

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC T CTCAGACC

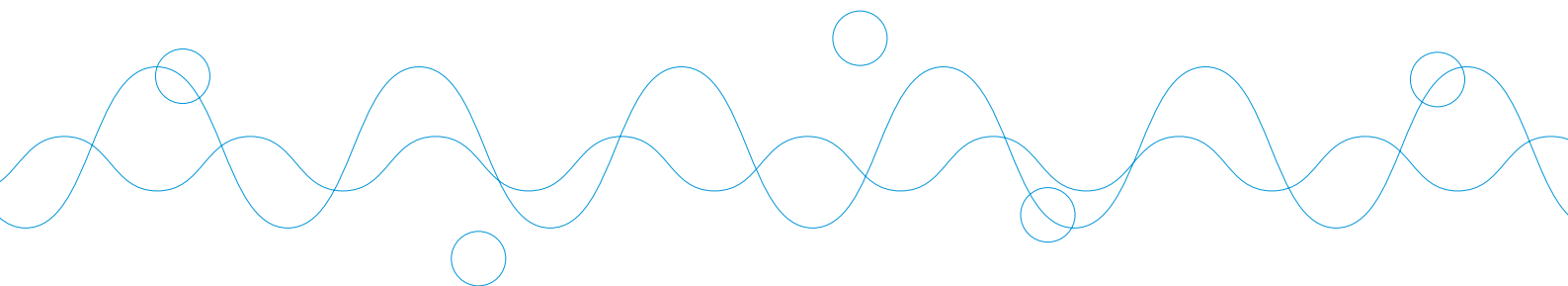
戦略プロポーザル

課題解決型研究開発の提言 (2)
強靱で持続可能な社会の実現に向けた
社会インフラ統合管理システムの研究

STRATEGIC PROPOSAL

Proposal for Issue-driven Research and Development II

Research on integrated social infrastructure
management system toward the realization of a tough
and sustainable society



研究開発戦略センター（CRDS）は、国の科学技術イノベーション政策に関する調査、分析、提案を中立的な立場に立つて行う公的シンクタンクの一つで、文部科学省を主務省とする独立行政法人科学技術振興機構（JST）に属しています。

CRDSは、科学技術分野の全体像の把握（俯瞰）、社会的期待の分析、国内外の動向調査や国際比較を踏まえて、さまざまな分野の専門家や政策立案者との対話を通じて、「戦略プロポーザル」を作成します。

「戦略プロポーザル」は、今後国として重点的に取り組むべき研究開発の戦略や、科学技術イノベーション政策上の重要課題についての提案をまとめたものとして、政策立案者や関連研究者へ配布し、広く公表します。

公的な科学技術研究は、個々の研究領域の振興だけでなく、それらの統合によって社会的な期待に応えることが重要です。「戦略プロポーザル」が国の政策立案に活用され、科学技術イノベーションの実現や社会的な課題の解決に寄与することを期待しています。

詳細については、下記ウェブサイトをご覧ください。

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

はじめに

科学技術分野の研究開発活動は、個々の科学領域の発展を促すと共に、研究開発から生まれる知見やその実用化を通じて社会的便益を創出すべきものであることが世界共通の認識になりつつある。我が国においても、第4期科学技術基本計画や科学技術イノベーション総合戦略の底流にある科学技術イノベーション政策の基本的方針は、従来の科学技術分野別の重点的な推進から、重要な社会的課題の解決へと転換している。

しかし、我が国で国際競争力、環境、健康といった言葉によって広義に表現される社会的期待を実現するための研究課題を特定するプロセスは、注目を浴びる研究分野や既存の研究プロジェクトからの抽出に留まることが多い。そして、社会的な期待・目標と、その達成に必要なかつ十分な研究分野・課題を論理的に導き出す、客観的で正当性のある戦略的立案プロセスは未だ確立されておらず、我が国のみならず、国際的にも政策課題となっている。

このような背景から、科学技術振興機構・研究開発戦略センター（JST/CRDS、以下CRDS）は、社会的期待と科学技術研究開発テーマとの「邂逅」に基づく、課題達成型研究開発戦略の立案方法の構築に取り組んでいる（CRDS-FY2013-XR-05「社会的期待と研究開発領域の邂逅に基づく「課題達成型」研究開発戦略の立案」）。ここでは、社会的期待の系統的な分析・抽出を進めているが、社会的期待と科学技術研究の「邂逅」を実現するためには複数の科学技術の領域融合・役割連携が不可欠であるという認識に至っている。

CRDSでは、平成24年度に上記の戦略立案方法の試行と課題探索を進めた結果、戦後日本の飛躍的な発展を支えてきた社会基盤であるエネルギー、インフラ、そして人の健康が直面する深刻な現状と将来見通しに関わる12の課題を特定した（CRDS-FY2013-XR-01「社会的期待と研究開発領域の邂逅に基づく「課題達成型」研究開発戦略の立案（速報版）」、p.20参照）。これらは日本社会が抱える課題であるが、同時にグローバル化が進む現代においては世界とりわけ先進諸国が共有する課題でもある。それゆえ、「課題先進国」とも言われる日本が世界に率先してそれらに取り組み、克服することが期待される。

平成25年度には、課題探索の結果を基に、エネルギー、インフラ、人の健康に関する優先的な課題を1件ずつ選定した。個々の課題についてさらに詳細な検討を進め、社会的課題の構造的な把握・分析を行い、その結果に基づき、今後、国が推進すべき研究開発領域やその推進方策を検討した。

本報告書は、その中のインフラ、特に社会インフラに関する「課題達成型」研究開発戦略の検討の結果をまとめたものである。ここでは、対象とする社会インフラを、国民の福祉の向上と経済の発展に必要な、交通・物流、公共公益、そして情報・通信などのサービスを提供する公共施設と定義する。

エグゼクティブサマリー

■ 提言の位置づけ

本戦略プロポーザルでは、強靱で持続可能な社会の実現に向けて、社会インフラに関する様々な課題に対する、より本質的な解決を目指し、「社会インフラ統合管理システム」の基盤研究と「メンテナンス科学技術」の研究開発を、わが国として戦略的に推進することを提案する。

現在、わが国にはすでに膨大なインフラのストックが蓄積されており、維持管理や補修・補強などのメンテナンス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。このような課題に対応するための施策や研究開発は、既に産官学において様々に取り組まれているところであるが、本提言では、より中長期的な視点から、社会インフラを持続可能とするための総合的な対策の実施に資する基盤と、産官学のいずれにおいても十分な取り組みが成されているとは言い難い、社会インフラのメンテナンスに係る科学技術の基礎的研究の推進を提案するものである。これによって、将来にわたって国際競争力を確保しつつ、強靱で持続可能な社会へ進化することを目指す。

■ 基本的な課題認識

社会インフラとは、国民の福祉の向上と経済の発展に必要な、公共的なサービスを提供する施設や構造物を意味する。我が国の社会インフラは高度成長期に集中して整備されたため、今後 20 年間で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。これらの既存インフラに、従来通りの維持管理を行った場合には、現状と同様の予算規模では、2035 年以降には現存するインフラの更新や維持管理の費用さえまかなえなくなる、と試算されている¹。

インフラのライフサイクルコストを最小化するマネジメントの基本は、施設や構造物の状態や性能を正しく把握するとともに、将来予測・余寿命予測を行い、それに基づき優先順位をつけ、適切な時期に適切な補修・補強や更新を行うことである。インフラの状態把握と予測、および補修の時期や方法の決定は、これまでは熟練した技術者の経験やノウハウに依存する部分が多かったが、蓄積された検査データやモニタリングデータに基づく、科学的な評価と判断のプロセスへ転換していかなくてはならない。

そして、メンテナンスをさらに合理的に実施するためには、従来のインフラ管理の枠組みを越え、異種の設備やシステムの連携や融合を図った上で、ライフサイクルを統合的に管理することが求められる。これには、多くの新しい理論や技術の研究開発が求められるのみならず、内閣府における戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）をさらに進めた、野心的な産官学民の大きな社会的合意が前提となる。

一方で、インフラのメンテナンス業務は、その対象を構成する材料や構造、および対象に求められる機能や性能などの特殊性・固有性の影響が大きい。そのため、汎用的な理論や手法への一般化・共通化が困難であり、対象の状態の診断や補修・補強などは個別状況に応じた対策となり、技術よりも担当者の経験や技能に強く依存することになる。さらに、これまでメンテナンスというものが相対的に軽視され、またインフラの定期的な検査が義務化され

¹ 平成 21 年度 国土交通白書

ておらず、維持管理ビジネスも規模が大きくなかったことなどから、科学的評価や判断の基となるべき、検査や評価のデータが積極的には蓄積されてこなかった。

しかし、将来にメンテナンスの対象となる社会インフラのストックの莫大さと、多岐にわたる種類や構造とを考えると、本分野の技術開発ならびに教育を効率的かつ合理的に推進することは必須である。すなわち、個別技術の背後に共通する方法論を見出して体系化することで、経験に加えて理論に裏打ちされた、社会インフラ向けのメンテナンス工学の強化、ひいては対象を限定しないメンテナンスの方法論と科学の確立とが求められる。加えて、メンテナンスに係る研究開発を行う研究者・技術者、および成果を適用する現場の専門家、さらにはインフラの計画・設計者らとの間での効果的な情報共有、加えて、産官学民で連携の取れた人材育成・人材活用へと繋げていかななくてはならない。

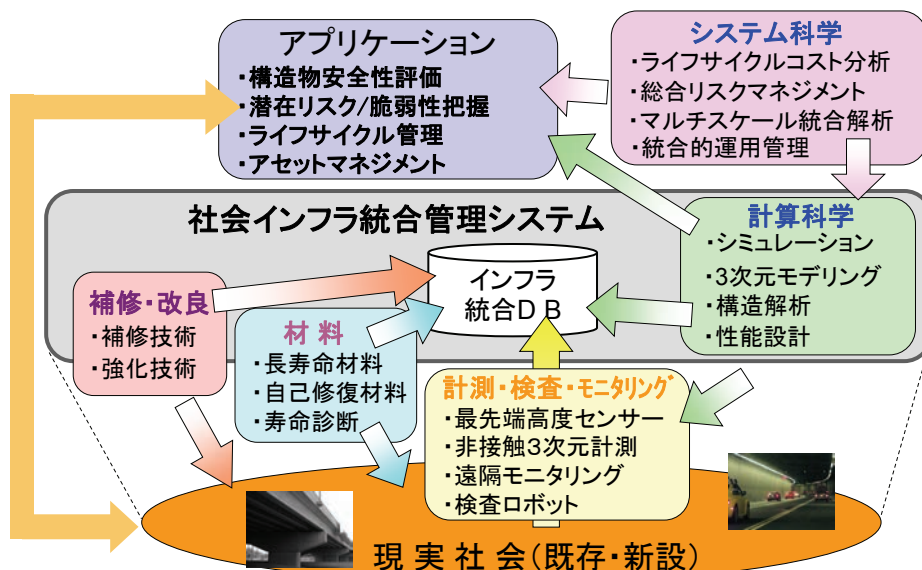
■ 提言の内容

社会インフラを強靱化し、持続可能とするための設計方式やメンテナンス方法論は、短期間に獲得できるものではないが、我々はそれに向けて効率のよい努力を払うことが必要である。本戦略プロポーザルは、将来的なメンテナンス方法論の体系化、さらにはメンテナンス科学の確立を目指し、そこに至るためのマイルストーンの第一歩としての研究開発戦略について分析と提案を行う。

現時点における、メンテナンスに係る科学技術上の課題を端的に整理するならば、インフラの状態を把握し、残る寿命や強度を推定し、次に補修をすべき優先順位と費用とを合理的に意思決定するシステムと、それらを支える論理が存在していないことである。メンテナンス科学は、補修の最適な時期と方法とを見極める高度な技術の達成に寄与すると考えるが、現段階ではまだ理想であり、次善となる経済的かつ合理的なアプローチは、技術とデータに裏打ちされた計画的な取組みである。

本戦略プロポーザルは、以下の3つの項目への取り組みを提案するものであり、特に様々な研究開発や効果的な社会インフラのライフサイクル管理の共通的なベースとなる、「社会インフラ統合管理システム」の基盤研究を「最初の一步」として提案する。

- (1) 目指すべき「強靱で持続可能な社会ビジョン」の描出
- (2) 社会インフラの「ライフサイクルとプロセス」のデザイン
- (3) 社会インフラのライフサイクル管理を支援する「統合管理システム」の設計
 - ・インフラの施工情報や維持管理情報などを核とした、インフラ統合 DB の設計
 - ・ライフサイクル統合管理システムの試験的な構築・運用
 - ・統合管理システムを活用した要素技術の研究の推進（例：インフラの状態把握と余寿命予測や、効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新方式の研究開発、災害時の修繕や復旧にも適用可能なシステムの実装など）



※図中の研究課題は一例

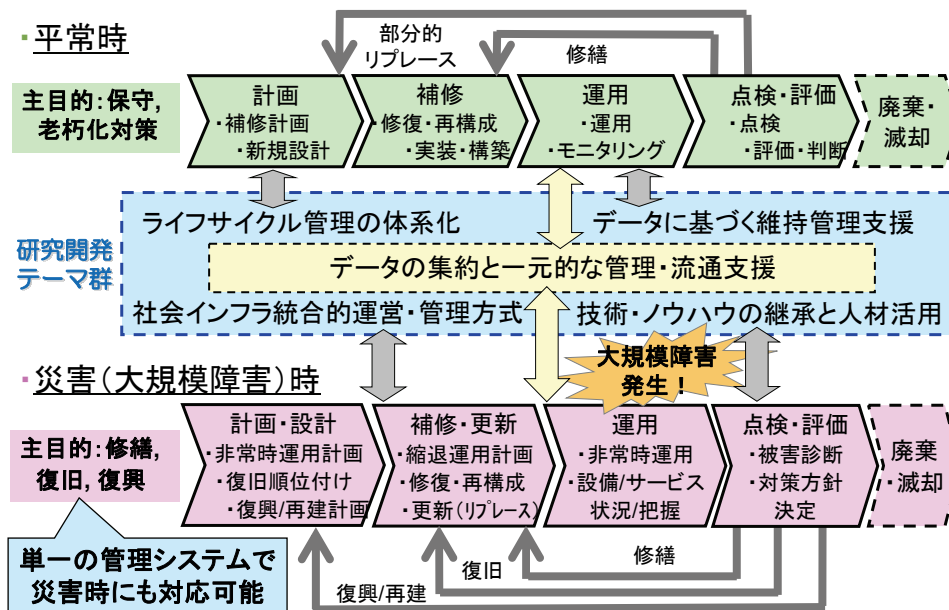
ES図1 社会インフラ統合管理システムを核とする要素技術の研究開発と成果の実装

これらの研究開発と並行して、インフラ統合DBの情報などを活用することで、共通技術としてのメンテナンス工学、さらには基礎的かつ汎用的な学問（ディシプリン）としてのメンテナンス科学の確立と研究の深化を目指す（ES図1）。

また、インフラの総合的なメンテナンスの実現のためには、科学技術上の課題を解決するのみならず、法律や組織の制約を越えるための社会科学的アプローチを進める方策と、それを実施するための仕組みをも確立せねばならない。社会インフラは、ハードウェア、ソフトウェアに加え、社会・経済、および人間活動などを連携させた複雑なシステムであるから、課題解決にもシステム技術が不可欠である。すなわち、相互に依存関係のある多面的、多層的な研究課題を適切な時間軸で推進し、成果を有効に次のプロセスへとつなげ、或いはフィードバックすることで、現状の社会とインフラの在り方を、目指す社会ビジョンを達成する方向へ徐々に移行させていくという、国家レベルでの現実的な戦略とシステム的なアプローチが必要である。

本戦略プロポーザルは、言い換えれば、人間が安心して安全に暮らせる社会の姿をデザインし、維持し、発展させるためのインフラ管理基盤技術の研究開発を提案するものである。また、ここで目指す、社会インフラのライフサイクル管理の技術体系と統合管理システムは、人間と社会、および環境の視点を取り入れたわが国独自の技術となり得る。また、ライフサイクル管理に関しては、大規模災害発生時に備え、平常時から緊急時へのスムーズな移行に加え、システム構造や機能の優先順位を変化させながら最適化を図る仕組みについても検討する。同じ統合管理システムを用いて、災害時の修繕や復旧にも適用可能なライフサイクル管理方式の実現を目指す（ES図2）。

これらの研究開発成果を社会に実装し、運用と改善の実績を重ねた統合管理システムは、蓄積された運用・保守・検査の実データとノウハウとともに、老朽化するインフラを抱える先進国への国際ビジネス推進に大きなインパクトを与えうると考える。また新興経済圏支援の安心・安全な社会の基盤としての展開も期待される。



ES図2 災害時の修繕や復旧にも適用可能なライフサイクル管理方式と統合管理システム

Executive Summary

■ Position of this proposal

This strategic proposal maintains that Japan should strategically implement the fundamental research of *integrated social infrastructure management system* and the research and development of *science and technology of maintenance* as the effort of an entire nation aiming to find a fundamental solution to various problems associated with social infrastructures and to realize a robust and sustainable society.

