

鉄道沿線信号設備における電子機器の寿命予測手法

国崎 愛子* 藤田 浩由* 野村 拓也* 石井 琢*

Lifetime Evaluation Method for Electronic Equipment of Wayside Signalling Systems

Aiko KUNISAKI Hiroyuki FUJITA Takuya NOMURA Taku ISHII

It is often difficult to set the proper replacement period of introduced electronic equipment in railway signalling system. In a previous study, Fujita et al. proposed a life-time evaluation method for electronic interlocking equipment installed in indoor environment. In this paper, the authors focus on the electronic equipment on wayside signalling systems, which is placed in severer environment. We evaluate the lifetimes not only of electronic components but also of substrates. The results of a case study using developed evaluation method are also reported. The lifetime depends on operating environment stress factors, especially temperature changes. We recommend that replacement period should be changed depending on the operating environment.

キーワード：寿命，電子機器，屋外環境，摩耗故障期，加速試験，ストレス要因

1. はじめに

鉄道信号設備は，列車の安全・安定運行を確保するための設備として，鉄道沿線に広く導入されている。近年，信号設備の小型化・高性能化のために，これまで主にリレーで構成されていた鉄道信号設備へ電子機器が導入されてきた。一方で，電子機器は劣化傾向の把握が困難であることが多く，その更新時期の適切な設定が課題となっている。

これまでに筆者らは，屋内設置の電子連動装置を対象として，鉄道事業者における更新時期設定を支援するための寿命予測手法を開発¹⁾してきた。本研究では，寿命予測対象を，電子連動装置より環境が過酷な鉄道沿線で使用される電子機器（以下，沿線電子機器）に拡張することを目標とした。沿線電子機器は屋外に設置されるため，電子連動装置よりもストレス要因が多いと想定される。ゆえに，精度の良い推定を行うためには，以前に開発した寿命予測手法を発展させる必要がある。

本稿では，沿線電子機器の設置環境におけるストレス要因を整理し，開発した寿命予測手法について示す。また，開発した手法を使ってケーススタディを実施し，推定した寿命について報告する。

2. 沿線電子機器における寿命の考え方

2.1 電子機器の故障分布

一般に工業製品の故障分布は，故障の要因が異なる3つの期間（初期故障期，偶発故障期，摩耗故障期）に大

別される。図1に経過年数と故障率の関係（バスタブ曲線）を示す。製品製造後すぐは設計の不備や品質のばらつきにより故障が発生する（初期故障期）。その後，故障率が一定となり安定して稼働する時期を経て（偶発故障期），構成部品やユニットの寿命等によって故障率が増加し，最終的に全数が故障に至る（摩耗故障期）。

寿命は，摩耗故障期に至る前に設定することが重要である。沿線電子機器は設置台数が多く広域に設置されるため，更新時期前に摩耗故障期に至ると，同時期に納入された機器の故障が頻発し，保守に多くの人的リソースが要求される。そのため，電子連動装置の寿命予測手法と同様，寿命予測の対象期間を摩耗故障期とする。

2.2 沿線電子機器の故障実態調査

沿線電子機器の故障実態を把握するために，鉄道事業者から沿線電子機器製造メーカーに返戻された故障品データを解析した。解析に用いたデータは，自然災害および作業ミスに起因する故障を除き，劣化に伴う故障と想定されるものに限定した。その結果，故障箇所が特定の電子部品に偏っていることを確認した。

故障件数が多かった部品について，製品出荷台数を考慮して累積ハザード分析を行ったところ，既に摩耗故障

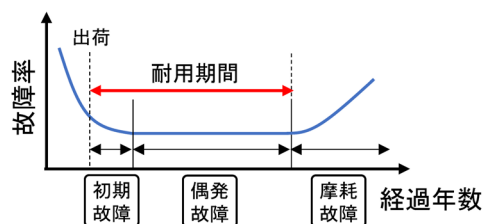


図1 バスタブ曲線

* 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

期に至っている可能性が示唆された。電子連動装置の寿命予測手法開発時にも同様の解析を行ったが、偶発故障期の傾向を示しており、摩耗故障期には至っていない結果となった。この違いは、沿線電子機器の設置環境の方が、電子連動装置の環境よりも厳しいことから、ストレスによる影響が大きく、劣化の進行が速いためと考えられる。

