

パワーリードスイッチの安全技術に関する標準化と事業戦略 及び労働災害防止対策への活用[†]

濱田 健次郎^{*1}, 梅崎 重夫^{*2}

パワーリードスイッチは、安川電機株式会社が独自に開発した磁気で駆動するガラス封入接点で、一般用途のリードスイッチより耐振性と接点開閉容量を飛躍的に向上させ、鉄道・電力・昇降機・産業機械・防爆等の分野で使用実績がある。パワーリードスイッチの安全技術に関する標準化は、平成13年度に産業安全研究所（現独立行政法人労働安全衛生総合研究所）と安川コントロール株式会社が、「大規模生産システムを対象とした安全手段の高度化」を共同研究した成果を基本としている。本研究の成果として規格化されたIEC62246-seriesは、この共同研究及び標準化活動の成果として、全てのリードスイッチ製品の品種を定義し、それらの接点定格の評価手順を明確化した。また、産業機械を初めとして各適用分野規格が規定する安全要求事項及び機能安全規格が規定する安全度水準とリードスイッチ製品の安全適用事例を関連付けて体系化を行うとともに、労働災害防止対策への活用も検討した。なお、本資料は、パワーリードスイッチの安全技術に関する標準化体系の概要、標準化の経緯及び標準化した技術の導入成果を纏め、国際標準をビジネスツールとして活用する際の事業戦略についても述べている。

キーワード：パワーリードスイッチ, IEC62246-series, 標準化, 事業戦略, 労働災害防止

1 はじめに

最近の安全技術の国際化に伴い、ISO13849-1:2006¹⁾, IEC61508-series²⁾, IEC62061:2005³⁾などに規定された機能安全性が産業機械、鉄道、昇降機などを始めとする様々な分野で具体的に標準化が進められている。この機能安全性を実現する場合、磁気駆動式接点を備えたパワーリードスイッチは、一般のリードスイッチと比較して接点の接触不良や溶着の発生確率が低いという特徴を持つために、高水準の機能安全性を実現する上で必須の構成要素と考えられる。

このため、独立行政法人産業安全研究所（現独立行政法人労働安全衛生総合研究所）と安川コントロール株式会社は、パワーリードスイッチの産業安全分野への応用を目的として平成13年度に「大規模生産システムを対象とした安全手段の高度化」^{4)~7)}に関する共同研究を進めた。また、昇降機の運用によって得られたフィールドデータを利用して、パワーリードスイッチの安全性評価手法^{8)~10)}に関する検討を進めた。

本資料は、以上の研究を契機として開始されたパワーリードスイッチに関する安全技術の標準化と国際標準をビジネスツールとして活用する際の事業戦略、及び労働災害防止対策への活用について述べたものである。

以下、文献9)及び10)の記載を踏まえたうえで、以上の点を解説する。

2 パワーリードスイッチの構造と特徴

パワーリードスイッチ（以下「本素子」と呼ぶ）は、

数10A程度の電流を開閉できる磁気駆動式のガラス封入接点である。

図1に本素子の構造を示す。本素子は、一般のリードスイッチと異なり、接点通電部と磁気駆動部を完全に分離した二重接点構造となっている。

また、可動接点には銀合金、固定接点にはモリブデンバナネ材を使用し、磁気駆動部の磁極面には硬質クロム厚メッキを施している。このため高頻度使用にも耐え、一般のリードスイッチと比較して大電流を流せる利点がある。これが、本素子をパワーリードスイッチと呼ぶ理由である。

図2に本素子の接点動作を示す。

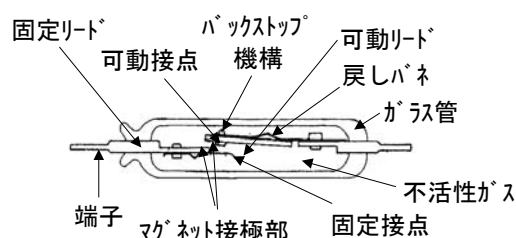


図1 本素子の構造

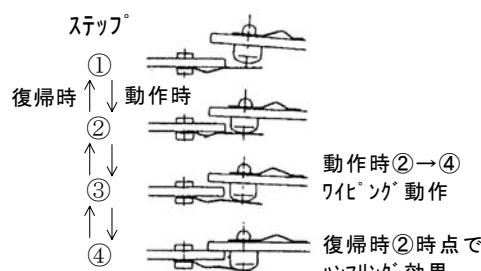


図2 本素子の接点動作

† 原稿受付 2014年11月19日

† 原稿受理 2015年01月13日

J-STAGE Advance published date: February 20, 2015

*1 安川コントロール株式会社 技術渉外担当

連絡先: 〒824-8511福岡県行橋市西宮市2丁目1番13号 濱田健次郎^{*1}

E-mail: Kenjirou.Hamada@yaskawa.co.jp

*2 (独)労働安全衛生総合研究所 機械安全研究グループ

表1は、本素子の特徴である。本素子は接点の二重構造を利用した機構が表1に示すワイピング効果とハンマリング効果を創出し、接点投入時の接触力及び接点開放時の開離力を大きくするとともに、減磁速度の影響を受けないクイックアクションが接触信頼性の向上に寄与する。

このため、一般のリードスイッチと比較して接点の接触不良や溶着の発生確率が小さいという特徴を持つ。例えば、飯盛らの研究によれば、本素子は回数故障率で 10^{-9} ～ 10^{-10} (1/回)、時間故障率で4.8Fit以下とのデータがある¹¹⁾。また、本素子は接点の駆動エネルギーが100アンペアターン以上と大きいために、電磁ノイズの影響を受けにくいという特徴を持つ。

3 信頼性と安全性の評価指標

信頼性とは、装置が与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに要求された機能を果たす能力をいう。しかし、どれほど信頼度の高い装置でも、いつかは必ず故障する。

このため、安全技術の代表例であるフェイル・セーフ技術では、故障の発生時は機械が停止側（安全側）となるように故障の仕方に癖を付けておくことで災害の発生を防止する。このとき、信頼性が故障そのものを問題とするのに対して、安全性では故障が安全側（機械停止側）となるか危険側（機械が止まらなくなる側）となるかを問題とする。これが伝統的な信頼性と安全性の関係であった。

これに対し、最近の電子制御技術の高度化に伴い、機

表1 本素子の接点機構

接点機構	定義
ワイピング摺動機構	接点閉路時に可動接点が摺動しながら接触する。接触不良を減少させる機構である。
ハンマリング機構	磁気駆動部の吸引力が無くなると、可動接点は固定接点接触バネに蓄えられた反発エネルギーによって、瞬間的にはじき飛ばされる。溶着を減少させる機構である。

