

S3-1-6.

ハイブリッド給電システムの開発

梅田 繁樹 石井 順 松浦雅明 (西日本旅客鉄道)

Development of Hybrid Power Supply System For DC Electric Railways

Shigeki Umeda, Jun Ishii, Masaaki Matsuura (West Japan Railway co.)

Effective use of regenerated power from electric rolling stock is useful for reduction of energy consumption for railway operation. We are now developing a hybrid power supply system for dc electric railways which consists of charge controller and electric energy storage devices. This paper shows an outline of basic system composition, required capacity of energy storage devices led from simulation, and control method.

キーワード：直流電気鉄道、電力貯蔵、回生電力

Keywords：dc electric railways, electric power storage, regenerated electric power

1. はじめに

鉄道は地球環境、コスト削減等の面から省エネルギー化の一環として、回生車両を導入しています。今回は、この回生車両が発生する回生電力の有効活用の一つの方法として、当社が取組もうとしているハイブリッド給電システムを紹介します。

図1は回生車が力行車に電力回生している状態です。電車が減速する時、主電動機を発電機として使用し電車の運動エネルギーを電気エネルギーに変換して他の電車（力行車）等へ電力を供給することを電力回生といいます。電力回生を行うためには、回生車のパンタ点電圧が変電所送り出し電圧より高く、尚かつ、車両・変電所等の機器を破損しない電圧以下となるように制御しています。

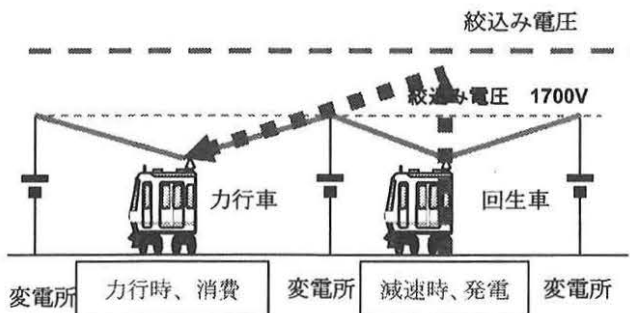


図1 回生電力

Fig.1. Regeneration electric power

2. 回生電力の測定

図2は、回生車に測定器を搭載してパンタ点電圧、電車の実際の回生電力、電車の最高回生電力を測定したグラフで、パンタ点電圧が1,700V以上になると回生電力の絞込みが発生していることが分かります。この回生絞込み電力を蓄電システムに蓄電し、力行車両に放電すれば、回生絞

みがなくなり運転電気料金の節減につながるようになります。

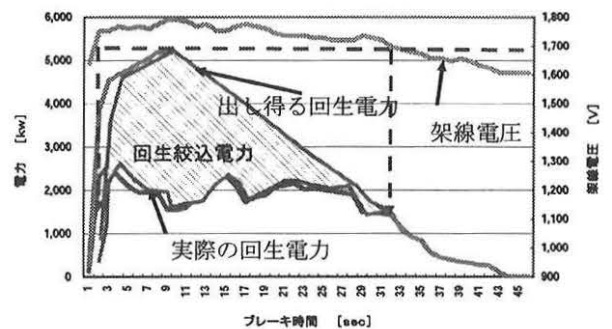


図2 回生電力の絞込み状況

Fig.2. Tight state of regeneration electric power

3. 装置の概要

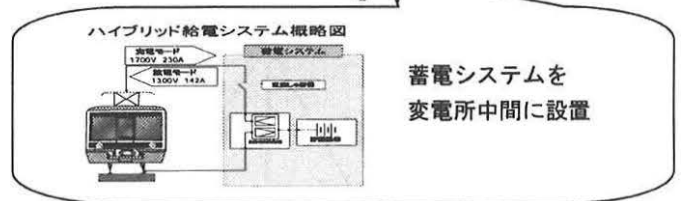
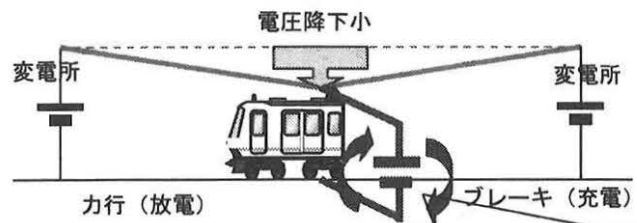


図3 ハイブリッド給電システム

Fig.3. Hybrid Power Supply System

J R 西日本が開発しているハイブリッド給電システムのイメージを図 3 に示します。変電所中間にリチウムイオン電池を蓄電媒体とした、蓄電システムを設置して、回生車が停止するときのブレーキで発生する回生電力を充電し、電車が力行するとき放電して、回生電力を有効に活用します。また、蓄電システムは変電所中間の架線電圧を、電車が回生中は高い電圧を低く、力行中は低い電圧を高くする効果が発生し、電車力行時の電圧降下対策も期待できます。

