

# 化学压力容器における 溶接技術の現状と今後の課題

日立造船株式会社 桜島工場 機械部

正 木 良 樹

## 1. 緒 言

化学压力容器（以下化学容器という）の溶接の特徴は、板厚が極薄板（0.5 mm 以下）から極厚板（250 mm 程度）までにわたる、材料に鉄非鉄金属のほとんどすべてが使われる、ほとんどの溶接法が採用される。そして溶接部は腐食環境にさらされるなどである、すなわち非常に多種の腐食環境の化学プラント用に、異なった材質で、多種の構造の化学容器が作られている。そのうち数種をとりあげて溶接技術の詳細を論じて、化学容器の溶接全般の紹介になりえないので、ここでは、生産現場での適用面について、概括的に見てみる。

日本の化学工業が、欧米のプロセスを導入して発展してきたあとを追う如く、化学容器の材料とそれらの溶接法も、特に米国からもたらされたものが多い。また容器の製造面を制する日本の法規の技術基準も、多かれ少なかれ米国の ASME CODE を模倣したものである。したがって化学容器の溶接技術は、総合的な評価では米国に対し未だ遅れをとっているといわざるをえない。

以下に化学容器の溶接に関して適用法規、材料、溶接法とその自動化、溶接士の資格、最近の化学容器の製造そして事故例などひとわり見て、将来の課題を求めてみたい。

## 2. 溶接技術適用の現状

### 2. 1 適用法規

化学容器の製造に当って、製造者は、その使用条件、内容物により何らかの法の規制を受けることになる。輸出品については、納入先の行

政機関の法の適用を受けることがあるが、後進国向では、米国の ASME CODE 適用が多い。表 1 に、压力容器製造に対する適用法規・規格の種別をまとめた。同表に見る如く、日本における压力容器製造に適用される法規は、大別して 4 種（参考のため、電気事業法も含めた）あり、いずれの压力容器も内容物、用途によってこのうちどれか一つの法の適用を受けることになる。法規により規制方式、溶接法認可、溶接士資格が異なっているほか、管理機関も労働者通産省の各課にまたがっている。その結果、検査方式、検査官も別箇のものになっている。これに引きかえ、米国では、国、州、市の規制は別に存在するが、それらが拠り所としている技術基準は、ASME CODE 一本建である。

表 1 で製造認可とは、压力容器の製造に当って、あらかじめ所轄官庁の認可を受けることでこの際製造者は、压力容器の製造、検査に関する技術能力、設備を問われる。溶接法認可とは製造者が新しい溶接法を採用するに当って、あらかじめ材料、溶接法など毎に継手性能確認試験を行ない、認可を受けることをいう。

### 2. 2 材 料

化学容器の使用材料は文字通り多種多様である。補助的部品も考慮すれば非金属材料も含めて、ほとんどすべての工業材料が何らかの形で使われているのであろう。化学容器材料は原則として承認された材料表から、最適のものとその許容応力をえらぶ。表にない新材料は、採用の許可を事前に取りなければならない。代表的な材料とそれらの実験の使用例を表 2 に示すここでは溶接可能な材料として、wrought material にしぼったが、鋳造品も、そのままかま

表1. 圧力容器製造に対する適用法規・規格

法規又は規格	ボイラ及び圧力容器安全規則	高圧ガス取締法	ガス事業法	ASME CODE Sec.VIII, Div 1	電気事業法
管理機関	労働省 安全課	通産省 工業保安課	通産省 ガス課	American Society of mechanical Engineer	通産省 火力発電課など
圧力容器種別	第1種圧力容器 第2種圧力容器	高圧ガス設備 高圧ガス容器	ガス工作物	火無し圧力容器	電気工作物
内容物	蒸気, 温水, 水 他の液体	酸素, 水素, メタン, プロパン アセチレンなど	都市ガス	蒸気及び他のガス 水及び他の液体	蒸気, 温水
圧力(kg/cm <sup>2</sup> )	大気圧を超える圧力	10以上 2以上(アセチレン) 液化ガス)	制限なし	1超, 210.9以下	1以上 (火力 ボイラ)
温度(°C)	制限なし	制限なし	制限なし	制限なし	100以上 (火力 ボイラ)
製造認可	要	要 (高圧ガス容器 の場合)	規定なし	要	規定なし
溶接法認可	要	規定なし (溶接部溶接試験 実施)	要	要(ASME, Sec.) (IXに規定)	要
溶接士資格	特別ボイラ溶接士 普通ボイラ溶接士	JIS 溶接士 (Z 3801, 3811など)	ガス事業法により 材料, 溶接法 別に認定	要(ASME, Sec.) (IXに規定)	電気事業法により 材料, 溶接法別に 認定
用途	一般産業施設	高圧ガス製造施設	都市ガス製造施設	ボイラ, 原子力を 除くすべての圧力 容器	発電所

たは溶接されて使われる。化学プラントにおいては、1プラントが、数種の、使用条件を同じくするグループまたは系統から成立しているのが普通で、そのグループ内では、それぞれ若干数の塔、槽、熱交換器などの圧力容器が、同種材料で作られる。表2では、一材料に一件の使用例を挙げたが、各材料とも、塔、槽、熱交換器が作られていると考えてよい。

炭素鋼、低合金鋼は、圧力、温度の増加につれて、極厚板(100~200mm)まで使われるが、主として耐食性のため使われるステンレス鋼、非鉄金属は、高価なため薄板にとどまる。その板厚はほとんど2~25mmの範囲で、ムク材(1枚もの)で使われるほか、経済性を考慮してクラッド材として使われることが多い。クラッド材の母材は、使用温度により、炭素鋼、低合金鋼のなかから選ばれる。クラッド鋼の製造方法に、1) 圧延法、2) 爆着法、3) 溶接法(肉盛法)があるが、高温、高圧の用途には

