

A T S 速度照査パターンが運転操縦に与える影響

○宗重 倫典 [機] 大道 環 中村 哲也 (西日本旅客鉄道株式会社)

Effect of ATS brake pattern on the driver's operation

○ Michinori MUNESHIGE, Tamaki OHMACHI, Tetsuya NAKAMURA

(West Japan Railway Company)

It is important to examine various factors of a current ATS system influencing the driver's operation, for the improvement and further development of ATS system in the future. This research is aimed at examining effect of ATS system on the driver's operation through various experiments. Based on the result of experiments, the relevance between the factors of ATS system and the driver's operation is reported.

キーワード : A T S - S W , A T S - P , 速度照査パターン, 回復運転, 反応時間, ブレーキ初速度

Key Words : ATS-SW, ATS-P, brake pattern, recovery operation, reaction time, initial braking speed

1. はじめに

A T S (自動列車停止装置) は、万が一運転士が正常な運転操縦を行うことができなかった場合に自動的にブレーキを動作させ列車を停止させる保安装置である。

A T S には、当社では A T S - S W 型 (以下、S W) と A T S - P 型 (以下、P) があるが、特に P は列車本数の多い近畿圏を中心に整備されており、万が一の事象に対するバックアップ機能を強化したものである。しかし運転操縦はもとより運転保安の主体は運転士であるため、正常時における運転操縦や注意配分等に影響を与えることのない機能やマンマシンインターフェースであることが必要である。既存の保安装置については、マンマシンインターフェース等に関する評価が行われているが、それから約 20 年が経過しており A T S を取り巻く環境の変化等により何らかの変化や影響が生じている可能性があると考えられる。

最近の運転士へのヒアリング調査の結果から、拠点 P 区間 (S W と P の併設区間) において予告無くブレーキが動作することが P に対する不快感や不信感として現れることが示唆された。これは拠点 P 区間では速度照査パターンに対する接近警報が鳴動しないためである。また P のパターン残り (停止パターンに対して手前に停車した後、信号現示が変わっても更新地上子を踏むまでは停止パターンが残っていること) のために速度を上げられないことやパターン当り (停車パターンや減速パターンに当たること) によるブレーキ動作に対しても同様であることがわかった。これらの対策としては、パターン接近等の情報を何らかの形で運転士に与えることが考えられる。これにより不要なブレ

ーキ動作の回避だけでなく、マンマシンインターフェースの観点から運転操縦の負担軽減等に繋がること等の「良い影響」が考えられる。しかし一方では、情報を与えることにより注意配分に対する影響やシステムに対する依存といった「良くない影響」が生じる (もしくは、生じている) 可能性も考えられる。パターン残り等の対策の実施にあたっては以上のような様々な影響を把握しておく必要があると考える。また、今後、既存の保安装置の改良や新たな保安装置の開発にあたっては同様に必要なことと考える。

2. 目的

本研究では、A T S と運転操縦の関係から A T S が現状の運転操縦へ与える影響を実験等により調査することを目的とする。ここで影響とは、システムや装置等の機能に「頼った」「利用した」「参考にした」等の肯定的及び否定的影響の総称とする。

3. 仮説の設定

A T S が運転操縦へ与える影響は、A T S 方式 (P・S W) やダイヤ遅れの有無 (定時・回復運転) の条件下による運転操縦を比較することで見出すことができると考えた。

A T S 方式 (P・S W) により、速度照査 (停止・減速) パターンの有無や A T S 動作時のブレーキ種別 (常用最大ブレーキ・非常ブレーキ) の違い、及び自動緩解の有無等が相違点として挙げられる。したがって A T S 方式別に運転操縦を比較することで影響が調査できると考えた。

