

高過電流耐量を備えた密閉型高電圧コンタクタ「SVE135」

“SVE135” Sealed High-Voltage Contactor Having High Overcurrent Withstand Capability

中 康弘 NAKA, Yasuhiro

柴 雄二 SHIBA, Yuji

櫻井 裕也 SAKURAI, Yuya

大容量バッテリーを搭載した環境対応自動車の普及に伴い、その急速充電用回路には、事故時を想定した高い過電流耐量を備えたコンタクタが求められている。富士電機はこの要求に応え、環境対応自動車における安全性向上に寄与するため、独自接点構造を採用した密閉型高電圧コンタクタ「SVE135」を開発した。独自の接点構造により、接点の接触圧力を高めることなく短絡電流が流れた際に発生する電磁反発力の大部分を相殺可能とし、小型・軽量でありながら、従来比で2倍以上となる20kAの高過電流耐量を実現した。

The spread of environmentally friendly vehicles mounted with large-capacity batteries has required that quick charging circuits be equipped with contactors capable of high overcurrent withstand capability during times of failure or accident. In response to this demand, Fuji Electric has developed the “SVE135” sealed high-voltage contactor as a unit that adopts a unique contact structure that contributes to improving the safety of environmentally friendly vehicles. This unique contact structure makes it possible to cancel out most of the electromagnetic repulsive force generated at the time of short-circuit current flow without increasing the contact pressure of the contact. As a result, this compact and lightweight unit has achieved a high overcurrent withstand capability of 20 kA, which is more than twice as high as the previous model.

1 まえがき

近年、地球温暖化防止に向けて、低炭素社会への転換が世界的に取り組まれている。発電分野や配電分野では、大規模な太陽光発電設備の建設など再生可能エネルギーを活用した直流配電システムの普及が進んでいる。また、自動車分野でも米国におけるZEV規制や欧州でのCO₂排出量規制により、大容量バッテリーを搭載した環境対応自動車の普及が加速的に進むと予想される。こうした背景の中、開閉制御機器分野においては高電圧の直流を安全に制御するための機器が目ざされている。

特に自動車分野においては、充電効率を高めて充電時間を短縮するためのバッテリーの高電圧化が進み、DC400Vを超える高電圧に対応した小型で安全性の高い直流コンタクタが求められている。

本稿では、2017年4月に発売した密閉型高電圧コンタクタ「SVE135」について述べる。

2 開発の背景と仕様

車載向けとして使用されている高電圧対応の直流コンタクタは、従来のような接点がむき出しの開放型と異なり、接点部を密閉容器内に配置した密閉型が主流となっている。その理由として、主に次の三つが挙げられる。

- (a) 密閉容器内を遮断に適した環境とすることで遮断性能を高め製品の小型化が可能である。
- (b) 外部からの異物侵入がないため接触信頼性が高い。
- (c) 遮断時のアークによる外部へのダメージが少ない。

図1に一般的な電気自動車(EV)の高電圧回路構成を示す。モータやインバータ、大容量バッテリーを搭載し、これらをつなぐ回路にはそれぞれの用途に適した密閉型コ

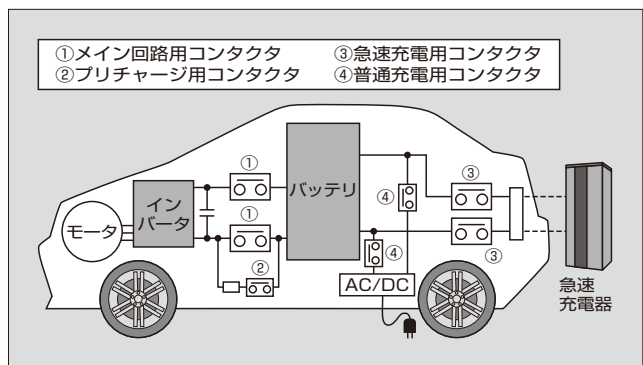


図1 電気自動車の高電圧回路構成

ンタクタが搭載されている。その中で、図中③で示す急速充電用コンタクタは、主にバッテリーを急速充電する際に使用される回路の開閉・保護を担う。

EV普及における最大の課題として、充電時間の短縮と航続距離の延長が挙げられる。現在、主流となっているリチウムイオン二次電池は、他の二次電池と比べて内部抵抗が小さく、エネルギー密度が高いため高出力・大容量化に適しており、各国で研究が進められている。ここで、バッテリー性能の向上に伴いコンタクタ側で問題となるのが、事故時を想定した過電流耐量である。

