

分析論文

保全方式決定のための数量化手法の適用検討 －保全上の重要度の定量的検討(その2)－

三菱重工業株式会社・熊野 哲嗣
Tetsuji KUMANO

株式会社普遍学国際研究所・岩見 裕
Hiroshi IWAMI

秋田県立大学・笠井 雅夫
Masao KASAI

東京電力株式会社・設楽 親
Chikashi SHITARA

1. はじめに

原子力発電所の安全性・信頼性と経済性の最適点を求める「保全の最適化」が注目を浴びている中、発電所の設備機器の重要度に応じた適正な保全を行うことがより一層重要になってきている。前号の論文(その1)では、従来からある様々な重要度分類やクラス区分に加え、新たに“保全上の重要度”を考え、保全を実施する場合の最小単位となる「部品」を対象にして、この保全上の重要度を『クリー法』というシステム評価手法と既存の定性的手法により評価(定性評価という)し、比較検討を行った^[1]。

本論文(その2)では、上記定性評価の結果と、定

性評価結果を参考にしてクリー法というシステム評価手法を用いた場合の評価(検証評価という)の内容について論じる。

2. 定性評価

前号(その1)での定性評価結果を参考にしてクリー法を用いた評価(検証評価)について述べる前に、前号からの再掲となるが、後述の検討結果の理解を助ける目的で、原子力発電所等に数多く設置されている代表的な補助ポンプ(以下、単にポンプという)を例に、機器部品の保全上の重要度に関する定性評価の結果を表-1に示す。

表-1 既存の工学的判断に基づく定性的手法による機器部品の保全上の重要度の評価結果(ポンプの例)

機能	部品	重要部品	評点	経年変化事象	故障モード	発生の可能性	故障の影響	評点	検知の容易性(検知可能性)	評点	規制関連	評点	総合評点	部品レベル重要度
送水	主軸	◎	10	摩耗	軸振動大	中	大	40	普通	20	—	1	71	A
			10	疲労割れ	主軸損傷	小	小	10	困難	30	—	1	51	C
	羽根車	◎	10	腐食	吐出圧力低下	中	大	40	普通	20	—	1	71	A
	羽根車リング	—	1	腐食	吐出圧力低下	大	中	40	困難	30	—	1	72	A
	ケーシングリング	—	1	腐食	吐出圧力低下	小	中	20	困難	30	—	1	52	C
	軸受	◎	10	摩耗	軸振動大	大	大	50	容易	10	—	1	71	A
耐圧	ケーシング	◎	10	腐食	変形	小	小	10	困難	30	○	10	60	B
			10	疲労割れ	冷却材漏えい	小	大	30	普通	20	○	10	70	A
	ケーシングカバー	◎	10	腐食	冷却材漏えい	小	大	30	容易	10	○	10	60	B
			10	疲労割れ	冷却材漏えい	小	大	30	普通	20	—	1	61	B
	取付ボルト	◎	10	腐食	軸振動大	小	大	30	普通	20	○	10	70	A
	メカニカルシール	—	1	摩耗	シール水漏れ	大	小	40	容易	10	—	1	52	C
支持	シール水クーラ	—	1	腐食	シール水漏れ	小	小	10	普通	20	—	1	32	E
	ベース	—	1	腐食	機器振動大	小	小	10	容易	10	—	1	22	E
	基礎ボルト	◎	10	腐食	機器振動大	小	大	30	容易	10	—	1	51	C

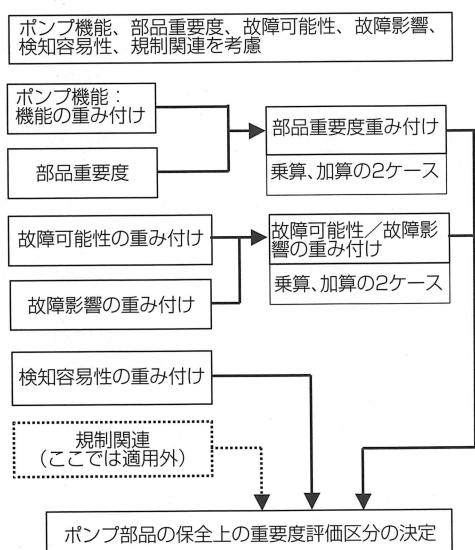
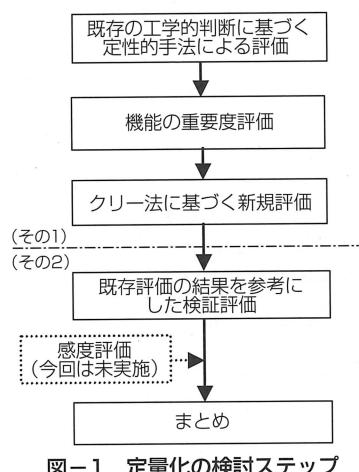
3. 検証評価

