

アシュアランス技術を用いた 鉄道信号の革新

東日本旅客鉄道株式会社 電気ネットワーク部 部長

松本 雅行

社会基盤の一つである鉄道システムは、様々なニーズへの対応と変化する状況への適応が求められている。これら異種性と適応性に対応できる技術のアシュアランス技術と呼び、欠くことのできないものとなっている。列車輸送管理及び列車制御における、段階的なシステム構築オンラインテストなどの適用例について述べる。

1 はじめに

日本の社会は、少子高齢化、グローバル化、景気の低迷などの大きな環境の変化を受けており、社会の構造・組織などにも影響を与えている。これらの影響はシステムにも及んでおり、これまでのシステムには信頼性・安全性だけが求められていたものが、今や社会や利用者からの要求の変化に即座に対応し、その責任を果たし続けることが求められてきている。また、ネットワークの発達に伴い多くのシステムが有機的に接続されるようになってきている。このようなシステムでは異種のニーズを持つだけでなく頻りにニーズが変化しているなど、システムの外的変化及び内的変化の両方に対して対応が求められており、システムの安定稼働が今まで以上に求められていくことになる。システムの社会における責任はより一層重くなっていると言える。

社会基盤の一つである鉄道システムにおいても、異種のニーズへの対応と状況変化への適応が求められている。これら異種性と適応性に対応できる技術のアシュアランス技術と呼び、欠くことのできないものとなっている。

2 アシュアランス技術の歴史

アシュアランス技術研究については、社会情勢の変化する環境の中で、米国において研究が始められた。米国政府が中心となり、大統領令によって CIAO (Critical

Infrastructure Assurance Office) といったアシュアランス研究機関が設立されたほか、DIAP (Defense-Wide Information Assurance Program) 計画などのプロジェクトも進行している。こうした背景から、米国、日本及び欧州の研究者が共同で 1996 年に、アシュアランス技術に関する議論の場として、IEEE 主催の国際会議 HASE (High Assurance Systems Engineering Symposium) が設立された。HASE は 1996 年以降毎年開催されており、毎回 30 件以上の発表が行われている。

もともと、HASE は国防総省などが主体となっており、軍事技術関連が中心であることから、北米以外での開催は許可されていなかったが、電子情報通信学会でのアシュアランス研究会などにおける活発な活動が認められ、2002 年の大会 HASE2002 は日本の東京において開催されている。

3 アシュアランス技術とは

3.1 定義

アシュアランス技術とは、システムの安定稼働を保証する技術で、異種性と適応性の 2 つの要素を考慮したシステムに適用される技術の総称であり、ここでは、この異種性と適応性の 2 つを合せ持つシステムをアシュアランスシステムと定義する [1][2]。

3.2 異種性

システムは信頼性、安全性をはじめ多くのニーズを満

足させるものとして構成されている。このニーズの要求度合いはシステムによって異なっており、これをニーズレベルと呼ぶ。システムの稼働の保証に求められるものとして、例えば、以下のようなニーズが挙げられる。

- ・ 信頼性
- ・ アベラビリティ
- ・ フェイルセーフ
- ・ 安全性
- ・ リアルタイム性

システムを設計する際には、これらのニーズごとにニーズレベルを満たす必要があるが、そのレベルはシステムごとにまちまちである。例えば、制御システムにおいては安全性とリアルタイム性が求められているのに対し、情報システムではアベラビリティや信頼性がより求められる。もちろん、これらのレベルを、すべてのシステムのニーズよりも高く設定すれば、すべてのシステムのニーズを満たすことができるが、それは現実的ではない。異種のニーズレベルを持ったシステムの稼働を保証するため、異種のニーズレベルの共存を許容する能力のことを異種性と呼ぶ。

3.3 適応性

システムの置かれている環境は、そのシステム自身も含めて、常に変化し続けている。この変化には、システムの成長、システムの初期設定、システムの移行、システム変更と改修、システムの異常などがある。システムが置かれている環境は、そのシステム自身も含めて、常に変化し続けている。従って、そのシステムが置かれる環境を事前に仮定し、システム構築時に設計に反映させるといったことは不可能である。

また、たとえば通勤電車での日中の時間帯、朝夕ラッシュ時と終電の時間帯では時間に対するお客様の制約や要望が異なるため、システムに求められる信頼性やリアルタイム性のレベルは時間ごとに変化する。

