参 考 文 献

- 1) 植藤, 山本, 中山, 中杉, 松田, "Super-Fine-Grain Microalloyed Steel Plate", Micro Alloying 75, Session 2B, Line Pipe, p. 67, (1975)
- 2) 佐々木, 赤秀, 坪井, "CO₂ Short Arc Weldability of Rare Earth Treated Pipeline Steels in Circumferential Welds", Trans. JWS, Vol. 7, No. 2, (1976)
- 3) 田中, 北田, 古川, "REM 含有鋼の溶接現象について" 70回溶接冶金委員会資料, No. WM-673-77, (1977)
- 4) 松山, 坪井, "RE, Ca 処理ラインパイプにおけるガスメタルアーク溶接特性" 川鉄技報, Vol. 13, No. 1, p. 130, (1980)
- 5) 迎, 加藤, 西尾, 徳永, "鋼の溶接凝固組織に及ぼす溶接速度ならびに微量添加元素の影響" 溶接学会誌, Vol. 49, No. 12 (1980)
- 6) 牛尾, 松田, "Effect of Oxygen on Stabilization of Arc in 9% Ni-Steel GMA Welding", Trans. JWS, Vol. 77,

No. 1, (1978)

- 7) 岡田, 脇野, 豊岡, 山本, 岡崎, "ステンレス鋼の大電流 MIG 溶接の研究 (第1報), (第2報)", 溶接学会講演概要集, No. 25, (1979), No. 26, (1980)
- 8) 小泉, 山内, 中井, "GMAW における合金元素およびシールドガスの短絡現象への影響" 45回アーク物理委員会資料, No. 76-327, (1976)
- 9) 松田, 牛尾, 辻, 水田, "Arc Characteristics and Metal Transfer for Flux-Cored Electrode in GMA Welding (Report II)", Trans. JWS, Vol. 9, No. 1, (1980)
- 10) 竹内, 洞田, "MAG 溶接の溶接作業性と継手性能に及ぼすシールドガス組成の影響" 大同技報, Vol. 51, No. 1, (1980)
- 11) "シールドガス組成がステンレス鋼溶接金属特性に及ぼす影響に関する研究" 溶接協会昭和53年度共研第3分科会報告
- 12) 山内, 稲葉, 高, "MIG 溶接における融合不良の形成について" 溶接学会講演概要集, No. 26, No. 220, (1980)

我が国におけるナローギャップ溶接の現状*

妹島 五彦**, 五代 友和***, 河原 稔****, 野村 博*****

Development and Application of Narrow Gap Welding Processes in Japan*

by Itsuhiko Sejima**, Tomokazu Godai***, Minoru Kawahara**** and Hirokazu Nomura*****

1. ま え が き

ナローギャップ溶接法 (以下 NGW と略記する) が米国の Battelle 研究所で開発され, Iron Age 誌にその内容の一部が発表されたのは 1963 年 12 月のことである¹⁾。以来, 各国においてこの優れた溶接法に対する関心が高まり, 多くの研究・開発が行なわれてきている²⁻⁶⁾。我が国でも 3.2 mm 径ワイヤと比較的高電流を用いた MIG-NGW をボイラおよびその配管溶接に適用した例が 1966 年に最初に発表され⁴⁾, 以後も引き続き各社で開発あるいは適用が検討されてきたが, 数年前まではごく一部に適用されてきたにすぎなかった。ところが, 1975 年頃より機器の改良, 新しいアイデアに基づく NGW の

ための溶接技法の開発, 溶材の開発などが各社で積極的に進められ, 最近の二, 三年において実用化が著しく進められてきている。

そこで JIWI-12 委員会および本学会溶接法研究委員会が中心となり, さらに 1981 年 1 月, 日本溶接協会 JPV-RC 施工部会, 同建設部会, 同船舶鉄構海洋構造物部会の協力を得て, これら委員会に加盟の主要会社にアンケートを配布し, NGW の開発経緯, 方法の概要, 適用状況, 問題点などについて回答を依頼し調査した。この資料はその調査結果の概要をとりまとめたものである。

2. 調 査 の 対 象

アンケートの回答会社は压力容器・ボイラー, 建築・橋梁, 造船 (海洋構造物を含む), ペンストック, 重電機および大型産業機械の製造会社で, 実用例に回答した工場数は 27 にのぼっている。

