車上パターン制御 ATC による高速・高密度 運転方式の提案

正員 高岡 征 (日立)

非会員 塚本 一馬 (JR 東海)

Proposals of High-Speed and High-Density Train Operation System by On-Board Pattern Control ATC

Tadashi Takaoka, Member (Hitachi), Kazuma Tsukamoto, Non-member (Central Japan
Railway Company)

Demand for rail transportation is increasing rapidly in the big city areas. However for various reasons such as environmental concerns, it is not easy to expand capacity. In order to expand capacity and speed up service, a new system must be introduced. For the Automatic Train Control (ATC) system, we propose the on-board pattern control ATC system (referred to as A-ATC) be utilized. It achieves higher transportation efficiency through high-speed, high-density operation, while maintaining current levels of safety. The A-ATC system allows the deceleration control system to be set individually for each train, according to the vehicle type. By upgrading vehicle performance A-ATC upgrades performance of the ATC system as a whole. We will be able to introduce the A-ATC system gradually, by minor modification of the current ATC system.

キーワード：ATC，パターン制御 ATC，A-ATC，高密度運転，高速化

1. ま え が き

大都市圏鉄道の輸送需要の増大は急激であるが，それに対する設備能力の増強は投資額の大きさや環境などの理由から容易ではない。

一方，輸送力は既に限界に達しており，今後の輸送力の増加や高速化を図るには従来とは異なる新しい方策の検討を要する。

ここでは，当面の重要な改善課題の一つと考えられる ATC (Automatic Train Control) システムに，車上パターン制御 ATC システム（以下 A-ATC と略記）を提案し，現行の安全性を保ちながらより効率的なシステムに漸次移行可能な特徴と，その高速・高密度運転能力について述べる。

ここで提案する A-ATC は，現行車両に適用しても運転時分・運転時隔の短縮が可能となり，車両性能が改善された場合には，車両性能向上の分だけ更に

ATC のシステム性能が改善できる。

具体的には，従来は一律の常用最大ブレーキで制御したが，その車両の減速性能に見合った減速開始点と減速度を車上で設定し，閉塞の終端から一定の余裕距離手前の目標地点に到達させ，運転時間と運転時隔の短縮を図るものである。

このため減速目標地点，目標速度を地上より車上に伝達することと，目標への減速制御を要する。情報の車上伝達には点制御情報伝達装置（トランスポンダ）を従来の連続誘導式情報伝送装置と組合せ，減速制御にはファジィ制御などの導入で，車両の有する性能を有効に活用した ATC システムの実現を図るものである⁽¹⁾。

2. 階段制御 ATC システムとその欠点

現行の連続誘導式階段制御 ATC は，軌道を閉塞と呼ぶ単位区分に分割し，それぞれの閉塞ごとに信号機

図 1 連続誘導式階段制御 ATC システムの制御
Fig. 1. Control of continuous stage control type ATC system.

器が設けられ、その閉塞区間^{*1}ごとの列車の在線の検知と、そこを通過するときの制限速度情報の送出を行っている。例えば、新幹線の場合では図 1 に示すように先行列車の後方に閉塞区間ごとに、 O_2 (絶対停止)^{*2}、 O_1 (許容停止)^{*3}、30(30 km/h 制限)、170(170 km/h 制限)、220(220 km/h 制限)などの信号が展開されている。

一つの閉塞区間に必要な長さは、その区間の許容最大速度に相当する速度で進入した列車をその区間内で一段下位の制限速度まで減速させるに十分な距離でなければならない。すなわち、この距離は空走距離(空走時間に走行する距離)と減速距離とシステムに必要な余裕を合算したもの以上でなければならない。

ここで空走距離はブレーキの構造上生ずる時素により生まれるもので、例えば許容最高速度が 220 km/h の閉塞区間長の場合 3.5 秒の時素をとると、214 m となる。各閉塞ごとにこれを見込んで閉塞長を決める従来の方法では、速度向上により制限速度段が増すと、速度向上の利点が各段ごとの閉塞長が長くなることにより打消されて、列車の接近をむしろ阻害する。

