The University of Texas at Austin

Department of Chemical Engineering and Center for Polymer Research

来 山 尚 之*

The University of Texas at Austin, Center for Polymer Research (CPR) は、その名のごとく、米国テキサス（州立）大学オースチン校の Chemical Engineering Department（図1）内に設置された研究機関である。テキサス大学は日本人にはあまり馴染みのある大学ではないが、Houston/Galveston（医学系学部が集中）、San Antonio（アラモの砦、プロバスケットボールチーム NBA の San Antonio Spurs の本拠地）、El Paso（メキシコ国境部）、Dallas/Arlington（ダラス近郊）、Brownsville（テキサス州最南部）などの州内主要都市は言うに及ばず、州内全域に関連施設を有する巨大教育機関である。中でもオースチン校はその中心で、広範な分野を網羅した学部学科群に約5万人の学生、約3千人の教員とそれをサポートする約1万7千人のスタッフが所属するマンモス大学である（図2）。その教育水準は高く、全米の大学ランキングにおいて、Chemical Engineering Department の graduate school はトップ10の常連となっている（学部、学科によってランキングは異なります）。

オースチン市はテキサス州のほぼ中央部に位置する人口約65万（2000年現在）の州都であり、治安も良い。テキサスと言えば、日本人には広大な西部砂漠のイメージが強く、年間を通じて晴天の日が多いのも事実であるが（年間約300日が晴天と言われている）、砂漠が始まるのはオースチンから西へ車で数100マイルも走った辺りからである。実際に生活してみると、ビジネス、文教施設、そして自然が調和するととても住みやすい街であった。

テキサス州がオイルビジネスで潤っていることは周知の事実だが、現在、オースチン市には IBM、Dell 等のコンピューターメーカー、韓国半導体メーカー、日本の半導体製造機器メーカー等、時代の最先端産業が進出し、急速な国際化が進んでいる。この現状に、1999年夏にはそれまでの国内線専用空港が閉鎖となり、新しく国際空港が開港された。オースチンは今、国際都市として着実に発展してきている。因みに、私が滞在した2年間（1997-1999）は現米国大統領の George W. Bush 氏が州知事を務めていた時代でもあり、大統領選挙前後には、テキサス州やオース

図1 CPR 全景

図2 CPR 前からテキサス大学オースチン校のシンボルトワーを望む

チン市から全米、世界へと映像が発信されていたことは記憶に新しい。

さて、前置きが長くなったが、ここで CPR に話を戻したい。私が CPR に在籍していたのは今から約2年前の1999年8月迄であり、また当時の記憶をベースに本稿を執筆させて頂いているため、必ずしも up-to-date な内容にはなっていない可能性があることを初めにお許し頂きたい。また、私が在籍していたのが、後に紹介する Dr. D. R. Paul 教授の研究室であったことから、紹介は Dr. Paul 研究室の内容を中心とさせて頂いた。

* Kitayama, Naoyuki
三菱ガス化学(株) 東京研究所
東京都葛飾区新宿 6-1-1 (〒125-0051)
2001.10.22 受理

1. 研究室の構成

CPR を統括するのは、ポリマーブレンドの世界では第 1 人者とされる Dr. Donald R. Paul 教授である。改めて紹介するまでもないのだが、Dr. Paul 教授は論文投稿数 500 報を超え、Industrial & Engineering Chemical Research の editor を務められたり、最近も著書“Polymer Blends (John Wiley & Sons Inc., Dr. Clive B. Bucknall との共著)”を発刊されるなど、広範に亘って精力的な活躍をされている。また、Phillips Award in Applied Polymer Science, ACS (1984), Outstanding Achievements Award in Research, Society of Plastics Engineers (1982), Society of Plastics Engineers International Award (1993) を始め、数々の賞を受賞されている。Dr. Paul 教授の研究に対する姿勢は非常に慎重、正確、そして厳しく、投稿論文や学位論文等が完成に至るまでには、データの確認作業と徹底的な議論に多くの時間を費やす。このプロセスを経て学生達は研究者として鍛えられる訳で、そういう意味では、この厳しさはむしろ「親心」とでも呼べようか。一生懸命努力する学生、ポスドクには時間を惜しまず親身になってアドバイスを与えてくれる姿勢は、極めて“fair”である。

