

溶接構造物の信頼性向上の諸問題

Some Measures for Weldments Reliability Level-up

溶接構造物の信頼性向上を図るためには、製作管理力と開発技術力のバランスが必要である。製作管理力とは、(1)一貫したシステムとしての総合設計製作管理及び(2)常に一定品質性能品を製作し得る能力であり、開発技術力とは、(1)一貫したシステムとしての総合研究開発管理及び(2)実用上の設計が指定できるいかなる材料でもその生産技術力、(例へば溶接可能な技術力)を備えて製品化し得る能力ということができる。

この内容は、(1)各種設計基準の整備、(2)事前検討制度の確立、(3)強度計算基準の蓄積、(4)溶接設計技術者育成、(5)製作基準・規格、指導書整備、(6)品質自主管理制度、(7)新技術・生産技術力の向上蓄積、(8)基礎技能の育成、(9)品質保証推進制度及び(10)非破壊検査技術などの向上蓄積に具現される。

佐々木秀雄* *Hideo Sasaki*
 妹島五彦** *Itsuhiko Sejima*
 喜多久直*** *Hisanao Kita*
 吉田俊一*** *Toshikazu Yoshida*

1 緒言

溶接構造物の信頼性が一貫したシステムとしての総合設計、製作管理並びに研究開発管理、すなわち設計、製造、研究及び検査の各部門を通じた総合技術管理いかんによることを待たない。すなわち、一般的に設計における(1)強度計算、(2)品質等級の決定及び(3)適正材料の選定と製造部門における(1)加工技術力の確立、(2)品質管理体制の確立及び(3)作業者の技能向上教育訓練、更には研究所における基礎研究及び生産応用研究と検査部門における適正な品質評価力などによって決定されるものである。しかし、これらのうちのどれか一つでもうまくかみ合わないと飛躍的な信頼性の向上は望めず、従って、いかにより効果的な具体的手段を講ずるかが問題となってくる。図1は技術管理フローチャートを示したものであるが、ここでは図中の二重に囲んだ項目についてのみ述べる。図2はそれらの項目について、各部門において行なうべき具体的手法を示したものである。なお、本稿は日立製作所の重電機及び産業機械の溶接工場における生産管理の一端を示したものである。

2 製作管理力

2.1 設計部門における管理

2.1.1 各種設計基準の整備

設計部門において最も重要なことは、各種の設計基準を明確にしておくことであるが、特に管理的な面からいえば溶接品質を等級分類して図示し、各溶接部に対する最も合理的な品質要求が明確に製造部門へ伝わるようにしておくことが大切である。表1は溶接品質の等級分類の一例を示したものである。これは溶接継手の疲れ強さを基礎にしてその目安を示したものである。

2.1.2 設計自主管理制度

図示不良に起因する製作途上のトラブルは、決して少なくない。この場合、コスト及び工程の面で大きなロスをすることがある。これは設計者の材料や溶接に関する知識不足による場合が少なくない⁽¹⁾。従って、設計段階において溶接に関する一定のレベル以上の知識を持った設計者によって設計が

表1 溶接品質等級分類 品質管理の面からは、まず溶接品質を等級分類しておくことが大切である。

項目 品質 符号	非破壊検査項目 溶接部	強度低減係数		静応力
		変動	応力	
W1	放射線1級	0.9	—	1.0
	超音波探傷1級			
	磁粉探傷1級			
	染色探傷			
W2	放射線2級	0.7	0.6	0.9
	超音波探傷2級			
	磁粉探傷2級			
	染色探傷			
W3	磁粉探傷2級	—	—	0.8
	染色探傷			

なされ、且つ図示内容をチェックする必要がある。このためには、知識並びに実務経験年数に応じて各のレベルに合わせた溶接教育を実施し、設計者の格付認定をしておく必要がある。

