

**(独)科学技術振興機構  
創造科学技術推進事業  
追跡評価用資料**

**ERATO  
小池フオトニクスポリマー  
(2000-2005 年度)**

**2011 年 11 月 11 日**

# 目次

要旨 .....	1
1. プロジェクトの概要.....	1
2. プロジェクト終了から現在に至る状況.....	2
(1)SORST プロジェクトでの発展.....	2
(2)プロジェクトメンバーの動静.....	3
3. プロジェクト成果の波及と展望.....	3
(1)科学技術への波及と展望.....	3
(2)社会経済への波及と展望.....	4
第1章 プロジェクトの概要 .....	7
第1章 プロジェクトの概要 .....	8
1-1 ERATO プロジェクトの背景.....	8
(1)ERATO 以前.....	8
(2)ERATO プロジェクトの立ち上げの経緯.....	9
1-2 ERATO フォトニクスポリマープロジェクトの概要.....	10
(1)プロジェクトの沿革.....	10
(2)プロジェクトの研究内容・体制.....	12
第2章 プロジェクト終了から現在に至る状況.....	21
2-1 各研究テーマの現在の状況.....	21
(1)分子デザイングループ.....	21
(2)光機能発現グループ.....	22
(3)応用グループ.....	24
2-2 プロジェクトメンバーの活動状況.....	27
(1)分子デザイングループ.....	27
(2)光機能発現グループ.....	27
(3)応用グループ.....	27
第3章 プロジェクト成果の波及と展望 .....	28
3-1 科学技術への波及と展望.....	28
(1)研究コミュニティへの影響.....	28
(2)後継プロジェクトの展開.....	29
(3)国際会議 International Conference on POF(ICPOF)の開催.....	32
(4)受賞.....	32
(5)その他.....	33
3-2 社会・経済への波及と展望.....	35
(1)GI-POF.....	35

(2)高精細・大画面ディスプレイ.....	38
第4章 事業運営に対する意見・要望.....	41
4-1. ERATO について.....	41
4-2. 課題・JST への要望等.....	41
参考文献.....	42

# 要旨

## 1. プロジェクトの概要

光学ポリマーは光学、フォトニクス分野の材料として、従来の無機ガラスに比べて、誘電率が低く高速応答が可能であることや加工性に富み光導波路化しやすいなどの特性を有することから、材料研究が盛んに行われてきた。しかしながら、「透明性が低い」、「複屈折が大きい」、「屈折率の波長分散が大きい」、「光学的均一性が低い」などの光学ポリマー特有の問題が光学ポリマーデバイスの性能向上と用途拡大を大きく妨げていた。ERATO 小池フォトニクスポリマープロジェクト(以後、本プロジェクト)ではこれらの科学技術上の課題を解決することにより、次世代フォトニクス分野に貢献する光学ポリマーの開発に成功した。

2000年当時、高分子物質化学と光学の学問領域には大きな科学的な隔りがあり、両者を結びつけた本質的な議論がほとんどされていない状況であった。本プロジェクトでは、まず、そのような両者の学問領域の壁を取り払い融合させることで、新しいフォトニクス機能の発現を物質探求のファンダメンタルズから掘り起こしていくことを目的とした。

2000年からスタートした本プロジェクトでは一貫して、光の偏波またはフォトンがさまざまな高分子の鎖(~0.1nm)やその集合体(~数十 nm)、高次構造、さらに巨大な不均一構造との関わりについて、その起源までさかのぼって詳細に検討した。それらの基礎研究を基に、今まで無機ガラスの独壇場であった光通信などのフォトニクス分野において、無機ガラスの代用ではなく、新しい光機能をもったフォトニクスポリマーを提案し、それらを実証してきた。

高分子の不均一構造の大きさを制御することにより、屈折・反射、散乱、分極、吸収・放出といった様々な光の基礎的現象を制御することが可能となる。この一連の光機能とそこから生まれるフォトニクスポリマーの創造が、本プロジェクトの柱となった。本プロジェクトの主な成果を下記に挙げる。

- ギガビットをはるかに超える高速な屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI-POF : Graded Index Plastic Optical Fiber)を世界に先駆けて提案し、その実証に成功した。
- 散乱現象を積極的に利用し、高輝度光散乱ポリマーを提案し、従来の2倍の明るさをもつ液晶ディスプレイ(LCD)バックライトを提案し、その実証に成功した。
- 分極異方性を逆方向に作用させる手段(結晶ドーブ法<sup>※</sup>)を見出し、ポリマー分子の配向によらず常に複屈折<sup>※</sup>がゼロである、ゼロ複屈折性ポリマーを提案し、その実証に成功した。
- 光の吸収・放出を応用して高出力ポリマー光ファイバー増幅器・レーザーを世界に先駆け提案し、その実証に成功した。
- 光吸収損失<sup>※</sup>の主な原因となる炭素-水素結合が存在しないポリマー(例えば全フッ素化

<sup>※1</sup> 結晶ドーブ法：ナノサイズの針状結晶を添加してフォトニクスポリマーの複屈折を消去する方法。

<sup>※2</sup> 配向複屈折：フォトニクスポリマーの構成分子が成形過程においてある特定の方向に並んでしまい(配向状態)、それによって入力した光が屈折し、光の進む速度が異なる現象。

<sup>※3</sup> 光吸収損失：光ファイバーの中を伝わる光が光ファイバー自身によって吸収され、熱に変換されること

ポリマーなど)の合成を行い、ガラス光ファイバーに匹敵する低損失プラスチック光ファイバーの材料を開発した。

これらの研究成果は 2006 年に実施された事後評価<sup>※</sup>において「秀(Excellent)」と高い評価を受け、「いずれのテーマにおいても独創的な成果が得られており、光機能性ポリマーの基礎科学の進展と同時に、産業界や国内外の研究機関との連携も強力に進められた。本研究は日本発の『知の創成』に大いに貢献し、また高い実用性も示した。」とのコメントを得ている。

## 2. プロジェクト終了から現在に至る状況

### (1)SORST プロジェクトでの発展

本プロジェクトで得られた知見をさらに深め、実用化に結びつけるために、戦略的創造研究推進事業 発展研究(SORST)「Fiber to The Display のためのフォトニクスポリマー(2005-2010年)」に発展的に引き継がれている。

SORST プロジェクトでは次のような研究成果が得られた。

- ① 高速・低損失・高耐熱性を有する GI-POF に適した数種類の新規モノマーおよびそのポリマーの設計・合成を行った。さらにそれらを用い、損失波長特性および耐熱性において従来よりも優れた GI-POF を作製した。これにより可視光源の波長領域における屋内配線に十分な高速性と伝送距離の確保、環境温度の高い機器内や車両内・航空機内等の配線への用途拡大などが可能になった。
- ② 全フッ素化ポリマーを用い、熔融押出法における屈折率分布形成機構の解明に取り組み、熔融押出条件の最適化を進めた結果、波長 1.55 $\mu\text{m}$  において、40Gbps(ファイバー長 100m)の超高速伝送に初めて成功した。この成果は、以前の研究で理論的に明らかにした全フッ素化ポリマーGI-POF の広帯域性を検証するとともに、大きな市場が期待されるサーバーセンター等の短距離超高速光インターフェースに GI-POF が適用可能であることを示すものである。
- ③ 配向複屈折と光弾性複屈折<sup>※</sup>のいずれの複屈折も発現しない「ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー」を世界で初めて提案・合成し、実証した。これは学術的にも工業的にも、フォトニクスポリマー分野の歴史に刻まれるべき重要な研究成果である。高精細・大画面ディスプレイの性能向上および革新的な製造効率の向上に貢献するものと期待される<sup>※</sup>。
- ④ 全フッ素化 GI-POF を用いた 780nm から 850nm の 4 波長を用いた波長多重(WDM<sup>※</sup>)伝

---

による損失。

<sup>※4</sup> <http://www.jst.go.jp/erato/evaluation/20060228/koiike.pdf>

<sup>※5</sup> 外力を受けた弾性体が複屈折を起こす性質

<sup>※6</sup> NEDO 技術開発機構平成 19 年度調査「ゼロ・ゼロ複屈折性ポリマーに関する調査」  
[http://www.nedo.go.jp/informations/koubo/190117\\_3/190117\\_3.html](http://www.nedo.go.jp/informations/koubo/190117_3/190117_3.html)

<sup>※7</sup> WDM : Wavelength Division Multiplexing

送により、光 HDMI<sup>※8</sup>伝送装置の試作に成功した。この成果は、8K4K<sup>※9</sup>の解像度に対応する次世代高精細テレビ用アクティブ HDMI 光ケーブルへの応用が期待される。また POF によるホームネットワークシステムを構築し、実証実験を行った。POF を用いて情報家電や PC をネットワークに接続し、ホームサーバーからの映像伝送やホームセキュリティへの応用を検証するとともに、デモシステムとして出展し、POF の伝送性能や施工の簡易性をアピールした。

- ⑤ 溶融押出法における屈折率分布形成機構の解明に取り組み、溶融押出条件の最適化を進めた結果、より高速の伝送が可能な屈折率分布を有する GI-POF の作製に成功した。本プロジェクトで提案している溶融押出法は GI-POF の量産化に適した製造方法であり、この研究成果により高性能 GI-POF の量産技術に関する基本的知見が得られた。また屈折率分布形成機構が解明されたことにより、ポリマー物性に関する基礎実験の結果のみから最適な屈折率分布の形成条件を検討することが可能となった。

## (2)プロジェクトメンバーの動静

プロジェクト参画メンバーの動静は次のようである。

- ・岡本氏，多加谷氏，石博氏の各グループリーダーは後継の SORST プロジェクトにおいてもそれぞれグループリーダーを務めた。
- ・多加谷氏が慶應義塾大学理工学部の特別研究准教授，近藤篤志氏が同大学理工学部の特別研究助教，石博崇明氏が同大学理工学部・物理情報工学科の准教授，大津信弘氏がネットワークシステムズ株式会社の事業部長を経て帝京大学本部情報システム部内研究員としてアカデミックポストにおいて活躍している。
- ・大喜田尚紀氏が三井化学株式会社の研究員近藤氏，上原桂二両氏が NTT 東日本の研究員，星博房氏が株式会社日本アレフの研究員として企業研究者として活躍している。

## 3. プロジェクト成果の波及と展望

### (1)科学技術への波及と展望

#### 1)後継プロジェクトの展開

本プロジェクト終了以後の競争的資金による展開としては、(独)科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 発展研究(SORST)，および内閣府の最先端研究開発支援プログラム(FIRST)がある。

#### 【戦略的創造研究推進事業発展研究(SORST)】(2006-2010)

本プロジェクトで得られた多くの有意義な成果を「Fiber to The Display」コンセプトの実現に向けて発展させることを目指したプロジェクトであり、超低材料分散フォトニクスポリマー、完全ゼロ複屈折フォトニクスポリマーなどを新たに創出し、これらのフォトニクスポ

<sup>※8</sup> HDMI : High Definition Multimedia Interface

<sup>※9</sup> 表示画素数が 8192×4320(約 3500 万画素)

リマーが発現する新機能により、新規の高速通信ネットワークやディスプレイ技術に繋がるシステムを提案・構築・実証している。

#### 【最先端研究開発支援プログラム(FIRST)】(2010-2014)

世界最高性能のプラスチック光ファイバーを実現するとともに、低消費電力の高精細・大画面ディスプレイを開発し、実用化へ向けた社会実証を開始する。将来的には、遠隔地同士がハイビジョンのテレビ電話等につながり、臨場感あふれる「Face-to-Face コミュニケーション」が可能となる社会の実現を目指す。参画企業 14 社とともに共同研究を実施中。

#### 2)国際会議 International Conference on POF の開催

小池総括責任者は現在、毎年開催されている国際会議 International Conference on POF(ICPOF)の全体議長をつとめている。この国際会議は、アカデミアと産業界の参画により、POF 研究開発の最先端の情報プラットフォームとして機能している。

#### (2)社会経済への波及と展望

本プロジェクトの主要な成果である GI-POF と高精細・大画面ディスプレイパネルについては次のような社会経済への波及と展望が見込まれている。

##### 1)GI-POF

フッ素化ポリマーの GI-POF が旭硝子株式会社より 2010 年 7 月に「FONTEX」として商品化され、販売されている。また部分塩素化ポリマーの GI-POF が積水化学工業株式会社より 2010 年 11 月に「GINOVER」として商品化され、販売されている。

GI-POF はデータセンターや移動体におけるマルチメディア向け高速回線や、住宅・学校・病院などのローカルエリアにおけるネットワーク配線などでその市場を拡大している。

##### 2)高精細・大画面ディスプレイ

光散乱技術を応用した高輝度光錯乱ポリマー導光体とゼロ・ゼロ複屈折ポリマーの開発により、高精細・大画面のパネルディスプレイの開発が可能となった。2010 年 10 月に行われた KPRI 国際シンポジウム 2010 では、ハイビジョンの 4 倍の画素数のリアルタイム動画通信(伝送速度 10Gbps)を 150 インチパネルによる高精細パネルを用いてデモンストレーション実験が行われた。

##### 3)将来への展望

高精細ディスプレイと GI-POF による大容量高速伝送システムは、まず医療現場での利用が挙げられる。これまでの解像度では見えなかったものが見えるようになるという診断の質

の向上や、患者個人の情報をセキュリティを保持した上で大量に扱わなければならないという必要性、データを蓄積することによる教育効果やインフォームドコンセントの向上、予防医療による QOL の向上への期待も寄せられている。

将来的には 40Gbps の超高速光ファイバーと 8K クラスの高精細・大画面ディスプレイが実用化することで、映画などの動画コンテンツが数秒でダウンロードできるような、まったく新しい動画配信ビジネスの展開も検討されている。





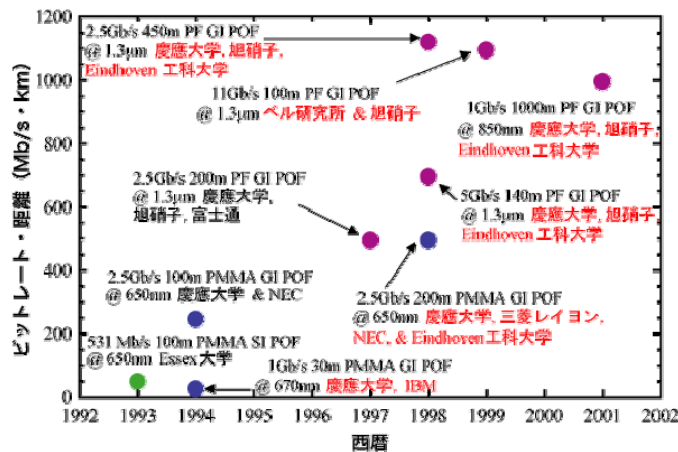


# 第1章 プロジェクトの概要

## 1-1 ERATO プロジェクトの背景

### (1)ERATO 以前

小池フォトニクスポリマープロジェクトの原点は、小池総括責任者による 1994 年の GI-POF の開発である<sup>[1]</sup>。無定形ポリマーの固有散乱損失をアインシュタインの揺動説理論(1910 年)に基づき計算した結果、PMMA(ポリメタクリル酸メチル)などの理論的な光損失は 10dB/km 程度となった。一方、実験上の光損失は 1000dB/km であり、これらの中で生じた 990dB/km の損失差の原因究明が課題となった。また、ポリマーの過剰散乱の原因仮説としてデバイの過剰光散乱理論(1949 年)を参考とした。その結果、従来考えられてきたような形状を均質化しようという方法ではなく、分子の大きさの違いを利用して屈折率分布を形成するという全く逆の方法を考案し、透明な GI -POF(1Gbps 30m PMMA GI POF)の完成に至った(図 2)。



