

京都府中小企業特別技術指導員の京都大学大学院 エネルギー科学研究科 袴田 昌高 准教授から、上記テーマで寄稿いただきました。

金属材料をテーマとして、電気めっきで接合する「めっき接合」、およびスポンジのような構造の軽量「ポーラスメタル」の研究をしています。いずれも従来の材料研究の本流からは少し離れた研究テーマではありますが、異分野との境界・融合領域で多くのことを学ばせていただいています。それぞれの研究テーマについて本稿で紹介させていただきます。

めっき接合

「めっき接合」では、部材間に電気めっき（電解析出、電析）を接着剤のように析出させて接合します（図 1a）。従来の接合技術である溶接や摩擦撹拌で不可避に生じる発熱がなく熱影響部を考えなくてよいこと、水溶液と電源を準備すれば安価に行えること、さらには微細粒を持つことに由来するめっき金属特有の高い強度が有利な点です。

もともと電気めっきは金属などの導電性素材の表面を金属で薄く被覆する表面処理技術であり、厚く析出させることで接合に用いるというアイデアはこれまでほとんど検討されてきませんでした。電子部品分野の回路接続に用いられるビアフィリングのような例はあるものの対象とする析出厚さはせいぜい 100 μm オーダであり、めっき接合を本格的に扱うためには、より厚い領域での電析物の観察や接合強度評価などが必要です。

何も考えずにめっき接合を行えば、接合部位が最弱部となります。つまり、実用的な接合強度をもつめっき接合のためには、被接合材（母材）とめっきとの界面の接合強度（密着強度）が十分に高くなる必要があります。例えばアルミニウム素材をめっき接合に供する場合、何も前処理をしないと、アルミニウム素材表面に生じている自然酸化膜がめっき金属の密着性を低下させ、接合後に手で破断できてしまうような弱い接合となります。しかし、陽極酸化と呼ばれる前処理によってアルミニウム素材表面にナノメートルオーダの直径の孔を多数有する酸化アルミニウム被膜を形成させ、めっきとの間に機械的な引っ掛かり効果（ナノアンカー効果）を生じさせると（図 1b）、アルミニウムの合金種やめっき条件によっては被接合材である母材アルミニウム合金基

板の強度を上回る高強度接合を実現できることがわかってきました。顕微鏡でしか見えない、厚さわずか 1~2 μm 、孔径 100 nm の孔をもつ陽極酸化被膜の引っ掛かりにより接合強度が目に見えて改善されることは、材料研究の醍醐味です。

種々のアルミニウム合金のほか、ステンレス鋼や炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のめっき接合にも取り組んでいます。いずれも被接合材に対してめっき接合の前に表面処理を行うことで、接合強度を大幅に上げられることがわかりつつあります。

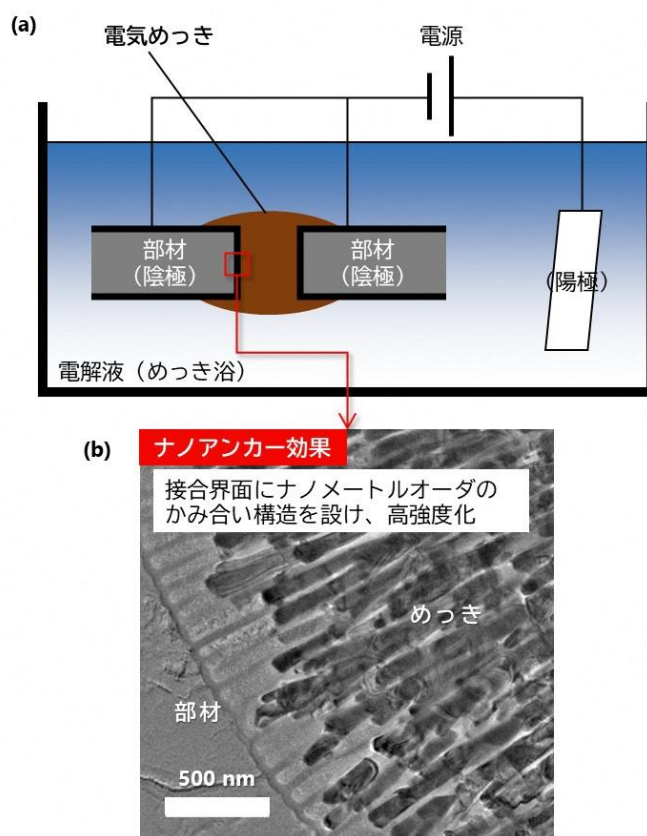


図 1 (a) めっき接合の模式図 (b) めっき接合界面でアルミニウム素材表面のナノポーラス酸化物とめっきの機械的引っ掛かりを示す透過電子顕微鏡写真

ポーラスメタル

スポンジのように気孔を多数含むポーラス（多孔質）構造は木材・繊維・骨・粘土鉱物などの自然界の材料に普遍的に存在し、ポーラス材料の内部にある空間（気孔）は生命活動にまつわるさまざまな反応・現象の場所としての機能や流体輸送の場を提供します。この“自然界に選ばれた”多孔質材料のうち小さな孔径・大きな比表面積（物質質量当たりの体積）を有するものは古くから吸着材やろ過材として使われています。また、断熱性・衝撃吸収特性など緻密材では実現できない特性もあり、軽量性も手伝って、コルクや梱包材などに広く使用されています。

