

2E04 非磁性体に及ぼす磁場効果：配向，パターンニング

(都立大院工・物材機構) 木村恒久

【序】この10年来の新磁気科学分野の進展により，非磁性体に及ぼす様々な磁場効果が報告されるようになった．我々はこれまでに，微粒子懸濁系に及ぼす磁場効果，特に配向と配列について研究を行ってきた[1]．多くの結晶性微粒子は磁気異方性を持つので，磁場下で配向する．最近では，一軸異方性粒子の静磁場下での単純配向から，二軸異方性粒子の動的磁場下での精密配向へと，次第に複雑な方向へと進展している．反磁性微粒子は磁場が弱い方向に力を受け，磁束密度の極小点にトラップされる．したがって，分布を持った磁場下ではその分布に応じて配列する．本講では配向，配列についての最近の研究結果を紹介する．

【磁場配向】異方性磁化率を有する微結晶や短繊維を媒体に懸濁させ磁場を印加すると，容易に配向する．例えばカーボンファイバーやカーボンナノチューブは，磁化容易軸が繊維軸方向に一致しているので繊維軸が磁場と平行に配向する．他方，ポリエチレンやナイロン繊維では繊維軸が磁化困難軸に一致しているので，繊維は磁場と垂直な面で面配向する．配向の速さは，磁場強度の自乗，異方性磁化率，繊維のアスペクト比，媒体粘度により決まる．6 T程度の磁場下で，水系，有機溶媒系に懸濁した繊維は，繊維の種類にもよるが，1秒もかからずに配向する．配向した後，媒体を何らかの方法で固化させれば，配向複合体が得られる．この手法により，高性能の放熱フィルムや，拡散型偏光子が作製できる．

ポリエチレン繊維のように静磁場下では面配向しかしない繊維を，回転磁場を印加することにより一軸配向させる試みがなされた．これは繊維に限らず，一般的に磁化困難軸を一軸配向させる手法であるので，微結晶にも応用できる．

回転磁場を印加してナイロン繊維を一軸配向させた例を示す[2]．永久磁石(Nd-Fe-B)のN，S極を対向させ円盤に固定し，磁極間中心の周りに回転させる．磁場中心(0.55 T)に，密度を合わせた食塩水にナイロン繊維(直径0.37 mm，長さ1.3~1.9 mm)を懸濁させたセルを固定して3~5 rpmで磁石を回転させた．図1には配向の様子を写真で示す．初期にはランダムであった繊維が，回転磁場を印加した後は回転面に垂直な方向に一軸配向しているのが分かる．回転のシミュレーション結果と合わせたところ，実験結果と良く一致した．

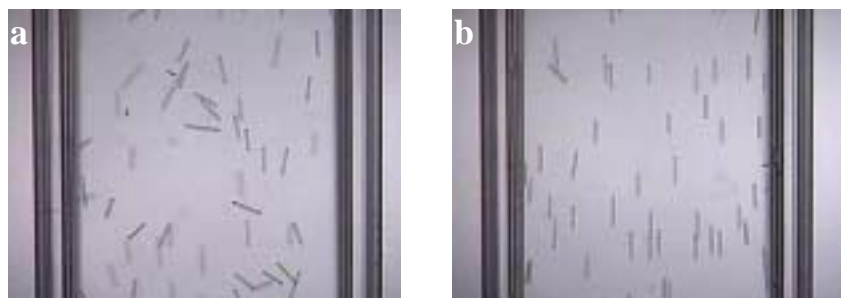


図1 ナイロン短繊維に回転磁場を印加することにより，磁化困難軸(繊維軸方向)を一軸に配向させた例．(a) 初期のランダム配向状態．(b) 回転磁場印加後．

配向は、微結晶懸濁系でも可能である。一軸光学結晶を透明な高分子マトリクス中で配向させると、いわゆる拡散型偏光子を作製することが出来る。光学結晶の常光の屈折率 n_o が高分子マトリクスの屈折率 n_m に近い組み合わせを用いると、常光のみが透過し、異常光 (n_e) は散乱されるので、偏光機能が生じる。我々はポリエチルメタクリレート (PEMA) に尿素の微結晶を分散させて偏光子を作製した。この系では $n_o=1.484$, $n_e=1.602$, $n_m=1.478$ である。PEMA のトルエン溶液に尿素のアセトン溶液を注入し、尿素の微結晶を析出させ、磁場内で溶媒を蒸発させ、複合配向フィルムを作製した。