表2 信頼性と安全性の評価指標

区分	評価指標	説明	
信頼性	不信頼度	回数故障率 (1/回)	所定の回数動作させた時に、故障が発生する回数
		時間故障率 (回/h)	単位時間あたりの故障発生率
安全性	非対象誤り率	危険側故障率比： η (回/回)	発生する全ての故障に対する危険側となる故障の比
		危険側故障の発生確率：(回/h)	単位時間あたりの危険側故障の発生確率

表3 フィールドデータ解析表

フィールドでの累積稼働個数 (個)	最大稼働時間 (h)	フィールドでの累積稼働時間 (h)	安全側故障の発生数 (個)	危険側故障の発生数 (個)	安全側故障の発生確率 (1/h)	危険側故障の発生確率 (1/h)
387,595	60,480	5.66×10^9	24	1	4.2×10^{-9}	2.0×10^{-10}

械の制御システムの安全関連部を対象に、文献1)～3)等に規定される機能安全性が強く要望されるようになってきた。このとき、安全性と信頼性の両方を定量的な評価指標として表す必要がある。このうち、信頼性の評価指標には表2に示す不信頼度がある。

これは、実務上は表2に示す時間故障率 (Fitまたは回/h) と回数故障率 (1/回) で定量的に評価できる。これに対し、安全性の評価指標は表2に示す危険側故障率比 η (回/回) と危険側故障の発生確率 PFH_D (回/h) が考えられる。しかし、仮に η を使って安全性を評価すると、頻繁に危険側故障が発生するものでもそれ以上に安全側故障の発生頻度が高ければ、結果として η が低くなるという問題が生じる。このため、本稿では安全上問題となる危険側故障の発生頻度を正確に反映できる PFH_D を使用して安全性の評価指標とした。

4 フィールドデータの解析に基づく危険側故障の推定

次に、実際のフィールドデータを使用して、本素子の危険側故障の発生確率を推定する。

この解析では、産業機械に類似するものとして、昇降機用の制御システムの安全関連部を対象とした。このシステムは本素子と二重化されたマイクロコンピュータの利用によって停止位置や扉の開閉を制御する。

このシステムは過去14年間に約10万台近くが製作されており、各システムに2～4本の本素子が使用されている。本稿では、これら約38万個の本素子のフィールドデータを対象とした。

なお、解析にあたっての前提条件及び解析方法の詳細は文献9)及び10)を参照されたい。

表3に、フィールドデータの解析結果を示す。解析の結果、危険側故障の発生確率は 2.0×10^{-10} (回/h)、安全側故障の発生確率は 4.2×10^{-9} (回/h) との結果を得た。

この結果はIEC 61508に記載されたSIL 4相当以上に匹敵する。ただし、危険側故障を接点溶着、安全側故障

表4 本素子のフィールドデータ解析結果

区分	危険側故障数 (個)	安全側故障数 (個)
分析	1 接点内部の結露による溶着 (注1)	2 ガラス管割れで接触不良
		2 外部衝撃で特性変化
		10 接触不良 (注2)
		10 不動作 (注3)
計	1	24

注1：ガラス管に入った亀裂から空気の混入後、結露による水滴が接点間にブリッジとして形成。

注2：返却された時点での調査では、正常動作。顧客のクレーム内容。

注3：注2と同様、顧客のクレーム内容

を接触不良に対応させている。

表 4 に、各故障モードの具体的内容を示す。この結果より、本素子の危険側故障率比は 0.04 となる。

なお、他のパワーリードスイッチと比較検討を行うために、表 3 及び表 4 に相当するフィールドデータが他のスイッチに関して公表されていないかを調査した。しかし、1990 年から 2014 年間の国際会議報文集で IEEE や国際接点会議などを始めとする様々な文献を調査した限りでは、該当するフィールドデータは見当たらなかった。この調査結果に基づけば、当該フィールドデータを公表しているのは著者らのみと考えられる。

以上より、他のスイッチのフィールドデータと比較して考察を行うことは困難であるが、ワイピング摺動機構及びハンマリング機構を有しないパワーリードスイッチの危険側故障の発生確率は本素子と比較して明らかに高いと推察される。

5 標準化の項目

以上の結果から、本素子を利用したシステムでは、その構築法を工夫すれば高い機能安全性を実現することも可能と考えられる。そこで、本素子を対象に安全性を含めた標準化を図り、労働災害防止対策に活用するとともに、国際競争力の強化を目指した。

実際の標準化作業は、次のような項目を対象に実施した。なお、この作業では、図 3 に示す品目別通則を IEC 62246-1:2015¹²⁾、品質評価の試験方法を IEC 62246-1-1:2013¹³⁾ 及び各分野の安全適用事例を IEC/TR 62246-3:201X にて体系付けた。

1) 品目別の通則

品種をリードスイッチ、重負荷形リードスイッチ、高圧リードスイッチ及び磁気バイアス付きリードスイッチの 4 種類に分類するとともに、パワーリードスイッチを重負荷形リードスイッチと定義した。また、各リードスイッチの接点定格と品質評価及び評価試験方法の手順を規定した。なお、環境問題を考慮して水銀式リードスイッチの適用を排除した。

2) 品質評価の試験方法

品質評価の試験方法には、形式試験、出荷検査、ロッ

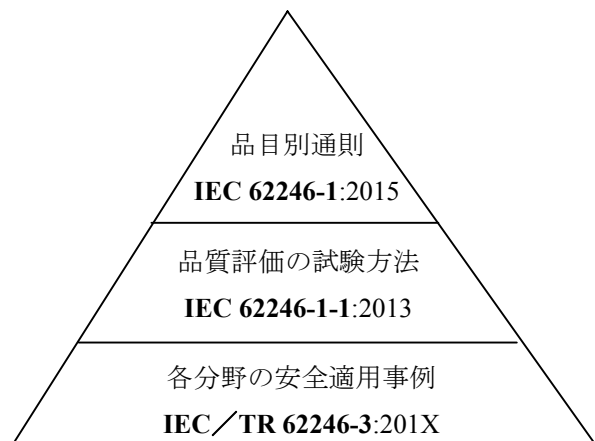


図 3 リードスイッチの安全技術に関する標準化体系

ト抜き取り検査、及び定期検査の実施要項と間隔を規定した。また、品種別リードスイッチの接点定格値は、機能特性、環境特性、信頼性、電気的耐久性、投入容量及び遮断容量、機械的耐久性等で規定した。

3) 分野ごとの安全への適用事例

各分野で規定された安全規格が要求する安全方策と国際機能安全規格が要求する安全度水準のアーキテクチャー、リードスイッチの制御回路、使用環境、接点の監視、安全の管理対策及び保守までの安全ライフサイクルデータとリードスイッチの使用方法、信頼性データの有効活用及び使用実績等有益な情報を提供している。

4) 災害防止及び被害軽減対策への適用事例

労働安全分野での適用事例としては、著者らが共同して開発したロボットの回転位置検出装置⁶⁾などの位置検知センサーや、第 8 章で述べる非接触式のインターロック式ガードへの応用がある。特に、後者は振動や位置決め誤差の大きい産業機械のインターロック式ガードに広く適用できる可能性がある。