Since Japan has already accumulated large amount of infrastructure, costs of the infrastructures such as maintenance, management, repair, and reinforcement are rapidly increasing, and accidents and defects caused by age-based deterioration are frequently occurring. Although there are many efforts of the industry, government, or academia to address critical issues, they are far from engaging in sufficient fundamental research and development of the foundation for efficient and effective maintenance of these social infrastructures.

Thus, this proposal uses a mid- to long-term perspective and focuses on suggesting research and development that improve methods for enabling the maintenance and upkeep of currently installed infrastructures spending the smallest social cost possible. This proposal thereby aims to build a robust and sustainable society while ensuring international competitiveness of Japan for the future.

■ Recognition of basic problems

Targeted social infrastructures here include public facilities for providing services such as transportation, distribution, public welfare, and information and communication as necessary for improving the welfare of the citizens and economic development. The basic point of management for minimizing the lifecycle cost of infrastructures is to properly identify conditions and functions of infrastructures and forecast future conditions and remaining service lives, and implement maintenance, management, repair, and renewal of infrastructures at proper timing by giving priorities to them based on the forecast. It is necessary to shift from evaluations and decisions of maintenance, management, and renewal that used to be often dependent on experiences and knowhow of veteran engineers to scientific processes based on data.

The development of a truly robust and sustainable society requires comprehensive management of lifecycles by breaking the boundary of conventional social infrastructure management based on the cooperation and fusion with different types of facilities and systems. This requires many new theories and achievements of research and development and a much more ambitious and larger social agreement among industry, government, academia, and the public sector than the previous most cross-sectoral program such as a Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) of

the Cabinet Office, Government of Japan.

Meanwhile, maintenance is often affected by various materials and structures of targeted infrastructures and peculiarity and uniqueness of functions and performances expected in targeted infrastructures. Thus, maintenance cannot be easily generalized or standardized as universal theories and methods. Still, efficient and reasonable implementation of technological development and education in this field are necessary, considering the massive amount of currently installed infrastructures which will require maintenance in the future and an enormous variety of types and structures of these infrastructures. That is, it is necessary to establish maintenance engineering for social infrastructures based on experiences and theories and the science of maintenance with comprehensive targets by finding common theories to individual technologies and organizing them into systems.

■ Overview of this proposal

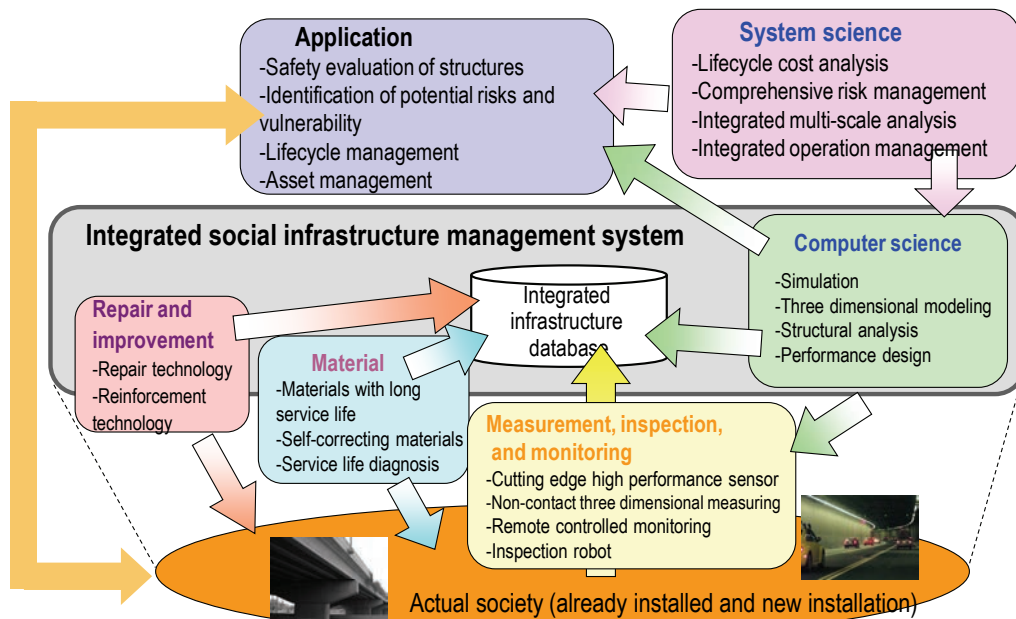
Design systems and methodology of maintenance for reinforcing social infrastructures and making them sustainable cannot be achieved in a short period. Yet, we need to make efficient efforts to realize them. This strategic proposal analyzes and makes suggestions for research and development strategies as the first step of the milestone leading to the systematization of more innovative maintenance methodologies.

One example of problems in science and technology of maintenance is that currently there is no system for identifying the conditions of infrastructures and making rational decisions concerning costs and priorities of repairs to be conducted or theories that assist such processes. The science of maintenance is expected to become useful for developing advanced technologies for identifying proper timing and method of repairs, but it is still just an ideal at this point. The second best option is an economical and reasonable approach that is a systematic effort supported by technologies and data.

This strategic proposal suggests design, examination, and research and development in the following three categories for realizing a robust and sustainable society. This proposal especially suggests the fundamental research on integrated social infrastructure management system as the first step which becomes the common base of various research and development and effective management of the lifecycle of social infrastructures.

- (1) Description of the vision of a robust and sustainable society to achieve
- (2) Design of the lifecycle process of social infrastructures
- (3) Design of integrated management system that assists the lifecycle management of social infrastructures
 - Design of infrastructure database focusing on the information of construction, maintenance, and management of infrastructures
 - Construction and operation of integrated lifecycle management system as a test
 - Implementation of researches on fundamental technologies using the integrated

management system (Example: Identification of the conditions of infrastructures and forecasting of remaining service life, research and development of effective and efficient methods for maintenance, management, and renewal of infrastructures, and installation of systems that can be used for repairs and recovery in case of a disaster)



*Themes of research in the diagram are examples.

ES-Fig.1 Research and development of elemental technologies centering on integrated social infrastructure management system and the application of their outcomes

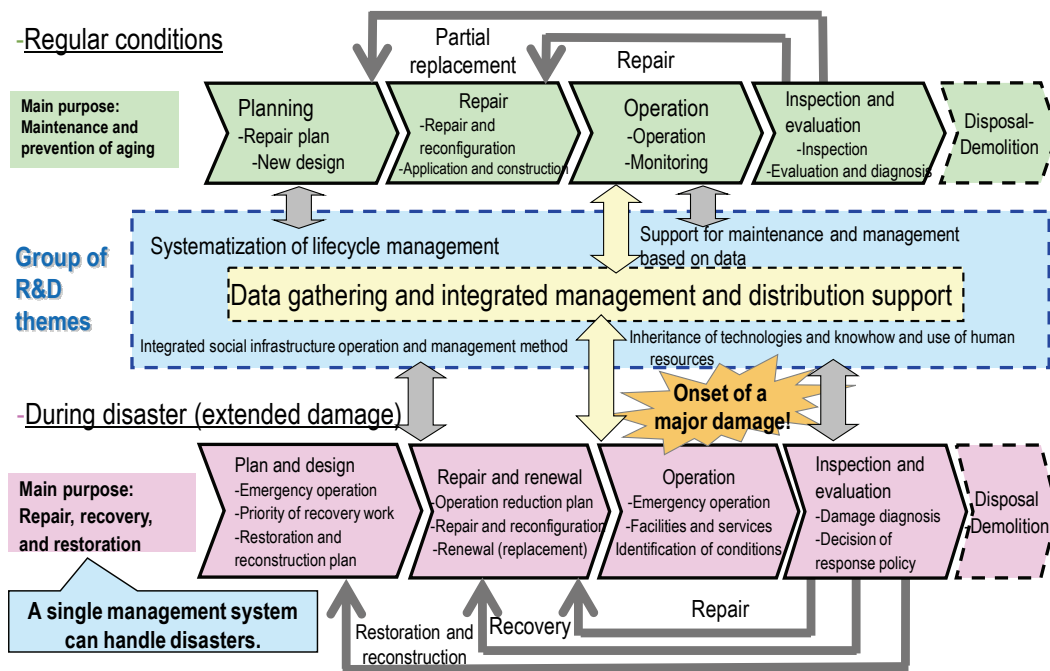
Along with research and development, this proposal aims to establish maintenance engineering as common technologies and the science of maintenance as a basic and universal discipline and to sophisticate research by shedding light on maintenance work that remains insufficiently examined (ES-Fig.1).

Also, the realization of comprehensive maintenance of infrastructure requires the establishment of methods and systems to implement social scientific approaches to overcome restrictions of laws and organizations in addition to solving scientific and technical problems. System technologies are essential for solving problems, because social infrastructures are complicated systems in which hardware, software, and social, economic, and human activities are interconnected. This means that realistic strategies and systematic approaches are necessary at a national level for gradually shifting the styles of the current society and infrastructures to the direction of realizing ideal social visions by conducting researches of mutually dependent multifaceted and multi-layered themes under proper timeframe and effectively leading them to the next process or providing feedback.

In other words, this strategic proposal is intended to suggest research and

development of fundamental technologies of infrastructure management to design, maintain, and develop a society where people can securely and safely live. The technological systems and the integrated management system of the lifecycle management of social infrastructures targeted in this proposal can become Japan’s unique technology that incorporates the perspectives of people, society, and the environment. And the proposed lifecycle management method and system also aim to be used for repairs and recovery processes in a time of disaster (ES-Fig.2).

In addition, the integrated management system that will be established by applying outcomes of research and development into society and repeating operations and improvements is expected to have large influences for Japan and other countries in their implementation of international businesses in industrialized countries which have aging infrastructures along with accumulated actual data and knowhow on operation, maintenance, and inspection. Integrated management is also expected to be used as the foundation of secure and safe society that supports regions with emerging economies.



ES-Fig. 2 Lifecycle management method and system that can also be used for repairs and recovery processes in a time of disaster

目 次

はじめに	i
エグゼクティブサマリー	ii
Executive Summary	vi
1. 現状認識および問題点	1
2. 具体的な研究開発課題	10
3. 研究開発を実施する意義	17
3-1. 社会・経済的効果	17
3-2. 科学技術上の効果	18
4. 推進方法および時間軸	20
4-1. 研究開発	20
4-2. 制度・政策面の留意事項	21
4-3. その他の留意点	21
付録1. 検討の経緯	22
付録2. 国内外の状況	28
付録3. ライフサイクルアプローチに基づく課題達成効果の推定	34
付録4. 専門用語説明	36
付録5. 「社会的期待・邂逅」発の課題を実現する3階層アプローチ	37

1. 現状認識および問題点

● 現状のアプローチでは破たんする社会インフラの維持管理

社会インフラとは、国民の福祉の向上と経済の発展に必要な、公共的なサービスを提供する施設や構造物を意味する。ところが、わが国を含む先進工業国には、すでに社会インフラの膨大なストックが蓄積されており、維持管理や補修・補強などのメンテナンス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。

道路、橋、トンネルなど、交通を支える社会インフラに関しては、今後 20 年間で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなり、例えば、道路橋は、その割合が平成 24 年 3 月の約 16%から、10 年後には約 40%、20 年後には約 65%に、トンネルも平成 24 年 3 月の約 18%から、10 年後には約 31%、20 年後には約 47%と急増する²。これらの既存インフラに、従来通りの維持管理を行い、耐用年数を超えたら一律に更新した場合には、現状の予算規模では、2035 年以降、現存するインフラの更新や維持管理の費用さえまかなえなくなる、と試算されている³。一般的にインフラの施設や構造物は早期に補修・更新すれば、劣化損傷を防ぐことができ、長寿命化の効果がある。しかし、この予防保全対策をすべての施設や構造物に網羅的に実施したのでは、経済的負担が現状の予算規模を遥かに越えて膨大になる。その一方で、著しい損傷や事故が発生してからの事後対策中心では、老朽化するインフラが急増する状況においては、補修作業が追い付かず、サービスも破たんしてしまう。

● 笹子トンネル天井板落下事故の衝撃

平成 24 年 12 月に中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故が発生し、9 名もの尊い命が犠牲になった。高速道路のような基幹インフラにおいては、相対的に手厚い維持管理体制が敷かれ、管理主体は事業継続計画（BCP）や予防保全の考え方に基づきアセットマネジメントや長寿命化計画・対策を実施していた。にもかかわらず、このような深刻な事故が起きたことは、社会インフラに関わる者だけでなく、国民すべてに非常に大きな衝撃を与えた。

米国では 1930 年代にニューディール政策によって整備したインフラが老朽化し、1980 年代には多数の深刻な事故が発生した。我が国でも高度経済成長期に集中して建設された社会インフラのストックが一斉に老朽化することは自明であり、インフラの監督府省や自治体においても米国の事例を「他山の石」とすべきとの意識は強く、高齢化の進むインフラの維持・管理を重大な課題と認識し、対策の検討と提言が 10 年以上前から行われていた⁴（付録 2 参照）。

これらの提言では、予算や人材に制約がある状況で、適時・適切な対策を行うことでインフラの維持管理の費用を最小とするために、計画的なマネジメントを基本とすべきということが、共通して明言されていた。そして、そのような管理を支援するために、アセットマネジメントを導入することの有効性も述べられていた。さらに、技術的には点検やモニタリング結果から診断や劣化予測を行い、状態や保有性能を的確に把握するとともに、設備や構造