多忙な Dr. Paul 教授を補佐し、学生・ポスドク達の良き相談相手となっているのがアドバイザーの Dr. Keskkula であり、私も滞在中には随分と助けて頂いた。Dr. Keskkula は長年に亘り Dow Chemical Co.においてポリマーブレンドに関する研究をされた後、CPR のアドバイザーとなられた方であり、その功績は出願された特許等からも推し量ることが出来る。CPR 着任後も、Dr. Paul 教授、学生等との共著で多数の報文を発表されている。Dr. Keskkula は、その輝かしい業績の持ち主らしくからぬ気さくな紳士で、家族の写真に囲まれたオフィスで黙々と仕事をしている姿が印象的だった。

CPR を支えるその他の教授陣は、Dr. Koros 教授、Dr. Barlow 教授などである。Dr. Paul 教授から頂戴した最新情報によれば、Dr. Koros 教授は Georgia Institute of Technology へ移られるため、現在は研究室の移転作業にお忙しいとのことである。一方、Dr. Barlow 教授も、この semester を最後に大学を退職される（12 月末）とのことで、顔見知りの教授陣が CPR を去られるのは、筆者には少々寂しく思える。

Dr. Koros 教授と Dr. Barlow 教授の後を引き継ぐため、North Carolina State University から Dr. Benny Freeman 氏が教授として、Lucent から Dr. Lynn Loo 氏が助教授として、それぞれ 1 月、9 月に赴任される。Dr. Freeman 氏は日本の研究者の間でも著名な高分子膜の権威で、研究分野はほぼ Dr. Koros 教授と同じである。一方、Dr. Loo 氏は Princeton University (Chemical Engineering) でブロックコポリマーの研究成果により Ph.D を取得した後、Lucent でポスドクとして研究を続けられた方である。CPR での研究の詳細は依然決まっていないうであるが、彼女の Lucent での経験を考慮すれば、エレクトロニクスやフォトリソグラフィ分野における高分子材料の利用研究を行うことは間違いないだろう。

実験は、大学院生とポスドクを中心としたチームにより

遂行されている。出入りの多い短期の交換留学生等を除いても、筆者の滞在中、常時大学院生は 10 人前後、ポスドクが 2~3 人、筆者を含む客員研究員が 1~2 人程度と、一つの研究室としては大変な大所帯であった。また、その国籍も米国人を初め、日本人、韓国人、中国人、インド人、タイ人、ブラジル人等と多様であった。これらのメンバーが CPR における研究の 2 本柱である I) ポリマーブレンドと II) 高分子膜のチームに分かれ、日々研究に励んでいた。日本の大学とは異なり、研究室にはいわゆる学部学生は在籍せず、また助手に当たるポストの職員もいないため、実質的にポスドクが大学院生の身近なアドバイザーになっている。研究に関しては、学生間、学生・ポスドク間での議論も活発で、研究室の黒板にはいつもその名残があった。

2. 研究機器等

I) ブレンドの調製・試験片成形

主な混練装置としては Brabender の他、単軸・二軸の押出機がある。また、強度評価用の試験片を成形するため、圧縮成形機と射出成形機が整備されている。

II) 強度等の測定

Instron 引張試験機、Izod 衝撃試験機、Dynatup 試験装置、動的粘弾性測定装置等が備えられている。また、Izod 衝撃試験機には温調器が具備されており、 -60°C ~ 80°C の範囲における測定が可能となっている。

III) 気体分離膜、浸透気化分離膜関連の機器

主な装置として、気体透過率測定装置、気体収着量測定装置、パーバレーション装置、水蒸気透過率測定装置、水蒸気収着量測定装置等がある。

IV) その他

共通機器として、DSC, TG-DTA, DMTA, FT-IR, NMR, エリプソメーター、広角 X 線回折、走査型電子顕微鏡 (SEM)、透過型電子顕微鏡 (TEM)、マイクロトームなどがある。また、ブレンドの粒径 (分布) 解析等のための解析ソフトも活用されている。

1 人当たりのスペースは広く (図 3)、 $5\text{ m} \times 8\text{ m}$ 位の居室兼実験室を 2 人で使用する。勿論、メンバーは相互に各部屋の機器を使用するので、人の出入りは結構激しい。この他に、大型の機器類をまとめて設置した大実験室があり、予約さえ取っていれば、メンバーは自由に使用することが出来る。

図 3 広い居室兼実験室

3. 研究トピックス

CPRの研究テーマは、大きく分けてⅠ) ポリマーブレンド/アロイ、およびⅡ) 高分子膜のガスバリア性や気体分離膜としての機能等に関する研究、の2本柱からなっている。これらの研究の第一目標は、ポリマーの特性や様々な挙動とポリマー構造の関係を明らかにしたり、ポリマーに関する molecular engineering の基礎を確立することにある。また、ポリマーブレンドやポリマーアロイ、高分子膜関連の研究においては、ポリマーの調製方法についての検討も重要な項目であると捉えている。

