

「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」

## 第3回ライフラインコアモニタリング プロジェクト成果報告会

～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  
(国立研究開発法人 産業技術総合研究所)

2017年10月5日

## ■ 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

## ■ これまでの研究成果・最終目標

- ・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小型(ペットボトルキャップ)端末により、複雑かつ膨大なログ解析を必要とせず、早期異常検知・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

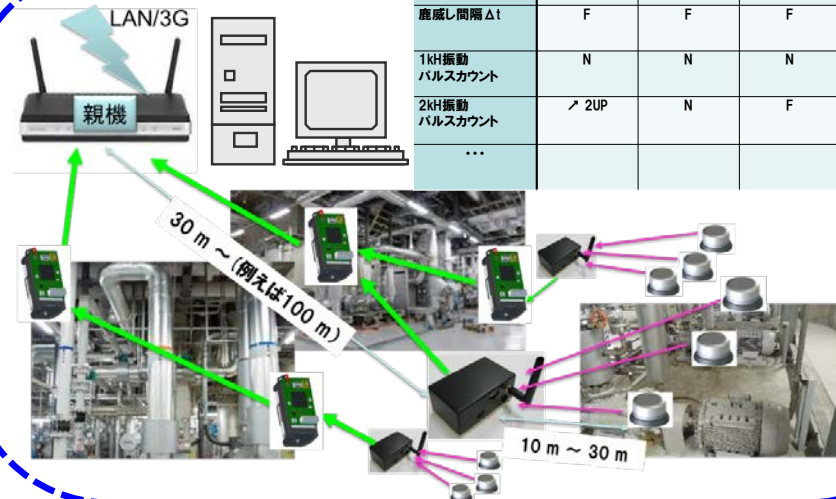
地域冷暖房施設(国内約140ヶ所)



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 バルスカウント	N	N	N	F
2kHz振動 バルスカウント	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



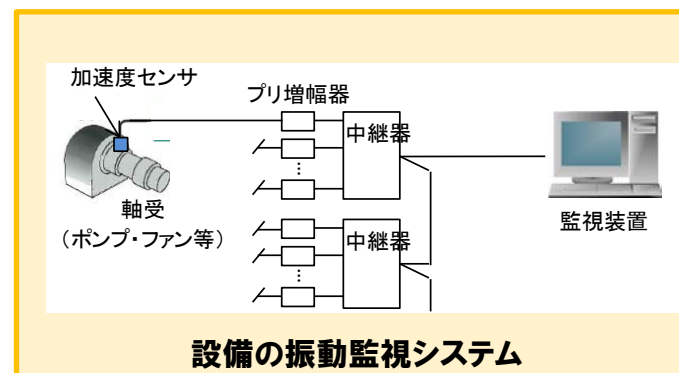
ペン型振動計



電流値の検針

## 【診断システム】

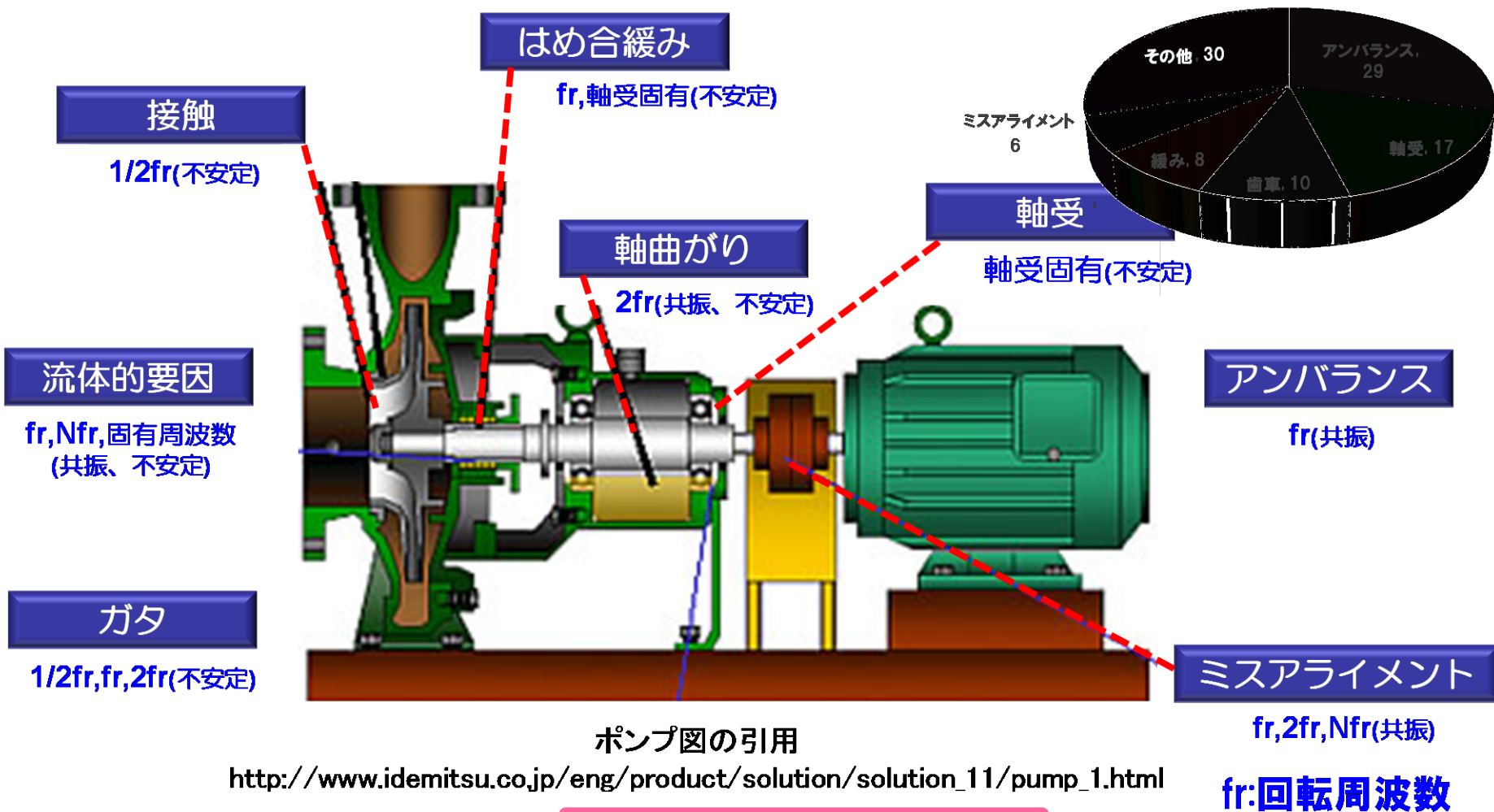
センサ端末や設置工事に費用がかかると共に、建物に合わせたシステムの構築が必要となるため、投資費用が高くなり普及が進んでいない。



# 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



# 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

# 開発課題

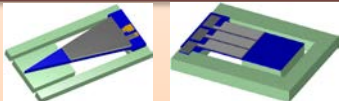
- 有線の(モニタリング)システム: 敷設コストを含め100点程度のモニタリングシステムで1000~2000万円  
→普及のためには一桁安価にする必要あり
- 無線システムの課題
  - ✓ (敷設コストは低いが)有線と同じデータ通信容量・品質は得られない。品質を上げようとするれば、無線センサ端末の消費電力の増加/サイズ増大/高コスト化を招く、端末の自立電源が困難になり、電池交換等の(端末の)メンテナンスコストが増大
  - ✓ 端末に供給される電力量が限られるため、取得データ量も(著しく)制限される

