

リスクに基づくメンテナンス

東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻 教授

酒井 信介

1. メンテナンスの近年の流れ

まず、筆者が比較的にかわりのある産業分野にかかわるメンテナンスの近年の動向について述べたいと思います。10年ほど前に原子力機器の機械設備の保全に対する考え方に維持規格が導入されたことによって、機械構造物の安全確保の考え方の見直しが行われました。維持規格とは供用が開始された後のメンテナンス段階での規格です。つまり、機械構造物の設計段階を規制する設計規格と、供用段階を規制する維持規格を明確に分離しました。設計段階では荷重や損傷モードに不確定要素が多く、予測に頼らなければならない割合が多くなります。一方、供用段階では検査データや不具合情報の集積によって、設計段階の予測に対する確認を行うことができます。この結果、不確実性の程度を小さくできるので、安全率は設計段階と供用段階では必ずしも同じ値をとらなくともよいはずです。何よりも、供用段階で検査時に検出された欠陥、損傷に対して健全性評価を実施し、場合によっては許容する欠陥を認めるようになったことは大きな変化であるといえます。機械構造物は、人間が年とともに老化するのと同様で必ず劣化します。従って、検査時には多かれ少なかれ欠陥は検出されますが、その健全性を評価し、対策を決定する仕組みを取り入れたのです。維持規格は原子力分野以外のあらゆる産業のメンテナンスの考え方に導入されつつあります。この結果、供用段階でのメンテナンスの不合理性はかなり解消されましたが、それでもなおかつメンテナンスの柔軟性については解決すべき課題が残ります。ここで、近年注目を浴びているのがメンテナンスへのリスク指標の導入です。

今年度は、わが国のメンテナンス分野にとって、ある意味では非常に大きな意味をもつ年となりそうです。それは、リスクに基づくメンテナンス、つまりリスクベースメンテナンス（RBM）に関する規格が発行されることです。この規格は、圧力機器のメンテナンスへの適用を意図したもので、日本高圧力技術協会から発行されるものです。筆者は、この規格策定活動の主査として当初から活動に加わり、ここに至るまでに約9年の歳月を要しています。RBMが導入されれば、メンテナンスの検査プログラム策定にあたって優先順位付けが可能となることによって、真に保全が必要な部分に検査を集中することができるので安全性の観点のみならずコスト面からも有利となります。しかし、RBMの導入にあっては克服しなければならない課題も数多くあります。まずは、規格の策定が重要であって民間規格の発行によって、産業界での適用が加速していくものと期待されます。



Profile

略歴

- 1953年 東京都出身
- 1975年 東京大学工学部機械工学科 卒業
- 1977年 東京大学大学院工学系研究科 船用機械工学専門課程 修士課程 修了
- 1980年 東京大学大学院工学系研究科 船用機械工学専門課程 博士課程 修了 工学博士
- 1981年 東京大学工学部 船用機械工学科 助教授
- 1995年 東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻 助教授
- 1997年 東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻 教授

主な役職

日本機械学会フェロー、高圧力技術協会理事、
日本材料強度学会理事

RBMは、化学工業、石油精製の分野で先行して導入されましたが、船舶、ガス、電力、製鉄、宇宙ロケット地上設備でも適用が進められており広範な産業分野へ拡大しつつあります。鉄道分野においてもメンテナンスに対するこのような産業界の流れは多いに参考にするといわれます。

2. リスクベースメンテナンスの考え方

保全計画において決断が求められることとして、検査範囲、検査程度、検査部位の検査周期、採用する非破壊検査法などが挙げられます。リスク保全技術においては、優先順位を明確にするための指標としてリスクを採用します。リスクは検査対象部位に破損が発生する確率と、もし破損が発生した場合に周辺に及ぼす影響度の積として与えられます。

