

アーク溶接作業での 感電死亡災害



独立行政法人
労働安全衛生総合研究所

1. 略

2. 災害の概要

2.1～2.3 略

2.4 災害発生状況

被災者は、工場内に常駐し、船体ブロックのアーカ溶接作業に従事していた（写真1及び2参照）。また、二次下請けのA、Bも同じ工場内に常駐していた。

被災者ほか2名（A及びB）は、災害発生の当日、午前中から交流アーカ溶接機を使用して船体ブロックの組立作業に従事していた。夕方になって、第一発見者であるAは、片付け作業を開始するために被災者の様子を確認したところ、革手袋を両手に着用した被災者が左手に溶接棒、右手に溶接棒ホルダーをもった状態で仰向けに倒れていた。その後病院に救急搬送されたものの、感電による死亡が確認された。検視の結果、被災者の左腋部と左上腕部内側に溶接棒の形状に合致する電流斑（ヤケドの跡）が認められた。

なお船体ブロックの組立はシリーズものであり、被災者はこれまでに同様の組立を行った経験があることから、当日は特段の作業指示を受けていない。当日、被災者は、墨出しに基づいて溶接していた。

3. 調査の概要

3.1 調査項目

被災者が使用していた交流アーカ溶接機等を対象に、次のような項目に関する調査を行う。

- 1) 交流アーカ溶接機の仕様と動作確認
- 2) 電撃防止装置の仕様と動作確認
- 3) 電撃防止装置の主接点の異常の有無
- 4) 主接点押し付け機構の異常の有無
- 5) 電撃防止装置用回路の異常の有無
- 6) 主接点に異常電流が流れた可能性の有無
- 7) コンデンサー開閉用接点の有無
- 8) 海外で使用されている危険低減装置の仕様調査と有効性の検討
- 9) 国内で市販されている最新の電撃防止装置の仕様調査と有効性の検討
- 10) 災害発生原因の推定
- 11) 再発防止策の検討

3.2 略

3.3 調査の経緯

1) 略

2) 災害発生原因の推定と再発防止策の検討

現地調査と並行して、災害発生原因の推定と再発防止策の検討を行った。このうち、災害発生原因の推定では、電撃防止装置の主接点及び電撃防止用回路などの検討を実施した。また、主接点の溶着、移転現象、ロッキングの有無や圧縮バネを固定するピンの疲労破壊の有無などを正確に判定するために、レーザー顕微鏡や走査型電子顕微鏡（SEM）を使用して検討を行った。

一方、再発防止策の検討では、国際規格IEC60974-1に規定された危険低減装置に適合するアーク溶接装置を海外との交渉を経て購入し、その有効性を検討した。また、日本で市販されている最新の電撃防止装置を購入し、その有効性を検討した。



写真1 被災者がアーク溶接作業を行っていた船体ブロック

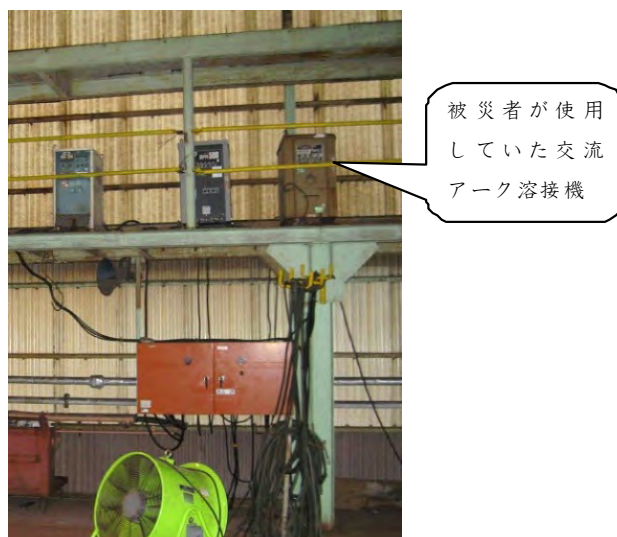


写真2 被災者が使用していた交流アーク溶接機（右端）

4. 電撃防止装置等に関する調査結果

4.1 交流アーク溶接機の仕様と動作状況

写真3に、被災者が使用していた交流アーク溶接機の銘板を示す。表1は、当該銘板に記載があった事項である。交流アーク溶接機は、電源である一次側を主接点で直接オン／オフする一次切りの構造であった。この構造は、二次側をオン／オフする二次切りの構造と比較して接点の消耗や溶着が起りやすいとされている。これは、一次切り接点から見た場合、溶接棒側の負荷（等価インピーダンス、インダクタンス分が大きい）が大きくなるためと考えられる。

調査者らは当該交流アーク溶接機の動作を確認するために、第1回現地調査時に担当職員に試験的に溶接機を使用させたところ、正常にアーク放電が発生し、溶接作業ができることも確認した。

写真3 略

表1 被災者が使用していた交流アーク溶接機の銘板に記載があった事項

商品名	交流アーク溶接機	定格入力電圧	200V
電撃防止装置出力側無負荷電圧	25V 以下	定格出力電流	500A
始動感度	1.5 Ω	最高無負荷電圧	85V
総質量	210kg	定格負荷電圧	40-J12V
		定格入力	43kVA 23kW
		定格使用率	60%

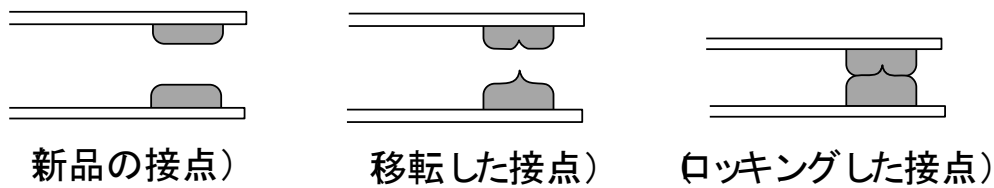
（補足1：接点溶着に至るプロセスの一般的説明）

コイルやトランスなどのインダクタンスを含む回路を遮断するときは、接点間に逆起電力が発生する。これにより、接点間にはアーク放電や火花放電が発生し、片方の接点の金属が溶融または蒸発して他の接点に移転するとともに、移転する側の接点が消耗する。

これを接点の移転と呼んでいる。この現象が生じると、接点の開閉回数の増加に伴って接点表面に凹凸を生じ、ついにはこの凹凸がロックされた状態になって開閉不能となることがある（図1及び写真4参照）。これをロッキングまたは転移突起と呼んでいる¹⁾。また、アーク放電や火花放電が頻繁に発生すると、固定側と可動側の両方の接点が溶融した後に固まって開閉不能となることもある。これを接点溶着（または単に溶着）と呼んでいる。

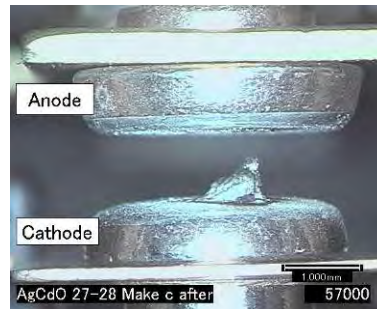
以上のうち、移転やロッキングは直流の場合に発生しやすいとされている。これは、交流の場合は電圧がゼロとなるときにアーク放電が中断するのに対して、直流の場合は電圧がゼロとならないためにアーク放電が継続しやすいためである。これに対し、接点の消耗や溶着は直流だけでなく交流の場合にも発生する。したがって、交流アーク溶接機の使用時は、接点溶着の前兆現象である接点の消耗を定期的に点検して溶着を確実に防止する必要がある。

なお、電撃防止装置の点検を目的として、遅動時間、安全電圧、始動抵抗を測定できる電撃防止装置試験器が既に市販されているが、ロッキングによる接点の接触抵抗の変化までは測定できないとされている。

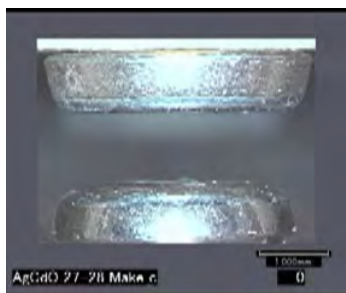


(文献1)から引用)

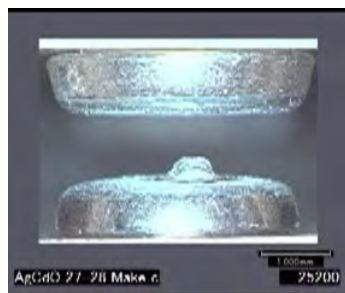
図1 接点の移転とロックング (転移突起)



