

## めっき実験用電源の考え方

小岩 仁子<sup>a</sup>, 山本 渡<sup>a</sup>

<sup>a</sup>(株)山本鍍金試験器(〒185-0014 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-28-1)

### Suggestion for Selection of Small Plating Power Supply

Kimiko KOIWA<sup>a</sup> and Wataru YAMAMOTO<sup>a</sup>

<sup>a</sup>YAMAMOTO-MS Co., Ltd.(5-28-1, Sendagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151-0051)

**Keywords** : Programmable Power Supply, Plating Experimental Device, Control Software

### 1. はじめに

表面処理技術は様々な分野で活用され、高性能、高機能などへの要求から、現在では重要な位置をしめるようになっていく。特にめっき技術は、エレクトロニクスおよび自動車産業などの発展を支える要素技術の一つとして成長し、数多くのめっき関連技術が開発・実用化されている。電気めっきはめっき処理のなかで世界的にみても200年、国内においても150年以上の歴史がある。初めは電気の供給源に電池が使用されていたが、1800年以降に直流発電機が開発され、その後1900年ごろには定電圧直流発電機がヨーロッパやアメリカで製作されるようになり、電氣的に金属を析出させる技術が飛躍的に発展していった<sup>1)</sup>。

めっきの品質は前処理、被処理物の材質、めっき浴の組成、電源の性能、処理条件等によって決定されるが、その中でも電源設備の役割は極めて大きい。また求める最適条件を見つけるためには様々な検討が必要となる。本報では、めっき実験に用いる電源装置について必要な本体機能および電源外部制御ソフトについて述べる。

### 2. 実験装置としての電源

#### 2.1 概要

実験といっても様々な意味合いが含まれ、目的とする内容によって実際に行う手法が異なる。工場での作業を見据え

適条件を見つけ出す、または事前起こりうる不良条件等を検討するための予備実験、新しいものを生み出すために仮説や理論が実際に適しているか検討する研究実験など目的が異なれば、実験を行う上でのポイントも変化する。つまり、実験内容によって求められる装置の仕様は変化するため、検討の目的を明確にすることも重要である。基本的に電気めっき実験を行う上で確認すべき主な項目は以下の通りである。

- (1)めっき液の種類
- (2)めっき液の温度・pH・濃度
- (3)被めっき物の材質・表面積・形状
- (4)電流方式・電流値・電流密度・通電時間・電流効率

電源の機能としては主に(4)に関連する。電流方式というのは通電形態を指し、各電源での電流波形イメージを図1に示す。一般的には設定した電流を一定で流す定電流電源を使用するが、検討内容によって定電圧電源、パルス電源やPR(Periodic Reverse)電源等を使用する。パルス電源を用いる手法をパルスめっきといい、マイクロ秒など極めて短時間で規則的に変化するパルス波形電流にてめっきする。パルス波形には各種形態があるが、めっきで主に使用されるのは矩形波パルスである。実験においては通電時間を $T_{on}$ 、休止時間を $T_{off}$ 、印加電流を $i_p$ として平均電流 $i_{av} = i_p \times T_{on} / (T_{on} + T_{off})$ 、デューティー比 $D(\%) = T_{on} / (T_{on} + T_{off}) \times 100$ 、周波数 $f(\text{Hz}) = 1 / (T_{on} + T_{off})$ を求め、それらの数値と析出結果の比較により議論される。パルスめっきの効果として拡散層の厚さが通常

