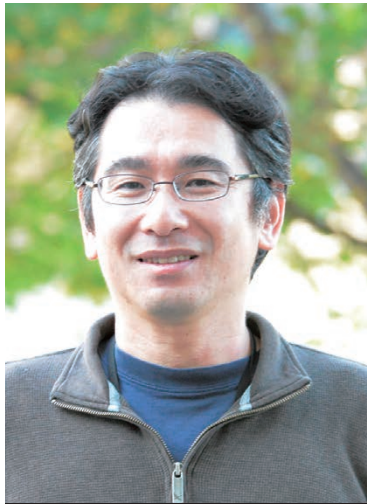


有機電気光学ポリマーの実用化に向けた研究開発



山田 俊樹 (やまだ としき)

未来ICT研究所
ナノICT研究室
主任研究員

大学院博士課程修了後、科学技術振興事業団 CREST 研究員を経て、1999 年に郵政省通信総合研究所（現 NICT）に入所。新規薄膜作製、単一分子分光、有機電気光学ポリマーに関する研究に従事。博士（工学）。

電 気光学（Electro-Optic: EO）効果は、物質に電界が印加されたときに屈折率が変化する現象です。EO 効果は、光通信のキーデバイスである電気信号を光信号に変換する光変調器や光スイッチの中で使われています。NICT では、EO 効果を持つポリマー（EO ポリマー）の特性を向上させ、様々なタイプの光変調器や光スイッチの開発、テラヘルツ波の発生・検出に応用するための研究をしています。ここでは、EO ポリマーの材料開発、耐熱性向上、デバイス応用に関する研究や EO ポリマーの優れた特性について紹介します。

■ 背景

近年、通信ネットワークにおいては、通信容量の更なる拡大、情報処理装置の高速化、用途の多様化が進んでおり、光通信の重要な要素技術である光変調・スイッチン

グデバイスの広帯域化と低消費電力化が重要な技術課題となっています。EO ポリマーはマイクロ波領域の誘電率が小さく、光通信に使われる光波に対する屈折率と変調マイクロ波に対する実効屈折率の差を小さくすることが可能であるため、100 GHz 以上の超高速動作が期待できます。近年、以下に示すように EO 色素の性能向上は顕著で、EO ポリマーの電気光学定数 r_{33} が 100 pm/V を超えるようになり、デバイスの性能を表す指数 ($FOM = n^3 r_{33}$) では、ニオブ酸リチウム (LiNbO₃) を超えることが可能になってきています。このような背景から超高速応答性と低消費電力性を兼ね備えた EO ポリマーデバイスに関心が集まっています。また、長距離通信ネットワークだけでなく、中・短距離のデータ通信においても 100 Gbit/s を超える超高速通信が必要になってきており、電気配線から光配線（光インターコネクション）への移行が進められています。このような用途では高速性、低消費電力性に加えて、小型化、低コスト化が重要な要件であり、シリコン導波路と EO ポリマーを組み合わせたデバイスに注目が集まっています。

■ 新たなEO色素分子の分子設計・合成技術とEOポリマーの電気光学定数評価技術

EO 色素分子は、一般に電子ドナーと呼ばれる電子を押し出す性質をもつ基、電子アクセプターと呼ばれる電子を引き付ける性質をもつ基、それをつなぐ π 共役系から構成され、非対称構造をとっています。分子内の原子と原子が二重結合を作るとき、1本目の結合を作る電子 (σ 電子) はがちり結びつくのに対して、2本目の結合を作る電子 (π 電子) は動きやすい性質を持っています。分子の光学的、電気的な機能の発現には、この π 電子の集団である π 共役系が重要な役割を担っており、EO 色素の

