

福井 清純
Fukui Kiyosumi

41

の間、ATOSは機能向上を目的にたび重なる装置構成変更やソフトウェア改修を続けてきており、装置構成およびソフトウェア構成はシステム導入初期以降も複雑化し、改修コストや難易度が増大しているという課題がある。

初号線区では導入から約18年が経過したこともあり、当初のシステム（ソフトウェアやハードウェア）のままでは機能やリソースが不足し、ATOSが抱える上述のニーズや問題への対応は困難になっていた。そのため、抜本的な解決策として、システムアーキテクチャの大幅な刷新および簡素化が求められていた。

また、東京圏の列車運行は高密度であり、かつ終電から始発までの間合い時間（システム改修が可能な時間帯）が極めて短い。そのため、輸送管理業務に影響を与えずに大幅刷新したシステムへ切り替えるためには、間合い時間という限られた時間内に作業を完了させなければならず、過去に事例のない難易度の高い段階的切り換え手法が必要である。

ここでは、現在のATOSが抱える課題、課題解決のために実施した刷新内容、およびそれらを段階的に切り換える移行技術について述べる。

2. 現在のATOSが抱える課題

鉄道の利便性・快適性の向上のためには、多種多様なサービス形態へのサポートおよび乗客に満足される情報発

信が求められている（図2参照）。以下に情報および制御の高度化について取り組む課題を述べる。

2.1 アーキテクチャの老朽化

(1) サービス拡充に向けたネットワーク環境整備

ATOSは、各駅と指令室をネットワークで結合し、各駅と指令室相互の協調制御を行っている。今後、より質の高い情報を多種多様なサービス拡充に向けて展開するため、高速ネットワークへの更新が必要である。また、現在のネットワークは信頼性を確保しているものの1経路構成であり、多種多様なサービス拡充に向けては通信のさらなる高信頼化が求められる。

(2) 維持保守効率を高める装置構成の最適化

現在の最新マシン性能と比較すると、ATOS稼働開始初期のマシン性能は圧倒的に低かったため、複数の装置を組み合わせて負荷分散を図ることで各種機能を実現してきた。機能ごとに数多くの装置で構成されているため、設置スペースや保守部品の確保、改修対象装置数の多さなどに関わる維持保守コストの抑制が課題となっている。これらを解決するため、信頼性を確保しながら、最新技術を活用して装置構成を最適化する必要がある。

