

EV・HEV用大電流メインリレーの小型化技術

Miniaturization Technology of Main Relay for High Current of EV and HEV

森口 裕亮

Yusuke Moriguchi

福田 純久

Yoshihisa Fukuda

榎本 英樹

Hideki Enomoto

尾崎 良介

Ryosuke Ozaki

山本 律

Ritsu Yamamoto

池田 陽司

Yoji Ikeda

要 旨

急速に市場拡大している環境対応車は、リチウムイオン電池搭載が主流となってきている。ニッケル水素電池に比べてリチウムイオン電池は事故などの短絡時に、約2倍の短絡電流が流れる問題がある。その問題に対応すべくリレー接点周辺部を改善することで、短絡耐量を維持しつつリレー体積を小型化する技術を開発した。可動接点近傍にヨークを配置することで、短絡電流発生時に発生する電磁反発力を抑制し、接点浮き上がりによるリレーの発火や破裂が起らないようにした。本構成により、接圧を大きくすることなく、当社従来技術の構成に比べて約半分の体積で所望の短絡耐量を実現した。また消弧磁場を同極対向に構成したアーク電磁駆動技術により、逆方向（電池回生時）も順方向同等の遮断性能を満足できるようにした。

Abstract

Lithium-ion batteries in eco-friendly cars, whose market has been rapidly expanding, carry twice as much short circuit current as the conventional ones when accidents occur. To resolve this problem, we have developed technology in which the composition around the contact and the extinction-of-arc magnetic field have been remarkably improved. This has been achieved by having a high short circuit tolerance and arc interception. As for the composition around the contact, we have set our original magnetic yoke near the movable contact so that we restrain electromagnetic repulsion, which occurs when the electricity rush flows, and ensure safety without any ignition or explosion because of the contact floating. We have achieved a short circuit tolerance that is twice as high as our conventional type of product without making the contact pressure or relay size bigger. Moreover, by using our electromagnetic drive technology, we have composed our original arc extinct field and achieved the high arc voltage interception.

1. はじめに

地球温暖化などの環境問題に対する意識の高まりや原油の高騰などを背景に、EV (Electric Vehicle) やHEV (Hybrid Electric Vehicle) などの環境対応車の需要が高まっている。これらの自動車に搭載されるメインリレーは二次電池とモータ・インバータを安全確実にオンオフすることが要求される。これらの車両に搭載される二次電池は、エネルギー密度の向上が進み、ニッケル水素電池からリチウムイオン電池への置き換えが進んでいる。しかし、リチウムイオン電池は内部抵抗が小さいため、例えば衝突事故などが発生してメイン回路が短絡した場合、ニッケル水素電池に比べ、大きな短絡電流が流れる。

メインリレーにおいて短絡電流が大きくなると、接点に発生する電磁反発力が大きくなり、接点が開離する方向の力が増加する。接点が開離すると接点間にアーク(円弧状の放電スパーク)が発生し、それが継続すると、リレーが発火もしくは破裂する可能性がある。そのため短絡電流が流れた場合であっても、ヒューズが溶断するまでは接点が開離しないことが重要となる。

またECU (Electric Control Unit) がシステムの異常を検知した場合、ECUからの信号によりリレーをオフし、電

池をメイン回路から電氣的に切り離さなければならない。この場合、急ブレーキを踏んで車両が減速中の状況も想定され、リレーは通常と逆方向に流れるモータからの回生電流を遮断する必要がある。リチウムイオン電池は内部抵抗が小さい分回生電流も大きくなるため、従来より高い逆方向の遮断性能が要求される。

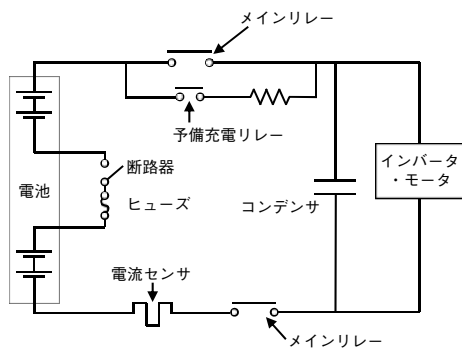
今回筆者らは、当社の従来構成[1]に比べて約半分の体積で、短絡電流が発生するときにも、接点が開離しない技術を開発した。さらに消弧磁場構成の工夫により、逆方向の電流(回生電流)に対しても順方向同等の遮断性能を実現する技術も開発したのであわせて報告する。

