

メカノケミカル反応と組織制御

工学研究院物質工学研究系 准教授 本塚 智



はじめに

この度は明専会会報に寄稿する機会をいただきありがとうございます。本稿では私のこれまでの研究と、今後の抱負を述べさせていただきます。

これまでの研究

私は修士課程を卒業後、民間で4年ほど機械設計に携わり、その後、高専の機械工学科に着任しました。当時は設備もノウハウも全くなく、試行錯誤の中で着手したのが、メカノケミカル反応というテーマです。メカノケミカル反応を簡単に説明します。材料を二つに割ると、外に

露出していなかった表面、すなわち、新生表面が形成されます。一般的な表面は酸化等の反応で、何らかの安定構造を取りますが、新生表面は不安定であるため、安定化の過程で様々な反応を生じます。これらを総称してメカノケミカル反応と呼びます。

メカノケミカル反応の例を紹介します。密閉容器中に鉄粒子、銅球、メタンを入れボールミルで粉砕すると、鉄の新生表面にメタンが吸着するだけでなく、粉砕後の雰囲気ガス中に水素が検出されます。つまり



という解離吸着反応が生じます。これがメカノケミカル反応の一例です。メタンの解離吸着現象は興味深いものですが、もう少しモノ作り寄りの研究をしたいと考えるようになった頃、面白い現象を発見しました。図1の左にはボールミルで粉砕した鉄粒子のX線回折(XRD)パターンを粉砕時間毎に並べています。合

わせて、1%程度の黒鉛と共に粉砕した鉄粒子のパターンも右に示しています。

各パターンには4つのピークがありますが、面白いのは、黒鉛を入れた1時間粉砕した試料が、左から2番目のピークを突出させる点です。

図2には単体及び黒鉛と粉砕した鉄粒子の走査電子顕微鏡(SEM)像と、電子線後方折散乱回折(EBSD)像を利用し、粒子中の鉄原子の配列の

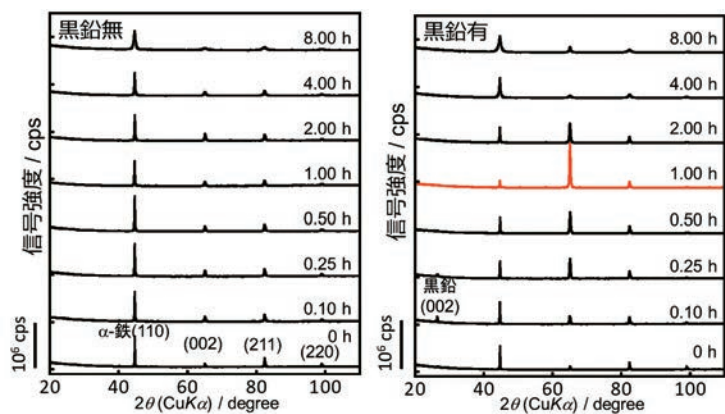


図1 ボールミルで粉砕した鉄粉のXRDパターン

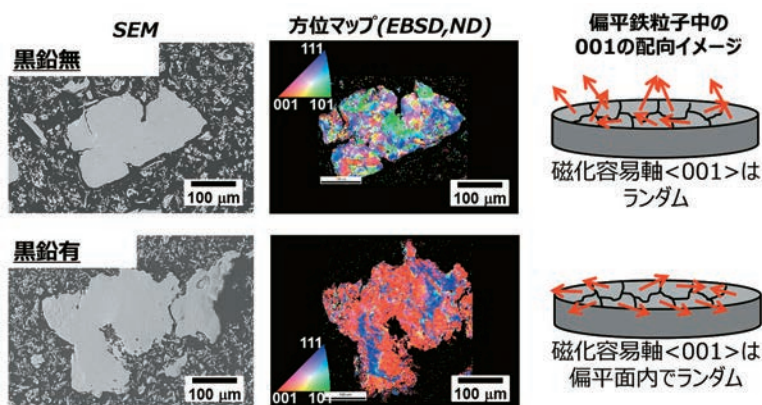


図2 単体及び黒鉛と共に粉砕した鉄粒子のSEM/IPF マップ

向きを色で示した図(IPFマップ)を示しています。粉砕前の鉄粒子は顆粒状なのですが、SEM像で示しますように、粉砕された鉄粒子は煎餅のような薄い板状になります。これはボールミル中の鋼球により、うどん生地を延べ棒で伸ばす如く、鉄粒子が塑性変形するためです。さて、黒鉛の有無は鉄粒子の形にはほとんど影響しないのですが、原