(3) 輸送管理業務の効率向上のためのHMI（Human-machine Interface）刷新

指令員は、列車の在線位置を表示する輸送指令卓の

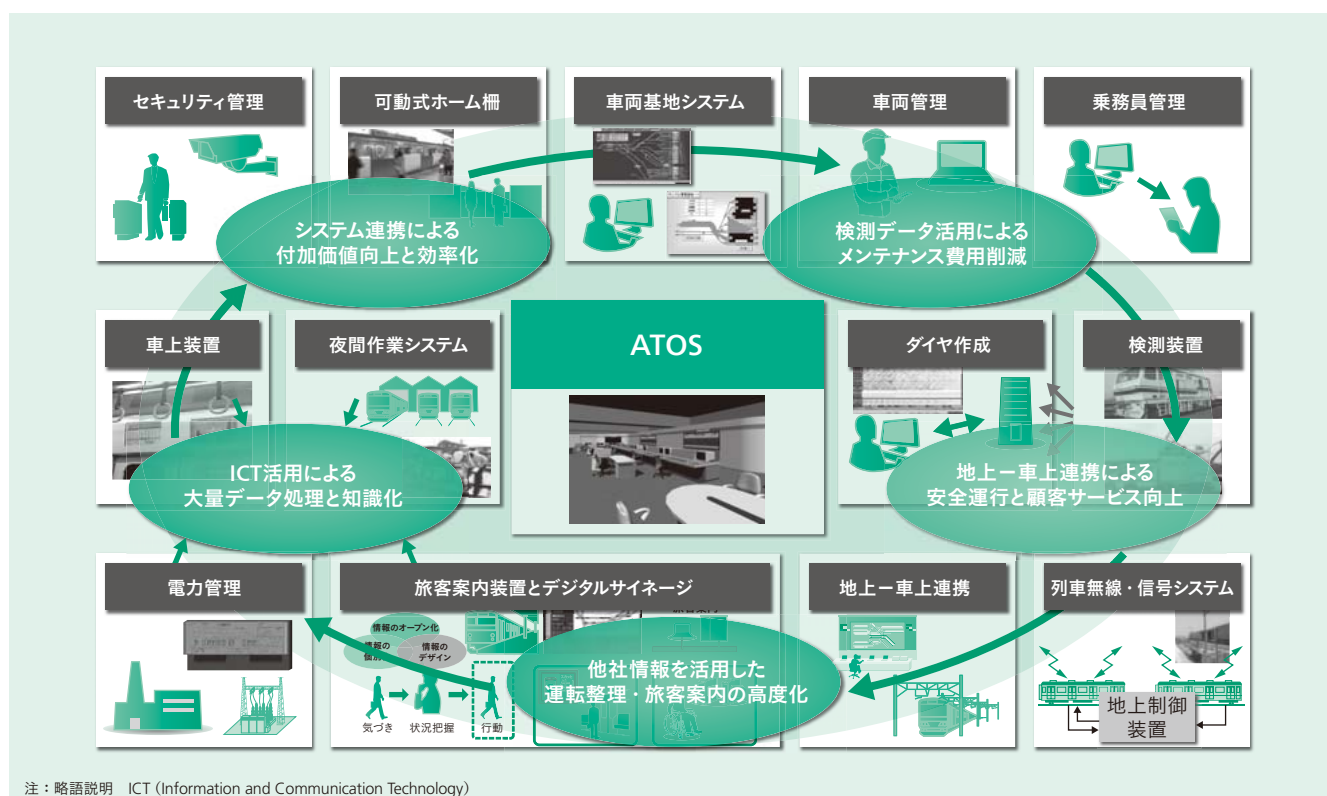


図2 情報と制御の融合が実現するサービス全体像

情報および制御の高度化により、鉄道利用者や駅員、乗務員などへのサービス向上と環境に配慮した鉄道システムを実現する。

CRT (Cathode Ray Tube) およびダイヤ情報を表示するGD (Graphic Display) を操作端末として、日々の輸送管理業務を実施している。初号線区導入当初はPC (Personal Computer) もあまり普及しておらず、指令員も情報機器の操作に不慣れであったため、CRTやGDをはじめとした情報機器の入力・操作方法は、キーボードのボタンやマウスクリックのみの操作をベースとした多くの入力手順を必要とするものであった。また、これらの方法は、現在の情報機器と比較して習得に時間を要するという課題もある。そこで、最新のIT (Information Technology) に基づいたHMIを制御分野に適用することで、幅広い指令員が高効率な操作を短期間で習得できるようにする必要がある。

2.2 ダイヤ乱れ回復時間のさらなる短縮

(1) 運転整理業務の支援機能強化

ダイヤ乱れに伴って列車の運転計画変更が発生した場合は、GDに表示されたダイヤスジを直接選択することで遅れ回復入力 (運転整理) を可能としている。運転整理では、列車の到着・出発順序、駅における入出区や分割・併合などさまざまな運用を考慮しながら、指令員が長年の経験に基づく総合的な判断によって立案し、遅れ時間の短縮に努めている。したがって、遅れ時間の短縮に向けては、指令員のノウハウに依存する部分や負担の軽減が必要であり、列車運行が高密度な線区を担うATOSへのニーズの1つでもある。

(2) 列車運行のネットワーク化への対応

東京圏の列車運行は、旅客サービスのさらなる向上を目的として、湘南新宿ラインなど複数線区をまたぐ直通列車の導入や、他社線との相互乗り入れによる列車運行のネットワーク化が進んでおり、初号線区導入時に想定した線区単位の列車運行とは異なる運行形態へと推移している。そのため、ネットワーク化した列車運行に対する輸送管理業務でのニーズが高まっているが、現状では前述した機能やリソースの不足により、それらへの対応が困難である。GDでは、ネットワーク化した列車運行に伴って他線区で発生したダイヤ乱れが自線区の列車運行に波及する場合、他線区の状況を自線区の端末から確認することができず、紙媒体という非効率な情報伝達手段を用いているのが現状である。