また、本スイッチは、昇降機、鉄道、電力、地震防災、自動車などの分野における災害防止及び被害軽減策に広く適用できる可能性がある^{14)~17)}。このうち、昇降機への応用は第 9 章で述べ、鉄道への応用は第 10 章で述べる。

6 標準化の経緯

IEC/TR 62246 は補助継電器の技術専門委員会、P メンバー加盟国 15 ヶ国のエキスパート 37 名と O メンバー 16 ヶ国から構成され、国際委員長がドイツ、国際幹事がオーストリア国である。リードスイッチの規格を担当する MT6 は日本が幹事国で、その Expert は、ドイツ、英国、ハンガリー国、米国である。

日本委員は ISO/TC178/WG8 (昇降機安全回路応用)、英国委員は IEC/TC 44 (機械類安全)、ハンガリー国委員は IEC/TC95 (電力) の Liaison officer である。

図 4 に、本共同研究の成果を基に展開されたリードスイッチの標準化に関するこれまでの経緯を示す。

1) ドイツ委員が主体で、通信等民生用途の水銀リードスイッチを含むリード接点ユニットの品目別通則を IEC 62246-1 Ed. 1:2002 で規定した。

2) 平成 13 年度の基準認証創成事業で、パワーリードスイッチの安全技術に関する標準化を日本が提案し、IEC 62246-2 Ed. 1:2007 で規定した。また、品質評価仕様書を公開仕様書の IEC PAS 62246-2-1 Ed. 1:2008 で規定した。

3) TC94 の方針で、Part 1 と Part 2 を統合した IEC 62246-1 Ed. 2:2011 で、リードスイッチの品種別の品質評価及び試験方法を編集した。

4) 品質評価の試験方法：IEC 62246-1-1 Ed. 1:2013 では、品種別リードスイッチの接点定格を纏め、リードスイッチとパワーリードスイッチの適用接点定格領域や適用分野を棲み分け、制定した。

5) IEC 62246-1-1 Ed. 1:2013 の制定に伴い、国際機能安全規格及び日本工業規格：JIS への整合を図るため、

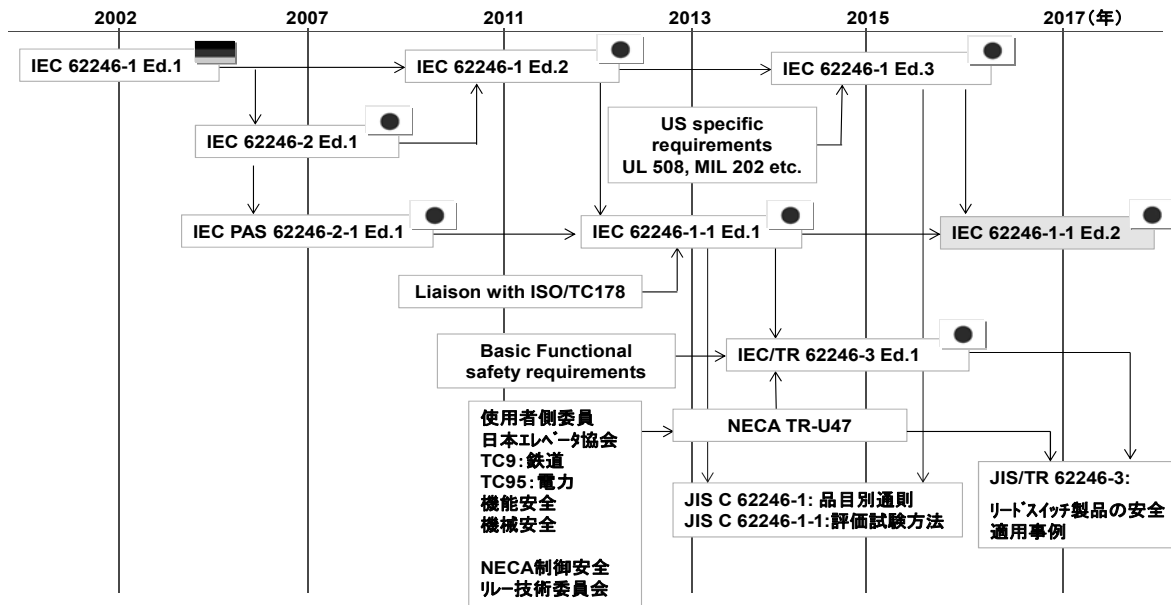


図4 リードスイッチの安全技術に関する標準化の経緯

NECAにJIS原案作成委員会を組織し、日本エレベータ協会、TC9（鉄道）及びTC95（電力）委員に参画して頂き、IEC 62246規格に完全一致したリードスイッチ - 第1部：リードスイッチの品目別通則：JIS C 62246-1及び「リードスイッチ - 第1-1部：リードスイッチの品質評価及び試験方法：JIS C 62246-1-1」の原案を作成し、2015年の制定で進めている。

6) 一方、国際機能安全規格との整合を図るためNECAの業界標準として、NECA TR-U47:2014¹⁶⁾、リードスイッチ製品の安全適用事例の技術資料を発行した。

7) IEC 62246-1の改訂3版では、第三者認証等の試験費用を削減する目的から、米国UL 508やMIL規格の要求事項を統合したFDISは、各国投票100%賛成で合格、2015年春改定される。

8) 今後は、IEC 62246-1 Ed. 3の改定に伴い、IEC 62246-1-1(2013)の改定2版を2015年から開始する。米国NEMA、HP contact ratingsの評価及びJIS C 62246-series規格原案作成時の課題を反映する必要がある。

さらに、次章で述べるIEC/TR 62246-3: Typical safety applicationsの制定とリードスイッチの応用製品に関するJIS規格及びNECAの業界標準を見直し、JIS/TR 62246-3の制定で集大成する考えでいる。

7 標準化時に課題となった安全方策

1) 課題の明確化

前述したNECA技術資料の作成にあたって問題となったのは、国際的な機能安全規格が規定するシステムの安全度水準（安全機能の危険側故障）の指標に、低頻度作動要求モードと高頻度・連続モードの2種類があり、低頻度作動要求モードでは、作動要求当たりの危険側の平均故障（失敗）確率で、高頻度・連続モードの場合では、1時間当たりの危険側故障（失敗）頻度の明確化が求め

られていることであった。

そこで、産業機械、家電製品、防災機器、自動車、鉄道、電力等の代表的な適用分野から使用実績のあるアーキテクチャー、リードスイッチ及びパワーリードスイッチの制御回路、使用環境、年間使用回数、自己診断、プルーフトテスト間隔並びに予防保全の安全ライフサイクルデータを収集し、安全要求事項の明確化を試みた。

