

中級

高圧ガス 保安技術

第19次改訂版

高圧ガス保安協会

中級 高圧ガス保安技術
第 19 次改訂版

高圧ガス保安協会

第 19 次改訂版発刊にあたって

高圧ガス保安協会では、乙種高圧ガス製造保安責任者講習用テキストとして、前著「乙種化学・機械講習テキスト中級高圧ガス保安技術」（平成元年 4 月 26 日）を発刊しました。その後、平成 9 年 4 月の高圧ガス保安法施行に伴い SI 単位系への変換など、部分的な修正を重ねて平成 14 年 10 月に「新刊」を刊行致しました。その後も部分的な修正を重ねて内容の充実に努めてまいりましたが、この度、「第 19 次改訂版」を発刊することとしました。

本書は、化学、機械工学両部門について、高圧ガスの保安の確保に必要な技術、それを理解するのに必要な学術、さらに、両部門の保安面を支えている、化学工学、金属工学、電気工学、安全工学、環境工学などの分野の内容も参酌し、わかりやすく説明しています。また、講習用テキストとしての利用だけではなく、同時に専門技術者はもちろん、広く高圧ガスの保安の実務に携わっておられる方々の座右の書ともなるように配慮し編集してあります。

読者の皆様におかれましては、本書の意図を酌み、これを十分に活用されて、高圧ガスの保安技術、知識を修得され、高圧ガスの災害防止、諸施策の改善向上、公共の安全の確保、斯業の発展にお役立ていただければこれ以上の喜びはありません。

終わりに、本書の編集に終始変わらぬご協力、ご尽力を賜りました津田主査をはじめ編集委員ほか関係の方々に心から厚くお礼申し上げます。

令和 4 年 12 月

高圧ガス保安協会

テキスト編集委員会委員（主査を除き人名 50 音順）

主査	津田 健	東京工業大学名誉教授
	浅井 昌明	(元)日本石油化学株式会社
	天野 由夫	(元)出光興産株式会社
	菊地 隆司	北海道大学 大学院教授
	日秋 俊彦	日本大学名誉教授

編集発刊にあたって

高圧ガス保安協会が行っている高圧ガス製造保安責任者用の乙種化学および乙種機械講習に用いられている「中級 高圧ガス保安技術」は平成元年に編集刊行（正田強 編集委員長）され、以来13年を経過した。そもそも、昭和20～30年代のアンモニア合成に代表される高圧化学工業、石油精製工業の復興から高圧法ポリエチレン製造など石油化学の諸分野で高圧ガス技術が発展・拡大し、日本の工業または経済の牽引車としての役割を果たした時代の要請により、乙種用のテキスト兼参考書として、名著といわれた「高圧ガス技術」（崎川範行 編集委員長）が昭和41年に共立出版（株）から刊行されたのが始めである。

現行の「中級 高圧ガス保安技術」は平成9年に高圧ガス保安法施行に対応して見直しを行い、単位系を含む修正、章建ての順序の変更など基本的ではないが、全体の流れも読みやすくなるように見直しを行っている。しかし、内容的には、大幅な改正はなく、今日に至っている。

従来、甲種、乙種および丙種のテキストは、別々に編集されていたため、内容に整合性を欠く所もみられた。そこで、高圧ガス保安法において、SI単位の採用などがなされたのを機に、時代の変化ならびに技術の進歩に即応した、新しいテキストを甲種、乙種および丙種同時に作り変えることになった。新テキストの作成に先んじて、全国の講習会の講師ならびに関係者の方々から御意見をいただき、これらを基にテキストの基本的な考え方として、1) 内容の構成（章建て）は甲、乙、丙ともに同じとし、取り扱う内容のレベル、量を変える、2) 乙種の程度は工業高校卒業生の程度とする、3) 執筆項目はできる限り甲、乙、丙を通じて、同じ執筆者が担当し、整合性を保つようにする、4) 全体の構成は従来どおり、学識編と保安管理技術編の2編とするが、その前に共通事項として、高圧ガスの定義とSI単位の説明をつける、学識は甲、乙、丙によりかなり差がつけられるが、保安管理技術は甲と乙ではあまりつけないなどを基本的な考え方として、平成14年4月に編集委員会を開き、乙種テキストの刊行を目指して編集を開始した。刊行時期の制約があり、執筆、査読、修正、印刷の時間が短く、多くの困難に直面したが、編集委員、執筆者、宇野洋（前）教育事業部長をはじめ同事業部の関係者の方々のご協力、ご尽力により、今日発刊の運びとなったことは誠に喜ばしい。皆様に厚くお礼申し上げます。また、特に、編集委員会（高谷晴生、吉田喬、山增量藏、山岡龍介）の各委員、および田中豊、二和田篤の両氏には絶大なるご協力を得ました。記して深く感謝申し上げます。

