

当社の信頼性評価技術

千葉事業所 原田 謙吾

1 はじめに

日本の工業製品は、一般に“壊れにくい・品質が高い”事で、世界中で利用されてきた。その背景にはトップレベルの信頼性を誇る部品・材料を使用している事も大きく貢献している。近年、生産拠点の海外移転や、価格競争力の高い製品を作り上げるために、部品の海外調達などが頻繁に行われている。生産のグローバル化にともない、調達部品や材料の不具合、海外生産拠点の品質レベルの低下など、信頼性に関する問題がクローズアップされる機会が増えている。部品の信頼性の低下は、製品の信頼性低下に直結する可能性が高く、それらを解決するために、莫大な費用と時間が必要になるだけでなく、人命にも影響を与える場合もある。独立行政法人製品評価技術基盤機構（通称NITE）が実施している事故情報収集件数の年度ごとの推移を図1に示す。事故件数は年々増加傾向にあり、家庭用電気製品の占める割合は平成17年度では約35%にのぼる（内訳の詳細はNITE HP参照）¹⁾。このような事態に陥らないためにも、部品・製品レベルでの信頼性の確保が非常に重要になっている。本稿では信頼性を確保する上で重要な、部品・製品の寿命予測、様々な環境での耐久性を評価する環境試験、万が一故障が発生した場合の原因を追及する故障解析技術について紹介する。

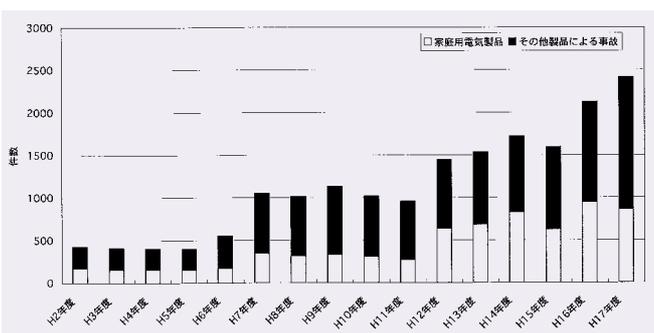


図1 事故件数集計結果 出典：独立行政法人 製品評価技術基盤機構 HP データより作成

2 寿命予測

信頼性とは製品や部品が、与えられた条件で規定期間要求された機能を果たすことが出来る性質である。つまり高い信頼性を持つということは、様々な使用条件で故障しない丈夫さと、長時間使える長持ちという性質を併せ持つことになる²⁾。

製品の使用開始から廃棄までのライフサイクルにおける故障率 $\lambda(t)$ は時間の関数で、図2のような曲線で示される。バスタブカーブと呼ばれる曲線で、初期故障期間、偶発故障期間、摩耗故障期間に分類される。初期故障期間には主に製造工程に起因する故障が発生する。これらを低減するために、製造工程での厳密なスクリーニングが行われている。初期故障期間が過ぎると、故障は偶発的に発生する。この期間の故障率は概ね一定になる。静電気による故障などがこの期間の故障になる。バスタブカーブの右側部分で、故障率が上昇していく期間を摩耗故障期間という。寿命が尽きた製品が増加してくる期間であり、寿命予測では摩耗期間に到達するまでの期間を予測するのが一般的である。

寿命予測を行う方法としては、実際の動作状態以上のストレスを与えることによる加速試験を用いる。ストレスの与え方は温度・振動・電圧など様々であるが、故障が発生するメカニズムが実用時と同じであることが重要である。

