

3502 評価用台車の走行試験結果を基本にした実用電車の構想

On a new railway vehicle that is light weight bogie
with the utilizable braking energy

〔電〕関 純子 (雪ヶ谷制御研究所)

Sumiko SEKI Yukigaya seigiyo Institute co., ltd.
Shinyokohama2-12-12-203 Kohoku-ku, Yokohama

In this paper, the process to a planning of the new design railway vehicle is explicated. This design concept is founded upon precisely various datum that is obtained from the results of practical driving tests by ourselves.

These tests system is the narrow gauged rail and the exclusive testing bogie at a one-tenth reduced weight to the new railway vehicle's bogie by the our production's made. This rail that has a circulating line at the look round 518meter-distance with the two typical inclined parts and the several kind of radius curved parts is laid.

This vehicle on the line weigh 500Kg, the equipments of weighted on the bogie are the steering mechanics with the equalizer on the self reliant ability and the one unit of EDLCs with the up and/or down bilateral electric transmission that has the ability to be charged or discharged the holding energy of the 8kilojoule per 5minutes at average verocity in the approximat 420meter per one minute.

The results of practical experimentation give a factor to make the new railway vehicle fit practical use by the our production, on a basal condition that the rail stations are established at the longest two kilometer intervals to be charged energy in the during ten seconds. Therefore we will carry out this new design plan.

Key Words: Up-down bilateral electric power transmission, Self reliant bogie, Utilizable braking energy

1. はじめに

架線がない電車、それは制動時回生電力が100%受け入れられる、能動性電力貯蔵器を搭載する電車が考えられる。現在 80~90%回生できる貯蔵器用素子は、電気二重層キャパシター (EDLC) 以外にない。

EDLC の製品化が始められた当初から、その有効利用の対称として、車載用電力貯蔵器を念頭におき、製品化された EDLC の性能向上に追従し、適応する評価用の車体を製作し走行試験を継続してきた。

思考過程を転換し、今ある特性の EDLC で走行できる車体は、どうあるべきかを考え、ユニットの構成方法、車体の軽量化の方法の追求をおこなってきた。

2000年代に入り、車体総重量に占める、電力貯蔵器の重量の 10% 以内、走行距離は最低 2Km を前提として、電車の電力源に適応可能と考えられる性能まで向上した。

架線がない区間、例えば、ディーゼル車の運転区間の電車の電力貯蔵器として、利用を考え評価試験計画をたてた。

二年計画で、一周 518m 狭軌試験軌道の架設、実用車総重量の 1/10 の台車と、能動性電力貯蔵器を製作し、EDLC の充電電力と、回生電力のみで、走行する台車の性能評価試験を完了した。

この試験結果と、結果を基本として、新たに計画した実用電車の設計構想と、能動性電力貯蔵器の概要を紹介する。

2. 走行試験の概要

この走行試験設備は、総重量 1/10 の台車、線路および、能動性電力貯蔵器で構成されている。

線路の概要を、Table 1, 2, Fig. 1, 2 に示す。

Table 1 Overview of railway

Gauge	1067mm
Figure	Circulating line
Lenrth	518m
Typical grade	85%/1000, 65%/1000
Cant	0
Slack	0

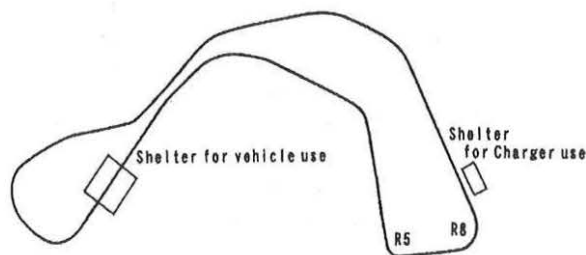


Fig. 1 Horizontal view

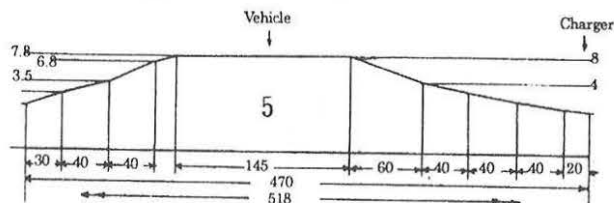
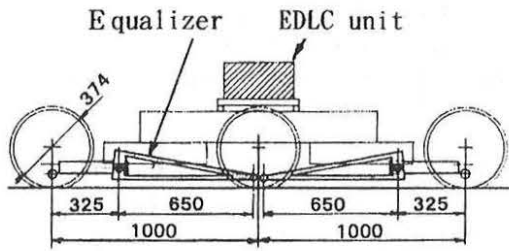


