

業績

高分子成形加工における高次構造形成機構の基礎解析とその応用展開

Fundamental Analysis on Higher-structure Development in Polymer Processing and Its Application



きくたにたけし
鞠谷雄士

東京工業大学 名誉教授・特任教授 (工学博士)
京都工芸繊維大学 特任教授

鞠谷雄士氏は、1977年に東京工業大学工学部有機材料工学科を卒業、1982年に同大学大学院理工学研究科繊維工学専攻博士後期課程を修了し、工学博士の学位を授与された。1982年には東京工業大学工学部有機材料工学科の助手に採用され、1991年同大学工学部助教授を経て、2001年には同大学大学院理工学研究科有機・高分子物質専攻教授に昇任した。この間、1986～1987年には米国オハイオ州立アクロン大学でJ. L. White教授の下で客員研究員を務め、高分子中の微粒子分散に関する研究を行った。2020年に同大学物質理工学院を定年退職し名誉教授となるとともに、現在、物質理工学院特任教授を務めている。また2021年からは京都工芸繊維大学特任教授を併任している。

高分子成形品の性能・機能は成形過程で形成される高次構造に強く依存する。鞠谷氏は、超高速溶融紡糸という紡糸速度が10,000 m/minに達する苛烈な条件下の成形挙動および繊維構造形成挙動の解析を中心に、高分子成形工程と高次構造形成のかかわりを追求することで、同分野の科学と技術の発展に大きく貢献した。同氏のおもな業績は以下のとおりである。

1. 伸長変形過程の解析と高性能・高機能性繊維の開発

高速溶融紡糸過程における紡糸線のネック状変形をともなう繊維構造の形成機構を、各種オンライン計測手法の開発を通じて解析し、紡糸過程における溶融体の伸長歪速度が $30,000 \text{ s}^{-1}$ に達すること、分子配向下の結晶化が静置場に比べ $10^4 \sim 10^5$ 倍以上の高速で進むことなどを実証している。さらに世界に先駆けて、溶融成形時の流動場の解析に分子配向・結晶化による高次構造形成挙動を組み込んだ理論解析法を構築し、高速溶融紡糸過程における配向結晶化をともなう繊維形成機構を明らかにしている。研究対象は、縮合系、オレフィン系などの汎用ポリマーに加え、バイオ系ポリマー、低結晶化特性ポリマー、立体規則性制御ポリマー、分岐ポリマー、弾性ポリマーなど多岐にわたり、各ポリマーの特性と、流動場における分子配向・結晶化を基本とする成形挙動・高次構造形成挙動との基礎的な関係につき、多くの有益な情報を報告している。また、NEDOプロジェクト「精密高分子技術」(2001～2008)において「高強度繊維開発」に関する研究を主導し、ポ

リエステル繊維の高強度化について一定の成果を挙げるとともに、溶融紡糸過程の低デボラ数化による絡み合い構造の均質化が高強度・高靱性繊維の製造に繋がるといふ繊維の高性能化の基本指針を示している。

2. 複合溶融紡糸過程の解析と機能性繊維の開発

単繊維断面内に複数のポリマーを配置する複合溶融紡糸法はさまざまな機能性繊維の製造に幅広く応用されている。同氏は、複合溶融成形におけるポリマー間の低界面張力に由来する高い微細断面構造制御性に着目し、光干渉性繊維の開発などを進めた。また、溶融成形過程中の成分間の運動力学的相互作用による応力履歴変化を利用した高次構造形成挙動の制御という新たな観点に基づく検討を幅広く進め、組み合わせる二種類のポリマーの特性と構造形成の促進・抑制効果にかかわる基本原理を明らかにしている。この技術は、部分配向糸(POY)製造の高速化、オレフィン系自発伸長繊維の開発等で実用化されたほか、全熱可塑性樹脂からなる繊維強化複合材料、単一樹脂からなる熱可塑性繊維強化複合材料への展開も期待されている。

3. バイオポリマーの繊維化に関する研究

鞠谷氏は、環境問題を視野に、各種生体由来ポリマー・生分解性ポリマーの成形性に関する検討を行い、脂肪族ポリエステルの低ガラス転移温度・低結晶化速度に由来する難成形性にかかわる本質的な課題を指摘するとともに、さまざまなバイオ樹脂の成形性改善、繊維物性改善法の提案を行っている。とくにポリ乳酸については、世界に先駆けて高速溶融紡糸過程におけるステレオコンプレックス晶形成を実証するとともに、海島型繊維の複合溶融紡糸を利用した、高配向ステレオコンプレックス晶を有する繊維の新規な製造法を提案している。

同氏は高分子学会繊維材料研究会の委員長を務められたほか、高分子学会発行書籍の執筆、多くの講座等の講師を行い高分子学会の活動に大きく貢献している。また高分子分野では国際的にも活躍し、Polymer Processing Society会長、The Fiber Society(米国)会長を歴任するほか、多くの国際会議で基調講演・招待講演を行っている。以上のように、鞠谷氏の高分子科学・工学への貢献はきわめて大きく、高分子科学功績賞に値すると認められた。

