

一般財団法人大阪地域計画研究所ブリッジマネジメント研究会
第15回(2017年度)ブリッジマネジメントフォーラム 講演会

社会インフラ維持管理におけるICT技術を用いた モニタリング技術の現状と将来への展望

2017年11月14日
オムロン ソーシャルソリューションズ株式会社
事業開発本部 新事業推進統括部

高瀬和男

アジェンダ

1. 会社紹介
2. 社会インフラの維持管理におけるICT技術適用の現状
 - ①概要
 - ②国や道路会社の取り組みのまとめ
3. 社会インフラの維持管理における管理者ニーズとICT技術の現状と課題
4. 適用事例:オムロン ソーシャルソリューションズ(株)で開発を行っている常時モニタリングの事例紹介

1. 会社紹介

2. 社会インフラの維持管理におけるICT技術適用の現状

①概要

②国や道路会社の取り組みのまとめ

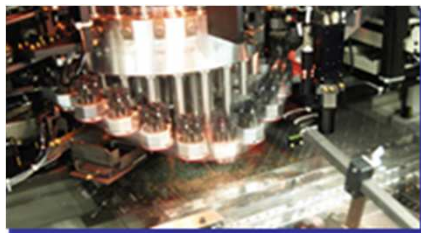
3. 社会インフラの維持管理における管理者ニーズとICT技術の現状と課題

4. 適用事例:オムロン ソーシャルソリューションズ(株)で開発を行っている常時モニタリングの事例紹介

1. 1 会社紹介(オムロングループの事業)

センシング&コントロール技術をコア・コンピタンスとした事業を展開しております

■ 工場自動化用制御機器事業



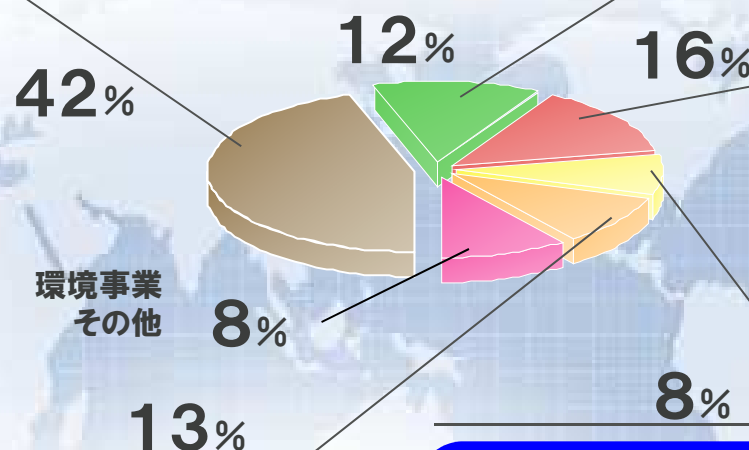
■ 家電・通信用電子部品事業



■ 自動車用電子部品事業



オムロングループ
7,942億円
(2017年3月期・連結)



オムロン オートモーティブ
エレクトロニクス(株)

オムロン ソーシャル
ソリューションズ(株)

■ 健康・医療機器事業

オムロン ヘルスケア(株)



■ 社会システム事業



1. 2 オムロンのセンサ技術

センサ

現場で起こる変化(位置・長さ・段差・変位・外観など)を確実に検出、計測する。



スイッチ

物体が決まった位置に来た時に動作するマイクロスイッチなどの検出用など。



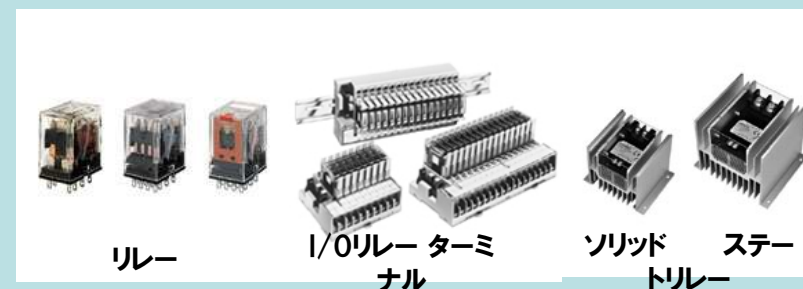
セーフティコンポーネント

機械や設備の安全対策に必要なセーフティコンポーネント。



リレー

制御された入力電気信号を受け取り出力部に必要な動作電気信号を送って電気回路を開閉する装置



他にコントロール、FAシステム機器などの商品群を用意

オムロンHPより作成

1.3 オムロン ソーシャルソリューションズグループの事業

各分野で、センシング＆コントロール技術を活かし、社会貢献を目指しています



-
1. 会社紹介
 2. 社会インフラの維持管理におけるICT技術適用の現状
 - ①概要
 - ②国や道路会社の取り組みのまとめ
 3. 社会インフラの維持管理における管理者ニーズとICT技術の現状と課題
 4. 適用事例:オムロン ソーシャルソリューションズ(株)で開発を行っている常時モニタリングの事例紹介

2. 1 社会インフラの維持管理におけるICT技術適用の現状

①概要

・経済的要求

日本再興戦略

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

未来投資戦略2017(Society5.0)

・社会的要求

社会資本の老朽化(笹子トンネル事故後の動き)

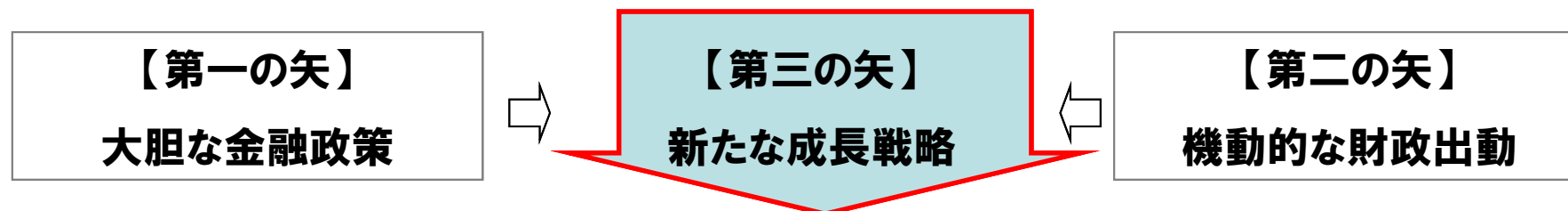
インフラメンテナンス国民会議

②国や道路会社の取り組みのまとめ

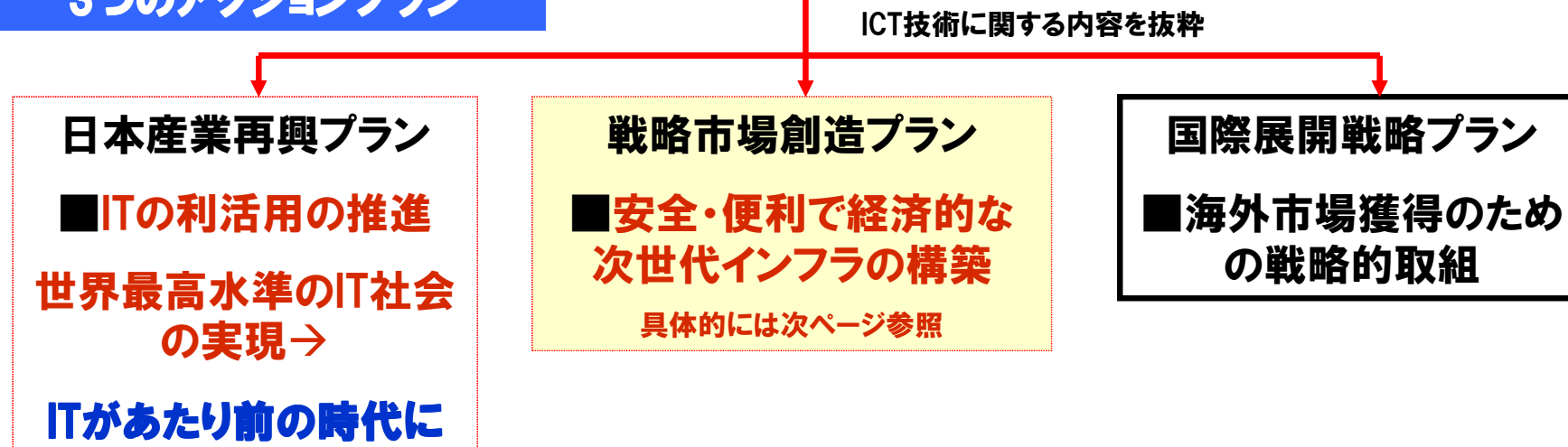
2. 2 ①概要(経済的要求)

日本再興戦略-JAPAN is BACK-(平成25年6月24日閣議決定)

3つの政策



3つのアクションプラン



首相官邸HPより作成

2. 2 ①戦略市場創造プラン(次世代インフラの構築)平成25年当時

安全・便利で経済的な次世代インフラの構築

社会像 : 最先端の技術を活かして、インテリジェント・インフラを実現
 戦略分野 : **インフラマネジメント**、車両安全運転支援システム、宇宙インフラ整備
 市場規模 : **国内 16 兆円(2020 年)、33 兆円(2030 年)** ←Cf.2兆円(現在)
 海外 167 兆円(2020 年)、374 兆円(2030 年) ←Cf.56 兆円(現在)
 雇用規模 : 75 万人(2020 年)、190 万人(2030 年) Cf.6万人

<インフラ点検・診断システム関係>

世界の市場規模

センサ : 現在0.5兆円 →2030年度**10兆円**
 ロボット : 現在50億円 →2030年度**2兆円**
 モニタリング : 現在0円 →2030年度**20兆円**

具体的施策

データの取得・利用

- インフラ情報のデータ化・地理空間情報との統合
- インフラへの各種センサーの設置
- ビックデータを活用した点検・補修計画の運営
- 交通などデータとの統合運用

