

効果の持続・逡減モデルに基づく保全活動のマクロ的定量評価手法の提案

37-086902 安達広明
指導教員 影山和郎 教授

1. 研究の背景及び既存評価手法の調査結果

我が国では戦後の高度経済成長期において道路や鉄道設備などの社会基盤が次々と整備されてきたが、現在ではこれら社会資本の多くが高齢化し更新・維持管理の重要性が叫ばれている。資本の高齢化は社会基盤の分野に限った問題ではなく、日本を代表する製造業の多くの業種においても同様の懸念が存在する。2008年の業種ごとの目的別設備投資の構成比を図1に示す[1]。紙や繊維、鉄鋼など歴史の長い業種ほど更新・維持投資の割合が大きい。また製造業全体における維持補修投資額は2007年に5.7兆円、設備保全費は6.7兆円と推計されている[2]。

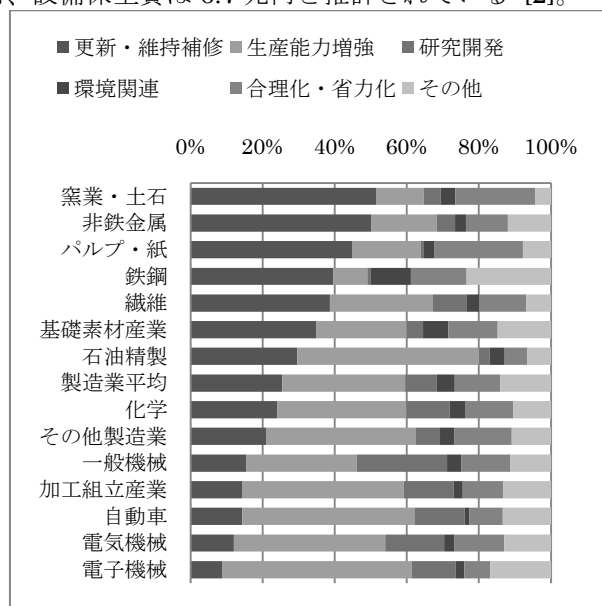


図1 製造業における目的別設備投資構成比

維持管理にこれだけ巨額の予算があてがわれる一方で、経営陣にとっての保全活動の評価の困難さが指摘されている[3]。その理由として第一に、保全活動は設備の生産効率低下の防止または設備寿命の延長を図るものであり、その性質上利益を生まず、投資利益率に基づいた事業評価の俎上に乗らないなど、適切な評価方法が存在しないことが挙げられる。また第二に、保全活動の効果は長期的に持続するため、資源投入量とその効果との関係が明確でないことが挙げられる。評価が難しいということは、最適な保全費を把握できないことに繋がり、結果として保全活動への過少・過剰な資源投入を引き起こす。

過少な資源投入は設備の生産性低下や事故につながり甚大な損害を引き起こすリスクを伴うし、また過剰な資源投入は他の事業機会を逃す危険性を伴う。保全活動への最適な資源配分のための評価手法を確立することは、経営にとって重要な課題であると言える。

保全活動の評価方法として現在実用に至っている手法としては、アセットマネジメント[4]とリスクアセスメント[5]が挙げられる。前者は保全の将来的な価値が保全をするタイミングによって変わるとい現象を金額として数値化している点で、長期的効果の定量化を実現しているといえる。また後者はリスクを定量的に比較し施策の効果进行分析することができる点で、利益を伴わない保全活動の効果の定量化を実現しているといえる。しかしながらこれらの取組みは、コストの最適化と保全活動の内部での優先順位付けが主目的の手法であり、最適な保全活動への資源配分量を議論するために有用な定量化手法であるとは言えない。よりマクロな視点から保全活動の成果の定量化に取り組む研究も行われているものの[6][7][8]、社会基盤分野の研究でありいくつかの点で企業経営における保全評価に有用な手法とは言えない。

