

現場で役立つ 重回帰分析による高分子材料の寿命予測法

最終回

寿命予測式の把握と活用法 (2)

川瀬テクニカル・コンサルタンシー Kawase Toyoo
川瀬 豊生

〒243-0216 神奈川県厚木市宮の里3-8-10
☎046-241-7531 e-mail toyokawase@ybb.ne.jp

はじめに

ほとんどの高分子材料における熱劣化寿命は、(1)式に示すアレニウス型寿命予測式により予測可能である。この理由は、劣化寿命が経過時間の対数と絶対温度(負荷温度)の逆数に相関することによる。アレニウス型で劣化寿命が予測できれば、ラーソンミラー型でも予測が可能である。しかも、アレニウス型に対しラーソンミラー型の方が全般的に予測結果の信頼性が高い。前回に引き続きアレニウス型並びにラーソンミラー型寿命予測式の本質に迫ってみたい。今回は下記内容について述べる。

・時間-特性値線図における傾きと重回帰分析の重決定係数

・ラーソンミラーパラメータ式とT-t線図の関係

$$P = \frac{a}{T} + b \ln t + c \quad (1)$$

P: 特性値 T: 絶対温度(K) t: 経過時間

表1 傾きが異なる時間-特性値線図における重回帰分析結果

区分	グラフの傾き			重回帰分析の補正R ²		T-t線図の傾き	材料定数・C
	40℃	60℃	80℃	ラーソンミラー型	アレニウス型		
1	-1.5	-2.5	-3.5	0.9687	0.9558	22104.5	26.2
2	-1.5	-2.3	-3.3	0.9678	0.9522	20968.1	24.8
3	-1.5	-2.1	-3.1	0.9599	0.9412	19696.0	23.3
4	-1.5	-1.9	-2.3	0.9888	0.9776	11633.9	12.8
5	-1.5	-1.7	-1.9	0.9979	0.9910	6501.3	6.2

注) T-t線図の傾きは、アレニウス型重回帰式での説明変数第1項の係数(絶対値)を説明変数第2項の係数(絶対値)で除している。

a, b: 係数 c: 切片

傾きが異なる時間-特性値線図における重回帰結果

表1は各区分において傾きの異なる3つの線図を表2に示す計算方法で特性値とし、これらの特性値をアレニウス型とラーソンミラー型で重回帰した結果での補正R²を比較している。いずれの区分においても補正R²は、ラーソンミラー型がアレニウス型を上回っている。この理由は、アレニウス型の予測結果では全ての水準で時間-特性値線図の傾きが等しくなるのに対し、ラーソンミラー型ではそれぞれの水準の傾きに応じた予測結果を回帰することによる。表2は表下に

表2 時間経過における特性値の計算例(表1の区分1)

	A	B	C	D
1	時間(h)	40℃	60℃	80℃
2	0.01	100	100	100
3	0.1	96.5	94.2	91.9
4	1	93.1	88.5	83.9
5	5	90.7	84.5	78.2
6	10	89.6	82.7	75.8
7	50	87.2	78.7	70.2
8	100	86.2	77.0	67.8
9	500	83.8	73.0	62.1
10	1000	82.7	71.2	59.7
11	5000	80.3	67.2	54.1
12	10000	79.3	65.5	51.6

切片の算出式: 100-(-1.5)×LN(0.01)=93.09224
 B2=-1.5×LN(A2)+93.09224 B12まで
 切片の算出式: 100-(-2.5)×LN(0.01)=88.48707
 C2=-2.5×LN(A2)+88.48707 C12まで
 切片の算出式: 100-(-3.5)×LN(0.01)=83.8819
 D2=-3.5×LN(A2)+83.8819 D12まで

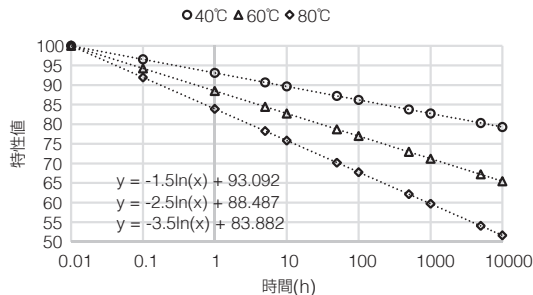


図1 傾きが異なる時間—特性値線図(表1・区分1)