2.2 製造部門における管理

2.2.1 製作基準、規格・指導書の整備

溶接構造物に限らず構造物を製作する場合には、まずその構造物の詳細な製作基準を作り、それに従った忠実な作業を行ない規定の品質を得ることが生産管理上の基本原則であって、特に溶接構造物は作業が、切断、曲げなどの下ごしらえ作業から、溶接組立、熱処理及び表面処理、塗装などの仕上げ作業まで多岐にわたり、これらの総合技術の集積として完成するものであるから、各工程の作業、又は製品に関する規格体系は相互に関連づけられ、且つ利用しやすいものに整備しておく必要がある。またこれらの規格は、現場の作業者が図示に従って作業上必要なときにいつでも見られるように現場の各部署へ配布しておき、更に作業員に対してあらかじめ

* 日立精工株式会社 ** 日立製作所エンジニアリング推進センター *** 日立製作所日立工場

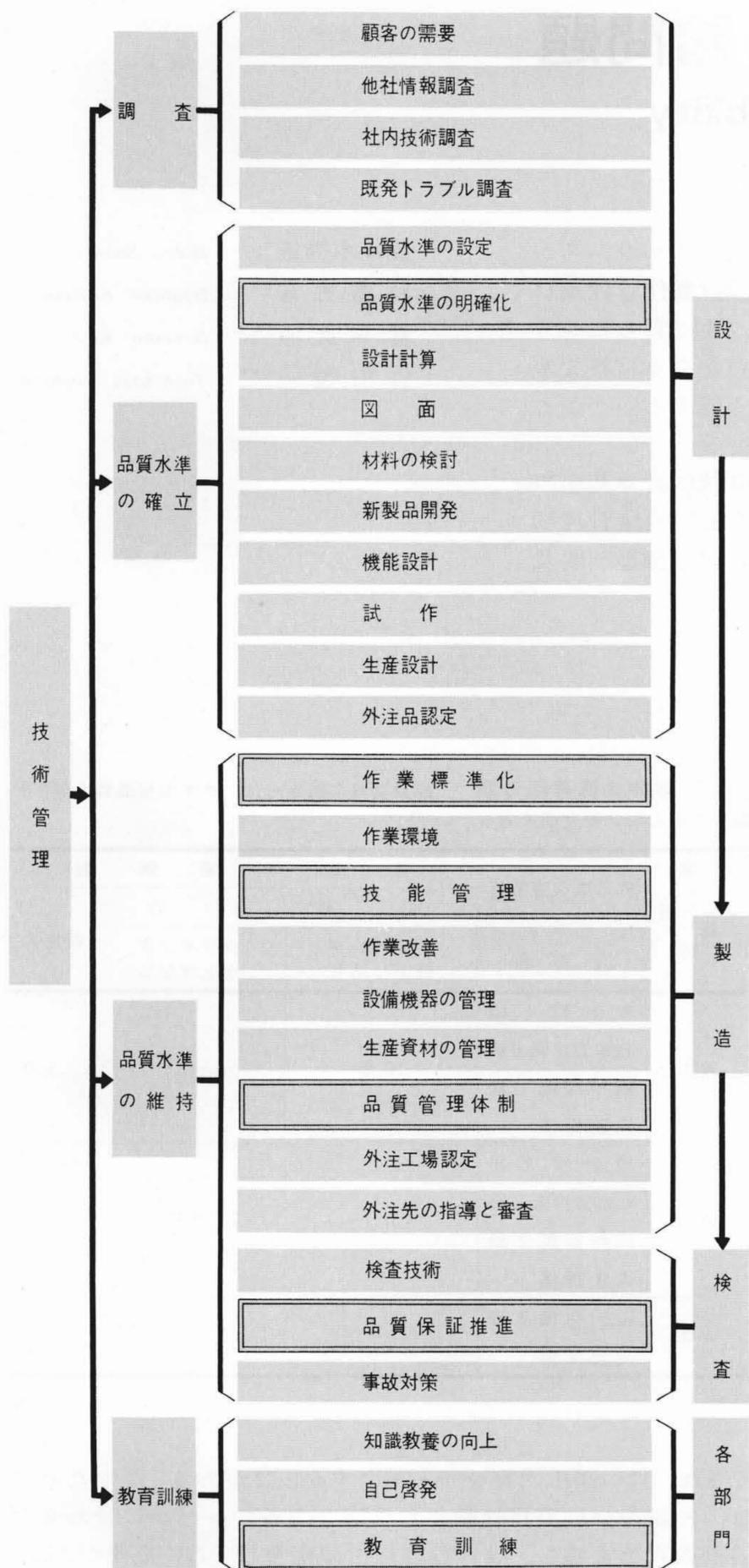


図1 技術管理フローチャート 受注から納品までの一貫したQAを推進する必要がある。

表2 溶接品質と溶接員格付との関係 溶接部の高品質を保証し、且つ高効率を得るためには、品質等級に対応した作業を行なうのが望ましい。

品質等級	溶接員格付等級			
	特級	1級	2級	3級
W1	○	○	×	×
W2	○	○	○	×
W3	—	○	○	○
W4	—	—	—	○

注：○ 溶接可 × 溶接不可 — 適用せず

これらの規格内容を理解させるための教育も行なう必要がある。規格のみでカバーし得ない作業、例えば溶接補修作業やまだ規格化されていない新作業などについては、一定の様式による作業指導書を発行し、これによって作業指示を明確にしておく必要がある。

2.2.2 品質自主管理制度

溶接構造物の最終品質が製作中の出来栄えに大きく左右されることはいうまでもない。従って、各工程ごとに図示どおりの、あるいは規定どおりの作業が行なわれているかどうかを確認するいわゆるPC (Process Control) システムを導入、定着させることは極めて重要なことである。

PCシステムの定着を図るうえで最も大切なのは、品質管理担当者(QCマン)の質及びレベルである。従ってQCマンの人選に当たっては、(1)その作業の経験が豊かであること、(2)技能が優れていること、(3)誠実な人間であることなどを考慮し、且つ認定制度基準に照らして選ぶ必要がある。

