

新幹線ネットワークの拡充と円滑な相互直通列車の運行を実現する新幹線運行管理システムの開発

須貝 孝博
Sugai Takahiro

磯貝 雅彦
Isogai Masahiko

田辺 均
Tanabe Hitoshi

大田 健二
Ohta Kenji

田村 優二郎
Tamura Syuujirou

山見 徹成
Yamami Tetsunari

土屋 嘉彦
Tsuchiya Yoshihiko

佐藤 真
Sato Makoto

鉄道は、世界的に環境問題や都市部への人口過密問題を抱える現在、自動車や航空機と比較してエネルギー効率に優れた大量輸送が可能な交通手段として、その価値が見直されてきている。

日本の代表的な高速鉄道である新幹線は、全国新幹線鉄道整備法に基づいた整備計画によってネットワークが拡充されてきた。近年では、2015年3月の北陸新幹線金沢開業、2016年3月の北海道新幹線新函館北斗開業と、新幹線ネットワークの整備が着実に進められている。

これら2つの新幹線開業では、鉄道会社間で相互直通列車の運行を行う。1社での運行と比べて複雑な運用となるが、新幹線を円滑に運行し、乗客が新幹線をスムーズに利用できることが望まれる。そのため、新幹線運行管理システムは、乗客のニーズに応えた運用を実現し、安全で安定した運行を支えていく必要がある。

今回、相互直通列車の円滑な運行の実現にあたり、新幹線運行管理システムの開発・改良を行った。

1. はじめに

鉄道は、自動車や航空機と比較してエネルギー効率に優れた大量輸送が可能な交通手段であり、重要な社会インフラである。中でも新幹線は、安全で定時性に優れた鉄道として世界的に認知度が高く、日本が誇る高速鉄道である。その新幹線の安全性・定時性を担保する大きな役割の一つを担っているのが新幹線運行管理システムである。

新幹線ネットワークの拡充は、全国新幹線鉄道整備法に基づいた1973年の整備計画によって進められている。近年では、北陸新幹線(長野・金沢間)が2015年3月に開業し、北海道新幹線(新青森・新函館北斗間)は2016年3月の開業に向けて着実に整備が進められているところである(図1参照)。

また、これら2つの開業では、ともに鉄道会社2社が新幹線の相互直通列車の運行を行うこととなった。北陸新幹線金沢開業では東日本旅客鉄道株式会社(以下、「JR東日本」と記す。)と西日本旅客鉄道株式会社(以下、「JR西日本」と記す。), 北海道新幹線新函館北斗開業では北海道旅客鉄道株式会社(以下、「JR北海道」と記す。)とJR東日本である。相互直通列車の運行において、鉄道会社は会社境界を意識する必要があるが、乗客からは会社境界を意識せずに新幹線を利用できることが望まれる。

本稿では、このニーズに応えるべく開発・改良した新幹線運行管理システム [COSMOS (Computerized Safety Maintenance and Operation Systems of Shinkansen) 運行管理システム, CYGNUS[※] 運行管理システム] について報告する。

※) traffic Control sYstem (運行管理システム), standard and narrow Gauge (標準軌・狭軌), North of earth (北の大地), United of operation and maintenance (保守運用の統合), hokkaido Shinkansen (北海道新幹線) という関連キーワードを考慮した愛称。

