

## TODAY

**「ロボット先進国」  
日本の現状****一般社団法人日本ロボット工業会  
専務理事 富士原 寛****1. 日本は「ロボット先進国」？**

少子化・高齢化の加速によって社会を支えるあらゆる分野で人手不足が大きな課題となっている。こうした中で、従来から「ロボット先進国」と認識されている我が国では、ロボットの利活用への期待はとりわけ大きい。

我が国では、ロボットには親しみを持つ人が大半で、逆に、人とロボットとが共存する社会に負のイメージを持つ人は少ないだろう。ロボット分野の研究者、開発技術者のレベルは高く、製造業の現場では溶接や組み立てなどに多くの産業用ロボットが使われている。

他方で、介護現場や町中など人々の生活に身近な場面でロボットを見かけることは、まだほとんどない。自動配送ロボットや飲食店での配膳ロボットなどではむしろ海外の方が普及が進んでいる。日本が真の意味で「ロボット先進国」として認められるためには、こうした社会全体でのロボット利活用を進める必要がある。

政府においてもこのような課題を強く認識し、2015年策定の「ロボット新戦略」、さらに2019年策定の「ロボットによる社会変革推進計画」において提示された「ロボットの社会実装のさらなる推進」を施策の重要な柱として掲げている。

**2. 我が国のロボット産業の現状**

我が国のロボット産業は、世界に先駆けてロボット導入を進めた自動車産業と電気電子産業の需要に牽引されて大きく成長した。また、これらの需要産業における生産拠点の積極的な海外進出に伴って産業用ロボットの輸出比率も高まることとなった。現在に至るまで、商業的に利用されるロボットの大半は製造業における生産財としての産業用ロボットである。このため、ロボット産業は世界経済の変動、設備投資動向に大きな影響を受ける産業となっている。

当会の統計では、我が国のロボット産業の2022年の受注、生産、出荷の規模は約1兆円、出荷台数の世界シェアは50%弱、輸出比率は約80%で輸出のうち約40%は中国向けとなっている。

産業用ロボットは安全対策上基本的に柵を設けて使用されているが、近年は、安全柵なしで使用できる協働ロボットと呼ばれるタイプが登場してきている。中小中堅規模の工場、自動化しにくい作業工程を多く抱える現場などへの導入が期待されているが、市場拡大はこれからである。

一方、福祉・介護、飲食業、配送事業等の分野で使われる、いわゆるサービスロボットについては、ベンチャー企業も数多く登場し政策的支援による導入実証事業も進められているものの、ビジネスとして成立できている国内企業は少ない。近年見られるようになった物流倉庫内の入出荷システムや飲食チェーンでの配膳ロボットなどの分野では現在のところ海外製のロボットが大きなシェアを取っている。

**3. 今後の発展の方向性**

本格的なネットワーク社会の中で、ロボットはフィジカル空間とデジタル空間をつなぐ端末、それも、フィジカル空間で物理的に作用することができる端末である。このことがロボットに大きな可能性を与えるとともに多くの議論のテーマを惹起している。今後のロボットの発展において、AIの進歩との関係、あるいはその利用における倫理の問題等々多くの話題、論点があり、国際的なルール作りが求められるものもある。残念ながらここでは紙面の関係で内容に触れることができないこととお許し願いたい。

最後に、現在私ども日本ロボット工業会では、2050年に向けたビジョン策定に取り組んでいる。来年春の最終報告に向けて、期待すべき2050年の社会の有り様を検討し、その中で、前に触れたテーマも意識しつつロボットがどのように活躍できるのかをバックキャストで議論している。当会のウェブサイトには昨年3月の中間的とりまとめをVer.0として掲載している (<https://jara.jp/publications/visionver0.html>) ので、ご覧いただければ幸いです。

令和3年度採択 戦略的基盤技術高度化支援事業  
「電解砥粒研磨による次世代半導体製造ライン向け  
超精密バルブ・継手の高能率加工技術の開発」

(一財) 金属系材料研究開発センター 非鉄材料研究部長 箕浦 忠行

1. はじめに

2021～2023年度に関東経済産業局から交付決定を受け実施した助成事業「電解砥粒研磨による次世代半導体製造ライン向け超精密バルブ・継手の高能率加工技術の開発」(経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業 JPJ005698)の成果概要を紹介する。

本研究開発は、東陽理化学(株)と東京電機大学、産業技術総合研究所(以下、産総研と記す)の産学連携が進められ、金属系材料研究開発センターは、事業管理機関として参画した。

2. 研究開発の背景・概要

半導体市場は、パソコン・タブレットの需要増加や、5G・AI・EV・自動運転システム向けの需要の高まりから今後着実に拡大が予想されている(2024年予想WSTS:6,000億ドル)。こうした半導体の需要増加に伴い、半導体製造装置の需要も拡大が予測される。

