

## ステンレス鋼の六価クロムフリー電解研磨技術の開発 —電極移動によるステンレス鋼板の電解研磨—

出口貴久\* 河西敏雄\*\*<sup>1</sup> 三木虎連\*\*<sup>2</sup>

### Development of Sixivalent Chromate-Free Electrolytic Polishing Method of Stainless Steel — Electrolytic Polishing of Stainless Steel Plate by Electrode Moving —

DEGUCHI Takahisa\*, KASAI Toshio\*\*<sup>1</sup>, MIKI Koren\*\*<sup>2</sup>

#### 抄録

ステンレス鋼板のエチレングリコール系電解液を用いた浸漬式の電解研磨において、陽極であるステンレス鋼板上を陰極内蔵の可動電極ヘッドを移動させることで鏡面加工していくシステムを提案し、研磨実験を行った。可動電極ヘッドは箱型であり、電解液が入った箱内の陰極と箱底の開口部を通してステンレス鋼板の電解研磨を行う方式で、電極ヘッドの移動によって研磨面積を拡大させていくものである。実験では、開口部のエッジ通過部分に白濁やピット発生などが観察されたが、電極ヘッドの移動速度を上げることによって問題解決が可能になり、大型ステンレス鋼板の鏡面研磨に活用できる可能性がでてきた。

キーワード：エチレングリコール，塩化ナトリウム，可動電極ヘッド，エッジ

#### 1 はじめに

金属の鏡面研磨に電解研磨を利用する理由には、表面の清浄性に優れる、加工変質層を除去できる、材料除去能率が優れる、耐食性に優れる、線材や箔などに適用できる等<sup>1)</sup>がある。電解研磨は、工業的な素材のオーステナイト系ステンレス鋼に、特に食品、医療、半導体産業等で用いられるタンクや配管などをクリーンな内面に仕上げるうえで重要な技術になっている。

ステンレス鋼の電解研磨では、従来からリン酸—硫酸系電解液<sup>1)2)</sup>を使用することが一般的であった。この系の電解液に含まれる硫酸は劇物であり、作業安全性において問題になる。またステンレス鋼の場合、未使用液が安全な液組成であって

も、ステンレス鋼に含まれるクロムに起因して電解研磨により六価クロムの生成が懸念<sup>3)</sup>され、この点は近年特に考慮が望まれている。

著者らは、これまでに安全面で優れるエチレングリコール系電解液を用いたステンレス鋼(SUS304)の電解研磨技術の開発を進めてきた<sup>4)5)</sup>。この電解液は毒劇物を含んでいない。

前報<sup>4)5)</sup>では、液組成や電解条件（電圧、極間距離、電極配置等）の検討を、ステンレス鋼板（陽極）と電極（陰極）を電解槽内に固定した単純浸漬方式で進め、鏡面研磨を実現した。

最近では、大型ステンレス鋼板に対する電解研磨の要望がでてきた。しかし、この単純浸漬方式の場合には大型電解槽、大量電解液、大容量・大型電源（大電流）が必要になり、作業に危険を伴う可能性も指摘される。

本研究で提案する電解研磨は、浸漬方式であると言っても、小型化の可能性を持つ電解研磨シス

\* 技術支援室 機械技術担当

\*\*<sup>1</sup> (株)河西研磨技術特別研究室

\*\*<sup>2</sup> (有)中村金属工業

テムである。以下、装置試作と研磨特性の検討結果を述べる。

## 2 実験方法

### 2.1 電極移動方式の電解研磨

前報<sup>5)</sup>の単純浸漬電解研磨では、研磨面積が50mm×15mmのステンレス鋼板（SUS304，2B仕上げ）を電解槽の底部に研磨面を上面にして配置し、陰極を対向させた研磨条件であった。その陽極と陰極の関係を図1に示す。なお、両極は固定されている。前報<sup>5)</sup>ではこの単純浸漬電解研磨方式で表1に示す電解条件で電解研磨し、電解時間3分間で鏡面光沢度381に仕上げることができた。鏡面光沢度の測定については後述する。

