

兵庫県石油コンビナート等
防災計画
(資料編)

(令和元年9月修正)

兵庫県石油コンビナート等防災本部

資 料 編 次

1	兵庫県石油コンビナート等防災本部条例	-----	P	1
2	兵庫県石油コンビナート等防災本部運営要綱	-----	P	2
3	災害防止に関する協定等の締結状況一覧表	-----	P	4
4	県下地区協議会・共同防災組織一覧表	-----	P	5
5	特定事業所別石油等貯蔵取扱及び処理状況	-----	P	6
6	地区別石油等貯蔵取扱状況	-----	P	8
7	地区別容量別屋外貯蔵タンク基数（石油類）	-----	P	9
8	関係市消防機関における消防力	-----	P	10
9	特定事業所及び共同防災組織における消防力	-----	P	11
10	防災関係機関における防災資機材保有状況	-----	P	12
11	県下特別防災区域の気象状況	-----	P	13
12	県下特別防災区域内重要港湾等の入港船舶数	-----	P	17
13	災害想定	-----	P	19
14	へり臨時離着陸場適地	-----	P	66

1 兵庫県石油コンビナート等防災本部条例

兵庫県石油コンビナート等防災本部条例（昭和51年10月9日公布 兵庫県条例第41号）
（改正平成8年6月12日 兵庫県条例第613号）
（改正平成17年3月10日 兵庫県条例第8号）

（趣旨）

第1条 この条例は、石油コンビナート等災害防止法（昭和50年法律第84号。以下「法」という。）第28条第9項の規定に基づき、兵庫県石油コンビナート等防災本部（以下「防災本部」という。）の組織及び運営に関して必要な事項を定めるものとする。

（本部員）

第2条 本部員の定数は、45人以内とする。

- 2 法第28条第5項第9号に掲げる本部員の任期は、2年とする。ただし、補欠の本部員の任期はその前任者の残任期間とする。
- 3 前項の本部員は、再任されることができる。

（幹事）

第3条 防災本部に、幹事52人以内を置く。

- 2 幹事は、防災本部の本部員の属する機関又は特定事業所の職員のうちから、知事が任命する。
- 3 幹事は、防災本部の所掌事務について、本部員及び専門員を補佐する。

（部会）

第4条 防災本部に、その所掌事務を分掌させるために、部会を置くことができる。

- 2 部会に属する本部員及び専門員は、本部長が指名する。
- 3 部会に、部会長を置く。
- 4 部会長は、部会に属する本部員のうちから、本部長が指名する。
- 5 部会長は、部会の事務を掌理する。
- 6 部会長に事故があるときは、部会に属する本部員のうちから部会長があらかじめ指名する者がその職務を代理する。

（補則）

第5条 この条例に定めるもののほか、防災本部の議事その他防災本部の運営に関して必要な事項は、本部長が防災本部に諮って定める。

附則

（施行期日）

- 1 この条例は、公布の日から施行する。

2 兵庫県石油コンビナート等防災本部運営要綱

(趣旨)

第1条 この要綱は、兵庫県石油コンビナート等防災本部条例(昭和51年兵庫県条例第41号)第5条の規定に基づき、兵庫県石油コンビナート等防災本部(以下「防災本部」という。)の運営に関して必要な事項を定めるものとする。

(本部会議)

第2条 防災本部に本部会議を置く。

2 本部会議は、本部員をもって構成し、石油コンビナート等災害防止法(昭和51年法律第84号)第27条第3項に規定する事務について協議決定する。

3 本部会議は、本部長が招集し、本部長がその会議の議長にあたる。

4 本部会議の招集は、あらかじめ書面により本部員に通知するものとする。ただし、緊急を要する場合はこの限りでない。

5 本部員は、事故その他やむを得ない理由により本部会議に出席できないときは、あらかじめその旨を本部長に届け出なければならない。

6 前項の場合において、本部員は、その属する機関の職員を代理人として本部会議に出席させることができる。

(議事の特例)

第3条 本部会議の議案で、一部の特定の機関のみ関係のある事案については、本部長が適宜の方法により関係のある本部員と協議して決することができる。

2 本部長は、前項の規定により協議して決した事項は、次の本部会議にその旨を報告するものとする。

(専決処分等)

第4条 本部長は、やむを得ない理由により本部会議を招集する暇がないと認める時は第2条第2項に規定する事務について専決処分することができる。

2 前項の規定による専決処分をした時は、本部長は、その旨を直ちに本部員に通知するものとする。

(幹事会)

第5条 幹事会は、幹事をもって構成する。

2 幹事会は、本部長が招集し、本部長が指名する本部員がその会議の議長に当たる。

3 第2条第4項から第6項までは、幹事会について準用する。

(部会)

第6条 部会は、部会長が招集し、部会長がその会議の議長に当たる。

2 部会長は、部会において調査審議した結果を本部長に報告しなければならない。

3 部会の運営に関して必要な事項は、部会長が定めるものとする。

(異動報告)

第7条 本部員、専門員及び幹事(以下「本部員等」という。)は、異動等により変更があった時は、後任者は、その職氏名及び異動年月日を速やかに本部長に報告しなければならない。

(事務局)

第8条 防災本部の事務局は、兵庫県企画県民部災害対策局消防課に置く。

(報酬)

第8条の2 本部員等が会議その他防災本部の職務に従事したときには、委員会の委員等の報酬及び費用弁償に関する条例(昭和35年兵庫県条例第24号)に定めるところにより報酬を支給する。

2 第2条第6項、又は、第5条第3項の規定に基づき、代理人が会議に出席したときは、代理人に対して、本部員等と同額の報酬を支給する。

(旅費)

第8条の3 本部員等が防災本部の職務を行うために、会議に出席し、又は、旅行した時は、旅費を支給する。

2 前項の旅費の額は、職員等の旅費に関する条例(昭和35年兵庫県条例第44号)の規定により行政職8級の職務にある者に対して支給する額に相当する額とする。ただし、県の職員である者につい

ては、当該職員の職務の級に基づく額とする。

3 第2条第6項、又は、第5条第3項の規定に基づき、代理人が会議に出席したときは、代理人に対して、旅費を支給する。この場合において、代理人の格付けは、本部員等と同額とする。

(補 則)

第9条 この要綱に定めるもののほか、防災本部の運営に関して必要な事項は、別に本部長が定める。

附 則

この要綱は、昭和52年 3月28日から施行する。

この要綱は、平成15年12月16日から施行する。

この要綱は、平成17年12月13日から施行する。

1 災害防止に関する協定等の締結状況一覧表

特別防 災区域	協定等（覚書） の名称	締結年月日	市町名	特定事業所数	協定等の概要	備 考
神戸地 区	神戸地区特定事業所 防災相互応援協定	H16.9.1	神戸市	ティー・エム・ターミナル （株）神戸事業所 他 7社	特定事業所間の防災 業務相互応援	事業所間
東播磨 地区	東播磨地区特別防災 区域加古川播磨協議 会防災相互応援協定	55.4.1 H10.11.1改定	加古川市	（株）神戸製鋼所加古川製鉄所 他 6社	大規模災害、爆発、 大量危険物流出等 における人員及び資機 材の相互応援	事業所間
	東播磨地区特別防災 区域高砂地区協議会 防災相互応援協定	55.4.18 H18.9.1改定	高砂市	（株）カネカ高砂工業所 特定事業所6社及び関係会 社3社	大規模災害、爆発、 大量危険物流出等 における人員及び資機 材の相互応援	事業所間
	高砂市防火協会自衛 消防委員会相互応援 協定	48.7.1	高砂市	（株）カネカ高砂工業所他 5社 特定事業所及び関係企業 21社 計 27社	企業間自衛消防の応 援協定	事業所間
姫路地 区	姫路化学消火薬剤共 同備蓄事業会	43.4.9	姫路市	新日鐵住金（株）広畑製鐵所 他 17特定事業所及び関係 企業 9社 計 27社	危険物火災等有事に 対処する関係27社の 化学消火薬剤等の共 同備蓄	事業所間
	災害防止協定	50.10.6	姫路市	関西電力（株）姫路第一発電所 及び姫路第二発電所 他 4社	工場の防災体制、整 備促進、大規模災害 の予防及び拡大の防 止等	市と事業所 間
	姫路液化天然ガス基 地災害防止協定	51.10.4 55.12.17	姫路市	関西電力（株）姫路第二発電所 大阪ガス（株）姫路製造所	建設及び操業にあたり 災害の発生及び拡大 の防止等	市と事業所 間
	姫路臨海地区特定事 業所消防相互応援運 用指針	H28.1.	姫路市	新日鐵住金（株）広畑製鐵所 他 14社	大規模災害、爆発、 危険物流出等におけ る事業所間の消防相 互応援	事業所間
赤穂 地区	消防防災協定	59.12.15	赤穂市	関西電力（株）赤穂発電所	工場の防災体制の充 実促進、災害の予 防・拡大防止に関す る協定	市と事業所

2 県下地区協議会・共同防災組織一覧表

特別防災 区 域	市 町 名	地区協議会名 (設置年月日)	共同防災組織名 (設置年月日)	参画事業所名
				神戸地区
東 播 磨 地 区	加古川市 播 磨 町	東播磨地区特別防災区域 加古川・播磨協議会 (52. 4.15)		
東 播 磨 地 区	高 砂 市	東播磨地区特別防災区域 高砂地区協議会 (52. 4.15)		
姫 路 地 区	姫 路 市	姫路臨海地区防災協議会 (52. 4.1)		

5 特定事業所別石油等貯蔵取扱及び処理状況

平成31年4月現在

地区	種別No.	事業所名	石油の貯蔵取扱量 (kl)	高圧ガス処理量 (m3/日)	石油以外の第4類危険物の貯蔵・取扱量 (kl)	第4類以外の危険物の貯蔵・取扱量 (t・kl)	可燃性固体等		高圧ガス以外の可燃性ガス (Nm3)	毒物(t)		劇物(t)		
							固体(t)	液体(m3)		石炭法	毒劇法	石炭法	毒劇法	
神	R1種	1 テイ・エム・ターミナル船神戸事業所	83,101	19,470,954	25,715	0	0	0	0	0	0	8,764	16,900	
		1 セントラル・タンクターミナル船神戸事業所	22,371	0	1,895	0	1,058	0	0	0	0	0	1,596	
	1種	2 シェルブリカカンツジャン(株)神戸事業所	187,170	0	0	0	643	10,308	0	0	0	0	0	0
		3 JXTGエネルギー船神戸油槽所	101,441	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0
戸	4	4 シンコーケミカル・ターミナル船神戸事業所	16,357	0	3,552	0	0	0	0	0	0	0	8,242	
		1 船神戸製鋼所神戸製鉄所	672	765,050	0	0	3,220	217	219	0	0	0	0	
	2種	2 神港有機化学工業㈱	5,239	0	857	0	0	0	0	0	0	0	59	
		3 昭和産業船神戸工場	0	0	110	0	0	10,932	0	0	0	0	0	
8事業所	合計	416,351	20,236,004	32,129	0	3,889	22,515	219	0	0	8,764	26,797		

地区	種別No.	事業所名	石油の貯蔵取扱量 (kl)	高圧ガス処理量 (m3/日)	石油以外の第4類危険物の貯蔵・取扱量 (kl)	第4類以外の危険物の貯蔵・取扱量 (t・kl)	可燃性固体等		高圧ガス以外の可燃性ガス (Nm3)	毒物(t)		劇物(t)	
							固体(t)	液体(m3)		石炭法	毒劇法	石炭法	毒劇法
加古川市	R1種	1 船神戸製鋼所加古川製鉄所	25,410	33,320,988	2	100	31	179	490,000	0	0	20	215
		2 関西熱化学㈱加古川工場	11,758	5,476,000	0	5	0	0	3,552,000	0	0	600	3,491
	2種	1 オーケンジ船加古川工場	2,557	0	719	38	0	0	0	0	0	0	2,862
		小計	39,725	38,796,988	721	143	31	179	4,042,000	0	0	620	6,568
播磨町	1種	1 住友精化船別府工場	2,728	617,195	212	144	101	0	0	0	476	293	403
		2 多木化学船本社工場	69	63,247	2	30	0	0	0	0	36	100	7,594
	2種	3 住友金属船山崎	395	896,000	0	0	0	0	0	0	0	0	2,613
		4 田岡化学工業船播磨工場	4,466	0	98	12	260	3	0	0	20	0	394
東	小計	7,658	1,576,442	312	186	361	3	0	36	532	393	11,004	
播磨高砂市	R1種	1 船カネカ高砂工業所	39,836	37,542,159	2,882	49	25,319	6,703	150	0	0	5,744	36,952
	1種	1 新日本油化船	75,507	0	0	0	0	15,630	0	0	0	0	0
		1 電源開発船火力事業部高砂火力発電所	9,033	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0
	2種	2 AGC船高砂工場	3,911	826,700	3	0	0	0	0	0	0	0	2
3 三菱日立パワーシステムズ船高砂製作所		2,843	364,184	0	0	0	107	0	0	0	0	0	
13事業所	小計	4 船神戸製鋼所高砂製作所	395	444,098	0	1	1	391	15,600	0	0	0	0
		合計	131,525	39,177,141	2,885	50	25,320	22,831	15,750	0	0	5,774	36,954
東	合計	178,908	79,550,571	3,918	379	25,712	23,013	4,057,750	36	532	6,787	54,528	

地区	種別	No.	事業所名	石油の 貯蔵取扱量 (kl)	高圧ガス処理量 (m ³ /日)	石油以外の 第4類危険物の 貯蔵・取扱量 (kl)	第4類以外の 危険物の 貯蔵・取扱量 (t・kl)	可燃性固体等		高圧ガス以外の 可燃性ガス (Nm ³)	毒物(t)		劇物(t)	
								固体(t)	液体(m ³)		石炭法	毒劇法	石炭法	毒劇法
姫 路 臨 海	R1種	1	住友精化姫路工場	11,065	315,779	688	1	20	0	0	0	0	0	8,957
		2	日本製鉄姫広畑製鉄所	53,082	3,853,932	17	2	10,800	157	2,105,637	0	0	39	84
		3	日本触媒姫路製造所	101,972	735,401	4,881	3,650	1,880	553	158,000	0	279	23	21,730
		4	製鉄オキントン(株)広畑工場	20	29,382,396	0	0	0	0	0	7	7	0	0
	1種	5	㈱ダイセル姫路製造所網干工場	51,145	29,901,473	21,017	1,630	12,771	0	12,500	0	0	14	91
		1	東西オイルターミナル(株)姫路油槽所	14,534	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	関西電力(株)姫路第一発電所	554	0	0	0	0	0	6,385,968	0	0	50	64
		2	関西電力(株)姫路第二発電所	1,340	28,277	0	0	0	0	37,864,707	0	0	44	284
		3	横田石油(株)姫路油槽所	4,025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2種	4	姫路タンクターミナル(株)	9,072	0	1,910	0	0	0	0	0	0	2,550	2,550	
	5	大阪ガス(株)姫路製造所	9,106	0	0	0	0	0	22,032,000	0	0	4	4	
	6	日本ポリマー工業(株)	1,743	0	86	6	33	10	0	0	0	1	20	
	7	広畑ターミナル(株)	3,404	0	87,505	0	0	0	0	0	0	0	69,374	
	8	ダイセルポリマー(株)広畑工場	1,721	150,653	1	6	27,691	65	565	0	0	254	446	
	9	パナソニック液晶ディスプレイ(株)	194	481,538	548	0	0	0	0	0	0	41	41	
15事業所		合計	262,977	64,649,449	116,653	5,295	53,195	785	68,559,377	7	286	3,020	103,645	

地区	種別	No.	事業所名	石油の 貯蔵取扱量 (kl)	高圧ガス処理量 (m ³ /日)	石油以外の 第4類危険物の 貯蔵・取扱量 (kl)	第4類以外の 危険物の 貯蔵・取扱量 (t・kl)	可燃性固体等		高圧ガス以外の 可燃性ガス (Nm ³)	毒物(t)		劇物(t)	
								固体(t)	液体(m ³)		石炭法	毒劇法	石炭法	毒劇法
赤穂	1種	1	関西電力(株)赤穂発電所	264,964	0	0	0	0	0	0	0	0	46	140

全県	1種(レイアウト規制)	1種(その他)	2種	総計	石油の 貯蔵取扱量 (kl)	高圧ガス処理量 (m ³ /日)	石油以外の 第4類危険物の 貯蔵・取扱量 (kl)	第4類以外の 危険物の 貯蔵・取扱量 (t・kl)	可燃性固体等		高圧ガス以外の 可燃性ガス (Nm ³)	毒物(t)		劇物(t)	
									固体(t)	液体(m ³)		石炭法	毒劇法	石炭法	毒劇法
					377,389	159,999,082	55,202	5,437	50,821	7,592	6,318,287	7	286	15,204	88,420
					682,344	0	5,447	0	669	26,996	0	0	0	46	9,978
					63,467	3,871,892	92,051	237	28,086	11,508	66,298,840	36	532	3,367	86,710
					1,123,200	164,636,024	152,700	5,674	82,796	46,313	72,617,346	43	818	18,617	185,108

6 地区別石油類等貯蔵取扱状況

平成31年1月

地区名	市町名	特定事業所数		石油の貯蔵取扱量(千kl)	高圧ガス処理量 (百万立方m/日)
		第1種	第2種		
神戸	神戸市	5	3	441	20.6
東播磨	加古川市	2	1	40	38.7
	高砂市	2	4	132	39.3
	播磨町	0	4	8	1.6
姫路臨海	姫路市	6	9	132	64.9
赤穂	赤穂市	1	0	266	0.0
合計		16	21	1019	165.1
		37			

※端数処理(四捨五入)の関係上、合計が前頁と一致しない場合がある。

※区域指定指数調査による。(調査時点は1月1日現在)

7 地区別容量別形態別屋外貯蔵タンク基数(特定事業所内の石油類タンク基数)

平成31年4月現在

	外部浮きぶた(容量:kl)						内部浮きぶた(容量:kl)						その他(容量:kl)						合計					
	1,000未満		1万~5万		5万~10万		10万~10万		10万~10万		10万~10万		1,000未満		1万~5万		5万~10万			10万以上				
	0	1	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0		
神戸地区	0	0	0	0	0	0	0	1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	227
東播磨地区	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	148
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
	0	1	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	266
姫路臨海地区	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237
赤穂地区	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
合計	0	3	4	0	0	0	0	3	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	737

8 関係市消防機関における消防力

平成31年4月現在

区分		神戸市 消防局	加古川市 消防本部	高砂市 消防本部	姫路市 消防局	赤穂市 消防本部	合計	
消防職員	(人)	1,495	327	94	550	94	2,560	
大型化学消防車	(台)	0	0	1	0	1	2	
大型高所放水車	(台)	0	0	1	0	1	2	
泡原液搬送車	(台)	1	0	1	1	1	4	
大型化学高所放水車	(台)	1	0	0	1	0	2	
消防ポンプ自動車	(台)	51	10	2	16	3	82	
水槽付消防ポンプ自動車	(台)	6	11	1	9	3	30	
化学消防自動車(乙種)	(台)	14	2	1	3	0	20	
梯子付消防自動車	梯子	12	3	0	5	1	21	
	屈折	0	0	0	1	0	1	
救助工作車	(台)	7	2	1	3	1	14	
指揮車	(台)	12	3	1	7	2	25	
救急自動車	(台)	41	12	4	21	6	84	
可搬式放水銃	(基)	22	17	0	2	4	45	
泡放水砲	(基)	15	5	1	2	1	24	
消防艇	(隻)	2	0	0	1	0	3	
消火 薬剤	たん白系泡	(kl)	34.1	0	0	4.1	38.2	
	合成界面活性剤泡	(kl)	21.1	1.7	9.2	6.7	7.8	46.5
	水性膜泡	(kl)	0	0	0	0.5	0	0.5
	水溶性液体用泡 (耐アルコール用)	(kl)	0.0	0.2	0	20.7	2.6	23.5
オイルフェンス	(m)	0	0	0	0	0	0	
油処理剤	(kl)	0.3	1.0	0	1.5	0	2.8	
県消火薬剤共同備蓄	(kl)	5.7	22.0	10.4	11.8	5.2	55.1	

