

4t, 6t 標準形蓄電池機関車について

4 t and 6 t Standard Battery Locomotives

片岡光博* 山名順圭* 北野豊**
Mitsuhiro Kataoka Junkei Yamana Yutaka Kitano

内 容 梗 概

従来蓄電池機関車には、1軸に1台ずつのつりかけ式主電動機による各軸駆動方式を採用してきたが、先頃より1機関車に1台の主電動機を車体装架とし、直角カルダン方式による駆動装置をとり入れ、さらに各部を改善した4tおよび6t新標準形蓄電池機関車を斯界におくり出した。その計画にあたっては、特に次の諸点に考慮が払われている。

- (1) 動力伝達方式による軸重移動と粘着けん引力との関係
- (2) 主電動機容量について
- (3) 制御器の性能

1. 緒 言

日立製作所では、大正4年に山口県電気局に4t蓄電池機関車を納入して以来、ひきつづいて1.5~20tの各種蓄電池機関車を製作納入してきた。これらの機関車の駆動方式は、ウォーム減速、あるいは平歯車の1段または2段減速で、主電動機の装架方式は、いわゆるつりかけ式を用いたものである。

ここに述べる新形蓄電池機関車は、最近の運搬技術水準の向上にともない、これに対応するよう新たな構想のもとに計画されたもので、従来の方式と異なり主電動機を車体装架とし、プロペラ軸を介してヘリカル歯車とかさ歯車による2段減速とし、しかも1機関車1主電動機として、一つの主電動機が前後軸を同時駆動する方法を採用している。蓄電池機関車としてはじめてカルダン式駆動方式を採用した画期的なものである。

現在4tおよび6tの防爆形および非防爆形標準蓄電池機関車として量産され、すでに昭和34年当初より40両あまり鹿島建設、飛鳥土木、清水建設、前田建設、奥多摩工業、向洋炭鉄株式会社などに納入され各地で所期の成績をあげ、好評を得ている。

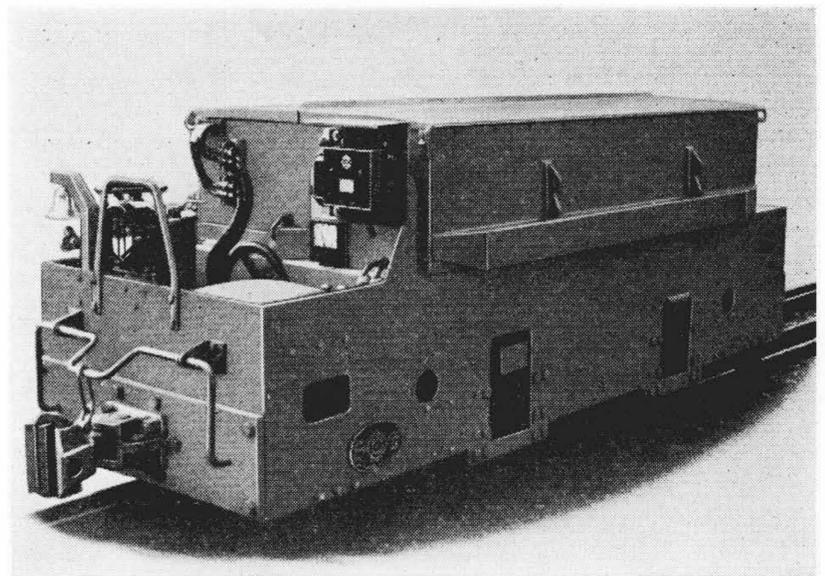
以下本機の計画に際して考慮を払った諸点を述べる。

2. 仕様および特長

本機関車の一般仕様を第1表に示す。

一定の蓄電池容量を有効に使用して、機関車の稼働率を高めるために、性能の向上と保守、点検作業の簡易化をはかった。そのおもな点は下記のとおりである。

- (1) 駆動方式を1個の主電動機による直角カルダン方式として、前後両軸を駆動するようにした。したがって従来使用されている各軸駆動のつりかけ式の場合のように、軸重移動により最大けん引力および制動力を減少することがなく粘着けん引力を著しく向上することができた。また歯車ならびに軸受は、完全潤滑の密閉形、組立式の歯車箱として、性能と寿命を確保するとともに伝達効率を改善して、日常の保守、点検作業を簡易にした。
- (2) 主電動機装架方法：主電動機は車体前方にパネ上装架としたため電動機の損耗が少なく、また従来形に比して主電動機そのほかの保守点検が非常に容易になった。
- (3) 車体支持方式：三点支持式としたので凹凸はなはだしい線路状態でも車輪は良くこれに追従し、脱線の機会が少ない。また



