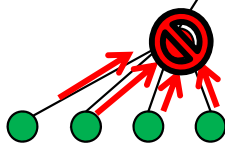
トラフィックが集中しているノードを統計的手法で選別し、トラフィックを分散させることで再送やパケット衝突を回避→最大で衝突確率を四分の一、送信電力を半分に改善

トラフィック集中の課題

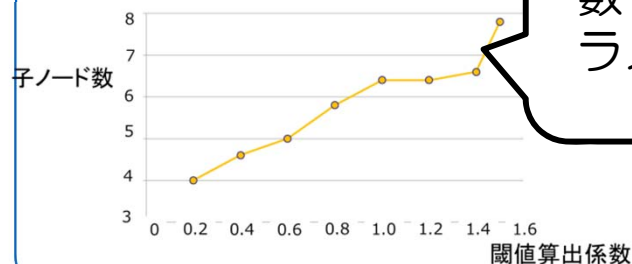
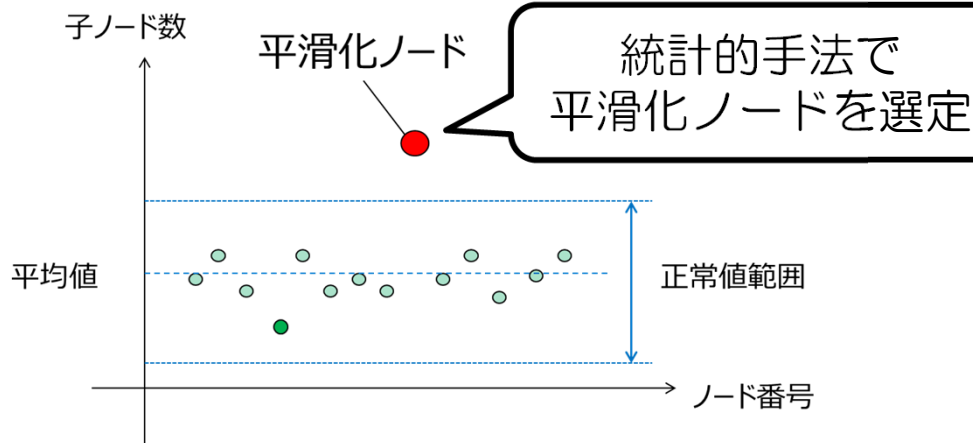
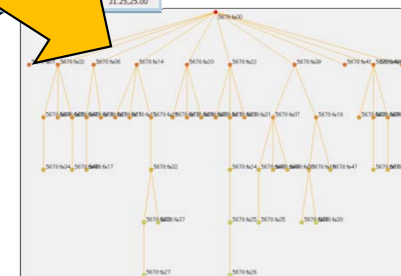
課題：消費電力上昇  
⇒転送量が増えて  
電池が早く切れる