こういった、システムの状態によるニーズの変化や時間的なニーズの変化に対応するためには、常に柔軟に対応しうるシステムの構築が必要となる。このような状況変化への対応能力を適応性と呼ぶ。

4 鉄道における適用例

4.1 列車輸送管理における適用

列車輸送管理においては、運行制御や設備の管理などの制御システムと、運行情報の伝達や旅客への案内といった情報システムとが共存している。信号機や転つ機などのデバイスをコントロールする制御系のシステムは、扱う情報量は少ないがそのリアルタイム性、安全性に対する要求は非常に厳しい。一方で、乗客への情報サービスや運行計画の管理などを行う情報系では、制御系に比べて処理の速度は秒単位を求められるものではなく、フォールトトレランス性に対する要求も高くはないものの、データベースなどの大量のデータを処理する必要性があるため、高速かつ広域の情報処理能力が求められている。このように、輸送管理においては情報系と制御系という異種のニーズを持ったシステムの共存、異種性が求められている。

これに対応したシステムが列車の運転を管理するための運行管理システムと呼ばれるシステムが運転線区ごとに作られている。このシステムは、地理的にも広範囲で大規模であり、システム化も長期間を要するため、必然的に段階的な構築が必要となる。また、稼働したシステムは列車運転の性格から24時間連続運転システムとなり、システム拡張時にも稼働システムの安定稼働を保証した無停止拡張が前提条件となり、かつ使用者の新しいニーズ(使用実績を踏まえての機能向上等)を吸収した変化・成長を前提とした構築が必要となっている。つまり、適応性が求められている。

これらの課題を克服するため、自律分散システム技術をベースとしたアシュアランス技術を活用して、首都圏にATOS (Autonomous Decentralized Transport Operation Control System) と呼ぶシステムを拡大・成長させつつ20線区、182駅に展開してきた [3]。

①システム線区展開・拡大の課題

ATOSをJR東日本の東京圏の鉄道に導入し、線区展開・拡張する場合、次のような技術的な課題を克服する必要がある。

- a. 大駅では、複数線区の列車が運行されているが、線

区のシステム化を一斉に実施することは困難なため、段階的な構築が必要となり、システム化は長期間となる。

- b. 線区展開・拡大したシステムは 24 時間連続運転システムとなり、システム拡大において安定稼動を保証して無停止拡張が必要となる。
- c. 各線区は相互乗入れのため独立システムにならず、システム構築中には、ネットワーク、コンピュータ上に稼動に必要なデータと未稼動設備を試験するためのテストデータを共存させる必要がある。
- d. システム構築には長期間を要するため、使用者の新しいニーズ（折返し運転支援機能の充実等の使用実績を踏まえての機能向上等）を吸収、システムを成長させる必要がある。

②段階的構築の概要

アシュアランス技術は、高いレベルでの信頼度を保証しつつシステムを変化・成長させる技術であり、運行管理システムを大規模線区に展開・拡張する手段として有効である。ソフトの適切な管理を実施するとともに、稼動中設備を制御するデータと試験のためのデータの混在を可能とすることにより、システム評価・品質の保証とシステムを段階的に無停止拡張することができた。

このデータの混在は、第一段階は駅装置コンピュータで、第二段階は中央ネットワークで、第三段階は中央装置コンピュータで、第四段階は運行管理ネットワークで実現した。

③段階的構築の手法

本システムは、自律分散システムであり、分散配置した駅装置が自律的に動作しながら、中央装置も 1 構成要素として全体統括を分担し、トータルで 1 つのシステムとして稼動できる。中央と駅、駅と駅相互間の通信では、個別診断などを除いてシステム間の直接やりとりをしないようにしている。各装置は、データの内容を表わす『機能コード』を付加したメッセージを宛先指定せずにネットワークへ送出するブロードキャスト伝送を行っている。そして受信側では各装置自身が機能コードによって必要な情報を取捨選択する方式としている。さらに、既に稼動している装置が送出するデータと試験中の装置が送出するデータとを区別する『フラグ』を設け、受信側