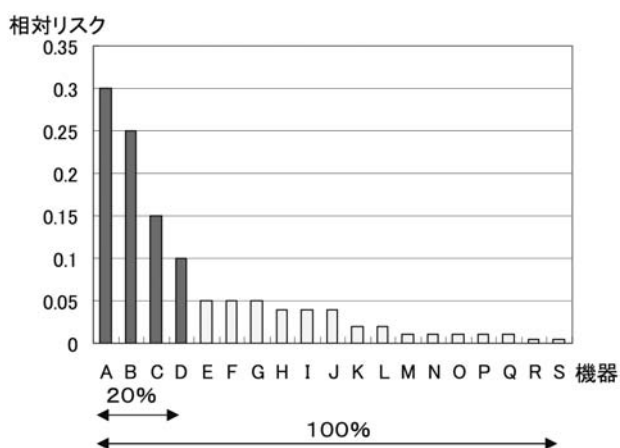


図1 システム内のリスクの分布の概念図

つまり、リスクは影響度の期待値を意味しています。システム全体の機器が保有しているリスクの分布を概念的に表したものを図1に示します。

横軸のA～Sはシステム内の機器を、縦軸は各機器が保有する相対リスクを示します。システム全体のトータルリスクのうちの80%は、実はシステム全体の中のわずか20%の機器に集中していることを示しています。もし、そうであれば全ての機器に同じ優先順位で検査を実施することは明らかに不合理であり、確実に20%の機器を特定した上で、検査プログラムの優先順位を高めることが重要です。これが、リスク保全技術の基本的考え方です。このような考え方を80-20の経験則（パレート則）と呼びます。特に検査の視点に重点を置くときにはリスクベース検査（RBI）と呼ばれます。最終的な意思決定にあたっては、コストなども加味した上で、リスク緩和のための決断が行われますが、この段階まで含めるときにはリスクベースメンテナンス（RBM）と呼びます。図2にRBMの一般的手順を示します。まず、評価のために必要となるデータおよび情報の収集を行います。これに基づき、対象部位ごとにリスク評価を実施します。リスクは破損の影響度と発生確率の積として評価します。リスク評価の結果に基づいて、検査に対する優先順位の決定を行います。これに基づき、検査プログラムの作成を行います。その結果、リスク値がどのように緩和されるかを示し、提案を行います。提案に対して、現行法規などと照らし合わせて再評価し、問題があれば最初に戻って作業を繰り返します。