9 特定事業所及び共同防災組織における消防力

平成31年4月現在

項目	地区名		単位	神戸地区	東播磨地区			姫路臨海地区	赤穂地区	合計
					加古川市	播磨町	高砂市			
特定事業所	防災要員	総数	人	196	109	211	421	1,169	37	2,143
		1直最小	人	38	28	37	40	95	9	247
共同防災組織	防災要員	総数	人	60	-	-	-	-	-	60
		1直最小	人	15	-	-	-	-	-	15
特定事業所	大型化学消防車		台	0	0	0	1	2	0	3
	大型高所放水車		台	0	0	0	0	2	0	2
	泡原液搬送車		台	1	0	0	1	0	1	3
	大型化学高所放水車		台	1	1	0	0	3	1	6
	甲種普通化学消防車		台	1	1	0	1	1	0	4
	普通高所放水車		台	0	1	0	1	0	0	2
	普通消防車		台	1	0	2	2	3	0	8
	小型消防車		台	1	0	0	2	1	0	4
	乙種普通化学消防車		台	0	0	0	0	0	0	0
共同防災組織	大型化学消防車		台	1	-	-	-	-	-	1
	大型高所放水車		台	1	-	-	-	-	-	1
	泡原液搬送車		台	1	-	-	-	-	-	1
	大型化学高所放水車		台	0	-	-	-	-	-	0
	甲種普通化学消防車		台	0	-	-	-	-	-	0
	普通高所放水車		台	0	-	-	-	-	-	0
	普通消防車		台	0	-	-	-	-	-	0
	小型消防車		台	0	-	-	-	-	-	0
	乙種普通化学消防車		台	0	-	-	-	-	-	0
特定事業所	可搬式放水銃		基	10	3	2	3	35	0	53
	放水砲(三千型)		基	2	2	0	0	4	1	9
	放水砲(二千型)		基	2	0	0	1	4	0	7
	耐熱服		着	17	15	1	12	36	8	89
	酸素・空気呼吸器		個	22	43	20	22	123	10	240
共同防災組織	可搬式放水銃		基	0	-	-	-	-	-	0
	大型放水砲(三千型)		基	1	-	-	-	-	-	1
	普通放水砲(二千型)		基	0	-	-	-	-	-	0
	耐熱服		着	4	-	-	-	-	-	4
	酸素・空気呼吸器		個	1	-	6	-	-	-	7
特定事業所	消火薬剤	たん白(非水溶性用)	kl	34.3	9.5	0.2	23.2	12.0	0	79.1
		ふっ化たん白(非水溶性用)	kl	0	0	0	7.0	12.4	16.5	35.9
		合成界面活性剤(非水溶性用)	kl	6.6	18.6	0	0.2	43.3	0	68.7
		水性膜(非水溶性用)	kl	0	0	1.8	0	0	0	1.8
		水溶性液体用泡消火薬剤	kl	30.5	0	0	7.5	28.5	0	66.5
共同防災組織	消火薬剤	たん白(非水溶性用)	kl	0	-	-	-	-	-	0
		ふっ化たん白(非水溶性用)	kl	11.2	-	-	-	-	-	11
		合成界面活性剤(非水溶性用)	kl	0	-	-	-	-	-	0
		水性膜(非水溶性用)	kl	0	-	-	-	-	-	0
		水溶性液体用泡消火薬剤	kl	0	-	-	-	-	-	0
特定事業所	オイルフェンス		m	6,260	4,720	0	3,000	8,720	1,620	24,320
	オイルフェンス展張船		隻	2	2	0	4	5	1	14
	油回収船		隻	0	0	0	0	0	0	0
共同防災組織	オイルフェンス		m	820	-	-	-	-	-	820
	オイルフェンス展張船		隻	0	-	-	-	-	-	0
	油回収船		隻	0	-	-	-	-	-	0
特定事業所	オイルマット		Kg	3,045	1,338	485	1479.8	4,823	1,875	13045.3
	油処理剤		kl	9.0	5.5	0.8	3.5	10.0	1.8	30.6
共同防災組織	オイルマット		Kg	17	-	-	-	-	-	17
	油処理剤		kl	0	-	-	-	-	-	0

※泡消火薬剤・・・3%原液換算(6%は×1/2)

10 防災関係機関における防災資機材保有状況

平成31年4月

区分		神戸海上保安部	姫路海上保安部	加古川海上保安署	近畿地方整備局神戸港湾事務所	兵庫県加古川土木事務所	兵庫県姫路港管理事務所	兵庫県光都土木事務所	合計
船艇	消防艇 (隻)	1	1	0	0	0	0	0	2
	油回収船 (隻)	0	0	0	2	0	0	0	2
	オイルフェンス展張船 (隻)	0	0	0	0	0	0	0	0
	巡視船艇 (隻)	8	4	1	0	0	0	0	13
		(5)	(4)	(1)					(10)
消火薬剤 (kl)	11.4	14.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.9
オイルフェンス (m)	800	200	0	320	194	1,020	220	2,754	
油吸着剤 (kg)	663	479	90	510	100	1,100	370	3,312	
油処理剤 (kl)	3.4	2.3	1.1	0.7	0.8	2.4	0.7	11.4	

※巡視船艇のうち()内は消防能力を有する船艇の数で内数

11 県下特別防災区域の気象状況

1 気温（資料：神戸地方気象台）

(1) 平均気温（平年値）

統計期間（1981～2010）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	5.8	6.1	9.3	14.9	19.4	23.2	26.8	28.3	25.2	19.3	13.9	8.7	16.7
姫路	4.1	4.6	7.8	13.4	18.1	22.1	26.0	27.5	23.6	17.3	11.5	6.4	15.2

(2) 日最低気温が0 未満になった日数（平年値）

統計期間（1981～2010）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	3.9	3.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.8
姫路	17.3	15.3	6.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	7.4	47.7

(3) 日最高気温が30 以上になった日数（平年値）

統計期間（1981～2010）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.2	16.8	25.1	10.7	0.0	0.0	0.0	54.9
姫路	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	17.4	26.2	10.4	0.0	0.0	0.0	56.2

(4) 日最低気温の極値

神戸	- 7.2	昭 56. 2.27
高砂	- 10.0	昭 20. 2.25
姫路	- 10.0	昭 38. 1.24

統計期間

神戸 *1 1896.12～2019.7

高砂 *2 1900～1978

姫路 1948.1～2019.7

*1 1897～1999.8.31（観測地点：神戸市中央区中山手通 7-14-1）

*2 現在は観測を行っていない

(5) 日最高気温の極値

神戸	38.8	平 6. 8. 8
高砂	39.0	大 8. 7.21 大 8. 7.23
姫路	37.7	平 18. 8. 15

統計期間

神戸 *1 1896.12～2019.7

高砂 *2 1900～1978

姫路 1948.1～2019.7

*1 1897～1999.8.31（観測地点：神戸市中央区中山手通 7-14-1）

*2 現在は観測を行っていない

2 降水量（資料：神戸地方気象台）

兵庫県瀬戸内海沿岸地域の年間降水量は、1,000～1,500mmで、西日本では最も降水量の少ない地域である。1年のうち最も降水量が多い季節は梅雨期と秋の台風期で、6月～9月には年間降水量の約50%が降る。冬季は最も降水量が少なく12月～2月の降水量は年間降水量の約10%に過ぎない。

したがってこの地域に大雨を降らせる原因は停滞前線（梅雨、秋雨）と台風によるものが最も多いが、低気圧の通過や、雷雨によってもしばしば大雨にみまわれる。

県内における日降水量の極値は、家島の528)mm（昭和51年9月10日台風第17号）である。（昭和51年9月8日～13日の6日間の総雨量は、1,035)mmを記録）

また、日最大1時間降水量の極値は、神崎郡大河内町寺前（兵庫県資料）で120mm（昭和27年8月5日）である。

値の右の「)」は統計値を求める資料の一部が許容する範囲内で欠けていることを表す。

(1) 月及び年間降水量（平年値）

	単位mm												統計期間（1981～2010）
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	37.8	56.9	98.5	101.6	149.7	181.6	152.1	90.9	144.6	98.3	63.4	40.9	1,216.2
姫路	35.9	51.7	96.0	103.8	146.6	164.6	167.0	95.9	147.6	94.1	59.1	36.7	1,199.0

(2) 日降水量が10mm以上の日数（平年値）

	統計期間（1981～2010）												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	1.4	2.1	3.7	3.8	4.5	5.6	4.5	2.7	3.9	3.1	2.2	1.4	38.9
姫路	1.3	2.1	3.6	3.8	4.6	5.3	4.9	3.1	4.2	3.1	2.0	1.3	39.3

(3) 日降水量が30mm以上の日数（平年値）

	統計期間（1981～2010）												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	0.1	0.3	0.4	0.7	1.5	1.7	1.7	0.9	1.3	0.8	0.4	0.2	10.0
姫路	0.0	0.1	0.4	0.8	1.4	1.3	1.7	0.8	1.4	0.7	0.5	0.2	9.6

(4) 日降水量の極値

神戸	319.4mm	昭 42. 7. 9
姫路	294.0mm	昭 51. 9. 10

統計期間
 神戸 * 1896.12～2019.7
 姫路 1948.1～2019.7
 * 1897～1999.8.31（観測地点：神戸市中央区中山手通7-14-1）

(5) 日最大1時間降水量の極値

神戸	87.7mm	昭 14. 8. 1
姫路	79.0mm	平 23. 9. 4

統計期間
 神戸 * 1897.1～2019.7
 姫路 1949.2～2018.6
 * 1897～1999.8.31（観測地点：神戸市中央区中山手通7-14-1）

3 風（資料：神戸地方気象台）

この地域の強風は台風・低気圧・季節風によるものがほとんどである。中でも、平均風速が 30m/s を超すような暴風は全て台風によるものであり、他の場合では強いときで 20～25m/s 程度が多く、25m/s を超すものは少ない。

(1) 日最大風速の極値

神戸	33.4 m/s	北東の風	昭 25. 9. 3	統計期間 神戸 1897.1～2019.7 姫路 1948.1～2019.7
姫路	26.7 m/s	南東の風	昭 40. 9.10	

(2) 日最大瞬間風速の極値

神戸	48.5 m/s	南南東の風	昭 40. 9.10	統計期間 神戸 1937.1～2019.7 姫路 1951.4～2019.7
姫路	46.8 m/s	南東の風	昭 40. 9.10	

(3) 日最大風速が 10m/s 以上の日数（平年値）

統計期間（1981～2010）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	5.2	3.9	4.5	3.9	3.1	2.0	1.3	2.3	2.1	3.2	3.4	4.6	39.5
姫路	2.2	1.7	2.0	1.6	1.0	0.5	0.9	1.5	1.3	0.7	1.2	2.1	16.7

4 雷（資料：神戸地方気象台、兵庫県）

雷の発生日数は、6月～9月の期間が年間の約 70% を占めている。中でも 7、8 月が最も多い。また、短期間であるが局地的な豪雨を伴うことがあり、県下における日最大 1 時間降水量の最大 120mm（昭和 27 年 8 月 5 日、神崎郡大河内町寺前）は雷雨によるものである。

(1) 雷日数（平年値）

統計期間（1981～2010）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
神戸	0.1	0.2	0.3	0.5	1.2	1.3	2.6	3.0	2.2	0.8	0.6	0.6	13.5

（注）姫路：平年値なし

5 雪（資料：神戸地方気象台）

冬の季節風によってこの地域にも雪が降ることはあるが、積雪になることは稀である。しかし、発達した低気圧が四国沖を東進することによって大雪が降り広範囲に積雪になることがある。

(1) 降雪の初終日（平年値）

統計期間（1981～2010）

神戸	初日	終日
	12月20日	3月15日

(注)姫路：平年値なし

(2) 積雪の深さの月最大値

統計期間

神戸	17cm	昭. 20. 2.25
高砂	36cm	昭. 20. 2.25
姫路	19cm	昭. 59. 1.31

神戸 * 1914.10～2019.7

高砂 1927～1978（現在は観測を行っていない）

姫路 1948.1～2003.2（現在は観測を行っていない）

（平成6年度から観測回数は3回から2回に変更）

（平成15年12月28日で積雪観測終了）

* 1914～1999.8.31（観測地点：神戸市中央区中山手通7-14-1）

6 潮位

この地域は、特に台風の進路によっては高潮が起こりやすく、過去に多くの被害が発生した。

(1) 高極潮位（ただしTP上）

統計期間

尼崎	298cm	昭.36. 9.16	第2室戸台風	兵庫県*1
神戸	233cm*2	平.30. 9. 4	台風21号	気象庁
高砂	253cm	昭.40. 9.10	台風23号	兵庫県
姫路	232cm	平.16. 8.30	台風16号	兵庫県

尼崎：1954～2012

神戸：1926～2018

高砂：1952～2012

姫路：1935～2012

*1 統計管理機関

*2 波浪等の短周期成分を除いた3分平均値

12 県下特別防災区域内国際戦略港湾等の入港船舶数

1. 神戸港

平成29年中

船舶用途		合 計	
		隻 数	総トン数
総合計		34,934	185,770,964
外航計		6,733	139,398,350
商船	客船	53	3,077,703
	貨客船	27	392,661
	一般貨物船	927	9,601,754
	油送船	8	66,386
	L P G船	15	695,552
	L N G船	1	127,088
	プロダクトオイルタンカー	-	-
	ケミカル船	538	3,574,471
	その他のタンカー・タンク	1	32,376
	穀物船	123	3,403,977
	材木船	1	24,428
	チップ船	-	-
	鋼材船	93	1,236,402
	砂利・砂・石材船	-	-
	セメント船	10	44,771
	石炭船	54	2,332,909
	鉱石船	1	83,015
	自動車専用船	400	22,569,766
	その他専用船	249	2,003,480
	フルコンテナ船	3,899	86,289,011
	セミコンテナ船	119	1,267,809
	R O R O船	188	2,459,482
	自動車航送船	-	-
漁船	1	842	
その他	作業船	-	-
	バトロール船	1	1,365
	曳船・押船	6	2,147
	訓練船	3	7,120
	軍艦	-	-
	その他の船舶	15	103,835
内航計		28,201	46,372,614
商船	客船	8,155	10,362,366
	貨客船	73	439,512
	一般貨物船	7,268	3,770,849
	油送船	1,513	1,170,010
	L P G船	13	13,142
	L N G船	-	-
	プロダクトオイルタンカー	-	-
	ケミカル船	1,213	900,181
	その他のタンカー・タンク	1	5,413
	穀物船	1	499
	材木船	1	199
	チップ船	1	282
	鋼材船	169	42,074
	砂利・砂・石材船	951	422,675
	セメント船	190	326,200
	石炭船	2	1,242
	鉱石船	1	499
	自動車専用船	423	4,413,985
	その他専用船	-	-
	フルコンテナ船	1,916	2,181,567
	セミコンテナ船	-	-
	R O R O船	13	139,854
	自動車航送船	2,669	21,171,318
漁船	4	2,046	
その他	作業船	79	54,258
	バトロール船	64	58,799
	曳船・押船	2,871	312,091
	訓練船	92	154,804
	軍艦	7	13,493
	その他の船舶	511	415,256
内航商船内数		21,904	24,190,549

2. 東播磨港

平成29年中

船舶用途		合 計	
		隻 数	総トン数
総合計		14,956	29,168,034
外航計		1,012	20,789,364
商船	客船	-	-
	貨客船	-	-
	一般貨物船	753	11,366,315
	油送船	-	-
	L P G船	33	156,257
	L N G船	-	-
	プロダクトオイルタンカー	-	-
	ケミカル船	65	119,111
	その他のタンカー・タンク	2	1,479
	穀物船	-	-
	材木船	-	-
	チップ船	-	-
	鋼材船	-	-
	砂利・砂・石材船	6	2,994
	セメント船	-	-
	石炭船	41	1,756,365
	鉱石船	32	3,079,346
	自動車専用船	23	1,148,333
	その他専用船	-	-
	フルコンテナ船	-	-
	セミコンテナ船	-	-
	R O R O船	55	3,157,712
	自動車航送船	-	-
漁船	-	-	
その他	作業船	-	-
	バトロール船	-	-
	曳船・押船	2	1,452
	訓練船	-	-
	軍艦	-	-
	その他の船舶	-	-
内航計		13,944	8,378,670
商船	客船	-	-
	貨客船	-	-
	一般貨物船	8,602	5,110,383
	油送船	-	-
	L P G船	193	208,733
	L N G船	187	425,763
	プロダクトオイルタンカー	613	352,523
	ケミカル船	1,225	481,385
	その他のタンカー・タンク	414	125,561
	穀物船	-	-
	材木船	-	-
	チップ船	-	-
	鋼材船	-	-
	砂利・砂・石材船	1,341	531,216
	セメント船	288	173,876
	石炭船	611	825,746
	鉱石船	-	-
	自動車専用船	-	-
	その他専用船	-	-
	フルコンテナ船	-	-
	セミコンテナ船	-	-
	R O R O船	10	18,714
	自動車航送船	-	-
漁船	-	-	
その他	作業船	-	-
	バトロール船	-	-
	曳船・押船	460	124,770
	訓練船	-	-
	軍艦	-	-
	その他の船舶	-	-
内航商船内数		13,484	8,253,900

3. 姫路港

平成29年中

船舶用途	合 計	
	隻 数	総トン数
総合計	28,725	28,476,001
外航計	660	18,236,792
商船		
客船	-	-
貨客船	-	-
一般貨物船	426	3,246,679
油送船	-	-
L P G船	10	13,578
L N G船	115	12,849,010
プロダクトオイルタンカー	24	47,124
ケミカル船	53	587,051
その他のタンカー・タンク	-	-
穀物船	3	7,244
材木船	-	-
チップ船	-	-
鋼材船	-	-
砂利・砂・石材船	-	-
セメント船	-	-
石炭船	29	1,486,106
鉱石船	-	-
自動車専用船	-	-
その他専用船	-	-
フルコンテナ船	-	-
セミコンテナ船	-	-
R O R O船	-	-
自動車航送船	-	-
漁船	-	-
その他		
作業船	-	-
パトロール船	-	-
曳船・押船	-	-
訓練船	-	-
軍艦	-	-
その他の船舶	-	-
内航計	28,065	10,239,209
商船		
客船	11,156	550,006
貨客船	11	209
一般貨物船	7,953	3,151,082
油送船	-	-
L P G船	746	614,976
L N G船	113	331,450
プロダクトオイルタンカー	603	278,458
ケミカル船	2,151	1,061,088
その他のタンカー・タンク	38	7,556
穀物船	46	5,933
材木船	-	-
チップ船	-	-
鋼材船	-	-
砂利・砂・石材船	435	185,817
セメント船	281	301,997
石炭船	162	84,313
鉱石船	-	-
自動車専用船	314	19,354
その他専用船	-	-
フルコンテナ船	164	81,757
セミコンテナ船	-	-
R O R O船	339	32,815
自動車航送船	2,609	3,368,451
漁船	-	-
その他		
作業船	2	-
パトロール船	-	-
曳船・押船	924	157,571
訓練船	-	-
軍艦	-	-
その他の船舶	18	6,376
内航商船内数	24,512	6,706,811