3. 対象機器の使用環境の把握

沿線電子機器設置環境で想定されるストレス要因を整理し、各ストレス要因の実地調査を行った。なお、沿線電子機器のうち、踏切関連機器やATS制御部等、図2に示すような収容箱内に設置される機器を主な対象とした。

収容箱には、大きさ、色、遮蔽板の有無、通風孔の有無など、種類は様々あるが、保守・点検時以外は、扉を密閉した状態で使用される。

3.1 想定ストレス要因の抽出

信号用電子機器は、複数の基板から構成されることが多く、各プリント基板上にはICやコンデンサ等の電子部品がはんだ付けされ、回路が構成されている。したがって、電子機器全体の動作を阻害する故障は大きく分けて、電子部品故障、プリント基板故障、はんだ接合部故障が考えられる。電子部品故障では、使用環境での定常温度・温度変化や湿度、電圧・電流負荷が主なストレス要因として影響する。プリント基板故障とはんだ接合部故障では、使用環境での温度変化等の熱的要因と、振動や揺れといった機械的要因による影響が大きいと考えられる。過去に事業者が沿線電子機器の撤去品を調査した結果か

ら、基板のプリント配線には錆や亀裂等は確認されないが、はんだ接合部にはクラックが確認されている。ゆえに、プリント基板故障よりもはんだ接合部故障の方が沿線電子機器に与える影響は大きいと考えられ、プリント基板故障は寿命予測の対象外とした。

信号用電子機器設置環境下で、機器の寿命に影響するストレス要因として想定されるものを表1にまとめる。電子連動装置のような屋内電子機器環境と、沿線電子機器環境に分けて記載した。屋内電子機器環境は、空調で管理された室内での使用を想定しているため、考えられるストレス要因としては、定常温度（No. 1）、電圧（No. 8）、電流負荷（No. 9）に限られる。一方、沿線電子機器は屋外の収容箱内に設置されるため、屋内電子機器環境下で想定されるストレス要因に加え、温度変化（No. 2）、雰囲気（No. 4）、水分（No. 5）、振動（No. 6）が考えられる。ただし、屋内電子機器環境、沿線電子機器環境ともに、電磁気・サージ（No. 3）は、雷等の外部要因ストレスであり、雷害による故障は摩耗故障には該当しないため、対象外とすることとした。

3.2 抽出したストレス要因の定量化

前節で抽出した想定ストレス要因について、沿線電子機器の設置環境で測定を実施し、電子機器の劣化への影響度を定量化した。温度・湿度に関するストレス（No. 1, 2, 5）については、国内3地点（寒冷地：北海道、中間地：東京都、温暖地：愛媛県）を選定し、収容箱内および外気温の温湿度を1年間測定した。雰囲気に関するストレス（No. 4）は、温湿度を測定した3地点および腐食性ガスが発生しやすいと考えられる製紙工場付近の収容箱内において、金属クーボン法で腐食性ガスの濃度を測定した。振動に関するストレス（No. 6）は、道床（バラスト／スラブ）および列車種類（高速列車／普通列車／貨物列車）を考慮して、収容箱、電子機器の列車通過時の振動加速度を、高架区間を含めて測定した。また、電圧（No. 8）、電流負荷（No. 9）は、電子機器製造メーカーに動作電圧・電流を確認した。



図2 沿線電子機器の使用状況

表1 電子機器に影響を与えると想定されるストレス要因（○：影響あり，△：外部要因，×：影響なし）

No.	大別	要因分類 1	要因分類 2	屋内電子機器環境（想定）		沿線電子機器環境（想定）	
1	環境 ストレス	熱的要因	定常温度	○	機器室（25℃）	○	設置環境による
2			温度変化	×	なし	○	設置環境による
3		電氣的要因	電磁気・サージ	△	外部要因として整理	△	外部要因として整理
4		周囲環境 要因	雰囲気	×	良好（活性ガスなし）	○	設置環境による
5			水分（湿度）	×	良好（30～50%程度）	○	設置環境による
6		機械的要因	振動，衝撃，加速度	×	なし	○	設置環境による
7			曲げ，疲労，摺動	×	なし	×	なし
8	動作 ストレス	電氣的要因	電圧	○	部品による	○	部品による
9			電流負荷	○	部品による	○	部品による

