

中級

高圧ガス 保安技術

第16次改訂版

高圧ガス保安協会

中級 高圧ガス保安技術
第 16 次改訂版

高圧ガス保安協会

目 次

序

1. 高圧ガスの定義と分類	3
1.1 法令による高圧ガス	3
1.2 法令によらない高圧ガス	5
2. 単 位	7
2.1 SI 単 位	7
2.1.1 SI 基本単位と SI 組立単位	7
2.1.2 SI と併用される単位	8
2.1.3 SI と併用できない単位	9
2.1.4 単位の表記上の注意	9
2.2 高圧ガス保安技術でよく使われる単位	9
2.2.1 温度の単位	9
2.2.2 力・圧力・応力の単位	10
2.2.3 エネルギー・仕事・熱量・仕事率の単位	11

I. 学 識

1. 気体の一般的性質	15
1.1 理想気体の性質	15
1.1.1 ボイルの法則	15
1.1.2 シャルルの法則	15
1.1.3 ボイル-シャルルの法則	16
1.1.4 状態方程式	17
1.1.5 熱容量と比熱容量・モル熱容量	18
1.1.6 混合気体	20
1.2 実在気体の性質	22
1.2.1 実在気体の pVT 関係	22
1.2.2 実在気体の状態方程式	22
1.3 気体と液体の平衡と性質	26
1.3.1 蒸気圧・沸点	26

1.3.2	気液平衡	28
1.3.3	液体の体膨張係数と圧縮率	31
2.	気体の熱力学	35
2.1	熱力学の第一法則	35
2.1.1	熱力学における系	35
2.1.2	状態量と状態変化	35
2.1.3	熱と仕事とエネルギー	36
2.1.4	熱力学の第一法則	37
2.2	エンタルピーと熱容量	38
2.2.1	エンタルピー	38
2.2.2	熱容量	39
2.3	熱力学の第二法則	40
2.4	エントロピー	41
2.5	自由エネルギーと相平衡	42
2.5.1	自由エネルギー	42
2.5.2	気液平衡	42
2.6	気体の状態変化	43
2.6.1	p - V 線図と仕事	43
2.6.2	絶対仕事と工業仕事	44
2.6.3	理想気体の状態変化	44
2.7	カルノーサイクル	47
2.7.1	サイクル	47
2.7.2	カルノーサイクル	48
2.7.3	熱力学温度	49
2.8	熱力学線図と低温の発生原理	49
2.8.1	熱力学線図	49
2.8.2	低温の発生原理	49
3.	気体の化学反応	51
3.1	化学反応と熱	51
3.1.1	化学反応式	51
3.1.2	反応熱	52
3.1.3	標準生成エンタルピー	54
3.1.4	熱化学方程式 (ヘスの法則)	55
3.2	化学平衡	56
3.2.1	可逆反応と化学平衡	56
3.2.2	質量作用の法則	57

3.2.3	ル・シャトリエの法則	58
3.3	反応速度	60
3.3.1	反応速度	60
3.3.2	反応速度式と反応次数	61
3.3.3	反応速度定数（アレニウスの式）	61
3.4	高圧化学反応	62
3.4.1	反応物と生成物が共に気相の場合	63
3.4.2	反応系に液相が存在する場合	63
3.4.3	超臨界反応	64
4.	燃焼・爆発	65
4.1	燃焼・爆発とは	65
4.1.1	燃焼・爆発の定義	65
4.1.2	火炎と火災の種類	65
4.1.3	爆発の種類	66
4.2	燃焼・爆発の反応と発火	67
4.2.1	燃焼・爆発の反応	67
4.2.2	火炎温度	68
4.2.3	燃焼生成物	68
4.2.4	発火	69
4.3	爆ごうの発生	71
4.4	燃焼・爆発危険性の評価	72
4.4.1	燃焼・爆発危険性指標	72
4.4.2	爆発限界	75
4.5	燃焼・爆発の影響と事故例	78
4.5.1	火炎と火災の影響	78
4.5.2	爆風の影響	78
4.5.3	爆発の事故例	79
5.	ガス各論	81
5.1	可燃性ガスおよび支燃性ガス	81
5.1.1	水素	81
5.1.2	メタン	84
5.1.3	LPガス	84
5.1.4	エチレン	85
5.1.5	プロピレン	88
5.1.6	アセチレン	89
5.1.7	酸素および空気	90

