

EV・HEV用の小型軽量DCパワーリレー

Compact and Lightweight DC Power Relay for Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles

榎本 英樹* ・ 山本 律** ・ 伊東 督裕** ・ 上岡 克嘉***
Hideki Enomoto Ritsu Yamamoto Masahiro Ito Katsuyoshi Kamioka

電気自動車・大型ハイブリッド車用の高出力モータや大容量バッテリーに対応する直流高電圧制御が可能な DC パワーリレーにおいて、接圧ばねのばね定数を大きくするとともに接点押込量を小さくして電磁石の吸引力とばね負荷の整合を保ったまま接点荷重を増加させるとともに、接点材料を固有抵抗値が小さく硬度の低い銅系材料にすることで、接触抵抗を 32 % まで低減して DC 400 V で 120 A の通電性能を実現した。このリレーは当社従来品の構成をベースとしたものに対し、体積では 30 %、質量では 35 % 小型・軽量化を達成している。

In a DC power relay capable of controlling high DC voltages for high-output motors and large capacity batteries used for electric vehicles and large hybrid electric vehicles, the contact resistance has been reduced to 32%, and thus the operation characteristics of 120 A at DC 400 V has been achieved by two means: the first means is to increase the contact load while maintaining the consistency between electromagnet force and spring load by increasing the constant of contact-pressure-spring and reducing the contact push-in distance; the second means is to use the copper-based contact material having the characteristics of low resistivity and hardness. This relay is 30% smaller in volume and 35% lower in mass compared to the previous product.

1. ま え が き

地球温暖化などの環境問題への対策から、国内外の自動車メーカは電気自動車（以下、EV と記す）の開発を活発に行っている。また、ハイブリッド車（以下、HEV と記す）はすでに普及期に入り、大型車や RV 車などへも展開されつつある。

EV や大型 HEV では、大きなモータ出力を要するため、これらに搭載されるバッテリーも高容量のものになる。また、高容量のバッテリーに対応するためには、通電性能の高いリレーが必要となる。さらに、車両の居住性の観点からリレーに対する小型・軽量化の要求も強くなる。

リレーの通電性能を向上させるためには、リレー接点の温度上昇を抑制することが重要で、その接触抵抗を低減する必要がある。一方、接点荷重を増加させることで接触抵抗を小さくできるが、接点荷重以上に電磁石の吸引力がなければリレーは動作しない。つまり、接点荷重を増加させると吸引力も増加させる必要がある。しかし吸引力を増加

させるためには電磁石を大きくする必要があり、リレーの大型化につながることから、高容量化と小型化は相反する関係にあるといえる。

そこで筆者らはばね負荷特性と接点材料に注目し、吸引力特性にばね負荷特性を整合させることで電磁石のサイズを大きくすることなく接点荷重を増加させるとともに、接点材料を固有抵抗値の小さいものにして通電性能を高め、EV や大型 HEV 用の小型で軽量の DC パワーリレーを開発する。

具体的には、EV や大型 HEV のバッテリーをオン／オフ制御するメインリレーを想定し、電圧は DC 400 V、電流は従来品 80 A の 1.5 倍となる 120 A に高容量化するとともに、車両の衝突事故などでモータやインバータなどの負荷側が短絡してもバッテリーとボディや車室内との絶縁を確保するため、遮断電流を DC 300 V、1200 A と開発目標を設定する。また、コイルの消費電力は従来品と同等の 4.2 W とする（表 1）。

* 制御機器本部 制御技術応用研究所 Automation Control Technology Application Development Laboratory, Automation Controls Business Unit

