

信号用電子機器の 取替時期を予測する



藤田 浩由
Hiroyuki Fujita
信号技術研究部
信号システム研究室
主任研究員



進藤 卓朗
Takuro Shindo
信号技術研究部
信号システム研究室
研究員



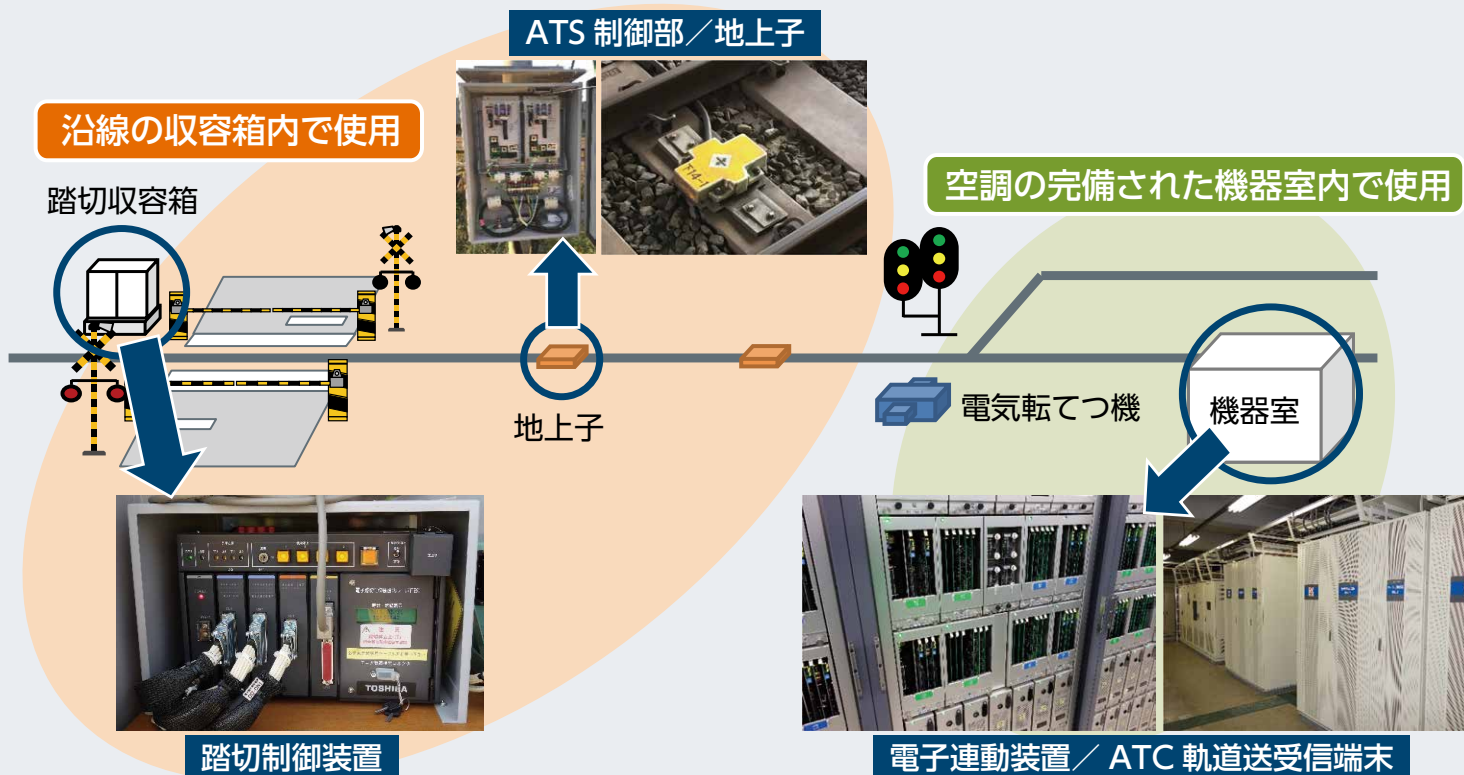
一色 竜杜
Ryuto Isshiki
信号技術研究部
信号システム研究室
研究員

