カナダ国家研究会議 工業材料研究所 (CNRC/IMI)

田 上 秀 一*

1. はじめに

小生は、文部科学省在外研究員として“Conseil national de recherches Canada, Institut des matériaux industriels (CNRC/IMI)”にお世話になる機会を得た。この名称はフランス語表記であり、英語では“National Research Council Canada, Industrial Materials Institute (NRC/IMI)”と書く。英語表記のほうが、読者にはなじみがあると思う。CNRC/IMIは、モントリオールの中心からセントローレンス川を挟んで北西へ約10 km、ケベック州のBouchervilleという閑静なFrench speaking townにある。

CNRC/IMIの歴史、研究グループ、設備などの全体的な概要については本誌¹⁾で紹介されているので、本稿では、小生がお世話になった研究グループ“Groupe Composite Polymères/Polymer Composite Group”について紹介する。

2. Polymer Composite Groupの概要

既報¹⁾と重なる部分もあるかもしれないが、CNRC/IMIについて、まず簡単に触れておく。図1(a)はBouchervilleにあるCNRC/IMIの建物の写真である。写真中のPrototyping Laboratoryは増築された研究スペースで昨年完成した。また、Project office and laboratory spaceに新たな建物の増築を行う計画があるとのことである。CNRC/IMIは、“Materials and Processes”と“Process Modelling and Instrumentation”の2つのテクニカルセクションがある。最近、3番目のセクションとしてAluminium Technologies Centreが、5年間で約5700万カナダドルをかけて設立された。そのセンターはケベック州のSaguenay-Lac-St-Jean地区にあるアルミニウムプラントの近くにあり、建物(図1(b))はUniversité de Québec á Chicoutimi (UQAC)のキャンパス内に現在建設中である。詳細はウェブサイト<<http://www.imi.cnrc-nrc.gc.ca/english/>>を参照されたい。表1はIMIの研究グループをまとめたものである。この表の上段はフランス語表記、下段は英語表記である。CNRC/IMIには、Directorによって管理されている3つのテクニカルセクションがあり、その下にGroup Leader

によって管理されている9つのグループがある。DirectorとGroup Leaderはマネージャーを兼ねた研究員である。IMIでは他に、研究員、技官、事務職員が働いている。

Polymer Composite GroupはMaterials and Processesセクションに属しており、Group LeaderはJohanne Denault博士である。このグループには6名の研究員、6名の技官、そして研究に従事している学生やポスドクが若干名所属している。CNRC/IMIでは、研究員は特定のプロジェクトに関する仕事をしており、その任務は、調査、実験データの評価、論文や特許の出版、技術や成果の工業への還元などを通じて、時代に合った研究を実施することである。実験サンプルの準備、機器の操作、資料の測定などの実験そのものは、研究員が直接行うこともあるが、主に技官の仕事である。CNRC/IMIで働く技官は、各研究グループに数名配属されており、3年間のTechnical Collegeにおける教育と1年間の実務経験を経ているので、優れた行動力と高い知識を兼ね備えている。そのため、研究員には研究とプロジェクトの実施に専念できる環境が整っている。ところで、表1で示す研究グループの陣容およびメンバーは、研究テーマやプロジェクトに応じて変わる。

(a) Boucherville地区

(b) Aluminium Technologies Centre (完成予想図)

図1 CNRC/IMIの建物

* Tanoue, Shuichi
福井大学工学部材料開発工学科
福井市文京 3-9-1 (〒910-8507)
2003. 1. 27 受理

表1 CNRC/IMI における研究グループ(2002 年 12 月 5 日現在)

Technical Sections	Research Groups
Matériaux et procédés / Materials and Processes	Composites polymères / Polymer Composites
	Ingénierie des matériaux polymères / Polymer Materials Engineering
	Mise en forme de poudres / Powder Forming
	Technologies de surface / Surface Technologies
Modélisation et instrumentation de procédés / Process Modelling and Instrumentation	Techniques optiques / Optical Techniques
	Caractérisation et capteurs ultrasonores / Characterisation and Ultrasonic Sensors
	Modélisation numérique de procédés / Numerical Modelling of Processes
	Technologies intelligentes de formage / Intelligent Forming Technologies
Centre des technologies de l'aluminium / Aluminum Technologies Center	Procédés de mise en forme de l'aluminium / Aluminium Forming Processes

ご存じのように、CNRC/IMI があるケベック州はカナダで唯一フランス語が主に話されている地域である。それゆえ、建物内での呼び出し、電子メールによる連絡、スタッフ間で交わされる日常会話はフランス語である。しかしながら、フルタイムのスタッフ全員と、小生を除く若干のパートタイムのスタッフは英語とフランス語の両方を話すことが出来る。仮に、1 週間以下の短い期間 CNRC/IMI に滞在するならば言葉の問題はほとんどないが、CNRC/IMI に1 年以上滞在する場合には、フランス語を読み話す能力が必要と思う。それにより、CNRC/IMI での滞在はより心地よいものになるだろうし、より有意義なものになるだろう。