子配列の方向は大きく異なります。図2中央のIPFマップを見ると、黒鉛を伴わず、単体で粉碎された鉄粒子はカラフルなのですが、これは原子配列が様々な方向に向いていることを示しています。一方、黒鉛と共に粉碎された鉄粒子の殆どの領域が赤と青で占められています。これは原子配列の偏りを示しています。この配列の偏りを模式的に説明したのが、一番右の図です。鉄の原子の配列は、角と中心に原子を配置したサイコロを三次元的に並べたような配置をしています。サイコロの稜を通る方向を〈001〉、サイコロの一面の角と角を通る方向を〈011〉、ある面と、その反対側の面の角同士を通る方向を〈111〉と呼ぶのですが、中でも〈001〉は磁気的特性に優れており、磁化容易軸という名前がついています。その磁化容易軸を赤い矢印で示すことにすると、単体で粉碎された鉄粒子では、模式図に示すように、この磁化容易軸はランダムな方向を向いています。ところが、黒鉛と共に粉碎された鉄粒子は、この磁化容易軸が前述の煎餅の面内を向いていることがわかりました。

ところで、電気モーター中には銅線を巻いた鉄の塊が入っています。これを鉄心と呼び、これが電気エネルギーを運動エネルギーに変換しています。前述の鉄粒子を圧縮成形して鉄心を作ると、ただの鉄の粉よりも大きな力をロスなく引き出せる可能性があります。鉄心の性能は、鉄粒子の磁化容易軸だけでなく、色々な要因で決定されるため、現状では既往の鉄粒子の性能を超えることができていないのですが、これらの課題を克服して、本鉄粒子の実用化を達成すべく研究を進めています。

今後の研究

さて、この鉄粒子の研究ではメカノケミカル反応が一切顔を出さないように見えますが、実際には影で重要な役割を果たしています。図3に黒鉛と粉碎した鉄粒子のXRDパターンを示しますが、一方は酸素、もう一方はAr雰囲気中で粉碎しています。パターンを見るとAr雰囲気中で黒鉛と共に粉碎された鉄粒子は、結晶の配列の偏りを示す、左から2番目のピークの突出が見られません。

黒鉛が結晶の配列の偏りを生む理由は、黒鉛の添加によって、粒子間の摩擦係数が低下し、鉄粒子の変形様式が変化し、変形に伴う結晶の動きが変化するためと考えられています。従って、Ar雰囲気中で鉄粒子が結晶の配向の偏りを示さないことは、黒鉛が潤滑性を発揮していないことを意味しています。

この雰囲気の効果にメカノケミカル効果が関与していることがわかってきました。黒鉛は板状の結晶構造を持っており、この板面(ベール面)の間の結合が小さいために、滑りが生じ、この滑りが黒鉛の潤滑性に寄与しています。通常、ベール面は我々が意識せずとも潤滑面に就いて配列します。実際、酸素雰囲気中で粉碎された鉄粒子表面のベール面は配列していましたが、Ar雰囲気中で粉碎された鉄粒子上では配列しないことが分かったのです。

私はこの雰囲気効果が、粉碎で鉄粒子に形成される新生面と黒鉛の相互作用、すなわちメカノケミカル反応に由来していると考えています。黒鉛をはじめとする固体潤滑剤の研究は長い歴史を持っているのですが、

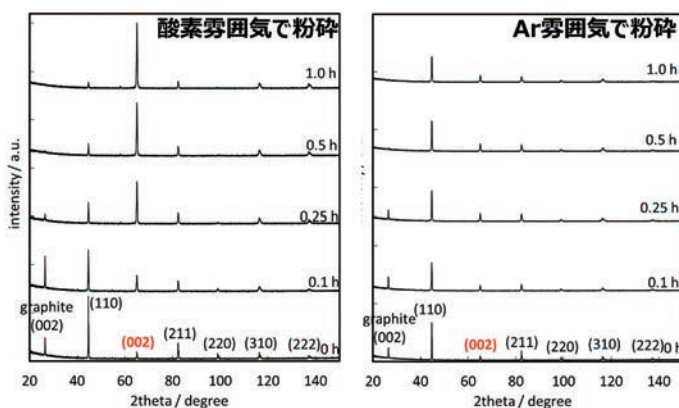


図3 酸素及び Ar 雰囲気中で粉碎した鉄粒子の XRD パターン

都合よくベール面が潤滑面に就く理由はあまりわかっていません。従って、この問題は、潤滑の原理にも関わる課題であると考えています。

おわりに

末筆となりましたが、九州工業大学がより多くの優れた人材を輩出できるよう、微力ではありますが、頑張っていきたいと思っております。今後ともご指導、ご鞭撻のほどよろしくお願いたします。