2. 本研究の目的とアプローチ

本研究では2つの目的を掲げた。第一に、保全に取り組む企業における保全活動の評価活動の現状を調査・整理し、その問題点をあきらかにすることを目的とする。この目的のもと、保全に対する取り組みが進んでいると考えられるJR東日本の活動についての調査、プラント保有企業に対する保全に関する調査をまとめたメンテナンス実態報告書[2]の分析、また製造業で保全活動の評価に興味を示す数社へのヒアリング調査、をそれぞれ行った。

第二に、「保全活動への資源投入量」と「その成果」を保全活動の実態に即して定義し、保全活動に対する経営者の意思決定に資する定量的評価手法を提案することを目的とする。この手法により保全活動の効果を巨視的な視点で把握することを容易にし、各企業が保全活動への適切な資源投入量を議論するための土台となることが期待される。ただし、あくまで経営判断に資する評価手法を提供することが目的

であり、経営判断自体に対して提言をするものではない。

本研究では保全活動の定義を、調査対象ごとに捉えて分析を行う。具体的には安全対策投資活動、または保全活動（維持更新投資と日々の保全活動を合わせたもの）を本研究における保全の定義とした。

3. 各企業における定量評価に関する調査

■ JR 東日本における保全活動の定量評価

JR 東日本を調査したのは、保全活動に対する取り組みが特に進んでいると考えたからである。その根拠は1)多くの社会インフラを抱えていること、2)成熟し新設から保全への転換が過去の早い段階で既に行われたこと、3)実際に多額の対策費をかけていること、である。JR 東日本における保全活動は日々の保全活動と維持・更新投資を含む安全投資活動とに分けられるが、データ取得可能性等を考慮し、今回の調査では安全投資の評価方法を中心に調査を行った。図 2 に JR 東日本における安全対策費と事故件数の推移 [9] を示す。数百億円という巨額の投資が年々増加し、一方で事故件数が減少し、近年は下げ止まっている傾向が読み取れる。

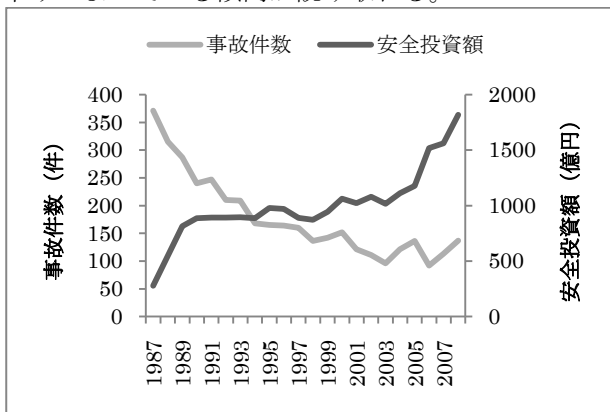


図 2 JR 東日本の安全投資額と事故件数

安全投資は様々な整備活動に振り分けられているが、この投資配分はリスクアセスメント手法などを用いて決定されている [9]。ある特定の事故への対策の重要度を決定する指標として、その事故の発生頻度と事故が発生した時の被害の大きさを数値化したものを用いることで、対策同士を比較し優先順位づけをしているのである。これは安全投資内での相対評価に特化しているという点で、経営的というよりは安全投資に限った実務的な投資配分基準である。また以下の JR 東日本の担当者に対するヒアリング調査結果が、全予算枠からの安全投資への経営的な予算配分プロセスを説明している。

安全投資への予算配分は『減価償却費の約半分』という基準で決定されている。この方法には様々な問題点がある。最適な投資額だと考えて金額を決めているのかといわれるとそうではなく、むしろ安全対策は絶対にやるべきなのでやっている、という状況である。つまり維持管理活動を含め JR 東日本にとって安全対策やその投資額は、経営陣の安全に対す

る『ポリシー』によって決定されている面が大きい (ヒアリングより)

安全対策に巨額を投資する JR 東日本でさえも、明確な配分手法を確立しているわけではない。安全に対して確固としたポリシーを持ち、巨額な安全投資を経営陣の理念が支えているからこそ、JR 東日本独特の取組み方である。

