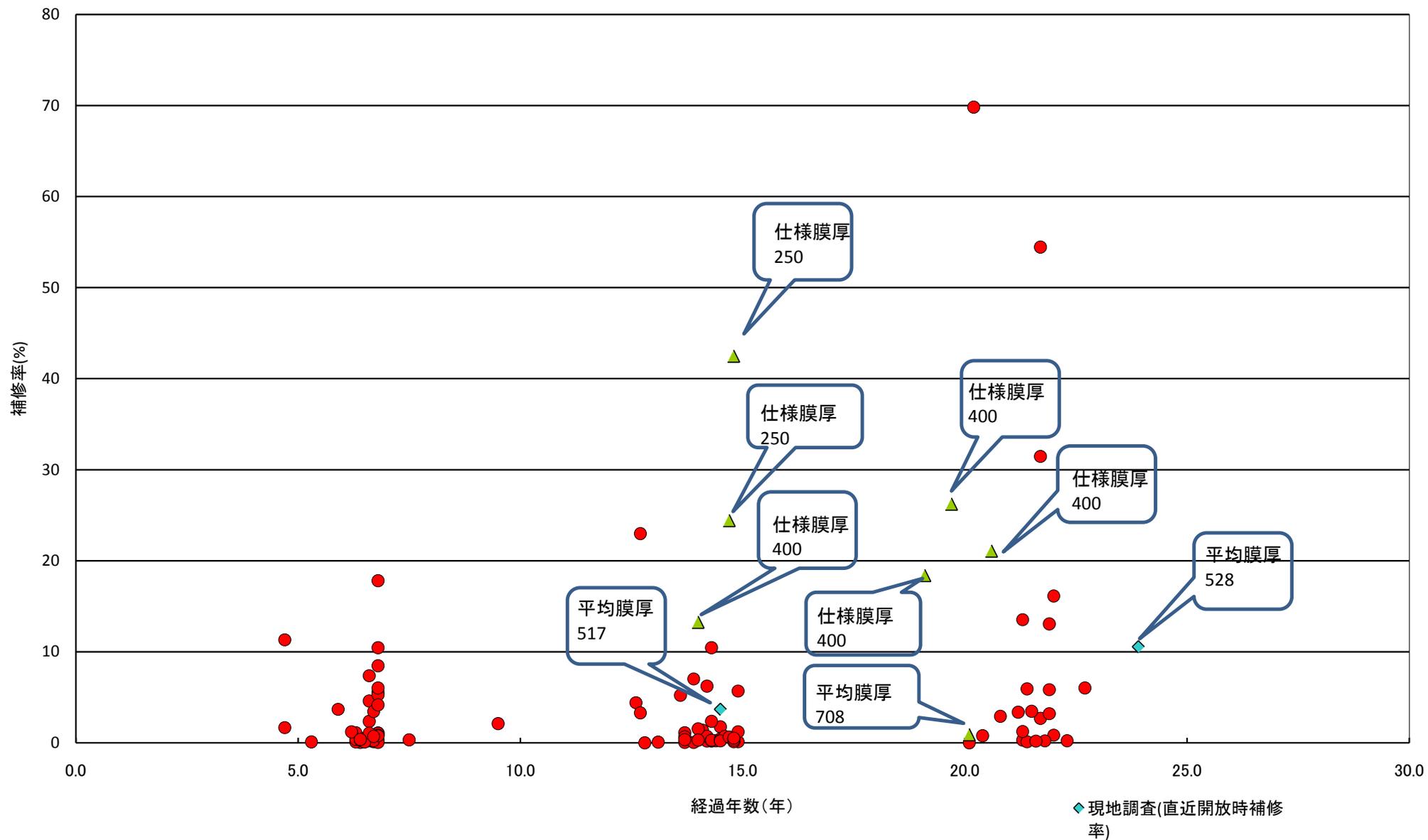


屋外貯蔵タンクのコーティングの
耐用年数に関する検討業務

コーティングの補修履歴等データ調査結果報告書

現地目視調査結果、及び履歴調査結果（単年データ）



現地目視調査結果

タンク名	12-T405	70002	25099
経過年数(Y)	23.9	14.5	
補修率(%)	10.559	3.682	
補修面積(m ²)	81.198	120.397	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	769	3270	
最低膜厚[実測値](μm)	336.4	393.3	

※現地調査対象タンクの補修率および補修面積は、調査時のみの数値

履歴調査結果(直近開放時)

タンク名	A-1(005T)	A-1(010T)	A-1(013T)	A-1(702T)	A-1(703T)	A-1(1860T)	A-3(TK-223)
経過年数(Y)	14.0	19.1	14.8	19.7	20.6	14.7	20.1
直近開放時補修率(%)	13.239	18.372	42.467	26.212	21.061	24.406	0.889
直近開放時補修面積(m ²)	244.000	343.000	1,728.000	173.000	139.000	195.000	8.550
全体面積[底板+7-15板](m ²)	1843	1867	4069	660	660	799	962
最低膜厚[管理値](μm)	400	400	250	400	400	250	350

