

# めっきシミュレーションによる膜厚分布均一化

水野 佑樹 ・ 寺戸 彩由子

## 1 はじめに

近年、あらゆる分野でAIやIoTなどデジタル技術が推進されており、これまで匠の技として伝承されてきた技術も、デジタル技術によって標準化が可能となりつつある。

カヤバ(株)では、緩衝器用ピストンロッドなどの摺動部品に、硬質クロムめっきを多く用いているが、その特性上マスキングジグ（以下ジグ）<sup>注1)</sup>を必要とする。しかし、従来のジグ設計は作業員によるカンやコツ（いわゆるカンコツ）頼りであり、めっきの析出量（以下、膜厚）分布を均一にすることが困難であった。また、1トライごとにジグ製作、めっき試作が必要であるため、ジグ形状の検討に多くの工数を要していた<sup>注2)</sup>（図1）。そういった背景の中、当社はシミュレーションソフトを活用し、カンコツを必要としないジグ設計手法の開発を行った。本報では、シミュレーションを活用し、産業用油圧機器製品のめっき膜厚分布の均一化に取り組んだ事例について紹介する。

注1) めっきを付けたくない、あるいは膜厚を抑えたいときに用いる遮蔽ジグ

注2) 完成までに3～4トライ：2週間/トライ  
（作業員聞き取りによる）

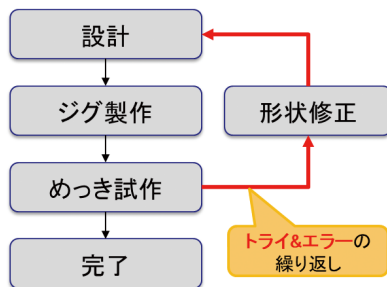


図1 従来のジグ設計フロー略図

## 2 電気めっきの特性

本章では、硬質クロムめっきをはじめとする電気めっきの主な特徴について述べる。電気めっきにおいて、一般的にめっきの膜厚はめっきの電気量（電流×時間）に比例する（ファラデーの第一法則）。

ワークにめっきを施す際、ワーク端部には電流が集中しやすく、膜厚増加の原因となる（図2）。これを防ぐためには、電極を短くすることで対策可能ではあるが、様々な長さの製品にめっきを施す設備の場合、電極長さ変更による対策では限界がある。そこで、ワークの端部にジグを取り付け、端部の電流集中を抑制し、めっき膜厚の増加を抑える。

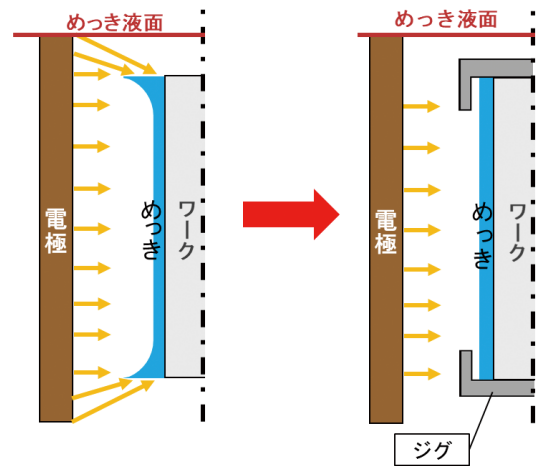


図2 ジグの効果 模式図

## 3 段付き形状ワークによる予備実験

シミュレーションによるジグ検討を行うにあたり、まず、段付き形状のワークを用いて予備実験を行った。予備実験の装置の正面図を図3に示す。めっき槽に垂直にワークと電極が挿入されている。なお、電極はワークの周りに4本設置した。ワークはφ22とφ10の段付き形状で、それぞれ長さが100mmずつである。また、実験条件は表1のとおりである。前