4. 赤穂港

平成29年中

船舶用途	合 計	
	隻 数	総トン数
総合計	2,766	6,270,711
外航計	48	404,446
商船		
客船	-	-
貨客船	-	-
一般貨物船	-	-
油送船	-	-
L P G船	-	-
L N G船	-	-
プロダクトオイルタンカー	-	-
ケミカル船	-	-
その他のタンカー・タンク	-	-
穀物船	-	-
材木船	-	-
チップ船	-	-
鋼材船	-	-
砂利・砂・石材船	-	-
セメント船	7	22,505
石炭船	31	309,951
鉱石船	-	-
自動車専用船	-	-
その他専用船	10	71,990
フルコンテナ船	-	-
セミコンテナ船	-	-
R O R O船	-	-
自動車航送船	-	-
漁船	-	-
その他		
作業船	-	-
パトロール船	-	-
曳船・押船	-	-
訓練船	-	-
軍艦	-	-
その他の船舶	-	-
内航計	2,718	5,866,265
商船		
客船	-	-
貨客船	-	-
一般貨物船	87	34,504
油送船	-	-
L P G船	-	-
L N G船	-	-
プロダクトオイルタンカー	80	270,172
ケミカル船	-	-
その他のタンカー・タンク	-	-
穀物船	-	-
材木船	-	-
チップ船	-	-
鋼材船	-	-
砂利・砂・石材船	65	29,900
セメント船	978	2,315,631
石炭船	-	-
鉱石船	-	-
自動車専用船	-	-
その他専用船	1,493	3,214,392
フルコンテナ船	-	-
セミコンテナ船	-	-
R O R O船	-	-
自動車航送船	-	-
漁船	-	-
その他		
作業船	-	-
パトロール船	-	-
曳船・押船	15	1,666
訓練船	-	-
軍艦	-	-
その他の船舶	-	-
内航商船内数	2,703	5,864,599

1 3 災害想定

石油コンビナート等防災計画第3章の各種災害について、その手法及び結果について、説明する。

本想定を実施するにあたり、仮定項目及び技術的に未解明の項目等については、今後残された問題として検討を加えていくので、これらを充分考慮して、予防対策及び応急対策の検討資料として活用されたい。

1. 火災

1.1 初めに

タンク火災、防油堤内火災、リング火災及び類焼火災について想定を行なっているが、火災高さについてはすべてタンク直径の1.5倍と仮定している。この仮定は、タンク直径が数十m程度に巨大化するにつれ、火災に対する周囲からの空気の供給が不十分となり、実際には本想定をかなり下まわると考えられる。昭和56年5月30日 静岡県御殿場市において安全工学協会が実施した野外実験(直径30m、50m及び80m槽)においては「全面的な炎は液面上2~3m程度までであり、それ以上は黒煙が多く、その中に部分的又は間欠的に輝いた火炎部分のみられた。また実際の測定輻射熱量は理論式の1/2~1/4」となっている。

1.2 想定に際しての仮定条件

- (1) タンク火災については、タンク最大容量時におけるタンク全面火災を想定した。
- (2) 防油堤内火災については、タンク最大容量貯蔵時のタンクから石油類が防油堤内に漏えいし、評価側への全面火災を想定した。
- (3) リング火災については、タンク側板と屋根とのシール装置部分を最大1mとした。
- (4) 類焼火災については、火災時にその隣接するタンクへの影響を、隣接タンクが全面解放状態でガソリンを貯蔵している場合の着火可能性で評価した。
- (5) 水幕設備、固定消火設備等の各種防災設備の効果は無視した。

1.3 想定手段

1.3.1 タンク火災、リング火災及び防油堤内火災

火災から任意の位置にある点の受ける輻射強度は次式で表わされる。

$$E = \phi Rf \quad [\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}] \quad (1)$$

ただし

- E : 輻射強度
 ϕ : 形態係数
 Rf : 燃料による輻射発散度

表1及び表2に各燃料の輻射発散度、各種受熱面の許容輻射強度を示す。

表1 油種別輻射発散度

油種	輻射発散度(kcal/m ² ・hr)
ガソリン	50000
カフジ原油	35000
灯油	48000
軽油	36000
重油	20000

表2 各種受熱体の限界輻射強度

受熱体	限界輻射強度(kcal/m ² ・hr)
人体	1850
木造建造物	4200
耐熱服着用 時の人体	10800

タンクと微小平面（受熱面）との間の形態係数は次式による。

$$\phi = \frac{1}{xn} \tan^{-1} \frac{m}{\sqrt{n^2-1}} + \frac{m}{x} \left\{ \frac{A-2n}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} - \frac{1}{n} \tan^{-1} \sqrt{\frac{n-1}{n+1}} \right\}$$

ここに

$$A = m^2 + (1+n)^2, \quad B = m^2 + (1-n)^2, \quad m = H/R, \quad n = L/R.$$

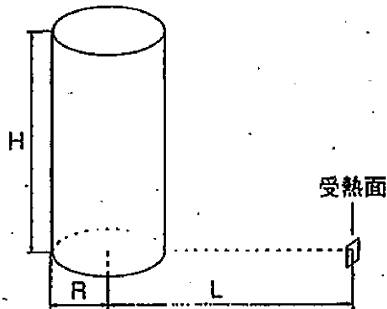


図1 円筒輻射体と微小受熱面との位置関係

H：タンクの長さ、R：タンクの半径、L：タンクの中心から受熱面までの距離である。

有風時の形態係数については、円筒輻射体が傾くとして評価する。

1.3.2 類焼火炎

あるタンクが燃焼している時、隣接タンクに延焼する過程は、未燃タンクの液温が火炎タンクの輻射熱によって上昇し、可燃性蒸気の発生が促進される。次に、この可燃性蒸気が火炎タンクの方へ流れてゆき、油蒸気が燃焼範囲であれば隣接タンクの着火に到る。油蒸気濃度は次式により評価する。

$$C(X, Y, Z, t) = \frac{q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} F(x) F(y) F(z)$$

ここに

$$F(x) = \exp\left\{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2}\right\}$$

$$F(y) = \exp\left\{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\}$$

$$F(z) = \exp\left\{-\frac{(z_0-z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z_0+z)^2}{2\sigma_z^2}\right\}$$

(3)

ただし

$C(X, Y, Z, t)$: 単発点源から発生した蒸気が (X, Y, Z) において t 秒後に示す濃度 [PPM]

q : 油の蒸発量 [cm^3/m^2s].

σ_x : x 軸方向の拡散幅 [m]

σ_y : y 軸 " [m]

σ_z : z 軸 " [m]

結果等一覧表

		1	2	3	4
タンク構造 (直径×高さ) (m)		59×24 (F)	14×15 (C)	14×15 (C)	61×15 (C)
タンク容量及び油種 (Kℓ)		60,000 (原油)	2,000 (ガソリン)	2,000 (灯油)	40,000 (灯油)
木造建造物危険距離 (m)	タンク火災	※	※	※	※
	防油堤火災	71	41	17	66
タンク火災時の人体の 危険距離 (m)	耐熱服あり	※	※	※	※
	耐熱服なし	※	※	※	※
隣接タンク距離 (m)		21	21	5	43
隣接タンクエッジからの 危険距離	無風時	—	3	3	21
	風速2m/秒	—	1以下	1以下	3

注1. タンク構造における (C) 及び (F) は、それぞれコーンルーフ、フローティングタンクを示す。

2. 表中※印のものは、危険範囲がタンク半径より小さくなるものである。

2. 油の海上流出

2.1 初めに

点源から流出した油が、水平な海面上を拡散するとして評価している。流出量はタンク容量の10%が一度に海上に流出するとしているが、現在ではタンクの全量が流出しても防止できるよう、防油堤、防止堤等で嚴重に取り囲まれているため、かなり過大な想定をしている。

2.2 想定に際しての仮定条件

- (1) 油の密度、粘度等の物性値は重油（C重油）のデータをとった。
- (2) 油膜はちぎれないものとし、風向は最悪の方向とした。

2.3 想定手法

油膜の拡散速度式は、初期においては重力支配、中期以降は粘性力支配となる。なお、風が吹けば油膜は吹送流により移動する。

2.3.1 拡散速度

拡散初期及び中期以降の拡散速度式は、それぞれ(1)、(2)で表わされる。

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} K_i^2 \left[\left(\frac{P_w - P_o}{P_o} \right) g \delta \right]^{1/2} \quad (\text{cm/sec}) \quad (1)$$

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\pi^{1/2} K_v^4}{4} \left[\left(\frac{P_w - P_o}{P_w} \right) \frac{g}{V_w^2} \right]^{1/2} V_o^{-1/2} \delta^{1/2} \quad (\text{cm/sec}) \quad (2)$$

ただし

$K_i = 1.14$ (実験定数)、 P_w 、 P_o = 海水、油の密度 [g/cm³]

g = 重力加速度 = 980 [cm/sec²]、 V_o = 流出油体積 [cm³]

t = 時間 [sec]、 R = 拡散半径 [cm]、 π = 円周率、 $\delta = \frac{V_o}{s}$ (油膜厚さ) [cm]

$K_v = 1.45$ (実験定数)、 $V_w = \mu_w / P_w$ = 海水の動粘度 [cm²/sec]

2.3.2 吹送流による油の拡散速度

海面上を一定方向に風が吹くと、風と海面との摩擦により海面が動き、いわゆる吹送流が生起する。この吹送流の速度は、緯度を ϕ として次式で計算できる。

風速 $W < 4 \text{ m/sec}$ の時





$$V_w = \frac{0.259}{\sqrt{\sin \phi}} W^{1/2}$$

風速 $W \geq 4 \text{ m/sec}$ の時

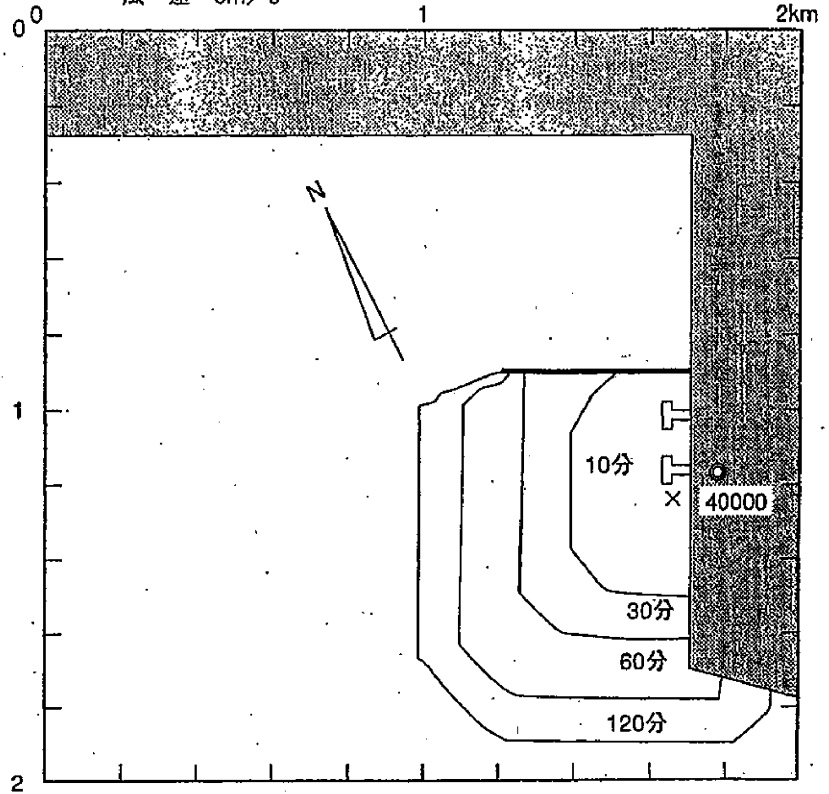
$$V_w = \frac{0.0126}{\sqrt{\sin \phi}} W$$

2.4 結果

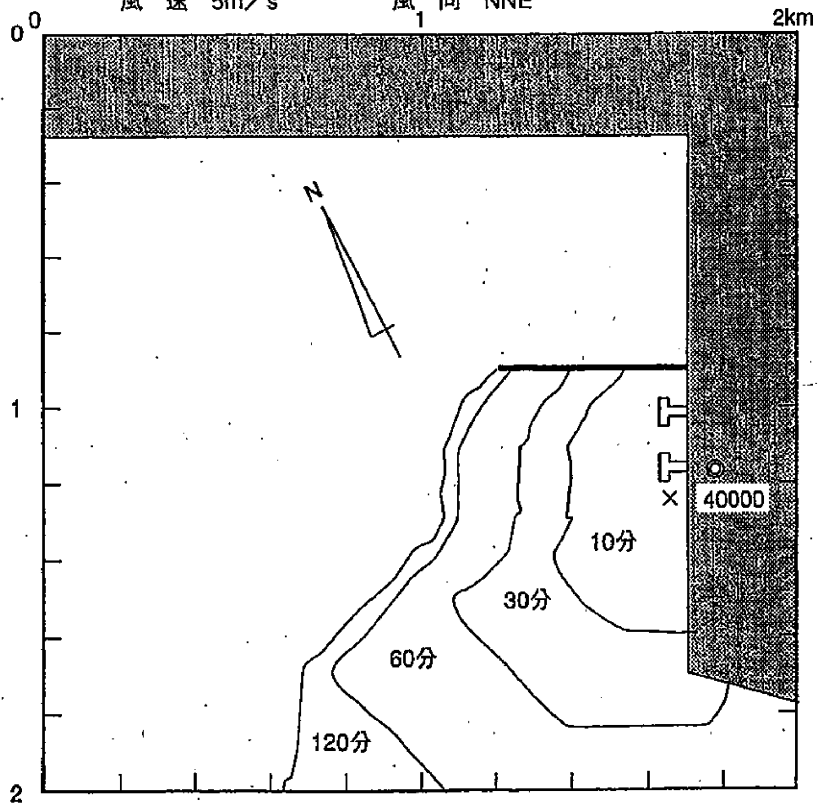
次項に例図として示す。

-  : 陸地
-  : 屋外タンク位置
-  : 流出位置
-  : 防波堤

例1 流出量 4000kl 流出位置 (×印)
風速 0m/s



例2 流出量 4000kl 流出位置 (×印)
風速 5m/s 風向 NNE



3. 爆 発

3.1 初めに

最近の爆発する物質の多様性に鑑み、爆発の形態、種類あるいは原因等を知り、保安距離の基準に対する考え方を理解することにより、爆発災害を未然に防ぐことに役立てられたい。

3.2 爆発の種類

3.2.1 物理的爆発と化学的爆発

物理的爆発とは、高压容器の破裂、真空容器の破裂、水蒸気爆発、フューズの過大電流による爆発、超音速機の連続音源よりのソニックブーム等がその例である。

化学的爆発の例も多いが、化学工場で見られる分解、酸化、重合反応等の激しい発熱をともなう異常時の爆発はその主たるものである。発熱すると、反応系の温度は上昇し、反応速度は増大していく。その結果、温度はさらに上昇し、反応系の液体蒸気圧が急激に増大して爆発現象を呈するに至る。

3.2.2 気相爆発と凝相爆発

気相爆発では、爆発を起こす以前の物質の状態が気体の場合であり、凝相爆発では、爆発以前の物質が固体または液体の状態である。

i) 気相爆発

混合ガス爆発、ガスの分解、粉じん爆発、噴霧爆発

ii) 凝相爆発

混合危険物質の爆発、爆発性化合物の爆発、蒸気爆発、導線爆発、固相転位による爆発

3.2.3 着火源に注目した分類

ガス爆発が起こるためには、つぎの二つの条件が必要である。

1) ガスの存在とその状況

2) 着火エネルギーの存在

以下の分類は北川氏が分類したものをそのまま引用した。

i) 着火源を必要とする爆発

着火破壊型の爆発、漏洩着火型の爆発

ii) 化学反応熱の蓄積による爆発

自然発火型の爆発、反応暴走型の爆発

iii) 加熱液体の蒸発による爆発

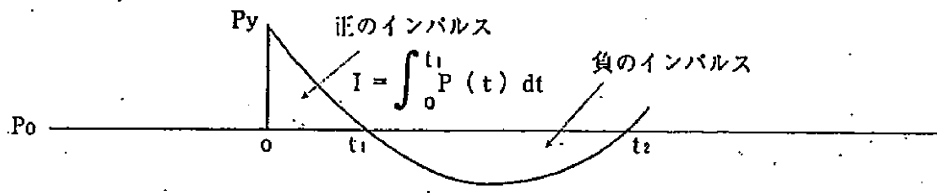
熱移動型の蒸気爆発 (高温度の物質への接触によりおこる)

平衡破壊型の蒸気爆発 (蒸気圧平衡が失われることによる)

3.3 爆風による被害

3.3.1 爆 風

爆風というのは、爆風によって生じた衝撃波と、それが減衰して音速で進む圧縮波の総称であって、はじめは切り立った圧力隆起の波面を持った波が超音速で進み、それが減衰して音波に近づくと波面もなだらかになっていく。



理想的爆風の形状

爆風が物体を通過すると

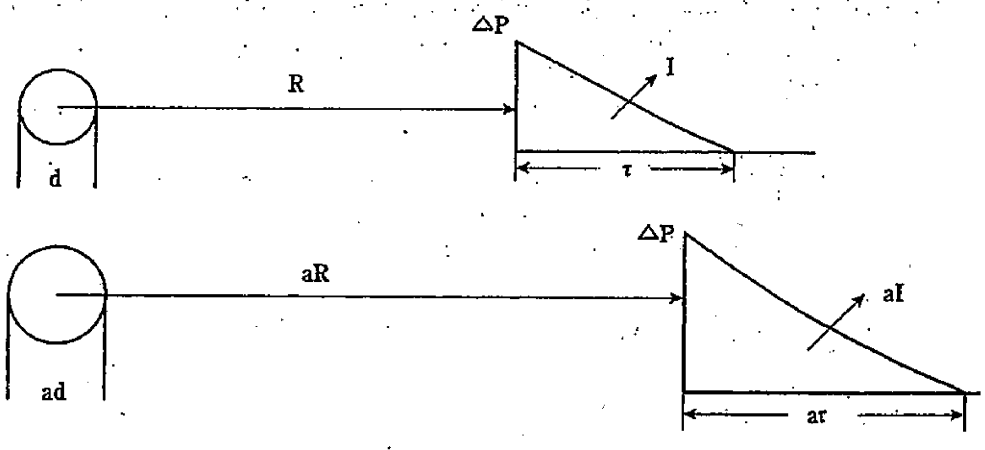
- 1) まず物体は圧力負荷を受ける。衝撃波面のピーク圧による力を受ける。
- 2) その後の風による力積を受ける。大気圧に下るまでの正のインパルスである。
- 3) また、爆源からある程度はなれた距離では、負の力積が作用する。往々にして、遠距離にある窓ガラスが爆風を受けた後、破片が外側に飛散するのはこのためである。

いずれにしても、爆風被害は爆風のピーク圧また力積の関数であるが、単にピーク圧のみで爆風被害を論ずることが多い。

3.3.2 爆風のスケール則

爆風の取り扱いに、ホブキンソンの3乗根則が古くから広く用いられる。

つまり直径 d の爆発物の中心から距離 R の所までの爆風のピーク過圧を ΔP 、正圧部がゼロになるまでの時間を τ 、正の力積を I とする。さらに下図のように、同じ爆発物の直径が ad になると、同じ過圧 ΔP を与えるのは aR の距離の所であり、そこでの正圧持続時間は $a\tau$ 、正の力積は aI となるという考え方である。



爆発物の量 (W/kg) は d^3 に比例するから、 d の代わりに W を用いつぎのようなパラメータで整理したものが、爆風のスケール則である。

$\lambda = R/\sqrt[3]{W}$ スケール距離

$\tau = \tau/\sqrt[3]{W}$ スケール化時間

$\tau = I/\sqrt[3]{W}$ スケール化インパルス

注1) d が距離 R に対して、十分小さくないと、スケール則は成立しない。

3.3.3 保安距離の基準に対する考え方

- i) 消防地第 180 号 (昭和 55.6.25) 「石油コンビナート災害想定の手法について」には、可燃性ガスの流出爆発による爆風圧を次式で取り扱っている。

$$X_c = 0.04\lambda \sqrt{KW} \quad (1)$$

ただし、

X_c : 影響範囲 (m)

λ : 影響強度 ($m/kg^{1/3}$)

(爆風圧に対応する影響強度 λ に換算した値をとる)

K : コンビナート等保安規則第 3 条で定める値

W : 想定流出量 (トンで表わした数値)

W については、コンビナート等保安規則で、次のように定められている。

貯蔵施設の場合:

液化ガスにあつては、貯蔵能力 (トン) の数値の平方根の数値。1 トン未満のものにあつてはそのままの数値。

圧縮ガスにあつては、貯蔵能力 (m^3) を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量 (トン) に換算してえられた数値の平方根の数値。

処理設備の場合:

設備内にあるガスの質量 (トン) の数値

- ii) 可燃性ガスの流出爆発による爆風圧の影響範囲については、高圧ガス保安協会はずぎのような取り扱いを提供している。(コンビナート保安防災技術指針、昭和 50 年)

まず、次式で

$$W_{TNT} = \frac{W_0 e \phi Q \gamma}{1000} \quad (1000 \text{Kcal/kg}) \quad (2)$$

可燃性ガスの流出全量を TNT の量に換算する。

ただし、

W_{TNT} : TNT の量 (kg)

W_0 : 可燃性ガスの流出全量 (kg)

e : 気化率、モリエル線図より求める。圧縮ガスの場合は $e=1.0$

ϕ : 爆発係数

λ : ガスの燃焼熱量 (Kcal/kg)

γ : TNT 収率

高圧ガス及び火薬類保安審議会の答申「今後の高圧ガス保安体制のあり方」

(49.7.30) では、ガスの種類に応じて危険性を加味して、つぎの表のように定めている。

分類	爆発係数(%)	ガスの種類
1	15	アセチレン、ビニルアセチレン、二硫化炭素
2	10	エチレン、酸化エチレン、水素、一酸化炭素
3	8	エタン、プロパン
4	6	メタン、ブタン、ヘキサン
5	4	アンモニア、メタノール

保安距離は W_{TNT} より次式で計算される。

$$R = \lambda \sqrt{W_{TNT}} \quad (\text{m}) \quad (2)$$

ここで、 λ は次にあげる図1. 爆風圧対影響強度に関する曲線より求める。
爆風圧と被害の程度は、概ねつぎの表を参照されたい。

爆風圧 (kg/cm^2)	被害の程度
0.08~0.1	窓ガラスがほとんど破損する
0.15~0.2	窓わく、雨戸が破損
0.25~0.35	窓わく、雨戸がほとんど破損
0.4~0.5	瓦が落ち、羽目板が裂ける
0.6~0.7	小屋組がゆるみ柱が折れる
1.5	小建坪家屋が倒れる
10	煉瓦建がこわれる
20	重量コンクリート構造がはなばなく損傷する

例：保有量 10 トンの内圧 19 kg/cm^2 の液化エチレン貯槽に対する保安距離を算定する。
 W_0 は液ガス、1 ton 以上の場合であるから、貯蔵量 (トン) の平方根をとる。

$$W_0 = \sqrt{10 \text{ ton}} = 3.16 \text{ ton} = 3,160 \text{ kg}$$

$e=0.382$ 消防地第 180 号より引用

$$\phi=0.1$$

$$\lambda=11250$$

$$\gamma=0.064$$

$$\lambda=12$$

$$\therefore R = \lambda \sqrt{W_{TNT}} = \lambda \left(\frac{W_0 e \phi Q \gamma}{1000} \right)^{1/3}$$

$$= 12 \times (3,160 \times 0.382 \times 0.1 \times 11,250 \times 0.064 / 1,000)^{1/3}$$

$$= 53 \quad (\text{m})$$

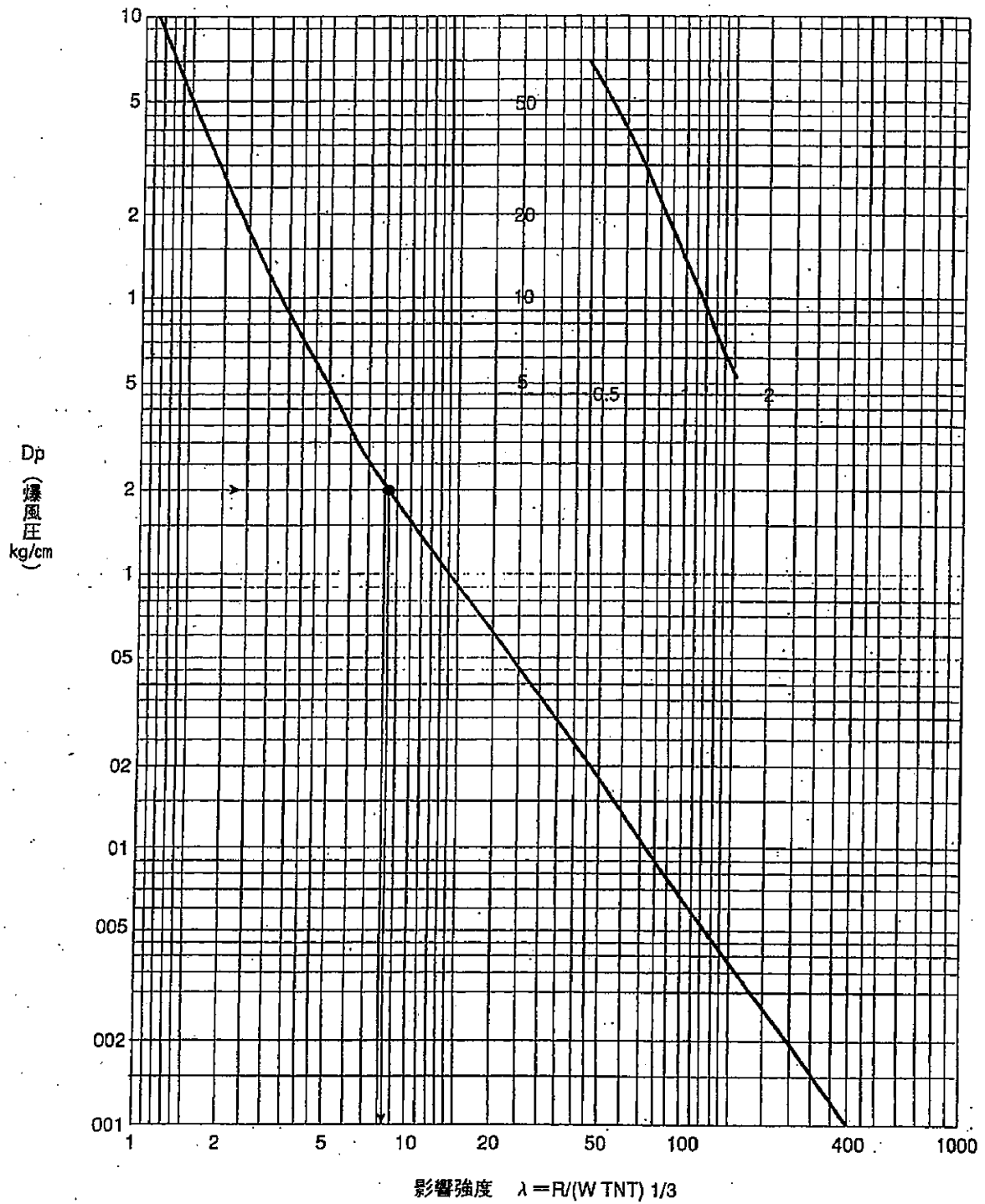


図1 爆風圧対影響強度に関する曲線

3.4 反応に関連した爆発

火災や爆発が起こる可能性のある反応は、分解反応、酸化反応、重合反応等の発熱をともなう反応である。そのために反応槽にはかくはん機、冷却器、圧の開放弁、反応物の添加のあり方等をあらかじめ十分に配慮されているのであるが、万一異常な事態をせんさくすると、発熱が円滑にコントロールできない場合である。反応温度は上昇し、それにともなって反応速度は増大する。

$$v = A_0 \cdot e^{-\Delta E/RT} [A]^a [B]^b \quad (4)$$

ただし、

v は反応速度 (m)

T は温度 (° K)

A_0 、 E は一つの反応で固有の値

R は気体定数 (cal/mol)

$[A]$ 、 $[B]$ は反応物の濃度 (mol/l)

反応速度は温度上昇により著しく速くなり、結果として反応槽中の圧力が激しく高まる。

アクリロニトリルの例

温度 (°C)	蒸気圧(atm)
77.7	1
150	6
200	15
220	20
250	30

従って、反応槽には

発熱 蓄熱を防止する

反応温度を管理する

反応が暴走を起こした場合の対策

を十分に行なうことが大切である。

3.5 容器内および容器外の爆発

工場爆発災害では、密閉容器におけるベッセル内爆発と、容器または配管から大気中に漏洩することによって起こる気中爆発にわけて考えるのも一つの手段である。

ガス漏れ、液体蒸気洩れ、粉じん等が引火爆発を起こすのは容器外のそれである。

密閉容器で爆発が起こると、その瞬間に多量の高温ガスが発生し、容器内は高圧となり、その圧力に耐えられないと破裂するか、破裂してその破片が周辺に飛散する。同時に容器から洩れたガスが急速に膨張して、まわりの空気中に爆風を生じて近辺の器物、建造物、人を損傷する。

密閉容器内の爆発による圧力は、つぎの式で与えられる。

$$P_2 = P_1 \times \frac{\sum M_2}{\sum M_1} \times \frac{T_2}{T_1} \quad (5)$$

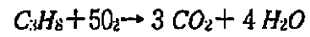
ただし、

P_1 は初圧、 P_2 は終圧、 M_1 は最初のもル数、 M_2 は反応後のもル数、 T_1 は最初の温度、

T_2 は反応後の温度。

例 プロパンガス容器 (3.26 m^3) 内で爆発下限温度 (2.2Vol%) であった場合。

燃焼反応論式を



として、プロパンガスの発熱量を 530.6 kcal/mol とすると、爆発後の保有熱量は、

$$530.6 \times (334.88 - 332) = 1,528\text{ kcal}$$

となり、ガス比熱を考慮すると、保有温度は 920° K になる。

従って、爆風圧は(5)式より

$$1.0 \times \frac{334.88}{332} \times \frac{920}{303} = 3.06\text{ kg/cm}^2$$

この例では容器内の圧力は 3.06 kg/cm^2 となる。

4. 可燃性ガスおよび毒性ガスの漏出拡散

4.1 ガスの貯蔵方式

ガスの貯蔵方式は、大別して高圧圧縮ガスによるもの、低温常圧液化ガスによるもの、常温高圧液化ガスによるものに分類できる。ガスの中で、常温、大気圧下では気体であるが、冷却や加圧操作によって液化されたものを液化ガスと呼び、このうち、冷却状態（かつ一般的には大気圧程度の容器内部圧力）で貯蔵されるものを低温液化ガス、高圧状態で常温貯蔵されるものを高圧液化ガスと呼ぶ。このうち低温液化ガスは大容量の容器で貯蔵される場合が多く、従来の地上タンク式容器以外に地下タンク式容器も用いられている。

4.2 貯蔵容器の損傷形態

地震による振動、および振動に伴う地盤の液状化や断層形成に伴う地盤のずれに起因する貯蔵容器の損傷は、容器本体に関するものと容器に接続した管路に関するものに大別できる。損傷の程度が軽い順に、前者の例として、容器の亀裂、破壊等が挙げられ、後者の例としては、周辺管路の亀裂や破断、容器と元栓の接続部の亀裂や破断等が挙げられる。しかし、周辺管路で亀裂や破断が生じても、元栓を迅速に閉じることで漏洩ガス量をかなり小さく抑えることが可能であることより、ここでは容器と元栓の接続部を含む容器本体の損傷についてのみ考慮することにする。また、想定すべき損傷の形態は貯蔵方式により異なるので方式別に記す。

4.2.1 高圧圧縮ガス

容器の亀裂、元栓接続部の亀裂と破断を考慮すべきである。また貯蔵ガスが可燃性である場合でも自然発火する可能性は小さい。

4.2.2 低温液化ガス

容器の亀裂、元栓接続部の亀裂と破断を考慮すべきである。また貯蔵液化ガスが可燃性であり、かつ損傷箇所から液滴が高速で飛び散っているような場合は静電着火による自然発火の可能性がある。

4.2.3 高圧液化ガス

一般には容器の亀裂、元栓接続部の亀裂と破断を考慮すればよいが、容器内圧の急激な低下をもたらすほど亀裂が大きな場合には、容器内部での沸騰現象に起因する容器の瞬間破壊（蒸気爆発と呼ばれる現象）が生じる可能性に対しても考慮すべきである。また容器内圧が低温液化ガスよりかなり高いので液滴の飛行速度も大きく、可燃性ガスの場合は破壊と同時に静電着火する可能性もある。

4.3 貯蔵ガスの漏出形態

貯蔵容器に亀裂等（以下、漏出孔と記す）が生じ、外部に貯蔵ガスが漏出する場合、その形態は貯蔵方式で大きく異なると共に漏出孔の種類、規模によっても異なるが、以下の形態に分類可能である。

漏出孔から外部へ気体状態で噴出したガスは容器周辺に拡散するが、液状状態で噴出したガスの一部は液体自身の有するエネルギーを利用あるいは外部の空気と熱交換してほぼ瞬間的に蒸発すると共に、残りは周囲の地表面上にプール（液溜り）を形成する。また雲を形成して空中を漂うこともある。プールの液化ガスは周囲の空気や地面と熱交換すると共に、日中であれば太陽からの放射熱も得て連続的に蒸発する。一般には、液滴粒子径が小さく容器周囲の風速が大きいかほど漏出直後に瞬間蒸発する割合は大きい。またプール液面の表面積が大きいほどプールからの蒸発速度も大きい。

4.3.1 高圧圧縮ガス

漏出ガスは容器内外の圧力差を推進力として気体の状態で噴出する。

4.3.2 低温液化ガス

漏出孔が貯蔵容器内液面より上部で生じたときには、漏出ガスは容器内外の圧力差、圧力差がない場合は温度差を推進力として気体の状態で漏出するのに対して、孔が液面より下部で生じたときには、孔と液面間の高さに相当する液圧と容器内部圧力の和と、大気圧の差を推進力として孔から液の状態で噴出する。その際漏出液の一部は液滴となり、残りは液柱状や膜状で地表面上へと落下する。液滴の一部は、地面に到達するまでの間に容器周囲の空気と熱交換して瞬間的に蒸発し、残りは容器周囲にプールを形成しながら徐々に蒸発する。

4.3.3 高圧液化ガス

高圧液化ガス漏出の場合、漏出孔が貯蔵容器内液面より上部で生じたときには、漏出ガスは容器内外の圧力差によって気体の状態で噴出するが、このときに孔の規模が大きければ容器内部の液体が突沸し容器全体を破壊する可能性もある（この場合を蒸発爆発と呼び、最悪の場合は、内部液体のすべてが液滴の状態で広範囲にわたって瞬間的に飛び散り空中で蒸発する）。これに対して孔が液面よりも下部で生じたときには液圧と容器内部圧力の和と、大気圧の差を推進力として孔から液の状態で噴出するが、噴出液の一部（20～40%程度）は、容器内での高圧常温状態から容器外部での安定状態（常圧低温）に平衡が移動する際の液自身の有するエネルギー差に基づいて瞬時にフラッシュ蒸発する。さらに容器内部圧力が高いので漏出流量が、低温液化ガスの場合に比してかなり大きくなると考えられる。

例えば、容器内液面から10m下方で漏出孔が生じた場合、液化ガスの比重が1として、容器内が大気圧で冷却貯蔵されている低温液化ガスの漏出推進力は1気圧である。これに対して、容器内が10気圧で加圧貯蔵されている高圧液化ガスの漏出推進力は10気圧となる。したがって後者は前者に比して、噴出液滴の飛行距離および周囲空気と熱交換する時間が格段に長くなると共に、形成されるプールの面積も大きい。

4.4 ガスの漏出流量と拡散源流量

気体状態で漏出したガスは、漏出と同時にその全量が大気中へ拡散し始めるのに対して、液体状態で漏出したガスは、漏出流量がきわめて小さなときにはプールの形成までにその全量が蒸発して拡散すると近似できるのに対して、流出流量が大きなきときは、低温液化ガスの場合、漏出直後に蒸発する割合が小さく全漏出流量がプール形成に寄与すると近似できるので、拡散源流量はプールからの蒸発流量と等しくなるのに対して、高圧液化ガスの場合はフラッシュ蒸発流量を考慮しなければならない。一般には次の関係が成立する。

$$\text{漏出流量 (気体ガス)} = \text{拡散源流量} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{漏出流量 (液化ガス)} &= (\text{フラッシュ蒸発流量を含む}) \text{漏出直後の蒸発流量} \\ &\quad + \text{プールからの蒸発流量} + \text{プールの体積増加速度} \\ &= \text{拡散源流量} + \text{プールの体積増加速度} \quad (2) \end{aligned}$$

図1に液化ガスの漏出・蒸発様式の模式図を示す。図における漏出規模の定義は便宜的に、貯蔵容器に孔や亀裂が生じそこから漏出した液化ガスが周辺地表面上でプールを形成しなければ「小規模」形成すれば「中規模」、容器本体に致命的なダメージが与えられたときに「大規模」とした。また図中において「点源連続」等で示した蒸発様式の分類は、「4.8 気体ガス拡散過程の概算」で述べる概算方法の分類に対応している。

液化ガスの（拡散源流量／漏出流量）の値を気化率と呼ぶことにすれば、漏出流量の充分小さな場合は気化率=1であり、漏出流量が大きくなるほど気化率は小さくなる。また漏出初期では周囲との熱交換速度が大きいためプールからの蒸発流量も大きく、したがって気化率も大きいものに対して、漏出開始後しばらくすると地表面をはじめとする周囲温度が低下するので気化率は小さくなる。このとき低温液化ガスの場合は気化率がかなり小さくなるのに対して、高压液化ガスの場合はフラッシュ蒸発の影響で最低でも気化率=0.2~0.4程度までしか低下しない。

(★損傷位置 △△△熱媒体)

	低温常圧貯蔵方式	常温高温貯蔵方式
小規模漏出		
	点源連続 / 点源連続 [液面より上部] [液面より下部]	点源連続 / 点源連続 [液面より上部] [液面より下部]
中規模漏出		
	点源連続 / 面(点)源瞬間 [液面より上部] [液面より下部]	点源連続 / 点源連続 (フラッシュ蒸発による寄与が大きいとき) [液面より上部] [液面より下部]
大規模漏出		
*3		* 小規模漏出・中規模漏出を経て大規模漏出となる可能性有 面(点)源瞬間

- *1 熱を与える媒体を示す。
- *2 外気には、太陽による放射も含む。
- *3 貯蔵容器の完全破壊

図1 液化ガス漏出・蒸発形態の模式図

4.4.1 高圧圧縮ガス

漏出流量は漏出に伴う容器内圧力の低下と共に減少し、拡散源流量は漏出流量と等しい。

4.4.2 低温液化ガス

容器内液面より上部にできた漏出孔からの漏出流量は、漏出開始後しばらくしてほぼ一定となる。このときの質量流量は、外部より容器内の液に供給される伝熱速度（貯蔵容器は断熱材で覆われているので伝熱速度は小さい。）をそのときの液温での蒸発潜熱で除した値に等しく、この状態が容器内の液が消失するまで続く。拡散源流量は漏出流量と等しい。

一方容器内液面より下部にできた漏出孔からの漏出流量は、漏出に伴う液面低下により液面が孔の高さと一致するまでは液の状態でも漏出し、孔と液面間の高度差が小さくなると共に減少する。拡散源流量は漏出流量よりも小さい。液面が孔よりも下になった場合は、液面より上部にできた孔からの漏出と同様である。

4.4.3 高圧液化ガス

フラッシュ蒸発が生じる以外は基本的には低温液化ガスと同様であるが、容器内部圧力が大きいので、液漏出流量ならびに漏出開始直後の気体漏出流量は低温液化ガスに比して格段に大きい。また容器内突沸現象に伴う蒸気爆発の可能性もある。さらに貯蔵容器が断熱材で覆われていない場合、時間が経過しても気体漏出流量が低温液化ガスの場合ほど低下しない。

4.5 ガスの漏出時間と拡散源持続時間

気体状態でガスが漏出した場合、拡散源持続時間は漏出時間と等しい。一方液化ガスが漏出した場合、プールを形成しなければ拡散源持続時間は漏出時間と等しく、プールを形成すれば、たとえ漏出が停止していたとしてもプールが存在している限り液化ガスの蒸発拡散が続く。したがって液化ガスが漏出した場合には一般に、拡散源持続時間 \geq 漏出時間である。漏出時間、拡散源持続時間と前述の漏出流量、拡散源流量および全漏出量の関係を次に示す。