※履歴調査の内、「直近開放時」の補修率および補修面積は、直近のタンク開放時のみの数値

履歴調査結果

タンク名	B-2(206)			D-1(25154)			A-4(1)			A-4(4)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.4	12.8	20.1	4.7	13.9	22.7	6.8	14.3	22.0	6.7	14.0	21.8
補修率(%)	0.449	0	0	11.316	7.021	6.03	1.073	0.192	0.843	0.115	0.287	0.211
補修面積(m ²)	4.000	0.000	0.000	137.000	85.000	73.000	56.000	10.000	44.000	6.000	15.000	11.000
全体面積[底板+7-15板](m ²)	892			1211			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	210	250	260	297	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(5)			A-4(7)			A-4(8)			A-4(9)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	5.3	13.1	/	6.8	14.2	22.3	6.6	12.6	20.2	6.8	14.2	21.9
補修率(%)	0.096	0.077	/	17.816	0.192	0.23	4.598	4.406	69.828	1.054	6.226	13.065
補修面積(m ²)	5.000	4.000	/	930.000	10.000	12.000	240.000	230.000	3645.000	55.000	325.000	682.000
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	/	250	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(10)			A-4(11)			A-4(12)			A-4(13)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.8	14.1	21.7	6.5	12.7	21.7	6.3	9.5	20.8	6.4	13.7	21.3
補修率(%)	0.824	1.398	2.682	0.479	22.989	54.444	1.111	2.107	2.912	0.057	0.057	0.307
補修面積(m ²)	43.000	73.000	140.000	25.000	1200.000	2842.000	58.000	110.000	152.000	3.000	3.000	16.000
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(14)			A-4(15)			A-4(16)			A-4(17)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数												
経過年数(Y)	6.3	14.2	21.4	6.6	13.6	21.3	6.6	7.5	21.3	6.8	14.3	21.7
補修率(%)	0.096	0.709	0.115	7.375	5.23	13.525	2.356	0.326	1.245	5.556	10.441	31.456
補修面積(m ²)	5.000	37.000	6.000	385.000	273.000	706.000	123.000	17.000	65.000	290.000	545.000	1642.000
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(18)			A-4(19)			A-4(20)			A-4(21)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数												
経過年数(Y)	6.6	13.7	21.4	6.8	14.9		6.8	14.8		6.6	14.4	
補修率(%)	0.824	1.111	5.92	0.345	0.115		5.268	0.134		0.23	0.23	
補修面積(m ²)	43.000	58.000	309.000	18.000	6.000		275.000	7.000		12.000	12.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250		250	250		250	250	

タンク名	A-4(22)			A-4(23)			A-4(24)			A-4(25)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数												
経過年数(Y)	6.5	13.9	21.2	6.3	14.3		6.4	14.3	21.6	6.7	14.5	21.9
補修率(%)	0.134	0.038	3.372	0.383	0.249		0.307	0.287	0.192	3.448	1.762	5.843
補修面積(m ²)	7.000	2.000	176.000	20.000	13.000		16.000	15.000	10.000	180.000	92.000	305.000
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250		250	250	250	250	250	250

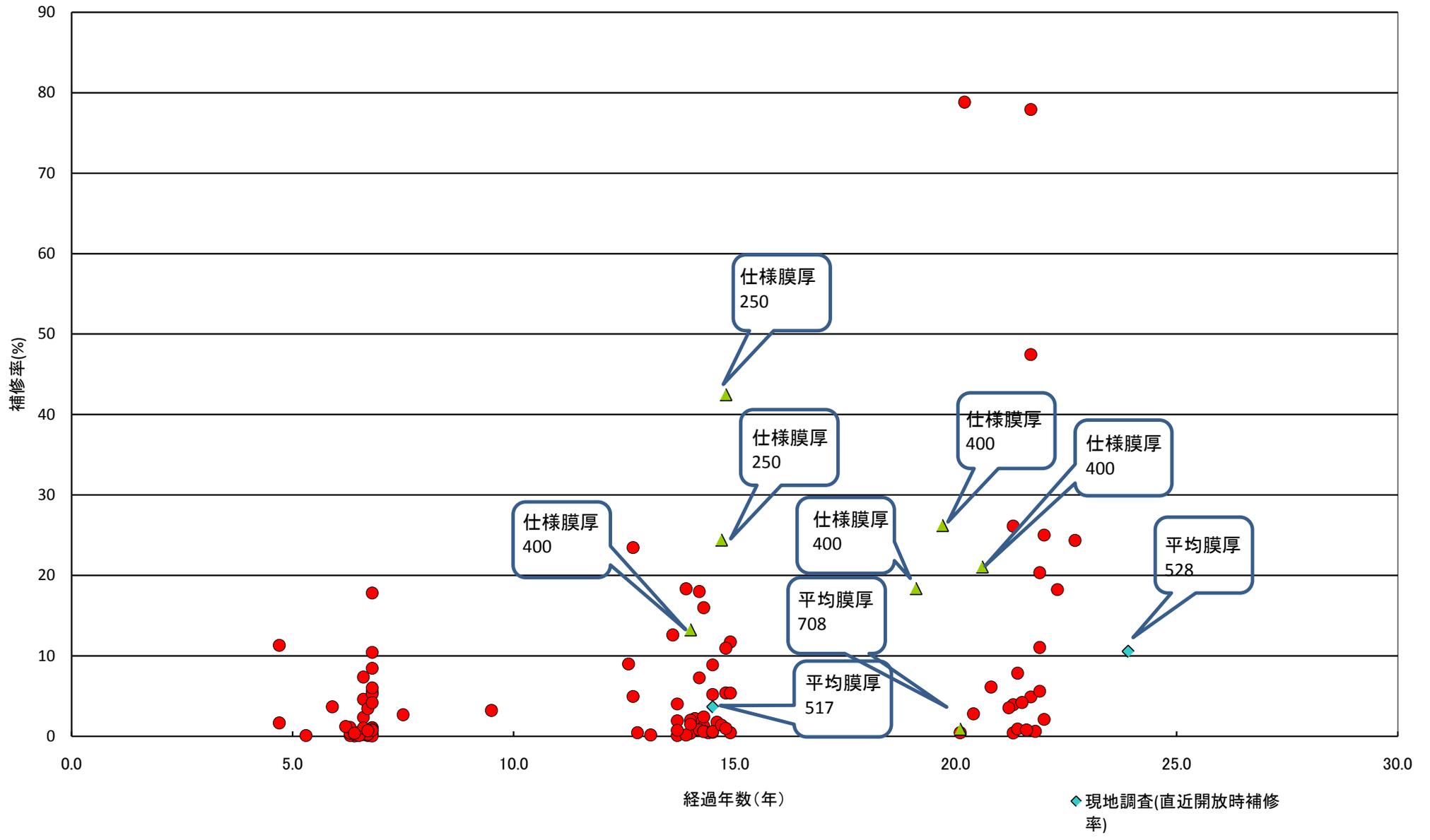
タンク名	A-4(26)			A-4(27)			A-4(28)			A-4(29)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数												
経過年数(Y)	6.5	14.0	20.4	6.8	14.3	21.9	6.8	14.5	22.0	6.7	14.5	
補修率(%)	0.479	1.533	0.785	0.057	2.356	3.199	8.467	0.421	16.13	0.249	0.249	
補修面積(m ²)	25.000	80.000	41.000	3.000	123.000	167.000	442.000	22.000	842.000	13.000	13.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	

