CRDS-FY2007-SP-02

戦略プログラム

社会インフラの劣化診断・寿命管理技術

平成19年4月

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

戦略イニシアティブ：

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム：

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト：

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

エグゼクティブサマリー

社会インフラの劣化診断・寿命管理技術とは、道路・橋・鉄道・電気・水道など国民の生活を支えるライフラインや、大型施設や産業プラントなど社会活動に大きな影響を持つと共に、万一事故が起こると市民に重大な被害が生じる施設・設備について、経年劣化の計測、診断により余寿命を評価して保守・補強・更新計画に反映させるとともに、損傷・破壊の兆候を常時監視により早期に検知して安全を確保する技術である。

この技術は、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ーとデータ処理に関する技術、劣化現象モデル、破損限界評価モデルおよびそれらを組み合わせ稼動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、センサーの配置最適化技術、データ通信・処理技術からなる。劣化現象モデルや、劣化の結果としてその施設・設備が損傷・破壊するかどうかを判定する破壊限界評価モデルなどの要素となる技術の一部は個別に開発されてきているが、全体として信頼度の高い寿命予測や損傷・破壊の検出のためには不十分な要素技術の開発・高度化を、フィールドで得られるデータも生かしつつひとつのシステムとして進める必要がある。

社会インフラを長期間安全に使用するためには、劣化の種類、場所、程度を正確に計測、診断し、損傷の発生する時期を精度よく予測することが重要であり、従来の対象別の経験的な検査・診断技術に代わり、劣化現象・要因解明に遡った技術開発が必要となる。

高度経済成長期に形成した社会インフラが高経年化しつつある。供用年数の長い社会インフラは予期しないときに損傷、破壊が起こる可能性が高く、国民の人命や財産に多大な被害をもたらす恐れがある。また、事故に至らずとも、生活の利便性を失うことが多々ある。早期に網羅的に補修・更新すれば、劣化損傷を防ぐことができるが経済的負担が大きい。また、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。維持・管理の技術的業務は民間に委託している場合が多いが、民間会社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である。開発される技術は横断的にさまざまな産業へ応用されることも期待される。

本プロポーザルを国が主導して実行することにより、早期に損傷・破壊の兆候を検出して事故を回避することや、精度良く余寿命を診断して寿命に達したもののみを合理的に補修、更新することが可能となり、安全性の向上と社会の経済的負担の

軽減に寄与することができる。また、劣化の計測、診断といった要素技術、劣化メカニズムのモデル化が進展し、直接測定が困難な環境下における劣化現象も予測可能となる。

目　次

1 提案の内容 …… 5

2 研究投資する意義 …… 7

3 具体的な研究開発課題 …… 8

4 研究開発の推進方法 …… 11

5 科学技術上の効果 …… 12

6 社会・経済的効果 …… 13

7 時間軸に関する考察 …… 16

8 検討の経過 …… 17

1. 提案の内容

社会インフラの劣化診断・寿命管理技術とは、道路・橋・鉄道・電気・水道など国民の生活を支えるライフラインや、大型施設や産業プラントなど社会活動に大きな影響を持つと共に、万一事故が起こると市民に重大な被害を生じる施設･設備について、経年劣化を監視、検査、診断し、損傷・破壊の兆候を早期に検知するとともに、余寿命を評価して保守・補強・更新計画に反映させ、安全かつ合理的に長期使用を可能とする技術である。

日本の社会インフラは、現在世界でも有数のストックを有しているが、高度成長期を中心に建設され、既に 20 年ないし 30 年以上経過したものが多く、今後これらの劣化が大きな社会リスクとなる。社会インフラの更新には膨大な費用を要するため、合理的に維持管理しながら安全を確保しつつ長期間使用することが求められる。

社会インフラを長期間安全に使用するためには、劣化の種類、場所、程度を正確に計測、診断し、損傷の発生する時期を精度よく予測することが重要であり、従来の対象別の経験的な検査・診断技術に代わり、劣化現象・要因解明に遡った技術開発が必要となる。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。維持・管理の技術的業務は民間に委託している場合が多いが、民間会社が個別に上記のような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である。開発される技術は横断的にさまざまな産業への応用も期待される。

本プロポーザルでは、社会インフラを構築する施設・設備・機器の劣化・損傷を非破壊で計測・診断するためのセンサーとその信号を処理するためのデータ処理技術、劣化モデルならびに破損限界モデル、およびそれらから稼動時の負荷や地震等の外力を考慮して余寿命を予測する技術、劣化の程度と損傷・破壊の兆候を常時モニターする技術とモニター配置最適化技術、データ通信と処理技術を提案する。計測法については、テラヘルツ波や超音波トモグラフィなど、様々な新しい技術が研究されてきている。これらをベースに現場の大きな部材を対象とした非破壊計測法の開発が期待できる。劣化現象のモデルや、劣化の結果としてその施設・設備が損傷・破壊するかどうかを判定する破壊限界評価モデルなどが個別に開発されてきている。しかし、全体として信頼度の高い寿命予測や損傷・破壊の検出を実現するためには、個別の要素技術の開発だけでは不十分である。図 1 に示すようなシステムを開発･構築するとともに、フィールドにおける実証を通じてさらに要素技術を開発・高度化し、順次更新していくことが必要である。

