

ICTで創る安全・安心のための新たなシステム

理事
久保 俊一



1. はじめに

鉄道システムをより安全で安心なものとするためには、自然災害や線路内の異常、さらには鉄道の施設や車両の不具合など、鉄道の安全や安定運行を脅かす要因をリアルタイムで把握し、即座に対処することが必要である。これを実現するには、近年その進展が著しいセンサー技術、IoT、シミュレーション、ビッグデータ解析、AI（人工知能）などのICT（情報通信技術）を鉄道システムの様々なプロセスに適用し、鉄道技術をデジタル化することが必要である。本稿では、ICT活用による列車運行の安全向上と自動化により、鉄道の安全・安心を高める取組みについて述べる。

2. 鉄道の安全と安心

2.1 安全と安心

「安全」と「安心」は、同じような意味で使われることもあるが、「安全」は安全性など客観的な、「安心」は安心感など主観的な意味合いがある。安全の反対を危険、安心の反対を不安として、これらを軸とすると、図1の4領域は、それぞれ、①安全であり安心と思う、②安全だが不安を感じる、③危険だが安心と思う、④危険であり不安を感じる、状態となる。

従って、安全で安心な鉄道の実現には、鉄道システムの安全性を高める取組みと、安心感を与えられるような事故のない安定した運行を継続する取組みと並行して進めることが必要と言える。

「安全」とは、理想的には、広く受け入れ可能なレベル以下のリスクのみが残されている状態を指すが、現実には、コスト、受ける利便性等を考え、許容可能な（仕方がないから我慢できる）レベル以下のリスクのみの時に、安全であると定義される（図2）。