3-1) 数理化手法の選定

前号（その1）で用いたクリー法は、定量的な評価が可能であることを重視して選定した。その特徴については、前号に記載しているので、ここでは省略する。

3-2) 保全上の重要度の定量化の検討手順

保全上の重要度の定量化は、図-1に示す検討ステップ、図-2に示す定量化フロー（ポンプの例）に沿って行った。検討対象設備はポンプである（前号（その1）を参照のこと）。



3-3) 機能の重要度評価

これは、3-4) 項で実施する機器部品の保全上の重要度評価の前提となる機能の重要度評価（重み係数）であり、基本的には前号（その1）でのものと同じである。その結果を表-2に示す。表中の「検証評価」欄に、以下で実施する検証評価に対する機能の重要度評価（重み係数）の結果を、「新規評価」欄に前号（その1）で説明した新規評価に関する結果を参考までに示した^[2]。

表-2 機能の重要度評価（重み係数：ポンプの例）

機能	部品	評価項目	新規評価 [参考]			検証評価		
			比較	再評価	重み係数	比較	再評価	重み係数
送水	主軸、羽根車、羽根車リング、ケーシングリング、軸受	A	3	6.0	0.67	1	2.0	0.4
耐圧	ケーシング、ケーシングカバー、取付ボルト、メカニカルシール、シール水クーラ	B	2	2.0	0.22	2	2.0	0.4
支持	ベース、基礎ボルト	C	-	1.0	0.11	-	1.0	0.2
合計			-	9.0	1.00	-	5.0	1.0

3-4) 検証評価

本評価は、前号（その1）で検討した既存の定性評価結果を参考にした数理化手法による機器部品の保全上の重要度の評価（検証評価）であり、システム評価手法としては前述の通り、クリー法を用いている。各評価表の整理表（クリー法）を表-3に示す。表-4には機器部品間の重み付けを行った結果を、また、表-5および表-6には故障発生の可能性および故障影響について重み付けを行った結果を示した。表-7および表-8は、表-5および表-6に基づいて、各部品の故障モード毎の重みを算出した結果である。ここで、乗算方式とは、故障の発生可能性に関する重みと故障影響の重みの乗算により各部品の故障モード毎の重みを算出していることを意味しており、加算方式とは、故障発生と故障影響の重みの加算により各部品の故障モード毎の重みを算出していることを意味している。更に、表-9は故障検知の容易性に関する重みを算出した結果で、表-10は、表-7および8の重みと表-9の重みから、保全上の重要度を算出したものである。なお、表-4～表-6および表-9の「比較」欄には、当該表のある項目がその下の項目に比べて何倍重要かを比較した結果を示している。従って、一番下の項目には、比較する項目が無いので、「-」が記

表-3 各評価表の整理

表番号	表題
表-3	各評価表の整理 (注: 本表)
表-4	機器部品の重要度重み付け (検証評価)
表-5	故障の発生可能性の重み付け (検証評価)
表-6	故障影響の重み付け (検証評価)
表-7	故障発生可能性／故障影響を考慮した重み係数 (乗算方式)
表-8	故障発生可能性／故障影響を考慮した重み係数 (加算方式)
表-9	検知の容易性に関する重み付け (検証評価)
表-10	ポンプ部品の保全上の重要度評価結果 (検証評価)

されている。また、「再評価」とは、一番下の項目の重みを1として、下の項目から上の項目に向かって重みを再計算することを意味している。従って、例えば、下から二番目の項目が一番下の項目に比べて0.7倍重要であれば、重みの「再評価」値は $1 \times 0.7 = 0.7$ となり、下から三番目の項目が下から二番目の項目に比べて2倍重要であれば、その重みの「再評価」値は $0.7 \times 2 = 1.4$ と計算される。最終的には、再評価された重みの和を取り、それが1になるように規格化して「重み係数」を算出する。このような方法がクリー法を用いた重み付けの方法である^[1]。

表-4 機器部品の重要度重み付け (検証評価)

