

# イリジウム接点リードスイッチの開発

横山 和也

密封接点を有するリードスイッチは外部雰囲気の影響を受けないため信頼性が高く、また、ON抵抗が低い、OFF時のアイソレーションが良いといった理由から磁気センサとしてさまざまな分野で使用されている。近年、通信機器や計測装置などのアプリケーション拡大に伴い、リードスイッチに求められる要求も多様化している。その代表的な要求の一つとして小型化が挙げられる。これまで当社は、さまざまな改良を加えリードスイッチの小型化への対応を行ってきた。しかし小型化とトレードオフの関係で発生する接点性能の低下により、小型化の限界が課題となっていた。この対策として、リードスイッチ接点材料の開発が必要になっている。

本稿では、当社が開発に成功したイリジウム接点について述べ、ガラス管長7mmの超小型リードスイッチに採用した評価結果を紹介する。

## リードスイッチの概要

リードスイッチは、リード片、接点材料、ガラス管、不活性ガスにより構成される。図1に構成図を示す。一對のリード片は、接点部に僅かな隙間を持った状態でガラス管により密封・固定される。外部磁界が印加されると、強磁性体のリード片が磁化し、それぞれの接点が磁気吸引力によりクローズする。また、外部磁界が除去されるとリード片の開離力（弾性力）によりオープンとなる。

リードスイッチは、小型接点を磁気で接触させるため、マイクロスイッチや電磁リレー等と比較して接点クローズ時の接触力が極めて弱い。一般にスイッチに求められる基本性能は、接触抵抗値が低く安定で、クローズとオープンの動作が安定なことであるため、リードスイッチ接点には、比抵抗が低く、通電を伴う機械的運動に耐える高融点・高硬度の材料が要求される。低比抵抗と高融点・高硬度を兼ね備えた白金族元素はリードスイッチの接点材料に適しており、ロジウムやルテニウムといった材料が多く使用されている。

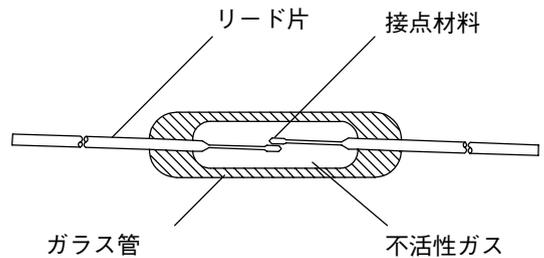


図1 リードスイッチの構成

## 小型化より生じる課題

リードスイッチの小型化を実現するには、ガラス管内のリード片寸法を小さくする必要がある。しかし、ガラス管内のリード片寸法を小さくすることにより接点に発生する磁気吸引力が減少し、リード片開離力は増加する。接点の接触力 $F_c$ は、磁気吸引力 $F_m$ と開離力 $F_r$ の差であり、(1)式で表される。

$$F_c = F_m - F_r \quad \dots (1)$$

したがって、リードスイッチは、小型化することで接点の接触力が減少する。

当社が使用している小型用リード線材の中で、最も線径が細い $\phi 0.3\text{mm}$ 線材を用いた場合の接触力を検証した。図2はプレス厚さ0.1mmに固定したときのプレス長さとの接触力の関係である<sup>1)</sup>。図2より、プレス長さが3mm未満に

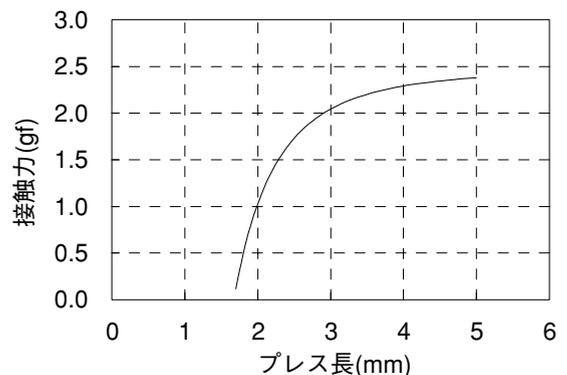


図2 リードスイッチ接触力 ( $\phi 0.3\text{mm}$ ,  $T_p:0.1\text{mm}$ )