■ メンテナンス実態調査報告書 [2] の分析

メンテナンス実態調査報告書は、1992 年から社団法人プラントメンテナンス協会 [11] が毎年実施している製造業の会員企業を対象とした調査をまとめたものである。企業における保全活動の実態を知るための非常に貴重な情報源である。

表 1 に保全予算の決定形態に関するアンケート結果 (複数回答) を示す。約 4 割の企業で、保全予算は経営陣により大枠が設定されているようである。また前年度実績に沿う、現場要求よりも経営側が優先する、といった回答が約 30% と後に続く。そして現場要求との議論による予算策定は約 27% であった。これは経営陣によるトップダウンの決定よりも幾分合理的ではある。

表 1 保全予算決定形態

項目 (複数回答)	%
予算は経営的な大枠に従い、保全方式や技術はそれに合わせて運用する	39.5
維持・更新投資は対象とせず、保全費を前年度実績とほぼ合わせる形で決定する	31.4
現場の技術的要求は工場経営に示すが、経営的な大枠が優先する (勝る) ことが多い	31.4
工場経営の大枠と現場の技術的要求を工場経営側と保全現場が対等の立場で議論し、中長期および年次の保全予算が決定する	26.8

しかし、今まで保全活動を担ってきた人材の絶対数と能力の不足が叫ばれている。表 2 に保全活動での課題に関するアンケート結果 (複数回答) を示す。実に 85% もの企業が保全の人材不足を課題として抱えていることが分かる。熟練者の減少により、経営側と現場との議論による予算策定の結果も、悪影響を受けるだろう。客観的な保全の評価手法が必要である。

表 2 保全業務全体における重要課題

項目 (複数回答)	%
人材育成・確保 (技術・技能)	85.1
故障の再発・未然防止技術	61.8
保全データの活用・分析	49.7
高経年設備対応	47.3
保全のマネジメント	44.6

また図 3 に保全のための設備の重要度設定方法を示す。殆どの企業が生産・品質への影響を考慮に入れるのみで、保全の経営的重要性を考慮したリスクアセスメントの考え方を用いているのは、わずか 11.3% の企業だけである。保全が現場中心で行われ

ている現状を反映した結果だと考えられる。

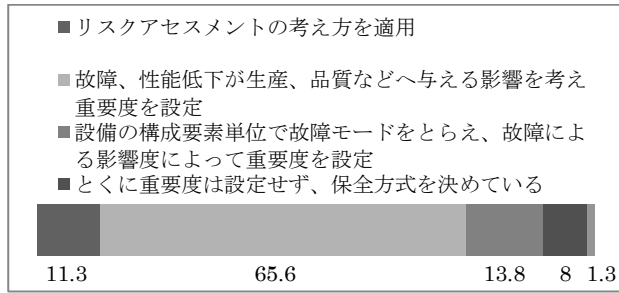


図 3 保全のための設備の重要度設定方法

■ 保全活動の評価に取組む 3 社へのヒアリング調査
 保全の定量評価に関心のある 3 社へヒアリング調査を行った。

化学系メーカー A 社のヒアリング結果を示す。

保全活動は目に見える利益を生まないため、予算の策定段階での効果の合理的説明が難しい、という課題を抱えている。保全効果の評価方法に関しては調査中の段階である。保全の成果としてどんな指標を評価するのかを重要な問題として認識している。特に過去にさかのぼってみると保全費や保全への投資といった会計上のデータは比較的容易に入手可能であるが、設備の状態や保全によって変化する生産性などの指標は収集が難しく、検証ができない。

