

鉄道信号用リレーの耐用寿命

2011年6月

株式会社京三製作所
大同信号株式会社
日本信号株式会社

1. まえがき

鉄道信号用リレー（以後リレーと呼ぶ）は、継電連動装置をはじめさまざまな信号保安装置に使用されており、装置を安全性と信頼性の高い状態で稼働させるためには、リレーを定期的に交換することが重要である。そこで、リレーの性能を劣化させる要因を分析した上で、フィールドにおける過去の実績および設計上のリレー構造などを考慮し耐用寿命を設定した。

2. 耐用寿命の定義

リレーの耐用寿命は、一般使用環境において使用された場合の期待寿命として位置づけられ、動作回数に起因する摩耗劣化型と経年（経過時間）に起因する経年劣化型の両面を考慮したものである。いずれも故障曲線（バスタブカーブ）が摩耗期に入り、故障・誤作動が安定期と比べ増加傾向となる時期で、動作回数または経年のいずれか一方が先に寿命期に達したところをリレーの耐用寿命とする。なお、リレーは基本的に部品交換やメンテナンスに適した構造ではないため、リレーの耐用寿命は、オーバーホールを前提としていない。

3. 劣化要因の分類

リレーの劣化が進行すると最終的には故障に至る。故障が鉄道に及ぼす影響を考慮すると、リレーの取り替えは故障に至る前の劣化進行途中で実施されなければならない。主な劣化形態の要因を動作的要因と経年的要因に分類して表1に示す。

表1 劣化要因の分類

	劣化形態	要因	内容
動作的 要因	接点接触力の低下	接点間放電 (火花)	接点の開閉時に生じる火花により接点が消耗すると、接点の押し込み量が減り接点接触力が低下して、接点間に介在する絶縁物を機械的に破壊しにくくなる。また、振動などの外力により接点が不正に開放しやすくなる。
	接点接触抵抗の増加		接点の開閉時に生じる火花は炭化物などを生成する。この炭化物は接点表面に残留して接点接触抵抗を増加させる。また、炭化物などが導体間の絶縁部品に堆積すると絶縁低下が生じて絶縁不良に至り、カバーに付着すると、動作状態の視認が難しくなる。
	絶縁低下		
	視認性の低下 (カバー汚損)	摩耗	動作上発生する摩耗粉などがリレーのカバーに付着すると、汚損により動作状態の視認が難しくなる。
	動作特性の変化		リレーが動作することにより生じるアーマチュアのヒンジ部や磁気止めピンなどの摩耗は、落下電流の低下に繋がり最終的には落下不能などの悪性故障を引き起こす。また、リレーの動作電流と落下電流の変化は、動作時間や復旧時間に影響を及ぼす。

