

2. 第2課題：鉛直固定管に応用可能な板の炭酸ガス半自動横向き溶接

(1) 高度熟練技能者

事前ヒアリング調査結果

(a) 管の横向き姿勢溶接

(イ) 図面を見たときの作業イメージ

(i) 事前に考えること

図面を見たとき、材質に見合った溶接ワイヤとして何を選定すべきか、どのくらいの長さ、開先を自分の見やすい位置に持ってくるような姿勢を保つことができるかを考える。

層数パス数はおおよその見当をつけるが、やりながら作業の状況に応じて決定している。

(ii) 作業のポイント

作業のポイントは、概ね(イ)で指摘したとおりである。このほか、図面でどのくらいのギャップを設定することが指示されているのか、ルートフェースがどのくらいの厚みで示されているのかにも注意を払い、これらを考慮して裏波溶接を行う。

(iii) 層数パス数の決め方

どのくらいの層数パス数で溶接を行うかは、開先の角度により決まる。開先角度が60°ならば、11 mm 管の場合、3層5～6パス（1層目1パス、2層目2パス、3層目2～3パス）になるかもしれない。

ただし、運棒方法次第では、もう少し層数パス数を多く設定し、細かいビードを盛らなければならない場合があるし、反対に層数パス数の設定をもう少し少なくし、厚いビードを盛ることができる場合がある。

どの程度の溶接品質が求められているのかによっても、層数パス数は異なる。すなわち、検査がX線検査なのか、UT検査（超音波探傷検査）なのか、PT検査（浸透探傷試験）なのか、外観検査なのかにより、それぞれの検査で求められる品質が異なるため、層数パス数が変わってくる。なお、求められる品質が高いからといって、層数パス数が多くなるというわけではない。

後戻り作業をなくし、溶接作業を効率的に進めるためには、1パス溶接するごとに、どのくらいの層数パス数で仕上げるかを考える。

さらに、電流電圧の強さも各パスのビードの厚さに影響する。電流が強いとビードが厚くなるため、層数パス数は少なくなる。

(ロ) 作業で気をつけるべきポイント

(i) 電流・電圧値

11 mm 管の場合、電流値は100～110 A、電圧18～20 V 位で設定する。

炭酸ガス半自動溶接の場合、あまり電流値、電圧値は変えない。微調整は、母材ノズル間距離を調整することで行う。

(ii) 身体の姿勢

身体の姿勢では、自分の作業が行いやすい姿勢をとることが重要である。

どの溶接にも当てはまるが、最初に自分がやりやすい姿勢をとると、後半続かない。スタート時は窮屈な姿勢をとり、後半ちょっと楽な姿勢、最後に一番安定した姿勢へと姿勢を変化させていくと、溶接線を比較的長くとることができる。横向き姿勢溶接では、移動しながら溶接しなければならないため、最初に楽な姿勢をとると、そのあと非常に窮屈な姿勢になってしまう。なお、自分でどれだけ長く適正な姿勢をとれるかについては、既に身体で覚えている。

正しい姿勢を維持するため、身体ごと動かしながら移動する。この理由として、身体を固定して腕だけでトーチを動かすと、トーチ角度が小さくなるため、ガスシールド効果が悪くなり、ブローホールが発生しやすいこと、スタートとクレーターのビード形状を同じにするためには、身体ごと動かした方が効果的であること、が挙げられる。ただし、長さ200 mm の管を3分の1だけ溶接するだけであれば、身体は動かさないだろう。

なるべくアークを切らずに、つなぎ目を少なくするために、できるだけ長く同じ身体の姿勢を保持した方がいい。ただし、つなぎ目を少なくする方がいいかどうかは、求められる品質により異なる。例えば、X線検査などでは、つなぎ目が多くなるとポテンシャルが高くなるが、超音波探傷検査では、つなぎ目を多くする方がポテンシャルは低くなる。

(iii) 視線のおき方

溶接部分は、斜め横から見るようにする。前進法溶接では進行方向から見る。後退法溶接では少し上の方から見る。

目で観察すべき項目は、溶融池の状態、母材ノズル間距離の確認、ビード形状の3つである。

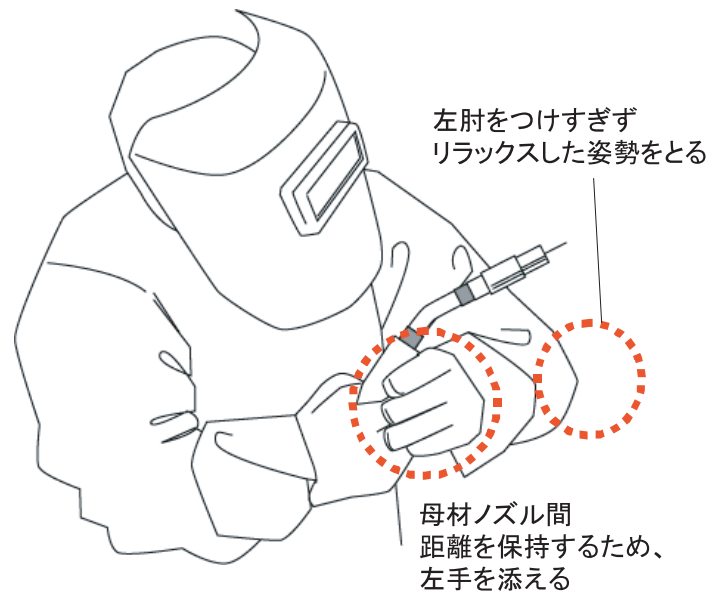


図 6 - 92 高度熟練技能者が考える理想的なトーチの構え方

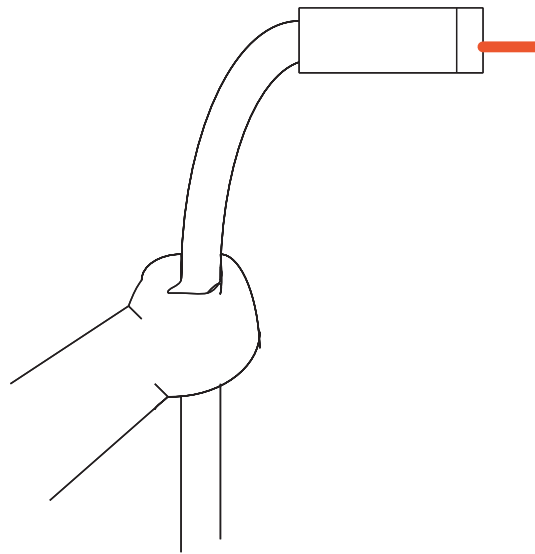


図 6 - 93 高度熟練技能者が考えるトーチの握り方

(iv) トーチの持ち方

片手だけでトーチを持って作業をするとき、両手でトーチを持って作業をするときとあるが、片手だけでトーチを持って作業をすると、母材ノズル間距離が変動し、ガスシールド効果やその他溶接品質に悪影響をもたらすことがあるので、両手で固定するようにトーチを持つことが多い。この場合、腕を身体にくっつけると力が入りやすくなるため、なるべくリラックスした姿勢を保つようにしている（図6 - 92）。

また下向き姿勢溶接とは異なり、大きなトーチ角度をとりやすいため、通常のグリップの握り方をする（図6 - 93）。

(v) トーチの角度

シールドガスの範囲内にトーチを入れなければならないため、トーチの角度はできるだけ進行方向に対して75°位の角度を維持できるような姿勢を保つ。理想は90°であるが、そのトーチ角度では身体を動かすことが不可能である。75°よりもさらに傾けるとガスシールド効果が悪くなり、ブローホールなどができやすくなる。

(vi) 運棒操作方法

1層目溶接では、裏波を出すことを重視した運棒を行う。運棒方法はそのときの電流・電圧により変えるが、理想をいえばストレートの運棒になる。

2層目溶接の運棒方法は、1層目溶接のビードの幅により異なるが、ウィーピングを多めにかけ、できるだけ肉を厚くする。下の方は早め、上の方はゆっくりという運棒をする。

2パス溶接では、1パス目より2パス目の方をゆっくりと慎重に行う。これは上の方が融合不良を起こしやすいためである（図6 - 94）。

1パス目の溶接では、丸く盛ると、2パス目を重ねたとき、重なった部分の上に載せる層で融合不良等が発生する。そこで棚を作るようなイメージで平らに盛ると、次のパスが載りやすくなる（図6 - 95）。これを実現するためには、ちょっと戻し加減の運棒をする（図6 - 96）。その際電流、電圧値をあまり強くしないことがポイントである。

