



**NEDO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**  
**①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発**

**NEDOインフラモニタリング技術シンポジウム**

**(道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発)**

**『高耐久性パッケージング技術の開発』**

**平成31年2月1日(金)@機械振興会館B2ホール**

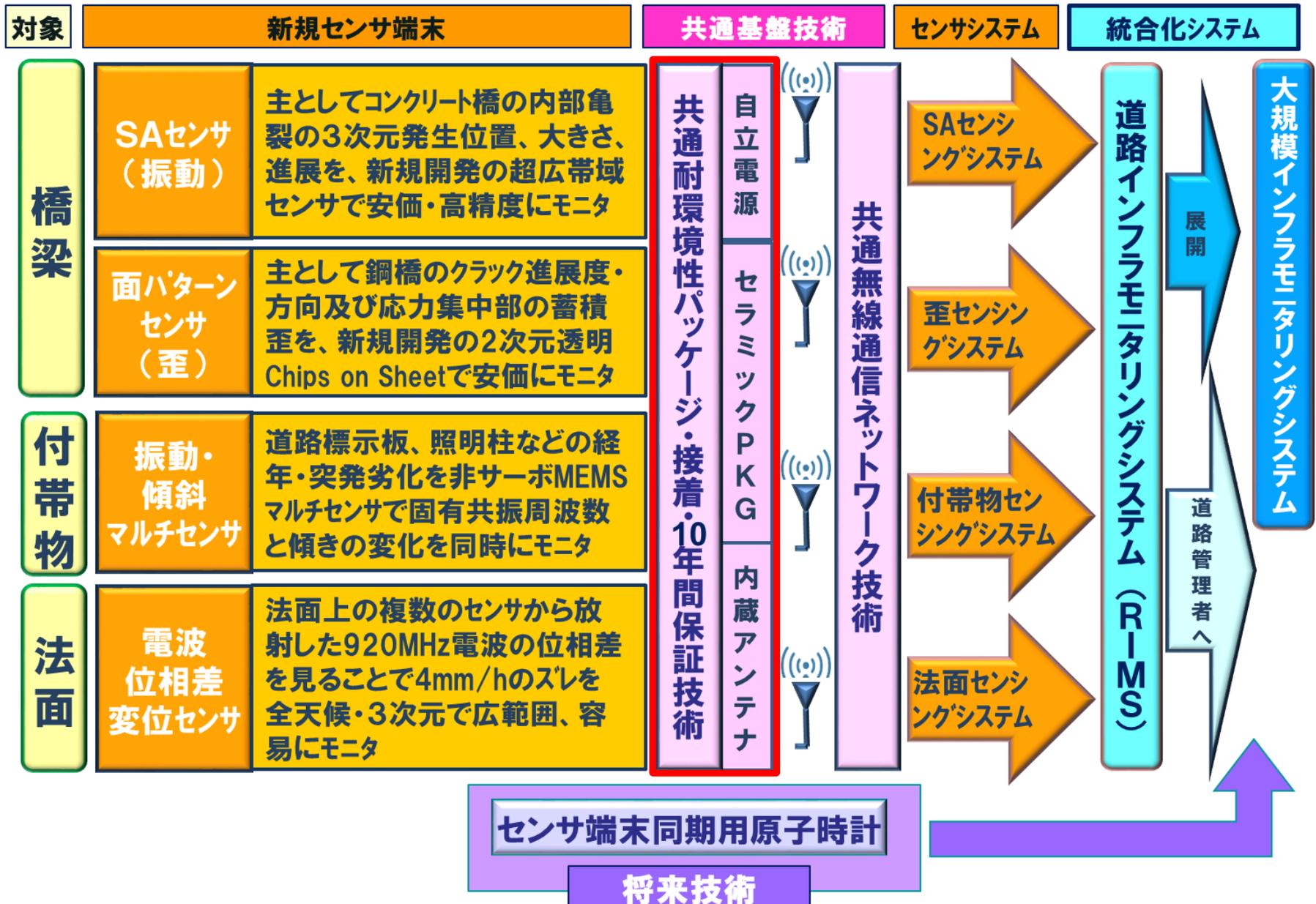
**(委託先:技術研究組合 NMEMS技術研究機構)**

**(実施者:マイクロマシンセンター、日本ガイシ、大日本印刷)**

**発表者: 一般財団法人マイクロマシンセンター  
MNOIC副所長 福本 宏**



# 開発内容



# 対象とする社会課題と現状

- 老朽化が進む道路インフラの維持管理の効率化に向けて、橋梁、道路付帯物、法面など主要施設の無線監視を可能とする道路インフラモニタリングシステムが開発されてきた。
- その実用化には、センサ端末を長期安定して稼働させる必要があり、耐久性の高いパッケージング技術が不可欠である。
- 道路インフラでは、高温、高湿、日射、排ガス、塩害などの過酷な環境ストレスに長期間さらされるため、従来のパッケージでは耐久性に限界があり要求を満たすことは困難であった。