NGW の定義についてはいまだオーソライズされたものは見当たらないが, この調査では 1980 年 11 月, JPVRC 施工部会テーマ No. VII 専門委員会において審議決定さ

*原稿受付 昭和 56 年 9 月 1 日

**正 員 (株) 日立製作所生産技術部 Member, Production Engineering Dept., Hitachi LTD.

***正 員 (株) 神戸製鋼所溶接棒事業部 Member, Welding Div., KOBE STEEL LTD.

****正 員 パブコック日立(株) 呉工場 Member, Kure Works BABCOCK HITACHI KK.

*****正 員 日本鋼管(株) 津研究所 Member, TSU Research Labs, NIPPON KOKAN K.K.

れた次の定義を適用している。

「板厚 30 mm 以上の厚板を、板厚に比して小さな間隙で開先を対向させ、機械化又は自動化したアーク溶接をする方法（間隙は板厚 200 mm までは約 20 mm 以下、200 mm を超えるものは約 30 mm 以下とする）」。

なおこの調査では、非鉄金属を除外し、鋼に対する適用のみを対象としている。またエレクトロガス溶接、エレクトロスラグ溶接法によるものも除外している。

3. 溶接方法

現在我が国において開発され、溶接構造物に適用されている溶接法を整理すると、図 1 に示す方式に分類される。基本としている溶接方法はガスシールドメタルアーク溶接、ティグ (TIG) 溶接、サブマージアーク溶接 (以下 SAW) の 3 種である。ガスシールドメタルアーク溶接法は開先壁面へのより完全な溶込みを確保するための手段を中心として技術開発あるいは改良が行なわれ、最も細分化されてきている。TIG 法は高精度の機器の開発を中心に全姿勢溶接を対象に、また SAW 法は狭開先内でスラグの剥離性や破砕性の優れたフラックスの開発を中心に研究が進められてきているが、ともに方法の細分化が為されるに至っていない。図 1 に示した溶接法のうち代表的な方法について概要と特徴を表 1 にまとめて示す。

4. 適用状況

4.1 開発および適用時期

回答で寄せられた情報をもとに、我が国で開発・改良され、かつ実用された溶接法について、その溶接法の開発が最初に論文発表された時期を図 2 の上段部分に示す。図中 A、B……J の各記号は図 1 に示す分類に従った溶接方法をしめしている。また G-1、G-2、H-1、H-2 および I-1、I-2 はそれぞれ同種の NGW 法であるが細かな点で相違のみられるもので、右肩にしめす番号の参考文献に詳細が記されているので参照されたい。

図 1 我が国におけるナローギャップ溶接法の分類

また同図下段部分に、会社（もしくは工場）において適用のための試験・研究が開始された時期および本格的な適用が開始された時期について、それぞれ応用数の累積数で示している。図中溶接法別に示した曲線は適用開始の内訳を示している。

比較的大径ワイヤを用いた MIG 法のボイラーへの適用に続いて、1.2 mm または 1.6 mm 径のソリッドワイヤを用いて、CO₂ 100% もしくは 20~30% CO₂ 添加 Ar ガスを用いた方法を鉄骨工事に適用した例など 10 年以前からの適用例もみられる。しかし多くの適用例が最近の 5 年以内に集中しており、TIG 法および SAW 法については最近の 2、3 年に始まったといえる。

4.2 適用分野と規模

回答の中から未実用の試験段階のものを除き、すでに実用されているものを工場ごと、溶接法ごと、適用分野ごとの組合せで抽出し、51 ケースの応用数を得た。これを適用分野別、溶接法別に整理し、それぞれ図 3 および図 4 に示す。

