

## 「技術は人が育てる—高分子フィルム開発を通じた技術者の軌跡」(全4回)

## 第4回 技術者から教育者、そして架け橋へ

金井俊孝\*

(2月号からのつづき)

## 4. 大学・学会・コンサルタント活動

## 4.1 金沢大学との連携講座の設立

主幹研究員になった48歳の頃、以前から客員教授をしていた金沢大学から連携講座設立のお誘いの話があった。金沢大学と出光興産(当時、石油化学部門は出光石油化学)が連携し、金沢大学が出光グループの研究員を大学の教員として迎え入れ、その連携講座を出光興産内にも開設し、学生の指導に当たるといった話であった(図26)。成立しない話だろうと思いつつも役員会や社長説明を含め何度もの社内会議を行った末、連携講座を設立された(図27)。

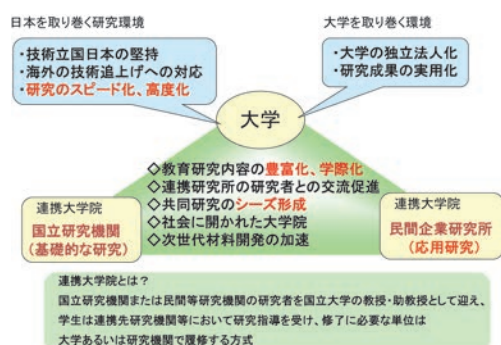


図26 大学における連携大学院設立の意義



図27 出光石油化学と金沢大学の調印式に集まった関係者

Technology is Developed by People —The Trajectory of an Engineer through the Development of Polymer Films  
4. From Engineer to Educator, and Bridge-Building

\* Kanai, Toshitaka  
KT POLYMER 代表  
toshitaka.kanai@ktpolymer.com  
2025.7.31 受理  
<https://doi.org/10.4325/seikeikakou.38.96>

連携講座開設後、多くの博士や修士の学生を輩出することになった。金沢大学の学生に研究テーマを出して研究してもらい、多くの研究成果を上げることができた。博士課程の学生と修士、学部の学生らと協力しながら研究を進めることができた。その連携講座としての成果は主に英語文献として50報ほど投稿し、すべてがAcceptされている。今まで未解明だった現象も大学院学生の努力で明らかになり、また多くの修士・博士の学生が出光グループの研究所で実験を行い、多くの学生が社会に旅立った。退職まで13年ほど連携講座を続けることができたが、出光興産籍の研究員の協力も大きかった。また、金沢大学の客員教授として、多くの学生の輩出と研究成果に対して、大学から優秀貢献賞を受賞した。

例えば、フィルム成形に関連したテーマとしては、Tダイキャスト成形で問題になるネックイン、シャークスキンやメルトフラクチャーなどの現象の解析がある。粘弾性流体と仮定して、ネックイン量を予測する研究やシャークスキンやメルトフラクチャーの発生原因やそれを防止する対策などについて、研究を行った。

ネックイン量(図28)は伸長粘度の立ち上がり度に大きく影響され、伸長粘度を良く反映できる粘弾性解析Giesekusモデルを適用し解析することで、実験結果を予測することが可能になった。その結果、長鎖分岐が多いもしくは分子量分布が広いとネックイン量が抑制されることを確認し(図29)、幅方向の各位置でのネックイン量の予測、幅方向の厚み分布や厚みが均一になる有効幅も予測可能になった<sup>29)</sup>。