一方、空走時間を含めた減速距離の設定は、減速性能の最も劣る車両の、最悪条件時の減速度に、その地

点のこう配による減速度の変化分を加減し算出する。この場合でも、減速性能の最も劣る車両の最悪条件時の減速度で減速距離を算出するため、通常の制御では、閉塞の半分程度の減速距離で減速してしまうこともまれではない。

以上に述べたように、現行の連続誘導式階段制御 ATC システムの制御では、現状の車両性能を十分に生かしているとはいえず、また空走時間短縮や減速度向上などを図った高性能車両が導入されても高密度運転性能には直接寄与しない形になっている。むしろ、空走時間が短く減速性能が良い高性能車両が導入されると、目標制限速度に早く減速してしまうため、閉塞終端まで相対的に低い速度で長い距離を走行することになり、高性能車両では逆に平均走行速度が低下してしまうような逆転現象が生じている。

また、最近では速度向上も強く要望される状況にあり、このために車両の高速性能が著しく強化される傾向にあるが、通勤電車なみの高密度運転を強いられている我が国の高速線区(新幹線)では、加速性能の強化だけでは、いたずらに先行列車に追いついてしまう状況となり、ATC ブレーキ作用による減速でかえって速度が低下したり、不要なエネルギー消費や乗り心地の悪化につながることになる。このように現状のシステムは、逐次進歩し改良されている車両性能が、高速化や高密度運転に寄与しにくい実情になっている。

3. 提案するシステム

〈3・1〉 提案するシステムの概要

(1) 提案するシステムの狙いと特徴 連続誘導式階段制御 ATC は日本の幹線鉄道の安全確保の基幹システムとしてその役割を果たしてきた。この ATC システムによる新幹線での高い安全性については、文字どおり世界一の優れた実績を誇るものであるが、最近要請の強い高速化と高密度化実現のためには、大きな障害になりかねない現状である。

図 2 に車両性能の相違による減速状況の違いを示す。すなわち、閉塞長設定にあたって想定した車種を A とし、高性能車両を車種 B とした。車種 A は空走距離が大きく、ブレーキが作用したときの減速度も比較的小さい。これに対し、車種 B では空走距離が小さく、ブレーキ制御時の減速度が大きいとした。このような場合、従来と同一の ATC 制御を行うと車種 B のほうが早く速度 V_2 までに減速するため走行速度が低下してしまう。よって、車種 B の減速開始点を距離 L_x だけ遅らせ、車種 A と同一の減速点に減速できるように車上装置で設定する。このような制御に変

*1 閉塞区間: 閉塞装置の運用によって同時に二以上の列車を運転せしめないように定めた一定区域をいう。

*2 O_2 : 無電流の停止信号で常用ブレーキで停止させる。

*3 O_1 : P 点(コイル)の地上子を設置し 30 信号のとき、これを超えたら車上で O_2 と同様の動作をさせる。

図 3 A-ATC システム
Fig. 3. Principle of A-ATC system.

運転性能を実現しようとするものである。

なお、図 3 (b) 臨時速度制限の制御というのは、軌道などの地上設備の工事の後に、安全確保の観点から工事地点の通過速度を低下させる臨時速度制限を受けた場合の、連続誘導式階段制御 ATC と A-ATC の比較を示す。これによると、A-ATC の制御では高速で走る区間が長く、早く制限区間に到達し、フェーズ 2 システムの場合は、更に速度制限区間を抜けた後は許容最高速度に早く到達している。

〈3・2〉 信号装置のインテリジェント化 以上に述べた提案システム実現のためには、次閉塞区間の閉塞長、減速目標地点、信号現示などを事前に車両に伝達する地上装置のインテリジェント化を要する。

(1) 伝達する追加情報 現状は、先行列車在線の検知と、それに対応しそこを通過するときの制限速度の送出を行っている。しかし、提案システムの実現のためには、次の追加情報が必要である。

- (i) 次の閉塞区間長 (図 4 の L_x)
- (ii) 余裕距離もしくは目標減速位置 (図 4 の L_y)
- (iii) 次の閉塞区間のこう配

また、安全性の確保のための追加情報として次の情報を追加する。

- (iv) 次閉塞区間での ATC 制限速度 (図 4 の V_2)
- (v) トランスポンダから閉塞境界までの距離 (図 4 の L_0)

(2) 高品質な情報伝達の確保 A-ATC システムに必要な情報は、閉塞境界の手前に設置されたトランスポンダを介して車上に伝送される。

しかし、従来の軌道回路を伝送媒体として使用する連続誘導式信号伝送に対して、トランスポンダによる情報伝達は次のような弱点が考えられる。

- (i) 情報伝達の遅れ トランスポンダの設置地

図 4 信号装置のインテリジェント化
Fig. 4. Intelligent signal equipment.