また、安全度水準を高めるには、接点溶着防止、PLCやCPUによる接点監視及びシステムの二重系が必要になる。このときに問題となるのが、IEC 62246-1-1:2013が規定する高い接触信頼度、機械的寿命及びAC-15、DC-13誘導負荷での電氣的寿命 B_{10} 値と使用者側と取り交わす B_{10d} 値である。

この B_{10} 値の推定では、安川コントロール株式会社と産業安全研究所が、共同研究を行う過程で作成した文献9)及び10)で得られた実験結果を B_{10d} 値の決定に援用した。結論として、

- i) パワーリードスイッチの危険側故障の発生確率は 2.0×10^{-10} (1/h)と推定される。
- ii) 動作回数は、約3,000万回以下に限定すべきである。
- iii) 安全度水準の高い産業機械の安全制御へ適用するには、二重化と概ね2.8時間に一回以上の不一致検出が必要である。との結果を得た。

2014年春に、NECA TR-U47: 2014の英訳原案をTC94/MT6会議で提案した結果、独国委員の意見は、使用者側に有益な情報を提供することができることから、IEC/TR 62246-3, Technical Report: Reed switches - Part 3: Typical safety applicationsとして、開発することが決定した。

ただし、装置の運用者/システム供給者/機器供給者間の責任区分を明確にする構成に再構築し、2015年春、独国委員の安全関係者を交えて審議を行う予定となった。

その結果を踏まえ、2015年秋のTC94 Plenary 東京会

議で最終決定することが、決議された。

なお、この審議では **IEC 62246-1-1: 2013** 規格が、規定する接点定格値を各応用製品の接点定格値に引用することが目的であり、リードスイッチ規格の適用範囲の拡大とリードスイッチの模倣品対策が可能となる。

2) リードスイッチの安全方策の類型化

以上の標準化の過程で、リードスイッチを応用する制御機器の安全方策は、以下 5 種類の機器に分類できることが判明した。

- i) 電磁コイルで駆動するリードリレーには、**IEC 61810-1: 2015** 年¹⁸⁾ 及び **61811-1: 2015** 年¹⁹⁾ 規格と本規格の併用を推奨する。
- ii) 磁石で駆動する制御機器、磁気近接スイッチ、非接触式安全スイッチには、**IEC 60947-5-1: 2003**²⁰⁾、**60947-5-2: 2012**²¹⁾ 及び **60947-5-3: 2005**²²⁾ 規格と本規格との併用を推奨する。
- iii) 磁石と別の機能（例えば、バネ）を加えて衝撃・温度等のセンサー類等には、本規格が規定する接点定格を製品の接点定格とする必要がある。

3) リードスイッチ製品が適用されている災害防止装置

表 5 災害防止装置

適用分野	災害防止装置	備考
産業機械	アクチュエータ（位置検知センサー） インターロック装置（非接触式安全スイッチ）	ISO 4413: 2010 ²³⁾ ISO 4414: 2010 ²⁴⁾ ISO 14119: 2013 ²⁵⁾ IEC 61508-series JIS B 6410: 2009 ²⁶⁾
昇降機	戸開走行検知装置	建築基準法 ISO 22201:2009 ²⁷⁾ ISO 22201-2:2013 ²⁸⁾
鉄道	自動列車停止装置（制御リレー） 自動列車制御装置（制御リレー）	国土交通省令 ²⁹⁾ 普通鉄道構造規則 ³⁰⁾ 新幹線鉄道構造規則 ³¹⁾ IEC 62278-series ³²⁾

表 6 被害軽減装置

適用分野	被害軽減装置	備考
自動車	エアバック（衝撃センサー） ブレーキ装置（液面検知センサー）	国土交通省令 ³³⁾ ISO 26262-10: 2012 ³⁴⁾
家庭用電気品	脱水機（蓋開位置検知センサー）	通商産業省令 ³⁵⁾ IEC 60335-2-4:2002 ³⁶⁾ IEC 60335-2-7:2002 ³⁷⁾
燃焼機器	ガス遮断器（流量検知センサー）	液化石油ガス法 ³⁸⁾ IEC60730-2-5:2000 ³⁹⁾
電力	電力系統配電（保護リレー）	IEC 61508-series JEC 2500:1987 ⁴⁰⁾ 電力用規格 B-402 ⁴¹⁾

表 7 責任分担の例

リードスイッチ製品の関係者	供給者の責任	顧客責任
システム供給者	○	
リードスイッチ製品供給者	○	
リードスイッチ供給者	○	
装置の運用者		○
装置の所有者		○
装置の保全者	○	○

と被害軽減装置に対する安全要求事項

リードスイッチ製品が適用されている災害防止装置及び被害軽減装置に対する安全要求事項は、次によって規制されている。

- i) 法律、政令、各省令
- ii) 各分野の規格
- iii) 機能安全規格

表 5～6 に、リードスイッチ製品が適用されている災害防止装置、被害軽減装置を示す。

なお、備考欄に安全要求事項の基になった法律、政令、各省令、各分野の国際安全規格及び機能安全規格を示す。

4) ライフサイクル過程における責任分担

リードスイッチ製品のライフサイクル過程で使用者と供給者間の関係において、責任がどのように分担されるかを分析することは有意義なことである。表 7 に典型的な例を示す。

制定した **NECA TR U-47: 2014** は、上記 3) 及び 4) の事項を鑑み、改訂の審議を行う。

また、機能安全規格が適用される大規模システム以外の燃焼バーナ制御装置の安全要求仕様：**IEC 60730** や自動車エアバックの安全要求事項：**ISO 26262** 等の決定的なアプローチを盛り込み、2015 年春の次回 MT6 会議に臨む考えでいる。

8 産業機械の労働災害防止対策への展開

さらに、各適用分野が規定している安全方策と機能安全規格が要求する安全度水準を整理すると、産業機械を対象とした **ISO 14119: 2013** では、磁気駆動の非接触式安全スイッチを備えたインターロック装置の設計及び選択のための原則の適用が不可欠と判断された。

この原則は、国際機能安全規格が規定する SIL 2 or 3 又は PL_e レベルの安全度水準、及び防水仕様を必要とする食品機械等取り外せる扉のガードインターロック装置も含まれる。

また、パワーリードスイッチを過電流から保護するため短絡防止のヒューズを内蔵し、過電流が流れた時はヒューズを飛ばして回路を切るような設計も必要と判断された。さらに、PLC による二重系の監視と両方の相互監視で安全状態を確認し、人が扉を開いた時、機械の稼働を止め安全を確保する設計も必要と判断された。

このような構成は、強制的に機械式接点を開離する機構を持つ安全スイッチが使用できない取付け精度、水・塵埃・油等現場悪環境下で使用できると考えられ、図 5 に示す本素子を使った安全確認装置の高カテゴリー化を図った。

さらに、リードスイッチが位置検知センサーに適用される **ISO 4413:2010**、油圧 - システム及びその機器の一般規則及び安全要求事項や **ISO 4414: 2010**、空気圧 - システム及びその構成部品に関する一般規則及び安全要求事項では、安全方策として位置検出によるシーケンス制御が要求されている。