(3) 制御機能に対する情報提供強化

現在、各種規制が発生した場合は通告伝達システムによって自動で通告を作成して対象列車に送信するようになっている。しかし、指令員全体の規制区間であることの意識共有はCRT画面上に規制区間を示す札を掲示することで行っており、指令員の作業負担が大きい。

2.3 情報サービスのニーズ拡大

ATOSは、これまで指令員を主たるユーザーとして開発されてきたため、あらゆる情報が指令室に集められ、輸送管理業務の支援に用いられている。一部の情報は関係箇所配信されているが、円滑な旅客輸送やサービス向上の観点から、駅員、乗務員、鉄道利用者といった鉄道に関わる広範囲な人々から一層の情報提供に対する高いニーズがある。

3. 課題を解決する情報・制御融合技術

3.1 最適なシステム構成への刷新

(1) ネットワーク

広域にわたる運行管理や今後のサービス拡充に対応可能な高信頼ネットワークとしてTN-1000を開発した。

TN-1000は、従来の伝送速度 (100 Mビット/s) を1 Gビット/s化しただけでなく、ネットワーク障害対応などこれまでの制御システムで培ったノウハウを実装している。また、このネットワークは、制御用高信頼ネットワークを疎結合二重化して2経路が完全独立することにより、1経路の障害が他の経路に影響を及ぼさない構成とした。さらに、障害発生時には高速で復旧可能な独自のネットワーク構成制御方式により、信頼性の高い二重化リング構成を実現した。ここで、二重化の通信制御には現行の処理に新たな処理が必要となるが、初号線区導入以降は更新していない処理性能の低い装置が多数存在しており、それらの装置を含めた二重化通信は困難である。そのため、ネットワーク更新では現行の処理を変更することなく、新たに設置される2系統を活用した通信を実現する必要がある。

この課題を解決するため、データのカプセル化により、ネットワーク配下装置を改修せずに2系統通信を実現した (図3参照)。これらにより、片系の基幹ネットワークが停止した場合も通信を継続可能とする大容量・高信頼ネットワークに更新した。

(2) 装置構成の最適化

CPU (Central Processing Unit) マルチコア化による性能向上、64ビット対応、低消費電力対応などを制御サーバに適用したRS90/1000Tを開発した。特に安定稼働において重要となるサーバについては、自社製HRD (High Reliability Drive) を採用したメモリミラーを適用することで高度な信頼性を担保した。この高性能・高信頼サーバにより、複数装置の統合による構成変更を可能とし、より保守性の高い装置構成を実現した。

従来は指令台ごとに設置されていた輸送指令卓GDをGDサーバとして統合化したことが例として挙げられる。今回の更新対象の中央線においては、GDサーバ導入以前

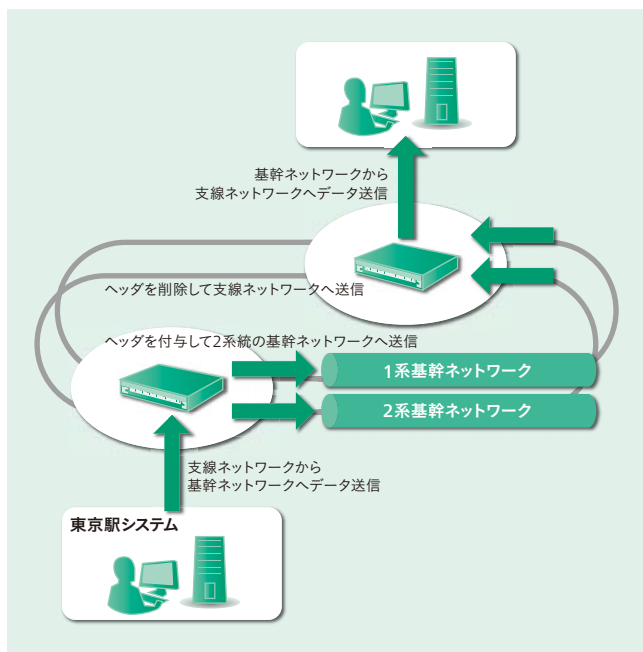


図3 | TN-1000による高信頼ネットワークでの通信

ネットワーク配下装置の台数は多く、性能向上のために配下装置の更新を待った場合は、現行ネットワークの経年劣化が問題となる。そこで、配下装置を改修することなく2系統を活用した通信を実現した。