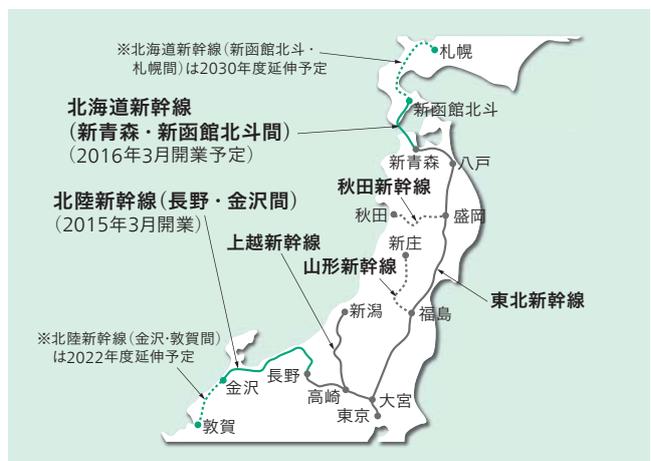


図1 | 新幹線ネットワークの拡充

新幹線ネットワークの拡充は地域間の移動時間を短縮し、産業や社会に大きな効果をもたらす。

2. COSMOS運行管理システムの概要

COSMOSは、東北・上越・北陸新幹線に関わる輸送計画から運行管理・車両管理・保守作業管理などに至るすべてを総合的に管理するシステムである。1982年の東北・上越新幹線開業時に導入したCOMTRAC (Computer Aided Traffic Control) システムから、輸送量の拡大や輸送形態の変化に対応した新しいコンセプトのトータルシステムへ更新することを目的として開発し、1995年に稼働を開始している。その中で、運行管理システムは新幹線の運行を総合的に管理するシステムとして、高速・高密度運転、分割併合などの輸送形態、多種多様な車両編成、路線延伸などによって複雑化する新幹線輸送に対応し、安全で正確な列車運行を支えている。

2.1 運行管理システム

運行管理システムは当日の列車運行を管理するシステムである。列車ダイヤを基に自動進路制御や旅客案内を行うとともに、異常時には運転状況の変化に応じた輸送を実現するべく指令員の業務支援を行う。指令員の業務支援の機能として、運転状況の情報提示を行う運行表示機能、当日ダイヤ変更業務の支援を行う運転整理機能、沿線の状況に応じて速度制限を行うための臨時速度制限機能、列車の運行を行う運転時間帯と列車の運行を行わずに保守作業を行う作業時間帯を管理する時間帯管理機能などを持つ(図2参照)。

COSMOS運行管理システムの大きな特徴として、運転整理機能の一つであるダイヤ予想機能がある。これは、列車の走行実績とあらかじめ登録された駅間走行時分などの定数から未来の運行状況を予想し、指令端末上にダイヤス

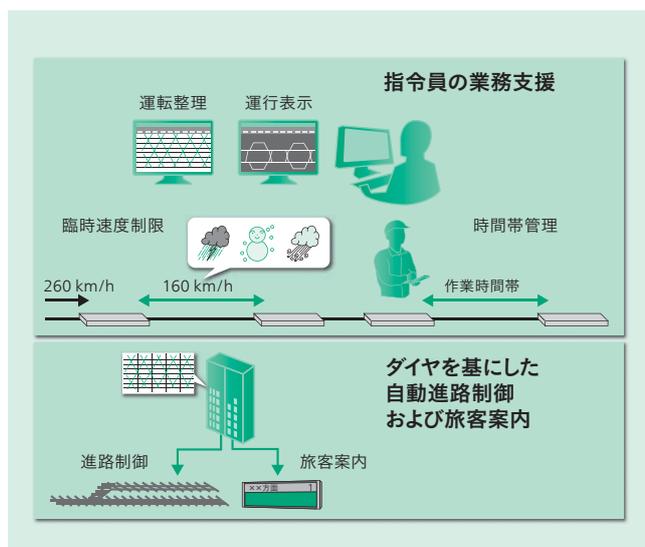


図2 運行管理システムの主な機能

ダイヤを基に列車の進路を自動制御するとともに、指令員の業務を支援する機能を持つ。

ジ形式で表示する機能である。このダイヤ予想機能は、指令員が未来の運行状況を把握することを支援しており、当日ダイヤ変更業務における判断の一助となっている。

2.2 自律分散システム

COSMOS運行管理システムは、指令所に設置される運行管理中央装置と、各駅に設置される駅進路制御装置を広域光ネットワークで接続した駅分散型の自律分散システムである。

自律分散システムは、通信経路の冗長化および多様な計算機によるオープンネットワークをサポートするとともに、段階的なシステム構築が可能である。この特徴から、システムへの新装置の追加をスムーズに行えるため、新駅の開業などの際、駅装置の新設に容易に対応することができる。

3. 北陸新幹線金沢開業対応開発

3.1 北陸新幹線金沢開業の概要

北陸新幹線は1997年10月に高崎・長野間を開業した。北陸新幹線金沢開業は、この北陸新幹線の長野・金沢間の延伸であり、2015年3月の開業より、東京・金沢間の直通運転を実現している。

