

【産業競争力懇談会 2013年度 プロジェクト 最終報告】

## 【インフラ長寿命化技術】

2014年3月3日

産業競争力懇談会 **COCN**

## 【エクゼクティブサマリ】

### 1. 本プロジェクトの基本的な考え方、検討の視点と範囲

インフラを作る時代から使う時代になったと言われてから久しいが、今や高齢化する膨大なインフラのマネジメントが必要な時代に入った。作る時代にはハードが技術開発の主流であったのに対し、使う時代はどちらかといえばソフト系の技術が重要視された。マネジメントにおける基本は、今のインフラ資産の状態や保有性能を的確に把握するとともにそれらの将来を予測し、それに基づき維持管理・補修・更新を行うことである。インフラの状態把握と予測には、新しいインフラを設計・建設するのに比べ、10年、50年という長い時間スケールを含む難しい技術的課題群が含まれている。この課題群の解決に向け、あらゆる技術を総動員して取り組まねばならないのが、今我々が置かれた状況といえよう。

急激な増加が見込まれている高齢化インフラに対して、昨年度の推進テーマ「レジリエントエコノミーの構築」のうち「ヘルスマonitoring技術と実装」において、膨大な量のインフラを効率的に点検・診断するためには、従来からの目視点検に代わるあるいは補完するセンサーを用いたヘルスマonitoring技術の活用が有効であることを提言した。この提言により、政府の新たな成長戦略「日本再興戦略 JAPAN is BACK」及び総合科学技術会議の「科学技術イノベーション総合戦略」などに、点検・診断技術へのICT（通信情報技術）やロボット技術の活用などの取り組みが示され、インフラの長寿命化に向けた施策が推進されつつある。

インフラ長寿命化を推進するためには、これまでにストックされたインフラが膨大であること、インフラの状態は環境条件や使用条件によって様々であり十分に把握できていないこと、インフラ維持管理のための予算や人材に制約があることなどの課題に対して、インフラ維持管理を効率的・経済的に行うための技術開発が必要である。また、インフラ長寿命化を効率的に行うためには、「損傷が著しくなってから対策を行う」という従来の事後的な維持管理ではなく、点検やモニタリング結果から診断や劣化予測を行い、適時・適切な対策を行うことで維持管理費用を最小とする計画的な維持管理が必要であり、この実行を支援する手法としてアセットマネジメントの導入が有効と考えられる。

そこで、本プロジェクトでは、昨年度の提案をより現実的なものとするために、インフラ維持管理においてアセットマネジメントを適切に運用する必要性を示すとともに、劣化予測技術の向上のために必要なモニタリング・ロボットなどの技術開発、インフラ長寿命化とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発、インフラ維持管理市場を形成するために必要な仕組みに関する提言を行った。提言の対象には、国の経済基盤を支える公共性の高い重要施設であり、機能が停止した時に社会に大きな影響を与える基幹産業インフラの維持管理のあり方についても加えることとした。

### 2. 産業競争力強化のための提言

昨年10月にまとめた中間報告書では、国の施策への要望として以下の提言を行った。

- ・維持管理予算の継続的な確保

- ・ 技術的・法的なルールの策定
- ・ 積算基準と入札方式の見直し
- ・ 維持管理データの技術開発への活用
- ・ 産学官連携による研究開発体制の構築と研究開発への支援、法規制等の見直し

この提言の大部分は、昨年 11 月に「インフラ老朽化対策の推進に関する省庁連絡会議」より公表された「インフラ長寿命化基本計画」の策定に考慮された。この基本計画の下で産業競争力を強化するために、産学官が連携して実施すべき取り組みを以下にまとめた。

### **インフラ健全性評価・劣化予測のための体系的な研究開発の推進**

インフラ長寿命化を推進するためには、インフラの健全性を定量的に評価・予測することによりライフサイクルコストの最小化を目指した計画的な維持管理の実施が必要である。インフラの健全性を評価・予測するためには、建設年代・環境条件等で層別したパイロットインフラに多種類のセンサーを高密度に設置したモニタリングによるデータ収集・分析、インフラの劣化状態と部材特性の関係を定量的に評価するための構造・材料実験、インフラ健全性評価・劣化予測を行う解析手法の検討などを組み合わせた体系的な研究開発を推進する必要がある。

### **ニーズとシーズをマッチングさせたモニタリング技術基盤の構築**

インフラ維持管理においてモニタリング技術の活用が進んでいないのは、技術を必要とするニーズ側と技術を提供するシーズ側とで連携する仕組みがこれまではなく、ニーズとシーズのマッチングができていないこと、モニタリングで把握した物理量の変化がインフラ健全性の評価にリンクしていないためニーズが明確にできていないことなどによる。このため、データベースやプラットフォームの構築も視野に入れながら、ニーズとシーズから測定条件（仕様）を明らかにするとともに、要素技術・ニーズの情報・モニタリング技術の実績等の蓄積からモニタリング手法を適正に抽出できるモニタリング技術基盤を、業種横断的な協働体制で構築する必要がある。

### **モニタリング要素技術の開発推進**

モニタリング技術のほとんどがインフラ分野ではなく、他の分野で開発・発展してきた技術であり、そのままではインフラに活用できない場合が多い。自然環境で長期間供用されるインフラに適用するためには、設置環境において数十年オーダーの耐久性を有する技術、電源供給の課題を解決する技術、データ転送の課題を解決する技術などの要素技術が要求される。また、点在するインフラを移動しながら効率的にモニタリングする技術も必要である。これらの技術は、優れたコストパフォーマンスにより実用的であることが要求される。このため、モニタリング技術の現場実証などを通じて要素技術の課題や改善点を明らかにしながら要素技術の開発を推進し、これら技術を段階的にスパイラルアップさせていく仕組みづくりを推進させる必要がある。

### **長寿命化とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発推進**

現状でも劣化・損傷したインフラを補修する技術は数多くあるが、適用を間違えると補修後の比較的早い段階で再劣化が生じる、あるいは、補修によって劣化が促進されてしまうなどの問題がある。そのため様々な補修工法の適用範囲・限界などを信頼できる場に公開するようなことが実務サイドからは強く要望されている。補修技術を適切に評価するためには、室内促進試験、曝露による長期性能評価、実構造物への適用と長期追跡調査といった段階を踏んだ体系的な研究の

推進が必要である。

これと並行して、一層の耐久性向上とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発が必要である。自己治癒材料、繊維系強化材料（FRP）、溶接性の優れた高強度鋼材、厳しい腐食環境に適用できる耐食鋼材などの開発が考えられる。また、施工機械が入ることができない狭隘な空間での施工技術、急速施工に対応した技術などの開発も必要である。

### **基幹産業インフラの長寿命化を目指した検査・補修技術の開発推進**

基幹産業インフラの設備は民間事業者の所有ではあるが、国の経済基盤を支える公共性の高い重要施設であることから、国の支援の下で官民が連携して研究開発を推進する必要がある。鋼構造物であるプラント設備では、外面保護された配管あるいは地中・コンクリート躯体に埋設された配管の検査に時間とコストを要していることから、保護材撤去や掘削を行わなくても配管の腐食診断ができる検査技術の開発が望まれる。また、コンクリート構造物である栈橋や護岸では、点検・補修の作業時間に制約があることから、高エネルギーX線技術など短時間・高精度に検査できる技術の活用、大規模補修を回避できる耐久性材料の有効性の検証が必要である。

### **インフラ維持管理へのロボット技術の導入推進**

インフラ維持管理におけるロボット技術へのニーズは、人が近接できない対象箇所への確実なアクセス、カメラ・検査機器・センサー等の搭載と計測の実施、ひび割れ注入などの簡単な補修作業の実施、狭隘な施工場所への重量物の運搬・設置などがあり、実用化に向けた研究開発が望まれる。また、ロボット技術の開発と並行して、ロボット技術を適用しやすい構造・形状のインフラを設計・施工することも重要である。

### **アセットマネジメントと民間活力の導入推進**

インフラ管理者の人材と財源の不足などの課題を解決するためには、民間企業の持つ技術・人材・資金を有効に活用する必要がある。そのためには、アセットマネジメントの導入により中長期的な予算・事業計画を示すとともに、技術に対して適正な積算価格で評価する環境を整えることによって、維持管理分野への民間企業のインセンティブが働く魅力のある維持管理市場を形成することを要望する。また、経営的マネジメントを民間活力によって推進するためには、経営的マネジメントに資するデータ整備が進むための仕組みづくりを要望する。

### **産学官の連携、産業界の業種横断的な協働体制の構築**

モニタリング技術のニーズと要素技術を提供するシーズを連結させることを狙いとして、産学官連携、産業界の業種横断的な協働体制（例えば「フォーラム」、「協議会」などの呼称の組織）を構築する必要がある。ここでは、モニタリング技術基盤構築の活動を中心に、国・地方自治体などの重要インフラの維持管理にモニタリング技術の展開を図る。また、情報通信、クラウド技術、ビッグデータ解析等のICTの積極的な取込みと普及を行う。更に、社会インフラの計画・管理・運用にアセットマネジメントの活用を定着させる活動を展開する。

## **3. 産業競争力強化の視点と今後の課題**

アセットマネジメントの導入により中長期的な予算・事業計画を示すとともに、積算体系・発注方式を見直して適正なコストを設定するなど、長期間にわたって安定した市場を形成すること

によって、民間企業による研究開発の推進・新技術導入による効率化・低コスト化が期待される。また、インフラ長寿命化技術を新設インフラの設計・施工・維持管理へ展開することで、新設インフラの付加価値を高めることができ、新設技術と維持管理技術をパッケージとして海外市場へ展開するなど、産業競争力の強化と国民経済への貢献が期待される。

アセットマネジメントによる維持管理・補修補強を推進する上での課題として、インフラを設計する時点で想定寿命や供用状態での許容限界状態を明確にすることが挙げられる。これらは設計指針等で基本的な概念が示されているものの、定量的には示されていない。想定寿命や限界状態が定義されていない状態では、インフラの状態をどのレベルでいつまで保持すべきかが明確とならず、補修レベルや補修そのものの有効性が期待される期間も定まらず、ライフサイクルコスト等の指標に基づいたアセットマネジメントが極めて曖昧なものになる。インフラの適正な維持管理を実現するためには、アセットマネジメントで考慮すべき想定寿命などの時間の概念と限界状態の定義が不可欠であり、インフラの想定寿命と限界状態の定義に基づいた維持管理の考え方などの議論や研究を継続することが必要である。このためには、ニーズとシーズが語り合い、知見を広く共有する場としての協働体制（例えば「フォーラム」などの組織）を産学官の連携と産業界の業種横断により構築し、一つの取り組みを横に広げていく活動を行っていくことが望まれる。

## 【目 次】

【はじめに】 .....	1
【プロジェクトメンバー】 .....	2
【本 文】	
1. プロジェクトの背景 .....	3
2. 本プロジェクトにおける検討課題 .....	5
3. 点検・モニタリング技術の構造物への展開に関する提言 .....	6
3. 1 現状と課題 .....	6
3. 2 課題解決のための対応 .....	10
3. 3 提言 .....	15
4. 点検・モニタリング技術に関する提言 .....	17
4. 1 モニタリング技術の現状と課題 .....	17
4. 2 モニタリング技術を活用したインフラ維持管理の実現に向けて .....	18
4. 3 提言 .....	23
5. 長寿命化施工に関する提言 .....	25
5. 1 インフラ長寿命化施工の現状と課題 .....	25
5. 2 インフラの劣化要因と現状の対策方法 .....	26
5. 3 インフラ長寿命化に向けた課題と提言 .....	27
6. 基幹産業インフラに関する提言 .....	31
6. 1 基幹産業インフラについて .....	31
6. 2 基幹産業インフラの現状 .....	31
6. 3 基幹産業インフラの長寿命化に向けた提言 .....	32
7. ビジネス環境整備に関する提言 .....	36
7. 1 現状と課題 .....	36
7. 2 課題解決に向けた検討 .....	37
7. 3 ビジネス環境整備に関する提言 .....	42
8. 産学官の連携・産業界の業種横断的な協働体制に関する提言 .....	43
9. 産業競争力強化の視点と今後の課題 .....	45
参加メンバーリスト .....	46

## 【はじめに】

橋やトンネルなどインフラの事故防止や維持管理のための支出は、将来起こるかもしれない事故による社会的損失や劣化による経済的負担に対する先行投資で、その効用や価値がなかなか測ることができません。そのため、この対策が遅れインフラの信頼性を大きく揺るがす事態が発生しています。これまでも維持管理の重要性が大きく取り上げられてきましたが、本格的な政策として実行されるに至りませんでした。今回、笹子トンネルの事故を契機に点検や補修に本格的予算が組まれることになりましたが、この予算措置がこれからも持続的に継続されることが重要と考えます。

インフラの保守点検を強制的な法律でその時期と内容について規定していることは、米国を始め海外では極めて普通のことですが、国内では非常に稀です。そのため、点検記録や施工された補修工事の記録がほとんどないことから、過去のデータに基づいた技術の蓄積がなされてきませんでした。また、どの時点で、どのような補修をすることにより、どの程度まで寿命を延ばすことができるかということも、ほとんど分かっていません。

このような診断補修を合理的に進めるためには、責任を持ってインフラの「世話」を行う技術者を、継続的に育てることが必要です。そして、これら技術者が活躍できるように、ある程度の規模をもったモニタリングや維持補修の市場の存在が前提であると思います。また、この市場では、単なる価格競争ではない、ノウハウや技術料を適切に評価する入札制度も非常に重要です。

近年、モニタリング技術やロボット技術の発展により、これまで難しいと考えられてきたことの多くが実現可能になってきました。少なくとも要求やニーズがはっきりしている課題については、技術的には解決が可能と言えるレベルまで進展していると思われます。したがって、今必要なことは、インフラの長寿命化において必要な技術はこれだということをしかり把握し、その必要性を国民に向けて発信し、開発の道筋をつけることと考えます。

インフラや産業施設の維持管理技術を高度化させることによって、アセットマネジメント手法が本格的に導入できれば、国・地方自治体等の財政効率化、インフラ保有企業の投資の適正化につながります。このことは、国民経済のメリットのみならず、安心・安全なインフラを維持することにより、ひいては我が国の立地競争力につながります。併せて、新しい形のサービス産業の創出あるいは海外へのインフラシステム輸出の競争力にもつながるはずです。

これまでインフラの長寿命化のための制度や技術がどうあるべきかについて、多くの時間を割いて議論して最終報告をまとめましたが、今後はインフラの寿命の本質を理解してその延命化のための具体的な技術開発を推進するよう努力していきたいと思います。

産業競争力懇談会  
会長（代表幹事）  
西田 厚聰

## 【プロジェクトメンバー】

リーダー	藤野 陽三	東京大学名誉教授・特任教授
サブリーダー	高田 悦久	鹿島建設(株)執行役員土木管理本部 副本部長
	若菜 伸一	(株)富士通研究所ものづくり技術研究所 所長
アドバイザー	保立 和夫	東京大学大学院 教授
	浅間 一	東京大学大学院 教授
企画調整チーム主査	坂田 昇	鹿島建設(株)土木管理本部 土木技術部長
ビジネス環境整備SWG主査	北川 久雄	鹿島建設(株)土木営業本部 副本部長
	浅野 貞泰	清水建設(株)新事業推進室 室長
モニタリング技術WG主査	津田 健一郎	日本電気(株)グリーンプラットフォーム研究所 研究部長
	富田 順二	(株)富士通研究所ものづくり技術研究所 ファクトリーエンジニアリング研究部 部長
構造物展開WG主査	吉川 正	鹿島建設(株)技術研究所 副所長
	若原 敏裕	清水建設(株)技術研究所直轄プロジェクト プロジェクトリーダー
長寿命化施工WG主査	徳田 英司	新日鐵住金(株)プロジェクト開発部 開発室長
	北野 彰彦	東レ(株)研究開発企画部長
産業インフラWG主査	岩瀬 淳一	JX日鉱日石エネルギー(株)製造技術本部 技術部長
	唐津 正典	三菱化学(株)代表取締役 常務執行役員
COCN実行委員	浦嶋 将年	鹿島建設(株)常務執行役員 営業本部副本部長
COCN企画小委員	田中 克二	(株)三菱ケミカルホールディングス グループ基盤強化室 部長

### メンバー（COCN会員及び関連会社）

(株)IHI、(株)アバンアソシエイツ、沖電気工業(株)、鹿島建設(株)、カジマ・リノベイト(株)、(株)小松製作所、(独)産業技術総合研究所、JSR(株)、JX日鉱日石エネルギー(株)、清水建設(株)、新日鐵住金(株)、住友電気工業(株)、大日本印刷(株)、東海旅客鉄道(株)、東レ(株)、日本電気(株)、(株)日立製作所、(株)日立パワーソリューションズ、富士通(株)、(株)富士通研究所、富士電機(株)、三菱化学(株)、三菱樹脂(株)、三菱樹脂インフラテック(株)、三菱電機(株)、三菱レイヨン(株)、リテックエンジニアリング(株)

### メンバー（COCN会員外）

(株)高速道路総合技術研究所、首都高速道路(株)、(独)情報通信研究機構、(公財)鉄道総合技術研究所、(独)土木研究所、(株)日本政策投資銀行、東日本旅客鉄道(株)、(独)物質・材料研究機構

### 事務局

鹿島建設(株)



## 【本 文】

### 1. プロジェクトの背景

インフラを作る時代から使う時代になったと言われてから久しいが、今や高齢化する膨大なインフラのマネジメントが必要な時代に入った。作る時代にはハードが技術開発の主流であったのに対し、使う時代はどちらかといえばソフト系の技術が重要視された。マネジメントにおける基本は、今のインフラ資産の状態や保有性能を的確に把握するとともにそれらの将来を予測し、それに基づき維持管理・補修・更新を行うことである。インフラの状態把握と予測には、新しいインフラを設計・建設するのに比べ、10年、50年という長い時間スケールを含む難しい技術的課題群が含まれている。この課題群の解決に向け、あらゆる技術を総動員して取り組まねばならないのが、今我々が置かれた状況といえよう。

急激な増加が見込まれている高齢化インフラに対して、昨年度の推進テーマ「レジリエントエコノミーの構築」のうち「ヘルスマonitoring技術と実装」において、膨大な量のインフラを効率的に点検・診断するためには、従来からの目視点検に代わるあるいは補完するセンサーを用いたヘルスマonitoring技術の活用が有効であることを提言した。この提言により、政府の新たな成長戦略「日本再興戦略 JAPAN is BACK」及び総合科学技術会議の「科学技術イノベーション総合戦略」などに、点検・診断技術へのICT（通信情報技術）やロボット技術の活用などの取組みが示され、インフラ長寿命化に向けた施策が推進されつつある。

インフラの長寿命化を実現させるためには、インフラの状態を把握して健全性を的確に診断すること及び診断結果に基づいて適時・適切な対策を実施することが必要である。しかしながら、これまでにストックされたインフラが膨大であること、インフラの状態は環境条件や使用条件によって様々であり十分に把握できていないこと、インフラ維持管理のための予算や人材に制約があることなどから、インフラ維持管理を効率的・経済的に行うための技術が必要である。一方、現状のインフラ維持管理の市場は小さく、非常に多様な仕事が小規模で発注され、また、維持管理に必要な技術が正当な積算価格で評価されていないため、技術力のある企業の参加意欲が弱く、本来必要である高度技術を研究開発・活用する環境にないという課題もある。インフラ維持管理を適切に行っていくために、まずは必要な技術を適正な積算価格で評価する必要がある、そのうえで効率的な維持管理手法の導入によるトータルコストの低減を図ることが重要である。

インフラ維持管理のトータルコストを最小とするためには、「損傷が著しくなってから対策を行う」という従来の事後的な維持管理ではなく、点検やモニタリング結果から診断や劣化予測を行い、適時・適切な対策を行う計画的な維持管理が必要であり、これを支援する手法としてアセットマネジメント<sup>※</sup>の導入が有効と考えられる。

事例としては、青森県の橋梁アセットマネジメントの導入・運用がある。青森県では、厳しい財政運営が見込まれる中で将来の維持管理コストを最小化する方向へ転換するために、2006年度に橋梁アセットマネジメントを全国に先駆けて導入し、事後保全主体の維持管理から予防保全主体の維持管理へシフトすること、更に最初の5年間に集中的に投資することにより、50年間に必要な維持管理予算を大幅に削減できることを試算で示している。また、橋梁アセットマネジメント

により得られた予算計画に沿って事業を推進することで、実際の橋梁維持管理コストを計画通りに削減できていることを確認している。

アセットマネジメントの導入により中長期的な予算・事業計画を示すとともに、技術に対して適正な積算価格で評価する環境を整えることによって、高度な技術を有する民間企業の維持管理市場への参入が進むとともに、維持管理コストの一層の低減につながる技術開発が推進される可能性が生まれる。

そこで、本プロジェクトでは、昨年度の提案をより現実的なものとするために、インフラ維持管理においてアセットマネジメントを適切に運用する必要性を示すとともに、劣化予測技術の向上のために必要なモニタリング・ロボットなどの技術開発、インフラ長寿命化とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発、インフラ維持管理市場を形成するために必要な仕組みに関する提言を行った。提言の対象には、国の経済基盤を支える公共性の高い重要施設であり、機能が停止した時に社会に大きな影響を与える基幹産業インフラの維持管理のあり方についても加えることとした。

なお、昨年提言に対して国の一定の協力を頂き、既に多くの施策に取り上げられているが、インフラ長寿命化を確実に継続し、地方自治体が抱えるインフラ維持管理の技術・人材・予算に関する課題を解決させていくために、引き続き国の支援・協力をお願いしたい。

---

※ここでいうアセットマネジメントは、「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会」（国土交通省道路局、H15.4）で示された以下の考え方に準じた。

『道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、道路構造物を計画的かつ効率的に管理すること』

## 2. 本プロジェクトにおける検討課題

高度経済成長期に建設されたインフラの更新費用の増大が見込まれる課題に関しては 1990 年代から認識されており、2000 年代前半にはインフラのアセットマネジメントの取り組みについて検討され始めた。しかしながら、現時点においてアセットマネジメントの導入により計画的な維持管理を実施しているインフラ管理者は少ない。

橋梁アセットマネジメントを運用している青森県では、管理橋梁約 800 橋（橋長 15m 以上）に対して目視点検結果と劣化予測に基づきライフサイクルコストの試算と予算平準化シミュレーションを行い、50 年間に必要となる維持管理予算を事後保全主体の維持管理に比べて約 1/2 にできる維持管理シナリオを示し、毎年度の予算計画策定と事業実施に活用している。

また、東京国際空港 D 滑走路では、健全な状態で長期間供用するためには供用初期の段階から適切な維持管理を継続することが重要との認識により、維持管理が容易に行えるように配慮した設計・施工が行われるとともに、維持管理費用の最小化を目的とした中長期計画に基づいた維持管理が継続して行われている。

このように維持管理費用の最小化を図るためには計画的な維持管理は有効であり、多くのインフラに対して効率的な維持管理を行うためにはアセットマネジメント手法の導入が有効と考えられる。多くのインフラ管理者においてアセットマネジメントによる計画的な維持管理が行われていない技術的な理由としては、劣化予測に基づくライフサイクルコストの算定が適切に行えないことあげられる。ライフサイクルコストを算定するためには、①現時点で劣化のどの段階にあるかを把握すること、②時間の経過によって劣化がどのように進行するかを予測すること、③劣化の進行が管理限界となった時点で補修費用を計上すること、④対策によって回復した健全性を適切に評価することが必要である（図-2.1 参照）。しかしながら、従来の点検手法では、補修要否を判定する定性的な情報収集が目的であり、劣化予測を行うための定量的な情報が収集できていない。また、劣化予測ができたとしても、管理限界を判断する指標が明確になっていない、補修後の健全性を定量的に評価できていない、などの課題もある。

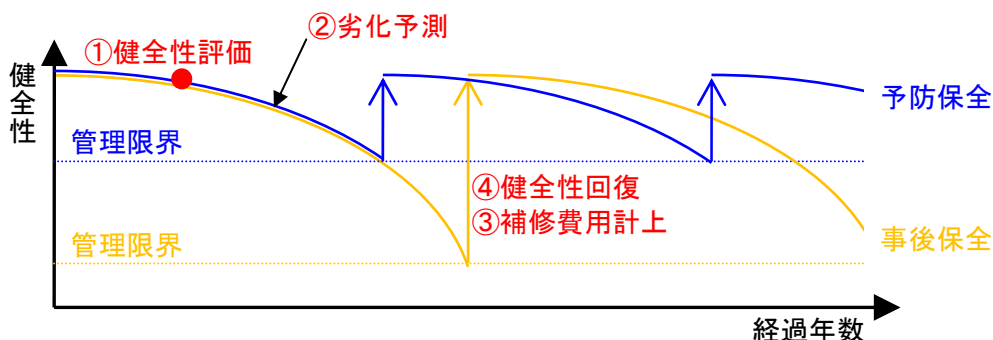


図-2.1 ライフサイクルコスト算定に必要な項目の整理

### 3. 点検・モニタリング技術の構造物への展開に関する提言

社会インフラの適切な維持管理を実現するためには、社会インフラに適した点検・モニタリング技術、社会インフラの健全性を診断・予測する手法を研究開発し、インフラの想定寿命と限界状態を明らかにしたうえで定量的な評価と予測に基づくアセットマネジメントを導入・運用することが必要である（図-3.1 参照）。そのための提言を以下に示す。

1. 社会インフラの健全性の評価、予測技術の確立および想定寿命と限界状態の明確化を目的としたパイロットインフラに対する高密度・多種類モニタリングと、劣化に関する実験的検討および解析ツールの開発を含めた体系的な研究開発
2. 社会インフラの健全性の評価と予測結果を共通管理できるデータベース・プラットフォームの構築
3. アセットマネジメントの導入・運用を推進する制度・方策の整備

#### 3. 1 現状と課題

##### (1) 点検・モニタリングシステム導入の現状

###### 1) 国内での取り組み

我が国で導入されたモニタリングシステムの現状は、以下のとおりである。また、導入の目的と事例について整理した結果を表-3.1 に示す。

- ・道路橋については、劣化した橋梁の損傷進展の検知を目的としたモニタリング事例がある。
- ・鉄道橋については、電車の運行の安全性を判断するためのモニタリングが行われている。
- ・劣化の進展や地震時の損傷検知を目的としたモニタリングは、特定箇所を対象とした試験的な事例はあるものの、日常の維持管理を目的として本格的に導入されている事例はない。
- ・トンネルについては、地すべりや膨張性地山など変状の懸念がある場合や、塩害等で鉄筋腐食の懸念がある場合において、モニタリングが行われている例がある。また、走行しながらトンネル覆工の表面を連続的に撮影するトンネル覆工検査車等を用い、画像で覆工の状態の検査、診断を行っている事例がある。
- ・法面については、地すべり危険箇所にセンサー・無線通信機器・GPS受信機を設置したモニタリング事例、崩落防止用アンカーやネット等にセンサーを併設したモニタリング事例がある。また、施工時にGPS受信機、センサーを用いてモニタリングを行う例もある。
- ・一方で、近年における光ファイバーやMEMS、ICタグ、データ転送技術等のモニタリング技術の進歩やコストの低減は著しい。

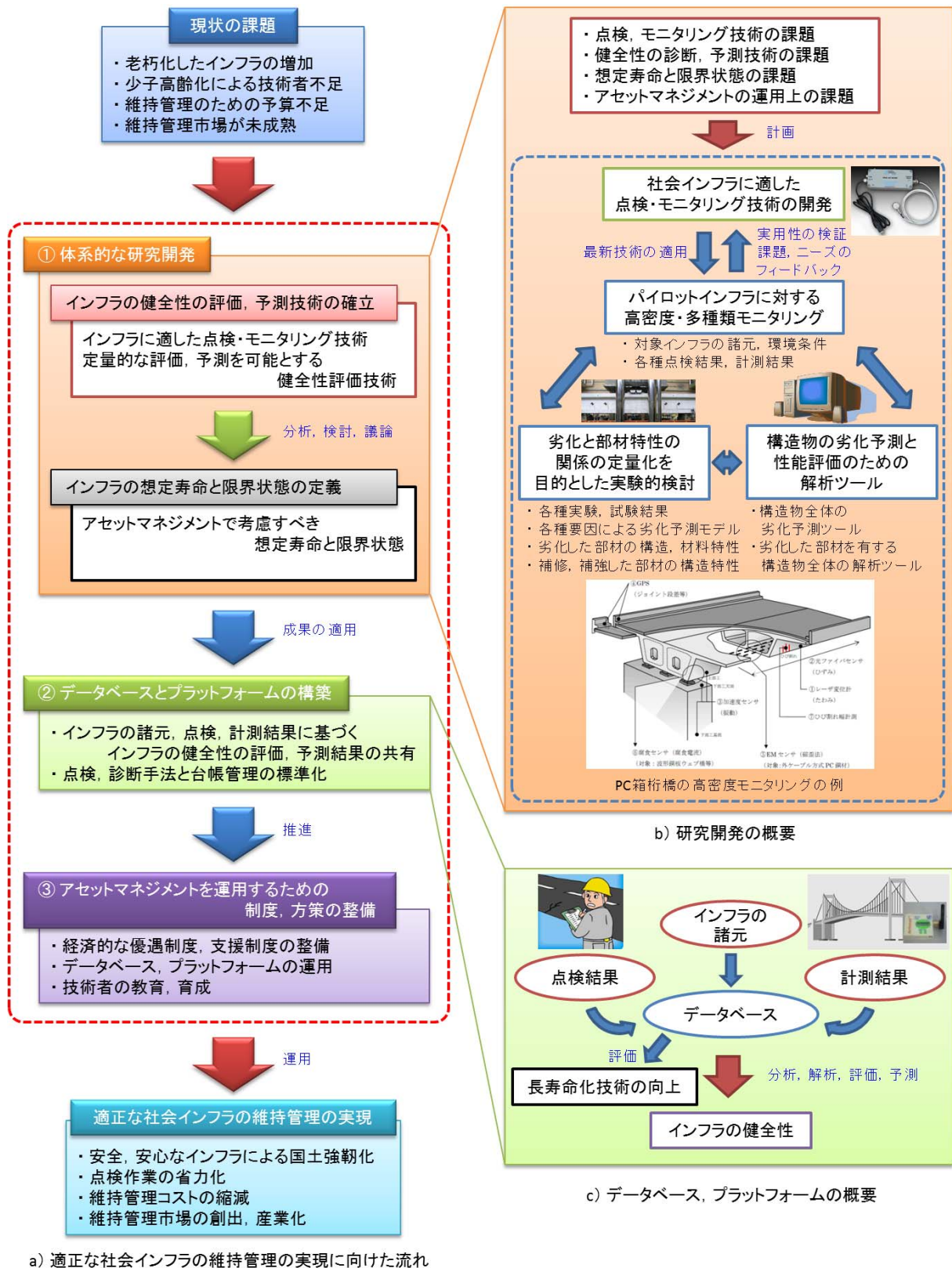


図-3.1 社会インフラの適切な維持管理を実現するための研究開発

表-3.1 国内でのモニタリング適用事例

対象	目的	モニタリング事例
道路	劣化した橋梁の損傷進行の検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>\pi</math> 型ゲージによるひび割れ幅の計測</li> <li>・ ひずみゲージによるひずみの計測</li> </ul>
	橋梁の補強対策後の監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外ケーブルの張力計測等</li> </ul>
	橋梁の地震時の応答、損傷の検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 加速度の計測（試験的な導入）</li> </ul>
	橋梁の劣化の進行状況の検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉄筋腐食センサー（試験的な導入）</li> <li>・ 常時微動の計測（試験的な導入）</li> <li>・ 桁たわみの計測による重量超過車両の監視（試験的な導入）</li> </ul>
	トンネルの変状（地すべり、膨張性地山など）の検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>\pi</math> 型ゲージによるひび割れ幅の計測</li> <li>・ 光ファイバセンサーによる変状監視</li> </ul>
	地すべり危険箇所（法面）の変状検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 光ファイバセンサーによる変状監視</li> <li>・ 加速度計と無線通信を用いた変化状態監視</li> </ul>
	法面防護の健全度の判定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ロードセルによるアンカー張力計測</li> </ul>
鉄道	列車運行の安全性の判断	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 雨量計</li> <li>・ 早期地震警報システム</li> <li>・ 軌道・電気総合試験車</li> <li>・ 検知線入りトロリー線</li> <li>・ 通電ケーブル・地盤伸縮計による土砂崩壊・落石等の検知</li> <li>・ 橋桁検知センサーによる桁のズレの検知</li> </ul>
	R C ラーメン高架橋の地震時の応答、損傷の検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 部材角測定装置による損傷の検知（試験的な導入）</li> </ul>
	鋼橋の劣化の進行状況の検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 破断検知線による疲労損傷モニタリング（試験的な導入）</li> <li>・ 導電性表面材料の断線による疲労亀裂発生の検知（試験的な導入）</li> </ul>
	トンネルの変状（地すべり、膨張性地山など）の検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 導電塗料によるひび割れの発生検知</li> </ul>
	法面防護の健全度の判定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 無線センサーを用いた土砂崩壊検知</li> </ul>

## 2) 米国、欧州での取り組み

米国では、シルバー橋崩落死傷事故（1967）やマイアナス橋崩落事故（1983）など「荒廃するアメリカ（1981）」に著されたように、ニューディール政策により大量に建設された社会インフラで数多くの事故が発生して社会問題化した。これを受けて、社会インフラへの維持管理を推進するために以下の動きがあった。

1971年：NBIP（National Bridge Inspection Program）<sup>1)</sup>によって橋梁の点検検査規準、台帳が整備された。

1990年：PONTIS<sup>2)</sup>によるアセットマネジメントへの取り組みが行われている。

このような取り組みおよびモニタリングの試行にも関わらずミネアポリス橋梁（I-35W）の崩落で9人が死亡し、104名が負傷・行方不明となる重大事故が発生した。そこで、目視検査によるPONTISの劣化予測精度の課題が顕在化したことを背景にして、米国連邦運輸省(USDOT)の機関の一つである連邦道路管理局(FHWA)のR&D部門では2006年から20年間を目途としてLTBPP(Long Term Bridge Performance Program)<sup>3)</sup>を立ち上げ、橋梁に関する科学的に質の高いデータを収集している。また、2008年からNIST(National Institute of Standards and Technology)<sup>4)</sup>によるモニタリングシステムの研究開発が進められている。今後、モニタリングシステムを活用した橋梁のアセットマネジメントの導入が進むと思われる。