はじめに

鉄道信号設備は、列車の安全・安定輸送を確保するための設備として、**図1**に示すように沿線に広く導入されており、1980年代後半以降、電子機器（以下、信号用電子機器）の採用が進み高機能化や省スペース化などの効果を発揮してきました。一方、このような信号用電子機器は、目に見える形での劣化状態の把握が困難であるため、予兆なく故障が発生することが多い

と感じることや、なぜ故障するのかわからないと感じることがあるなど、**図2**に示すような故障や寿命に関するさまざまな課題があります。これらの課題に対応するためには、それぞれに理論的な裏付けが必要となりますが、特に取替時期の適切な設定のためには、信号用電子機器が使用される場所の温度や振動などの使用環境と故障メカニズムの関係を明らかにし、機器寿命を予測することが重要となります。

図1 信号用電子機器の設備イメージ



ここでは、鉄道総研が取り組んできた研究から、使用環境のうち温度の変化を監視し、その結果に基づき機器寿命の予測を行うことで、信号用電子機器の取替時期を精度よく設定する手法について紹介します。

信号用電子機器の取替えの現状

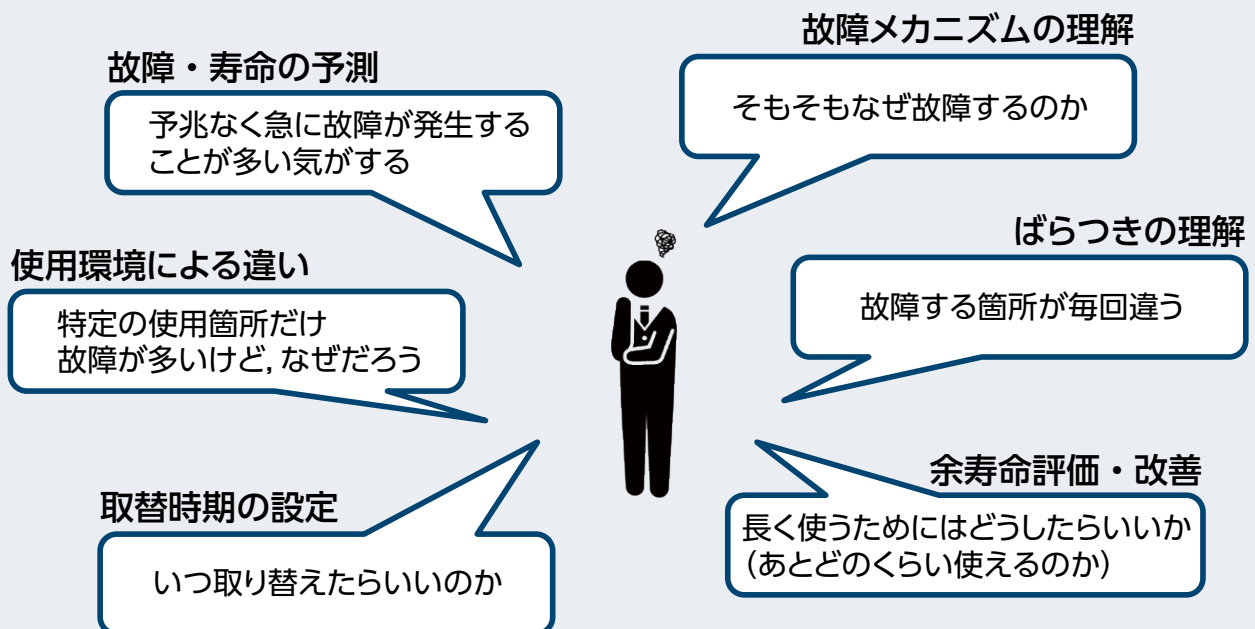
信号用電子機器が故障した場合、現場で補修が行われることはなく、取替えを基本としているため、取替時期を適切に設定することが重要です。現状では、使用環境によらず、あらかじめ想定した故障発生の可能性が高くなる時期よりも前に、機器ごとに一律の取替時期を設定し、取替えが行われています。これに対し、鉄道総研では信号用電子機器の使用環境と故障メカニズムの関係を明らかにすることで、機器寿命を予測することを可能としました¹⁾²⁾。これにより、本来の機器寿命に近い時期での取替えが可能となるため、一部の鉄道事業者では予測結果を用い、現状と比較して取替時期を延ばす判断をしています。

