

ここに、ギリシャ文字 β 、 γ 、 δ は、ある機器の、他の一個以上の機器との同時故障を考えた時に次の意味がある。

β : ある機器の全故障確率中における、自分自身を含めて2個以上の機器が同時に故障する割合。

γ : 自分自身を含めた2個以上の機器の同時故障確率において、3個以上の機器が同時に故障する割合。

δ : 自分自身を含めた3個以上の機器の同時故障確率において、4個以上の機器が同時に故障する割合。

βQ_1 は2個以上の機器の同時故障発生確率であり、 $\beta Q_1 \cdot (1-\gamma)$ はそのうちで2個だけの機器が同時に故障する確率である。 Q_2 は特定の2個の機器が故障する確率のため組合せの数 ${}_{m-1}C_2$ で割り算しておく。 Q_3 についても同様の関係となっている。

この式で γ 以上の係数がすべて1.0であるとする、

$$Q_1 = (1-\beta) Q_1 \dots \dots \dots (12)$$

$$Q_k = 0; \quad k=2 \sim m-1 \dots \dots \dots (13)$$

$$Q_m = \beta Q_1 \dots \dots \dots (14)$$

となり、 β ファクター法に一致する。

(3) α -ファクタ (Factor) 法

β ファクター法あるいはMGLモデルではデータからパラメータ値を正確に推定することが難しい。そこで、より簡便なモデルとして α ファクター法³⁹⁾がある。

β ファクター法、MGLとも機器故障率を基礎にしているが、 α ファクター法ではシステムの故障率を基準にしている。それ故、 α ファクター法の方がより直接的に観測データと結びつけられる。

任意の k 個の機器が共通原因により故障する割合を α_k と記す。このとき、

$$\alpha_k = \frac{m C_k \cdot Q_k}{\sum_m C_k \cdot Q_k} \dots \dots \dots (15)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m = 1 \dots \dots \dots (16)$$

となり、 Q_k 、 Q_t との間には以下の関係が成立する。

$$Q_k = \frac{k \cdot \alpha_k}{m-1 C_{k-1} \cdot \alpha_t} Q_t \dots \dots \dots (17)$$

$$\alpha_t = \sum k \cdot \alpha_k \dots \dots \dots (18)$$

α_t は機器の全故障総数に比例し、 $k \cdot \alpha_k$ は任意の k 個の機器が同時に故障する場合の機器故障数に比例する。

$(k \cdot \alpha_k / \alpha_t) \cdot Q_t$ は特定の1個の機器が他の任意の $k-1$ 個と同時に故障する確率となっている。それ故、特定の k 個の機器が同時に故障する確率 Q_k は、組合せの数 ${}_{m-1}C_{k-1}$ で割って(17)式のようになる。

(4) BFR (Binomial Failure Rate) モデル³⁹⁾

このモデルにおいては、故障原因として致命的 (Lethal) なものと非致命的 (Nonlethal) なものを考えている。それぞれの出現頻度を ω と μ であらわし、Lethal Shockが与えられた時は全ての機器が確率1.0で故障するとし、Nonlethal Shockの場合は各々の機器が確率 p で互いに独立に故障するとしている。

Q_k と上記パラメータの関係は、

$$Q_1 = Q_1 + \mu p (1-p)^{m-1} \dots \dots \dots (19)$$

$$Q_k = \mu p^k (1-p)^{m-k}; \quad k=2 \sim m-1 \dots \dots \dots (20)$$

$$Q_m = \mu p^m + \omega \dots \dots \dots (21)$$

となる。ここで、 Q_1 は各機器のランダム故障確率を表す。

(5) その他の方法

以上(1)から(4)までの方法の他にも次の様な種々のモデルが提唱されている。

Marshall & Olkin法⁴⁰⁾、修正 β -Factor法⁴¹⁾、一般化 β -Factor法⁴²⁾、Common Load Model⁴³⁾、Multiple Dependent Failure Fraction Method⁴⁴⁾等があるが、詳細は参考文献に譲ることとする。

9.3 共通原因故障データ

従属故障/共通原因故障データの解析としては2通り考えられる。一つは、過去に於て発生した従属故障/共通原因故障の事例を個々に検討し、解析対象プラントに適用できるか判断し、システム論理モデルへ取り入れる定性的な解析である。この様な解析に必要な事例データは米国のライセンス・イベント報告 (LER)⁴⁵⁾ から得られるが、NUREG/CR-4550⁴⁶⁾ の報告書にもいくつかの事例が載っている。

もう一つは、機器故障データを定量的に取り扱う方法で、インパクト・ベクトルを用いる方法と、 β ファクターに代表されるパラメータ値を推定する方法がある。

インパクト・ベクトル⁴⁷⁾とは、ある事象が機器群にどのような影響を及ぼすかを表示する手法であり、共通原因故障の起こり易さの程度を定量的に表現する方法である。

β ファクター値に代表されるパラメータ値の推定においては、まず故障データの中の多重故障が単に独立故障の重なったものなのか、共通原因故障が存在して発生した故障か判断する必要がある。原因が明確であれば判断は簡単であるが、隠れている原因を見つけ出すのは難しい。次に、発生した多重故障はより多重度の高い機器群の中の一部かどうかを知る必要がある。しばしば、この種の情報は欠落している事がある。更に、起動失敗確率の場合は試験スケジュールがどうなっているか知る必要がある。例えば、2台のディーゼル発電機の起動試験を同時に行っているのか、互いにずらして実施し故障が見い出された場合のみもう一方も起動試験を行うのかでは、同じ2重故障事例数があっても β ファクター値は異なってくる。

この様に、パラメータ値の推定は思ったよりも難しい作業であるといえる。表-VIIIには代表的な機器についての β ファクター値を示す⁴¹⁾。また、米国原子力規制委員会からはLERを基に、ポンプ³⁹⁾、弁⁴⁸⁾、計器及び制御用部品⁴⁹⁾、ディーゼル発電機⁵⁰⁾ についてBFR及び β ファクター値を推定した報告書が出ている。

これらの一般的なデータを解析において用いるのも有効な方法であるが、解析対象プラントに十分なデータが存在するときはできるだけプラント固有のパラメータ値を推定するのが望ましい。

表-Ⅷ 主要機器のβファクター値

機器	炉・年	事象数	事象の内訳				βファクター値
			独立故障	従属故障	共通原因故障		
					潜在的	現実に発生	
炉停止ブレーカ	563	72	56	16	3	8	.19
ジーゼル発電機	394	674	639	35	9	13	.05
モーター駆動弁	394	947	842	105	17	25	.08
逃がし安全弁							
PWR	318	54	30	24	0	0	.07
BWR	245	172	136	36	7	7	.22
チェック弁	654	254	242	12	3	5	.06
ポンプ							
安全注入系	394	112	77	35	2	6	.17
RHR	394	117	67	50	2	3	.11
格納容器スプレイ	394	48	32	16	1	1	.05
補助給水系	394	255	194	61	2	3	.03
所内用水系	394	203	159	44	2	2	.03
冷却装置	654	33	27	6	2	2	.11
換気装置	654	59	49	10	2	3	.13
全機器	—	3,000	2,550	450	52	78	.10

(*) この表では共通原因故障は従属故障の一部としている。

(**) 潜在的共通原因故障とは、機能の低下あるいは放置しておくで故障に到る場合。

9.4 GO-FLOW手法における共通原因故障の取り扱い⁵¹⁾

解析対象のシステムにおいては、一般に複数の共通原因が存在し、更に特定の故障原因に対しても故障が同時に発生する機器の組み合わせに種々の可能性が存在する。この様子をモデル化して示したのが図-22である。この図においては故障の原因としてC₁とC₂の2種類が存在する。システムはA~Nの機器によりネットワーク的に構成されている。それぞれの故障原因が影響を及ぼす機器が円で囲まれている。これらが共通原因故障機器群である。必ずしも機器群の中の全ての機器が同時に故障するわけではなく、種々の組み合わせが起こり得る。図の場合、故障原因C₁により機器B、G、Lが、故障原因C₂により機器G、H、Iが故障している状況となっている。

複数の故障原因を同時に組み入れて解析を進めると組み合わせ数は膨大なものとなる一方複数の原因による故障が同時に発生することによるシステムの信頼度への影響は小であることから、単一の故障原因が存在する場合の寄与を個々に計算し加え合わせる方式をここでは採用した。

共通原因故障が事象A、Bに起こる場合について考察してみよう。システム全体の故障発生T(A, B)は、一般的に次のブール代数式で表せられる。

$T(A, B) = \{A \cdot E + B \cdot F + A \cdot B \cdot G\} \cdot H + K$
 ここでE~Kは、A、B以外の基本事象より構成される任意のブール代数の項である。

基本事象A、Bを共通原因故障C_{AB}と独立故障A_i、B_iの和に分解する。

$$A = A_i + C_{AB} \dots\dots\dots (22)$$

$$B = B_i + C_{AB} \dots\dots\dots (23)$$

これを上式に代入すると、

$$T(A, B) = \{(A_i + C_{AB}) \cdot E + (B_i + C_{AB}) \cdot F + (A_i + C_{AB}) \cdot (B_i + C_{AB}) \cdot G\} \cdot H + K$$

$$= T(A_i, B_i) + C_{AB} \cdot \{E + F + G\} \cdot H \dots\dots\dots (24)$$

となる。ここで、T(A_i, B_i)は事象A、Bを独立故障でおきかえた時のシステムの故障発生を表す。

この式を発生確率値に変換すると、

$$P\{T(A, B)\} = P\{T(A_i, B_i)\} + P\{C_{AB}\} \cdot [P\{T(1,1)\} - P\{T(0,0)\}] \dots\dots (25)$$

となる。第1項は独立故障からの寄与で、第2項は共通原因故障からの寄与である。ここで、P{T(1,1)}、P{T(0,0)}はそれぞれ事象A、Bが発生する確率を1.0及び0.0とした場合のシステムの故障発生確率である。

一般に、複数の故障原因を考え、共通原因故障の発生する機器数も2以上の場合の一般式は次の様になる。

$$P\{T(A, B, \dots)\} = P\{T(A_i, B_i, \dots)\} + \sum_{C_j} \sum_{m=2}^N \sum_m P\{C_{jm}\} \cdot [P\{T(1,1,\dots)\} - P\{T(0,0,\dots)\}] \dots (26)$$

ここで、和は共通原因故障の種類C_j、同時に故障する機器数m、故障するm個の機器の全ての可能な組み合わせについて実施する。独立故障からの寄与分と各々の共通原因故障からの寄与分を計算して加え合わせる式となっている。

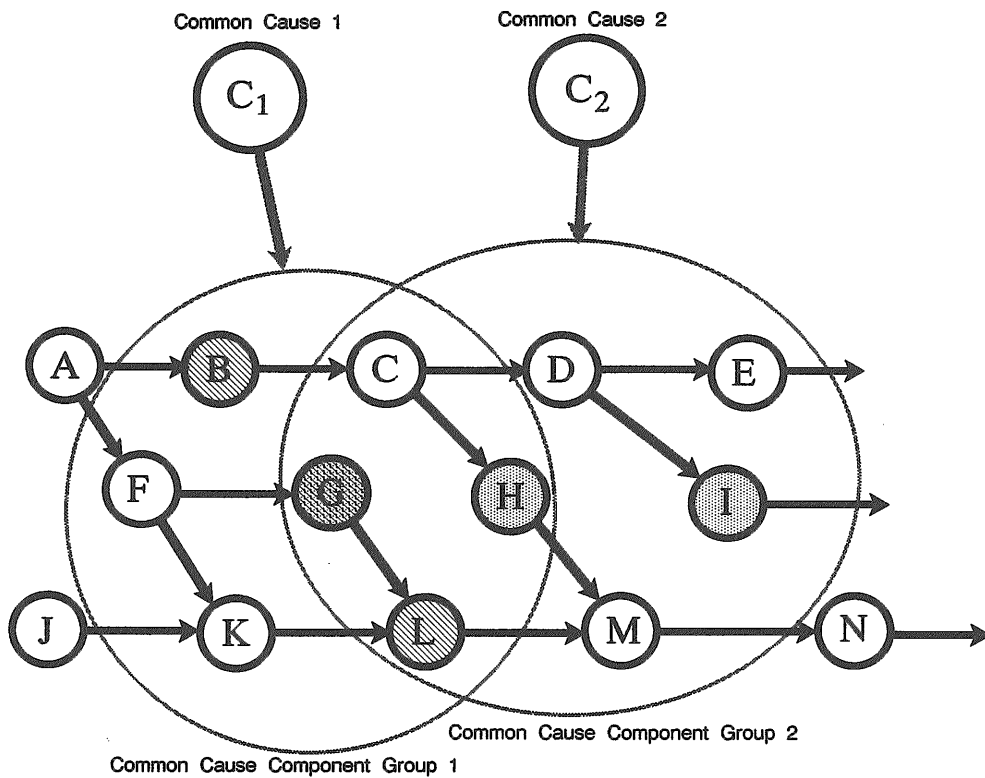


図-22 共通原因の機器への作用モデル

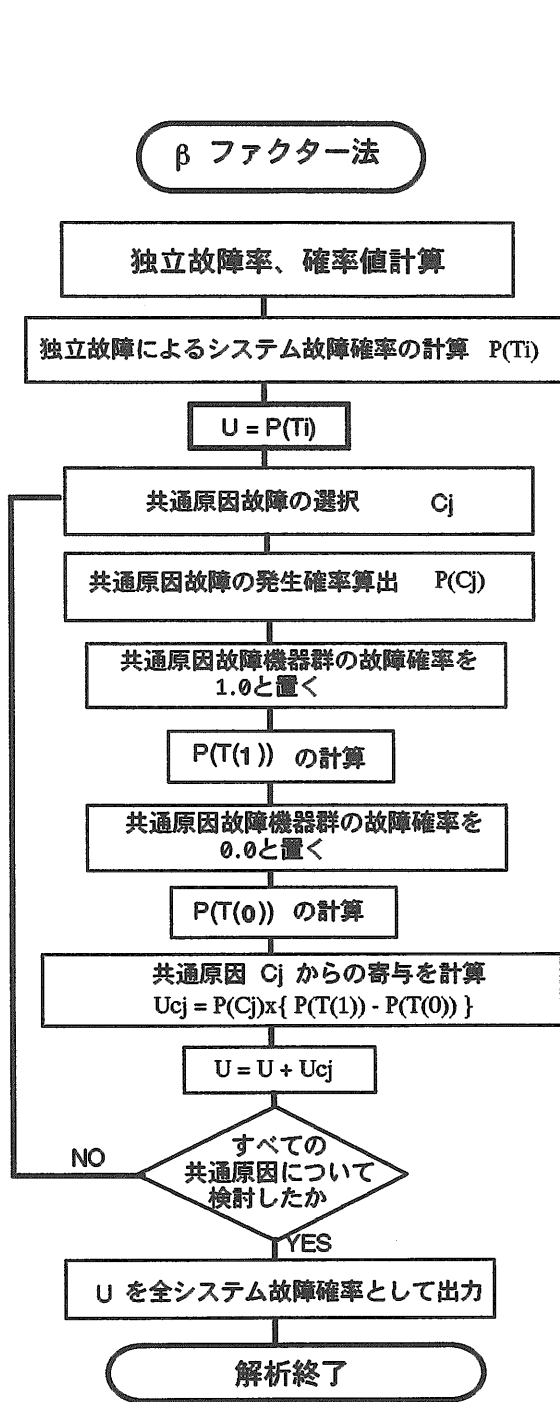


図-23 共通原因故障解析手順 (βファクター法)

