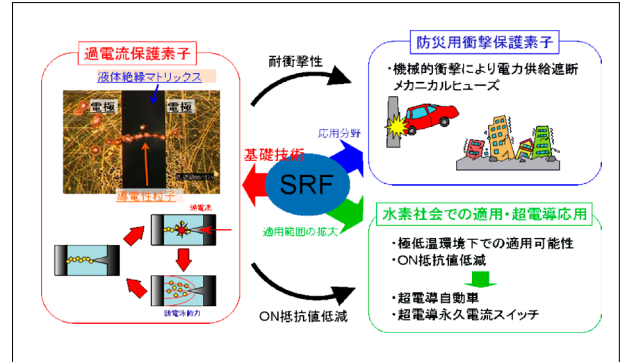


# 新しい動作原理にもとづいた過電流保護素子によって、繰り返し使用できる自己回復性マイクロヒューズ (SRF : Self-Recovering micro Fuse) (注1)を開発 機械的衝撃に対しても動作するメカニカルヒューズ (防災衝撃用保護素子) へも応用可能

オフ状態からオン状態への自己回復機能を活かして、繰り返し使える過電流保護素子、あるいは電流遮断スイッチとして利用できます。また、機械的衝撃力や振動力を感知した場合にも動作するため、自動車の衝突時や大地震の際に電流供給を停止できるメカニカルヒューズとしても活用可能です。

- 電力ヒューズ、メカニカルヒューズのほか、加速度・衝撃センサ、MEMS(注2)等の保護素子としての応用等、用途も多彩です。
- 絶縁液体として極低温用の冷媒を使用すれば、極低温環境下での過電流保護素子として利用できます。水素社会や超電導分野での応用も視野に入れ、液体窒素(沸点-196℃)中で自己復帰機能を確認しています。



▲SRF素子の概要と応用イメージ

## 競合技術への強み

	自己回復性	オン・オフ抵抗特性	絶縁耐力(注4)
(1) ヒューズ (既存技術)	× なし	◎ 理想的な短絡・開放状態	○
(2) PTC(注3)素子 (既存技術)	○ 繰り返し使用による抵抗復帰の悪化が問題	△ 大きなオフ抵抗実現が困難	(1)より劣る
(3) 自己回復性マイクロヒューズ SRF素子 (本技術)	◎ 繰り返し使用が原理的に可能	○ オン抵抗μΩ、オフ抵抗MΩオーダを実現	◎ 数百Vを実現

▲過電流保護素子に係る従来技術と本技術との比較表

- ①自己回復性**：繰り返し使用が可能だけでなく、宇宙や深海といった人間がアクセスできない場所で、いったんオフ状態となったヒューズをオン状態に自己回復することができます。
- ②高い抵抗特性**：電極基板や使用粒子の材料と形状、液体絶縁マトリックスを適宜選定することで、 $\mu\Omega$ オーダーのオン抵抗と1M $\Omega$ 以上のオフ抵抗を達成しました。
- ③動作条件が任意**：液体絶縁マトリックスの材料の物性（特に誘電率や動粘性係数）を適宜選定することで、動作条件を任意に設定できますので、高い汎用性があります。

## ここがポイント

本研究では、従来のヒューズやPTC素子に代わり、自己回復性を持ち、繰り返し使用できる保護素子の開発を目的としました。SRF素子は、電極間に散開している導電性粒子に作用する誘電泳動力を自己回復性発現の動作原理としています。構造や材料を種々変えた素子の電気的基礎特性を調べることで、自己回復性の原理を検証するとともに、SRF素子としての本格的検討も実施しました。

メカニカルヒューズとしての動作についても実験的に確認し、機械的衝撃により電流遮断動作を行える保護素子や衝撃力を評価できる衝撃センサ等に適用できる可能性を示すなどSRF素子の他の用途展開可能性への提案も行うことができました。さらに、液体窒素中にSRF素子を浸漬して極低温環境下での基礎特性を確認する実験でも、自己復帰機能を確認しています。

## ブレイクスルーへの道のり

2004年：誘電泳動力による自己回復性ヒューズ開発の基本アイデアの検証がほぼ完了し、基本特許を

出願。

2005年：それまでの成果をもとに科研費に申請をするが、記載ミスで審査されず。しかし、このテーマの研究を継続したいと研究助成の募集を探した結果、平成17年度第一回産業技術研究助成が目に留まり申請することとなり、採択される。このように、研究への熱意や研究を進めたい、やり遂げたいとの気持ちを持ち続けたことで研究の継続や展開のチャンスが訪れた。この間、本学の研究コーディネーターと本素子の技術展開を議論するとともに、ヒューズメーカーや材料メーカー等とも議論を重ねた。この採択までの経緯を経て、研究に対する準備と共に気持ちの継続が大切であると痛感。こうして産技助成プロジェクトが開始した。

