

# 「未来の材料」で光通信技術を革新

すぎ はら おき ひろ  
**杉原 興浩**

宇都宮大学 大学院工学研究科  
教授

2009~19年 S-イノベ 研究リーダー

よこ やま し よ し  
**横山 士吉**

九州大学 先端物質化学研究所  
教授

2015~19年 S-イノベ 研究分担者

光を用いた配線技術「光インターコネクティブ」は増え続ける膨大なデータの高速伝送を支えてきたが、さらに速く、大容量にという声は止むことがない。その声に応えるべく光通信の革新を目指すのが、宇都宮大学大学院工学研究科の杉原興浩教授だ。九州大学先端物質化学研究所の横山士吉教授らと連携し、未来の材料と考えられていた電気光学ポリマーを用いた光インターコネクティブを実現しようとしている。

## ポリマーで通信の限界を突破

モノのインターネット(IoT)や人工知能の普及が進み、データ通信をより速く、より大容量にという需要は高まるばかりだ。現在、有線によるネットワークでは光インターコネクティブが採用されている。電気信号を光信号に変換して伝送する方法で、10年ほど前からデータセンターなどの分野で注目され、広く普及している。伝送速度は年々増加してきたが、情報通信量は今後も増え続けると予測され、限界が見え始めている。この限界を突破すべく、従来の無機材料に代わり電気光学特性を持つ有機ポリマーを利用した光インターコネクティブの開発を目指すのが、杉原さんを研究リーダーとする研究チームだ(図1)。

杉原さんは「当初念頭に置いていたのは膨大なデータを扱うデータセンターでしたが、8Kディスプレイや自動運転車の登場で瞬時に膨大なデータを扱う近距離通信技術の重要性がさらに増してきました」と話し、こう続ける。「例えば自動運転では、多くのセンサーから得られた情報を瞬時に解析し、ブレーキなどに制御信号を送らなくてはなりません。

信頼性の高い高速情報伝送が不可欠ですが、コストとのバランスが重要です。最適な解が電気光学ポリマーの利用だと考えました」。

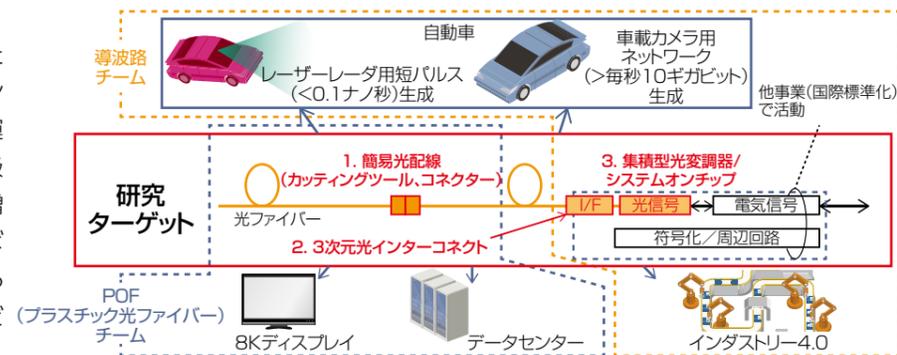
ポリマーは消費電力や製造コストに優れるだけでなく、理論上さらなる高速化が可能だと期待されていた。しかし、温度変化に弱く、高温下で劣化するという問題が実用化を阻んでいた。「電気信号を高速で光信号に変換する光変調器の分野では、早い時期からポリマーが注目されていました。しかし、すぐには実用化できない『未来材料』という位置付けで、シリコンなど無機材料の性能を超えられるかは未知数でした。リスクが高く企業単独では手を出しにくい分野でしたから、S-イノベによく合っていたと

思います」と横山さん。

研究チームは産業にイノベーションをもたらすべく、材料開発やデバイス化にとどまらず製造法や電気配線に当たる導波路の接続技術、さらにはディスプレイとのコネクタなども含めて開発する体制を整えた。産学の連携により、「未来材料」を現実的なシステムに落とし込もうという、挑戦的な試みだった。

## 超高速伝送と熱安定性を両立

ポリマーを使った光インターコネクティブを実現する上で重要な要素技術の1つがデータを光信号に変換する光変調器だ。理論上100ギガヘルツ以上の応答特性を持つと予想されるポリマーを光変調



■図1 データセンター、自動車、大型ディスプレイなどで求められる大容量、高速データ伝送の実現に必要な光インターコネクティブの開発を目指した。



■図2 電気光学ポリマーを使った超高速光変調器とその光変調特性

器に利用できれば、既存の無機材料では不可能な超高速データ伝送を実現できると考えられていた。

横山さんはポリマーにいち早く着目し、日産化学と共同で合成法の開発を進めていたが、2015年度より日産化学と共にS-イノベに参画した。日本で光変調器の研究者は少なく、杉原さんも横山さんも「オールジャパンで連携して進めた方が効率的ではないか」という思いを抱いていたからだ。

