

電車併結時の自連力発生の測定

田浪 博司* 辻尾 良輔 藤田 守

森本 寛 大森 正樹 (西日本旅客鉄道株式会社)

An Investigation into the Impact on the Coupler Caused by the Coupling of the EMUs

Hiroshi Tanami*, Ryosuke Tsujio, Mamoru Fujita,

Hiroshi Morimoto, Masaki Omori, (West Japan Railway Company)

In order to examine drive and control methods that prioritize passengers and EMUs in terms of ensuring the safety of coupled EMUs and preventing impulse, the force of impacts during coupling were measured. For the test, multiple speed and braking conditions were set while the coupler force and vibrations occurring inside the carriage were measured with accelerometers and other equipment installed in the buffer strokes and inside the carriage. Thus, by quantitatively understanding the coupler force occurring under each condition, the optimal method for connecting EMUs during actual operations in the future were considered.

キーワード：併結，自連力，振動，変位

(Keywords : coupling of the EMUs, impact on the coupler, vibrations, stroke)

1. はじめに

車両併結時における安全の確保及び衝動防止の観点から、お客様および車両を大切にする運転操縦方法を検証するため、併結時の衝撃力の測定を行った。試験については、複数の速度条件及び制動条件を設定し、緩衝器のストローク、車内に設置した加速度計等により自連力及び車内で発生する振動を測定した。これにより各条件下で発生する自連力を定量的に把握することで、今後の実運用場面における最適な併結方法の考察を行った。

2. 試験目的

車両併結時の運転操縦方法は、これまでの運転士の経験や運転感覚に依存することが多く、併結速度や車内で発生する振動などについて客観的に把握することが困難であった。しかしながら、列車にご乗車頂いているお客様の立場に立つと、ある併結方法に対して、その際に発生する振動を客観的に把握することは、よりお客様に安心して頂ける運転方法を検証するために必要なことである。また使用される車両側から見れば、併結時にどれほどの振動が車体に発生するか、その際に緩衝器はどれほど変位するかなど、衝撃力を客観的に把握する必要がある。

そのため、車両併結時における安全の確保及び衝撃防止の観点から、お客様によりご満足頂ける運転操縦方法を検証すること、また車両にかかる振動や変位などを客観的に把握することを目的として、車両併結時の衝撃力の測定を行った。

3. 試験内容と方法

〈3・1〉試験条件

- 試験年月日 平成 22 年 9 月 6 日
- 試験場所 大阪支社 日根野電車区構内
- 試験編成 223 系 4 両編成 2 本
- 併結速度条件
1km/h、2km/h、3km/h を目安とする
- 制動条件
 - ・ノーブレーキ (併結後ブレーキ投入する通常の扱い)
 - ・併結直前にブレーキ 1 ノッチ投入

被併結車両として、223 系 4 両編成を停止させておき、223 系 4 両編成を併結車両として使用し、併結試験を実施する。試験については、上記のとおり複数の速度条件及び制動条件を設定し、車両併結時の衝撃力を測定する。

〈3・2〉仮設概要

車両併結時に発生する前後振動加速度を測定するため、各車両内に振動加速度計を設置した。また各車両間の変位 (2 車間変位)、緩衝器単体の変位 (1 車間変位) を測定するため、各々の箇所にはレーザ変位計と反射板を仮設し、変位量の測定を行った。さらには、連結器、緩衝器、操車担当の動き、運転士の扱いを測定データと連動して把握するため、各々の動きを動画により記録した。最後に、併結時において、被併結車両の車体動揺量を定量的に把握するため、車体移動量の測定も行っている。