各工程での自主チェックにおいては、単に次工程へ送る前の自作業の確認だけでなく、前工程から送られてきた部品、又は製品の事前確認をも行なうことである。不良品、又は不良個所を発見したら、必ず前工程に返却して加工修正させることである。

2.2.3 認定技術者による指導

実際作業に対し適切な作業方案を作成し、且つ技術指導を行なう溶接技術者には、現場の設備、能力をも含めた幅広い、且つ正確な溶接の基礎知識と豊富な経験、更には新技術に関するたゆまざる情報キャッチの心掛けが必要である。また、技術者の担当分野や経験年数の違いによって、技術指導内容に差があってはならない。このために溶接設計技術者と同様に、現場の溶接技術者に対しても専門知識の集合教育を行ない、格付認定を行なって各の技術指導力のレベルアップを図るとともに、その適正配置を考慮しなければならない。

2.2.4 技能者及び作業の格付けによる作業制度

手動アーク溶接員は、年齢とともに技能も変化するので、単に溶接棒を溶かす「腕が良い」というだけで高級溶接を行なわせるのは危険である。溶接部の高級品質を保証し、且つ高効率を得るためには、溶接員をその技量に応じて格付けしておき、各溶接部の品質に対応した(表2参照)作業を行なわせるのがよい。この格付制度は、また更に優秀な溶接員への養成にもつながるものである。当然のことながらこの格付は毎年行なうべきで、単に技量のみでなく学科試験も行なう必要がある。一方、外注工場についても各社の設備や溶接技術、あるいは技能力に応じて格付けを行ない、製品の等級分類と対応させた適正な品質管理が行なえるようにしておく必要がある。溶接員についても、社内と同様の格付けを行なわねばならないことはいうまでもない。なお前述の格付認定の1～3級有資格者の比率は、従来の実績からほぼ1：2：3が適当と思われる。また不良防止、品質安定という観点から工場の溶接員の平均年齢は30歳以下に保つこと、更に30歳以上の溶接員には再教育を行なうことが望ましい。

2.2.5 QCグループ活動

QC活動の基本的考え方は、仕事に従事している作業者の一人一人が、その仕事の目的や遂行方法、手段に生きがいを感じ、自分の行なった仕事については自分で責任を持つことはもちろん、自発的に自分の仕事の改善について提案し、その仕事の目的達成に努力しようとする考え方が根本となる。企業の仕事は集団で行なわれ全員で協力して行なうことになるので、5～7人程度のグループを作って行なうのが効果的で