アレニウスモデルを用いた寿命予測
加速試験の中で、温度加速の際にはアレニウスモデル

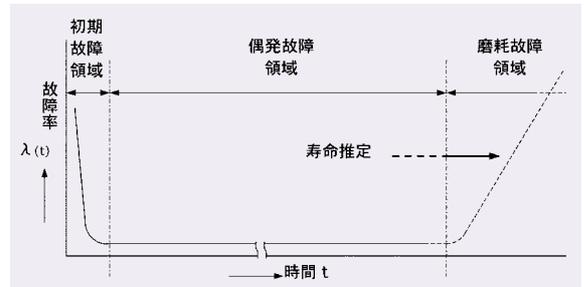


図2 故障率曲線（バスタブカーブ）

が一般的に用いられる。アレニウスモデルは反応速度論から導出されたもので、温度と寿命の関係を示すものである。関係式は下記ようになる。

$$L = A \cdot \exp\left(\frac{Ea}{k \cdot T}\right)$$

L：寿命，k：ボルツマン定数，A：定数，Ea：活性化エネルギー，T：絶対温度

実際に寿命予測を行う際には、複数条件にて試験を実施し、試料特有の活性化エネルギーと常数の算出を行う。

特殊プリント基板の絶縁抵抗変化の寿命予測を具体的に実施した例を以下に示す。
試験条件

試験水準：100，125，150

サンプル数：N=13

故障判定基準：抵抗値変化率が50%を超えた時点

各温度条件にて温度加速試験を実施し、随時抵抗値を測定しながら、各サンプルの故障判定基準を超える時間を求める。

各温度条件の結果を、横軸に故障時間の対数、縦軸に累積故障率 $F(t) = \ln(-\ln(1-F(t)))$ でプロットをすると、図3のようなワイブルプロットが得られる。各温度での直線の傾きが、ほぼ同じであるので、故障モードは同一と考えることが出来、各温度での寿命を求める。今回は $F(t) = 1\%$ となる時点を寿命とした。

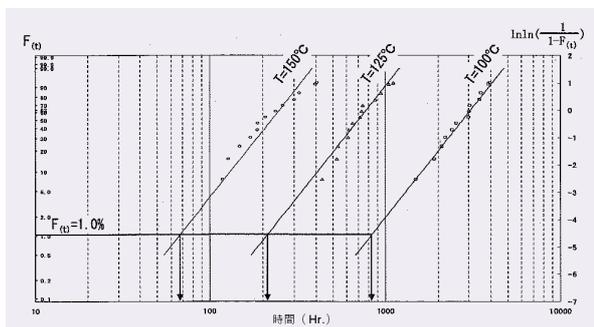


図3 ワイブルプロット

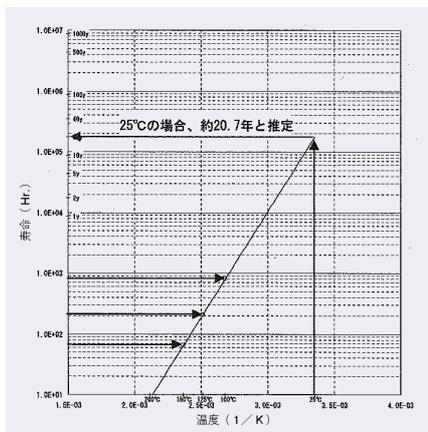


図4 アレニウスプロット

横軸にリニアスケールで絶対温度の逆数，縦軸に対数スケールで各温度での寿命をプロットする図4のようなアレニウスプロットが得られる．この直線の傾きより，活性化エネルギー E_a ，切片の常数 A を求めることが出来る．今回の例では $E_a = 0.69 \text{ eV}$ ， $A = 3.87 \times 10^{-7}$ となった．

実際の使用温度 25 での寿命を算出すると，25 での寿命推定は，寿命

予測式より

$$L = 3.87 \times 10^{-7} \cdot \exp(0.69/k \cdot T) \\ = 3.87 \times 10^{-7} \cdot \exp(0.69/(8.6159 \times 10^{-5} \cdot (25+273))) \\ = 181525 \text{ (Hr.)} \\ = 20.7 \text{ (年)}$$

となる．

3 環境試験

環境試験は，製品が市場で受けると予想される外部からのストレスをシミュレートし，その環境に対する耐久性を評価するために実施する．その為には製品が遭遇する使用環境を十分に把握する必要がある．電子機器の小型・軽量化により，様々な環境で利用されるために，環境試験の項目数増大や，2種類以上のストレスを同時に加える複合環境試験のニーズも高まっている．特に自動車業界では，以前より過酷な環境での利用を想定して，高負荷な試験を実施する傾向があったが，市場のグローバル化や安全性確保のために，多様化・高負荷化の傾向が大きい．

表1に代表的な環境試験の項目を示す．各試験の試験条件はJIS等の公的規格に基づいて実施する場合と，市場からフィードバックされた情報を元に，各社が独自に設定している場合がある．当社では様々な試験を実施しているが，中でもガス腐食試験に注力している．製品使用環境中に含まれる腐食性ガスによって，誤作動や変色などの悪影響を及ぼす可能性がある．表2に代表的な腐食性ガスの発生源を示す³⁾．発展途上国では，急激な