出所:小池総括責任者提供資料

図 2 POF による高速通信の世界記録の変遷

次に、小池総括責任者の ERATO プロジェクト以前の研究プロジェクトを概観する。科研費としては、1993 年より佐々木敬介代表者(慶應義塾大学名誉教授、故人)の研究分担者として、「ポリマー光ファイバー増幅器の基礎的研究」や「プラスチック光ファイバー増幅器を用いた生体組織の性状診断と治療効果」、1995 年には武藤真三代表者(現山梨大学医学工学総合研究部教授)の研究分担者として「旋光性および非線形性ポリマーの電解配向によるモード制御型光導波デバイスの開発」、鈴木孝治代表者(現慶應義塾大学理工学部教授)の研究分担者として「メディカル用超高感度イオン選択性オプトードの開発と応用」、「臨床分析用高性能オプトードプローブおよび測定システムの開発」に携わってきた。また、1995 年から 1998 年までは、財団法人神奈川科学技術アカデミーの支援で高速伝送用プラスチック光ファイバー

の開発を行うとともに、1998年から2001年までは、通信・放送機構(TAO)委託研究として、プラスチック光ファイバーの研究開発を行った。

これらの研究成果が評価され、「第12回光産業技術振興協会櫻井健二郎氏記念賞(1996)」、「Distinguished International Lecturer 賞(1996)」、「SID 1996 International Symposium Best Poster Paper Award(1997)」、「応用物理学会国際会議 MOC/GRIN Paper Award(1997)」、「回路実装学会論文賞(1998)」など数多く受賞している。

## (2)ERATO プロジェクトの立ち上げの経緯

ERATO プロジェクトが開始された2000年当時、光学・フォトンクス分野の材料として光学ポリマーは従来の無機ガラスに比べて、誘電率が低く高速応答が可能であること、加工性に富み光導波路化し易いなどの特性を有することから、材料研究が盛んに行われていた。しかしながら、無機ガラスと比較して「透明性が低い」、「複屈折が大きい」、「屈折率の波長分散が大きい」、「光学的均一性が低い」などの光学ポリマー特有の課題によって光学ポリマーデバイスの性能拡大と用途拡大が大きく妨げられていた。

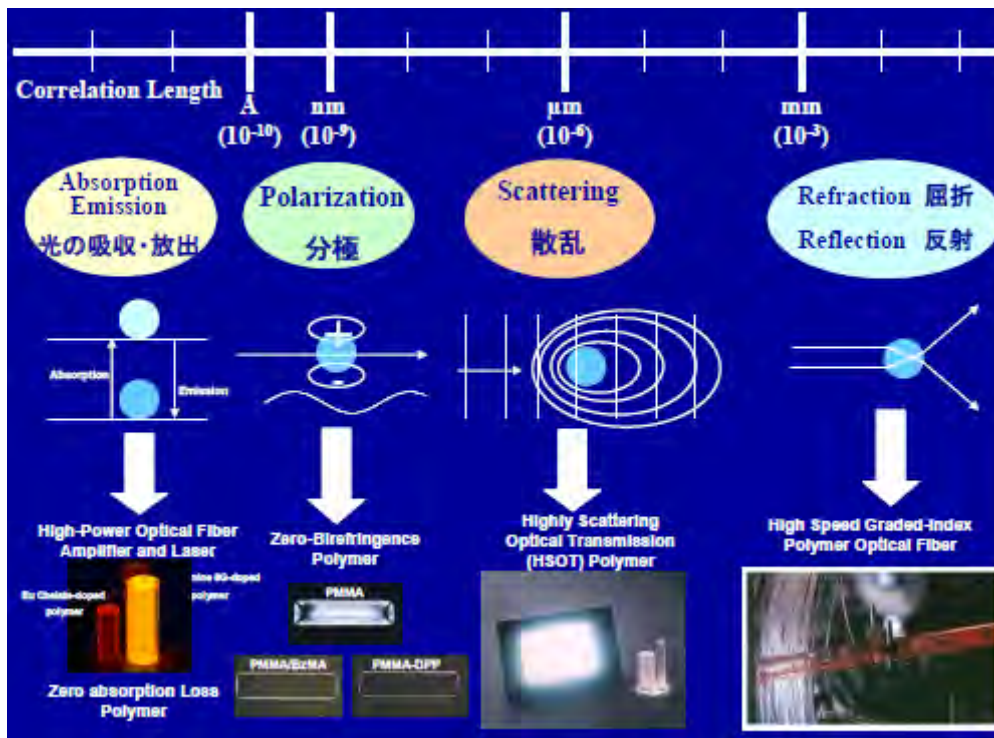
このような問題点は、巨大分子鎖の集合体である高分子固体が本質的に有する複雑系に起因するものとして、光学ポリマーに避けられない特性であると考えられていた。そのため、光学ポリマーは「光をより遠くへ飛ばす」、「超高速な信号をより歪なく伝送する」、「光の偏波をより正確に制御する」、「より集光する」、「光をより増幅する」といった次世代フォトンクス分野において要求される諸特性は不向きであると考えられてきた。

これらの課題を解決するためには、ポリマーの分子構造はもとよりポリマー鎖のコンフォメーション、コンフィギュレーションに至る高次構造制御までを総括的に究明する必要があるが、当時、単純なモデルによる基礎的な物理理論から予測される光特性と、実際の光学ポリマーの光物性との間には依然として大きな隔たりがあり、ガラスや無機結晶にはない高次構造を持つ光学ポリマーとそこから発現される光物性との関係に取り組んでいる基礎研究は世界的に見ても殆どなかった。

2000年からスタートした本プロジェクトでは、一貫して、光の偏波またはフォトンが、さまざまな高分子の鎖(~ $\otimes$ )やその集合体(~数百  $\otimes$ )、高次構造、さらに巨大な不均一構造とどのように関わるかを、その起源までさかのぼって詳細に検討した(図3)。それらの基礎研究を基に、今まで無機ガラスの独壇場であった光通信などのフォトンクス分野において、無機ガラスの代替ではなく、新しい光機能をもったフォトンクスポリマー<sup>10</sup>を提案し、それらを実証した。

---

\*10 ERATO プロジェクトでは、まず、そのような高分子化学と光学(フォトンクス)の学問領域の壁を取り払い、新しいフォトンクス機能の発現を物質探索のファンダメンタルズから掘り起こしていくことを目指した。「フォトンクスポリマー」という名前は、小池総括責任者のそのような思いから生まれた。



出所：小池総括責任者提供資料

図3 光波が不均一構造を持つポリマーに照射された場合の挙動について

## 1-2 ERATO フォトニクスポリマープロジェクトの概要

### (1)プロジェクトの沿革

表1に本プロジェクトの沿革をとりまとめた。

表1 プロジェクトの沿革

年	ERATO プロジェクト	関連動向
2000年	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆プロジェクト事務所開設(7/1)</li> <li>◆プロジェクト発足(10/1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆小池 PL が慶應義塾大学より「義塾賞」受章(11/9)</li> </ul>
2001年	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆0<sup>th</sup> International Plastic Optical Fibers Conference 2001 (Amsterdam) 開催。 小池 PL が全体議長を務める。(9/27-30)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆小池 PL が第42回藤原賞受賞(6/11)</li> <li>◆石博 GL が第14回安藤博記念学術奨励賞受賞(6/30)</li> </ul>
2002年	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆高速大容量プラスチック光ファイバーを使った Giga bit ネットワーク環境実証実験の開始」を麹町会館にてプレス発表(2/18)</li> <li>◆経済産業省から委託を受け、小池 PL が中心となって三菱商事(株)、SONY(株)、三井不動産(株)、ERATO 小池プロジェクト、慶應義塾大学が共同で、高速大容量プラスチック光ファイバー(GI-POF)を用いた実証実験が2002年3月より1年間実施された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆加谷 GL が平成13年度高分子研究奨励賞(高分</li> </ul>

年	ERATO プロジェクト	関連動向
		子学会)を受賞(5/30)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆上記実証の一環として、プロジェクト実施場所の新川崎タウンキャンパスと港区天現寺を、GI-POF を用いた高速ネットワークで結び、リアルタイムで授業を行った。(6/28)</li> <li>◆1<sup>st</sup> International POF Conference 2002 が JST 共催の下、ホテルニューオータニにて開催。小池 PL が全体議長を務めた。Giga House Town プロジェクトのキックオフセレモニーが行われた。(9/18-20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆財)産業雇用安定センターによる「勤労体験プラザ」(仮称)の「日本の各界代表者の仕事振り」を集めたビデオライブラリーの収録として、TBS ビジョンによる小池 PL の撮影。(11/28)</li> </ul>
2003 年	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ST と慶応工学会 Giga House Town プロジェクトとの間で共同研究契約を締結。研究成果を直接ギガアイランドに反映し、その創出に向け研究をスタート。(4/1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆朝日新聞にて、「ノーベル賞期待の研究者」として、小池 PL が化学賞部門に挙げられた。(1/1)</li> <li>◆放送大学「物質の科学 有機高分子 ('02)」の収録として、NHK エデュケーショナルの撮影。(2/12)</li> <li>◆小池 PL が平成 14 年度高分子学会賞を受賞(5/29)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆光機能発現グループの提案する「複屈折性結晶ドープ法」に関する論文が、米国科学誌「Science」に掲載された。同日に、「日本経済新聞」、「日刊工業新聞」、「日経産業新聞」、「科学工業日報」などに掲載された。(8/8)</li> <li>◆2<sup>th</sup> International POF Conference 2003 (Seattle, USA)開催。小池 PL が Plenary Session で講演した。(9/14-17)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆独立行政法人科学技術振興機構 発足(10/1)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆財団法人慶応工学会 Giga House Town プロジェクトとの共同研究の形を取り、情報処理推進機構の平成 15 年度重点領域情報開発事業「次世代遠隔教育・医療支援システム実現のための多地点間高品質リアルタイムコミュニケーションソフトウェアの開発」を行った。これにより開発したシステムの実証実験を、慶応義塾大学の 3 キャンパス(三田, 日吉, 矢上)を結んで行った。(11/10-13)</li> <li>◆GI-POF による高速ネットワークを敷設した、東京都内にある約 600 世帯の大型マンションが入居開始。(12/18)</li> <li>◆東京都内に 320 床の各ベッドまで GI-POF による高速ネットワークを敷設した総合病院が開院(榊原記念病院)。(12/22)</li> </ul>	
2004 年	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆本プロジェクトの中間評価実施。(5/17)</li> <li>◆3<sup>th</sup> International POF Conference 2004 (Nürnberg, Germany)開催。小池 PL が全体議長を務めた。(9/27-30)</li> </ul>	
2005 年	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆2005 年 日本はギガの国へと進化する」と題して、日本経済新聞元旦特集号に共同研究先の慶応工学会 Giga House Town プロジェクトが全面広告掲載。(1/1)</li> <li>◆本プロジェクト成果報告ビデオ制作(8 月~)</li> <li>◆4<sup>th</sup> International POF Conference 2005 (Hong Kong, China)開催。小池 PL が Organizing Committees を務めた。(9/19-22)</li> <li>◆プロジェクト研究活動終了(9/30) SORST 発足(10/1)</li> <li>◆本プロジェクトの成果報告ビデオがサイエンスチャンネルで放映された。(10/18)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆小池 PL が高柳記念奨励賞を受賞(1/20)</li> <li>◆愛知万博クロージングイベントにおいて GI-POF によるリアルタイムコミュニケーションのデモンストレーションを実施した。(9/21)</li> </ul>

年	ERATO プロジェクト	関連動向
	◆本プロジェクト成果報告会・シンポジウム開催(三田)(11/17)	
2006 年	◆本プロジェクト事務所閉所(3/31)	

## (2)プロジェクトの研究内容・体制

分子デザイングループ、光機能発現グループ、応用グループの3つのグループに構成し、相互に密接な連携を保ちつつ研究を展開した。各グループの目的および役割を以下に示す。

### 1)分子デザイングループ

分子デザイングループでは、フォトニクス用として新しい形のポリマーを求め、分子デザインを進めると共に、GI-POF 用ポリマーに重点をおき、フッ素モノマー並びに重水素を含んだモノマーの合成とその重合を主として研究した。特に、2004 年に合成に成功した Poly(perfluoro-2-methylene-4-methyl-1,3-dioxolane)〔通称 Poly(PFMMD)〕は、全フッ素化 GI-POF の材料として既に市販されている Cytop(R)ポリマーより、耐熱性や材料分散性の点で優れており、GI-POF 用ポリマー材料として最適なものと位置づけられた。

### 2)光機能発現グループ

光機能発現グループでは、様々な光機能の源となる光学現象とフォトニクスポリマーとの関わりを詳細に解析し、その解明を試みるとともに、優れた光機能を有する新規なポリマーの提案を目指した。光機能としては、偏波保持機能(ゼロ複屈折光学ポリマー)、光散乱機能(光散乱導光ポリマー)および光増幅機能(ポリマー光ファイバー増幅器)に重点をおいた。

### 3)応用グループ

応用グループでは、フォトニクスポリマーの具体的な応用についての実証を進めた。特に GI-POF を用いた通信システムの構築に関する研究に重点を置いた。具体的には、GI-POF 用の周辺デバイスの開発から実システムにおいて利用するネットワークシステム提案、そして実証実験を行い、その成果をフィードバックしてより優れたシステムの開発を試みた。

#### <研究体制>

総括責任者 小池康博(慶應義塾大学 理工学部 教授)

