

# 現地電解研磨の施工法とその実施例

## The Procedure and Actual Examples of In-situ Electropolishing



化工機事業部 品質保証室  
青木 一章  
Kazuaki Aoki

Recently, electropolishing that is one of metal surface treatment technology is remarkable in many industries, since electropolishing on austenitic stainless steel surface forms of oxide layer (passivation) and the reduced of surface roughness.

These microscopic surface modification of metal caused by electropolishing is made great contribution to improvement the purity of chemical products and the production technologies. For this reason, our electropolishing work for vessels and equipments increased not only new products in our factories but also actual plants in our customers. In this paper, we report many procedures, advantages and planning considerations of in-situ electropolishing technologies showing the actual application from the small vessel to the big vessel over 40 m<sup>3</sup> in volume.

### まえがき

当社では従来より石油化学工業、医薬品工業、食品工業、原子力工業といった分野の金属製反応機、貯槽、配管等の金属表面処理として電解研磨を施工してきた。これらの電解研磨は、原則的に当社工場内で施工されていた。しかし、最近、金属表面処理技術への関心が高まり、金属表面の改質が製品の品質や生産性の向上に寄与し、また依存することから新造機器への適用のみならず、既存設備、機器への施工依頼が増加している。

本文では電解研磨の特長、原理はできるだけ簡単に記述するとともに、主として現地電解研磨技術の施工要領および40 m<sup>3</sup>を超える大型反応槽、数 m<sup>3</sup>の小型反応槽の実施例を中心に、当社の現地電解研磨技術を紹介する。

### 電解研磨の原理と特長

電解研磨とは、電気化学的反応に基づき、外部電流によって金属表面を平滑および光沢化させる方法である。その基本概念図を第1図に示す。また、実例の概念図で、陽極側(研磨対象物)を電解槽とした場合を第2図、陰極側を電解槽とした場合を第3図に示す。各図に見られるように、研磨対象物を直流電源の陽極に接続し、それを電解液中に陰極と相対させ、所定の外部電圧をかけることにより電気化学反応を強制的に生じさせる。その結果研磨対象物(陽極)表面の数ミクロン高さの凹凸を溶解し、光沢化さ

せる。このように、光沢化された表面は次のような特長を有する。

- (1) 表面層に特定成分の濃縮された不動態皮膜を生成すること。
- (2) 実表面積が大幅に低減し、理論表面積に近づくこと。これらが起因して、
  - ・耐食性の向上や鉄イオンの溶出量の低下
  - ・付着の防止や洗浄性の向上

また、その他に表面残留応力の緩和や外観の向上といった特長が掲げられる。<sup>1),2)</sup>

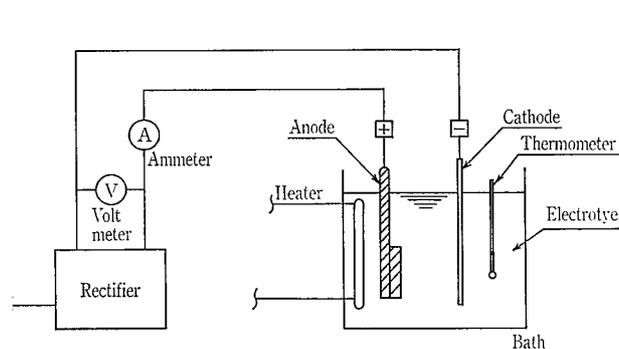
## 2. 電解研磨の仕様

### 2.1 電解研磨面の仕上等級

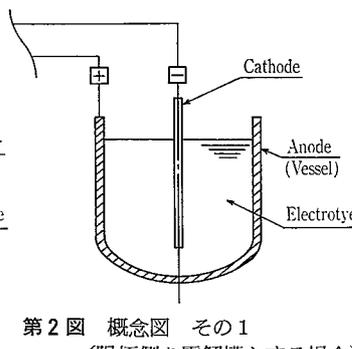
電解研磨はその原理から、金属表面のマイクロ研磨作用に機能を発揮する。従って、一般的に電解研磨は機械研磨(バフ研磨など)と組合せて使用されるのが一般的である。ここで、機械研磨は電解研磨の前処理として