5.2 毒性ガス	91
5.2.1 一酸化炭素	92
5.2.2 アンモニア	93
5.2.3 シアン化水素	95
5.2.4 塩 素	96
5.2.5 フッ素	97
5.2.6 亜酸化窒素および一酸化窒素	97
5.2.7 ホスゲン	98
5.3 不燃性ガス	99
5.3.1 希ガス	99
5.3.2 窒 素	100
5.3.3 二酸化炭素	100
5.4 フルオロカーボン	101
5.5 特殊高压ガス	103
5.5.1 シランおよびジシラン	105
5.5.2 アルシン	105
5.5.3 ホスフィン	105
5.5.4 ジボラン	106
5.5.5 ゲルマン	106
5.5.6 セレン化水素	106
5.5.7 三フッ化窒素	107
6. 流動・伝熱・分離	109
6.1 化学プロセスと流動・伝熱・分離	109
6.2 流体の流れ	109
6.2.1 流体の性質	109
6.2.2 静止流体の圧力	110
6.2.3 円管内の流れ	112
6.2.4 質量およびエネルギーの保存則	116
6.2.5 流れのエネルギー損失	120
6.3 伝 熱	123
6.3.1 熱の伝わり方	123
6.3.2 伝導伝熱（熱伝導）	124
6.3.3 対流伝熱と熱伝達	126
6.3.4 放射伝熱	129
6.4 分 離	130
6.4.1 蒸 留	130
6.4.2 ガス吸収	132

6.4.3	吸着	133
6.4.4	膜	135
7.	材料の力学と強度	139
7.1	変形と破壊	139
7.1.1	応力とひずみ	139
7.1.2	強度と破壊	145
7.2	強度設計の基本事項	148
7.2.1	許容応力と安全率	148
7.2.2	静的および動的強度設計	150
7.3	胴と管の強度	150
7.3.1	薄肉円筒胴	150
7.3.2	厚肉円筒胴	152
7.3.3	薄肉球形胴	153
7.3.4	管	153
8.	高圧装置用材料	155
8.1	材料の構造概説	155
8.2	金属材料	158
8.2.1	鉄系金属材料	158
8.2.2	非鉄系金属材料	162
8.2.3	高温用材料	163
8.2.4	低温用材料	165
8.3	非金属材料	166
8.3.1	有機材料	167
8.3.2	無機材料	169
8.3.3	複合材料	170
9.	材料の劣化	173
9.1	腐食概説	173
9.2	湿食	174
9.2.1	腐食電池	174
9.2.2	種々の金属の腐食特性	175
9.2.3	種々の湿食	176
9.2.4	まとめ	179
9.3	乾食	179
9.4	防食法	181

9.4.1	腐食対策の考え方	181
9.4.2	各種の防食法	181
9.5	材料の摩耗とエロージョン	183
9.5.1	摩耗とエロージョンの違い	183
9.5.2	エロージョンの種類	183
9.5.3	材料の耐エロージョン性	184
10.	高圧設備	185
10.1	溶接加工と非破壊試験	185
10.1.1	溶接の種類	185
10.1.2	ガス溶接	186
10.1.3	アーク溶接	187
10.1.4	溶接部の欠陥と検査	188
10.1.5	非破壊試験	191
10.2	高圧装置	195
10.2.1	塔槽類	195
10.2.2	貯槽	199
10.2.3	熱交換器	201
10.2.4	高圧ガス容器およびその附属品	204
10.2.5	管・管継手・バルブ	207
10.3	計装	217
10.3.1	計測機器	217
10.3.2	制御システム	227
10.3.3	安全計装	234
10.4	圧縮機・ポンプ・冷凍機	236
10.4.1	圧縮機	236
10.4.2	ポンプ	247
10.4.3	冷凍機	253
10.5	流体の漏えい防止	257
10.5.1	漏えい量	257
10.5.2	ガスケット・パッキン	257
10.5.3	静的機器の漏えい防止	260
10.5.4	動的機器の漏えい防止	263
10.5.5	静的・動的機器以外の漏えい防止	268