ただし、機器室などの空調の完備された屋内ではなく、鉄道沿線の収容箱内で使用される信号用電子機器については、例えば、沿線にあった建物が解体され日当たりが良くなるなど、収容箱の周辺状況により寿命予測の元となる使用環境が将来的に変化する可能性があります。そのため、使用環境の変化を想定したマージンを加え、厳しめの条件で寿命予測を行う必要があることから、本来の機器寿命よりも短めの予測結果となる傾向がありました。そこで今回提案する手法では、使用環境の変化を監視し、その結果を寿命予測に都度反映することで、信号用電子機器の取替時期を精度よく設定することを目指しました。

寿命に影響する使用環境と監視対象の選定

信号用電子機器は、制御や外部との入出力を行うための複数の回路基板から構成され、各基板上にはさまざまな種類の電子部品がはんだにより接合されています。信号用電子機器の故障

図2 信号用電子機器の故障や寿命に関する課題



は、電子部品の電気的特性が変化するような故障と、はんだ接合部にクラックが発生し抵抗が増加するような故障の2点に分類されます。

信号用電子機器が収容箱内で使用される場合に寿命に影響する使用環境は、国内での実態調査ならびに撤去品調査の結果より、図3に示すように定常温度、温度変化、湿度などの温湿度であることが判明しています²⁾。そのうち、特に電子部品のうち比較的寿命が短いことで知

られるアルミ電解コンデンサーや**フォトカプラー**と、はんだ接合部の主要な故障メカニズムが温度を故障要因としていることから、監視対象として温度を選定することとしました。

温度監視による機器寿命の予測の考え方 温度監視結果の反映

図4に示したアルミ電解コンデンサーとはんだ接合部の故障メカニズムは、いずれも温度に起因しており、高温になるほど寿命が短くなります。この関係に基づき、部品メーカーまたは機器メーカーが実施した**加速試験**の試験温度(T_0)での寿命時間(L_0)から実際の使用温度(T_1)での寿命時間(L_1)を求めるため、理論式に基づく**加速式**を使用します。このとき、使用温度の時間変化を表現するために、加速式を単位時間ごとに分割し、積算することで寿命予測を行います。図5にアルミ電解コンデンサーを一例として、10℃の温度上昇で劣化の促進度合いが2倍となる「10℃2倍則」を表す加速式の時間分割のイメージを示します。なお、信号用電子機器の使用温度は日間に生じる最低・最

☞ フォトカプラー

電気を光に変換し信号を伝達する素子のことです。発光素子と受光素子から構成され、発光素子が入力された電気信号を光に変換し、受光素子はその光を再度電気信号へと変換することで電氣的に絶縁された状態で信号の伝達が行えます。

