

図-16 フェイズド・ミッション問題のGO-FLOWチャート

故障確率値への変換は、フォールト・ツリー解析におけるMCS (ミニマル・カット・セット) から頂上事象を求めるのと同様な計算方法³⁴⁾によりプログラム内にて実施され、表-VIIに示す様な解析結果が得られる。

18番の信号線はフェイズ1における動作状況を表しているが、表においてタイム・ポイント4以降の値は仮にそのまま動作が要求されていた場合の動作失敗確率を表している。タイプ40オペレータで変換後の39番の信号線ではタイ

ム・ポイント4以降はタイム・ポイント3 (フェイズ1の終わり) における動作失敗確率となっている。

33番の信号線 (フェイズ2の動作状況) を見ると、タイム・ポイント2、3 (フェイズ1) においては動作失敗確率1.00となっているが、これはフェイズ1においては起動されていないことを意味している。タイム・ポイント7、8の値は18番と同様動作要求が継続されていたとした時の失敗確率である。タイプ40オペレータで変換後の40番の信

表-VI フェイズド・ミッション問題におけるオペレータの意味、データ

オペレータ		意味	データ
番号	タイプ		
1	25	水タンク内の水	$R(t) = 1.0; t = 1 \sim 8$
2	25	サプレッションプール内の水	$R(t) = 1.0; t = 1 \sim 8$
3	25	蒸気流量	$R(1) = 0.0, R(t) = 1.0; t = 2 \sim 8$
4	25	フェイズ1開始信号	$R(2) = 1.0, \text{その他} = 0.0$
5	25	フェイズ2開始信号	$R(4) = 1.0, \text{その他} = 0.0$
6	25	フェイズ3開始信号	$R(7) = 1.0, \text{その他} = 0.0$
7	25	時間経過量	$R(3) = 0.5, R(5) = 5, R(7) = 31,$ $R(8) = 84, \text{その他} = 0.0$
8	25	時間経過量(フェイズ2以降)	$R(5) = 5, R(7) = 31, R(8) = 84,$
9	21	水タンク	$P_g = 1.0$
10	21	サプレッション・プール	$P_g = 1.0$
11	22	ORゲート	-
12	26	HPCSの起動	$P_g = 0.97$
13	35	HPCSの使用中の故障発生	$\lambda = 0.0003/h$
14	37	ADSの故障	$\lambda = 0.001/h$
15	26	LPCSの起動	$P_g = 0.97$
16	35	LPCSの使用中の故障発生	$\lambda = 0.0001/h$
17	30	ANDゲート	-
18	22	ORゲート	-
19	26	LPCI-Aの起動	$P_g = 0.98$
20	35	LPCI-A使用中の故障発生	$\lambda = 0.0001/h$
21	37	熱交換器Aの故障発生	$\lambda = 0.0001/h$
22	26	弁3Aの開操作	$P_g = 0.99$
23	26	弁2Aの開操作	$P_g = 0.97$
24	26	LPCI-Bの起動	$P_g = 0.98$
25	35	LPCI-B使用中の故障発生	$\lambda = 0.0001/h$
26	37	熱交換器Bの故障発生	$\lambda = 0.0001/h$
27	26	弁3Bの開操作	$P_g = 0.99$
28	26	弁2Bの開操作	$P_g = 0.97$
29	30	ANDゲート	-
30	30	ANDゲート	-
31	22	ORゲート	-
32	22	ORゲート	-
33	30	ANDゲート	-
34	30	ANDゲート	-
35	30	ANDゲート	-
36	22	ORゲート	-
37	37	逃がし弁の故障	$\lambda = 0.001/h$
38	25	時間経過量生成	$R(4) = 10.0, R(6) = 10.0, \text{その他} = 0.0$
39	40	フェイズ1	$t_i = 2, t_j = 3$
40	40	フェイズ2	$t_i = 4, t_j = 6$
41	40	フェイズ3	$t_i = 7, t_j = 8$
42	30	ANDゲート	-

