

第19回R&Dシンポジウム 講演

ICTを活用したメンテナンス業務の革新について

東日本旅客鉄道株式会社
JR東日本研究開発センター テクニカルセンター所長

横山 淳



1. はじめに

本日は、「ICTを活用したメンテナンス業務の革新について」、特に“スマートメンテナンスの実現に向けて”に焦点を当ててお話をさせていただきます。まずメンテナンス業務の革新が必要であることの背景について、次に現在提案したいと考えているスマートメンテナンス構想について、次にこのスマートメンテナンスがもたらすものの、最後にメッセージという形で進めていきます。

Contents

1. メンテナンス革新の背景
2. スマートメンテナンス構想
3. スマートメンテナンスがもたらすもの
4. メッセージ

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY Technical Center

2. メンテナンス革新の背景

メンテナンス革新が必要である背景にはICTの発展が挙げられます。ここではICTの発展を3つの観点から見ていきたいと思います。一点目は、多種多様な情報端末の普及とネットワークの進化です。

多種多様な情報端末の普及とネットワークの進化



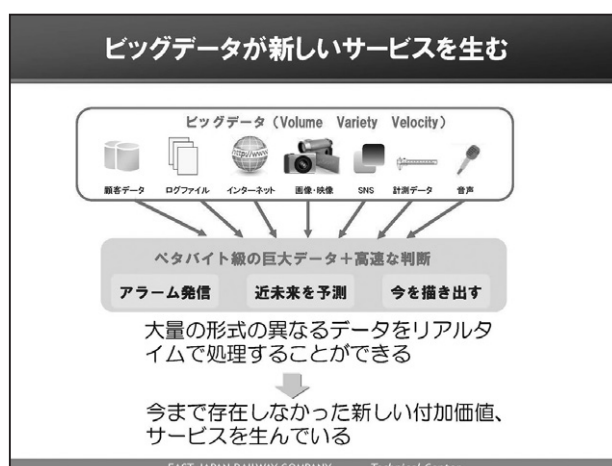
これは、日本中にネット環境が張り巡らされたことでスマートフォンやタブレット端末などを使用して、時と場所を選ばずに情報サービスを利用できる時代になってきたということであり、皆さまも十分ご存知のことだと思います。

二点目はコンピュータの発達です。



これまでのコンピュータというのはプログラムを組み、定型のロジックに従って答えを出す、というのが主機能でしたが、近年のコンピュータの発達により、人間と同じような思考回路を持ち、対話形式で人間の考えるアルゴリズムを学習していく人工知能を有したコンピュータも出現してきています。

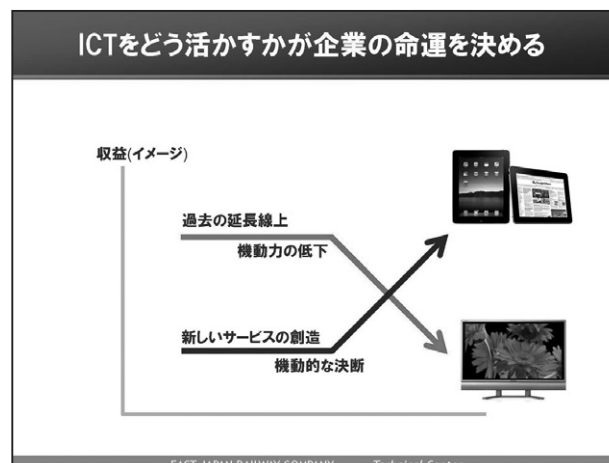
そして、三点目にビッグデータです。



現在世界中で爆発的にデータが増えています。これらのデータには数値データや画像データ、あるいはSNSのテキストデータといったように様々な形式がありますが、これら形式の異なる大量のデータをリアルタイムに処理できるようになってきています。これを利用して今まで存

在しなかった新しい付加価値やサービスが生み出されてきている、というのが現状です。

いずれにしても、このようなICTをどう活かすかということが今や企業の命運を決める時代になったといっても過言ではないと思います。



ICTを使って新しいサービスを創造し、付加価値を高める、こういったことが必要であると考えます。もちろん鉄道においてもICTをどう活かしていくかが、これからの大きな課題になります。

そこで、ICTと鉄道について触れる前に、鉄道発展の歴史を人口の推移をパラメータにして見てみます。



これは100年程前からの日本の人口推移です。1930年代から現在にかけて倍増しています。この人口増加を支える技術として、多くの先人の努力により鉄道も人口増加と共に発展してきたのです。

