

電磁開閉器のカドミウムフリー化

稲口 隆* 河合秀泰***
堀田克輝** 牧野智史†
竹本智彦***

Cadmium Free of Magnetic Contactor

Takashi Inaguchi, Katsuki Hotta, Tomohiko Takemoto, Hideyasu Kawai, Satoshi Makino

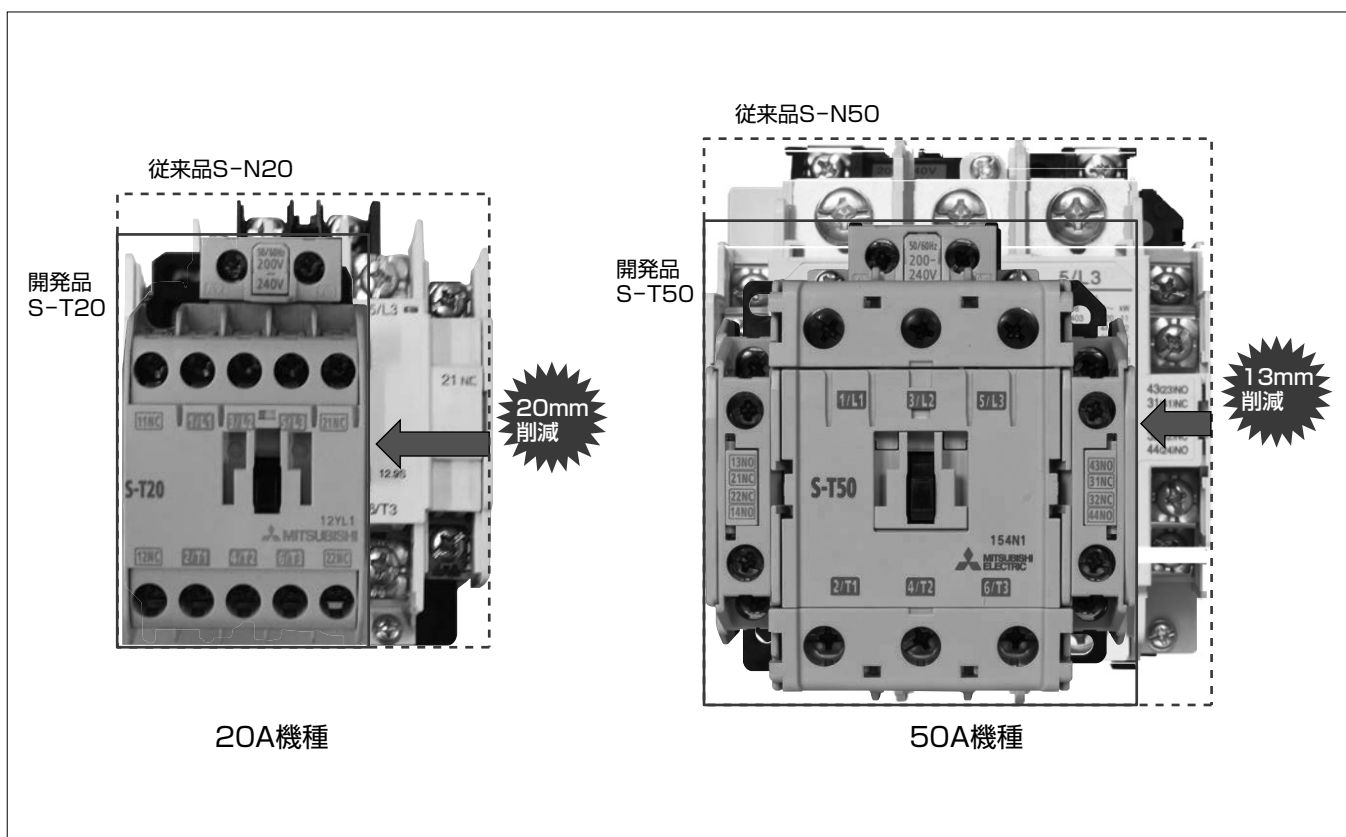
要 旨

産業用モータ、パワーコンディショナなどの自動制御に広く用いられている電磁開閉器での電気接点のカドミウムフリー化を業界最小クラスの筐体(きょうたい)サイズで実現した。

環境保護や人体に与える影響の観点から、欧州RoHS (Restriction of Hazardous Substances) 指令によってカドミウムなどの使用が規制されている。現在、電気接点のカドミウムは規制対象外であるが、将来的にカドミウムフリー化が求められる見通しである。電磁開閉器で負荷電流を遮断する際には、遮断性能に優れた銀酸化カドミウムが一般に使用されてきた。