第1図 標準形6t蓄電池機関車

担バネは防震ゴムとしたため板バネの場合のような折損の心配がなく、振動衝撃に対してもよい結果を示している。

(4) 制御方式は蓄電池の並直列切替および抵抗制御式で蓄電池を2群に分け、直接制御器によって並直列切替を行っている。制御器形状はだ円筒形として小形軽量化を計ったが、構造は電氣的にも機械的にも十分なものとし、吹消線輪が一括されたちょうつがい開閉式とするなど、内部の保守、点検作業を簡易にすることに特に考慮が払われている。また蓄電池の並直列切替時には主電動機電流の変動をほとんど無くするよう設計されている。

3. 動力伝達方式と粘着けん引力との関係

第2図に示すように、直角カルダン方式を採用している。そのおもなる利点は下記のとおりである。

- (a) バネ下重量の軽減により、軌条ならびに道床の損耗が減少し、保線費が節約できる。
- (b) 粘着けん引力は軸重移動量に左右されず、機関車重量を完全に利用できる。
- (c) 各機器の分解、組立作業が容易となり、保守作業が簡易となる。

機関車の軸重移動量は、重心点が高く、固定軸間距離が比較的短い蓄電池機関車の場合、その影響が相当大きく現われてくる。

第4図から、機関車の軸重移動量 w は、(1)式で示される。

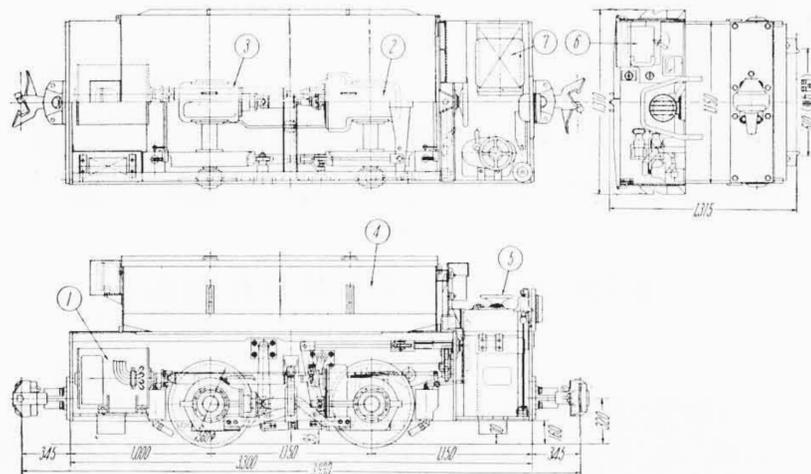
$$w = \frac{W\alpha}{g} \cdot \frac{h}{l} + \frac{Ph'}{l} \dots \dots \dots (1)$$

