

インフラモニタリング向けセンサー活用セミナー



光ファイバーセンサーによる 土木構造物のひずみ・温度監視

2021年9月10日

沖電気工業株式会社

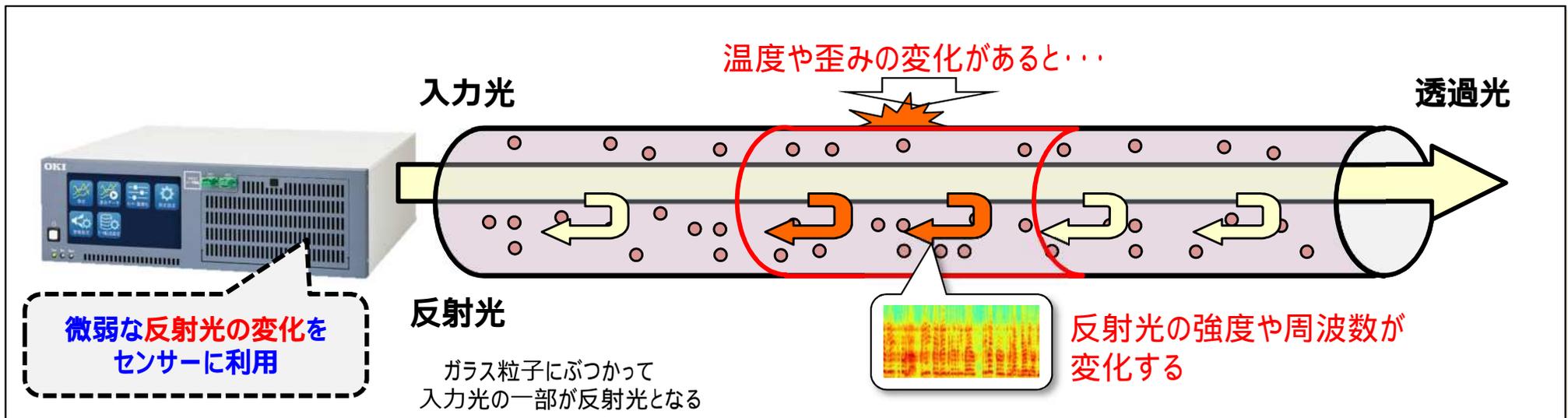
本日の内容

1. 光ファイバーセンサーの概要
2. インフラ維持管理での光ファイバーセンサーへの期待
3. 適用事例

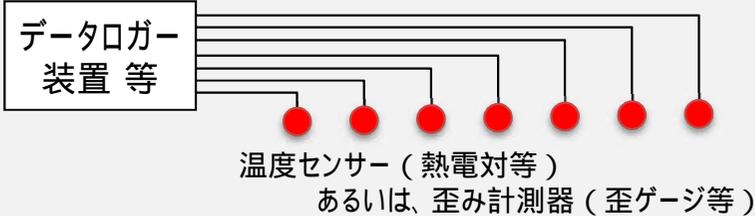
光ファイバーセンサーとは

反射光を使った光ファイバーセンサーの仕組み

- 光ファイバー上での温度や歪みが変わると、**戻ってくる反射光が変化**します。
 - この反射光の強度や周波数の変化を観測することで、温度や歪みを測定しています。
 - 反射光の変化は温度によっても歪みによっても発生するもので、簡単には判別が付きません。
- 入力光が反射光として戻ってくるまでの時間から、**光ファイバー上の位置**がわかります。
 - 光ファイバーの端まで1m間隔で観測することで、連続的に温度・歪み分布を測定できます。



光ファイバーセンサー vs. ポイントセンサー

	光ファイバーセンサー方式	ポイントセンサー方式
システム構成	 <p>光ファイバーセンサー装置</p>	 <p>データロガー装置等</p> <p>温度センサー（熱電対等） あるいは、歪み計測器（歪ゲージ等）</p>
施工性	光ファイバーの敷設のみ 従来センサーに比べ、電源供給が不要	各センサーごとの設置および配線が必要
連続性	光ファイバー全体を分布的に計測することが可能	各センサーの設置ポイントでの計測となる
保守性	センサー部分が光ファイバーのみのため、故障率が低い	センサー装置が多いほど、全体の故障率は高まる
耐環境性	電磁誘導の影響を受けず、防爆エリアでも使用可能	電磁誘導の影響や、防爆エリアでの使用に制約がある
コスト	測定ポイントが多いほどコストメリットあり	測定ポイントが多いほど高価となる