点だけで情報伝送可能なため情報の更新が即時にできない。特に、交信後に先行列車が遠ざかったために目標速度が上位に変化した場合、信号現示を車上制御装置に伝達し不要な減速を避けることが望ましい。

対策として、トランスポンダから受信した前記(1)項(iv)の V_2 が、次閉塞で受信する連続誘導式階段制御 ATC の現示と一致しないとき、従来 ATC に制御を戻すことで実用上解決できる。

(ii) 情報の安全性の確保 連続して情報を常時受信できる連続誘導式信号に対し、トランスポンダ設置点に列車が来たときに交信した情報を車上で記憶し制御に使用するため、情報の安全性の確認が必要である。

対策の詳細は〈3・5〉節(2)項に示すが、前記(1)項(iv)、(v)の情報を活用し、実績ある連続誘導情報との合理性チェックにより安全性の確保を行う。

〈3・3〉 フェーズ 1 システム

(1) フェーズ 1 システムの概要 フェーズ 1 システムでは、現システムからの移行も考え現行の連続誘導式階段制御 ATC と同様に多段制御とした。しかし、A-ATC の特徴である車両の減速制御は車両性能に対応して各車種ごとに設定することとし、これにより現有車両性能を有効に活用する。

なお、閉塞長とその閉塞のこう配情報は、車上であらかじめ記憶しておき、車両の在線位置に対応した閉塞区間の情報を車上装置のメモリーから読出すことも技術的には可能であるが、車上制御装置の在線位置認識が誤ると異なる区間の情報を読み出し危険な事態も考えられるため、そのつど地上から車上に閉塞区間情報が伝達されることとした。このためトランスポンダを設置し、従来の軌道回路を使用した連続誘導式信号伝

図 5 フェーズ 1 システムの制御例
(静岡駅)

Fig. 5. Control example of A-ATC phase 1 system (Shizuoka station).

送に加え、次の閉塞区間長、目標減速位置、次閉塞の ATC 現示などの情報を車上に伝送する。

このように、フェーズ 1 システムは現行システムとの変更が少なく、当面、隘路駅や隘路区間、隘路列車に適用し逐次適用を拡大していくことに適しており、現状システムの有する隠れた性能を最大限に活用する即効的な特性を有する。

(2) フェーズ 1 システムの制御例 フェーズ 1 システムの制御条件は下記とする。

(i) 現 ATC の各速度段の閉塞距離内で ATC 制限速度に減速完了する。

(ii) 減速制御は減速完了すべき地点（閉塞境界）より余裕距離 50 m 手前に減速できるように、車両のブレーキ性能と関連させ各車両で独自に設定する。

(iii) 停止駅での側線進入時の分岐器通過速度は、現在設定されている 70 km/h 以下となるように制御する。なお、「のぞみ」、「ひかり」の本線通過の場合は、従来どおりに最高速度で通過することができる。

(iv) 分岐器通過後は、駅停止目標点に停止させる。

(v) 分岐器通過後の過走は、 O_3 点**を過走しないように非常ブレーキパターンにより防護する。

静岡駅でのフェーズ 1 システム実施例を図 5 に示す。図は現状の連続誘導式階段制御 ATC と A-ATC の減速パターン (CB)、非常ブレーキパターン (EB) の関係を示す。図中の△印はパターン制御のためのトランスポンダ設置位置を示す。

* O_3 : 軌道内に添え線を設けこれに信号電流を流す。動作時は非常ブレーキが指令される。

図 5 において、NB は現行連続誘導式階段制御 ATC、CB は A-ATC での制御減速パターン、EB は A-ATC での非常ブレーキ減速パターンを示す。このうち CB の目標減速度は制御余裕を考慮して、保安用常用ブレーキ減速度の 80% の減速度に設定した。