- ◆ 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

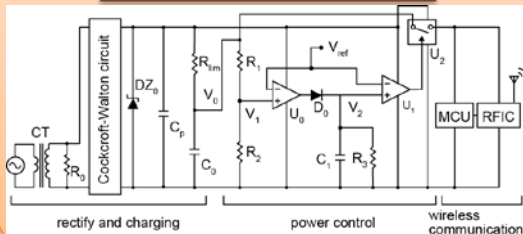


# 研究開発項目

AIN-MEMS振動発電センサデバイス

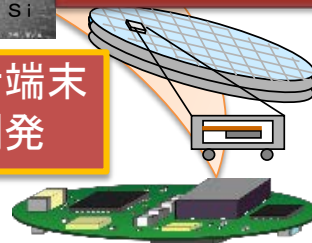


鹿威しセンシング方式



ウェハレベル集積化プロセス

センサ端末  
の開発



高耐久性超小型センサ端末



ペットボトル  
キャップサイズ

ネットワークシステムの開発

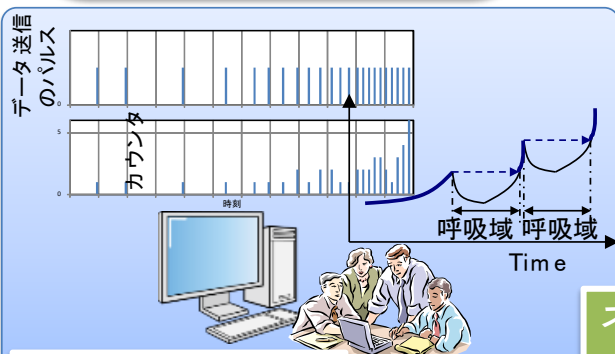
無線中継機

無線親機

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

医療機関、地域冷暖房設備他



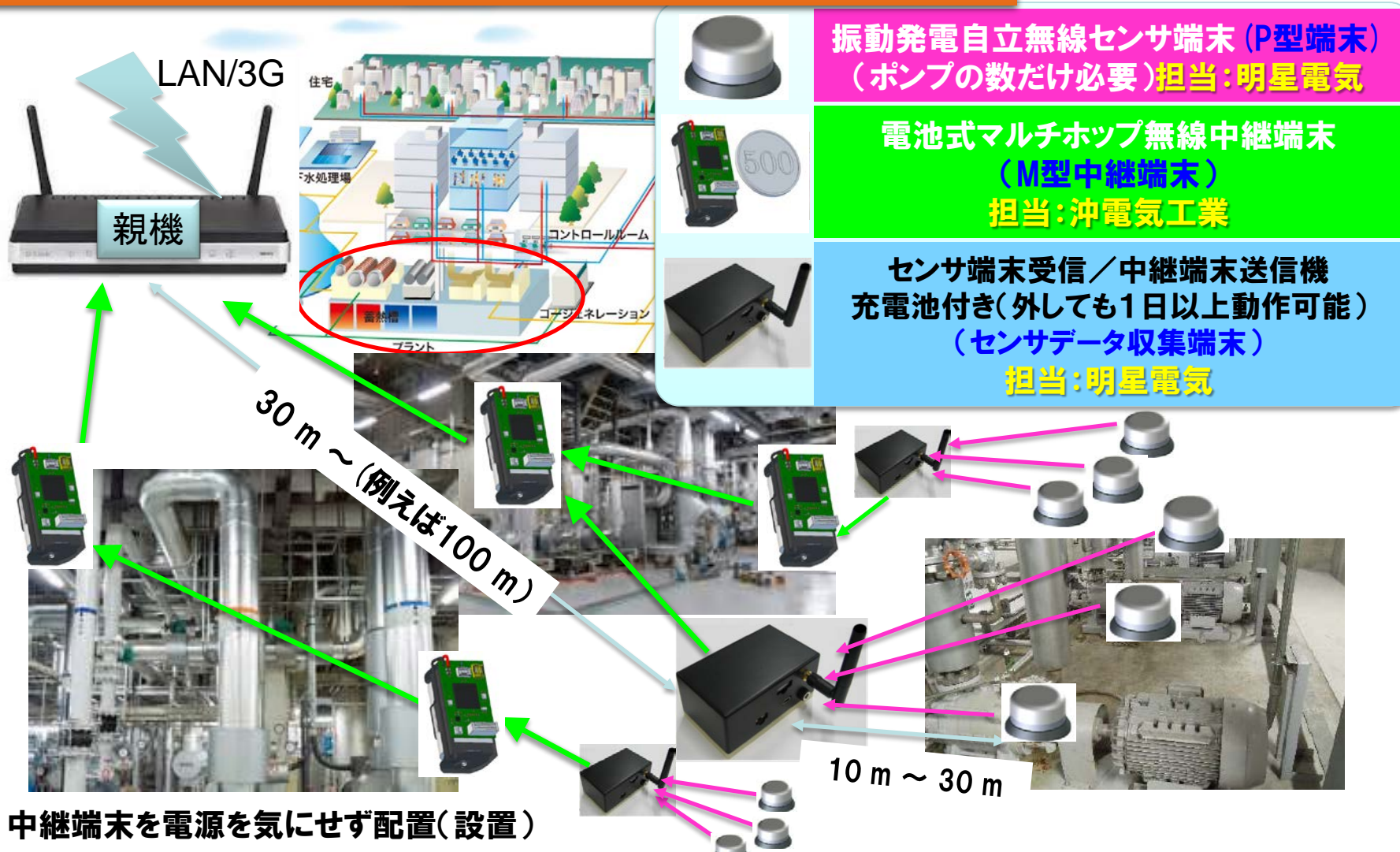
モニタリングシステム  
の開発  
と実証システム  
構築・実験

クラウド

回線

# 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



振動発電自立無線センサ端末 (P型端末)  
(ポンプの数だけ必要) 担当: 明星電気

電池式マルチホップ無線中継端末  
(M型中継端末)  
担当: 沖電気工業

センサ端末受信 / 中継端末送信機  
充電電池付き(外しても1日以上動作可能)  
(センサデータ収集端末)  
担当: 明星電気

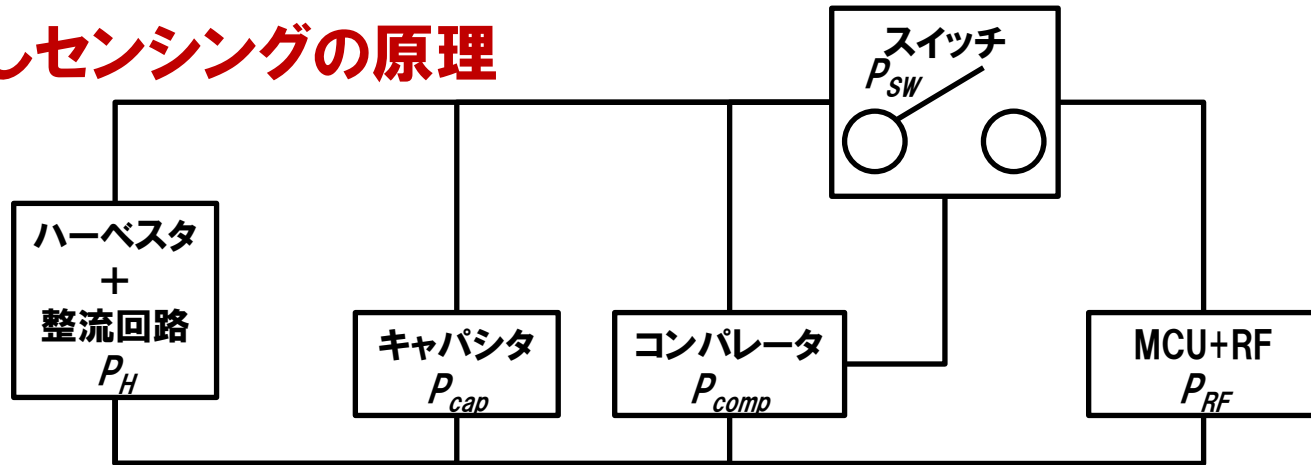
中継端末を電源を気にせず配置(設置)

# 目標とする端末

基本計画端末仕様	中間のP型端末(H28年度)	最終のP型端末
振動または変位+温度計測機能	圧電振動センサ(カウント型)+半導体温度センサ	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)	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	1次電池を併用したハイブリッド電源(端末消費電力:10 $\mu$ W)	センサの振動発電のみで動作(端末消費電力:5 $\mu$ W)
地震等の突発事象検出	センサデータ収集端末に感震器を接続(震度4相当の地震で動作)	センサデータ収集端末に感震器を接続(震度4相当の地震で動作)
サイズ:概ね7cmx10cmx5cm以下	直径30mm、高さ50mm 突起部(落下防止用固定部)除く	ペットボトルキャップ大
無線通信:免許不要、通信距離30m以上	920MHz特定小電力、障害物が無い場合に30m以上、実環境では10m以上	920MHz特定小電力、障害物が無い場合に30m以上、実環境では10m以上
信頼性:10年以上	実環境下で1年以上の実証実験可	実環境下で10年以上
(想定端末コスト)		(1000円前後)

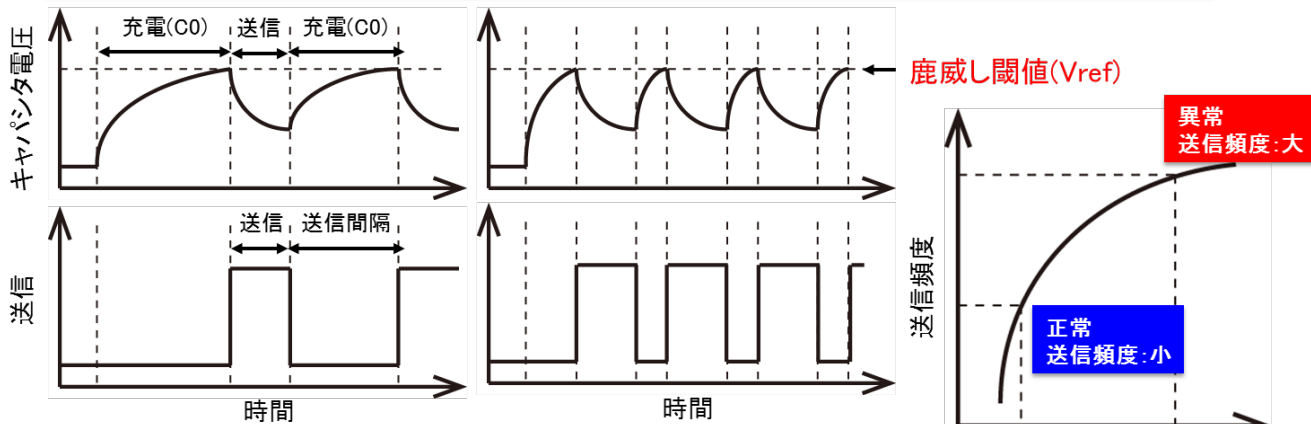


## 鹿威しセンシングの原理



### 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



振動加速度:小⇒送信頻度:小

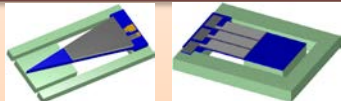
振動加速度:大⇒送信頻度:大

振動加速度

# 開発分担

医療機関、地域冷暖房設備他

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



鹿威しセンシング方式



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

(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実証と開発(高砂熱学工業)

高砂熱学工業

クラウド

回線

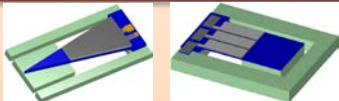
無線親機  
データ収集装置

構造的に複雑な環境下で通信の信頼性確保

# 開発分担

医療機関、地域冷暖房設備他

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



鹿威しセンシング方式



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

ネットワー

(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・実証

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

## <H26、27年度>

- ・振動発電: AINを用いたデバイス開発⇒ $0.1 \mu\text{W}$
- ・アナログ回路: 消費電力 $1 \mu\text{W}$

## <H28年度>

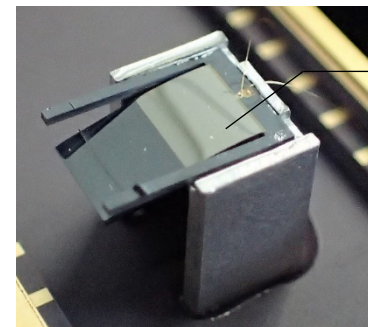
- ・振動発電: ScAINの導入検討⇒ $0.5 \mu\text{W}$
- ・アナログ回路: 消費電力 $0.2 \mu\text{W}$
- ・振動センサ: 低消費電力でポンプ運転/停止の判別

## <H29年度>

- ・振動発電: ScAINを用いたデバイス開発⇒ $1 \mu\text{W}$
- ・端末開発: 小型化

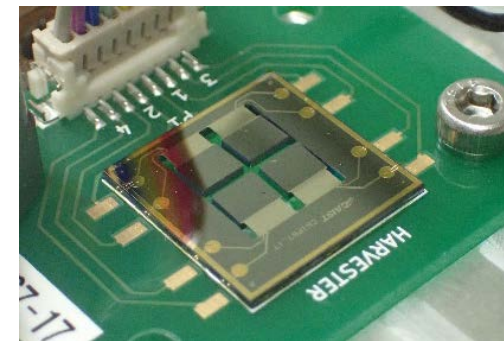
## <H30年度>

- ・振動発電: ScAIN成膜/プロセス技術、設計の改良⇒ $5 \mu\text{W}$
- ・端末開発: 長寿命化



ScAIN薄膜

ScAIN振動発電センサデバイスの  
プロトタイプ



端末搭載の振動発電センサデバイス

## 超小型な電池レス無線振動センシング端末

### ① 高効率振動発電

高効率振動発電デバイス  
高効率整流回路

<技術的課題>

⇒ScAlN薄膜成膜、周波数応答の  
広帯域化

⇒低電流出力に対応した整流回路

### ② 超低消費電力電源制御回路

鹿威し方式  
超低消費電力アナログ回路

<技術的課題>

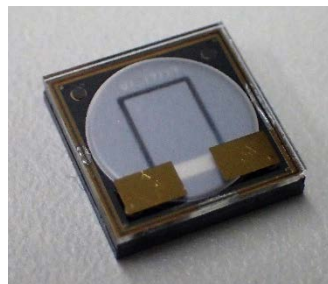
⇒駆動電圧以下時の回路動作

⇒市販品では電池レス動作は不可能

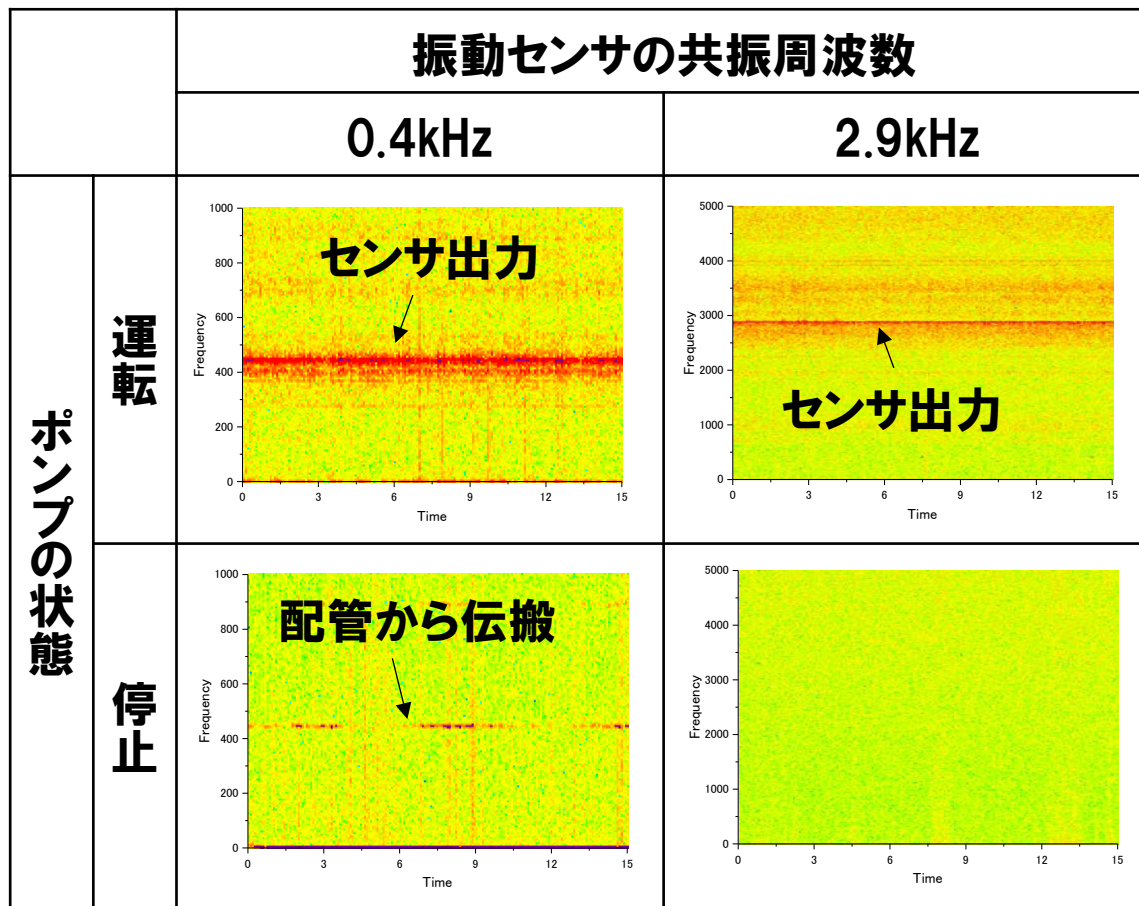
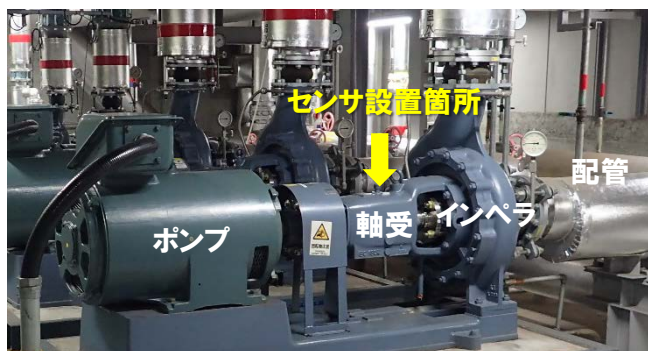


