

## 鉄道におけるイノベーション

— ICTを活用したメンテナンス革新のプラットフォーム —

Innovation in Railway - Platform of maintenance innovation using ICT -

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

横山 淳



### 1. 21世紀におけるイノベーションとは

21世紀になってから10数年が経過しましたが、近年のイノベーションと言えるような世の中を変えるサービスは20世紀に見られた「モノ中心の革命」とは明らかに趣を異にしていると思われま

す。18世紀から始まった産業革命により鉄道、自動車、電話などの交通、通信手段が生まれ、また20世紀になっても多くの家電製品などによって人々の生活は飛躍的に便利になり、産業の生産性も拡大してきました。

日本でも多くの企業がこれらの技術を活用して高品質でリーズナブルな価格の競争力のある商品を生み出して世界をリードしてきました。この時代は工業化社会、つまり「モノを中心として革新が起きた時代」と言えるでしょう。

しかしながら20世紀末から起こった情報革命によって、最近の人々の生活や産業に大きな変化をもたらしているイノベーションと言われるサービスは、モノを中心とした商品ではなく、手に触れることができない「情報・データを使った仕組み・プラットフォームによるもの」になってきました。

例えば、アマゾンによる流通革命やFacebookなどのSNS、スマホを中心として様々なアプリによる各種サービスなどが世の中を大きく変えています。これらは20世紀型のモノによる商品ではなく、サービスの中心はそれを支える「仕組み・プラットフォーム」にあります。しかもその仕組みはサービスの享受者であるユーザーとコラボしながら絶えず変化しています。その仕組みを支える技術は産業革命以降に生まれたICT技術が中心です。

これらの20世紀型ビジネスモデルと21世紀型ビジネスモデルの違いをサービスの中心である「製品」とそれを支える技術、サービスの受け手であるユーザーとの関係を表したのが図1、2です。

20世紀型モデルではサービスの中心である製品は自動車や電話、電化製品というモノであり、それを支える技術は主に産業革命で生まれた内燃機関や電力などです。これらの製品は大企業を中心として作り上げ、ユーザーとの関係は一方的（企業→ユーザー）であり、製品のモデルチェンジ・改良は数年毎に行われるのが通常です。

これに対して、21世紀型のイノベーションモデルの中心である「製品」はモノではなく、仕組み（プラットフォーム）で、それを支える技術はICTやバイオテクノロジーなどの産業革命以降に生まれた技術です。さらにユーザーとの関係はインタラクティブ（双方向）であり、ユーザーは常にその「製品」を使いながらその価値を高める役割を果たしています（アマゾンのユーザー評価とレコメンデーション機能などはその典型でしょう）。

今の時代にイノベーションを起こすには、きれいに見えるテレビや

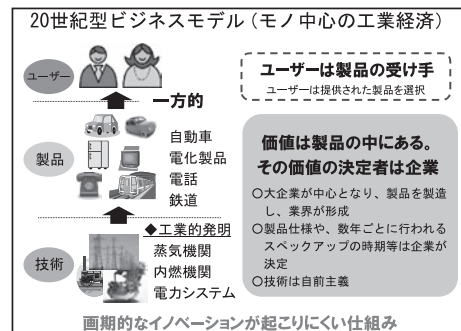


図1 20世紀型ビジネスモデル

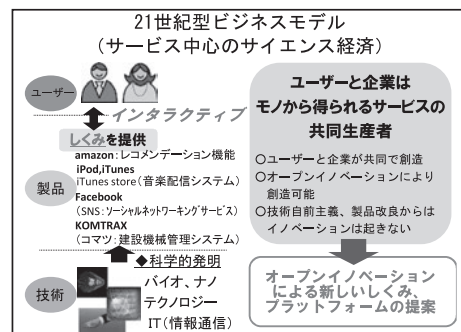


図2 21世紀型ビジネスモデル

ガラケーと言われる携帯電話の機能向上という今のモノの改良ではなく、ユーザーとコラボしながら常に新しいサービスレベルを向上させる仕組み（プラットフォーム）を提供することと言えるでしょう。

鉄道も成熟産業と言われて久しいのですが、お客様へのサービス面や鉄道運行を支える技術面で21世紀型のイノベーションを実現することによって、他交通機関との差別化や安全性の向上、さらには大幅なコスト構造の改善などを実現できると考えております。