定時・回復運転の比較では、自ずと速度アップやブレー

キ開始地点を前後に変えること等が運転操縦の相違点として考えられる。この時にATS方式がどのように関連しているかにより影響が調査できると考えた。

これらの検討から以下のような仮説を立てて実験等により検証を行うこととした。

- (1) ATS-P区間とATS-SW区間の走行を比較した場合、運転士はATS-P区間を走行した方がより保安装置の影響を受け易い。
- (2) ATS-P区間とATS-SW区間の走行を定時運転及び回復運転で比較した場合、運転士はATS-P区間を走行した方がより保安装置の影響を受け易い。

4. 実験

4.1 概要

実験は、当社安全研究所が所有する運転シミュレータを用いて運転士を対象に行った。ATS方式別及び定時・回復運転の条件で運転を行い、その際の運転操縦やATS動作状態等のデータ収集を行った。これらのデータから運転速度やブレーキ開始地点の相違、速度照査パターンの接近警報（以下、パターン接近）鳴動の有無等から影響を調査することとした。また、実験に関連したアンケート調査やヒアリング調査も併せて行った。特にシミュレータ運転において影響と思われる事象が見られた場合は、ヒアリングで詳細を聞き取ることとした。

4.2 走行条件

運転シミュレータの既存のコースを1周とし、2周を1セットとして運転士1人あたり4セット走行した（実験1～4）。実験で用いた走行曲線のイメージを図1に示す。

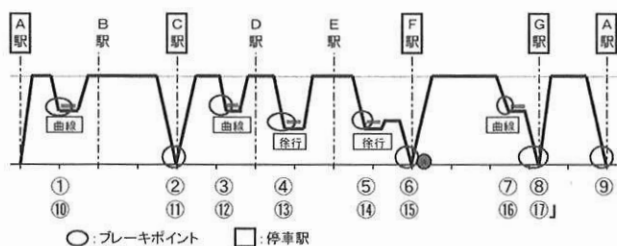


図1 実験で用いた走行曲線（イメージ）

1セット走行する間にブレーキポイントは17箇所あり、①～⑧番目と⑩～⑭番目のブレーキポイントは同一箇所である。各セットでは、1周ごとにATS条件と定時・回復条件とが混在するように設定した。ATS条件については指定した駅で切換扱いを行うこととした。定時運転については、実験に先立ち被験者に定時運転を習熟するよう教示した。事前に実験での定時運転に関する詳細な説明を行い、実験本番までに定時運転を習熟するよう教示した。回復条件では軽微なトラブル発生によりダイヤ遅れが生じるようにした。

4.3 被験者

実験背景や実験条件から全線P線区（保安装置の主体がPの線区）を担当する運転士でなければならないため、全

線P線区を担当する近畿圏の5区所から各6名、計30名とした。

5. 実験結果

5.1 パターン接近鳴動のタイミング

ブレーキ扱いを基準として、その前にパターン接近が鳴動している場合（図2中A）と後に鳴動している場合（図2中B）がある。ブレーキ扱い開始と鳴動開始の間の時間を読み、Aの場合を(-)、Bの場合を(+)として分類した。以降は、パターン接近鳴動の後にブレーキ扱いを行っている場合を(-)側の扱い（もしくは単に、(-)側）、ブレーキを扱った後にパターン接近が鳴動した場合を(+)側の扱い（もしくは単に、(+)側）と定義する。Bの場合((+)側)はブレーキを先に扱っているためATSの機能に影響された取扱いでないと言えるが、Aの場合((-)側)はその長さにより影響された取扱いの可能性が考えられる。