- (1) 金属素地表面の粗さを低減する。
- (2) 素地表面の傷、くぼみなどを除去し、なだらかな面とする。
- (3) 素地表面の酸化スケール、異材、異物付着の除去をする。

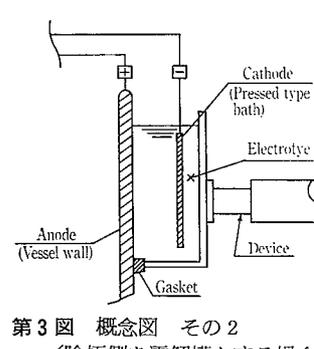
などの役割を果し、良好な電解研磨面を得るために実施される。次に当社における研磨面の標準的等級をまとめる。



第1図 電解研磨の概念図  
Fig. 1 Schematic diagram of electropolishing



第2図 概念図 その1  
(陽極側を電解槽とする場合)  
Fig. 2 Schematic diagram of electropolishing (Substitute anode for bath)



第3図 概念図 その2  
(陰極側を電解槽とする場合)  
Fig. 3 Schematic diagram of electropolishing (Substitute cathode for bath)

- (1) EP-1 : パフ研磨(#150)+電解研磨
- (2) EP-3 :   〃  (#320)+   〃
- (3) EP-5 :   〃  (#400)+   〃
- (4) EP-6 :   〃  (#600)+   〃

上記外に、種類は限定されるが、近年ステンレス鋼材で表面仕上が非常に良好な素材が開発されている。例えば、薄鋼板の2B材、鋼管では光揮焼鈍管など、これらについては素地に直接電解研磨することにより、EP-5相当程度の仕上がりが得られる。また、外観性能を多少犠牲にして素地に直接、電解研磨を施工することも可能である。本方法は電解研磨の機能性に主眼を置くとき、経済性もあり非常に有力な手法である。

## 2. 2 電解研磨液

当社における電解液は、リン酸-硫酸系に添加剤の混合した混酸系である。本電解液は、オーステナイトステンレス系鋼種を主体に適用できるように開発、調査されたものである。

## 2. 3 電解研磨適用材料

基本的に電解研磨の可能な金属材料について述べると、理論的には通電が可能なものは全てということになるが、工業規模で、かつ安定的に大面積にわたって電解研磨が施工できるといった条件がついた場合、かなりその範囲は制限される。当社における電解液はオーステナイトステンレス系鋼種を主対象としたものであり、実績として、第1表に掲げる金属材料が電解研磨可能となっている。

他の系統の金属材料についても別途電解液の使用や、改良により電解研磨施工は可能であるが、対象物が大型、大面積のものが多いため、液のコスト、廃液処理などによる経済的な理由により、施工された例はきわめて少ない。

## 3. 現地電解研磨の現状

電解研磨処理による装置や機器の表面性能の向上が見直されるにつれて、新製作装置や機器のみならず、既存の設

備、機器に対する現地での電解研磨施工の需要が増大している。次に施工計画、要領などについてまとめる。

## 4. 基本施工方式

### 4. 1 施工法の種類

現地電解研磨の施工法は大別して、ディップ法と称する浸漬法と、マット法と称する電極移動法がある。次にこれらの施工法について述べる。

#### 4. 1. 1 ディップ法

ディップ法自身も細かく分類すれば、全ディップ法と部分ディップ法に分類することができる。

##### (1) 全ディップ法

一般に全浸漬法と呼ばれており、研磨対象物を電解槽へ浸漬するかまたは、対象物自身を電解槽と陽極を兼して電解研磨を施工する方法である。(第2図)

