

6 流出事故時の可燃性蒸気滞留範囲のシミュレーション実験

(1) 目的

給油取扱所で発生した流出事故の分析から、固定給油設備、マンホール及び注入口からガソリンが流出した場合に発生する可燃性蒸気の滞留範囲を明らかにするため、シミュレーション実験を実施した。

(2) 実験方法

可燃性蒸気の滞留範囲に係るシミュレーション実験を実施するにあたり、固定給油設備等からのガソリン流出範囲についてシミュレーションで解析し、ガソリンの流出範囲が定常状態となったときに可燃性蒸気が拡散するシミュレーションを実施した。

(3) ガソリンの流出範囲に係るシミュレーション実験

(ア) 想定条件

ガソリンの流出範囲に係る想定については、以下のとおり。

表8 ガソリン流出範囲に係る想定

想定する場所	想定する取扱い	想定するガソリン 流出量
固定給油設備	・自動車給油時に給油ノズルが外れ、地面に落下したノズルから連続的にガソリンが流出することとする。 ・流出速度はガソリン給油速度 50L/min とする。 ・給油ノズルは内径 28mm とする。	4000 リットル
マンホール	・移動タンク貯蔵所から地下タンクへの荷卸し時に、タンク容量を超えて荷下ろししたために、マンホールからオーバーフローし流出することとする。 ・流出速度はガソリン給油速度 670L/min[※]。 ・ガソリンスタンドで採用されている丸型マンホールの最大クラスである直径 800mm から流出することとする。	1100 リットル
注入口	・移動タンク貯蔵所から地下タンクへの荷卸し時に、移動タンク貯蔵所のホースが注入口から外れ、地面に落下したホースから連続的にガソリンが流出することとする。 ・流出速度はガソリン給油速度 670L/min[※]。 ・ガソリンスタンドの注入口は内径 80mm 又は 100mm が一般的であり、移動タンク貯蔵所のホースも同じ内径が採用されており、内径 100mm を採用した。	1100 リットル

※670L/min は移動タンク貯蔵所から 20 キロリットルの地下タンクへのガソリンを荷下ろしに約 30 分かかることから、荷下ろし速度 670L/min とした。

場所の位置及び傾斜角度は以下のとおりとした。

(a) 傾斜角度：1/30、1/50、1/75

(b) 場所の位置：関係業界団体が、全国 8 ブロックに分けて、無作為に抽出した一般的なレイアウトを有するガソリンスタンドから距離を計測したデータの提供をいただき、そのデータから算出した、「距離が最大となるもの」、「各データの平均値」、「最頻値」を本シミュレーション実験に採用した。これらの数値を表 9 に示す。

表 9 場所の位置 提供データ

	最頻値 (m)	平均値(m)	最大値(m)
固定給油設備	10	12	20
マンホール	12	13	21
注入口	5	9	26

(イ) 分析結果

流出範囲のシミュレーション結果を表 10 に示す。傾斜角度が小さいほど流出範囲が大きくなる結果（流出幅の最大と下流端における幅が最も大きい）が得られた。

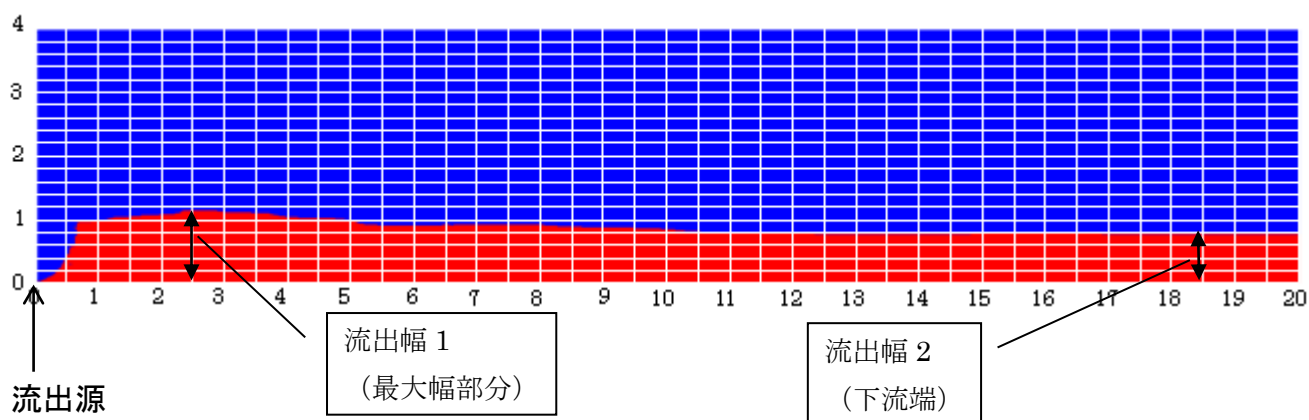


図 8 流出幅について

表 10 流出幅の最大幅と下流端における幅

ケース		流出源	場所の 位置 [m]	傾斜角度	最大幅※ （「流出幅 1」×2） [m]	下流端幅※ （「流出幅 2」×2） [m]
1	C-1-1	固定給油設備	10	1/30	2.26	1.67
2	C-1-2		12		2.26	1.55
3	C-1-3		20		2.26	1.50
4	C-1-4		10	1/50	2.46	1.81
5	C-1-5		12		2.46	1.78
6	C-1-6		20		2.46	1.57
7	C-1-7		10	1/75	2.78	1.93
8	C-1-8		12		2.78	1.79
9	C-1-9		20		2.78	1.76
10	C-2-1	マンホール	12	1/30	2.94	2.90
11	C-2-2		13		2.94	2.84
12	C-2-3		21		2.94	2.44
13	C-2-4		12	1/50	3.88	3.52
14	C-2-5		13		3.88	3.82
15	C-2-6		21		3.88	3.22
16	C-2-7		12	1/75	4.44	3.94
17	C-2-8		13		4.44	3.56
18	C-2-9		21		4.44	5.80
19	C-3-1	注入口	5	1/30	5.84	5.80
20	C-3-2		9		5.84	4.42
21	C-3-3		26		5.84	2.96
22	C-3-4		5	1/50	6.94	6.24
23	C-3-5		9		6.94	3.76
24	C-3-6		26		6.94	3.02
25	C-3-7		5	1/75	6.42	6.42
26	C-3-8		9		6.42	4.88
27	C-3-9		26		6.42	4.12