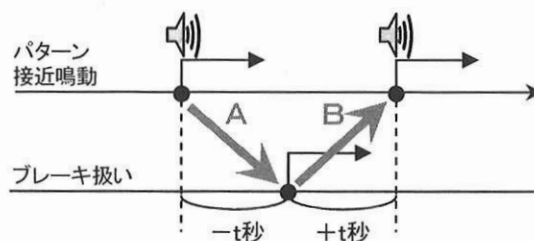


図2 パターン接近鳴動のタイミング

5.2 反応時間

実験でのブレーキ扱いの総数は2229回であった。そのうち(-)側の扱いは41回（約1.8%）、平均時間は-0.53秒であった（図3中◆）。また(-)側であっても影響されてならない場合があることから、パターン接近鳴動を聞いてからブレーキ扱いを行うまでの時間を「反応時間」として別途測定した。音を聞いてからブレーキハンドルを扱うまでを極力早くするように教示し、音が鳴った瞬間からブレーキハンドルの扱い始めまでの時間を測定した（試行43回）。その結果、平均時間は-0.57秒であった（図3中▲）。

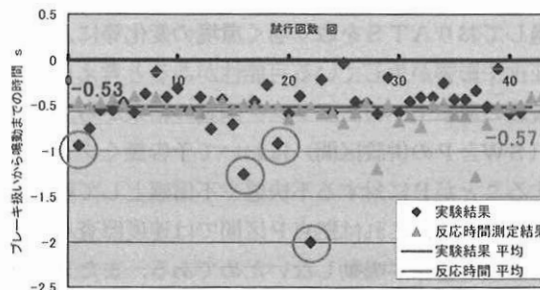


図3 (-)側の扱いと反応時間の比較

反応時間の平均値である-0.57秒以下の実験結果は41件中27件であった。これらは反応時間より短いため、影響による取扱いによるものではないと考える。また実験監視において-1.0秒程度より長くなければ鳴動とブレーキ扱いがほぼ同時に見え(-)側の扱いと判断し難い。実験時に(-)

側と明確に認識できたのは4回(図3中の丸囲み)のみであった。これらについては実験直後のヒアリングで、自らのタイミングで意識的に扱ったものと直接聞き取っており、ATSの機能に影響されたものではないと考える。

5.3 PとSWの比較(仮説①の検証)

(1) 地点別の結果

ブレーキ扱い時の速度(以下、ブレーキ初速度)とブレーキ地点について、定時運転での結果をATS方式により比較した。地点⑤の結果を例として図4に示す。

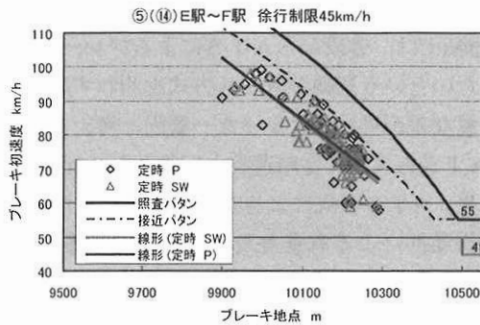


図4 地点⑤(⑭)の比較(P・SW)

地点⑤の他に②・④・⑦・⑨において同傾向を示した。これらの地点では手前の速度制限区間等からの距離が比較的長く、速度に対する制約もないため高～中速域に幅広く分布した形となっている。またブレーキポイントは速度に応じた分布となっている。

