

初級

# 高圧ガス 保安技術

第 20 次改訂版

高圧ガス保安協会

丙種化学特別講習テキスト  
初級 高圧ガス保安技術  
第 20 次改訂版

高圧ガス保安協会

## 第 20 次改訂版発刊にあたって

高圧ガス保安協会では、丙種化学特別講習テキストとして、「初級 高圧ガス保安技術」(平成 3 年 12 月 18 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 単位系への移行など、部分的な修正を重ねて平成 14 年 10 月に新しいテキストを刊行致しました。その後も部分的な修正を重ね内容の充実に努めてまいりましたが、この度、「第 20 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、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 5 年 11 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
	菊 地 隆 司	北海道大学 大学院教授
	永 井 浩 昭	三菱ケミカル株式会社
	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丙種化学特別講習テキストに用いられている「初級高圧ガス保安技術」は、平成3年に初版が刊行（加藤 順 編集委員長）されてから11年が経過した。従来、丙種化学特別は、甲種および乙種とは別に独自に編集されていた。今回、SI単位系の導入による法改正や技術の進歩、環境管理など時代の要請に従って、甲種および乙種テキストを全面的に見直し、新版を編集することになったのを機に、甲種、乙種および丙種化学特別講習テキストを同時に編集することになった。新テキストの編集に先んじて、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、内容の構成は甲、乙、丙まで同じにし、同じ項目に関する事項は、できるだけ同じ執筆者が担当することにし、従来やや問題があった内容、用語、書き方、記号などの整合性を保つよう心掛けた。全体の構成は、従来どおり学識編と保安管理技術編より成るが、その前に基礎的な知識として、高圧ガスの定義とSI単位の説明を設けた。さらに、学識編の知識の理解に役立つように、それらに関する基礎知識を必要箇所に加え受検者の便に供した。なお、学識、保安管理技術編ともに、丙種のレベルとして、必要度の低いと思われる事項は省き、今まで不足していると考えられた事項は補足した。旧版にも優れた内容のところが多々あるので、これは新版にも活かされている。

平成14年4月に編集委員会を開き、丙種化学特別講習テキストの作成を開始した。しかし、刊行時期の制約があり、執筆、査読、修正および印刷の時間が短く、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、山増量藏、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、本書が受検者各位のお役に立つとともに、受検後も皆様に愛用されますようお願いいたします。

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) 安全環境室
荒西 義之	石川島風水力サービス(株) 品質保証部
石橋 普史	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
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
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 形状設計部 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 形状設計部 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 形状設計部 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
北條 英光	東京工業大学名誉教授、日本大学生産工学部
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
2. 単位 .....	7

## I. 学 識

1. 気体の一般的性質 .....	13
1.1 物質 .....	13
1.1.1 純物質と混合物 .....	13
1.1.2 物質の状態変化 .....	13
1.1.3 単体と化合物 .....	14
1.1.4 原子、分子、イオン .....	14
1.1.5 物質の量 .....	16
1.1.6 アボガドロの法則 .....	17
1.1.7 気体の密度 .....	17
1.2 理想気体の性質 .....	18
1.2.1 ボイルの法則 .....	18
1.2.2 シャルルの法則 .....	18
1.2.3 ボイル-シャルルの法則 .....	19
1.2.4 状態方程式 .....	20
1.2.5 熱容量と比熱容量 .....	21
1.2.6 混合気体 .....	21
1.3 実在気体の性質 .....	23
1.3.1 実在気体の $pVT$ 関係 .....	23
1.3.2 実在気体の状態方程式 .....	24
1.4 気体と液体の性質 .....	24
1.4.1 相変化、状態図 .....	24
1.4.2 沸騰・沸点 .....	25
1.4.3 純物質の飽和蒸気圧 .....	25
1.4.4 潜熱、顕熱、蒸発熱（気化熱） .....	26