研究期間 2000 年 10 月～2005 年 9 月

研究顧問・NY グループ責任者：岡本善之

研究顧問：大塚保治

研究推進委員：水澤順一，松本佳宣，堀之内英，清水真佐男

表 2 参加者の概要

氏名	役職	派遣元機関	参加期間
<u>分子デザイングループ(米国)</u>			
6 Metrotech Center Brooklyn NY, 11201 USA			
Polytechnic University, Rodger's , hall Room 800, 804, 809 and 813			
Yu Yang	研究員	Polytechnic University	'01/4/1~'05/9/30
Hongxiang Teng	研究員	Polytechnic University	'05/4/1~'05/9/30
Wei-Hong Liu	研究員 OB	Polytechnic University	'01/11/1~'04/2/28
Yinzhong Guo	研究員 OB	Polytechnic University	'02/4/01~'03/12/31
Alfredo Mellace	研究員 OB	Polytechnic University	'04/3/1~'04/7/31
František Mikeš	研究支援者	Polytechnic University	'01/4/1~'05/9/30
Bruce Garetz	研究支援者	Polytechnic University	'01/4/1~'05/3/31
岸田 真由美	技術員 OB	JST-SORST	'01/1/15~'02/11/30
<u>分子デザイングループ(日本)</u>			
新川崎(K2)タウンキャンパス E 棟			
金子 美和	技術員	個人参加	'00/10/1~'05/9/30
飯森 三絵	技術員	個人参加	'02/7/01~'05/9/30
小林 美緒	研究補助員 OB	個人参加	'02/1/1~'02/3/31
<u>光機能発現グループ</u>			
新川崎(K2)タウンキャンパス E 棟			
多加谷 明広	研究員 GL	個人参加	'00/10/1~'05/9/30
近藤 篤志	研究員	個人参加	'01/7/1~'05/9/30
大喜田 尚樹	研究員	個人参加	'02/4/1~'05/9/30
牧野 健志	非常勤技術員	個人参加	'03/4/01~'03/12/31
奥村 高充	非常勤技術員 OB	個人参加	'01/4/1~'04/3/31
栗木 研	非常勤技術員 OB	個人参加	'01/4/1~'02/3/31
<u>応用グループ</u>			
新川崎(K2)タウンキャンパス E 棟			
石樽 崇明	技術員 GL	慶應義塾大学	'01/4/1~'05/9/30
大津 信弘	研究員	ネットワークシステムズ	'00/12/1~'05/9/30
上原 桂二	研究員	NTT 東日本	'01/5/1~'05/9/30
星 博房	研究員 OB	日本アフレ	'01/4/01~'02/12/31
大喜田 敦子	研究補助員	個人参加	'05/4/1~'05/9/30
<u>プロジェクト事務所</u>			
〒212-0004 川崎市幸区小倉 144-8 新川崎(K2)タウンキャンパス E 棟 101 号室			
西澤 幸枝	技術参事	個人参加	'02/4/15~'06/2/20
篠原 茂光	技術参事 OB	個人参加	'00/7/01~'06/9/30



緒方 優	事務参事	個人参加	'00/7/1~'06/3/31
黒岩 尚美	事務員	個人参加	'00/8/1~'06/3/31

### (3)プロジェクトにおける主な成果

#### 1)分子デザイングループの主な成果

分子デザイングループの主な研究テーマは次の3点である。

- ① Poly (PFMMD)(perfluoro-2-methylene-4-methyl-1,3-dioxolane)の開発
- ② 部分フッ素化ジビニル体(Partially fluorinated divinyl system)の開発
- ③ 各種共重合体(Copolymer system)の開発

PMMA<sup>\*11</sup>に代表される光学ポリマーは化学構造の中に炭素-水素結合を含んでいるため、近赤外領域における吸収損失が大きい。分子デザイングループでは、炭素-フッ素結合の結合エネルギーが高く安定的であり、分極率<sup>\*12</sup>が低いという化学的特性を注目し、ファイバー材料に適した特性(低損失性・低分散性)を有する全フッ素化ポリマーの各種モノマーの分子設計から研究を始めた。結合エネルギーが高いことからフッ素系ポリマーの優れた耐熱性、耐薬品性、耐候性に、また分極率が低いことから屈折率や誘電率が低下する効果が得られる。特に、2004年に合成に成功した Poly(perfluoro-2-methylene-4-methyl-1,3-dioxolane)〔通称 Poly (PFMMD)〕は<sup>[2]</sup>、市販の優れた全フッ素化 GI-POF の材料である Cytop<sup>®</sup>ポリマーより、耐熱性や材料分散性の点で優れており、有機高分子中では GI-POF 材料として最適なものとなった(図4)。この結果は、光ファイバー関連の研究者及び企業に大きなインパクトを与えており、新フッ素系高分子の探索研究が活性化するきっかけとなった。

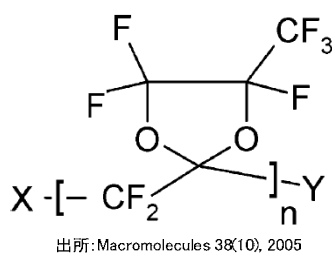


図4 Poly(PFMMD)の化学構造

#### 2)光機能発現グループの主な成果

光機能発現グループの主な成果は次の3点である。

- ① 光学ポリマーの複屈折の消去方法の考案
- ② 光散乱機能機構の解明と光散乱導光ポリマーの開発
- ③ 光増幅機能とポリマー光ファイバー増幅器

\*11 PMMA : アクリル樹脂(Poly(methyl methacrylate))

\*12 分極率 : 原子や分子の電子雲などがもつ電荷分布の相対的な偏りを表す物理量

①の研究では、ポリマー合成のドーパントとして、ナノサイズの複屈折性針状無機結晶を添加することにより、ポリマーの複屈折を相殺する方法(結晶ドーブ法)を提案し、実証した(図5)<sup>[3]</sup>。

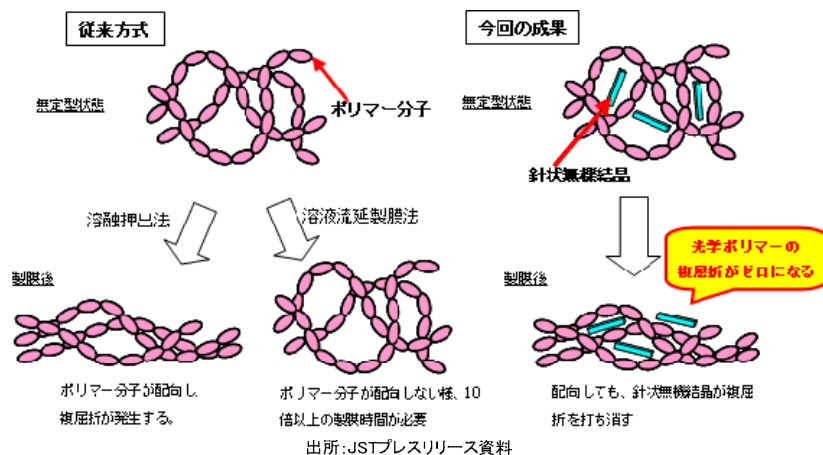


図5 新たに実証した光学ポリマーの複屈折の消去方法

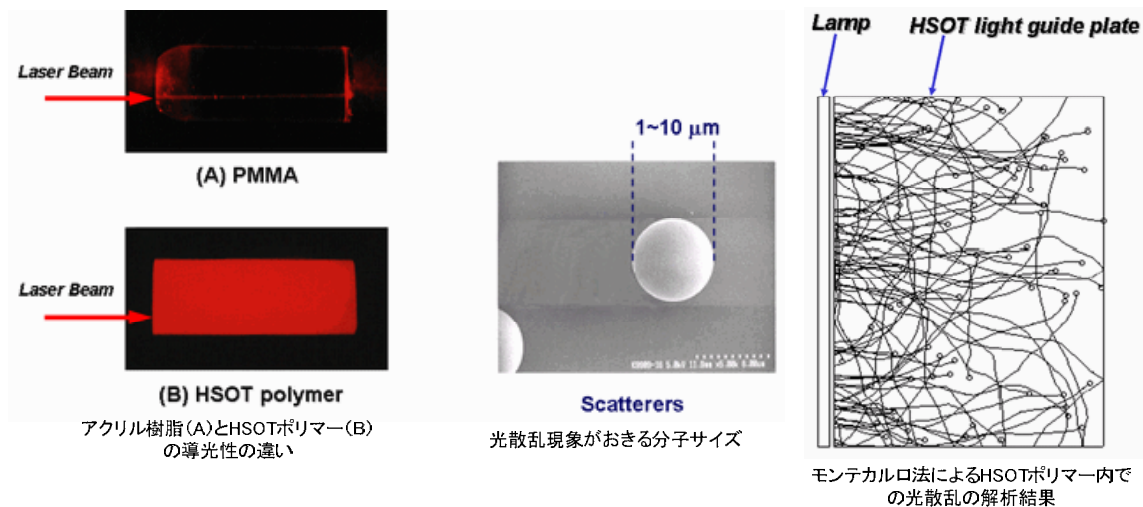
さらに光弾性複屈折発現のメカニズム解明に取り組み、光弾性複屈折には主にポリマー側鎖の動きが関与していることを明らかにした。その知見に基づき、異方性低分子添加による光弾性複屈折消去法<sup>[4]</sup>を提案し、その消去に成功した。これらの成果は GI-POF の製品化に大きく貢献している。

また、②の研究では、光学ポリマー内の不均一構造が光散乱に影響を与えており、散乱低減のための構造制御が求められていた。光散乱現象に関して理論面(Mie 散乱理論<sup>[3]</sup>)と実証面から解析を進め、ポリマーの重合過程で形成されるミクロな不均一構造が散乱原因であることを突き止め、「光散乱をいかに低減するか」という考えから「いかに光を効率良く特定方向に散乱させるか」という逆転の発想をして光散乱導光ポリマーの開発に結びつけている。この知見は「高輝度光散乱導光(HSOT)ポリマー」を生み出し、ノート PC や携帯電話のバックライト導光板に実用化されている(図6)。

③の「光増幅機能とポリマー光ファイバー増幅器」の研究は、ERATO プロジェクト以前の研究「GI-POF 光ファイバー増幅器の開発<sup>[5],[6],[7]</sup>」, 「連続光増幅のための希土類キレートの設計<sup>[8]</sup>」を発展させたものである。研究では各種希土類キレート(Nd, Pr, Er, Tm)<sup>[4]</sup>を合成し、全フッ素化ポリマー溶液中での吸光スペクトルを測定した。実験では既存のガラス系レーザー発振の値に近い結果が得られ、GI-POF 光ファイバー増幅器の可能性を示すものとなった<sup>[9],[10]</sup>。

\*13 Mie 散乱理論：均質球形の粒子に光放射が入射した際の、その粒子1個あたりの消散係数(消散効率因子：消散断面積と粒子の幾何学的な断面積の比を求める理論。

\*14 ネオジウム(Nd), プラセオジウム(Pr), エルビウム(Er), ツリウム(Tm)



出所:小池教授提供資料

図6 HSOTポリマー

### 3)応用グループの主な成果

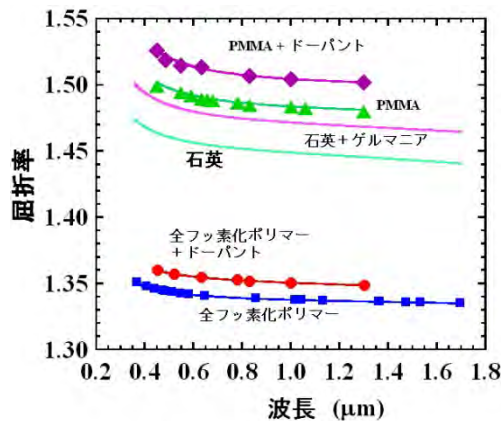
応用グループの主な成果は次の3点である。

- ① PMMA系 GI-POF の分散要因の解明と伝搬モードの広帯域性の実現
- ② 理想屈折率分布を有する PF ポリマー系 GI-POF の試作と 10GHz を超える伝送帯域の実現
- ③ GI-POF によるギガビット光リンクとリアルタイムコミュニケーションの可能性の実証

①の研究では、GI-POF がマルチモードファイバー<sup>※</sup>であることに起因する問題の解決にあたった。すなわち、伝送帯域を制限する要因であるモード分散(伝送遅延)、ファイバー構成材料に固有の波長分散、プロファイル分散である。応用グループでは、これらの分散要因を解明し、GI-POF の低分散化の限界を理論的に明らかにすると共に、実際に PMMA 系 GI-POF を作製して、理論限界に近い広帯域性の実証に成功した。

②の研究では、理想屈折率分布を有する PF ポリマー系 GI-POF の試作にはじめて成功し(図7)、10 GHz を越える伝送帯域を実現した。また、PF ポリマー系 GI-POF の 100m リンクを実際に構築し、実際のシステム導入時に近い状態において 10Gbps の伝送を試み、その広帯域性の実証にも成功した。

<sup>※15</sup> マルチモードファイバー：光の伝搬路が複数ある光ファイバー。シングルモードファイバーと比べて精密な加工技術を必要せず安価に作成できるというメリットの反面、ケーブル内を光が反射しながら進むために伝送効率が悪く、長距離接続に向かないという問題があった(SI-POF の場合)。



出所:石樽研究室 Web サイト

図7 全フッ素化 GI-POF の理想屈折率分布と他のファイバーとの比較

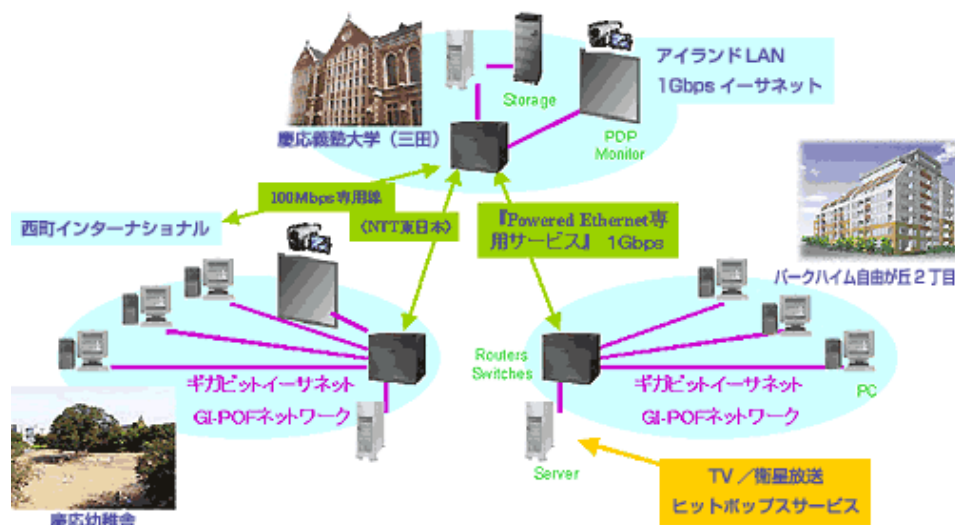
③「GI-POF によるギガビット光リンクとリアルタイムコミュニケーション」では、GI-POF によるギガビット超高速伝送の実証と併せ、この GI-POF による高速光リンクの性能を十分に発揮する、「高精細動画像によるリアルタイム双方向コミュニケーションシステム」の提案を行ってきた。財団法人慶応工学会のギガハウスタウンプロジェクト、経済産業省の委託事業等との共同研究の形を取り、実社会における GI-POF リンクの双方向性、リアルタイム性の検証と要求仕様検討を目的とし、主に実証実験という形で研究を行った。