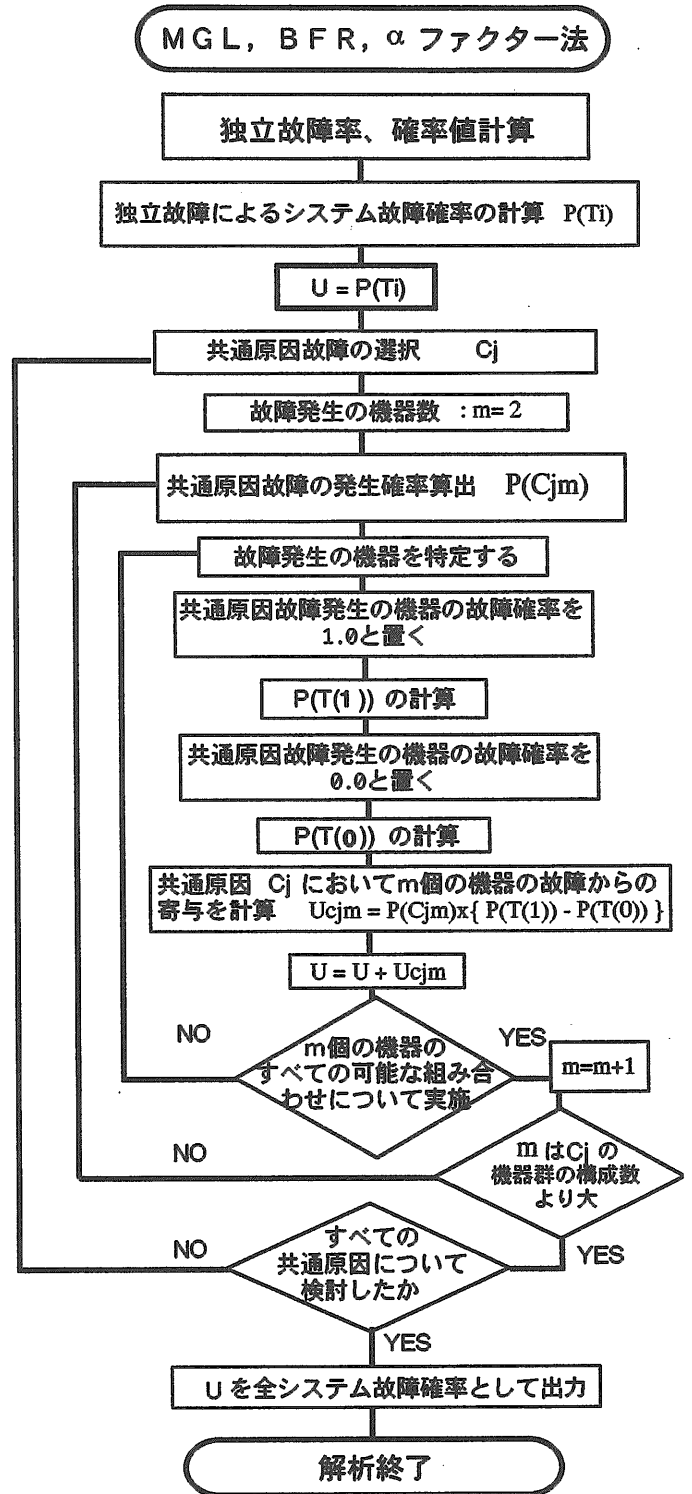


図-24 共通原因故障解析手順 (αファクター法、MGL法、BFR法)

9.5 解析プログラムにおける共通原因故障解析方法

上記パラメトリックなモデル4種類を直接的にGO-FLOW解析で取り扱える機能を開発した。解析対象とする系における共通原因故障機器群、故障モデル、関連パラメータ値を与えるだけで、従来のGO-FLOW解析に引き続き共通原因故障解析が実施される。

なお、共通原因故障解析を考慮せずに作成した従来のGO-FLOWチャートがそのまま解析に使用できる。

現在の所、共通原因故障機器群としては2群まで、同一機器群内においては最大6個の機器まで指定できる。解析手順のフロー・チャートを図-23、24に示す。 β ファクタ法においては、群内の全ての機器が同時に故障するので、解析手順はやや単純となっている。その他の方法は、群内において故障する機器数、組み合わせを変えて繰り返し計算を実施するのでやや複雑な手順である。

共通原因故障解析のための入力データは、GO-FLOW基本解析用の入力データ(拡張子.gfd)とは別のファイルとして用意しておく(拡張子.ccf)。入力データの構成は以下のようにしている。

- ①共通原因故障解析を実施するか否かの指標 (I5, "1" で実施、それ以外は実施せず。)
- ②共通原因故障機器群数 (I5)
- ③モデル化手法選択 (I5, "1": β ファクタ法 "2": BFR法, "3": α ファクタ法 "4": MGL法)
- ④パラメータ値 (F10.0: 各手法におけるパラメータ値の与え方は次節で説明)
- ⑤同一機器群に属するオペレータ番号 (nI5)

共通原因故障機器群が2群ある場合は、各群毎に④~⑤のデータをセットとして与える。

9.5.1 各オペレータにおける故障率等の取り扱い

以下に、各パラメトリック・モデル毎にGO-FLOW解析プログラム内で実施している故障率、故障確率、動作確率等の取り扱い方を説明する。これらの故障率等の置き換えは、パラメータ値が与えられるとプログラム内で自動的に行われる。

(1) β ファクタ法: β 値を与える。

タイプ21、26、27のオペレータの場合は共通原因故障の発生確率をインプット・データにより与えられた β 値を基に、

$$P(C_{ccf}) = \beta \times P_i \dots\dots\dots (27)$$

とする。それ故独立故障の寄与分 $P\{T(A_i, B_i, \dots)\}$ を計算する時のオペレータのパラメータ値は

$$P'_i = (1.0 - \beta) \times P_i \dots\dots\dots (28)$$

$$P'_g = 1.0 - P'_i \dots\dots\dots (29)$$

とし、 $P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時のパラメータ値は

$$P'_i = 1.0 \dots\dots\dots (30)$$

$$P'_g = 0.0 \dots\dots\dots (31)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算するときのパラメータ値は

$$P'_i = 0.0 \dots\dots\dots (32)$$

$$P'_g = 1.0 \dots\dots\dots (33)$$

(304)

と置き替えている。

タイプ35、37、38のオペレータの場合は故障率が与えられているので、共通原因故障発生率を

$$\lambda_{ccf} = \beta \times \lambda \dots\dots\dots (34)$$

独立故障発生率を

$$\lambda' = (1.0 - \beta) \times \lambda \dots\dots\dots (35)$$

とする。また、 $P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = 0.0 \text{ (タイプ35、37オペレータ)} \dots\dots\dots (36)$$

$$R(t) = S(t) \text{ (タイプ38オペレータ)} \dots\dots\dots (37)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = S(t) \text{ (タイプ35、37オペレータ)} \dots\dots\dots (38)$$

$$R(t) = 0.0 \text{ (タイプ38オペレータ)} \dots\dots\dots (39)$$

と取り扱っている。

タイプ39オペレータは弁の開閉をモデル化しており開動作成功確率 P_o と閉動作成功確率 P_c の2種類の確率がパラメータ値として与えられている。それ故、 β 値もそれぞれに対応した、 β_o 、 β_c の2種類を与える。共通原因故障発生確率はそれぞれ

$$P(C_o) = \beta_o \times (1.0 - P_o) \dots\dots\dots (40)$$

$$P(C_c) = \beta_c \times (1.0 - P_c) \dots\dots\dots (41)$$

とし、独立故障を計算する時は

$$P'_o = P_o + \beta_o \times (1.0 - P_o) \dots\dots\dots (42)$$

$$P'_c = P_c + \beta_c \times (1.0 - P_c) \dots\dots\dots (43)$$

とする。共通原因故障からの寄与分は、 P_o 、 P_c それぞれについて計算し、次式の様に加え合わせる。

$$P(C_o) \times (P\{T_o(1, 1, \dots)\} - P\{T_o(0, 0, \dots)\}) + P(C_c) \times (P\{T_c(1, 1, \dots)\} - P\{T_c(0, 0, \dots)\}) \dots\dots (44)$$

ここで、 $P\{T_o(1, 1, \dots)\}$ は対象とする機器の開操作が確率1.0で失敗する場合のシステム全体の故障確率を意味する。他も同様の意味を持つ。

(2) MGL法: $\rho_2 (= \beta)$ 、 $\rho_3 (= \gamma)$ 、 $\rho_4 (= \delta)$ 、 \dots の値を与える。

タイプ21、26、27のオペレータの場合はk個の機器が共通原因により同時に故障する確率をインプット・データにより与えられた ρ_i 値を基に、

$$P(C_k) = \frac{1}{mC_{k-1}} \prod_{i=1}^k \rho_i (1 - \rho_{k+1}) \times P_i \dots\dots\dots (45)$$

と求める。また、故独立故障の寄与分 $P\{T(A_i, B_i, \dots)\}$ を計算する時のオペレータのパラメータ値は

$$P'_i = (1.0 - \rho_2) \times P_i \dots\dots\dots (46)$$

$$P'_g = 1.0 - P'_i \dots\dots\dots (47)$$

とし、 $P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時のパラメータ値は

$$P'_i = 1.0 \dots\dots\dots (48)$$

$$P'_g = 0.0 \dots\dots\dots (49)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算するときのパラメータ値は

$$P'_i = 0.0 \dots\dots\dots (50)$$

$$P'_g = 1.0 \dots\dots\dots (51)$$

と置き替えている。

タイプ35、37、38のオペレータの場合は故障率が与えら

れているので、 k 個の機器に共通に故障が発生する故障率を

$$\lambda_k = \frac{1}{mC_{k-1}} \prod_{i=1}^k \rho_i (1 - \rho_{k+1}) \times \lambda \quad \dots (52)$$

独立故障発生率を

$$\lambda' = (1 - \rho_2) \times \lambda \quad \dots (53)$$

とする。また、 $P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = 0.0 \quad (\text{タイプ35、37オペレータ}) \quad \dots (54)$$

$$R(t) = S(t) \quad (\text{タイプ38オペレータ}) \quad \dots (55)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = S(t) \quad (\text{タイプ35、37オペレータ}) \quad \dots (56)$$

$$R(t) = 0.0 \quad (\text{タイプ38オペレータ}) \quad \dots (57)$$

と取り扱っている。

タイプ39オペレータは弁の開閉をモデル化しており開動作成功確率 P_o と閉動作成功確率 P_c の2種類の確率がパラメータ値として与えられている。それ故、 ρ 値もそれぞれに対応した、 ρ_{ok} 、 ρ_{ck} の2種類を与える。 k 個の機器にそれぞれ開閉動作に関する共通原因故障が発生する確率はそれぞれ

$$P(C_{ok}) = \frac{1}{mC_{k-1}} \prod_{i=1}^k \rho_{oi} (1 - \rho_{ok+1}) \times (1.0 - P_o) \quad \dots (58)$$

$$P(C_{ck}) = \frac{1}{mC_{k-1}} \prod_{i=1}^k \rho_{ci} (1 - \rho_{ck+1}) \times (1.0 - P_c) \quad \dots (59)$$

とし、独立故障を計算する時は

$$P'_o = P_o + (1 - \rho_{o2}) \times (1.0 - P_o) \quad \dots (60)$$

$$P'_c = P_c + (1 - \rho_{c2}) \times (1.0 - P_c) \quad \dots (61)$$

とする。共通原因故障からの寄与分は、 P_o 、 P_c それぞれについて計算し、次式の様に加え合わせる。

$$P(C_o) \times (P\{T_o(1, 1, \dots)\} - P\{T_o(0, 0, \dots)\}) + P(C_c) \times (P\{T_c(1, 1, \dots)\} - P\{T_c(0, 0, \dots)\}) \quad \dots (62)$$

ここで、 $P\{T_o(1, 1, \dots)\}$ は対象とする機器の開操作が確率1.0で失敗する場合のシステム全体の故障確率を意味する。他も同様の意味を持つ。

(3) α ファクター法： α_k 値を与える。

タイプ21、26、27のオペレータの場合は k 個の機器が共通原因により同時に故障する確率をインプット・データにより与えられた α_k 値を基に、

$$P(C_k) = \frac{k \cdot \alpha_k}{m-1C_{k-1} \cdot \alpha_t} \times P_t \quad \dots (63)$$

と求める。ただし、 $\alpha_t = \sum k \cdot \alpha_{ko}$ また、故独立故障の寄与分 $P\{T(A_i, B_i, \dots)\}$ を計算する時のオペレータのパラメータ値は

$$P'_o = (\alpha_{o1} / \alpha_k) \times P_o \quad \dots (64)$$

$$P'_c = 1.0 - P'_o \quad \dots (65)$$

とし、 $P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時のパラメータ値は

$$P'_o = 1.0 \quad \dots (66)$$

$$P'_c = 0.0 \quad \dots (67)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算するときのパラメータ値は

$$P'_o = 0.0 \quad \dots (68)$$

$$P'_c = 1.0 \quad \dots (69)$$

と置き替えている。

タイプ35、37、38のオペレータの場合は故障率が与えられているので、 k 個の機器に共通に故障が発生する故障率を

$$\lambda_k = \frac{k \cdot \alpha_k}{m-1C_{k-1} \cdot \alpha_t} \times \lambda \quad \dots (70)$$

独立故障発生率を

$$\lambda' = (\alpha_{o1} / \alpha_k) \times \lambda \quad \dots (71)$$

とする。また、 $P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = 0.0 \quad (\text{タイプ35、37オペレータ}) \quad \dots (72)$$

$$R(t) = S(t) \quad (\text{タイプ38オペレータ}) \quad \dots (73)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = S(t) \quad (\text{タイプ35、37オペレータ}) \quad \dots (74)$$

$$R(t) = 0.0 \quad (\text{タイプ38オペレータ}) \quad \dots (75)$$

と取り扱っている。

タイプ39オペレータは弁の開閉をモデル化しており開動作成功確率 P_o と閉動作成功確率 P_c の2種類の確率がパラメータ値として与えられている。それ故、 α 値もそれぞれに対応した、 α_{ok} 、 α_{ck} の2種類を与える。 k 個の機器にそれぞれ開閉動作に関する共通原因故障が発生する確率はそれぞれ

$$P(C_{ok}) = \frac{k \cdot \alpha_{ok}}{m-1C_{k-1} \cdot \alpha_{ot}} \times (1.0 - P_o) \quad \dots (76)$$

$$P(C_{ck}) = \frac{k \cdot \alpha_{ck}}{m-1C_{k-1} \cdot \alpha_{ct}} \times (1.0 - P_c) \quad \dots (77)$$