東陽理化学は半導体製造装置用バルブや継手の切削加工・表面処理を行っており、半導体製造装置用バルブメーカーからさらなる増産要請を受けている。半導体素子の製造装置には、①高強度、②ガスとの低反応性、③耐食性、④高溶接性などが求められ、一般的には耐食性ステンレス鋼部品・部材が使用されているが、近年、半導体素子の高性能化や歩留まり向上のために、鋼管内面の平滑性、クリーン性、耐食性は更に高いレベルが要求されている。

東陽理化学では、これまでにバフ研磨や電解研磨、不動態化等の表面処理で顧客のニーズに答えてきた。こうしたバルブ・継手部品は、1980年代半ばには、生産技術を活かして市場シェア7割を占め、日本が市場優位性を得ていたが、現在はシェア2割を割り込み、中国、韓国、台湾などのアジア諸国の後塵を拝している。日本が比較的優位を保っているのは、精密でかつ高精度の部品のみであり、今後さらに高度化し、高まる半導体需要に対応していくためには、高精度で、複雑形状に対応した最高レベルの表面処理技術の導入が不可欠である。そこで、従来の「バフ研磨+電解研磨」プロセスを、手作業から自動化に置き換え、かつ1つのプロセスにまとめる可能性のある電解砥粒研磨に着目した。

電解砥粒研磨は産総研のオリジナル技術で、電解研磨と機械研磨を複合させた超平滑金属面を形成する研磨法である(図1)。

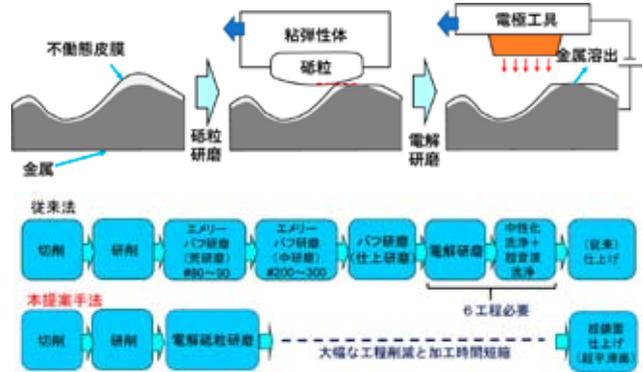


図1 電解砥粒研磨の原理(上)と工程比較(下)

本研究開発では、産総研の「電解砥粒研磨」技術を核として、①様々な形状の製品に対応可能な加工工程の【ロボット化】、②研磨工具開発による【高能率化】、③加工パラメータのモニタリングによる【予知保全化】、④品質保証の為に製品性能評価の【自動検査化】を導入した「次世代型電解砥粒研磨装置」を開発をした(図2)。これにより、排水による環境負荷を低減し、安全・安心の作業環境下で、加工時間を従来の1/3に短縮することができ、我が国の半導体製造産業等の最先端産業の発展に寄与する。



図2 「次世代型電解砥粒研磨装置」の概要

3. 本研究開発の内容と成果概要

①ロボット化技術開発

従来の研磨では手作業が主であり、不確定の要素が強く、かつ経験的要素が多く含まれていたため、研磨動作を機械化し、2段階で加工機の開発を行った。

まず、直管用実験機として電動ステージを組み合わせた構成の電解砥粒研磨加工機を作製した。この実験装置を用いて直管製品へ電解砥粒研磨技術の適用可能性を確認した。次に、研磨実験装置の発展形として、直管製品への電解砥粒研磨処理を適用した実験装置を進展させ、6軸アームロボットを搭載した汎用電解砥粒研磨装置を作製した(図3)。本装置



図3 ロボット電解砥粒研磨装置

は製品固定治具を複数設置可能で、固定治具と研磨工具を適切な形状にすることで様々な形状の製品に対応することができる。

プログラム制御によって複雑な形状の製品に対して電解砥粒研磨処理を適用させるための開発を行った。現在東陽理化学でバフ研磨+電解研磨処理を行っている複雑形状バルブ部品(図4)へ電解砥粒研磨を適用させるため、ロボット研磨装置に専用の研磨工具・固定治具・動作プログラムを追加することで電解砥粒研磨処理を可能とした。

電解砥粒研磨処理前後の平面部の測定箇所および粗さ測定結果を図5に示す。研磨後の表面は鏡面となっており、未処理時の表面粗さ  $Ra = 0.2 \sim 0.3 \mu m$  程度から  $Ra = 0.02 \mu m$  レベルまで表面粗さを改善することができた。