化学系メーカー B 社のヒアリング結果を示す。

保全の評価の目的は経営サイドへの説明手段という位置づけであるため、その評価指標が金額であることが望ましい。2 年前から保全をしないときに生じるであろう「機会損失」の概念を導入し、関連データを収集している。この手法の有効性を検証し最適な保全量を決定するためには、ある程度の期間で機会損失のデータを取得する必要がある。またそれらの関係を考察する必要がある。現在、この取り組みをはじめて以降 2 年間分の保全費・機会損失額のデータを取得完了している。この手法の検証にはさらに数年を要する。

石油石炭系メーカー C 社のヒアリング結果を示す。

保全は、大量にお金をかけていいからとにかく故障を減らすという時代から、効率化を優先する時代となった。つまり経営サイドから提示されたキャップが存在し、それに納める形で成果を出してゆく方式である。そのような状況の中で保全活動の評価方法が課題として挙がっている。機会損失の概念を用いて、保全活動の成果を評価する取り組みを行っているが、まだ始めたばかりであるし、前例がない分野なので、大変苦労している。またデータの収集の問題もあり、過去にさかのぼっての取得はほとんど不可能であり、この手法の検証には数年間のデータ蓄積が待たれる。

保全費を保全活動への資源投入量として捉えているのは 3 社とも同じである。一方で成果については、A 社ではまだ結論は出ておらず、B 社と C 社では共に機会損失の概念を取り入れた同様の手法を実施も

しくは検討している。保全活動の成果を機会損失の減少分として指標化する試みは、成果を金銭価値で評価できるという重要な特徴を持っている。B 社のコメントによると、故障件数の減少を経営サイドに示しても反応は薄い、機会損失が幾ら減ったという報告には興味を持つ、ということである。金銭価値は保全の実務に関わる部門と経営サイドとの両方で使われている共通の単位であり、これを用いることで保全の評価は非常に説得力を増すのであろう。

各社で保全評価の取組みを進めているものの、依然確固とした手法はなく、また機会損失を用いた評価も検証には時間を要する。現状で入手可能なデータをを用いた評価手法の価値は高いと考えられる。

4. 保全効果の持続・遞減モデル

以上の調査を踏まえ、本手法では「保全活動への資源投入量」を総保全費（維持管理費や保全費と呼ばれる日々のコストと、維持更新投資とを合計した支出額）または安全投資額（安全対策を主目的とした投資額）として定義した。また「保全活動の成果」として総保全費に対する故障件数、もしくは安全投資における事故件数を採用した。データの可取得性がこれらの選択の主な理由である。

本手法ではこれら投入額と成果との関係性を説明するモデルを構築した。2 つの仮定に従い、総保全費もしくは安全投資額を入力、故障件数もしくは事故件数を出力とする関数を特定し、これにより総保全費や安全投資額を変化させたときの故障や事故の件数をシミュレートすることが可能になった。

一つ目の仮定は「各年における保全活動への資源投入量は、ある特定の分布に従い数年間に亘り効果を発揮する」である。総保全費や安全投資は、それが計上された年度のみ効力を発揮するわけではなく、その後数年間にわたり効力を持続すると考えられる。これら設備投資的な保全活動への支出が効果を持続するという仮定は、会計上の減価償却の概念と非常に近い。本研究では、保全活動への資源投入量が従う「特定の分布形状」を具体的に 3 通り仮定し、検証した。そのうちの一つである定率的分布の例を図 4 に示す。各分布は変数を持っており、その値によって様々な分布形状を取れる。