一方、「安心」な鉄道とは、お客様に安心感を抱いていただけるような鉄道と言えるが、それは逆に言え

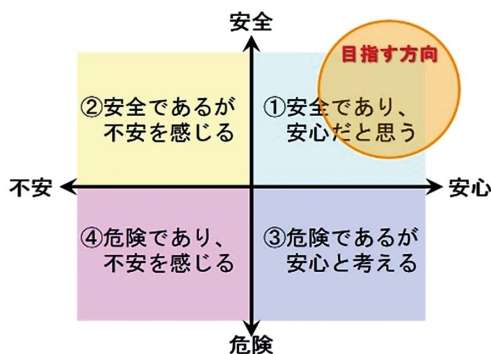


図1 安全・危険と安心・不安マトリックス¹⁾

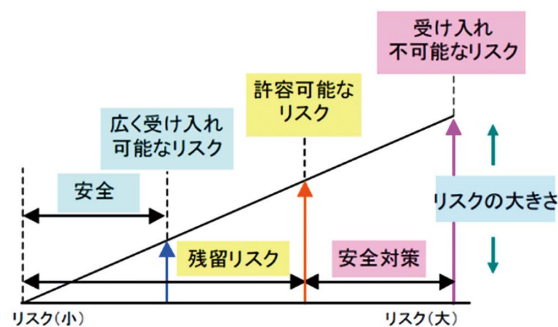


図2 許容可能なリスクと安全²⁾

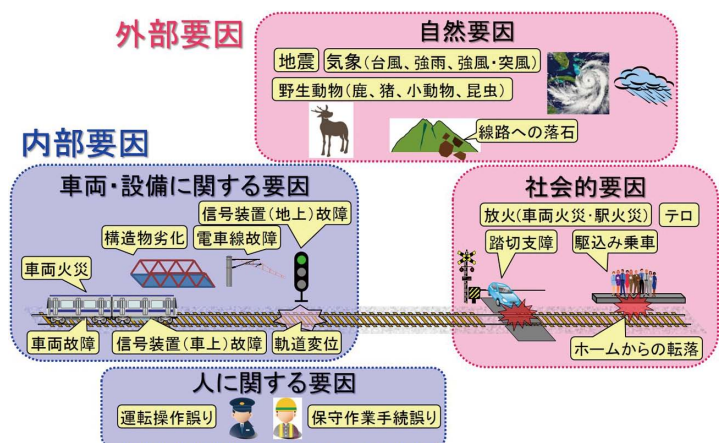


図3 鉄道の安全と安定輸送を脅かす要因

ば不安感や心配を抱かせないということである。鉄道に対する不安感や心配とは、地震が起きたら、事故が起きたら、踏切を渡り切れなかったら、時刻通りに目的地に着かなかったら等のような感情である。これらを払拭し和らげることで、より安心と感じてもらうことができると考えられる。そのためには、鉄道への不安、心配を引き起こす要因を取り除き、安定した列車運行を確保することが必要である。

2.2 鉄道の安全と安定運行を脅かす要因

鉄道の安全と安定運行を脅かす要因は、鉄道の外部からの要因と、内部要因とに分けられる(図3)。前者の最大のもは自然災害であり、次いで社会的な要因として、踏切や線路内への侵入、放火、テロなどが考えられる。一方、内部要因は、人に関するものと、車両や設備に関するものに分けられる。人に関する要因は、運転士が運転操作を誤ったり、保守作業員が手順を誤ったりするので、ヒューマンエラーと呼ばれるものであり、車両や設備に関する要因は、車両をはじめ、軌道、信号、電車線、構造物など鉄道を構成するハードウェアの故障や損傷など、メンテナンスに関わるものである。

自然災害は、大地震、及び、突風、豪雨等の極端な気象現象とそれに伴う河川氾濫、土砂崩れなどに代表

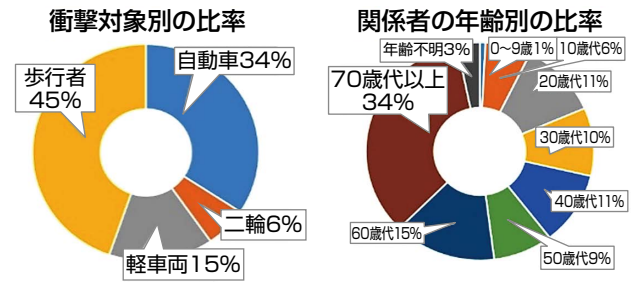


図6 踏切事故での衝撃対象別、関係者の年齢別の比率(2017年度)⁶⁾

される。図4の下段に示すように、震度6弱以上の強い揺れの地震の発生数には近年増加傾向が見られる。また、2018年6月の大阪北部の地震のように、鉄道施設には大きな被害はなかったものの、地震後の運行再開に課題が残る事例もあった。突風、豪雨等の気象災害では、気象庁が2013年8月から警報の基準をはるかに超える危険度の高い大雨、暴風等に対し「特別警報」を発表しており、その発表回数も漸増している(図5)。

社会的要因の一つである踏切については、近年は、「高齢者が踏切を渡り切れずに取り残される」、「踏切道内で転倒する」等の歩行者、特に高齢者が関係する事例が多くを占めている(図6)。従って、踏切障害物検知装置(踏切障検)は、従来は自動車を主対象としてきたが、今後は人の検知も可能とするものに転換していく必要があると考えられる。

2.3 現在の鉄道が直面する課題

現在の鉄道の持続的発展を脅かす課題(図7)の一つに、将来の日本社会の総人口、就労人口の減少がある。前述の踏切事故について、高齢者が関係するものが近年増えているのも上記に伴う高齢者の増加に起因している。また、車両や設備のメンテナンス技術者が確保できなくなれば、安全を支えることも難しくなる。技術人材の確保、育成には長期間を要することを考える

