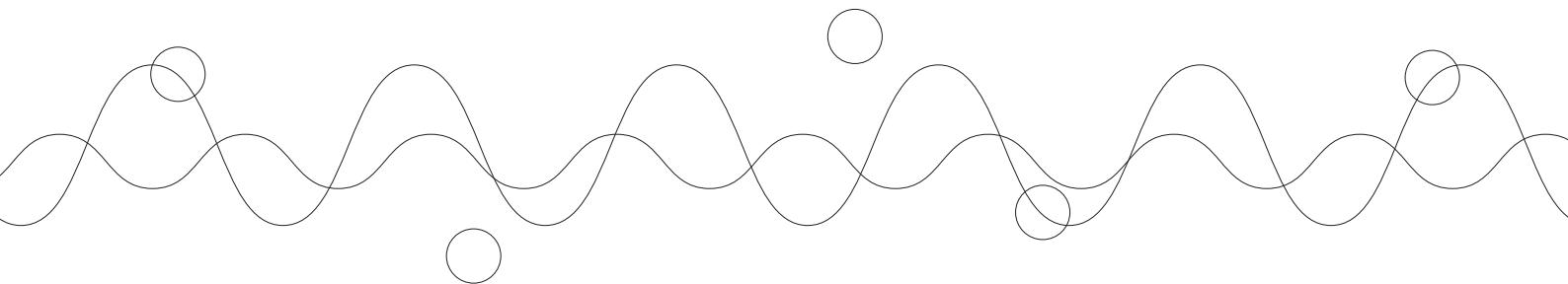


科学技術未来戦略ワークショップ
社会インフラ強靭化のための研究開発戦略

平成25年12月19日（木） 開催



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

エグゼクティブサマリー

科学技術振興機構（JST）／研究開発戦略センター（CRDS）は、JSTの研究開発戦略を立案するとともに、我が国の研究開発の推進に資する基礎データおよび知見の収集とそれに基づく戦略的研究分野の提言を行っている。

CRDSでは平成24年度に、社会が望み求めるここと（社会的期待）と具体的な研究開発領域／課題の抽出を独立に進めた上で、両者を結びつける（邂逅させる）一連のプロセスを実現した。その結果、検討すべき研究分野の一つとして「強靭で持続可能な社会インフラのデザインと構築」が取り上げられ、平成25年4月に社会インフラチーム（総括：木村英紀上席フェロー、チームリーダー：豊内順一フェロー）が編成された。

社会インフラチームは、「老朽化する社会インフラ・ストックの急増」、「少子高齢化に伴う、インフラへの公共財源投資の抑制、管理・保守の技術・人材の不足」、「東日本大震災での反省に基づく、災害対策強化への要望」という、インフラに係る社会的課題の解決を目指し、システム科学に基づいた「強靭で持続可能な社会インフラのデザインと構築」を実現するための科学技術戦略立案を目的としている。

これまでの有識者インタビューや文献調査などの活動を通じて、「社会インフラとサービスのあるべき姿」の全体デザインおよびシステム構築を実現するための本格研究に必要な、研究課題や科学技術の抽出を行ってきた。その結果、社会インフラの構築／運用／保守／修繕などに係る人材、費用、情報を有効活用するための総合戦略、より具体的には効率的なライフサイクル管理とメンテナンス、および統合的運営・管理のための方式の確立が必須であること。また、その前提となるべき社会インフラに関するデータの収集と統合的管理が不可欠であるとの仮説を得た。その一方で、社会インフラの多くの分野では、既存の設備やサービスの設計や構築などに係る情報や、稼働状況および検査結果・修繕記録などの運用保守関係のデータも電子化が十分でなく、結果として活用が困難な現状があることも明らかになった。

チームの調査・検討内容をより深化する活動の一環として、「社会インフラ強靭化のための研究開発戦略」ワークショップを開催し、橋梁、地盤、コンクリート、3次元モデル、3次元計測、地震防災、アセットマネジメント、下水道管路網などを専門とする有識者より最先端の技術、研究開発、標準化、業界などの動向に関する発表と意見交換を行うこととした。本ワークショップでは、さらに社会インフラに係る様々な情報やデータを統合的に集約・管理・モニタできる仕組みの構築に関する研究開発の技術的ボトルネックなどの把握と、今後の課題抽出・研究推進にあたって必要な方策、また本研究領域に公的資金を投入する意義の明確化などを議論することを目的とした。同時にメンテナンス業務の社会的／経済的地位の向上、ビジネス領域としての確立、ひいては科学技術領域としての体系化の可能性もあわせて検討することを目指した。

その結果、当該分野の研究開発を国が主導すること、インフラをセンシング・モデリングし、そのデータに基づいて様々な予測をし、チェック、修正、そして再チェックというサイクルを回すためのプラットフォームの構築と運用が重要であることが確認され

た。また、これらを実現するための研究テーマの設定や成果の現場への実装に重要な方策および課題として、主に以下のような意見が挙げられた。

- ・ニーズとシーズをすり合わせられる分野横断、府省横断で連携できる体制の構築
- ・社会インフラを総合的に管理するシステムの設計と（具体的なインフラおよび、調査、診断、評価、設計、維持管理、施工技術までの一連の流れでの問題解決を目指すために）その過程で必要な研究開発テーマの設定
- ・現状では熟練技術者の技能に依存している点検・判断プロセスのモデル化
- ・社会インフラの維持管理に係る研究および実務の人材の育成体制
- ・研究成果を現場で実用化していくプロジェクト体制
- ・少人数、短期間、低コストでメンテナンスを実施可能とするハード・ソフトの要素技術とシステム化技術の研究開発
- ・大都市モデルと大規模数値計算を活用した統合シミュレーション
- ・劣化予測・実データの統計分析に基づくアセットマネジメントと標準化モデル
- ・情報やデータの利活用による効果を示せるサクセスストーリーの検討・提案
- ・海外展開のために、維持管理を含め、どのようにパッケージ化するかの戦略

これらの課題の一部は、社会インフラチームのこれまでの活動においても指摘、議論されていたものであるが、本ワークショップでの討議を通じて改めてその重要性が確認され、さらにはより具体的な検討内容の提案も多数いただくことができた。

今回のワークショップで得られた意見や提案を整理、統合し、多くのステークホルダーとの関わり方やアウトプットイメージを明確にすることに留意しつつ、社会インフラチームが作成する提案書（戦略プロポーザル）へと反映する予定である。

目 次

エグゼクティブサマリー

1. 開催概要	1
2. 講演概要	5
3. 全体討論概要	19
4. 発表資料	34

1. 開催概要

1-1. 背景と目的

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）は、わが国の研究開発戦略、ならびに研究開発活動の推進に資する提案の作成を主たる使命として活動している。

社会インフラの構築は、人々の生活を快適にし、国家の繁栄に寄与してきた。しかし、わが国を含む先進工業国においては、すでに膨大な社会インフラのストックが蓄積されており、維持管理や補修・補強などのコストが急増するとともに、老朽化に伴う事故や障害も頻発している。財政状況の悪化が進むなか、既存のストックを維持・保全する社会負担を低減させることができ、将来的にわが国が国際競争力を確保し、持続的に発展するための必須条件である。

直近では、従来の技術を適切に活用することで、社会インフラの維持管理と更新・補修の質を高めながら、これらの業務を効果的・効率的に実施することで全体コストの低減を図る必要がある。しかし、将来的に社会インフラを強靭化し持続可能とするためには、これまでの維持管理・補修・更新などのメンテナンスのパラダイムを根本的に転換した、新しい社会の構築を目指さねばならない。「社会インフラチーム」は、このような問題意識に対応するための研究開発戦略の立案を目指し、平成25年度にCRDSにて発足した。

チームでは、文献調査や有識者インタビューを通じて、「社会インフラとサービスのあるべき姿」の全体デザインおよびシステム構築を実現する本格研究に必要な、研究課題や科学技術の抽出を行ってきた。その結果、社会インフラの構築、運用、保守・修繕などに係る人材、費用、情報を有効活用するための総合戦略、また効率的なライフサイクル管理とメンテナンス、および統合的運営・管理の方式の確立が必須であること。そして、その前提となるべき社会インフラに関するデータの収集と統合的管理が不可欠であるとの仮説を得た。ところがその一方で、社会インフラの多くの分野では、既存の設備やサービスの設計や構築に係る情報や、稼働状況や検査結果・修繕記録などの運用・保守に関するデータの電子化が十分でなく、結果として活用も困難な現状があることも明らかになった。

本ワークショップは、社会インフラに係る様々な情報やデータを統合的に集約・管理・モニタできる仕組みの構築に関する研究開発の技術的ボトルネックなどの把握と、今後の課題抽出・研究推進にあたって必要な方策、また本研究領域に公的資金を投入する意義の明確化などを、有識者との議論を通じてより具体化することを目的として企画した。同時に、メンテナンス業務の社会的／経済的地位の向上、ビジネス領域としての確立、ひいては科学技術領域としての体系化の可能性もあわせて検討することを目指した。

1-2. 日時・場所

日 時：平成 25 年 12 月 19 日（木）13 時～17 時 40 分

場 所：JST 東京本部別館 4 階会議室 E

1-3. 参加者

講演者（敬称略、五十音順）

貝戸 清之	大阪大学 大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 准教授
高橋 良文	東京都下水道サービス 株式会社 専務取締役
藤野 陽三	東京大学 大学院 工学系研究科 総合研究機構 特任教授
堀 宗朗	東京大学 地震研究所 教授
前川 宏一	東京大学 大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
増田 宏	電気通信大学 大学院 情報理工学研究科 知能機械工学専攻 教授
矢吹 信喜	大阪大学 大学院 工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授

オブザーバー

【内閣府】

科学技術政策・イノベーション担当 国家基盤技術グループ	北村匡 参事官
同	宮崎裕光 上席政策調査員

【文部科学省】

科学技術・学術政策局 研究開発基盤課	麻田卓哉 研究基盤整備係長
同	松岡諭史 文部科学省調査員
研究振興局 基礎研究振興課	田渕敬一 課長補佐
同	小田沙織 専門職
同	築田栄輝 係員
研究振興局 ナノテクノロジー・物質・材料担当	前田 豊 参事官
同	立松慎也 参事官補佐

【国土交通省】

総合政策局 技術政策課	吉見昌宏 運輸技術等基準企画調整室長
大臣官房 技術調査課	山本悟司 環境安全・地理空間情報技術調整官
水管理・国土保全局 下水道部	加藤裕之 流域管理官

(東京都下水道サービス 株式会社)

岩佐 行利 技術部 技術開発担当部長

(JST)

秋山 俊恭	産学連携基盤推進部 企画調整担当 主任調査員
増渕 忍	産学基礎基盤推進部 先端計測室 副調査役
渡辺 泰司	社会技術研究開発センター 企画運営室 室長

鈴木 久敏 CRDS システム科学ユニット 特任フェロー

事務局：CRDS 社会インフラチーム

木村 英紀	システム科学ユニット	上席フェロー
豊内 順一	システム科学ユニット	フェロー
緒方 寛	環境・エネルギーユニット	フェロー
富川 弓子	システム科学ユニット	フェロー
馬場 寿夫	ナノテクノロジー・材料ユニット	フェロー
本間 弘一	システム科学ユニット	特任フェロー
前田 知子	政策ユニット	フェロー
松尾 敬子	政策ユニット	フェロー
茂木 強	情報科学技術ユニット	フェロー

1-4. プログラム

オープニング

13:00～13:05 開催挨拶 木村上席フェロー
13:05～13:20 趣旨説明 豊内フェロー

セッション1

「社会インフラ関連テーマの研究動向と展望」

司会：富川フェロー (CRDS)

13:20～13:40 藤野特任教授 「社会インフラストラクチャの強靭化に向けて」
13:40～14:00 前川教授 「多孔体・複合材料（コンクリート：地盤）と構造に関する
知識構造化とインフラの設計管理への応用
—multi-scale,multi-chemo-physics approach—」
14:00～14:20 矢吹教授 「3次元モデルデータを利用した社会インフラ保全管理
技術の確立」
14:20～14:40 増田教授 「情報技術を用いた社会インフラ強靭化の支援」
14:40～15:00 堀 教授 「都市機能の維持のための地震防災—分析と構想」
15:00～15:20 貝戸准教授 「アセットマネジメントの現状と今後の展開」
15:20～15:40 高橋専務取締役 「東京都における下水道アセットマネジメント
—下水道総合情報管理システムの活用—」
15:40～15:55 (休憩)

セッション2

「全体討論」

司会：豊内フェロー (CRDS)

15:55～16:05 司会からの論点説明
16:05～17:10 全体討論

おわりに

17：10～17：25 オブザーバーコメント
17：25～17：35 今後の方向性等 豊内フェロー
17：35～17：40 閉会挨拶 木村上席フェロー

2. 講演概要

2-1. 「社会インフラストラクチャの強靭化に向けて」(藤野特任教授)

- ・社会を支えるインフラは、かなりのものがライフラインと呼ばれ大規模ネットワークシステムを構成している。インフラの定義は色々あるが、経済学者の宇沢先生は「社会的共通資本」として、自然環境（サイエンス的要素）、社会的インフラ（工学）、制度資本（社会科学的要素）の三つに分類。
- ・私自身の研究対象はその中で「橋」を対象として、振動、制御、モニタリングなどを行い、最近は保全、防災に移ってきた。橋のインフラの特徴は、一個一個が単品で、場所も使われ方も一つずつ条件が違う。長い供用期間を持ち、長くて大きな連続体。そのため高い不確定性を有する大規模システムであり、50年使えば何が起こるか分からぬところがある。アメリカの例によると、補修・補強の効果を除去すると平均約60年で壊れるので、半数の橋が60年すれば壊れてもおかしくない。増える一方の社会資本ストックのメンテナンスをするだけではなく、ますます使いやすいインフラにして国際競争力の強い国をつくっていきたい。
- ・社会基盤をマネジメントするときは、アセットマネジメント、ストックマネジメント、リスクマネジメントのバランスを考えいかなければならない。既存のインフラを扱うときには単に工学だけ突き詰めてもいいソリューションにはならず、マネジメントを考えなければならない。事故は不連続な部分（discontinuity）が重なって起こる。従って見落としているすき間、ニッチな部分に注意しなければならない。インフラでは予期せぬこと、想定外が時折起こる。それらは知りていれば対応できることも多いので、知らなかつたことをいかにあぶり出すかということが非常に重要で、測ると意外なことがわかることがある。
- ・強靭化のためには、予期せぬことに準備することがとても重要で、インフラをセンシングし、そしてモデリングし、知的情報社会基盤、バーチャルなプラットフォームを構築して、かつハード面、ソフト面を対象に最新のシミュレーションを駆使して、脆弱性のあぶり出しをし、それをどのような形でソリューションに出すかということが今後の課題である。
- ・プロジェクトを行うときには縦の深堀り研究も必要だが、横ぐしのつなぐ研究が大事で、縦横のネット状のチームを組み、その中で若い博士課程の学生を育てることがとても大事である。建物や施設をロバストにして、情報技術を使い、予期せぬことに準備をすることがとても重要である。

<質疑>

なし

2-2. 「多孔体・複合材料（コンクリート：地盤）と構造に関する知識構造化とインフラの設計管理への応用」（前川教授）

- ・コンクリート、地盤の材料と構造に関する知識構造化を1992年から始めている。インフラの設計管理を意識していたわけではないが、最近はインフラの性能チェックや寿命予測にも応用が可能となった。
- ・オングストローム、ナノメートル、マイクロメートル、センチメートル、メートル、キロメートルというマルチスケールには、それぞれの空間に特有の事象や現象があって、それらはお互いに関連しながら変化していく。それをコンピューターの中に入れて連結解析して、インフラ空間がどうなっているか予測できるプラットフォームを構築してリリースしている。現在ではインフラの設計・管理に十分ではないものの、卒業生がコンサルタントで起業し適用して、現場の厳しい要求に応えて開発を進めている。
- ・長大PC橋梁については10年を経過してもたわみが漸増するが、従来の設計方法では水分の固定と移動の熱力学が入っていなかったため、従来設計の予測の数倍になるようなたわみが発生する場合がある。水に関する熱力学を設計に考慮して、構造解析を行うことで、将来予測が可能となること、事前に対策をとることができることが分かってきた。
- ・地下空間については、30年で当時の設計予測を数倍上回る変形とひび割れが発生する場合がある。これは地盤の変形に伴う土圧の変化、構造物を行使するコンクリートからの水分逸散と収縮を設計で直接的に扱っていなかったため。これを制御する方法として、内空の温湿度環境を制御することが有効であることが予見されている。
- ・中層RC建物では、コンクリートの乾燥収縮などで多くの場合、クラックが入っている。その状態で地震が起きると、湿潤養生状態と比較して数倍の応答変位がでると予想されている。それを事前に予測する方法としては、設計の段階で初期応力を考えて初期剛性等を変える方法や、水分の平衡と移動を考慮して熱力学的に制御する方法も考え得る。新構想に対する設計では、実物寸法を考えて、100年先までの変化をきちんと押えておかないと説明責任は果たせない。
- ・床版については、道路の場合、粘性を有する流体である水が入ると、ひび割れが閉じたり開いたりすることにより水が抵抗して、ひび割れ内に圧力上昇が加わり、ひび割れの閉合を拘束する。このとき、せん断力がひび割れに沿った方向に作用すると、ひび割れ面に沿ってズレ変形が生じる。これは地盤の液状化解析と全く同じ機構で説明することができる。
- ・維持管理のために知識構造化を社会に実装することについて。検査などの情報を用いて、維持管理上の意思決定を行い、具体的な対策をとる。これを終わりとするのではなく、たとえば5年待てば必ず結果ができるものなので、判断のための予測をして、チェック、修正、そして損傷評価法のレベルアップなどの一連のサイクルを回すことが非常に重要。

<質疑>

- ・NEXCOの長期資産の担当経験から、3兆円オーダーの経費のほとんどが床版。少々悪そくなのは取り換えるということで3兆円だが、多分取り換えなければいけないものと、20年待つていいものと色々だと思う。それで随分、経費が何千億と減る。（藤野）
- ・補強したら何年延命という判断は、多くの場合、実験室での疲労試験の結果から行っている。

しかし、室内実験自体は経費も時間もかかり、また、現位置の状況を完全には代表していない。数値解析による予測も不十分であるが、影響因子の抽出と支配要因の感度解析には強力と思われる。材料に膨張剤など、ミクロのレベルのところを変えた材料を使うと良好な効果が出てくる場合がある。首都高速道路会社で実験検討されているが、成績がよい（寿命が長い）。従来の床版の100倍から500倍ぐらいの寿命延長も室内試験の範囲において出てきた。たとえばコンクリート床版のコストが大体5%上がったとしても、それで余寿命が500倍伸びるとすれば、ライフサイクルでコスト縮減になる。一例だが、そのようなことも出せるといい。（前川）

- ・写真でというが、中をモニタリングするともっと精度がよくなると思う。（藤野）
- ・その通りと考える。ただし、国道等の管理を任せている地方公共団体では、そもそもインハウスの技術者や、地元で維持管理計画や検査を請け負うことのできるコンサルタント会社も少ない。あるいは県内にない場合すらある。最低限のエネルギーと経費で最大の効果を引き出すような視点が日本としては必要と思う。（前川）
- ・社会基盤が難しいのは、社会的なメリットが非常にあることに対して国もお金を出さないと言わになってしまうこと。それを何とか出すような仕組み、例えばこれで500億節約できる可能性を10億掛けてきちんと調べる、というビジネスモデルがなかなか説明できない。インフラ・ビジネスをやっている民間会社ならば、すぐに損得を勘定しようということになるが、国もそこまでやらなければいけないと認識してもらう必要がある。それもわれわれの活動の一種だろう。（藤野）

2-3. 「3次元モデルデータを利用した社会インフラ保全管理技術の確立」 (矢吹教授)

- 建築部門では、10年ほど前からBIM（Building Information Modeling）という、3次元モデルに構造解析、熱負荷、ライフサイクルコスト、電気設備、空調設備、積算などさまざまソフトウェアを統合して使えるプロダクトモデルが取りざたされていた。アメリカでは1990年代にIFC（Industry Foundation Classes）が開発され始めた。製造業では1970年代から既にあるが、土木部門ではなかなか進まず、2012年によくCIM（Construction Information Modeling）が始まった。BIM・CIMでは、計画設計、施工段階でデータを共有しながら作り、それを維持管理に渡し、さらにデータを増やしていくことを目指している。
- 土木部門でプロダクトモデルの標準化が進まなかったとはいえ、私は10年以上前から開発をしていたし、フランスでも作っていて、JSPSの二国間共同研究SAKURAに採択され、2年間共同研究を行い、IFC-BRIDGEを開発した。トンネルではIFC-Tunnelを開発し、道路については、アメリカの民間会社を中心となってLandXMLが作られている。このようにばらばらに進んでいたが、今年Infrastructure Roomという新しい組織を作り、Alignment Model、IFC-Bridge、Data Dictionary、そしてAs-Built Dataの4つを重点的な課題で進んでいる。
- 維持管理については、BIMのCOBie（Construction Operations Building Information Exchange）という3次元のモデルから自動的にエクセルのシートにデータを抽出するソフトウェア、また矢吹研で開発した、ICタグを使ってGIS、3次元CAD、点検データ蓄積、属性の表示のシステムをインテグレートした点検支援システムがある。
- 無線センサーネットワークについては、MEMSの技術により小型化されていき、大量のセンサーが至る所に設置されるようになった。しかし、可視化だけでは大量のセンサーから有意な知識を発見することは難しく、センサーのデータとプロダクトモデルと人間の知識の三つをモデル化して統合化することが必要ということで、フレームワークを提案しておのののモデルを作った。
- 今後3次元のモデルを作るに当たり、新設のプロジェクトについてはBIMやCIMにより維持管理に使えるが、安く作らなければいけないため、レーザースキャニング、写真測量技術、トータルステーション、技術の組み合わせが必要。
- 点検については、変状を管理するためのプロセスモデルを作って、点検員が判断した根拠も取っておくことができるようになった。
- 最終的に目指しているのはサイバーからリアルに情報を伝達する国土基盤モデルで、これは、エネルギー分野や環境分野でも使えると思う。

<質疑>

- 点検者の推論を形にすることだが、連携した方々の知識をみなが使えるということか。（前川）
- その通り。点検者の推論のプロセスを記録することができる。（矢吹）
- 複数の良いレベルのものを集めると、その中でさらに良いものができるか？（前川）
- その可能性はある。そしてみなが参照できる。今は人が書いた記録を読まなければいけない

が、このようにデータ化して、それがきちんとしたフォーマットであれば、非常に分かりやすい形で表現することが可能になる。その中で例えばより技術の高い人が採点をして、採点の高い方から低い方にソートして、高い方の何パーセントの推論を集めてパブリッシュすることなどもできる。(矢吹)

- ・国際的には、今、日本はどういうポジションにいるか。矢吹先生以外でリーダーになっている大学の先生はいらっしゃるか。(藤野)
- ・プロダクトモデル分野では、大学の先生はあまりいない。(矢吹)
- ・どういう人がパートナーになるのか？(藤野)
- ・民間と、あとは国交省。それから、JACIC ((財) 日本建設情報総合センター)、土研など。
- ・発表のなかで、ICタグや無線センサーネットワークを実地で使ってみたが、幾つかの理由で実務には難しいとあった。例えば日立でもミューチップというICタグを作っていたが、結局はやめてしまった。どのような点が障壁だったのか。(豊内)
- ・まず一つは、ボトムアップで役所に持っていくても採用が難しいこと。沖縄で採用されたのはトップダウンだったから。所長のトップ判断で実現できた。もう一つの、ボトムアップの障壁は、メリットが不明確であるにもかかわらず、それによるリスクは明らかであること。例えばICタグや無線センサーネットワークを設置しても、きちんと動作しなかったり、いたずらされたり、盗まれたらどうするかなど心配するタネは多くある。それに対し「壊れません、100年もちます」という嘘の説明は言えない。長くても10年しかもたない、壊れるかもしれない、あるいは盗まれるかもしれない、誤動作もあると言わざるを得ない。こういう色々なマイナスリスクが大きなハードルになる。それを越える何らかの上部からの力がなければ、ボトムアップでは難しい。(矢吹)

2-4. 「情報技術を用いた社会インフラ強靭化の支援」(増田教授)

- 私の専門は3次元処理で、最近は3次元計測と3次元計測により取得された点群のモデリングをメインの研究テーマとしている。目的は、主にメンテナンスを支援する技術をいかに開発するかということで、現実世界のコピーを利用して、少人数、短期間、低コストでやつていくためのハード・ソフトの要素技術とシステム化技術を目指している。このアプローチは製造業ではよく使われているので、それをメンテナンスにも使えるのではないかと考えている。
- 人々が活動するフィールド全体をモデル化して各産業分野の効率を図っていく手法を考えている。応用領域としては、工場・プラント、造船、交通、電力・通信ネットワーク、橋梁・建築物などがある。精密工学会の中に「大規模環境の3次元計測と認識・モデル化技術専門委員会」を作つて活動している。
- 現状では、設計支援のための3次元処理ソフトはたくさんあるが、3次元モデルを作るには時間とコストがかなりかかるので、対象ごとに異なるモデル作成が必要となるメンテナンスや改修には適用しづらい。しかし、近年の技術革新で、計測技術、計測装置が飛躍的に進化し、現実世界にある大型構造物やインフラのモデル化が容易になった。高速かつ高密度に対象物上の3次元の座標を計測することで、大規模な3次元点群による現物のコピーが取得できる。こうした大規模点群を加工することによって、工場を再現したり、またスキャナーを車に乗せて走行しながらデータを取得することで、道路周辺の物体の3次元形状も再構成できる。ただし、そのための形状再構成技術はまだ発展途上であり、3次元計測で取得された大量の点群データを構造化して様々な応用に活用できるようにする技術を作ることがわれわれの主なフィールドになる。
- バーチャルインフラのメリットは、コンピューター上に現物のコピーがあることにより、オフィスにおいて対象物を認識し、計測、検査、計画を煮詰めることができることである。最終的に現場を改変する段階になってから行動を起こせばいい。作業に要する時間が大幅に短縮でき、コストも下がる。また、現在、熟練作業者の不足が問題になっているが、オフィスに居ながらにして、全国各地での作業工程を検討できるようになる。
- 実現にはまだ色々な問題がある。精度を高めようとすると、もう少し計測の性能が必要。特に車載の移動計測はまだ遅く、もっと速く高密度で計測してほしいという要求がある。また、今までCG業界や製造業では、広域エリアを高密度計測して得られるレベルの大規模データはあまり扱わていなかった。そのための3次元処理技術も現在あるものでは足りない。
- 点群データを使って補修・メンテナンスを支援するツールでは、初歩的なものが現れてきた。しかし、まだ出来ることのレベルが低く、ユーザの満足できるレベルから遠い。また、こうした技術の認知度が上がってくれば、様々なニーズが出てくると思われる所以、それにいかに応えていくかということが課題になる。