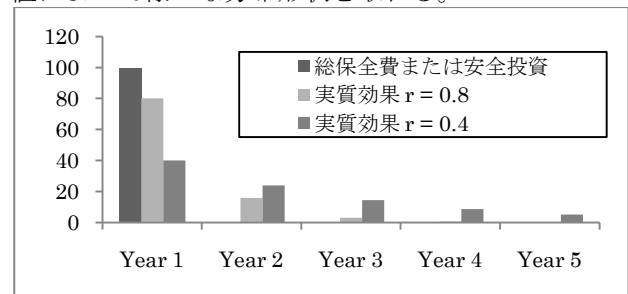


図 4 定率的分布の例

このように総保全費もしくは安全投資の効果はある特定の分布に従って経年分配されると仮定するわけだが、その効果を「実質効果」と呼ぶこととする。

各年の保全活動への資源投入量は特定の分布に従って数年間に亘る実質効果に変換され、それらの実質効果を足し合わせることで、各年の保全活動における実質的な効果が決定するのである。つまり、ある年度の実質効果は、それ以前の各年度における保全活動への資源投入量から特定の分布により決定される実質効果を合計した値になるということである。 $r=0.4$ の定率的分布における総保全費と実質効果の推移(仮想データ)を図5に示す。実質効果では総保全費の変動が平準化されていることが分かる。

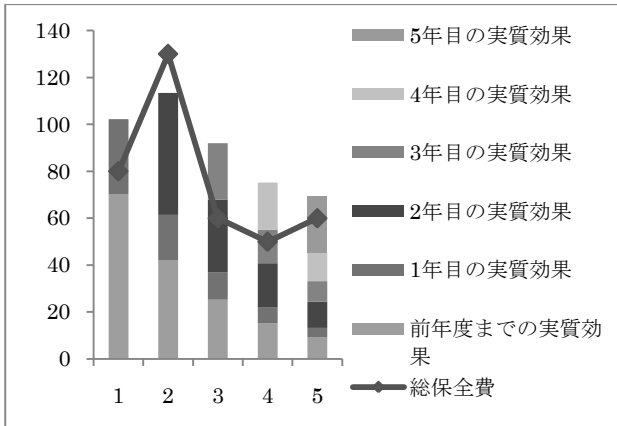


図5 実質効果の算出

二つ目の仮定は「保全活動への資源投入によってもたらされる成果はその投入量と比例せず、保全活動の効果は通減する」である。つまり実質効果を過剰に増やしたとしても、事故・故障件数の減少は頭打ちになるという事実を反映している。この関係を図6に示す。これは事故・故障件数が負の値を取らないことから明らかである。本研究では指数関数などの「通減する関数」を4通り仮定し、検証した。

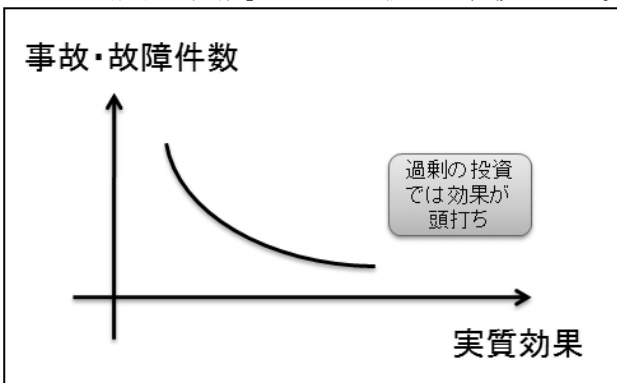


図6 実質効果と事故・故障件数の関係

5. 保全活動のマクロ的定量評価手法の検証

実際のデータに適用することで検証を行った。すなわち、以下の3つの疑問に対する答えを得た。1) 実際のデータが、本手法のモデルで説明可能か? 2) 事故・故障件数を、投資額のみから妥当な精度で推定できるか? 3) 使用する各関数に優劣はあるか?

JR東日本の安全投資と事故件数の22年間分のデータ[9]を輸送人キロ[9]あたりに調整し、また投資額はさらに企業物価により調整したものを検証に用

いた。これを図7に示す。

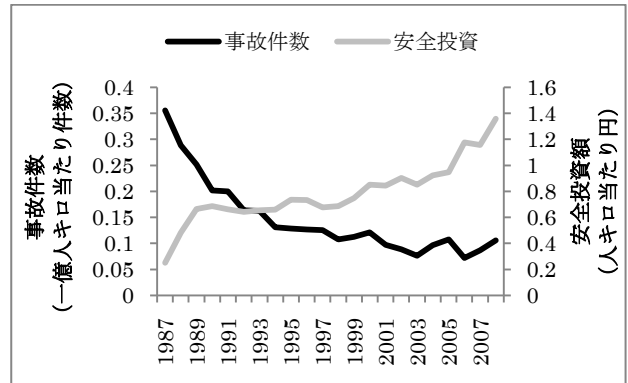


図7 JR東日本の事故件数と安全投資の推移(調整済)