3層目溶接は、2層目溶接のビードの盛り方によるが、まわしながら波形を作る感じで運棒する（図6 - 97）。また、心線の先端の形状を見ながらピッチ間隔が等しくなるように運棒する。

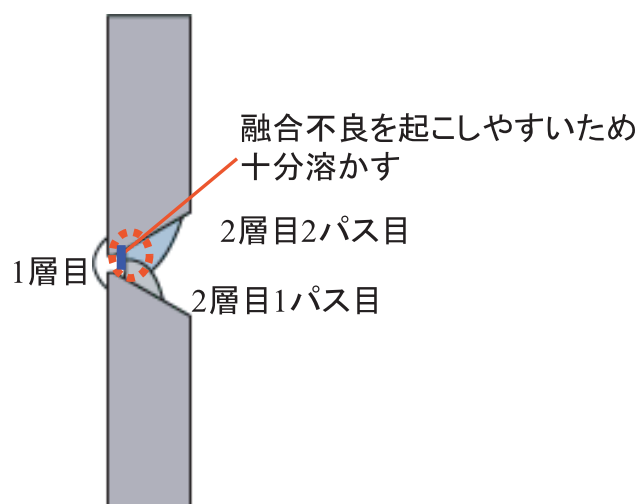


図 6 - 94 2 パス溶接における留意事項

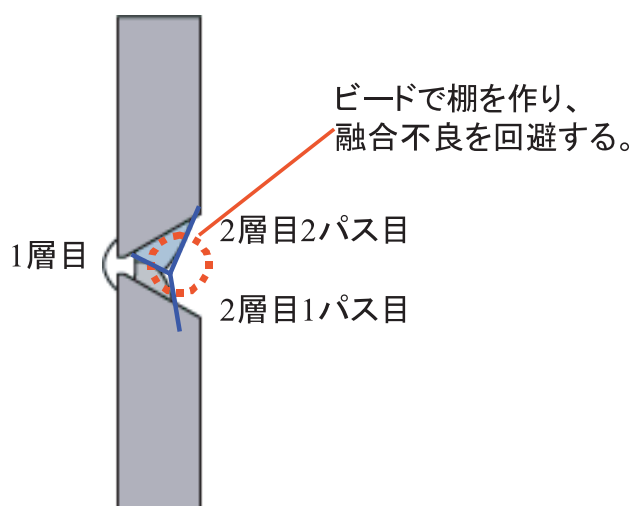


図 6 - 95 棚を作るビード

通常の運棒



高度熟練技能者の運棒

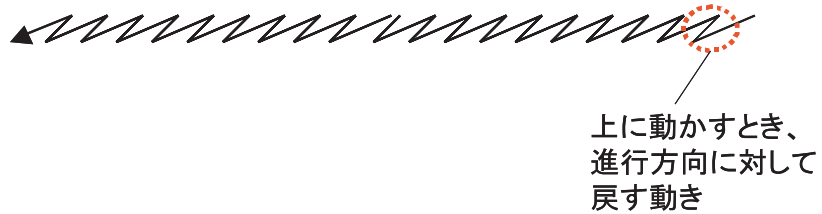
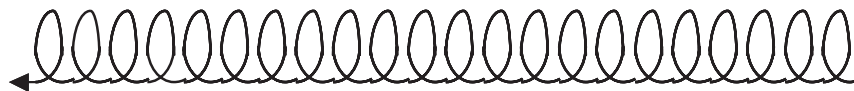


図6 - 96 高度熟練技能者が考える棚を作るための運棒

3層目の運棒操作



出来上がりのビードイメージ



図6 - 97 横向き姿勢溶接における3層目の運棒操作

(vii) 溶融池の状況

溶融池の薄いところに心線を当てることで裏波を出す。裏波が出ないからといって速度を遅くする人が多いが、それは必ずしも正しいとは限らない。速度を遅くすると、かえって溶融池が厚くなる。裏波が出ないときは、逆に速度を速くする。

溶融池がちょっとぶれる状態が、適正な裏波が出ている状態と判断している。

(viii) 前進法溶接と後退法溶接の選択

個人的には前進法溶接よりも後退法溶接の方が、ビードを厚く盛りやすいので、やりやすい。

1 層目溶接では前進法溶接を選択する。2 層目溶接では1 層目のビードの状態や開先の残り具合を見て後退法溶接を選択する。3 層目溶接では前層のビードの状態や開先の残り具合を見て後退法溶接を選択する。

通常は中間層の場合、前進法溶接と後退法溶接を交互に用いる。この理由としては、できるだけアークを切らないようにすること、前層のビードの状況を確認しやすいことなどが挙げられる。

(ix) 母材ノズル間距離

シールドガスが逃げないようにするため、母材ノズル間距離を一定に保つようにする。

炭酸ガス半自動溶接の場合、母材ノズル間距離は少し長め（25 mm くらい）にとることを意識している。通常は20 mm 程度が適切な母材ノズル間距離とされている。

(ハ) その他の留意事項

その他、下記の点に留意して作業を行う。

- ガスの残圧を見る。
- アークを安定させるために、アース線は間違いなく取り付けられているかも見る。
- 開先のスラグは完全に除去してあるかをチェックする。
- 半自動アーク溶接機のコンジットのライナーは銅めっきされているため、その「す」が中に固まっているときがある。このため、板厚が薄い放射線透過試験（RT、X 線検査）をするときは、この「す」を取り除き、心線をスムーズに送る。
- ノズルとコンタクトチップのところから2箇所からガスが出るが、かえって乱流を起こしブローホールを起こしやすくなるので、それを防ぐ。

(b) 板の横向き姿勢溶接

(イ) 図面を見たときの作業イメージ

(i) 事前に考えること

図面を見たとき、材質に見合った溶接ワイヤとして何を選定すべきか、開先角度とルートの厚みはどのくらいか、開先を目の高さにもっていくことを考える。

(ii) 層数パス数の決定方法

層数パス数は開先の角度により決定する。

前進法溶接なら、9 mm 板が3層6パス、12 mm 板が4層8～9パス、19 mm 板が5層12パスになるかもしれない。

後退法溶接では、9 mm 板は変わらないが、12 mm 板及び19 mm 板ではビードが厚くなるのでパス数は少なくなると思う。

(ロ) 初層の溶接のポイント及びその確認方法

1層目では、裏波を出しながら溶接することがポイントである。

裏波の状態は、溶融池の形状、ぶれ具合及び音（針でふすまを指した音）により、裏波の状況を判断している。

1層目溶接での前進法溶接、後退法溶接の選択は、ギャップ、ルートフェースの厚み、開先角度で判断する。個人的には、裏波を出しやすい後退法溶接で作業することが多い。ギャップが狭くなると、前進法溶接を選択して、溶接スピードを出すことを考える。

(ハ) 中間層の溶接のポイント及びその確認方法

2層目溶接では、できるだけ平らにビードを盛ることがポイントである。横向きの場合、下側の方が溶融金属が垂れやすいので、できるだけ上の方に持つていくことが必要である。このため、棚を作るビードの盛り方が必要である。

心線の狙い位置は、前層ビードの境界とかビードと母材の境界部分である。これらは溶けているようで溶けていないことがあるので、これらの境界部分をなぞるような運棒が必要である。