2. 開発目標

2.1 EV・HEV用メインリレーの用途と構造

開発目標について述べるために、まずメインリレーの用途と構造を説明する。

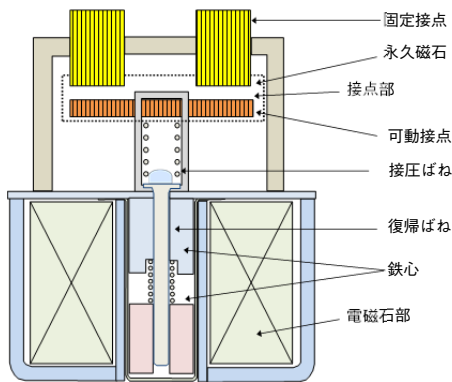
EV・HEVの一般的なメイン回路は第1図のように構成されている。車両のイグニッションキーをオンすると、予備充電リレーがオンし、コンデンサが充電される。その後メインリレーがオンし、電池からモータに給電される。イグニッションキーをオフすると、電流が流れてい



第1図 EV・HEVのメイン回路
Fig. 1 Main circuit of EV and HEV

ない状態でリレーがオフし、電池が切り離される。

第2図に一般的なメインリレーの構造の概略を示す。本リレーは、接点部、電磁石部に大別される。電磁石に通電すると、鉄芯間に吸引力が発生し、可動接点と固定接点が接触することでオンする。オフする場合は電磁石の通電をオフすることで、復帰ばねの力で接点がオフする。



第2図 メインリレーの構造
Fig. 2 Main relay structure

2.2 目標性能

メインリレーはシステムに何らかの異常が発生した場合も、安全のため電池を確実に切り離す必要がある。ここでいう異常時は、ECUからリレーにオフ信号が出せない場合とオフ信号が出せる場合の大きく2つに分けられる。

前者は衝突事故などによる電池近傍での大電流の短絡を想定しており、ヒューズが溶断することで電池が切り離される。この場合、接点が開離すると、リレーの発火や破裂につながるため、接点は短絡電流の電磁反発力に

対しオンし続ける必要がある。今回リチウムイオン電池の短絡電流を、内部抵抗の比から従来のニッケル水素電池の2倍と想定し、接点が電磁反発により開離しない電流値を6000 Aとした（以下本電流を短絡耐量と記す）。

一方後者は、メイン回路でのシステム異常など1000A以下の過電流を想定している。このとき、リチウムイオン電池の回生時（通常時と逆方向の電流）の遮断性能（以下逆方向遮断と記す）の目標電圧値・電流値を順方向遮断と同等にDC400 V、1000 Aと設定した。主な目標性能を第1表に示す。

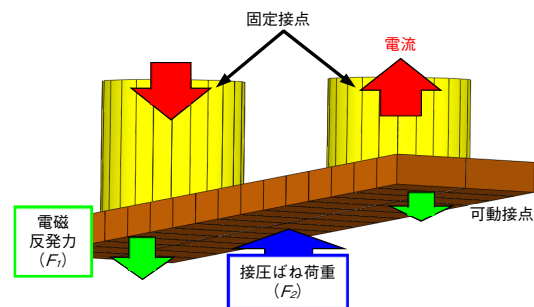
第1表 目標性能
Table 1 Target performance of development

項目		目標値
定格		DC400 V, 120 A
短絡耐量		6000 A
最大遮断 電圧・電流	順方向	DC400 V, 1000 A
	逆方向	DC400 V, 1000 A

3. 短絡耐量の向上技術

3.1 従来の接点機構における課題

第3図に従来の接点機構において、短絡電流が流れたときの可動接点に働く力の関係を示す。電磁反発力 (F_1) と接圧 (F_2) が互いに逆向きに働く。接点が開離しないために F_1 を上回る力を F_2 によって与える必要があった。 F_2 を大きくするには電磁石部を大きくする必要があり、全体のリレー体積も大きくなる。

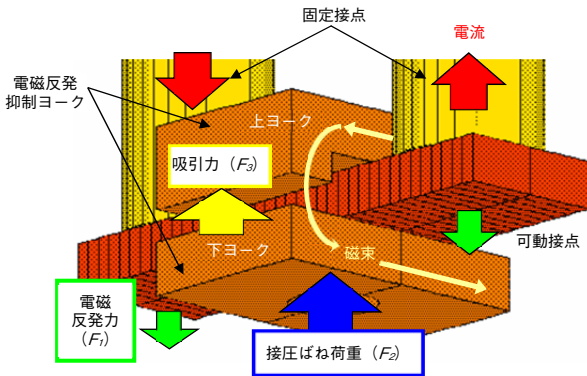


第3図 従来の接点機構における力の関係
Fig. 3 Relation with power in the conventional contact mechanism