万が一、短絡事故が発生した場合に、回路を安全に切り離すためのヒューズが溶断するまで、コンタクタは短絡電流に耐えなければならない。しかし、大きな電流がコンタクタに流れると、コンタクタの接点接触部で発生する電磁反発力により、ON状態が維持できずに接点が浮き上がり接点間にアークが発生してしまう。発生したアークにより温度が上昇し、その結果、密閉型コンタクタでは密閉容器内の内圧が異常に高まることで、破裂・発火といった破損が生じる可能性がある。

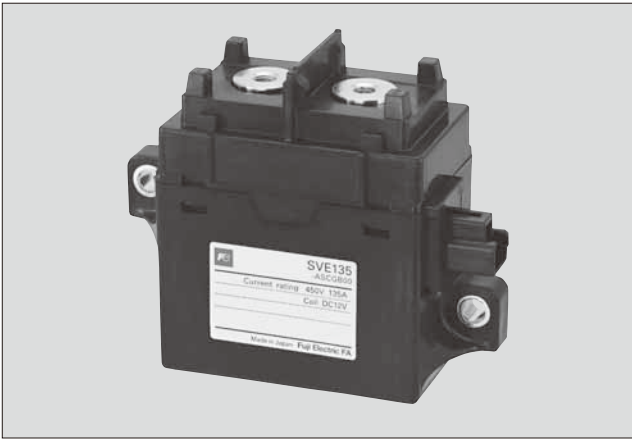


図2 密閉型高電圧コンタクタ「SVE135」

表1 「SVE135」の代表的な仕様

項目	仕様
定格電圧/電流	DC450V/135A
遮断性能	DC450V/400A, 50回
過電流耐量	20kA 50ms
主回路極性	なし(双方向遮断可能)
誤動作衝撃	全方向490m/s ² 以上

このコンタクタが耐えられる最大電流および通電時間を規定したものが、過電流耐量である。バッテリーが高出力・大容量化するほど、事故時に流れる短絡電流は大きくなり、コンタクタに求められる過電流耐量も高くなる。

富士電機はこうした要求に応えるため、高過電流耐量を備えた密閉型高電圧コンタクタ(HVC: High Voltage Contactor)「SVE135」を開発した(図2)。表1にその代表的な仕様を示す。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 独自接点構造による高過電流耐量
- (2) 接点部密閉構造による小型化と高接触信頼性
- (3) 主回路±無極性化と正逆両方向同一遮断性能
- (4) 全方向取付可能

3 開発品の構造と特徴

3.1 接点構造と過電流耐量の向上

一般的にコンタクタの過電流耐量性能を決めるパラメータは、接点の接触圧力である。コンタクタがON状態で主回路に短絡電流のような大きな電流が流れた場合、図3に示すように接点接触部において電流の集中と拡散が発生し、可動接点と固定接点の間において、互いに離れようとする電磁力(電磁反発力)が発生する。この電磁反発力は電流値の二乗に比例し、その反発力による接点の浮き上がりを防ぐためには、反発力よりも接点の接触圧力を高める必要がある。しかし、接触圧力を高めると、それを駆動するために大きな電磁石吸引力が必要となり、製品の大型化や電磁石の消費電力の増大が起こる。

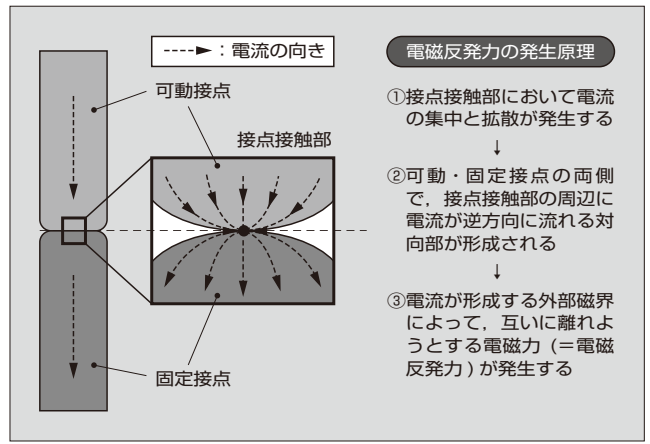


図3 接点接触部における電磁反発力の発生原理

図4に今回開発したHVCの接点部の構造を示す。可動接点を挟むように固定接点をコの字形状とすることで、可動接点と固定接点に電流が逆方向に流れる対向した平行導体部を形成している。

