

下水道用機器の区間データによる信頼性解析と保全方法

中根 進*

要 旨： (社)日本下水道協会の下水道維持管理指針(1979, 1991 年版)には、処理場・ポンプ場の機器について年度別に機器台数と故障数の実績が示されている。これらの故障実績から設備単位で機器 1 台当たりの年平均故障回数を明らかにした。この年平均故障回数により、維持管理に重点をおきたい設備が明確にできた。故障数のデータから各機器の信頼性解析を行ない、その結果をワイブル分布のパラメータ(m, η)で表した。このパラメータmにより機器の故障の現れ方を示すことができ、これによる下水道用機器の保全方法を示すことができる。

キーワード： 下水道用機器, 機械・電気設備, 信頼性解析, 保全方法, ワイブル分布

1. まえがき

筆者らは、劣化診断調査時に得た故障間隔データを使って下水道用機器の信頼性解析¹⁾を行ってきた。しかしデータを得た処理場数は、10 処理場にも満たないもので、我が国の下水道用機器全体が示す信頼性の尺度(信頼度)とは程遠いものであった。下水道維持管理指針(1979²⁾, 1991 年版³⁾: 以下維持管理指針と呼ぶ)に処理場・ポンプ場の揚水施設, 水処理施設, 汚泥処理施設, 計装設備, 電気設備, その他機械設備について年度別に故障回数の実績が示されている。このデータを信頼性解析することにより機器の故障の現れ方を示すワイブル分布式のパラメータmを推定し, 下水道用機器全体においてパラメータmがどのような値を示すか調査し, 頻度分布の形で提示することを試みた。

2. 下水道維持管理指針の故障データ

過去 2 つの版の維持管理指針に示されている設備数, 機種数および機器数は, 表-1 の通りであった。

表-1 維持管理指針故障データの設備・機器数等

維持管理指針(版)		1979年版		1991年版	
調査期間		昭和42年 ~51年 10年間		昭和56年 ~63年 8年間	
プラント 機 械	設備数	14		13	
	機種数	78		76	
	機器数	2,737		3,082	
プラント 電 気		計装品	設備機器	計装品	設備機器
	設備数	8	4	32	12
	機種数	27	9	16	6
	機器数	2,764	6,094	6,094	29,424

2.1 機器の年平均故障回数

維持管理指針の下水道用機器(機種ごと)の故障回数のデータ形式は, 一例であるが表-2 (1991 年版)のよう示されている。

表-2 水処理施設のプラント機械設備の調査数と故障回数³⁾ (1991 年版)

機器名	設置数	単位	年度別故障回数								計	
			56	57	58	59	60	61	62	63		
最初沈殿池	汚泥かき寄せ機(チェーンフライド)	129	台	40	46	91	63	54	29	41	26	390
	汚泥かき寄せ機(クラリファイヤ)	5	台	1	3	1	5	0	0	—	—	10
	スラム除去装置	24	台	9	6	2	7	8	10	16	14	72
	汚泥ポンプ	111	台	9	8	2	4	2	11	5	7	48
	その他	10	台	3	2	0	3	4	1	6	1	20
	計	279		62	65	96	82	68	51	68	48	540
エアタンク	送風機	88	台	9	14	2	7	5	9	12	10	68
	散気設備	151	槽	1	4	3	11	5	3	11	7	45
	その他	10	台	3	13	4	13	6	5	8	13	65
	計	249		13	31	9	31	16	17	31	30	178
最終沈殿池	汚泥かき寄せ機(チェーンフライド)	111	台	64	77	76	75	17	53	14	17	393
	汚泥かき寄せ機(サイフォン)	40	台	1	3	11	19	16	11	12	14	87
	汚泥かき寄せ機(ミーダ)	24	台	11	12	19	19	15	27	7	4	114
	汚泥ポンプ	242	台	8	9	11	16	8	9	17	13	91
	スラム除去	24	台	15	5	6	7	9	6	7	11	66
	その他	10	台	4	8	6	5	0	1	7	5	36
計	451		103	114	129	141	65	107	64	64	787	
滅菌設備	塩素	4	場	15	11	18	26	12	14	13	20	129
	次亜塩素酸ソーダ	6	場	1	1	2	3	4	4	11	11	37
	計	10		16	12	20	29	16	18	24	31	166
高度処理	ろ過池(砂ろ過機)	67	台	15	16	9	10	15	13	15	9	102
	その他	11	台	10	16	9	16	15	23	22	24	135
	計	78		25	32	18	26	30	36	37	33	237
合計	1067		219	254	272	309	195	229	224	206	1908	

本文中で機器という場合は, 表-2 の機種(機器名)とする。維持管理指針にある表-2 のような一連のデータから(1)式により機器 1 台当たりの年平均故障回数を算定して, プラント機械設備については, 図-1 (1979 年版), 図-2 (1991 年版), プラント電気設備については, 図-3 (1979 年版), 図-4 (1991 年版)に示す。この平均故障回数は, 一般に「平均故障率」と呼ばれる。

$$\text{機器 1 台当り年平均故障回数} = \frac{\text{Y 年間の故障回数}}{\text{機器設置数} \times \text{Y 年}} \quad (\text{平均故障率})$$

…………… (1)

ここで, 1979 年版 Y=10 年間
1991 年版 Y=8 年間

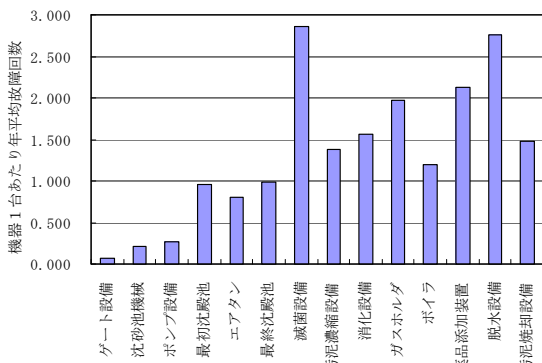


図-1 機械設備の年平均故障回数(1979年版)

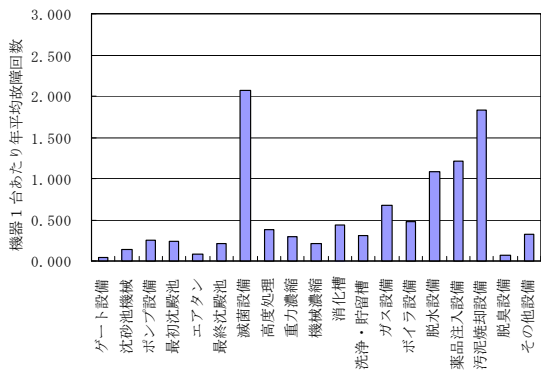


図-2 機械設備の年平均故障回数(1991年版)