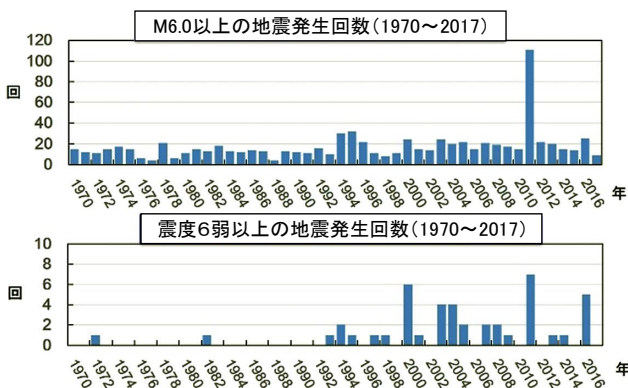


図4 M6.0以上並びに震度6弱以上の地震発生回数の推移(1970~2017年)³⁾

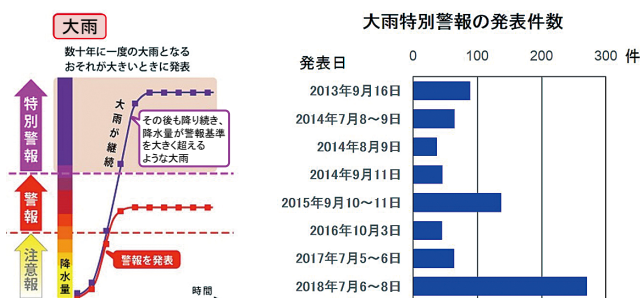


図5 大雨特別警報の考え方⁴⁾と発表件数の推移⁵⁾

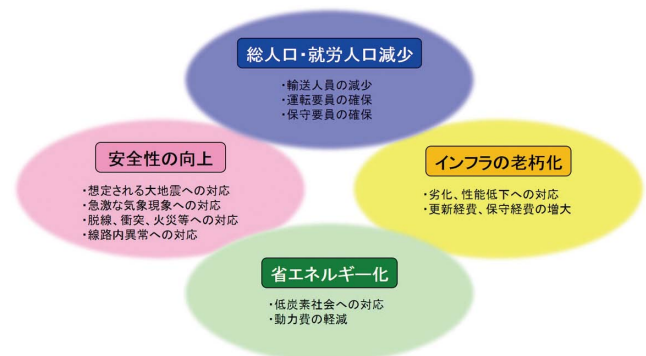


図7 現在の鉄道が直面する課題

と、列車運行や設備保守の省力化や自動化が必要であり、さらには徹底した業務の効率化が求められる。

これを実現するためには、従来の技術に加えコンピュータとネットワークを直結した先進的なICTを積極的に取り入れ、鉄道技術をデジタル化していく必要がある。ICT活用により鉄道技術は大きく変わる可能性がある。一方で、その導入にはコストパフォーマンスが良好であることが必要である。

3. 鉄道とデジタル化

3.1 デジタル化

「デジタル化」とは、従来あるいは狭義には、連続的なアナログ量を離散的なデジタル量に変換すること、量子化、定量化と定義されてきた。しかしながら近年は、センサー、コンピュータ、ネットワークの高性能化・低廉化を背景として、人を含むあらゆるモノの状態の把握、分析、予測、さらにその結果の判断までの全てのプロセスにおいて、デジタルデータをコンピュータ上に蓄積し、ネットワークで共有し、迅速、高精度に行うようなプラットフォームを活用して、これまでにない価値やサービスを提供することがデジタル化と捉えられている。なお、本稿では、新たな価値やサービ

ス提供のプラットフォームとなる技術を対象に、鉄道におけるデジタル化について述べることにする。

業務のデジタル化により、①現実の事象をデジタルデータ化してネットワークを通じ収集し（「データ取得」）、②コンピュータ上で、収集したデータをもとに現実の事象をデジタルモデルとしてリアルタイムで再現し、モデルを分析して現実の状況の詳細な理解、将来予測を行い（「分析・予測」）、③モデルでの分析・予測結果に基づき、現実の事象に必要な対応を策定して（「判断」）、適時に業務を高い精度で制御できる（「実行」）。図8及び図9は、それぞれ現行の業務プロセスと、それに対してICTを活用した場合の例である。現行では、それぞれのプロセスで人や帳票を介して仕事を行うため、ベテラン技術者の技能、経験に頼る部分が多い。ICT活用では、データ取得から実行までのプロセスがネットワークとコンピュータにより自動化される点が大きく異なっている。