** 制御機器本部 スイッチングデバイス事業部 Switching Device Division, Automation Controls Business Unit

*** パナソニック電工帯広（株） Panasonic Electric Works Obihiro Co., Ltd.

表1 開発目標

項目	開発品	従来品
定格制御容量	DC 400 V, 120 A	DC 400V, 80A
最大遮断電流	DC 300 V, 1200 A (1 回以上)	DC 300 V, 800 A (1 回以上)
機械的寿命	20 万回以上	20 万回以上
電氣的寿命 (抵抗負荷)	DC 400 V, 30 A, 3000 回以上	DC 400 V, 80 A, 1000 回以上
コイル定格電圧	12 V	12 V
コイル定格消費電力 (20 ℃)	4.2 W	4.2 W
使用温度範囲	-40~80 ℃	-40~80 ℃

2. 通電性能の向上

2.1 通電性能向上の要因

リレーは、制御系デバイスとともにユニットボックス内に搭載される。ユニットボックスは樹脂で作られることが多く、リレーの温度がこの樹脂の耐熱温度を超えてはならない。つまり、リレーの通電性能を向上させるための課題は、連続通電時の温度上昇の抑制である。

リレーの場合、接点の接触部分に電流が流れるときの発熱量と、端子やケーブルからの放熱量とのバランスによって端子部の温度上昇値が決まる。放熱量はケーブルのサイズやバスバー形状の影響を受けるが、これらを細かく規定することはユーザ側の使い方を制限することになる。したがって、発熱量を低減する方法、つまり接触抵抗の低減について検討を行う。

接点の接触抵抗 R は、集中抵抗 R_c と境界抵抗 R_f との和、つまり次に示す式 (1) で表される¹⁾。

$$R = R_c + R_f \quad (1)$$

R_c は、金属同士が接触し、電流が接触部分に集中して流れることによって生じる抵抗である。 R_f は接点表面の抵抗であり、とくに皮膜の存在による抵抗を皮膜抵抗という。

開発するリレーでは、水素が充填された雰囲気中に接点が配置されているため、接点表面に酸化皮膜が形成される可能性が低く接圧も十分に大きいことから R_f はきわめて小さいと仮定し、 R_c についてのみ考慮すると R は式 (2) で表される。

$$R \cong R_c = \frac{\rho}{2a} \quad (2)$$

ここで、 ρ は固有抵抗、 a は接触部半径を示す。

接点荷重が大きく、接点が塑性変形する領域においては、 a は式 (3) で表される。

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi H}} \quad (3)$$

ここで、 P は接点荷重、 H は硬さを示す。

式 (2) および式 (3) から次の式 (4) が得られる。

$$R = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi H}{P}} \quad (4)$$

式 (4) から接触抵抗 R は、接点荷重 P 、および接点材料にかかわる固有抵抗 ρ と硬さ H で決まることがわかる。

これらの結果を要因分析図にまとめると図 1 のようになる。

2.2 接点荷重の検討

接触抵抗 R と接点荷重 P が式 (4) で示す関係となることから、接触抵抗を低減するには接点荷重を増加させる必要がある。

ここで、リレーのばね荷重と吸引力の関係について説明する。電磁石のコイルに電圧を印加してコイルを励磁状態にすると、電磁石に吸引力が生じる。図 2 に示すように、吸引力がばね荷重を上回るとリレーがオン状態で保持される。逆にコイル励磁をオフにすると、ばね荷重によって接点が元の位置に復帰してオフ状態となる。