国鉄が民営化してからの25年間は、人口はほぼ横ばい状態です。この時期に注目して鉄道運輸収入との関係性を見ていきます。



人口推移がほぼ横ばいであるのに呼応して、収入もほぼ横ばいというのが実態です。今後は少子高齢社会の到来により人口が減るとわれています。総務省のシミュレーションによれば、2085年には人口が半分になるという急激な人口減少が予測されています。一方で、鉄道運輸収入はどうなるかはわかりませんが、旅客数の伸びは期待できないであろうということは明白であると思っています。よって、経費構造の抜本的な改革が必要であると考えています。

次に、当社の経費構造を年代別に示します。赤で示したものはトータルの営業費、緑はそのうちのメンテナンスが占めている経費です。



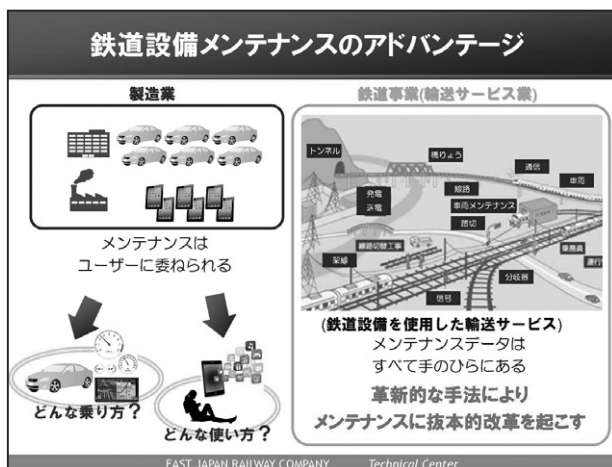
年によって多少の差はありますが、営業経費の3分の1から4分の1をメンテナンス経費が占めており、額にしても4,500億円～5,000億円程度と非常に大きいものです。

鉄道メンテナンスの対象設備には、トンネル、橋梁などの構造物、線路設備、電気関係の設備、車両、駅などにある機械、建築物、といったものがあり、非常に多種多様です。



これらがすべて機能することを前提に、安全安定な鉄道輸送サービスが成り立っていますので、鉄道メンテナンスは極めて厳しい条件下で行っているものといえます。

一方、鉄道メンテナンスにはアドバンテージもあります。



これは製造業との比較になりますが、例えば自動車は一度造って売られると、ユーザーの手にメンテナンスそのものを委ねられてしまいます。一方で鉄道では、前述したように多種多様な種類がありますが、ほぼ全て鉄道事業者が所有しており、メンテナンスのデータも我々の手の内にあります。従って、メンテナンス自体を変革しようというときに、それが我々鉄道事業者の意志に全て委ねられている点は他の業界に比べて大きなアドバンテージであると自覚しています。

3. スマートメンテナンス構想

前述の背景に基づいて、これから提案したいと考えているのが“スマートメンテナンス構想”です。この目標はメンテナンスコストを削減したいということであり、取り組むことは3つあると考えています。一つ目にTime Based Maintenance (TBM) からCondition Based Maintenance (CBM) への考え方の変更。二つ目にデータに基づくアセットマネジメントの鉄道への導入。三つ目はエキスパートシステムの構築です。