### 2. ICTを活用したスマートメンテナンス構想

JR東日本研究開発センターでは、鉄道設備のメンテナンスにおいて21世紀型のイノベーションとしてスマートメンテナンス構想を提唱しております。

スマートメンテナンス構想は単に修繕工事方法の改善という側面ではなく、1で述べたメンテナンス全体の新しい仕組み・プラットフォームの提案であり、常に進化しながら効果を発揮し続ける「21世紀型のイノベーション」であると自負しています。

## 2.1 スマートメンテナンス構想とは

スマートメンテナンス構想は4つの柱から構成されています(図3)。

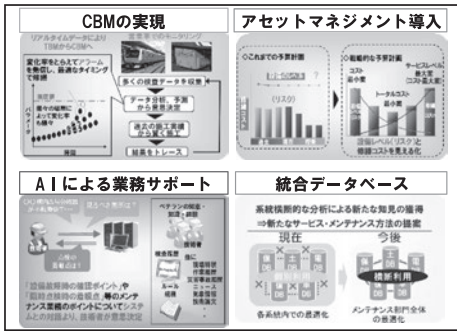


図3 スマートメンテナンス構想

まずメンテナンスの基本をTBM (Time Based Maintenance) からCBM (Condition Based Maintenance) に変更していこうというものです。

これはメンテナンスの哲学の大きな変更とも言え、これを実現することによりこれまでと比較してはるかに合理的なメンテナンスが可能になります。鉄道の代表的な設備である軌道(線路)メンテナンスを例にとってこの違いを説明いたします。

図4に示すようにこれまでのTBMでは定期的な周期で検査を行い(在来線軌道では3ヶ月に一回)、軌道変位に関するデータを取得します。このデータに基づいて修繕するべきか否かを判断するわけですが、この意思決定はある一定の基準値を(例えば23mm) 超えていたら修繕をするというあらかじめ定められたルールに基づいて行われます。

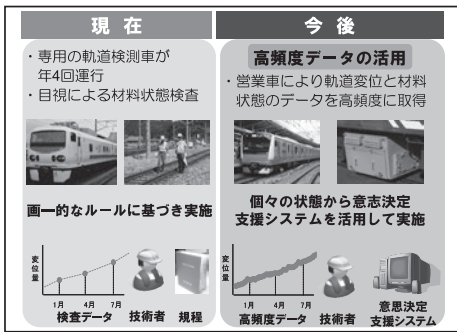


図4 軌道変位を例としたTBMとCBM

この基準値は過去のデータから脱線する可能性がある軌道変位(例えば40mm)と検査周期が3ヶ月であることを考慮した軌道変位の最大進み量から決められます。脱線はあってはいけなことで、ある一定周期で検査することを前提した修繕基準値は最大変位進み量を考慮して非常に余裕を持った値に定めざるを得なくなります。

これに対してCBMでは一定周期の定期検査ではなく、大量にデータを取得する状態監視保全が基本となります。軌道の例で言えば営業列車による軌道変位データの取得が可能となれば毎日軌道変位が取得され、それを分析することにより軌道の劣化スピードが1mごと(設備のConditionごと)に把握することができます。したがって場所ごとに異なる軌道変位の変化を正確に予想しながら最適なタイミングで修繕時期が決めることができることになり、非常に合理的な予防保全が可能となります。

このことはTBMとCBMでは「いつ、どこをどのように修繕するか」というメンテナンスの最重要事項である意思決定の根拠が根本

的に変わることを意味します(図5)。

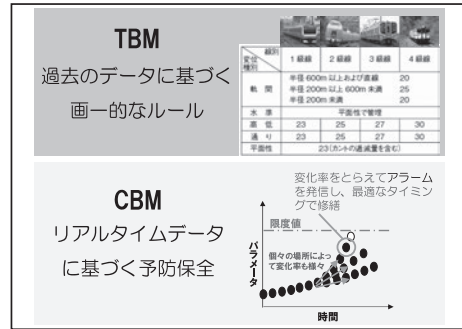


図5 TBMとCBMの意思決定根拠

また軌道変位のデータが毎日取得できれば修繕した効果も非常に良くわかります。

つまりCBMでは、図6に示すようにデータの取得⇒データ分析による劣化状況把握⇒修繕時期、方法、箇所に関わる意思決定⇒修繕施工⇒修繕効果の確認・評価というサイクルを日常のかつダイナミックに回すことが可能となり、データが蓄積されればされるほどメンテナンスにとって最も重要な意思決定が賢く(スマートに)なります。

TBMにおいては意思決定の根拠がルール(社内規程など)によって規定されていますので、どうしても日常的に見直すという意識が働かなくなり、現に保線における整備基準値は50年ほど変わっておりません。