2006年：基礎固めの意味を込め、根幹となる自己回復性や素子構成を中心に研究を推進。成果を技術説明会や学会などで広く発表したことにより、関心を持つ企業が現れる。

2007年：ヒューズメーカーとの共同研究を開始し、プロジェクトを推進する。メカニカルヒューズとしての利用実験や遮断実験を進める。メカニカルヒューズに関する論文がIEEE（米国電気電子学会）のMEMS会議に採択される。日経BPnetで取り上げられ記事になるなど、注目を集める。

2008年：メカニカルヒューズや遮断に関する検討をさらに進め、再現性向上や感度変化法などに関する特許を申請。さらに、液体窒素中での低温環境実験を実施し、SRF素子の適用・応用範囲の拡大を図る。プロジェクトが終了し、当初の研究目標をほぼ達成した。

## ■サクセス・キー

基礎アイデアに対してメーカーやユーザー等と初期に積極的に意見交換を行い、それらを取り入れて構想を膨らませることができました。同時に、必要な開発目標を明確に設定できたことも大きな要因です。

また、高電圧・電気絶縁、誘電絶縁材料、MEMS、パワーモジュール（電力変調）などの異なる専門領域の学会でも発表を行い、技術説明会や展示会にも積極的に出展することを心がけました。これらの活動を通じて本技術への関心を高めたいだけでなく、広く意見交換や技術討論ができ、新しいアイデアや応用分野の発見のみならず、メーカーとの共同研究にもつながりました。

## ■ネクスト・ストーリー

基礎的な検討はほぼ完了している上で、製品化・商品化を指向した実用研究へステップアップしていきたいと考えています。そのためには、SRF素子のパッケージング化と機械的衝撃が加えられた際、電

流供給停止を行うことで大地震や車の衝突などの際に電氣的要因による火災防止を行うことなどを目的とした防災衝撃用保護素子としての仕様確立が課題となります。現時点では確実な需要が考えられる自動車メーカーとの共同研究を希望しています。

また、振動を感知するセンサとして利用するための市場調査を行うとともに、水素社会を見据えた極低温液体冷媒環境で動作する新しい保護素子の開発やオン状態での抵抗ゼロの実現（通電状態での損失ゼロ）を可能とするための本素子の超電導化など、新たな応用や活用法に関する検討も行っていく予定です。

- (注1) SRF素子は、電極とその電極を短絡、開放する導電性粒子、およびその周囲を電氣的に絶縁する液体絶縁マトリックスで構成される。導電性粒子は、通常のヒューズエレメントのようにワイヤであってもいいし、最初から粒子形状であってもいい。通常は、電極間を短絡している導電性パスによりオン状態として電流を流している。ここに過電流が流れると、導電性パスの分断・開放によりヒューズの機能を失い、過電流が遮断される。この散開した導電性パスの一部あるいは導電性粒子は、電極間の開放電圧により生じる不平等電界により作用する誘電泳動力で電極間に収集され、導電性パスが再構築される。これにより、SRF素子は再びオン状態へ自動的に復帰する。即ち、自己回復性を有する素子として機能する。
- (注2) MEMS、Micro Electro Mechanical Systems は、機械要素部品、センサー、アクチュエータ、電子回路を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料などの上に集積化したデバイス。
- (注3) PTCはPositive Temperature Coefficientの略。温度変化による電気抵抗変化を利用した過電流保護素子のこと。電流を流すと自己発熱によって抵抗が増大する性質を持ち、ある温度を超えると急激に抵抗が上昇することでヒューズと同様の働きをする。
- (注4) 絶縁耐力とは、絶縁体が絶縁状態を保てなくなる電圧や電界強度のこと。高いほどヒューズとして安定しており好ましい。



**プロジェクトID・研究テーマ名・年度**

**05A40001a「直流システム保護用自己回復性マイクロヒューズの開発」(平成17年度第1回公募)**

**代表研究者・所属機関・所属部署名・役職名**

**大塚 信也 九州工業大学 大学院工学研究院 電気電子工学研究系 准教授**