## 道路インフラにおける過酷な環境ストレス

①凍結防止剤による塩害



②排気ガスによる腐食



③重量車両による振動



④積雪/低温/凍結



⑤多雨/多湿



⑥日射/紫外線



# 開発テーマ概要と差異化ポイント

## ● 高耐久性

- ・センサ端末は過酷な環境下に設置されるため、従来のパッケージでは耐久性に限界
- ・実用化において、インフラ寿命や点検サイクルに見合う耐久性の確保が必要

→ センサ端末の性能を少なくとも**10年間維持**できる高耐久性パッケージを開発

## ● オールインワンパッケージ

- ・センサ端末の設置自由度拡大の観点から、電源やセンサ信号の配線引回しを不要とする自立型無線センサ端末が必要

→ 端末構成部品を一括**気密実装**するオールインワンパッケージを開発



<センサ端末の構成>

(\*1) LTCC: Low Temperature Co-fired Ceramics

## ● 簡便な設置施工

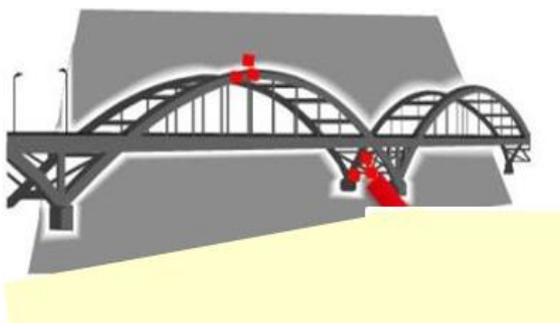
- ・高所、狭窄・屈曲部など多様な設置現場では、簡便に設置できる**施工法**が必要

→ センサ端末をインフラ構造物に設置する**粘接着シート**による**施工法**を開発

# 適用イメージ

## 適用イメージ

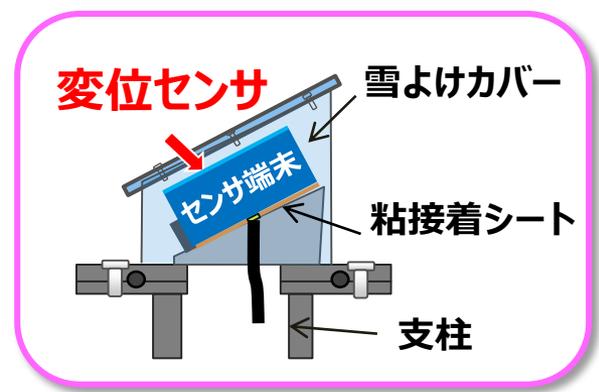
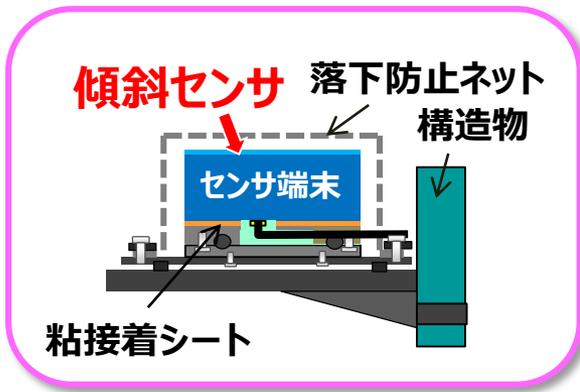
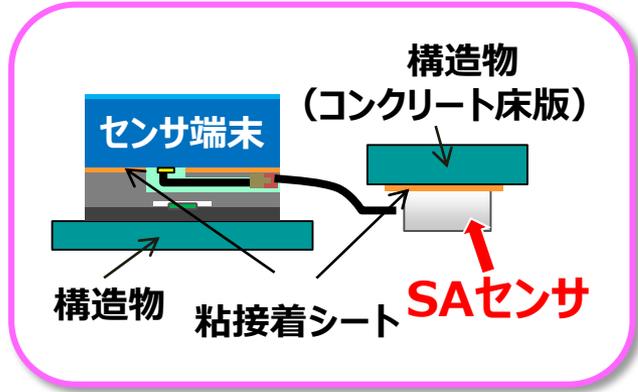
### 橋梁



### 道路付帯物



### 法面



## 効果

- 橋梁、道路付帯物、法面など道路インフラに設置される各種センサシステムに共通使用できる高耐久性パッケージング技術を開発、センサ端末の性能を少なくとも10年間維持可能とする。

# 開発技術 (1/8)

## ■ 大型セラミックパッケージ技術

担当機関：日本ガイシ (株)