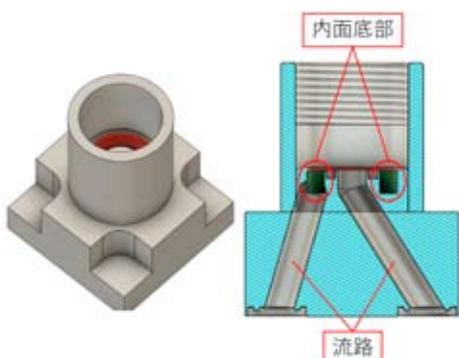


図4 複雑形状バルブ製品概略図・断面図

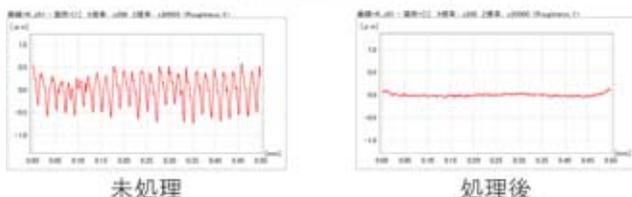
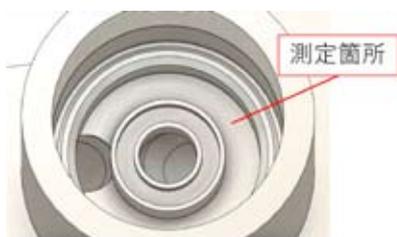


図5 複雑形状製品内面底部表面粗さ測定結果

## ② 高能率化技術開発

バルブ・継手製品に適した電解砥粒研磨工具の設計および開発を行った。電極工具は、より高性能化するためには、電解液の流し方、電流の流し方、電圧のかけ方など、ノウハウが最も集約される箇所である。流体および電流密度シミュレーションを活用し、バルブや継手形状に即したそれぞれ専用の電極工具の開発を行った。

電解砥粒研磨は砥粒擦過と電解溶出が同時に行われることから通常の砥粒研磨、電解研磨とは研磨進行プロセスが異なってくる。電解砥粒研磨工具の設計に流体および電気化学、電解研磨+砥粒研磨(電解砥粒研磨)モデルを作成し、それらを連成解析させることで、マルチフィジックスシミュレーションを行った(図6)。これらの解析により、工具製作前に不織布回転ブラシの間隔(ブラシピッチ)とブラシ径に対して研磨条件を変化させて、砥粒研磨と電解研磨の双方から得られる加工総量を計算することで、工具の適切な設計指針を得ることに成功した。

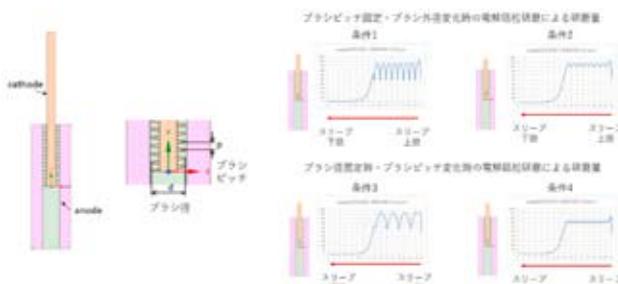


図6 マルチフィジックス(連成)シミュレーション解析結果

## ③ 予知保全化技術開発

電解砥粒研磨条件の設定のために、電極に流す電流や、pHなどを加工中にモニタリング可能とするセンサを実験装置に取り付け、電解液、砥粒、電解条件など条件を様々に変えて、研磨条件の確立を行った。また、異常診断信号処理にも着手し、各種研磨条件や加工液の劣化状況を調べて、センサからの信号で異常検知可能とすることで、品質の安定化を実践できるようにした。

AEセンサを用いて研磨処理中のAE波を測定し、表面粗さの状態とAE信号の強度・波形に相関があればモニタリングに応用できるとして実験を行った。その結果、素材表面が粗いときには波形が大きく、表面粗さが小さいときには波形が小さくなるという関係が見られた(図7)ため、加工物表面の仕上がりモニタリングへ活用できる可能性を見出した。また、電解液のpH、電導度、溶存酸素濃度のモニタリングを行い、電解処理による電解液の経時変化を見た。