背景：　社会インフラの高経年化→ 事故リスク増大
ストック型社会での負担増大

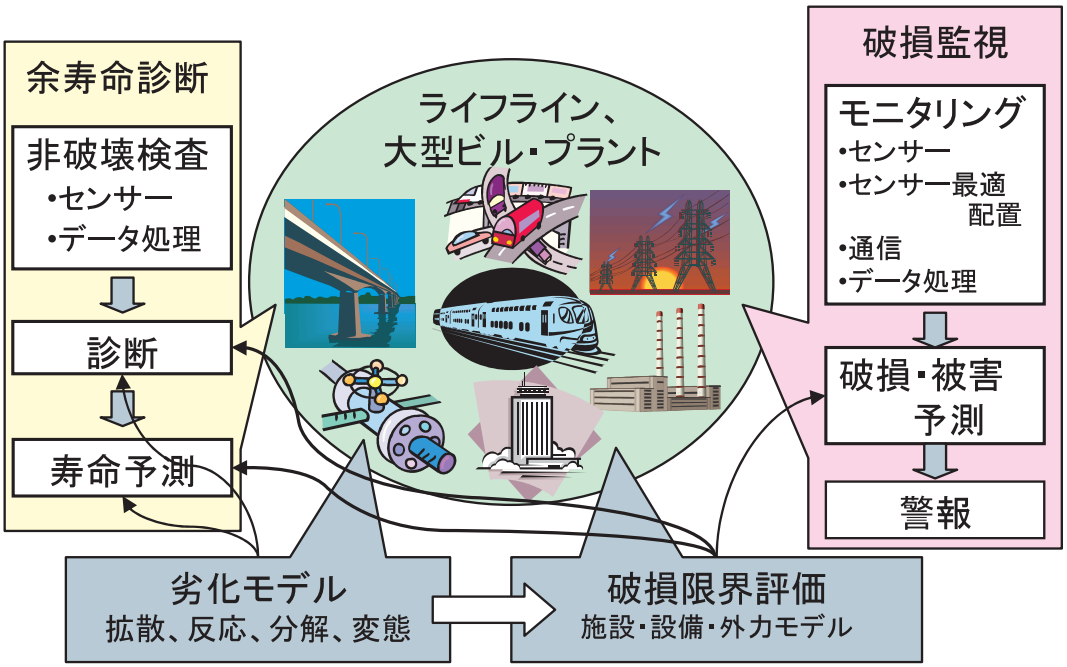


図１　社会インフラの劣化・寿命管理システム

2. 研究投資する意義

劣化要因を考慮した社会インフラの検査・診断および監視の基礎技術を開発することによって、以下の効果が期待できる。

安全性の向上

日本のインフラは高経年化したものが多くなってきており、現に経年劣化に起因する事故や故障が近年急増している。本プロポーザルを実行することにより、高い精度で余寿命が推定可能となるとともに、損傷や破壊の兆候が早期に検出可能となり、事故の発生を抑止し、国民の人命や財産を保護することができる。

管理費用の低減

早期に設備を網羅的に補修・更新すれば事故は防げるが、そのための経済的負担が増加する。精度良く余寿命を診断することにより必要なもののみの補修、更新が可能となるとともに、長期的な補修、更新計画を合理的に立案することが可能となり、経済的負担が低減できる。

投入資源・廃棄物の削減

設備を本来有する寿命まで有効に利用すること、および計画的な補修、更新が可能となることにより、投入する資源および廃棄物を最小限にすることができる。

資産管理の合理化と新ビジネスの創出

中古設備の資産価値の評価や、設備・機器の補修更新計画を合理的に行えるようになり、新しいサービスビジネスの立ち上げが期待できる。

製品開発・設計プロセスの革新

劣化メカニズムに基づいた合理的な寿命設計および、精度の良い加速試験方法が開発でき、寿命評価試験の短縮、および製品のコスト低減が期待できる。

劣化研究の高度化、迅速化

劣化モデルと In-situ 非破壊計測技術を結合した新たな劣化診断システムが構築でき、それらをフィールドに適用することにより、複雑な要因を持つ大型構造物の劣化モデルの改良、劣化要因の解明、劣化抑制技術の開発などの研究がさらに進展する。

極限環境下での劣化予測技術

劣化モデルの活用により、直接計測が困難な高圧・高温・放射線・高電界下など、極限環境下での劣化現象の把握が可能になる。

3. 具体的な研究開発課題

本プロポーザルで提案する具体的な研究開発課題は、以下のものである。

3.1. 鉄筋コンクリート(建設・土木関連資材等)の劣化計測、診断、寿命管理技術

■ 大型コンクリート構造物中で劣化変状の発生位置を非破壊で検知する技術の開発

- 構造物の広い部位から劣化箇所を推定する手法の開発とその有効性および検査可能な条件の定量的評価。
- 上記推定箇所における微小劣化の位置を 3 次元的に決定する非破壊検査技術の開発。

■ 上記構造物の余寿命を正確に推定する技術の開発

- 複合劣化条件における劣化のモデル化とそれに基づく余寿命を正確に診断する手法の開発。

社会インフラのコンクリート構造物は、一般にその規模が大きく、診断には莫大な時間、労力、資金が必要である。現状の構造物よりサンプルを取得する、いわゆるコア抜きは破壊検査であるばかりか、大面積の構造物から局所のサンプルを取得して全体を推定評価しているため、サンプル採取箇所の特定が課題となっている。微小劣化箇所の位置を検出するには、温度分布を赤外線により測定する手法が唯一検討され始めた段階である。また、非破壊の検査方法として、現場で用いることのできる X 線検査も開発されているが、精度や放射線による人体被爆の問題があり、テラヘルツ波や超音波トモグラフィなど人体への悪影響がなく、高い透過性と高い精度を有する劣化診断技術の開発が考えられる。

また、現状、中性化、塩化物浸入、アルカリ骨材反応といったいくつかの劣化のメカニズムが研究されており、これに応じた鉄筋の電位測定やコアの機器分析手法はある程度確立してきているが、複合的な劣化も考慮した、より高精度な余寿命予測を非破壊で行う技術の開発が求められる。さらに、周辺環境の詳細なデータが必要であり、測定の自動化を導入する必要がある。