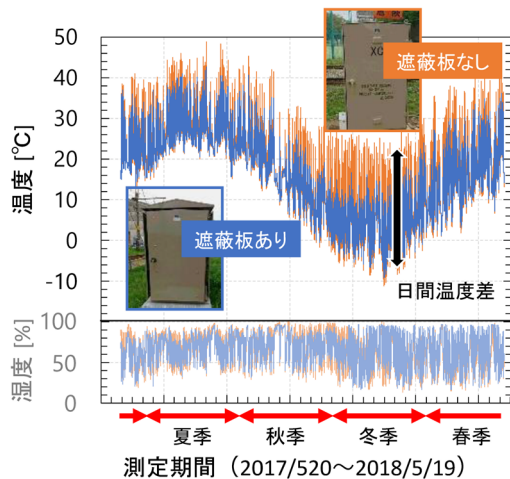


図3 温湿度測定結果（中間地）

(1) 温度・湿度

中間地（東京都）における温湿度の測定結果を図3に示す。同一サイズの遮蔽板あり／なしの2種類の収容箱（通風孔あり）を、機器を入れない状態で測定した。その結果、遮蔽板あり／なしによって、晴天時には日射の影響により、最高温度と日間温度差に違いがあることを確認した。また、各地点での測定結果から、箱内に機器が入っているか／いないかで、機器の自己発熱分だけ、箱内温度が底上げされることを確認した。湿度については、図3に示す通り、通風孔がある場合は雨天時に相対湿度が100%に達する結果となった。トンネル等の特異な環境を除けば、結露の可能性は低いと考えられる²⁾が、湿度による劣化への影響を考慮する必要がある。

(2) 雰囲気

金属クーボン法により、亜硫酸ガス（SO₂）、硫化水素ガス（H₂S）、塩素系ガス（Cl₂、HCL）の各腐食性ガス濃度を測定した。その結果を、濃度基準（IEC60721-3-3「環境条件の分類環境パラメータとその厳しさのグループ別分類屋内固定使用の条件」の3C1L分類および、ANSI/ISA-71.04-2013「Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants」の銀の腐食速度）に照らしたところ、製紙工場付近などの腐食性ガスが発生しやすいと考えられる特異な地域以外の箱内、および製紙工場付近の通風孔がない箱内環境では、基準値以下であることを確認した。すなわち、通風孔がない収容箱内で密閉した状態で使用される場合には、製紙工場等のまわりであっても、雰囲気による機器への影響は考慮しなくて良いと言える。

(3) 振動

列車通過時の振動加速度を測定し、その結果をJIS E 3014「鉄道信号保安部品 - 振動試験方法」と比較した結果、収容箱および電子機器の振動加速度はJIS E 3014基準値内に十分収まることを確認した。したがって、共

振が起きる場合等の振動しやすい特異な環境を除いては、振動ストレスによる機器劣化への直接的な影響は小さいと考えられる。

以上の測定結果から、想定されるストレス要因のうち、環境ストレスにおいては、定常温度（No. 1）、温度変化（No. 2）、水分（No. 5）が沿線電子機器の劣化や寿命に与える影響が大きいことがわかった。振動（No. 6）は、JIS基準値を超える環境では、注意が必要である。

4. 寿命予測手法

表1に整理した通り、電子連動装置は、空調で管理された屋内で使用されるため、定常温度と電気的要因がストレスとして想定される。そのため、電子部品故障のみを想定し、機器全体の寿命を予測した。一方、沿線電子機器では、定常温度、電気的要因に加え、温度変化、水分などによる影響を考慮する必要がある。したがって、電子部品故障とはんだ接合部故障の2つの観点から、寿命予測を実施する必要があると判断した。よって、沿線電子機器の寿命予測では、図4に示すように、使用環境におけるストレスや環境条件を考慮し、部品評価と接合部評価をそれぞれ実施する。その結果を総合して、最短故障箇所とその寿命を割り出し、機器全体の寿命とする。