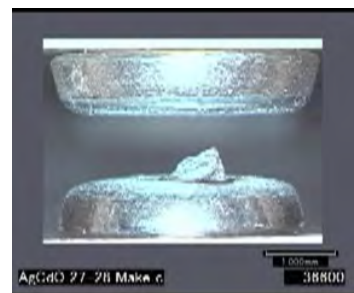
(1) 継電器 (リレー) 57,000 回動作後の接点表面に形成された突起



(2) 開始時



(3) 25,200 回



(4) 36,600 回

(文献2)から引用) 交流では起こりにくい

写真4 接点の移転とロックング (転移突起)

4.2 電撃防止装置の仕様と動作状況

写真5に、交流アーク溶接機に内蔵された電撃防止装置の銘板を示す。表2は、当該銘板に記載があった事項である。電撃防止装置は始動抵抗が 1.5Ω の低抵抗始動型であった。なお、現在、同社では電撃防止装置の製造を行っていない。

調査者らは、電撃防止装置の機能を確認するために、第1回現地調査時に、溶接機二次側の出力電圧をデジタルマルチメータ 7537 04 (横河電機製) によって測定した。その結果、電源を投入した後の無負荷状態では溶接機二次側の出力電圧は約 18V (交流アーク溶接機用自動電撃防止装置構造規格第12条では 30V 以下) の安全電圧が発生しており、このときには電撃防止装置用のパイロットランプは暗く点灯していた。その後、電撃防止装置のテストボタンを押した後はパイロットランプが明るく点灯するとともに約 80V の出力電圧が発生し、約 1 秒 (同構造規格第

13 条では 1.5 秒以内)の運動時間後には電撃防止装置用パイロットランプは再度暗く点灯すると共に、溶接機二次側の出力電圧として再び約 18V の安全電圧が発生した。

以上より、電撃防止装置の機能は正常であることが確認できた。

(補足 2：災害発生直後の電撃防止装置の動作状況)

元請けは、災害発生前に電撃防止装置の作動状況が正常であることを確認していた。しかし、災害発生直後に災害調査を行ったときに、電撃防止装置の動作を確認したところ、①電源投入で電撃防止装置のパイロットランプが明るく点灯し、②テストボタンを押すとカチッと小さな音はするが電撃防止装置のパイロットランプは明るく点灯したままの状態であったという。

これは、テストボタンを押したにもかかわらず、溶接機二次側の出力電圧が安全電圧（30V 以下）とならず、おそらくは 80V 程度の電圧が出力されていたことを意味する。したがって、災害発生時には電撃防止装置が正常に作動していなかった可能性が高いと考えられる。なお、その後の第 1 回現地調査の日に、なぜ正常に復帰したかは不明である。

写真 5 略

表 2 被災者が使用していた電撃防止装置の銘板に記載があった事項

商品名	交流アーク溶接機用電撃防止装置（内蔵形）	定格電源	200V
定格電流	220A（入力側遮断方式）	定格使用率	60%
出力側無負荷電圧	25V 以下	標準始動感度	1.5 Ω

4.3 電撃防止装置の主接点の異常の有無

電撃防止装置の主接点の状況を調査したところ、次の結果が得られた。

- 1）主接点の接点部分には銀カドミウム系の材料が用いられていた（製造業者からの聴取結果による。以下、Ag-Cd 系材料と略す）。また、主接点の基板には固定側、可動側ともに銅系の材料が用いられていた（以下、銅を Cu と略すことがある）。
- 2）写真 6 に主接点の駆動機構の正面写真を示す。写真 7 は固定接点の、写真 8 は可動接点の拡大写真である。主接点の周辺には至るところにアーク放電や火花放電によると思われる煤が付着していた。これは、アーク放電や火花放電が頻繁に発生したことを意味する。

この放電によって主接点は著しく消耗するとともに（写真 6～8 参照）、接点が一旦溶融した後に固まったと思われる箇所が少なくとも 2ヶ所認められた（写真 7 の A1 及び A2 参照）。これらは固定接点（左）の左端に存在していた。そこで、固定接点（左）の左端と可動接点（左）の左端を重ね合わせたところ、写真 9 に示すように形状が一致している箇所が認められた。また、これら 2ヶ所（写真 7 の A1 及び A2）には可動接点の側面に焦げた跡が認められた（写真 9 参照）。以上の結果から、これら 2ヶ所（写真 7 の A1 及び A2）のいずれか一方又は両方で溶着が起きた可能性も否定できないと考えられる。

- 3）主接点のオン/オフ回数の累計は不明であった。しかし、災害の発生した電撃防止装置は

約 18 年間に渡って継続して使用されており、その間の年間稼働日数を最低でも 200 日、一日のオン/オフの回数を最低でも 100 回とすると、累計で最低でも 36 万回程度のオン/オフ回数があったと考えられる。

これに対し、第 4.1 節で述べたロッキング（写真 4 参照）は約 2～3 万回程度で発生しており、単純な比較はできないものの溶着が発生したと考えても不自然ではない。

4) 固定接点（左）の上方には、基板である Cu 系の材料が削り取られたか、または熔融したと思われる跡があった（写真 7 の C1 参照）。また、可動接点（右）の下方には Ag-Cd 系材料が完全に消失し、Cu 系の材料が剥き出しとなっている箇所が認められた（写真 7 の C2 参照）。以上より、可動接点（右）の一部は完全に消失し、可動接点側の基板（Cu 系材料で構成）が固定接点側の Ag-Cd 系材料と直接接触していたと考えられる。

5) 可動接点側では、右側の主接点の消耗の方がやや進んでいた。これに対し、固定接点側では右側及び左側の主接点の消耗状況は概ね同程度であった。以上より、一方の側の接点の消耗が顕著に進んでいたとは認められない。



