

S3-1-3. 新幹線電車の省エネルギー運転方法と実測による評価

○田 端 隆 文、大 橋 昭 典、光 山 嘉 一 郎、  
富 永 衛、久 野 彰、折 中 啓 也 (西日本旅客鉄道株式会社)

Energy saving operating method of Shinkansen and its evaluation through actual measurement

Kaichiroh Mitsuyama, Mamoru Tominaga, Akira Hisano, Takafumi Tabata, Keiya Orinaka (West Japan Railway Company)

New series vehicles of Shinkansen called 700 series "Rail Star" have increasingly introduced, which are equipped with induction motors and regenerative brake systems. Although energy saving operating methods for Shinkansen was believed to be established for existing vehicles such as 0 series, it has not been known whether the method is also effective for the new series vehicles. In this paper, we introduce an operating method aiming at energy saving and confirmed its effectiveness by actually measuring energy consumption of trains. Then, we quantitatively estimated how the method has given an influence to the whole energy consumption of Sanyo Shinkansen.

キーワード：新幹線電車、省エネルギー運転

Keywords: Shinkansen train, energy saving train operation

1. はじめに

近年、環境保全が大きな社会問題としてクローズアップされ、CO2 排出削減、省エネルギーの推進が求められている。当社においても、環境保全目標を定め、「車両キロ当たりのエネルギー使用量を 2005 年度までに 10%減 (1995 年度比)」を目指し、省エネルギー車両の導入を進めている。

従来から、旧世代車両 (0、100 系) においては、経済運転と呼ばれる省エネルギー運転方法の研究及び実践が行われてきた<sup>1)</sup>。しかしながら新世代車両 (300、500、700 系) は旧世代と異なる車両機構 (回生ブレーキ、交流電動機等) を持っており、省エネルギー運転は未だ確立されていないのが現状である<sup>2)</sup>。そこで本論文では、新世代車両に適した省エネルギー運転を導出し、理論及び山陽新幹線における実車測定により評価・検証を行った結果を報告する。

2. 旧世代車両における省エネルギー運転

列車の運転時刻、いわゆる列車ダイヤは各列車の車両性能毎に決められた駅間の基準運転時分 (平均的な運転条件下で駅間を最高速度で運転した場合の運転時分) を基に、他列車との乗継・待避時分を考慮して作成されている。そのため、実際の基準運転時分に余裕時分が付加されている。この「余裕時分」を活用するのが省エネルギー運転である。

旧世代車両における省エネルギー運転 (図 1) とは高加速にて最高速度まで加速し、最高速度を維持した後に、余裕時分に応じて、惰行を行う運転である。この運転は、惰行運転をできるだけ長く行なうことにより、主電動機による消費エネルギーを極力抑える運転方法である。

3. 旧世代車両と新世代車両の比較

旧世代車両の主電動機は直流電動機であり、力行時は電

動機として駆動する。ブレーキ時には発電機となり、発電された電気エネルギーは抵抗器により熱エネルギーに変換され外気に放出される。

一方、新世代車両の主電動機は交流誘導電動機であり、力行時は電動機として駆動する。ブレーキ時には発電機となり発電された電気エネルギーを架線に返還するシステム (回生ブレーキ) としている。従って、新世代車両においては、回生ブレーキを有効に使用し、力行電力量から回生電力量を差し引いた消費電力量をなるべく少なくするような運転方法を見出すことが求められる。

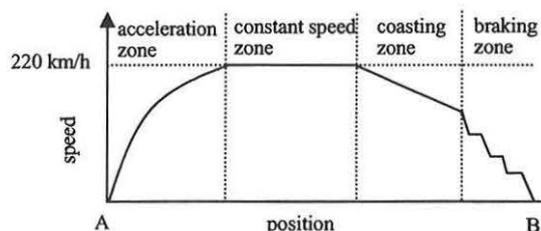


図 1 旧世代車両の経済運転

4 新世代車両の省エネルギー運転方法

<4.1> 実車による運転方法の検討

新世代車両の省エネルギー運転方法の検討にあたり、700 系 8 両編成 (E 編成) レールスターを使用し、以下の 3 パターンの運転方法を比較した。(図 2)

(a) 最高速度からの惰行運転 (図 2(a))

旧世代車両と同様の経済運転であり、最高速度 285km/h 加速後、運転時分に応じ最適な地点で惰行する運転である。

(b) 後半加速型運転 (図 2(b))