<質疑>

- コンクリートの数ミリという精度が書いてあるが、これは例えば増田先生がやってみて、5年たつとどのくらいの精度に上がったり、何かが変わったりするか。(藤野)
- 計測の精度は新しいレーザスキャナが出てくるごとに向上しているようだ。計測距離と精度

に関しては、ずいぶんと向上してきた。私が始めたころは初期の位相差レーザスキャナで5ミリ、6ミリでしたが、それが数年たって大幅に向上了。今、理想的な状況ではコンマ数ミリぐらい、1ミリを切っているぐらい。精度実験で、比較的高価な機械を使って明るいものを測った場合、標準偏差0.4ミリという結果が出た。(増田)

- ・われわれの仕事は外でやることが多いが、日光や雨、霧などにも関係するか。(藤野)
- ・屋外でも計測できるが、雨や霧はレーザが当たってしまうので駄目。霧と雨がなければ取りあえずは大丈夫。(増田)
- ・測れないところは、見えないところということか。(藤野)
- ・そうです、見えません。それがこれの大きな問題。やはりどうしても直接当たらないと測れない。全体が測れなくても形状を再構成できるようにすることは、この分野での大きな研究課題。(増田)
- ・機械で測ることは可能か。つまり人間は行けないが、アームなどを出しながらやらせるロボットはどうか。(藤野)
- ・たとえば、東大の池内(克史)先生は地上から見えないエリアを気球を飛ばしてアンコールワットの遺跡を計測している。飛行体を飛ばして計測するというのはひとつの方向性だと思う。(増田)
- ・無人飛行機も使われると考えるか。(堀)
- ・使えると思う。それは結構面白い応用分野で、飛行機は昔からやられている。飛行機にGPSを積んで、自分の位置をきちんと計測しながら対象物を測るのは古典的な技術だが、小型飛行体を使うとなると、計測装置などは小型の専用のものを作る必要があり、データ処理などを含めてまだ研究課題が多い。(増田)
- ・それから結構多いのは、トンネルなど中のものだが、汚れていたり、水が伝わっていたり、こういうものに対してはどうか。(藤野)
- ・汚れで精度は多少落ちるが、測れないということはない。レーザー計測の場合は写真とは違い、実際にレーザーを当てて返ってくる時間で距離を測っているので、汚れには強い。水については、屈折や減衰などが起こるので、どの程度の厚みまで大丈夫か実験してみる必要がある。(増田)
- ・自動車の振動などは削除するような仕組みになっているのか。(藤野)
- ・私の知り限りでは、車載のレーザスキャナには、特に防振装置は付けていない。防振することもできるがコストが非常に高くなる。飛行機から撮るときは、防振用の装置を付けてレーザー計測、写真計測するが、そうすると装置が億単位になってしまふ。(増田)
- ・世界的にはこういう技術の日本のポジショニングはどのような感じか。あるいは先ほどのレーザーは全部輸入物か。どこが強いか。ドイツ?(藤野)
- ・ドイツ、アメリカは強い。リーグル、Z+F、FAROのあたり。日本のトプコンも非常にがんばっているが、どちらかというと高精度な計測が得意で、短時間に高密度に計測できるものが少ない。高速・高密度となると国外のものになってしまう。(増田)
- ・計測装置はすぐ外国のものになってしまう。これは残念。いつとき計測装置もきちんと出した時期もあったが。ほとんど科研の高いものは全部、外国で買うものになってしまうという現実があるわけですね。(藤野)
- ・高速・高密度な計測に限れば、現実的にはそうなる。大学でこの手のものを使おうとすると海外製品を使わざるを得ない。(増田)

2-5. 「都市機能の維持のための地震防災 一分析と構想」(堀教授)

- 分析の1番目は、地震防災の位置付け。一つ目は自然災害で、準備や頻度で考えると洪水など水災害が非常に進んでいて機能維持のレベルまでいっているようだが、いかに水災害の次に地震災害に対して、生命維持から機能レベルまで上げるかということがポイント。二つ目は都市計画で、地震防災は自然災害の一つとして取り付けられていて、特定巨大地震に関しては独自の対応を認めている法体系になっている。
- 2番目は、都市機能の維持という概念。劣化予測が難しいし、地震予測は不確実性があり、都市全域に広がる対象構造物が非常に多いことから正確な予測が困難。経験的予測から科学的予測をするしかないので、計測やシミュレーションも付けて精度と分解能を向上させることが必要で、大規模計算の利用が十分可能だと考えている。また、効果の評価も困難で、インフラは壊れて初めてありがたさが分かる。そして都市計画の維持管理・防災減災の連携が必要になる。
- 課題は、都市計画に高度な地震防災をいかに組み込むかということ。
- 構想の1番目は、全国一律ではなく、巨大南海トラフ地震と首都直下地震の地域限定で考え、また交通ネットワーク、ライフラインの重要インフラに限定し、都市機能の維持というコンテクストで維持管理と連携すること。
- 2番目は、プレート境界の巨大地震が起った後には地表に近いところで内陸大地震が発生するというL2ダブルを考える必要がある。そのためには、応急復旧の選択・集中の必要性、残余体力の正確な評価、多数の災害シナリオの検討も重要になる。機能維持のための地震防災として、巨大南海トラフの場合の複数シナリオの考慮、劣化影響を考慮するために都市モデルと大規模数値計算を使った統合シミュレーションを進めている。それにはモデルを作るための良質なデータと社会のモニタリングが重要になる。
- もう一つの要素は、都市データを集めて京コンピューターやエクサコンピューターを使ってシミュレーションすること。地震動シミュレーション、避難シミュレーション、津波シミュレーションがある。データ量が非常に多いので、そのまま流し込むだけでこのような計算ができる。
- 技術開発の方向としては、都市モデルと大規模数値計算を使った統合的なシミュレーションと、先端センシング技術を使った交通インフラ。高速道路で即時被害判定できるというのは非常に有効。

<質疑>

- どのように解析の精度を上げるのか。(藤野)
- モデルの自動構築や、更新するのでも独自の技術を持っている。(堀)
- 内部の物性的なところはどうか。ビルディングも矢吹さんのモデルデータがあればよいが。(藤野)
- そこは今後の課題。やはり当面設計図もしくはセンシングのデータが使えればいいと思う。あと、形状以外に築年代ぐらいは行政が押さえているものがある。インフラに関してみれば、国交省の外郭団体が一応 CAD を全部持っているので、そういうデータのアクセスができるようになると地下関係はできる。(堀)

- ・地下構造物、下水などか。（藤野）
- ・その通り。道路センターと思ったが、それらを全部管理している非常に優秀なデータベースがある。アクセスが難しくて、研究者はなかなかアクセスできないが、日本はしっかりとそれを持っている。（堀）

2-6. 「アセットマネジメントの現状と今後の展開」(貝戸准教授)

- ・アセットマネジメントの定義は、実務ベースでは、インフラから情報を取得し、知識・経験に基づいて劣化予測をし、ライフサイクル費用を考えながら補修計画を立て、実際に補修に移していくもの。
- ・第一目標は、ライフサイクル費用を最小化するような補修戦略、補修戦術を組んでいくこと。そこでの投資タイミングは構造物の劣化過程、劣化予測と密接にかかわる。そこで劣化予測の問題を解決するために、徹底した現場主義で実務で得られる目視点検・調査データのビッグデータをフル活用して統計分析し、意思決定プロセスを視覚化した。
- ・メンテナンスで、すべての構造物から一律に取れる情報は目視点検になる。この目視点検の役割は損傷劣化を見つけることだが、意思決定、マネジメントするための情報収集行為という形に位置付けていく必要もある。
- ・現状では、路面性状調査車や軌道検測車が実用化されているため舗装と軌道の点検が進んでいる。また、上水・下水が相当追い上げている。
- ・構造物の傷みの情報が欲しい時に、目視点検などで周辺情報を取れる場合は結構あり、それがビッグデータになると、それらから真実が浮かび上がってくることがある。
- ・われわれが今採用しているモデルは、マルコフ連鎖モデル。実際の点検データを集めてマルコフ連鎖モデルに乗せれば劣化予測ができる。さらに兄弟モデルのマルコフ決定モデルを使うと、ライフサイクル費用が最小化されるような補修タイミングが自動的に求まるので、アセットマネジメントの目的が目視点検のデータからある程度達成できるようになる。
- ・国際標準化についてはデファクト標準として HDM-4 が定着しているので、われわれは乗り遅れているところがある。しかし第2ラウンドでデジュール標準の ISO5500X が動き出そうとしているので、ここで勝負をかけて、いかに早くデファクト標準に持っていくかというところが、海外展開を視野に入れた場合は非常に大事になってくる。
- ・今後は、劣化予測の実データに基づく統計分析を主体としたマネジメントをアセットメトリクスとして体系化し、それによって現状の点検制度をマネジメントをするためのデータベースに変え、統合化したデータベースへと持っていくかなければならない。また、会計制度はインフラ会計がこれからの中核となるキーワードになる。さらに契約制度も今後は重要となってくる。個人的には、設計・施工一括発注に切り替えていく必要があると思う。

<質疑>

- ・インフラの場合はどうしても制度という問題も入ってくる。国交省では点検などはどうなりそうか。研究としては見当たらないが、大事なこと。いくら研究をやっても、どこかのルールが変わらない限りはなかなか道が開けない。(藤野)
- ・現在、委員会で、ここで挙げられているような話を盛り込んだ最終答申がまとめられつつある。答申に入っている内容ではあるが、それを具体的に形にしていくというのがこれからのは作業になる。その際に本日あった内容は大変参考になる話で、非常に刺激を受けている。また、データを扱う技術について、モニタリングのような新技術を今、維持管理をやっている現場にどのように取り入れていくか、色々と考えていかないといけないと思う。(吉見)
- ・貝戸先生や小林先生は、このような技術や領域に強いけれども、それ以外の例えば経済の先生など、少し違う分野の先生でこういうことに関心を持っている人は多いか。そのネットワー

クはあるか。(藤野)

- ・まだ強固なものはない。関心を持っている先生は当然いるが、やはり経済や会計の先生は基本的に財というか、減価償却しないものはないという考え方。しかしそういう意味でいくと、インフラの償却期間も税法で40年、50年と決まっているが、あくまでも税法上決まっているだけで、実体とはリンクしていない。なので、せめて償却していくにしても、橋が本当に40年、50年でいいのかを、工学から出していかないと駄目という気がする。(貝戸)
- ・諸外国はどうか。例えば、デンマークが今どうしているかや、同じタイプの橋を持っているが、税法ではどのようなマネジメントをしているか、という情報はあるか。(藤野)
- ・オーストラリアは比較的進んでいて、ニュージーランドもそうだと思うが、こういった国は補修会計で、あらかじめ引当金として維持管理費を取っておく。そうすると予防保全も比較的でき易くなる。しかし、わが国でここまで大きく変えるのは相当大きな話になってしまふので、どこまでやるかということも当然あるが、少なくとも工学の人間もこういうことを知つておく必要はある。(貝戸)
- ・下水道や上水道は料金を取るので、説明責任を果たす際に、企業会計の場できちんと説明できるよう以前からやらざるを得なかった。東京都は、割と進んでいると思う。経済の先生も、いま上下水道のマネジメントにかなり関心を持っている。またISO5500Xも非常に大きい話であり、下水道では日本のどこかに取らせないと危ないので、国としての指導を今やっていいる。(加藤)
- ・舗装のマネジメントが進んでいるのは、点検しやすいことがある。やはり橋の場合は色々なタイプもあり、見えない部分もある。(藤野)
- ・少し話が飛ぶが、上水道もやはり点検はしにくい。ところが、そこにこだわらなければ、やはり料金収入というデータを利用するやり方も考えられる。特に大阪であれば、それらに加え、苦情情報を利用することも考えられる。各家庭の長期間の料金収入、去年と比べてやはり今年増えているとか、それがある特定の家庭だけなのか、周辺データでなっているのかということを分析していくと、管路が分からなくてもその管路の破損状況などが分かるようになるのではということ。(貝戸)
- ・電力でも昔は、地震の後に大体どこが切れているか分かるという話があった。(藤野)

2-7. 「東京都における下水道アセットマネジメント —下水道総合情報管理システムの活用—」(高橋専務取締役)

- ・ 東京都下水道局のアセットマネジメントとしては、改築や更新（再構築）に関わる事業量を推計して、ライフサイクルコストを分析して、その上で財源の確保や事業量の平準化を図った総合的な計画を作つて物事を進めている。ライフサイクルコスト（LCC）を分析する際には、点検データ等を元に健全度を診断するなど下水道総合情報管理システムを使つてはいる。LCCは、経済的耐用年数を80年として、3期に分けて事業を行つてはいる。再構築事業は下水道が100%普及した平成7年から始めてはいるが、成果としては、第一期である都心部では年間800件近くあつた道路陥没発生件数が半減した。
- ・ 維持管理については、劣化や老朽化による問題が発生する前に修繕・補修をする予防保全型の維持管理を行つてはいる。そのような維持管理によつて収集した情報を効率よく整理して、そしてこれを活用するため地理情報や施設情報、維持管理情報を一体管理できる情報管理システムの開発、もう一つは収藏した情報を日常の維持管理や事業運営にも使うためのソフトの開発が重要といふことで、この二本立ての技術開発をやつてきた。現在では、大型コンピューターからパソコンにダウンサイジングして、下水道台帳管理システムに内面展開図化、管路診断、設計支援などのシステムを連携させ、目視・テレビカメラ調査データ約1万3,300km、展開図化情報約2,000kmなどを収藏して、事業運営に活用してはいる。
- ・ 情報収集装置、調査技術について。アセットマネジメントを実効性のあるものにするには、効率・効果的な管路内の調査技術、調査結果のデータベース化と健全度評価技術、土木施工としての再構築技術等が必要である。それに対してミラー方式のテレビカメラ、一目で管路内の様子が分かる内面展開図化システム、管路診断システム、更生工法等を開発してはいる。このうち、更生工法は、どのような断面に対しても下水を流しながら老朽化した管路内面をライニングして、特殊モルタルを詰めて複合管として再生する技術であるSPR工法を開発実用化し、今年大河内記念賞を受賞した。独自に開発した管路診断システムは、特殊なテレビカメラでデータを詳細に捕足し、帳票化して、自動診断できる。それから劣化度や健全度を判断しながら、維持管理業務に活用できるデータベースにもなつてはいる。このような技術を使い再構築事業を進めてきた結果、70～80年経ても健全な既設管を活用するものが20%、硫化水素等でやられているため開削工法で布設替えするものなどが40%、非開削で更生工法により再生するものが40%と経済的、効率よく事業を進めている。
- ・ われわれは東京都の事業を支える役割を担つてはいるので、日常の維持管理を通じて得た情報を的確に政策や事業に反映させるとともに、東京都と連携して解決すべき課題等についてはその対策も含めて技術開発を行つてはいる。

<質疑>

- ・ 大変素晴らしいシステムをお持ちだが、それはどこかへ外注するわけですか。（藤野）
- ・ われわれと業者とコンソーシアムを作る。われわれは現場のことに精通してはいる。それからユーザーとしての立場で色々なテクニックがある。それがあるということで、それぞれの得意な方を集めて効率的に進めている。（高橋）
- ・ 得意な会社をいくつか集めて、それをマネージしないといけない。でも、その問題は難しく

- ない。(藤野)
- ・そうです。(高橋)
 - ・失礼ですが、一つの企業に丸投げをしたりされるのか。(藤野)
 - ・それはしない。というのは、当社は東京都の監理団体として30年ほど前に株式会社として設立。当社創立の目的、利点の1つに東京都と民間企業がそれぞれ研究開発のうえ蓄積してきた技術の活用や技術開発が民間の活力を導入することで一層促進させることができるといったことがあるように、それぞれの持ち味を出し合った技術開発に取り組んでいる。現場レベルでも日ごろから技術あるいは装置の改良、改善、それで間に合わないものは技術開発しろと、現場の末端までそういう思想でやっている。(高橋)
 - ・今一番やりたい技術は、なにか。(藤野)
 - ・現在の管路内調査は直接人が立ち入り目視しているのが約800mm以上。少子高齢化という時代になると、そのような狭隘なところに入つてやるかというと、入らない。そうなるともう少しテレビカメラによる調査対象を拡大し、自動的にやらなければいけない。そのようなことを実際に調査、研究している。さらには、よくテレビで道路陥没の話が出る。原因は全部下水道だといわれるような感じ。土中のものがなくならなければ、空洞や陥没は起こらないので、その原因や状態を調査できる技術があればと考え、管の中から空洞を察知できる技術を開発している。既に3年ぐらい前から、小口径の取付管から開始して実用化している。管の中から入れて、どこに空洞があるのか。今、規模の大きな本管からの調査技術に引き続き取り組んでいる。富士山でいうと4合目か5合目までいっている。(高橋)
 - ・日本ではこの分野ではリーディングカンパニー。(藤野)
 - ・日常業務として管理者が自治体である下水道施設を総合的に維持管理している企業は当社が唯一。実際の現場を抱えているという恵まれた環境の中で、下水道に特化して技術開発を行つてているといった点では、そういったことがいえると思う。(高橋)
 - ・先ほどのSPRという大河内記念賞を取ったのは、積水化学工業などと共同でやっている。積水はもうそれを40カ国ぐらい、30カ国ぐらいか、ヨーロッパやアメリカに輸出している。(加藤)
 - ・それは大したもの。特殊な材料を持っていると強い。(藤野)
 - ・SPR工法の開発についても材料メーカーとしての積水化学工業と、下水管の維持管理を専業とする企業、そしてわれわれとの3者でタイアップして知恵を出し合つて開発したもの。(高橋)
 - ・前に下水の話を元土研の人聞いたが、下水というのはミゼラブルだと。収入は少ないし、シーズはあって、悪くなる一方だという話だったが、これを見ていると健全経営。(藤野)
 - ・東京都の下水道事業は古くからやっていて、公営企業法を全面適用してやっているが、残念ながら全国の自治体のうち公営企業法を全面的に適用しているのは少ないと思われる。どのくらいありますか。(高橋)
 - ・今10弱ぐらいです。(岩佐)
 - ・ペイしていますか。人口も多いし、色々なメリットもある？(藤野)
 - ・東京都の場合は、人員削減や業務の民間委託の拡大など様々な改革を行ってきたこともあります。それと、この20年の間は低金利だったこともある。下水道経営は、独自に起債ということで借金をして施設の建設をする。それを利子をつけて返さなければいけない。

- この20年間金利が下がったというのは非常に追い風。今は健全な状況にあると思う。(高橋)
・素晴らしい。ありがとうございました。(藤野)

3. 全体討論概要

(1) 論点説明

豊内リーダーから論点の説明を行った。

前半の有識者の皆さまの発表で、それぞれの分野での現状の最先端の状況と課題を色々と説明いただいた。既知の内容もあれば、分野が違って新しい内容もあったと思う。今回は知識の共有をした上で、そのような研究開発や業務をやっているのなら、自らの分野でもこういう組み合わせが出来るのではないか、或いはそのような課題があるのなら自らの技術や成果がこのように使えるのではないかと、一種のアツ・ヘーベンのようなことができると良いと思っている。

先ほど紹介した、「社会インフラ統合プラットフォーム」の図はかなり基盤の話で、皆がこれを推進しましょうということではなく、このようにしたら情報や技術がうまく回るのではないかという一つの事例。

ただ、最後の東京都下水道サービスの高橋専務の話を伺うと、最適な仕組みを考えると、一例としてプラットフォームを整備する形があり、下水道の設備のメンテナンスをやり、アセットマネジメントをやり、必要な技術開発もやることが、既に実例としてある。もちろんすべての社会インフラはそれぞれ条件が違うので、同様にできる、或いはすべきとは決して思わないが、ビジョンを書いてどう実現するか、シナリオを書いて必要な研究をやる、ここに筋を通したいと思っている。

後半の議論は、まずオブザーバーの皆さんに、それぞれの部署で進められている研究開発や施策に加え、どんな組み合わせや分野横断的にこういう可能性があるのではとの観点から、意見があればいただきたい。やはり社会インフラは最終的に出口が必要であり、そうしないと従来の研究はなかなか広がっていかない。そもそも本チームの目標は領域横断的、分野横断的に社会の本質的な課題を解くということ。最終的には、国プロとしてどのように設計するか、出た成果は他のプロジェクトや民間が受け取って世に出すにしても、どのような渡し方をするかが明確になれば成功かと思っている。

順番に端からコメントをお願いしたい。今は府省連携プロジェクトも結構走っているし、先ほど藤野先生がおっしゃった SIP も一つの例だと思う。一つの省庁、一つの業種、一つの企業では決して閉じない課題に突き当たっている。必要と思いつつもなかなか深まらない社会科学的な経済、会計、制度の話も当然両輪として必要だと思う。もちろん何か分かり易い答えをすぐに求めている訳ではなく、ここが面白かった、或いは追加で質問したいことなど、Just Comment で結構なので、発言をいただけると幸い。

(2) 自由討議

オブザーバーの主な意見と議論は以下の通り。

- ・ 橋梁の話、総合的な情報を集める話はあまり知らなかつたので、非常に勉強になった。都市という視点でも、これから都市を造り直していく、場合によってはこれからコンパクトシティしていくなど、様々な議論が出ると思うが、そのときに色々なインフラを同時に考えていく時代になるのは間違いない。そういう意味では本当に非常に有意義な形の組み合わ

せというか、まさにこれから必要になると思った。また、私は、行政の立場なので、研究されているものをどのように現場に実用化していくかというところが気になる。当然研究で終わってしまったら意味がないし、われわれも基礎研究をあまり知らないので、そのつなぎを制度的にどのようにしたらいいのかなど考えたい。最近は国交省も文科省と意見交換をしているが、正直、下水道の分野はわれわれもあまり知らない世界だったので、そのような要素技術があるのなら下水道の現場を紹介するとか、そのようなコーディネートを国交省だけではないが、もう少し行政がやってもいいのではないかと思う。全然違う例で言うと、今CRESTでは沖縄で水の再利用の開発をやっていて、それは文科省で進められているが、最後は自治体が事業としてやらないと意味がない。沖縄県とその大学の先生の間に立って、そのつなぎを本当にやるなら、国交省としても現場に対しても財政支援などをていきたいとやっている。このようなコーディネートのようなことをもっとやっていかないといけないと思う。(加藤)

- 結論を急ぐつもりはないが、今まさに「都市」というキーワードと、沖縄というフィールドがあり、そういうものを幾つか挙げて、組み合わせていけるとワークショップのアウトプットへつながり得ると思う。さらにお口にも色々あり、都市の老朽化対策、強靭化、防災など。そして対象も下水道だけではなく、当然交通も電力も含めて、都市全体に対してメンテナンスがなされるような課題もある。また、災害時の被害推定をやって、ではどこを強化するというような話もあるし、特定のフィールド、県なのか市なのか島なのか選択肢は多々あると思うが、そこで水の問題を解くケースもある。そして、当然水とエネルギーと食料は分けて考えられないで、そこに複合的な課題が生じる。当然、民間のある製品、海外競争力があるシステムを作る視点も一つのアウトプット。といった感じで多角的に議論、意見をいただければと思う。(豊内)
- 強靭化とか老朽化対策は、技術開発だけでは対策できない。人材育成や、制度、予算をどうするか、あるいは細かい話では、どうやって維持管理の業務を発注していくのか、その発注の入札契約の仕組みなど、非常に幅広い問題があって、それらを解決していかないと上手くいかないと思っている。とは言え技術開発は非常に重要なので、しっかりやらないといけないが、その技術開発もどういう目的でやるのかは色々ある。例えば、維持管理では、今それなりにやっているところの維持管理をさらに高度化するために技術開発をするのか、或いは先ほど話があった下水道で、東京都は非常にしっかりとやっておられるが、ほとんど出来ていない市町村の管理を少しでも前へ進めるために、より安く、より効率化する技術開発を狙うのかで、ターゲットが違う気がする。その目的をどちらに置いて技術開発していくのか、両方やらなければとは思っているが、実はそれによって方向性が結構変わってくるイメージを持っている。また、国交省は社会資本を管理している側であり、どういうニーズがあるのかをはっきり示さないといけないのではという思いもある。シーズ側の技術開発の方では色々なことをやっていて、一方でわれわれの欲しい部分を十分発信できていないところもあり、そのニーズとシーズをうまくつなぎ合わせていく試みが今まで十分ではなかったところもある。維持管理や防災などは非常にニーズが多様なので、その中で何にターゲットを絞ってマッチングしていくのかが難しいと思っている。そんな試みの一つが、恐らく先ほど話があったSIPでの各省連携で、藤野先生にお世話になるが、管理している側の役所と技術開発をやっている役所をうまくマッチングしながら一緒にやっていくと、より出口に近い技術開発が進むのではないかと思う(山本)