業績

有機遷移金属錯体を用いる高分子の合成

Synthesis of Polymers Using Organotransition Metal Complexes



おさかだ こうたろう
小坂田耕太郎

東京工業大学科学技術創成研究院 特任教授・名誉教授(工学博士)

小坂田耕太郎氏は、1977年東京大学工学部合成化学科を卒業後、1982年同大学院工学研究科博士後期課程を修了し、工学博士の学位を授与された。同年東京工業大学資源化学研究所助手に着任し、同助教授、教授を経て2016年より同大学科学技術創成研究院教授を務めた。この間1995～1996年ノースカロライナ大学にて高分子合成および有機金属化学の研究に従事した。2020年東京工業大学から名誉教授の称号を授与され、同年より東京工業大学特任教授および国立研究開発法人産業技術総合研究所客員研究員を兼務している。

小坂田氏は一貫して金属触媒重合の分野で新規性の高い重合、共重合反応の開発を行い、多くの成果を挙げた。すなわち、従来研究の単量体と触媒との組み合わせにとらわれず、有機遷移金属錯体の触媒機能を最大限に活かした新重合反応の開発に成功している。これらは高分子合成における科学、技術に新しい展開をもたらした。同氏のおもな業績は以下のとおりである。

1. 遷移金属触媒を用いる選択的異性化重合反応

小坂田氏は、環構造や分岐構造を有する不飽和分子が後期遷移金属錯体によって容易に活性化されて重合すること、その重合成長末端がすみやかに構造変化する性質をもつことを見だし、これを選択的な異性化重合に展開した。従来単量体としての価値が乏しかった六員環オレフィンをはじめとする環構造を含む不飽和炭化水素やジエン類を原料に用いて、多彩な高分子合成反応の開発に成功した。アルキル置換基を有する五員環不飽和炭化水素の異性化重合では、遠隔位の環部分の立体化学が完全制御された高分子を合成し、これが配列制御構造に基づいて液晶性を示すことを明らかにした。

同氏は配位重合の分野で困難な課題とされていたジエン類の選択的な環化重合反応を達成している。後期遷移金属錯体触媒が極性官能基で不活性化されない点を利用し、スルホンアミド等の官能基を有するジエンの高分子を合成し、これを原料とする物理ゲルの開発を報告した。上記の各種異性化重合反応において、反応速度解析等を用いて重合機構を詳細に検討し、立体選択性やリビング性の要因を明らかにした。

2. 大環状配位子を有する複核遷移金属オレフィン重合触媒

小坂田氏は、剛直な構造を有する大環状配位子を用いて、近接した金属中心を有する二核遷移金属錯体を設計し、そのオレフィン重合能の特徴を見いだした。Fe, Ni, Pd等の遷移金属二核錯体はいずれも特徴ある重合反応性を示した。エチレンとジエンとの共重合による橋架け高分子生成、エチレン重合における極性モノマーの高密度導入、等を達成し、これが近接した遷移金属間の相互作用によることを明らかにした。上記の二核錯体触媒は金属の種類によらず、単核錯体触媒よりも高い温度で重合活性を示す。このことは、メタロセン触媒に比較して、後期遷移金属オレフィン重合触媒の本質的な欠陥であった低い熱安定性を克服する成果として着目された。

3. 遷移金属錯体を有する逐次重合の開発と超分子ポリマー合成への展開

小坂田氏は、遷移金属錯体触媒による協奏的な結合形成反応を用いて、温和な条件下で進行する重縮合、重付加反応を開発した。これにより、ポリエノールエステル、脂肪族ポリカーボネートをはじめとする構造に特徴を有する高分子を得ることに成功した。これらの逐次重合反応が低極性溶媒中、中性条件で進行することを利用し、重縮合系高分子をゲストに、シクロデキストリンなどの大環状分子をホストとする超分子ポリマーを得るとともに、これら高分子が、分子間相互作用の低下による特徴ある熱的性質や、光感受性基の導入による光応答を示すことを見いだした。

上記のとおり、小坂田氏は独自の立場から有機遷移金属錯体の特徴を活かした高分子合成反応の開発を行った。これらはいずれも遷移金属錯体触媒の隠れた性質を合成に活かしたものとして評価された。これらの成果によって高分子合成化学の領域が大きな広がりを見せるとともに、その高分子機能との関連についての新しい道が広がったと言える。

同氏は、高分子学会において、高分子編集委員、高分子錯体研究会(現超分子研究会)運営委員、関東支部理事等を務めた。以上のように、小坂田氏の高分子科学および高分子学会への貢献は大きく、高分子科学功績賞に値するものと認められた。

業績

バイオミメティクスの産業展開と国際標準化への貢献

Contribution to the Industrial Progresses and International Standardization on Biomimetics