タンク名	A-4(30)			A-4(37)			A-4(38)			A-4(39)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数												
経過年数(Y)	6.5	13.7	21.5	6.2	14.0		6.6	14.6		6.4	14.5	
補修率(%)	0.096	0.651	3.467	1.207	0.307		1.054	0.709		0.383	0.211	
補修面積(m ²)	5.000	34.000	181.000	63.000	16.000		55.000	37.000		20.000	11.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250		250	250		250	250	

タンク名	A-4(40)			A-4(41)			A-4(42)			A-4(45)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数												
経過年数(Y)	4.7	12.7		6.8	14.7		6.7	14.8		6.8	14.9	
補修率(%)	1.667	3.295		0.766	0.632		0.709	0.287		6.034	5.69	
補修面積(m ²)	87.000	172.000		40.000	33.000		37.000	15.000		315.000	297.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250		250	250		250	250		250	250	

タンク名	A-4(46)			A-4(47)			A-4(48)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数									
経過年数(Y)	6.8	14.9		5.9	13.7		6.8	14.8	
補修率(%)	4.176	1.207		3.678	0.345		10.441	0.517	
補修面積(m ²)	218.000	63.000		192.000	18.000		545.000	27.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250		250	250		250	250	

現地目視調査結果、及び履歴調査結果（累積データ）



現地目視調査結果

タンク名	12-T405	70002	25099
経過年数(Y)	23.9	14.5	
補修率(%)	10.559	3.682	
補修面積(m ²)	81.198	120.397	26.375
全体面積[底板+7=1板](m ²)	769	3270	1052
最低膜厚[実測値](μm)	336.4	393.3	655.5

※現地調査対象タンクの補修率および補修面積は、調査時のみの数値

履歴調査結果(直近開放時)

タンク名	A-1(005T)	A-1(010T)	A-1(013T)	A-1(702T)	A-1(703T)	A-1(1860T)	A-3(TK-223)
経過年数(Y)	14.0	19.1	14.8	19.7	20.6	14.7	20.1
直近開放時補修率(%)	13.239	18.372	42.467	26.212	21.061	24.406	0.889
直近開放時補修面積(m ²)	244.000	343.000	1,728.000	173.000	139.000	195.000	8.550
全体面積[底板+7=1板](m ²)	1843	1867	4069	660	660	799	962
最低膜厚[管理値](μm)	400	400	250	400	400	250	350

※履歴調査の内、「直近開放時」の補修率および補修面積は、直近のタンク開放時のみの数値

履歴調査結果

タンク名	B-2(206)			D-1(25154)			A-4(1)			A-4(4)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.4	12.8	20.1	4.7	13.9	22.7	6.8	14.3	22.0	6.7	14.0	21.8
累積補修率(%)	0.449	0.449	0.449	11.316	18.336	24.366	1.073	1.264	2.107	0.115	0.402	0.613
累積補修面積(m ²)	4.000	4.000	4.000	137.000	222.000	295.000	56.000	66.000	110.000	6.000	21.000	32.000
全体面積[底板+7=1板](m ²)	892			1211			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	210	250	260	297	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(5)			A-4(7)			A-4(8)			A-4(9)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	5.3	13.1	/	6.8	14.2	22.3	6.6	12.6	20.2	6.8	14.2	21.9
累積補修率(%)	0.096	0.172	/	17.816	18.008	18.238	4.598	9.004	78.831	1.054	7.28	20.345
累積補修面積(m ²)	5.000	9.000	/	930.000	940.000	952.000	240.000	470.000	4115.000	55.000	380.000	1062.000
全体面積[底板+7=1板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	/	250	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(10)			A-4(11)			A-4(12)			A-4(13)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.8	14.1	21.7	6.5	12.7	21.7	6.3	9.5	20.8	6.4	13.7	21.3
累積補修率(%)	0.824	2.222	4.904	0.479	23.467	77.912	1.111	3.218	6.13	0.057	0.115	0.421
累積補修面積(m ²)	43.000	116.000	256.000	25.000	1225.000	4067.000	58.000	168.000	320.000	3.000	6.000	22.000
全体面積[底板+7=1板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(14)			A-4(15)			A-4(16)			A-4(17)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.3	14.2	21.4	6.6	13.6	21.3	6.6	7.5	21.3	6.8	14.3	21.7
累積補修率(%)	0.096	0.805	0.92	7.375	12.605	26.13	2.356	2.682	3.927	5.556	15.996	47.452
累積補修面積(m ²)	5.000	42.000	48.000	385.000	658.000	1364.000	123.000	140.000	205.000	290.000	835.000	2477.000
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(18)			A-4(19)			A-4(20)			A-4(21)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.6	13.7	21.4	6.8	14.9		6.8	14.8		6.6	14.4	
累積補修率(%)	0.824	1.935	7.854	0.345	0.46		5.268	5.402		0.23	0.46	
累積補修面積(m ²)	43.000	101.000	410.000	18.000	24.000		275.000	282.000		12.000	24.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250		250	250		250	250	

タンク名	A-4(22)			A-4(23)			A-4(24)			A-4(25)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.5	13.9	21.2	6.3	14.3		6.4	14.3	21.6	6.7	14.5	21.9
累積補修率(%)	0.134	0.172	3.544	0.383	0.632		0.307	0.594	0.785	3.448	5.211	11.054
累積補修面積(m ²)	7.000	9.000	185.000	20.000	33.000		16.000	31.000	41.000	180.000	272.000	577.000
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250		250	250	250	250	250	250

タンク名	A-4(26)			A-4(27)			A-4(28)			A-4(29)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.5	14.0	20.4	6.8	14.3	21.9	6.8	14.5	22.0	6.7	14.5	
累積補修率(%)	0.479	2.011	2.797	0.057	2.414	5.613	8.467	8.889	25.019	0.249	0.498	
累積補修面積(m ²)	25.000	105.000	146.000	3.000	126.000	293.000	442.000	464.000	1306.000	13.000	26.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	

タンク名	A-4(30)			A-4(37)			A-4(38)			A-4(39)		
開放回数	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
経過年数(Y)	6.5	13.7	21.5	6.2	14.0		6.6	14.6		6.4	14.5	
累積補修率(%)	0.096	0.747	4.215	1.207	1.513		1.054	1.762		0.383	0.594	
累積補修面積(m ²)	5.000	39.000	220.000	63.000	79.000		55.000	92.000		20.000	31.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250	250	250	250		250	250		250	250	

