

2023年度
ゲル材料を用いた自己形成光接続とフレキシブル
高速光データ伝送への展開 補助事業報告書

国立大学法人宇都宮大学
杉原 興浩

JKA Social Action
競輪とオートレースの補助事業

この報告書は公益財団法人 JKA の補助により作成
しました

<https://hojo.keirin-autorace.or.jp>

目次

1	事業名	・・・1
2	事業の実施経過	・・・1
3	実施内容及び成果	・・・1
	(1) 実施内容	・・・1
	(2) 成果	・・・3
	(3) 成果を公表している研究室ホームページ上のURL	・・・6
	(4) JKA補助事業バナーを表示している研究室ホームページ上のURL	・・・6
4	事業実施に関して特許権、実用新案権等を申請又は取得したときはその内容	・・・6
5	今後予想される効果	・・・6
6	本事業により作成した印刷物（研究報告書等）	・・・6
7	その他	・・・7

(別紙1)

事業の実施内容及び成果に関する報告書

1 事業名

2023年度 ゲル材料を用いた自己形成光接続とフレキシブル高速光データ伝送への展開 補助事業

2 事業の実施経過

(1) 事務手続き関係

2023年 4月 7日 交付決定通知受理 (4 / 1 付)
5月22日 交付誓約書・前金払申請書提出
6月15日 補助金受領 (5,000,000円)
10月31日 状況に関する報告書提出
2024年 4月25日 補助金精算申請書提出
補助金返還 (0円)

(2) 事業関係

ゲル材料(コア・クラッド)の仕様策定と基礎光物性評価による選定

2023年 6月15日 仕様策定
7月31日 材料物性評価
11月15日 混合比最適化

自己形成光導波路成長と光接続実証および振動評価

2023年 7月18日 導波路成長実験
10月16日 自動光接続実験
2024年 2月26日 振動試験実験

3 実施内容及び成果

(1) 実施内容

・ゲル材料(コア・クラッド)の仕様策定と基礎光物性評価による選定

コア・クラッド材料として、(a)透明性、(b)光硬化性(コアは波長 850 nm で、クラッドは UV 光で硬化予定)、(c)フレキシビリティ、(d)屈折率制御性の観点から材料選択を行い、2種類光硬化性樹脂の混合材料を用いてその混合比でコア・クラッドの屈折率制御を行う

ことにした。コア材料に単官能アクリレート、二官能ウレタンアクリレート、近赤外光吸収色素、開始剤 A を用いた。クラッド材料にコアと同じ単官能アクリレート、二官能アクリレート、開始剤 B を用いた。車載光通信で用いられる波長として 850 nm が検討されており、色素は近赤外領域に吸収を持ち、開始剤 A を加えることでコア成長反応が開始する。材料の混合比は、単官能アクリレート：二官能ウレタンアクリレート：開始剤 A：近赤外吸収色素＝450：2000：10：5（コア材料）、単官能アクリレート：二官能ウレタンアクリレート：開始剤 B＝600：2000：5（クラッド材料）である。単官能アクリレートは、二官能アクリレートより屈折率が低いため、コア・クラッドの屈折率差を生じさせるためにクラッド材料は単官能アクリレートを若干多い混合比で作製を行った。この混合比でコア・クラッドともフレキシブル特性を維持できている。

・自己形成光導波路成長と光接続実証および振動評価

上記に示した材料をスターラで攪拌、脱泡して材料を調製する。その後に対向した分布屈折型ガラス光ファイバ（コア径50 μm ）の先端間のギャップに調製したコア材料を滴下させ、波長851 nmのレーザ光を用いて双方向照射し、自己形成光導波路を成長させ自動接続させる。自己形成光導波路を用いた自動光接続は、図1のように2本のファイバに少々軸ずれがあっても導波路成長の際に自動的に接続できるという非常に興味深い現象があるが、今回は軸ずれなしの状態では自己形成光接続を行ない、成長後に軸ずれを発生させてそのフレキシブル特性を評価した。コア周囲の未硬化部分を洗浄した後、クラッド材料を滴下し、波長405 nmのレーザ光を照射して全固体自己形成光導波路とする。その後、作製した自己形成光導波路の損失測定を行った。測定方法は、自己形成光導波路で接続された光ファイバのうち、片方の光ファイバ端にレーザ光源（波長851 nm）をつなぎ、もう片方の光ファイバの端にパワーメータをつないで出力を測定した。その際に、光ファイバを突き合わせた状態（空気間隙0 μm ）を基準値に、光ファイバに間隙を作った状態（空気間隙100 μm ）、コア&未硬化部分、コアのみ、全固体コア&クラッドのそれぞれの状態で損失の比較を行った。図1に自己形成光導波路・光接続の実験系を示す。光の照射条件は、出力20 μW 、照射時間60 sec（コア材料）、出力2.0 μW 、照射時間10 sec（クラッド材料）とした。自己形成光導波路と光接続の実験系を図2に示す。