機能	部品	検証評価						
		比較	再評価	重み係数	修正係数		最終係数	
送水	主軸	1.0	1.0	0.312	10	0.125	0.712	7.0 6.4
	羽根車	10	1.0	0.312	10	0.125	0.712	7.0 6.4
	羽根車リング	1.0	0.1	0.031	1	0.012	0.431	0.7 3.9
	ケーシングリング	0.1	0.1	0.031	1	0.012	0.431	0.7 3.9
	軸受	—	1.0	0.032	10	0.125	0.712	7.0 6.4
耐圧	計	—	3.2	1.00				
	ケーシング	1.0	10	0.312	10	0.125	0.712	7.0 6.4
	ケーシングカバー	1.0	10	0.312	10	0.125	0.712	7.0 6.4
	取付ボルト	10	10	0.312	10	0.125	0.712	7.0 6.4
	メカニカルシール	1.0	1.0	0.031	1	0.012	0.431	0.7 3.9
	シール水クーラ	—	1.0	0.031	1	0.012	0.431	0.7 3.9
	計	—	32	1.00				
支持	ベース	0.1	0.1	0.090	1	0.018	0.290	1.0 2.6
	基礎ボルト	—	1.0	0.91	10	0.182	1.11	10 10
	計	—	1.1	1.00				

表-5 故障の発生可能性の重み付け (検証評価)

機能	部品	検証評価			
		比較	再評価	重み係数	区分 ^(注)
送水	主軸	摩耗	2	1.70	0.082 小
		疲労割れ	0.5	0.85	0.041 中
	羽根車	腐食	0.7	1.70	0.082 大
	羽根車リング	腐食	3	2.43	0.117 小
	ケーシングリング	腐食	0.3	0.81	0.039 大
耐圧	軸受	摩耗	3	2.7	0.130 小
	ケーシング	腐食	1	0.9	0.043 小
		疲労割れ	1	0.9	0.043 小
	ケーシングカバー	腐食	1	0.9	0.043 小
		疲労割れ	1	0.9	0.043 小
	取付ボルト	摩耗	0.3	0.9	0.043 大
	メカニカルシール	腐食	3	3.0	0.145 小
	シール水クーラ	腐食	1	1.0	0.048 小
	ベース	腐食	1	1.0	0.048 小
	基礎ボルト	腐食	—	1.0	0.048
計			20.7		

(注) 定性評価におけるもの。

表-6 故障影響の重み付け (検証評価)

機能	部品	検証評価			
		比較	再評価	重み係数	区分:倍率 ^(注)
送水	主軸	摩耗	3	0.78	0.081 大: 3
		疲労割れ	0.3	0.26	0.027 小: 1
耐圧	羽根車	腐食	1.5	0.86	0.089 大: 3
	羽根車リング	腐食	1	0.57	0.059 中: 2
	ケーシングリング	腐食	0.7	0.57	0.059 中: 2
	軸受	摩耗	3	0.81	0.084 大: 2
耐圧	ケーシング	腐食	0.3	0.27	0.028 小: 1
		疲労割れ	1	0.9	0.094 大: 3
	ケーシングカバー	腐食	1	0.9	0.094 大: 3
		疲労割れ	1	0.9	0.094 大: 3
支持	取付ボルト	摩耗	3	0.9	0.094 大: 3
	メカニカルシール	腐食	1	0.3	0.031 小: 1
	シール水クーラ	腐食	1	0.3	0.031 小: 1
	ベース	腐食	0.3	0.3	0.031 小: 1
計				9.62	

(注) 定性評価におけるもの。

表-7 故障発生可能性／故障影響を考慮した重み係数（乗算方式）

機能	部品	検証評価			
		表-5の重み係数	表-6の重み係数	総合	
送水	主軸	摩耗	0.082	0.081	6.64
		疲労割れ	0.041	0.027	1.11
	羽根車	腐食	0.082	0.089	7.30
	羽根車リング	腐食	0.117	0.059	6.90
	ケーシングリング	腐食	0.039	0.059	2.30
耐圧	軸受	摩耗	0.130	0.084	10.92
	ケーシング	腐食	0.043	0.028	1.20
		疲労割れ	0.043	0.094	4.04
	ケーシングカバー	腐食	0.043	0.094	4.04
		疲労割れ	0.043	0.094	4.04
	取付ボルト	腐食	0.043	0.094	4.04
	メカニカルシール	摩耗	0.145	0.031	4.50
	シール水クーラ	腐食	0.048	0.031	1.49
支持	ベース	腐食	0.048	0.031	1.49
	基礎ボルト	腐食	0.048	0.104	5.00
					23

