U. D. C. 654. 15. 04

通信機器の信頼性（その2）

——信頼度，保全度および稼動率——

Reliability on Communications Equipment

—— Reliability, Maintainability and Availability ——

菅野文友*
Ayatomo Kanno

内　容　梗　概

信頼性の問題は，本来その内容が複雑多岐にわたり，適用する技法もまた広汎である。

機器の固有信頼度に対応した劣化パターンを適確には握し得たならば，その結果を基として，諸般の使用信頼度の向上策を設定し，現地における稼動信頼度を所望の値に実現し得るようにしなければならない。すなわち保守点検などが問題となってくる。

さきに本誌 Vol. 46 No. 9 において，「通信機器の信頼性（その1）—— 劣化パターンの測定 ——」と題して Weibull 確率紙を主体とした諸種計算図表の利用による劣化パターンの測定手順を述べたが，ここでは，通信機器における信頼性の特長でもある保守や稼動の問題について，いくつかの具体的手法や事例を集録記載する。

1. 緒　　言

通信機器の信頼性の問題を広義的立場で考えるに当たっては，その一つの特色として必ず保全の問題がつきまとってくる。

すなわち，機器装置固有の信頼度のほかに，適正な保全を主体とする使用信頼度の向上があってはじめて，現地における全体としての信頼度つまり稼動信頼度の向上を実現することができる。

この稼動信頼度の評価の仕方にはいろいろのものが考えられているが，その一つとして稼動率の問題がある。

本報告ではまず信頼度，保全度および稼動率の間のそれぞれの関連性を具体的事例によって定量的に示す。

次に狭義の信頼度それ自体についてもいわれることであるが，保全の問題をとり上げるときには，なおいっそう諸種の OR（オペレーションズ・リサーチ）技法による多角的考察の必要性が明白となってくるので，そういった技法のいくつかを具体的事例として集録する。

最後に，上記のいろいろな技法を一貫した立場から比較対応して，その共通性を調査する。

2. 電話局外障害による電話加入者回線の稼動率の推定(1)

2.1 加入者宅内装置の構成

電話局から加入者宅までは，地下ケーブルから分岐する架空ケーブルで電柱上の配線箱に到達し，それからは引込線で加入者宅内の保安器に接続され，それ以後は屋内線で当該電話機に接続される。

したがって，加入者宅内装置としては，引込線，保安器，屋内線および電話機から構成されていることになる。さらに，その電話機自体も，送話器，受話器，電鈴，ダイヤルおよびその他のものから形成されている。

2.2 N局の加入者宅内装置の障害状況について

宅内装置が障害になったときには，その加入者はまったく通話ができないようになる。

すなわち，宅内装置には冗長度が付加されていない。

したがってその故障を速かに修理することが肝要である。

以下において，N局を例にとって昭和 36 年中の加入者宅内装置の障害状況とその修復の状況を調査し得た結果を記述する。

N局の試験課および増設宅内課における加入者カードおよび加入者宅内装置修理カードについて，その加入者宅内装置の修理状況を調査した。

N局は加入者数約13,800であり，主として商業地域および住宅地域がその担当区域となっている。

まず宅内装置の障害を，申告時の障害種別と実際の修理個所との二つの場合に分類して解析した。

また，それらを障害件数と不稼動時間とに区別して考察した。さらに，不稼動時間は，それを平均値と範囲(最大値と最小値との差)について別途考察を加え，それらの特色ある結果を明らかにすることができた。

2.3 電話加入者回線の稼動率

諸種の多角的な解析を経て，障害件数および不稼動時間の両者ともに夜間受付と日中（午前および午後）受付とは明確に区別して考慮されなければならないことが判明した。これは夜間受付の際は，その若干は修理が翌日まわしとなることもあるためである。

そこで，日中受付と夜間受付とを区別して稼動時間特性を総括的に表示すると，**第1表**および**第2表**に示すとおりである。ただし，**第1表**は障害種別による分類であり，また**第2表**は修理個所による分類である。

この二つの表で右端欄の標本の大きさの値が異なっている理由は，障害種別に関しては全数を網羅してあるが，修理個所に関しては，公衆電話機を除外してあるためである（この差異の影響は，不稼動時間期待値については，ほとんどない)。

（1） まず，日中受付数と夜間受付数の構成比率間には，順相関があり，日中受付数の多い障害種別あるいは修理個所は，やはり夜間受付数も多いことを言明し得る。

（2） また，時間に対する分布形としては，日中受付のものは，そのほとんどが正規分布に従っているが，夜間受付のものはいずれも早期および後期において，計二つの山がありかつその早期の山が高くなっている。したがって夜間受付のものについての信頼区間については，便宜上 Chebyscheff の不等式によることとした。