北陸新幹線金沢開業の特徴は大きく2つある。

1つ目の特徴は、開業区間約240 km、開業駅7駅と、近年の新幹線開業と比較して規模が大きいことである。

2つ目の特徴は、飯山駅・上越妙高駅の2駅がJR東日本管轄であり、糸魚川駅～金沢駅の5駅がJR西日本管轄であるため、北陸新幹線の東京・金沢間の運行はJR東日本とJR西日本による初めての相互直通列車の運行となることである(図3参照)。

3.2 システム構成

北陸新幹線金沢開業では、相互直通列車の運用に対応した運行管理システムを構築する必要があった。

そこで、これまでJR東日本の指令所のみで使用していたCOSMOS運行管理システムを改良し、JR東日本とJR西日本の2指令所で使用する1システム2指令所の構成を採用した。JR東日本指令所に設置されている運行管理サーバと指令端末の改良・増設を行い、JR西日本指令所に指令端末を新設した。また、飯山駅から金沢駅の新規開業各駅については、駅進路制御装置を新設した。

これらの改良・新設により、COSMOS運行管理システムは開業区間を含め、東北・上越・北陸新幹線全線の運行を総合的に管理することを実現している。



図3 | 北陸新幹線金沢開業

2015年3月に開業し、北陸新幹線東京・金沢間はJR東日本とJR西日本が相互直通列車を運行している。延伸区間は約240 kmであり、開業7駅のうち、上越妙高駅を境として、東京方2駅（飯山駅、上越妙高駅）はJR東日本、金沢方5駅（糸魚川駅、黒部宇奈月温泉駅、富山駅、新高岡駅、金沢駅）はJR西日本の管轄である。

3.3 円滑な相互直通列車の運行に必要な機能開発

1システム2指令所の構成では、鉄道会社2社が運行する新幹線のダイヤなどの情報を1つのシステムで一元管理することができるメリットがある。しかし、鉄道会社2社の指令所がそれぞれ自社の管轄範囲の新幹線の運行を管理していることから、自社の管轄範囲に対する確認の確実な実施と円滑な相互直通列車の運行を実現する必要があった。それらの要件を満たすため、新規機能を開発した。

新規機能の代表例として、当日ダイヤ変更の相互確認機能がある。

会社境界をまたいで走行する相互直通列車に対してダイヤを変更する場合、鉄道会社ごとに指令所が管轄範囲を持つため、指令所間で変更内容の申し合わせを行い、ダイヤの変更を実施する必要がある。さらに、ダイヤ変更後は変更内容が正しいことを両社で確認しなければならない。

そこで、今回は1システム2指令所の構成を生かし、自社指令所でも入力した事前調整済みのダイヤ変更内容を他方の指令所へ通知する指令所間相互確認通知技術を開発した。これにより、会社境界をまたいで走行する相互直通列車のダイヤの変更を実施した際の、システムを用いた確実な確認を実現した（図4参照）。

この機能のほかに、「臨時速度制限の制御における他社指令所への通知機能」や「指令端末の会社別制御抑止機能」などの機能を新規開発し、円滑な相互直通列車の運行を実現している。

3.4 現地試験

北陸新幹線金沢開業延伸区間の地上設備は新設である。そのため、システムの本稼働に向けて安全性を確保することを目的に、地上設備の試験や地上設備と駅進路制御装置

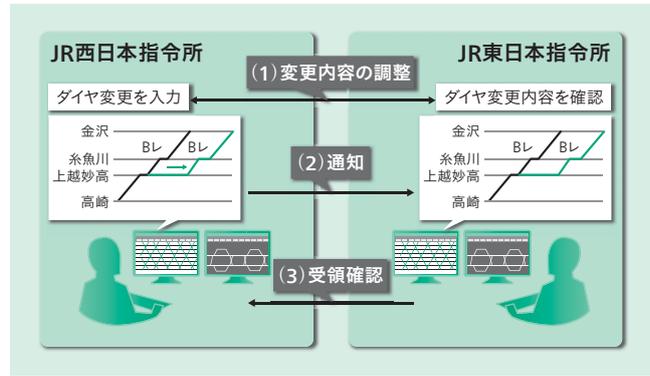


図4 | 当日ダイヤ変更相互確認機能

システムによって相互に確認を行うことで、相互直通列車に関する当日ダイヤ変更手配を確実なものとしている。

の接続試験を行った。

これらの試験において、試験中の駅進路制御装置が接続されている運行管理中央装置は営業運転中であり、システム全体として、営業運転中の装置と試験中の装置が共存しなければならないという課題があった。