新技術・新工法

- センサ、ロボットによる新たな点検・補修技術の開発
- 実証→全国の重要インフラで導入

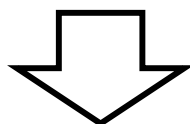
海外展開

- 官民による海外市場調査・コネクション構築
- 本格的なインテリジェントインフラの海外展開

2. 2 ①経済面からのICT技術活用に関する動向

政府は、第107回総合科学技術会議において以下の提言を行った。
「私たちは再び世界一を目指します。世界一を目指すためには、なんと言ってもイノベーションであります。安倍政権の新しい方針として、イノベーションを重視していく。そのことをはっきりと示していきたい。」

科学技術イノベーション総合戦略(平成25年6月7日閣議決定)
日本再興戦略(平成25年6月14日閣議決定)



総合科学技術・イノベーション会議の司令塔機能強化 3つの矢

1. 政府全体の科学技術関係予算の戦略的決定

2. SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) 内閣府設置法の一部を改正する法律案

総合科学技術・イノベーション会議が府省・分野の枠を超えて自ら予算配分して、基礎研究から
出口(実用化・事業化)までを見据え、規制・制度改革を含めた取り組みを推進

科学技術イノベーション創造推進費:H26当初予算 500億円

3. 革新的研究開発推進プログラム(IMPACT)

内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)HPより作成

2.2 ①SIPの対象課題、プログラムディレクター、配分額

革新的燃焼技術（配分金額20億円） 杉山雅則 トヨタ自動車エンジン技術領域 領域長 最大熱効率50%の革新的燃焼技術（現在は40%程度）を欧米に対抗できる産学官の基礎研究体制の構築によって実現し、省エネ、CO2削減に寄与。日本の自動車産業の競争力を維持強化	次世代パワーエレクトロニクス（配分額 21.9億円） 大森達夫 三菱電機 開発本部 役員技監 SiC、GaN等の次世代材料によって、現行パワーエレクトロニクスの性能の大幅な向上（損出1/2、体積1/4）を図り、省エネ、再生可能エネルギーの導入拡大に寄与。併せて、大規模市場を創出、世界シェアを拡大。
革新的構造材料（配分金額36.08億円） 岸輝雄 東京大学名誉教授、物質・材料研究機構顧問 軽量で耐熱・耐環境性等に優れた画期的な材料の開発及び航空機等への実機適用を加速し、省エネ、CO2削減に寄与。併せて、日本の部素材産業の競争力を維持・強化。	エネルギーキャリア（水素社会）（配分額 30.4億円） 村木 茂 東京ガス 取締役顧問 再生可能エネルギー等を起源とする電気・水素等により、クリーンかつ経済的でセキュリティレベルも高い社会を構築し、世界に向けて発信。
次世代海洋資源調査技術（配分額 57億円） 浦辺徹郎 東京大学名誉教授、国際資源開発研修センター顧問 銅、亜鉛、レアメタル等を含む、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト等の海洋資源を高効率に調査する技術を世界に先駆けて確立し、海洋資源調査産業を創出。	自動走行（自動運転）システム（配分額 23.2億円） 渡邊浩之 トヨタ自動車 顧問 自動走行（自動運転）も含む新たな交通システムを実現。事故や渋滞を抜本的に削減、移動の利便性を飛躍的に向上。
インフラ維持管理・更新・マネジメント技術（配分額 32.7億円） 藤野陽三 横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授 インフラ高齢化による重大事故リスクの顕在化・維持費用の不足が懸念される中、予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現。併せて、継続的な維持管理市場を創造するとともに、海外展開を推進。	レジリエントな防災・減災機能の強化（配分額 24.5億円） 中島正愛 京都大学防災研究所 教授 大地震・津波、豪雨・竜巻等の自然災害に備え、官民挙げて災害情報をリアルタイムで共有する仕組みを構築、予防力の向上と対応力の強化を実現。
次世代農林水産業創造技術（配分額 33.2億円） 西尾 健 法政大学生命科学部 教授 農政改革と一体的に、革新的生産システム、新たな育種・植物保護、新機能開拓を実現し、新規就農者、農業・農村の所得の増大に寄与。併せて、生活の質の向上、関連産業の拡大、世界的食料問題に貢献。	革新的設計生産技術（配分額 25.5億円） 佐々木直哉 日立製作所 研究開発グループ 技師長 地域の企業や個人のアイデアやノウハウを活かし、時間的・地理的制約を打破する新たなものづくりスタイルを確立。企業・個人ユーザーニーズに迅速に応える高付加価値な製品設計・製造を可能とし、産業・地域の競争力を強化。

内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)HPより作成

2. 2 ①インフラ維持管理・更新・マネジメント技術の研究開発内容

1. 点検・モニタリング・診断技術の研究開発

- 欠陥や損傷をセンシングし、その状態・性能を定量的に把握できること
- 研究開発成果に対する現場での実証実験などの結果を踏まえた、フィードバックによる改善がなされる研究体制の確保

2. 構造材料・劣化診断・補修・補強技術の研究開発

- 構造材料の様々なパターンの劣化機構シミュレーション技術
- 構造体の劣化進展予測システム
- 長寿命化およびライフサイクルコスト低減に資する新素材の維持管理・補修補強技術
- 新規および既設インフラの高性能化を目指した材料開発

3. 情報・通信技術の研究開発

- 構造材料のさまざまな維持管理・更新・補修などにかかわる膨大な情報を利活用するための技術
- データ誤検知の除去(クレンジング)技術・データの効率的な蓄積技術・類似パターンの分類技術・データ分析などに代表されるデータマネジメント技術
- センサからデータを有線(ネットワーク)や無線通信で回収して異常個所を推定する技術
- 走行中の移動体(自動車など)からセンシング情報を無線通信により回収し、移動体の運用情報などに関連付け総合的にする技術

4. ロボット技術の研究開発

- 効率的・効果的な点検・診断を行う維持管理・補修ロボット
- 危険な災害現場においても調査・施工が可能な災害対応ロボット
- ロボットの実効性を高めるためのインフラ構造の検討とそれに対応するロボットの研究開発

5. アセットマネジメント技術の研究開発

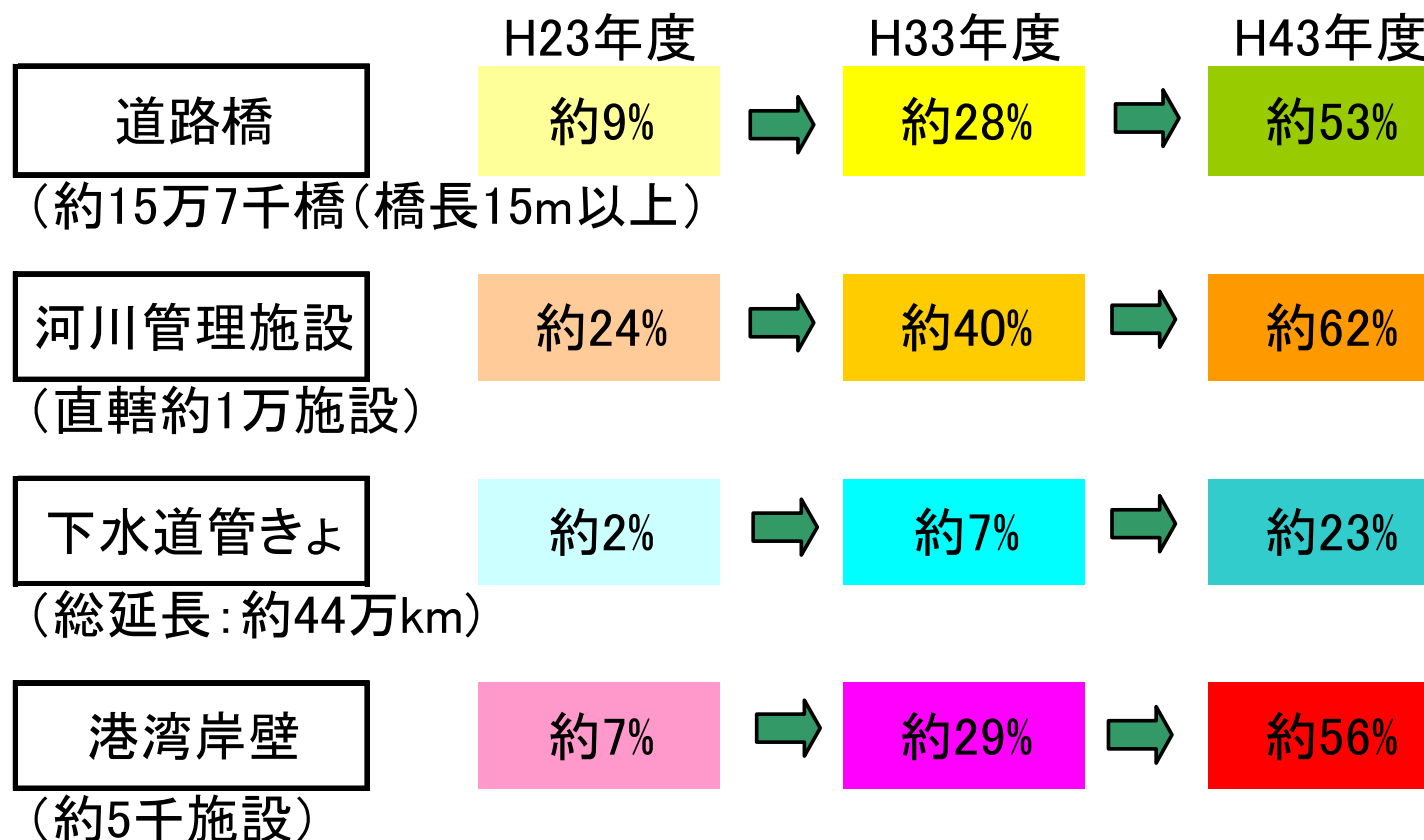
- ライフサイクルコストの最小化を目指す、コンクリート系を中心としたインフラ構造物のアセットマネジメント技術
- 地方公共団体に適用可能なアセットマネジメント技術の開発と全国的な展開を見据えたマネジメント体制の構築
- 国際展開を行うためのスキームづくり
- さまざまな基幹インフラ施設がある中で、その使用目的や機能あるいは構造物としての特性や種類に応じたアセットマネジメント技術

内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)HPより

2. 2 ① 概要(社会的要求)