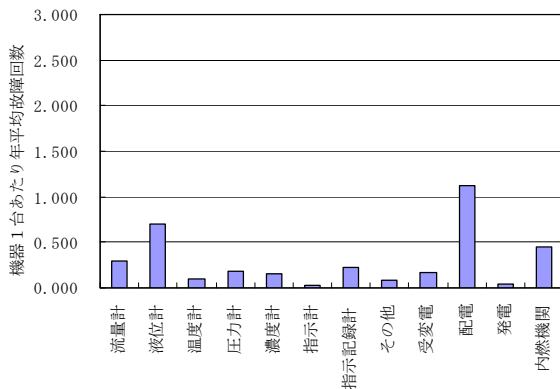


図-3 電気設備の年平均故障回数(1979年版)

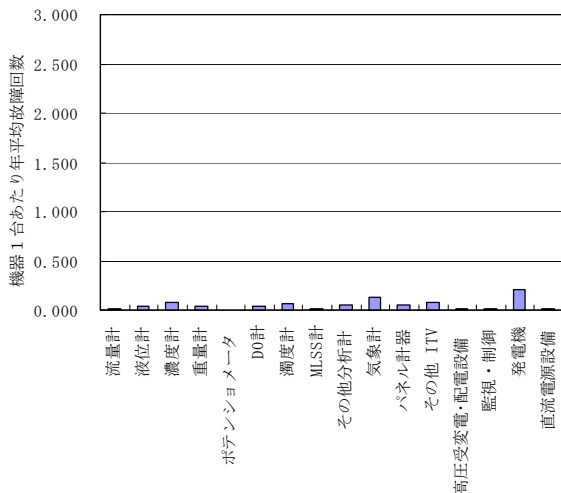


図-4 電気設備の年平均故障回数(1991年版)

プラント機械設備では、図-1、2ともに水処理および汚泥処理ともに処理工程が下流になるにしたがい、その処理に関わる設備の機器1台あたり年平均故障回数は増加する傾向にある。

年平均故障回数の視点からのみからは、処理工程の下流の機器について重点を置いた維持管理が必要になってくると思われる。1979年版の10年間と1991年版の8年間では、更新した機器や新増設した機器があること、同一機器を継続調査しているとは限らないこと、故障の定義が一定してないことも考えられるが、1991年版の方が、年平均故障回数が大きく減少している。

プラント電気設備の機器においても1979年版より1991年版の方が、年平均故障回数が大きく減少している。

プラント電気設備は、機械設備に較べて故障回数は半減から1/10以下となり、電機設備が故障すると制御や給電に支障となり処理機能が維持できないので必然的に信頼性が高くなっていると考えられる。

3. 信頼性解析データの種類

3.1 ワイブル分布と保全方法

プラントの設備、機器の故障の現れ方を確率密度関数 f で表したものにワイブル分布がある。

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 m ：形状パラメータ
 η ：尺度パラメータ

機械設備には標準耐用年数が15年の機械が多く、自治体のアンケート調査では、それを1.5倍⁴⁾程度まで延長して使用を続けている実態がある。

$$\eta = 15 \text{年} \times 1.5 = 22.5 \text{年}$$

例として $\eta = 22.5$ 年、パラメータ m を変化させてワイブル分布を示すと図-5となる。図-5の右軸で赤色で示した曲線が確率密度関数 f である。

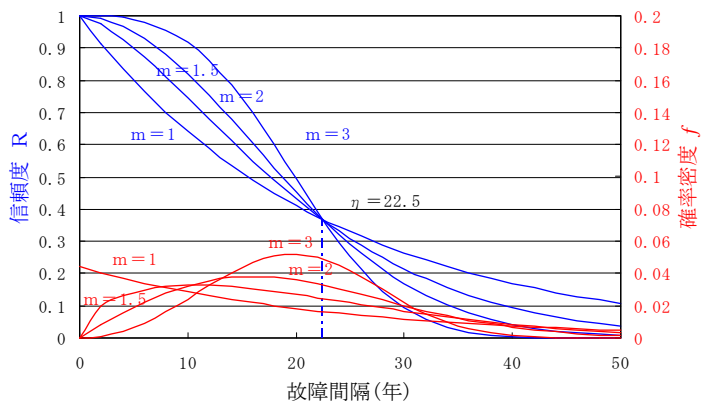


図-5 ワイブル分布の信頼度Rと確率密度曲線 f の例

図-5の信頼度 $R(t)$ は $f(t)$ 曲線と同じ形状を示し、

(2)式で表される。

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} \dots\dots\dots (2)$$

図-5の確率密度関数 $f(t)$ を故障率 λ として関数で表したものが(3)式と図-6になる。

$$\lambda(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \dots\dots\dots (3)$$

図-6はバスタブ曲線と呼ばれるものである。

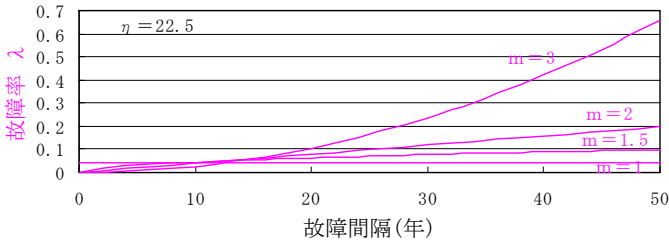


図-6 ワイブル分布の故障率λの例

パラメータmの値に応じて図-5, 6のようにグラフの形状が変化し, 故障の型を表す。

パラメータmの大きさで, 故障発生型の型と保全方法を次のように分類している。

$m < 1$ 故障率減少型→初期故障型 [事後保全⁵⁾]
 製造・設計上の不具合が各製品に内在しているため, 稼動初期に故障率が高く, 経時的に次第に故障率が減少する型である。

予防的な保全を行っても信頼性を向上させる効果がなく故障が生じてからの事後保全になる。

$m = 1$ 故障率一定型→偶発故障型 [予防保全(状態監視保全)⁵⁾]

何らかの要因で偶発的な故障原因が発生して, 機器などが使用不可となる型である。

$m > 1$ 故障率増大型→摩耗故障型 [予防保全(時間計画保全)⁵⁾]

稼働の始まりには故障の出方が少なく, 時間の経過にしたがって故障率が漸増する型である。時間計画による予防的な保全が効果的な機器である。

プラントの設備, 機器の故障データを信頼性解析し, ワイブル分布のパラメータmを示すことにより, 上記に示すような保全方法を提示することができる。

3.2 ワイブル分布と年平均故障回数データ

3.2.1 故障間隔データ(打切データ)

信頼性解析の基本となる解析データは, 維持管理年報などから対象とする機器の故障を抽出して故障時点(×印)を図-7上のように時系列に表示する。図-7上から故障間隔 t_i (時間あるいは年間隔) を抽出し, その故障間隔 t_i を図-7下左のように昇順(小さい順)に並べ替えて, 信頼性解析データとする。この昇順