☞ 加速試験

対象とする部品などの使用環境より厳しい条件(例えば、高温、高湿など)による試験を行い、意図的に劣化を進めて寿命を検証する試験です。

☞ 加速式

試験環境と使用環境条件の間の時間領域での加速性を表した式のことを指します。化学反応速度に基づく理論式や試験結果に基づく実験式があります。

図3 信号用電子機器の寿命に影響する使用環境



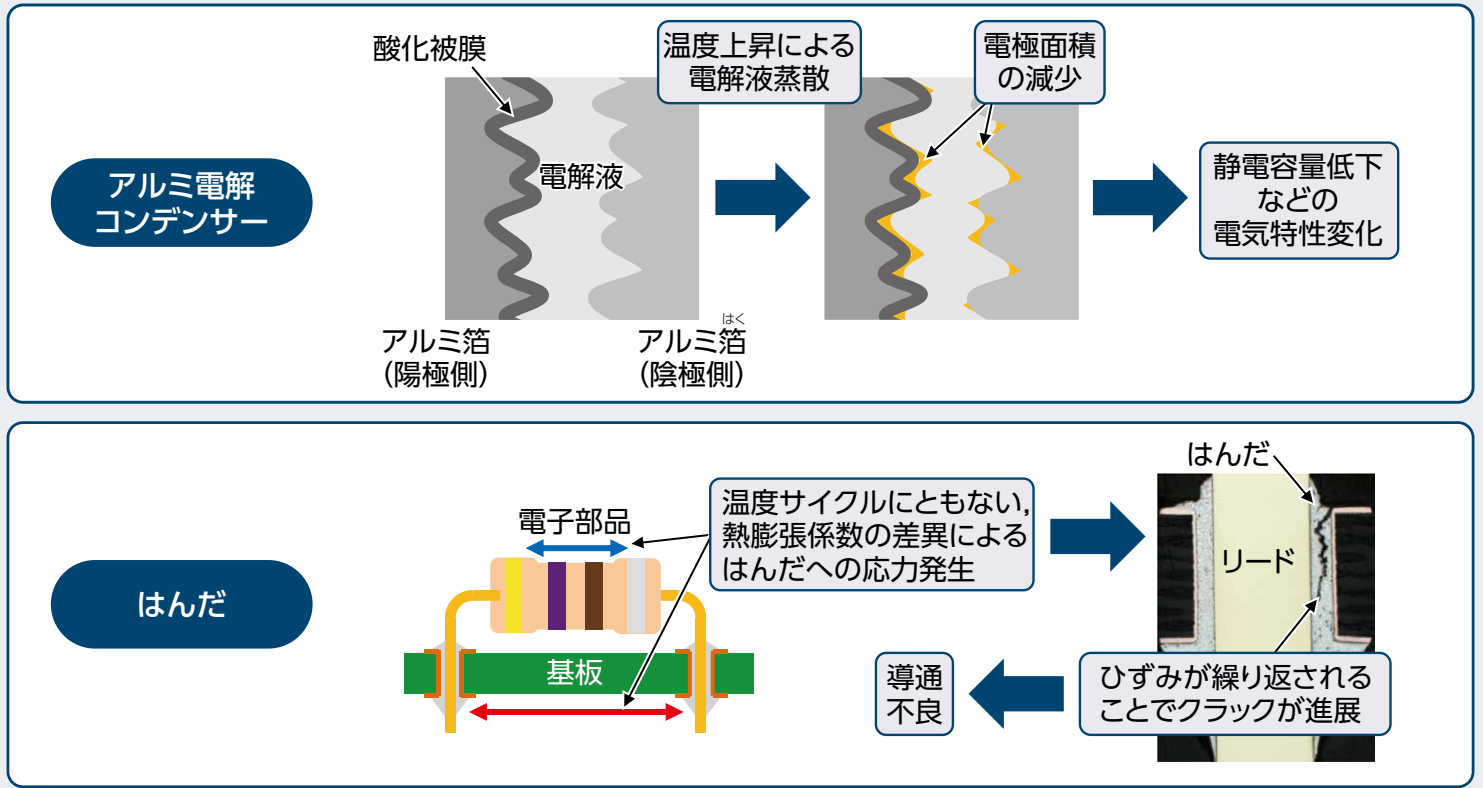


図4 アルミ電解コンデンサーとはんだ接合部の故障メカニズム

