

フotポリマー懇話会 ニュースレター

No.83 July 2018



ドイツ化学企業での働き方

元バイエルマテリアルサイエンスAG・指導研究員

川村 浩一

初めに

2010年4月に日本の化学企業からフランスの大学に転職した。フランスは自然豊かなアルザスにある Université de Haute Alsace という大学で、国際フォトポリマーコンフェレンスにたびたび来日されている Prof. X. Allonas 先生の下、3年間ポスドクおよび客員教授として勤務した。その後、その大学と共同研究していたドイツのバイエルマテリアルサイエンスに移り、指導研究員としてケルン近くのレバクーザンにおいてほぼ5年間、光重合開始剤やポリウレタン材料の開発に携わってきた。フランスでは大変親切にしていた Allonas 先生の思い出も多くあるが^{1,2)}、ここでは5年間の企業研究での体験を踏まえドイツと日本との働き方の違いについて述べたい。

短時間労働・長期休暇

バイエルは医薬・ヘルスケア部門、農業部門、および化学材料部門の三本柱からなる150年の歴史をもつドイツを代表する化学会社で、バイエルマテリアルサイエンスはその化学材料部門である。その中で私はホログラフィーフィルムの研究・製造している部門で³⁾、光重合開始剤の合成と光反応解析を担当した。実験室は広くて整理されており、また安全面でも十分配慮された設計であった。

そこで実際、働いてみると、ドイツと日本との働き方に大きく違いがあることを体感できる。職場では人々は午後4時頃から帰り初め5時に職場に残っている人は3-4割程度。午後6時になると守衛さんが廊下の電気を消灯し、午後7時になると玄関がロックさ

れてしまう。つい気が付かず7時過ぎまで働いていると大きな建物の中で残っているのは一人だけ、慌ててロックを解除して外に出るハメになる。金曜日だとさらに時間が早まり、4時頃には大半が帰ってしまっている。人々は帰宅して家族と過ごすのを楽しみにしている。また30日の有給休暇でバカンスを過ごすことを思いながら楽しく仕事をしている。いままで日本で汲々として働いていた違いに驚かざるを得ない。どうしてこれほど違うのだろうか？

ドイツの短時間労働は書物などでも良く取り上げられている^{4,5)}。日本では36協定により残業の制限が緩められているのと異なり、ドイツでは「労働時間法」により、原則として10時間以上働くことが禁止されており、部下の10時間以上の労働や日曜・祝日の労働（一部を除く）は上司が処罰の対象になる。それと同時に6か月の平均労働時間は一日当たり8時間を超えてはならないとされている。実質残業ゼロであり、「働き方改革国会」で議論されている内容との大きな隔たりにため息が出る。

休暇も入社して直ぐは10日しか与えられない日本に対して、バイエルでは私のような新入社員にでも30日の休暇が与えられ、上司からも必ず100%消化するように指導された。付け加えるに有給休暇はあくまでも休暇のためであり、病気などは30日とは関係なく休める。またその他にも、家族の世話、結婚記念日、家族の誕生日なども別に休めるようになっていたのを見て驚いたことがある。日本のように病欠が有給休暇に含まれているようだと安心して休暇が取れないのが現状ではないだろうか。私は一昨年、10日間ほどイン

フルエンザで休んだが、これとは関係なく一ヶ月の休暇を取り、例年のごとく日本に一時帰国して家族と一緒に過ごすことができた。単身でドイツに長期に働いたのもこの長期休暇のおかげである。私の周りの人も思い思い自由な時に2-3週間の単位で年に2-3回休暇を取っており、休みますと楽しそうにいうと、それを聞いた人々は次回は私の番ですよという意味を込めて“良い休暇を (Schönen Urlaub!)”と言ってニコツとするのが習わしである。

仕事よりも個人・家庭

日本でこの話をする、こんなに休んでよく会社がかうまく回るのかと不思議がられる。その理由として私の体験からは大きく2つを挙げることができる。一つは“効率よく成果を上げる仕組み”があるということと“仕事よりも家庭・個人が大切”という社会的な共通した基盤概念があるということである。私は、この“仕事よりも家庭・個人が大切”という意識が、生産性を上げないといけないという仕組みに自然と繋がっているのではと思う。たとえば帰宅するときに日本人は“お先に失礼します”というが、これに対応するドイツ語はない。皆、“よい仕事の後の時間を (Schönen Feierabend)” といってさっさと帰る。“お先に失礼します”という言葉には、仕事の成果よりも周りに対する配慮、会社に対する忠誠心を大切にしている日本人の気持ちを表し、それに対して“よい仕事の後の時間を”という言葉には仕事を割り切り、家庭・個人の生活を第一にするドイツ人の考えを表しているものと思える。当初はずいぶん違和感を持ったが、しばらくしてこれがドイツなのだ実感した。早く帰るために集中して仕事をするのである。

ドイツでは上司も部下も関係はフラットで自由な意見交換がある。ドイツでは会社内で名前はすべてファーストネームで呼び合う。またお互い話すときは親称を表す du (君) を用いる。以前上司に敬称を表す Sie (あなた) で話していたら、親称を表す du を用いて話すように注意された。相手が社長であっても、日本のように社長殿などのへりくだった言い方はしない。以前、会社のレストランに行く途中でバイエルの CEO である Marijn Dekkers にすれ違った若い社員が“ハイ、Marijn!” と気楽に声を掛けていたのを思い出す。部下も上司も Du と呼び合い、お互い対等の人間として堂々と議論をする。上司に対して遜る日本人の態度と大きな隔りがある。小さな会議でもまた数百人が集まる期末成績発表会でもしかりである。上司と部下との関係は常にフラットであり、遠慮のない議論がよりよい企業風土を醸成し、生産性向上に繋がっているのではないだろうか。