写真 6 正面写真

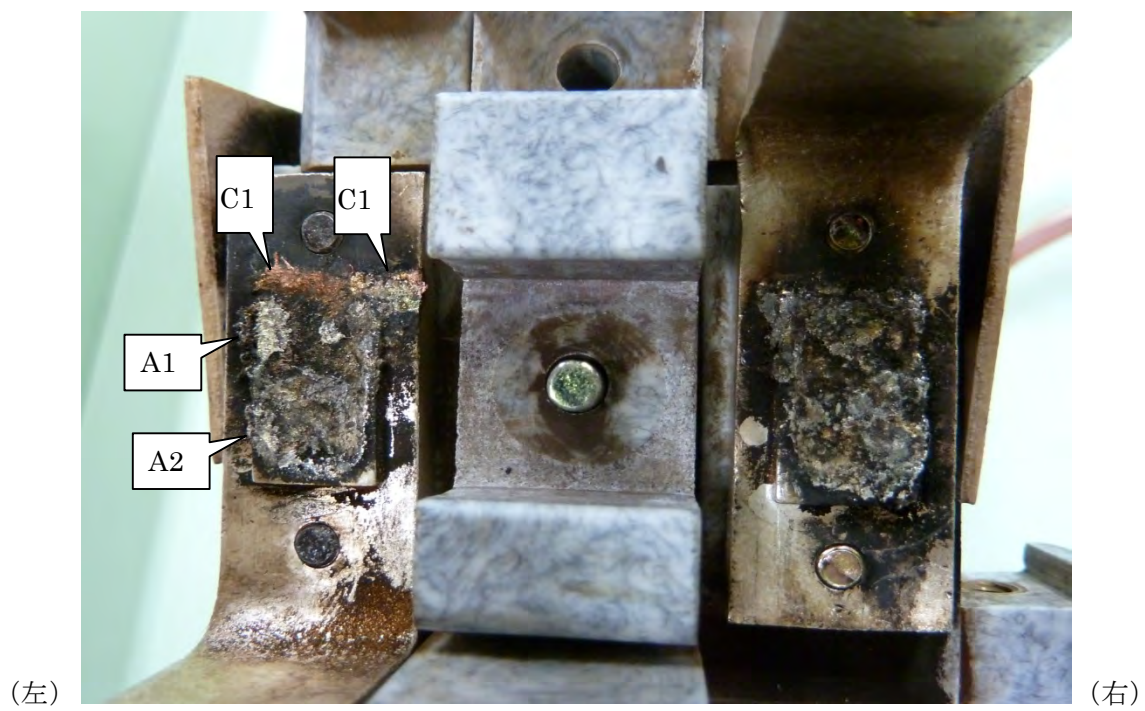


写真 7 固定接点の拡大写真

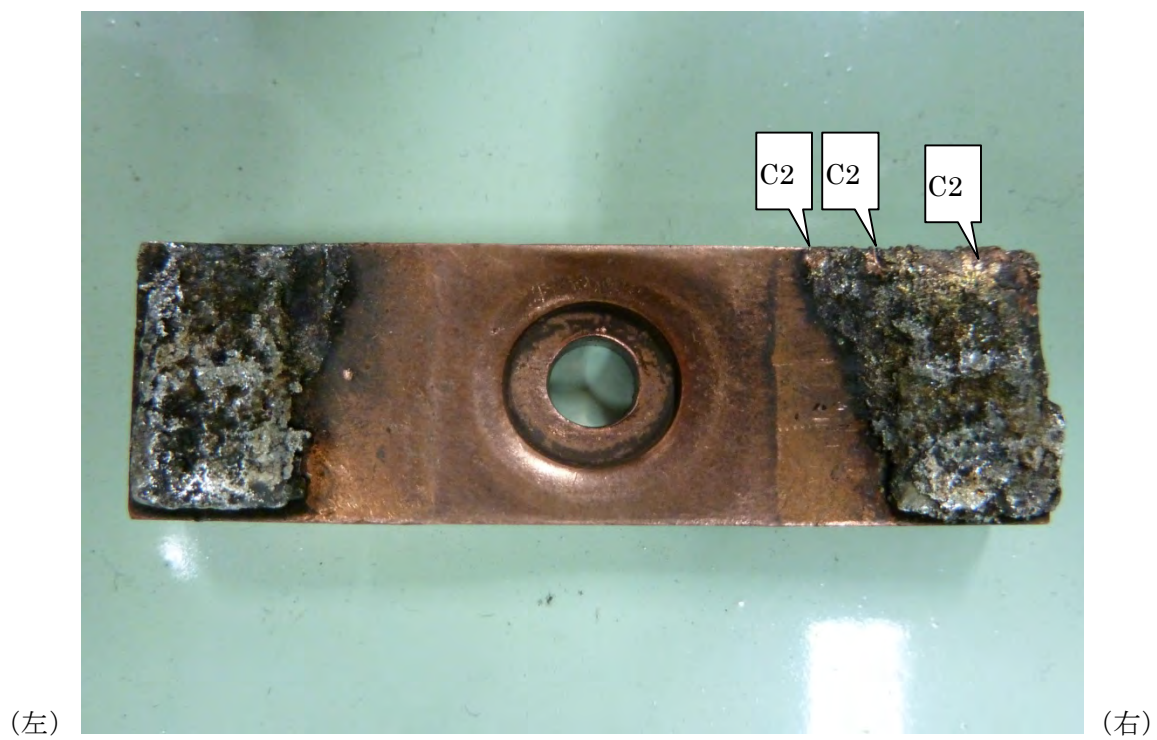
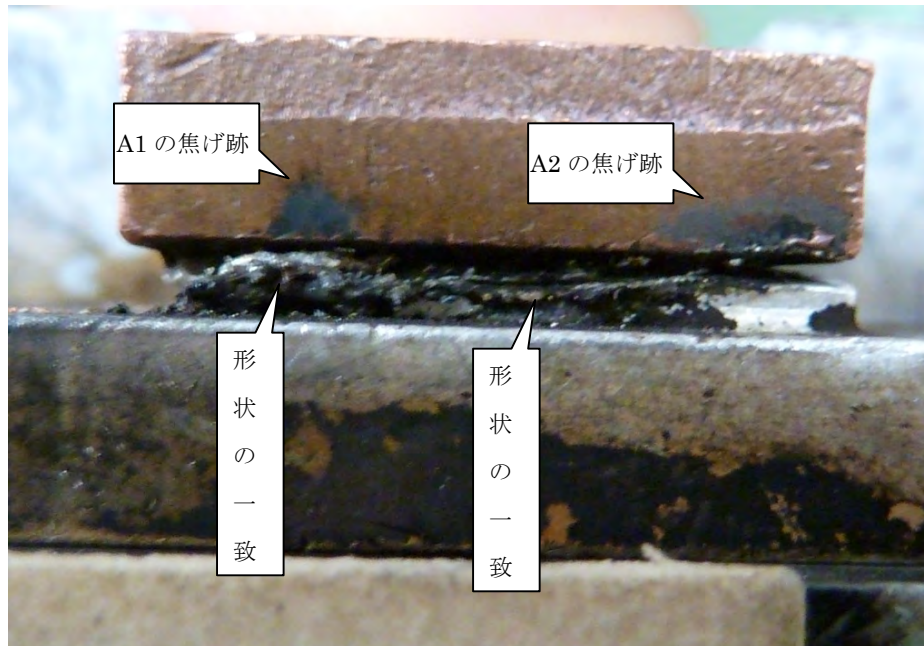


写真 8 可動接点の拡大写真



注) 下側が固定接点 (左), 上側が可動接点 (右) 側であり, 両接点の形状が一致している箇所が認められた。また, 溶着が起きた可能性が否定できない箇所に焦げ跡が認められる。

写真 9 固定接点と可動接点の勘合状態

6) 災害の発生した交流アーク溶接機 (電撃防止装置を含む) と比較するために, 製造年及び型式が同一で, 災害発生現場と同一の構内に設置された他の交流アーク溶接機を対象に電撃防止装置の主接点の消耗の状況を調査した。これは, 使用頻度, 使用環境などは概ね同等であり, 使用状況 (たとえば, 作業対象や作業者など) が異なるものである。

その結果, 主接点に著しい消耗は認められなかった (写真 10 参照)。以上より, 同一型式, 同一製造年の交流アーク溶接機 (電撃防止装置を含む) でも, その使用状況などによって電撃防止装置の主接点の消耗の状況は大きく異なることが分かった。

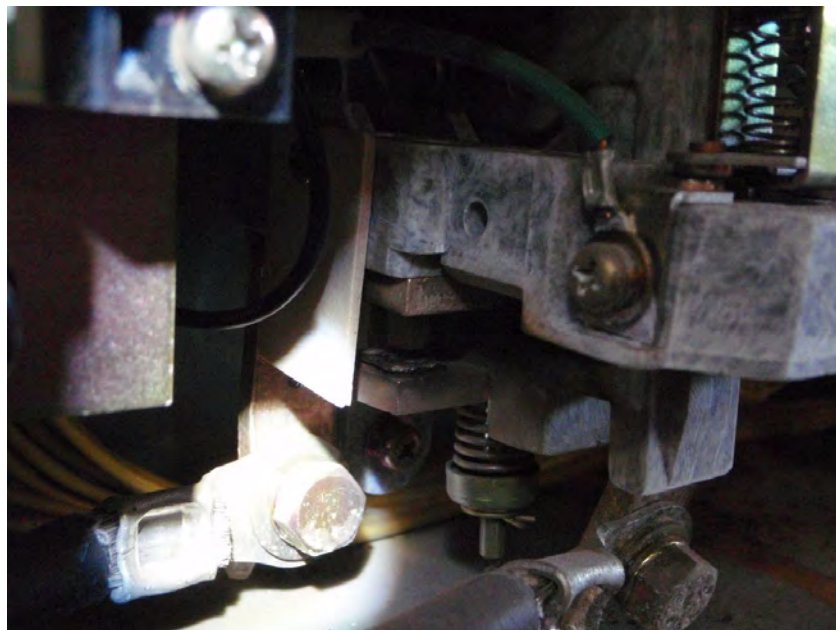
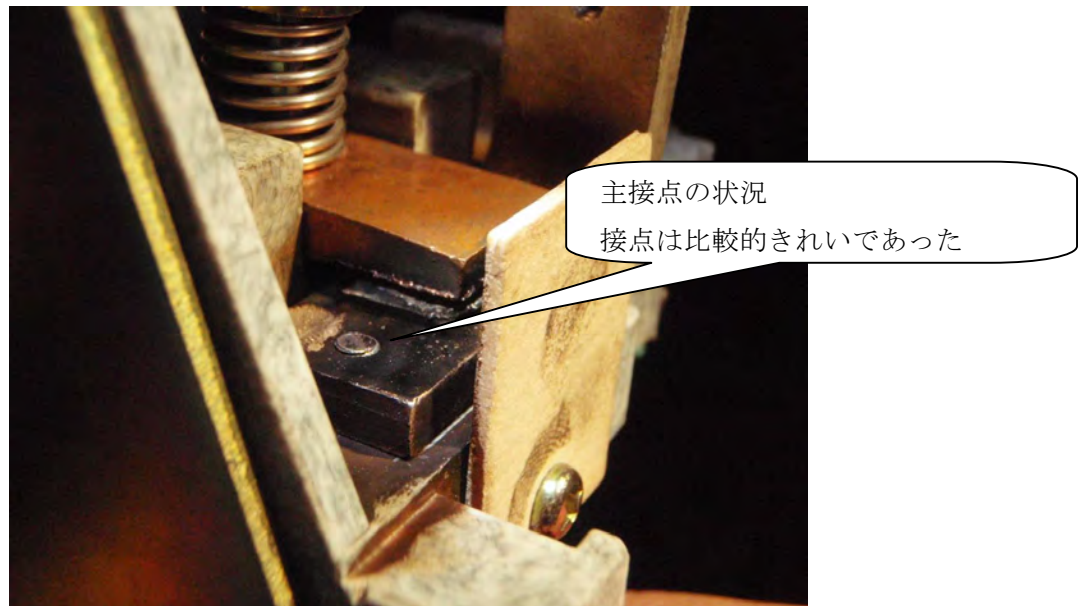