（3） さて，N局における加入回線 100 回線当たりの月間の障害数は 2.50 件であり，また夜間受付と日中受付とは 11.5 : 88.5 の比率である。

さらに，障害 1 件当たりの不稼動時間(down time)の上限値は，全般的にみて，日中受付 2.5 時間（95% 信頼限界）および夜間受付 20 時間（75% 信頼限界）となっている。

したがって，加入者回線の 100 回線当たりの月間障害時間は，

* 日立製作所戸塚工場

第1表　局外障害における不稼動時間の解析

項番	障害種別	構成比率(%) 日中受付	構成比率(%) 夜間受付	分布形 日中受付	分布形 夜間受付	平均値 日中受付	平均値 夜間受付	標準偏差 日中受付	標準偏差 夜間受付	変動係数 日中受付	変動係数 夜間受付	信頼区間 日中受付	信頼区間 夜間受付	期待不稼動時間 日中受付	期待不稼動時間 夜間受付	Sample Size 日中受付	Sample Size 夜間受付
1	電話機破損	9.1	6.6	95%以上正規	双峰(前高)	49分	7.9時間	53分	5.6時間	1.08	0.71	95% 0～155分	75% 0～19.0時間	0～14.1分	0～1.25時間	336	33
2	ベル関係	2.3	3.0	95%以上正規	双峰(前高)	44	6.4	38	6.0	0.86	0.94	95% 0～120	75% 0～18.5	0～2.8	0～0.55	85	15
3	線路	46.6	64.2	95%以上正規	双峰(前高)	56	8.1	50	6.1	0.89	0.75	95% 0～156	75% 0～20.3	0～72.7	0～13.03	1,689	321
4	ダイヤル	18.8	9.9	95%以上正規	双峰(前高)	46	6.6	44	6.2	0.95	0.95	95% 0～134	75% 0～19.0	0～25.2	0～1.88	704	49
5	通話品質	9.7	7.8	95%以上正規	双峰(前高)	52	6.1	48	6.0	0.92	0.97	95% 0～148	75% 0～18.1	0～14.4	0～1.41	357	40
6	特殊装置	6.3	1.2	95%以上正規	双峰(前高)	54	3.8	46	5.0	0.85	1.33	95% 0～146	75% 0～13.7	0～9.2	0～0.16	231	60
7	ジャック差込コンセント	0.6	0.4	95%以上正規	平たん	56	8.5	28	6.5	0.50	0.76	95% 0～112	75% 0～21.6	0～0.7	0～0.09	22	2
8	フック・スイッチ	1.1	1.0	95%以上正規	平たん	58	9.4	52	6.2	0.90	0.65	95% 0～162	75% 0～21.7	0～1.8	0～0.22	39	5
9	料金関係	3.4	4.8	95%以上正規	双峰(前高)	44	6.2	46	9.5	1.05	1.53	95% 0～136	75% 0～25.3	0～4.6	0～1.21	130	24
10	その他（通話停止など）	2.2	1.0	95%以上正規	平たん	42	6.7	60	6.6	1.43	0.99	95% 0～162	75% 0～20.0	0～3.6	0～0.20	79	5
		単相関係数 +0.972 (有意水準 1%)				分布の95%以上に対する値		分布の95%以上に対する値						時間 分 0～2 29	時間 分 0～22 00	計 3,672	計 554
														1件当たり障害時間 全期待		合計 4,226	