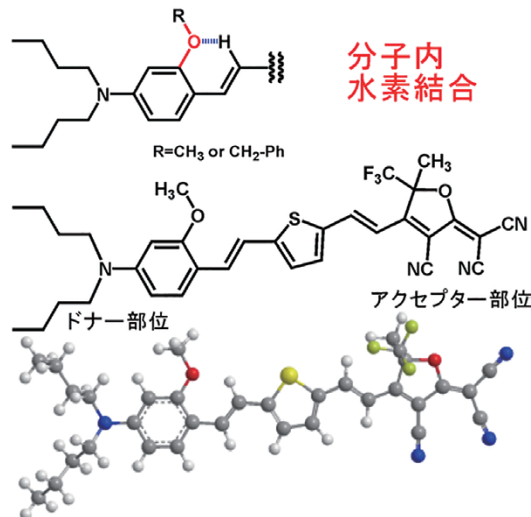


図1 分子内水素結合を利用した高性能有機電気光学色素分子の一例

分子設計においても、 π 共役系の長さや向きなどを考えることが重要となります。電子ドナー部位の特定の場所（アミノベンゼンのメタ位）にアルキルオキシ基を導入し、分子内水素結合を利用して π 共役系の構造を安定化させることにより、電気光学性能が増大する効果を見出しました。これにより、EO色素分子の更なる高性能化に向けた新しい分子設計指針を獲得し（図1）、世界最高レベルのEO色素分子の開発に成功しました。我々の開発しているEOポリマーは主鎖ポリマーにこのようなEO色素を側鎖として導入したもので、EOポリマーにポーリングという処理を行い、EO効果を発現させます。また、アパチャー無しの透過型エリプソメトリー法という信頼性の高い、電気光学定数 r_{33} の新たな評価手法も開発し、EOポリマー材料開発にフィードバックしています（図2）。

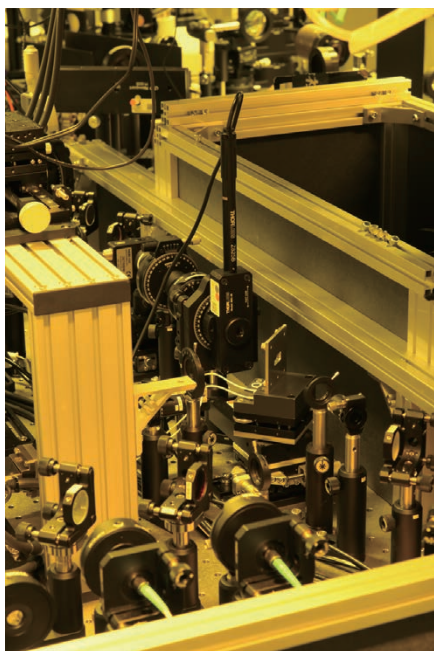


図2 電気光学定数 r_{33} の測定系
（アパチャー無しの透過型エリプソメトリー法）

材料 デバイス技術	EOポリマー・ Si導波路	Si
構造		
帯域 (GHz)	> 300	37 ~ 70
$V\pi L$ *Loss (dBV)	2	10
駆動電圧 (V)	< 1	1.1
消費電力 (mW/GHz)	0.03	3 ~ 6

図3 シリコン導波路・EOポリマーハイブリッド変調器とシリコン変調器との性能比較

■耐熱性を向上した新たなEOポリマーの開発

EOポリマーは100 GHz以上の超高速変調が可能で、既存材料よりも低消費電力で動作するといった特徴がありますが、これまでは、主としてEO色素分子の配向緩和に基づく耐熱性に問題があるとされ、実用化がなされてきませんでした。NICTでは、独自のポリマー構造を用いることで、ガラス転移温度が160℃以上のEOポリマーの開発に成功し、光通信デバイスに要求される85℃の保存試験で良好な耐熱性を示すことを見出しました。

■シリコン導波路・EOポリマーハイブリッドデバイスの開発

図3に示す通り、シリコン導波路・EOポリマーハイブリッド変調器は小型（1 mm程度）、超高速（帯域100 GHz以上）、低消費電力（0.1 mW/GHz以下）と非常に優れた特性を持つことが期待されます。これはシリコンの高屈折率を利用して高度な光閉じ込めを可能にするシリコン導波路と、EOポリマーの大きなEO効果と超高速性を組み合わせているためです。一方、シリコン変調器は光変調の原理としてEO効果ではなく、キャリアプラズマ効果（キャリア

濃度の密度変化）を利用して電流を流すため、低消費電力、高速性には限界があります。EO効果を光変調の原理として用いていないため、光変調の際に位相と振幅が関連していることも応用する上で問題となってきます。

NICTでは、中・短距離のデータ通信の光化（光インターコネクション）への応用に向けて、高性能かつ高耐熱性を有する有機EO材料を用いた、超高速、低消費電力、小型化が可能なシリコン導波路・EOポリマーハイブリッドデバイスの開発を進めています。

■今後の展望

EO色素及びEOポリマー材料の開発技術を軸として、EOポリマー光変調器・スイッチ、シリコン導波路・EOポリマーハイブリッドデバイスを開発し、企業と共同で社会展開していきます。EOポリマーは前述の長・中・短距離通信への応用だけでなく、光源と組み合わせることにより低消費電力で超高速パルスを生成し、センサーにも応用できます。また、開発したEOポリマーはテラヘルツ波の発生や検出においても非常に有望であり、多様な応用展開が期待できます。