(別紙1)

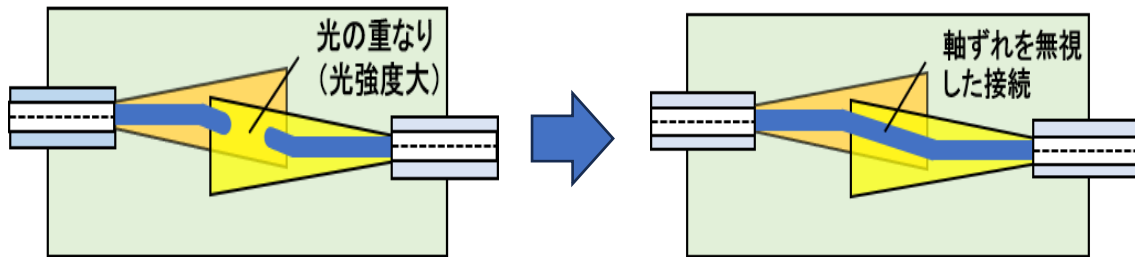


図1 自己形成光導波路の成長現象（光はんだ）

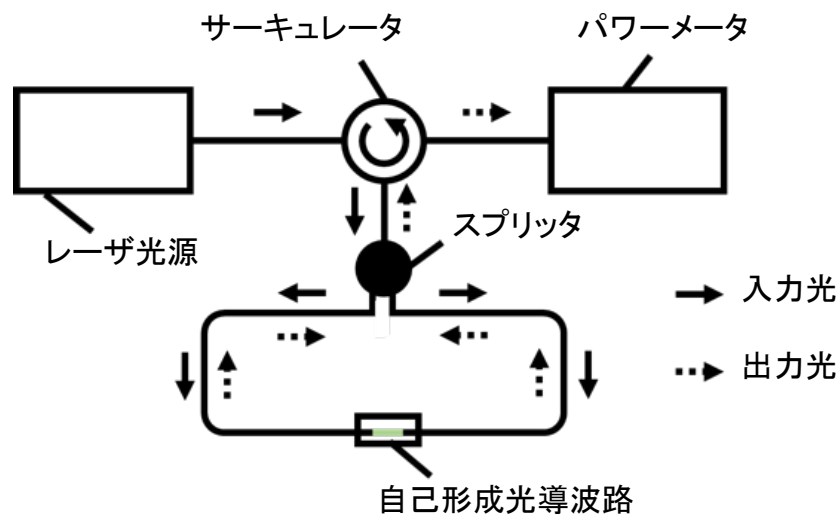


図2 自己形成光導波路と光接続の実験系

(2) 成 果

・ゲル材料（コア・クラッド）の仕様策定と基礎光物性評価による選定

波長853 nmのレーザ光をGI-GOFから混合樹脂に光照射することにより、ファイバ先端から自己形成光導波路が成長し、その成長条件を調べた。その結果自己形成光導波路成長のしきい値は10 μW であり、高速車載光通信の光源出力はまだ規定されていないが、光通信領域での光源出力がmWレベルであることを考慮すると、十分な高感度性が得られていることが明らかとなった。また図3に自己形成光導波路で2本の光ファイバ間を接続した様子を示す。それぞれ、(a) コア&未硬化クラッド、(b) 未硬化部分除去後（コアのみ）、(c) コア&クラッド固化、(d) 軸垂直方向への軸ずれの顕微鏡画像を示す。図3(d)では軸垂直方向に35 μm 変位を与えたが、作製された自己形成光導波路は光ファイバから剥離すること

(別紙1)

なく、光ファイバ端面と導波路との密着性も良好で、柔軟性を維持していた。この結果より、コア材料およびクラッド材料の選定（特にアクリレートモノマーの混合比）の最適化が行われ、損失評価でその適性を調べることにした。