本方法は比較的小型の容器、部品類を対象として適用される。

##### (2) 部分ディップ法

本方法は小型の電解槽を電解研磨対象面に押しつけ、液の出し入れと通電を行ったあと、逐次に槽を移動させて行い。一般に、電解研磨対象面が大きい場合に適用される。(第3図)

#### 4. 1. 2 マット法

マット法は電極と研磨対象面との間に、電解研磨液を浸させたクロスマットをはさんで通電し、電極を移動しながら施工する方法である。(第4図) マット法も電解の給液方式によりスプレー式と箱式に分類できる。

これらの分類、適用基準について第2表にまとめた。

## 5. 施工要領

### 5. 1 施工計画

現地電解研磨工事は、工場内施工と異なり充分な計画立て、客先との綿密な打合、取合が必要である。ここで、計画立案時客先との一般的な確認項目を示すと

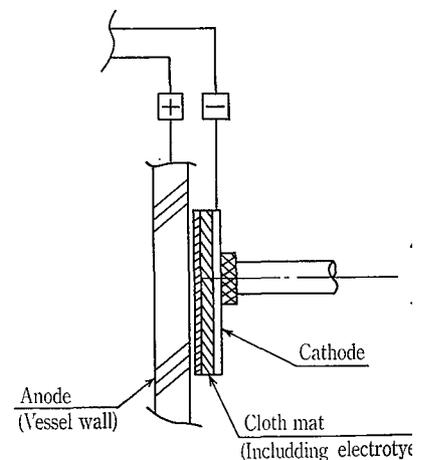
第1表 電解研磨可能材料一覧表

Table 1 The list of object materials for electropolishing

NO.	Material	Solid	Clad	Forging	Casting
1	SUS 304	◎	◎	○※	○
2	SUS 304L	◎	◎	○※	—
3	SUS 316	◎	◎	○※	○
4	SUS 316L	◎	◎	○※	—
5	SUS 317	◎	◎	—	—
6	SUS 317L	◎	◎	—	—
7	SUS 321	◎	◎	—	—
8	SUS 329J1	◎	◎	—	—
9	SUS 347	(◎)	◎	—	—
10	NAS 144M	○	○	—	—
11	Carpenter 20	○	—	—	—
12	Hasteloy B	△	—	—	—
13	Hasteloy C	○	—	—	—
14	Incolly	—	—	—	—
15	Inconel	△	—	—	—
16	Ni	△	—	—	—
17	Cr-Mo Steel	△	—	—	—

Note 1. ◎ : Mirror finish  
 ○ : Mirror finish but partially dull finish  
 △ : Dull finish  
 — : No experience  
 ※ : Sometimes dull finish by cutting direction  
 ( ) : Presumed by experience

Note 2. SP's standard electrolyte use



第4図 マット法概念図

Fig. 4 Schematic diagram of mat method

第 2 表 現地電解研磨施工法の比較表

Table 2 Comparison with in-situ electropolishing list

Item	Method	Aplication	Equipment
DIP	Overall DIP (Substitute anode for bath)	Small vessel (Approx. 2 m <sup>3</sup> )	Electrode only
	Partial DIP Box type of EP head	Middle and big vessel	The equipment which presses the head box in necessary.
MAT	Box type of EP head	Middle and big vessel shele use only	The equipment which presses and moves the head box in necessary
	Spray type of EP head	Middle and big vessel mainly used in bead	The equipment which presses and moves the head box in necessary

- (1) 電解研磨施工目的および仕様 (EP 面積, 容量, 材質)
- (2) 電解研磨施工面の状況 (付着物, 突起物, ノズル位置, 方位など)  
特に, 突起物, バッフル, 同サポートなど缶内部品類の取付状態並びに取りはずしの可能性など。
- (3) 缶体を含む設備の作業時の周囲環境 (防爆他)
- (4) 缶体自身の周囲状況 (断熱材など)
- (5) ユーティリティの取合 (電気, 洗浄水, 仮設機器据付スペース)
- (6) 排水処理 (電解研磨液, 機械研磨後洗浄液等)
- (7) 工程計画
- (8) 施工法の確定および設備計画
- (9) 仮設足場計画
- (10) 電解研磨治具の搬入計画  
などがあげられる。