の装置がアプリケーションレベルでフィルタリングすることが可能となるデータ構造としている [4]。

本システムでは、既に稼動している装置と試験中の装置が存在し、装置及びネットワークに稼動中設備が必要となるデータと試験中の装置が送出するデータとが混在するため、それぞれに支障しない基本的な仕組みが必要となる。このため各装置にはモードを定義し、このモード状態に応じた動作を行うようにアプリケーションレベルで規定することとしている。図 1 に示すように、各装置はネットワークに、前述したモードに対応したフラグを付加したデータを送出し、受信側の装置では機能コード及びフラグにより、自装置のモードと対比して、その装置自身が動作を決定する仕組みである。

4.2 列車制御システムにおける適用

高密度運転線区の列車制御システムにおいては、高輸送力、高安全性、高信頼性が求められる。当初の自動列車制御システム（以下旧 ATC と呼ぶ）は、固定した区間ごとに列車の存在を検知し、そこに列車を進入させるかどうかの判断により、各列車の速度を地上の集中制御装置で求め、それを各列車の車上制御装置に指示していた。これは、ブレーキ性能の一番悪い車両に合わせた区間長とするため、列車運転間隔が長く高密度輸送は難しかった。そこで、各列車が、自らの位置を認識し、地上からは停止する位置のみを列車に伝送する。この停止位置に対応したブレーキパターンに基づいて列車速度の制御を自律的に行う自律分散型列車制御システム（以下 D-ATC と呼ぶ）の開発が必要となった。さらに、新しい列車制御システムに取り替える際には、新旧両システムが共存する中、D-ATC の構築及び試験のためにその旧 ATC を止めることは出来ないため、システム全体の運行を妨げず、D-ATC の段階的投入と、旧 ATC を持つ列車とを共存させながらのオンライン稼動中のテストを保証するアシュアランスシステム構築技術を確認する必要がある。

一般にシステムは単体で動くことはまれで、他の異種システムとの情報の授受や、システムを取り巻く外部環境の変化の影響を受けながら稼働している。アシュアランス技術とは、このように複数のシステムがネットワーク等を介して互いに接続されたとき、それぞれの異なる目的や機能が互いに妨害されることなく、状況に応じて連携し共存できることを保証する技術であり、列車制

御システムにもアシュアランス技術の適用が求められている。D-ATCにおける個々の課題について、どのようなアシュアランス技術を用いて解決したか、その方策を以下に述べる[5]。

①システムの拡張

ATCの更新においては、全線区を一度に更新するのではなく、幾つかの段階に分けた形で更新を行う。D-ATCの導入を予定している線区は、旧ATCが設置されている区間であるため、本システムの導入に当たっては、システムの境界箇所において旧ATCとD-ATCの新旧切替制御が必須となる。旧ATC区間からD-ATC区間に列車が進む時は、有効な電文を受信することによってD-ATC制御となり、逆の場合は切替区間の電文の「切替」情報を読み取り旧ATC制御に移行する(図2)。

②異種システムとの共存

D-ATCにおける異種システムとは、同じ列車制御システムでもニーズレベルが異なる旧ATCと自動列車停止装置(ATS)がある。これらのシステムが工事期間、試験期間また使用開始後も共存できる必要がある。

そこで、D-ATCでは次のようなソフト、ハードの対策を施した。

- D-ATC、旧ATC両方の信号が軌道回路に重畳できるように、旧ATCで使用されていた2.8～3.8kHzの周波数を避けて、D-ATCの周波数帯を11.9～13.1kHzとした。また、軌道回路割の変更を前提にして、無絶縁軌道回路を採用し、現行の信号波は阻止してD-ATC波のみ通過できるバイパスボンドを開発し挿入した。
- D-ATC電文には「有効/テスト」情報を持たせて、この情報が「テスト」の場合には車上装置は旧ATCで制御できるようにした。
- 車上装置は、D-ATC、旧ATC両方の信