章で述べた通り、角部は電流密度が高くなり、膜厚が増加するが、この現象をシミュレーションで再現可能か確認した。

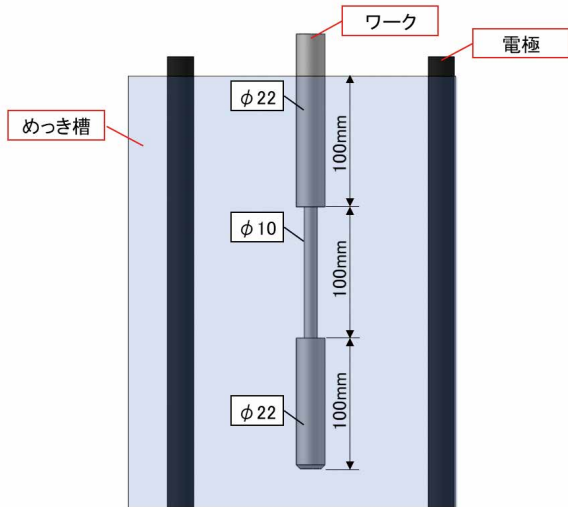


図3 予備実験装置略図

表1 予備実験のめっき条件

項目	設定条件
めっき浴	サージエント浴
めっき液温	50℃
めっき面積	1.7dm <sup>2</sup>
電流密度	40A/dm <sup>2</sup>
設定電流値	70A
めっき時間	30min

今回用いたシミュレーションソフトは、電流密度A/dm<sup>2</sup>の解析を行うものであり、解析結果と実測膜厚を直接比較できないため、式(1)を用いて解析結果A/dm<sup>2</sup>を膜厚μmに換算した。

$$\text{膜厚}\mu\text{m} = \text{析出速度}\mu\text{m}/\text{min} \cdot \text{A} \cdot \text{dm}^{-2} \times \text{電流密度A}/\text{dm}^2 \times \text{めっき時間min} \times \text{電流効率} \quad (1)$$

解析結果のコンター図を図4に示す。上部のφ22部をA、中部のφ10部をB、下部のφ22部をCとする。A部、C部の端部およびB部の中央部は電流密度が大きくなり、B部の端部は電流密度が小さくなった。

解析結果と実測の比較を図5～7に示す。なお、本報では、図中の「膜厚」(縦軸)はワークの膜厚平坦部(A部:10～60mm, B部:130～170mm, C部:230～270mm)の平均値で除して無次元化したものを示す。

A部、B部、C部の膜厚分布の傾向は、シミュレーションと実測でほぼ一致した。このことから、今回作成したシミュレーションモデル、および条件での解析で、実現象に近い膜厚分布が得られることが判った。

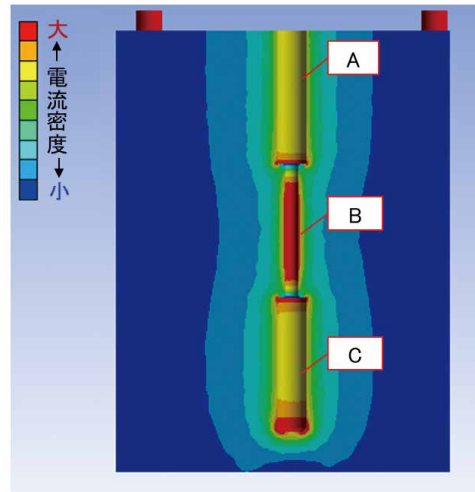


図4 解析結果(電流密度分布)