第2表　局外障害における不稼動時間の解析

項番	修理個所	構成比率(%) 日中受付	構成比率(%) 夜間受付	分布形 日中受付	分布形 夜間受付	平均値 日中受付	平均値 夜間受付	標準偏差 日中受付	標準偏差 夜間受付	変動係数 日中受付	変動係数 夜間受付	信頼区間 日中受付	信頼区間 夜間受付	期待不稼動時間 日中受付	期待不稼動時間 夜間受付	Sample Size 日中受付	Sample Size 夜間受付
1	付属設備	9.52	10.49	95%以上正規	双峰(前高)	67.5分	7.51時間	47.5分	5.7時間	0.70	0.76	95% 0～145.6分	75% 0～18.95	0～13.9分	0～1.99時間	276	43
2	保安装置	11.55	13.90	95%以上正規	双峰(前高)	47.5	8.65	75	6.8	1.58	0.67	95% 0～170.9	75% 0～20.3	0～19.7	0～2.82	335	57
3	引込ゴム線	19.12	28.54	95%以上正規	双峰(前高)	72.5	7.08	52.5	6.3	0.72	0.88	95% 0～158.9	75% 0～19.6	0～30.4	0～5.59	554	117
4	屋内線	12.56	16.59	95%以上正規	双峰(前高)	62.5	7.46	55	6.05	0.88	0.81	95% 0～153.0	75% 0～19.57	0～19.2	0～3.25	364	68
5	ひも類(送受器紐，電話機紐，ダイヤル紐)	6.18	5.61	95%以上正規	双峰(前高)	42.5	8.56	70	5.95	1.65	0.69	95% 0～158.0	75% 0～20.46	0～9.8	0～1.15	179	23
6	帯座破損	3.83	1.71	95%以上正規	双峰(前高)	47.5	10.2	50	5.28	1.05	0.51	95% 0～130.2	75% 0～20.83	0～5.0	0～0.36	111	7
7	ローゼット	0.83	0.73	95%以上正規	双峰(前高)	49.0	9.76	36	6.68	0.73	0.68	95% 0～122.5	75% 0～23.12	0～1.0	0～0.17	24	3
8	ダイヤル	24.98	12.93	95%以上正規	双峰(前高)	59.0	5.82	30	6.16	0.51	1.06	95% 0～119.0	75% 0～18.13	0～29.7	0～2.34	723	53
9	送話（送受器）	2.20	2.44	95%以上正規	双峰(前高)	42.5	3.23	55	4.15	1.29	1.28	95% 0～133.8	75% 0～11.53	0～2.9	0～0.28	64	10
10	その他	5.94	3.66	95%以上正規	双峰(前高)	58.0	9.96	64	5.11	1.10	0.51	95% 0～163.8	75% 0～20.2	0～9.7	0～0.74	172	15
11	電鈴	3.28	3.41	95%以上正規	双峰(前高)	37.5	5.86	60	6.53	1.60	1.11	95% 0～136.9	75% 0～18.93	0～4.5	0～0.65	95	14
		単相関係数 +0.794 (有意水準 1%)				分布の95%以上に対する値		分布の95%以上に対する値						時間 分 0～2 26	時間 分 0～19 20	計 2,897	計 410
														1件当たり障害時間 全期待		合計 3,307	

注：　その他（送受器受話，送話器，受話器，フックスイッチ，蓄電器，誘導線輪，筐体）

日中受付　$2.5\times\frac{88.5}{100}\times2.5=5.52$ 時間

夜間受付　$2.5\times\frac{11.5}{100}\times20=5.76$ 時間

となる。

したがって局外障害による稼動率は，

$$1-\frac{5.76+5.52}{24\text{時間}\times30\text{日}\times100\text{回線}}=1-1.567\times10^{-4}$$

$$\fallingdotseq99.984\%$$

となる。

つまり不稼動率は 1.56×10^{-4} である。

この算出を，個々の修理個所について行なった結果は，第3表のとおりであり，ダイヤルを除き電話機関係はファイブ・ナインの値を示している。

（4）　次に，ここで対象としたN局の場合には，加入者宅内装置についての障害が1時間当たり1加入回線について2.50件/24時間×30日×100回線，すなわち 3.47×10^{-5} 件生起しており，この

第3表　N局局外障害に関する平均不稼動時間(MDT)と稼動率

項番	修理個所	1個月100回線当たりMDT 日中受付	1個月100回線当たりMDT 夜間受付	不稼動率 (%)	稼動率 (%)
1	ダイヤル	66 分	40 分	0.245×10^{-2}	99.99755
2	引込ゴム線	67	97	0.380×10^{-2}	99.99620
3	屋内線	42	56	0.227×10^{-2}	99.99773
4	保安装置	44	49	0.215×10^{-2}	99.99785
5	付属設備	31	34	0.150×10^{-2}	99.99850
6	紐類 送受器紐 電話機紐 ダイヤル紐	22	20	0.097×10^{-2}	99.99903
7	その他	21	13	0.079×10^{-2}	99.99921
8	帯座破損	11.1	6.2	0.040×10^{-2}	99.99960
9	電鈴	10.0	12	0.051×10^{-2}	99.99949
10	送話器	6.4	4.8	0.026×10^{-2}	99.99974
11	ローゼット	2.2	2.9	0.012×10^{-2}	99.99988
合計		301.7分	334.9分	1.52×10^{-2}	99.9848

○ 100回線当たり月間障害数　2.50件
　{日中 2.212件
　{夜間 0.288件

○ (不稼動率)$=\dfrac{\text{日中}\Sigma_{\text{夜間}}\text{MDT}}{24\text{時間}\times30\text{日}\times100\text{回線}\times60\text{分}}$

○ (稼動率)+(不稼動率)=1

(注) 項番4　付属設備：保安器，地気線
　　項番5　保安装置：配端子箱，屋内配端子箱
　　項番7　その他：ケーブル，受話器，フックスイッチ，誘導線論，布線，筐体

値が宅内装置の目安指数となる。すなわち，一つの障害が発生してから，次の障害が発生するまでの平均時間つまり平均故障間隔は$(1/3.47)\times10^5$時間である。したがって，平均不稼動時間の平均故障間隔に対する比率をとると，これは，不稼動の比率に関する一つの指数を示すものとなる。