(3)が適している。クラッド鋼のクラッド材と母材との組合せにおいては、両者の冶金的性質、加工性能、とりわけ溶接、熱処理に対する性質が重要である。両材料の性能を損なわない加工を実施しなければならない。

従来炭素鋼としては、SS材、SM材が多く使われてきたが、最近では、SPV材(圧力容器用鋼板)の使用も定着し、SGV材(中、常温圧力容器炭素鋼鋼板)、SBV材(ボイラおよび圧力容器用マンガンモリブデン鋼およびマンガンモリブデンニッケル鋼鋼板)、SQV材(圧力容器用調質型マンガンモリブデン鋼およびマンガンモリブデンニッケル鋼鋼板)、SLA材(低温圧力容器用炭素鋼鋼板)も誕生した今後、用途に最適の圧力容器材料が選択できるようになるため、加工性、安定性の向上が望める。しかし現在のJIS材料規格は、まだまだ米国にくらべれば種類が少なく、表2にも見る如くASTM規格の材料の使用が多い。

表 2 化学容器における材料とその使用例

材	質	材料規格・銘柄	適用法規・規格	容器名称	圧力(最高温度(最高又は真空)又は最低) kg/cm <sup>2</sup>	最高温度(最高又は最低) °C	寸法(板厚×内径×長) mm	溶接法	用途
1	40キロ炭素鋼	SB 42 B	高压ガス	蒸溜塔	3.3	364	21×5,000×49,765	サブマージ	石油精製
2	50キロ炭素鋼	A 516 Gr70	高压ガス	コンバーター	35.5	302	85×5,000×9,686	サブマージ	アンモニア
3	60キロ高張力鋼	WELTEN 60	高压ガス	反応器	325	300	121(4層)×1,250×6,113	サブマージ	ポリエチレン
4	70キロ高張力鋼	A 533 D Cl3	ASME VIII	コンバーター	190	220	138(3層)×2,820×15,000	サブマージ	アンモニア
5	80キロ高張力鋼	KO 鋼	ロイド船級	貯槽	42.2	177	25×2,285×9,000	被覆アーク	LPG
6	0.5 Mo 鋼	A 204 B	高压ガス	反応器	29.5	455	64×3,700×8,752	サブマージ	アンモニア
7	1.25Cr-0.5Mo 鋼	A 387 B	高压ガス	コンバーター	35.5	482	117×5,000×10,240	サブマージ	アンモニア
8	2.25 Cr-1 Mo 鋼	A 387 D + TP347 肉盛	ASME VIII	反応器	155	454	(222+5)×3,963×30,410	サブマージ	石油脱硫
9	3Cr-1 Mo 鋼	A 387 E	ASME VIII	熱交換器	202	504	110×686×15,131	サブマージ 炭酸ガスアーク	アンモニア
10	5Cr-0.5 Mo 鋼	A 357	ASME VIII	熱交換器	157	371	68×650×7,200	被覆アーク	石油脱硫
11	アルミキルド鋼	Teyon 100 A	高压ガス	精溜塔	22.5	- 45	42×3,600×76,500	サブマージ	エチレン
12	3.5Ni 鋼	A 208 D	高压ガス	ドラム	8	-100	15×5,000×14,222	サブマージ 被覆アーク	—
13	9Ni 鋼	A 353	高压ガス	熱交換器	14.8	-115	10×750×4,000	被覆アーク、ティグ	—
14	13Cr クラッド鋼	A 516 Gr70 + A 240 TP 405	ASME VIII	蒸溜塔	真空～3.5	440	(32+3)×8,534×38,477	被覆アーク (13Cr)	石油脱硫
15	オーステナイトステンレスクラッド鋼	A 387 D + SUS 321	高压ガス	反応器	37.3	566	(27+3)×1,400×5,765	被覆アーク (SUS 29)	アンモニア
16	ニッケルクラッド鋼	SM 4 1B + B162	1 圧	反応塔	真空～3.2	138	(12+2)×2,125×16,185	ティグ (Ni)	塩素
17	モネルクラッド鋼	SM50A + B 127	1 圧	オートクレーブ	35	230	(29+2.2)×1,800×4,920	ティグ (モネル)	染料
18	キヌープロニッケルクラッド鋼	A 516 Gr70 + B 402 TP 715	ASME VIII	熱交換器	31.6	204	(32+5)×1,422×7,010	ティグ (キヌープロニッケル)	温水 (海水冷却)
19	アルミプロンズクラッド鋼	SS 41 + ABP	高压ガス	熱交換器	4.5	70	(8+3)×750×7,400	ティグ (ABP)	都市ガス (海水冷却)
20	チタンクラッド鋼	SB 42 + TP 28	高压ガス	反応塔	20	200	(11+2)×1,000×9,771	ティグ (チタン)	メラミン
21	インコロイ 800	B 407	ガス事業法	分解炉ヘッダー	28.1	770	16.5×131.8×8,650	ティグ被覆アーク	ナフサ改質
22	ハステロイ C	B 334	1 圧	熱交換器	真空～2.8	232	6×634×3,500	ティグ (HsC)	TDI
23	アルミ合金	A 5083-0	ガス事業法	貯槽	0.12	-162	49(厚み)×44,600×28,820 (直銅部高さ)	ミグ	LNG
24	銅	DCuP <sub>3</sub> -1/2H	—	蒸溜塔	常圧	120	5.4×2,160×19,576	ティグ, ろう接	酢酸