* 日立製作所水戸工場

** 日立製作所日立工場

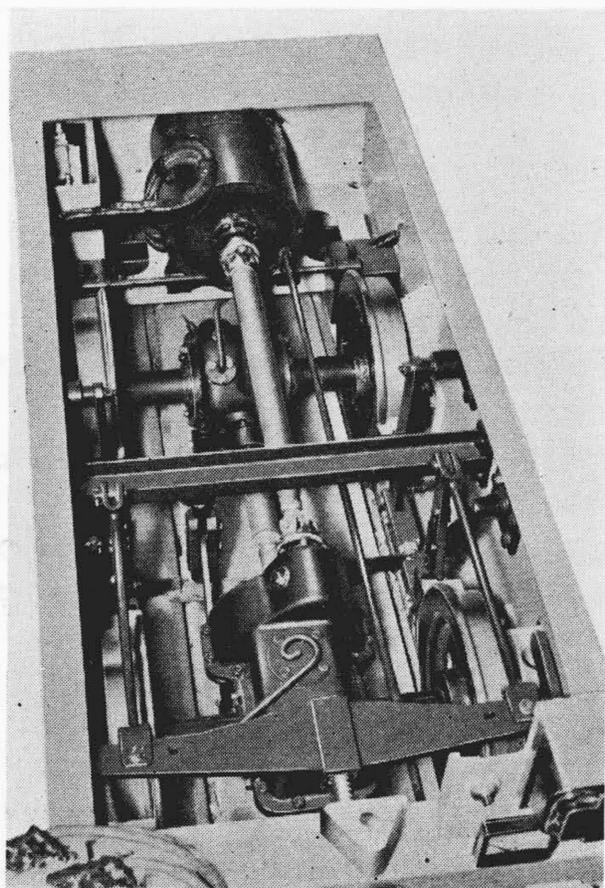
第1表 標準形4t, 6t蓄電池機関車主要目

	4t	6t
形式	O-B-O端運転席形	O-B-O端運転席形
公称重量	約4,000kg	約6,000kg
軌間	495~610mm	508~762mm
動輪直径	560mm	560mm
固定轴距	1,000mm	1,150mm
車体寸法		
全長(台わく)	2,880mm	3,300mm
全長(連結面間)	約3,300mm	約3,700mm
全幅	1,100mm	1,310mm
高さ(レール面上)	1,180mm	1,315mm
蓄電池	245AH/5時間率, 96V または280AH/5時間率, 96V	350AH/5時間率, 96V または420AH/5時間率, 96V
機関車1時間定格電圧, 出力	90V, 12kW×1	90V, 18kW×1
速度, けん引力	6km/h, 690kg	6km/h, 1,040kg
動力伝達方式	2段減速, 直角カルダン式	2段減速, 直角カルダン式
制御方式	直接制御	直接制御
制動方式	手動ネジ式	手動ネジ式
砂まき装置	手動式	手動式
警報装置	鐘またはラッパ	鐘またはラッパ

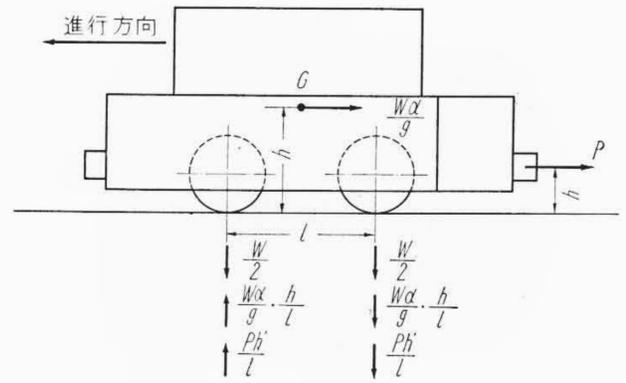


- ① 主電動機
- ② 第一減速機
- ③ 第二減速機
- ④ 蓄電池箱
- ⑤ 直接制御器
- ⑥ 自動遮断器
- ⑦ 腰掛

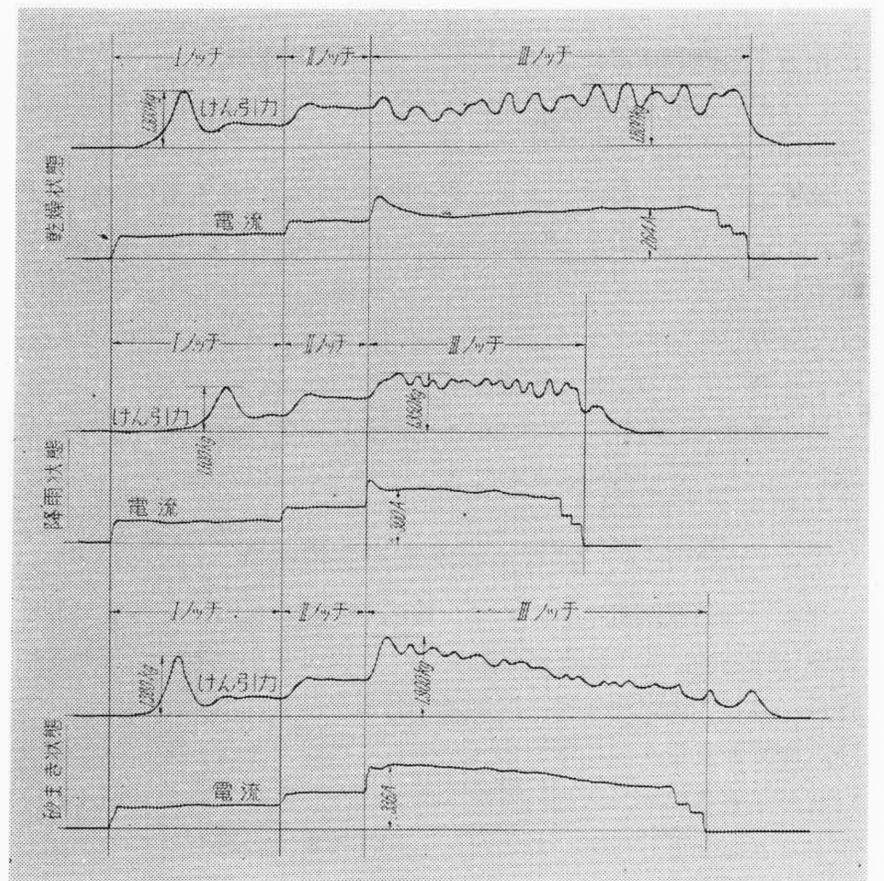
第2図 標準形6t蓄電池機関車



第3図 標準形6t蓄電池機関車の機器配置



第4図 機関車の軸重移動



第5図 標準形4t蓄電池機関車の粘着力けん引試験成績

- ここに、 W : 機関車重量
 α : 加速度
 g : 重力の加速度
 h : 機関車の重心高さ
 l : 固定轴距
 P : 被けん引列車の抵抗
 h' : 連結器の高さ