II. 保安全管理技術

総論

1. 安全設計・管理	275
1.1 安全設計	275
1.1.1 工場立地	275
1.1.2 工場レイアウト	275
1.1.3 建物などの安全設計	276
1.2 リスクマネジメントと安全管理	280
1.2.1 高圧ガス製造施設の安全管理	280
1.2.2 リスクマネジメント	281
1.2.3 安全管理	287
1.2.4 安全推進手法	289
1.2.5 安全監査	290
1.3 安全管理組織	291
1.3.1 組織の維持と運用	291
1.3.2 保安規程	292
1.3.3 保安教育訓練	292
1.4 防災管理	294
1.4.1 緊急事態発生時の組織	294
1.4.2 保安に関する関係事業所との協定	295
2. 保安・防災設備	297
2.1 電気設備	297
2.1.1 電気設備計画	297
2.1.2 保安電力	301
2.1.3 接地計画	304
2.1.4 通報設備	307
2.2 保安装置	307
2.2.1 安全装置	307
2.2.2 緊急遮断装置・逆流防止装置	310
2.2.3 貯槽の負圧防止対策	313
2.3 防災設備	314
2.3.1 防消火設備	314
2.3.2 冷却装置	315

2.3.3	火災報知設備	316
2.3.4	ガス漏えい検知警報設備	317
2.3.5	地震検知と設備停止	322
2.3.6	流動・流出および拡散を防止する設備	322
2.3.7	障壁	324
2.3.8	危険事態発生防止装置など	324
2.3.9	フレアースタック、ペントスタック	325
2.3.10	除害のための措置	329
2.3.11	防災資機材の備蓄	332
2.4	用役設備	333
2.4.1	電気設備（非常用電源設備）	333
2.4.2	用水設備	333
2.4.3	空気供給設備	334
2.4.4	不活性ガス供給設備	334
2.4.5	蒸気設備	334
3.	運転管理	337
3.1	運転基準	337
3.1.1	運転状態と運転基準の必要性	337
3.1.2	運転基準	339
3.1.3	運転操作基準の作成方法	341
3.1.4	運転基準の運用と改訂	343
3.2	製造設備の定常運転	344
3.2.1	製造設備の運転開始	344
3.2.2	製造設備の定常運転	345
3.2.3	運転中の点検・操作など	348
3.2.4	運転停止	349
3.2.5	バルブの操作	352
3.2.6	その他の操作	354
3.3	誤操作防止	355
3.3.1	誤操作の発生原因	355
3.3.2	誤操作の防止	356
3.4	漏えいの防止	361
3.4.1	漏えいの原因	361
3.4.2	漏えい防止の方法	361
3.4.3	増し締め危険	363
3.5	緊急措置	363
3.5.1	異常状態	363

3.5.2	緊急運転停止	364
3.5.3	防災活動	365
4.	設備管理	369
4.1	設備管理の推進体制	369
4.1.1	組織体系	369
4.1.2	規程類の整備	370
4.1.3	保全計画	372
4.2	設備の検査・診断	374
4.2.1	設備の検査	374
4.2.2	検査・設備診断技術	380
4.3	工事管理	382
4.3.1	工事管理の一般的事項	382
4.3.2	工事上での注意事項	383
4.3.3	工事管理の記録、保存	385
4.4	設備管理にかかわる事故事例	386
4.4.1	製造事業所の事故の分析	386
4.4.2	事故事例	386
5.	高圧ガス関連の災害事故	389
5.1	災害事故の推移	389
5.2	事故原因別災害事故例	390
5.3	大事故事例	392
5.3.1	事故の概要	393
5.3.2	事故の経過	393
5.3.3	事故原因とその教訓	393
付 録		395
表1	主なガスおよび関連の物質の性質	396
表2	毒性ガスの許容濃度	400
表3	ギリシャ文字	401
索 引		403