注 1 高压ガス：高压ガス取締法，1 圧：第 1 種压力容器

2. 3 溶接法

化学容器に使われる溶接法は、材料が多種であるだけに、ほとんどの方法が駆使される。同一材料に対しても、板厚、使用条件に合わせて異なった溶接法が使い分けられる。表3に、現在、使用頻度の高い溶接法とその適用例を紹介した。それらは、僅かに使用されるろう接を除き、すべて融接法である。このうちガス溶接法は、適用範囲がだんだん縮まり、現在管の一部の裏波溶接に使われるのにとどまっている。これは、圧力容器の溶接部が、高い性能を要求することと、テグ法の普及に原因している。し

たがって、化学容器の溶接法といえば、ほとんどが、アーク溶接法である。

被覆アーク法は、現在では溶接材料としての使用量が最も多い。しかし非鉄金属のなかにはAl, Ti 合金類のごとくこの方法の適用が不可能なものもあり、また適用可能な場合でもその溶接金属の性能は、テグ、ミグ法で得られるものより一般に劣る。サブマージアーク法は、高能率であるため、鉄系金属では使用頻度が最高である。しかし、入熱量が大きいことに原因して、Cr-Mo 鋼、ステンレス鋼では、溶接金属の性能がやや劣る。Ni 合金、Cu 合金に対す

表3 化学容器における溶接法の適用例

溶接法	材 料	板厚 (mm)	適 用 例
1 被覆アーク	炭素鋼, 低合金鋼 ステンレス鋼, 非鉄金属 (Cu, Ti, Al を除く)	3~	主要継手 (容器の長手, 周継手), 管 付属品 (容器の管台, 付 着品など)
2 サブマージアーク			
2.1 単極, 2極	炭素鋼, 低合金鋼 ステンレス鋼	6~	主要継手
2.2 2極シリーズ	ステンレス鋼	—	肉盛ライニング
2.3 多極 (2~6)	ステンレス鋼	—	肉盛ライニング
2.4 ストリップアーク	ステンレス鋼 Ni 合金, Cu 合金	—	肉盛ライニング
3 ティグ	すべての金属	0.5~	管, 主要継手 板張, 肉盛ライニング
4 プラズマアーク	すべての金属	0.01~	管
5 エレクトロン ビーム	Ti, Nb, Ta, Zr 合金 ステンレス鋼	0.03~	小部品の主要継手
6 ミグ	ほとんどすべての 金属	3~	主要継手, 管 肉盛ライニング
7 炭酸ガスアーク	炭素鋼, 低合金鋼	3~	主要継手, 管, 付属品
8 オープンアーク			
8.1 単極	炭素鋼, 低合金鋼 ステンレス鋼	6~	主要継手, 付属品 肉盛ライニング
8.2 多極 (2~6極)	ステンレス鋼	—	肉盛ライニング
9 エレクトロガス	炭素鋼, 合金鋼	10~	主要継手 (注1)
10 エレクトロスラグ	炭素鋼, 合金鋼	30~	主要継手 (注1)
11 ガス (アセチレン)	炭素鋼, 低合金鋼	2~	管
12 ろう接	銅合金, Al 合金	0.5~	主要継手, 管, 管と管板 の継手

注1 溶接後の調質熱処理を必要とする場合がある。

表 4 自動溶接の適用

適用箇所	溶接法
1 胴板長手継手	サブマージアーク、ミグ、炭酸ガスアーク、エレクトロガス、エレクトロスラグ、
2 胴板周継手	サブマージアーク、ミグ、炭酸ガスアーク、
3 鏡板長手継手	サブマージアーク、エレクトロスラグ
4 ノズルネック継手	サブマージアーク、炭酸ガスアーク
5 管と管板の継手 (多管式熱交換器)	ティグ、ミグ
6 オーバーレイ (容器、ノズル内面フランジ面)	サブマージアーク (1~6極) 2極シリーズ、ストリップオープンアーク (1~6極)
7 付属品 (容器の内部または外部付着品)	炭酸ガスアーク、ミグ、サブマージアーク、エレクトロスラグ
8 フランジリングの突合継手	エレクトロスラグ

る適用の研究も進んでいるが、未だ一般的に実用されていない。近年この方法で適用例が飛躍的に増えたのは、肉盛溶接に於てで、日本ではストリップアーク法が多い。ティグ、ミグ法は化学容器に使われる殆どどの金属の溶接が可能で、且つ高品質の溶接金属が得られるので多く使われる。特にティグは、装置、取扱いも比較的簡便なため、すっかり普及した。ティグ・ミグ共に、非鉄金属、ステンレス鋼などで、高級な耐食性を要求される場合は、清浄度のすぐれた溶接金属が得られる故に専ら使われる。ミグでは、細い精度の高い溶接ワイヤが必須条件であるので、線引可能な金属しか適用できない。一方、最近の研究成果により、大電流ミグが実用されているが、その能率性は、サブマージアークに迫るものがある。ティグより一段低い電流値での安定した溶接を可能にしたプラズマアーク法は、ステンレス鋼、非鉄金属の薄板、薄肉管で、最近多用されるようになってきている。