表-8 故障発生可能性／故障影響を考慮した重み係数（加算方式）

機能	部品	検証評価			
		表-5の重み係数	表-6の重み係数	総合	
送水	主軸	摩耗	0.082	0.081	0.163
		疲労割れ	0.041	0.027	0.068
	羽根車	腐食	0.082	0.089	0.171
	羽根車リング	腐食	0.117	0.059	0.176
	ケーシングリング	腐食	0.039	0.059	0.098
耐圧	軸受	摩耗	0.130	0.084	0.214
	ケーシング	腐食	0.043	0.028	0.137
		疲労割れ	0.043	0.094	0.137
	ケーシングカバー	腐食	0.043	0.094	0.137
		疲労割れ	0.043	0.094	0.137
	取付ボルト	腐食	0.043	0.094	0.137
	メカニカルシール	摩耗	0.145	0.031	0.176
	シール水クーラ	腐食	0.048	0.031	0.079
支持	ベース	腐食	0.048	0.031	0.079
	基礎ボルト	腐食	0.048	0.104	0.152
					36

表-9 検知の容易性に関する重み付け（検証評価）

機能	部品	検証評価			
		比較	再評価	重み係数	
送水	主軸	摩耗	0.67	1.82	0.066
		疲労割れ	1.5	2.72	0.098
	羽根車	腐食	0.67	1.81	0.066
	羽根車リング	腐食	1.0	2.7	0.098
	ケーシングリング	腐食	3.0	2.7	0.098
	軸受	摩耗	0.3	0.9	0.033
耐圧	ケーシング	腐食	1.5	3.0	0.108
		疲労割れ	2.0	2.0	0.072
	ケーシングカバー	腐食	0.5	1.0	0.036
		疲労割れ	1.0	2.0	0.072
	取付ボルト	腐食	2.0	2.0	0.072
	メカニカルシール	摩耗	0.5	1.0	0.036
	シール水クーラ	腐食	2.0	2.0	0.072
	ベース	腐食	1.0	1.0	0.036
	基礎ボルト	腐食	—	1.0	0.036
	計		27.65	1.00	

表-10 ポンプ部品の保全上の重要度評点結果（検証評価）

機能	部品	検証評価					
		評点-1 ^(注)		評点-2 ^(注)		既存の定性的評価結果	
送水	主軸	摩耗	56	C	63	B	71 A
		疲労割れ	40	D	50	C	51 C
	羽根車	腐食	59	C	65	B	71 A
	羽根車リング	腐食	61	B	73	A	72 A
	ケーシングリング	腐食	40	D	55	C	52 C
	軸受	摩耗	67	B	66	B	71 A
耐圧	ケーシング	腐食	53	C	63	B	60 B
		疲労割れ	56	C	68	B	70 A
	ケーシングカバー	腐食	46	D	58	C	60 B
		疲労割れ	56	C	68	B	61 B
	取付ボルト	腐食	56	C	68	B	70 A
	メカニカルシール	摩耗	33	E	56	C	42 C
	シール水クーラ	腐食	29	E	44	D	32 E
	ベース	腐食	19	E	33	E	22 E
	基礎ボルト	腐食	44	D	57	C	51 C

(注) 評点-1 : 評価の際、項目間で乗じた場合。
 評点-2 : 評価の際、項目間で加算した場合。
 A~Eの区分の定義は、前号の論文（その1）表-2参照。

表-10の結果を前号（その1）の結果と比較すると、加算方式による保全上の重要度評価が定性的な評価に近い結果が得られる事が分かる（前号（その1）参照）。

4.まとめ

今回の検討（その2）では、機器部品（ポンプ部品）の重要度を、前号（その1）で検討した定性評価結果を参考にして、クリー法を用いた場合の評価（検証評価）を行った。その結果、表-10に示すように、前号（その1）での結論と同様に、「評点-2」の加算方式の方が、既存の定性的手法による評価（定性評価）の結果により近い結果となった。

以上、前号（その1）と合わせて考えると、一例（ポンプ）だけによるケーススタディ評価ではあるが、クリー法を用いて機器部品の保全上の重要度を評価する場合には、乗算方式よりも加算方式の方がより手法として妥当であると考えられる。

今後、さらにケーススタディを行うことにより、手法検証をより確かなものとすることができる。

参考文献

- [1] 熊野哲嗣、笠井雅夫、岩見裕、設楽親、保全方式決定のための数量化手法の適用検討、－保全上の重要度の定量的検討（その1）－、保全学 Vol3, No.4 (2005).
- [2] (社)日本機械学会研究協力部会RC177軽水型原子力発電所保全研究分科会（フェーズ2）、研究報告書、2002年3月31日発刊。

(平成17年3月17日)