² 平成 24 年度 国土交通白書

³ 平成 21 年度 国土交通白書

⁴ 国土交通省「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する提言」、「道路橋の予防保全に向けた提言」、文部科学省「安全・安心科学技術委員会」、など

物の寿命を予測し、その結果に基づいて維持管理・補修・更新を効率的・経済的に行うための研究開発が必要であることも、既に指摘されていた。そして、これらの提言の一部は、国や自治体、また民間企業において、取り組みが進められていた。なお、ここでいうアセットマネジメントは、『インフラの設備や構造物を資産としてとらえ、その状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、設備や構造物を計画的かつ効率的に管理すること』を意味する。

しかし、これらの提言や取り組みにもかかわらず、笹子トンネル事故は発生した。ここに、社会インフラのメンテナンスに係る問題の複雑さと根深さがあると考えられる。過去になされた課題の認識や、提言の方向性が間違っていないのならば、それらを実施するために何が障害になっており、また、何が見落とされていたものかを、改めて検証せねばならない。

● 従来の取り組みの問題点

笹子トンネル事故の発生を受けて、官民学それぞれで様々な分析と反省がなされ、多くの報告書や改善のための計画が公開された⁵。

これらに共通するのは、10年以上前から行われていた社会インフラに関する提言の内容が、現実には十分に実施されず、アセットマネジメントの導入や長寿命化計画・対策が限定的にしか機能していなかったことへの反省である。米国では、1960～70年代にインフラに関する事故が増加したことから、目視による検査が義務化された。米国以外でも、先進国の多くではインフラの保守点検の時期と内容を法律で規定しており、アセットマネジメントの導入・運用も進んでいる。しかし、点検結果はアセットマネジメントの最も重要な基礎データであるにもかかわらず、我が国では老朽化した施設や構造物の点検作業は、インフラ事業者の独自の規則や自治体の努力に任されていた。国土交通省が道路の橋やトンネルの定期点検を地方自治体に義務づけ、5年ごとに施設の健全性を4段階で評価する全国統一基準を導入することにしたのは、平成26年度からである。また、産官学で様々な技術開発が行なわれていたものの、それらの多くは個別に遂行され、また、生み出された成果を効果的かつ広範囲に活用するための努力も不足していた。

すなわち、インフラの老朽化対策が重要な課題であると認識されつつも、危機的な状況が起きるまで、本質的・根本的な取り組みが先送りされていたと言ってよい。このような事態を招いた原因の一つとして、アセットマネジメントの導入や関連する研究開発を行うことの効果が、かける手間や投資に見合うかどうか不明確であったことが考えられる。上記の報告書や計画では、この状況を打破するためのアプローチとして、まずは既存のインフラの状態を正確に把握したうえで、長期的な維持・管理や更新の計画を立て、コストを最小限に抑えながら安全を確保する「工程表」を作ることを提言している。

● 現状認識のためのヒアリングと調査の結果の概要

本戦略プロポーザルも上記のアプローチに沿いつつ、既存の検討や提案では、十分に分析できていない側面や研究テーマの掘り下げを行う。先行する検討や提言をふまえつつ、具体

⁵ 国土交通省「社会資本の老朽化対策会議」、「インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議」、「インフラ長寿命化基本計画」。産業競争力懇談会(COCN)「レジリエントエコノミーの構築」プロジェクト、「インフラ長寿命化技術」プロジェクト、など

的に何が欠如しているのかのヒアリングや調査をさらに進めた結果、現状では、上記の「工程表」を検討するために必要な、施設や構造物の設計・施工情報や検査記録などの基礎データや補修や補強といったメンテナンスなどの事例の収集・保管・管理が十分ではないことが、最大の障害であることが明確になった。

一方で、インフラの管理の高度化に資する各種データやモデルの整備などの活動、目指すべきマネジメントの姿の一部を既に導入し運用の実績を重ねている事例、そして長寿命化や各種の検査や寿命予測などに非常に有用と考えられる研究テーマや成果の事例も見出すことが出来た。これらの先行的な取り組みは、現状ではその対象や効果は限定的であり、制約も存在する。しかし、有望と思われる活動、標準仕様、研究テーマなどには積極的に学ぶとともに、対象範囲の拡大やコスト低減などにつなげるための取り組みを推進する必要がある。

着目すべき活動や研究テーマの具体例として、構造物のモデルやDBの標準化に関しては、新設用の3次元プロダクトモデル BIM⁶の標準化と点検支援システムや地方自治体向けの簡易なコンクリートの施工管理DB⁷などがある。アセットマネジメントに関しては、先進的なインフラ事業者⁸や地方自治体⁹は予防保全の考え方にに基づき、修繕・補強や更新に関わるコストや、ライフサイクルコストを分析した上で総合的な計画を作成し、継続的にPDCAを回し、利用者への説明責任をも果たしている。また、インフラ構造物の長寿命化の体系に地域の人材を積極的に取り込む仕組みを作っている地方自治体¹⁰も増えつつある。

研究分野では、例えば、10年以上のコンクリートの点検データに基づく劣化曲線の作成と確率過程を用いた劣化予測手法、またスケールと時間単位が異なるモデルの連成と材料科学と構造工学の統合による、コンクリート構造物のマルチスケールモデルの耐久性解析理論とその手法などは、今後の応用や適用範囲の拡大が期待される。また、構造物の精密な3次元モデルを作成するためのレーザ計測技術や、測量器によるひび割れ測定技術など、既存の膨大な構造物のデータを、安価かつ正確に取得するために非常に有望な技術もある。

● 社会インフラの持続可能な維持管理・更新を阻害している7つの側面

社会インフラを持続可能とするための、長寿命化やライフサイクルコスト低減などの取り組みが、現在はまだ普及・定着していない原因を、改めて複数の側面から分析し、掘り下げたので、ここに整理する。

（1）認知面

高度成長期には、公共事業でインフラ整備を急速に進めた結果、飛躍的な経済発展と大きな雇用を生み出した。現在においては、新規のインフラに投資しても経済発展につながりづらい、いわば飽和状態にあるにもかかわらず、いまだに“インフラの新設は景気対策として非常に有効であり、一方で維持管理は余計なコストである”という認識や、それに基づく事業構造から抜けだせていない。

加えて、“コンクリート構造物をはじめとする社会インフラはメンテナンスフリーである”、

⁶ 「Building Information Modeling」の略。コンピュータ上に作成した3次元の形状情報に加え、室等の名称・面積、材料・部材の仕様・性能、仕上げ等、建築物の属性情報を併せ持つ建物情報モデルを構築すること。

⁷ 参考事例：山口県のひび割れ抑制対策。通称「山口県方式」

⁸ 参考事例：下水道台帳情報システムに基づく東京都下水道サービス(株)のアセットマネジメント

⁹ 参考事例：青森県の橋りょうマネジメントなど

¹⁰ 参考事例：長崎県の「道守」養成

一方で“設計寿命がくれば破棄して作り直せば良い”という誤った概念が流布したことが、維持管理業務や関連技術の軽視を招くとともに、国民のインフラやメンテナンスへの興味を削いできた。

（2）人材面

少子高齢化に伴って、構造物の施工や維持管理に関わる熟練技術者のリタイアが進んでいる。現状では、施設や構造物の検査は熟練者による近接目視と打音が中心であり、今後の点検需要の増大に対処することは困難である。また、適切なメンテナンスをするためには、構造物がどう作られ、どのような環境にあり、どんな補修を必要としているかを正確に把握する必要がある。これには広範な知識と長い経験を要し、また応用能力や問題意識も重要となる。このような技術判断を的確に行える人材の育成は、一朝一夕にできる訳ではないため、メンテナンス技術者不足はより深刻である。特に中小のインフラ事業者や地方自治体においては、既に技術やノウハウが失われつつあり、その結果、一部の施設や設備が十分な検査や適切な補修をし切れない状況が発生している。

また、メンテナンスは業界や技術分野のイメージが決して前向きなものではないことから、維持管理の重要性は強く認識され関心を持たれながらも、産学双方においてこの分野の研究開発に人材を集めることの難しい状況がある。

（3）コスト面

平成 21 年度の国土交通白書の試算では、道路、橋、河川管理施設、湾岸岸壁など所管の社会インフラの新設を含む予算が今後も増加せず、従来通りの維持管理・更新費用の支出を続けると仮定すると、西暦 2037 年（平成 49 年）度には既存のインフラの維持管理・更新すら不可能になると推定されている。無論、これは技術の進歩や効率化などの寄与のあまりない最悪のシナリオであるが、社会インフラのメンテナンスは現状のやり方では早晚破綻する、あるいは破綻しつつあることは間違いない。

さらに、公共インフラの 9 割は国ではなく、地方自治体の管理であり、予算面ではさらに状況が厳しい。現実的な予算の範囲内で、実施可能な維持管理・更新の計画を立てることや、将来のコスト低減のための研究開発への投資は必須である。しかし、後述するように、インフラに関するデータが存在してない場合が多いために、老朽化の実態も把握できず、結果的に今後想定される維持管理費の規模も分からない状況がある。

（4）技術面

維持管理は産業として成立しているが、インフラを作るビジネスと比較すると規模は小さく、検査技術や修繕技術の研究開発への投資も相対的に少ない。また、対象となる社会インフラは材料や構造の組み合わせが多様で、状態の変化も環境条件や使用条件によって様々であるために、インフラの検査や診断、長寿命化に資する新技術や新材料などの研究開発も、網羅的に行うことは困難である。

また、インフラ維持管理を効率的・経済的に行うために、判断の基礎となる必要なデータを取得するためのセンサや計測技術などは、適用できる対象や条件に制限があり、例えば検査データの場合には、熟練者による近接目視と打音検査に代替できる域に達しているものは少ない。人間が行う検査をそのまま機械化、自動化するのではなく、従来とまったく異なるアプローチでインフラの状態を把握し、寿命を予測する技術にも取り組む必要がある。

研究開発の成果の現場への導入も試行的に始まったばかりであり、大規模かつ安価に利用

するには課題が多い。検査データのみならず、膨大なストックがある既存インフラの情報を、どのように少ない人手で、安価かつ簡便に取得するかも、大きな課題である。

基礎技術に関しても、計測技術やパターン認識技術などのさらなる高度化が求められる。インフラの維持管理を実施している個々の企業は、直近に自社のビジネスやコスト低減につながるものであれば投資するが、基礎研究や長期にわたる試験やデータが必要なテーマには取り組みづらい、という状況もある。

さらに、従来の劣化研究・対策が生み出した端的な問題としてキラー・ファクター、すなわち「現在の技術では、劣化しても修繕することが不可能な構造物や設備」が挙げられる。キラー・ファクターは、最終的には解体あるいは放棄するしかなく、例えば幹線道路にかかる橋のように簡単に代替のきかないものの場合には、更新には長期のサービス停止と、社会・経済活動や国民の生活への影響を避けられない。サービスを維持あるいは代替の提供手段などとも併せた、キラー・ファクターへの対処法に関しても、技術的な検討は先送りになっている。

（5）情報面

社会インフラの早期の異常検知や、最適な補修時期や方法を判断するには、施設の諸元（建設時期、構造形式、施工者等）や材料、施工法などの基礎情報に加えて、修繕・更新の記録、点検・診断結果の履歴、さらには劣化や損傷などの状態把握が必須であるが、残念ながら、このようなデータが完備している設備や構造物は少ない。

これは、維持管理が相対的に軽視されてきたために、内規などに従って検査を行っても過去のデータが保管されていないケースが少なくないことが考えられる。また、社会インフラの使命は日々の運用を行ってサービスを提供することであるので、いったん構造物や設備を作ってしまうと各種の設計書や図面、施行の記録などは不要と判断され、残されていない、あるいは残っていても現物と一致していない場合も多い。特に地方自治体の管理の道路や橋には、いつ、どのように作られたかが、まったく不明なものも少なくない。仮に設計書や図面、検査記録などが残っていても、紙の書類の状態では保管されているものがほとんどであり、検索や再利用が容易なように、デジタル化されているデータは極端に少ない。これは、従来の IT 技術では膨大な情報の取得、保管、分析などに限界があったことや、データを取得、蓄積、管理するコストや手間に見合うだけのメリットがあるかどうか不明確であったことが、大きな原因である。

その結果、せっかくの有用な情報の多くが、管理業務の効率化や研究開発の基礎データとして活用されてこなかった。仮に状態推定、寿命予測などのメンテナンスに有用な最先端技術があったとしても、実際の構造物や設備のデータがないのでは適用困難である。その結果、従来通りの非効率的な維持管理・補修・更新計画や手法が踏襲され、コストの低減につながっていないという状況がある。

また、公共性が高く、研究開発にも有用なデータの公開や流通や活用を容易にするための標準化の推進、情報プラットフォームの整備・充実も課題である。

（6）科学面

人工物の変化は必ず劣化として現れるので、その維持管理や補修・補強の重要性は強く認識されてきた。だが、日々現場で行われているメンテナンス業務には共通的なメカニズムが存在し、業務に携わる人間も高度な知的行為を行っているにもかかわらず、いまだ学問とし

ての体系は存在しない。メンテナンス業務が多様なディシプリンの知識の集積であることは間違いがないが、現状ではメンテナンス工学は依然として知識の寄せ集めの段階であり、概念間の理論体系が十分に確立されていない。

メンテナンス工学がさらに成熟し、理論の体系が単なる法則の寄せ集めでなくなった時に、新しいディシプリンとしての確立が期待できるが、そのためには、メンテナンスにかかわる多様な分野の研究者や技術者が、お互いの理論や技術を翻訳することが不可欠である。ただ、残念ながら上述のように、メンテナンスの意義や重要度に対する認知は十分でなく、また官民の研究開発費用も潤沢とはいえない。

（7）制度面

社会インフラを構成する、交通・物流設備、情報・通信設備、あるいは運用・監視システムなどは個々の社会インフラ事業者や協力会社（メーカーなど）の管理下にあり、一般的にはその範囲内での効率化や信頼性の向上などを行っているに過ぎない。しかし、社会を真に強靱で持続可能とするには、従来の枠組みを越え、社会インフラを構成する設備やシステムの連携や融合を図った上で、ライフサイクルを統合的に管理することが必要となる。これには、多くの新しい理論や研究開発の成果が求められるのみならず、産官学民の大きな社会的合意が前提となる。現状では、インフラ事業者などが管理する情報を相互に共有・公開することはセキュリティやプライバシーの問題からほとんど行われていない。

加えて、社会に実装されたインフラに適切な維持管理を行っていくには、予算の年度制や減価償却費の扱いなど会計上の課題も存在する。事業に必要なコストを、計画・設計から施工までの初期コストのみならず、ライフサイクル全体コストの最小化を図るとともに、過剰品質ではないことを技術的に説明する責任も果たす必要がある。インフラの総合的なメンテナンスの実現のためには、科学技術上の課題解決と並行して、法律や組織の制約を越えるための社会科学的アプローチを併せて進めるための方策とシステムを確立せねばならない。

● 国で主導して研究開発する意義

上記の課題の7つの側面のうち、技術面に対しては、既に産学官で様々な取り組みがなされているが、せっかく生みだされたシーズが適時・適所に用いられないことが少なくない。それは、研究成果を実用化・製品化するプロセスの欠如、研究成果の情報の共有が不十分、あるいはそもそも適用可能な範囲が非常に限定的なシーズである、などの様々なケースが想定される。また、上記の側面と要因は相互に関連しあっており、単独の対策では解決が容易ではない。そのため、対策の依存関係を考慮した上で、システム的なアプローチをもって、効果的な手順で実施していく必要がある。

