

緒方 直哉・堀之内 英

目的別テーマ：DNA光ファイバーの研究

研究テーマ

15-4-5：海洋生物由来DNAからの高性能光ファイバーに関する研究

Novel Optical Fibers of High Performance Derived from Marine DNA

ABSTRACT

Naoya Ogata and Suguru Horinouchi,
Chitose Institute of Science and Technology(CIST)

Developments of novel photonic materials derived from Salmon DNA was carried out at CIST to investigate on optical characteristics of DNA films which were greatly improved by intercalating organic dyes into base pair layers of DNA molecules. DNA optical fiber was fabricated by melt processing of DNA-lipid complexes which were doped with organic optical dyes into the DNA fibers. Results on fluorescence light emission of the dye-doped DNA fibers showed a great amplification effect due to DNA interactions.

研究目的

DNA分子は二重らせん構造を取り、そのらせんの中には遺伝情報を持った核酸塩基が層状に積み重なっているが、この層状構造の中に芳香環化合物が挿入されていわゆる層間化合物（インターカレーション）を作ることが知られている。光の波長変換や光増幅などの光学的性能を有する有機色素類は芳香環化合物であるので、DNA分子の中にインターカレートされて安定な層間化合物を作るばかりでなく、色素の光機能が大きく増幅されることを見出した。本研究はDNA-光学色素複合体を紡糸することによってこれまでにない新しい光増幅型の光ファイバーを作成して、その機能を明らかにして新しい情報通信技術に利用されることを目的としている。

5年間の研究内容と成果

デオキシリボ核酸（DNA）は生体の遺伝子情報を子孫に伝える重要な役割を担っている生体高分子であり、二重らせん構造をとることがWatsonとCrickによって1953年に明らかにされて以来、DNA分子に関しての数多くの研究が展開されている。それらの研究は主にDNA分子の遺伝情報の解明、つまり核酸塩基の配列順位の解折とクローン技術に代表される遺伝子操作による生物改良を目的とするバイオテクノロジーの分野が中心となっている。

DNA分子はポリアニオンであり水溶性でもあるので、このままでは材料として利用するには適当でないが、1996年に東京工業大学の岡畑教授によって対イオンであるナトリウムイオンを四級アンモニウムカチオンである脂質イオン交換することによって水不溶で有機溶媒可溶のDNA-脂質複合体となり、DNA分子が二重らせん構造を保ったまま容易に薄膜やファイバーとなることが示されて以来、一挙にDNAの材料化の研究が進展した。特にこの方法を用いてDNA薄膜中に光学機能をもった色素をインターカレートすることによって優れた光学特性、たとえば波長変換、レーザー発振、メモリー機能などを有するDNA光学材料の開発が国家プロジェクトによって進められていて、新しいDNA光学デバイスの出現が期待されている。

DNA分子の二重らせん構造の中のA-T、C-Gのベースペアが積み重なった層状構造の中には芳香環化合物が挿入されて、いわゆるインターカレーションが起こり層間化合物を作ることによって様々な特性を引き出すことができる点がDNA分子の大きな特徴である。DNA分子に非線形光学色素をインターカレートすると非常に大きな蛍光増幅が起こり、光増幅型材料としての応用が可能である。DNA-脂質複合体は熱分解温度が約220°Cであり加熱することによって押し出し成形は可能であるが、光ファイバーに成形する際には熱安定性が懸念される。そこでDNAとMMAの複合化を行った。

プラズマ反応によるDNAとメタクリル酸メチルの複合型材料の合成は20°Cの低温でも可能で、開始剤

(DBPO)を用いた場合(合成温度 90°C)より穏やかで、また不純物を含むことなく重合が進行することがわかった。さらに、開始剤と加熱による分解反応を比較するために希土類キレート材料である Eu-FOD を溶解させ、ラジカル開始剤を用いた反応とプラズマを用いた反応を比較した。ラジカル開始剤を用いた場合、反応生成物内に不純物として残存するばかりでなく、反応活性な開始剤による高温重合反応のため、有機発光物質の分解が生じていることがわかった。得られたプレホームを溶融紡糸装置にて 170~240°C で熱延伸することにより、ファイバーを作製することが可能である。このファイバーに 355nm の励起光を照射した時の蛍光高度はプラズマ重合で得たファイバーの方が PMMA ファイバーに比べて数倍以上大きくなることを見出した。