・ 社会資本の老朽化

完成後50年を超える構造物の割合



国土交通省公表データより作成

2.2 ① 概要(社会的要求) 国の動向(全体)

笹子トンネル事故後、維持管理に関する法案や予算設定が進められ、地方自治体まで含む目視点検の義務化や、高速道路償還期限延長による大規模修繕・更新の予算確保等の国家としての施策が進行

平成24年12月2日 笹子トンネル天井板落下事故

社会インフラに対して国民の大きな不信

凡例

法律

予算

委員会など

その他

総点検

過去の基準の見直し

国土交通省
平成25年度は「メンテナンス元年」
「社会資本の老朽化対策会議」の設置

社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置

国の一元的なマネジメント
体制や法令等の整備

維持管理に係わる
新技術の導入

地方自治体
への支援

長寿命化
計画の推進

維持管理担い手
への支援

平成25年7月31日
公募：老朽化対策に資する点
検・診断技術の公募について
平成25年10月18日
社会インフラのモニタリング技
術活用推進検討委員会

平成26年度予算：
地方自治体への維持管理に関する
予算を新設→防災安全交付金

平成26年6月5日公布 道路法一
部改定
高速道路料金の新たな料金徴収
年限の設定

平成26年5月29日衆院可決
公共工事の品質確保の促進
に関する法律(品確法)の改
正案
市場の実態を反映した予定価
格の設定

平成26年5月29日衆院可決
建設業法等の一部を改正す
る法律案
建設工事の担い手の確保

平成26年6月5日公布 道
路法一部改定
・5年に1回の頻度で、近
接目視による点検を行うこ
とを基本
・国土交通大臣による点検
結果の調査
・国土交通大臣による修繕
改築の代行

技術開発

予算支援

維持管理推進のための法案

2. 2 ①社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会の活動

社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発に係る公募(平成26年9月)

意義・目的

厳しい財政状況や熟練技術者の減少という状況において、事故を未然に防ぎ、**予防保全によるインフラのライフサイクルコストを最小化を実現**するためには、新技術を活用しシステム化されたインフラマネジメントが必須です。特に**世界最先端のICRTを活用**した技術は、従来のインフラ維持管理市場に**新たなビジネスチャンス**を生むとともに、同様な課題に向き合う**アジア諸国へのビジネス展開**の可能性を生むものです。

ICRT: ICT(Information and Communication Technology)+IRT(Information and Robot Technology)

国土交通省の言葉の定義

●モニタリング技術

構造物等の状況常時もしくは複数回(常時/定期/不定期、最低2時点)で計測し、状態の変化を客観的に把握する技術

●点検技術

構造物の状況のある時間断面(定期点検など)で計測し、基準等に照らして評価する技術

公募テーマ

公募分野の種類: 橋梁(下部構造、上部構造、床版)、のり面・斜面、河川堤防の3分野

件名①: モニタリングシステムの現場実証

(基礎工の洗掘、支承部や床版の劣化などの特定事例、維持管理の高度化・効率化)

件名②: モニタリング技術を社会インフラの維持管理業務へ適用するための技術的検証

(モニタリング技術適用の具体的方策と検証、モニタリング技術の標準化、基準化)

2.2 ①インフラメンテナンス国民会議の設立(平成28年)

○政府としてインフラメンテナンス国民会議を設立

「日本再興戦略改訂2015」(平成27年6月閣議決定)において、インフラメンテナンス国民会議を設立することが明記されました。また、その後の「経済財政運営と改革の基本方針2016」(平成28年6月閣議決定)等においても会議の設立を前提とした施策が位置づけられています。

◆ 日本再興戦略改訂2015-未来への投資・生産性革命- (平成27年6月30日閣議決定)

第二 3つのアクションプラン 二. 戦略市場創造プラン テーマ3: 安全・便利で経済的な次世代インフラの構築
(2) 新たに講ずべき具体的施策

③インフラメンテナンス産業の育成・活性化

「インフラ長寿命化計画(行動計画)」等を実行するための基盤となるインフラメンテナンス産業の育成・活性化を図るため、来年度より、産官学が総力を挙げてこれに取り組むプラットフォームとしてインフラメンテナンス国民会議(仮称)を設立するとともに、ベストプラクティスを表彰し理念を普及するインフラメンテナンス大賞(仮称)を創設する。

◆ 日本再興戦略2016-第4次産業革命に向けて- (平成28年6月2日閣議決定)

中短期工程表

中短期工程表「都市の競争力向上と産業インフラの機能強化 ⑤」

2013年度～2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度～	KPI
	政策立案 法制局主査室等	秋	年末	通年実施	
	メンテナンス産業の育成・拡大				
	民間技術者の育成・活用を促進、点検・診断等の業務の質を確保				
- メンテナンス技術者を育成・確保するための民間資格の登録制度の活用 - 建設だけでなく異業種からの参入も促進するためのインフラメンテナンス国民会議(仮称)の開催 - メンテナンスにおける優れた取組の表彰の実施	「インフラメンテナンス国民会議」(仮称)を設置 産官学が連携し、民間の新技术の担い起こしや異業種からの新規参入の促進、産業規模について検討、民間のノウハウの積極的な導入、メンテナンスに係る高度な技術者の育成 「インフラメンテナンス大賞」(仮称)を設置 事業者等の取組を促進し、理念を普及				

インフラメンテナンス国民会議リーフレット より抜粋

2.2 ① インフラメンテナンス国民会議の活動内容

○ 産学官民のプラットフォームとしてのインフラメンテナンス国民会議

インフラメンテナンス国民会議は、インフラを良好な状態で持続的に活用するために、産学官民が一丸となってメンテナンスに取り組む社会の実現に向けて、さまざまな主体が参画し、理念の普及、課題の解決及びイノベーションの推進を図るプラットフォームであり、活力ある社会の維持に寄与することを目的とする組織として、取り組んで参ります。

○ インフラメンテナンス国民会議の7つの戦略

戦略1 インフラメンテナンス分野における技術開発の生産性革命

(オープンイノベーションの導入・推進)

戦略2 ビジネスチャンスの創出(公認フォーラム制度の導入)

戦略3 200兆円巨大海外市場への挑戦(インフラメンテナンスの海外展開)

戦略4 メンテナンス技術の限界突破(技術コンペの実施)

戦略5 メンテナンスの理念の普及(インフラメンテナンス大使(マニアの設置等)の設置)

戦略6 メンテナンスのメジャー化(表彰制度の創設)

戦略7 メンテナンスへの市民参画

○ 第1回インフラメンテナンス大賞(国土交通省案件 国土交通省HPより)

No.	表彰の種類	部門※	分野	受賞者(代表企業・団体名)	受賞案件名
1	国土交通大臣賞	ア	下水道	東京都下水道局	「下水道管のビッグデータ」を活用したメンテナンス
2		イ	道路	しゅうニャン橋守隊 しゅうにゃんきょうしうたい	しゅうニャン橋守隊(CATS-B)による猫の手メンテナンス活動
3		ウ	河川・ダム・砂防・海岸	(株)荏原製作所	維持管理性を向上させた河川排水用新形立軸ポンプ(楽々点検ポンプ)の技術開発
4	特別賞	ア	鉄道	東海旅客鉄道(株)	東海道新幹線土木構造物の大規模改修による長寿命化
5	優秀賞	ア	道路	青森県	青森県におけるトータルマネジメントシステムによる橋梁維持管理
6		ア	道路	島根県	道路橋及びコンクリート構造物の点検・診断等アドバイザー制度
7		イ	道路	(独)国立高等専門学校機構 舞鶴工業高等専門学校 社会基盤メンテナンス教育センター	地元インフラを地元で守り次世代へと継承する建設技術者育成活動

インフラメンテナンス国民会議リーフレット より抜粋

-
1. 会社紹介
 2. 社会インフラの維持管理におけるICT技術適用の現状
 - ①概要
 - ②国や道路会社の取り組みのまとめ
 3. 社会インフラの維持管理における管理者ニーズとICT技術の現状と課題
 4. 適用事例:オムロン ソーシャルソリューションズ(株)で開発を行っている常時モニタリングの事例紹介

3. ICT技術の現状

インフラの点検・監視に利用されるセンサの種類

土木・建築構造物

機械的・物理的センサ

加速度センサ

変位センサ

ひずみセンサ

圧力センサ

音波・磁気センサ

超音波センサ

磁気センサ

AEセンサ

光・電磁波センサ

赤外線センサ

イメージセンサ
(画像)

レーザセンサ

雰囲気・ケミカルセンサ、他

温度湿度センサ

レベルセンサ

ガスセンサ

GPSセンサ

社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会資料2-1より作成

3. ICT技術の現状 センサを使ったモニタリング海外事例

(調査方法) 諸外国の行政機関や研究機関が発行している文献など、 IABMAS、IABSE、ASNTなどの国際会議での報告から抽出
(現状考察)

- ・現時点では、各種非破壊検査技術やモニタリング技術が体系化され、基準等が整備されている事例はないが、各国において様々な技術が研究段階から実用段階に移行しつつある。
- ・長大橋など特殊な橋梁などに振動特性などを把握するために家族度センサや変位計を設置する事例はあるが、通常の中小橋梁に設置する事例はあまりない。中小橋梁にはロボットやUAVなどを活用した定期的なモニタリング事例が多い。

事例（抜粋）	対象構造物	計測目的	主なセンサ	実用化
ヴィンセント・トーマス橋のモニタリング（米）	吊橋	振動の主成分モード、固有周波数	加速度計	実運用
地中レーダー法（GPR）を用いたコンクリート舗装の目地部損傷特定（米）	コンクリート橋	施工目地部分のスリップバーの配列、コンクリート層の湿度など	電磁波レーダー	試行運転中実運用
ロボットを利用した床板ひび割れモニタリング（米）	道路橋	ひび割れ	カメラとレーザーを搭載したロボット	施工検証中
設置型GPRと車載式GPRの検査制度の差に関する検証（米）	橋梁	クラック位置	接地型GPR、車載式GPR	試行運転中
地中レーダー法および赤外線法と目視点検による道路床版モニタリング結果の比較（米）	橋梁	損傷度、表面上の特徴	地中レーダー法 赤外線	試行運用中
非破壊検査手法を用いた道路床版の点検（米）	道路橋	剥離、ひび割れ	衝撃応答波法、打音法、地中レーダー、自然電位法など	試行運転中
赤外線技術を用いた道路床版上面の点検（米）	道路橋	浮き、剥離	赤外線技術、3D写真測量	研究レベル 試行検証中