表1 白金族の物性

	ルテニウム	ロジウム	パラジウム	オスmium	イリジウム	プラチナ
原子記号	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
原子番号	44	45	46	76	77	78
結晶構造	稠密六方	面心立方	面心立方	稠密六方	面心立方	面心立方
密度(20℃) g/cc	12.45	12.41	12.02	22.61	22.65	21.45
融点 ℃	2310	1960	1554	3050	2443	1768
比抵抗 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	6.80	4.33	9.93	8.12	4.71	9.85
線膨張係数 /℃	$9.6 \times 10^{-6}$	$8.3 \times 10^{-6}$	$11.1 \times 10^{-6}$	$4.8 \times 10^{-6}$	$6.8 \times 10^{-6}$	$9.1 \times 10^{-6}$
ビッカース硬さ	240	100	40	350	220	40

なると、急激に接触力が減少している。

リードスイッチが低く安定した接触抵抗値を示すためには、少なくとも1gf以上の接触力が必要とされる。

接触力が弱いと、接触障害や通電による接点損傷が発生する。このため、超小型リードスイッチには、従来以上に、比抵抗が低く、融点・硬度が優れた接点材料を使う必要がある。

### 接点材料の物性

超小型リードスイッチに適した接点材料を選定するため、比抵抗、融点、硬度が優れる白金族元素を選定し、物性比較を行った<sup>2) 3)</sup>。表1に代表的な物性を示す。

従来のリードスイッチにはロジウム (Rhodium, Rh) やルテニウム (Ruthenium, Ru) が接点材料として使用されている。しかし、これらの材料では、超小型リードスイッチの接点性能の維持が困難であるため、ロジウムおよびルテニウム以外で、より高い接点性能が得られる材料を検討した。融点・硬度から着目すると、高い接点特性を期待できる材料としてイリジウム (Iridium, Ir) とオスmium (Osmium, Os) が挙げられる。しかし、オスmiumは比抵抗が高く、また有毒な酸化物を生成する。一方、イリジウムの比抵抗は低く、有害物質は発生しない。またイリジウムの材料単価は、ロジウムよりも安価である。材料の物性から判断すると、超小形リードスイッチの接点材料としてイリジウムが最適と考えられる。

### イリジウム接点リードスイッチの製作

イリジウム接点の諸特性を評価するため接触力2.5gf、開離力1.2gfに調整したプレスリード (φ0.3mm線材) を用いて、ガラス管長7mmの超小型イリジウム接点リードスイッチを製作した。図3に接点部の断面構成を示す。

イリジウムは、比抵抗、融点、硬度の点で優れた物性を持つ反面、展性、延性に乏しく、成膜表面にクラックが発生するという課題があった。クラックが発生した接

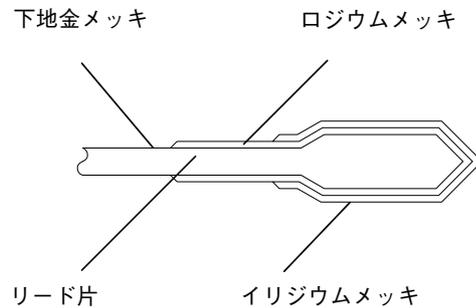


図3 イリジウム接点断面構成

点では、接点の荒れによる接触不良や異常摩耗等より特性不良となる。このため、従来プロセスではイリジウムをリードスイッチの接点に成膜することが困難な材料であった。

イリジウム膜表面に、クラックが発生する主な原因として、リード片とイリジウム薄膜の熱膨張量の差で発生する内部応力が挙げられる。当社では、この課題に対し、積層メッキによる応力拡散で対策を施した。この結果、内部応力が緩和し、イリジウム薄膜のクラック抑制を実現した。

イリジウム接点の成膜方法は大別して湿式法と乾式法とに分かれる。当社は、ロジウム接点のメッキプロセスを所有していることから、イリジウム接点に関しても湿式法のメッキプロセスを採用した。リード片接点部に下地金メッキを施した後、ロジウムメッキ層、イリジウムメッキ層を形成した。

### 動作試験による接点性能評価

製作した超小型イリジウム接点リードスイッチをDC5V-100  $\mu$ Aの抵抗負荷回路に接続して動作試験を行った結果を図4に示す。

試料数8個で1億回まで動作させ、磁気特性および接触抵抗値の推移を確認した結果、初期値に対する変化量は、感動値が±0.3AT、開放値が±1.2AT、接触抵抗値が±

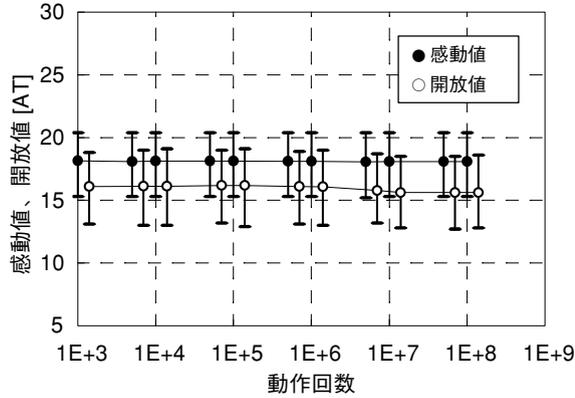


図4 動作試験における特性推移 (DC5V-100  $\mu$ A)