#### (4)ERATO と並行して展開されたプロジェクト

GI-POF の開発、性能評価と連動する形で、企業との共同研究の形でさまざまな実証実験が ERATO プロジェクトと並行的に展開された。

##### 1)ギガビット・アイランド

「ギガビット・アイランド」プロジェクトは経済産業省の予算事業で(社)日本テレワーク協会が受託・実施し、ERATO 小池フォトニクスポリマープロジェクト、(株)旭硝子、(株)パワードコム、(株)三井不動産が参加した共同実証実験事業である。慶應義塾大学三田校舎(港区三田)、慶應義塾幼稚舎(渋谷区恵比寿)、西町インターナショナルスクール(港区元麻布)、マンション「パークハイム自由が丘2丁目」(目黒区自由が丘)内に旭硝子の全フッ素化 GI-POF 「ルキナ」を用いて 1 Gbps の専用線を敷設し「ギガビット・アイランド」を構築した、2002 年 3 月から 1 年間にわたり、これらの中でリアルタイムの動画伝送など各種アプリケーションの実験を行った。特に、40 世帯弱が入居している「パークハイム自由が丘 2 丁目」では、駐車場の様子を常時監視するカメラに加え、ネットワーク経由で慶應義塾大学の講義を受ける遠隔授業、そしてチャンネルオンデマンド実験などが行われた(図 8)。



出所:小池総括責任者提供資料  
 図8 ギガビット・アイランドの概要

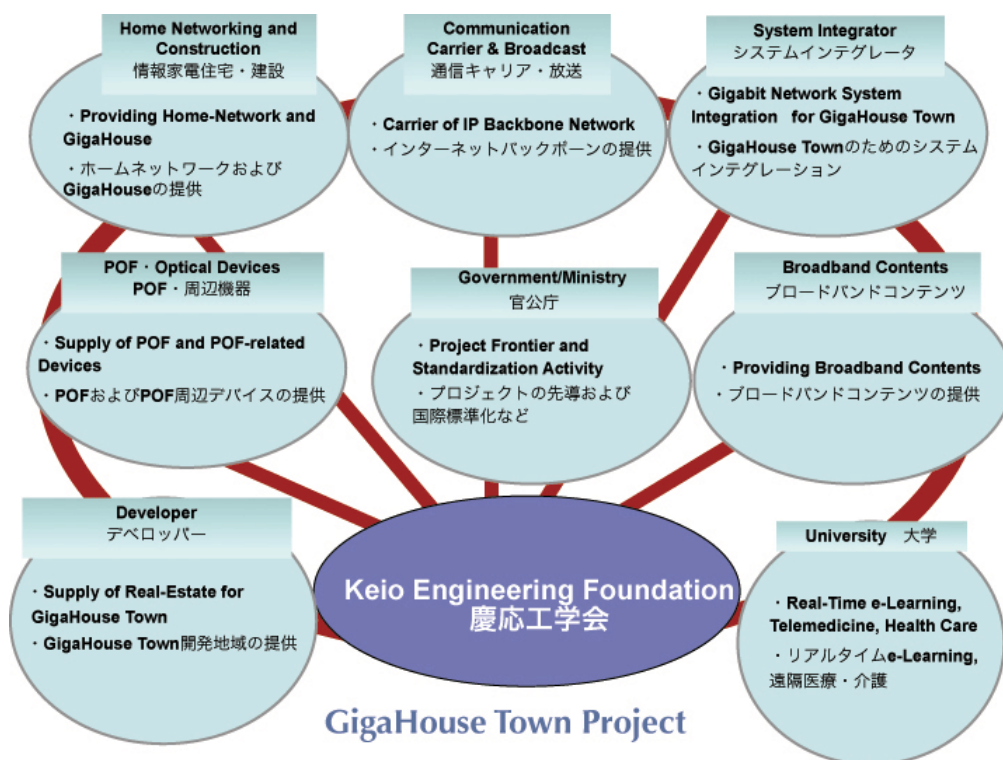
「ギガビット・アイランド」の技術面の実証成果として挙げられたのは、GI-POF ネットワーク施工技術の確立である。ガラス製光ファイバーに比べて曲げに強く、コネクタ付けが容易な GI-POF は、既設の建物に銅線と同じ配線経路で敷設できる上、工事期間が半減できたため、トータルコストでは3割削減できることが確認された。

## 2)POF コンソーシアム

POF コンソーシアムは、POF の研究開発と普及促進を目的に、大学、POF メーカー、デバイスメーカー、総合家電メーカー、総合商社などが結集し、1994年2月に設立された。以来、講演会やセミナーの開催、ICPOF(International Cooperative of POF)が主催する国際学会(International POF Conference)の運営及び支援、展示会への出展、国際標準化の推進、出版活動など、POFに関連する技術の開発と実用化を中心に、積極的に活動を進めてきた。2002年9月にはホテルニューオータニ(東京)で International POF Conference 2002 を開催し、慶応工学会 Giga House Town プロジェクトの共催によるギガアイランド構想実証実験を公開した。この公開実験には、世界10カ国から約900名の参加があった。

## 3)慶応工学会 Giga House Town プロジェクト

Giga House Town は(財)慶応工学会「21世紀の新たな技術を育てる、産業界と大学を結ぶパイプ役」が構想したプロジェクトである。慶應義塾大学を初めとする大学の研究成果を広く社会に還元すべく、多種多様な業種を一つのプロジェクトとして連携させることで(図9)、一般住宅の高度情報化ならびに高度に情報化された一般住宅群が形成する「ギガハウスタウン」の可能性と有用性、さらにはその経済性までを実用規模で実証して、今後における情報技術のさらなる発展に寄与することを目的としているプラットフォーム事業である。



出所: <http://www.ghj.jp/ghj/ghj2.html>

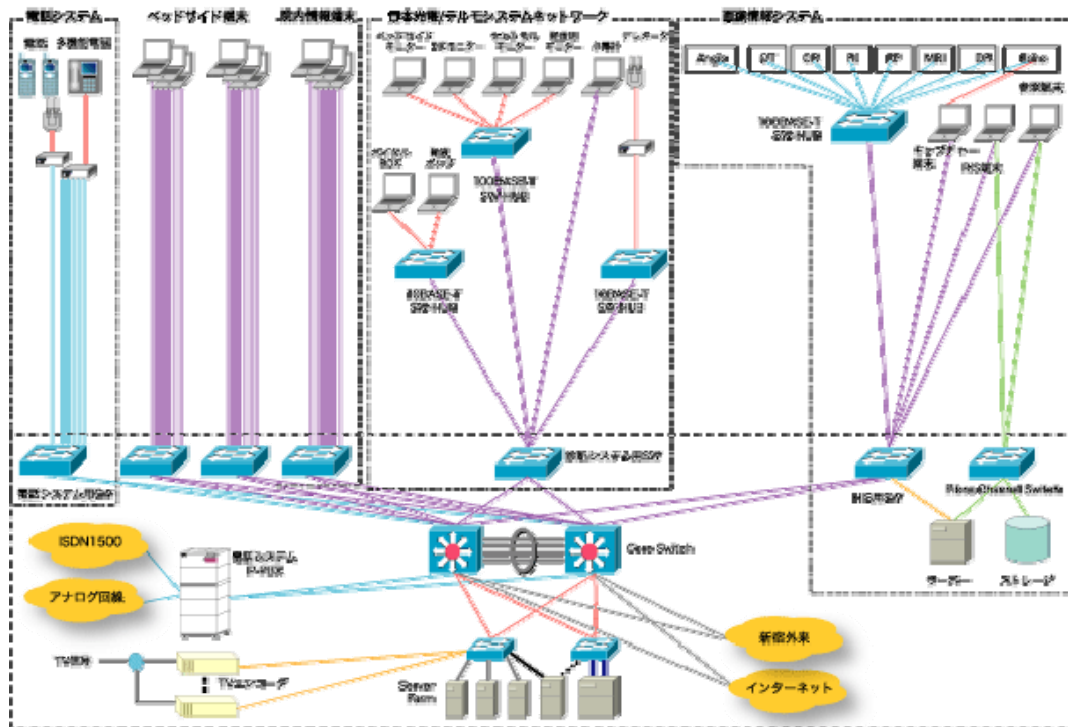
図9 GigaHouse Town プロジェクトの体制

2003年12月には、ERATOプロジェクトと共同実証研究という形で、榊原記念病院の新病棟(府中)にスター型トポロジー<sup>※16</sup>を用いた病院内高速ネットワークを構築した(図10)。これは、200~300mを無中継で数ギガビット以上の高速伝送を簡単に配線できるGI-POFがあって初めて可能となる新しい集中型ネットワークであった。患者のベッドサイドを含む病院内の1300箇所の端末上で画像(CT, MRI, エコー等)や電子カルテ、術野映像を見ることが可能になった。また、新宿の外来クリニックとの間で遠隔診療が一部可能になった。

2003年当時、個人情報保護の重要性が社会的にも指摘された頃であり、病院としても個人情報保護にどのように対応すべきか検討が求められていたことが導入を検討する切っ掛けとなった。ちょうど米国では、HIPPA(Health Insurance Portability and Accountability Act)<sup>※17</sup>が発効され、個人情報が流出した際には当該情報の流出の責任は病院にあるとされた。病院における個人情報保護に取り組むの中で、特に患者から個人情報が出された際にどのように匿名化し、かつIDと連結させるかが最優先課題となっていた。特に、循環器系医療現場では診断データの中に占める動画の割合が多く、電子カルテの構築も含めて、これらの特徴にも対応した大容量通信が可能な病院システムの導入が必要であった。

※16 スター型トポロジー：複数のノードをHUBなどの中心となる通信機器を介してスポーク状に接続するネットワーク形態。

※17 2003年4月に発効。医療情報の電子化の推進とそれに関するプライバシー保護やセキュリティ確保について定めた法律。



出所: <http://www.ghj.jp/ghj/ghj6sakhsp6.html>

図 10 榊原記念病院院内ネットワーク構成図

榊原記念病院の村上保夫院長へのインタビューからは、新たに構築した病院内のネットワークシステムに GI-POF を導入した効果として次のような副次的な効果も挙げられている。

- ・医師・看護師等への教育効果
- ・インフォームドコンセントによる患者の治療への納得度の向上
- ・治療計画が具現化できるようになったことによる QOL の向上

#### 4)IPA 重点領域情報開発事業

2003 年度には、情報処理推進機構(IPA)の重点領域情報開発事業「次世代遠隔教育・医療支援システム実現のための多地点間高品質(デジタルビデオ画質)リアルタイムコミュニケーションソフトウェアの開発」に石博 GL が参画し、このソフトウェアの実証の場となる高速通信インフラの整備の責務を担った。この事業にて開発されたシステムを用い、高精細動画、双方向性、リアルタイム性が要求される遠隔医療ならびに遠隔教育の可能性について検討を重ねた結果、本システムが、飛躍的な発展が望まれる遠隔医療、遠隔教育を支える技術になり得ることが実証された。

## 第2章 プロジェクト終了から現在に至る状況

### 2-1 各研究テーマの現在の状況

本プロジェクトの終了後、基礎研究並びに応用研究の発展的部分は JST の戦略的創造研究推進事業 発展研究(SORST)に引き継がれている。本プロジェクトの研究グループと体制もほぼ SORST に引き継がれているため、以下ではグループごとの研究内容の発展について取りまとめる。

#### (1)分子デザイングループ

分子デザイングループでは、ERATO プロジェクトの成果をさらに発展させ、数種類の全フッ素化ポリマーおよび部分フッ素化ポリマー、それらの共重合体を設計・合成した。特に、現在の旭硝子社製の GI-POF に用いられている Cytop®よりも高いガラス転移温度(Tg)<sup>\*8</sup>を有する全フッ素化ポリマー、PMMA よりも高いガラス転移温度を有する部分フッ素化アクリルポリマーなどの重要な成果が得られた。また GI-POF 用途のみでなく、光機能発現グループと共同でゼロ・ゼロ複屈折ポリマーなどへの応用の可能性も示した。

##### 1)全フッ素化ポリマーならびに共重合体の開発

全フッ素化ポリマーとしては、デュポン社の Teflon AF®, 旭硝子社の Cytop®, Solvay Solexis 社の Hyflon AD®などがすでに商品化されている。今後、プラスチック光ファイバーの車載ネットワーク利用や屋外での敷設を展開するには、これらのコア材の耐熱性を向上することが急務である。研究では、Perfluoro-2-methylene-1, 3-dioxolane 誘導体を対象に共重合体を設計・合成し、その結果、Tg 145~154<sup>o</sup>、低屈折率(1.33~1.37)の共重合体(copolymer)を開発した。<sup>[11]</sup>

##### 2)PMMA の物理的特性の改善

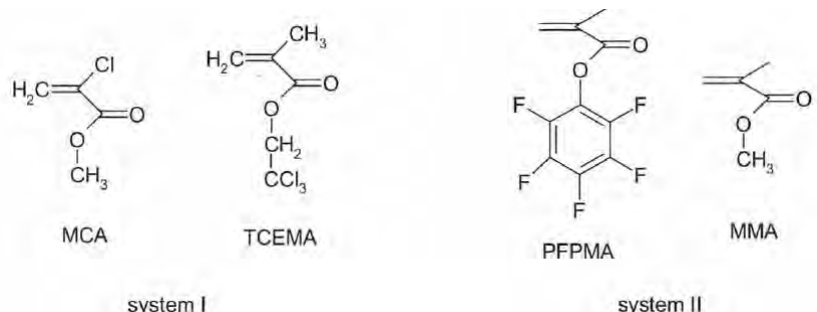
全フッ素化ポリマーは優れた透明性を持ち、GI-POF の材料としては最適であるが製造コストが高いため、PMMA を利用した光ファイバーの特性を改善して、ガラス製光ファイバーに代わる製品開発を行うニーズは依然として存在する。PMMA は Tg が従来 100<sup>o</sup>未満であったが、PEPMA(2-ethyl-2-pyrrolidone methacrylate)と TFMPMA(4-trifluoromethyl-2,3,5,6-tetrafluorophenyl methacrylate)と MMA の共重合体を開発したところ、135-138<sup>o</sup>Tg が実現し、材料耐熱性が向上した。<sup>[12],[13]</sup>

\*18 ガラス転移：ランダムな状態を保ったまま液体が固体化する現象。プラスチック光ファイバーの耐熱性を向上させるためには、コア材のガラス転移温度を上昇させることが必要になる。



### 3)低損失・耐熱 GI-POF の調合

本研究では、コア材に 2 種類の共重合体(図 11)を使用した低損失・耐熱 GI-POF を開発した。[14][15][16]