図2 溶接構造物の信頼性向上具体策 溶接構造物の信頼性を向上させるためには、各部門において具体策を強力に推進する必要がある。

ある。

従って、職制のあり方も従来の「よらしむべし」の教育方法から「知らしむべし」の教育に移行し、作業基準も作業者の建設的な改善意見やノウハウを組み込み、十分そしゃく検討し理解されたものになる。

また一方、作業員もこれによりますます、自分の仕事の目的や意義を明確に把握することができ、張り合いのある仕事が行なえるようになってくる。そうして、トップダウンとボトムアップが混然一体となった姿で、企業の全員が仕事に対して全能力を発揮できる環境が生まれてくるわけである。

2.3 検査部門における管理

2.3.1 品質保証推進制度

すべての製品について、図面検討を行なわねばならないことはいままでもないが、特に新材料、新構造品については徹

底した事前検討が必要であり、従って、各期の始めにあらかじめこのような、いわゆる重点製品を選定しておいて計画的に事前検討を進めることはQA (Quality Assurance) 上極めて効果大きい。但し、その際どのようなものを重点製品とするかの選定基準を、また重点製品と決定したものはどのような項目について検討するかなどを明確にしておくことが大切である。

当然のことながら、各種の不良率を集計し、その現象原因を分析して根本対策の資料としなければならないが、特にX線不良率は溶接品質管理の良否がそのまま反映しているといっても過言ではない。また社外不良率、特に初期不良(納品後1年以内に発生したもの)についても、信頼性工学でいういわゆるバス・タブ・カーブ(Bath Tub Curve)の初期の立上りを極力下げるために正確に集計しなければならない。

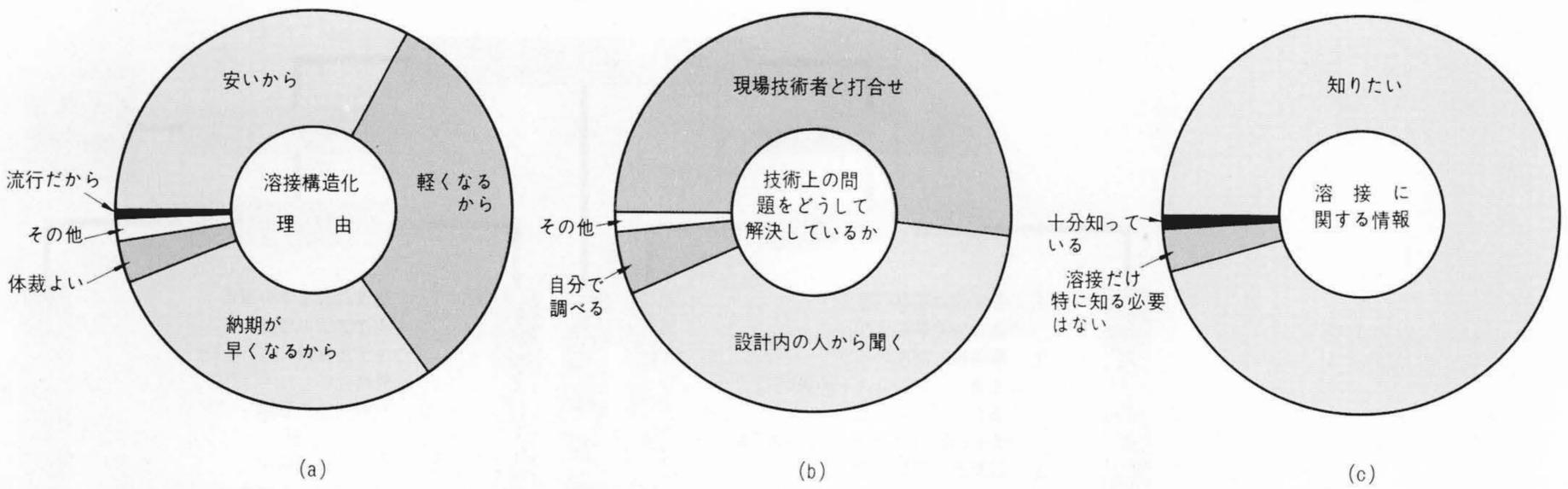


図3 設計技術者に対する溶接構造物に関するアンケート結果
 きな関心を持っているが、技術上の問題解決に問題がある。

設計技術者は、溶接構造化に大

3 開発技術力

3.1 設計技術力

3.1.1 材料知識の蓄積

大形化、高温高圧・低温高真空化及びこれに加えた腐食環境の増加、並びに不規則な変動荷重、軽量化、微少化など、世の中の進展につれ材料も次々と新しいものが作り出されるとともに、現在ある材料についても使い方に再検討が必要となってきた。従って、必要な材料については、設計部門は絶えず情報を把握し、研究部門や製造部門と協力して、いつそれが製品に適用されてもよい十分な体制を整えておく必要がある。