は5台のワークステーションに分散していたソフトウェアを、サーバ2台に接続するクライアント端末構成として保守性を向上した。

(3) HMIの刷新

各装置の使用目的、担当業務、担当指令員が異なることから、これまでは装置ごとに画面インタフェースの個別最適化が図られてきた。そこで、画面インタフェースの共通デザインポリシーを全体最適と部分最適に適切に切り分けて考えたうえで、スタンダードな視認性や操作性を実現する新しいHMIを開発した。

今後は、さらに発達した情報機器の操作に慣れたユーザー層が拡大すると考えられるが、ユーザーが多様であっても直感的に使い方を理解できるようなHMIを実現している(図4参照)。

3.2 最適な指令環境の提供

(1) 予測ダイヤ

ダイヤ乱れ時における運転計画変更の支援には運行状況の未来予測が有効であるため、ダイヤ乱れに対する運転整理結果を検証することで、より適切な運転整理入力内容を判断できる。ここで、高密度運行線区を担うATOSの特徴の1つは、運行計画の変更内容が複雑で対象列車数が膨大であるという点である。今回、列車の走行実績と列車運行をモデル化した演算論理(制約論理)により、高い処理性能を確保する予測ダイヤ機能を開発した。この予測ダイヤ機能により、未来の列車遅延状況や支障発生箇所を事前に



図4 | スタンダードな視認性・操作性の実現

現場観察による問題や課題の抽出によって指令員の潜在ニーズをくみ取り、指令員の経験価値を向上させる画面インタフェースを実現した。

把握し、発生しうる遅延波及に対する先行手配を行うことを可能とした²⁾。

なお、予測ダイヤ機能の適用においては、可用性を高めるため、運行計画の変更過渡期におけるダイヤ不整合状態を解消することが必要となる。そのため、ダイヤ不整合の検出・補正機能を実装することで、ダイヤ不整合が複数箇所と同時に存在する東京圏の複雑な運転整理への予測ダイヤ機能の追従を可能にした。

これらにより、指令員のノウハウに依存する部分や負担の軽減を実現し、より効率的な遅れ回復に効果を発揮することができる。

(2) 線区単位からATOS圏内の一元管理

ネットワーク化した現在の列車運行においては、一部区間の支障であっても他線区に波及し、連鎖的に他の支障が発生することになる。この状況下において、指令員にタイムリーに関連線区を含めた最新予測ダイヤを提供するには、予測ダイヤ処理において高い性能を実現する必要がある。これに対応するため、従来の複雑な手続き型プログラムではなく、アルゴリズムが最適化された制約論理をベースに開発することで、処理応答性やリアルタイム性を担保

した全対象線区のシームレスな予測を実現した。また、予測ダイヤは複数の線区をまたぐ列車運行の運用に対応するため、相手線区の列車遅延も加味して予測演算をすることができる。これにより、ネットワーク全体での列車運行状況を把握した適切な運転整理入力が可能になり、運転整理支援機能を良質化した(図5参照)。

(3) 制御機能に対する情報提供強化

通告伝達システムで保有する情報を活用し、CRTにおいてもリアルタイムに規制情報を表示可能とした。規制情

報は状態表示用の窓にシンボル表示を行うとともに、ダイアログで詳細表示を可能としている。指令員は担当区間の規制情報を視覚的に把握できるようになり、より状況に応じた輸送管理が実現できるようになる(図6参照)。