ひらさかまさ お
平坂雅男

バイオミメティクス推進協議会・事務局長（工学博士）

平坂雅男氏は、1978年早稲田大学理工学部化学科を卒業後、1980年同大学大学院理工学研究科修士過程を修了した。1980年に帝人（株）に入社し、中央研究所（現東京研究センター）において高分子フィルム上に形成する薄膜材料の研究を続け、1990年にはアモルファスシリコン太陽電池の性能向上に関する研究で北海道大学から工学博士の学位を授与された。また、1996年から2年間、電子顕微鏡による薄膜材料解析の研究で科学技術庁無機材質研究所の非常勤研究員を務め、2006年には高分子基板記録材料における電子顕微鏡観察技術の開発で日本顕微鏡学会技術功労賞を受賞している。

平坂氏は、1999年より帝人（株）東京本社において研究戦略・知財戦略の業務に従事した。2006年に研究企画推進部長、2008年に構造解析研究所長（兼務）、2010年（株）帝人知的財産センター取締役などを務め、その後、2014年より高分子学会に出向し常務理事・事務局長として高分子学会の運営に尽力した。さらに、バイオミメティクスの国際標準化活動がスタートした初期の時点から、国際標準化国内審議委員会副委員長を務め、2021年には委員長に就任し国際標準化の業務およびバイオミメティクスの産業展開に大きく貢献した。同氏のおもな業績は以下のとおりである。

1. バイオミメティクスの国際標準化

国際標準化機構（ISO）に、新たな専門委員会としてTC266 Biomimeticsが発足し、2012年に高分子学会に国際標準化国内審議委員会が設置された初期の段階から国際標準化活動に尽力した。バイオミメティクスの国際規格が国内産業に与える影響を考慮し、日本型の戦略を策定してきた。これまで、発行されたすべての国際規格原案の審議に携わり、そして、日本の技術を国際規格に掲載させるなどの成果を挙げた。また、日本が開発したバイオミメティクスの発想支援システムのデータ共有化を図るために、知識基盤の国際規格化の日本提案を支援してきた。

平坂氏の業績は、国際規格の発行のみならず、国際標準化戦略として、この分野での国内産業の国際競争力を高めることをも重視し、産業展開でも下記に示す成果を挙げた。

2. バイオミメティクスの産業展開

バイオミメティクスの産業応用は、合成繊維産業な

どに限られていたが、生物規範工学と呼ばれる新たな学術分野の発展により、生物学と工学の融合領域として幅広い産業への展開が期待された。しかし、これまでの研究開発の進め方と違い、生物が起点となる研究開発にはさまざまな課題があった。そこで、企業の開発支援を行うとともに、素材産業からヘルスケア産業まで多岐にわたる産業分野での活用を紹介し、また、海外企業の動向や政府政策について継続的に発信してきた。さらに、特定非営利活動法人を設立するなど、日本におけるバイオミメティクスの産業展開の基盤を築いた。一方、日本のみならず、フランスがバイオミメティクスの推進組織を設立する時期からフランスに携わり、日仏連携の基盤を築くとともに日本側の代表として活躍するなど国際連携でも成果を挙げた。

平坂氏の業績は、このように技術戦略や知財戦略の視点から、日本のバイオミメティクスの産業化推進に大きく貢献したものである

3. バイオミメティクスに関する教育活動

バイオミメティクスを正しく理解してもらうためには、一般市民への啓蒙活動も重要となる。同氏は、国立科学博物館らの企画展示に協力し、大人のみならず多くの子供たちに生物のすごさや自然環境の重要性についての気づきや理解を与えた。また、中学校および高校の調査研究の指導を行うとともに、子供向け書籍やテレビ番組の監修など多岐にわたる活動を行うなど、同氏の教育関連での実績も高く評価できる。

一方、高分子学会においては、高分子学会評議員、関東支部副支部長、PMF運営委員長、学会賞選考委員、三菱化学賞選考委員などを務め、フォトニクスポリマー研究会運営責任者として研究会運営にも貢献した。さらに、2014～2020年まで常務理事・事務局長を4期7年務め、この間、高分子学会のガバナンス体制の見直しや財政体質の強化で実績を挙げた。また、情報システムの改善を進め、最近では、コロナ禍でのオンライン開催のシステムを独自に構築した。このように、同氏の高分子学会に対する貢献は著しい。

以上のように、平坂氏の高分子科学および高分子学会への貢献は大きく、高分子科学功績賞に値するものと認められた。

業績

硫酸化糖鎖の立体規則性重合と抗HIV活性メカニズムの解明

Stereoselective Polymerization and Elucidation of Anti-HIV Mechanism of Sulfated Polysaccharides



よしだ たかし
吉田 孝

北見工業大学工学部 名誉教授・特任教授 (工学博士)