政府は、デジタル化による新たな社会 Society5.0 の実現を提唱し、IoTで全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され新たな価値が生まれる社会、AIにより多くの情報を分析するなどの面倒な作業から解放される社会、ロボットや自動運転車などの支援により、人の可能性が広がる社会が実現するとしている⁷⁾。

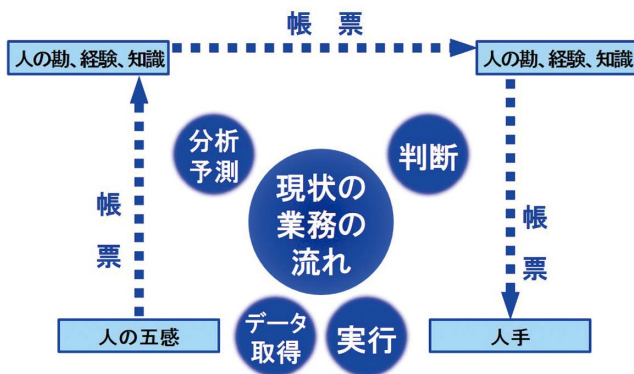


図8 従前からの業務のプロセス

3.2 鉄道へのデジタル技術の導入

鉄道に情報通信技術、デジタル技術を導入することは、既に1960年代から取り組まれてきた。列車の座席予約業務にはMARS（マルス）、高列車密度での運行管理には新幹線のCOMTRACやPRC、列車の制御にはデジタル方式のATCなど、コンピュータと通信ネットワークで構成されるシステムの導入により、正確で迅速な業務の実現に大きな成果を上げてきたのがその例である（図10）。