表1 劣化要因の分類（続き）

	劣化形態	要因	内容	
経年的要因	接点接触抵抗の増加	硫化・酸化など	使用環境中のガスや塵埃などにより接点表面に皮膜や異物が生じると、接点接触抵抗が増加する。特に、銀系接点は、硫黄（S）により硫化皮膜を形成しやすい。また、シリコンガス雰囲気中においてリレーを使用すると、接点開閉時の放電により接点表面に酸化シリコンが生成され、接点接触抵抗が増加して接触不良に至る。	
		錆	接点の開閉時に生じる火花により生成されたNO _x は、空気中の水と反応して硝酸となり、銅系材料に緑青（青錆）を発生させる。接点付近に生じた緑青が剥がれて接点に付着すると、接点接触抵抗が増加して接触不良に至る。	
	動作特性の変化		湿気や外気温の変化によってできる結露などが、アーマチュア、コアーなど金属材料に錆を発生させて動作を阻害することがある。	
	接点接触力の低下	枯れ化	成形材料などの高分子材料が経年により収縮し、いわゆる枯れた状態になると、部品の固定ねじが緩み、リレーの動作特性が変化する他、規定の接点接触力が維持できなくなり、接点接触抵抗が増加して接触不良に至る。	
	バック圧力の低下	ばねのクリープ	ばねのクリープ（へたり）により接点接触力が低下すると、接点接触抵抗が増加して接触不良に至る。また、外力により接点が不正に開放しやすくなる。	
	バック圧力の低下		バック圧力とは、リレーの落下状態におけるアーマチュアが外力などにより不正に動かないように押さえる力であり、その力はばね力により支えられている。経年によるばねのクリープはバック圧力を低下させ、外力により接点が不正に開放しやすくなる。	
	接触部の抵抗増加		ばねのクリープ（へたり）によりジャック端子の接触圧力が低下すると、接触部の抵抗が増加して接触不良に至る。	
			フレットイング	振動などにより、リレーとジャック板の端子接触部が摺動すると摩耗粉が生じる。これに起因して接触部の抵抗が増加し、接触不良に至る。
	絶縁低下		汚損	外部から侵入する塵埃などが導体間に堆積すると導体間の絶縁が低下して絶縁不良に至る。
			マイグレーションなど	高分子材料で絶縁された導体間に適度の湿気と電位差が与えられると、導体のめっきなどが溶解して、絶縁部品を渡り導体間が短絡する。特に顕著に現れる材料の組み合わせはフェノール樹脂成形材料と銀である。また、高分子材料によっては、劣化により絶縁性に影響する場合がある。
視認性の低下（カバー汚損）		汚損・変色	外部から侵入する塵埃などがカバーに付着して汚損したり、紫外線によりカバーが変色すると動作状態を視認するのが難しくなる。	
		破損・変形	カバーなど、高分子材料で作られている部品が経年劣化により破損または変形すると、外部から塵埃などが侵入しやすくなる。	

4. 耐用寿命

主なりレーの耐用寿命を表2に示す。

表2 主なりレーの耐用寿命

主な用途	リレー名称		主な使用場所			耐用寿命		備考
			屋内	屋外	車上	年数(年)	動作回数(万回)※1	
継電連動装置・電子連動装置・閉塞装置用	軌道リレー	(AC)	○			8~10	80	
				○		7~9	80	
		(H・AC)		○		7~9	80	
		(DC, B)		○		8~12	80	
	線条リレー	(H・DC, B)		○		8~12	80	
		(DC)	○			10~15	150	
		(DC, B)	○			9~12	80	
					○		8~12	80
	緩放リレー	(DC, E) (DC, W)	○			10~12	150	
					○		8~12	150
		(DC)	○			10~12	150	
	磁気保持リレー	(DC, B)		○		8~12	80	コンデンサ内蔵
		(DC, E) (DC, W)	○			8~12	150	
	有極リレー	(DC)	○			8~12	150	
		(DC, E) (DC, W)	○			8~12	150	
	緩動リレー	(DCB, 0.5)	○			10~12	40	
		(50/60) (83/100)	○			8~10	40	
			(50-65) (60-65)	○			8~10	40
	時素リレー	(DC24)		○		8~10	40	
		(SM)	○			10~12	※2	モータ式 各種類毎に動作回数が異なる
		(DC, 2)	○			10~12	80	
		(SCR)		○		8~12	150	電子回路+リレー
		(DCF)		○		8~12	10	電子回路+リレー
ツインリレー	(DTER)		○		8~12	150	電子回路+リレー	
	(DC)	○			10~15	150		
踏切保安装置用	線条リレー	(DC, F)	○			10~15	150	
				○		10~12	150	
	緩放リレー	(DC, F)		○		10~12	50	コンデンサ内蔵
	落下時素リレー	(DC)		○		10~12	50	コンデンサ内蔵
断続リレー			○		8~12	—	電子回路内蔵	

