

「社会課題対応常時・継続モニタリングシステムの開発」

社会・産業インフラモニタリングシステム

現状の点検システム

- ・故障物理学を基本にした損傷解析に基づき、危険予測箇所を監視、点検
- ・一部有線センサによる常時モニタリング(コスト、設置性に課題あり)

+ 補完技術**提案する常時・継続モニタリングシステム**

- ・継続的なデータ取得による定量的評価・分析
- ・部材劣化に加えて構造物全体の不具合の兆候をも検知
- ・無線自立電源センサにより設置自由度が高く、多点・高密度センシング可能



I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

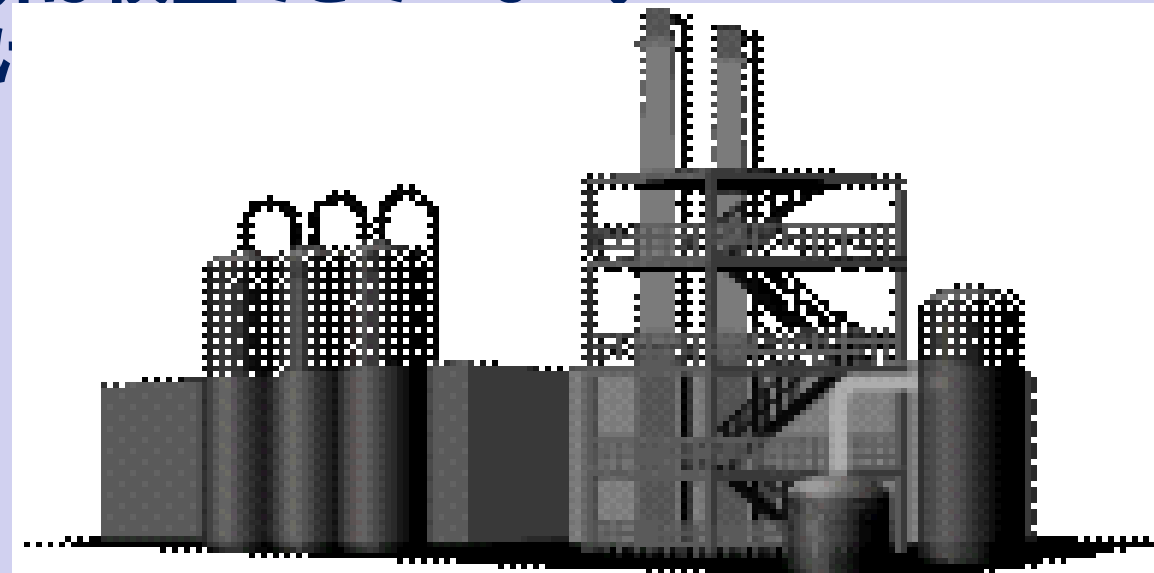
IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発

(日立)

【現状と課題】

- 劣化、腐食を原因とする事故が年々増加。設備の経年劣化に起因
- 厳格な基準により計画保全を実施しているが、**計画外の部位で、あるいは想定外の劣化モード**で事故が発生
- 埋設管や高所等の見えない箇所は検査できていない。
- 高経年設備は日常点検等において異常見落としリスクが高まる。
- 保全管理者の技術継承に課題



◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発

(日立)

【センサシステムへの主な要望】(ユーザヒアリング等より)

対象構造物	プラントの各種設備(回転機、配管など)
モニタリングのエリア	エリア単位(30~50m程度)
計測項目・形態	常時オンラインモニタリング
データ処理・活用方法	全面検査を実施すべき箇所の検出
施工場所・周辺環境	300~800℃の高温部存在。防爆仕様が必要な箇所あり
電源・耐久性	定期検査までの1~2年程度(法規制により連続稼働は最大4年だが、実際には1~2年で実施する)
システム導入・維持コスト	現行の配管維持には1~2億円/年。これを低減できるコスト範囲
その他	異常検出確度が課題。ノイズによる誤報はNG

1. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発

(日立)

【提案するセンサシステム】

配管外から輸送状態を推定するプラントモニタリングシステム

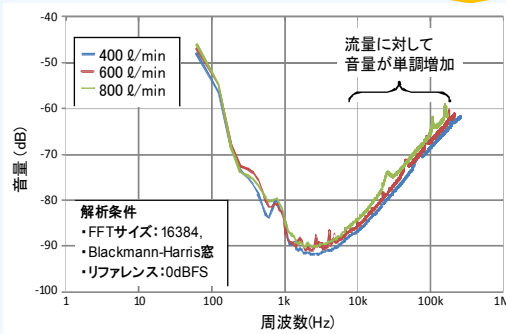
(a) 配管外から輸送状態をモニタリングするセンサ仕様の抽出



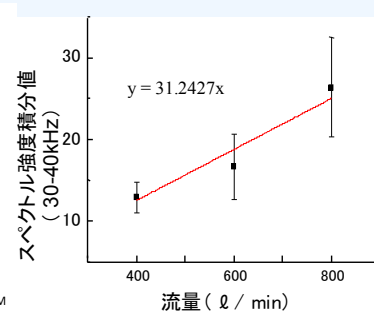
検討①: 実験用設備で冷却水流量と振動の関係を実測



検討②: 稼働中のプラント設備の振動を実測



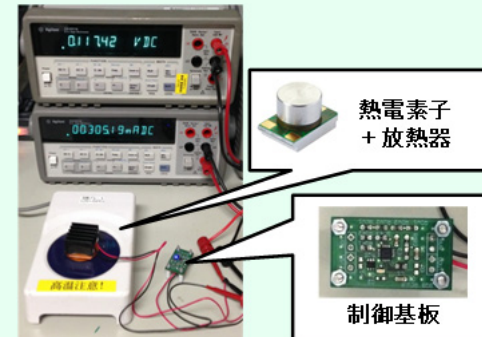
流量の異なる3測定の振動周波数スペクトル



流量と振動強度の依存性測定結果

配管外から配管輸送状態を推定するセンサの実現可能性を検証し、測定仕様を抽出

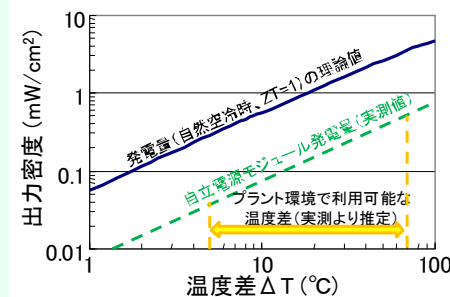
(b) 配管設備におけるセンサ端末の対環境仕様とシステム課題の抽出



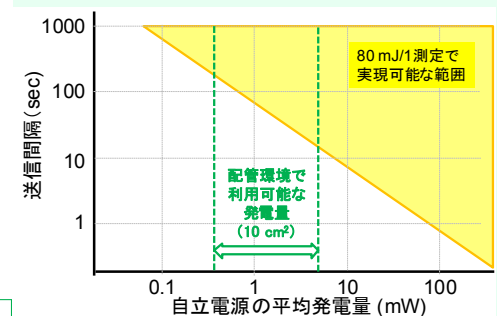
検討③: 配管温度による自立電源の発電量を見積り



検討④: 配管設備環境の電磁波伝搬特性を実測



配管環境で利用可能な発電量見積り値
 40~500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$



プラントモニタリングで適用可能な自立電源方式/無線方式を検証し、システム課題を抽出

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発

(日立)

【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目	成果	
	センシング原理検証結果	先導研究の結果明らかになったセンサシステム実現への課題
配管外から配管状態をモニタリングするセンサ仕様抽出	<ul style="list-style-type: none"> 配管外からの高周波振動モニタリングによる配管の輸送状態推定の可能性を確認 稼働中プラントで、提案手法による配管外から輸送状態推定の可能性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> 広帯域(～50kHz)測定が可能な振動センサの実現 高精度(16 bit)測定を実現する信号処理 大規模スペクトルデータ解析技術 300℃の難検査箇所モニタリング 実運用データの蓄積
配管設備におけるセンサ端末のシステム課題抽出	<ul style="list-style-type: none"> 配管温度を利用した熱電発電により0.1mW～の発電可能性を確認 配管環境における電波伝搬の実測より、920 MHz、20 mWで100mの実用的な通信の可能性を確認 10 cm²の自立電源で約2分毎に振動スペクトルデータを送信可能 	<ul style="list-style-type: none"> 環境変化に対する発電量の安定化、高信頼化 無線の高信頼化

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

- ・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

【現状と課題】

- 日常の巡回目視点検, 定期点検(1回/年以上), 詳細点検(1回/5~10年)を実施。
- 詳細点検は近接目視が前提であるが, 交通規制や点検設備, 専門作業が必要で手間と費用大。モニタリングにより効率的な点検を実現したい。(期間固定から状態に応じた点検への変換)
現状、センサ寿命・信頼性・コストが課題
- **構造物の劣化がどの程度進むかを予測したいが適切な手法が見出せていない。**
「どのような変化に着目すべきか」「その変化をどうやって把握(センシング)するか」
「健全度をいかに評価するか」が課題
- 一方で自治体道路では予算, 人財の両面で不足しており多くは未着手の状況



I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

- ・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

【センサシステムへの主な要望】(ユーザヒアリング等より)

