

受変電設備の寿命

Life of Substation



ふくだ しんいちろう
福田 真一郎*

キーワード：寿命，点検，劣化診断，受変電設備

1. はじめに

(社)日本電機工業会重電保全専門委員会の2003年の調査結果によると稼働年数が26年以上の受変電設備が50%を超え、老朽化を迎えた設備が多くなっているという。一方、電気エネルギーは、IT社会の急速な進展とともに、その依存度がますます増大し、最も重要なライフラインとして、継続的で安定した電源供給が求められている。

このような背景から近年受変電設備の寿命や劣化への関心が高まっている。本編では、受変電設備を対象として機器の寿命や目安を考えると同時に、適切な点検や整備について紹介する。

2. 受変電設備の寿命定義

2.1 規格が定義する寿命

ディペンダビリティ(信頼性)用語「JIS Z 8115(2000)」では、「耐用寿命」を「与えられた条件で、与えられた時点から故障強度が許容できなくなるまでの期間、又はフォールトの結果、アイテムが修理不可能と考えられるまでの時間」と定義している。「故障強度」とは、「単位時間当たりの故障発生数」とされているが、電気設備の多くの場合、故障は電源の安定供給に重大な影響を及ぼすことがあり、故障自身を許容できないことが多い。

電気学会電気規格調査会標準規格「変圧器」(JEC-2200(1995))が言及する変圧器の寿命では、「運転中温度、湿度および酸素などのため、その絶縁物がしだいに劣化し、

それが進行すると雷サージ、開閉サージなどの異常電圧あるいは外部短絡の際の電磁機械力などの電氣的、機械的異常ストレスを受けた場合、破壊する危険性が増してくる。変圧器が運転に入ってから、この危険度が非常に高まった時点までを変圧器の寿命と呼ぶ。この時点を正確に検知する具体的手法は、現段階ではまだ確立されていない……以下略」と、故障に至る前の時点で定義していることに注目したい。

2.2 バスタブカーブ

バスタブカーブとは、機器の劣化故障パターンをグラフ化したものである。このバスタブカーブは、非修理系である人間(生物)の死亡率のパターンをそのままハードウェアに当てはめたものであり、必ずしも一般性があるとはいえない。しかし、基本的な考え方は修理系である機器にも応用できるとされ、各方面で多く引用されているので、図-1にこれを示すと同時に、以下に概要を説明する。

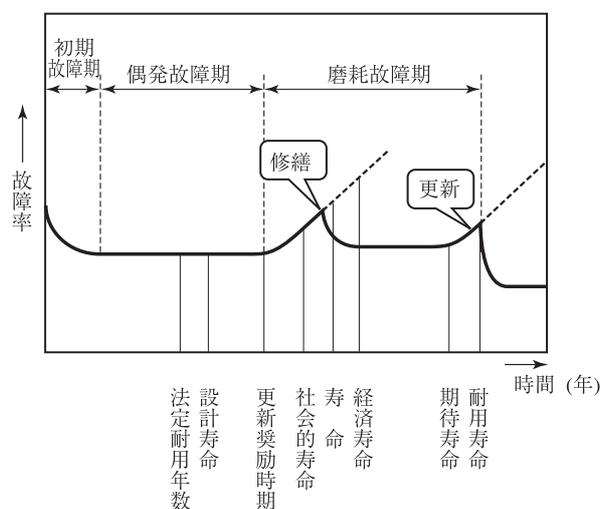


図-1 バスタブカーブ

出典：電気学会技術報告

* (株)東芝

1969年11月生まれ、静岡県出身。1992年国立富山大学工学部電気工学科卒業、同年(株)東芝入社。ビル施設電気設備のシステムエンジニアリング業務に従事。現在、施設制御システム技術第一担当課長。電気設備学会会員。