また、シャークスキン(図30)は可視化装置と解析技術を活用して、ダイス内の剪断応力の限界値が存在し、

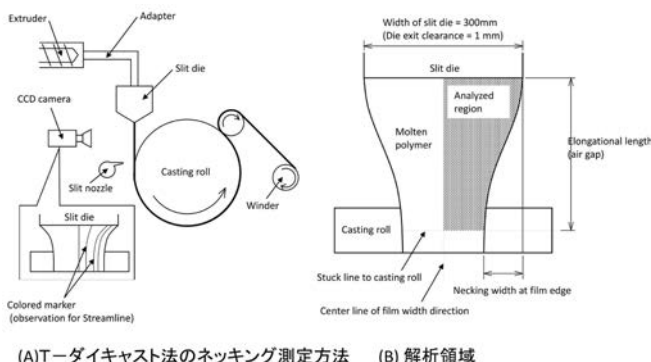


図28 フィルム成形中のネックイン現象の解析

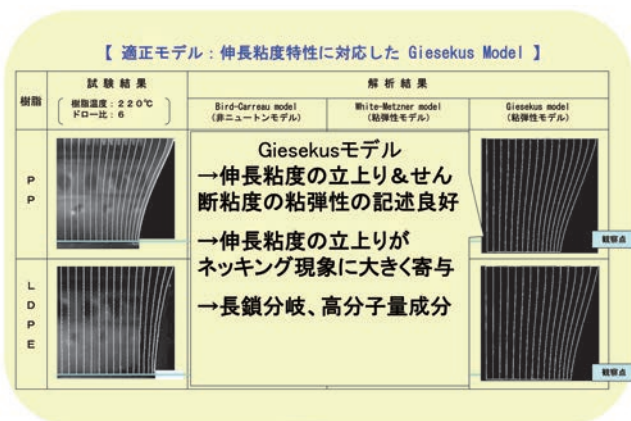


図 29 ネッキング現象に関する実験と解析結果の比較

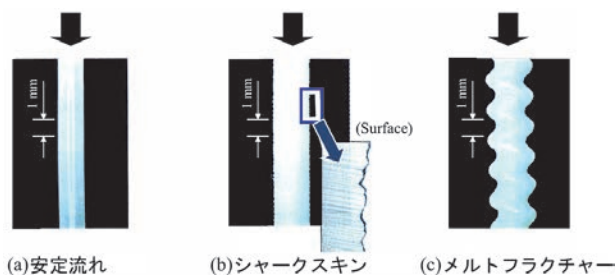


図 30 HDPE の流動不安定現象

【シミュレーション結果】

シャークスキンは剪断応力  $3 \times 10^5 \text{ Pa}$  以上で発生

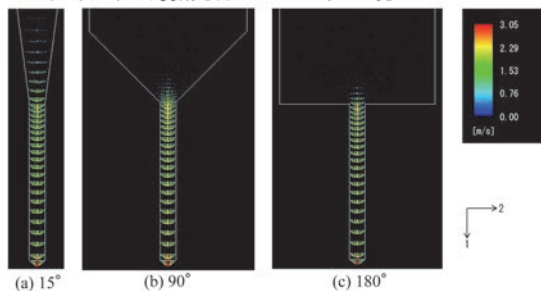


図 31 ダイ流入角の異なるキャピラリーノズル内速度 Vector

【シミュレーション結果】

メルトフラクチャーは法線応力  $3 \times 10^6 \text{ Pa}$  以上で発生

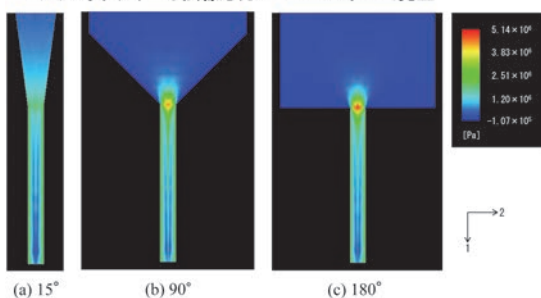


図 32 ダイ流入角の異なるキャピラリーノズル内法線応力

$3 \times 10^5 \text{ Pa}$  以上で発生すること(図 31), メルトフラクチャーはダイス入口の法線応力が  $3 \times 10^6 \text{ Pa}$  以上になるとダイス内での周期的な変動として発生し, 樹脂の粘弾性的な性質やダイス入口の流入角も重要であることがわかった(図 32)<sup>30), 31)</sup>.