最後に、本書が受検者各位ならびに高圧ガス工業分野の技術者の方々のお役に立つとともに、広く愛用されますようお願いしております。

平成14年10月

講習検定等委員会 製造保安責任者

講習テキスト編集委員会

委員長 北條 英光

編集委員会

委員長	故北條 英光	東京工業大学名誉教授、日本大学 生産工学部
委員	高谷 晴生	(独立行政法人) 産業技術総合研究所 計量研修センター
(50音順)	山岡 龍介	(元) 大阪石油化学 (株)
	山増 量藏	山増技術士事務所
	吉田 喬	(元) 高圧ガス保安協会 教育事業部

執筆者 (50音順)

青山 芳夫	日本酸素 (株) 技術・開発本部 品質管理部
天野 由夫	出光興産 (株) 安全環境部
荒西 義之	石川島風水力サービス (株) 技術部
安西 輝男	(有) コンサルコ ANZ
石橋 晋史	新日石エンジニアリング (株) エンジニアリング部 計装設計 G
岡本 宏	日本酸素 (株) 技術・開発本部 知的財産部
笠野 英秋	拓殖大学 先端工学研究センター 工学部 機械システム工学科
川井 雅人	日本酸素 (株) 技術・開発本部 山梨研究所
篠ヶ谷達司	東洋エンジニアリング (株) エンジニアリング本部 機器設計 G
鈴木 瑛雄	(元) (社) 神奈川県高圧ガス協会
高谷 晴生	(独立行政法人) 産業技術総合研究所 計量研修センター
田中 豊	高圧ガス保安協会 教育事業部
津田 健	東京工業大学 大学院 理工学研究科 化学工学専攻
中山 雅夫	東洋エンジニアリング (株) エンジニアリング本部 配置・配管設計 G
春田 公仁	東洋エンジニアリング (株) エンジニアリング本部 配置・配管設計 G
日秋 俊彦	日本大学 生産工学部 応用分子化学科
平山 隆一	住友化学工業 (株) 千葉工場 環境・安全部
故北條 英光	東京工業大学名誉教授、日本大学 生産工学部
保坂 昭一	日本酸素 (株) ガス営業本部 技術・開発部
細谷 敬三	日揮 (株) 要素技術開発部
堀内 恒興	豊機工 (株) 管理本部
堀口 貞茲	(独立行政法人) 産業技術総合研究所 爆発研究 G
松島 巖	前橋工科大学 工学部 客員教授
美澤 秀敏	岩谷産業 (株) 産業ガス・機械事業 G
山岡 龍介	(元) 大阪石油化学 (株)
山増 量藏	山増技術士事務所
山本 澈誠	高圧ガス保安協会 教育事業部
吉田 喬	(元) 高圧ガス保安協会 教育事業部

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	10
2.2.1 温度の単位	10
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	19
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	23
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	29
1.3.3	液体の体膨張係数と圧縮率	32
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	化学平衡の法則 (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	68
4.2.1 燃焼・爆発の反応	68
4.2.2 火炎温度	68
4.2.3 燃焼生成物	69
4.2.4 発火現象	70
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	79
4.5.1 火炎と火災の影響	79
4.5.2 爆風の影響	79
4.5.3 爆発の事故例	80
5. ガス各論	83
5.1 可燃性ガスおよび支燃性ガス	83
5.1.1 水素	83
5.1.2 メタン	86
5.1.3 LPガス	86
5.1.4 エチレン	87
5.1.5 プロピレン	90
5.1.6 アセチレン	92
5.1.7 酸素および空気	93