対象構造物	鋼橋、コンクリート橋(長大橋に関しては橋梁数が少なく構造が特殊なため検討からは除く)
モニタリングのエリア	橋梁全体(面状)、特定部材(結合部)
計測項目・形態	動的計測 加速度, 環境(温度, 湿度, 風など) 長期傾向の把握も必要
計測データ収集方法	蓄積 および必要時の無線伝送(基地局への伝送, もしくはパトロールカーでの回収)
データ処理・活用方法	振動データからの一次解析(不要データの削除) FFT, Wavelet等の解析による固有周波数の把握→健全度の推定
施工場所・周辺環境	防水, 防塵, 結露, 塩害, 振動, 日照, NOx, SOxへの対策, 寒冷地(-30℃想定)
電源・耐久性	センサ端末は自立電源もしくは5~10年寿命のバッテリー駆動
その他	センサの数: 概ね構造1径間で4~10台 + 特定部位毎に設置 無線: 100m程度の伝送距離, 鋼材の裏面や狭隘部でも伝送可能であること

1. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

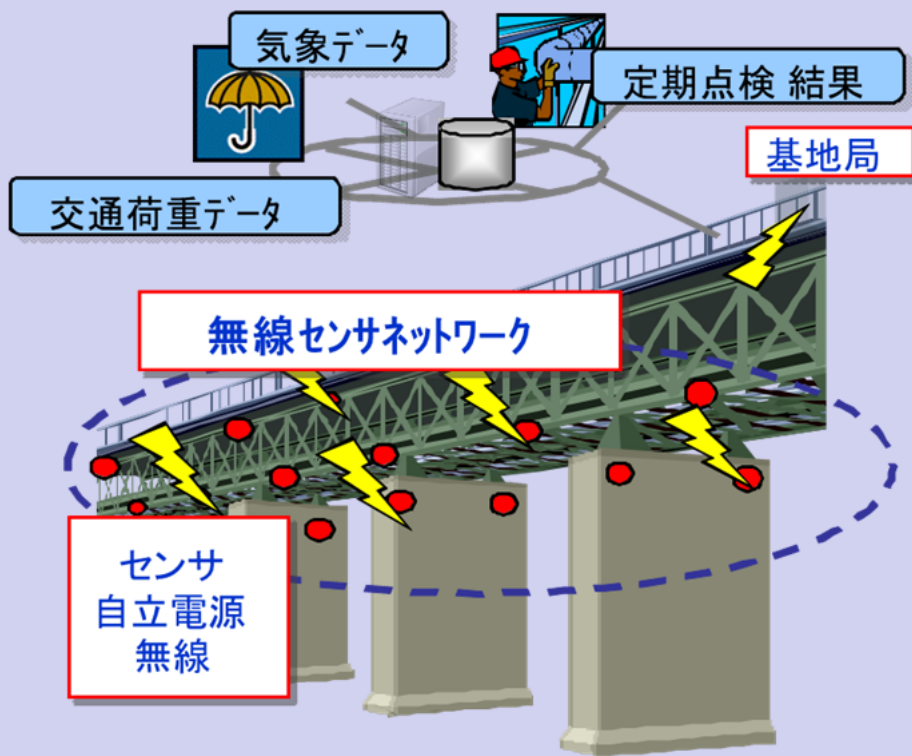
- ・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

【提案するセンサシステム】

計測器と同等性能で、圧倒的に小型で安価な無線センサシステム

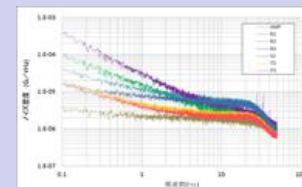
(a) 橋梁の健全度把握システム

- ・ 異常把握に必要なセンシング技術、損傷度の定量に必要なセンサネットワークの性能要件を確認
- ・ 橋梁の長期間にわたる緩やかな変化を把握、計測、健全度推定手法を検討

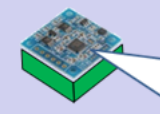


(b) 低周波域MEMS加速度センサ

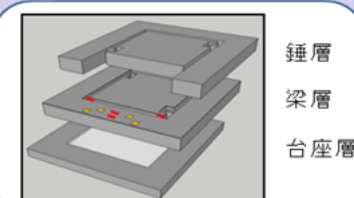
- ・ ピエゾ抵抗を用いたバルクMEMSの加速度センサの仕様の調査および実現性の検討



保有する加速度センサモジュール



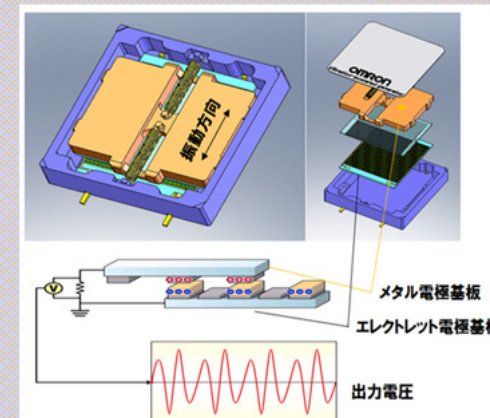
本研究の加速度センサモジュール



MEMSチップ

(c) 無線通信・自立電源供給

- ・ 自立電源仕様の調査および実現性の検討




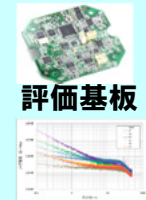
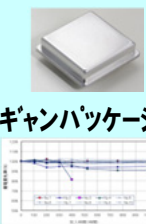
1. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発

(オムロン)

【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目	成果																						
<p>(a) 橋梁の健全度把握システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 異常把握に必要なセンシング技術、損傷度の定量に必要なセンサネットワークの性能要件を確認 長期間にわたる緩やかな変化を把握、計測、健全度推定手法を検討 	<ul style="list-style-type: none"> ●要求仕まとめ完了。 ●分析手法、先行事例、開発動向、技術に関して調査。必要なセンシング技術、健全度推定手法のまとめを完了。 	<p>システム要求仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>性能要件</th> <th>要求値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>出力データ</td> <td>24bit デジタルデータ</td> </tr> <tr> <td>出力</td> <td>2000digit/gall</td> </tr> <tr> <td>分解能</td> <td>0.01gal</td> </tr> <tr> <td>供給電源種類</td> <td>無線化、PoE (システムとの整合要)</td> </tr> <tr> <td>消費電力</td> <td>待機時: 数μA 計測動作時: 数mA 送受信動作時: 10mA程度</td> </tr> <tr> <td>サイズ、重量</td> <td>明確な要求なし</td> </tr> <tr> <td>自己診断、校正機能</td> <td>実装の要望あり</td> </tr> <tr> <td>時刻同期精度</td> <td>1ms</td> </tr> <tr> <td>マルチセンサ化等</td> <td>温度の同時計測は必須 他に振動への影響因子(湿度、水分、風圧)</td> </tr> </tbody> </table>  <p>分析手法、先行事例、開発動向、技術調査</p>	性能要件	要求値	出力データ	24bit デジタルデータ	出力	2000digit/gall	分解能	0.01gal	供給電源種類	無線化、PoE (システムとの整合要)	消費電力	待機時: 数μA 計測動作時: 数mA 送受信動作時: 10mA程度	サイズ、重量	明確な要求なし	自己診断、校正機能	実装の要望あり	時刻同期精度	1ms	マルチセンサ化等	温度の同時計測は必須 他に振動への影響因子(湿度、水分、風圧)	
性能要件	要求値																						
出力データ	24bit デジタルデータ																						
出力	2000digit/gall																						
分解能	0.01gal																						
供給電源種類	無線化、PoE (システムとの整合要)																						
消費電力	待機時: 数μA 計測動作時: 数mA 送受信動作時: 10mA程度																						
サイズ、重量	明確な要求なし																						
自己診断、校正機能	実装の要望あり																						
時刻同期精度	1ms																						
マルチセンサ化等	温度の同時計測は必須 他に振動への影響因子(湿度、水分、風圧)																						
<p>(b) 低周波域MEMS加速度センサ</p> <ul style="list-style-type: none"> ピエゾ抵抗を用いたバルクMEMSの加速度センサの仕様の調査および実現性の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ●加速度センサ要求仕まとめ完了。 ●実現性の検討を完了。ノイズ密度の低減、最大計測加速度を改善することで、ほぼすべてのニーズに対応できることを確認。 	<p>加速度センサ要求仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>特性項目</th> <th>要求値</th> <th>現状</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>非直線性</td> <td>3% FSO</td> <td>0.8%</td> </tr> <tr> <td>周波数帯域</td> <td>DC ~ 50Hz</td> <td>DC ~ 200Hz</td> </tr> <tr> <td>他軸感度</td> <td>5% (システム状態)</td> <td>3% 以下</td> </tr> <tr> <td>ノイズ密度</td> <td>1 μG/√Hz want</td> <td>3.6μG/√Hz (@1Hz)</td> </tr> <tr> <td>最大計測加速度</td> <td>± 4G</td> <td>± 3.5G</td> </tr> <tr> <td>耐衝撃性</td> <td>30cm</td> <td>75cm</td> </tr> </tbody> </table>  <p>評価基板 特性評価</p>	特性項目	要求値	現状	非直線性	3% FSO	0.8%	周波数帯域	DC ~ 50Hz	DC ~ 200Hz	他軸感度	5% (システム状態)	3% 以下	ノイズ密度	1 μG/√Hz want	3.6μG/√Hz (@1Hz)	最大計測加速度	± 4G	± 3.5G	耐衝撃性	30cm	75cm
特性項目	要求値	現状																					
非直線性	3% FSO	0.8%																					
周波数帯域	DC ~ 50Hz	DC ~ 200Hz																					
他軸感度	5% (システム状態)	3% 以下																					
ノイズ密度	1 μG/√Hz want	3.6μG/√Hz (@1Hz)																					
最大計測加速度	± 4G	± 3.5G																					
耐衝撃性	30cm	75cm																					
<p>(c) 無線通信・自立電源供給</p> <ul style="list-style-type: none"> 自立電源仕様の調査および実現性の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ●発電デバイス要求仕様まとめを完了。 ●実現性の検討を完了。発電量の向上が課題として明確化。耐久性への課題はなく、現状性能でも、システムの構成や計測スケジュールの工夫でも対応可能。 	<p>自立発電要求仕様</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>特性項目</th> <th>要求値</th> <th>現状</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>発電量</td> <td>≥ 100μW</td> <td>≥ 70μW</td> </tr> <tr> <td>出力</td> <td>AC出力 (60V)</td> <td>AC出力 60V</td> </tr> <tr> <td>最大出力電圧</td> <td>-20~85℃</td> <td>-40~100℃</td> </tr> <tr> <td>耐湿性(保存)</td> <td>85%</td> <td>85%</td> </tr> <tr> <td>機械寿命</td> <td>(10億回)</td> <td>10億回を確認 単位保証</td> </tr> <tr> <td>耐衝撃性</td> <td>(2000G)</td> <td>2000G</td> </tr> </tbody> </table>  <p>チップパッケージ 耐久性評価</p>	特性項目	要求値	現状	発電量	≥ 100μW	≥ 70μW	出力	AC出力 (60V)	AC出力 60V	最大出力電圧	-20~85℃	-40~100℃	耐湿性(保存)	85%	85%	機械寿命	(10億回)	10億回を確認 単位保証	耐衝撃性	(2000G)	2000G
特性項目	要求値	現状																					
発電量	≥ 100μW	≥ 70μW																					
出力	AC出力 (60V)	AC出力 60V																					
最大出力電圧	-20~85℃	-40~100℃																					
耐湿性(保存)	85%	85%																					
機械寿命	(10億回)	10億回を確認 単位保証																					
耐衝撃性	(2000G)	2000G																					