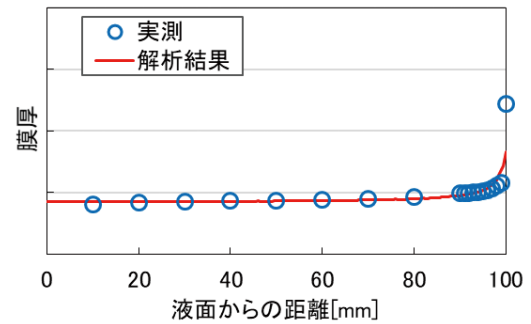


図5 A部の比較

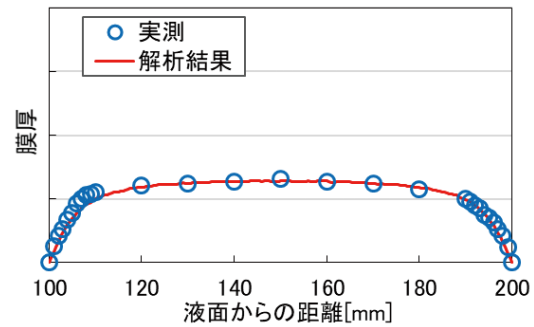


図6 B部の比較

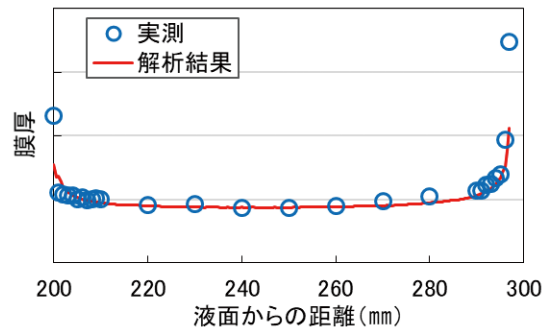


図7 C部の比較

## 4 膜厚分布の均一化

予備実験にて、シミュレーションモデルの妥当性が示されたため、量産設備での活用を試みた。

### 4.1 対象製品

フォークリフトシリンダ用ピストンロッド(図8)を対象とした。

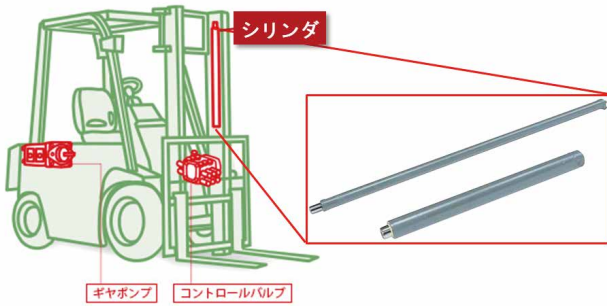


図8 対象製品

### 4.2 従来型のジグ

従来型ジグ(写真1)の膜厚測定結果を図9に示す。膜厚測定は、電磁式膜厚計を用い、ワークの長手方向に一直線上に測定した。図内に、ジグを取り付けたワークの模式図を示している。

ジグがカンコツによる設計のため、膜厚分布が不均一であった。特に、マスキング部の膜厚が大きく下がっており、ここの膜厚を確保するために、全体的にめっきを厚くしている。そのため、めっき時間増加による電気、薬品使用量がむだとなっている。

ロッドの中央部は膜厚が均一であるが、ロッド端部は電流の集中とジグの遮蔽効果により膜厚が不均一となっている。シミュレーション結果と照らし合わせ、膜厚分布の傾向が再現できていることを確認した。

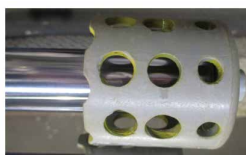


写真1 従来型のジグ

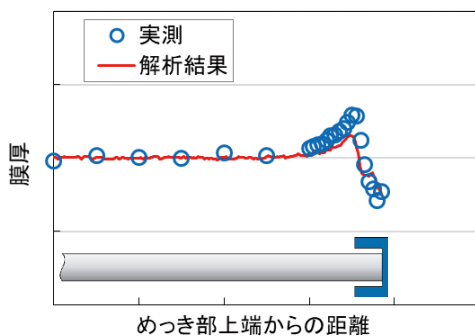


図9 実測とシミュレーション比較(従来型ジグ)

### 4.3 ジグの検討方法

解析結果の電流密度分布がより均一になるように、ジグモデルの縦横比や穴径、穴数を変更しながら繰り返し解析し、形状を検討した(図10)。ジグの形状によって、電流密度分布が大きく変化するため、入念に検討した(図11)。著者はジグ形状の検討は未経験であったが、モデル修正を重ね、約2週間の検討期間を経て、図11中の「最終版」に示す形状となった。