炭酸ガスアーク法は、一般溶接構造物では以前から使われていたが、圧力容器への応用は比較的最近である。最近、労働省でも、実体ワイヤ炭酸ガスアーク法の圧力容器への適用を認めたので、今後適用例は増えるであろう。炭素鋼におけるオープンアーク法は、炭酸ガスアークにくらべ、溶接金属の性能が未だ劣っているがこの方法では、合金元素の添加、調整が容易であるため、低合金鋼、ステンレス鋼への応用の道が開かれている。日本でも、ステンレス鋼のオープンアークワイヤの開発の努力がなされており、実用されているものもある。米国での開発例の中で注目されるのは、6電極オープンアーク肉盛法である。エレクトロガス、エレクトロスラグ法は、サブマージアーク法をはるかに上廻る高能率法であり、以前からこれらの圧力容器への応用が期待されてきた。しかし極めて大入熱であるため、溶接金属の調質熱処理による改善が望まれる。労働省でも、溶接のままでの適用は認めていない。米国、欧州で、100~200 mm厚の合金鋼圧力容器に適用されている例があるが、調質熱処理との組合せで評価すると、未だ安定した経済的な溶接とはいえない。

表 4 に、現在自動溶接法が適用されている例を、溶接箇所別に整理して示した。このうち、最近試みられているものは、比較的径の大きいノズルのネック継手である。これは、容器の胴鏡板に取付けられる多数のノズル (管台) の付根の溶接を、自動化しようとするものである。写真 1 に、その溶接機の一例を示す。

以上の多種の溶接法を化学容器に適用する場合現在の適用法規・規格では、当然のことながら施行前の溶接法の承認試験が要求されている後述する溶接士資格に対する要求と同じく、各法規により、承認試験の実施要領は若干異なる

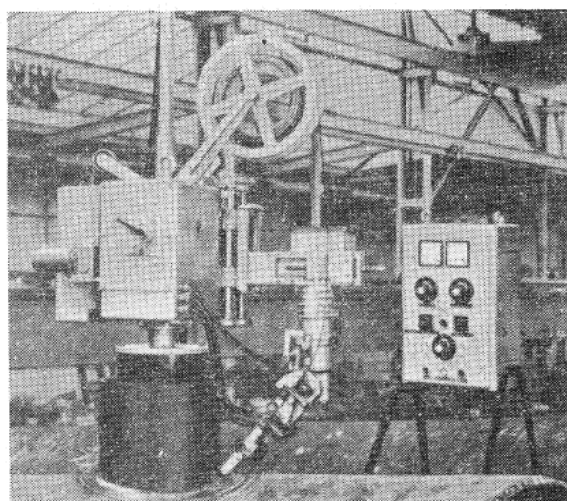


写真 1 ノズルネック自動溶接機

が、材料、板厚、溶接法、溶接棒、溶接機など別に、溶接法性能の確認を必要とし、それにより適用範囲も制限される。

## 2. 4 溶接士

化学容器の溶接に従事する溶接士は、法規によってその資格が設定されている。溶接士資格に関する規定を分類すると、次の3通りになる

- 1) 一般溶接技術検定 (JIS 溶接士) 合格者を資格者とする。
- 2) 適用法規独自の溶接技量試験の合格者を資格者とする。
- 3) 適用法規独自の溶接技量試験と該当容器の構造、関連工作知識に関する筆記試験の合格者を資格者とする。

すでに表1でも示した如く、1)の場合が高圧ガス取締法、2)がガス事業法、電気事業法3)がボイラ及び圧力容器安全規則における規制である。これらの違いは、溶接士の資格付け更には圧力容器製造に対する規制の基本となる各法律の基本精神に由来しているもので、このことが、今迄の溶接士資格試験要領の日本での統一の実現に対する壁となっている。

表5は、化学容器の溶接に於て、現在使われている溶接士資格試験と資格者の作業範囲についての規定をまとめたものである。ここで検定種類のJIS Z3801は、Z3811のアルミニウム溶接技術検定と共に高圧ガス取締法に採用されているものである。一方、半自動アーク溶接に対しWES 121がある。また石油学会規定は、この規定による溶接士資格が、適用法規で要求される溶接資格に加えて、石油関連プラント工事でユーザー側から要求されるという現状に鑑み記載した。一方内容が電気事業法、ガス事業法と本質的に同じであるので、記載を省略したASME Sec. IXの規定(溶接法、溶接士の確認試験に関するもの)は、海外向工事では勿論、国内工事でもしばしば使われている。

JIS 溶接技術検定は、基本となるべき炭素鋼のZ3801にAl、ステンレス鋼に関するものを加え、さらに今後材料別の溶接技術検定を追加していこうという方針をもつとはいえ、当面JIS 規定のみで圧力容器の溶接士資格試験をす

べてまかなうことはできない。

労働省のボイラ及び圧力容器では、独特のボイラ溶接士を必要としているが、ボイラの構造保守、材料、溶接、安全に対する知識を要求した高度な溶接士資格となっている反面、炭素鋼の試験板、被覆アーク法で技量を確認されたものが、他の材質(時には非鉄金属も)、他の溶接法(自動溶接も含めて)の作業も許されているという不備もある。ボイラ溶接士資格以外にJISで作成される材料別の溶接士技術検定を追加しようとする考え方も出てきている。

石油学会規定は、ある意味では、労働省ボイラ溶接士資格付けと、電気事業法溶接資格付の中間を行く内容となっている。材料、板厚、製品形状別の規制となっているので、資格試験と同種の実際作業に対しては、試験法も簡便で有効である。しかし、現在既に発生している多種多様な材料、溶接法に対する技量試験としては不十分である。

電気事業法、ガス事業法の規定は、母材の材質、形状、板厚、そして溶接法(溶接条件についても制限)、溶接棒、姿勢など毎に溶接士資格を設定するもので、現在考えられるものとしては、万全に近い資格付けである。すなわちこれによれば、圧力容器の溶接種別毎に、それぞれにふさわしい技量の持主を当てることができるわけで、あと問題になるものは、溶接士の実作業における経験量のみとなる。表5の記号は母材材質記号を省略しているが、実際の溶接士記号は、材料別になっており、例えば、インコロイ800のティグ法で小径管の資格者の場合、TW-3e(インコロイ800)と記す。