3.2. 有機材料、複合材料（防錆・塗装等）の劣化計測、診断、寿命管理技術

■ 防錆や美観景観に資する塗装あるいは、構造物の一部として使用される高分子部品類のウエザリングの解明と抑制技術の開発

- 単波長、もしくは高度に波長を制御した光源を用いる光劣化促進試験技術の開発とその試験結果に基づく詳細な光劣化機構の解明。
- 上記メカニズムに基づく劣化抑制と寿命設計技術の開発。

■ 配管、貯槽等に用いられる FRP（繊維強化プラスチック）の劣化診断技術の開発

- FRP 等の複合材料における劣化のモデル化と、それに基づく非破壊劣化診断技術の開発。
- 上・下水道、ガス導管といったライフラインで用いられる既存管内部でライニングする、いわゆる更正修理や補強に用いられる高分子材料の劣化のモデル化と余寿命評価手法の開発

社会インフラとして用いられる鋼構造物の多くは塗装により防食と美観・景観が維持されており、その劣化による塗り替え等のコストは多大なものである。光劣化のメカニズムは、古くから研究されてきているテーマではあるが、高分子材料の劣化については未知な因子が多い。このメカニズム解明のためには、材料ごとに特定の波長を照射することを必要とするが、高分子劣化研究に使用できる分光施設は岡崎の（独）自然科学研究機構の大型分光装置に限られる。また、耐候性のような複合的な劣化機構を評価する手法は決定的なものがなく、さらに暴露試験は多大な費用を要する。このような状況を鑑み、高分子材料の光劣化について波長分光照射ができる大型分光装置による暴露試験に基づいた劣化機構解明を目指すべきである。

また、高耐食性であるFRP製のパイプやライニング機器がライフライン配管や貯槽で使われ始めている。例えば下水道ではコンクリートの硫化水素による劣化を防止するための補修・防食に樹脂ライニングが用いられている。ガス導管についても道路を掘らずに耐食性の付与や補強を行う目的で同様の材料が多用されている。したがって、これらの材料の劣化についても、ライフライン確保、産業機器の安全運転の観点から重要である。これらFRPを中心とする耐食用途有機材料の劣化診断技術について、特に非破壊での手法を確立すべきである。

3.3. 金属（橋梁等鋼製構造物、地下埋設管等）の劣化計測、診断、寿命管理技術

- 埋設・被覆状態の配管を検査する技術の開発
  - 地下埋設管を掘削せずに腐食・欠陥の位置と大きさを検査する技術の開発
  - 被覆保温材下の配管の劣化を検査する技術の開発
- 構成材料の劣化が大型構造物、産業プラントに及ぼすリスクを最小限にするための設備保全手法の確立
  - 構造物のリスク低減に有効な検査箇所、検査物理量を明らかにする手法と、有効な検査技術の開発
  - 対象構造物における劣化損傷モードの網羅的解明手法と、材料劣化モードに立脚した損傷確率評価手法の開発
  - 酸化皮膜形成のモデル化と寿命管理技術の開発

上下水道、ガス管のようなライフラインの多くは地下埋設管であり、これらを掘削せずに検査あるいは補修することができると、費用削減や工期短縮だけでなく、交通渋滞などの社会生活への影響を最小限にすることが可能となる。最近アセット管理という視点から、ライフラインのリスク評価や、総合的な管理の手法が注目されてきているが、検査手法との組み合わせによってより信頼性の高いライフラインを構築することとなる。

欧米では、石油精製プラントを中心として、損傷･破壊リスクを低減させるように、限られた資金、人材、期間を有効に利用するリスクベースメンテナンスが手法化され、設備の検査および保全の計画、実行に使われ始めている。保守保全に多大な経費、人材、期間を要し、かつ一旦事故となった場合の被害が大きい高層建造物や産業プラント設備については、その信頼性確保のため、このようなリスクに基づく保守保

全が必要である。しかしながら、日本では欧米とは異なる対象設備・機器や法環境があり、さらには日常、経験的ではあるが高度な保守が行われている。わが国に適用する場合は、そうした差異を考慮し、かつ日常保守の経験を生かしたリスクの評価が望ましい。

3.4. 絶縁材料（電気設備）の劣化計測、診断、寿命管理技術

- 発変送配電設備や、産業における重要な電気設備の絶縁劣化挙動のオンライン診断技術の開発
  - 部分放電や多くの高分子絶縁体に見られる電気トリー・水トリー、イオンマイグレーションなど、電気設備に使用されている材料に共通的に見られる劣化メカニズムの解明
  - 材料劣化メカニズムに立脚した科学的なオンライン診断を可能にするリアルタイム計測技術の開発と、産業現場で適用可能な計測装置の開発
- 電気設備の余寿命を推定する技術の開発
  - オンライン診断の結果から電気設備が安全に使用できる余寿命を精度良く推定する為の計算アルゴリズムの開発

我が国では、設備を止めたオフラインの状態で絶縁劣化状況を含む設備現状を定期的に診断し、設備を保守する事が行われてきており、このための診断・保守技術では、世界のトップグループにいる。ただし、運転停止による逸失利益や停止の為の予備設備の設置を含めた診断・保守の為の費用は膨大である。一方、中国等電力需要が急速に伸びている国では、電源余裕がなく運転を停止できず、オンライン診断せざるを得ないこともあり、オンライン診断の開発と普及活動は我が国より活発である。今後は我が国でも、診断・保守の信頼性向上や費用低減のためにも、オンライン診断の必要性が高まることは間違いない。

4. 研究開発の推進方法

社会インフラの劣化および劣化に伴う破損事故や計画外の操業停止は、国民生活に重大な影響を与えることから、企業では古くから一定の研究はなされてきたものの、それらは、個々の事象への対応といった側面が強く、多くの機器に共通的に見られる劣化の基礎的メカニズムを踏まえた科学的な研究がなされているとは言い難い。本プロポーザルで提案する基礎研究を広汎に推進するためには、従来の研究開発プロジェクトとは異なる方法が必要となる。