Fig. 2 Vertical view

Table 2 Overview of the up or down grade

Division	Height	%/1000	Distance
1	1.55m	50	30m
2	1.76m	44	40m
3	3.40m	85	40m
(7.8m) → 4	0.90m	50	15m
shelter → 5	0.19m	0.45	145m
(8.0m) → 6	-4.00m	-65	60m
7	-1.52m	-34	40m
8	-1.36m	-38	40m
9	-0.68m	-11	40m
5R, 8R → 10	-0.44m	-1	20m

台車の概要を、Fig. 3, Table 3 に示す。



F.3 Dimension of bogie

Table 3 Overview of the bogie

Wheel base	1000mm * 2
Steering angular distance	inner 14.5 outer 13.0
Wheel's diam.	Φ476mm
Angular of flange	75.0°
Equalizer's stroke	50mm
Bogie's dimension(L)(W)(H)	5650*1650*700 (mm)
Floor board's height	210mm
Tare weight	360kg (Total weight)
Two crew member	140kg 500kg)

電力貯蔵器(EDLC ユニット)の構成を Fig. 4, Table 4 に示す。

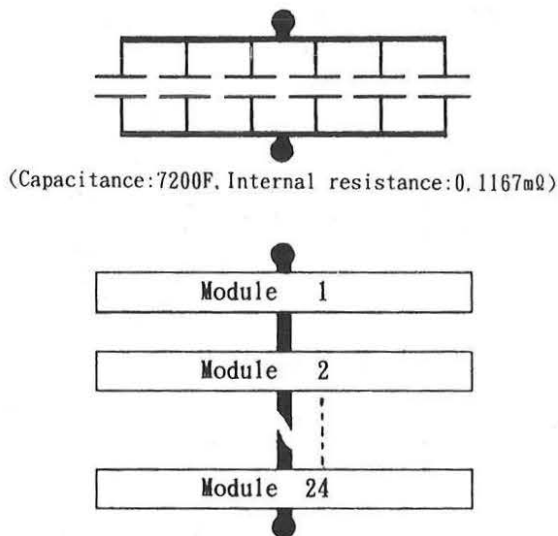


Fig. 4 Overview of the EDLC's circuit

Table 4 Specification

Capacitance	300 F
Weight	52kg (density 2.4wh/kg)
Internal resistance	2.8mΩ
Accumulative energy	454 kJ
Maximum current	200 A

この走行試験は、EDLC の充電時間を考慮し、停留所間距離 2km を前提として、台車総重量当たりのエネルギー消費量を求めることが主目的で、EDLC の充電放電特性の対称性に対応させた力行、制動において、制動エネルギーの回生率を確認し、EDLC 電力貯蔵器のみを電力源として運行する電車が成立することを実証した。

したがって線路は、9kg/m 最小軽量のものであるが、標準狭軌で、実用化電車を念頭におき、牽引車は考慮せず全電動車両編成の一車両総重量を 5ton として、1/10 (500kg) の台車を基準とした。

左右両方向の周回に対して登り勾配、降り勾配のエネルギーが、+消費量、-消費量として等価であれば、回生率が 100% となることを前提とした構成で架設した。

また台車のホイールベースに対し、最小曲線半径 5m, 8m 部分で、カントおよびスラック無しで、脱輪せずに走行させるために具備したリンク構成ステアリング機構、6輪の重量等価機構の自立性の確認ができた。

3. 走行試験結果

クルーなしで周回走行ができ、空車重量 360kg, 計測機類 40kg 総重量 400kg における、無人運転試験結果である。周回に対するエネルギー消費量を Table 5 に示す。

Table 5 Energy consumption per round

Item	(EDLC) Voltage (V)	Remained energy(kJ)	Consumed energy(kJ)
Charge up	55.0	453.7	0
Round no. 1	54.0	437.4	16.3
2	53.0	421.4	32.3
3	52.0	405.4	48.3
4	50.9	389.4	64.3
5	49.9	373.3	80.4
6	48.8	357.2	96.5
7	47.5	341.2	112.4
8	46.6	325.7	127.9
9	45.4	309.2	144.4
10	44.2	293.2	160.4
11	42.9	277.2	176.4
12	41.7	260.8	192.8
13	40.4	245.0	208.6
14	39.1	229.2	224.4
15	37.7	213.2	240.4
16	36.3	197.6	256.0
17	34.8	181.5	272.1
18	33.2	165.2	288.4
19	31.5	149.1	303.5
20	29.8	133.2	320.4