4.2.1 圧力容器・ボイラー

図 4 から明らかなように、圧力容器・ボイラーへの適用が最も多く、ほぼ半数を占めている。同じ工場におい

図 2 ナローギャップ溶接法の開発と適用開始時期

表1 代表的なナローギャップ溶接法の概要と特徴

溶接方法	A	B	C	D
機構概略
開先間隙(mm)	16	14	11	9
ワイヤ(電極)径(mm)	3.2φ	2.0φ × 2	1.2φ	1.2φ
溶接電流(A)	300(Base)+Ave 150(Peak)	500~550	290~310	280~300
アーク電圧(V)	29	30	28~30	28~32
溶接速度(cpm)	15	28	20~27	22~25
シールドガス	Ar + 10% CO ₂	Ar + 20% CO ₂	Ar + 20% CO ₂	Ar + 20% CO ₂
溶接電源	DC. RP (パルス)	DC. RP	DC. RP (パルス)	DC. RP (パルス)
適用最大板厚(mm)	130	400	127	250
特徴	太径ワイヤとパルス電流採用によりアークを拡げ壁面を融合させる	2本のより合せ(ツイスト)ワイヤによりアークを回転させる。	ワイヤに一定曲率の曲げぐせを与え、捻転させてアークをオシレートさせる。	開先幅の方向へ連続的に波状の曲げぐせを与え、アークをオシレートさせる。
溶接方法	E	F	I	J
機構概略
開先間隙(mm)	11	13		12~14
電極(ワイヤ)径(mm)	1.2φ	1.6φ	1.2~1.6φ (3.2)	3.2~4.0
溶接電流(A)	270~300	320~380	220~300	450~650
アーク電圧(V)	28~32	32~38	12~13	27~35
溶接速度(cpm)	20~25	25~35	6~10	25~35
シールドガス	Ar + 20% CO ₂	CO ₂	100% Ar	溶融型・焼結型
溶接電源	DC. RP (パルス)	DC. RP	DC. SP	AC
適用最大板厚(mm)	327	80	350	200
特徴	ワイヤにスパイラル状の曲げぐせを与え、アークを回転させる。	トーチをオシレートさせる。	特殊なトーチとシールドノズルによりストレートビードで行なうティグ法	剝離性、破砕性の良いフラックスを使用するSAW法

て压力容器とボイラーの両方に適用している4工場があるが、他はすべて压力容器のみに適用しており、压力容器

器への適用が極めて多いといえる。

すべての回答工場において、压力容器の主要継手すな

図 3 適用状況の溶接法別内訳

図 4 適用状況の産業分野別内訳

わち胴部の縦および円周継手に対し既に適用されている。このほか鏡部の突合せ継手やマンホールリングのはめ込み溶接継手に至るまで適用を拡張している工場もみられる。また18台 (22溶接ヘッド) の MIG-NGW 装置

表 2 ナローギャップ溶接用溶材の開発状況の 1 例

鋼 種	溶 接 法	M I G	
		細径ワイヤ	ツイストワイヤ
A S T M	A516 Gr55, 60, 70	○	○
	A533 GrB cl.1	○	○
	A299	○	○
	A336 F11, 22	○	○
	A302B	○	○
	A203E	×	○
	A387 Gr11	○	○
J I S	A387 Gr22 Cl.2	○	○
	A508 Cl.4	×	○
	A514E	×	○
	SM41~50	○	○
W SUS	SM58Q	○	○
	SCMV-3	○	○
	SQV2A	○	○
	SPV-36N	○	○
W SUS	SUS304	×	×
	HW-45	○	○
W SUS	HW-70	×	×

○：開発済み (但し、長時間PWHFもしくはステップクーリング処理後の仕様を満足しない場合がある)

×：未開発 (1981年1月現在)

を保有し、セットイン型ノズルの胴部への溶接などに至るまで、SAW 法を完全に駆逐して全面採用に切替えている工場もある。

適用最小板厚については、20~30 mm としている工場が二、三みられるが、ほとんどの工場は 50 mm 附近にしている。適用最大板厚に関しては、150 mm 位までの実績を有する工場が多いが、3 工場において 250 mm 以上の実績が報告されており、既にこの程度の板厚までは技術的に確立されたものと判断できる。なお回答から実際に溶接されている多くは 100 mm 前後と読みとれる。

材質に関しては、圧力容器に使用されているほとんどのものが既に溶接されている。表 2 はある溶接材料メーカーから寄せられた NGW 用溶材の開発状況をしめすものであるが、この表において開発済の鋼種は工場側からも適用実績として回答されてきているものである。

この工業分野では溶接法としては図 5 (a) にみられるように MIG 法が多く、残りは SAW 法で、CO₂ 法はみられない。

工場における溶接機保有台数では、前述したように 18 セットを保有している全面採用の工場もみられるが、約 1/3 の工場が 5~8 台を既に装備しており、約 2/3 の工場は複数台を保有していて、1 台のみのところは 3 工場にすぎなかった。また、MIG-NGW の稼働率を上げるため、2 直制を採用している 4 工場がみられた。