一般的に二つの平行導体に同じ電流が逆向きに流れると、その距離Lや電流Iに応じ、互いに離れようとする方向に式(1)で表される電磁力Fが発生する。

$$F = \frac{\mu}{2\pi L} I^2 \dots \dots \dots (1)$$

F: 単位長さ当たり働く電磁力 (N/m)

μ: 透磁率

L: 平行導体間の距離 (m)

I: 平行導体に流れる電流 (A)

この原理を利用し、可動接点に対して接点接触部で発生する電磁反発力とは逆方向に抑え込む力、すなわち平行導体部の電磁力を発生させることを可能とした(図5)。この電磁力も式(1)より電流値の二乗に比例する。つまり、平行導体部の長さや距離といった寸法の設計パラメータによって発生させる力を制御でき、接点接触部で発生する電磁反発力の大部分を相殺可能である。

結果として、過電流耐量を高めたい場合に従来のように大きな接触圧力を設定する必要がなくなり、安定した接点動作を維持するための必要最小限の接触圧力を確保するだ

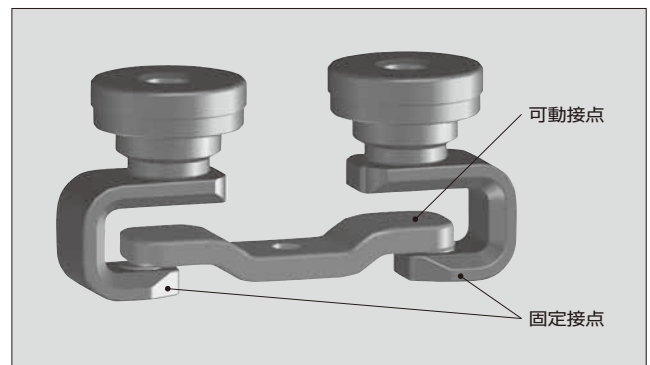


図4 HVCの接点部構造

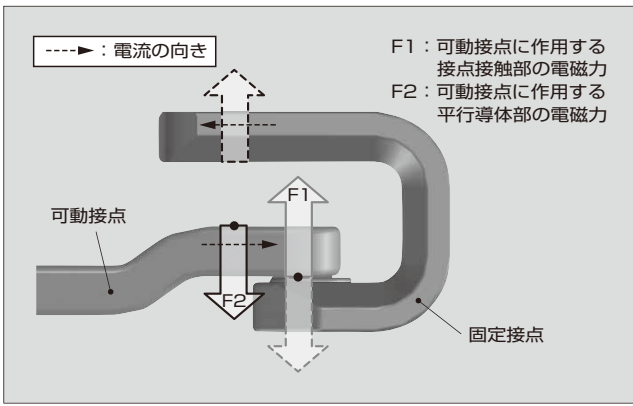


図5 可動接点に作用する力

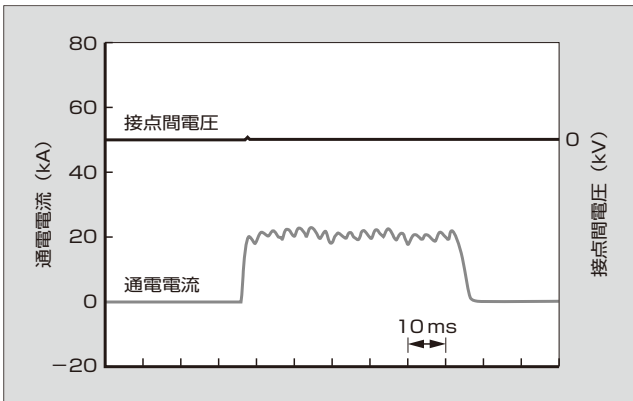


図6 20 kA 通電時の試験波形

けて、非常に大きな過電流耐量性能を実現できる。

図6に、開発目標であった20 kA/50 msの過電流を主回路に通電した際の試験結果を示す。20 kAの電流が流れている時間、コンタクタの接点間電圧は安定しており、接点が浮き上がることによるアーク電圧が発生していないことを確認できた。

図3のような一般的な突き当て型の接点構造の場合、製品外形寸法などの制約から、設定できる接点の接触圧力にも制限がある。試算では接触圧力のみで過電流耐量を高めようとした場合、9 kA程度が限界となる。