駅間の前半は低速で等速度運転を行い、後半で加速して最初の下位信号を最高速度で受信する運転である。新世代

車両の特徴である回生ブレーキによる回生電力量を最大限に得ようとする運転である。

(c) 任意の一定速度からの惰行運転 (図 2(c))

最高速度より低い任意の一定速度まで加速し、その速度を維持した後に惰行に移行する運転である。(a)の運転のように最高速度を出さないことで力行及び速度維持に要するエネルギーを抑え、(b)の運転ほどではないが、回生電力量をある程度得ようとする運転である。これは、これまであまり実行されていないと考えられる運転である。

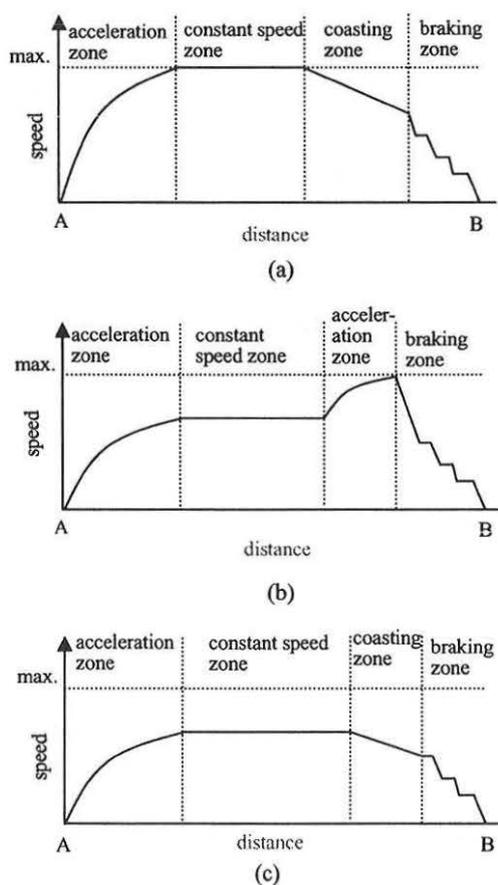


図 2 運転方法の比較図

以上の 3 通りの運転方法について小倉-博多間を試験区間として、余裕時分別に実車を用いて消費電力量の測定を行った。消費電力量の測定は、車両に搭載されている消費電力測定装置を使用し、先頭運転台にある運転支援モニターにて計測を行った。その結果の 1 例を図 3 (小倉-博多上り区間、運転時分 17 分) に示す。図 3 より (a) に比べて (b) 及び (c) が、消費電力量が少ないことが分かる。(b) と (c) を比較してみると、以下の点で (c) の運転方法が実用的な省エネルギー運転であることが考えられる。

- ・ お客様の乗り心地への影響
- ・ 定時運転確保に対する容易さ
- ・ 全運転士に対する水平展開の容易さ

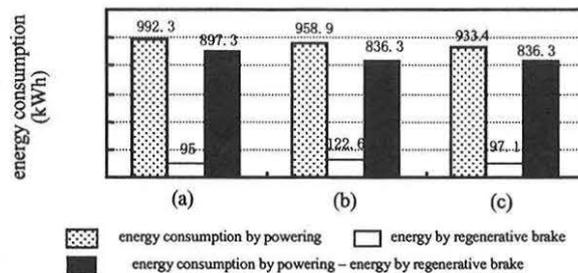


図 3 博多-小倉間消費電力測定の結果

#### <4.2> 実車による任意の一定速度の検討

4.1 の結果をもとに、小倉-博多間の下り、上り列車を対象に、維持する速度ごとに消費電力量の測定を行った。図 4 は上り列車の測定結果である。図 4 より 255~265km/h で定速運転を行った後に惰行運転を行う運転方法が最も省エネルギーであることが分かった。