4.1 電子部品の寿命予測

電子連動装置の寿命予測手法¹⁾を、沿線電子機器の設置環境におけるストレス要因に対応するように、拡張した。図4に予測の流れを示す。部品の評価では、主機能に影響する部品を抽出し、該当部品の信頼性試験結果をメーカーから入手する。また、使用環境におけるストレス要因を調査した結果から、想定されるストレスに対応する故障メカニズム（故障モード）を特定する。次に、故障メカニズムに応じた加速モデル式を用いて、信頼性試験結果を使用環境条件に当てはめ、累積故障確率の推定を行う。特定の累積故障確率に至る年数を求めることで、各電子部品単体の使用環境に応じた推定寿命を算出する。

4.1.1 主機能に影響する電子部品の抽出

沿線電子機器を構成する特定の電子部品が故障した場合に、装置全体の機能に与える影響度を解析する。5段階（レベル0：影響なし、レベル1：動作不安定、レベル2：部分機能停止、レベル3：ユニット停止、レベル4：装

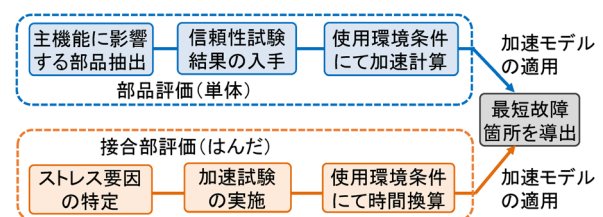


図4 沿線電子機器寿命予測手法の概要

置機能停止)で影響度を定義し、レベル2以上の影響度が大きい部品を抽出する。その中でも特にアルミ電解コンデンサなど一般に有寿命と考えられる部品、および機器に電源を投入した際に発熱が大きい部品を選定する。

4.1.2 電子部品の仕様およびストレス要因の把握

選定した部品について、製造部品メーカーで実施した信頼性試験データ(試料数、加速環境条件、試験時間、故障数等)を取得する。沿線電子機器の設置環境調査より、電子部品単体に影響を与える主ストレス要因として、定常温度、温度変化、湿度、電圧、電流負荷が想定される。

4.1.3 加速モデルに基づく推定寿命の予測

想定されるストレス要因に応じて、起こり得る故障モードを列挙し、それに対応する加速モデル式を特定する。アルミ電解コンデンサとICを例に、沿線電子機器の使用環境で想定されるストレス要因(定常温度、温度変化、湿度、電圧、電流負荷)から考えられる故障モードおよび加速モデル式を表2に示す。各故障モードに対応した加速モデル式は、電子情報技術産業協会(JEITA)の発行する半導体デバイスの加速寿命試験運用ガイドライン³⁾等を参考にした。なお、加速モデル式の添え字の1は使用環境条件、2は試験環境条件を示し、 AF は加速係数、 k はボルツマン定数、 E_a は活性化エネルギー、 T は平均温度、 J は動作電流密度、 E_{ox} は酸化膜中の電界、 V_p は絶対水蒸気圧、 RH は相対湿度、 ΔT は温度差、 n 、 γ は電界、電流密度等の加速パラメータを指す。

部品単体の寿命推定では、電子運動装置の寿命予測手法¹⁾と同様、選定した部品について、使用環境から想定される故障モードの加速モデル式と信頼性試験の試験環境条件に基づいて、使用環境に応じた加速係数 AF を求める。信頼性試験データと加速係数から、要求される信頼水準に基づく保証範囲を定め、当該部品の故障メカニズムのうち最悪と考えられる故障分布を想定したうえで、任意の累積故障確率に対する寿命時間を予測する。

4.2 接合部の寿命予測

図4の接合部評価の流れで示す通り、使用環境のストレス要因を特定し、そのストレス要因に対応した故障

モードを再現可能な加速試験を実施する。故障モードに応じた加速モデル式に加速試験結果と使用環境条件を適用し、実時間に換算することで、推定寿命を算出する。なお、沿線電子機器の種類によって部品配置や部品の基板への実装方法が異なるため、機器ごとに加速試験を実施する必要がある。