今回、電磁開閉器の電気接点をカドミウムフリー化して

環境リスクを低減することを目的に、電気接点で発生するアーク放電の制御能力を従来方式に比べて20%以上向上させる等の改良を行い、電気接点の消耗や筐体の損傷を大幅に低減できた。これによって、筐体サイズを従来品に対して40%小型化(20A, 50A機種)し、業界最小クラスのサイズで電磁開閉器の電気接点のカドミウムフリー化を実現した。新たにカドミウムフリー化した電磁開閉器は1年間に約0.6t/年のカドミウムの使用を削減可能な見通しである。これは1年間に日本国内で電気接点などに使用されるカドミウムの約14%に相当する試算である。この開発で2017年環境賞(国立環境研究所・日刊工業新聞主催、環境省後援)優秀賞を受賞した。



カドミウムフリー化と小型化を実現した電磁開閉器

環境保護の観点から、電気接点のカドミウムフリー化を業界最小クラスの筐体サイズで実現した。左側が20A機種で、開発品“S-T20”は、従来品“S-N20”と比較して幅サイズで20mm削減、体積で40%縮小した。右側が50A機種で、開発品“S-T50”は、従来品“S-N50”と比較して幅サイズで13mm削減、体積を40%縮小した。

*三菱電機(株) 先端技術総合研究所(工博) **同社 同研究所
***同社 名古屋製作所 †三菱電機エンジニアリング(株)

1. ま え が き

電磁開閉器は電磁石の動作によって電気回路を遠隔で開閉(ON/OFF)できる産業用スイッチであり、エレベーターや工場設備などに使用されるモータの自動制御用途を中心に、最近では太陽光発電向けパワーコンディショナや家庭用蓄電池向けにも広く用いられている。電磁開閉器には通常時の電流開閉に加え、異常時の過電流を遮断して機器を保護する責務がある。そのため高信頼であることが求められるが、同時に狭い設置スペースに取り付けられるように小型であることも重要なニーズとなっている。

電磁開閉器で回路電流を遮断(OFF)する際には、そのキーパーツである電気接点でアーク放電が発生する。回路電流を遮断するためには、アーク放電を消滅させる必要がある。このアーク放電を消滅させる上で、銀酸化カドミウムは優れた性能を持っており、高信頼な電磁開閉器の実現のために電気接点の材料として広く一般に使用されてきた。しかし、環境保護や人体に与える影響の観点から、最近では電磁開閉器のカドミウムフリー化が求められている。例えば、欧州RoHS指令では産業用の制御機器でもカドミウムの使用が規制されている。今のところ電気接点のカドミウムについては規制の対象外であるが、将来的にはカドミウムフリー化することが望まれている状況である。

今回、環境リスクの低減と小型化のニーズに同時に応えるため、電気接点をカドミウムフリー化して環境負荷を低減するとともに、小型化を実現する電磁開閉器を開発した。

本稿ではカドミウムフリー化及び小型化するに当たり工夫した電流遮断技術の幾つかについて述べる。次いでカドミウムフリー化がコストに及ぼす影響を述べ、最後に環境負荷の低減化について述べる。

2. カドミウムフリー化及び省スペース電流遮断技術

従来の電磁開閉器で電気接点をカドミウムフリー材料に置き換えると、電気接点で発生するアーク放電の抑制性能が不十分となり、十分な安全性を確保するために筐体サイズを大型化する必要があった。これは省スペース化の要求が強い電磁開閉器ではデメリットが大きく、現実的ではなかった。この問題に対して、三菱電機はアーク放電を効率良く制御する技術を開発し、業界最小クラスの筐体サイズで電磁開閉器での電気接点のカドミウムフリー化を実現した。

2. 1節で50A機種、2. 2節で20A機種について開発した技術を述べる。

2. 1 アークランナのアーク吸引力向上と熱ガス排気機構の開発(50A機種)

電気接点で発生したアーク放電を素早く消すために磁性体(鉄)で構成されるアークランナという

部品が用いられる。図1にアークランナを接点回りに配置した図を示す。アーク放電による電流でアークランナが磁化され、アーク放電はアークランナに引き寄せられ、引き伸ばされる。引き伸ばされることによって、アーク電圧が高くなる。また引き伸ばされたことによって、冷却されやすくなることもアーク電圧を高める効果がある。さらにアークランナに達したアーク放電が再度接点に放電することでアークランナ近傍に陰極降下電圧が発生する。これらの効果でアーク電圧が高くなり、遮断しやすくなる。