データから累積ハザード法と言われる信頼性解析手法を使って信頼度値Rを求める。この手順は文献¹⁾に示す。この手法で求まる累積ハザード値は, 故障確率 $F (= 1 - R)$ であり, 信頼度値 $R = 1 - F$ で求める。ここで, t_4 は最後の故障から調査日までの時間間隔で, 調査日が故障でないため, 故障間隔ではなく, 打切りデータという。この打切りデータは図-7下右に示すように信頼度値が低下しないものとして解析する。

表-1に示す故障データは, このような故障間隔データでなく, 単年度毎の故障数であるため, 累積ハザード法が使えない。

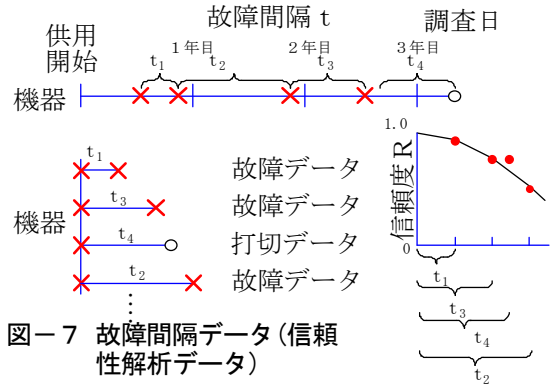


図-7 故障間隔データ(信頼性解析データ)

3.2.2 区間データ(区間の故障回数データ)

表-2に示すように機器数が明らかで, 年度毎に故障回数を記録しているデータを本文では区間データと呼ぶ。表-2から最初沈殿池設備汚泥掻寄機(チェーンフライト)129台を例として故障回数を図-8に示す。図-8下は, 毎年度の故障数, 未故障数を棒グラフにしたものである。

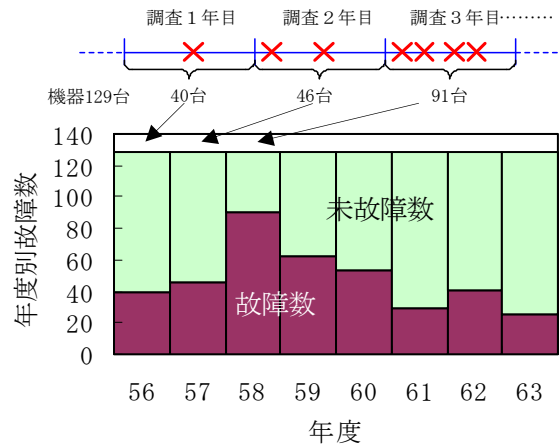


図-8 区間データ(区間の故障回数データ)

本文の信頼性解析は, 累積ハザード法に代わり, 図-8下の故障回数の山をワイブル分布の確率密度曲線 $f(t)$ と見立てて, 信頼度値を回帰するものである。この区間データを基に各年の故障確率 $F(t)$ と信頼度 $R(t)$ の値を算定する。

4. 維持管理指針の区間データによる信頼性解析

4.1 信頼性解析の手順(最初沈殿池設備汚泥掻寄機)

表-2のデータは各々の機器の運転開始年度が不明で、まちまちな経過年数が混在したデータであり、図-5に示す信頼度曲線の横軸の故障間隔(年)が判明していない。

図-8に示した最初沈殿池設備汚泥掻寄機(チェーンフライト)129台を1機種として信頼度を算出する手順を示す。1機種129台の調査年度ごとの故障回数を表-2から抽出して、表-3に示す手順で(4)、(5)式を使って故障確率 $F(t)$ 、信頼度 $R(t)$ の値を算定する。

$$F(t) = \frac{\text{累積故障数 } F_{ai}}{\text{観測機器数} \times \text{観測年数}} \quad \dots\dots (4)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \dots\dots (5)$$

表-3 区間データ2による信頼度値の計算手順(最初沈殿池設備汚泥かき寄せ機)

調査年度	調査開始からの経過年数	故障数 f_i	機器数	累積故障数 F_{ai}	故障確率 $F(t)$	信頼度 $R(t)$
56	1	40	129	40	0.03876	0.96124
57	2	46	129	86	0.083333	0.916667
58	3	91	129	177	0.171512	0.828488
59	4	63	129	240	0.232558	0.767442
60	5	54	129	294	0.284884	0.715116
61	6	29	129	323	0.312984	0.687016
62	7	41	129	364	0.352713	0.647287
63	8	26	129	390	0.377907	0.622093
計			1,032			

次に図-9に示すトーマスプロット法で区間の経過年数(調査開始時からの経過年数)の対数値を横軸、信頼度 $R(t)$ の逆数の二重対数値を縦軸にして打点し、直線式で回帰する。直線回帰式の傾きが、ワイブル分布式のパラメータ m になる。尺度パラメータ η は、回帰式の切片 b を使って(6)式で計算する。

$$\text{切片 } b = -m \times \ln(\eta) \quad \dots\dots (6)$$

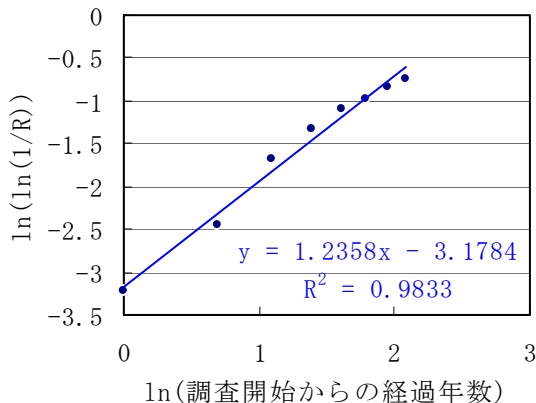


図-9 トーマスプロット法による最初沈殿池設備汚泥かき寄せ機(チェーンフライト)ワイブル分布のパラメータの同定

信頼度値とワイブル分布で回帰した汚泥かき寄せ機の信頼度曲線と故障率 $\lambda(t)$ 曲線を図-10に示す。

故障率 λ 曲線は、バスタブ曲線と言われるものであり、この故障率 λ は、瞬間故障率とも言われ、ある時点まで作動してきた機器が引き続く単位期間(年)に故障を起こす割合である。掻寄機の故障率 λ は、経過年数が大となると一定値に漸近していく。故障率 λ が一定値になっていくと、前掲図-6の $m=1$ に示すように偶発的に故障が発生することとなり、時間計画保全がとりにくい機器となる。