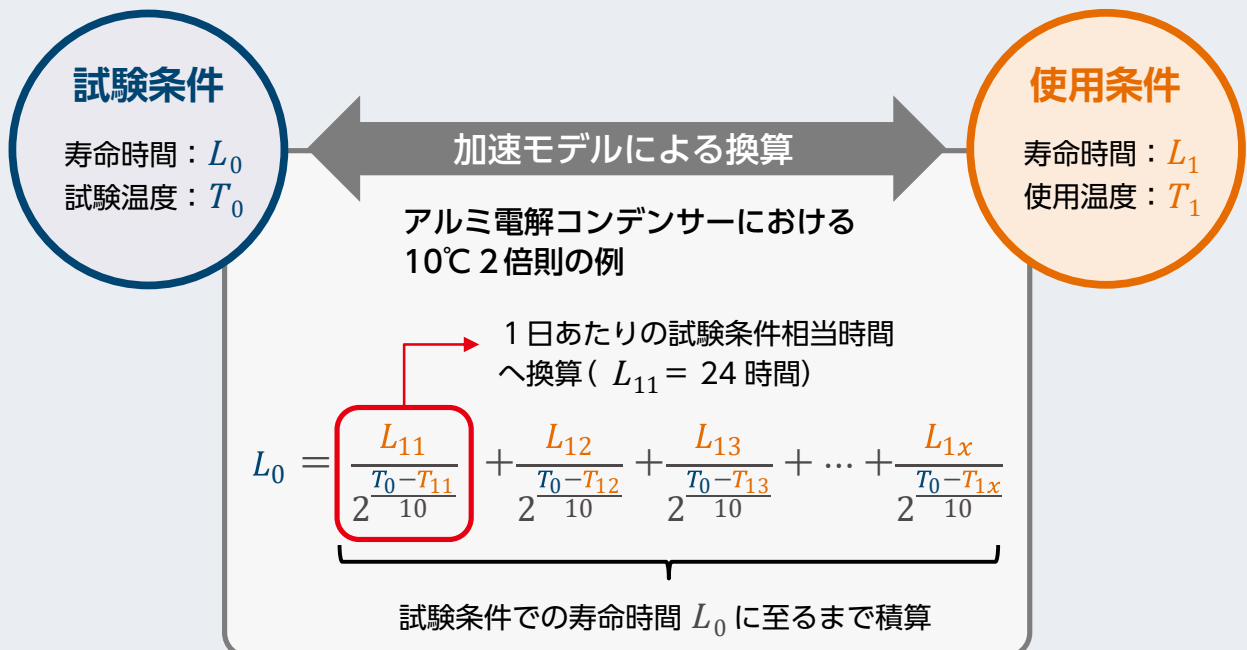
高温度と平均温度を把握できればよいため、分割する時間間隔を1日ごととしました。

機器寿命の予測手法

時間分割した加速式を用い、実際の使用温度での劣化の進み具合を加速試験での試験条件相

当時間に換算します。このとき、図6に示すように分割した時間間隔ごとに試験条件相当時間と対応させ、積算した時間を寿命時間 (L_0) と比較することで現時点での劣化状態を求めます。例えば、加速式により試験温度と使用温度の関

図5 加速式の時間分割のイメージ (アルミ電解コンデンサーの例)