表2 主なリレーの耐用寿命（続き）

主な用途	リレー名称		主な使用場所			耐用寿命		備考
			屋内	屋外	車上	年数(年)	動作回数(万回)※1	
ATC 装置用	ATCリレー	(DC, TM)	○			10~12	150	一部コンデンサ 内蔵品あり
		(DC, SM)			○	8~12	1000	
ATS 装置用	ATSリレー	(QR)		○		8~12	150	
	線条リレー	(DC, MS)			○	8~10	1000	
CTC 装置用	線条リレー	(S)	○			8~12	500	
		(DC, SM)	○			8~12	500	
	磁気保持 リレー	(MM-240)	○			8~12	500	
		(MM-500)	○			8~12	300	
電気 転てつ器用	磁気保持リレー	(WR)		○		8~10	100	
	回路制御器			○		8~10	100	
その他	信号電源 切替リレー	(GMS)	○			9~12	0.4	
				○		8~12	0.4	
		(GCA)	○			9~12	5	
				○		8~12	5	
	位相検知リレー		○			8~10	40	
	接近リレー			○		8~12	80	電子回路+リレー
	過電流検知器			○		8~12	0.5	
小形交流リレー			○		8~12	100		
ジャック板	各種		○			20~25	—	
				○		15~20	—	

※1 定格負荷にて。

※2 表3による。

表3 時素リレー（SM）の耐用動作回数

時素種類	~10秒	~20秒	~60秒	~120秒
耐用動作回数(万回)	60	30	10	5

5. 使用環境

屋内、屋外、車上の標準的使用環境を表4に示す。

表4 リレーの標準的使用環境

	屋 内	屋 外	車 上
電源変動(%)	個別仕様による。		
温度(°C)	-10~+40	-20~+60	-10~+50
相対湿度(%)	90以下	95以下	90以下
振動(m/s ²) (10~1000Hz)	4.9(0.5G)以下		19.6(2G)以下

6. リレー種類・構造特有の劣化要因

各種リレー種類・構造特有の劣化要因と耐用寿命への影響を以下に示す。

(1) 有極リレー、磁気保持リレー

主として屋内で使用されるが、永久磁石の減磁、接極子軸の摩耗増大（接極子軸にかなりの荷重が掛かっている）により動作性能が影響を受ける。

(2) 低電圧リレー、時素リレー

摺動部の摩耗、ばねのクリープなどによる劣化がリレーの特に重要な性能（電圧検知、緩動時間など）に大きな影響を与える。

(3) コンデンサ内蔵、電子回路をもつリレー

これらのリレーに使用されているアルミ電解コンデンサは、劣化による容量の減少が性能（緩動時間、緩放時間）に大きく影響し、コンデンサの寿命がリレーの寿命を左右する。

(4) 小形リレー（CTCリレーなど）

リレー自体の発熱が高いため経年劣化が早い。

(5) 軌道リレー（AC）

コイル、翼板の温度上昇が大きいこと、電流波形歪みによる連続的な微振動が生じやすいこと、かつ摺動部が多いため他のリレーより劣化が促進される。

7. リレー寿命に影響する接点障害事例

リレーの動作回数に起因する耐用寿命は、主として負荷開閉による接点消耗に影響されるが、使用環境、負荷の条件によっては、規定の耐用動作回数を満たすことが出来ず、接触障害となる可能性もある。リレーを使用する上での留意しなければならない障害事例を下記に示す。

(1) シリコンガスによる接点接触不良

リレーをシリコン（低分子シロキサン）の雰囲気中で使用し接点を開閉すると、接点開閉時の放電によって、絶縁体の酸化シリコンを生成し、それが接点に付着することにより接点接触不良となることがある。シリコン（低分子シロキサン）は、シリコン系の充填材、接着剤、ワックス、オイル、ゴム、プラスチックの離型剤などに含まれていることがあり、リレーの使用環境で前記シリコンを含むものを使用しないことが大切である。

(2) 突入電流による接点の異常消耗不良

接点で容量性負荷（電子回路などの入力側に入っているコンデンサなど）を制御すると、接点閉成時に過大な突入電流が流れ、接点が異常に消耗したり、時にはロッキング（接点の消耗、転移に伴う変形により、相対する接触面が機械的にかみ合って開離困難となる現象）を生じたりする。

対策としては、負荷に直列に抵抗を挿入するなどして過大な突入電流が流れないようにする。

なお、負荷とする機器の電流は一般的にカタログなどでは定常値で表している場合が多く、実際に使用して接点不具合が起きてから突入電流に気付くことがあるので事前に確認して使用することが大切である。