〈3・4〉 フェーズ 2 システム

(1) フェーズ 2 システムの概要 フェーズ 2 システムは、連続誘導式階段制御 ATC とは全く異なる概念で構成される。

具体的には、空走距離が何度も生じない一段ブレーキ制御とし、列車のブレーキ特性に見合った曲線状の制限速度パターンを車上制御装置で作成し、列車速度がこの制限速度パターンを超えたときに、停車までゆるまないブレーキをかける方式とする。このようにすることにより、図 3 のフェーズ 2 システムに示すように、減速すべき地点と速度までに車両性能に応じて自動減速制御する。これにより、高速で走行できる距離が増し、走行速度が向上すると共に、最高速度で先行列車により接近して運転できるため、最小運転間隔が短縮できる。

しかし、一段ブレーキのような停止までゆるまないブレーキを動作させると、列車を強制的にいったん停止させるため、ブレーキ作用時は列車の運行をかえって乱すことになる。そこで、この制限速度パターンは図 4 のように二つのパターンで構成し、外側の車上非常ブレーキパターンと、その内側に必要な制御余裕を残して内接するもう一つの車上減速パターンとを設け、通常はこの車上減速パターンに追従するように列車速度を自動制御する。この自動制御に使用するブレーキは必要により強めたり弱めたりできるブレーキである。具体的なブレーキの自動制御技術には、地下鉄の自動運転に活用されているファジィ制御⁽⁹⁾を応用することが可能である。

なお、実現性の面から考えると、フェーズ 2 システムの制御は現行の連続誘導式階段制御 ATC と全く異なるため、隘路区間などへの部分的な適用は混乱を引起す可能性がある。よって、全線区、全車両への適用が望ましいと考える。

(2) フェーズ 2 システムの制御例

フェーズ 2 システムの制御条件は下記とする。

(i) 停止駅での側線進入時の分岐器通過速度は、現在設定されている 70 km/h 以下となるように制御する。なお、「のぞみ」、「ひかり」の駅通過の場合は、従来どおりに最高速度で通過することができる。

(ii) 分岐器通過後は、駅停止目標点に停止させる。

図 6 フェーズ 2 システムの制御例
(静岡駅)

Fig. 6. Control example of A-ATC phase 2 system (shizuoka station).

(iii) 分岐器通過後の過走は、 O_3 を過走しないように非常ブレーキにより制御する。

(iv) 臨時速度制限箇所通過の制御は、減速制御は駅接近時の制御と同一であるが、制限箇所通過後の加速制御は異なる。図 8 に説明図を示すが、現状 ATC および A-ATC フェーズ 1 までは制限地点通過後も次閉塞進入までは 70 km/h 制限を継続しているが、フェーズ 2 では臨時速度制限終了地点にトランスポンダを工事中仮設置し、直ちに最高速度現示に読換える。この読換えはフェーズ 1 でも可能であるが、フェーズ 2 ではそうすることでより大きな効果が期待できるため、フェーズ 2 のシミュレーションで採用した。特に高速走行車両にとって、70 km/h 制限が 2 km 間設定されると、ここを 270 km/h で走行する場合に比べ約 80 秒の運転時間の増加になる。

〈3・5〉 システム安全性の確保

(1) システム安全性確保の考え方 A-ATC システムの安全性は、現行の連続誘導式階段制御 ATC と同等にすることを前提としている。この現行 ATC の優れた安全性を引継ぎ、確保するために次のような考え方とした。

(i) 現行の連続誘導式階段制御 ATC と A-ATC とを併用することで現行 ATC の優れた安全性を引継ぐ。

(ii) A-ATC 導入のために地上装置・車上装置の高度化や増設を要するが、既設 ATC との照合などの故障検知を行い、照合不一致の場合は従来 ATC の制御に自動的に復帰させる。また、故障と判定された場合は非常ブレーキを指令する。

(iii) 現 ATC からの移行を円滑化するため、現行 ATC からの変更点の少ないフェーズ 1 システムを最初に導入し、その実績を確認した後フェーズ 2 システムに移行する。フェーズ 1 システムとフェーズ 2 システムでは制御ソフトウェアは異なるが、ハードウェア構成はおおむね同一である。