今回開発した50A機種でのアークランナは電磁界解析によって形状最適化を行い、アーク放電が発生する磁束の漏れを少なくし、効率良く磁束がアークランナを通過することでアークランナの磁束密度を高め、アーク放電をアークランナに引き寄せる電磁力(ローレンツ力)を従来品に対して20%以上強化した。図2にアークランナの磁束密度分布と、高速カメラによるアーク挙動の撮影写真を示す。アークランナの効果が分かりやすいようにアークランナがない場合と、今回、形状最適化したアークランナがある場合のアーク挙動を示す。

アーク放電は高温であり、高温環境化では遮断性能が劣化する。また発生した熱ガスは電気接点だけでなく樹脂でできた筐体を損傷させる。このため、筐体を大型化するか、それを避けるために熱ガスを排出するため大きな排気口を設ける必要がある。しかし単純に排気口を大きくすると塵埃(じんあい)の侵入を許すことになり、トラブルの原因となる。そこで今回、塵埃を防ぐとともに、熱流体解析に

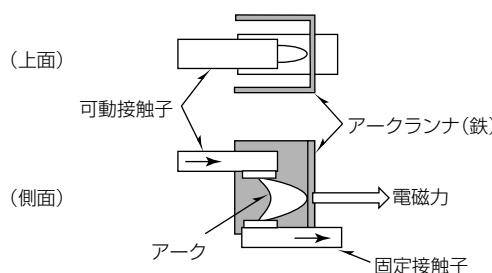


図1. アークランナによるアーク吸引の模式図

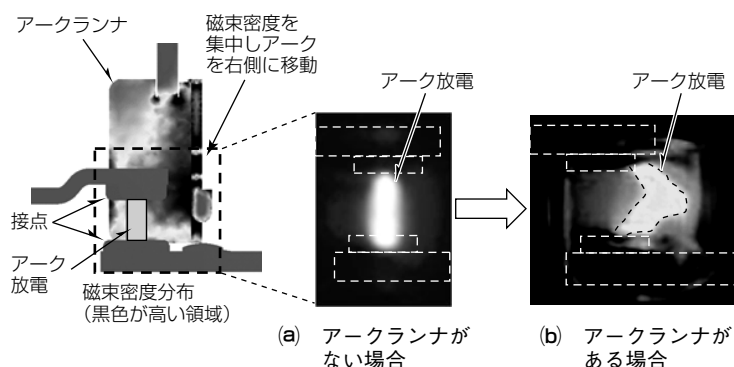


図2. アークランナの磁束密度分布解析結果と高速カメラによるアーク挙動の撮影写真

よって効率的に熱ガスを排気する構造を探索し、排気構造を開発した。これによって、従来機種に対してアーク放電の冷却能力を7倍に向上させることができた(図3, 図4)。

このようにして横幅を従来比で13mm削減、体積を40%縮小した。図5に従来品S-N50と開発品S-T50のサイズ比較を示す。

2.2 アークランナによる側壁保護と遮断性能向上⁽¹⁾
(20A機種)