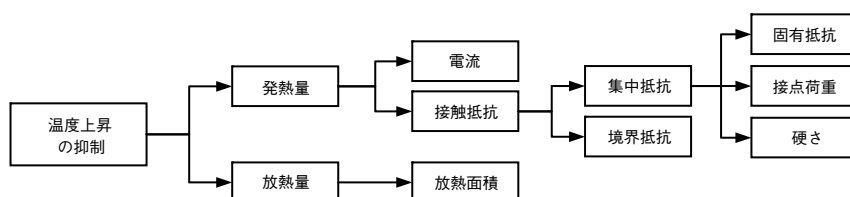


図1 温度上昇抑制に関する要因分析図

次にばね荷重を増加させる場合を考える。図3の太線で示すように、オフセットさせて接点荷重を増加した場合、電磁石の吸引力よりもばね荷重が大きくなる領域が発生するため、リレーは正常にオン動作しなくなる。したがって、図3の太破線に示すように、ばね荷重を大きくした分だけ吸引力を大きくする必要がある。吸引力を大きくするためには起磁力を大きくする必要がある。起磁力はコイル電流と巻数によって決まるため、コイル消費電力を増加させて電流を大きくするか、コイルサイズを大きくして巻数を増加するか二つの方法が考えられる。しかし、コイル消費電力、外形サイズともに従来品の80 Aタイプと同等であることが目標であり、どちらも大きくすることはできない。つまり、吸引力特性を大きくできないため、ばね荷重も吸引力特性を超えない範囲で設定する必要がある。

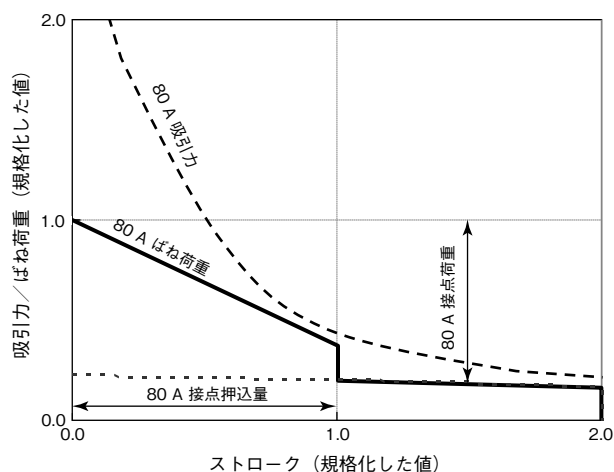


図2 従来品80 Aタイプの吸引力・ばね負荷特性

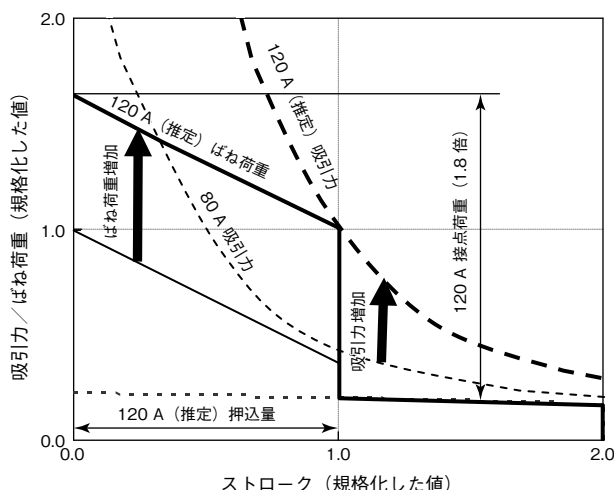


図3 接点荷重増120 Aタイプの吸引力・ばね負荷特性

そこで、図4に示すように、接圧ばねのばね定数を大きくするとともに接点押込量を小さくすることで、吸引力とばね荷重の大小関係を維持したまま接点荷重を増加させる。これにより、電磁石のサイズや消費電力を大きくすること

なく、接点荷重は80 Aタイプに比べて1.8倍まで大きくできる。この場合、式(4)から、 R は $\sqrt{P}$ に反比例して $1/\sqrt{1.8} \approx 0.75$ 倍となるため、接触抵抗は従来品の80 Aタイプに比べて75 %まで低減できる。