まず、実際に社会インフラとなる各種設備あるいは機器の保守を行っている土木・機械・電力系の技術者、管理者と、構成材料の材料科学を理解する材料あるいは化学分野の研究者、およびシミュレーションの研究者、さらには計測器開発の専門家が融合して研究することが必須である。このような融合によって初めて、科学としての材料劣化と現場における劣化の検出、診断、理解をすることができて、総合的に寿命を管理することにつながるものと考える。そのために、劣化研究の推進に適切な設備を具備し、研究者交流が促進される施設の設置を提案する。

また、ここで提案する劣化に関する研究を推進するためには、破壊や損傷に至ったデータだけでは不十分で、支障なく運用に供することができたというデータも必要であり、さらに使用環境や条件を網羅した、有効に使えるデータの蓄積が重要である。これらのデータが、異分野の研究者で共有できる環境を構築することが重要である。

5. 科学技術上の効果

非破壊あるいはオンラインで、例えば、コンクリート構造物、鉄骨等金属構築物、有機高分子材料の内部に生じる物理的化学的変化を計測する方法については、多くの原理が提案されている。しかし、これらの原理を、実際に設置された設備・装置や機器に適用して、設備や機器の劣化状態を推測し、余寿命を精度良く推定する技術は未確立である。この理由には、いくつかの要因が考えられる

- 供用中の状態で劣化を検出すべき部位にアクセスできる計測器がない
- 設備が大きすぎ、全体を十分カバーした計測ができない
- 劣化の進展の予測ができない
- どのくらい劣化したら損傷・破壊するかの診断ができない

本プロポーザルではこれらをカバーするために新たなセンサー、計測器の開発を課題の一つとしている。また、設備全体のシミュレーションと、限られた数のセンサーで得られる計測結果を用いて全体の劣化の程度を推測する技術も提案している。精度向上のため、既存の単純な劣化モデルに代わる、劣化の機構および実環境の影響を反映した劣化進展モデルを開発し、予測、診断の精度を向上することを目指す。さらに、破壊についても、設備全体を含む破壊力学モデルと、将来予想される地震等の荷重予測値を合わせて、破壊限界を予測する技術も開発する。これらの要素技術が進展し、実機器に適用可能な計測技術が開発されることにより、次の科学技術上の効果が期待される。

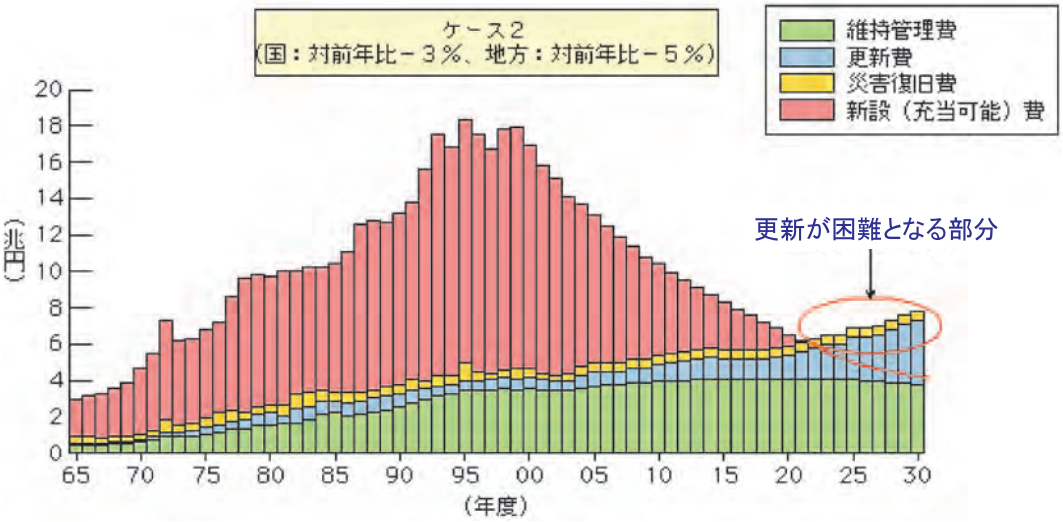
⑴　実環境下での劣化現象の把握、モデル化が進むことにより、「劣化メカニズムの科学的追求」（簡略表現として「劣化の科学」）へ貢献出来る。従来の劣化研究はモデル試料を用い、時間スケールを大幅に短縮した加速試験で行われている事が多い。高分子の光劣化・放射線劣化を例に取ると、このような加速試験では、試料内部への酸素の供給が十分に行われない為に酸化分解が進まず、逆に分子鎖間での架橋が生じ、かえって見かけ上物性値が向上して見えることすら起こり得る。よって、実環境下での劣化現象の把握は極めて重要である。

⑵　実際に設置された設備や機器の劣化状態を反映した材料の物理的、化学的変化を遠方より計測する技術が確立すれば、高圧・高温・放射線・高電界下など、悪環境下での劣化現象の把握が進む。すなわち、劣化を支配している物理量の広範な変化に対する劣化現象が明らかになることは、「劣化の科学」への貴重な貢献となる。

6. 社会・経済的効果

わが国の社会インフラは、図 6.1 に示すように多くが高度成長期を中心に形成され、供用年数が 30 年を超えるものが多くなってきた。それに伴い同図に示すように維持管理費の割合も高くなってきている。また、今後設計寿命を迎える構造物も多い。