5.2 毒性ガス	94
5.2.1 一酸化炭素	94
5.2.2 アンモニア	95
5.2.3 シアン化水素	97
5.2.4 塩素	98
5.2.5 フッ素	99
5.2.6 亜酸化窒素および一酸化窒素	100
5.2.7 ホスゲン	101
5.3 不燃性ガス	101
5.3.1 貴ガス	101
5.3.2 窒素	102
5.3.3 二酸化炭素	103
5.4 フルオロカーボン	104
5.5 特殊高圧ガス	106
5.5.1 シランおよびジシラン	106
5.5.2 アルシン	108
5.5.3 ホスフィン	108
5.5.4 ジボラン	108
5.5.5 ゲルマン	109
5.5.6 セレン化水素	109
5.5.7 三フッ化窒素	109
6. 流動・伝熱・分離	111
6.1 化学プロセスと流動・伝熱・分離	111
6.2 流体の流れ	111
6.2.1 流体の性質	111
6.2.2 静止流体の圧力	112
6.2.3 円管内の流れ	114
6.2.4 質量およびエネルギーの保存則	118
6.2.5 流れのエネルギー損失	123
6.3 伝熱	126
6.3.1 熱の伝わり方	126
6.3.2 伝導伝熱(熱伝導)	127
6.3.3 対流伝熱と熱伝達	129
6.3.4 放射伝熱	132
6.4 分離	133
6.4.1 蒸留	133
6.4.2 ガス吸収	135

6.4.3 吸着	136
6.4.4 膜	138
7. 材料の力学と強度	141
7.1 変形と破壊	141
7.1.1 応力とひずみ	141
7.1.2 強度と破壊	147
7.2 強度設計の基本事項	150
7.2.1 許容応力と安全率	150
7.2.2 静的および動的強度設計	152
7.3 胴と管の強度	152
7.3.1 薄肉円筒胴	153
7.3.2 厚肉円筒胴	154
7.3.3 薄肉球形胴	155
7.3.4 管	156
8. 高圧装置用材料	157
8.1 材料の構造概説	157
8.2 金属材料	160
8.2.1 鉄系金属材料	160
8.2.2 非鉄系金属材料	164
8.2.3 高温用材料	165
8.2.4 低温用材料	167
8.3 非金属材料	168
8.3.1 有機材料	169
8.3.2 無機材料	171
8.3.3 複合材料	172
9. 材料の劣化	175
9.1 腐食概説	175
9.2 湿食	176
9.2.1 腐食電池	176
9.2.2 種々の金属の腐食特性	177
9.2.3 種々の湿食	178
9.2.4 まとめ	181
9.3 乾食	181
9.4 防食法	183

9.4.1	腐食対策の考え方	183
9.4.2	各種の防食法	183
9.5	材料の摩耗とエロージョン	185
9.5.1	摩耗とエロージョンの違い	185
9.5.2	エロージョンの種類	185
9.5.3	材料の耐エロージョン性	186
10.	高圧設備	187
10.1	溶接加工と非破壊試験	187
10.1.1	溶接の種類	187
10.1.2	ガス溶接	188
10.1.3	アーク溶接	189
10.1.4	溶接部の欠陥と検査	190
10.1.5	非破壊試験	193
10.2	高圧装置	197
10.2.1	塔槽類	197
10.2.2	貯槽	202
10.2.3	熱交換器	203
10.2.4	高圧ガス容器およびその附属品	206
10.2.5	管・管継手・バルブ	209
10.3	計装	219
10.3.1	計測機器	219
10.3.2	制御システム	229
10.3.3	安全計装	236
10.4	圧縮機・ポンプ・冷凍機	238
10.4.1	圧縮機	238
10.4.2	ポンプ	249
10.4.3	冷凍機	256
10.5	流体の漏えい防止	259
10.5.1	漏えい量	259
10.5.2	ガスケット・パッキン	260
10.5.3	静的機器の漏えい防止	261
10.5.4	動的機器の漏えい防止	265
10.5.5	静的・動的機器以外の漏えい防止	270