会議に費やす時間は日本と比べてうんと少なくなった。報告は上司へ週一回の報告、それと、1-2か月

に一回のプロジェクトミーティングへの出席のみ。プレゼンはパソコンからの投影で行われ、資料はすべて共通フォルダーに保存される。紙の資料を準備したこともない。仕事の課題は各自明確にされており、それ以外のテーマで時間を取られることも無かった。仕事が多くて困っていると言う上司に手伝おうかと聞いたところ、彼は私に“君の課題に集中してくればよい”との返事。面倒な資料を部下に作らせる部長もいなし、威張りもしない。仕事は各自の持ち分が決まっている縦割り型で、ホームオフィスを含め各自が自分で時間を調整しながら仕事を進めることができる。日本と比べ自分の時間が大幅に増え、与えられた広い個室で集中して考えることができたのは研究者として幸せであった。



インターンシップ日本人学生と、バイエルにて (2014.8)

最近、日本でも残業を少なくするため“ノー残業デー”を設けたり、仕事のスケジュール化などの業務の効率化が図られたりしているようであるが、実は、それが逆に労働者に過度のストレスを与えることになってはいないだろうか？当時、バイエルで私と一緒に仕事をしていた若い作業員は、私なら1-2時間で終わるカラムクロマトグラフィーを、ほぼ半日かけてやっていた。効率を上げるため上司に彼を指導したいと申し出たところ、“彼は化学専門学校で学んだことにプライドを持っている。指導しても良いが彼の人格を損なわないように”と言われた。上からの押し付けではなく現場の実情に合わせまた、その仕事をする人の個性も尊重しないと本当の効率化はできない。上からの無理矢理のやり方は、社員に余分なストレスを与えるだけで、真の生産性向上には繋がらない。上司は部下に生産性向上の課題を放り投げるのではなく、従業員の本物の幸せの向上のために解決策を全員で考えるべきである。

自分たちで風土・文化変えよ

ヨーロッパに8年間住んで日本に帰ってくるといろいろなことに気づく。正確な電車、ゴミのない街。親切でテキパキとした役所やお店、盗難の少ない安全な生活環境。今までいつも注意を払って緊張しながら生活をしなければならなかったヨーロッパに比べて、何という安心感のある国だと改めて日本の良さを感じる。しかし、しばらく暮らしてみると、夕方に子供と遊ぶ親の姿をほとんど見かけないのに違和感を持った。また周りの若い人と話すにつれ、残業の多さ、家庭で過ごす時間も少なく、日曜でさえ働かなくてはならない労働環境が依然としてあることを知った。昔とあまり変わっていないことに悲しく思う。

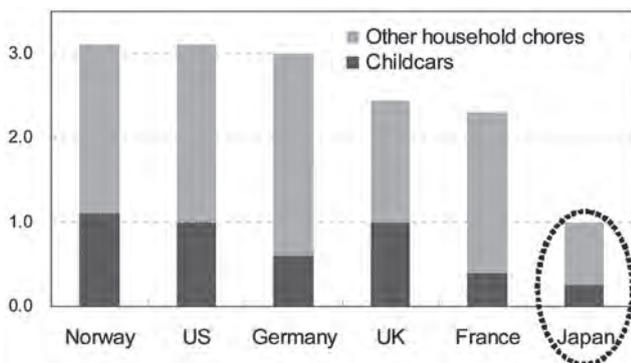


図 Average No. of hours per day fathers spend on household chores and childcare⁶⁾

“礼儀正しさ”、“正確・勤勉”、“周りとの協調性”、などの日本人のもつ良い考え方の面の中に、長時間働いてしまうことを助長する要素があるのではないだろうか。“頑張る人が出世する、効率的な人は疑われる”雰囲気がないだろうか。“お客様は神様です”という過剰なサービス意識が逆に自分たちの生活を苦しめていないだろうか。日本社会全体が、フランス人のような時間的な寛容性をもう少し持てばもっと余裕ができるのと思う。

“仕事よりも家庭・個人が大切”を基本に考え方を換え、職場全員で真剣に取りくめば、それぞれの職場に合った生産性を上げる手法も見つかるのではなかろうか。少しずつでも自分たちで変えていくべきである。政府による労働法の改正を待ってはいつまでも埒があかない。最近、新聞などでは働く人の幸せを求めて社内改革に取り組み始める“ホワイト企業”がいくつか紹介されている。古いDNAを捨てて新しく自由で創造的な風土を作っていくと働く人は疲弊し、競争の激しい国際社会の中で会社の競争力は低下し、日本の企業はますます成り立っていかないのであるとひしひしと肌を感じる。そのためには会社だけでなく、働く側にも意識の改革や、風土を変えていく努力が必要であろう。

紙面の関係で多くは触れることができなかったが、もしできるなら企業の方と“働き方改革”に向けて直接に議論できれば嬉しく思う。またバイエルとの個人的なつながりもあり、学生の方は、バイエルでのインターンも可能である。希望の人がいればぜひ声を掛けていただきたい⁷⁾。実際に生産性の高いドイツでその違いを体験できるであろう。本稿がすこしでも日本の働き方を変えるヒントとなれば幸いである。