漏出停止時刻

$$\text{全漏出量} = \int_{\theta=0} \text{漏出流量 } d\theta = \text{漏出時間} \times \text{漏出流量 (流量が一定のとき)} \quad (3)$$

$\theta=0$

$$= \text{拡散源持続時間} \times \text{拡散源流量 (流量が一定のとき)}$$

拡散源持続停止時刻

$$= \int_{\theta=0} \text{拡散源流量 } d\theta$$

$\theta=0$

ここで θ は時刻である。

4.5.1 高圧圧縮ガス

生じる漏出孔の規模は小さい可能性が高いので、漏出孔を塞がない限り、漏出は長時間にわたる。気体状態での漏出しか起きないので、拡散源持続時間=漏出時間である。また気体ガスの拡散挙動を推定したい場合、拡散源は漏出孔なので、これは拡散領域に比して充分小さいことから点源と近似できる。

4.5.2 低温液化ガス

漏出液化ガスがプールを形成しなければ高圧圧縮ガスと同様である。プールを形成すれば、プール

の面積が拡散領域に比して充分小さければ拡散源は点源、そうでなければ面源と近似できる。拡散源持続時間 \geq 漏出時間である。

4.5.3 高压液化ガス

基本的には低温液化ガスの場合と同様であるが、漏出孔の規模が同じならば、漏出流量、拡散源流量ともに低温液化ガスに比してかなり大きくなるだろう。さらに蒸気爆発が起きた場合、容器は瞬間に破壊するので漏出時間はきわめて短いものの、爆発によって飛散した液滴が容器本体周囲の比較的広範囲で液化ガスのプールを形成するならばある程度の拡散源持続時間を考慮すべきである。またプールを形成しなければ持続時間は瞬間と近似できる。また両者ともに拡散源は面源である。

4.6 漏出孔からの漏出流量と蒸発流量の概算

4.6.1 漏出孔からの気体流量

高压圧縮ガスや、液化ガスであっても漏出孔が液面より上部に形成された場合、孔からは気体のみの漏出が起り、そのときの流量は次式で求められる。

$$Q = \left\{ \frac{273+t}{273} \right\} (0.000341) C_1 a P_1 \left[\frac{1}{z M (t+273)} \right]^{1/2} \times \left[\frac{k}{k-1} \right] \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k+1)/k} \right\}^{1/2} \quad (4)$$

ここで

- λ : 漏出気体流量 [m³/s]
- M : 分子量 [kg/kmol]
- C_1 : 流出係数 [-]
- a : 漏出孔面積 [m²]
- z : 圧縮係数 [-]
- t : 容器内温度 [°C]
- P_1 : 容器内圧力 [kgf-abs/cm²]
- P_2 : 大気圧 [kgf-abs/cm²]
- k : 断熱指数 [-]
- t : 外気温 [°C]

4.6.2 漏出孔からの液体流量

液化ガスのように液体状態で容器内に貯蔵されているとき、漏出孔が液面より下部に形成された場合には孔から液体の漏出が起り、そのときの流量は次式で求められる。

(5)

ここで

- q : 漏出液体流量 [m³-液/s]
- C_1 : 流出係数 [-]
- C_2 : ノズル係数 [-]
- a : 漏出孔面積 [m²]
- g : 重力加速度 (=9.8m/s²)
- h : 容器内液深 [m]

ρ : 液密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

P : 容器内ゲージ圧 $[P_a]$ (飽和蒸気圧-大気圧 $[=1.013 \times P_a]$)

Hが変化する場合には最大値で代表させるべきである。また C_1 、 C_2 が不明のときは $C_1 C_2 = 0.5$ とする。

さらに孔から漏出した液体の一部が液滴となり、これが地表面に到達する前に大気と熱交換して蒸発する場合の気体流量は次式で求められる。

$$Q_{ev} = \{(273+t)/273\} (22.4) \alpha q \rho / M \quad (6)$$

ここで

Q_{ev} : 蒸発流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$

α : 気化率 $[-]$

ρ : 液密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

M : 分子量 $[\text{kg}/\text{kmol}]$

t : 外気温 $[\text{C}]$

また漏出流量が小さく漏出した液体のすべてが漏出直後に蒸発する場合には $\alpha = 1$ である。各種液化ガスの M および種々の温度に対する ρ と飽和蒸気圧の値を4.8.6に示す。

4.6.3 低温液化ガスの蒸発流量

低温液化ガスが漏出すれば、地表面、外気、周囲の構造物等と接触して熱交換を行うと共に太陽から放射熱を受けて蒸発する。もし漏出に際して液体が液滴等に分散せず安定に流れ落ちてプールを形成する場合、漏出初期では、周囲の温度が液温に比して高いので蒸発流量は大きい。特に液体流量が多い場合は液体が地表面を急速に冷却して、ある時間経過した後は外気との熱交換量と太陽放射熱の和に対応した小さな蒸発流量で安定する。この安定に至る期間を初期蒸発期間と呼ぶ。

一般に初期蒸発期間での蒸発に際しては地表面との熱交換が支配的であり、プールを半径 R [m]の円形と仮定した場合次式が成立する。

$$\lambda_{ev} = \{(273+t)/273\} (22.4) \chi M (ML) (\pi R^2) (t_1 - t_0) / \sqrt{(k \pi \theta)} \quad (7)$$

ここで

Q_{ev} : 蒸発流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$

R : プール半径 [m]

M : 分子量 $[\text{kg}/\text{kmol}]$

χ : 地表面粗さ $[-]$ (コンクリート床のような滑らかな面の場合は1)

k : 地面の熱伝導度 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$

L : 沸点における液体の蒸発潜熱 $[\text{J}/(\text{kg})]$

t_0 : 液体の沸点 $[\text{C}]$

t_1 : 地表面温度 $[\text{C}]$

θ : プール形成直後からの経過時間 [s]

- κ : 地面の熱拡散率 [-] ($= k / \rho_G C_p$)
 ρ_G : 地面の密度 [kg/m^3]
 C_p : 地面の比熱容量 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
 t : 外気温 [$^{\circ}\text{C}$]

ただし上式は地面の各種物性が不変の下で導かれたものであり、実際には温度低下に伴う地面中の水分の凍結で特に κ が大きく増加する。そこでこの式を用いて計算する場合には地面の κ を氷のそれで代用すれば過小評価の恐れはない。

一方初期蒸発期間終了後の安定期間での蒸発に際しては、外気との熱交換と太陽放射熱が支配的となり、特に液面上に並行風が流れかつ蒸発流量が充分小さい場合、次式が成立する。また蒸発流量が大きくなるほどこの式は過大な結果を与える。

$$Q_{ev} = \{(273 + t)/273\} \{(22.4)/(ML)\} (\pi R^2) [k_2 N_u / (2R)] (t - t_0) + \beta \quad (8)$$

ここで

- Q_{ev} : 蒸発流量 [m^3/s]
 M : 分子量 [kg/kmol]
 L : 沸点における液体の蒸発潜熱 [$\text{J}/(\text{kg})$]
 k_2 : 外気の熱伝導度 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]
 R : プール半径 [m]
 t_0 : 液体の沸点 [$^{\circ}\text{C}$]
 β : 太陽放射熱強度 [W/m^2] ($\leq 1,360$)
 N_u : ヌッセルト数 [-]

$$N_u = 0.664 (C_{p2} \mu_2 / k_2)^{(1/3)} (2U \rho_2 R / \mu_2)^{(1/2)} \quad (9)$$

ただし $2U \rho_2 R / \mu_2 < 320,000$

または

$$N_u = 0.037 (C_{p2} \mu_2 / k_2)^{(1/3)} \{(2U \rho_2 R / \mu_2)^{0.8} - 15,200\}$$

ただし $2U \rho_2 R / \mu_2 > 320,000$

- C_{p2} : 外気の比熱容量 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
 μ : 外気の粘度 [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]
 U : 外気の風速 [m/s]
 ρ_2 : 外気の密度 [kg/m^3]
 t : 外気温 [$^{\circ}\text{C}$]

また漏出した液体が貯槽の底部で溜まっている場合、 Q_{ev} は上式で計算した値よりかなり小さくなる。

4.6.4 高压液化ガスの蒸発流量

容器内において常温加圧状態で平衡にある高压液化ガスが外気中に漏出するとき、液体は大気圧下の沸点まで急速に温度降下する。その際生じる熱エネルギーによって漏出液体の一部は瞬間的に蒸発し、その流量は次式で求められる。

$$Q_{ev} = \{(273 + t)/273\} (22.4) (\rho_g / M) (H_0 - H_s) / L \quad (10)$$

ここで

- Q_v : 蒸発流量 [m^3/s]
 q : 漏出液体流量 [$m^3\text{-液}/s$]
 ρ : 液体の密度 [kg/m^3]
 H_3 : 貯蔵温度における液体のエンタルピー [J/kg]
 H_0 : 沸点における液体のエンタルピー [J/kg]
 L : 沸点における液体の蒸発潜熱 [J/kg]
 t : 外気温 [$^{\circ}C$]

$Q_v / \{22.4 (\rho q M)\}$ は (蒸発質量流量/漏出質量流量) であり、この値をフラッシュ率と呼び、貯蔵液温が決まれば計算できる。種々の温度で貯蔵された各種液化ガスのフラッシュ率を 4.8.6 に示す。以上のように液化ガス自身がつエネルギーによって漏出直後に急激な蒸発が起きる以外は低温液化ガスと同様の蒸発現象が起きる。

4.7 液化ガスの蒸発・拡散の抑制原理

貯蔵容器を中心とした各種ガスの貯蔵設備は、技術の発展と災害事例を反映した各種法律の下で十分な強度を有するよう設計・建造されているものの、貯蔵設備を有する事業所敷地外へのガス拡散を引き起こす、規模の大きな漏出の危険性が皆無であるとは言えない。そこで本項では液化ガスに着目し、その万一の漏出時に蒸発・拡散を抑制するための原理と対策について述べたい。

液化ガスの貯蔵方式として一般的である高圧常温方式と常圧低温方式では、前者がフラッシュ蒸発により最低でも漏出流量の 20~30% が必ず蒸発してしまうのに対して、後者では漏出液化ガスの外部との熱交換を徹底的に防げることで、蒸発流量を限りなく零に近づけることが理論的には可能である。したがって原理的には液化ガスの貯蔵はすべて常圧低温方式によるべきであり、以下に挙げた対策をも含めていかなる対策を講じようともこれに勝るものはない。

規模の大きな漏出が生じた場合、漏出液のかなりの部分が地表面上にプールを形成しながら緩慢に蒸発し続けると予想できる。したがって同じプール体積ならば、蒸発面積の値が小さいほどプール上の風速が小さいほど蒸発流量も小さい。このときプールからの蒸発に要する熱エネルギーは、プール下の地表面、プール上の外気と太陽光から与えられるので、例えば断熱材で内張りした地下液溜めをあらかじめ設けておき、漏出液をそこへ導けば蒸発流量をかなり低減できると考えられる。

一般的に大規模貯蔵容器の周囲には、プールの蒸発面積の拡大防止と周辺地表面付近での拡散ガス濃度の低下を目的として高い防液堤が設けられている。また高い防液堤は堤内部に形成されるプール上の風速を低下させ、太陽光を遮る効果もあると考えられる。さらにそれ以外の蒸発・拡散抑制設備として、防液堤内の床面に断熱コンクリートを使用する。防液堤上端部から上方へ放水して水膜を作り見かけの提高を増す、プール蒸発面を高発砲薬剤で覆う、等の設備が実用化されている。

アンモニアや塩素ガス等のように水やアルカリ水溶液等と接触させることで無害化可能な物質については、法令によりこれらの保有が義務づけられているので、万一の漏出の際には遺漏なきよう十分に準備しておく必要がある。

液滴は表面積/体積の値が非常に大きく外気との熱交換による蒸発流量がきわめて大きくなることから、漏出時には液化ガスが液滴として周囲に飛び散らないように配慮すべきである。

4.8 気体ガス拡散過程の概算

4.8.1 拡散現象の概説

高圧容器より気体として漏出したガスはもちろん、液体として漏出したガスも急速に、あるいは緩慢に蒸発して低温の気体となり、大気との熱交換で昇温しながら大気中を拡散して周辺に拡がっていく。また気体の拡散速度は、拡散源流量、気象条件および構造物や地理的状況等に大きく左右されるが、ここでは平坦な地表面上における等温拡散現象を、気象条件をパラメータとした坂上らのモデル式に従って推定することにする。

ただし、このモデルでは拡散過程を通じて気象条件が不変であるとしており、またパラメータはある程度以上の風速下で決定されていることから風速 1 m/s 以下の場合に対する計算結果は信頼性に乏しい。

さらに発生気体密度の大小による効果を考慮していないので、例えば塩素等の空気に比して密度の大きいガスが拡散する場合には、ガスは地表面近くに留まろうとし、特にモデルによる計算結果は地表面近くでは過小となる。また密度が小さい場合はこの逆である。しかしガス濃度が数%以下の希薄な場合はこの密度効果が充分小さいと考えられる。

4.8.2 点源から連続発生する場合の拡散

高圧圧縮ガスの場合、および低温液化ガスと高圧液化ガスで漏出液体流量が小さい、あるいは比較的漏出流量が大きくとも液滴として空中に飛び散ることで蒸発し、周囲にプールが形成されない場合、高圧液化ガスで漏出流量が大きく周囲にプールが形成されるものの、プールからの蒸発流量に比して流出直後のフラッシュによる蒸発流量が支配的な場合に適用できる。

$$\begin{aligned} \Omega &\equiv cu/Q_{ev} \quad (\text{液化ガスの場合}) \\ & \quad (\text{または } cu/\lambda) \quad (\text{圧縮ガスの場合}) \\ &= \exp(-y^2/A) \exp\{(-h+z)/B\} I_0(2\sqrt{(hz)/B}) / [B\Gamma(A\pi)] \end{aligned} \quad (11)$$

ここで

$$A = q_A \{ \Phi_A x + \exp(-\Phi_A x) - 1 \} / (3.03^2) \quad (12)$$

$$B = q_B \{ \Phi_B x + \exp(-\Phi_B x) - 1 \} \quad (13)$$

また q_A 、 q_B 、 Φ_A 、 Φ_B は気象条件による拡散パラメータであり、 $I_0(\xi)$ は ξ を変数とする 0 次の変形第 1 種ベッセル関数である。なお拡散パラメータは 4 種の気象条件(きわめて安定、中立、やや不安定、不安定)に対してそれぞれ与えられており、 h が変化すればパラメータ値も異なる。したがって気象条件と h の値が決まれば拡散パラメータの値も決まる。

c : (x, y, z) 地点の濃度 $[\text{m}^3/\text{m}^3]$

Q_{ev} : 点源からの蒸発流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$

(λ) : 点源からの漏出気体流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$

u : 風速 $[\text{m}/\text{s}]$

h : 発生源高さ $[\text{m}]$

x : 発生源から風下方向への距離 $[\text{m}]$

y : 風下方向と直角な地表面に沿った方向への距離 $[\text{m}]$

z : 地表面からの高さ [m]

高さ h で発生し始めた気体ガスが充分時間が経過した後も同流量で発生し続けている場合、最も発生源から遠方までガス濃度が高くなるのは、モデルによれば風下方向で源と同じ高さの位置となることから、 $h=0.5\text{m}$ 、 $y=0\text{m}$ 、 $z=0.5\text{m}$ を上式に代入すれば、 Ω は x のみの関数で与えられる。この結果を気象条件 (中立) の場合に対して図 2 に示す。また $\Omega=cu/Q_{ev}$ の関係からガス濃度、風速、蒸発流量 (または気体流量) が与えられれば図よりそのガス濃度の最大到達距離が得られる。例えば $\Omega=cu/Q_{ev}=6 \times 10^{-3}$ の値を得れば図より最大到達距離は約 160m となる。

ここでガス濃度 c としては、燃焼下限値 (可燃性ガス) または IDLH 値 (有毒性ガス) を用いればよい。各種液化ガスに対するこれらの値を 4.8.6 に示す。一方蒸発流量 Q_{ev} の推定は、4.8.3, 4.8.4 で述べたように難しいが、高圧液化ガスの場合に限って、式(6)の気化率 α にフラッシュ率の値を代入することで、若干の過小評価ではあるが大略の値が推定可能である。種々の温度で貯蔵された各種液化ガスのフラッシュ率を 4.8.6 に示す。また災害想定を行なう際には風速 u として年間平均値あるいは 3 m/s が使われることが多い。

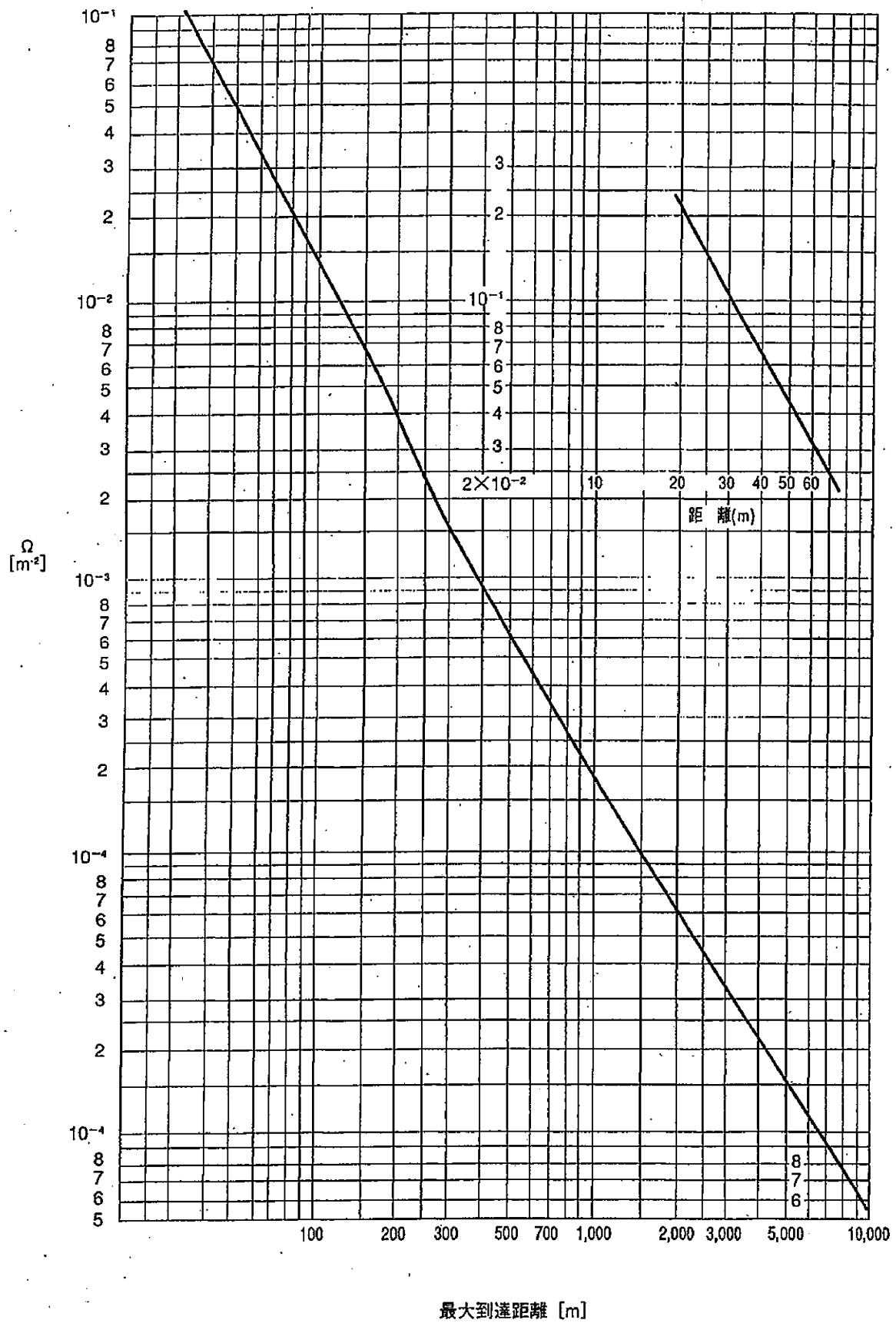


図2 連続発生点源からの最大到達距離 (点源高さ $h=0.5m$ 、気象条件：中立)