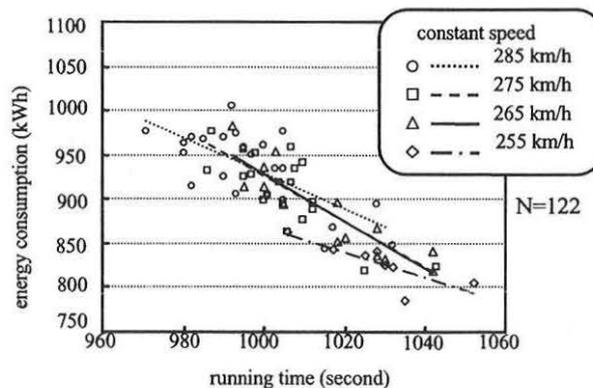


図 4 博多 - 小倉間上り列車における速度別消費電力量

#### 5. 山陽新幹線全線での省エネルギー運転の効果の実測

小倉-博多間での研究を基礎にして、山陽新幹線全線での消費電力量調査を行った。調査測定は、小倉-博多間と同様にレールスターで行った。2002 年 12 月 1 日から、2003 年 9 月 30 日 (ダイヤ改正) まで 10 ヶ月間行った。

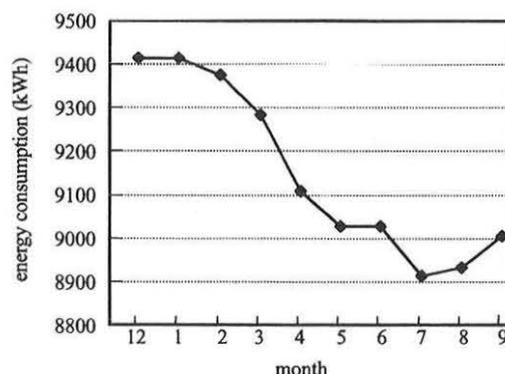


図 5 1 列車あたりの全線平均消費電力量の年間推移  
図 5 に 1 列車あたりの全線平均消費電力量の月毎の推移

を示す。調査中に各運転士から提出された消費電力量データ数は 446 件であった。運転士への浸透化の努力もあって、平均消費電力量は月毎に減少傾向にあることが分かる。7 月の消費電力量が最も低い値を示しているのは、1 ヶ月間速度制限の徐行が他の月に比べて少なく、徐行による遅れ回復運転による電力消費が少なかったためだと考えられる。調査開始の 12 月と終了の 9 月を比較してみると、一列車あたり約 412kWh が減少していることが分かった。

## 6. 山陽新幹線全線での省エネルギー運転の評価・検討

### <6.1> 山陽新幹線全線における評価

次に、省エネルギー運転の普及が、山陽新幹線全線で、全車種の総消費電力量にどのような影響を与えたかを分析する。図 6 に 2002 年 10 月から 2003 年 9 月までの各月の 1 日平均消費電力量の推移を示す。図 6 より 1 月と 8 月の消費電力量が多いことが分かる。これは多客期のため臨時列車増発による運転本数の増加、空調装置負荷の増大等により結果的に列車の消費電力量が多くなったと推測される。

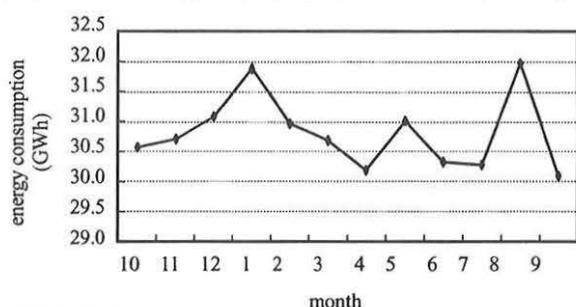


図 6 山陽新幹線における各月の 1 日あたりの平均消費電力量の推移

しかし、月毎に列車本数等が異なるため、そのままの数値を比較することは意味がなく、省エネルギー運転の効果を把握するためには、月毎の消費電力量を、列車本数等の影響を受けないように、何らかの手法で補正することが必要である。そこで、消費電力量に最も影響を与える要因を分析した上で、比較検討のベースを定め、各月の電力消費量を補正した。

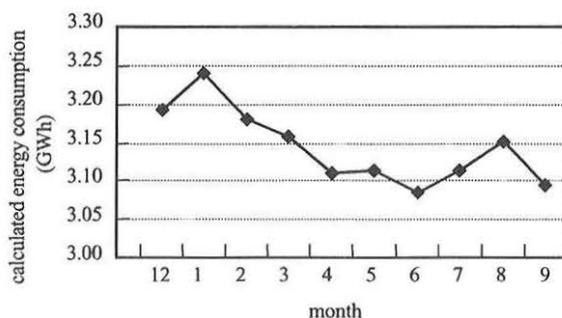


図 7 補正後の山陽新幹線の年間消費電力量の推移

図 7 は補正した消費電力量の推移である。これより、2003

年 1 月以降、山陽新幹線全線における消費電力の補正値は減少傾向にある。この間、旧世代車両から新世代車両への置き換えもあったが、置き換えが行なわれなかった月においても消費電力量の減少が見られており、山陽新幹線全線でのレールスターにおける省エネルギー運転の取り組みの効果が寄与していると推測される。