図2には1Tの磁場下でキャストしたフィルムの光学顕微鏡写真を示す。入射光が結晶長軸に垂直の場合には光は散乱されず透過するので結晶は見えないが、平行の場合は散乱されるので結晶の形が見て取れる。

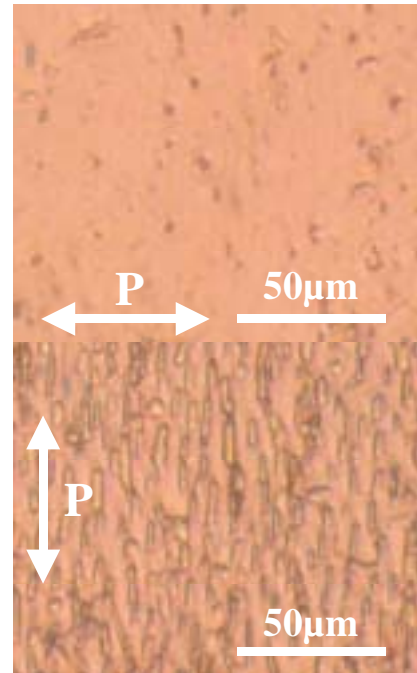


図2 1 T の磁場下キャストで得られた配向尿素結晶 / PEMA 複合フィルム。入射光の偏光方向により透過光強度が異なる。

【磁気パターニング】 300 μm 厚の鉄とアルミニウムの薄膜を交互に積層させたブロック (field modulator, 1x1x2cm) を作製した。これに積層面を貫く方向から横磁場を印加すると、ブロック表面上に磁場の強弱が生じる。ブロック表面にカプトンフィルムを敷き、そこに水、エタノール、塩化マンガン四水塩 (6:2:1) からなる液体を滴下した。磁場印加前は平らな液面が磁場 (約 1 T) を印加すると、磁場の強弱に応じて液面が変形した。消磁すると変化は消失し、元の平らな液面に戻った (図3) [3]。

同じ modulator を用いて、微粒子のパターニングを行った。20 μm のポリスチレン球懸濁液を同様にして滴下し、磁場を印加したところ、磁場の弱い鉄のレイヤー上に 100 μm 幅で球がライン状にトラッピングされた。この他、ピッチの小さい (50 μm) modulator を用いたり、粒子系の小さい粒子や細胞にも同手法を適用することにより、パターニングが出来ることを見出した。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会、未来開拓研究推進事業、及び科研費特定領域研究「強磁場新機能」(領域番号 767, 課題番号 15085207) により行われた。

[1] T. Kimura *Polymer J.*, **35**(11), 823-843 (2003).

[2] T. Kimura, M. Yoshino, T. Yamane, M. Yamato, M. Tobita *Langmuir*, **20**(14), 5669-5672 (2003).

[3] T. Kimura, M. Yamato, and A. Nara *Langmuir*, **20**(3), 572-574 (2003).

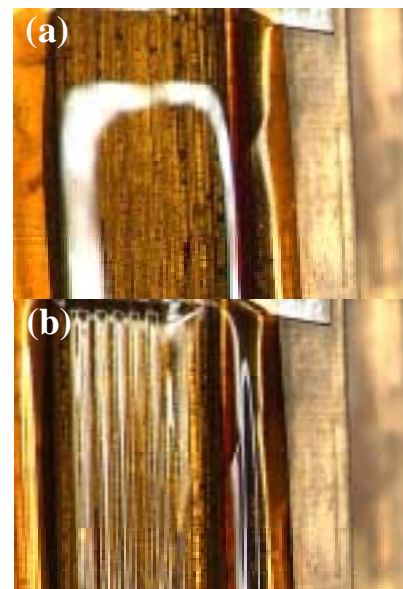


図3 磁場 modulator を用いたマイクロモーゼ効果による液面の微小形状変化。(a)無磁場, (b)磁場印加(1T)