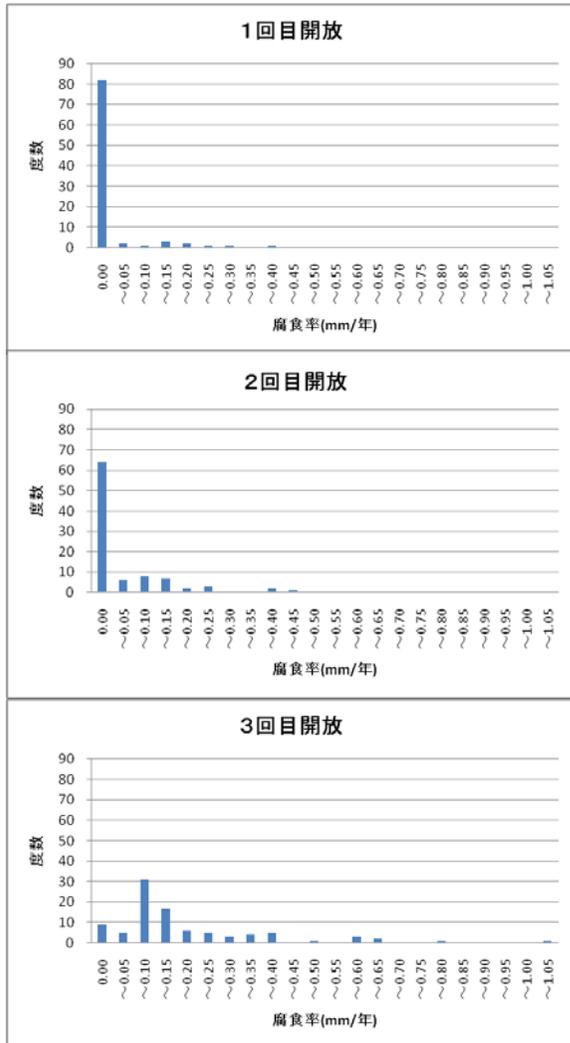
タンク名	A-4(40)			A-4(41)			A-4(42)			A-4(45)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数												
経過年数(Y)	4.7	12.7		6.8	14.7		6.7	14.8		6.8	14.9	
累積補修率(%)	1.667	4.962		0.766	1.398		0.709	0.996		6.034	11.724	
累積補修面積(m ²)	87.000	259.000		40.000	73.000		37.000	52.000		315.000	612.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250		250	250		250	250		250	250	

タンク名	A-4(46)			A-4(47)			A-4(48)		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
開放回数									
経過年数(Y)	6.8	14.9		5.9	13.7		6.8	14.8	
累積補修率(%)	4.176	5.383		3.678	4.023		10.441	10.958	
累積補修面積(m ²)	218.000	281.000		192.000	210.000		545.000	572.000	
全体面積[底板+7-15板](m ²)	5220			5220			5220		
最低膜厚[管理値](μm)	250	250		250	250		250	250	

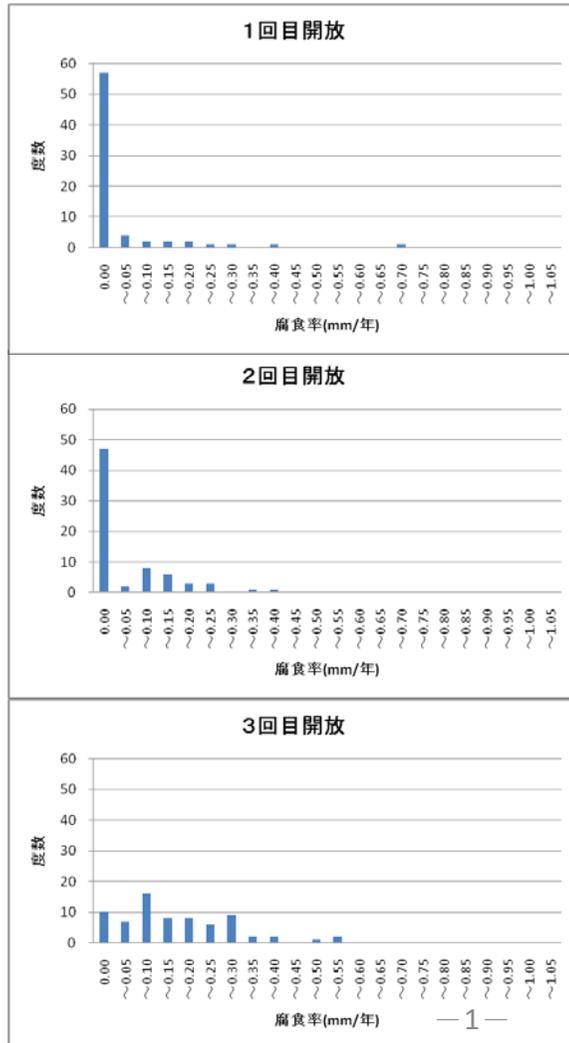
タンクの内面腐食速度の変動とコーティングの効果(1)

●下の図は、建設当初からGFコーティングが施工されているタンクの各開放時に求められたタンクごとの最大内面腐食深さから求めた内面腐食速度と基数の関係を示したものである。過去3回以上の開放実績があり、各開放時のデータが得られ、かつ塗り替えが行われていないもののみ抽出した。内面腐食速度は、前回補修後の内面腐食による最小板厚と今回開放時の最大内面腐食量から算出したもの。

アニュラ板



底板



●内面腐食速度は平均値で見ても経年的に増加していること、また3回目においては顕著なピークが見られず、GFコーティングが内面腐食防止機能を発揮していない、すなわち耐用年数が経過してしまったものが多いことが想像される。

アニュラ板

	タンク基数	腐食速度の平均値(mm/年)	腐食速度の最大値(mm/年)
第1回開放	93基	0.019	0.357
第2回開放	93基	0.041	0.429
第3回開放	93基	0.174	1.01

底板

	タンク基数	腐食速度の平均値(mm/年)	腐食速度の最大値(mm/年)
第1回開放	71基	0.033	0.657
第2回開放	71基	0.047	0.367
第3回開放	71基	0.154	0.544

