

- エコな未来型スマートマテリアル -
環境に優しい圧電性高分子フィルムを開発

関西大学システム理工学部 教授 田 實佳郎

関西大学システム理工学部の田實佳郎(たじつ・よしろう)教授らの研究グループは、分子鎖がらせん構造を描くキラル高分子のずり圧電性を実用レベルに大きくする原理と、そのための高次構造制御法を見出し、環境に優しい lead-free(非鉛)な圧電性高分子フィルムを開発しました。

この圧電性高分子フィルムは高分子の特徴である薄膜性、柔軟性ばかりでなく透明性をも付与することができ、圧電セラミックス(PZT など)と比べ、丸めたり伸ばしたりできる透明フィルムとして加工性が高いのが特徴です。



透明 (ITO 電極)



柔軟 (金属電極)

lead-free な環境に優しい圧電フィルム

■ 圧電性とは

以下の 2 つの効果が発生する性質

(1)正効果：ある物体を変形させると電荷が発生すること

力や変位を検出する感知センサとしてプリンタ、ゲーム機、自動車などに利用されています。村田製作所様が開発し、9 月 21 日日本学と共同発表したセンサデバイスは、その性質を活用したものです。

(2)逆効果：物体に電圧をかけることで機械的な機構なしに自ら振動や変位を作り出すこと

マイクロマシンや精密加工用ステージなどの駆動部品、ロボットなどの複雑な動きを実現するアクチュエータとして、現代の自動化された機械、電子、航空宇宙産業などの先端産業になくてはならないものです。

■ 背 景

現在、この圧電性を実現する主な素材は、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)セラミックスですが、昨今の環境に対する負荷軽減の必要性から、鉛を使わない lead-free な圧電性物質の開発が求められています。特に EU 諸国では、RoHS 指令により需要が高まっています。

そのような中、圧電性高分子は lead-free な圧電性物質の重要な候補になるべきと考えられていますが、圧電率が小さく、より鋭い共振現象が起きないため、PZT セラミックスのようなアクチュエータ材料の候補になりえませんでした。

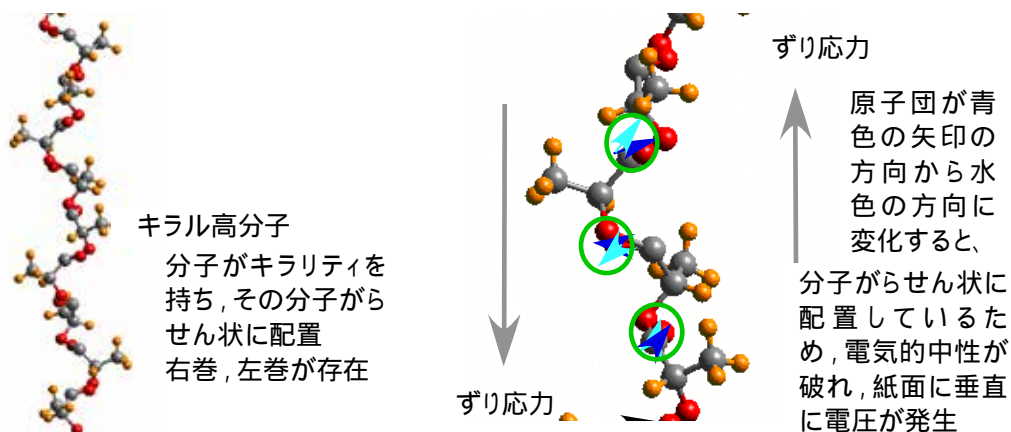
< 対比表 >

	PZT セラミックス	圧電性高分子	圧電性高分子の利点
形状・大きさ	焼き物としての制限あり	成形法が多彩	フィルム、繊維など多彩な形状
柔軟性	×	○	ヤング率が 1/100 以下
軽量性	×	○	密度が約 1/10
透明性	×	○	透明化が可能である
環境性	鉛含有	非鉛	生分解性、非石油系の利用も可
圧電性 大きさ			圧電率が従来 1/100 以下 現在 1/20 程度まで向上
センシング (村田製作所 デバイス)	様々な変形・方向に 対して信号出力	あるずり変形に のみ信号出力	出力信号の解析が容易
焦電性	○	×	温度変化の影響を受けない