(1) 初期故障期

機器の製作後、最初に故障率が減少する期間は初期故障期という、構成部品の不良、設計・製作上の不適合、使用環境への不適合などが故障となって現れる。

(2) 偶発故障期

初期故障期を経過すると故障率が時間的にほぼ一定な期間があり、これを偶発故障期という。故障の起こり方はランダムとなり、故障時間の分布が指数分布となる。

信頼度 $R(t)$ は、故障率を $\lambda(t)$ 、平均故障時間を MTTF (Mean Time To Failure)、 t を時間とすると、下式で表される。

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/MTTF}$$

この期間は、機器の故障率が低く安定しており、故障率が許容故障率より小さい期間と考えることができる。

(3) 磨耗故障期

さらに、偶発故障期を経過すると、故障率が時間の経過とともに増大する時期となる。これを構成部品の磨耗故障期という。また、一定期間又は一定動作回数ごとに分解点検を施すオーバーホールなどの修繕は、劣化や磨耗の生じている部品を交換して、機能や性能を維持することにより磨耗故障期を延ばすことが可能となる。

更新は、経済性や技術的な理由から修理により信頼度を一定のレベルに回復させることが困難な場合に実施する手法である。

3. 寿命に影響を与える二次的要因

受変電設備の寿命は、その機器が本来持ち合わせている寿命に、二次的な劣化要因の影響を受けて決まる。この二次的要因を現象面から分析した事例として(株)日本電機工業

会(JEMA)の資料(配線用遮断器)があるので、図-2で紹介する。

寿命に影響を与える二次的要因は、各機器により程度が千差万別であるばかりでなく、要因が単独で作用することもあれば、複合的に重畳作用し劣化を促進したりするため、寿命予知をより一層困難なものにしている。一般に機器の寿命を明確にできない理由も、ひとえにこれら二次的要因の複雑さ、定量評価の困難さにある。

4. 寿命の認識と目安

電気設備機器の寿命を知ることは、修理やリニューアルの時期を見極める手立てとして重要である。しかし、現時点では寿命を決定づける定量的なデータは少なく、国土交通省を始め、業界団体の調査結果が数例報告されているに過ぎない。

ここでは、これら各報告から一般的な寿命の目安を考察する。

4.1 需要家の寿命の認識

寿命について、需要家と製造業者に実施したアンケート結果がある。電気学会技術報告「工場電気設備の寿命とメンテナンスに関するアンケート調査報告」では、「実績から想定して機器の寿命は何年と考えているか」という需要家(82事業所)への質問回答をまとめている。JEMA 報告書「受変電設備の保全に関するアンケート調査」では、653の事業所に「現在設置している機器に対して更新時期を何年と考えているか」、国土交通省では、79の電気・機械製造業者に対し、設備機器の寿命の判断基準などについてのアンケート調査の回答を「建築物のライフサイクルコスト」にまとめている。