参考文献

- 1) K. Kawamura, C. Ley, and X Allonas, *Chem. Eur.J.*, 2013, **19**, 12853-12858
- 2) K. Kawamura, C. Ley, and X Allonas, *J. Poly. Sci. part A*, 2013, **51**, 4325-4330
- 3) Bayfol-HX. <https://www.bayer.com/en/bruder.pdf>
- 4) 「5時に帰るドイツ人、5時から頑張る日本人」熊谷徹, 2017, SB新書
- 5) 「6時だよ、全員退社」田中健彦, 2017 日本経済新聞社
- 6) <https://shaundacosta.wordpress.com/2013/03/23/japanese-gender-inequality-and-the-demographic-time-bomb-the-costs-of-hard-work>
- 7) 連絡先 koichi054@ybb.ne.jp



【研究室紹介】

東京工業大学物質理工学院材料系 ～自己組織化技術に立脚した精密高分子材料の開発～

教授 早川 晃鏡

はじめに：

東京工業大学物質理工学院材料系・早川研究室では、高分子の精密合成と高次構造制御を主体とする、機能性自己組織化材料の開発に関する研究に幅広く取り組んでいます。早川研における研究内容の紹介の前に、少し紙面を頂き簡単な自己紹介をさせていただきます。

私は、2000年3月に山形大学の上田充先生（現・東京工業大学（以下、東工大）名誉教授）の御指導を受け博士号を取得しました。上田先生の研究室では、脱水素反応によってアトムエコノミカルにポリマーの合成を行う酸化カップリング重合や、研究室オリジナルの縮合剤を用いた芳香族カルボン酸の温和な条件における活性化と、その後の高選択的縮合反応を利用する化学選択的重合などに取り組み、重縮合の基礎を広く学ばせて頂きました。博士課程在学中には、上田先生の温かい後押しを受けて、Cornell大学のProf. Christopher K. Oberの研究室に1年と2ヶ月間ほどの留学の機会を得ました。Ober研究室ではブロック共重合体の合成と、自己組織化マイクロ相分離構造の基礎を勉強させて頂きました。博士取得後は、当時の通産省工業技術院物質工学工業技術研究所（現・産業技術総合研究所（産総研））に職を得て、高分子の精密合成を基盤とした高次構造形成と材料応用を目指した研究に従事しました。改組により産総研に所属を置くようになってからは、国家プロジェクトの一つであった産官学共同実施の「精密高分子技術プロジェクト」に軸足を置き、プロジェクトリーダーの中濱精一先生（東工大・名誉教授）の御指導の下、ポリマー薄膜の表面・界面構造制御技術チームに所属し、異なる長さスケールの複数の秩序構造が自己組織化によって一挙に形成される階層構造ポリマー膜の創成に取り組ましました。プロジェクトにおける共同研究では、特に九州大学の梶山千里先生、高原淳先生、田中敬二先生のグループにたいへんお世話になり、高分子薄膜におけるポリマーの振る舞いや表面界面における構造制御、ならびに解析技術について御指導を賜りました。その後、2003年10月より東工大に異動しました。ポリイミドやハイパーブランチポリマーを先導されていた柿本雅明先生（東工大・名誉教授）の研究室の助手として従事した後、2009年から准教授として早川研を立ち上げる機会を得て、昨年2017年から教授として引き続き研究室を主宰させて頂いています。この10年間ほどは、特にブロック共重合体の薄膜における自己

組織化構造を巧みに利用する次世代半導体リソグラフィ用レジスト、すなわちブロック共重合体（BCP）リソグラフィ材料の開発、燃料電池の高分子電解質膜・触媒の開発、絶縁性高熱伝導性エポキシ樹脂の開発、縮合系高分子による高周期性メソポーラス材料の開発などを中心に研究を展開して来ました。研究室を支える基盤技術は、上田先生の御指導を受けてから一貫して、精密高分子合成と高次構造制御に基づく有機高分子の自己組織化です。高分子の醍醐味の一つである自己組織化を技術として利用し、工学応用に向けた研究に取り組むことに興味をもっています。ここでは、ブロック共重合体リソグラフィ材料の開発と、縮合系高分子による高周期性メソポーラス材料の開発を取り上げさせていただきます。

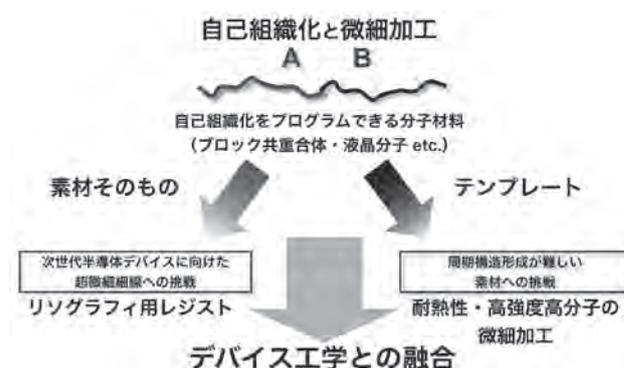


図1. 早川研究室における自己組織化と微細加工への取り組み

高信頼性超微細ブロック共重合体リソグラフィ材料の開発：

今では生活必需品の一つと言っても過言ではないスマートフォンやパソコンの性能は驚くほどに優れ、大容量の情報をスピーディに取得し活用することができます。これは、正しくエレクトロニクス技術の進展によるものであり、特に半導体の微細加工技術を駆使した集積回路の高性能化が原動力となっています。高集積化には回路パターン幅の縮小が鍵を握っており、次世代には10ナノメートル以下の（sub-10nm）パターン幅の実現が期待されています。

このような背景の下、早川研では精密合成高分子の自己組織化現象と誘導自己組織化（Directed Self-Assembly, DSA）を活用するリソグラフィ技術、すなわちBCPリソグラフィ技術に着目しています。要求特