また、機器には MTTF 及び B₁₀ 値等の信頼性データが

要求される。さらに、サーボシステムの安全関連部には、規定された安全度水準が要求されている。

なお、**IEC60079-15:2010, Electrical apparatus for explosive gas atmosphere – Part 15: Type of protection “n”** では、ガラス封入接点がガス雰囲気：Class 1, Division (Zone) 2, Groups A,B,C,D に使用することができる。

9 昇降機の労働災害防止対策への展開

2010年、**IEC 62246-1-1 Ed. 1**の委員会投票原案回覧中に、**ISO / TC178 / WG8**からリードスイッチ内蔵磁気近接スイッチを昇降機に適用したいため Liaison の申込みがあった。このため、2012年の**IEC / TC94 / MT6**米国会議に**ISO / TC178 / WG8**の Convenor を招待して、本規格の附属書Cに、「リードスイッチはエレベータの制御機器である磁気近接スイッチの内蔵接点に使用できる」。また、「**ISO 22201-series**規格が規定するエレベータ、エスカレータ及び動く歩道に、磁気近接スイッチの内蔵接点として使用する場合、国家規格を参照する」と規定した。

また、2006年6月に、日本で発生したエレベータ事故を受け、2009年9月に改正建築基準法施行令が施行され、国土交通省は、かごを自動的に制止させる「戸開走行保護装置」の設置を義務付けた。

この対策では、原則として、①二重系のブレーキ、②戸開走行検出装置（特定距離感知装置等）、③二重系の制御装置（制御プログラム）の3条件を全て満たすことが必要である。この内容はエレベータの労働災害防止対策にも活用されているが、このときの昇降機の位置検出にもパワーリードスイッチが利用できると考えられる。

10 労働安全分野以外への展開事例

労働安全分野以外の顕著な展開事例として、鉄道信号分野のATC装置がある。この装置では、**IEC 62278**規格による安全度水準（SIL 4）の目標が、技術論文⁴²⁾で発表されていた。また、電力系統保護デジタルリレーに関する信頼度向上技術も安全度水準（SIL 3）の目標が、技術論文⁴³⁾で発表されていた。

これらの論文では、信頼性データを重視するものの試験によって得られるデータには限りがある。このため、安全立証の根拠として、長い歴史と経験に裏付けられた実績を重視した。

ちなみに、**IEC e-tech, 2014年3月**の交通関係特集号で鉄道輸送は、乗客と輸送の両方を確立する極めて重要な輸送手段で世界景気の主要な要素であるとしている。

一方、自動車では、毎年概算130万人が道路交通事故で死亡され、2,000～5,000万人の方々が負傷されている。新しい安全装置を含んでいる技術及びそれらの関連するインフラストラクチャー及びシステムを備えた自律走行車及びインテリジェント交通システムが必要であることが発表されている。リードスイッチを応用した衝撃センサーは、自動車のエアバック装置へ適用され、事例として**IEC / TR 62246-3**に掲載した。

エアバックに対する機能安全要求は、**ISO 26262**ガイドラインの第10部に規定され、衝突を検出するため冗長系のある機能を持たせ、二つの独立する加速度計と点火回路を持ち同時の時に動作することが要求されている。半導体の衝撃センサーとリードスイッチの衝撃センサー両方が、衝突による衝撃を検知した時、エアバックが作動する仕組みである。

次に、パワーリードスイッチが、鉄道分野に導入された経緯と実績を表8に纏め、詳細を述べる。

1) 1980年、従来の「ATS」地上子では、外部中継箱に、接触抵抗が最少かつ安定するPGS接点の制御リレー（真空管のような形状）を設置し、ケーブルを通して接続するためケーブルのL、C、R分が共振回路に影響する。パワーリードスイッチ内蔵の制御リレーを地上子に内蔵することで、この問題を解決した。

しかし、「ATS」地上子は、線路枕木の上に設置されるため広い温度範囲、耐振動150G・耐衝撃200G、耐外来磁気（耐性150 Gauss）及び低接触抵抗が要求される。「リードスイッチ」は一端固定・多端自由の片持ちばね構造であり、無励磁状態では特に振動に弱い。パワーリードスイッチが条件をほぼ満足することが判り、1980年関西本線の試行区間にて、10年間のフィールド試験の結果、**MIL-Std-882**⁴⁴⁾の事故レベル（Hazard Level）のカテゴリIIを目標に、フェイル・セーフ性と信頼性の向上策を検討し実用化した。地上子の共振周波数の制御方法は、地上子内蔵の制御リレーの接点溶着の無い環境である。

2005年の福地山線脱線事故以後は、従来の“自動列車停止機能”に“速度照査機能”を付加するため現行設備と併用可能な新しい車上速度照査式「ATS」に全て置き換えられている⁴⁵⁾。その鉄道信号装置・機器の耐用寿命に関する検討書⁴⁶⁾では、ATS地上子（リレー内蔵）はオーバーホール無しの10～15年である。

2) 1980年、従来の「新幹線戸閉めスイッチ」は、リードスイッチ内蔵磁気近接スイッチでドアの閉位置を検出、増幅リレーを介して接点信号を出力していたため、接触障害がしばしば発生し列車運行に支障（A故障）を起こしていた。

連結車両の戸閉めスイッチを全数直列に接続し、運転表示ランプとドア開閉用電磁バルブを制御するため高い信頼性が要求される。パワーリードスイッチで、信頼性を大幅に改善した。

1982年の200系東北新幹線車両で、2年間のフィールド試験を経て、全ての新幹線車両や在来線車両へ普及した。

3) 1970年代、新幹線の自動列車制御装置（ATC）の車上信号受信器の信号継電器、論理部の出力には、RL形式のワイヤスプリングリレーや水銀リレー等が採用されていた。

1984年、ワイヤスプリングリレーの生産中止やマイクロコンピュータ技術の導入に伴い、RL形式取得の本素子リードリレーが、ATCブレーキ共通部回路の出力用途に採用され、改良を加えて新型新幹線車両に展開している。

安全度水準で最も高いレベルが要求され、接点溶着は絶対あってはならない。1970年代は各接点にヒューズを挿入することが標準化されていたが、ヒューズの故障率が異常電流による短絡事故の発生確率より多い。常用及び非常用ブレーキの2重系回路と接点自動監視のシステム側による冗長設計と定期的安全点検が実施されている。

4) 2000年、従来の車両用継電器は、故障時の取替えが簡単に済むことからプラグイン式が主流だった。直流回路で使用するため接点の損傷が激しく、定期的な接点面の保守（リレーを取り外して接触抵抗値を測定し規定値から外れた場合、なめし皮で接点面を掃除する）が大変なことから接点の無保守を強く要望された。