(1)式において、蓄電池機関車では一般に h/l の値は 0.5~0.65 程度である。

機関車が列車をけん引して加速するときの実軸重は、前軸では $\frac{W}{2} - w$ 、後軸では $\frac{W}{2} + w$ となる。

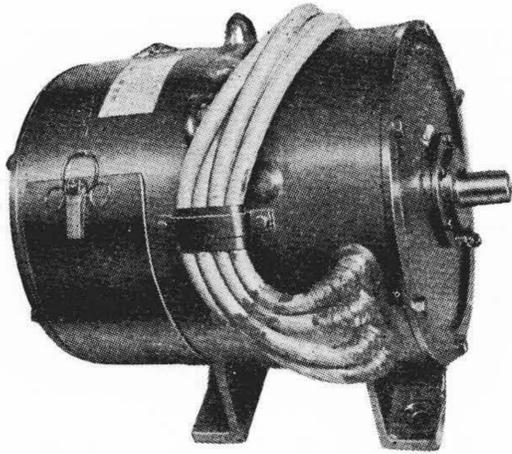
上記の状態、従来使用されている電動機つりかけ式で各軸が別々に駆動される場合、スリップすることなく加速できるための条件は前軸の粘着重量により制限され(2)式のようになる。

$$T < \mu \left[\frac{W}{2} - \left(\frac{W\alpha}{g} \cdot \frac{h}{l} + \frac{Ph'}{l} \right) \right] \times 2 \dots\dots\dots (2)$$

ここに T は機関車の粘着けん引力、 μ は最大粘着係数を示す。

これに対して、前後軸を機械的に連結して駆動する場合は、粘着けん引力は軸重移動により影響されることがないので μW の粘着けん引力が得られ各軸駆動の場合に比して

$$2 = \left(\frac{W\alpha}{g} \cdot \frac{h}{l} + \frac{Ph'}{l} \right) \times 2$$



第 6 図 18 kW 主 電 動 機

に相当する機関車重量だけ多く利用できることになる。

(1)式に示す w の値は、運転状態によって変るが一般に機関車重量の 10% 程度である。

第 5 図に 4 t カルダン式蓄電池機関車の粘着特性試験のオシログラムを示す。これはけん引力計を介して、粘着重量 4.6 t の機関車を拘束し、車輪がスリップするまでノッチ進めを行ったときの電流、けん引力のオシログラムで、電流値の変化以上にけん引力の変動しているのはバネの引張、圧縮によるものである。

粘着係数は、乾燥、降雨、砂まきの各状態で、約 0.3~0.4 の値を示し、ひき出し性能のきわめてよいことが実証された。

4. 蓄電池機関車用主電動機

通常の電気機関車においては、機関車の重量を決定しても、主電動機の容量は、その運転条件によって大幅に変化するもので、機関車重量に応じて決定することは困難であるが、蓄電池機関車においては、機関車重量が定まるとそれによって搭載可能な蓄電池の容量の限度が定まるので、その蓄電池容量に見合う主電動機容量を決定しうることになる。以下、ある与えられた蓄電池容量に対して、最も妥当な主電動機容量の算出について若干の考察を加えてみることにする。

周知のとおり、蓄電池の容量は放電時間率が短くなるほど低下する。この関係を近似的に示すものとして、ポイケルトの式が知られている。すなわち、

$$I_B^n T = C \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 I_B は放電電流、 T は放電継続時間、 C は蓄電池容量より定まる常数、 n は蓄電池固有の値で、1.3~1.7(通常 1.5)程度である。