OKI光ファイバーセンサーの特長

高速光通信分野で培った経験を活かし、他社にはできないリアルタイム計測を実現

コアとなる光検出部にOKI独自の方式（SDH-BOTDR方式¹）を導入し、光ファイバーが受ける温度や歪みの変化とその場所を多点同時に、リアルタイムに検知可能なセンシング技術です。従来比²最大約1,000倍の計測速度を実現し、これまで困難であったリアルタイム分布センシングを実現しました。【特許登録済】【NETIS登録済】



光ファイバーセンサー
WX1033A

高速

1秒周期でリアルタイムに測定データを更新

高分
解能

1m単位の細かい範囲で、多くの点を測定

長距離

1kmまでの温度・歪みを測定 ※最大5km

¹ SDH-BOTDR(Self Delayed Heterodyne - Brillouin Optical Time Domain Reflectometry) : 自己遅延ヘテロダインブリルアン時間領域反射法

² 従来の同一方式（BOTDR方式）製品と比較した場合の値（当社調べ）

光ファイバーセンサー仕様



WX1033A



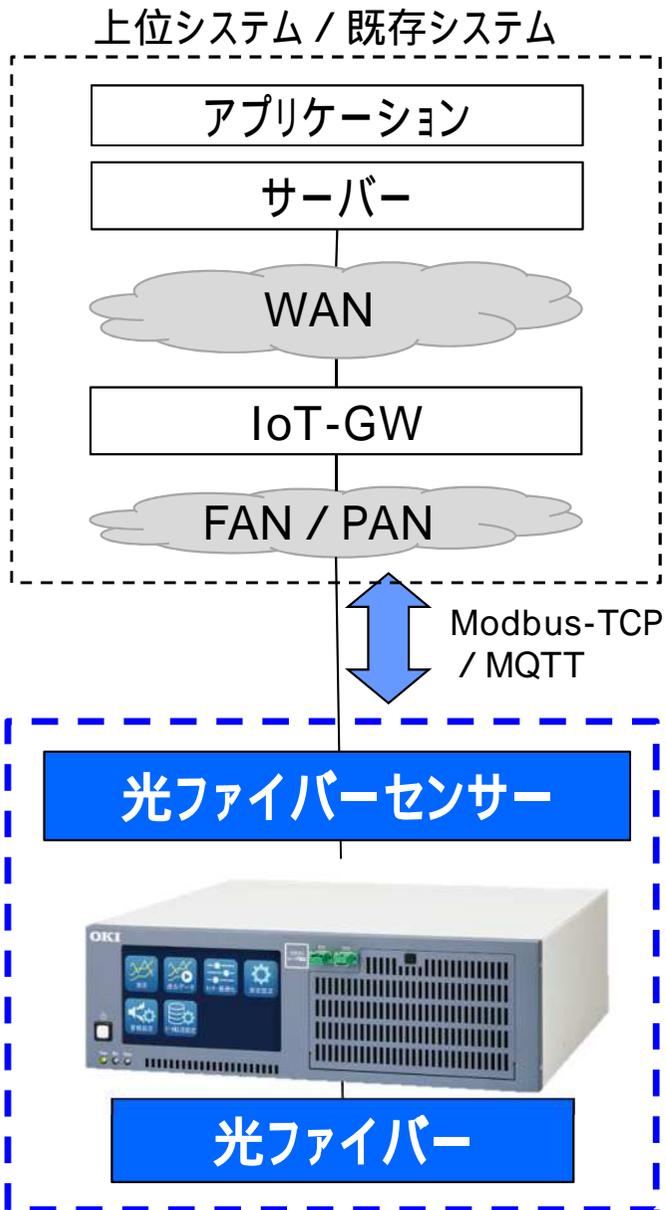
WX1033B

項目		WX1033A	WX1033B	備考
測定方式		SDH-BOTDR		OKI独自方式
測定性能	距離 ¹	最大1 km	最大5 km	
	時間 ²	1 秒		
	空間分解能 ³	1 m		
	温度範囲	- 65 ~ 300		使用する光ファイバに依存
	温度精度 ()	± 1.0		
	歪み 範囲	0~7,500 μ ⁴		
	歪み 精度 ()	± 20 μ ⁴		
光ファイバー	コネクタ	1 チャンネル	2チャンネル	SC/APCコネクタ
ディスプレイ		-	7インチタッチディスプレイ	
一般仕様	動作温度範囲	0 ~ +40		
	電源電圧/消費電力	AC100 V / 450 W		
	外形寸法 (mm)	430 × 420 × 132		WxDxH (突起物除く)
	質量	約 14 kg		装置本体のみ