※1/2 モデルでのシミュレーション結果のため、最大幅および下流端における幅は、それぞれ「流出幅 1」および「流出幅 2」の 2 倍となる。

流出範囲の分析結果の例を以下に示す。

固定給油設備

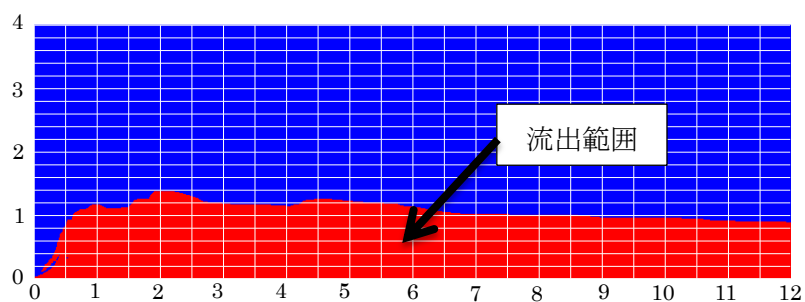


図 9-2 ケース C-1-8
傾斜角度：1/75、距離：12m

マンホール

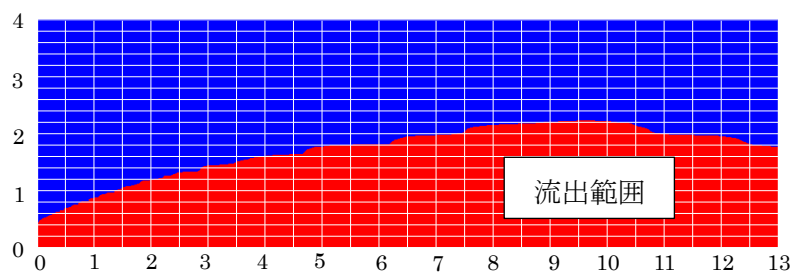


図 9-3 ケース C-2-8
傾斜角度：1/75、距離：13m

注入口

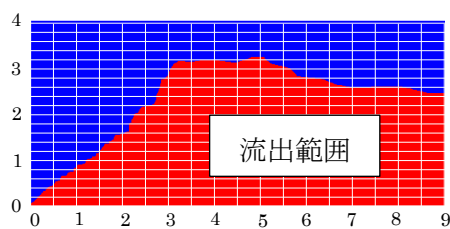


図 9-4 ケース C-3-8
傾斜角度：1/75、距離：9m

(4) 可燃性蒸気滞留範囲のシミュレーション実験

(ア) 想定条件

上述の(3)で算出した流出範囲から可燃性蒸気が拡散する挙動について以下の想定に基づきシミュレーション実験を実施した。解析は、ガソリン可燃性蒸気の爆発下限界濃度(1.4vol%)、25%LEL(LELとは、爆発下限界濃度をいう。)、50%LELに達する範囲について実施した。

表 11 流出事故の想定

想定する場所	想定流出量	想定流出範囲 ^{※1}
固定給油設備	4000 リットル	ケース C-1-8 の流出範囲 場所の位置 ^{※2} : 12m 傾斜角度 ^{※3} : 1/75
マンホール	1100 リットル	ケース C-2-8 の流出範囲 場所の位置 ^{※2} : 13m 傾斜角度 ^{※3} : 1/75
注入口	1100 リットル	ケース C-3-8 の流出範囲 場所の位置 ^{※2} : 9m 傾斜角度 ^{※3} : 1/75

※1 流出が定常状態になったときの範囲。

※2 場所の位置は表 9 に示す平均値を採用。

※3 傾斜角度は、(1) ガソリンの流出範囲のシミュレーション実験の結果、勾配が小さいほど流出面積が大きくなることから、全ケースともに最も勾配が小さい 1/75 を採用。

気温条件、風速条件及び風向条件は以下のとおりとした。

(a) 気温条件 : 20℃、32℃

(b) 風速条件 : 0m/s、1m/s、3m/s、5m/s

(c) 風向条件 : ガソリン流出方向に対して直交する向き

(イ) 分析結果

分析により各解析ケースのガソリン蒸気濃度到達距離を表 12 に示す。上記濃度到達距離は、流出範囲の中心から最先端までの距離を示す。

また、シミュレーション結果図は、ガソリン蒸気濃度の 3 次分布図(等値面図)として示している。

表 12 ガソリン蒸気濃度の到達距離

ケース		風速 [m/s]	気温 (℃)	ガソリン 流出 範囲 面積 [m ²]	100%LE L 到達 距離 [m]	50%LE L 到達 距離 [m]	25%LE L 到達 距離 [m]	100%LE L 到達 高さ [m]	50%LE L 到達 高さ [m]	25%LEL 到達 高さ [m]
固定 給 油 設 備	D-1-1	0	20	24.6	2.27	6.03	7.37	0.61	1.13	1.53
	D-1-2	1			2.31	13.2	30 以上	0.47	0.89	1.16
	D-1-3	3			2.04	8	30 以上	0.32	0.56	0.8
	D-1-4	5			1.96	6.5	23.8	0.17	0.40	0.56
	D-1-5	0	32		2.10	5.90	7.30	0.68	1.28	2.00
	D-1-6	1			2.18	11.7	30 以上	0.44	0.87	1.19
	D-1-7	3			1.94	8.1	30 以上	0.32	0.61	0.84
	D-1-8	5			1.94	6.4	23.8	0.20	0.39	0.56
マン ホ ー ル	D-2-1	0	20	44.4	3.14	6.92	8.25	0.65	1.19	1.67
	D-2-2	1			3.5	15.2	30 以上	0.57	1.06	2.0 以上
	D-2-3	3			3.19	11.6	30 以上	0.34	0.68	0.98
	D-2-4	5			3.15	10	30 以上	0.28	0.55	0.73
	D-2-5	0	32		3.54	7.93	9.29	0.67	1.19	1.70
	D-2-6	1			4.63	15.3	30 以上	0.57	1.05	2.0 以上
	D-2-7	3			4.67	11.6	30 以上	0.38	0.67	1.1
	D-2-8	5			3.02	9.9	30 以上	0.30	0.52	0.79
注 入 口	D-3-1	0	20	54.2	3.58	6.4	7	0.64	1.28	2.00
	D-3-2	1			4.77	16.5	30 以上	0.70	1.17	2.0 以上
	D-3-3	3			4.48	16.1	30	0.44	0.88	2.0 以上
	D-3-4	5			4.41	14.7	30 以上	0.40	0.73	1.00
	D-3-5	0	32		3.62	6.48	6.94	0.68	1.20	2.0 以上
	D-3-6	1			4.79	16.6	30 以上	0.68	1.17	2.0 以上
	D-3-7	3			4.42	16.2	30 以上	0.43	0.93	2.0 以上
	D-3-8	5			4.15	14.5	30 以上	0.34	0.71	1.03