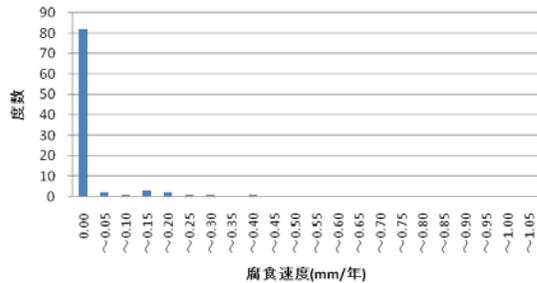
- 開放時に見つかった最大内面腐食箇所が、前回開放時の補修後の内面腐食による最小板厚箇所であったと仮定し、開放間隔年数により腐食速度を求めた。
- 腐食履歴データは危険物保安技術協会が保存しているもの。各タンクの最も古いデータを1回目とした。

タンクの内面腐食速度の変動とコーティングの効果(2)

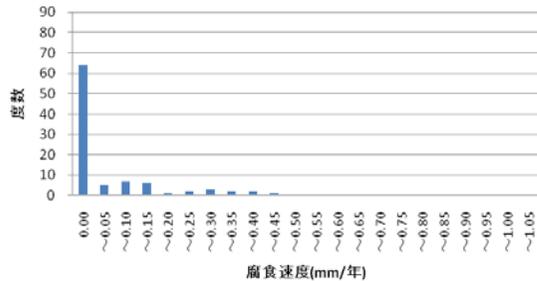
●下の図は、建設当初からGFコーティングが施工されているタンクの各開放時に求められたタンクごとの最大内面腐食深さから求めた内面腐食速度と基数の関係を示したものである。過去3回以上の開放実績があり、各開放時のデータが得られ、かつ塗り替えが行われていないもののみ抽出した。内面腐食速度は、初期板厚と今回開放時の最大内面腐食量から算出したもの。

アニュラ板

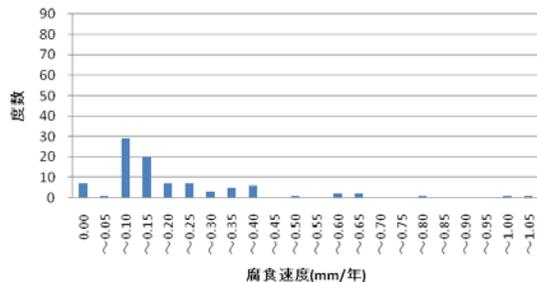
1回目開放



2回目開放

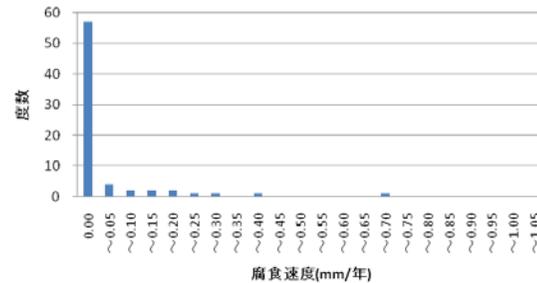


3回目開放

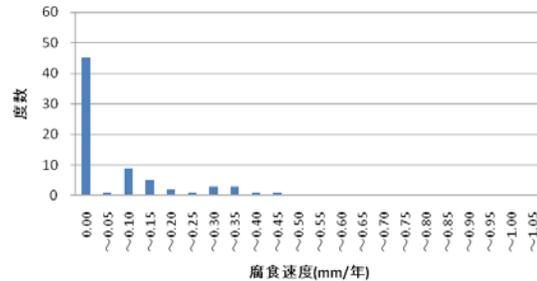


底板

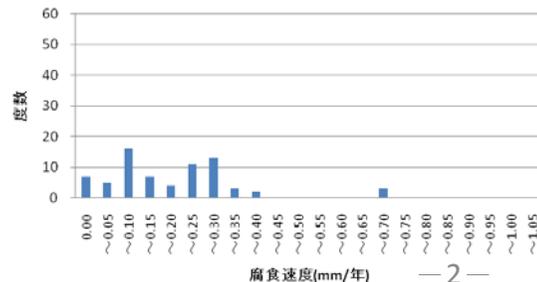
1回目開放



2回目開放



3回目開放



●内面腐食速度は平均値で見ても経年的に増加していること、また3回目においては顕著なピークが見られず、GFコーティングが内面腐食防止機能を発揮していない、すなわち耐用年数が経過してしまったものが多いことが想像される。

アニュラ板

	タンク基数	腐食速度の平均値(mm/年)	腐食速度の最大値(mm/年)
第1回開放	93基	0.019	0.357
第2回開放	93基	0.049	0.429
第3回開放	93基	0.198	1.20

底板

	タンク基数	腐食速度の平均値(mm/年)	腐食速度の最大値(mm/年)
第1回開放	71基	0.033	0.657
第2回開放	71基	0.063	0.479
第3回開放	71基	0.185	0.700

- ・開放時に見つかった最大内面腐食箇所が、前回開放時には内面腐食がなかったと仮定し、開放間隔年数により腐食速度を求めた。
- ・腐食履歴データは危険物保安技術協会が保存しているもの。各タンクの最も古いデータを1回目とした。

浸漬試験の結果及び実タンクの塗膜劣化状況についての調査結果のまとめ

1. 温度勾配浸漬試験と実タンクにおける塗膜劣化の相関

平成 14 年度報告書では、40/20℃温度勾配浸漬試験（促進試験）による試験片塗膜の耐久性の寿命欠陥が発生する日数と、その試験片と同等な塗膜である実タンクの耐久性の寿命欠陥が発生する年数との相関を表すものとして検量線を用いて耐久性限界について検討され、その結果、促進試験結果から、実タンクでの使用実績がない塗膜であっても長期間の耐久性限界を予測する有効な手段であると考えられた。今年度は過去の検討結果等を活用し、かつ実験等によりデータを補足することでエピビス 100%GF コーティングの常温使用での検量線を作成することを目的として、40/20℃温度勾配浸漬試験、実タンクの塗膜調査等を行った。

塗膜の耐久性限界を判断する欠陥の種類として、膨れ、膨潤等があるが実態としてタンクの塗膜の経年劣化として膨れがもっと多く現れ^{*1}、膨れの原因として最も多く影響を与えているものは、水分要素と考えられたので^{*2}、水分要素が塗膜の膨れに及ぼす影響と膜厚の関係を主にして検討した。