近代化によって，都市部での自動車排気ガスによる大気汚染，並びに工業地帯での石炭を使用することによる大気汚染が問題となっている．これらの地域での大気汚染濃度は東京と比較して，数倍～数十倍になる地域もある⁴⁾．

部品単位での性能評価も重要であるが，使用する際には他の部材の影響や，自己発熱などの影響で，より過酷な状況にさらされる場合がある．小型の製品であれば，市販のガス腐食試験機内に設置する事が可能であるが，大型の試料ではサイズ・重量の制限で評価することが困難になる．そこで当社では大型試料対応のガス腐食試験用チャンバーを作成した(図5)．温度制御の可能な200L型と室温制御の1000L型がある．写真は200L型である．この様な試験槽を用いることで，より実働状態に近い環境での評価が可能となる．

メモリーカードに対するガス腐食試験

デジタルカメラなどで用いられる，メモリーカードの接点部分は，銅(Cu)の基材上にニッケル(Ni)メッキ，金(Au)メッキが施されている．Auメッキは非常に安定であるが，高価であるので1～2μmの厚みでメッキされる．スロットへの挿抜を繰り返すと，接触部分が摩耗し，下地の金属が露出する可能性がある．露



図5 大型試料対応ガス腐食試験用チャンバー 200L型

表1 主な環境試験

	試験名	環境試験装置
温湿度環境	耐熱性試験	高温槽
	耐寒性試験	低温槽
	温度サイクル試験	温度サイクル試験槽
	恒温恒湿試験	恒温恒湿槽
	熱衝撃試験	熱衝撃試験器(気槽，液槽)
自然環境	耐候性試験	キセノン，メタルハライドなど
	耐水試験	耐水試験器
	耐塵性試験	耐塵試験器
	塩水噴霧試験	塩水噴霧試験器
	複合塩水噴霧試験	複合型塩水噴霧試験器
	ガス腐食試験	ガス腐食試験器
	振動試験	振動試験器(正弦波，ランダム)
機械環境	衝撃試験	衝撃試験器
	疲労試験	疲労試験器
その他	複合環境試験	2種以上の環境試験の組み合わせ

表2 腐食性ガスの発生源

腐食性ガス	発生源	影響を受けやすい材料
SO ₂	化石燃料の燃焼	全ての金属(特にニッケルメッキ)
NO ₂	ディーゼルガス，石油ストーブ	銅，黄銅
H ₂ S	製紙，温泉，下水処理など	銀，銅
O ₃	スモッグ，放電	ゴム，プラスチック
HCl	プラスチックの焼却，	ほとんどの金属，ゴム，
Cl ₂	殺菌など	プラスチック
NH ₃	肥料，人間	銅

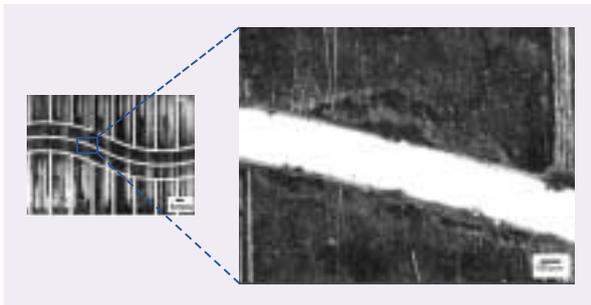


図6 腐食試験後 メッキ部観察結果

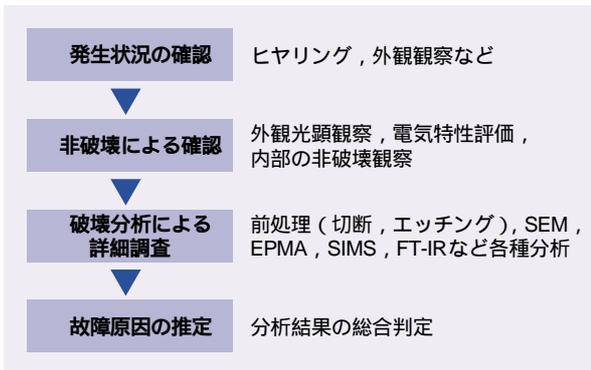


図7 故障解析手順例

出したNiやCuは金に比べて耐環境性が劣るために、露出した箇所より腐食が発生し、不良の原因となる事が考えられる。実際のスロットを用いて挿抜試験を実施したメモリーカードに対して、ガス腐食試験を実施し、腐食発生箇所の定性分析を実施した例を以下に示す。