また、インフラ事業者や保守事業者の広報活動は継続的に行われているにもかかわらず、社会インフラが果たす意義やメンテナンスの重要性に関して、国民の認識や認知が10年前から飛躍的に進んだとは言い難い。メンテナンスの分野に十分な人が集まり、予算が投入されている訳ではない現状が、それを示している。

さらに、技術や制度の多少の改善が見られたとしても、将来にメンテナンスの対象となるストックの莫大さと、多岐にわたる種類、そして高い維持管理技能を持つ技術者の不足などの状況を考えると、将来的にも社会インフラを強靱化し持続可能とするための方法論の体系

化には、従来の人工物のデザインとは異なるロジックやパラダイムが必要となるであろう。メンテナンス業務には、技術のみならず社会、制度、人間などの問題を包含しており、科学技術、政治、経済などの多岐にわたる分野における努力は、国が主導することで、互いに同期して遂行されることが望ましい。

多くの社会インフラは維持・管理責任が国や地方自治体、独立行政法人など公共的性格を持つ組織にあるため、上述のように民間が個別に、基礎研究を含む技術開発を推進することは困難である。特に計測原理や劣化のモデル化など基礎的研究を多く含み、基盤的、共通的な性格が強い技術は、国が主導して行うことが合理的といえる。これは、安全性の向上と社会の経済的負担の軽減に寄与し、また国際競争力の強化にもつながる、非常に公益性の高い事業である。

コラム1：「メンテナンスの地位向上：社会のマインドセットの変革」

高度成長期を経て安定成長・成熟期に入ってきたわが国では、新規インフラ建設を主、メンテナンスを従と生きてきたこれまでの社会のマインドセットを変革し、メンテナンスの地位向上を図るとともに、そのための技術開発、基礎研究、新たな学問分野の創出が重要となってきた。

ここでは、社会インフラ整備と経済成長、メンテナンスの関係を述べ、メンテナンスの地位向上の具体内容を検討してみよう。

【インフラ整備と経済発展】

ローマ帝国の拡大と、道路、水道の整備の関係に見られるように、インフラの整備はその地域の経済発展の基盤として欠かせないものである。現代においても、途上国での電力、通信、鉄道、水道等のインフラ整備は、経済発展の重要な前提となっている。人的資源、天然資源等などの潜在的資源と、初期投資によるインフラ整備とがあいまって、その地域での経済的発展が促される。発展とともに更なるインフラ整備が行われ、インフラ整備と経済発展の正の循環が生じる (図1)。

(外部からの投資)

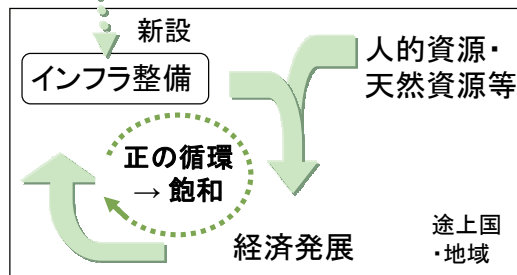


図1 インフラ整備と経済発展の循環

このような、経済発展は、図2に示すように成長曲線を描き高度成長をもたらすが、発展が進むとともにインフラ整備の効果が減少し、高度成長期からやがて安定成長・成熟期に入る。先行していたインフラ整備は飽和し、新規建設のフェーズから維持管理・更新中心のフェーズに入る。その後、メンテナンスイノベーションが生じ新たな成長が始まるか、メンテナンスコスト負担に耐え切れず経済が衰退するかの分かれ道が待ち受ける。

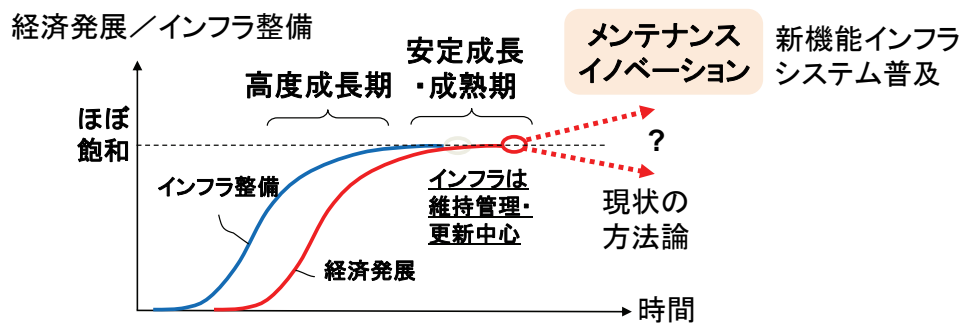


図2 インフラ整備、経済発展の飽和とメンテナンスイノベーション

【メンテナンスの地位向上】

文献1)では、技術者にとっては、これまで保全は全力を挙げて取り組む課題にするには、後ろ向きなイメージがあり、新しい製品の開発や生産技術の開発に比べると魅力的ではなかったために、保全作業は生産性が低く、技術的体系化が遅れていること、しかし、今や我々が手にしている技術的ポテンシャルを、「保全」に集中的に振り向けるべきであることが述べられている。

また、文献2)には、メンテナンスの社会的地位の低さについて分析、記述があり、社会資本投資に占めるメンテナンスの割合が今後増加することが、投資の年増加率をパラメータにして示されている。有識者インタビューでも、日本ではインフラの新規建設への支出割合が今後低下せざるを得ないことが述べられている。

そこで、図3に国内インフラの新規建設とメンテナンスの経済規模が今後逆転し、またメンテナンスのシステム化（機械化、情報化）が進展することにより、メンテナンスの社会的・経済的地位が向上する予測を示す。

企業ではメンテナンス部門が収益源となり、自治体等でも住民サービスに直結する部門となる。またメンテナンスの業務内容もシステム化により、現場作業中心から、アセットマネジメント、更新計画立案・設計に重点が移る。技術的にも点検の効率化などに加え、高メンテナンス性を持つ次世代インフラ向け技術開発が期待され、設計、施工部門や、発注部門との人材ローテーションが行われる。

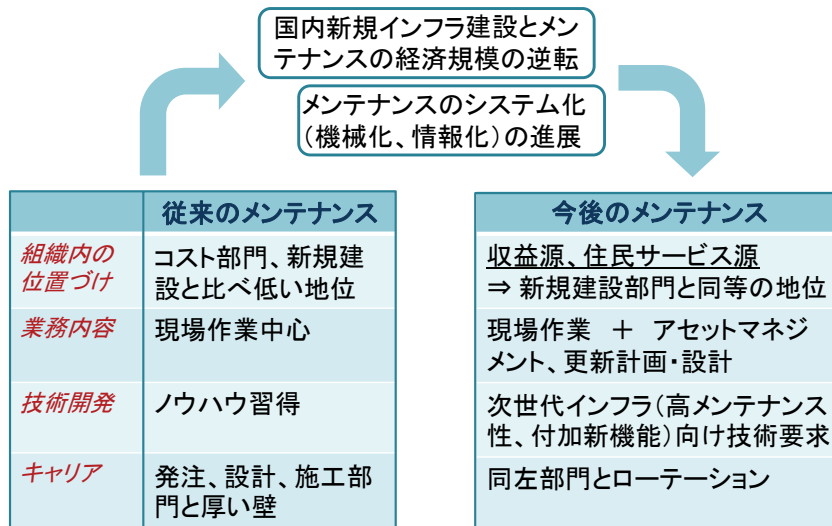


図3 今後のメンテナンスの地位向上

文献1) : テクノグローブ-「技術化した地球」と「製造業の未来」、吉川弘之著、(工業調査会、1993)

文献2) : H. Yoshikawa: Maintenance Robot: A History and Reflections of a Japanese Engineering Scientist on Fukushima, A Treatise on Good Robots: Praxiology vol.21, pp.103-127 (2014)

2. 具体的な研究開発課題

本プロポーザルでは、「社会インフラ統合管理システム」の基盤研究と「メンテナンス科学技術」の研究開発を、わが国として戦略的に推進することを提案する。

技術とデータに裏打ちされた、経済的かつ合理的な、社会インフラの維持管理・更新の計画的な取組みを実施するために、本プロポーザルで提案するのは、以下の3点である。

- ①既存のインフラの検査・修繕・修理などの直近の対策を行う中で各種データを収集・蓄積するための「インフラ統合DB」の構築
- ②より中長期的な視点に立ち、可能な限り小さい社会負担で、既存のストックの維持、保全を可能とし、持続可能なマネジメント・サイクルに移行するための基盤となる、「インフラ統合DB」を軸とした「社会インフラ統合管理システム」の構築
- ③データに基づいた合理的なインフラ維持管理・更新に資する科学技術の研究開発

これらにより、わが国が将来にわたって国際競争力を確保しつつ、強靱で持続可能な社会の実現を目指す。

社会インフラは、現状の技術領域の分類では、(i) 材料、構造、機械、建築、その他物理的・力学的なシステムを扱う分野、(ii) 情報、通信、ソフトウェアなどの ICT 分野、(iii) 安全、健康、その他人間や社会の意味を担うシステムの社会科学分野、などを連携させた複雑なシステムであるから、課題解決にもシステム技術が不可欠である。すなわち国家レベルでの現実的な戦略とシステム的なアプローチに基づく、新しい社会ビジョンの描出と研究領域の設定、および先端技術の研究開発が求められる。

本プロポーザルで提案するのは、産学官民すべてのステークホルダが共有できる、目指すべき社会のビジョンを明確にし、そこに至るためのマイルストーンと移行のためのシナリオを設計し、「最初の一步」を踏み出すことである。

A. 社会インフラ統合管理システム

社会インフラの維持管理・更新に資する技術的知見やノウハウの収集や関連技術の研究開発は途上にあり、これらの推進に不可欠のインフラに係る各種データの蓄積も十分ではない。そのため、社会インフラ統合管理システムの実現には、目指すべき「強靱で持続可能な社会ビジョン」を明確にした上で、以下のような多段階の対策から成るシステム的なアプローチが必要である。

早急に対応が必要な状態の施設や構造物に関しては、既存のシーズを適切に選択し組み合わせることで補修・補強などの質を高めるとともに、効果的かつ効率的な対策実施によってコスト低減を図るための方策を、現状の延長として検討することが現実的である。このような日々の維持管理業務や研究開発活動を遂行しながら、新たに得られた知見やノウハウ、各種データを確実に蓄積し、それらを基にアセットマネジメントを実施し、さらには維持管理の質や効率のさらなる向上にフィードバックし、そして関連技術やメンテナンス科学の研究開発の加速を図る。「社会インフラ統合管理システム」は、このような取り組みを継続していくための基盤となる。

<具体的な研究開発課題>

【A-1 目指すべき「強靱で持続可能な社会ビジョン」の描出】

「社会インフラを強靱で持続可能」とするために、目指すべき社会像を明確化する。これは、社会インフラのメンテナンスの新しいパラダイムや、官学産民の連携や制度改革などの多面的な要素で構成される、総合的で広範な社会像であり、以下のような要件が含まれる。

- ・現実的なコストや制度の下で、安全で強靱なインフラが恒常的に持続される
- ・蓄積された社会インフラに係る様々なデータと科学技術とを活用することで、より効果的に維持管理・更新が実施される
- ・統合的なインフラの管理体系および、それを支える製品、技術、ノウハウなどが世界的なインフラの老朽化問題の解決に大きく寄与し、また国際競争力の基盤となる

このような社会像を実現するには、計画・設計から、運用・保守、さらには再構成や廃棄までの社会インフラのライフサイクルを統合的にマネジメントできる新しい技術体系が必要となる。そしてその技術体系は、インフラを構成する構造物や設備などのハードウェアのみならず、運用や保守を司るソフトウェア、そしてそのサービスを利用する人間・社会との相互関係、さらには自然環境との共生までを考慮せねばならない。

今後、日本全体としては人口が減少する一方で、三大都市圏への人口集中はさらに進むと予想されている¹¹。これは、単にインフラの長寿命化と維持管理コスト低減を図るだけでなく、ライフサイクルコスト（LCC）を上回る効果が期待できる場合には積極的に新設を行い、その一方で大胆に廃棄や再構成を推進する必要があることを意味する。また、特に描出すべきは、一般の国民と社会インフラとの関係である。受動的にインフラが提供するサービスを楽しむのみならず、インフラの設備や構造物の状態に興味を持ち、監視や異常発見などに積極的に関与することが求められる。

【A-2 社会インフラの「ライフサイクルとプロセス」のリデザイン】

A-1で描出された、「強靱で持続可能な社会ビジョン」を実現するための、社会インフラの「ライフサイクルとプロセス」を再設計する。

一般的な社会インフラのライフサイクルは、「計画・設計」、「構築」、「運用・保守」の3つの段階の繰り返しにより構成されている。このうち「計画・設計」と「構築」は主に新設時のみであり、「運用・保守」の中に、「調査・点検・モニタリング」、「性能評価（診断評価）」、「劣化予測・寿命予測」、「処置・対策」などの維持管理業務のプロセスが含まれる。「処置・対策」には、補修や補強、部分的な更新などを含み、これ以上の維持が困難あるいは不要と判断された場合には解体や廃棄などに至る。

ここでは、基本的には従来のサイクルを踏襲しつつ、蓄積された社会インフラに係る様々なデータと科学技術とを活用するためのプロセスを明確化、詳細化することで、データを活用したインフラの状態把握と余寿命予測や、アセットマネジメントに基づく効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新方式を実施できる、全体ライフサイクルとプロセスのリデザインを行う。また、大規模災害発生時に備え、平常時から緊急時へのスムーズな移行に加え、システム構造や機能の優先順位を変化させながら最適化を図る方式について検討する。

¹¹ 国土交通省国土審議会政策部会長期展望委員会「国土の長期展望」中間とりまとめ

【A-3 統合DBを軸としたインフラ統合管理プラットフォームの設計】

インフラの施工情報や維持管理情報などを蓄積したインフラ統合DBを軸としたインフラ統合管理プラットフォームの研究開発を行う。従来は、新設インフラの計画・設計から構築までのプロセスに重点が置かれていたため、事業計画から工事管理までのマネジメントシステムは既に存在している。そのため、本研究開発では、インフラ構築後の検査や維持管理業務のプロセスを支援することに重点を置く。インフラ統合管理プラットフォームは蓄積した情報の保存・管理、流通、検索などを容易とし、インフラの状態を把握した上で、補修・補強などの優先順位と費用とを合理的に意思決定するシステムの基盤となる。

社会インフラは、個々の社会インフラが材料や構造レベルでそれぞれ固有なばかりでなく、環境からの多種多様なストレスに長期間に影響を受けるため、劣化のメカニズムや進度も、まったく異なる。このことが、設備や構造物の調査・点検の結果を記録として適切に保存することの障害となってきた。せっかくデータを取得しても、あまりにも条件に差があるインフラ間では、お互いに参考にすることが困難であるため、わざわざ保存、管理する手間とコストに見合う意義を見いだせなかったからである。