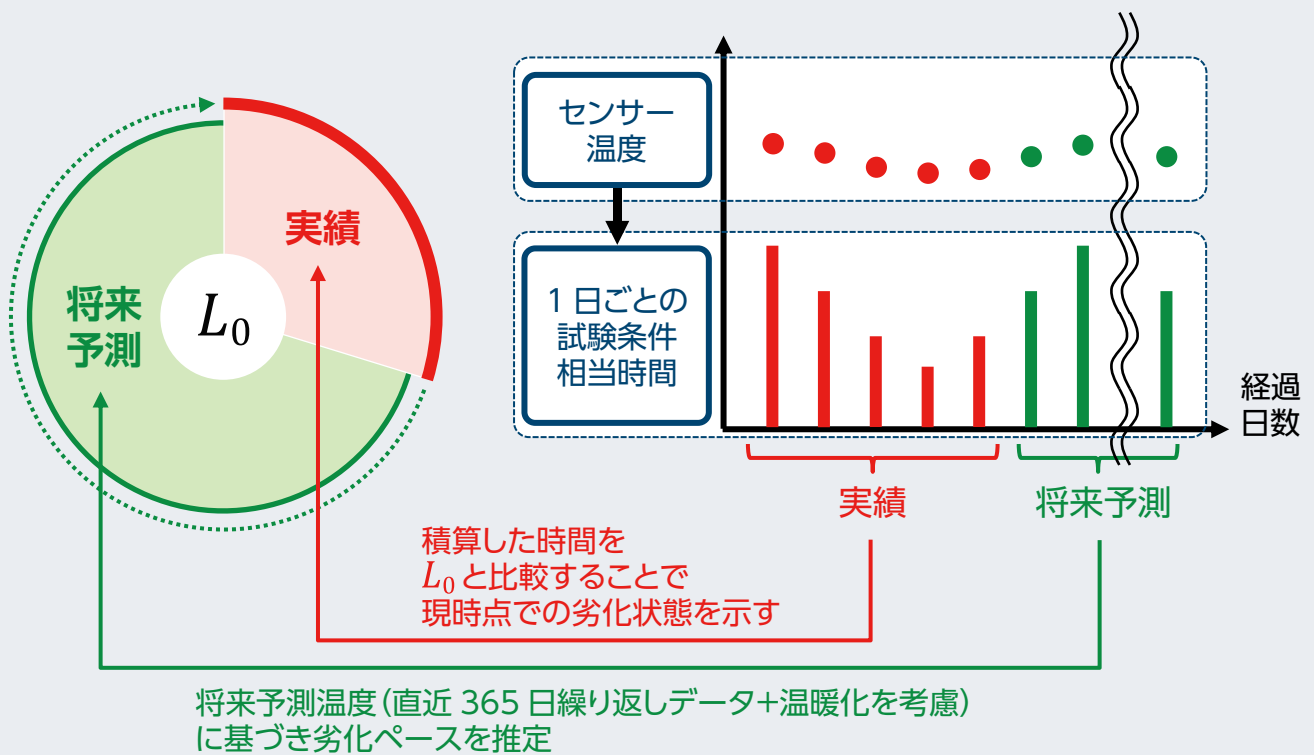


図6 機器寿命の予測手法の概要

係が8倍である場合は、使用条件の1日(24時間)分は試験条件の3時間分と換算できます。

一方、機器寿命の予測は、将来の温度変化を予測するとともに、上記の試験条件相当時間への換算を行うことで寿命までの到達時間(劣化ペース)を予測します。温度は国内の多くの地点で年間を通じた大きな変動があるため、1日ごとの温度監視の値を1年間蓄積し、直近365日周期のデータとして繰り返し適用することで、将来の温度予測を行うこととしました。また、地球温暖化を考慮し、今後100年間での温度上昇を4℃(0.04℃/年、温室効果ガス排出量シナリオの最悪ケース)と見積もることとしました³⁾。

ケーススタディー

信号用電子機器に実装されているアルミ電解

コンデンサーを例に、機器寿命の予測に関するケーススタディーを行いました。なお、事前に使用環境を設定する手法(以下、事前設定手法)との比較も行いました。提案手法では、1日ごとの温度監視の値として、気象庁の観測所公開データを用い、部品の自己発熱分を加えた値をアルミ電解コンデンサーの部品温度としました。事前設定手法でも同様に観測所公開データを用いますが、四季ごとの平均温度に変動を考慮した5℃の温度マージンを加えた値を採用しました。図7に任意時点における各手法の予測結果を示します。

図7の上段において、提案手法については、この時点までに実績として得られた温度を赤線、直近365日周期のデータとして繰り返し適用し、0.04℃/年の温度上昇を考慮した将来の温度予測値を緑線で示しています。事前設定手法につ