車両用 DC 100V コイル定格、本素子の多極形リードリレーの開発で、従来のソケットにケーブルを配線する手作業の継電器盤からリレー基板ユニット化で小型化した。自動ハンダによる製造方法で、配線数、配線工数を削減できる車両用継電器盤を製作する。2000年に新幹線車両の技術課題を解決、公開特許公報が公開された⁴⁷⁾。

5) 1996年、主断路器に適用する真空遮断器の開発に伴い、最終使用者の接点無保守化の要望から従来の補助接点（リミットスイッチ）の置換えが要望された。主回路が、真空高速度遮断器で密閉し無保守化され、補助接点だけ全検時に検査及び接点面の保守をすることができないためである。

6) 2007年以降、高速化に伴う新 Digital ATC 自動列車制御装置や車体傾斜制御装置：半径 2,500m 以内のカーブを高速で通過する場合、乗客の乗り心地改善から各車体を約 1 度傾斜させるエアサスペンションの制御バルブを開閉する用途に採用された。本用途は、他の装置と比較して動作回数が非常に多いためリレーの寿命を考慮し、全般検査時にリレー基板を取り替えていたが、膨大な検修コストが掛かるため単品リレーの交換で済む予防保全の検修方法である。従来、2 全検でリレー基板ごと交換していたが、使用頻度の高いリレーのみを取替、4 全検でリレー基板を交換するリレー取替作業方法、ハンダ作業認定制度、設備の改良等を行い、検修方法を確立した⁴⁸⁾。

従来使用されていた制御機器の信頼性及び保守性の課題及びメーカーの生産中止問題を、最終使用者やシステム設計者と協業して、パワーリードスイッチ内蔵の制御機器で置換え、長期間のフィールド試験で安全性並びに信頼性を実証した集積が、鉄道車両の安全関連制御装置に採用され、旧国鉄形式や JR 各社の形式で、標準登録された。

実使用時の事例集、選択設計の判断基準、クレーム等の不具合事例と改善策、保守の判断基準等は、「継電器のはなし」⁴⁹⁾ や「信号概論 ATS・ATC」⁵⁰⁾ 等に記載され、鉄道車両技術者の選択設計の指針となっている。

現在、鉄道分野の適用範囲は ATS / ATC / ATO 等車上装置の信号情報伝送や定位置停止装置、補助電源装置、車両情報制御装置、主変換装置、コンバータ・インバータ制御装置、空調装置、統括配電盤や戸閉め継電器盤等の重要な部位に広がり海外の高速鉄道に展開している。

7) 2004年、中国国家企業はカナダ、フランス、ドイツ

及び日本から高速鉄道の技術供与を受け、中国南車、中国北車集団がそれぞれの技術を使って生産するライセンスを取得した⁵¹⁾。

2007年、中国鉄道の「第6次スピードアップ」で、新幹線をベースにした高速鉄道車両は、運行後に海外メーカーが技術供与した車両で故障が続発する事象にも助けられ、新幹線型への評価が定着した⁵²⁾。

次の高速列車や都市間交通用の中国四縦四横高速鉄路計画の全路線の運行車両にも導入され、構成比率は圧倒的に高く、その評価の高さを示している⁵³⁾。

8) 鉄道発祥の地である英国では、高速列車が2009年に開業した。年末、20年振りに襲った欧州の大寒波襲来により、ロンドン近郊はダイヤの乱れが日常化し大混乱に陥った。英国とヨーロッパ大陸を結ぶ高速鉄道が、運行トラブルが頻発する中で、日本が導入した高速列車だけが唯一平常運転したことで、現地で高い評価を得た⁵⁴⁾。

従来使用されてきた制御機器と比べ、信頼性及び安全性を改善したパワーリードスイッチは、台湾、中国、英国の高速鉄道並びに世界の地下鉄車両が平常運転することで、その安全性が立証され、次の新たなプロジェクトに展開している。

11 おわりに

日本が提案したパワーリードスイッチの安全技術に関する国際標準化は、公共性の高い鉄道・電力・昇降機設備から産業機械類等の安全装置、防爆機器に用いられる安全性を左右する重要な部品に適用するもので、社会の安全性確保に大きく貢献しうる点で波及効果は大きい。また、各国家規格に普及できる成果と認知度の向上に繋がり、我が国のインフラ輸出の拡大にも貢献できると考えている。

本資料は、パワーリードスイッチの安全技術に関する標準化の成果を、特に、産業機械分野、昇降機分野、及び鉄道分野を中心に従来の制御機器と比較し、導入の効果とその実績を整理した。

一方、事業を海外に展開するには、実績と製品を定義し、評価する国際標準規格が無ければ、顧客は全く興味を示さない。標準化されていなければ、戦う土俵に挙げられないことである。

これが、事業の海外戦略に国際標準化を取り入れた要因である。

今後は、本国際標準を有効活用した新製品の開発と立体商標登録等の知的財産権の確保に取り組むとともに、これまで以上に産業機械を対象とした労働災害防止対策への活用も進めたいと考えている。

謝 辞

本資料を公表するにあたり、パワーリードスイッチに関する安全技術の国際標準規格化並びに日本工業規格化に、長年に渡り技術支援を賜った機械システム安全研究グループの関係各位に謝意を述べたい。

また、この場をお借りして、ご支援して頂いた経済産

業省産業技術環境局，(一社)日本規格協会，(一社)日本エレベータ協会，(一社)日本鉄道電気技術協会，(一社)信号工業協会，公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道国際規格センター，及び(一社)日本電気制御機器工業会，NECAのリードスイッチ JIS 原案作成委員会，制御安全委員会，リレー技術委員会及び TC94 国内委員会，並びに安川コントロール(株)関係各位に謝意を述べたい。