性に応じたBCPの分子構造設計、アニオン重合、制御型ラジカル重合による精密重合、熱処理のみによるドメインの配向配列制御、ドライエッチングによるパターンへの創出と構造解析に至るまで、材料の最適化に横断的に取り組みながらの材料研究開発を実施しています。

BCPリソグラフィの基盤技術は、BCPの薄膜におけるマイクロ相分離構造の創出とそのドメインの配向制御にあります。中でも、ラメラ状ドメインの基板面に対する垂直配向制御は最重要課題の一つです。従来のBCP材料の多くは、sub-10nmの超微細パターンを創出するのに適したマイクロ相分離ドメインが形成されるものの、ドメインの垂直配向は達成できないことが通例でした。これは、BCPの分子構造設計において、ドメインの微細化と垂直配向制御の両立がトレードオフの関係にあるためです。早川研では、BCPを構成する各々の高分子の表面自由エネルギーを近似させるとともに、成分間の斥力相互作用を最大限に引き出す独自の分子構造設計指針を世界に先駆けて打ち立てました。最近では、この指針に基づいて合成したBCP材料がラメラ状ドメインの垂直配向を実現し、高い信頼性の下にsub-10nm幅のパターンを容易に創出することに成功しています。

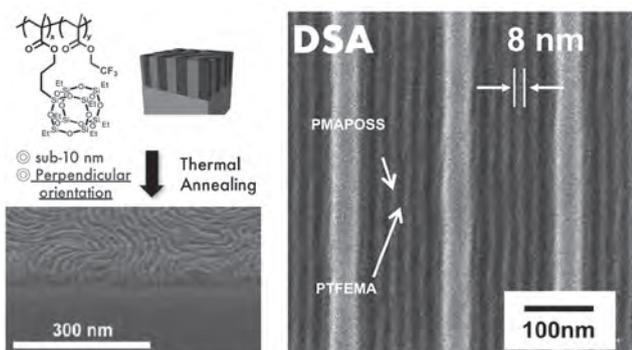


図 2. 超微細ブロック共重合体リソグラフィ材料の一例

縮合系高分子による高周期性メソポーラス材料の開発：

全芳香族系ポリアミドやポリイミドに代表される縮合系高分子は耐熱性、機械的強靱性、電気絶縁性に優れた高分子材料であり、スーパーエンジニアリングプラスチックとしても航空宇宙材料や電子材料等を中心に幅広く使用されています。しかしながら、逐次重合に基づく縮合系高分子の合成では、一般に分子量、分子量分布、組成比等の一次構造の精密制御が未だ難しい状況にあります。すなわち、先に紹介したBCP合成の達成と高い周期性を伴うマイクロ相分離ナノ構造の利用や材料への応用は考えられて来ませんでした。早川研では、研究室で蓄積してきたBCP研究の知見を活かし、縮合系高分子であっても周期性の高いナノ構造の形成を実現し、本来有する優れた性質を活かした

新しい機能性材料の研究に取り組むことにしました。

一例として、ポリイミドのナノ構造制御とそのポラス化に取り組んでいます。アイデアはいたってシンプルで、また目的とするナノ構造の創出もとても簡単です。ポリイミドの前駆体である全芳香族ポリアミド酸と、親水性ポリマーと疎水性ポリマーで構成された両親媒性BCPを溶液にて混ぜ合わせた後に、溶媒を除去し熱イミド化を行うのみです。ポリアミド酸を構成するアミド基やカルボキシル基、あるいはエーテル結合基などと、BCPを構成する親水性ポリマーとの良好な相互作用に着目し、その自己組織化過程で形成されるBCPドメインに選択的にポリアミド酸を取り込ませることが鍵を握っています。すなわち、両親媒性BCPをナノ構造形成におけるテンプレートに用いています。これにより、厳密には単体のポリイミドではないものの、ポリイミドを主材とした高周期性ナノ構造の形成が容易に実現できるようになりました。さらに、BCPとポリイミドの熱分解温度の違いを利用し高温で熱処理を行うと、テンプレートのBCPのみが取り除かれたポリイミド膜のメソポーラス化を実現することができます。元々あった周期性の高いナノ構造をそのまま残すことができる点は高い耐熱性と構造安定性に優れた全芳香族縮合系高分子の特徴が反映されています。さらに興味深いことには、1000℃を超える高温で熱処理を行うことで、メソポーラス構造を残したまま炭素化を図ることもできます。これにより、ポリイミド骨格に元来ある窒素原子が組み込まれた含窒素メソポーラスカーボン材料としての応用が期待されます。窒素によって活性化された炭素が多様な機能を発揮することで、固体触媒などを中心とした新しい材料へとガラリと様変わりすることを願いながら研究を進めています。