PHASED MISSION PROBLEM (BWR ECCS SYSTEM)									
1	25	0	1						
2	25	0	2						
3	25	0	3						
4	25	0	4						
5	25	0	5						
6	25	0	6						
7	25	0	7						
8	25	0	8						
9	21	1	9	1	1				
10	21	1	10	1	2				
11	22	0	11	2	9	10			
12	26	1	12	1	11	1	4		
13	35	1	13	1	12	1	7		
14	37	2	14	1	3	1	7		
15	26	1	15	1	10	1	4		
16	35	3	16	1	15	1	7		
17	30	0	17	2	14	16			
18	22	0	18	2	13	17			
19	26	2	19	1	10	1	5		
20	35	3	20	1	19	1	8		
21	37	3	21	1	10	1	7		
22	26	3	22	1	21	1	5		
23	26	1	23	1	21	1	6		
24	26	2	24	1	10	1	5		
25	35	3	25	1	24	1	8		
26	37	3	26	1	10	1	7		
27	26	3	27	1	26	1	5		
28	26	1	28	1	26	1	6		
29	30	0	29	2	20	22			
30	30	0	30	2	25	27			
31	22	0	31	2	29	30			
32	22	0	32	2	13	16			
33	30	0	33	3	31	32	38		
34	30	0	34	2	20	23			
35	30	0	35	2	25	28			
36	22	0	36	2	34	35			
37	37	2	37	1	3	1	8		
38	22	0	38	2	14	37			
39	40	1	39	1	18				
40	40	2	40	1	33				
41	40	3	41	1	36				
42	30	0	42	3	39	40	41		
0									
21	1			1.0		0		0	
26	1			0		0.97		0	
26	2			0		0.98		0	
26	3			0		0.99		0	
35	1			0.0003		0		0	
35	2			0.001		0		0	
35	3			0.0001		0		0	
37	1			0.0003		0		0	
37	2			0.001		0		0	
37	3			0.0001		0		0	
40	1					2.0		0	
40	2					4.0		0	
40	3					7.0		0	
0									
8									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
0									
18	33	36	39	40	41	42			

図-17 GO-FLOW解析入力データ (フェイズド・ミッション問題)

===== RESULTS OF THE ANALYSIS =====

-----<< SIGNAL INTENSITIES AT ALL TIME POINTS >>-----

SIGNAL NUMBER	INCLUDED SHARED SIGNAL	TIME POINTS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
2	-	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
3	-	.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
4	-	.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
5	-	.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
6	-	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000
7	-	.000000	.000000	.500000	.000000	5.000000	31.000000	.000000	84.000000
8	-	.000000	.000000	.000000	.000000	5.000000	31.000000	.000000	84.000000
9	-	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
10	-	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
11	-	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
12	-	.000000	.970000	.970000	.970000	.970000	.970000	.970000	.970000
13	13,	.000000	.970000	.9698545	.9698545	.9684008	.9594365	.9594365	.9355608
14	14,	.000000	1.000000	.9995001	.9995001	.9945151	.9641581	.9641581	.8864771
15	-	.000000	.970000	.970000	.970000	.970000	.970000	.970000	.970000
16	16,	.000000	.970000	.9699515	.9699515	.9694667	.9664660	.9664660	.9583817
17	14, 16,	.000000	.970000	.9694666	.9694666	.9641493	.9318261	.9318261	.8495833
18	13, 14, 16,	.000000 .000000	.970000 .970000	.9698545 .9694666	.9698545 .9694666	.9684008 .9641493	.9594365 .9318261	.9594365 .9318261	.9355608 .8495833
19	-	.000000	.000000	.000000	.980000	.980000	.980000	.980000	.980000
20	20,	.000000	.000000	.000000	.980000	.9795101	.9764783	.9764783	.9683103
21	21,	1.000000	1.000000	.9999500	.9999500	.9994501	.9963567	.9963567	.9880223
22	21,	.000000	.000000	.000000	.9899505	.9894556	.9863931	.9863931	.9781421
23	21,	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.9664660	.9583817
24	-	.000000	.000000	.000000	.980000	.980000	.980000	.980000	.980000
25	25,	.000000	.000000	.000000	.980000	.9795101	.9764783	.9764783	.9683103
26	26,	1.000000	1.000000	.9999500	.9999500	.9994501	.9963567	.9963567	.9880223
27	26,	.000000	.000000	.000000	.9899505	.9894556	.9863931	.9863931	.9781421
28	26,	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.9664660	.9583817
29	20, 21,	.000000	.000000	.000000	.9701515	.9691818	.9631915	.9631915	.9471450
30	25, 26,	.000000	.000000	.000000	.9701515	.9691818	.9631915	.9631915	.9471450
31	20, 21, 53, 25, 26, 54,	.000000 .000000	.000000 .000000	.000000 .000000	.9701515 .9701515	.9691818 .9691818	.9631915 .9631915	.9631915 .9631915	.9471450 .9471450
32	13, 16,	.000000 .000000	.970000 .970000	.9698545 .9699515	.9698545 .9699515	.9684008 .9694667	.9594365 .9664660	.9594365 .9664660	.9355608 .9583817