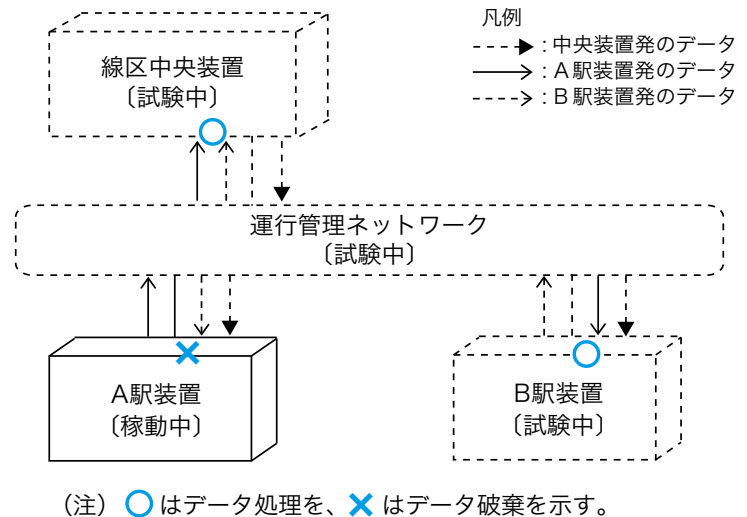


図1 段階的構築の基本的な処理の概要

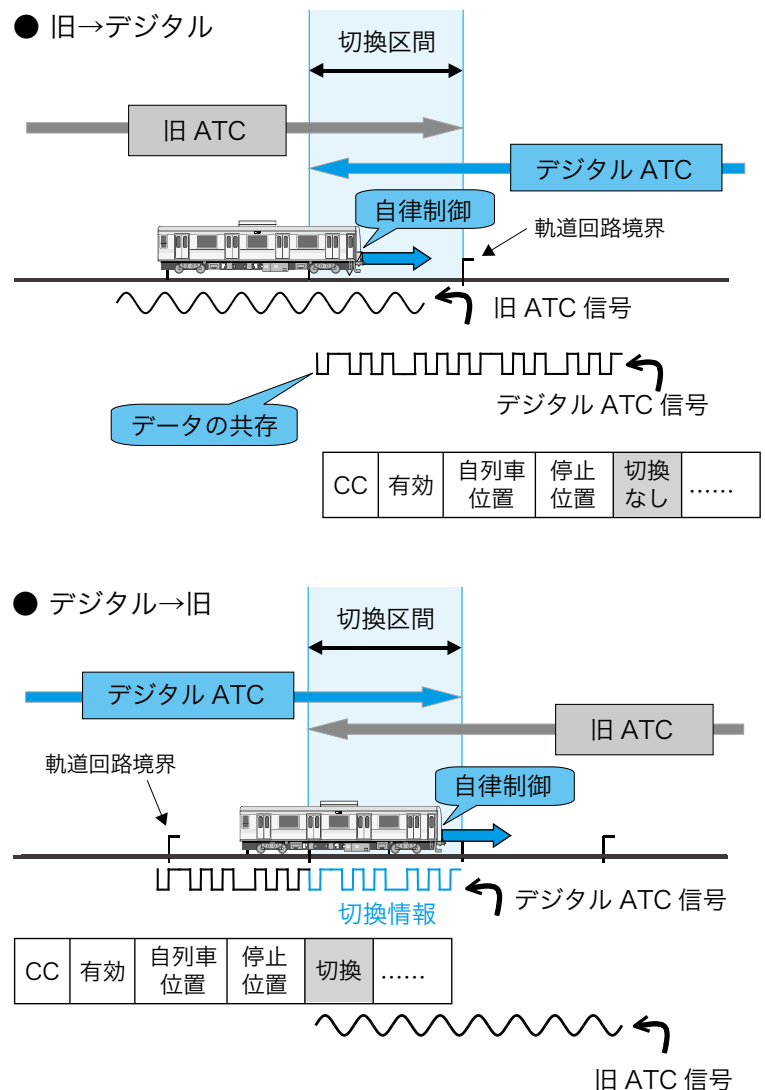


図2 システム境界箇所における切替制御

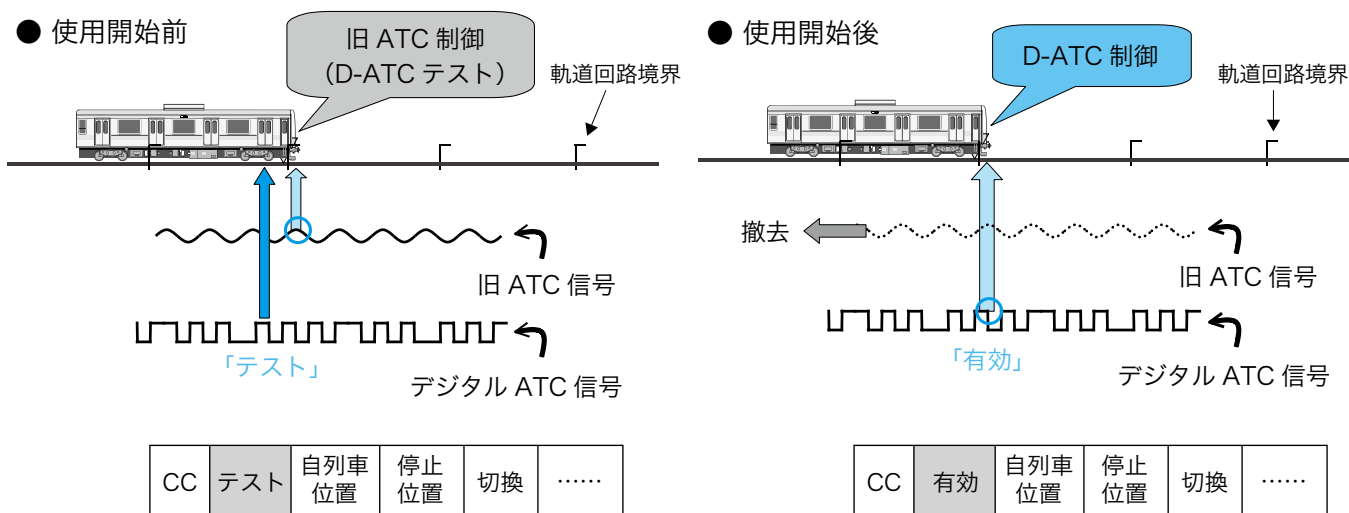


図3 オンラインテストと使用開始切換

号波を受信し、その状況に応じてどちらのモードで制御するか自律性を持たせた（図3）。

③オンラインテスト

新旧システムを共存できるようにしたおかげで、旧ATCを運転しながらテストを行うことも可能となった。昼間、旧ATCの信号に重畳させてD-ATCのテストデータを流す。車上システムはテストか有効かのフラグを見て処理するので、テストデータの場合には旧ATCの信号に従って運転する。つまり、地上のシステムのテストは昼間列車の運転時間に十分なテストを行うことが出来る。また、車上システムのテストも、列車運転は旧ATCによって行って、D-ATCの電文による確認試験を行うことも可能としている（図3）。

④短時間でのシステム切換

限られた時間でD-ATCの使用開始切換を行うには、最小限の操作でD-ATCの切換を行うシステムとしなければならない。

具体的には、D-ATC電文の「有効/テスト」情報を利用して、この情報を変更するだけで車上装置がいずれのシステムで動作するかが選択できる。これにより、極めて短時間でシステムの切換ができるようにした（図3）。

⑤列車運転の継続性

D-ATCが設置される区間と、旧ATCまたはATS区間が設置されている区間をまたがって運行する列車は、そ