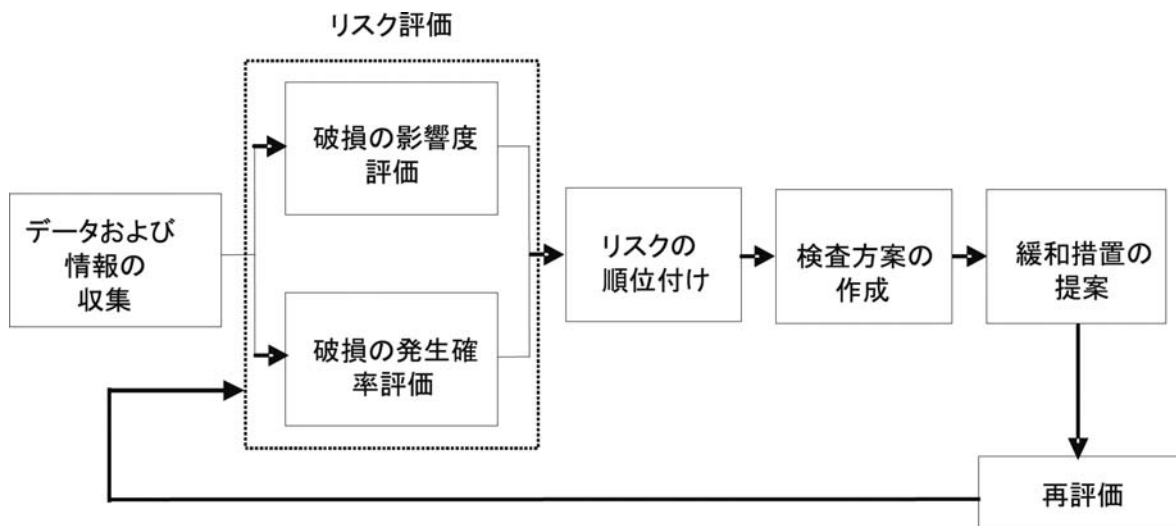


図2 RBMの一般的手順

3. 今、何故RBMが必要なのか

決まった時期に、決まった点検箇所を、決まった検査装置で、決まった手順で検査する、このような検査手順を画一的検査方式と呼ぶことにします。このように予め決めておいた決め事に従って、厳格に運用していく画一的検査方式は、わが国の勤勉な国民性とも馴染みがよく、国民からも広く理解が得られやすい考え方です。これまでは、わが国では機械装置のメンテナンスの方式は基本的には画一的検査方式であったといえるでしょう。しかし、この方式のみによってメンテナンスを運用していくとさまざまな問題が発生することが、欧米では早くから認識されていました。

機械構造物の製造後に供用を開始して間もない頃には未だ経年化は進んでいないので、検査時に損傷が検出されることも少なく、不具合がでる頻度も小さいでしょう。この段階では、画一的検査方式によってもそれほど問題点が露見することはありません。しかし、長期間の運用後には構造物の経年化が進み、検査時における損傷や不具合の報告の頻度が高くなってきます。一般に検査プログラムの策定時には、損傷の発生が予測される場所を特定し、検査方式を決定します。予め、損傷が予想される部位は、設計時にも当然配慮がされていて、なおかつ検査も厳格に行う仕組みとなっているので、現実には長期の運転後においても案外損傷が見つかる頻度は高くなりません。一方、機械構造物の劣化や損傷は、全て予測できるとは限りませんので、予定外の損傷モードが発生したり、予測以上の速度で劣化が進行したりすることがあります。このような部位は、検査プログラムの中に測定箇所として規定されていないことが多いので、必然的に検査時に検出される損傷はこのような部位であることが多くなります。

つまり、検査時に、検査プログラムで規定されている部位からはほとんど損傷が検出されない一方で、規定されていない部位から検出されることが多くなります。このように規定されていない部位から損傷が検出されると、わが国では一般にその部位を、検査部位として検査プログラムの中に追加することが行われます。機械構造物の経年化とともに、この頻度は高くなるものと考えられますが、このような方式を継続していくとやがてどのようなことになってしまうのでしょうか。その行き着く果ては、全範囲の高頻度検査という非現実的なものになってしまうでしょう。この場合、コストが爆発的にふくらむばかりでなく、真に必要な部分に検査を集中できないので、安全性の観点からも十分であるとは言えません。

つまり、保全に投入できる人的資源、機材などの資源には限りがある、という視点に立てば、真に検査の必要な部分に検査を集中することが合理的であることは明かです。損傷や不具合は、予め全てを予測することは困難ですので、そうであるのなら検査のときに観察される損傷の兆候をもとに、検査プログラムを最適化していく考え方は極めて有効であるといえます。このように、損傷の兆候に基づいて検査優先度を評価した上で、検査プログラムの見直しを柔軟に行う仕組みがRBMなのです。

このようなRBMによる柔軟な検査方式は、検査期間の短縮に結びつけられますので、結果として機械構造物の稼働率の向上にもつながることが期待されます。機械構造物をより長期間、高稼働率で運用することが企業の競争力であるとなると、RBMの導入は極めて大きな意味をもちます。また、近年の各種規制は規制緩和の流れがあって、機械構造物の保全においては自主保安が以前にも増して求められるようになっていきます。RBMはリスクという目に見える指標で保全を管理しますので、自主保安を推進する上でも、有効なツールであるといえます。