注記 1) NBIP：米国で制定された橋梁の点検プログラム。

2) PONTIS：橋梁の点検検査結果のデータベース化と、健全度評価・劣化予測を行う橋梁マネジメントソフトウェア。

3) LTBPP：米国で定量的な性能指標の確立を目的として進められている橋梁の長期計測プログラム。7橋のパイロット橋に対して高密度・多種類長期モニタリングを行い実測による構造応答、検査結果、時間などの関連データの蓄積が行われている。

4) NIST：インフラの維持管理技術の開発を目的として進められている開発事業。複数の研究開発プロジェクトが進められている。

また、英国では、建設後100年近く経過した「世界で最も老朽化した地下鉄」であるロンドン地下鉄において、トンネル内の覆工の劣化や地下水圧による経年変化を監視するためにセンサーや無線通信を用いたモニタリングが2006年から行われている。

その他にも、欧州では、複数の社会インフラにおいてセンサーを用いたモニタリングが行われており、その多くが予防保全の導入によって維持管理コストを低減することを目指している。

## (2) 点検・モニタリング技術の社会インフラの維持管理への展開のための課題

(1)で示したモニタリング技術の導入事例は、センサーあるいは計測システムの試行という意味合いも含んでいた。このような試行では、完成後の維持管理で各インフラ管理者が行う点検項目とモニタリング対象が合致していない場合もあった。また、鉄道橋や道路橋といった構造物の用途に対して最適なモニタリングシステムの設計、センサーの選定・配置が行われていない場合もある。

以下に、社会インフラの点検・モニタリングおよびその結果を用いた診断技術、想定寿命と限界状態に関する課題、点検・モニタリングに基づくアセットマネジメントの導入・運用に関する課題、ニーズを示す。

### 1) モニタリング技術に関する課題

- ・モニタリングに用いるセンサーシステムの導入コストの低減
- ・屋外での長期使用を考慮した耐久性の確保
- ・測定精度・信頼性の向上

- ・データ伝送の長距離化による中継基地の省力化・ネットワークの構築
- ・低電源・無電源化
- ・センサーの長寿命化による交換サイクルの長期化

## 2) 診断技術に関する課題

- ・構造物の健全性を診断する計測項目および指標の確立
- ・診断技術の標準化
- ・構造物の劣化を予測する技術の開発
- ・劣化に対する構造物の安全性・使用性を予測する技術の開発
- ・診断のための非破壊検査技術の開発

## 3) アセットマネジメントにおける想定寿命・限界状態に関する課題

- ・インフラの安全性・使用性を確実に担保する期間・性能の明確化
- ・ライフサイクルコスト算定・維持管理計画・対策への想定寿命や限界状態の反映
- ・目標とすべき期間・性能の明確化による長寿命化技術の向上

## 4) アセットマネジメントの運用に関する課題とニーズ

- ・点検・モニタリングに基づくアセットマネジメントの各種インフラへの導入
- ・インフラの種類、重要度等に応じた適切なアセットマネジメントの導入
- ・モニタリングを活用したアセットマネジメントの導入による経済的なメリットの創出
- ・産学官でのモニタリングによるデータの共有化・ネットワーク化
- ・モニタリングによる定期点検の簡素化・効率化
- ・地方自治体が管理する膨大なインフラの維持管理への対応
- ・ネットワークを形成するインフラの実効的な維持管理
- ・インフラ維持管理産業のビジネス化

### 3. 2 課題解決のための対応

#### (1) 体系的な研究開発の推進

現状のインフラ維持管理では、目視を主体とした点検結果による定性的な健全性の診断に基づいて補修の必要性を判断している。点検員による目視点検の最大の不安は、その信頼性にある。目視点検の不確実さを実証的に明らかにした調査例は多く、事実、海外での橋梁事故は、直前の目視点検を通過している例がかなりにのぼる。また、目視点検では、高所等でアクセスできない箇所やコンクリートの奥のような箇所の状況をつかめない。外装材等で覆われて表面ですら見えない場合も多々ある。したがって、インフラ維持管理をより適切かつ効率的に行うためには、センサーを使ったモニタリング手法により点検し、その健全性を定量的に評価・予測して、ライフサイクルコストを最小に近づける維持管理計画を策定することが重要であり、そのための手法・技術の開発が必要である。ここでは、インフラの健全性評価・予測技術の確立までの流れおよび取り組むべき研究開発について記述する。

インフラ健全性を評価・予測するためには、①状態の把握、②現状における安全性・使用性の評価・診断、③将来の安全性・使用性の定量的予測が必要である。そのためには、以下の研究開



発が必要である。

- ・パイロットインフラに対する高密度・多種類モニタリング
- ・劣化と部材特性の関係の定量化を目的とした実験的検討
- ・構造物の劣化予測と性能評価のための解析手法

まず、モデルとなるパイロットインフラを選定して、多種類のセンサーによる高密度モニタリングと詳細点検を行い、計測データと点検データを収集する。それらのデータの関連性や傾向を分析することで、インフラの状態を定量的に評価するための点検・モニタリングの項目や計測すべき箇所を明らかにする。また、インフラ維持管理におけるモニタリング技術の実用性を検証し、課題とニーズを研究開発の側に明確に示すことで同技術のスパイラルアップを促進する。一方、インフラに対する高密度・多種類モニタリングだけでは使用限界時や終局限界時の状況が把握できない。また、計測期間が短い場合には劣化進行による構造・材料特性の変化も評価できない。そこで、各種構造実験、材料試験を別途行うことで劣化進行と構造・材料特性の関係のモデル化・定量化を図る。これらの成果に基づいて、劣化予測と劣化した部材を有する構造物の性能評価を可能とする解析手法を構築することで、インフラ健全性を定量的に評価・予測する技術を確立するとともに、アセットマネジメントで考慮すべき社会インフラの想定寿命と限界状態を明確にする。(図-3.1 b)参照)。以下に研究開発における具体的な実施内容の例を示す。

#### 1) パイロットインフラに対する高密度・多種類モニタリング

対象：同一形式で異なる環境のインフラ

計測項目：各インフラで必要と思われる項目

計測期間：数年から10年間を想定し、計測開始後、順次、得られたデータの分析を行う。

目的：

- ・各種点検・計測データの収集
- ・計測データと点検結果との対比・分析による相関関係の把握
- ・健全性の評価に資する点検・モニタリング項目・箇所の設定
- ・社会インフラにおける各種モニタリング技術の実用性の検証とニーズの把握

高密度・多種類モニタリングは、様々なインフラに対して実施していくことが必要であるが、特に橋梁では作用する外力や環境が大きく変化することから、劣化や損傷に伴う使用性や安全性の低下が問題となりやすく、モニタリングのニーズが比較的高いと考えられる。橋梁を例とすると、表-3.2に示すように橋梁種別、橋梁形式、経過年数、劣化要因等でカテゴライズを行い、実証試験を行うパイロット橋梁を30橋程度選定した上で、定置型センサーを配置した長期的な計測と点検、あるいは、車載した移動型センサー等による計測と点検を行うことを想定する。なお、橋梁を例とした高密度・多種類モニタリングのイメージについては、参考資料4に示す。

表-3.2 パイロット橋梁の例

橋梁種別	橋梁形式	経過年数	劣化要因
コンクリート橋	RC 橋	0 年	塩害、ASR、疲労
	PC 橋	20 年	
鋼橋	プレートガーダー橋	50 年	腐食、疲労
	トラス橋		

## 2) 劣化と部材特性の関係の定量化を目的とした実験的検討

目的：

- ・高密度・多種類モニタリングで把握できない使用限界・終局限界の把握
- ・各種要因による劣化の予測モデルの構築
- ・劣化と構造特性・材料特性の関係の定量化・モデル化
- ・補修補強した部材の構造特性の定量化・モデル化

実施内容：

- ・既往の研究、検討結果の整理、分析
- ・各種部材を対象とした構造実験・耐久性試験
- ・高密度・多種類モニタリング対象インフラに対する載荷実験
- ・撤去された部材に対する構造実験・耐久性試験

## 3) 構造物の劣化予測と性能評価のための解析ツール

目的：

- ・構造物全体の劣化予測
- ・劣化した部材を有する構造物全体の性能の評価

実施内容：

- ・既往の研究・解析手法の整理
- ・環境・部材・部位に応じた劣化予測解析ツールの構築
- ・劣化した部材・部位を有する構造物の解析ツールの構築
- ・上記解析ツールを統合した解析システムの構築

## 4) 社会インフラの想定寿命と限界状態の定義

橋やトンネルなどの社会インフラは作り替えが極めて困難であり、50年でも100年でも使える限り使うということになる。それだけにいつまでどのくらいの安全性を保障するかという時間と性能の概念が重要である。社会インフラの想定寿命や限界状態は、その基本的な概念については示方書や設計指針等で示されているものの、これらが明確かつ定量的に示されているとは言えない。想定寿命や限界状態が定義されていない状態では、社会インフラの状態をどのレベルでいつまで保持すべきかが明確とならず、ライフサイクルコスト等の指標に基づいたアセットマネジメントが実現できない。また、設定した想定寿命あるいは限界状態に達した時点で構造物を撤去・更新する、構造物を構成する部材・部位の補修・交換を繰り返すことにより全体としては半永久的な寿命を実現するなど、様々な考え方があ

社会インフラの適正な維持管理を実現するためには、アセットマネジメントで考慮すべき想定寿命と限界状態の定義が不可欠である。社会インフラの想定寿命と限界状態について、明確に定義されてこなかった理由として以下のことが考えられる。

- ・現存する社会インフラの歴史が浅く、その想定寿命を議論するためのデータが少ない。また、寿命という観点から構造物の評価を行う取り組みも行われてこなかった。
- ・現状の社会インフラの維持管理は、点検・補修を繰り返すことで、できるだけ寿命を延ばすことが基本とされ、寿命の概念がない。
- ・社会インフラの寿命は、経済性・経過年数・維持管理性・その他社会的条件などで決まる場合が多い。
- ・構造物は寿命や維持管理性が異なる複数の部材・部位で構成されており、それぞれが構造物全体の使用性・安全性に及ぼす影響を定量的に評価することが困難である。

社会インフラの想定寿命や限界状態の定義を行うためには、以下についての議論や研究を今後も継続することが必要である。

- ・アセットマネジメントで考慮すべき社会インフラの想定寿命の考え方
- ・社会インフラの想定寿命の決定要因
- ・構造物の部材の健全性低下が全体系の限界状態に及ぼす影響
- ・社会インフラの想定寿命と限界状態の定義に基づいた維持管理の考え方

なお、社会インフラの維持管理を行っている本プロジェクトのメンバーに対して実施したライフサイクルコストや想定寿命に関する考え方に関するアンケート結果を参考資料5に示す。

## (2) 社会インフラ全体の維持管理に資するデータベース・プラットフォームの構築

現状では、各インフラの管理者が、国・地方自治体・高速道路会社・鉄道会社等、複数に分かれており、インフラ維持管理に関する情報が共通の方法によって管理されてはいない。しかし、道路・鉄道のようにネットワークとして機能しているインフラでは、点検および計測結果に基づいてインフラ健全性の診断・維持管理・地震時等の非常時におけるリスクマネジメントを共通な指標で行うことが必要である。また、維持管理を担う技術者の教育・育成の観点からも、点検・診断手法が標準化されていることが望ましい。更に、老朽化や災害で問題が生じたインフラと同様な諸元・環境下にあるインフラを抽出して重点管理することや、新設・既存・補修補強後のインフラに対して、多くの点検・計測結果を収集して分析・評価することにより、以下のような効果が期待できる。

- ・膨大なインフラの維持管理の効率化
- ・点検・モニタリングに基づくインフラ健全性の評価・予測精度の向上
- ・長寿命化技術の評価することで得られる課題とニーズを研究開発へフィードバックすることによる技術レベルの向上

社会インフラ全体の維持管理において点検・モニタリングに基づくアセットマネジメントを継続的に運用するためには、以下に示すような点検および計測結果に基づくインフラの健全性評価・予測結果を共通管理できるデータベースと、それを運用するためのプラットフォームの構築

を行うべきである（図-3.1 c）参照）。

#### データベース化する情報

- ・インフラの諸元：構造形式、経年、適用された設計基準等の基本情報
- ・点検結果：現状の定期点検項目に相当する定性的な情報
- ・測定結果：前述の実証実験で抽出された項目のモニタリングによる結果

#### プラットフォームの特徴

- ・点検・計測結果に基づく構造物の健全性評価・予測結果が共有できる。
- ・同様な諸元・環境下にあるインフラの検索が可能である。例えば、ある劣化が問題となったインフラと同じような条件のものが抽出できる等
- ・共通な手法に基づき点検・診断を行うことができ、それによる台帳が管理できる。

### （3）アセットマネジメントの導入・運用のための制度・方策の整備

点検・モニタリング技術を活用したインフラのアセットマネジメントは、国民および社会全体に対して、安全・安心なインフラの提供、維持管理費のトータルコストの低減、維持管理市場の創出など、大きなメリットがある。一方、インフラ管理者にとっては、維持管理、点検の効率化、診断精度の向上などのメリットがある反面、導入のためのコスト、インフラによって管理者が異なるという背景等が導入を妨げる要因となっている。そのため、以下のような施策を国が主導して、実施することが有効である。

#### 1) アセットマネジメントの推進

各インフラの点検・維持管理については、各インフラ管理者によって管理の度合いが異なっているのが現状である。そのため、アセットマネジメントによる維持管理を、様々なインフラに導入することが必要である。ただし、我が国にストックされている膨大で多様なインフラの全てに、同じアセットマネジメントを導入することは、必ずしも適切でない。対象とするインフラの種類・重要度・管理の重点度等に応じて、アセットマネジメントの目的を明確化した上で導入を図るべきである。

#### 2) 経済的な優遇制度・支援制度の整備

モニタリングを活用したインフラのアセットマネジメントを各インフラ管理者が導入するためには、そのためのコストが必要となる。国民に対して安全・安心なインフラを提供するためにも、モニタリングを活用したアセットマネジメントを導入しようとするインフラ管理者に対する国からの経済的な支援制度が必要である。

また、インフラの適切な維持管理を推進していくために、モニタリングを活用したアセットマネジメントに基づく「予防保全」等の工事についても、経済的な支援制度を整備しておく必要がある。

#### 3) データベース・プラットフォームの運用

アセットマネジメントのためのデータベース・プラットフォームの維持管理は、インフラ管理者が個々に対応することは現実的でない。そのため、データベース・プラットフォームについては、その運用・維持管理を国が主導していく必要がある。

#### 4) モニタリング技術の活用による点検の効率化・定量化・高度化

インフラの劣化・損傷状態を連続的に計測・評価できれば、点検の効率化・定量化・高度化が可能となる。例えば、点検員による目視で定性的に診断している点検を、画像診断技術等によって自動かつ定量的に行うことができれば、点検作業の効率化や結果の定量化を図ることができる。また、高所や河川内など人が立ち入ることが困難である場所の点検をモニタリング技術で代替できれば、点検作業の安全性を向上できる。更に、見えない場所の状態をモニタリングで把握することができれば、目視による点検が不可能であった場所の健全性の診断が可能となり、点検の高度化に繋がる。そのためには、以下のような規準や技術の研究・開発を国が主導していく必要がある。

- ・適切なモニタリング技術を導入することで、日常および定期点検の簡素化や点検実施のサイクルの長期化等を図ることができるような規準
- ・点検の効率化・定量化・高度化に資するモニタリング技術
- ・人が立ち入ることが困難である場所や不可視な場所を、機械的・自動的に点検できるロボット技術等を応用したモニタリング技術

#### 5) 地方自治体が管理する膨大なインフラの維持管理のための方策

地方自治体が管理しているインフラは膨大であるため、限られた予算・技術者によって全てのインフラに対してきめ細やかな点検・モニタリングを行うことは困難である。また、地震等の災害時には、広い範囲に分布するインフラの使用性・安全性を早期に評価することが求められる。そのためには、以下のようなモニタリング技術が有効である。

- ・危険度が高いインフラの抽出・監視を行うためのICT（情報通信技術）・モニタリング技術
- ・地震・災害時に安全性の評価ができるモニタリング技術

この他にも、日常的に走行する車両に計測機器を車載してモニタリングを行うための方策、インフラの異常を既存の情報ネットワークを活用して把握するための方策などを整備していくことも必要である。また、地方自治体が管理するインフラ情報の公開を通じて、健全性・維持管理の現状・重要性を広く社会にアピールすることにより、利用者である国民のインフラに対する関心を高め、一般市民からインフラの異常を通報してもらうような方策も有効である。

#### 6) インフラの健全性を診断する技術者の資格制度の整備

点検・モニタリングに基づいてインフラの健全性を定量的に評価・予測するためには、そのための手法・ノウハウを有する技術者が不可欠である。インフラの適正な維持管理の実現に向けて、その育成や活用を推進するためには、教育システム・資格制度・有資格者に対するインセンティブの整備を国や学協会が主導して行う必要がある。

### 3. 3 提言

点検・モニタリングを活用した社会インフラのアセットマネジメントの実現に向けて、以下の施策に産学官が連携して取り組むことを提言する。

- (1) 社会インフラの健全性の評価・予測技術の確立および想定寿命と限界状態の明確化を目的

**としたパイロットインフラに対する高密度・多種類モニタリングと劣化に関する実験的検討および解析ツールの開発を含めた体系的な研究開発**

- ・パイロットインフラに対する点検および高密度・多種類モニタリングの実施
- ・高密度・多種類モニタリングにおける計測データと点検結果の収集・分析による相関関係の把握
- ・健全性の評価に必要となる点検・モニタリング項目・箇所の設定
- ・各種構造実験・材料試験による劣化の進行と構造・材料特性の関係のモデル化・定量化
- ・劣化予測と劣化した部材を有する構造物の性能評価を可能とする解析ツール・手法の構築
- ・高密度・多種類モニタリングによるモニタリング技術の実用性の検証と技術レベルの向上
- ・アセットマネジメントで考慮すべき、社会インフラの想定寿命と構造物の限界状態の定義

**(2) 社会インフラの健全性の評価と予測結果を共通管理できるデータベースとプラットフォームの構築**

- ・点検および計測結果に基づく構造物の健全性の評価・予測結果を共通管理できるデータベースと、それを運用するためのプラットフォームの構築

**(3) アセットマネジメントの導入・運用を推進する制度・方策の整備**

- ・アセットマネジメントの推進
- ・経済的な優遇制度・支援制度の整備
- ・社会インフラ全体の維持管理に資するデータベースとプラットフォームの運用
- ・モニタリング技術の活用による点検の簡素化・効率化
- ・地方自治体が管理する膨大なインフラの維持管理のための手法の策定
- ・最新のモニタリング技術の適用を可能とする法整備
- ・インフラの健全性を診断する技術者の育成と資格制度の整備

#### 4. 点検・モニタリング技術に関する提言

##### 1. ニーズとシーズをマッチングさせたモニタリング技術基盤の構築

データベースやプラットフォームの構築も視野に入れ、モニタリング技術のニーズと要素技術を提供するシーズを連結させることを狙いとして、蓄積したデータから適切なモニタリング手法を選定できるモニタリング技術基盤を業種横断的な協働体制で構築する。

##### 2. インフラの構造ヘルスマニタリングの適用手順の確立

開発した技術の実地適用推進を担う人材の育成と組織（モニタリングコンサルタント）の発足により、技術の普及を図るとともに、順次蓄積される知見を共有することで、インフラ長寿命化構想を広く具体化して行くことが必要である。

##### 3. 要素技術の研究開発の促進

個別センサーの実地適用により抽出された課題を共有し、解決を図る技術の積極的な研究開発を支援する施策が必要である。

#### 4. 1 モニタリング技術の現状と課題

##### (1) 点検・モニタリングに必要な技術

###### 1) 定置型・常時観測技術（モニタリングシステム）

多くの構造物は数年に一度の点検で補修要否を判定されるため、次回点検までに劣化が危険な状態に進行する可能性のあるものも含まれる。このため、次回点検までの異常検知を目的として定置型のモニタリングシステムの役割がある。特に、補修を施した箇所は、再劣化による異常発生の可能性が高い部位であることから、常時観測の必要性が高い。

また、いつ発生するか予測できない大地震に対して、被災後のインフラの使用可否を迅速に判断するための診断を行う手段として常時観測が必要となる。

###### 2) 移動型・定期観測技術（点検技術）

損傷の有無・程度・位置などの情報よりインフラの状態を正確に評価する手法として、「目視点検」の代替として『画像情報の取得』、『デジタル化』、『データ認識・評価』、『計測位置情報の取得』など、「打音検査」の代替として『音情報の取得』、『デジタル化』、『データ認識・評価』などの技術が期待される。

また、点検等の定期観測においてロボット技術はますます重要になると考えられ、ロボットに搭載可能な計測機器、障害物の多い点検場所での移動機構などの開発が必要である。

###### 3) インフラ遠隔診断システム

点検技術・モニタリング技術を用いて得られたデータは、次のプロセスである「診断」に供されることになるが、インフラ管理者だけでは「データを収集しても診断できない」という問題がある。この問題に対しては、「遠隔医療」の概念が解決する方法となる。「遠隔医療」が専門医不足を解決するためにICT（情報通信技術）を利用して効率化を図っているのと同様、インフラ遠隔診断システムでは損傷した構造物の診断を専門技術者が診断することで、全国に散在するインフラの健全性を効率的に評価することを支援できる。

## (2) 点検・モニタリング技術の課題

インフラで試行されているモニタリング技術のほとんどは、他分野で開発・発展してきた技術であり、そのままではインフラ維持管理に活用できない場合が多い。

長期間モニタリングする定置型のモニタリングシステムにおいては、「耐久性」に課題がある。モニタリングに使用されるセンサーの多くは、数年レベルの寿命である。センサー本体だけでなく、システムの電気系部品の寿命も同様である。インフラが設置されている厳しい屋外の環境と供用期間が50年を超えるインフラをモニタリングしつづけることを想定すると、インフラ維持管理にモニタリングシステムを適用することは非常に大きな課題である。また、膨大なインフラをモニタリングするためには「モニタリングシステムのコスト」が課題となる。インフラの多くは地方自治体の管理下にあり、現状のような多額の初期投資・維持費用が必要なシステムの導入は困難である。更には、「ニーズとのマッチングと高度化」という課題がある。インフラ維持管理におけるモニタリング技術へのニーズが明確に把握できていないことから、適切なシーズを提供できていない。ニーズとマッチングを図ったうえでインフラの特性に合わせたセンサー技術の高度化が必要である。モニタリングで得られたデータから物理的な現象を分析し、インフラ健全性の診断につなげるデータ解析技術も必要である。

他の課題として、広範囲に多数を設置するモニタリングシステムのセンサーには、自立型の電源の搭載、得られたデータの無線送信、データの蓄積技術も必要であり、エネルギーハーベスティングと情報通信の開発も重要である。

移動型においては、要求されるセンサー寿命は短期で済むが、コスト・性能・データ解析などの課題は定置型と共通である。

## 4. 2 モニタリング技術を活用したインフラ維持管理の実現に向けて

### (1) ニーズとシーズのマッチングについて

インフラ維持管理においては、モニタリング技術のニーズとシーズが上手くマッチングできていないことから、要素技術を十分に活用できなかった。これは、ニーズを発信する維持管理の側とシーズを提供する技術開発の側では技術分野が異なるなど、相互の意思疎通を十分に図ることができなかったためと考えられる。例えば、振動を観測したいというニーズに対して、シーズ側には「どの位の周波数、ダイナミックレンジ、分解能が必要か」という詳細な仕様が必要となるが、ニーズ側は計測しないと取得できるデータの質が分からないため仕様を設定できない場合が多い。

このニーズとシーズの隔たりを解消し、適正かつ早期にモニタリングシステムを開始できる仕組みとして、ニーズとシーズの相互における課題解決とソリューション開発を扱う産学官の連携・産業界の業種横断的な協働体制を新たに構築する。(図-4.1 参照)。この課題抽出とソリューション開発を研究の重点領域とし、ニーズとシーズから測定条件(仕様)を明らかにするとともに、要素技術・ニーズの情報・モニタリング技術の実績等の蓄積からモニタリング手法を適正に抽出できるモニタリング技術基盤を構築する。その基盤を利用することによって、目的に応じた適正なモニタリングシステムを短時間に選定することを可能とする。更に、そのモニタリング技



術基盤から適切なセンシング手法を得ることができる。また、この基盤は、モニタリング技術の実績や新しい技術などをニーズおよびシーズと情報交換し、実績の拡大とともに、更に優れたモニタリング技術基盤へと成長し続けることを狙う。このシステムが構築できれば、モニタリングの目的から、どの様な物理量を、どの様な精度でモニタリングすべきか簡単に得られることになる。

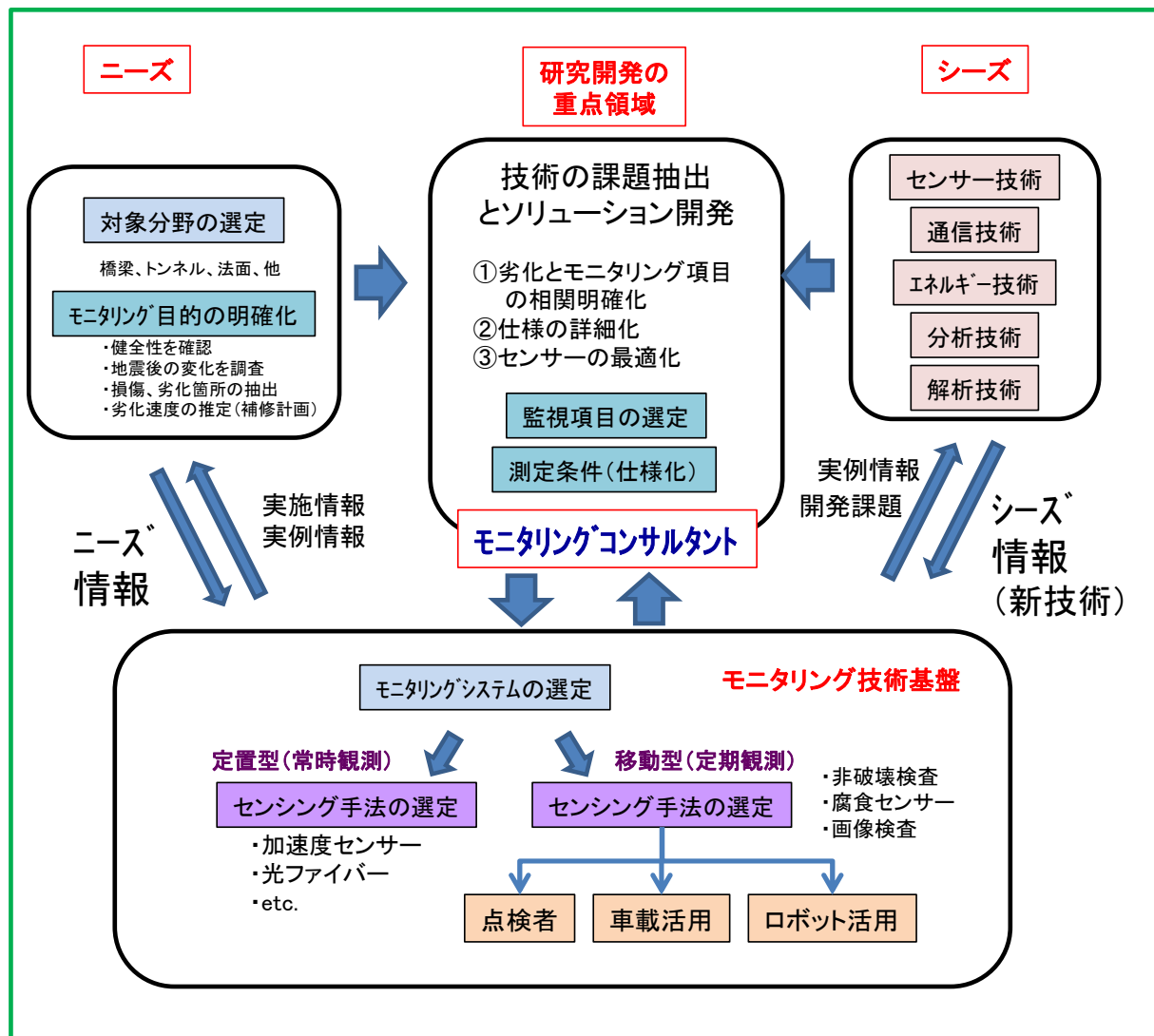


図-4.1 ニーズとシーズとのマッチング、及びモニタリング技術基盤の構築

(2) モニタリング技術の適用について

インフラ維持管理に向けたモニタリング技術の適用形態として、以下の手順（図-4.2）を提案する。

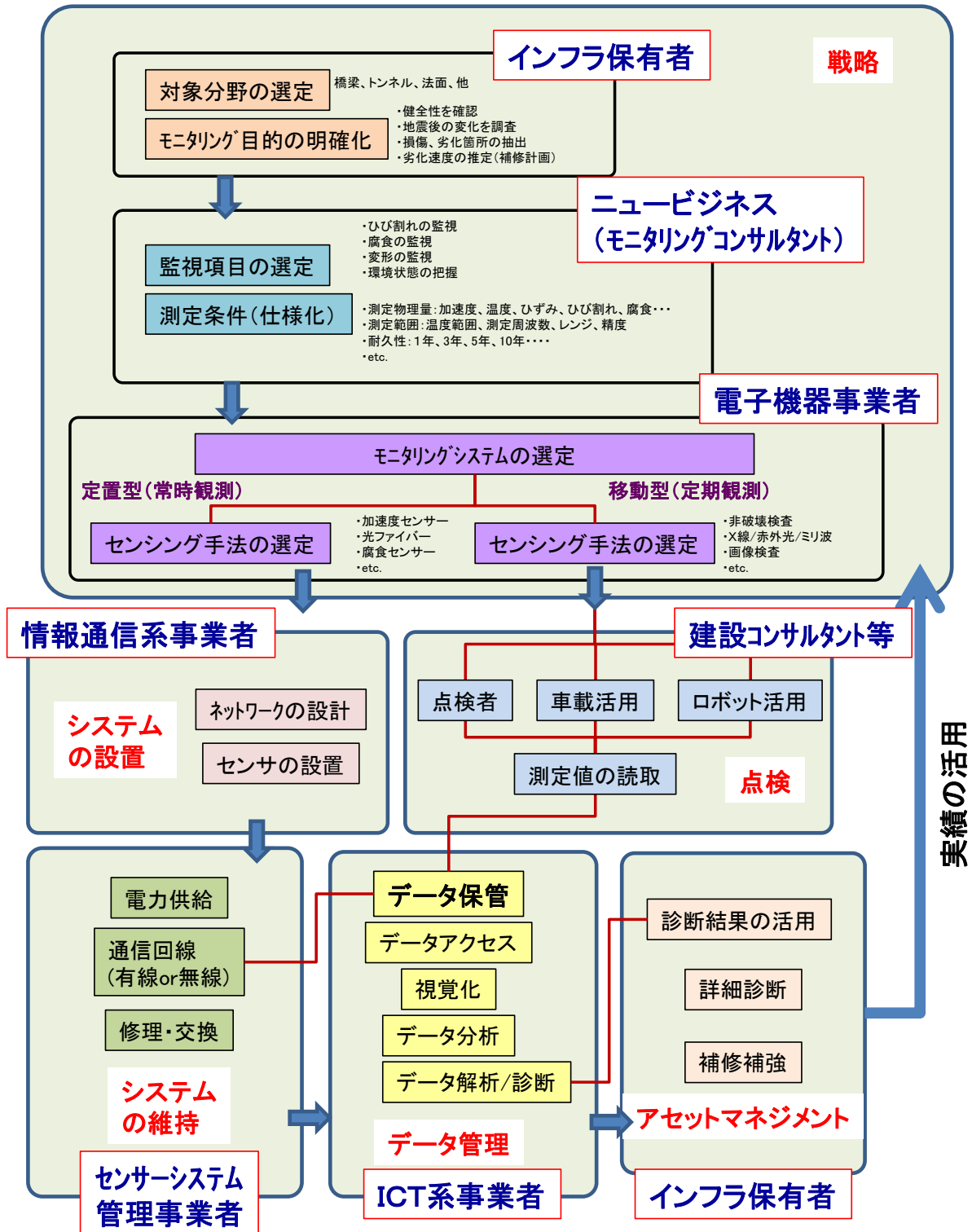


図-4.2 モニタリング技術の適用手順

まず、自治体などのインフラ管理者が、モニタリング対象分野（橋、トンネル、法面、他）および対象物を選定するとともに、モニタリングの目的を明確に定義する。ここではインフラの健全性、地震後の変化、損傷箇所の特定、劣化速度の推定等、様々な目的が想定される。次に、技術的な知見を有する者が、目的に応じて監視項目を決定し、測定条件を仕様化する。その仕様に基づいて、センシング法およびモニタリングシステムを選定する。モニタリングシステムは、定置型の常時観測、移動型の定期観測とスポット観測に分類される。どのようなモニタリングシステムを構築するか、ここまでの工程が成否を左右する重要な戦略工程となる。

センシング方法が確定できれば、仕様に従って、定置型であればシステムの設計をセンサーと読取機の設置等を担当する者（情報通信系事業者等）が行い、移動型であれば点検者・車両・ロボットの適切な点検方法の計画を点検を担当する者（建設コンサルタント等）が行う。

常時観測を行う場合は、モニタリングシステムの管理者が、電力・通信回線を維持し、システムの適切なメンテナンス作業を行う。常時観測・定期観測・スポット観測とも得られたデータは、クラウド技術・データ解析技術等のICT（情報通信技術）を利用し、データを集中管理して分析・解析を行う。そして、解析を行った結果をインフラ保有者が活用し、構造物の適切な保全を計画・実行（アセットマネジメント）する。