運棒方法は、(a)の管の横向き姿勢溶接と同じである。

(二) 最終直前層の溶接ポイントとその確認方法

最終直前層では、最終層のビードの高さを予想して、どこまで盛っていくのかに注意する。

目安としては、上側が1 mm 以上、下側が2 ～ 3 mm 開先を残すように盛る（図 6 - 98）。

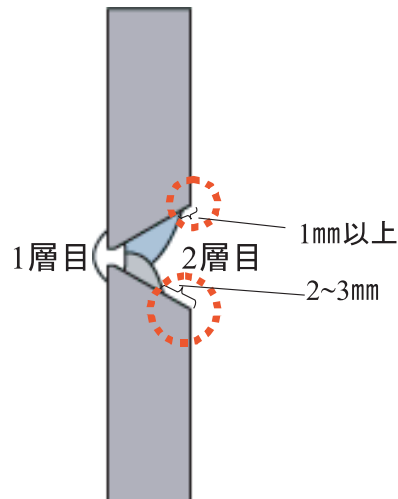


図 6 - 98 高度熟練技能者が考える最終直前層でのビードの盛り方

(ホ) 最終層の溶接ポイントとその確認方法

最終層の運棒は管の運棒と同じである。波形ビードを目指す。

心線はビードの境界を狙う。その際ビードを重ねすぎないように配慮する。

余盛りの高さは、最終層直前で開先がどのくらい残るかにより決まる。(二)の大きさであれば、2 mm 位の高さになる。

(ヘ) 前進法溶接と後退法溶接の作業ポイントの相違

後退法溶接ではビードが厚くなるため、最終直前層での開先残し具合を多めにする。

(ト) 板厚の相違による作業ポイントの違い

運棒方法は各板厚同じである。

9 mm 板と12 mm 板では層数が同じため、ポイントの差はない。

19 mm 板では中間層溶接の電流値を少し上げて作業する。

(c) **管の横向き姿勢溶接のポイント**

管の横向き姿勢溶接では、身体を動かさなければならぬため、板の横向き姿勢溶接の技能を確立しておかなければならない。すなわち速くできるようにすることと、自分に合った溶接方法を早く見つけることが必要である。

実作業

(a) 撮影記録

高度熟練技能者の横向き姿勢溶接作業は、表 6 - 99の手順で行われた。いずれも電流値及び電圧値は計器上120 A 前後、20 V 前後で設定されたが、アークの調整により微調整された。

作業の順番は、撮影を効率的に行うという観点から、なるべく撮影セットの変更を最小限にするような順番とした。具体的には、9 mm 板の前進法溶接を作業した後は、同板厚の後退法溶接ではなく、12 mm 板の前進法溶接を作業するというように、前進法溶接、後退法溶接、それぞれまとめて作業することで、カメラの移動を最小限とした。

なお、1 層目溶接については、下向き姿勢溶接など他の姿勢の溶接とポイントが共通することから、撮影を効率的に行うため、9 mm 板溶接のみ実施した。

表 6 - 99 高度熟練技能者の横向き姿勢溶接における撮影用の溶接作業手順

(1) 2003年 8 月11日

	作 業 内 容	開始時刻	終了時刻	所要時間
1	9 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 1 層目溶接	15:16:04	15:17:04	0:01:00
2	9 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 2 層目 1 パス目溶接	15:20:45	15:21:13	0:00:28
3	9 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 2 層目 2 パス目溶接	15:22:49	15:23:25	0:00:36
4	9 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 1 パス目溶接	15:30:05	15:30:43	0:00:38
5	9 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 2 パス目溶接	15:32:28	15:32:59	0:00:31
6	12 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 2 層目 1 パス目溶接	15:37:27	15:38:07	0:00:40
7	12 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 2 層目 2 パス目溶接	15:39:51	15:40:26	0:00:35
8	12 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 1 パス目溶接	15:57:10	15:58:00	0:00:50
9	12 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 2 パス目溶接	15:59:42	16:00:19	0:00:37
10	12 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 1 パス目溶接 (3 パス仕上げ)	16:05:34	16:06:53	0:01:19
11	12 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 2 パス目溶接 (3 パス仕上げ)	16:09:10	16:10:20	0:01:10

	作 業 内 容	開始時刻	終了時刻	所要時間
12	12 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 3 パス目溶接 (3 パス仕上げ)	16:12:18	16:12:27	0:00:09
13	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 2 層目 1 パス目溶接	16:21:17	16:22:12	0:00:55
14	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 2 層目 2 パス目溶接	16:23:22	16:24:26	0:01:04
15	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 1 パス目溶接	16:27:55	16:28:31	0:00:36
16	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 3 層目 2 パス目溶接	16:30:12	16:30:44	0:00:32
17	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 4 層目 1 パス目溶接	16:40:12	16:41:17	0:01:05
18	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 4 層目 2 パス目溶接	16:42:44	16:43:44	0:01:00
19	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 4 層目 3 パス目溶接	16:45:51	16:47:26	0:01:35
20	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 5 層目 1 パス目溶接	16:49:29	16:50:28	0:00:59
21	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 5 層目 2 パス目溶接	16:52:44	16:53:24	0:00:40
22	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 5 層目 3 パス目溶接	16:55:25	16:55:52	0:00:27
23	19 mm 板の横向き姿勢溶接 前進法 5 層目 4 パス目溶接	16:57:33	16:57:50	0:00:17

(2) 2003年 8 月12日

	作 業 内 容	開始時刻	終了時刻	所要時間
24	9 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 1 層目溶接	9:33:29	9:34:34	0:01:05
25	9 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 1 パス目溶接	9:36:39	9:37:06	0:00:27
26	9 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 2 パス目溶接	9:38:39	9:39:12	0:00:33
27	9 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 1 パス目溶接 (長時間溶接)	9:41:59	9:42:28	0:00:29
28	9 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 2 パス目溶接 (長時間溶接)	9:44:01	9:45:03	0:01:02
29	9 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 1 パス目溶接 (2 層目長時間溶接)	9:47:07	9:47:50	0:00:43

	作 業 内 容	開始時刻	終了時刻	所要時間
30	9 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 2 パス目溶接 (2 層目長時間溶接)	9:49:23	9:49:56	0:00:33
31	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 1 パス目溶接	9:55:35	9:56:25	0:00:50
32	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 2 パス目溶接	9:57:58	9:58:44	0:00:46
-	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 1 パス目溶接 (2 回目)	10:08	10:09	-
-	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 2 パス目溶接 (2 回目)	10:09	10:10	-
33	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 1 パス目溶接 (2 層目 2 回目)	10:06:09	10:06:57	0:00:48
34	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 2 パス目溶接 (2 層目 2 回目)	10:08:16	10:08:55	0:00:39
35	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 1 パス目溶接 (3 パス仕上げ)	10:17:42	10:18:41	0:00:59
36	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 2 パス目溶接 (3 パス仕上げ)	10:20:40	10:21:18	0:00:38
37	12 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 3 パス目溶接 (3 パス仕上げ)	10:22:59	10:23:34	0:00:35
38	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 1 パス目溶接	10:30:42	10:31:29	0:00:47
39	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 2 層目 2 パス目溶接	10:33:52	10:34:51	0:00:59
40	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 1 パス目溶接	10:36:35	10:37:30	0:00:55
41	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 3 層目 2 パス目溶接	10:39:36	10:40:24	0:00:48
42	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 4 層目 1 パス目溶接	10:43:45	10:44:51	0:01:06
43	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 4 層目 2 パス目溶接	10:46:02	10:47:07	0:01:05
44	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 4 層目 3 パス目溶接	10:48:33	10:49:57	0:01:24
45	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 5 層目 1 パス目溶接	10:52:23	10:53:16	0:00:53

	作 業 内 容	開始時刻	終了時刻	所要時間
46	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 5 層目 2 パス目溶接	10:55:11	10:55:55	0:00:44
47	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 5 層目 3 パス目溶接	10:57:21	10:57:57	0:00:36
48	19 mm 板の横向き姿勢溶接 後退法 5 層目 4 パス目溶接	10:59:15	10:59:46	0:00:31
49	管溶接 溶接準備（スイッチと電流値調整）	14:14:17	14:15:01	0:00:44
50	管溶接 前進法 試技	14:15:01	14:20:56	0:05:55
51	管溶接 前進法 1 層目溶接	14:22:59	14:24:19	0:01:20
-	電流値調整	14:24:19	14:24:57	0:00:38
52	管溶接 前進法 2 層目溶接	14:24:57	14:26:21	0:01:24
-	掃除	14:26:21	14:26:49	0:00:28
-	電流値調整	14:26:49	14:27:11	0:00:22
53	管溶接 前進法 3 層目 1 パス目溶接	14:27:11	14:28:36	0:01:25
-	掃除	14:28:36	14:29:02	0:00:26
54	管溶接 前進法 3 層目 2 パス目溶接	14:29:02	14:30:19	0:01:17
55	管溶接 前進法 1 層目溶接	14:52:41	14:54:45	0:02:04
56	管溶接 前進法 2 層目溶接	15:06:18	15:08:32	0:02:14
-	掃除	15:08:02	15:08:56	0:00:54
-	電流値調整	15:08:56	15:09:39	0:00:43
57	管溶接 前進法 3 層目 1 パス目溶接	15:09:39	15:11:04	0:01:25
-	ノズルの調整	15:11:04	15:11:21	0:00:17
58	管溶接 前進法 3 層目 2 パス目溶接	15:11:21	15:12:41	0:01:20