4.8.3 面源から連続発生する場合の拡散

低温液化ガスと高圧液化ガスで漏出液体流量が大きく、例えば液貯めや防波堤内部等の周囲の限られた領域内全面にプールが形成された場合でプール形成からかなりの時間を経て領域内の固体表面温度が充分低くなっているときに適用できる。またガスの拡散範囲がプール面積と比して大きい場合は4.8.2の取り扱いで近似できる。

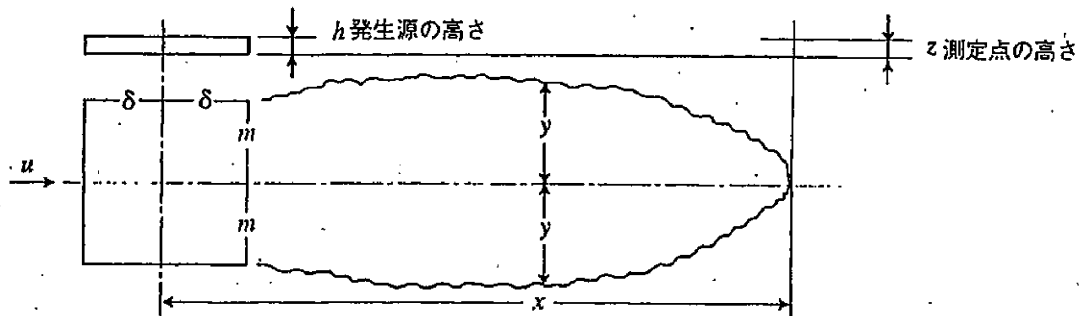
$$c = (Q^*/u) \sqrt{A/(4B)} \exp\{(-h+z)/B\} \left\{ \Lambda((x+\delta)/\sqrt{A}) - \Lambda((x-\delta)/\sqrt{A}) \right\} \left\{ \operatorname{erf}((y+m)/\sqrt{A}) - \operatorname{erf}((y-m)/\sqrt{A}) \right\} I_0(2\sqrt{(hz)/B}) \quad (14)$$

ここで

$$\Lambda(\xi) = \xi \operatorname{erf}(\xi) + \xi^2 \exp(-\xi^2) / \sqrt{\pi} \quad (15)$$

Q^* : 単位面積当りの面源からの蒸発流量 [$m^3 / (m^2 \cdot s)$]

また c 、 u および A 、 B は 4.8.2 の場合と同じであり、 x 、 y 、 z 、 δ 、 m 、 h は下図で示す距離 [m] である。



4.8.4 連続発生源からの到達時間

1 m/s 程度以下の極端な低風速を除いて風速 u [m/s] の場合、発生源から風下方向に x [m] 離れた地点に発生気体ガスが到達するまでに要する時間は、 x/u [s] で近似的に与えられると考えても良いだろう。例えば風速 3 m/s のとき風下方向に 300 m 離れた地点までガスが到達するのは、漏出開始後 $300/3 = 100$ 秒後と概算できる。

4.8.5 面源から瞬間発生する場合の拡散

4.8.3 と同様に周囲の限られた領域内全面にプールが形成された場合で、地表面との熱交換による流出初期の急速な蒸発が生じているときに適用できる。ただし、地表面が充分冷却されたそれ以後の蒸発流量が初期蒸発流量に比して小さな場合に限定される。しかし高圧液化ガスの場合は低温液化ガスと異なり、流出直後に液化ガス自身が有するエネルギーにより、漏出液の 20~40% が瞬時に蒸発するので全期間にわたって 4.8.2 を適用するべきである。さらに高圧液化ガス容器が蒸発爆発を起こして貯蔵液化ガスの全量が液滴状態で周囲に飛散蒸発する場合にも適用出来る。

$$c = (Q_i^*/(4B)) \exp\{(-h+z)/B\} \left\{ \operatorname{erf}((x-u\theta+\delta)/\sqrt{A}) - \operatorname{erf}((x-u\theta-\delta)/\sqrt{A}) \right\} \left\{ \operatorname{erf}((y+m)/\sqrt{A}) - \operatorname{erf}((y-m)/\sqrt{A}) \right\} I_0(2\sqrt{(hz)/B}) \quad (16)$$

ここで

Q^* : 単位面積当りの面源からの瞬間蒸発量 [m^3/m^2]

θ : 発生開始からの経過時間 [s]

4.8.6 各種液化ガスの物性

プロパン、ブタン、メタン、アンモニア、塩素に関して、貯蔵状況を考慮し次のとおりその物理的性質を記載する。ここで正常沸点とは飽和蒸気圧=大気圧(=1.033 kgf/cm²)のときの液温である。

4.8.6.1 プロパン

可燃性ガス		燃焼下限値 2.1%		
正常沸点 -42.1℃		分子量 44		
温度 [℃]	液密度 [kg/m ³]	飽和蒸気圧 [kgf/cm ²]	フラッシュ率 [%]	
-45	585	0.906	— ^{※1}	
-40	579	1.131	1.1	
-35	573	1.397	3.8	
-15	549	2.971	15.0	
-10	542	3.517	17.9	
-5	536	4.135	20.7	
0	538	4.830	23.7	
5	522	5.608	26.6	
10	515	6.473	29.6	
15	508	7.430	32.6	
20	500	8.489	35.7	
25	492	9.644	38.8	
30	484	10.910	42.0	
35	480	12.289	45.3	

※1 フラッシュ蒸発は生じない。

4.8.6.2 (ノルマル) ブタン

可燃性ガス		燃焼下限値 1.6%	
正常沸点 -0.6℃		分子量 58	
温度 [℃]	液密度 [kg/m ³]	飽和蒸気圧 [kgf/cm ²]	フラッシュ率 [%]
-10	611	0.710	—
-5	605	0.868	—
0	601	1.053	0.4
5	595	1.267	3.4
10	588	1.513	6.4
15	584	1.795	9.5
20	579	2.116	12.6
25	572	2.478	15.7
30	566	2.886	18.9
35	560	3.341	22.1

4.8.6.3 メタン

可燃性ガス		燃焼下限値 5.0%	
正常沸点 -161.5℃		分子量 16	
温度 [℃]	液密度 [kg/m ³]	飽和蒸気圧 [kgf/cm ²]	フラッシュ率 [%]
-170	436	0.482	—
-165	429	0.766	—
-160	422	1.166	1.0
-155	415	1.707	4.5
-150	408	2.419	8.0
-145	400	3.331	11.5
-140	392	4.471	15.2
-135	383	5.869	18.8
-130	374	4.551	22.6

4.8.6.4 アンモニア

有 毒 性 ガ ス		IDLH 値 ^{*2} 300ppm ^{*3}	
正常沸点 -33.3℃		分子量 17	
温度 [℃]	液密度 [kg/m ³]	飽和蒸気圧 [kg f/cm ²]	フラッシュ率 [%]
-10	654	2.952	7.7
-5	647	3.595	9.3
0	640	4.341	11.0
5	633	5.203	12.7
10	625	6.191	14.4
15	618	7.317	16.1
20	610	8.591	17.9
25	602	10.027	19.6
30	594	11.637	21.4
35	586	13.431	23.2

※2 この値は30分以内に救出されないと元の健康状態に回復しないとされる暴露濃度である。

※3 50ppm： 臭気を感じる限界。敏感な人は5ppmでも感知できる。

100ppm： 長時間暴露の限界濃度

300～500ppm： 30分1時間暴露の限界濃度。

2500～4500ppm： 30分暴露すれば生命の危険性あり。

5000ppm： 短時間の暴露で生命の危険性あり。

4.8.6.5 塩素

有毒性ガス		IDLH 値 10ppm ^{*4}		
正常沸点 -34.1℃		分子量 71		
温度 [℃]	液密度 [kg/m ³]	飽和蒸気圧 [kg f/cm ²]	フラッシュ率 [%]	
-25	1535	1.513	3.0	
-20	1522	1.844	4.7	
-15	1509	2.228	6.4	
-10	1496	2.671	8.1	
-5	1483	3.178	9.6	
0	1469	3.754	11.4	
5	1454	4.405	13.2	
10	1440	5.138	14.9	
15	1425	5.957	16.6	
20	1411	6.868	18.4	
25	1395	7.877	20.1	
30	1380	8.989	21.8	
35	1364	10.211	23.6	

- ※4 0.1~0.2ppm : 臭気を感じる限界。
 3~6ppm : 目、鼻、のどに刺激があり頭痛を招く。
 14~21ppm : 30分~1時間暴露で生命の危険性あり。
 40~60ppm : 短時間の暴露で生命の危険性あり。
 100ppm : 1分以上耐えられない。
 900ppm : 即死。

参考・引用文献

高圧ガス保安協会、「コンビナート保安・防災技術指針、本編および資料編」
 消防庁特殊災害室、「石油コンビナートの防災アセスメント策定指針」
 坂上、「大気汚染の流体力学」、日本機械学会誌、76 (660)、1416 (1973)。
 加藤、殿谷、「携帯用関数付電算器によるガス拡散計算の手引き」、高圧ガス、14 (7)、377 (1977)。
 日本機械学会、「技術資料流体の熱物性値集」、1983。
 日本機械学会、「伝熱工学資料、改訂第4版」、1986。
 日本冷凍協会、「冷凍空調便覧、新版第5版、第1巻基礎編」、1993。
 日本化学会、「化学防災指針集成I物質編」、1996。

5. 静電気災害

5.1 まえがき

災害予防的な見地から静電気知識の教育普及に資するため、静電気災害の特質と管理基準を兵庫県石油コンビナート等防災本部専門部会災害想定調査研究会報告書「静電気災害対策指針」としてまとめている。それによると、震災時には、タンク、配管などの機械的損傷によりガスや液体の漏洩噴出・流出及び漏洩噴出・流出物の付近物体への衝突による静電気帯電が原因となって可燃性ガス・液体に放電着火し、火災・爆発にいたる災害が、条件次第では発生する可能性がある。本報告書では、この点（噴出帯電）に絞って、最近の事故例などの調査を踏まえ研究した結果を報告する。

5.2 噴出帯電

液体や気体がパイプやノズルあるいは配管の裂け目等からの噴出（または噴射）に伴って発生する静電気帯電現象を一般に噴出帯電と呼んでいる。最初にこの帯電現象の説明を行い、次にこれまでに行われた研究と実験例を紹介する。

5.2.1 噴出帯電現象

静電気学会技術報告第2号「絶縁液体の帯電現象」（平成2年11月）によると、噴出帯電現象について次のような説明がなされている。

噴出帯電現象は多くの発生要因が複雑にからみあっているので、単独の帯電機構を抽象化して取り出すことは難しい。たとえば、液体がノズルから噴出し壁面などへ衝突する帯電過程を考えると、(a)液体がノズルや配管中を流れる際に起こる流動帯電現象（図1）、(b)外部に電界が存在する場合には静電誘導の影響、(c)液滴が分解するとき起こる分裂帯電や噴霧帯電、(d)液体が壁面に衝突するとき起こる衝突帯電（図2）、などがあるが、実際には複合して帯電が現れることになる。

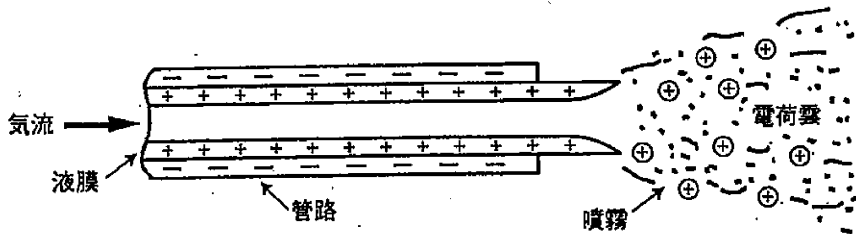


図1 絶縁性液体の管壁からの剥離による帯電

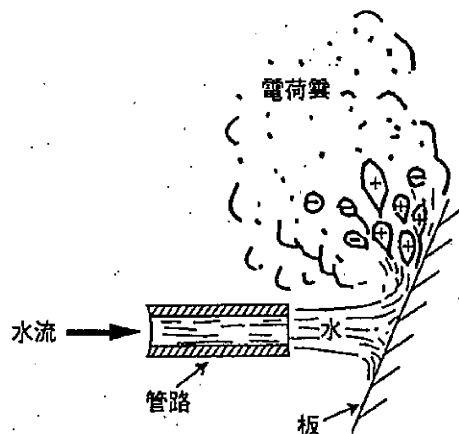


図2 しぶきの帯電

ここでは、液体の分裂または噴霧時に生ずる帯電現象について、これまで行われてきた研究の一部を紹介することにする。

水滴の分裂による帯電現象は Elster らがヨーロッパアルプスの滝壺の周りで発光現象を観察し、しぶきが強く帯電しており放電が起きていることを観測して注目されるようになった。Lenard はこの現象を考察し滴帯電と名づけ、後に Lenard 効果とも呼ばれるようになった。彼は滝の周囲にある小水滴は負に帯電し、大きい水滴や水面は正に帯電していることを認め、水表面の空気と接している両側を負とし内面を正とする電気二重層の存在を仮定して、これが剥離して帯電するのであろうと推定した。彼はまた、電解質についての実験で、ごく薄い食塩水が分裂すると液滴は負に帯電し空気は正に帯電するといっている。

その後、Chapman は比較的純粋な数種の液体を用いた実験によって正および負に帯電した同じ粒形の液滴は大体同数でき、オクタンを除外すると電荷量は近似的に直径に比例するという結果を報告した。また、電解質の液体については、電解質濃度が高くなるに連れて帯電効果が著しく減少し、正および負電荷は大体等量発生したと報告している。

川崎弘司らは液体の分裂によってできる個々の液体の帯電や帯電極性を知るために、霧吹きで発生させた液滴を交番電界中に落下させるという方法を用いて、液滴の質量、電荷量について詳細な観測を行った。その結果噴霧によってできる液滴は大体表面積に比例した電気量を持ち、蒸留水、1%食塩水、エチルアルコールではエチルアルコールが一番電気量が大きであった。食塩水の帯電はその濃度によって非常に異なり、海水ぐらいの濃度では蒸留水の場合よりずっと少ない。液滴の極性分布については蒸留水の場合、多数の正および負の電荷を持つ液滴と若干の中性の液滴からなり、大きな液滴は正の電荷を持つものが多く小さな液滴（直径約 $2\ \mu\text{m}$ 以下）では負の電荷を持つものが多い。そして大体平均すると正の電気量が大きである。食塩水についてもやはり多数の正負の電気を持つ液滴からなっているが、極性分布は濃度によって大きく変化する。1%の濃度では大体等量という測定結果を得たなどと報告している。

Dodd は液滴の帯電量を精密に測定した。その結果、各粒形範囲で正と負の帯電確率は約等しく全電荷量の平均値は大凡ゼロに等しい対称帯電特性を得た。その曲線はほぼガウス分布曲線であることを示した。

この他、各種液体の蒸気の噴出に関する実験において、分子構造が有極性の液体の蒸気の噴出では噴出ミストが帯電し、無極性液体では帯電しないとの報告もある。

これらの報告をもとに、分裂帯電の帯電素要因を考えると、(a)液滴中に、正、負のイオンが等量含まれている場合、(b)電気二重層が液の表面に分布している場合、(c)液に外部から電界が加わり誘導帯電する場合、(d)外部から電荷を注入した場合、等に分類できる。

(a)の場合の液滴の帯電状況は分裂する破断面の幾何学形状の統計的揺らぎに左右され（図3）、(b)の場合には液表面直下のイオンの配列や分裂したミスとのサイズによって左右される（図4）。また(c)の場合には外部電界、分裂直前の液体の形状によって、(d)の場合には与えられた電荷によって左右されるであろう。

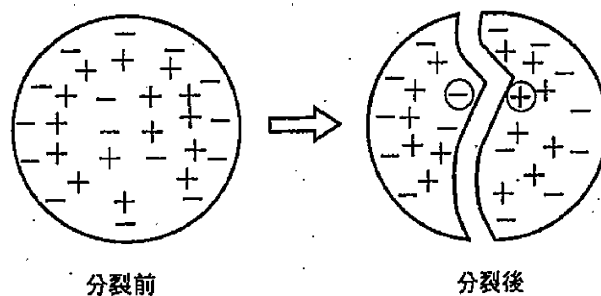


図3 液滴の分裂による電荷分布の統計的ゆらぎ

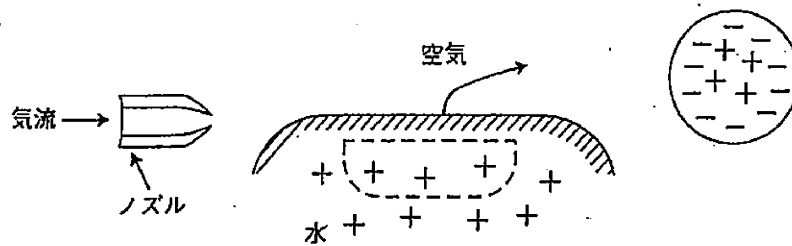


図4 水の噴霧による帯電

噴出帯電に伴い放電が発生することがある。図5は、液体などが噴出帯電して噴射口近傍で放電を起す様子を示している。配管中のフランジにおける漏れ個所で気体や液体が流出するときも同様の放電が生ずることがある。

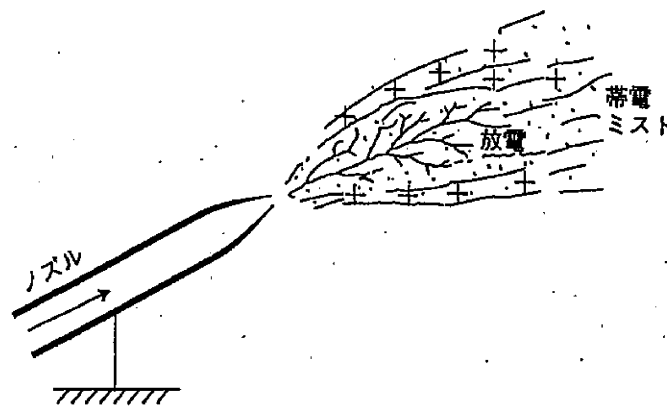


図5 噴射帯電による放電

以上は、比較的純粋な液体の液滴の帯電について考えたものであるが、不純物の混入により帯電量や帯電極性が変化したり、非対称帯電現象が現れることも報告されている。しかしこの場合の体系的な研究はまだ十分に行われていない。

5.2.2 これまでに行われた研究

1962年から1979年にかけて、6件の実験的研究が行われた。ほとんどの研究は、金網製あるいは金属製の電荷捕捉用電極を高圧ガス噴流中に置いて静電気帯電量を測定するという方法を採用している。したがって、これらの実験で得られた結果は、噴出による帯電と電極との衝突による帯電の和となっていて、純粋の噴出帯電と見ることは出来ないがおおよその傾向は把握出来る。

これらの研究の概要を松原美之、萩本安昭；「LP ガス噴出時の静電気帯電現象について」、LP ガスプラント Vol.33, No.4, pp.1-10 (1996) などにより調査したので紹介する。