4.2.2 建築

この分野では比較的古くから採用されており、適用溶接法も多様である。適用対象は高層ビルの鉄骨工事で、

図 5 産業分野別適用状況の溶接法別内訳

BOX 型断面の柱を組立溶接する際の角溶接(工場内下向姿勢)とこの柱の現地における突合せ溶接(横向)が主である。また仕口(柱と梁のT継手)溶接に適用している2応用例が報告されている。適用鋼種はこの業界で一般的な SM 41~SM 50 が多く、SM 58 Q への適用が二、三みられた。適用板厚は 30~80 mm でこれ以上の板厚の実用例はみられていない。溶接法では仕口溶接には CO₂ 法が、BOX 柱の角溶接と横向突合せ溶接には MIG 法と CO₂ 法とがそれぞれ同程度採用されている。最近、柱の角溶接に SAW 法を適用した1例がある。この分野での回答工場では、いずれも NGW 用の装置を 10~20 台保有している。

4.2.3 大形産業機械

適用例として10の回答が寄せられているが、実用開始は1例を除いて比較的新しく、3年以内である。この分野では製品の種類が多様で、適用状況はまちまちであるが、大形のコンプレッサー、送風機、発電機、揚重装置等で使用されている厚肉中空シャフトの縦および円周継手への適用が多い。同様の円筒状構造物として、セメントキルンの胴およびヘビーセクションの縦および円周継手への適用が報告されている。ほかに大形プレスケット材や厚肉フレームへの適用もみられる。また水力および火力発電機器や製鉄機械へ広く適用している、との回答もみられたが適用の詳細は不明であった。

材質はほとんどが 40~50 kg/mm² クラスの炭素鋼であるが、適用板厚はいずれも厚く、100~200 mm が多い。最大板厚はプレスケットで 325 mm、発電機器で 250 mm が回答されている。溶接姿勢はすべて下向で、SAW 法を採用している1工場を除くほかはすべて MIG 法を採用している。溶接機保有台数は1~8台で、2直制をとっている1工場がみられた。

4.2.4 海洋構造物・造船

この分野では5適用例(5工場)の回答があった。このうち4例はいずれもジャッキアップ型リグの脚柱に

つくラック材の突合せ溶接である。材質は ASTM, A 514 E 材もしくは調質 80 kg/mm² 高張力鋼改良材で、板厚はいずれの場合も 127 mm (5 インチ) である。溶接法は下向 MIG 法である。3本のラック材を並行にならべて、それぞれ治具で固定し、同時に溶接するユニークな工法を採用している例¹³⁾があるので、図6に紹介しておく。

他の応用例の1つは耐力 90 kg/mm² 級の高靱性高張力鋼を用いた深海潜水艇の球殻溶接への適用で、板厚 30~40 mm を TIG 法で施工している。

4.2.5 ペンストック

この分野では4つの応用が寄せられているにすぎないが、いくつかの会社で開発研究が活発に行なわれてきているので²⁴⁻²⁶⁾、今後応用は増加するものと思われる。

2つの応用はペンストック本体の現地円周溶接(全姿勢)への適用で、MIG 法と TIG 法はそれぞれ1例がある。材質は SM 50~HT 80 で適用板厚は 25~70 mm となっている。他の2つの応用は球分岐部補剛環の工場内突合せ溶接で、いずれも下向 MIG 法で、板厚は 50~400 mm と広範囲である。

4.3 限界板厚

一般の突合せ溶接では開先断面積は通常板厚の自乗に比例する。一方、NGW ではほぼ板厚に比例するので、NGW が有利となる限界の板厚が存在する。限界板厚に関するアンケートの回答結果を図7に示すが、広い範囲にばらついている。溶接法別にとくに偏りが認められず、全く同じ溶接方法(同じ装置、開先、溶接パラメーター)でも、工場によりばらつきが認められている。これは評価に際して単に所要アークタイムのみで評価している場合、開先加工費、溶材費、取付時間、予・後熱の軽減効果なども考慮している場合など、評価方法がばらついているためと思われる。また実績が不十分のため、

図6 ジャッキアップ型リグ用ラック材の溶接施工例

図7 ナローギャップ溶接法が有利となる限界板厚

上記の諸項目を定量的に十分把握していない回答も見受けられている。

工業分野別にみると压力容器と産業機械では 20~30 mm と回答しているケースが 8 例, 70~80 mm および 100 mm としているケースがそれぞれ 1 例あるほかはすべて 40~50 mm としている。これに対して建築では 10 例中 9 例が 20~45 mm としており, 50 mm を超えているのは 1 例にすぎない。これは姿勢溶接 (横向) を含むためと, 角溶接という継手の特殊性によるものであろう。