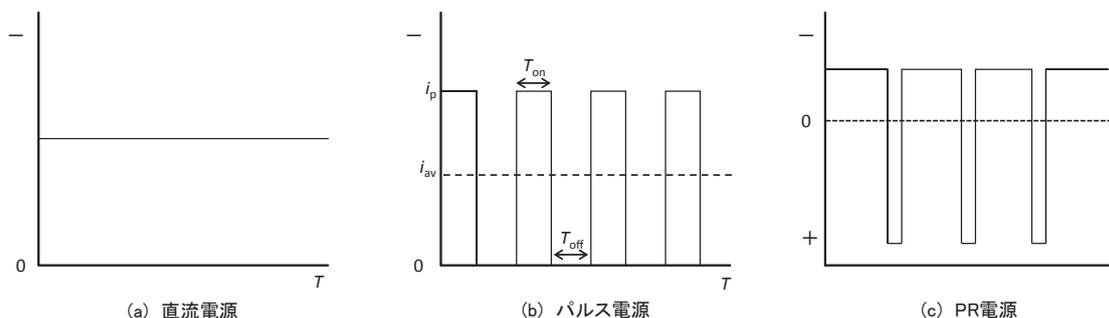


図1 各電源での電流波形イメージ

の直流めっきと比べ薄くなるため、より高い電流でめっきすることが可能である。つまり拡散律速によって針状結晶、樹枝状結晶が生じやすい金属では添加剤を用いずとも平滑面を得ることができる。また高電流と高過電圧状態でめっきできるため核発生支配となり、めっき皮膜が微結晶化することでも平滑面が得られる<sup>2)</sup>。近年、機能皮膜の要求が高まっていることからパルス電源を使用しているの検討も増えている。PR電源はPRめっきに使用され、パルス波形電流を流すという意味では広義のパルス電源であるが、パルスめっきが電流停止を繰り返すのに対し、PRめっきは電流の方向を周期的に変える(陽極と陰極が逆転する)方法となる。電解洗浄にも使用されるが、めっきでは凸部など皮膜が厚く析出するところを溶解することによって埋め込み性や均一電着性が改善する効果が考えられる。

このように電流方式だけでもめっき皮膜形態に対する大きな要因となるため、検討を行うにあたりどのような電源を使用するか決める必要がある。また過去には実験室と工場で電源の種類が原因と思われる結果の違いも見受けられた<sup>3)</sup>。現在ではだいぶ状況が変化した、スケールアップを念頭においた予備実験では念のため注意が必要である。

### 3. 必要な本体機能とは

様々なめっき実験を行うにあたり使用する電源で確認すべきと思われる機能を以下に示す。ただし、これらの機能全てが必ずしもなければならぬというわけではなく、実験目的を満たすため最低限必要と思われる機能の参考とする。

#### 3.1 電流・電圧・設定分解

電源の性能としてはもちろん、設定した通り正しい電流・電圧で通電できることが前提条件である。上記にも述べたが、めっきには基本的に直流電源が使用される。めっき実験の場合、印加電流に対して析出した物質質量も重要になる。理論析出量はファラデーの法則により、電気量(クーロン, C)、析出金属の電気化学当量(Electrochemical equivalent)によって算出できる<sup>4)</sup>。

表1 各種めっきにおける電流密度・電圧値例

析出金属	浴の種類	電流密度 (A/dm <sup>2</sup> )	電圧 (V)	浴温度 (°C)
クロム	クロム酸浴	10 ~ 100	3.5 ~ 25	30 ~ 60
銅	アルカリ浴	1 ~ 10	1.5 ~ 5	25 ~ 80
	酸性浴	1 ~ 20	1 ~ 5	25 ~ 50
	ピロリン酸浴	1 ~ 7	6	50
	ハウフツ化浴	5 ~ 25	3 ~ 12	25 ~ 76
金	シアン浴	0.2 ~ 1	2 ~ 5	50 ~ 70
鉛	ハウフツ化浴	1.5 ~ 2	3	15 ~ 20
ニッケル	ワット浴	1.5	1 ~ 60	50
	ワット浴	5	2 ~ 6	60
銀	シアン浴	0.3 ~ 2.5	1 ~ 6	25 ~ 35
錫	アルカリ浴	0.5 ~ 2.5	4 ~ 6	60 ~ 80
亜鉛	アルカリ浴	1 ~ 2	1.5 ~ 6	40 ~ 50
	硫酸浴	5 ~ 10	1 ~ 6	R.T
鉄	硫酸塩浴	2.5 ~ 10	6	20 ~ 38
鉄	ハウフツ化浴	2 ~ 9	2 ~ 6	55 ~ 60

$$m = \frac{I \cdot t}{F} \cdot \frac{M}{n} = Q \cdot \frac{M}{nF} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $m$ は析出量、 $Q$ は通過した電気量(C)、 $M/nF$ は電気化学当量となる。1秒間に1アンペアの電流によって運ばれる電気量が1クーロンのため、直流制御であれば電気量かつ析出量を算出しやすいという利点がある。