電力変換回路の動作電圧の下限を 28V に設定している。

走行試験結果

1 回の充電における走行距離 : 10.36Km

回生率は : 74~82%

充電時間の測定は、4 周(2.072m)の電圧から、55V までの充電時間を測定した。充電時間は、充電電流に依存する。Table 6 に 100A 定電流充電における計算値と、実測値を示す。

Table 6 Charging time to the EDLC's unit			
Distance (m)	(EDLC) Voltage(V)	time(sec.)	Charging time (sec.)
2,072	50.9	12.6	20.7
4,144	46.6	52.2	33.6
6,216	41.7	39.9	48.3
8,288	36.3	56.1	64.5(1.075min.)
10,360	29.8	75.6	84.0(1.4 min.)

(Charging current : 100A constancy)

充電電流と、充電時間の関係式は (1) で表される。

Charging current : i

Charging voltage : v

EDLC's capacitance : C

Charged time : t

EDLC's internal resistance : R

$$i = v / R \exp (-t / CR) \text{ ----- (1)}$$

CR 積が大きい場合、電流値の変化に対する包絡線となり EDLC 端子電圧と充電電圧の差が小さくなると、充電電流が減少し、充電完了までの時間を要する。

この実験に使用している EDLC は内部抵抗が低く充電電流 100A 定電流充電ができるので、8~8.4 秒過充電で完了させることができた。

Table 6 の充電時間の計算式は、内部抵抗を無視し充放電時間の一般式 (2) による。

$$t = C (v_o - v) / i \text{ ----- (2)}$$

実用化を考えている、車両重量は 10 倍以上で、EDLC の容量が増加する、駅間距離 2km 約 4min. 以内の充電時間となる。

総重量 400kg の台車に対し、EDLC 電力貯蔵器の重量は 52 kg となり、重量 100kg 当たり、12kg の EDLC を搭載すれば成立すると考えられる。

この EDLC 1 個の重量は 360g で約 33 個となる。

4. 能動性電力貯蔵器

EDLC 貯蔵器の重量当たりの基準値が算出できても、これは単なる器であり、走行中の充電放電は、適性電力変換器を伴う能動性電力貯蔵器でなければ成立しない。

EDLC の充放電特性に、力行/回生制動に対応させる電力変換器は、電力の授受が双方向となることが必要となる。

EDLC の端子電圧を管理して、双方向の電流値を決定する制御能力を持つ直流電圧変換回路となる。

Fig. 5 に、能動性電力貯蔵器のブロックダイアグラムを示す。

図中のインバータは、50% デューティ固定で単なる三相交流変換器で電圧制御はしない。

駆動モータ/ジェネレータが要求する、電圧に対応する直流変換器の動作電圧、電流の可変範囲に適合できる EDLC のユニット構成が決まる。

EDLC 電力源は、直流電圧変換器と一体で考えることが望ましく、EDLC を含めた能動性電力貯蔵器と仮名した。

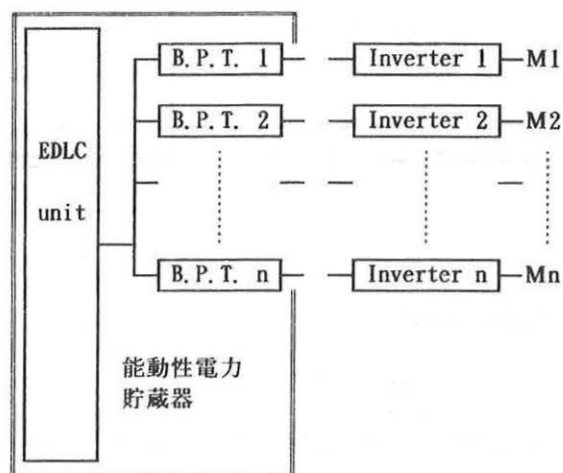


Fig. 5 The EDLC power source with up-down bilateral transmission

双方向、昇降圧回路は、パワーチョツパー回路を応用したもので、その基本回路を Fig. 6 に示す。

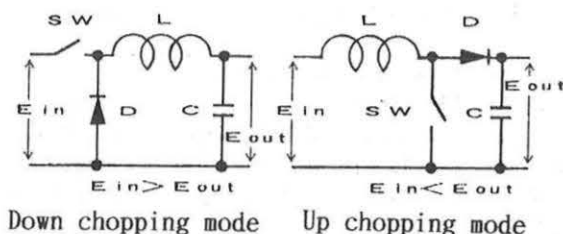


Fig. 6 The power converters

この両者を組み合わせた、基本回路を Fig. 7 に示す。SW は半導体スイッチングで Table 7 に示すダイアグラムで動作させることにより昇圧、降圧に対し、双方向の制御が可能な電圧変換器を開発し、制動電力の回生率向上を実現した。

