

加速試験の寿命予測精度に必要な

試験水準の設定と故障データに関する考察

パナソニック株式会社 デバイス社 半導体事業グループ
清水貴宏

1. はじめに

近年,製品の安全性に関わる事故によってお客様の生活に影響する事案が発生している.そのため企業はお客様から安心・安全について強く要求されている.

企業は,信頼性試験などにより製品の寿命予測を行なうことのお客様に対して安心・安全を保証している.

企業が一般的に採用している信頼性試験は,以下に示す方法がある.

現地試験: 実使用状態で寿命を確認する

加速試験: 製品の強い劣化要因の負荷を強制的に与え,製品を短期間に劣化させる.

寿命を正確に把握するためには現地試験が優れている.しかし,製品が寿命を迎えるまでには長い時間を必要とする.

そこで,短時間に信頼性評価が実施できる加速試験を用いることが多い.加速試験は一般的に次の目的で用いられる.

① 早期故障モードの抽出

② 対象物の早期寿命予測

従って,加速試験についての研究では短時間で故障モードを抽出する方法論が多く取り上げられている.

一方,企業にとって,お客様への安心・安全を保証する観点から,高精度な寿命予測も重要である.しかし,加速試験の場合,実際の使用状態より強い負荷を与えることから,寿命予測精度が低下する.

筆者は,加速試験結果から高精度寿命予測を行なう方法^{*1*}^{*2*}^{*3}を提案してきた.

しかし,今まで提案した方法は,次の内容について検討していない.

① 試験水準の設定

② 寿命予測に必要な故障データの条件

今回はこの2点について検討を行なったので報告する.

2. 現状の問題点

2.1 試験水準設定についての問題点

半導体製品の温度加速試験を例に問題点を説明する.

半導体などの部品について行なわれている温度加速試験方法について調査した.様々な企業が3水準程度の加速水準(T1, T2, T3)を設定して試験を行っている.しかし,それぞれの水準の設定方法について明確な定義がない.温度加速試験における実寿命予測にはアレニウスモデルという故障物理モデルが一般的に知られている.加速水準(T1, T2, T3)における任意の故障率の時間をワイブル確率紙などで求め,その時間と加速水準の温度の絶対温度の逆数との関係が一次関数に従う故障モデルの性質を利用

Panasonic Corporation
Industrial Devices Company Semiconductor
Business Group
TAKAHIRO SHIMIZU
shimizu.takahiro@jp.panasonic.com

して実使用温度(T_0)での任意の故障率の時間を実使用寿命として求めている(図1).

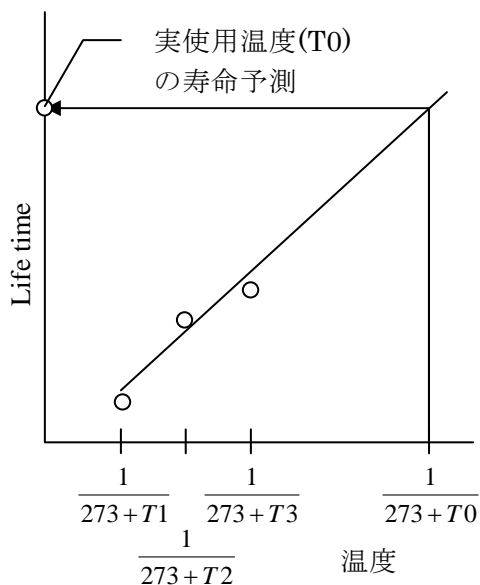


図1 実使用寿命の求め方

短時間で故障モードを抽出することを目的とした「超加速」を,事例の温度加速に適用すれば,加速水準(T_1 , T_2 , T_3)を大きくすることが最も単純である.しかし,次の課題が発生する.

①実使用上発生しない故障モードを抽出する危険性がある.

②実使用の寿命予測精度が悪化する.

①については,多くの研究で考慮されているが,②について検討されている内容は少ない.

2.2 故障データについての問題点

信頼性試験のデータに関しては,完全データや不完全データなど,データの収集方法についての解説はあるが,必要なデータ数や率などについての内容は少ない.

データが少なければ,寿命予測精度は低下する.ただし,精度を上げるためにデータを増やせば,次の問題が発生する.

①サンプル数増大によるコスト増加

②低加速条件での試験時間増加(図2)

時間・コストの観点からも分析に使うデータについて検討が必要である.

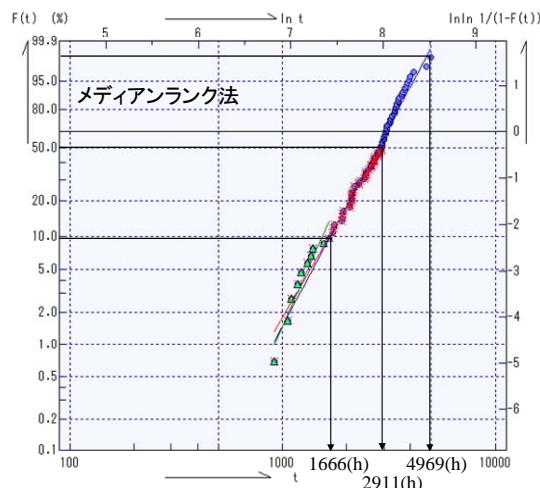


図2 定数打ち切りと試験時間

3. 分析

3.1 試験水準についての分析

試験水準と推定寿命の関係について分析を行なう.温度加速の実使用寿命を推定する方法について例で示した(図1).正しく実使用寿命を求めるためには,対象物を実使用の環境で故障するまで試験するのがよい.

