

講演 3. 車上電力量測定法に関する考察

交通システム研究領域
理事

※竹内 俊裕
水間 毅

長谷川 智紀 廣瀬 道雄

1. まえがき

鉄道車両の車上電力量測定法の国際標準化については、現在、IEC (International Electrotechnical Commission : 国際電気標準会議) の国際規格作成チーム PT(Project Team) 62888 において検討が行われており、ヨーロッパは、国際列車運用における電力料金の課金を目的とした EN(European Norm) 規格 EN 50463 を原案とするヨーロッパ流の車上電力量測定法を提案している⁽¹⁾。

この背景には、ヨーロッパの鉄道は、そのほとんどが上下分離方式で運用されており、列車ごとに消費電力量に応じた課金を行うシステムが採用されていることから、電力量測定に関する測定精度や測定方法等に関して、詳細に決める必要があった。

それに対し、日本国内では、これまで車内情報システムを用いた車上電力量測定が行われてきているが、一般的にこのシステムは、車載機器に流れる電流や電圧等のデータを収集して電力量を計算しており、課金が目的ではないため厳密に測定精度が要求されることもないため、このシステムによる車上電力量測定の精度については、詳細に検討されていなかった。

しかし、ヨーロッパ流の車上電力量測定法のみが国際規格として採用された場合、日本国内で利用されている車内情報システムによる電力量測定は国際規格に則った測定方法と認定されず、JIS 化等に際して課題が生じる恐れがある。

そこで、日本国内で利用されている車内情報システムによる電力量測定法と、測定器による電力量測定法を比較することにより、車内情報システムを用いた電力量測定法の精度の実状を見極め、車内情報システムによる電力量測定法を国際規格に盛り込むための基礎データとすることを目的として、実車を用いた測定を行った。本稿では、その測定結果及び考察の概要を報告する。

2. 車上電力量測定法について

EN 50463 及び日本国内の車上電力量測定法を、測定点及び測定手段の観点から次のように整理した。

2. 1. 測定点

鉄道においては、車上で消費される電力は、パンタグラフより供給されるため、車上電力量の測定点として、測定の精度を高めるためにはパンタグラフ直下で測定することが望ましい。その方法を、ここではパンタ点測定法と称する。

一方、電力の消費先が特定されている場合、途中経路における電力消費が無視できるのであれば、消費先毎に消費電力量を測定し、その結果を合算する方法が考えられる。これを、ここでは個別測定合算法と称する。

EN 50463 においては、これら 2 つの方法のどちらも規定されており、日本国内で用いられている車内情報システムは、個別測定合算法により車上電力量を測定していることとなる。

2. 2. 測定手段

EN 50463 では、課金を目的とした電力量測定を行うことから、車上電力量測定専用の測定機器を用いて、定められた測定誤差範囲内での測定を行うこととされている。

一方、車内情報システムを用いて電力量測定を行う方法は、電力消費先である VVVF (Variable Voltage Variable Frequency : 車両駆動モータ用インバータ装置) や SIV (Static Inverter : 車内機器 (空調・照明等) 用インバータ装置) の電圧、電流のデータ等から電力量を計算して測定を行うことが一般的となっている。

このことから、車内情報システムによる電力量測定は、測定点としては個別測定合算法であり、EN 50463 に準拠していることになるものの、EN 50463 で規定

されている測定精度に対しては、車内情報システムの性能に依存している。

3. 実態把握

日本国内で用いられている車内情報システムを利用した電力量測定の精度検証を行うため、鉄道車両におけるパンタ点、VVVF入力部、SIV入力部に電圧及び電流センサを設置し、計測するとともに、車内情報システムでの電力量測定結果についても同時に記録を行い、その結果を比較した。

測定には広島電鉄 1000 形（表 1、図 1）を用い、三菱重工 MIHARA 試験センター（図 2）において、他の車両の影響を受けない環境を確保して、図 3 に示す測定点における電圧と電流の測定を行った。測定の様子を図 4 に示す。

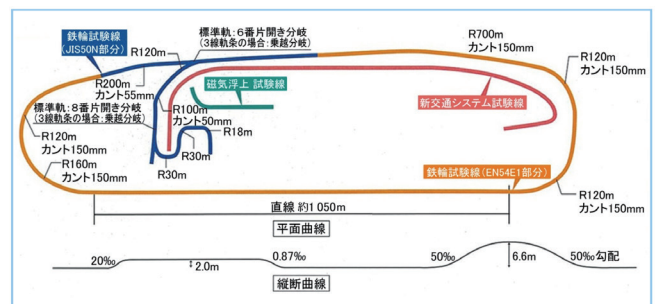
表 1 1000 形車両主要諸元

形式	1000 形	
車種	低床式電動客車	
軌間	1,435mm	
電気方式	DC600V	
定員	86 人（座席 33 人、立席 53 人）	
車両重量	24.3t	
主要寸法	車長	18,600mm
	車幅	2,496mm
	車高	3,645mm
台車	4 輪独立車輪台車	
主電動機	三相誘導電動機 出力 100kW×4	
駆動方式	直角カルダン方式	
制御方式	VVVF インバータ制御	
ブレーキ方式	回生・発電併用電気ブレーキ ばね式油圧ディスクブレーキ レールブレーキ	
補助電源装置	静止型インバータ AC220V/DC24V	
冷房装置	屋根設置集中ユニット式	
床面高さ	通路	360mm
	出入口	330mm
低床率	100%	
運行速度	40km/h（設計性能 80km/h）	
車両性能	加速度	3.5km/h/s
	減速度	常用：4.8km/h/s 非常：5.2km/h/s