4.4 長所と短所

アンケートでは 17 種の特性項目を掲げ, 回答者によって長所および短所となる項目をそれぞれ重要な順に抽出してもらっている。各工場の回答から重要な順 3 つを対象に集計し, MIG 法について図 8 に, SAW 法について図 9 にとりまとめた。また表 3 には分野別に主な長所と短所を掲げた。

MIG-NGW の長所としては, 溶接時間の短縮, 溶材

図 8 ナローギャップ溶接法の長所と短所 (ガスシールドメタルアーク溶接)

図 9 ナローギャップ溶接法の長所と短所 (サブマージアーク溶接)

表 3 ナローギャップ溶接法の主な長所と短所

	压力容器 ボイラー	産業機械	鉄骨・橋梁	水圧鉄管	船舶・海洋構造物	全部門総合
得点	1	2	3	4	5	6
1	溶接時間	溶接時間	溶接時間	溶接時間	溶接時間	溶接時間
2	継手のじん性	溶材費	溶接変形	予熱温度低減	予熱温度低減	溶材費
3	溶材費	継手のじん性	高品質化	溶材費	溶材費	継手のじん性
欠点	1	補修困難	補修困難	溶接不良	補修困難	補修困難
2	組立時間	組立時間	電極の扱い	開先加工費	組立時間	組立時間

費の低減, 継手じん性の改善 (従来型 SAW 法から切替えた工場に多い) の指摘が多く, スラグ除去時間の減少, 品質の安定, 溶接変形の減少, 予熱温度の低減効果が次いでいる。一方短所として補修溶接の困難, 組立時間の増加, 高技能の要求, アーク光・ヒュームの発生, 電極ねらい位置調整などが指摘されている。

SAW 法については回答数が少ないが, 長所, 短所とも MIG 法とほぼ同様な指摘がなされている。

両溶接法とも開先加工に関しては, 長所と短所の双方にはほぼ同数の指摘がみられている。回答によれば, NGW 採用に際し, 裏当金を使用し開先を従来に比し単純化した工場と, 逆に複雑な形状を採用して機械加工とした工場に分かれたためと思われる。

5. 今後改善すべき問題点

現状の NGW 法に対する評価のあらましは前節のとおりであるが, 今後改善すべき問題点についてのアンケートでは自由記入形式で回答を収集している。図 10 にその回答結果を示す。MIG 法では溶接線の自動ならい, 通電チップの耐久性, スパッタの減少, より進んだ自動化システム, 装置の小形軽量化の順で, SAW 法では溶接線自動ならいのほかスラグ剝離性の一層の改善が要望されている。

一方アンケート回答の中で, 既に溶接線自動ならいを採用している実例が 12 工場から寄せられている。その結果を表 4 にまとめて示すが, 接触式は 2 種類が 5 工場

図 10 今後改善すべき問題点

表4 ナローギャップ溶接法で実用化されている自動ならいシステム

制御方式	方向	適用工場数						
		1	2	3	4	5	6	7
接触式	上下	a	a	a	a	b		
	左右	a	a	a	a	b		
非接触式	上下	g	g	f	d	g	e	e
	左右	c	g	f	d	—	e	e

方法 a: 電気接点内蔵機械的接触センサー
 b: 開先面直接加圧(空圧)
 c: 流体圧力センサー(フルイディクス)
 d: 磁気センサー
 e: テレビ画像処理システム
 f: 静電容量センサー
 g: アーク特性利用システム

で、非接触式は5種類が7工場で実用されている。

6. ま と め

アンケートの結果、実際の構造物に適用されている NGW の応用例51種が27工場より寄せられた。応用の最も多いのは压力容器・ボイラーの業種で、大形産業機械と建築がこれに次いでおり、パンストック、海洋構造物・造船でも使用されてきている。溶接法としてはアークをオシレートする型式の MIG 法が多く、SAW 法および TIG 法は増加する傾向にある。長所として溶接時間の短縮、溶材費の節減、継手じん性の向上などが評価されており、短所として補修溶接の困難、組立時間の増加、オペレーターに要求される技能などが指摘されている。また今後改善すべき問題点として、溶接線自動ならいの採用、通電チップの耐久性向上、スパッタ発生とスラグ剥離性に関する改善などが要望されている。