### 5. 2 施工手順

基本的な施工手順は第 3 表に示すとおりである。本施工手順は, 対象容器の大小, 施工法にかかわらず同じである。ただし, 電解研磨施工治具の規模との兼ね合いにより, 治具の試運転調整などの項目が必要である。

### 5. 3 施工管理

現地工事の施工管理は, 現地電解研磨工事の完遂のための業務管理ばかりでなく, 作業の安全管理, 電解研磨の品質管理について, 十分な配慮が払われねばならないと言える。

#### 5. 3. 1 業務管理

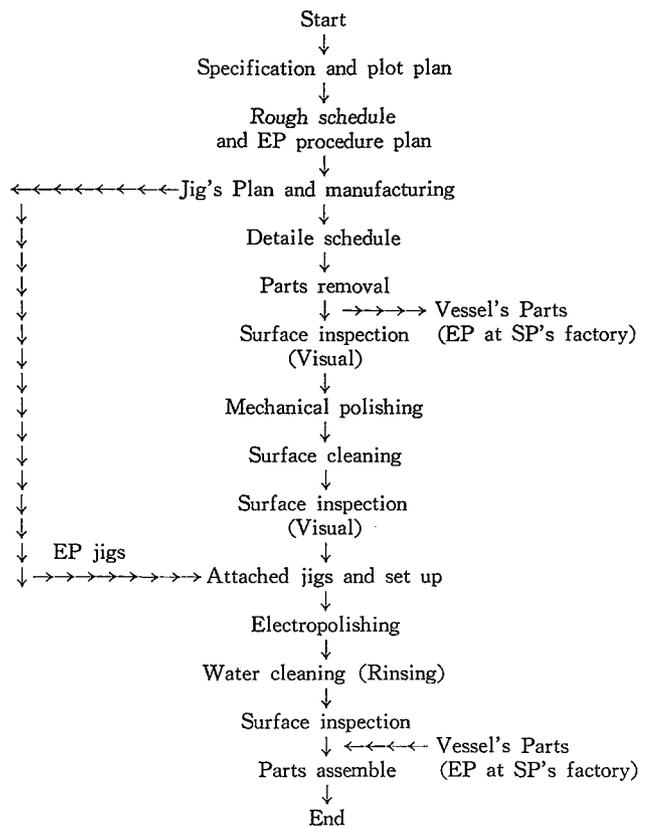
大工程, 詳細工程を順守するため, 安全教育, 手配部品の納期確認, 電解研磨治具の製作, 部品, 治具の搬入, 受入員数チェックや, ユーティリティの取合, クレーンなどの手配を含め, 屋外にあっては降雨対策の配慮が必要である。

#### 5. 3. 2 安全管理

本工事は, 電気作業, 高所作業, 酸欠など以外に電解液を扱うための薬品作業がある。また, 電解研磨作業中に水素ガス, 酸素ガスの発生があり, これらの希釈のための換

第 3 表 現地電解研磨施行手順図

Table 3 The sequence of in-situ electropolishing



気装置などにも充分注意されねばならない。

## 6. 品質管理と検査方法

### 6. 1 品質管理

電解研磨工事の品質管理とは, とりもなおさず電解研磨面の品質管理に帰着する。本研磨面の品質管理は, いかに客先の仕様に満足する研磨面を提供することができるかということである。研磨面の品質管理は対象とする電解研磨面素地の来歴や状況, 施工法から適切な電解諸条件を選択することと, これらの条件を付加した電解研磨施工基準を順守して施工することにある。