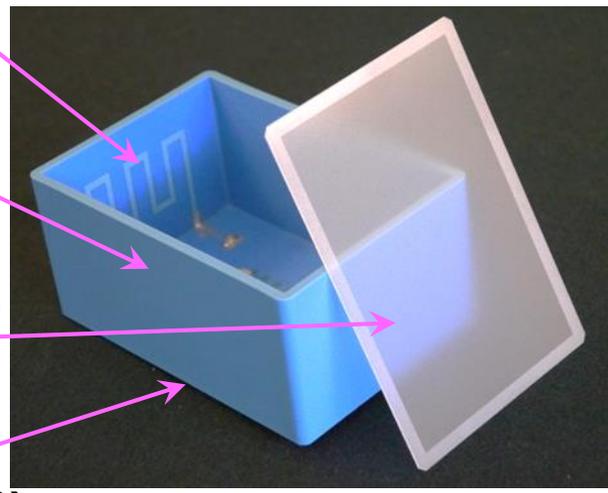
- パッケージ材として、10年の耐久性、アンテナ内蔵可能な電波透過性を有することが必要
- ➔ パッケージ筐体には、アンテナ配線パターンを内層金属配線として形成可能なLTCCを採用
- リッド(蓋)には、内蔵太陽電池に日射導入が可能な透光性セラミックスを採用

・従来のセラミックパッケージのサイズ(10 mm程度)を大幅に上回るLTCC製アンテナ内蔵大型セラミックパッケージ(L100mm×W70mm×H50mm)を開発

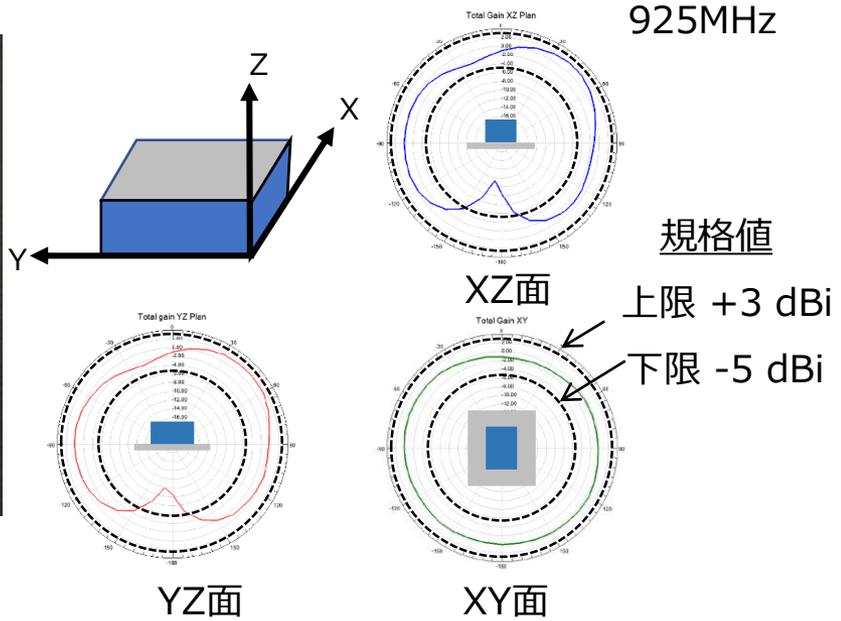
・内蔵アンテナの放射特性は、規格値を満たす全指向性であることをシミュレーションにて確認

### パッケージ筐体の外観

- 内蔵アンテナ  
(内層配線にて形成)
- パッケージ筐体(LTCC)  
L100mm×M70mm×H50 mm
- リッド(透光性セラミックス)  
厚さ 0.73 mm
- フィードスルー端子  
(底面に内層配線にて形成)