### <6.2> 経済的、環境的評価

5 章に示すレールスター 1 列車あたりの省エネルギー効果 412kWh より、年間のレールスター消費エネルギー運転の経済的効果及び環境的効果を推定する。

1 日あたり山陽新幹線のレールスター運転本数上下 46 本、定時運転率 0.96 として 1 年間のレールスターの消費電力量の効果は約 6.64GWh となる。経費換算値 6 円/kWh、環境 (CO<sub>2</sub>)換算値 0.29kg/kWh を用いると以下ようになる。

経済的効果 約 3,984.5 万円

(一般家庭 約 1,950 世帯分)

環境的効果 約 1,925.8 ton

(軽自動車約 16,858km 走行分)

### <6.3> 運転士の技能レベルで見た省エネルギー運転の評価

山陽新幹線全線での長期調査によって、運転士毎に消費電力量の差があることが分かってきた。図 8 は、2003 年 10 月改正以降の小倉-博多間の上り列車 (運転時分 17 分) での、主な運転士 5 名の運転時分と消費電力量のグラフである。グラフから B 運転士が、他の運転士と比べ、低い電力値をバラツキなく記録していることが分かる。(図点線内) 他の運転士についても、各人の電力値帯を持っていることが分かる。また、C 運転士は新人であるが、他の運転士と比べ運転時分にかかなりのバラツキがあることが分かる。

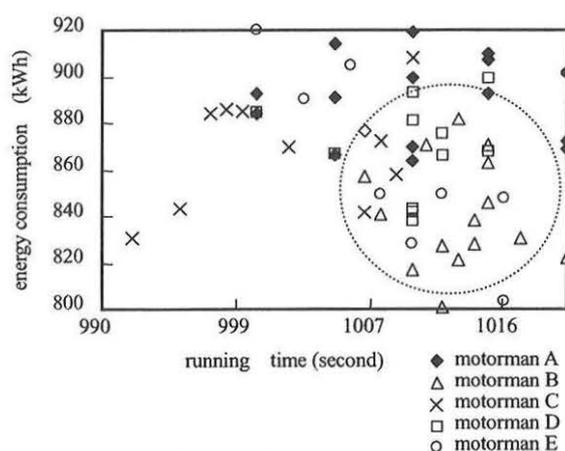


図 8 運転時分と消費エネルギーの関係

一方、6.1 章で、乗車人員が消費電力量を決める大きな要因の 1 つであることを述べたが、同じ小倉-博多間の上り列車 (運転時分 17 分) で、同じ運転士の消費電力量と乗車人員で図 9 のように対比して見た場合、顕著な集積は見られないことが分かる。レールスターの定員 571 人に対して 100~400 人の乗車人員の範囲においては消費電力量に大

きな差異があらわれない。従って、このような乗車人員の範囲においては、乗車人員よりも運転士個人の技能の差の方が要因としてのウェイトが大きいと考えられる。

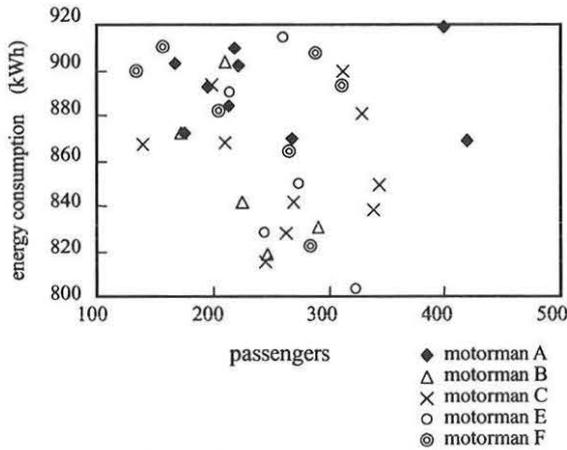


図9 輸送人員と消費エネルギーの関係

運転士はトンネルや勾配等の状況を的確に判断して、ノッチ操作を行わなければならない。特に山陽新幹線は東海道新幹線などと比べ、トンネルが多く、上り・下りの勾配が多い(トンネル区間 49.8%、5‰以上の勾配 54.8%)。図 10 は小倉—博多間の線路略図であるが、トンネルでない明かり区間は少なく、平坦な区間も少ないことが分かる。