しかし, 対象とする電解研磨面の素材特性によって研磨面の仕上がり状態が異なることはあらかじめ客先へ伝えておく必要がある。例えば, ①溶接線部と母材部, ②圧延材と鍛鋼品・鍛鋼品などの鋼種差, ③素材中の成分 (C, Mn, S など) の影響による光沢差などがあげられる。仕様条件が厳密な場合は, テストサンプルを提示することも有効である。

### 6. 2 検査方法

電解研磨面の仕上がり状態を評価する方法について種々の方法がある。しかし, 電解研磨を施工した広い範囲に渡ってその状態を客観的に評価することはなかなか困難である。第 4 表に, 従来より実施されている種々の検査方法について, その特長を示す。施工された電解研磨面に対してどの検査方法を適用するかは, 仕上面への客先要求の度合, 電解面仕上等級, 経済性を加味して, 決定する必要がある。

一般的には、外観目視検査のみか、仕上げや目的に応じて粗さ測定または写真検査を付加することが多い。

## 7. 施工実施例

現地電解研磨の施工実施例として、約 2.5 m<sup>3</sup> の小型反応槽と 40 m<sup>3</sup> を超える大型反応槽の二つの場合について具体的に述べる。前者は、現地工事におけるディップ法 of 全浸漬式であり、後者は、マット法の箱式とスプレー式で施行された一例である。

### 7.1 小型反応機の場合

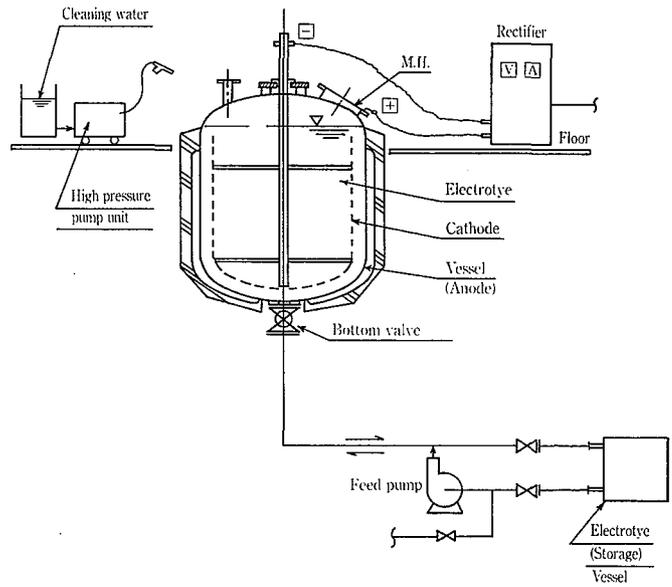
本実施例は、反応機を用いて製造される樹脂の品質向上つまり、缶体金属表面より金属イオンの溶出量の低下と、付着残量物の減少による内容物の純度向上が目的である。

電解研磨対象機器は約 2.5 m<sup>3</sup> の容量で、外套付ステンレス・ソリッド堅型反応機である。客先より提供された缶体の表面状況は、缶体製作時にパフ #400 がほどこされたところに運用時の内容物の付着残留物が表面に薄く付着している状態である。これらの施工手順と工程を次に示す。

#### 7.1.1 現地施工手順

- 手順 1. 反応機回り解体 : 出入口ノズルの配管および攪拌機の撤去、但し断熱材は解体せず。
- 手順 2. 反応機内部品撤去 : 邪魔板、攪拌翼、温度計さや管、滴下管などを工場へ送り、缶体と同じ仕上の電解研磨処理
- 手順 3. 反応機内面機械研磨 : パフ #600 仕上
- 手順 4. 機械研磨面清掃 : 水洗およびアルカリ洗浄剤による清掃、脱脂。
- 手順 5. 電解研磨装置組立 : 第5図に示す電解研磨施工流れ図とする。