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

- AE(Acoustic Emission) センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝)

【現状と課題】

- AEセンサは、構造物が有する亀裂の活性度診断、すなわち「**損傷の経過観察**」「**修復効果確認**」に非常に有効。また複数設置することで亀裂箇所の同定も可能
- センサと分析装置を含めたシステムが大型で、インフラへの常時設置が困難であり、常時設置はオークランドベイブリッジのように極めて危険な状態でありながら通行止めには出来ない橋梁に限定されている。
- 共振型で狭帯域の圧電センサが使われており、構造物の材料に応じてAEセンサを取り替える必要があるため、測定には経験的なノウハウが必要
- AEセンサによるモニタリングを実用化する課題
 - **低コスト、長期信頼性の高いAEセンサの開発**
 - **AE信号とその他の要因による信号を高い精度で判別する技術の開発**
 - **抽出後のAE信号が橋梁信頼性に与える影響の推定**



(土木点検) 日常点検



点検実施状況

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

- AE(Acoustic Emission) センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝)

【センサシステムへの主な要望】(ユーザヒアリング等より)

対象構造物	鋼橋、コンクリート橋
常時・継続モニタリングしたい事象	損傷対策後にその効果確認と再劣化が無いことを確認したい場合に常時モニタリングしたい(土木研 木村先生)
モニタリングのエリア	従来法による点検がしにくい場所に使えたら良い(京都大学大島先生) 損傷が発生している場所、対策を行った場所(土木研 木村先生)
計測項目・形態	周波数帯域が広いセンサーになるのであれば周波数分析を正確に行えるのでメリットを感じる(京都大学大島先生)
データ処理・活用方法	AEによる損傷モニタリングはAEの発生頻度で判断する為、AE波以外の類似信号を除去する事が必須(IHI検査計測)
施工場所・周辺環境	建設時に埋め込んでおくことはできないか(京都大学塩谷先生)
電源・耐久性	5年～10年の耐久性が必要(JR東、NEXCO東)

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

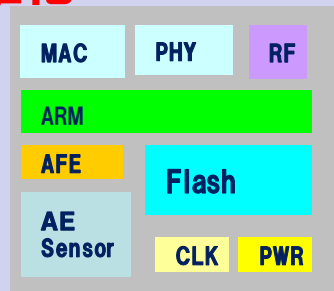
- AE(Acoustic Emission) センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝)

【提案するセンサシステム】

計測器と同等性能で、圧倒的に小型で安価なAEセンサシステム

(a) センサシステム仕様の明確化

- 橋梁モニタリングの技術動向を調査し、自立電源を使って常時モニタリングを行う無線センサの要求仕様を明確化する。



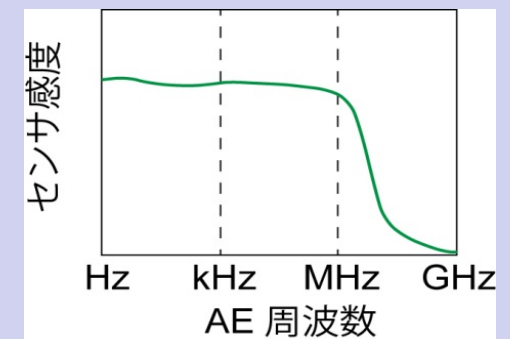
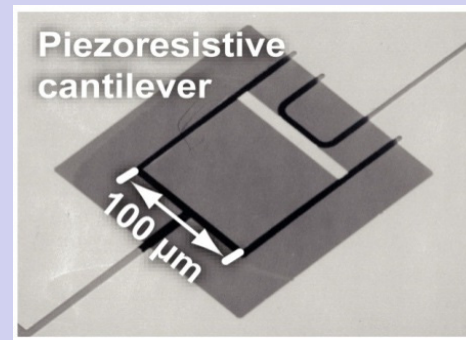
- 技術動向調査
米国等で行われている橋梁モニタリングの状況を調査。



- センサデバイス&システム仕様の分析
 - AEセンサを内蔵するセンサ・システム仕様
 - 自立電源を用いた常時モニタリングを実現するアナログフロントエンド回路・無線通信モジュールの仕様
 - クラウドコンピューティングと連動したリスク分析のインターフェース仕様

(b) MEMS-AEセンサの F.S.

計測周波数: 数10kHz~1MHz



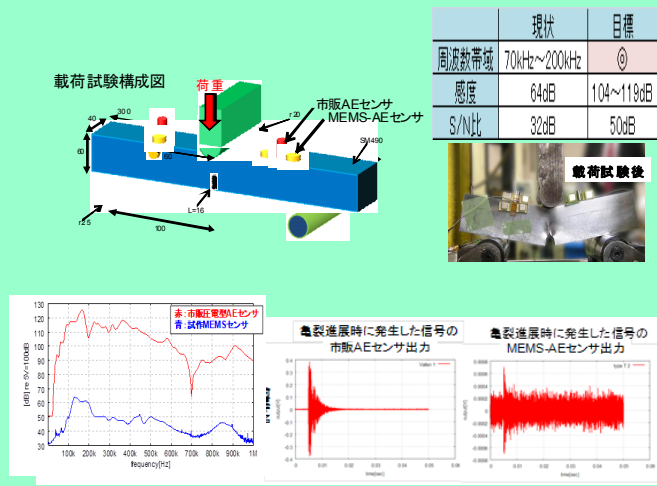
- カンチレバー形状によるAEセンサの特性の違いを定量的に評価する。
- 液体の特性によるAEセンサの感度の違いを定量的に評価する。
- センサ形状の最適化で、計測周波数: kHz~MHzの広帯域でAEを検出可能なセンサを目指す。

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

- AE(Acoustic Emission) センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝)

【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目	成果概要												
<p>(a)システムの仕様検討 (担当:株式会社東芝)</p>	<p>自立電源を用いたAEセンサシステムの要求仕様分析</p> <p>センサシステムの仕様検討として、自立電源・無線技術のまとめを行い、センサシステムの仮想設計を完了</p> 												
<p>(b)MEMS AEセンサのFS (担当:国立大学法人東京大学IRT研究機構再委託、及び株式会社東芝)</p>	<p>MEMSセンサの開発目標の定量化を完了</p> <ul style="list-style-type: none"> • ノイズが多いながらも十分な周波数帯域を有することを確認 • 亀裂進展に伴うAE波を計測できることを確認 • センサ感度改良目標値を確認  <table border="1" data-bbox="1877 1034 2105 1165"> <thead> <tr> <th></th> <th>現状</th> <th>目標</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>周波数帯域</td> <td>70kHz~200kHz</td> <td>⊙</td> </tr> <tr> <td>感度</td> <td>64dB</td> <td>104~118dB</td> </tr> <tr> <td>S/N比</td> <td>32dB</td> <td>50dB</td> </tr> </tbody> </table>		現状	目標	周波数帯域	70kHz~200kHz	⊙	感度	64dB	104~118dB	S/N比	32dB	50dB
	現状	目標											
周波数帯域	70kHz~200kHz	⊙											
感度	64dB	104~118dB											
S/N比	32dB	50dB											