- ・大きい話では、老朽化したストックを何とかしなければいけないとか、保守点検のコストを低減しなければいけないとは、当然どなたもおっしゃるし、その立場の方も皆さん理解はされている。研究者は自分のシーズが良いと思うので、これを使えばこんないいことができると言うが、実用化までには実はかなりギャップがある、そのギャップは誰かが埋めてくれると思っている。それは民間の研究者でもそういう発想がある。一方で、東京都下水道サービスが開発されている技術やシステムは、東京都だけで使われているのではなく、横にも展開をしていると伺っている。(豊内)
- ・開発したテレビカメラによる調査やその情報を基にした診断ということまでやっているところは他にないのが現状。これら機能を備えた台帳システムについては、東京都の多摩地域で20市ぐらいで採用していただいている、それから関西では京都市が採用してくれている。将来的には拡張性のあるものということを評価してもらって採用していると思う。業務についてはわれわれではなく、一緒に共同開発をした企業が商売するようになっている。(高橋)
- ・結果的に下水道というインフラの全体の底上げにつながっている。(豊内)
- ・われわれとしては、東京都は先ほど報告したような手順でいいのですが、もう少し的を絞らなければ実際に維持管理ができない下水道管理者も多いと思われる。これに対しては、われわれは膨大なノウハウを持っているので、維持管理を集中的にするエリアはこうですとか統計処理などを、地盤条件、施設の埋設状況なども含めて優先度が出るような研究もしている。(高橋)
- ・総合政策局の吉見です。今、山本から話があったようにニーズとシーズのマッチングを進めて行こうとしている。われわれ国交省で所管している様々な現場で、モニタリングで構造物の健全性を把握するための技術についてこのようなニーズがあると示して、それに見合ったシーズを提案して貰って試すという取り組みを進めようとしており、いまニーズの具体化の作業をやっている。ただ、いまは従来の点検・診断の延長線上でニーズの具体化の作業を進めようと考えているが、今日、色々お聞きした新しい技術の中では、それだけではカバーしきれない部分もあるかなと感じた。そういうシーズを取り込むためには、もう一つ別のアプローチも考えないといけない気がした。それから改めて気付かされたのは、(貝戸先生)点検すればするほど直さないといけない箇所が見つかって、その分お金が掛かってしまうというお話。それはお金を管理する側にとっては決していい顔をされないという話であったが、そのような状況に対して、制度をどう考えていくかは、本当に気を付けねばならないと思った。(吉見)
- ・差し支えなければ、今の話で現状の技術だけではカバーしきれないというのは方向性が違うのか、今の技術では性能が足らないのかをお聞きしたい。(豊内)
- ・情報の処理の色々な技術が4～5年前とは違って、圧倒的にやれることの範囲が広がったとのお話を聞きました。それをうまく取り込んでいくには、発想を切り替えないといけないという気がした。(吉見)
- ・有識者の発表の中でも何遍も出た「ビッグデータ」というキーワードだが、ある意味、少し便利に使われ過ぎているというか、人によって受け取り方も違う。今日の増田先生の話でもあったが、3次元計測でもの凄く素晴らしいことが出来る気はするが、やはり大量のデータを取った際に、それをきちんと処理できる基盤が必要なはず。それは増田先生が既にやられているのか、それとは違うものなのかは私も十分理解していないが、まだそこにもかなりの技術的なハードルがあると思う。当然、時系列でも溜めていくことが非常に重要と思う。3

次元データを4次元にして、同じところを走らせた情報を何回も取ることが、さらに補修、診断などの判断には有効だと思うが、いまは基盤側、情報処理側がまだ十分ではないという認識か。（豊内）

- ・多分、色々な要素技術があったときに、それをどうやって実現するかということになると、要素技術をやっている側と使う側がある程度一緒にやらないと難しいという気がする。どのような技術でも、それが現場で使われるようになるためには数年、それに向けて相当作り込むことをやっていかないと、現場にマッチしたシステムにはなかなかなっていかない。さらに本当に使われるときというのは、最初にリスクを取る会社が幾つかあって、そこが試験的に使っていく。使う側には使うための技術が必要で、どうやって本当に使っていくのかということを知恵を絞ってようやく世の中に入っていく。恐らくそれが本当に使われるときのパターンではないかと思う。だからある意味要素技術をやっている側と使う側と一緒に情報交換しながら進めていくという体制があると、色々な部分で技術が進展していくと思う。（増田）
- ・先ほどのご説明の中でも色々な会社から引き合いがあるとのことだが、やはり自らの商売にしようというニーズとモチベーションを持っているところが、それぞれの分野でこのようなものが欲しい、ここは何とかなりませんかといって来るのか。（豊内）
- ・この技術に関しては、分野ごとに本当にみんな違う。全然違うことを言ってくる。ただ、それはやればできることが多い。多少のカスタマイズは必要だが、基本的な要素技術は既に存在しているので、その要素技術を目的に向かっていかに作り込むかということを誰かがやらなければいけない。大学がそこまでやるのはなかなか厳しいので、民間が出来るようにならないといけない。（増田）
- ・今だと大学と民間の例だが、吉見さんの言うように、国としてのニーズがあって、シーズがあって、最終的には民間のビジネスやサービス、製品になるのかもしれないが、昔から言われていることだが、やはり誰かがまさにこの分野は俺が開くというような人が居ないと進まないのかも。（豊内）
- ・初めからニーズがあって、シーズがあって、マッチングというのではなくて、どうも聞いていると、シーズを知っている人が新しいニーズをつくっている。だから今までなかった技術を使って新しいことをやろうという問題設定では、やはり今までのニーズの範疇からなかなか出られない。私がやっているような話も、民間からのニーズが出ていないとお役所から言っていたが、本当に最近になってようやく技術に関する認知度が上がって、自分の業務に3次元計測とモデル化の技術がどのように使えるかという視点で考える人が徐々に増えてきた。民間でもこの技術を知って自社の業務改善への応用を手がけ始めるところが出てきて、それでようやく色々な問い合わせが来るようになったというのが経緯だ。初めはほとんど相手にされなかつたし、そもそもこの技術の存在を全然知らなかつた。（増田）
- ・システムの設計では、基本的には枯れた技術で構成したい。賭けになりそうな新しいものはあまり使いたくないのは確かにあるが、そういう技術でないと解けない問題があるのならば、リスクを取ってもやろうかという切り込み隊長のような方が要る。（豊内）
- ・今回まとめようとする戦略プロポーザルについて伺いたい。社会インフラの研究開発は色々幅広いもので、人材育成にしても大学のトップレベルの研究者の話もあれば、現場で働く技術者など幅が広い。また、具体的な研究開発の中身も幅が非常に広いと思うが、CRDSのアウトプットは全体をターゲットにしているのか。それともどこか別なところをターゲットにしているのか。あともう一つ、今日のメンバーでこういう議論を集まってするのは初めて

- か、それとも何度もやっているか。（前田）
- ・こういう形式で一堂に集まって議論をするのは初めて。個別に話を聞いたり、数名で議論をしたことはある。（豊内）
 - ・今日集まっているメンバーを見ると、特に有識者は、高橋さんを除いて大学の方。高橋さんは自治体といつても過言ではないと思う。アカデミアと、ある意味インフラ管理者側でちょっと会社的なといった感じだと思う。一方で産業界、ゼネコン、素材メーカーなどに関しては、藤野先生ヘッドのインフラ長寿命化技術プロジェクトが COCN で走っていて、産業界が色々反応している。そことの交流は既にやっているのか、今後やるのか、その辺を 2 点教えていただき、それを踏まえてコメントをしたい。（前田）
 - ・CRDS のミッションとして社会インフラチームのアウトプットは、プロポーザルを出すこと。ただ、戦略プロポーザルという冊子だけにこだわっているわけではなく、どのような形でも国プロの提案につながればいいし、文科省ならば戦略目標になる、あるいは JST、あるいは別に NEDO でもいいが、ファンディングのベースになる提案ができれば良いと考えている。と言うのも最近は色々なタイプのスキームがあり、製品化直前まで最後あと一押しするところもあれば、CREST のような仕組みもある。ただ、この社会インフラの場合は、社会的期待という大きいものとシーズの邂逅というところからスタートしているので、従来 CRDS が出すプロポーザルよりもスコープがかなり広いと思っている。なので、われわれの理想は、大きいビジョンなり、社会インフラのメンテナンスを目指すこちらの方向に持っていくという絵を描いて、さらにそれに必要な基礎や要素の研究開発のタマをどんどん出していきたい。今年度限りでチーム活動が終わるのではなく、来年度以降も継続的に活動をやっていき、今年度は例えばデータベース寄りのプロポーザルが出るかもしれないが、来年度以降は最先端計測だったり、材料だったり、メンテロボットのようなものが出るかもしれない。それも単に一つの省庁に対して出すものではなく、例えば今でもあるが、文科省・経産省の連携プロジェクトの全体構成と分担のようなものを設計して提案することも考えている。来年度すぐ始まるが、SIP のようなファンディングでは、当然各省のお持ちのタマを整合性を持って融合させるものだと思っているので、そこに実はこういうニーズもある、こういうシーズもあると言えれば、より効果的なアウトプットにつながると思う。色々な提案の仕方があると考えている。COCN の関しては、私も含めてこのチームには民間からの出向者が多く、その親元も COCN に参画しているので、当然情報はもらっている。ローカルには議論しており、人材的にもかぶっている部分があり、CRDS もこういう活動をしていることは説明している。ただ、あまりタイトではないかもしれない。民間からの出向者はどういうビジネスがあって、どういう製品があって、どういう価値判断で世に出していくかを考えるかは分かっているつもりなので、その辺は暗黙的に連携というか、フィージビリティは常に考えてやっている。お答えになってないかもしれないが。（豊内）
 - ・何となく分かった。JST は今までこの分野はそんなに大きく機能してきてはなかったと思うので。（前田）
 - ・そうですね。基礎的、要素技術的なものが多かったと思います。（豊内）
 - ・よく他の分野では俯瞰報告書という全体を出し、あとは個別の項目を出している。まずは俯瞰的なものを考えているのか。（前田）
 - ・そうです。前段にそれを書いた上で、具体的な提案を示したいと思っている。（豊内）
 - ・産業界は産業界で思っていることがあるように思う。特に制度論などは国交省ではなかなか

言いにくいことを彼らは言っていたりもするので、今日のような議論の場の第2回、第3回があるならば、今度はぜひ、むしろ産業界メンバーも加えて貰う方が良いと思う。個別にもちろんヒアリングしたり議論するのは大いにいいことだと思うが、それと全体の会もあった方が良い。それを踏まえてコメントというか、私は反対に技術は素人なので、技術の中身をコメントする訳ではなくて、感想とこれから思いだけ申し上げる。COCNの議論にもたまに参加しているので、産業界の方がこんな風に思っているということはだいぶ分かつてきただが、今日は逆に大学の先生方、特に今日はどちらかというとインフォマティックス関係が多かったと思うが、アカデミアだが現場に近い方、現場経験のある方からプレゼンをいただいた。そのため、私自身勉強になった。その上で、先ほどの通り研究開発というと本当に幅広いが、私の文科省的な立場で言えば、その中でやはり今イノベーションという言葉が叫ばれており、飛躍があるものにぐっと集中投資をしていかなければいけないと思う。従って、それだけとは言わないが、イノベーションにきちんとつながるような提案も盛り込んで欲しいと思う。それは具体的に何かと言われると、これは色々な先生方が言われた異質なものをつけ加えることが重要だろう。これは今日の議論もそうだし、ここ数カ月、この手の議論に参加していて思う。分野もインフラ、土木建築物というと、例えば大学だと土木工学科（今は社会基盤専攻か）の先生だけが一生懸命やっていたかもしれないが、やはり分野としては例えば東京大学を見ても土木、建築、マテリアル、材料、機械、それから今はインフォマティックスな話だと情報、電気、こういう分野が目標は一緒にしなければいけないと思う。そして、それに向けて何ができるのか、どういう連携ができるのかというのをやはり議論することが大変大事だと思う。地震研は、私は昔地震防災を担当していたのでよく知っているが、理学だけれども地震の分野もやはり社会に役立ってこそなので、結局理学、工学、社会学の連携ですずっと議論していた。そういう意味では理学も大事だし、経営モデルの話がなければいけないとなると、人文系、特に経営系の人たちとも一緒に議論しなければならないと思う。本当に異分野の色々な人たちと議論することが大事と思っている。あともう一つは、前川先生の話にあったスケール感。これも空間スケールでいえば、私の肩書きに入っているナノテクノロジーのような話も少しあったが、実際の構造物はメートル級なわけで、そこをどうつなげていくのかとか、あとは時間スケールもインフラの維持管理というと50年、100年の話をするが、多分研究でできるのはせいぜい5年。だからその中で50年、100年で何をするのか、そのつなぎ方が今まで難しくてあまり検討されてなかったかもしれないが、そこを国家的にはきちんと取り組まなければいけないという印象を持っている。今日の話でいえば、特にインフォマティックスが大変大事だと、よく理解したつもり。今、材料でもマテリアル・インフォマティックスといっているが、インフラ・インフォマティックスのような分野があってもいいかなと思ったぐらい。それから、今後のことでお願いというかコメントが二つある。一つは、ずっとこの手の議論に参加していて、色々な分野の人がかかわるが、これも多分大きなキーワード、大事な目標があると思うが、これは突き詰めると維持管理というが、維持管理というのは多分手段なので、では何かというと寿命をどのようにとらえるのかということに尽きるのかなと。寿命というか、人間では健康寿命だと思うが、それに尽きると思う。先ほど先生も老朽化という言葉を使いたくないとおっしゃられたが、むしろ健康寿命をインフラでどう伸ばしていくのか、これが本当に新しい付加価値であるし、その議論につながるような科学技術が多分イノベーションになるのではないかと思っている。それが大きな意味での目標で、それに向けて先ほど言った色々な分野で、それぞれもしくは

連携しながら何ができるのかという議論が深まると、いいものができるのではないかと思う。あともう一つは、これはむしろJSTにお願いかもしないが、私はこういう議論をインフラでしていることを知らなかつた。最初、基礎研究振興課に声をかけられ、文科省の中で誰が出るのかといつて、最後私のところに行き着いて、「ああ、私やっていますよ」と言つて私が来たが、よく知らなくて某JSTの人に聞いたら、JSTの中でも知らなかつたという人もいるぐらい。でも、せっかく今日すごく大事な議論を沢山されているし、これからも2回目、3回目としてあるのであれば、やはりこれをJSTのノウハウというか知識として蓄えてもらうとともに、それをもちろん戦略プロポーザルで書き物にすることも大事だが、その後色々なプロジェクトで実行しなければいけないと思うので、ぜひその実行もきちんとJSTが支えられるような体制を作り、そうあって欲しいと思っている。JSTは先ほど言った技術分野だけでなく、RISTEXといって社会学のようなものも最近やりだしている。グリーン・テクノロジーの分野でいえば、いま、JSTは知見がものすごく溜まっていて色々なところを支えている。グリーンは何年か前から大事と言われ、今ももちろん大事でやっているが、社会インフラ、次世代インフラが再興戦略などでもキーワードになっているので、ぜひそこをJSTとして今日のような議論をきちんと咀嚼して上手くつなげていく役割をしっかりとやってほしいと思う。(前田)

- ・今話があったように、確かに一つの出口としてRISTEXの事業は、現場、地域に密着しているという意味で重要だと思う。そういう意味でRISTEXの渡辺さんもこのチームの活動に非常に興味を持っていただいている。コメントをお願いします。(豊内)
- ・JSTの社会技術研究開発センター(RISTEX)の企画運営室長の渡辺です。JSTの活動は、従来は基礎研究はCREST、ERATOなどの制度で支援する形。产学連携、情報基盤など幾つか事業としてやってきたが、中村理事長になり分野を重点化するということで、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、ナノテクノロジー・材料、情報通信技術、社会技術・社会基盤の5分野を置いている。社会技術・社会基盤では、私が所属しているRISTEXはその一部を担っている組織だが、例えば高齢化問題、温暖化問題、安全・安心等、様々な社会的課題をどのように解決するかを、自然科学と人文・社会科学の研究者が一緒になってやるような研究開発の支援を10年近くやっており、色々な地域で今まで200ぐらいのプロジェクトを実施している。その意味では、JSTの中で最先端の研究の視点なり、产学連携の視点で実施してきた事業に対し、RISTEXでは地域の課題等を解決するために、ボトムアップで様々なステークフォールダを巻き込み、合意形成を図りながら研究開発を行い、最終的にはそこで得られた成果が社会実装する所までを目指したプロジェクトを実施している。インフラ分野においても、地域の個別の課題もあれば、国レベルでやられているところもあり、そこをうまく上(トップダウン)と下(ボトムアップ)からの両方からのアプローチで解決していくかないと、単純に上から政策だけで落としていくだけでは実現していかないのではないか。そのような観点から、例えばRISTEXの来年度の新規施策として、「持続可能な多世代共創社会のデザイン(案)」という領域を立ち上げることを考えている。タイトルは抽象的だが、関係者を巻き込み、ボトムアップアプローチで都市・地域の社会システムを丸ごとデザインするような活動を支援する仕組みを検討しており、インフラの老朽化、維持管理なども非常に重要な課題の一つだと思っている。CRDSにおいても、この「強靱で持続可能な社会インフラのデザインと構築」課題と、あともう一つ、「エネルギー利用と物質・人の移動の超効率化による高度都市機能の実現」(高効率都市)に関する検討を行っている。いま、

前田参事官からもお話があったが、JST としても、より社会技術・社会基盤の分野に力を入れていきたいという方向があることを、ご紹介させていただいた。（渡辺）

- ・インフラ・インフォマティックスは色々な表現があると思うが、矢吹先生が最後にご紹介された国土基盤モデルは、それを具体化した一つの像と思うが、どうか。私も当初は既存のインフラの情報整備が十分でないとは思っていなかったが、矢吹先生の話を伺い、先ずは魁より始めよで、そこは押さえなければいけないと実感した。本ワークショップでは、情報整備につながる研究をされている有識者の方々を中心に考え、色々なアウトプットがつながる核が情報やデータの活用だと思っている。（豊内）
- ・何のためにこれをやるかがはっきりするのが大事。マネーではないが、ストックのためなのか、リスクのためなのか、この強靭化はどこまでをいうのか、地震のリスク、突発災害も入れるか、沈みゆくグレードがどんどん下がるのは入れるのか、その辺はどのように考えているか。それは議論次第ということか。（藤野）
- ・もともとは2本立てで、老朽化と災害対策だった。まさにいま、重要なポイントを指摘いたしましたが、災害もどこまで考えるか。何十メートルの津波が来たらあきらめるのか、ゲリラ豪雨は考えるのかとか、その辺の線引きはまだ十分に議論されておらず、つめきれていない。（豊内）
- ・災害でも水関係か、地震と火山もあり、対象物が色々あって、n次元になってしまふ。それを分けるのなら、どこを埋めるかのイメージをはっきりした方がいい。あと、山本さんが言うような技術レベルの話と幾つか階層があるから、少なくとも50個ぐらいの分類は要るのではないか。（藤野）
- ・先ほどの前川先生からも話のあったマルチスケールに関しては、本当にサイズが何桁も違う上に、時間の話もあって範囲を絞るのが難しい。（豊内）
- ・維持管理は現場の点検データを使う手もあるが、今まで意外と目視だった。センサーを使って測るとか、カメラもいいが、実際には今の技術では診断がなかなかできない。つまりデータがないと診断できない、だからデータを集めることが大事だと。ところが、このフェーズはデータだけ集めますでは、使う方はデータを集めるだけのプロジェクトをやるのかということになる。前川先生の提案は5年先、10年先と色々制度があるが、予測ということを言って下さったので、集めたデータの使い道ができたということで、僕は非常に感激している。ただ写真だけではなく、もう少しくと不確実性がだんだん下がるのなら、それはコストとの関係、手間との関係もあるが、測るインフォマティックスの方々の出番がものすごく出てくるのではないか。地震はどちらかというと、堀さんがやっている解析のためのデータ収集をする目的。そうすると使い道を両方示せる。だが今のデータを集めるだけになってしまふと、誰も元気を出さないし、その使い道まできちんと示した、いい例題が幾つできるかというのがキーとなる。（藤野）
- ・コンクリート構造物ということで、前川先生と貝戸先生に紹介いただいた劣化曲線も、やはりある程度の時系列で情報を集めることで初めて引けるし、どの曲線に合うのかという適用もできる。徐々にその方向の成果も出つつあるという認識でよいか。（豊内）
- ・「これ」という適用がないからまだ広がらない。堀先生の提案も建物一個一個のデジタル化がやはりまだ社会で情報とつながっていない。ソースは出来てきたが、全国の国土に広がるには、「これ」というものがないと駄目ということを今日思った（前川）。

- ・ だが、こちらをやっている人は、使い道がないといけないと言う。みな場所によって言い方が違う。(藤野)
- ・ サクセスストーリーをどこかでつくるという戦略もある。例えば私が言ったように、NEXCOは床版で2兆円、3兆円使うと言うが、それは本当に必要かということ。このモデルを使って、もっと精緻よくやれば、国の財産の消費はどれだけで済むという非常に重い結果が出てくる。そういうのは非常にいい例であり、そのように適用できるのならばと、政治家も含めてファンドを出す意義が認識される。(藤野)
- ・ 設計のところでコストの話題が出ていたが、東京下水道サービスの場合は、このように適したメンテナンスをやったからこんなに安く済みましたという話は、詳細な数字は出せないにせよ、ある程度の確度を持って投資計画に適用できるはず。(豊内)
- ・ 東京都下水道では、予防保全型の維持管理やアセットマネジメントの導入効果として道路陥没を半減させることができた。また、道路を掘り返すことなく老朽化した下水道管を再生できるSPR工法を採用することにより開削工法と比べて工事費を半減できた。このような効果を生み出せる元はやはり維持管理データーの活用が大きい。例えば、展開図化した場合には、対策を見送った箇所を10年後に調査したとき、損傷クラックがどのように、どの程度広がったかどうかなどが比較ができる。これは、展開図の場合だが、これまでの調査データが整理、蓄積されていれば十分に利用は可能。例えば昭和57年から調査したデータを下水道総合情報管理システムに取り入れており、都心地域では3回ぐらい同一箇所を調査したところがある。損傷に関わる数値だけ時系列に比べると、やはりクラック等の損傷が広がっていくことが分かる。そうすると将来の予測ができ、それらを使いながら実際の維持管理に使うということはやっている。(高橋)
- ・ 細かい話になるが、そういうデータのアクセシビリティーはどうか。(藤野)
- ・ 下水道管を維持管理する任にあたっている全事業所で、ネットワークを通じて台帳は使えるし、また基本となる施設情報はインターネットで公開している。(高橋)
- ・ 信頼の置ける研究者がデータを使って「こういう分析をしたい」と言った時に、どうか。(藤野)
- ・ それは駄目。(高橋)
- ・ 信頼関係があっても駄目か。(藤野)
- ・ 電子データを加工されたり、意図しないような目的に利用されることが懸念されるので。下水道管は各家庭、事業所や公共施設など全ての建物と接続されている関係から、危機管理等の面でも悪用された場合の影響が大きい。ただし、研究等を目的として一定条件が確認された場合にはデータ提供しているようだ。(高橋)
- ・ 見せられないと。要するに秘密性があるということか。(藤野)
- ・ データに関わる著作権は東京都に帰属している。例えば今、流出解析でハザードマップを作っている。東京都の神田川水系などは、下水道サイドではこの地図や施設情報等で流出解析をやって、130ミリの雨だったらこの辺の水深はこうだというものを出している。個別に研究者の方が来られて情報提供を求められることがあるようだ。(高橋)
- ・ 先ほどの説明は、たくさん管路を持っているので、早めに手当てをして修理をした方が結果的に寿命が長くなった。結果的にトータルのコストが安くなったものと、優先順位があつて修理をしなかつたらやはりここまで傷んだというのを本当に実物で比較ができるということか。(豊内)
- ・ こういう画面だけではなかなか説明できないが、ちょっと前にJSTのこのチームの皆さん

に弊社のシステムを見てもらった。パソコン上でそういう情報はみな出せるので、現場でそれを活用できるようにしている。ただ、それぞれの地域ごとの特性を、個別の維持管理情報で打ち込んでいるが。基本のベース情報は誰もがアクセスして書き換えられては困るので、それは手を付けられないような仕組みになっている。(高橋)

- 内閣府の北村です。総合科学技術会議の事務局の仕事をしています。今日、何回か SIP の話が出ているが、戦略的イノベーション創造プログラムということで、私がテーマを二つ担当している。そのうちの一つがこのインフラの維持管理の話で、藤野先生がプログラムディレクターとして、今後ご指導いただきながら、本年度中に研究計画を定める手はずになっており、大変短い間に作らなければならない。また、その狙いは府省連携。総合科学技術会議が指令塔機能を強化して、省を束ねて全体の総合力を發揮するという考え方。だから現場を中心によくご存じの国交省と、基礎研究などの文科省、関係省庁に集まつていただいて力を合わせてやっていくプログラムになっている。今日は本当に興味深い話を聞かせてもらい、その中で藤野先生の指導の下で何かいい研究ができればと思う。先生中心でサクセス・ストーリーを作つていければと思っている。個人的には国交省から内閣府に来ており、もともとは河川や川の土木系の人間なので、藤野先生の発表を聞いていて思い出したことがある。自分が現場で管理していた時、出水があった際に、建設から 50 数年経った堰が開かなかつた経験がある。3 本のゲートがあつて開かなかつたのは 1 門だけだったのと、中規模の洪水だったので大事には至らなかつた。毎年点検はやつていたが、古い施設だったため潜水夫が潜らないといけないような、点検しづらい施設だった。ところが部分的に腐食があり、マニュアルからもそこは見落として抜けていた。だから、腐食に気付かなかつた。その経験でやはり一番怖いのは見落とし。自分が点検しているつもりでも点検してなかつたということ。あと藤野先生の発表にあつたように、单品性や条件が一つ一つ違つとうところがある。この時はローリングゲートといつて古い施設だったために、ほかにそんな施設を管理したことがある職員は誰もいなかつた。その現場にしかない古い施設で、そんなことが相まつた経験からすると、やはりインフラの点検も難しいところがあるという実感。(北村)
- サクセスストーリーという話があつたが、これも実は藤野先生にインタビューを行つたときに聞いたこと。とにかく何が嬉しいのかを明確にし、ライフサイクル管理システムを、スマートスタートでも良いので実際に動いて、運用でぐるぐる回しながら改善していく、議論を拡張していくようなものを早急に立ち上げるべき。それが RISTEX のターゲットしているようなフィールドなのか、特定の業種なのか、地域なのかというのはあると思うが、やはりそういう対象を幾つか見つけて提案をしていければと思っている。なので最初にも言ったが、研究開発の設計としては、管理体制システムの設計もやるし、サクセスストーリーにつながるような領域横断的な、府省横断的なものが見つけられて、それに直結する提案が出せればと思っている。府省横断は必須ではないと思うが、社会に実装していくことを考えると、必然になつてしまふと思う。(豊内)
- 豊内フェローがシステムという言葉を出したので、その意味で付け加えると、今日の先生方のお話で共通したカラーは、分野が融合しなければいけない、また色々な要素技術があるけれども、それらを何とか社会に使わなければいけない、使ってもらわなければいけない、ということ。例えば増田先生がおっしゃつた、ユーザーと研究者が一緒にならなければいけないということは色々な分野で結構言い古されてきていて、それなりに進んでいると思う。ところが今もおっしゃつたように、それでも上手くいかない面が色々出ていると。もしかして