# 研究開発成果: 振動センサ

☆ 圧電MEMS + 機械共振 + シンプルなアンプ回路 = 低消費電力振動センサ



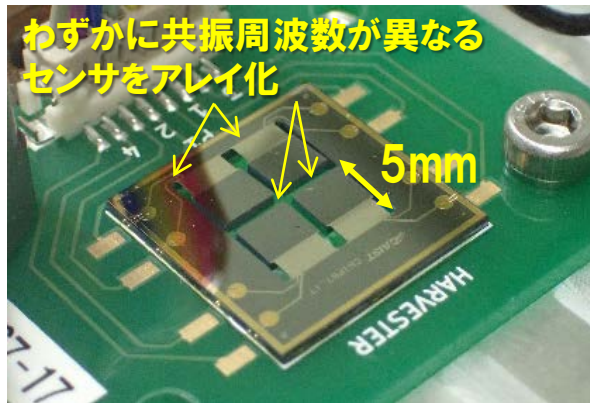
AIN圧電MEMS  
振動センサデバイス  
+  
アンプ回路消費電力: 20  $\mu$ A



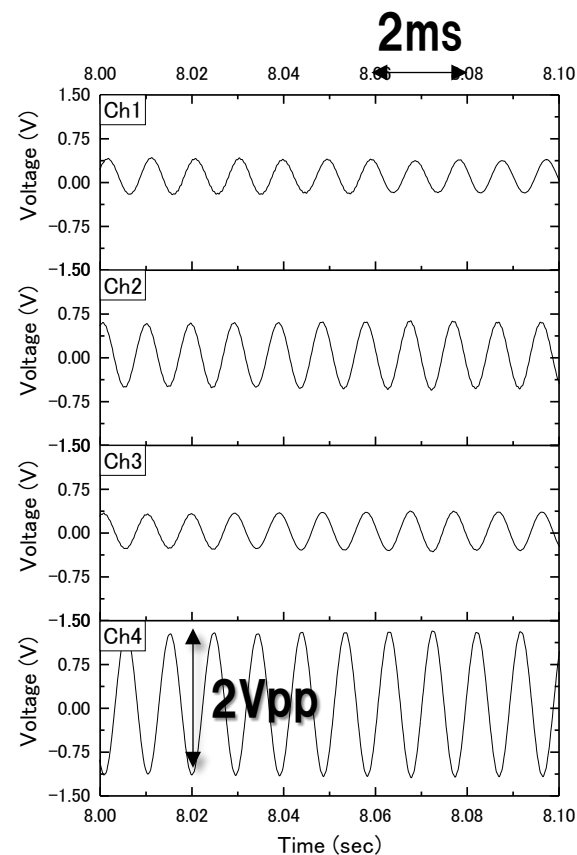
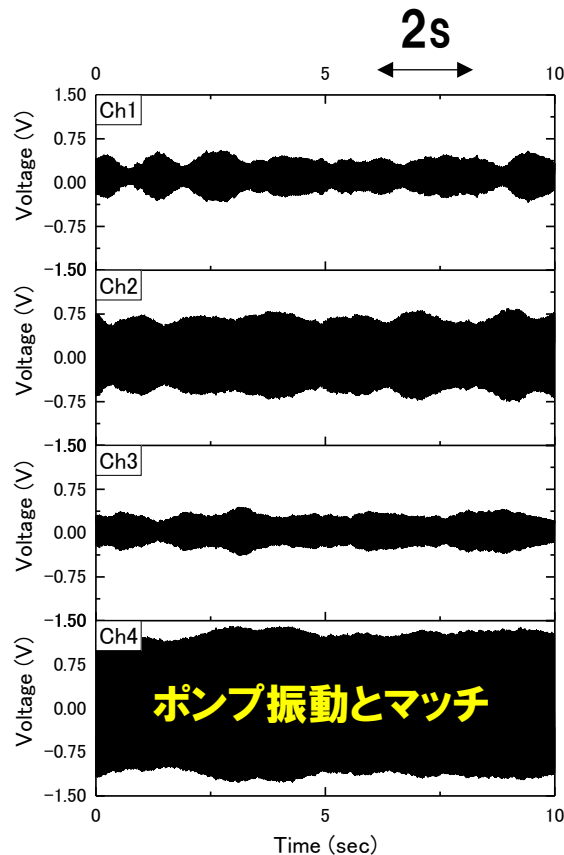
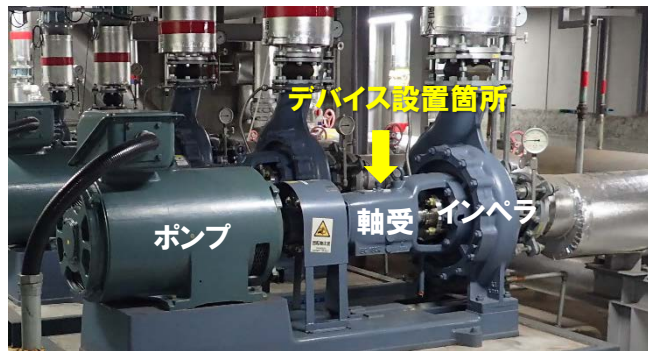
消費電力20  $\mu$ Aの高感度振動センサを開発

# 研究開発成果: 振動発電センサデバイス

## ☆ 商用運用されているポンプ上で発電性能を評価



4ch. AIN圧電MEMS  
振動発電センサデバイス



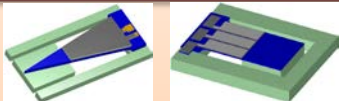
共振周波数: 105Hz周辺

5x4mm<sup>2</sup>の小型デバイスでも、端末駆動可能な電力を発電できる

# 開発分担

医療機関、地域冷暖房設備他

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



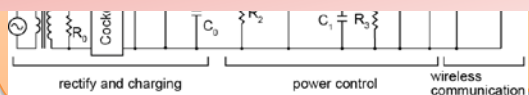
鹿威しセンシング方式



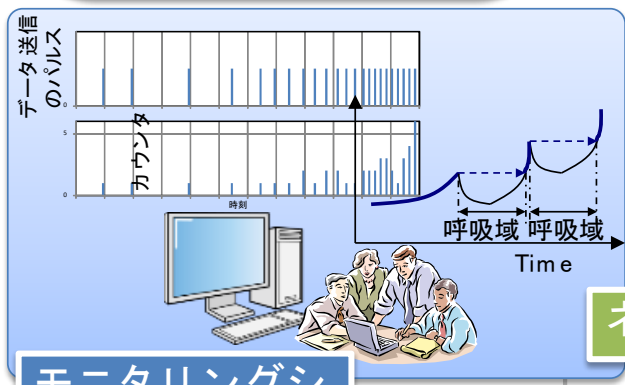
ウェハレベル集積化プロセス

(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

(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実証と実証(高砂熱学工業)

構築・実証

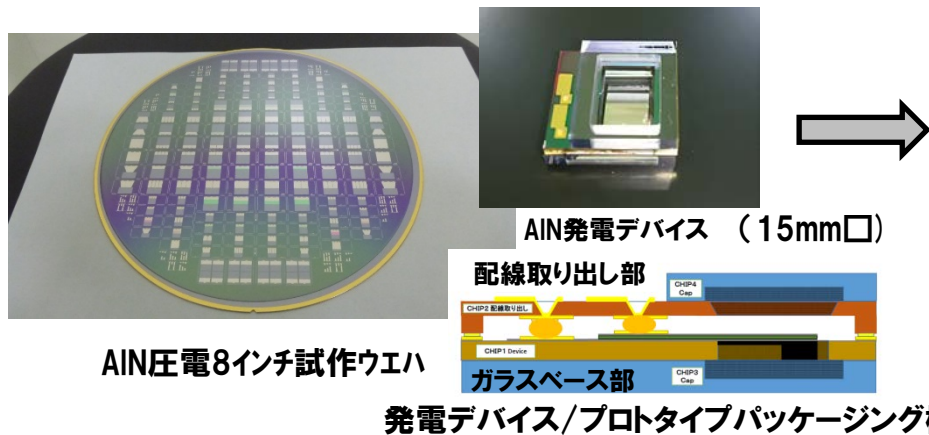
クラウド

回線

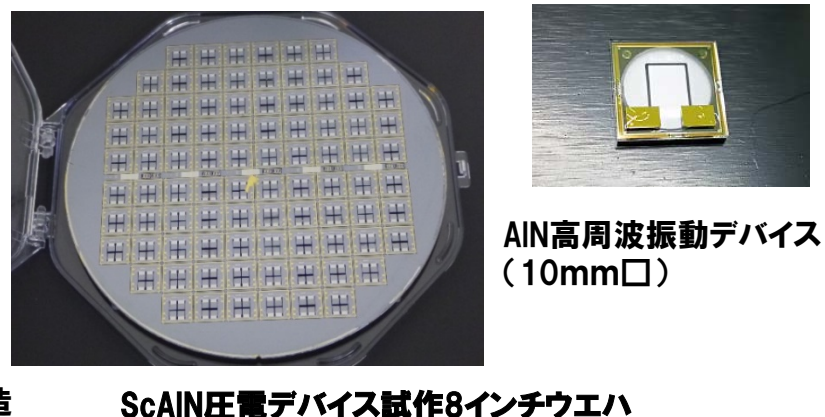
無線親機  
データ収集装置

構造的に複雑な環境下で通信の信頼性確保

## H26・27年度：8in AIN圧電 オールドライウエハプロセス



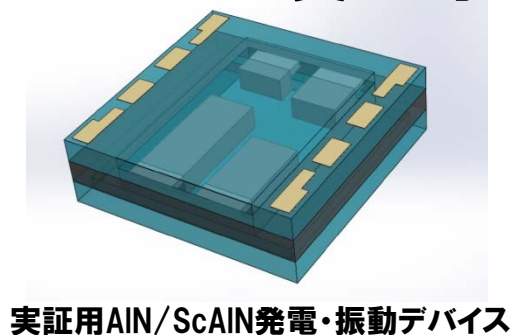
## H28年度：C to Cパッケージ /ScAINカンチレバープロセス



## H29年度：C to C 封止パッケージ



## H30年度：W to W 真空封止パッケージ



## 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

- ① 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  
オールドライブプロセスの完成

- ② 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

### <技術的課題>

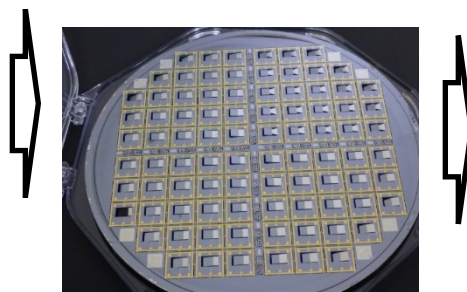
- 8インチ基板で均一なデバイス  
特性(圧電特性、機械特性)
  - 歩留り向上
- 
- ウエハレベルTGV構造/  
真空封止プロセスの確立
  - 圧電デバイスへダメージが  
無い、低温実装技術確立