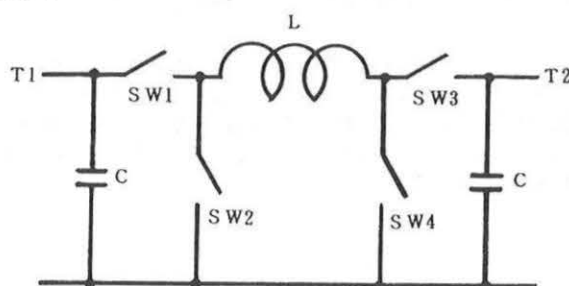


Fig. 7 The bilateral transmission circuit

Table 6 The operation diagram of SW 1~4

Mode	SW1	SW2	SW3	SW4
T1 → T2 (Up)	on	pwm	F. D	off
T1 → T2 (Down)	pwm	off	off	F. D
T2 → T1 (Up)	F. D	off	on	pwm
T2 → T1 (Down)	off	F. D	pwm	off

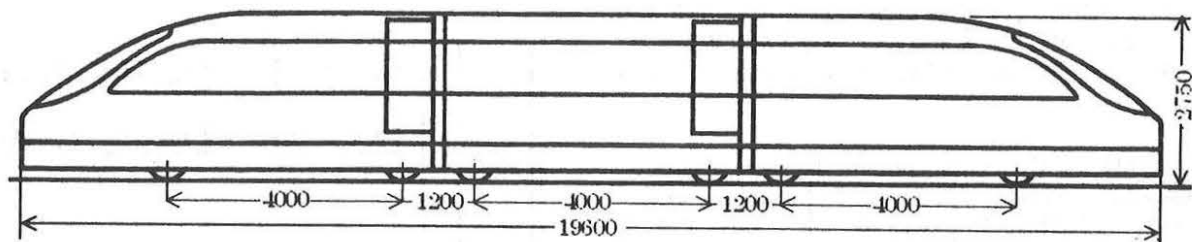


Fig. 8 The new model railway vehicle

5. 実用電車の構想

走行試験データの行った結果、無架線実用電車製作の可能性を確認することができた。

Fig. 8 に実用電車の構想図を示し、Table 7 に概要を示す。

Table 7 Overview of the railway vehicle

Item	Dimension
Total weight	7,000kg
Tear weight	include EDLC (832kg)
	3,500kg
Passengers (50)	3,5000kg

平均速度は 40~60km/h を考えている。

車両外装は軽量化構造を考え、カーボン繊維および、プラスチック等の成型品の製作方法の検討を行っている。

駆動モータは 12~16 個の構成、市販の誘動機の調査を行っているが、専用のモータ/ジェネレータの開発も考慮している。

詳細設計は、走行試験軌道が決定次第開始する。

6. おわりに

鉛電池搭載の EV が課題となった当時、加速の対応は可能であるが、回生電力の受け入れに対応できず、電池は破損した。現在開発されつつあるリチウムも回生電力に対応できない。回生率は 20% 程度と考えられる。

いかなる電池も、充放電特性に対称性をもたせることは不可能である。

エネルギー密度は、従来の鉛電池を超える。走行距離は延びても、省エネルギーとは言えないように思う。

鉄道線路走行する車は、走行抵抗が低く、所定の走行に対して、エネルギーフローの解析が安易であり、EDLC の利用は最適と考えている。

参考文献

- 伊東、関、試験軌道施設と駅間無給電 LRV 実験報告
J-Rail'01 論文集 p265, 2001年12月12日 名古屋
関、伊東、電気二重層キャパシタ電力貯蔵器の EV, LRV 電力源への適合性、J-Rail'01 論文集 p329, 2002. 11. 27, 神戸
関、伊東、高速 FW の空気抵抗低減に関する真空と浮動シュラウドの比較、D&D. 2003, 論文、p97, 9/16, 長崎
SEKI, ITOH, The experimental evaluation of adaptive use energy storage EDLC by HEV and LRV.
STECH'03, p358, August, 19 to 22, Tokyo, (15)
伊東、関、操舵台車とエネルギー蓄積を備えた LRV.
第11回交通、物流部門大会、講演論文集 p247, 2002. 12. 11
川崎
最新 電気鉄道工学、電気学会編 コロナ社
電気鉄道における教育調査専門委員会 2000年11月10日