3.1.2 溶接設計技術者育成

溶接設計者の教育の必要性については既に述べたが、図3に示す設計技術者に対するアンケート結果からも分かるように、設計者の製品の溶接構造化に対する意欲は十分であるにもかかわらず、技術上の問題解決は現場技術者と打ち合わせ

るなどの意見が比較的多い。しかしこれに対して、ただ単に質のよい情報を多量に与えれば済むというのではなく、詳細な溶接技術者育成計画、すなわち教育内容、レベル、人員、時間及び講師などを含めた、しかも長期にわたる育成計画に基づいた組織的な教育が必要である。もちろん、これにはテキスト兼設計マニュアルともなるテキストの作成が必要で、例えば、材料、塑性加工、溶接などに関する規則、新溶接法、溶接冶金、溶接構造物の原価構成、品質管理、及び強度(残留応力、疲れ強さ)などの新しい計算方法や実験データ並びに製造部門の設備、能力及び検査など、設計あるいは製作に必要なすべての最新の情報を含めておかなければならない。そして各設計者の経験年数に応じて各のレベルに合わせた教育と格付認定を行ない、有資格者が図面のチェックを行なうという制度にしておくべきである。表3は設計者溶接資格認定基準の一例を示すものであるが、この1～3級有資格者数の比率は、およそ2:5:10が妥当と思われる。

3.2 加工技術力

3.2.1 新材料、新技術及び自動化推進

非鉄金属、特に異種金属の溶接に関する新材料、新技術の開発は現在省資源、省エネルギーという観点からも最も適切なテーマであり、ぜひとも取り組まなければならない問題である。図4は異種金属材料の溶接の可能性の予測を示したものである⁽²⁾。

溶接の自動化推進もまた溶接品質の安定、工数低減を図るうえで極めて重要であるが、これは当然ながら製品の標準化及び部品の精度向上と密接に関連しており、その方面からの検討をより推進しなければならない。表4は、各種溶接法の材料別・製品別適用範囲を示したものである⁽³⁾。

3.2.2 溶接技術開発推進

製造部門において溶接技術の開発を推進するには、溶接スタッフが日常業務のかたわら取り組むというのではなく、例えば研究開発グループを設置するなどして専任スタッフを置き、研究テーマ、期限、予算などに関する計画を立ててそれにのっとなって、且つ研究、その他の関連部門とよく連繫をとり、現場のニーズに合致した実のある研究を行なう必要がある。

3.2.3 鋼板化の推進

製品の大形化に伴い現有の鍛鋼製造能力の限界を越えるものが出現し、必然的に溶接構造化に進まざるを得ないものもあるが、最近の鋼板の加工技術の進歩及び非破壊検査技術

表3 設計者溶接技術資格認定基準 あるレベル以上の知識及び経験年数をもつ設計者によって図面チェックを行なうのが望ましい。

等級	知識能力	実施能力
1	(1)溶接材料全般 (2)溶接施工全般 (3)設備能力 (4)検査全般及び事故例 (5)合理化全般及び新技術	各設計グループを代表し、溶接構造物のVIを指導し得る能力を有する者。
2	(1)担当製品全般の (a)溶接材料 (b)溶接施工 (c)検査方法及び事故例 (d)合理化 (2)新技術	担当製品ごとに溶接構造物のVIを指導し、実行し得る能力を有する者。
3	(1)鉄鋼材料の基礎 (2)担当製品の溶接施工法 (3)溶接符号及び規格 (4)寸法公差及び検査の基礎 (5)合理化の基礎	担当製品の溶接構造物のVIを実行し得る能力を有する者。