こうして得られた成果が、優れた電気光学特性と熱安定性を併せ持つポリマーと、アダマンド並木精密宝石と共同で開発したポリマー光変調器だ(図2)。18年5月には、従来の無機材料光変調器の2~3倍に当たる毎秒112ギガビットの超高速光伝送を達成し、世界から注目を集めた。

「成功の鍵はシリコン導波路とポリマーのハイブリッド化でした。これにより、材料特性を最大限に引き出すことができたのです。しかもシリコン導波路の上に塗布して積層するだけなので簡単に安価に製造でき、小型化も実現できました」と横山さんは胸を張る。1.5ボルトという低電圧で作動し、省電力化も期待できる。

車載利用での課題だった熱安定性についても、105度でも性能が落ちない優れたポリマーの合成によって解決できた。「ポリマーの弱点であった熱安定性を克服しただけでなく、速度についても当初の予定を超える世界最高速度を

達成しました。ポリマーの大量合成法の開発にも成功し、実用的な最先端技術に躍り出たのです」。

## 導波路接続を光硬化で簡単に

一方、杉原さんと豊田中央研究所の研究グループは、ポリマー光変調器と光ファイバーとを結ぶ導波路の接続技術の開発を担当した。

近い将来、1秒間に100ギガビットを超える高速伝送が必要になると想定されているが、その実現にはシングルモードと呼ばれるコア径10マイクロメートル以下の極細の光ファイバーとシリコン導波路を接続することが不可欠となる。そこで取り組んだのが、1.5マイクロメートル程度と長波長の近赤外光で重合する光硬化樹脂の開発だった。

「光の通り道を硬化させて光ファイバーとの接続を形成する方法は、光はんだ、自己形成光導波路などと呼ばれます。既存の樹脂では硬化させるのに高いエネルギーを持つ短波長の紫外光が必要なため、通信で使用する近赤外光でも硬化する材料を探する必要がありました」と杉原さんは振り返る。フランスの研究者とも連絡を取りながら地道な探索を続け、ついに求める樹脂組成物を発見した。

この材料が入った溶液中に光ファイバーを入れ近赤外光を照射すると、硬化によって導波路が成長することが確かめられた(図3)。「従来の導波路形成技術では光を照射して出てくる光が最大限になるよう軸を微調整する必要がありました。開発した方法では、ファイバーから出る光で硬化していき、軸が多少ずれていたとしても自動的に微調整され接続されます。光ファイバー間、素子間といった接続の製造コストを大幅に低減できるでしょう」と笑顔を見せる。

## 屋台骨はぐらつかずに展開

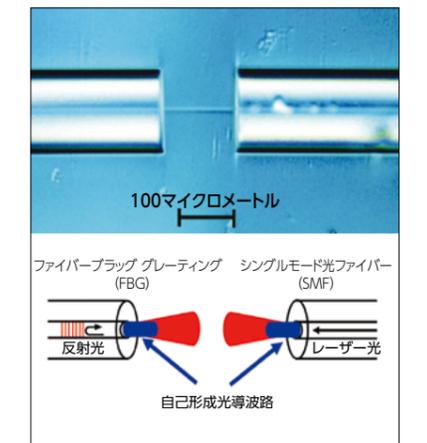
横山さんは「国際的な競争が加速しており、基礎研究から実用化までの開発スパンが短期化しています。S-イノベのように多様な業種の企業とさまざまな

専門性を持つ大学が、基礎研究から実用化まで段階的に計画を立て連携することは、今後ますます重要になってくると思います」と話す。

S-イノベを通じた産学連携は、シリコン導波路との集積が可能でポリマー光変調器、そして導波路の接続技術の開発を成功に導いた。小型、超高速、低消費電力、低コストの光インターコネクティブの実現に向けた大きな一歩が踏み出されたのだ。その成果は現在、A-STEPにおける実用化研究やSICORPにおけるドイツとの2国間共同研究に引き継がれ、1日も早い実用化を目指して研究開発が続いている。

杉原さんはS-イノベのプロジェクトをこう振り返る。「10年間で社会情勢は変わり、参画機関も入れ替わります。光インターコネクティブデバイスを開発するという屋台骨だけはぐらつかないよう心を砕き、その上で開発ターゲットや手段を時代の変化や社会ニーズに合わせて修正していきました。それぞれの機関が持つ技術をいろいろと試しながら、宮田清蔵POやメンバーとも相談し、最適解に向けてじっくり取り組めたことが、成果につながりました」。

企業と共に、S-イノベ終了後の開発シナリオも描いてきた。それぞれの研究者が、これからなすべきことを明確に見据えている。「S-イノベの期間は終了しましたが、まだ終わった感じはしません」と横山さんが話すように、光通信を革新し、新たな価値を生み出す研究開発はこれからますます加速していくだろう。



■図3 近赤外光を用いた自己形成光導波路接続の顕微鏡写真(上)と模式図(下)