### **（3）開発すべき要素技術について**

#### **1）センサーシステムの耐久性向上**

最近、米国・メリーランド大学の研究者が最低でも20年、平均30年の寿命を持つモニタリング用センサーを開発し、スピナウト企業からインフラモニタリング用センサーシステムとして提供が開始されている。我が国においてもセンサーシステムの耐久性向上のための研究開発を推進する必要がある。

MEMSセンサーであれば、周辺回路を構成する電子部品を含めた集積化を行い、劣化要因の一つである湿気から回路を隔離したパッケージ化によって耐環境性能を向上させる可能性がある。国内のセンサーメーカーでは、バリア付き高機能フィルム材料を利用したフィルム埋込み型センサーの開発などを精力的に進めている。今後、厳しい自然環境下での運用が可能な様々なセンサーシステムを早期に開発・製品化する必要がある。

#### **2）モニタリングシステムの低コスト化**

センサー自体が大量生産により低コストになっても、システム運用に必要な制御系設備や設置費用、保守管理費用等も低コスト化しなければ、システム全体としてのコストは下がらない。低コスト化の技術として、センサー機器システムの集積化技術等、製造技術の革新が必要である。

#### **3）要素技術の高度化**

定置型のモニタリング技術のうち振動を測定する加速度センサーでは、測定周波数範囲の拡張、高分解能化、低消費電力化、MEMS技術等による小型軽量化が必要である。多数個で長期間監視モニタリングを実現させるには、広域設置を容易とするマルチホップネットワーク技術、エネルギーハーベスティング技術、蓄電技術、センサー内での一次信号処理によるデータ

量圧縮、消費電力の低減、通信タイミングの最適化などの研究開発も必要である。広範囲の常時モニタリング技術に有利な光ファイバセンサー技術では、高精度でひずみを連続的にモニタリングするセンサーと地震・災害時に安全性を評価するセンサーでは基本的に光ファイバーの仕様が異なる。このため、各々のニーズにマッチングしたセンシング技術の高度化が必要である。また、画像処理・解析技術、高精度にひずみを計測するレーザー基準線発生技術、設置環境から腐食を予測する技術等の新しい技術の開発も重要である。

移動型の点検技術では、詳細な診断に資する高精度な測定技術、高速移動でもデータ取得できる測定技術、ロボット活用に対応する小型軽量・短時間測定・低消費電力が必要となる。

#### (4) 情報通信技術（ICT）の活用について

インフラに設置した様々なセンサーや点検等から得られる大量のデータからインフラの状態を総合診断するためには、ICTの活用が必須である。すなわち、大量のデータを様々な解析技術を用いて『知識化』するための重要な役割をICTが担うことになる。

近年、大量のデータを用いて解析を行うビッグデータ解析技術が注目されているが、インフラ分野への適用も期待される技術である。インフラに設置されたセンサーシステムや目視等の点検などから得られる様々な種類かつ大量のデータからインフラの状態情報を抽出するためには、蓄積されたデータの統計処理、構造シミュレーション、データマイニングといった解析技術も活用することが重要である。ここで、ICT領域における「クラウド」、「ストレージ」、「HPC (High Performance Computing)」といったハード的な基盤技術は、国内のICTメーカーの技術が支えている。

ビッグデータ解析によって得られたインフラの状態情報は、インフラの総合診断に活用され、「診断情報」としてインフラの寿命・余寿命予測、健全性指標、ライフサイクルコスト低減指針などの重要な情報を出力する。「診断情報」は、インフラ管理者が運用するアセットマネジメントシステムで利用され、インフラ維持管理に活用されることになる。また、地震や台風といった災害時においても「インフラ健全性」といった情報を活用でき、自治体などの防災管理者を通して地域住民や利用者に対する「安全・安心」情報の発信といった社会への貢献も期待できる。

センサーシステムから得られた高品質な科学的データは、次世代技術の研究開発に活用することも想定される。インフラのモニタリングの技術開発はニーズ側とシーズ側の産学官・業界横断的な協働体制でこそ実現可能であり、例えば、半導体産業において行われてきた「次世代技術開発研究組合」のような組織が例として挙げられる。このような組織を将来の技術開発推進の目的に利用する方法も検討に値するものと考えられる。

以上のようなインフラのモニタリングにICTを活用する試みは始められたばかりである。そのため、解析技術はまだ十分なものとは言えず、今後のさらなる開発への取り組みが必要である。

#### (5) ロボット技術へのニーズについて

ロボット発展の歴史は、溶接ロボットなどの単純な繰り返し作業や塗装ロボットなどの悪環境下での作業を対象としたもの、人工知能など処理速度の向上を目的としたものなど、いわゆる産

業用ロボットの開発が主体となっていた。一方、インフラの調査点検を行うロボットは、1980年代には遠隔操作式水中調査ロボットや建築物の外壁タイル剥離検知システムなどが開発され、ニーズは産業用と同時期である約30年前から存在する。

インフラの調査点検に求められているロボットには、高所・狭所・有害環境下などの人が容易に行けないところへのアクセス手段としての期待が大きい。また、インフラ健全性を把握するセンサー技術を搭載可能な性能と、目的とする測定箇所にロボットを誘導する操作性が要求される。しかし、産業用ロボットが現在も進化し様々な分野で活用されているのに対して、インフラ維持管理の分野においてはロボットの普及は進んでいない。

普及を阻む原因の一つに、インフラには同じ構造のものがきわめて少ないため、そこに投入されるロボットもそれぞれの構造・形状に向けたカスタマイズが必要になるという懸念、投入箇所の状況が把握できていないなど、インフラ維持管理のニーズとロボット技術のシーズのマッチングが進んでいないと考えられる。ニーズとしてロボットに期待される技術分野だけでも、移動パターン（空中、水中、悪路、壁面、管内など）、作業条件（限界作業時間、遠隔操作性能、耐候性、防爆性など）、センシング条件（位置・方向検知、対象部分との離隔自動計測機能、微調整機能など）の他多岐にわたる。今後、それぞれの技術開発に期待が大きい分野であり、特に、深刻となる点検要員の不足を補う一つの対策としてロボット技術の位置づけは大きい。

### 4.3 提言

#### (1) 横断的な協働体制のもとモニタリング技術基盤の構築

センサー・ロボット・ネットワーク・データ解析等の様々な業界に跨る要素技術分野と、この要素技術を適用するインフラ系の分野、更に学術的知見を有する研究機関、及び全体を主導する国による横断的な協働体制を構築する必要がある。このうち、モニタリング技術を必要とするニーズ側と要素技術を提供するシーズ側との連携を図る体制構築は特に重要となる（図-4.1）。

モニタリングに活用するセンサーデータと、過去に実施され、蓄積されている膨大な点検データを一元管理し、最新の画像処理や周波数分析等の分析技術とビッグデータ処理の考え方を適用して、構造物の損傷状態や寿命を推定するロジックの構築を進めることが望ましい。前章で提案したデータを一元管理するデータベースや維持管理情報のプラットフォームの構築も視野に入れながら、モニタリング技術のニーズと要素技術を提供するシーズを連結させることを狙いとして、モニタリング技術の実績等の蓄積から適切なモニタリング手法を適正に抽出できるモニタリング技術基盤の構築を提案する。この構築は特定案件を使って雛形を構築する必要があり、産学官の連携、産業界の業種横断的な協働体制が重要で、これについては8章で詳述する。

#### [協働体制の構築]

- ・産学官の連携による技術レベルのニーズとシーズとをマッチングさせる協働体制の構築
- ・モニタリング技術のニーズと要素技術を提供するシーズを連結させ、適正なモニタリングシステムを選定できる人材の育成と組織の発足（モニタリングコンサルタント）、裏付けとなる性能評価技術の開発
- ・適切なモニタリングシステムを選定を可能とするモニタリング技術基盤の構築

- ・国、地方自治体などの幹線道路等の重要インフラの維持管理へのモニタリング技術の展開
- ・情報通信・クラウド技術・ビッグデータ解析等のICTの積極的な取込み普及

## (2) インフラの構造ヘルスマニタリングの適用手順の確立

構造ヘルスマニタリングを実施し、最適な維持管理によるインフラの長寿命化を実現する上で、**図-4.2**に示す適用手順の確立と、そのための推進項目を提案する。これまでのモニタリングによるデータ収集・分析に止まらず、データ解析による結果をインフラの維持管理に活用し、そのデータと結果を他の構造物のモニタリング技術として利活用する。モニタリング技術が普及するに従ってモニタリング技術が向上し、短期間で最適なモニタリングを設計・構築することが可能となる。この一連のルーチンが、構造ヘルスマニタリングの手法として重要であることを提言する。

[モニタリング技術の利活用推進項目]

- ・モニタリング技術基盤の活用とその技術の普及により順次蓄積される知見の共有化によるモニタリング基盤のスパイラルアップの促進。
- ・モニタリング技術の実績を検証後、タイムベースドメンテナンス（TBM）の維持管理手法からコンディションベースドメンテナンス（CBM）への移行推進
- ・得られたデータと構造物の力学特性の相関分析結果の土木基礎技術への活用

## (3) 要素技術の研究開発の促進

産学官が連携して構造ヘルスマニタリングの実証を進める上で、適用される要素技術の研究開発が必要となり、その開発促進が重要となる。以下に例を掲げるが、これに止まらず、実証を進める中で随時抽出される研究開発課題への取組みも並行して進める必要がある。

- ・センサーの寿命や耐久性向上に向けた研究開発
  - ①長期使用可能なシステムを実現するセンサーの集積化・パッケージ化技術
  - ②エネルギーハーベティングを利用した自立電源によるシステム開発
- ・各種センサーの低コスト化技術開発
  - ①制御系等を含めた集積化技術
  - ②低コストが期待される新技術（MEMS技術、画像処理等）
- ・高精度化検査技術
  - ①インフラに適した新しい検査技術（画像処理、電磁波検査、赤外分光、腐食検知等）
  - ②インフラの監視条件に最適となる性能改善（加速度計、光ファイバー等）
- ・ロボットに適するセンサー技術・センサーシステムを搭載可能なロボット技術の開発
- ・ICTの活用
  - ①モニタリングのデータを効率的に収集するネットワーク技術
  - ②センサーデータと構造物の力学特性の相関分析技術
  - ③インフラの状態を総合的に診断し、最適な維持管理を見出すビッグデータ解析技術

## 5. 長寿命化施工に関する提言

### 1. インフラ長寿命化とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発推進

自己治癒材料、繊維系強化材料（FRP）、溶接性の優れた高強度鋼材、厳しい腐食環境に適用できる耐食鋼材など、一層の耐久性向上とライフサイクルコスト低減を目指した新材料の開発ならびに施工機械が入ることができない狭隘な空間や高所での施工技術、急速施工に対応した技術などの開発推進が必要である。

### 2. 材料・工法の評価手法の確立と標準化の推進

補修に適用される材料・工法の長寿命化への寄与を適切に評価するための手法を確立するとともに、広く普及させるために標準化を推進する仕組みが必要である。

## 5. 1 インフラ長寿命化の現状と課題

### (1) インフラ老朽化の現状

我が国のインフラは高度経済成長期に建設されたものが多く、今後、建設から50年を経過するものが急速に増加する。これらのインフラの多くは、コンクリート構造物または鋼構造物であり、その素材は適切な設計・施工・維持管理が行われていれば、50年程度の耐久性を有するものも少なくない。しかしながら、現実にはインフラの劣化は進行しており、徐々に機能を損ない、供用不可能に近づいているものもあり、インフラに潜む危険性が増加している。現実には、橋梁において通行規制・通行止め等が多く発生している。これは、環境条件の厳しい場所、または、不適切な設計・不適切な施工を推し進めた不良箇所等で発生していると考えられる。また、点検そのものが行われておらず、健全性の評価が遅れている、あるいは、評価そのものが行われていないことから、維持管理計画が作られていないため、適切な維持・補修がなされていないことも一要因となっている。

根本的な要因として、維持管理に対する予算の配分が新設に比べ小額であること等が考えられる。また、予算が適切に配分されたとしても、寿命予測を立てるための定量的評価手法が整っていないことも要因である。

このような状況から、今後急速にインフラの老朽化が進むことによる国土の脆弱性が表面化すると考えられる。

### (2) インフラ維持管理の課題

インフラは、地盤条件・気象条件等の自然条件・使用環境・意匠等に合わせて、使用される材料の組合せや構造等が各々異なり、一品一様の個別設計・製作・施工である場合がほとんどである。その結果、点検や維持・補修作業は非定形的な作業となり、現場合わせの作業、手作業での施工が主となる。また、基本的に供用中のインフラに対する作業となるため、コスト・施工場所・時間の制約が厳しい中で、高所や狭隘部での作業、夜間作業といった悪条件下での作業となる場合も多い。更には、市町村レベルの自治体において維持管理に対する人手不足・技術者不足等が顕著であり、既存インフラに対して、これまでほとんど点検や維持対策が行われてこなかった。

また、補修工事では、仮設足場を設置して近接調査をすることで初めて劣化状況や適用すべき対策工法を把握することができる。このため、遠望目視による点検結果を参考に行った補修設計と大きな差異があり、契約数量の増加・対策工法の変更が必要となることがある。

## 5. 2 インフラの劣化要因と現状の対策方法

### (1) インフラの主な劣化要因

インフラの劣化要因としては多くあるが、主な要因を列挙すると以下のとおりである。

- ・ 鋼材の腐食
- ・ 鋼材の疲労亀裂
- ・ コンクリートの中性化または塩害による鉄筋の腐食
- ・ コンクリートのアルカリ骨材反応
- ・ コンクリートの凍害
- ・ コンクリートの化学的侵食
- ・ 火害
- ・ ゴムの硬化等経年劣化
- ・ 耐荷力不足
- ・ 設計ミス、施工不良・初期損傷
- ・ 外的損傷
- ・ 上記要因の複合的な作用

### (2) 長寿命化対策の現状と課題

主要な劣化要因ごとに現状実施されている補修補強の内容について、表-5.1に示す。

表-5.1 劣化要因ごとの補修補強対策

	劣化要因	対策 (潜伏期・進展期⇒加速期⇒劣化期)
鋼構造系インフラ (橋梁等)	腐食	再塗装、減肉部は当て板
	疲労	ボルトオンによる当て板、ストップホール加工
コンクリート系インフラ (橋梁、トンネル等)	中性化	表面処理・塗装⇒再アルカリ化⇒断面修復
	塩害	表面処理・含浸材塗布⇒脱塩工法・電気防食・塗装⇒断面修復
	繰返し負荷による疲労(床版)	ひび割れ補修・断面修復⇒防水施工 炭素繊維シート接着
土系インフラ (法面、堤防等)	強度不足	矢板工、地盤改良、杭打設、法枠、グラウンドアンカー
	液状化	地盤改良、砕石・砂杭

この中で代表的な補修の材料及び施工方法(のごく一部)と課題等を、適用部位別に記載すると表-5.2のとおりである。



表-5.2 代表的な補修材料・工法と課題

インフラ	適用部位	使用材料・工法	課題等
橋梁	コンクリート表面	シラン・シロキサン系浸透性吸水防止材	定期的な塗替要、機械化施工不可品質管理手法の確立
	床版	R C 増厚(上面)、鋼板接着(下面)、炭素繊維による補強(上面、下面)	上面補強では通行規制が必要。取替え(更新)する場合は、大規模工事と長期通行規制
		塗膜防水(アスファルト系、ウレタン系)、シート防水(アスファルト系)	防水性能強化 防水工の重要性への認識不足 高性能防水補修工法開発要
	鋼材腐食部	防錆処理 炭素繊維による補強	今後の耐久性予測 供用下での施工法確立
トンネル	トンネル表面	高靱性セメント複合材料	熟練技術者要、厚付け不可 特殊な練混ぜ機等コスト高 止水処理が必要
	トンネル表面及び構造体	薄鋼板による補強	高コスト
堤防等法面 (河川、 海岸)	盛土	張り芝等緑化 被覆工コンクリート	維持管理コスト 堤体内への土以外の材料(樹脂製品等)使用(盛土の安定化、堤脚ドレン、等)
	樋門・樋管のゲート	金属製ゲート	腐食による機能不全 ステンレス製は高コスト 新材料による高耐久化
港湾	岸壁等全般	長寿命化コンクリート	現地施工不可 非施工部分との境界部の信頼性
	護岸等	鋼矢板、鋼管矢板等	供用下での施工 腐食対策

### 5.3 インフラ長寿命化に向けた課題と提言

#### (1) インフラ長寿命化とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発推進

##### 1) 新材料の開発推進

現在でも劣化・損傷した構造物を補修する技術は多くあるが、補修後の比較的早い段階で再劣化を生じる、あるいは、逆に劣化を促進させてしまうなどの課題があり、一層の耐久性向上とライフサイクルコスト低減を目指した新材料の開発が望まれる。例えば、現在開発が進んでいる自己治癒型コンクリート、炭素繊維等繊維系強化素材、高強度化と溶接性を両立させる鋼材、厳しい腐食環境にも耐えうる安価な耐食鋼材等の開発推進がある。

これらの開発を推進するためには、既存材料の改良に加えて、損傷・劣化機構のナノ～マイクロレベルでの解明を進め、新材料開発等の可能性を広く追求する必要がある。

更に、モニタリング用センサーと一体となった材料・部材の開発、作業者のスキルレベルに関係なく安定した品質・性能を確保できるような材料等も検討に値する。

このような新材料の研究開発を推進するためには、産学官が連携した研究開発体制の構築が必要である。また、開発成果を実用化・普及させるためには、実インフラでの長期に亘る実証が不可欠である。特に、現地での作業性・施工性や環境への対応等は現地で行わなければならないことが多く存在することから、インフラ管理者である国・地方公共団体・高速道路会社・

鉄道会社などと連携した実証・評価が不可欠である。

## 2) 新工法の開発推進

既存インフラの点検・補修作業においては、前述のとおり一品一様で建設されていることから非定形作業とならざるを得ないことに加えて、供用下であることから作業環境や作業条件に非常に厳しい制約がある。例えば、大型作業車が入れないような狭隘地、作業者が入れない狭い空間、橋梁や高架道路のような高所、夜間作業とならざるを得ない等、新設工事よりも難易度が高い場合が多い。また、そのような作業であるにも係わらず、作業の効率化（短工期化）と低コスト化が強く求められている。

今後、既存インフラへの補修作業が急増すると予測されることから、上記の条件に適應できるような新しい工法の開発等を促進しなければならない。例えば、大がかりな足場を必要としない工法、補修箇所をバイパスして供用を継続できる工法、プレファブによる簡単な入れ替えが可能な工法等が考えられる。

なお、発注者であるインフラ管理者は、制約条件による施工の困難さを十分に理解したうえで、入札・契約等に際して技術力を適正に評価する仕組みの導入、作業の難易度に応じた積算価格の適正化、設計から施工までの一括発注・契約など、積算・契約体系の適正化が必要である。このような施策によって、民間企業の工法開発へのインセンティブが働き、インフラ長寿命化に効果的な工法開発の促進されるものと期待される。

## 3) 材料・工法の特性を活かしたハイブリッド構造の可能性の追求

素材としての鉄・コンクリート・炭素繊維等は、それぞれの物理的な特徴（長所・短所含めて）やコストが明確であることから、材料特性向上のための継続的開発、適材適所での使い分けに加えて、それぞれの長所を組み合わせたハイブリッド構造の一層の活用の可能性も検討しなければならない。ハイブリッド構造を活用するためには既存材料との異種間材料の接合技術開発も不可欠である。

同様に、工法や素材の転換なども必要である。今後の可能性としては、例えば、腐食環境下の構造物に対して、軽量かつ耐久性に優れたFRP部材、耐食性に優れた鋼材を採用することが考えられる。それによって維持管理コストの低減等ライフサイクルコストの削減、軽量化による基礎構造の軽減、作業期間の短縮による早期完成のメリットが享受できる。

なお、新材料・新工法の出現により既設インフラのライフサイクルコスト低減が期待されるが、インフラの状態によっては、大規模な取替・改築を行うことがライフサイクルコストの面で優位となる場合があり、この場合にはためらうことなく大規模な取替・改築を実施すべきである。既存インフラの劣化は確実に進行していることから、要求性能・コスト・維持管理の負荷等の全てを満足する材料・工法を求めるのではなく、総合的に勘案して、必要とされる条件にも優先順位をつける必要がある。

## 4) 普及の仕組み作り

維持管理が簡便でコストが安い、要求性能の長期安定性が保持できるなど構造物の求められる姿を明らかにし、先入観にとらわれずに、工法・素材選択等の議論を積極的に行い、高信頼性・高耐久性・短工期性など結果的にライフサイクルコストを低減することができる新構造・

新工法を、官民一体となって、検討・創出すべきである。特に、研究開発段階においては、発注者であるインフラ管理者はリスク判断の上で、フィールド提供・データ取得の協力を惜しみなく行うべきである。

また、優れた材料・工法を、優先的に実証的に適用して実績を作る、あるいは、国土交通省の新技術情報提供システム（NETIS）等の仕組みを利用して成果を報告するなど、広く普及させる仕組みも必要である。

## （２）材料・工法の評価手法の確立と標準化の推進

今後の導入が求められている「アセットマネジメント」を適切に運用するためには、インフラの状態を定量的に把握する点検・モニタリングする手法、精度の高い劣化予測手法のほかに、劣化状態に応じた適切な補修工法の選定（エンジニアリング）が必要である。

従来は補修技術の効果を評価することがほとんどなかったが、インフラ長寿命化を確実に行うためには、補修に適用される材料・工法の長寿命化への寄与を適切に評価することが重要である。補修技術の評価するためには、室内促進試験、試験体の曝露による長期性能の評価とモデルの作成、それらの実構造物への適用と長期追跡調査といった段階を踏んだ「評価手法の確立」が必要であり、これらを適切に実施する仕組みを国が主導的に作る必要がある。また、評価手法によってインフラ長寿命化への寄与が確認された技術に対しては、広く普及させるための「標準化」を支援する仕組みも重要である。

更には、広域で膨大なインフラ（公共財産）が対象であり、かつ長期に亘る事業となるため、国、地方自治体等インフラの保有・管理者の支援が不可欠である。

## （３）長寿命化施工におけるロボット技術へのニーズ

今後は高齢化インフラの数が増加、熟練技術者・熟練作業者の減少が見込まれていることから、点検や補修作業の負担軽減につながるロボット技術の開発と活用が必要である。具体的には、複雑な形状や劣悪な環境に対応して補修作業が行えるロボット技術、狭隘な作業箇所への資機材搬入を支援するロボット技術、コンクリート構造物にも対応できるロボット技術等が考えられる。

また、今後建設されるインフラには、ロボットのアクセスやロボットによる作業が容易となる構造・形状とすることなど、インフラの設計にも配慮が必要である。

## （４）長寿命化施工に関わる人材の育成

既存インフラの補修工事では、現場において臨機応変な判断や対応が必要であることが多い。具体的には、現場の実態が点検結果に基づいて行われた補修設計と大きく異なる場合に、補修範囲の設定や劣化の状態に応じた適切な対策工法の選定をその場で判断する必要がある。このような場合、現状では熟練の技術者（エンジニア）や熟練工等の「人」に頼る部分がほとんどであるが、適切な判断能力や技術・スキルを持った技術者（エンジニア）・作業者が少なくなっていることから、人材の育成や困難ではあるがマニュアル化等の対策が急務である。

現在、高校・高専・大学などの教育機関では、限られた期間での教育内容が基礎的な材料、構

造が主体となるため、新設の構造物が対象になりやすく、維持管理に関する教育が不足しがちである。そのため維持管理技術者のなり手が少なく、維持管理の知識を備えた技術者を育成するにも時間が掛かる。そこで、維持管理技術の基礎教育を行うことを始めとして、維持管理系の高等教育機関ならびに学術研究の充実を図るべきである。

#### **(5) インフラの補修を推進するため規制緩和の必要性**

インフラ向け材料開発を世界的レベルでリードするという観点からも、要求される性能を考慮した上で、適用される材料に対する規制・規格、採用の基準等を柔軟に運用すべきである。例えば、米国や欧州では、道路床板・歩道橋・建築物などに炭素繊維やガラス繊維を使ったFRPが適用された事例があるが、日本ではこのような適用例はほとんどない。基準や性能を満足する材料であっても、国内での適用実績がないと採用されないため、新材料の普及が進まない現実がある。新材料・新工法の適用を推進するためには、海外での適用実績も認める必要がある。

また、工法における規制・規格の見直しもインフラ産業の持続的発展に資する。その例として、河川・海岸堤防の盛り土にジオシンセティックス、鋼矢板等を配置し盛土を補強する事が可能だが、堤体内に土以外の物を入れることが河川構造令で認められていない（土堤原則）ため使用できない。このような原則を緩和すれば新材料の開発が大いに促進される。

民間保有のインフラ（基幹産業インフラ）では、護岸・岸壁の補修補強において「前面（水域）への補修補強」（いわゆる「前出し」）など、工法に制約があることから補修補強が困難となっている場合もある。新工法の開発を促進するためには、環境に配慮しつつも手続きを簡素化する等の緩和策が必要である。

#### **(6) 新規インフラ、インフラ輸出への適用の可能性**

本章で提案する新材料・新工法は、既設インフラの長寿命化に適用されることが想定されるが、新規インフラに対して計画当初から適用する場合にも大きなメリットがある。また、それらはある程度の環境の違いについて考慮する必要があるものの、国内インフラへの適用のみならず、海外でのインフラにも展開できる可能性が大きい。

これらの取り組みを行うことにより、我が国がインフラ老朽化問題に対しても、課題解決の先進国になりうる。このことは、我が国が官民一体となって推進しているインフラの海外展開に対しても、インフラの新設技術に維持点検・補修技術・設計ノウハウを組み込むことによる、他国が追従できないようなインフラビジネスの競争力向上に資するものとなる。

## 6. 基幹産業インフラに関する提言

1. 国の経済基盤を支える重要な設備である基幹産業インフラにおいても長寿命化のための検査技術・補修技術の開発が望まれる。
2. 基幹産業インフラの鋼構造物（プラント設備）では、検査をより効率的かつ経済的に行うことができる技術開発が望まれる。一方でコンクリート構造物（栈橋など）は、社会インフラに適用されている検査技術を基幹産業インフラにも展開することが望まれるとともに、現存する補修技術を普及させるための施策が必要と考えられる。
3. 災害対応型ロボットを活用した検査や作業用のロボットの開発が望まれる。

### 6. 1 基幹産業インフラについて

道路・橋梁・港湾・上下水道・鉄道・トンネルなどの社会インフラに対して、基幹産業インフラは経済基盤となる発電所・製油所・ガス貯蔵施設・製鉄所・化学工場などのコンビナートがその代表的な設備といえる。これらコンビナートは、主に民間事業者によって維持管理されているが、国の経済基盤を支える重要施設であることから公共性が高く、社会インフラ同様に長寿命化のための技術開発を推進するべきである。

基幹産業インフラの設備は、社会インフラが建設された1970年代以前の1950年～1960年代に建設されたものも多く、それらは建設後50年以上を経過している。基幹産業インフラの設備には、鋼構造物とコンクリート構造物の両方が存在し、両者は点検や維持管理の手法や基準も異なる。設備の長寿命化を考える上でこれらの基幹産業インフラの設備を鋼構造物とコンクリート構造物に区分して検討することが必要と考える。以下の検討は、基幹産業インフラの設備を「鋼構造物」であるプラント設備（配管、タンクなど）と「コンクリート構造物」である栈橋などに分類して記述する。

### 6. 2 基幹産業インフラの現状

基幹産業インフラの設備うち鉄鋼材料で構築されているプラント設備は、危険物などを高温・高圧の過酷な環境で取り扱うため高圧ガス保安法・消防法・電気事業法などの法令に基づいて定期的に検査がなされており、一定の基準で維持管理されている。高圧ガス保安法では、最長でも4年に1度定期検査を行い、その検査結果を定量的に評価した上で補修を行うことが義務付けられている。このようにプラント設備の維持管理のための検査や補修に関する技術や評価基準はあるが、近年設備の経年劣化の進行とともに検査や補修に費やすコストの増加が課題となっている。これらのプラント設備の検査や補修技術については効率化やコストの低減が望まれることから、技術上の課題を整理し基幹産業インフラの長寿命化に向けた提言を記述する。これらの課題を解決することは、我が国が掲げている成長戦略の一環としてのインフラシステム輸出にもつながるものであり、国際競争力の向上にも寄与すると考えられる。

なお、基幹産業設備の耐震性や耐津波性などの災害に対しては、現行の法令に基づいた設備設計がなされており、更に設備を安全に停止するための管理システムが個別に導入されていること

から今回の課題から外し、今後の検討課題とした。

一方で、コンクリートで構築される構造物もプラントの付帯設備として重要な役割を果たしている。特に栈橋などは、製油所・化学工場・製鉄所における原料の受入れや製品の出荷を担う重要な設備である。これらの設備は、鋼構造物とは異なり検査や補修に関する法令がなく、これまで自主的な検査や補修基準により維持管理されており、検査や評価基準が整っていない。これらの設備については、基幹産業インフラの使用環境や設備の特異性を整理し、基幹産業インフラとしての提言を記述する。

## 6. 3 基幹産業インフラの長寿命化に向けた提言

### (1) プラント設備の課題と提言

前述のように石油・化学・製鉄などの大型プラントでは設備の維持管理に関わる技術や基準が整備されており、これらのプラントでは法令を順守することにより設備の長寿命化を図っている。しかしながら、国際競争力を高めるためにもこれまで以上に検査技術の効率化や経済性の向上が必要であり、プラント設備の検査技術の課題を解決するために以下の技術開発が望まれる。

#### 1) 配管の保温下外面腐食診断技術の開発

製油所・化学工場・製鉄所などには総長数百kmにも及ぶ膨大な配管があるが、これらの配管は定期的に検査する必要がある。特に経年的な外面腐食による劣化が進行するため、目視により外面腐食を診断する方法がとられている。しかしながら、配管には外面を保温材（断熱材と外装板金）で被覆されているものがあり、配管を検査するためには保温材を剥がさなければならず時間とコストがかかっている。

現在、外面腐食の要因となる保温下の水分を中性子水分計で測定する技術があり、この技術を用い腐食が進行している箇所をスクリーニングできる可能性が考えられる。更に、超小型のX線センサーを配管に設置し保温下の配管を投影する技術と組み合わせることで、配管の保温下外面腐食を定量的に診断することが可能になる。

参考資料7に「配管の保温下外面腐食診断技術の開発」の詳細を示す。

#### 2) 埋設配管の腐食診断技術の開発

製油所・化学工場・製鉄所などの配管の中には地中埋設されている配管もあり、これらの配管を検査するためには配管を掘削しなければならず、多大なコストを要している。これらの配管を検査する技術としてガイド波を利用した配管の腐食診断技術が期待されており、この技術を利用できれば掘削せずに埋設された配管の検査が可能になる。

参考資料8に「埋設管の腐食診断技術の開発」の詳細を示す。

これらの技術開発により保温下の配管や埋設配管の検査技術の効率化を図ることでプラント設備の寿命診断の信頼性の向上が見込まれる。また、これらの診断技術が確立できれば、海外への技術展開も考えられ、国際競争力の向上にも寄与すると考えられる。

## (2) 棧橋などプラント付帯設備の課題と提言

基幹産業インフラにおける棧橋や岸壁は、生産のための原料や製品を受入・出荷するための設備であり、利用頻度が高く生産のための重要施設となっている。しかしながら、これらのコンクリート構造物は、社会インフラと同様に、検査・補修・寿命評価技術を基にしたアセットマネジメントが確立されていないため、自主的な基準で管理されてきた。

棧橋などでは、一部が海面下に沈んでいるため、干潮時の限られた時間の中で船から検査を行わなければならないなど制約がある。また、設備の供用中は点検できないため、検査は設備の供用が停止している短時間で済まなければならない。効率的な検査技術が求められる。現在の検査は、目視や打音検査などでコンクリートの劣化を診断しているが、この作業には足場の架設が必要であり、広範囲の検査には時間を要している。このように棧橋や岸壁の検査には、短時間に検査できる高精度な検査技術の開発が望まれる。

これらの検査技術としては、以下のような技術が開発されつつある。これらの技術の中でも「高エネルギーX線技術」は、コンクリート中の鉄筋の劣化度を診断する技術として有効であると考えられる。「高エネルギーX線技術」は、強力なX線やパルス中性子線を使用するため、現在は橋梁などの公共設備に対してのみ適用が認められているが、基幹産業インフラ設備には適用できない。これらの技術を基幹産業インフラの棧橋などにも適用できるよう規制緩和することで棧橋の検査技術の効率化に寄与すると考えられる。「コンクリート構造物の診断技術開発への期待と産業インフラへの転活用」と題してコンクリート構造物の検査技術開発の可能性を参考資料9に示す。

表-6.1 検査技術と適用目的

検査技術	適用目的
高エネルギーX線技術	鉄筋劣化度診断
赤外線サーモグラフィ法、アクティブ赤外線法	剥離部の検出手段
画像分析 PIV (Particle Image Velocimetry)	コンクリートの劣化、損傷を点検する技術
RFID 腐食検知システム	断面補修箇所のモニタリング

コンクリート構造物の補修に関しても、検査と同様に以下の制約がある。

- ・施設の供用を停止する期間が限られ、定期検査の1～1.5ヶ月で集中的に補修工事を行う必要がある。
- ・劣化が進行し大規模な補修が必要になると長期的な供用の停止が必要になるため、小規模な補修で継続的に使用できる補修が望まれる。

その他の補修技術としては、従来から適用されている腐食を防止するための「電気防食技術」に加え、「高耐久埋設型砕技術」、「高耐久材料技術」、「高耐久高靱性吹付け補修モルタル」などの補修技術があり、長寿命化を目指した技術の開発が進んでいる。しかしながら、一般の補修方法に比べて施工コストが高いため、普及していない現状にある。これらの技術を普及させるためには、ユーザーと施工者が一体となり技術の有効性を検証するための実証試験を行うなどし