注：VI= Value Improvement

の向上は目覚ましいものがあり、鋼板溶接構造化した場合、
 鍛鋼品と比較して品質的に全く遜色がなく、重量低減、
 納期短縮、コスト低減という観点から大いに鋼板化を推進す
 る必要がある。但し、いたずらに部品数を増やしたり構造が
 複雑になったりせぬよう注意し、極力溶接を自動化しやすく、
 且つ検査しやすい構造にすることが肝要である。

3.2.4 基礎技術の育成

通常、溶接スタッフとして育成するには少なくとも4~5
 年の年月を要し、更に高度な技術判断を行なうことができる
 までにはそれ以上の年月が必要である。また近年、新しい溶
 接法や材料など溶接技術の進歩は目覚ましいが、これらのす
 べてを消化吸収できる溶接技術者の不足は大きな問題となっ
 ている。これらの対策としては、既存技術資料の整備が必要
 であり、これらを基にした専門教育が必要である。一つは前
 述した溶接設計技術者教育に現場の溶接スタッフも参加させ、
 同じように格付認定しておくことである。他方、溶接技術者
 は理論のみで解決できぬ面が多分にあり、むしろ経験的判断
 が適切である場合が多い。特に複雑な構造物の収縮や変形は、
 理論解析が非常に難しく、従って、現場技術者には現場の現
 状を常に正視させ、自分の体験として身につける心構えを植
 え付けることが必要である。またこれら現場技術者の育成に
 ついては、技術者地図ともいべきものを作成して、各技術
 分野における専任技術者のレベル及び分布状態を常に把握し
 ておき、長期的視野に立った計画的な育成を行なわねばなら
 ない。

3.2.5 基礎技能の育成

製品は結局は作業者が造り出すものであるから、その信頼
 性を増すためには一人一人の技能のレベルアップを図ること

	Ag	Al	Au	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	Pt	Re	Sr	Ta	Ti	V	W	Zr
Ag	C	S	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Al	C			C																			
Au	S	×																					
Be	×	C	×		N																		
Cd	C	×		N		D	D	×	D	S	D	N	D	C	×	N	C	N	×	N	N	D	
Co	D	×	C	×	D		C	C	C	×	C	×	×	S	C	S	S	×	×	×	×	×	×
Cr	C	×	D	×	D	C		×	C	×	C	S	×	C	C	C	S	C	×	S	D	S	
Cu	C	C	S	×	×	C	C		C	×	S	D	D	S	C	S	D	C	D	×	D	D	
Fe	D	×	C	×	D	C	C	C		D	C	C	×	C	C	S	×	×	×	×	S	×	
Mg	×	C	×	×	S	×	×	×	D		D	N	×	×	×	×	N	×	N	D	N	D	D
Mn	C	×	×	×	D	C	C	S	C	×		D	×	C	C	×	N	×	×	×	×	×	×
Mo	D	×	C	×	N	×	S	D	C	D	D		S	×	D	D	×	D	S	S	S	S	
Nb	N	×	N	×	N	×	×	D	×	N	×	S		×	N	×	×	×	D	S	S	D	S
Ni	C	×	S	×	D	S	C	S	C	×	C	×	×	×	C	S	D	×	×	×	×	×	×
Pb	C	C	×	N	C	C	C	C	C	×	C	D	N	C		×	N	C	N	×	N	D	
Pt	S	×	S	×	×	S	C	S	S	×	D	×	S	×	×	C	×	×	×	×	×	×	×
Re	D	N	N	×	N	S	S	D	×	N	N	×	×	D	N	C	×	D	D	×	D	D	
Sn	C	C	×	D	C	×	C	C	×	D	×	×	C	×	×	D	×	×	×	×	×	×	×
Ta	D	×	N	D	N	×	×	D	×	N	×	S	D	×	N	×	D	×	×	S	D	D	
Ti	C	×	×	×	×	S	×	D	×	S	S	×	×	×	×	×	×	×	S	×	S	C	S
V	D	×	D	×	N	×	D	D	S	N	×	S	S	×	N	×	D	×	D	S	×	D	
W	D	×	N	×	N	×	S	D	×	D	D	S	D	×	D	×	×	D	D	C	D	×	
Zr	×	×	×	×	D	×	×	×	×	D	×	×	S	×	×	×	×	×	S	×	×	×	

