グローイングポリマー

屈折率分布型光学ポリマー材料

NIHEI Eisuke
二瓶 栄輔

屈折率分布型光学ポリマー材料とは、屈折率が均一ではないポリマー材料のことであり、一般的にGI型光学ポリマー材料と呼ばれている（GIとはGraded-Indexの略である）。光線は均一屈折率媒体中では直進するが、屈折率に変化のある場所では、反射や屈折あるいは屈曲を起こす。これまで用いられてきた均一屈折率材料では、その形状（反射や屈折）で光線を制御していたが、このGI型光学材料では形状に加えて屈折率分布によって光線を制御することが可能となる。これは材料設計の自由度をひとつ増すことになり、優れた光学特性を有する素子を作製することができるようになる。例えば、光ファイバーの広伝送帯域化や光学レンズの屈折力の増加、あるいはレンズの球面収差の除去等が挙げられる。

さて、私が高分子研究室に配属され、その後博士の学位を取得するまで携わった研究テーマはGI型ポリマー光ファイバー（GI型POF）であった。これはコアの中心軸から周辺にかけて屈折率が徐々に減少するような分布をもつPOFであり、このようなPOFでは伝送後の波形の変形がないため、直径が1ミリと取り扱いが容易であるにもかかわらず、マルチメディア社会で必要とされるような高速情報伝送特性を有する。当時研究室では、まずGI型の母材（直径3mm、長さ30cm程度）を作製し、これを熱延伸することによりGI型POFを作製していた。しかしこの母材からでは長いGI型POFを作製することができなかった。そこで径の大きなGI型の母材を作製することが私の研究テーマとなった。

初めに取り組んだのは重合容器の大型化である。内径12mm程度のガラス管を用いて光共重合法により母材の作製を試みた。しかし何度作製しても気泡の入った母材しか作製できなかった。

モノマーが重合してポリマーになる場合、20%程度の体積収縮が起こる。そのため作製された母材の中心軸付近には5cm間隔程度（条件にもよるが）に小さな気泡が入ってしまっていた。そこで気泡をなくすためには体積収縮に伴い重合管自体も収縮すればよいと考え、重合容器として熱収縮チューブをかぶせたポリマー管を用いて加熱しながら光共重合を行った。その結果、気泡を取り除くことに成功した。しかし、今度はガラス管を用

①生年 ②大学（院）の研究室名
と研究テーマ ③現在の専門分野

①1962 ②慶應義塾大学大学院理工学研究科 高分子化学研究室（大塚研究室）／低損失・高帯域のGI型プラスチック光ファイバーの研究
③屈折率分布型光学ポリマー材料、光機能高分子、高分子導波路

いた場合と異なり、ポリマー重合管内壁付近で屈折率の分布が乱れることが確認された。そこでさまざまなモノマーや重合開始剤を用いてみたが分布の乱れは消滅しなかった。ところがある日、重合中に光共重合用の紫外線ランプが偶然にも切れてしまったため、加熱だけで母材を作製したところ、屈折率分布の乱れのまったくない母材が作製できているということがわかった。これは紫外線を照射している場合には早い段階で重合管内壁からポリマーが析出するが、加熱しているために重合管内壁自体がモノマー側に向かって膨潤していくために分布が乱れていたのである。加熱のみの場合には膨潤後に重合が進行するため、滑らかな分布となっていた。これで行く研究テーマである太い母材が作製できるようになったのである。

その後修士課程に進学し、同様のテーマで研究を進めることになった。しかし、今度は母材からPOFに延伸するところで壁にぶつかった。母材が太くなったことによる蓄熱効果とポリマー重合管と中心部付近の軟化温度が異なっていたために、加熱延伸操作をすると発泡してしまうのである。そこで軟化温度を制御するために重合管や中心軸付近のポリマーの分子量を変えて母材を作製することにした。しかし思った以上に延伸操作は難しく、結局約300本の母材の延伸に失敗した後、ようやく最適な延伸条件を見だし、修士2年に初めて100mの長さのGI型POFを作製することができた。

博士課程に進学し、今度は実際にGI型POFの光学特性を評価することになった。しかし、応用化学科である当研究室にはファイバーの光学的特性を測定する装置はまったくなく、先生や企業の方に協力していただいてようやく測定が可能となった。その結果、GI型POFは屈折率均一のPOFに比べ、同等の透明性および約100倍の伝送容量を有していることが明らかとなった。

その後縁あって大学に勤務することになり、今ではGI型POFの特性もかなり改善され、また屈折率分布型光学材料もさまざまな用途に展開しつつあるが、研究テーマを実現するためのさまざまな苦労は後々研究を進める上での良い経験になっており、“若い時の苦労は買ってでもしろ”というのが私の信条になっている。

Graded-Index Polymer Materials

（慶應義塾大学理工学部物理情報工学科・専任講師、工博）