とし、独立故障を計算する時は

$$P'_o = P_o + (\alpha_{o1} / \alpha_k) \times (1.0 - P_o) \quad \dots (78)$$

$$P'_c = P_c + (\alpha_{c1} / \alpha_k) \times (1.0 - P_c) \quad \dots (79)$$

とする。共通原因故障からの寄与分は、 P_o 、 P_c それぞれについて計算し、次式の様に加え合わせる。

$$P(C_o) \times (P\{T_o(1, 1, \dots)\} - P\{T_o(0, 0, \dots)\}) + P(C_c) \times (P\{T_c(1, 1, \dots)\} - P\{T_c(0, 0, \dots)\}) \quad \dots (80)$$

ここで、 $P\{T_o(1, 1, \dots)\}$ は対象とする機器の開操作が確率1.0で失敗する場合のシステム全体の故障確率を意味する。他も同様の意味を持つ。

(4) BFR法： μ 、 P 、 ω 、 T_c (故障原因が作用するタイム・ポイント値) の値を与える。

タイプ21、26、27のオペレータの場合は特定の k 個の機器に共通原因故障が発生する確率をインプット・データにより与えられた値を基に、

$$P(C_k) = \mu \times P^k \times (1 - P)^{m-k}; \quad k = 2 \sim m-1 \quad \dots (81)$$

$$P(C_m) = \mu \times P^m + \omega \quad \dots (82)$$

とする。独立故障の寄与分 $P\{T(A_i, B_i, \dots)\}$ を計算する時のオペレータのパラメータ値は

$$P'_i = P_i + \mu \times P \times (1 - P)^{m-1}, \dots \dots \dots (83)$$

$$P'_g = 1.0 - P'_i \dots \dots \dots (84)$$

とする。このモデルでは他のモデルと異なり、共通原因による故障が元々の故障確率に付加するとして取り扱っている。

$P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時のパラメータ値は

$$P'_i = 1.0 \dots \dots \dots (85)$$

$$P'_g = 0.0 \dots \dots \dots (86)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算するときのパラメータ値は

$$P'_i = 0.0 \dots \dots \dots (87)$$

$$P'_g = 1.0 \dots \dots \dots (88)$$

と置き替えている。

タイプ35、37、38のオペレータの場合故障率が与えられているが、k個の機器に共通原因により故障が発生する確率を機器の故障率 λ とは別に

$$P(C_k) = \mu \times P^k \times (1 - P)^{m-k}; \quad k=2 \sim m-1 \dots (89)$$

$$P(C_m) = \mu \times P_m + \omega \dots \dots \dots (90)$$

とする。独立故障発生率は、本来の故障率 λ をそのまま用いる。

$$\lambda' = \lambda \dots \dots \dots (91)$$

また、 $P\{T(1, 1, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = 0.0 \quad (\text{タイプ35、37オペレータ}) \dots \dots \dots (92)$$

$$R(t) = S(t) \quad (\text{タイプ38オペレータ}) \dots \dots \dots (93)$$

$P\{T(0, 0, \dots)\}$ を計算する時は

$$R(t) = S(t) \quad (\text{タイプ35、37オペレータ}) \dots \dots \dots (94)$$

$$R(t) = 0.0 \quad (\text{タイプ38オペレータ}) \dots \dots \dots (95)$$

とする取り扱いを故障原因が作用する時刻であるタイム・ポイント T_c 以降のみに適用する。

タイプ39オペレータは弁の開閉をモデル化しており開動作成功確率 P_o と閉動作成功確率 P_c の2種類の確率がパラメータ値として与えられている。それ故、 μ 、 P 、 ω 値もそれぞれに対応した、 (μ_o, P_o, ω_o) 、 (μ_c, P_c, ω_c) の2種類を与える。k個の機器にそれぞれ開閉動作に関する共通原因故障が発生する確率はそれぞれ

$$P(C_{ok}) = \mu_o \times P_o^k \times (1 - P_o)^{m-k}; \quad k=2 \sim m-1 \dots (96)$$

$$P(C_{om}) = \mu_o \times P_o^m + \omega \dots \dots \dots (97)$$

$$P(C_{ck}) = \mu_c \times P_c^k \times (1 - P_c)^{m-k}; \quad k=2 \sim m-1 \dots (98)$$

$$P(C_{cm}) = \mu_c \times P_c^m + \omega \dots \dots \dots (99)$$

とし、独立故障を計算する時は

$$P'_i = \mu_o \times P_o \times (1 - P_o)^{m-1} \dots \dots \dots (100)$$

$$P'_i = \mu_c \times P_c \times (1 - P_c)^{m-1} \dots \dots \dots (101)$$

とする。共通原因故障からの寄与分は、 P_o 、 P_c それぞれについて計算し、次式の様に加え合わせる。

$$P(C_o) \times (P\{T_o(1, 1, \dots)\} - P\{T_o(0, 0, \dots)\})$$

$$+ P(C_c) \times (P\{T_c(1, 1, \dots)\} - P\{T_c(0, 0, \dots)\}) \dots (102)$$

ここで、 $P\{T_o(1, 1, \dots)\}$ は対象とする機器の開操作が確率1.0で失敗する場合のシステム全体の故障確率を意味する。他も同様の意味を持つ。

9.6 解析実施例

図-25に示す加圧水型原子炉補助給水系 (FAWS) を取り上げて共通原因故障を考慮した解析を行い、GO-FLOW手法における共通原因故障の取り扱いの実際を見てみることにする。系には3台のポンプが備えられており、2台はそれぞれ個別の電動機により駆動される電動ポンプ、一台はタービン駆動ポンプである。電動ポンプは2基の蒸気発生器へ、タービン駆動ポンプは4基の蒸気発生器への給水が可能である。本給水系に要求される機能は最低2基の蒸気発生器に給水されることである。

タイム・ポイントとしては1~3を定義する。タイム・ポイント1は初期状態、タイム・ポイント2においてFAWS系の起動要求があり、タイム・ポイント3は運転開始後24時間後であるとした。このFAWS系をGO-FLOWチャートに表現すると図-26の様になる。

共通原因故障モデルとしてはMGL法を選定し、共通原因故障機器群としては、3台の電動およびタービン駆動ポンプの起動失敗、と2台の電動機の起動失敗を取り上げた。

図-26におけるオペレータでは(8, 10, 14)と(4, 12)の2組が対応している。パラメータ値としてはポンプの起動失敗については $\beta=0.697$ 、 $\gamma=0.304$ を、電動機の起動

失敗については $\beta=0.390$ を与えた。電動機については共通原因故障機器群の機器数が2個であるためパラメータ値は β 値のみで良い。

解析のための入力データは図-27、28の様になる。図-27は通常のGO-FLOW解析に用いられる入力データ(*.gfd)で、図-28が共通原因故障解析のためのデータ(*.ccf)である。図-28の一行目の"1"は共通原因故障解析を実施するという指標。2行目"2"は共通原因故障機器群の数、3行目の"4"はMGL法を選択するという意味。4~6行目は第1群についての情報。4行目は β 、 γ の値で5行目の0.0、0.0はタイプ39の時必要となる β_c 、 γ_c の値でこの例では対象外。6行目は対象とするオペレータ群の番号である。次の7~9行目は第2群についての情報である。

解析の最終結果の出力は図-29の様になる。従来のGO-FLOW解析結果が表形式出力中の第1行目に、独立故障からの寄与が第二行に記されている。第3行目からは同時に故障する機器の組み合わせ毎にシステム全体への故障確率の寄与が書かれている。最後に共通原因故障を全て考慮した結果が出ている。

本解析条件の場合3台のポンプの同時故障が全システムの失敗確率を支配していることがわかる。

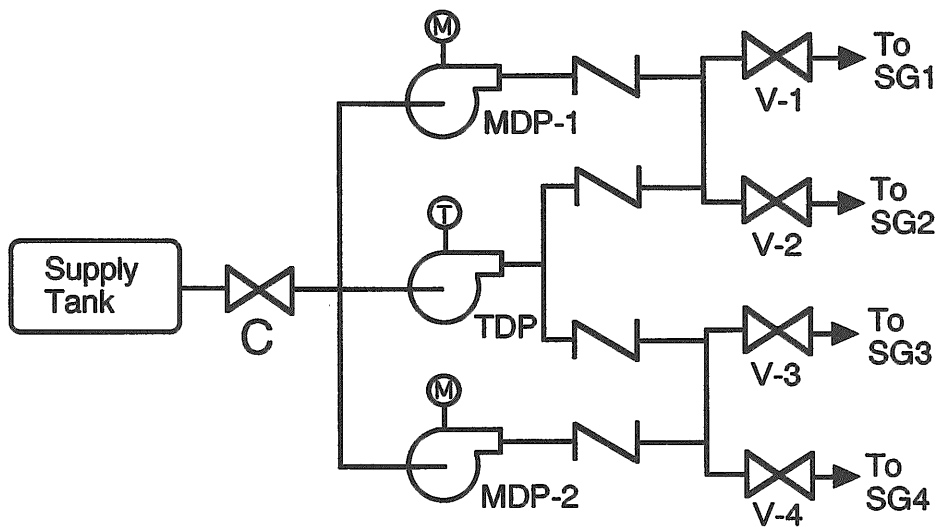
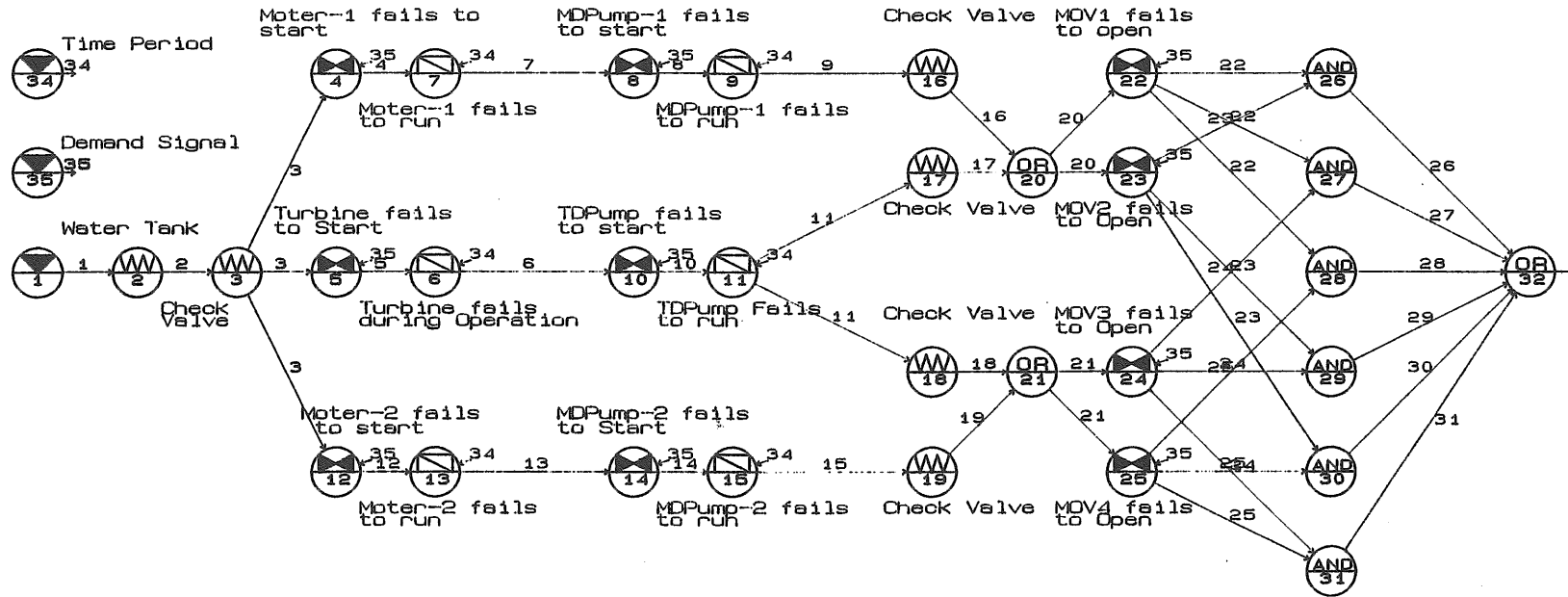


図-25 加圧水型原子炉補助給水系 (PWR-FAWS)



RELIABILITY ANALYSIS OF PWR-AFWS
 Fri Feb 03 16:29:54 1995 D: AFWS-0.DAT

図-26 FAWSのGO-FLOWチャート

RELIABILITY ANALYSIS OF PWR-AFWS(FOR CCF)

1	25	0	1							
2	21	2	2	1	1					
3	21	1	3	1	2					
4	26	3	4	1	3	1	35			
5	26	1	5	1	3	1	35			
6	35	2	6	1	5	1	34			
7	35	1	7	1	4	1	34			
8	26	3	8	1	7	1	35			
9	35	1	9	1	8	1	34			
10	26	3	10	1	6	1	35			
11	35	1	11	1	10	1	34			
12	26	3	12	1	3	1	35			
13	35	1	13	1	12	1	34			
14	26	3	14	1	13	1	35			
15	35	1	15	1	14	1	34			
16	21	1	16	1	9					
17	21	1	17	1	11					
18	21	1	18	1	11					
19	21	1	19	1	15					
20	22	0	20	2	17	16				
21	22	0	21	2	19	18				
22	26	2	22	1	20	1	35			
23	26	2	23	1	20	1	35			
24	26	2	24	1	21	1	35			
25	26	2	25	1	21	1	35			
26	30	0	26	2	23	22				
27	30	0	27	2	24	22				
28	30	0	28	2	22	25				
29	30	0	29	2	23	24				
30	30	0	30	2	25	23				
31	30	0	31	2	25	24				
32	22	0	32	6	26	27	28	29	30	31
34	25	0	34							
35	25	0	35							
0										
21	1	0.999996				0				0
21	2	0.999998				0				0
26	1	0				0.9685				0
26	2	0				0.9957				0
26	3	0				0.99835				0
35	1	1.71E-05				0				0
35	2	0.00101				0				0
0										
3										
1	INITIAL STATE									
2	OPERATION STARTS									
3	24 HOURS AFTER									
1										
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00								
34										
0.000E+00	0.000E+00	2.400E+01								
35										
0.000E+00	1.000E+00	0.000E+00								
0										
21	32									

共通原因故障解析実施の指標

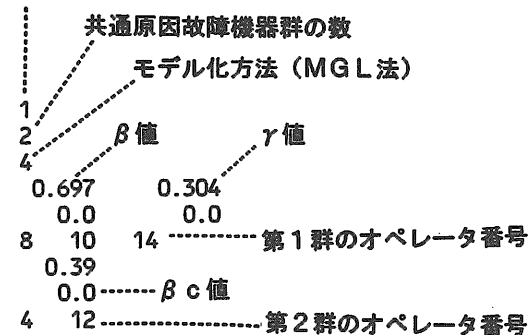


図-28 GO-FLOW解析入力データ
(FAWS、共通原因故障解析用*.ccf)

