

## 屋外配電箱内蔵デジタル配電線保護リレーの劣化評価に関する研究

(株)四国総合研究所 電力技術部 西川 将司  
(株)四国総合研究所 電力技術部 武田 憩空  
四国電力送配電(株) 送変電部 小松 宏彰

キーワード： デジタルリレー  
配電線保護  
屋外配電箱  
配電用変電所  
アレニウスの式  
10°C 2 倍則  
加速劣化

Key Words : electrical digital relay  
distribution line protection  
outdoor cubicle  
distribution substation  
Arrhenius equation  
10°C 2 times law  
accelerated degradation

### Research on Deterioration Evaluation of Electrical Digital Distribution Line Protection Relay Built in Outdoor Cubicle

Shikoku Research Institute, Inc., Electric Power Technology Department

Masashi Nishikawa, Yasutaka Takeda

Shikoku Electric Power Transmission & Distribution Company, Inc., Transmission & Substation Department

Hiroaki Komatsu

#### Abstract

Some electrical digital distribution line protection relays built in outdoor cubicles installed in distribution substations have gradually reached the age of 15 years, the recommended time of replacement by manufacturers. However, at present, there is not enough evidence to extend the replacement time, the 15-year aging recommended by the manufacturer. We conducted the deterioration evaluation of electrical digital relays to obtain knowledge on the formulation of future renewal plans for digital relay.

The life of an electrical digital relay is generally greatly affected by the environment such as ambient temperature and humidity, and is considered to follow the 10°C 2 times law of Arrhenius equation. Using a removed product of the age of 15 years electrical digital relay, we accelerating deteriorated the product in close to production environments, and calculated and evaluated the aging by the 10°C 2 times law based on the temperature and humidity determined according to the environmental survey of the outdoor cubicle. In addition, at the component level of electrical digital relays, we took out capacitors inside electrical digital relays that had reached the equivalent of 40 years and conducted a single item survey since we considered that electrolytic capacitors are the weakest parts where the progress of deterioration over time is the fastest.

As a result, we consider that the electrical digital distribution line protection relay built in the outdoor cubicle can withstand the use of 40-years since there was no abnormality in all electrical digital relays tested for accelerated deterioration.

## 1. はじめに

四国電力送配電(株)が配電用変電所に導入している屋外配電箱内蔵のデジタル配電線保護リレー（以下、デジタルリレーという）は、メーカー取替推奨の経年 15 年を迎えるものが出てきた。

しかしながら、現状ではメーカー取替推奨の経年 15 年を延伸するための十分な根拠がない。本研究では、今後のデジタルリレー更新計画策定の知見を得るため、屋外配電箱の箱内環境を考慮したデジタルリレーの劣化評価を行った。図 1 に同社のデジタルリレーの導入状況を示す。

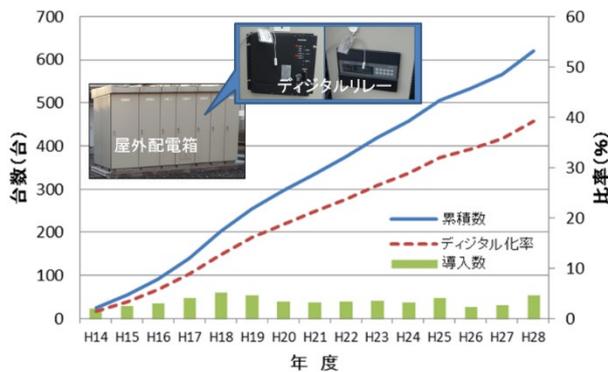


図 1. デジタルリレーの導入状況

## 2. デジタルリレーの劣化評価手法

デジタルリレーの寿命は、一般的に、周囲の温度と湿度の環境に大きく影響を受けると言われており、デジタルリレー内の半導体チップや電解コンデンサは、発熱による劣化や破損、基板表面については、劣化による絶縁不良や配線金属部の割れによる接続不良などが想定され、これらの不具合は、アレニウスの  $10^{\circ}\text{C}2$  倍則に従うと考えられている。アレニウスの簡易的な式では、試験温度  $T$ 、実使用温度  $T_0$ 、平均寿命時間  $L$ 、加速時間  $L_0$  とすると次式が成り立つ。<sup>1)2)3)</sup>

$$L = L_0 \times 2^{\frac{T-T_0}{10}}$$

デジタルリレーは電子機器製品であり、電子部品単体とは異なり、複合材料（プリント基板やはんだ接合部等）が組み合わさったものである。したがって、個々の部品毎には信頼性が高くても、構成材料の温度による膨張率の違いや振動・衝撃による歪やズレ等の不具合が発生する可能性がある。<sup>1)</sup>