写真 10 構内に設置されていた製造年及び型式が同一の他のアーク溶接機における主接点の状況

4.4 主接点の押し付け機構の異常の有無

主接点の押し付け機構に問題があると、主接点間の距離や主接点間の接触状態が通常とは異なる状態となり、主接点間の接触抵抗が増加することがある。その結果、主接点での発熱量が大きくなり、電極材料を蒸発させて、主接点の消耗が促進される可能性も考えられる（これには、主接点の特定の箇所だけの消耗が促進される場合を含む）。また、当該機構の機械的可動部分の引っ掛かりなどによって主接点間が押しつけられてロックされたときは、主接点が溶着したのと同様の状態になる。そこで、これらが発生した可能性を検討した。

この検討で注目すべきは、主接点の可動接点部分に取り付けられた圧縮バネを固定するピンが

折れていたことである（写真 11 参照）。ただし、ピンを通す穴から完全に脱落しておらず、一部が挟まれた形で残っており、バネを支持することはできていた。そこで、①ピンが折れた原因、②ピンの折れに起因して主接点の消耗が促進された可能性、及び③ピンの引っ掛かりなどに起因して主接点がロックされた可能性を検討した。

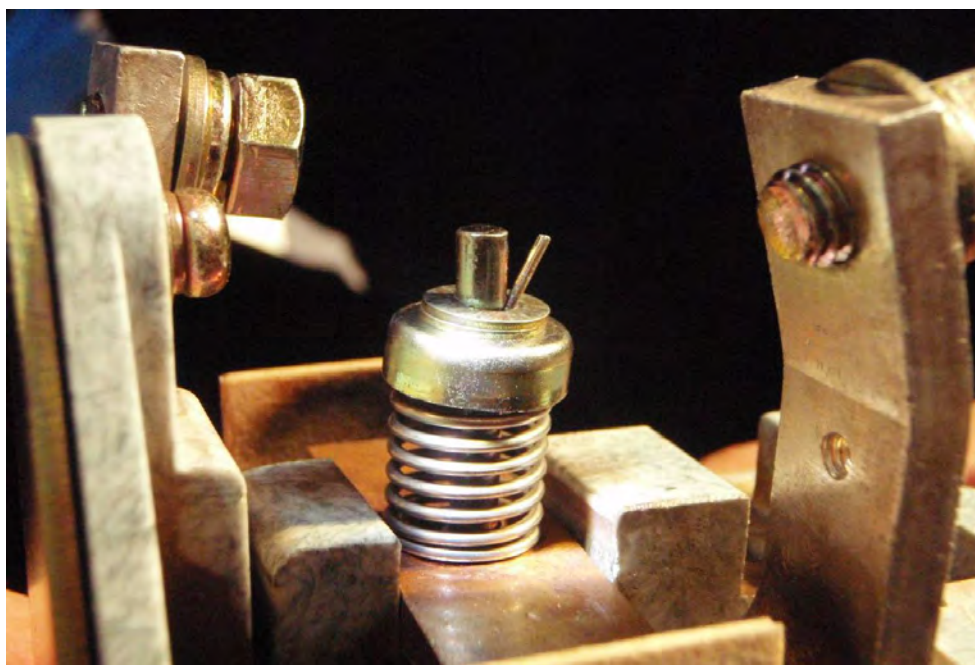


写真 11 圧縮バネを固定するピンの折損状況

1) ピンが折れた原因

最初に、ピンが折損した原因を走査型電子顕微鏡（SEM, Scanning Electron Microscope）による破断面観察によって検討した。写真 13 に、写真 12 の A 断面の観察画像を示す。A 断面では、写真 13(a)に示すような欠けや傷が見られた。また、断面の多くの領域は、写真 13(b)に示すような部材の破断によって形成された断面ではなかった。以上のことから、A 断面は固定ピンの端部であり、写真 13(a)の欠けや傷は固定ピンを製造する際についた加工傷と考えられる。

写真 14 に、写真 12 の B 断面の観察画像を示す。A 断面とは異なり B 断面では凹凸が激しく、固定ピンが破断したことによって形成された断面であることが確認できた。また、写真 14(a)の右下の領域には、破面同士が接触して磨耗したような形跡が確認できた。このことから、固定ピンは写真 14(a)の右下から左上に向かって破断したと推察でき、時間依存型の疲労破壊を起こしたと考えられる。ただし、この破断面では、写真 14(b)に示すように、疲労破壊によって形成される破面に見られる典型的なストライエーション状の模様は確認できなかった。

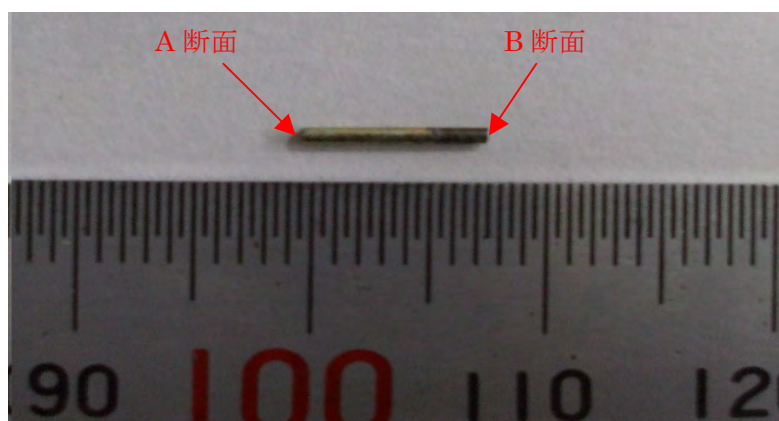
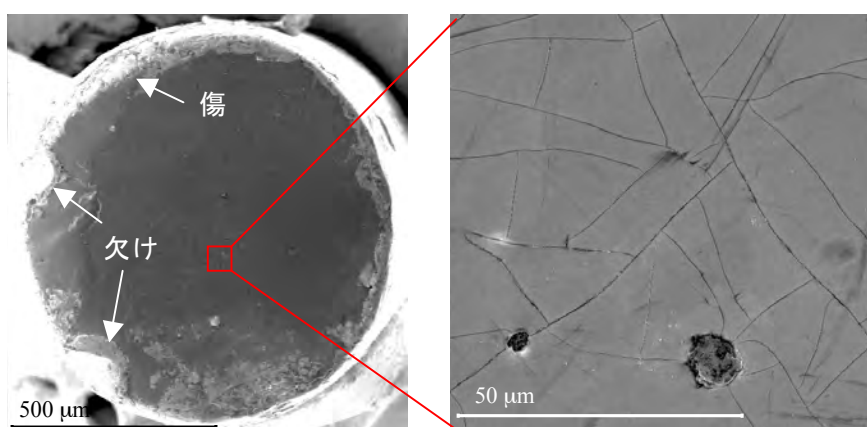