つまり,図1を例にすると T_0 で全対象物が故障した結果を用いれば,実使用の真の寿命を求めることができる.

その場合,膨大な対象数(コスト)と試験時間(時間)が必要になる.そこで対象物を劣化させる要因を実使用より強く与えて短時間に故障させ,対象物の寿命を予測する方法として加速試験が使われている(図3).

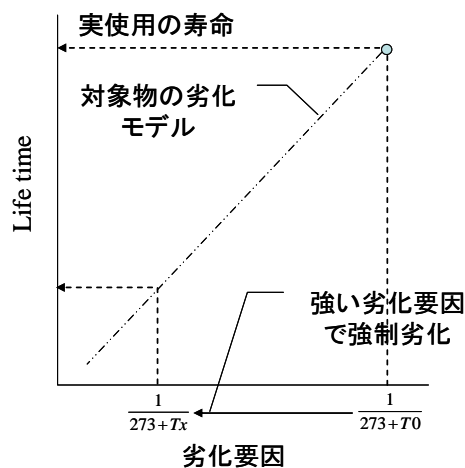


図3 加速試験の思想

加速試験では次の課題が考えられる。

- 3.1.1 寿命予測に影響を与える水準
- 3.1.2 水準の組合せ
- 3.1.3 加速の必要水準数

上記3点について、シミュレーションデータを使った分析を行なった。

3.1.1 寿命予測に影響を与える水準

図3の加速試験から、最も弱い加速水準の結果が寿命予測に影響すると推定できる。しかし、それをデータで説明したものが少ない。また、その他の水準が寿命予測にどのように影響しているかも明確になっていない。そこでシミュレーションデータを使った以下の試験から各水準が寿命予測にどのように影響しているかを分析した。

I. 試験内容(例：温度加速試験)

- ・寿命の定義：B10 Life time(h)
- ・実使用温度：35℃
- ・実使用寿命：131400h(15年)
- ・形状パラメータ：m=3
- ・試験水準：T1=200℃
T2=175℃
T3=150℃
T4=125℃
T5=100℃
- ・実験回数：R=50
- ・各水準サンプル：n=50

II. 分析内容(水準の組合せと寿命予測)

- ・Type A：T1, T2, T3
- ・Type B：T3, T4, T5
- ・Type C：T1, T3, T5

III. 分析結果

- ・Type A について

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R ²
寿命時間対数変換	0.043	0.996	0.991	0.991
	R ²	残差自由度	残差標準偏差	
	0.99	46	0.031	

説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
定数項	6.86	6.817	7256.0527	4.675
T200B10life	2.848	2.804	2985.0674	-0.073
T175B10life	0.052	0.009	9.1688	0.002
T150B10life	2.857	2.814	2994.8887	0.013

・Type B について

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R ²
寿命時間対数変換	0.016	0.996	0.991	0.991
	R ²	残差自由度	残差標準偏差	
	0.99	46	0.019	

説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
定数項	5.595	5.579	15986.1761	4.5847
T150B10life	0.53	0.514	1473.7645	-0.0055
T125B10life	0.028	0.012	33.3602	0.0003
T100B10life	1.431	1.415	4054.3098	0.0007

・Type C について

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R ²
寿命時間対数変換	0.011	0.995	0.989	0.989
	R ²	残差自由度	残差標準偏差	
	0.988	46	0.015	

説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
定数項	7.337	7.326	31876.849	4.638
T200B10life	0.275	0.264	1149.5056	-0.022
T150B10life	0.018	0.008	34.2988	0.001
T100B10life	0.725	0.715	3109.3359	0.001

考察：

- ①全てのTypeにおいて、最も弱い水準が寿命予測に最も影響する。
- ②次に影響するのは、最も強い水準であり、中間の水準の影響は低いこと
- ③最も弱い水準のB10 Life timeが長時間、最も強い水準のB10 Life timeが短時間の組合せになると、寿命は長寿命化する。式構造からも妥当な結果と判断できる。