※蒸気到達距離は、流出範囲の中心から最先端までの距離を示す。

上表に示す固定給油設備等の解析結果のうち、最も到達距離の大きいケースのシミュレーション結果図を以下に示す。

(a) 固定給油設備（風速 1m/s、気温 20℃）

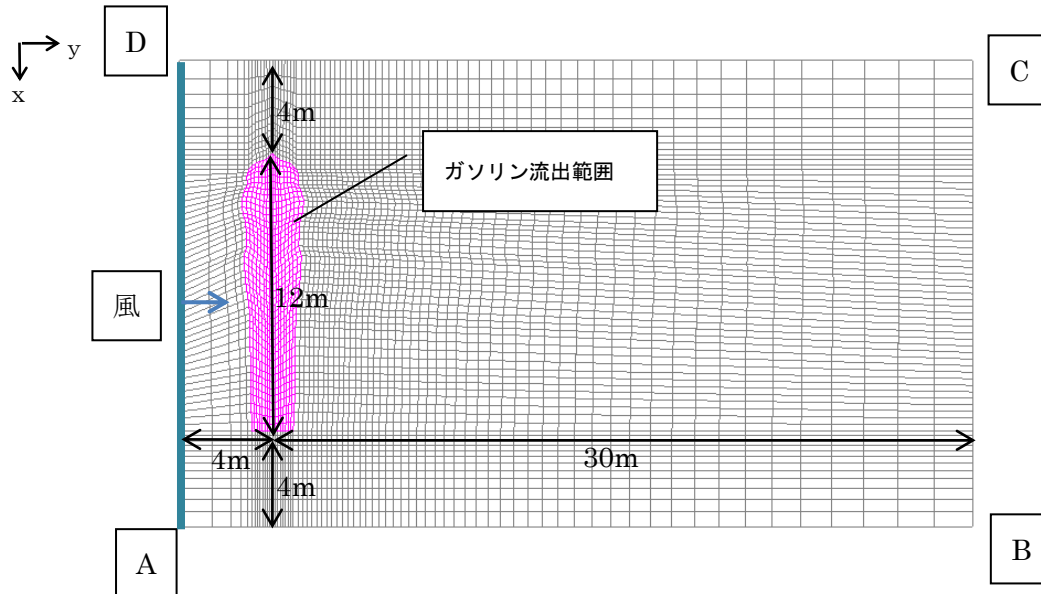
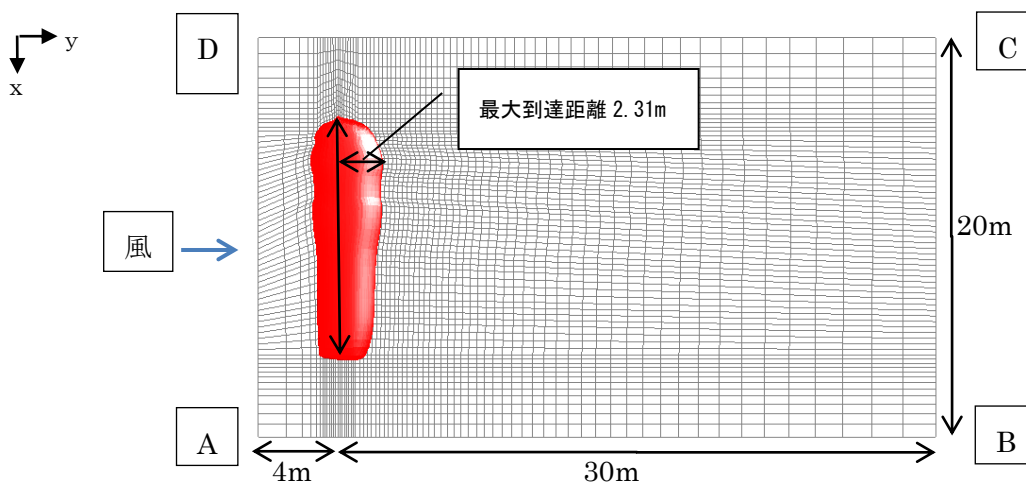
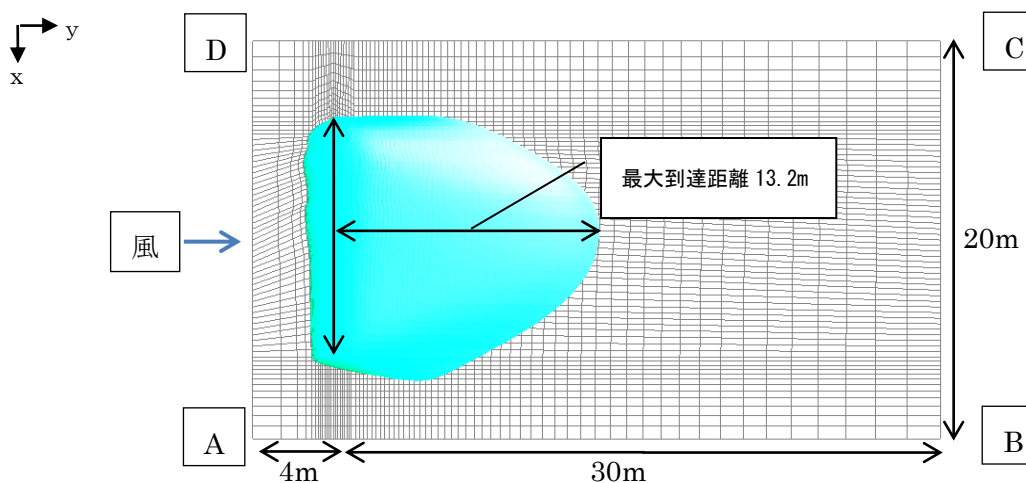