オールドライのAlN、ScAlN圧電一貫工程プロセスを開発。  
低周波用及び高周波用カンチレバーチップを試作し、実証用  
パッケージデバイスを産総研、明星電気に提供。

## 8inオールドライAlN圧電 一貫加工工程プロセス

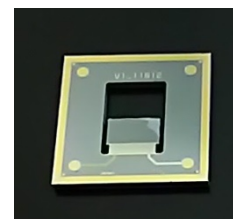


## 8インチ試作ウエハ

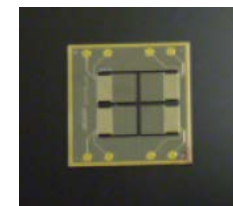


AlN  $d_{33}$ : 6.4 (pm/V)  
ScAlN  $d_{33}$ : 約15 (pm/V)

## 圧電チップ



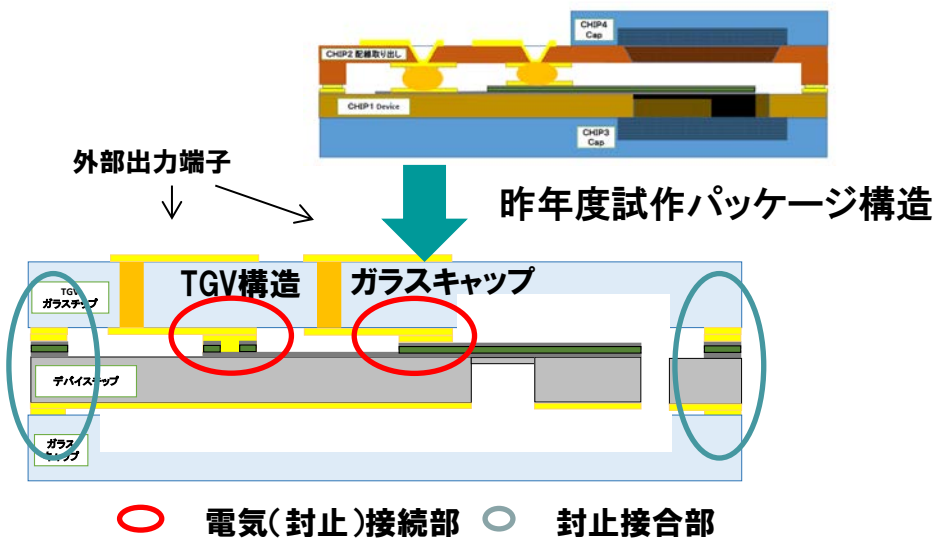
高周波デバイス  
 $F_0$ : 1, 2, 4, 8 KHz  
(10mm□)



低周波デバイス  
 $F_0$ : ~110Hz  
(15mm□)

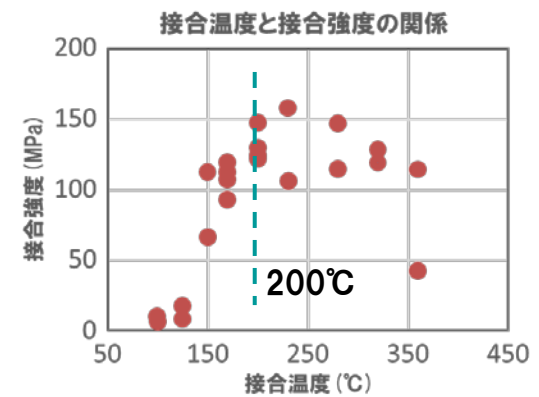
- Ar + Cl<sub>2</sub>系ガスによる  
Pt電極、AlN、ScAlN 圧電膜ドライエッチング技術確立
- DC/rf 連続スパッタ成膜による均一応力制御  
Pt/AlN・ScAlN/Pt 積層圧電構造成膜技術確立

プラズマ活性化低温Au-Au接合により、良好な封止特性、低抵抗電気接合を実現。  
TGVによる信号取り出し構造と封止構造を有するガラス基板を用いた圧電デバイスパッケージ構造を開発



## 圧電発電・振動デバイス実証用パッケージング構造

- 出力向上のため、SiTSV構造をガラスTGV構造に改良
- 接合工程品質向上のため、接合部と貫通電極部を分離



Au-Au接合実験結果(温度vs接合強度)

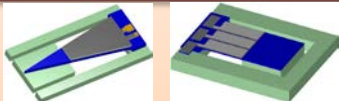
Au-Au接合実験結果(温度vs封止リーク特性)

条件	1	2	3
接合温度(°C)	170	200	230
試料1	<6.0E-11	<6.0E-11	<6.0E-11
試料2	<6.0E-11	<6.0E-11	<6.0E-11
試料3	<6.0E-11	6.0E-06	<6.0E-11

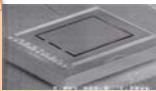
JIS合格判定基準:  $1 \sim 2E-9 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

# 開発分担

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



鹿威しセンシング方式



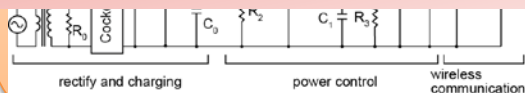
ウェハレベル集積化プロセス

医療機関、地域冷暖房設備他

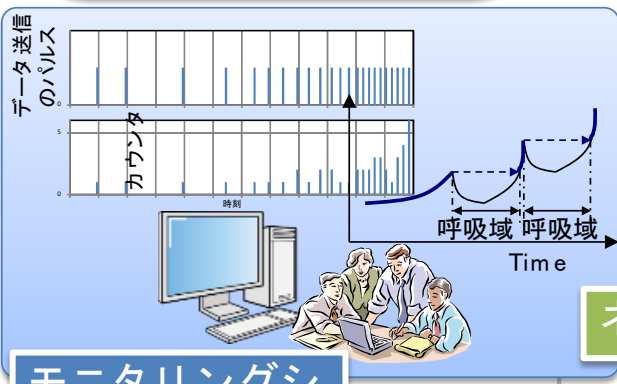


(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(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

(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実証と実証(高砂熱学工業)

構築・実証

クラウド

回線

無線親機  
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



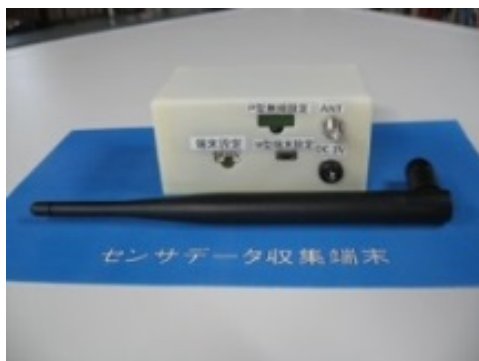
# 開発テーマ進捗・目標 (P型センサ端末)



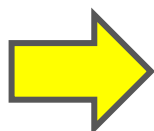
## P型センサ端末の仕様

項目	0次試作 (H28年9月)	1次試作 (H29年11月)	最終 (H30年8月予定)
無線通信	920MHz帯	920MHz帯	920MHz帯
無線通信距離	30m以上	30m以上	30m以上
低周波 (振動発電)	シングルデバイス	マルチデバイス加算	マルチデバイス加算
高周波振動データ	-	1	4
表面温度データ	1	1	1
端末動作電源	補助電池、振動発電	振動発電、補助電池	振動発電、補助電池
外形寸法	30φ, 46mm (突起部除く)	40mm□, 35mm (突起部除く)	40mm□, 30mm (突起部除く)
耐久性	1年	3年	10年

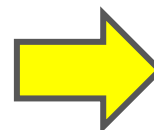
# 開発テーマ進捗・目標(センサデータ収集端末)



センサデータ収集  
端末外形モデル



センサデータ収集  
0次端末



センサデータ収集  
1次端末

適用時期	2016年4月より	2017年11月予定
無線通信	920MHz帯	920MHz帯
無線中継	センサ(単向通信)→ マルチホップ無線機へ	センサ(単向通信)(2エリア対応) →省電力マルチホップ無線機へ
機能	シリアルログ通信	ログ記録 停電バックアップ機能 感震検知機能
外形寸法	90mm×60mm×50mm	105mm×70mm×50mm

## P型センサ端末

**P型0次端末（ケース高）のひっかけに対する安全対策**

**<取り組み>**

- ・低背化設計
- ・センサデバイスに合わせたベース筐体の設計

## センサデータ収集端末

**地震等の災害時ポンプ動作モニタリング対応**

**<取り組み>**

- ・感震機能、停電動作の機能追加
- ・上位無線中継局への重複データ量低減のため無線エリア（無線CH）の分割

## ～P型端末の実証実験～

P型0次端末

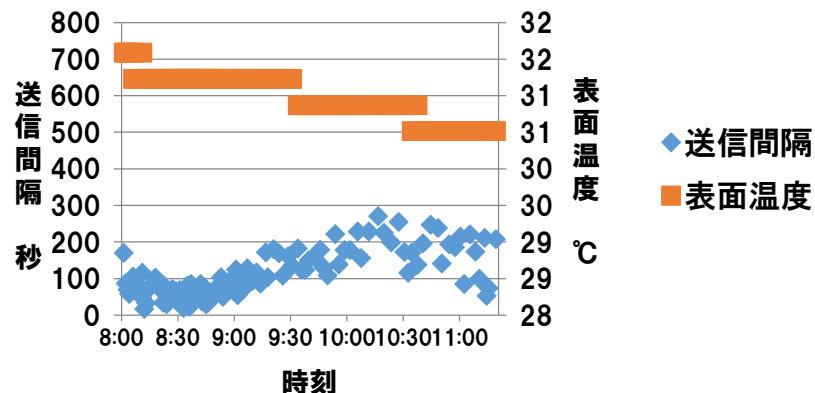


立型ポンプの場合

センサデータ収集  
0次端末



都内熱供給事業者ポンプでの測定データ例



2016年9月より都内熱供給事業者機械室、病院機械室にて  
実証実験を開始  
振動デバイスデータ、温度データの計測を開始した

### 実証試験設備

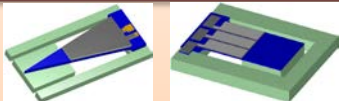
P型センサ端末をポンプに取り付け  
センサデータ収集端末で受信収集し、M型中継器(沖電気工業)に無線中継伝送する。M型中継器はセンタ装置に伝送し、センタ装置(高砂熱学)にてデータ解析する



横型ポンプの場合

# 開発分担

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



鹿威しセンシング方式



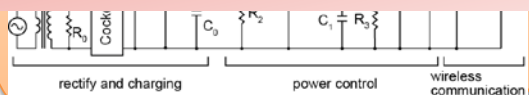
ウェハレベル集積化プロセス

医療機関、地域冷暖房設備他

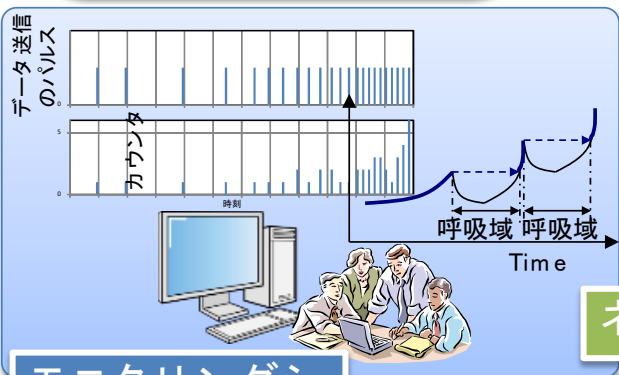


(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(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)



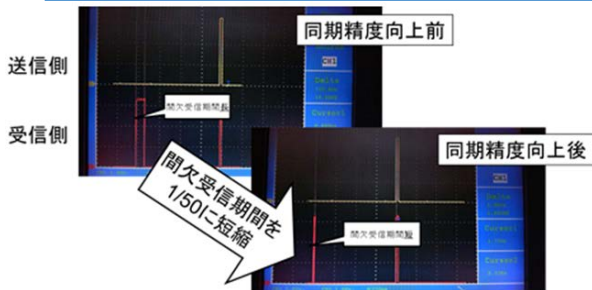
(4) コアモニタリング用ネットワークシステムの開発(沖電気工業)