ICTを活用してメンテナンスコストを半減する

スマートメンテナンス構想の提案

1. Time Based Maintenanceから
(TBM) Condition Based Maintenanceへ
(CBM)
2. データに基づくアセットマネジメント
3. エキスパートシステムの構築

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY Technical Center

3.1 TBMからCBMへ

TBMからCBMについて、軌道の例で説明いたします。

TBMからCBMへ

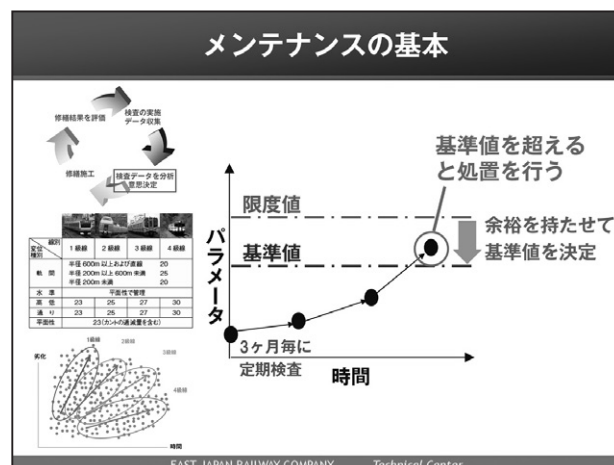


現在の軌道管理は、専用の軌道検測車を年4回運行し、軌道の変位を測ります。現場の技術者は、得られた検査データに対して、ある一定のルールに従って、ある数値を超えた時にどのように修繕するか、いつ修繕するかということを決めています。これをTBMといいます。一方、現在検討している手法は、営業列車で軌道の検測を行うことで毎日のようにデータを取得し、この高頻度に取得した連続的なデータの傾向を見ながらメンテナンスの意思決定をするというものです。これをCBMといいます。これは単純に検査の頻度が多くなったということではなくて、メンテナンスの考え方そのものに抜本的な変革をもたらすものになります。

メンテナンスの基本サイクルはPDCAサイクルなどと呼ばれていますが、検査を実施してデータを収集、検査データを分析して意思決定（そもそも修繕の必要があるのかどうか、いつどこを修繕するのか）、意思決定に従って修繕、修繕の結果を評価、これをまたサイクルとして回すということです。当然、一番大切なことは検査データを分析して意思決定をするところであり、CBMではここが抜本的に変わるということです。

意思決定の根拠について軌道変位の例で説明します。現在は通過トン数の差によって線路等級を定め、線路等級ごとに一定の基準値を決めており、検査によって得られた値がこの基準値を超えたら修繕するとしています。

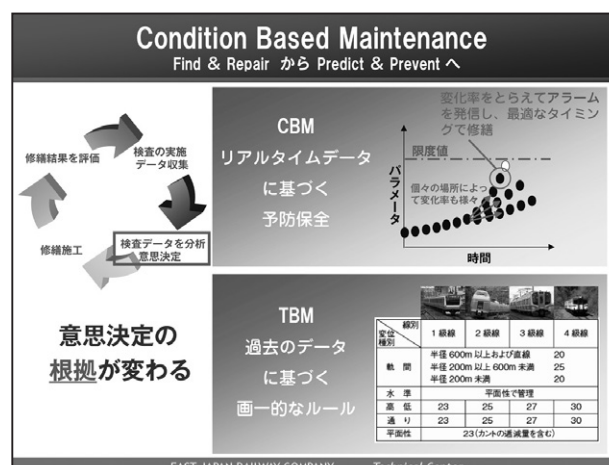
メンテナンスの基本



この基準値が定められた根拠についてですが、軌道の変位というのは列車の通過により時間と共に劣化します。当然、場所ごとに非常に大きなばらつきがありますが、傾向をとると、通過トン数の多い1級線は劣化速度が速く、4級線は劣化速度が遅いということになります。このようなばらつきのあるものに対して、一次近似直線的に劣化傾向を把握します。一方で物理的条件から定めた限度値（決して超えてはならない値）からこの傾向に基づいて、3ヶ月ごとに定期検査をすることを前提に基準値を定めます。劣化傾向は近似するものの、非常にばらつきが多いため、実際には基準値を定めるときには限度値に対して非常に余裕を持たせて決定しています。このような根拠に基づいて基準値を定め、この基準値を根拠に（基準値を超えたら修繕する）意思決定を行うのがTBMの考え方です。

一方のCBMは、高頻度にデータが取得できることから連続的に軌道の変位を把握でき、軌道の個々の場所の変化率を捉えることができます。この変化率を見ながら、限度値に対して最適なタイミングで修繕できるという点が大きな違いです。もちろん毎日のようにデータが取得できれば、急進性の劣化を捉えることができますので、アラームを発信することもでき、安全性も向上すると考えます。いずれにしても、CBMにより非常に合理的な保守ができ、安全性も上がる、ということをめざしていきたいと考えています。