H27年3月6日 社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会（第5回） 配布資料より作成

3. 維持管理における計測センサ技術の課題と対策

部位	課題	対応策
センサ	屋外（降雨、温度、湿度、ほこり、虫、小動物）で使えない、寿命が短い、ばらつきがある	屋外対応、長寿命化・高耐久性 高信頼性（対応センサの規格化）
センサ・システム	高価、大型	安価、小型化→MEMSなど
電源	地域により電源がない。 有線（設置コスト、断線） 電池（寿命が短い）	省電力型（太陽光発電など）
通信	人がデータを取ることは非効率的。 有線（設置コスト、断線）	低消費電力の無線化による遠方通信
回路	消費電力が大きい	低消費電力システム
データ	劣化がゆっくりで見つけにくい 構造、環境によりデータ項目、 整理方法、分析方法、判断基準が不明	劣化状況の見える化、計測項目、収集整理方法などの標準化 （劣化を引き起こす要因データと損傷データを同時に計測し、劣化のシナリオを示す。）

3. インフラ維持管理の将来像(土木学会誌10月号SIP報告)

点検・モニタリング・診断技術の分類

点検技術者による近接目視を代替、支援できる技術

○点検支援ツール(点検の効率化)

現場ものちこむことが容易、点検データを位置情報と共に記録可能、高精度なスケッチマシン

光学系 → 高感度カメラによる画像処理、AIによる情報処理(コンクリートひび割れ検出)

高感度磁気センサ → 鋼材の腐食、亀裂の探査

音響センサ → 打撃音による心象判定を深層学習機能で支援する

○スクリーニング(点検の高度化)

広範囲な検査対象から損傷個所を特定する。所定の精度で確実に劣化・損傷を発見し位置情報と共に自動的に可視化・マッピング可能な技術

信号処理装置を移動車両などに設置 → トンネル覆工コンクリートの表面清祥の計測

→ 高速道路のRC床版上部の損傷検知

→ 航空レーダー測深機による三次元データによる
橋脚の洗掘

○常設モニタリング

ネットワーク化された多数のセンサによる計測

対象:重要度の高い橋、大きな構造物、災害時に危険が予測される個所

○詳細点検技術(見守り、補修補強の効果の判断)

点検やスクリーニングで特定された損傷に対して、供用中の安全性が問われる場合、補修や更新の判断のためにデータが必要な場合

例:高出力X線源による高精度透過撮影装置によるPC橋梁内部の鋼線破断状況の可視化

小型中性子源を用いたコンクリート内部の水分・空隙・土砂化状況の可視化

土木学会誌2017.10月号 特集分野横断インフラ維持管理技術の開発とその社会実装より作成

3. インフラ維持管理におけるICTの活用（土木学会誌10月号SIP報告）

インフラ維持管理では、点検のためのセンシングデータを効率よく収集するネットワークシステムといったIoTのコンポーネントと、収集した各種データを蓄積し、AIを活用して解析するためのデータベースシステムや可視化システムといった情報処理技術は必要である。

○インフラセンシングデータの統合的データ管理

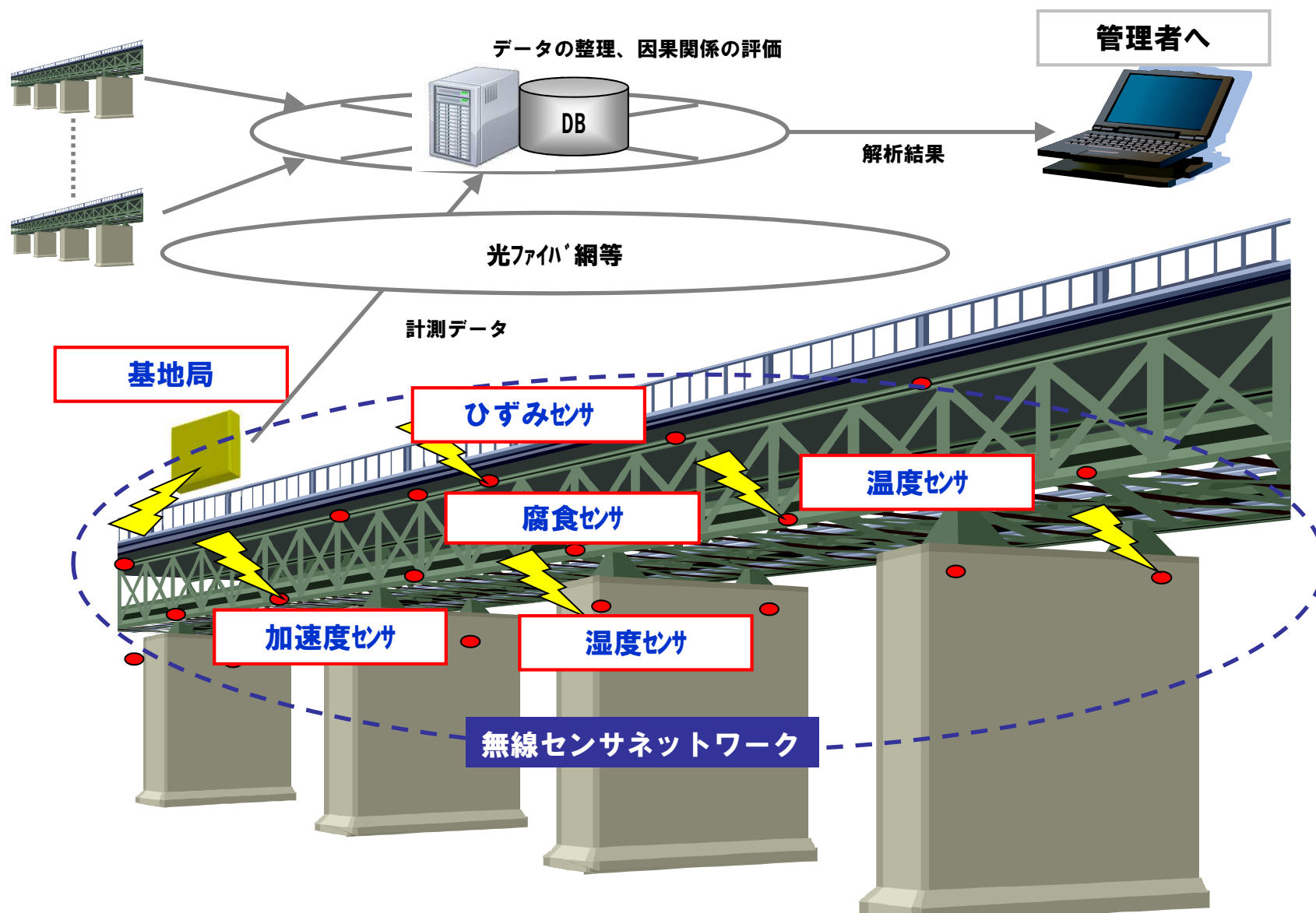
「インフラセンシングデータの統合的データマネジメント基盤の研究開発」

- ① 橋梁に取り付けたひずみ、変位、加速度センサ、および道路をモニタするカメラから得られる動画データの遠隔収集
- ② 探索的可視化分析ソフトウェア環境を活用した多面的な解析
- ③ 多数のセンサを扱いために原子時計を用いた高精度の時刻同期が可能なマルチセンシング用モジュールの開発
- ④ データの収集蓄積のためのプラットフォームとしてのデータ管理技術の構築

○構造物の三次元モデルを活用した点検情報管理システム

- ① 橋梁構造表面に接触しながら近接撮影が行える二輪型ドローン開発と、撮影画像に橋梁三次元モデル上の位置情報を自動的に添付し可視化を行うシステムの開発
- ② 首都高速道路開発：インフラドクター

3. 求められる計測システム（モニタリング）の1例



-
1. 会社紹介
 2. 社会インフラの維持管理におけるICT技術適用の現状
 - ①概要
 - ②国や道路会社の取り組みのまとめ
 3. 社会インフラの維持管理における管理者ニーズとICT技術の現状と課題
 4. 適用事例:オムロン ソーシャルソリューションズ(株)で開発を行っている常時モニタリングの事例紹介

4.1 国土交通省における実証実験

省電力化を図ったワイアレスセンサによる橋梁の継続的遠隔モニタリングシステムの現場実証

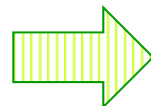
研究開発の内容（平成26～30年度）

- ・省電力、屋外環境対応のセンシング技術
→ 長期信頼性確保（電池駆動で寿命5年以上）
- ・データ伝送技術（無線）
→ 設置性の良さと遠隔での効率的なモニタリング
- ・データ分析技術
→ 多様な劣化損傷の指標化（特性カルテ）