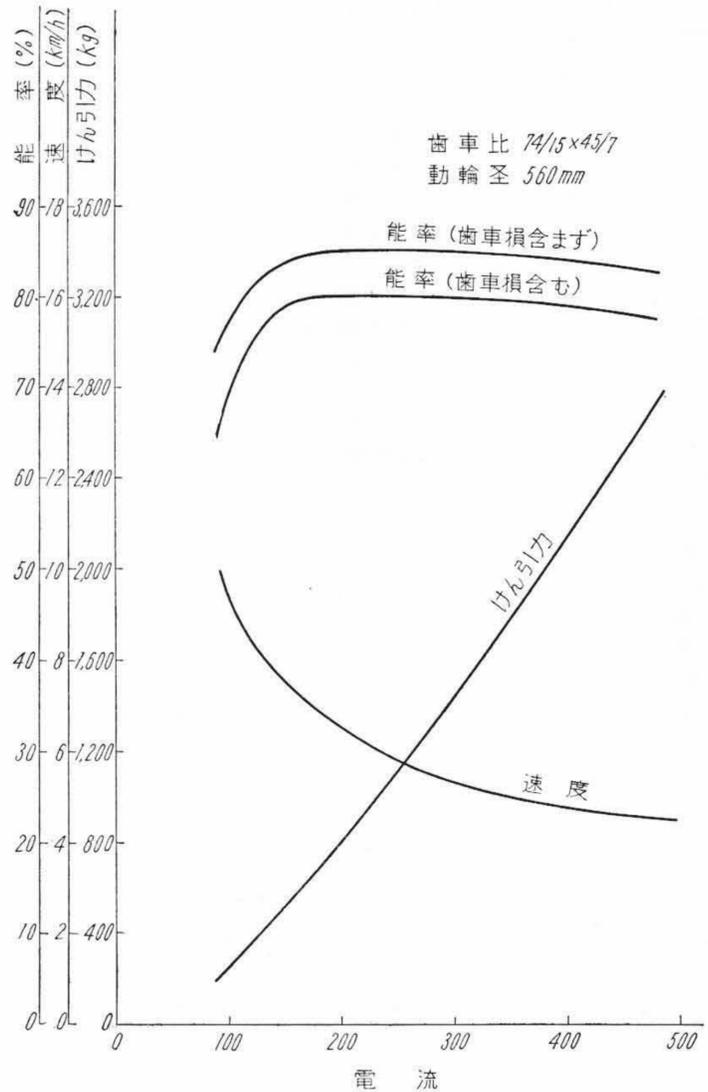
実際の機関車では、蓄電池は一定の電流で連続して使用されるものではなく、放電電流の変化する間欠負荷がかけられている。いま、蓄電池の放電電流を一定とし、負荷時間率 P で、 T_s 時間、間欠使用されるものとし、間欠負荷に対しても(4)式が成立するものとするれば、この場合の蓄電池に対する許容放電電流は(4)式を変形して、

$$I_B = (P \cdot T_s)^{\frac{1}{n}} T_0^{\frac{1-n}{n}} (AH) \dots\dots\dots (5)$$

で示される。

ここに、 (AH) は T_0 なる放電時間率における蓄電池容量である。

蓄電池機関車は、定格速度が比較的 low、平衡速度に達するまでの時間が短いので、一定電流の間欠負荷に置きかえても大過ないと考えられる。一定電流 I_M の間欠負荷で長時間運転したのちの主電動機の最終の温度上昇が、規定の温度上昇限度に達するとしたときの主電動機の電流と負荷時間率 P との関係は、大略次式で与えられる。



第 7 図 18 kW 主 電 動 機 特 性 曲 線

$$I_M^m \cdot P = D \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 D 、 m は主電動機の容量、構造によって定まる常数である。いま主電動機に 1 時間定格電流 I_0 を P_0 なる負荷時間率で長時間、間欠負荷したあとの最終温度上昇が、規定の温度上昇限度に達したとすれば、この場合も(6)式の関係が成り立つので、 I_0 は(7)式で表わされる。

$$I_0 = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot I_M \dots\dots\dots (7)$$

蓄電池をその容量限度まで使用したとき、主電動機が最終温度上昇に達し、それが規定の温度上昇限度であるとすれば $I_M = I_B$ として、(7)式より主電動機の一時間定格電流 I_0 は、

$$I_0 = P_0^{-\frac{1}{m}} T_s^{-\frac{1}{n}} P^{\frac{n-m}{mn}} T_0^{\frac{1-n}{n}} (AH) \dots\dots\dots (8)$$

