

# 長距離、急勾配トンネル工事に対応する バッテリーロコ最新技術

鳥海 宏 行

トンネル工事に於いて立坑から切羽までの資材搬送を受け持つバッテリーロコ（蓄電池機関車）は昭和初期より鉱山で使われ始め、今日まで長い歴史を持っている。

近年日本ではトンネル工事の長距離化、大深度化にともないバッテリーロコは高速化、急勾配対応、自動化の要求に応えるために独自の進化をしつつある。

本報ではこれら要求に応じた高速走行、急速充電、急勾配に対応した最新のバッテリーロコの技術について報告する。

キーワード：バッテリーロコ、蓄電池機関車、サーボロコ、リチウムサーボロコ、ピンラックロコ、タイヤ式自走台車

## 1. はじめに

バッテリーロコは当初、鉱山のズリ出し用として大手輸送機メーカーや重電機メーカーにより製造されたが、戦後、多くの鉱山が閉山する中、その活躍の場を地下鉄や新幹線などのトンネル工事に移した。

しかし、トンネル工事では限られた期間での使用であり、工事が終了すれば次の工事へと転用されるため絶対的な需要数が少なく、山陽新幹線や青函トンネルの完成を機に大手メーカーは次々と新車製造から撤退した。

その後、しばらくは中古のバッテリーロコが整備、改造され使用されてきたが、メーカーからの保守部品の供給が覚束なくなるとともに、小型化の要求も増え従来型での対応に限界が出て来たのを機に大手メーカーの代理店として整備、改造を行ってきたが近年新型のバッテリーロコの製造を開始し、新たなバッテリーロコの進化が始まった。

以下にその概要を紹介する。

## 2. 制御と装備の進化

### (1) 速度制御

バッテリーロコの制御技術はモーターの速度制御技術でもある。

当初は直流モーターにかかる電圧を抵抗器やモーターの直並列切り換えで段階的に変化させ速度を制御

していた。また制動時や下り勾配ではモーターを発電機として使用し、発電された電力を制動抵抗器にて消費し制動力を得る発電制動が使われている。

その後、半導体技術の進化により、大手メーカーが電車技術をダウンサイジングする形でバッテリーロコにも採用したサイリスタやトランジスタを使用したチョッパー制御によりモーター電圧を無段階で制御できるようになり、加減速がスムーズに行われるようになった。また、発電制動の電力でバッテリーを充電する回生制動も可能となった。

ここまでのバッテリーロコは、被牽引重量や勾配の大小により速度が変化するため、安全な速度での運行は運転者の技量に頼るところが大きく暴走事故も多かった。

現在のバッテリーロコは車両全体の制御装置としてプログラマブル・ロジック・コントローラ（以下PLCと記す）を搭載し、モーターには電車よりも精度の高いサーボモーターを採用した車両（サーボロコ）が主流となっている（写真-1）。

サーボモーターを使用することにより速度フィードバック制御が可能になり、牽引重量や勾配に影響されずに、コントローラで指示された速度に追従して走行することができ、運転者の技量にかかわらず安全な運行が可能になった。

また、サーボモータドライバ間での通信により複数のモーターによる多軸協調制御が可能となり、単車のみならず重連運転にも対応できる。



写真一 1 サーボロコ

PLC が搭載されたバッテリーロコはプログラムにより各ノッチ速度や加減速度等を簡単に現場に応じた数値に変更したり，速度制限区間の設定，前方の障害物を検出して減速，停止する自動停止等の機能を追加することもできる。

### (2) ブレーキ

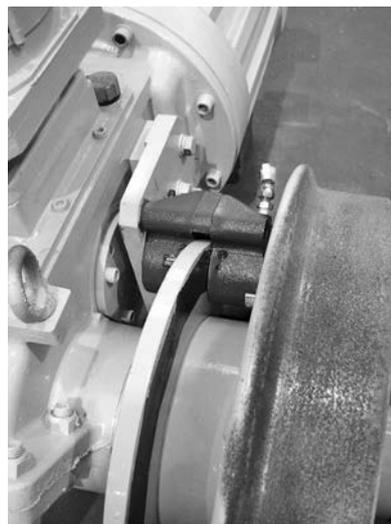
初期の小型バッテリーロコには手動ハンドルにより車輪にブレーキシューを押し付ける手動ブレーキが，大型ロコには手動ブレーキに加えエアブレーキが搭載されていた。現在のバッテリーロコはサーボモーターによる速度制御により減速時に速度0まで制動トルクが働き，勾配路でもモーターの力だけで停止し続けることができ常用ブレーキとして使用される。また上述した複数モーターの多軸協調制御により各軸の速度とトルクをコントロールすることで登り勾配での空転，下り勾配でのアンチロックブレーキシステムを構築している。

さらに，サーボドライバーの故障に備え油圧ディスクブレーキ（写真一2）を，駐車ブレーキとして電源不用な負作動電磁ブレーキ（写真一3）を，車輪がスキッドした時のために電磁力によりレールに吸い付くレールブレーキ（トラックブレーキ）（写真一4）を装備し制動に万全を期している。

### (3) 高摩擦車輪

バッテリーロコの最大牽引力はバッテリーロコの質量×車輪の粘着係数で決定されるが，自重を増さずに牽引力を増すために高摩擦車輪を採用している車種がある。

高摩擦車輪はアルミ材料を使用したタイヤリングを鉄車輪にはめ込んだもので，従来の鋳鋼製車輪の粘着係数が0.2であるのに対し，高摩擦車輪の粘着係数は0.42で，牽引力を倍増するとともに制動距離も短くて