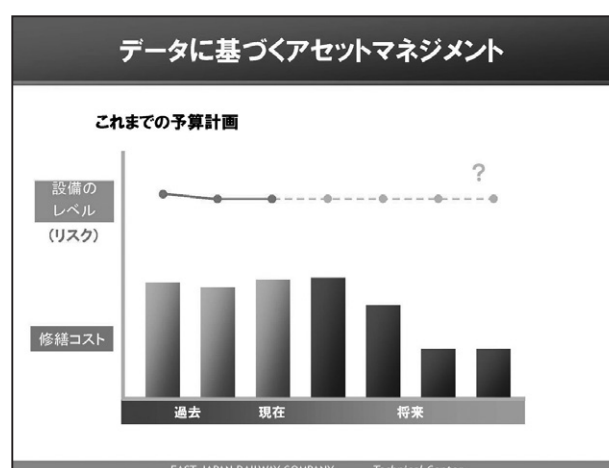
このTBMからCBMへの変更というのは、見つけて（find）修繕する（repair）という概念から、予測（predict）をしながら予防する（prevent）といった概念の変更となります。従って、単純な検査周期の変更ではなく、意思決定の根拠が変わるということです。



TBMの意思決定根拠は過去のデータに基づくルールが基本になっていますが、CBMの意思決定根拠はリアルタイムデータに基づいて判断するということです。これを用いることによって、効果的な予防保全ができるというのが、TBMからCBMへの変更といえます。

3.2 データに基づくアセットマネジメント

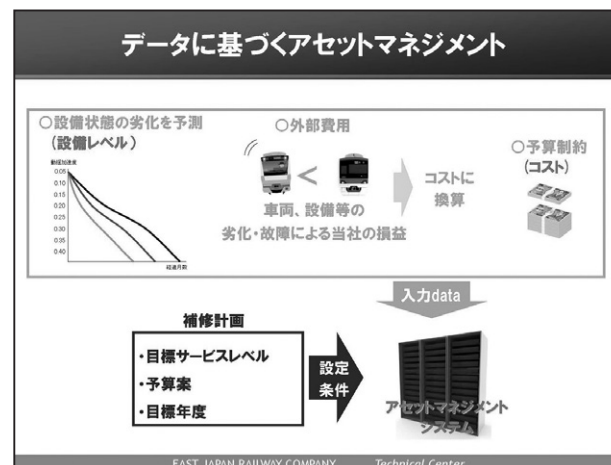
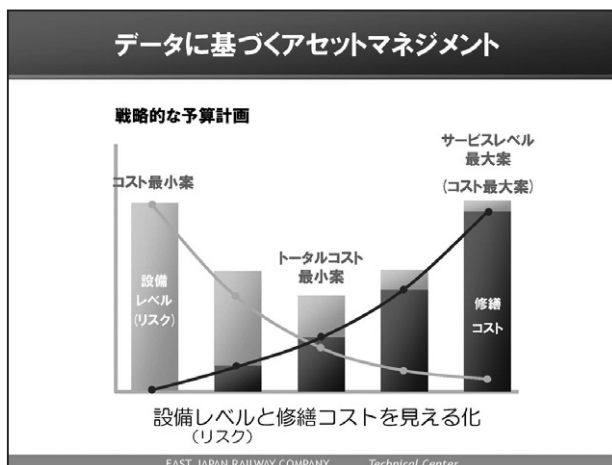
二つ目にデータに基づくアセットマネジメントの導入についてです。これは、将来の予算計画を合理的に立てられるようにしようというものです。



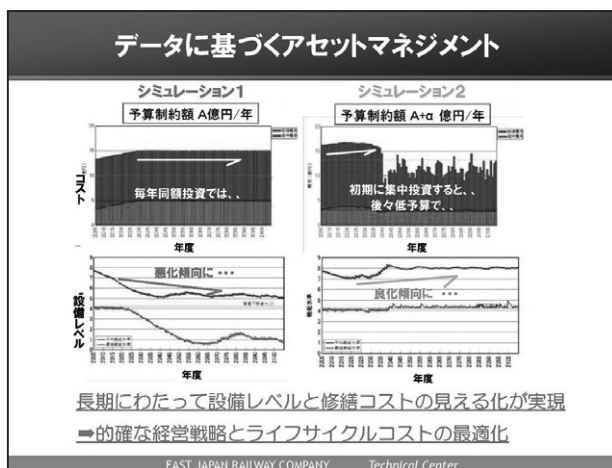
これまでの予算計画というのは、非常に乱暴にいったと、前年までの経緯、あるいはその時々を経営状況によって決められていることも多くありました。これは、当社に限った話ではなく、自治体などの公共構造物のメンテナンスでも、同様の考え方であるようです。当然のことながら、ある設備を対象としたときに、メンテナンスにかかるコストとその設備の機能として発揮するレベルとの相関が把握されていなければなりません。設備の機能として発揮するレベルというのは、例えば線路設備を対象にすると、線路が故障する割合であるとか乗り心地といったものになります。これが将来どうなるのかというのが、今は予測できていませんし、コストとの相関が定量的に把握されていません。よって、将来何らかの理由で、予算を減額せざるを得ない場合、これに伴って設備のレベルがどうなるかは、現時点では把握ができていないのです。そこで、この関係を明確にし、そのアウトプットを活用することで、戦略的で賢い予算計画を立てられるようにしようというのがここで説明するアセットマネジメント手法です。