(2) 安全性の確保と車上制御装置の構成

(i) 情報伝送の安全性の確保 情報伝送の安全性の確保のために、〈3・2〉節(iv), (v) の情報をトランスポンダから車上に追加して伝送することとする。 V_2 はトランスポンダ上を通過時に車上に事前に伝達された情報であるが、トランスポンダより距離 L_0 だけ走ると、ATC 信号があらかじめ受信している V_2 に変化するはずである。よって距離 L_0 走行後に ATC 信号が V_2 に変化しない場合は A-ATC の動作をやめ、現行の連続誘導式階段制御 ATC に制御を戻す。この故障検知によって、トランスポンダから受信した情報が正しいかどうかを確認できる。なお、現行の連続誘導式階段制御 ATC の情報に含まれないこの配情報や閉塞長情報は照合チェックできないが、照合された情報と同一伝送フレームで誤り検知コードを付加し伝送されており、チェックされている情報と同様に伝送エラーは生じていないと考えてよい。

なお、先行列車が遠ざかったことにより列車が距離 L_0 を走行中に ATC 信号が上位 (V_1) に変化したとき、ATC 信号 V_1 とトランスポンダからの情報 V_2 は一致しない。この場合は故障ではないが、現行の連続誘導式階段制御 ATC に制御を戻すことにより、信号上位変化に即応する信号システムとすることが可能である。

同様に、図 4 の A-ATC 制御領域である距離 L_x 区間の減速中に連続誘導式階段制御 ATC 信号が上位に変化することも生ずる。このような際にも上記と同様に A-ATC の減速制御を中止して、従来の連続誘導式階段制御 ATC に制御を戻し、上位信号 V_1 を目標に、運行の確保の観点から走行継続することとする。

(3) 車両制御の安全性の確保 車両の減速制御は、従来の常用最大ブレーキを指令するだけの連続誘導式階段制御 ATC とは異なって、自動運転装置のようにブレーキ力を増減させて自動追従制御させることになる。このとき、速度制御装置が故障すると減速目標地点に減速せずにオーバーランなどの危険な事態も予想される。このため、次のような故障検知を行う。

(i) 減速度チェック 車上制御装置では、指令ブレーキ力に対する実ブレーキ減速度を常に測定し、目標地点・速度に到達可能か否かをオンラインシミュ

図 7 車上制御装置の構成
Fig. 7. Construction of on-board equipment.

レートし常時チェックしている。この制御はファジィATOでは既に実用されているチェック機能である。

(ii) A-ATC非常ブレーキ制御 図4に示すように、A-ATC増設部には多重系構成の非常ブレーキ制御部(図7のEB制御部に演算)を別系で装備し、目標地点への減速制御をつかさどるCB制御部の万一の故障に対応する。

(iii) 連続誘導式階段制御ATCの非常ブレーキ制御 現行ATCでは、現示しているATC信号より2段階上位の現示速度域に列車速度が達すると非常ブレーキの指令を発生する。図4の現ATC非常ブレーキ領域がそれに該当し、現有機能によりCB、EBの両機能フェイルの場合も現ATCの非常ブレーキ指令によりバックアップされる。

(4) システム移行時の安全性 一部の車両や地上設備で伝送装置や制御装置が設置されていない場合は、トランスポンダからの追加情報は受信できない。このようなときは従来の連続誘導式階段制御ATC制御に従って従来の運行が可能である。

また、トランスポンダなどの追加設備が故障したときも、自動的に連続誘導式階段制御ATC制御に切りわり安全性が確保される。

換言すれば、部分的な隘路地点や一部の車両に提案方式を部分的に実施しても、従来の連続誘導式階段制御ATCと併用できることを示している。よって、営業稼働中の基幹システムをある時点で一挙に全面変更することなく、一部の隘路駅や車両から逐次導入できることに本システムの大きな特徴を有する。

〈3・6〉 車上制御装置の構成 図7に車上制御装置の構成を示す。既設の連続誘導式階段制御ATC装置と、増設するA-ATC装置の双方からブレーキ指令が発生し、非常ブレーキ指令についてはOR論理で、常用ブレーキについては制御切換え指令により、

連続誘導式階段制御ATC装置の指令、もしくはA-ATC装置の指令のいずれかが選択される。制御切換え指令はATC受信機出力とトランスポンダ送受信機出力を制御論理部で判定し、常用ブレーキ出力を切換えるための指令である。