(1) 消防研究所 (1962~1964年)

a. 噴出させた物質

アルコール、ヘキサン、ペンタン、ベンゼン、ガソリン、JP-4、アセトン水、キシレン

b. 実験方法と結果の概要

- ①直径2mmの金属電極で電荷捕捉を行った
- ②ほとんどの物質で、圧力の増加とともに帯電量も増加した

③有極性の物質が帯電した

(2) 公害資源研究所 (1962~1964年)

a. 噴出させた物質

水+CO₂、LPガス

b. 実験方法と結果の概要

①金網により電荷捕捉を行った

②帯電量測定は電圧法と電流法を使用した

③金網の距離が近づくほど帯電量が増加した

④水はLPガスより帯電量が大きかった

⑤圧力の増加とともに帯電量が増加した

⑥3 kg/cm²以下の圧力ではLPガスの帯電は測定されなかった

⑦金網に電荷を蓄積させ、電極間の放電でLPガスに着火させた

(3) T社 (1966年)

a. 噴出させた物質

水素ガス

b. 実験方法と結果の概要

①電化捕集用金網の電圧を測定した

②圧力 50 kg/cm²までの測定では、純粋な水素ガスは噴出時の帯電が測定されなかった

③鉄粉、ベンゼン、水、四塩化炭素の添加により、帯電量が増加した

④添加による帯電の符号、圧力特性等は添加する物質により異なった

⑤ノズル内面が平滑なものでは帯電量が数分の1に減少した

⑥電荷を電極に導き着火させることのできた最低噴出圧力は5 kg/cm²であった

(4) N社 (1967年)

a. 噴出させた物質

プロパンガス

b. 実験方法と結果の概要

①ボンベから直接噴出させたボンベ電圧を測定した

②気体での噴出では帯電せず。帯電量は、気液混在、液、気の順であった

③符号はボンベが正で液が負であった

(5) N石化・他 (1970年)

a. 噴出させた物質

プロピレンガス

b. 実験方法と結果の概要

①電荷捕捉用金網及び噴出ノズルの電位を測定

②炭素、酸化鉄、鉄粉、水を添加

③気体の放出の場合、無添加では帯電しなかったが、炭素粒子を添加すると帯電 (表1)

④液体での放出の場合にも、添加物の存在により帯電の増加が観測された (表1)

表1 プロピレンガスの噴出による発生電位

実験 番号	噴出状況	噴出圧力 [kg/cm ²]	金網と大地間の電位 [kV]	備考
1	Gas	14.0	0	放火着電する
2	Liq+C	13.0	-20.0	
3	Liq+C	12.8	-12.0	
4	Liq+H ₂ O	14.0	+11.6	
5	Liq+H ₂ O	11.3	+14.0	
6	Liq+Fe ₂ O ₃	12.4	+12.4	
7	Liq+Fe	11.0	+12.0	

(OHM'76/5,pp.24~31)

(6) 東京工業試験所 (1979年)

a. 噴出させた物質

水素ガス

b. 実験方法と結果の概要

- ①電化捕捉用の金網及の電位を測定
- ②純粋な乾燥水素は帯電せず、酸化鉄を含有させると帯電した
- ③金網で捕捉した電荷を電極に導き着火させた

(7) ボンベからの噴出 (不純物混入時)

a. 噴出させた物質

アセチレン、水素、LPG ガス

b. 実験方法と結果の概要

- ①ボンベからの噴射
- ②ガス中に、アセトン、酸化鉄、LPG (液体) のような不純物をミスト (霧滴) やダスト (ほこり) として混入すると数10kVの高い帯電電位を示す (表2)

表2 ボンベの噴射帯電

ガス種	封入圧力 (kg/cm ²)	混入ミスト、ダスト	帯電電圧 (kV)
アセチレン	15	アセトン	52以上
水素	150	酸化鉄	32
LPG	6.5	LPG (液体)	50以上

(8) ホースからの噴出

a. 噴出させた物質

スチーム

b. 実験方法と結果の概要

- ①図6でM1という人がホースを持ってM2という人の方向に15 kg/cm² 230℃のスチームを噴射

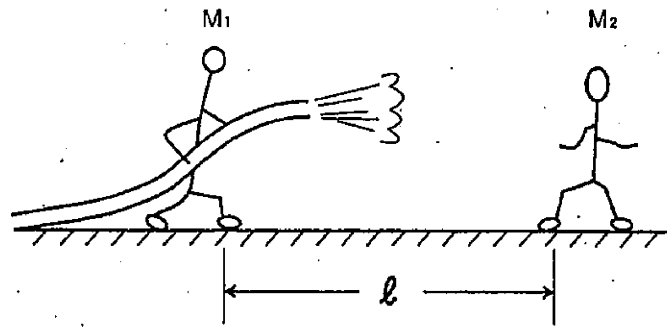


図6 噴出するスチームの近くにいる人体の帯電

②M2という人が表3のように帯電（帯電した人が絶縁性の靴をはいていると）電位が高くなる

表3 スチーム噴射による人体帯電 (kV)

人体 (図2のM2) の状態	人体の 対地抵抗 (Ω)	離 隔 距 離 (図6の1)				
		1 m	3 m	5 m	7 m	9 m
高 絶 縁 台 上	2×10^{10}	25kV	27kV	18kV	21kV	13kV
コンクリート床上 (絶縁靴)	—	7.8	8.4	5.6	3.9	2.6
コンクリート床上 (耐油性作業靴)	3×10^8	0.45	0.55	0.40	0.40	0.40
コンクリート床上 (静電靴)	3×10^6	0	0	0	0	0

以上の諸研究から次の結果が導かれた。

- ①気体状態での噴出に比べて液体状態での噴出の方が帯電量が大きい。スチームの場合も噴出帯電が生ずる。
- ②酸化鉄、炭素などのダストやミスト（霧滴）が含まれる状態では、気体の噴出時の帯電が著しく増加する場合が多い。
- ③圧力が大きな場合に帯電量が増加する。
- ④有極性の物質（水、二酸化炭素など）の方が噴出時の帯電量が大きい。

5.2.3 噴出帯電による放電着火実験

（静電気学会：1990年2月28日～3月3日実施）

静電気学会によりLPガス噴射時の帯電に与える、ノズルの径、噴出条件（バブルの開度、気体・液体の別など）、衝突物体の影響を調べる実験が行われた。更に、実験の最終日には、噴出されたLPガスを絶縁状態のポンペに衝突させ、電位が上昇したポンペからの放電によりLPガス保安に関する講演会資料（LPガス協会）の中に報告されている。以下それを引用して実験方法と結果を示す。

(1) 実験装置

20 kgポンペからのLPガスを、配管、電磁弁をへてノズルに導き、ノズルから噴出。ノズルの径は2 mm、4 mm、6 mmの3種類を使用。ポンペ、配管、ノズルのそれぞれは絶縁材料を使用して、大地から及び相互に絶縁し、各部分での電荷の収支を電流計により計測。ポンペ内での圧力は、2.5～5.2 kg/c

m²の範囲であった。

実験場の配置を図7に示す。

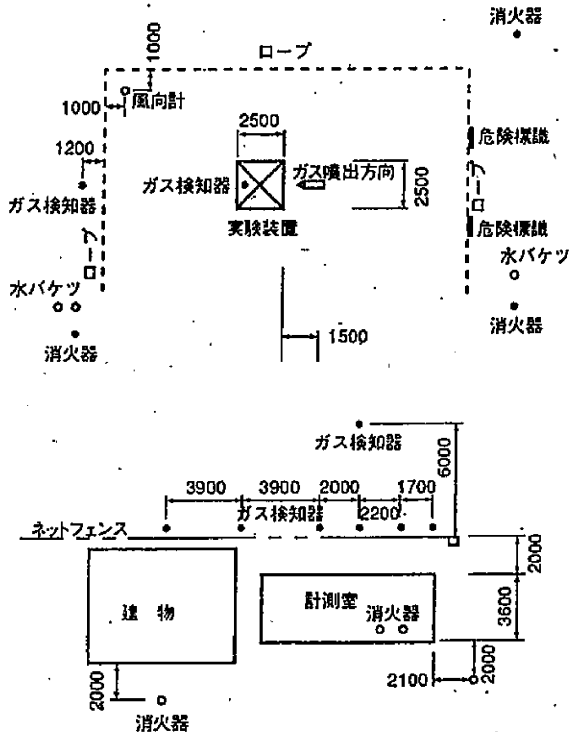


図7 実験場の配置

ガス検知器	9点
消火器	8個
水バケツ	3個
消火栓	1か所
赤色灯/サイレン	1個
同スイッチ	1個

(2) 実験項目

実験期間は4日間であった。各日ごとの実験項目を表4に示す。

表4 各日の実験項目

第1日目	噴出時の帯電に与えるノズル径、バルブ開度、噴出状態(気体、液の液体の別)と帯電量の関係を調べる
第2日目	衝突板への衝突時のLPガス及び衝突板の帯電
第3日目	衝突板への衝突時の帯電(続き)
第4日目	絶縁されたボンベにLPガスを衝突させ、帯電したボンベからの静電気放電により着火させる実験

(3) 結果の概要

a. 噴出条件の影響

噴出状態と電荷発生量との関係を図8及び図9に示す。図8は噴出時の静電気発生量を表わすノズル部分での漏えい電流値を縦軸に、流量を横軸にとり、液体、気体、気液混在の各条件での実験結果を示したものである。図9は、ノズルより噴出したLPガスが衝突板に衝突した時の静電気発生量を示す衝突板電流を縦軸に、流量を横軸とし、液体、気体、気液の各条件で噴出させた実験結果である。

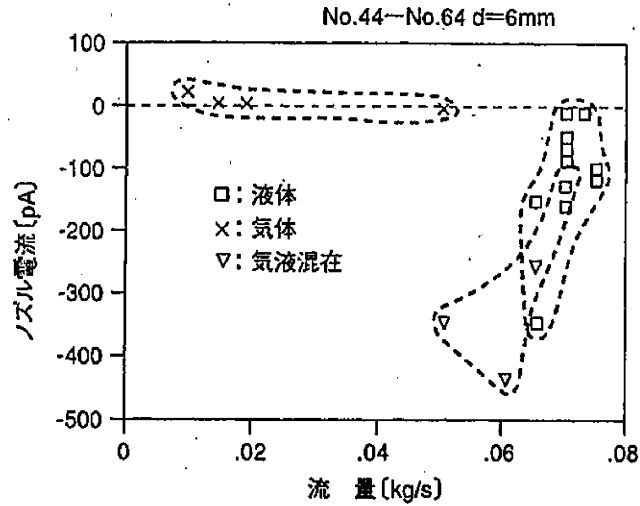


図8 ノズル電流と噴出条件の関係

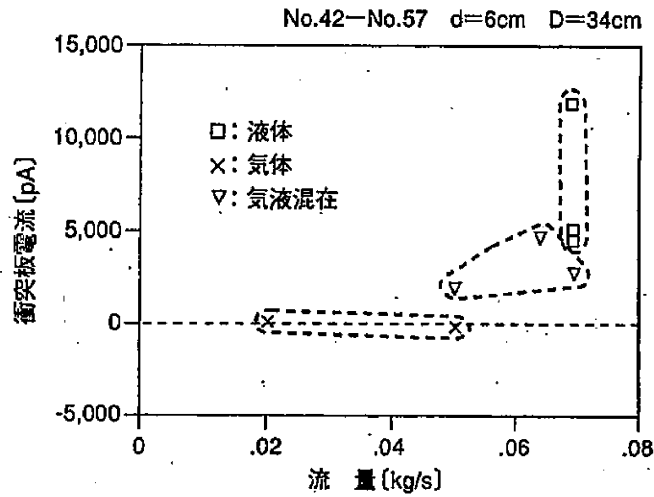


図9 衝突板電流と噴出条件の関係

b. 衝突物の有無の影響

ノズルより噴出したLPガスが、衝突板に衝突する時に発生する静電気の量に与える、ノズル・衝突板間距離の影響を図10に示す。

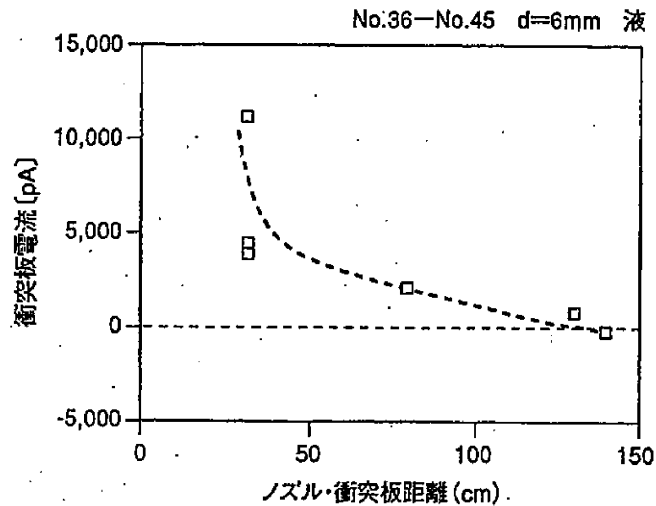


図10 衝突板電流とノズル・衝突板間距離の関係

c. 放電着火実験

図 11 に示すように、大地から絶縁されたボンベに向かって 34 cm の近距離から液状の LP ガスを噴出させ、その際にボンベに蓄積される静電気の放電により噴出させた LP ガスに放電着火させる実験を行った。ボンベ内の圧力は 4.2 kg/cm^2 、ボンベの対大地静電容量は約 60 pF であった。この実験では、噴出開始後約 20 秒で着火した。

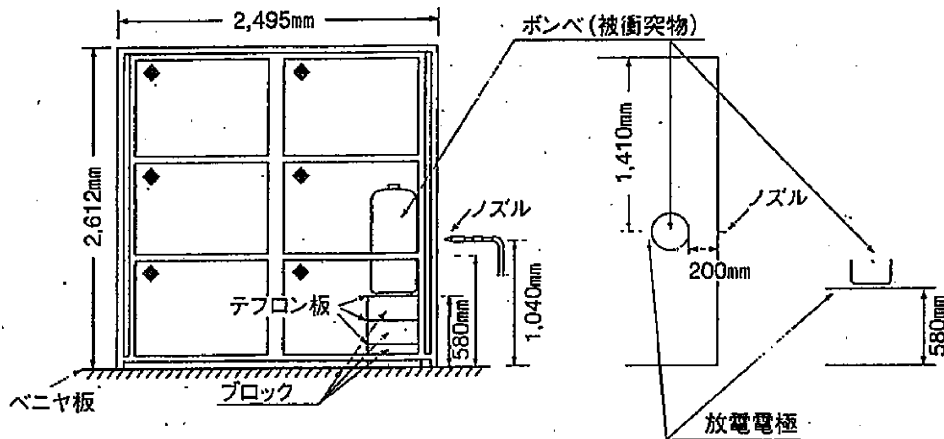


図 11 着火実験時の装置の配置

(4) まとめ

- a. 気体状態での噴出あるいは衝突時に発生する静電気は、液体もしくは気体混在の状態での噴出あるいは衝突時に比較して著しく小さい。
- b. 噴出時と衝突時との帯電を比較すると衝突板衝突時の静電気発生量の方が大である。また、この場合、衝突板との距離が近づくにつれて急激に静電気の発生が増加する。
- c. 今回の放電着火実験は雨天に行われたこと、噴出圧力は気温が低いこともあり必ずしも高くはなかったことなどから、絶縁された金属に近距離から液体もしくは気液混合状態の LP ガスが衝突する時には、特に条件が揃わなくとも着火にいたる帯電が起き得ることが確認されたと言える。

5.3 事故事例の調査

消防庁特殊災害室より、平成元年以降の比較的新しい静電気事故の情報提供を受けた。ここではその中から噴出帯電が原因と推定された三例を紹介し、所見を付した。

5.3.1 事故事例

第 1 例：液状化防止対策工事の削孔機が転倒し、LP ガスが漏洩して火災発生

(1) 事故の概要等

a. 発災日時及び経過

ア 発災日時	平成元年 2 月 21 日 (火)	8 時 34 分頃
イ 消防覚知日時	平成元年 2 月 21 日 (火)	8 時 40 分
ウ 鎮圧日時	平成元年 2 月 21 日 (火)	9 時 03 分
エ 鎮火日時	平成元年 2 月 21 日 (火)	14 時 44 分

b. 災害場所

神奈川県川崎市 (京浜臨海地区特別防災区域；第一種事業所レイアウト対象)

c. 被害状況

ア 死傷者

なし

イ 物的被害

削孔機の転倒により、ポンプ、配管等破損、火災によりLPGポンプヤード（ポンプ、配管等）、高圧ガスローリー、削孔機等破損

d. 事故概要

地震時の液状化防止対策として、深さ約22メートルの止水壁を設置する工事を行っていた。事故当日、削孔機（高さ34メートル）を移動させたところ、約7～8メートル移動した地点で、削孔機が進行方向左側に横転し、LPGポンプヤードに転倒した。

その際、転倒した削孔機がポンプおよび配管等を破壊したため、ガスが漏洩し、転倒時に発生した火花により引火して、火災が発生した。

自衛防災組織は、発災と同時にLPG貯槽およびローリー出荷場の緊急遮断弁を閉じた。また、共同防災組織とともに冷却放水を実施した。

e. 原因

削孔機がLPGポンプヤード内に横転し、ポンプ及び配管等を破損させたことから、漏洩したガスが設備破損時の衝撃火花またはガス噴出時の静電気火花により着火、発災したものと推定される。

f. その他

削孔機の転倒により、消火用屋外給水施設の配管も一部破損した。

(2) 防災活動の状況

a. 消防車両等の状況

ア 消防車両

- ・公設消防 29台、1機、2隻
- ・自衛防災組織等 8台
- ・その他（海上保安部等） 6隻
- ・合計 37台、1機、1隻

イ 防災活動人員

- ・公設消防 139名
- ・自衛防災組織等 54名
- ・その他（海上保安部等） 40名
- ・合計 233名

b. 防災活動の概要

発災と同時にLPG貯槽3基およびローリー出荷場の緊急遮断弁を閉止した。さらに、自衛防災組織、共同防災組織により冷水放水を実施し、配管はバルブブロックするとともに、残ガスはすべて燃焼させた。

(3) 問題点等

石油等を大量に取り扱う特定事業所内で大型重機を使用する場合は、その性能や作業場の特性を熟知するとともに取扱い操作を慎重に行う必要があり、また、作業に応じて必要な保安空地を確保する等の防災上の措置を講じておく必要がある。

第2例：フランジ締め付け圧力不足により水素が漏洩して火災発生

(1) 事故の概要等

a. 発災日時及び経過

ア 発災日時	平成5年7月3日(土)	15時45分頃
イ 発見日時	平成5年7月3日(土)	15時45分
ウ 消防覚知日時	平成5年7月3日(土)	15時50分
エ 鎮圧日時	平成5年7月3日(土)	15時55分
オ 鎮火日時	平成5年7月3日(土)	16時38分

b. 発災場所

大阪市高石市(堺泉北臨海地区特別防災地区；第一種事業所・レイアウト対象)

c. 被害状況

ア 死傷者

なし

イ 物的被害

特になし

d. 事故概要

定期点検整備に備えてガソリン水添設備の定常停止操作を開始していた。事故当日、9時20分に一次・二次水添反応器へのC6～C8溜分と水素の供給を停止し、系内置換のため二次水添反応器に置換用水素を供給しながら、降温・降圧の操作を継続した。

15時45分ごろ、現場付近の作業員が当該二次水添反応器の上部フランジ部の保温材の間隙から、炎が出ているのを発見した。直ちに、脱圧を急ぎ系内を不活性ガスで置換した。

e. 原因

ガスの漏洩の原因は、フランジのボルト締め付け力の不足に起因し、降温・降圧操作時のボルト応力の低下、フランジ面の微少な片締め及びガス組成が高濃度の水素に変化したこと等が相まって発生したものと推定される。

また、出火原因はこのような原因で漏洩した高濃度水素ガスが静電気により着火したものと推定される。

f. その他

当該フランジは直近の平成5年5月28日の検査でも漏れは認められなかった。

(2) 防災活動の状況

a. 消防車両等の出勤状況

ア 消防車両

・公設消防 13台

(大型化学消防車等)

・自衛防災組織等 5名

(高所放水車等)

・合計 18台

イ 防災活動人員

・公設消防 46名

・自衛防災組織 15名

・合計 61名

b. 防災活動の概要

消火器による初期消火を実施するとともに、系内への窒素ガスの封入を行って空気遮断を実施した。さらに、再出火を防止するために、高所放水車により二次水添反応器の冷却注水を実施した。公設消防隊は放水体勢を取って待機し、二次災害等に備えた。