この場合，全体としての平均不稼動時間は，

$$\frac{2.5\times88.5}{100}+\frac{20\times11.5}{100}=2.21+2.30=4.51\ \text{(時間)}$$

であるから，この指数は，

$$\frac{4.51}{\frac{1}{3.47}}\times10^5=1.56\times10^{-4}$$

となる。

したがってこの場合の稼動率の値は，

$$1-1.56\times10^{-4}=99.984\%$$

となる。すなわち，この値は，さきの(1)項で示した稼動率の値に，誤差の範囲内でまったく一致した数値となっている。

これは，下記に立証するように，実は一般的に成立する関係である。すなわち，一般に加入回線数をlとし，1個月間の障害総数をBとする。

また，日中受付の構成比率を$\alpha\%$とし，日中受付時および夜間受付時の不稼動時間をそれぞれT_αおよび$T_{1-\alpha}$とする。

このときは，100回線当たり月間障害数は$100\times B/l$であり，前者の計算による比率は，

$$\frac{100\times\frac{B}{l}\left(\frac{\alpha}{100}T_\alpha+\frac{100-\alpha}{100}T_{1-\alpha}\right)}{24\times30\times100}$$

となる。

また，1時間当たり1加入回線についての障害件数は，

$$\frac{B}{30\times24\times l}\text{件/時間}$$

すなわち，MTTFは

$$\frac{30\times24\times l}{B}\text{時間/件}$$

であり，また，全体としての不稼動時間は，

$$\frac{\alpha\times T_\alpha+(100-\alpha)T_{1-\alpha}}{100}$$

であるから，後者の計算による比率すなわち，平均不稼動時間/平均故障間隔は，

$$\frac{\left(\frac{\alpha}{100}T_\alpha+\frac{(100-\alpha)}{100}T_{1-\alpha}\right)}{\frac{30\times24\times l}{B}}=\frac{\frac{B}{l}\left(\frac{\alpha}{100}T_\alpha+\frac{(100-\alpha)}{100}T_{1-\alpha}\right)}{24\times30}\times\frac{100}{100}$$

となり，両方面から考えた稼動率はまったく同一の値となる。

2.4　信頼度，保全度および稼動率間の一般的関係

以上の検討に基づき，信頼度，保全度および稼動率の間の関係が確認されたことになる。すなわち，信頼度および保全度の分布関数とについて，それぞれ指数分布を仮定すれば，

信　頼　度 (Reliability)

$$R(t)=e^{-\lambda t}=e^{-\frac{t}{T}}$$

保　全　度 (Maintainability)

$$M(t)=1-e^{-\mu t}$$

$$=1-e^{-\frac{t}{t_0}}$$

ただし，λ：瞬時故障率 (Hazard Rate)

T：平均故障間隔 (Mean Time to Failure or Mean Time Between Failure) すなわちMTTFまたはMTBF

μ：瞬時不稼動率 (Rate of Maintainability) あるいは保全操作率 (保全操作回数/単位時間)