図 10-1 計算格子（流出源：固定給油設備、風速 1, 3, 5[m/s]のケース）



100%LEL 水平(xy)断面



50%LEL 水平(xy)断面

図 10-2 水平断面 (xy) 図 風速 1m/s、気温 20℃

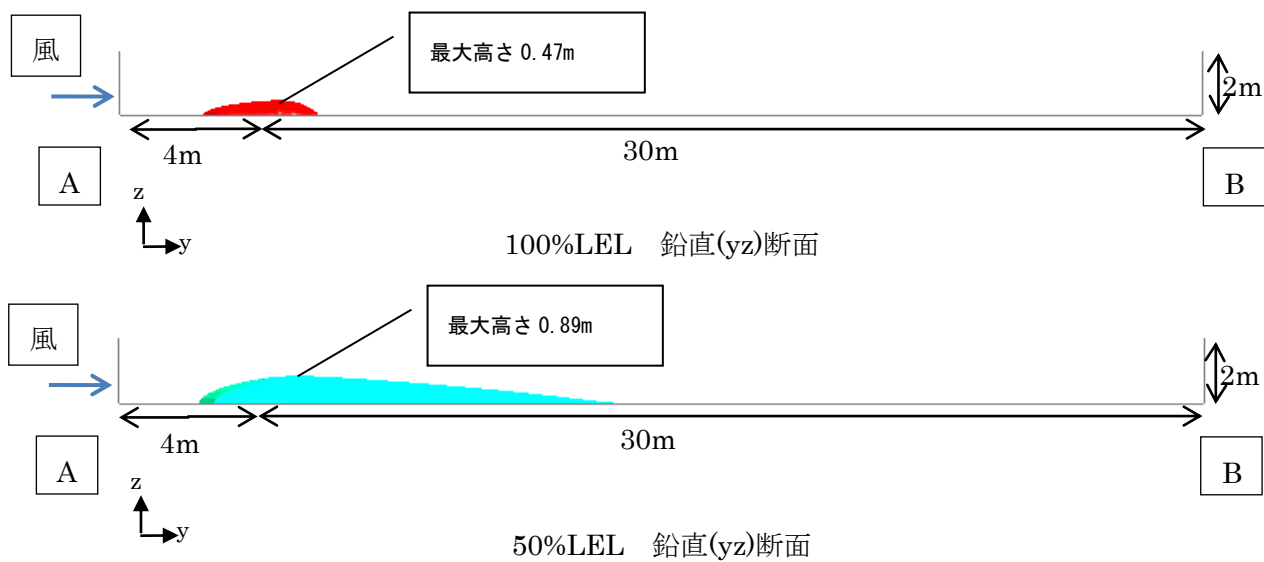


図 10－3 鉛直断面 (xy) 図 風速 1m/s、気温 20℃

(b) マンホール (風速 1m/s、気温 32℃)

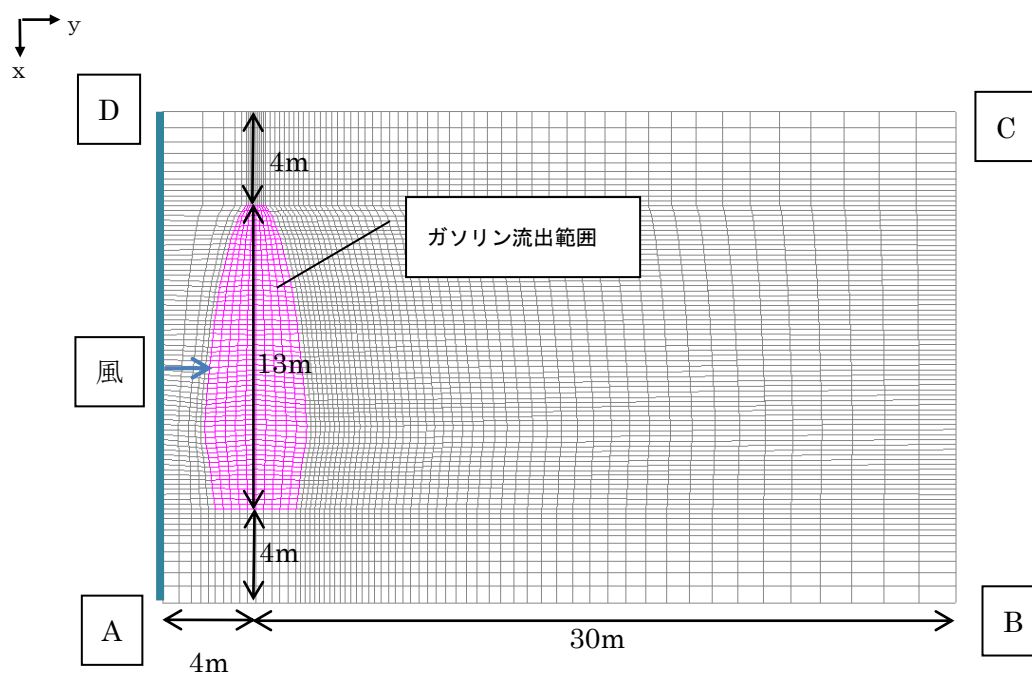


図 11－1 計算格子 (流出源：マンホール、風速 1, 3, 5[m/s]のケース)