3.2 今回開発した接点機構

第4図に、目標の短絡耐量を満足させるための電磁反発力を抑制する機構（以下、電磁反発抑制機構と記す）を示す。可動接点の上下に磁性体のヨークを配置すると

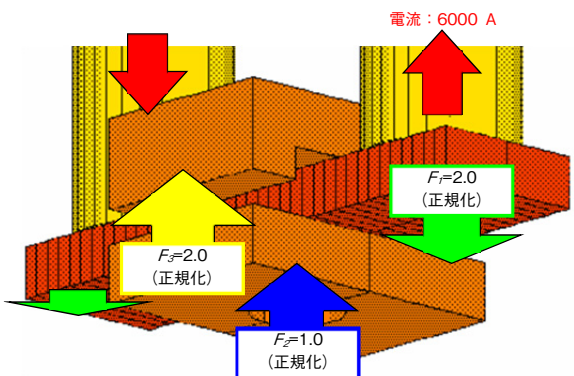
(以下、電磁反発抑制ヨークと記す)、電流が流れたときに電磁反発抑制ヨークを周回する方向に磁束が発生する。それにより、上下の電磁反発抑制ヨーク（以下、上ヨーク、下ヨークと記す）のギャップ間に吸引力 (F_3) が発生する。 F_2 と F_3 の和が F_1 を上回れば ($F_1 < F_2 + F_3$) 接点は開離しない。つまり、 F_3 を大きくできれば、 F_2 は小さくでき、電磁石の小型化によりリレー体積を小さくできる。



第4図 電磁反発抑制機構での力の関係
Fig. 4 Relation with power in the contact mechanism with yoke

3.3 電磁反発抑制機構の磁場解析

第5図は電磁反発抑制ヨークを配置したときの電磁反発力 (F_1)、ヨーク吸引力 (F_3) を解析した結果である。解析は短絡電流を6000 Aで行い、結果は接圧ばね荷重 (F_2) で正規化した値で示す。接圧ばね荷重 (F_2) を1.0としたとき、電磁反発力 (F_1) は2.0、ヨーク吸引力 (F_3) は2.0となり、接点が開離しないことを確認した。

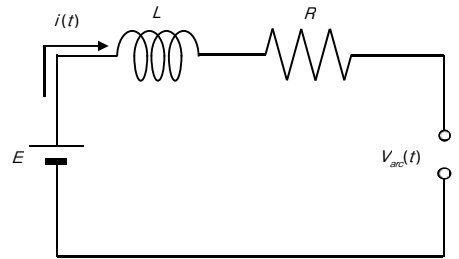


第5図 短絡耐量解析結果
Fig. 5 Analysis result of short circuit tolerance

4. 遮断性能の向上技術

4.1 従来の消弧磁場構成の課題

従来の消弧磁場構成の課題を述べるために、まず直流遮断の条件を説明する。第6図は代表的な直流誘導回路の等価回路である。



第6図 直流負荷等価回路
Fig. 6 DC load equivalent circuit

接点が開きアークが発生したときの過渡現象は (1) 式で表す。

$$E = L(di/dt) + Ri(t) + V_{arc}(t) \dots\dots\dots (1)$$

L : インダクタンス, R : 抵抗, E : 電源電圧,
 V_{arc} : アーク電圧, i : 電流

電流遮断が進行しているとき、

$$di/dt < 0 \dots\dots\dots (2)$$

であるから、

$$L(di/dt) = E - Ri(t) + V_{arc}(t) < 0 \dots\dots\dots (3)$$

すなわち、

$$V_{arc} > E - Ri \dots\dots\dots (4)$$

のアーク電圧を発生させることが遮断進行の必要条件となる。また接点の最小アーク電流（アークを維持できる最小値）を i_{min} とすると、アークが消滅する条件は (5) 式となる。

$$V_{arc} > E - Ri_{min} \dots\dots\dots (5)$$

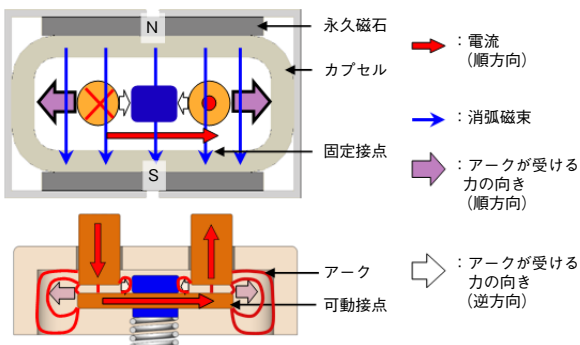
Ri_{min} は E に比べ十分小さいので無視すると、(4) 式から接点間に発生するアーク電圧 V_{arc} が電源電圧 E よりも大きいことで電流遮断の完了する必要条件となる。