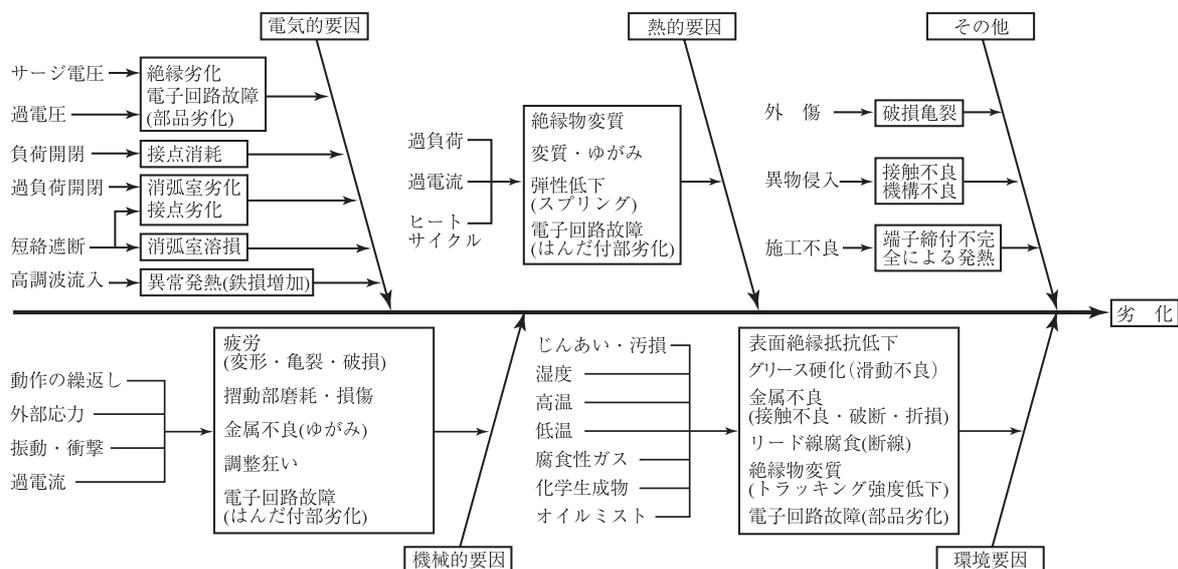


図-2 劣化の兆候と要因分析例(配線用遮断器)

これら報告に関し、共通的に取り上げられている機器や装置について、寿命の代表値を表-1に示す。表中の寿命年数にかなりの差があるが、これは設問やデータ処理の方法、回答者の業態が同じでないことによる要因もさることながら、寿命に関する認識に大きな隔たりがあり、寿命算定の難しさを浮き彫りにしているといえる。

4.2 更新推奨時期の目安

更新推奨時期をまとめた資料として、JEMAの資料表-2に示す。本資料は、同機関のフィールドサービス専門委員会が、各種JEMA報告や技術資料(JEM-TR)など、多くの公表データを一元化し、事故の未然防止を目的に、

表-1 電気機器寿命アンケート調査結果の比較

機種	項目 調査者 対象	寿命の代表値(年)		
		電気学会 需要家	JEMA 需要家	国土交通省 製造業
油入変圧器		32.4	27.6	30
シリコン乾式変圧器		31.0	26.9	30
空気遮断器		30.4	26.0	-
真空遮断器		28.2	25.5	20
断路器		29.8	27.1	-
パワーヒューズ		-	16.2	-
コンデンサ及び付属品		27.2	23.2	25
真空接触器		-	25.5	-
屋外閉鎖配電盤		24.5	25.8	-
屋内閉鎖配電盤		29.8	27.5	-
保護継電器		-	18.2	15

表-2 高低圧電気機器保守点検のおすすめ

No	機器名称	定期点検周期			更新奨励時期 注1	更新説明
		普通	精密	備考		
1	高圧配電盤	0.5~1年	2~5年		15年	注5
2	柱上気中開閉器(PAS)	1年	(2年)		15年	屋内15年屋外10年 GR付の制御装置10年 注6
3	高圧断路器(DS)	3年	6年*	※注2	20年	操作回数(手動)1000回 操作回数(自動)1000回 注6
4	高圧気中負荷開閉器(LBS)	1年	2年		15年	注6
5	高圧限流ヒューズ(PF)	0.5~1年	-		10年	屋内用5年屋外用10年 注6
6	避雷器(LA)	0.5~1年	-		15年	注6
7	油遮断器(OCB) (極)小油量遮断器 含む	3年	6年*	※又は規定開閉回数	20年	注6
8	真空遮断器(VCB)	3年	6年*	※又は規定開閉回数	20年	又は規定開閉回数
9	高圧進相コンデンサ(SC)	1年	-		15年	
10	直列リアクトル(SRX)	1年	-		15年	
11	油入変圧器(T)	1年	6年*	※注2	20年	注6
12	乾式モールド変圧器(T)	1年	6年*	※注2	20年	注6
13	指示計器	1年	6年*	※注2	(15年)	
14	保護継電器	1年	-		15年	
15	モールド形計器用変成器(VT, CT)	1年	6年*	※注2	15年	注6
16	高圧電磁接触器	0.5~2年	1回/点検 3~5回*	※又は規定開閉回数	15年	又は規定開閉回数 注6
17	低圧配電盤	0.5~1年	2~5年		20年	
18	気中遮断器(ACB)	(1年)	-	又は規定開閉回数	(15年)	又は規定開閉回数
19	配線用遮断器(MCCB)	0.5~1年	-	設置環境による	15年	又は規定開閉回数 注9
20	漏電遮断器(ELCB)	1か月~3年	-	設置環境による 注9	15年	又は規定開閉回数 注9
21	低圧電磁接触器・開閉器(MC)	0.5~2年	-		10年	注9
22	汎用半導体無停電電源装置(UPS)	1年	5年	注2	10 kVA以下:5~6年 10 kVA超:6~10年	使用環境により大きく変わる 注7
23	汎用インバータ・サージ抑制ユニット(INV, SV)	0.5~1年	-	注3	使用環境により大きく変わる	一般にアルミ電解コンデンサは“アレニウスの法則”が適用される 注3
24	汎用プログラマブルコントローラ(PLC)	0.5~1年	-	注4	使用環境により大きく変わる	一般にアルミ電解コンデンサは“アレニウスの法則”が適用される 注4
25	高圧電動機	1年	(5~10年)		20年	誘導電動機の場合 注8
26	低圧電動機	1~2年	(5~10年)		15年	誘導電動機の場合 注8
27	直流電源装置(充電器)	1年	5年	注2	15年	注2
28	直流電源装置(蓄電池)	1年	-	注2	5~7年	鉛蓄電池の場合 注2
29	非常用自家発電設備	0.5~1年	4年*	機器点検 総合点検 ※注10, 注2	-	