t_0：平均不稼動時間 (Mean Down Time) すなわち平均保全(修理)時間またはMDTあるいは保全操作時間

として示されるから，

$$\text{稼動率(Availability)}=1-\frac{\text{MDT}}{\text{MTTF}}=1-\frac{t_0}{T}$$

をもって品質の適合度を批判することの合理的なことを知ることができる。

この関係を平均故障間隔および平均不稼動時間に対して図示すると第1図のようになる。

3.　保全点検についての諸技法

3.1　概　　要

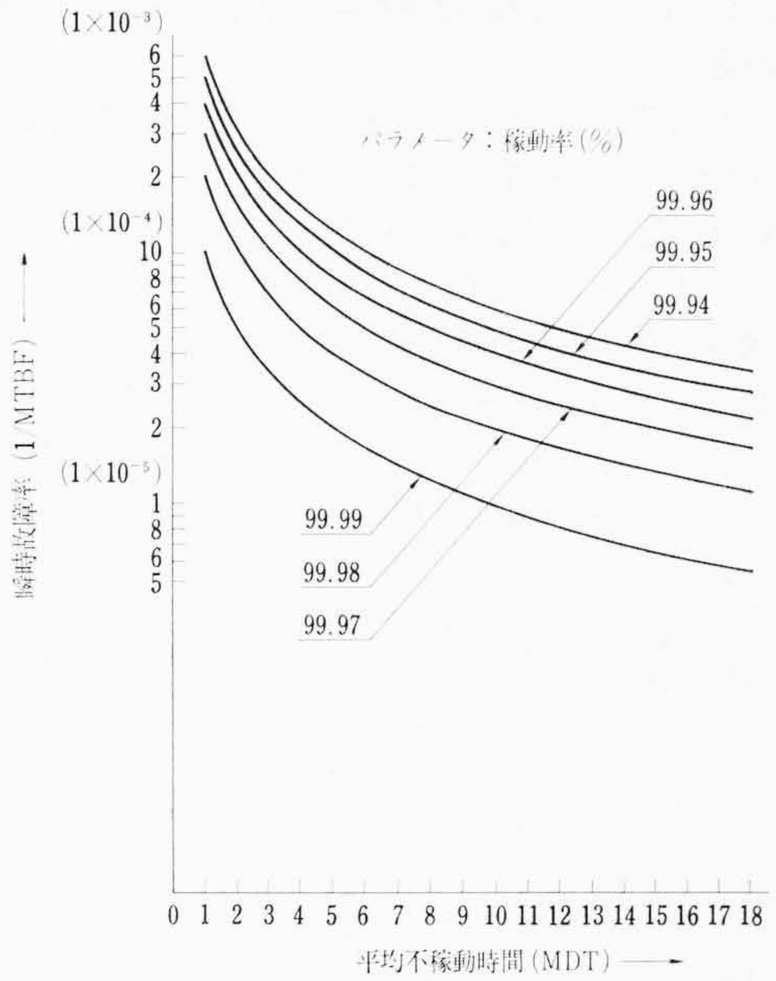
保全の問題には，こわれ方となおり方の2種の性質がからみ合っているほかに，経費（点検費，取替費，予備品費など）が大きな要素を占めることも当然である。

そのほか，細かに考えればはなはだ数多い要因がいろいろな寄与率や交互作用を伴って入り組んでいる。したがって保全の問題を本質的に解決してゆくためには，諸般のOR技法を多角的に活用しなければならない。

ここでは，特に通信機器の場合に身近かないくつかの保全点検技法を例示列挙し，総括的検討は後記第4章で行なうこととする。

3.2　点　検　順　序

いくつかのサブシステムから構成されているシステム電子装置を考えた場合，そのシステムの障害が生じたときには，保守者が各サブシステムを順次に点検して障害個所の検出に努め，発見確認と同時に直ちに修理して使えるようなことが数多い。



第1図　稼動率をパラメータとした平均不稼動時間（MDT）と瞬時故障率（MTBF）との関係

通信機器の場合には必ずしも予備機予備品の利用が設定し得ない場合も多いので，その障害発生から修復までの所要時間の平均値，すなわち平均障害時間をできるだけ小さくするように当初から意図しなければならない。

そうすると，各サブシステムの障害が相互に独立に発生し，かつ2個所以上で同時に発生する確率を無視して考えた場合，各サブシステムの点検順序をどのようにすれば，この目的に対して最適となるか？

この問題を解くための必要データとしては，各サブシステムについて，障害発生率，平均所要点検時間および平均所要修復時間の値がは握されていなければならない。

n 個のサブシステムについて，任意に一つの点検順序を指定し，i 番目の点検個所に対する障害発生率，平均所要点検時間および平均所要修復時間をそれぞれ F_i, C_i, R_i と記号表示する。

この問題は明らかにマルコフ的性質を保有する多段決定過程であるから，最適性の原理が成立する。したがって最適点検順序による平均障害時間を $T(F_1, F_2, F_3, \cdots\cdots, F_n)$ で表現すれば，一般に

$$T(F_1, F_2, F_3, \cdots\cdots, F_n) = \min_i [(C_i+R_i)F_i + \{C_i + T(k_iF_1 k_iF_2, \cdots\cdots, k_iF_{i-1}, k_iF_{i+1}, \cdots\cdots, k_iF_n)\}(1-F_i)]$$

ただし，

$$k_i = \frac{1}{(1-F_i)}$$

という式が成立する。

（すなわち，n 個の場所についての問題が $(n-1)$ 個の場所の問題になるので，この操作を逐次進めてゆけば，遂には1個の場所の問題になる。）

ここで，最初に i 番目を，また2番目に j 番目を点検し，その後は最適の順序で点検を進めたものとすると，そのときの平均障害時分 $T(i,j)$ は，

$$T(i,j) = (C_i+R_i)F_i + [C_j + (C_j+R_j)k_iF_i + \{C_j + T(l_jF_1, l_jF_2, \cdots\cdots, l_jF_{i-1}, l_jF_{i+1}, \cdots\cdots, l_jF_{j-1}, l_jF_{j+1}, \cdots\cdots, l_jF_n)\}(1-k_iF_j)](1-F_i)$$