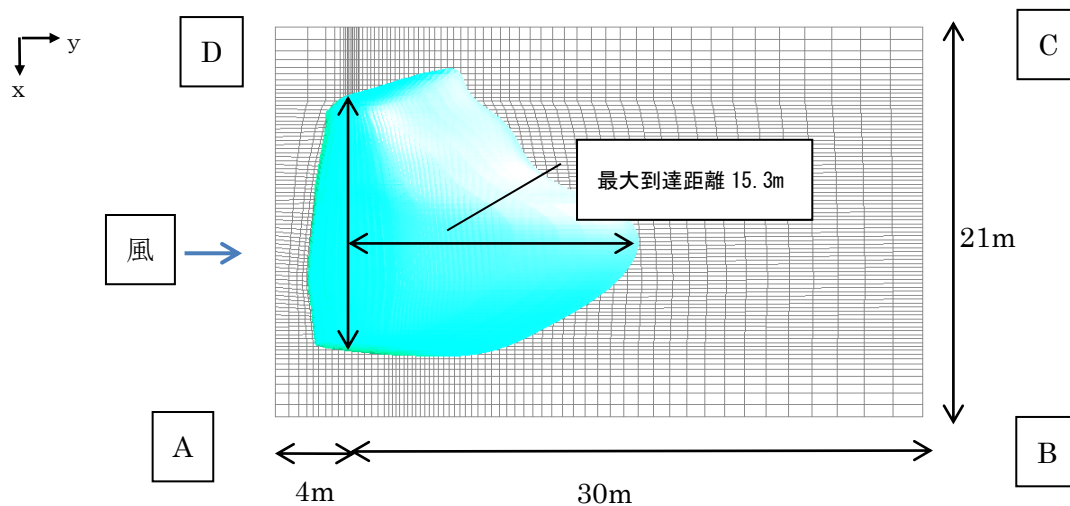
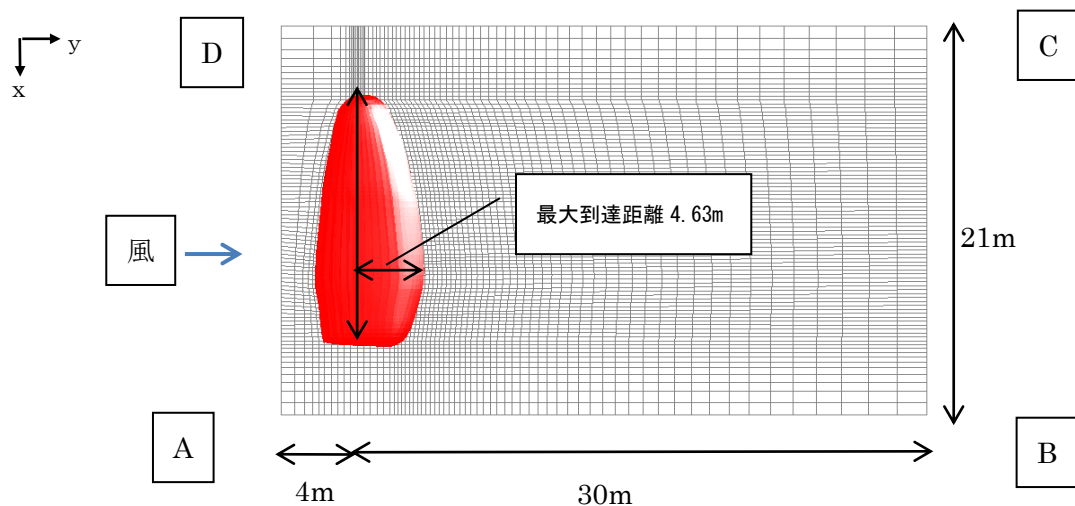


図 11-2 水平断面 (xy) 図 風速 1m/s、気温 32℃

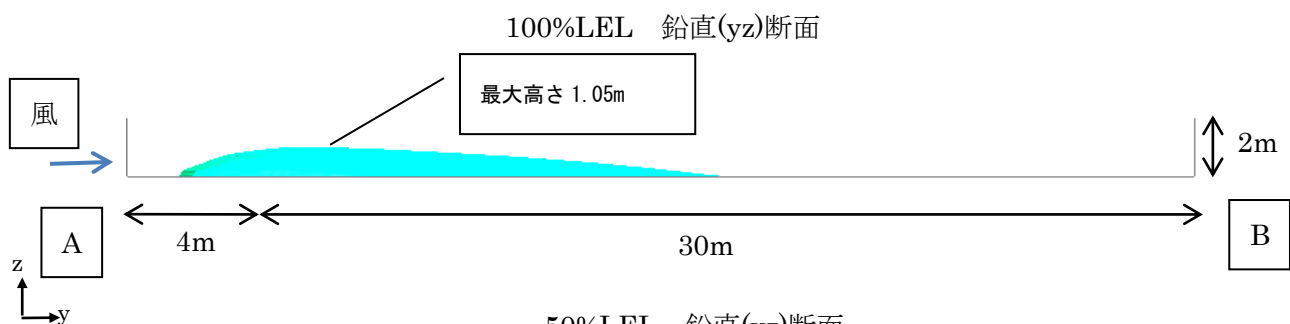
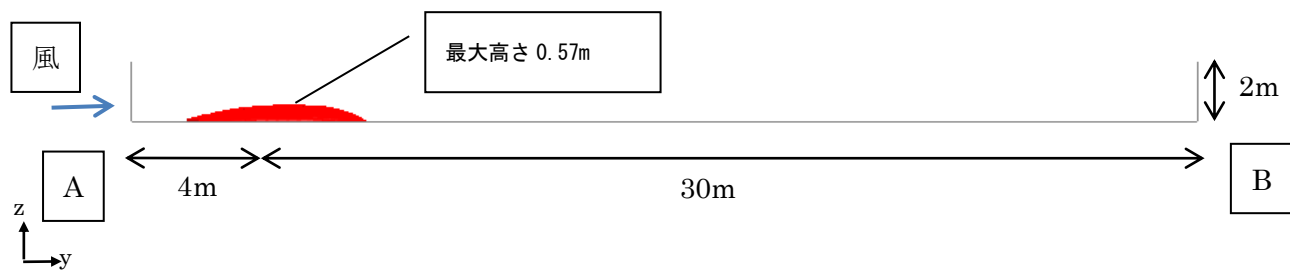