概念を少し詳しく説明します。上の図中で、黒色で示した部分が修繕にかかわるコストとなります。一方で灰色の部分が設備のレベル、前述の設備の故障する割合や乗り心地といったものであり、これらをリスクとして考えます。どういうことかという、設備故障や事故が発生して列車が遅延する、あるいは乗り心地が低下することによって、当社が被る損害などをリスクとして考えるということです。一番左側の状態というのは、修繕を全くしないという選択をした場合です。すると当然リスクは最大になります。一方、修繕をすればするほど、リスクは減っていき、設備のリスクは最小にはなるが、コストはかかるということになります。つまり、リスクとコストはトレードオフの関係にあるはずだということです。リスクをコストという定量値に換算し、互いの関係を定量的に捉えることができれば、図中の中間にあるようにトータルコストが最小になる点を把握することもできるはずだ。こういった関係を時間軸上で長期的に判断することがアセットマネジメントの基本となります。

具体的な方法について、以下の図で説明します。



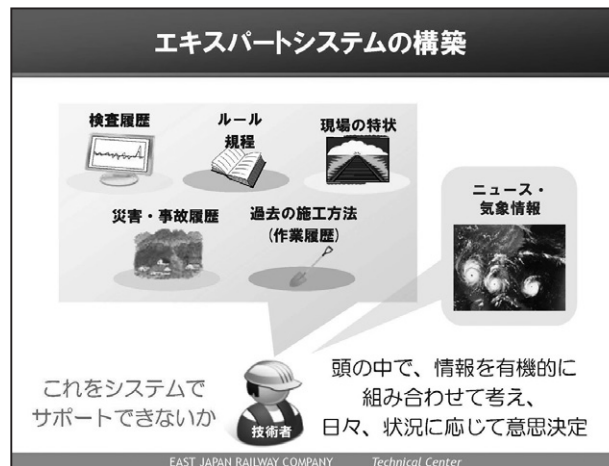
設備状態の劣化（機能として発揮するレベルの劣化）を数値でダイレクトに捉えたり、あるいはダイレクトな数値化が馴染まないものはランク分けといった方法も考えられますが、何らかの形で数値化し、その劣化予測を行います。そしてその結果、発生する可能性のある当社の損益（外部費用）をコストとして換算します。さらに予算編成を考慮し、目標年度や使える予算の限度額といった条件を設定します。このような情報をインプットとしてシステムに入力し、シミュレーションします。その結果、以下の図のようなアウトプットが出たとします。



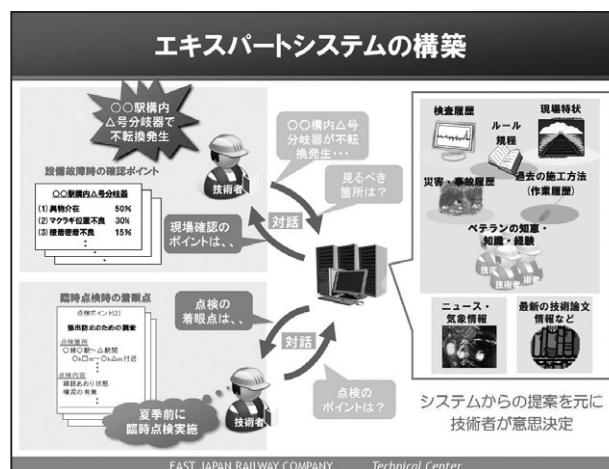
シミュレーション1のように毎年同じような経費をかける
といった単純な予算計画を仮定すると、設備のレベル
が悪化傾向になることがシミュレーションされます。一方
で、シミュレーション2のように初期に集中投資を行うと、
後々は低予算でも設備のレベルが良化傾向を示すと
いったシミュレーション結果が得られます。こういったよう
に、さまざまなパターンでシミュレーションすることで的確
な経営戦略を立てることが可能になり、さらにこのような
データが蓄積されることでより精度の高いシミュレーション
が可能になります。