ところが近年、ITの進展と、計測技術やセンサなどの発達により、情報の取得・処理・保管・流通コストが劇的に低下した。また検索技術の向上により、複雑な属性の条件を指定して、文字、数字、画像、動画など様々な書式の類似の情報を発見することも容易になっている。インフラの設計情報、構築時の竣工検査と初期性能、管理・保守業務における調査・点検の結果、修繕の記録などをすべてデータベースに保持・管理することが現実的となり、メンテナンスに携わる技術者が、多岐にわたる情報を分析し、判断するための道筋が出来た。このほかにも、インフラ統合管理プラットフォームには、情報マネジメント技術やデータマイニング技術など、最新のIT技術を積極的に活用するものとする。

【A-4 ライフサイクル統合管理システムの試験的な構築・運用】

リデザインされた、社会インフラのライフサイクルを統合的に管理するためのシステムを、インフラ統合管理プラットフォームを用いて構築する。まずは、小規模な設備や構造物、あるいは限られた情報やプロセスでも、統合DBの運用を開始することが重要である。スモールであることをおそれず、試験的であってもスタートし、基本情報を入力し、日々の業務の記録や検査や計測のデータも可能な範囲で取得・蓄積することが望ましい。情報の収集にあたっては、従来の手法に加え、新開発のセンサや最新の計測技術などを試用することで、作業の省力化、コストの削減も期待でき、また新技術の検証にも有効と考える。

なお、国はこのような異なるプロジェクト間の連携や技術の流通、データの相互活用のために各種フォーマットやインタフェースなどの標準化活動などの支援も積極的に行うことが期待される。

インフラ統合管理プラットフォームの構築により、これまで参考にできる、調査・点検・モニタリングなどのデータが不足していたために困難だった、劣化予測・寿命予測にも大きく寄与すると期待される。ただし、現実のメンテナンス業務では判断のベースとなる情報が多岐にわたり、それらは一定の割合で誤差やミスを含んでいることを前提にしなければならない。また、まったく同じ設計、材料、工法、環境のインフラは存在しないことから、データを根拠にした判断には限界があることを考慮する必要がある。

B. メンテナンス科学／メンテナンス工学の研究推進

上記の研究開発と並行して、これまで十分な検討が行われていなかった、メンテナンス業務に着目し、共通技術としてのメンテナンス工学、さらには基礎的かつ汎用的な学問（ディシプリン）としてのメンテナンス科学の確立と研究の深化を目指す。加えて、メンテナンスに係る科学技術の研究開発、および成果を適用する現場との間での効果的な情報共有、さらには、産官学民で連携の取れた人材育成・人材活用へと繋げていかねばならない。

社会インフラは、一般工業製品などよりも遥かに大規模で複雑であり、周囲の環境の影響を強く受け、さらに設計寿命も長い。よって、インフラのメンテナンス作業は、単に維持管理技術に留まらず、設計や施工の要諦にも熟知を求められる「総合工学」である。適切なメンテナンスを行うには、実際の事例を多く経験し、豊かな知識と問題意識を持ち、応用能力や技術判断に富む技術者が求められるが、これらの条件を兼ね備える人材の育成は容易ではない。ところが、インフラの維持管理と補修・補強を司るメンテナンスは、その重要性を強く認識され、産業として成立し、業務に携わる人間も高度な知的行為を行っているにもかかわらず、学問としての体系が存在しない。

現実のインフラの設備や構造物は巨大かつ複雑であり、単一のブレークスルー的シーズでは全体の解決を図るのは本質的に不可能であるため、経済的にあり得るオプションの中で、リスクを考慮した対策も織り込みつつ、既存シーズ技術や新規開発シーズ技術を組み合わせたシステムとして対処することが前提となる。これらの意思決定は、いまは経験的かつ、必要に迫られて（計画的ではなく）行われており、必ずしも合理的ではなかった。

これらの状況から、従来のインフラのメンテナンスに関する研究や教育は、コンクリート、鋼、地盤などの材料や対象の種類ごと、あるいは計測、検査、補修等の技術分野ごとに独自に進められてきた。言い換えると、狭い範囲のニーズや応用に密着した「現場」「経験」ベースの研究開発であった。無論、これらの対象や分野毎の研究開発成果は、特定の条件下あるいは対症的なメンテナンス作業には重要で有効ではあるが、将来にメンテナンスの対象となるストックの莫大さと、多岐にわたる種類や構造とを考えると、本分野の技術開発ならびに教育を効率的かつ合理的に推進することは必須である。

<具体的な研究開発課題>

【B-1 メンテナンス科学技術区分の俯瞰】

メンテナンスは一般的な計算問題ではなく、社会的な問題から、技術的な問題までを包含している。メンテナンス業務が多様なディシプリンの知識の集積であることは間違いないが、現状ではメンテナンス工学は依然として知識の寄せ集めの段階であり、概念間の理論体系が十分に確立されていない。メンテナンスには、デザインのような従来の技術体系とは違うロジック、あるいはパラダイムが必要である。

まずは、現状の業務内容に基づき、関連するディシプリンや技術などを整理することで、メンテナンスを構成する科学技術の俯瞰を行う。これによって、維持管理側の現場ニーズと技術開発シーズのマッチングも容易になると考える。

【B-2 メンテナンス方法論の体系化】

メンテナンスは、その対象を構成する様々な材料や構造、および対象に求められる機能や

性能などの特殊性・固有性の影響が大きい。そのため、一般化／共通化が困難であり、状態の診断や補修・補強などは個別の状況に応じた対策となり、技術よりも技術者の経験や技能に強く依存する。しかし、現在のメンテナンス業務を支えている専門家や技術者には、共通な知的行為やメカニズムがあることは間違いなく、それゆえに経験やノウハウの応用や流用も、ある範囲では可能である。

将来にメンテナンスの対象となる社会インフラのストックの莫大さと、多岐にわたる種類や構造とを考えると、技術開発ならびに教育を効率的かつ合理的に推進することは必須である。すなわち、個別の技術や経験・ノウハウの背後に共通する方法論を見出して体系化することで、例えば、点検・モニタリングの結果からインフラの健全性を診断する標準的な手法が確立・整備され、メンテナンスの最適工法の選択などの業務が共通化されれば、経験に加えて理論に裏打ちされた、社会インフラ向けのメンテナンス工学、ひいては対象を限定しないメンテナンス科学の確立への道を拓くことが期待される。ただし、学術的にも単一の答えは存在しない複雑な問題に対処する方法論を構築するという意味で、非常に挑戦的な課題である。

【B-3 メンテナンス科学の新しいディシプリンの提案】

上記の俯瞰や方法論に基づき、ディシプリン化が必要あるいは可能と考えられる、学術領域の案を明確にする。基礎研究のディシプリン候補として、材料の劣化メカニズムのモデル化や破損限界の評価モデルなどが挙げられる。

また、新しい基礎分野のみならず、既存のディシプリンの拡張、あるいは、インフラの状態把握や余寿命予測を実現するシステムや、効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新方式などのシステム工学／システム科学に関するものまで、幅広く検討・提案されるべきである。

【B-4 統合管理システムを活用した基礎研究および応用技術の推進】

上記で明確化されたメンテナンス工学および、メンテナンス科学のディシプリン候補の基礎研究、ならびにシステム技術の研究開発を推進する。

例えば、寿命推定に関する実験室レベルの研究成果があっても、汎用的かつ実用的な寿命推定法は確立されていない。また、ある現実の構造物の10年以上の検査データの蓄積があっても、多種多様な構造物に汎用的に適用して寿命推定ができる訳ではない。これは、構造物の寿命に関する様々な研究成果の蓄積、個々のデータの相互比較、提案された劣化メカニズムのモデル化や破損限界の評価モデルなどの客観性・妥当性の検証など、基礎的な作業がまだ不足しているからである。

したがって、現実には長期間稼働している多くのインフラの実データを統合DBで蓄積、管理し、参照できるということは、種々のデータを用いて現象をより正確にモデル化できるため、基礎研究を行う研究者にとって意義は大きいと考える。

さらに、モデル化が出来てなくても、多数のデータがあれば、類似の記録を参考に劣化予測ができる。メンテナンス業務に携わる技術者にとって、補修の効果や失敗の事例にアクセスできることは、様々な判断の際に非常に有用である。このように、データを管理・共有するためのインフラ統合管理プラットフォームを整備することは、インフラに係る産官学の

すべての関係者に大きなメリットがある。

【B-5 インフラ統合管理システムを活用した社会科学技術の研究開発】

社会に実装されたインフラに適切な維持管理を行っていくには、会計上の課題も存在する。事業に必要なコストを、計画・設計から施工までの初期コストのみならず、ライフサイクル全体コストの最小化を図るとともに、過剰品質ではないことを技術的に説明する責任も果たす必要がある。インフラの総合的なメンテナンスの実現のためには、科学技術上の課題を解決するのみならず、法律や組織の制約を越えるための社会科学的アプローチを併せて進めるための方策とシステムを確立せねばならない。

メンテナンスでは判断のベースとなる情報が多岐にわたり、それら全てが何らかの不確定性を有する。また、インフラを構成する材料特性にはばらつきがあり、長年の環境の影響が大きいことから、様々な判断の結果として、補修や更新を行う際にはリスクを考慮した対策をとることが不可欠である。これには、技術的な対策のみならず、ステークホルダ間の合意形成プロセスや、障害発生時の代替手段の提供や補償などを含む制度による対策も含まれる。

コラム2：メンテナンス科学への道

メンテナンスという業務は、その対象を構成する様々な材料や構造、および対象に求められる機能や性能などの特殊性・固有性の影響が大きい。特に社会インフラは、一般工業製品などよりも遥かに大規模で複雑であり、周囲の環境の影響を強く受け、さらに設計寿命も長い。よってインフラのメンテナンス作業は、単に維持管理技術に留まらず、設計や施工の要諦にも熟知を求められる「総合工学」である。そのため、汎用的な理論や手法への一般化／共通化が困難であり、インフラの状態の診断や補修・補強などは個別の状況に応じた対策となり、技術よりも技術者の経験や技能に強く依存することになる。

メンテナンス業務の一般的な特徴を整理すると、以下のようになる。

- (1) 横断性：故障発生、診断、修復という共通パターンは存在する。
- (2) 多様性：システムの要素、属性、必要な知識などが多様となる。物理的個性を考慮しない抽象的理論は実用性に乏しい。物理的個性のモデル化をも包含した、理論が必要。
- (3) 不定性：診断・修理を体系化する理論は存在せず、各分野の技術はアドホックな概念を設定し、その上に立つものになる。
- (4) 非繰り返し性：経験・帰納という方法が容易には適用できない。仮説を立て、それを解決する技術を演繹的に導出する方法は、確率を高めるのが困難。

このため、適切なメンテナンスを行うには、実際の事例を多く経験し、豊かな知識と問題意識を持ち、応用能力や技術判断に富む技術者が求められるが、これらの条件を兼ね備える人材の育成は容易ではない。

しかし、将来にメンテナンスの対象となる社会インフラのストックの莫大さと、多岐にわたる種類や構造とを考えると、メンテナンスの技術開発ならびに教育を効率的かつ合理的に推進することは必須である。すなわち、個別技術の背後に共通する方法論を見出して体系化することで、経験に加えて理論に裏打ちされた、社会インフラ向けのメンテナンス工学、ひいては対象を限定しないメンテナンス科学の確立が求められる。加えて、メンテナンスに係る科学技術の研究開発、および成果を適用する現場との間での効果的な情報共有、さらには、産官学民で連携の取れた人材育成・人材活用へと繋げていかねばならない。

このようなメンテナンス科学は、補修や更新の最適な時期と方法を見極める高い技術の達成に寄与すると考えるが、それを支える論理が現状では存在しない。次善となる経済的かつ合理的なアプローチが、本戦略プロポーザルで提案している技術とデータに裏打ちされた計画的な取組みである。過去のデータを未来に生かすためにも、データベースの構築は不可欠であり、これまで参考出来る調査・点検データが不足していたために困難だった、劣化予測・寿命予測にも大きく寄与すると期待される。そして、インフラの維持管理の現場、製品や材料の開発の場、そして基礎研究者から、地道にデータを集め、蓄積し、当初は不確定性の高い判断の成功、あるいは失敗の積み重ねが、メンテナンス科学へつながる道であると考えられる。

このような取り組みから得られた成果は、強靱な人工物の設計と効率的で安定したメンテナンスを実現するための新しい基盤となり、さらに新しい試みや制度の改革を生み、持続可能な社会の実現に寄与すると期待される。

3. 研究開発を実施する意義

3-1. 社会・経済的効果

● 社会インフラの維持管理・更新の「少人数、短期間、低コスト」化

社会インフラの維持管理・更新を、予防保全の考え方にもとづいて「少人数、短期間、低コスト」で実現することにより、国や地方自治体等の財政の効率化と、インフラ事業者の経営健全化につながる。国や地方の財政状況が将来的に厳しい状況にある中で、適正な価格で高品質なインフラのサービスを維持できることにより、安心・安全な国民の生活を担保し、わが国の産業・経済のさらなる発展を加速するとともに、ひいては我が国の立地競争力につながる。

● 持続可能な社会への再構築と維持管理P D C Aサイクルの確立

今後、日本全体としては人口が減少する一方、三大都市圏への人口集中はさらに進むと予想されており、社会の各方面への影響は避けられない。このような中、将来にわたって社会の活力を保ち持続可能となるよう、国民の生活と社会・経済活動を支える社会インフラを再構築する必要がある。

アセットマネジメントを組み込んだ統合社会インフラ管理システムを構築・運用し、メンテナンスのためのP D C Aサイクルを継続的に回して様々なデータを蓄積・分析することで、社会インフラを構築、運用、維持管理していくためのコストの推定や利用状況の分析がより精密に行えるようになる。これによって、適正な再構築の立案が可能となり、単にインフラの長寿命化とライフサイクルコスト低減を図るのみならず、必要に応じて積極的に新設を行い、その一方で大胆に施設や構造物の統廃合を推進することができる。

● メンテナンス産業の発展と海外競争力強化

現状のインフラ維持管理の市場は小さく、また、メンテナンスに必要な技術が正当に評価されていなかった状況がある。しかし、世界的なインフラの老朽化は必然であり、今後点検、診断などマネジメントの市場が急速に拡大することは間違いない。現状では年間2兆円の国内市場が2020年には16兆円、2030年には33兆円に、また現在56兆円の国内市場が2020年には167兆円、2030年には374兆円に、それぞれ拡大するとの試算もある¹²。

また、アセットマネジメントの導入と信頼度の高いデータの蓄積によって、メンテナンス業務や技術に対する適正な価値の評価が可能となる。アセットマネジメントの普及に伴い、中長期的な予算・事業計画の立案が行われるようになり、維持管理業務への適正な予算の割り当てが加速され、現在の新設市場にも匹敵する、魅力的なメンテナンス市場への発展が期待される。

メンテナンスのP D C Aサイクルが継続的に回ることは、企業にとっても安定で持続的な市場を保証することになる。そして、このような流れが、メンテナンスを効果的・効率的に行うための、民間のさらなる投資を呼ぶ、正の循環へとつながる。加えて、実データとノウハウを蓄積することにより、社会統合インフラ管理システムは高い付加価値を持ち、海外へ