図 11-3 鉛直断面 (yz) 図 風速 1m/s、気温 32℃

(c) 注入口 (風速 1m/s、気温 32℃)

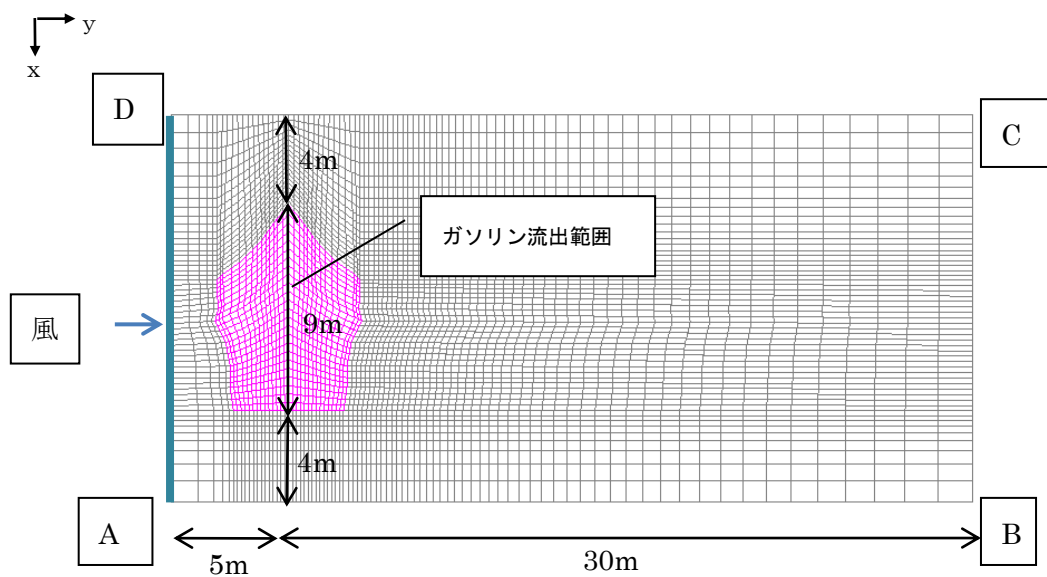
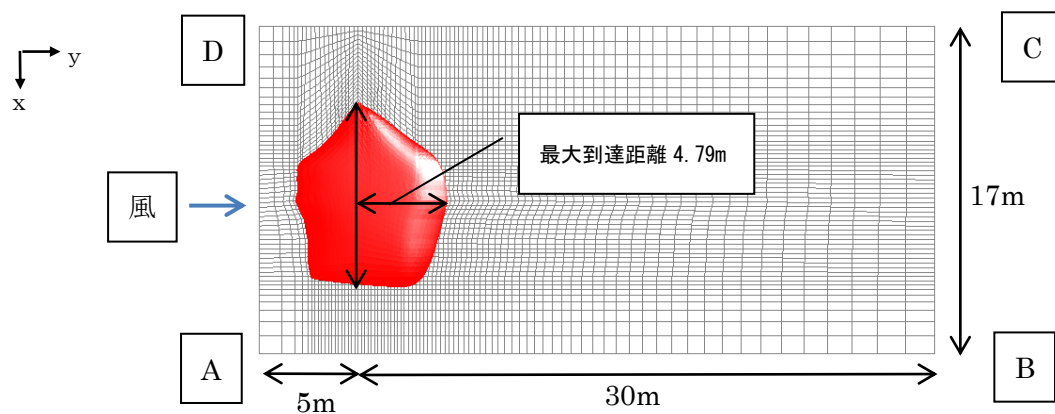
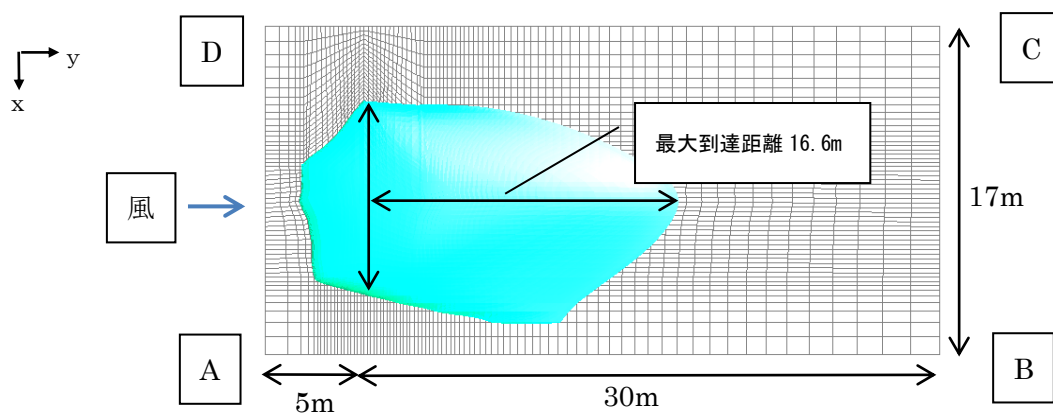


図 12-1 計算格子 (流出源：注入口、風速 1, 3, 5[m/s]のケース)