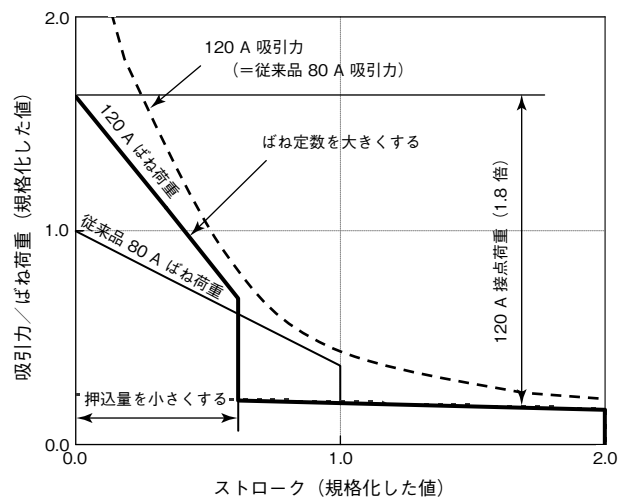


図4 開発品120 Aタイプの吸引力・ばね負荷特性

2.3 接点材料の検討

リレー接点に電流 I が流れた場合の発熱量 Q は、 $Q \propto I^2 R$ の関係が成立する。発熱量を一定のままで通電電流を1.5倍にするには、接触抵抗 R を $1/1.5^2$ 以下にする必要があり、その目標値は44 %以下となる。前節の接点荷重の検討から接触抵抗を75 %まで低減できるが、120 Aの通電性能を確保するためには十分ではない。そこで、80 Aタイプの接点材料に対し、120 Aタイプでは固有抵抗 ρ が小さく、硬さ H が低い銅系の接点材料を用いることで接触抵抗の低減を図る。

図5は、リレーの接点荷重と接触抵抗の関係を示すグラフである。

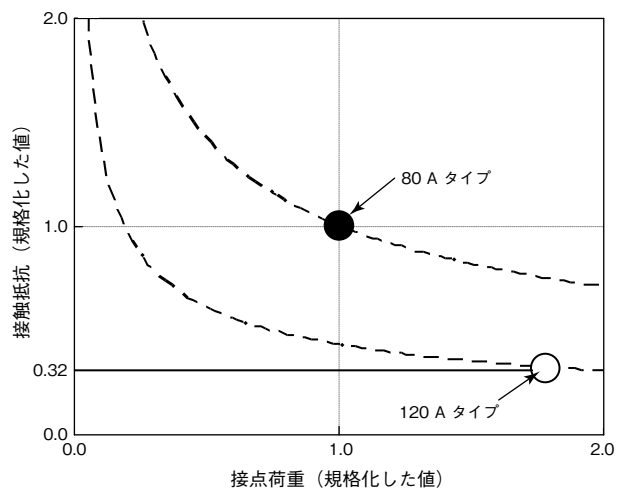


図5 接点荷重と接触抵抗の関係

黒丸は従来品 80 A タイプでの接点荷重と接触抵抗の測定値、白丸は開発品 120 A タイプでの測定値である。ただしこのグラフは、従来品 80 A タイプの接点荷重および接触抵抗の値を 1 として規格化している。いずれの接点材料も大気中では酸化するため、接点荷重を変化させながらの測定は難しい。そこで、接点荷重と接触抵抗の関係は式 (4) を基に推定して図中に破線で示す。接点材料を変更することにより、従来品 80 A タイプに比べて接触抵抗は 32 % となり、120 A 通電に必要な接触抵抗値まで低減できる。