出所:小池総括責任者提供資料

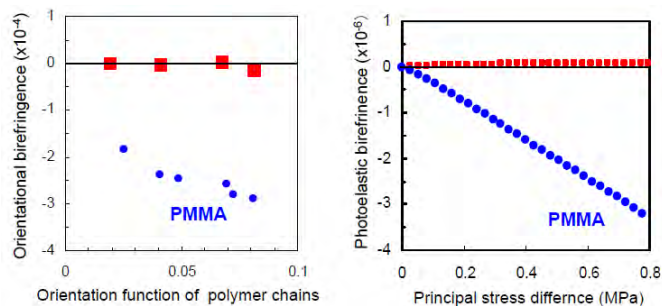
図 11 低損失 GI-POF 用の共重合体の化学構造

### (2)光機能発現グループ

フォトニクスポリマーの複屈折はその化学構造に由来するものであり、それぞれのフォトニクスポリマーの固有の特性である。しかしながら、フォトニクスポリマーの化学構造と複屈折性との関係は明らかにされていない部分が多く、所望の複屈折性を発現できるようにポリマーの化学構造を設計するという事は困難な状況であった。したがって、化学構造と複屈折性の関係を明らかにし、所実用的な方法でポリマーの化学構造を設計し所望の複屈折性を発現することが可能にすることは、学術的にも工業的にも非常に意義が深い。このため、SORST プロジェクトでは、フォトニクスポリマーの化学構造と複屈折性との関係を解明し、配向複屈折と光弾性複屈折がゼロである「ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー」の実現とナノサイズの複屈折性結晶を用いた新たな複屈折制御方法の提案・実証をテーマとした。また、光散乱現象については、基礎研究に基づいた新たな知見から、光散乱を利用した新しい液晶ディスプレイ・システムの提案を行った。

#### 1)ゼロ・ゼロ複屈折ポリマーの実現

本研究では、ポリマーの配向複屈折性および光弾性複屈折性に関する物性値を測定し、それらを基に両複屈折を発現しないポリマーを設計する方法を提案した<sup>[17]</sup>。この方法を用いて methyl methacrylate (MMA) と 2,2,2-trifluoroethyl methacrylate (3FMA) と benzyl methacrylate(BzMA)からなる三元共重合体 Poly(MMA/3FMA/BzMA)を組成し、両複屈折がゼロの「ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー」の調合に成功した(図 12)。また、ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー重合時に生じる複屈折の解析データを基に、熱硬化性樹脂のゼロ・ゼロ複屈折ポリマー化にも成功した(図 13)<sup>[18],[19]</sup>。



出所: 小池総括責任者提供資料

図 12 配向複屈折ゼロ(左)・光弾性複屈折ゼロ(右)ポリマーの実現

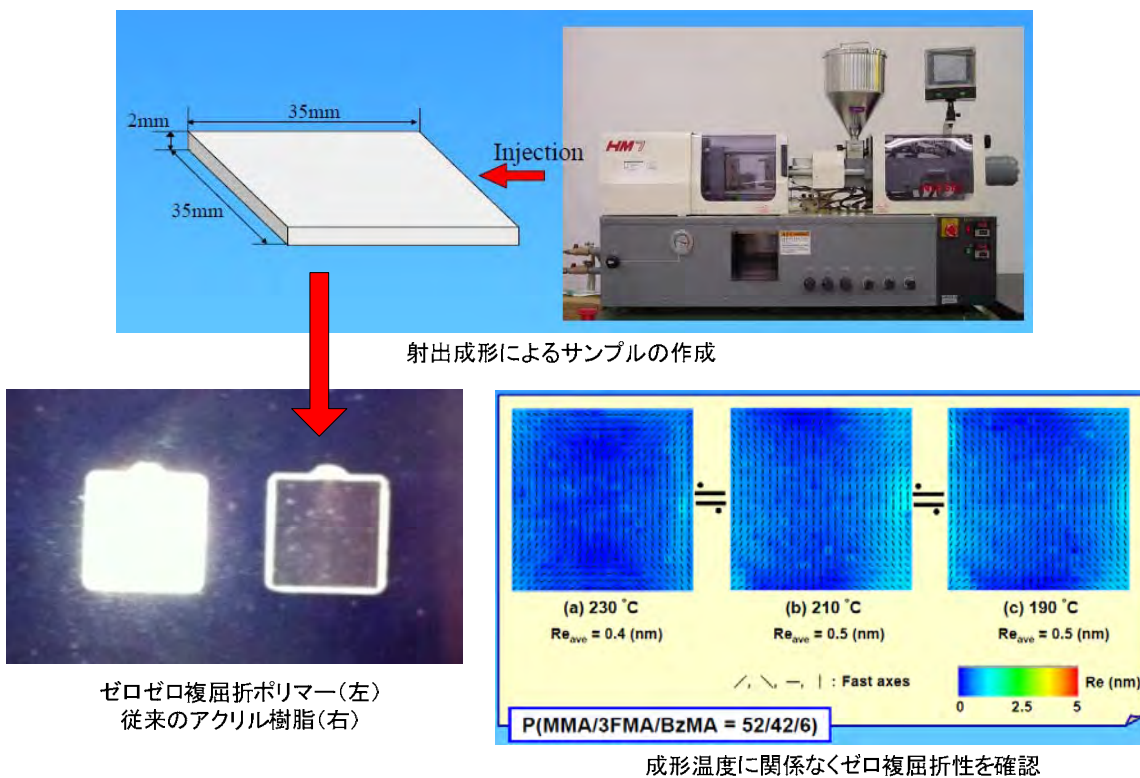


図 13 熱硬化性樹脂によるゼロ・ゼロ複屈折ポリマー

2) ナノサイズの複屈折性結晶を用いた新たな複屈折制御方法の提案・実証

液晶テレビのパネルには高画質表現を可能にするために従来は 4 枚の位相差フィルムが使われていた。近年はコストダウンのために 2 枚の位相差フィルムで複屈折を制御する方法も開発されているが、更にこれを 1 枚のフィルムで制御できるようになれば大幅なコストダウンの実現に繋がる。

本研究では、ナノサイズの炭酸ストロンチウム結晶の複屈折波長分散<sup>\*19</sup>を測定し、得られ

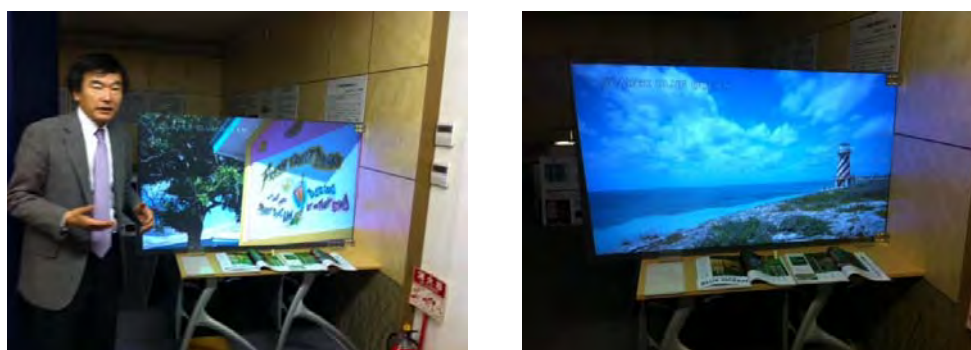
\*19 可視光領域において波長が短くなるほど複屈折が大きくなる特性。

た測定結果を用いて複屈折が逆波長分散性を有するポリマーフィルムの設計と作製を行った。

### 3)光散乱を利用した新しい液晶ディスプレイ・システムの提案

これまで、液晶テレビの広視野角化のためには広輝度角度分布光源(バックライト)を用い、また複屈折の低減のためには位相差フィルムを重ねてそれぞれ対処してきた。光散乱を利用した液晶パネルがあれば、正面集光性の高い光源をバックライトに用いて広視野角化が実現し、更に位相差フィルムも不要となることから、コスト低減にも有利となる。

そこで、本研究では、正面集光性のバックライトからの光を広角に散乱させながらも画像の精細さを損なわず、外光の散乱によるコントラストの低下を防ぐことができる新規高精細散乱フィルムの実現に取り組んだ。さらにこの新規高精細散乱フィルムを用いた新規液晶ディスプレイの実証・作製を行った(図 14)<sup>[20]</sup>。



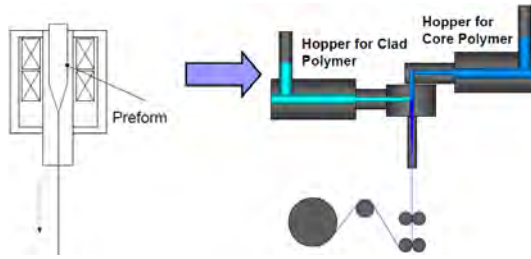
パネルの説明をする小池総括責任者(右)  
パネルの裏から LCD プロジェクターで投射した画像が均一に映しだされている(左)  
図 14 光散乱を利用したディスプレイ用パネル

### (3)応用グループ

ERATO プロジェクトの GI-POF に関する研究を発展させ、より高性能化、低コスト化、実用特性の向上に関する技術開発を展開した。

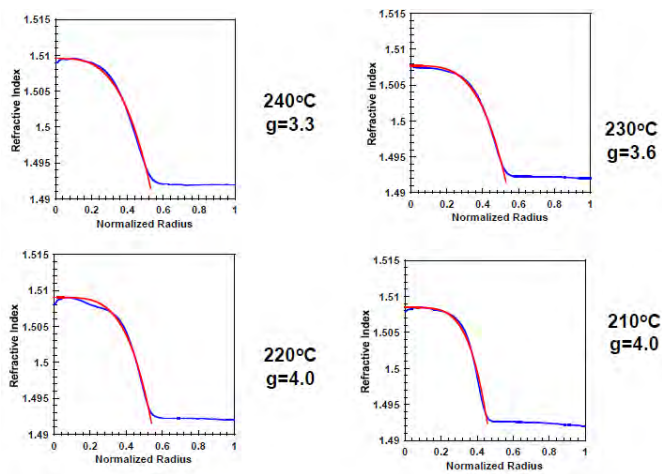
#### 1)超高速 GI-POF の開発と量産技術の確立

旭硝子株式会社と共同で開発した全フッ素化ポリマーを用いた GI-POF の試作を同社と行った。ここで用いた GI-POF は、従来のプリフォーム成形ではなく、ERATO プロジェクトで開発した熔融押出法で作製されている(図 15)。プリフォーム成形とは、コア材とクラッド材を熔融して円心状に成形して母材(プリフォーム)を作製し、これに熱を加えて延伸(線引)することで光ファイバーを成形する方法である。これに対して、ERATO プロジェクトで開発した熔融押出法は母材成形プロセスを省き、連続で POF を成形することができるため、POF 成形のコストを大幅に下げることにつながった。



出所:小池総括責任者提供資料

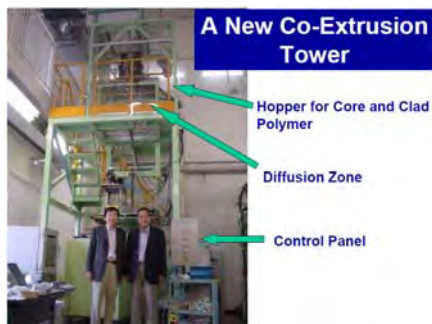
図 15 プリフォーム成形(左)から溶融押出法(右)へ



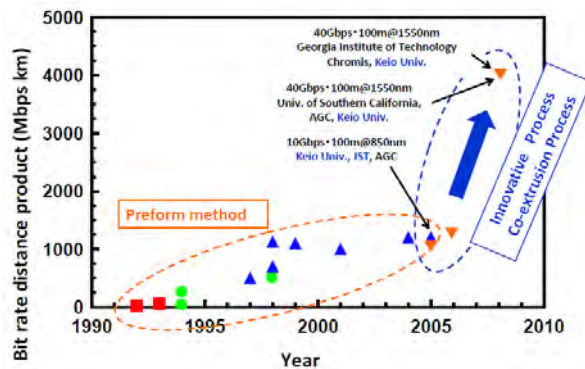
出所:小池総括責任者提供資料

図 16 溶融押出法で作製した GI-POF の屈折率分布(片側分布)

本研究で、溶融押出法によって作製された GI-POF の屈折率分布はべき乗則近似に比較的一致することを明らかにし(図 16)、屈折率分布形状をコントロールするための知見が得られた<sup>[21]</sup>。これにより、屈折率分布形状が改善され、伝送帯域は飛躍的に改善された(図 17 右)。その結果、2008 年には波長  $1.55\mu\text{m}$  のレーザーを用いて 40Gbps(ファイバー長 100m)の高速伝送に成功した<sup>[22]</sup>。



溶融押出法装置



出所:小池総括責任者提供資料

図 17 溶融押出法による GI-POF の成形と伝送帯域の向上

さらに、複数のポリマー母材(PMMA, TFEMA/MMA)についてシミュレーションを行い、最適屈折率分布になる拡散条件(拡散時間と温度)を明らかにし、実際に GI-POF を熔融押出法により作製した<sup>[23]</sup>。これらの成果は今後の GI-POF の量産化に重要な知見をもたらした。

## 2)低材料分散, 低損失性に加え, 高耐熱性を有する新規ポリマーの開発

低速な光リンクの光源に使用されている安価な LED の波長は、伝送媒体である PMMA コアは SI-POF が低損失となる 650nm 帯に合わせられている。しかしながらギガビット毎秒を超える高速伝送を可能にする可視光レーザダイオードあるいは面発光レーザーダイオード(VCSEL)の発光波長は、発光強度や寿命を考慮すると 670nm 帯が現実的である。このため、この波長帯に低損失の窓を持つ GI-POF の開発が必要となる。

このような背景の下行った本研究では、SI-POF より高い耐熱性を有し、650~680nm の範囲において SI-POF より低損失な GI-POF(部分フッ素化ポリマー, 部分塩素化ポリマー)の作製に成功した。これにより、車載ネットワーク用 GI-POF の材料を新規に提案してファイバーを試作し、車載用途のスペックを満たすことを確認した<sup>[24]</sup>。

## 3)GI-POF の WDM システムの検討

本研究では全フッ素化ポリマー(PF)を用いた波長多重(WDM)システムの検討を行った。マルチモードファイバーの光源である 780nm から 850nm の 4 波長を用いた WDM システムを構築し、HDMI の電気信号を光に変換して伝送する装置を試作した。この装置を用い実際に非圧縮でのハイビジョン画像の伝送に成功した。

## 4)POF の施工性評価及びネットワーク実証システムの構築

POF の配線現場での端末加工では、作業時間が短くかつ性能にばらつきや作業依存性が少ない手法と工具が求められる。そこで各種の POF 端末加工技術の所要作業時間及び性能について比較評価を行うことにより、現場施工に過した端末加工技術を明らかにするとともにその工具の改良検討・試作を行い、POF の最大の長所である簡易施工を具現化することを目的とした検討を実施した。