図10のフローに示すように、シミュレーションを活用することで、ジグ製作、めっき確認は1回で可能となった。

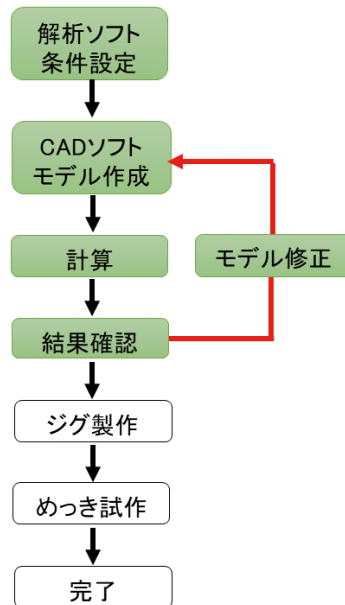


図10 シミュレーションソフトを用いたジグ設計フロー

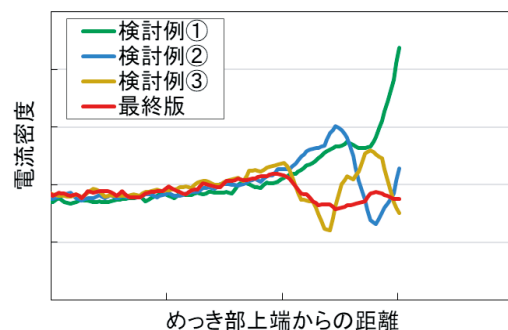
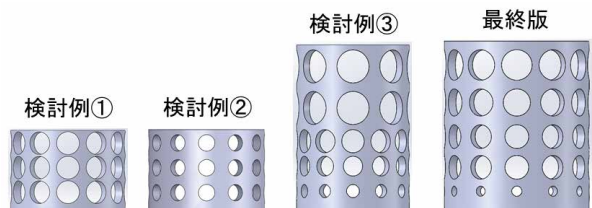


図11 各検討例モデルの解析結果

#### 4.4 効果確認

実際にジグを製作，めっき試作した結果を比較した。ここでは，改良型ジグと呼ぶこととする（写真2）。図12に従来型ジグと改良型ジグそれぞれの膜厚測定結果を示す。従来型ジグの膜厚分布（最大膜厚-最小膜厚）/平均膜厚は，平均膜厚の57%であったが，改良型ジグの膜厚分布は，平均膜厚の11%にまで低減できた。

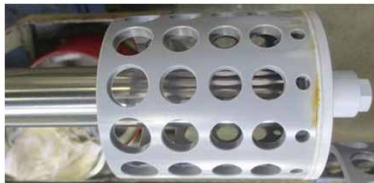


写真2 改良型ジグ

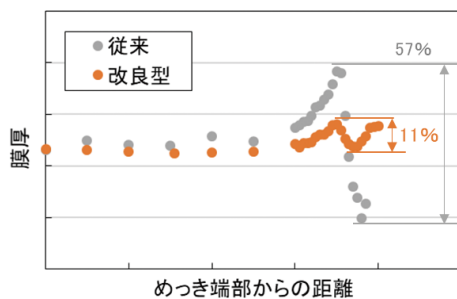


図12 膜厚測定結果の比較

## 5 更なる効率化へ向けて

これまで，ジグ検討には，作業者のカンコツ頼りに改善を実施してきたため，検討期間は約6週間必要だったが，著者がシミュレーションを活用し改善を実施した結果，検討時間を2週間まで短縮できた。しかし，シミュレーションのモデル改善はトライ&エラーの繰り返しのため，カンコツを除くことができず，シミュレーションを用いても改善時間の短縮は大きな課題となった。

そこで，最適化ソフト<sup>注3)</sup>を使用し，モデルの修正および計算を自動で行うことで検討時間の短縮，カンコツの削減を目指した（図13）。

注3) 使用ソフト：Simcenter HEEDS®

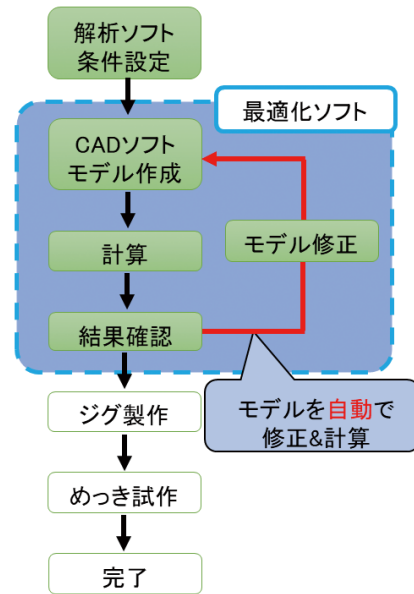


図13 最適化ソフトを用いたジグ設計フロー

#### 5.1 条件設定

今回，設定したパラメータは表2のとおり5つとし，これらを組み合わせて100通りの解析を実施させ，膜厚分布が最も小さくなるジグ形状を最適化ソフトに計算させた。設定箇所を図14に示す。