3. Polymer Composite グループでの最近の研究トピックス

Polymer Composite グループにおける最近の研究トピックスについて紹介する。研究スタッフが発表した最近の学会要旨や論文をひもといてみると、Polymer Composite グループにおいて力を入れている研究トピックスとして、熱可塑性樹脂のナノコンポジットが挙げられる。特に、市販のポリマーと有機化クレイから作られるポリマー/クレイ系ナノコンポジットはおよそ3 年前から活発に研究されている。ご存じのように、ポリマー/クレイ系ナノコンポジットは、ポリマーに少量のクレイを混ぜることにより、ヤング率や強度、バリア性、難燃性、その他の特性が著しく向上する、近年注目されている材料の一つである。その研究開発は、豊田中央研究所にてポリアミド6/モンモリロナイトナノコンポジットが最初に開発されて以来、近年急速に進んでいる。CNRC/IMI のホームページ上に本グループの紹介が書かれた PDF ファイルがある。それには以下の項目が“Research Activities”として紹介されている。

- (i) 特定の応用を目指したクレイ表面改質技術の開発
- (ii) 溶融ブレンド技術によるナノコンポジットの作成

- (iii) ポリマーコンポジットとナノコンポジットのブレンド物の作成
- (iv) ナノコンポジットの特性評価技術の開発
- (v) ナノコンポジットの発泡

最近得られている成果を Proceeding や論文を引用しながら紹介しよう。Polymer Composite グループでは、市販されているポリマーナノコンポジット（宇部興産で製造されている PA-6 ベースのナノコンポジット）を用いた基礎研究が行われている。たとえば、溶融体の流動特性^{2), 3)}、PVT 特性⁴⁾、内部構造と機械的特性との関係⁵⁾、成形品の亀裂成長⁶⁾、疲労特性⁷⁾、などがある。図2 は PA-6/クレイ系ナノコンポジットの定常状態におけるせん断速度とせん断粘度との関係である³⁾。図中の t は“waiting time”と呼ばれ、 t が大きいほど、測定の際に次のせん断速度のス

図2 240℃ における PA-6 ナノコンポジットの定常せん断粘度曲線³⁾。データ点の間は waiting time Δt を示し、実験では $\Delta t=0\sim540$ s

(a) 熱水を入れる前

(b) 95°Cの熱水を入れ、放置・冷却した後

(c) Hot fill後、キャップを開けた状態

図3 ボトルの Hot fill 試験の結果. 各図面の左側が PET ボトル, 右側が 3% ナノクレ含有 PET ボトル⁸⁾

テップに進むとき、円板状のクレブレードがよりランダムな状態になっていることを示している。この図では、3つの領域の存在が確認できる。低いせん断速度ではせん断粘度はせん断速度の増加と共に減少している。そのあと、中程度のせん断速度の領域内でせん断粘度曲線の勾配が減少する。tが大きくなるとプラトーな領域が見られる。特に、 $t=540$ sにおける結果で顕著に見られる。そして高せん断速度領域では、せん断粘度は再びせん断速度の増加と共に減少する。これは、高分子液晶のふるまいに似ており、図2における三つの領域は Onogi らが1980年に発表したネマチック液晶の性質と一致する。この現象は、動的レオロジー試験の解析結果から見いだされ、図2で示した定常せん断流動特性試験、応力成長の実験、フーリエ変換レオロジー測定の結果³⁾によって確認されている。

ナノコンポジットの応用の分野においても面白い結果がある。ポリマーをベースとしたクレ系ナノコンポジットの特性の一つに、成形品の熱変形温度の上昇がある。図3はPET/クレ系ナノコンポジットとPETのみの hot-fill 試験の比較を示したものである⁸⁾。ボトルに95°Cの熱水を満たし、キャップを閉め、1分間放置した後、10分間氷水で冷やすという試験である。PETボトルは極端なくびれが見られ、そのくびれはキャップを外したあとも残っている。これに対し、PET/クレ系ナノコンポジットのボトルは、冷却したあと、わずかなくびれが見られ、キャップを外すともとの形に戻る。この結果はポリマーに層状のクレを加えることで耐熱特性が改善されたことを示している。

このグループでは、新規なナノコンポジットの開発にも

(a) SS曲線 (IMI systemがIMIで開発された材料)

(b) 弾性率と強度 (IMI-15AがIMIで開発された材料)