3.1.2 水準の組合せ

Type A～Cでの寿命予測の結果について分析を行なった。

Type A：実使用から距離が離れた試験水準(強い水準)を設定すると寿命予測のばらつきは大きくなる。

Type B：実使用からの距離が近い試験水準(弱い水準)では、Type Aより寿命予測のばらつきは小さくなる。

Type C：広い範囲で試験水準を設定した場合、Type A, Bより寿命予測のばらつきが小さくなるのではないかと考えた(図4)。

Type A～Cの寿命予測の分散の一様性を検証すると分散が異なるという結果を得た(図5)。これにより、水準組合せについて以下のことが明確となる。

- ・水準組合せは広いほうが望ましい
- ・最も弱い水準を含むほうが望ましい

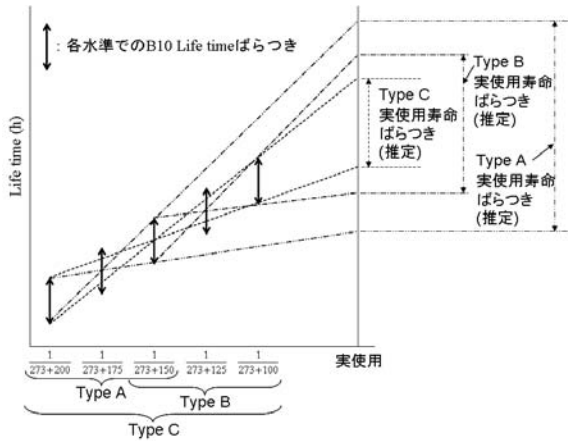
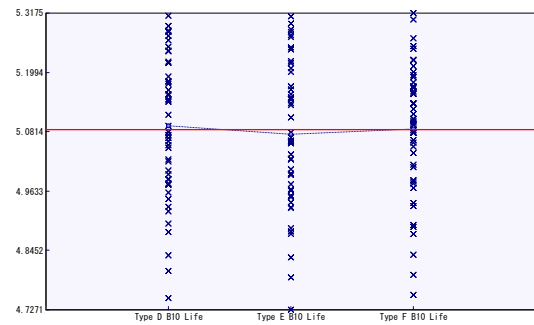


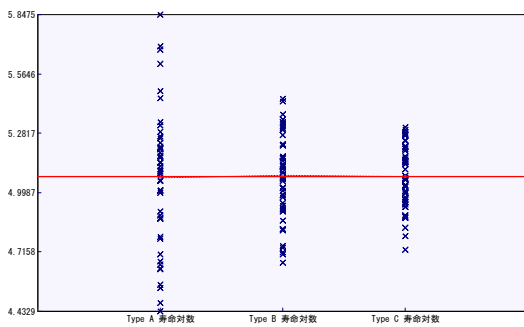
図 4 水準組合せと寿命推定のばらつき



水準	実数値	平方和	自由度	不偏分散	平均値	標準偏差
1	Type D B10 Life対数	0.98777	49	0.02016	5.0931	0.14198
2	Type E B10 Life対数	1.00038	49	0.02049	5.0768	0.14288
3	Type F B10 Life対数	0.89914	49	0.01651	5.0887	0.12850
計		2.79728	147			

帰無仮説H0 : 分散が一緒である
 Bartlett検定統計量b : 0.671 (上側) 0.715
 $\chi^2(2, 0.05)=5.991, \chi^2(2, 0.01)=9.210$
 仮説H0は有意水準1%で棄却されない
 仮説H0は有意水準5%で棄却されない

図 6 Type D～F の分散の一様性



水準	実数値	平方和	自由度	不偏分散	平均値	標準偏差
1	Type A 寿命対数	4.92992	49	0.10041	5.0692	0.31697
2	Type B 寿命対数	1.88643	49	0.03850	5.0800	0.19621
3	Type C 寿命対数	1.00038	49	0.02049	5.0768	0.14288
計		7.89653	147			

帰無仮説H0 : 分散が一緒である
 Bartlett検定統計量b : 31.116 (上側) 0.000
 $\chi^2(2, 0.05)=5.991, \chi^2(2, 0.01)=9.210$
 仮説H0は有意水準1%で棄却される
 仮説H0は有意水準5%で棄却される

図 5 Type A～C の分散の一様性確認

3.1.3 加速に必要な水準数

3.1.2 までの試験は全て 3 水準とした。水準数は一般的に 2～4 水準で行われている。3.1.1 の結果を踏まえれば、中間の試験水準が寿命に与える影響は最弱・最強の試験水準と比べると非常に小さい。そこで、以下に示す 3 つの Type の試験を行って、水準数と寿命予測のばらつきについて分析した。

- Type D : 2 水準(T1=200, T5=100)
- Type E : 3 水準
(T1=200, T3=150, T5=100)
- Type F : 5 水準(T1～T5)
(T1=200℃, T2=175℃, T3=150℃, T4=125℃, T5=100℃)

Type D～F の寿命予測の分散に差は見られない。従って、水準を増加しても寿命予測ばらつきには影響しないことがわかった。ただし、3.1.1 の結果から、中間水準の寿命予測に対する影響が無視できないこともわかっている。従って、以降の試験及び分析は 3 水準の試験とする。

3.2 故障データについての分析

水準は許される試験時間範囲内において、最弱にすることが寿命予測のばらつきを小さくすることを明確にした。しかし、試験水準を弱くすることは、劣化要因を弱くすることを意味する。そのため、加速試験の時間が長くなるリスクを伴う。加速要因を弱めて、短時間に結果を得るには図 2 に示すように故障データ数が少ない段階で試験を終了する定数打ち切り型の試験を採用する必要がある。定時打ち切り型の試験も時間を短縮することは出来るが、試験時間内に故障が発生しない場合がある。その場合、最弱条件の結果を得ることができない。故障データ数が少ないと寿命予測の精度が低くなるが、完全データのように全てのデータを故障させる場合、先に述べた最弱条件の試験は、時間の制約上、実施できない可能性がある。そこで、故障データ数と寿命予