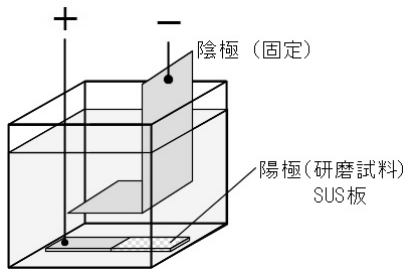


図1 単純浸漬方式の電解研磨の構成

表1 電解条件（浸漬方式）

電圧	10V	
陽極と陰極の面積比	1:5	
陽極と陰極の間隙	10mm	
電解液	水	1L
	エチレングリコール	1L
	塩化ナトリウム	200g
	クエン酸一水和物	132g
液温度	20°C	

一方、図2は本報提案の可動電極ヘッドをもつ新浸漬電解研磨システムである。従来よりも電解研磨液量を減らすことができ、上部陰極を電解液の中で移動させることを特徴とする。陽極のステンレス鋼板の表面を上向きに電解液中にセットし、陰極を納めた移動可能な箱型電極ヘッドにも電解液があり、箱底の開口部分を通して部分的な電解研磨を行う。ここで箱型電極ヘッドを移動させれば、広い面積を研磨していく電極移動方式の電解研磨になるものと考えた。

陰極は、陽極のステンレス鋼板面から10mmの位置にあり、研磨中に発生する気泡を液面へ容

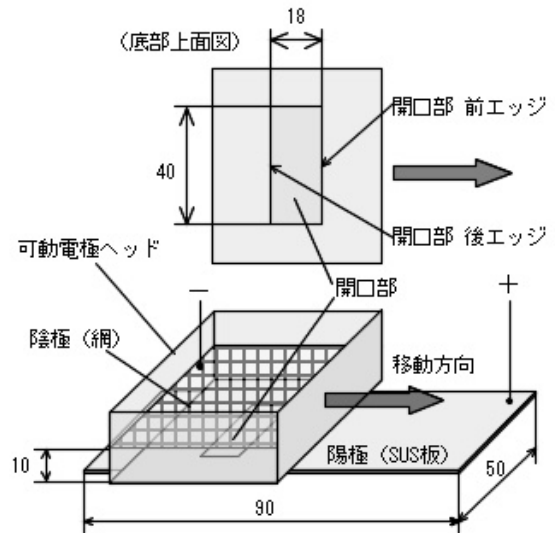


図2 新浸漬電解研磨システムの構成

易に排出できるようにステンレス金網（SUS304線径：0.25mm、メッシュ数：#30）を用いた。その大きさは開口面積の5倍以上（6.6倍）とした。なお、開口部をもつ箱型電極ヘッド底面は研磨試料に軽微に接触することになる。

可動電極ヘッドを移動させたとき、ステンレス鋼板上面の一点に注目すると、電解研磨は、開口部前エッジのところから始まり、開口部で続行し、後エッジで隠れたところで終了する。陽極全面の研磨時間を見積もる場合、従来の単純浸漬電解研磨の陽極全面加工に対して開口部だけの部分加工になるので、（陽極面積）／（陰極ヘッド開口部面積）の比だけ研磨時間の延長が必要になる。今回は、開口部の前後エッジの幅（移動方向の長さ）を18mmとした。これは、電極ヘッド移動速度を0.1mm/secとしたとき、開口部の露出時間（電解時間）が単純浸漬電解研磨の3分に相当する長さである。従来の単純浸漬電解研磨と同様の結果が得られるという見込みから単純計算で設定したものであった。なお、可動電極ヘッドの移動長さ（距離）は60mmとした。

### 2.2 実験装置

工作物である陽極のステンレス鋼板を設置する電解槽は、アクリル製角形容器であり、内寸法が120mm×230mm×55mm（深さ）である。さらに電極ヘッドを槽内のステンレス鋼板上に設置

し、その移動のための機構を設けた。電源は直流電源 (Metronix, Model MSV120A-5, 最大電流 5A) であり、定電圧で用いた。

### 2.3 工作物

工作物は、厚さ 1mm のステンレス鋼 SUS304 板 (2B 仕上げ) を 50mm×90mm に切り出したものを用いた。なお、最初にエタノール中で超音波洗浄し、油脂汚れなどを除去してから電解槽内に設置した。

### 2.4 電解液

電解液組成を表 2 に示す。これは、表 1 の電解液<sup>4)5)</sup>と組成比は同様である。液量はステンレス鋼板面から高さ約 20mm、可動ヘッドの箱内の陰極も十分に浸る量である。なお、液温度は 20℃ とした。