### 内蔵アンテナ放射特性 (シミュレーション)



LTCC: Low Temperature Co-fired Ceramics

# 開発技術 (2/8)

## ■ 高気密接合封止技術(1)

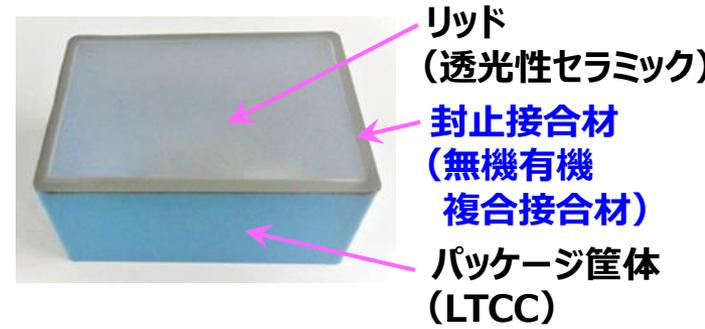
担当機関：(一財) マイクロマシンセンター

➤ 10年以上の気密耐久性を有する接合封止材及び内蔵部品に熱ダメージを与えない低温接合封止プロセスの開発が必要

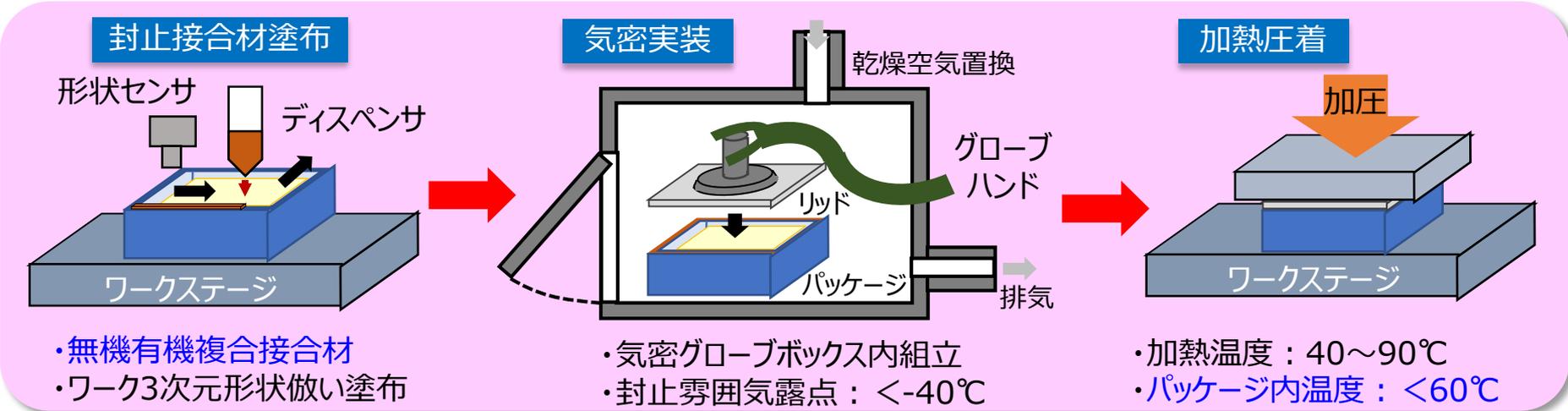
➔ 封止接合材として、耐久性の高い無機材と低温接着可能な有機材の複合接合材を採用

- ・ 無機有機複合接合材を用いた低温封止プロセス (パッケージ内最高温度 <math>< 60^{\circ}\text{C}</math>) を開発
- ・ 半導体パッケージと同等水準の気密性封止達成 (封止部リーク速度：  $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )

気密接合封止されたセンサ端末



## 低温接合封止プロセス



# 開発技術 (3/8)

## ■ 高気密接合封止技術(2)

- ・パッケージに気密封止した評価用センサモジュールによるリアルタイムリモート耐久性評価システムを開発
- ・耐久性加速試験、環境暴露試験の経過データを内蔵の無線発信機で送信し、インターネットを介してサーバに蓄積、WEB上での試験結果の評価が可能

### リアルタイムリモート耐久性評価システム



# 開発技術 (4/8)

## ■ 高気密接合封止技術(3)

・道路環境ストレスに対応する耐久性加速試験の結果、各項目10年相当の加速条件にて全てクリアしており、目標とする10年相当の耐久性を有する見通しを得た。

### 耐久性加速試験結果

	①凍結防止剤による塩害	②排気ガスによる腐食	③重量車両による振動	④積雪/低温/凍結	⑤多雨/多湿	⑥日射/紫外線
道路環境 ストレス						
対応する 耐久性 加速試験	塩水噴霧 サイクル試験	腐食ガス試験	加速振動試験	低温試験	高温高湿試験	耐候性試験
条件 (耐久性 10年相当)	(塩水噴霧2 hr + 40℃98%7日) ×4回	40℃、80%、 SO <sub>2</sub> :25 ppm NO <sub>2</sub> :4 ppm 500 hr	1.6m/s <sup>2</sup> 90 hr (振動実測波の 3倍)	-40℃、 100 hr	85℃、85% 672 hr	(UV162 W/m <sup>2</sup> 48 min + 散水 12 min) ×500回(63℃)
判定	合格	合格	合格	合格	合格	合格

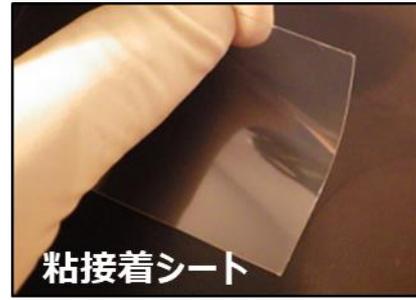
# 開発技術 (5/8)