これらの検討結果に基づき、POF 用のパッシブ接続コンセントの試作、及び POF 用アクティブコンセントと POF の簡易端末加工工具の設計と評価、及び市販の POF 用光トランシーバー及びメディアコンバーターの特性評価を行った。具体的には、共同研究先である積水化学工業株式会社の試作によるギガビットイーサネットメディアコンバーター、及び市販の POF 用 100Mbps イーサネットメディアコンバーターを用い、POF によるホームネットワーク・システムの実証実験を行った。実証実験では構築したホームネットワークが高速・高画質マルチメディア配線として十分な性能を示したこと、ハウスモニタリングやハウスセンシングによって省エネ効果があることが明らかになった。

## 2-2 プロジェクトメンバーの活動状況

### (1)分子デザイングループ

岡本氏や他の外国人研究員は、3M 社や Dow Chemical 社などの民間企業や Polytechnic Institute of NYU などの大学にそれぞれポストを得て研究開発等を推進している。岡本氏は後継の SORST においても分子デザイングループのグループリーダーを担当している。

### (2)光機能発現グループ

多加谷明広氏は慶應義塾大学理工学部の特別研究准教授，近藤篤志氏は同大学理工学部の特別研究助教，大喜田尚紀氏は三井化学株式会社の研究員のポストをそれぞれ得て研究開発等を推進している。多加谷明広氏は後継の SORST においても光機能発現グループのグループリーダーを担当し，近藤氏，大喜田氏も SORST のプロジェクトの一員として貢献した。

### (3)応用グループ

石樽崇明氏は慶應義塾大学理工学部・物理情報工学科の准教授，大津信弘氏はネットワークシステムズ株式会社の事業部長を経て帝京大学本部情報システム部内研究員，上原桂二氏は NTT 東日本の研究員，星博房氏は株式会社日本アレフの研究員のポストを得た。石樽崇明氏は後継の SORST においても応用グループのグループリーダーを担当し，上原氏も SORST グループの一員として貢献した。

## 第3章 プロジェクト成果の波及と展望

### 3-1 科学技術への波及と展望

#### (1) 研究コミュニティへの影響

ERATO プロジェクトの関連成果として発表された論文は 66 本, SORST プロジェクトでは 46 本(2010 年 12 月現在)である。これらに対する被引用回数は 2010 年 12 月 1 日現在, 累計で約 1,100 回(うち, ERATO 時発表の論文に対して約 942 回)に上っている<sup>※</sup>(図 18)。特に, Kuriki, K et.al., Chem Rev 102(6), 2002<sup>19)</sup>は単独で被引用回数が 300 回に迫っており, 影響の大きい論文といえる(図 19)。

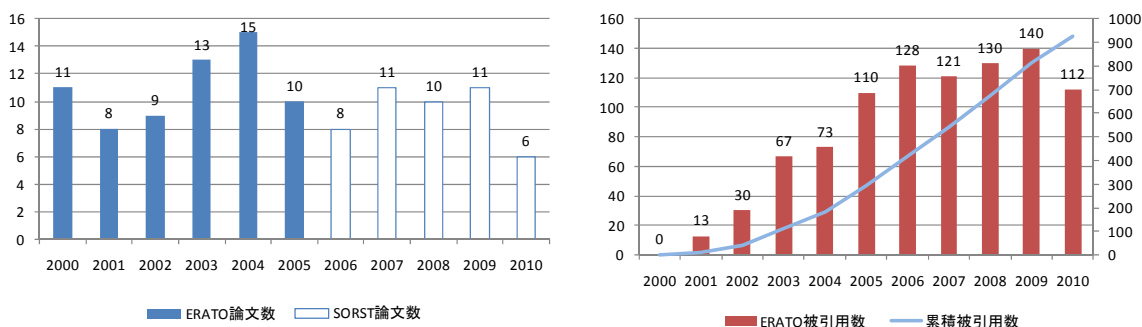
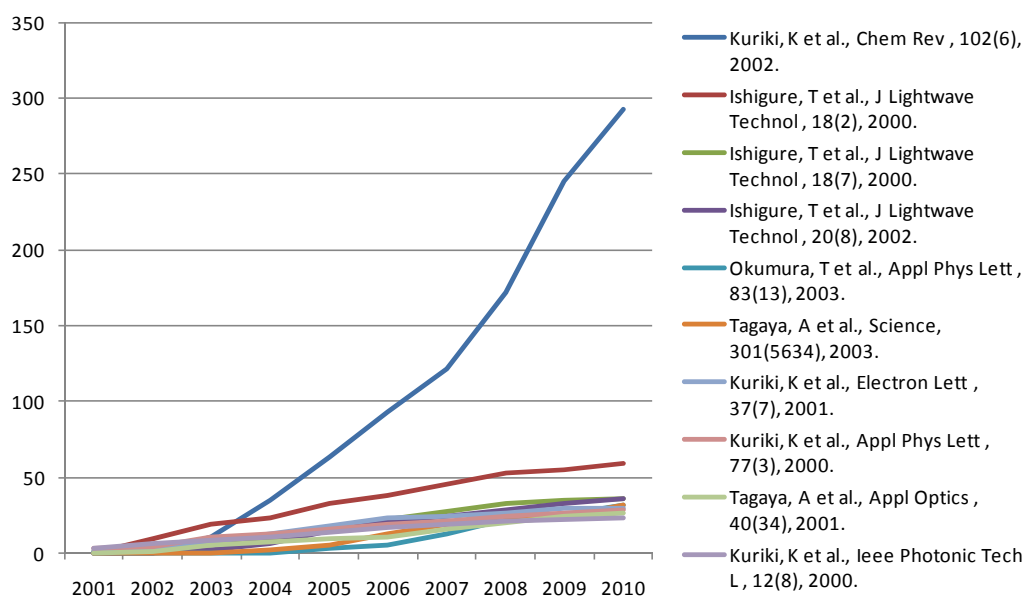


図 18 ERATO 論文(左)とその被引用数の推移(右)



\*20 Tomoson Reuter 社 ISI Web of Knowledge による。

図 19 被引用回数 Top10 の論文の被引用回数の推移

## (2)後継プロジェクトの展開

本プロジェクト終了以後の競争的資金による展開としては、(独)科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 発展研究(SORST)，および内閣府の最先端研究開発支援プログラム(FIRST)がある。

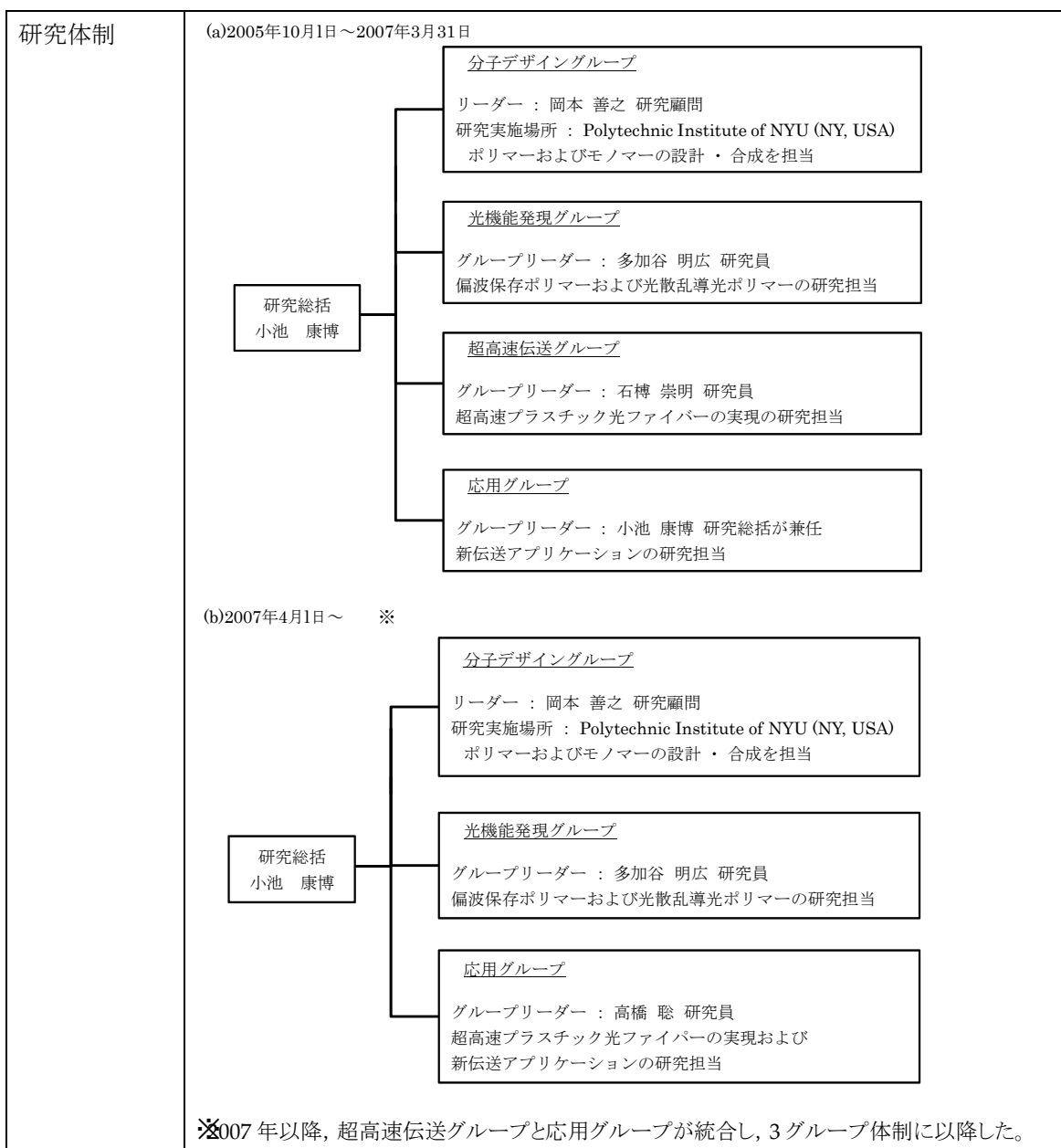
### 1)戦略的創造研究推進事業発展研究(SORST)

SORST「Fiber to The Display のためのフォトニクスポリマー」は、ERATO 小池フォトニクスポリマープロジェクトで得られた多くの有意義な成果を「Fiber to The Display」コンセプトの実現に向けて発展させることを目指したプロジェクトであり、超低材料分散フォトニクスポリマー、完全ゼロ複屈折フォトニクスポリマーなどを新たに創出し、これらのフォトニクスポリマーが発現する新機能により、新規の高速通信ネットワークやディスプレイ技術に繋がるシステムを提案・構築・実証している。

表 3 SORST プロジェクトの概要

課題名	Fiber To The Display のためのフォトニクスポリマー
研究期間	2005 年 10 月 1 日～2011 年 3 月 31 日
総括責任者	小池康博 慶応義塾大学
主な研究開発目標	<p>① 低材料分散性，低損失性，高耐熱性を有する新規フッ素化ポリマーの設計と合成</p> <p>② 超高速 GI-POF の試作とプラスチック光ファイバーによる世界初の 10Gbps・300m，さらには 40Gbps・100m の伝送の達成</p> <p>③ 完全ゼロ複屈折フォトニクスポリマー(ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー)の実現</p> <p>④ Fiber to the Display 実現のための接続デバイス等の試作と GI-POF によるネットワーク構造の設計</p> <p>※研究開始後，今後の GI-POF の普及のためには，溶融押出法による GI-POF の連続的な作製技術の研究が重要であることが再認識されたため，以下の研究目標を追加した。</p> <p>⑤ 溶融押出法による屈折率分布形成機構の解析と理想的な屈折率分布の設計・試作</p>





## 2)最先端研究開発支援プログラム(FIRST)

最先端研究開発支援プログラム(FIRST)は基礎研究から出口を見据えた研究開発まで, 世界のトップを目指した先端的研究を推進することにより, 我が国の中長期的な国際的競争の強化や研究開発成果の社会還元を図ることを目的としている<sup>※1</sup>。F 第1期 FIRST に採択された30 課題に対するプログラム総予算は1000 億円となっている。

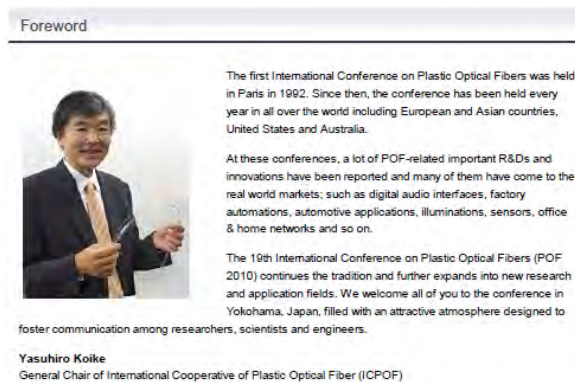
<sup>※1</sup> <http://www.jsps.go.jp/j-first/index.html>

表 4 FIRST プロジェクトの概要

課題名	世界最速プラスチック光ファイバーと高精細・大画面ディスプレイのための フォトニクスポリマーが築く Face-to-Face コミュニケーション産業の創出
研究期間	2010 年 4 月～2014 年 3 月 31 日
研究総括	小池康博(慶応義塾大学理工学部 教授)
主な研究開発 目標	<p>世界最高性能のプラスチック光ファイバーを実現するとともに、低消費電力の 高精細・大画面ディスプレイを開発し、実用化へ向けた社会実証を開始する。 将来的には、遠隔地同士がハイビジョンのテレビ電話等につながり、臨場感あ ふれる「Face-to-Face コミュニケーション」が可能となる社会の実現を目指す。</p> <p><b>サブテーマ 1(サブテーマリーダー:小池康博)</b>  <b>「世界最高速プラスチック光ファイバーの開発」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆家庭内ギガビットネットワーク用 GI 型 POF の開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ POF のための低損失・低コストポリマーの分子デザイン</li> <li>・ GI 型 POF の大口径連続押出法の開発</li> </ul> </li> <li>◆超高速情報家電用 GI 型 POF ケーブルの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全フッ素化ポリマーによる超低材料分散の分子デザイン及び導波解析</li> <li>・ 全フッ素化ポリマーによる超高速 GI 型 POF およびマルチコア導波路 の連続押出法の開発</li> <li>・ 超高速アクティブ POF ケーブルの開発</li> </ul> </li> </ul> <p><b>サブテーマ 2(サブテーマリーダー:多加谷明広)</b>  <b>「高精細・大画面ディスプレイのためのフォトニクスポリマーの開発」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ゼロ複屈折ポリマーによる新規プラスチックフィルムの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ゼロ複屈折ポリマーの設計・合成</li> <li>・ 革新的溶融押出法によるフィルムの試作</li> <li>・ 新規偏光板の開発</li> </ul> </li> <li>◆光散乱導光ポリマーによる薄型・低消費電力バックライトの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新規光散乱導光ポリマーの設計</li> <li>・ 薄型・低消費電力バックライトの設計・試作</li> </ul> </li> </ul> <p><b>サブテーマ 3(サブテーマリーダー:当麻哲哉)</b>  <b>「Face-to-Face コミュニケーションシステム開発」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆超高速・高精細双方向映像伝送技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 超高速光インターフェース規格化への開発</li> <li>・ 低遅延圧縮技術開発</li> </ul> </li> <li>◆高速・低価格家庭内光ネットワーク開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 低価格家庭内 LAN 用トランシーバー開発</li> <li>・ POF 配線施工器具開発</li> <li>・ 体感住宅ギガハウス建設</li> </ul> </li> <li>◆Face-to-Face コミュニケーション産業の創出 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アプリケーション開発</li> <li>・ システムインテグレーション</li> <li>・ ビジネスモデル開発と広報・成果発表</li> </ul> </li> </ul>
研究体制	事務局：慶応義塾大学フォトニクス・リサーチ・インスティテュート(KPRI) 参画企業：14 社