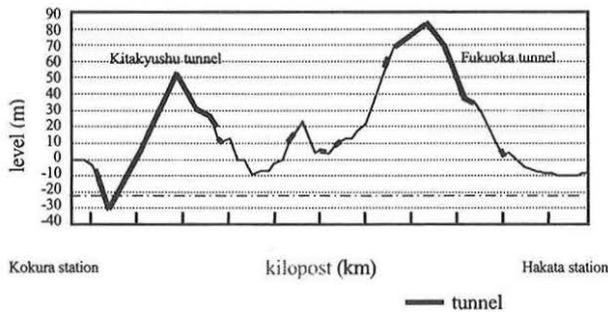


図 10 小倉—博多における勾配及びトンネル区間

トンネル区間と明かり区間では、次式のように走行抵抗に差がある。

- ・トンネル区間の走行抵抗

$$Rr1 = 1.356 + 0.01363V + \frac{0.086716V^2}{W}$$

- ・明かり区間の走行抵抗

$$Rr2 = 1.356 + 0.01363V + \frac{0.0496603V^2}{W}$$

ここで、 $Rr1$ 、 $Rr2$ は走行抵抗(kg/ton)、 $V$ は速度(km/h)、 $W$ は列車重量(ton)を表す。上記の式より、トンネル区間で速度を上げるよりも、明かり区間で速度を上げた方が消費電力量は少ないと考えられる。

また、図 11 は小倉—博多間でのノッチ操作数と消費電力量の関係のグラフである(運転時分 18 分)。これよりノッチ操作が少ないほど、消費電力量が少ないと言える。従って、トンネル、勾配等の線路条件に応じたノッチ操作を行える能力により個人差が現れたのではないかと推定される。

さらに最小消費電力量を記録した運転士について、省エネルギー運転の要点を聞き取り調査したところ、図 12 のような要点が明らかになった。運転当日の列車の状況、気象、車両状態等を総合的に判断し、このような要点をうまく調整しながら運転できることが運転士でしかできない(人間でしかできない)省エネルギー運転ではないかと言える。

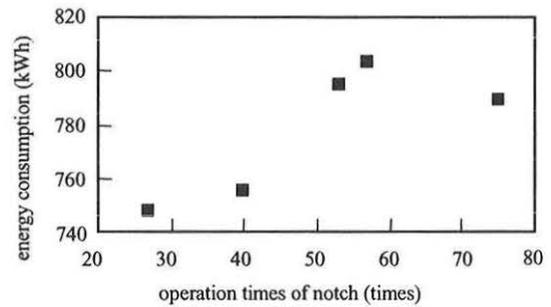


図 11 ノッチ操作数と消費電力の関係

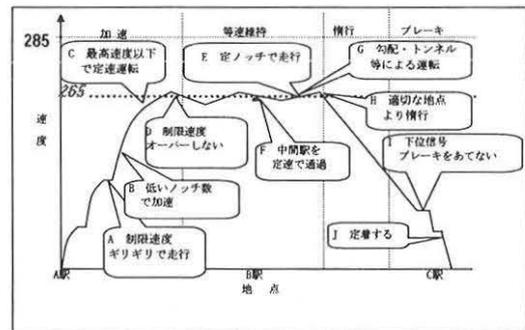


図 13 省エネルギーの運転の要点

## 7. おわりに

本研究では、新世代車両の省エネルギー運転方法が、旧世代車両で確立された運転と異なるものであることを実証するとともに、山陽新幹線全線で長期間実車測定することにより、大きな経済的・環境的效果が得られることを証明した。また、省エネルギー運転には様々な運転の要点が存在し、運転状況に応じ、これら要点をうまく調整し運転することが最適な省エネルギー運転になることが分かった。

今後も、省エネルギー運転の研究を継続的に進め、当社のみならず、社会的に環境保全と省エネルギーの推進に寄与できればと考える。

## 参考文献

- [1]小林伸行:「経済運転について—省エネルギーを志向した—」, JREA Vol.31, No.3, pp.17713—17716 (1988) 4.2
- [2]木村幸男:「「惰行」のススメ」, RRR, pp.18—22 (1988-7)