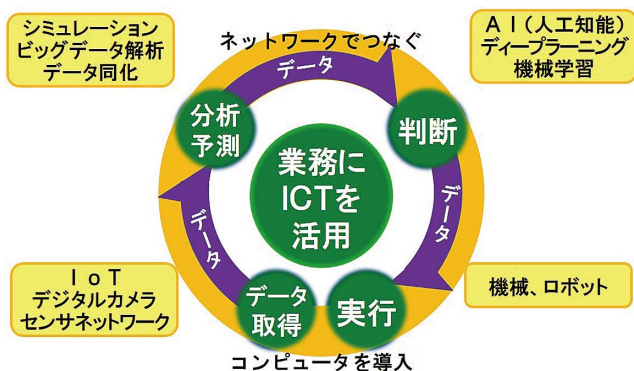


図9 ICTを活用した業務のプロセス

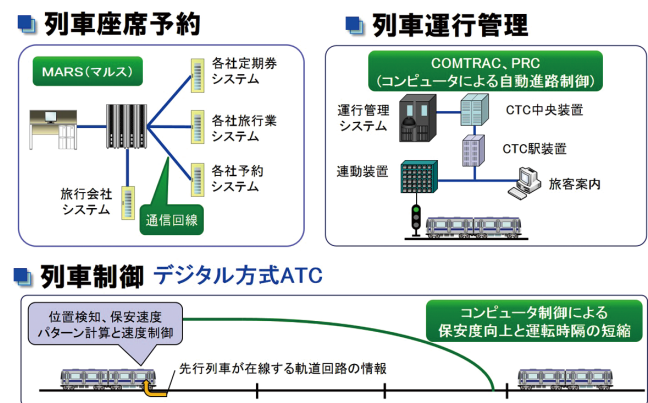


図10 鉄道へのデジタル技術の導入例

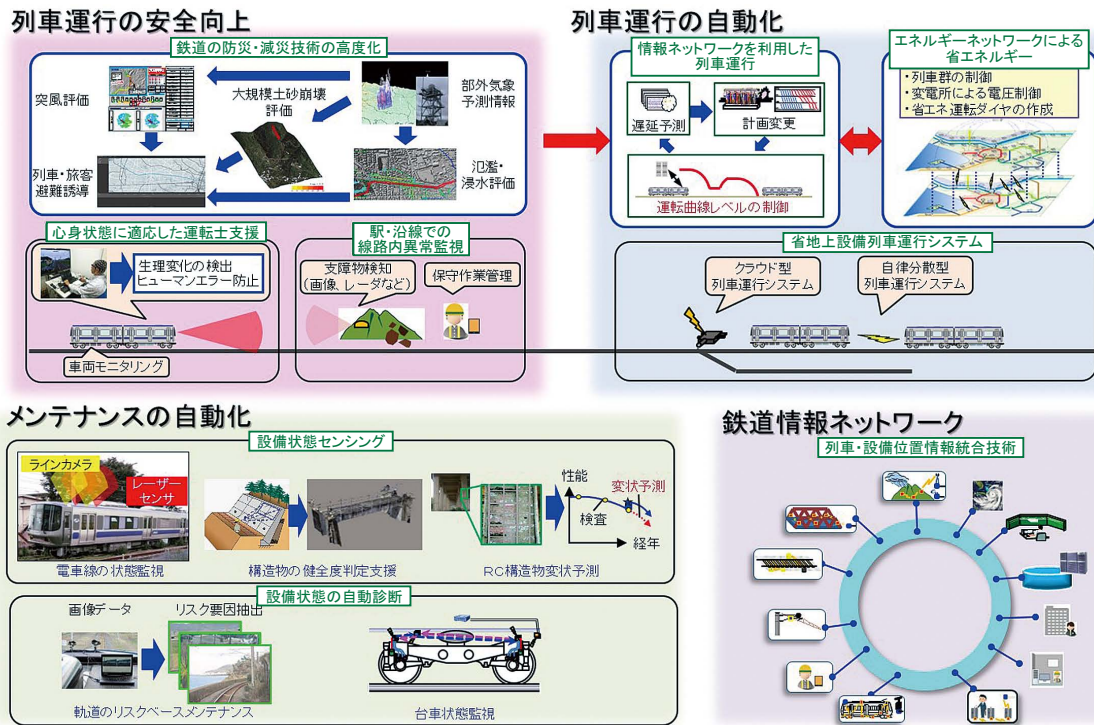


図11 鉄道へのICTの導入のターゲット

一方で、今までは、コンピュータや通信ネットワークなどのデジタル技術が導入されていなかった鉄道の各分野の技術に対し、近年急速に進化したICTを導入することにより、上記の座席予約、列車の運行管理や列車制御の場合と同様に、業務の大きな変革が期待できる。

3.3 鉄道総研のICT活用の取組み

鉄道総研では、ICTの活用による鉄道の技術革新の可能性を誘起する課題として、「列車運行の安全性向上」、「メンテナンスの自動化」、「列車運行の自動化」、「列車・設備位置情報統合技術」の4つの課題に集約して取り組む予定である(図11)。いずれも列車運行の安全、安定、安心に直結する分野である。これまでも単一の研究開発テーマとして実施してきた分野であるが、既往の鉄道技術と新しいICTを効率よく組み合わせるために、研究環境を分野横断的な体制として推進する必要がある。そこで、IoT、AIなどのICTを活用したシステムの提供を目指し、鉄道事業者、産業界と研究開発の協働を進めていくため、「ICT革新プロジェクト」を2018年4月に立ち上げた。