1 距離は、アプローチ用光ファイバーを含む、総長を表します。光コネクタ数や融着数、または測定条件によっては測定性能（時間、空間分解能、精度）が異なる場合があります。
 2 時間は、測定周期を表します。測定条件によっては応答時間と異なる場合があります。
 3 空間分解能とは、温度 / 歪みの変化を捉える光ファイバーの測定単位長を表します。応答距離に相当します。
 4 μ（マイクロメートル）は、光ファイバーの長さに対する伸びの比率を表します。

システム概要

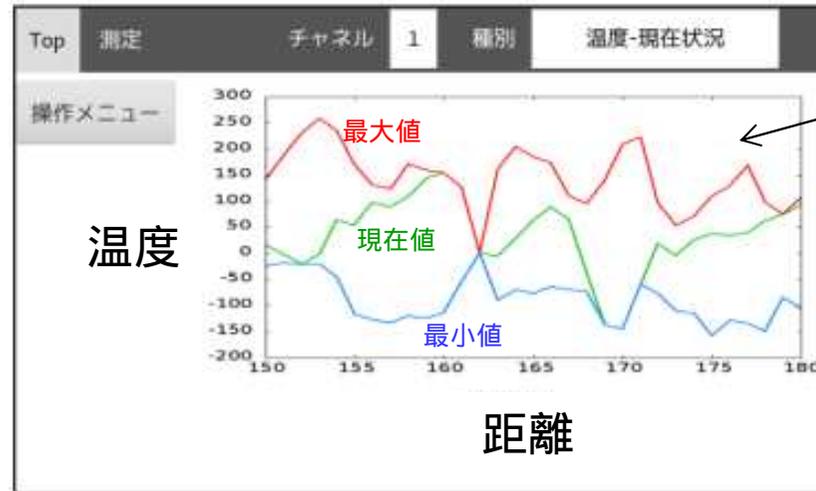
システム構成例



(光ファイバーは用途に応じて別途手配)

< 測定画面イメージ >

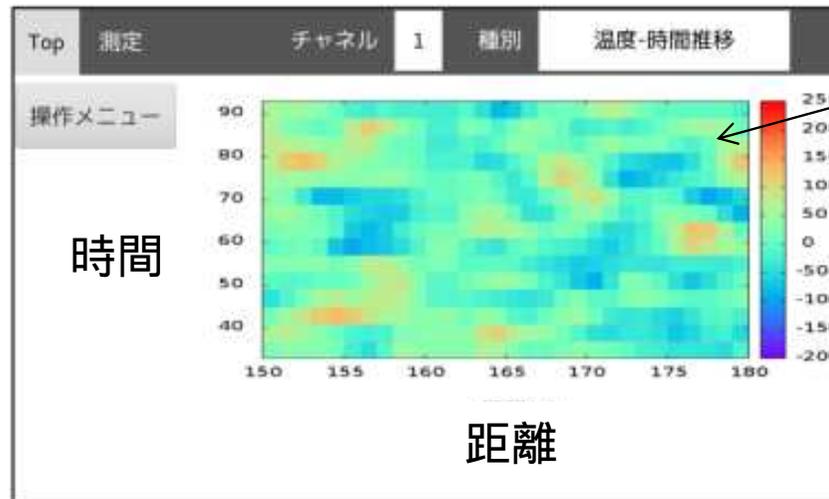
【リアルタイム温度表示】



温度
(最大/最小/現在)

< 測定画面イメージ >

【温度カラーマップ】



経過時間毎の温度

- ・Modbus : PLC (プログラマブルロジックコントローラ) 向けに策定された通信プロトコル
- ・MQTT : Message Queuing Telemetry Transport (IoT向けに開発された通信プロトコル)

本日の内容

1. 光ファイバーセンサーの概要

2. インフラ維持管理での光ファイバーセンサーへの期待

3. 適用事例

インフラ維持管理でのセンサー活用の推進

- ◆ 従来の「事後保全」から、インフラに不具合が発生する前に対策を行う「予防保全」へ変換するとともに、新技術の現場への導入による効率化が図られる。
- ◆ 事後保全と比較すると、予防保全では維持管理・更新費が20年後ぐらまでは30%減少、30年後は50%減少する。

【想定する課題】軽微な損傷のうちに修繕を行う予防保全を行うには、点検頻度が多くなる必要あり。すべての構造物の全箇所(point)の点検を実施するため、工数及びデータ量が莫大である。