### (3)国際会議 International Conference on POF(ICPOF)の開催

POF 研究において先導的な役割を担っている小池総括責任者は、毎年開催されている国際会議“International Conference on POF(ICPOF)”において、全体議長を務めている(図 20)。第 1 回は 1992 年にパリで開催されており、現在までに毎年 19 回開催されている。ICPOF はアカデミアよりも企業研究者が多く参加して、POF 研究開発の最先端の情報プラットフォームとして機能している。特に 2010 年は横浜で開催され、KPRI との共催となり、小池総括責任者は実行委員長も務めた。



出所：<http://pof2010.org/conference/foreword.html>

図 20 小池総括責任者(ICPOF 議長)

#### 【近年の開催実績】

- ・ 2006 年 9 月 15<sup>th</sup> International POF Conference 2006 (Seoul, South Korea)
- ・ 2007 年 9 月 16<sup>th</sup> International POF Conference 2007 (Turin, Italy)  
<http://www.pofconference.arduinoadv.it/index.php>
- ・ 2008 年 8 月 17<sup>th</sup> International POF Conference 2008 (Santa Clara, USA)  
<http://www.pof2008.com/>
- ・ 2009 年 9 月 18<sup>th</sup> International POF Conference 2009 (Sydney, Australia)  
<http://pof2009.mtci.com.au/>
- ・ 2010 年 10 月 19<sup>th</sup> International POF Conference 2010 (Yokohama, Japan)  
<http://pof2010.org/index.html>

#### (4)受賞

ERATO プロジェクト終了後(2006 年以降)に受賞したものを表 5 に挙げる。

表 5 本プロジェクト参画研究者の受賞歴

受賞者	受賞	授与元	年	受賞理由
小池康博	秋の紫綬褒章	内閣府賞勲局	2006	フォトリソグラフィを中心とする高分子化学研究における顕著な功績
小池康博	IEEE, The Microoptics Conference 2007 13th	Microoptics Group, Optical Society of Japan, JSAP	2007	低損失広帯域プラスチック光ファイバ、新規光学ポリマーデバイス等のフォトリソグラフィにおける先駆的研究とそのリーダーシップによる
小池康博	科学技術への顕著な貢献 2009 ナイスステップな研究者	文部科学省附属科学技術政策研究所	2009	高速通信用プラスチック光ファイバーの研究および実用化
多加谷明広 小池康博	社団法人プラスチック成形加工学会論文賞	社団法人プラスチック成形加工学会	2010	低複屈折射出成形品のためのゼロ・ゼロ複屈折ポリマーの設計
多加谷明広	高分子学会日立化成賞	高分子学会	2010	ポリマーの複屈折消去・制御とフォトリソグラフィへの展開

(5)その他

本プロジェクトに関連する内容として 2006 年以降でマスメディアなどで取り上げられたものを表 6 に挙げる。

表 6 報道実績

No.	発行年月日	雑誌名等	ページ	表題
1	2006/1/24	Tech-On! 日経 BP	1-2	液晶パネルの偏光板保護フィルム代替を狙う慶応大グループがナノ粒子を分散した複屈折のない光学フィルムの量産技術を確立
2	2006/3	日経マイクロデバイス	76-77	液晶パネルの偏光板保護フィルム生産性 10 倍の低コスト製造技術
3	2006/5/29	日経ナノビジネス No.38	23	リサーチフラッシュ 慶大の小池教授
4	2007	情報誌 Azet 増刊 株式会社 Z 会	60-61	逆転の発想で、未来社会を拓くフォトリソグラフィ学を創生
5	2008/1	日本放送 JOLF AM1242 中川翔子の Giza サイエンス!	ラジオ	フォトリソグラフィ学
6	2008/12	VOICE 河合塾教育研究部	2-3	理工系最前線 研究室に行ってきました!
7	2009/12	Suruga Institute Report	16-21	Together Talk 第 47 回
8	2009/3/18	リクルート IT 製品情報サイト「キーマンズネット」	Web	5分でわかる最新キーワード「プラスチック光ファイバ(POF)」
9	2009/8	科学技術交流ニュース Vol.15(2)(財団法人科学技術交流財団)	10-11	研究交流クラブより

No.	発行年月日	雑誌名等	ページ	表題
10	2010/3	現代化学 Chemistry Today No.468	16-23	Watch「基本原理から生まれたフォトニクスポリマー ～光を自由に操る小池康博博士～ 現代化学編集グループ
11	2010/5/3	日経ビジネス	98-100	決断のとき 光技術で 10 兆円産業創出
12	2010/5/15	Yano E plus 通巻 No.026 株式会社矢野経済研究所	15-26	プラスチック光ファイバ市場
13	2010/ 5	NTT ファシリアイズ JOURNAL Vol.48(279)	22-23	最先端の扉 挫折と基本原理が生んだ次世代技術
14	2010/6/1	小学館 DIME No.11	80	DIME Scope ギガハウス 毎秒 40GB!新素材の超高速プラスチック光 ファイバーが実現する近未来住宅
15	2010/5/25	日経産業新聞	新聞	変わる最先端研究 個人の才能 解き放つ
16	2010/6/28	日経 BPnet	Web	産学が大連携, 高精細・大画面映像コ ミュニケーション・システムを開発 慶應義塾大・小池康博教授の光学ポリ マー技術が中核
17	2010/6/30	日経産業新聞	新聞	変わる最先端研究 「ギガハウス」実現 へ連携
18	2010/7/10	日本経済新聞	新聞	慶応大の産学協同計画 川崎市が支援 へ
19	2010/9/2	読売新聞	新聞	ニホンを元気にする研究 小池康博教 授の目標 家庭に「世界つなぐ窓口」
20	2010/9/17	かわさき FM 79.1MHz 「K2 タウンキャンパス紹介」	FM	「K2 タウンキャンパス紹介」 横溝陽一 出演
21	2010/10/6	テレビ東京「ワールドビジネ スサテライト」	TV	シリーズ特集「知られざる日本の実力」 "超"プラスチックで拓く 小池康博 他 出演
22	2010/10/20	日本経済新聞ウェブビデオ	Web	高精細の巨大 3D モニター開発
23	2010/10/20	日本経済新聞	新聞	巨大 TV で高精細 3D 遠隔手術にも活 用, 患部鮮明 — 慶大が実演, 実用化急 ぐ
24	2010/10/23	日経産業新聞	新聞	高性能プラ, 150 インチ 3D 映像初公開, 慶大シンポ, 光源の明るさ 2 倍
25	2010/11/3	日本経済新聞	新聞	積水化学, 光ファイバーに参入, プラ製, 耐熱性 4 割高める
26	2010/11/14	毎日新聞	新聞	かながわ遊ナビ: 慶応大オープンセミ ナー, 川崎で 13 日/神奈川
27	2010/11/15	朝日新聞	新聞	未来自動車など先端研究を公開 慶 大・新川崎タウンキャンパス
28	2010/11/18	化学工業日報	新聞	ギガビット短中距離伝送の本命 GI 型 プラ光ファイバー 施工・接続簡便, 安 全性も優れる グローバルトップ狙う
29	2010/11/18	日経産業新聞	新聞	積水化学, 樹脂, 速度ガラス並み, 光ファ

No.	発行年月日	雑誌名等	ページ	表題
				イバー, 屋内向け
30	2010/11/18	日刊工業新聞	新聞	毎秒最大 10 ギガビット伝送 積水化学 プラ製光ファイバー
31	2010/11/18	フジサンケイビジネスアイ	新聞	積水化, 超高速ファイバー 特殊樹脂製 短距離に強み
32	2010/11/18	日刊ケミカルニュース	新聞	積水化学, GI 型プラスチック製光ファ イバーを開発
33	2010/11/24	石油化学新報	新聞	積水化学, 部分塩素化ポリマー製光ファ イバー開発~2011 年度事業化
34	2010/11/29	日経産業新聞	新聞	慶応大教授小池康博氏——プラスチッ クで 3DTV(核心直談)
35	2010/12	「O plus E」	雑誌 P.1406-1 408 P.1410-P. 1411 P.1412-1 414 P.1415-1 419 P.1437-1 439	■小池康博教授記事 ・私の発言「大きなブレイクスルーをし ようとすればするほど, 原点に戻って考 えることが大切です」 ・特集のポイント ・総論 ・「フォトニクスポリマーが拓く Face-to-Face コミュニケーション」 ■加谷明広准教授記事 ・特集のポイント ・「ゼロ・ゼロ複屈折ポリマー-複屈折を 発現しないポリマー-」
36	2010/12/17	日刊工業新聞	新聞	レーザー 発明も発見も
37	2011/1/14	毎日新聞	新聞	P.22 受賞者 喜びの声, P.23 「イメー ジアップ大賞」に 4 団体・個人 岡田前監 督ら受賞, P.26 神奈川イメージアップ 大賞: ノーベル化学賞を受賞の根岸さん ら
39	2011/2/13	NHK 「ニュース 7」	TV	「科学の魅力を高校生に伝える」 小池 康博 出演

出所: <http://kpri.keio.ac.jp/achievement/press.html>

### 3-2 社会・経済への波及と展望

本節では, 本プロジェクトの大きな成果である GI-POF と高精細・大画面ディスプレイパ  
ネルの実用化・商品化に関する波及と展望をとりまとめる。

#### (1)GI-POF

##### 1)全フッ素化 GI-POF

ERATO-SORST プロジェクトを通じて性能向上を果たした全フッ素化 GI-POF は旭硝子株

式会社から「FONTEX」として2010年7月に販売されている。FONTEXは曲げに強く、伝送距離100mで10Gbpsを超える高速信号伝送が可能な民生用世界最高速プラスチック光ファイバーである(図21)。FONTEXはコアとクラッドの両方に全フッ素化ポリマーCytop®を使用しており、波長650nm～1300nmの領域で伝送損失がほぼ0となっている。



出所:小池総括責任者提供資料

図21 全フッ素化 GI-POF「FONTEX」

従来銅線で接続されていたサーバーセンター用の信号ケーブルを代替して高速化できるだけでなく、空間と重量を大幅に削減でき、ノイズと発熱を抑えることが可能になる。また、2008年には40Gbps×100mの伝送試験も達成しており、ガラス系マルチモード光ファイバーの伝送速度を遥かに上回る性能向上が見込まれている。

## 2)部分塩素化 GI-POF

積水化学工業株式会社 環境・ライフラインカンパニーは、小池総括責任者と共同で短～中距離間(1～100m)のギガビットを超える超高速伝送に適した部分塩素化ポリマー製 GI-POF「GINOVER(ジノーバ)」を開発し、2010年10月に販売を開始した。



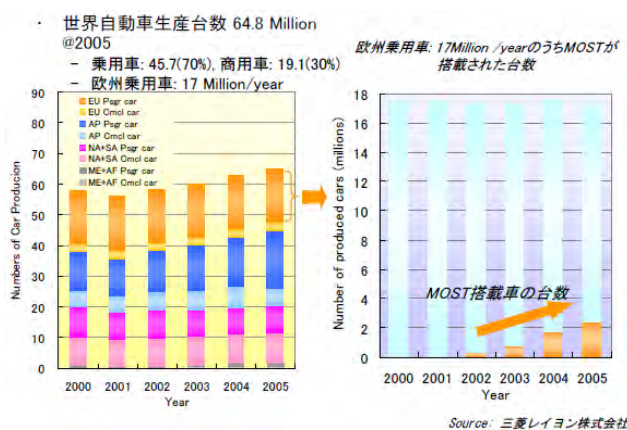
出所:積水化学提供資料

図22 部分塩素化ポリマー製 GI-POF「GINOVER」

GINOVERは赤色光源(650nm)での伝送損失が少なくなるよう分子設計されており、大口径にも成形できることからコネクタを用いず直接機器に接続することが可能となっている。また、赤色可視光源であるため目視による通信状態の確認が可能となり、誤って直視し続ける心配がなく施行面でも安全である(図22)。一般消費者自身が配線、接続できるギガビット光伝送システムの販売は世界初となる。今後はハイビジョンテレビや高性能パソコンに代表される家庭内の高速通信ニーズのみならず、医療や教育・福祉施設、オフィス分野や、自動車、鉄道、航空機分野、IT機器・医療機器内伝送などの多様な用途に向けて、製品がラインナップされる予定となっている。

これらの GI-POF は今後、ギガリンクシステムと連携し、本格的な Face-to-Face コミュニケーション(まるで話し相手の人物がガラスを隔てて目の前にいるようなコミュニケーション)の中核を担う技術となる。

また、近年、車載用 POF の需要が高まりつつある(図 23)。車載用コンピュータネットワーク規格である MOST(Media Oriented Systems Transport)<sup>\*22</sup>では情報伝達系に軽量である POF を採用しており、2010 年現在で規格適用 100 車種、採用企業は 16 社に達している。最新規格の MOST150(伝送速度 150Mbps)は POF ベースであるため、規格の普及が進めば POF 市場は飛躍的に拡大することが見込まれており、耐熱性に優れる GI-POF はその有力候補となる。



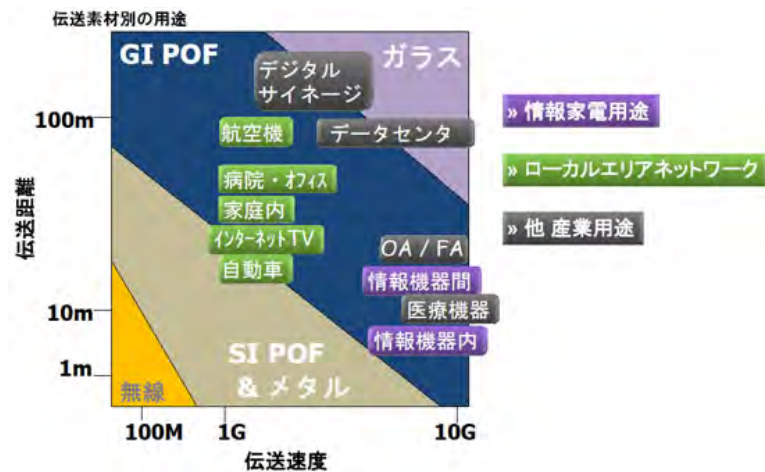
出所: 小池総括責任者提供資料

図 23 MOST の普及状況

今後の伝送素材別の用途の中で GI-POF が占める市場を図示したのが図 24 である。現在のところ、伝送距離が 100m 以上の用途にはガラス光ファイバーが技術的にもコスト面でも優位であり、一方、伝送距離が 100m 以下で伝送速度が数ギガバイトの場合には SI-POF やメタル回線がコスト面で優位となっている。したがって、GI-POF は伝送距離が数 100m 以内で、かつ 10Gbps 以上の高速通信用回線においてその技術特性を活かしながら市場を創出していくことが考えられる。

