

磁場によるケイ酸亜鉛膜チューブの 3 次元形状のキラリティ誘導

3-D Morphological Chirality Induction in Zinc Silicate Membrane Tubes Using a Magnetic Field

(分子研¹・広大院理²・信大教³) ○上地 一郎^{1, 2}・勝木明夫³・藤原好恒²・
Dunin-Barkovskiy Lev¹・谷本能文¹

【序】ケイ酸ナトリウム水溶液に硫酸亜鉛七水和物結晶を加えると、結晶が溶解するにつれて、亜鉛イオンはケイ酸イオンと結合し、結晶のまわりに不溶性のケイ酸亜鉛膜が生成する。この膜は透過性があり、水が膜の内側に浸入し、浸透圧が大きくなり膜の一部が破れる。そこから亜鉛イオンが流出しケイ酸イオンと接触することによって膜表面がさら成長する。成長はゼロ磁場下では、上方に向かう。

本研究では、垂直ボアをもつ超伝導磁石を用いてこの成長に対する磁場の影響を観測し、検討を行なった。この膜成長がゼロ磁場下では一方向であるため、もし成長が磁場の影響を受けるならば成長速度・成長パターンの変化が顕著に観察できる。また、この系ではイオンが全て反磁性イオンであるために一般性のある反応系であり、応用範囲が広いことが期待される。

【方法】超伝導磁石は JASTEC 製 JMTD-LH15T40(最大磁場強度 15T, ボア径 40mm)を用いた。試料容器には、内径 6mm×長さ 50mm のガラス製円筒型セルを用いた。ボア内での位置を変えることによって、ケイ酸亜鉛膜チューブの成長に対する磁場(B)と勾配磁場(BdB/dz)の影響を比較することができる。ケイ酸ナトリウム水溶液の比重は $d=1.06$ に調製したものを使用した。反応は室温のもとで行なった。

【結果と考察】Fig.1 に示すのは 0T におけるケイ酸亜鉛膜成長の形態である。この条件下では、鉛直上方向への直線状の成長のみが観測された。

磁場下で成長させた結果を Fig.2 に示す。Fig.2 では磁場の影響をの 4 ケ所 (A: 6.8T, $579\text{T}^2/\text{m}$ B: 13.6T, $740\text{T}^2/\text{m}$ C: 12.9T, $-1052\text{T}^2/\text{m}$ D: 6.2T, $-739\text{T}^2/\text{m}$) の位置で調べた。

図中に示した ABCD はそれぞれボア中でセルを置いた場所を表す。全ての位置で右巻き螺旋状の膜成長が得られた。また、膜はセルの内壁に沿って成長



Fig.1

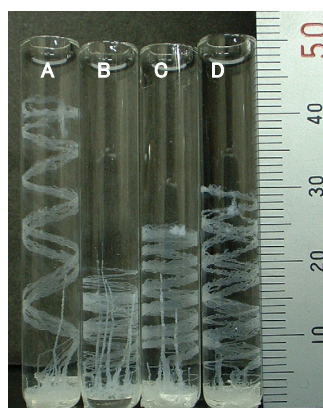


Fig.2



Fig.3

した。同様のセル内に Fig.3 に示すような外径 2mm のガラス棒を立て、成長条件を変えたところ膜はガラス棒の外壁に沿って左巻き螺旋状成長という結果が得られた。

磁場 (B_{mean}) が強くなるにつれてピッチ (螺旋の一周期の間隔) が短くなっていることが Fig.4 から分かる。ケイ酸亜鉛膜の成長速度について考えてみると、垂直方向への成長では膜内外の密度差が生じることによって上方に成長する。垂直方向への成長に対しては磁場は影響を与えないと考えられる。平面内のイオンの運動に対してはローレンツ力が作用することによって回転力が生じる。磁場中で螺旋状成長となるケイ酸亜鉛膜の成長速度を垂直方向と水平方向に分けて考えた。ここで、垂直方向はケイ酸亜鉛の垂直方向への成長速度 (V) であり、水平方向はローレンツ力に起因する成長速度 ($\propto eV' B$, V' : 溶液中のケイ酸イオンの速度) と考えた。ここで、 $\text{pitch} = \tan \theta \propto V / (eV' B)$ の関係があり、 V が一定であるとする、ピッチは $1/B$ に比例するグラフとなると考えられる。そこでピッチを $1/B$ でプロットした。結果を Fig.4 の挿入図に示す。綺麗な直線関係が成り立っていることが明らかである。このことから磁場効果はローレンツ力により説明されることが分かった。

Fig.5 は磁場に垂直な面内での溶液中のイオンのランダムな運動にローレンツ力が作用した際のシミュレーション結果である。磁場方向は紙面裏から表であり、イオンとしてはケイ酸イオンを選んだ。ゼロ磁場ではイオンの運動は壁からの距離によらずランダムな運動であることが分かる (Fig.5 A,B)。容器壁から離れたところでは、イオンのランダムな運動に対して働くためローレンツ力は等方的であり、膜成長が螺旋状形状とはなり得ない (Fig.5 C 図)。しかし、壁近傍では、イオンのサイクロトロン運動が壁と衝突を繰り返すことによって一方向の流れが生じる (Fig.5 D,E)。膜成長はこの流れに向かって成長すると考えられる。これらの結果よりこの螺旋状の膜成長はローレンツ力が主要因であることがわかった。また、キラルな螺旋状成長には、反応容器壁が重要な役割を果たすことが分かった。さらに、壁の形状によらないことも分かった。

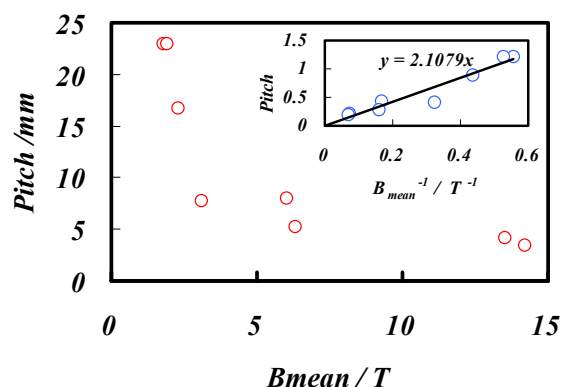


Fig.4

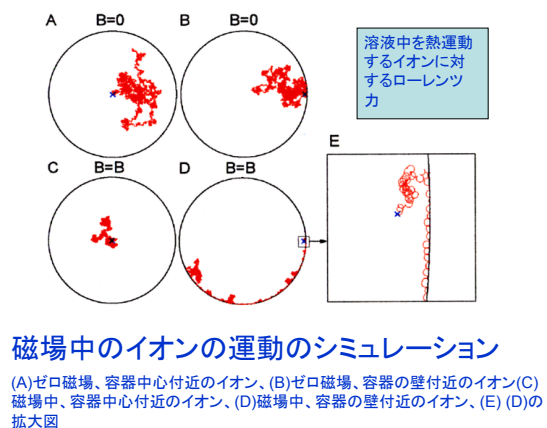


Fig.5