試験条件

挿抜試験 繰り返し回数
約10,000回
ガス腐食試験 H₂S 3ppm,
40%RH, 85%RH, 96時間

試験終了後のメッキ部分の顕微鏡観察結果を図6に示す。接点が接触した部分が摩耗し、摩耗痕以外の部分にも腐食生成物の存在が確認された。発生している腐食生成物の元素分析を実施すると、S, Cu, Ni, Auなどが検出され、下地の金属も既に摩耗していることが確認された。これらの硫化化

化合物は絶縁性であり、表面に大量に付着すると、読み込み不良などのトラブルの原因になる可能性がある。

4 故障解析

欠陥品や故障品の不具合箇所を特定し、その原因追及を行う作業を故障解析と呼ぶ。故障解析による原因追及は、再発防止を行う上で非常に重要である。一般的な故障解析手順を図7に示す。故障解析は電気・化学・物理解析の様々な分析結果を総合することにより可能となる。

各種分析により得られる情報は重要であるが、試料の外観確認やヒヤリ

ングも同様に重要である。使用履歴や設置状況などから原因を推定できる場合もあり、最も簡便な手法であるが、必ず実施するべきである。

故障解析を実施する試料は、一つしか存在しない場合もあり、出来る限り非破壊にて実施できる手法より行う。また、試料を破壊して、分析を実施する際にも、内部の構造を把握することにより、破壊可能位置を決定することが出来、次以降の分析への影響をなるべく少ない前処理を選択することが可能となる。

X線CTを用いた非破壊観察

X線CT (X-Ray Computed Tomography) は、X線を用いた非破壊観察

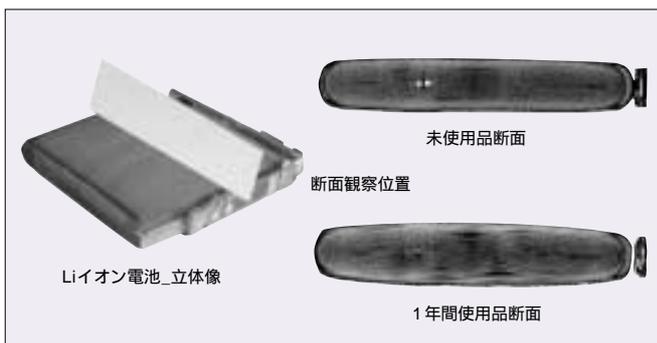


図8 Liイオン電池 X線CT観察結果

手法の一つであり、断層像や立体像を得ることが出来る。基本的には医療用のX線CT装置と同様であるが、産業用X線CT装置では、試料が回転し光源と受光部は固定されている。また、ビームサイズがμmオーダーと非常に小さく、微細な箇所の観察を行うことが出来る。

携帯電話用リチウムイオン電池を観察した例を以下に示す。

1年以上使用し充放電を繰り返した電池と、新品の電池の内部の状況をX線CTにて非破壊観察を行った。リチウムイオン電池は大気中で切断などの分解作業を実施すると、爆発・発火の危険性があり、内部の状態を保持したまま観察を行うことは、非常に困難な試料である。観察結果を図8に示す。充放電を繰り返した電池では、内部のセパレーターの間隔が膨張し、全体が膨らんでいることが確認できた。

5 おわりに

電子機器の新製品の投入サイクルは非常に短くなっている。それに伴い、開発サイクルも短くなり、信頼性の作り込みにかける時間・マンパワーは少なくなる傾向にあり、短期間で効率の良い信頼性評価方法が望まれている。当社でもニーズに合った新技術を導入しながら、新しい評価方法などを提案し、高品質で安全な製品作りに貢献していきたいと考える。

文 献

- 1) 平成17年度事故情報収集制度報告書
独立行政法人 製品評価技術基盤機構
<http://www.nite.go.jp>
- 2) 最先端 電子デバイス・部品における信頼性試験・評価 事例集 技術情報協会 2006.11
- 3) 電子機器部品の腐食・防食Q&A
腐食防食協会編、丸善株式会社
- 4) 開発課題に対する効果的アプローチ
- 大気汚染 - 独立行政法人 国際協力機構
2005



原田 謙吾
(はらだ けんご)
千葉事業所