図-18(1) 解析結果出力リスト(1) (計算手順部分、フェイズド・ミッション問題)

33	20, 21, 53, 13, 57,	.0000000	.0000000	.0000000	.9409058	.9338753	.8914444	.8914444	.7859105
	20, 21, 53, 13, 14,	.0000000	.0000000	.0000000	.9404355	.9334086	.8909988	.8909988	.7855177
	20, 21, 53, 16, 57,	.0000000	.0000000	.0000000	.9410000	.9349033	.8979757	.8979757	.8050811
	20, 21, 53, 16, 14,	.0000000	.0000000	.0000000	.9405296	.9344359	.8975270	.8975270	.8046786
	25, 26, 54, 13, 57,	.0000000	.0000000	.0000000	.9409058	.9338753	.8914444	.8914444	.7859105
	25, 26, 54, 13, 14,	.0000000	.0000000	.0000000	.9404355	.9334086	.8909988	.8909988	.7855177
	25, 26, 54, 16, 57,	.0000000	.0000000	.0000000	.9410000	.9349033	.8979757	.8979757	.8050811
	25, 26, 54, 16, 14,	.0000000	.0000000	.0000000	.9405296	.9344359	.8975270	.8975270	.8046786
34	20, 21,	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.9437330	.9280108
35	25, 26,	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.9437330	.9280108
36	20, 21, 55,	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.9437330	.9280108
	25, 26, 56,	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.0000000	.9437330	.9280108
37	-	.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9950125	.9646403	.9646403	.8869205
38	57,	.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9950125	.9646403	.9646403	.8869205
	14,	.0000000	1.0000000	.9995001	.9995001	.9945151	.9641581	.9641581	.8864771
39	58,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9698545	.9698545	.9698545	.9698545	.9698545
	59, 60,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9694666	.9694666	.9694666	.9694666	.9694666
40	67, 68, 69, 70, 71,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9409058	.9338753	.8914444	.8914444	.8914444
	67, 68, 69, 70, 72,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9404355	.9334086	.8909988	.8909988	.8909988
	67, 68, 69, 73, 71,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9410000	.9349033	.8979757	.8979757	.8979757
	67, 68, 69, 73, 72,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9405296	.9344359	.8975270	.8975270	.8975270
	74, 75, 76, 70, 71,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9409058	.9338753	.8914444	.8914444	.8914444
	74, 75, 76, 70, 72,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9404355	.9334086	.8909988	.8909988	.8909988
	74, 75, 76, 73, 71,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9410000	.9349033	.8979757	.8979757	.8979757
	74, 75, 76, 73, 72,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9405296	.9344359	.8975270	.8975270	.8975270
41	61, 62, 63,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9437330	.9280108
	64, 65, 66,	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	.9437330	.9280108
42	77, 78, 79, 80, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9409058	.9338753	.8914444	.8647011	.8502954
	71, 63,								
	77, 78, 67, 68, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9409058	.9338753	.8914444	.8412856	.8272701
	71, 64, 65, 66,								
	77, 78, 79, 80, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9404355	.9334086	.8909988	.8642687	.8498704
	72, 63,								
	77, 78, 67, 68, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9404355	.9334086	.8909988	.8408650	.8268566
	72, 64, 65, 66,								
	77, 58, 79, 80, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9126331	.9067202	.8709058	.8447785	.8307047
	73, 71, 63,								
	77, 58, 67, 68, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9126331	.9067202	.8709058	.8219025	.8082100
	73, 71, 64, 65, 66,								
	77, 58, 79, 80, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9121769	.9062669	.8704705	.8443564	.8302898
	73, 72, 63,								
	77, 58, 67, 68, 69,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9121769	.9062669	.8704705	.8214918	.8078060
	73, 72, 64, 65, 66,								
	77, 78, 74, 75, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9409058	.9338753	.8914444	.8412856	.8272701
	71, 61, 62, 63,								
	77, 78, 81, 82, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9409058	.9338753	.8914444	.8647011	.8502954
	71, 66,								
	77, 78, 74, 75, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9404355	.9334086	.8909988	.8408650	.8268566
	72, 61, 62, 63,								
	77, 78, 81, 82, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9404355	.9334086	.8909988	.8642687	.8498704
	72, 66,								
	77, 58, 74, 75, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9126331	.9067202	.8709058	.8219025	.8082100
	73, 71, 61, 62, 63,								
	77, 58, 81, 82, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9126331	.9067202	.8709058	.8447785	.8307047
	73, 71, 66,								
	77, 58, 74, 75, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9121769	.9062669	.8704705	.8214918	.8078060
	73, 72, 61, 62, 63,								
	77, 58, 81, 82, 76,	1.0000000	.9700000	.9698545	.9121769	.9062669	.8704705	.8443564	.8302898
	73, 72, 66,								
77, 59, 60, 79, 80,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8382986	.8243331	
69, 70, 71, 63,									
77, 59, 60, 67, 68,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8155981	.8020107	
69, 70, 71, 64, 65,									
66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8382987	.8243331	
77, 83, 60, 79, 80,									
69, 70, 63,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8382987	.8243331	
77, 83, 60, 67, 68,									
69, 70, 64, 65, 66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8155981	.8020107	
77, 59, 84, 79, 80,									