長寿命化等による効率化の効果(「事後保全」で試算した場合との比較)

○ 「長寿命化等による効率化の効果*」を示すため、「事後保全」の考え方を基本とする試算を行い、「予防保全」の考え方を基本とする「平成30年度推計」との比較を行った。
 ○ 「事後保全」の考え方を基本とする試算よりも、「予防保全」の考え方を基本とする「平成30年度推計」では、5年後、10年後、20年後で維持管理・更新費が約30%減少し、30年後には約50%減少する。
 この減少幅が「事後保全」によるメンテナンスを「予防保全」へ切り替えることによる効果を表しており、「長寿命化等による効率化の効果」を示しているものと考えられる。

※経済財政運営と改革の基本方針2018
 第3章「経済・財政一体改革」の推進
 ・長寿命化等による効率化の効果も含め、できる限り早期に、インフラ所管者は、中長期的なインフラ維持管理・更新費見直しを公表する。

単位:兆円

	2018年度	5年後 (2023年度)	10年後 (2028年度)	20年後 (2038年度)	30年後 (2048年度)	30年間 合計 (2019~2048年度)
①平成30年度推計 (予防保全を基本)	5.2	5.5 ~ 6.0	5.8 ~ 6.4	6.0 ~ 6.6	5.9 ~ 6.5	176.5 ~ 194.6
②平成30年度試算 (事後保全を基本)	5.2	7.6 ~ 8.5	7.7 ~ 8.4	8.6 ~ 9.8	10.9 ~ 12.3	254.4 ~ 284.6
長寿命化等による 効率化の効果 (①-②/②)	-	▲29%	▲25%	▲32%	▲47%	▲32%

凡例: []の値は2018年度に対する倍率

(参考)用語の定義

予防保全	施設の機能や性能に不具合が発生する前に修繕等の対策を講じること。
事後保全	施設の機能や性能に不具合が生じてから修繕等の対策を講じること。

インフラメンテナンス革命

○インフラに不具合が発生する前に対策を行う「予防保全」へ転換するとともに、新技術の現場への導入による効率化等を図る必要がある

○多様な分野の技術や民間のノウハウを活用し、メンテナンス産業の生産性を向上させ、持続的・効率的なインフラメンテナンスを実現させる

背景・取組

○インフラの老朽化が進む中、維持管理・更新費用の増大や担い手不足が懸念

○予防保全等の計画的なメンテナンスによる費用の平準化・縮減や作業の省人化、効率化を図っていくことが必要

○インフラメンテナンス国民会議等を通じ、予防保全や作業効率化の技術等の施設管理者のニーズとシーズ技術をマッチング、新技術を活用【実装：6技術、71件(2019.3)】

今後の維持管理・更新費用の推計結果

2018年度	約5.2兆円
事後保全	約12.3兆円
予防保全	約6.5兆円

技術者不足解消
 4500名増
 (25.8%)
 いる
 1,291名
 (74.2%)