そこで、運行管理中央装置と駅進路制御装置の接続について、段階的なシステム構築をサポートする自律分散システムの機能を生かすこととした。駅進路制御装置が地上設備との試験を実施するときは試験モードとして運行管理中央装置との接続を切り離し、中央接続試験やシステム切り替えのときはオンラインモードとして運行管理中央装置と接続することで、営業運転中の装置と試験中の装置を共存させながら試験を完遂した（図5参照）。

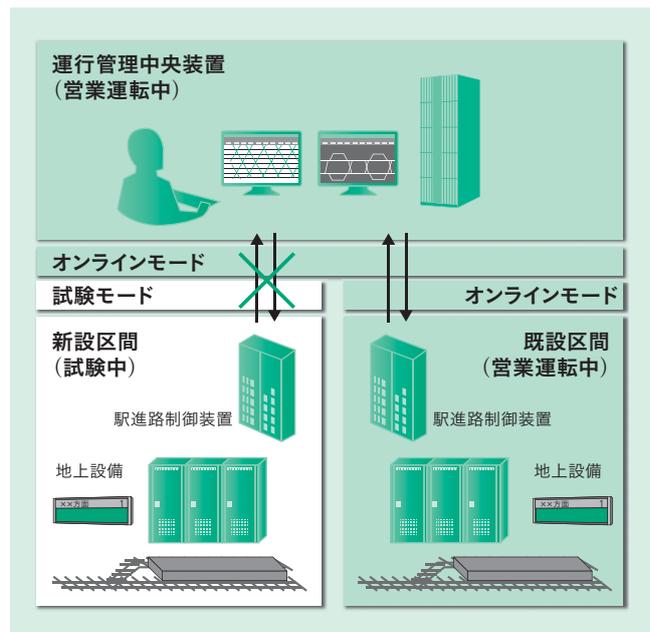


図5 | 自律分散による接続のコントロール

段階的なシステム構築をサポートする自律分散の活用により、試験中の装置と営業運転中の装置を共存させた。

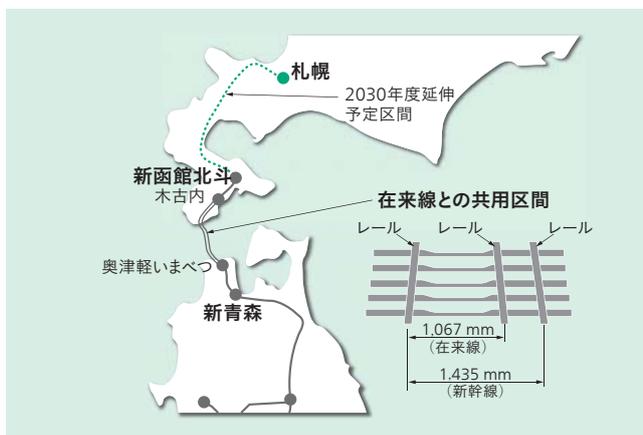


図6 | 北海道新幹線開業における在来線との共用区間

整備新幹線として初めて三線軌条による共用区間がある。これまで津軽海峡線として運行していた軌間（レールの幅）にもう1本新幹線用のレールを敷設することで、在来線と新幹線が共用走行する。

4. 北海道新幹線新函館北斗開業対応開発

4.1 北海道新幹線新函館北斗開業の概要

北海道新幹線新函館北斗開業は、新青森・新函館北斗間（開業区間約149 km、開業駅3駅）に北海道新幹線を開業し、東京・新函館北斗間の直通運転を実現するものであり、2016年3月に予定されている開業に向けて整備を進めている。

北海道新幹線新函館北斗開業の特徴は大きく2つある。

1つ目の特徴は、本州と北海道をつなぐ区間に既設の青函トンネルを使用し、全国新幹線鉄道整備法に基づく新幹線として初めてとなる三線軌条による在来線（津軽海峡線）との共用区間があることである（図6参照）。

2つ目の特徴は、今回開業する新青森・新函館北斗間がJR北海道管轄の北海道新幹線であり、東京・新青森間はJR東日本管轄の東北新幹線であるため、東京・新函館北斗間の運行はJR北海道とJR東日本による相互直通列車の運行となることである。