の境界でシステムの切換が必要となる。通常は、停車後、地上システムの切換と車上システムの乗務員による手動切換を行うという方法をとっている。そこで、切換区間のD-ATC電文に「切換情報」を付加し、D-ATCから旧ATCへはこの情報により自律的に切換を行なう。また、逆の場合はD-ATC電文を受けることによってD-ATCに自動的に切り換わる。このような構成とすることにより運転の継続性を図ることができた。

5 あとがき

アシュアランス技術の応用例を、鉄道システムについて紹介したが、これ以外にも宇宙応用、医療応用など情報サービスシステムなどの多くの社会インフラシステムに実用化が進んでいる。異種システム共存技術やオンラインテスト技術を活用することにより、システムの拡張やシステムを稼働させながらの保守管理ができるようになる。このアシュアランス技術を用いて鉄道システムの革新を今後ますます進めていきたいと考えている。

【参考文献】

- [1] I-Ling Yen, "Toward Integrated Methods for High-Assurance Systems", IEEE Computer, 1998
- [2] 森 欣司, 「アシュアランスシステムのニーズと技術動向」, 電子情報通信学会, アシュアランス研究会, 2000
- [3] 上条 恵司他, 「アシュアランス技術（運行管理システムの大規模展開）」, 日本鉄道電気技術協会, 2001
- [4] 森 欣司, 「自律分散システム入門」, 森北出版株式会社, 2006
- [5] 松本 雅行, 「新しい列車制御システムの開発とアシュアランス技術」, 日本信頼性学会, 2000