図-18(2) 解析結果出力リスト(2) (計算手順部分、フェイズド・ミッション問題)

69, 71, 63,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975267	.8706009	.8560970
77, 59, 84, 67, 68,								
69, 71, 64, 65, 66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975267	.8470257	.8329145
77, 83, 84, 79, 80,								
69, 63,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975269	.8706012	.8560973
77, 83, 84, 67, 68,								
69, 64, 65, 66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975269	.8470259	.8329147
77, 59, 60, 74, 75,								
76, 70, 71, 61, 62,								
63,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8155981	.8020107
77, 59, 60, 81, 82,								
76, 70, 71, 66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8382986	.8243331
77, 83, 60, 74, 75,								
76, 70, 61, 62, 63,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8155981	.8020107
77, 83, 60, 81, 82,								
76, 70, 66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9121768	.9053609	.8642256	.8382987	.8243331
77, 59, 84, 74, 75,								
76, 71, 61, 62, 63,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975267	.8470257	.8329145
77, 59, 84, 81, 82,								
76, 71, 66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975267	.8706009	.8560970
77, 83, 84, 74, 75,								
76, 61, 62, 63,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975269	.8470259	.8329147
77, 83, 84, 81, 82,								
76, 66,	1.0000000	.9700000	.9694666	.9405296	.9344358	.8975269	.8706012	.8560973

図-18(3) 解析結果出力リスト(3) (計算手順部分、フェイズド・ミッション問題)

号線では、タイム・ポイント2、3においては動作失敗確率0.0となっている。タイム・ポイント7、8の値はタイム・ポイント6（フェイズ2の終わり）における動作失敗確率となっている。

信号線36、41についても同様のことが見られる。

42番の最終信号線により全フェイズを通してのシステム動作失敗確率が表されている。各フェイズ間に従属関係が

あるため、信号線39、40、41の単純な和にはなっていない。

システム動作失敗確率を図示したのが図-19であり、フェイズの境界で動作失敗確率がステップ状に増加していることがわかる。GO-FLOW手法によるこの解析結果は、他の解析方法に比較して一番厳密解に近い値を示していた³⁵⁾。

表-Ⅶ フェイズド・ミッション問題解析結果 (BWR-ECCS)