図4 IMIで開発されたPP/クレ系ナノコンポジットと他で発表されたナノコンポジットの引張特性の比較⁹⁾

取り組んでいる。特に、モンモリロナイトを用いたポリプロピレン系ナノコンポジットについては優れた成果が得られている。一般的に、ナノコンポジットの伸度はクレの含有率の増加と共に減少する。しかし、本グループの一員である Ton-That ら⁹⁾により開発された新規な相溶化剤を用いたポリプロピレン/クレ系ナノコンポジットは、延性と靱性が保持されている。加えて、強度とヤング率が公開されている他のポリプロピレン/クレ系ナノコンポジットよりも上回っている。図4に引張試験における比較を示すが、CNRC/IMIで開発された材料が優れた特性を示していることがわかる。CNRC/IMIにおけるナノコンポジット・テクノロジーのさらなる有利な点は、新しいナノコンポジットが二軸スクリュー押出機によるメルトコンパウンディングで作ることができることである。これは工業的に他のナノコンポジットへの応用が期待される。

第1回ポリマーナノコンポジット国際シンポジウムが Polymer Composite Group のメンバーが中心になって準備され、2001年9月にCNRC/IMIで開催された。このシンポジウムで発表された論文のうちいくつかがセレクトされ、Polymer Engineering and Scienceの特集号 (Vol. 42, No. 9, 2002) に掲載された。次回のシンポジウム (第2回) は、2003年9月にCNRC/IMIにて開催予定である。詳細はウェブサイト (<http://www.nanocomposites2003.com>) を参照されたい。ポリマー系ナノコンポジットに興味のある方には、この学会への参加をおすすめする。

4. おわりに

本稿では CNRC/IMI, Polymer Composite グループについて、概要と最近の研究活動について紹介した。本稿が興味ある読者へのお役にできれば幸いである。

小生の滞在期間中, Leszek A. Utracki 博士には, 研究に関する数多くの貴重なご指導ご助言を賜り, 公私ともに大変お世話になりました。ここに, 心からの感謝とお礼を申し上げます。また, グループリーダーの Johanne Denault 博士, 研究員の Tan Minh Ton-That 博士, Martin N. Bureau 博士, その他 Polymer Composite グループや CNRC/IMI の皆様には小生の滞在に対し, 親切なおサポートをいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。最後に, 高分子成形加工で著名な研究者であり, Polymer Composite グループのメンバーであった Andres Garcia-Rejon 博士が 2002 年 3 月に亡くなりました。博士は, 晩年ポリマー/クレイ系ナノコンポジットに関する研究を実施し, その一部を小生が CNRC/IMI 滞在中に実施しました。誌面を借りて, 博士のご冥福をお祈り申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Utracki, L. A. : 成形加工, **13**, 110 (2001)
- 2) Utracki, L. A. and Lyngaae-Jørgensen, J. : *Rheol. Acta*, **41**, 394 (2002)
- 3) Utracki, L. A., Sammut, P., and Lyngaae-Jørgensen, J. : *Proceeding CD-ROM of PPS 2001 Taipei*, I 16 (2002)
- 4) Simha, R., Utracki, L. A. and Garcia-Rejon, A. : *Compos. Interfaces*, **8**, 345 (2001)
- 5) Bureau, M. N., Denault, J., Cole, K. C. and Enright, G. D. : *Polym. Eng. Sci.*, **42**, 1897 (2002)
- 6) Bureau, M. N., Denault, J. and Glowacz, F. : *SPE ANTEC Tech. Papers*, **2**, 2125 (2001)
- 7) Bellemare, S. C., Bureau, M. N., Denault, J. and Ivan Dickson, J. : *SPE ANTEC Tech. Papers*, **2**, 2235 (2002)
- 8) Garcia-Rejon A., Simard, Y. and DeGrandpre, C. : *SPE ANTEC Tech. Papers*, **1**, 881 (2001)
- 9) Ton-That, M.-T., Perrin, F., Laccand, P., Cole, K., Denault, J. and Enright, G. : *Proceedings CD-ROM of Polymer Nanocomposites 2001* (2001)

■ 文 献 抄 録 ②

Kunststoffe

• Vol. 91 (2001), No.1

Steinhoff, W., Snyder, R. S. : EPDM-maßgeschneidert (p.90)

Grav, R. L. u. a. : Verbesserte Leistung-Phenolische Antioxidantien mit hoher Wirksamkeit und geringer Farbkontribution (p.94)

Albus, S. : Mit Wärme haushalten-Wärme-dämmung von Bauwerken (p.97)

Fries, K.-W. : Gut gedämmt-PUR-Metall-Dämm-elemente mit niedriger Wärmeleit-fähigkeit (p.102)

• Vol. 91 (2001), No.2

Altendorfer, F. : Chancen des Strukturwandels nutzen (p.18)

Kömpf, M. : Produzieren für die Medizintechnik (p.22)

Stützing, C. : Hochleistung oder Flexibilität ? (p.27)

Schöppner, V. : Barriereschnecken für eine breite Materialpalette (p.32)

Michaeli, W., Imhoff, A. : Auslegung von Einschnecken-extrudern (p.38)

Michaeli, W. u. a. : Auslegung von Spritzgießschnecken (p.42)

Aumüller, W. : Schälprüfung an 2-Komponenten-Bauteilen (p.46)