デジタルリレーはメーカーの製品開発時において、各種環境下での評価試験が行われているが、これらは信頼性評価試験および環境試験と言われる過酷かつ短期間の試験である。

そこで本研究では、メーカーで開発時に実施した過酷な環境での試験ではなく、製品寿命の限界を評価する際のパラメータが複雑とならないよう、温度・湿度を上昇させることで、実運用状態の延長線上に近いシンプルな加速劣化試験を実施する。試験は、経年 15 年のデジタルリレー撤去品を用いて行い、複合材料の組み合わせによる不具合発生の可能性を確認するため、電子部品単体で加速劣化させるのではなく、デジタルリレー撤去品をそのまま用い、恒温恒湿槽にて加速劣化させる。また、アレニウスの  $10^{\circ}\text{C}2$  倍則により経年を算出し、評価を行うにあたり、変電所に設置された屋外配電箱の環境調査を行い、加速劣化試験時の温度・湿度のベースを決定した。

## 3. 研究結果

### 3.1 不具合事例調査

デジタルリレーにおける弱点部位を確認するために、メーカー毎（A 社、B 社）の過去の不具合事例を調査した結果、半導体素子の一過性の不具合と考えられるものが発生していたことが分かった。これらの故障は一般的な故障分布のバスタブ曲線における偶発故障と推察される。<sup>1)</sup>

過去の不具合事例からは、デジタルリレーにおける弱点部位を推察することはできなかったが、本研究において加速劣化試験を行うことで劣化が進行し、故障率が上がってくると考えられることから、その時期を把握し、余寿命評価を行うこととする。

### 3.2 屋外配電箱環境調査

屋外配電箱内の環境を確認するため、試験に使用するデジタルリレーが内蔵されていた配電箱内に温度・湿度センサとデータロガーを設置し、複数の変電所の配電箱にて 1 時間毎の箱内の温度と湿度データを約 1 年間測定した。温度・湿度センサの設置箇所は、複数ある配電箱の内、最大電流が流れて発熱が大きいと考えられる TR2 次箱と、日射の影響を最も受ける可能性が高い最端箱、および、中央付近の箱の計 3 箱を選定し、箱

内の設置は、各々のデジタルリレーの前面と裏面の2箇所とした。図2に配電箱内における温度・湿度センサ取付状況を示す。

環境測定の結果、最低温度 2.6℃、最高温度 49.4℃、平均温度 23.7℃であり、デジタルリレーの特性保証温度 0～50℃の範囲内であった。また、相対湿度は最高 79.9%（絶対湿度 27.5g/m<sup>3</sup>）であった。

なお、デジタルリレーの常規使用環境はB社製のみ提示されており、その条件である日平均湿度 30～80%で結露無きことと、現地測定結果を考慮して加速劣化試験を実施した。

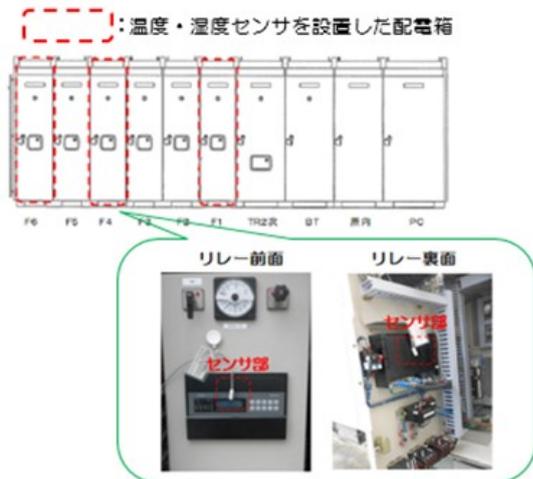


図2. 配電箱内温度・湿度センサ取付状況

### 3.3 加速劣化試験

デジタルリレーの撤去品を恒温恒湿槽に入れ、図3に示すパターンで温度と湿度を上昇させ、加速劣化試験を行った。

- ┌ ドライ環境下（相対湿度20%以下）
  - └───> 50℃、60℃、70℃※1
- └ 加湿環境下（絶対湿度55g/m<sup>3</sup>※2）
  - └───> 50℃+相対湿度70%、60℃+相対湿度45%、70℃+相対湿度30%

- ※1 加速劣化試験の設定温度による結果のばらつきの可能性を考慮し、3パターンの温度で加速劣化試験を実施
- ※2 恒温恒湿槽の能力上、70℃の相対湿度30%が湿度下限であったことから、絶対湿度の条件は屋外配電箱環境調査結果より得られたベースの最高絶対湿度27.5g/m<sup>3</sup>の2倍の55g/m<sup>3</sup>にて加湿を実施

図3. 加速劣化試験パターン

なお、A社製のデジタルリレーについては、65℃以上では電源基板上の保護用サーモスイッチ動作により電源が「切」となることから、70℃を除くパターンにて加速劣化試験を実施したことを補足しておく。

加速劣化試験状況を図4に示す。加速劣化試験中はデジタルリレーの電源を「入」とし、装置異常接点をオシロスコープに取り込むことで継続的に監視した。また、加速劣化試験において経年2年相当毎にデジタルリレーを恒温恒湿槽から取り出し、目視による外観検査とリレー性能試験を実施した。

加速劣化試験により、A社・B社製のデジタルリレー合わせて13台が経年40年相当（変電所での運用15年+恒温恒湿槽加速劣化25年）に達した。試験期間中、全てのデジタルリレーにおいて、装置異常の出力監視、経年2年相当毎の外観検査およびリレー性能試験結果について異常は見られなかった。