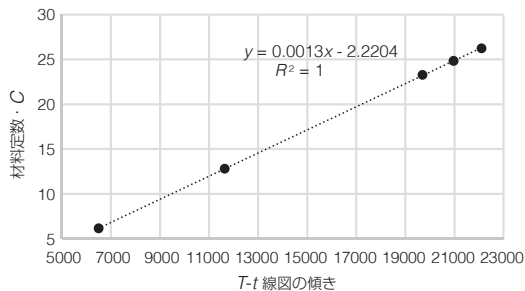


図2 傾きが異なる時間—特性値線図におけるT-t線図の傾きと材料定数・C

表3 傾きが等しい時間—特性値線図における重回帰分析結果

区分	切片の値			重回帰分析の補正R ²		T-t線図の傾き	材料定数・C
	40°C	60°C	80°C	ラーソンミラー型	アレニウス型		
1	80	60	40	0.9989	0.9993	36785.4	46.7
2	80	65	50	0.9985	0.9995	27589.1	34.7
3	80	70	60	0.9981	0.9997	18392.7	22.6
4	80	71	62	0.9980	0.9998	16553.5	20.2
5	80	72	64	0.9979	0.9998	14714.2	17.7
6	80	73	68	0.9968	0.9996	11072.5	12.9
7	80	74	69	0.9975	1.0000	10134.4	11.7
8	80	75	71	0.9974	0.9999	8295.1	9.3

注) T-t線図の傾きは、アレニウス型重回帰式での説明変数第1項の係数(絶対値)を説明変数第2項の係数(絶対値)で除している。

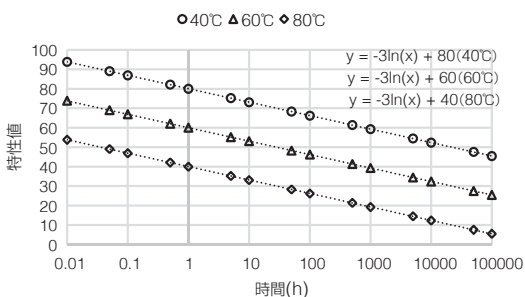


図3 傾きが同一の時間—特性値線図(表3・区分1)

示す計算方法により、経過時間・0.01(h)において特性値が100となるように算出している。図1は、表2の散布図である。図2は、表1に示すT-t線図の傾きと材料定数・Cの値との関係図である。両者は正の相関関係にあり、完全に対応している($R^2=1$)。

傾きが等しい時間—特性値線図における重回帰結果

表3は各区分においていずれも傾きを-3とし、切片の異なる3つの線図で構成している。図3は表3に示す区分1での時間—特性値線図であるが、マークで示した位置における特性値をアレニウス型とラーソンミラー型により、重回帰分析を実施している。表3ではこの重回帰結果の補正R²をアレニウス型とラーソンミラー型で比較しているが、いずれの区分においてもアレニウス型がラーソンミラー型を上回っている。この理由は先に述べた通り、アレニウス型の予測結果では全ての水準において傾きが等しくなることによる。図4は、表3に示すT-t線図の傾きと材

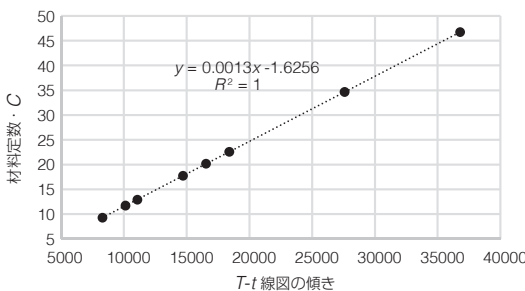


図4 傾きが等しい時間—特性値線図におけるT-t線図の傾きと材料定数・C

料定数・Cの値との関係図である。両者は正の相関関係にあり、完全に対応している($R^2=1$)。また、図4における近似式の係数(0.0013)は図2(傾きが異なる時間—特性値線図におけるT-t線図の傾きと材料定数・Cとの関係図)に示した近似式の係数(0.0013)と等しい。

使用目的に応じたラーソンミラー式

図5は経時において特性値が低減するパターンにおけるラーソンミラーパラメータ式と重回帰式および1/Tの極小域でのT-t線図を作成する式

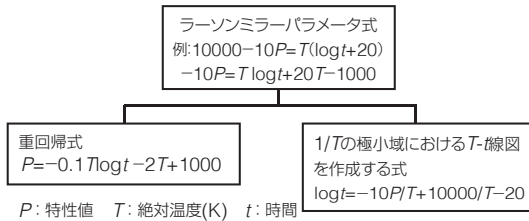


図5 使用目的別のラーソンミラー式(経時において特性値が低減するパターン)