表 2 電解液組成

電解液	水 300mL, イソプロパノール 300mL 塩化ナトリウム 60g, ケン酸一水和物 40g
-----	---

### 2.5 研磨面の評価

研磨面は前報と同様に鏡面光沢度 (以下「光沢度」) により評価した。光沢度は光沢計 (日本電色, VGS-300A)、鏡面光沢度測定方法 (JIS Z 8741) に基づき測定角度 60° で研磨面の中央を 4 回測定し、平均値を算出した。

なお、今回の電極移動方式により電解研磨した場合、図 3 に示すように、電解時間や開口部のエッジ通過の条件が異なる部分が 3 通りできる。光沢度評価の対象としたのは、図 3 の B 部、すなわち開口部の前エッジと後エッジ共に通過した一定の電解時間の部分である。

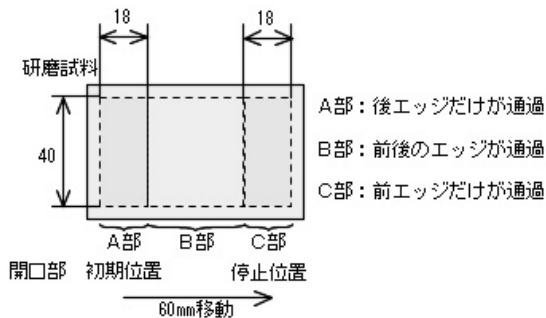


図 3 電極移動方式による電解研磨面

## 2.6 可動電極ヘッドによる電解研磨実験

### 2.6.1 電極ヘッドの確認

電極移動を狙って設計・製作した電極ヘッドではあるが、まずは電極ヘッドを移動させずに停止状態で電圧 10V、3 分間の電解研磨を行ってみた。前報の単純浸漬電解研磨の結果と比較を行った。

### 2.6.2 可動電極ヘッド移動による電解研磨

次に電極ヘッド設計の基となった条件である電圧 10V、可動電極ヘッド速度 0.1mm/sec で移動させて電解研磨を行った。前項の電極ヘッドを移動させない場合の研磨面との関連性の有無を確認した。

### 2.6.3 可動電極ヘッド移動速度

電極ヘッドは速度 0.1mm/sec で移動することを前提に開口部の大きさを設定したが、速度が研磨面へ及ぼす影響を調べる必要もあり、移動速度を変えた電解研磨を行った。電圧 10V で、移動速度を 0.5 mm/sec と 1 mm/sec についても検討した。

### 2.6.4 電極ヘッド移動の繰り返し電解研磨

2.6.2、2.6.3 項では電極ヘッドを初期位置から停止位置まで 60mm 移動させて電解研磨を終了させる条件である。その場合、速度を速くすると電解時間が短くなり、電解量 (除去量) が減少する。そこで電解量を増やす目的で、電極ヘッドを停止位置から初期位置まで戻し、再度移動させながら電解研磨する繰り返し操作を行った。なお、停止位置から初期位置へ戻す移動時には電圧は印加しない。

移動速度 0.5 mm/sec の研磨は、0.1mm/sec と比べて 5分の1 電解量 (電解時間) に相当する。そこで、移動速度 0.5 mm/sec では研磨を 0.1mm/sec の電解量と同等とするため、上記の繰り返しの操作を 5 回繰り返すことになる。

## 3 結果及び考察

### 3.1 電極ヘッドの確認結果

可動電極ヘッドを移動させることなく 3 分間の単純浸漬電解研磨したところ、光沢度 492 と好結

果を得た。これは前報<sup>5)</sup>の実験結果の光沢度 381 を大幅に上回っている。前報<sup>5)</sup>の実験条件の違いとして、陰極がステンレス平板であったのに対して、可動電極ヘッド内の陰極にステンレス網を採用している点である。網にすることにより気泡の排出が円滑になり、陰極面上に滞留する気泡が減少し、研磨性能が向上したものと考えている。