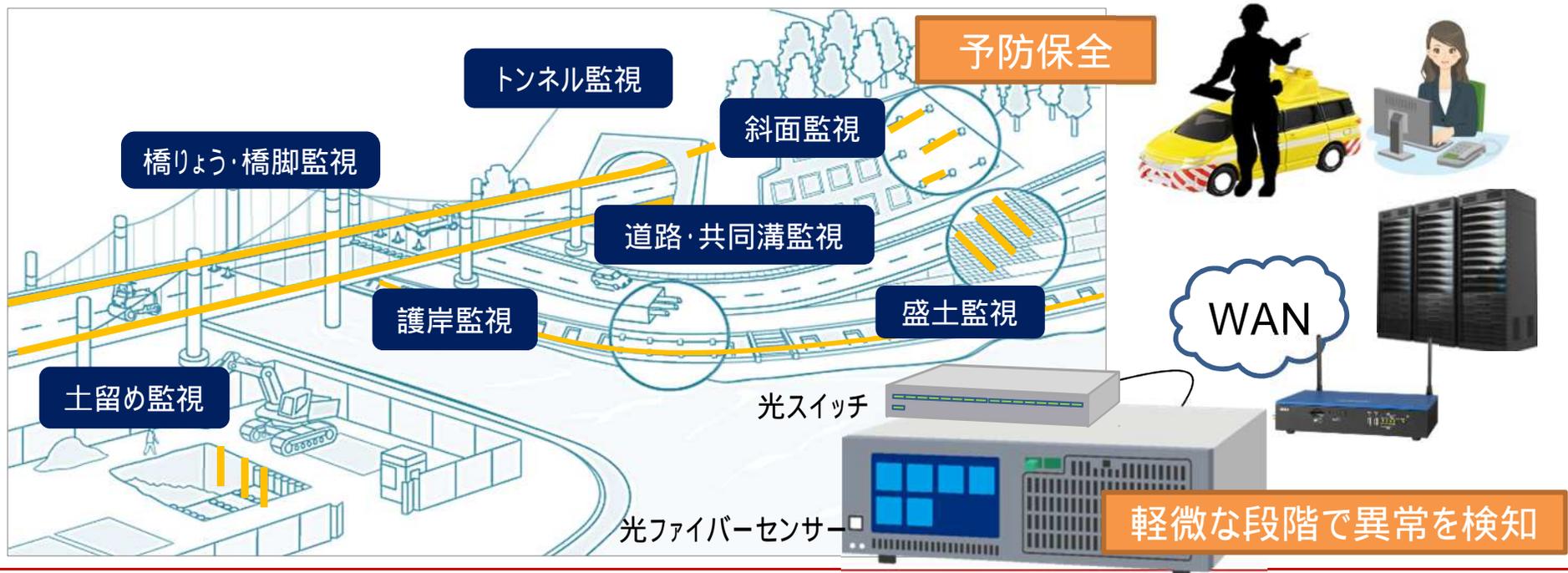
今後の目標・工程

○インフラメンテナンス国民会議の活動等を通じ、2030年度までに全国の施設管理者におけるインフラ点検等の新技術等の導入を目指す

光ファイバーセンサーの目指すゴール

- 光ファイバーを**血管や神経細胞のように社会インフラ全体に張り巡らせることで、社会インフラの予防保全や健全化に貢献**
 - そのために、光ファイバーをあらゆるところ（土中、水中など含む）に埋め込み、光ファイバーセンサー + 光スイッチで効率的に、インフラ全体をモニタリング
 - ▶ 施工時：現場の経験や感覚ではなく、定量データから施工品質管理が可能となる。
 - ▶ 定期点検/緊急点検時：施工時のデータと比較することで変状監視が容易となる。
 - 常時監視では、NW経由で監視システムに接続し、リアルタイムに現場の監視を可能とする。さらにAI等の活用によって、無人監視が最終目標となる。