¹² 日本再興戦略 戦略市場創造プラン

のインフラシステム輸出の競争力強化、さらには新しい形のサービス産業の創出にもつながる。

● メンテナンスへの認識の改善と社会インフラのライフサイクルへの多様な人材の参画

メンテナンス産業が発展することにより、優秀な技術者や研究者の社会インフラ維持管理分野への参画が期待でき、それがモニタリングや維持補修というメンテナンスに係る市場や研究開発の活性化につながる。さらにはメンテナンスの意義や重要性が認知され、一般国民の認識も改善される。

これまで、社会インフラのライフサイクルの各プロセスを担うのは、主に国や地方自治体、あるいはインフラ事業者と協力会社などに限られていた。将来の少子高齢化に伴う熟練技術者の減少と、厳しい財政状況を鑑みると、より多様な人材が、インフラのライフサイクルに参画し、各プロセスの運営を支援することが求められる。

具体的には、自治体やインフラ事業者らと連携した NPO 等の民間主体や住民が、従来はプロが担っていたプロセスの一部、例えばインフラの目視によるモニタリングや、広報の支援などの協力を行う。これによって、インフラ事業者にとっては維持管理コストの削減のみならず、住民のニーズをより正確に把握することができ、また住民も「自分たちの生活を支えるインフラは、自分たちが守る」という積極的な関与の意識が生まれ、地域の活性化にも寄与するなど、多面的な効果が期待される。

● 海外貢献

社会インフラの老朽化が進む先進工業国に対して、効果的・効率的なインフラの統合管理システムと、メンテナンス関連技術や製品を提供することは、単に我が国の国際競争力の強化や国際市場のシェア拡大を意味するだけではない。限りある資源やエネルギーの消費量を削減し、環境への負荷を低減することで、地球環境の維持にも大きく寄与する。

また、新興経済圏に対して、各地域の自然、社会・経済の特性とニーズに合った、最適な社会ビジョンとメンテナンスまで含めたインフラシステムを提案する。これまでの国際貢献のような設備や構造物の構築・建設のみならず、維持運営まで含めてコスト的、技術的に持続可能であることを検証した上で、社会インフラの整備を行う。その結果、安全安心な生活と社会・経済活動への支援、ひいては対象地域の安全保障の確保と発展を推進する。

3-2. 科学技術上の効果

● メンテナンス関係研究開発のテーマ精密化

これまでもインフラの長寿命化やメンテナンス業務の支援のために、さまざまな研究開発が行われてきた。具体的には、検査、点検、診断などの評価技術、センサやモニタリングなどの計測・観測技術、構造や材料の劣化機構や寿命予測技術、補修・補強技術、情報・通信技術のメンテナンス業務への応用技術、検査や補修向けのロボット技術、ライフサイクルマネジメントやアセットマネジメントなどの管理技術などがある。

効果的・効率的なインフラの維持管理・更新を実現に資する、新しい技術や材料、デバイスなどを開発するには、これらの多岐にわたる研究テーマに、限られた予算と人的リソースを適切に配分し、効率的に推進し、成果を最大限に活用する必要がある。社会インフラのラ

ライフサイクル全体を俯瞰した上で、ライフサイクルマネジメントやアセットマネジメントの適用から得られた知見などを導入することで、メンテナンスの効果・効率の向上に寄与する、優先度の高い研究テーマの絞込みが期待できる。

● メンテナンス科学の確立

メンテナンス業務は、個々の社会インフラの構造や環境の持つ特殊性、多様性に強く依存する。そのため、これまでのメンテナンスに係る研究は、現場に密着し、経験とノウハウに依存する、いわば「臨床医学」的なアプローチが主であった。メンテナンス科学は、膨大な多様性や不確定性の中から、個別の対象や技術の背後に共通する方法論を見出して体系化する「病理学」的アプローチである。

メンテナンス科学は、社会インフラを強靱化し持続可能とするという非常に広範な課題を解決するための科学技術体系であり、こうした取組みが課題の達成や社会の期待の充足へとつながることは、科学技術の発展プロセスとしても、重要な成果と捉えられるべきものである。

● 製品開発・設計技術の革新

社会インフラのライフサイクルのマネジメントのプロセスを明確化することで、劣化メカニズムなどの基礎研究分野の成果の迅速な実用化。製品化が期待できる。

また、インフラをより長寿命化し、メンテナンスがより効果的・効率的に行えるよう、新設の際に用いられる、インフラの構造や強度などの設計技術、コンクリート、鋼材、複合材料などの材料技術、また施設や構造物の構築・建築技術などの研究開発にも、要求・要件を明確に提示できる。

4. 推進方法および時間軸

4-1. 研究開発

これまで述べた、研究開発テーマの推進について、時間軸上の位置づけを下图に示す。

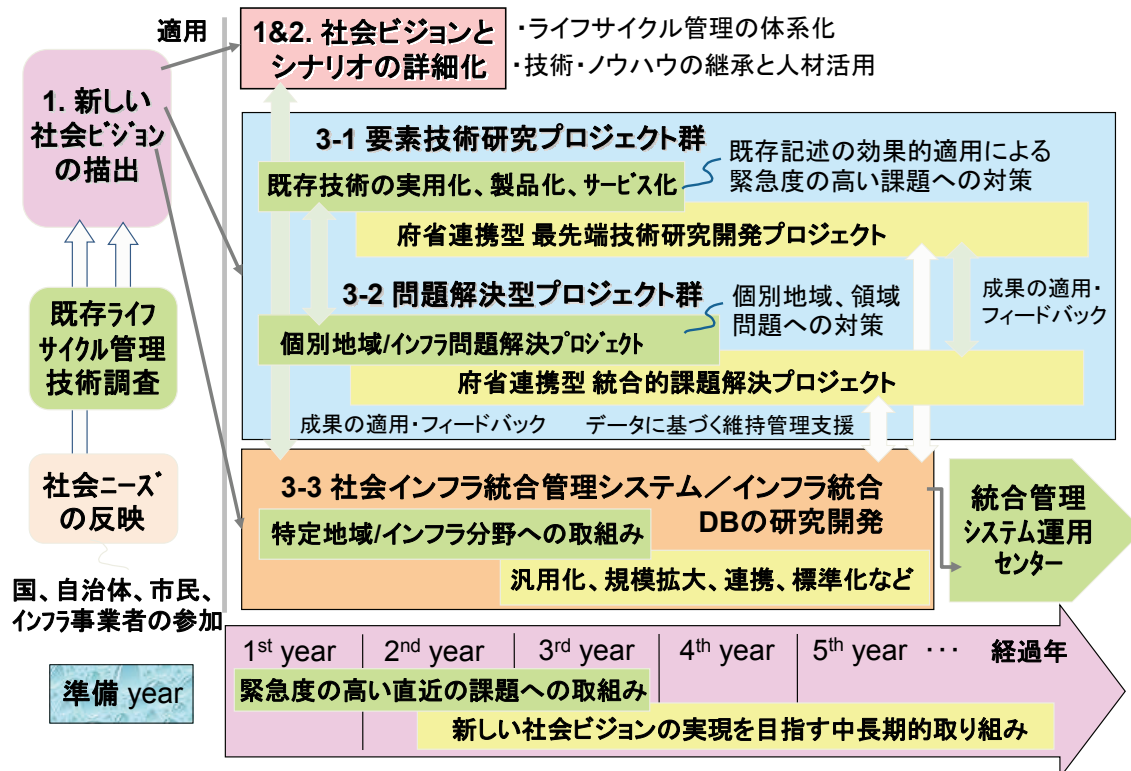


図4 研究開発推進のための時間軸に関する考察

図4に示すように、「社会ビジョンと実現シナリオの詳細化」、「要素技術研究プロジェクト」、「問題解決型プロジェクト」、「社会インフラ統合管理システム/インフラ統合DBの研究開発」を並行して進める。

研究テーマの公募を行う「要素技術研究プロジェクト」と「問題解決型プロジェクト」では、直近の課題に対しては、先ず既存技術などを活用して課題解決を図るとともに、その情報はすべてインフラ統合DBに蓄積する。同時に複数の研究プロジェクトが推進され、中長期かつ大規模なプロジェクトは、必然的に府省連携型が増加すると考える。問題解決型の研究プロジェクトは、それぞれ国内あるいは海外の具体的なインフラの課題をケーススタディとして推進するものとする。

また、これら具体的な地域やインフラの課題に関する研究プロジェクトと並行して、社会インフラ統合管理システム/インフラ統合DBの研究開発を進める。ここでは、まずは既存のDBなどを活用してプロトタイプのコラボプラットフォームを開発し、スモールスタートで運用を開始する。公募研究チームからの要望に対応しつつ、インフラの維持管理・更新に資する、コラボプラットフォームの機能の高度化を数理科学やシステム科学に基づいて行う。これら拡充、高度化されたプロトタイプは具体研究プロジェクトに適用されるとともに、そこ

での知見はさらに最終的な統合管理システム／統合 DB の研究開発にフィードバックされる。

さらに、研究プロジェクト終了にあわせ、統合管理システム運用センターを設置し、研究成果のデータ、モデル群、統合管理システムを恒常的に更新・運用することにより、将来にわたって社会、産業への成果の適用を図ることが望ましい。

4-2. 制度・政策面の留意事項

社会インフラを強靱で持続可能とするための研究開発は、社会科学も含む分野横断的な研究テーマであり、これまでの国家プロジェクトの枠を超えた、以下のような柔軟な管理体制が不可欠である。

- ・ 府省間連携、産官学民の協働を容易とする
- ・ 短期、中長期的の双方の視点で必要な研究開発テーマの選定をダイナミックに行える
- ・ 研究成果の実用化、製品化、社会実装戦略の策定を並行して推進できる
- ・ 社会インフラに関するデータを必要な範囲で共有・流通するために、各種の制約を取り除く
- ・ 既存の官学民の研究開発プロジェクトと有機的に連携し、研究成果の流用・融合などを通じた、迅速な、実用化・製品化・実証、および規模の拡大などが可能となる

現実には、これらの要件をすべて達成するのは容易ではないが、官学民の資金と人的リソースを最大限に有効に活用するために、制度・政策の両面からのサポートが求められる。

また、研究成果の有用性の評価、検証には、実フィールドを巻き込んだ社会への実装と実証が不可欠である。そのため、特に問題解決型プロジェクトの推進の際には、各種特区の設定や、地方自治体、或いはインフラ事業者との緊密な連携などが求められる。

4-3. その他の留意点

従来、システム工学に関する研究は、計測自動制御学会（SICE）など一部の学会でシステム系、産業系の論文の査読・評価の体系作りが進められているものの、開発色が強いこともあり、一般的に論文としては評価されづらい状況があった。

本戦略プロポーザルにおいて、メンテナンス科学やシステム科学など、従来のディシプリンを超えた、融合的な学術分野の推進を提案するにあたり、本分野の研究に取り組む、研究者、技術者の成果を正当に評価するための基準やコミュニティ作りが求められる。このことが、メンテナンス科学／システム科学を支える優秀な人材の確保と、継続的な人材育成、および本分野の振興につながる。

付録 1. 検討の経緯

1) スコープ作成の経緯

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「強靱で持続可能な社会インフラのデザインと構築」の戦略スコープが作成され、平成 25 年 4 月には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。そして、社会インフラチームでは活動を始めるにあたり、インフラに係る社会的課題として、以下の 4 項目を整理した。

- (1) 老朽化する社会インフラ・ストックの急増
- (2) 維持管理や検査の人材・技術継承難
- (3) 公共財源投資の抑制、管理・保守の技術・人材の不足
- (4) 東日本大震災での反省に基づく、災害対策強化への要望

これらの課題は、いずれも目新しいものではなく、以前から産官学の多方面において認識・指摘され、既に多くの対策や研究開発の取り組みがなされているものばかりである。しかし、現状ではまだ本質的な課題解決には至っておらず、笹子トンネル事故のような深刻な事故も発生した。過去になされた課題の認識や、提言の方向性が間違っていないのならば、それらを実施するために何が障害になっており、また、何が見落とされていたものかを、改めて検証せねばならないと考え、まずは先行している産官学の取り組みの調査や課題の再整理を行うこととした。

2) これまでの主な活動

チームでは定期的な会合を開いて継続的な議論を行うとともに、既存の施策の調査、文献調査、有識者調査、ワークショップなどを通じて、提案内容を具体化していった。

有識者調査では、以下の方々にご意見を伺った。

藤野 陽三	東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構次世代風力発電システムの 創成 寄附講座 (現、2014 年 4 月より 横浜国立大学安心・安全の科学研究教育 センター／SIP プログラムディレクター)	特任教授	2013 年 8 月 7 日 2013 年 10 月 28 日
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	2013 年 8 月 22 日
下山 勲	東京大学 IRT 研究機構	機構長・教授	2013 年 8 月 28 日

加藤 裕之	国土交通省水管理・国土保全局 下水道部	流域管理官	2013年9月5日
前川 宏一	東京大学大学院工学系研究科 社会基盤工学	教授	2013年9月6日
石田 哲也	東京大学大学院工学系研究科 社会基盤工学	教授	2013年9月6日
赤木 寛一	早稲田大学理工学術院	教授	2013年10月1日
長谷川健司	下水道管路管理協会	理事長	2013年10月2日
高橋 良文	東京都下水道サービス(株)	専務取締役	2013年10月25日
小林 潔司	京都大学経営管理大学院 経営研究センター	センター長・ 教授	2013年10月31日
増田 宏	電気通信大学大学院情報理工学研究科	教授	2013年11月1日
堀 宗朗	東京大学地震研究所	教授	2013年11月19日

【ヒアリングなどでの主な意見】

- ・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、モデリング&シ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。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(新規建設と同様に、保守・修繕も雇用も経済効果が高いことを示し、論文も書けるようにしたい)
- ・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。

本提案に至るまでにチーム内でなされた議論、有識者調査などにより定めた視点を以下に示す。

- ・インフラには一元化されたデータがない。首都高速等個別のデータや情報はあるが、必要となるときに必要なものが取り出せない状況。既存、およびこれから作るインフラについて、構造、材料、工法等の情報を収集し、デジタル化して集約したバーチャルインフラが求められる。
- ・要素研究はなされてきたが、統合化・インテグレーションの研究があまりなかった。土木、建築、機械、情報、経済等の分野が協力し合い、専門分野、省庁の縦割りを超えた協力体制が重要。
- ・技術の集約と共有化で人材の有効活用が図れる。
- ・集約したデータからマネジメントシステムを動かすことが肝要。
- ・東京都の下水道では、システムを中心にアセットマネジメント、技術開発などがうまくまわしている実例がある。

3) ワークショップ概要

3) - 1 背景と目的

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、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靱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。

3) - 2 日時・場所・参加者

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

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	田渊敬一	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

増淵 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

3) - 3 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 講演「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靱化に向けて」