ただし，

$$l_j = \frac{1}{1-F_i}\,\frac{1}{1-k_iF_j} = \frac{1}{1-F_i-F_j}$$

となり，したがって，最初と2番目の点検順序を逆にしたときの平均障害時間 $T(j,i)$ との差をとると，

$$T(i,j) - T(j,i) = C_iF_j - C_jF_i \quad \cdots\cdots(1)$$

となる。

したがって，(1)式の値が正の符号をとるかぎりは，i 番目と j 番目の点検順序を逆にすると，平均障害時間が小さくなる。

(1)式が正の符号をとるときは，

$$\frac{F_i}{C_i} < \frac{F_j}{C_j}$$

すなわち，点検順序を決めるものは，個々の点検個所における障害発生率の平均所要点検時間に対する比率である。したがって，この比率の値を点検パラメータとすれば，点検パラメータの大きい順序に点検してゆけばよいことになる（平均所要修復時間の値には無関係にこのことが成立する）。

3.3　保守用の予備機，予備品

この問題は古くから論じられており，特に工作機械の保全，電話トラフィックおよび在庫管理など，いくつかの様相をもって具体的に調査研究されてはいるが，基本的にはいずれも待ち行列論（Queuing Theory）そのものであって入力分布，処理分布とその規則および窓口を指定して，完全に故障が外部に影響を及ぼしてしまう確率および処理を受けるまでの時間などを計算するものである。

予備機予備品の問題については，入力分布は累積故障率すなわち，信頼度の1に対する補数であり，また処理分布は保全度であり，窓口が予備品の数と考えられる場合もある。

なお分布の形や処理規則が少し複雑になると，もう理論式では解析的に解けない現状であるため，現実の複雑な問題に処対するためには，シミュレーション手法による場合もある。

この場合でも，やはり，取り扱う統計量に関して，たとえば在庫管理，保全問題および電話トラフィック理論のすべてに共通な考え方があり，それぞれの言葉で表現している内容の対応性は，次の**第4表**に示すとおりである。

3.4　システムの予防保全における Weibull 分布の適用事例

あるシステムの寿命分布が Weibull 分布に従うとき，その scale parameter を x_0 とし，shape parameter を m とすると，その確率分布関数は，

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t^m}{x_0}}$$

として示され，信頼度関数は $R(t) = e^{-t^m/x_0}$ となる。

ここで定期保全に必要とする平均時間を T_1 とし，間に合わせの小修理のための平均所要時間を T_2 とする。さらに定期保全をするまでのシステムの稼動時間を T_3 とする。

この場合，次の方策をとるものとする。

すなわち，そのシステムが延稼動時間 T_3 に到達する前に故障した場合には，間に合わせの小修理を実施し，また故障しなくとも T_3 時間だけ稼動したならば，定期保全を行なうとする。ただし，間に合わせの小修理によっては，故障の発生率はなんの影響も受けないものとしておく。

第4表　内　容　の　対　応　性

項番	在庫管理	保全問題	電話トラフィック理論
1	平均在庫量	故障単位の平均数	空チャンネルの平均数
2	使用数の平均	動作中の単位の平均数	閉そくされたチャンネルの平均数
3	品切期間の平均	故障時間の平均の長さ	完全閉そく時間
4	在庫がまったくない期間の比率	すべての単位が正常な時間の比率	全チャンネルがふさがっている時間の比率
5	容量一杯の在庫のある時間の比率	すべての単位が故障している時間の比率	どのチャンネルもふさがっている時間の比率
6	在庫比率	稼動指数	サービス・ファクタ，トラフィック密度

このように考えたときの瞬時故障率を $\lambda(t)$ とすると，稼動率を次のように設定することができる。

$$〔稼動率〕=\frac{\text{定期保全をするまでの平均稼動時間}}{\left(\begin{array}{l}\text{間に合わせ小修理のための平均所要時間}\end{array}\right)\times\left(\begin{array}{l}\text{定期保全までの間の故障回数}\end{array}\right)+\left(\begin{array}{l}\text{定期保全に必要とする平均時間}\end{array}\right)+\left(\begin{array}{l}\text{定期保全をするまでの平均稼動時間}\end{array}\right)}$$

すなわち，稼動率は

$$A=\frac{T_3}{T_3+T_1+T_2\int_0^{T_3}\lambda(t)\,dt}$$

ここで，

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=\frac{-R'(t)}{R(t)}=\frac{m\cdot t^{m-1}}{x_0}$$

であるから

$$A=\frac{T_3}{T_1+T_2\dfrac{{T_3}^m}{x_0}+T_3}$$

したがって，定期保全を行なうまでのシステムの稼動時間を適当にして，その稼動率を最大にするための方針をとり，そのときの稼動時間を T_0 とすると，

$$T_1+T_2\frac{{T_0}^n}{x_0}+T_0-T_0-T_2\cdot\frac{m}{x_0}{T_0}^{n-1}\cdot T_0=0$$