電源仕様として必要な電流値の選定に重要となるのは、電流密度(Current Density)とめっき皮膜が析出する処理面積である。電流密度とは単位面積あたりの電流の大きさを示す。めっきでは単位面積は1 dm<sup>2</sup> (100 cm<sup>2</sup>)を基準とし、電流密度の単位を A/dm<sup>2</sup>とする場合が多い。また電流密度を A/dm<sup>2</sup>を使わず ASD (Ampere per Square Decimeter)で表すこともある。表1に各種めっきでの電流密度・電圧例を示す<sup>5)</sup>。このように行うめっきの種類によって適切な電流密度範囲がある。市販のめっき液でも最適および使用電流密度範囲が示されているので、検討前には確認が必要である。実際に通電する電流値は電流密度とめっき面積の積となる。そのため、検討する浴種とサンプルサイズが決まっていれば、必要な電流値が算出される。また同じ電流密度であってもめっき処理面積によって設定する電流値が変化する。例えば2 A/dm<sup>2</sup>で実験を行う場合、処理面積が100 cm<sup>2</sup>であれば設定する電流は2 Aであるが、1 cm<sup>2</sup>の場合は20 mAとなる。つまり、めっき面積が減少すると比例して印加電流値も小さくなるため、処理面積によって必要な電流値がかなり微小となる。研究実験の場合、限られたサンプルで検討する必要もあり、一条件で使用できるサンプルが小片であることも多い。そこで重要となるのが電源の設定分解能である。設定分解能は簡易に表せば設定できる最小値である。印加電流値を決めても設定分解能より小さい値であれば、その電源は実験に使用するのが難しくなる。設定分解能は細かい制御を考え実際に印加予定の電流値の一桁小さいものが望ましい。特に貴金属めっきの場合は推奨電流密度が低く、実際の印加電流値がかなり低くなるのが予想されるため注意が必要である。逆に、予備実験等でいずれスケールアップする予定であれば、初めからある程度電流値の上限が高いものを用意する必要があるため、電流値と設定分解能のバランスをみることも重要である。電圧仕様としては実験の規模にもよるが、表のようにあまり高い電圧は必要なく10 V程度であれば十分である。

#### 3.2 積算電流値

電流値と処理時間の積となり、単位は時間の種類(Hour, Minute, Second)によってAH, AM, ASと表される。上記の通り、電流(A)と時間(Sec.)の積から電気量(C)となるため、ASはそのままCと置き換えることが可能である。定電圧電解を使用する場合は、電流値が変動しやすいため積算電流量が分かれば析出量制御がしやすくなる。またパルス電源でも同様である。

#### 3.3 タイマー

サンプルへの析出量は基本的に電気量に依存するため、処理時間を正確に計測することは重要となる。タイマー機能を含む電源では設定時間後自動的に通電を遮断するため、結果の正確性が向上する。

## 4. パソコンを利用した外部制御

### 4.1 制御ソフトの活用

周知のとおり、表面処理技術は多分野で活用され、エレクトロニクス分野における新規技術の一部に使われることも多い。しかしながら、昨今めっきに特化して専門的に研究教育している施設が少なく、研究開発の一部として初めてめっきに携わるとい人が多い。実際に電気めっきの検討をおこなったことがあるものなら分かるように、詳細な実験条件を設定するためには各種パラメータを所定の計算式にそれぞれ代入し、初期条件の割り出しを行う必要があった。しかしながら、ソフトウェアの開発によりそれらの煩雑な計算なく実験条件を入力することが可能となった。制御ソフトの条件設定画面の一例を図2に示す。以前よりパソコンを利用した外部制御は行われていたが、それはどちらかという外部からの命令により出力を制御する目的が強かった。

しかしながら実験目的の場合、細かく正しく記録することが重要となるため、データとして記録を残すことが大変重要となる。このソフトは設定条件だけでなく実際の通電量や電圧など実験結果を記録することができるため、実際の析出皮膜を比較しつつ詳細に検討することが可能である。また以前の制御ソフトはプログラムをある程度理解していないと使いにくいものも多くあった。この制御ソフトはパソコンにソフトをインストールし、所定の電源にUSBケーブルにて接続することで使用できる。

### 4.2 実際の使用方法

電源本体とパソコンを接続後、ソフトを起動し条件設定画面にあるいくつかの項目に任意で入力するだけで簡単に制御することが可能である。入力するパラメータは本論文2章で確認すべき点と述べた通りである。このソフトの利点として、入力されたパラメータをもとに平均めっき膜厚、めっき析出重量、積算電流値等の予想値がグラフにより表示されることがある。通常であれば、これらの値の算出には、電流値(電流密度)、めっき時間、電流効率の他に、析出させる金属の電気化学当量および比重が必要である。しかし使用者が任意に入力するパラメータ以外の定数は事前に登録されているた

め、使用するめっき液の種類(金属種)を選択することで自動的に算出される。また新規のめっき液の特性を評価し、その液の電気化学当量と比重を新規にデータベースへ登録することも可能なため、合金めっきなどの場合でも活用することができる。

電流値の設定は一定だけでなく ON/OFF サイクル、ステップアップ、ステップダウンなど様々な波形を設定できる。また、通電途中で電流値などのパラメータを変化させることも可能で、その場合予測値は再計算され、新しいグラフが描かれる。事前に予測値を確認できることで目安もつけやすく、実験結果の解析も容易となる。予測画面の一例を図3に示す。