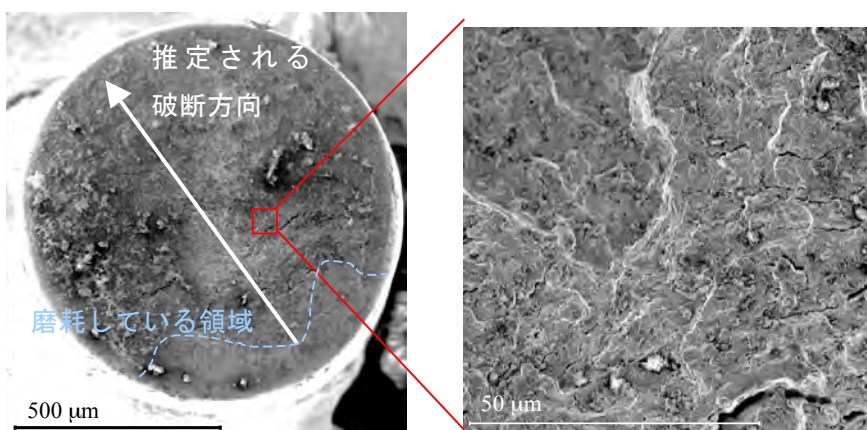
写真 12 固定ピン



(a) 全体画像 (80 倍)

(b) 詳細画像 (800 倍)

写真 13 A断面



(a) 全体画像 (80 倍)

(b) 詳細画像 (800 倍)

写真 14 B断面

以上より、固定ピンは時間依存型の疲労破壊を起こしたと推察でき、ピンには繰り返し、異常な力が作用した可能性が推察される。この原因としては、ピンの端部が機械的に引っ掛かったときなどが考えられる。しかし、ピンが可動する周辺を見る限り、引っ掛かりが起きるような場所はなく、引っ掛かりの痕跡も見当たらない。また、聴取結果でもピンの引っ掛かりを裏付ける供述等が得られておらず、こ

れが起きたことの確認は困難である。

また、他の原因としては、主接点の故障（開閉不能など）が何回か発生し、これを修復するために電磁接触器を電撃防止装置から取り出し/再セットするときなどに、無理な力が加わって破壊が進んだ可能性も考えられる。ただし、聴取結果でも異常な力が作用したことを裏付ける供述等が得られておらず、これが起きたことの確認も困難である。

2) ピンの折れに起因して接点の消耗が促進された可能性

破損したピンは通し穴から完全に脱落しておらず、一部が挟まれた形で残っており、バネを支持することはできていた。このときのバネ力はピンが破損していないときとほぼ同等であったと考えられる。したがって、このことに起因して接点間の接触状態が通常と異なる状態となり、接点の消耗が促進された可能性は低いと考えられる。

なお、ピンの折れに起因してバネ力の作用方向に変化が生じ、主接点の特定の箇所だけの消耗が促進された可能性も考えられないわけではない。しかし、第4.3節7)の検討によれば左右の主接点の消耗の程度はほぼ同程度であったことが判明している。この点を考慮すれば、主接点の特定の箇所だけの消耗が促進された可能性も低いと考えられる。

3) ピンの引っ掛かりなどに起因して主接点がロックされた可能性

上記1)で述べたように、ピンが引っ掛ったり、ピンに対して異常な力が作用したことを示す痕跡や供述は見当たらず、可能性は低いと考えられる。

4.5 電撃防止装置用回路の異常の有無

交流アーク溶接機の製造業者などの協力を得て、電撃防止装置用回路の異常の有無を検討した。特に、サイリスタとトライアック周辺の回路、及び始動時間の設定回路などを中心に検討を行ったが、問題点は認められなかった。

以上より、電撃防止装置用回路は正常と推察された。

4.6 主接点に異常電流が流れた可能性の有無

交流アーク溶接機に接続したブレーカはノーヒューズブレーカで、容量は225Aであった。当該ブレーカの定格はAC600V、DC250V、三相タイプであった。これに対し、交流アーク溶接機の定格入力は43kVAであって、定格の入力電圧は200Vであることから、定格の入力電流は215Aとなる。したがって、交流アーク溶接機に流れる電流は定格値内であるが、定格を超えるような異常な電流が流れた場合には、ブレーカが作動可能であったと考えられる。本件災害時にはブレーカは作動しなかったことから、災害発生時に主接点に異常な過電流は流れなかったと推察される。

なお、災害発生時に被災者が使用していた交流アーク溶接機の溶接機電流は140Aであり、溶接棒の直径が3.2mmであったことから、原則として溶接機電流の調整の必要は無かった。

4.7 コンデンサー開閉用接点の有無

電撃防止装置を対象に、構造規格第9条に定めるコンデンサー開閉用接点の有無と、有りの場合はその影響や故障時の挙動について調査した。その結果は次の通りである。

(a) コンデンサーの存在は認められなかった。

(b) サージ対策用のコンデンサーも認められなかった。

(補足 3 : コンデンサー開閉用接点とは)

交流アーク溶接機には、力率改善のためのコンデンサーを備え付けているものがある。このような交流アーク溶接機に接続した場合に誤作動するおそれのある装置、又は、主接点開閉時にコンデンサー回路の電流が主接点に流れ込み主接点に損傷を与えるおそれがある装置について、コンデンサー回路開閉のための「コンデンサー開閉用接点」を有しなければならないとされている。なお、コンデンサー開閉用接点は十分な容量を有することとされている。

5. 災害に至った経緯の推定

以上の結果を踏まえると、本件災害に至った経緯は次のように推察される。

災害発生日、被災者は低抵抗始動型（始動感度 1.5Ω ）の電撃防止装置が内蔵された交流アーク溶接機を用いて、通常どおりに船体ブロックの材料の溶接作業を行っていた。何時の時点かは特定できないが、災害の発生する前に、当該電撃防止装置の主接点は何らかの理由によって開閉不能となる状況が発生した。そのために、当該溶接機の二次側に常時 80V 程度の溶接機無負荷電圧が発生した。

このとき、被災者は 80V 程度の無負荷電圧の発生に気づかなかったため、革手袋で把持した溶接棒を溶接棒ホルダーの充電部に装着しようとしたか、または、誤って溶接棒ホルダーの充電部に人体の一部が接触したために感電したと推定される。

6. 災害発生原因の推定

6.1 直接原因

主接点が開閉不良に至った原因には、次のようなケースが想定される。

(仮説Ⅰ：主接点の溶着)

主接点を約 20 年近くの長期間に渡って使用したために、接点間で繰り返し放電が発生して消耗が進み、最終的に主接点が溶融して溶着状態となった。このために、主接点が開閉不能となった。

(仮説Ⅱ：ピンの引っ掛かり)

主接点の可動接点部分に取り付けられた圧縮バネを固定するピンに対して、機械的な引っ掛かりなどに起因して何らかの異常な力が作用し、主接点間が押しつけられた。このために主接点が開閉不能となった。

(仮説Ⅲ：過電流による溶着)

主接点に異常な過電流が流れて接点溶着が発生し、主接点が開閉不能となった。

以上のうち、仮説Ⅱに関しては、既に第 4.4 節に示したように、ピンが可動する周辺を見る限り引っ掛かりが起きるような場所はなく、引っ掛かりの痕跡も見当たらない。また、聴取結果でもピンに対して異常な力が作用したことを裏付ける供述等が得られておらず、この可能性は低いと考えられる。また、仮説Ⅲに関しても、既に第 4.6 節で述べたように主接点に定格電流を超える過電流は流れなかったと考えられ、過電流による溶着はなかったと考えられる。

これに対し、仮説Ⅰに関しては、①主接点が一旦溶融した後に固まったと考えられる箇所が認められたこと、②上記箇所で固定接点と可動接点を重ね合わせたところ形状が一致している箇所が認め

られたこと、③上記箇所で可動接点の側面に焦げた跡が認められたことなどを考慮すれば、溶着が起きた可能性も否定できない。したがって、仮説Ⅱ及びⅢと比較すれば仮説Ⅰが発生した可能性は高いと推察される。このため、本調査では、仮説Ⅰを最も発生可能性の高いものとして採択した。

6.2 間接原因

本件災害の間接原因としては、たとえば次のようなものが挙げられる。なお、この検討では仮説Ⅰによって災害が発生したと仮定している。

1) 主接点の定期的な交換を実施していないこと

前述した主接点の消耗による溶着を防止するために、「交流アーク溶接機用自動電撃防止装置の接続及び使用の安全基準に関する技術上の指針」(昭 55. 7. 30 技術上の指針公示第 12 号)では、6 ヶ月以内毎の定期点検項目として「電磁接触器の主接点及びその他の補助接点の消耗の状態」を定めるとともに、点検の結果、異常を認めたときは、直ちに補修し又は取り換えることを規定している。