現在、圧力容器ファブライケイターの溶接士は常に適用法規の異なった製品が流れているため同一人が各法規で要求される溶接資格を併せ持っている。JIS技術検定合格者で、ボイラ溶接士であり、ガス事業法溶接資格を持ち(電気事業法とガス事業法とでは、資格に完全な互換性がある)、更に必要に応じてASME Sec. IXの試験を受けるというケースは稀ではない。

## 2. 5 化学容器の工作

化学容器の工作において、溶接の占める役割

表5. 溶接士資格試験と資格者の作業範囲

検定種類	記号	試験材		溶接方法の区分		作業範囲				
		材質形状	板厚	溶接法	姿勢	材質形状	厚板	姿勢または種類		
JIS Z 3801-1964	N-1F G-1F	SS 41 SM 41 (A~C) SB 42 (A~C)	mm 3.2	被覆アーク ガス	下向	鋼板	≤6.0	F, 1F		
	9		被覆アーク ガス	"					"	≥4.5 ≤19.0
			≥25		被覆アーク	"	"			≥12.0
	3.2			被覆アーク ガス	立向				"	≤6.0
			9	被覆アーク ガス		"	"			
	≥25			被覆アーク	"				"	≥12.0
			≥25	被覆アーク		横向	"			≥12.0
	9			被覆アーク ガス	上向				"	≥4.5 ≤19.0
			N-1P G-1P A-2P N-2P G-2P A-3P N-3P	STB 42 STPT 42		4.0~5.3 t 100~1209φ	被覆アーク ガス			固定管
	9 t ~ 11 t 150~170 φ				被覆アーク ガス	"	"		≥4.5 ≤19.0	
					t ≥ 20, 200~300 φ				被覆アーク	"
	SUS CN-F SUS CN-V SUS CN-H SUS CN-O SUS CA-O				SUS 304 SUS 304 L	9	被覆アーク		下向 立向 横向	
SUS TN-F SUS TN-V SUS TN-H SUS TN-O	SUS 316 SUS 316 L	3	ティグ	下向 立向 横向 上向	下向 立向 横向 上向					
SUS MN-F SUS MA-F				9	ミグ	下向			下向	



表5. (つづき1)

検定種類	記号	試験材		溶接方法の区分		作業範囲			
		材質形状	板厚	溶接法	姿勢	材質形状	板厚	姿勢または種類	
石油学会規定 JPI-7S-31-64	A種1級	SS 41 SM 41 (A~C) SB 42 (A~C)	mm 9	被覆アーク	F, V, H, O	公称引張強さの $\leq 50$ kg/mm <sup>2</sup> の炭素鋼板	mm $\leq 19$	現場溶接	
	A種2級				F, V O			工場溶接	
	B種1級				F, V, H, O			現場溶接	
	B種2級				F, V, H			工場溶接	
	C種1級	STPG 38, 42 STPT 38, 42 STB 35, 42	6B Sch 80	被覆アーク	固定水平 管, 固定垂直 管	公称引張強さ $\leq 50$ kg/mm <sup>2</sup> の炭 素鋼管	$\leq 22$	現場溶接	
	E種1級	公称60 kg/mm <sup>2</sup> 以上の高張力鋼	$\geq 19$	被覆アーク	F, V, H, O	試験材が60 kg/mm <sup>2</sup> の高張力鋼の場合, 公称 $\leq 60$ kg/mm <sup>2</sup> 高張力鋼 試験材が の $\geq 70$ kg/mm <sup>2</sup> 高 張力鋼の場合, 公称 $\leq 80$ kg/mm <sup>2</sup> の高張 力鋼	すべての 板厚	現場溶接	
	E種2級				F, V H			工場溶接	
	F種1級	5Cr-Mo 鋼	6B Sch 80	被覆アーク	固定水平 管	合金元素 <10%の 合金鋼	すべての 板厚	現場溶接	
	F種2級	STPA 25			固定垂直 管			工場溶接	
	G種1級	18-8Cr-Ni 鋼 SUS 27 HP	9	被覆アーク	F, V, H, O	合金元素10%をこえ る合金鋼のすべて, 但しオーステナイト 系溶接棒を使用する 場合に限る	すべての 板厚	現場溶接	
	G種2級	SUS 27 CP			F, V, H			工場溶接	
	ボイラ及び圧力容器 安全規則	特別ボイラ 溶接士	SB 42 (A~C) SM 41 (A~C)	25	被覆アーク	F, V, H	「ボイラ及び圧力容器安全規則」の適用 をうけるボイラ及び圧力容器のすべての 溶接。溶接方法に制限なし		
普通ボイラ 溶接士		SS 41	9	F, V, O		ボイラ及び第一種圧力容器で溶接部の厚 さが25 mm 以下の場合。 管台, フランジ等を取りつける場合溶接 方法に制限なし			
電気事業法, ガス事業法	W-1 f	鉄系, 付表 I による	9 mm	付表 II によ る	下向	溶接棒区分 表(省略) で, 試験に 使用した溶 接棒が属す る区分。	板	下向	
	W-1 v				立向			<19	立向
	W-1 h				横向				横向
	W-1 o				上向				上向
	W-2 f		下向		制限なし				下向
	W-2 v		立向					立向	
	W-2 h		横向					横向	
	W-2 o		上向					上向	



表5. (つづき2)