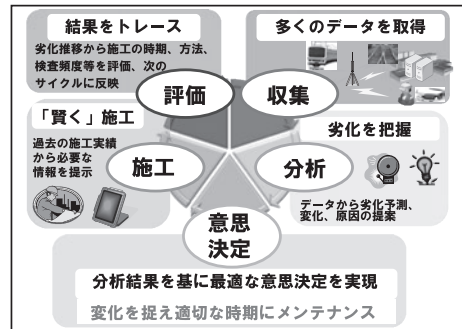


図6 メンテナンス業務のサイクル

現在、当研究開発センターでは軌道変位を営業列車で検測する装置を開発し、京浜東北線にて試験走行を実施しております。

その結果は大変良好で、図7に示すように軌道変位を連続的に捉え、将来の変位の予測も行えるようになってきました。またマルチなどの修繕の結果も的確に把握でき、その修繕方法の妥当性や改善すべき項目などが現場において判断できるようになります。

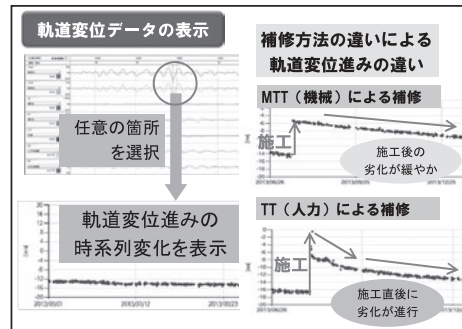


図7 線路設備モニタリング装置の開発状況

このように軌道変位についてはデータの取得はできるようになりましたので、現在は現場等での意思決定をサポートするためのシステム

(図8：軌道状態の予測及び修繕のための予算や修繕機械の運用などの制約条件や現場責任者の意図を反映し、対話型で修繕計画を提案する、また修繕効果を評価してさらに計画に反映するなどの機能を有するもの)の開発を行っております。

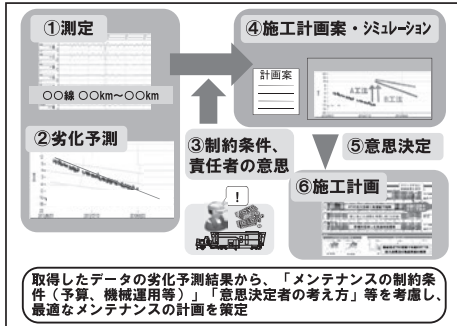


図8 意思決定支援システム

上記は軌道という劣化を直接測定でき、また劣化が連続的に捉えることができる設備を対象にCBMを説明してきましたが、鉄道における設備はこのようなものばかりではなく、車両設備や電気設備などのように劣化そのものを捉えることが困難であり、なおかつ劣化が連続的に進まず、表面的には突然故障するタイプの設備が数多くあります。

このような設備は劣化が捉えられないため、これまでは定期的に検査して不具合があったら修繕する、また寿命をあらかじめ設定しておいて経年で一斉に設備を取り替えるということを行ってきました。しかし実際には設備ごとに「劣化状況」は異なるためにまだ取り替える必要のない設備も取り替えてしまうなどの非常にムダがある可能性があり、なおかつ「まれに寿命前に壊れてしまう事象」は見逃してしまうこともあります。

しかしながら近年のICTの発達、特にデータ分析技術の進歩によってこのような「突然故障するタイプ」の機器についてもある物理量(電流値や抵抗値など)を連続測定することによって故障の予兆や原因を捉え、劣化のパターンなどもわかるようになってきました。

図9は車両のドアの故障を分析したのですが、ある状態の物理量(例えばドアが開きかけている時の電流の最大値)を測定することによってドアが故障する原因別の劣化が捉えられることがわかってきました。これを深度化することにより、これまで経年で一斉取替えていた装置などでも、個々の装置ごとの劣化状況によって的確な時期に修繕・取替えを行う(理想的には故障する直前に直す)ことが可能となり、ムダをなくすることができるだけでなく、突発的な故障の発生も防ぐことができます。