## ■ インフラ構造物への設置技術(1) 担当機関：大日本印刷（株）

➤ 10年以上の設置耐久性を有し、多様な現場で簡便・強固に設置できる施工法の開発が必要

➔ 粘接着シートによりパッケージを構造物に接合設置する施工法を採用

- ・各種センサ端末の設置形態に合わせた施工を実施、実証試験にて、接合強度の耐久性を確認
- ・開発成果を取りまとめ、管理ポイント明記した施工手順書を作成



設置形態

設置現場

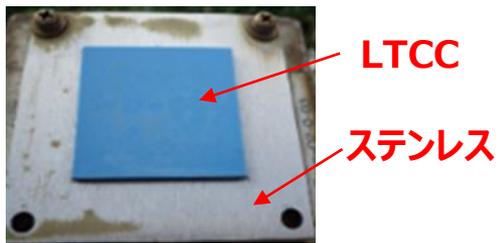
	橋梁 (SAセンサ)	道路付帯物 (傾斜センサ)	法面 (変位センサ)
設置形態			
設置現場	<p>NEXCO西日本管内橋梁</p>	<p>NEXCO中日本管内情報板A,B</p>	<p>NEXCO東日本管内法面</p>

# 開発技術 (6/8)

## ■ インフラ構造物への設置技術(2)

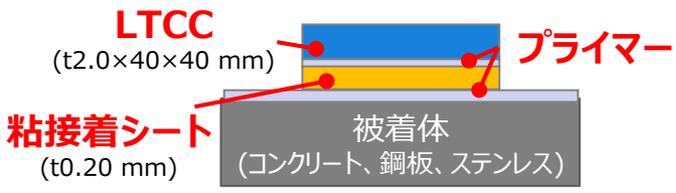
・屋外10年相当の耐久加速試験において、引張強度規格0.4MPaを満たすことを確認 (JIS A 5557準拠)

引張試験サンプル  
(外観一例)

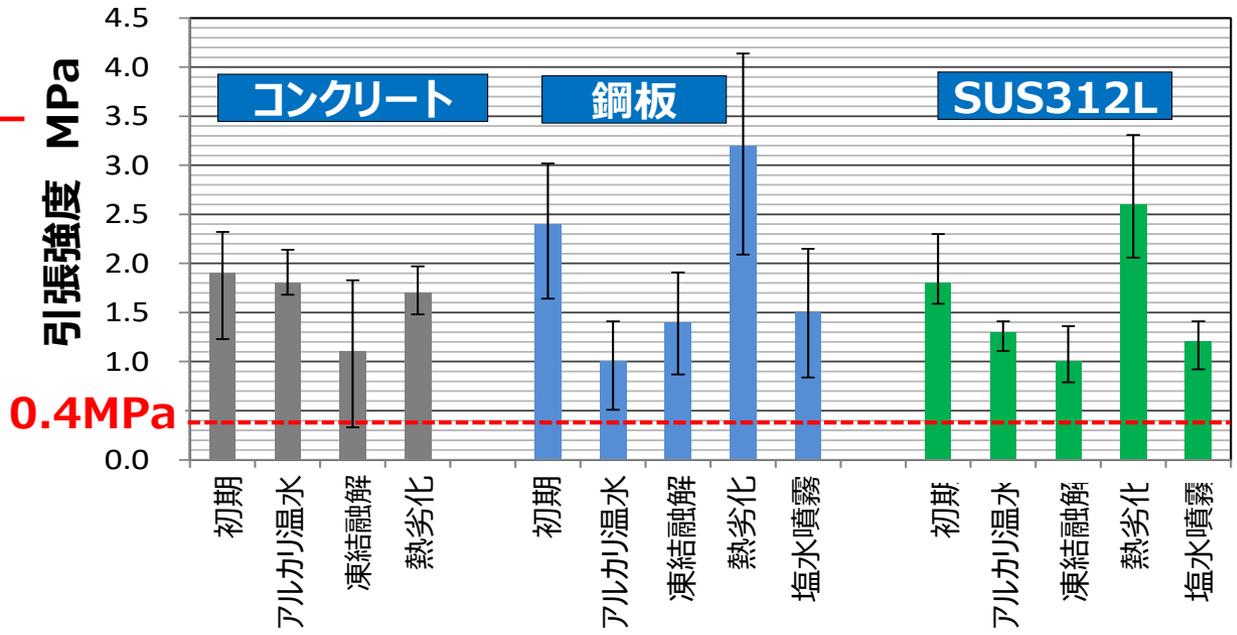
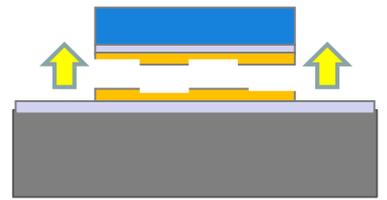


耐久加速試験結果 (JIS A 5557準拠)