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

- ・ トンネル付帯構造物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

【現状と課題】

■ 点検・検査方法:

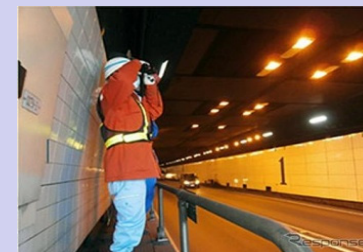
- ・ 目視・打音 …… 点検頻度が数年間隔 (人件費、装備(足場、高所作業車))
- ・ 走行計測車 …… 常時モニタリング、通行不能時の計測不可
- ・ 光ファイバーセンサ …… 計測機が非常に高価、設置 (固定) 方法に難

■ 災害発生時:

- ・ **目視検査等で危険と判定された箇所にセンサ設置 …… 确实だが工数多大**

■ 計測データの管理・蓄積・解析方法:

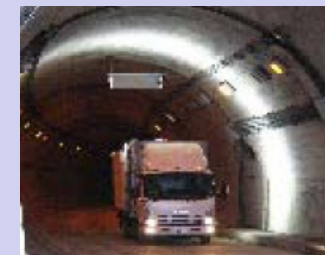
- ・ 過去データ管理不十分の認識にたち、データベース化の取組み始まる



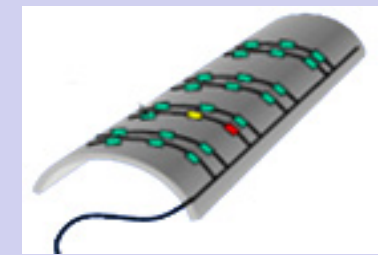
遠望目視



近接目視・打音



レーザー計測車



光ファイバーセンサ

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

- ・ トンネル付帯構造物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

【センサシステムへの主な要望】(ユーザヒアリング等より)

対象構造物	トンネル付帯構造物 (換気設備、照明器具、標識板、天井板、吸音板、他)
常時・継続モニタリングしたい事象	コンクリート取付け部の変状検知 (ボルト締結トルク低下、ボルト周囲のコンクリート中性化等によるクラッキング、他)
モニタリングのエリア	取付け構造部材近傍
計測項目・形態	固有振動数(動的センシング:対象に応じた帯域設定)、歪み量、温湿度
計測データ収集方法	無線もしくは有線による送信、もしくは専用収集車による一括回収
データ処理・活用方法	エンジニアリング会社による診断データとして活用
電源・耐久性	寿命 10年以上(寒冷地、海浜周辺、排気ガスの状況等により詳細検討必要)
導入・維持コスト	システム一式 導入1千万台以下、維持コスト 100万円台/年以下
その他	センサの数: 取付け部材、もしくはアンカーボルトの数に同じ 無線送信距離・信頼性: 受信機設置状況によるが50m程度か 信頼性担保のための送信設計未定 無線(送信器)トポロジー: スター型等

1. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

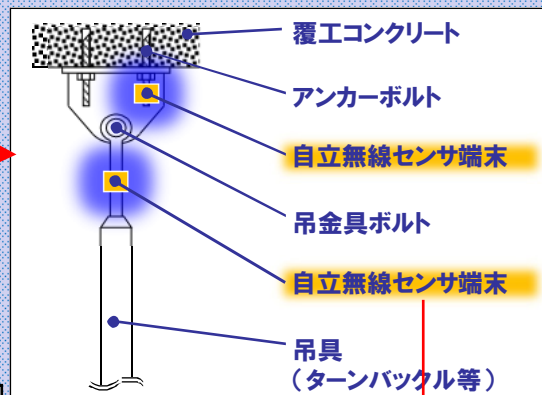
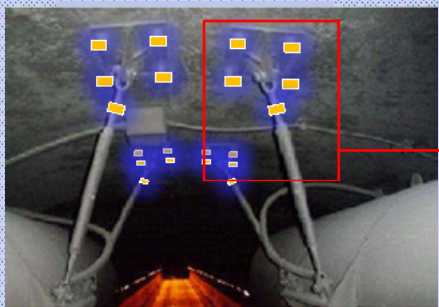
・ トンネル付帯構造物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

【提案するセンサシステム】

トンネル内の気流を自立電源とする、低コスト異常検出センサシステム

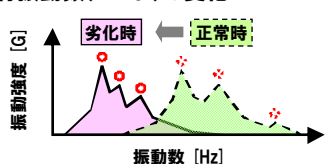
○ トンネル付帯構造物取付け部変状センシング端末

- ・ 取付け部材の特定の箇所に設置
- ・ 同部材の固有振動数のシフトを振動センサによって取得
- ・ 初期状態からの経時変化をモニタリング



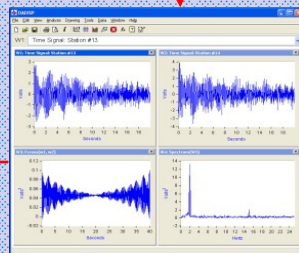
- ・ ボルトの脱落
- ・ ボルトの緩み
- ・ 接着樹脂劣化による引抜き強度低下
- ・ ボルトの腐食による欠損
- ・ コンクリートの亀裂による空隙形成 等

・ 固有振動数(モード)の変化



データ解析

振動データ



(a) センシング手法の技術課題明確化

■ 振動センサ(加速度センサ)の適用に関する下記課題の明確化:

・ 必要スペック:

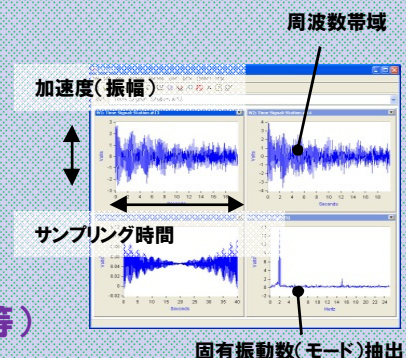
- 検出加速度
- 周波数帯域

・ 設置方法/位置

・ サンプル時間

・ 解析手法

(固有振動数、高次モードの抽出等)



(b) 気流発電デバイスの技術課題明確化

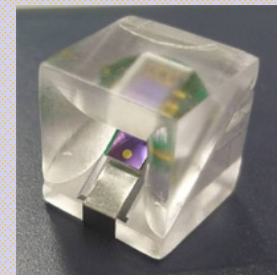
■ 気流発電デバイスに関する下記課題の明確化:

・ トンネル環境への適合性・耐性に関する項目

- 風量・風向対策
- 窒素酸化物等の雰囲気ガス耐性

・ 必要発電量

・ デバイス構造および後段回路構成の決定

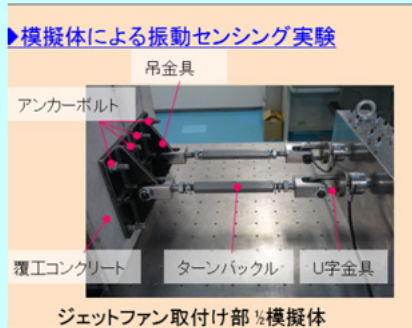
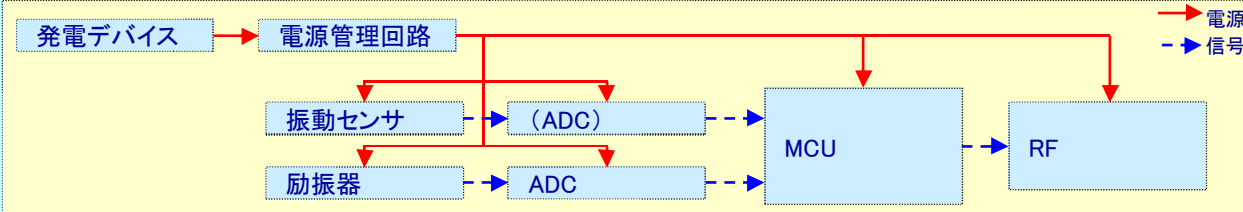
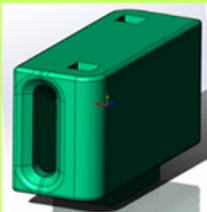
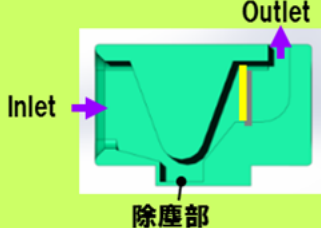


I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ トンネル付帯構造物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目	成果
<p>(a) センシング手法の技術課題明確化</p> <p>振動センサ適用に関する課題の明確化:</p> <ul style="list-style-type: none"> 必要スペック: <ul style="list-style-type: none"> - 検出加速度・周波数帯域 設置方法/位置 サンプリング時間 解析手法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 模擬体実験と解析を用い、ボルト緩みと共振周波数変量の定量的関係を明確化 ・ アクティブ振動センシングの優位性実証。 ・ センシング仕様設定。  
<p>(b) 気流発電デバイスの技術課題明確化</p> <p>トンネル環境への適合性・耐性に関する項目:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 風量・風向対策 - 窒素酸化物等の雰囲気ガス耐性 <ul style="list-style-type: none"> 必要発電量 デバイス構造および後段回路構成の決定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐環境基本構造案(気流、防塵、防蝕)を提示。 ・ 端末構造案、エネルギーバジェット試算から必要発電量を明確化。 <p>◆ 気流発電デバイス基本構造案</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 双方向インレット + 防塵構造立案 ・ 防塵流路構造: 除塵率 99%  