吉田 孝氏は東京都出身で1977年明治大学工学部工業化学科を卒業、1983年同大学院工学研究科博士後期課程を修了し工学博士の学位を授与された。同年日本歯科大学新潟歯学部助手、1985年東京大学生産技術研究所に教務系技官として移動し、1988年同大学・助手・特別研究員、1992年北海道大学理学部高分子学科・助教、大学院重点化により同大学院理学研究科・准教授、2001年北見工業大学工学部化学システム工学科教授に赴任した。東京大学在職中1987～1988年カナダ・ヨーク大学に留学、また大学派遣研究者として中国科学技術大学でも糖鎖研究に従事した。北海道大学在職中、日本学術振興会により中国・武漢大学環境科学系でも研究を行い、2000年北京化工大学ミレニアム式典で特別講演、特別授業に招待された。中国での研究活動により、その後中国やモンゴルなどから数多くの留学生を受け入れた。北見工業大学在職中には学科長、専攻主任、評議員、機器分析センター長、副学長、総務担当理事などを歴任。2021年北見工業大学を定年退職し名誉教授となるとともに特任教授として研究を続けている。

吉田氏は種々の無水糖モノマーのカチオン開環重合による構造明確な立体規則性糖鎖の合成、天然糖鎖および合成糖鎖の抗ウイルス活性メカニズムの解明、酵素重合、天然漆糖鎖の研究など生体高分子化学、環境科学分野で研究開発を行っている。おもな業績を以下に紹介する。

1. 硫酸化糖鎖の合成と抗ウイルス活性の研究

硫酸化糖鎖は抗凝血性や抗ウイルス活性など特異な生理活性を示す。しかし天然糖鎖は複雑な構造のため天然と合成の両面から研究を行った。天然糖鎖や合成糖鎖を硫酸化した硫酸化糖鎖の高い抗HIV活性を見だし、種々の無水単糖、二糖、三糖モノマーのカチオン開環重合により構造明確な直鎖状および分枝糖鎖を合成し、分枝構造が抗ウイルス性に大きく影響していることを明らかにした。また、硫酸化糖鎖はHIVのほか表皮タンパク質をもつ Dengue 熱ウイルスやインフルエンザウイルスに対しても高い生理活性を示すことも見いだした。

2. 硫酸化糖鎖、アルキルオリゴ糖鎖の抗HIV活性メカニズムの解明

硫酸化糖鎖の抗HIV活性発現メカニズムは、糖鎖硫酸

基と HIV 表皮タンパク質 gp120 の塩基性アミノ酸集中部位との静電的相互作用と推測された。gp120 アミノ酸配列中のオリゴペプチドを合成し硫酸化糖鎖との相互作用を表面プラズモン共鳴 (SPR) や動的光散乱 (DLS) 測定から、抗HIV活性発現メカニズムは gp120 の C 末端および V3 ループ領域との相互作用によることを明らかにした。

また、硫酸化糖鎖の抗HIV活性は分子量に依存するがオリゴ糖鎖の還元末端に長鎖アルキル鎖を導入すると高い抗HIV活性を示す。硫酸化アルキルオリゴ糖鎖と HIV 脂質二重膜のモデルとしてのリポソームとの相互作用を SPR によって解析し、長鎖アルキル鎖が HIV 脂質二重膜に固定化され硫酸化オリゴ糖鎖部分が HIV gp120 と静電的に相互作用することで高い抗HIV活性発現につながることを解明した。また炭素数の異なる長鎖アルキル鎖とリポソームとの相互作用から細胞毒性に関する問題も解明した。

3. NMR による漆糖鎖構造の解明

漆は酵素で重合する唯一の天然高分子で数千年以上の歴史がある。漆樹液中には糖鎖も含まれ漆塗膜の強靱性に関与している。漆の糖鎖構造解析はメチル化分析などによる研究があるが、各種の一次元、二次元 NMR 測定により複雑な分枝構造を解析した。また、漆糖鎖は常に分子量の異なる二つの糖鎖として存在するが、単離分取し NMR 測定からほぼ同じ構造であることを明らかにし、漆の製品化過程で加水分解を受けると予測した。漆樹から樹液を直接採取し NMR および GPC 測定などから、採取直後の樹液には1種類の大きな分子量をもつ糖鎖のみが含まれ、時間経過にともない加水分解を受けることを解明し漆科学の発展にも貢献した。また漆ラッカーゼ酵素を用いるカテコール誘導体などの温和な条件での酵素重合により耐熱性ポリマーの研究開発なども行った。

高分子学会では、北海道支部・幹事として支部の運営に従事し、札幌開催の高分子学会年次大会、討論会などでは運営委員として学会運営を支えた。また2015年度高分子学会研究奨励賞選考委員も務めている。以上のように、吉田氏の長年にわたる高分子科学および高分子学会への貢献は大きく、高分子科学功績賞に値するものと認められた。

業績

ポリマー系ナノコンポジット及びバイオプラスチック複合材の開発と自動車分野への実用化

Development of Polymer-based Nanocomposites and Bioplastic Composites, and Their Practical Applications in the Automotive Field