3.3 情報サービスの拡充

さらなる情報サービス提供のニーズに応えるため、外部装置に対する情報配信用サーバを開発した。制御系サーバ開発の技術を生かすことで、外部装置との接続・切り離し

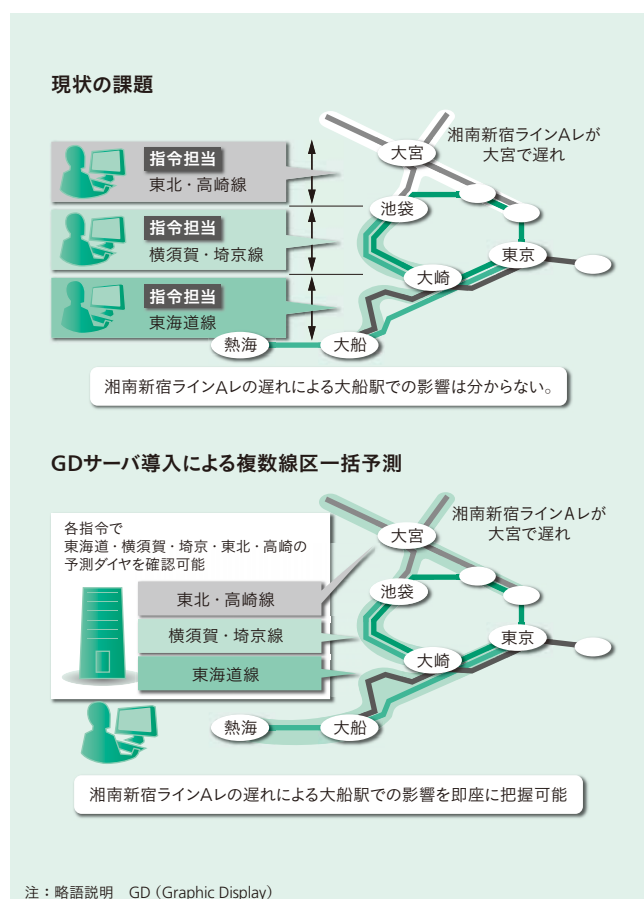


図5 GDサーバによる複数線区の予測イメージ

現在、他線区の遅延状況は人間系での連絡によって状況を把握している。GDサーバ導入後は、他線区の遅延状況を加味した自線区の未来予測が可能となる。

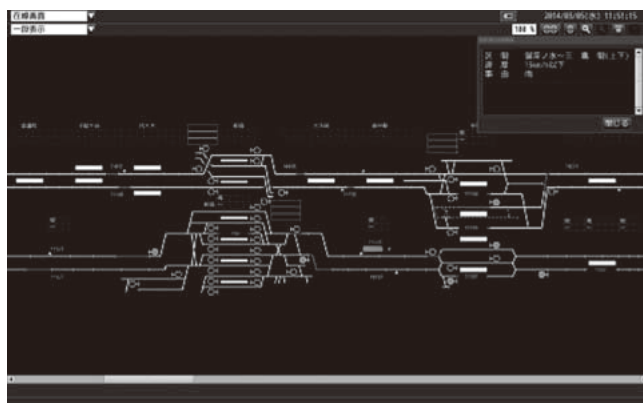


図6 CRTにおける規制情報表示状態

従来、CRT (Cathode Ray Tube) 画面木枠上部に掲出していた規制情報を画面に取り込むという概念を具現化した。

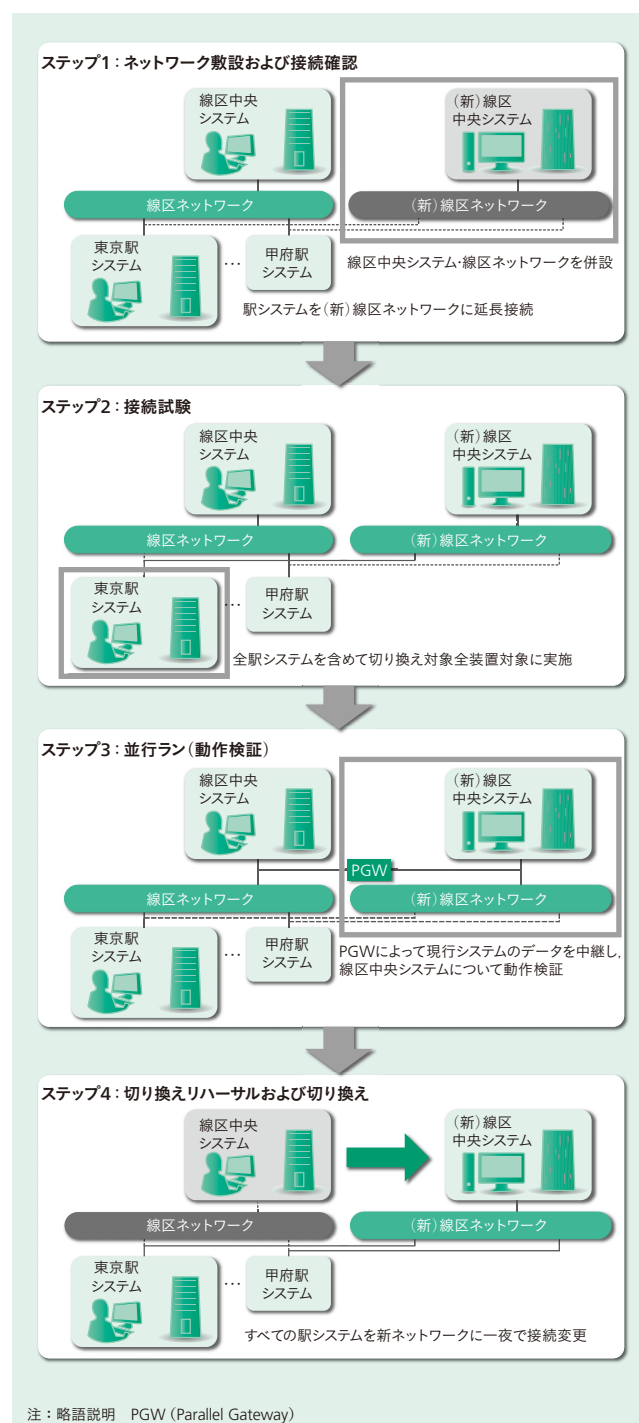


図7 切り換えステップ

事前に更新装置の動作検証を実施することで、旅客列車が走行しない短い時間で一斉切り換えを実現した。

などで稼働中のシステムに影響を与えないようなセキュリティを確保している。また、現在ATOSに設置されている情報サービス編集に関する複数装置の機能を継承し、装置構成を最適化した。

3.4 シームレスなシステム更新

ATOS導入線区の多くは、システムを停止できる間合い時間が短く、システム更新における現地作業時間の確保が困難である。そのため、現地での作業項目を段階的に実施する方式により、システム更新に対する対象装置の信頼性を切り換え前に確保した。また、切り換え当日は装置の停止・立ち上げが最小限になる方法とすることでリスクの低減を図り、ミッションクリティカルなシステムに影響を与えることなく切り換えを実施した(図7参照)。

4. 取り組みの成果

2014年3月、本稿で述べた切り換え(中央線の線区中央システムおよび線区ネットワーク)を無事に完了した。また、新たに導入した予測ダイヤ機能やHMIは、ダイヤ乱れ時の遅れ回復時間短縮に効果を発揮している。今後はこれらの技術をベースに山手線以降の線区に順次展開し、安全で安定した列車輸送管理に貢献していく。