参 献

- 1) ISO 13849-1:2006. Safety of machinery – Safety related parts of control systems – Part 1: General principles for design.
- 2) IEC 61508-1 Ed.1:2010. Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety - related systems – Part 1: General requirements.
IEC 61508-2 Ed.2:2010. Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems – Part 2: Requirements for electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems.
IEC 61508-4 Ed.2:2010. Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems – Part 4: Definitions and abbreviations.
- 3) IEC 62061:2005. Functional safety of safety-related systems, electronic and programmable electronic control systems.
- 4) 梅崎重夫，小林茂信，濱田健次郎，藤原一志. 磁気スイッチによるセンシング技術を応用した産業用ロボットの安全システムの開発. 第 31 回安全工学シンポジウム講演予稿集. 2001: 157-160.
- 5) 井土伸彦，小林茂信，梅崎重夫，中村英夫，濱田健次郎，藤原一志. 磁気スイッチを用いた産業用ロボットのホールド停止監視装置の開発. 日本機械学会. 第 10 回交通・物流部門大会講演論文集. 2001: 255-256.
- 6) 梅崎重夫，小林茂信，濱田健次郎，藤原一志. 産業用ロボットへの適用を目的とした旋回角度監視装置の開発と評価. 産業安全研究所特別研究報告. 2002: 57-63.
- 7) 梅崎重夫，小林茂信. 生産・施工システムの総合的安全制御技術の開発—大規模生産システムを対象とした安全制御技術の開発. 産業安全研究所年報. 2001: 17.
- 8) 濱田健次郎，梅崎重夫，小林茂信，井土伸彦. 物流機械に適用したパワーリードスイッチの安全性評価. 日本機械学会. 第 11 回交通・物流部門大会講演論文集. 2002: 341-344.
- 9) 濱田健次郎，若林洋一，梅崎重夫，小林茂信. パワーリードスイッチの安全性評価手法に関する一考察—フィールドデータに基づく危険側故障の発生確率の推定—. 日本信頼性学会誌. 2002; 25(3): 257-265.
- 10) Hamada K, Umezaki S and Kobayashi S. Study on the safety evaluation method of the power reed switch – Estimation on the occurrence probability of failure to danger based on field data –, ISEMD. 2003: 47-52.
- 11) 飯盛憲一，藤原一志. パワーリードスイッチの接触抵抗と接触信頼性. 信学論 (C- II). J74-C- II . 7. 1991: 576-583.
- 12) IEC 62246-1 Ed.3:2015, Reed switches – Part 1: Generic specification.
- 13) IEC 62246-1-1 Ed.1:2013. Reed switches – Part 1-1: Generic specification – Quality assessment.
- 14) 年間停電回数と停電時間の推移. b-16 電気事業連合会. 2011.
- 15) LPG 事故報告: 図-1 年別事故件数及び死傷者数の推移. 経済産業省. 2014:15.
- 16) NECA TR-U47: 2014. リードスイッチ製品の安全適用事例. 一般社団法人 日本電気制御機器工業会技術資料. 2014 年 4 月制定.
- 17) 交通事故発生状況の推移. 警察署の統計データ (平成元年～平成 23 年).
- 18) IEC 61810-1: 2015, Electromechanical elementary relays
- 19) IEC 61811-1: 2015, Electromechanical non-specified time all-or-nothing relays of assessed quality
- 20) IEC 60947-5-1:2003. Low voltage switchgear and controlgear – Part 5-1: Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices.
- 21) IEC 60947-5-2:2012. Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-2: Control circuit devices and switching elements - Proximity switches.
- 22) IEC 60947-5-3: 2005. Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-3: Control circuit devices and switching elements Requirements for proximity devices with defined behaviour under fault conditions.
- 23) ISO 4413:2010. Hydraulic fluid power – General rules and safety requirements for systems and their components.
JIS B 8361:2013. 油圧 - システム及びその機器の一般規則安全要求事項.
- 24) ISO 4414:2010. Pneumatic fluid power – General rules and safety requirements for systems and their components.
JIS B 8370:2013. 空気圧 - システム及びその機器の一般規則安全要求事項.
- 25) ISO 14119:2013. Safety of machinery – Interlocking devices associated with guards – Principles for design and selection.
JIS B 9710: 2011. 機械類の安全性 - ガードと共同するインターロック装置 - 設計及び選択のための原則.
- 26) JIS B 6410: 2009. サーボプレス - 安全要求事項.
- 27) ISO 22201: 2009. Lifts (elevators) – Design and development of programmable electronic systems in safety-related applications for lifts (PESSRAL) .
- 28) ISO 22201-2: 2013. Lifts (elevator) – escalator and moving walks – Programmable electronic systems in safety related applications -- Part 2: Escalators and moving walks (PESSRAE).
- 29) 鉄道に関する技術上の基準を定める省令 (国土交通省令). 第五十七条.
- 30) 在来鉄道用の普通鉄道構造規則. 自動列車停止装置 第百五十九条. 自動列車制御装置 第百六十条.

- 31) 新幹線鉄道用の新幹線鉄道構造規則. 自動列車制御装置
第七十一条.
- 32) Railway applications - Specification and demonstration of
reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)
- Part 3: Guide to the application of IEC 62278 for rolling
stock RAM.
- 33) 道路運動車両の保安基準の細目を定める告示 (国土交通省
令). 別添 12 乗用車の制動装置の技術基準.
- 34) **ISO 26262-10**:2012. Road vehicles - Functional safety -
Part 10: Guideline on ISO 26262.
- 35) 電気用品の技術上の基準を定める省令 (通商産業省省令第
85号). 第2項の規定に基づく基準.
- 36) **IEC 60335-2-4**:2002. Household and similar electrical
appliances - Safety - Part 2-4: Particular requirements for
spin extractors.
- 37) **IEC 60335-2-7**:2002. Household and similar electrical
appliances - Safety - Part 2-7: Particular requirements for
washing machine.
- 38) 液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律
による性能基準 (法律施行基準第44条). 消費設備の技術上
の基準.
- 39) **IEC 60730-2-5**:2000. Automatic electrical controls for
household and similar use - Part 2-5: Particular
requirements for automatic electrical burner control
systems.
- 40) **JEC 2500**:1987. 電気規格調査会標準規格 電力用保護継
電器.
- 41) 電力用規格 B-402. デジタル形保護継電器及び保護電磁
装置 : 電気事業連合会, 平成 19 年 11 月改訂.
- 42) 平尾祐司. より安全性の高い列車保安システムを実現する.
第 19 回鉄道総研講演会. 60.
- 43) 小埜明比古, 長谷川正美, 金森重晴. 現場の安全を守る安全
制御ソリューション. 富士技法. 2009; 82(5): 28-34.
- 44) **MIL-Std-882**:1969. システム, 関連するサブシステム, 及び
装備のシステム安全性プログラムに対する必要事項.
- 45) 石川洋輔. JR, 民鉄の ATS (2). 鉄道と電気技術. 2010;
21(12): 66-70.
- 46) (一社) 信号工業協会. 鉄道信号用装置・機器の耐用寿命に
関する検討書. 2011: 13.
- 47) 公開特許公報 (A) 特開 2001 - 197601.
- 48) 河原哲・神村成春・千葉久統・川本佑太. 鉄道信号用装置・
機器の耐用寿命に関する検討書. 13. 平成 25 年度全国「車
両と機械」研究発表会「論文」(一社) 日本鉄道車両機械技
術協会 Rolling & Machinery. 2014; 22(7): 21-25.
- 49) 経験から学ぶ鉄道車両技術者必須シリーズ②. 継電器の話.
2009: 98-102.
- 50) (一社) 日本鉄道電気技術協会. 鉄道電気技術者のための信
号概論. ATS・ATC 改定二版: 2012: 1, 29.
- 51) 鉄道革命. 東洋経済. 2008: 62-64.
- 52) 鉄道. 東洋経済. 2010: 60-63.
- 53) 加賀隆一. 実践 アジアのインフラ・ビジネス—最前線の
現場から見た制度・市場・企業とファイナンス—. 株式会社
日本評論社. 2013: 62.
- 54) BBC news - Thousands freed from Channel Tunnel after
trains fail. 2009.