写真一 2 油圧ディスクブレーキ



写真一 3 負作動電磁ブレーキ



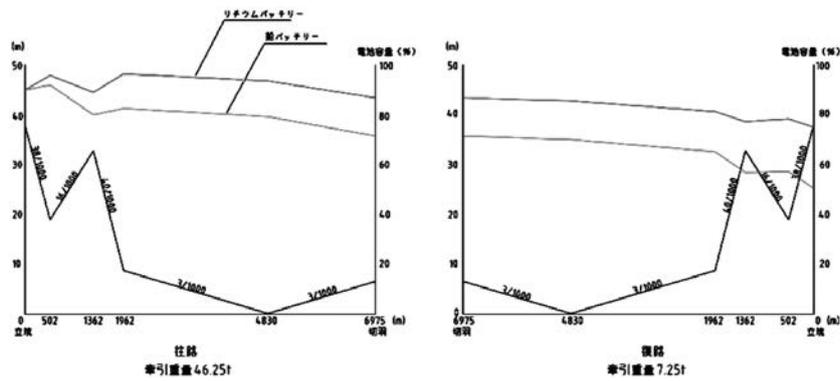
写真一 4 レールブレーキ

きる。（写真一5）

### (4) メンテナンス性の向上

最近のバッテリーロコは制御が複雑なために，いざ故障が発生すると原因を特定するために PLC に PC を接続してモニターする必要があるが，最新のバッテリーロコでは配電盤面にタッチパネルを設置し，異常内容，異常履歴，PLC の I/O の状況を表示することで復旧時間の短縮を図っている（写真一6，7）。





図一 1 バッテリー消費量

リチウムバッテリーは鉛バッテリーに比べ内部抵抗が小さいため、電圧降下、発熱が少なく大電流の放電、充電に適しており、回生充電の効率も良い。そのため鉛バッテリーより少ない容量で済み、急速充電も可能となる（図一1）。

現場の条件にも依るが、立坑、切羽間往復の消費電力量を10～20分で急速充電できるように設定すれば、鉛バッテリーでは必要だった予備バッテリーが必要なくなる。

ただし、バッテリーロコの場合、牽引力を出すためには自重を確保する必要がある、リチウムバッテリーで軽量化された分、ウエイトで重さを補償しなければならないことが悩ましいところである（写真一9、10）。

#### 4. 急勾配対応

大都市のトンネル工事では長距離化とともに大深度化が進んでおり、急勾配に対応したバッテリーロコの需要も増えている。

労働安全衛生法によりバッテリーロコのような軌道装置は車輪とレールとの摩擦係数の関係からレール勾配50／1000以下での使用に制限されているため、これ以上の勾配の場合にはレール間にピンラックレールを敷設し、バッテリーロコ側に駆動するピンギヤを配置した通称“ピンラックロコ”が使用される（写真一



写真一9 リチウムイオンバッテリーロコ



写真一11 ピンラックロコ



写真一10 リチウムイオン電池



写真一12 ピンラック輪

11, 12)。

ピンラックレールはラックギヤのような施工精度が必要なく泥土などの蓄積も無い。ピンラックロコは急勾配部だけでなく平坦部も走るため、車輪駆動とピンギヤ駆動を備え切り換えられる制御となっている。

## 5. 自動化対応

バッテリーロコの自動化の歴史は古く、1985年に誘導無線装置を使って行われている。

初期の頃、通信方法として誘導無線方式と光空間伝送方式が混在したが、現在は坑内に無線アクセスポイントを複数設置してゆく無線ネットワーク方式へと変わっている。

バッテリーロコもサーボモーターを使用することで負荷や勾配に関係なく一定速度で走行できるようになり勾配のある路線でも安全に自動運行ができるようになった。

バッテリーロコの現在地把握や速度指令にはIDシステムが使われ、現在地情報や速度指令情報が記録されたIDタグをレール間に設置しておき、バッテリーロコに搭載されたIDアンテナで読み出すことで現在地や指令速度を認識できるようになっている。

前方の障害物検知は従来赤外線センサーが使用されてきたが、走行速度が速くなると制動距離が検知距離よりも長くなってしまうため、高速走行をするバッテリーロコには検知距離の長いレーザー式の測距センサーが搭載されている。このセンサーは上述のID情報により検知エリアを変更することが可能で、カーブ等でも壁を検出せずに走行をすることができる。

## 6. バッテリーロコと自走台車

トンネル工事の搬送手段として定番のバッテリーロコは、セグメント台車や、ズリトロ等様々な車両を連結して使用する牽引車であるのに対し、自走台車は荷物を荷台に載せて自走する積載型車両である。

近年ズリ出しが無い工事ではこの自走台車を重連して自動運転で使用されることも多い。

牽引車が無い分だけ編成長さが短くでき、立坑、切羽でのスペース確保に有利となる。

制御技術としてはバッテリーロコとほぼ同じである。

最近では駆動輪にゴムタイヤを使用し、センターにガイドレールを設置してセグメントの上を走らせる方式の自走台車も使用されている。この方式は通常のレール方式よりもレール敷設コストが安くできるメリットがある(写真—13)。



写真—13 タイヤ式自走台車

## 7. おわりに

バッテリーロコは確実に進化しているが、労働安全衛生規則で想定されているバッテリーロコは古いタイプのもので、ブレーキ等の装備が現状にそぐわない状況になっている。今後もトンネル工事の工法により様々な車両が使用されることが予想され規定されなければならない項目も発生すると思われる。現状にあった労働安全衛生規則の見直しを切に希望する。

JICMA

【筆者紹介】

鳥海 宏行(とりうみ ひろゆき)  
新トモエ電機工業(株)  
設計部  
部長