今回開発したHVCは、その2倍以上の高過電流耐量を備えており、今後、さらにバッテリー性能が向上し、短絡電流が増大しても、より安全なコンタクタとして提供できる。

3.2 接点部密閉構造と直流遮断技術

一般的な直流遮断と交流遮断の原理について、図7に示す。電流ゼロ点が周期的に生じる交流と異なり、ゼロ点が生じない直流の遮断においては、接点間に発生するアーク電圧を電源電圧以上に高めることで強制的にゼロ点を作り接点間の絶縁を回復する必要がある。

アーク電圧を高める最も一般的な方法は、アークを引き伸ばすことである。従来の開放型直流コンタクタでは、永久磁石を用いてアークを消弧スペースに引き伸ばすことで遮断性能を高める磁気駆動方式を採用していた。しかし、数百Vを超える高電圧遮断ができるようにアーク電圧を

	直流遮断	交流遮断
電流波形	(I) ↑ 電流ゼロ点なし 0 → (t)	(I) ↑ 電流ゼロ点 0 → (t)
遮断プロセス	①接点間でアークを発生させ、電流を限流する	①接点間でアークを発生させ、電流を限流する
	②アーク電圧を電源電圧以上に高め、ゼロ点を作る	②一定周期でゼロ点を迎える
	③接点間のアークを消弧する	③接点間のアークを消弧する
	④接点間の絶縁を維持する	④接点間の絶縁を維持する

図7 電流の違いによる遮断原理

高めるためには、消弧スペースの大型化が避けられない。

そこで、HVCでは、永久磁石を用いた磁気駆動方式に加えて接点部を密閉容器内に配置し、そこに遮断性能を高める遮断用ガスを封入することで、従来の開放型直流コンタクタに比べて大幅な小型・軽量化を実現した。図8に従来品との比較を示す。

さらに、EVにおける急速充電用回路はV2H (Vehicle to Home) にて車両側から外部に電力を供給する場合にも使用されることがある。この際、コンタクタには通常の急速充電時とは逆方向の電流が流れることになり、逆方向における遮断性能も正方向と同等レベルに要求される。そこで、図9に示すように電流がどちらの方向に流れていても、同じだけアークが引き伸ばせるように永久磁石と消弧スペースの配置を工夫し、この問題を解決した。

図10に、DC450 V/400 Aを正方向および逆方向でそれぞれ50回連続遮断した際の遮断時間の推移を、図11にその代表波形を示す。この結果から、正方向・逆方向ともに非常に安定した遮断性能を持っていることが確認できる。