しかし、本件災害のあった電撃防止装置では、1992 年以来過去 20 年間で主接点の消耗状態を点検したという記録がなく、点検を実施したという供述もない。

2) 主接点の状態を目視で容易に確認し得る構造でなかったこと

災害のあった電撃防止装置では、「電磁接触器の主接点及びその他の補助接点の消耗の状態」は当該装置を解体しなければ目視で容易に確認できない構造であった。

3) 主接点を交換する際の判断基準が明確でなかったこと

上記 2) で仮に目視が可能であった場合でも、どの程度主接点が消耗すれば交換すべきかなどの交換基準が明確でなかった。また、使用期間やオン/オフ回数がどの程度に達すれば主接点を交換すべきかなどの交換基準が明確でなかった。

4) 電磁接触器が冗長化されていなかったこと

電磁接触器の主接点に対する溶着防止対策では、電磁接触器を冗長化するとともに冗長化された電磁接触器のオン/オフ動作が故障によって不一致でないかを検出する方式とすることがある。しかし、調査者らの知る限りでは、電磁接触器を冗長化した電撃防止装置は見当たらない。これは、現状の溶接機の多くが大変安価であり、このような安価な装置に冗長化された電磁接触器を適用するのは相当なコストアップにつながるためと言われている。

なお、電磁接触器の冗長化に代わる対策として半導体素子を利用した無接点化がある。これは、既に市販されている製品もあるが、コストアップとなるためにほとんど普及していないとの話であった。

7. 再発防止を目的とした調査

7.1 海外で使用されている危険低減装置の調査

再発防止策の参考になる情報として、海外で使用されている危険低減装置 (hazard reducing device) の仕様調査とその有効性を検討した。この装置は、IEC60974-1(2008)「アーク溶接装置」の第 13 章に記載されているもので、厳しい電撃の危険を伴う環境で使用するときは定格無負荷電圧を 0.3 秒以内に 48V を超えない電圧に低減することを要求している⁴⁾。なお、定格無負荷電圧は可能な限り低くすることが望ましいとされている。この“可能な限り低く”とは、具体的に

は安全電圧である 25V 以下と考えてよい。

次に、国際規格 IEC 60974-1「アーク溶接装置」の中で規定された危険低減装置として、販売されている危険低減装置を購入し、その有効性を検討した。この仕様調査の過程で、海外のアーク溶接作業に対しては次のような災害防止対策もあることが判明した（図 2）。なお、本調査では実際の溶接作業を調査していないので、以下の 1)～3)はカタログ等を調べた情報に基づく推定である。

- 1) 作業者がその意思に基づいて所定の操作（ボタンを押し続けるなど）をしているときに限って溶接作業を実施できるホールド・ツー・ラン機能を備えている。
- 2) 上記 1)の場合、配線が煩雑になる。そこで、配線を簡素化するために無線を使って上記 1)の機能を実現するものがある。
- 3) 溶接作業時には、頭部全体を覆うヘルメット状の遮光器具を使用する。
- 4) 主接点に対しては、ISO13849-1:2006 に定めるカテゴリー 1 の対策を施している。この対策では、主接点の溶着によって安全機能の喪失を招かないように、“十分吟味されたコンポーネント”の使用を要求している。なお、カテゴリーには B, 1, 2, 3, 4 の 5 種類があり、2 は安全機能の定期的チェック、3 及び 4 は冗長化が該当する。

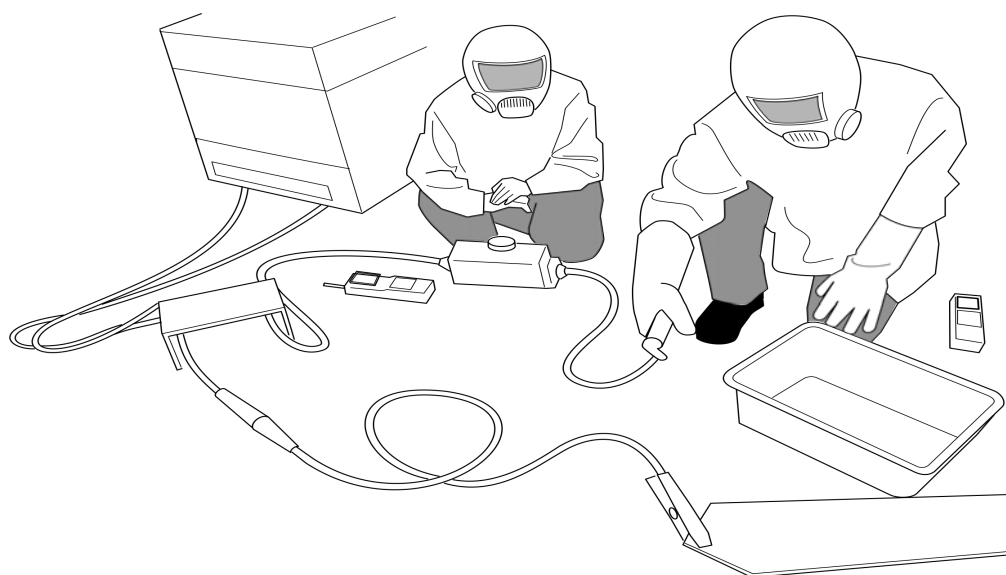


図 2 海外で使用されている危険低減装置の例

次に、当該危険低減装置で使用されている主接点についてその構造の確認を試みた。この装置は定格 150A の溶接機に使用されている仕様で、接点の形状は円柱状であり、その厚み及び直径はそれぞれ 1mm, 17mm であった（写真 15 及び 16 参照）。また、接点を取り付けられた銅板の厚みは 5mm であった。

一方、感電災害時に使用されていた電撃防止装置の主接点の定格電流は 220A であって、その形状は 17mm×9mm の長方形であり、厚みは 1mm であった（写真 16 参照）。また、当該危険低減装置に設けられていた 5mm の銅板に相当するものは存在しなかった。

以上より、当該危険低減装置で使用されている主接点の等価面積は 227mm^2 、感電災害が

発生した電撃防止装置の主接点の等価面積は 153 mm^2 であり、当該危険低減装置で使用されている主接点に 5mm の銅板が取り付けられている点も多少加味すれば、感電災害が発生した電撃防止装置の主接点の方が消耗しやすかったと推察される。

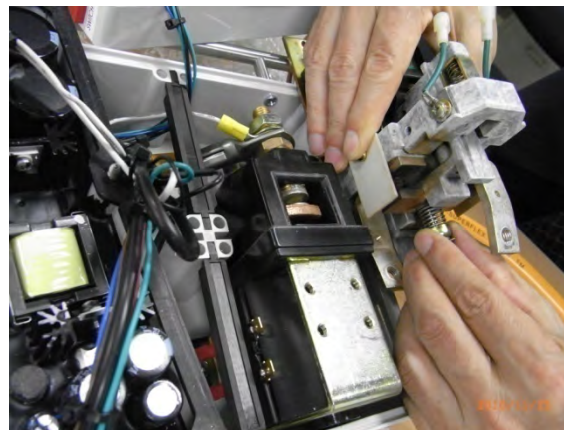
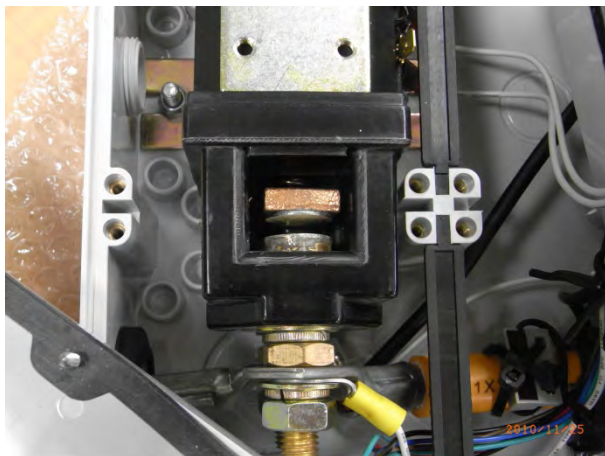