(注)

- この項に掲げる、更新奨励時期は、機能や性能に対するメーカーの保証値ではなく、通常の保守・点検を行って使用した場合に機器構成材の老朽化などにより、新品と交換した方が経済性を含めて一般的に有利と考えられる時期である。
なお、近年では環境保護(ISO-14000)などの社会的要求により、前倒しされるケースが増えている。
- 電気学会技術報告(第537号1995年4月)
- 汎用インバータ定期点検のおすすめ(2001年10月:JEMA)
- 汎用プログラマブルコントローラ定期点検のおすすめ(1996年7月:JEMA)
- 長期使用受変電設備の信頼性の考察(1999年1月:JEMA)
- 汎用高圧機器の更新奨励時期に関する調査(1989年9月:JEMA)
- UPSのバッテリー交換は計画的に(2000年12月:JEMA)
- 誘導電動機の更新奨励時期について(2000年7月:JEMA)
- 低圧機器の更新奨励時期に関する調査(1992年3月:JEMA)
- 非常電源として設置されている場合は、消防法が適用される。
- 注記以外の年数は、日本電機工業会技術資料(JEM-TR)に基づいている。
- 定期点検周期、更新奨励時期の()内は当委員会推奨値である。
- 機器の略称は、JEM1115(1997)を参考にしている。

点検や更新の指標となる数値をまとめたものである。これらは受変電設備の更新時期の目安を知る上で、有用な資料であるものとする。

5. 点検と整備

5.1 点検の計画

受変電設備では、不測の事態が発生すると、設備の停電や停止など影響が甚大である。また、社会的な問題に発展し企業の経営にかかわる場合もある。このため、保守点検を定期的実施して不測の事態が発生しないようにすることが重要である。電気事業法では事業所内で保安規定を作成し、自主的に保安を実施するように定めている。設備を長期にわたり高い信頼性を維持するためには、

- ①手入れあるいは修理の計画的導入
- ②劣化の兆候や異常現象の早期発見
- ③老朽化設備の改修・更新などの適期判断

などが不可欠で、これらに必要な現状把握が保守点検の目的である。保守点検の項目や点検要領、異常時の対応方法や重要度については、JEMAが「受変電設備保守点検の要点」で各機器ごとにチェックシートをまとめているので参照されたい。保守点検のチェックシートの一例を表-3に示す。