引張試験サンプル構造



引張破壊の強度を計測



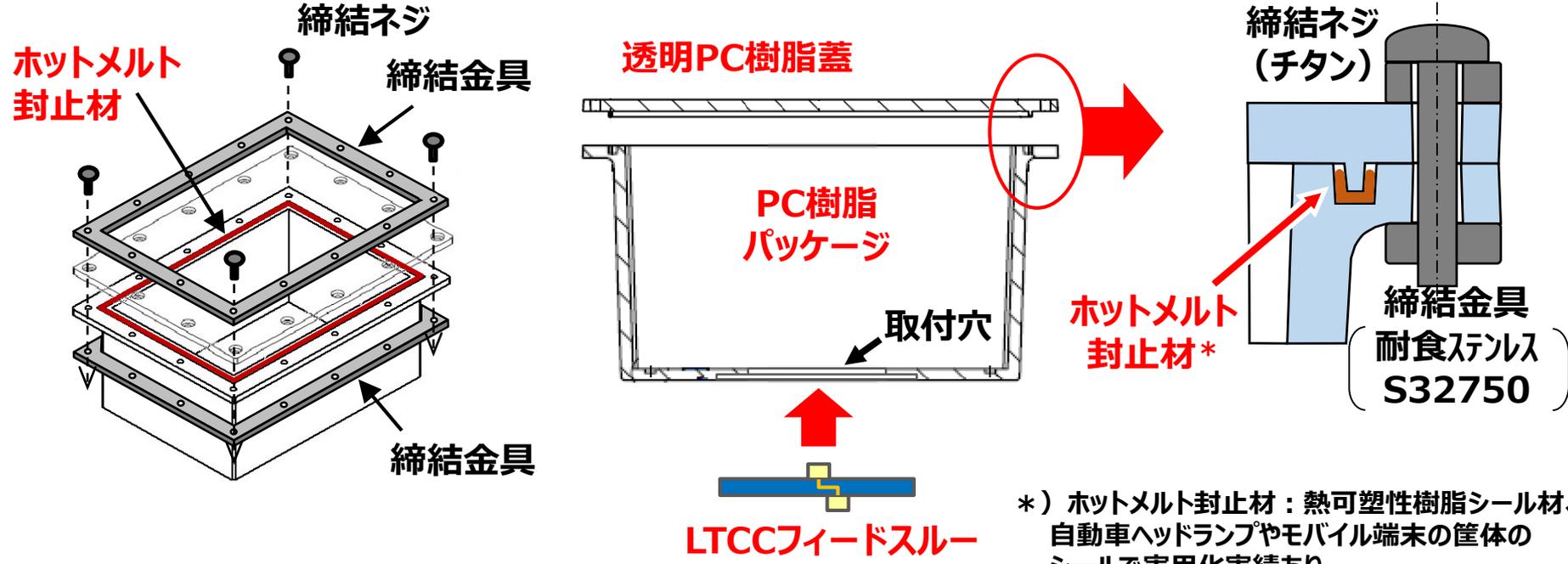
# 開発技術 (7/8)

## ■大規模インフラ用樹脂パッケージ技術(1)

担当機関：日本ガイシ（株）、（一財）マイクロマシンセンター

- 長大橋やエネルギー施設など大規模インフラのモニタリングシステム向けに、今回開発したパッケージング技術を展開、落石、落木などの衝撃力で破壊されない高耐衝撃性が必要
- ➡ パッケージ筐体には、耐衝撃性に優れたポリカーボネート(PC)樹脂を採用、封止材には、自動車やモバイル端末の分野で実績のあるホットメルト材を採用

### 樹脂パッケージ組立構造



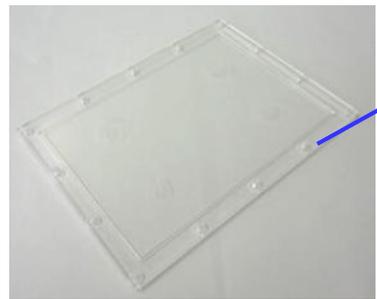
\*) ホットメルト封止材：熱可塑性樹脂シール材、自動車ヘッドランプやモバイル端末の筐体のシールで実用化実績あり

# 開発技術 (8/8)

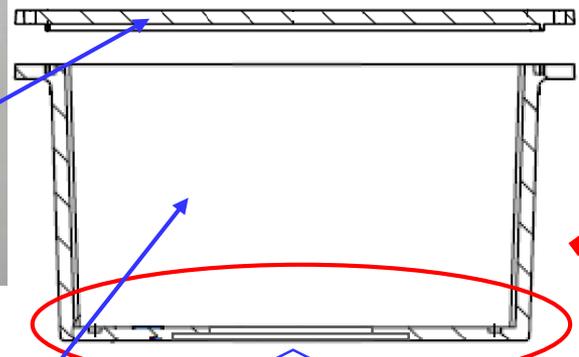
## ■大規模インフラ用樹脂パッケージ技術(2)