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発

(高砂熱学工業)

【現状と課題】

- 東日本大震災以降建築物に対するモニタリングシステムによる**耐震診断、非常時の早期異常検知、震災時の災害防止、早期復旧への要求が高まっている。**

- 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。

東日本大震災での配管落下による災害事例



- 保守員の技量差の解消や点検の効率化のためには、システム化が必要であるが、設備の診断システムは高価で導入が進んでいない。

→簡易に設置可能な無線・自立電源センサを用い安価な診断システムの開発が望まれている

- 日常点検や定期点検で膨大なデータの蓄積があるが、有効活用できていない。

→データを活用した診断手法の確立が必要である

- 非常時対応の診断システムの構築が必要である

定期巡回



◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発

(高砂熱学工業)

【センサシステムへの主な要望】(ユーザヒアリング等より)

対象構造物	設備機器、電気設備、配管
常時・継続モニタリングしたい事象	振動、加速度、表面温度、電流値、漏水
モニタリングのエリア	電動部(モータ、コンプレッサ)、開閉器、配管部
計測項目・形態	振動・加速度変化、温度変化、電流値変化、漏水検知
計測データ・収集方法	無線通信によるリアルタイム計測
データ処理・活用方法	<p>日常管理: 通常値からの変化にて劣化度合いを診断し 予防保全を行う。</p> <p>非常時: 震災などの非常時後の状態を診断し、異常値を 示すものに対し早期に対策を施す。</p>
施工場所・周辺環境	<p>電動機本体(屋内、屋外)、盤内、配管表面(屋内、屋外)</p> <p>屋外設置も考えられるので耐候性が求められる。</p>
電源・耐久性	振動によるハーベスト電源、寿命は10年程度
システム導入	センサ単価は数千円、システム価格としては1千万円以下
その他	日常計測において、サンプリング間隔は1日1回程度

1. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発

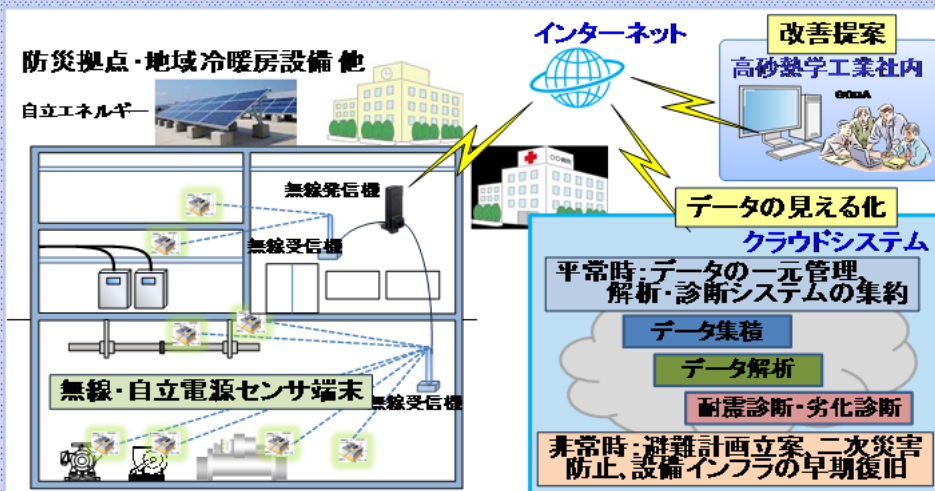
(高砂熱学工業)

【提案するセンサシステム】

保有している膨大な監視データをベースとした設置容易なセンサシステム

○ 普及型公共施設設備モニタリングセンサシステム

1. 設備機器
 - ・振動加速度等を計測し、機器の劣化・損傷を早期発見
2. 配管設備
 - ・振動加速度を計測し、支持材・配管の劣化・損傷を早期発見、二次災害防止
 - ・非常時に漏水を早期検知、被害拡大防止
3. 配線設備
 - ・表面温度を計測し、劣化・損傷を早期発見



センサ端末 : ハーベスト電源
システム電源 : 非常用電源回路を想定(無線受信機、ハード、ルータ)

(a) センサ端末の開発

実測に基づく、分野ごとのセンサ仕様、監視頻度、自立電源仕様の明確化

- ・ 設備機器診断用(回転体軸受の劣化等)
- ・ 配管設備診断用(支持部材の緩み等)
- ・ 配線設備診断用(開閉機の劣化等)

(b) 診断システムの開発

想定目標仕様

- ・クラウド型ネットワークの活用
- ・ビッグデータ解析機能
- ・診断アルゴリズム
 - ：2段階の判断基準
 - 日常時：メンテナンス
 - シグナルでの予防保全
 - 非常時：緊急アラームによる二次災害防止



I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発

(高砂熱学工業)

【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目

成果

(a) センサ端末の開発

設備機器、配管設備等の基礎データ計測試験

- ・既設建物のポンプ、送風機、配管等に加速度センサ等を設置し基礎データを収集

基礎データ計測試験

・配管設備の振動計測

吊りボルトの緩み⇒配管の振動;上昇、吊棒の振動;低下
吊りボルトの外れ⇒配管の振動;低下、吊棒の振動;低下
→配管吊りボルトの劣化・損傷検知に活用

・送風機の振動計測

簡易的に振動加速度のオールパス値、尖り度で軸受けの劣化診断が可能であることを確認

センサ種別	性能	電源	頻度
振動加速度センサ (設備機器用)	1kHz~10kHz 分解能0.1mm/s ²	振動発電	1日1回程度
振動加速度センサ (配管設備用)	DC~50Hz 分解能0.1mm/s ²	振動発電 借電	
温度センサ	0~100℃ 分解能0.1℃	振動発電 借電	

(b) 診断システムの開発

必要なセンサ仕様の抽出と診断システム構築に向けた仕様の抽出

- ・計測データ、ヒアリング、文献調査の結果をもとに必要な診断システム仕様を抽出

診断システム仕様

・診断項目

設備機器:軸受けの劣化診断
配管設備:支持部材の劣化・損傷診断
配線設備:表面温度による劣化診断

・診断アルゴリズム:2段階の判断基準

平常時:傾向管理、域値判断による
予防保全

非常時:緊急アラームによる二次災害防止

日常管理における劣化判断



I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

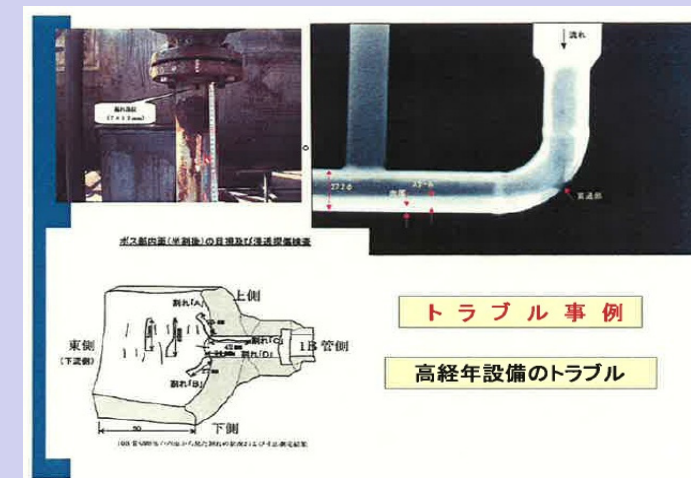
【現状と課題】

■ プラント

- ・検査対象外の部位でガス、液体漏れ事故が発生
- ・配管の定期点検は腐食しやすさに応じて1年～10年に1回
- ・回転機器は超高感度加速度センサでモニタリング
- ・**タンクは超音波で10年に1回全面検査**
- ・プラント全体の連続運転は最大4年(法律による定め)

■ 橋梁

- ・老朽化が進行、鉄筋腐食による破断、上部コンクリートのひび割れ
- ・日常の点検、定期点検(年1回以上)、詳細点検(5年に1回)
- ・**打音検査と目視点検が基本**



点検を見落とした部分からの配管貫通



PC筋の破断

センサを1～100cm間隔以内の高密度で配置して
検査対象の劣化を面で把握 → 面パターンセンシングシステム

【センサシステムへの主な要望】(ユーザヒアリング等より)

対象構造物	プラント: 回転機器、タンク、配管 橋梁: 鉄筋コンクリート橋、鉄鋼橋
常時・継続モニタリングしたい事象	プラント: 回転機器 橋梁: 桁、橋脚、PCファイヤ
モニタリングのエリア	プラント: 配管表面、30x30m程度のエリアで異常発生を示す 橋梁: コンクリート表面、接合部分
計測項目・形態	プラント: 肉厚 橋梁: ひびの進展(鉄筋の腐食)
計測データ収集方法	プラント: 無線送信 橋梁: パトロール車で収集、無線で送信
データ処理・活用方法	プラント: 保全計画 橋梁: 異常な橋発見、損傷橋梁補修後の損傷進行、再劣化監視
施工場所・周辺環境	プラント: 回転機器、配管表面(断熱材に隠れる)、高温(300℃) 橋梁: 橋梁表面、防水、防塵、結露、振動、日照、寒冷地
電源・耐久性	プラント: 1~2年 橋梁: 5~10年