図-27 GO-FLOW解析入力データ
(FAWS、基本解析用*.gfd)

```

-----(( MGL METHOD ))-----

FINAL SIGNAL NUMBER
  32

COMMON CAUSE COMPONENT GROUPS & PARAMETER VALUES
( 8 10 14)   ROU11=1.000 ROU12= .697 ROU13= .304 ROU14= .000 ROU15= .000 ROU16= .000 ROU17= .000
              ROU21=1.000 ROU22= .000 ROU23= .000 ROU24= .000 ROU25= .000 ROU26= .000 ROU27= .000
( 4 12)      ROU11=1.000 ROU12= .390 ROU13= .000 ROU14= .000 ROU15= .000 ROU16= .000 ROU17= .000
              ROU21=1.000 ROU22= .000 ROU23= .000 ROU24= .000 ROU25= .000 ROU26= .000 ROU27= .000

ANALYSIS CONDITION          TIME POINTS
/COMPONENTS                 1           2           3
-----
ORDINARY ANALYSIS          1.00000E+00  8.24985E-06  1.09687E-05
-----
INDEPENDENT                1.00000E+00  6.84896E-06  8.53709E-06
  8,   10,   14,          .00000E+00  3.49608E-04  3.49607E-04
 10,   14,                .00000E+00  4.03329E-06  4.35772E-06
  8,   14,                .00000E+00  1.28002E-05  2.22326E-05
  8,   10,                .00000E+00  4.03329E-06  4.35772E-06
  4,   12,                .00000E+00  2.05814E-05  3.57477E-05
-----
TOTAL                      1.00000E+00  3.97905E-04  4.24840E-04
-----

-----
----- TOTAL ELAPSE TIME = 24.00000 SEC -----
-----

```

図-29 解析結果出力リスト (共通原因故障解析、最終結果部分)

10. 不確実さ解析機能

システムの信頼度には、構成機器の故障発生が本来ランダムな現象であることに起因する不確実さ幅が存在する。この不確実さ解析をGO-FLOW解析プログラムにおいて実施する機能を整備した⁵²⁾。

各構成機器の故障発生確率が一定の分布型に従うとして、分布型に従った故障発生確率値を乱数により与える。この様にしてランダムに選ばれた各構成機器の故障発生確率値の組み合わせについてシステムの故障発生確率を求め、これを多数回繰り返して、システム全体の故障発生の分布を求めるのが、いわゆるモンテカルロ法である。

GO-FLOW手法における不確実さ解析もモンテカルロ法を用いている。解析手順は図-30に示す様に二段階となっている。第一段階で従来のGO-FLOW解析と同等の解析を実施し、不確実さ解析の対象として選定した信号線につい

てミニマル・カット・セット (MCS) を求め中間ファイルに出力する。この段階では不確実さ解析を考慮せずに作成した従来のGO-FLOWチャートがそのまま使用できる。第二段階で、中間ファイルのMCS、信号線強度を基に、ユーザーの用意した不確実さ解析データを使用してモンテカルロ計算を実施する。

中間ファイルへはMCSを書き出すため、本来GO-FLOW手法では成功確率で解析を進めているが、この段階では故障確率表示に変換し故障事象の積によりMCSを記述している。

第二段階におけるより詳細な解析の流れを図-31に示す。

解析結果としては、解析条件、メディアン値、平均値、90%信頼度幅、標準偏差、エラー・ファクター、累積確率分布、確率密度分布が、各々の信号線、タイム・ポイント毎に得られる。

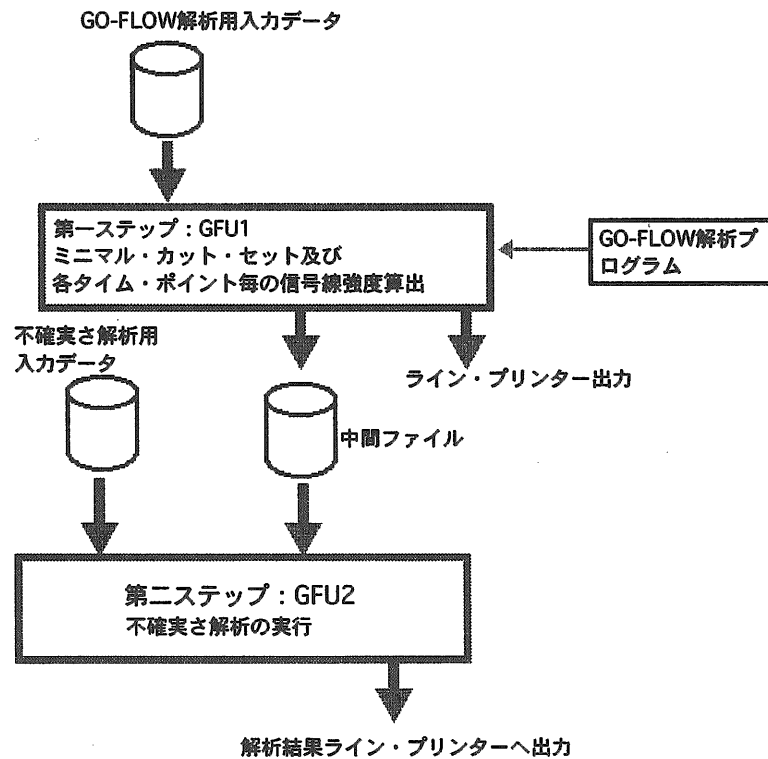


図-30 GO-FLOWにおける不確実さ解析実施手順

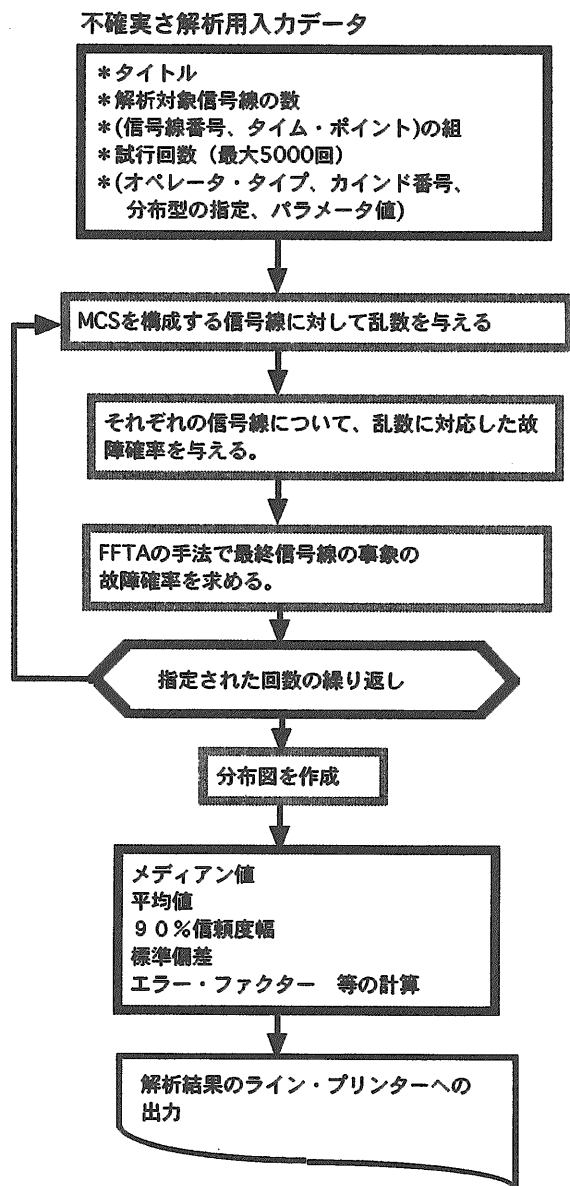


図-31 不確実さ解析第二段階実施手順

10.1 故障確率の分布型

乱数を用いて各機器に故障確率値を割り振るために用意した分布型は、正規分布、対数正規分布、一様分布、対数一様分布、ガンマ分布、二項分布、ワイブル分布、ベータ分布、ヒストグラム分布である。

以下、各分布型について乱数から分布型に従う故障率を求める方法の概略および必要とするパラメータ値について説明する。

(1) 正規分布：平均値 μ 、標準偏差 σ

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots (103)$$

[0.0-1.0] の間での一様乱数の値を12個求め和を取る。

(312)

この値が中心極限定理により平均値6.0の規格化された正規分布に従っている。入力パラメータの μ 、 σ を基に求める正規分布に従う値を得る。

(2) 対数正規分布：メディアン値 μ 、エラーファクター EF

$$f(X) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log x - \log \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (104)$$

(1) と同様にして $\log(\mu)$ を平均値、 $\log(EF) / 1.64$ を分散とする正規分布に従う値 X を求めると、 e^x が対数正規分布に従う値となる。

(3) ガンマ分布： α

$$f(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-t}}{\Gamma(\alpha)} \dots\dots\dots (105)$$

平均して単位時間に1回起こる独立な事象がある時刻から観測した時、ちょうど α 個目の事象が起こるまでの時間 t がガンマ分布に従っている。そこで、この分布においては他の分布型とやや異なる取り扱いをしている。乱数により求めた t の値は故障率の逆数に比例するため平均値 $t_m (= \alpha)$ との比 (t_m/t) を元の故障確率 (故障率) に乗じて乱数に対応した故障確率 (故障率) を求める。

(4) 二項分布：確率値 p 、試行回数 n

$$f(r) = {}_n C_r \cdot p^r \cdot (1-p)^{n-r} \dots\dots\dots (106)$$

n 回の試行において [0.0-1.0] 間での一様乱数が確率値 p より小となる回数 r を求めると上式の分布型に従っている。

(5) ベータ分布： α 、 β

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \cdot \Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} \cdot (1-x)^{\beta-1} \dots\dots\dots (107)$$

この分布は上下限のある分布を表すのに便利である。一様乱数 rnd からこの分布型に従う乱数値 x は次の方法により求める。

$$A = rnd^{1/\alpha}, B = rnd^{1/\beta}$$

より求めた A 、 B の和 $A+B$ が 1.0 より小の場合に

$$x = A / (A+B) \dots\dots\dots (108)$$

とする。

(6) ワイブル分布： m 、 η 、 γ

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m\right), (\gamma \leq t < \infty) \dots (109)$$

ワイブル分布は機器の故障が発生する時刻 t の分布を表現するために用いられている。この分布においてもガンマ分布と同様の取り扱いをする。乱数により求めた t の値は故障発生までの時間と解釈されるため平均値 t_m との比 (t_m/t) を元の故障確率 (故障率) に乗じて乱数に対応した故障確率 (故障率) を求める。

累積確率分布関数 $F(t)$ は

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left((t-\gamma)/\eta\right)^m\right\} = r \dots\dots\dots (110)$$

となり、この逆関数は

$$t = F^{-1}(r) = \gamma \{-\log(1-r)\}^{1/\gamma} + \gamma \dots\dots\dots (111)$$

と求まる。rが[0.0-1.0]の間での一様乱数であればtはワイブル分布に従う乱数となる。さらに、(1-r)も[0.0-1.0]の間での一様乱数であるので、

$$t = F^{-1}(1-r) = \gamma \{-\log(r)\}^{1/\gamma} + \gamma \dots\dots\dots (112)$$

と、より簡単な式よりワイブル分布に従う乱数tが求まる。

(7) 一様分布：上限値、下限値

[0.0-1.0]の間での一様乱数の値を[下限値-上限値]間の乱数に変換する。

(8) 対数一様分布：メディアン値μ、分布幅EF

[0.0-1.0]の間での一様乱数の値を下限値(log(μ) - log(EF))、上限値(log(μ) + log(EF))間の乱数Xに変換すると、e^xが求める値となる。

(9) ヒストグラム分布：ID番号(ファイル参照用)

0.0~1.0の間を最大20区間までの範囲で分割し、各区間の累積確率値を与えたNAMELIST形式のデータ・ファイルを用意しておく。GO-FLOW不確実さ解析用の入力データを読み込むと同一のID番号を持ったヒストグラム・データが参照される。

図-32には、乱数及び分布型をもとにして各信号線に故障確率を割り当てる手順を示す。つまり、信号線の強度をI(t)とすると故障確率をF(t) = 1.0 - I(t)より求め、乱数をもとに割り当てる故障確率F'(t)をF'(t) = F(t)・Dにより計算する。その際、入力データでは与えられていない平均値あるいはメディアン値の算出は次の様にする。ガンマ分布：t_m = α、二項分布np、ベータ分布：α / (α + β)、ワイブル分布：t_m = γ + η (log_e 2)^{1/γ}、一様分布：(上限値+下限値) / 2、ヒストグラム分布：中央値を計数、対数一様分布：中央値を計数。

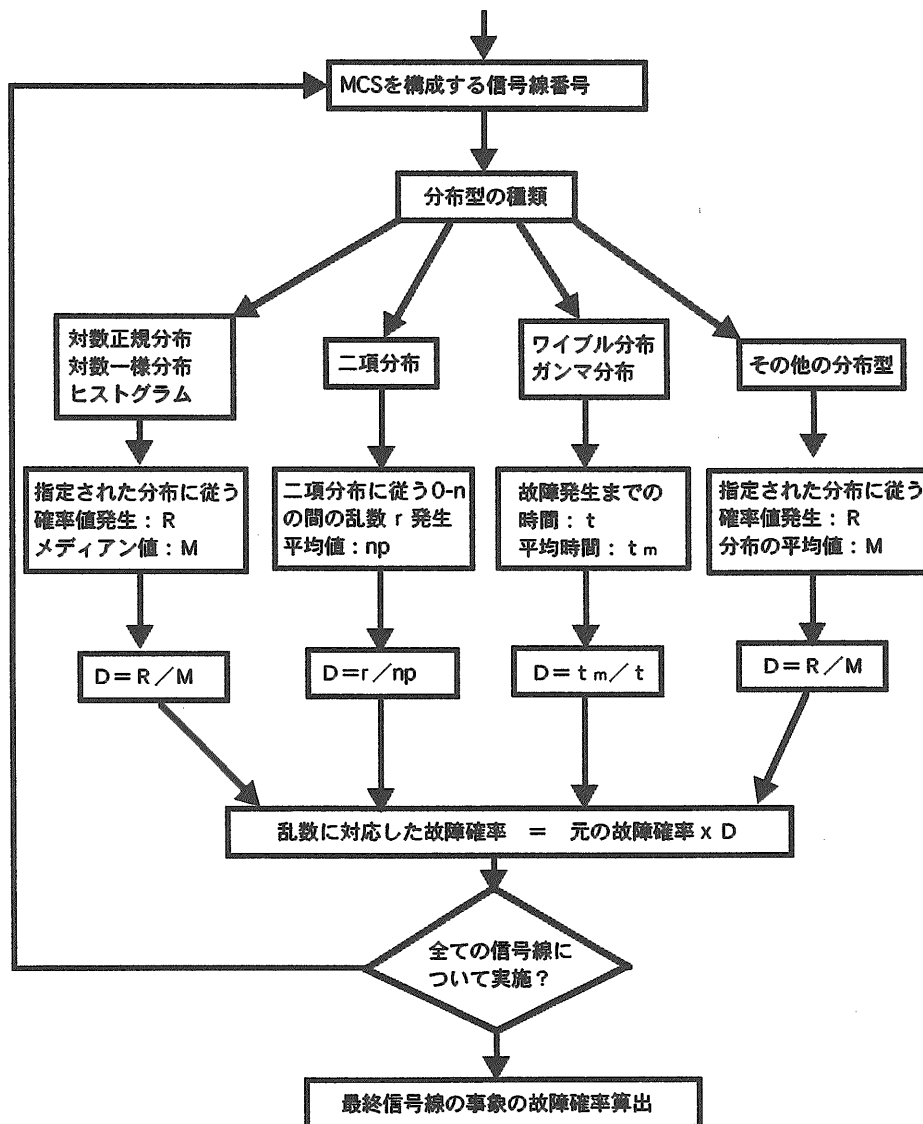


図-32 乱数による故障確率割り当て方法

10.2 解析実施例

解析実施対象として図-2に示すフォールト・ツリーを取り上げる。このフォールト・ツリーはもともとラスマッセン報告¹⁾の中に出てくるものであり、解析結果の検証が容易にできるために選定した。このフォールト・ツリーでは共通原因故障を明示的に取り扱っており、特にどの機器間の同時故障であるかは問題にしていない。