（注）開始時刻、終了時刻は、カメラのタイムレコードによる。

(b) **溶接準備**

高度熟練技能者は、立て向き姿勢溶接と同様、溶接作業を行う前に、アーク調整を行った。この作業は、ほとんどの溶接作業を行う前に実施された。

(c) **管の横向き姿勢溶接**

(イ) **溶接姿勢**

管の横向き姿勢溶接は、前進法溶接で行われた。そのときの溶接姿勢は、次のような状況であった⁸。

(i) **身体の姿勢**

右膝を地面に付けて片膝の状態であった。また、最初頭及び身体を右に傾けた姿勢で溶接をスタートし、トーチを進めるにしたがい頭を上げ、最後は頭を左に傾けて、作業を終了した（図6 - 100）。これは全ての層について、同様の動きであった。



図6 - 100 管の横向き姿勢溶接における身体の姿勢の変化

⁸ なお、撮影機材の存在の影響や、撮影のため作業者が無理な姿勢をとっている場合があることなどを考慮して、これらの溶接姿勢を見る必要がある。



図6 - 100 管の横向き姿勢溶接における身体の姿勢の変化



図6 - 100 管の横向き姿勢溶接における身体の姿勢の変化



図 6 - 100 管の横向き姿勢溶接における身体の姿勢の変化

(ii) 視線のおき方

高度熟練技能者は、溶接部分を斜め上から見て作業していた。

(iii) トーチの持ち方

高度熟練技能者は、両手でトーチを持ち、溶接作業を行った。右手はトーチの柄を持って作業した。左手については、柄の部分を持ったり、トーチのすぐ下側を持ったりと、必ずしも一定の場所を持っていなかった。

トーチを持つ姿勢は、両手を緩め、肘を足の上に載せ、リラックスした状態となっていた。

(ロ) トーチ角度

高度熟練技能者は、トーチを管に対して垂直からやや上向きに傾けて作業していた。また、トーチの先端の方向は管の中心に向けられていた（図 6 - 101）。

Ⅷ 運棒の動き

管の横向き姿勢における運棒の動きは、アークの光で判別できない映像が多かったが、2回目の管の3層目1パス目溶接で捉えることができた。それによれば、進行方向に対して前進後退を繰り返す運棒となっており、ルート方向に対しては楕円形を描く運棒となっていた。



図6 - 101 管の横向き姿勢溶接におけるトーチ角度の状況



図6 - 102 管の横向き姿勢溶接における溶融池の映像

(二) 溶融池の状態

管の横向き姿勢溶接における溶融池の状態は、ほとんどがアーク光に隠れ判別できなかったが、2回目の3層目1パス目溶接で溶融池の形状を確認することができた。溶融池の先端部分ではアークが発生し（心線が送られ）ていた（図6 - 102）。

(ホ) 溶接結果

管の横向き姿勢溶接の溶接結果は、図6 - 103のとおりである。ビード形状がそろい、溶接線がまっすぐに仕上がっており、余盛りの高さも低い。



図6 - 103 管の横向き姿勢溶接結果

(d) **9 mm 板の横向き姿勢溶接**

(イ) **前進法溶接全般**

(i) 溶接姿勢

9 mm 板の横向き姿勢前進法溶接における溶接姿勢は、次のような状況であった⁹。

(01) 身体の姿勢

管溶接と同様、頭を右から左へ移動した（図6 - 104）。

(02) 視線のおき方

目の位置をトーチよりも高くすることで、溶接部分をトーチよりさらに高い角度から覗くように視線をおいていた。

(03) トーチの持ち方

高度熟練技能者は、右手でトーチの柄を持ち、左手でトーチのすぐ下側に添えるように持って作業を行った。

(ii) トーチ角度

高度熟練技能者は、トーチを垂直からやや上向きに傾けて作業していた。

(ロ) **前進法 1 層目溶接**

(i) 運棒の動き

9 mm 板前進法 1 層目溶接では、ルート方向に上下しながら、溶接方向にまっすぐ運棒されていた（図6 - 105）。

(ii) 溶融池の状況

9 mm 板前進法 1 層目溶接では開先底部とその周辺部の上に溶融池があり、溶融池の表面金属が揺れていた（図6 - 106）。

(iii) トーチ移動軌跡

9 mm 板前進法 1 層目溶接のトーチ移動軌跡は、ほとんどウィービングのない曲線となった（図6 - 107）。

⁹ なお、板の溶接姿勢を見るとき、管の溶接と同様、撮影機材の存在の影響があることや、撮影しやすくするため作業者が姿勢に無理をしている部分があることに加え、溶接技能解析システムを装着した特殊環境の下で作業をしていたため、通常とらない姿勢をとらざるを得ない場合があったことなどを考慮する必要がある。



図 6 - 104 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法溶接における溶接姿勢

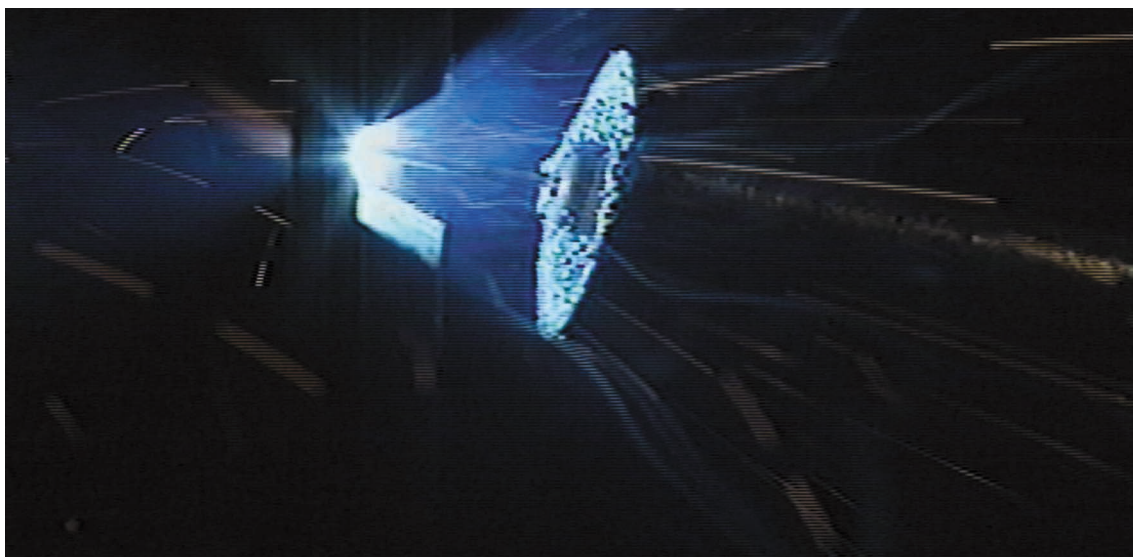


図 6 - 105 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 1 層目溶接のトーチの状況

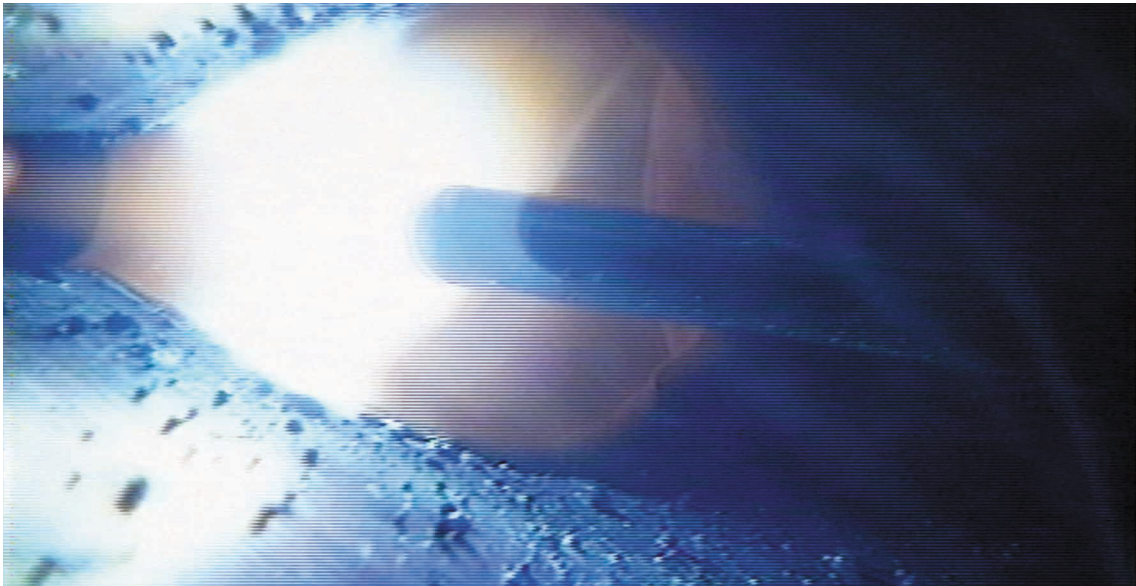
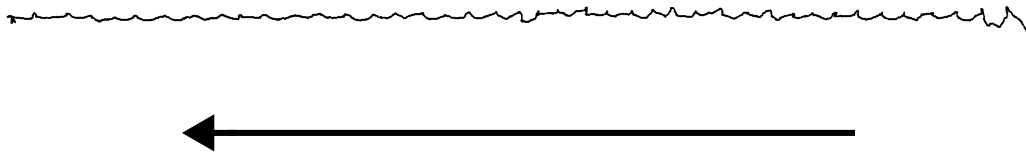