供用年数の長い社会インフラ設備、構造物では予期しないときに損傷、破壊が起こる危険性が高まる。図 6.2 は高圧ガスを扱う産業設備の例であるが、近年事故が急増している。その要因は設備の寿命末期に現れる図 6.2 に示すバスタブ曲線の後半の立ち上がりに相当しているためと考えられる。図 6.3 は高圧ガス製造事業所の事故原因を分析した結果である。劣化、腐食がその最大の要因となっており、上記の推定を裏付けている。地震等の自然災害時にも、劣化していなければ耐えられるはずの荷重で損壊する可能性も増加する。



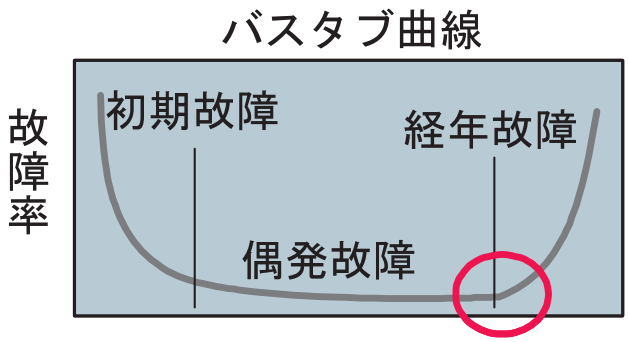
2005 年までは実績、以後は推計値

図 6.1　公共投資額の推計例（出典：平成 17 年度国土交通白書）

供用中、予期しないときに社会インフラの損傷、破壊が起こると人命や財産に大きな損害を生じる。十分な寿命を残して設備を補修、あるいは更新すればそうした事態は防げるが、そのための経済的負担は膨大なものになる。本プロポーザルの技術が開発されれば、精度良く余寿命を診断することにより寿命に達したもののみの補修、更新が可能になるとともに、予期しない損傷、破壊を検知し、対策することができる。

また各管理機関が、担当するすべてのインフラについて余寿命を計測、診断することによって、長期的な補修、更新計画を立案することが可能となる。大きい設備を補修、更新するには多額の投資が必要であり、十分な準備期間を持って資金計画や設備運用計画を立てる必要がある。設備の耐用年数は、その設備の使用環境、使用条件、保守の程度によって大きく異なるが、現状は合理的な余寿命評価手法が無く、あらかじめ定めた耐用年数で設備を更新するしかない。本プロポーザルによって科学的な根拠に基づき更新時期を決めることができれば、費用と資源の節約、ならびに廃棄物量の低減が可能である。

また、設備の資産価値を精度良く評価することができるようになる。本技術は公共設備だけではなく、企業や個人が所有する設備に関しても、余寿命を精度良く評価する助けとなる。従来の中古住宅や建築物の取引における取引価額の多くは築後年数や相場等を根拠として決められ、設備の保守の状態や実際の耐用年数は反映されなかった。しかし本技術により科学的な裏づけを持って設備の劣化の程度、余寿命を評価できることにより、中古の設備市場において、合理的な設備価値の評価が可能となる。