測の影響について分析することにした。試験方法を以下に示す。

I. 試験内容

- ・形状パラメータ： $m=3$
- ・特性パラメータ： $\eta=1000$
- ・繰り返し回数： $R=50$
- ・故障数： $n=50$ を基準として、不完全データを再現するために、故障数を $n=49,48\dots$ と減少させる。

II. 分析内容

- ・サンプルによって得られる特性パラメータを統計量として、完全データの結果と平均・分散共に同等と判断できる故障データ数を求める。
- ・特性パラメータを統計量に用いる理由は、清水の研究で、加速試験における故障数を使ったワイブル分析では、特性パラメータが最も収束する統計量であることを証明している※1,2,3.最も安定した統計量を扱うことにした。

III. 分析結果

- ①特性パラメータを推定する累積ハザード $H(t)=100\%$ で試験を打ち切った場合、故障データ数によって得られる η のばらつきは大きいことがわかる。
- ②累積ハザード $H(t)=200\%$ 以下で η のばらつきが急激に上昇することがわかる。
- ③累積ハザード $H(t)=300\%$ 以上の場合、 η のばらつきは、完全データと同等レベルと推定できる(図 7)。

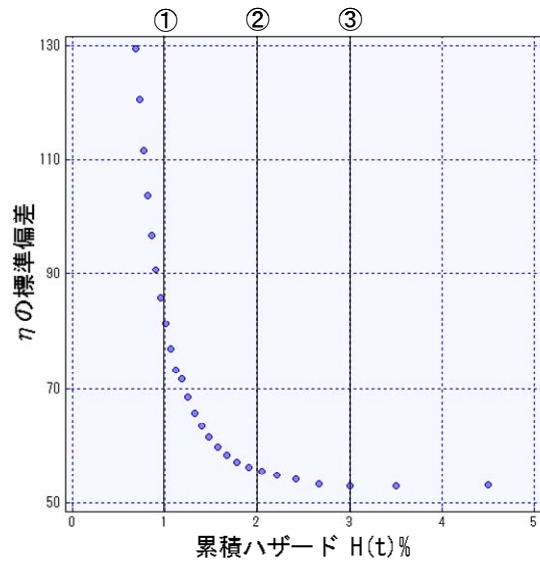


図 7 累積ハザードと η ばらつき

以上の結果を踏まえて、 η のばらつきが完全データを同等レベルの累積ハザード値を統計的に検証した。

累積ハザード $H(t) > 200\%$ であれば、 η のばらつきと平均は完全データと同等と考えられると判断した(表 1)。

累積ハザード $H(t)=200\%$ は、故障率に換算すると 85%程度になる。従って、精度良く寿命を推定する際に、不完全データを用いる場合は、85%以上のサンプルを故障する必要があると判断できる。分析の結論として次の結果を得ることが出来た。

- a. 試験水準は 3 水準で最弱条件が重要
- b. 故障データ数ではなく、故障率が 85% 以上必要

※定数・定時に加え定率打ち切りを提案

表 1 完全データ結果と同等レベルが期待できる累積ハザードの考察

変数名	累積ハザ														
	449.92%	349.92%	299.92%	266.59%	241.59%	221.59%	204.92%	190.64%	178.14%	167.02%	157.02%	147.93%	139.60%	131.91%	124.76%
449.92%		0.831	0.693	0.568	0.463	0.376	0.299	0.22	0.161	0.116	0.083	0.061	0.043*	0.029*	0.020*
349.92%	0.976		0.856	0.72	0.6	0.499	0.405	0.307	0.23	0.169	0.123	0.093	0.066	0.046*	0.031*
299.92%	0.979	0.997		0.859	0.73	0.618	0.512	0.397	0.305	0.229	0.17	0.129	0.093	0.066	0.046*
266.59%	0.981	0.957	0.96		0.867	0.747	0.63	0.501	0.393	0.302	0.229	0.177	0.129	0.093	0.065
241.59%	0.904	0.881	0.883	0.923		0.877	0.754	0.613	0.492	0.386	0.298	0.234	0.174	0.127	0.091
221.59%	0.834	0.811	0.813	0.852	0.929		0.874	0.726	0.595	0.476	0.375	0.298	0.226	0.167	0.121
204.92%	0.761	0.738	0.74	0.779	0.854	0.924		0.848	0.709	0.579	0.465	0.376	0.29	0.218	0.161
190.64%	0.698	0.676	0.679	0.716	0.789	0.859	0.934		0.855	0.715	0.587	0.484	0.381	0.293	0.219
178.14%	0.619	0.599	0.601	0.636	0.707	0.774	0.848	0.913		0.854	0.717	0.602	0.484	0.379	0.29
167.02%	0.523	0.503	0.505	0.538	0.604	0.667	0.737	0.801	0.886		0.857	0.734	0.603	0.483	0.377
157.02%	0.415	0.398	0.4	0.428	0.487	0.544	0.609	0.668	0.749	0.86		0.873	0.733	0.6	0.478
147.93%	0.31	0.296	0.297	0.321	0.37	0.42	0.476	0.529	0.603	0.706	0.841		0.856	0.715	0.581
139.60%	0.218	0.208	0.209	0.227	0.266	0.306	0.353	0.398	0.461	0.553	0.677	0.829		0.853	0.709
131.91%	0.14	0.132	0.133	0.146	0.175	0.204	0.24	0.275	0.325	0.4	0.506	0.642	0.804		0.85
124.76%	0.08	0.075	0.075	0.084	0.103	0.122	0.147	0.171	0.208	0.263	0.346	0.458	0.599	0.781	
118.10%	0.039*	0.036*	0.036*	0.041*	0.051	0.063	0.077	0.092	0.114	0.15	0.207	0.288	0.396	0.548	0.747
111.85%	0.027*	0.025*	0.025*	0.029*	0.037*	0.045*	0.056	0.067	0.085	0.114	0.16	0.228	0.322	0.457	0.641
105.97%	0.011*	0.010*	0.010*	0.012*	0.015*	0.019*	0.025*	0.030*	0.040*	0.055	0.081	0.122	0.183	0.278	0.419