（鉄道車両と技術 No.199 より抜粋）



図 1 広島電鉄納入予定 1000 形



（MIHARA 試験センターパンフレット）

図 2 三菱重工 MIHARA 試験センター

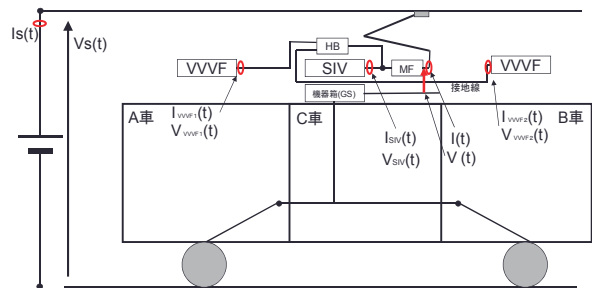


図 3 測定点



図 4 測定の様子

測定に用いたセンサは以下の通りである。

・パンタ点

電圧：HIOKI P9000-01 ±0.5%f.s.

電流：HIOKI 3290 ±1.8%rdg.

・VVVF点・SIV点

電圧：HIOKI 9322 ±1.0%f.s.

電流：HIOKI 3290 ±1.8%rdg.

データロガーには小野測器製 DS3200 を使い、サンプリング周波数 51.2Hz で記録を行った。

また、車内情報システムの測定諸元は、以下の通りである。

電圧センサ：±0.7% (定格 750V)

電流センサ：±1.0% (±1500A)

サンプリング周波数：1Hz (PC への記録周期)

符号なし 8 ビットデータとして記録

走行条件としては、ほぼ 1km の直線を、図 5 に示すように、最高速度 80km/h まで加速し、回生ブレーキを動作させて 90 秒走行させて停止させるパターン

での連続運転とした。

また、変電所の電圧は、ほぼ直流 640V で一定であった。

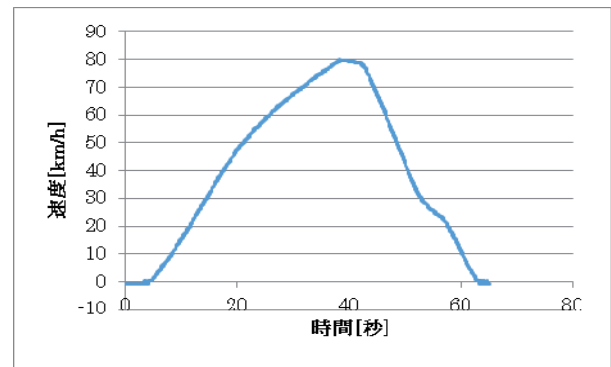
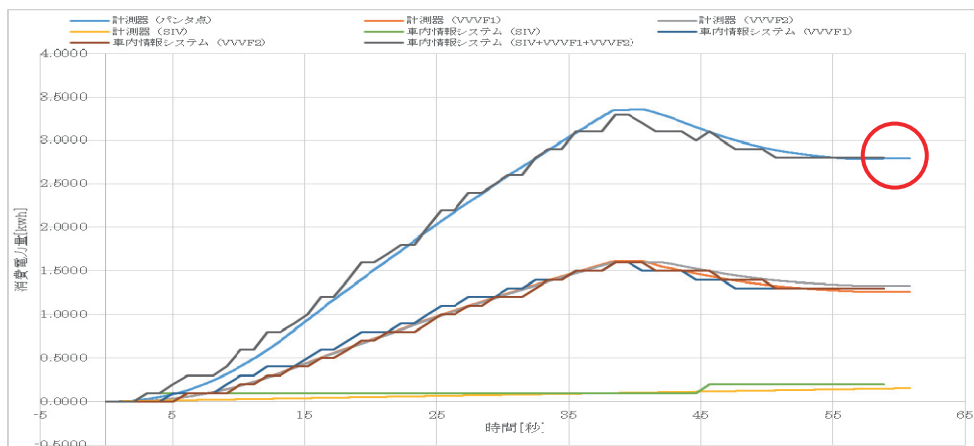
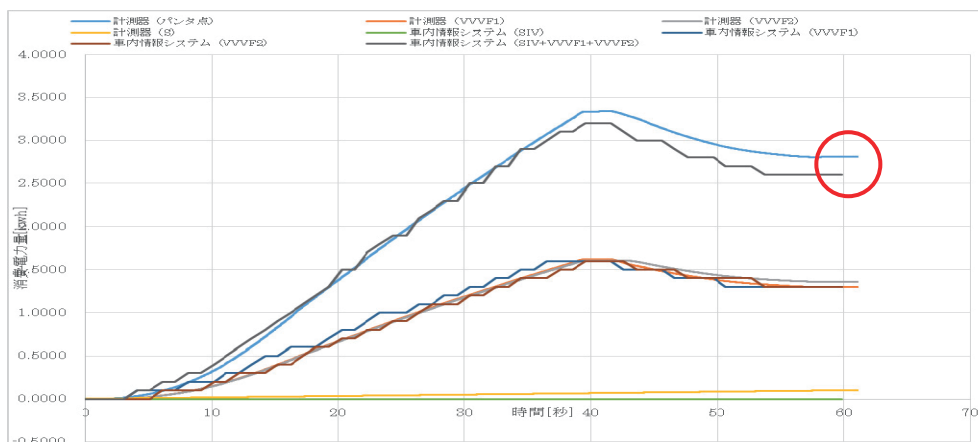