うすき ありみつ
臼杵有光元(株)豊田中央研究所
京都大学生存圏研究所 特任教授(博士(工学))

臼杵有光氏は、1978年名古屋大学工学部応用化学科を卒業、1980年同大学大学院工学研究科応用化学専攻博士前期課程を修了し、同年(株)豊田中央研究所に入社した。臼杵氏はユーザーの立場で一貫して材料の研究開発に取り組み、軽量化や環境を意識した高分子材料の自動車への適用に多く貢献してきた。たとえばナイロン6クレイナノコンポジット、ゴムのリサイクル、高衝撃バイオプラスチックアロイなどが挙げられる。1997年にはナイロン6-粘土ハイブリッドに関する研究で名古屋大学より博士(工学)の学位を授与された。2008年には(株)豊田中央研究所取締役・材料分野長、2013年にはシニアフェローを歴任し、2019年に退職した。

2016年からは京都大学生存圏研究所特任教授を務めている。京都大学ではセルロースナノファイバーと高分子の複合材料を自動車に適用する環境省プロジェクトリーダーとして勤務している。2019年の東京モーターショーでは22参画機関のコンソーシアムからなるプロジェクトで試作したNCV(ナノセルロースヴィークル)を出展した。このように一貫して自動車への高分子材料の適用検討を実施してきている。

同氏のおもな業績は以下のとおりである。

1. ナイロン6クレイナノコンポジットの創生とその自動車への適用

天然の粘土鉱物(クレイ、具体的にはモンモリロナイト)の単位結晶であるシリケート層の層間でナイロン6を合成するという新規な発想により、クレイがナノメートルレベルでナイロン6中に分散したナノコンポジットを創生した。シリケート層のナトリウムイオンを長鎖アミノ酸で置換し疎水化した後、ナイロン6のモノマーであるカプロラクタムを層間にインターカレーションした後に重合を行った。この材料はクレイ添加量が5wt%以下で高剛性、高耐熱性、高ガスバリア性を発揮し、かつ低比重であるという特徴を有する。この材料をトヨタ自動車、宇部興産と共同で開発し、タイミングベルトカバーとして適用し(1989年)、材料の工業化に成功した。またその論文の被引用回数は3,000件以上に上り、ナノコンポジットが世界中で広く研究されるようになった。

2. ポリオレフィンおよびゴム系クレイナノコンポジットの開発

ナイロン6で培ったクレイナノコンポジット合成の

技術をポリオレフィン、アクリル樹脂、ゴム、ポリイミドなどに幅広く展開し、それぞれのポリマーに合わせた合成方法を開発し体系化を行った。とくに自動車用途で使用量が多いポリプロピレンやポリエチレンに関しては、二軸押出機を用いてポリマーと有機化したクレイを融点以上で混練する手法、いわゆるドライブレンド法により製造する手法を開発し、量産の目途付けを行った。アクリル樹脂では側鎖にアンモニウム基を有するアクリルモノマーを共重合することにより、クレイがナノ分散した材料を得ることができた。エチレンプロピレンジエン系ゴム(EPDM)の場合は硫黄での加硫工程において、クレイがナノ分散することを見つけた材料の創生に成功した。これらの技術により2008年度高分子学会賞を受賞した。その後、カーボンナノチューブ(CNT)ナノコンポジットやセルロースファイバーナノコンポジットなどへ技術が広がっていった。

3. バイオプラスチックの高性能化による自動車への適用

ポリ乳酸をベースにした複合材料の開発においてトヨタグループを先導し、世界で初めてポリ乳酸/ケナフ材料を自動車部品として適用した(2003年)。さらにバイオ由来であるナイロン11とポリプロピレンのアロイが高い衝撃強度を発現することを見だし、世界最軽量のドアトリムに適用した(2018年)。ナイロン11とポリプロピレンのアロイは新規なサラミ構造や共連続ナノサラミ構造を形成し、これにより優れた耐衝撃性が発現していることを明らかにした。

このように自動車業界において高分子科学の分野で多大な功績を挙げてきた。

高分子学会においては、東海支部で10年以上常任理事を務めた後、2008~2010年まで副支部長、2010~2012年は支部長を務めた。支部で担当した年会、討論会、ポリマー材料フォーラムの運営には積極的に関与した。本部では2012~2014年に行事委員会委員長、2014~2018年の2期にわたり代表理事・副会長を務めた。とくに副会長時代は各賞の選考委員長を務め、本部の運営に尽力した。

以上のように、臼杵氏の高分子科学および高分子学会への貢献は大きく、高分子科学功績賞に値するものと認められた。

業績

剛直性高分子および会合性高分子の溶液研究への貢献

Contribution to Studies on Solutions of Stiff Polymers and Associating Polymers


 さとうたかひろ
 佐藤尚弘

大阪大学 教授 (理学博士)