地点による分布傾向の違いはややあるが、各地点でのP・SW比較では定性的に大きな差は見受けられなかった。

(2) ブレーキ初速度補正

PとSWの比較を統計的にを行うために、各回のブレーキ初速度をある一つの速度に補正し、各集合のブレーキ地点について検定することとした。図5に概要を示す。

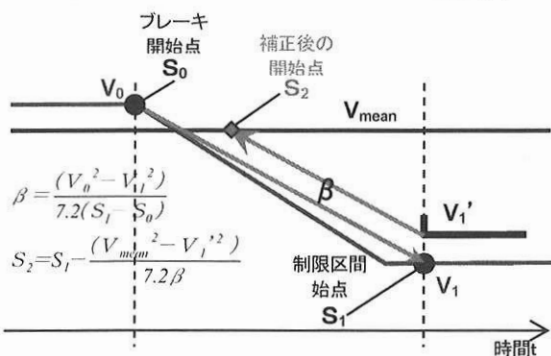


図5 ブレーキ初速度補正

各回のブレーキ開始地点 S_0 とブレーキ初速度 V_0 。制限開始地点 S_1 の速度を終速度 V_1 として減速度 β を求める¹⁾。そして制限開始地点と制限速度 V_1 (駅停車の場合は、停止位置目標のキロ程と速度0km/h)から β を用いて平均速度 V_{mean} までのブレーキ地点 S_2 を逆算する。ここで平均速度 V_{mean} は、当該地点のブレーキ初速度の平均である。なお今回はシミュレータによる実験のため、空走は一定であると考え、計算では考慮していない。これにより、図4は図

6のように図示される。図中の赤線・青線及び付属の数字は、各集合の平均値を示す。

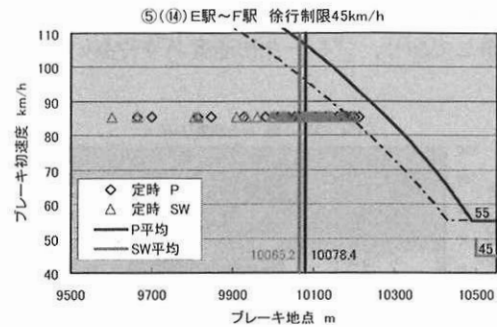


図6 地点⑤(⑭)初速度補正(P・SW)

(3) 検定

各地点における定時運転でのP・SW比較を行った。その結果、いずれの地点でも統計的に有意差は見られなかった。このことからATS方式の相違によって運転操縦には差が生じないと考えられる。なお回復運転での比較も行ったが、同様にいずれの地点でも統計的に有意差は見られなかった。

(4) アンケート・ヒアリング結果

アンケート結果を図7に示す。

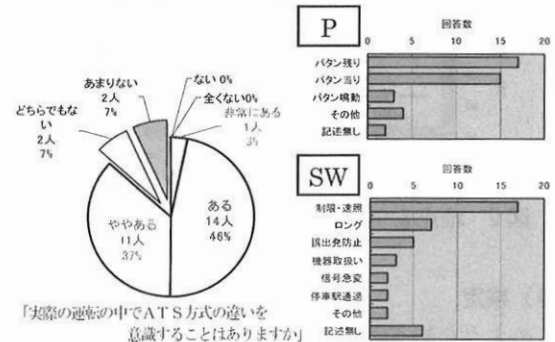


図7 ATS方式に関するアンケート結果

実際の運転においてATS方式の違いを意識することはありますか、という問いに対し30名中26名が意識することがある側の回答であった。その中でPについてはパターン残りを意識しているという回答が17名と最も多く、次いで通常運転でのパターン当りが15名であった。SWは曲線等の制限や速度照査機能を意識しているという回答が17名と最も多かった。Pのパターン残りについてはダイヤ乱れ時の機外停止という状況が主であるので通常の運転操縦への影響は少ないと考える。またPのパターン当りやSWの曲線制限等からは、常にATSによるブレーキ動作を避けたい意識が高いことがうかがえる。ATS方式が異なってもATSによるブレーキ動作を避けたい点では共通しており、これは互いの運転操縦に大きな差が生じないことの一要因であると考えられる。

5.4 定時と回復の比較(仮説②の検証)

(1) 地点別の結果比較

ブレーキ初速度とブレーキ地点についてATS方式別に

定時・回復運転の比較を行った。代表例として前節同様、地点⑤の結果 (Pのみ) を図 8 に示す。全体的な傾向として回復運転のブレーキが定時運転と比べてやや進行方向前方に分布しており、ブレーキ初速度がやや高い分布を示している。

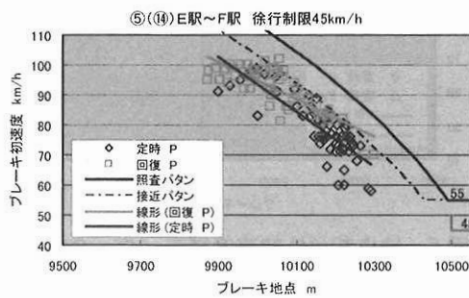


図 8 地点⑤(⑭)の比較 (P: 定時・回復)