- ・シロキサン配合により耐衝撃性と耐候性を兼ね備えたポリカーボネート(PC)樹脂を成形し、ホットメルト封止材により気密性を確保したパッケージを開発
- ・底面には、LTCCフィードスルー基板を接合し、セラミックパッケージとの互換性を確保

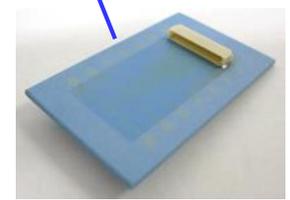
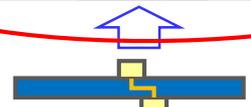
樹脂パッケージ試作パーツ



透明PC樹脂蓋

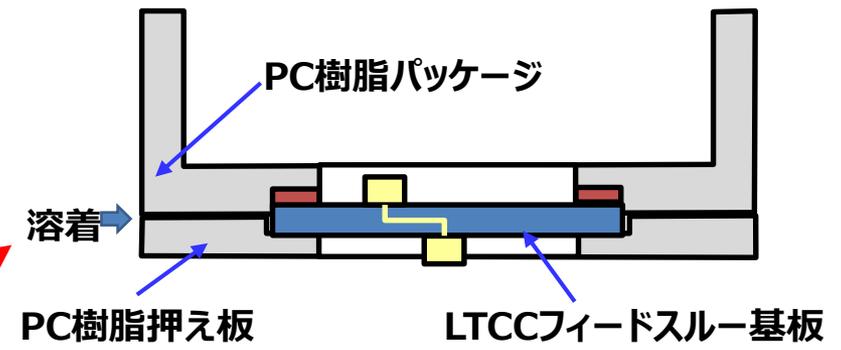


PC樹脂パッケージ



LTCCフィードスルー基板

配線取り出し構造



樹脂パッケージ外観



# 実証実験 (1/2)

## ■ 亜熱帯海洋環境暴露試験 (期間：平成28年7月～平成30年5月、沖縄県 西表島)

担当機関：日本ガイシ (株)、大日本印刷 (株)、(一財) マイクロマシンセンター

- 複合的な環境ストレス下での耐久性を加速評価するため、西表島海岸地区に、開発した高耐久性パッケージ及び粘接着シートによる接合強度を計測するための引張試験サンプルを設置、約2年にわたり亜熱帯海洋環境に暴露し、気密性、接合強度を加速評価
- 西表島の加速係数は、炭素鋼で約20倍、SUSで約7.5倍なので、約1.5年の暴露試験で10年の耐久性を保証

開発した高耐久性パッケージは気密性を維持、粘接着シートによる接合強度は規定の0.4MPa以上を満たし、実用上十分な耐久性を有することを確認

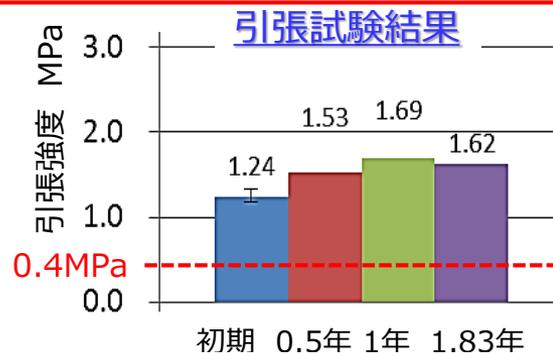


(西表島海岸地区)

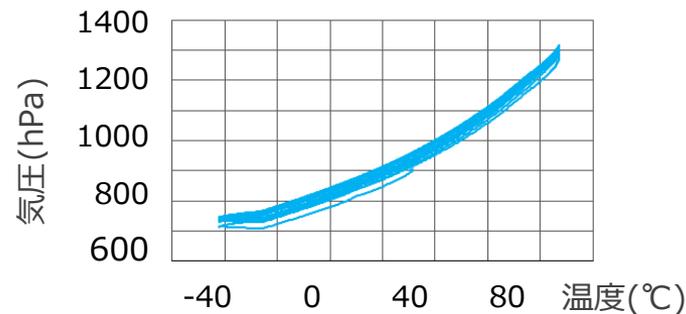
引張試験サンプル



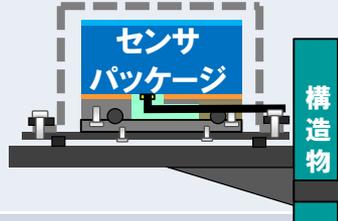
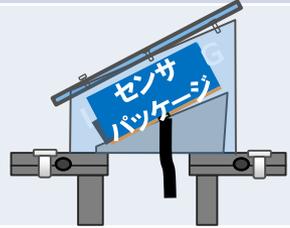
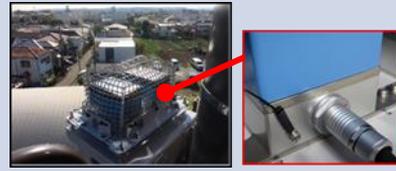
高耐久性パッケージ