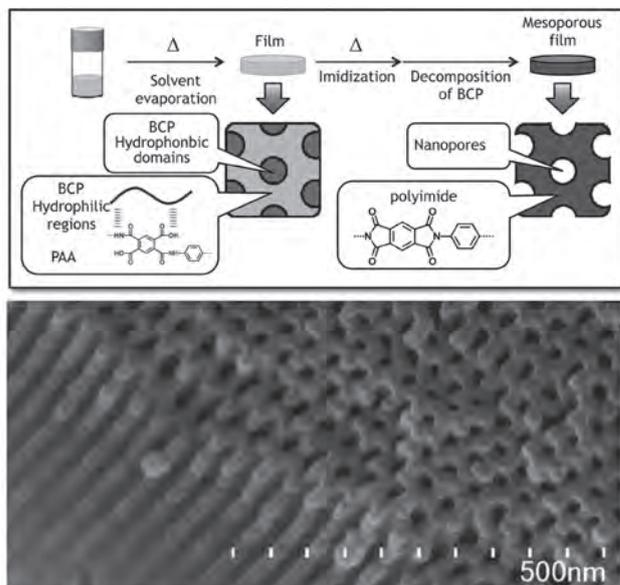


図 3. 高周期性メソポーラスポリイミド膜の開発の一例

以上は早川研で実施している研究テーマの一例に過ぎません。早川研では、他の研究テーマも含めて円滑に研究を進めるために、研究室所有のNMR、酸素プラズマエッチング装置、膜厚測定機器、小角X線散乱装置、広角X線回折装置、高速原子間力顕微鏡、偏光顕微鏡、熱分解測定装置などを駆使した高次構造制御と構造解析に力を入れています。そこで得られる結果と知見を元来得意とする高分子合成に迅速にフィードバックしながら、日々の研究に取り組んでいます。

これらの研究を通して、分子自身が本来もつ潜在能力を最大限に活かすことができる他に類を見ないテラーメイド材料の開発も目指しています。自己組織化

を利用するとわずかなエネルギーで目を奪われるほどの美しい構造が瞬間に出来上がります。自然界で作りに上げられる神秘的な構造にも多くのことを学びながら、工学的に利用できる機能や物性を丹念に追求し、エネルギーや環境問題に関わる新しいデバイス材料の創成を世界に先駆けて取り組んでいきたいと願っています。我々の研究室にご興味をもって下さる研究者の方がおられましたら、ぜひご遠慮なくご一報下さい。大学の一研究室としてお役に立てることや、大学・企業を問わずに幅広く共同研究としてご一緒に取り組めますことを歓迎しています。

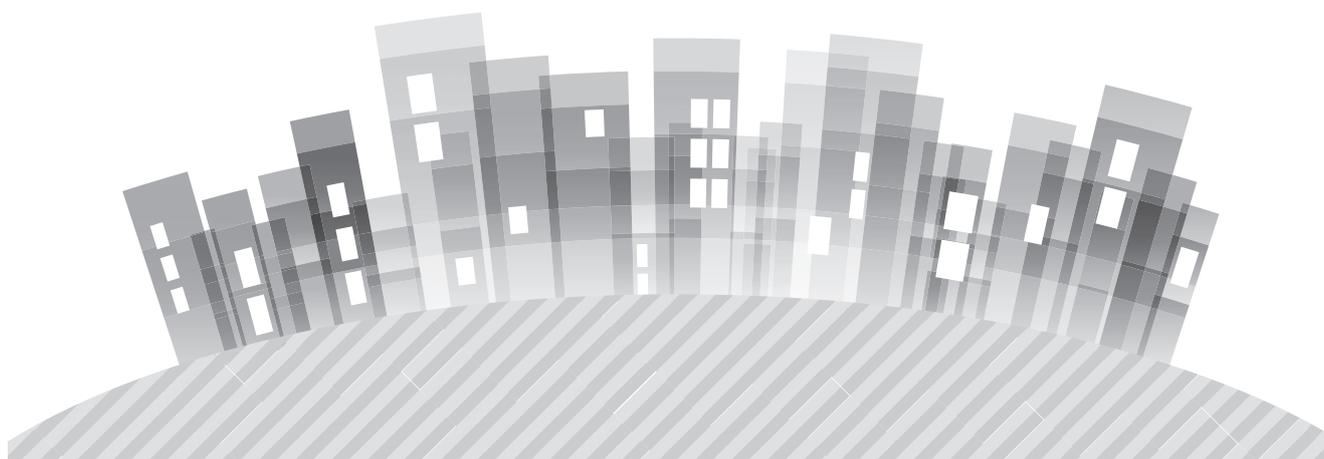


図4. 研究室の集合写真

最後になりますが、研究室の運営は紛れもなく助教の難波江裕太先生、秘書の神戸ちさえ様、卒業生を含む早川研の学生諸君らの大きな支えによって成り立っています。このことに心からの御礼と深い感謝の気持

ちを添えて、本研究室紹介を結びたいと思います。拝読を頂き、ありがとうございました。

email:hayakawa.t.ac@m.titech.ac.jp



【新製品・新技術紹介】

近赤外光を利用する硬化システムの開発

サンアプロ株式会社 研究所 白石 篤志

1. はじめに

従来、フォトポリマーに用いる光源は通常高圧水銀灯やメタルハライドランプといった、紫外線領域の波長の光を照射するものが利用されてきた。比較的安価であり、かつ照射エネルギーが大きいといった利点から、各種コーティング、インキ、接着剤などの用途に利用されている。近年では環境負荷低減の観点から、LEDを光源とする硬化システムの検討が進んでいる。

ところで、フォトポリマーに対する要求は近年複雑化しており、例えばコーティングやインキなどの用途では、紫外線を吸収、遮断する材料を硬化系に組み込む場合があり、従来の波長領域の光源を用いても硬化が不十分なことがある。このような要求に対応するため、開始剤の長波長化が図られている。我々は可視光領域に吸収をもつ材料を硬化系に組み込むことを想定し、さらに長波長である近赤外光に着目しこれを用いる光硬化系の検討を行っている。

2. 硬化システムについて

本硬化システムを次のように考えている(図1)。近赤外光に感光するための増感色素、および反応を開始するための開始剤が必須となる。まずこの色素が近赤外光を吸収し励起状態となる。吸収したエネルギーのほとんどが熱として失活してしまうが、一部は蛍光を発するものがある。このような色素を用い、電子受容性の高いヨードニウム塩を併用することで励起状態からの一電子移動を可能にしている。これにより種々の反応を開始できることになる。