で示される。

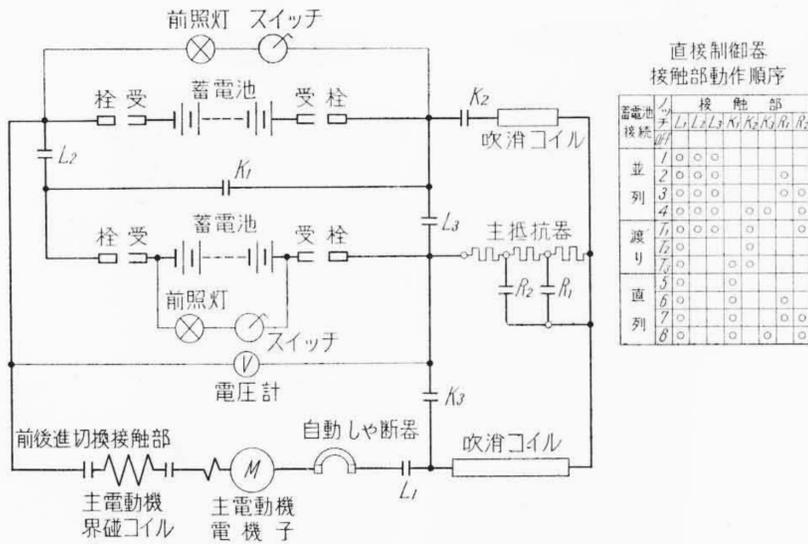
(8)式は次のような意味を持っている。

- (a) 主電動機の容量は、蓄電池容量に比例する。
- (b) 蓄電池の充放電周期の短い過酷な運転条件を要求される場合は、主電動機の容量は増大する。
- (c) 主電動機の熱時定数が大きいほど、 P_0 は小さくなるので、大容量の主電動機を必要とする。
- (d) 全閉形主電動機では m は比較的小さく $n > m$ の成り立つ場合が多いので、負荷時間率が小さいほど主電動機の容量は小さくなる。

蓄電池の充放電周期 T_s を 5 時間にとり $T_0 = T_s$ とし、 $n \div m$ とすれば、(8)式より

$$I_0 = \frac{1}{5} P_0^{-\frac{1}{m}} (AH) \dots\dots\dots (9)$$

ゆえに主電動機容量を(9)式のように選定すれば、過酷な使用でも、主電動機は過熱の心配は少ないと考えられる。なお、18 kW 主



第8図 標準蓄電池機関車結線図

電動機の温度上昇試験の結果は $P_0 \approx 0.3$, $m \approx 1.2$ であり、本機関車では主電動機容量は(9)式より若干大きく選定してある。

標準形蓄電池機関車の主電動機の仕様はつぎのとおりである。

6 t 蓄電池機関車用

形番号 HS-526, 形式 TCO-H₆₀(全閉形 1時間定格) 18kW, 90 V, 240 A, 1,800 rpm

4 t 蓄電池機関車用

形番号 HS-524, 形式 TCO-H₆₀(全閉形 1時間定格) 12kW, 90 V, 160 A, 1,800 rpm

これらの主電動機は車体に1台装架し、たわみ接手を介してヘリカル歯車、かさ歯車の2段減速で両車軸を駆動する方式を採用している。第6図に18kW主電動機の外観を示す。標準化の見地から18kWおよび12kW主電動機のブラシおよびブラシ保持器はまったく同一のものを使用している。

第7図に18kW主電動機の特性能曲線を示す。この機関車では、1車1主電動機全軸駆動方式であるから、機関車の粘着係数が大きく1時間定格電流の150%程度の電流を流してもスリップするようなことはなく、大きなけん引力を発揮できる。第3表には、機関車の平衡速度における主電動機の電流が1時間定格に等しい場合のけん引トン数を、各種走行抵抗の場合について記載した。なお走行抵抗のなかにはこう配抵抗、曲線抵抗も含めてある。

5. DR形44B式直接制御器

標準形4t, 6t蓄電池機関車の直接制御器は、その原設計品であるDR44にさらに改良を加え、小形軽量で、操作・保守・点検の便利なこと、艱装が容易なことなどに特に注意を払って設計されたものである。

第2表 けん引トン数(主電動機電流は1時間定格)

走行抵抗 (kg/t)	けん引トン数 (t)	
	6 t 機関車	4 t 機関車
6	167	111
7	142	95
10	98	65
15	63	42
20	46	31
25	35	24
30	29	19

第8図に4t, 6t標準蓄電池機関車の結線図を示す。従来の4t, 6t蓄電池機関車においては、電動機を2個装備していたが、標準形のもの、前述のように、それぞれ12kWまたは18kW電動機1個によって、2軸を駆動する方式を採用している。このため従来の電動機の直並列接続切替え方式の代りに、蓄電池を2群に分割し、それらの並列切替えを行うような結線になっている(特許申請中)。

蓄電池の並列から直列への切替えの際には、電流を遮断して接続変更を行うのではなく、 T_1 ノッチにおいて、まず K_3 を開放して、電流を $K_2 \rightarrow$ 吹消線輪 $\rightarrow L_1 \rightarrow$ 電動機のように流し、続いて T_2 ノッチにおいて L_2, L_3 を開いて一群の蓄電池を回路から切り離す。これらの場合、電動機には、並列の最終ノッチと同様の蓄電池電圧が印加されているので、電動機電流の変動はほとんどない。 T_3 ノッチにおいて、 K_1 が接続され、2群の蓄電池は直列に接続される。この場合、ブラシ電圧降下、蓄電池内部抵抗、吹消線輪の抵抗を無視して考えれば、 K_2 部分に流れる電流 I は、

