

## モデル予測制御を応用した 列車走行制御技術

### それぞれの列車制御システムに ふさわしい走行を実現

近年、都市圏では朝晩のラッシュ緩和のため、列車の運行間隔はますます短くなる傾向にあり、運転士の負担を軽減するため、一部の列車制御システムでは、自動化が進められています。

列車を安全に走行させるための自動列車制御装置(ATC)は、最近では、列車を連続して減速させることで、安全性を維持しながら運行の効率化を図っています。また、列車の駅停止制御の自動化は、運転士に劣らず正確な運転を行うことで、運転士の負担軽減、運行の効率化にも寄与します。これらの列車制御システムの要となるのが、列車走行制御技術です。

東芝は、“モデル予測制御”技術を応用し、個々の列車制御システムの目的に合わせた列車走行制御技術を開発しています。

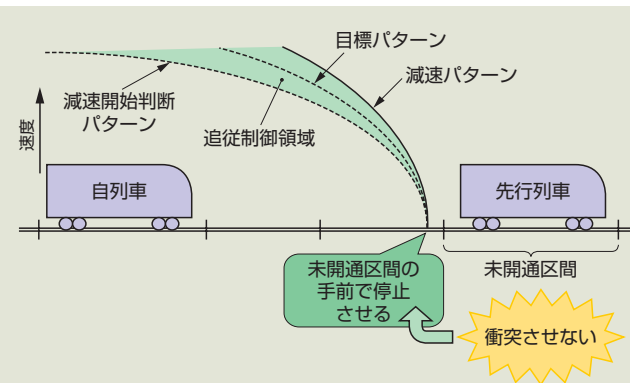


図1. 新しいATCにおける走行制御の概念 — 先行列車の手前で停止するよう、自列車の減速性能に合わせた減速パターンを作成し、これを越えないように、モデル予測制御によって列車速度を目標パターンに追従させます。

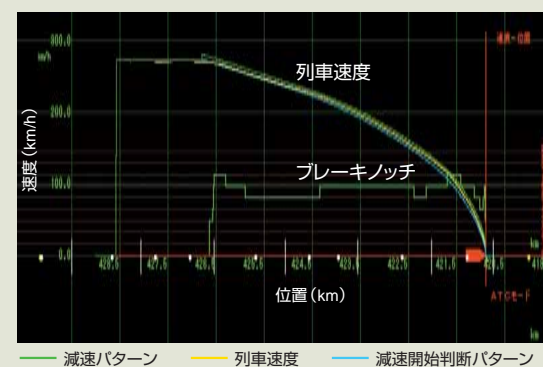


図2. 新しいATCによる列車走行制御（計算機シミュレーション結果の例） — 減速パターン（図の緑色の曲線）の速度を上回らない範囲で、なるべく高い速度を維持しながら減速します。