信号線番号	フェイズ1		フェイズ2			フェイズ3	
	2	3	4	5	6	7	8
18	9.00×10^{-4}	9.20×10^{-4}	9.20×10^{-4}	1.133×10^{-3}	2.77×10^{-2}	2.77×10^{-3}	9.69×10^{-3}
33	1.00	1.00	1.796×10^{-3}	1.941×10^{-3}	3.80×10^{-3}	3.80×10^{-3}	1.824×10^{-2}
36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.17×10^{-3}	5.18×10^{-3}
39	9.00×10^{-4}	9.20×10^{-4}	9.20×10^{-4}	9.20×10^{-4}	9.20×10^{-4}	9.20×10^{-4}	9.20×10^{-4}
40	0.0	0.0	1.796×10^{-3}	1.941×10^{-3}	3.80×10^{-3}	3.80×10^{-3}	3.80×10^{-3}
41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.17×10^{-3}	5.18×10^{-3}
42 (全システム)	9.00×10^{-4}	9.20×10^{-4}	1.811×10^{-3}	1.956×10^{-3}	3.99×10^{-3}	6.40×10^{-3}	8.40×10^{-3}

BWR-ECCS Phased Mission Problem

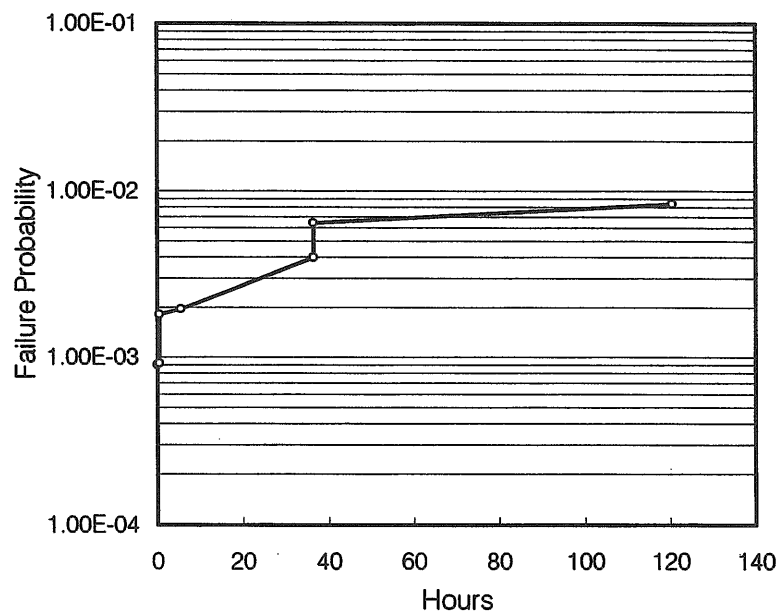


図-19 フェイズド・ミッション問題解析結果

9. 共通原因故障解析機能

9.1 共通原因故障

大規模システムの信頼度を向上させる手段としては、同一機能を持った系を多重化して、冗長性を持たせる方法が広く実施されている。しかし、一つの原因のために複数の機器・系統が同時に故障してしまう共通原因故障が発生すると、独立故障のみが発生すると仮定した場合に比較して、冗長系の信頼度は格段に低下してしまう恐れがある。

システム信頼性解析においては、共通原因故障を適切に扱うことが極めて重要になってくる。共通原因故障をまったく考慮にいれていない解析結果は、多分に信頼度を過大に評価することとなる。逆に、共通原因故障を不用意に取り扱うと、今度は何桁も大きなシステム故障確率が出てくる恐れがある。

共通原因故障の事例はすでに多数報告されているとはいえ、個々の機器やそれぞれのシステム固有の条件を考慮すると、統計的に有意義なデータを得るのに十分な事例があるとは言えない。したがって、未だ種々のモデルが共存するとともに工学的判断をも必要とし、共通原因故障はPSAの分野においても、今後一層の研究が望まれている分野といえる。