20A機種は50A機種より小型であるため、相間壁のより

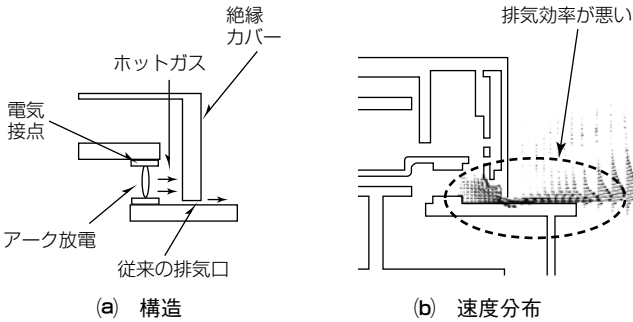


図3. 従来の排気構造と速度分布の解析結果

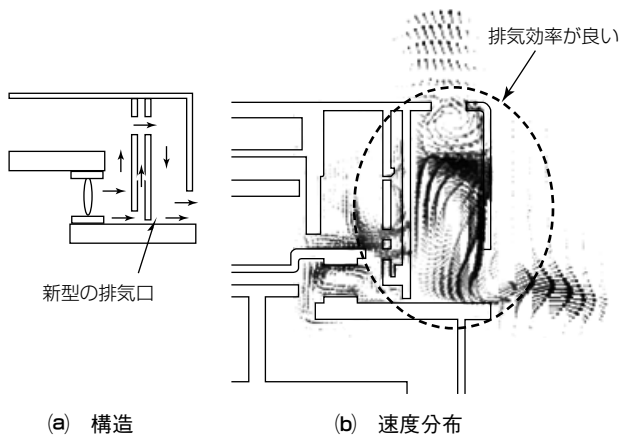


図4. 開発した排気構造と速度分布の解析結果

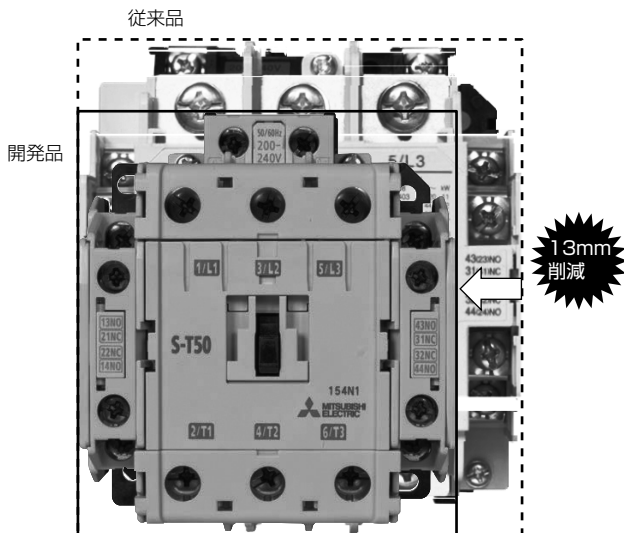


図5. 従来品と開発品のサイズ比較(50A機種)

近傍でアーク放電が発生する。このため相間壁がアーク放電に繰り返しさらされ、炭化が進行し、場合によっては相間壁に穴があいて相間短絡を起こす可能性がある。また消弧空間が狭いため、アーク放電の冷却が不十分となり、アーク電圧が上がらず、遮断性能が劣化する可能性がある。

そこで、20A機種では図6(b)に示すような放熱部を持つアークランナを設置した。アークランナは磁性体(鉄)で構成され、アーク放電を引き寄せる。また放熱部を設けているのでアーク放電の冷却を促進する効果がある。またアークランナは遮断性能を上げることだけでなく、相間壁保護の役割も兼ねる。

図6にアークランナによる相間壁保護の挙動を示す。アークランナがない場合、アーク放電は相間壁に触れる可能性があるが、アークランナがある場合はアーク放電がアークランナに引き寄せられ、相間壁に触れることがない。アークランナに引き寄せられたアーク放電は分断され、また放熱部によってアーク放電の熱が放熱されるため、アーク電圧の上昇を早め、遮断性能を向上させる。

この構造を採用することによって従来機種S-N20から開発品S-T20は幅20mm、体積40%縮小が可能になった(図7)。

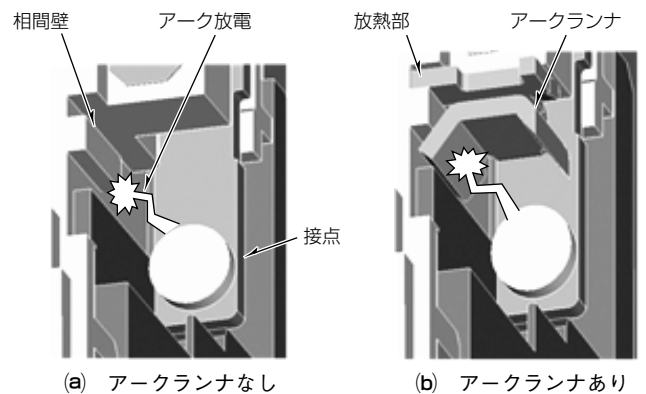


図6. アークランナによる相間壁の保護の挙動模式図

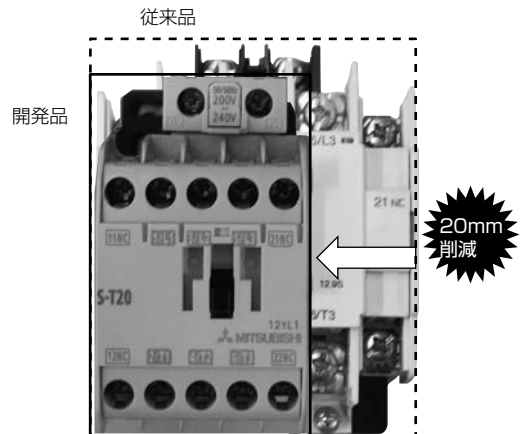


図7. 従来品と開発品のサイズ比較(20A機種)