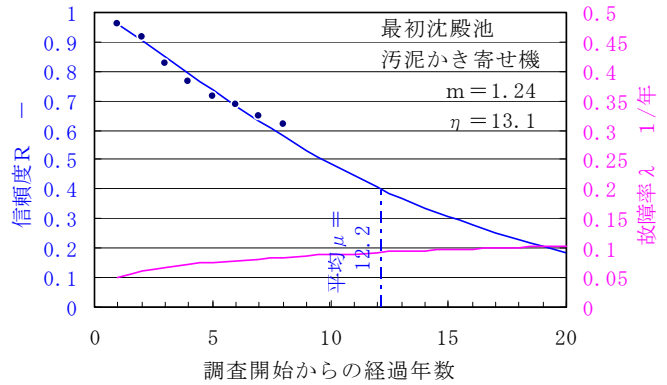


図-10 最初沈殿池設備汚泥かき寄せ機(チェーンフライト)のワイブル分布による信頼度 R と故障率 λ 曲線(バスタブ曲線)

ワイブル分布のパラメータ m 、 η を使って信頼度を回帰した結果、図-8の区間データが確率密度 f 分布になる様子を図-8に重ねて図-11に示す。

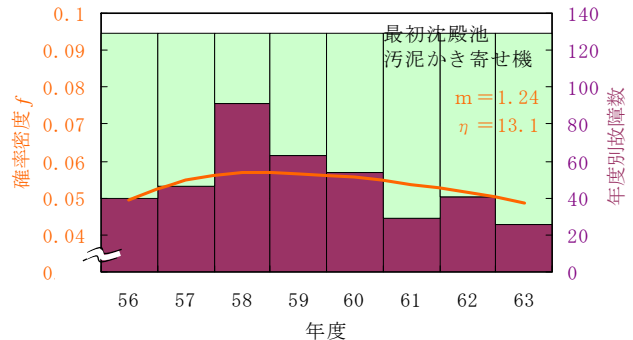


図-11 最初沈殿池設備汚泥かき寄せ機(チェーンフライト)の確率密度曲線

4.2 区間データによる機器の信頼性解析結果

4.2.1 プラント機械設備の機器

維持管理指針にあるすべてのプラント機械の機器について信頼度解析を行い、ワイブル分布のパラメータ m 、 η を推定した。

別表1、2に機器のパラメータ m の値を示したが、 m 値を機械設備では0.2刻みで、電気設備では0.1刻みにして、その刻み間隔にある機器数をカウントして頻度分布を作成する。この頻度分布から(各刻みのカウント数/全調査機器数/刻み)を計算、確率密度 f の形にして図-12(1979)、図-13(1991)に示す。なお、別

表 1, 2 の一, *, **の機器は, 同定手法が異なるので, 形状パラメータ m の頻度分布から除いた。

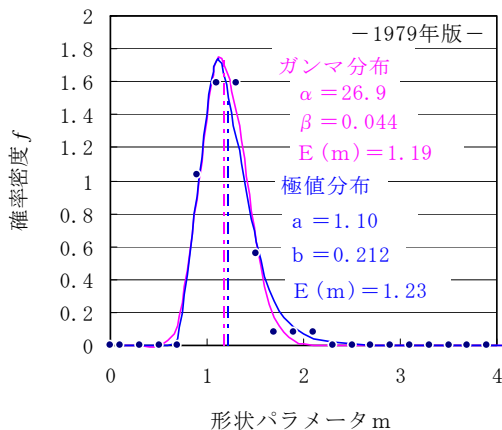


図-12 機械設備パラメータ m の分布 (1979 版)

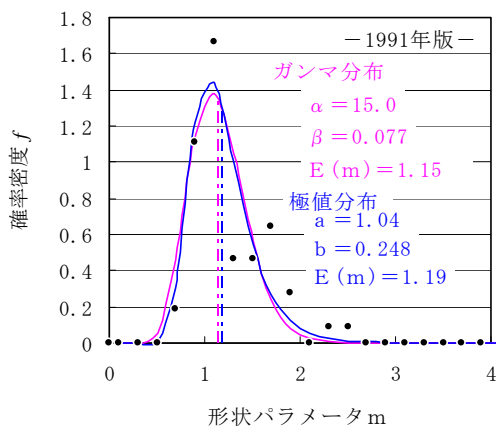


図-13 機械設備パラメータ m の分布 (1991 版)

確率密度 f の形は, ガンマ分布と極値分布を利用して示した。極値分布は, ピークから右側のすそ野をうまく表現できる分布である。

・ガンマ分布

$$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)} \quad \dots\dots (7)$$

パラメータ: $\alpha > 0, \beta > 0$

定義域: $x \geq 0$

平均値: $\alpha \beta$

最頻値: $\beta(\alpha - 1)$ ($\alpha \geq 1$ のとき)

0 ($\alpha < 1$ のとき)

分散: $\alpha \beta^2$

・極値分布

$$f(x) = \left(\frac{1}{b}\right) \exp\left(-\frac{x-a}{b}\right) \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right] \quad \dots\dots (8)$$

パラメータの制約: $b > 0$

定義域: $-\infty < x < \infty$

平均値: $a - b \Gamma'(1)$

$$\Gamma'(1) \cong -0.5774$$

最頻値: a , 分散: $\frac{b^2 \pi^2}{6}$

次にパラメータ η は尺度パラメータといい, 図-5 の R 値 0.37 の故障間隔(年)となり, 一般的に η が大の方が, 小より故障間隔が長い機器であり, また寿命が長い機器となる。今回解析した区間データは, 機器の設置年度が不明であるため, パラメータ η 値による寿命の評価は難しく, 機器間の相対的な故障間隔の大小は評価できる。

図-12, 13 中に示す平均値 $E(m)$ は, 解析したすべての機器に対する m をガンマ分布と極値分布で回帰したそれぞれの平均値であり, 1979 年版で 1.19~1.23, 1991 年版では 1.15~1.19 でありほぼ同値であり, どの年度間のデータを解析してもプラント機械設備機器の故障の現れ方は同じであり, m 値で保全方法を設定すれば, 保全方法を変更する必要がないと思われる。前掲図-6 に示すが $m \geq 2.0$ で故障率 λ は故障間隔(経過年数)に対して線形で右方上りで上昇するが, $m > 2.0$ となる機器は極めて少なく, 数機種である。

筆者は, 供用開始後 20 年以上経過している処理場において文献の別表⁶⁾ に m の値を示した。この m は, 前掲図-7 のように供用開始年度から調べた故障間隔データより推定したものであり, 機械設備の m の値を頻度分布にすると, 図-14 となり, 平均値 $E(m) = 0.90 \sim 0.98$ であった。この処理場の m 分布も区間データから推定した全国値と同様な結果となった。

