

【序】磁場によるキラリティー誘導は磁気科学を研究する科学者の夢のひとつといってよいと思う。2年前に縦型の高磁気力用小型超伝導磁石による新しい磁場効果の研究に着手したところ、シリケートガーデン反応で生成する半透膜チューブは磁場のないとき垂直に成長するが、磁場の印加により右巻き螺旋・左巻き螺旋と自由にそのキラリティーを制御できることがわかった。

【実験】比重約 1.13 のケイ酸ナトリウム水溶液に各種金属塩を入れ、ケイ酸金属の半透膜チューブを作った。磁場は縦型超伝導磁石 (JASTEC, 15T40, 15T, $1500\text{T}^2\text{m}^{-1}$) を用いた。磁場中で一定時間反応させた後外に取り出し、その形状を観察・写真撮影した。また、小型 CCD カメラにより磁場中の反応のその場観察を行った。

【結果と考察】容器の内壁付近で成長する半透膜チューブ：まず硫酸亜鉛を用いて作成したケイ酸亜鉛膜チューブの形状に対する磁場効果を示す。¹⁾ 図 1 に示すように、ゼロ磁場では、チューブは鉛直上方に成長しているが、磁場中では、容器の外壁に沿って右巻き螺旋状に成長している。このような磁場効果がシリケートガーデン反応に一般的に見られるかどうかを検討するために他の反応系についても検討した。図 2 にケイ酸マグネシウムの場合を示すが、結果はケイ酸亜鉛と同様で、右巻き螺旋のチューブが成長した。そのほかの系でもほぼ同様な結果を得た。¹⁾

磁場効果にはラジカル対機構、磁気配向、磁気力、ローレンツ力などのメカニズムがあるが、図 1、2 に示した磁場効果はどの機構により説明できるのであろうか。本反応ではラジカルは生成しないと思われるので、ラジカル対機構の可能性はまず否定される。磁気配向がチューブの螺旋成長を促すという可能性も考えにくい。磁気力は、磁場勾配の方向に平行に作用する力であるが、磁場勾配の方向を逆の条件で実験してもほぼ同様の螺旋状の成長を引き起こすことから、磁気力の可能性は否定された。さらに常磁性塩である硫酸銅を使ったケイ酸銅半透膜チューブの場合、磁場勾配がむしろ螺旋成長を妨げることからも否定された。一方、ローレンツ力は磁場中を運動する荷電粒子・イオンに磁場と直角方向に回転力を与えることから、磁場と垂直方向に半透膜チューブが螺旋成長するメカニズムとして適切なメカ