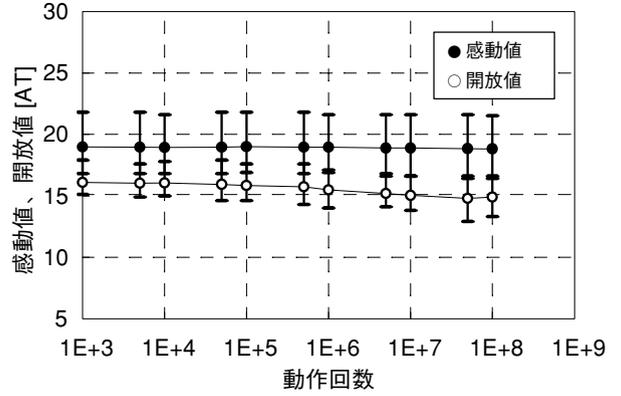
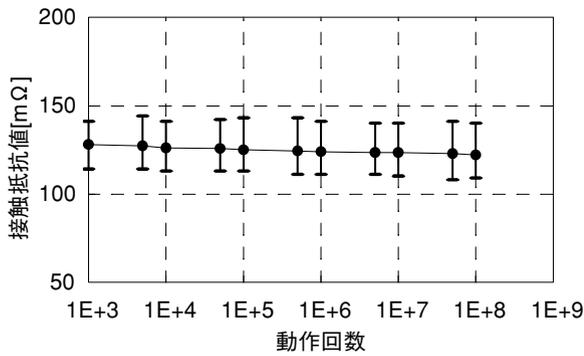
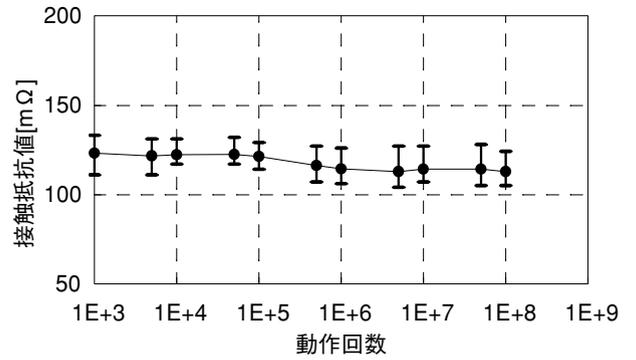


図5 イリジウム接点の特性推移 (DC10V-0.1A)



19mΩとなっており、安定した特性推移を示すことが確認された。

次に、超小型イリジウム接点リードスイッチを、同サイズのロジウム接点リードスイッチと共にDC10V-0.1Aの抵抗負荷回路を接続して動作試験を行った。図5にイリジウム接点リードスイッチの特性推移、図6にロジウム接点リードスイッチの特性推移を示す。

リードスイッチは、感動値が低いと動作中の障害を発生しやすい。このため、イリジウム接点の試料は、ロジウムの試料よりも、感動値が低いものを広い範囲で選定した。試料数8個ずつで1億回動作をさせた結果、ロジウム接点品の開放値が106回付近から低下したのに対し、イリジウム接点品は、1億回まで安定した特性推移を維持した。

#### 動作試験後の接点面

ロジウム接点品に開放値変動が見られた $10^6$ 回と、 $5 \times 10^6$ 回および $10^7$ 回の時点で、それぞれの試料を分解して接点面の観察を行った結果、イリジウム接点品、ロジウム接点品共に、陽極から陰極方向への接点材料の転移が見られた。図7に $10^7$ 回動作時の接点面状態を示す。両試料を比較すると、イリジウム接点品の転移がフラット状に広がっているのに対し、ロジウム接点品はスポット状の