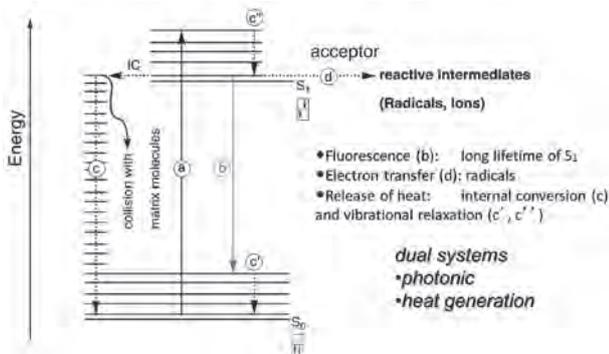


図1. NIR硬化システムの考え方

本系において励起した増感色素は電子移動後速やかに分解し、プロトンを生成する。カチオン重合系にお

いてはこのプロトンが重合を開始する。また、電子移動後のヨードニウムカチオンはさらに分解し、ラジカルを生成する。ラジカル重合系の場合、このラジカルが重合を開始する(図2)。

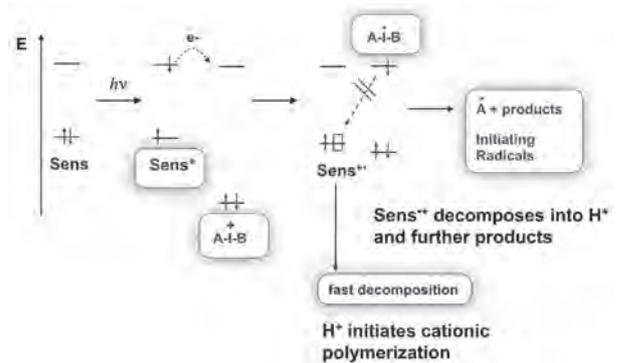


図2. 反応開始メカニズム

さらに、増感色素の電子移動～分解の過程において、逆電子移動は起こらず非常に効率が良い。また、分解により増感色素の分子構造が変化することで吸収特性が変わり、元の吸収がなくなる、いわゆるフォトブリーチング効果も得ることができる。このため、厚膜での硬化も可能となる。組成検討により、10mmを超える膜厚での硬化が可能となっている(図3)。

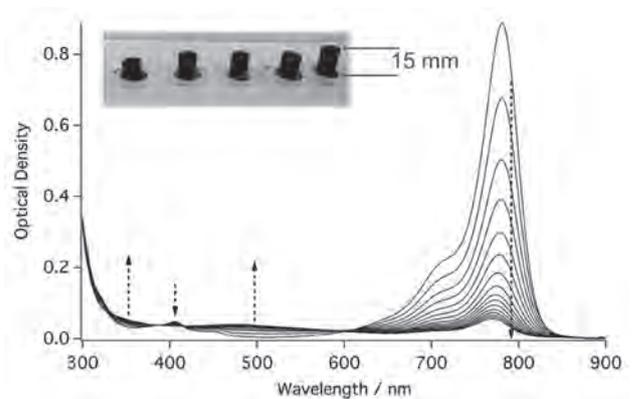


図3. フォトブリーチングと厚膜硬化

3. 光源について^[1]

紫外線領域でのLED光源は実用化も進んでおり、発光強度の高いものも開発されている。我々は一般的なセンサーや熱源としての広帯域な近赤外光源でなく、フォトポリマーへ利用可能な比較的発光強度の強

いLED光源での検討を進めている。幸い、LEDタイプで高出力なものが複数の波長にて入手可能になり、増感色素の吸収波長とのマッチングの観点で選択できるようになってきている。

4. 増感色素について^[1]

近赤外領域に吸収を有する化合物の代表例としては、シアニン系色素がある。この化合物はその剛直な骨格からモノマーに対する溶解性に乏しく、増感剤として適用が難しいことがあった。我々は吸収特性を損なうことなくモノマーへの溶解性に優れた化合物を見出し、これにより種々のフォトポリマーへの検討が可能となった。

5. 開始剤と反応性^[1]

増感色素と共に反応開始のための開始剤を共存させることで硬化可能となる。開始剤としては、励起した増感色素から電子を受け取ることができる化合物が対象となる。我々はラジカル硬化系およびカチオン硬化系双方で利用できるヨードニウム塩、中でもカウンターアニオン(図4)が反応性に与える影響について詳細に検討を行った。

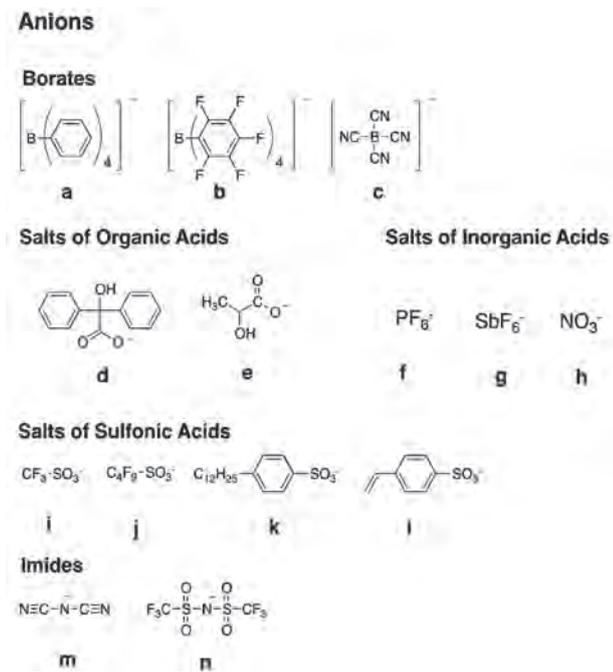


図4. 検討アニオン種

まずスクリーニング的に共役酸の酸強度の影響を調べたところ、カルボン酸やスルホン酸といった有機酸アニオン、硝酸、ハロゲン酸のような無機酸アニオンでは非常に感度が悪く、カチオン重合で用いられる強酸アニオンやイオン液体を構成する非求核性アニオンが効果的であることが分かった。