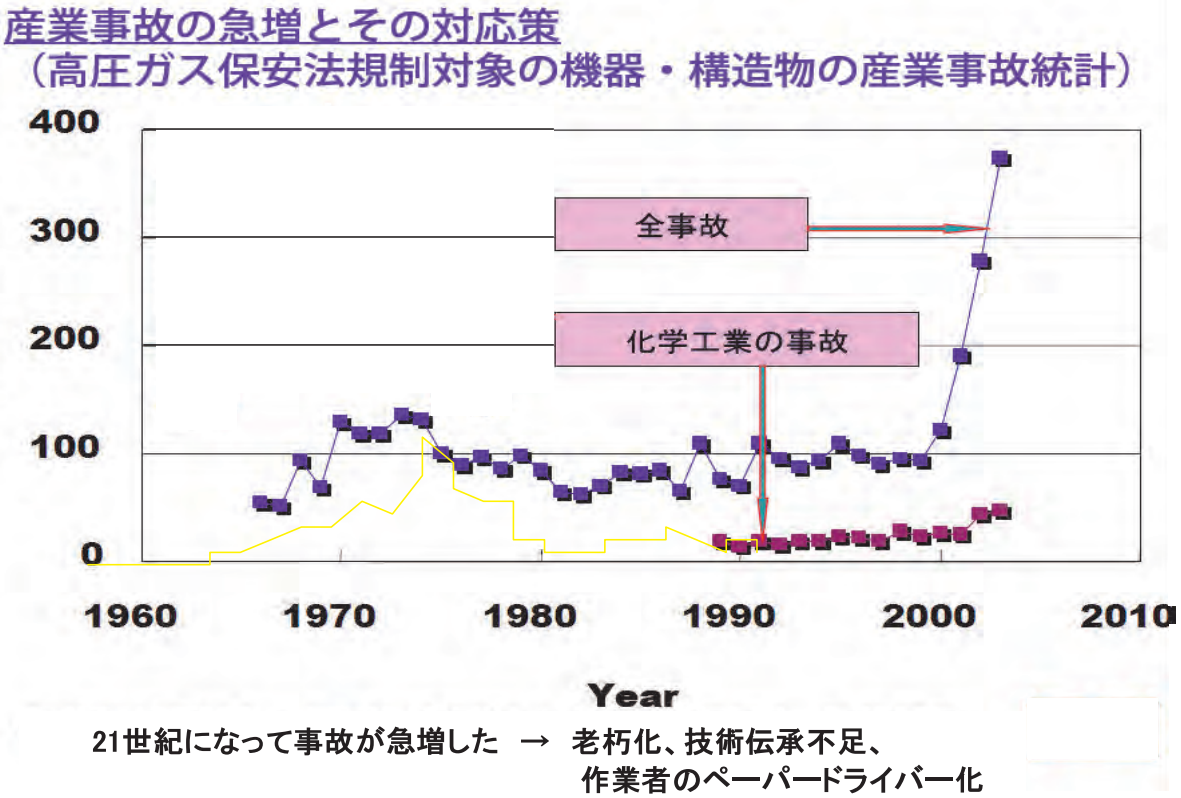


図 6.2　産業事故の傾向

（出典：平成 14 年度 高圧ガス保安法に係る事故対策調査検討、H15 年 7 月）

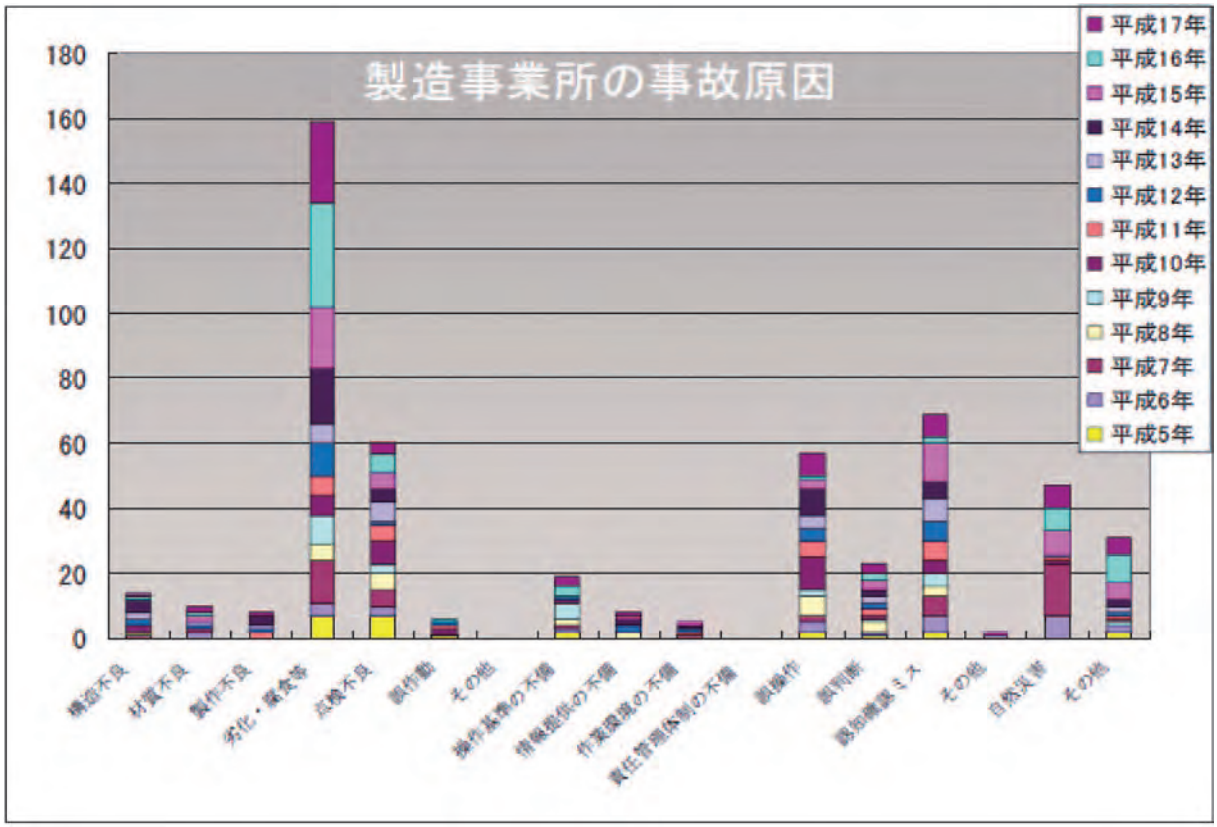


図 6.3　高圧ガス製造事業所の事故原因

（出典：高圧ガス保安協会 自主保安セミナー、H18 年 9 月）

7. 時間軸に関する考察

本プロポーザルで対象としている計測、診断、寿命管理技術を適用すべき社会インフラの多くは既に供用期間 30 年を超えている。今から開発に着手したとしても技術を適用できるのは数年後からであることを考えると、本研究は直ちに着手すべきである。

コンクリート構造物、プラント設備、地下埋設管、電気設備等の劣化を計測、診断する技術の開発に当っては、とりあえず既存の計測技術をベースとして全体としての余寿命診断システム（一次システム）を立上げるのと並行して、精度を確保するのに必要なセンサー、計測技術、劣化モデル等の開発、高度化を進め、前述のシステムにおける既存の要素を順次置き換える（二次システム）という二段階で進めるべきと考える。一次システムでも、ある程度の精度、例えば± 5 年位の予測精度で使えるものとし、最終的なシステムでは± 1 年の精度を目指す。この場合、一次システムを 4 年ないし 5 年で組み上げ、これと並行して開発した要素技術で 5 年目以降順次置き換えを進め、8 年～10 年くらいで高精度のシステム技術を完成することが望ましい。

研究開発の推進方法で提案する劣化研究のための施設の設置は、できるだけ早い段階とし、多分野の研究者交流を通じた劣化研究の融合を早期に開始すべきである。

また、寿命診断技術に先立って、内部の化学的・物理的あるいは構造的変化と、それによる損傷・破壊の兆候を早期に検出するオンラインモニタリング技術を 3 年から 5 年で開発し、危険部位の対策を実現するべきである。

8. 検討の経過

（1）俯瞰ワークショップ ―「劣化の科学」―[*1]