共通原因故障の詳細な議論は他の文献⁶⁾に譲り、ここでは共通原因故障のモデル化の方法を検討していく。

9.2 共通原因故障のモデル化

システム解析において共通原因故障からの寄与を組み入れる方法は大きく分けて明示的な方法と、パラメトリックな方法がある。

9.2.1 明示的方法

関連する一連の機器がはっきりしている従属故障と故障原因および影響される機器が明確な共通原因故障は、システム解析における論理モデルを修正し、従属性の寄与を直接的に扱う方法が取られる。例えば、イベント・ツリー(図-1)においてシステムBとCが共通の原因で故障する場合がある時を考えてみる。システム不動作を共通原因故障と独立故障の別々のヘディングに分離し、Bに共通原因故障が起こったシーケンスにおいては、Cは必ず不動作とし、共通原因故障が起こらなかったシーケンスのみに於て独立故障の発生の有無で分岐させる(図-20)。また、フォールト・ツリー中において取り扱う方法としては、独立故障と共通原因故障を分離し、それぞれを基事象として記述する。図-21では、AB、BC間に起こる共通原因故障をフォールト・ツリー中に書き加えている。これらの例では共通原因により同時故障が発生する機器の組み合わせが変わる毎に対応するイベント・ツリー、フォールト・ツリーを作成する必要がある。

システム規模が大きい、多数の故障原因がある等の理由でモデル化が困難であるとか、故障原因や故障連鎖が不明確でモデル化が不可能である場合はパラメトリックな方法

を用いる。

9.2.2 パラメトリックな方法

明示的方法では具体的な故障原因や従属故障の関連をまず明確にする必要がある。これに対してパラメトリックな方法では、実際のプラントの運転経験から求めたデータを基に、従属故障/共通原因故障の発生頻度を推定する。そのため、故障原因や従属故障の連鎖を特に明確にする必要はなく、主要な事象の漏れと抜けが少なくなると考えられる。しかし、解析対象プラント固有のデータに限界があるため、不確かさが大きくなるという欠点がある。

いま、 m 個の機器で構成されているシステムを考える。各機器は同種の機器で、各々の独立故障確率はどれも Q_1 であると仮定する。このシステムにおいて特定の k 個の機器が同時に故障する確率を Q_k とすると、特定の一つの機器の全故障確率 Q_i は

$$Q_i = \sum_{k=1}^m {}_{m-1}C_{k-1} \cdot Q_k \cdots \cdots \cdots (3)$$

となる。これら Q_k の Q_i にたいする比を推定する方法として種々のモデル化がなされている。以下主要な方法の概略を説明する。

(1) β -ファクタ (Factor) 法

この方法は高温ガス炉 (HTGR) の解析の際に、Flemingにより提唱され使用された方法³⁶⁾で、取り扱いが簡単なためその後の共通原因故障解析において広く用いられている。

このモデルでは、機器の全故障率を独立故障と共通原因故障の部分の和と考える。共通原因故障が発生したときは、故障原因が作用した機器のすべてが同時に故障すると仮定している。それ故、(3)式において Q_1 ($K=1$)、 Q_m ($k=m$) 以外はすべて0とし、

$$Q_m = \beta Q_i \cdots \cdots \cdots (4)$$

$$Q_1 = (1 - \beta) Q_i \cdots \cdots \cdots (5)$$

$$\beta = Q_m / (Q_1 + Q_m) \cdots \cdots \cdots (6)$$

の関係でパラメータ β を用い、共通原因故障からの寄与を表現する。

なお、故障率の異なる二つの機器A、Bの間での β ファクターは、確率でなく故障率を基準にとり、次のように定義される。

$$\lambda_c = \beta_A \cdot \lambda_A = \beta_B \cdot \lambda_B \cdots \cdots \cdots (7)$$

ここで λ_c は共通原因故障発生率、 λ_A と λ_B はそれぞれ共通原因をも含めた機器AとBの故障率である。 β ファクターとしては、それぞれ β_A 、 β_B のように機器により異なった値が定義されることになる。

(2) MGL (Multiple Greek Letter) モデル

冗長度がより高いシステムの解析に適用するため β ファクター法を拡張したモデル³⁷⁾である。同じく、 m 個の機器の冗長系について(3)式をもとに考えてみる。いま、次式により Q_k を Q_i の部分として表現する。