図 5 測定時の走行パターン

測定結果の一例を図 6 に示す。(a) はパンタ点における測定結果と車内情報システムによる測定結果の差が小さい例 (パンタ点における測定との差が 0.1% 程度)、(b) は差が大きい例 (パンタ点における測定との差が 7.6% 程度) である。



(a) 差が小さい例



(b) 差が大きい例

図 6 測定結果例

なお、図6に示す各時間における値は、消費電力(消費電力より回生電力が大きい場合は負となる)の積算による消費電力量であり、その時点までの電力量を示している。

また、車内情報システムの消費電力量は、以下の式により求めている。

$$\begin{aligned} \text{消費電力量[kWh]} = & \text{「SIV 電力量」} \\ & + \text{「VVVF1 力行電力量」} - \text{「VVVF1 回生電力量」} \\ & + \text{「VVVF2 力行電力量」} - \text{「VVVF2 回生電力量」} \end{aligned}$$

4. 測定結果に差が生じた要因について

前節のように、測定した消費電力量に差が出る場合と出ない場合が確認された。検討を行った結果、この要因については、以下の影響が考えられる。

- ・車内情報システムのサンプリング間隔による影響
- ・車内情報システムの量子化間隔による影響
- ・電流、電圧センサ仕様による影響

一つ目のサンプリング間隔による影響については、パンタ点電圧の大きな変動や消費先機器の頻繁な電源の入り切りがある場合には影響があると考えられるが、今回用いた走行パターンや周辺環境は、これらの影響を受けにくい条件であったため、サンプリング間隔による影響は小さいと考えられる。

二つ目の量子化間隔による影響については、車内情報システムは比較的量子化間隔が大きいことから、それによる消費電力の誤差が積み重ねられると、結果として大きな差が生じると考えられる。なお、量子化については、EN 50463においてEN 60044-8を引用しており、規定で定められた仕様を満足するためには、16bitでの量子化が必要となる。

三つ目のセンサ仕様による影響については、車両に搭載されているセンサは高負荷電流の測定を定格とする仕様となっていることから、比較的low負荷であるSIVの測定に対しては誤差が大きくなるため、その誤差が蓄積されることによる影響も大きいと考えられる。

5. まとめ

今回、国内で用いられている車内情報システムを使用して車上電力量測定の性能の実態把握を行った。その結果、車内情報システムを用いた電力量測定においても、測定条件により、測定器によるパンタ点での測

定結果とほぼ同程度となる可能性が示されたものの、場合によっては、大きな差が生じるケースがあることも確認され、車内情報システムを利用した車上電力の測定法による精度の把握ができた。

また、この差が生じる要因については、サンプリング間隔による影響、量子化間隔による影響、センサ仕様による影響が考えられ、本試験の測定環境においては、量子化間隔及びセンサ仕様の影響が大きかったものと考察した。

車内情報システムを用いた車上電力量測定法については、こうした影響を定量的に把握しておくことにより、目的に応じた有効な電力量測定が可能となると考えられる。

今回の結果を踏まえた上で、PT 62888で検討が進められている国際規格審議案に対し、課金を目的としたヨーロッパ流の車上電力量測定法に加えて、課金を目的としない日本流の車上電力量測定法が盛り込まれるよう提案していくこととし、今後とも日本国内で用いられている車内情報システムを利用した電力量測定法が国際規格化されるよう協力していきたいと考えている。

【謝辞】本研究にご協力いただいた東京大学 古関教授、東洋電機製造株式会社、広島電鉄株式会社ならびに三菱重工業株式会社に感謝いたします。

参考文献

- 1) 古関：“車上エネルギー測定の国際規格と欧州の動向”，平成 27 年電気学会全国大会シンポジウム 5-S-26-6 (2015) (in Japanese)