佐藤尚弘氏は、1980年大阪大学理学部高分子学科を卒業、1985年大阪大学大学院理学研究科博士後期課程を修了し、理学博士の学位を授与された。1985年アメリカ合衆国国立標準局（現国立標準科学研究所；NIST）の客員研究員を経たのちに、1987年大阪大学理学部助手、1995年大阪大学大学院理学研究科助教授を経て、2002年に同大学院教授となった。2022年3月に大阪大学を定年退職し、退職後には同大学の名誉教授となり、また放送大学の客員教授となる予定である。

佐藤氏の専門分野である高分子溶液学は、シュタウディンガーが「高分子説」を実証する際に拠りどころとし、現在においても高分子の分子論の基盤となっている学問である。この高分子溶液学は、汎用性高分子が属す屈曲性高分子の研究がまず進み、その後剛直性・半屈曲性高分子の溶液研究にその研究範囲を広げていった。佐藤氏は、後者の剛直性・半屈曲性高分子の中の重要な一群であるらせん高分子の希薄溶液中における分子形態・形態変化についてまず研究を始め、剛直性・半屈曲性高分子の濃厚溶液物性に研究を広げ、その後溶液中における会合性高分子の集合体構造とその構造形成機構について研究を行った。このうち、濃厚溶液物性に関する業績に対して、2008年高分子学会賞を授与されている。以下に各研究テーマに関するおもな業績を紹介する。

1. 溶液中におけるらせん高分子の分子形態

水溶液中で三重らせんとして存在する多糖シゾフィランと二重らせんとして存在する多糖ザンサン（キサントガム）のらせん構造と多重らせんの解離挙動についての研究を進めた。とくに、単一鎖らせんと二重らせんの二説あったザンサンの水溶液中でのらせん構造について、後者が正しいことを初めて実証した。

1990年代以降に多数見いだされた溶液中でらせん構造をとる合成高分子（ポリイソシアナート、ポリアセチレン、ポリシラン等の誘導体）について、高分子主鎖の内部回転状態とらせん構造・鎖の剛直性との関係を統計力学に基づき明らかにした。さらに、これらのらせん高分子の濃厚溶液が形成するコレステリック液晶構造と高分子鎖のらせん構造との関係についても実験・理論の両面から明確にした。

2. 剛直性・半屈曲性高分子の濃厚溶液物性

剛直性・半屈曲性高分子は、分子量分布の狭い試料が得にくく、また溶解性に問題を生じやすい。そのため、分子量分布や会合体の存在が溶液中における高分子鎖間の相互作用を複雑化し、分子間相互作用が重要な役割を演じる種々の濃厚溶液物性を分子理論と比較することを困難にしていた。この困難を解消するために、佐藤氏は分子量分別により分子量分布の狭い剛直性・半屈曲性高分子試料を用い、完全に分子分散させる溶液条件と溶液調製法を探索し、分子量分布や会合体の影響を極力排除した剛直性・半屈曲性高分子の濃厚溶液物性データ（等方-液晶相境界濃度、浸透圧縮率、コレステリックピッチ、ゼロずり粘度、拡散係数など）を取得した。それらの実験結果は、それまでに提案されていた分子理論とは一致せず、理論の改良が必要であった。そこで、従来の分子理論に剛直性・半屈曲性高分子鎖の部分的な屈曲性の効果を取り入れ、また高分子鎖間の相互作用の精密化を行い、理論を改良した。改良した理論は、実験結果とほぼ定量的に一致し、剛直性・半屈曲性高分子の溶液学を確立した。

3. 会合性高分子の集合体構造とその形成機構

2000年以降は、それまでの高分子溶液学が避けてきた会合性高分子の溶液研究に着手し、疎水性相互作用・水素結合・静電相互作用により会合を引き起こす高分子溶液系について、実験・理論の両面から研究を進めた。とくに近年、ドラッグデリバリーシステムなどへの応用が期待されている高分子ミセルに関する研究では、両親媒性ランダム・交互共重合体が溶液中で形成する花型ミセルの特性化と花型ミセル-フラワーネックレス転移の発見、両親媒性ブロック共重合体溶液中でのミセル化と相分離の競合の定量化を行った。これらの業績は、現在活発に研究されている会合性高分子（高分子集合体）の溶液学の確立に重要な貢献をした。

高分子学会においては、高分子基礎物性研究会運営委員長、高分子論文集編集委員長、Polymer Journal誌のEditorial Advisory Board、高分子学会副会長、高分子学会関西支部長などを務めた。以上のように、佐藤氏の長年にわたる高分子科学および高分子学会への貢献は大きく、高分子科学功績賞に値するものと認められた。

業績

高分子鎖構造の高分解能原子間力顕微鏡観察

Observation of Polymer Chain Structures by High-Resolution Atomic Force Microscopy

くまき じろう
熊木治郎

山形大学大学院有機材料システム研究科 教授 (博士 (工学))