押出機内の PP の酸化劣化はモデル的に押出機内の酸素

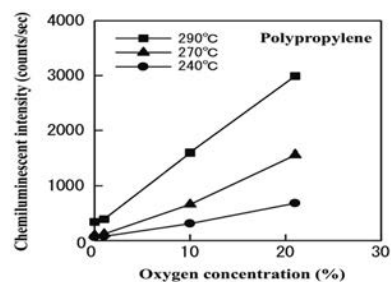


図 33 酸素濃度, 温度とケミルミネッセンスの強度の関係

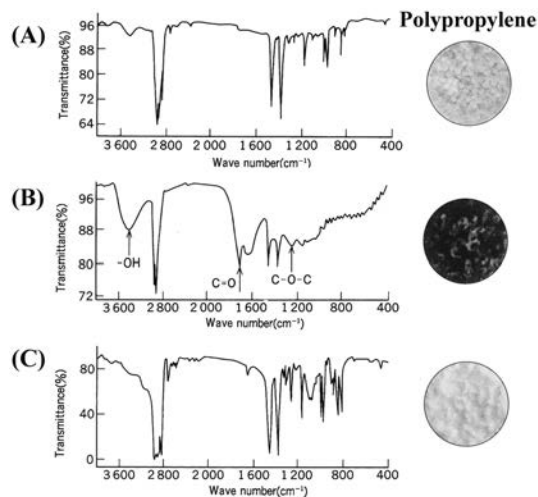


図 34 酸素濃度, 温度, 滞留時間を変化させた IR スペクトルの比較

(A) PP, (B) 酸素濃度 21%, 290 °C, 10 時間の条件下での PP 劣化物, (C) 酸素濃度 0 %, 290 °C, 270 時間の条件下での PP

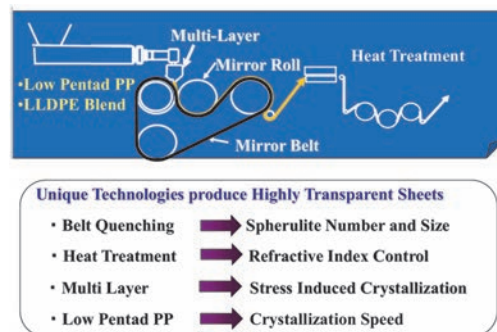


図 35 高透明 PP シートプロセス

量, 樹脂温度, 滞留時間を変化させてケミルミネッセンスの強度を測定した結果, それぞれの因子により支配されることがわかった. また, 樹脂温度を 260 °C 以下に抑えること, 酸素量を減らすと酸化劣化の抑制に大きな効果があることが定量的に把握できた(図 33). また, 同時に IR のカルボニル基起因の  $1720 \text{ cm}^{-1}$  の吸収とも深い関係があることが判明した(図 34)<sup>32)</sup>.

2011 年にはすでに高透明 PP シートが商品化されていたが, ガラスライクな透明性を発現させるためのメカニズムについては明確になっていなかった. 高透明 PP シートの研究開発では, 応力配向結晶化を抑制するために, 押出機内およびダイス内で樹脂にかかる剪断応力を小さく抑え, 両面急冷して結晶化速度の速い温度領域を通過する時間を極力短くして球晶サイズを微細にし, かつ球晶とマトリッ