一方、従来の金属素材開発は、いかに高い機械的強度を持たせるかということに焦点が当てられてきました。その開発のなかで気孔（空孔）は強度を削ぐものとして忌み嫌われてきましたが、逆に“気孔だらけ”にして有効活用するのが「ポーラスメタル」です。その研究開発は、“自然界に選ばれた構造”をあえて金属素材に適用することで新しい機能の発現がないだろうか？ という観点から行われています。

2000 年ごろには主にアルミニウムを母材としてミリメートルオーダーの気孔寸法を持つポーラスメタル（図 2a）が工業的に生産され、主に車両用衝撃吸収材としての開発研究がさかんに行われました。私の研究では特に気孔の寸法をマイクロメートル（図 2b、アルミニウム等）～ナノメートルオーダー（図 2c、金・白金・パラジウム等）にまで微細化し、気孔に由来する表面積を大きくすることで新機能の発現を目指しました。結果として安定した衝撃吸収能だけでなく、吸音性（図 3）や触媒特性（図 4）などの多方面かつ独特な性質を見出すことができています。特に吸音性については気孔そのものの大きさだけでなく、気孔どうしをつなぐ小さな連通孔の大きさが重要であることがわかり、理論計算にもとづくシミュレーション結果ともよく一致します。

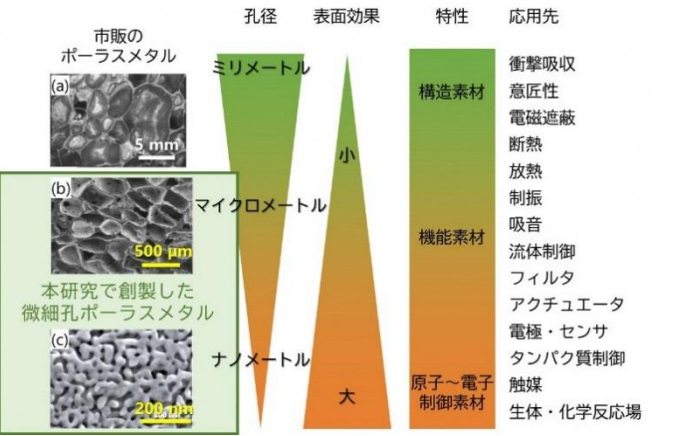


図 2 微細孔ポーラスメタルの開発と多機能性

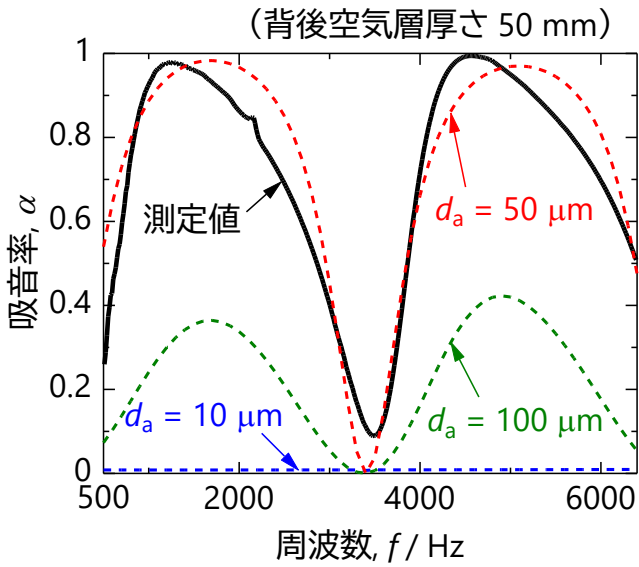


図 3 微細孔ポーラスアルミニウムの吸音率測定結果（実線）および連通孔サイズ（ d_a ）を考慮した理論計算結果（破線）

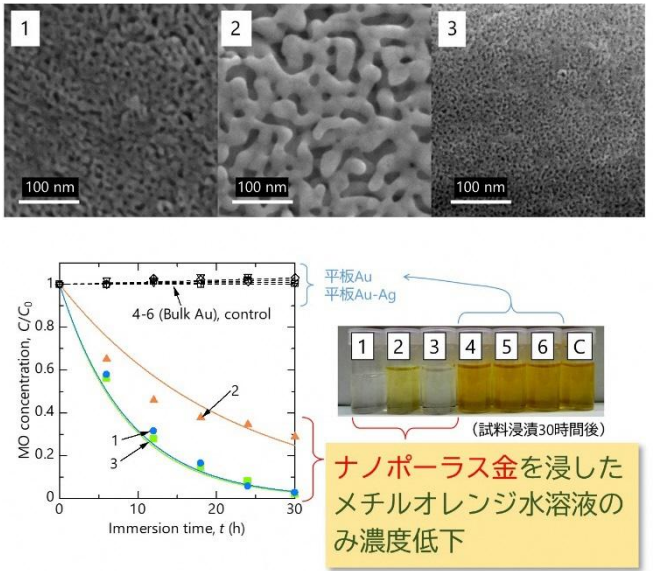


図 4 ナノポーラス金属特有の脱色触媒特性

おわりに

上記研究はモノづくりの未踏領域にあるアイディアと、失敗をたくさん含む試行錯誤から生まれてきた、いわゆるシーズ研究です。実用化にはまだまだ課題が多く、試行錯誤はずっと続いています。材料科学分野を一步踏み出すことで、多方面の研究分野の先生方や企業の方との交流の機会に恵まれています。スモールサイエンス、あるいは科学技術全体のブレインストーミングのひとつの項目にすぎないかもしれませんが、もしこれらの研究にご興味をお持ちいただけましたら、下記お問い合わせ先までお気軽にご連絡をいただくと幸いです。