何かが欠けているのか、あるいは何かを持ち出せばそのギャップを埋められるのかと思うと、これはシステムだと思う。私たちシステム科学屋としての宣伝にもなってしまうが、どういうシステムを作るか、点検システムでもいいが具体的なシステムを構成することを頭に描いて、少しずつそれを検討していくと、何が問題か、何が足りないか、あるいは何が難しいのかということが結構分かってくる場合が多い。例えば特に下水道の方が非常に成功した例を幾つか言わされたが、システムを上手く作られているからという気がしている。サクセスストーリーを一つ作るのであれば、ぜひ具体的なこんなシステムを作ろうというところから出発して、必要な要素技術を持ってきて、それをシステムということを念頭に置いてうまく組み合わせて、最終的に社会に実装できるものを作っていただくのは、一つのやり方と思う。(木村)

- ・ 東京都下水道サービスの方にもう一回伺いたいが、あれを始めた契機があつて、企業会計とか色々おっしゃっていたが、上からやれと来たのか、やってメリットがあると思ったのか、その辺のところは実際にどうか。最初は抵抗があったかもしれないし、リーダーシップを取られた人にも、色々と課題があったと思うが。(藤野)
- ・ 色々な技術が組み合わさっているから、いつが出発点とは言いづらい。例えば今の台帳システムでいうと、平成12年頃に大型計算機からパソコンにダウンサイジングしたが、パソコンをもっとうまく使えないかという発想が一つあって、実はそれが契機。そのときに片方では、先ほどの管の内部のテレビカメラ調査があったが、東京の下水管というのは1スパン35メートルぐらい。当時はアナログのカメラで撮った映像を調査する企業の方がずっと見て、メモしたものが報告書として上がってくる。その報告書を丸のみするかどうかだが、実際の維持管理、改良工事をやるときにまたビデオを見直すと、その1スパンを見るだけで1時間以上かかるてしまう。そうすると詳細に再確認するほどの時間的余裕もないこともあり、それまでのものは倉庫に山積みになって、もう使うことはないという時代があった。これをどうにかしなくてはいけないというのが一点。それからもう一つは、過ちなのか故意なのかは定かではないが、報告書と実態とが異なったものが散見されもした。そこで、調査した映像等を元に1スパンごとに管路内面を一見できるようにすれば、作業時間の短縮はもとより、正確で包括的な健全度の評価ができると考えた。見方を変えると、調査の検査機能も兼ね備えたものが必要と考えた。そこでまず調査結果である映像から下水管の内面を展開図化でき、各種の情報を帳表化し一体化できるシステムを考えた。次はどんどん膨らんでくる。もっと調査精度の高いものということでデジタルカメラへ。そして、ミラー方式のカメラの開発へと。そのような形でシステムが出来上がって徐々にアセットマネジメントが動くようになってきた。(高橋)
- ・ 技術の流れは非常によく分かったが、でも経営的な視点からのニーズというか、そういう点はどうか。(藤野)
- ・ 東京の下水道は長い時間をかけて100%普及してきた。普及して次の段階というのは平成7年に来たが、それまでも実は道路陥没など色々と問題はあった。ちなみに平成元年あたりでは、下水道に起因した道路陥没は年間2000件ぐらい。当時の維持管理は、やはり発生主義的というか、起きたらそこに駆け付けてやる。事後処理、事後対応。これでも対応できないという一方で、それだけの要員なり投資は片方で必要だから、予防保全をやる余裕がなかった。100%普及が平成6年度末にできたが、そのあたりから予防保全に切り替えながらやっている。(高橋)

- ・はつきり言うと、新設がなくなったわけか。われわれの悩みは、金をメンテに回すと新設が減ること。そういう話も国交省の中ではあると思っている。全部メンテに回したら新設はゼロだから、また色々な人たちからクレームが。でも、やはり100%というのは大きい。(藤野)
- ・そのことに加えて、下水道の場合は法律で台帳整備が入っている。命令、義務。法律で決まっている。それが大きい。(高橋)
- ・だが、その技術の先々という意味では、今は管理の技術が全部入る状況にはなってきた。当時は色々な技術がだんだん進んでいたけれど。(藤野)
- ・それで今度は当社の話になるが、下水管などを中心にわれわれは調査、診断、評価、設計、維持管理に関わる技術、それから施工技術、こういう一連の流れのものを技術開発しようというストーリーを最初から頭に描いて色々やってきた。だから今日紹介した以外のものでも結構面白いものがある。(高橋)
- ・どのくらいの規模の技術者がいるか。(藤野)
- ・技術開発を担う部署には25名ほどいるが、現場での改善、改良も含めた細かい技術開発は各現場の人みんなで取り組んでいる。一番の特徴は、当社はOB集団で、65%が東京都の下水道局の長年技術をやった人ばかり。そういう人たちは昔自分で設計施工をじかにやっているから、色々な技術を持っている。その人たちが取り組んでくれている。(高橋)
- ・しかし、それは世代が変わるとまた違うフェーズになるのではないか? (藤野)
- ・確かにこのシステムは実は主力は60歳以上の人人がやっている。データの精査もその人たちが全部チェックしている。(高橋)
- ・10年後は大丈夫か。(藤野)
- ・実際は東京都下水道局の現役の方々と、うちの部署とが人事交流をしながら上手くつなげている。システムについては特にそう。役所というのは3年あるいは2年で人事ローテーションをやるから、こういう専門性の高いところはどうしてもなじまない。そうすると何代かたつといつの間にか民間企業の方に技術やノウハウが移ってしまう。実はそれで色々と苦い思いをしているので、そういう状況は駄目だということで、人の体制から何かも含めて構築している。(高橋)
- ・JSTで産学連携事業を担当している秋山です。今日は貴重な話を聞かせていただいた。産学連携をやっているので、産と学とのコンビネーションに関するコメント。共同開発については、シーズがある方からは、産のニーズや産の要求が満たされないとマッチングは上手くいかないを見てきています。今日のインフラの場合は、シーズは多分あって、それから社会的ニーズもあるが、企業ニーズがあるかという問題が一つあると思う。と言うのは、マーケットがあれば企業は参入し、産学連携事業は組み立てられる。しかし、社会ニーズはあるけれども、実際に儲かる市場がなかったらどこの企業も参入してこない。となると産学事業が立てられないというのが私どもの一つの悩み。今日はインフォマティックスの話を聞かせてもらったので、やはりインフォマティックスをうまく使って、日本のインフラをメンテナンスするためにはこのぐらい投資がずっと必要であって、そうすると民間企業に流れるお金はこのぐらい出てくるというのが説明できると、それが一つのきっかけになる。それから、もう一つ考えなければいけないのは、災害対策やインフラ用に作った技術を今度は民間に転用すること。例えば大学で作った自動ロボットを掃除機に転用するというのがあったが、あいう形でもう一つ民間の企業がほかに転用できるような出口のようなものを考えないといけないというのが、今の私の実感。反省と感想。(秋山)

- ・そこにこのテーマの本質があって、いいものをつくったら市場がどっと買うというのではなく、納める先、パートナー、オーナーは大体がお役所だが、そこから出る支出が将来的に減ることになるというメリット。だから、そこはわれわれが理解して、どうしたらいいか、山本さん。どこも金がないから。(藤野)
- ・今、維持管理をしっかりとやっていて、新しい技術を使えばコストが安くなるというのだったらそこに行くでしょう。しかし、今きちんとやっていない管理者がたくさんあるので、まず何らかの形をやらねばならない。(山本)
- ・そうだ。だがそれはやればお金は掛かるから。(藤野)
- ・お金が掛かって、税金で負担する形になる。(山本)
- ・その仕組みが実はまだあまりできていないだけれど。(藤野)
- ・維持管理を本当にしっかりとやらないといけないので、お金をかけないといけないのだが、それは要するに今より負担が増えるということ。(山本)
- ・だからそれは鶏か先か、卵が先かで、サクセスストーリーというのはそういうところもある。こうやるとこういうメリットがあって、それはお金に換算すると多分このぐらいの意義があると言わねばならない。例えば床版が2兆円も要らなくて、1兆3000万で済むということは大体分かる。そういうことを言えば分かってもらえると思う。それから、コストやメリットの予測の精度をもう一段階高くするのは、今までのやり方ではなく、2億、3億余計に掛かる。だが、そういうことが必要なコストなのだと、いま社会に示さなければいけない。インフラを扱う時はいつもそういう悩み。私たちも好き好んで税金ばかり使っている訳ではなく社会に還元したいと思っている。(藤野)
- ・あともう一つ、最大のオーナーであると思うが、ゼネコンと話をすると、やはりインフラ輸出でパッケージの輸出のやり方を一生懸命考えている。(前田)
- ・正直言うと、こういうシステムは比較的規模が小さいので、原子力発電所とかダムを一個取るのと同じようにはなかなかいかない。インフラの場合には、維持管理は電話1本ですぐ来る人でないと怖い。客は電話1本、世界のどこからでも日本にしてくる。だから言るのは簡単だが、よほど考えないとモデルはそんなに作りやすいものではないと思っている。よほど特殊な技術を、先ほどセンサーのような技術だが、センサーは日本では作ってないというし。要するに移動できるものでないと、安易に輸出はできない。(藤野)
- ・あるいは、電機メーカーがよくやるのは、現地に法人をつくって、メンテはそちらに任せること。日立がイギリスに高速鉄道を卖れたのは、車両だけではなくて、現地に整備工場もセットで作り、地元の技術者も採用して、その車両のメンテができるよう、教育体制まで整えたため。車両単品の製品が良くてもなかなかアピールしづらい。(豊内)
- ・システムの輸出か。(木村)
- ・まさにセットで輸出をすること。以前、堀先生にインタビューに行った際にも、インフラの輸出はパッケージで出さなければいけないとの話があった。やはり企業には今までのビジネスモデル、商売のやり方、もともと持っている製品のラインがあるので、既存のラインに乗らないと簡単ではない。新しいラインやビジネスを立ち上げるのには最初の負担がかなり大きいので、どうしても今の延長でやろうとする。私も国プロを散々やらせてもらったが、社内で最後にハードルになるのはやはりそこ。いい成果が出ても、今までのビジネスの延長でそれがぽんと寄与するのか?というような。提案時にそこまで考えろと言われればそ

の通りだが、いざ3年、5年やって終わった時に、色々な状況変化の結果、最初の見積もりと大きく違っていたことも多い。(豊内)

- ・今、インドに鉄道をというのは、我々に近い分野だという意識がかなりある。今度色々始まるようだが、維持管理もオペレーションもというのだから、ああいう提案にどうやって上手く入るかというのが大きな課題で、何をどうやるかを考えれば、具体的になると思う。(藤野)
- ・先ほど水の話があったが、ODAで水のプラントなどを海外でたくさん造ったものの、結局は現地の方の技能では保守し切れないとか、オペレーションが難しくて最高のパフォーマンスを出せないようなものを造って、造りっ放しというようなことも聞いている。そこはかなり反省も多いので、先ほどおっしゃったように保守の仕組み、長く維持管理できる仕組みもセットでないと。そうすれば最初は少し高くても、長い目で見たらこれだけ安定していて、コストもトータルでは安いということを言えるはず。(豊内)
- ・こんなことを言ってはいけないけれども、中国のほうはやはりクオリティーは依然問題となっている。安いけれども、中国では橋が落ちる事例も多い。だからクオリティーというとやはり長い時間の契約のようなものでやるべき。鉄道とか、オペレーションがかなり要るものがいい。普段めったに壊れないものはやはりなかなか難しい。(藤野)

(3) まとめ

今年度の分かりやすいアウトプットとしては、プロポーザルを出させていただくことと、最初に申し上げたようにこのチームは今年度で終わりではなく来年度以降も活動をしていきたいと思っている。来年度以降さらに、このような集まりをまたほかの座組みでというご意見もあり、そういうワークショップを次はどういうテーマで、どのようなメンバーで議論していくかという企画と一緒に併せて出したいと思っている。

今年度はどういう全体図を書いて、何をプロポーザルとして出すのかというと、やはりインフォマティックス関係が軸になると思っている。それにつながる「要素技術」というとちょっと言い方がよくないかもしれないが、3次元計測であったり、データモデルであったり、プロダクトモデルであったり、劣化のシミュレーションであったり、当然それにアセットマネジメントも入り、災害に対するシミュレーションも入ると考えている。

とはいえる、何度も言うように大きいテーマなので、社会インフラの運用、保守、修繕、メンテナンスとはどうあるべきか、ライフサイクル管理はどうあるべきかということをまず描いて、その上でこの絵をより具体化して、だからこんな研究テーマが必要だ、こういう組み合わせだというものを今年度末には提示をさせていただきたいと思う。

今日のワークショップはここまでだが、まだまだ閉じてないと思うので、また改めてお話を聞きに行ったり、議論させていただくこともあると思うが、よろしくお願ひしたい。

(JST/CRDS 豊内)

長時間このような狭いところでどうも有難うございました。こういうワークショップは頻繁に開催するが、今日は普段よりもずっと熱が入った、しかもレベルの高い話と議論をしていただいたと思っている。さらにJSTへのかなり強い批判も含めて承ったと思う。JSTも変わりつつある。こういうテーマもどんどんこれから出していきたいと思うので、今後ともぜひご指

導ご鞭撻、よろしくお願ひします。(JST/CRDS 木村上席 F)

【ワークショップの総括】

本ワークショップの結果、当該分野の研究開発を国が主導することが必須であることと、社会インフラの統合マネジメント・プラットフォームの構築と運用、および研究テーマの設定や成果の現場への実装に重要な課題として以下のような意見を整理できた。

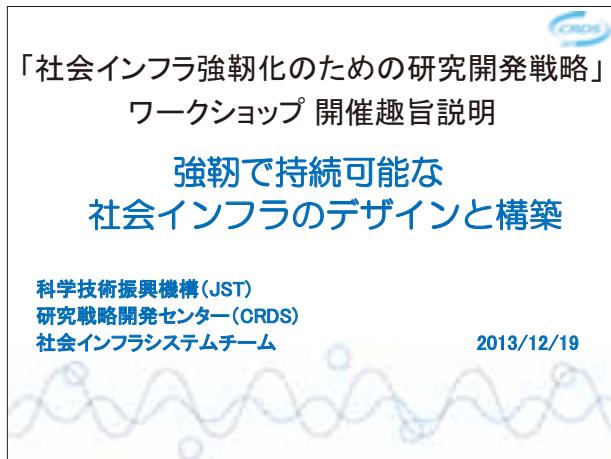
- ・ニーズとシーズをすり合わせられる分野横断、府省横断で連携できる体制の構築
- ・情報やデータの利活用による効果を示せるサクセスストーリーの検討
- ・社会インフラに係る課題を解決するシステムの設計と適した研究テーマの設定（具体的なインフラ、及びそこで解決を目指す問題）

以上の3点は、JST/CRDSのこれまでの検討においても認識されていた課題であったが、本ワークショップでの討議を通じて、よりその重要性が確認され、さらにはより具体的な検討内容の提案も多数いただくことができた。

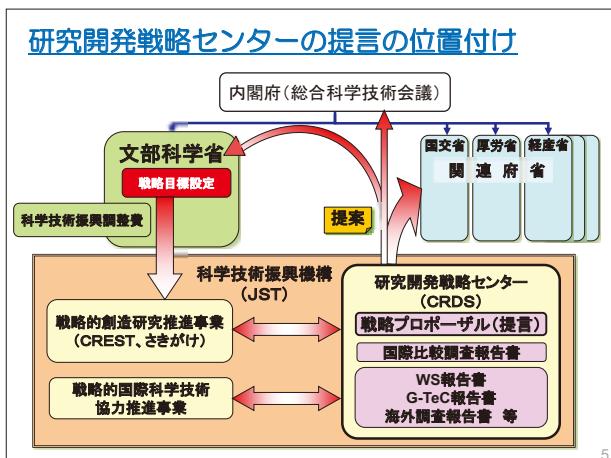
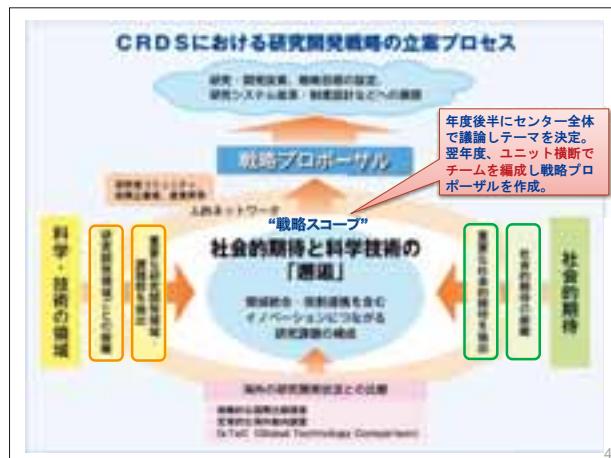
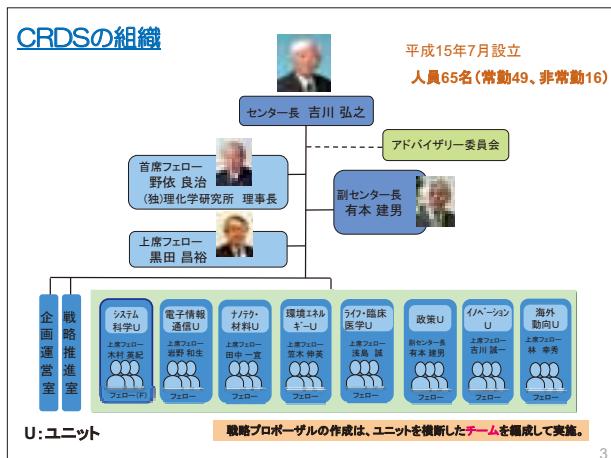
これらの意見や提案を整理、統合し、多くのステークホルダーとの関わり方やアウトプットイメージを明確にすることに留意しつつ、社会インフラチームが作成する提案書(戦略プロポーザル)へと反映する。

4. 発表資料

4-1. ワークショップ開催趣旨説明 (CRDS)



- JST研究開発戦略センター(CRDS)について
 - ワークショップの狙い
 - 提案の背景と社会課題
 - 提案に向けてのアプローチ
 - 検討の現状
 - システム構築がもたらすイノベーション
～今後、具体化・詳細化を進めたいシステムと構築戦略～



- ワークショップの狙い

 1. 当該分野における研究開発の必要性を探る
 - 公的資金を投入する意義の明確化 -
 - ・提案の背景と社会的課題
 - ・課題解決における、情報プラットフォームの必要性
 - ・次世代社会インフラのシステム構築がもたらすイノベーション
(例: 情報プラットフォーム、ライフサイクル管理システム、など)
 2. 当該分野における研究開発の可能性を探る
 - 技術的ボトルネックの把握と課題抽出 -
 - ・社会インフラ情報プラットフォーム構築の意義と障壁
 - ・基礎研究、要素技術との関係と具体的な研究開発課題
 3. 当該分野の研究開発推進の課題を探る
 - ・研究推進に資するファンディングと研究プロジェクトの運用手法

提案の背景と社会的課題

【背景】

- ・老朽化する社会インフラ・ストックの急増
- ・少子高齢化：維持管理・検査の人材・技術継承難
- ・社会インフラへの公共財源投資の抑制
- ・災害対策強化への要望：東日本大震災での反省

【社会的課題】

「社会インフラとサービスのあるべき姿」の全体デザインおよびシステム構築

※ 社会インフラ：人間の生命と文化的生活を維持し、都市機能や経済活動を支えるライフライン。具体的には、鉄道・道路などの交通・物流設備、電気・上下水道・ガスなどの公共公益設備、電話やインターネットなどの情報・通信設備を含む。

背景と課題の整理（老朽化の側面）

【止められなかった重要インフラの事故（例：笹子トンネル）】

- ・社会インフラ老朽化による危険性は、以前から認識
- ・幹線道路には、相対的に手厚い維持管理体制
- ・予防保全の発想で、長寿命化計画・対策を実施

↓ それでも、重大事故発生

【問題はどこに？→ ヒト、カネ、情報を活用する総合戦略の欠如】

- ・**ヒト**： - 維持管理や検査を担う熟練人材が大量に退職
- 技術・ノウハウの継承体制が不十分
- ・**カネ**： - 維持管理よりも、新設に優先的な予算配分
- 経済的・政治的にも、新設の方が優位との判断が強い
- ・**情報**： - インフラの施工記録、点検や補修の記録などのデータなし
- データを取得、蓄積、管理するメリットが不明確
- 従来技術では膨大な情報の取得、保管、分析などに限界

8

提案に向けてのアプローチ（1／2）

現状のやり方のままでは必ず破綻する（破綻しつつある）

- ・老朽化設備を順次更新 → 更新費不足 → 増税 or 国債追加発行
- ・キラーファクタ* → 修繕技術がない → 更新には長期サービス停止
- ・熟練技術者の高齢化 → 技術・ノウハウ喪失 → 一部の設備放棄
- ・データが存在しない既存インフラ → 状態推定、寿命予測などの最先端技術が適用不可 → 非効率な保守・修繕計画・手法を継続

*キラーファクタ：修理困難で致命的な損傷を負った箇所

【本提案のアプローチ】

1. 社会インフラの構築/運用/保守/修繕などに係るヒト、カネ、情報を有効活用する為の総合戦略（＝全体像）の確立
2. 社会インフラの「高い頑健性と復元性」とは、何を意味し、どのような機能を持つべきかのシナリオを明確に定義
3. 上記の「次世代社会インフラのビジョンとシナリオ」を実現のための具体的な仕組み（科学技術や制度改革）を構築

提案に向けてのアプローチ（2／2）

1. 上位層（社会層）：ビジョン

「社会インフラを強靭で持続可能」とするには、何を理想とし目指すかという社会ビジョン。官学産民や制度改革などの多面的な要素で構成される、総合的な社会像となる

2. 機能層（パインディング層）：シナリオ

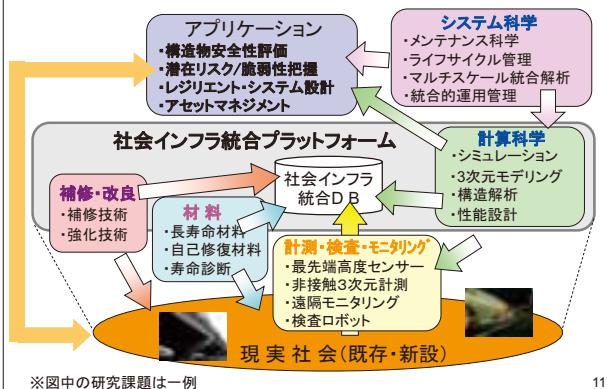
上位層の内容を、各構成要素ではどのように実現するかという具体的なシナリオ。官学産民や制度面でそれぞれ目指すことの相互関係・相乗効果をも明確にする

3. 価値層（物理層）：研究開発テーマ

アカデミアおよび、産業界の研究開発部門で、具体的にどの研究テーマを推進するかの総合的記述。基礎、実用化、製品化、実装などの各フェーズの分担と連携も重要

*各階層の名称は、CRDS 吉川センタ長の定義による 10

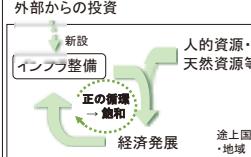
検討の現状1：社会インフラ・プラットフォームを中心とする社会インフラ統合管理システム（物理層）



※図中の研究課題は一例

検討の現状2：保守/修繕の社会・経済への影響

- ・メンテナンス（保守/修繕）や再構築/改良の社会・経済的地位の向上やビジネス領域としての確立の為には、事業としての社会・経済への定性/定量的な影響評価が必須
- ・高度成長期にはインフラの新設が社会・経済に正の循環をもたらした外部からの投資



- ・安定成長・成熟期における、インフラの保守/修繕や再構築/改良の業務が単なる「コスト」ではなく、「付加価値」を生み、さらには海外にも売れる高い優位性をもった技術とノウハウを生むことを示したい
- ・メンテナンス・イノベーションが、どれだけの雇用や資本の循環（R&D投資等も）を生むかの予測評価等の社会科学的研究も推進したい 12

検討の現状3：機能層(バインディング層)の案

次世代社会インフラのビジョン実現のための対応策

・社会インフラのライフサイクル管理の体系化：

社会インフラの設計・構築から廃棄に至るライフサイクルを規定し、官产学民のあらゆる活動を、インフラの管理と強靭化の過程に位置づける。また、災害発生時の被害推定、修繕、復旧のプロセスもライフサイクルに取り込む。

・技術とノウハウの確実な継承と徹底的な人材の活用：

ペテランの技能やノウハウを再利用可能な「ナレッジ」として獲得するとともに、若手技術者から一般市民も含めた幅広い人材にまで共有する。

・データに基づく科学的手法によるインフラの維持管理支援：

社会インフラに係る、収集可能あらゆる「情報」をデータ化し、集約・共有・分析する。これにより従来の設計寿命や予算のみに基づく修繕・更新計画、ペテランの技能や事業者内のノウハウに頼った点検・評価などから、より科学的な手法で計画・判断・実施し、効率的かつ高精度な維持管理を実現する。