【提案するセンサシステム】

大面積を網羅的にモニタリングする高密度面パターンセンサシステム

(a) 社会インフラの振動調査

- ・ 既存センサを用いて配管や橋梁の温度、振動データ(加速度、周波数等)を取得
- ・ 配管の薄肉化、ひびの発生、などの物理的な劣化が温度、振動、音、超音波測定に与える影響
- ・ 既存無線センサ端末を配管やコンクリート表面に百個単位で並べ、疑似的当面パターンセンシングのデータを取得

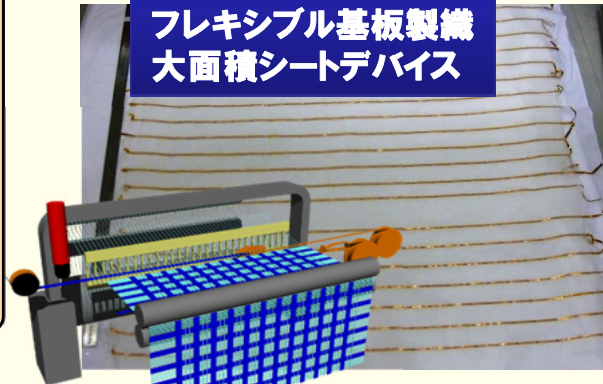
(b) 大面積シートデバイスの技術調査

- ・ 面パターンセンシングに適用可能な大面積シートデバイスの製造技術を調査

フレキシブル基板上LED



フレキシブル基板製織大面積シートデバイス

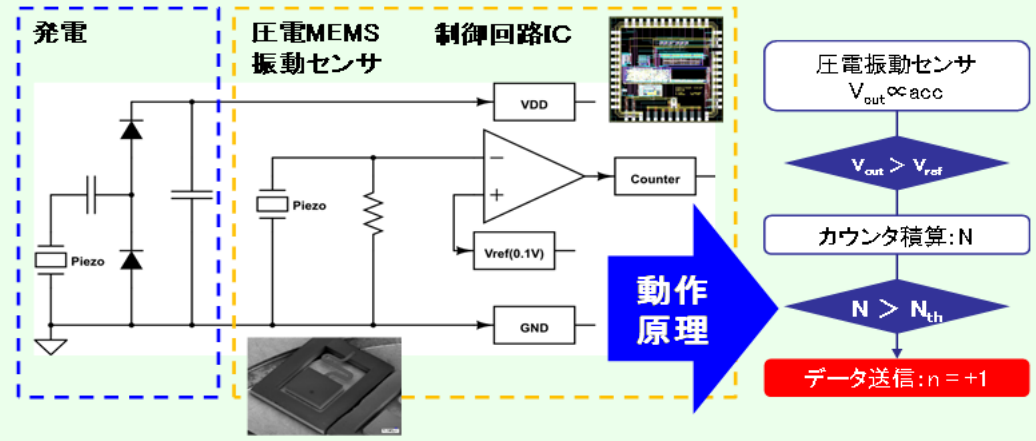


無線センサ端末アレイ

フレキシブルシート

(c) 無線センサ端末の自立電源化

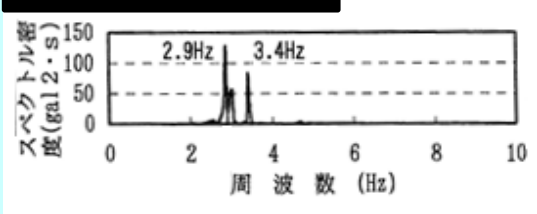
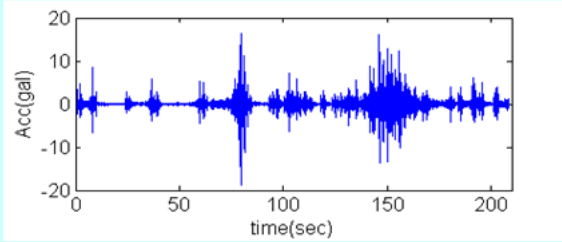
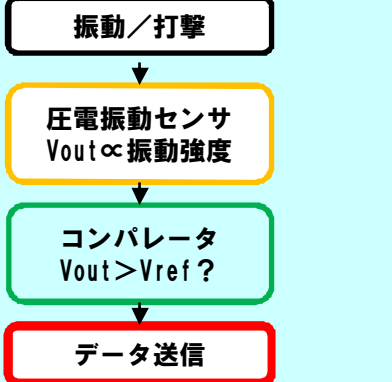
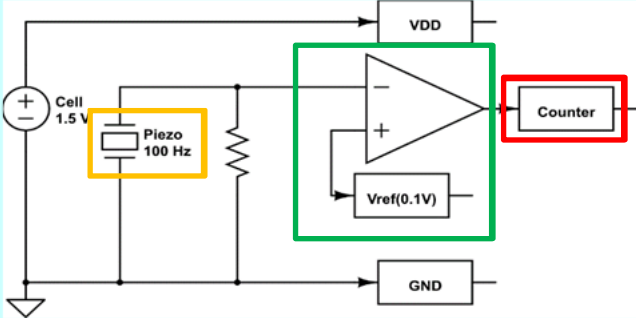
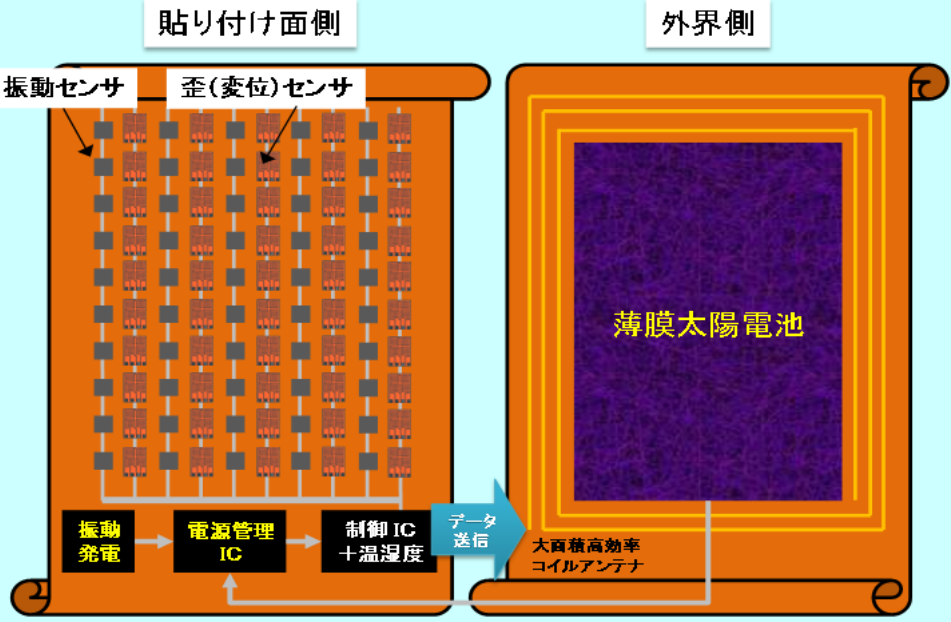
- ・ これまでに開発した積分型無線センサ端末を基本に圧電振動による自立電源化の検討
- ・ 社会インフラの振動調査結果から実環境に近い振動を入力して積分型無線センサ端末の自立電源動作を実証する



(d) 端末の仕様、サイズを決定する

- ・ 送信電力を全て自立発電で、あるいは受信機からの給電でまかなうか、電源方式を用途ごとに選定
- ・ 構成要素の調査結果から2~3年後、5年後、10年後に実現する砂粒センサ端末の端末サイズを試算

【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目	成果
<p>(a) 社会インフラの振動調査</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>実橋の周波数：数Hz</p>  <p>実橋の振動スペクトル コンクリート工学論文集 12 (2001) 39</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>10gal = 0.01G 程度の振動強度</p>  <p>実橋の振動波形 横浜国大、西尾准教授のデータ</p> </div> </div>
<p>(b) 大面積シートデバイスの技術調査</p> <p>(c) 無線センサ端末の自立電源化</p> <p>(d) 端末の仕様、サイズを決定する</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>無線端末動作原理と回路図</p>  <p>回路図</p>  </div> <div style="width: 45%;"> <p>面パターンセンシングシートの基本仕様</p>  </div> </div>

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

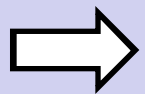
II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

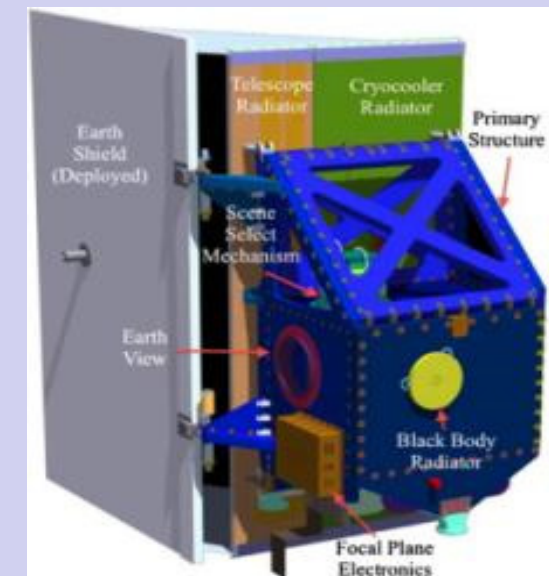
【現状と課題】

- 大規模災害(地震、工場・森林火災、火山噴火、有毒ガス流出)時の広域監視が必要
- 大気中に流出した有毒ガスの成分分析が必要



衛星からのリモートセンシングが有力、しかし

- 分光器システム (FTIR等)、プリズムシステムの巨大化、機械振動による誤差
- 偏光子システム取り付けによる誤差(僅かなズレで偏光角度が変化)
- 校正システムが必要なことから高コスト化
- システムの巨大化・複雑化による衛星の高コスト化により、保有衛星数の大幅な増加が困難。回帰日数の短縮が不可能であり、高精度・オンタイム観察が不可能。