【光ファイバーセンサーが実現する社会インフラモニタリングの概念図】



本日の内容

1. 光ファイバーセンサーの概要

2. インフラ維持管理での光ファイバーセンサーへの期待

3. 適用事例

適用例：鉄道橋梁の歪みモニタリング

敷設方法：アンカー止めを使用する場合

本件はジェイアール西日本コンサルタンツ(株)様との共同検証です

- 新線建設時の近接工事影響（既存の高架橋の異常変状）を検知する目的で、コンクリート橋の敷設検証および分布歪み測定の有効性を事前検証中。

7.4m床版への光ファイバーセンサーの敷設（アンカー止め）

- ・床板 8.5mm 深さ30mm 14カ所
- ・橋脚 8.5mm 深さ30mm 8カ所
- （内部の配筋を避けてボルト設置）



適用例：プレキャスト床板の打継目モニタリング

RAIMS

敷設方法：接着剤を使用する場合

- 疲労損傷が懸念される場所打ち間詰め部へ適用し，定期モニタリングを実施

構造形式：4径間連続鋼鈹桁橋
 橋長：197.00m
 幅員：10.97m
 床版形式：プレキャストPC床版 + 継目部
 供用年：2017年

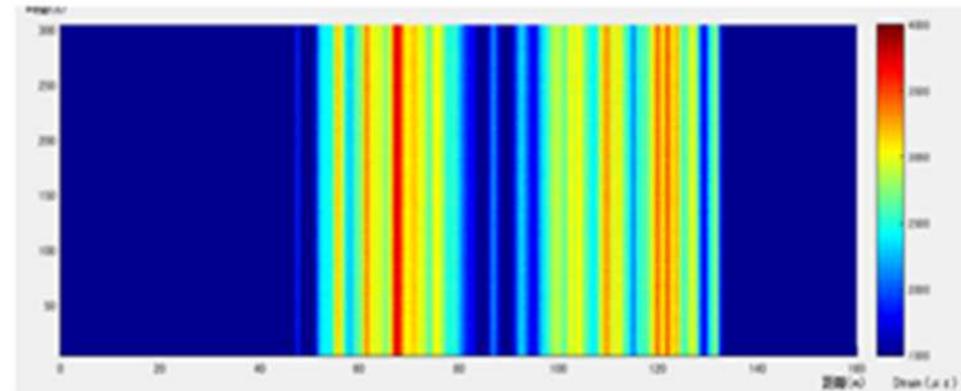
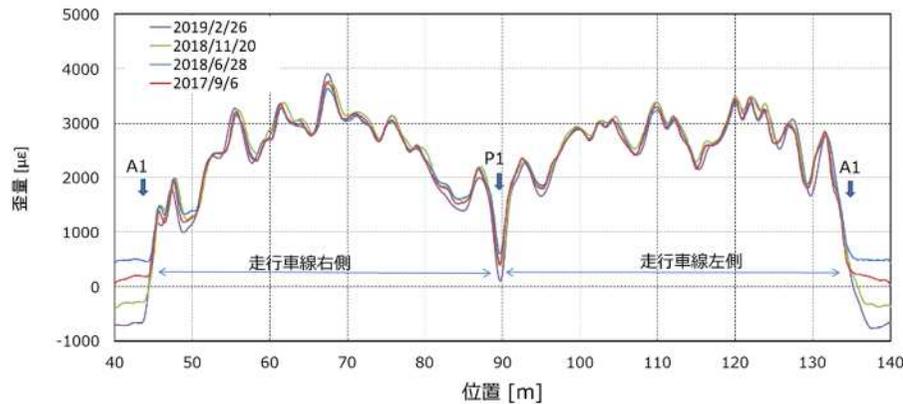


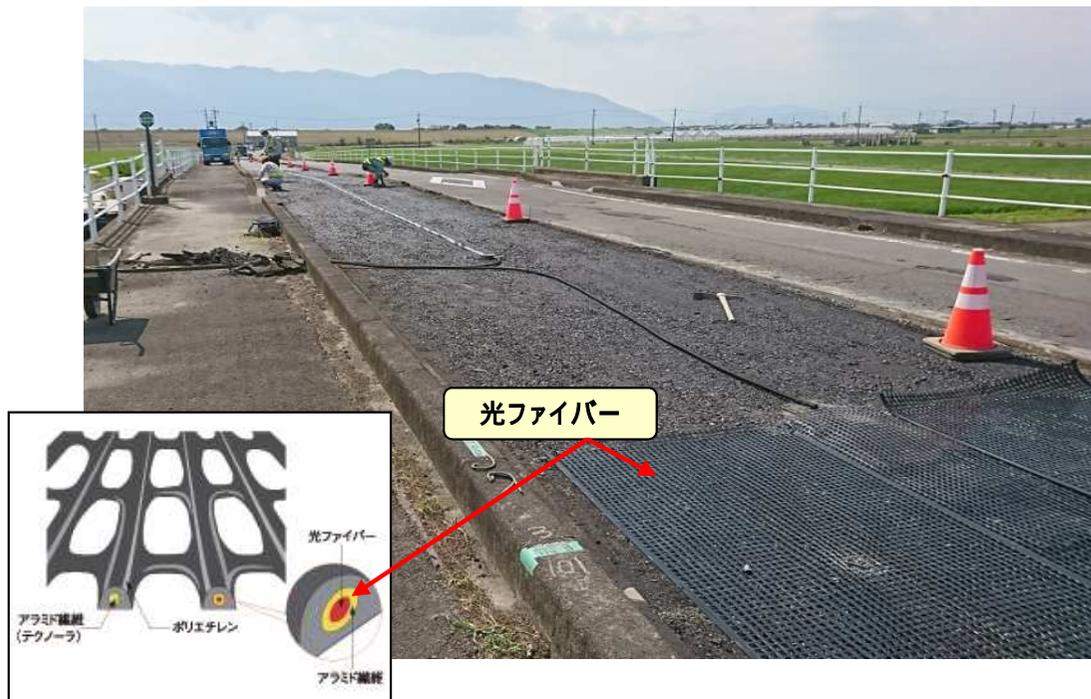
図3 モニタリング結果：歪み空間分布（左），歪み変動履歴（右）

岩村英志ら，“実橋梁における高速光ファイバーセンサーを用いたモニタリング技術活用の検討”，土木学会第73回年次学術講演会概要集，CS9-012，2018.