100%LEL 水平(xy)断面



50%LEL 水平(xy)断面

図 12-2 水平断面 (xy) 図 風速 1m/s、気温 32℃

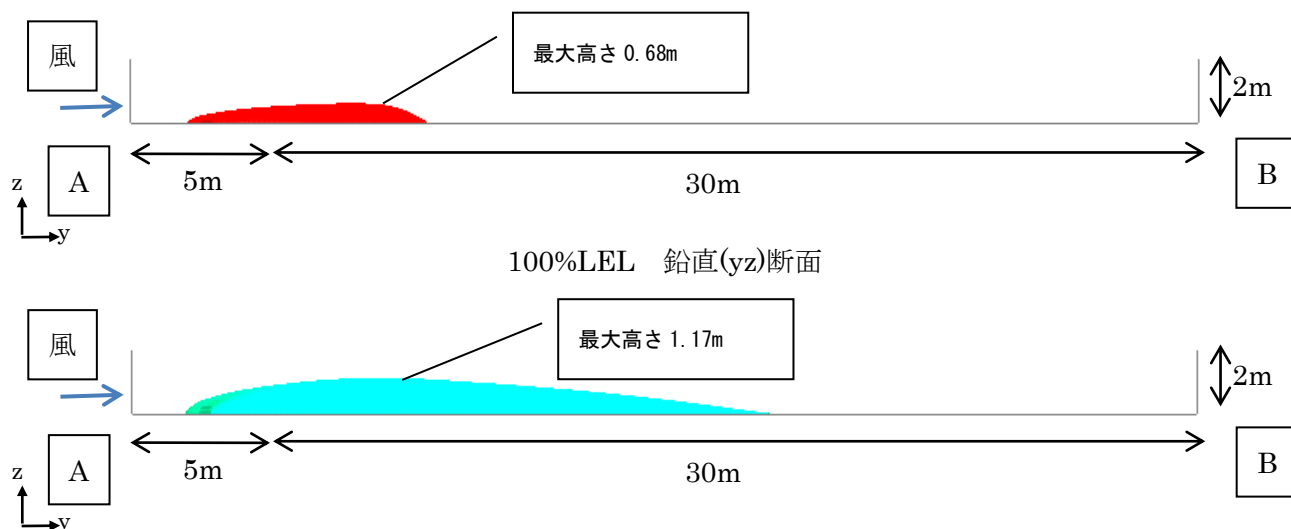


図 12-3 鉛直断面 (yz) 図 風速 1m/s、気温 32℃

(ウ) 考察

流出事故時の可燃性蒸気滞留範囲については、流出面積が大きいほど可燃性蒸気の到達距離も大きくなる傾向が見られる。一方、風速のある場合において、風速 3m/s、5m/s では、風速による拡散の影響が大きくなるため、風速 1m/s と比べて到達距離が短くなる傾向が見られた。

したがって、流出事故時の可燃性蒸気滞留範囲のシミュレーション実験においては、風速 1m/s の気象条件で最も広い範囲に可燃性蒸気が拡散することがわかる。

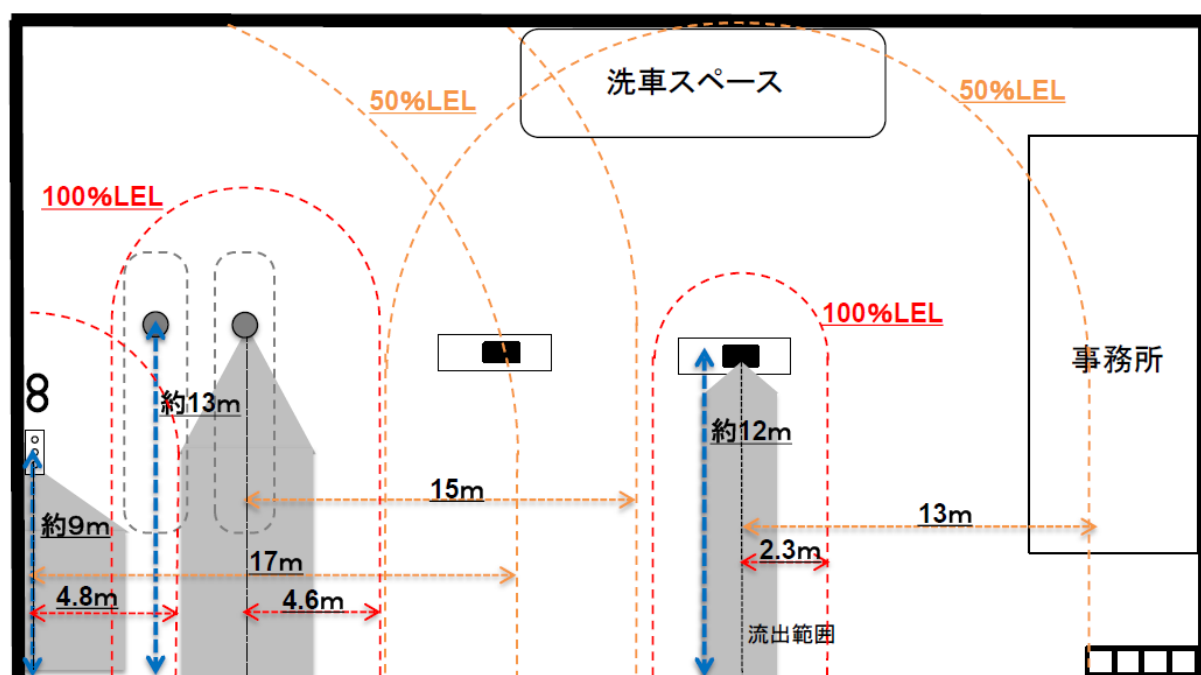


図 13 給油取扱所における可燃性蒸気滞留範囲のイメージ図（流出事故時）

6 実験結果のまとめ

(1) 可燃性蒸気拡散測定実験

実験において、測定開始から数分程度は、オイルパン付近に高濃度の蒸気が滞留していたが、時間経過とともに拡散し、5 m以上まで蒸気が広がる。また、50%LEL の蒸気が高さ方向に 50 cm程度まで上昇する場合も観測された。

