

# Design of Plastic Optical Fiber for Home Network

## (ホームネットワーク用プラスチック光ファイバの設計)

小池 康太郎

### 論文の内容の要旨

屈折率分布型プラスチック光ファイバ (GI POF) は、その高速性、柔軟性、端末加工の容易さなどから、曲げや接続の多い建物内における、短距離通信用途として研究が進められてきた。1982年に最初の GI POF が報告されて以来、多くの改良が重ねられ、2001年からは大型のオフィスビルや病院などへの導入が始まっている。しかし、母材ポリマーの合成コストが極めて高いことから、広く普及するには至っておらず、特に今後最も大きな需要が見込まれる一般家庭向けに対しては実用化の目処が立っていない。本研究では、高い透明性 (アモルファス構造)、材料変性の自由度、触媒・溶媒を用いないフリーラジカル重合、低コスト合成などの観点から、アクリル樹脂に着目し、家庭内用途において十分な伝送特性・耐環境特性を備えた、新規材料系による GI POF の作製を目的とした。

第1章に、光ファイバ通信の基礎から GI POF の開発に至るまでの経緯、ホームネットワーク用通信媒体として使用するための課題をまとめた。

第2章では、ラジカル重合反応の基礎知識と、本研究において特に重要な、ポリマーの光学・熱特性を支配する各要因について概説した。

第3章では、光ファイバの低損失化手法について検討した。戸建住宅における単線当りの最大敷設距離 (30-50 m) を考慮すると、ファイバに許容される伝送損失はおよそ 200 dB/km 以下となる。これまで研究されてきた poly (methyl methacrylate) (PMMA) は、光源波長域 (670-680 nm) に C-H の分子間振動に伴う吸収ピークを有するため、この条件を満たすことができない。本論文の著者は PMMA の側鎖末端の水素をわずかに一つ、CF<sub>3</sub>、もしくは CCl<sub>3</sub> 基で置換するだけで、ポリマー単位体積中の C-H 結合数が半減することに着目し、伝送損失に与える影響を検討した。作製法の改良を重ねた結果、フッ素化の場合に 127-152 dB/km、塩素化では 104-136 dB/km at 670-680 nm と、極めて低損失なファイバが得られることを明らかにした。

第4章では、母材ポリマーの熱特性について述べた。戸建住宅での使用温度と、屈折率分布を形成する低分子ドーパントによる過疎化効果を考慮すると、母材ポリマーのガラス転移温度 ( $T_g$ ) は 110°C 以上が必要となる。また、熔融押出法による連続生産を実現するためには、ポリマーの熱分解温度 ( $T_{ds}$ ) は 295°C 以上であることが望ましい。第3章で扱った二種のポリマーより着想を得て検討した poly (pentafluorophenyl methacrylate) (PFPMMA) は、いずれの条件も満たす上に、透明性も十分であったが、重合転化率に問題があることが分かった。嵩高い側鎖を導入した結果、その立体障害により高温下での反応性が乏しく、多量の残存モノマーがバルク状態での熱特性を著しく劣化させることが確認された。

第5章では、共重合について述べた。PFPMMA の重合転化率を向上させると同時に、誘電率揺らぎに伴う散乱損失の増加を抑制するため、モノマー反応性比がより小さく、かつポリマー屈折率が極めて近い MMA をコモノマーとして選択した。共重合により、残存 PFPMMA 量は 1 wt% 以下にまで減少し、PFPMMA 組成が 0-60 mol% の広範囲において  $T_g$ 、 $T_{ds}$  ともに条件を満たすバルクが得られた。また、共重合に伴う散乱損失の増大は確認されず、C-H 結合数を低減した効果から、本共重合体は PMMA より高い透過率を示した。最も高い  $T_g$  が得られた、MMA/PFPMMA = 65/35 mol% の共重合体をコアに用い、172-185 dB/km at 670-680 nm と低損失な GI POF の作製に成功し、1.25 Gbps の高速伝送が可能であることを実証した。

第6章に、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。

以上

## 論文審査の結果の要旨

学士（工学）、修士（工学）小池康太郎君提出の学位請求論文は「Design of Plastic Optical Fiber for Home Network（ホームネットワーク用プラスチック光ファイバの設計）」と題し、6章より構成されている。

近年、屋内配線等における高速通信媒体として、全フッ素化ポリマーを母材とした、屈折率分布型プラスチック光ファイバ（GI POF）の導入が進められている。しかし、ポリマーの合成コストが極めて高いことから、今後最も大きな需要が見込まれる一般家庭向けに対しては実用化の目処が立てられていない。本論文では、高い透明性（アモルファス構造）、材料変性の自由度、触媒・溶媒を用いないフリーラジカル重合、低コスト合成などの観点から、アクリル樹脂に着目し、家庭内用途において十分な伝送特性・耐環境特性を備えた、新規 GI POFの可能性を明らかにしている。

第1章は序論であり、本研究の背景および研究の目的を述べている。

第2章では、ラジカル重合反応の基礎と、ポリマーの光学・熱特性について概説している。

第3章では、POFの低損失化手法について検討している。一般に、アクリル樹脂は低損失材料として知られるが、高速光源波長（670-680 nm）ではC-Hの分子間振動の倍音に伴う光吸収により、戸建住宅におけるファイバの伝送損失条件（200 dB/km以下）を満たすことはできない。ここでは、側鎖末端をフッ素化、もしくは塩素化することで、ポリマー単位体積中のC-H結合数が半減することに着目し、十分に低損失なファイバが得られることを明らかにしている。

第4章では、POFの高耐熱化手法について検討している。アクリル樹脂の側鎖にフッ化フェニル基を導入することで、低損失かつ高耐熱なポリマーが得られることを示している。一方、側鎖の立体障害により重合反応性が著しく低下し、多量の残存モノマーがバルク状態における熱特性を著しく劣化させることを説明している。

第5章では、POF母材として共重合体を用いることを提案している。第4章で検討した pentafluorophenyl methacrylate (PFPMMA) を methyl methacrylate (MMA) と共重合することで残存モノマー量を低減し、バルク状態においても高い熱安定性を発現させている。これはPFPMMAの反応性がより高いことに起因する。一般に、共重合体は屈折率の不均一構造を有し、散乱損失が極めて大きいことからPOF母材として検討されてきた例は少ない。しかし、本共重合体の場合、poly (PFPMMA) と poly (MMA) の屈折率差はわずかに0.0041であり、共重合に伴う散乱損失の増大は無視できるほど小さいことを明らかにしている。さらに、一部フッ素化していることから、得られたGI POFの伝送損失は、高速光源波長において172-185 dB/kmと、上記損失条件を満たし、戸建住宅における最大敷設距離30 m長において1.25 Gbpsの高速伝送が可能であることを実証している。また、このGI POFは、実際の使用温度に十分耐えられるよう、ガラス転移温度は90℃以上に設計され、生産性の高い溶融押出法への適用も可能である。

最終章は本研究の総括であり、今後の展望を述べている。

以上要するに、本論文は、新規なフォトリソポリマーの設計と光機能発現の本質的議論のもとに家庭用高速通信媒体としてのGI POFを実現しようとするものであり、光通信分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

以上

論文審査担当者：主査	慶應義塾大学教授	工学博士	小池 康博
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	朝倉 浩一
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	山中 直明
副査	慶應義塾大学専任講師	工学博士	二瓶 栄輔