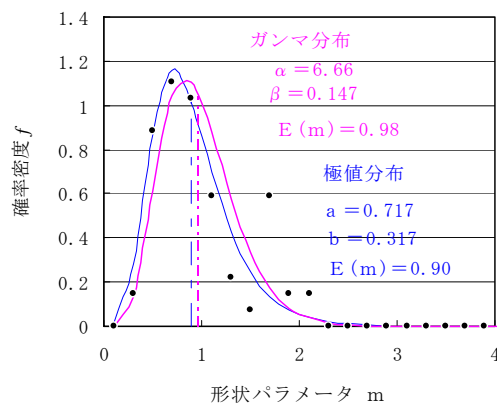


図-14 焼却設備を持たない処理場の機械設備パラメータ m の分布

4. 2. 1 プラント電気設備の機器

プラントの電気設備についても同様にすべての機器のパラメータ m を同定し, パラメータ m の頻度分布を作成した。頻度分布を確率密度関数で回帰したものを図-15(1979 年版), 図-16(1991 年版)に示す。

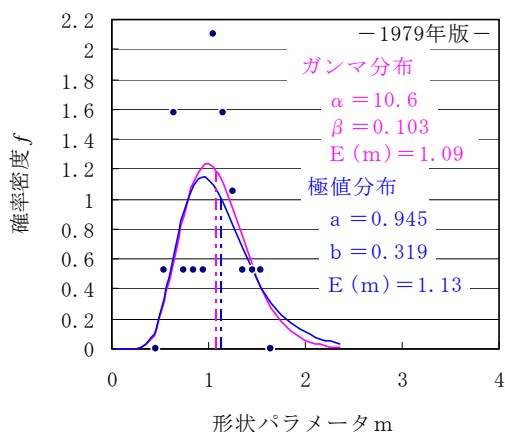


図-15 電気設備機器のパラメータmの分布 (1979版)

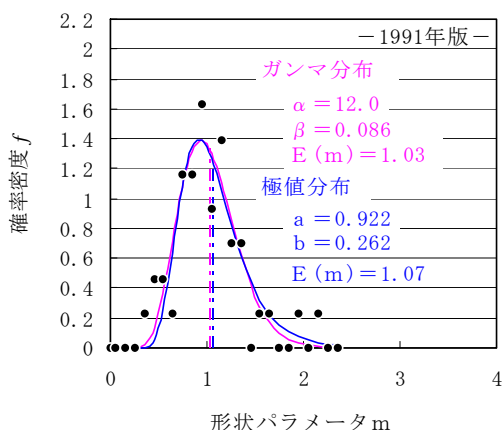


図-16 電気設備機器のパラメータmの分布 (1991版)

1979年版も1991年版と同じような分布を示し、平均値 $E(t)$ もほぼ同値(≈ 1.1)であった。プラント機器と同様、どの年度間のデータを解析しても故障の現れ方は同じで、 m 値で保全方法を設定すれば、保全方法を変更する必要がないものと考えられる。

4.2.3 パラメータmによる機器の保全方法

各設備のパラメータ m の分布をガンマ分布と極値分布で示したが、パラメータ m の分布との各式との当てはまり具合を赤池情報量規準(AIC値)⁷⁾で調査し、表-4に示す。AIC値は、値の相対的な大、小のみに意味があり、小さい値の分布ほうがパラメータ m の分布によく一致している。プラント機械設備の m の分布は極値分布、プラント電気設備はガンマ分布が適していた。

表-4 各設備の分布の当てはまり具合(AIC値)

設備名	1979年版		1991年版	
	ガンマ分布	極値分布	ガンマ分布	極値分布
プラント機械	43.6	31.6	65.8	56.6
プラント電気	16.9	17.3	72.2	74.6

図-12(1979)と図-13(1991)に示す機械設備の極値分布の確率密度 f を累加し、累加曲線にすると、パラメータ m の値を持つ機器の全体調査機器数に対する割合となる。図-17のプラント機械設備で $m < 2$ の機器は全体機器数の約100%である。 $m \geq 2$ の機器は、前掲図-6に示すように故障率 λ が経過年数により直線的に増加する型であり、 $m = 3$ では年々加速的に増加する型であるが、プラント機械設備の機器には全くなく、時間計画保全の機器が少ない。

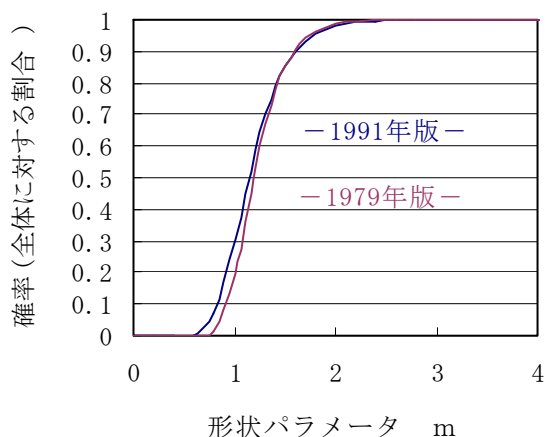


図-17 機械設備パラメータmの全体にする割合 (極値分布の累加曲線)

図-15(1979)と図-16(1991)に示すプラント電気設備のガンマ分布の累加曲線は図-18となり、 $m < 2$ の機器は、機械設備と同様に全体機器数の約100%である。

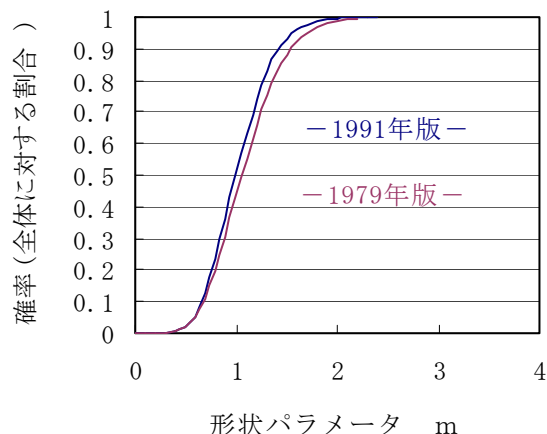


図-18 電気設備パラメータmの全体にする割合 (ガンマ分布の累加曲線)

パラメータ m の値は、機械設備機器で機器全体の85%、電気設備機器で機器全体の90%の割合で1.5以下である。この中で $m \leq 1$ の機器の割合を表-5に示す。事後保全か状態監視保全が望ましい機器の割合となる。 $1 < m \leq 1.5$ の機器は、時間計画保全となるが、故障率 λ の増加が微増であり、故障時期・点検周期を考慮した経済比較^{1), 6)}などが必要になると思われる。

プラント機械、電気設備の機器のパラメータ m の値

が 1.5 とか 1.0 と小さいのは、故障が起きた場合には修理し、その頻度が多い機器、部品に対しては故障しにくいものに変えるなど適正に維持管理されてきた結果と考えられる。

pp. 117～123, 2011. 9
7) 豊田秀樹 編著：マルコフ連鎖モンテカルロ法，朝倉書店，pp. 51～52, 2008. 5. 24

表－5 パラメータ別機器の全体機器数にする割合

設備名	1979年版		1991年版	
	$m \leq 1$	$1 < m \leq 1.5$	$m \leq 1$	$1 < m \leq 1.5$
プラント機械 極値分布	20 %	65 %	31 %	54 %
プラント電気 ガンマ分布	43 %	45 %	50 %	43 %