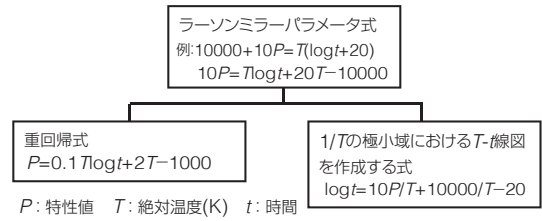


図6 使用目的別のラーソンミラー式(経時において特性値が増大するパターン)

表4 ラーソンミラー型重回帰式による予測特性値の計算例

	A	B	C	D
1	時間(h)	40°C	60°C	80°C
2	10	342.7	300.7	258.7
3	50	320.8	277.4	234.0
4	100	311.4	267.4	223.4
5	500	289.5	244.1	198.7
6	1000	280.1	234.1	188.1
7	5000	258.2	210.8	163.4

基本式: $P = -0.17 \log t - 2T + 10000$
 $B2 := -0.1 \times (273 + 40) \times \text{LOG}(A2) - 2 \times (273 + 40) + 10000$
 $C2 := -0.1 \times (273 + 60) \times \text{LOG}(A2) - 2 \times (273 + 60) + 10000$
 $D2 := -0.1 \times (273 + 80) \times \text{LOG}(A2) - 2 \times (273 + 80) + 10000$

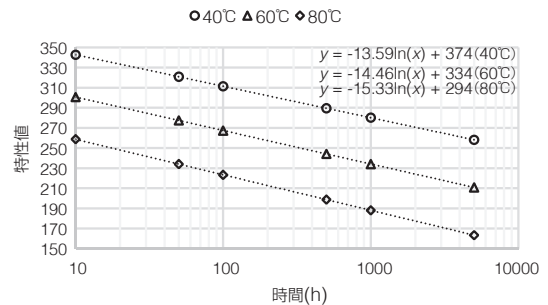


図7 ラーソンミラー型重回帰式による予測値(表4の散布図)

表5 ラーソンミラー型・経時低減データによる1/Tの極小域におけるlogtの計算例

	A	B	C	D	E
1	1/T	$P=20$	$P=40$	$P=60$	$P=80$
2	0.0008	-12.16	-12.32	-12.48	-12.64
3	0.0006	-14.12	-14.24	-14.36	-14.48
4	0.0004	-16.08	-16.16	-16.24	-16.32
5	0.0002	-18.04	-18.08	-18.12	-18.16
6	0.0000	-20	-20	-20	-20

基本式: $\log t = -10P/T + 10000/T - 20$
 $B2 := -10 \times 20 \times A2 + 10000 \times A2 - 20$ B6まで
 $C2 := -10 \times 40 \times A2 + 10000 \times A2 - 20$ C6まで
 $D2 := -10 \times 60 \times A2 + 10000 \times A2 - 20$ D6まで
 $E2 := -10 \times 80 \times A2 + 10000 \times A2 - 20$ E6まで

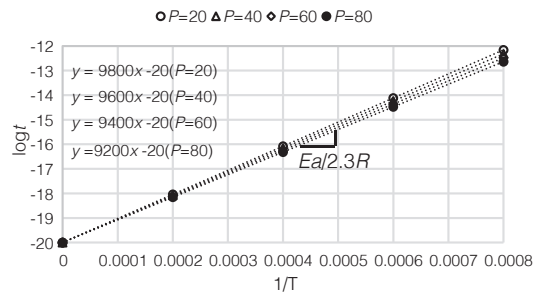


図8 ラーソンミラー型・経時低減データによる1/Tの極小域における1/Tとlogtの関係(表5の散布図)

の関係図である。それぞれの目的に応じて、これらの式を活用する。図6は経時により特性値が増大するパターンにおける、前記3つの式の関係図である。

ラーソンミラー型重回帰式による予測値の計算

表4は、図5に示したラーソンミラー型重回帰式により算出した、指定温度における特性値の推移である。表4の散布図を図7に示す。

特性値が低減するパターンでの1/Tの極小域におけるT-t線図の作成

表5は図5に示した経時において特性値が低減するパターンでの1/Tの極小域におけるT-t線図を作成するための式により算出したlogt(時間の常用対数)の値である。表5の散布図が図8であり、1/Tとlogtとの関係図である。図8からは以下のことがいえる。

- ・いずれの特性値水準においても切片は同一の値であり、絶対値で材料定数・Cに等しい。