・社会インフラの統合的運営・管理方式の確立：

「情報」を徹底的に活用・共有することで、新たな運営・管理方式を確立して、インフラ間の壁とヒト、カネの制約を越える。具体的には、複数インフラを統合的に監視し、設備やサービスの連携や相互に補完しあうことで、効率的・効果的な管理を実現するとともに、災害や障害への耐性、復元性の強化を図る。

システム構築がもたらすイノベーション

～今後、具体化・詳細化を進めたいシステムと構築戦略～

【社会インフラを強靭で持続可能とするシステム】

- ・社会インフラの維持・管理・更新のあるべき姿
- ・上記を実現するための産官学民の連携と人材活用体制
- ・現状からの現実的・段階的な移行手順(短期、中長期)
- ・インフラのライフサイクル管理システムを実装し、何度も回しながら改善を図れる仕組み(スマールスタート)
- ・法律や条例の縛りと制約の回避方法

【研究ファンドやプロジェクト管理体制のシステム】

- ・社会科学も含む分野横断的な研究テーマ設定
- ・府省間連携、産官学民の協働を容易とする管理体制
- ・短期、中長期的な視点で必要な研究開発テーマの選定と研究成果の実用化、製品化、社会実装戦略
- ・実フィールドの巻き込みによる社会への実装と実証

14

【参考】ヒアリングでのご意見の一部（1/2）

- ・日本は新しいインフラにどんどん投資できる財政ではない。どう既存のインフラを修理し、効率的に維持・管理していくかが、大きな課題。
- ・異なるシステム間の連携と統合的な視点(例:道路と水道、警察と消防など)が重要だが、連携・統合に関する研究とハード・ソフト両面の仕組みの整備を進めないと、実現は容易ではない。ICTの活用必須。
- ・既存インフラの一元化されたデータ(DB)がない点は深刻な問題の一つ。さらに図面と現物が一致しない、そもそも図面もない構造物も多い(注:首都高ですら、図面はあっても(電子)データ化されていない)。
- ・前提となるDBなしでは、個別研究テーマ(材料、寿命推定、モーティング＆ミュレーションなど)から優れた成果が出ても適用できず、社会に入っていないかない。本データモデル分野は独、仏などが先行。
- ・まずは新しい計測技術などを研究開発し、既存インフラのデータを取得(形状、構造、材質など)する手段と、データの有効な使われ方を意識した(社会インフラ統合)DBの構築を目指すべきだろう。
- ・メンテナンスの社会経済的/科学的地位を向上したい(新しいインフラの建設と同様に、保守も雇用と経済効果を生み出し、論文も書けるようにしたい)

【参考】ヒアリングでのご意見の一部（2/2）

- ・現状では検査は人間の目視が一番であるが、短期的には一次切り分け等、長期研究目標として“目視を超えるセンサ”を目指すべき。
- ・計測技術などを用い、都市のデータを取得し、3Dモデル化できれば、インフラの維持・管理のみならず、(カンヌの街のように)、多くの応用に適用することが出来る。時間をかけてもやる意義は大きい。
- ・インフラの重篤な病を治す最先端技術と、平時の健康を維持する安価な技術のどちらかに使える研究開発を進めるべき。二極化が重要であり、何れにも向かない中途半端な技術に金をかけるのは無駄。
- ・社会インフラ統合DBは、運用の流れをうまく作る必要がある。その仕組みができれば、自動化が進む。DBからデータを取り出し、使う技術。加工技術。そして、どんなデータが実際に取れるのかが必要。
- ・インフラ輸出は、損保業界と組んでリスク管理することが必要ではないか。何には対応し、何は諦めて保険に任せせるかの合理的切り分け。
- ・専門家向けでなく、一般職員も使える構造物の予算管理から保守まで扱えるような統合ソフトが必要。こういうツールが出来れば、実運用の後に、バックデータが揃うのでインフラとともに海外に売れる。

16

4-2. 社会インフラストラクチャの強靭化に向けて（藤野特任教授）

社会インフラストラクチャの強靭化に向けて

科学技術振興機構
研究開発戦略センター
2013.12.19

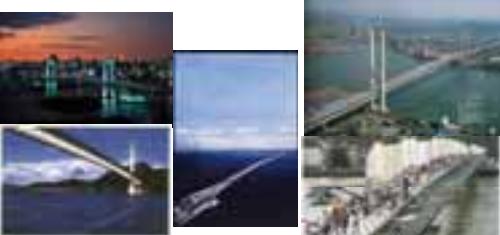
藤野 陽三
東京大学 大学院工学系研究科
総合研究機構
fujino@sogo.t.u-tokyo.ac.jp



社会を支えるインフラ
他にも上下水道
廃棄物 情報・エネルギー配給
線状、ライフル
大規模なネットワーク
を構成

自分のフィールド 橋

中でも長大橋の計画・設計・構造、風、地震、人や車による振動、制御、モニタリング、保全、防災…インフラマネジメント…



インフラストラクチャ =
「社会的共通資本」
「みんなが使う、みんなのもの」
「公」(官ではない) 対「私」
人が人間らしく暮らすのに必要なもの(塩野)

- 自然環境 サイエンス的要素
大気、水、森林、河川、湖沼、海洋、沿岸湿地帯、土壤
- 社会的インフラストラクチャ 工学
道路、交通機関、上下水道、電力・ガス 所謂「社会资本」
- 制度資本(システム) 社会科学的要素
公共政策、教育、医療、金融、司法、行政



宇沢弘文

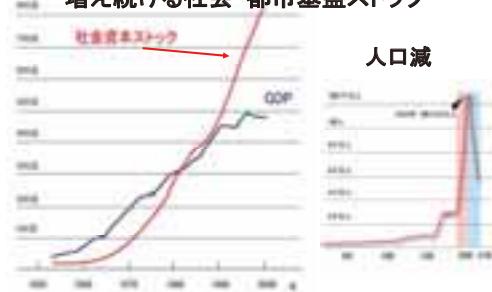
橋やトンネルなどのインフラ 特徴

- 高い公共性 「安全」が期待される
- 単品性 マスプロ製品とは違う
- 条件が1つ1つ違う (地盤、気象、交通)
- 長い供用期間 50年以上
- 長く、大きな連続体(≠部品)

結果として **高い不確定性を有する大規模システム**

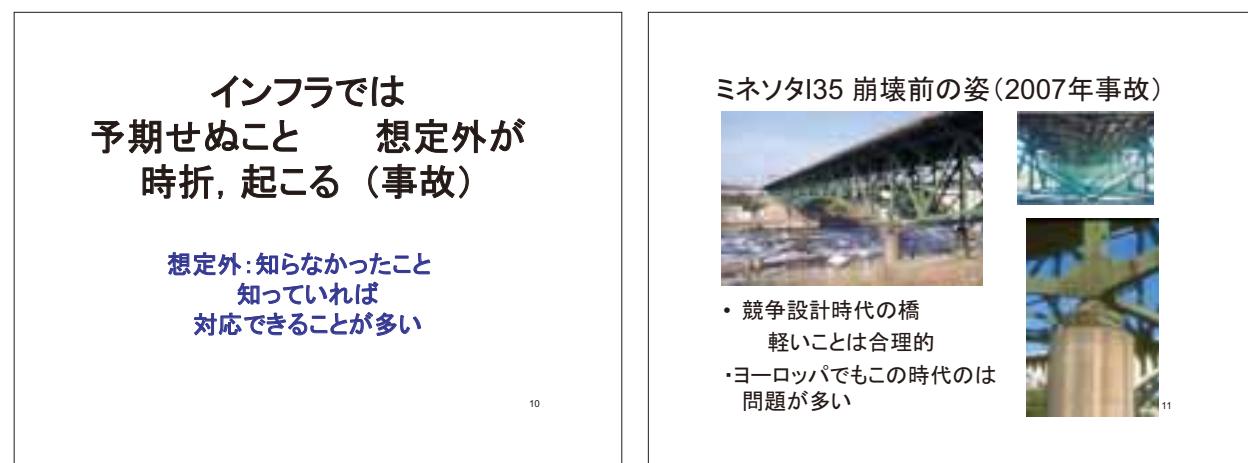
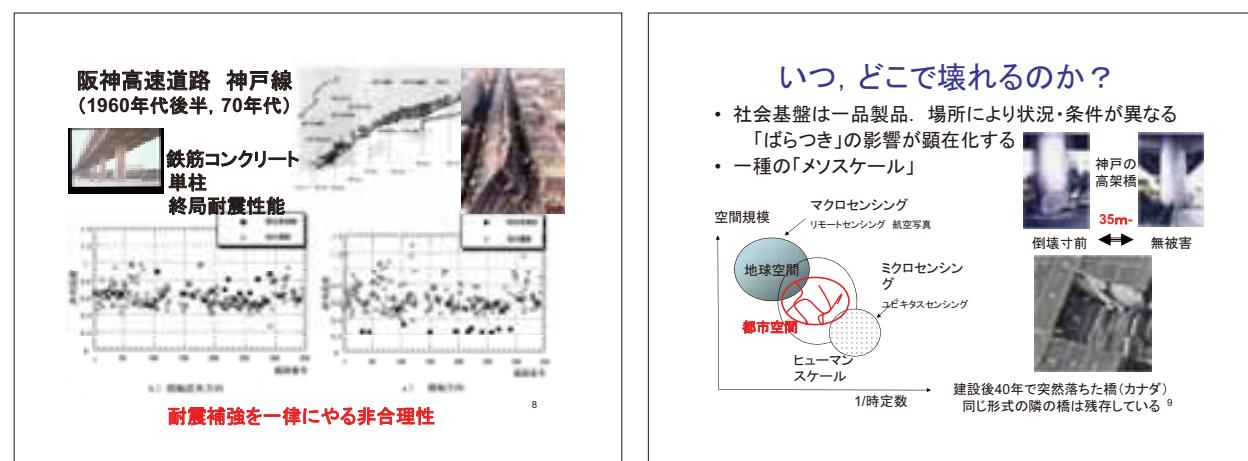
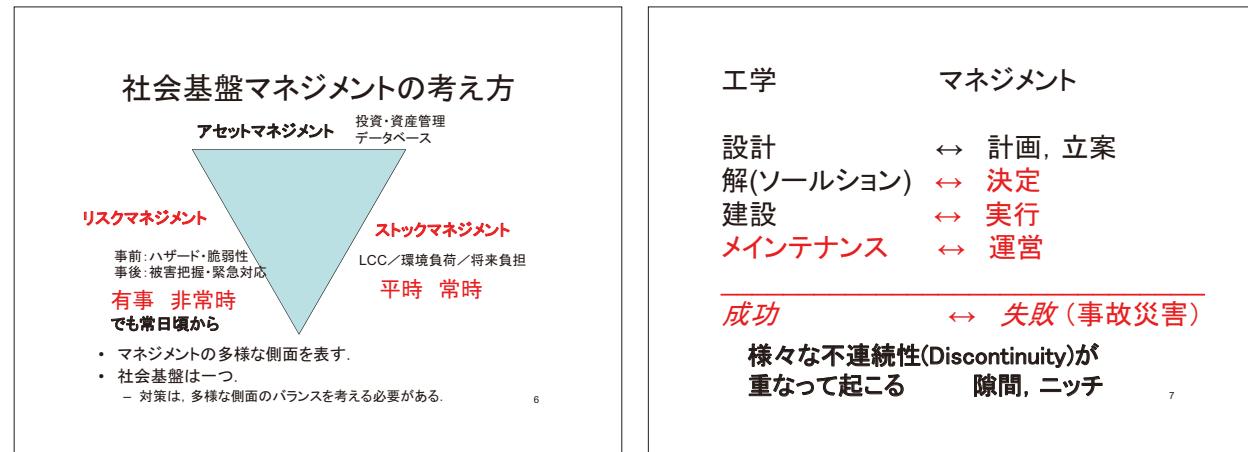
- 代替性低い
- 現場での検査/使用しながらの補修
- 事故の影響大

増え続ける社会・都市基盤ストック



人口減

老朽化, 4つのS
高密度化, 高機能化, 高安全化...
safety, security, service, speed



崩壊の様子

・徹底した情報公開 報告書 図面 他 12

設計ミス 薄かったU-10 ガセット 2003年撮影
写真でも面外変形していた
それには気がついていた でも変化してなかつたのでそのままに

http://www.startribune.com/local/16927626.html 13

・道路会社の管理 付属物 古いものは怖い
(設計, 構造形式, 施工, 管理) ・民営化の影響
は? 我が国のインフラ史で歴史的な事故.

2011年3.11 地震

M = 9.0
想定外?

1978 宮城県沖 EQ.
M = 7.4

15

**横浜ベイブリッジ(耐震補強済み)
(1989年完成)**

2011.3.11 東北
太平洋沖地震で
折, 塔が60cm
も揺れた
新たなる問題
**自動車の転倒
(交通, Mobility)**

1995 兵庫県南部地震
3台のトラックが転倒(朝5時46分)

咲洲(さきしま)ビル 52階建, 震源から760km

最大変位応答
1.37m
想定外

Distance Epicenter-Osaka = 760km

Ground Motion in SENDAI C
Low-passed 0.2Hz, Max Acc 6.5 cm/s²
MYGH08-NS2

Low-passed 0.2Hz, Max Acc 5.8 cm/s²
MYGH08-NS1:

シミュレーション

何十万自由度
非線形地震応答
真?
すべてはインプット
次第
それは測らないと
わからない

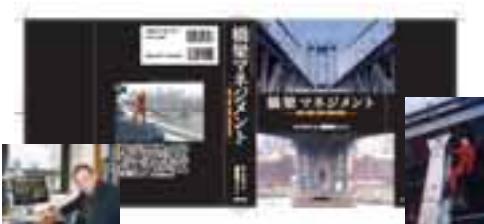


実験、理論、観測



18

橋が古く(aging)なると
—過去の事例から学ぶ—
ヤネフ「是非、アメリカの例
から学んで欲しい。」



West Side Highway

- 1930年開通
- 全長5.7マイル(約9km)
- 1968.5.2 : ポットホール (by NYTimes)
- 1969.2.20 : ポットホール (by NYTimes)
- 1972.12.9 : ポットホール (by NYTimes)
- 1973.12.15 : 床版崩落 (by ASCE, NYTimes)
- 1974.1 : ポットホール (by NYTimes)
- 1974.8 : 床版剥落 (by NYTimes)
- 1978.3. : コンクリート剥落 (by NYTimes)
- 1982.1.10 : ポットホール (by ENR)
- 1982.2.28 : コンクリート剥落 (by NYTimes)



West Side Highway

・1973年床版崩落

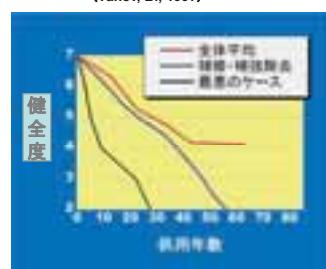
● 1973年
不十分なメンテナンス
凍結防止の塗による鋼板の腐食進行
主桁と橋梁の接続の不備
主桁の下部構造の劣化
43年
2012.11月撮影



出典: Gibbs, K., American Society of Civil Engineers, & ASCE National Committee. (1980). Maintenance lessons learned from bridge failure: Proceedings of a symposium. New York, N.Y.: The Society.

劣化の予測

NY市の橋梁の平均劣化モデル
(Yanev, B., 1997)



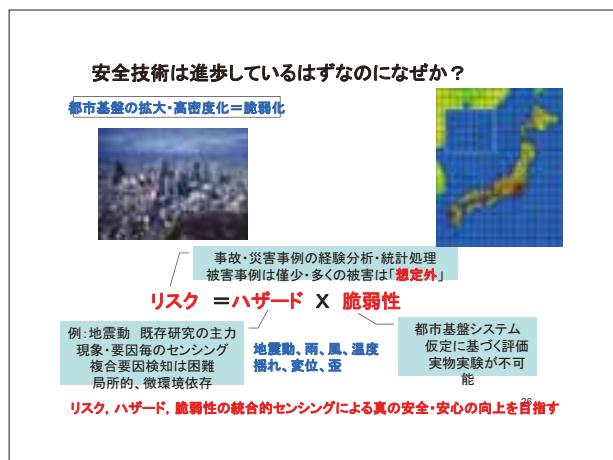
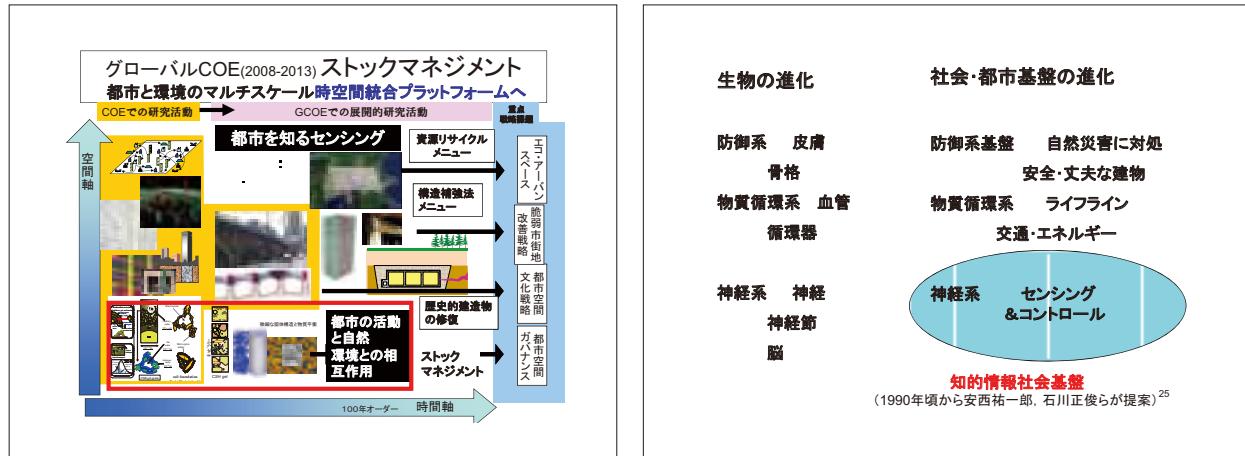
22

高速道路資産の分析対象数量(精査中)

区分	分析数量	備考
橋梁	1万9, 608橋	橋梁形式別の橋数
土構造物	5万2, 774本	旧タイプアンカーの本数
切土	11万7, 606箇所	
盛土・切土	9, 535箇所	
自然斜面		
トンネル	1, 675本	

ざっと? 兆円?

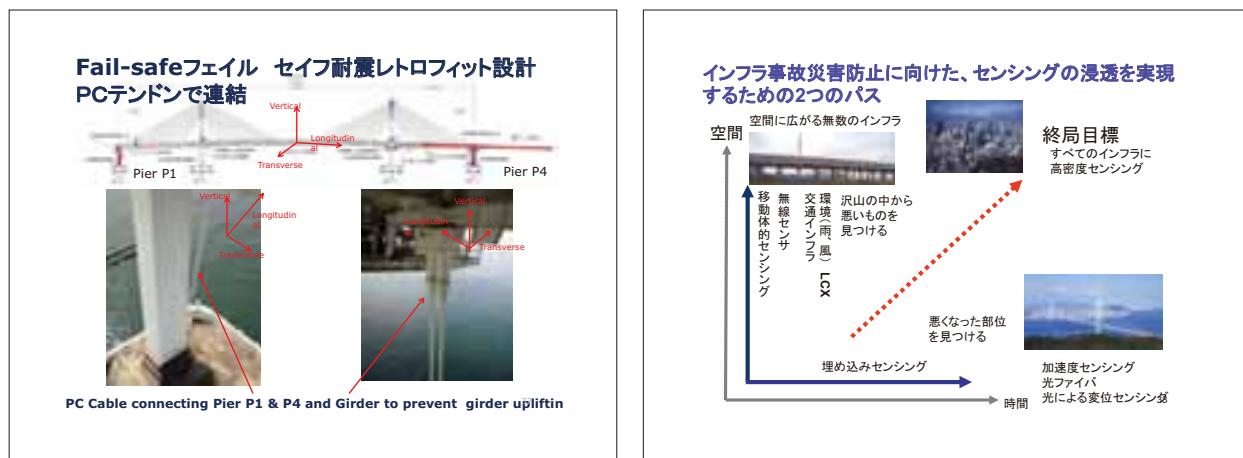
※平成23年度末時点でのNEXCO3社が管理する高速道路の資産を、原則、上下線別にカウントした数字である



Real world を知ることが重要
測ると大事なことがわかる。

28





**同じような高架橋--
しかし、応答には
かなりの幅**

RMS 二乗平均応答

Velocity of Train (km/h)	NCG1 viaduct	NCG2 viaduct	NCG4 viaduct	NCG6 viaduct	NCG9 viaduct
180	0.85	0.95	0.90	0.80	0.75
200	0.90	1.00	0.95	0.85	0.80
220	0.95	1.05	1.00	0.90	0.85
240	1.00	1.10	1.05	0.95	0.90
260	1.05	1.15	1.10	1.00	0.95
280	1.10	1.20	1.15	1.05	1.00
300	1.15	1.25	1.20	1.10	1.05

36

CSIC Centre for Smart Infrastructure and Construction
An Innovation and Knowledge Centre
International Advisory Group
18th January 2013
Centre for Smart Infrastructure and Construction, University of Cambridge,
Department of Engineering, Trumpington Street, Cambridge, CB2 1FZ
Tel: 01223 766976, Email: CSIC-admin@eng.cam.ac.uk, Web: www.centreforsmartinfrastructure.com

曾我教授

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

平成26年度重点課題(総合科学技術会議)

- 環境・エネルギー
- 健康・高齢化社会
- ・インフラの安全,
ICTの適用
センサー、ロボット、ビッグデータ
次世代インフラ

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)もスタート

**都市基盤の災害事故リスク
の監視とマネジメント
2006年-2012年**

代表 藤野 陽三
(東京大学 大学院工学系研究科 社会基盤学専攻)
土木+計測+情報+電気子【学+民】

科学研究費は個人で行う研究が中心

技術の進歩

今は使われない、許されない構造、
ディテールが多い
古いのは**脆弱性**が高い構造である場合が多い

これらは「**既存不適格**」ではないか？

技術基準の改定を定期的に行い、
脆弱性の高いものを明確にする必要がある。

それには点検・モニタリングと診断が必要！

40

**20年間時限つきキャンペーン 2009年のスライド
「強い日本に向けての強靭な国土造り」**

(よいキャッチを考えたい！)
人口減、高齢化が本格化する前に、
インフラの足腰を強く。都市も地方も
今、やればこれから約50年が安心

そのためには
図面にさかのぼって センシング/モニタリング技術も活用
知的情報社会基盤の構築(結構、泥臭いこと)
インフラのハード面、ソフト面の双方を対象に多面的に
最新のシミュレーションを駆使して、すべてのインフラの
脆弱性のあぶり出しが欠かせない。
そして ハードな対応(補強、改修、更新)とソフトな対応

41

4-3. 多孔体・複合材料（コンクリート：地盤）と構造に関する知識構造化と インフラの設計管理への応用 — multi-scale,multi-chemo-physics approach — (前川教授)

**多孔体・複合材料(コンクリート:地盤)と構造に関する知識構造化とインフラの設計管理への応用
— multi-scale, multi-chemo-physics approach —**

(1) 知識構造化: Multi-scale
(2) PC橋梁の長期たわみと設計・制御
(3) 浅地中RCカルバートの長期たわみ・ひび割れ
(4) 中層RC建物の地震応答と乾燥収縮
(5) 既存RC床版の疲労寿命解析と維持管理

前川 宏一
東京大学 社会基盤学専攻

Multi-Scale & Multi-chemo-physics Modelingと統合解析手法の開発

■ 10⁻³メートルから10³メートルスケールをカバーする20の支配方程式、400組のグローバル共有変数、数十の材料化学、熱力学、地盤化學、力学モデルを連成解析することで、若材龄固体形成から超長期の地盤環境を含むインフラ空間の性能予測を行なう数値プラットフォームを開発(FEM Program)
■ 材料組成、構造諸元、施工条件を入れるので、時々刻々と変わる構造物の性能を予測可能。事前のパラメータフィッティングを必要しない一般化解析手法

Knowledge (model) classified into Multi-Scale REVs
Multi-scale model : serial linkage over the multi-scale

Mechanistic development
Ion Transport/Balance
Electro-Action

CSH hydrates-Aggregates + Cracks interacting composites

(1)全体枠は作動可能状態に。しかし、スケールと事象(縦横)ごとの完成度はまちまち。→個別強化事項の在り処が良く見える(過去15人の博士学生のテーマ)。

(2)信頼度の高い機能から順にインフラの設計・監理に適用(卒業生のコンサルタント起業)→現場の厳しい要求に耐える開発→発展のサイクルへ

PC長大橋梁の長期使用性(供用性)評価と制御

地下構造の長期使用性評価と制御

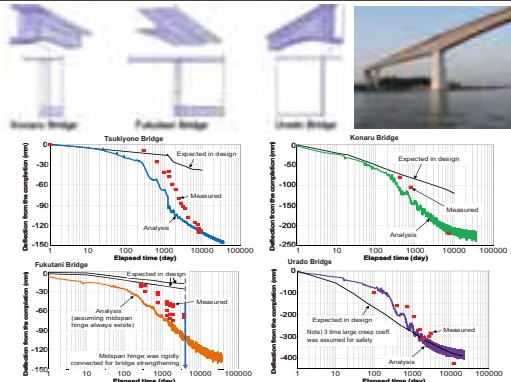
道路床版の余寿命推定、補強効果予測

高速、一般国道+地方道路

耐震補強

一劣化・損傷状況・初期欠損を考慮

長大PC橋梁の長期たわみ解明と新設設計、既設制御



地下空間の長期耐久性と都市： 設計予測の数倍以上の変形も

The RC culverts



Development situation



• Keeping lifelines underground

However...