1.4.5	液体の膨張と圧縮	27
1.5	熱、仕事、エネルギー	27
2.	気体の化学反応	29
2.1	化学反応と化学反応式	29
2.2	反応熱と化学反応	30
2.2.1	反応熱	30
2.2.2	燃焼熱と熱化学方程式	31
2.2.3	分解爆発性の化合物	31
2.3	化学平衡と反応速度	31
2.3.1	反応速度と化学平衡	32
2.3.2	圧力変化と温度変化の化学平衡への影響	32
3.	燃焼・爆発	35
3.1	燃焼・爆発とは	35
3.1.1	燃焼・爆発の定義	35
3.1.2	爆発の種類	36
3.1.3	燃焼・爆発の反応と生成物	36
3.2	爆発・爆ごうの発生	38
3.2.1	発火現象	38
3.2.2	外部発火源の例	38
3.2.3	爆ごうの発生	40
3.3	燃焼・爆発の危険性	41
3.4	火災・爆発事故の特徴	43
3.4.1	火災の影響	43
3.4.2	爆風の影響	43
3.4.3	爆発の事故例	44
4.	ガス各論	47
4.1	可燃性ガスおよび支燃性ガス	47
4.1.1	水素	47
4.1.2	メタン	49
4.1.3	LPガス	49
4.1.4	エチレン	50
4.1.5	アセチレン	52
4.1.6	酸素および空気	53
4.2	毒性ガス	54
4.2.1	一酸化炭素	55

4.2.2 アンモニア	56
4.2.3 塩素	58
4.3 不燃性ガス	58
4.3.1 貴ガス	59
4.3.2 窒素	60
4.3.3 二酸化炭素	60
4.4 フルオロカーボン	61
4.5 特殊高圧ガス	62
4.5.1 シランおよびジシラン	62
4.5.2 アルシン	63
4.5.3 ホスフィン	63
5. 流動・伝熱	65
5.1 流動	65
5.1.1 円管内の流れ	65
5.1.2 ベルヌーイの定理	68
5.1.3 流れのエネルギー損失	69
5.2 伝熱	71
5.2.1 伝導伝熱	71
5.2.2 対流伝熱と熱伝達	72
5.2.3 放射伝熱	73
5.2.4 保温、保冷と材料	73
6. 材料力学の基礎	75
6.1 応力とひずみ	75
6.1.1 荷重の種類	75
6.1.2 応力	76
6.1.3 ひずみ	77
6.1.4 フックの法則	78
6.1.5 応力-ひずみ線図	78
6.2 強度と破壊	80
6.2.1 応力集中	80
6.2.2 延性破壊と脆性破壊	80
6.2.3 疲労	81
6.2.4 クリープ	81
6.2.5 許容応力と安全率	82



7. 高圧装置用材料	85
7.1 材料の基礎	85
7.2 金属材料	87
7.2.1 炭素鋼	87
7.2.2 合金鋼	88
7.2.3 鋳鉄および鋳鋼	89
7.2.4 銅および銅合金	90
7.2.5 アルミニウムおよびアルミニウム合金	90
7.2.6 チタンおよびチタン合金	90
7.2.7 金属材料の温度特性	91
7.3 非金属材料	92
7.3.1 有機材料	92
7.3.2 無機材料	93
7.3.3 複合材料	93
8. 金属の腐食と防食	95
8.1 腐食の基礎	95
8.1.1 原子とイオン	95
8.1.2 酸化と還元	95
8.1.3 イオン化傾向	96
8.1.4 pH	96
8.2 湿食	96
8.2.1 腐食電池	96
8.2.2 種々の金属の腐食特性	97
8.2.3 種々の湿食	97
8.3 乾食	99
8.4 防食法	99
8.4.1 腐食対策の考え方	99
8.4.2 各種の防食法	99
9. 高圧設備	103
9.1 溶接加工と非破壊試験	103
9.1.1 溶接の種類	103
9.1.2 溶接部の欠陥と溶接管理および検査	105
9.1.3 非破壊試験	107
9.2 高圧装置	110
9.2.1 塔槽類	110
9.2.2 貯槽	113