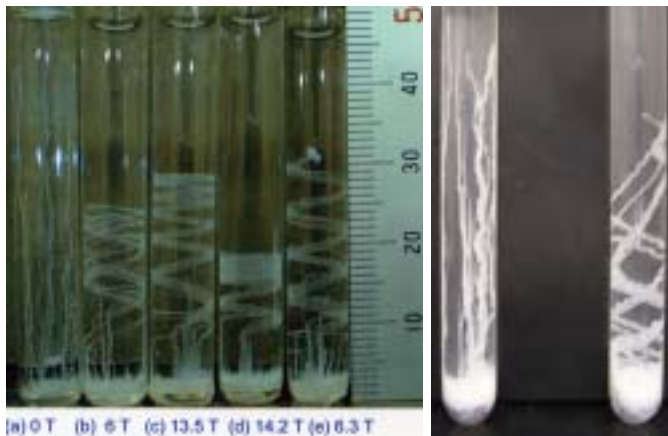


図 1



図 2 左 0T, 右 15T

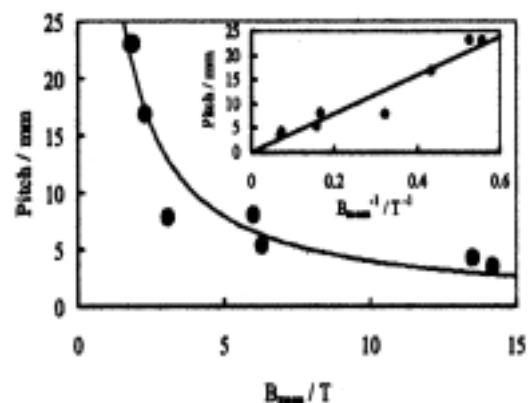


図 3

ニズムと考えられる。この点を確認するために螺旋のピッチを磁場に対してプロットした(図3)。ピッチは磁場強度とともに狭くなっている。もしローレンツ力がある原因ならば、回転運動は磁場の強度に比例するので、螺旋ピッチは磁場強度の逆数に比例するはずである。そこで螺旋ピッチを磁場の逆数に対してプロットしてみた。結果を図3の挿入図に示すが、予想通りの結果であり膜チューブの螺旋成長はローレンツ力によることが明らかになった。

以上の説明は大変尤もらしいが、水溶液中イオンはランダムな運動をすることから、ローレンツ力により右巻き回転力と左巻き回転力が等しく生じるはずであり、なぜ右巻きの螺旋かという点が説明できない。いろいろ検討した結果、壁の近傍のイオンは壁により跳ね返されるためにその運動が一方向に偏りその結果ローレンツ力も一方向となるという仮説をたてた。もし仮説が正しければ、容器のなかにガラス棒を入れその外壁に沿ってチューブを成長させれば、左巻き螺旋のチューブができるはずである。そこで、本当に仮説が正しいかどうか実験を行った。結果を図4に示す。全くの予想通りに左巻きのチューブが成長した。このことから、我々の仮説は正しいことが実験的に証明された。と同時に、右巻き螺旋と左巻き螺旋の半透膜チューブを磁場により自由につくることができることが示された。すなわち、3次元形態的キラリティーの磁気誘導にはじめて成功した。

容器の内壁から離れて成長する半透膜チューブ：以上、容器の内壁に沿って成長する半透膜チューブについて説明した。では、壁から離れたところで成長するチューブには磁場の影響はないのだろうか。壁から離れて成長したケイ酸マグネシウム半透膜チューブの写真を図5に示す。磁場中では、左巻きに捩れて成長していることが分かる。ガラス棒の外壁回りに成長した螺旋と同じ巻き方である。このことは、垂直に成長する膜チューブそれ自身がイオンの運動に対して壁の役割を果たしていることを意味している。

膜チューブ成長中の溶液の運動のその場観察：本当に対流が起こっているかどうか、対流の方向とチューブの成長方向の関係、どのイオンの運動が対流の主原因かなどを解明するために、半透膜チューブが成長中の溶液の動きを磁場中でその場観察することにした。その結果、磁場の印加により毎秒数ミリ程度の速さの対流が起こり、対流の方向と同じ方向にチューブが成長することがわかった。このことから、チューブが成長する際チューブの先端から噴出する溶液に含まれている陰イオンがローレンツ力を受け、その結果対流が起こるものと結論された(図6)。

文献

- 1) I. Uechi *et al.*,
J. Phys. Chem. B,
108, 2527 (2004).

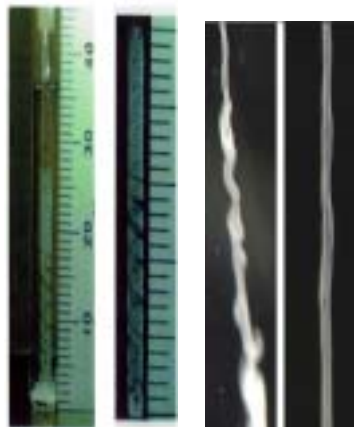


図4 右は拡大図 図5 左 15T, 右 0T

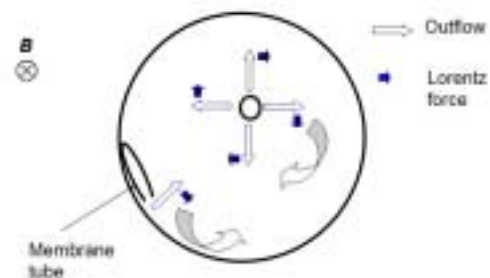


図6 メカニズム