3. 開発したリレーの概要

3.1 基本構造

開発した 120 A タイプリレーの外観を図 6 に、内部構造を図 7 に示す。開発品は接点部と電磁石部の二つのブロックに大別される。



図6 120 A タイプリレーの外観

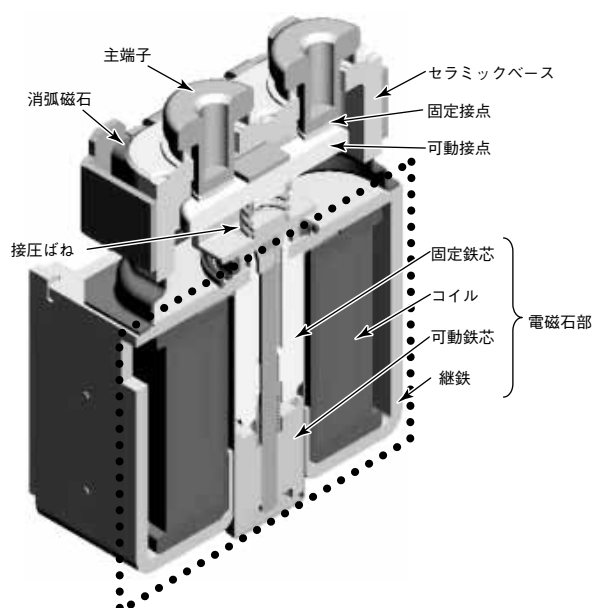


図7 120 A タイプリレーの内部構造

接点部はセラミックスと金属で構成された容器内に収納し、アーク冷却効果の高い水素ガスを充填する。電磁石部はコイルに通電することによって可動鉄芯を動作させ、接点のオン状態を維持する。外形や質量、通電性能を除く他の基本特性は従来品 80 A タイプと同等である。

3.2 定格制御容量とサイズおよび質量

リレーの定格制御容量と、その体積および質量には関係がある。図 8 および図 9 に、当社従来品の直流高電圧リレー (10 A, 20 A, 80 A, 300 A タイプ) の定格制御容量と体積および質量の関係を示す。

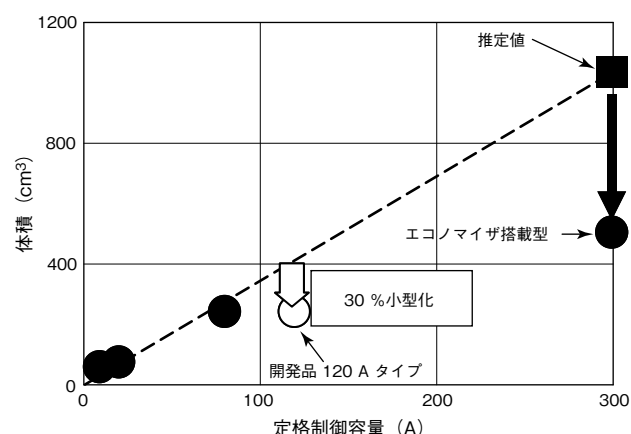


図8 定格制御容量と体積の関係(当社従来品との比較)

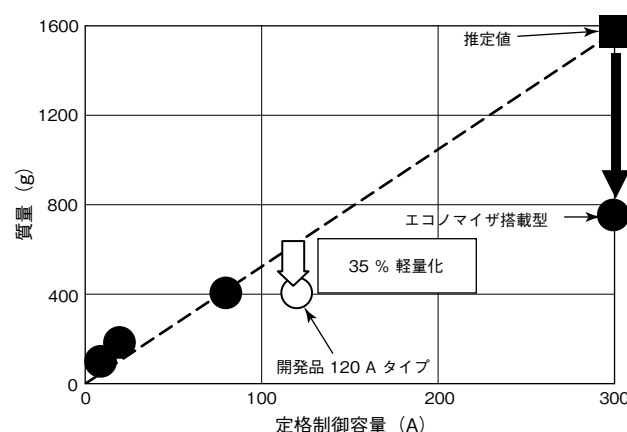


図9 定格制御容量と質量の関係(当社従来品との比較)

ただし 300 A タイプは、大きな吸引力が必要となる動作時だけコイル電流を大きくし、保持時は消費電力を低減する目的でコイル電流を小さくするエコマイザ回路を搭載している²⁾。これを搭載すると電磁石吸引力を効率的に使えるため、電磁石が小型化できる。しかしこの回路の適用には、チップや基板のコストアップや搭載するスペースが必要になるというデメリットもある。これらのことから、エコマイザ回路はコイルの小型化によるコスト低減効果が期待できる大型リレーにおいてとくに有効である。なおここでは、エコマイザ回路による小型化の効果は除いて