なお、塗膜に膨れが発生しても、直ちにタンク底部板に腐食による減肉が進行するものではないことは今年度の現地調査や過去の検討結果^{*2}より明らかであるが、一方で、膨れが破れた場合には、周辺塗膜の劣化状況など環境条件によっては激しい腐食減肉を生じることがある。現在の知見では膨れが発生した後、どの程度の時間で膨れが破れたり剥離するか明らかでないため、膨れの発生に着目する^{*1}。

2. タンクに発生する膨れ

タンクの塗膜の劣化指標として発生する膨れの発生状況は図 1 のような故障発生曲線をあてはめられると考えられる。コーティング施工後初めに現れるのは初期欠陥による膨れである。これは、施工不良や塗料材質の選定ミス等による膨れであり、一般的に塗膜の経過年数が短い時期（図 1 のグラフの①）に発生^{*2}する。このような例としては、第 2 回 WG で検討した不具合事例が相当すると考えられる。次に現れるのは偶発欠陥（合理的な施工管理によっても排除が困難な要因による欠陥）による膨れであり、一定の施工管理がなされたにもかかわらず、図 1 の②に相当する期間で発生する。昨年度に現地調査を実施した 3 基のタンクに発生していたふくれがこの例に相当すると考えられる。これらのタンクでは開放ごとに膨れが発生しているが、開放ごとの塗膜の補修率は小さく、第 4 回目の開放時（経過年数約 26 年）の補修率は小さいものが多かった（表 1 参照）。最後に塗膜の耐久性限界を越すことによる膨れの発生（図 1 の③）がある。このような例として、今年度の現地調査 C タンクは、膨れ等の欠陥が今回の開放時に約 11%発生しており、塗膜の剥離等により底部の板の腐食が発生していたことから、当該塗膜は、内面腐食防止機能を維持しているとは言えず、塗膜の耐久性限界により膨れが発生したと考えられる。

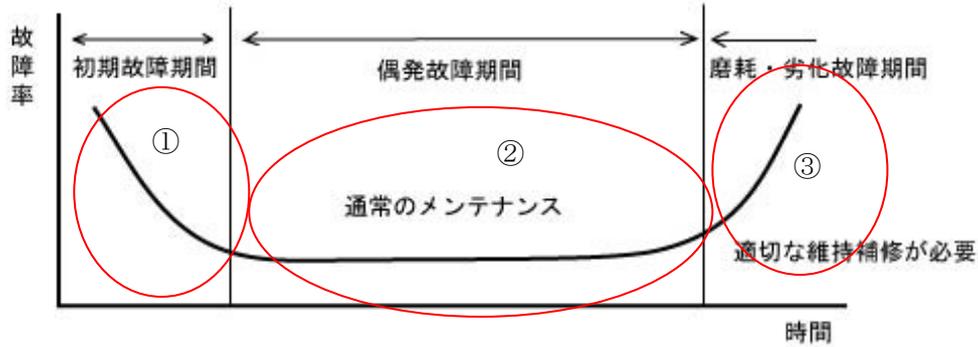


図1 塗膜の膨れ等の欠陥発生率と経過年のイメージ図

表1 平均膜厚 700 μm 程度のタンクの経過年と補修率の関係※4

新規塗装	タンク No.	A-4	A-8	A-9	A-10	A-13	A-14	A-15	A-16	A-17
	初期膜厚 (Min) μm	440	450	470	480	500	500	450	450	450
初期膜厚 (Ave) μm	825	789	781	731	821	756	853	785	791	
初期塗装完了	82/11/18	83/05/20	82/12/09	83/05/19	83/10/17	83/10/17	83/10/20	83/10/20	83/10/29	
1回目開放	第1回オイルイン 年月	83/09/22	83/09/23	83/10/17	83/10/17	83/11/01	83/11/10	83/11/09	83/11/08	84/02/02
	第1回目開放 年月	86/08/29	86/09/23	85/08/06	85/07/09	86/05/18	86/11/24	88/07/18	87/07/18	88/05/06
	膨れ・剥離面積 (m ²)	0	0.25	50	0	1	0.5	1.5	1.2	5
補修面積 (m ²)	5	0.25	50	0	1	0.5	1.5	1.2	5	
補修率 (%)	0.11	0.01	1.06	0.00	0.02	0.01	0.03	0.03	0.11	
2回目開放	第2回目開放 年月	91/09/16	91/10/03	91/08/29	90/05/10	90/09/22	92/09/21	93/06/30	92/11/04	93/07/13
	2回目開放時の経過年数	8.0	8.0	7.9	6.6	6.9	8.9	9.6	9.0	9.4
	膨れ面積 (m ²)	0.7	12	242	4	1	0	6	0	13
補修面積 (m ²)	0.7	12	294	4	1	0	6	0	13	
補修率 (%)	0.01	0.26	6.26	0.09	0.02	0.00	0.13	0.00	0.28	
3回目開放	第3回目開放 年月	1998/5/19	98/07/31	1998/6/23	96/07/06	97/06/27	99/08/18	00/07/28	1999/10/25	00/09/26
	3回目開放時の経過年数	15	15	15	13	14	16	17	16	17
	膨れ面積 (m ²)	2.2	26	196	82	0.04	0	77	1.3	54
補修面積 (m ²)	2.2	26	196	98	0.04	0	77	1.3	54	
補修率 (%)	0.05	0.55	4.17	2.09	0.00	0.00	1.64	0.03	1.15	
4回目開放	第4回目開放 年月	2006/9/1	2007/7/5	2006/10/1	2004/12/1	2005/4/1	2008/4/1	2009/5/1	2008/6/1	2009/5/1
	4回目開放時の経過年数	23.0	23.8	23.0	21.1	21.4	24.4	25.5	24.6	25.3
	膨れ面積 (m ²)	74	6	10	4.7	0.5	0.5	277.96	2.85	21.3
補修面積 (m ²)	74	6	10	4.7	0.5	0.5	277.96	2.85	21.3	
補修率 (%)	1.57	0.13	0.21	0.10	0.01	0.01	5.91	0.06	0.45	
累積補修率 (%)	1.74	0.94	11.70	2.27	0.05	0.02	7.71	0.11	1.99	