注： 金属間化合物生成し、望ましくない組合せ
 S 固溶体生成、非常に望ましい組合せ
 C 複雑な組織を形成するが、溶接可能な組合せ
 D データ不足、注意が必要
 N データなし、特別の注意が必要

図4 異種金属材料の溶接の可能性の予測 異種金属の溶接には困難なものが多い。

表4 実用化されている各種溶接法の材料別・適用製品別適用範囲 溶接品質の安定、工数低減
 を図るために自動化を強力に推進する必要がある。

溶接法	適用範囲	母材											板厚 (mm)				溶接姿勢			適用製品						
		鋳鋼	鍛鋼	軟鋼	高張力鋼	ステンレス鋼			低合金鋼	耐熱超合金	高ニッケル合金	銅合金	アルミニウム合金	薄板 6mm以下	中板 6mm~30mm	厚板 30mm~50mm	超厚板 >50mm	下向き	横向き	立て向き	全姿勢	水車	発電機・電動機	タービン		
融接	アーク溶接	被覆アーク溶接																								
		単電極サブマージアーク溶接																								
		双極サブマージアーク溶接																								
		片面サブマージアーク溶接																								
		カットワイヤ、サブマージアーク溶接																								
		炭酸ガスソリッドワイヤ溶接																								
		炭酸ガス複合ワイヤ溶接																								
		炭酸ガスショートアーク溶接																								
	アルゴンアーク溶接																									
	エレクトロ溶接	ワイヤ送給式																								
消耗ノズル式																										
板状電極式																										
接	電子ビーム溶接																									
	プラズマ溶接																									
圧接	爆接圧接																									
	ろう付																									