(5) コアモニタリングシステムの実証と実証(高砂熱学工業)



## H26・H27年度

クロック補正機能を持つ  
時刻同期型省電力通信方式



時刻同期精度向上による簡潔受信時間の短縮  
⇒消費電力削減に成功

## H28年度

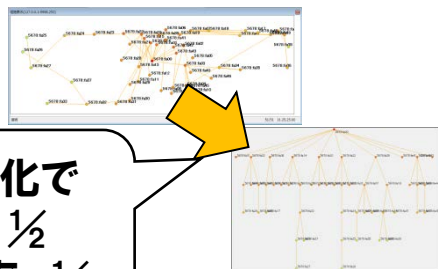
超小型M型中継端末試作機



- ・1時間あたりの平均消費電力を150uWに削減
- ・想定されている環境下でマルチホップ無線通信を利用してPER:0%で50mの以上の通信を確認

## H29年度

子ノード平滑化方式の確立



子ノード平滑化で  
送信電力  $\frac{1}{2}$   
衝突発生確率  $\frac{1}{4}$

## H30年度(最終年)

長距離・耐環境M型中継機/クラウド連携

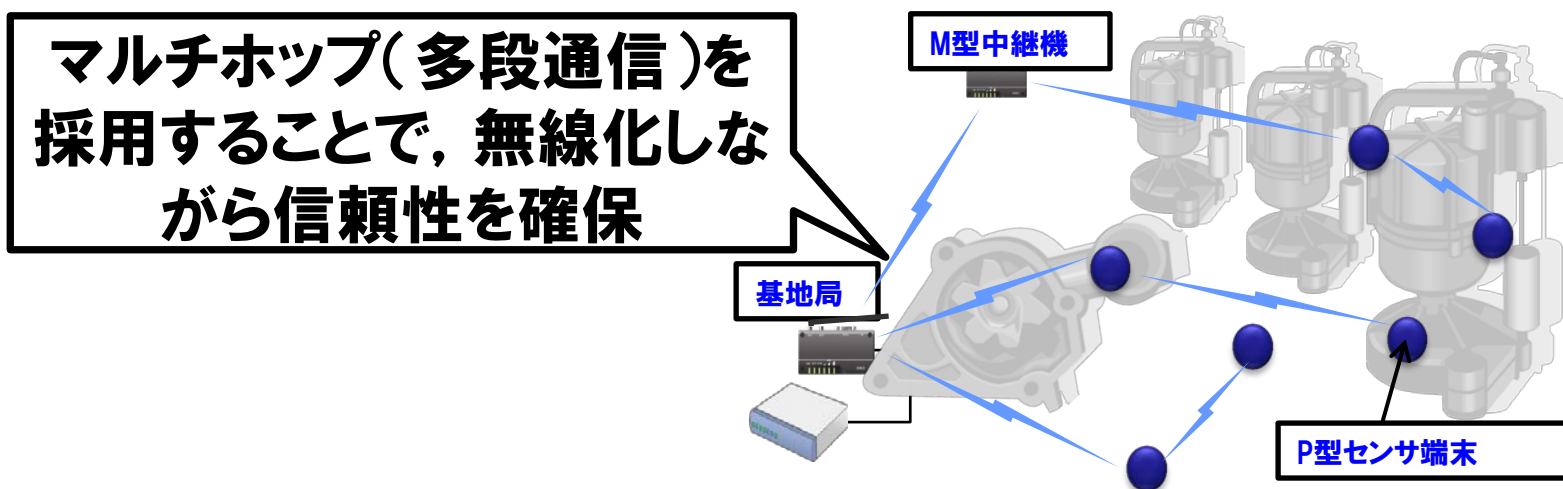
クラウドサービスと連携  
可能な基地局を開発  
測定結果の解析を実施

クラウド  
サービス

防塵防水・長距離通信  
可能なM型端末

## 背景: ライフラインコアモニタリングシステムのためのネットワーク

- **モニタリングシステムの導入⇒ケーブル敷設が課題**
- **対策: マルチホップ無線化**
  - 電池利用で完全ケーブルレス
  - マルチホップで障害物を回り込んで通信を継続

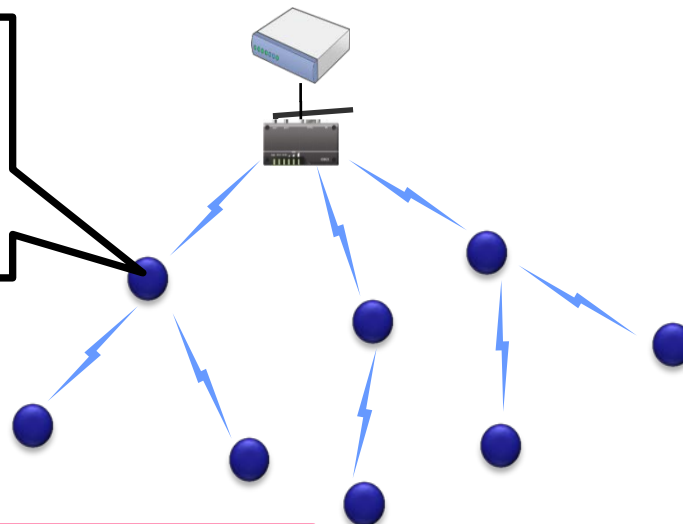


## ■ 課題：中継機の省電力化技術がまだ未熟

- 省電力化⇒スリープ制御の実施
  - ▶ スリープ中＝通信ができない
- マルチホップネットワークは省電力化が難しい
  - ▶ 送信先(中継ノード)が頻繁にスリープ

マルチホップネットワーク

マルチホップ無線NW:  
中継器の省電力化が難しい





## ■ 開発テーマの最終目標:

- 2500mAhで10年程度連続動作する, センサデータ中継用のM型中継機のためのプロトコルスタックを開発する.

## ■ 開発課題:

- 時刻同期型の省電力通信方法

⇒H26年～H27年で開発完了

- 再送を伴わない衝突回避制御方法

⇒H28～H29年度に開発

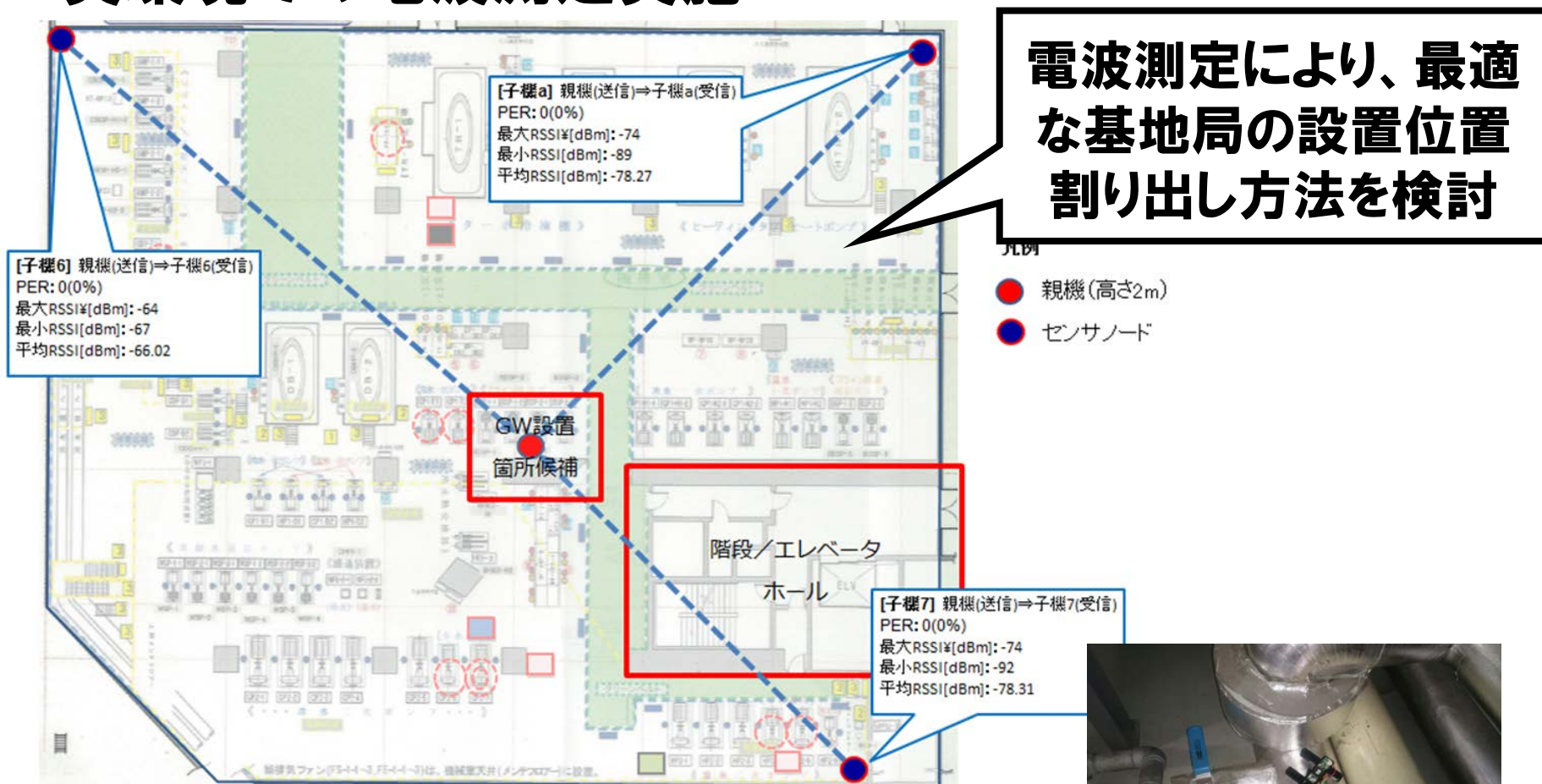
- 無線ネットワークシステム構築のガイドライン作成

⇒H29～H30年度に方式検討

H29年度開発

## H28開発項目:ガイドライン作成のためのデータ収集

### ■ 実環境での電波測定実施

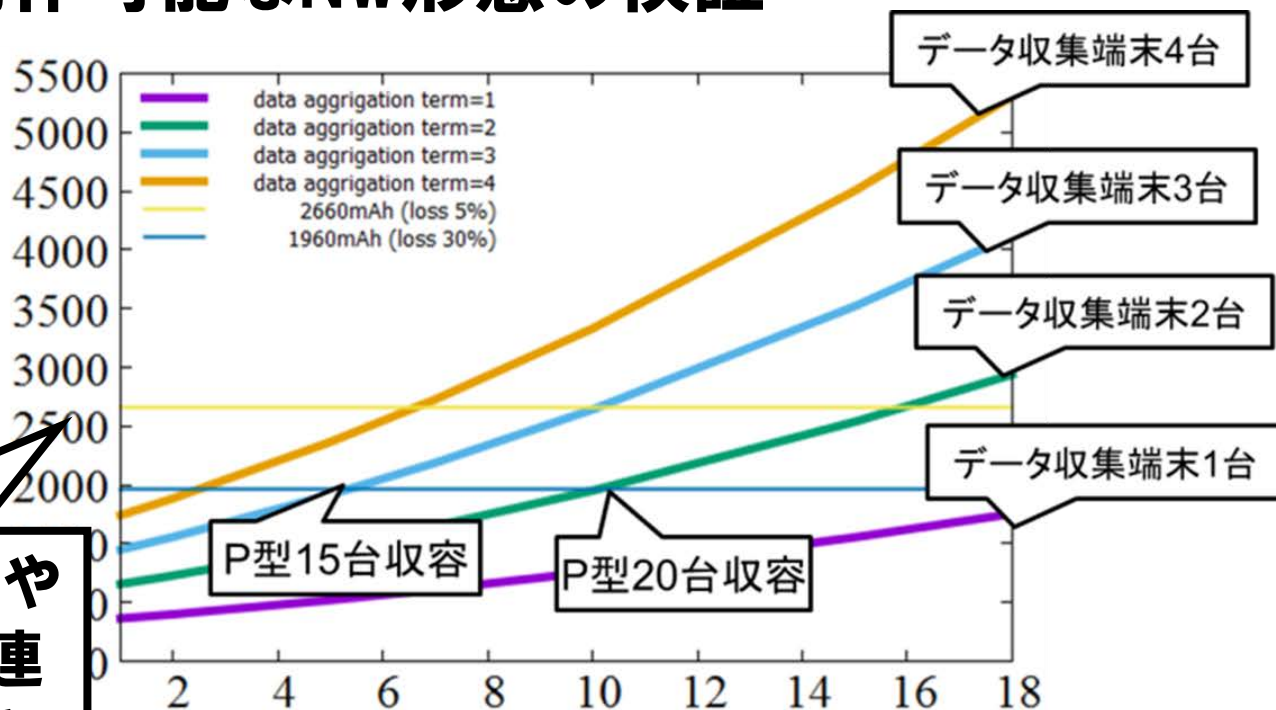


## H28開発項目:ガイドライン作成のためのデータ収集

### ■ M型端末の電池寿命検証を実施:

#### ■ 10年連続動作可能なNW形態の検証

10年動作に  
必要な電池容量  
(mAh)