パッケージ熱サイクル試験結果 (1.83年暴露後)



# 実証実験 (2/2)

	道路インフラ			大規模インフラ
設置環境	 <p>橋梁</p>	 <p>道路付帯物</p>	 <p>法面</p>	 <p>エネルギー施設</p>
パッケージ設置形態	 <p>パッケージ 構造物 構造物(桁) センサ</p>	 <p>センサ パッケージ 構造物</p>	 <p>センサ パッケージ</p>	 <p>センサ パッケージ</p>
実証現場	 <p>NEXCO西管内橋梁</p>	 <p>NEXCO中管内情報板A,B</p>	 <p>NEXCO東日本管内法面</p>	 <p>発電所</p>
設置PKG	LTCC 5台	LTCC 4台	LTCC 16台	PC樹脂 1台
対応加速試験	耐腐食ガス試験・耐振動試験 合格	耐腐食ガス試験・耐候性試験 合格	熱サイクル試験・低温試験 合格	耐候性試験・耐衝撃性試験 実施中
実証目的	振動耐久性	日照/排ガス環境耐久性	低温環境耐久性	日照環境衝撃耐久性
完成見通し(10年耐久)	◎達成	◎達成	◎達成(除雪カバー付)	○達成見込

## 成果まとめ

- 道路インフラモニタリングシステムの実用化に向けて、過酷な道路環境ストレスの下、従来にない高い耐久性を有するパッケージング技術の開発が課題
- 橋梁、道路付帯物、法面の各種状態監視センサ端末に共通して適用できる共通基盤技術として、少なくとも10年間、気密性を維持できるパッケージ及びインフラ構造物への設置時の接合強度を維持できる施工法を開発

### ● 低温封止プロセスを開発

- ・封止接合材には、耐久性の高い無機材と低温接着可能な有機材の複合材を採用

### ● 大型セラミックパッケージを開発

- ・パッケージ筐体には、電波透過性を有し内蔵アンテナを形成可能なLTCCを採用
- ・リッド(蓋)には、内蔵太陽電池に日射導入が可能な透光性セラミックスを採用



インフラ構造物 (コンクリート・鋼板など)

### ● インフラ構造物への施工法を開発

- ・パッケージを構造物に簡便・強固に接合設置可能な粘接着シートを採用

### ● 高耐久性パッケージング技術を展開し、大規模インフラ用樹脂パッケージを開発

- ・パッケージ筐体には、耐衝撃性に優れるポリカーボネート(PC)樹脂を採用
- ・封止材には、自動車やモバイル端末の分野で実績のあるホットメルト材を採用

- ➡ 道路環境ストレスに対応する耐久性加速試験の結果は、各項目10年相当の加速条件にて全てクリアしており、複合環境ストレス下での加速試験として実施した亜熱帯海洋環境暴露試験の結果と併せて、目標とする10年相当の耐久性を有する見通しを得た。

# 今後の事業化、実用化について

## セラミック(LTCC)パッケージ 日本ガイシ (株)

- 実用化に向けた課題である低コスト化に必要な製造プロセスの検討を進めるとともに、ニーズ調査に基づき、広くインフラモニタリングシステムなどIoT端末向けに「高耐久性セラミックパッケージ」の展開を図る。

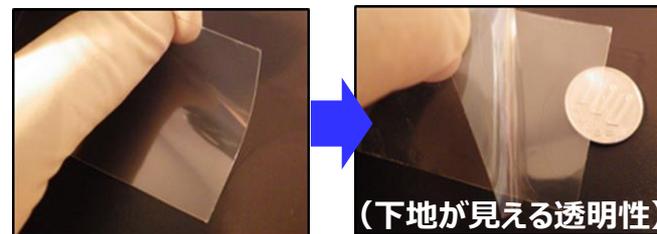


セラミック(LTCC)パッケージ

## 設置施工用 粘接着シート 大日本印刷 (株)

- 粘接着シートはLTCCやステンレス、コンクリートのほか、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)や、ガラスなどにも適用できる。鉄道、プラント、工場、物流関連に設置される各種IoT端末に対しても「粘接着シートによる高耐久接合技術」の展開を図る。

(両面テープのような手軽さ)



(下地が見える透明性)

設置施工用 粘接着シート

## 高気密接合封止技術 (一財) マイクロマシンセンター

- 屋外設置の高耐久性パッケージを必要とする電子デバイスメーカー向けに、今回開発した封止技術をもとに、セラミック及び樹脂製パッケージの開発支援を実施する。



LTCCパッケージ



樹脂パッケージ

**本研究は、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成果です。**