熊木治郎氏は、1980年京都大学工学部高分子化学科を卒業し、1982年同大学大学院工学研究科高分子化学専攻修士課程を修了し、1992年には東京工業大学から博士(工学)の学位を受けている。1982~2003年東レ(株)に勤務し、この間、1984年から2年半、新技術開発事業団、創造科学技術推進事業(ERATO)、緒方ファインポリマープロジェクト、1993年から2年間、科学技術振興事業団、ERATO、橋本相分離構造プロジェクトに研究員として出向している。2003年に東レ(株)を退社し、科学技術振興機構、ERATO、八島超構造らせん高分子プロジェクトのグループリーダーを務めた後、2008年山形大学大学院理工学研究科教授に就任し、2016年から改組により同大学大学院有機材料システム研究科教授を務めている。

高分子の構造を分子レベルで明確化することは、高分子科学における最も基本的、かつ重要な課題の一つである。原子間力顕微鏡(AFM)などの走査プローブ顕微鏡の発明により、物質を原子・分子分解能で観察することが可能になったが、ソフトマテリアルである合成高分子を真に分子鎖レベルで実像観察することは困難であった。熊木氏は、観察に適した二次元膜である高分子Langmuir-Blodgett(LB)膜を主として用いることにより、高分子を真に分子鎖レベルで観察できることを見だし、高分子が形成するさまざまな構造の分子像観察に世界に先駆けて成功し、この分野を一貫して開拓、主導してきた。その業績により、高分子学会賞を授与されている。以下、同氏のおもな研究業績を紹介する。

1. 高分子孤立鎖の観察

1996年当時、AFMが発明されて10年が経過していたが、観察しやすいDNAのような生体高分子を除いて、合成高分子の孤立鎖を明確に観察するのは困難であった。熊木氏は、polystyrene-*b*-poly(methyl methacrylate)(PS-*b*-PMMA)をきわめて希薄な溶液から水面上に展開し、疎水性のPSブロックを凝集させてPS単ブロック鎖粒子を形成させ、それをプローブとすることで、PMMAブロック鎖を直接観察することに初めて成功した。さらに、高湿度下で基板上的高分子孤立鎖が運動していることを見だし、分子鎖がヘビのように主鎖方向に運動する様子を直接観察することにも成功している。最近では、剛直なDNA等以外では報告例のなかった、分子鎖を伸び切り鎖状態で基板に固定する分子コーミングを、柔軟な合成高分子鎖を用いて初めて達成している。

2. 高分子結晶の分子像、結晶化過程 in situ 観察

AFMが開発されてすぐにコンタクトモードAFMを用いて結晶の高倍観察が検討されたが、今日ではこれらは格子像に相当した周期構造であり実像観察ではないと考えられている。熊木氏は、水面上で圧縮して結晶化させた isotactic (it) PMMA 単分子膜をタッピングモードAFMで観察し、折りたたみ鎖構造、タイ分子、結晶欠陥等を分子鎖レベルで実像観察することに成功している。また、非晶状態で基板に積層した it-PMMA 単分子膜が高湿度下で結晶化する様子を分子鎖レベルで in situ 観察することにも成功している。さらに、結晶化しないオリゴマー単分子膜に it-PMMA を孤立鎖状態で可溶化させた混合単分子膜を用いることにより、it-PMMA 一分子が孤立鎖状態から結晶化する様子を in situ AFM 観察することにも成功している。また、単分子膜中で伸び切り鎖結晶を形成するポリ乳酸を用いて、分子鎖が方向を識別して、結晶化、ステレオコンプレックス(SC)形成することも見いだしている。

3. PMMA SCの分子像観察

半世紀以上構造が不明であったPMMA SCの分子像をAFM観察することにも初めて成功し、SCが3重らせん構造であることを明らかにした。さらに、分子量分布をもたないユニフォームPMMAを用いて、SCが分子量に応じた明確なサイズをもつ超分子として形成され、モノマー間に特別な相互作用がないにもかかわらず分子量認識をして多重らせんを形成することも見いだしている。

4. 合成らせん高分子のらせん構造の観察

従来不可能であった合成高分子のらせん構造(らせんピッチ、向き等)を観察することにも成功している。

5. 高分子非晶固体表面の分子運動の評価

高分子非晶固体表面では、分子が凝集しているため、構造を分子レベルで観察することは困難であると考えられてきたが、PMMA、PSフィルムの表面を高温で動的に観察することにより、表面分子運動の評価が可能であることも見いだしている。

高分子学会においては、東北支部常任幹事、東北支部長、高分子学会理事、広報委員、学会賞選考委員、高分子学会フェローを務めるなど、高分子学会の活動にも大きく貢献してきた。

以上のように、熊木氏の高分子科学および高分子学会への貢献はきわめて大きく、高分子科学功績賞に値するものと認められた。

業績

拡散制御技術並びに自己組織化現象を適用した光学ポリマーの連続製造技術の開発

Development of the Continuous Production Technologies of the Optical Polymers Utilizing the Diffusion Control Techniques and the Self-organization Phenomena