劣化にかかわる研究全体を俯瞰するため、久保内昌敏フェローがコーディネートして、平成 18 年 7 月 8 日に戦略ワークショップを開催した。本ワークショップは、新しい科学技術分野としての「劣化の科学」の成立性と重要性を確認すると共に、特に重要な課題を抽出するために開催された。俯瞰軸として劣化の原因、形態、関連する産業、材料、劣化により変化する性質等をとった俯瞰マップを作成し、その大部分をカバーできるように多様な構造・機能材料と、様々な環境、産業分野の組み合わせについて、劣化に関する計測、メカニズム、寿命予測、シミュレーション、モデル、材料開発、対策技術の専門家に参加いただいた。参加者を表 8.1 に示す。

表 8.1　ワークショップ参加者

氏名（敬称略）	所　　属	分　　野
天谷　　尚	住友金属工業㈱	微生物・バイオフィルム
内本　喜晴	京都大学大学院人間・環境学研究科	燃料電池
大木　義路	早稲田大学理工学部	絶縁材料
北田　正弘	東京藝術大学美術研究科	文化財・金属
倉内　紀雄	㈱トヨタ中央研究所	高分子・ポリマー
酒井　潤一	早稲田大学理工学術院教授	金属
高橋　武重	鹿児島大学工学部	触媒
辻川　茂男	東京大学	全体
西　　敏夫	東京工業大学大学院理工学研究科	エラストマー
益子　正文	東京工業大学大学院理工学研究科	トライボロジー
高久田和夫	東京医科歯科大学	生体・接着
宮川　豊章	京都大学大学院工学研究科	コンクリート
山崎　政義	㈱物質・材料研究機構	クリープ試験
山本　勝美	日揮㈱技術開発センター	化学プラント

セッション構成は以下の通りである。（（　）内は講演タイトル）

セッション 1：構造材の劣化（社会基盤構造物の劣化、化学プラントの劣化、微生物の影響による金属材料の腐食、トライボロジーにおける劣化）

セッション 2：高分子・複合材料の劣化（電気設備・絶縁材料の劣化、自動車用高分子材料の劣化、生体材料の劣化）

セッション 3：機能材の劣化（触媒の活性の劣化、燃料電池・電池の劣化、文化財の劣化）

[*1]「劣化の科学」俯瞰ワークショップ　報告書
（研究開発戦略センター報告書 CRDS-FY2006-WR-03、平成 18 年 8 月）

ワークショップに先立ち「劣化の科学」に対する戦略センター内外の意見を聞き、そこでの指摘・疑問等を参加者に提示して、全体で討論・検討し、ワークショップとして以下に示すような結論を得た。

社会・経済的意義

① 我が国における社会インフラや産業設備は、高度成長期からバブル期に建設、製造されたものが多く、より高度な劣化の抑制・防止技術の開発に投資する価値は十分にある。また、予期しない事故を未然に防止するという、安全・安心の観点からもこれら技術の高度化は重要である。

② 劣化した設備・機器等を更新するのに必要なエネルギー・資源・費用あるいは環境への負荷等を考慮すると、リスクに基づいて合理的に維持管理し、長期使用することが有効であり、このために劣化現象を科学的に理解することが求められている。

③ 合理的な保全技術は、省力化あるいはメンテナンスフリー化につながるため、ノウハウを有する団塊世代の大量退職に伴う労働人口減少への対策としても有効と考えられる。さらには科学的な根拠を伴う寿命診断や保全事業は新たな第 3 次産業として確立することも期待できる。

④ 我が国の優位分野である先端産業の新製品、新材料開発においても、劣化機構を理解し、いつどのような劣化が起き得るかを把握し、短期間でその寿命を評価する技術は、開発競争において大きなアドバンテージを与える。さらに、生体材料や生分解性高分子のように、劣化をうまく取り入れることを必要とする先端技術分野の課題も多数あり、劣化機構を充分に把握して制御する技術の応用先は広い。

⑤ 文化財の劣化対策に対して我国は必ずしも先行しているとはいえず、真の先進国として過去の貴重な財産の保護も重要な分野と考える。今後、単に産業基盤のみならず文化財保護も含めて、劣化を抑制する先端技術を整備していくことが強く望まれる。

新たな科学技術分野としての意義

⑥ 高度な計測技術、第一原理計算や、インフォマティックスの適用により、ナノレベルの劣化機構を破壊の物理化学的モデルとして解明することができる。

⑦ 複合的な効果も含めた多様な環境と材料の組合せに対し、劣化のメカニズムを解析し、体系化することで、合理的なメンテナンス技術が可能となる。

⑧ シミュレーション技術および劣化機構に基づいた加速試験によって、寿命を短い期間に高い精度で予測する技術が可能となる。

⑨ 材料開発における劣化対策技術に貢献することができる。劣化を制御することによる次世代型機器の開発、あるいは社会インフラシステムの信頼性向上等に資する。

国が研究開発投資する意義

⑩ 科学的アプローチによる根本的、普遍的に対応し得る手法は、個別に考えるとそ

の努力の大きさに対して得られる短期的な効果が小さいと見られ、置き去りにされているのが現状である。また、個々の劣化事例について企業内で保有する経験や知見があったとしても、ほとんど公開されないために共通的にその経験等が使われることはめったにない。結果として、個別の企業等が単独で高度な科学的アプローチをすることは困難な状況にある。従って、国が何らかのインセンティブを付けることで積極的に推進することが、この分野の研究開発には必須である。

⑪ 既に供用中の設備、機器がどの程度劣化しているかを計測し、余寿命を予測することは、現状においてはごく限られた対象以外では不可能である。この状況を打破し、劣化が制御できた時には、そうした個々の対象での社会的・経済的効果に、対象となる設備、機器、システムの数を掛け合わせた積としての、国として得られる総合的な効果は膨大である。すなわち、国が主導して新たな科学的アプローチにより、こうした技術の開発を目指す意義は非常に大きい。