3.3 エキスパートシステム

三つ目はエキスパートシステムです。



前述のCBMやアセットマネジメントは計画的な業務を対象にしています。しかし、鉄道設備の保守は、設備故障が発生したり、雨・風・雪といった気象による外部要因への対応などの非計画的な業務もあります。このように毎時刻一刻と変わるさまざまな条件下で、安全安定輸送のために的確な判断が求められていることは現場技術者にとっても大きな負担となっています。こういった現場技術者の非計画的な業務における意思決定をシステムでサポートできないかというのがこのエキスパートシステムです。



異常時対応の例で説明すると、設備の故障が発生した場合、技術者は今までの経験や現在の状況から原因を推定して対応にあたっています。こういったことは経験豊富で勘のよいベテランの技術者であれば早期の対応が可能ですが、経験が少ない若手技術者だけでは非常に難しいものです。

そこで、エキスパートシステムにこれまでの過去の故障事例や、その設備の持っている検査の履歴など、また気象情報や最新の技術論文といった外部情報などあらゆる情報を取り入れておき、さらにベテラン技術者の意思決定アルゴリズムをプログラムしておくことで、ベテラン技術者が考えたことと同じような答えを返し、かつ考えられる原因の確率までを示した上で対処方法を提案する、といったことを操作者と対話形式で行うことができるようなシステムにしたいと考えています。また、異常時対応だけではなく、夏季・冬季の臨時点検の勘どころ、といったものに対しても有効であると考えています。

このシステムの構築は難しいことであると思いますが、前述のとおりコンピューターの高度化、人工知能化が進む昨今の技術を応用することで十分可能であろうと考えています。

これまでに紹介したこの3つ「TBMからCBMへ」、「データに基づくアセットマネジメント」、「エキスパートシステムの構築」、これらはいずれにしても、データに基づく賢い意思決定であり、これを総称してスマートメンテナンス構想と呼んでいます。

データに基づく賢い意思決定

スマートメンテナンス構想

1. TBMからCBMへ
2. データに基づくアセットマネジメント
3. エキスパートシステムの構築

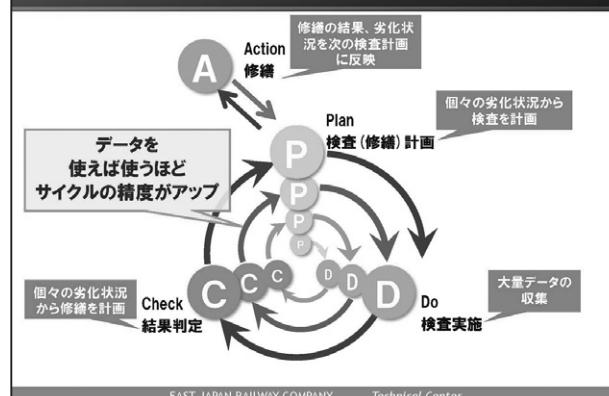
ICTの発達で今可能となった

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY Technical Center

3つとも概念そのものは以前からあるものであり、いくつかの分野では適用されていますが、非常に設備が複雑である、あるいはデータそのものがなかなか整備されていないなどの理由により、鉄道には適用が難しいものでした。しかし、ICTの発展でまさにいま、これが可能になったのだと認識しています。

このスマートメンテナンス構想を実現するために、一番大事なものはデータです。

PDCAサイクルにおけるデータの有効活用



上図はよく知られているPDCAサイクルです。これまでA（修繕）が終了するとサイクルがいったん途切れ、次の新しいサイクルが始まる、といった形となっていました。CBM的手法を適用すれば、A（修繕）の結果が、定量的かつ頻度よく把握できるので、この結果を次のサイクルに活かすことができるという大きなメリットがあります。従って、現場の実態がフィードバックされる形でサイクルを継続することになり、サイクルの精度自体が向上することになります。これがこれまでのサイクルとの大きな違いです。

4. スマートメンテナンスがもたらすもの

このスマートメンテナンス構想を鉄道分野に応用した場合のメリットについてお話をします。

スマートメンテナンス構想がもたらすもの

- メンテナンスにかかわるコスト
 - 設備の故障率
 - 故障時のダウンタイム
- } 半減可能
- コストとサービスレベルの関係が見える化されることにより経営戦略が立てやすくなる
 - 現場社員のノウハウがシステムチックに継承される