さらに検討を重ねた結果、モノマー中でのヨードニ

ウム塩の溶解状態が反応性に寄与していることが判明した(図5)。

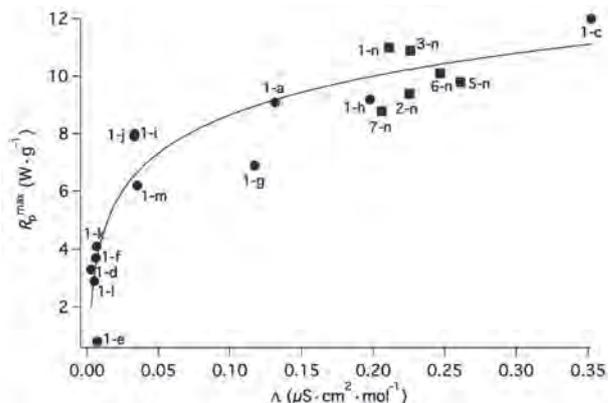


図5. 電気伝導率と反応性の関係

すなわち、各種アニオンを有するヨードニウム塩を溶解させたモノマー溶液の電気伝導率(Λ)を測定し、モノマーへ溶解させた塩の会合状態を評価した。反応性については、ラジカル重合系にてフォトDSCを用いて重合速度の解析を行い(Rp^{max})、アニオンの影響について比較している。図5より、電気伝導率が高い値を示すアニオンが、反応性に優れる傾向にあることが分かる。

この傾向について以下のように考えている。溶解性が乏しい塩では、一見溶解していても塩の十分な解離は起こらず、会合状態にあると考えられる。一方で十分に解離状態にあるイオンでは、イオンの移動が起こりやすく電導度が高い。その結果、増感色素との相互作用が起こりやすくなるため、電子移動が起こりやすくなり、より効果的に反応を開始すると考えられる(図6)。

実際、光照射前の状態においてモノマー中でヨードニウム塩と増感色素の相互作用により、僅かではあるが吸収スペクトルのシフトが認められる^[2]。

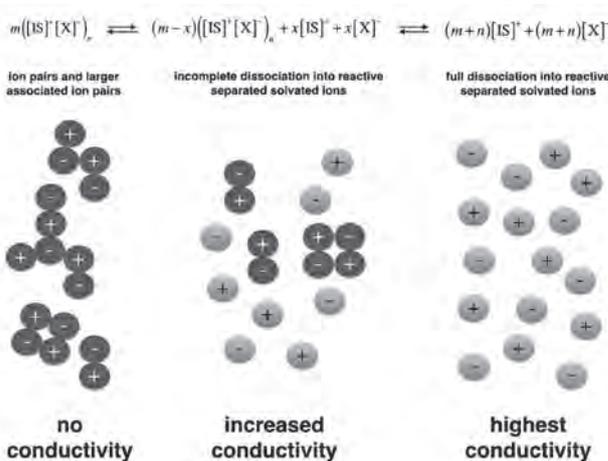


図6. モノマー中での会合状態(模式図)

6. カチオン重合について^[3]

本開始剤系にカチオン重合性モノマーを用いることでカチオン重合が可能かどうか、まず近赤外光照射による酸の発生を確認することにした。すなわち、ヨードニウム塩と増感色素を溶解した溶液に近赤外光を照射し、そこへ指示薬ローダミンBを添加し、発生した酸(H⁺)を補足し、赤色に着色することでその酸の発生を確認した。

次に実際にカチオン重合を試みた。今回アジリジンユニットを複数有するポリアジリジンを用いてそのカチオン重合性を検討した。アジリジンは窒素原子を有する三員環化合物であるが、その強い求核性ゆえ、カチオン重合が進行することが知られている。今回三官能アクリレートモノマーから誘導される三官能アジリジン(PZ-33)を用いた。PZ-33と共に増感剤(S1)、ヨードニウム塩(2)からなる組成物に近赤外光(NIR)を照射し、IRを用いて反応を追跡したところ、確かにアジリジン基固有ピーク(730cm⁻¹)の減少が確認され、カチオン重合の進行が認められた(図7)。

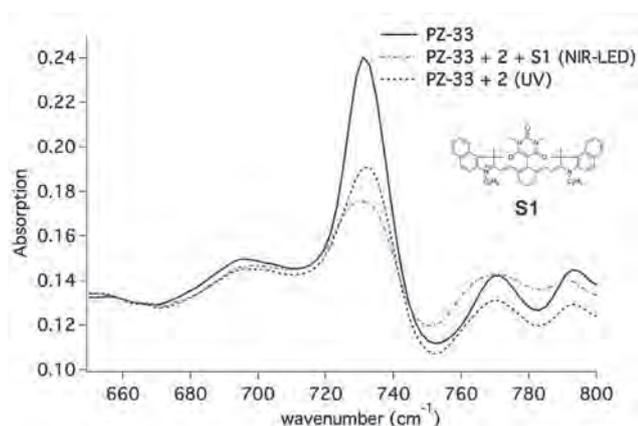


図7. カチオン重合性

7. 応用例^[4]