すなわち，

$${T_0}^m\left(\frac{m}{x_0}-\frac{1}{x_0}\right)T_2=T_1$$

$$\therefore\quad T_0=\left(\frac{T_1}{T_2}\times\frac{x_0}{(m-1)}\right)^{\frac{1}{m}}$$

一般に，$T_1>T_2$ である。

T_1 と T_2 および劣化パターンがわかれば，設定すべき最適の稼動時間 T_0 が求められる。

3.5 保安度指数(2)

国鉄では保安度指数として，

$$P=\frac{\mu}{(\alpha\lambda)}$$

ただし，P：保安度指数
$\frac{1}{\mu}$：平均休止時間
α：Fail-Safe 比
λ：平均故障率

を使用し，これをもって鉄道通信における人間を含めて広義の稼動信頼度を定量的に評価している。

そして，駅の種類や運転状況などの諸条件によって保全設備の種別，程度を決定する根拠として利用し，設備計画をより適切に行なわんとしている。

3.6 応用例——検査順序と検査費用

通信機械の信頼性保証に際しては，製品に関していろいろな非破壊試験を行なう場合が多い。すなわち，諸種の面からの検査を施行する。

その際，製品1個当たりの検査費用を最小にするように，各項目の試験あるいは検査の順序を定める問題があり得る。

いま，n 種の試験を $T_1, T_2, \cdots\cdots, T_n$ とし，それぞれの検査で製品一回あたり，$C_1, C_2, \cdots\cdots, C_n$ の費用を要するものとし，また，その検査によって合格する割合および不合格となる割合を $A_i(i=1, 2, \cdots\cdots, n)$ および $R_i(i=1, 2, \cdots\cdots, n)$ とする。

すなわち，

$$A_i+R_i=1$$

ただし，C_i, A_i（または R_i）は検査の順序には関係なく，不変一定であると仮定する。

〔$T_1, T_2, \cdots\cdots, T_n$〕という順序を選定したときの，製品1回当たりの費用を $C(T_1, T_2, \cdots\cdots, T_n)$ として示す。

$$C(T_1, T_2, \cdots\cdots, T_n)=C_1+A_1C_2+A_1A_2C_3+\cdots\cdots+A_1A_2\cdots\cdots A_{n-1}C_n$$

ここで j 番目と $j+1$ 番目の検査順序を逆にすれば，

$$C(\cdots\cdots T_j, T_{j+1}\cdots\cdots)-C(\cdots\cdots T_{j+1}, T_j\cdots\cdots)=(A_1A_2\cdots\cdots A_{j-1})(C_j+A_jC_j-C_{j+1}-A_{j+1}C_j)=(A_1A_2\cdots\cdots A_{j-1})(R_{j+1}C_j-R_jC_{j+1})$$

したがって，もし

$$\frac{C_j}{R_j}<\frac{C_{j+1}}{R_{j+1}}$$

ならば

$$C(\cdots\cdots T_j, T_{j+1}\cdots\cdots)<C(\cdots\cdots T_{j+1}, T_j\cdots\cdots)$$

である。

このように考えると

$$\frac{C_1}{R_1}<\frac{C_2}{R_2}<\cdots\cdots<\frac{C_n}{R_n}$$

というように，〔$T_1, \cdots\cdots, T_n$〕を仮定すれば，それが製品1個当たりの検査費を最小にする試験あるいは検査の順序となるものである。

（例）

項番	試験あるいは検査の名称 T	不合格率 R	合格率 A	1回当たりの試験検査費用 C	試験あるいは検査の指数 C/R	決定順序
1	温度	0.02	0.98	0.53	27	4
2	振動	0.05	0.95	0.38	7.5	3
3	電気	0.001	0.999	0.29	290	5
4	衝撃	0.2	0.8	0.42	2.1	1
5	外見	0.01	0.99	0.05	5	2

4. 信頼性とOR

4.1 最適目安指数の設定

以上の論議においてとり上げたいくつかの問題の中で，特に稼動率，予備品設定，点検時間を考えた点検順序，保安度指数，費用を考えた検査順序などについては，いずれも，それぞれについて別個の名称をつけた独特の目安指数をとり，その数値の大小をパラメータとして，その施策の評価あるいは必要な諸般の施策の決定を行なっている。

こういった適確な目安指数の設定は，ちょうど実験計画法の適用における最適代用特性の選定と同様の趣旨のものであって，ソフトな考え方を旨とするOR的立場からいえば，至極当然な行き方である。