て技術の信頼性や耐久性を評価し、実用の可能性とライフサイクルコストの優位性を検証する必要がある。

参考資料10に「栈橋を実証フィールドとした長寿命化技術の実証実験と補修技術の開発」として長寿命化技術の例を示す。

これら栈橋などの基幹産業インフラにおけるコンクリート建造物の検査や寿命評価技術については、社会インフラで開発される技術を展開することができると考えられる。このため、社会インフラで技術開発された技術を基幹産業インフラに適用するために必要な基幹産業インフラ特有のニーズについて以下に記述する。

#### 1) 検査器具の防爆仕様化

栈橋などの基幹産業インフラの設備は、社会インフラと異なり危険物を取り扱うため検査器具などを防爆仕様とする必要がある。

#### 2) 供用中の効率的な検査・補修

基幹産業インフラの設備は供用を停止できる期間に限られるため、短時間で効率的に検査や補修が行える技術開発が望まれる。

#### 3) アセットマネジメント

設備の老朽化が著しく進行してしまうと多大な補修コストを要するため、劣化度を評価し小規模な補修を繰り返すことで継続的に設備を使用できるような寿命評価技術の開発が望まれる。

### (3) プラント設備へのロボット技術の適用の可能性

ロボット技術の検討に関しては、COCONプロジェクト「災害対応ロボットセンター設立構想」と連携してきた。このプロジェクトでは有事のための災害対応型ロボットの開発を目的としているため、基幹産業インフラ用ロボットとして災害対応型ロボットを平時にも活用する観点から、基幹産業インフラ設備の検査や補修技術への適用の可能性を検討した。基幹産業インフラにおけるロボット技術の適用の可能性としては、「検査用ロボット」や「作業用ロボット」などが考えられる。

「検査用ロボット」には、プラント設備の検査の際に「高所へのアクセス能力」、「閉所での活動能力」、「検査器具の搭載・運搬能力」が必要と考えられた。また、「作業用ロボット」には、人による作業が適さない過酷な環境で活動できる能力や人の五感を代替する能力などが必要と考えられた。基幹産業インフラ用ロボットへの具体的なニーズの一例を以下に示す。

#### 【 ロボット技術へのニーズの一例 】

- ・ 高所の配管を検査するための移動ロボット
- ・ 埋設管や海底管などを点検し、定量的な評価を行うためのロボット
- ・ ガス雰囲気中のタンク内で検査や清掃作業を行うためのロボット
- ・ 設備を見回り、ガス漏れなどを検知できるロボット

これらのロボット技術は、最新センサー技術と組み合わせることにより検査技術の発展に寄与



すると考えられ、基幹産業インフラの長寿命化にも効果的なツールになる可能性がある。実用的なロボット技術の実現には課題が多いが、COCNプロジェクト「災害対応ロボットセンター設立構想」の中で検討を行った。

## 7. ビジネス環境整備に関する提言

### 1. インフラ維持管理への民間活力の導入推進

国・地方自治体・道路会社・民間鉄道等の「管理者」には「民間」の持てる力を維持管理事業に組み入れ、その技術開発力を利用して経済合理性を追求することが望ましい。

### 2. 民間参加により創出される「価値」の評価

民間活力の導入推進のためには、長期間のビジネスチャンスが見込めるとともに、民間の参画により創出される「価値」を適切に評価するような仕組みの整備が必要である。

## 7. 1 現状と課題

### (1) インフラ維持管理事業の現状と課題

我が国のインフラは高度経済成長期などに集中的に整備され、今後急速に老朽化することが危惧されている。インフラは国民生活の基盤であり、経済活動、更には生活の安全上も非常に重要であり、各種方面でインフラ管理者の責任が議論されてきた。しかし、維持管理の多様性、インフラの寿命の不明確さ、財政の逼迫などにより、維持管理事業は先延ばしされることが多く、実行されるとしても予防保全よりも事後保全としての対応に終始している。更にインフラ新設事業などに比べると重要視されず、インフラ管理者あるいは民間企業にとって、魅力的な事業とは考えられず、事業実態も不明確なまま推移してきている。

しかし、ここに来て、筐子トンネルの天井板崩落事故など維持管理の不備による事故が起こるに及び、その重要性が再確認され、「メンテナンス元年」というスローガンのもと国を中心に技術開発や民間活力の導入など様々な政策が計画されつつある。この動きには大いに期待するものであるが、インフラ維持管理事業の発展のためには各方面の組織・人材の参入が必要であり、インフラ維持管理市場を今まで以上に魅力のある市場としなければならない。次にいくつかの課題を列挙する。

- ・ P D C A が回る維持管理システムの構築
- ・ インフラの基本的諸元、点検結果、修繕実績などのデータ整備
- ・ インフラ維持管理分野における人材育成、技術開発促進
- ・ インフラ維持管理事業の魅力向上
- ・ インフラ維持管理事業の評価方法（ライフサイクルコストの概念）の普及の確立

### (2) アセットマネジメントの現状と課題

アセットマネジメントは長期的な視点に立って、インフラの全体最適化に向け、保有するすべての社会資本について、民間の力を活用しつつ行うことが重要である。その量、高齢化の程度、利用状況の把握、更新コストのシミュレーション（見える化）と同時に、人口減少・高齢社会における今後のニーズを把握し、更新優先順位付けなど将来のインフラのあり方を追求しつつ、最適な計画を策定する。そして、計画的・効果的な維持管理・更新、処分・利活用、集約・統合・複合化、長寿命化、民営化等、社会資本に対する時代的要請、地域のニーズを踏まえた社会資本

ストックの価値の最大化（コスト最小かつ効果最大）を図る必要がある。

ここで扱うアセットマネジメントには、表-7.1 に示す3つのレベルを考える。それぞれのレベルにはいくつかの手法がある。

表-7.1 アセットマネジメントの3つのレベル

レベル	マネジメント手法
日常的マネジメント	日々の清掃・保全・修繕等（指定管理者制度、包括的民間委託等）
管理的マネジメント	長期的視点からの予防保全によるトータルコストの縮減（長寿命化計画等）
経営的マネジメント	社会資本の「選択と集中」戦略及び資金・人材・技術を組み合わせる経営戦略（民営化、コンセッション、PFI/PPP）

これまで我が国のインフラでは日常的マネジメントが実施され、一部の先進的な取り組みとして管理的マネジメントが試みられてきた。しかしながら、経営的マネジメントは次に示すインフラの特色と課題があることから、確立・普及には至っていない。

**1) インフラに関わる資産価値の評価が確立できていない。**

費用便益分析は一定の評価が確立されているが、すべての効用を貨幣価値に換算することは実務上困難で、その定量評価法として物理的評価（健全度等）に頼らざるを得ない。

**2) インフラにおいてキャッシュフローを創出することが困難な場合が多い。**

上下水道・有料道路等の事業収入を期待できるインフラもあるが、大部分のインフラでは現在も事業収入がなく、将来にわたっても期待できない。

**3) インフラのガバナンスについては、ほとんど考慮されていない。**

経営的判断としては事業収入改善・転換利活用・更新・撤去等があるが、インフラは最終受益者が国民である公的な資産であり、一事業者の判断だけでマネジメントすることは難しい。また、このような考え方も定着していない。

## 7. 2 課題解決に向けた検討

### (1) 「管理者」への要請

維持管理は大変重要な事業であるが、地味でありながら長期的視点が必要という特徴がある。国・地方自治体・道路会社・民間鉄道等の「管理者」は、このことを念頭に継続的な事業の執行とインフラ維持管理事業の魅力向上を図っていく必要がある。

中間報告で提言した以下の施策については、昨年11月に「インフラ老朽化対策の推進に関する省庁連絡会議」より公表された「インフラ長寿命化基本計画」において方向性が示された。

#### 1) 長寿命化計画策定の義務化による維持管理の促進

長寿命化計画を策定することを義務付けることにより、予算の確保、点検等の確実な実施、

長期間の市場規模の明示を担保する必要がある。これにより、インフラ維持管理の普及発展の契機となり、事業化が促進される。

## 2) 経営的マネジメントに資する維持管理市場のデータの整備

我が国では公物管理法等により「管理者」は管理瑕疵について無過失責任を負うことを基本としており、維持管理業務の適切性を立証するような情報、データを客観的情報として体系的に蓄積するインセンティブが働いていない。そのため、インフラ維持管理についてはその基礎となるべきすべてのデータが不足している。

- ・インフラの諸元（構造形式、経年、適用された設計基準等）
- ・点検結果
- ・点検実績（頻度、点検項目、実施方法、費用等）
- ・維持・補修実績（頻度、項目、方法、費用等）

そのため、維持管理の実態を正確に把握することができず、維持管理事業の国民的理解の醸成、事業の発展だけでなく、技術開発の促進も妨げている。

管理者が所有しているデータはその活用目的に応じて共有すべきであり、そのためのデータベースと、それを運用するためのプラットフォームの構築を3章でも提言した。ここでは更に経営的マネジメントに資するデータの整備推進についても提言する。

## 3) インフラ維持管理を熟知した技術者の育成配置

インフラの点検・モニタリングの結果を評価し、補修設計・施工を計画するためには、広範囲の専門知識を持った技術系職員が必要であるが、小規模自治体では人材不足が顕著になっている。このため、小規模自治体と広域自治体（都道府県等）や国との連携、民間導入による人材の受け入れなどを検討していく必要がある。

## 4) 実情に合った積算・設計変更、更には多様な入札制度の検討

維持管理工事はその多様性、規模の小ささにより、単価設定はもちろん、初期段階で施工計画・価格決定を行うことが非常に困難である。そこで実情に合った単価設定・簡便な設計変更協議を検討するとともに、将来的には「入札時に設計が確定していない」、「施工業者の技術力を設計段階で取り入れたい」、「工事を早期に着工したい」など個々のプロジェクトの状況や様々な要求を満たす発注方式が求められている。複数年度契約、ネゴシエーション方式、CM方式、PFI、コンセッションなどについて、今後更に検討していく必要がある。

以下には、さらなる提言を記述する。

## 5) インフラ維持管理の重要性の発信とこれを推進するリーダーシップの発揮

インフラ維持管理については、国を中心に重要性が再認識されてきたが、一般国民の関心は依然低く、民間投資のためのビジネス環境も未だ十分に整備されていない。インフラ維持管理の重要性を謳い、全てのインフラに定期点検を義務づけるなど、その継続的な発展を担保するインフラ長寿命化を推進するための法整備の検討が必要である。アセットマネジメントの国際規格（ISO 55000 シリーズ）では、管理者トップのイニシアティブによる組織的・継続的改善を要求している。これを機にインフラ管理者のさらなるリーダーシップの発揮が必要である。

## 6) 業種横断的な協働体制構築への支援

データベースとプラットフォームの構築については国交省が方向性を示している。現在の議論は技術的な情報データを中心に扱っているようだが、これらを活用し民間が事業として経営的マネジメントに参加する基盤を作る体制づくりの議論と業種横断的な協働体制構築への支援が必要である。

## 7) アセットマネジメント導入の経済的な優遇制度・支援制度の整備

モニタリングを活用したインフラのアセットマネジメントを各インフラ管理者が導入するためには、そのためのコストが必要となる。国民に対して安全・安心なインフラを提供するためにも、モニタリングを活用したアセットマネジメントを導入しようとするインフラ管理者に対する国からの経済的な支援制度が必要である。

また、インフラの適切な維持管理を推進していくために、モニタリングを活用したアセットマネジメントに基づく「予防保全」等の工事についても、経済的な支援制度を整備しておく必要がある。

## 8) インフラの健全性を診断する技術者の資格制度の整備

点検・モニタリングに基づいて、インフラ健全性を定量的に評価・予測するためには、そのための手法・ノウハウを有する技術者が不可欠である。インフラの適正な維持管理の実現に向けて、その育成や活用を推進するためには、教育システム・資格制度・有資格者に対するインセンティブの整備を国や学協会が主導して行う必要がある。

## 9) 民間活力の導入推進

「管理者」との議論の中では民間活力導入に懐疑的な意見もある。しかし、中長期的には人材の不足・財源の不足への対応、更にはインフラ事業の海外進出のために民間活力は是非とも必要なものである。段階的な民間活力の導入を推進してほしい。

## (2) 「民間」が取組むことができるビジネス内容と形態

インフラ維持管理への「民間」の参入は必要であり、「民間」にとってもビジネスになりうる分野である。「民間」がこの分野で貢献できる役割をビジネスモデルとして整理し、その課題と対応について記述する。

### 1) モニタリング技術の提供

このモデルは民間がモニタリング技術をサービスとして提供するビジネスである。センサー技術や伝送技術が格段に進歩し、インフラの量からみて大きな市場が見込める。インフラ維持管理分野でのモニタリング技術活用は、我が国の得意分野を活かす貴重な機会である。

#### 【課題】

- ・ ニーズとシーズのマッチングが不足しており、ビジネスが機能していない。特にニーズ側からの発信が少ない。
- ・ 技術を評価するのに時間がかかる（技術開発リスクが大きい）。

#### 【対応】

- ・ センサー技術者と建設技術者の連携を図る。

- ・当初は技術開発リスクを低減させるために試行現場の提供などの「管理者」の支援を求める。

## 2) 集積されたデータの分析

ビックデータ活用という大きなビジネスになり、これが単独でビジネスとして成立する可能性がある。現在までのビックデータ活用の他分野の動きから見て、収集されたデータの公開の方法がビジネス成立の重要なポイントとなる。

### 【課題】

- ・データがほとんど整備されておらず、ビジネスとしては見えていない。

### 【対応】

- ・ICT（情報通信技術）の活用によるデータの収集を支援する。

## 3) 既設インフラの維持管理

現状では「個別案件請負」で行われており、このビジネスモデルが主流である。主に地元企業がこれを担当しており、災害対応・除雪・インフラ維持管理など地域を維持する事業として、これを担当できる企業を育成する効果を期待されている。ただし、ほとんどのリスクは「管理者」が担うため、リスクに伴う費用は顕在化せず、リスクを評価するインセンティブも働かない。予防保全よりも事後保全になりがちである。

「民間」にとってはリスクが少ないが、大きな事業としては育たなかった。バンドリングやエンジニアリング化などの検討も進んでおり、事業形態が「大ロット請負」や「マネジメント委託」に変化する可能性がある。

### 【課題】

- ・調査点検・修繕設計を計画・評価するには広範囲の専門知識を持った技術職員が必要である。
- ・多工種・小数量・周辺環境の複雑さにより作業単価は高くなる。
- ・対象物が広範囲に点在することが多くスケールメリットが生かしにくい。
- ・現場に合わせた設計・施工が必要になり頻繁に設計変更が必要になる。
- ・周辺環境の複雑さ（関係企業者との協議・許可、近隣の要望等）により工事中止が頻発する。
- ・設計変更の手続きが煩雑である。

### 【対応】

国交省は「適正な単価・歩掛への見直し」、「設計変更簡素化のためのワンデイレスポンス」、「複数年契約、複数業務の一括発注などいわゆるバンドリング」、「オープンブック方式やコストフィー方式などの入札制度の改革」などの方向性を打ち出しており、民間が参画しやすい環境整備が進みつつある。そこで「民間」としてはこれに積極的に協力していく。また、技術職員不足の問題については、「民間」に期待されているところは大きく、今後はマネジメント委託も増加してくることが予想される。インフラ維持管理の上流・下流部分を経験し、「4) 建設・維持管理・運営」に進む上で貴重な案件となる。諸条件がそろえば積極的に対応していく。

#### 4) 建設・維持管理・運営

「民間」にとっては「インフラの上流から下流まで担当することにより、リスクを取り、技術開発など創意工夫によって、付加価値をあげる」ことを目指す事業である。「民間」には、技術開発や運営方法などの創意工夫、ライフサイクルコストの低減やNPV（Net Present Value：正味現在価値）の最大化などを図り、それを説明していくが必要になる。

「民間」にとってリスクに見合った対価が見通せるのであれば、長期安定的な新ビジネスとなる可能性があり、更には海外市進出の重要な武器になる。

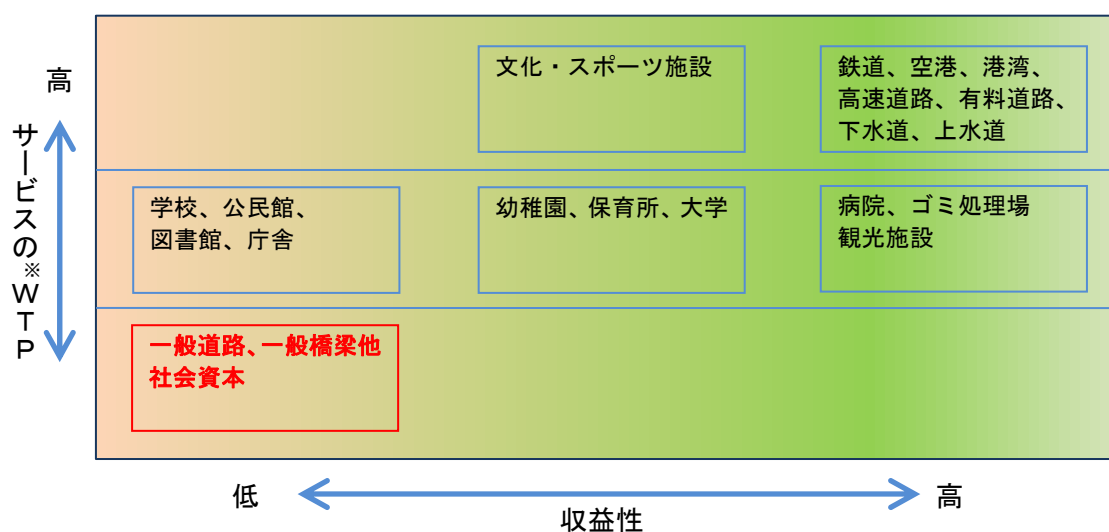
##### 【課題】

- ・アセットマネジメントおよびライフサイクルコストなどの考え方が整理されていない。
- ・インフラに関わる資産価値の評価が確立できていない。
- ・キャッシュフローを創出することが困難な場合が多い。
- ・「管理者」の責任に帰するものが多く、「民間」が自由に決定することができない。

##### 【対応】

試行として特定の先端自治体を選定し、学校・庁舎等の公共建築物（ハコモノ）を対象とした公共施設マネジメントから出発し、道路・橋梁・上下水道など、公益企業のインフラのマネジメントに発展させ、更に、一般道路・一般橋梁に展開していく。アセットマネジメントのレベルも、まずは日常的マネジメント・管理的マネジメントから試行し、経営的マネジメントに展開を目指す。

経営的マネジメントに至る以前の段階で、公会計改革の進展により公共資産の効率的なマネジメントが求められる状況下、民間建築の専門的知見を背景としたアセットマネジメント、プロパティ・マネジメント、仲介、デューデリジェンス（公的資産の適正評価）等のフィービジネスが活用される可能性も出てくる。この中にも「民間」は新たなフィービジネスを見出し、海外展開も視野に入れながら積極果敢に取り組んでいく。



※WTP(Willing To Pay)：サービス購入に支払う意欲

図-7.1 インフラアセットマネジメントの姿

### 7.3 ビジネス環境整備に関する提言

#### (1) 民間活力の導入推進

現在のシステムはインフラ管理者が責任を持って維持管理を行うことを基本としている。国・地方自治体・道路会社・民間鉄道等の「管理者」には「民間」の持てる力を維持管理事業に組み入れ、その技術開発力・経済合理性の追求を利用して欲しい。インフラのアセットマネジメントにおいて「民間」は経営的マネジメントを展開する潜在的な能力を持っている。

#### (2) 民間参加による「価値」の適正評価

民間活力の導入推進のためには、長期間のビジネスチャンスが見込めるとともに、民間の参画により創出される「価値」を適切に評価するような仕組みの整備が必要である。具体的には、計画策定義務化、データ整備、専門家育成、積算・入札制度などが整備され、民間にとってのインセンティブが明確になることが求められる。



## 8. 産学官の連携・産業界の業種横断的な協働体制に関する提言

4章においてニーズとシーズの隔たりを解消し、適正かつ早期にモニタリングシステムを適用するため、ニーズとシーズの相互における課題解決とソリューション開発を扱う協働体制の重要性を指摘した。そこで、モニタリング技術のニーズと要素技術を提供するシーズを連結させることを狙いとして、産学官連携・産業界の業種横断的な協働体制(例えば「フォーラム」、「協議会」などの呼称の組織)の構築を提案する。

この産学官連携・業種横断的な協働体制では、モニタリング技術基盤を構築する活動を中心に、国・地方自治体などの幹線道路等重要インフラの維持管理にモニタリング技術の展開を図る。また、情報通信・クラウド技術・ビッグデータ解析等のICTの積極的な取込みと普及を行う。

更に、この技術基盤を各構造物における予防保全、健全度判定に利用し、社会インフラの計画・管理・運用においてアセットマネジメントに活用することを定着させる活動を展開する。各分野の関係者の協働体制を構築する上で、政府が果たす役割は大きく、特にインフラ管理者や地方自治体との連携について働きかけをお願いしたい。業種横断的な協働体制には、例えば以下の取組みが考えられる。

### [協働体制の取組み]

- ・ ニーズとシーズとをマッチングさせる協働体制でモニタリング技術基盤を構築
- ・ 社会インフラ分野でアセットマネジメントを定着させる活動を展開
- ・ 地方自治体の点検・維持管理の技術者不足に関する対策に対する支援・展開
- ・ 点検要領の見直しによる技術基準や標準類の検討(目視前提の点検要領から、自動検査技術レベルに)
- ・ モニタリング技術に関する知的財産の国際標準化活動を推進
- ・ インフラ輸出によるグローバル展開を目指したモニタリング技術の育成

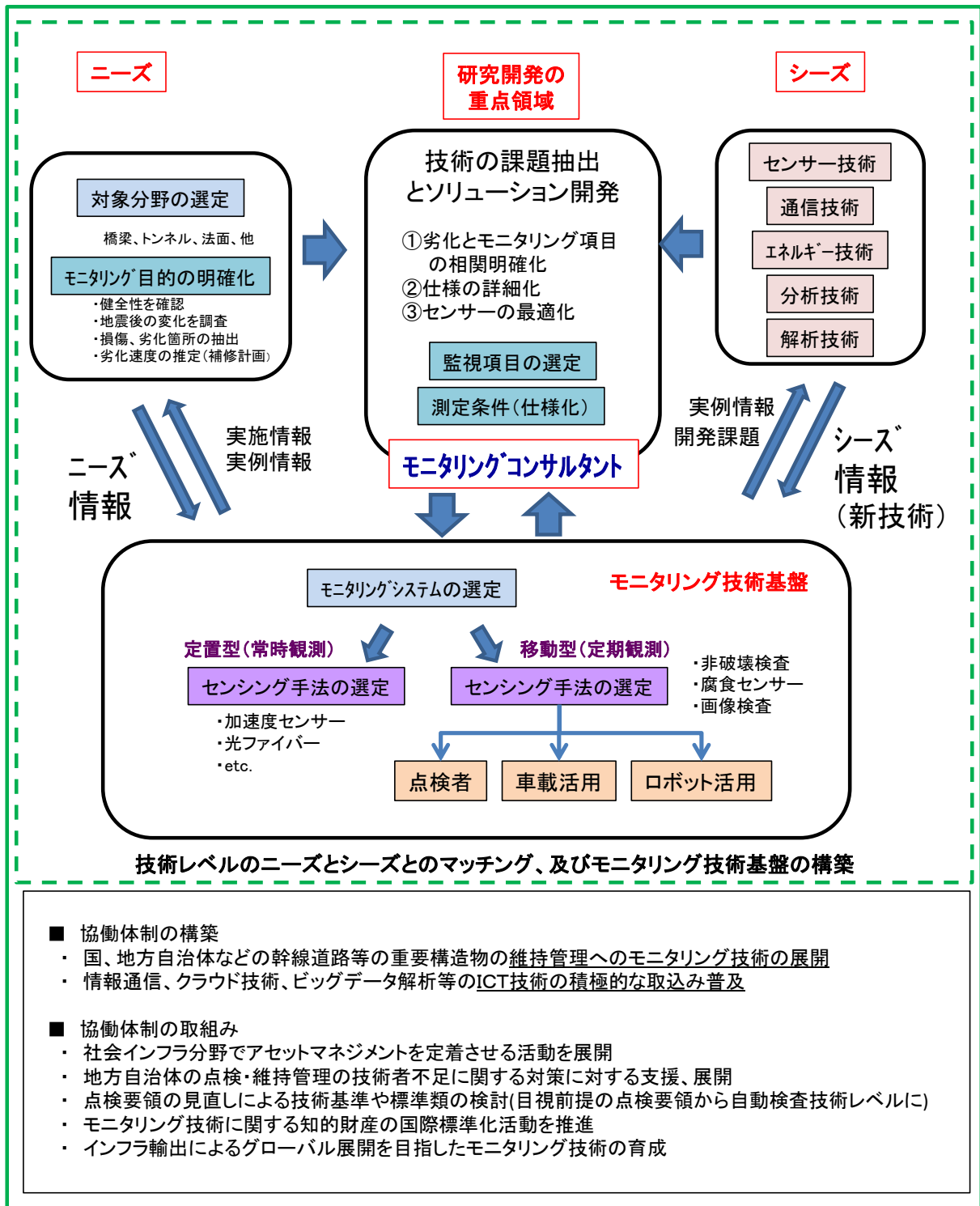


図-8.1 産学官の連携、産業界の業種横断的な協働体制

## 9. 産業競争力強化の視点と今後の課題

アセットマネジメントの導入により中長期的な予算・事業計画を示すとともに、積算体系・発注方式を見直して適正なコストを設定するなど、長期間にわたって安定した市場を形成することによって、民間企業による研究開発の推進・新技術導入による効率化・低コスト化が期待される。また、インフラ長寿命化技術を新設インフラの設計・施工・維持管理へ展開することで、新設インフラの付加価値を高めることができ、新設技術と維持管理技術をパッケージとして海外市場へ展開するなど、産業競争力の強化と国民経済への貢献が期待される。

アセットマネジメントによる維持管理・補修補強を推進する上での課題として、インフラを設計する時点で想定寿命、供用状態での許容限界状態を明確にすることが挙げられる。これらは設計指針等で基本的な概念が示されているものの、定量的には示されていない。想定寿命や限界状態が定義されていない状態では、インフラの状態をどのレベルでいつまで保持するべきかが明確とならず、補修レベルや補修そのものの有効性が期待される期間も定まらず、ライフサイクルコスト等の指標に基づいたアセットマネジメントが極めて曖昧なものになる。インフラの適正な維持管理を実現するためには、アセットマネジメントで考慮すべき想定寿命などの時間の概念と限界状態の定義が不可欠であり、インフラの想定寿命と限界状態の定義に基づいた維持管理の考え方などの議論や研究を継続することが必要である。このためには、ニーズとシーズが語り合い、知見を広く共有する場としての協働体制（例えば「フォーラム」などの組織）を産学官の連携と産業界の業種横断により構築し、一つの取り組みを横に広げていく活動を行っていくことが望まれる。

「インフラ長寿命化技術」参加メンバー

(メンバーは所属 50 音順)

	所 属	氏 名
リーダー、アドバイザー		
リーダー	東京大学大学院	藤野 陽三
アドバイザー	東京大学大学院	保立 和夫
アドバイザー	東京大学大学院	浅間 一
サブリーダー	鹿島建設(株)	高田 悦久
サブリーダー	(株)富士通研究所	若菜 伸一
COCN実行委員	鹿島建設(株)	浦嶋 将年
COCN企画小委員	(株)三菱ケミカルホールディングス	田中 克二
企画調整チーム		
主査	鹿島建設(株)	坂田 昇
メンバー	鹿島建設(株)	吉川 正
メンバー	鹿島建設(株)	北川 久雄
メンバー	JX日鉱日石エネルギー(株)	岩瀬 淳一
メンバー	清水建設(株)	若原 敏裕
メンバー	新日鐵住金(株)	徳田 英司
メンバー	東レ(株)	北野 彰彦
メンバー	日本電気(株)	津田 健一郎
メンバー	(株)富士通研究所	富田 順二
メンバー	三菱化学(株)	唐津 正典
ビジネス環境整備 SWG		
主査	鹿島建設(株)	北川 久雄
メンバー	(株)アバンアソシエイツ	角 洋一
メンバー	(株)アバンアソシエイツ	伊藤 杏里
メンバー	カジマ・リノベイト(株)	松本 隆
メンバー	清水建設(株)	佐藤 吉宏
メンバー	清水建設(株)	若原 敏裕
メンバー	新日鐵住金(株)	徳田 英司
メンバー	住友電気工業(株)	茂木 昌春
メンバー	(株)日本政策投資銀行	福留 浩二
メンバー	(株)日本政策投資銀行	松本 一樹

メンバー	リテックエンジニアリング(株)	日紫喜 剛啓
モニタリング技術 WG		
主査	日本電気(株)	津田 健一郎
主査	(株)富士通研究所	富田 順二
メンバー	沖電気工業(株)	中澤 哲夫
メンバー	鹿島建設(株)	北村 義宜
メンバー	鹿島建設(株)	白浜 寛
メンバー	鹿島建設(株)	船迫 俊雄
メンバー	鹿島建設(株)	三浦 悟
メンバー	コマツ	田丸 正毅
メンバー	コマツ	布谷 貞夫
メンバー	(独)産業技術総合研究所	栗津 浩一
メンバー	(独)産業技術総合研究所	加藤 晋
メンバー	(独)産業技術総合研究所	永見 武司
メンバー	JSR (株)	吉岡 睦彦
メンバー	JSR (株)	三浦 一裕
メンバー	清水建設(株)	鈴木 正憲
メンバー	(独)情報通信研究機構	落合 啓
メンバー	(独)情報通信研究機構	田 光江
メンバー	(独)情報通信研究機構	布施 哲治
メンバー	(独)情報通信研究機構	安井 元昭
メンバー	住友電気工業(株)	為国 芳享
メンバー	大日本印刷(株)	鈴木 浩助
メンバー	日本電気(株)	高田 巡
メンバー	日本電気(株)	野村 俊之
メンバー	(株)日立製作所	河野 真作
メンバー	(株)日立パワーソリューションズ	小針 利明
メンバー	(株)日立パワーソリューションズ	服部 行也
メンバー	富士通(株)	阿部 葉子
メンバー	富士通(株)	大西 範裕
メンバー	(株)富士通研究所	安部 貴之
メンバー	富士電機(株)	坂上 智
メンバー	富士電機(株)	篠田 正紀
メンバー	富士電機(株)	藤吉 省吾
メンバー	(独)物質・材料研究機構	片山 英樹

メンバー	(独)物質・材料研究機構	篠原 正
メンバー	三菱電機(株)	平位 隆史
構造物展開 WG		
主査	鹿島建設(株)	吉川 正
主査	清水建設(株)	若原 敏裕
メンバー	(株) IHI	弥富 政享
メンバー	鹿島建設(株)	砂坂 善雄
メンバー	鹿島建設(株)	曾我部 直樹
メンバー	鹿島建設(株)	古市 耕輔
メンバー	鹿島建設(株)	横関 康祐
メンバー	(株)高速道路総合技術研究所	青木 圭一
メンバー	清水建設(株)	岩城 英朗
メンバー	清水建設(株)	丹 博美
メンバー	首都高速道路(株)	平林 泰明
メンバー	住友電気工業(株)	志方 良彰
メンバー	住友電気工業(株)	樽 稔樹
メンバー	大日本印刷(株)	太田 友里恵
メンバー	大日本印刷(株)	鈴木 浩助
メンバー	(公財)鉄道総合技術研究所	杉本 一朗
メンバー	東海旅客鉄道(株)	五百旗頭 弘憲
メンバー	(独)土木研究所	木村 嘉富
メンバー	東日本旅客鉄道(株)	下山 貴史
メンバー	(株)日立製作所	村上 智一
メンバー	(株)日立パワーソリューションズ	小針 利明
メンバー	(株)日立パワーソリューションズ	服部 行也
長寿命化施工 WG		
主査	新日鐵住金(株)	徳田 英司
主査	東レ(株)	北野 彰彦
メンバー	鹿島建設(株)	長谷川 裕介
メンバー	新日鐵住金(株)	日比 政昭
メンバー	大日本印刷(株)	太田 友里恵
メンバー	東レ(株)	松井 孝洋
メンバー	(独)物質・材料研究機構	大村 孝仁
メンバー	(独)物質・材料研究機構	土谷 浩一

メンバー	三菱樹脂(株)	松野 晃
メンバー	三菱樹脂インフラテック(株)	久部 修弘
メンバー	三菱レイヨン(株)	塚原 徹
産業インフラ WG		
主査	JX日鉱日石エネルギー(株)	岩瀬 淳一
主査	三菱化学(株)	唐津 正典
メンバー	鹿島建設(株)	宮崎 康信
メンバー	鹿島建設(株)	山田 岳峰
メンバー	JX日鉱日石エネルギー(株)	宮越 一市
メンバー	新日鐵住金(株)	川元 克己
メンバー	住友電気工業(株)	佐々木 吾朗
メンバー	(株)日立製作所	佐久間 敏行
メンバー	三菱化学(株)	小林 英信
メンバー	三菱化学(株)	林 和弘
メンバー	三菱化学(株)	金子 忠史
メンバー	三菱化学(株)	永井 浩昭
事務局		
	鹿島建設(株)	横塚 雅実
	鹿島建設(株)	岩井 稔

# 【インフラ長寿命化技術】

## 最終報告書 参考資料

### 3. 点検・モニタリング技術の構造物への展開に関する提言

参考資料 1 国内外の点検・モニタリング事例一覧

参考資料 2 国内外の点検・モニタリング事例資料

参考資料 3 モニタリングの取り組みと課題及びニーズ

参考資料 4-1 高密度・多種類モニタリング計測(案)