このような近赤外光を用いた硬化システムの応用例として、粉体塗料への応用を試みている。粉体塗料の大まかな工程としては、基材への塗布-熱融着-光(熱)硬化反応となる。本硬化システムの適用により、熱融着工程の省略に成功している。すなわち、光反応のための増感色素の他、熱発生のための増感色素(さらに長い波長をもつ)を併用し、各々に適した波長の光を照射させることで、一度に溶融-硬化を行うことができることを確認している。しかし大面積で行う光源がないなど、実用化にはまだまだ超えるべき課題が多い。

8. 最後に

基礎検討を通して、近赤外光を用いたフォトポリマーへの応用可能性について検討を行ってきた。今後どのように応用展開していくのが課題となる。近赤外光は紫外線に比べエネルギーが弱いため、フォトポリマーへの適用は困難であると思われるが、生体透過性が高いという従来のフォトポリマーで用いられてきた光源にはない特長を有しており、一般的なフォトポリマーへの展開のみならず、新しい用途へも挑戦していきたいと考えている。

謝辞

本研究はNiederrhein大学(独) B.Strehmel教授とその研究室の皆様との成果であり、深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] T. Brömme, D. Oprych, J. Horst, P. S. Pinto, B. Strehmel, *RSC Adv.*, **5**, 69915-69924 (2015).
- [2] C. Schmitz, A. Halbhuber, D. Keil and B. Strehmel, *Prog. Org. Coat.*, **100**, 32 (2016).
- [3] A. Shiraiishi, Y. Ueda, M. Schlöpfer, C. Schmitz, T. Brömme, D. Oprych, B. Strehmel, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **29**, 609-615 (2016).
- [4] B. Strehmel, C. Schmitz, T. Brömme, A. Halbhuber, D. Oprych and J.S. Gutmann, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **29**, 111-121 (2016).



【会告】

【第28回フォトポリマー講習会】

会期：8月28日(火)～29日(水) 9時30分～17時
 会場：森戸記念館(東京理科大学)第1フォーラム
 新宿区神楽坂4-2-2

協賛：日本化学会

プログラム

I 基礎編(8月28日)

- 1) フォトポリマーの光化学
 大阪府立大学 岡村晴之氏
- 2) フォトポリマーの材料設計
 信州大学 上野 巧氏
- 3) 光酸発生剤の基礎
 サンアプロ(株) 白石篤志氏
- 4) フォトポリマーの特性評価
 リソテックジャパン(株) 関口 淳氏

II 応用編(8月29日)

- 5) 微細加工用レジスト
 兵庫県立大学 渡邊健夫氏
- 6) コーティング分野におけるモノマーと
 フォトポリマーの役割と設計思想
 荒川化学工業(株) 富樫春久氏
- 7) ウエハーコート用感光性耐熱材料
 日立化成デュポンマイクロシステムズ(株)
 大江匡之氏
- 8) 光硬化型接着剤の概要とアニオン硬化、
 光硬化型黒色接着剤
 (株)スリーボンド 大槻直也氏

9) トピックス

黎明期からのリソグラフィの進化：
 悠久のレジスト材料開発

神奈川大学 鴨志田洋一氏

参加費：会員・協賛会員：30,000円

非会員：40,000円 学生：20,000円

(いずれも予稿集代を含む)

申込方法：

ホームページ(<http://www.tapj.jp>)のメールフォー
 ムにて送信、又は氏名・所属・連絡先を明記の上
 FAXにて事務局(043-290-3460)まで。

定員：95名(申込締切：8月16日)

【第228回フォトポリマー講演会】

日時：10月11日(木) 13時00分～17時00分
 会場：森戸記念館(東京理科大学)第1フォーラム
 新宿区神楽坂4-2-2

テーマ：『分子性材料の基礎とフォトレジスト』

参加費：会員：1社2名まで無料(要、会員証呈示)

非会員：3,000円、学生：2,000円

(いずれも予稿集代を含む)

申込方法：

ホームページ(<http://www.tapj.jp>)のメールフォー
 ムにて送信、又は氏名・所属・連絡先を明記の上
 FAXにて事務局(043-290-3460)まで。

定員：95名(定員になり次第締め切ります)

【平成30年度総会報告】

日時：2018年4月19日(木) 13時00分から

会場：森戸記念館(東京理科大学)第1フォーラム

出席者数：44名(委任状6名含む)

議案：

1. 平成29年度事業報告承認の件
2. 平成29年度収支決算ならびに年度末貸借対照表
 承認の件
3. 平成30年度事業計画承認の件
4. 平成30年度予算承認の件

議事：

会則に基づき、会長を議長として開会。
 懇話会会則第11条により総会は成立。
 議案1, 2, 3, 4について承認、議決された。

【協賛会議のお知らせ】

第25回ディスプレイ国際ワークショップIDW'18

主催：映像情報メディア学会(ITE)、

The Society for Information Display(SID)

会期：2018年12月12日(水)～14日(金)

会場：名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

* 詳細はIDW'18事務局まで

TEL：03-3263-1345 FAX：03-3263-1264

E-mail：idw@idw.or.jp

編集者 小関健一

発行人 鴨志田洋一

発行所 フォトポリマー懇話会事務局

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33

千葉大学大学院工学研究院 融合理工学府 物質科学コース内

電話/FAX 043-290-3460

URL：<http://www.tapj.jp/>

2018年7月1日発行