図6 - 106 高度熟練技能者の9 mm 板横向き姿勢前進法 1 層目溶接の溶融池の状況



（注）溶接方向は、右から左へである。

図6 - 107 高度熟練技能者の9 mm 板横向き姿勢前進法 1 層目溶接のトーチ移動軌跡

Ⅷ 前進法 2 層目 1 パス目溶接

（i）運棒の動き

9 mm 板前進法 2 層目 1 パス目溶接では、進行方向とは逆の方向に戻しながら、棚を作る運棒を行っていた（図6 - 108）。

（ii）溶融池の状況

9 mm 板前進法 2 層目 1 パス目溶接では、下の止端部とその周辺上に溶融池が位置し、表面の金属が揺れていた（図6 - 109）。

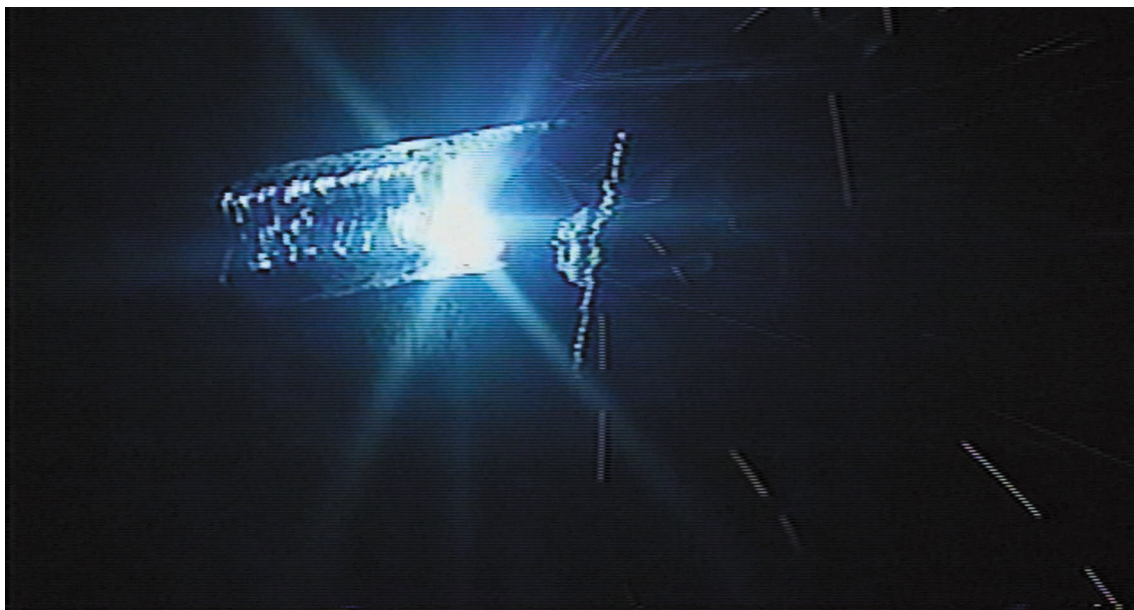


図 6 - 108 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 2 層目 1 パス目溶接のトーチの状況

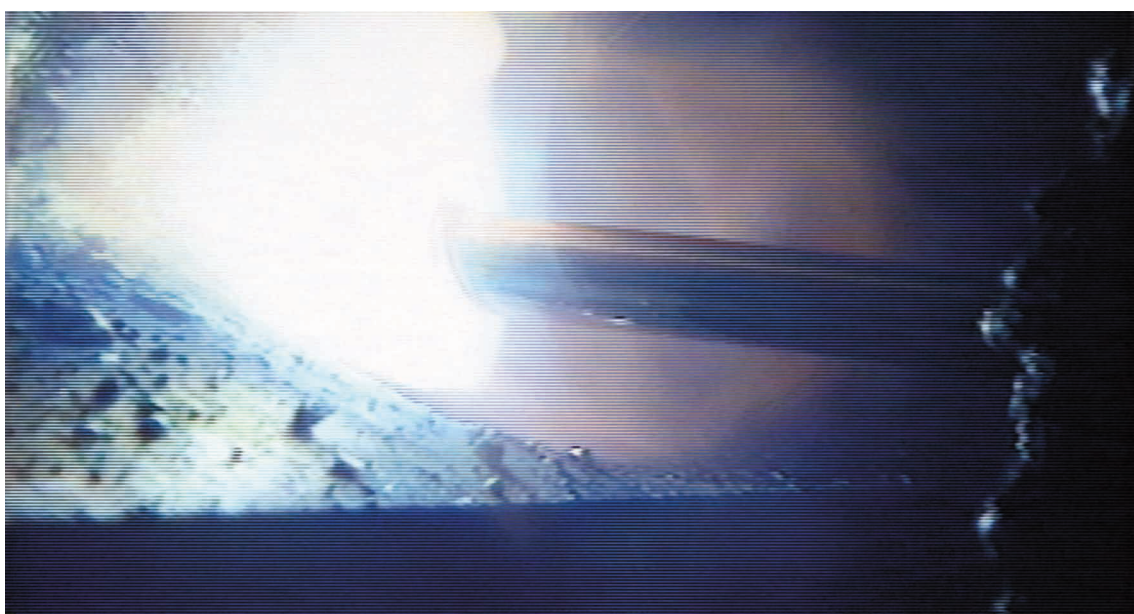


図 6 - 109 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 2 層目 1 パス目溶接の溶融池の状況

(iii) トーチ移動軌跡

トーチ移動軌跡を見ると、わずかな振り幅は見られるものの、ほとんどストレートに近い運棒となった(図 6 - 110)。



（注）溶接方向は、右から左へである。

図6 - 110 高度熟練技能者の9 mm 板横向き姿勢前進法2層目1パス目溶接のトーチ移動軌跡

（二）前進法2層目2パス目溶接

（i）運棒の動き

9 mm 板前進法2層目2パス目溶接では、楕円形を描く運棒を行った。その際、振り幅は前進法2層目1パス目溶接より広くなった。また、下から上への運棒はゆっくりと行い、上から下への運棒は速く行われた（図6 - 111）。