表2 最適化ソフトのパラメータ設定項目

パラメータ設定	
外径	φ47-85mm
高さ	5-130mm
縦穴径	φ1-30mm
縦穴数	2-10個
円周方向穴数	4-20個

組み合わせて  
100通り  
解析を実施

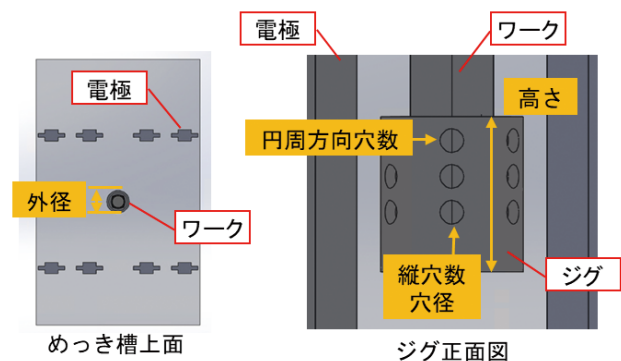


図14 パラメータ設定箇所



## 5.2 膜厚測定結果

最適化ソフトで計算したモデルでジグを製作し(写真3)、めっき試作、膜厚測定を行った。

図15に示すように、膜厚分布は、シミュレーションソフトのみを用いた改良型モデル(11%)より劣るが、従来型ジグの約1/3(19%)まで低減できた。さらに、検討時間は8時間まで短縮でき、改良型ジグ(2週間:実働80時間)の約1/10まで削減できた。今回の結果から、5つのパラメータを入力するだけで、“誰でも”“簡単に”“短時間で”ジグの設計が可能となった。

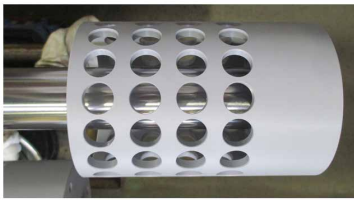


写真3 改良型ジグVer. 2

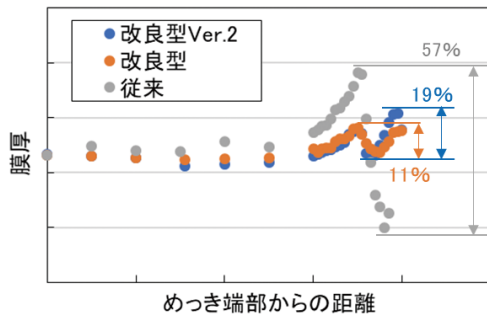


図15 膜厚測定結果の比較2

## 6 今後の展望

さらなる期待効果として、めっき時間短縮により加工費(電気代、薬品代)、CO<sub>2</sub>排出量削減が見込める。

製品のめっき膜厚最小部が必要膜厚を満足するようめっきを施しているが、現状(従来)は、図16に

示すように端部の膜厚が小さく、これに合わせてめっきを施しているため、めっき端部から距離のある平坦部の膜厚は過剰となる。ジグを改善することにより、めっき端部の膜厚を平坦部より大きくすることで、過剰なめっき膜厚の削減が可能となる(図16 塗りつぶし部)。膜厚低減分のめっき時間の短縮が可能になるため、加工費、CO<sub>2</sub>排出量削減につながる。

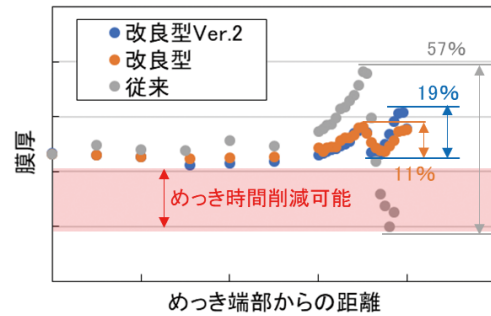


図16 期待効果

## 7 おわりに

膜厚分布の均一化、生産性向上にシミュレーションが非常に有効であることが確認できた。さらに、最適化ソフトの活用により、カンコツに頼らないジグ検討、および検討時間の大幅削減が可能となることが分かった。

今後、膜厚不良の原因調査や、新規めっきラインの仕様検討(処理本数など)の際にもめっきシミュレーションの活用が期待できる。また、当社の加工工程はめっきだけでなく、熱処理や切削など多岐にわたる。めっきシミュレーション以外にも様々な加工シミュレーションの活用を拡大していきたい。

最後に、本開発においてご協力をいただいた社内外的関係者各位に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 著者



水野 佑樹

2019年入社。技術本部生産技術研究所第一研究室所属。表面処理技術の開発に従事。



寺戸 彩由子

2012年入社。技術本部生産技術研究所第一研究室所属。表面処理技術の開発に従事。