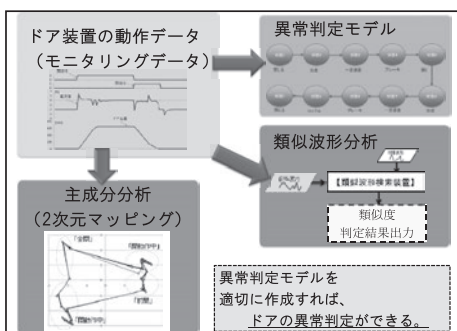


図9 ドア装置に関するデータ分析事例

このような取組は分岐器の転てつ装置や電力の変電設備などにも応用が可能であり、今まで不可能と思われてきた機械・電気設

備の効果的な予防保全が実現できることになります。

スマートメンテナンス構想の他の柱であるアセットマネジメント及びAIにおける判断業務支援もCBMと同じくメンテナンスに関わる意思決定を賢く行うためのものです。

アセットマネジメントは主に橋梁やトンネルなどの土木構造物のように設備の劣化スピードが遅く、修繕工事の規模が大きいものを対象にして、長期スパンでの最適な修繕計画を具体的にを行うものです。設備の価値をライフサイクルに渡って最大限に発揮させるものとも言えるでしょう。

またAI(Artificial Intelligent:人工知能)を用いた業務の判断支援はハードルがまだ高いのですがチャレンジし甲斐のある取組です。

これは現在(ベテランの技術者などの)人間が行っている様々な判断業務をコンピュータによってサポートさせるものです。

例えば、設備故障などが起こった時、その事故の事象(信号機故障の場合には信号のあおりの状況など)から事故原因の特定をすばやく行う必要があり、今は現場の技術者がこれを行っています。経験豊富な技術者であれば過去の事故例やその設備の状態、さらには様々な環境条件などからの確に事故原因を推定し、すばやく事故復旧に当たるのが可能ですが、経験が乏しい技術者では事故原因特定は非常に困難な作業です。

そこでベテランの豊富な知識や経験、様々な条件から事故原因を推定するアルゴリズムをコンピュータに「学習」させ、結果的に事故事象から事故原因を推定するようなことができないか、ということの研究をしています。具体的にはテキストマイニングと機械学習というテクノロジーを用いて、過去の様々な事故例や故障のパターンなど膨大なデータをコンピュータに覚えこませることにより事故の原因その確かさと一緒に推定して示す試験を行っています(図10)。

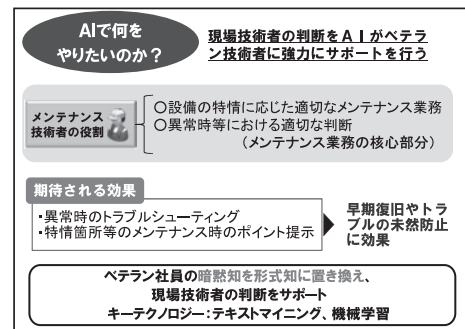


図10 AI(人工知能)による業務サポートの意義

まだ精度は低いのですが、いずれは人間が判断しているようなアルゴリズムを判断事例として機械学習することによって的確な判断が可能なシステムを作ることができると考えております。

このように、CBM、アセットマネジメント、AIによる判断業務支援はメンテナンスの要諦である「劣化を的確に捉えて最適なタイミングと方法が何かを意思決定する」ことを強力にサポートし、それを常に進化させるプラットフォームです。

つまりメンテナンスに関わるサイクルをICT技術による仕組み・プラットフォームとして提供し、そのユーザーである現場の技術者が絶えずそのプラットフォームを改善することができるようにすること、これがスマートメンテナンス構想の基本であり、前章で述べた21世紀型イノベーションであるとする理由です。

これを現場に定着することにより、鉄道設備のメンテナンスに関する革新的な変革を起こすことができると考えております。

## 2.2 スマートメンテナンス構想がもたらすもの

上記で述べたスマートメンテナンス構想ですが、なぜ今実現する必要があり、その効果はどのようなものかを述べたいと思います。

まず鉄道事業を取り巻く環境ですが、これからの日本における人口減少が大きく影響するとはずです。

図11は日本の人口動態の推移と国鉄の民営分割化以降のJR東日本における鉄道設備のメンテナンス経費の推移を表しています。

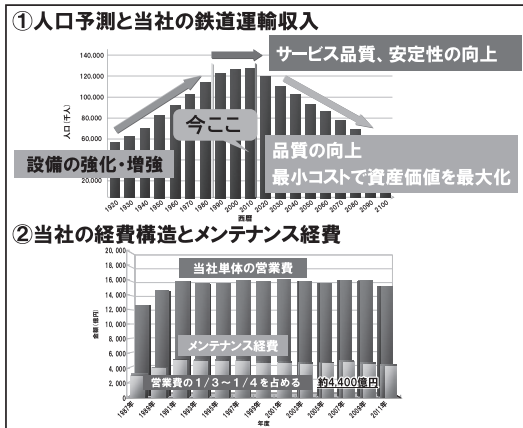


図11 日本の人口動態とメンテナンス経費の推移

メンテナンスに関わる経費は鉄道事業全体の経費の約3分の1弱を占めており、今後の人口減少によるお客様の減少（当然鉄道収入の減）と働く人の人手不足の影響による人件費の増を考えると、その経費構造の抜本的なメスを入れることが必要であり、そのためには上記スマートメンテナンス構想の実現が不可欠です。