●スイッチのタンパープループ対策

NO.	区分	原理	方式	意図的無効化の具体策
1	タイプA	エネルギー	Short(A1) Open(A2) Charge(A3) Discharge(A4)	<ul style="list-style-type: none"> 端子間の短絡 端子接続線の切断 磁石を使って接点をONのままとする 意図的な電圧の印加 端子接続線をグラウンドに落とす 意図的な電圧の降下
2	タイプB	空間	Lock(B1) Unlock(B2) Move(B3) Break(B4) Close(B5) Open(B6)	<ul style="list-style-type: none"> 接点や板バネの意図的な固定 スイッチの意図的な取り外し スイッチの設置位置の意図的な移動 スイッチの意図的な破壊 バルブを閉に固定 バルブを開に固定
3	タイプC	時間	Delay(C1) Early(C2) Shorten(C3) Lengthen(C4)	<ul style="list-style-type: none"> タイミング信号の意図的な遅延 タイミング信号を意図的に早める タイミング信号を意図的に短くする タイミング信号を意図的に長くする



●スイッチの高カテゴリー化

区分	カテゴリー1 (高信頼度化)	カテゴリー2 (定期的自動監視)	カテゴリー3及び4 (二重化不一致検出)
構造	<p>パワーリードスイッチ PLC</p>	<p>パワーリードスイッチ チェック回路 安全PLC</p>	<p>パワーリードスイッチ 不一致検出回路 安全PLC</p>
研究課題	<ul style="list-style-type: none"> 素子の TUV 第三者認証取得 (UL, CSA は取得) 配線ケーブル長 (浮遊静電容量) の検討 電磁環境の評価 接点溶着電流-ヒューズ協調など 	<ul style="list-style-type: none"> スイッチの接点溶着及び磁石による意図的無効化対策として、次のものを行う スイッチに対する強制ガイドの設置 スイッチに対するプログラマブルな Off 確認 	<ul style="list-style-type: none"> スイッチの接点不良、接点溶着及び磁石による意図的無効化対策；スイッチの二重化と常時の不一致検出を行う 1a1b, 2b, 1b2a, 2b1a, 3b 等の接点構成ユニットと駆動用磁石の設計 (Non-contact interlock switches)
適合規格			<ul style="list-style-type: none"> ISO 14119 (EN 1088)；ガードインターロック装置 IOS 12100 (EN 292)；設計原則規格 IEC 60204-1 (EN 60204-1)；産業用機械類の電気装置
適合事例	<ul style="list-style-type: none"> 鉄道車両, 信号市場 昇降機, 立体駐車場市場 	<ul style="list-style-type: none"> 産業用ロボット, 物流機械市場 	<ul style="list-style-type: none"> プレス機械, マシニングセンター, CNC 旋盤



規格化と標準化

図5 パワーリードスイッチを使った安全確認装置の研究課題

表 8 鉄道分野におけるパワーリードスイッチ製品の主な導入成果と実績

開発(年)	安全要求仕様	従来制御機器の問題点	パワーリードスイッチの導入成果	実績
1980～1990	ATS-P形システム；事故レベルのカテゴリIIを目標戸閉め保安装置（新幹線戸閉めスイッチ）；高い安全度水準	PGS 接点継電器；ケーブル配線するとQ値の低下と特性のばらつきが大きくなる 磁気近接スイッチと出力リレー内蔵の一体形；接触不良による車両運行不良の事故、A故障問題	要求条件：耐振性、耐磁気性、小型化、接触信頼性の高いもの 検証：鉄総研・システムと協業、1980年から10年間の実機試験 要求条件：高い接触信頼性 検証：1980年から2年間の実車試験合格後、営業運転導入；1a, 2a 接点構成の製品化	・JR 在来線／民鉄路線に設置 1a, 1b, 1a1b, 2a 接点形を製品化 ・RL 形式登録 ・JR 各新幹線車両 ・中国／英国高速鉄道
1980～1990	ATC 車上装置（論理部）；最も高い安全度水準	ワイヤスプリングリレー；生産中止、基板実装（軽量化）	要求条件：高い接触信頼性、DC100V, 0. 5A 誘導負荷の遮断容量 検証：実負荷電氣的寿命と年間使用回数確認 導入；1a, 2a 接点構成の製品化	・RL, TRL 形式登録 ・JR 各新幹線車両 ・中国／英国高速鉄道
1991～2000	ATS / ATC / ATO 車上装置 情報伝送・ブレーキ回路等；最も高い安全度水準 制御盤（統括配電盤／戸閉め継電器盤等）；高度な信頼性の要求 断路器；高度な信頼性の要求	水銀リレー；環境問題で生産中止、経年劣化に伴う接点スティッキング問題 プラグイン形リレー；配線ケーブル及び継電器盤の製作費、手ハンダ作業 リミットスイッチ；接点面の保守、使用環境による接触不良問題	要求条件：高い接触信頼性、耐溶着性、高頻度使用 検証：実負荷電氣的寿命と年間使用回数確認 導入；取付け互換性の有る 1a, 1b, 1a1b, 2a 接点形の製品化 要求条件：基板実装形、高い接触信頼性、接点面の無保守化 検証：実機搭載での形式試験（振動、衝撃、耐久試験） 導入；2a, 2b, 4a, 4b, 2a1b, 1b2a, 3a, 3b 接点形の製品化 要求条件：高い接触信頼性、接点面の無保守化 検証：実機搭載での形式試験（振動、衝撃、耐久試験） 導入；1a1b, 2a2b, 3a2b 接点形の製品化	・TRL 形式登録 ・JR 通勤／民鉄車両／新幹線車両 ・中国／英国高速鉄道 ・JR 通勤／民鉄車両／新幹線車両 ・海外地下鉄車両 ・中国／英国高速鉄道
～2014	主変換制御装置／補助電源装置等；高度な信頼性の要求 車体傾斜制御装置；最も高い安全度水準	プラグイン形リレー；接点面の保守、使用環境による接触不良問題 他の装置と比較して、動作回数が非常に多い	要求条件：高い接触信頼性、接点面の無保守化 検証：実機搭載での形式試験（振動、衝撃、耐久試験） 導入；2a1b, 3a, 2a2b, 4a, 3a3b, 4a2b 接点形の製品化（プラグイン） 要求条件：高い接触信頼性、DC100V, 0. 5A 誘導負荷の遮断容量 検証：実負荷電氣的寿命と年間使用回数確認 導入；285Km / h の運行速度 Up と所要時間の短縮	・TRL, WRL 形式登録 ・JR 通勤／民鉄車両／新幹線車両 ・中国／英国高速鉄道 ・リレー検査方法の確立 ・ハンダ作業認定制度 ・検修コストの削減