上記のような車上制御装置の切換えにより、システムの安全性の確保と、トランスポンダの欠点である情報伝達の遅れを共に実質的に解決することができた。

4. システムの評価

提案システムの評価のため、運転時隔と運転時分短縮効果についてシミュレーションにより評価を行った。シミュレータには、「軌道輸送システム用計画設計サポートシステムJUMPS」⁽⁴⁾により行った。

〈4・1〉 シミュレーション条件

(1) 線路条件

- (i) 線路条件：東海道新幹線線路条件による。
- (ii) 閉塞および信号現示：現状の現示図表による。

(2) 車両条件

(i) 車両条件

	0系車両	300系車両
編成	16M	10M6T
車両長	400m	400m
編成重量	970t	730t
	(100%乗車)	(100%乗車)
空走時分	3.5秒	3.5秒
加速力特性	0系車両特性による	300系車両特性による

(ii) 保安制御用制動特性

保安制御に使用するブレーキ減速度は下記とした。なお、保安制御用制動特性は0系、300系共に同一の値を使用した(単位: km/h/s)。

	非常 ブレーキ 減速度	常用 ブレーキ 減速度	A-ATC (CB) 減速度
走行速度帯			
170 km/h 以上	2.49	1.66	1.30
170~120	3.06	1.96	1.60
120~70	3.66	2.20	1.80
70~0	3.96	2.37	1.90

(3) 運転条件

- (i) 駅間の運転曲線、運転時間は現状と同一とする。
- (ii) 「こだま」が「ひかり」に追越されるとき

表 2 運転時間の短縮効果(0系「こだま」下り線)
Table 2. Effect of shortening running time.

	現行 A T C		フェーズ1 A T C		フェーズ2 A T C		フェーズ2 A T C	
	駅間時分	累積時分	駅間時分	累積時分	駅間時分	累積時分	駅間時分	累積時分
東京	16' 34"	15' 34"	15' 09"	15' 09"	25"	25"	47"	47"
新横浜	18' 20"	33' 54"	17' 47"	32' 56"	33"	68"	43"	90"
小田原	9' 06"	43' 00"	8' 31"	41' 27"	35"	93"	43"	133"
熱海	8' 06"	51' 06"	7' 43"	49' 10"	23"	116"	41"	174"
三島	10' 24"	51' 30"	9' 50"	59' 00"	34"	150"	42"	216"
新富士	12' 50"	74' 20"	12' 29"	71' 29"	21"	171"	69"	285"
静岡	16' 27"	90' 47"	15' 49"	87' 18"	38"	209"	52"	337"
浜川	11' 32"	102' 19"	11' 03"	98' 21"	29"	238"	40"	377"
浜松	14' 09"	116' 28"	13' 25"	111' 46"	44"	282"	58"	435"
豊橋	14' 44"	131' 12"	14' 11"	125' 57"	33"	315"	48"	483"
三河安城	11' 51"	143' 03"	11' 24"	137' 21"	27"	342"	33"	516"
名古屋	11' 12"	154' 15"	10' 35"	147' 56"	37"	379"	66"	582"
岐阜羽鳥	15' 39"	169' 54"	15' 09"	163' 05"	30"	409"	46"	628"
米原	22' 42"	192' 36"	22' 15"	185' 20"	27"	436"	57"	685"
京都	14' 31"	207' 07"	14' 03"	199' 23"	28"	464"	45"	730"

図 8 臨時速度制限の制御
Fig. 8. Control of temporary speed limit zone.

表 3 臨時速度制限による増加運転時分と
A-ATC 導入による運転時分短縮効果
Table 3. Effect of shortening running time by temporary speed limit zone.

	0系車両		300系車両		備考
	増加運転時分	短縮時分	増加運転時分	短縮時分	
現行方式	4' 24"	--	4' 52"	--	現行方式用段階制御 ATC
フェーズ 1	3' 44"	40"	4' 07"	45"	A-ATC 制御フェーズ 1
フェーズ 2	2' 12"	132"	2' 19"	153"	A-ATC 制御フェーズ 2