特に地方ほど急速に人口が減ることを考慮すると（図12）、当社が多くかかえる地方ローカル線設備のメンテナンスのやり方を大きく変える必要があります。

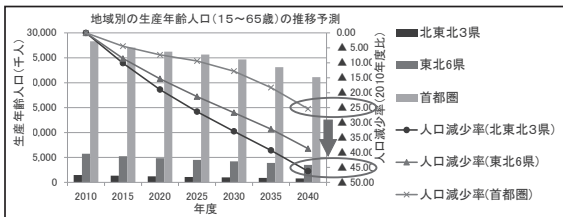


図12 地方の人口動態

また上記スマートメンテナンス構想のメンテナンス経費削減効果は正確に推定することは困難ですが、スマートメンテナンス構想はデータの蓄積があるほど「意思決定が賢くなる」という性質から、図13に示すように将来に渡って（永久的に）継続することになります。

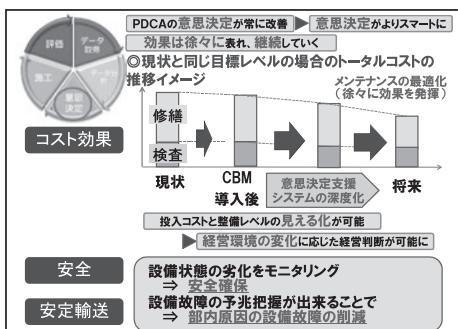


図13 スマートメンテナンスの効果

またスマートメンテナンス構想によって設備レベルとコストの関係がはつきり可視化することができますので、経費をどうするかという経営判断をよりの確に行えるようになる、というのもスマートメンテナンス構想の大きなメリットです。

さらにICT技術の発達がこれからも継続するでしょうから、今はデータ分析が困難なものでも将来は可能となり、データの蓄積と相まってスマートメンテナンス構想の仕組みがより洗練され、賢くなることが継続すると期待できます。

## 3. 今後の鉄道設備を支えるシステム

現在当社では様々なシステムが存在しておりますが、それらは別々に作られてきたという経緯もあって、統合されたデータベースや共通のデータ戦略が存在しないのが現状です。

しかしながら今後のスマートメンテナンス構想の実現や現場のサポート、さらには的確な経営判断を行うためには、その基礎となる膨大なデータを適切に管理、運用していくことが必要不可欠です。

そのためにJR東日本全体としてのデータ戦略を見直し、データを蓄積・統合・分析するデータセンターや通信網、またそれを扱うことができるレベルの高い人材（データサイエンティスト）や権限を持つ組織を作り上げる必要があると考えています。

したがって今はバラバラにある社内システムを統合し、外部データ（気象情報やSNSのデータ）なども有機的に分析し、現場組織から経営層まで同じデータベースを元にした確かな意思決定ができるような大きなシステム（データベースを中心としたプラットフォーム）を構築することを示したのが図14です。

これはまだ構想段階ですが、スマートメンテナンス構想の実現のためだけではなく、お客様へのサービスの向上や環境経営の実現などにも有効だと考えております。

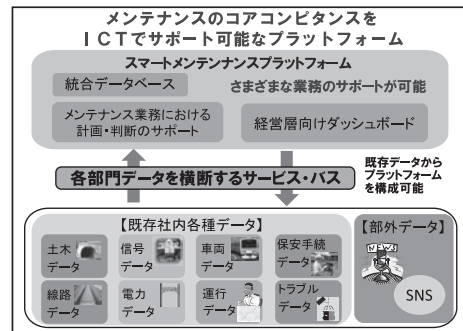


図14 データプラットフォーム構想

## 4. おわりに

21世紀に入り、人口減少やグローバル化の進展、ICT技術の急速な発展など鉄道を取り巻く環境が大きく変化していることを認識し、さらに日本を支えるインフラの代表である鉄道をいっそう発展させることが我々の責務であると考えております。

そのためにはこれまでの鉄道技術の枠に留まらず、オープンイノベーションをキーとして、研究開発を着実に進めていくのが大切です。

関係の皆様の一っそうのご支援・ご協力をお願いする次第です。