センシング技術



920MHz



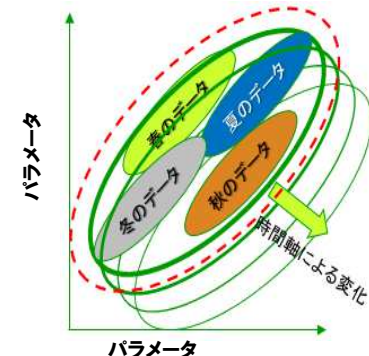
データ伝送技術



サーバ



分析技術

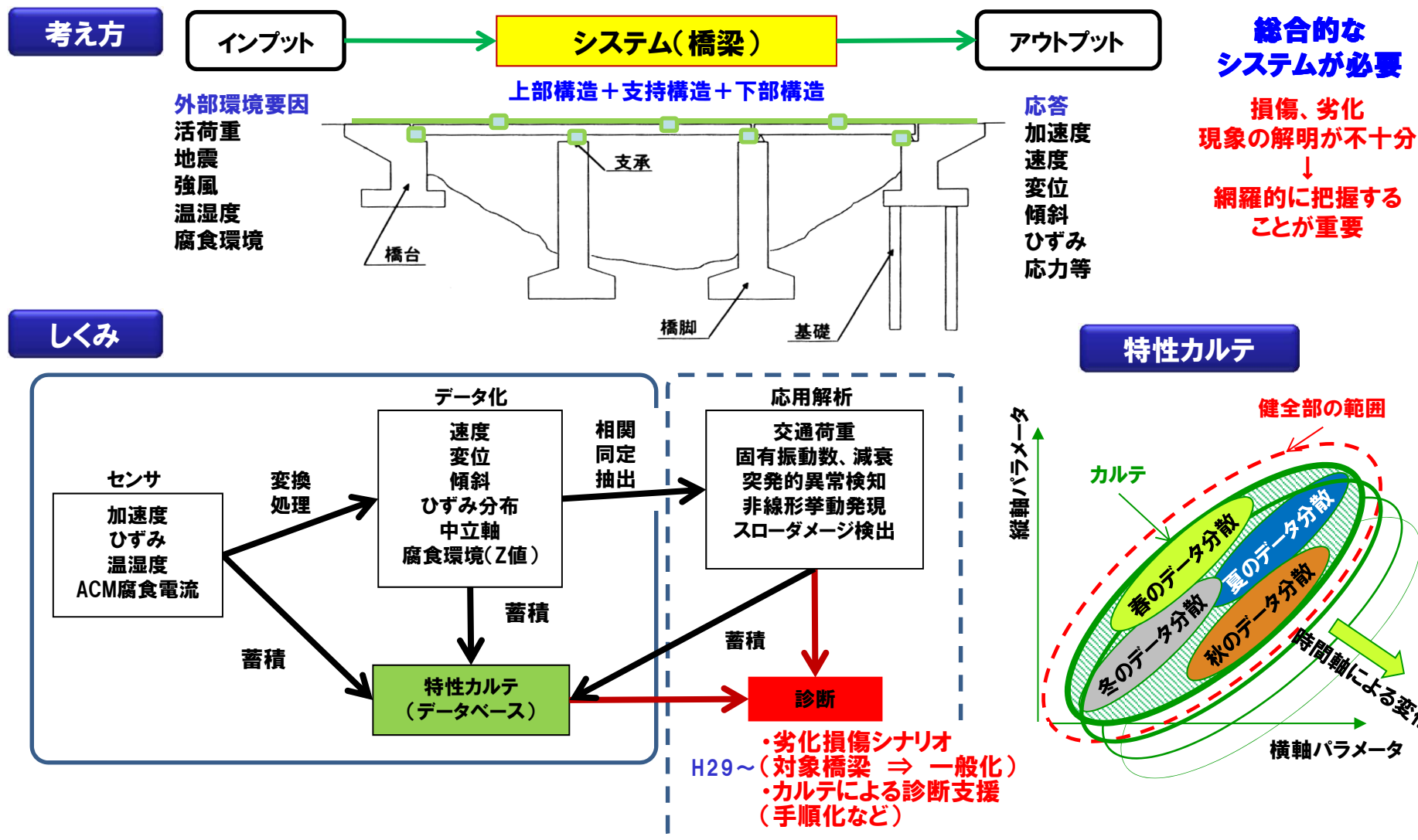


※出所：国土交通省 近畿地方整備局 ホームページより

内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」に関連した、国土交通省の「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」実証実験

4. 2 提案技術の概要(全体のしくみ)

インプットとアウトプットの対応関係を指標化し、変化を的確に捉えることが特徴



4. 3 提案技術の概要(システム)

OMRON

×

CONFIDENTIAL C

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

いかに効率的に意味のある情報を収集できるかを体系的に整理し、要素技術を開発

モニタリングの目的

突発的異常の検出

健全度判定

診断箇所

(1) 部材の境界

(2) 個別部材

(3) 構造物全体

何を、いつ、どのように計測するか

	センサ	タイミング	時刻同期
異常発生時	加速度、変位、温度	トリガ(地震)	必要
	加速度、変位、温度	トリガ(車両振動)	必要
	ひずみ、加速度 変位、温度		
定期	ACM、湿度、温度	定期 1回/10分	
	加速度、変位、温度	定期 1回/1日~1週	
	加速度換算、温度	定期1回/10分	

センシング技術(省電力)



920MHz

データ伝送技術(無線)



3G

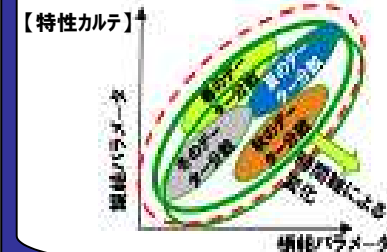
分析技術(遠隔)



データベース

【計測データ】
加速度/速度/ひずみ/変位/温湿度...

【分析データ】
損傷分析/使用環境/減衰...



- ①無線による設置性の良さと効率的なモニタリングを実現
- ②省電力、屋外環境対応により長期信頼性の確保
- ③データ分析により多様な劣化損傷への対応が可能

⇒ 低コスト化
ニーズへの対応

4. 4 実施概要(調査・計画)

OMRON

×

CONFIDENTIAL C
TOKYO TECH
Pursuing Excellence

H26現場調査、計画

橋梁型式

:3径間連続鋼非合成箱桁橋

橋長:232m

環境:沿岸部、自動車専用道路

交通量 :大型車1,493台/日



鋼箱桁、鋼横桁の腐食



コンクリート床版ひび割れ

※撮影許諾:国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所

(1)平常時における損傷しやすい個所の特定、劣化進行状況の把握

項目	目的	分析方法(特性カルテ化)
腐食	腐食環境の把握による原因究明と経過監視	腐食環境指標(Index-Z)※ ①変位挙動(桁、支承、橋台・橋脚)の把握 ②橋軸方向の各断面の断面応力の把握 (中立軸、合成効果、断面剛性) ③活荷重に関する情報の把握(WIM)
	板厚の減少による 鋼箱桁の剛性低下把握	
コンクリート ひび割れ	コンクリート剛性低下把握	

※田辺篤史,佐々木栄一,三木千寿:腐食環境センサ計測に基づく耐候性鋼材腐食量推定法,土木学会論文集A1(構造・地震工学),Vol.69,No2,275~282,2013

(2)災害時(地震、台風)におけるダメージ状態の把握

項目	目的	分析方法(特性カルテ化)
地震 台風	異常発生位置や発生時刻、異常レベルの定量化	災害発生時の「部材間の非線形応答」を基にした分析

4. 5 モニタリングシステム設置状況

**センサノード(加速度、温湿度)29台、ピエゾ式ひずみセンサ15台、
ACMセンサ4台、基地局1台、およびソーラパネルを設置(約1週間)**

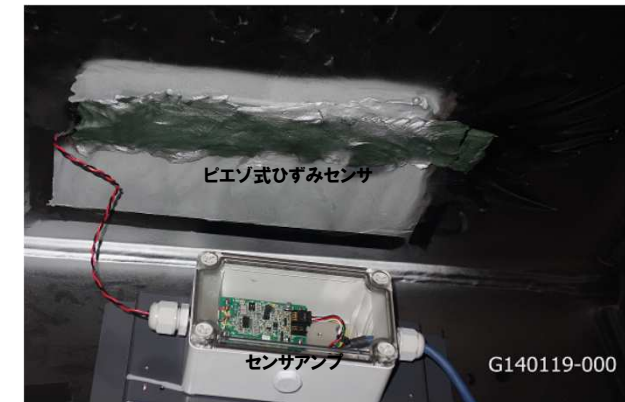
H27現場設置



センサノード設置例(横桁)



センサノード設置例(横桁上フランジ)



ピエゾ式ひずみセンサ(箱桁内)



ACM型腐食センサ設置例(箱桁外面)



基地局(点検通路S2付近)