「停-通」時隔では、先行列車が駅に進入後続行列車の進路設定に要する時間を 18 秒、分岐器がない駅では 8 秒とする。

(iii) 「ひかり」停車駅での「停-停」時隔では、先行列車は 1 番線到着、続行列車は 0 番線到着とする。

〈4・2〉 シミュレーション結果

(1) 運転時間の短縮 現状の車両の基本的加速性能や減速性能を変えずに、ATC の制御方式のみを提案方式に変更した場合の東京-新大阪間における運転時間の短縮効果を検討した。駅間の走行は従来と変えない前提のため、駅進入時の ATC 制御の変更による短縮時間だけが運転時間の短縮となる。表 2 に運転時間の短縮効果を示すが、東京-新大阪間下り線でフェーズ 1 システムで 464 秒、フェーズ 2 システムで 730 秒の大きな運転時分の短縮が可能であり、高速化に大きく貢献する。

(2) 臨時速度制限地点での運転時間の短縮

高速化が進むにつれて、地上設備の改修工事などに伴い実施される臨時速度制限による運転時間の増加の影響が大きい。特に 70 km/h の臨時速度制限が実施されると、270 km/h で走行する 300 系車両の場合、約 5 分の運転時分の増加となり、不足しがちな運転余裕時間がますます減少する。

この臨時速度制限地点の走行制御に A-ATC は同様に大きな効果を発揮し、特に高速走行車両の高速化に大きな効果を発揮する。

ここでは米原-京都間(下り線)に 70 km/h の臨時速度制限を発生させ、現行 ATC と A-ATC のフェー

ズ 1、フェーズ 2 の 3 ケースについて運転時分短縮の検討を行った。

(i) 検討の条件

制限キロ程：米原-京都間下り線

429 K 500~429 K 700

制限速度：70 km/h (66 km/h 走行)

対象車両：0 系 (220 km/h 運転)

300 系 (270 km/h 運転, 220 km/h

信号は 230 km/h 信号に読換える)

制御方法：図 8 に示す

〔現行方式〕 現行連続誘導段階制御 ATC による制御

〔フェーズ 1〕 A-ATC フェーズ 1 制御を適用
(進出側は閉塞境界まで 70 km/h 走行)

〔フェーズ 2〕 A-ATC フェーズ 2 制御を適用
(進出側は制限箇所通過後表示を最高速度にアップ)

(ii) シミュレーション結果と考察 今回のシミュレーションでは、名古屋-京都間を「ひかり」走行

表 4 「停-通」運転時隔短縮効果
(フェーズ1, 先行列車0系「こだま」)
Table 4. Effect of shortening headway.

	下り線統行可能時隔			上り線統行可能時隔		
	現行時隔A-ATC	短縮時隔	短縮率	現行時隔A-ATC	短縮時隔	短縮率
東 京						
新横浜	216	213	3	224	197	27
小田原	206	188	18	215	196	19
熱 海						
三 島	203	189	14	203	180	23
新富士	209	189	20	213	181	32
静岡	207	187	20	190	174	16
掛 川	222	204	18	185	182	3
浜 松	206	194	12	217	203	14
豊 橋	222	188	34	208	188	20
三河安城	244	215	29	228	204	24
名古屋						
岐阜羽島	216	191	25	222	191	31
米 原	216	200	16	248	204	44
京 都						
新大阪						

単位：秒

させ、それぞれの運転時分を比較した。結果を表3に示す。

現行の制御方式の場合、速度制限区間が2閉塞にまたがるため、70 km/hの臨時速度制限を2閉塞区間にわたり設定し、制限箇所のかかり手前の位置から70 km/hで走行するため、4分52秒の運転時分増加となる。

A-ATC方式に変更することにより、表3に示したように40秒から153秒の大きな運転時分の短縮効果が生じる。特にフェーズ2システムでは、臨時速度制限による増加時分が現行ATCの場合の1/2以下に短縮され、列車の高速化や定時運行の実現に大きく貢献するものと考えられる。

特に300系車両の場合、270 km/h走行が可能であり、低速の臨時速度制限を受けると高速走行に特に支障が大きいが、フェーズ2システムの場合は制限箇所の前後で最小限の減速区間にとどめているため運転時分の増加が少ない。今後列車本数の増加により運転余裕時分の減少が予想され、また設備の老朽化で地上設備の補修回数も増加する。東京-大阪間にこの臨時速度制限が2箇所設定された場合、現有する運転余裕時分がほとんどなくなることも推定され、現状以上の高密度・高速運転の実現のためには、車両の高速走行性能強化と並行して、A-ATCの導入が有効である。

(3) 運転時隔の短縮

(i) シミュレーション結果 東京駅などの折返

表 5 「停-停」運転時隔短縮効果
(フェーズ1, 先行列車0系)
Table 5. Effect of shortening headway.