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靱化の支援」

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

3) - 4 講演概要

藤野先生からは、インフラの強靱化のためには、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、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肝要という意見が述べられた。前川先生からは、維持管理のために知識構造化を社会に実装することとは、検査などの情報を用いて、維持管理上の意思決定を行い、具体的な対策をとり、これで終わりとするのではなく、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との意見が述べられた。矢吹先生からは、BIM (Building Information Modeling) や CIM (Construction Information Modeling) のインフラ維持管理への応用が紹介された。さらにセンサ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していくことで国土基盤モデルを目指すとして述べられた。増田先生からは、3次元点群データを使ったモデルが紹介された。この技術を使って補修・メンテナンスを支援するツールをユーザが満足できるレベルにするには、技術を知ってもらい、ニーズに応じていくことで技術革新が進むと述べられた。堀教授からは、地震防災の観点から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として、高速道路などで即時被害判定できるというのは非常に有効との意見が述べられた。貝戸先生からは、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ックとして体系化し、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かなければならないとの意見が述べられた。高橋専務取締役からは、東京都下水道株式会社下水道総合情報管理システムの活用が紹介された。

3) - 5 全体討論概要

「社会インフラ統合プラットフォーム」の実現性について議論した。

オブザーバーからは各省庁の取り組みが紹介され、今回の講演で知った技術を施策に取り入れる発想の転換が必要との意見も寄せられた。また、省庁間、自治体、さまざまな連携が必要であるし、このような検討をしていること自体ももっと広く周知してJST内でも連携することの重要性が示唆された。さらに、実際に情報やデータの利活用によるプラットフォームを実現するには、小さくてもこれらの利活用による効果を示せるサクセスストーリーが必要であることが示唆された。

本ワークショップの詳細については、「CRDS-FY2013-WR-16：科学技術未来戦略ワークショップ 社会インフラ強靱化のための研究開発戦略」をご参照いただきたい。

付録2. 国内外の状況

1) 国内の動向

道路、橋、トンネルなど交通を支える社会インフラに関しては、今後20年間で建設後50年以上経過する施設の割合が加速的に高くなり、例えば、道路橋は、その割合が平成24年3月の約16%から、10年後には約40%、20年後には約65%に、トンネルも平成24年3月の約18%から、10年後には約31%、20年後には約47%と急増する¹³。

だが、高度経済成長期に集中して建設された社会インフラのストックが、一斉に老朽化することは自明であるから、監督府省や自治体でも将来的な課題と認識していた。国土交通省では有識者による検討委員会を組織し、平成15年4月の段階で「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する提言」を、平成20年5月には「道路橋の予防保全に向けた提言」を取り纏めている。既にこれらの提言において、それまでのインフラの管理や予算の配分の方式が長期的な視点で行われてこなかったことを反省し、アセットマネジメント導入による総合的なマネジメントシステムと新たな管理体制の構築の必要性を述べている。また、今後必要となる技術開発項目として、「ライフサイクルコストを低減するための設計・施工技術」「高精度で効率的な点検技術、記録技術」「精度の高い評価・予測技術」「効果的な補修・更新技術」を挙げている。また、同省では平成24年7月の国土交通大臣からの「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について」の諮問を受け、社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会にこれを付託し、更に技術部会では、社会資本メンテナンス戦略小委員会を設置して、調査審議を進めている。

文部科学省においても、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会において、平成18年3月に安全・安心科学技術に関する研究開発計画の作成及び推進に関する重要事項の調査検討を行うために、安全・安心科学技術委員会が組織された。平成24年7月には第32回を数えた本委員会の中で、平成19年には社会インフラの劣化診断・寿命管理技術の報告と提案がCRDSからなされている。そこでは、従来の対象別の経験的な検査・診断技術に代わり、より本質的な劣化現象・要因解明に遡った劣化診断・寿命管理技術を、国が主導して研究開発する必要性を述べている。具体的には、「施設・設備の劣化・損傷を非破壊で計測・診断するためのセンサとデータ処理技術」「劣化現象モデル」「破損限界評価モデル」「稼働時のストレスや地震等の外力を考慮して余寿命を予測する技術」「損傷・破壊の兆候を常時監視する技術」など、計測原理や劣化のモデル化など基礎的研究を多く含み、民間企業が個別に進めるには困難な基盤的、共通的な性格が強い技術課題を挙げている。

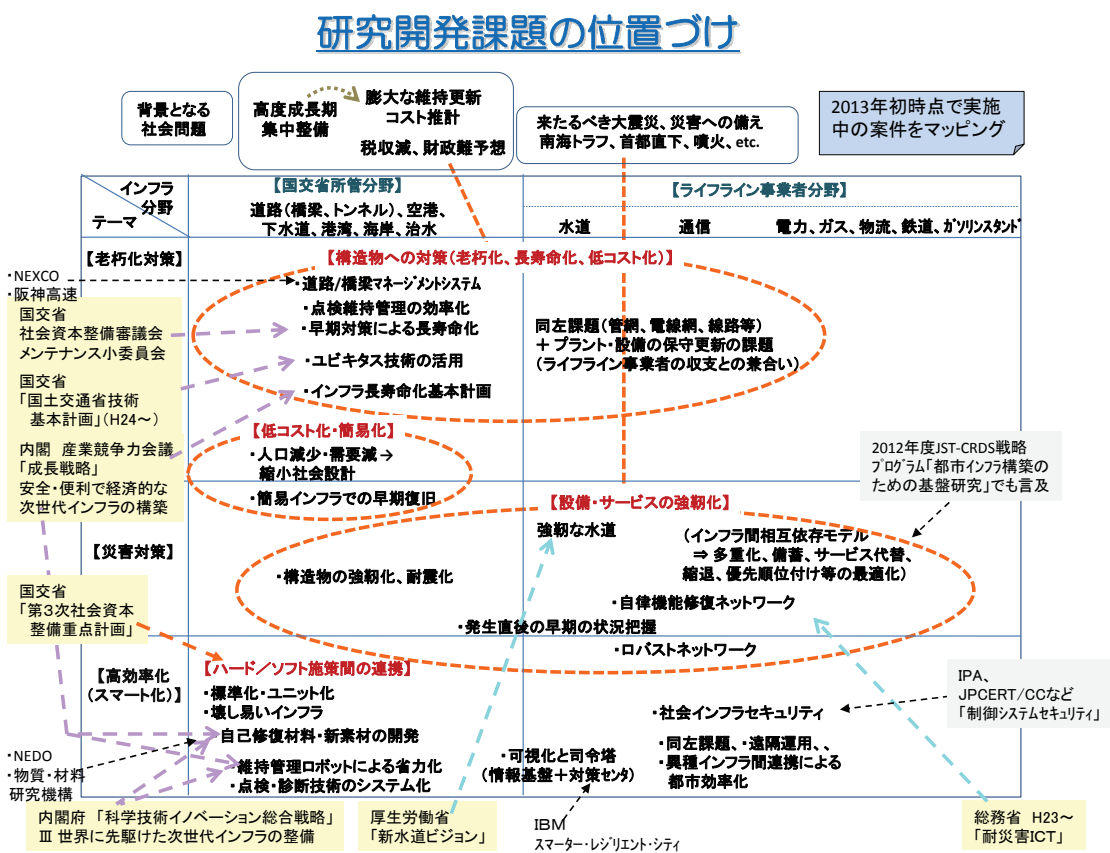
これらの提言や研究開発項目は、平成25年度に本提案書を纏めるにあたって、多くの有識者にヒアリングした際にも、ほぼ同様の内容が指摘された。このことは我々の調査・分析結果の正しさを示しているとは言えるものの、他方で社会インフラのメンテナンスをとりまく状況が、10年前から大きくは改善されてないことの証左でもある。

これらの取り組みが進められる中、平成24年12月に笹子トンネル天井板落下事故が発生し、9名もの尊い命が犠牲になった。基幹的なインフラにおいて、このような非常に深刻な

¹³ 平成24年度国土交通白書

事故が起きたことは、過去になされた課題の認識や、提言の方向が間違っていないのならば、それらを実施するために何かが障害になっており、また、何かが見落とされているということである。では、そのような障害を取り除く、あるいは回避するためにはどのような方策が必要か。さらに、どのような課題や取り組みが見落とされていたか。また、10年間の科学技術の進歩や社会の変化の影響などを考慮しつつ、さらなる課題の深掘りと、それらを解決するための、より具体的で実現性の高い方法にまで踏み込まねば、新たに戦略プロポーザルを提案する意義は少ないと言える。

【2013年頭までに実施された主な取り組み】



国土交通省

社会資本整備審議会 メンテナンス小委員会

http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s201_menntenannsu01_past.html

国土交通省

「国土交通省技術基本計画」(平成24年~)の概要

<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/13/131121/03.pdf>

内閣 産業競争力会議 「成長戦略」 安全・便利で経済的な次世代インフラの構築

http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/housin_honbun_140124.pdf

国交省 「第3次社会資本整備重点計画」

http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000003.html

内閣府 「科学技術イノベーション総合戦略」 Ⅲ 世界に先駆けた次世代インフラの整備 P25

<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/honbun.pdf>

厚生労働省 「新水道ビジョン」

<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/newvision/index.html>

IBM スマーター・レジリエント・シティ

<http://www-06.ibm.com/innovation/jp/smarterplanet/resilientcity/index2.shtml>

総務省 平成23年～「耐災害ICT」 耐災害ICT研究センター

<http://www.nict.go.jp/reict/index.html>

IPA、JPCERT/CCなど「制御システムセキュリティ」 制御システムセキュリティセンター

<http://www.css-center.or.jp/>

2011年度戦略プログラム 総合サービスシステムとしての都市インフラ構築のための基盤研究

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2011/SP/CRDS-FY2011-SP-06.pdf>

【2013年以降の主な取り組み】

笹子トンネル事故の発生から間もない平成25年1月21日、国土交通省は「社会資本の老朽化対策会議」を設置し、直近に実施すべき緊急点検やインフラの長寿命化計画の作成などを盛り込んだ、3年間の工程表を「社会資本の維持管理更新に関し当面講ずべき措置」としてまとめた。ここで定められた長寿命化計画を核とし、本格的なPDCAサイクルへ移行するための施策を現在実施中である。また、上述の社会資本メンテナンス戦略小委員会においても、平成25年1月30日には、事故を契機とした緊急提言を行い維持管理・更新に関する様々な課題に対し、今後目指すべき戦略的な維持管理・更新に関する基本的考え方及び国土交通省等が取り組むべき施策をとりまとめ、同年5月30日に中間答申を、同年12月に最終的な答申を行った。この答申には、同省が管理する道路やダムなどのインフラ10分野の維持管理・更新費の将来推計が示された。平成25年は年間で3.6兆円、これが10年後には1.4倍の4.3兆～5.1兆円に増え、20年後以降には4.6兆～5.5兆円となり、今後50年間で、217兆円～252兆円と試算されている。

また、同年10月4日には、政府全体の取組として、「インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議」が設置され、翌11月29日には、国民生活やあらゆる社会経済活動を支える各種施設を幅広くインフラとして対象とし、戦略的な維持管理・更新等の基本的な方向性を示すために、「インフラ長寿命化基本計画」がとりまとめられた。ここには、「点検・診断／修繕・更新等」「基準類の整備」「情報基盤の整備と活用」「個別施設計画の策定・推進」「新技術の開発・導入」「予算管理」「体制の構築」「法令等の整備」の8項目に関して、平成26年度から平成32年度の行動計画が示されている。

各府省庁は、本基本計画に基づき、「インフラ長寿命化計画」(行動計画)及びこれに基づく「個別施設毎の長寿命化計画」を策定し、国を始め、地方公共団体や民間企業等の様々な

インフラの管理者等が一丸となって戦略的な維持管理・更新等に取り組むことにより、国民の安全・安心の確保、中長期的な維持管理・更新等に係るトータルコストの縮減や予算の平準化、メンテナンス産業の競争力確保の実現を目指している。

また、企業団体である産業競争力懇談会（COCN）も、平成 24 年度の「レジリエントエコノミーの構築」プロジェクトの一項目である「ヘルスマonitoring技術と実装」において、膨大な量のインフラを効率的に点検・診断するために、ヘルスマonitoring技術の活用が有効であることを提言した。また、本提言をより現実的なものとするために、翌年度の「インフラ長寿命化技術」プロジェクトにて、インフラ維持管理においてアセットマネジメントを適切に運用する必要性を示すとともに、「劣化予測技術の向上のために必要なモニタリング・ロボットなどの技術開発」、「インフラ長寿命化とライフサイクルコスト低減を目指した補修技術の開発」、「インフラ維持管理市場を形成するために必要な仕組みに関する提言」を行った。

平成 26 年度に始まった内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）は、府省や分野の枠を超えた横断型プログラムによって、我が国の重要な課題の解決を図る、新しい取り組みである。基礎研究から実用化・事業化という出口までを見据え、規制・制度改革や特区制度の活用等も視野に入れて推進するところに特徴がある。SIP の 10 個の課題の一つとして、「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」が取り上げられ、府省連携による研究開発計画が示されている。

維持修繕費の急激な高まりが懸念される。厳しい財政状況や熟練技術者の減少という状況において、事故を未然に防ぎ、予防保全によるインフラのライフサイクルコストの最小化を実現するためには、新技術を活用しシステム化されたインフラマネジメントが必須である。特に世界最先端の ICT を活用した技術は、従来のインフラ維持管理市場に新たなビジネスチャンスを生むと共に、同様な課題に向き合うアジア諸国へのビジネス展開の可能性を生む。

これらの実現のために、本研究では維持管理に関わるニーズと技術開発のシーズとのマッチングを重視し、新しい技術を現場で使える形で展開し、予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現させることを目指す。これにより、国内重要インフラを高い維持管理水準に維持するだけでなく、魅力ある継続的な維持管理市場を創造すると共に、海外展開の礎を築くことを目指している。

国土交通省

社会資本の老朽化対策会議

http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_mn_000006.html

社会資本の維持管理更新に関し当面講ずべき措置

http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_mn_000009.html

インフラ長寿命化基本計画

http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_mn_000010.html 内閣官房

内閣官房

インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議

http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/infra_roukyuuka/

インフラ長寿命化基本計画

http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/infra_roukyuuka/pdf/houbun.pdf

内閣府

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)

<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>

SIP インフラ維持管理・更新マネジメント技術 研究開発計画

http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/7_infura.pdf

産業競争力懇談会 (COCN)

レジリエントエコノミーの構築

<http://www.cocn.jp/common/pdf/thema56-L.pdf>

インフラ長寿命化技術

<http://www.cocn.jp/common/pdf/thema59-L.pdf>

2) 社会インフラ研究への海外ファンディング

災害対策、ヘルスマニタリング等数件を調査した。米国では、ハリケーン被害の影響か、防災対策の包括的なプログラムが走っている。老朽化対策は日本より 20 年以上先行しているはずだが、依然高度モニタリング技術開発のプログラムを進めている。欧州では、鉄道、道路など個別分野で専門的な老朽化対策プロジェクトが組まれている。

・ファンディング事例

①米国 NSF

プログラム名 : Resilient and Sustainable Infrastructures

http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13545&org=CMMI

期間 : 2009 年～

規模 : 数十億円 (大学向け、5 サブプログラム)

概要 : The Resilient and Sustainable Infrastructures Cluster supports research to advance fundamental knowledge and innovation for resilient and sustainable civil infrastructure and distributed infrastructure networks. (サブプログラム Infrastructure Management and Extreme Events (IMEE)では、地震、ハリケーンなど大規模災害対応の研究、社会・経済含めた分野連携、インフラ間相互依存性分析、脆弱性・リスクの低減等)

個別プロジェクト例

Measuring Social Vulnerability - Reducing Uncertainty and Validating Indicators

Principal Investigator: Christopher Emrich; Organization: University of South Carolina at Columbia; Award Date: 08/15/2013; Award Amount: \$174,000.00;