Landsat (US) 赤外分光検出器

【センサシステムへの主な要望】(ユーザヒアリング等より)

対象構造物	地球表面、構造物、大気
常時・継続モニタリングしたい事象	工場プラント、火山地帯、災害発生危険地域、災害発生地域
モニタリングのエリア	特定広域地域
計測項目・形態	衛星によるリモートセンシング
計測データ収集方法	地上基地局に無線送信
データ処理・活用方法	画像処理および波長毎に参照スペクトルと比較し、分析
施工場所・周辺環境	宇宙環境
電源・耐久性	衛星内臓電源(太陽電池、リチウムバッテリー等)
システム導入・維持コスト	システム(光学系)の小型化、コスト低減および信頼性向上。 ※光学系の信頼性を向上させることで、結果的に衛星の寿命が延びるためコストが低減される。
その他	衛星の寿命向上、可動部、部品数の低減が重要。

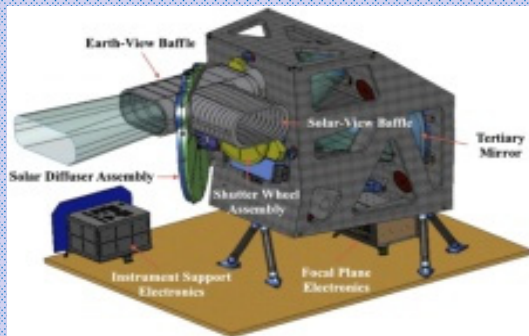
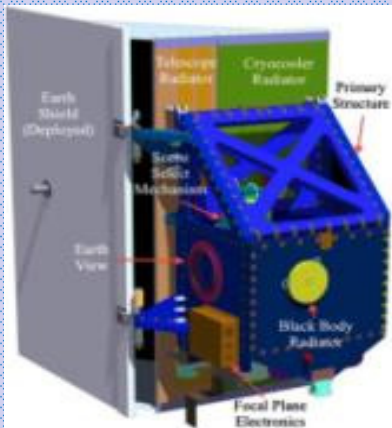
【提案するセンサシステム】

超小型、超軽量で高性能な衛星監視システム

(a) システム要求とそれを実現するデバイス
仕様調査

- ・衛星リモートセンシングシステムにおけるデバイスへの要求仕様の調査

現行の衛星搭載システム調査例)



Landsat (US) 光学系

応用事例調査(ドイツ:分光イメージングの応用例)

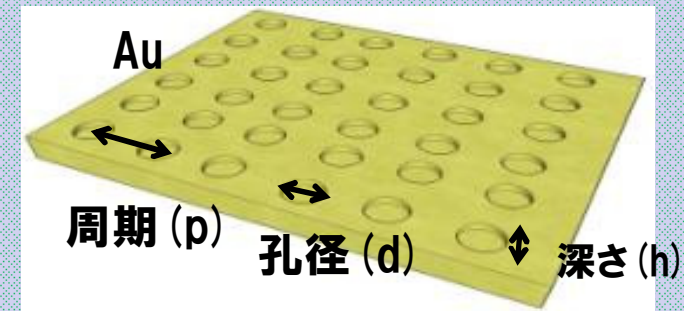
消防車搭載

ワールドカップ2006



(b) 波長選択構造検討: プラズモニック吸収体の構造パラメータ最適化検討

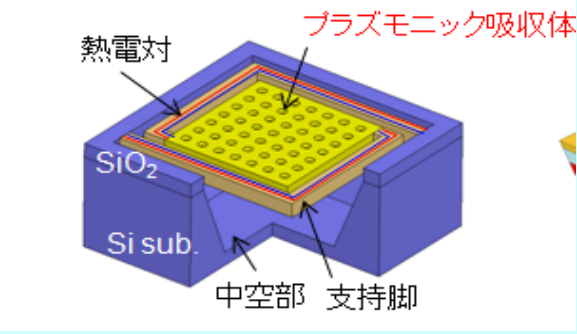
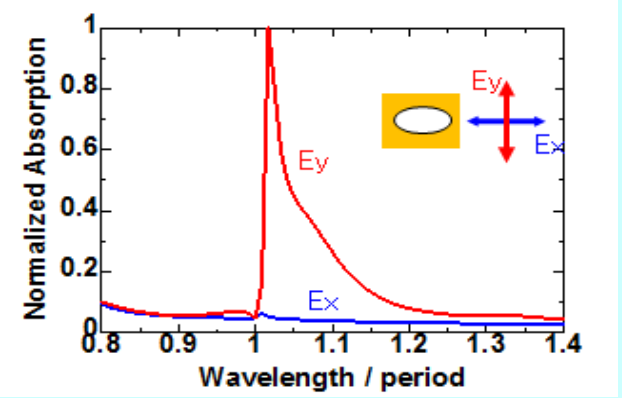
- ・主要構造パラメータを決定
- ・表面構造最適化検討



(c) 偏光選択機能検討

- ・偏光選択可能な表面構造決定
- ・偏光を選択するプラズモニック吸収体の構造についてシミュレーションにより原理検証を行う。

【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目	成果
<p>(a) システム要求とそれを実現するデバイス仕様調査</p> <p>衛星リモートセンシングシステムにおけるデバイスへの要求仕様の調査</p>	<p>プラズモニック吸収体を用いることで従来の分光系をサイズ・重量を大幅に軽減し、赤外域で分光機能を有する小型衛星が実現可能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小型衛星(約30cm³、30kg程度)で分光機能(複数バンド検知)実現可能 ・センサ仕様: 画素数:500×500以上、バンド数:3以上 ・応用事例:複数波長検知: 自然・工場火災、火山、ガス分析、地滑り ・偏光検知: 人工物/自然物識別 ・技術調査:世界の主な衛星における光学系調査完
<p>(b) 波長選択構造検討:プラズモニック吸収体の構造パラメータ最適化検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・主要構造パラメータを決定 ・表面構造最適化検討 	<p>プラズモニック吸収体の主要構造パラメータが充填率(孔径/周期)であり、充填率60%以上で高感度なセンサが実現可能</p> 
<p>(c) 偏光選択機能検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・偏光選択可能な表面構造決定 ・偏光を選択するプラズモニック吸収体の構造についてシミュレーションにより原理検証を行う。 	<p>偏光を検知可能な構造を解析・試作により検証し、非対称構造で偏光分離が可能であることを実証</p> 

I. 多点無線センサネットワークによるモニタリングシステムの開発

◆ プラント・パイプラインモニタリングシステムの開発 (日立)

◆ 幹線道路モニタリングシステムの開発

・ 加速度センサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (オムロン)

・ AEセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 (東芝、東京大学)

・ トンネル付帯物モニタリングシステムの開発 (パナソニック)

◆ 公共施設設備モニタリングシステムの開発 (高砂熱学工業)