$$I = \frac{E_0 - E_m}{\gamma_m} - \frac{E_0}{R}$$

である。ここに E_0 は蓄電池の群電圧、 E_m は電動機の逆起電力、 R は主抵抗器の抵抗値、 γ_m は電動機の内部抵抗である。

したがって I は並列から直列に切替えを行うときの電動機の逆起電力、すなわち機関車速度によってその方向が変化することになる。

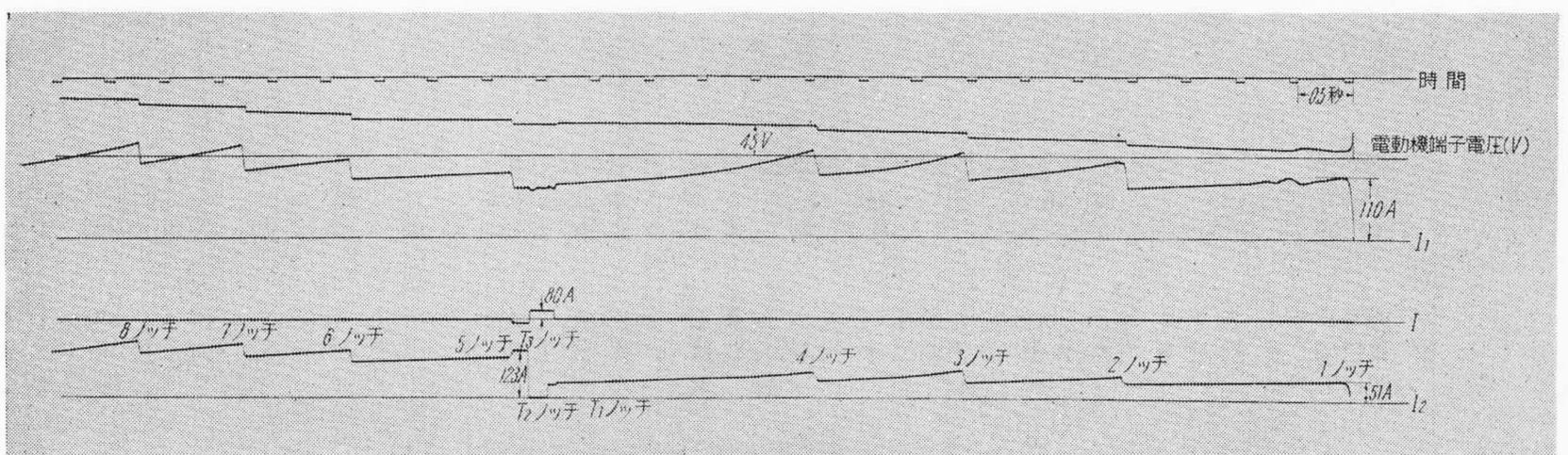
すなわち、

$$R - \gamma_m / R \approx E_m / E_0 \text{ に応じて } I \approx 0 \text{ となる。}$$

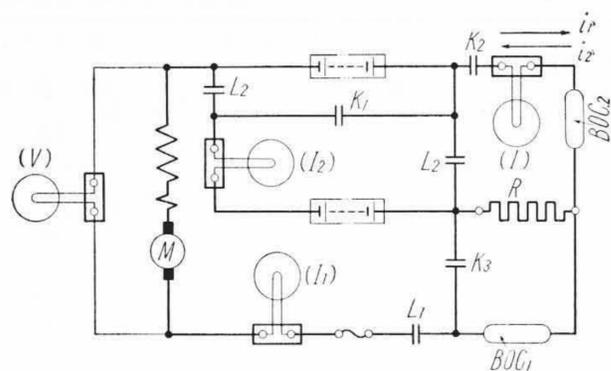
そのため K_2 部分に対する吹消線輪は I によって励磁されるように計画し、 I の方向が変化しても、その磁気吹消効果は常に同一方向に作用するようになっている。

このように、回路を遮断することなく、蓄電池群の並・直列の切替えを行うことができるので、機関車に大きいけん引力の変化を与えることがなく、切替え時の衝撃を除去することができる。

第9図は、蓄電池群の並列から直列への切替えの際の電流変化を示すオシログラム、第10図はその測定回路を示す。これから、切替えの際の電動機電流の変化がほとんど無いこと、 $I = i_1 \sim i_2$ の方向が変化していることなどがよくわかる。