適用例：道路修繕モニタリングの実証実験

敷設方法：光ファイバー入り建材を用いる場合

- 道路土工と舗装の一体型診断システムに基づいた長寿命化修繕方法の開発
 - 土工構造物の状況を定量的に把握し、劣化を抑制するための路盤の予防的修繕の取組みとして、アスファルトと路盤の間に光ファイバー入り建材を挿入し、モニタリングを実施します。



センサーアダム(前田工織製)



国土交通省道路局が設置する新道路技術会議における技術研究開発制度による、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究「道路土工と舗装の一体型診断システムに基づいた長寿命化修繕方法の開発」で、岐阜大学が実施した計測において本システムが用いられた

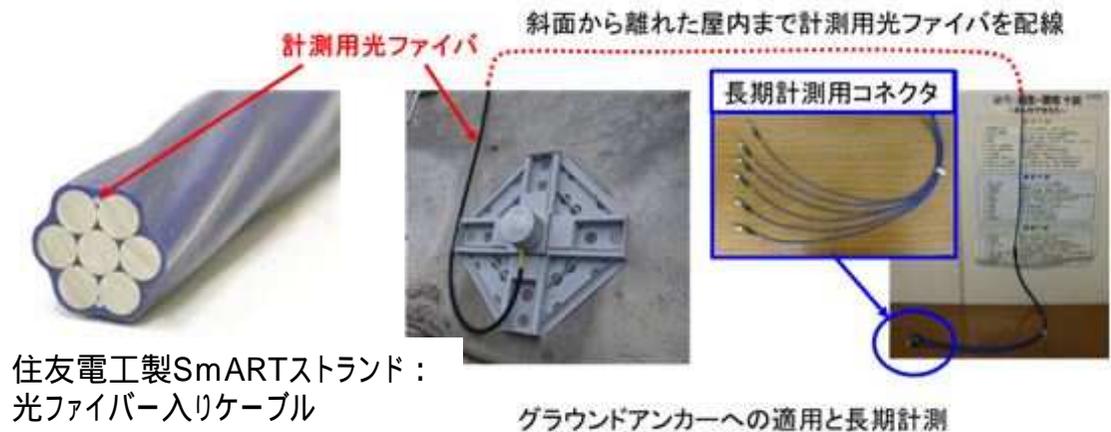
適用例：グラウンドアンカー張力モニタリング

敷設方法：光ファイバー入り建材を用いる場合

- 地山内部の変状やグラウンドアンカーの経年劣化などに起因する張力分布の変動をモニタリング
 - グラウンドアンカーの健全性の判断
 - 大きな変動が生じる前の予防保全として必要な対策工を選定・実施



グラウンドアンカー施工現場例

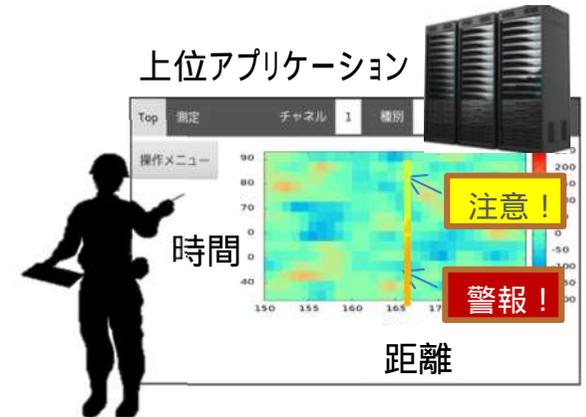


住友電工製SmARTストランド：
光ファイバー入りケーブル

グラウンドアンカーへの適用と長期計測

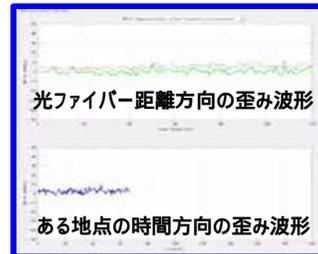
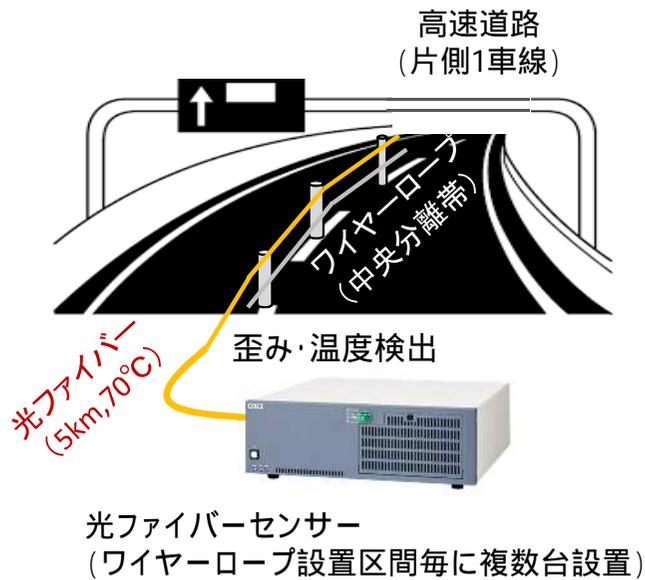