4.2.1 接合部のストレス要因の把握

故障実態調査および現場からの撤去品調査結果より、機器の機能に影響を与えるはんだ接合部の主要な故障モードとして、はんだクラックが想定される。はんだクラックが生じる原因としては、温度変化等の熱的ストレスと振動等の機械的ストレスが考えられる。使用環境の振動測定結果から、一般的な環境に設置された沿線電子機器にかかる振動加速度はJIS E 3014 基準値内であることが確認されたため、沿線電子機器の使用環境下でははんだ接合部へ与える影響は、熱的ストレスの方が大きいと言える。

4.2.2 接合部に対する加速試験の実施

前項の検討より、加速試験として温度サイクル試験を実施することで、はんだクラックを再現できると考える。加速試験ではんだクラックが生じた時点でのサイクル数を、使用環境条件における実時間に換算することで、寿命を算出する。

4.2.3 加速試験結果に基づく推定寿命の予測

信号用電子機器には共晶はんだが用いられているため、熱劣化起因のはんだクラックの加速モデル式として、式(1)に示す修正Coffin-Manson則⁴⁾を適用する。式(1)で、添字が1のものは使用環境、2のものは試験環境を示し、 f は1日あたりの温度サイクル数、 ΔT は温度サイクル中の温度差、 T_{max} は最高温度を指し、活性化エネルギー E_a は0.123eV、ボルツマン係数 k は 8.62×10^{-5} eV/K、周波数パラメータ m は1/3、材料のストレスパラメータ n は1.9である。式(1)に示す通り、最高温度と温度差の熱的環境条件を入力することによって、加速試験における温度サイクル数から使用環境の実時間へ換算できる。

$$AF = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^m \cdot \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^n \cdot \exp \left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_{1max}} - \frac{1}{T_{2max}} \right) \right] \quad (1)$$

表2 電子部品単体に対する故障モード、加速モデル式³⁾

部品	故障モード	加速モデル式
アルミ電解コンデンサ	電解液の蒸散	$AF = 2^{\left(\frac{T_2 - T_1}{10} \right)}$ (10°C2 倍則)
IC	エレクトロマイグレーション	$AF_{EM} = \left(\frac{J_1}{J_2} \right)^{-n} \exp \left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]$
	酸化膜経時破壊	$AF_{TDD-B-Eox} = \exp \left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) - \gamma(E_{ox1} - E_{ox2}) \right]$
	封止樹脂耐湿性	$AF_{VP} = \left(\frac{V_{p2}}{V_{p1}} \right)^n$, $AF_{HT} = AF_H \cdot AF_H = \left(\frac{RH_2}{RH_1} \right)^n \cdot \exp \left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]$
	接合部・封止樹脂クラック	$AF_{\Delta T} = \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^n$

5. ケーススタディによる検討

前章で示した沿線電子機器の寿命予測手法によるケーススタディを報告する。供試体には、国内で広く使用されている踏切制御用列車検知装置を選定した。部品評価と接合部評価を実施し、それぞれの結果を総合して機器全体の寿命を算出した。なお、使用環境条件として、使用環境調査時に中間地（東京）で収容箱内の温度・湿度を測定した結果を用いた。温度・湿度測定結果から、季節ごとに必要な条件を抽出した温度・湿度環境プロフィールを表3に示す。

5.1 電子部品の推定寿命

対象機器を構成する電子部品のうち、故障したときに主機能に影響を及ぼす部品で、一般に有寿命と考えられる部品ならびに発熱の大きい部品として、ICや3端子レギュレータ、アルミ電解コンデンサ等を抽出した。抽出した部品について、使用環境で想定されるストレス要因によって生じ得る故障モードを特定し、加速モデル式と入手した各部品の信頼性試験データに基づき、累積故障確率と時間の関係を求めた。各抽出部品について、累積故障確率が1%に至るまでの時間（B1 Life）を算出し、表4のように整理した。その結果、想定した中間地の使用環境下でB1 Lifeが最短となった部品は、CPU用の