Excessive deformations, cracks of RC culverts have been reported.

Cracks of top slabs

- ① To verify the mechanism of excessive deformation of RC culverts
- ② To control the long-term deformation & deflection

地盤の長期変形と構造連成

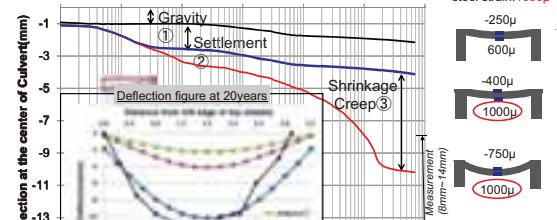
① No shrink,creep settlement

② No shrink,creep

③ Realistic case

- compression + tension

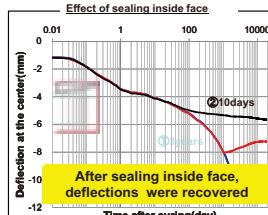
Total strains Measured tension steel strain: 1000 μ



Measured results could be nicely reproduced by DuCOM-COM3 considering the double effect of "shrinkage, creep" and "soil settlement"

力のみに頼らない補強と寿命延長

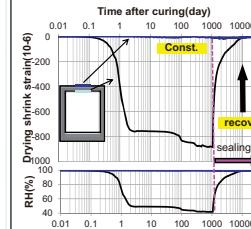
T:20°C RH:99%
T:25°C RH:40%
Keep sealed at the inside face after
①3years
②10days



After sealing inside face, deflections were recovered

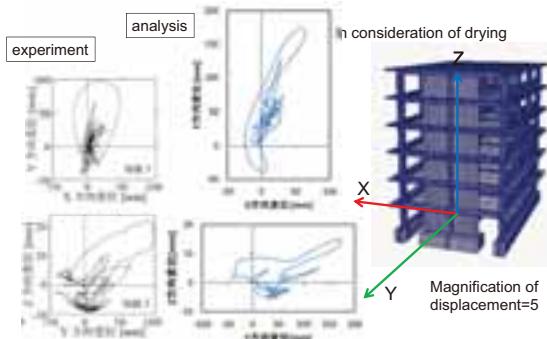
It is possible to control excessive deformation by non-mechanical methods to keep sealed on the inner faces.

Shrinkage strain and inner RH



Seismic full 3D analysis : disp. At the 2nd floor

experiment



Effect of drying shrinkage on seismic performance

Ducom-COM3 link analysis

E-defense initial shrinkage cracking

Seismic performance of corroded RC

RC column was corroded by keeping at seashore for 4 years, and then subjected to vertical and cyclic load

Reprinted from Arasato et al., "Experimental research on seismic performance of RC column corroded with exposure to environment"

Since no environmental data is available, simple environmental data is assumed.

Simulation of RC slabs under high repetition of moving loads

Fixed point pulsating load
Load position and direction fixed.

Moving wheel-type loading

Number of cycles and passages (log N)	Normalized amplitude (fixed point cyclic shear by FE analysis)	Normalized amplitude (Dry experimental results)	Normalized amplitude (Submerged experimental results)
10^3	0.8	0.6	0.4
10^4	0.6	0.4	0.2
10^5	0.4	0.2	0.1
10^6	0.2	0.1	0.05
10^7	0.1	0.05	0.02

crack = variable pore space

"Structural Concrete incorporating kinematics of ambient water"

Incorporating concrete and pore water : Biot's modeling

Dynamic equilibrium equations for a saturated skeleton

Dynamic equilibrium equations for fluid materials in the skeleton

(1) Equilibrium in direction \mathbf{x}_1

$$\sigma_{11} + \epsilon_{11} \cdot \rho_{11} + \epsilon_{12} \cdot \rho_{12} + \epsilon_{13} \cdot \rho_{13} + \rho_{11} \cdot \epsilon_{11} + \rho_{12} \cdot \epsilon_{12} + \rho_{13} \cdot \epsilon_{13} = 0$$

$$\sigma_{11} + \rho_{11} \cdot \epsilon_{11} + \rho_{12} \cdot \epsilon_{12} + \rho_{13} \cdot \epsilon_{13} = 0$$

$$\sum \text{Equilibrium for each coordinate axis}$$

$$\sigma_{11} + \rho_{11} \cdot \epsilon_{11} + \rho_{12} \cdot \epsilon_{12} + \rho_{13} \cdot \epsilon_{13} = 0$$

(2) Generalization for each coordinate axis

$$\sigma_{ij} + \rho_{ij} \cdot \epsilon_{ij} + \rho_{ik} \cdot \epsilon_{ik} + \rho_{jk} \cdot \epsilon_{jk} = 0$$

Modeling using

$$k_t = k \left(1 + \left(\frac{\epsilon_{ij}}{a} + \frac{\epsilon_{ik}}{a} \right)^4 \right)$$

ϵ_{ij} : mean permeability of cracked concrete
 ϵ_{ik} : intrinsic permeability of uncracked concrete
 ϵ_{jk} : mean transverse in-plane strain
 a : constant value determined by experiment

$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^e + \delta_{ij} \cdot l_i \cdot \rho$

Parallel events

START
Shape, mix proportions, initial and boundary conditions

Governing Equation
 $\frac{\partial(\phi \cdot S - C_{\phi})}{\partial t} + \operatorname{div} J_{\phi} - Q_{\phi} = 0$

Hydration computation
Determination of amount of solid phases

Microfracture computation
Determination of amount of pore water

Pore pressure computation
Determination of pore pressures, R_{ϕ} , and moisture distribution

Geochemical calculations
Determination of equilibrated amount of solid phases and pore solution concentration except C_{ϕ} by PHREEQC

DuCOM-PHREEQC C_{ϕ} equilibrium and transport
Equilibrium of equilibrated amount of solid phases and pore solution concentration except C_{ϕ} by PHREEQC
"Concentration of free C_{ϕ} by DuCOM"

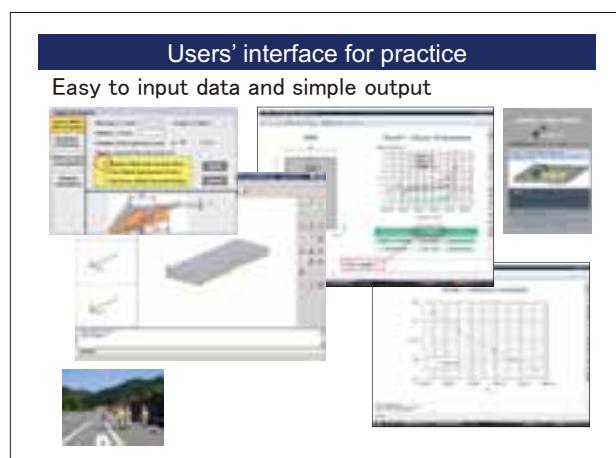
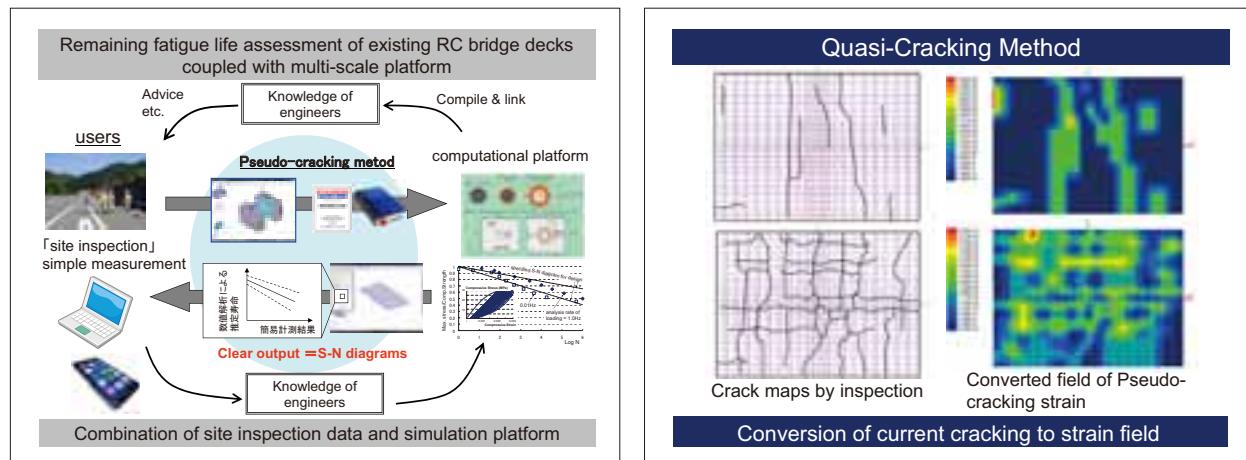
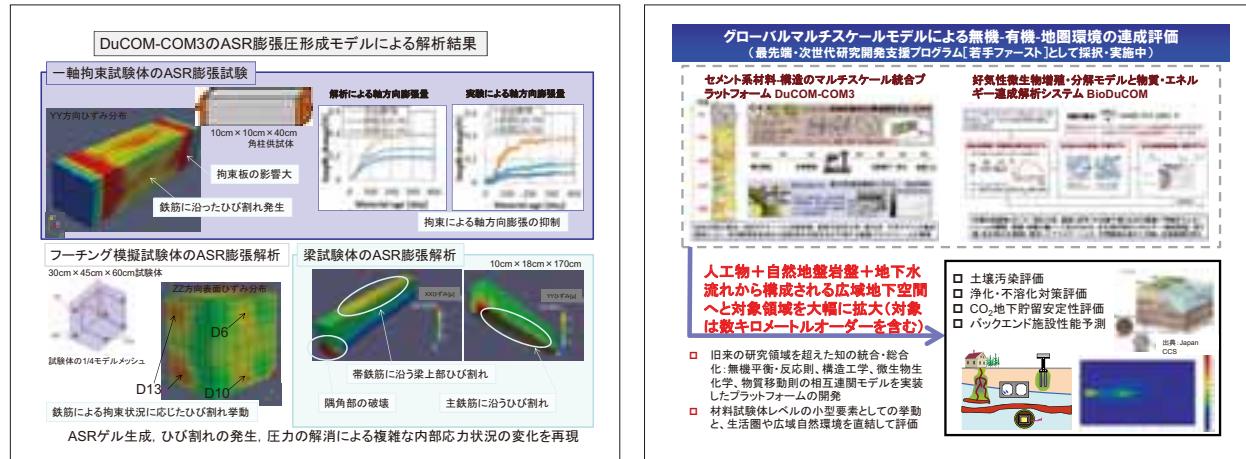
DuCOM-PHREEQC HCO_3^- equilibrium and transport
Equilibrium of equilibrated amount of solid phases and pore solution concentration except HCO_3^- by PHREEQC
"Concentration of free HCO_3^- by DuCOM"

DuCOM-PHREEQC SO_4^{2-} equilibrium and transport
Equilibrium of equilibrated amount of solid phases and pore solution concentration except SO_4^{2-} by PHREEQC
"Concentration of free SO_4^{2-} by DuCOM"

DuCOM-PHREEQC Na^+ equilibrium and transport
Equilibrium of equilibrated amount of solid phases and pore solution concentration except Na^+ by PHREEQC
"Concentration of free Na^+ by DuCOM"

DuCOM-PHREEQC K^+ equilibrium and transport
Equilibrium of equilibrated amount of solid phases and pore solution concentration except K^+ by PHREEQC
"Concentration of free K^+ by DuCOM"

Increment time, continue
No
Yes
Convergence check?



今後の研究・開発課題

- (1) 復旧、補修補強設計/工事の効果の定量評価。今は検査で留まっているケース多。
- (2) 膨大な過去の検査情報の有効利用と、科学的検討に耐える統一書式。
- (3) モニター結果に基づく技術の検証と改良改善のサイクルを回す。産官学連携(特に事業主体)が不可欠。
- (4) 都市基盤ストックの電子台帳 Big dataとの連結
- (5) 維持管理はマニュアルで処理できない難問、応用問題の山― 設計計画に対するコンサルタント業務

4-4. 3次元モデルデータを利用した社会インフラ保全管理技術の確立

(矢吹教授)

科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ
「社会インフラ強靭化のための研究開発戦略」
主催:(独)加賀郡技術振興機構 研究開発戦略センター 社会インフラチーム
2013年12月19日(木)13:00~17:40
(独)科学技術振興機構 東京本部別館 4階会議室E

セッション1 「社会インフラ関連テーマの研究動向と展望」

**3次元モデルデータを利用した
社会インフラ保全管理技術の確立**

大阪大学 大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻 教授
矢吹 信喜

Nobuyoshi Yabuki 1

BIM (Building Information Modeling)

Nobuyoshi Yabuki 2

Product Model: BIM/CIMの中核モデル

- 1970年代: CADデータ標準 (IGES/Initial Graphics Exchange Specification)
- 1980年代から: オブジェクト指向技術に基づいた3次元プロダクトモデルの開発開始: ISO_TC184, SC4; ISO_10303 (略称STEP (Standards for the Exchange of Product model data)) 機械系は開発が進んだ。しかし、土木建築などは遅れた。
- 1994年: 米国で民間企業が建築用プロダクトモデルの開発を開始: IAI (Industry Alliance for Interoperability) を設立。当初は、最初のIはindustryだった。
- 1997年: IAIをInternational Alliance for Interoperabilityに改名。AEC (Architecture, Engineering & Construction) のプロジェクトモデル、IFC (Industry Foundation Classes) を開発する国際的な非営利団体に。(民間主体)
- 近年: IAIをbuildingSMART Internationalに改名。
- 2012年: IFCはISOのPAS (Publicly Available Specification) 16739
- 2013年: IFCはISOのIS (International Standard) 16739になった。
- ビルディングの分野では、IFCを標準化された中間ファイルとして、異なるソフトウェア同士でデータを交換、共有が可能となった。「自動化の島」問題の解決。
- 例) 3Dモデルを作成したら、協議をして、すぐに構造解析を行い、温熱環境解析も行い、エンジニアリングもやってしまう。問題があったら、すぐに意匠設計者は協議しながら、設計を変える。再解析実施。

IAI日本のHPより Nobuyoshi Yabuki

IFC (Industry Foundation Classes)

SCHEMA example14:
TYPE Girder_type = ENUMERATION OF {I_Girder, Composite_Bridge};
END_TYPE;
ENTITY Girder;
SUBTYPE OF (ONEOF {Girder_bridge, Cable_stayed_bridge});
span : DOUBLE;
URI : string;
END_ENTITY;
ENTITY Girder_bridge;
SUBTYPE OF (Bridge);
girder : Girder_type;
END_ENTITY;
ENTITY Cable_stayed_bridge;
SUBTYPE OF (Bridge);
main_tower_height : DOUBLE;
cable_style : OPTIONAL STRING;
END_ENTITY;
END_SCHEMA;

EXPRESS-G言語による表現
EXPRESS言語による表現
Part-21ファイルの例

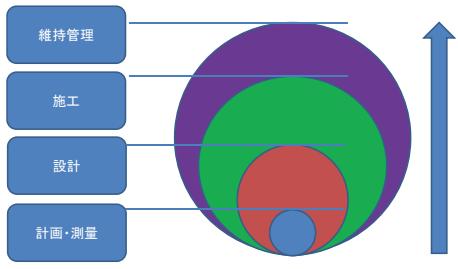
```

class Bridge {
    span : DOUBLE;
}
class Girder_bridge {
    girder : Girder_type;
}
class Cable_stayed_bridge {
    main_tower_height : DOUBLE;
}

```

END-ISO-10303-21;
HEADER:
FILE_DESCRIPTOR("Part-21");
#1=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#2=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#3=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#4=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#5=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#6=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#7=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#8=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#9=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#10=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#11=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#12=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#13=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#14=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#15=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#16=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#17=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#18=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#19=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#20=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#21=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#22=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#23=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#24=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#25=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#26=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#27=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#28=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#29=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#30=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#31=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#32=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#33=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#34=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#35=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#36=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#37=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#38=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#39=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#40=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#41=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#42=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#43=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#44=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#45=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#46=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#47=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#48=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#49=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#50=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#51=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#52=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#53=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#54=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#55=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#56=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#57=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#58=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#59=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#60=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#61=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#62=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#63=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#64=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#65=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#66=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#67=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#68=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#69=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#70=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#71=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#72=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#73=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#74=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#75=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#76=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#77=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#78=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#79=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#80=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#81=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#82=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#83=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#84=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#85=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#86=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#87=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#88=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#89=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#90=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#91=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#92=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#93=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#94=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#95=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#96=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#97=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#98=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#99=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#100=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#101=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#102=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#103=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#104=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#105=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#106=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#107=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#108=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#109=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#110=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#111=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#112=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#113=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#114=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#115=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#116=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#117=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#118=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#119=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#120=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#121=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#122=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#123=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#124=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#125=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#126=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#127=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#128=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#129=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#130=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#131=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#132=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#133=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#134=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#135=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#136=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#137=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#138=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#139=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#140=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#141=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#142=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#143=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#144=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#145=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#146=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#147=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#148=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#149=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#150=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#151=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#152=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#153=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#154=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#155=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#156=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#157=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#158=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#159=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#160=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#161=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#162=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#163=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#164=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#165=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#166=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#167=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#168=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#169=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#170=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#171=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#172=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#173=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#174=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#175=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#176=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#177=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#178=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#179=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#180=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#181=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#182=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#183=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#184=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#185=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#186=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#187=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#188=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#189=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#190=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#191=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#192=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#193=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#194=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#195=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#196=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#197=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#198=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#199=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#200=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#201=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#202=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#203=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#204=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#205=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#206=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#207=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#208=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#209=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#210=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#211=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#212=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#213=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#214=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#215=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#216=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#217=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#218=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#219=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#220=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#221=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#222=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#223=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#224=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#225=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#226=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#227=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#228=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#229=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#230=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#231=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#232=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#233=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#234=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#235=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#236=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#237=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#238=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#239=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#240=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#241=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#242=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#243=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#244=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#245=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#246=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#247=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#248=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#249=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#250=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#251=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#252=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#253=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#254=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#255=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#256=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#257=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#258=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#259=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#260=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#261=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#262=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#263=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#264=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#265=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#266=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#267=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#268=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#269=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#270=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#271=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#272=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#273=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#274=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#275=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#276=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#277=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#278=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#279=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#280=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#281=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#282=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#283=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#284=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#285=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#286=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#287=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#288=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#289=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#290=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#291=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#292=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#293=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#294=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#295=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#296=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#297=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#298=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#299=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#300=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#301=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#302=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#303=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#304=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#305=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#306=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#307=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#308=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#309=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#310=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#311=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#312=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#313=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#314=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#315=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#316=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#317=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#318=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#319=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#320=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#321=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#322=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#323=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#324=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#325=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#326=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#327=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#328=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#329=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#330=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#331=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#332=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#333=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#334=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#335=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#336=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#337=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#338=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#339=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#340=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#341=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#342=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#343=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#344=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#345=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#346=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#347=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#348=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#349=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#350=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#351=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#352=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#353=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#354=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#355=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#356=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#357=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#358=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#359=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#360=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#361=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#362=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#363=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#364=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#365=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#366=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#367=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#368=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#369=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#370=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#371=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#372=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#373=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#374=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#375=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#376=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#377=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#378=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#379=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#380=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#381=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#382=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#383=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#384=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#385=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#386=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#387=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#388=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#389=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#390=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#391=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#392=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#393=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#394=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#395=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#396=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#397=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#398=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#399=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#400=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#401=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#402=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#403=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#404=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#405=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#406=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#407=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#408=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#409=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#410=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#411=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#412=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#413=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#414=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#415=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#416=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#417=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#418=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#419=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#420=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#421=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#422=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#423=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#424=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#425=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#426=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#427=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#428=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#429=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#430=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#431=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#432=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#433=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#434=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#435=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#436=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#437=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#438=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#439=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#440=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#441=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#442=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#443=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#444=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#445=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#446=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#447=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#448=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#449=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#450=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#451=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#452=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#453=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#454=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#455=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#456=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#457=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#458=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#459=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#460=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#461=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#462=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#463=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#464=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#465=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#466=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#467=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#468=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#469=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#470=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#471=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#472=IFC4X3_ADDITIONAL("Part-21");
#473

データの蓄積、データの共有



Nobuyoshi Yabuki

7

土木のプロダクトモデルは？

- データ共有を目的とした日本最初のプロダクトモデルは、2002年に室蘭工大・矢吹研(当時)が開発した。IFCをベースにした鋼桁橋とPC橋梁のプロダクトモデル。
- フレストレスト建設業協会の協力を得て、AutoCAD2002、Forum8のUC-1、自家製の構造細目照査システム(鉄筋のかぶり・干涉チェック)の3つの異なるソフトウェア同士でデータが自動的に交換できることを実証。
- 同じ頃、IAIフランス支部では、CSTB(フランス国立建築研究所)とSETRA(道路および高速道路技術研究センター)が中心となり、IFCを拡張する形で橋梁のプロダクトモデルIFC-BRIDGEを開発した。
- 矢吹研の橋梁プロダクトモデルとIFCをベースとしている点と共通していたため、統合化することとした。
- 日本学術振興会(JSPS)の二国間共同研究SAKURAに採択された。
- 2004年に、IAI日本に「土木分科会」を設立した。



Nobuyoshi Yabuki

トンネルのプロダクトモデル

- 2005年から、JACICと矢吹らで、IFCをベースにしたシールドトンネル用プロダクトモデルIFC-ShieldTunnelを開発。
- その後、IAI日本土木分科会、土木学会情報利用技術委員会国土基盤モデル委員会などで、議論を重ね、IFC-ShieldTunnelを収載。
- 大日本では、環境省品川大井地区シネル工事にIFCとIFC-ShieldTunnelを用いて、シールド工事の実現を目指す。
- さらに、開削ヘッセル、山手トンネルに関するプロダクトモデルを開発。
- これらを統合化して、IFC-Tunnelを開発。
- その後、ドイツのErlangen工科大学でトンネルや橋梁のプロダクトモデルの構築に関する研究を実施中。
- また、ドイツのルール大学ボーフム校では、シールドトンネルに関するトータルシステムの構築に関する研究を数値実験で実施中。



9

道路の共通モデル: LandXML(米国)

- 土地造成や道路で一般に使われる土木設計や測量データのためのXMLファイルフォーマット。
- LandXML.org(開発運営組織): 37カ国、441メンバー(2005年7月現在)。
- しかし、LandXML.orgは最近、あまり活動しておらず、そのウェブサイトを閉鎖した。
- そのため、後のOpenINFRAがLandXMLを継続してサポートすることになった。



9

インフラ用プロダクトモデルの開発

- buildingSMART International(旧IAI)では、ビルディングのIFCがISOのISIになったので、今後数年間、インフラストラクチャのプロダクトモデルの開発に注力する、と宣言。
- 2013年10月、従来のOpenINFRAというコンソーシアム(仏、英、米、フィンランド、ノルウェー、韓国、日本が参加)をInfrastructure Roomという組織に格上げ。
- 道路、トンネル、橋梁、鉄道、水路等のような線形構造物については、統一的なモデルAlignment Modelの構築を準備中。
- 地盤については、OGC(Open Geospatial Consortium)と協調しながらモデルを策定。
- Infrastructure Roomで特に力を入れるプロジェクト
 - Alignment
 - Data Dictionary
 - IFC Bridge
 - Delivery of As-Built Data for Asset Management

Nobuyoshi Yabuki

10

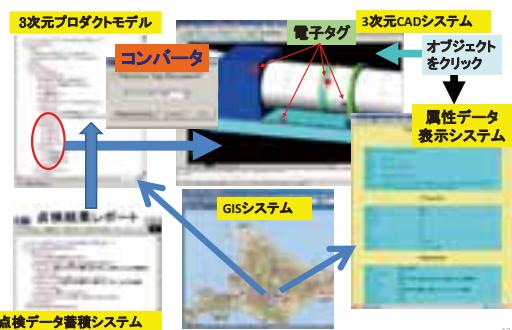
COBie

- Construction Operations Building Information Exchange
- ビルの管理運営、維持管理を行うFM会社は、3次元CADが使いない、使えない業務ではない。
- そこで、米国陸軍工兵隊の技術研究開発センター(ERDC)のBill East博士が、ビルの管理に必要な情報をリストアップし、それらを3次元BIMモデルから自動的に抽出するプログラムを開発。
- 何枚ものタブがある、巨大なスプレッドシート(EXCEL)ファイル。
- ビルディングの維持管理のために、ありとあらゆる設備(電気、水道、ガス、通信、エアコン、照明、警報装置、等)をリストアップし、それらの位置、仕様、点検の頻度、業者、業者の連絡先、保証期間、スペアパーツのリスト、等の膨大なデータが紐付けられている。
- これは、維持管理に大変便利だが、勝手に作ったのでは非効率。
- そこで、陸軍工兵隊やGSAなどが標準化を推進。



11

2000年に矢吹研で開発した「点検支援システム」



Nobuyoshi Yabuki

12

2002～2004年：沖縄の羽地ダムの点検業務にICタグ68個設置してPDAシステムを開発して実使用

- ・土木分野でICタグを実業務（実証試験ではなく）で使った恐らく最初であろう。
- ・しかし、この後、真似したシステムは出現したもの、土木の実業務に使われたという話を聞いたことがない。
- ・興味はあるし、実証実験なら良いが、数多くの理由から実業務に使うのは難しい、というのが実務サイドの結論。



13

無線センサネットワークの現状と課題

- ・MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術により、サイズが大きかったセンサーをプリント基板の上に設置できるようになった。
- ・通信技術の進歩により、センサーとデータ記録装置をケーブルで結ばなくともよくなった。
- ・超小型化、超低価格化、無線化が可能になった。
- ・ネットワークも最初に固定するタイプからその都度、周辺のノードを探して、ネットワークを自動的に構築する「アドホックネットワーク」が出現。
- ・こうした無線センサネットワークシステムをいくつも購入して、いろいろな場所で計測する実験を行ってきた。
- ・その結果、実証実験や研究には使えることはわかったが、大量のセンサーを大量的な社会基盤施設や建築物を対象に、実務で使えるようにするためにには、もっと違う次元のフレイクスルーが必要だと感じた。