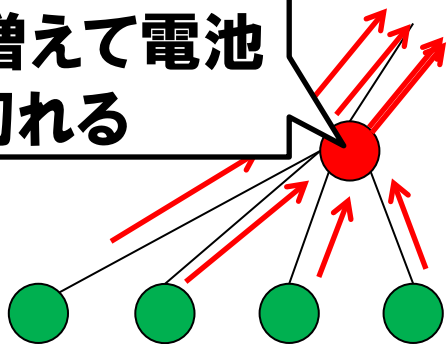


M型端末の消費電力や  
想定動作から10年連  
続動作が保証できる  
NW形態を推定

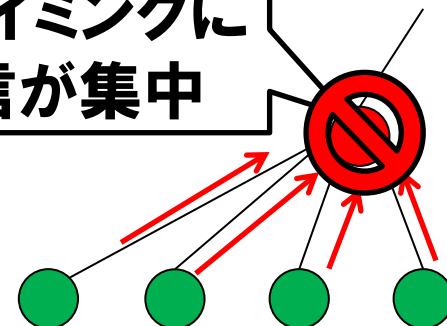
## H29開発項目:再送を伴わない衝突回避方式の開発

- 省電力マルチホップNW:自立的にNWを構築  
→特定のノードにトラフィックが集中
- 課題:「消費電力の上昇」「輻輳発生率上昇」
- 対策:データ送信ノードを分散させることでトラフィックの集中を回避

**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



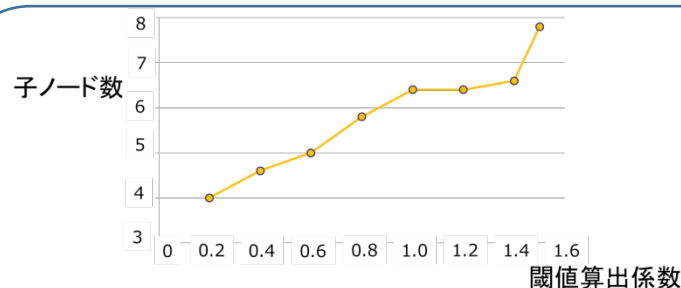
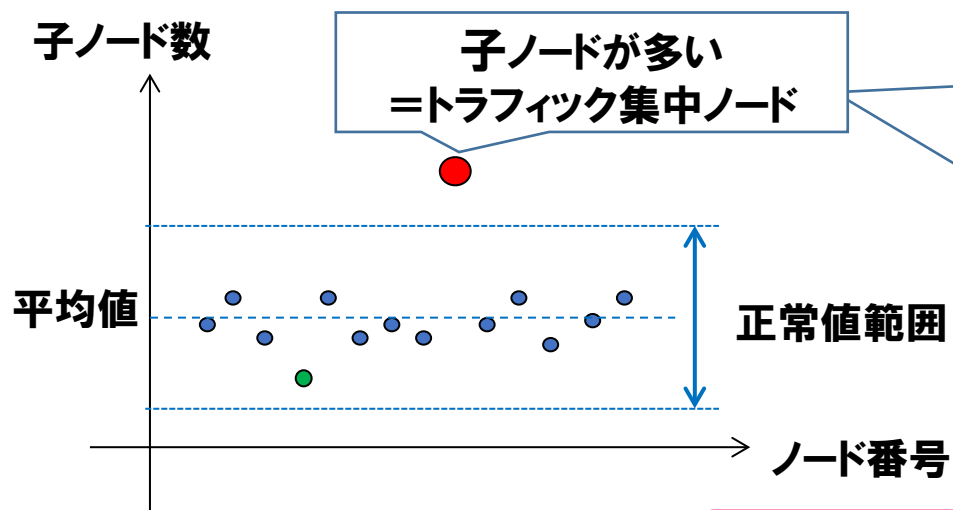
## H29開発項目：再送を伴わない衝突回避方式の開発

### ■ 工夫点：トラフィックが集中しているノードの選別方法

- 通常の統計的な手法：ネットワークサイズによっては正しい選別ができない

### ■ 提案選別方法：箱ひげ図法を採用

- UCoMSが対象とするネットワーク規模でも正しくトラフィック集中ノードの選別が可能
- 更にUCoMSで発生しうる様々なネットワーク形態で、トラフィック集中ノードが正しく選別ができるようアルゴリズムの最適化を実施



トラフィック集中ノードをただしく選別するためにアルゴリズムを最適化

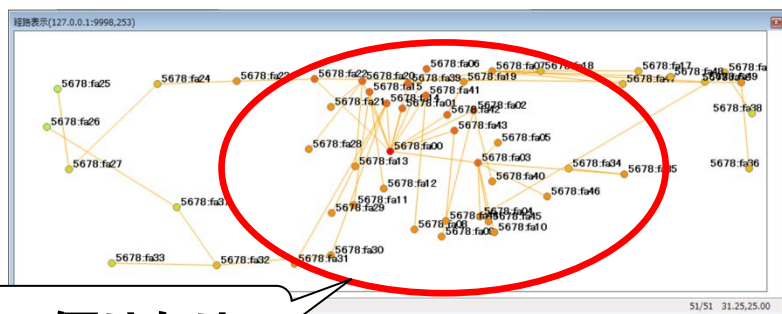
## H29開発項目:再送を伴わない衝突回避方式の開発

■ ノードの偏りを解消する方式を考案し効果を検証

● 50台での屋外実証実験を実施

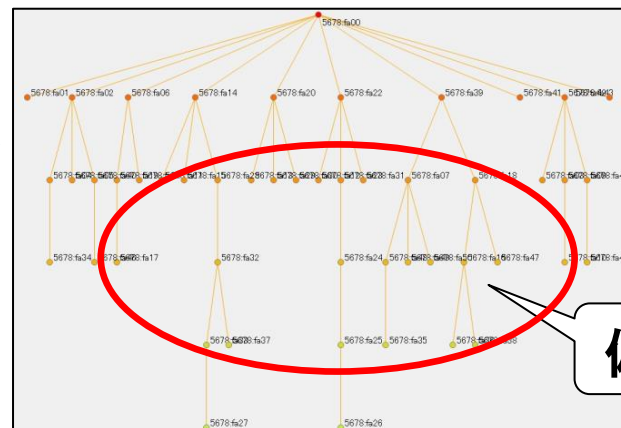
→送信電力および衝突確率が減少することを確認

初期状態



偏り有り

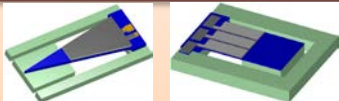
方式適応後状態



偏りを解消

# 開発分担

AIN-MEMS振動発電センサデバイス



鹿威しセンシング方式



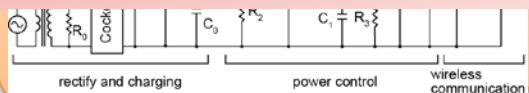
ウェハレベル集積化プロセス

医療機関、地域冷暖房設備他

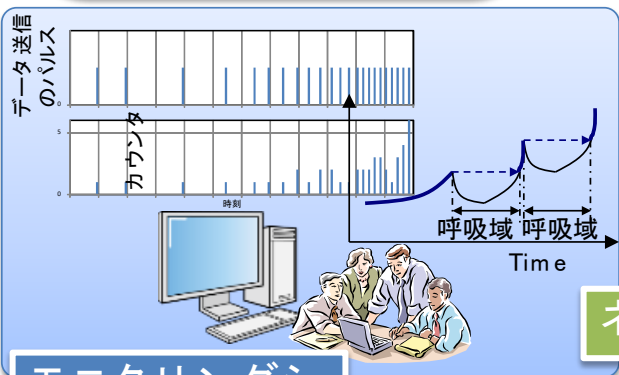


(1) コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発(産総研)

(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)

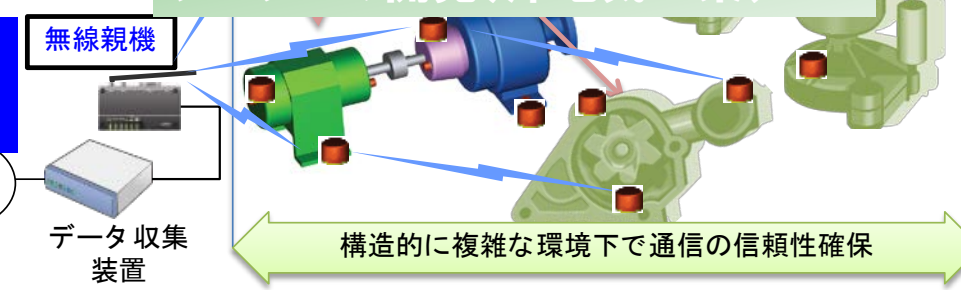


(3) コアモニタリング用センサ端末の開発(明星電気)



(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実証と実証(高砂熱学工業)

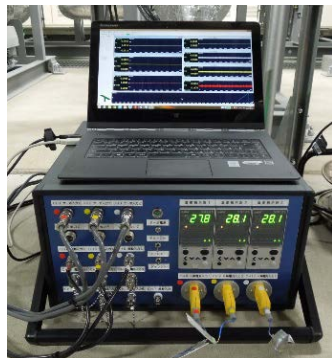


# コアモニタリングシステムの開発と実証

P型センサ端末のモニタリングシステムを開発し、実物件にて構築検証

H26年度: データのフィルタリング

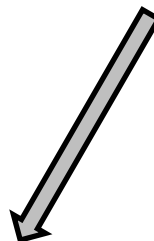
H27年度: 検知ロジックの開発



鹿威しセンサエミュレータの開発

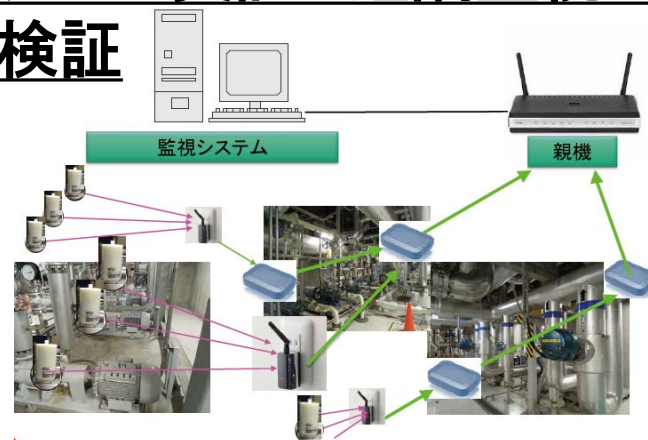
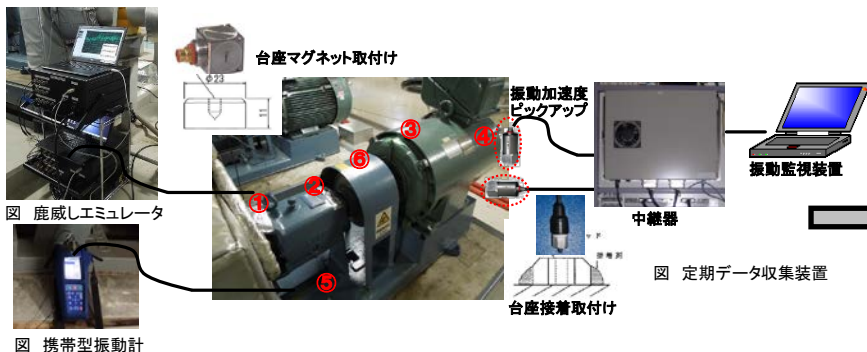