9.2.3	熱交換器	115
9.2.4	高圧ガス容器およびその附属品	116
9.2.5	管・管継手	118
9.2.6	バルブ	123
9.3	計装	128
9.3.1	計測機器	128
9.3.2	計装制御システム	135
9.3.3	安全計装	138
9.4	圧縮機とポンプ	139
9.4.1	圧縮機	139
9.4.2	ポンプ	146
9.5	流体の漏えい防止	150
9.5.1	ガスケット・パッキン	150
9.5.2	静的機器の漏えい防止	151
9.5.3	動的機器の漏えい防止	153

## II. 保安管理技術

1.	安全管理	159
1.1	安全理論と安全推進手法	159
1.1.1	安全理論	159
1.1.2	安全推進手法	160
1.2	安全管理体制	162
1.2.1	安全管理組織	162
1.2.2	保安に関する関係事業所などとの協定	163
1.2.3	保安規程	164
1.2.4	保安活動	165
1.2.5	教育訓練	166
2.	保安・防災設備	169
2.1	電気設備	169
2.1.1	電気設備計画	169
2.1.2	保安電力	171
2.1.3	接地計画	172
2.2	保安装置	174
2.2.1	安全装置	174
2.2.2	緊急遮断装置・逆流防止装置	177
2.2.3	貯槽の負圧防止対策	178

2.3 防災設備	179
2.3.1 防消火設備	179
2.3.2 冷却装置	180
2.3.3 火災報知設備	181
2.3.4 ガス漏えい検知警報設備	181
2.3.5 地震検知システムと設備停止	183
2.3.6 流動・流出および拡散を防止する設備	183
2.3.7 障壁	184
2.3.8 危険事態発生防止装置など	185
2.3.9 フレアースタック、ベントスタック	185
2.3.10 除害のための措置	187
2.3.11 防災資機材の備蓄	189
2.4 用役設備	190
2.4.1 用水設備	190
2.4.2 空気供給設備	190
2.4.3 不活性ガス供給設備	191
2.4.4 蒸気設備	191
3. 運転管理	193
3.1 運転基準	193
3.1.1 運転状態と作業	193
3.1.2 運転基準類	194
3.2 製造設備の運転	198
3.2.1 運転の態様	198
3.2.2 運転開始	198
3.2.3 定常運転	199
3.2.4 運転停止	201
3.2.5 設備の点検	202
3.2.6 バルブの操作	205
3.2.7 その他の単位作業	206
3.3 誤操作防止	207
3.3.1 誤操作の発生要因	207
3.3.2 誤操作の防止	208
3.3.3 信頼性の向上	209
3.3.4 設備的対策	209
3.3.5 運転上の対策	211
3.3.6 管理上の対策	211
3.4 緊急措置	212

3.4.1	異常状態	212
3.4.2	緊急運転停止	213
3.4.3	防災活動	214
3.5	漏えいの防止	215
3.5.1	漏えいの要因	215
3.5.2	漏えい防止の方法	216
4.	設備管理	219
4.1	設備管理の推進体制	219
4.1.1	組織	219
4.1.2	規程類の整備	220
4.1.3	保全計画	221
4.2	設備の検査	223
4.2.1	製造設備の新設、更新時の検査	223
4.2.2	製造設備の維持管理のための検査	224
4.2.3	定期検査結果の記録	226
4.3	工事管理	227
4.3.1	工事計画と準備	227
4.3.2	工事の各段階における安全確保	228
4.3.3	工事上の管理事項	228
4.3.4	工事管理の記録、保存	232
4.4	設備管理にかかわる事故事例	232
5.	高圧ガス関連の災害事故	235
5.1	事故件数の推移	235
5.2	重大事故の変遷と高圧ガス関連の規制への影響	235
5.3	海外の重大事故	236
付録		239
表1	主なガスおよび関連の物質の性質	240
表2	毒性ガスの許容濃度	244
表3	元素の周期表	246