図 4 に蓄電システム外形写真を示します。

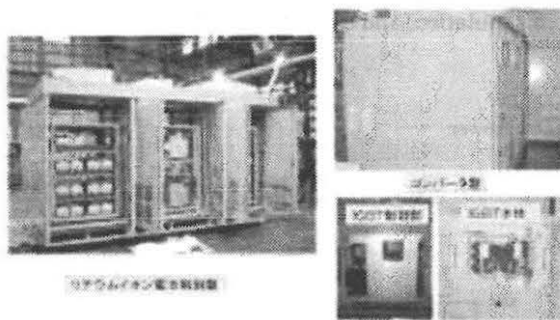


図 4 蓄電システム外形写真

Fig.4. System outside photograph

4. 装置の動作

ハイブリッド給電システムにおける蓄電システムには、回生吸収モードと電圧補償モードの二つのモードを持たせようと考えています。

回生吸収モードは、回生車が回生しているときに回生電力を消費する車両が遠いところにいるとパン電圧が上昇するために、回生電力を吸収し蓄電システムに充電することを主眼において動作させます。

電圧補償モードは、変電所間隔が 10km 程度と長い場合は変電所の中間点では、電車が力行時、架線電圧降下が大きくなるので、変電所中間点に蓄電システムを設置して電力を放電し、架線電圧の降下を小さくさせようとするものです。

< 4・1 > 回生吸収モードの設計

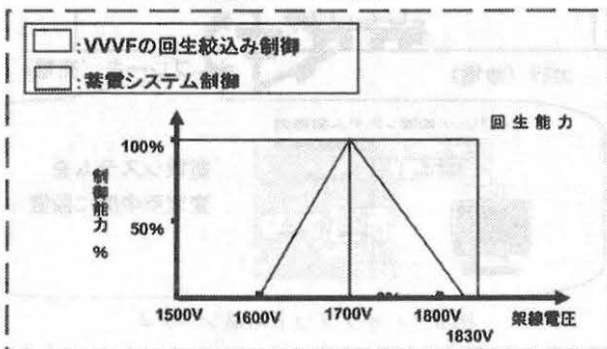


図 4 蓄電システム制御と回生車両制御との関係

Fig.4. Relation between control

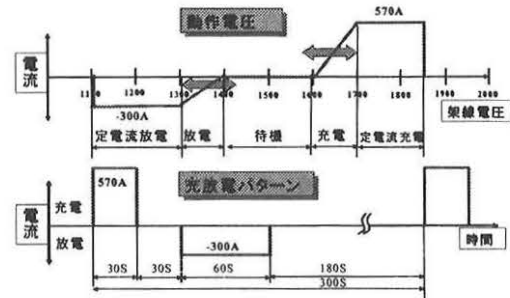


図 5 回生吸収モード

Fig.5. Regeneration electric power absorption mode

図 4 は回生車両の VVVF 絞込み制御と蓄電システム制御との関係を示します。パンタ点電圧が 1700V で制御が相互に補完し合うことを考えています。図 5 は回生吸収モードを示します。架線電圧が 1400V～1600V の時は待機状態で、図の回生により架線電圧が 1600V 以上になると充電を始め、570A で充電できる。架線電圧が 1400V 以下になると 300A で放電する。なお、充電時の設定値 1600V と放電時の 1400V は可変である。蓄電システムは回生がない時は蓄電池の充電率 (S.O.C=State Of Charge) 下げておき、回生が始まると 570A で 30 秒程度吸収する。電車が駅に約 30 秒停車して出発すると 300A で放電し蓄電池の S.O.C を下げた状態にする。これを 5 分間隔で繰返す性能を考えています。

< 4・2 > 電圧補償モードの設計

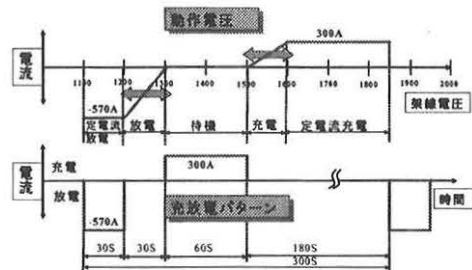


図 6 電圧補償モード

Fig. 6. Voltage compensation mode

図 5 は電圧補償モードを示す。動作電圧は図 4 の回生吸収モードに比べて低めに設定してある。1500V 以上では 300A で充電し、1300V 以下では 570A で放電できる。充放電パターンを説明すると、蓄電システムは通常、S.O.C を 100% にしておく。変電所中間点で電車が力行すると蓄電システムから 570A で 30 秒間放電し架線電圧の降下を小さくする。電車が通過すると 300A で架線から充電して S.O.C を 100% の状態にしておく。これを 5 分間隔で繰返すことができる性能を考えています。