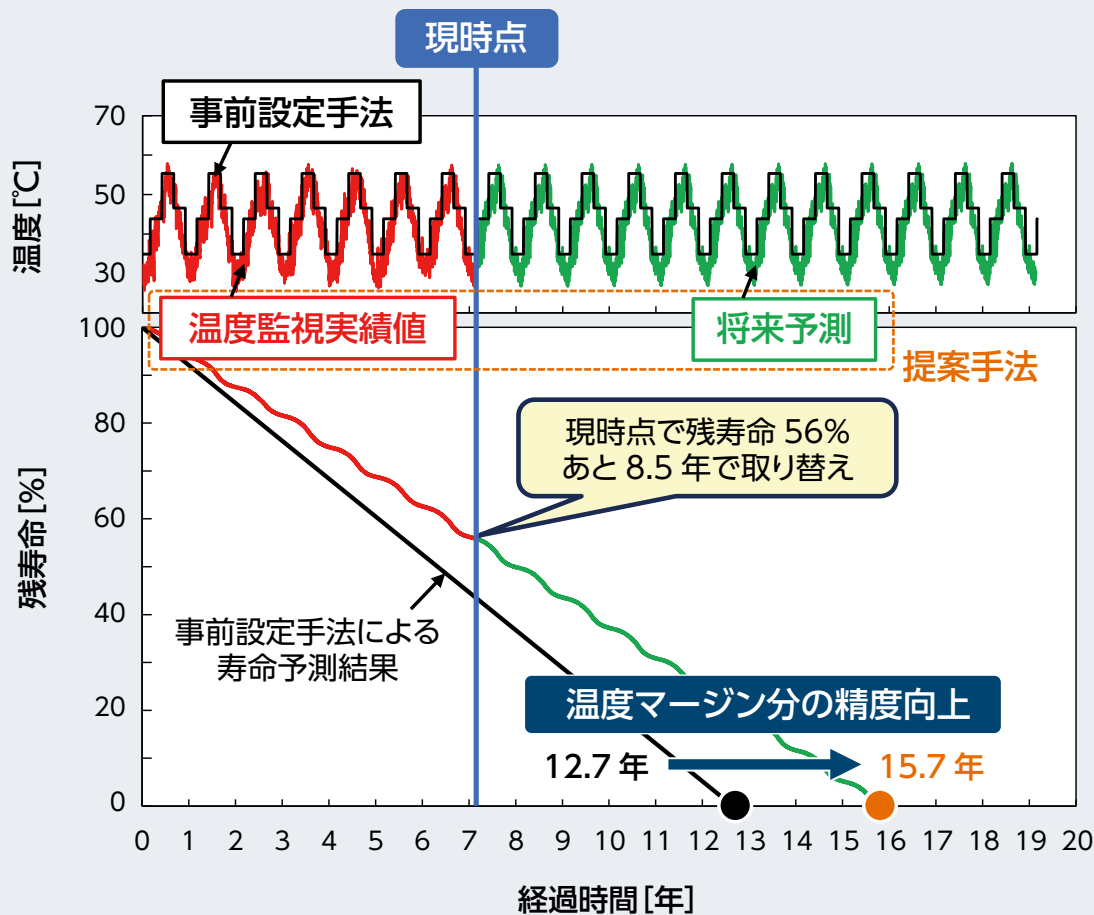


図7 ケーススタディー結果 (事前設定手法との比較)

いては、事前に設定した四季ごとの温度データを黒線で示し、設定値を繰り返し適用している様子を示しています。図7の下段は、横軸を経過時間、縦軸を残寿命として寿命までの到達時間(劣化ペース)の推移を示しています。

図7の下段の残寿命の推移より、提案手法では温度監視の値を反映することで実態に即した寿命予測が可能となり、予測精度の向上が実現していることを確認しました。

おわりに

使用環境のうち温度の変化を監視し、その結果に基づき寿命予測を行うことで、信号用電子機器の取替時期を精度よく設定する手法について紹介しました。取替時期の精度向上が実現することで、機器の信頼性を維持した状態でこれまで以上に長期使用することが可能となります。

設備のメンテナンスの省力化、効率化において、状態監視や推定は核となる技術です。今回紹介した手法は、使用環境の変化を監視することで機器の劣化状態を推定できるため、信号用電子機器のように予兆なく故障する可能性がある対象においても、適切な取替時期の設定に貢献できます。RRR

文献

- 1) 藤田浩由, 新井英樹: 信号用電子機器の寿命を診断する, RRR, Vol.75, No.4, pp.12-15, 2018
- 2) 藤田浩由, 野村拓也, 国崎愛子: 鉄道沿線電子機器の劣化寿命を予測する, RRR, Vol.76, No.11, pp.24-27, 2019
- 3) 藤田浩由, 椿健太郎, 高崎建, 往古直之: 使用環境センシングによる信号用電子機器の寿命予測手法, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.37-44, 2022