4.2 システム構成

北海道新幹線新函館北斗開業では、新たに開業する北海道新幹線の運行を管理するシステムを構築する必要があった。これまでCOSMOSが運行を管理している区間は新幹線のみが走行していることに対し、北海道新幹線では青函トンネルを含めた共用区間で在来線列車も走行することが課題となった。運行形態が大きく異なる在来線貨物列車のダイヤをCOSMOSで管理することは困難でもあり、JR北海道管轄区間においてはCOSMOSとは別に、新幹線および共用区間における在来線の両方を総合的に管理する北海道新幹線 新幹線総合システム（CYGNUS）を新たに開発することとした。

JR北海道管轄区間の当日の列車運行を管理する

CYGNUS運行管理システムは、指令業務の支援機能および進路制御機能を指令所に配置した中央集中型のシステムである。北海道新幹線全区間の運転状況の情報提示・自動進路制御およびダイヤ管理を運行管理中央装置で行う。また、保守作業管理機能も有しており、保守作業の登録、着手・終了手続きもCYGNUS運行管理システムで行う。

4.3 新幹線と在来線の共用区間に必要な機能開発

CYGNUS運行管理システムでは、新幹線と在来線の共用区間という、従来の新幹線運行管理システムにはない設備条件に対応した新規機能を開発する必要があった。

新規機能の代表例の1つ目として、統合出発順序機能がある。CYGNUS運行管理システムは新幹線と在来線を別々の線区として管理する。しかし、それぞれの線区から進入する新幹線と在来線が合流した共用区間の出発順序について、別々に管理すると自動進路制御の判断が複雑になる課題があった。そこで、新幹線と在来線の出発順序を共用区間のみ出発時刻順に統合することにより、それぞれの線区から進入する新幹線と在来線の自動進路制御を単純な判断で実現した。

代表例の2つ目として、新幹線優先整理機能がある。新幹線と在来線の共用区間があることにより、在来線列車のダイヤ乱れが新幹線のダイヤ乱れにつながるおそれがあることから、新幹線の安定輸送を優先的に確保するための機能を開発した。

新幹線優先整理機能には大きく2つの機能がある。1つ目は、ダイヤ予想機能で在来線列車の遅延が原因で新幹線が遅延することを検知した場合、警報を出力して指令員に運転整理を要請する機能である。2つ目は、走行中の列車の次駅到着見込み時刻から、在来線列車の遅延が原因で新幹線が遅延することを検知した場合、在来線列車の進行を抑止して指令員に運転整理を要請する機能である（図7）

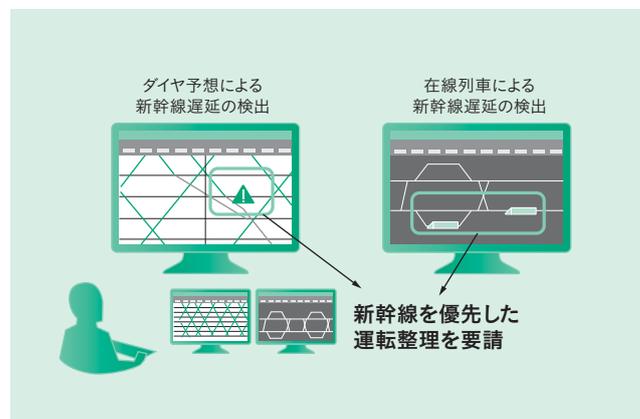


図7 | 新幹線優先整理

新幹線の相互直通列車を優先して走行させ、在来線列車のダイヤ乱れを原因とした新幹線のダイヤ乱れを起こさない運行を実現する。

参照)。

この新幹線優先整理機能に従って指令員が運転整理を行うことで、新幹線の安定輸送を確保し、在来線列車のダイヤ乱れを原因とした新幹線のダイヤ乱れを起こさない運用を実現する。

4.4 CYGNUS運行管理システムと

COSMOS運行管理システム間の連携

北海道新幹線開業にあたり、新幹線の円滑な運行を実現するために、COSMOSがJR北海道管轄区間を含めた東京・新函館北斗間の新幹線全線のダイヤ上の整合性を担保する方針とした。この方針に従ったCYGNUS運行管理システムとCOSMOS運行管理システム間の連携について、以下に2点述べる。