比較している。

開発した 120 A タイプの体積と質量を図中に白丸で示しているが、体積では 30 % の小型化を、質量では 35 % の軽量化を達成していることがわかる。

3.3 通電性能

開発品の通電性能評価として周囲温度 80 °C，コイル電圧 DC 16 V の条件下で 120 A の連続通電を行った結果，主端子温度は目標 150 °C 以下に対して 130 °C，コイル温度は目標 155 °C 以下に対して 144 °C となり，先に述べたユニットボックスの耐熱性にも問題ないレベルに収まっている。

3.4 遮断性能

直流高電圧の電流は，接点間のアーク電圧を電源電圧以上にすることで遮断できる³⁾。そこで，セラミックスおよび金属で構成した容器内に 2.3 節で述べた銅系接点を直列 2 対に配置し，アーク冷却性能の高い水素ガスを容器内に充填することでアーク電圧を高めて速やかに電流を遮断できる構成にしている。

図 10 に開発品での遮断試験結果を示す。目標の DC 300 V，1200 A の遮断において，遮断時間が約 3 ms と十分に短く，安定した遮断波形が得られている。

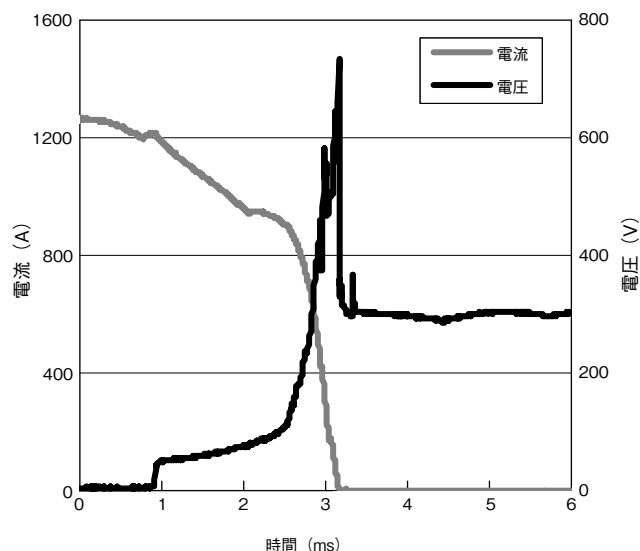


図 10 開発品 120 A タイプの遮断試験結果(DC 300 V, 1200 A 遮断)

4. あとがき

電気自動車・大型ハイブリッド車用の高出力モータや大容量バッテリーに対応する直流高電圧制御が可能な DC パワーリレーにおいて，接圧ばねのばね定数を大きくするとともに接点押込量を小さくして電磁石の吸引力とばね負荷の整合を保ったまま接点荷重を増加させることと，接点材料を固有抵抗値が小さく硬度の低い銅系材料にすることで接触抵抗を 32 % まで低減し，DC 400 V で 120 A の通電性能を実現した。このリレーは当社従来品の構成をベースとしたものに対し，体積では 30 %，質量では 35 % 小型・軽量化を達成した。

開発したリレーは EV や大型 HEV だけでなく，太陽光発電や燃料電池などの電力用途，データセンタや一般家庭の直流配電用途にも応用できる。

*参考文献

- 1) 眞野 國夫：リレーハンドブック，森北出版株式会社（1992）
- 2) 魚留 利一，榎本 英樹，来住 英樹，藤村 俊典：燃料電池車向け小型低消費電力 DC パワーリレー，松下電工技報，Vol. 54, No. 2, p. 15-19（2006）
- 3) 山本 律，魚留 利一，吉谷 克美，山田 哲也：ハイブリッド車向け小型長寿命予備充電リレー，松下電工技報，Vol. 54, No. 2, p. 20-25（2006）

◆執筆者紹介



榎本 英樹
制御技術応用研究所



山本 律
スイッチングデバイス事業部



伊東 督裕
スイッチングデバイス事業部



上岡 克嘉
パナソニック電工帯広（株）