5.2 点検の周期と延命化

受変電設備の点検周期は、予算の削減や人員不足などの社会的影響によりその周期が長期化される傾向にある。このため、点検や整備は、中長期の計画的な予算化が重要である。

一方、受変電設備は、設置形態、構成機器、設置時期(運転開始時期)、劣化様相などがまちまちである。また、各機器の構成用品は、期待寿命や修理の可否など異なることから計画的な用品交換を行うことが重要になる。点検結果による適切な用品の交換で延命化を図ることが期待できるが、期待寿命期以降の点検や整備は間隔を短くし、後述の設備診断を併用して信頼性を維持していく必要がある。

巡視点検や普通点検、精密点検などの周期については、設備の環境や使用状況により異なるが、JEMAよりその目安が公表されているので表-4で紹介する。

6. 設備診断

設備診断は、一般に更新推奨時期に近づいた機器に対して実施する。設備診断の方法は「課電状態のままで行う活線診断」「設備を停止した停電診断」「サンプルを製造業者の工場分析・診断」があり、設備の運転計画に合わせた

表-3 保守点検チェックシートの例

型式	据付場所	用途名称			
定格	製造番号	製造年月 年 月 日			
点検者	前回点検日 年 月 日	温度・湿度 ℃ %			
点検箇所・点検項目	点検要領	重要度	結果		
			巡視	普通	
運転状況	臭気	異常臭気はないか	1		
	異常音	放電音はないか	1		
		異常な振動音/高い鉄心励磁音・振動・共振音・鉄心のびりはないか	1		
	圧力計	圧力は正常か(圧力の変動はないか)	2		
	油面計	油量は正常か	2		
外箱部	温度計	温度は正常か	2		
	タンク・ケース・カバー	油漏れはないか	2		
		排油栓油漏れはないか	2		
		破損はないか	2		
	ベース・取付(金具)部	汚損・発錆はないか	3		
		ゆるみ、破損、発錆はないか	3		
操作器箱	内部に湿潤、発錆、汚損はないか	3			
	パッキン類の劣化・損傷はないか	3			
端子部	主回路端子締付部	示温ラベルの変色はないか	1		
		過熱による変色はないか	1		
		ゆるみはないか	1		
	接地線接続部	ゆるみはないか	1		
断線はないか		1			
絶縁部	がいし・ブッシング・がい管<磁器製>	放電音はないか	1		
		破損はないか	1		
		亀裂はないか	1		
		油漏れはないか	1		
		汚損はないか	2		
制御部	端子・コネクタ・配線接続部	ゆるみはないか	1		
		破損はないか	1		
		変形はないか	2		
		塵埃の付着はないか	3		
付属品・補機類	放圧装置・放圧板	放圧板の破損・亀裂・損傷はないか	1		
		保護継電器・圧力計など	動作不良はないか	1	
			接触不良はないか	1	
	無電圧タップ切換装置	切換操作に動作不良はないか	1		
		負荷時タップ切換装置	1タップごとの切換操作に異常はないか	1	
			ボルト・ピン類のゆるみや脱落がないか	1	
			軸受部の磨耗はないか	1	
			開閉器の接点不良はないか	1	
	油劣化防止装置	ランプ・スペースヒータの断線はないか	2		
		動作回数を確認し、記録する	3		
		油・ガス漏れはないか	油・ガス漏れはないか	2	
			吸湿剤の変色はないか	3	
			油壺の油不足はないか	3	
冷却装置		異常音はないか	2		
		振動はないか	2		
		目詰まりはないか	2		
	漏れはないか	2			
活線浄油機	ろ過圧力の異常はないか	2			
	油漏れはないか	2			
試験	防振・耐震ゴム	へたりはないか	3		
		絶縁抵抗測定	主回路、低圧回路、制御回路、変圧器巻線の絶縁抵抗を測定しチェックする	1	
			絶縁油耐電圧試験	絶縁油の耐圧試験を行う	1

最適な方法を検討する。また、劣化の進行状態は、設備の置かれた環境に左右されることが多く、^{たいせき}堆積物や浮遊物から腐食要因を分析し、設備設置環境の改善を行うことなどは安定運転に有効である。診断結果は、これまでの保守点検結果に加え、以後の保守点検計画や修繕・更新などの保全計画に反映させることが望ましい。