	下り線統行可能時隔			上り線統行可能時隔		
	現行時隔A-ATC	短縮時隔	短縮率	現行時隔A-ATC	短縮時隔	短縮率
東京				177	177	0
名古屋	212	188	24	187	184	3
京都	238	227	11	202	175	27
大阪	191	179	12			

単位：秒

し駅の問題を除外し、中間駅での運転時隔について検討した。ここではA-ATC(フェーズ1)システムにつき、駅に停車する「こだま」を後続の駅を通過する「ひかり」が追越す場合を想定した「停-通」運転時隔を表4に、共に駅停車する場合の「ひかり」停車駅の「停-停」運転時隔を表5に示す。

駅により効果は異なるが、「こだま」停車駅で平均21秒/駅の大きな運転時隔の短縮が可能である。

「ひかり」停車駅の名古屋、京都、大阪では平均15秒の大きな運転時隔の短縮が可能である。

なお、東京駅については今回の改善箇所以外で最短短時隔が決定されているためA-ATCの適用によって効果が生じなかった。

また、フェーズ2システムによる運転時隔の概算短縮効果は、フェーズ1システムの約1.4倍の約30秒/駅程度になるが、詳細については省略する。

〈4・3〉考 察 我が国の新幹線では、高密度化と高速化の検討を分けて行うことができず、共に達成することを求められている。これらの二つの目標は、互いに相互する関係にあり、これをA-ATCによって、車両の性能を有効に引出すことにより改善できたものと考えられる。

今後列車運転本数の大幅な増加と、270 km/h以上の高速化が必要とされている。この実現のためには、車両性能を今後も向上させ、システム性能を改善することが必要であり、その基盤が本提案システムにより達成できるものと考えられる。

5. おわりに

地上設備は、いったん建設されると変更が困難である。一方、車両は逐次新技術を盛込んだ高性能車両として投入することが可能である。しかるに現状では、現有車両の性能を必ずしも最大限に活用しておらず、また、性能の優れた車両を投入しても、高密度・高速輸送能力は性能の低い車両で主に決定されてしまう弊害がある。

このような状況において、現有の車両性能でも運転時間・運転時隔の短縮が可能で、将来の車両性能の改善時には更に大きなシステム性能が改善可能なように、車両性能に対応し制御するように再構築したものが本提案システムである。

換言すれば、膨大な建設費を要する地上計備を最大限に活用し、車両性能の改善により、新旧の車両が混在する状況でも、時々刻々の車両の改善がシステム性能に寄与することを目的としたものである。世界に類のない高密度運行である我が国の高速線区で、世界的レベルの高速性能を発揮するには、この提案が大きく寄与するものと考ええる。

終りにあたり、本研究について基本構想から一貫し御指導いただいた東京大学 曾根教授、および東海旅客鉄道の関係者にお礼申し上げる。

(平成 3 年 12 月 2 日受付、同 4 年 2 月 21 日再受付)

文 献

- (1) 曾根：「新しい鉄道」，鉄道と電気技術，1-1；8-14（平 2）
- (2) 信号保安協会：高密度化運転保安システムに関する調査検討報告書（平 2）

- (3) 大島，他：「予見ファジー制御方式による自動列車運転装置の実現」，電学論 C，109，337（平元-5）
- (4) 宮本，外「軌道輸送システム用計画設計システム“TRANS-PLAN”」，日立評論，60，59（昭 53-10）

高岡 征（正員）

昭和 13 年 2 月 23 日生。36 年 3 月電気通信大学電波工学科卒業。同年(株)日立製作所水戸工場入社。以来、車両制御用電子装置の開発および設計に従事。

塚本 一馬（非会員）

昭和 41 年 3 月 2 日生。平成元年大阪大学工学部電子工学科卒業。同年東海旅客鉄道(株)入社。以来、新幹線の自動列車制御装置の研究・開発に従事。平成 3 年 3 月より技術本部所属。