うおづ よしひろ
魚津吉弘

三菱ケミカル(株) R&D フェロー (博士(工学))

魚津吉弘氏は、1986年に京都大学工学研究科合成化学専攻修士課程を修了し、同年三菱レイヨン(株)に入社し、プラスチック光ファイバーやプラスチックロッドレンズの材料研究から、後にそれらの製造技術の開発まで取り組んだ。1989年、世界で初めてのプラスチックロッドレンズの製造技術の開発に成功した。2001年専門職と認定され、新規テーマの発掘がメインの仕事となり、現在に至っている。その中で、2004年モスアイ反射防止フィルムの研究を開始した。現在 Science & Innovation Center 所属であるが、入社して現在に至るまで36年間研究所に所属し、一貫して研究開発に取り組んでいる。その間に、2004年には東京農工大学大学院工学研究科博士課程応用化学専攻を修了し、博士(工学)の学位を授与された。また、2016年には三菱レイヨンで新たに制定されたフェローに就任した。

魚津氏は機能性樹脂製品に関する材料開発研究に携わってきた。その研究のコンセプトは自然現象をいかに工業プロセスとして活用するかという点である。

同氏のおもな業績について説明する。

1. 拡散の制御によるプラスチックロッドレンズの開発

ロッドレンズとは半径方向に二次分布状の屈折率分布を有する円柱状のレンズであり、このロッドレンズを二次元状に配列したものがロッドレンズアレイであり、ファクシミリ、スキャナ、複写機、電子黒板ならびにLEDプリンタ等の重要な部品として用いられている。

1) 新規相溶性ポリマーブレンドならびに相溶性ポリマーブレンド形成技術

モノマーとポリマーを均一混合溶解した系(原液)を光重合することで、ポリマー同士が拡散相分離するより速く固定化でき、本来は相分離する組み合わせでも透明に硬化できる新たなポリマーブレンド形成技術を開発した。

2) 相互拡散法によるプラスチックロッドレンズの作製技術

モノマー種の異なる数種の原液を同芯円状に多層複合した後に、層間でモノマーの拡散を起こし、モノマー種の分布を形成した後に重合硬化する相互拡散法により、世界で初めてプラスチックロッドレンズの連続製造技術を開発しその事業化に成功した。このプラスチックロッドレンズアレイの事業化が、家庭用ファクシミリ市場の創造に大きく貢献した。

2. 平行光線による自己組織的マルチシリンダー構造の形成技術の研究

上記ロッドレンズ作製用原液を平行光線により重合硬化すると、自己組織的に光線の方向に伸びた直径が

約5 μmで間隔が約10 μmのドメインのマルチシリンダー構造が形成されることを見だし、その形成機構の研究や応用研究を推進した。

3. アルミナナノホールアレイを用いたモスアイ型反射防止フィルムの製造技術の開発

1) 大型のモスアイ構造形成用ロール金型の作製技術の開発

アルミニウムを陽極酸化したときに自己組織的に形成されるアルミナナノホールアレイが、大面積に、しかも、曲面に形成できるという特性を利用して、陽極酸化とエッチングを組み合わせ、シームレスで大型のモスアイ構造形成用ロール金型の作製に成功した。

2) ロール光ナノインプリントによるモスアイ型反射防止フィルムの連続作製技術の開発

このロール金型に光硬化性樹脂を充填し、PETなどの透明なフィルムをかぶせ、フィルム側からUV光を照射し光硬化性樹脂を重合硬化させ、最後にフィルムと一体化した形状を付与した樹脂を金型から剥離するといった一連のプロセスからなるロールtoロール製造プロセスの開発に成功し、事業化にも寄与した。

プラスチックロッドレンズの開発で、2000年に高分子学会賞を、2012年には第4回ものづくり日本大賞経済産業大臣賞を受賞している。また、2012年にOSA(Optical Society of America)のSenior Memberに認定されており、2019年には高分子学会フェローの表彰を受けている。

同氏は研究成果の発表や講演会、各種委員会等での活動も活発に行っており、学術への寄与も多岐にわたっている。とくに高分子学会での活動が顕著である。2004年から現在まで関東高分子若手研究会世話人を務めている。2007年からポリマー材料フォーラムの運営委員を10度務め、とくに2018、2022年は運営委員長を務めている。2010年からは関東支部の常任幹事として支部活動に携わり、2度副支部長として支部活動の活性化に尽力している。また、フォトニクスポリマー、バイオミメティクス、高分子ゲルの各研究会では運営委員として情報交換・相互交流に努めてきた。とくに2020~2022年はフォトニクスポリマー研究会の運営委員長を務めた。さらに、2012~2019年「高分子」編集委員、2012~2016年出版委員など多岐にわたる活動が挙げられる。

以上、魚津吉弘氏の高分子科学および高分子学会への貢献はきわめて顕著であり、高分子科学功績賞に値するものとして認められた。