表-4 保守点検の種類と周期の目安

種類	概要	点検周期
巡視点検	設備を運転状態のまま五感により異常の有無の監視と予知	日・週・月
普通点検	設備を停止し軽微な回復処理と異常の有無確認	1~3年
精密点検(詳細)	設備を停止し性能の確認と分解して回復処置を実施	3~6年
臨時点検	異常が発見された場合に設備を停止し回復処置	不定期
初年度点検(推奨)	設備運転開始後、初期値データを得る目的で実施	初年度

表-5に、電気設備の診断項目例を示す。

7. おわりに

設備点検や保守管理は、従来の事後保全から、設備機器の時間計画保全へと考え方が変わってきている。この考え方において、劣化診断は、一部の部品類の劣化傾向から、全体の劣化傾向を推測する手段として有効である。しかし、診断のための停電や器具のサンプリング調査などが、設備の運用上、許容されないことがある。また、劣化診断も劣化事象の側面をとらえているに過ぎず、ほかの判断手法と合わせた、総合的な評価を行うことが得策といえる。

一般には、通常点検結果や保全記録の分析とともに、JEMAなどの公表するデータを目安に一次評価を実施し、更に劣化診断を含めた二次調査の必要性を判定するなど、

表-5 電気設備の診断項目例

設備診断項目 機器名	活線診断			停電診断			
	部分放電測定	局部過熱測定	個別技術	絶縁抵抗測定	開閉動作特性	接触抵抗測定	個別技術
ガス絶縁開閉装置(GIS/C-GIS)	○	○	・ガス中水分測定 ・ガス漏れ測定	○	○	○	
断路器	○	○		○	○	○	
油遮断器(OCB)	○	○		○	○	○	・絶縁油特性診断
空気遮断器(ABB)	○	○		○	○	○	
真空遮断器(VCB)	○	○		○	○	○	・真空度測定
ガス遮断器(GCB)	○	○	・ガス中水分測定 ・ガス漏れ測定	○	○	○	
磁気遮断器(MBB)	○	○		○	○	○	
計器用変成器	○	○	・油中ガス分析 ・絶縁油特性診断	○			・サンプル劣化診断
油入変圧器	○	○	・油中ガス分析 ・絶縁油特性診断 ・油中CO+CO ₂ 診断 ・油中フルフラール診断	○			・平均重合度診断 ・tan δ測定 ・ガスケット劣化度測定
ガス絶縁変圧器	○	○	・ガス中水分測定 ・ガス分析 ・ガス漏れ測定	○			
乾式変圧器	○	○		○			・tan δ測定
避雷器		○					・漏れ電流測定
電力用コンデンサ	○	○		○			・静電容量測定 ・tan δ測定 ・油中ガス分析
配電盤	○	○		○			・継電器特性試験
監視盤		○					・継電器特性試験

運用面や経済性とのバランスを加味することが現実的といえる。

将来的には、これら劣化診断の技術的確立とともに、実用性のある経済的な手法の確立が期待される。

新刊

JESC E0018/IEIEJ-P-0002 配線用合成樹脂結束帯の施工方法

JESC E0018/IEIEJ-P-0002「配線用合成樹脂結束帯の施工方法」は、配線用合成樹脂製結束帯を用いた配線工事を確実にを行うための方法について規定するものです。

電気設備の設計・施工を行う電気設備技術者に、ご活用いただければ幸いです。

なお、JESC E0017/IEIEJ-P-0001「配線用合成樹脂結束帯」では、配線用合成樹脂結束帯の仕様を規程しておりますので、併せてご利用ください。

定 価：2100円(消費税込み、送料別)

体 裁：A4判 20ページ

申込方法：本誌に綴込みの『学会出版物一覧・FAX注文書』に必要事項をご記入の上、下記へFAXでお申込みください。

申 込 先：社団法人電気設備学会 FAX：03-5805-3265