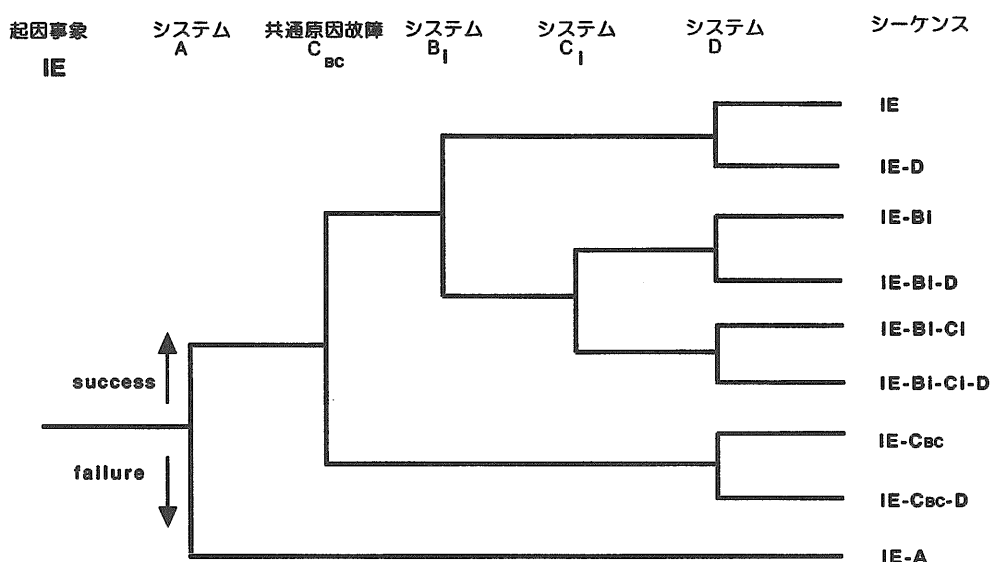


図-20 共通原因故障の明示的取り扱い例 (イベント・ツリー)

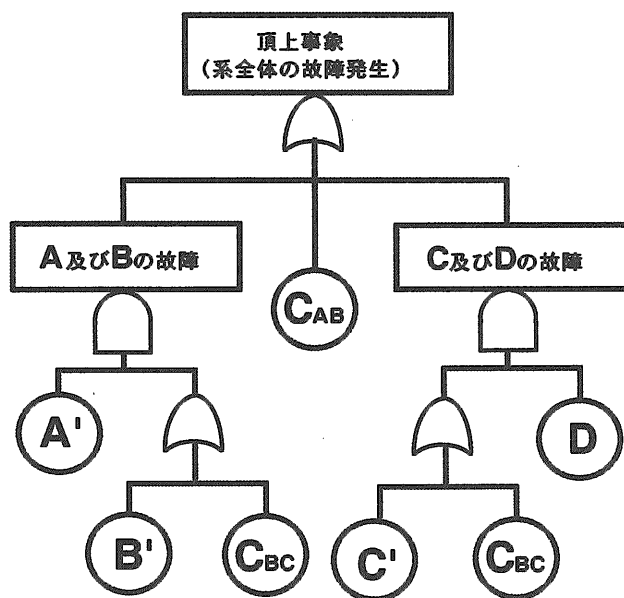


図-21 共通原因故障の明示的取り扱い例 (フォールト・ツリー)

$$Q_k = \frac{1}{m-1} \prod_{i=1}^k \rho_i (1 - \rho_{k+1}) Q_t \dots\dots\dots (8)$$

ここに、
 $\rho_1 = 1$ 、 $\rho_2 = \beta$ 、 $\rho_3 = \gamma$ 、 $\rho_4 = \delta$ 、 $\dots\dots$
 である。

上式を $k=1, 2, 3$ について具体的に書くと、

$$Q_1 = (1 - \beta) Q_t \dots\dots\dots (9)$$

$$Q_2 = \frac{1}{(m-1)} \cdot \beta (1 - \gamma) Q_t \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_3 = \frac{2}{(m-1)(m-2)} \cdot \beta \gamma (1 - \delta) Q_t \dots\dots\dots (11)$$