8. 参考資料（過去の使用実績調査結果などの抜粋）

表5 参考資料

タイトル	発行年月	発行者	内容
新規格リレー解説	S48.3	国鉄 電気局信号課	<p>長寿命化、高信頼度化を盛込んだ信号リレーの大幅な規格改正を行った内容についての解説。</p> <p>取替え時期については、特に記述されていないが、現用においては経年劣化のファクターを考慮する必要がある。使用環境条件による寿命の短縮が現段階では明確でないため、今後の使用実績が必要である旨記載されている</p>
信号機器の経年劣化の調査資料（差込リレー、電気転てつ機）	S50.1	国鉄 電気局信通課	<p>現用品において動作回数管理の外に使用条件を前提とした経年管理の必要を認め、国鉄と信号メーカーが協同で経年ごとのリレーの調査を行い、耐用年数を判定している。その結果は、経年限度総括としてまとめられている。</p>
東海道新幹線ATC装置の劣化状態とその対策について	S50.7	信号メーカー3社	<p>調査対象リレーは、ATCリレー（DC, TM）で、動作レベル変化の原因が、接点ばねの経年によるクリープと接点ばね駆動系のフェノール樹脂成型品の枯れによるものと考えられ、ほぼ直線的に経年変化している。また、電解コンデンサ内部の劣化進展の程度が大きく既に摩耗故障期に入っている旨記載されている。</p> <p>結果的には、「TMリレーの耐用年数は10年程度」と記載されている。</p>
信号リレーの耐用年数について	S53.3	坪井正男	<p>対象は信号リレー全般で、耐久試験とフィールドデータを参考に、標準設計上10年の使用に耐えるよう作られている。ただし、屋外リレーを周囲温度50℃のもとで連続使用する場合は、10℃則によって耐用年数は5～7年程度に低下すると記載されている。</p>
設備機器の耐用年数について	S53.3	信号メーカー3社	<p>当資料は、公営鉄道殿へ提出した資料で、「てこ・リレー類」の耐用年数は6～10年、「40P プラグ・ジャック（新）」の耐用年数は15～20年としている。</p>
関ヶ原機器室ATC機能検査報告書	S56.2	新幹線総局、 鉄道技術研究所 東京システム 開発工事局	<p>対象リレーとしては、ATCリレー（DC, TM）TM-4を調査している。室温50℃に維持し（4～8倍の温度加速）経年変化を起こさせ機能の低下を調査した資料。</p> <p>結果としては、接点ばねの経年によるクリープとフェノール樹脂成形品の枯れにより、落下電圧と動作電圧が直線的に減少し、緩放用コンデンサと定電圧ダイオードの特性劣化が発生していた。そのため、動作時間の減少が著しく、平均値においては15年で仕様書範囲の下限をはずれ、ばらつきも大きくなっていった。</p>
踏切制御子、F形リレー、電気踏切遮断機の更新について	S59.12	信号工業協会、 信号保安協会	<p>信号工業協会および信号保安協会の協力により、設置された取替需要委員会において審議され、踏切制御子・F形リレー・電気踏切遮断機の各機器の経年毎の調査を行い、要因関連図を作成し、更新時期についてまとめたものである。</p> <p>F形リレーの耐用年数は10～12年との結論となっている。</p>
信号用リレーの経年調査報告書	S60.4	信号メーカー3社	<p>公営鉄道殿と信号メーカー3社の協力で、連動用リレー、他について経年毎のリレーの故障調査を行った。</p> <p>その結果、10年以上経過したリレーの不良率は81%である。</p>
アルミ電解コンデンサの寿命について	2001.9	コンデンサメーカー資料	<p>アルミ電解コンデンサの推定寿命計算と封口ゴムの寿命について説明している。その中で封口ゴムの寿命は材質の改良により従来10年のものが15年に延長されている。</p>