図4. 加速劣化試験状況

### 3.4 アルミ電解コンデンサ単品調査

経年40年相当に到達したデジタルリレーについて、装置異常は発生せず、外観検査、リレー性能試験共に異常は無く、明確な劣化箇所は見られなかったが、デジタルリレーの部品レベルでは、電解液をパッキンで封入した構造のアルミ電解コンデンサが経年による劣化進行が最も早い最弱点部と考えられることから、単品調査を実施した。<sup>2)4)</sup> なお、デジタルリレーに使用されているコンデンサとしては、アルミ電解コンデンサとセラミックコンデンサがあるが、セラミックコンデンサは電解液が封入されておらず経年劣化の進行はアルミ電解コンデンサと比較して緩慢であると考えられることから調査対象外とした。

デジタルリレーに使用されているアルミ電解コンデンサは、両メーカーともに電源基板にのみ使用されており、主な用途は電源瞬停対策用および電源平滑用であった。経年 40 年相当に達したデジタルリレーの全てのアルミ電解コンデンサを取出し、単品調査を行うことにより劣化状況を確認した。表 1 にアルミ電解コンデンサの単品調査項目を示す。

表 1. アルミ電解コンデンサ単品調査項目

No	内容
1	外観検査(目視)、 静電容量測定、tanδ 測定
2	リレーが通電状態にて、CPU がリセットする電源瞬停限界時間を測定(時間から容量を算出)

単品調査結果として、図 5 に静電容量測定結果を、図 6 に tan δ 測定結果を示す。A 社と B 社合わせて全 15 種類のアルミ電解コンデンサ(デバイス No. 1~15) について、単品調査を実施した。

調査の結果、静電容量は定格比 83.3~106.2% であり、管理値(定格比 80~120%) を外れるものは無かった。tan δ は、定格比 20.5~91.4% であり、管理値(定格比 100%以内) を外れるものは無かった。各アルミ電解コンデンサの初期値は不明であるが、静電容量が定格比 80% に近づいているものもあることから、劣化は進展していると考えられる。なお、外観検査において破損や液漏れは確認されなかった。

また、電源瞬停対策用のアルミ電解コンデンサの瞬断限界時間測定の結果、管理値(設計値 ±20%) を外れるものは無かった。

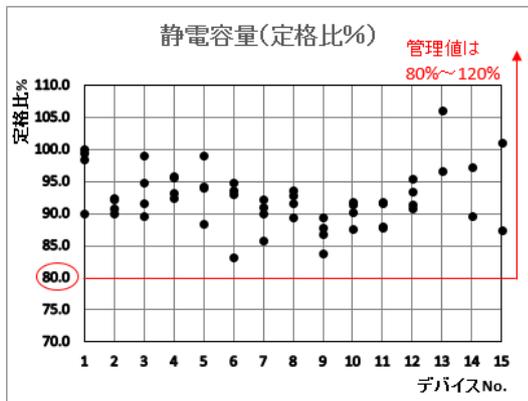


図 5. アルミ電解コンデンサ静電容量測定結果

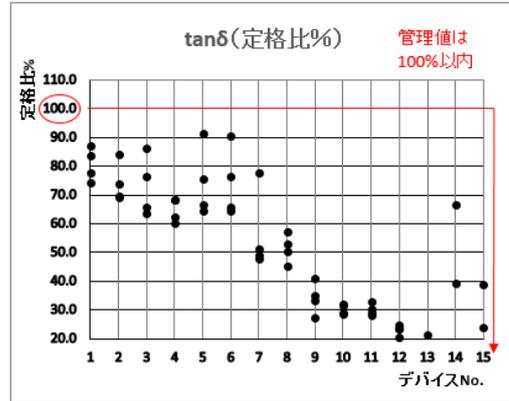


図 6. アルミ電解コンデンサ tan δ 測定結果

#### 4. まとめ

本研究では、加速劣化試験にて経年 40 年相当に達したデジタルリレーの外観検査とリレー性能試験を行うとともに、部品レベルでの弱点部位と考えられるアルミ電解コンデンサについて、単品調査を行った。

研究の結果、外観検査、リレー性能試験およびアルミ電解コンデンサ単品調査の全てにおいて異常は見られず、屋外配電箱内蔵のデジタルリレーは、40 年の使用に耐えうるものと考えられることが分かった。

#### 【謝辞】

本研究は、四国電力送配電(株)送変電部殿より委託を受け実施したもので、ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

#### 【参考文献】

- 1) 今井康雄、味岡恒夫、沖エンジニアリング(株)：「実践！電子部品の信頼性評価・解析ガイドブック」, 日刊工業新聞社, p2, 33, 146-147 (2014)
- 2) 今井康雄、味岡恒夫、沖エンジニアリング(株)：「実践！電子部品の信頼性評価・解析ガイドブック Part3」, 日刊工業新聞社, p27, 192 (2018)
- 3) (社)日本電気協会：「電力用規格 B-402, デジタル形保護リレーおよび保護リレー装置(平成 28 年版)」
- 4) 日本電気学会：「JEC-2500 電力用保護継電器(2010 年版)」