新規塗装	タンク No.	A-20	A-21	A-26	A-27	A-39	A-47	A-56	A-57	A-58
	初期膜厚 (Min) μm	520	550	450	450	560	480	480	450	500
初期膜厚 (Ave) μm	781	803	715	717	770	789	850	738	779	
初期塗装完了	83/10/17	83/10/17	83/10/17	83/10/19	84/08/11	84/09/10	83/07/22	83/07/18	83/06/08	
1回目開放	第1回オイルイン 年月	83/11/26	83/11/09	83/11/30	83/12/08	85/07/06	85/03/27	83/09/01	83/09/01	83/09/01
	第1回目開放 年月	86/06/06	87/08/01	87/05/11	88/09/01	88/09/19	88/06/24	86/07/31	87/06/27	87/05/18
	膨れ・剥離面積 (m ²)	0	0	3	15	0	140	0	0	
補修面積 (m ²)	0	0	27	15	0	150	0	0		
補修率 (%)	0.00	0.00	0.57	0.32	0.00	3.19	0.00	0.00		
2回目開放	第2回目開放 年月	90/10/13	92/08/07	92/07/16	93/09/30	93/09/09	93/05/06	91/05/20	93/06/04	92/06/24
	2回目開放時の経過年数	6.9	8.8	8.6	9.8	8.2	8.1	7.7	9.8	8.8
	膨れ面積 (m ²)	0	2.5	90	235	2	10	0	0	
補修面積 (m ²)	0	2.5	90	235	2	10	0	0		
補修率 (%)	0.00	0.05	1.91	5.00	0.04	0.21	0.00	0.00		
3回目開放	第3回目開放 年月	97/06/30	2000/11/22	99/07/20	2001/6/20	2001/5/23	00/05/18	1999/6/14	2001/8/1	2000/8/1
	3回目開放時の経過年数	14	17	16	18	16	15	16	18	17
	膨れ面積 (m ²)	0.09	295	119	5.0	5.5	42	0	0.2	0.4
補修面積 (m ²)	0.09	295	142	5.3	15.7	42	0	0.5	0.4	
補修率 (%)	0.00	6.28	3.02	0.11	0.33	0.89	0.00	0.01	0.01	
4回目開放	第4回目開放 年月	2005/10/1	2009/9/1	2007/12/1	2009/10/1	2009/11/1	2008/8/1	2007/7/1	2009/8/1	2008/10/1
	4回目開放時の経過年数	21.9	25.8	24.0	25.8	24.3	23.4	23.8	25.9	25.1
	膨れ面積 (m ²)	72	278.8	190	23.1	1.06	0.33	1	3.86	0.2
補修面積 (m ²)	72	280	190	24	1.1	0.33	1	3.86	1.0	
補修率 (%)	1.53	5.96	4.04	0.51	0.02	0.01	0.02	0.08	0.02	
累積補修率 (%)	1.53	12.29	9.56	5.94	0.40	4.30	0.02	0.09	0.03	

3. 検量線の作成

(1) 40/20℃温度勾配浸漬試験を実施し塗膜への水分の透過性に着目した耐久性限界による膨れ発生の日数

今年度と過去に実施した 40/20℃温度勾配浸漬試験結果を表 2 にまとめた。

表 2 40/20 温度勾配浸漬試験結果一覧 (エピビス 100%)

	400 μ m	700 μ m	1000 μ m	(参考) エピノボ 400 μ m	外観観察 頻度
平成 13 年度 試験片 2 ピース 浸漬期間 100 日	93 日以降 (以降 の観察未実施)	93 日以降 (以降 の観察未実施)	—	93 日以降 (以降の観 察未実施) ノボ配合率は不明	浸漬後 7 日 後から 7 日 ごと
平成 14 年度 試験片 2 ピース 浸漬期間 151 日	75 日～97 日の間 2 ピース膨れ発生	111～130 の間 2 ピース膨れ発生	—	75 日～97 日の間 ノボ配合率は不明 2 ピース膨れ発生	浸漬後 7 日 後から 7 日 ごと
平成 21 年度 試験片 1 ピース 浸漬期間 179 日	75 日目の初回観 察日には既にふ くれていた。	75 日目の初回観 察日には既にふ くれていた。	141～147 日の間	91～97 日の間の ※1	浸漬後 75 日から 10 日ごと
平成 22 年度 試験片 3 ピース 浸漬期間	51～55 日の間 56～58 日の間 51～55 日の間 平均 52～56 日	66～70 日の間 56～58 日の間 51～55 日の間 平均 58～61 日	—	80～85 日の間 66～70 日の間 59～65 日の間 平均 68～73 日※1	浸漬後 5 日 後から 5 日 ごと

※1：ノボラック 30%、エピビス 70%

40/20℃温度勾配浸漬試験の結果からは、以下のことが考察できる。

- ①施工環境が整った中で製作された試験片で実験をしても年度ごとに浸漬試験結果に大きなばらつきがあることがわかる。平成 14、15 年度と平成 21、22 年度を比較した場合、試験の条件 (浸漬時の温度管理、表面粗さ、塗料の詳細な配合) が同一でない可能性があり、膜厚、樹脂組成が同じでも膨れの発生日数を単純に比較することはできない。また、平成 21 年度と 22 年度を比較した場合、外観観察の日数の間隔、試験片の表面粗さの違いから再現性が得られなかった可能性がある。
- ②試験片は、施工環境が整った中で製作されたにもかかわらず試験片ごとに違う日数で膨れが発生しているが、膨れが発生した後は、膨れの面積が単調に増加している (温度勾配浸漬試験結果による、膨れ発生面積と浸漬日数との関係図より)。この現象は、図 1 の③に相当する状態に至ったと考えられ、GF コーティングには一定の耐久性限界が存在することが分かる。
- ③試験片の膜厚の違いにより膨れ発生日数が異なることから、塗膜の耐久性限界と考えられる膨れは、膜厚が厚いものほど長くなると考えられる※2。

検量線を作成する 40/20°C温度勾配浸漬試験の膜厚ごとのふくれ発生日数は今年度の試験結果より表3にまとめられる。用いた値は、膜厚ごとの3ピースの試験片の平均値を用いた。