次章ではICT革新プロジェクトで取り組む上記4課題の概要を安全に関することを中心に紹介する。

4. 鉄道へのICTの活用

4.1 列車運行の安全向上

列車運行の安全向上では、2.2節で挙げた鉄道の安全・安定運行を脅かす要因のうち3項目をターゲットとする。

第一は、ICT活用による自然災害に対する減災・防災技術の高度化である。沿線の被害軽減と早期復旧支援のため、公的気象情報も活用してリアルタイムに雨量、風速、河川の水位、斜面の異常などをモニタリング・分析して被害を予測し、列車や乗客の避難誘導に反映させる(図12)。

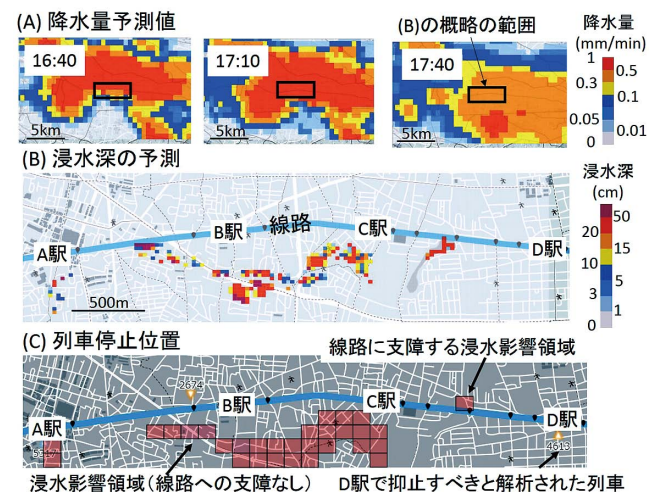


図12 強雨対応リアルタイムハザードマップ

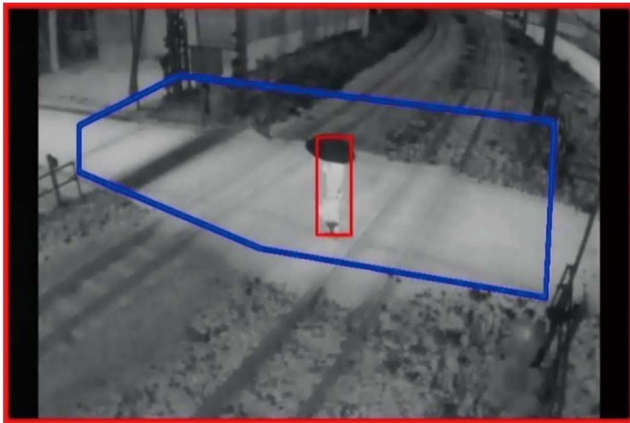
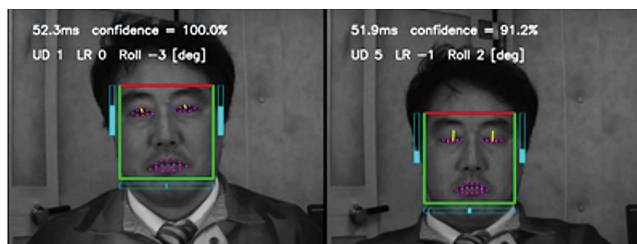


図13 遠赤外線式カメラの画像から認識した通行者



眠くない

眠い

図14 画像解析技術を活用した眠気推定

第二は、沿線、駅での線路内の異常監視及び踏切障害物検知の高度化である。踏切内の監視に温度を感知する遠赤外線カメラを用いたり、曲線区間でも地上センサーとの連携で遠距離の監視が可能となるよう、画像、レーザー、レーザーによる異常検知機能を組み合わせて、画像処理により異常が何であるかを識別する(図13)。

第三は、乗務員の心理、生理状態に対応した、ヒューマンエラー防止のための乗務員支援方法である。業務中の乗務員の眠気などの生理変化をセンサーで捉えて知らせる(図14)などの方法につなげるほか、乗務員ごとの運転スキルの特徴を定量化して運転技術向上につなげる。

