The Pennsylvania State University

—Materials Research Institute—

中 嶋 浩 善*

1. はじめに

ペンシルバニア州立大学(図1)は1855年に農業大学として設立され、現在ではペンシルバニア州内に24ヶ所のキャンパスを有する全米屈指の総合大学である。メインキャンパスであるUniversity Parkキャンパスは米国北東部ペンシルバニア州の真ん中に位置し、New York, Washington DC, Philadelphia, Pittsburg等の主要都市まで高速道路を走って4~5時間の至近距離にある。アパラチア山脈に囲まれた自然豊かな広大なキャンパスでは約35,000人の学部生・約6,600人の大学院生・約2,400人の教職員が在籍し、理学・工学・材料科学・情報技術・農学・教育学・教養学・経済・芸術など幅広い分野の研究が行われている。

2. 材料研究を担う組織

Materials Research Institute (MRI: 図2)は、4学部15学科に在籍する200名以上の教授陣との連携によって、材料研究全般の運営・統括を行っている。材料研究の組織は1) 研究センター、2) 研究施設、3) 学部・学科の3つに大別される。また、企業との共同研究の促進、知的財産の技術移転を行う組織もある。

1) 研究センター

ある特定の研究課題に焦点を当てた研究者らが学際的研究グループを形成する。研究センターの数は20以上にものぼり、金属・セラミック・高分子と非常に幅広い研究分野を網羅している。

a. Center for Nanoscale Science

The National Science Foundation (NSF) により設立された材料研究に関するセンター (The Materials Research Science and Engineering Center (MRSEC))。約85名の教官・博士研究員・大学院生らにより下記の3つのシードプログラムが進められている。

- ・ Chemical Nanolithography
- ・ Molecular Motor
- ・ Collective Dynamics of Photons, Fluids, and Electrons

* Nakajima, Hiroyoshi
住友化学工業㈱石油化学品研究所
袖ヶ浦市北袖 2-1 (〒299-0295)
2003. 8. 1 受理

図1 Pennsylvania State University (Old Main, University Park, PA)

図2 Materials Research Institute (Penn State Nanofabrication Facility)

within Ordered Nanostructured Matter

b. The Center for the Study of Polymer-Solvent Systems

拡散挙動・相平衡に重点をおいた高分子-溶媒系に関する研究が行われている。当センターと共同研究を進めている企業は3M・Air Products・Atofina・Dow・GE・三菱化学などである。

2) 研究施設

大型の分析・加工装置やコンピュータを配備した6つの研究施設がある。

a. Penn State Nanofabrication Facility (Nano Fab)

NSFにより設立された National Nanofabrication User

表 1 高分子関連の教官陣およびその研究内容

〈教官〉	〈研究内容〉
David Allara	<ul style="list-style-type: none"> ・ Sensitive molecular-structure probes ・ Informative model chemical structures
Harry R. Allcock	<ul style="list-style-type: none"> ・ Design and synthesis of new polymers that contain organic components, together with heteroelements such as P, Si, B, or transition metals
T.C. Mike Chung	<ul style="list-style-type: none"> ・ Functionalization of polyolefins ・ Borane-based living radical initiators and polymerization ・ Electro-active and ferroelectric polymers
Ralph H. Colby	<ul style="list-style-type: none"> ・ Polymer dynamics ・ Rheology of polymer melts, blends, solutions, gels, and other complex fluids
Michael M. Coleman	<ul style="list-style-type: none"> ・ Application of vibrational spectroscopy to the study of multicomponent polymer systems ・ Search for additives that retard the formation of carbonaceous solids in jet fuels
Ian H. Harrison	<ul style="list-style-type: none"> ・ Understanding and developing polyethylene-based materials
Sanat K. Kumar	<ul style="list-style-type: none"> ・ Thermodynamics of complex condensed phase systems ・ Polymers at surfaces and interfaces ・ Glass transition phenomena ・ Dynamics of macromolecular liquids
E. Manias	<ul style="list-style-type: none"> ・ Structure and dynamics of nano-confined polymers ・ Atomic force microscopy (AFM) studies of polymers ・ Polymer/inorganic nanocomposite materials ・ Smart/responsive polymers
Janna K. Maranas	<ul style="list-style-type: none"> ・ Molecular simulation to understand the microscopic origins of various phenomena
Paul C. Painter	<ul style="list-style-type: none"> ・ Effects of strong intermolecular interactions on the properties of polymers
Carlo G. Pantano	<ul style="list-style-type: none"> ・ Effect of composition and treatment of glass surfaces on adhesion of polymer coatings
James P. Runt	<ul style="list-style-type: none"> ・ Crystalline polymers and polymer blends ・ Biomedical polyurethanes
Ayusman Sen	<ul style="list-style-type: none"> ・ New late-transition metal-based polymerization catalyst
Erwin Vogler	<ul style="list-style-type: none"> ・ Biomaterials/biomaterials surface science
Qing Wang	<ul style="list-style-type: none"> ・ Semiconducting organic/inorganic hybrid nanostructures for optoelectronics ・ Biomimetic assembly and patterning of conjugated polymers ・ Bioactive polymer brushes ・ Applications in nanomachines and biosensors

Network (NNUN) の一部であり、コーネル大学・ハワード大学・スタンフォード大学・カリフォルニア大学サンタバーバラ校も NNUN に属し、Nano Fab と同様の施設を有する。Nano Fab ではサブミクロンサイズの構造の構築を目的としており、電子工学・光学・量子物理から生物学・医学に至るまで幅広い分野を網羅している。2300 万ドル相当の装置群（クリーンルーム・電子顕微鏡（STM/AFM/FE-SEM/Difference Frequency STM）・Electron Beam Lithography・Low Pressure Chemical Vapor Deposition System など）を有しており、専門スタッフが常勤している。年間利用者は約 400 名程度で、世界中の大学・企業の利用がある。