Nobuyoshi Yabuki

14

大量のセンシングデータからの知識発見

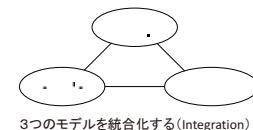
- ・ただ単にセンシングデータを対象に、データマイニングを行っても、有意な知識を発見することは困難
- ・人間は、センサ周辺の環境情報、すなわち「コンテキスト」を、その時々、うまく使って、推論する。
- ・コンテキストは通常、図面、画像情報など人間にわかりやすく、コンピュータに理解させ難い情報。
- ・コンテキストは、プロダクトモデルと強い関係がある。
- ・そこで、コンテキストのデータモデルを開発し、センシングデータと統合化して、データマイニングする研究を実施中。

Nobuyoshi Yabuki

15

2007年に提案したフレームワーク

- ・センサによる計測データは、センサが設置してある位置、設置の方法、対象物の幾何形状、材料、構造的性質等の諸属性および周辺環境に関するデータとの意味（コンテキスト）が無ければ、ただの数値の集まりになってしまいます。
- ・そうしたデータや周辺環境（コンテキスト）が把握できたとしても、解釈ができるなければ意味がない。正しい解釈をするためにには、物理的な現象やデータの解釈に関する定量的のみならず定性的な知識が必要だろう。
- ・上記の2つが整備されたとしても、膨大な数のセンサが膨大な数の構造物に設置されたらば、何らかの系統的な手法で効率的に解析しなければ、計算爆発を起さず、少なくとももアルタイムで異常を検知するようなことはできなくなる可能性がある。
- ・センサデータモデル、センサの計測モデル、
- ・プロダクトモデル、構造物等の3次元モデル、幾何形状と属性データ、部材間の関係などを表現できるデータモデル（コンテキスト）
- ・知識モデル、物理システムに関する定量的・定性的知識、特に異常や事故に関する知識を含む。（知識）



Nobuyoshi Yabuki

16

各モデル

- ・センサデータモデル
 - 米国でNEES (George E. Brown, Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation) プロジェクトのためにPeng & Law (2004) が、NEES Reference Data Modelを開発。
 - 日本では、E-Defense (実大三次元震動破壊実験施設) のデータを貯蔵するEdgridプロジェクトがあり、矢吹ら (2006) がEdgrid Data Modelを開発した。
 - しかし、防災科研の予算が大幅削減され、結局データモデルは使われなかつた。
- ・プロダクトモデル
 - 建物については、IAI (buildingSMART) のIFCを用いる。
 - その他の構造物については、IFCをベースに適宜作成するか作成されるのを待つ。
- ・知識モデル
 - 定量的な知識は、数式や表をベースに条件を与えると結論を出す論理式を整備する。
 - 定性的な知識は、「定性推論 (Qualitative Reasoning)」を用いる。定性推論は、従来の数値解析のような解析技術で必要な正確な定量化的なデータがなくても物理システムの振る舞いについて推論することができるような知識表現と推論技術である (Iwasaki, 1997)

Nobuyoshi Yabuki

17

NEES Reference Data Model (Relational)



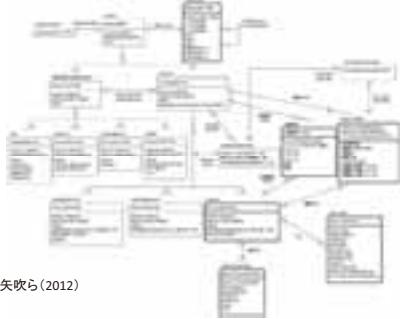
Peng & Law (2004)

Nobuyoshi Yabuki

18

NEES Reference Data ModelとIFCの統合化

ER(Entity-Relationship)モデルで、IFCの一部(空間、部材、センサ、関係性)と独自のセンサデータモデル(センサ、計測データ、センサ設置、センサ設置位置)を統合化

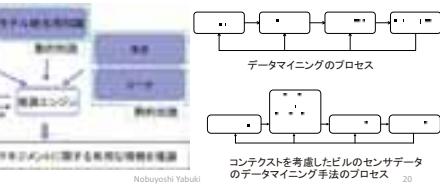


芦田・矢吹ら(2012)

19

知識モデルの開発とセンサデータモデルとの統合化

- 研究の目的は、BEMS/HEMS(ビル・家屋のエネルギー・マネジメントシステム)になったが、知識モデルを開発し、センサデータモデルと統合化を図った。
- 知識は、事実(Facts)とルール(Rules)によって構成される。
- 事実は、センサ位置や種類、計測対象、電気機器の性能など。
- ルールは、空調の運転などに関するもので、IF(条件)THEN(アクション)。
- センサデータモデルは、IFCの表記方法に従った。
- 推論エンジンは、Prologを用いて開発した。
- 簡単な実験データを用いて、エアコンの運転に関する知識発見ができる確認した。
- しかし、研究としては、まだまだ、今後もさらに続けたい。



Nobuyoshi Yabuki

20

既設構造物の3次元計測と3次元モデル化

- 将来、CIMが実務に取り入れられるようになれば、構造物の完成形の3次元プロダクトデータやそれに付随する様々なデータも維持管理の部署が受け取ることができるようになるが、それは大分先のことであり、なおかつ、その個数は、圧倒的に既設構造物の方が多い。
- センサを設置する部材や構造物に関する3次元プロダクトモデルは、どのようにして得たらよいか?
- 膨大な数の既設構造物の3次元モデルを3次元CADで図面を見ながら作成することはコスト的に不可能。
- そもそも既設構造物にはまともな図面がないか、あつたとしても現場で変更したことなどが反映されていなかつたりで役に立たないことが多い。
- しかし、新技術がある。
- レーザースキャニング
- 写真測量技術(複数デジカメ写真)
- トータルステーション(TS)
- 技術の組合せ(合わせ技)

Nobuyoshi Yabuki

21

変状データを含む開削トンネルのプロダクトモデルの構築

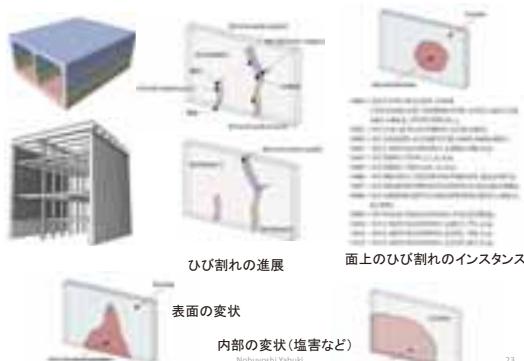
- 開削トンネルは主に場所打ちコンクリートで築造されることから、その品質は環境や施工の様々な条件が大きく影響し、完成後の大規模な補修・補強は容易ではない。
- 開削トンネルを健全な状態に保つためには適切な維持管理が必要であり、変状の調査・発生原因の推定・補修・補強等の検討には、設計・施工の情報が必要不可欠である。
- 本研究では、維持管理における情報の有効利用を行うため変状を含めた開削トンネルのプロダクトモデルの開発を行ったこととした。
- コンクリート構造の変状には表のように数多くの種類がある。



有賀・矢吹(2012)

22

開削トンネルのプロダクトモデルデータの例



Nobuyoshi Yabuki

23

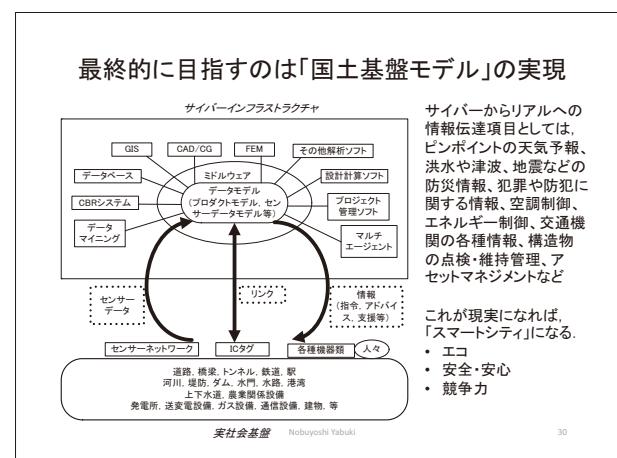
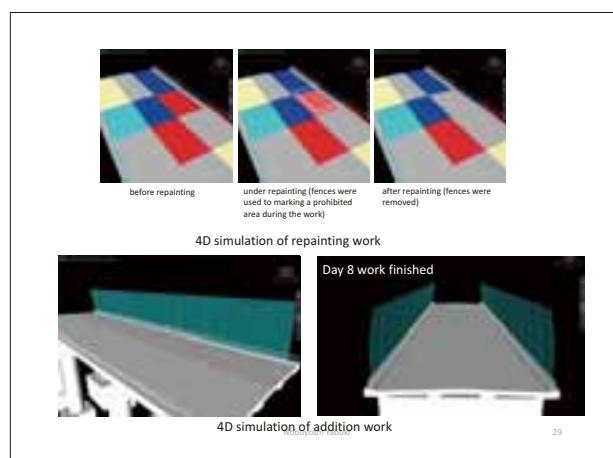
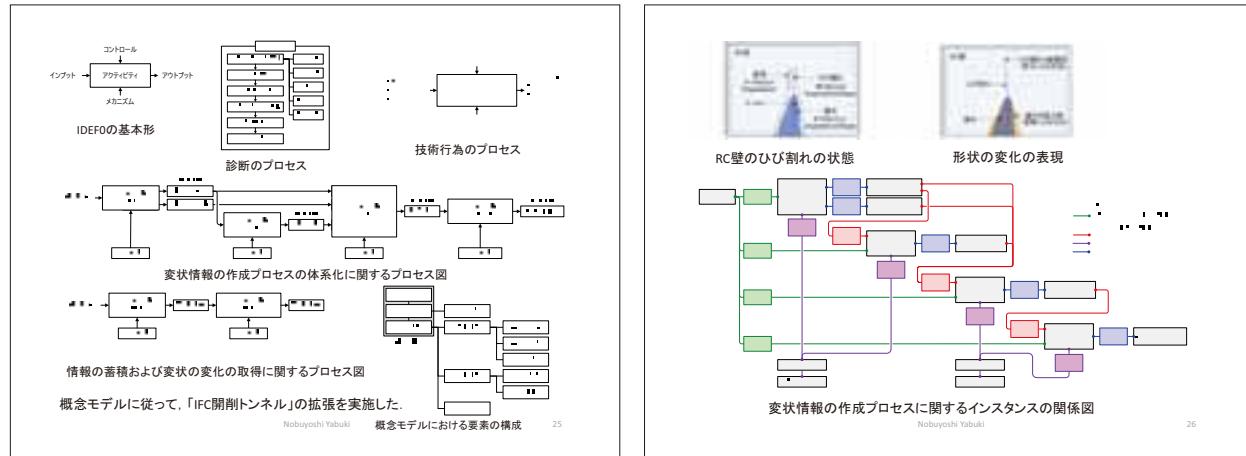
変状の情報管理のためのプロセスモデル

有賀・矢吹(2013)

- 長期に渡る維持管理では、数多く実施される調査に伴い膨大な情報を作成しなければならない。
- 維持管理の情報は、技術者が現場の調査で記録した変状の状態に関する情報(以下「調査情報」という)および調査情報に基づいて技術者が変状の原因の推定、あるいは進展の予測に関する結果の情報(以下「評価情報」という)等があり、これらは診断のプロセスに従い体系的に作成される。
- 調査においては、変状の状態や測定値等の定期的に取得される情報の蓄積、ひび割れや中性化等による発生メカニズムにより経年変化する可能性のある変状の情報の更新も必要となる。
- これらの情報を、プロダクトモデルを用いて適切に管理するためには、変状に関する情報の作成過程の記録、変状の情報の蓄積、変状の変化のモデル化、加えて情報管理手法が必要である。
- そこで、本研究において「変状のプロダクトモデル」を拡張し、**変状に関する情報作成過程の記録、および経年変化する変状の情報管理を目的としたプロセスモデルを開発した**。
- プロセスモデルにより、情報の作成過程で参照した情報と、作成した情報の関係を明確にできること、プロセスの処理における様々な条件(たれが、いつ、どのように等)を記録することが可能である。

Nobuyoshi Yabuki

24



4-5. 情報技術を用いた社会インフラ強靭化の支援（増田教授）

ワークショップ
「社会インフラ強靭化のための研究開発戦略」

情報技術を用いた 社会インフラ強靭化の支援

電気通信大学
増田 宏

背景

- 日本:高度成長から成熟社会への移行
 - 作るべき社会基盤の多くは既に作った。
 - 工場、プラント、道路、鉄道、橋梁、電力網、通信網…
- 新しい問題:老朽化したインフラの維持管理
 - 短期間で高度成長 → 今後20年で急速に老朽化
 - メンテナンスの担い手が減少
 - 少子高齢化
 - 熟練者の引退
 - 政府や自治体の財政難

産業情報化の視点からのアプローチ

- 目指すべき方向
 - 「少人数」「短期間」「低成本」でのインフラの維持管理、改修、災害時の復旧などを実現するためのハード・ソフトの要素技術とシステム化技術
- 方法論:
 - 少人数、低コスト化、納期短縮、簡単化
→ バーチャルインフラによる作業の効率化
 - 日本のものづくり産業の成功モデル

現状

- 人工物を「設計生産」するためのツールは豊富
 - 3次元CAD、構造解析、工程管理など
 - モデルベースによる「仮想化」によって効率化を実現
- 「メンテナンスや改修の効率化」を支援するツールは少ない。
 - 保守が必要な設備には、3次元データがない。
 - モデル化のコストが高くて採算が取れない。
- 近年の技術革新（状況は変わりつつある！）
 - 3次元計測とモデル化技術の飛躍的進歩
 - 現物の3Dモデル化が可能な状況になりつつある。

情報技術による業務効率の改善 「3次元環境の計測とモデル化」

人々が活動するフィールドの3次元仮想環境を構築し、様々な産業分野を効率化する。

- 分野横断的な応用領域
 - 工場、プラントなどの大型設備
 - 造船などの大型建造物
 - 交通（道路、鉄道、周辺地物）
 - 電力・通信ネットワーク（電柱、電線）
 - 橋梁、建築物などの大型構造物

3次元計測とモデル化に関する 産学連携組織

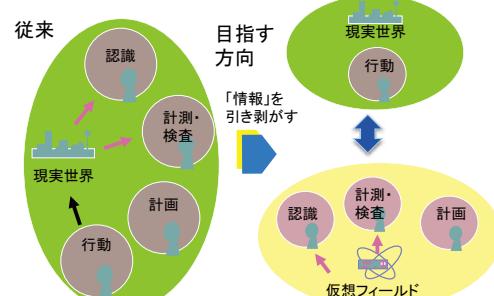
大規模環境の3次元計測と認識・モデル化技術専門委員会

- 研究者と企業の連携組織
 - 大学・研究所 41名、企業委員 38社、委員長: 増田 (2014.3.6現在)
 - 多用な業種: プラント、社会基盤、測量、ソフトベンダ、計測機器、生産設備、建築、林業

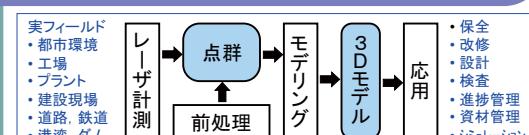
現実環境の仮想化



現実世界と仮想フィールド



大規模環境の計測とモデル化



1. 実世界の計測
2. 点群に基づく実世界モデリング
3. モデルの活用
 - ・作業品質の向上
 - ・作業期間の短縮
 - ・コスト低減
 - ・危険回避
4. 作業の効率化

9

「3次元計測とモデル化」の応用分野



技術的な課題

- 計測装置の性能向上
 - 特に、車載の移動計測.
- 大規模データのための3次元処理技術
 - 点群処理、形状再構成、物体認識
- 多様な要求に応えるためのシステム化技術.
 - 社会基盤保全のための支援ツールの開発

4-6. 都市機能の維持のための地震防災 一分析と構想（堀教授）

科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ
「社会インフラ強靭化のための研究開発戦略」
平成25年1月10日(木)、科学技術振興機構
科学技術振興機構 研究開発戦略センター社会インフラチーム

都市機能の維持のための地震防災 一分析と構想

堀宗朗
東京大学地震研究所

分析1: 地震防災の位置付け

◆ 自然災害
● 頻度と準備
● 点・線・面

水災害の次は地震災害

洪水・高潮
地震・津波
火山噴火
生命維持

↑ 頻度大
↓ 頻度小
← 準備小
→ 準備大

◆ 都市計画
● 自然災害の一つとしての防災
● 特定の巨大地震には独自の対応：最新の理学知見、継続性
最新の工学知見を考慮する必要性

分析2: 都市機能の維持の課題

◆ 正確な予測が困難
● 原因
劣化予測・地震予測の不確実性
都市全域に広がる対象構造物
● 対策
経験的予測から科学的予測：精度・分解能の向上
都市電子データと大規模計算の利用

◆ 効果の評価が困難
● 原因
壊れた初めてわかる有難さ
● 対策
都市計画との維持管理・防災減災の連携

構想1: 選択と集中

◆ 全国一律から地域限定
● 巨大南海トラフ地震
● 首都直下地震

◆ 構造物一律から重要インフラ限定
● 交通ネットワーク：道路と鉄道
● ライフライン：通信・エネルギー・上下水道

◆ 最大級から対応可能レベル
● 維持管理との連携

L2ダブル

◆ 1944年東南海地震と1945年三河地震
● M8クラスの東南海地震とM7クラスの三河地震
● 37日の時間差：東南海12月7日、三河1月13日
● 地表地震断層

◆ 2011年東北地方太平洋沖地震
● 3月10日 M8クラス：宮城県沖
● 3月11日 M9クラス：東日本大震災
● 4月7日 M6クラスの最大余震：塙釜

応急復旧の選択・集中の必要性 → 残余耐力の正確な評価

地震の不確定性と複合災害 → 多数の災害シナリオの検討

構想2: 都市機能維持の地震防災

◆ 巨大南海トラフ地震
● 複数シナリオの考慮
プレート境界地震とプレート内地震の「L2ダブル」への備え
● 劣化影響の考慮
都市モデルと大規模数値計算を使った統合シミュレーション

◆ 首都直下地震
● 高密度重要インフラへの対応
先端センシング技術を使った交通インフラの即時被害判定

おわりに:技術開発の方向

◆都市モデルと大規模数値計算を使った統合シミュレーション

- G-Spaceと連携する都市モデルの自動構築・更新手法の開発
- エクサマシンと連携する大規模数値計算の開発
- 物理と化学を融合したシミュレーションの高度化・大規模化

◆先端センシング技術を使った交通インフラの即時被害判定

- JAXAのリモートセンシングを使った変形計測技術の開発
- E-Defenseとセンサネットワークを使った損傷計測技術の開発
- 他の重要インフラ・構造物への展開

4-7. アセットマネジメントの現状と今後の展開（貝戸准教授）

2013.12.19

アセットマネジメントの現状と今後の展開

大阪大学大学院 貝戸清之
kaito@civil.eng.osaka-u.ac.jp
<http://www.infra-assetmetrics.com/>

OSAKA UNIVERSITY

アセットマネジメントの定義

- 限られた予算を社会資本に最適に配分することにより、今後新たに整備される社会資本を含め、各社会資本に求められている価値およびサービスレベルを維持、あるいは求められるアウトカムを達成すること。
- アセットマネジメントシステムとは、その目的を達成するための予算および資産価値の管理システムである。

アセットマネジメントの概念

要素技術と要素技術を有機的に連動する総合化技術

要素技術の先端化ではなく、総合化技術の洗練化

経験・勘に基づく知識(暗黙知)のモデル化(形式知化)

アセットマネジメントの第一目標

- ライフサイクル費用最小化を実現する最適補修政策

費用 ↑
時間 → 時間

補修政策A (Blue line)
補修政策B (Red line)

- ライフサイクル費用 → 費用 & 投資タイミング
- 費用 → 過去の実績(データベース), 積算
- 投資タイミング → 劣化過程, 劣化予測

研究の信念

点検・調査ビッグデータによる
統計的劣化予測:
インフラのアセットメトリクスにむけて

↓

徹底した現場主義

現場の意思決定は正しい。
(先輩技術者達の現場管理は正しい)
現場データをフル活用して。
彼らの意思決定プロセスを視覚化する。
(暗黙知の形式知化, 共有知化)

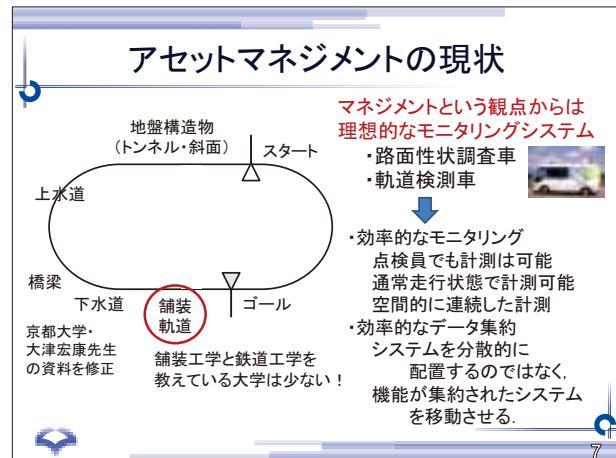
目視点検の役割

全ての社会基盤施設から、何らかの均質な情報を収集する唯一の手段は目視点検。

目視点検の役割

1. 損傷・劣化の検出.
2. 意思決定のための情報収集.
3. 長寿命化

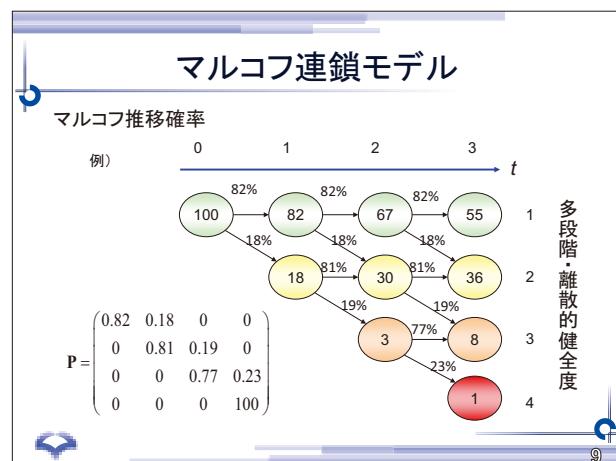
1から2へ移行.
メンテナンスからマネジメントへ



ビッグデータの脅威

新型インフルエンザ(H1N1, 2009)の予測
米国・疾病予防管理センター ↔ グーグル
約2週間のタイムラグ ほぼリアルタイム
直接的な医療情報はない。
1日に30億件以上の検索情報
特定の検索語45個と、ある数式モデルを用いた予測結果と、公式データとの間に高い相関関係
データ量、処理能力、統計処理のノウハウ
(Gmail, Amazon)

8



マルコフ劣化ハザードモデル

マルコフ推移確率

$$\pi_{ij}(z) = \text{Prob}[h(\tau_B) = j | h(\tau_A) = i]$$

$$= \sum_{s=0}^j \prod_{m=s+1}^{i-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_s - \lambda_m} \prod_{m=s+1}^{j-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_{s+1} - \lambda_m} \exp(-\lambda_s z)$$

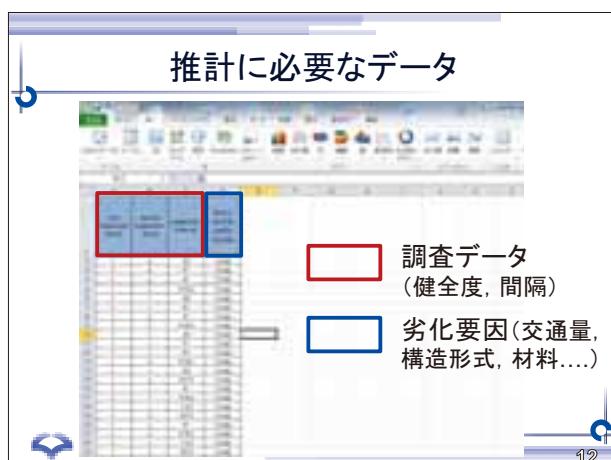
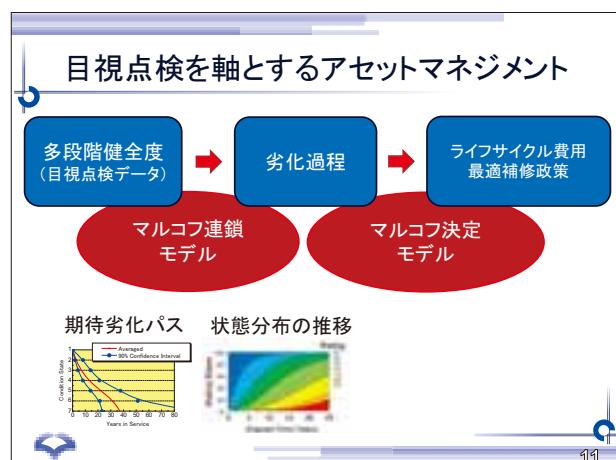
($j = 1, \dots, I$; $i = 1, j = i + 1, \dots, I$)