4.2 メンテナンスの自動化

メンテナンスの機能は安全の観点からは、2.2節で車両や設備に関わる要因として挙げた車両、軌道、信号、電車線、構造物などハードウェアの故障や損傷に起因する事故等の防止である。

安全の確保を前提として、保守の省力化と低コスト化を目指した課題として、設備状態のセンシング、自動診断と故障予測、保守計画の自動作成などに取り組む。設備保守は定期検査方式(TBM)から状態監視方式(CBM)に移行すべく、様々な取組みが行われている。

CBMにおける状態把握のプロセスでは、現状の目

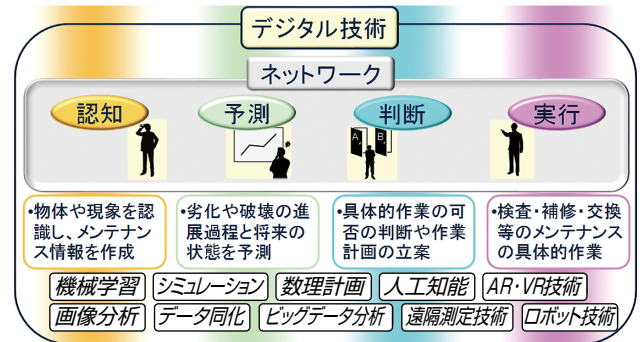


図15 メンテナンスへのICTの活用

視による設備点検に代わり、変位計、振動計、圧力計などの力学的センサーと、画像、レーザーなどの電磁気計測とを合わせた多機能計測とICTの活用により、安全の確保を前提として保守の自動化による省力化、低コスト化を目指す(図15)。主な対象は、軌道設備、電車線設備、土木構造物である。

4.3 列車運行の自動化

列車運行の自動化の要素技術として、柔軟で、ダイヤ乱れ時の遅延回復性能の高い列車運行と、ダイヤの自動的な作成や変更を目指す。また、輸送効率が良好となるよう、需要に柔軟に対応するダイナミックな列車運行のロジック、地上信号や連動設備を省略し、列車が進路を自主的に安全に選定していく自律分散型運行システムについての課題に取り組む。これらに、列車の前方監視機能を持たせることにより在来線区間での列車の自動運転につながる技術の開発を目指す。

さらに、安全とは方向性が異なるが、「消費エネルギーを最小にするための列車制御」として、変電所間の電力調整と列車群の制御により省エネ効果を高めることを目指す。

4.4 基盤技術

鉄道設備の関係情報を全般にわたり共有することが、業務の効率化に有効であると考えられるため、列車と地上設備の位置情報を統合する研究開発を行う。既に保有する諸設備の位置情報や計測方法を変更することは容易ではないが、鉄道へのICTの活用を進めるにあたっては、避けて通ることができない課題である。