5. シミュレーション

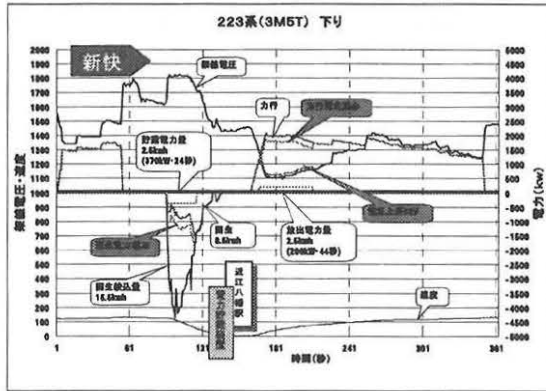


図 7 シミュレーション

Fig.7. Simulation

図7で蓄電システムの適用にあたり、J R東海道線近江八幡構内をモデルにして検討を加える。新快速は図中で左から右に向かって走行し近江八幡駅に停車するので駅手前で回生ブレーキにより減速する。この回生に伴ってパンタ点電圧は上昇する。赤線は、実際の回生電力を示す。シミュレーションの茶色の線は将来的に車両側でフル回生できた場合の理想的な回生電力を示します。

今回のシミュレーションでは、蓄電システムの容量を370kWのミニモデルとして計算している。回生時に架線電圧が1700V以上になった時、蓄電システムに370kWで24秒間充電して貯蔵し、この時に蓄えた電力2.5kWhを電車が力行時に200kWで44秒間放電することで、力行時電力を補うように動作する事を確認し、それに伴って架線電圧も図のように上昇し、この上昇分は約18Vになることも確認できた。このシミュレーションで、実際の容量としてはこの約6倍の容量が必要と考えています。

6. 電力貯蔵媒体

ハイブリッド給電システムにおける蓄電システムの貯蔵媒体として、比較検討の結果、急速充放電、大容量、長寿命、省メンテナンスの点から、近年、ハイブリッド車等の高性能化にリチウムイオン電池等が見込まれており、量産化によりコスト面も低下してくると考え、リチウムイオン蓄電池を使用することとしました。

リチウムイオン電池の概要

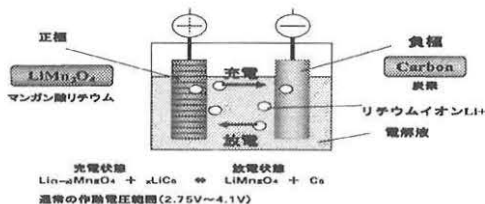


図 8 リチウムイオン電池の原理

Fig.8. Principle of lithium ion battery

図8はリチウムイオン電池の原理を示しています。リチウムイオン電池は充電中に正極中のリチウムがイオンとなって電解液中に溶け出し、電解液中のリチウムイオンが負極の炭素に吸蔵され、放電の時は逆の反応が起こります。

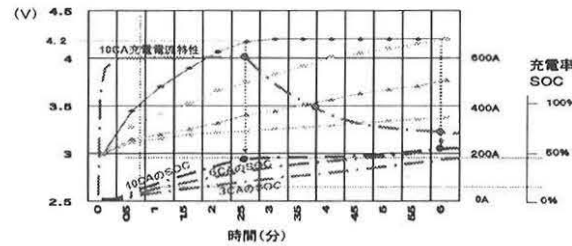


図 9 リチウムイオン電池特性グラフ

Fig.9. Lithium ion battery characteristic graph

今回のシステムに使用する、リチウムイオン電池 L I M 6 0 H の充電特性グラフを示します。

この電池は、定格電流 6 0 A H の 1 0 倍の電流値 1 0 C A (6 0 0 A) で急速充放電を行うことが出来、間欠に発生する回生電力を有効に取り込んだり、また、急速放電で、電圧補償を行う目的が達成できると考えています。

使用可能な電圧領域は、単電池で 3 V ~ 4 . 2 V の範囲です。1 0 C A の充電は充電開始から 2 . 5 分間で 4 . 2 V になり、1 0 C A 充電電圧特性は、急速に低下していきます。一番効率よく安定した特性部分で使用するには、充電電流 1 0 C A で安定している領域で使用するのが良いことがわかります。