9. 補足（昭和47～48年の規格改正他）

昭和47～48年に高信頼度、長寿命化を目的に大幅な規格改正が行われた。表6に構造、材料、製造の面で行われた主な変更内容を示す。

表6 昭和47～48年の規格改正による変更

	項目	目的	内容
構造	A g C - A g 接点の双子化	接触信頼性の向上	A g C - A g 接点の構成で A g 側を双子接点とした。
	沿面距離の拡大(ジャック板)	耐電圧の向上	ジャック板端子間の沿面距離を延ばした。
	接点駆動方式の変更	振動における接点ばねの共振現象による開放接点の接触防止	線条リレー(DC, B1)、(DC, B3)、緩放リレー(DC, B)の接点駆動方式をフレクシャ式からリフトオフ式に変更した。
	蟻侵入防止構造	蟻による接点接触障害防止	屋外リレーは隙間及び換気孔を0.3mm以下とし、蟻がリレー内部へ侵入できない構造とした。
	フレクシャ式リレーのC接点ばねの駆動カード直結	接点駆動方式がフレクシャ式のリレーのC接点ばねは、駆動カードから遊離しない構造とした。	接点開離力の向上により接点溶着の防止をする。
	軌道リレー(AC)の電磁部構造変更	最大回転力率角の統一	信号メーカー各社で異なっていた最大回転力率角を80°に統一する為、鉄心及びコイルの形状を変更した。
材料	成形材料の変更	経年変化の抑制 耐アーク性の向上 マイグレーションの防止	フェノール樹脂(黒)からジアリルフタレート樹脂(緑)に変更した。
	各軸受けの特殊樹脂採用	軸、軸受けの摩擦防止(性能の安定化)	軌道リレー(AC)の各軸受けには特殊樹脂を採用した。
	カーボン接点の変更	接触抵抗の安定化	重負荷接点のカーボン接点を銀カーボン接点に変更した。
	緩放リレー(DC, B)セレン素子の変更	緩放時間の安定化	緩放リレー(DC, B)の緩放用セレン素子を電解コンデンサに変更した。
製造	めっきの変更	銀によるマイグレーション防止	接触片、端子の銀めっきをニッケルめっきに変更した。
	コイルの絶縁及び外装処理の変更	有機ガスの発生防止	エナメル電線をポリエステル電線に変更、外装処理を変更した。

10. 解 説

2002年2月改訂時

- (1) 初版時の調査資料などの内容をより詳細に説明して、全文の構成を変更した。
- (2) 耐用寿命（年数、動作回数）は、リレーの接点、ばね、プラスチック成形材などの主要材料の多くが初版発行時と同じに使用されていることから一部を除いて初版通りとした。
- (3) アルミ電解コンデンサを使用しているリレーの中で緩放リレー（DC，F）とATCリレー（DC，TM）の耐用年数は、コンデンサの封ロゴムの材質向上による長寿命化（10→15年……日本ケミコン株式会社資料）により、8～12年を10～12年に変更した。ただし、他のアルミ電解コンデンサを使用したリレーではコンデンサ以外の要因があるため従来通りとした。
- (4) リレーの使用上の注意を追記した。

2011年3月改訂時

- (1) 劣化形態の要因を動作的要因と経年的要因に再分類し、参考資料（過去の使用実績調査結果などの抜粋）、補足を一覧表にするなど、全文の構成を変更した。
- (2) 耐用寿命（年数、動作回数）は、リレーの接点、ばね、プラスチック成形材などの主要材料の多くが2002年2月改訂時と変更ないことから、2002年2月改訂時通りとした。また、一覧表に新製品などを追加した。
- (3) ジャック板の耐用寿命を追加した。耐用寿命年数については、参考資料の「40P プラグ・ジャック（新）の耐用年数」などをもとに総合的に判断した。
- (4) リレーの使用上の注意は、「リレー寿命に影響する接点障害事例」として再構成した。

初版(1992年10月)作成時の委員

株式会社 京三製作所 神田 明、折井敏雄
株式会社 三 工 社 伊藤道郎
大同信号株式会社 吉田信男、遠藤昭夫、有川修平
東邦電機工業株式会社 大森良三
日本信号株式会社 奥山昌志、春田雅永

改訂(2002年2月)委員

株式会社 京三製作所 山添興三郎
大同信号株式会社 坂田 修
日本信号株式会社 青木 建次、大木 彰

改訂(2011年3月)委員

株式会社 京三製作所 山添興三郎、長島英二郎
大同信号株式会社 安藤 孝、高宮 真弘、藤田 洋
日本信号株式会社 漆山 望