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY Technical Center

まず、メンテナンスコスト、故障率、修理のダウンタイム、これらを半減することが可能になると考えています。また、コストとサービスレベルの見える化により経営戦略が立てやすくなる、また、現場社員のサポートにより、現場社員のノウハウがシステムチックに継承される、といったメリットを考えています。一番大きな効果はコスト削減と考えています。次に一般的な例を2つ示します。

スマートメンテナンス構想がもたらすもの

一般的な試算としていわれていること

- 総務省による試算結果
自治体管理の道路橋りょう、今後の維持管理費は40兆7千億円
これらを予防保全型の維持管理にすれば、23兆3千億円(57%)ですむ。
- INNOTRACK(欧州が進めている鉄道メンテナンス革新プロジェクト)
鉄道設備のメンテナンスにアセットマネジメントを適用するだけで、コストを30%削減することが出来る。

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY Technical Center

一つは総務省による試算についてですが、自治体の道路橋りょうにおける今後の維持管理費は、現在事後保全的な手法で40兆7,000億円かかるといわれています。これを予防保全型（CBM）にすることで23兆3,000億円（57%）になるといわれています。二つ目に示した欧州が進めている鉄道メンテナンスの革新プロジェクトINNOTRACKでは、アセットマネジメントを鉄道設備に導入することを盛んに研究していましたが、ここではアセットマネジメントを適用するだけでコストを30%削減することを目指していました。いずれにしてもコスト効果は見込めると考えています。

典型的な鉄道設備における現在のメンテナンスの費用の内訳を、検査をする手間費用、材料交換にかかる費用、整備補修費用、その他（作業の安全のための保安費や機械の経費）と分類して、スマートメンテナンス適用の効果についてそれぞれ考えてみます。検査については高頻度にデータを取得するモニタリングなどが必要になることから若干の増加、一方で材料交換や整備補修に関しては、劇的に減少、保安費や機械経費も作業に付帯するためこちらも減少する、と考えると、CBMを実施するだけでも35%程度のコスト削減ができるのではないかと考えています。さらにこれにアセットマネジメント手法をうまく適用できれば、20%程度のコスト削減、あわせて、50%程度のコスト削減ができるのではないかと考えています。非常にラフな試算ではありますが、これを目標にしていきたいと思います。当然ながら、コストダウンによって生み出されたお金は設備状態のレベルアップに使われることになりますので、ますます設備状態が良化することが期待できると思います。

しかし、このスマートメンテナンスを実施するにあたって、大きな課題はたくさんあります。

スマートメンテナンスの課題

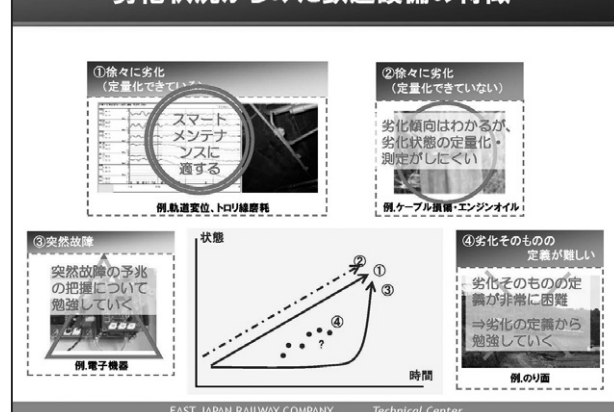
- 鉄道設備は複雑すぎるのでデータ分析が難しい
- 現場データの信頼性が低い
- 意思決定アルゴリズムが複雑でシステム構築が困難
- 現場技術者に納得してもらおうのが大変
-
-

困難な理由はいくらでも ⇒ 現在のICTを使えば解決可

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY Technical Center

鉄道設備は非常に多種多様かつ複雑であり、データそのものの分析が難しいという点、数値化しづらく検査者の主観に左右される検査データなどの信頼性の問題、意思決定アルゴリズムのプログラム化が困難、現場技術者への納得感、など他にもいくらでもあると思いますが、すぐには解決できなくても現在のICTで解決可能な部分が大多数であろうと考えています。中でも一番大きな問題は設備の劣化状況が非常に複雑であるということです。

劣化状況からみた鉄道設備の特徴



鉄道設備の特徴を劣化状況に応じて分類すると、①徐々に劣化をしていて、かつその劣化状態が現在定量化されているもの（軌道変位やトロッコ線磨耗など）、②徐々に劣化しているのはわかるが、なかなか定量化できていないもの（ケーブル損傷状態、エンジンオイルなど）、③劣化が突然急進的に進み、かつその状況が定量化できていないもの（電子機器など）、④そもそも劣化しているのかよくわからないもの（のり面などの土構造物）、となります。この分類でスマートメンテナンスの適用を考えてみます。