4. 技術伝承とRBM

最適な保全計画を策定するためには、意思決定を行うことが求められますが、この段階においてRBMは大いなる威力を発揮します。しかし、ベテランといわれている人達は、実はRBMが導入される以前から、頭の中では何が最適であるか、無駄のない検査とは何か、安全を確保するために優先することは何か、というような判断を実施していたものと考えられます。かつてはこのような匠の術を心得た人材が数多く存在し、それがわが国において機器の信頼性の水準を高めることにつながっていたものと推察されます。このような人材が、企業内に多く存在している間は万全であるといえますが、ベテランがうまく技術伝承することなく職場を去ることになれば、とたんに危うい状況が発生することが予測されます。このような事態を防ぐためには、ベテランが去る前に頭の中にあるノウハウを引き出し、形式知化した上で着実に次の世代に技術伝承することが求められます。ところが、この形式知化には大きな困難が伴うのが一般です。何故なら、ベテランにとっては頭の中で無意識のうちに実践していることであり、どのような原理に基づいて行動しているかを自ら明示化することも困難だからです。

実は、金融分野においてはメンテナンスよりもはるかに早い時期からリスクに着目してきました。金融分野では、成功する投資家がどのような意思決定に基づいて決断しているのかという観点から盛んに研究が行われました。その結果、事象の確率と、投資による危険性の両者を加味した上で判断している、と考えると合理的に説明できたのです。つまり、これはリスク以外の何者でもありません。このことをメンテナンス分野でのベテランの判断に置き換えると、まさに無意識のうちに頭の中で優先順位を判断している根拠は、リスクと考えると合理的な説明ができるのです。リスク評価ということを明示的に考えていなかったとしても、無意識のうちにそれと同じことを実施しているのです。つまり、ベテランの頭にあるリスク評価手順を引き出し、ガイドラインを策定することができれば、それはそのまま次世代への技術伝承の素材となるのです。RBMの利点として、むしろこちらの側面を重視する場合もあります。

5. 鉄道のメンテナンスに感ずること

上記に挙げたメンテナンスの考え方は、筆者が主としてかわりをもっているプラントなどの機械設備にかかわる範囲の動向です。それでは、鉄道関連設備については、無関係であるのかというと、そうではないと感じます。基本的な考え方は共通するものがあって、他分野でのメンテナンスの方式から学ぶべきことも多いのではないのでしょうか。維持規格の概念は、英語ではFitness For Service (FFS)と表現されますが、この言葉は実に含蓄深いものがあります。つまり、実際に使っている状況 (Service) に、適合させるように (Fitness) しようという考え方です。筆者は鉄道のメンテナンスについて詳細を把握しているわけではありませんが、画一的に一律に実施している分野については、FFSの導入によって大幅に保全方式が合理化することが期待できます。その際に、検査データや不具合情報と検査プログラムの策定とを有機的に結合することが重要です。鉄道設備の場合、この種の情報は日々膨大な量が蓄積されていくものと思われませんが、実はこれらの情報は宝の山です。この宝の山を捨て置くようなことは決してしてはなりません。是非この情報を活用し、FFSへ、そしてさらなる柔軟性を有するRBMへと踏み込んでいただくことがよいと感じます。その際に、統計工学や信頼性工学などの学術的側面を得意とする大学との連携を図ることも重要でしょう。

6. 鉄道メンテナンスへの期待

鉄道は、安全にかかわる広範囲にわたる要素が含まれることが特徴であると感じます。軌道や鉄道車両などの機械設備のみならず運行システムなどの電気回路、自然災害、駅の中の構造... 等数え挙げればきりがありません。これらの全てのものに対して安全対策として画一的仕組みで対応していくことは、限界があるように思えます。JR東日本では既に同種の取り組みを開始している分野もあると聞きましたが、鉄道分野には上記に紹介したRBMの基本的考え方を活用できる部分は多いのではないのでしょうか。例えば、機械設備以外の部分で駅の安全対策にRBMを活用するとしたときに、考えることをいくつか列挙してみます。

- (1) 駅の建造物構造配置の評価
- (2) 危険事象への対策コスト配分の優先順位の策定
- (3) 危険物探知技術の開発優先順位の策定
- (4) 点検データの活用・点検優先順位の判断

限られた資源を用いて、いかにして安全を最適化するかということは、今後避けて通れない課題です。これを実現するためのRBMの考え方は鉄道分野においても大いに有効であると考えられます。是非RBMのような考え方をさらに取り入れ、次の段階に進まれることを期待したいと思います。