参考資料 4-2 計測項目一覧

参考資料 5 LCC・寿命に関するアンケート結果

### 4. 点検・モニタリング技術に関する提言

参考資料 6 点検・モニタリング技術に適用が期待される要素技術について

### 6. 産業インフラに関する提言

参考資料 7 産業インフラ配管の保温下外面腐食診断技術の開発

参考資料 8 産業インフラ防油堤貫通配管等の埋設管腐食診断技術開発

参考資料 9 コンクリート構造物（橋梁）診断技術開発への期待と産業インフラへの転活用

参考資料 10 の栈橋を実証フィールドとした長寿命化技術の実証実験と補修技術の開発



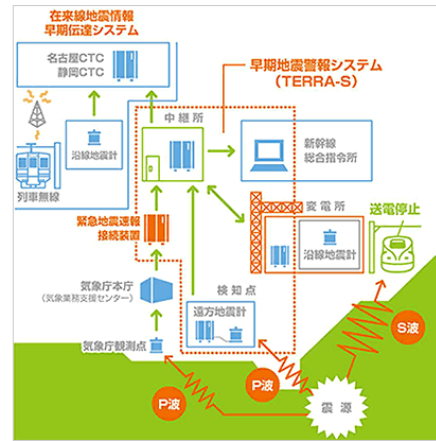


参考資料 2 国内外の点検・モニタリング事例 資料

『東海道新幹線早期地震警報システム（テラス）』

実施者：JR 東海

東海道新幹線をとり巻くように 21 箇所に配置した検知点により、地震動の初動（P 波）を自動解析し、新幹線への影響度合いを判断して、必要な場合は警報を発信します。この警報を受けて、変電所から列車への送電を自動的に停止し、主要動（S 波）が沿線に到着するまでに列車の速度を低下させる。

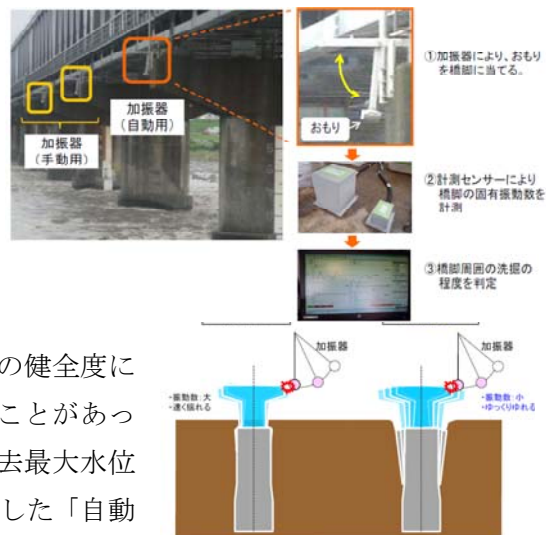


参考文献： <http://company.jr-central.co.jp/company/achievement/report/condition5.html>

『河川橋梁への遠隔衝撃振動試験』

実施者：JR 東海

河川にかかる橋梁では、増水時に橋脚の周りの地盤が掘られる洗掘という現象が起り、橋脚の強度が低下する恐れがあることから、東海道新幹線の一部の橋梁では洗掘の深さを推定するための指標である水位を基準とした運転規制値を設けている。しかし、水位により一律に規制することから、天候が回復して実際に橋脚の健全度の問題がなくても、運転規制を解除できないことがあった。これに対し、天候が回復し、水位が過去最大水位未満かつ下降傾向である場合、新しく開発した「自動衝撃振動装置」により、橋脚の固有振動数を連続して計測・把握し、かつ、現地係員が橋梁の全体的な状況を監視し安全を確認したうえで 30 km/h で運転を再開する運用を開始した。

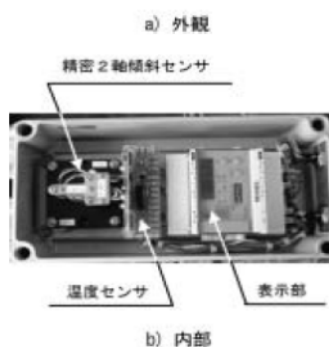


参考文献： [http://jr-central.co.jp/news/release/\\_pdf/000019446.pdf](http://jr-central.co.jp/news/release/_pdf/000019446.pdf)

### 『洗掘検知装置』

実施者：JR 東日本

河川を横断する橋梁では、増水時に発生する洗掘のために橋脚が傾斜するなどの災害が発生して列車の安全運行が脅かされることがある。このような災害に対して、JR 東日本ではハード対策として洗掘の発生を防ぐ根固工を施工したり、ソフト対策として河川水位から洗掘深さを推定し、水位が上昇した場合に列車の運転を規制するなどして、列車運行の安全性を確保してきた。傾斜型洗掘検知装置は、橋脚天端に設置した傾斜センサーで橋脚の傾斜角を常時測定し、その値がある一定値を超えると異常と判断する。

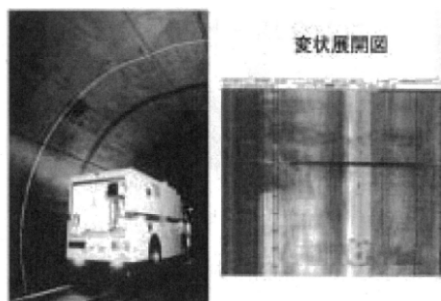
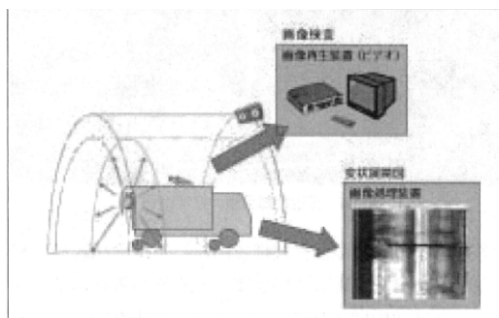


参考文献：[http://www.jreast.co.jp/development/tech/pdf\\_3/49-52.pdf](http://www.jreast.co.jp/development/tech/pdf_3/49-52.pdf)

### 『トンネル覆工表面撮影車 TuLIS』

実施者：JR 東日本

トンネル検査の第一段階はコンクリート履行表面を目視で検査し、顕著なクラックなどの変状と進行を確認し、履行変状展開図に記録する。これには時間と労力がかかる仕事であるので、この検査を自動化するために導入したのがトンネル履行表面写真車である。装置の構成は、撮影装置と画像処理装置、解析装置から構成されている。撮影装置は波長 500nm のレーザー光を使用した、レーザーキャニングによる電子写真方式で、履行表面の幅 1mm 以上のひび割れを観察できる。車両は主に在来線で使用する軌陸タイプと、主に新幹線で使用する被けん引のコンテナタイプの2台があり、時速 8.5km での走行が可能。計測した検査データはパソコンで処理することで履行変状展開図の作成が可能である。



参考文献：[http://www.jreast.co.jp/development/tech/pdf\\_2/11-17.pdf](http://www.jreast.co.jp/development/tech/pdf_2/11-17.pdf)

『トンネル覆工検査車 CLIC』

実施者 JR 東日本

トンネルの検査は、点検ハンマーによる打音検査が主体であるが、検査員の負担が多く、各人の判断力に依存しているのが実状である。そこで、打音作業に替わる検査手法として、移動しながら計測が可能で、コンクリート内部の状況を立体的に把握できるマルチパス方式レーダ技術を採用した検査車両を導入している。マルチパス方式レーダは、16個の送信アンテナと16個の受信アンテナの組み合わせにより得られる256通りのデータを処理することで、覆工内部の状態を立体的に解析することが可能なものである。

新幹線用は平成16年に導入しており、検査車両は保守用車タイプである。レーダを3基搭載し、最高3.5km/hで計測走行するものである。また、在来線用は平成24年に導入しており、軌陸車タイプでレーダを2基搭載、最高7.0km/hで計測走行ができるものである。

参考文献：日本鉄道施設協会誌 2004年12月 トンネル覆工検査車の導入

日本鉄道施設協会誌 2014年2月 在来線トンネル覆工検査車の開発と導入

『防災情報システム（プレダス）』

実施者：JR 東日本

列車の運転規制は、雨、風、地震等の観測情報にもとづいて行われる。したがって、鉄道には昔から気象・地象の観測業務が存在したが、当初はすべて人力で行われていた。JR 東日本では、1990年に雨量計、風速計、地震計、橋りょう水位計等の防災観測機器をオンライン化した『防災情報システム』を開発・導入した。

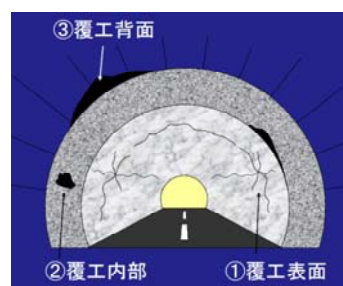
このシステムにより、各観測機器の観測データは、専用回線を介して列車運行を集中管理する指令室及び関係か所の端末にリアルタイムに伝送され、観測値があらかじめ定めた、しきい値を超えると、ブザーが鳴動するとともに運転規制を発令すべき線区が表示される。現在このシステムはJR 東日本の全線に導入されている。同様のシステムは、JR 東日本以外の多くの鉄道会社にも導入され、自然災害に対するモニタリングシステムとしてきわめて重要な役割を担っている。

参考文献：2010 予防時報 鉄道防災技術の進化と課題

『トンネルにおける維持管理の現状』

実施者：独立行政法人土木研究所

トンネルの定期点検では、右に示す三つの箇所が点検の対象範囲である。現状、近接目視による変状調査を行い、変状が確認された箇所においては、打音検査が実施される。これにより表面のひび割れや浮き、内部欠陥の抽出を行うことができるが、車線規制、通行止め、労力など多くの課題が残されている。そこで、履行表面調査においては、CCD カメラ（走行速度：60km/h、計測精度：ひび割れ幅 0.5 mm以上）、テレビカメラ（走行速度：17m/分、測定可能ひび割れ幅：1.0 mm以上）、ライセンスカメラ（走行速度：10 km/h、計測精度：ひび割れ幅 1.0 mm以上）などを用いて変状展開図の作成が行われている。また、レーザや赤外線を用いたひび割れや表面浮き・剥離の抽出も行っている。履行内部においては、非破壊検査による調査が主流でありレーダ、超音波、打音検査が行われている。履行背面調査は、ボーリングもしくは電磁波を用いた調査が主流である。



原理	性能	図・写真
車両にCCDビデオカメラ、照明器具等を搭載し、車両を走行させながら覆工表面を連続的に撮影、記録、画像化し変状展開図を作成する。	走行速度：60km/h程度 計測精度：ひび割れ幅 0.5mm以上 連続記録時間：3時間	
	走行速度：5～15km/h 計測精度：ひび割れ幅 2.0mm以上	

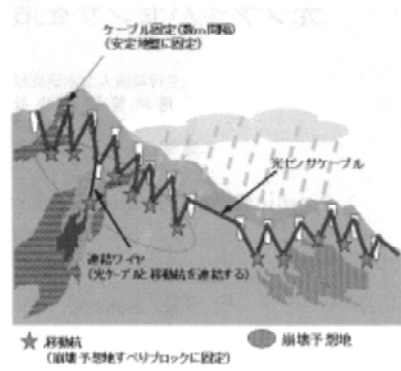
今後の期待する技術開発としては、現状技術のさらなる改良（検査速度の向上、検査深さ、深さ方向の精度等）、常時監視技術の開発（日常点検の合理化・効率化、防災の観点など）、点から線・面への調査技術の開発、メンテナンスコストも含めより安価な手法の開発、が求められている。

参考文献： [http://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf01/lecture\\_003.pdf](http://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf01/lecture_003.pdf)

### 『光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリング』

実施者：独立行政法人土木研究所、応用地質(株)、日本地研(株)、フジクラ通信ケーブル事業部

近年、光ファイバセンサは、広大な斜面のモニタリングシステムの構築の可能性を有することから道路斜面防災監視技術として注目されている。そこで、土木研究所を中心に平成 11 年度から研究が開始され、現場フィールド試験を実施した。本研究では、監視対象斜面を一括して広範囲に面的・線的な計測を行うためにブリルアン方式 (B-OTDR) による光ファイバセンサモニタリングシステムを導入している。今回の実証試験



は降雨時に発生する異常個所の抽出を目的にその妥当性の評価が行われた。光ファイバセンサの配置は格子型や V 字型に配置して斜面の変位を計測した。その結果、道路縦断方向に斜面を計測する方法では、データの温度補正が重要であり、これから得られる時系列データの変動から斜面のマクロ的な変状を知ることができる可能性があることがわかった。

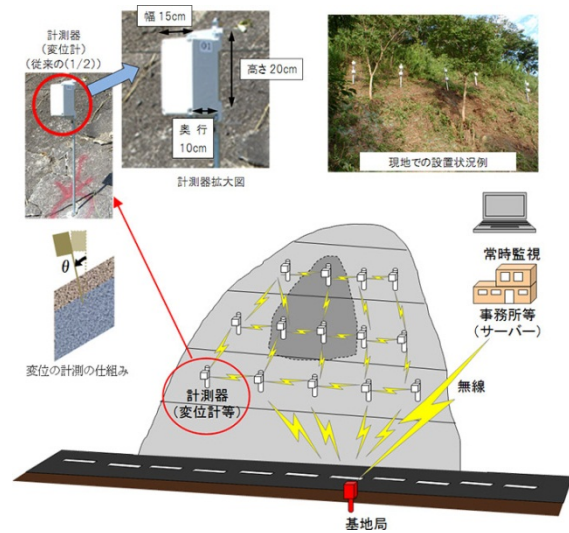
参考文献：小橋他、フジクラ技報、第 107 号、2004 年 10 月、pp.21-27

[http://www.fujikura.co.jp/00/gihou/gihou107/pdf107/107\\_05.pdf](http://www.fujikura.co.jp/00/gihou/gihou107/pdf107/107_05.pdf)

## 『無線センサネットワークに関する土砂検知システム』

実施者：西日本高速道路エンジニアリング(株), 西日本高速道路(株)

降雨時の法面を監視するために、無線センサネットワークを活用した法面遠隔監視技術が活用されている。センサは、無線機、傾斜センサ、土壌水分計、水分ポテンシャル計、電池パックで構成され、それらを多点配置している。さらに、独自のデータ解析技術を用いて多段階的警告（注意、危険、災害発生）が実施できる災害予測システムである。傾斜センサには MEMS による加速度計を利用している。同システムの特徴は、計測器が従来と比較し小型（約 1/2）で安価（約 1/10）であり、無線による通信が各々の計測器がネットワークで相互に繋がっているため、ひとつの通信経路が断絶しても、他の経路が通信でき、データ通信の信頼性が高いことである。また、電源の寿命も 3 年以上と長寿命である。



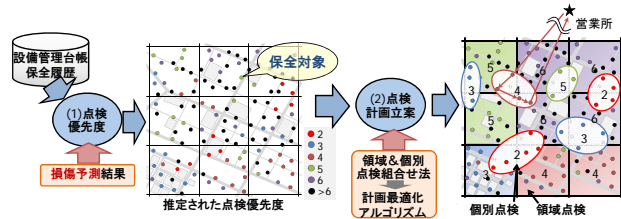
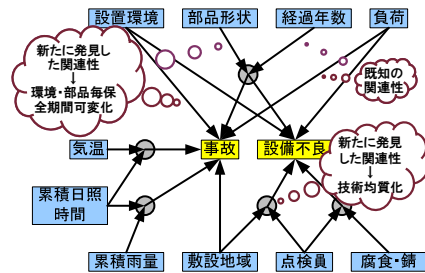
参考文献：上出定幸，小泉圭吾，尾上一馬，藤田行茂：無線センサネットワークによる土砂災害監視システムの開発，第 38 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，2009.1

『保全情報データ解析による点検効率向上』

実施者：(株)日立製作所

橋梁、トンネルの各種点検項目、道路附属物などを対象とし、過去の点検記録データを分析することで構造物等の環境条件による劣化時期を予測し、点検計画を効率化するものである。

これまで点検業務は5年に1度など等間隔で一斉に行われていたが、対象によって最適な点検間隔は異なる。そこで、過去の点検記録データを分析することにより未知の不良要因を特定し、損傷が予測される対象を判別する。また、点検の優先度を抽出し、対応が必要な対象から順に点検を行うことで、効率的に点検を実施することが可能となる。これまでの実績として、大学との共同研究にて、公物管理を対象とした分析を行い、点検効率を約2倍にできることを検証した。

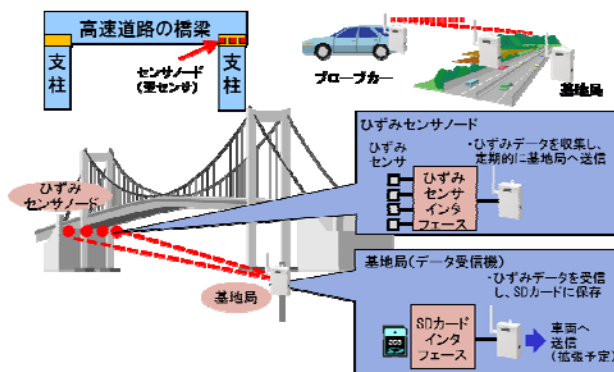


『センサネットによる効率的な構造物モニタリング』

実施者：(株)日立製作所

高速道路の橋梁モニタリングに関し、橋梁の支承、主桁、橋脚、附属物等の振動、ひずみ等各種データの収集を行うため、支承等に設置したセンサのデータを無線により基地局に伝送、収集を行うものである。

道路会社様と実証を行い、構造物（橋梁の支承）にセンサを設置し、データを無線伝送することで、基地局を利用したデータ収集を容易化できることを実証した。今後、走行車両による高速データ収集との連携を予定している。これにより、普段人が入れない場所（高架橋の下）でも無線でデータを基地局に送信し、容易に収集が可能となる。また、大規模構造物が複数ある場合でも、走行点検により短時間に効率的にデータを収集可能することが可能となる。



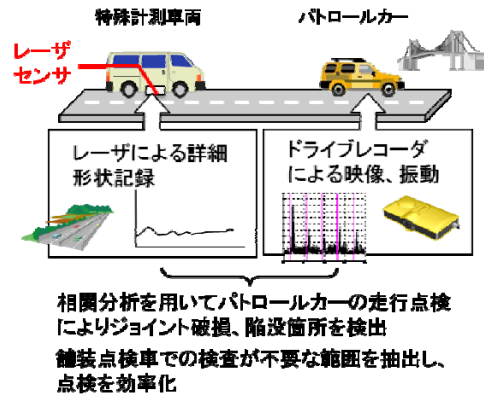


『ドライブレコーダによる路面性状計測』

実施者：(株)日立製作所

高速道路の橋梁を中心とした路面性状。特に陥没箇所やジョイント破損の検出を実施することを目的とし、ドライブレコーダを搭載したパトロールカーによる日常点検にて、特殊計測車両による定期点検前に不具合を抽出し、予防保守及び、点検効率化を図るものである。

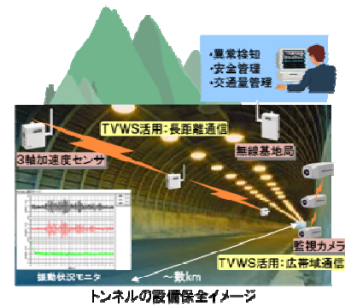
現在の道路点検業務で利用されている、特殊計測車両（舗装点検車）ではレーザーセンサによる詳細な点検が可能だが、高価なため台数が少なく2年に1回程度の運用となっている。そこで、本技術ではパトロールカーに搭載したドライブレコーダの映像、振動情報と舗装点検車の点検データの相関を分析し、パトロールカーの走行による路面点検を実現する。これにより、安価な装置にて広範囲・高頻度の点検を可能とし、舗装点検車による詳細な検査が不要な範囲を抽出することができ、点検業務の効率化、予防保全が可能となる。



『TVホワイトスペースを活用したセンサネット』

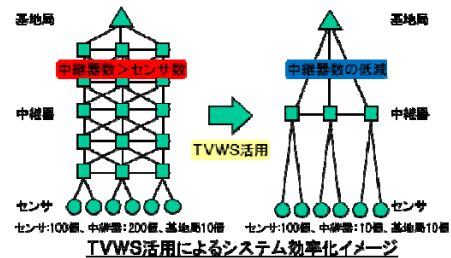
実施者：(株)日立製作所

TVホワイトスペース(TVWS)が持つ無線特性（広帯域、長距離）をモニタリングに活用し、トンネル、橋梁等、長距離のデータ伝送が必要なモニタリング対象の設備振動、映像のリアルタイム監視を行うことを目的とする。電波利用については現在法整備が進行中であり、これにむけた実験を行っている。



【無線要件】

- ・ 計測ポイント：～100点(サイト依存)
- ・ 計測帯域：～10kHz (3軸加速度センサ)
- ・ 通信距離：～数100m (サイト依存)
- ・ 必要帯域：～1Mbps/センサ(最大)、～数Mbps/カメラ (動画)

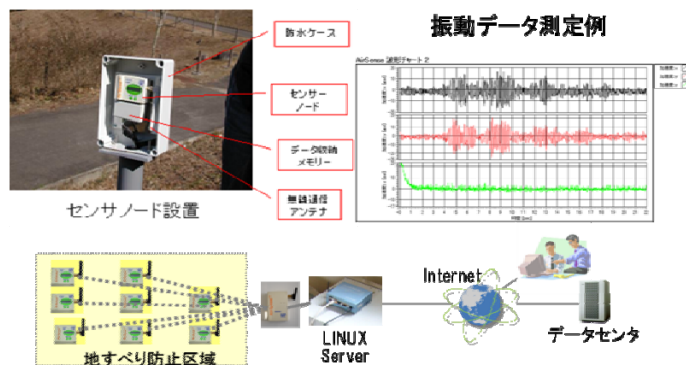


『無線センサを用いた地滑りモニタリング』

実施者：(株)日立製作所

地滑りの恐れがある急峻な法面、盛土、道路付近の崖等に無線の振動センサノードを設置し、大量の時系列データを取得、解析を行うことで、状況をリアルタイムに監視することを目的とする。

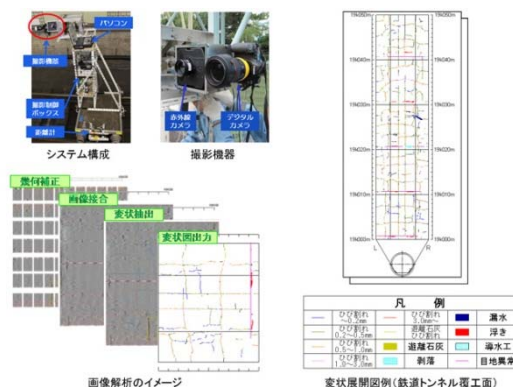
振動センサは電池により1年以上交換なしで動作し、有線のものに比べ、設置が容易。また、データを常にサーバ側に蓄積するため、地滑り発生時も直前までのデータ取得が可能である。



『画像診断によるコンクリートのうき・はく離、ひび割れ調査：HIVIDAS』

実施者：清水建設

コンクリート構造物の表面劣化を非破壊・非接触で調査・診断する技術である。具体的には、高感度赤外線サーモグラフィによる熱画像（パッシブ法）と高解像度デジタルカメラによる可視画像の視野（撮影範囲）を合わせて連続的に同時撮影し、2つの画像を重ね合わせて画像解析（画像補正、縮尺補正、画像接合）を行う。この画像解析により、コンクリートの表層部に生じるうき、はく離やひび割れ等の変状を効率的に抽出し、図化する。また、熱画像からうき、はく離、表層部の内部空洞、漏水等を、可視画像からひび割れ、ジャンカ、鉄筋露出、遊離石灰等の変状を抽出する。



この手法のメリットは、現地での作業が省力化できる、コンクリート表層部のひび割れやうき剥離などの変状を効率的に抽出し図式化できる。非接触で足場が不要であるので、安全で現地作業時間が短い。この技術の特徴は、診断結果のばらつきがほとんどなく、複数回の点検時は前後の比較ができやすいため変状の進展や変化が把握しやすい。適用範囲は、トンネル、コンクリート壁、コンクリートスラブ、建築構造物のタイルのうき、ダム堤体のような近づきにくい構造物などである。

参考文献：[http://www.shimz.co.jp/tw/tech\\_sheet/rn0288/rn0288.html](http://www.shimz.co.jp/tw/tech_sheet/rn0288/rn0288.html)

『予防保全型鉄筋腐食モニタリングシステム』

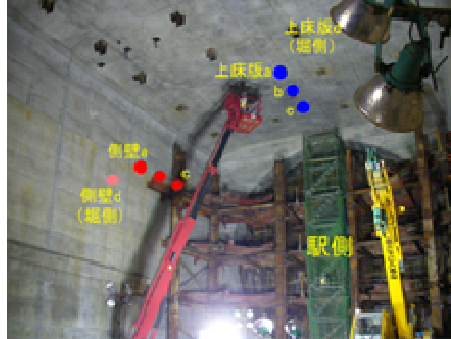
実施者：秋田県，鹿島

コンクリート構造物の鉄筋の腐食状況を連続的に監視でき、鉄筋腐食の進行を容易かつ精度よく予測することが可能な鉄筋腐食モニタリングシステムである。

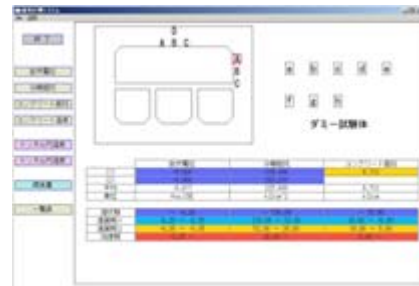
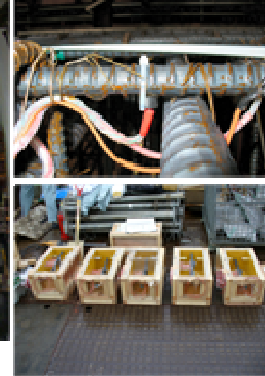
本システムを用いることにより、構造物に埋設したセンサー

や、同じ環境下のダミー試験体のセンサーなどによって得られる各種モニタリングデータから、構造物の健全度評価及び将来予測をリアルタイムに行うことができる。このシステムは、秋田中央道建設工事において、2005年に取り付けられ、現在も運用されている。

参考文献：鉄筋腐食モニタリングシステムの概要と適用事例，鹿島技術研究所年報，第55号，2007年9月30日，平石剛紀，横関康祐，親元俊憲，大保直人，須田久美子，石川典男



センサーの取り付け状況

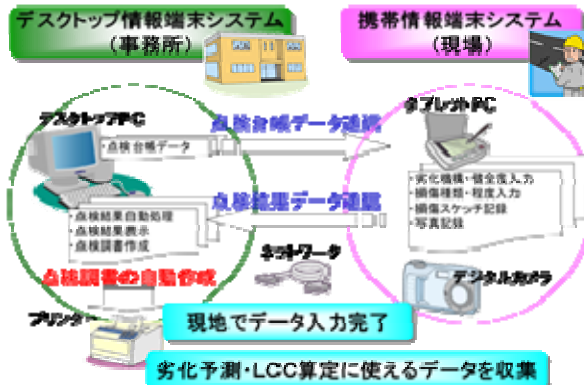


システム画面の例

『青森県でのブリッジマネジメントシステムのデータベース、プラットフォーム』

実施者：青森県，鹿島

青森県では、2006年に鹿島と共同で開発したブリッジマネジメントシステム（現：BMStar®）を、橋梁維持管理において6年間運用している。BMStarは、点検データの統括管理のほか、点検データによる劣化の予測結果や各種データベースに基づき、重要度に応じた維持管理計画の策定や予算制約に応じた対策実施優先度の決定を行うことができる等の特徴を有している。2006年当初、従来の「事後保全的」維持管理を続けた場合、50年間の維持管理費用は1,518億円と試算されていたが、BMStarの導入・運用による「予防保全的」維持管理を実施することで、2012年からの50年間の維持管理費用を669億円に削減できる見込みが得られている。



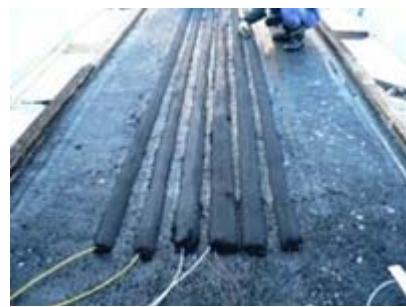
橋梁の点検の様子とタブレット端末

参考文献：<http://www.kajima.co.jp/news/press/201311/27c1-j.htm>

『分布型光ファイバセンサによる 構造モニタリング事例』

実施者：鹿島

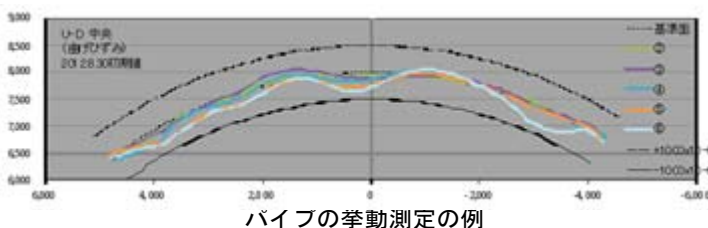
分布型光ファイバセンサを用いて、各種部材のひずみを計測するものである。アスファルトのひずみ計測においては、同センサーに温度依存性が無いという特徴を活用し、精度の良い結果が得られている。超高強度繊維補強コンクリート構造のひずみ計測では、部材実験により精度の確認を行った後に、実際の歩道橋の桁に設置し、5年間の計測を行い、計測期間を通じて安定した計測結果が得られていることを確認している。また、地下空間構築用の鋼製パイプについても、施工時の安全性を確認する目的で活用している。



アスファルト内への設置



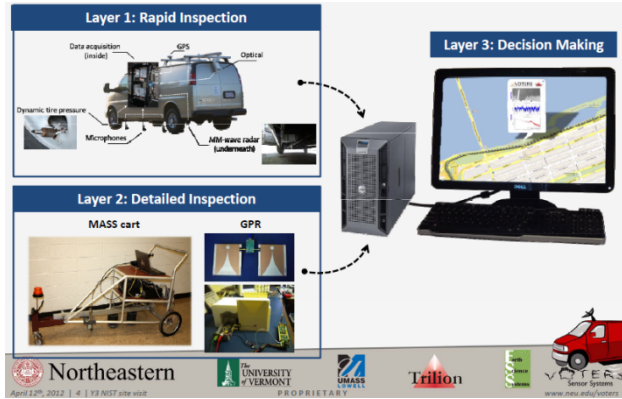
実橋梁への設置



『VOTERS: Versatile Onboard Traffic Embedded Roaming Sensors』

実施者：(米国) ノースイースタン大、Earth Science System 社、Trilion Quality Systems 社、マサチューセッツ大ローウェル校、バーモン大

ノースイースタン大学が、地球物理学や光検出技術の研究開発企業と共同で実施しているプロジェクト。計測機器をパッケージ化し、自家用車や公共車両に搭載して、通常の方法で走行しながら橋梁や道路の腐食や劣化などの検査・監視する。GPS 機能を搭載しており、橋梁や道路のデータを位置情報とともに携帯電話網を通じて基地局に送信することができる。ライフサイクルを分析し、補修計画などの意思決定を行う。



参考文献：<http://www.northeastern.edu/voters/research/publications/>

『Self-Powered Wireless Sensor Network for Structural Bridge Health Prognosis』

実施者：(米国) Mistras Group, Inc.社、DBA Physical Acoustics Corporation社

構造物の振動や風力からエネルギーを創出するワイヤレスセンサを用いて継続的に橋梁の健全性をモニタリングするシステムと、様々なセンサーからデータを取得し、風力発電装置の信頼度を求めるアルゴリズムを開発する。



参考文献：SPIE 予稿集 Vol. 7983 798325-1(2011)

音波振動センサー  
長距離接続に使用  
...