データの前半部分11年間を用いて、関数を用いて投資額から計算される推定事故件数と実際の事故件数との誤差が最小になるように、モデルで設定した各関数の変数を最適化した。最適化にはExcel2007のソルバー機能を用いた。また最適化後の最小化された誤差を u_1 とした(これは実データに対して推定事故件数が平均的に何%ずれているかを示す指標である)。そしてその結果を用いてデータ後半部分における誤差 u_2 を算出した。これにより推定の精度を検証した。

最も良い結果を得た関数の組み合わせにおいて、 u_1 の値は5.7、 u_2 の値は16.1となった。本モデルによって平均して約6%の精度でデータを説明できることが確認できた。また平均して約16%の精度で安全投資額から事故件数が推定可能であることが確認された。推定結果を、事故件数のシミュレーション結果とともに図8に示す。1997年以前のデータは最適化に利用したため、推定件数が実データと良く一致するのは当然だが、1998年以降でも良く一致している。 u_2 は u_1 に比べて大きい、これは実データの変動に因る分が大きいのだろう。

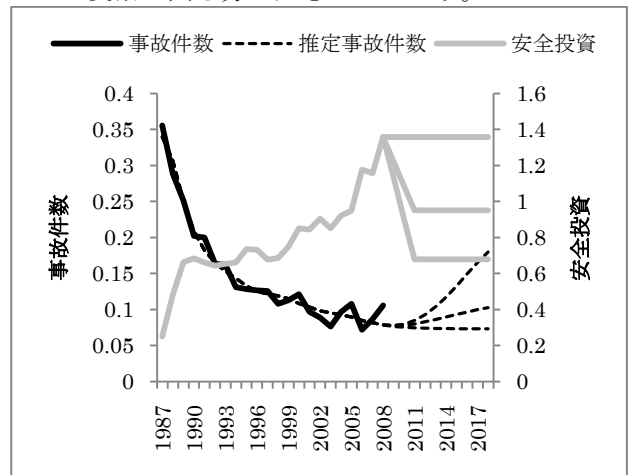


図8 JR東日本データ 推定とシミュレーション結果

データ最終年度(2008年)の安全投資額をそれぞれ1)維持、2)30%減、3)50%減、した場合の将来の推定事故件数を点線で示してある。投資を減

らした影響が遅れて現れること、また3割減と5割減で事故件数増加量が大きく違う（すなわち保全効果の通減が再現されている）ことが確認できた。

また使用する関数による違いは確認できなかった。

6. 企業データへの適用と分析

企業から5プラント10年間分のデータを提供して頂き、本手法を適用するとともにデータ間の比較分析を行った。データは故障件数、総保全費で、それらを作業件数、企業物価で調整したものをを用いた。10年間で最適化した結果とシミュレーション結果を図9に示す。守秘義務のためデータは正規化してある。最終年度の総保全費を1)維持、2)20%増、3)20%減、した結果を点線で示した。推定事故件数の挙動がJR東日本の結果と異なることが分かる。