寿命を精度良く予測するためには、最弱条件が可能な限り実使用に近く、その時の故障率が85%以上でなければならない(図8)。

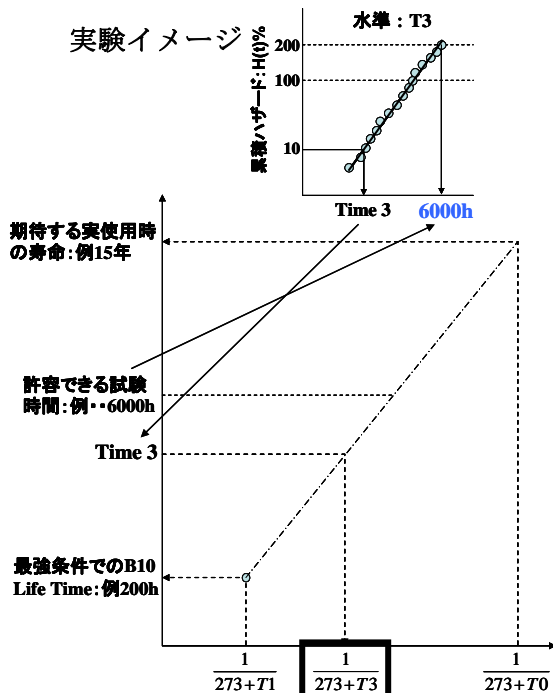


図8 最弱水準の決め方

この方法は、次の3つの要件を満足すると用いることができる。

- ・期待する実使用時の寿命が決まっている
- ・同じ故障モードの寿命推定である
- ・お客様要求や設計期間で許容できる試験期間が決まっている。

次に3つの要件を満足している場合の最弱条件設定の具体的な手順を説明する。

4. 具体的な水準設定の手順

例：期待する実使用寿命：15年(真の寿命)

実使用の温度：35℃

信頼性試験の許容時間：6ヶ月

信頼性試験：温度加速試験(3水準)

試験の限界温度：175℃

各水準のサンプル数：n=50※

※最強条件のみ：n=20×3回繰り返し

手順1 形状パラメータの推定

最強条件で、3回の繰り返し実験(図9)を行い、形状パラメータの平均： \bar{m} を求める。

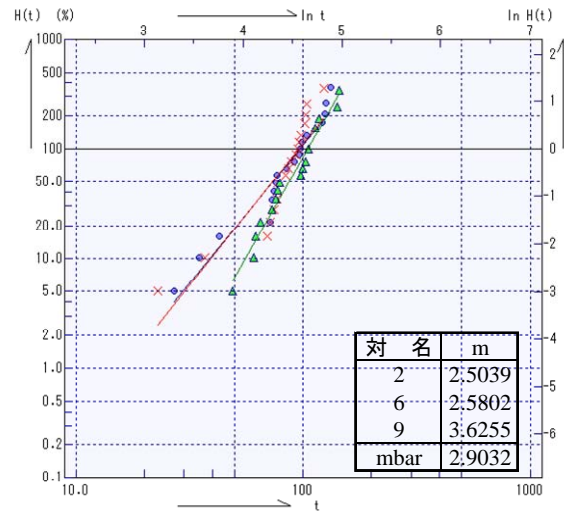


図9 母集団の形状パラメータ推定実験

手順2 最強条件の特性寿命： $\bar{\eta}$ の推定
最強条件の特性寿命： $\bar{\eta}$ を推定する(表2)。

表2 特性寿命の推定

対名	m	η
2	2.5039	97.0301
6	2.5802	96.2036
9	3.6255	105.2565
mbar	2.9032	99.49673

手順3 最強条件の B10 Life time の算出

最強条件の B10 Life Time を算出する。算出の方法は、手順2で求めた最強条件の平均特性寿命： $\bar{\eta}$ を通る、手順1で求めた平均形状パラメータ： \bar{m} の傾きをした直線から最強条件の B10 Life Time を求める(表3)。

表3 最強条件実験パラメータ

対名	η	γ	MTT(BF)(μ)	σ	10	
2	2.903	94.7241	0	84.4681	31.6174	43.6316
6	2.903	94.1033	0	83.9145	31.4102	43.3456
9	2.903	110.1529	0	98.2264	36.7673	50.7384
					平均B10	45.9052