写真 15 当該危険低減装置の主接点

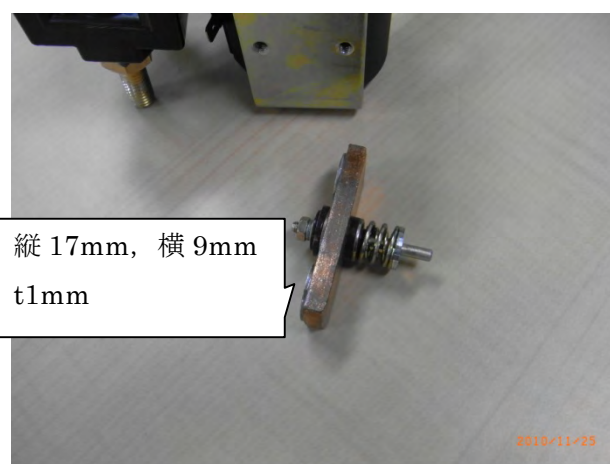


写真 15 当該危険低減装置の主接点

写真 16 災害時に使用された電撃防止装置の主接点

7.2 国内で市販されている最新の電撃防止装置の調査

現在一般的に使用されている電撃防止装置の主接点について調査した。調査したのは溶接機の二次側を遮断する二次切りタイプである。

表 3 に、電撃防止装置の銘板に記載があった事項を示す。この装置の接点の直径は 15mm、厚み 0.85mm であった（写真 17 参照）。厚みについては、災害時に使用された電撃防止装置や海外の装置と大きな差がないものの、接触面積については災害時に使用された電撃防止装置のものが最も小さいことを確認した（表 4 参照）。接触面積が小さいと、単位面積あたりの電流密度が大きくなり、接点での発熱が大きくなるため、接点材料の蒸発と消耗を促進する要因になると考えられる。

なお、この装置には一次側に電磁接触器（写真 18 参照）が取り付けられているが、

その目的は省エネ機能であり、アーク溶接を休止している期間には当該接点を開いて入力電源回路を遮断することによって、無負荷損失を抑える役目を有している。

以上のことから、接点の接触面積を広くすることが、主接点での一時的な開閉不能対策の一つとして有効と考えられる。

表 3 電撃防止装置銘板に記載があった事項

商品名	交流アーク溶接機用電撃防止装置 (内蔵形)	定格入力電圧	200V
定格電流	300A (出力側遮断方式)	定格使用率	40%
安全電圧	24V 以下	標準始動感度	300 Ω

表 4 主接点の形状と厚みの比較

電撃防止装置型式など	国内装置	海外装置	災害時に使用された電撃防止装置
形状	円形	円形	長方形
厚み	0.85mm	1mm	1mm
直径など	$\phi 15\text{mm}$	$\phi 17\text{mm}$	縦 17mm, 横 9mm
接触面積	177mm ²	227mm ²	153mm ²

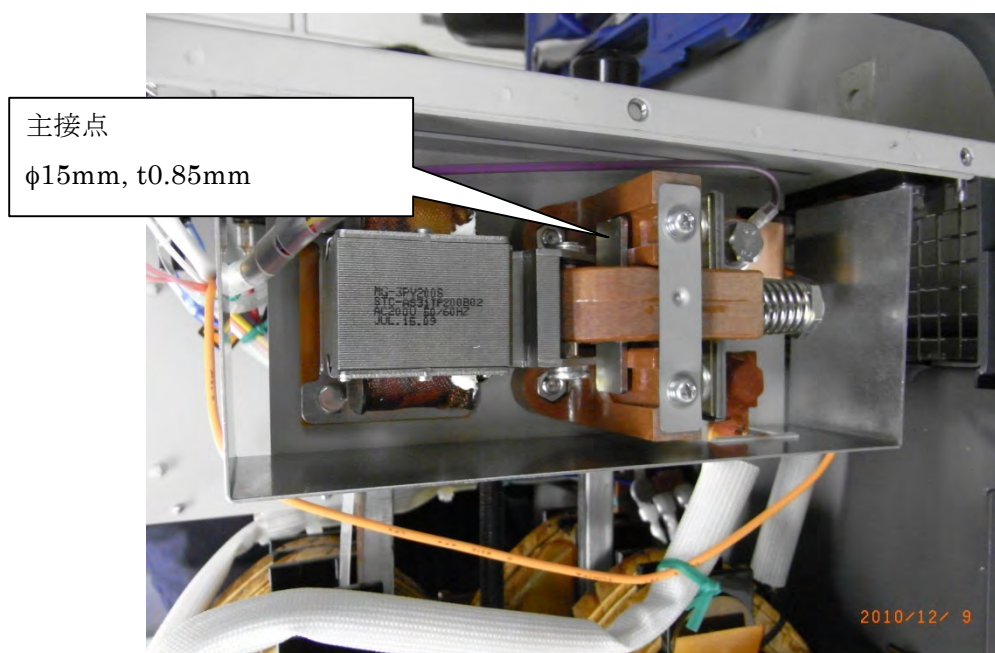


写真 17 電撃防止装置

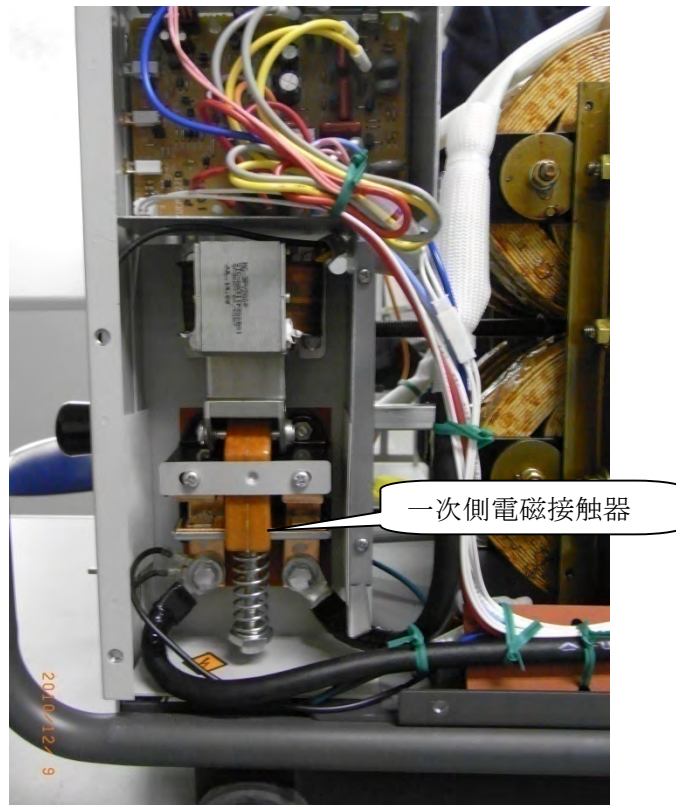


写真 18 省エネ用一次側電磁接触器

8. 再発防止策の提案

次に、厚生労働省が 2007 年に公表した「機械の包括的な安全基準に関する指針」³⁾に記載されたリスク低減戦略に従って再発防止策を検討する。

この戦略の特徴は次のとおりである。

- (a) 機械の設計・製造段階での設備対策を重視してリスクを大幅に低減し、労働災害の未然防止を目指す。
- (b) (a)によっては対応困難な残留リスクを対象に、機械の設計・製造者から使用者への情報の提供、及び機械の使用者の注意力に依存する管理的対策を実施する。

要するに、機械の設計・製造者が行う上流段階での設備対策を重視して労働災害を未然防止する点に、この戦略の特徴がある。

以下、この戦略を考慮した上で、交流アーク溶接機の設計・製造者（メーカー）または使用者（ユーザー）を対象に、暫定的対策と恒久的対策に分けて再発防止策を提案する。

8.1 暫定的対策

これは、現状の溶接機及び電撃防止装置を用いることを前提にした対策である。具体的な対策としては、次のようなものが考えられる。

1) 設計・製造者が行う対策

- (a) 主接点を交換する際の判断基準の明確化

どの程度主接点が消耗すれば交換すべきかなどの交換基準や使用期間、オン/オフ回数など、主接点を交換する際の判断基準の明確化を図る。このためには、写真等を活用した分かりやすい点検ガイドブックの作成なども重要と考えられる。

(b) 作成した判断基準に関する情報のユーザーへの提供

上記(a)で作成した情報を交流アーク溶接機の使用者に確実に提供する。

2) 使用者が行う対策

(a) 電磁接触器の主接点の定期点検の徹底

主接点の消耗は、メーカーなどからの聴取結果も考慮すれば、すべての主接点で共通に発生している現象である。また、主接点が電源側に取り付けられている一次切りの場合は、接点が消耗しやすい。このため、「交流アーク溶接機用自動電撃防止装置の接続及び使用の安全基準に関する技術上の指針」(昭 55.7.30 技術上の指針公示第 12 号)において、電撃防止装置の使用頻度、設置場所その他使用条件に応じて、6 月以内ごとに 1 回、「電磁接触器の主接点及びその他の補助接点の消耗の状態」について、検査を行い、その結果を記録することとなっているが、実施が徹底されておらず、これを徹底する方策が必要である。