- 手順 6. 反応機内電極組立 : 第6図に示す電極構造となっている。
- 手順 7. 電気系統接続確認 : 短絡部などのないことを確認する。
- 手順 8. 電解研磨液の仕込 : 仕込量、仕込面(液高さ)を確認する。
- 手順 9. 電解研磨(通電) : 全ディップ法
- 手順10. 電解研磨液の回収 : 下部バルブより排出
- 手順11. 反応機内面の水洗 : 第1次洗浄、高圧水の噴射による。洗浄廃水は下部バルブより排出
- 手順12. 反応機内電極解体 :



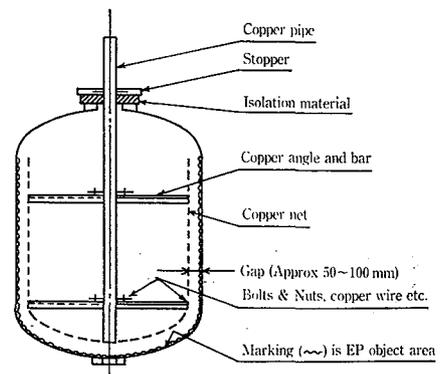
第5図 現地電解研磨システム図  
Fig. 5 System of in-situ electropolishing

第4表 電解研磨面の検査方法(一例)

Table 4 Examples the inspection after electropolishing surface

NO	Item	Procedure	Character	Remarks
1.	Visual inspection	Visual	Overall appearance	Macro area
2.	Reflection inspection	Inspecting the image of scale at right angle on EP surface	Comparison of the smoothness	Narrow area
3.	Roughness inspection	Sampling with a plastic replica roughness measurements	Check of reduction of roughness of EP surface	Micro area
4.	Optical Photograph inspection	Sampling with plastic replica Optical photograph Magnification 100, 400 etc	Clear the character of EP surface	Micro area
5.	SEM※ Photograph inspection	SEM photograph Magnification 500, 2000 etc	Clear the character of EP surface	Micro area

Note ※ Mark ; a scanning electron microscope



第6図 電極構造図  
Fig. 6 Construction of electrode

- 順13. 電解研磨面の水洗 : 第2次洗浄, 高圧水噴射による。
- 順14. 電解研磨面検査 : 外観目視, レプリカ採取および残液の無いことの確認
- 順15. 電解研磨面の養生 :
- 順16. 反応機内部品の組込: 邪魔板など。
- 順17. 電解研磨装置の解体:

1.2 現地工程

現地日程は施工環境, 条件などにより異なるが1缶あたり6日程度となっている。作業人員構成は, 技術スタッフ1名, 現場監督1名, パフ作業2名, 電解研磨作業3名となっている。但し, 本現地作業の着手前に電極設計・製作工事計画の日程が必要であり, 表面にでにくいがこの計画時間の割合が結構多い。

2 大型反応機の場合

本実施例は, 製造される樹脂の機内表面への付着を減少させることによる設備稼働率の向上と製品の純度向上である。

電解研磨対象機器は 40 m<sup>3</sup> を超える大型重合機であり, 1套付ステンレス・クラッド鋼製縦型反応機である。

このような大型槽の場合は, 客先より与えられる施工期日, および電解研磨面に対する要求仕様から電解研磨方式, 施工法が決まってくる。また, 電解研磨装置の機械化が重要な因子となり, 電解研磨装置は, 給液, 給電方法を含め