手順4 期待する加速式の推定

最強条件の B10 Life Time と期待する実使用時の寿命から期待する加速式を導く(図10)。

算出式の事例を以下に示す。

事例 :
$$\begin{cases} \ln(131400) = 0.003247a + b \\ \ln(45.9052) = 0.002232a + b \end{cases}$$

$$\ln(y) = 7841.796x - 13.6763$$

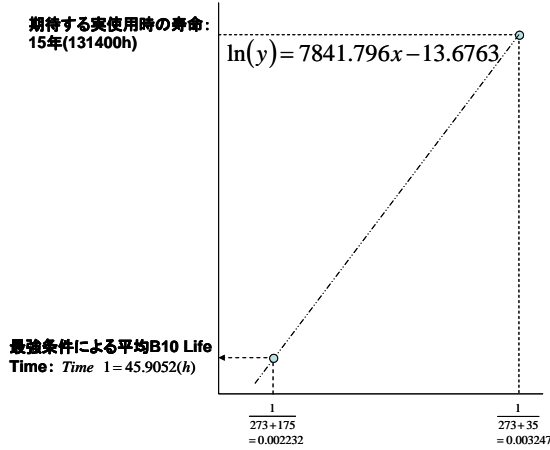


図 10 期待する加速式の算出

$$\ln(1561) = 7841.796x - 13.6763$$

$$x = 0.002682$$

$$\frac{1}{273 + T3} = 0.002682$$

$$T3 = 99.85608 \doteq 100^\circ\text{C}$$

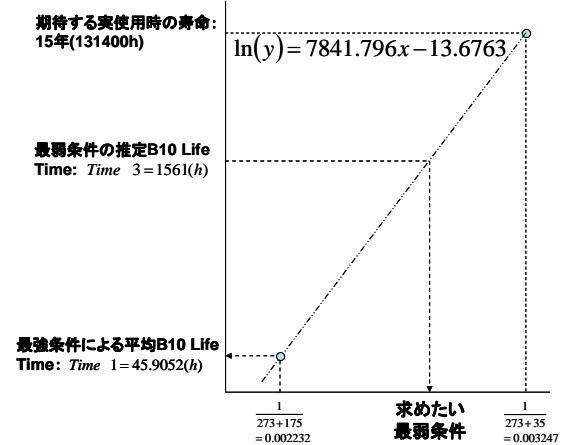


図 12 最弱条件の推定

手順 5 最弱条件の B10 Life Time の算出

3.2 で求めた寿命精度を確保するために故障率(85%) : y と許容試験時間 : x を通る平均形状パラメータ : \bar{m} の直線から、B10 Life Time を求める(図 11).これが最弱条件の B10 Life Time の推定値となる.

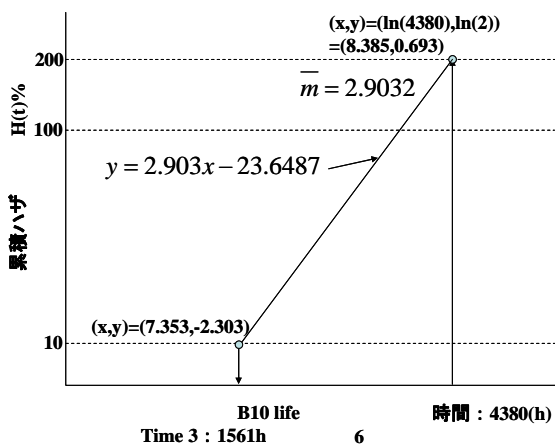


図 11 最弱条件の B10 Life Time の推定

手順 6 最弱条件の推定

手順 4 で求めた期待する加速式上に手順 5 で求めた最弱条件の B10 Life Time を取り,その時の加速条件を次の式で算出する.その結果が最弱条件となる(図 12).

5. 課題の確認

この方法には次の課題がある.

【実際の寿命と期待する寿命が不一致】

- a. 実際より寿命が長い
- b. 実際より寿命が短い

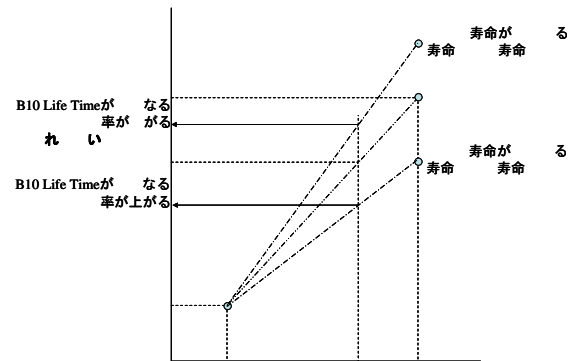


図 13 実際と期待寿命が不一致な課題

実際の寿命が期待する寿命より長い場合は,B10 Life Time が長くなる.つまり,故障率が低くなるので把握しやすい.また,実際の寿命が期待する寿命より短い場合は,短時間に故障が発生するため,故障率は高くなり,完全データに近づく(図 13).つまり,寿命予測精度は向上する傾向になる.

【実際の寿命と期待する寿命が一致】

寿命精度を保証する故障率 85%以上を確

保できるかという問題がある.そこで,4の手順で導いた最弱水準の故障率が85%を超えるか否かシミュレーションデータを使った検証を行なった.