これまで運転士の経験や運転感覚に依存しがちであった併結方法を客観的データと結びつけるためには、併結速度を

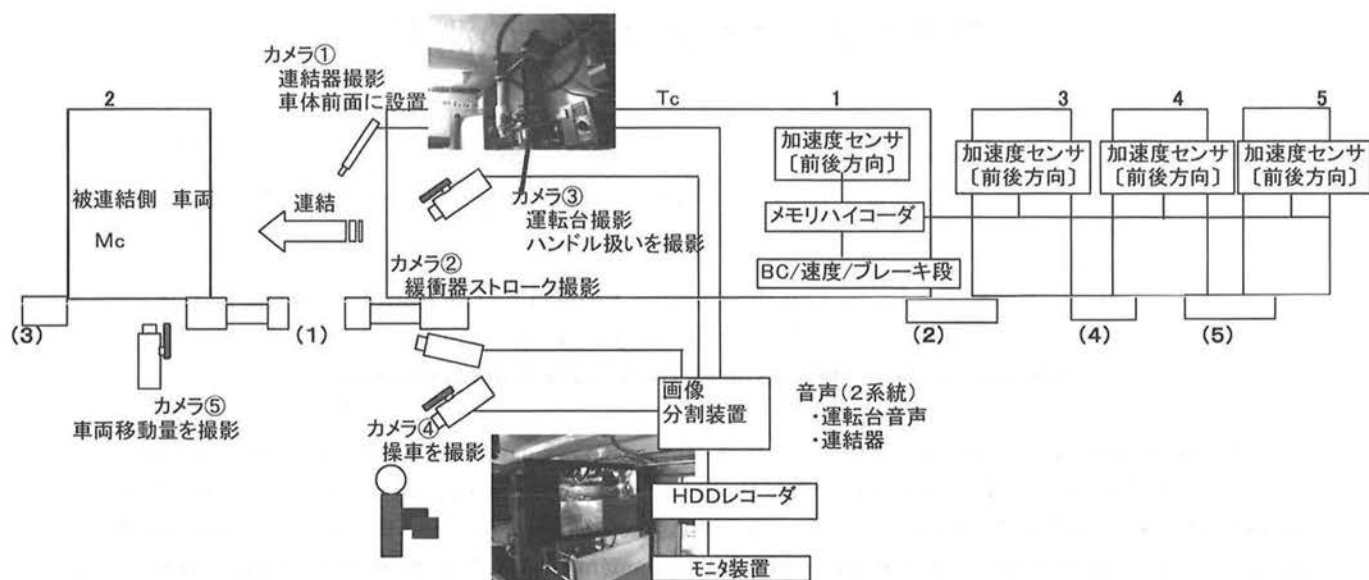


図 1 仮設概要

表 1 測定項目

C h	部位 ※	測定項目
1	(1)	2 車間変位
2	(2)	2 車間変位
3	(3)	2 車間変位
4	(4)	2 車間変位
5	(5)	2 車間変位
6	(1)	1 車間変位 (緩衝器変位)
7	(2)	1 車間変位 (緩衝器変位)
8	(4)	1 車間変位 (緩衝器変位)
9	(5)	1 車間変位 (緩衝器変位)
10	1	車体前後加速度
11	2	車体前後加速度
12	3	車体前後加速度
13	4	車体前後加速度
14	5	車体前後加速度
15	—	ブレーキシリンダ圧力 (BC圧)
16	—	ブレーキノッチ
17	—	併結速度 (レーザ変位計)

※ 部位は図 1 に記載した番号に対応している。

より正確に把握することが重要な因子となる。しかしながら車両併結のような低い速度に対しより正確に速度を把握するためには、速度発電機からの信号のみでは困難である。そのため、正確な速度を取得するために併結—被併結車両間にレーザ変位計、反射板を仮設し、その変位量の変化率から併結速度を算出することとした。

仮設概要を図 1—図 3 に、測定項目を表 1 に示す。

4. 車両併結試験結果

通常の併結時の測定結果を図 4 に、測定を実施した中で、最大速度で併結した測定結果を図 5 に示す。通常の併結時

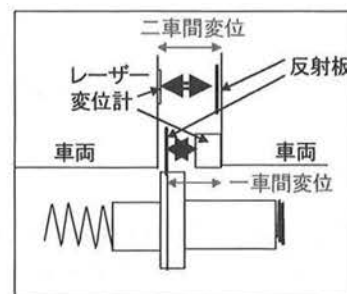


図 2 変位測定仮設概要

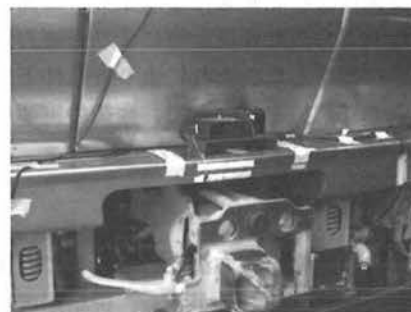


図 3 併結面間に取付けたレーザ変位計

左：2 車間の変位を検出するレーザ変位計
(反射板は被併結車両に設置)
右：併結速度を検出するレーザ変位計

は担当運転士が普段どおりに併結を行った結果であり、その測定チャートから併結速度は約 1.0km/h であった。試験は、チャートから算出される速度を目安に次第に速度を上げて実施し、図 5 で示した速度約 3.0km/h で終了とした。詳細は後述するが、確認された緩衝器の変位がほぼ緩衝器の許容変位であったこと、車内で確認された振動が 0.5G を超える極めて大きな振動であったことから、それ以上の速度では試験を実施していない。また制動条件の違いによる衝撃力の大きさについては、連結直前にブレーキを扱う連結方法が、通常の連結方法より小さいことが分かった。

〈4・1〉衝撃力伝播の状況

衝撃力の伝播について、併結 1 両目から後位車両に向けて緩衝器の変位が次第に伝播される状況が確認できた。また、併結 2 車間の距離が変化する時間と対応する部位の 1 車間の距離（緩衝器単体の変位）が変化する時間はよく一致している。さらに 2 車間の変位のほぼ半分が 1 車間の変位となっており併結時に発生する衝撃エネルギーは併結面間の 2 つの緩衝器でほぼ等分で負担されていると考えられる。

〈4・2〉速度別

速度約 1.0km/h の通常時の併結では、緩衝器単体の変位が約 15mm であるのに対し、速度約 3.0km/h の併結では約 38mm の変位を確認した。使用した緩衝器の最大許容変位が約 40mm であるので（表 1 参照）、速度約 3.0km/h の併結が緩衝器の許容能力のほぼ上限値であることが分かった。