II. 保安管理技術

総論

1. 安全設計・管理	277
1.1 安全設計	277
1.1.1 工場立地	277
1.1.2 工場レイアウト	277
1.1.3 建物などの安全設計	278
1.2 リスクマネジメントと安全管理	283
1.2.1 高圧ガス製造施設の安全管理	283
1.2.2 リスクマネジメント	283
1.2.3 安全管理	289
1.2.4 安全推進手法	291
1.2.5 安全監査	292
1.3 安全管理組織	293
1.3.1 組織の維持と運用	293
1.3.2 保安規程	294
1.3.3 保安教育訓練	294
1.4 防災管理	296
1.4.1 緊急事態発生時の組織	296
1.4.2 保安に関する関係事業所との協定	297
2. 保安・防災設備	299
2.1 電気設備	299
2.1.1 電気設備計画	299
2.1.2 保安電力	303
2.1.3 接地計画	306
2.1.4 通報設備	309
2.2 保安装置	309
2.2.1 安全装置	309
2.2.2 緊急遮断装置・逆流防止装置	312
2.2.3 貯槽の負圧防止対策	315
2.3 防災設備	316
2.3.1 防消火設備	316
2.3.2 冷却装置	317

2.3.3	火災報知設備	318
2.3.4	ガス漏えい検知警報設備	319
2.3.5	地震検知と設備停止	324
2.3.6	流動・流出および拡散を防止する設備	324
2.3.7	障壁	326
2.3.8	危険事態発生防止装置など	326
2.3.9	フレアースタック、ベントスタック	327
2.3.10	除害のための措置	331
2.3.11	防災資機材の備蓄	334
2.4	用役設備	335
2.4.1	電気設備（非常用電源設備）	335
2.4.2	用水設備	335
2.4.3	空気供給設備	336
2.4.4	不活性ガス供給設備	336
2.4.5	蒸気設備	336
3.	運転管理	339
3.1	運転基準	339
3.1.1	運転状態と運転基準の必要性	339
3.1.2	運転基準	341
3.1.3	運転操作基準の作成方法	343
3.1.4	運転基準の運用と改訂	345
3.2	製造設備の定常運転	346
3.2.1	製造設備の運転開始	346
3.2.2	製造設備の定常運転	347
3.2.3	運転中の点検・操作など	350
3.2.4	運転停止	351
3.2.5	バルブの操作	354
3.2.6	その他の操作	356
3.3	誤操作防止	357
3.3.1	誤操作の発生原因	357
3.3.2	誤操作の防止	358
3.4	漏えいの防止	363
3.4.1	漏えいの原因	363
3.4.2	漏えい防止の方法	363
3.4.3	増し締め危険	365
3.5	緊急措置	365
3.5.1	異常状態	365

3.5.2	緊急運転停止	366
3.5.3	防災活動	367
4.	設備管理	371
4.1	設備管理の推進体制	371
4.1.1	組織体系	371
4.1.2	規程類の整備	372
4.1.3	保全計画	374
4.2	設備の検査・診断	376
4.2.1	設備の検査	376
4.2.2	検査・設備診断技術	382
4.3	工事管理	384
4.3.1	工事管理の一般的事項	384
4.3.2	工事上での注意事項	385
4.3.3	工事管理の記録、保存	387
4.4	設備管理にかかわる事故事例	388
4.4.1	製造事業所の事故の分析	388
4.4.2	事故事例	388
5.	高圧ガス関連の災害事故	391
5.1	災害事故の推移	391
5.2	事故原因別災害事故例	392
5.3	大事故事例	395
5.3.1	事故の概要	395
5.3.2	事故の経過	395
5.3.3	事故原因とその教訓	395
付 録		397
表1	主なガスおよび関連の物質の性質	398
表2	毒性ガスの許容濃度	402
表3	ギリシャ文字	403
索 引		405