課題：輻輳発生率上昇  
⇒間欠受信タイミング  
に合わせて通信が集中



子ノードを分散させ、トラフィックの平滑化を実施

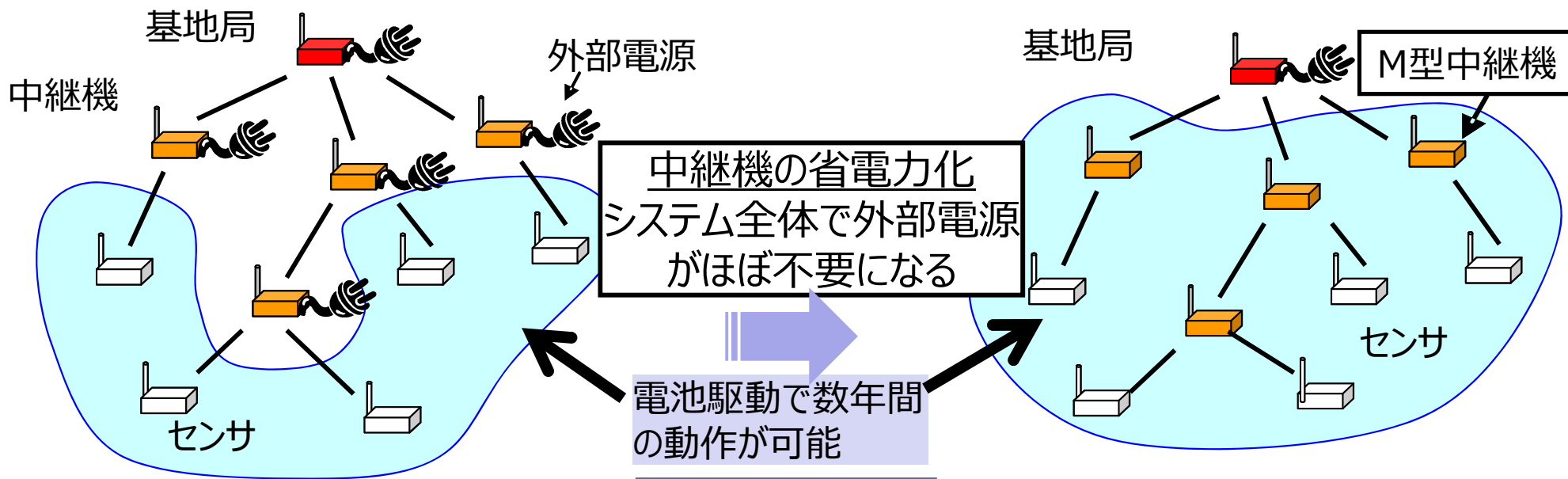




## 省電力ネットワークシステムの波及効果

従来のマルチホップネットワーク

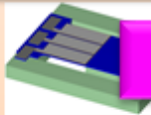
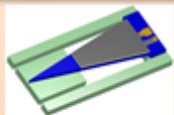
開発したマルチホップ通信ネットワーク



電源確保が困難な、様々なインフラシステムのネットワークとして応用可能

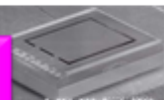
# 研究開発項目

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



産総研

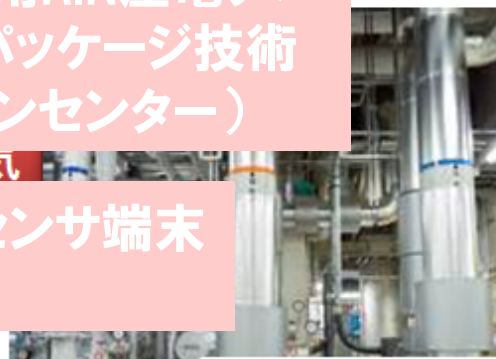
鹿威しセンシング方式



マイクロマシンセンター

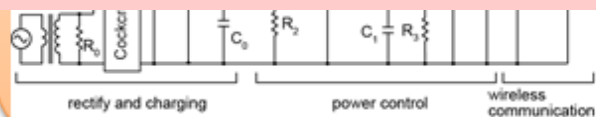
ウェハレベル集積化プロセス

地域医療支援病院、都市熱供給プラント等



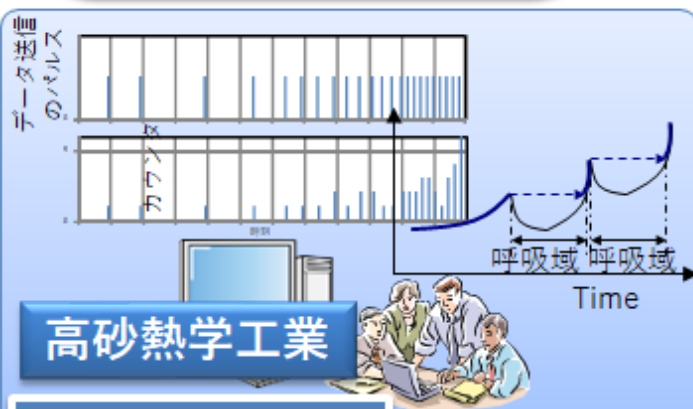
(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(2) コアモニタリング用AIN圧電デバイスのウエハレベルパッケージ技術の開発(マイクロマシンセンター)



(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)

明星電気



ペットボトル  
キャップサイズ

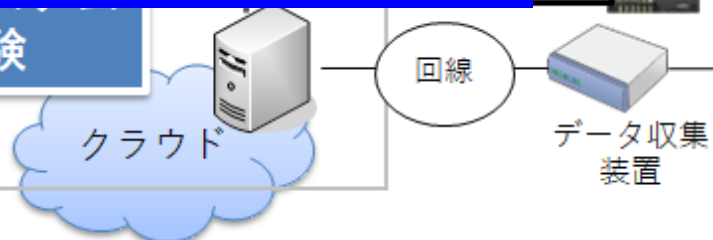
低消費電力  
マルチホップ  
無線ネットワーク

(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)

沖電気工業

(5) コアモニタリングシステムの開発と実証(高砂熱学工業)

構築・実験



## 【開発最終目標】

- a) 要素技術を統合した高い信頼性のコアモニタリングシステムを開発
  - ・クラウド利用型モニタリングシステムの開発
  - ・異常検知の精度確保と安全な維持管理の検証
- b) 実用性の高いコアモニタリングシステムの構築と実証
  - ・病院施設、地域冷暖房施設ほか特徴ある施設で「本当に使えるシステム」「ユーザーに対して有用なシステムであること」を目的とした実証実験の実施
  - ・クラウド利用型ネットワークシステムを活用し、複数施設の遠隔監視の実証