表 2 緩衝器の性能特性

	圧縮側	引張側
取 付 長	418.5mm	
取 付 荷 重	(34kN)	0 N (34kN)※
最 大 荷 重	588kN	588kN
最 大 た わ み	約 40mm	約 40mm
吸収エネルギー	約 5.7kJ	約 5.7kJ

※ () 内はゴム緩衝器単体の初圧を示す。

〈4・3〉車内の前後振動加速度

前後振動加速度についても、緩衝器変位と同様に併結 1 両目から後位車両に向けて加速度が伝播される。緩衝器が変位する時間と車内に振動が発生する時間はよく一致しており、緩衝器変位と車内の振動が連動して発生している。また前後振動は初めに併結の進行方向に発生し、揺れ戻しによる逆方向の振動へとその振動の向きを変化させながら、次第に減衰していく。緩衝器の変位が定常状態になった後でも、微小な振動は残存している。

速度約 3.0km/h の併結では 0.5G を超える極めて大きな前後振動が確認された。車内に添乗している感覚においても非常に大きな衝撃であり不快であった。運転士の意見としても通常これほど速い速度で併結することはないとのことであり、営業本線上での併結速度としては好ましくないことが分かった。

〈4・4〉自連力の検討

速度約 3.0km/h の併結における衝撃エネルギーを考察する。車両重量を約 35 t と仮定し、併結、被併結先頭車両間で発生するエネルギーは各々の車両に搭載されているそれぞれの緩衝器で吸収されるものとする。（編成間の車両は考慮しない。）

速度約 3.0km/h で走行する重量 35 t の車両が有する運動エネルギーは約 12 kJ であり、これを 2 つの緩衝器で吸収することになる。緩衝器単体の吸収エネルギーの上限は表 2 より約 5.7kJ であるから、約 11.4kJ のエネルギーを吸収できることになる。また、速度約 3.0km/h の併結では被併結先頭車両が約 25mm 程度移動していることから、この車両移動によってもエネルギーは相殺されていると考えられ

る。結果として理論値と測定結果は概ね一致したと言える。

5. 結論

運転士の注意力に全面依存している列車併結時の運転操縦に関わる問題点を解明するために、4 両編成電車をこれと同じ両数の電車で多様な速度及びブレーキ扱いで連結させ、その際の車両各部の挙動を調べた結果、以下の様なことが分かった。

1) 通常の状態では併結が行われた場合、連結側車両の緩衝器で吸収されるエネルギーは編成車両の全ての緩衝器でほぼ均等に分散して吸収される。

2) 併結時に被連結側車両先頭の連結器に発生する自連力の最大値が当該車両の静止粘着力を下回る場合、被連結側車両は空気バネ前後方向たわみ及び台車牽引装置などの徒動に起因する僅かな車両の移動が発生するに過ぎない。

3) 被連結側車両先頭連結器の自連力が前記の静止粘着力を上回った場合、例えその力が緩衝器で吸収出来る範囲内の値であっても被連結側車両には車輪滑走が発生し、被連結側編成でのエネルギーの多くはこれによって吸収される。

4) 前述の事実を踏まえれば、お客様乗車中の被連結側車両の側扉を開放した状態のまま併結作業を行う場合、安全確保のため被連結側先頭車両連結器の自連力最大値が粘着力を上回ることのない状態で併結することが望ましい。

〈4・4〉より、緩衝器 2 個当たりの吸収エネルギーは約 11.4 kJ であり車両重量を約 35 t と仮定すると、この条件の車両の速度は、 $E = 1/2 m V^2$ から $V = \sqrt{(2/mE)}$

$$= \sqrt{(2/35000 \cdot 11400)}$$

$$= 0.8071(\text{m/sec})$$

$$= 2.91(\text{km/h})$$

従って、望ましい連結速度は 2.91km/h 以下である。

5) 電気連結器の導通は連結速度や自連力とは無関係に安定して行われることを確認した。

6) 速度計の機能を期待できない連結運転操縦については、連結速度に深く関与する「一旦停止」後のノッチ扱いについて車種、編成及び線路条件などに応じたきめ細かい指導を行うことが望ましい。

6. おわりに

本試験は金沢工業大学の永瀬和彦客員教授（JR 西日本技術顧問）を講師とし、JR 西日本で開催している運転操縦理論セミナーの一環として実施したものである。本セミナーは乗務員指導者を対象として、運転の基礎理論や適正な加減速の方法などを理論的に学び、実際に体験する機会を設けることで確かな技術を身に付け、運転士の技術力向上を図ることを目的として実施されたものである。今回、試験を実施することで、これまで運転士の経験や感覚に依存する部分が大きかった車両の併結に関して、併結時の速度に対して車内に発生する前後振動加速度、緩衝器の変位などを定量的に把握することが出来た。今回の試験で得られたデータは今後の運転指導に活かしていく予定である。