このフォールト・ツリーと等価になるGO-FLOWチャートを作成すると図-33となる。フォールト・ツリーを書き換えており、元となるシステムの系統図が特に存在するわけではない。フォールト・ツリー解析では、ある一時刻における故障発生確率しか得られないが、このGO-FLOWによる解析においてはタイム・ポイント4まで定義し、それぞれ初期状態(タイム・ポイント1)から1、2、10時間経過後とした。タイム・ポイント2における状態がフォールト・ツリー解析と一致する様に故障率を与えた。図-34、35に入力データを示す。図-34が通常のGO-FLOW解析のための入力データ(*.gfd)で、図-35が不確実さ解析のための入力データ(*.u)である。今の場合解析対象は最終信号線(22番)で試行回数は5000回、分布型は全ての基事象について対数正規分布を与えた。

図-36~41に信号線番号22タイム・ポイント2における

ライン・プリンターによる出力例を示す。図-36は解析条件でモンテカルロ計算におけるパラメータ値等が表形式で記述されている。図-37は解析結果の数値による記述で、各信号線、タイムポイント毎に、分布における最大値、最小値、平均値、分散、標準偏差、中央値、エラー・ファクター、5%下限値、95%上限値及び累積確率分布の表が与えられている。図-38は確率密度分布の通常スケールでの表示、図-39は確率密度分布の対数スケールでの表示、図-40は累積確率分布の通常スケールでの表示、図-41は累積確率分布の対数スケールでの表示例である。このタイム・ポイント2における解析結果はラスマッセン報告の結果と完全に一致していた。更に、標準で用意されている全ての分布型について解析を実施し妥当な結果が得られた⁵⁾。解析においてはオペレータ毎に異なった分布型を自由に組み合わせて割り当てる事も可能である。

不確実さ解析をGO-FLOW手法において実施する機能が整備され、GO-FLOWの特長を生かし時間経過に伴う不確実さ分布の推移の様子が容易に求められるようになった。また、フォールト・ツリーの頂上事象に対応した単一事象だけでなくシステム内の任意の位置における信頼度の不確実さ分布も同時に得ることができる。

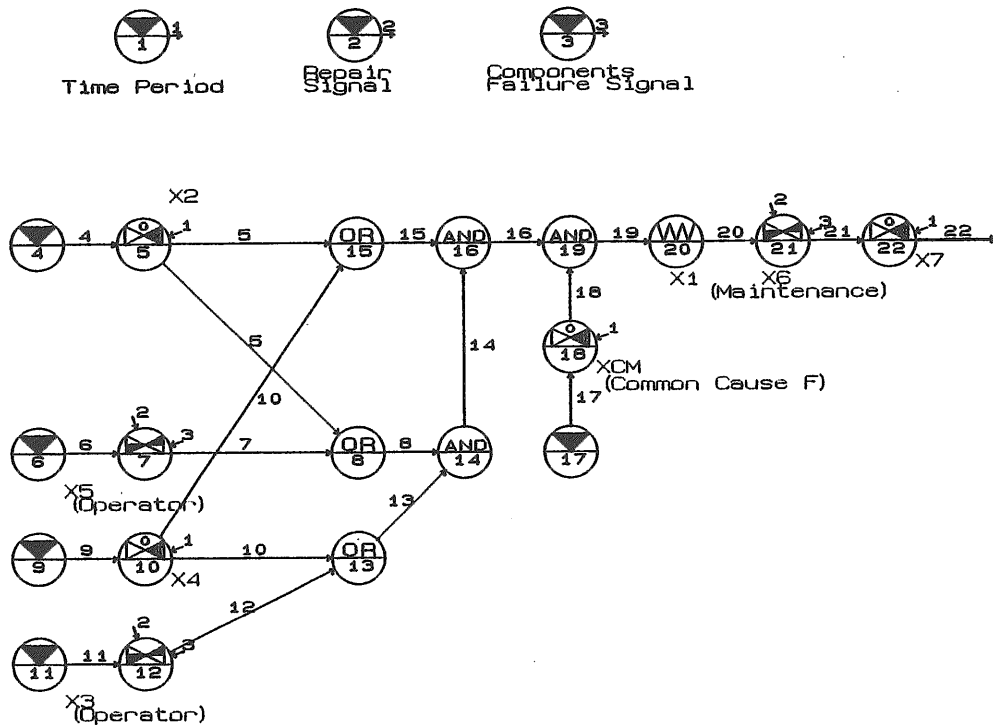


図-33 サンプル・フォールト・ツリーのGO-FLOWチャート

UNCERTAINTY ANALYSIS FOR SAMPLE-TREE (TEST1)

1	25	0	1					
2	25	0	2					
3	25	0	3					
4	25	0	4					
5	37	3	5	1	4	1	1	
6	25	0	6					
7	39	2	7	1	6	2	2	3
8	22	0	8	2	5	7		
9	25	0	9					
10	37	4	10	1	9	1	1	
11	25	0	11					
12	39	3	12	1	11	2	2	3
13	22	0	13	2	10	12		
14	30	0	14	2	13	8		
15	22	0	15	2	5	10		
16	30	0	16	2	15	14		
17	25	0	17					
18	37	2	18	1	17	1	1	
19	30	0	19	2	16	18		
20	21	1	20	1	19			
21	39	1	21	1	20	2	2	3
22	37	1	22	1	21	1	1	
23	21	2	23	1	22			
0								
21	1		0.999		0.0		0.0	
21	2		1.0		0.0		0.0	
37	1		0.000001		0.0		0.0	
37	2		0.001		0.0		0.0	
37	3		0.03046		0.0		0.0	
37	4		0.03046		0.0		0.0	
39	1		0.5		0.003		1.0	
39	2		0.7		0.01		1.0	
39	3		0.7		0.01		1.0	
0								
4								
1			INITIAL STATE					
2			1 HOUR AFTER					
3			2 HOURS AFTER					
4			10 HOURS AFTER					
1								
0.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	8.000E+00					
2								
0.000E+00	0.000E+00	1.000E+00	1.000E+00					
3								
0.000E+00	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00					
4								
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00					
6								
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00					
9								
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00					
11								
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00					
17								
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00					
0								
22								

図-34 GO-FLOW解析入力データ
(サンプル・フォールト・ツリー、基本解析用*.gfd)

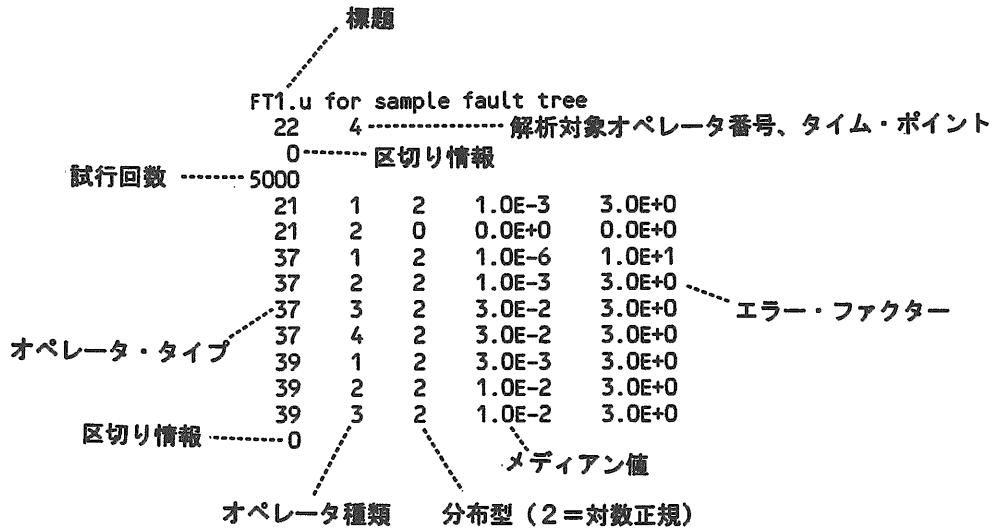


図-35 GO-FLOW解析入力データ
(サンプル・フォルト・ツリー、不確実さ解析用*.u)

```

*****
*
* << GFU2 >> GO-FLOW UNCERTAINTY ANALYSIS PROGRAM / SECOND STEP *
*
* --- FT1.u for sample fault tree --- *
* --- *
*
*****
    
```

==== ANALYSIS CONDITION =====

NUMBER OF TRIAL : 5000

D.T. : DISTRIBUTION TYPE
 1:NORMAL 2:LOGNORMAL 3:GAMMA
 4:BINOMINAL 5:BETA 6:WEIBULL
 7:UNIFORM 8:HISTGRAM 9:LOG-UNIF

NUMBER	TYPE	KIND	D.T.	ORIGINAL VALUE			DISTRIBUTION PARAMETER			MEAN(MEDIAN)
1	25	0	0							
2	25	0	0							
3	25	0	0							
4	25	0	0							
5	37	3	2	3.05E-02	.00E+00	.00E+00	3.00E-02	3.00E+00	.00E+00	3.00E-02
6	25	0	0							
7	39	2	2	7.00E-01	1.00E-02	1.00E+00	1.00E-02	3.00E+00	.00E+00	1.00E-02
8	22	0	0							
9	25	0	0							
10	37	4	2	3.05E-02	.00E+00	.00E+00	3.00E-02	3.00E+00	.00E+00	3.00E-02
11	25	0	0							
12	39	3	2	7.00E-01	1.00E-02	1.00E+00	1.00E-02	3.00E+00	.00E+00	1.00E-02
13	22	0	0							
14	30	0	0							
15	22	0	0							
16	30	0	0							
17	25	0	0							
18	37	2	2	1.00E-03	.00E+00	.00E+00	1.00E-03	3.00E+00	.00E+00	1.00E-03
19	30	0	0							
20	21	1	2	9.99E-01	.00E+00	.00E+00	1.00E-03	3.00E+00	.00E+00	1.00E-03
21	39	1	2	5.00E-01	3.00E-03	1.00E+00	3.00E-03	3.00E+00	.00E+00	3.00E-03
22	37	1	2	1.00E-06	.00E+00	.00E+00	1.00E-06	1.00E+01	.00E+00	1.00E-06
23	21	2	0	1.00E+00	.00E+00	.00E+00	.00E+00	.00E+00	.00E+00	.00E+00

図-36 不確実さ解析結果出力リスト (解析条件)

--- FT1.u for sample fault tree

SIGNAL NUMBER= 22, TIME POINT= 4, NUMBER OF MCS= 7

MINIMUM	= 7.45E-03	MD	= 8.51E-02
MAXMUM	= 1.00E+00	EF	= 3.58E+00
MEAN	= 1.15E-01	CL05%	= 2.38E-02
VARIANCE	= 1.09E-02	CL95%	= 3.05E-01
S.D.	= 1.04E-01		

CUMULATIVE PROBABILITY DENSITY.

5.0%	2.68E-02
10.0%	3.35E-02
15.0%	3.95E-02
20.0%	4.51E-02
25.0%	5.06E-02
30.0%	5.64E-02
35.0%	6.17E-02
40.0%	6.78E-02
45.0%	7.50E-02
50.0%	8.22E-02
55.0%	9.10E-02
60.0%	1.00E-01
65.0%	1.13E-01
70.0%	1.26E-01
75.0%	1.42E-01
80.0%	1.61E-01
85.0%	1.89E-01
90.0%	2.29E-01
95.0%	3.14E-01
100.0%	1.00E+00

図-37 不確実さ解析結果出力リスト
(解析結果、数値表現)

```

--- FT1.u for sample fault tree ---

SIGNAL NUMBER= 22, TIME POINT= 4, NUMBER OF MCS= 7

LINEAR SCALE : PROBABILITY DENSITY.
%
7.00E-03      1.9 *****
3.50E-02 *    21.8 *****
6.31E-02      22.7 *****
9.11E-02      15.5 *****
1.19E-01      10.3 *****
1.47E-01      7.6 *****
1.75E-01      5.1 *****
2.03E-01      3.7 *****
2.31E-01      2.8 *****
2.59E-01      1.7 *****
2.87E-01      1.1 *****
3.15E-01 *    1.1 *****
3.43E-01      .7 *****
3.71E-01      .7 *****
3.99E-01      .7 *****
4.27E-01      .4 *****
4.55E-01      .4 *****
4.83E-01      .3 *****
5.11E-01      .3 *****
5.39E-01      .1 *****
5.68E-01      .3 *****
5.96E-01      .1 *****
6.24E-01      .1 *****
6.52E-01      .1 *****
6.80E-01      .1 *****
7.08E-01      .1 *****
7.36E-01      .0 *****
7.64E-01      .0 *****
7.92E-01      .0 *****
8.20E-01      .0 *****
8.48E-01      .0 *****
8.76E-01      .0 *****
9.04E-01      .0 *****
9.32E-01      .0 *****
9.60E-01      .0 *****
9.88E-01      .1 *****
1.02E+00      .0 *****
1.04E+00      .0 *****
1.07E+00      .0 *****
1.10E+00      .0 *****

*:CLOS,CL95
    
```

図-38 不確かさ解析結果 (確率密度分布)

```

--- FT1.u for sample fault tree ---

SIGNAL NUMBER= 22, TIME POINT= 4, NUMBER OF MCS= 7

LOG SCALE : PROBABILITY DENSITY.
%
1.00E-03      .0 *****
1.27E-03      .0 *****
1.60E-03      .0 *****
2.05E-03      .0 *****
2.57E-03      .0 *****
3.26E-03      .0 *****
4.12E-03      .0 *****
5.22E-03      .0 *****
6.61E-03      .0 *****
8.38E-03      .0 *****
1.06E-02      .1 *****
1.36E-02      .3 *****
1.70E-02      .9 *****
2.15E-02 *    2.3 *****
2.73E-02      4.0 *****
3.46E-02      6.6 *****
4.38E-02      9.6 *****
5.54E-02      11.6 *****
7.02E-02      12.1 *****
8.89E-02      12.3 *****
1.13E-01      10.6 *****
1.43E-01      9.4 *****
1.80E-01      7.0 *****
2.29E-01      5.7 *****
2.89E-01 *    2.9 *****
3.67E-01      2.2 *****
4.64E-01      1.4 *****
5.88E-01      .6 *****
7.44E-01      .2 *****
9.43E-01      .1 *****
1.19E+00      .0 *****
1.51E+00      .0 *****
1.91E+00      .0 *****
2.42E+00      .0 *****
3.07E+00      .0 *****
3.89E+00      .0 *****
4.92E+00      .0 *****
6.24E+00      .0 *****
7.90E+00      .0 *****
1.00E+01      .0 *****

*:CLOS,CL95
    
```

図-39 不確かさ解析結果 (確率密度分布、対数目盛)

--- FT1.u for sample fault tree

SIGNAL NUMBER= 22, TIME POINT= 4, NUMBER OF MCS= 7

LINEAR SCALE : CUMULATIVE PROBABILITY DENSITY.