た総合システムとして工夫される必要がある。

7.2.1 設備概要

本大型反応機では, 小型反応機のような全浸漬法と異なり, 電解研磨部が移動するマット法を採用するため, システムとその機構について説明する。

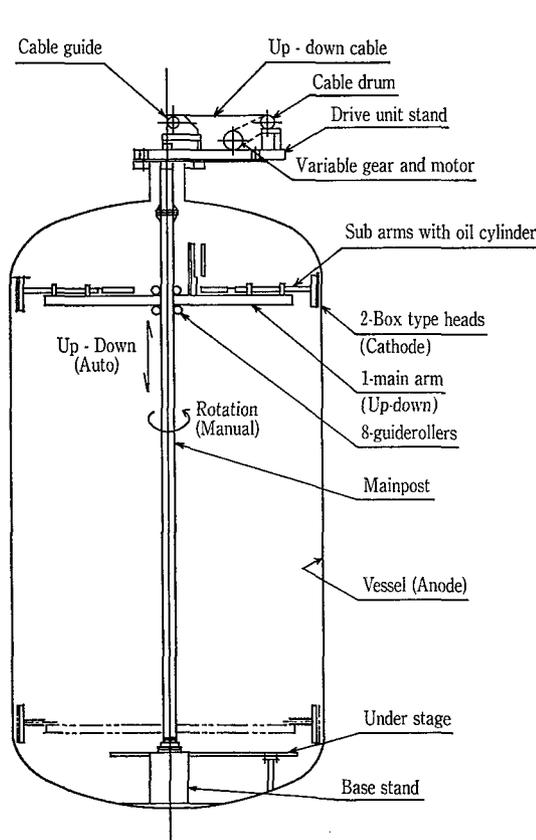
(1) 電解研磨装置

本装置は, 第7図に示す構造となっており, 昇降用双胴柱と端部に電解研磨ヘッドを取付けた昇降アームおよびアームの昇降駆動ユニット, 上部, 下部架台および運転制御盤からなっている。昇降アームには, 端部の電解研磨ヘッドを引き込み, 押し出すための油圧シリンダを内蔵している。反応機本体に対する施工手順は, 胴体部を上下昇降して施工し, 鏡部は, ヘッド付アームを回転させて行う。従って, ヘッドの移動速度, 押しつけ圧力などが主要な操作変数となる。

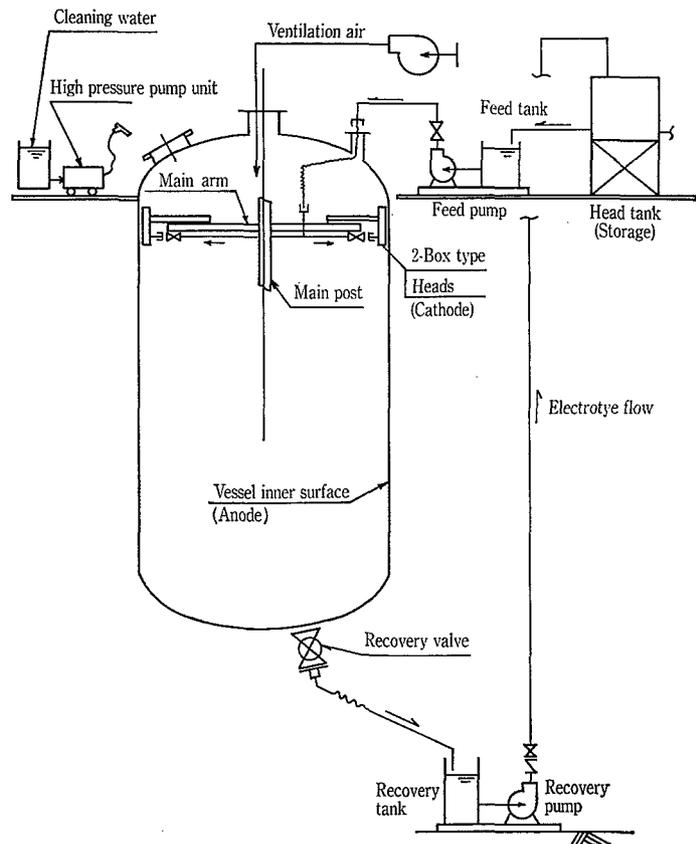
(2) 電解液給液装置

昇降アーム端部に取付けられた電解研磨ヘッドは第8図に示す構成で電解液が給液・回収され循環使用される。

具体的に, 給液タンクからでた電解液は送液ポンプ, 流量調整弁を経て, 電極ヘッドへ給液される。ヘッド電極面より浸出した液は, 反応機壁面をつたって底部排出口より機外の回収タンクへ戻る。回収タンクに所定量の電解液が回収されると上部給液タンクへ送液される。