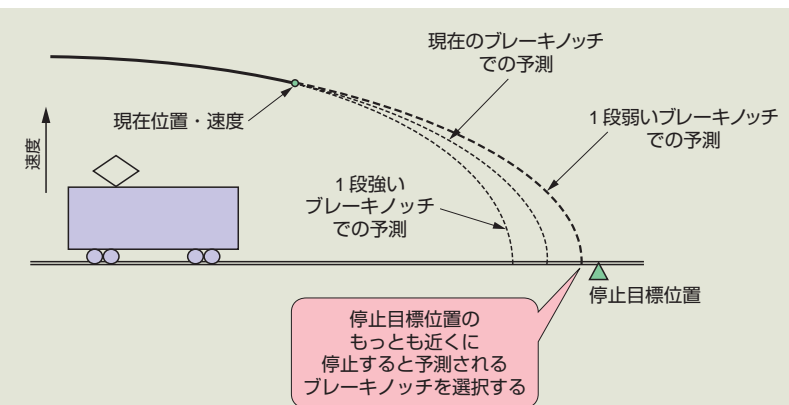


図3. TASCにおける走行制御の概念 — 停止目標位置のもっとも近くに停止すると予測されるブレーキノッチを選択します。

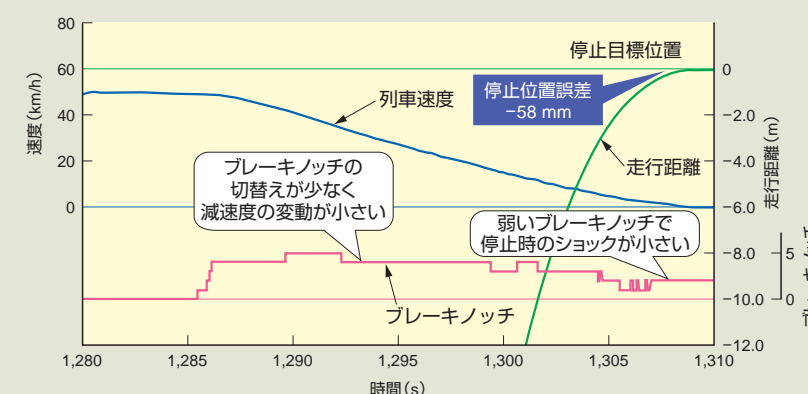


図4. TASCによる列車走行制御（実機シミュレーション結果の例） — モデル予測制御の考え方を利用して、乗りごこちよく減速して精度よく停止しました。

す。その目的は、第一に停止位置を合わせることで、次になるべく短い時間で乗りごこちよく減速することです。

そこで、モデル予測制御の考え方を利用し、停止目標位置（目標の応答）のもっとも近くに停止（制御対象の応答）すると予測されるブレーキノッチ（制御対象への入力）を選択します（図3）。これにより、ブレーキノッチの頻繁な切替えを抑え乗りごこちを確保しながら、目標位置に精度よく停止します。

TASC制御プログラムを実装した制御装置（実機）を、実車の代わりに列車走行シミュレータに接続して試験を行った結果、減速度の変動が±20%程度ある場合でも停止位置誤差は±10cmと、高い停止精度を実現できることを確認しました（図4）。

### 今後の展望

様々な列車制御システムの要となる列車走行制御技術を紹介しました。今後は、列車制御システムの自動化が更に進むと予想されます。駅間走行時間の遵守や運行ダイヤ遅れの回復などに対応する列車走行制御技術も開発していきます。

大矢 純子

電力・社会システム社  
電力・社会システム技術開発センター  
社会システム開発部

### 列車走行制御技術

列車制御システムを自動化するためには、列車の走行をシステムの目的に合わせて制御する必要があります。

個々の列車制御システムの目的により、列車走行制御の内容は少しずつ異なります。例えば、安全と効率の両立を目的とする場合と、正確で乗りごこちのよい駅停止を目的とする場合とでは、列車をどのように走行させるべきか、それをどのように実現するか、は異なります。

東芝では、“モデル予測制御”技術を用いて、目的に合わせた列車走行制御を実現しています。今回は、列車保安システムのATCと、運転を自動化する自動列車運転装置(ATO)を例に、

説明します。

### モデル予測制御の概念

モデル予測制御とは、制御対象の動特性を表すモデル式を利用して、制御対象の今後の状態や挙動（応答）を予測し、これが目標の応答にできるだけ近くなるよう、制御対象への入力を算出する制御方式です。

モデル式を利用することにより、制御対象の応答の遅れを考慮しやすい、制御対象への入力がむやみに変動しない、といった利点があります。

### 列車走行制御技術の例

#### ●ATCにおける列車走行制御方式

列車保安システムの一つであるATCは、まだ方向転換の終わっていない

い分岐装置や先行列車のある区間（未開通区間）を検出し、その手前で停止するよう速度を制御して、脱線や追突などの危険を回避するものです。

“安全を確保しながら運行効率も上げる”ことを目的として、新しいATCでは、列車の減速性能に合わせた減速パターンを作成し、その速度を上回らない範囲で、なるべく高い速度を維持するよう制御します。従来のATCに比べ、減速の開始を遅らせることができ、列車の間隔を詰めることができ、運行を効率化できます。

すなわち、新しいATCにおける走行制御には、次のような条件が要求されます。

- (1) 列車速度が減速パターンの速度を上回らないこと（安全）

- (2) できるだけ減速パターンに沿って減速（効率）

- (3) なるべく乗りごこちよく減速

そこで、新しいATCでは、減速パターンのすぐ内側に目標パターンを設定し、このパターンに追従するよう列車速度を制御します（図1）。

すなわち、現時点から一定時間にわたって、列車速度の推移（制御対象の応答）と目標パターン速度の推移（目標の応答）との誤差が小さくなるように、かつ、減速度の変動がなるべく小さくなるように、モデル予測制御を使って最適なブレーキノッチ（ブレーキ指令値：制御対象への入力）を算出します。

これにより、減速度の変動を抑えながら、減速パターンの速度を上回らない範囲でなるべく高い速度を維持しな

がら減速できることを確認しました（図2）。

#### ●TASCにおける列車走行制御方式

運行ダイヤの高密度化やホームドアの導入などにより、今後は、より高い駅停止精度が求められると予想されています。所定の停止位置を行き過ぎて、後退運転により位置を戻したりすると、運行ダイヤの遅れの原因になってしまいます。ATOにより運転を自動化し、運転士の技量の差に影響されない均一で正確な運転を実現することにより、運転士の負担軽減だけでなく、運行ダイヤにあらかじめ組み込まれている余裕時間を削減することができ、列車運行の効率化にも貢献します。

定位置停止装置(TASC)は、ATOの駅停止部分の機能を実現するもので