多ch鹿威しエミュレータによる振動伝播の把握



H28年度: 監視仕様の特定と試行

H29年度~H30年度: モニタリングシステムの実証と遠隔監視での効果検証

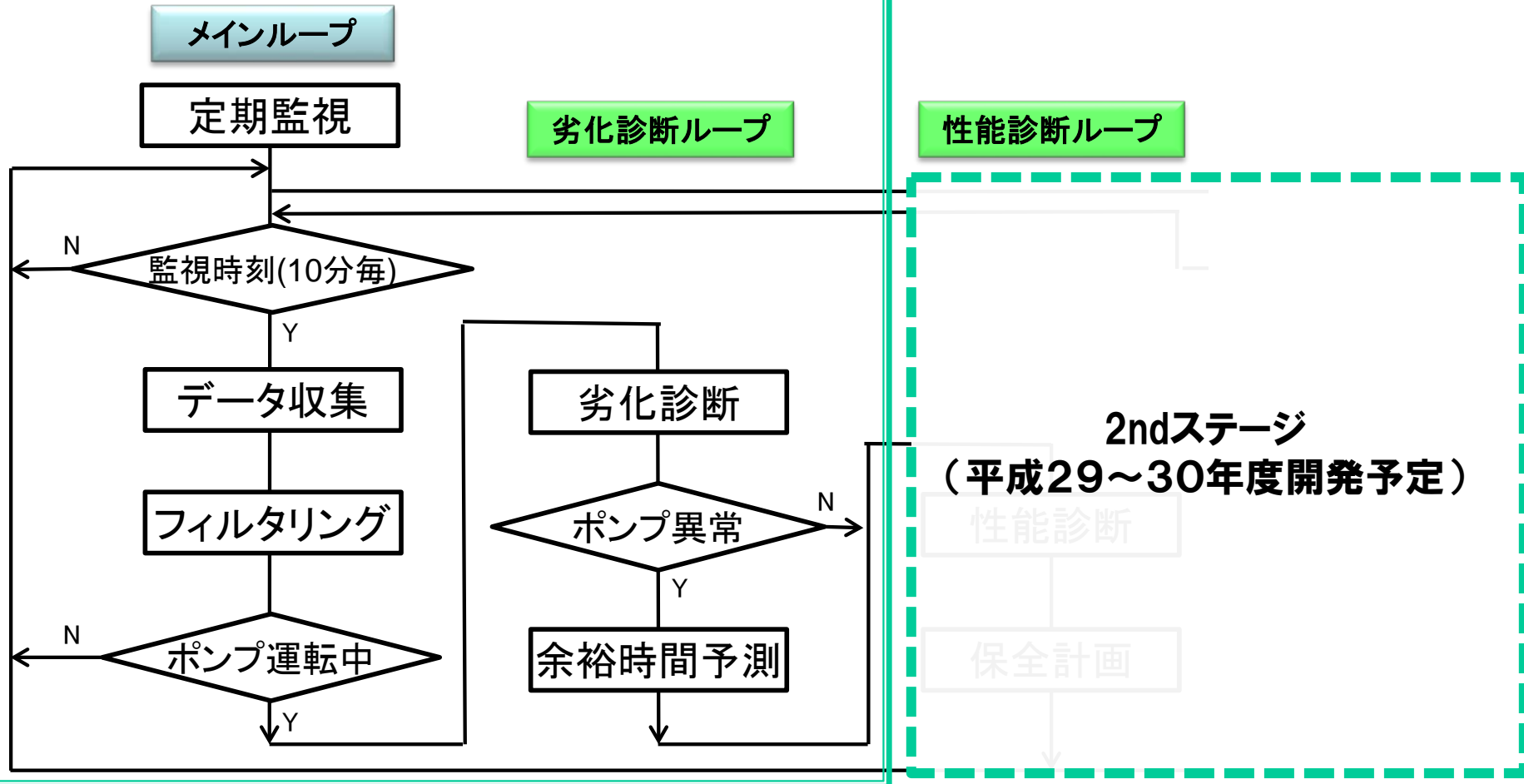


データ収集診断処理システムの  
プロトタイプ構築



## ■ コアモニタリングシステムの処理フロー

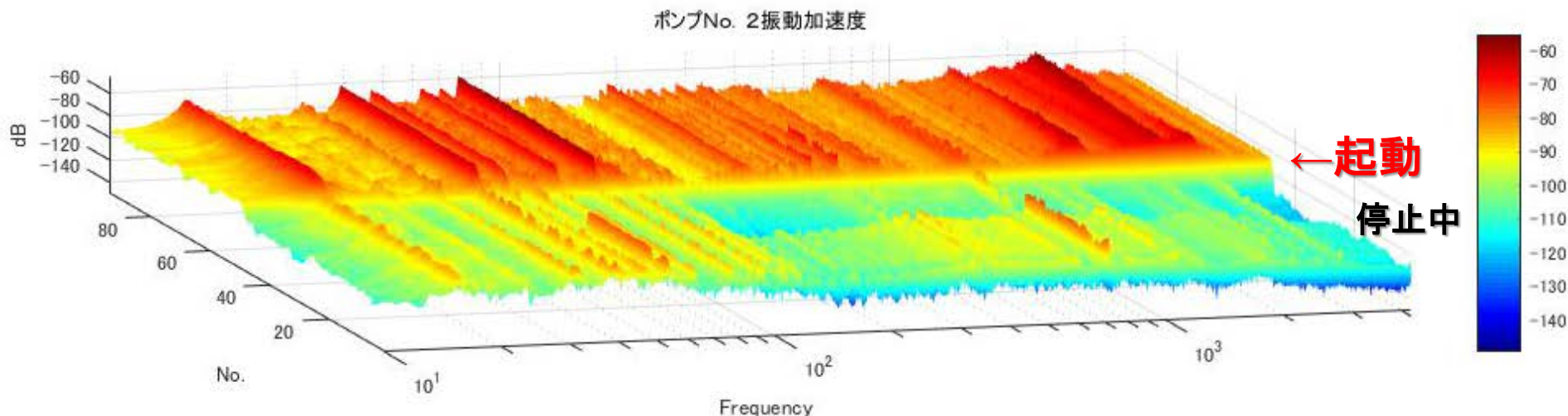
1stステージ(～H28年度開発)



⇒モニタリングの機能を順次拡張し、システムの有効性を向上

## ■ コアモニタリングシステムの要素技術(フィルタリング)

- ・ポンプ停止中から起動によってパワースペクトルに変化  
(低周波数帯域で10dB、200Hz以上の周波数帯域で30dBの変化)



- ・周波数帯域などによって振動加速度の変化が異なる、「ポンプの起動」、「負荷の変動」、「軸回転数の変化(インバータ電源)」について、収集したデータにフィルタをかけることで同一運転条件下のデータを診断対象とし、診断の確度を高める。

# コアモニタリングシステムの要素開発

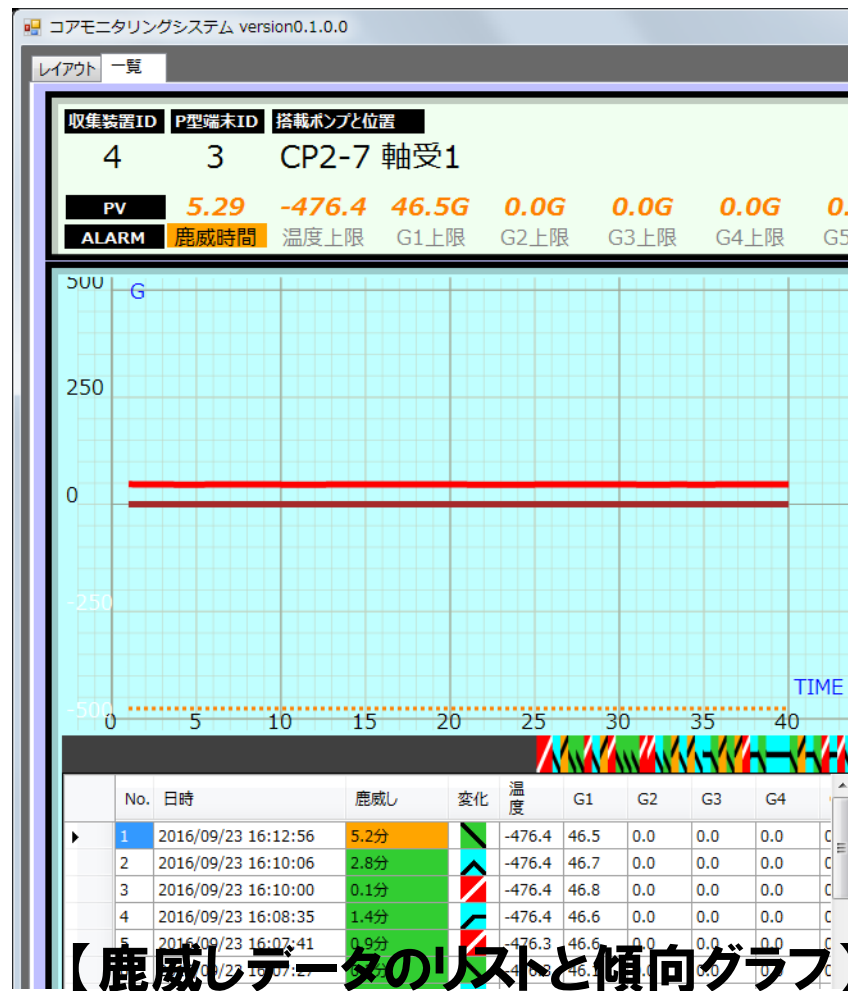
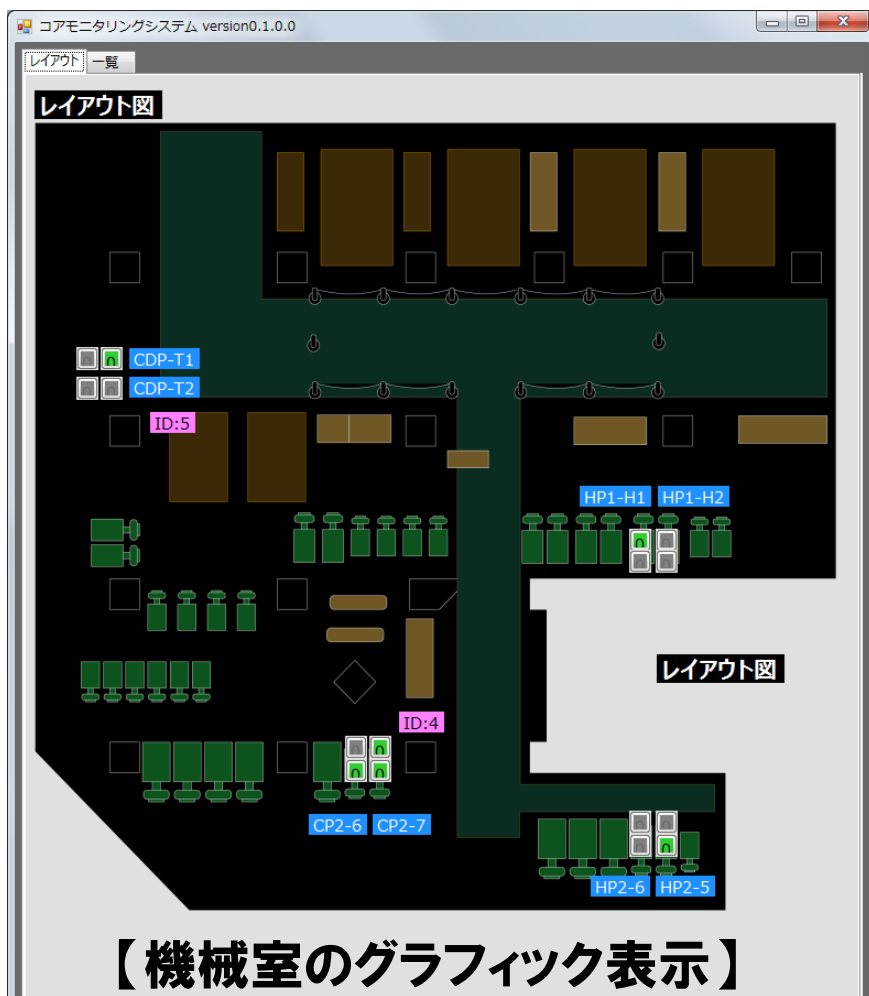
## ■ コアモニタリングシステムの要素技術(異常検知と診断)