さらに、双方向同一遮断性能を実現したので、配線時における主回路の極性間違いを心配する必要がなくなり、顧客の作業性と装置の安全性が向上する。

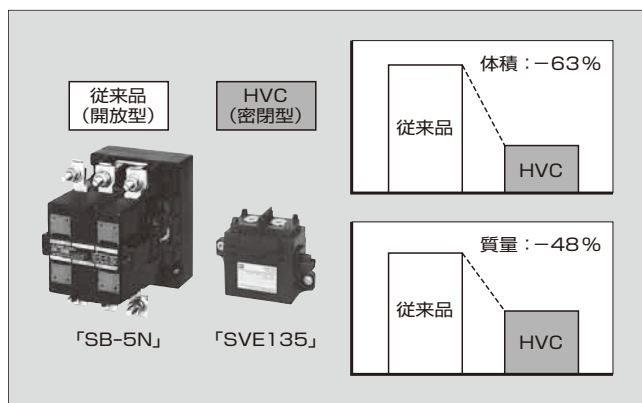


図8 「SBシリーズ」(従来品) との比較

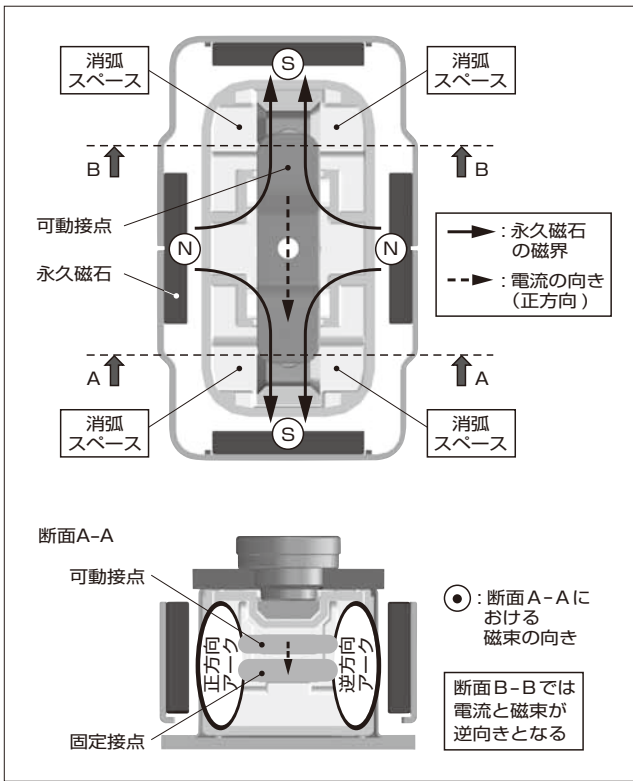


図9 遮断部構造とアーク駆動原理

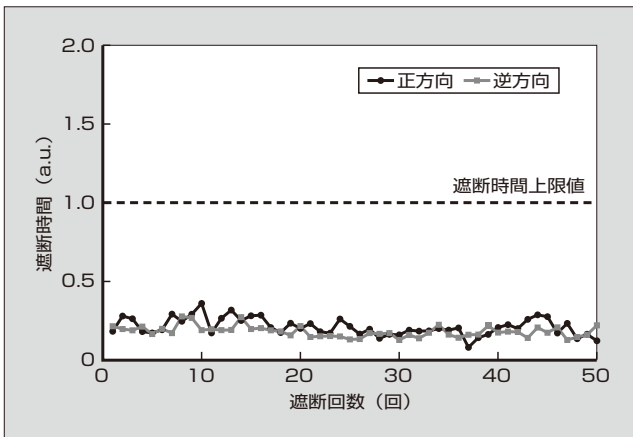


図10 DC450V/400Aの遮断時間推移

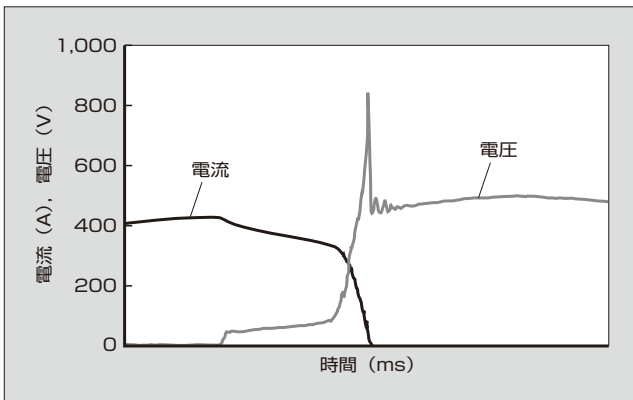


図11 DC450V/400Aの遮断波形

3.3 高効率電磁石構造と誤動作衝撃性能

車載向けのコンタクタに求められる耐衝撃性能は、産業向けに比べてはるかに要求が高く、あらゆる方向からの衝撃が想定され、取付方向も多様である。

構造的にコンタクタは接点の駆動軸方向に対する外部からの衝撃に弱く、特に接点がOFF状態において誤動作衝撃性能が最も低下する。そのため、他の方向に比べて誤動作衝撃の保証値を下げたり、取付方向を制限したりすることが一般的であった。しかし、これによりコンタクタを扱う顧客側で機器のレイアウトに制限を生じさせてしまっている。

そこで、取付方向の制限をなくすため、接点部密閉構造に対応した高効率直流電磁石を開発した。図12に、今回開発した電磁石構造を、図13にその磁気回路構成を示す。この構成は、磁気回路内に永久磁石を配置し、積放状態を維持するための補助的な付勢力としてその永久磁石の磁力を活用する単安定有極電磁石方式である。HVCで初めてこの方式を採用した。