(2) ブレーキ初速度補正

前節と同様に統計的な比較を行うために初速度補正を行った。前項で例に挙げた地点⑤について初速度補正を行った結果を図 9 に示す。

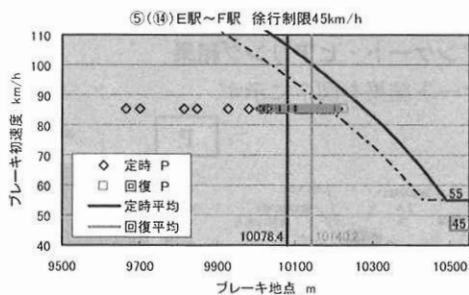


図 9 地点⑤(⑭) 初速度補正 (P: 定時・回復)

(3) 検定

このような初速度補正を行った各地点の結果について、ATS方式別に定時・回復運転の比較を行った。分散分析の結果、ATS方式による有意差はなく、定時・回復条件による有意差及び有意傾向が地点⑧以外であった ($p < .01$ = 地点③・④・⑤・⑦, $p < .05$ = 地点②・⑥, $p < .10$ = 地点⑨)。このことから、回復運転では定時運転と異なった運転操縦となっているが、ATS方式にはよらないことを示している。したがって、仮説②は成立しないと考える。

(4) アンケート・ヒアリング結果

回復運転を行う頻度について、という問いに対して 30 名中 24 名が回復運転を行う側の回答であった。さらに回復運転時の運転方法について、という問いに対しては 24 名全員が制限速度内での速度アップ (以下、速度アップ) と回答した。うち 4 名はブレーキポイントも多少詰めると重複回答した。回復運転の方法は速度アップのみが主で、ブレーキ扱いは速度が高い分それに見合うだけ手前から扱うこと (通常時と等価のブレーキ) を主に意識していることがわかった。実験結果では定時と回復の運転操縦について統計的に有意差があるという結果であったが、通常時と等価のブレーキを意識するものの通常とやや異なる速度のため

ブレーキポイントがおよその地点となること等による結果であり積極的に運転操縦を変えたものではないと考える。

6. まとめ

ATSが運転操縦へ与える影響等の現状について、調査した結果を以下にまとめる。

- (1) ATS方式の相違による運転操縦の比較を行った結果統計的に有意差は見られなかった。このことからATS方式の相違によって運転操縦には差が生じないと考えられる。
- (2) 運転士は、普段からATSによるブレーキ動作を避けたいという意識がATS方式を問わず高く、両者に有意な差は見られなかった一要因と考える。
- (3) ATS方式別に定時運転と回復運転の比較を行った結果、ATS方式による有意差はなかったが、定時・回復条件による有意差及び有意傾向が多く地点で見られた。
- (4) 運転士は、回復運転での運転方法として制限速度内での速度アップのみを主としブレーキ扱いは通常時と等価のブレーキを扱うことを意識している。しかしブレーキポイントはおよそとなるため、実験では結果的に運転操縦に差が生じたと考えられる。

今回の実験により仮説①及び②の検証した結果、運転操縦はATSに影響されていないことを示唆するものと考えられる。保安装置からの現状で知り得る情報に運転士が依存する等の影響はないと考える。またアンケートやヒアリングでは、Pのパターン残りに対する意識や関心が依然として高いことを再確認することができた。またその他にも拠点P区間での接近パターンの鳴動を希望する声がいくつか聞かれた。これらの対策については今回の結果を元に今後も検討を続けるとともに、今後の保安装置におけるよりよいマンマシンインターフェースの追求や構築の一助となるよう進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 中央鉄道学園: 最新電車運転理論, pp. 77, 交友社, 1969.