Development of a Quantitative Model for Measuring Regional Economic Resilience to Hurricanes, Principal Investigator: Daan Liang; Organization: Texas Tech University; Award Date: 09/01/2010; Award Amount: \$278,726.00;

②米国 NIST

プログラム名 : Advanced Sensing Technologies for the Infrastructure: Roads, Highways, Bridges and Water Systems (Technology Innovation Program の一環)
http://www.nist.gov/public_affairs/releases/20090106_tip_award_announce.cfm
http://www.nist.gov/tip/prev_competitions/upload/cnn_white_paperfinal.pdf

和文解説 <http://www.nedo.go.jp/content/100105718.pdf>

期間 : 2009 年から 5 年間

規模 : 総額 \$ 88.2million (企業向けマッチングファンド)

概要 : new, efficient, accurate, low-cost and reliable sensors and related technologies that provide quantitative assessments of the structural integrity or degree of deterioration of bridges, roads, water mains and wastewater collection systems

③欧州 FP7

プログラム名 : MAINLINE (MAINtenance, renewal and Improvement of rail transport iNfrastructure to reduce Economic and environmental impacts)
http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_RCN=12231510

期間 : 2011 年～2014 年

規模 : 300 万ユーロ

概要 : (1)Apply new technologies to extend the life of elderly infrastructure. (2)Improve degradation and structural models to develop more realistic life cycle cost and safety models. (3)Investigate new construction methods for the replacement of obsolete infrastructure. (4)Investigate monitoring techniques to complement or replace existing examination techniques. (5)Develop management tools to assess whole life environmental and economic impact.
すべて鉄道向け

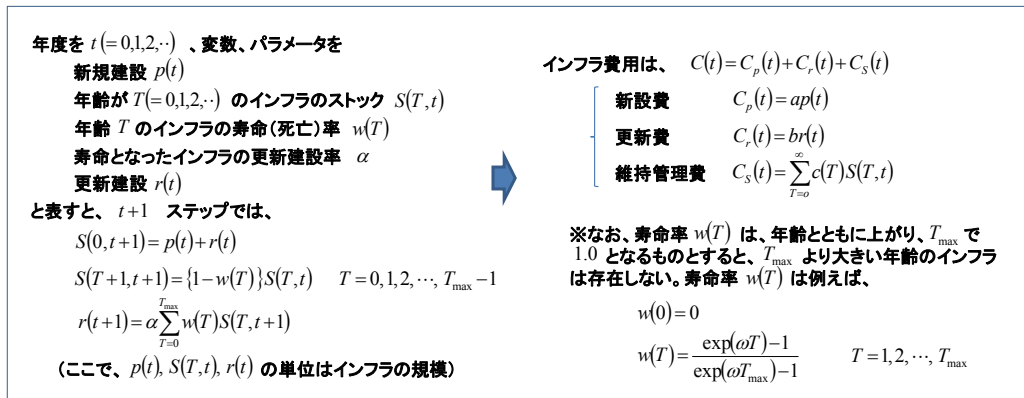
付録3. ライフサイクルアプローチに基づく課題達成効果の推定

ライフサイクルアプローチは、社会インフラの建設、維持管理、更新の時間的狀態遷移をモデル化し、膨大なインフラ群について、将来にわたっての社会的負担と効用の分析を行おうとするものである。本アプローチは、維持管理そのものの計画管理業務ばかりでなく、インフラの研究開発戦略の検討にも有用であると考えられる。すなわち基礎研究（例えば、インフラの自動点検ロボット、コンクリートの自己修復材料など）や、技術開発（例えば、老朽化予測シミュレーション、ビッグデータ分析など）が、解決に向けどのような効果をもたらすか、定量性も含めて検討するのに役立つ。

ライフサイクルアプローチをどのように研究開発戦略立案で用いるかは、実際のプロジェクトごとに検討すべきものであるため（4章時間軸）、ここでは簡単なイメージのみを示す。

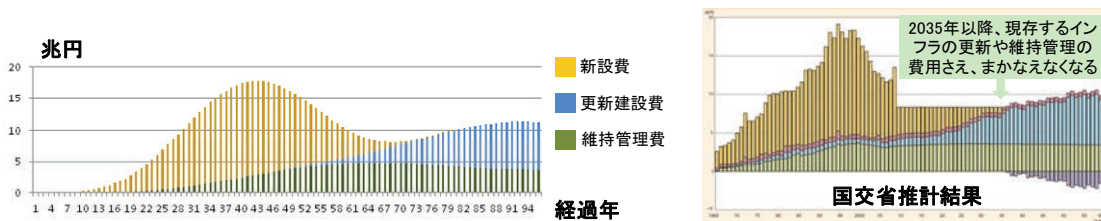
1) 簡易モデルによる社会負担の予測

簡易モデルでは、年度ごとのインフラ費用を、新設費、維持管理費、更新費の総和とし、下図に示すように、インフラは建設からの経過年数によりある確率分布で寿命に達し更新建設が行われ、また維持管理費は経過年数が進むほど高くなるものとする。



付録図1 ライフサイクル簡易モデル

簡易モデルのパラメータ（平均寿命、各費用単価など）を、下図（b）に示す国交省の実績および推計データに合せ込んだモデルにより、社会負担を予測した結果を下図（a）に示す。なお、劣化予測・寿命モデルの精緻化、インフラ種類（橋梁、トンネル等）別や地域別へのモデルの分解等は、目的に応じ行うことになる。



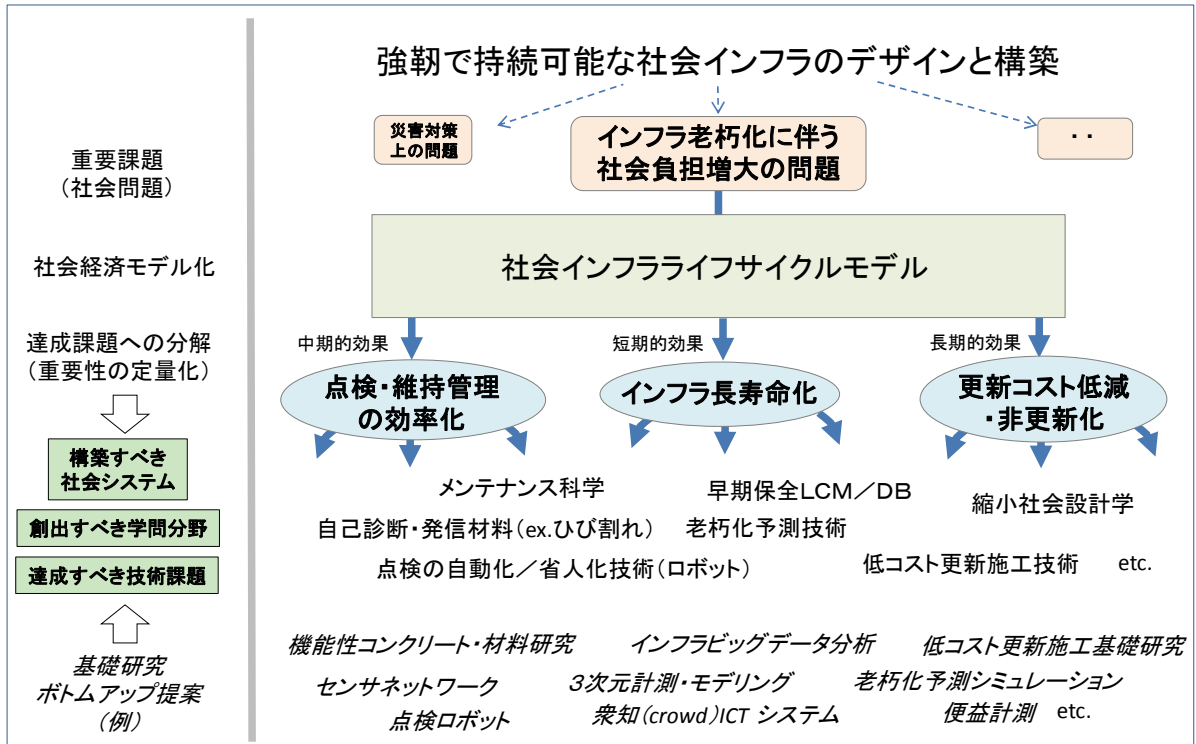
(a) 簡易モデルによる社会負担の予測

(b) 既存実績／推計結果

付録図2 モデルによる予測と既存推計データへの合せ込み

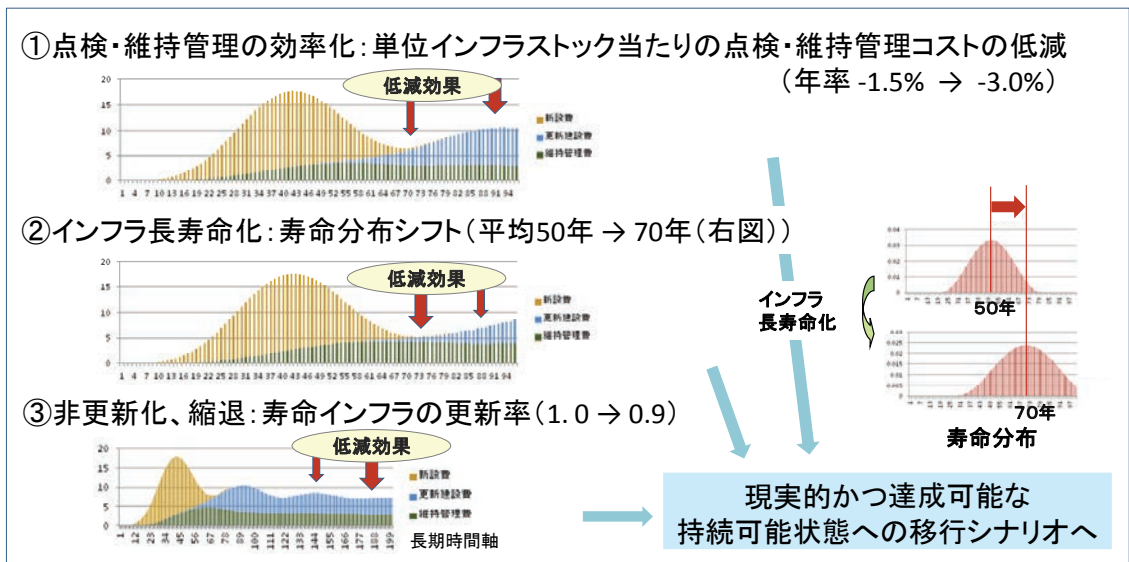
2) 問題解決へ向けての課題の分解

インフラの負担増大の問題は、解決に向け下図のようにいくつかの課題に分解できる。



付録図3 課題の分解と基礎研究との対応付け (イメージ)

3) 課題達成効果のライフサイクルモデルによる推定



付録図4 課題達成効果のモデルによる推定

以上のように、ライフサイクルアプローチは社会インフラの維持管理そのものの計画管理業務ばかりでなく、社会インフラの問題解決に向けた基礎研究へのファンディング戦略検討、課題設定、効果推定においても有効であると考えられる。

付録4. 専門用語説明

社会インフラ

国民の福祉の向上と経済の発展に必要な、公共的なサービスを提供する施設や構造物。本稿においては、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として、鉄道・道路などの交通・物流設備、電気・ガス・水道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。

統合マネジメントシステム

社会インフラの計画から廃棄までのライフサイクルと、そこで生じるデータや情報などを統合的に管理し、設計、構築、運用、検査、保守・修繕、再構成などの業務を効果的・効率的に実施するための支援システム。

アセットマネジメント

資産（アセット）を効率よく運用（マネジメント）するための管理方式。インフラ資産の状態を客観的に把握・予測し、長期的視点でライフサイクル全体にわたっていつどのような対策を行うかを計画する。寿命の延長、より効率的な利活用、および合理的な統廃合などによって無駄をなくし、結果的に更新時期の平準化と費用の最小化を図ることが可能となる。

劣化予測モデル

インフラの経年劣化がどのように進むかのモデル。ひび割れや腐食等々の物理的モデルとともに、劣化レベルがどのように時間とともに進み寿命に至るかを、マルコフ推移確率等を用いて表した統計的モデルがある。

メンテナンス科学技術

メンテナンス科学とは、メンテナンスに係る汎用的な理論、および一般化／共通化された学問的手法などを意味する。

メンテナンス業務は、その重要性を強く認識され、関心を持たれながらも、その生産性は低く、技術的体系化も遅れており、さらに独立したディシプリンも存在しない。現状では、メンテナンス工学はまだ知識の寄せ集めの段階であり、概念間の理論体系が十分に確立されていない。しかし、メンテナンス業務を支える人間に共通な知的行為やメカニズムは存在していることから、メンテナンス工学がさらに成熟し、理論の体系が単なる法則の寄せ集めでなくなった時に、メンテナンス科学も新しいディシプリンとして確立されることは間違いであろう。

付録5. 「社会的期待・邂逅」発の課題を実現する3階層アプローチ

社会的期待・邂逅プロセスから導かれた課題から、本戦略プロポーザルを作成するにあたり、次のような3階層のアプローチで、検討を深めた。本手法はあくまでも一例と考えるが、広範な課題から、具体的な研究開発テーマへと詳細化する際の手順な考え方の参考になると幸いである。なお、3つの階層のネーミングはCRDSの吉川センター長による。

1. 上位層（社会層）：ビジョン

課題が解決された、目指すべき理想的な社会像。本プロポーザルでは、社会インフラを強靱で持続可能とするための、社会インフラのメンテナンスの新しいパラダイムや、官学産民の連携や制度改革などの多面的な要素で構成される、総合的で広範な社会像となる。

2. 機能層（バイディング層）：シナリオ

システムの各構成要素で、どのようにリソースを有効活用し、ビジョンを具体的に実現するかのシナリオ。本プロポーザルでは、不足している「人材」、「予算」、「情報」をいかに獲得し、補い合い、あるいは活用するかを掘り下げた。

3. 価値層（物理層）：研究開発テーマ/推進方策

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である。

このうち、機能層（バイディング層）として、次世代社会インフラのビジョン実現のためのシナリオを、より現実的な対応策として具体化するために、例えば以下のような検討を行った。

- ・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、官産学民のあらゆる活動を、インフラの管理と強靱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：
 - ベ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、収集可能なあらゆる「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、ベテランの技能や一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「人材」、「予算」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。

■戦略プロポーザル作成メンバー■

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)
富川 弓子	フェロー	(システム科学ユニット)
本間 弘一	特任フェロー	(システム科学ユニット)
緒方 寛	フェロー	(環境・エネルギーユニット)
馬場 寿夫	フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)
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-FY2014-SP-02

戦略プロポーザル

課題解決型研究開発の提言(2)

強靱で持続可能な社会の実現に向けた 統合社会インフラ管理システムの研究

STRATEGIC PROPOSAL

Proposal for Issue-driven Research and Development II

Research on integrated social infrastructure management system toward the realization of a tough and sustainable society

平成 26 年 6 月 June 2014

ISBN978-4-88890-403-2

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

許可無く複製／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.

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTCGCC AATTAATA

TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA CCTAACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

0011 1110 000

0100 11100 11100 101010000111

001100 110010

0001 0011 11110 000101