5. 信頼性解析のまとめ

維持管理指針の故障回数実績から機器単位で機器 1 台当たりの年平均故障回数を明らかにした。

処理工程が下流に行くにしたがって年平均故障回数(平均故障率)が増加することが明らかになり、下流機器ほど重点を置いた維持管理が必要になってくると考えられる。

信頼性解析結果によるパラメータ m の値から保全方法(事後保全、状態監視保全、時間計画保全)を分類すると、プラント電気設備は、 $m \leq 1.0$ の機器が半数を占め、機械設備は 30%程度占め、事後保全か状態監視保全と考えられる機器であった。残りの機器は $m \leq 1.5$ であり、時間計画保全に分類される。 $m \leq 1.5$ では故障率 λ が経過年数に対して微増であり、経済比較を行って、状態監視保全や時間計画保全に分類する必要があると考える。保全に対する経済比較手法の例は、既往の報告^{1)・6)}に示した。別表に機器のパラメータ m 、 η を示したので、保全方法選定の参考としていただければ幸いです。

〈参考文献〉

- 1) 中根 進：下水処理場プラント機器の信頼性解析事例，下水道協会誌論文集，pp. 95～102, 2006. 4
- 2) (社)日本下水道協会：下水道維持管理指針－1979年版－，pp. 215～220 昭和 54. 8. 15
- 3) (社)日本下水道協会：下水道維持管理指針ポンプ場・処理場施設編－1991年版－，pp. 52～59, 1999
- 4) (財)下水道新技術推進機構：効率的な改築事業計画策定技術資料[下水道主要設備機能診断]－2005年8月－ H17. 8. 31, p. 11
- 5) 斉藤善三郎：おはなし信頼性 改訂版，日本規格協会，pp. 202～203, 2009. 10. 2
- 6) 中根 進：シミュレーション手法を用いた下水道用機器の点検計画の評価，下水道協会誌論文集，

別表 1 : 信頼性解析結果一覧表

(社)日本下水道協会：下水道維持管理指針ポンプ場・処理場施設編－1979年版－

表 1-1 揚水施設の機器の故障統計例

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考	
			m (-)	η (年)	R ²		
ゲート設備	ゲート	237	門	0.96	82.4	0.988	
	油圧	47	台	1.20	13.8	0.993	*
	電気	53	台	1.13	13.8	0.998	*
	計	337		1.03	18.5	0.987	
沈砂池機械	機械式スクリーン	361	台	1.05	11.0	0.997	*
	沈砂かき寄せ機(グリッド)	39	台	1.21	10.0	0.989	*
	バケットエレベータ	35	台	1.10	16.4	0.989	*
	沈砂かき寄せ機(バケット)	21	台	1.38	13.0	0.987	—
	ジブクレーン	40	台	1.16	13.8	0.995	*
	洗砂	28	台	1.35	19.9	0.991	*
	ベルトコンベヤ	131	台	1.37	13.0	0.985	*
	スキップホイス	45	台	1.33	13.2	0.989	*
	ホップ	47	台	1.59	25.0	0.972	*
	電気	22	台	1.17	16.8	0.998	*
	池かき混ぜ用送風機	48	台				***
	計	817		1.24	8.3	0.998	
ポンプ設備	ポンプ	340	台	0.97	36.4	0.997	*
	ポンプ補機	55	台	1.19	8.0	0.992	*
	電気	55	台	1.16	10.7	0.997	*
	計	450		1.29	8.2	0.988	

表 1-2 水処理施設の機器の故障統計例

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考	
			m (-)	η (年)	R ²		
最初沈殿池	汚泥掻き寄せ機(クラリファイヤ)	9	台	1.18	12.0	0.938	—
	汚泥掻き寄せ機(チェーンフライト)	52	台	1.19	11.3	0.978	*
	汚泥ポンプ	76	台	1.29	27.7	0.986	*
	電気	7	台	1.18	12.1	0.995	*
	その他	7	台	1.19	15.5	0.988	—
	計	151		1.25	18.7	0.995	
エアタン	送風機	51	台	0.98	24.9	0.985	*
	油圧ユニット	16	台	1.20	16.7	0.962	*
	散気装置	76	台	1.18	9.5	0.997	*
	電気	7	台	1.21	12.9	0.994	*
	その他	7	台	1.73	14.3	0.967	*
	計	157		1.01	28.8	0.993	*
最終沈殿池	汚泥掻き寄せ機(チェーンフライト)	63	台	1.43	11.4	0.961	*
	汚泥掻き寄せ機(サイホン)	35	台	1.53	13.9	0.973	*
	汚泥掻き寄せ機(ミーダ)	24	台	1.24	100.9	0.954	—
	汚泥ポンプ	114	台	0.97	30.2	0.970	*
	電気	7	台	1.20	16.2	0.901	*
	その他	7	台	1.18	15.6	0.978	*
	計	250		1.47	16.4	0.990	*
	消毒設備	19	台	1.42	15.5	0.988	*
	計	19		1.42	15.5	0.988	*

表 1-3 汚泥処理施設の機器の故障統計

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考		
			m (-)	η (年)	R ²			
汚泥濃縮設備	汚泥掻き寄せ機(クラリファイヤ)	31	台	1.22	33.9	0.962	*	
	汚泥ポンプ	49	台	0.93	30.5	0.998	*	
	洗浄ポンプ	8	台				***	
	電気	4	台	1.21	7.3	0.831	*	
	その他	4	台	1.28	21.7	0.952	*	
	計	96		1.40	17.1	0.957		
消化設備	かき混ぜ装置	20	台				***	
	ガスかき混ぜ装置	8	台	1.39	17.1	0.992	*	
	投入・引抜ポンプ	30	台	1.39	17.3	0.991	*	
	電気	3	台				***	
	その他	3	台				***	
	計	64		1.50	14.1	0.988		
ガスホルダ	ガスブロワ	6	台	1.32	13.8	0.978	*	
	ガス圧縮機	5	台	1.26	12.8	0.992	*	
	電気	3	台	1.42	17.4	0.920	*	
	その他	3	台	1.38	14.1	0.982	*	
	計	17						
ボイラ	ボイラ本体	9	台	0.90	13.0	0.978	—	
	ブースタ	12	台				*	
	バーナファン	8	台	1.27	14.1	0.995	*	
	温水循環ポンプ	7	台	1.43	18.6	0.964	*	
	電気	3	台	0.80	36.4	0.889	*	
	その他	3	台				***	
	計	42						
薬品添加装置	塩鉄ポンプ	19	台	1.08	11.0	0.998	*	
	かき混ぜ機	20	台	1.12	23.5	0.952	*	
	石灰移送コンベヤ	11	台	0.91	23.6	0.994	*	
	ブロワ(ルーツ)	9	台	1.31	25.2	0.958	*	
	空気輸送	3	台	1.17	9.4	0.835	*	
	電気	5	台	0.97	18.4	0.973	*	
	その他	5	台	1.05	19.2	0.916	*	
		計	72					
	脱水設備	ろ過機	70	台	1.11	14.7	0.997	*
		真空ポンプ・空気圧縮機	47	台	1.11	9.0	0.993	*
ろ液ポンプ		38	台	0.97	29.3	0.985	*	
ベルトコンベヤ		26	台	0.99	15.0	0.968	*	
電気		5	台	0.97	10.0	0.861	*	
その他		5	台	0.87	17.6	0.920	*	
	計	191						
汚泥焼却設備	炉本体	8	台	1.58	19.6	0.942	*	
	バーナ	29	台	1.89	10.5	0.982	*	
	ベルトコンベヤ	23	台	2.11	15.3	0.938	*	
	搬送コンベヤ	8	台				—	
	電気	3	台				—	
	その他	3	台				—	
	計	74						