表3 40/20°C温度勾配浸漬試験の膜厚ごとのふくれ発生日数

	400 μ m	700 μ m
膨れ発生日数	52 日～56 日	58 日～61 日

(2) 実タンクの経年劣化により、広範囲に発生した耐久性の寿命による膨れが発生した塗膜の経過年数

- ①昨年度の実タンクの塗膜現地調査結果から、700 μ m 程度の平均膜厚が確保されていれば、膨れは多少発生しているものの、膨れの破れ、破損等は認められず底部板の腐食減肉も発生していなかったことから、塗膜全体として耐久性限界を完全に超えた状態に至っているとは考えられない。エピビス 100%GF コーティング（平均膜厚 700 μ m）を常温で使用した場合、26 年（以上）の耐久性があることは実績として確認できる。
- ②但し、26 年目の開放時に発生していた膨れが図1の②における偶発欠陥によるものであるが、図1の③の初期によるものであるかの判断はできない。
- ③今年度の現地調査によるCタンクでは、平均膜厚 528 μ m で 24 年使用されているが、現地調査の状況から見て塗膜の耐久性限界を超えていると考えられる。
- ④今年度の現地調査によるAタンクでは、平均膜厚 517 μ m で 14 年使用しても耐久性限界は越えていないと考えられる。
- ⑤③及び④のタンクの塗膜がコーティング指針に適合した施工が行われたか否かは明らかではないが、施工年代としてはAタンクは 1996 年（平成 8 年）、Bタンクは 1986 年（昭和 61 年）であり、コーティングの耐用性に対して一定の知見があった時期である。
- ⑥補修履歴の調査結果からは、仕様最低膜厚 250 μ m のGF コーティングの耐久性限界は 15 年～20 年と推測される。
- ⑦以上のことから現在のコーティング指針の膜厚 400 μ m に対する耐久性限界としての 20 年という値は、合理的な値であると考えられる。

検量線を作成する実タンクによる塗膜の調査結果からの膜厚ごとのふくれ発生年は平成 21、22 年度の結果から表4にまとめられる。

表4 実タンクによる塗膜の膨れ発生推定年数

	400 μ m	700 μ m
膨れ発生推定年数	14 年以上 24 年未満	26 年以上の可能性あり

(3) 検量線の作成

(1)、(2)の結果を用いて、検量線の作成を試みると図2のようになる。



図2 検量線の作成イメージ図

- A : 平成 22 年度 700 μm の温度勾配浸漬試験結果より膨れ発生時期を 3 試験の平均値を採用した場合 (58~61 日)
- B : 平成 22 年度 400 μm の温度勾配浸漬試験結果より膨れ発生時期を 3 試験の平均値を採用した場合 (52~56 日)
- C : 平成 21 年度 700 μm の 3 基の現地調査結果(最低膜厚の平均 485 μm 、底板の平均膜厚、852 μm 、アニュラ板平均膜厚、912 μm 、仕様膜厚：最低、430 μm 、平均 650 μm) の膨れを偶発欠陥による膨れとみなし、700 μm 程度の G F コーティングは 26 年以上の耐用年数が期待されると考えた場合
- D : 平成 22 年度の現地調査タンク A (最低膜厚、393 μm 、平均膜厚 517 μm) の結果より、400 μm 程度の G F コーティングは 14 年以上の耐用年数は期待できると考えた場合
(ただし、当該塗膜がコーティング指針に則った施工がされたかは不明)
- E : 平成 22 年度の現地調査タンク C (最低膜厚、336 μm 、平均膜厚 536 μm 、経過年数 24 年) の結果より 400 μm 程度の G F コーティングは 24 年の耐用年数はないと考えた場合
(ただし、当該塗膜がコーティング指針に則った施工がされたかは不明)
- F : 平成 22 年度の民間タンクの塗膜の補修履歴分析結果から、仕様最小膜厚 250 μm (膜厚記録無し) で施工された G F の耐用年数は 15 年から 20 年の間と考えた場合
(ただし、当該塗膜がコーティング指針に則った施工がされたかは不明)

4. まとめ

- ①今年度作成を試みた検量線イメージ図（図2）は幅を持っており、確定的な検量線の作成には至らなかった。これは、精度の高い検量線を作成するためには、促進試験の塗膜の材質及び施工条件がほぼ同一である実タンクの塗膜の耐久性限界に対するデータを得る必要があるが、実タンクの塗膜の施工条件と耐久性限界に関して十分なデータが得られなかったことが一つの要因である。
- ②コーティング指針と同等な施工管理が実施され、平均膜厚が700 μ mの塗膜が26年程度は健全であることは確認できた。但し（2）②に記載したとおり、26年経過した時点で発生している膨れが偶発欠陥によるものであるか、耐久性限界を迎えているために発生し始めたものであるかの判断はできなかった*。すなわち、耐用性限界は26年以上であると考えられるが、27年以上あるという情報は得られていない。
- ③膨れが破れた場合には、周辺塗膜の劣化状況など環境条件によっては激しい腐食減肉を生じることがあることが明らかになった。
- ④浸漬試験において膨れが発生した後にふくれの面積が単調に増加したことから、塗膜は耐久性限界を越えると劣化が急速に進行することが考えられた。
- ⑤②～④の結果から、平均膜厚700 μ m程度のGFコーティングの耐用年数は、現時点までの実績で明らかな26年と判断することが適切であると考えられる。
- ⑥20年を越えるコーティングの耐久性限界については十分な知見が蓄積されているとは言い難く、今後実タンクの塗膜劣化状況について調査と分析を継続し、耐久性限界について検討していくことが重要である。

なお、実タンクに発生する膨れに着目した場合、同一タンク内で膜厚がほぼ同程度であるにもかかわらず膨れが発生している箇所としない箇所が存在する。これは、塗膜の膨れには水因子以外の環境の影響があることを示している。このような水因子以外の環境の影響が耐久性限界にどのような影響を与えるかについては未解明な部分が多く、塗膜を長期間用いるためには、タンクの塗膜に発生する膨れに対する知見の蓄積と分析が必要である。

*：屋外タンク貯蔵所のコーティングの余寿命評価技術については現在研究中であり、これが可能となれば、屋外貯蔵タンクの安全性を担保しつつ、より精度の高いコーティングの保守管理が可能になると期待される。

引用文献

- ※1：平成12年度「特定屋外タンク貯蔵所の開放周期の算定方法に係る性能規定化に関する調査検討報告書
- ※2：平成13年度「特定屋外タンク貯蔵所の開放周期の算定方法に関する調査検討報告書」
- ※3：平成14年度「屋外貯蔵タンクの安全性評価に関する調査検討報告書」
- ※4：平成21年度「屋外貯蔵タンクのコーティングの耐用年数の評価に関する検討調査報告書」