表3 温度・湿度環境プロフィール（中間地）

環境	季節	最高温度 [°C]	平均温度 [°C]	平均湿度 [%RH]	平均 水蒸気量 [g/m ³]	平均日間 温度差 [°C]
収容箱 遮蔽板 あり	春	36.9	17.0	64.0	9.1	15.2
	夏	42.6	25.9	69.6	16.7	12.1
	秋	35.1	14.2	72.8	9.1	10.7
	冬	20.4	4.3	64.4	4.1	13.7
収容箱 遮蔽板 なし	春	41.7	18.0	60.8	9.2	21.0
	夏	48.7	26.6	69.8	17.3	16.5
	秋	41.9	14.6	74.9	9.5	16.6
	冬	29.8	5.5	63.3	4.3	24.5

表4 部品評価（中間地）

部品	故障モード	B1 Life [年]	
		遮蔽板条件	
		あり	なし
IC (CPU 用)	エレクトロマイグレーション	29.5	27.5
	酸化膜経時破壊	29.5	27.5
	封止樹脂耐湿性(最短)	35.1	32.7
	接合部・封止樹脂クラック	1015.5	178.2
3 端子 レギュレータ	エレクトロマイグレーション	45.9	42.9
	酸化膜経時破壊	45.9	42.9
	封止樹脂耐湿性(最短)	84.3	80.3
	接合部・封止樹脂クラック	1309.7	229.8
アルミ電解 コンデンサ	電解液の蒸散	72.7	68.9

ICであった。推定寿命はB1 Lifeで、遮蔽板ありの場合29.5年、遮蔽板なしの場合27.5年となった。遮蔽板あり／なしによって日射による影響が異なり、最高温度と日間温度差に差があるため、推定寿命に違いが生じた。なお、アルミ電解コンデンサは、故障モードが電解液の蒸散である場合のB1 Lifeを推定寿命と想定したが、一般的に封止ゴムの故障モードに対するメーカー保証が15年程度であるため、寿命の取り扱いに注意が必要である。

5.2 接合部の推定寿命

熱劣化に起因するはんだクラックを再現するために、新品の供試体を恒温槽内に設置し、通電状態で温度サイクル試験を実施した。恒温槽の温度サイクル設定条件は、基板温度がメーカーの保証範囲内（-20°C～+60°C）で追従するように、-25°C～+62°Cの範囲で、1日3サイクルで設定した。試験の様子を図5、恒温槽の温度サイクル設定条件を図6に示す。

機器に印加した総温度サイクル数が600サイクルになるまで試験を実施した。100サイクル毎に、顕微鏡ではんだ接合部の外観観察を行うとともに、製造メーカーにて出荷前検査と同等の機能検査を行った。また、500、600サイクル経過品について、はんだ断面観察を実施した。外観および断面観察箇所については、基板と部品間の熱膨張率の差が大きい部品や発熱量が多い部品、基板上で応力がかかりやすい部品など、はんだクラックが生じやすいと考えられる部品を選定して、実施した。

外観観察の結果、フラックスの変色やはんだ表面の荒れは確認されたが、表面まで達するはんだクラックは確認されなかった。また、600サイクル経過品まで機能検査上の問題がないことを確認した。断面観察では、選定



図5 恒温槽内の供試体

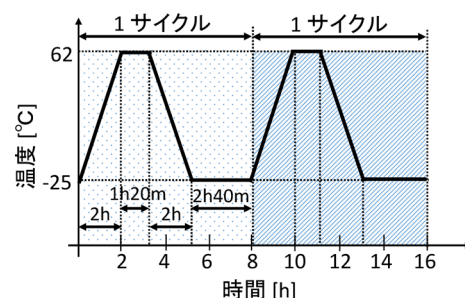


図6 恒温槽の温度サイクル設定条件

箇所のうち複数箇所ではんだクラックが確認された。いずれもはんだ粒子の粗大化が確認され、熱疲労による劣化がみられた。図7に500、600サイクル時点の同一接合箇所ではんだクラックの様子を示す。一度クラックが生じると急速に進行すると考えられるため、本稿では、クラックがはんだ厚の半分程度に達した時点を寿命と設定し、500サイクルを寿命と考えた。

加速試験500サイクルを、式(1)を用いて、表3に示す環境プロファイルにおける実時間に換算した。使用環境でのサイクル数は1日あたり1回であるため、加速試験500サイクルは、遮蔽板ありの収容箱環境で41年相当、遮蔽板なしの収容箱環境で17年相当となった。