一方、開口部のエッジが当たっていた近辺は、鏡面に仕上がることなく粗い面を呈する問題も生じた。また、ピット発生も見られた。研磨面を図4に示す。



図4 研磨面（電極ヘッド移動無し）

### 3.2 電極ヘッド移動による電解研磨結果

可動電極ヘッドを速度 0.1mm/sec で移動して電解研磨を行った後の研磨面を図5に示す。研磨面は、光沢度 356 と劣り、白濁、ピットなどの痕跡が多く観察された。

前項で得られた鏡面を電極移動によりそのまま達成することは不可能なように思われた。前項でみられたエッジ周辺部の粗面化、ピット発生などは、電極ヘッドの移動速度が 0.1mm/sec と遅いので、ゆっくり面上に拡がっていくようであった。

一方、電極ヘッドの移動速度が早まると、電解液の入れ替えや気泡除去も円滑になるので鏡面化に結び付くのではないかという疑問も生じた。



図5 研磨面（電極ヘッド移動：0.1mm/sec）

### 3.3 電極ヘッド移動速度の検討結果

前項より可動電極ヘッド速度を速くした。速度 0.5 mm/sec では光沢度 31、1 mm/sec では光沢度 16 と大幅に低下した。しかし、ピット発生や筋状の模様はみられず、均一性という点では優れることが判明した。

この光沢度低下の原因は、可動電極ヘッドの移動速度を上げたので、電解時間が短くなって電解量（除去量）が減少し、十分な研磨が行われなかったことに起因するものと判断した。

### 3.4 繰り返し電解研磨の検討結果

電解量を増やすことを狙い、電圧 10V、移動速度 0.5 mm/sec 下で研磨ヘッドの移動を5回繰り返した。その結果、光沢度は 314 となり、3.3 項の1回研磨の光沢度 31 と比較して大幅な向上が見られた。また、一部に粗面部、筋状の模様が観察されるものの、移動速度 0.1 mm/sec と比べて欠陥部は大幅に減少した。研磨面を図6に示す。

可動電極ヘッドの移動速度の高速化とそれによる電解量の減少を電極ヘッドの移動の繰り返しによって補うならば、電解量および鏡面化の向上が期待でき、開口部をもつ可動電極を移動させる電解研磨が鏡面仕上げで有望なものになってきた。



図6 研磨面（電極ヘッド移動：0.5mm/sec）

## 4 まとめ

エチレングリコール系電解液を用いるステンレス鋼板の新しい浸漬型研磨法を提案し、簡易研磨システムを構築し、研磨実験を行った。以下、それらをまとめると、

(1) 新提案の電解研磨システムは、電解液中に浸した陽極のステンレス鋼板に陰極の箱型可動電極ヘッドを載せて使用する。電極ヘッド底部の開口部を通してヘッド内部に設置した陰極との間

で、開口部分面積だけの電解研磨を行うものである。その電極ヘッドを移動することによって研磨面積を拡大していくことができた。

(2) 可動電極ヘッドの開口部分のエッジ部が研磨品質に多大の悪影響（粗面化、白濁化、ピット発生）を及ぼすことを示した。

(3) 電極ヘッドの移動速度を上げるとエッジ通過の悪影響が低減し、表面の均一性向上に効果を得た。

(4) 電極ヘッドの移動速度を上げると電解量が減り、光沢度が低下する。電極ヘッドの通過回数を増やすと電解量を稼ぐことが可能になり、それにより光沢度向上が図れることが明らかになった。

#### 謝 辞

本研究を進めるに当たり、客員研究員として御指導いただきました近森邦夫氏に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 間宮, 山口, 渡辺: 化学研磨と電解研磨, 槇書店, (1997)102
- 2) 有村, 奥田, 山田: ステンレス鋼の鏡面電解研磨, 山口県工業技術センター研究報告, **8**, (1996) 12
- 3) 出口, 鈴木, 河西: 金属材料研磨とそのときの廃液組成について, 2009 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 419
- 4) 出口, 河西: ステンレス鋼の六価クロムフリー電解研磨技術の開発ー毒劇物を用いないステンレス鋼の電解研磨, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **9**, (2011) 65
- 5) 出口, 河西: ステンレス鋼の六価クロムフリー電解研磨技術の開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **10**, (2012) 40
- 6) 出口, 戸枝, 高橋, 許: チタン合金の電解研磨システムに関する研究, 埼玉県工業技術センター研究報告, **3**, (2001) 1