(2) 国内外の研究状況の調査

電気設備・絶縁材料

電気設備・絶縁材料の劣化に関する主要な課題は、国内外ともオンライン診断技術の開発である。電気学会は、平成18年8月に技術報告第 1064 号「ケーブル・電気機器のオンライン診断技術」[*2] を纏めている。

また、世界の電気設備製造産業を概観するとき、特に電力設備については、約 30 年前まで世界をリードしてきた米国の力は完全に衰退し、欧州の数少ない企業と我が国企業が、いわゆる大手企業となっている。しかしながら、我が国では少子化や省エネルギー技術の進展に伴い、今後国内での電気設備需要の大幅な増大の可能性は低い。したがって、現在の電気設備製造産業の国際的競争力維持のためには、中国等電力需要が急速に伸びている国へ積極的な輸出を図ることが必須となる。これを実現する為には、中国等で要求の強い電気設備のオンライン診断技術ならびに余寿命推定技術の開発が急務である。

米国ミズーリー州 Kansas City 市の Hyatt Regency Crown Center で開かれた IEEE DEIS 2006 CONFERENCE ON ELECTRICAL INSULATION AND DIELECTRIC PHENOMENA [*3]（米国電気電子学会誘電体電気絶縁部門学会 2006 電気絶縁と誘電現象会議、平成 18 年 10 月 15 日～18 日）において 「電気設備・絶縁材料の劣化」に関する各国の研究状況を調査した。その主な動きは以下のとおり、⑴電気設備の劣化診断にも徐々にではあるが、いわゆるハイテク機器が使用され出したこと、⑵電気設備の寿命を革新的に延ばせそうな絶縁材料としてポリマーナノコンポジットに世界中の注目が集まり始めている。このポリマーナノコンポジットの優秀性を示す研究は継続されているが、応用分野を明確にしていく時期にきているといえる。

---

*2 https://www.iee.or.jp/cfml/OA/front/NonAuthenticate/bookpur/fbo_BookList.cfm?Kubun=5#

*3 http://ewh.ieee.org/soc/dei/ceidp/ceidp_2006.html

有機材料・複合材料

大澤善次郎（群馬大学名誉教授、足利工業大学客員研究員）氏を主査とし、有機材料分野の劣化の科学研究について、国内外の動向を調査した。

現在、高分子材料の劣化研究としては、下記のようなテーマが挙がっている。

⑴ 高分子材料の長寿命化による対応；新規重合触媒の開発、新規ポリマーブレンド／アロイの創製、高機能性複合材料開発、といった方面からアプローチがある。

⑵ 環境保全による対応；循環型社会形成を目指して、再利用、リサイクルあるいは生分解性付与が試みられている。さらに、高機能性を与えるための形態制御、安定化剤開発、自己修復機能の検討が行われている。

高分子材料の劣化研究において重要な技術として、耐候性試験がある。化学的に安定な高分子でも、放射線や太陽光などによって分子間の結合を切断されると劣化が進展する。短時間で、かつ制御された条件で劣化現象を解明するためには人工の光源により特定のスペクトルの光を高強度で当てる分光照射試験が必要であるが、そうした光源を持つ施設が国内には少なく、かつ使える場合でも、劣化研究用に使える時間割当てが少ないため障害となっている点が指摘されている。

また新たな動きとして化学発光法の利用や、カーボンナノチューブの複合材料としての利用がある。化学発光法は、歴史は古いが、非常に微量の酸化が検出できるため長時間の劣化加速試験をしなくても、ごく初期の劣化傾向を検出できる可能性があり、高分子の劣化研究への適用が期待できる。米国 NIST（National Institute of Standards and Technology）ではカーボンナノチューブとポリプロピレンの複合材料により耐劣化性を向上する研究が行われており、ナノカーボン利用のひとつの可能性としても有望である。

金属材料

研究開発戦略センターにおいて、有識者を招き最新の研究動向をご紹介頂く「研究者セミナー」を開催し、金属材料の劣化に係る研究動向を伺った。

2006 年 6 月 1 日、日揮株式会社　技術開発センター　山本　勝美　副センター長より 「化学産業分野でのプラント材料損傷と産業事故防止への提案」というタイトルで①我が国における劣化・腐食コストの推定結果と劣化・腐食コスト削減シナリオ～「社会基盤・産業基盤」の「信頼性向上・長寿命化」に向けて～、②日本の劣化・腐食技術水準の対米比較（産業設備に関する要素技術を中心）、③産業設備の経年劣化に対する経済産業省の取り組みと今後の動向について講演頂いた。

2006 年 12 月 7 日、東京工業大学大学院 理工学研究科　丸山 俊夫　教授より「高温酸化皮膜の微構造変化の定量的理解」について講演頂いた。発電設備、ボイラー、タービンなどの設備では、高温酸化による劣化の支配因子を定量的に理解することが不可欠であるが、酸化速度を決定する酸化皮膜中のイオンの拡散律速についてワーグナー理論を拡張して、皮膜の破壊・剥離を支配するボイド生成を予測可能な理論的モデルの現状を解説頂いた。

こうしたワークショップや現状調査、研究者インタビューを通じて得た現状や問題点、今後の見通しを提示して戦略センター内外で討議を行った。上記のワークショップでは、社会インフラからハイテク製品や文化財まで非常に広範な劣化現象を対象に検討してきたが、その中でまずは国が主導的に執り行うべき喫緊の課題として、経年化が進み、リスクおよび社会への負担が大きくなりつつある社会インフラについて提案を急ぐべきとの結論を得、今回戦略プロポーザルとした。

戦略プログラム

社会インフラ劣化診断・寿命管理技術

CRDS-FY2007-SP-02

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

井上グループ

〒102-0084　東京都千代田区二番町3番地
電話　　03−5214−7485
ファクス　03−5214−7385
http://crds.jst.go.jp/

平成19年4月

©2007　CRDS/JST

許可なく複写・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。