(1) ダイヤ管理

上述の方針より、北海道新幹線のダイヤについてCOSMOSが東京・新函館北斗間の新幹線全線のダイヤを管理し、CYGNUSがJR北海道管轄区間である新青森・新函館北斗間の新幹線と在来線のダイヤを管理する。ダイヤ計画時にはCOSMOSが東京・新函館北斗間の新幹線全線のダイヤを作成するとともに、CYGNUSはCOSMOSからJR北海道管轄区間のダイヤデータを受領し、在来線のダイヤと統合する。

COSMOSが東京・新函館北斗間の北海道新幹線全線のダイヤの整合性を担保するために、COSMOS運行管理システムが東京・新函館北斗間のダイヤを予想する。ダイヤの予想には列車の走行実績とあらかじめ登録された駅間走行時分などの定数を使用することから、COSMOS運行管理システムはJR北海道管轄区間の走行実績を必要とする。一方で、JR北海道管轄区間の運行はCYGNUS運行管理システムが管理するため、その区間における当日の列車走行実績はCYGNUS運行管理システムが保有する。そこで、CYGNUS運行管理システムがCOSMOS運行管理システムへJR北海道管轄区間の走行実績を送信することにより、COSMOS運行管理システムにおいて受信した走行実績を基に東京・新函館北斗間のダイヤを予想し、COSMOSによる北海道新幹線全線のダイヤの整合性担保を実現することとした。

(2) 時間帯管理

COSMOS管轄の区間では、新幹線列車の運転終了後、運転時間帯から、線路の整備など保守作業専用の時間帯である作業時間帯へ時間帯を切り替えている。そこで、COSMOS運行管理システムは時間帯管理機能として、各駅および駅間において運転時間帯と作業時間帯を管理している。スムーズな管理を実現するために、新幹線列車の列

車終了情報を駅から取得することで、作業時間帯への移行を行っている。

北海道新幹線においても、従来と同じ考え方を踏襲した時間帯管理を基本とすることとした。CYGNUS運行管理システムでは在来線列車も走行することから、在来線列車も含めた列車の運転終了後に作業時間帯へ移行する必要がある。しかし、在来線との共用区間では深夜および早朝に在来線列車が走行するため、COSMOS運行管理システムとCYGNUS運行管理システムで列車の運転終了のタイミングが大きく異なることとなる。

そこで、JR北海道管轄区間の新幹線列車の運転終了をもってCYGNUS運行管理システムがCOSMOS運行管理システムに列車終了情報を送信することにより、JR北海道管轄区間における新幹線列車の終了をCOSMOS運行管理システムが知得し、運用に即した時間帯管理機能の実現を図った。

4.5 現地試験

北海道新幹線新函館北斗開業の大きな特徴として、在来線との共用区間について述べてきたが、これは、現地試験フェーズにおいても課題となった。

これまでの整備新幹線開業では新規に線路を敷設してきたため、地上設備の試験や地上設備とシステム装置の接続試験を、既存の列車運行に関係なく行うことができた。今回の北海道新幹線新函館北斗開業では、在来線との共用区間において、開業前に既存の在来線設備と新設の新幹線設備を共存させるため、在来線設備が稼働している時間帯には新幹線設備を稼働できないという制約があった。

そのため、在来線列車が走行しない夜間の限られた時間のみ新幹線設備に切り替えて列車走行試験を実施した。この地上設備を対象とした試験に合わせてCYGNUS運行管理システムの試験を実施することで、効率的に品質を担保できるように努めた。

5. おわりに

今回、北陸新幹線金沢開業と北海道新幹線新函館北斗開業におけるCOSMOS運行管理システムとCYGNUS運行管理システムの開発・改良について述べた。

2015年3月の北陸新幹線金沢開業以降、COSMOS運行管理システムが1システム2指令所のシステムとして、JR東日本とJR西日本にまたがって開業した区間を含む新幹線の運行を支えている。さらに、2016年3月の北海道新幹線開業以降、駅分散型のCOSMOS運行管理システムと中央集中型のCYGNUS運行管理システムが協調し、新幹線の安全で安定した運行を支えていく(図8参照)。