5. おわりに

ここでは、ATOSのさらなる安全・安定輸送を実現するシステムの全面刷新について述べた。

今後は、ビッグデータの取り込みや各種情報の広域展開によるシステム化範囲の拡大など一層のサービス向上と、それらを実現する技術開発に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 宮島：運行管理システムの変革－安全・安定輸送の確保をめざして、JR East Technical Review, No.05 (2003)
- 2) 佐野，外：稠密線区における予測ダイヤを用いた運転整理入力手法，電気学会研究会資料，ITS，ITS研究会 (2010.11)

執筆者紹介



吉田 康宏

東日本旅客鉄道株式会社 東京電気システム開発工事事務所 ATOS・計画 所属
現在、ATOSの開発に従事



阿久津 耕平

東日本旅客鉄道株式会社 東京電気システム開発工事事務所 ATOS・駅工事 所属
現在、ATOSの開発に従事



弓田 康弘

東日本旅客鉄道株式会社 東京電気システム開発工事事務所 ATOS・中央工事 所属
現在、ATOSの開発に従事



山際 竜司

日立製作所 交通システム社 営業統括本部 交通営業本部 JR部 所属
現在、JR東日本グループへの営業に従事



大隅 英貴

日立製作所 インフラシステム社 交通システム本部 交通システム設計部 ATOSセンタ 所属
現在、鉄道輸送管理システムの開発に従事
電気学会会員



岡田 光教

日立製作所 インフラシステム社 交通システム本部 交通システム設計部 ATOSセンタ 所属
現在、鉄道輸送管理システムの開発に従事



福井 清純

日立製作所 インフラシステム社 交通システム本部 交通システム設計部 ATOSセンタ 所属
現在、鉄道輸送管理システムの開発に従事