検証の条件:

- 母集団の形状パラメータ: $m = 3.0$
- 実使用温度: 35°C
- 実使用の寿命定義: B10 Life Time
- 実使用の寿命時間(真の寿命): 12年(105120h)
- 対象故障モード抽出限界温度: 175°C
- 最強条件(175°C)の特性寿命: 100h
- 試験許容時間: 5000h 以内

この検証条件でシミュレーションによって生成した無限母集団から $n=20$ のサンプルを3回繰返して収集した(表4).

表4 最強条件サンプルデータ

sample	1	2	3
1	98	88	50
2	93	123	127
3	88	140	78
4	111	111	67
5	156	114	98
6	126	129	91
7	86	80	110
8	68	68	116
9	117	64	72
10	88	62	45
11	74	100	82
12	89	31	68
13	84	108	47
14	99	16	148
15	102	120	45
16	66	64	119
17	110	56	107
18	41	82	50
19	109	125	99
20	88	98	84

上記のシミュレーションデータに対して,4の手順に従って最弱条件: $Ta = 96^{\circ}\text{C}$ を求めた.

サンプルのワイブル分析のパラメータの結果を以下に示す.

【 $n=20$, 3回繰返しからの最弱推定】

- 形状パラメータ: $m = 2.9$
- 特性寿命: $\eta = 3924$

しかし,今回の検証条件においては,母集団の形状パラメータ: $m = 3.0$ なので,最弱条件での母集団の特性寿命は以下のように算出される.

- 最弱条件の母集団の特性寿命:

$$\eta = 3883$$

そこで, $m = 3.0$, $\eta = 3883$ の無限母集団をシミュレーションで生成し,そこから次のサンプルを作成した.

- サンプルサイズ: $n=100$, 繰返し: $r=250$ 10set(合計 2500)

この時,試験許容時間: 5000h 以内に高精度な寿命予測を得るために必要な故障率85%を下回る確率(高精度の予測が不十分な加速試験になる確率)は平均 12.1%程度発生することがわかった(表5).

表5 故障率85%を下回る発生率

回数	数r	85%	回数	寿命	度が不	分な	率
1	250	38					15.2%
2	250	29					11.6%
3	250	28					11.2%
4	250	27					10.8%
5	250	29					11.6%
6	250	34					13.6%
7	250	27					10.8%
8	250	28					11.2%
9	250	26					10.4%
10	250	37					14.8%
		平均					12.1%

この発生率は,形状パラメータの大きさに依存する.下記に示す条件に基づいて形状パラメータと寿命予測精度が不十分になる故障率85%を下回る実験の発生確率の関係を分析する.

- 最強条件(175°C)の特性寿命: $\eta = 100$
- 実使用の寿命時間: 12年(105120h)
- 許容試験時間: 5000h 以内
- 形状パラメータ: $m=2\sim 3.4(0.2$ 刻み)

形状パラメータの値が小さい場合,寿命予測を精度良く行なうために必要な故障率85%を下回る実験の発生確率が増加する.今回のシミュレーションの結果では,形状パラメータ: $m > 3.0$ でなければ,寿命予測精度が低下する実験の発生確率が高くなる傾向がわかった(図14).

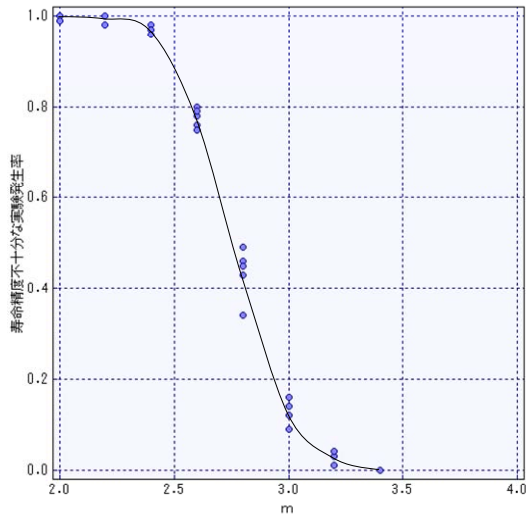


図 14 形状パラメータと精度の悪い実験の発生率の関係

6. 効果の確認

【効果の確認方法】

- ・加速試験方法：温度加速試験
- ・寿命予測の故障モード限界：175℃
- ・限界温度の特性寿命： $\eta=100\text{h}$
- ・母集団の形状パラメータ： $m=3.2$
- ・実使用温度：35℃
- ・実使用の真の寿命：13年(113880h)
- ・許容試験限界：5000h
- ・加速水準：3水準

①従来方法：限界温度から 25℃間隔
(T1=175℃, T2=150℃, T3=125℃)

②提案方法：

4に示した手順に従って最弱水準を決定し、中間水準は限界条件と最弱条件の中間に設定する。

- ・各水準のサンプルサイズ： $n=50$
- ・効果確認：
上記母集団からサンプルサイズ($n=50$)のデータを使って寿命予測を行なう。寿命推定数は $m=20$ 。
- ・ $m=20$ の算出定義：