4.5 ICTを活用した新しい安全・安心のためのシステム

ICTの活用による列車運行の安全向上を目指した3項目は、「データ取得」から「判断」までの自動化を目

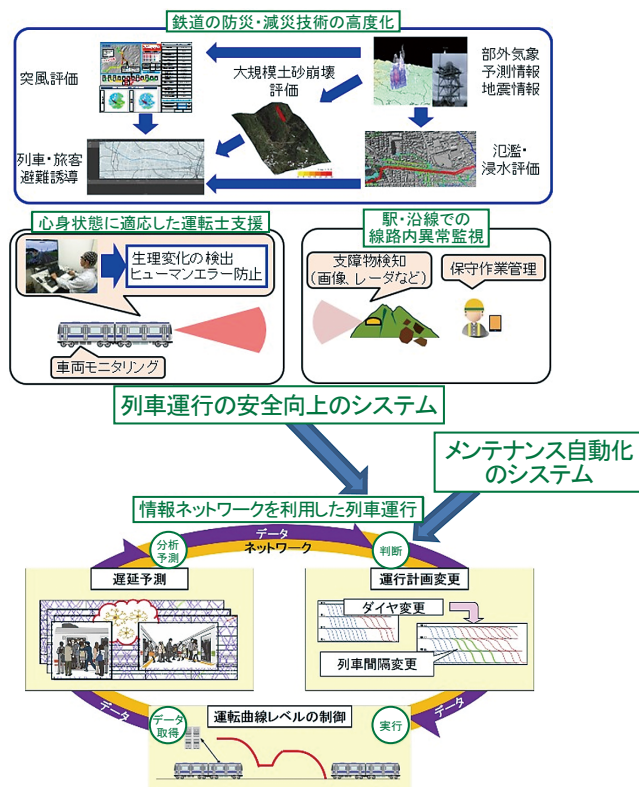


図16 安全向上及びメンテナンス自動化のシステムと列車運行の自動化のシステムとの連携

指したものであるが、現段階では「実行」のプロセスは人が関与して列車運行の制御を行うことを念頭に置いている。また、メンテナンスの自動化は、安全の確保を前提として保守の省力化と低コスト化を目指しており、「判断」の結果を列車運行の制御まで結びつけてはいない。

これらの安全向上のためのシステム及びメンテナンスの自動化のシステムにおける「判断」の結果の出力を、列車運行自動化システムの「判断」のプロセスに入力し「実行」に移すことにより、自然災害による影響や、線路内の異常による影響、ヒューマンエラー発生の影響、さらには設備の故障・損傷の影響を列車が予測・判断することで、列車の速度を自律的に「より安全に」決めつつ、ダイヤ乱れ時でも遅延回復性能が高い、安定した列車運行が可能で、「安心を与え得る」システムの実現が見通せる。すなわち、ICT活用により、より安全で、より安心をもたらす新たなシステムの実現が期待できる(図16)。

一方、データ取得から、分析・予測、判断、実行までICTを活用したシステムでは、セキュリティーをより高くすることが必要である。さらに、判断のプロセスに人工知能を導入する場合には、システムは人の管理の下で稼働することが基本であると考えられる。

5. おわりに

ICTを活用することにより、鉄道は、より安全、より効率的でより省力なものに変革されることが期待できる。一方で、データ取得から実行までのプロセスで、データがどのように扱われ、結果が出てくるかを「見える化」することが必要であり、分析・予測のプロセスにおいては、様々な現象についての十分な理解が欠かせない。

鉄道総研は、鉄道技術の変革を目指してICTの活用に取り組むとともに、従来から蓄積してきた保守やもの造りの技術を高め、現象に対する理解を深めるための研究開発にも併せて取り組む。そのためには鉄道事業者はもとより、行政・学協会・産業界との連携が重要であり、今後ともご理解ご協力をお願いしたい。

参考文献

- 1) 内田勝也：安全と安心を考える，平成21年度版情報通信白書「第2回有識者コラム」の図に加筆 http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/column_uchida.html(2018.10.3閲覧)
- 2) 日本学術会議人間と工学研究連絡委員会安全工学専門委員会：安全・安心な社会構築への安全工学の果たすべき役割，2005年8月 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-t1034-1.pdf> (2018.10.3閲覧)
- 3) 気象庁ホームページ：「震度データベース検索」 <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (2018.10.3閲覧のデータに基づき作成)
- 4) 気象庁ホームページ：「気象等の知識、特別警報について」 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/tokubetsu-keiho/> (2018.10.3閲覧)
- 5) 「特別警報・警報・注意報データベース」 <http://agora.ex.nii.ac.jp/cps/weather/warning/> (2018.10.3閲覧のデータに基づき作成)
- 6) 国土交通省鉄道局：鉄軌道輸送の安全に関わる情報(平成29年度)
- 7) 内閣府ホームページ：「Society 5.0」 http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html (2018.10.3閲覧)