表 1-4 計装設備の機器の故障統計例

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考	
			m (-)	η (年)	R ²		
流量計	オリフィス	178	台	0.59	132.0	0.866	*
	ベンチュリ	123	台	1.00	17.0	0.988	*
	電磁	103	台	0.69	151.7	0.985	***
	せき	51	台				***
	その他	155	台	0.64	165.4	0.935	*
	計	610		0.66	68.0	0.965	
液位計	気泡	133	台	1.22	21.9	0.994	*
	浮子	80	台	1.03	25.0	0.995	—
	リングバランス	25	台				*
	その他	55	台	1.20	31.9	0.976	*
	計	293		1.32	11.9	0.991	
温度計	抵抗	87	台				***
	熱伝対	28	台				***
	ダイヤル	7	台				—
	その他	7	台				***
	計	122		1.07	63.9	0.928	
圧力計	ブルドン管	74	台	1.01	59.3	0.991	*
	U字管	—	台				***
	ベローズ	—	台				***
	ダイヤフラム	16	台				*
	計	74		0.94	61.0	0.988	
濃度計	発信器	30	台				—
	計	30					
指示計	真空管	726	台	1.15	395.3	0.988	*
	トランジスタ	726	台	1.30	187.8	0.979	*
	計	726		0.67	720.7	0.936	*
指示記録計	真空管	292	台	0.90	82.3	0.987	*
	トランジスタ	292	台	0.84	61.6	0.981	*
	計	292		0.75	422.6	0.902	*
その他	調節計	197	台				*
	空気式指示記録計	—	台				***
	積算器	349	台	1.18	169.9	0.995	*
	pH計	18	台				***
	雨量計	53	台	1.56	21.9	0.969	*
	計	617		0.92	175.7	0.992	*

表 1-5 電気及び動力設備の機器の故障統計例

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考
			m (-)	η (年)	R ²	
受変電	受電	55	0.97	52.0	0.964	
	変電	55	1.31	40.7	0.960	
	計器・その他	55	1.50	20.6	0.987	
	計	221	1.23	42.7	0.987	
配電	主機	55	1.34	15.2	0.963	
	計器・その他	55	1.06	14.3	0.997	*
	計	110	1.18	13.2	0.995	**
発電	主機	47				-
	計器・その他	47				
	計	305	1.76	72.2	0.989	
内燃機関	発電機用	47	1.25	16.9	0.995	*
	ポンプ用	38	1.10	10.1	0.999	*
	計	305	1.06	21.3	0.998	
合計						

表中備考欄の記号は、機器数より故障数が多いなど、今回紹介する解析手法ではパラメータを同定できなかった機器である。

備考欄 - : 調査年度内で調査始点ないし終点付近にデータがない機器

* : 調査年度中に調査基数以上の故障数がある機器

区間を1年でなく、区間年数の分割数 = (単年度最大故障台数 / 設置数) として、1年 / 区間年数の分割数を最小区間単位として信頼度を算出する。

** : 設置数(調査数)が不明な機器。

別表 2 : 信頼性解析結果一覧表

(社)日本下水道協会：下水道維持管理指針ポンプ場・処理場施設編-1991年版-

表 2-1 揚水施設の機器の故障統計例

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考
			m (-)	η (年)	R ²	
ゲート設備	流入ゲート(阻水扉)	527	1.00	359.3	0.988	
	油圧装置	89	1.04	70.1	0.981	
	その他	82	0.84	323.2	0.957	
	計	698				
沈砂池機械	機械式スクリーン	744	0.93	135.7	0.995	
	集砂	21	0.81	72.7	0.998	
	揚砂	51	1.14	13.9	0.998	
	固定式バケットコレクタ	77	1.02	26.8	0.995	
	走行式バケットコレクタ	18	2.41	12.2	0.896	
	バケットエレベータ	15	1.48	19.7	0.918	
	その他	22	0.80	232.1	0.947	
	洗砂装置	57	1.54	14.7	0.987	
	搬送装置	67	1.12	10.0	0.993	
	スキップホイスト	65	1.04	24.8	0.994	
ホップ	106	1.09	78.8	0.997		
その他	82	1.28	44.5	0.988		
	計	1325				
ポンプ設備	雨水ポンプ	242	1.06	167.2	0.989	
	汚水ポンプ	163	1.07	26.4	0.994	
	その他	82	1.44	6.2	0.986	
	計	487				

表 2-2 水処理施設の機器の故障統計例

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考
			m (-)	η (年)	R ²	
最初沈殿池	汚泥かき寄せ機(チェーンフライン)	129	1.24	13.1	0.983	-
	汚泥かき寄せ機(クラリファイヤ)	5	1.43	9.3	0.942	
	スカム除去装置	24	1.07	21.4	0.924	
	汚泥ポンプ	111	0.77	402.3	0.960	
	その他	10	1.00	31.7	0.926	
	計	279				
エアタンク	送風機	88	0.91	108.0	0.968	
	散気設備	151	1.81	45.4	0.985	
	その他	10	1.65	6.3	0.972	
	計	249				
最終沈殿池	汚泥かき寄せ機(チェーンフライン)	111	1.00	11.8	0.977	
	汚泥かき寄せ機(サイフォン)	40	2.32	11.8	0.983	
	汚泥かき寄せ機(ミーダ)	24	1.39	8.1	0.992	
	汚泥ポンプ	242	1.18	104.5	0.997	
	スカム除去	24	0.80	28.6	0.962	
	その他	10	1.07	12.9	0.951	
	計	451				
滅菌設備	塩素	4	1.11	15.5	0.993	*
	次亜塩素酸ソーダ	6	1.98	8.8	0.938	*
	計	10				
高度処理	ろ過池(砂ろ過機)	67	0.95	41.9	0.994	
	その他	11	1.23	16.7	0.991	*
	計	78				