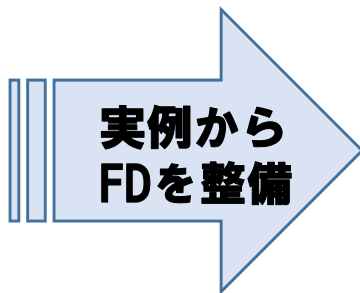


## 成果の概要 a) 要素技術を統合した高い信頼性のコアモニタリングシステムを開発

- ・オンサイトでの監視データを一括管理するクラウド利用型モニタリングシステムを製作
- ・実稼動設備での日常監視に加え、模擬故障実験で検知診断精度を検証

### ■ 模擬故障でフォルトディクショナリを整備

1.9mm



監視項目	ミスアライメントの発生	アンバランスの発生
鹿威し間隔 $\Delta T$	$\Delta T < \text{閾値1}$	$\Delta T < \text{閾値1}$
鹿威し間隔のバラツキ $\sigma$	$\sigma < \text{閾値2}$	Normal
鹿威し間隔の時系列変化	—	$\Delta T_{\text{トレンド}} < \text{閾値3}$

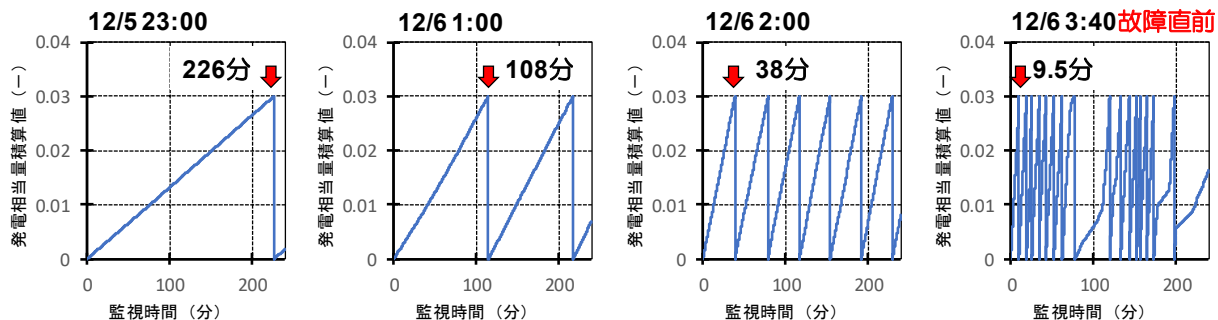
- ・ミスアライメントの発生：モータが縦にズレてカップリングの隙間が許容を超過

### ■ 模擬故障で鹿威しデータの変化を検証

軸受球が破損しサーマルトリップ



保持機がめくれ上がっている



軸受の損傷に伴い、鹿威しデータの間隔が短くなる

## 成果の概要 b) 実用性の高いコアモニタリングシステムの構築と実証

- ・病院施設と地域冷暖房施設に加え、製造・水資源再生・発電施設で実証実験を開始
- 都市ライフラインとして熱原水搬送、製造施設のユーティリティ搬送や送風設備での監視効果を実証中