ところで、接点間に発生するアーク電圧 V_{arc} は次の三つで構成される。

- (1) 陽極降下電圧
- (2) 陰極降下電圧
- (3) 陽光柱電圧

ここで (1), (2) は接点材料や接点周辺の状態で決定され1接点あたり約15 Vである。(3) の陽光柱電圧は、接点周辺の状態で決まるアークの電界強度と、アークの長さの積で決まる。従ってアークを伸ばすことができれば、高いアーク電圧 V_{arc} が得られ、遮断が完了する。

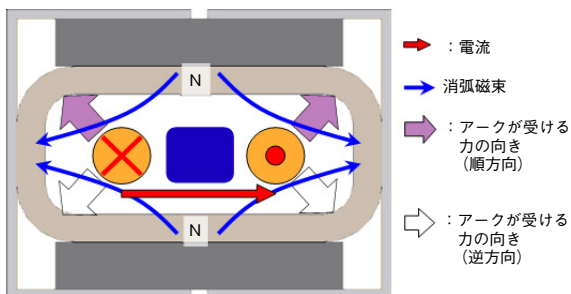
一般に直流リレーでは、接点近傍に永久磁石を配置することでアークを伸ばす。従来のリレーにおける消弧磁場構成とアークの伸びる方向を第7図に示す。アークが伸びる方向はフレミングの左手の法則に基づくローレンツ力の向きで決まるため、順方向のアークはカプセル内壁に当たるまで外側に伸びる。一方、逆方向のアークはローレンツ力が内向きになるが、構造物があることで内側スペースが小さく、アークが伸びることができない。すなわち従来の消弧磁場構成においては順方向に比べ、逆方向の遮断性能が低くなる課題があった。



第7図 従来のリレーの消弧磁場構成
Fig. 7 Magnetic field structure of the conventional relay

4.2 今回開発した消弧磁場構成

4.1節で述べた課題解決のため、今回筆者らが考案した永久磁石の着磁面が同極に対向するように配置した消弧磁場構成（以下、同極対向消弧磁場構成と記す）を第8図に示す。順方向、逆方向、いずれのアークもカプセルの角部に伸びるため、従来の構成より同じ体積でアーク長を長くできる。

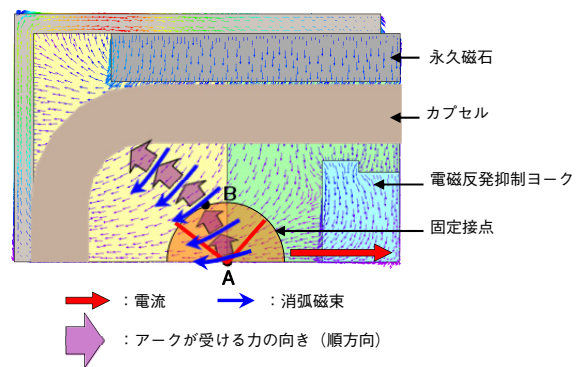


第8図 同極対向消弧磁場構成
Fig. 8 Pole-counteracting magnetic field composition

4.3 同極対向消弧磁場の磁場解析

4.2節で示した同極対向消弧磁場構成においてアーク

が受ける力の向きを磁場解析で確認した。第9図に第8図の左上部における同極対向消弧磁場の磁束のベクトル分布とアークが受ける力の向きを示す。図中の半円は固定接点の位置、右下は3.2節で示した電磁反発抑制ヨークである。磁束分布は想定どおり、点Aでは右から左へ、点Bでは右上から左下へと向かう。この磁束分布に従い、アークにローレンツ力が働くと、まず点Aに発生したアークは接点上方に向かう。そこから、カプセルの左上角部へ伸びる。磁束分布は対称であり、電流が逆方向であればアークはカプセルの左下角部へ伸びることを確認した。