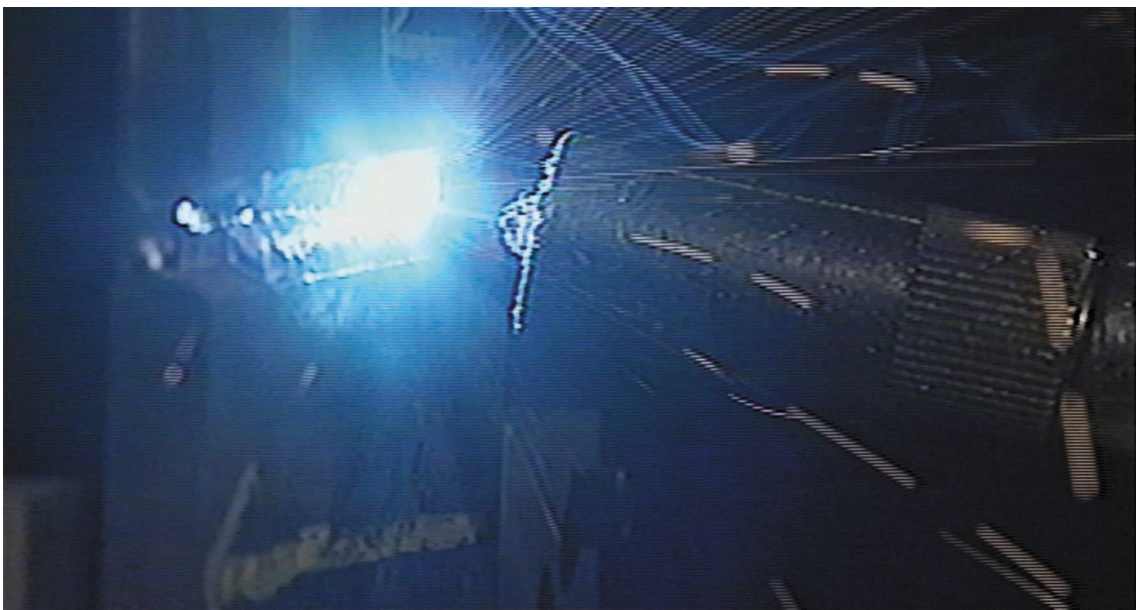


図6 - 111 高度熟練技能者の9 mm 板横向き姿勢前進法2層目2パス目溶接のトーチの状況

(ii) 溶融池の状況

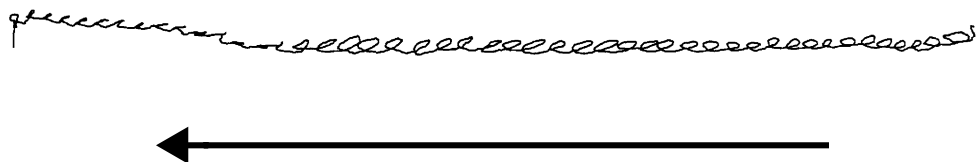
9 mm 板前進法 2 層目 2 パス目溶接では、上の止端部とその周辺上に溶融池が位置し、表面の金属が揺れていた（図 6 - 112）。

(iii) トーチ移動軌跡

トーチ移動軌跡を見ると、進行方向と反対側に傾いた楕円形を描く図形となった。また、振り幅は、9 mm 板前進法 2 層目 1 パス目溶接に比べ広くなった（図 6 - 113）。



図 6 - 112 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 2 層目 2 パス目溶接の溶融池の状況



（注）溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 113 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 2 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡

ホ 前進法 3 層目 1 パス目溶接

(i) 運棒の動き

9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接では、ルート方向に上下させながら、楕円形を描く運棒が観察された（図 6 - 114）。

(ii) 溶融池の状況

9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接では、9 mm 板前進法 2 層目 1 パス目溶接と同様、下の止端部とその周辺上に溶融池が位置していたが、溶融池が下の開先面を覆い被さる範囲まで移動していた（図 6 - 115）。

(iii) トーチ移動軌跡

9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、進行方向とは逆の方向に傾いた小さな楕円形を描く運棒を示す軌跡となった。また、振り幅が一定で、溶接線も安定していた。9 mm 板 2 層目 1 パス目と比較すると、振り幅が広がっていた（図 6 - 116）。

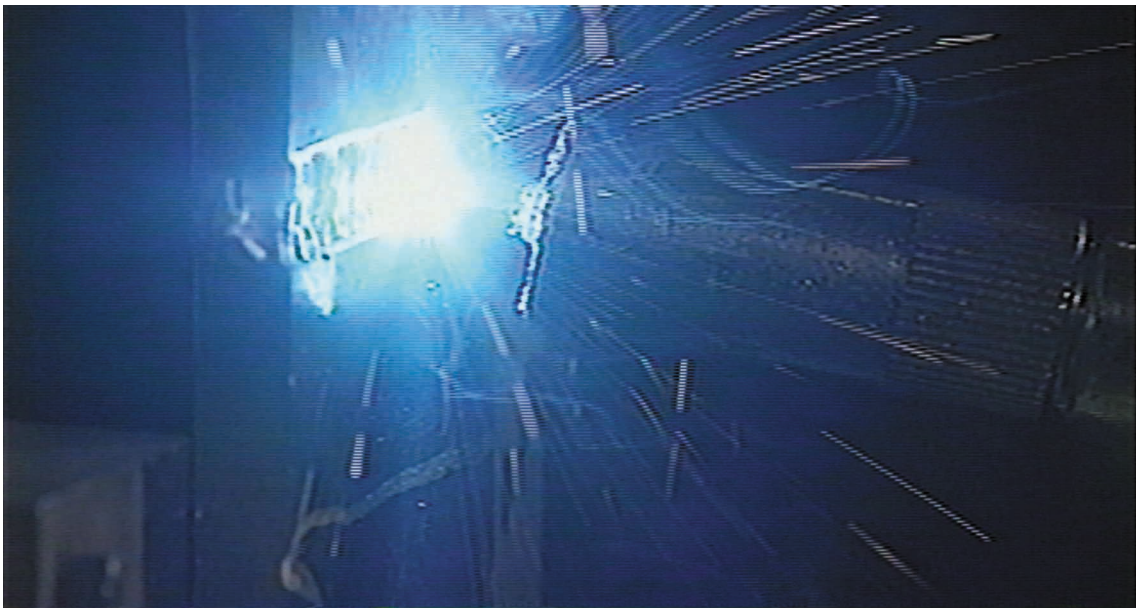


図 6 - 114 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 1 パス目溶接のトーチの状況

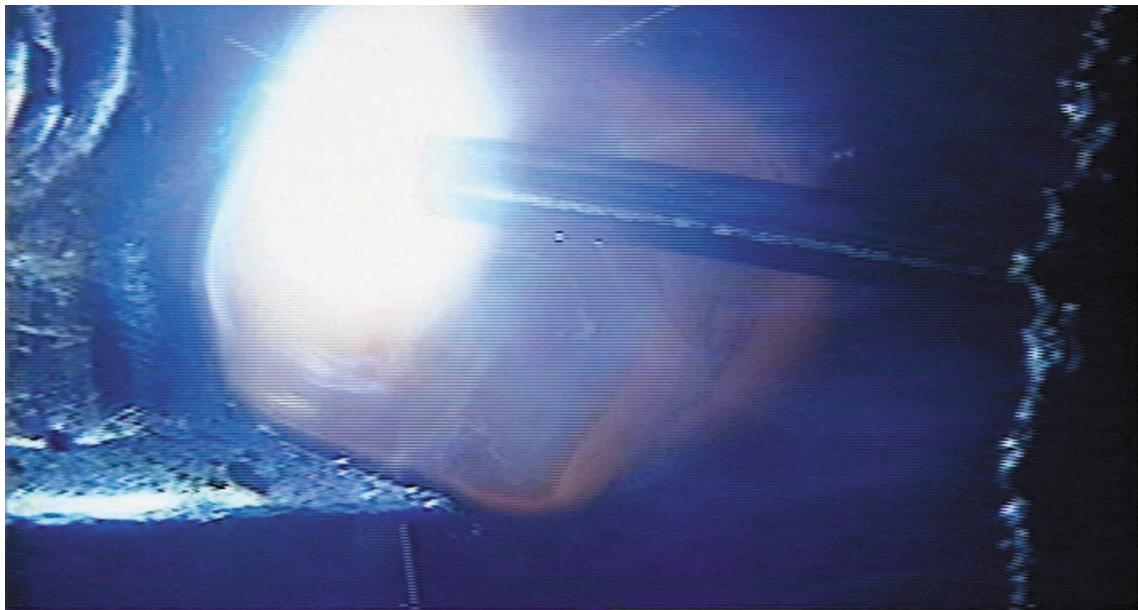
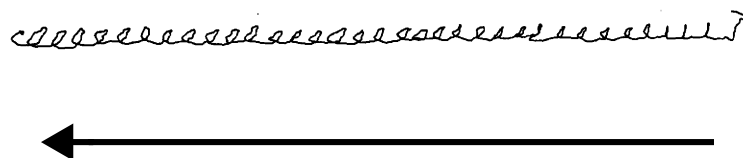


図 6 - 115 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 1 パス目溶接の溶融池の状況



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 116 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡

㇏ 前進法 3 層目 2 パス目溶接

(i) 運棒の動き

9 mm 板前進法 3 層目 2 パス目溶接の運棒は、9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接の運棒と同じで、ルート方向に上下させながら、楕円形を描いていた (図 6 - 117)。