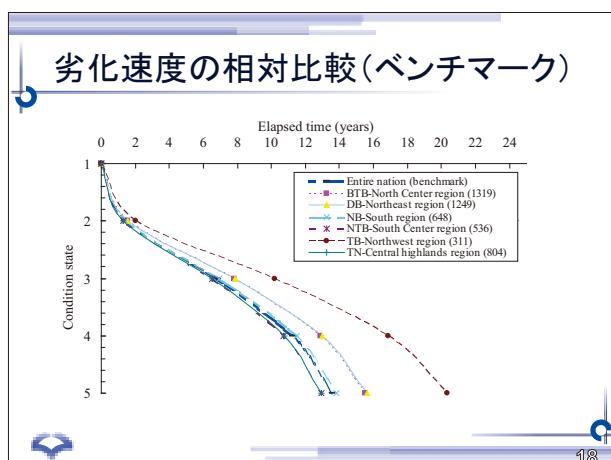
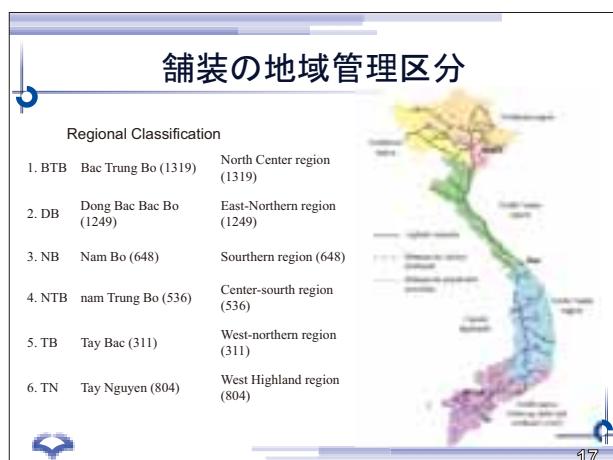
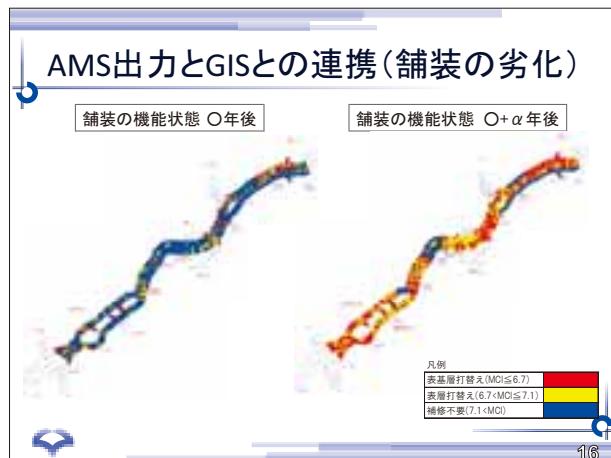
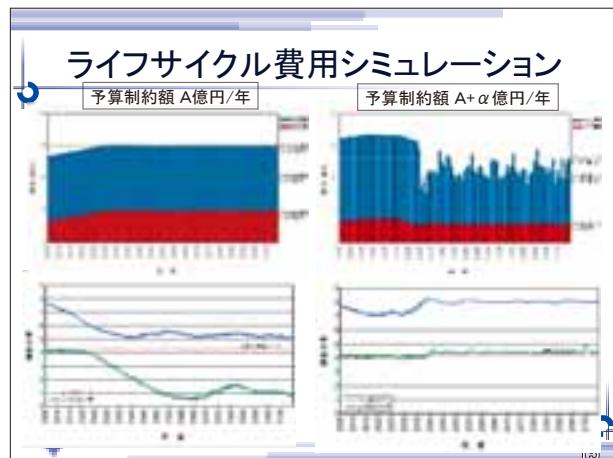
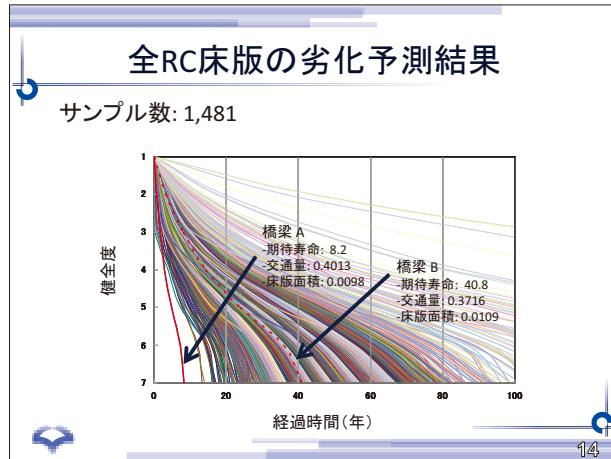
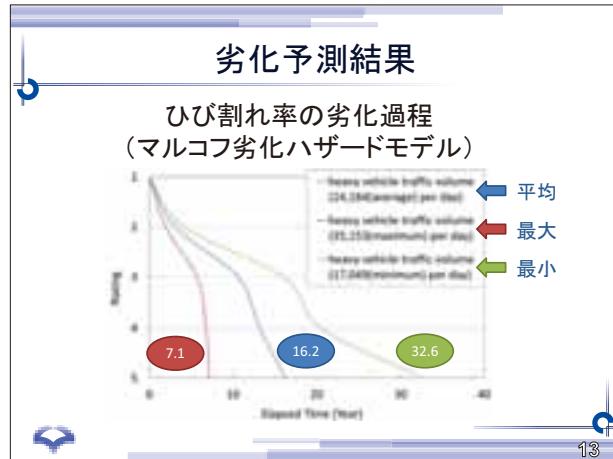
$$\left\{ \begin{array}{l} \prod_{m=1}^{i-1} \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_m} = 1 \quad (m = i) \\ \prod_{m=1}^{j-1} \frac{\lambda_1}{\lambda_{m+1} - \lambda_1} = 1 \quad (m = j) \end{array} \right.$$

→ λ_{s+1} :レーティング s から $s+1$ へのハザード率

点検間隔(既知情報)

10





アセットマネジメントの国際標準化

デファクト標準
市場競争の結果として事実上の国際標準として定着。
1994年の世界銀行レポートを契機としたHDM-4
(マクロレベルの舗装マネジメント)

デジュール標準
国際的組織による議論を通して制定される標準。
ISO5500X(2013年度内に施行予定)
プロセス標準であり、How toはない。



19

ISO5500X

ISO5500Xはデジュール標準であり、かつプロセス標準であるため、それ自体がデファクトとして国際市場を占拠することはない。ISO5500Xに準拠したアセットマネジメント支援ソフトウェアの勝者はデファクト標準として国際市場を占有する可能性がある。ISO5500Xは現場のマネジメントプロセスに対する技術標準であるため、あるソフトウェアがデファクト標準として定着すれば、国際標準とコンパチビリティのないハード技術、ソフト技術の双方が開発途上国を中心とする国際プロジェクト市場から排斥されてしまう危険性がある。

20

海外展開を見据えて

- 日本人から見た「日本の技術開発・経営モデル」の海外展開を一方的に押し進めるのではなく、世界の自由貿易の根底となる国際標準化の流れにいかに合理的に対応していくか
- 「厳格な標準化(one-size-fits-all standards)モデル」ではなく、それぞれの国の実情にあった新しい「しなやかな標準化(one-finds-own-size standards)モデル」を、アジアの国々とのアライアンスに基づいて共同開発
- しなやかな標準化モデルを構築するために、日本企業が得意とする要素技術、アセンブリ技術の発展と現場での適用能力を志向した新しい経営管理技術、ビジネスモデル、制度的プラットフォームの提案。
- 欧米流のquality control(仕様規定)型標準から、quality assurance(性能規定)型標準への移行。それを規範とする新しい技術開発・経営に関する国際標準モデルの具体的な提唱

21

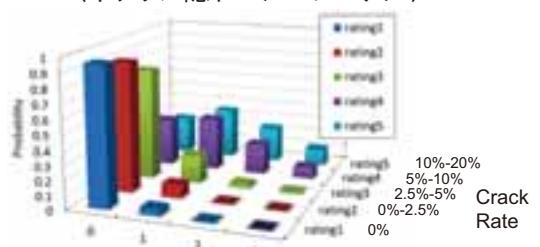
今後の課題

- 点検制度(点検技術ではない)
マネジメントの実践という観点に立ったデータベース
- アセットメトリクスの体系化
複合的な劣化過程の予測、ベンチマーク分析
モニタリングデータの時系列解析
- 会計制度
インフラ会計(繰延維持補修会計)
- 国際標準化
ISO5500X
- 契約制度
PFI、設計・施工一括発注

22

先端的劣化予測モデル(1)

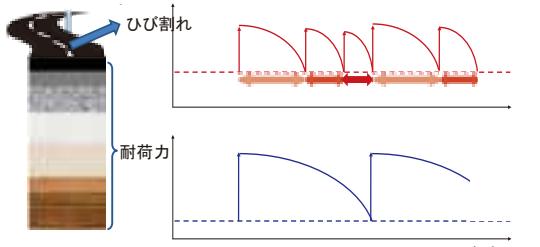
ひび割れとポットホールの関係
(ポアソン隠れマルコフモデル)



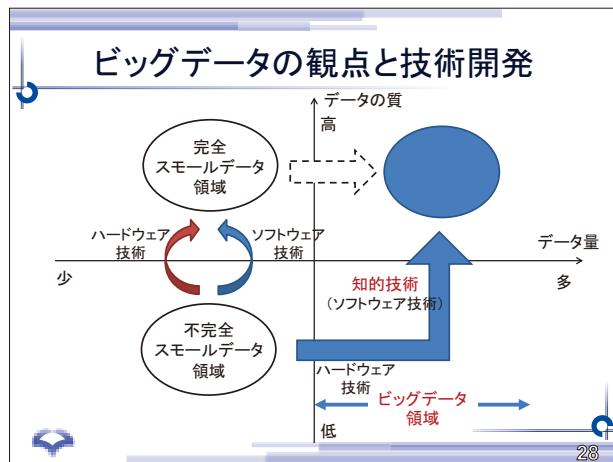
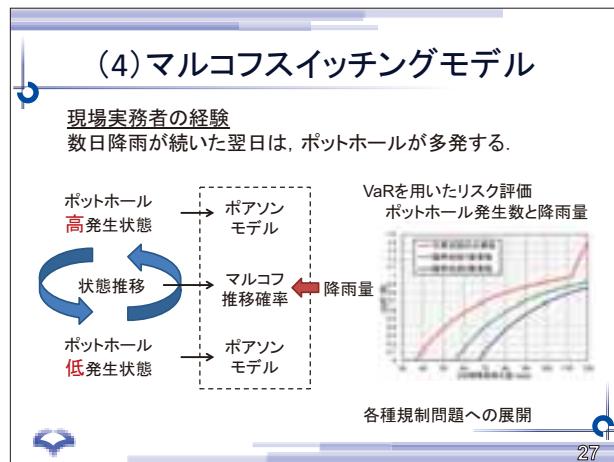
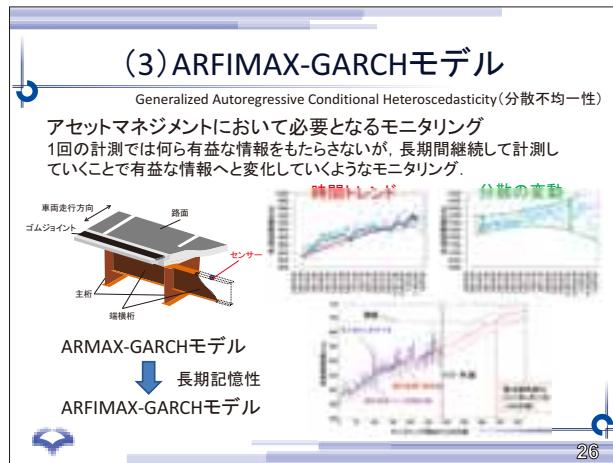
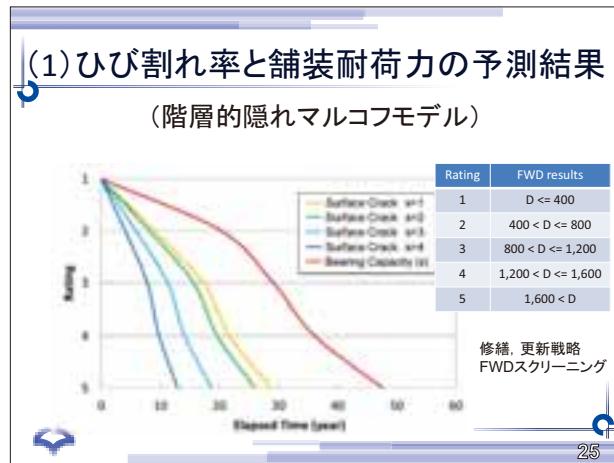
23

(1)階層的隠れマルコフモデルの概念

ひび割れと舗装耐荷力の関係

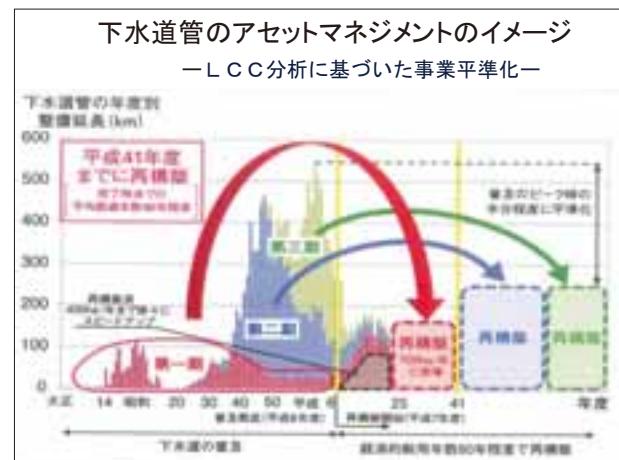
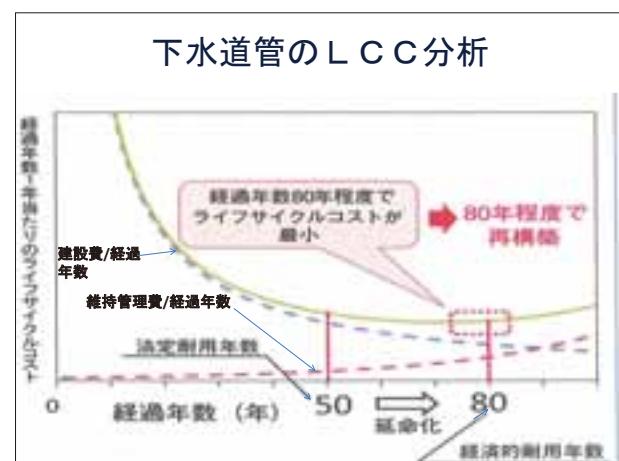
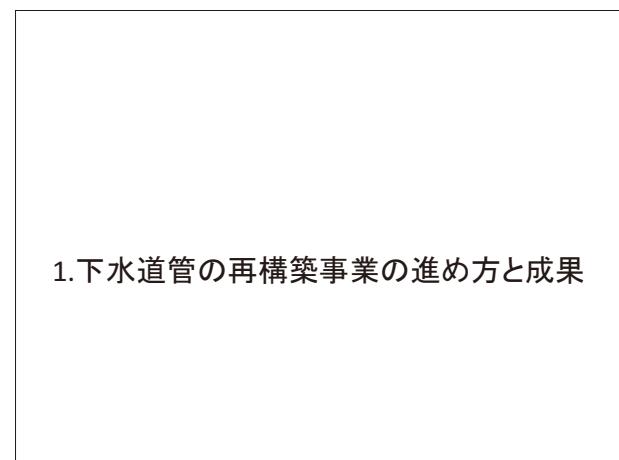
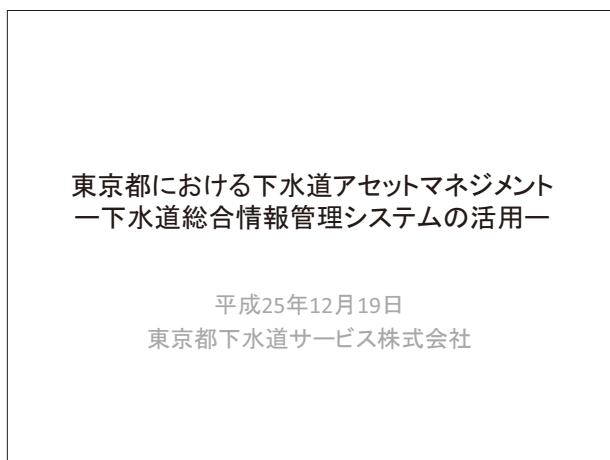


24



4-8. 東京都における下水道アセットマネジメント

一下水道総合情報管理システムの活用一（高橋専務取締役）



下水道管再構築事業の展開

今後の再構築目標（下水道管きょ）

長期目標
80年で区部全域の再構築を完了

中期目標
平成41年度までに、整備年代の古い都心4処理区（第一期再構築エリア）を完了を目指す

再構築事業による効果検証 —道路陥没減少—

2.維持管理手法と下水道台帳システム

—その活用のためのシステム等の開発、実用化経緯—

アセットマネジメントに必要な 予防保全型維持管理

●情報の収集

アセットマネジメントを導入するためには、維持管理形態を
「発生対応型」 → **「予防保全型」**

集めた情報を効果的に活用するための 台帳整備とその管理

●収集した情報の良質な経営資源化

- 現状評価～将来発現する事象を予測する視点での情報収集
- 下水道事業に精通した技術者による情報精査

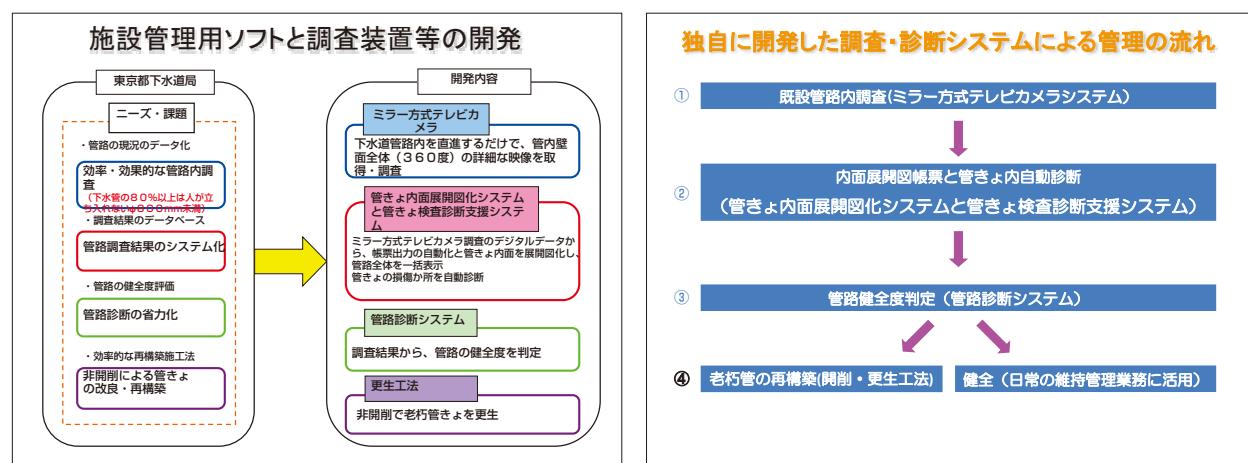
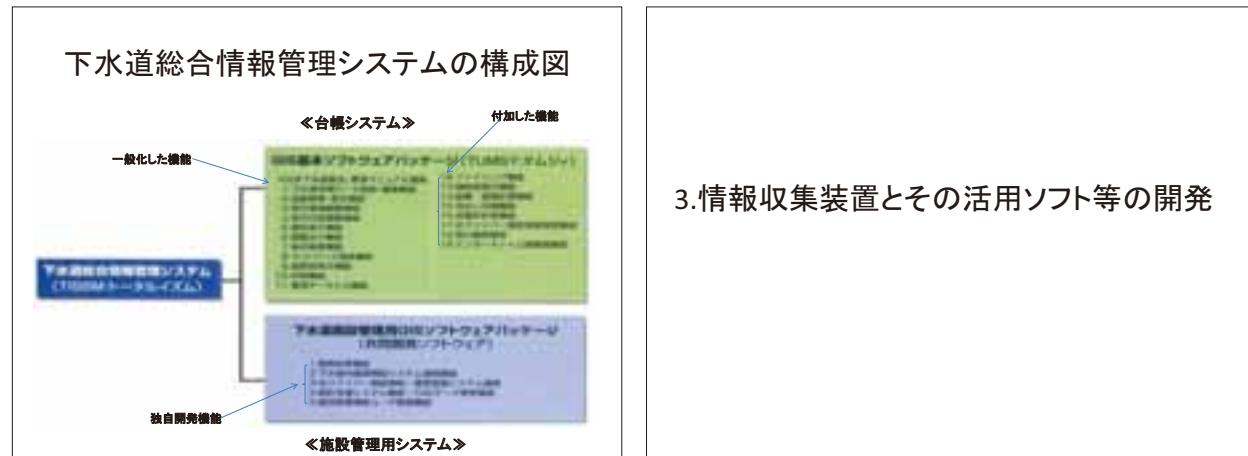
●情報を効率よく整理、活用できるシステム構築

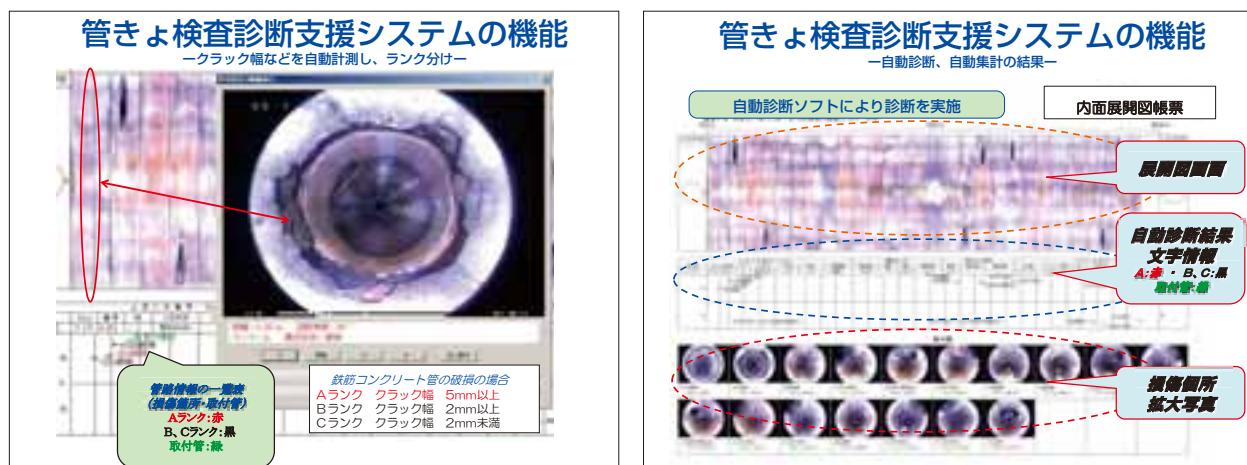
- 地形・地図情報、施設情報、維持管理情報を一体的に管理できるシステムの構築 ⇒ **台帳システムの開発**
- 収集した情報を日常の維持管理や事業運営に資する情報に活用するためのソフト開発 ⇒ **施設管理システムの開発**

下水道台帳システム内容と利用用途、その推移

	明治17～昭和60年	昭和61～平成15年	平成16年～現在
収集情報 ・内容	調査（背景及び人孔の種別・形状・数量・地盤高・堆積面積）、面図（管理図、施設平面図・幹線図、特殊人孔構造図、竣工図書等）を紙ベースで管理	左記情報を汎用コンピュータ、ミニコン、ワークステーションにデータベース化。「下水道台帳情報システム」(BIMIS)を開発、運用。	左記システムをPCにグランサイズングし、内面裏面簡略化・管路診断・設計支援・予防保全情報システムなどの機能を付与。下水道台帳情報システムも機能・運用。
情報量	竣工図書約88,000枚、施設平面図約15,400枚、人孔調査約50万件	左記要素の個別情報を加え、地形・道路・携帯ラインなどの地形情報を実現。施設調査や改良工事情報等に対応して逐次追加。	左記要素の個別情報を充実するとともに、日数及びTVカメラ監査結果（約13,800km） 注1と周辺監査情報（約2000km）、漏水や陥没発生箇所など維持管理情報を収録。
利用用途	維持管理・改良工事・他企業との協議・新規申請等の資料、台帳閲覧。	左記に加え、設計・施工・維持管理業務支援、災害対応、道路管理システムへの情報提供。	左記に加え、台帳閲覧をインターネット公開。各機器（本局、出先事務所）をLANで結び内面裏面簡略化・管路診断・設計支援・維持管理情報連携システム機能を活用し、日常業務（事業監査、計画・設計・施工・維持管理、その他）を実現。

注1:周辺監査入以降の情報も含む





再構築事業における採用した対策比率

➤更生工法、新たに布設がともに4割

対策	比率
既設管活用	20%
更生工法	40%
布設替え	40%

機能の老朽化・向上に関する効果検証
—一台帳システムと流出解析シミュレーションを活用した—

参考

老朽下水道管きょ再構築施工法(事例)

技術・工法開発に当たっての施工条件

錯綜する地下埋設物

多大な道路交通量

密集した市街地

道路掘削を伴う開削工法

➤交通量が多く、埋設物が輻輳
➤常に下水が流れている中で工事実施

開発実用化した管路更生工法

技術	説明
在来技術	開削工法 矢板を地中に打込み、道路を掘り、塩ビ管やヒューム管を布設
新技術	管路更生工法 「道路を掘らずにリニューアルできる技術」 <施工システム> <現場施工状況> <更生後の構造断面>
反転形成工法	樹脂を含浸させた更生材を既設管内にセット、加熱し熱や紫外線などで硬化させ更生管を構築
製管工法	既設管内に硬質塩化ビニル材料(プロファイル)等をはめ合わせながら製管し、既設管との隙間に特殊モルタル等を充填して更生管を構築

■報告書作成メンバー■

木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
岩野 和生	上席フェロー	(情報科学技術ユニット)
豊内 順一	フェロー	(システム科学ユニット)
茂木 強	フェロー	(情報科学技術ユニット)
緒方 寛	フェロー	(環境・エネルギー・ユニット)
富川 弓子	フェロー	(システム科学ユニット)
馬場 寿夫	フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)
本間 弘一	特任フェロー	(システム科学ユニット)
前田 知子	フェロー	(政策ユニット)
松尾 敬子	フェロー	(政策ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2013-WR-16

科学技術未来戦略ワークショップ報告書

社会インフラ強靭化のための研究開発戦略

平成 26 年 3 月 March 2014

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター システム科学ユニット
Systems Science Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds/>

© 2014 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.
Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.