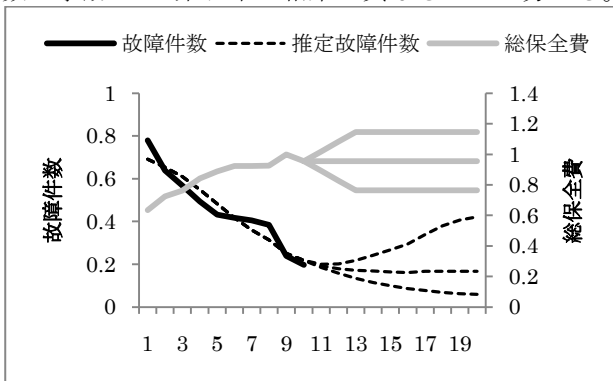


図9 プラント1 推定とシミュレーション結果

またプラントごとに各年度の実質効果と故障件数を方対数グラフにプロットしたものを図10に示す。直線はモデルで仮定した指数関数を示す。指数関数の係数は実質効果が0の時の故障件数、すなわち「潜在的故障件数」を表している。また指数部分の係数は、故障件数を一定割合減少させるための実質効果、すなわち「保全効率」を表している。

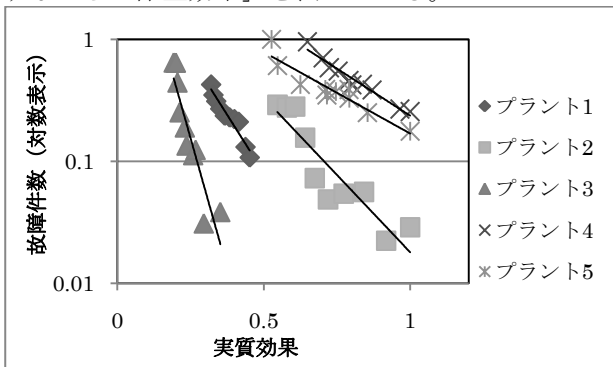


図10 実質効果と故障件数の関係

これらの定量的指標を用いることで、以下のような分析が可能となった。プラント3は潜在故障件数が20.9と非常に大きいですが、保全効率が19.6と高いため、実質効果が小さくても故障を十分少なく抑えられている。プラント4,5では潜在故障件数は8.2、3.7と小さいが保全効率が3程度と低いため、高水準の実質効果の割には故障件数が多いようである。

7. 結論及び今後の展望

保全活動の重要性が増す一方で、その定量的評価手法がいまだ確立されていないことを、実務者へのヒアリングを含む調査を基に明らかにした。2つの仮定に立脚し保全効果の定量評価モデルを構築した。実データによる検証を行い、ある程度の誤差の範囲で事故・故障件数の推定が可能であることが分かった。またシミュレーションや定量的分析が可能であることを示した。

効果の分布形状や通減関数を長期間に亘り一定と仮定している点など、本手法には多くの改善点がある。また5つのプラントの定量分析結果に対する検証も必要である。保全の評価手法は殆ど研究がなされていない分野であるし、保全に関する長期データが整理された形で存在しないことは研究を進める上で大きな障害である。手探りではあるが産業界との協力により着実に検証を重ねる必要があるだろう。

引用文献

1. 経済産業省. 経済産業省企業金融調査, 2009.
2. 社団法人 日本プラントメンテナンス協会. メンテナンス実態調査報告書 2008. : 社団法人 日本プラントメンテナンス協会, 2009.
3. 木村好次 四道広 天川一彦 若槻茂. 経営のための保全学. : 日本プラントメンテナンス協会, 2006.
4. 社団法人土木学会編. アセットマネジメント導入への挑戦. : 技報堂出版, 2005.
5. 酒井信介 監訳. 技術分野におけるリスクアセスメント. : 森北出版株式会社, 2003.
6. 阿部雅人 藤野陽三. 自然災害リスクの特性に関する統計的分析. : 土木学会論文集 A Vol.64 No.4, 750-764, 2008.
7. 稲垣博信. 地方自治体の橋梁維持管理における要旨効果の有効性に関する研究. : 土木学会第 61 回年次学術講演会, 2006.
8. 阿部雅人 藤野陽三. システム制御理論の視点からのストックマネジメントのマクロ分析. : 土木学会論文集 A Vol. 65, No. 2 pp.474-486, 2009.
9. 東日本旅客鉄道株式会社. <http://www.jreast.co.jp/>.
10. 社団法人日本プラントメンテナンス協会. <http://www.jipm.or.jp/>.