II. 高密度面パターンセンシングシステムの開発 (産総研、大日本印刷、MMC)

III. 広域(衛星リモート)センシングシステムの開発 (三菱電機)

IV. 自立型無線高耐久センサシステムの開発 (MMC、大日本印刷、産総研)

【現状と課題】

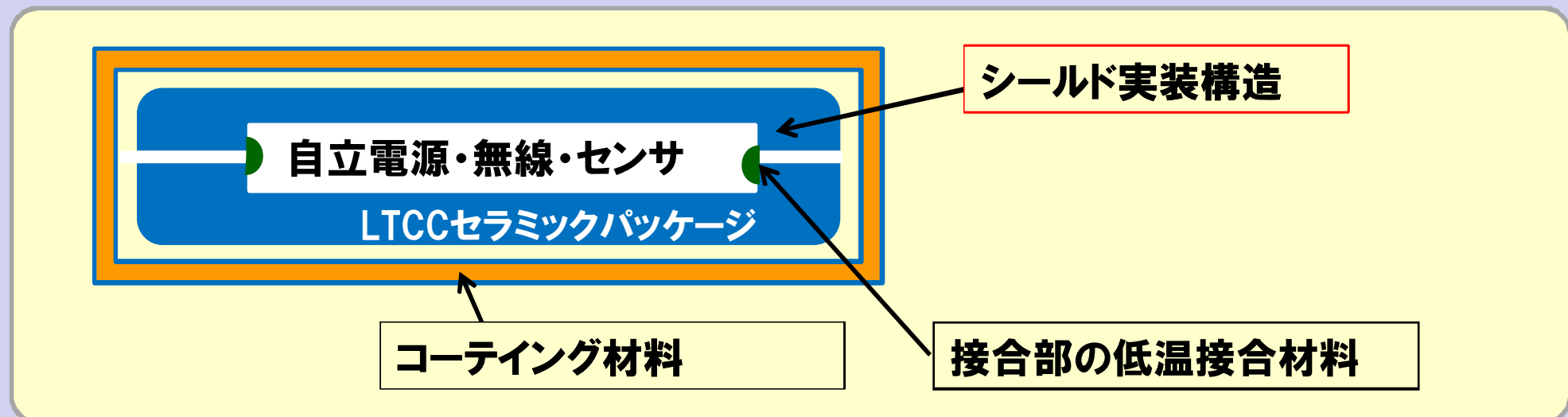
- 屋外環境で、長期間(10年?)使用に耐える自立無線型センサ端末がない

環境因子: NOx、SOx、高温・高湿、紫外線、塩害等

- 信頼性保証項目が確立されていない

高耐久性能評価システム・加速法

- 端末全体を環境因子から保護するコーティング/パッケージ材料



【提案するセンサシステム】

悪環境下でも10年稼働するセンサシステム

(a) 実装構造・仕様の明確化

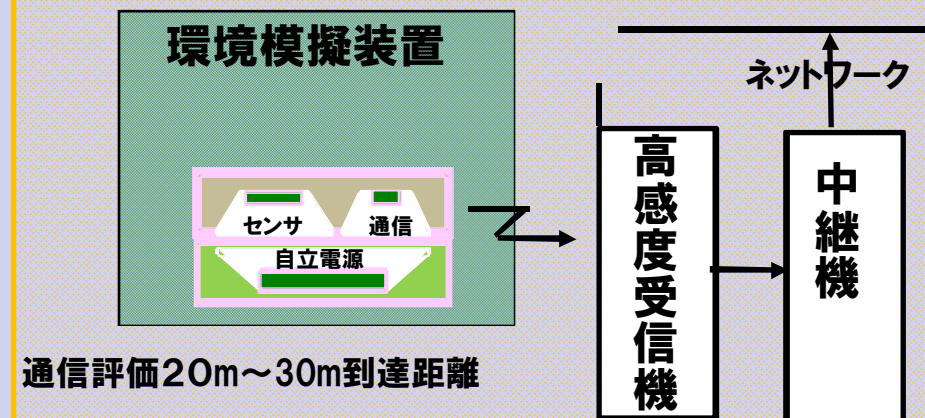
- ・ 高耐久性: 10年@高塩分濃度・高温度・高湿度
- ・ 施工性: 数時間/10センサ端末設置固定、センサ端末固定後、通信的・電氣的無調整
- ・ 通信性能: 20m~30m到達距離@自立電源端末

(b) 評価法・試験項目の明確化

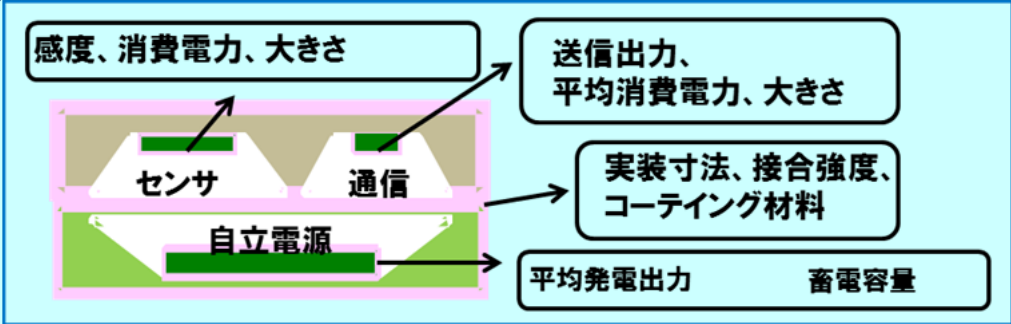
悪環境下で10年稼働を保証する
評価法・減法を仮設定する

予想される結果

システム評価方法、仕様設定構築



【成果と、今後解決すべき課題】

開発項目	成果																
<p>(a) 実装構造・仕様の明確化</p>	<ul style="list-style-type: none"> 高密度実装に適したセラミック材料であるLTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics)基板が、高耐久性に適していることがわかった。 封止時に無線端末として必要な諸言をまとめた 																
<p>(b) 評価法・試験項目の明確化</p>	<p>車載電装部品、太陽電池モジュール等の評価項目から、高耐久センサへの評価・試験項目を仮設定した</p> <table border="1" data-bbox="734 938 1982 1513"> <thead> <tr> <th></th> <th>自動車用電装部品 AEC-Q1000、Q2000</th> <th>NEXCO 電気設備 照明、標識</th> <th>太陽電池モジュール (JIS C 8990)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 屋外環境耐性評価 ガス耐性評価 耐水耐性評価 耐食評価 紫外線耐性評価 塵埃耐性評価</td> <td>温度40℃、湿度100% SO2濃度0.67%,8hr ->室温16hr(6サイクル) 塩水噴霧35℃、5% NaCl, 100Hr->乾燥加熱->蒸気加熱 塵埃5g/m³</td> <td>筐体部の防水及び防塵性能は、JIS C0920 耐食性 JIS Z2371</td> <td>対候性 水蒸気透過率 40℃ 90% 2-3g/m²/day 屋外暴露 UV照射 2000hr</td> </tr> <tr> <td>2. 温湿度環境耐性評価 熱衝撃耐性評価 温度サイクル耐性評価 温湿度サイクル耐性評価 高温・低温保存</td> <td>AEC-Q1000、Q2000 JESD22 A104,105 JESD22A101</td> <td>JEITA ED-4701/100 [半導体デバイスの環境及び耐久性試験方法 ???? IEC60721 -3-4</td> <td>長期耐久性カテゴリ-</td> </tr> <tr> <td>3. 機械環境耐性評価 振動耐性評価 衝撃耐性評価 落下耐性評価 定加速度評価</td> <td>AEC-Q1000、Q2000 JESD22 B103 JESD22 B104 MIL-STD-883</td> <td></td> <td>さまざまな運用ストレスに対する耐久性カテゴリ- 10.16 機械的荷重試験</td> </tr> </tbody> </table>		自動車用電装部品 AEC-Q1000、Q2000	NEXCO 電気設備 照明、標識	太陽電池モジュール (JIS C 8990)	1. 屋外環境耐性評価 ガス耐性評価 耐水耐性評価 耐食評価 紫外線耐性評価 塵埃耐性評価	温度40℃、湿度100% SO2濃度0.67%,8hr ->室温16hr(6サイクル) 塩水噴霧35℃、5% NaCl, 100Hr->乾燥加熱->蒸気加熱 塵埃5g/m ³	筐体部の防水及び防塵性能は、JIS C0920 耐食性 JIS Z2371	対候性 水蒸気透過率 40℃ 90% 2-3g/m ² /day 屋外暴露 UV照射 2000hr	2. 温湿度環境耐性評価 熱衝撃耐性評価 温度サイクル耐性評価 温湿度サイクル耐性評価 高温・低温保存	AEC-Q1000、Q2000 JESD22 A104,105 JESD22A101	JEITA ED-4701/100 [半導体デバイスの環境及び耐久性試験方法 ???? IEC60721 -3-4	長期耐久性カテゴリ-	3. 機械環境耐性評価 振動耐性評価 衝撃耐性評価 落下耐性評価 定加速度評価	AEC-Q1000、Q2000 JESD22 B103 JESD22 B104 MIL-STD-883		さまざまな運用ストレスに対する耐久性カテゴリ- 10.16 機械的荷重試験
	自動車用電装部品 AEC-Q1000、Q2000	NEXCO 電気設備 照明、標識	太陽電池モジュール (JIS C 8990)														
1. 屋外環境耐性評価 ガス耐性評価 耐水耐性評価 耐食評価 紫外線耐性評価 塵埃耐性評価	温度40℃、湿度100% SO2濃度0.67%,8hr ->室温16hr(6サイクル) 塩水噴霧35℃、5% NaCl, 100Hr->乾燥加熱->蒸気加熱 塵埃5g/m ³	筐体部の防水及び防塵性能は、JIS C0920 耐食性 JIS Z2371	対候性 水蒸気透過率 40℃ 90% 2-3g/m ² /day 屋外暴露 UV照射 2000hr														
2. 温湿度環境耐性評価 熱衝撃耐性評価 温度サイクル耐性評価 温湿度サイクル耐性評価 高温・低温保存	AEC-Q1000、Q2000 JESD22 A104,105 JESD22A101	JEITA ED-4701/100 [半導体デバイスの環境及び耐久性試験方法 ???? IEC60721 -3-4	長期耐久性カテゴリ-														
3. 機械環境耐性評価 振動耐性評価 衝撃耐性評価 落下耐性評価 定加速度評価	AEC-Q1000、Q2000 JESD22 B103 JESD22 B104 MIL-STD-883		さまざまな運用ストレスに対する耐久性カテゴリ- 10.16 機械的荷重試験														

**本研究は 2013年度 NEDO 委託事業
「社会課題対応常時・継続モニタリングシステムの開発（先導研究）」
により実行したものです。**

**ヒアリングやご講演等で貴重なご意見・ご指導をいただきました、
高速道路管理会社、大学法人、独立行政法人、プラント系企業、
電力管理会社、データ処理運営会社、をはじめとする、
関係諸機関に深く感謝申し上げます。**