第7図 マット法現地電解研磨装置構造図  
Fig. 7 Construction of in-situ electropolishing device by Mat method



第8図 マット法現地電解研磨システム図  
Fig. 8 System of in-situ electropolishing by Mat method

### (3) 給電装置

電解研磨のための給電装置は、直流電源の発生装置である整流器の選定と、電解研磨部の電極の設計に要約される。

特に、マット法のように移動電極の場合、その面積、形状、強度、電氣的短縮防止など細やかな配慮が必要である。

ちなみに、今回の整流器は、1次入力側、AC 220 V, 50/60 Hz, 2次出力側、DC 0~12 V, 0~4 000 A, 出力安定化装置付を用いている。

### (4) 手持式電解研磨装置

大型の機械化された装置では電解研磨が施工しにくい場所、たとえば、バッフルサポート、マンホール蓋などは、小型手持式の電解研磨装置も併用して施工することとなる。

本装置は第9図のような構造となっており、手持式電極ヘッドを給液タンク、送液ポンプ、配管、バルブなどが一体化されたユニットからなっている。

### (5) 洗浄装置

電解研磨後の洗浄は、高圧水洗浄によっている。電解研磨後の洗浄方法は種々考えられるが、一般に、電解研磨後の使用目的などによって、使いわけがなされている。

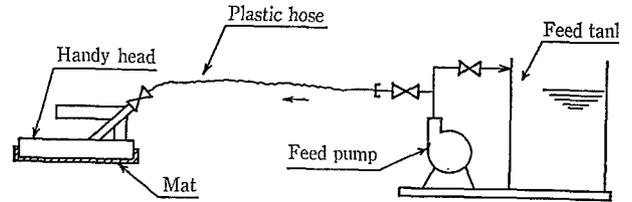
今回においては、高圧水の噴射洗浄を採用した。使用したポンプは、吐出圧力が0~100 kg/cm<sup>2</sup>の可変型である。

#### 7. 2. 2 現地施工手順

現地施工手順は、対象物の大小にかかわらず、7.1.1章で述べた手順と大差はないが、大型対象物では仮設足場の組立、撤去の作業が入ってくる。本作業は、先行する機械研磨や電解研磨および検査作業などとの取合が非常に大切である。

#### 7. 2. 3 現地工程

本工程は客先の要請もあり、最短工程となるように設備、



第9図 可搬式電解研磨装置

Fig. 9 Portable electropolishing unit

および夜勤を含めた人員配置を行った。構成要員は、1台あたり技術スタッフ1名、監督職1名、バフ研磨6名、電解研磨7名、その他検査、電気関連各1名となっている。従って、所要日数は、現地教育、準備、後片付を除き、かなりきつい工程であったが実作業は11日であった。(但し足場の組立、撤去、クレーン作業は除く。)

### むすび

以上、電解研磨の簡単な基本原理とその特長、また、当社における電解研磨の内容および仕様等級、また、現地加工に係る施工法や、施工計画および実施にあたる注意点や、実施例をまとめた。いずれの実施例においても、また他の実績についても客先の高い評価をいただいている。今後、一層の技術向上や自動化率の向上をはかり、ユーザーに対応していく所存である。

#### 〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ-技報 Vol. 31, No. 3 (1987) p. 25
- 2) 神鋼ファウドラ-技報 Vol. 29, No. 1 (1985) p. 17
- 3) 金属表面技術協会編：化学表面加工法