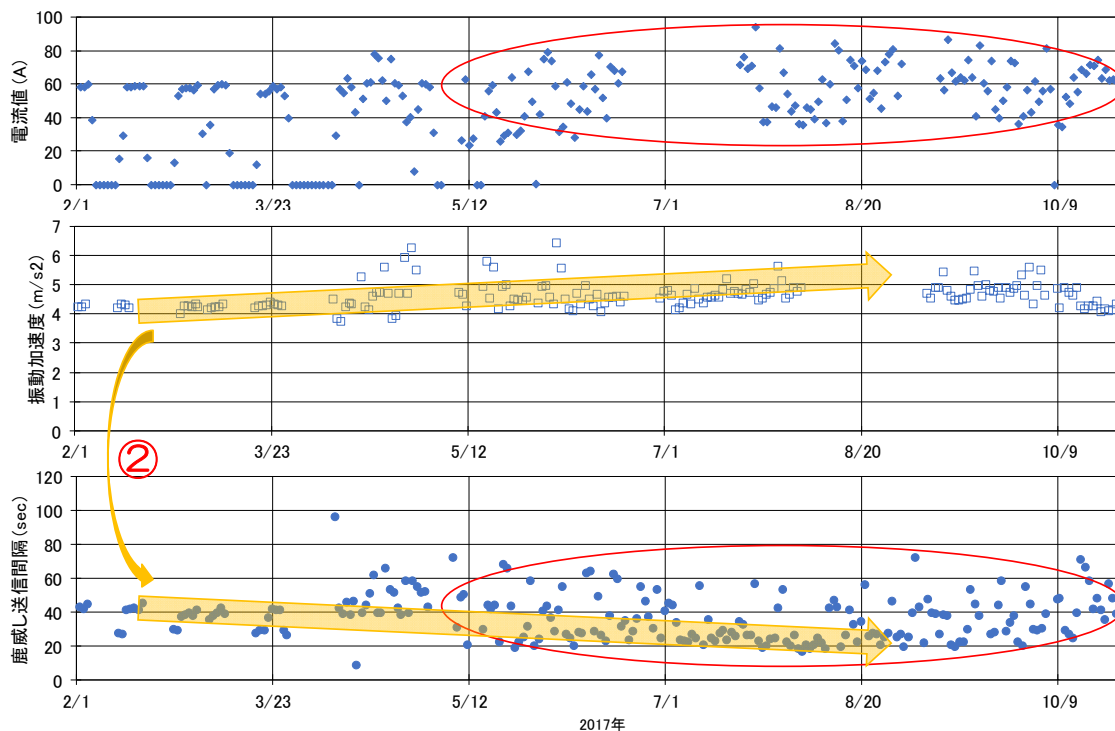
### 実証実験の成果

都内、熱供給施設の実例

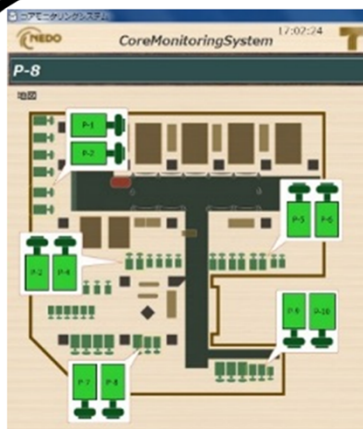


### ・半年間監視しての鹿威しデータの変化

- ①ポンプの負荷率に応じてデータ送信の時間間隔が変動
- ②経時的には、振動加速度の増加に応じて発電量が多くなりデータ送信の時間間隔が減少



## 専門家の五感に代わる統合管理が設備運用の省力化を実現



ポンプの運転状態は？

異常原因 異常診断	原因 1	原因 2	原因 3
センサ温度	—	F	N
鹿威し間隔 Δt	F	F	F
振動センサ1	N	N	N
振動センサ2	—	N	F

異常振動の原因は？



振動の増加傾向は？

### 【コアモニタリングシステムの振動監視】 振動自己発電のデータと特定高域周波数の振動値で監視

- 振動の強弱を縮約した鹿威しデータ
  - 振動が大きくなるとサンプリング周期が短くなる
- 少ない情報で何か異常を気付き
  - いつもの運転／何か違う運転を判別、「詳細診断が必要か」、「専門家を呼ぶか」を気付かせる
- ポンプの日常性能も監視
  - 劣化時のみならず、日常保全にも活用できる

振動は使えるの？が、使う気になる！

# まとめ

(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(1) AIN圧電MEMS振動発電センサデバイス、低消費電力(消費電流30uA)・高感度(80,000mV/g)振動センサ、待機時消費電流<200nA“鹿威し”方式回路を開発

(2) コアモニタリング用AIN圧電デバイスのウエハレベルパッケージ技術の開発(マイクロマシンセンター)

(2) 8インチ基板を用いたScAIN・AIN圧電デバイス加工技術、低温接合技術を用いたガラスキャップパッケージング工程を開発し、実証試験用センサ端末に発電デバイス、高周波振動センサを供給

(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)

(3) ポンプ振動状態・表面温度を振動発電でモニタリング・無線送信するセンサ端末(4cm×4cm×2.4cm)、センサ端末の無線データを収集し、感震器・停電データを合わせて親機に中継するセンサデータ収集端末を開発

(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)

(4) 省電力時刻同期技術(消費電力従来比1/50)、再送を伴わない衝突回避制御方式(衝突確率従来比1/4、送信電力1/2)により、電池2本(5000mAh)で10年動作可能なM型中継端末を開発

(5) コアモニタリングシステムの開発と実証(高砂熱学工業)

(5) 統計処理した鹿威しデータでの異常検知、フォルトディクショナリーでの異常診断のモニタリングシステムを開発し、地域熱供給施設、病院、製造施設などで実用性を検証

# 謝 辞

**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「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」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、エネルギー供給施設  
管理会社、発電事業者、さらに実証現場を提供して頂いた関係諸機関  
の皆さまに深く感謝申し上げます。**