(ii) 溶融池の状況

9 mm 板前進法 3 層目 2 パス目溶接では、前進法 2 層目 2 パス目溶接同様、上の止端部とその周辺上に溶融池が位置していたが、上の開先面を覆い被さるように溶融池は移動していた (図 6 - 118)。

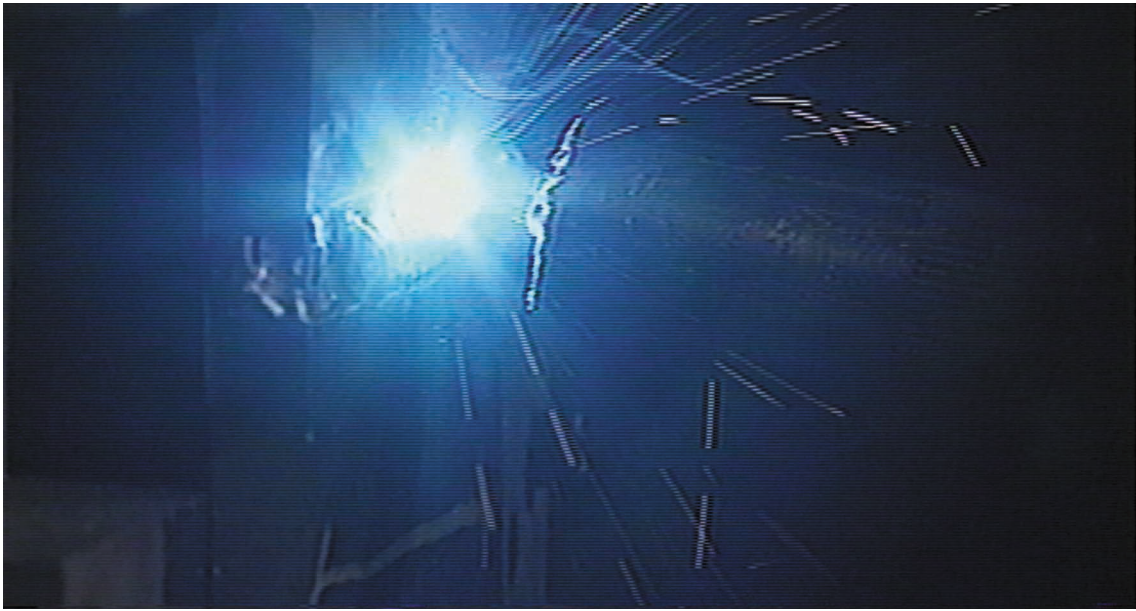


図 6 - 117 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 2 パス目溶接のトーチの状況

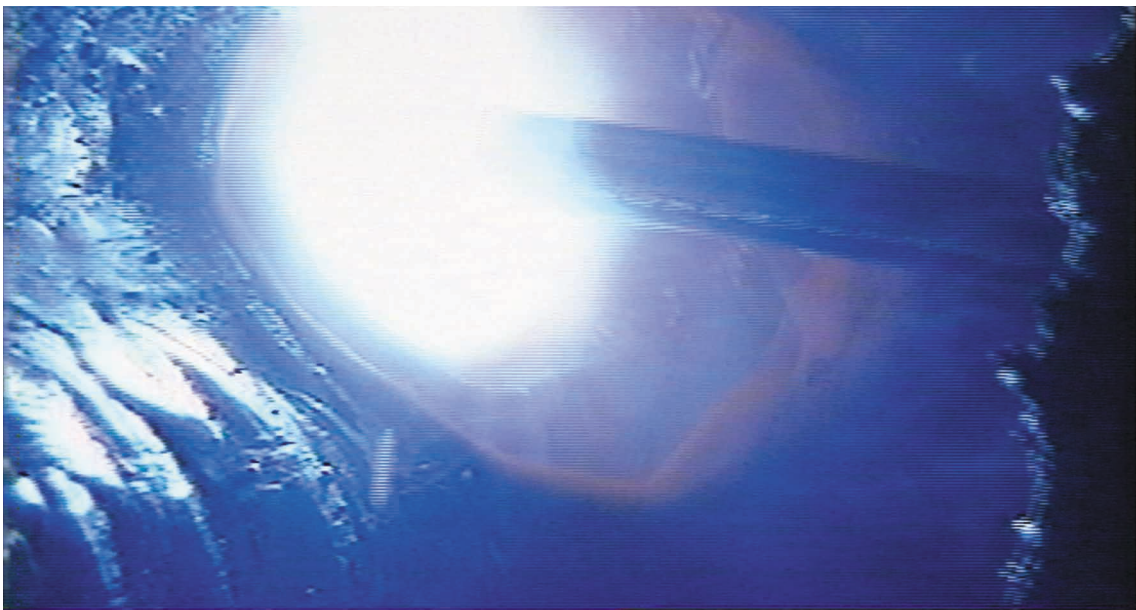
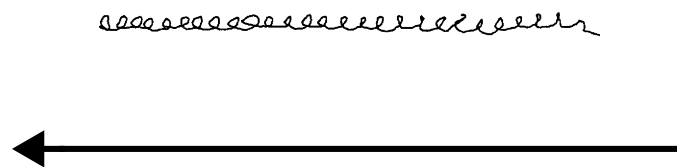


図 6 - 118 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 2 パス目溶接の溶融池の状況

(iii) トーチ移動軌跡

9 mm 板前進法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接と同様、小さな楕円形を描く運棒を示していた。なお、振り幅は安定していたが、3 層目溶接に関しては 1 パス目溶接と 2 パス目溶接の違いが見られなかった（図 6 - 119）。



(注) 溶接方向は、右から左へである。

図 6 - 119 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢前進法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡

(ト) 後退法溶接全般

(i) 溶接姿勢

9 mm 板の横向き姿勢後退法溶接における溶接姿勢は、次のような状況であった。

(01) 身体 of 姿勢

頭の動かし方については、前進法溶接と逆に、最初左に傾けた状態からスタートし、徐々に頭を上げ、最後には右に傾けた状態にした。

また、肘を足の上に載せ、リラックスした姿勢をとろうとしたことは、前進法溶接と同じであった(図 6 - 120)。



図 6 - 120 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法溶接における溶接姿勢

（02）視線のおき方

視線のおき方も、前進法溶接と同じで、トーチよりさらに高い角度から溶接部分を見れるように、目の位置はトーチより高くなっていた。

（03）トーチの持ち方

トーチの持ち方も、前進法溶接と同じで、右手ではトーチの柄を持ち、左手をトーチの下側に添えるという持ち方をしていた。

（ii）トーチ角度

高度熟練技能者は、前進法溶接と同様、トーチを垂直からやや上向きに傾けて作業していた。

（iii）溶融池の状況

9 mm 板後退法溶接の溶融池の状態は、前進法溶接と同様の状態で、いずれも溶融池表面にある金属が揺れる状態となっていた。また、1 層目溶接では開先底部とその周辺部上を、2 層目 1 パス目溶接及び 3 層目 1 パス目溶接では下の止端部とその周辺部上を、2 層目 2 パス目溶接及び 3 層目 2 パス目溶接では上の止端部とその周辺部上を、それぞれ溶融池が移動していた。

（チ）後退法 1 層目溶接

（i）運棒の動き

9 mm 板後退法 1 層目溶接の運棒は、ルート方向に上下しながら、溶接方向へまっすぐ運棒することは、前進法 1 層目溶接と同じであったが、前進法溶接に比べ、振り幅が狭かった（図 6 - 121）。

（ii）トーチ移動軌跡

9 mm 板後退法 1 層目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、9 mm 板前進法 1 層目溶接同様、わずかにウィーピングしながらストレートに近い運棒を示した。しかし、振り幅を後退法溶接と前進法溶接で比較すると、後退法溶接の方が振り幅が狭かった（図 6 - 122）。