上位アプリケーション



適用例：ワイヤーロープの異常検知の実証検証

- 高速道路のワイヤーロープの歪みをリアルタイムに検知することにより、接触事故等の早期発見、早期復旧を図る
 - 接触事故により機能を果たさない状態になっていることをリアルタイムで監視したい。事故の通報があれば把握できるが、通報がないとパトロール時まで発見できない。
 - 接触事故によるワイヤーロープの破損をリアルタイムで監視できるため、速やかに出動・復旧が可能となる。



適用例：ベルトコンベアの異常温度監視

- ベルトコンベアに沿った分布温度測定 / 監視により、火災の予兆検知、早期発見および早期対処を実現する

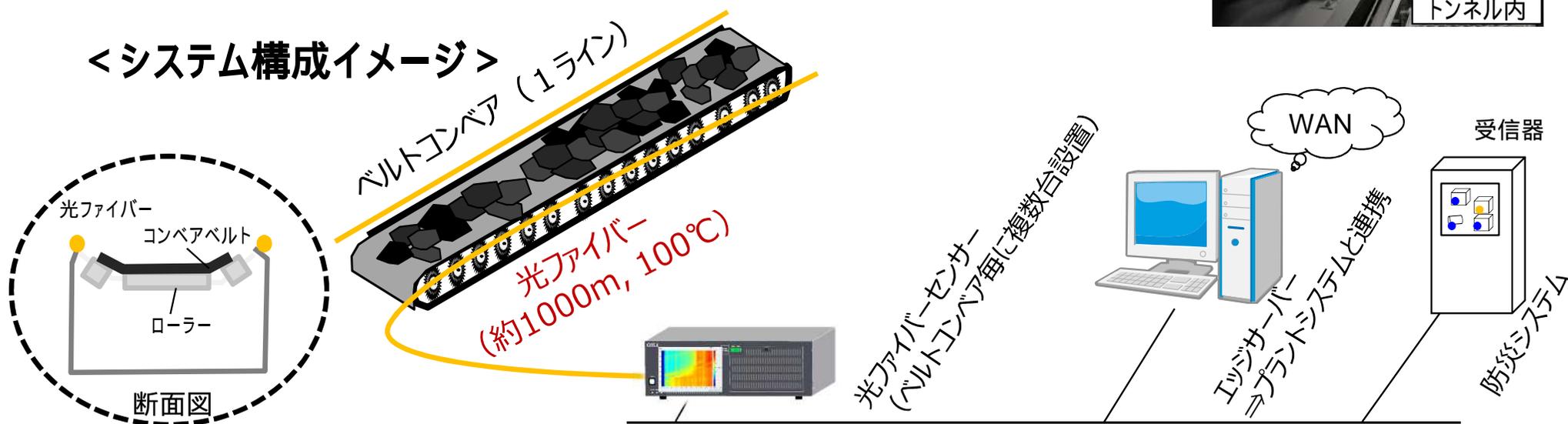
ベルトコンベアにより可燃性の材料を運搬している場合、一旦火災が起こればベルトコンベアを伝わって短時間かつ広範囲に広がってしまう恐れがある。

ローラーの摩擦熱等、異常温度の監視による予兆検知、および火災の早期発見と位置特定による早期対処が求められている。

ベルトコンベアに沿った分布温度測定を行い、リアルタイムで異常温度を検知することで、プラントシステムと連動したベルトコンベアの緊急停止や、防災システムと連動することで火災への早期対処が可能となる。



<システム構成イメージ>



本日お話した内容

1. 光ファイバーセンサーの概要

- ・光ファイバーセンサーの仕組み

2. インフラ維持管理での光ファイバーセンサーへの期待

- ・社会インフラ全体に張り巡らせることで，社会インフラの予防保全や健全化に貢献

3. 適用事例

- ・様々なシーンにて活用いただいています．
ご興味がございましたら，ご相談いただければ幸いです．



Open up your dreams