■ 研究内容

(1)目 標：高分子に大きな圧電性を発現させる

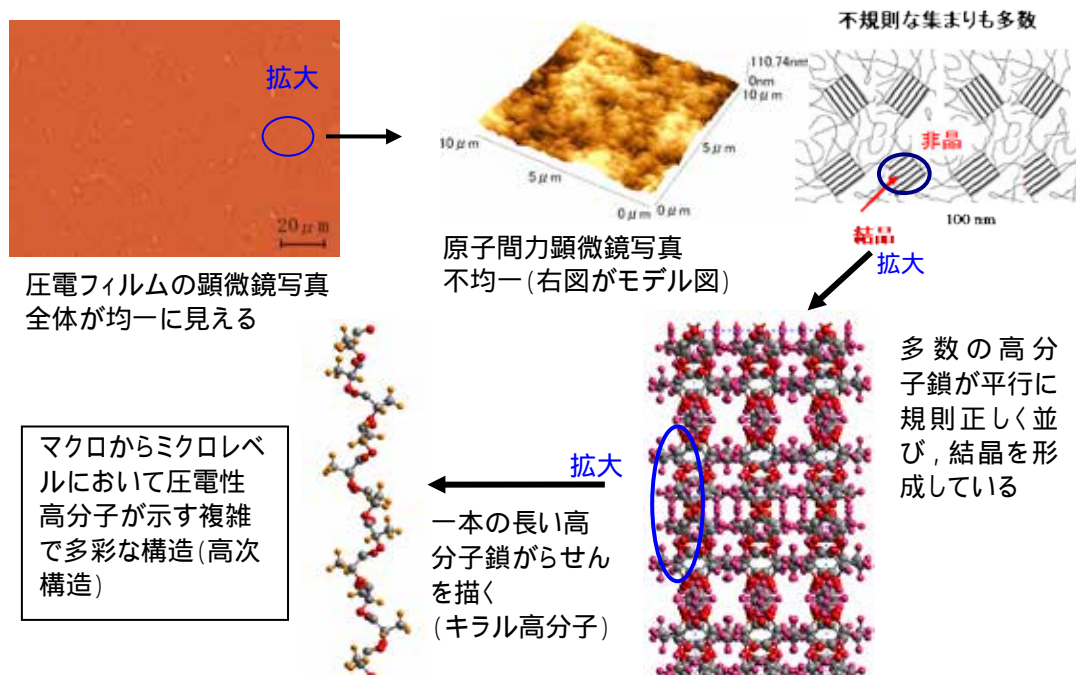
(2)構 造：キラル分子(主鎖がらせん構造を描く高分子)には、ずり応力が加わると構成する原子団が変位して電圧が発生する。(圧電性の起源：らせん状に分子があるのでずり変形で電気的中性が破れる：伸縮変形では電気的中性は保たれる)



(3)問題点：キラル高分子フィルムは複雑な構造をしているため、フィルムにずり応力を加えてもその複雑な構造に遮られ、分子が変位するための力のロスが多く、伝播しない。つまり、圧電率が小さくなる。

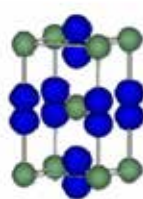
*キラル高分子フィルムの複雑で多彩な構造(高次構造)

高分子は一本の分子鎖が規則正しく並びフィルム全体に広がるのではなく、秩序正しく並び結晶を作ったり、秩序がない領域(非晶)を作ったりする。



*PZTなどの圧電セラミックスの構造

構造が複雑でない上に、分子がイオン結合などで結合されているため、その構成原子が、外力によりその位置を容易に変える。すなわち圧電性が大きくなる。



圧電セラミックス
イオン性結晶
基本単位が繰り返し、物質が均一に構成されている。
(単純な構造)
外からの力が、構造が均一なので、ロスなく原子に加わる。
更に原子に対する拘束力が小さいので、原子が大きく動く。
→ 圧電率が大きい

キラル高分子
共有結合結晶
圧電性のない非晶領域を多く含む複雑な構造である。
外からの力が、構造が不均一(非晶など)なので、遮られ伝わらない。
更に共有結合原子は拘束力が強く、回転運動しか起こらず(効率が悪い)、変位が小さい。
→ 圧電率が小さい