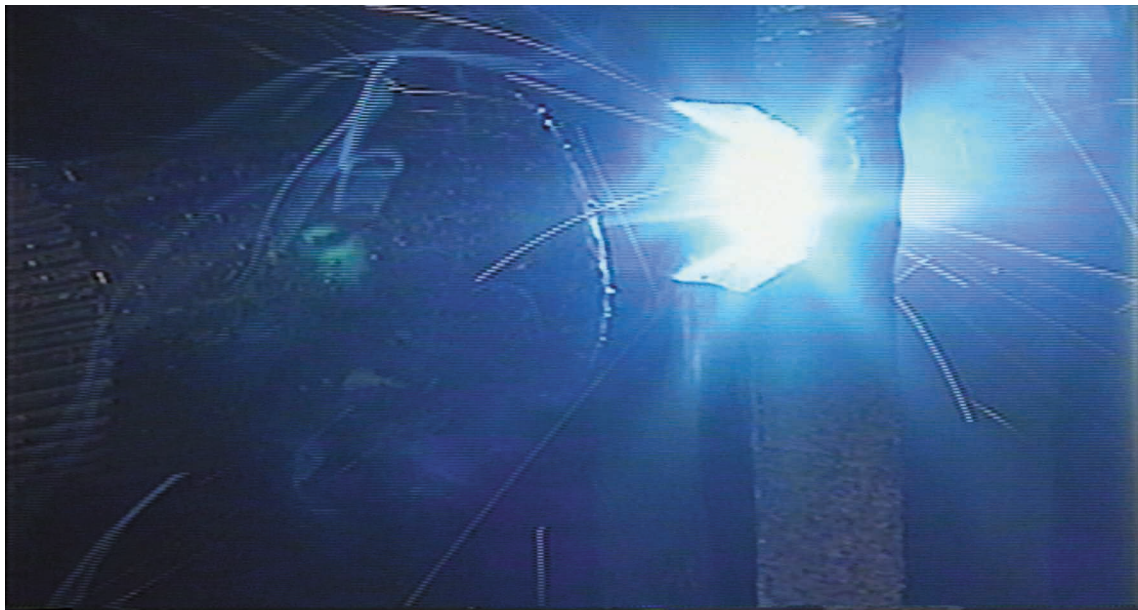


図 6 - 121 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 1 層目溶接のトーチの状況



(注) 溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 122 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 1 層目溶接のトーチ移動軌跡

(リ) 後退法 2 層目 1 パス目溶接

(i) 運棒の動き

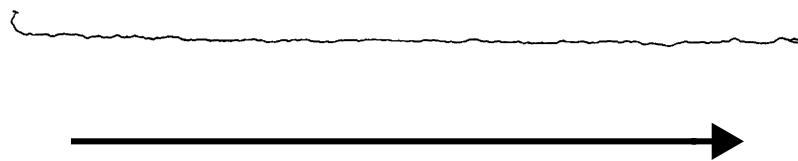
9 mm 板後退法 2 層目 1 パス目溶接の運棒パターンは、9 mm 板前進法 2 層目 1 パス目溶接と異なり、ほとんどまっすぐの運棒であった(図 6 - 123)。

(ii) トーチ移動軌跡

トーチ移動軌跡図を見ると、9 mm 板後退法 2 層目 1 パス目溶接の方が 9 mm 板前進法 2 層目 1 パス目溶接よりも小さく、ストレートに近い運棒が行われていた(図 6 - 124)。



図 6 - 123 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 1 パス目溶接のトーチの状況



（注）溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 124 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡

ㄨ 後退法 2 層目 2 パス目溶接

(i) 運棒の動き

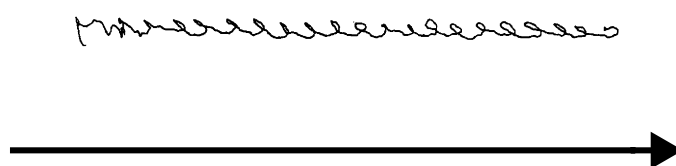
9 mm 板後退法 2 層目 2 パス目溶接は、楕円形を描く運棒を行い、9 mm 板前進法 2 層目 2 パス目溶接と反対の運棒パターンを描いていた（図 6 - 125）。

(ii) トーチ移動軌跡

9 mm 板後退法 2 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡は、左側に傾いた楕円形を描く図形となったが、9 mm 板 2 層目 1 パス目溶接と異なり、後退法溶接と前進法溶接の間における振り幅の違いは明確ではなかった（図 6 - 126）。



図 6 - 125 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 2 パス目溶接のトーチの状況



(注) 溶接方向は、左から右へである。

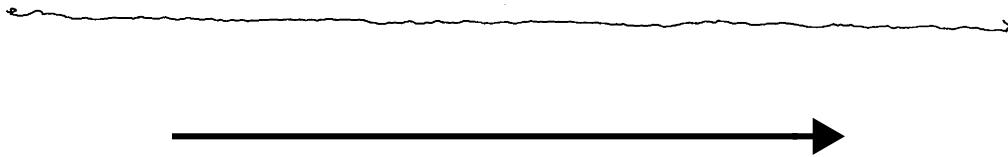
図 6 - 126 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡

（ロ） 後退法 2 層目 1 パス目溶接（長時間溶接）¹⁰

9 mm 板後退法 2 層目 1 パス目溶接（長時間溶接）のトーチ移動軌跡は、（リ）と同じであった（図 6 - 127）。

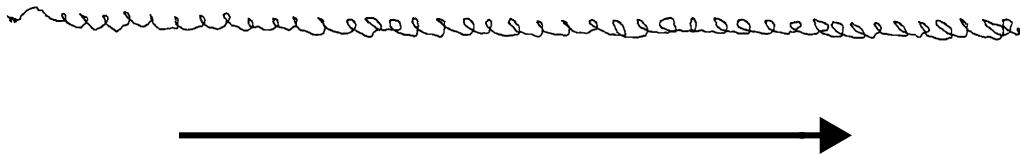
（ヲ） 後退法 2 層目 2 パス目溶接（長時間溶接）¹¹

9 mm 板後退法 2 層目 2 パス目溶接（長時間）のトーチ移動軌跡を見ると、（ヌ）と同じであった（図 6 - 128）。



（注）溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 127 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 1 パス目溶接（長時間）のトーチ移動軌跡



（注）溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 128 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 2 層目 2 パス目溶接（長時間）のトーチ移動軌跡

¹⁰ この溶接については、トーチ移動軌跡データの収集のみ行い、映像撮影を行っていない。

¹¹ 10と同じ。

(ワ) 後退法 3 層目 1 パス目溶接

(i) 運棒の動き

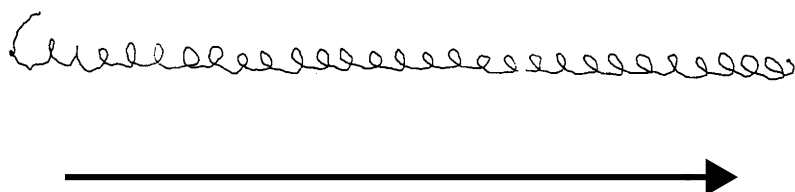
9 mm 板後退法 3 層目 1 パス目溶接の運棒パターンは、9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接とほぼ同じであった（図 6 - 129）。

(ii) トーチ移動軌跡

9 mm 板後退法 3 層目 1 パス目溶接の進行方向のトーチ移動軌跡を見ると、9 mm 板前進法 3 層目 1 パス目溶接とは反対に、左に傾いた楕円形を描く図形であった。振り幅は、1 層目溶接や 2 層目 1 パス目溶接とは異なり、後退法溶接の方が広がっていた（図 6 - 130）。



図 6 - 129 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 1 パス目溶接のトーチの状況



（注）溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 130 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 1 パス目溶接のトーチ移動軌跡

(カ) 後退法 3 層目 2 パス目溶接

(i) 運棒の動き

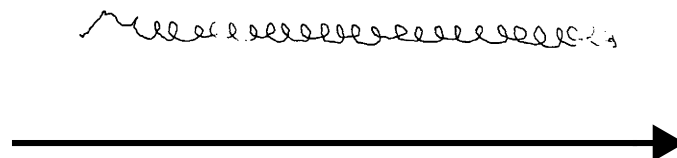
9 mm 板後退法 3 層目 2 パス目溶接の運棒パターンは、前進法 3 層目 2 パス目溶接と同じで、ルート方向に上下させながら、楕円形を描く運棒を行っていた（図 6 - 131）。

(ii) トーチ移動軌跡

9 mm 板後退法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡を見ると、やや左に傾いた楕円形を描く図形であった（図 6 - 132）。



図 6 - 131 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 2 パス目溶接のトーチの状況



（注）溶接方向は、左から右へである。

図 6 - 132 高度熟練技能者の 9 mm 板横向き姿勢後退法 3 層目 2 パス目溶接のトーチ移動軌跡