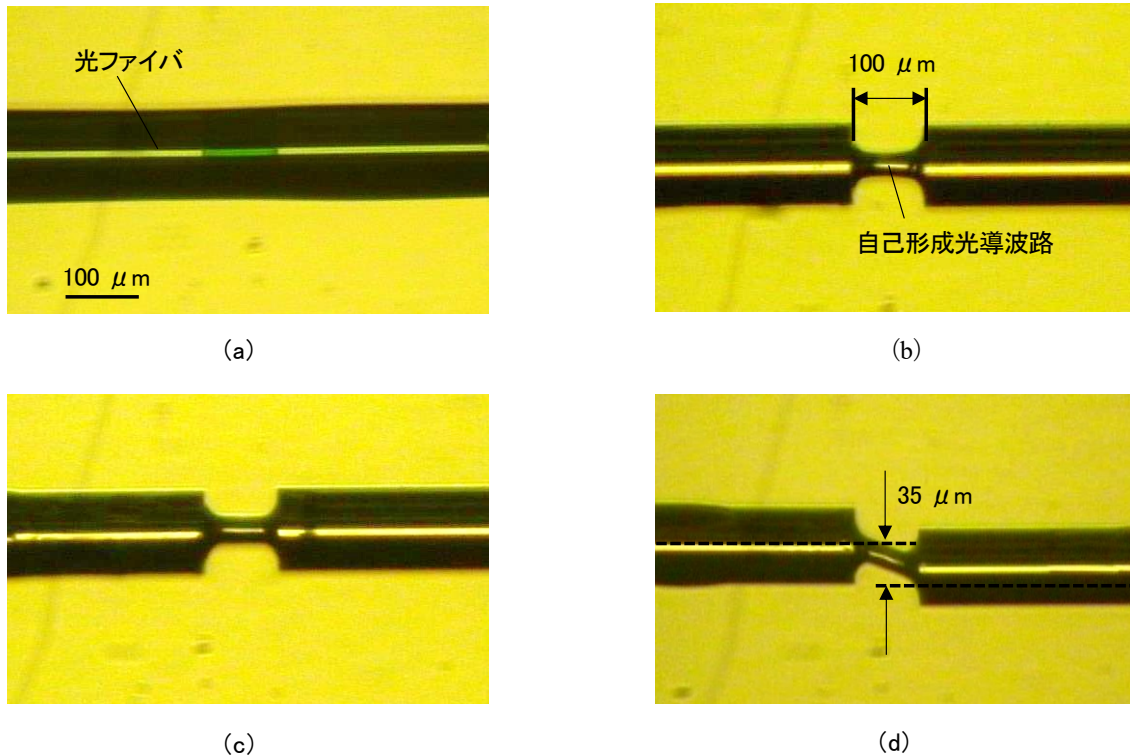


図3 コア径 50 μm の自己形成光接続顕微鏡画像 (a) コア&未硬化クラッド, (b) 未硬化部分除去後 (コアのみ), (b) 未硬化部除去後 (コア&クラッド固化), (c) 軸垂直方向への軸ずれ 35 μm

・自己形成光導波路成長と光接続実証および振動評価

図4に軸ずれがない状態での (a) 空気間隙, (b) コア&未硬化クラッド, (c) コアのみ, (d) コア&クラッド固化の4つを比較したグラフを示す。コアのみに比べるとクラッドを作製することで挿入損失を低減することを確認することができた。(c)のコアのみでは、クラッドが空気であり、コアとクラッドでの屈折率差が大きくなりコア表面の荒れによる散乱損失の影響が大きくなった。この状態は固体クラッドで覆うことにより損失増大を抑制できる。現在のところ、作製された全固体フレキシブル自己形成光導波路は、クラッド部分が約3 μm と薄い、コア表面の散乱を抑えることで挿入損失を抑えることができた。

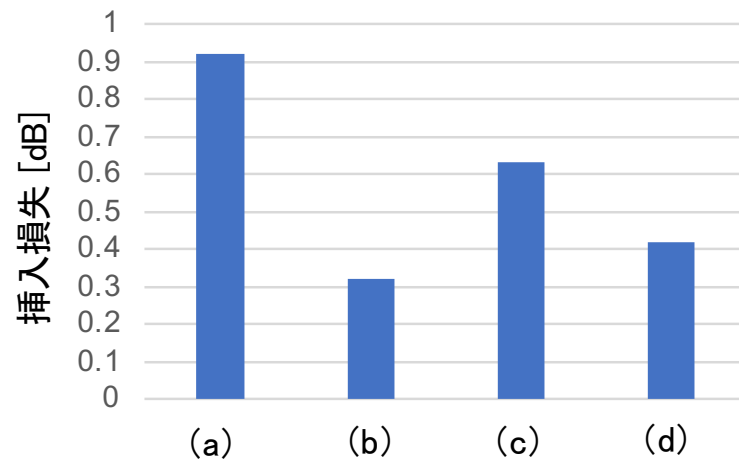


図4 各プロセスにおける挿入損失の比較

また、車載光通信への適用を考慮して、振動試験を実施した。車載環境振動試験は多岐にわたるが、今回は低周波（10 Hz）の初期安定性を調べた。図5の通り、低周波振動を付与している状態でも挿入損失は初期14時間では変化がないことが明らかとなった。薄い固体クラッドでも振動耐性があるが、光ファイバと自己形成光導波路の接触面積が小さいため、さらなる信頼性向上のために光ファイバと同レベルのクラッド厚を検討することが必要になる。