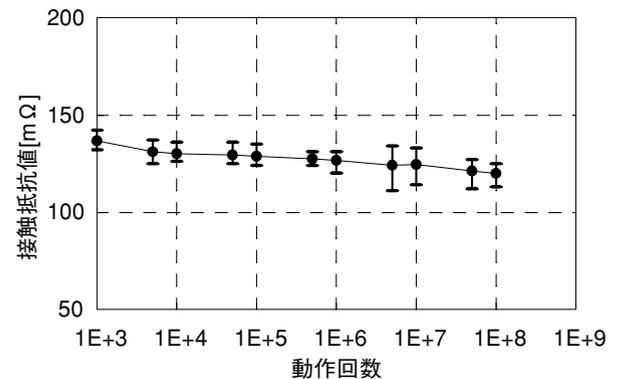
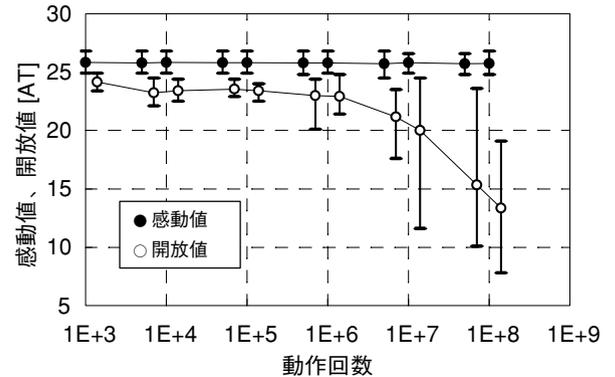


図6 ロジウム接点の特性推移 (DC10V-0.1A)



イリジウム接点                      ロジウム接点

図7 107回動作時の接点面比較 (DC10V-0.1A)

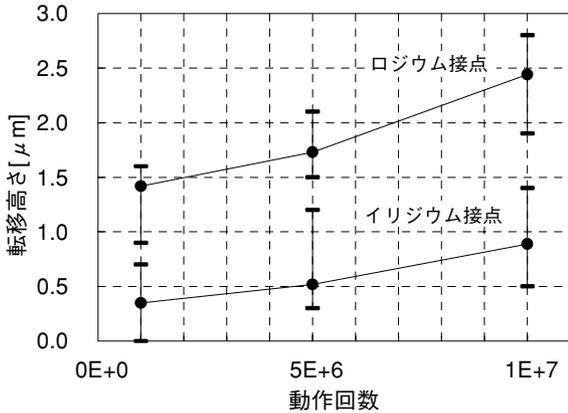


図8 接点転移高さ測定結果の比較 (DC10V-0.1A)

転移が発生している。図8に各動作回数時における転移高さの測定結果を示す。ロジウム接点品は、接点面に対し、深さ方向への損傷が早いことが判明した。また、 $10^6$ 回動作時にロジウム膜厚を超え、下地にまで達する転移高さになっている。ロジウム接点品に発生した開放値の低下は、接点転移が起因した軽度の溶着現象であった。イリジウム接点品は、接点転移が接点面に対し深さ方向に進行しないため、接点の長寿命化が期待できる。

### まとめ

接触力の確保が困難な超小形リードスイッチの接点性能の維持および改善のため、白金族元素の物性について調査を行い、比抵抗、融点、硬度の優位性からイリジウム接点の採用を検討した。イリジウム接点は、従来、接点表面のクラックが課題で実用化されていなかったが、当社の積層メッキ法によりクラックフリーを実現し、ガラス管7mmの超小型イリジウム接点リードスイッチを開発した。

イリジウム接点リードスイッチはDC5V-100 μAの動作試験において安定な接触抵抗特性を示すことが判明した。また、DC10V-0.1Aの動作試験においては、同サイズのロジウム接点品では負荷回路の開閉に伴う接点転移で

気特性が変化したのに対し、イリジウム接点品では接点転移が抑制されて磁気特性の変化は生じなかった。イリジウム接点の導入により、超小型リードスイッチの接点性能が改善された。

### あとがき

ここで紹介したイリジウム接点は、業界初で製品化に成功しており、市場から高い関心を得ている。また、ロジウム接点を使用している既存品を、接点材料をイリジウムに変更するだけで、製品仕様の大幅な改善が見込める。今後、イリジウム接点の機種展開を進め、顧客満足度、売上に大きく寄与したい。 ◆◆

### 参考文献

- 1) 横川俊樹 他：超小形リードスイッチの設計に関する一考察，電子通信学会論文誌，Vol.J69-C No.10，1986年10月
- 2) 日本金属学会編：金属データブック改訂2版，丸善株式会社，1984年
- 3) 長倉三郎 他：理化学事典第5版，岩波書店，1998年

### 筆者紹介

横山和也：Kazuya Yokoyama. 株式会社沖センサデバイス 開発設計部 設計課 課長