検定種類	記号	試験材			溶接方法の区分		作業範囲			
		材質	形状	板厚	溶接法	姿勢	材質	形状	板厚	姿勢または種類
電気専業法, ガス専業法	W-3 e	鉄系, 付表 I による	管	9~11 t 150~170 φ	付表 II による	水平固定 鉛直固定	溶接棒区分表(省略)で、試験に使用した溶接棒が属する区分.	管	<19	制限なし
	W-4 e			t ≥ 20 200~300 φ		水平固定 鉛直固定			制限なし	制限なし
	W-5 f	非鉄, 付表 I による	板	2	付表 II による	下向	同上	板	<4	下向
	W-5 v					立向				立向
	W-5 h					横向				横向
	W-5 o					上向				上向
	W-6 f			6		下向			制限なし	下向
	W-6 v					立向				立向
	W-6 h					横向				横向
	W-6 o					上向				上向
W-7 e	管	4 t, 100~150 φ	水平固定 鉛直固定	管	制限なし	制限なし				

表 5. の 付 表 I

母系の種類区分	分 類	母系の種類区分	分 類
P-1	普通鋼 { 引張り強さが 52 kg/mm 以下のもの	P-7	高合金鋼 (フェライト系のもの)
P-3	低合金鋼 { クロームの標準合金成分が 0.75%以下で、かつ標準合金成分の合計が2%以下のもの	P-8	高合金鋼 (オーステナイト系) のもの
P-4	合金鋼 { クロームの標準合金成分が 0.75~2% で、かつ、標準合金成分の合計が2.75%以下のもので、 P-3に掲げる低合金鋼を築く.	P-9A	2.5 Ni 鋼
P-5	合金鋼 { 標準合金成分の合計が10%以下の もので P-3 および P-4 に掲げる ものを除く.	P-9B	3.5 Ni 鋼
P-6	高合金鋼 [マルナンサイト系のもの]	P-9C	9 Ni 鋼

表 5. の 付 表 I (つづき)

母材の種類 の区分	分 類		母材の種類 の区分	分 類
P-10A	公称耐力 50 kg/mm <sup>2</sup> 以下 引張り強さ 62 kg/mm <sup>2</sup> 以下 の高張力鋼でP-1 以外のもの		P-22	Al-Mg, Al-Mg-Mn 系 アルミニウム合金
P-10B	耐力 56~63 kg/mm <sup>2</sup> , 引張強さ 68~74kg/mm <sup>2</sup> の調質高張力鋼	Ni を含むもの	P-23	Al-Mg-Si 系 アルミニウム合金
P-10C		Ni を含まないもの	P-24	Al-Mg-Mn 系アルミニウム合金で, P-22 に掲げるものを除く
P-10D		折出硬化型		
P-10E	耐力 70 kg/mm <sup>2</sup> 引張の強さ 80 kg/mm <sup>2</sup> の調質高調力鋼	Ni を含むもの	P-31	銅
P-10F		Ni を含まないもの	P-32	Cu-Zn 系銅合金
P-10G		折出硬化型	P-34	Cu-Ni 系銅合金
P-21	工業用アルミニウム		P-35	Cu-Al 系銅合金

表 5. の 付 表 II

溶接の方法の区分	種 類
A	被覆アーク溶接 (両側溶接または裏あて金を用いるもの)
AO	被覆アーク溶接 (裏あて金を用いないもの)
G	ガス溶接
T	ティグ溶接
TF	ティグ溶接 (初層部のみ)
M	ミグ溶接
J	サブマージアーク溶接
S	その他の自動溶接