(2) 通常の手扱い時に発生する可燃蒸気の滞留範囲

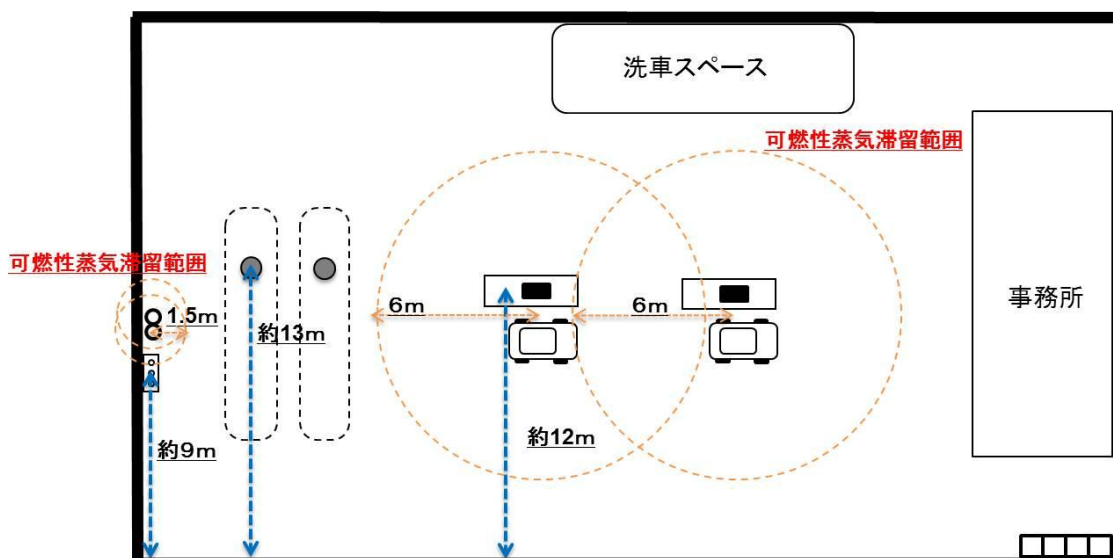
シミュレーション実験結果から、可燃性蒸気の最大到達距離をまとめると以下のとおりとなる。

○固定給油設備から自動車へ給油中に発生する可燃性蒸気の滞留範囲

可燃性蒸気濃度	最大水平到達距離	最大高さ
100%LEL	6.1m (風速 5m/s、気温 20℃)	0.15m (風速 0m/s、気温 32℃)
50%LEL	11.2m (風速 3m/s、気温 20℃)	0.32m (風速 0m/s、気温 32℃)
	7.9m (風速 1m/s、気温 20℃) (高さ 15 cm以下の距離 : 5.9m)	—

○通気管から荷下ろし中に発生する可燃性蒸気の滞留範囲

可燃性蒸気濃度	最大水平到達距離	最大高さ	気象条件
100%LEL	0.6m	—	風速 1m/s、気温 20℃
50%LEL	2.5m (高さ 15 cm以下の距離 : 1.5m)	0.31m	風速 1m/s、気温 20、 32℃



(図 7 の再掲)

(3) 流出事故時に発生する可燃性蒸気の滞留範囲

シミュレーション実験結果から、可燃性蒸気の最大到達距離をまとめると以下のとおりとなる。

○固定給油設備から流出した場合に発生する可燃性蒸気の滞留範囲

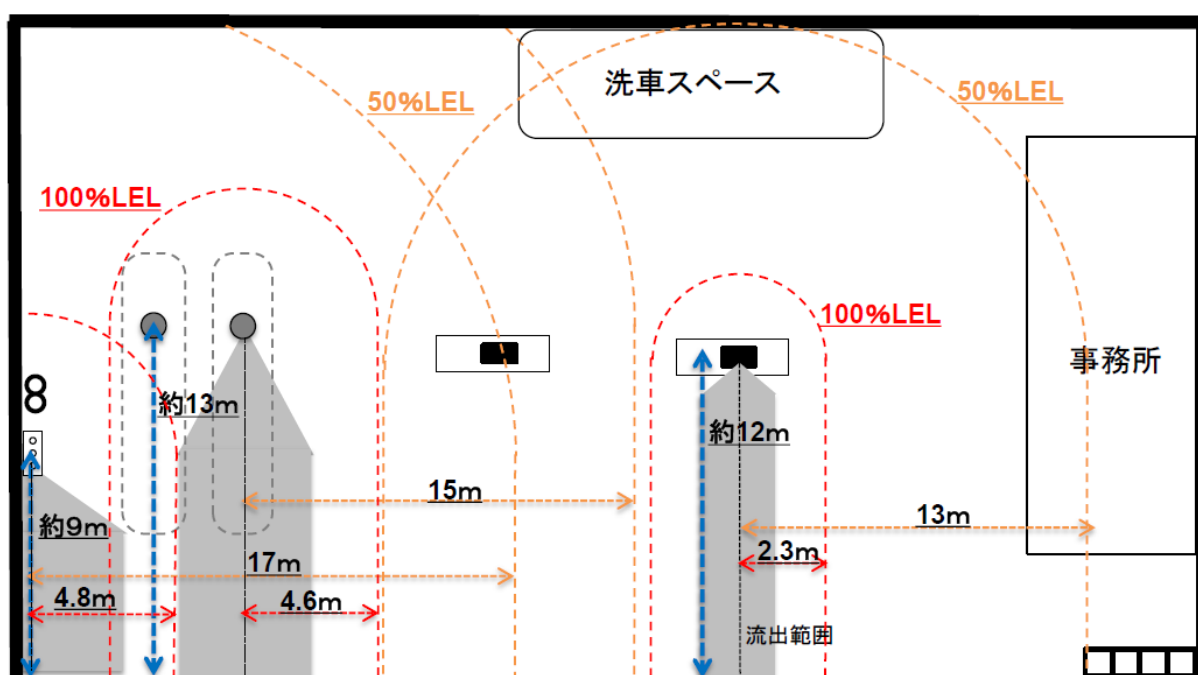
可燃性蒸気濃度	最大水平到達距離	最大高さ
100%LEL	2.31m (風速 1m/s、気温 20℃)	0.68m (風速 0m/s、気温 32℃)
50%LEL	13.2m (風速 1m/s、気温 20℃)	1.28m (風速 0m/s、気温 32℃)

○マンホールから流出した場合に発生する可燃性蒸気の滞留範囲

可燃性蒸気濃度	最大水平到達距離	最大高さ
100%LEL	4.63m (風速 1m/s、気温 32℃)	0.67m (風速 0m/s、気温 32℃)
50%LEL	15.3m (風速 1m/s、気温 32℃)	1.19m (風速 0m/s、気温 32℃)

○注入口から流出した場合に発生する可燃性蒸気の滞留範囲

可燃性蒸気濃度	最大水平到達距離	最大高さ
100%LEL	4.79m (風速 1m/s、気温 32℃)	0.7m (風速 0m/s、気温 20℃)
50%LEL	16.6m (風速 1m/s、気温 32℃)	1.28m (風速 0m/s、気温 20℃)



(図 13 の再掲)