終りに、この調査に対し御協力を載いた JIW-12 委、溶接法研究委、溶接協会 JPVR 施工部会、同建設部会、船舶鉄構海洋構造物部会の委員の方々に、ならびに回答書を作成して下さった工場の実務者の方々に、またアンケートの原案作成と取まとめに際し御指導載いた名古屋大学益本教授ならびに大阪大学西口教授、および IIW XII 名古屋中間会議準備委の委員の方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) All Position Method Welds Thick Plate, The Iron

- Age, Dec. 12, 1963.
- 2) R.P. Meister & D.C. Martin; Narrow-gap Welding Process, Br. W.J. May, 1966.
- 3) C.A. Butler et al.; Narrow-Gap Welding—A Process for All Positions, W.J. Feb., 1969
- 4) 中島, 石川, 浦山; 厚肉鋼板の狭開先自動ミグ溶接, 溶接技術, 1966年9月号.
- 5) J.E. Jackson & H.B. Sargent; Straight-Polarity Groove Welding of Thick Steel Plate, W.J. Nov., 1967
- 6) I.N. Vornovitskii & A.Z. Kontorovskii; MIG Arc Welding in a Narrow Groove, Svar. Proiz. 1967, No. 2.
- 7) H. Nakayama et al.; A Study of Narrow Gap One Side Arc Welding Process for On-Site Welding of T Joints (NOW-T Process) in Steel Building, IIW Doc. XII-561-73
- 8) 有川; 建築現場溶接用自動溶接装置について, 溶接技術, 1971年9月号.
- 9) 森垣ほか; 横向 PAW 溶接法 (I 開先溶接) について, 第47回溶接法研究委資料 SW-637-73.
- 10) 山本, 氏家ほか; MPCW 式狭開先溶接法に関する研究, 三菱重工技報 Vol. 10, No. 6, 1973-11.
- 11) 伊藤ほか; 揺動アークによる狭開先溶接法 (第一報) 溶接学会講演概要146, 昭和50年春.
- 12) 乾, 飯銅; 狭開先溶接機の試作, 溶接学会講演概要 148, 昭和 50 年春.
- 13) S. Minehisa et al.; A Study on Narrow Gap MIG Welding, International Conf. on Weld Research in the 1980's Oct. 1980, Osaka, Japan.
- 14) 叶野ほか; ウィーピング同期アーク制御の向下狭開先溶接への適用 第56回溶接法研委資料 SW-799-75
- 15) 大庭ほか; 湯水発電所水圧鉄管の掘付新工法「カプセル工法」の開発, 川崎重工技報 1976年4月
- 16) 叶野ほか; Twist Wire によるガスシールドアーク溶接の研究, 昭和51年秋期溶接学会講演概要 435
- 17) S. Kimura et al.; Twist Arc Welding Process, IIW Doc. XII-B-258-79.
- 18) 高尾, 浅野, 田桑; 狭開先 MIG 溶接法の開発—狭開先溶接法の実用化第一報—昭和53年秋期溶接学会講演概要310
- 19) S. Sawada et al.; Development and Application of Narrow Groove MIG Welding, IIW Doc. XII-B-244-78
- 20) 吉永, 松浦, 坂井; HT-80 鋼を用いた水圧鉄管現場 円周継手の自動溶接工法 (AAW-ST法) による溶接について (第一報) 昭和54年春期溶接学会講演概要210
- 21) 多喜野ほか; 厚鋼板の狭開先サブマージアーク溶接法について, 第79回溶接法研委資料 SW-1221-80
- 22) 徳久, 平井ほか; 狭開先サブマージアーク溶接法—NSA法—第79回溶接法研委資料 SW-1222-80
- 23) 奥田ほか; 狭開先サブマージアーク溶接法とその適用について, 第81回溶接法研委資料 SW-1253-81
- 24) 坂井, 下山ほか; 水圧鉄管の現地管路における自動溶接工法, 三菱重工技報 Vol. 16, No. 3 1979年5月
- 25) 児玉, 峰久ほか; 水圧鉄管の現地自動溶接施工法, 日立造船技報, 第40巻1号 昭和54年3月
- 26) 神戸製鋼所; 全姿勢 TIG 溶接の高能率化とその応用神戸製鋼所技術資料