- ・監視項目と異常原因をマトリックスに配置したフォルトディクショナリーで異常診断

異常原因 監視項目	原因 1	原因 2	原因 3
センサ温度	—	F	N
鹿威しデータの 時間間隔 $\Delta t$	F	F	F
振動センサ1	N	N	N
振動センサ2	—	N	F

⇒監視項目の組合せによる判断で診断の確度を向上

## コアモニタリングシステムの要素技術(見える化)



機械室の監視状況と鹿威しデータの劣化傾向を解り易く表示

# コアモニタリングシステムの構築と実証

## ■ コアモニタリングシステムの構築施設

【平成26年度から実証試験施設】

病院施設内の機械室に分散する  
中小型冷温水ポンプ



【平成27年度から地域熱供給施設  
での実証試験】

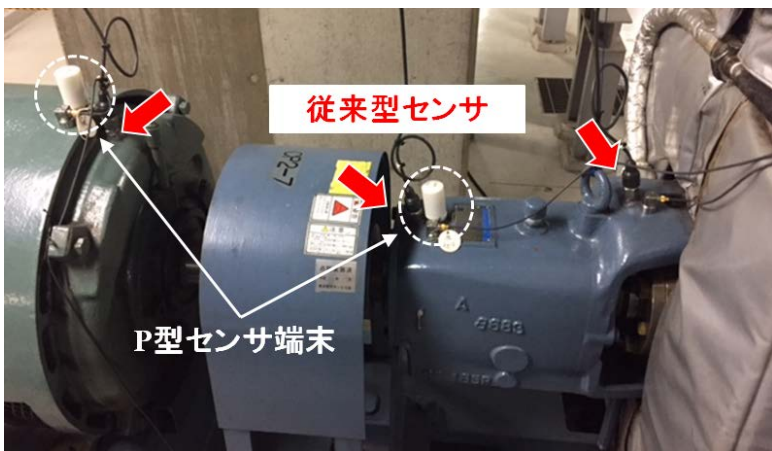
機械室に大型のポンプが多数設置



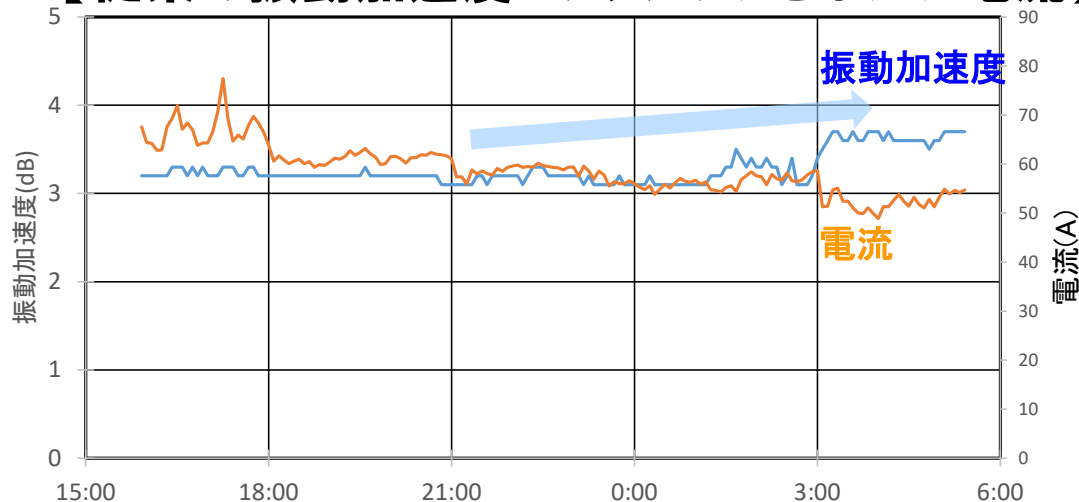
平成29年度からは製造施設など適用範囲を拡大

## ■ P型センサ端末での監視データの一例

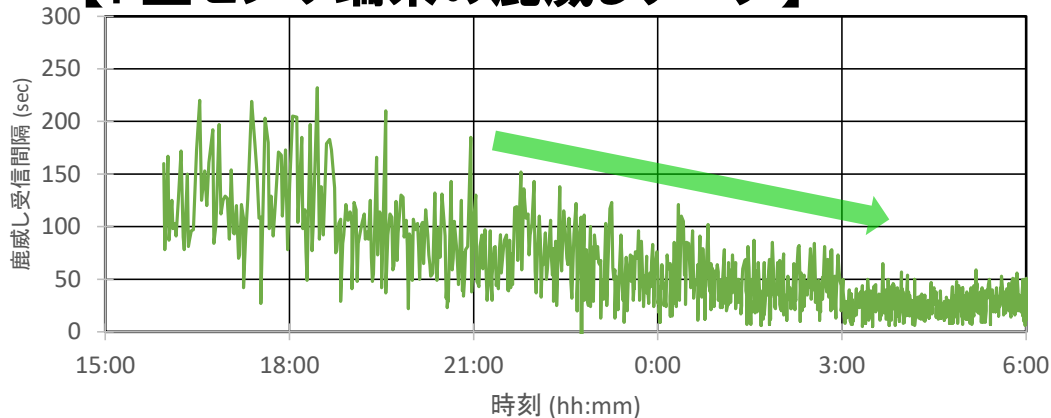
- ・既存加速度ピックアップと併設し、現場でのデータ信頼性を検証中



【従来の振動加速度ピックアップとポンプ電流】



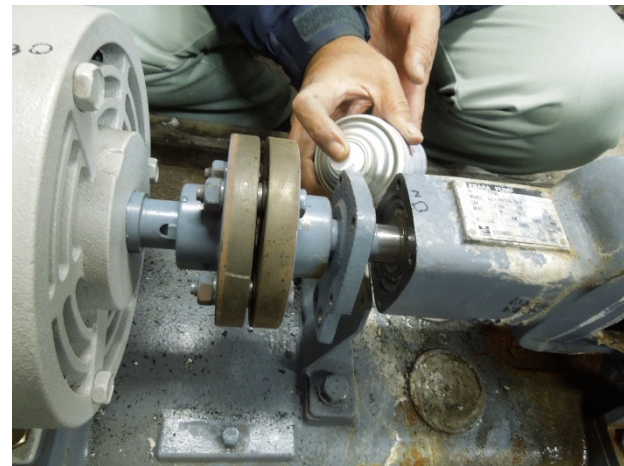
【P型センサ端末の鹿威しデータ】



振動加速度の増加に伴い、鹿威しデータの時間間隔が短くなる。電流(ポンプ負荷率)と振動加速度の相関解析には更なるデータの蓄積が必要。

# コアモニタリングシステムの精度検証

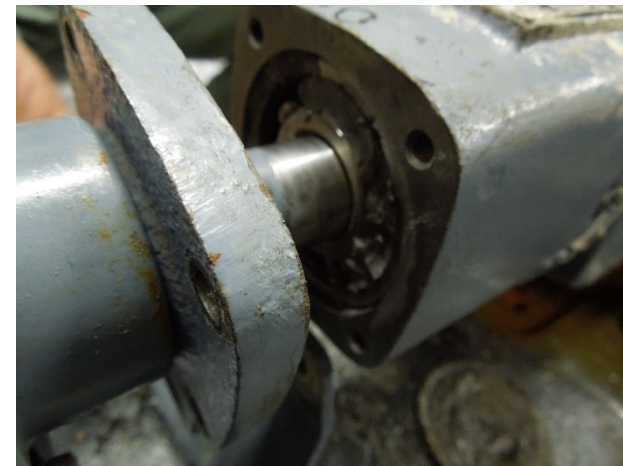
## 故障の再現実験で監視精度を検証



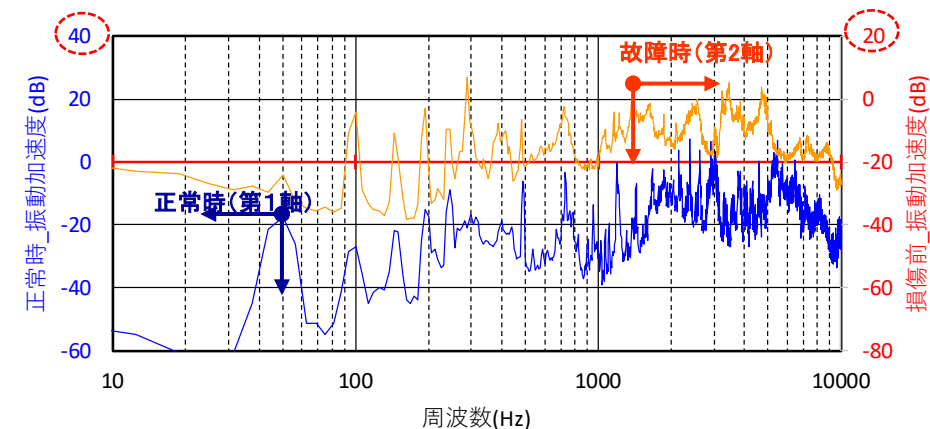
【異常レベル-1: 軸受脱脂】



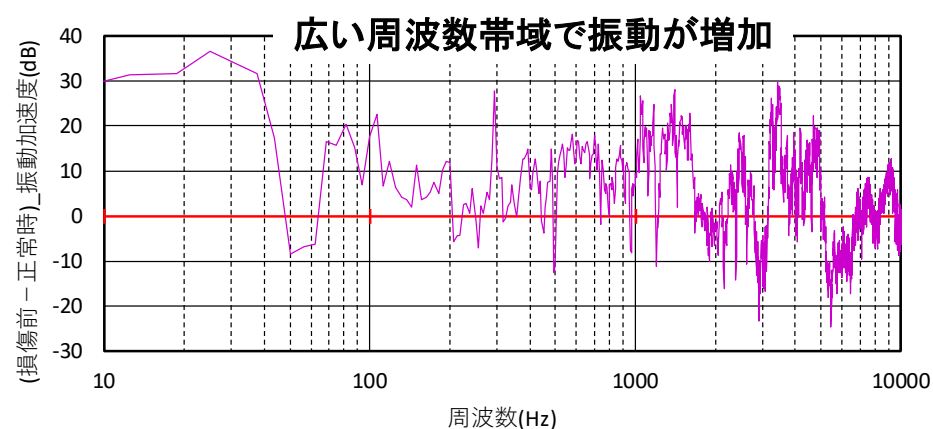
【異常レベル-2: 異物侵入】



【異常レベル-3: 金属パテで軸受のかじり】



【パワースペクトル: 正常時と異常レベル-3】



【パワースペクトルの差分: 正常時と異常レベル-3】

実証施設でのデータに模擬故障データを加味し、信頼性を検証中

# まとめ

発電デバイスを実装したP型センサ端末の試作機が完成し実証現場での試験に着手

(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) 高圧電定数材料ScAlN (AlNの約5倍)を用いた振動  
発電デバイスで発電量 $0.5 \mu\text{W}$  (2V) を達成し、電池レス端  
末動作を実証すると共に、低消費電力振動センサを開発  
し、実機ポンプ上での動作を確認

(2) 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(マイクロマシンセンター)

(2) AlN圧電デバイスの8インチプロセス開発を完了、量産  
試作を開始、プラズマ活性化Au-Au低温接合を用いたガ  
ラスパッケージプロセスの開発を完了

(3) コアモニタリング用センサ端末  
の開発(明星電気)

(3) P型端末(直径30mm)、センサデータ収集端末を開発  
し、実証現場のポンプで鹿威しデータ・表面温度データの  
収集用端末提供

(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) 同期型省電力通信機能により消費電力を $150 \mu\text{W}$   
/1hrに低減. 実施環境下でPEROで50mの無線通信を  
確認. ネットワーク10年連続動作のための基礎データ収集  
および衝突回避技術の開発完了

(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) 鹿威しデータによる異常検知・診断の要素技術とモニ  
タリングシステム試行版を開発、実証現場にP型端末と加  
速度ピックアップを併設しデータの信頼性評価に着手



**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。**