図13に示したように、電磁石が積放状態にある場合、

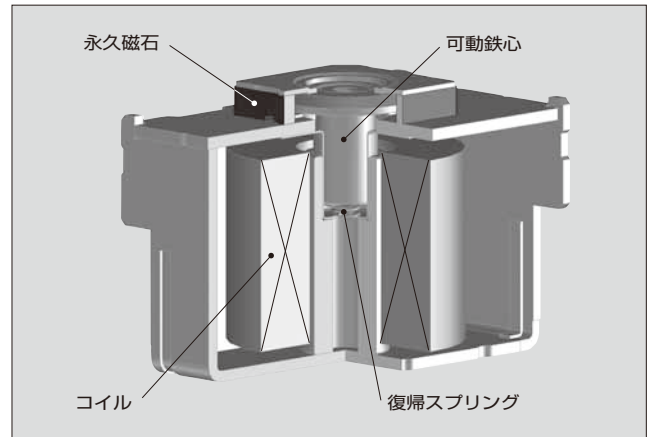


図12 電磁石の構造

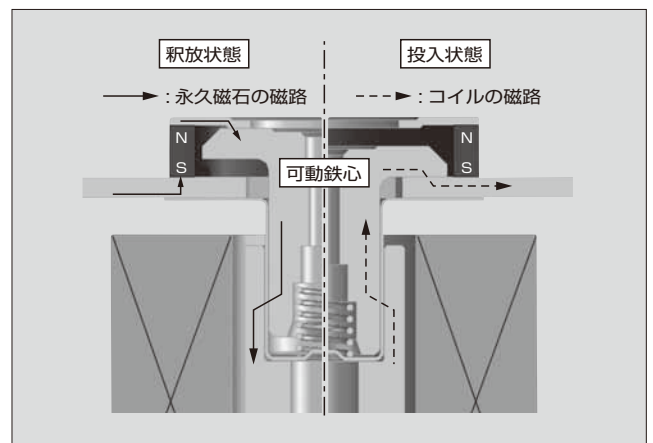


図13 磁気回路の構成

〈注〉付勢力：積放状態を維持するため、可動接点を含む可動部を積放方向に押えつけようとする力

可動鉄心には復帰スプリングの荷重と永久磁石の磁力が作用している。また、コイルに電圧を印加し、可動鉄心を投入状態とした場合、この永久磁石は磁気回路から切り離され、電磁石特性に影響を与えることはない。

図14に、従来品と開発品における負荷特性の模式図を示す。

従来品では、コンタクタがOFF時の誤動作衝撃性能を高めるためには、図中に付勢力として示した復帰スプリング荷重が重要となる。この荷重を高めればOFF時の誤動作衝撃性能は高まるが、同時に電磁石が吸引すべき負荷特性全体が大きくなってしまふ。

開発品では、図14(b)に示すように釈放状態にて永久磁石の磁力を活用できるため、釈放方向への付勢力を高めたまま復帰スプリングの荷重を全体的に低減できる。つまり、効率的に誤動作衝撃性能を高めた上で、負荷特性全体は低減できるため、電磁石を小さくすることができる。

これにより、開発目標であった 490 m/s^2 の衝撃に対し、全ての方向で誤動作が発生しないことを確認した。

通常、 490 m/s^2 以上の誤動作衝撃性能があれば、コンタクタのレイアウトにおいても取付方向を制限する必要がなくなり、顧客でのレイアウト設計における自由度が増すことになる。

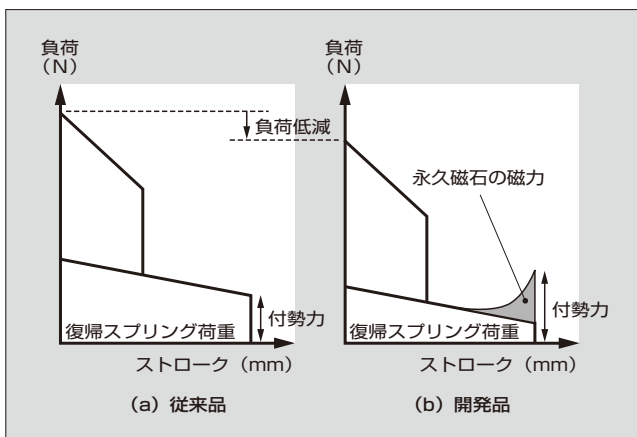


図14 負荷特性の模式図

4 あとがき

本稿では、高過電流耐量を備えた密閉型高電圧コンタクタ「SVE135」について述べた。

今後、急速な普及拡大が予想されるEV向けのコンタクタに対し、さらなる高電圧化への製品技術対応など、市場ニーズに沿った開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 経済産業省. “EV・PHV ロードマップ検討会報告書 2016.3.23”. <http://www.meti.go.jp/press/2015/03/20160323002/20160323002-3.pdf>. (参照 2017.08.18).
- (2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO). “NEDO二次電池技術開発ロードマップ2013 2013.8”. <http://www.nedo.go.jp/content/100535728.pdf>. (参照 2017.08.18).



中 康弘

電磁開閉器の開発設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発本部次世代開発プロジェクト部アシスタントマネージャー。



柴 雄二

電磁開閉器の遮断要素技術開発に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発本部技術開発部。



櫻井 裕也

電磁開閉器の開発設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社開発本部次世代開発プロジェクト部。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。