※撮影許諾:国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所

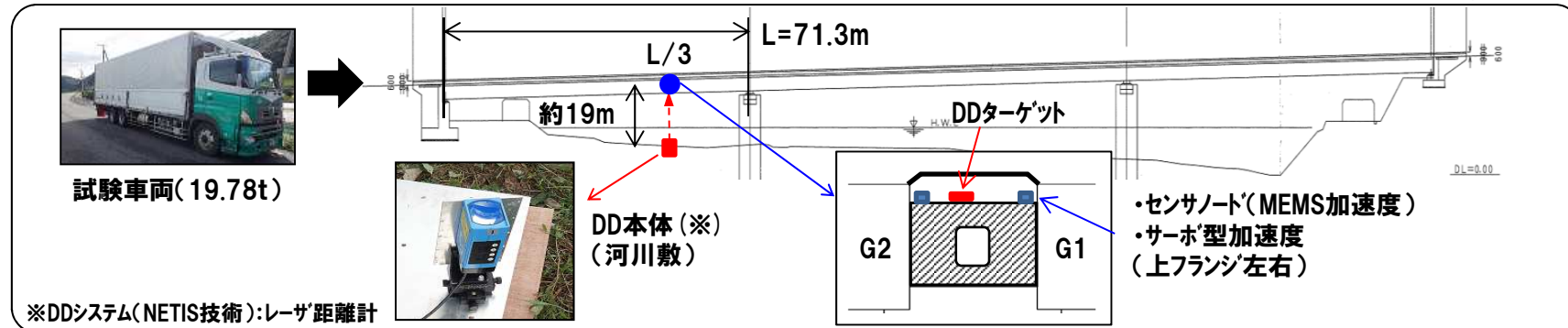
4. 6変位挙動の把握

OMRON

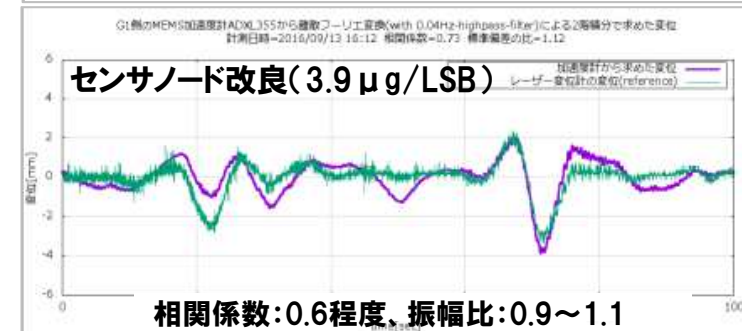
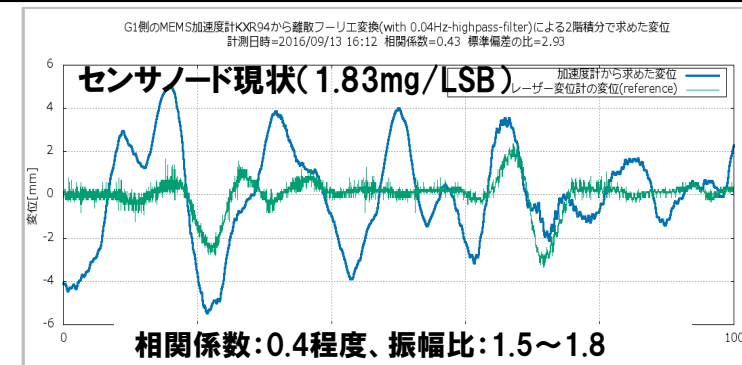
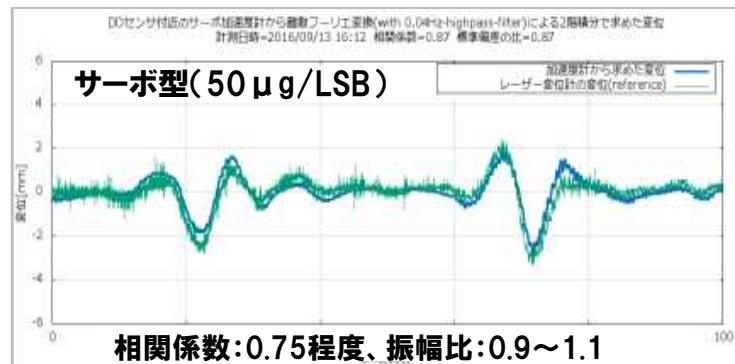
×

CONFIDENTIAL C
TOKYO TECH
Pursuing Excellence

剛性低下により交通荷重などによる変位が大きくなることが想定される
交通荷重による変位を指標としカルテとしての活用が可能であるか、精度評価を実施



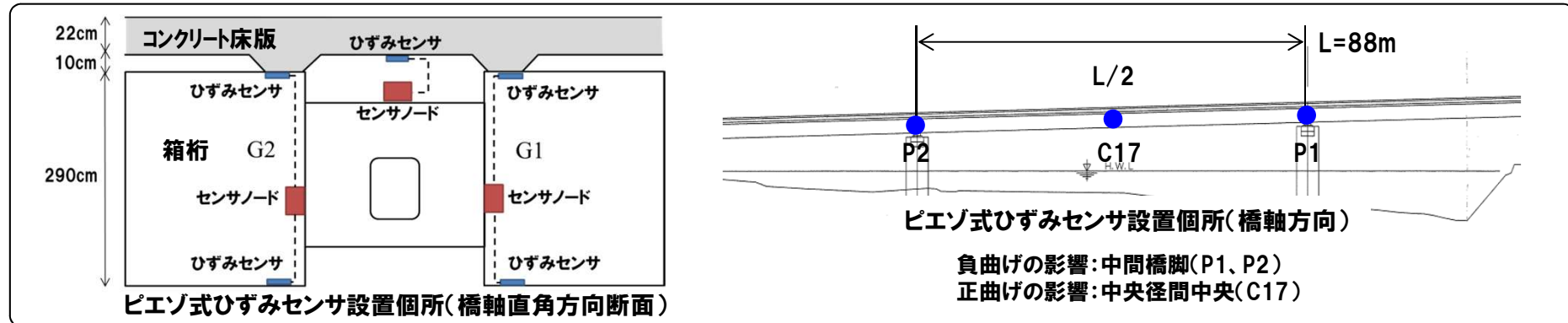
- ・加速度センサの出力を2階積分し、変位を算出した。
- ・レーザ変位計を真値とし、波形の相関、振幅の比を評価指標とした。
- ・一般的に高精度と言われるサーボ型加速度計を比較基準とした。



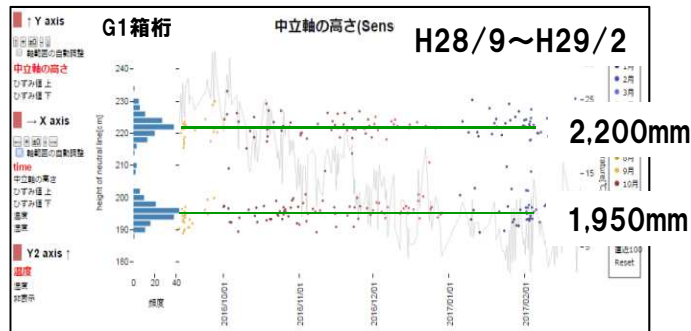
センサノドを改良する事によって、サーボ型加速度計と同等に性能を得ることができた。

4.7 断面応力の把握

コンクリート床版のひび割れ、鋼部材の腐食による剛性低下が懸念される
箱桁内(上面、下面)に設置したひずみセンサより中立軸を算出しカルテ化を実施



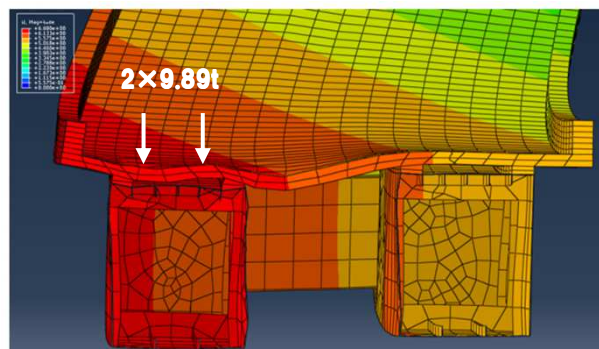
中立軸の
特性カルテ



载荷位置と
中立軸の関係

走行車線	車両(t)	中立軸(mm)	
		G1	G2
G2側	11.82	1,885	2,210
	19.86	1,908	2,307
G1側	11.82	2,148	1,933
	19.86	2,226	1,994

FEM解析
結果



Height (m)	E = 28 GPa		E = 18 GPa		E = 2.8 GPa	
	LOAD SIDE - IN	NO-LOAD SIDE - IN	LOAD SIDE - IN	NO-LOAD SIDE - IN	LOAD SIDE - IN	NO-LOAD SIDE - IN
	2594.2	2217.0	2335.4	2001.5	1699.4	1406.4

- FEM解析においても中立軸が2つ存在する結果となった。
- 走行車両により床版を含めた桁全体にねじり変形が生じていることが確認できる。
- 健全時と比較し、コンクリートヤング係数の低下を確認(E=28GPa → 18GPa)

4. 8 活荷重に関する情報の把握①

OMRON

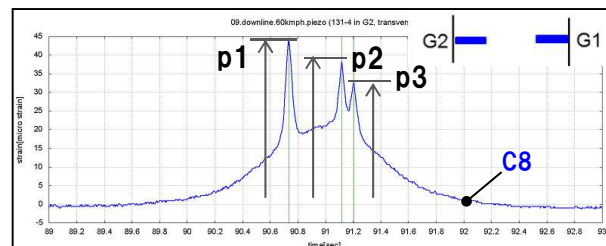
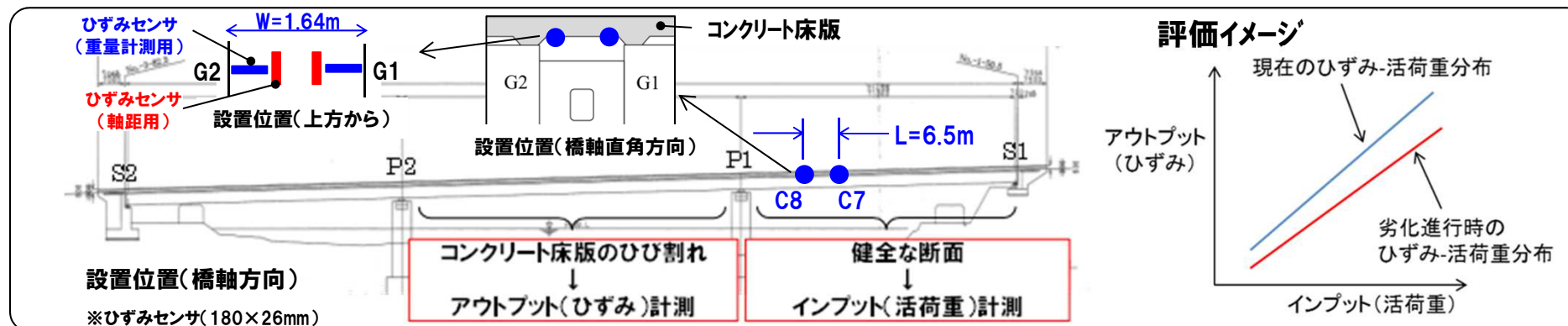
×

CONFIDENTIAL C

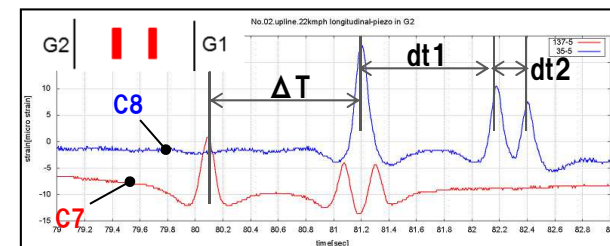
TOKYO TECH

Pursuing Excellence

橋梁へのインプット情報としてひずみ値から活荷重の計測を実施



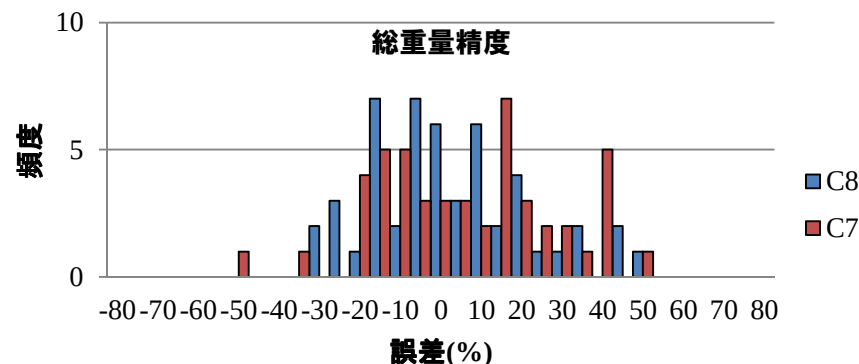
重量の算出: 橋軸直角方向データのピーク値利用



軸距の算出: 橋軸方向データの時間差、設置距離から

試験日	車両	総重量[t]	1軸重[t]	2軸重[t]	3軸重[t]
H28.9	1	19.78	7.18	6.46	6.14
H29.1	2	11.82	4.98	3.58	3.26
	3	19.86	6.12	7.04	6.7