注： 一般に適用 適用例あるも一般的でない 適用なし

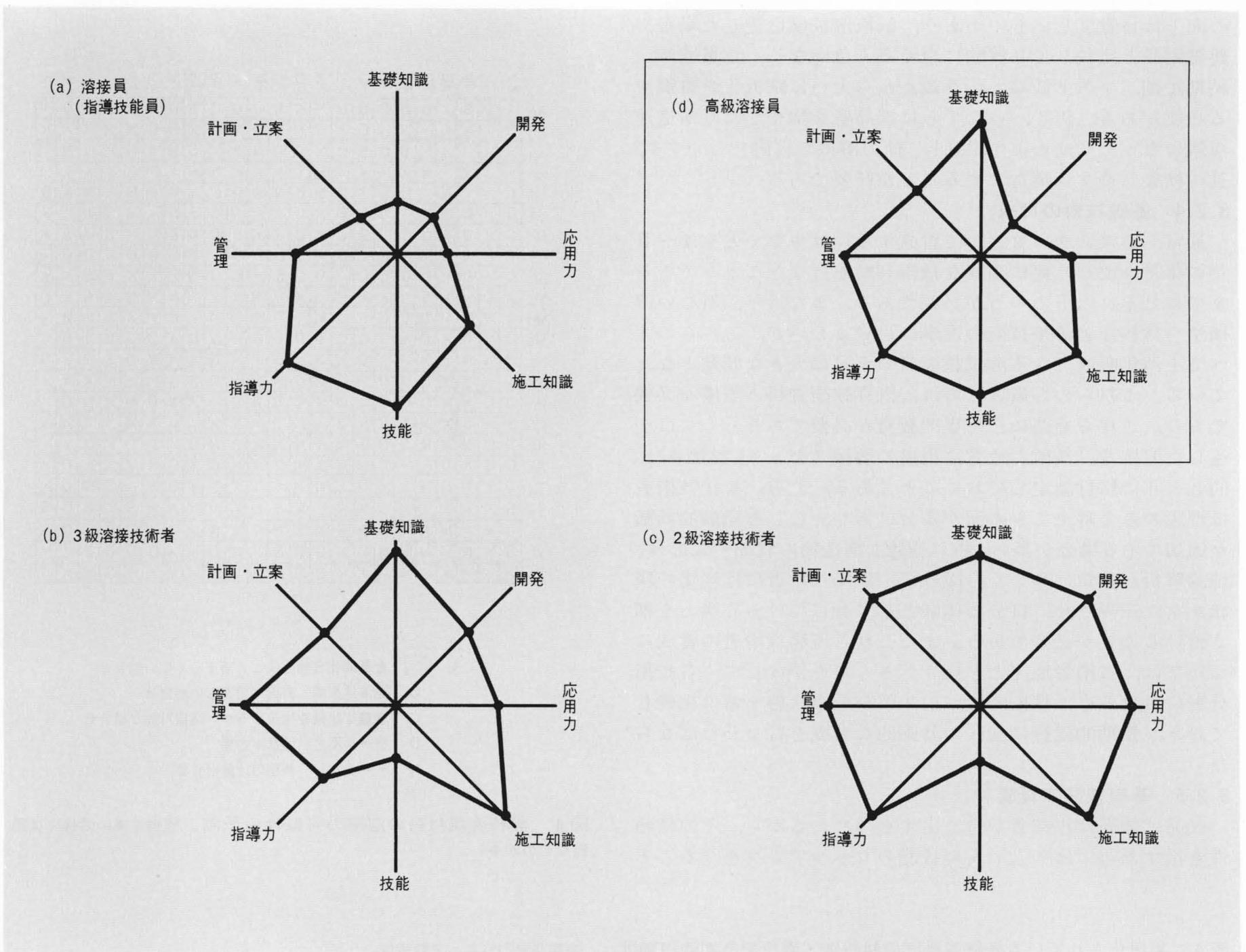


図5 高級溶接員の教育目標 作業者を教育・指導し、更に日常作業の監督をも行ない得るような高級技能者の育成が必要である。

が大切で、そのためには、底辺となる基礎技術力の向上、例えば、(a)図面の理解力、(b)材質記号、(c)材料と予算の関係、(d)開先形状別標準積層法、(e)溶接棒と材料の組合せ及び(f)溶接欠陥と補修溶接などについての教育及びこれらを含めた学科並びに実技試験による格付認定の実施(表3)と、これは最も大切なことであるが、「決められたことを守る」といういわゆるQCマインドの植付け並びに基本となるしつけ教育が必要である。更に作業者を教育・指導し、日常作業の監督をも行ない得るような高級技能者の育成が必要である。図5は、高級溶接員の教育目標(付与する能力)を示したものであるが、このような監督者、又は監督者候補の存在が作業者の教育、あるいは各種の徹底を図るうえでいかに効果的であるかについては既に実証済みである⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

4 結 言

溶接構造物の信頼性向上を図るには、顧客からの要望を採り入れた設計段階から納入までの一貫したQA体制が必要であり、そのための各部門における具体的手法について説明したが、特に(a)技術の総合、すなわち総合的な溶接構造物の設計チェック体制を含めた組織を検討し、技術交流を十分に行なうこと、(b)複雑化する外的条件の十分な把握及び(c)不良防止へのアプローチの方法を「治療」的なものから「予防」的

なものにダイナミックに転換することが重要で、要約すれば、(1) 溶接構造物の重要度を単に溶接部分のみでなく、溶接構造物として広い視野から分類整理し、溶接構造物を扱う設計、現場の全員がその重要性を認識し、絶えず溶接構造物の設計、製作に必要な知識を習得・理解し、製作に当たっては効果的な品質管理を各部署で実施すること。(2) 溶接構造物の受注から完成までの流れを把握し、品質の決定に影響する段階で効果的な組織により十分な検討を事前に加え、製作に従事した全員が取り扱う溶接構造物の品質を保証すること。すなわち、技術開発・品質維持・品質改善が一貫した総合管理、顧客要求の満足→経済レベルで供給、にアプローチする体制作りに取り組むことである。

参考文献

- (1) 妹島「溶接管理の計画と実際」日刊工業新聞社(昭45-12)
- (2) 松田「異種金属溶接の可能な材料」金属, Vol. 44, No. 6
- (3) 妹島「重機械溶接構造物の生産設計と経済性」溶接学会誌 Vol. 40, No. 11
- (4) P. C. Arnold, "Training of Welding Supervisors" A. W. S (Apr. 1965)
- (5) 妹島「溶接監督者の育成」溶接学会誌, Vol. 44, No. 2