S O C との関係を見ると 1 0 C A では、S O C 約 2 0 % ~ 5 0 % の間が安定使用できる領域であることがわかります。

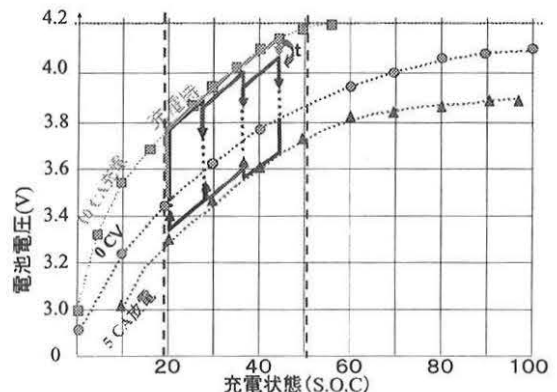


図 1 0 リチウムイオン電池充放電性能

Fig.10. Battery charge electric discharge performance

リチウムイオン電池の充放電性能についてまとめます。
グラフの真ん中の 0 CV は、充放電がないときの SOC とセル電圧の関係を示します。

上は、10 CA での充電・下は、5 CA での放電のそれぞれ SOC とセル電圧の関係を示します。

先に示したリチウムイオン電池の特性試験結果から 10 CA での最適な充電動作領域は、グラフに示す、(SOC) 20%~50% 付近の間での動作が充放電効率の観点から最適と考えられます。

充放電サイクル試験結果より、10 CA 充電 30 S で SOC 8%、5 CA 放電 60 S で SOC 8% グラフ上に示す矢印の充放電動作となることが考えられます。

赤の点線は、充放電休止時間に電池のリチウムイオンが安定化するためのセル電圧の移行状態を示します。

これらの電池特性を踏まえてフィールドに合った適正な制御を行うかが、今後のフィールド試験の課題と捕らえています。

7. 装置保護

蓄電システムを運転系フィールドに置く場合、既設変電所・車両等の保護協調が新たな研究課題となります。

以下に装置保護について検討しています。

(1) 内部地絡保護

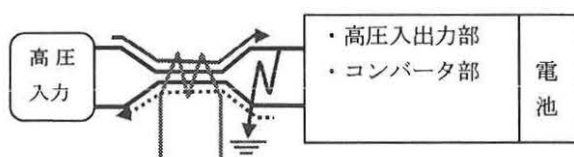


図 1.1 接地継電器の原理

Fig.11. The principle of a grounding relay

図 1.1 のように、高圧入力部の母線を貫通形 DCC T で電流監視し、内部地絡時の漏れ電流で動作する。

(2) 入力電圧・電流保護

- ・無電圧・過電圧・ヒステリシスを持たせた動作
- ・架線接地・外部電圧の ΔV で動作
- ・入力過電流・高圧部・電池部の過電流監視
- ・その他

(3) 出力電圧・電流保護

- ・出力過電流保・過電圧・低電圧保護・等

(4) 制御部保護

- ・制御電圧・IGBT ゲート不一致・冷却器過熱・CPU 停止
- ・各種 B t 保護

以上のような、保護法式を検討し、実運転系に対して支障しない正確な動作可能なシステムを目指しています。

7. むすび

回生車の制動、力行に伴う負荷の変化量は大きく、このエネルギーを蓄電システムに充電して放電するための電力貯蔵媒体は、急速充放電、大容量、長寿命、省メンテナンス等が要求される。今まではこれらの特徴に適した電力貯蔵媒体が見あたらなかったが、近年、ハイブリッド車等の駆動用電源としてリチウムイオン電池や電気二重層キャパシタの高性能化が進んでいる。これらの電力貯蔵媒体が上にあげた特徴とともに低廉化がなされた場合は、電気鉄道への適用の可能性が出てくると考えられます。

今年度は、貯蔵媒体としてリチウムイオン二次電池を使用した入出力が 1/6 のミニモデルを試作して、フィールドに設置し、回生車の絞込み減少の確認、最適な制御の把握、高調波の発生状況と影響等を検討したいと考えています。

文 献

- (1) 長谷伸一、小西武史、中道好信：「電気二重層キャパシタを用いた電力貯蔵システムの基礎試験」J-RAIL'01,S3-3-4,P389,(2001)
- (2) 日本電池株式会社編：「最新 実用二次電池」第 2 版,(2001.5)
- (3) 近藤圭一郎：「電力回生」、鉄道と電気技術,Vol.4 No.4 (1993.4)
- (4) 長谷伸一：「き電回路の省エネルギーを考える」RRR,(2003.6)
- (5) 鮫島博、小笠正道、山本貴光：「鉄道車両用リチウムイオン二次電池の特性」RTRI REPORT Vol.17 No.4 (2003.4)