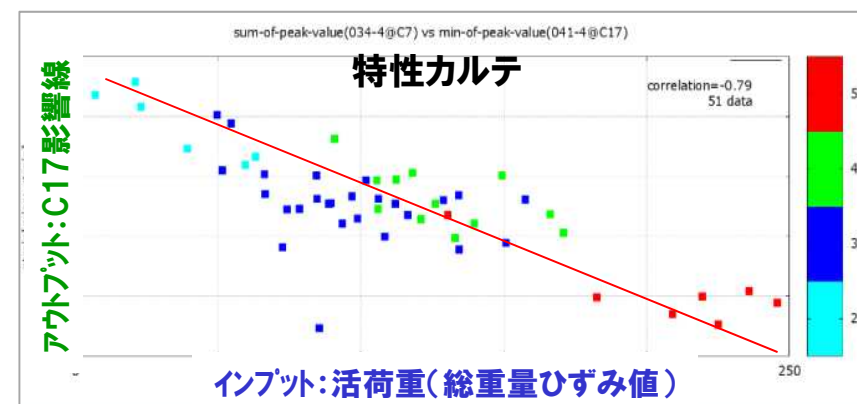
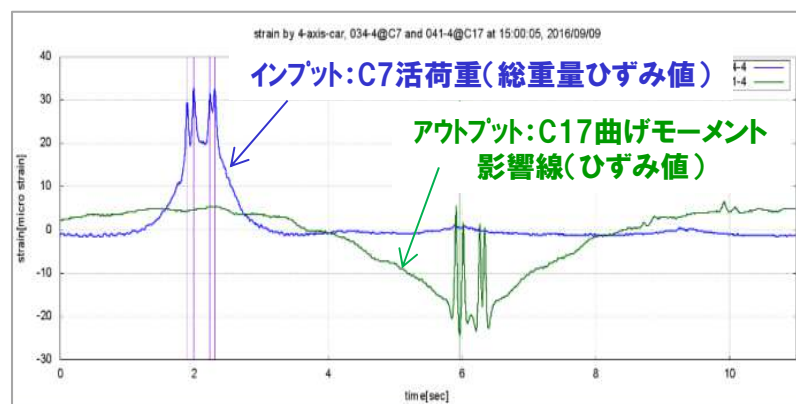
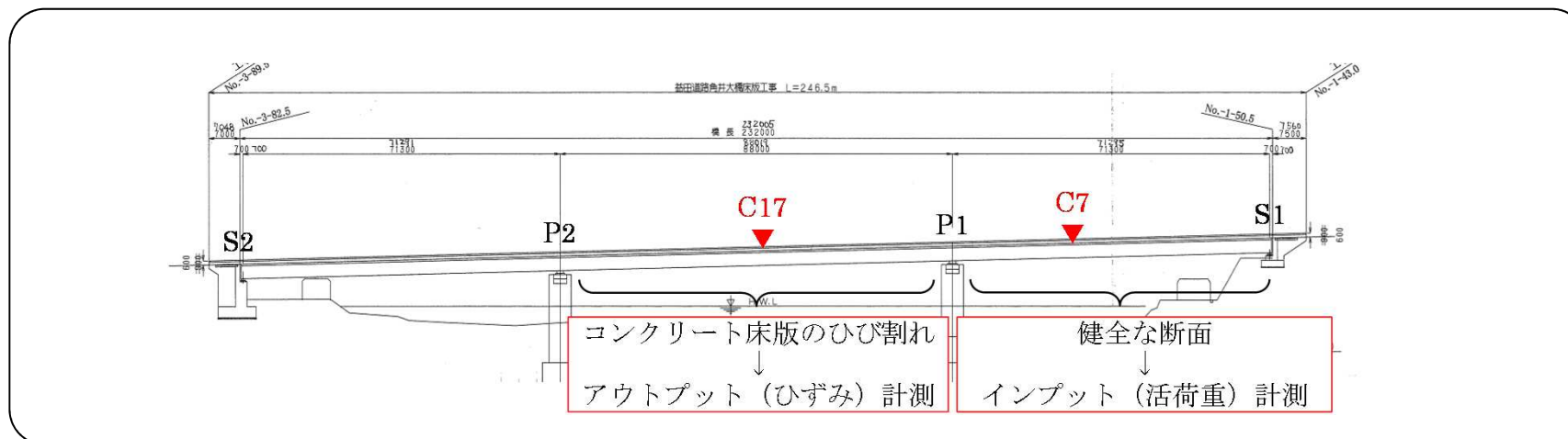
試験日	走行方向	上り	下り
	速度	20~50km/h	20~60km/h
H28.9	車両1	6走	4走
H29.1	車両2	10走	10走
	車両3	10走	10走



- ・計測精度はねじり変形の影響を受け、十分な精度を得られていない
- ・ねじりの影響を受けにくい橋軸方向のデータで精度向上を検討する

4.9 活荷重に関する情報の把握②

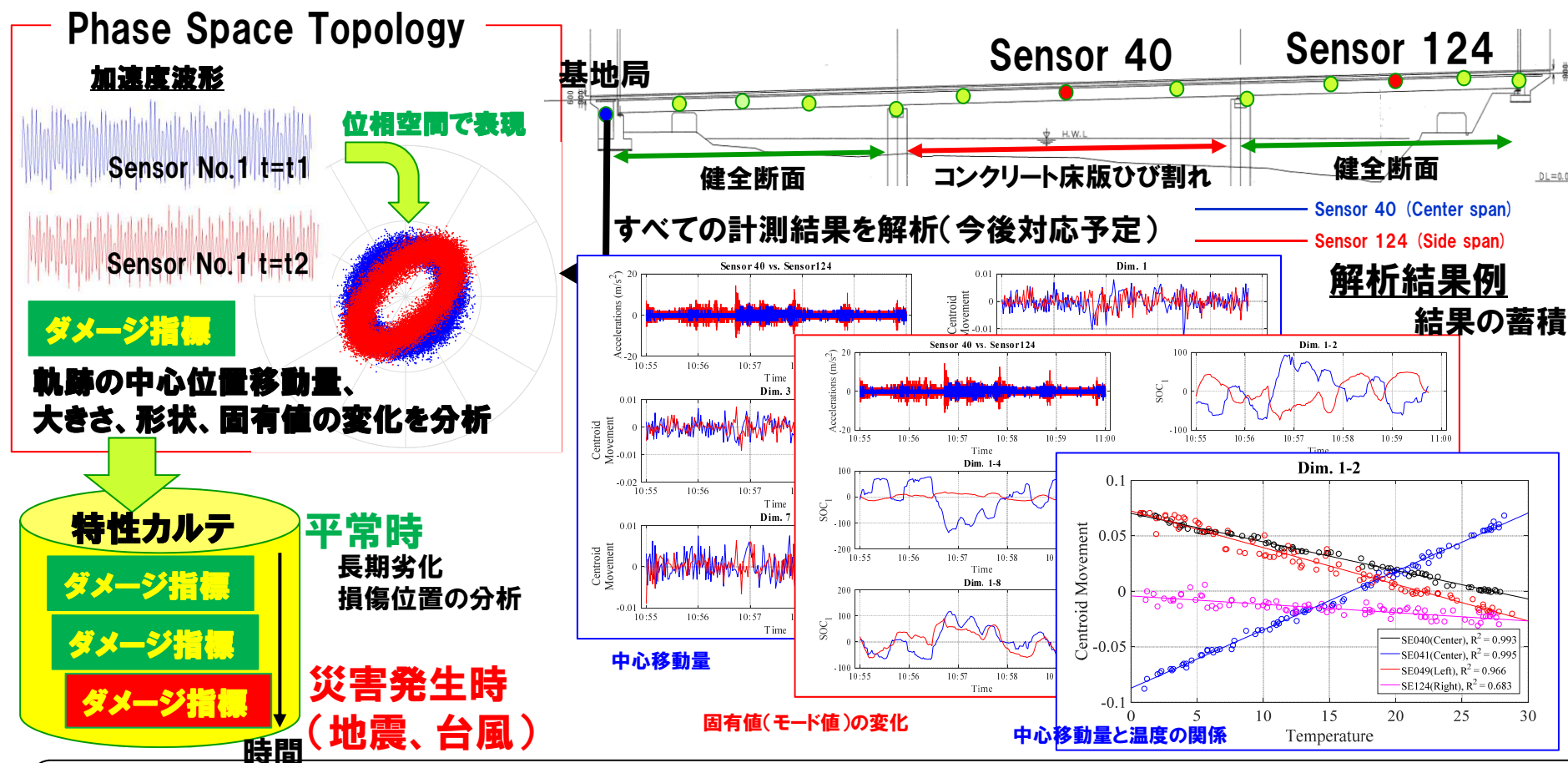
インプット-アウトプットの相関による特性カルテ化を実施



- ・相関の傾きの変化により剛性低下の進行のモニタリングを提案
- ・橋梁における使用環境情報の把握も可能となる

4.10 災害時(地震、台風)におけるダメージ状態の把握

東京工業大学で開発している位相空間における軌跡形状変化に着目したダメージ分析手法 (Phase Space Topology) 等を適用し、平常時の基礎特性、災害時(地震時、台風時)のダメージ状態の把握を行うための解析を開始する。解析結果は、特性カルテとして蓄積する。