4チャンネルワイヤレスセンサー

ワイヤレスレーザー

『 Cyber-Enabled Wireless Monitoring Systems for the Protection of Deteriorating National Infrastructure System』

実施者：(米国) ミシガン大学

米国では、高速道路橋が約 58 万橋あり、今後 15 年間で 50%の橋梁が築年数 50 年以上となり老朽化が進む。橋梁のように地域にとって主要なインフラ要素の構造的な健全性をモニタリングするため、スマート・マテリアル・センサや情報の意思決定支援のための包括的なシステムを開発する。2009 年から 5 年間のプロジェクトであり、予算はトータル約 20 億円を要した。

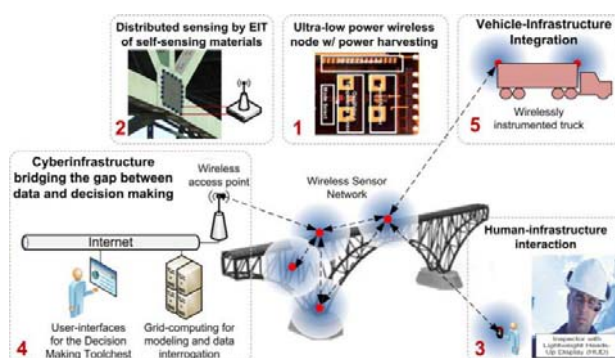
革新的な要素としては、各種センサーからの情報を収集し、健全性を図る意思決定支援のためにウェブ・ベースシステムへ主要基盤要素の構造健康と完全性をモニターするための包括的なシステムを開発している。

参考文献：

[http://www.nist.gov/tip/proj\\_briefs/upload/tip\\_project\\_brief\\_080012\\_9h9008.pdf](http://www.nist.gov/tip/proj_briefs/upload/tip_project_brief_080012_9h9008.pdf)



2009 年 2 月 1 日から  
2014 年 1 月 31 日まで  
トータル約 20 億円



『 Investigation of Low-Cost Accelerometer, Terrestrial Laser Scanner and Ground-Based Rader Interferometer for Vibration Monitoring of Bridges』

実施者：ベルリン大学（ドイツ）



低コスト加速度センサーシステム  
(MEMS)



比較用：  
レーザースキャナー  
(TLS)



地上干渉レーダー  
(IBIS-S)



PC（100m 離れている）へ送信

人工構造物の変形状況を分析するためのモニタリングが非常に重要となってきた。橋梁の振動変位をモニタリングするための低コスト加速度センサーと各振動モニタリングの実施のため、低コスト MEMS 加速度センサーとレーザースキャナー (TLS) を比較してデータ分析を行った。振幅は、地上干渉レーダーにて測定した。その結果、低コスト加速度センサーは、構造物の分析モデルとして相応しいと実証された。

参考文献：6th European Workshop on Structural Health Monitoring - Fr.2.C.2  
(July3-6、2012 Dresden/Germany)

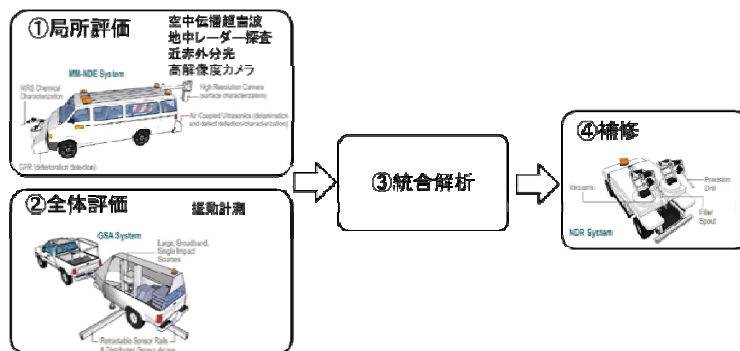
<http://www.ewshm2012.com/Portals/98/BB/fr2c2.pdf>



『Automated Nondestructive Evaluation and Rehabilitation System (ANDERS) for Bridge Decks』

実施者：(米国) ラトガース大、ドレクセル大、Mala GeoScience USA 社、 PD-LD 社、 Pennoni Associates 社

ラトガース大学が、地中探査レーダーやレーザ装置の製造企業と共同で実施しているプロジェクト。対象物を壊さずに損傷や不具合の有無を調べる非破壊評価による橋梁の監視・評価システムを開発する。非破壊評価技術と可視化技術をマージすることで、劣化プロセスを捉える。路面の割れ目を補修する自動修復装置も組み込まれている。



参考文献：SPIE Proceedings Vol. 7983, 2011

『A wireless network with autonomously powered and active long range acoustic nodes for total structural health monitoring of bridges』

実施者：TWI Ltd(UK), Vermon S.A (France), CP International ApS (Denmark), Tangent Technologies (UK), Humber Bridge Board (UK), Kingston Computer Consultancy Ltd (UK), Feldman Enterprise Ltd (Cyprus), I.D.E.A.S. Ltd (UK)

EU の第 7 次研究枠組み計画 (FP7) の後援を受けたプロジェクト。無線センサネットワークを備え、長期継続的に構造ヘルスマニタリングを行うシステムの開発。長範囲超音波および AE によるモニタリング技術、自立電源ノード、無線通信システム、解析ソフトウェアを備える。英国ハンバー橋 (2220m) にて実装試験を行っている。

参考文献：Santospirot *et al.*, "Structural health monitoring of bridges by AE events to optimise

maintenance scheduling and improve bridge load management", Proceedings 30th

European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission (University of Granada, 12-15 September 2012).

<http://www.wi-health.eu>



Figure 1: AE inspection site

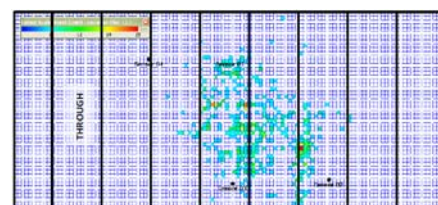


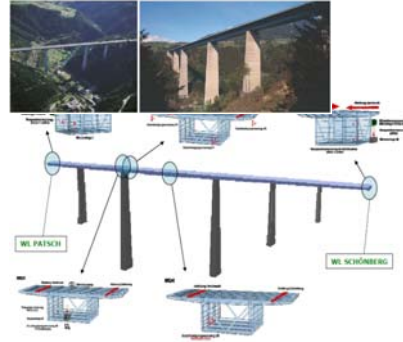
Figure 3: Plot of AE data for inspection site

### 『Europabrücke Bridge』

実施者：(オーストリア) 管理：ASAG 社 (Alpenstrassen AG)、計測：VCE (Vienna Consulting Engineers)

Europabrücke Bridge は、主要山岳道路にある橋梁であり、交通量も年々増加している。自動車交通量が及ぼす橋への疲労特性を測定するため、2003 年から測定システムを導入した。得られる情報は、主要スパンの変位 (センサー数 2 個)、加速度 (センサー数 2 タイプ 3 個ずつ)、風速 (センサー数 1 個)、温度 (センサー数 7 個) をセンシングする。モニタリングは、24 チャンネル (サンプリングは 100Hz) 使用。

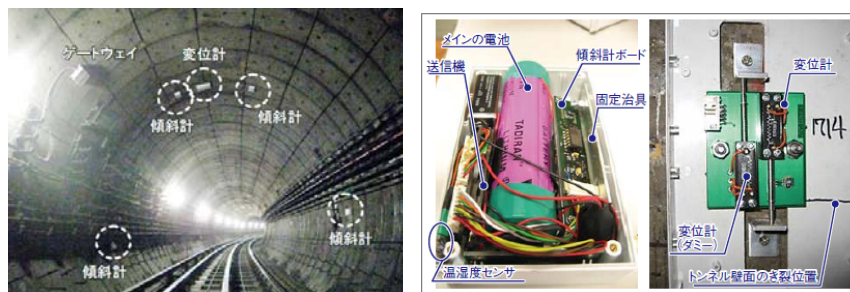
各センサーより得られたデータは、毎週末、自動的に収集され、長期間データベースに保存される。



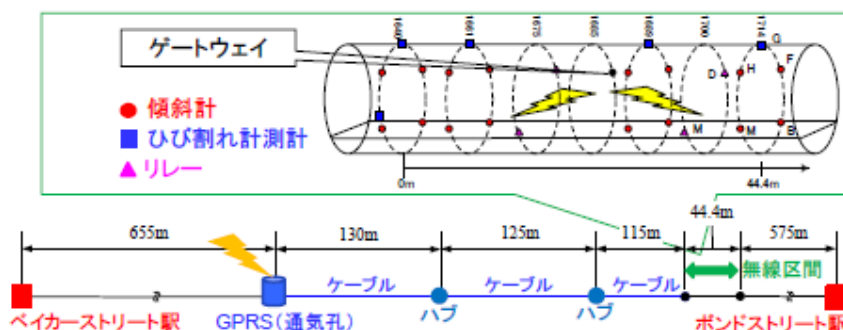
参考文献：[http://www.samco.org/network/download\\_area/case\\_studies/27\\_vce.pdf](http://www.samco.org/network/download_area/case_studies/27_vce.pdf)

『Wired and Wireless Intelligent Networked Systems』

実施者：(イギリス) ケンブリッジ大学、ロンドン地下鉄、BT



傾斜計 (左) と変位計 (右)



ロンドン地下鉄は建設後 75 年～100 年と世界で最も老朽化の進んだ地下鉄の 1 つである。トンネル内のライニング劣化や水圧による経年変化を監視するため、2006 年にプロジェクトが始動 (英国政府から約 2 億円) し、2008 年、無線センサネットワーク (WSN) がロンドン地下鉄ジュビリー線のベーカーストリート駅とボンドストリート駅間に設置された。

全長約 1.6km のベーカーストリート駅～ボンドストリート駅間に合計 21 個 (傾斜計 : 16 個、ひび割れ計測計 : 5 個、リレー : 4 個) のセンサとリレーを取り付けた。データ伝送間隔は、3 分とした。センサー及びリレーの基本構成には、クロスボー社製の MOTE を用いた。最近では、光ファイバーを用いた計測も積極的に行っており、深さ方向のひずみ分布を把握することができるようになってきている。

参考文献 : <http://www.cambridgewireless.co.uk/docs/Wireless%20SIG.pdf>

参考資料 3 モニタリングの取り組みと課題およびニーズ (WGメンバーとりまとめ結果)

メンバー	取り組み事例	課題とニーズ	WG への期待
<p>鉄道</p>	<p>◎取り組み</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造物本体を対象としたものは無い。</li> <li>・ 電車を止めるかどうかの判断を目的としたものはある。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 雨量計, テラス(早期地震警報システム), 軌道・電気総合試験車(軌道の検査), 検知線入りトロリー等</li> </ul> </li> <li>・ 構造物の損傷や災害を特定して, 電車運行の安全を確保するものは事例が多い。</li> <li>・ 物理量を定量的に計測して, 構造物の健全性を判断するモニタリングは, 特定箇所に限られている。</li> </ul> <p>○橋梁について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鋼桁のき裂の有無および進展の把握 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 導電塗料</li> </ul> </li> <li>・ 高架橋柱の損傷度の把握 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ピークセンサによる最大応答部材角の計測</li> </ul> </li> <li>・ 基礎構造物の健全度診断 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ パッシブ式損傷検知センサー</li> </ul> </li> <li>・ 河川増水時における橋梁基礎の健全度評価 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 速度センサー、水位計</li> </ul> </li> <li>・ 圧電素子の発電によるデータ伝送システム <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 圧電素子</li> </ul> </li> <li>・ 洗掘検知装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 洗掘による河川内橋脚の傾斜を測定</li> <li>➢ 傾斜角の許容値は, 電車が通行不能となる軌道のズレ量から設定</li> </ul> </li> <li>・ 橋桁検知センサー <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 自動車の衝突等による橋桁のズレを通電ケーブルの断線によって検知</li> </ul> </li> </ul>	<p>◎ 課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コスト <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 設置個数が多くなるので, コストが高いものは適用できない。</li> </ul> </li> <li>・ 屋外での耐久性</li> <li>・ 測定精度 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 電車の運行判断に関わるので 100%の精度を求む</li> </ul> </li> <li>・ 伝送距離 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 数百m毎に中継がいるようだ実用化困難</li> </ul> </li> <li>・ 電源 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 無電源が望ましい</li> </ul> </li> <li>・ 機器交換のサイクル <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 頻繁な交換が必要だと実用化できない。</li> </ul> </li> <li>・ 通信料金 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 年間数千万オーダーの通信料金が必要になるシステムもある。</li> </ul> </li> <li>・ モニタリングの実用化には, 導入によって従来の点検作業, 人件費等が軽減できることが必要。</li> <li>・ 健全度判定の目安</li> <li>・ 対象となる構造物が膨大である。</li> <li>・ 構造物の種類が多く, 構造形式, 環境が異なる</li> <li>・ 捕捉したい事象や計測すべき部位が多数ある。</li> <li>・ 耐久性 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 風雨, 寒暖, 振動, 塵埃等</li> </ul> </li> <li>・ 高圧, 信号, 通信ケーブルの近傍でのノイズ対策</li> <li>・ データの収集, 伝送</li> <li>・ 現状の点検作業(ひび割れ調査等)をどこまでセンサーで代替できるのか不明。</li> </ul> <p>○橋梁について</p> <p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ユーザーと開発サイドの橋渡し <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 要求意図の明確化(何のために, 何を, いつ知りたいのか)</li> <li>➢ 必要な要求レベルを明示(どうやって, 精度は, 費用は)</li> </ul> </li> <li>・ 国民への世論喚起 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ モニタリング技術導入と併せて, 検査業務を効率化(検査周期の延伸)等への理解</li> </ul> </li> <li>・ モニタリング技術を開発する側と構造物を管理する側の双方にとって有益となる仕組みを提案すること。</li> <li>・ 構造物の維持管理に力を注ぐことが困難な事業者に対して, 維持管理業務を軽減できるような方法を提案すること。</li> <li>・ 地山劣化度を適切に診断するための地盤 CT 技術の開発</li> <li>・ 構造物の種類や形状が複雑である中で, 様々な変状をモニタリングで捕捉するためには, どのような物理量をどこで計測すべきかを, 既往の研究等を整理したうえで, 今後の方向性を示してもらいたい。</li> <li>・ そのために, どこで, 何を計測すればよいか, また, 技術的に可能かをこれまでの研究等に基づき整理する。</li> <li>・ 最新のセンサーや通信技術などの情報を共有化する</li> </ul>

<p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ トンネル覆工撮影車 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 覆工表面の連続画像撮影</li> <li>➢ クラック候補や漏水状況、新たな変状を抽出</li> </ul> </li> <li>・ 導電塗料によるひび割れの把握</li> <li>・ 無線センサを用いたトンネル変状監視</li> <li>・ トンネル覆工表面撮影車 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 定期的な覆工表面の撮影画像を用いたクラックの発生や進展等の確認</li> </ul> </li> <li>・ トンネル覆工検査車 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 覆工内部の異常の有無の点検</li> </ul> </li> </ul> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 落石等の検知装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ →通電ケーブルの断線による検知</li> </ul> </li> <li>・ 簡易型災害発生検知装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 斜面の傾斜を検知</li> </ul> </li> <li>・ 雨量計 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 雨量の監視</li> </ul> </li> <li>・ 無線センサを用いた土砂崩壊検知</li> <li>・ 土砂崩壊、落石等の検知装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 通電ケーブルの断線による検知</li> </ul> </li> <li>・ 地盤伸縮計 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 地盤や岩盤の変位を計測して、斜面や岩盤の崩落の兆候を検知</li> </ul> </li> <li>・ 防災情報システム <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 沿線の気象情報（雨、風、地震、河川水位等）を監視し、基準値を超過した場合に列車の抑止や徐行等の運転規制を発令</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地方鉄道</li> </ul> <p>○法面について</p> <p>◎ ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 今までの実績は無いが、将来の必要性は認識している。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 今後 10 年間の大規模改修に合わせて、モニタリングを検討すべき時期</li> </ul> </li> <li>・ 橋脚の洗掘等、目視できない箇所を計測したいニーズはある。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 逆に目視できる場所のモニタリングは必要ない。</li> </ul> </li> <li>・ モニタリングによって、検査の周期を延伸することも勉強していきたい。</li> <li>・ 常時の検査業務の効率化</li> <li>・ 異常時の変状の検知</li> <li>・ データを蓄積して、将来的には劣化予測、損傷推定につなげたい。</li> <li>・ 構造物本体のフェールセーフに繋がるモニタリング</li> <li>・ 検査の信頼性の向上と検査周期の延伸。</li> </ul> <p>○橋梁について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉄桁部材の亀裂やPC鋼線の破断などは、個別の事象を直接モニタリングすることが困難であるため、振動など別の物理量をモニタリングすることで、これらの変状を補足したい。</li> </ul> <p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ トンネルについては、劣化の進行速度が緩慢なため、構造物全体に定常監視のようなモニタリングは必要ないと考えている。</li> </ul> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地山劣化度</li> <li>・ のり面防護の健全度</li> <li>・ 落石や斜面崩壊を事前に補足し、列車運行を規制するための手法やセンサーを安価に導入したい。</li> </ul>	
---	---	--

メンバー	取り組み事例	課題とニーズ	WG への期待
道路	<p>◎取り組み</p> <p>○橋梁について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 損傷橋梁のモニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 損傷進行の検知(π型ゲージによるひび割れ幅の計測等)</li> <li>➢ 対策後の監視(補強外ケーブルの張力計測等)</li> </ul> </li> <li>・ 損傷橋梁の挙動計測(試験) <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 健全な橋梁との固有振動数の違いを測定</li> <li>➢ 経年劣化した橋梁, 津波で被災した橋梁, 塩害で撤去したPC桁を対象に実施</li> <li>➢ 使用限界程度では, 一次の固有振動数に大きな変化は出ない。</li> </ul> </li> <li>・ 橋梁の地震被災度判定システム <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 点検車が橋梁に設置したセンサーから応答塑性率等の損傷データを無線で収集するシステム</li> <li>➢ 実橋梁で試験的に設置した事例有</li> </ul> </li> <li>・ 鋼桁のひずみ, ひび割れ幅の変動計測 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ひずみゲージ, πゲージ</li> </ul> </li> <li>・ 常時微動, 地震時応答 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 加速度計</li> </ul> </li> <li>・ 光ファイバー</li> <li>・ コンクリート強度の非破壊検査 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ AE(アコースティックエミッション)</li> </ul> </li> <li>・ 温度計</li> <li>・ 鉄筋の腐食の進展状況 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 鉄筋腐食センサー</li> </ul> </li> <li>・ モニタリングのフィールドを提供している実績あり <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 橋桁のたわみから自動車の通行荷重を計測するウェインモーション法</li> </ul> </li> </ul>	<p>◎課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コスト <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 例えば, 2千万で計測するよりも対策した方が良いという意見もある。</li> </ul> </li> <li>・ 解釈不能な膨大なデータ <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ データはあるが診断できない状態。</li> <li>➢ 補修を行う判断基準が不明</li> </ul> </li> <li>・ 点検業務の軽減に繋がるか不明 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ モニタリングしても点検回数は減らせない?</li> </ul> </li> <li>・ 信頼性, 長期安定性 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 構造物の寿命よりも短いセンサーの寿命</li> </ul> </li> <li>・ コスト <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 管理対象が約20,000橋ある</li> </ul> </li> <li>・ データ収集方法 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ データ転送技術</li> </ul> </li> <li>・ データ分析・判定方法</li> <li>・ センサーのメンテナンス, 耐用年数</li> <li>・ 様々なモニタリング機器の組み合わせ方法</li> <li>・ 電波法の関係から検査ロボット等の無線計測が実用化できない面もある。</li> <li>・ 荷重データは収集できるが、間接的である。</li> </ul> <p>○橋梁について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 損傷を検知するための計測項目・計測位置が不明</li> <li>・ 橋梁の損傷を代表するパラメーターがなにかを見つける必要がある。それを検知して、健全度をモニタリングすることが必要。</li> </ul> <p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変状が生じていないトンネルでは、どの断面を計測すべきか不明。効率的とは言えない。</li> </ul> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設置箇所の選定 (コスト)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ モニタリングを実用化すること目的とした, 法律の特例緩和等の提言を関係省庁に行うこと。</li> </ul>

	<p>(Weigh-In-Motion) の適用</p> <p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変状（地すべり、膨脹性地山等）が生じたトンネルのモニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 損傷進行の検知（<math>\pi</math>型ゲージによるひび割れ幅の計測等）</li> </ul> </li> <li>・ 浮き・剥離の検知技術を試行（点検効率化、見落とし防止）</li> <li>・ 維持管理のためのモニタリングは実施していない。</li> <li>・ 施工時に施工管理目的で設置した計器を完成後まで残して設計の検証に使用した例はあったが、現在は使用していない。</li> </ul> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地すべり危険箇所のモニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 光ファイバセンサーによる変状監視</li> <li>➢ ロードセルによるアンカー張力計測（アンカー健全性、挙動把握）</li> </ul> </li> <li>・ 盛土の高さ管理 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ GPS</li> </ul> </li> <li>・ 維持管理のためのモニタリングは実施していない。</li> </ul>	<p>◎ ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地震時の被災判定 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 橋梁の地震時加速度応答を計測して、それに基づく応答スペクトルと設計スペクトルの比較で、地震時の通行止めの判断を行う等</li> </ul> </li> <li>・ 異常損傷の検知 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 加速度計、GPS 等を用いた技術</li> </ul> </li> <li>・ 損傷、劣化 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 亀裂センサー(EFS)や<math>\pi</math>ゲージ、腐食センサー等の高耐久化およびデータ分析技術</li> </ul> </li> <li>・ 点検しにくい場所等のモニタリングが必要</li> <li>・ 構造物だけでなく、付属物の落下等に対するモニタリングも道路管理者としては必要</li> <li>・ 点検員が見忘れ、見逃がしを防止するような点検をサポートするシステムが必要。</li> </ul> <p>○橋梁について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ポストテンション式の PC ケーブルの破断の検知</li> <li>・ 落橋、崩落等に繋がる兆候を早期に検知したい。</li> <li>・ 対策後の監視（損傷進行の検知、電気防食工での通電監視等）</li> </ul> <p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変状が生じたトンネルの損傷進行検知</li> </ul> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変状監視</li> </ul>	
--	---	--	--

メンバー	取り組み事例	課題とニーズ	WG への期待
メーカー	<p>◎取り組み</p> <p>○橋梁について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 道路会社様ご協力のもと、橋梁の支承に取り付けたセンサデータを無線によって効率的に収集する実験を実施。</li> <li>・ インフラの点検記録のビッグデータ分析を行った結果、点検の優先順位付けによって効率向上が可能であることを検証し、橋梁への適用を検討中。</li> <li>・ ドライブレコーダを搭載したパトロールカーによって映像と振動データを収集し、路面状況をモニタリングする技術を開発。</li> </ul> <p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新しい周波数帯域を利用した到達距離の長い無線方式を大学と共同で開発中。トンネルへの適用を検討中。</li> </ul> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 法面に一定の間隔で加速度センサと無線装置を組み合わせたセンサノードを設置し、データを収集する実験を大学と共同で実施。</li> </ul>	<p>◎ 課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 無線ネットワーク技術 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 大規模な構造物では、既存の無線方式では中継局が多数必要になるため、到達距離の長い無線方式の検討が必要と思われる。</li> </ul> </li> </ul> <p>○橋梁について</p> <p>○トンネルについて</p> <p>○法面について</p> <p>◎ ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドライブレコーダ等の比較的安価な機器を利用して効率的なモニタリング、メンテナンスが可能なシステムにニーズがある。</li> </ul> <p>○橋梁について</p> <p>○トンネルについて</p> <p>○法面について</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術課題、ニーズの抽出 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ インフラ保有会社様のメンテナンスにおける技術課題、ニーズ等をまとめ、開発すべき内容を明確化すること。</li> </ul> </li> <li>・ 政府、関係省庁への提言 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ メンテナンスに関する技術開発や実証に関し、適切な予算措置を講じていただけるよう提言していくこと。</li> </ul> </li> </ul>



メンバー	取り組み事例	課題とニーズ	WG への期待
建設	<p>◎取り組み</p> <p>○橋梁について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工時から供用後まで一貫して施工管理と維持管理が行えるモニタリングシステムの構築および運用 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 加速度計, ひずみゲージ, 熱電対, 光ファイバーセンサー, 監視カメラ等を使用</li> <li>➢ 多種のセンサーからの情報は DB で一括管理し, インtranet/インターネット経由で参照できる.</li> <li>➢ 長大橋, トンネル, LNG 地下タンク等へ適用</li> </ul> </li> <li>・ 構造物の保全と維持管理を目的としたモニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ひずみゲージ, 温湿度計, 変位計等を用いた定時観測</li> <li>➢ 地震時応答モニタリング</li> <li>➢ 築130年以上の重要建物に適用</li> </ul> </li> <li>・ 構造物の地震応答モニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 新設, 既設構造物双方で多数の実績</li> <li>➢ 多数の構造物のモニタリングデータを DB で一括監視</li> </ul> </li> <li>・ 光ファイバーセンサーを用いた制震建物の長期モニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 加速度計で地震応答モニタリングを行い, 光ファイバーセンサーで制震ダンパーの変位計測を行っている.</li> </ul> </li> <li>・ 施工した構造物の地震時応答のモニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 地震時応答の計測が目的</li> <li>➢ 長大橋, タンクのスロッシング等を対</li> </ul> </li> </ul>	<p>◎課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 長期にわたるシステムの信頼性, 耐久性</li> <li>・ 被災時の電源や通信の確保?</li> <li>・ 大量のモニタリングデータの処理方法</li> <li>・ モニタリングデータから構造物の損傷, 劣化を導出する解析手法が未整備</li> <li>・ モニタリングする部材や部位をどのように設定するか, また, ある程度一般化できるか?</li> <li>・ 異常や損傷などの判定基準をどうやって設定するか?</li> <li>・ システムの運用の継続性, メンテナンス <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 完成後の計測システムは, 所有者に引き渡して運用されているため, 運用状況, データが把握できず, メンテナンスもなされていない。</li> </ul> </li> <li>・ システムの簡素化・小型化・低コスト化</li> <li>・ 限界状態(管理・性能)の設定が必要 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 統一基準が望ましい</li> </ul> </li> <li>・ 機器の不具合 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ほこり, 湿気, 防火訓練時の散水によるコネクタ等の接触不良</li> <li>➢ データ収集の作業性</li> <li>➢ 鉄筋腐食が問題となるまでのシステムの寿命</li> </ul> </li> </ul> <p>○橋梁について</p> <p>○トンネルについて</p> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 植生等による計測の障害 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 現地踏査, 目視による点検が主となる</li> </ul> </li> <li>・ 計測範囲が, 面的に広範囲となる <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 全てを均一に点検</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日本版の LTBPP として成功させることが可能か?</li> <li>・ 現在不足している情報は, モニタリング事例とその効用を正しく分析した事例である. いくつかのモデルケースを通じて, 実務レベルでのモニタリングの価値を見いだすことができるかにより, 今後の方向性が定まる.</li> <li>・ 構造ヘルモニタリングがビジネスとして成功するためには, 実際のインフラでの成功例が必要.</li> <li>・ 構造ヘルモニタリングで何が分かるか現状の技術でしっかり整理できれば, ビジネスとしての可能性も広がる.</li> <li>・ 早い時期から, 新設構造物へも構造ヘルモニタリングが標準実装するための技術展開ができるか?</li> <li>・ CIM(BIM)やビックデータとの関連を明確化できるか? 異業種交流としての成果が期待できるか?</li> <li>・ 何を対象として誰が何のために計り, どのように判断するかを明確化</li> <li>・ モニタリングによる構造物のメンテナンスがビジネスとして成立するための制度設定の提案 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ モニタリングしている構造物とそうでない構造物の差別化が必要</li> <li>➢ モニタリングによる日常点検の簡素化, 地震時の被災判定の簡素化など</li> <li>➢ 社会インフラ整備事業への国庫</li> </ul> </li> </ul>

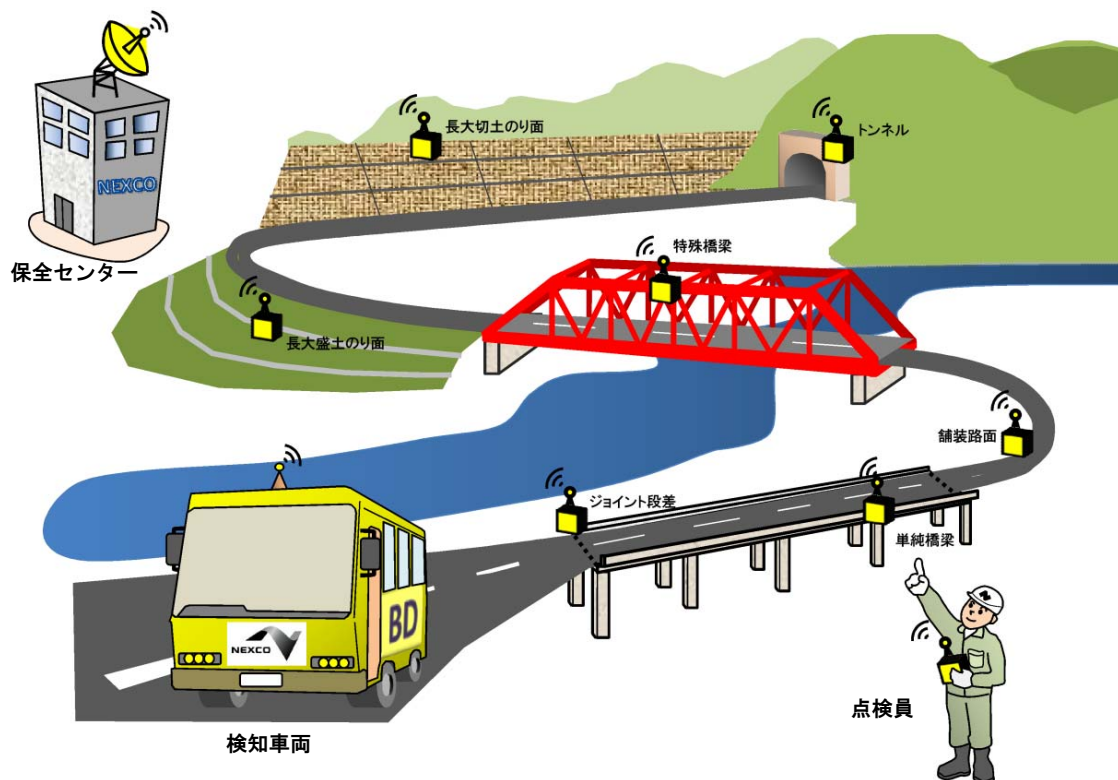
	<p>象としたもの</p> <p>○トンネルについて</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工中に使用したセンサーを、完成後（供用時）においても引き続き維持管理に適用するモニタリングシステムの構築および適用</li> <li>・ 光ファイバーセンサーによるトンネル覆工モニタリング</li> <li>・ 画像診断によるコンクリートのうき・はく離，ひび割れ検査「HIVIDAS」</li> <li>・ 塩害による RC 構造物の鉄筋の腐食を対象としたモニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 腐食状況をモニタリングして，予防保全の観点から対策を立案</li> <li>➢ 運用開始から8年が経過</li> <li>➢ ダミー供試体と本体構造物への埋め込みセンサーを組み合わせたモニタリング</li> <li>➢ 劣化を早期に発見することを目的として，NaClの有無，かぶり，模擬ひび割れ等をパラメーターとしたダミー供試体を作成して，モニタリング対象構造物と同じ環境で計測を実施。</li> <li>➢ 対象構造物で腐食が生じていないことの確認を目的として，構造物内に埋め込みセンサーを設置。</li> </ul> </li> </ul> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ トンネル施工時におけるGPS 受信機を用いた法面計測</li> <li>・ ダム施工時における斜面崩壊検知杭「光るセンサー杭」</li> <li>・ 嵩上げ方式による，ダムの堤体構築時の新旧堤体の挙動の計測を目的とし</li> </ul>	<p>しにくい</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 斜面内の浸透流等，直接的に見えない部分の挙動，変状を把握する必要がある。</li> </ul> <p>◎ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ モニタリングによる目的は，常時と非常時（震災・災害時）をセットで考える必要もある。⇒ 重要構造物（インフラの機能面で）が対象となる場合がほとんどであろう。</li> <li>・ 常時は温度変化によるトレンド予測</li> <li>・ 非常時はひずみや加速度の閾値設定が重要か？塩害などの耐候性に関する需要も潜在的に存在する。</li> <li>・ 塩害，耐震に重点をおいたモニタリングシステム <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 周囲を海洋で囲まれた地震国である日本では，塩害による劣化と地震による被災が，構造物に及ぼす影響が大きい。</li> <li>➢ 塩害の進行状況の把握，予測，対策へ繋がるモニタリングと判断基準</li> <li>➢ 地震時の応答の把握，予測，被災判定，補修，補強へ繋がるモニタリングと判断基準</li> </ul> </li> <li>・ 新設構造物・補修補強の設計に資するモニタリング <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 維持管理上の弱点部を検出し，新設構造物あるいは補修・補強時の設計に反映する</li> </ul> </li> </ul> <p>○橋梁について</p> <p>○トンネルについて</p> <p>○法面について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 斜面崩壊，落石の検知</li> <li>・ 広い面積の効率的な計測</li> <li>・ 大雨，地震等による変状の迅速な検知</li> <li>・ 草刈，伐採等を必要としな</li> </ul>	<p>からの補助金交付におけるモニタリングの優位化など</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 社会インフラの保険制度や PFI 事業でのインフラ債券等におけるモニタリングによる構造物の付加価値の向上など</li> <li>➢ 建設分野の新しいマーケットの創出</li> <li>➢ 新設構造物からのモニタリングによる有機的なインフラ利用に資する取り組み</li> </ul> <p>・ データベースのオープン化の方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ インフラのデータに関するオープンソース化による技術力の向上、多次的な監視を期待</li> </ul>
--	---	--	--

	<p>て、以下の項目のモニタリングを実施した実績がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 旧堤体のすべり破壊に対して <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 表面変位，地中変位（傾斜），伸縮</li> </ul> </li> <li>・ 旧堤体の浸透破壊に対して <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 間隙水圧（岩盤内，盛土内），地下水位，浸透流の流速</li> </ul> </li> <li>・ 旧堤体の圧密沈下に対して <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 層別の沈下量</li> </ul> </li> <li>・ 新堤体と旧堤体の境界面における破壊に対して <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 境界面変位</li> </ul> </li> <li>・ その他 <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 振動，貯水位，監査廊の継目変位，監査廊の鉄筋ひずみ</li> </ul> </li> </ul>	<p>いモニタリング</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 斜面内など見えない部分のモニタリング</li> </ul>	
--	---	---	--