DNA は自身の二重らせん構造内に光機能物質を選択的に相互作用させることにより光学的特性を向上できるがこれまで検討してきた DNA 複合材料は固体状態で、その二重らせん構造を完全に維持できないため、十分な三次元的な高次構造を形成できていない。本研究報告では、二重らせん構造を維持した DNA 高分子ゲルを合成するため低温プラズマ法を検討し、その新規な光機能性について検討した。

プラズマ発生装置に連結した平行電極板間に精製したアクリル系モノマー、DNA、架橋剤を入れたガラスアンプル管を挿入し、アンプル管を真空ポンプにて数回脱気後、液体窒素にて冷却しつつ、アンプル上部に存在するモノマー蒸気を利用して 13.56MHz のプラズマを照射し、アンプル管を封管後重合を行った。また、ドープ材料である蛍光色素はローダミン 6 G および希土類キレートである Eu-FOD を使用した。さらに、DNA 高分子ゲル中に有機発光材料を相互作用させた後、吸収スペクトル・蛍光スペクトルを測定し、DNA 高分子ゲルの光機能性について検討を行った。

DNA 等の生体材料および有機光機能性材料等の熱劣化しやすい化合物を含有する場合、従来使用されているラジカル重合法を用いると重合時の高温加熱、開始剤による分解反応、開始剤等の不純物の混在等、光機能特性を劣化させる欠点があり、光デバイスを開発するための問題点となっている(図1)。この問題点を解決するためラジカル開始剤を使用することなく、低温で重合可能な低温プラズマ反応を利用した重合法を用いることによって、熱、化学反応による分解がなく、不純物を含まない光機能性デバイスの作製を目的として研究を行った。プラズマ出力 50W、プラズマ照射時間 50 秒のプラズマ重合条件で作製した DNA 複合体ゲルに有機蛍光分子をドープしたときの、励起スペクトルと発光スペクトルを測定した結果、600nm 付近に発光スペクトルを示すことがわかる。この DNA 光ファイバーは大きな光増幅が起こることが図2に示した。さらにこの DNA 高分子ゲルの励起・蛍光スペクトルを DNA を含有していない高分子ゲルと比較した結果、DNA をドープすることによって蛍光強度を増強できることがわかった。またラジカル重合により合成した DNA 複合体ゲルの蛍光スペクトルを比較した結果、プラズマ重合の方が大きな蛍光スペクトル強度を示した。これは、プラズマ反応が室温以下で重合を進行させることが可能で DNA の機能を損なわずにゲルが合成されていると考えられる。DNA 高分子ゲルは、pH に応答して膨潤度が変化しその発光強度が変化することがわかった。また DNA を含有させた結果、高分子ゲル内において有機発光材料が担持できることもわかった。

高純度 DNA を新しい光材料に転換する科学技術の開発は地域産業の発展に繋がるばかりでなく、我が国及び世界の科学技術の発展に大きな貢献をもたらすと期待される。

光学色素をドープした光ファイバーの性能比較

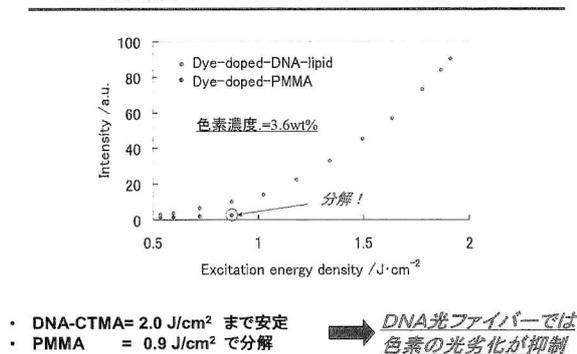


図1 DNA光ファイバーの性能比較

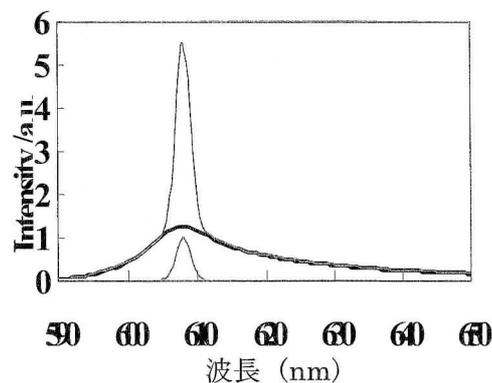


図2 DNA光ファイバーの光増幅