従来方法より今回提案する方法によって求めた寿命予測の分散が 1/2 以下であることを 90%の精度で検出できる適正サンプルサイズを算出。

・検定方法：

2つの分散比の検定

6.1 従来方法による寿命予測

従来方法のシミュレーション実験を示す(表 6)。

表 6 従来方法のシミュレーション結果

寿命()	度	1 度	定寿命 数
239056.41	35	0.00325	27.290
194092.21	35	0.00325	22.157
52645.44	35	0.00325	6.010
160553.55	35	0.00325	18.328
60018.91	35	0.00325	6.851
104196.55	35	0.00325	11.895
84136.40	35	0.00325	9.605
153942.92	35	0.00325	17.573
381248.11	35	0.00325	43.521
74127.28	35	0.00325	8.462
117912.53	35	0.00325	13.460
46878.41	35	0.00325	5.351
134980.78	35	0.00325	15.409
134705.22	35	0.00325	15.377
182843.23	35	0.00325	20.873
113142.17	35	0.00325	12.916
123504.58	35	0.00325	14.099
87900.59	35	0.00325	10.034
155555.94	35	0.00325	17.758
84867.69	35	0.00325	9.688
		分散	76.622
		標準偏差	8.753

6.2 今回提案する方法による寿命予測

「4. 具体的な水準設定の手順」に示した内容に従って行なったシミュレーション実験を示す(表 7)。

表 7 提案方法のシミュレーション結果

寿命()	度	1 度	定寿命()
58123.56	35	0.00325	6.635
139047.41	35	0.00325	15.873
132405.12	35	0.00325	15.115
169037.65	35	0.00325	19.297
86335.95	35	0.00325	9.856
62294.81	35	0.00325	7.111
123572.52	35	0.00325	14.106
126280.49	35	0.00325	14.416
71246.02	35	0.00325	8.133
123419.53	35	0.00325	14.089
72608.15	35	0.00325	8.289
118009.27	35	0.00325	13.471
133433.11	35	0.00325	15.232
130164.35	35	0.00325	14.859
69509.98	35	0.00325	7.935
95887.22	35	0.00325	10.946
145805.66	35	0.00325	16.644
134800.86	35	0.00325	15.388
125464.19	35	0.00325	14.322
149280.70	35	0.00325	17.041
		分散	13.856
		標準偏差	3.722

6.3 効果確認の結果

従来方法による寿命予測のばらつきと提案方法による寿命予測のばらつきを分散比検

定で確認した結果,帰無仮説が棄却された(図 15).従って,提案方法の方が寿命予測を精度良く行うことが出来ると判断できた.

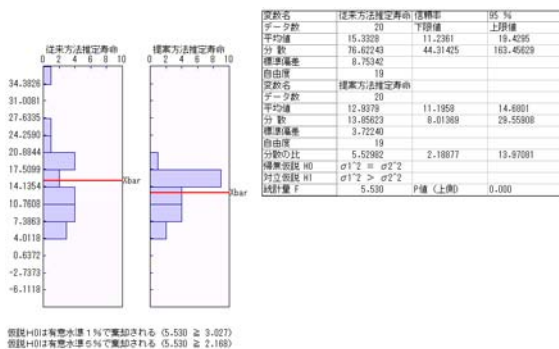


図 15 寿命予測の分散比検定の結果

7. まとめ

今回の報告内容を以下にまとめる.

①加速試験の結果を使って寿命予測を行なう場合,寿命予測値に影響する試験水準の順位は以下のようになる.

1 位: 最も弱い水準(最弱水準)

2 位: 最も強い水準(最強水準)

中間の水準の影響度は小さい.

②試験水準の間隔は広いほうが寿命予測のばらつきは小さく,予測精度が向上する.

③最弱条件を可能な限り,実使用に近づけることが重要である.その手順を 4 に示した.その際,注意するのは,故障データ数ではなく,故障率を用いる.故障率は 85% 以上が望ましい.

④試験打ち切り方法は,定数, 定時ではなく『定率』打ち切り試験を推奨する.

⑤故障率の再現性は形状パラメータの大きさに依存する.

形状パラメータ: $m > 3.0$ の時,故障率 85%以上の再現性が向上する.

8. おわりに

今回の提案は,試験水準の設定による寿命予測の高精度化を提案した.分析方法はワイブル分析の累積ハザード法を用いている.またサンプルサイズは,従来方法と提案する方法の違いによる寿命予測精度の比較を

行なうことを目的に,あまり,サンプルサイズが寿命推定のばらつきに影響しないことを配慮し, $n=50$ を用いた.

筆者は※2 でサンプルサイズの影響を受けにくい寿命予測方法を提案している.今回の提案方法と合わせて用いた場合の予測精度の影響を今後検証する.

参考文献

- ※1: 日本品質管理学会第 91 回研究発表会関西支部 Weibull 分析を用いた信頼性寿命予測の課題提起 (2009.9) 清水貴宏
- ※2: 日本科学技術研修所 信頼性シンポジウム 信頼性データ解析研究会報告 Weibull 確率を用いた信頼性寿命予測への提案 ~サンプルサイズの影響が小さい高精度寿命予測方法~ (2010.1) 清水貴宏
- ※3: 日本品質管理学会第 94 回研究発表会関西支部 加速試験を用いた寿命予測の算出方法の提案 ~寿命予測値の分散にサンプルサイズの影響が少ない予測方法(初期・偶発期への適用)~ (2010.9) 清水貴宏

掲載されている著作物の著作権については，制作した当事者に帰属します．

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず，本著作物の複製・転用・販売等を禁止します．

所属および役職等は，公開当時のものです．

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>