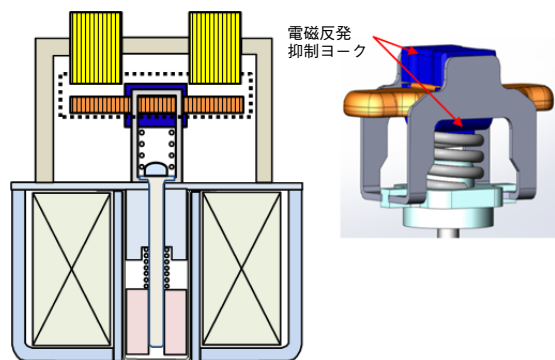
第9図 同極対向消弧磁場解析結果
Fig. 9 Analysis result of the pole-counteracting magnetic field composition

5. 小型化技術を適用したリレーの概要

今回開発したリレーの基本構造および性能について、以下に説明する。

5.1 基本構造

第10図にリレーの基本構造と接点部の詳細を示す。接点上下に電磁反発抑制ヨークを配置することで、短絡電



第10図 リレーの基本構造と接点部の詳細
Fig. 10 Basic structure of a relay and contact part details

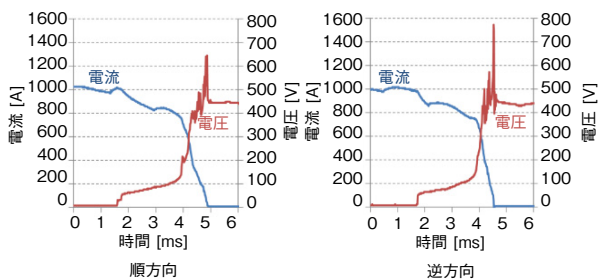
流発生時にも接点をオンし続ける。また、第8図のように磁石を配置することで、逆方向の遮断性能を向上させている

5.2 短絡耐量

今回開発したリレー構成と従来の構成で、リレーの外郭寸法を比較した。従来のリレーに対して、今回開発したリレーの体積は52%低減できた。従来の約半分の体積で接点間に6000 A通電しても接点が開離することなく、オン状態を維持することができた。

5.3 遮断性能

第11図に開発品での順方向、逆方向両方の遮断波形を示す。目標のDC400 V、1000 A遮断で、順方向・逆方向ともに電流値が0まで減衰しており、遮断が完了していることを確認した。



第11図 DC400 V、1000 A遮断波形

Fig. 11 Arc interception waveform at DC400 V, 1000 A

6. まとめ

リレーの短絡耐量と遮断性能を大幅に向上させる技術として、新規の電磁反発抑制機構と消弧磁場構成を開発した。電磁反発抑制ヨークを配置することにより、短絡電流発生時に接点間に生じる電磁反発力を抑制し、従来タイプの体積の約半分で6000 Aの短絡耐量を実現した。同極対向消弧磁場構造により、順方向・逆方向ともにDC400 V、1000 Aの電流遮断を実現した。

今回開発したリレーの小型化技術は環境対応車だけではなく、直流高容量を扱う電力市場、UPS (Uninterruptible Power Supply) 市場など、電設、産機市場の直流用途にも広く応用展開できる。

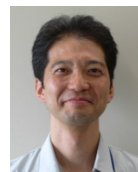
参考文献

- [1] 榎本英樹 他, “EV・HEV用の小型軽量DCパワーリレー,” パナソニック電工技報, vol. 58, no. 4, pp. 11-15, 2010.

執筆者紹介



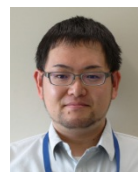
森口 裕亮 Yusuke Moriguchi
オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社 メカトロニクス事業部
Electromechanical Control Business Div.,
Automotive & Industrial Systems Company



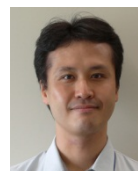
榎本 英樹 Hideki Enomoto
オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社 メカトロニクス事業部
Electromechanical Control Business Div.,
Automotive & Industrial Systems Company



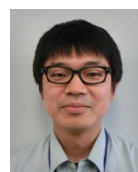
山本 律 Ritsu Yamamoto
オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社 メカトロニクス事業部
Electromechanical Control Business Div.,
Automotive & Industrial Systems Company



福田 純久 Yoshihisa Fukuda
オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社 メカトロニクス事業部
Electromechanical Control Business Div.,
Automotive & Industrial Systems Company



尾崎 良介 Ryosuke Ozaki
オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社 メカトロニクス事業部
Electromechanical Control Business Div.,
Automotive & Industrial Systems Company



池田 陽司 Yoji Ikeda
パナソニック デバイス帯広 (株)
Panasonic Industrial Devices Obihiro Co., Ltd.