	%	*
7.00E-03	1.9	*
3.50E-02 *	23.7	*****
6.31E-02	46.5	*****
9.11E-02	62.0	*****
1.19E-01	72.3	*****
1.47E-01	79.9	*****
1.75E-01	85.0	*****
2.03E-01	88.7	*****
2.31E-01	91.5	*****
2.59E-01	93.3	*****
2.87E-01	94.4	*****
3.15E-01 *	95.5	*****
3.43E-01	96.2	*****
3.71E-01	96.9	*****
3.99E-01	97.6	*****
4.27E-01	98.0	*****
4.55E-01	98.4	*****
4.83E-01	98.7	*****
5.11E-01	99.0	*****
5.39E-01	99.1	*****
5.68E-01	99.3	*****
5.96E-01	99.4	*****
6.24E-01	99.5	*****
6.52E-01	99.6	*****
6.80E-01	99.6	*****
7.08E-01	99.7	*****
7.36E-01	99.7	*****
7.64E-01	99.8	*****
7.92E-01	99.8	*****
8.20E-01	99.8	*****
8.48E-01	99.8	*****
8.76E-01	99.9	*****
9.04E-01	99.9	*****
9.32E-01	99.9	*****
9.60E-01	99.9	*****
9.88E-01	100.0	*****
1.02E+00	100.0	*****
1.04E+00	100.0	*****
1.07E+00	100.0	*****
1.10E+00	100.0	*****

*:CL05,CL95

図-40 不確実さ解析結果 (累積確率分布)

--- FT1.u for sample fault tree

SIGNAL NUMBER= 22, TIME POINT= 4, NUMBER OF MCS= 7

LOG SCALE : CUMULATIVE PROBABILITY DENSITY.

	%	*
1.00E-03	.0	
1.27E-03	.0	
1.60E-03	.0	
2.03E-03	.0	
2.57E-03	.0	
3.26E-03	.0	
4.12E-03	.0	
5.22E-03	.0	
6.61E-03	.0	
8.38E-03	.0	
1.06E-02	.1	
1.34E-02	.4	
1.70E-02	1.4	*
2.15E-02 *	3.7	***
2.73E-02	7.7	*****
3.46E-02	14.3	*****
4.38E-02	23.9	*****
5.54E-02	35.5	*****
7.02E-02	47.6	*****
8.89E-02	59.9	*****
1.13E-01	70.4	*****
1.43E-01	79.8	*****
1.80E-01	86.8	*****
2.29E-01	92.5	*****
2.89E-01 *	95.4	*****
3.67E-01	97.6	*****
4.64E-01	99.0	*****
5.88E-01	99.6	*****
7.44E-01	99.8	*****
9.43E-01	100.0	*****
1.19E+00	100.0	*****
1.51E+00	100.0	*****
1.91E+00	100.0	*****
2.42E+00	100.0	*****
3.07E+00	100.0	*****
3.89E+00	100.0	*****
4.92E+00	100.0	*****
6.24E+00	100.0	*****
7.90E+00	100.0	*****
1.00E+01	100.0	*****

*:CL05,CL95

図-41 不確実さ解析結果 (累積確率分布、対数目盛)

11. 共通原因故障を考慮した不確実さ解析機能

信頼性解析結果の判断のためには点推定値だけでは不十分で不確実さ幅の情報が不可欠となる。そのために前章で示した不確実さ解析機能をGO-FLOW手法に整備した。一方、共通原因故障からのシステム全体の信頼度への影響を調べると、考慮しない場合に比較して場合によっては何桁も信頼度が低下してしまう場合が出てくる。それ故、共通原因故障を考慮した上での不確実さ解析が信頼性解析結果の判断のためには必要となってくる。

前章で示した不確実さ解析方法は二段階の方法を取っており、第一段階でミニマル・カット・セットを求め、第二段階で各機器の故障確率値を分布型に従い乱数を用いて割り当て、多数回の試行を繰り返す方法を取っている。この方法では比較的短い計算時間で解析が完了する。しかし、共通原因故障解析を実施する際には同時に故障する機器の種々の組み合わせを考慮する必要があり、同時故障が発生した場合ミニマル・カット・セットの形も変わってきってしまう。また、近年の計算機能力の向上もあり従来困難であった長時間を要する計算も実施可能となってきた。

そこで、本機能においては図-42に示す解析手順により直接的に不確実さ幅を求める方法を採用した。この方法では、各分布型に従って分布する乱数より求めた値Dを直接オペレータのパラメータ値に乗じて新たな入力データを作成してしまう（前章の方法では第一段階の解析の結果得られた各タイム・ポイント毎の信号線強度に対してDを適用

する）。図-43に示す通常のGO-FLOW解析用入力データの網掛けの部分乱数に対応して書き換えられる。このデータに対して第9章で示した共通原因故障解析の手法を適用する。この手順を多数回繰り返し、結果を集積して不確実さ幅を求める。

パラメータ値にDを乗ずる方法は各オペレータ毎に次の様になっている。

タイプ21オペレータ： $P_g' = 1 - (1 - P_g) \cdot D$

タイプ26、27オペレータ： $P_g' = 1 - P_p - (1 - P_p - P_g) \cdot D$

タイプ35、37、38オペレータ： $\lambda' = \lambda \cdot D$

タイプ39オペレータ： $P_o' = P_o \cdot D, P_r' = P_r \cdot D$

不確実さ解析の際適用できる分布型は、前章の場合と同じく、正規分布、対数正規分布、一様分布、対数一様分布、ガンマ分布、二項分布、ワイブル分布、ベータ分布、ヒストグラム分布である。また、共通原因故障のモデルとしては、 β ファクタ法、BFR法、 α ファクタ法、MGL法が使用できる。

また、前章で示した不確実さ解析の方法では、ミニマル・カット・セットを求める手順を必要としていた。フェーズド・ミッション問題は第8章で示したように信号線間の従属性を異なったタイム・ポイント間で取り扱うため特別な工夫をしている。そのため、前章の方法での不確実さ解析を実施することは困難であった。本章で示した直接的に不確実さ幅を求める方法により、フェーズド・ミッション問題においても不確実さ解析が可能となった。

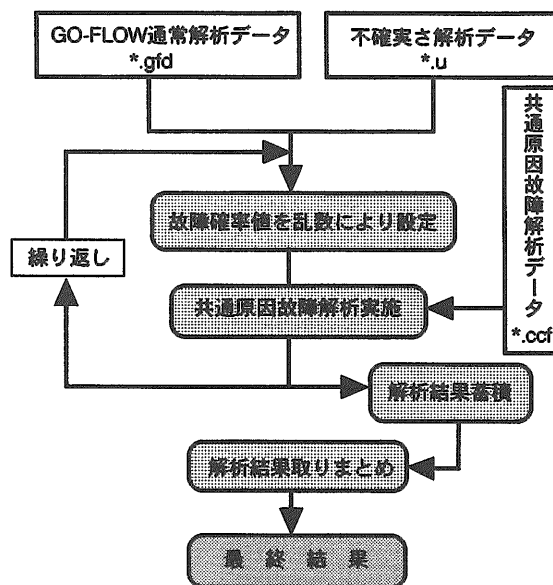


図-42 共通原因故障を考慮した不確実さ解析実施手順

11.1 解析実施例

解析対象としては第9章の共通原因故障解析において取り上げた加圧水型原子炉補助給水系 (FAWS) を、ここでも取り上げる事にする。

解析対象の系は図-25に示したもので、対応するGO-FLOWチャートは第9章において作成した図-26がそのまま使用できる。解析のための入力データはそれぞれ、図-27、28に示した*.gfd、*.ccfがそのまま使用できる。不確かさ解析のための入力データは図-35と同様のフォーマットで図-44の様に作成し、拡張子*.uを付けて置く。*.gfd、*.ccf、*.uの3種類のデータ・ファイルを用意して置けば、あとはプログラムが自動的にこれらのデータを結合し、共通原因故障を考慮した不確かさ解析を実施する。

不確かさ解析の条件としては、この例ではタンク、チェック弁の故障には正規分布、電動機、タービンの起動失敗、モータ駆動弁の開操作失敗には対数正規分布、電動機・タービン・ポンプの運転中の故障にはヒストグラム分布を与えた。ヒストグラム分布のためのNAMELISTデータ・ファイルは図-45の様に用意した。試行回数は5000回とした。

共通原因故障を考慮しない場合のシステムの故障確率は運転開始後24時間後(タイム・ポイント3)において 1.80×10^{-5} (メディアン値)であり、そのときの確率密度分布は図-46のようになる。これに対して共通原因故障を考慮した場合は 4.89×10^{-4} (メディアン値)となり、確率密度分布は図-47のようになる。この解析条件の場合には共通原因故障を考慮することによりシステムの信頼度が大幅に低下している。不確かさ幅はエラーファクター値でみると12.7から3.20へと減少している。これは、共通原因故障による3台のポンプの同時故障という単一の事象が全システムの失敗確率を支配しているため分布幅が狭くなったためである。

RELIABILITY ANALYSIS OF PWR-AFWS(FOR CCF)										
1	25	0	1							
2	21	2	2	1	1					
3	21	1	3	1	2					
4	26	3	4	1	3	1	35			
5	26	1	5	1	3	1	35			
6	35	2	6	1	5	1	34			
7	35	1	7	1	4	1	34			
8	26	3	8	1	7	1	35			
9	35	1	9	1	8	1	34			
10	26	3	10	1	6	1	35			
11	35	1	11	1	10	1	34			
12	26	3	12	1	3	1	35			
13	35	1	13	1	12	1	34			
14	26	3	14	1	13	1	35			
15	35	1	15	1	14	1	34			
16	21	1	16	1	9					
17	21	1	17	1	11					
18	21	1	18	1	11					
19	21	1	19	1	15					
20	22	0	20	2	17	16				
21	22	0	21	2	19	18				
22	26	2	22	1	20	1	35			
23	26	2	23	1	20	1	35			
24	26	2	24	1	21	1	35			
25	26	2	25	1	21	1	35			
26	30	0	26	2	23	22				
27	30	0	27	2	24	22				
28	30	0	28	2	22	25				
29	30	0	29	2	23	24				
30	30	0	30	2	25	23				
31	30	0	31	2	25	24				
32	22	0	32	6	26	27	28	29	30	31
34	25	0	34							
35	25	0	35							
0										
21	1	0.999996				0			0	
21	2	0.999998				0			0	
26	1	0				0.9685			0	
26	2	0				0.9957			0	
26	3	0				0.99835			0	
35	1	1.71E-05				0			0	
35	2	0.00101				0			0	
0										
3										
1	INITIAL STATE									
2	OPERATION STARTS									
3	24 HOURS AFTER									
1										
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00								
34										
0.000E+00	0.000E+00	2.400E+01								
35										
0.000E+00	1.000E+00	0.000E+00								
0										
21	32									

図-43 乱数による故障率データの変更部分

```

==== PWR1.GFD & PWR1.CCF & PWR1.U ====
  32  3
  0
5000
  21  1  1  1.0E-1  1.0E-4
  21  2  1  1.0E-3  1.0E-4
  26  1  2  1.0E-3  5.0
  26  2  2  3.0E-3  3.0
  26  3  2  1.0E-3  3.0
  35  1  8  1.
  35  2  2  1.0E-3  5.0
  0

```

標題
 参照ファイル名
 pwr1nd.dat
 分布型 (8 = ヒストグラム分布)

図-44 GO-FLOW解析入力データ (不確実さ解析用*.u)

```

&HIST
  ID=1,
  NCLS=9,
  CLS = 1.0E-6, 3.0E-6, 1.0E-5, 3.0E-5, 1.0E-4, 3.0E-4, 1.0E-3, 3.0E-3, 0.01,
  CPD = 0.0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.75, 0.9, 0.95, 1.0,-----累積値
&END

&HIST
  ID = 2,
  NCLS= 3,
  CLS = 0.1,0.2,0.3,
  CPD = 0.0,0.5,1.0,
&END