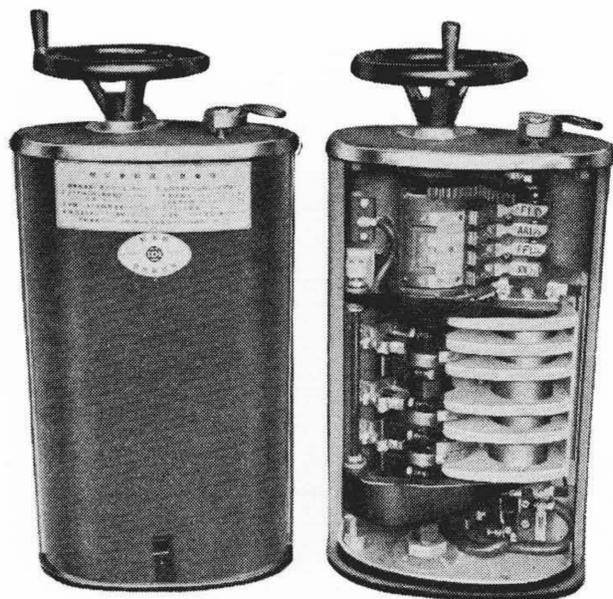


第9図 標準形4t蓄電池機関車運転オシログラム



(V) : 電圧検出用エレメント
 (I), (I₁), (I₂) : 電流検出用エレメント
 K₁, K₂, K₃ : 組合スイッチ
 L₁, L₂ : 断流器
 BOC₁, BOC₂ : 吹消コイル
 [] : 蓄電池
 M : 主電動機

第 10 図 オシログラフ素子位置説明図



第 11 図 形式 DR44B 直接制御器

第 11 図に DR 形 44B 式直接制御器の外観を示す。従来の直接制御器に対して、特に変更を加えたのは次の諸点である。

1. 主円筒を逆転円筒の上に重ね、制御器内部の構造を従来形に比して格段に簡略化することに成功し、小形化することができた。
2. 抵抗切替部分に対する吹消線輪を省略し、またこれらの部分のセグメントも小形化して、直接制御器全体を小形軽量化することができた。抵抗器の短絡・開放の際には、電流の変化も少なく、接触子にかかる電圧も低いので、吹消線輪を省略しても実用上支障がないことが実験によって確認された。
3. 制御器側面に配線窓を設け、外部配線がきわめて簡単に行えるようにした。このため、底面または裏面から外部配線を導入していた従来の直接制御器の場合のように、艤装の際、一度制御器を分解して円筒を取りはずして配線作業を行ったあと、再組立を行うというような不都合がなくなり、配線作業が合理化され、

接触部分の点検・調整も容易になった(実用新案申請中)。

4. 回路の遮断は L_1, L_2, L_3 の 3 箇所において多重点遮断を行う方式とし、接触部分のアーキによる荒損を減少させるようにした。

試作完成後、今日までの納入実績も良好であり、各方面において、その保守・点検・取扱いの便利さについて特に好評を得ている。

6. 結 言

以上、標準形 4t, 6t 蓄電池機関車の性能向上のために改善した項目のうちおもなるものについて述べたが、蓄電池機関車の高速化などの課題につきさらに研究を続けている。

最後に、今回の標準形蓄電池機関車をいち早く採用され、種々ご指導いただいた、鹿島建設株式会社殿、飛島土木株式会社殿ならびに各納入先関係者各位に厚くお礼申しあげる。

特 許 と 新 案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その 3)

(第 34 頁より続く)

種 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
特 許	260539	深井戸ポンプの逆転防止用カップリング	亀有工場	田中 栄吉 山内 正夫 堀江 武賢	35. 3. 18
"	260540	スクレーパー固定装置	亀有工場	盛神 昌史	"
"	260541	巻上機用諸機器の誤差修正装置	亀有工場	神尾 昌史	"
"	260550	流体摩擦に対する固体壁の気体潤滑方法	亀有工場	保延 良誠	"
"	260551	ロープの自動多段巻揃え装置	亀有工場	神原 良男 尾上 昌史	"
"	260552	ベルトコンベヤの水切り装置	亀有工場	井上 忠雄	"
"	260553	パンコンベヤにおけるパンとチェーンとの連結装置	亀有工場	吉田 茂驥 亀井 樹	"
"	260554	ベルトコンベヤの安全装置	亀有工場	氏原 良男	"
"	260555	チップラーの運転装置	亀有工場	田中 春雄 秋吉 六郎 吉田 忠男	"
"	260556	ブームを有するクレーンの転倒防止装置	亀有工場	小石 善也	"
"	260557	流体継手	亀有工場	石原 智男	"
"	261159	管内に軸または管を支持する装置	亀有工場	田中 栄吉 館下 忠夫 堀江 俊夫	35. 3. 29
"	260543	自動制御における操作量遠隔伝送装置	多賀工場	小沢 重樹	35. 3. 18
"	261155	周波数調整装置における時差補正装置	多賀工場	小沢 重樹	35. 3. 29
特 許	261157	ベルト脱落防止装置	多賀工場	田沢 淳一 岐部 山	35. 3. 25

(第 71 頁へ続く)