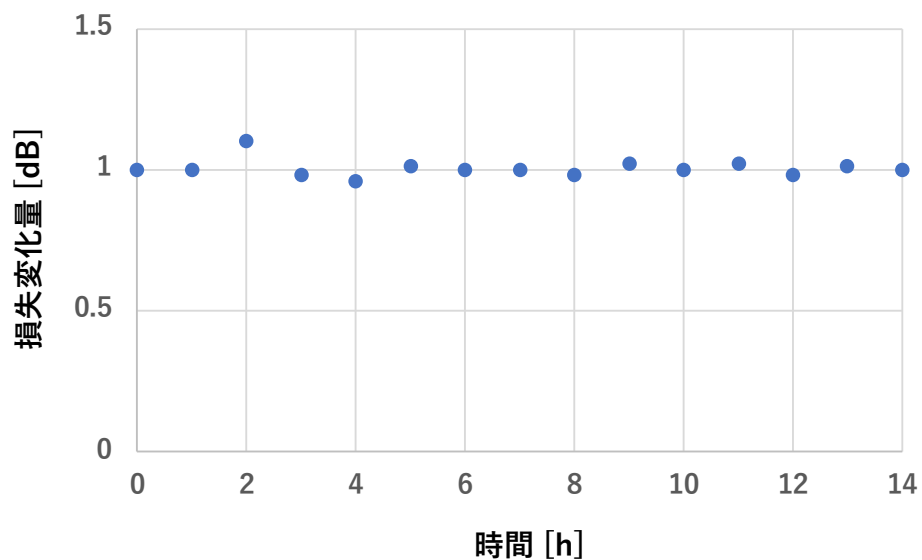


図5 10 Hz振動でのフレキシブル自己形成光接続安定性

(別紙1)

(3) 成果を公表している研究室ホームページ上のURL

(<http://www.oe.utsunomiya-u.ac.jp/sugihara/>)

(4) JKA補助事業バナーを表示している研究室ホームページ上のURL

(<http://www.oe.utsunomiya-u.ac.jp/sugihara/>)

4 事業実施に関して特許権、実用新案権等を申請又は取得したときはその内容
なし

5 今後予想される効果

・ゲル材料を用いた自己形成光接続とフレキシブル高速光データ伝送への展開

本研究は、将来の自動運転車への搭載が期待されている車載光通信に必要な光ファイバ間のフレキシブル自動光接続材料開発、光接続実証、振動試験評価を行っている。樹脂混合比調整によるコア・クラッド材料の開発、自己形成光導波路の成長、全固体自己形成光接続を実証している。また機械的変位を与えた状態で自己形成光接続の保持や、初期結果であるが低周波振動耐性も確認できた。今後は車載環境に適した信頼性試験（耐熱試験や長期の低周波・高周波複合振動試験など）を実施することにより、将来の車載光通信部材として適用することが期待される。

さらに、本部材は車載だけでなく、ソフトロボティクスなどの将来の産業分野にも展開することが期待される。

6 本事業により作成した印刷物（研究報告書等）

・研究成果報告書 1部

・ R. Futawatari, H. Terasawa, O. Sugihara, “Flexible Light-Induced Self-Written Optical Waveguide with 50- μm Core Size”, Appl. Phys. Exp., Vol.17, 022003 (2024) 1編

・ O. Sugihara, H. Kakurai, R. Futawatari, H. Terasawa, K. Kondo, “Flexible optical self-coupling based-on all-solid self-written waveguide technique”, The 31st Int’l Conf. on Plastic Optical Fibers with Applied Micro-Photonics (POF2023), (invited) 1編

(別紙1)

- ・ O. Sugihara, “Flexible fiber-to-fiber optical optical self-coupling using gel materials”, SPIE Photonics West 2024, 12909-15 (2024) (invited) 1編
- ・ 杉原興浩、寺澤英孝、近藤圭祐、「近赤外光硬化性樹脂開発と自己形成光接続の展開」、電子情報通信学会技術研究報告、OME2023-84 (2024) pp.1-2. 1編
- ・ 加倉井隼人、寺澤英孝、杉原興浩、「光硬化性ゲル材料を用いたフレキシブル自己形成光接続」、電子情報通信学会技術研究報告、OME2023-90 (2024) pp.24-27. 1編
- ・ 加倉井隼人、寺澤英孝、杉原興浩、「光硬化性樹脂を用いた全固体フレキシブル自己形成光接続」、第71回応用物理学会春季学術講演会、23p-1BC-4 1編

7 その他

2024年5月にISOME 2024にて発表予定

- ・ H. Kakurai, H. Terasawa, K. Kondo, and O. Sugihara, “All solid Flexible Light-Induced Self-Written Optical Interconnection”

2024年7月に電子情報通信学会ポリマー光部品研究会にてチュートリアル講演予定

- ・ 杉原興浩、「光インターコネクトにおける光接続のブレークスルーを考える」