```

分布の種類番号
 分割数

図-45 ヒストグラム分布指定のための入力データ

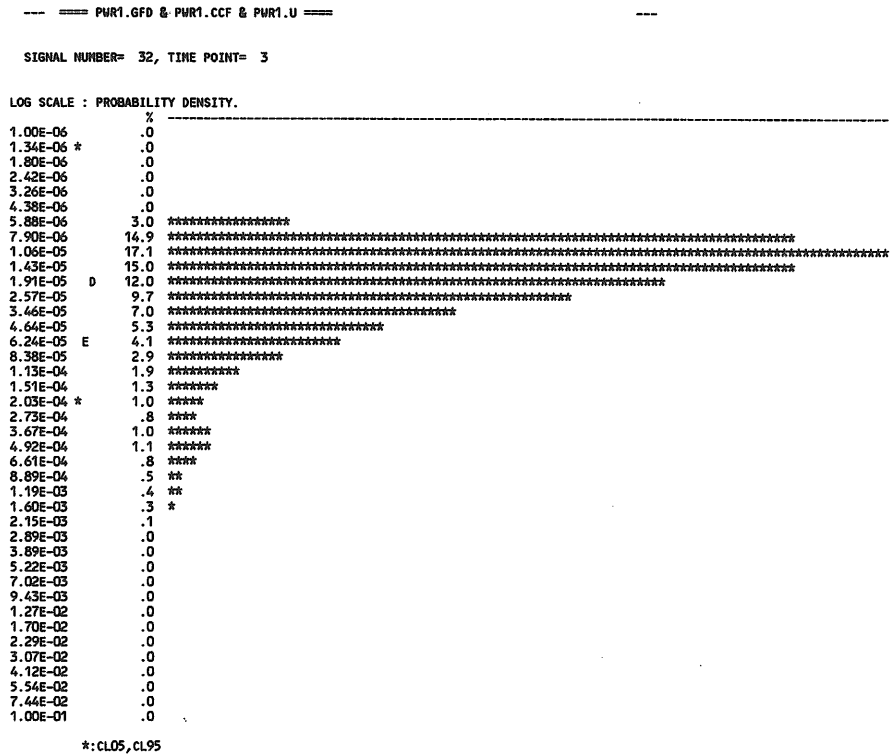


図-46 FAWS ; 共通原因故障を考慮しない場合の解析結果

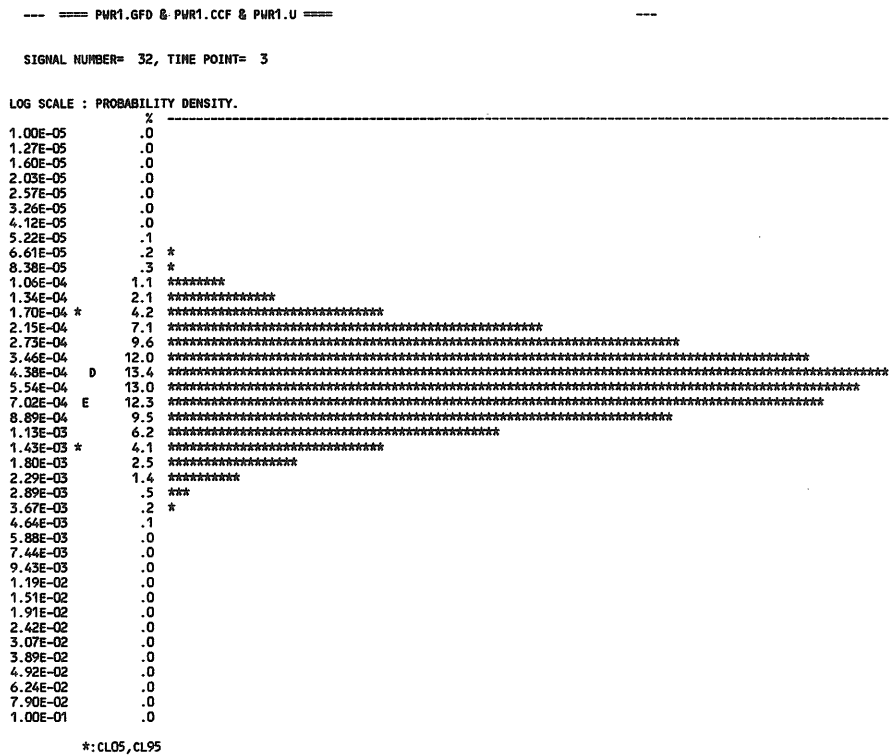


図-47 FAWS ; 共通原因故障を考慮した場合の解析結果

12. GO-FLOW解析プログラムの体系

前章までにおいて示した様に、GO-FLOW手法の基本解析機能に加えて、不確実さ解析機能、共通原因故障解析機能、共通原因故障を考慮した不確実さ解析機能が整備された。解析の目的によっては常にこれら全ての解析を必要とするわけではなく、適時組み合わせる必要がある。そこで、これらのプログラムを統合して、与えられた入力データの有無等を判断し必要な解析のみを自動的に実施する体系を作成した。この様子を図-48に示す。不確実さ解析は第11章で示した直接的に解析する方法

を採用した。大規模なシステムを対象とし、計算時間が長くなる場合は第10章の第一段階のミニマル・カット・セットを求める方法を採用する。また、解析結果の図、表を得る場合にはファイル転送を必要とするため、解析プログラムが終了してからマニュアル操作により各種設定を行う。これらの流れも図中に記したが詳細は次章で説明する。

ユーザーとしては、これらの解析プログラム群をあたかも単一の解析プログラムとして取り扱い、解析目的に応じて入力データを揃えれば良くGO-FLOWの種々の解析が非常に容易に実施できるようになった。今後の広い分野への普及が期待できる。

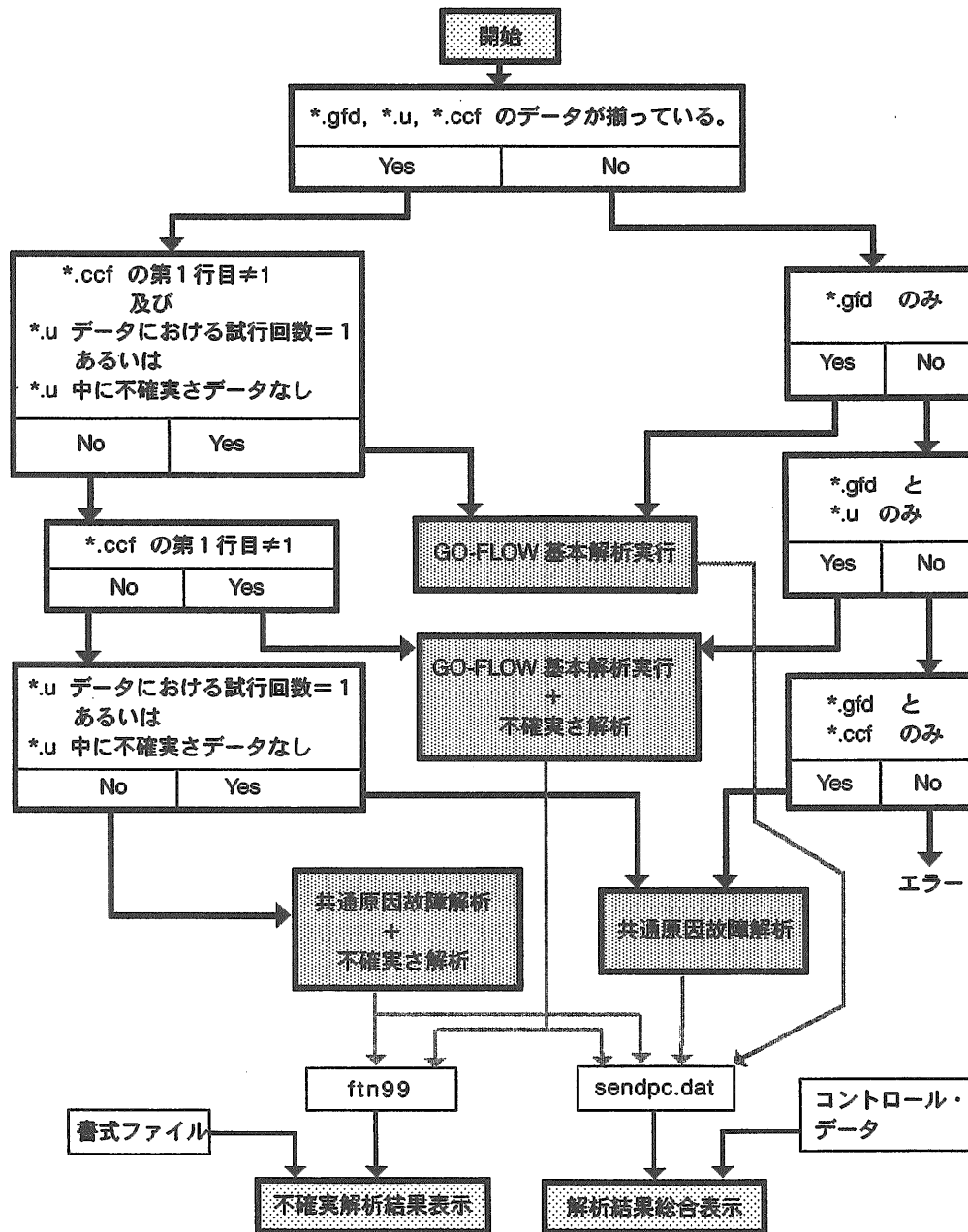


図-48 GO-FLOW解析プログラムの体系

13. GO-FLOW解析結果表示プログラム

13.1 解析結果総合表示

GO-FLOW手法に限らず、一般にシステム信頼性解析は解析結果が図表形式での見やすい形で得られ解析結果についての種々の判断が容易にできる様になってから、あるいは報告書の形にまとめられて初めて一連の解析が終了したと言える。そこで、GO-FLOW解析において実施した種々の解析結果を図表形式で表示する機能を整備した。

ワークステーション上でGO-FLOW解析プログラム(不確かさ解析、共通原因故障解析も含む)を実施したとき、通常の出力行リストの他にsendpc.datという解析結果総合表示用データを生成し、パーソナル・コンピュータに転送する。このデータをもとに以下に示す図・表が作成されCRT画面上あるいはプリンターに出力される。なお不確かさ解析結果の図面出力は、別途生成されるftn99というデータファイルを用い次節で説明する不確かさ解析結果表示プログラムにより行われる。表示にいたる処理の流れは前章の図-48の中に示してある。

- 1) 主要解析条件の一覧表
- 2) 信頼度及び故障確率の時間経過に伴う推移のグラフ(信号線番号指定。)
- 3) 故障確率中のミニマル・カット・セット(MCS)寄与度の表示(信号線番号、タイム・ポイント指定。円、棒グラフ形式)
- 4) 故障確率中のMCS寄与度時間推移の表示(信号線番号指定。円、棒グラフ形式)
- 5) 信頼度、故障確率の頻度分布(信号線番号、タイム・ポイント指定。)
- 6) 共通原因故障解析結果の表作成
- 7) 不確かさ解析結果の表作成

これらの表示には日本語モードと英語モードの二種類が用意されている。

パーソナル・コンピュータにおいては解析結果総合表示プログラム(GFOP)を起動し、図表の書式等を決めるコントロール・データを読み込む。するとGO-FLOW解析結果sendpd.dat(ワークステーションより転送)をレーザー・プリンター/CRT画面上に図表の形に変換し出力する。その際、使用するレーザー・プリンターはネイティブ・モードに設定されている必要がある。

コントロール・データは事前に何種類か用意しておく。コントロール・データはNAMELIST形式で書かれており、変数には以下のものがある。

Language	日本語版か英語版かの選択 J:日本語 E:英語
Resultfile	解析結果のファイル名指定 (sendpc.dat等)
Grftype	出力する図の種類、番号 (上記1)~7)に対応)で指定、 複数個指定可

Title	図表表示に与える題名
Tpclock	各タイム・ポイントの実時間値を与える
Signo	表示対象とする信号線番号
Tp	表示対象とするタイム・ポイント
Ocomment	オペレータ番号についてのコメントを与える。 オペレータ番号が変数Ocommentの次元に対応する。
Section	グラフの補助線の有無 on:あり off:なし
Logmin	対数スケールの最小値
Logmax	対数スケールの最大値

図-49~58に出力例を示す。

図-49は主要解析条件の一覧表である。構成は①表題、②入力データ・ファイル形式のチャート情報、③オペレータ番号/対応機器名、④故障率データ、⑤タイム・ポイントの定義、⑥入力信号線強度、⑦最終信号線番号、⑧共通原因故障解析のためのデータ、⑨不確かさ解析のためのデータが記されている。(解析において対応するものがない項目は省略される。)

図-50、51は信頼度及び故障確率の推移グラフである。指定した信号線(最大6個まで同時記入可能)の時間経過に伴う信頼度及び故障確率の推移が表示される。信頼度のグラフの場合、縦軸は正規分布紙の目盛りを用いている。故障確率グラフの場合には対数表示となっている。

図-52、53はMCSの寄与度を示したもので、指定された信号線番号、タイム・ポイントについて棒グラフ、円グラフ表示が行える。

図-54は指定された信号線の故障確率におけるMCSの寄与度の推移を示したもので、帯グラフで示してある。各MCSを構成する信号線番号およびコメントもあわせて記されている。また、上部に信号線全体の故障確率の推移グラフも書かれている。

図-55、56は信頼度及び故障率の値の頻度分布を示す。単位時間間隔で信頼度及び故障率値の時間推移を分割したとき、それぞれの信頼度及び故障率の現れる頻度分布を表示したものである。定期点検、修理を考えた時のシステムのアベイラビリティの分布を見るために便利な表示として使える。

図-57は共通原因故障解析結果の最終結果の表である。基本的には図-29に示したライン・プリンターの出力と同一のものである。

図-58は不確かさ解析結果の数値による表示であり、これも基本的には図-37のライン・プリンターの出力と同一のものである。

以上の出力例はそれぞれ図-49、57は第9章で取り上げた加圧水型原子炉補助給水系、図-50、52、53、54、58は第10章の不確かさ解析実施例で取り上げたサンプルフォールトツリー、図-51、55、56は加圧水型原子炉補助給水系

において定期点検・保守を考慮した場合のアンアベイラビリティ時間依存性の解析結果である。

```

=====
共通原因故障解析 AFW Sシステム
=====

--- チャート情報 ---

タイトル
RELIABILITY ANALYSIS OF PWR-AFWS(WITH CCF)

オペレータ オペレータ タイプコード 出力信号線 入力信号線番号の情報
番号 タイプ 番号 番号

1 25 0 1 1 1
2 21 2 2 1 2
3 21 1 3 1 3
4 26 3 4 1 3
5 26 1 5 1 3
6 35 2 6 1 5
7 35 1 7 1 4
8 26 3 8 1 7
9 35 1 9 1 8
10 26 3 10 1 6
11 35 1 11 1 10
12 26 3 12 1 3
13 35 1 13 1 12
14 26 3 14 1 13
15 35 1 15 1 14
16 21 1 16 1 9
17 21 1 17 1 11
18 21 1 18 1 11
19 21 1 19 1 15
20 22 0 20 2 17 16
21 22 0 21 2 17 18
22 26 2 22 1 19 1 35
23 26 2 23 1 20 1 35
24 26 2 24 1 21 1 35
25 26 2 25 1 21 1 35
26 30 0 26 2 22 22
27 30 0 27 2 22 24
28 30 0 28 2 22 25
29 30 0 29 2 23 24
30 30 0 30 2 23 23
31 30 0 31 2 25 24
32 22 0 32 6 26 27 28 29 30
34 25 0 34
35 25 0 35

オペレータ オペレータ
番号 コメント
1 タンク
2 チェック弁
3 モータ1起動失敗
4 タービン起動失敗
5 タービン運転中の故障
6 モータ1運転中の故障
7 モータ駆動ポンプ1起動失敗
8 モータ駆動ポンプ1運転中故障
9 タービン駆動ポンプ起動失敗
10 タービン駆動ポンプ運転中の故障
11 モータ2起動失敗
12 モータ2運転中の故障
13 モータ駆動ポンプ2起動失敗
14 モータ駆動ポンプ2運転中の故障
15 チェック弁1
16 チェック弁2
17 チェック弁3
18 チェック弁4
19 OR
20 OR
21 OR
22 モータ駆動弁1開失敗
23 モータ駆動弁2開失敗
24 モータ駆動弁3開失敗
25 モータ駆動弁4開失敗
26 AND
27 AND
28 AND
29 AND
30 AND
31 AND
32 OR
34
35

```

図-49 (1) 解析結果総合表示出力 (1:主要解析条件 (1))

故障確率データ

PG : 機器が正常に動作をする確率
 PP : 機器が動作失敗をする確率
 PC : 弁が開指令により開動作を正常に行う確率
 PO : 弁が開指令により開動作を正常に行う確率
 DD : 初期状態で弁が開いている確率
 LAMDA : 故障確率
 TG1 : フェーズの開始時の確率
 TG2 : フェーズの終了時の確率