- 当該橋梁で計測されたデータに対して、ダメージ分析手法による解析を開始した。
- ⇒ ダメージ指標を特性カルテへ蓄積し、平常時の分析結果との比較により災害発生時のダメージ状態を把握。
- ⇒ 複数のセンサに対する分析結果から、コンクリートひび割れ等の影響について検討する。

4.11 特性カルテ活用方法

目的	特性カルテ	活用方法
平常時	加速度分布 (平均・rms)	時系列変化、温度変化によるばらつきの程度により、常時の挙動を把握する
	ひずみ分布 (平均・rms)	同上
	卓越周波数	橋梁の基本的な動特性を把握し、構造解析結果との比較により、設計条件との比較や劣化損傷要因の究明に活用する。
	減衰	同上
	モード形	同上
	変位挙動	活荷重情報との比較により、変位の経年変化を把握する。床版などの劣化損傷の有無・進行の判断に活用する。
	中立軸	劣化損傷による剛性の低下を把握する。ひずみによる中立軸の移動から床版などの劣化進行の有無の判断に活用する。
	腐食環境	ACMセンサの年間発電量と温度データから腐食環境指標（Z値）から腐食環境の厳しさを把握する。補修ヶ所、補修方法、時期などの決定に活用する。
突発的 異常	非線形 位相空間	橋梁へのインプット情報として活用する。 ①アウトプット（ひずみ、変位、中立軸など）との比較により、劣化損傷・進行の有無の把握 ②使用環境情報（想定を超える大型車両）の把握
		時系列変化、温度変化によるばらつきの程度により、常時の挙動を把握する。異常発生時刻、位置、レベルを通知し、緊急点検の支援に活用する。

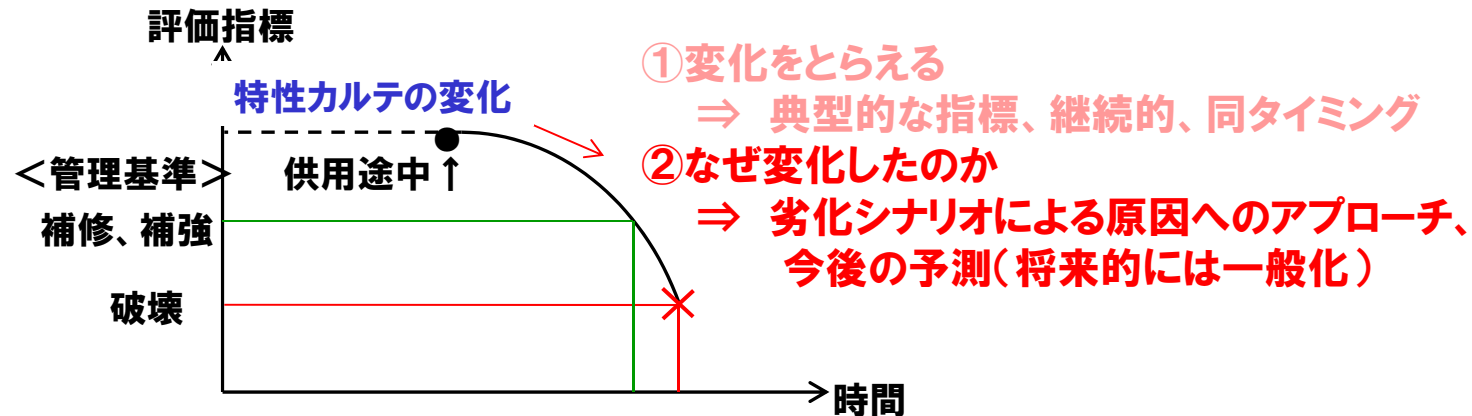
4.12 劣化シナリオの検討(なぜ変化したか)

OMRON

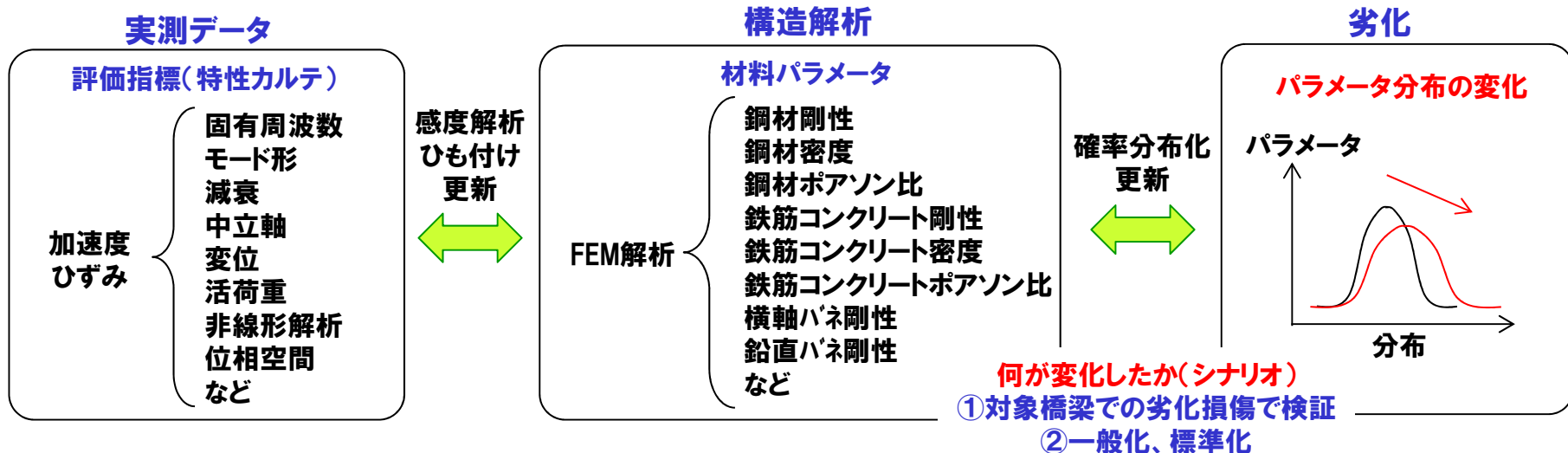
×

CONFIDENTIAL C
TOKYO TECH
Pursuing Excellence

構造物で想定される劣化損傷から評価指標の種別と時間的变化を予測する



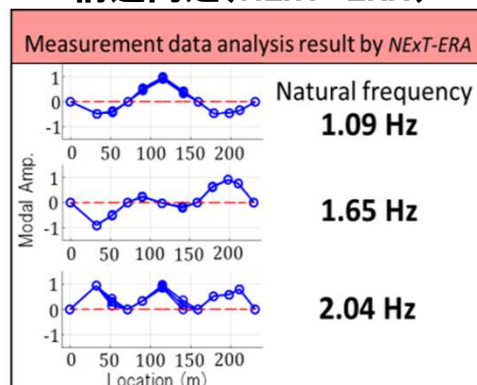
- ・構造同定で得られた分析結果の変動に着目
- ・FEMモデルを用いた各パラメータの影響度分析、各パラメータの変動分布を求める
- ・各パラメータの変動分布の時系列的な変化を監視して、特性カルテとし劣化シナリオを検討



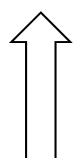
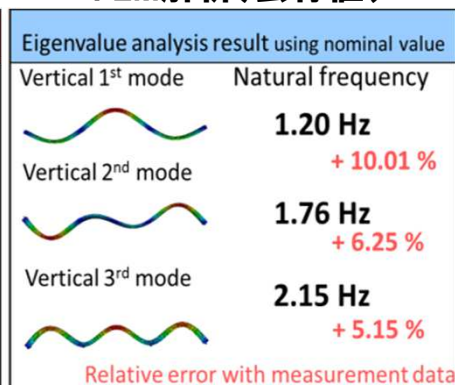
4.13 劣化シナリオ(例)

- ・実測データによる構造同定とベイズ推定の組み合わせにより、対象橋梁の劣化要因に
関係する材料パラメータとその値の推定結果が得られる。
- ・今後はこのパラメータ分布の変化をモニタリングすることで、「劣化シナリオ」として整理する。

構造同定(NExT-ERA)



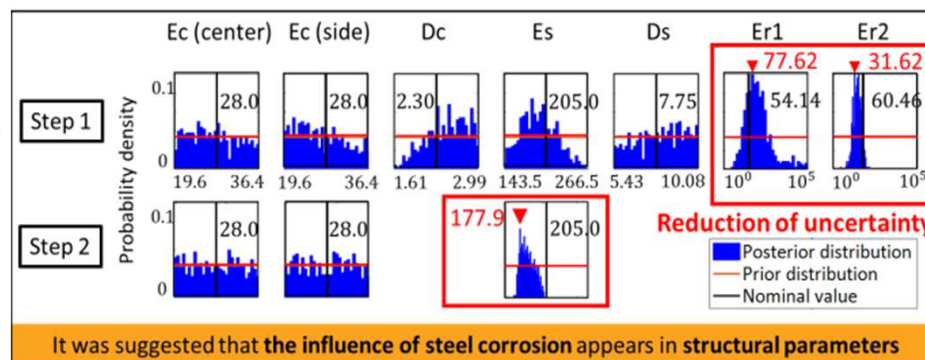
FEM解析(公称値)



定期的に更新

推定

- ・2段階でベイズ推定を実施
- ・ゴム支承と鋼材剛性に寄与するパラメータ、値、分布を推定



	Mode	Vertical 1 st	Vertical 2 nd	Vertical 3 rd
Measurement data analysis	Average (Hz)	1.09	1.65	2.04
Nominal Model	FEM results (Hz)	1.20	1.76	2.15
	Relative error	10.01 %	6.25 %	5.15 %
Calibrated Model using updated parameters	FEM results (Hz)	1.13	1.66	2.03
	Relative error	3.13 %	0.36 %	-0.58 %

検証

- ・FEMパラメータを更新し、再度FEM解析を実施
- ・構造同定結果に近い値が得られている

ご清聴ありがとうございました