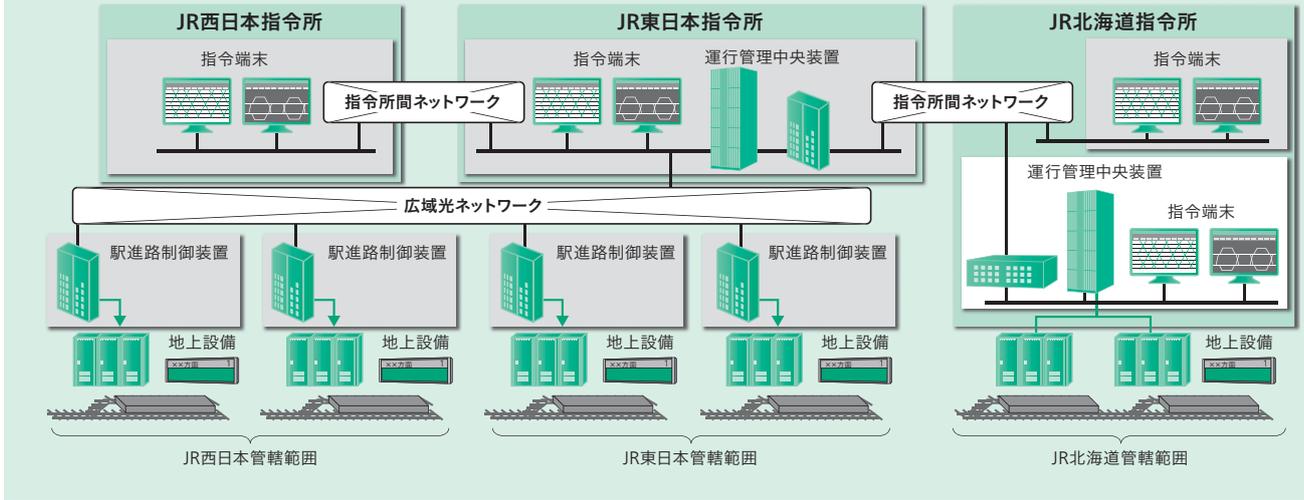


図8 | 北海道新幹線開業後の新幹線運行管理システムの全体概要

JR東日本管轄範囲とJR西日本管轄範囲における新幹線の運行を管理する駅分散型のCOSMOS運行管理システムと、JR北海道管轄範囲における新幹線と在来線の運行を管理する中央集中型のCYGNUS運行管理システムが協調し、安全で安定した新幹線の運行を支えていく。

今後も新幹線運行管理システムでは、新技術への対応やサービス向上を進め、安全で安定した輸送を実現する技術開発に取り組んでいきたい。

参考文献など

- 1) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構：整備新幹線の建設，<http://www.jrnt.go.jp/02Business/Construction/const-seibi.html>
- 2) 豊樹，田辺：新幹線総合システム（COSMOS）の変遷，JREA，Vol. 58，No. 8（2015.8）
- 3) 松田，外：COSMOSとSCADA（高速鉄道），鉄道と電気技術，Vol. 26，No. 5（2015.5）
- 4) 株式会社JR東日本情報システム：鉄道事業ソリューション，新幹線総合システム（COSMOS），<http://www.jeis.co.jp/solution/01/13.html>
- 5) 大槻，外：東北・上越新幹線の新しい新幹線総合システム“COSMOS”，日立評論，79，2，169～172（1997.2）

執筆者紹介

須貝 孝博
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 電気部 所属
現在、信号設備の施行計画および技術開発に従事
電気学会会員

田辺 均
東日本旅客鉄道株式会社 鉄道事業本部 電気ネットワーク部 兼 運輸車両部 所属
現在、新幹線運行管理システム、列車制御システムの開発に従事
電子情報通信学会会員

田村 優二郎
西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 電気部 新幹線電気課 所属
現在、列車運行管理システム関連業務に従事

土屋 嘉彦
北海道旅客鉄道株式会社 電気部 企画課 システム管理 所属
現在、北海道新幹線のシステム管理に従事

磯貝 雅彦
株式会社JR東日本情報システム 新幹線システム部 所属
現在、新幹線運行管理システムの開発に従事

大田 健二
日立製作所 インフラシステム社 大みか事業所 交通システム本部 交通システム設計部 所属
現在、列車運行管理システムの開発に従事

山見 徹成
日立製作所 インフラシステム社 大みか事業所 交通システム本部 交通システム設計部 所属
現在、列車運行管理システムの開発に従事

佐藤 真
日立製作所 インフラシステム社 大みか事業所 交通システム本部 交通システム設計部 所属
現在、列車運行管理システムの開発に従事