オペレータ タイプコード 故障率データ

タイプ	番号	PG	PP	PC	PO	LAMDA
21	1	0.999996				
21	2	0.999998				
26	1	0	0.9685			
26	2	0	0.9957			
26	3	0	0.99835			
35	1					1.71E-05
35	2					0.00101

タイムポイント	時刻	主要操作・意味
1	0	INITIAL STATE
2	0	OPERATION STARTS
3	0	24 HOURS AFTER

オペレータ 各タイムポイントの信号線強度

番号	1	2	3
1	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
34	0.000E+00	0.000E+00	2.400E+01
35	0.000E+00	1.000E+00	0.000E+00

最終信号線番号

21 32

--- 共通原因故障解析 ---

解析モデル : MGL法

群数	共通原因故障解析群	パラメータ
1	8 10 14	ROU11=1.000 ROU12=.697 ROU13=.304 ROU14=.000 ROU15=.000 ROU16=.000 ROU17=.000 ROU21=1.000 ROU22=.000 ROU23=.000 ROU24=.000 ROU25=.000 ROU26=.000 ROU17=.000
2	4 12	ROU11=1.000 ROU12=.390 ROU13=.000 ROU14=.000 ROU15=.000 ROU16=.000 ROU17=.000 ROU21=1.000 ROU22=.000 ROU23=.000 ROU24=.000 ROU25=.000 ROU26=.000 ROU17=.000

図-49 (2) 解析結果総合表示出力 (1 : 主要解析条件 (2))

サンプルフォールトツリー

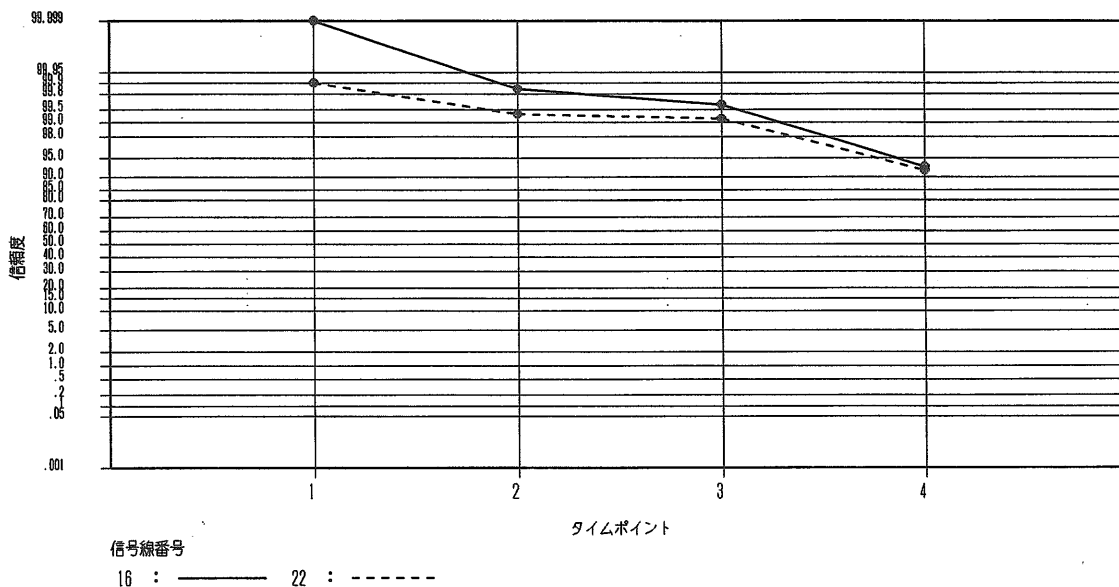


図-50 解析結果総合表示出力 (2-1 : 信頼度推移グラフ)

AFWS Time Dependent Unavailability Analysis

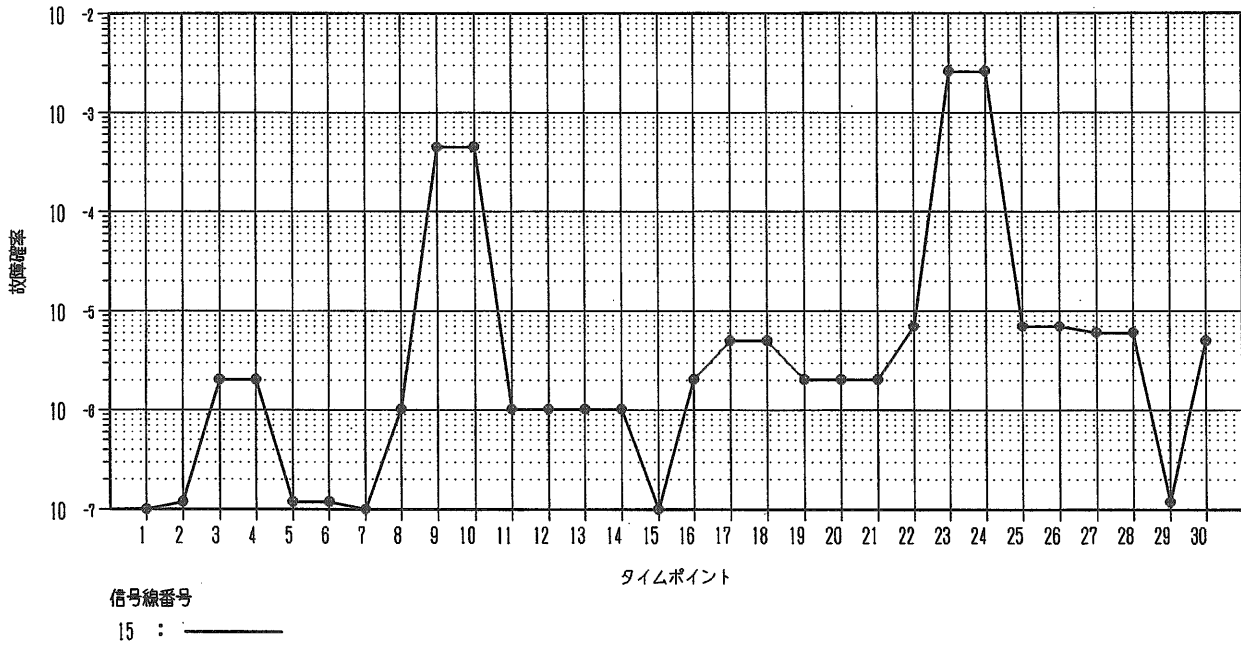


図-51 解析結果総合表示出力 (2-2:故障確率推移グラフ)

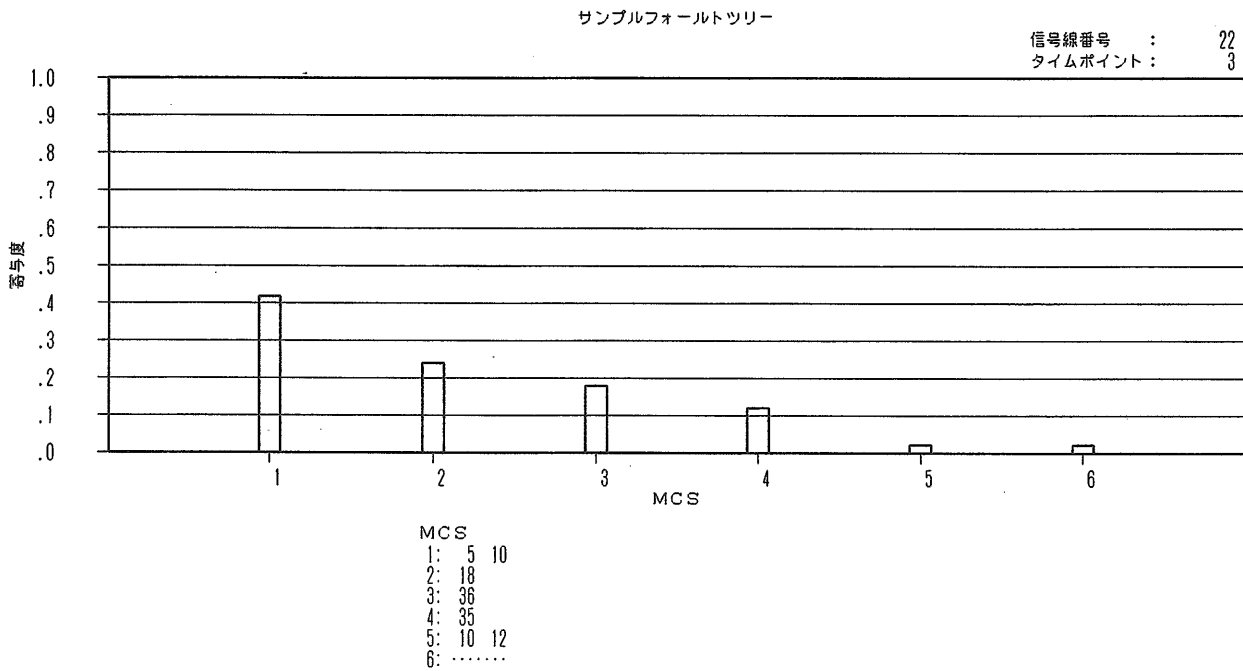


図-52 解析結果総合表示出力 (3-1:MCS寄与度棒グラフ表示)

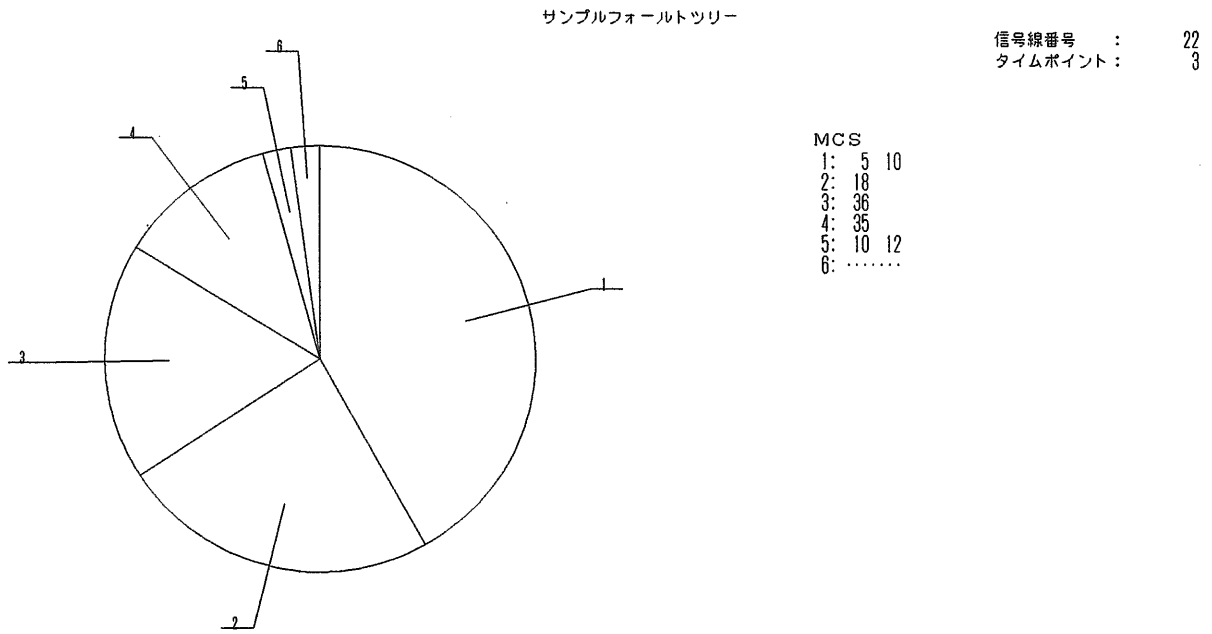


図-53 解析結果総合表示出力 (3-2: MCS寄与度円グラフ表示)

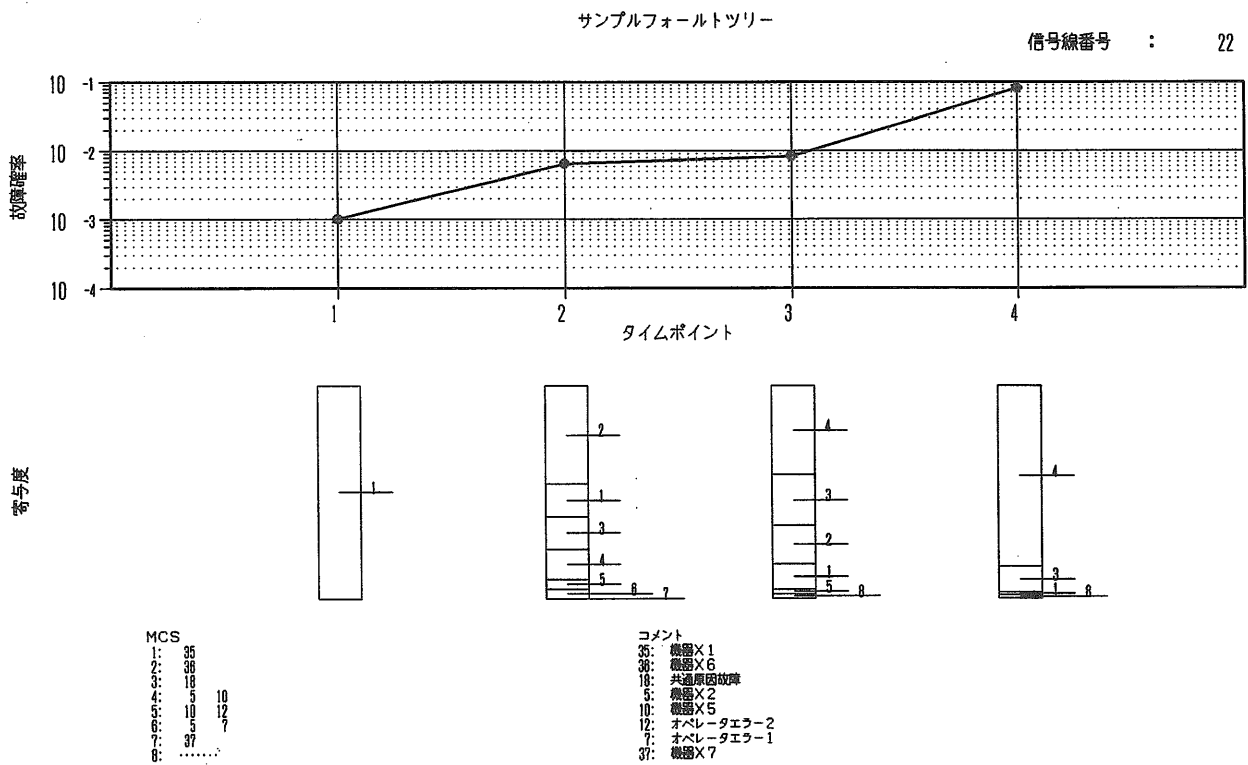


図-54 解析結果総合表示出力 (4: MCS寄与度時間推移表示)