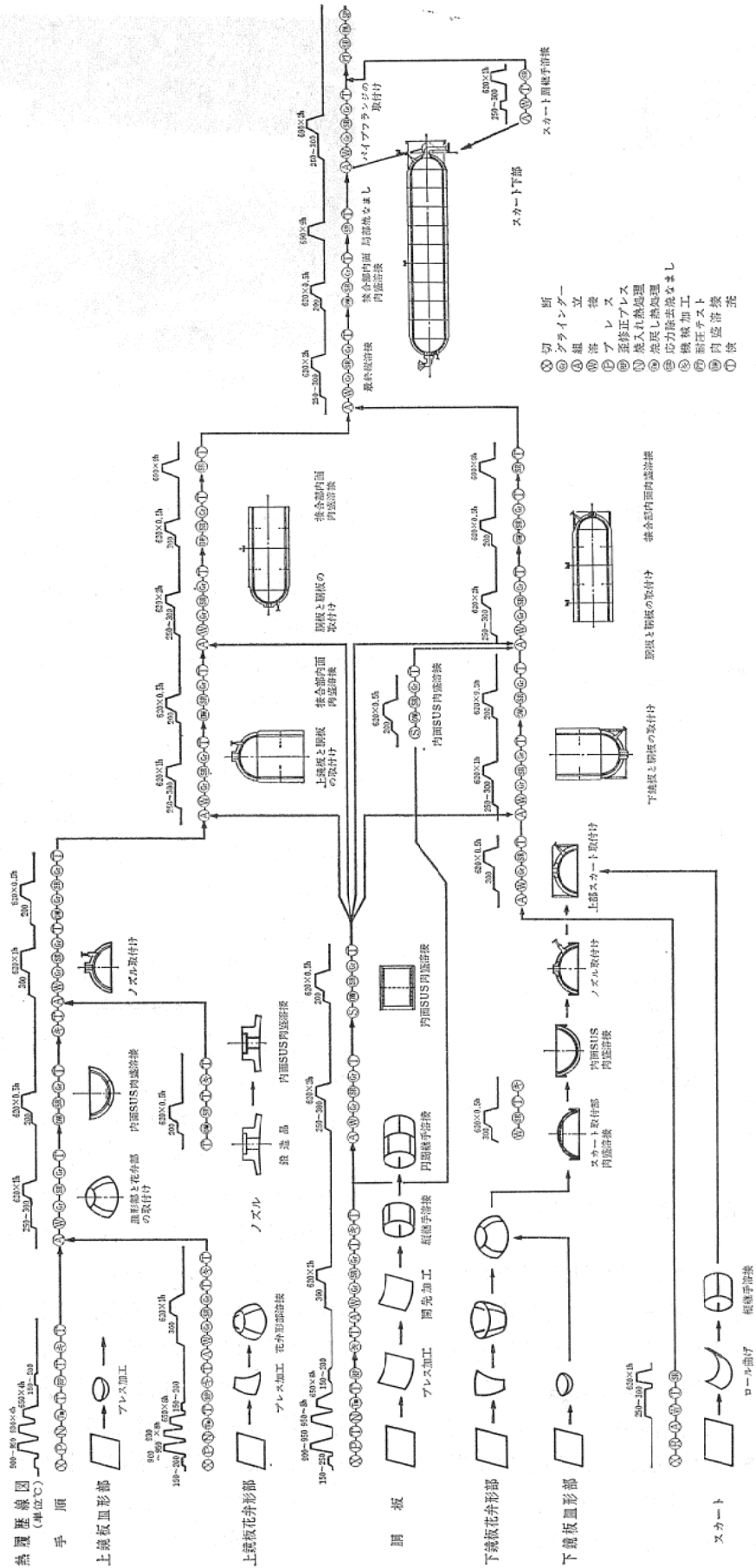


図1 大形反応器の工作順序図

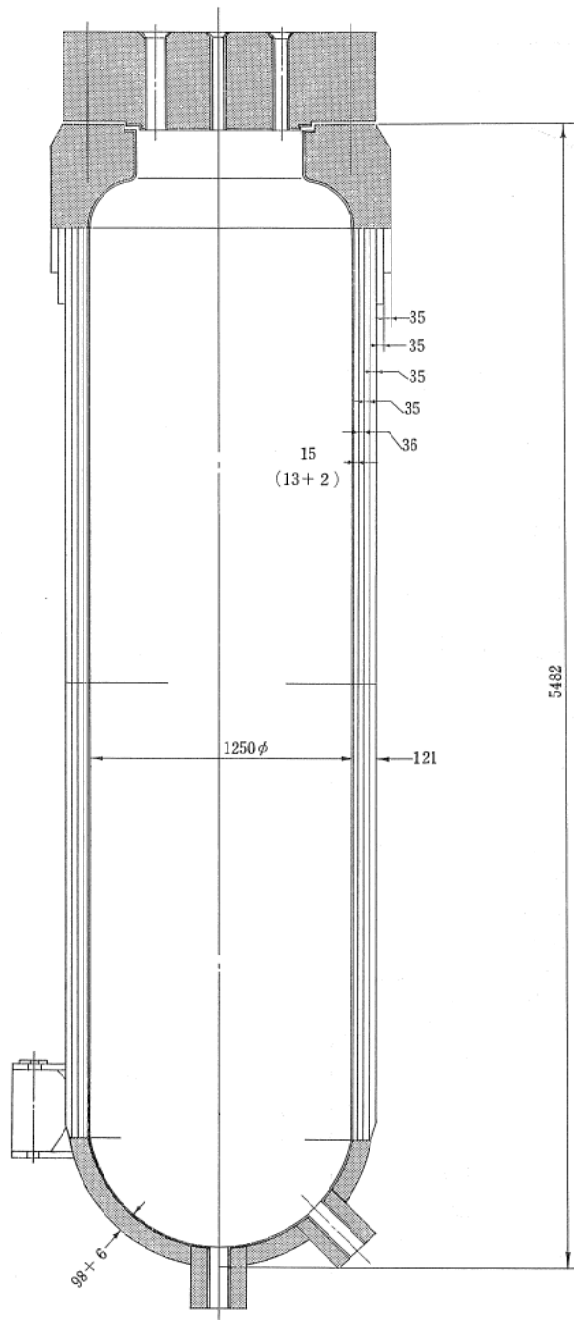


図 2 日立造船式多層構造の高圧反応器

は大きい。すなわち材料は、溶接性を考慮して選定され、成形加工は溶接との関連で形状、分割数をきめられて施行される。溶接後熱処理は溶接継手の性能を生かすべく実施される。したがって加工開始に当り、溶接法を先ず選定して他の加工条件、手順を技術的、経済的要件を考慮して設定するという方法がとられる。重要な化学容器では、これらの工作順のほか、必要な確認、検査活動も織り込んだ工作手順図を作成

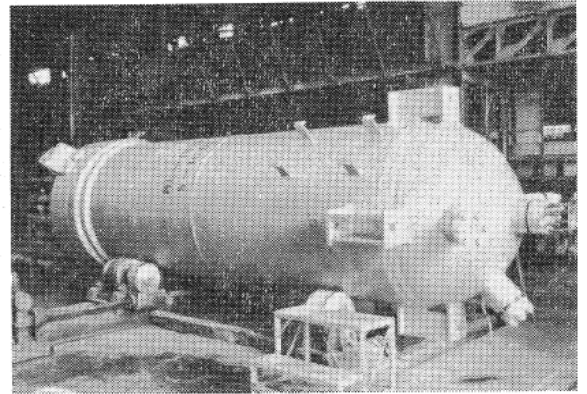


写真 2 日立造船式多層構造の高圧反応器

すると便利である。図 1 は、大形反応器の工作手順図で、これには工作、検査順序だけでなく成形、溶接に伴う加熱計画曲線も明記している。加工実施に際しては、このように設定された計画を、間違いなくフォローするための具体的実施策が重要で、このためチェックリストとかショップトラベラーが使われる。