実験結果は CSV ファイルとして自動的に保存される。実験では結果の精度を上げるために同条件での検討を複数回行い、その後平均をとるなどの統計処理を行うことが基本である。そのため、毎回条件設定をせずともデータを読み込むだけで設定が完了するものであれば、条件誤差もなく結果の比較検討もしやすい。また、記録された実験結果は処理時間中の電流・電圧状態を示すため、結果の解析や異常の原因の究明の一翼を担うことになる。特に長時間めっき処理する場合、めっき中に通電が途絶える等の異常がすぐに確認できる。ソフトを活用した検討の一例としてバレルめっきがある。バレルめっきは処理時間が長時間になるのはもちろんのこと、メッシュ開口サイズや回転数など様々な因子がめっきに影響を及ぼすため、予備実験や検討実験においても条件を細かく確認する必要がある。バレルめっき試験装置を作製した際の装置概略図を図4に示す。バレルめっきでは1サンプルでの電流変動を考えた場合、ドラム内のサンプル塊の表層部に存在する場合は瞬時最大電流密度でめっき析出が起これ、塊内部に入り込んだ時は電流がゼロに近づきそれらを繰り返す<sup>6)</sup>。バレル試験装置は2つに分けた水槽にそれぞれ陽極と陰極を配し、陰極側を窓のついた円筒構造物(ドラム)で囲ったもので、窓にメッシュを取り付け通電中回転させることで疑似的にバレル内部でのめっき状態を再現する。図5に回転数を変動させた時の電流密度の解析画面を示す。開始15秒から90秒までを10rpmそれ以降を3.5rpmとした。画面右側に各パラメータ値が示される。グラフ上ではスクロールバーを左右