①は非常によく適用できると考えます。②は現在定量化されていませんが、ランク分けなど何らかの形で定量化することで適用が可能と考えます。③については劣化状況を定量化することは難しくても、壊れるまでのデータを取得し、どのような使用環境ではどのくらいの確率で故障するか、といった確率論を適用することで、対応が可能となるのではないかと考えています。④は最も難しく、劣化の定義そのものから勉強していくつもりです。

鉄道設備にはさまざまなものがありますので、できるものから適用させていくことが大切であり、最初からあきらめる必要はないと思います。前述のように各設備の劣化状態を捉えることは各設備の過去の履歴がそれぞれ異なるため、なかなか難しい面があります。ヨーロッパにおけるメンテナンス手法の変革の例では、一旦関係する設備を更新し、劣化状態をリセットしてから導入を進める事業者が多く見られます。また、進めていく中では、CBM手法に限定するのではなく、TBM手法も含めて設備ごとに最適な手法を決めていくことが肝心であると考えています。

Special feature article

以下の図は、スマートメンテナンス実現に向けたロードマップです。



現在データを取得するモニタリング技術に関しては試作品を作り、当社の試験列車MUE-Trainに搭載して性能確認試験をしています。機能そのものは順調で、2013年度から京浜東北線に軌道関係の検測装置を搭載してモニターランを行うことを検討しています。実現すれば、京浜東北線を管理している現場事務所へは、2013年度から営業列車で取得した検査データが伝送されることとなりますので、スマートメンテナンスを現場で実感できるのではないかと考えています。システム構築についてはこれからとなりますが、年度を区切って目標を定めて構築していきます。

海外における線路モニタリングの事例について触れておきます。



海外もTBMからCBMへ、あるいはアセットマネジメントの導入は考えられており、一部では導入されている国もあります。軌道材料のモニタリングや軌道変位のモニタリングは欧州を中心に進んできています。伝統的にこのようなことにあまり着手していなかったドイツでも軌道変位のモニタリングに関して試験中ということですから、鉄道の世界でもどんどん広がっているというのがトレンドといえるでしょう。

5. メッセージ

最後に技術開発にあたる者としてのメッセージです。

メッセージ

○ 現場の方へ

スマートメンテナンス構想実現のためのカギ

①現場実態をいかにデータに反映させるか

②現場技術者の納得感

現場の意見を取り入れながら構築していきたい

○ 当社以外の方へ

①スマートメンテナンス実現にはオープンイノベーションが不可欠

②データベースの構築、意思決定のアルゴリズム、データマイニング、信頼性理論、統計学、確率論など

いっそうのご支援、ご協力をお願いしたい

○ 世界の人々へ

①世界中で鉄道プロジェクトが目白押し

②Operation&Maintenanceの分野に大きなニーズがある

世界の鉄道の発展に貢献したい

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY Technical Center

・現場の方へ

スマートメンテナンス構想やその理論はできていますが、実際に現場に適用するとすると現場の方の理解や現場の実態をいかにデータに反映させるか、が非常に大きな鍵になります。システム構築はこれから行いますので、現場の意見を取り入れながら現場の実態に合うものを作っていきたいと考えています。

・当社以外の方へ

このシステムの導入のためには、最新のICTを使わなければ実現できません。当社の力だけではできませんので、オープンイノベーションが不可欠だと考えています。特に今日お集まりの皆さま方には、一層のご支援ご協力をお願い申し上げます。

・世界の人々へ

現在、世界中で鉄道が復権しており、世界中で大きなプロジェクトが目白押しであり、日本の高い鉄道技術に対する期待は非常に大きいものがあります。特にニーズが高いのはメンテナンスの分野ですから、スマートメンテナンス構想を実現することで、世界の鉄道発展にさらに大きく貢献できるのではないかと考えています。

6. おわりに

東京駅は、10月1日、“次の100年に向けて”というキャッチフレーズでリニューアルオープンをいたしました。我々も技術開発にあたる者として、次の100年を見据えて、技術開発に努め、少子高齢社会という社会環境にも負けずに鉄道の発展に寄与していきたいと考えております。ご清聴ありがとうございました。