表 2-3 汚泥処理施設の機器の故障統計

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考	
			m (-)	η (年)	R ²		
汚泥濃縮設備	重力濃縮	32	0.87	81.5	0.977		
	汚泥ポンプ	60	1.50	15.9	0.977	*	
	その他	7	1.24	19.2	0.977	*	
	小計	99					
	機械濃縮	2	2.38	2.9	0.971	-	
	加圧浮上濃縮機	4	0.70	18.7	0.937	-	
	小計	105					
	計	204					
消化設備	消化槽	かくはん装置	32	1.75	17.4	0.899	
		汚泥ポンプ	39	1.36	9.4	0.989	
		その他	4	1.13	15.0	0.991	*
		小計	75				
	洗浄・貯留槽	汚泥かき寄せ機	16	1.00	75.8	0.945	
		汚泥ポンプ	20	0.91	41.1	0.965	
		その他	4	0.96	23.4	0.983	*
		小計	40				
	ガス設備	ガスブロウ	9	0.88	28.9	0.958	
		ガス圧縮機	6	1.25	6.0	0.955	
その他		4	1.59	13.6	0.963	*	
小計		19					
ボイラ設備	ボイラ	11	1.07	14.6	0.695		
	温水循環ポンプ	13	1.18	40.7	0.950		
	その他	4	1.62	5.8	0.926		
	小計	28					
	計	162					

機器名	設置数	単位	トーマスプロット法			備考	
			m (-)	η (年)	R ²		
脱水設備	ベルトプレス型脱水機	51	1.43	7.9	0.984		
	遠心脱水機	7	0.78	19.0	0.987	*	
	加圧脱水機	5	1.16	15.5	0.874	*	
	ベルトフィルタ	40	0.90	15.1	0.996	*	
	オリバー型脱水機	18	1.56	10.4	0.909	*	
	汚泥供給ポンプ	78	1.67	11.9	0.950	*	
	ろ液ポンプ	30	1.27	16.6	0.950	*	
	真空ポンプ	23	1.23	9.4	0.983	*	
	ベルトコンベヤ	56	1.50	8.1	0.977	*	
	その他	7	1.28	8.1	0.988	*	
		計	315				
	薬品注入設備	石灰	5	1.17	12.9	0.955	*
		塩鉄	5	1.01	11.4	0.958	*
高分子		5	2.87	11.5	0.998	*	
搬送装置		7	1.43	10.2	0.987	*	
溶解設備		7	1.70	6.1	0.969	*	
その他		7	1.09	6.6	0.998	*	
計		36					
汚泥焼却設備	焼却炉(多+流)	18	1.21	20.1	0.989	*	
	バーナ	27	1.16	20.8	0.977	*	
	ケーキ搬送設備	6	1.51	6.1	0.968	*	
	灰搬出装置	18	1.72	7.1	0.978	*	
	排煙処理設備	6	1.29	15.8	0.974	*	
	排ガス設備	6	1.39	27.8	0.974	*	
	その他	6	1.42	13.6	0.973	*	
	計	87					

表 2-4 計装設備の機器の故障統計例

機器名		設置数	単位	トーマスプロット法			備考
				m (-)	η (年)	R ²	
流量計	オリフィス	418	台	0.62	16298.0	0.845	
	ベンチュリ	46	台	0.43	546.3	0.957	
	電磁式	583	台	0.82	2544.9	0.989	
	せき式	114	台	0.58	8223.6	0.949	
	超音波	177	台	1.21	228.1	0.921	
	容積式	62	台	1.49	47.4	0.925	
	その他	112	台	1.28	402.4	0.906	
	計	1512	台				
液位計	エアバージ	304	台	1.03	112.5	0.991	
	フロート式	236	台	1.66	57.0	0.987	
	圧力式	152	台	1.01	4396.4	0.590	
	投げ込み式	112	台	2.09	56.2	0.984	
	超音波	55	台	0.89	224.4	0.966	
	静電容量式	38	台	1.33	100.2	0.916	
	その他	40	台	0.59	781.6	0.971	
	計	937	台				
濃度計	122	台	1.15	83.2	0.993		
重量計	175	台	1.04	224.2	0.976		
開度計	1304	台	0.98	1267.4	0.979		
DO計	129	台	1.00	237.9	0.974		
濁度計	17	台	0.88	132.4	0.730		
MLSS計	79	台	0.78	1476.3	0.851		

表 2-5 電気設備の機器の故障統計例

機器名		設置数	単位	トーマスプロット法			備考
				m (-)	η (年)	R ²	
特高・高圧受変電・配電設備	しゃ断器	1470	台	1.21	184.3	0.995	
	断路器	800	台	1.15	685.4	0.963	
	変圧器	575	台	0.98	1454.3	0.972	
	継電器	2840	台	0.86	15570.7	0.984	
	蓄電器	675	台	0.65	65509.2	0.873	
	計器類	—		1.68	4.1	0.974	**
	ケーブル	—		2.46	5.4	0.969	**
	空気圧縮機	—		2.07	4.2	0.964	**
	その他	—		2.18	6.3	0.968	**
	計	6360					
監視・制御	監視制御用計算機設備	2448	面	1.75	71.0	0.996	
	低圧負荷設備制御設備	19280	面	1.02	1010.4	0.999	
計	21728						
発電機	発電機	87	台	0.93	1173.1	0.944	
	ディーゼル機関	81	台	1.43	69.1	0.926	
	ガスタービン機関	6	台	1.34	28.2	0.909	
	その他	87	系	1.45	9.5	0.995	
計	261						
直流電源	直流電源設備	1075	面	1.24	275.4	0.985	
	計	1075					

表 2-6 その他機械設備の機器の故障統計例

機器名		設置数	単位	トーマスプロット法			備考
				m (-)	η (年)	R ²	
脱臭設備	脱臭ファン	48	台	1.13	88.4	0.962	
	薬品ポンプ	131	台	1.93	42.0	0.996	
	その他	38	系	1.67	28.9	0.841	
計	217						
その他設備	換気設備	83	場	1.31	15.3	0.983	
	空調設備	83	場	1.40	10.3	0.984	
	消防設備	88	場	0.89	53.0	0.980	
	上水給水設備	76	場	1.39	31.0	0.944	
	雑用水設備	76	場	1.20	19.6	0.982	
排水設備	76	場	1.02	25.2	0.987		
計	482						

* (なかね すずむ)

昭和 50 年 中日本建設コンサルタント(株) 入社
 水工技術本部 技師長 平成 19 年より現職
 特別会員