また、NSF・NNUN と共同で学部学生向けナノテクノロジー教育/研究プログラムが進められており、教育機関としての一面も持つ。

Nano Fab で進められている高分子関連のプロジェクトは以下の通りである。

- ・ Polymer Filaments
- ・ New polymer optical waveguides with integrated gratings for tunable passive optoelectronic devices for telecommunications

b. Materials Characterization Laboratory (MCL)

電子顕微鏡（SEM, TEM）・表面/薄膜分析（XPS/ESCA, FE-Auger, SIMS, EPMA）・構造分析（WAXD, SAXS）・熱分析（DSC, TGA）・分光分析（FTIR, Raman, UV-Vis）などのあらゆる分析装置を有している。

3) 学部・学科

上述のように 4 学部 15 学科にて材料研究が行われているが、高分子関連の材料研究は下記の 3 学科で行われている。主な教官陣とその研究内容を表 1 に示す。

- ・ Department of Chemistry
- ・ Department of Chemical Engineering
- ・ Department of Materials Science & Engineering (図 3)〈新規高分子材料の創製〉

a. 官能基変性ポリオレフィン

Chung 研究室ではメタロセン触媒による官能基（極性基）変性ポリオレフィンの合成が研究されている。オレフィンと反応性モノマー（有機ボラン・p-メチルスチレン・ジビニルベンゼン）との共重合により反応性モノマーの導入されたポリオレフィン重合後、ポリオレフィン鎖中の反応性モノマーを水酸基・無水マレイン酸基・アミン基などの官能基に転化させる事で、官能基変性ポリオレフィンが

表2 ポリプロピレン/フッ素変性有機化クレイナノコンポジットの諸物性¹⁾

Properties	Neat PP	PP/f-mmt Nanocomposites	
		3-wt%f-mmt	6-wt%f-mmt
Mechanical Properties			
Young's (tensile) modulus (MPa)	665.8	906.9	959.3
Yield stress (MPa)	28.9	31.3	30.6
Strain at break (%)	744.6	646.9	716.5
Other Properties			
Heat-deflection temperature (°C)	109	144	152
Max. heat-release rate (kWm ⁻²)	1508	452	390
Light transmittance (at λ = 600 nm)	0.58	0.57	0.49

図3 Department of Materials Science & Engineering (Steidle Building)

得られる。また触媒・重合条件の選択により反応性モノマーの導入部位（分子鎖中もしくは分子鎖末端）を制御できる。本技術により、従来技術（前周期遷移金属を活性種とする触媒による重合）では難しかった、重合による極性基変性ポリオレフィンの合成が可能となる。また上記で得られた官能基変性ポリオレフィンの用途（新規相溶化剤・長鎖分岐ポリプロピレンなど）も平行して検討されている。

b. 刺激応答性ポリマー

低温では親水性（水溶性）であるが、ある温度以上になると疎水性（水不溶性）となる性質をもつ温度応答性ポリマーの合成が研究されている。同ポリマーは親水部/疎水部からなり、親水部/疎水部の長さ比を変化させる事でLCST（Lower Critical Solution Temperature：下限臨界溶液温度（水溶性～水不溶性に変化する温度））を制御できる（7～70℃）。またAFMによる直接観察により同ポリマーの構造変化も研究されている。一方で薬物伝達システムなどのバイオテクノロジー関連や基材の表面処理剤（濡れ性の制御：親水性⇔疎水性）などへの用途展開も研究されている。

c. ポリマー・クレイナノコンポジット

Manias研究室ではポリマーマトリックス中にクレイをナノ分散したポリマー・クレイナノコンポジットの合成およびその各種物性が研究されている。ポリマーマトリックス

としてはポリエチレンオキサイド・ポリビニルアルコール・ポリスチレン・ポリエチレン・ポリプロピレン・ポリエチレンテレフタレート・ポリウレタン・エポキシ樹脂など多種多様であり、クレイの添加による各種物性（力学物性（弾性率・熱変形温度）・ガスバリア性・難燃性など：表2）の向上が期待される。

一方でポリマー・クレイナノコンポジットをナノ空間（クレイ層間）に閉じ込められたポリマーのモデル系と見立て、Confinement下にあるポリマー鎖の挙動についても研究されている。

4) 技術移転

a. Intellectual Property Office (IPO)

IPOでは研究にて得られた知見の特許性、大学所有知的財産の商品価値・市場性の評価を行い、知的財産の技術移転・施行の促進を行っている。年間100件近くの特許出願が行われており、特許権使用料による歳入は200万ドルを超える（2001年度）。

b. Industrial Research Office (IRO)

企業との共同研究・委託研究の促進を目的としており、企業のニーズに応じた研究者の斡旋業務などを行っている。

3. 謝 辞

最後に、本稿を作成するにあたりご協力をいただきましたペンシルバニア州立大学 Department of Materials Science & Engineering の E. Manias 教授、T. C. Mike Chung 教授、A. Kimel 教授、Dr. M. Rackaitis に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) "A Direct-Blending Approach for Polypropylene/Clay Nanocomposites Enhances Properties" *MRS Bulletin*, **26** (11), 862 (2001)

〈ペンシルバニア州立大学〉

Penn State University, University Park, PA 16802 U.S.A.

Home Page : <http://www.psu.edu/> (Penn State)

<http://www.mri.psu.edu/> (MRI)

<http://www.matse.psu.edu/>

(Department of Materials Science & Engineering)

E-mail : hiroiyoshi@plmsc.psu.edu