(3) 問題点・対策等

- a. フランジの締め付けのトルク管理を導入し、必要な締め付け力を確保する。
- b. 類似箇所についても適正な数値管理を実施する。

第3例：ブタジエンポップコーンポリマーの暴走反応によりボンベ破裂、近隣にも被害発生

(1) 事故の概要等

a. 発災日時及び経過

ア 発災日時	平成6年8月14日(日)	14時40分頃
イ 発見日時	平成6年8月14日(日)	14時40分(119)
ウ 消防覚知日時	平成6年8月14日(日)	14時56分
エ 鎮圧日時	平成6年8月14日(日)	14時56分
オ 鎮火日時	平成6年8月14日(日)	14時56分

b. 発災場所

三重県四日市市(四日市臨海地区特別防災地区；第一種事業所・レイアウト対象)

c. 被害状況

ア 死傷者

なし

イ 物的被害

爆発現場付近のホッパー3基、排ガス脱臭装置2基部分焼、事業所内の32棟、付近の住宅85棟(半径約900メートル)の窓ガラスなどが破損した。

d. 事故概要

プラント内に置かれていたブタジエンボンベが突然爆発し、事業所内の他近隣の住宅にも被害が発生した。

このブタジエンボンベ(500キログラム)内にはブタジエンポップコーンポリマーが生成蓄積されていたが、このポリマーがボンベの液相内壁に付着してボンベの断熱性を高めており、さらに夏季の高温下に長時間(52時間)にわたって静止状態に置かれていたことからポップコーンポリマーの生成反応が進行していた。さらに、断熱状態における反応熱の蓄積及びこれによる反応の加速が相乗して暴走反応に至り、生成した内圧によってボンベの一部延性破壊が生じ、ついでに発生したBLEVE現象によってボンベが爆発的に破壊し、内容物のブタジエン及び同ポップコーンポリマーの全量が噴出すると同時に爆発し、さらに火災に至った。

e. 原因

ボンベの安全弁(設定圧28.8キログラム)は作動したが、ポップコーンポリマーによって詰まってしまったために、ガスの放出が不可能になって内圧が上昇し、ブタジエンポップコーンポリマーの暴走反応によりボンベが爆発し、噴出したガスによって発生した静電気により着火し、火災に至った。

(2) 防災活動の状況

a. 消防車両等の出勤状況

ア 消防車両

・公設消防	9台
・自衛防災組織	4台
・合計（消防団含む）	19台
イ 防災活動人員	
・公設消防	33名
・自衛防災組織	28名
・合計（消防団含む）	135名

(3) 問題点、対策等

a. 対策

ア 重合の進展を防止するために、使用するポンペを小さいものに変更する。

イ ガスを充填する前には容器のバージを行い、形成されている可能性のあるポップコーンポリマーやその他の不純物を除くこととする。

b. その他

本事故においてはポンペそのものには問題点は発見されなかったが、高圧ガスポンペの管理については十分な安全を確保する必要がある。

5.3.2 所見

- (1) 第1例のLPガス漏洩の場合は、2.3で紹介した静電気学会の実験結果等から判断すると、実際に配管の破損部から漏洩したものは気体ではなく液体あるいは気液混在のものであったと推定される。また、配管の破損部に鉄さび（酸化鉄）のようなものが附着していたとすれば、それも静電気帯電量と着火を助長させた要因となったであろう。
- (2) 第2例の水素ガス漏洩の場合は、2.2(6)(7)で紹介した基礎実験の結果から判断すると、漏洩した水素ガスは純粋なものではなく、フランジ部に附着していた鉄さび（酸化鉄）を巻き込んだものであったと推定される。
- (3) 第3例のブタジエンの噴出の場合も実際にポンペの爆発で噴出したものは、気体状のものではなく、液体あるいは気体混在の状態のものであった可能性が強い。（ポンペ内のブタジエンは液相であった）ポップコーンポリマーを巻き込んだことの影響については、基礎実験での検証がないので不明である。

5.4 震災時静電気事故防止に関する留意事項

震災時に発生し得る静電気事故として、配管部等の損傷による液化ガスや加圧ガスの噴出帯電から放電着火・火災・爆発に至る一連の過程を想定し、これまでの研究結果と類似原因の事故事例を調査した。

その結果、この種の事故防止策として、次に列挙するものが有効であると考えられる。

- (1) 液化ガスについては、配管フランジ部等を主に、水分、さび、スケール等の附着物を定期的に清掃し、それらが開口部で漏洩流出物と摩擦して静電気帯電を生じないようにする。

- (2) 加圧ガスについては、ポンペや配管を使用前に清掃し、さび、水分等を除去しておく。絶縁性のホースはできるだけ使用せず、金属性パイプを使用し設置することが望ましい。
- (3) 配管損傷部等から流体が噴出した場合、それが大地から絶縁された付近の構造物に衝突すると静電気帯電量が増え放電着火の確率が大きくなる。したがって、配管近傍構造物は大地から絶縁せず設置しておくほうが良い。
- (4) 噴出圧力は 10 kg/cm^2 以下、できれば 5 kg/cm^2 以下が望ましい。また、流体の噴出量は 50 g/秒 以下、噴出口から流体が衝突する付近の構造物までの距離は 1 m 以上離れていることが望ましい。

[参 考]

石油タンク火災に対する消防力の算定について

石油類を貯蔵する屋外タンクの火災に対応する災害応急対策計画の作成に資するため必要な消防力を算出する資料とする。

石油類を貯蔵する屋外タンクには、タンク側壁頂部に発砲器等の固定式消防設備が取り付けられているが、火災や爆発等により固定式消火設備及び附属設備の配管等が破壊されることがある。

固定式屋外貯蔵タンク、浮屋根式貯蔵タンクに取付けている固定消火設備の効果はそれぞれちがうがここでは前述のとおり固定式消火設備稼働率を一応安全をみて0と仮定し、大型化学消防車等による消火活動を考えることとする。

消防力の算定基礎として燃焼油面に対する消火効果を $6.5\ell/m^2 \cdot \text{min}$ の割合で120min注入して消火活動を完了することとする。

したがって本筋では稼働可能な消防車両による消火活動が実施出来る消防力及びこれに必要な水利を計算することとする。

タンク火災として、固定式屋外貯蔵タンクは全面火災、浮屋根式屋外貯蔵タンクは浮屋根面の排水設備が消火用の泡の堆積により浮力バランスを失って浮屋根の沈殿もありうるのでリング火災及び全面火災とする。

1. 燃焼油面の大きさ

(1) 全面火災

$$S_1 = \pi R^2 \quad (1)$$

(2) リング火災

$$S_2 = \pi R^2 - \pi (R-L)^2 \quad (2)$$

R : タンク半径 (m)

L : 側板と堰板の隔壁 (m)

2. 大型化学車による泡水溶液量

タンク全面火災時及びリング火災時における泡水溶液の有効泡放射効率として、70%及び30%とする。

(1) 全面火災時の泡水溶液量

$$V_1 = \frac{6.5S_1}{0.7} \quad (\ell/\text{min})$$

(2) リング火災時の泡水溶液量

$$V_2 = \frac{6.5S_2}{0.3} \quad (\ell/\text{min})$$

3. 大型化学車必要台数

(1) 全面火災時

$$N_1 = V_1 / 3,100 \quad (0 < N_1 < 2 \text{ の時は } N_1 = 2 \text{ とする})$$

(2) リング火災時

$$N_2 = V_2 / 3,100 \quad (0 < N_2 < 2 \text{ の時は } N_2 = 2 \text{ とする})$$

(1)、(2)とも端数は切り上げる。

4. 必要泡消火薬剤量

3項で算出した N_1 、 N_2 の大型化学車が2時間連続放出可能なる3%型泡消火薬剤量

$$F = 3,100 N \times 120 \text{ min} \times 0.03 \quad (\ell)$$

5. 消火用水利

$$W = \frac{3,100 N \times 120 \text{ min} \times 0.97}{1,000} \quad (\text{m}^3)$$

6. 冷却を要する冷却放水量

火災タンク及び隣接タンクで類焼着火限界濃度の範囲に入るタンクを冷却を要するタンクとする。

(1) 火災タンクに対する必要冷却散水量

火災タンクについては、その側板全面に $2\ell/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ の割合で冷却放水することとする。

$$W_2 = \frac{2\pi DH}{1,000} \quad (\text{m}^3)$$

D : タンク直径 m

H : タンク高さ m

π : 円周率

(2) 隣接タンクに対する冷却放水量

隣接タンクについてはタンク屋根全面及び火災タンクに面する側の側板半面の内、側板頂部から10mの範囲に対して $1\ell/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ の割合で冷却放水することとする。

$$W_3 = \sum_i \frac{\pi(D_i/2)^2 + 5\pi D_i}{1,000} \quad (\text{m}^3)$$

D_i : i 番目のタンク直径 m

(1)、(2)において対象タンクに既に冷却用散水設備が設置されている場合にあつては、所定散水量から当該設備の散水量を減じた水量を放出することとする。

7. 普通消防車の必要台数

使用する普通消防車はA2級ポンプを積載している車両で放水量2,000ℓ/minとして計算する。

(1) 火災タンク冷却用普通消防台数

$$N_3 = W_3 / 2 \quad (\text{台})$$

(2) 隣接対象タンク冷却普通消防台数

$$N_1 = W_3 / 2 \quad (\text{台})$$

(1)、(2)より冷却放水に必要な普通消防台数

$$N_5 = N_3 + N_4 \quad (\text{台})$$

ただし、端数は切り上げる

8. 冷却用水利

$$W_4 = \frac{2,000N_5 \times 120}{1,000} \quad (\text{m}^3)$$

9. 耐熱服

耐熱服は原則として筒先要員が着用するものとし、三点セットについては、4着/セット 普通消防車にあつては、3着/台として算出する。

$$\text{全面火災時} \quad M = 4N_1 + 3N_5$$

$$\text{リング火災時} \quad M = 4N_2 + 3N_5$$

M : 必要な耐熱服の数 (着)

消防力算定試算例

屋外タンクの火災時における自衛防災組織及び共同防災組織等による対応消防力の試算例を次に示す。

なお、本試算例は、化学消防車両を最低2セット確保する等の安全率を考慮することとする。

凡例1 5千K ℓ タンク 半径12m 高さ13.7m

消防力	タンク構造	フローティング ループ	コーンルー フ
燃焼面積	m ²	72.22	452.16
泡水溶液量	ℓ /min	1,564.7	4,198.6
大型化学消防車両台数	台	2	
必要泡消火薬剂量	ℓ	22,320	
消防用水利	m ³	721.7	
火災タンク冷却散水量	m ³	2.06	
隣接タンク (同規模時) 冷却散水量	m ³	0.83	

凡例2 1万K ℓ タンク 半径18m 高さ10.6m

消防力	タンク構造	フローティング ループ	コーンルー フ
燃焼面積	m ²	109.9	1,017.36
泡水溶液量	ℓ /min	2,381.2	9,446.9
大型化学消防車両台数	台	2	3
必要泡消火薬剂量	ℓ	22,320	33,480
消防用水利	m ³	721.7	1,082.5
火災タンク冷却散水量	m ³	2.39	2.39
隣接タンク (同規模時) 冷却散水量	m ³	1.29	1.29

凡例3 22,500K ℓ タンク 半径22.25m 高さ15.3m

消防力	タンク構造	フローティング ループ
燃焼面積	m ²	136.6
泡水溶液量	ℓ /min	2,959.7
大型化学消防車両台数	台	2
必要泡消火薬剂量	ℓ	22,320
消防用水利	m ³	721.7
火災タンク冷却散水量	m ³	4.27
隣接タンク (同規模時) 冷却散水量	m ³	2.25

凡例4 34,400K ℓ タンク 半径25.18m 高さ18.26m

消防力	タンク構造	フローティング ループ
燃焼面積	m ²	155
泡水溶液量	ℓ /min	3,358.9
大型化学消防車両台数	台	2
必要泡消火薬剂量	ℓ	22,320
消防用水利	m ³	721.7
火災タンク冷却散水量	m ³	5.8
隣接タンク (同規模時) 冷却散水量	m ³	2.78

凡例5 40,000K ℓ タンク 半径26.75m 高さ19.51m

消防力	タンク構造	フローティング ループ
燃焼面積	m ²	164
泡水溶液量	ℓ /min	3,553.3
大型化学消防車両台数	台	2
必要泡消火薬剂量	ℓ	22,320
消防用水利	m ³	721.7
火災タンク冷却散水量	m ³	6.5
隣接タンク (同規模時) 冷却散水量	m ³	3.08

1.4 ヘリコプター臨時離着陸場適地

(神戸地区特別防災区域)

番号	市町名	所在地	離着陸場適地名	施設管理者名	連絡先 電話番号	最大対応機種	敷地の広さ 延長×幅 (m)
神 001	神戸市	神戸市東灘区青木 1丁目1-1	新明和工業(株) 甲南工場 ヘリポート	新明和工業(株) 甲南工場長	078- 412-9151	川崎CH-47J	50×60 m
神 002	神戸市	神戸市東灘区魚崎浜町37 (第3工区)	海上自衛隊 阪神基地隊	海上自衛隊 阪神基地隊司令	078- 441-1001	米国シコルスキー社 MH53-E	75×70 m
神 004	神戸市	神戸市兵庫区和田崎町 1丁目1-2	三菱電機(株) 神戸製作所グラウンド	三菱電機(株) 神戸製作所長	078- 652-2121	川崎CH-47J	130×110 m
神 007	神戸市	神戸市東灘区本山町森	芦屋カントリーゴルフ 練習場	芦屋カントリークラブ	0797- 31-0501	川崎ハートル KV-107	180×60 m
神 011	神戸市	神戸市灘区王子町2	王子陸上競技場	神戸市長 (市教育委員会事務局体育保健課)	078- 322-5800	川崎CH-47J	175×110 m
神 012	神戸市	神戸市灘区五毛字丸山	灘丸山公園	神戸市建設局 (神戸市東部土木事務所)	078- 854-2196	川崎CH-47J	130×80 m
神 288	神戸市	神戸市兵庫区御崎町1丁目	御崎公園	神戸ウイングスタジアム(株) (施設管理部)	078- 652-5656	川崎CH-47J	200×50 m

(東播磨地区特別防災区域)

番 号	市町名	所 在 地	離着陸場適地名	施設管理者名	連絡先 電話番号	最大対応機種	敷地の広さ 延長×幅 (m)
東 071	明 石 市	明石市二見町南二見8-1	明石海浜公園 臨時競技場	明石市長 (都市整備部緑化公園課)	078- 918-5039	川崎CH-47J	210×90 m
東 072	加古川市	加古川市加古川町河原地先	加古川左岸 河川敷緑地	加古川市長 (建設部公園緑地課)	079- 421-2000	川崎CH-47J	220×100 m
東 073	加古川市	加古川市平荘町池尻	加古川右岸 河川敷	加古川市長 (建設部公園緑地課)	079- 421-2000	川崎CH-47J	500×250m
東 074	加古川市	加古川市尾上町口里浜の宮 817-1	浜の宮公園	加古川市長 (建設部公園緑地課)	079- 421-2000	川崎CH-47J	120×130 m
東 075	加古川市	加古川市西神吉町鼎及び宮前 地内	加古川運動公園	加古川市長 (地域振興部ウェルネス推進課)	079- 421-2000	川崎CH-47J	118× 54 m
東 084	高 砂 市	高砂市荒井町小松原 638番地先	高砂河川公園 加古川河川敷緑地	高砂市長 (まちづくり部建設課)	079- 443-9038	川崎CH-47J	100× 74 m
東 085	高 砂 市	高砂市米田町島	高砂市総合運動公園 サブグラウンド	高砂市長 (まちづくり部建設課)	079- 443-9038	川崎CH-47J	120×100 m
東 086	高 砂 市	高砂市高砂町沖浜町 883-2	(株)カネカ 高砂工業所 ^ケ ラウンド	(株)カネカ 高砂工業所(環境安全衛生グループ保安チーム)	079- 445-2302	川崎CH-47J	100× 70 m
東 108	播 磨 町	加古郡播磨町古宮 102-9	望海公園	播磨町長 (土木グループ・指定管理者 ^ス ポーツ21はりま)	079- 435-2365	川崎CH-47J	140× 88 m
東 109	播 磨 町	加古郡播磨町古宮 351-13	秋ヶ池運動場	播磨町長 (生涯学習グループ・指定管理者 ^ス ポーツ21はりま)	079- 435-0355	川崎CH-47J	140×100 m

(姫路臨海地区特別防災区域)

番 号	市町名	所 在 地	離着陸場適地名	施設管理者名	連 絡 先 電話番号	最大対応機種	敷地の広さ 延長×幅 (m)
西 110	姫路市	姫路市峰南町1-70	陸上自衛隊姫路駐屯地 ヘリポート	陸上自衛隊 姫路駐屯地司令 (第3特科隊)	079- 222-4001	川崎CH-47J	132×86 m
西 111	姫路市	姫路市中地377-1	姫路市陸上競技場	姫路市長 (陸上競技場長)	079- 293-8571	川崎CH-47J	190×135 m
西 112	姫路市	姫路市広峰町2丁目7-8	姫路公園競馬場	兵庫県競馬組合 管理事務所	079- 282-5181	川崎CH-47J	300×100 m
西 113	姫路市	姫路市本町68	シロトピア記念公園	姫路市長 (姫路市城周辺活性化センター)	079- 284-5684	川崎CH-47J	150×90 m
西 114	姫路市	姫路市豊富町神谷字大蔵 1436-1	姫路セントラルパーク	姫路 セントラルパーク事業所	079- 264-1611	川崎CH-47J	160×150 m
西 115	姫路市	姫路市四郷町山脇 市川左岸JR山陽本線南	市川河川敷 グラウンド	県姫路土木事務所 (姫路市公園緑化課)	079- 221-2411	川崎CH-47J	75×60 m
西 116	姫路市	姫路市青山1470	青山スポーツ広場	青山地区 連合自治会長	090-3034- 1460	川崎CH-47J	160×75 m
西 118	姫路市	姫路市町田	姫路市飾西公園	姫路市長 (公園緑化課)	079- 221-2411	川崎CH-47J	135×120 m

(赤穂地区特別防災区域)

番 号	市町名	所 在 地	離着陸場適地名	施設管理者名	連絡先 電話番号	最大対応機種	敷地の広さ 延長×幅 (m)
西 128	赤穂市	赤穂市加里屋1278	赤穂城南緑地公園 陸上競技場	赤穂市長 (建設経済部都市整備課)	0791- 43-6828	川崎CH-47J	121×215 m
西 129	赤穂市	赤穂市南野中字久保	千種川河川敷緑地 サッカー場	赤穂市長 (建設経済部都市整備課)	0791- 43-6828	川崎CH-47J	105×105 m
西 130	赤穂市	赤穂市御崎1857-5	県立赤穂海浜公園	兵庫県知事 (赤穂海浜公園管理事務所)	0791- 45-0800	川崎CH-47J	185×170 m
西 150	たつの市	たつの市御津町黒崎550	御津運動場	たつの市長 (たつの市教育委員会御津教育事務所)	079- 322-1001	川崎CH-47J	100×80 m
西播 284	赤穂市	赤穂市高野	千種川河川敷緑地 (高野公園)	赤穂市長 (建設経済部都市整備課)	0791- 43-6828	川崎CH-47J	87×87m

- * 1 この資料は、兵庫県地域防災計画「資料編」中の「ヘリコプター臨時着陸場適地一覧」から、特に石油コンビナート等特別防災区域内の事故等災害時に利用の見込まれるヘリの臨時離着陸場を抜粋したものである。
- * 2 各臨時離着陸場の位置を示す簡単な地図を事項以下に記載する。
なお、「フェニックス防災システム」によっても、特定事業所や消防・警察署の位置情報に併せて臨時着陸場の地図情報を得ることができる。
- * 3 兵庫県ホームページ「防災対策」に適地一覧の最新版及び適地の詳細が掲載されている。その情報の内容について、例として1部添付する。

兵庫県石油コンビナート等
防 災 計 画（資料編）

作 成 昭和52年3月31日

令和元年9月 修正

発 行 兵庫県石油コンビナート等防災本部

事務局 兵庫県企画県民部災害対策局消防課

神戸市中央区下山手通5丁目10番1号
電話 078-341-7711（代）・078-362-9824（直）