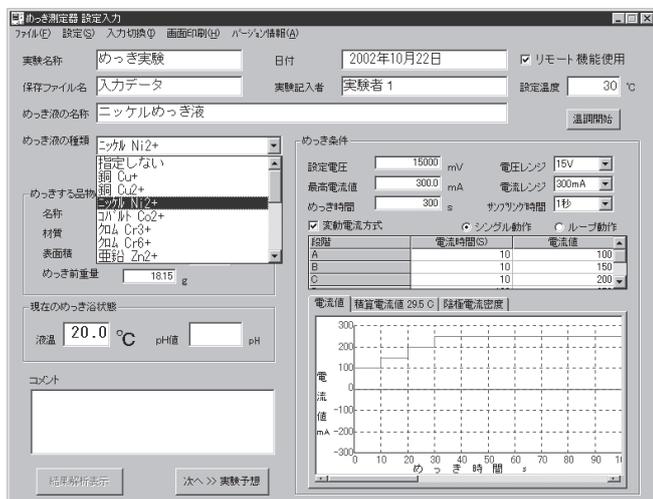


図2 制御ソフト Plate Laboratory<sup>®</sup> 実験条件設定画面

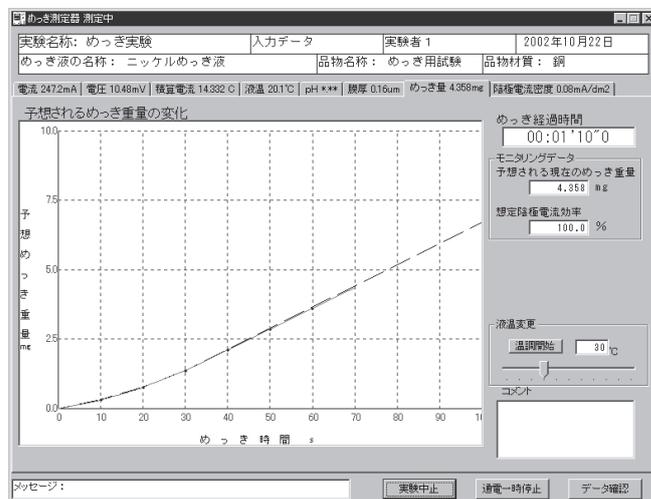


図3 制御ソフト Plate Laboratory<sup>®</sup> 予測データ画面

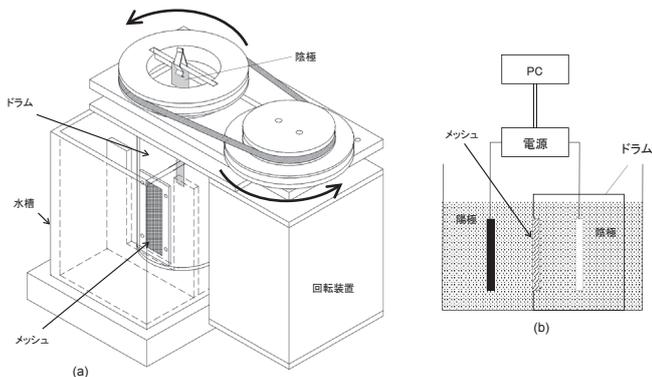


図4 パレル試験装置の概略図  
(a)全体図, (b)側面図

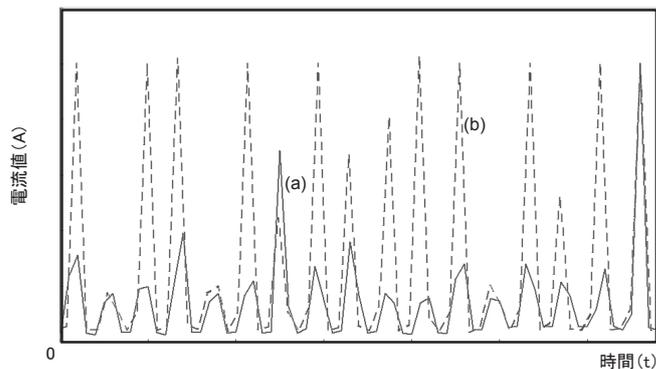


図6 メッシュ開口サイズによる電流変動(12 rpm)  
開口口径(a) 0.1 mm, (b) 0.29 mm

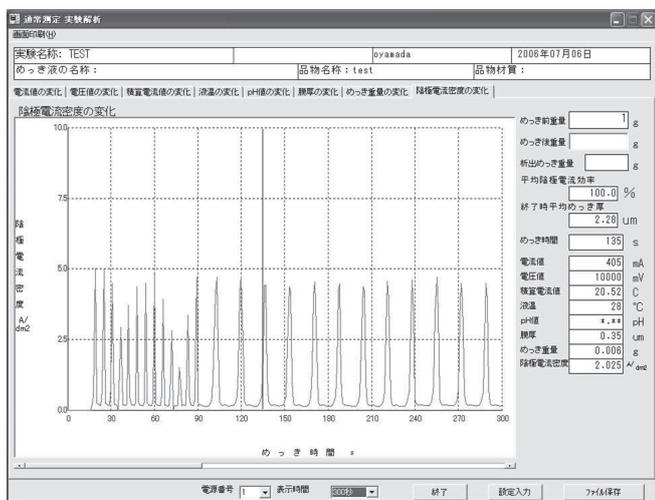


図5 ドラム回転数の違いによる電流密度変動

部制御を活用することで、目安となる予測データを確認できるだけでなく、詳細な実験データを取得し、実験結果の解析に使用することが可能である。

### 5. おわりに

本報では、めっき実験に用いる電源装置について必要な本体機能および電源外部制御ソフトについて概説した。めっき実験はなるべくコンパクトに行いたいという要求もあり簡易的な設備になりがちだが、設備の選択を正しく行わないと、検討の正確性が揺らぐ結果となることも予想される。特に電源は電気めっきにて最も重要な装置となり、本体の機能はもちろんソフトによる制御やそのデータ保存の有効性について述べた。目まぐるしく変化する社会とともに、めっき技術の開発・検討への高まる昨今、実験の精密性、正確性の向上に少しでも寄与できることを期待している。

(Received February 14, 2017)

### 文 献

- 1) 山本充義, 篠原裕文; *J. IEE Japan*, **116**, (6), 352 (1996).
- 2) 細川邦典, 津留 豊; *実務表面技術*, **30**, (12), 524 (1983).
- 3) 黒田孝一, 中井俊晴, 藤原文彦, 山本壮兵衛; *実務表面技術*, **30**, (12), 500 (1983).
- 4) 松田好晴, 岩倉千秋; *電気化学概論*, p.8 (丸善出版, 1994).
- 5) 東京都鍍金工業組合; 各種めっきに必要な電圧と電流密度, <http://www.tmk.or.jp/data/data25.html>
- 6) 星野芳明; *パレルめっき*, p.65 (横書店, 1995).

に移動させることで、時間ごとの測定値および計算値が表示され、時間と膜厚の関係などが容易に確認できる。図では電流効率が100%となっているが、これも実験結果によって修正を行い、効率が変わった場合の実験結果は再計算してグラフ化する。解析画面は他にめっき時間に対する算電流値の変化や膜厚変化等もグラフで示される。また、図6にメッシュ開口サイズによる電流値グラフを示す。開口サイズが大きいほど、電流値も増大することが見て取れる。通常メッシュと電流の関係は開口率から推測するが、データが記録できれば平均電流値も算出が容易である。このようにソフトによる外