(4)仮 説：圧電率を向上するため結晶内の分子に外力を効率よく伝達することが重要である。

結晶をできるだけ精緻に仕上げ、分子を協同的に変位させる。

非晶の物理的性質を結晶に近づけ、外力伝播のロスを極力少なくする。

(5)方 法： 分子同士が近づき、結晶を作りやすくするために、

・長い分子と短い分子を組みあわせる(分子量分布の最適化)

・らせんの向きが異なる分子をわずかに加える

非晶の物理的性質(密度や弾性率)を結晶の性質に近づけるために、

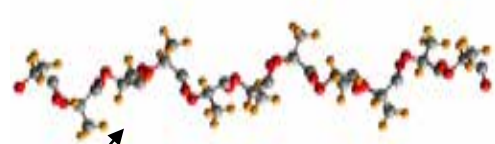
・超臨界二酸化炭素処理や瞬間的な大きな力を加えることで、高度な非晶の配向構造を作る

この方法であれば、高分子フィルムの環境対応性、柔軟性、透明性は失わない。

(6)結 論：キラル高分子に、従来ない大きな圧電性を発現させることに成功した。

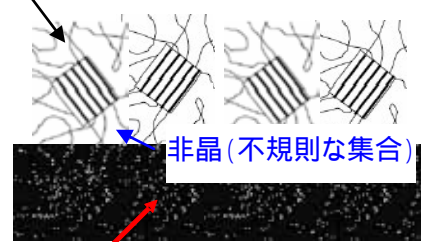
キラル高分子

このらせんを描く高分子(キラル高分子)は共有結合でつながっている。外力でこの構成原子が動くと圧電性が発現



共有結合でつながった一本の高分子鎖

高分子フィルムが不均一な構造を示す
(高次構造)
外からの力が非晶(密度小、柔らかい、圧電性なし)にさえぎられる
共有結合の拘束力が大きく、分子が変位しない(効率が悪い)
→ 圧電率が小さい



結晶(高分子鎖が規則正しく集合)

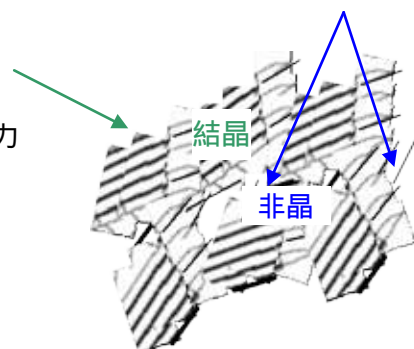
高圧による伸張鎖結晶の作成
磁場によるこれまでにない配向構造作成
→ 密度が高い残った非晶が並び固くなる
→ 結晶もつられて並び
→ 結晶を精緻に大きく成長させる

超臨界二酸化炭素処理
→ 密度の低い非晶に入り込み溶解。不要な非晶取り除く。

非晶の配向
秩序向上

結晶と非晶間の固さ、密度の差が少なくなり、外力が結晶中の分子に効率よく伝わる

→ 原子団の変位が大きくなる
大きな圧電性が発現



以 上

■用語説明

・キラル高分子

キラル構造(右手と左手、実像と鏡像の関係に当たる非対掌構造)をもつ分子からなる高分子。主鎖がらせん構造を持つものも多い。

・lead-free

非鉛。環境負荷を意識し、「鉛」を含有しないことを強調するときに多く使われる。

・ずり圧電性

ずり歪やずり応力により分極が発生する性質。伸縮歪に対して発生する圧電性と区別するために使われる。高分子に発生する圧電性は殆どの場合、このずり圧電性である。

・高次構造制御法

高分子は 100%結晶など規則正しい構造を作ることは難しく、通常さまざまな長さスケールをもつ階層構造からできている。これを高次構造と呼び、フィルムの最終的な物性に強い影響を及ぼす。従って、高分子科学の世界ではこの高次構造の制御法の研究が基礎、応用面で盛んに行われている。

・RoHS 指令

電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する欧州議会及び理事会指令のことである。EU 加盟国内において、特定物質が規定値を超えて含まれた電子・電気機器の販売を禁止するもの。

この件に関するお問い合わせ先

関西大学 広報室広報課 担当: 北谷、石田、小野

〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35 Tel. 06-6368-0075 Fax. 06-6368-1266

www.kansai-u.ac.jp