実験対象となる系は広範に亘るが、その中でも最近ではポリアミド、ポリカーボネート、ポリアクリレート、ポリエステル等をベースとするポリマーについて精力的に検討を行っている。

Ⅰ) ポリマーブレンド

ポリマーブレンドに関する研究では、ブレンドのモルホロジー形成過程を観察したり、ブレンドされたポリマー間の熱力学的な相互作用を定量的に解析することを行っている。具体的には、示差走査熱量測定 (DSC)、動的粘弾性測定 (DMA)、光散乱法、混合熱測定、PVT 挙動測定などに代表される実験的手法と、Flory-Huggins, Sanchez-Lacombe, binary interaction model, molecular mechanics などの理論を組み合わせて解析を行っている。非相溶の混合系における第一の興味は、そのブレンドがどのようなモルホロジーを形成するかということと、これら非相溶ポリマー間の界面状態の解析にある。この分野における研究の多くは、あらかじめ調製しておくか、若しくは混合中の熱等によって生じられる化学反応により in-situ で形成されるブロック、ないしグラフトコポリマーを使って、ポリマー/ポリマー界面をコントロールし、機械強度に優れた素材を作り出すことにある。ブレンドのモルホロジーや強度試験等による破壊面の観察では、透過型電子顕微鏡 (TEM) や走査型電子顕微鏡 (SEM) を活用している。また、強度の評価に際しては、温度、ノッチ形状、破壊速度等のファクターとの相関性も調べている。

最近の代表的な研究成果は、以下の報文にまとめられている。

- "Thermodynamics of solubilization of functional copolymers in the grafted shell of core-shell impact modifiers: 1. Theory," *Polymer*, 37, 115 (1996) (with M. Lu).
- "Impact modified nylon 6/polypropylene blends: 3. Deformation mechanisms," *Polymer*, 36, 4621 (1995) (with A. Gonzalez-Montiel and H. Keskkula)
- "Blends of glycidyl methacrylate/methyl methacrylate copolymers with poly (vinylidene fluoride)," *J. Polym.*

Sci.: Part B: Polym. Phys., 33, 1693 (1995) (with P.P. Gan)
Ⅱ) 高分子膜

高分子材料におけるガスの溶解性と拡散性の評価を通じて、ガスバリア材料や分離膜としての応用を目指している。研究の中心は、高分子材料を構成する分子の主鎖、側鎖等の分子構造が、高分子膜の分離特性とどの様に関係しているかを明らかにすることにある。この過程では、新規ポリマーの開発や、既存ポリマーの化学修飾なども行っている。他の研究者と共同で進めている Separations Research Program (SRP) では、現在、すでに工業現場で利用されているガス分離システムよりもさらに生産性が高く、選択性に優れ、そして信頼性の高い高分子膜の開発を目指している。

気体分離膜、浸透気化分離膜 (Pervaporation) に関する研究は、歴史的には、PC, PSF, PAr 系の気体透過性・分離性と膜構造の関係を研究してきた。現在は、主に薄膜における物理エージング挙動について研究している。パーバレーション分離では、芳香族/脂肪族の透過性・分離性とアクリレート系架橋膜あるいはポリイミド系膜の構造と特性の関係について研究している。

最近の代表的な研究成果は、以下の報文にまとめられている。

- "Polymer-polymer interactions," *Pure & Appl. Chem.*, 67, 997 (1995)
- "Gas transport properties of polyarylates: Substituent size and symmetry effects," *Macromolecules*, 28, 8277 (1995) (with M.R. Pixon)

Ⅲ) トピックス

Dr. Paul 教授にご提供頂いた最新情報によると、最近は、ナノコンポジットに関する研究の占める割合が高くなってきているとのことである。現在、4人の大学院学生と1人のポスドクが、ナノコンポジットの調製とその特性評価に携わっている。マトリクスとして、ポリアミド、ポリカーボネート、PBT, SAN などを選択し、clay は Austin から車で約1時間の町にある Southern Clay Products から供給されている。Southern Clay Products は、clay の代表的サプライヤーとしてご存知の方も多いと拝察する。CPR では、Southern Clay Products との共同実験の形で約3年前から精力的にナノコンポジットに取り組んでいる。

4. おわりに

今回の執筆に際し、CPR の Dr. D. R. Paul 教授から最新情報を頂戴し、内容の校正を頂いた。また、CPR で同期を過ごし、良き友人である静岡大学工学部物質工学科助手の松井誉敏氏には、特に高分子膜の研究内容について助言と校正を頂いた。ここに感謝を申し上げます。