この点については、行政上の課題であるが、主接点に対する 6 月以内ごとの定期点検の義務化や後述する一斉点検の実施も重要と考えられる。

(b) 主接点の一斉点検の実施

上記 1) (a)で作成した判断基準を利用して、長期間使用されており、かつ、定期点検を実施した記録が認められない電撃防止装置を対象に、主接点に異常(著しい消耗など)が認められないかを確認するための一斉点検を実施する。

8.2 長期的対策

これは、溶接機や電撃防止装置に設備対策を実施して抜本的改善を図ることを主眼にした対策である。具体的な対策としては、次のようなものが考えられる。

1) 設計・製造者が行う対策

(a) 主接点の面積の増加

接点間での接触面積が小さいと、単位面積あたりの電流密度が増大する。これにより、接点での発熱も増大し、接点材料の蒸発と消耗を促進する要因になると考えられる。この点を改善するために、外国製(たとえば、第 7.1 節参照)の主接点と同程度に接点の面積を大きくすべきである。

(b) ホールド・ツー・ラン機能の付加

作業者がその意思に基づいて所定の操作をしているときに限って溶接作業を実施できるホールド・ツー・ラン機能を備えることで、安全性は向上する。具体的には、フットペダルやデッドマンスイッチを押し続けているときに限って溶接が可能となる機能などが考えられる。

(c) 主接点の消耗状態を外部から点検できる窓などの設置

現状の電撃防止装置では、当該装置を解体しなければ「電磁接触器の主接点及びその他の補助接点の消耗の状態」を目視で容易に確認できない構造となっている。このため、接点の摩耗状況などを十分認識できない。この点を改善するために、接点の状態を点検窓などから目視で

きるようにする方策も検討すべきである。

(d) 主接点のオン／オフ回数をカウントできるカウンタの付加

主接点の使用頻度を客観的に把握するために、主接点のオン／オフ回数をカウントできる機械式のカウンタを付加する方法も考えられる。

(e) 半導体素子の採用

主接点の溶着が起り得ない半導体素子の普及促進を図る。この場合、半導体素子の故障に対するフェールセーフ対策が必要である。

(f) 電磁接触器の冗長化と不一致検出機能の付加

主接点の消耗がすべての接点で共通に発生している現象であるならば、消耗に起因する接点溶着を防止するために電磁接触器の冗長化と不一致検出機能の付加は大変有効な方法と考えられる。この対策はコストアップに繋がるとの指摘もあるが、第 7.2 節で示したように省エネ対策のためには電磁接触器を冗長化しているのであり、同様の措置を感電災害防止対策のために実施すべきと考える。

(g) 以上を考慮した新しい電撃防止装置の開発

上記(a)～(f)を考慮した電撃防止装置を開発することで、安全性は格段に向上する。

2) 使用者が行う対策

上記(a)～(f)を考慮した電撃防止装置の積極的導入を図る。

8.3 参考事項

1) 6 ヶ月点検について

現在、労働安全衛生規則では第 352 条で「交流アーク溶接機用自動電撃防止装置の使用前点検等」として電撃防止装置の作動状態を確認するとともに、異常を認めたときは直ちに補修し、又は取り換えなければならないと規定している。これは、具体的には、交流アーク溶接機を使用する前にテストボタンを押して電撃防止装置が有効であることを確認する行為などを指していると考えられる。

このテストの結果、電撃防止装置の故障が確認できれば、本規則に基づいて補修が義務づけられる。これに対し、主接点が突然溶着したときは、本規則に定める義務を果たしていても感電災害を防止するのは困難である。

このため、「交流アーク溶接機用自動電撃防止装置の接続及び使用の安全基準に関する技術上の指針」(昭 55.7.30 技術上の指針公示第 12 号)において、電撃防止装置の使用頻度、設置場所その他使用条件に応じて、6 月以内ごとに 1 回、「電磁接触器の主接点及びその他の補助接点の消耗の状態」について、検査を行い、その結果を記録することとなっているが、強制力を伴う規程でないために実施が徹底されていない。したがって、これは行政上の課題ではあるが、たとえば、電撃防止装置の使用頻度、設置場所その他使用条件に応じて、6 ヶ月点検を義務化するなどして、当該感電災害の防止を図るのが望ましいと考える。

2) 他の原因も含めた感電災害の防止について

交流アーク溶接機による感電災害の原因には、今回調査した①主接点の溶着だけでなく、②始動感度の抵抗値が高い電撃防止装置の使用がある。このうち②では、発汗など

によって人体の皮膚抵抗値が低くなっている状態のときに始動感度の抵抗値が高い電気防止装置を使用すると、人体が誤って充電部と接触したときに通常の溶接作業時と同じ電圧が発生し、感電災害に至るという問題が該当する。

この問題を改善するために、JISC9311（交流アーク溶接機用電撃防止装置）では 2005 年版で始動感度の抵抗値の見直しを行い、感電がほとんどあり得ないとする標準始動感度を $200\ \Omega$ として認め、その変動幅を $\pm 30\%$ とし、始動感度の最大値を従来の $500\ \Omega$ から $260\ \Omega$ に変更した（JISC9311:2005 の表 1 参照）。この詳細は文献 4）に詳述されている。

今後は、上記①及び②に関して、JISC9311 との整合も踏まえ、労働安全衛生規則及び交流アーク溶接機用自動電撃防止装置構造規格などの改正を図ることが課題と考える。

9. 結論

本件災害は、被災者が電撃防止装置に内蔵された交流アーク溶接機を用いて船体ブロックの材料の溶接作業を行っていたところ、当該電撃防止装置の主接点は何らかの理由によって開閉不能となる状況が発生し、当該溶接機の二次側に常時 80V 程度の溶接機無負荷電圧が発生したものである。このとき、被災者は 80V 程度の無負荷電圧の発生に気づかなかったため、革手袋で把持した溶接棒を溶接棒ホルダーの充電部に装着しようとしたか、または、誤って溶接棒ホルダーの充電部に人体の一部が接触したために感電したと推定される。

主接点が開閉不良に至った原因は、主接点を約 20 年近くの長期間に渡って使用したために、接点間で繰り返し放電が発生して消耗が進み、最終的に主接点が溶融して溶着状態に至った可能性が高い。なお、接点の消耗はすべての接点で共通に発生している現象であり、主接点が電源側に取り付けられている一次切りの場合は特に接点の消耗しやすいと言われている。

このため、「交流アーク溶接機用自動電撃防止装置の接続及び使用の安全基準に関する技術上の指針」（昭 55.7.30 技術上の指針公示第 12 号）では、6 ヶ月以内毎の定期点検項目として「電磁接触器の主接点及びその他の補助接点の消耗の状態」を定めるとともに、点検の結果、異常を認めたときは、直ちに補修し又は取り換えることを規定している。しかし、実施が徹底されておらず、これを徹底する方策が必要である。

このためには、主接点を交換する際の判断基準の明確化、主接点の消耗状態を外部から点検できる窓などの設置、主接点のオン／オフ回数をカウントできるカウンタの付加などの方策も有効と考えられる。また、行政上の課題であるが、主接点に対する 6 月以内ごとの定期点検の義務化や主接点の摩耗状況を確認するための一斉点検の実施も有効と考えられる。さらに、抜本的対策として、主接点の面積の増加、ホールド・ツー・ラン機能の付加、半導体素子の採用、電磁接触器の冗長化と不一致検出機能の付加なども考えられる。

参考文献

- 1) 小野孝治・塩田泰仁・中野正、シーケンス制御技術、産業図書（2001）pp. 69-70
- 2) 静岡大学 工学部 電気電子工学科、関川研究室、電気接点对の開閉動作特性に関する研究（接触面の消耗・転移）http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~tjsekik/sub1_tokki.htm
- 3) 機械の包括的な安全基準に関する指針、基発第 0731001 号、平成 19 年 7 月 31 日

- 4) 山根敏・市川健二・富田一ほか，交流アーク溶接機用自動電撃防止装置の構造規格改正に関する検討報告書，独立行政法人労働安全衛生総合研究所，平成 21 年 11 月

以上

添付資料 1 ～ 3 略