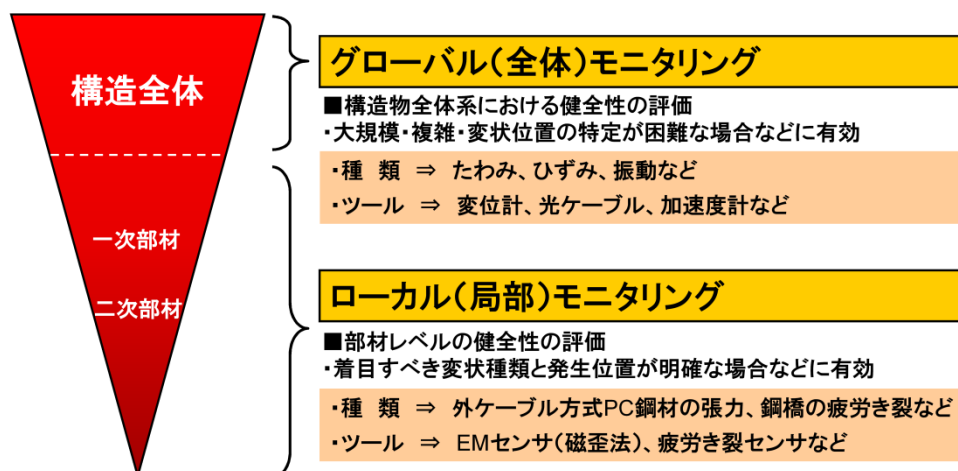
以上

## 参考資料 4-1 高密度・多種類モニタリング実施（案）

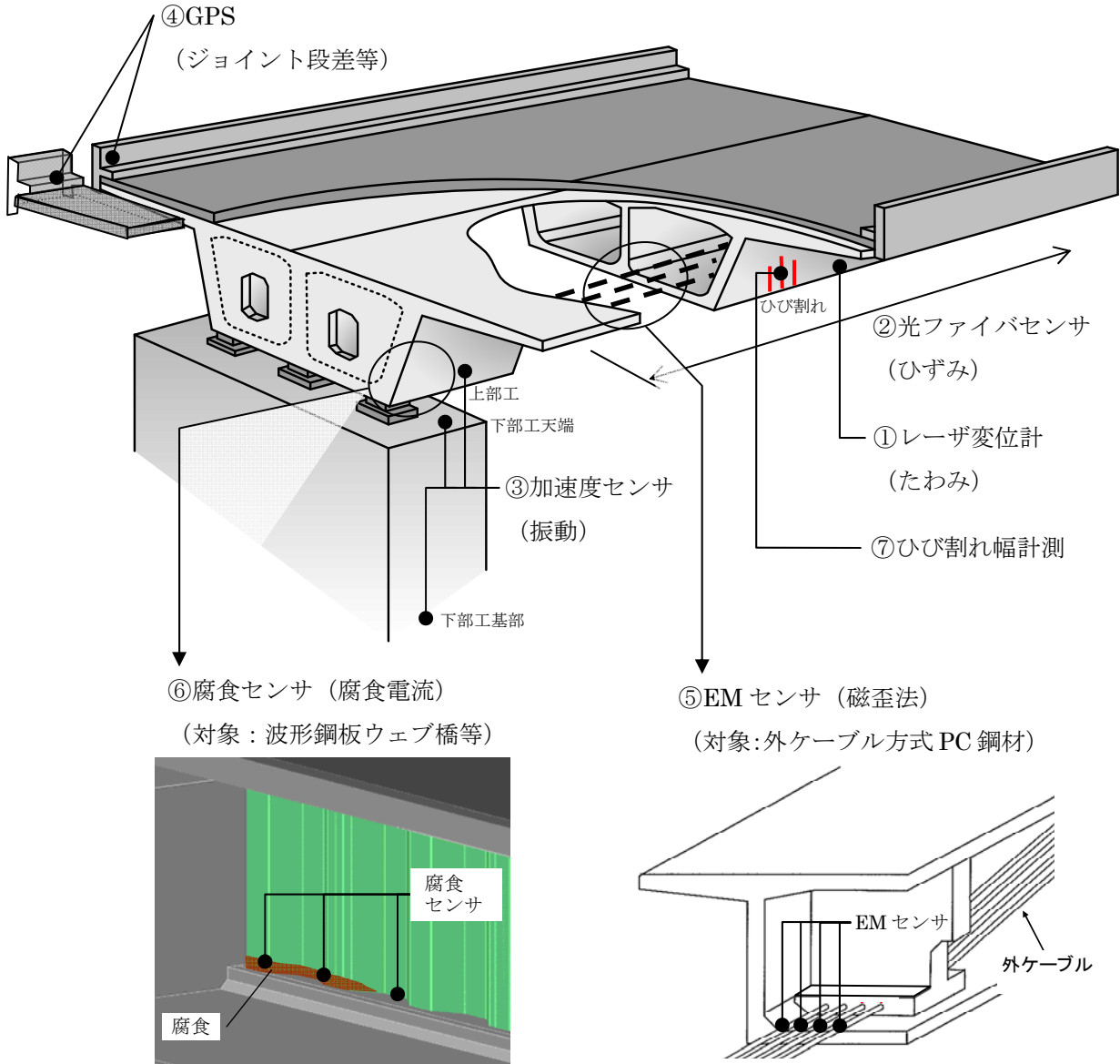
### ■モニタリング技術による維持管理（イメージ）



### ■モニタリング技術の体系



■PC 橋のモニタリング

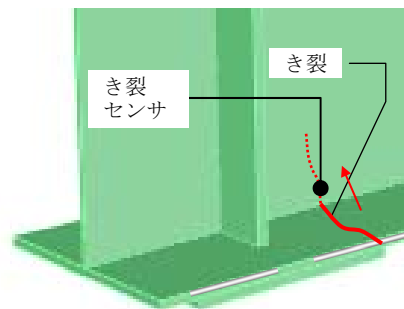
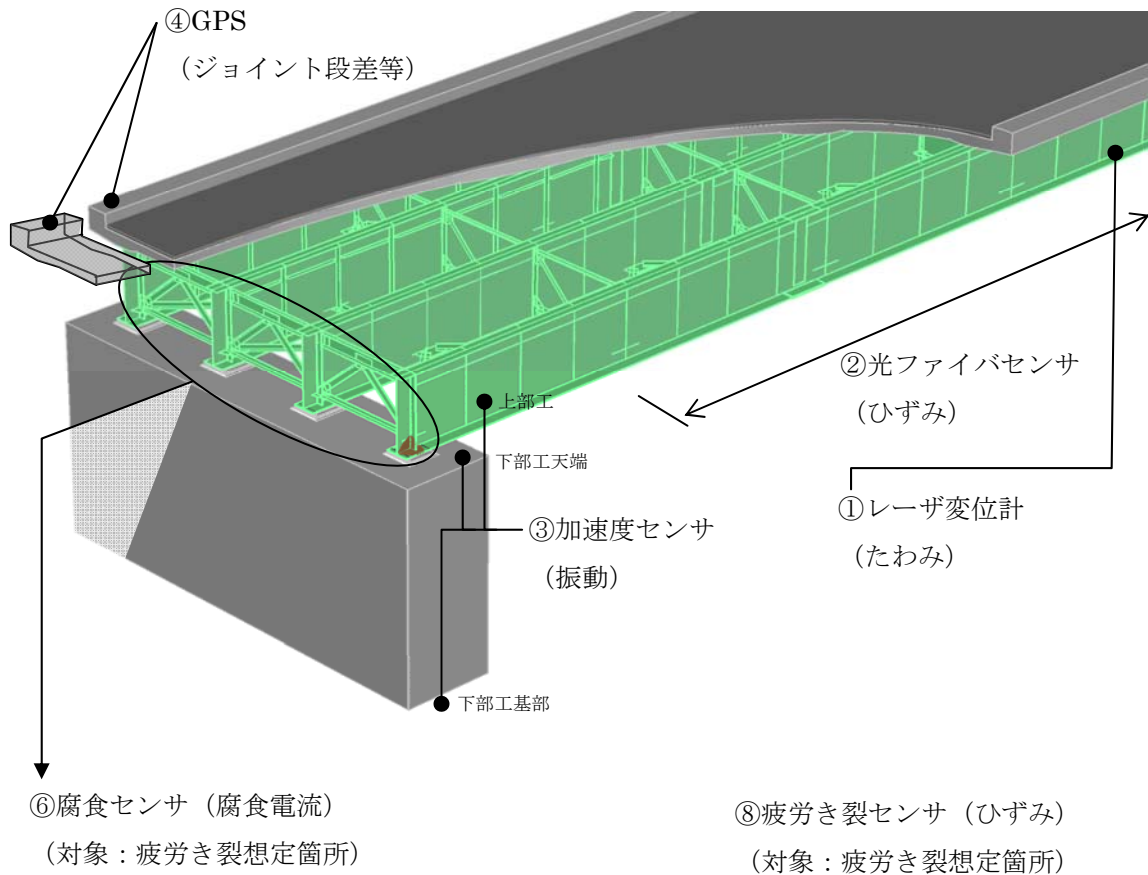


常時計測から異常を検出: ①、②、⑤、⑥

劣化・損傷等の進展を検出: ①、②、⑤、⑦

地震等の被害状況検出: ③、④

■鋼橋のモニタリング

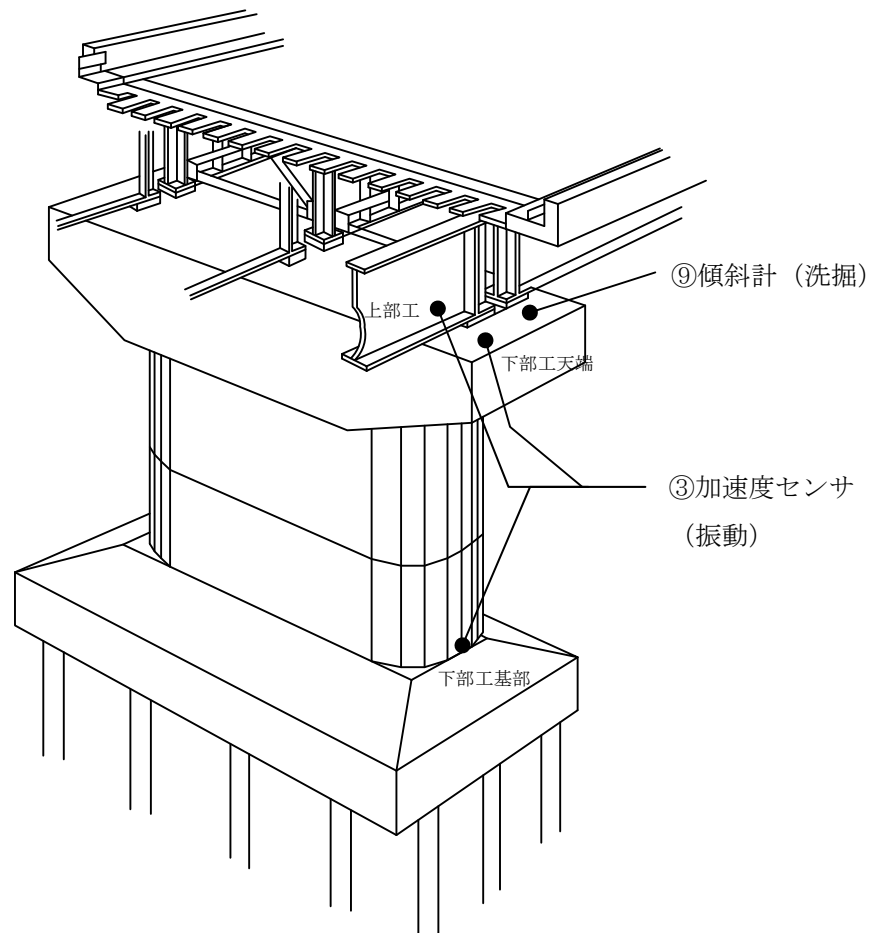


常時計測から異常を検出：①、②、⑥

劣化・損傷等の進展を検出：①、②、⑧

地震等の被害状況検出：③、④

■ 橋梁下部工のモニタリング



常時計測から異常を検出：⑨（河川部や地滑り地域の橋脚）

劣化・損傷等の進展を検出：

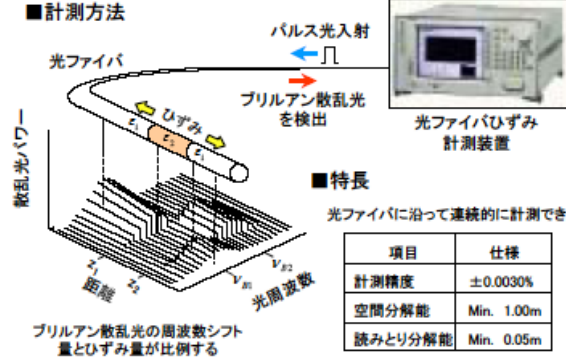
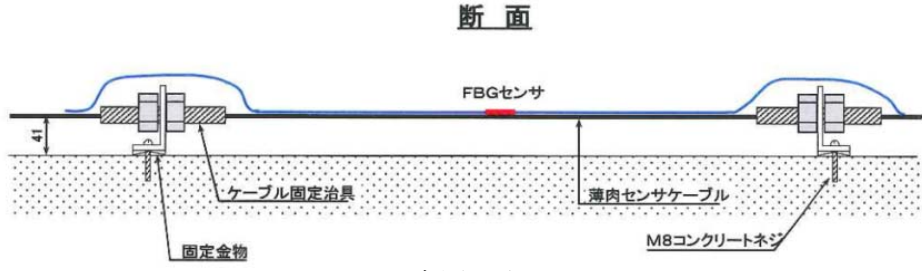

地震等の被害状況検出：③、⑨

■モニタリング手法の概要

名称	①レーザ変位計
計測項目	たわみ
概略図・写真等	<p>レーザ変位計のターゲット</p> <p>北</p> <p>南</p> <p>P/2</p> <p>P/2</p> <p>レーザ変位計</p> <p>レーザ変位計の取付位置</p> <p>概略図例</p>

※概略図・写真は、文献等から抜粋

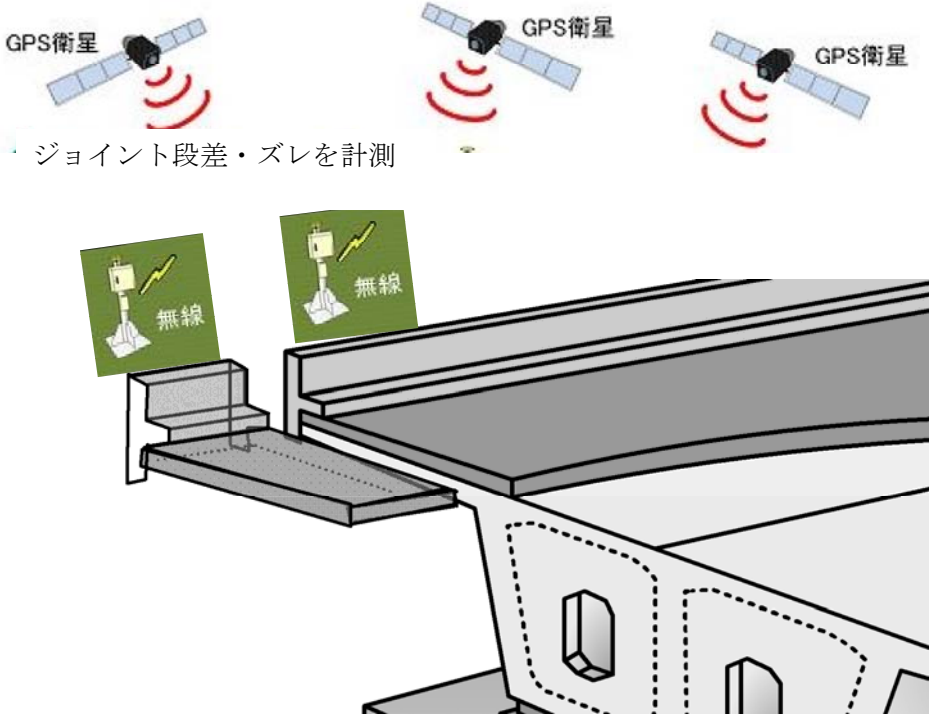


名称	②光ファイバセンサ								
計測項目	ひずみ等								
概略図・写真等	<p>■計測方法</p>  <p>■特長</p> <p>光ファイバに沿って連続的に計測できる</p> <table border="1" data-bbox="853 728 1061 851"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>計測精度</td> <td>±0.0030%</td> </tr> <tr> <td>空間分解能</td> <td>Min. 1.00m</td> </tr> <tr> <td>読みとり分解能</td> <td>Min. 0.05m</td> </tr> </tbody> </table> <p>ブリルアン散乱光の周波数シフト量とひずみ量が比例する</p> <p>断面</p>  <p>概略図例</p>  <p>設置事例</p>	項目	仕様	計測精度	±0.0030%	空間分解能	Min. 1.00m	読みとり分解能	Min. 0.05m
項目	仕様								
計測精度	±0.0030%								
空間分解能	Min. 1.00m								
読みとり分解能	Min. 0.05m								

※概略図・写真は、文献等から抜粋

名称	③加速度センサ
計測項目	振動（地震動含む）
概略図・写真等	<div data-bbox="598 515 1061 929" data-label="Diagram"> <p>←加速度センサ（上部工） ←加速度センサ（橋脚天端） 集約ボックス ←太陽電池 ←加速度センサ（橋脚基部）</p> </div> <p data-bbox="694 940 805 974">概略図例</p> <div data-bbox="343 996 1348 1792" data-label="Image"> <p>太陽光パネル 加速度センサ 加速度センサ 太陽光パネル 集約ボックス</p> </div> <p data-bbox="774 1814 901 1848">設置事例</p>

※概略図・写真は、文献等から抜粋

名称	④GPS
計測項目	位置（ジョイント段差等）
概略図・写真等	 <p data-bbox="367 660 766 705">ジョイント段差・ズレを計測</p> <p data-bbox="790 1265 909 1310">概略図例</p>


※概略図・写真は、文献等から抜粋

名称	⑤EM センサ (磁歪法)
計測項目	緊張力
概略図・写真等	<div data-bbox="571 510 1136 1012" data-label="Diagram"> <p>第1コイル スチールカバー ケーブル 第2コイル</p> <p>計測器 ケーブル</p> <p>EMセンサー(O-Type)</p> <p>概略図例</p> </div> <div data-bbox="512 1025 1190 1592" data-label="Image"> <p>設置事例</p> </div>

※概略図・写真は、文献等から抜粋

名称	⑥腐食センサ
計測項目	腐食電流
概略図・写真等	<div data-bbox="549 501 1155 1010" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="794 1025 906 1059">概略図例</p> <div data-bbox="507 1081 1200 1585" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="794 1601 906 1635">設置事例</p>

※概略図・写真は、文献等から抜粋

名称	⑦ひび割れ幅計測
計測項目	ひび割れ幅
概略図・写真等	 <p data-bbox="790 1019 901 1064">概略図例</p>

※概略図・写真は、文献等から抜粋

名称	⑧疲労き裂センサ
計測項目	ひずみ
概略図・写真等	<p style="text-align: center;">概略図例</p> <p style="text-align: center;">設置事例</p>

※概略図・写真は、文献等から抜粋

名称	⑨傾斜計（洗掘）
計測項目	橋脚の傾き
概略図・写真等	<p style="text-align: center;">概略図例</p>

※概略図・写真は、文献等から抜粋



参考資料 4-2 高密度・多種類モニタリングにおける計測項目案（PC箱桁橋）

部材・部位	性能	計測項目	劣化・損傷の要因	図
主桁	第三者被害防止	変状(外観)	種々の要因	
		浮き, 剥落	腐食, 疲労, 地震, 初期欠陥	
	使用性	変形	疲労, 地震, クリープ, 腐食	
		ひび割れ性状, 幅	腐食, 疲労, 地震, クリープ	
	安全性	ひび割れ性状, 幅	腐食, 疲労, 地震	⑦
		ひずみ	疲労, クリープ, 活荷重	②
		変形	疲労, 地震, クリープ, 腐食	①
		位置情報	地震	
		耐力	疲労, クリープ, 腐食	
		荷重作用, 作用回数	疲労, 活荷重	
		加速度	地震	③
		コンクリート強度	初期欠陥	
		PC 緊張力	腐食, リラクゼーション, クリープ	⑤
	耐久性	鉄筋, PC 鋼材の腐食	塩害, 中性化, 凍害, ASR	⑥
		ひび割れ性状, 幅	塩害, 中性化, 凍害, ASR, 乾燥収縮, 初期欠陥	
		塩分濃度, 浸透深さ, 飛来塩分量	塩害	
中性化深さ		中性化		
かぶり厚さ		塩害, 中性化		
止水性		水に起因する各種劣化		
床版	第三者被害防止	変状(外観)	種々の要因	
		浮き, 剥落	塩害, 中性化, 凍害, ASR, 疲労, 初期欠陥	
	使用性	ひび割れ性状, 幅	腐食, 疲労, クリープ, 乾燥収縮	
		変形	腐食, 疲労, 活荷重	
		走行性	陥没, 空洞, 疲労	
	安全性	ひずみ	疲労	
		変形	腐食, 疲労	
		ひび割れ性状, 幅	腐食, 疲労	
		耐力	疲労	
		荷重作用, 作用回数	疲労	
		コンクリート強度	初期欠陥	
	PC 緊張力	腐食, リラクゼーション, クリープ		

	耐久性	鉄筋, PC 鋼材の腐食	塩害, 中性化, 凍害, ASR	
		ひび割れ性状, 幅	塩害, 中性化, 凍害, ASR, 乾燥収縮, 初期欠陥	
		塩分濃度, 浸透深さ, 飛来塩分量	塩害	
		中性化深さ	中性化	
		かぶり厚さ	塩害, 中性化	
		防水工の止水性	水に起因する各種劣化	
支承	第三者被害防止	変状(外観)	種々の要因	
		使用性	支承のズレ	地震, 温度伸縮
	安全性	可動量	腐食, 地震	
		アンカーボルトの定着力	腐食, 緩み, 地震	
	耐久性	防食処理の状況(塗料厚さ等)	腐食	
		腐食深さ	塩害, 水分	
ジョイント部	第三者被害防止	変状(外観)	種々の要因	
		使用性	遊間のズレ	疲労, 地震, 温度伸縮 ④
	安全性	段差, 走行性	疲労, 地震	④
		変位	地震, 温度伸縮	④
	耐久性	可動量	腐食	
		防食処理の状況(塗料厚さ等)	腐食	
橋面	第三者被害防止	変状(外観)	種々の要因	
		使用性	舗装の劣化	疲労
	安全性	レールのゆがみ	温度伸縮	
		走行性	疲労, 温度伸縮, 地震	
		枕木の損傷	疲労	
		レールの摩耗	列車走行	
耐久性	レールの腐食	塩害		
地覆 排水溝 照明柱 標識 高欄 防護柵	第三者被害防止	変状(外観)	種々の要因	
		浮き, 剥落	塩害, 中性化, 凍害, ASR, 初期欠陥	
	使用性	排水溝の詰まり	ごみ	
		排水溝の水漏れ	腐食	
	安全性	アンカーボルトの定着力	腐食, ゆるみ, 衝突荷重, 初期欠陥	
		照明柱, 標識の加速度	腐食, ゆるみ, 地震	

	耐久性	鉄筋, PC 鋼材の腐食	塩害, 中性化, 凍害, ASR	
		ひび割れ性状, 幅	塩害, 中性化, 凍害, ASR, 乾燥収縮, 初期欠陥	
		塩分濃度, 浸透深さ, 飛 来塩分量	塩害	
		中性化深さ	中性化	
		かぶり厚さ	塩害, 中性化	

## 参考資料 5 LCC・寿命に関するアンケート結果（5社からの回答結果の集計）

### ■ LCCに関する検討状況

#### 1. 現在、構造物の維持管理計画においてLCCを考慮しているか

①考慮している：2社 ③考慮していない：2社

(理由)・都道府県等で策定している橋梁の長寿命化修繕計画では、将来の管理コストとしてLCCが考慮されている。各自治体の橋梁長寿命化修繕計画は、下記参照のこと。

[http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo8\\_1.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo8_1.pdf)

- ・構造物では劣化予測が確立されていない。また、将来補修費用の算出は困難であるため、構造物の維持管理計画でLCCは考慮していない。
- ・通常の維持管理においては詳細にLCCを考慮していない。

(対象構造物)・道路橋を中心として、それ以外の構造物へも展開されつつある。

- ・鋼構造，トンネル，コンクリート構造物。

#### 2. 対象構造物は、個別構造物単位または構造物群として（アセットマネジメント）か

- ・現状では、管理構造物全体を対象とした計画である。個別構造物の管理では、計画は参考とするものの、実際の損傷状況の調査に基づき、適切な補修方法や実施時期を決定している。
- ・構造物群として考えている。

#### 3. 1～2について、下記の項目をどのように考慮しているか

##### a) コストについて

- ・精度の限界はあるが、維持管理に係る標準的なコストを計上している。
- ・補修コスト、及び補強コストを見込んでいる。

##### b) 補修実施の時期（間隔）、補強実施の有無とその時期、解体・更新の時期について

- ・精度の課題はあるが、標準的な劣化曲線を設定し、路線の重要度に応じた管理戦略に基づき補修実施時期が設定している。
- ・新幹線に対する予防保全としての更新工事（大規模改修工事）を実施している。

##### c) これら補修・補強、更新の実施を判断する物理量と閾値について

- ・路線の重要度に応じた管理戦略を設定している。選定された管理戦略により、補修の実施時期、補修方法が決められている。ただし、総費用を推定するための計画であり、個別構造物では実際の劣化状況や予算制約の中で、実際の補修工事は決められる。
- ・軌道補修の場合の軌道変位量など、物理量を考慮して補修を行う設備もある。
- ・鋼構造における疲労限、コンクリート構造物におけるひび割れや中性化進行速度（鉄筋腐食限界）、トンネル覆工のひび割れなどを考慮している。

##### d) (社会的) 割引率

考慮していない：1社

e) その他の検討項目

- 例えば、東京都の橋梁の維持管理計画では、予防保全による維持管理費用の削減効果に加え、CO<sub>2</sub>排出量の削減効果も計算されている。
- 基本的に通常の維持管理においてLCCを詳細に検討することはない。  
取替や改良、補強等の設備投資を行う場合に、LCCを考慮する場合がある。  
例えば、補修費用を減らす目的で、新材料等導入の設備投資を行う場合などは、何年間で投資回収ができるかといった検討を行う。この時、現在価値で比較するために将来費用を物価上昇率等の割引率で割引し投資額との比較を行う場合がある。

■ 土木構造物の寿命に関する規定

1. 構造物の寿命はどのように考えているか（定義しているか）

①定義している：2社 ②（明確に）定義していない：2社

- 利用制限をしても（機能の一部すらも）活用できず使用を完全に中止したとき。
- 初期に設定した機能を果たせなくなり、使用制限（車両制限など）を行ったとき。
- 結果としての寿命は、構造物が建設されてから撤去されたまでの期間と理解している。どの段階で更新するか、補修や補強をあきらめるかについては、管理者により判断される。もう何年間機能を提供するのか、どの程度の機能が必要なのか、どの程度の間隔で補修が必要となるのか、将来的な予算・費用の制約下でいつどのような措置を行うのが最適か、更新が可能なのか、等、様々な要因を考慮し、架け替えの選択が行われる。

2. 1で定義した場合、限界状態としてはどのようなものを設定しているか（複数回答可）

使用限界状態：3社（許容応力度により設定）

終局限界状態：2社（コンクリート橋の設計や耐震設計で設定）

復旧限界状態：2社（耐震設計で設定）

疲労限界状態：1社

その他：安全性、耐久性を照査

3. 各限界状態について、構造物ごとに設定している物理量とその閾値について（定性的に設定した指標を含む）

①設定している：3社 ②設定していない：1社

- 鉄道構造物等設計標準・同解説に準ずる。
- 状態、構造物、物理量、閾値、使用限界状態、橋梁の各部材、鉄筋応力度、降伏点、修復限界、橋脚耐震設計、塑性率：3～5、終局限界状態、コンクリート部材、圧縮ひずみ：0.0035-0.0025

## 参考資料 6 点検・モニタリング技術の要素技術について

### 点検・モニタリング技術の要素技術について

モニタリング技術WGで討議した点検・モニタリング技術への適用と高度化が期待される要素技術について、技術概要、課題、ニーズへの対応、今後の開発方向性の観点から以下にまとめた。

現在までにインフラの点検・モニタリングに使用されている技術は、定置型/移動型共に多岐にわたる。モニタリングを実施するには、対象となるインフラ毎に適正な手法の選択が必要となることからモニタリングに適用可能な要素技術の特徴、課題等を整理し、データベース化することが重要である。すでに各方面において様々な調査検討・報告がなされているが、それらを統合したデータベース化が必要である。最終報告書本文の「4. 点検・モニタリング技術に関する提言」に記載した通り、ニーズとシーズのマッチングを進めるために要素技術のデータベース化によるモニタリング技術基盤が強力なツールとなる。今後の点検・モニタリング技術の向上、適用の拡大に期待する。

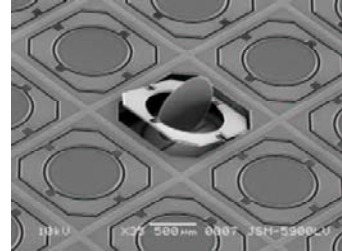
要素技術:センサー、周辺技術	技術と活用の現状	今後取り組むべき主な課題
加速度センサー MEMS センサー 広帯域振動センサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建物、橋梁など、大型構造物の振動を計測する加速度センサー。地震、台風などの際の大きな振動のほか、日常の極微弱な無感振動までを計測対象とする。</li> <li>・MEMS 技術を利用した小型・安価なタイプの加速度センサーが主流になってきている。</li> <li>・圧電材料を用いた高感度かつ広帯域での測定が可能な振動センサーも開発されており、半導体センサーよりも、低コストというメリットがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象物の振動特性と、その損傷、劣化などとの関連の把握が未確立であるため、センサー仕様の最適化の余地がある。</li> <li>・取得データの通信方式、電源供給、データ処理内容など、インフラモニタリングに最適化する必要がある。</li> </ul>
大気腐食センサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ACM(Atmospheric Corrosion Monitor)センサー:異種金属対からなる電極間を流れる電流変化から環境腐食性のモニタリングを行う。すでに実構造物中各部位の環境腐食性評価に適用されている。</li> <li>・同心リング型腐食センサー:電気化学的インピーダンス測定によって、鉄鋼材料のほか、亜鉛やアルミ、アルミ合金の腐食モニタリングを行う。模擬構造物を用いた、各部位の腐食挙動および耐食性のモニタリングの検証を行っている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサーの設置方法、電源の必要性、センサーの耐久性などに課題がある。</li> <li>・化学センサー(塩分、pH、水分等)の開発が期待される分野である。</li> </ul>
電磁波センサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波センシング技術は、コンクリート構造物の鉄筋位置、かぶり深さの測定、空洞検知、ひび割れ検知に、現在広く用いられている。</li> <li>・鉄筋腐食の診断、コンクリート塩分濃度推定、塗装下の腐食検知、木造建築物診断への応用に向けた開発も進められている。</li> <li>・10 GHz 以上の周波数を用いたレーダが開発されており、従来の1-2.6 GHz のレーダに比べて一桁良い水平分解能が期待できる。</li> <li>・ミリ波レーダはさらに分解能が高く、コンクリート表面の1mm以下の幅の細いひび割れを検知できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今後、広い周波数領域の電磁波に対する対象の材料特性等を踏まえたセンサーの最適化、点検運用を効率化するシステムの実現等が必要である。</li> </ul>
光ファイバーセンサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光ファイバーセンサーは長手方向の歪や温度等の物理量を連続的に計測することができ、計測対象に面的に敷設することで大規模構造物のモニタリングを可能とする。</li> <li>・光ファイバー自体が伝送機能を有しており、大容量の計測値を長距離伝送することが可能。</li> <li>・光ファイバーセンサー自体には電子部品を使用しないため、電源が不要であり寿命も長い。</li> <li>・防爆性に優れるため化学プラント等の産業インフラへの展開も有望である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測対象への施工技術、データ解析技術等に課題がある。</li> </ul>

要素技術: センサー、周辺技術	技術と活用の現状	今後取り組むべき主な課題
画像診断技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来目視点検で行われてきたコンクリートの点検をカメラ画像を活用して診断する。</li> <li>・現在も、様々な手法が研究・開発が進められている。</li> <li>・非接触で広範囲を短時間で計測できるという特徴に強みがある。</li> <li>・撮像速度や解像の向上が進んでおり、構造物の振動等も検出・解析可能なレベルに到達しつつある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像情報と劣化などを結びつける指標化が必要。</li> <li>・通常の画像以外に、赤外線熱映像の活用なども必要。</li> <li>・屋外環境での計測頑健性、および、遠隔計測での精度の確保も必要である。</li> <li>・外乱要因のある環境で安定的に計測可能な頑健な処理アルゴリズムが必要となる。</li> <li>・材質変化や内部劣化まで遠隔観測可能な手段として進化させることも重要。</li> </ul>
エネルギーハーベスティング	<ul style="list-style-type: none"> <li>・身の回りの小さなエネルギー(太陽光、熱、振動、電磁波等々)を電気エネルギー等に変換・蓄積し、安定した電気エネルギーとして供給する技術である。</li> <li>・インフラのモニタリングでは、広い範囲に多くのセンサーを設置し、長期間にわたる稼働が求められるため、センサーの自立的電源としてエネルギーハーベスティングへの期待が大きい。</li> <li>・得られるエネルギーは小さいため、機器を動作させるためにエネルギーを蓄積する時間が必要で、センサーの待機時間中にエネルギーを蓄えることで長期間動作を可能とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置環境ごとに、センシングやデータ転送に必要なエネルギーを獲得できるエネルギーハーベスティング手段の選択が必要である。</li> <li>・エネルギーの収集効率、変換効率の向上が必要。</li> <li>・エネルギーの蓄積用二次電池の小型化、大容量化。</li> <li>・安全性が高く、長期使用が可能な二次電池の開発(たとえば、全固体Li電解質の二次電池の開発等)</li> </ul>
無線センサーネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インフラのセンシングでは、多くのセンサーからのデータを集約する必要があり、伝送線路の敷設やその保守などコストを低減させるため、ワイヤレス無線によるセンサーデータの伝送が期待されている。</li> <li>・多くのセンサーのワイヤレス接続に関しては、信頼性の高い多段接続のワイヤレス無線マルチホップネットワークがある。この方式は中継経路に障害が発生した場合、動的にネットワークを再構成して通信を継続させる機能を持っている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インフラに設置した場合、構造物や自然環境による無線の空間伝送への影響を考慮する必要がある。</li> <li>・インフラごとに適したネットワークポロジの選択が可能な技術開発</li> <li>・インフラモニタリングに特化した無線方式の開発も必要。</li> <li>・無線モジュールの低消費電力化技術開発が必要。</li> <li>・通信データの暗号化やデータ圧縮技術の開発も重要。</li> </ul>
近赤外分光	<ul style="list-style-type: none"> <li>・近赤外光によるアルカリ骨材反応、中性化などの異常を発見する技術。</li> <li>・構造体に散乱さえなければセメントおよび骨材ともに材料としては吸収を持たないので、鉄筋まで透過して観察が可能。またアルカリ骨材反応や中性化、塩害あるいは錆汁によって近赤外領域に吸収が現れるため、その場所および原因を特定することも可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・赤外吸収を2次元画像化する技術。</li> </ul>
情報通信技術 (ICT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大量のデータを様々な解析技術を用いて『知識化』する、ビッグデータ解析技術が期待されている。</li> <li>・蓄積されたデータの統計処理結果や、構造シミュレーション、データマイニングといった解析技術も活用することが重要。</li> <li>・ICTを支える「クラウド」、「ストレージ」、「HPC(High Performance Computing)」といったハード的な基盤技術は、国内のICTメーカーの技術が支えている。</li> <li>・ビッグデータ解析によって得られたインフラの状態情報は、インフラの総合診断に活用され、「診断情報」としてインフラの寿命・余寿命予測や、健全性指標、ライフサイクルコスト低減指針などの重要な情報を、出力することが期待される。</li> <li>・地震や台風といった災害時において「インフラの健全性」といった情報を活用することで地域住民や利用者に対しての「安全・安心」情報の発信といった社会への貢献も期待できる。</li> <li>・センサーシステムから得られた高品質な科学的データは、次世代技術の研究開発に活用することも想定される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インフラから得られるデータとインフラ状態情報との間に相関を見出す解析技術開発が必要。</li> <li>・インフラの寿命・余寿命予測手法、健全性指標の算出手法といった基礎技術開発を進める必要がある。</li> <li>・ハード的な基盤技術を整備し、インフラから得られる様々なデータを蓄積することが重要。</li> <li>・蓄積データの高速検索技術等のソフトウェアの開発も必須。</li> <li>・データ送信時における暗号化等のセキュリティ対策の検討。</li> <li>・国際標準化を視野に入れた、センサー接続インターフェース、データフォーマット等の標準化の推進も重要。</li> </ul>