なお、一度クラックが生じると、JIS基準値内の振動であっても振動による影響を受けやすくなると考えられる。そのため、使用環境の熱的要因と機械的要因の複合ストレスによって、劣化が加速され寿命が短くなる可能性があることに注意が必要である。

5.3 沿線電子機器全体の推定寿命

部品評価および接合部評価の結果を表5にまとめる。2つの評価を総合して、最短の年数が機器全体の寿命であると言える。したがって、中間地（東京）の遮蔽板ありの収容箱内の場合、29.5年（CPU用のIC寿命）、遮蔽板なしの収容箱内の場合、17年（はんだ接合部の寿命）が機器全体の推定寿命といえる。

ケーススタディで示す通り、遮蔽板あり／なし等の使用環境条件によって推定寿命が異なることを確認した。表3に示した中間地（東京）での環境プロファイルを基準として、平均温度を変化させたときの寿命予測結果を図8に示す。部品評価の推定寿命（B1 Life）は平均温度に影響され、接合部評価の推定寿命（加速試験500サイクル相当年数）は遮蔽板あり／なしの違いによる温度差に影響を受けることがわかった。

以上より、沿線電子機器の推定寿命は、使用環境条件（設置する地域の温度環境や遮蔽板あり／なし等）に依存するため、更新周期は設置環境を考慮して設定することが望ましいと考える。

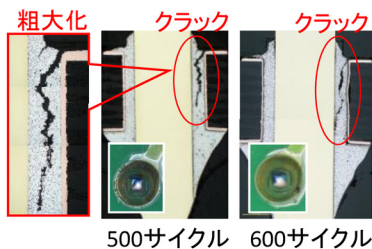


図7 はんだクラックの様子

表5 ケーススタディによる寿命予測の結果例

収容箱条件	部品評価	接合部評価	総合評価
遮蔽板あり	29.5年	41年	29.5年
遮蔽板なし	27.5年	17年	17年

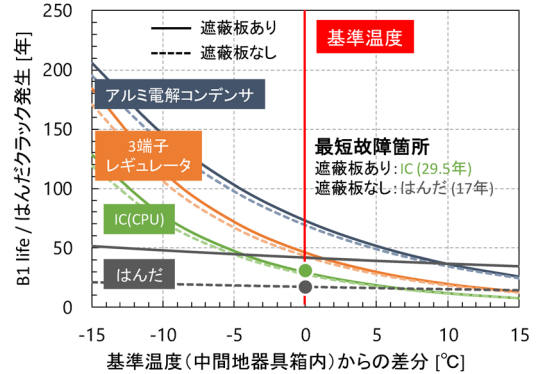


図8 平均温度と推定寿命の関係

6. おわりに

屋外に設置されている沿線電子機器を対象として、摩耗故障期に着目した寿命予測手法を開発した。

沿線電子機器は、屋内設置の電子運動装置よりも厳しい環境に置かれていることが想定されるため、使用環境を調査し、ストレス要因を整理した。その結果、特に寿命に影響を与えるストレスとして、温度変化等の熱的要因が主となることを確認した。また、沿線電子機器が置かれる温度環境は、設置する地域や収容箱の種類等の使用条件によって異なることを確認した。

以上の調査結果から、過去に開発した電子運動装置の寿命予測手法を基とした部品単体での評価に加え、はんだ接合部に関する評価を実施し、総合的に寿命を推定する予測手法を提案した。本手法は、使用条件における寿命を算出できるため、使用環境に応じた適切な更新時期策定の支援に活用することが可能である。

文 献

- 1) 藤田浩由，丹羽順一，新井英樹：電子運動装置の使用環境を考慮した寿命評価手法の開発，鉄道総研報告，Vol. 32，No. 5，2018
- 2) 国崎愛子，藤田浩由，野村拓也，竜本ジョー：鉄道沿線電子機器の使用環境における結露発生に関する実験的検討，電気学会交通・電気鉄道研究会，TER-18-079，2018
- 3) 電子情報技術産業協会：半導体デバイスの加速寿命試験運用ガイドライン，JEITA EDR-4704A，pp.52-80，2007
- 4) 電子情報技術産業協会：表面実装半導体デバイスの機械的強度試験方法，JEITA ED-4702C，pp.38-46，2015