研磨を行うことによる電解液・砥粒の状態の変化をモニタリングすることは、研磨面の品質を保つために必須となる。電解液の状態をモニタリングする

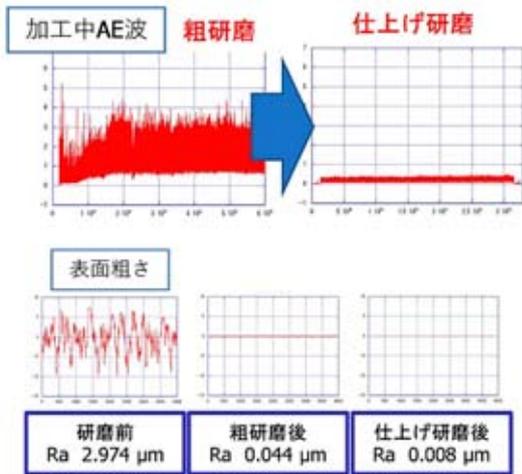


図7 加工中 AE 波と表面粗さ

ためにイオンクロマトグラフを導入し、研磨を行いながら電解液サンプルを一定時間ごとに自動採取・分析を行う機構を作製した。

砥粒の粒径・形状の状態は研磨のパラメータとして重要である。特に、遊離砥粒といった液体中に砥粒を分散させる場合の流動性などをパウダーレオメーターによって解析し、電子顕微鏡 (SEM) の砥粒形状評価と合わせて、電解砥粒研磨にとって最適な砥粒の選択を行った。

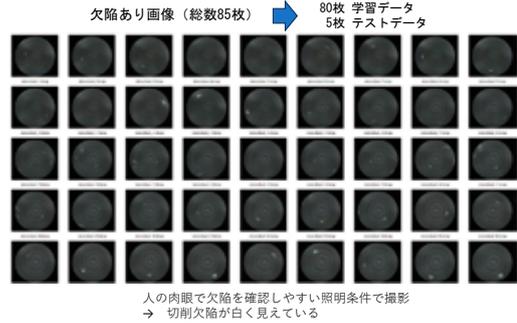
#### ④自動検査化技術開発

研磨面の粗さや組織、不純物の有無、不動態被膜の状態などを計測、評価した。また直管製品の内面を撮影する装置及び、撮影した画像から表面欠陥を検出する技術を開発した。

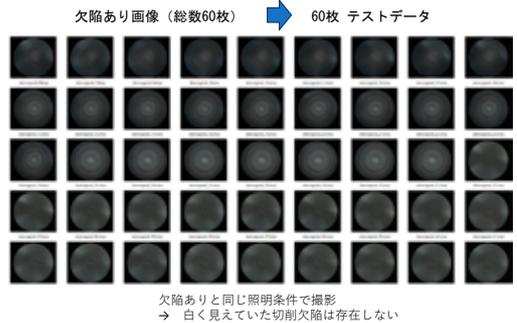
電解砥粒研磨したバルブ・継手部品の実製品としての性能評価を実施した。評価項目として、表面粗さ測定、内視鏡による内面観察とした。円筒内部の表面粗さは、小型の触針式表面粗度測定機を円筒内部に送り込んで評価し、平面と同様の基準で評価を行った。また、円筒内面の外観は内視鏡を円筒内部に送り込んで観察可能とし、得られた画像に対しての良し悪しは機械学習 (AI) による画像解析手法を用いて判断した。画像解析には、画素の有する輝度情報を数値化し、キズやムラの有無の判定を行った。これらの評価と平面での評価結果を合わせることで、電解砥粒研磨を行ったバルブや継手の評価をした。

AI 解析については、撮影した内面写真を大量に学習させ、物体検出手法を用いて発注者からのもともと存在しているキズを判断し、欠陥の有無を判定可能とした (図 8)。

#### TDU 欠陥あり画像(学習用データとテストデータ)



#### TDU 欠陥なし画像(すべてテストデータ)



#### TDU 物体検出による検出結果



学習条件	
検出対象物	切削欠陥
解析手法	物体検出(YOLOv5)
学習データ数	80枚
画像データ量	1944(縦)×2144(横)×3(RGB)

1枚当たりの総データ数 1250.3808万点  
→ 学習に使った総データ数は、10億点

図 8 不良データの学習と物体検出による検出結果

## 4. 事業化と今後

東陽理化学が切削加工・表面処理を行っている半導体製造装置用バルブや継手の安定供給には、「電解砥粒研磨による次世代半導体製造ライン向け超精密バルブ・継手の高能率加工技術」が必要不可欠である。本研究開発を通じて、その基盤となる①ロボット化、②高能率化、③予知保全化、④自動検査化技術が確立した。

現状の市場動向と将来性から、開発技術の早期の実用化を前提とした開発計画が必要である。製品市場や製品品質に関するユーザーからの助言を反映し、実用化開発を進めることで、本研究開発成果のすみやかな事業化が期待できる。

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第 446 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2024年5月1日  
発行人 小紫 正樹  
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター  
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階  
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285  
URL <http://www.jrcm.or.jp/> E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)  
※送付先の変更・中止等は上記 E-mail に御連絡をお願いいたします。