上記の諸目安指数のいくつかを総括整理すると，**第5表**のとおりである。

第5表

項番	項目	指数	算出式	備考
1	稼動率	不稼動率	$\frac{\text{MDT}}{\text{MTTF}}=\frac{\lambda\text{（故障率）}}{\mu\text{（不回復率）}}$	なおりにくさ / こわれにくさ
2	点検順序	点検指数	$\frac{\text{障害発生率}}{\text{平均所要点検時間}}$	こわれやすさ / 調べにくさ
3	保守用予備品	稼動指数	平均故障発生率×平均修理時間 $=\frac{\lambda}{\mu}$	なおりにくさ / こわれにくさ
4	検査順序	検査指数	$\frac{\text{単位当たり費用}}{\text{不合格率}}$	検査のしやすさ / 合格のしにくさ
5	鉄道通信の稼動信頼度	保安度指数	$\frac{\text{平均休止率}}{\text{（平均故障率）}\times\text{（Fail Safe 値）}}$	

今後，いろいろな問題に直面する際に，これらの目安指数設定の様相を多角的に活用して，最適な指数を設定し，より適確な評価あるいは意志決定を行なうことが肝要である。

4.2　技法適用の要諦

このように保守や稼動を含めて信頼性を考察する場合には，特に諸種ＯＲ技法との結びつきが顕著な様相を示してくれる。

そこで，一般のＯＲ技法適用に際していわれる注意事項が，たとえばこの最適指数設定の場合にもそのまま適合する。すなわち，

（1）　常にソフトな考え方を第１とせよ

物理的意味の異なるいくつかの現象や活動の中から，アナロジーを抽象して単一モデルを多角的に活用するのが，ここでの目安指数対応の考え方であり，表面的な用語にとらわれず，ソフトな考慮を根拠としなければならない。

（2）　データのうそに注意せよ

指数値はすべて過去のデータに基づくものであり，したがって，故障率などのもととなる諸データの数値が所定けた数保証できなければ，それから算出した指数などは無意味なものとなり，このやり方での方策設定が不可能となる。一般にデータは整理すればするほど，ますます情報量が失なわれてゆくのが常であり，ときには余計な整理をしたために，かえって誤った情報が付加されてしまうこともよくある。したがって，極力原始伝票データの活用に留意しなければならない。

（3）　目 的 の 追 求

ただ単にアナロジーのみにとらわれて，短兵急に指数を設定しても，それが活動の目的，評価の基準に整合していなければ，しょせん徒労に過ぎない。真の目的を十分に探求し，それにマッチした指数を設定しなければならない。

（4）　局所的ではなく常に大局的な立場で最適性を図れ

たとえば，検査費用などを，どの程度の範囲にまでとるかによって，検査指数の値が相当に大きく違ってくることもある。いたずらに安易なデータだけに依存して，局所的に最適な指数を設定する結果になってはならない。

（5）　結果のフィード・バックを確実にせよ

設定した指数の活用を図るためには，関係部署に判定容易な形で即時に結果をフィード・バックし，設定部門だけの自己満足的な誤った運用をきたさぬようにしなければならない。

5.　結　　言

以上，通信機器の分野における信頼度と保守度を考慮した稼動率の評価の実例から出発して，信頼性に直接関連する周辺の問題をいくつかとり上げ，それらの評価の指数に関する類似性という観点から，とりまとめを試みた。

共通技法としての信頼性工学のように多面的様相を含む技術は，本質的に一種のＯＲであり，今後の着実な積み上げの成果が大いに期待されるものである。

参　考　文　献

（1）　山内，菅野：　加入電話宅内装置等の稼動率について（昭 37. 10 電気通信学会信頼性と品質管理研究専門委員会）
（2）　吉村：　鉄道問題の信頼性（昭 39，日科技連テキスト）

Vol. 47　　日　立　評　論　　No. 6

目　次

■論　　文
• 大形蒸気タービン発電機ロータモデルの危険速度に関する実験
• 大容量蒸気タービン計装について
• 制御信号伝送用変換器の雑音特性
• 大電流高耐圧シリコン制御整流素子
• シリコン交流制御整流素子とその応用
• 日立 500 kV 級超高圧パンタグラフ形断路器
• 転炉制御データ処理装置
• 日立液体窒素冷蔵コンテナの性能
• 誘導ミサイル温度高度変化試験装置
• F110 形　27.5 t　トラッククレーン
• 車両用ウオータクーラの特性
• C_{22} 形可搬形交換装置
• マレブルおよび鋳鋼バルブの流過特性
• 電力ケーブルの強制内部水冷
■永久磁石特集
• 欧米磁石業界の現状と日立金属の研究態度
• 異方性合成樹脂磁石の特性
• 回転機用磁石の設計
• 核磁気共鳴磁界発生装置
• 磁石応用製品
• スピーカ用磁気回路について
• 薄板磁石
• 回転機用磁石の応用

発行所　日立評論社　東京都千代田区丸の内1丁目4番地　振替口座東京 71824 番
取次店　株式会社 オーム社書店　東京都千代田区神田錦町3丁目1番地　振替口座東京 20018 番