図 2 と写真 2 は、このようにして製作された高圧反応器である。この反応器は、直胴部が、日立造船式焼きばめ多層構造で、最内層は、クラッド鋼となっている。一方鏡板は、鍛鋼にストリップアーク溶接による肉盛ライニングを施している。

## 2. 6 化学容器溶接部の事故

化学容器の溶接部に関する事故としては、1) 加工時のもの 2) 耐圧テスト時のもの 3) 稼動時のものがある。前 2 者は一企業内で公表されることなく処理されるものが多い。稼動時のものでも、原因の究明が、化学プラントのプロセスノウハウの漏洩につながるとして、ユーザー側で公開調査をきらう場合があり、資料は少ない。表 6 は、オーステナイトステンレス鋼溶接部の損傷事例である。これでは全件数 174 件の大部分は、稼動後発見された溶接欠陥（割れなど）を除き、溶接欠陥に起因しない溶接金属熱影響部の腐食割れである。筆者が経験している範囲でも純粹の溶接欠陥に起因する事故はきわめて少なく、施工されたままでは健全であった溶接部が、そのプラントプロセスで性能を発揮できず事故となる例が多い。ファブリケイ

表6 オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の損傷事例

損傷の種類	件数
1. 低温損傷	59
(1) 熱影響部の塩化物応力腐食割れ	(34)
(2) 熱影響部の粒界腐食割れ	(20)
(3) 溶着部の腐食割れ	(4)
(4) 異種金属間の電気化学的腐食	(1)
2. 高温損傷	81
(1) 熱影響部の粒界腐食割れ	(36)
(2) 異材溶接部の脱炭層の割れ	(21)
(3) $\sigma$ 相ぜい化による割れ	(11)
(4) 溶着部の腐食割れ	(8)
(5) 浸炭による局部腐食	(3)
(6) クリーブ変形による割れ	(1)
(7) パナジウム損傷	(1)
3. 溶接欠陥	34
合計	174

注：西野，藤咲“化学装置におけるオーステナイトステンレス鋼溶接部の損傷”石油学会誌，13, (7), 555(1970)による。

ター側での使用条件に対する認識不足，ユーザー，エンジニアリング会社側の材質選定に当たっての加工条件に対する軽視が原因していると思われる。

### 3. 今後の課題

#### 3. 1 材料の選択

上述の溶接部の事故で腐食に起因するものが多かったが，材料の選択作業でまだ改善すべき所が多い。材質の最終決定は，プラントプロセスの提案側で行なわれなければならないが，この際ファブリケイターとの十分な協議が望ましい。材質決定に際し，ユーザーとファブリケイターが，化学容器の使用条件と加工による材質変化を互いに熟知する場を持つという慣行を確立すべきであろう。

#### 3. 2 品質保証

化学容器の品質を確保する方法として，従来加工，溶接を終ったあとの検査（溶接部放射線検査，外観検査），試験（耐圧，気密試験）を主体としてきた。使用材料の種類が多岐にわたり，溶接条件に厳密さが要求され，さらに加工

工程が多いと，最終検査のみでは品質の確保がむつかしくなる。ここに種々の中間工程での検査と検査員が行なう以外の加工側での多くの確認行為が，必要になってくる。これらの検査，確認行為が品質管理であるが，この品質管理が完全に遂行されるべき運営が重要である。この品質管理と運営を含めて品質保証と呼び，企業全体として品質確保に取り組もうという考えが最近出てきている。

化学容器で要求される品質の程度は，高いものから低いものにわたる。したがってこれらに一律な品質管理を適用することは不合理である一つのファブリケイター内では，所要品質の異なる製品が並行生産されるのが普通であるから化学容器群を所要品質基準で数等級（ランク）に分け，級別品質管理を実施する品質保証体制が必要と思われる。ランク付に際して，客先の要求，内容物，プラントにおけるその容器の役割，加工，溶接の難易度などを考慮すべきであろう。

#### 3. 3 溶接法の確認と溶接士の資格

先にふれた如く日本の化学容器は適用法規が異なる場合，溶接法の確認要領と溶接士の所要資格は別々であり，それらの行政担当部門もちがっている。圧力容器の製造，使用に対する規制は，用途に応じて変えるべきことに異論は無いであろうが，同じように行なう加工，溶接の方法に対する技術基準は一律である方が何かにつけて好都合である。溶接法の確認要領と溶接士の資格付けの統一を近い将来実現したいものである。この場合，筆者は現行の通産省電気事業法の方法が品質管理上好ましいと思われるなおファブリケイター側でも法の規則を待つまでもなく，溶接法の確認と溶接士の技量管理が溶接事故を防ぐ上で不可欠のものであることを認識し，それぞれの体質に合った管理を自主的に実施していかねばならない。

### 4. 結 言

化学容器の溶接の現状について，生産現場への適用面を概括的に説明し，将来の課題として材料選択に当たってのユーザーとファブリケイタ

## 生産と技術

一問の十分なる協議，化学容器の級別品質管理  
それに溶接法の確認要領と溶接士の資格付け  
の統一を挙げた。溶接の詳細技術は別として，  
わが国での化学容器の溶接に対する規制または  
その技術基準は，ASME CODE とその裏付資

料の完全理解を先ず済ませて，ASME から脱  
却した独自の路線を進むか，ASME との協同  
開発に入るかしないと，後進性から抜け出せな  
いと思われる。