\*22 <http://www.mostcooperation.com/home/index.html>





出所:積水化学工業提供資料  
 図 24 GI-POF の市場用途

市場としては病院・介護施設等における医療データ送信のためのケーブル需要がまず期待されている。医療データの場合、誤診断を避けるためにレントゲンやCTスキャンの画像データ量を減らすことはできない。その際、構内無線との競合も考えられるが、設備面とセキュリティ面を考慮すると有線が望ましく、市場のセグメント化は可能であると予想される。

ビジネス・ターゲットとして増加は、デジタルサイネージ(広告)市場が有望となっている。一瞬で個人に印象に残る広告を伝えるためには、高精細かつ大容量の情報伝送が有効であり、この点でGI-POFがニーズに合致するのではないかと期待されている。

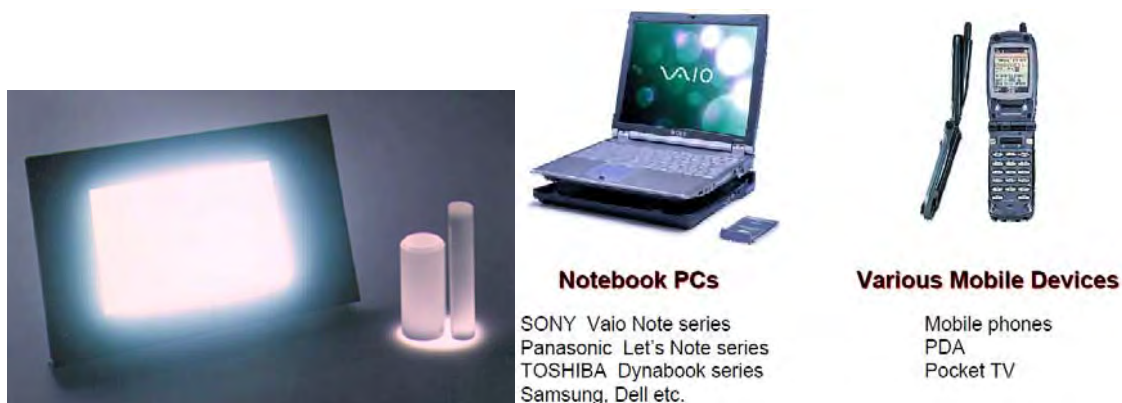
GI-POFの今後5年の市場規模は国内外併せて約1,500億円と見込まれている<sup>※23</sup>。特に、欧州におけるIPTV<sup>※24</sup>の普及に伴い、屋内配線やケーブルテレビのセットトップボックスからハイビジョンテレビまでのケーブルとしての更新需要が見込まれている。欧州では国々が隣接しているため、電波を用いた放送事業を展開しにくい環境であり、屋内環境を高速化する際に配線の取り回しが容易なGI-POFが製品として訴求力を持つ。

## (2)高精細・大画面ディスプレイ

本プロジェクトにおける成果である高輝度光錯乱ポリマー導光体(HSOT: Highly Scattered Optical Transmission)は既にノートPCや携帯電話のLDCパネルとして製品化されている(図25)。

<sup>※23</sup>旭硝子株式会社プレスリリース資料より。http://www.agc.com/news/2010/0324.pdf

<sup>※24</sup> IPTV: インターネットプロトコル(IP)を利用したテレビ放送技術



出所:小池総括責任者提供資料

図 25 HSOT 製品

また、光散乱技術と併せてゼロ・ゼロ複屈折ポリマーの開発により、超大画面パネルディスプレイの開発に応用が可能となった。図 26 は 2010 年 10 月 19 日に行われた KPRI 国際シンポジウム 2010 での 150 インチパネルによる高精細映像デモンストレーションの様子である。デモンストレーションではシンポジウム会場の慶応義塾大学日吉キャンパス(横浜市)と東京都内の日本科学未来館(お台場)を GI-POF 光ファイバーで結び、10Gbps の伝送スピードでハイビジョンの 4 倍の高精細画像をリアルタイムで通信し、等身大に投射された毛利館長と仮想現実的に握手している様子を実演した。



出所: <http://kpri.keio.ac.jp/symposium/report.html>

図 26 KPRI 国際シンポジウム 2010 高精細映像デモンストレーションの様子

高精細ディスプレイと高速ネットワークはまず医療現場でのニーズが期待されている。4K 画像(ハイビジョンの 4 倍高精細)を医療に活かすことのメリットの一つとしては、肉眼では見えないものが高精細の画像によって見えるようになることである。現在の拡大内視鏡や光学的干渉断層計(OCT)では数十フレーム/秒(fps)での撮影機能しかないが、将来的には 1000

～10000fps の撮影速度を目標に開発が続けられている。これらを高精細ディスプレイで表示することによって診断の効率はかなり向上することが期待されているプラスチックファイバーを先導的に導入した榊原記念病院では、現在計画中の共同研究プロジェクトとして、CT スキャン画像と MRI 画像のリアルタイムでのフュージョン(合成)化, 10Gbps のローカルネットワークと高精細ディスプレイ端末の設置(主に、手術室, 検査, カンファレンスルームで部分的に 4K 画像)などが取り組まれている。

また、動画配信ビジネスへの展開も期待されている。例えば、将来的に 40Gbps の超高速光ファイバーと 8K クラスの高精細・大画面ディスプレイを組み合わせると、映画などを数秒でオンデマンド配信できるようなまったく新しい動画配信ビジネスが期待されている。

前述の FIRST プロジェクトでは、このような日本発のフォトニクスポリマー技術によって上記の技術を含む 10 兆円規模の新規産業を立ち上げることを目指している。

## 第4章 事業運営に対する意見・要望

当事者へのインタビューを通じて、今後の ERATO プロジェクトの運営に関する意見をとりまとめた。

### 4-1. ERATO について

- ・ 一つの発見・提案を発展させ、社会へ還元させるまでの道のりは一般に長く、継続的に研究を支援する制度が必要である。特に革新的な提案は実用化するために乗り越えなければならないハードルが高く、熾烈な競争にさらされている民間企業には取り組むことが困難な場合が多い。
- ・ これらの状況を鑑みれば、独創的で先駆的な基礎的研究課題への挑戦を支援する ERATO、およびそこで得られた研究成果をさらに発展させるべく支援する SORST という制度が果たしてきた意義は大きい。
- ・ 研究を深めるためには、新たな装置・設備の導入や拡充が必須であり、この点でもこれらの制度は有効であった。
- ・ 制度として5カ年の研究期間中における研究計画の変更を許容しており、研究の方向性を自在に制御することが出来た。
- ・ 大学に委託せず JST が直轄して運営する事業方式だったため、所属する大学にオーバーヘッドが入らなかったことが運営上の難点であった<sup>※</sup>。

### 4-2. 課題・JST への要望等

#### 【産学共同研究について】

- ・ GI-POF は大学発のユニークなアイデア(シーズまで到達していない)に企業が着目しなければ実現しない技術だった。
- ・ 現在の経済状況において一企業が潤沢な研究開発資金を投入して丸抱えでハイリスクな基礎研究を推進するという事は難しい。
- ・ 企業が着目する研究課題は海外のものの方が多いが、実際に共同研究契約まで至るのは国内大学のケースが多い。この背景の一つとして海外の場合、共同研究で得られた知識の活用に関して都度、使用許諾を求められたり、費用が掛かることが多く、トライアンドエラーの経験や知見を共有し難いことが挙げられる。
- ・ 産学連携の成否は大学研究者側のスタンスや人柄にも負うところが大きい。高い見識に加えてコスト意識や要素技術に留まらぬシステムとしての観点など、ビジネス感覚をもっていることが成功要因の一つではないか。

<sup>※25</sup> 現在、ERATO は大学への委託化とそれによるオーバーヘッド付与を検討中である。

## 参考文献

- [1] Koike, Y; Matsuoka, S; Harvey E.B, "Origin of excess light scattering in poly(methyl methacrylate) glasses", *Macromolecules*, vol.25(18), pp.4807-4815, 1992.
- [2] PCT/JP2004/017905 "Fluorinated Polymers, Method for Producing the Fluorinated Compounds and Polymers" 出願人:JST, 発明者:小池康博, 岡本善之, Yinzhong Guo, Wei-hong Liu. 出願日:2004年11月25日.
- [3] A. Tagaya, H. Ohkita, M. Mukoh, R. Sakaguchi, Y. Koike, *Science* 301, 801 (2003)
- [4] 特願 2004-13611 "光弾性複屈折性を減殺した光学樹脂材料" 出願人 JST, 小池康博, 多加谷明広. 発明者:小池康博, 多加谷明広, 大喜田尚紀, 佐野和則. 出願日 2004年1月21日
- [5] A. Tagaya, Y. Koike, T. Kinoshita, E. Nihei, T. Yamamoto, and K. Sasaki, "Polymer Optical Fiber Amplifier," *Applied Physics Letters*, Vol. 63, No. 7, pp. 883-884, 1993.
- [6] T. Yamamoto, K. Fujii, A. Tagaya, S. Teramoto, E. Nihei, Y. Koike, and K. Sasaki, "High-Power Polymer Optical Fiber Amplifier," *The Journal of The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, (Electronics and Communications in Japan,)* Vol. J78-C-I, No. 6, pp. 282-288, 1995.
- [7] T. Yamamoto, K. Fujii, A. Tagaya, S. Teramoto, E. Nihei, Y. Koike, and K. Sasaki, "High-Power Polymer Optical Fiber Amplifier," *The Journal of The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, (Electronics and Communications in Japan, Part 2, English Edition)* Vol. 78, No. 11, pp. 36-44, 1995.
- [8] A. Tagaya, T. Kobayashi, S. Nakatsuka, E. Nihei, K. Sasaki, and Y. Koike, "High Gain and High Power Organic Dye-Doped Polymer Optical Fiber Amplifiers: Absorption and Emission Cross Sections and Gain Characteristics," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 36, Part 1, No. 5A, pp. 2705-2708, 1997.
- [9] Kuriki, K; Koike, Y; Okamoto, Y. "Plastic optical fiber lasers and amplifiers containing lanthanide complexes", *CHEMICAL REVIEWS*, Vol.102(6), 2347-2356, 2002
- [10] Kuriki, K; Nishihara, S; Nishizawa, Y; Tagaya, A; Okamoto, Y; Koike, Y. "Fabrication and optical properties of neodymium-, praseodymium- and erbium-chelates-doped plastic optical fibres", *ELECTRONICS LETTERS*, Vol.37(7), 415-417, 2001.
- [11] Okamoto, Y; Mikes, F; Yang, Y; Koike, Y, "The effect of fluorine substituents on the polymerization mechanism of 2-methylene-1,3-dioxolane and properties of the polymer products", *JOURNAL OF FLUORINE CHEMISTRY*, Vol.128(3), 202-206, 2007.
- [12] Teng, HX; Yang, L; Mikes, F; Koike, Y; Okamoto, Y, "Property modification of poly(methyl methacrylate) through copolymerization with fluorinated aryl methacrylate monomers", *POLYMERS FOR ADVANCED TECHNOLOGIES*, Vol.18(6), 453-457, 2007.
- [13] Koike, K; Mikes, F; Koike, Y; Okamoto, Y, "Design and synthesis of graded index plastic optical fibers by copolymeric system", *POLYMERS FOR ADVANCED TECHNOLOGIES*, Vol.19(6), 516-520, 2008.

- [14] Koike, K; Koike, Y, "Design of Low-Loss Graded-Index Plastic Optical Fiber Based on Partially Fluorinated Methacrylate Polymer", *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol.27(1-4), 41-46, 2009.
- [15] Koike, K; Mikes, F; Okamoto, Y; Koike, Y, "Design, Synthesis, and Characterization of a Partially Chlorinated Acrylic Copolymer for Low-Loss and Thermally Stable Graded Index Plastic Optical Fibers", *JOURNAL OF POLYMER SCIENCE PART A-POLYMER CHEMISTRY*, Vol.47(13), 3352-3361, 2009.
- [16] Koike, K; Kado, T; Satoh, Z; Okamoto, Y; Koike, Y, "Optical and thermal properties of methyl methacrylate and pentafluorophenyl methacrylate copolymer: Design of copolymers for low-loss optical fibers for gigabit in-home communications", *POLYMER*, Vol.51(6), 1377-1385, 2010.
- [17] Tagaya, A; Ohkita, H; Harada, T; Ishibashi, K; Koike, Y, "Zero-birefringence optical polymers", *MACROMOLECULES*, Vol.39(8), 3019-3023, 2006.
- [18] Furukawa, RA; Tagaya, A; Koike, Y, "Modal analysis of a multimode polarization-maintaining plastic optical fiber fabricated using poly(methyl methacrylate/benzyl methacrylate) copolymer", *APPLIED PHYSICS LETTERS*, Vol.93(10), 2008.
- [19] Yamazaki, S; Tagaya, A; Koike, Y, "Design of Zero-Birefringence Cross-Linked Polymers", *APPLIED PHYSICS EXPRESS*, Vol.3(2), 2010.
- [20] WO2010/143552 透過型液晶表示装置, 発明者: 小池康博, 多加谷明広, 出願人: JST.
- [21] A. Kondo, M. Asai, R. Hirose, T. Ishigure, and Y. Koike, "GI-POF Prepared by the Dopant Diffusion Co-extrusion Process," *Nonlinear Optics, Quantum Optics, Concepts in Modern Optics*, Vol. 34, No.1-4, pp. 71-75, 2005.
- [22] Nuccio, SR; Christen, L; Wu, X; Khaleghi, S; Yilmaz, O; Willner, AE; Koike, Y, "Transmission of 40 Gb/s DPSK and OOK at 1.55  $\mu$  m through 100 m of plastic optical fiber", *Optical Communication*, ECOC 2008. 34th European Conference, 2008.
- [23] Asai, M; Nehashi, K; Koike, Y, "Control of Refractive Index Distribution for High-Bandwidth Graded Index Plastic Optical Fiber", *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol.26(13-16), 2909-2918, 2008.
- [24] Yamaki, Y; Asai, M; Takahashi, S; Koike, Y, "Novel Dopant for Graded-Index Polymer Optical Fiber with High-Thermal Stability", *APPLIED PHYSICS EXPRESS*, Vol.3(7), 71601-1, 2010.