3. コストへの影響

電気接点自体のコストは、カドミウムフリー電気接点の方が銀酸化カドミウムを使用した電気接点より高価である。また、電気接点で発生するアーク放電を抑制する性能が銀酸化カドミウムより劣るカドミウムフリー電気接点は、消耗に耐えるように電気接点の銀使用量を増やす必要があり、従来の電磁開閉器の電気接点をカドミウムフリー電気接点に置き換えるだけでは電気接点のコストは増加する。電磁開閉器で電気接点のコストの比重は大きいいため、電気接点のコスト増加が製品コストや損益に与える影響は極めて大きい。多くの電磁開閉器メーカーにとって、電気接点のカドミウムフリー化に伴うコスト増加は大きな課題であり、電磁開閉器のカドミウムフリー化がなかなか進まない原因の1つとなっている。

三菱電機は、今回開発したアークランナによって、電気接点で発生したアーク放電を効率良く制御できるようになったため、カドミウムフリー電気接点で従来の銀酸化カドミウムと同等以上の遮断能力を確保できた。さらに熱ガスの排気路を最適化することと併せて、電気接点の消耗や筐体樹脂の損傷を低減し、電気接点の銀使用量を削減することでコストダウンを実施した。またアークランナに相間壁保護の役割を持たせることで相間距離を縮小し、放熱部を設けることでアーク放電の冷却を促進した。これらによって、筐体の40%小型化が可能になったことで目標コストを達成し、製品の値上げを実施しなくても現実的なコストでカドミウムフリー電磁開閉器の生産を実現できた。

4. 環境負荷の低減化

カドミウムはRoHS指令で使用制限が設けられる前から、公害などの原因として問題になっていた。人の健康に悪影響を与えないカドミウム摂取量は1週間当たりに14.4 μ g/kg(体重)以下という調査結果もあり、カドミウムの流出や拡散を防止するために厳しい管理基準が設けられている。今回、電磁開閉器の電気接点をカドミウムフリー化することによって、電磁開閉器のユーザーだけでなく、電気接点を供給している協力会社を含めた製造に携わる全

ての人のカドミウムへの接触をなくすことができる。

現在、日本でのカドミウムの用途は主に産業用であり、そのほとんどはニッケル・カドミウム電池などの製品に使用されている。しかし、ニッケル・カドミウム電池は回収・リサイクルが可能であり、再資源化率は74%とされている。一方、使用済みの電気接点は基本的に廃棄処分となるため、最終的に大気や土壤に流出する可能性がある。三菱電機が行った電磁開閉器のカドミウムフリー化によって、1年間に約0.6tのカドミウムを削減可能な見通しで、日本国内で電気接点などに使用されるカドミウムの約14%を削減することが可能になる試算である。

電磁開閉器はモータの制御用だけでなく、幅広く製品に適用されている。最近では電気自動車やその給電設備、太陽光発電所向けのパワーコンディショナや太陽光パネルによって発電した電力を蓄積する蓄電池の自動制御用、安全対策用の開閉器としての用途が増加してきた。このように、電磁開閉器の適用範囲はますます広がっており、様々な分野にカドミウムフリー電磁開閉器を普及させていくことで環境リスクの低減に貢献していく。

なお、この開発によって2017年環境賞(国立環境研究所・日刊工業新聞主催、環境省後援)優秀賞を受賞した。

5. むすび

電磁開閉器での電気接点のカドミウムフリー化を業界最小クラスの筐体サイズで実現した。50A機種ではアーク放電を減衰させるアークランナを改良してアーク放電減衰能力を従来品比で20%以上強化した。またアーク放電による熱ガスを排気する独自機構を開発して冷却能力を7倍向上させた。20A機種ではアークランナに相間壁保護の役割を持たせ、放熱部を設けることでアーク放電の冷却を促進した。これらによって筐体サイズを従来品に対して40%小型化した。

参考文献

- (1) 稲口 隆, ほか: 電磁開閉器新シリーズ「MS-Tシリーズ」の開発, 電気評論, 99夏季増刊号, 66~68 (2014)