# MEMS型加速度センサー

## ◆ MEMS技術概要

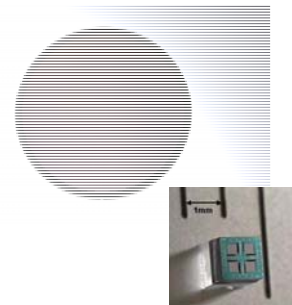
MEMS(Micro Electro Mechanical System)技術は、半導体微細加工技術を応用し、シリコン基板・ガラス基板有機基板上に機械要素部品・センサー・アクチュエータ電子回路を集積したデバイスを指す。加工寸法としては数ミクロン～数百ミクロンであり、印刷方式により1つの基板上に複数のデバイスを一括で形成することが可能であり、従来の組み立て方式と比較し、微細化と低価格化を達成できる。



MEMS技術により作成したミラーデバイス

## ◆ MEMS型加速度センサー

MEMS技術により形成した慣性センサーのひとつである。検知方式により、静電容量型・ピエゾ抵抗型・ガス温度分布型に大別される。



SOIシリコン基板上に形成したピエゾ抵抗型加速度センサー。約2万個が形成されている

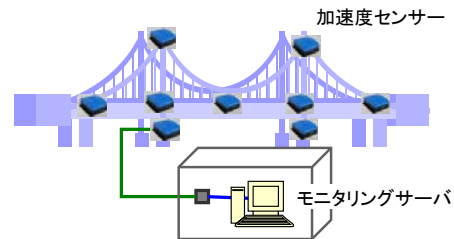
## ◆ MEMS型加速度センサーアプリケーション

MEMS技術により大量生産が可能となり、動きや振動を検知できるセンサー部品の一つとして、さまざまな家電製品に応用されている。代表的な応用例としてはスマートフォンの画面傾き補正やデジタルカメラの手ぶれ補正が上げられる。

# 加速度センサー

## ◆ 概要

- ・構造物の振動の大きさを計測
- ・対象は、道路や鉄道の橋梁などの構造物、ジェットファン、標識などの付帯設備、周辺地盤など
- ・通過する車両のほか、地震、風などによる振動で構造物が変形し、疲労の蓄積、劣化の進行や、破断、亀裂などの損傷として現れる影響を推定。

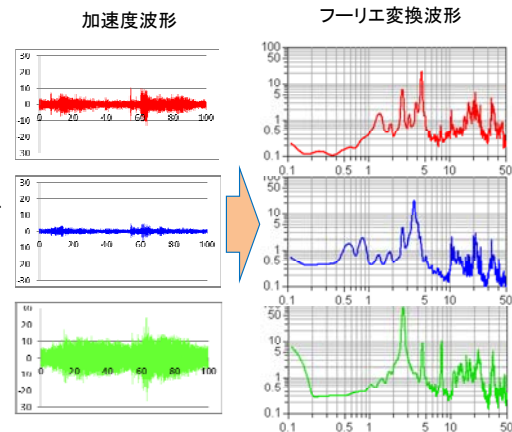


## ◆ 特徴

- ・損傷等による剛性変化を、固有振動数の変化として捉えることで、構造物全体を対象とした変状の監視が可能
- ・加速度から変位を計算し、変形・たわみなどの評価指標への応用が可能
- ・長期安定性、耐久性を実現可能
- ・MEMS技術の応用により比較的安価で実用性能を有するセンサーが実現可能

MEMS: Micro Electro Mechanical Systems、シリコン・ガラスなどを素材とし、半導体と同様の加工・製造方法によって、機械的な微細構造と電極などの電気回路を合わせて形成、必要機能を超小型に製作

参考: <http://www.fujielectric.co.jp/products/shm/index.html>





# 光ファイバーセンサー 1/2

## ◆ 光ファイバーセンサーの原理

光源の光を光ファイバーセンサーに入射させ、周囲の物理量によって生じる透過光や反射光の変化を受光器で捉える。

## ◆ 光ファイバーセンサーの特長

- ・分布計測、準分布計測が可能
- ・電磁気ノイズ等の影響を受け難い
- ・光ファイバーセンサー自体には電源が不要
- ・光ファイバーセンサー自体が計測データを伝送可能
- ・防爆性に優れる
- ・長寿命(耐久性、耐食性に優れる)

## ◆ 光ファイバーセンサーの種類と計測対象

センサー種類	センシングのタイプ			計測対象							
	分布	準分布	ポイント	歪	温度	振動 加速度	圧力	電流 磁界	曲げ	断線	ON/OFF 光スイッチ
OTDR	○								○	○	○
ROTDR	○				○					○	
BOTDR	○			○	○					○	
FBG		○	○	○	○	○	○				○
BOF		○	○		○		○				
ファラデー型		○	○					○			○
干渉型			○		○	○		○			
ファイバー ジャイロ			○			○		○			

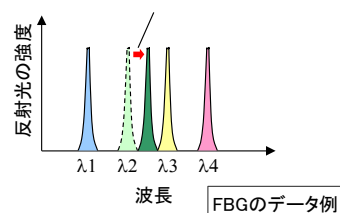
# 光ファイバーセンサー 2/2

## ◆ 代表的な光ファイバーセンサーとその特徴

### FBG (Fiber Bragg Grating)

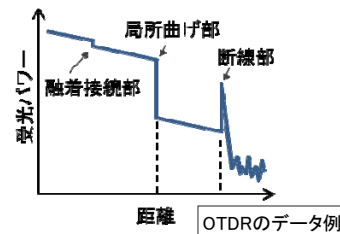
光ファイバーに形成した回折格子で、反射する光の波長が歪みや温度によってシフトする現象を利用した光センサー。構造物の歪みや変位を高精度に測定できる。

歪みにより反射光の波長がシフト



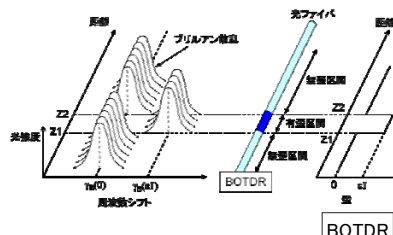
### OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

光ファイバーに入射したパルス光が入射側に戻ってくる反射光を時間領域で測定することにより、光ファイバーの局所曲げあるいは断線の発生位置を測定できる。



### BOTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer)

光ファイバーに入射したパルス光が入射側に戻ってくる反射光の周波数分布を解析することにより、光ファイバーに生じている長手方向の歪みを高精度に測定できる。広範囲の構造物の歪みを測定できる。



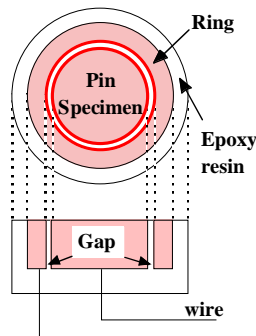
### ファラデー型センサー

光ファイバーの偏波角度が、光ファイバー先端に取り付けたファラデー素子に対する磁石の位置で変化する現象を利用した光センサー。水位検知器、雨量計等に使用されている。

# 同心リング型腐食センサー

## ◆センサーの概要

同心リング型腐食センサーは同素材・同面積のピン電極およびリング電極からなり、絶縁体を介してエポキシ樹脂に同心円状に埋め込まれている。電極材料を変えることで種々の金属材料の腐食モニタリングが可能である。



Gap: 100 μm  
センサーの外観図



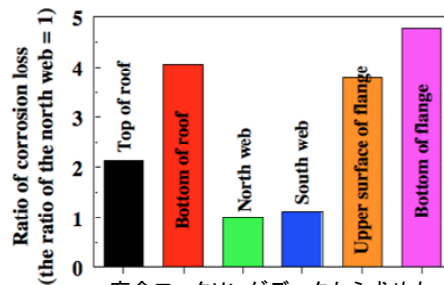
鋼製モデル構造物

## ◆測定原理

結露や降雨などによる電極表面の状態に対して、ピン電極とリング電極間の電気化学インピーダンスを測定することで表面の濡れおよび腐食の抵抗を測定する。

## ◆鋼製モデル構造物各部位の耐食性

同心リング型腐食センサーを各部位に適用し、モデル構造物各部位の腐食モニタリングを行った。得られたデータから腐食量を求めた結果、垂直面よりも水平面、天井面よりフランジ面、天空面より対地面の方が腐食量が大きいことが定量的に明らかになった。



腐食モニタリングデータから求めたモデル構造物各部位の腐食量

参考文献: 片山他, 鉄と鋼, 第90巻, 8号, p.562 (2004年)

# 電磁波センサー

## ◆センサー概要

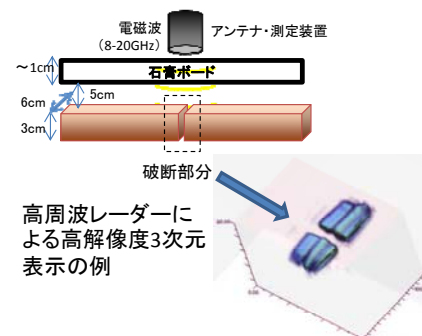
電磁波センサーは、電波の物質を透過する特性を利用して、コンクリート構造物の検査、塗装下の金属表面の検査等に広く用いられている。



電磁波センサーによる調査の例

## ◆開発動向

- ・ 鉄筋腐食の診断、コンクリート塩分濃度推定、木造建築物診断への応用に向けた開発が行われている。
- ・ 表面から見えない微小なひび割れの検知等に、ミリ波レーダーの応用が進められている。
- ・ 橋梁やトンネルの、変位、位置ずれ、振動等を遠隔より計測する、地上設置型合成開口レーダー/干渉レーダーの応用が進められている。



高周波レーダーによる高解像度3次元表示の例

参考文献: (コンクリート内配筋調査レーダー) <http://www.tamano.or.jp/usr/trcpost/radar/rader.html>  
(木造建築物診断イメージングレーダー) [http://www.nict.go.jp/collabo/commission/k\\_165a.html](http://www.nict.go.jp/collabo/commission/k_165a.html)  
(地上設置型合成開口レーダーについて) <http://www.soumu.go.jp/soutsu/kanto/stats/>

# AE(Acoustic Emission)センサー

## ◆概要

AEは、固体が変形あるいは破壊する時に発生する音を弾性波として放出する現象のことで、この弾性波をAEセンサーによって検出し、非破壊的に評価する手法をAE法と呼ぶ。

AEは破壊に至るはるか以前から、小さな変形や微小クラックの発生・進展に伴って発生するため、AEの発生挙動を捉えることで、材料や構造物の欠陥や破壊を発見・予知することができる。

## AE法の利点

- ・塑性破壊や微視破壊の進展をリアルタイムで観測できる
- ・複数のAEセンサーを使用することで欠陥の位置標定が可能
- ・稼働中の設備を診断できる

## ◆適用例

米国ではAEセンサーを用いたモニタリングシステムが実用化されており、1926年に完成したベンジャミン・フランクリン橋は港湾当局によるリアルタイムモニタリングによって供用が続けられている。

## 参考文献:

<http://www.fujicera.co.jp/product/j/05/01.html>

[http://www.pacndt.com/index.aspx?go=research&focus=/recent%20contracts/remote\\_bridge\\_monitoring.htm](http://www.pacndt.com/index.aspx?go=research&focus=/recent%20contracts/remote_bridge_monitoring.htm)

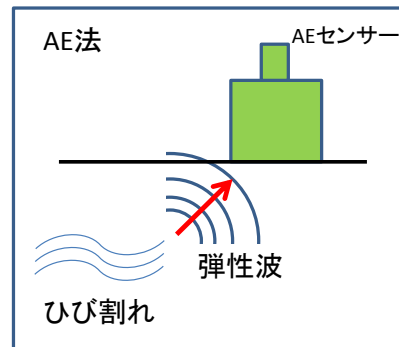


Figure 1. Acoustic Emission monitoring on a suspension bridge.

出所: Physical Acoustics Corporations

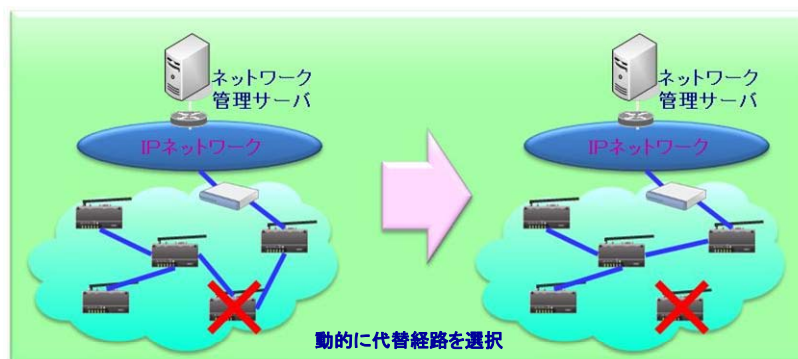
# 無線マルチホップネットワーク

## ◆概要

無線マルチホップネットワークは、センサーなどに接続される無線ユニットを多段中継してデータを伝送する技術

## ◆特長

- ・無線ユニット間で多段中継することで、少ない基地局で広域のネットワークの構築が可能
- ・無線環境が変化したり中継する無線ユニットが故障した場合、それ以外の無線ユニットが動的に品質の良い代替経路を選択し、通信を継続することが可能



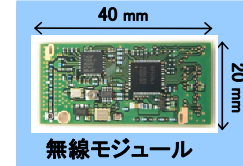
## 参考文献:

”スマートネットワーク向け無線マルチホップ通信技術”OKIテクニカルレビュー, No218, [https://www.oki.com/jp/otr/2011/n218/pdf/218\\_r23.pdf](https://www.oki.com/jp/otr/2011/n218/pdf/218_r23.pdf)

# Wi-SUN無線ネットワーク

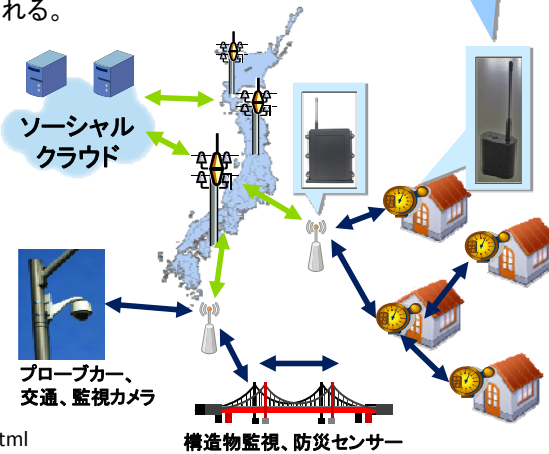
## ◆概要

- ・各種センサーからのデータを、ワイヤレスによるマルチホップ通信により収集するネットワークの技術。
- ・スマートユティリティネットワーク(SUN)のワイヤレス標準規格IEEE802.15.4g/4eに準拠した小型化・省電力化を実現した920 MHz帯の無線機により、セキュリティにも配慮して、柔軟にネットワークを構築することができる。
- ・電力会社が次世代電力量計用無線通信方式としてWi-SUNを採用したこと等から、無線機器の急激な普及が期待される。



通信距離	~500 m
伝送速度	~400 kbps
マルチホップ	~30 ホップ
稼働時間	10年間 (単3型2~3本)
モジュールサイズ	20 mm × 40 mm

各種センサーと連携可能、  
遠隔モニタリングや管理制御が可能



参考文献: <http://www.nict.go.jp/press/2013/10/03-1.html>

# 画像処理

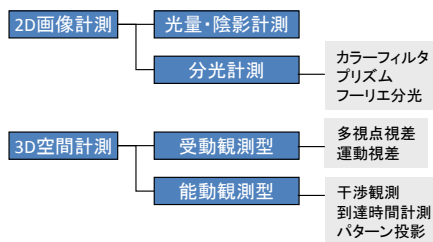
## ◆概要

- ・物体からの反射光を撮像センサーで読取
- ・目視点検代替・客観指標化への活用が進展
- ・2D画像計測と3D空間計測に大別
- ・陰影・色・形状等の解析により異常を検出

## ◆特徴

- 非接触で広範囲を短時間に計測できる
- 足場・交通規制不要で低コスト運用可
- 多波長観測で温度・表面材質を識別可能 (温度から浮き,材質から腐食等を検出可)
- 微小形状変位から歪・たわみを計測可能
- 高速撮像により振動計測も可能
- △ 天候・照度・表面汚れが精度に影響
- △ 2D: 奥行き情報なし、亀裂検出不安定
- △ 3D受動型: テクスチャ・視差が精度に影響
- △ 3D能動型: 多点スキャン速度・価格に難
- × 内部劣化状態は分からない

## 画像センシング技術の分類



2D	構造物表面の陰影模様や分光特性を計測
3D	受動型: 複数視点画像から三角測量で形状推定 能動型: 光投射+観測で形状測定。 以下3方式が主流: ①光の反射時間から絶対距離を測定 ②位相差から相対距離を測定 ③パターン投射+三角測量で形状推定

事前のセンサー敷設なしで低コストに利用可能 → 定期点検の効率化に好適  
精度・頑健性に課題 → 多種観測手段を併用・補完する技術開発の進展に期待

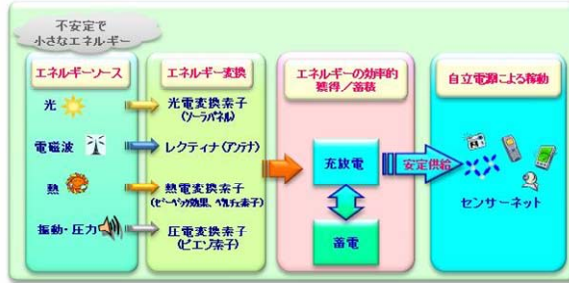
# エネルギーハーベスティング

## ◆概要

身の回りには不安定で小さなエネルギー源があり、それを積極的にかき集め(ハーベスト)電気エネルギー等に変換・蓄積し、安定した電気エネルギー等として活用する技術。

エネルギー源としては、太陽光、熱、振動、電磁波等がある。

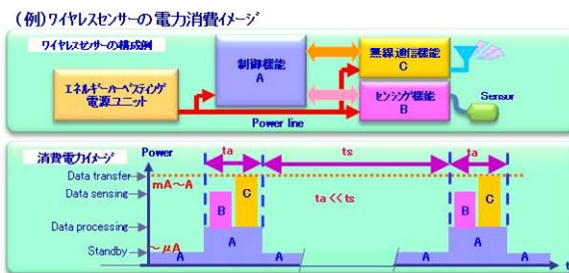
変換して得た電気エネルギーは不安定であり、多くの場合このエネルギーを蓄電池やキャパシタ等に蓄え、そこから安定した電気エネルギーとして供給する充電回路を通して機器に供給することになる。



## ◆適用

得られるエネルギーと消費するエネルギーのバランスが重要。

例えば、稼働率がそれ程高くないセンサーネットワーク等への適用が期待されている。



参考文献:

エネルギーハーベスティングコンソーシアム <http://www.keieiken.co.jp/ehc/index.html>

# ビッグデータの活用

## ◆概要

ビッグデータは単に量が多いだけでなく、様々な種類や形式が含まれるデータ群である。今までは管理しきれず、見過ごされてきたデータ群を記録・補完して即座に解析することで、ビジネスや社会に有用な知見を得たり、新たな仕組みやシステムを生み出す可能性が期待されている。

構造物に設置した各種センサーによるリアルタイムモニタリングによって収集する膨大なデータをビッグデータ解析することで、構造物の余寿命や劣化診断などの知見が得られると期待されている。



ビッグデータを構成する各種データ(例)

ビッグデータの活用(イメージ)

(出典)情報通信審議会ICT基本戦略ボード「ビッグデータの活用に関するアドホックグループ」資料

参考文献: <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/nc121400.html>  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000160628.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000160628.pdf)  
<http://www.hitachihyeron.com/2013/10/pdf/10a04.pdf>  
<http://jpn.nec.com/techrep/journal/g12/n02/pdf/120202.pdf>

# その他(交通量モニタリング)

## ◆概要

橋梁の疲労損傷を考える場合は、最大活荷重よりも走行状態で定常的に受ける変動荷重のほうが重要である。すなわち、橋梁を通過する交通流の問題となる<sup>(1)</sup>。

映像による交通量計測システムにより、橋梁や高架橋の単位時間当たりの車両通過台数を計測し、橋梁等にかかる負荷量の変動を常時モニタリングする。

## ◆特徴

- 映像による交通量計測は、カメラと処理部(汎用PC)を設置するだけで良いため、従来の超音波式・ループコイル式などの道路敷設型交通量計測システムと比較して導入費・維持費を安価に抑えることができる。
- 1台のカメラで複数車線の交通量計測を行うことが可能で、かつ各通過車両のサイズや速度、渋滞状況まで測定できる<sup>(2)</sup>。
- 車両サイズをもとにした車重推定を行うことで、重量センサーなどを設置することなしに変動荷重モニタリングが行える<sup>(2)</sup>。
- 加速度センサーや光ファイバーセンサーなどの組み合わせにより、より高精度な車重推定が可能となる。

参考文献:

(1) “道路橋の活荷重”, 土木構造物荷重指針連合小委員会 資料, 2004/09/27

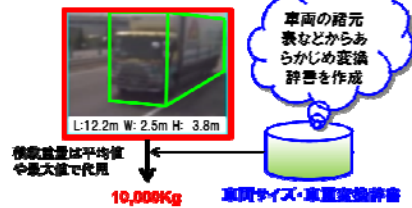
(2) “映像処理による交通量計測システムの紹介”, OKIテクニカルレビュー, No.220, [http://www.oki.com/jp/otr/2012/n220/pdf/220\\_r03.pdf](http://www.oki.com/jp/otr/2012/n220/pdf/220_r03.pdf)

交通量計測用カメラ



参考文献(2)により1台のカメラで複数車線の車両の通行量、車両サイズ、速度等を計測可能

車重の推定



交通量データ 橋梁にかかる荷重変動をモニタリング

時刻	車線	速度	車種	車幅	車高	車重
10:20:11	1	60	3.5	1.8	1.5	1.5
10:20:12	1	60	12.2	2.5	3.6	10.0
10:20:20	1	65	10.2	2.3	3.3	8.6
...	...	...	...	...	...	...

## 産業インフラ配管の保温下外面腐食診断技術の開発

産業インフラ配管（総長100万km）は保温下外面腐食（CUI）が顕在化し、膨大な付帯費用（仮設足場、保温撤去）を要する検査を行っている。付帯費用Minの合理的な検査診断技術を開発する。腐食要因の水分をスクリーニングし、超小型X線で配管厚さ計測するシステムを組み合わせた検査技術の開発が望まれる。

### 現在の要素技術開発



目標：腐食取りこぼし無のスクリーニング  
（腐食要因の水分を高感度で検出）  
ノイズ低減型中性子水分計（ポータブル）開発  
H18～19年度：地域新生コンソーシアム（経産省）



目標：効搭載用薄型中性子センサシステム  
（隣接配管間100mm対応）  
センサ厚：120mm⇒70mm品を開発  
H24～25年度：JST復興促進プログラム（JST）



目標：センサ部回転機構付自走ロボット  
（隣接配管間100mm対応、サポート通過）  
鞍型遠隔操作自走メカを試作開発  
H23年度：被災地等復興支援事業（経産省）



目標：口径10インチ級配管厚さを断熱上から計測  
（隣接配管間100mm対応、効搭載対応）  
150keVカーボン構造体小型高輝度X線源開発  
H24～26年度：JST A-STEP（JST）



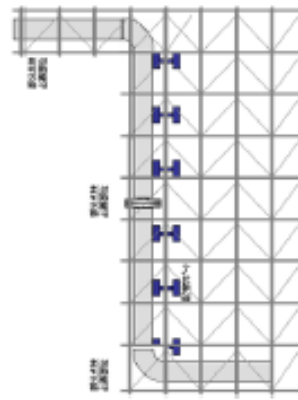
目標：配管厚さX線像をリアルタイム取得  
（厚さ計測制度±0.1mm、効搭載対応）  
分解能0.1mm/ピクセル CdTe半導体センサ開発  
H24～26年度：JST A-STEP（JST）

### 今後の開発（ハイブリッドシステム開発）

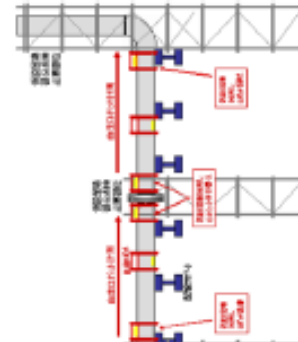
中性子センサ、超小型X線を自走メカに搭載した  
ハイブリッドシステムの実用開発を行う。

主課題：大容量小型電源、高信頼ワイヤレス通信技術、  
200keV線源、散乱線対策7ホトカウンタ型検出器など  
検査仮設足場を現行の1/3以下に合理化  
開発事業費：概算 200,000千円（H26～H28年度）

#### 現行足場規模



#### ハイブリッドシステム時



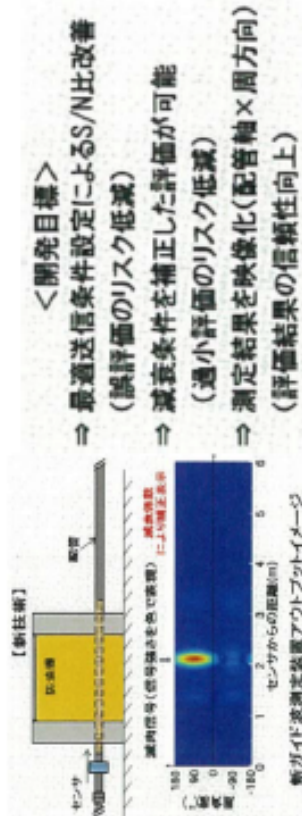
## 産業インフラ防油堤貫通配管等の埋設管腐食診断技術開発

産業インフラ防油堤貫通配管や道路下横断配管等(総箇所数 約40,000箇所)の腐食診断は合理的検査技術が無  
く、掘削等の多額な付帯費用と時間を要している。手軽なスクリーニング技術で掘削要箇所を絞れると合理的である。  
配管外から埋設範囲を探傷するハイパワー超音波ガイド波技術を開発することで効率的な検査が可能となる。

### 開発目標と課題

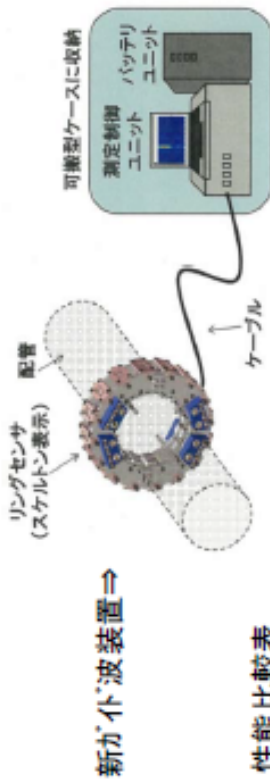


<開発目標-1(1~2年目)>  
ガイド波技術により防油堤貫通配管(長さ:~5m)および  
道路下横断埋設配管(長さ:~10m)にある  
腐食(深さ0.5mm以上)を検知可能な技術を開発



<開発目標-2(1~3年目)>  
配管残厚把握が可能なDATA処理手法を開発  
⇒ 腐食プロフィールの超音波周波数依存のアルゴリズムを  
研究、実用化

### 開発費用・体制・成果の事業化



#### 性能比較表

項目	従来技術	新技術	備考
評 価	—	解析的腐食係数検出方式	本研究の目玉その1
アウトプット	Aスコープ (非線形表示)	Aスコープ・Bスコープ (2次元映像化)	本研究の目玉その2
周波数レンジ	40~200kHz	20~100kHz	強減衰に最適な周波数設定
送信電圧	20Vpp~200Vpp	20Vpp~300Vpp	ハイパワー
送信波形	任意(パルス波)	任意(チャープ波)	本研究で決定
デジタルフィルタ	HPF:10~160kHz LPF:~320kHz (オンラインのみ)	HPF:任意 LPF:任意 (オフライン可能)	高ノイズ環境下に対応
対応口径	50A, 100A, 300A, 500A, 800A	100~800Aフレキシブル	現場稼働性の向上
電 源	AC100V	バッテリー(充電式)	現場稼働性の向上
重 量	38kg	20kg以下(目標)	現場稼働性の向上




開発事業費 : 概算200,000千円(H26~H28年度)



## コンクリート構造物(橋梁)診断技術開発への期待と産業インフラへの転活用

社会インフラコンクリート構造物(橋梁)の診断技術は、公共研究機関等による開発が進行。産業インフラ分野は、同開発の加速に期待すると共に、転活用の視点で注視する。

### 社会インフラ分野の主な開発活動

- 道路橋等の点検効率化への計測・NDI技術検証(国総研)**  
 ・アクティブ赤外線技術 ・打音IT化技術  
 ・電磁波技術 ・電磁誘導技術……等
- 高エネルギーX線技術(950keV、3.95MeV)鉄筋腐食状況把握(土木研、東京大学、(日立パワー、三菱化学))**  

 高エネルギーX線計測システム  
 可搬型950keV線源システム (JST復興促進プログラム成果)
- 移動型中性子イメージングシステム**  
**■ RC・PC耐力計算評価技術(理研、土木研)**  

 移動型中性子イメージング装置  
 完成時イメージ
- 高所対応センサ搬送功技術(土木研、東京大学)**  

 高所対応センサ搬送システム

### 産業インフラ転活用

埠頭設備RC耐力診断評価



大型鋼製装置内部診断等



大口径管等



蒸留塔等



タービンローター等

X線950keVは活用開始

1MeV以上X線、ハルス中性子線  
産業分野現場利用規制緩和要

異常箇所スクリーニング



詳細診断技術



詳細診断技術



RC・PC評価技術



高所付帯技術



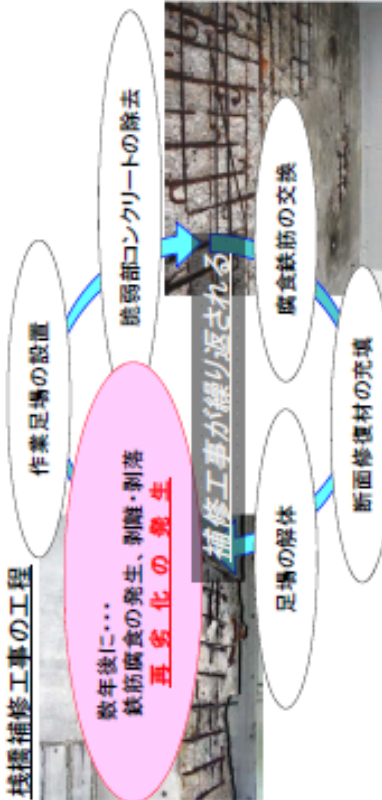
産業インフラの栈橋は、利用頻度が高く、原料や製品を受入・出荷する重要施設である。設備の供用中の施工は、稼働状況や潮位の影響を考慮し、短時間に行わなければならない。設備を停止し集中的に工事を行える期間も限られる。繰り返しかつ頻繁な補修は非効率で困難なことから、長寿命化技術の利用が有望である。そこで、塩害環境下にある産業インフラの栈橋を対象に、官民協働で長寿命化技術の信頼性や耐久性を検証する。関連技術の開発と普及展開の促進を期待できる。

### 現状技術の課題

＜現在の栈橋補修の問題点＞

- 劣化部のみ部分的な補修が多い。
- 補修後、数年の内に再劣化が発生。
- エポキシ樹脂等の有機系表面被覆は定期的な塗り替えが必要。
- 補修工事の繰返しにより、維持管理費用が増加する。
- 補修工事の繰返しにより、設備の供用が制限され施設稼働率が低下する。

栈橋補修工事の工程



＜現状技術の課題＞

- 栈橋構造物は一部が海面下に位置しており、利用頻度が高い為、補修工事は、干満の影響を考慮しつつ、供用の行われぬ短い短時間での施工が必要。
- 補修対策後、短時間で再劣化が生じない、長期耐久性を有する補修工法および材料の選定が必要。

高耐久でLCCが最適な補修工法の開発および有効性の検証が不可欠

### 実証対象とする長寿命化技術の例

・高耐久埋設型枠技術：

＜高耐久埋設型枠のメリット＞

- 従来の表面保護塗料と比較して塩害環境域における構造物の長期耐久性の向上を図る。
- 長期間にわたリメンテナンスフリーが実現可能。
- 施工時の養生期間と型枠脱型作業を省略でき、工程の短縮が図れる。
- 工場製品であり、優れた品質安定性と表面の美観に優れる。



・電気防食技術(流電陽極方式)：

鉄筋よりもイオン化傾向の高い金属(犠牲陽極)を鉄筋と接続し、鉄がイオン化する代わりに犠牲陽極材をイオン化させることで鉄筋腐食を防止する。

- 未補修部との境界面で急速に劣化を進行させる、マクロセル腐食を防止。
- 流電陽極方式の為、電源管理など不要のメンテナンスフリー。



産業競争力懇談会（COCN）

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 〒100-8280

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

Tel : 03-4564-2382 Fax : 03-4564-2159

E-mail : cocn.office.aj@hitachi.com

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