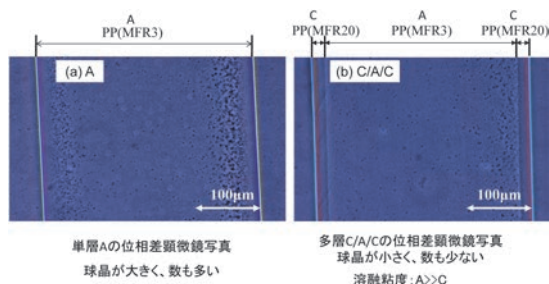


図 36 (a)単層 A, (b)多層 C/A/C 構造のシート断面位相差顕微鏡写真

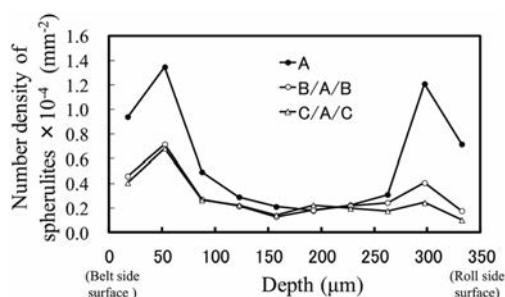


図 37 各種シート A, B/A/B, C/A/C の球晶密度の厚み方向分布 分子量: A>C, 立体規則性: A>B



図 38 高透明 PP シート

クスの結晶構造を  $\alpha$  晶に統一化して光の散乱を抑制するために熱処理すること (図 35), 透明性を維持しつつ応力配向結晶化を抑制するために両表面に分子量の低い樹脂を配置し (図 36, 図 37), また結晶化速度を抑制するために第三成分を添加して球晶生成を抑制すること, その他 2~3 のアイデアを組合せることで, 大きく透明性を制御できることが明らかになっていった (図 38)<sup>33)~35)</sup>。

これには金沢大学の連携講座所属の修士や博士の学生たちの, シートの厚み方向に膨大な数が存在する球晶を細かく数える地道な努力や, 多層ダイ内の剪断応力解析と冷却計算を組み合わせることで配向結晶化のメカニズムを解明する努力があった。

その結果, PP の高透明化技術で Polymer Processing Society から創立者の名前を冠した White Innovation Award を受賞した。初代受賞者として, 開発に関与した研究者と共に学会から表彰され, 受賞講演を行った。

その他, 多くの研究テーマを通じて, 従来未解明な現象を明らかにすることができた。

連携講座の私の研究室で行った主な研究テーマとしては, 以下のものが挙げられる。

ポリカーボネートに対する熱分解制御によるノンハロゲン難燃化研究, ナイロン系チューブラー二軸延伸フィルム成形解析と物性, ポリオレフィン系チューブラー二軸延伸

フィルム, チューブラー二軸延伸におけるポリオレフィン系熱収縮フィルム, フィルム成形における可視化および流動挙動に関する研究, ポリプロピレンフィルムの延伸性および表面構造形成制御, 二軸延伸評価機の開発とポリオレフィン&ポリスチレンの二軸延伸評価, フィルム中の添加剤のブリードメカニズム, ポリプロピレンシートの透明性発現機構の解明, ポリプロピレン/ゴム系ブレンド射出成型品のフローマークと高次構造, 射出成型品の表面構造と物性の関係。

## 4.2 学会・社内の活動

企業内では, 技術力を向上させるために, 専門職の役職者が各委員会の責任者となり, この指止まれ方式で研究者がアフター 5 に自発的に参加できる研究会 6 分科会を立ち上げ, 長年未解決で終わっていたテーマや未解明現象を基礎的なアプローチからメカニズムを解明するテーマを各部門の研究者が集まって活動した。また, 年に 1 度の割で, 社長や役員の参加を得て, 技術を主体とした内容の技術発表会・討論会を提案し, 主催した。技術力向上を目的とした企画・運営であった。未解明現象も徐々に解明され, 具体的に開発テーマへの展開に活用された。また, 研究会で積極的に活動した研究者の内 4 名が金沢大学から工学博士を取得することになる。

また, 学会活動では, 長年プラスチック成形加工学会の理事職を続けてきたが, 58 歳の時, 会長に就任した。会長在任中には日本とアジア各国の 2 か国間で実施していた AWPP (Asian Workshop on Polymer Processing) を, 国際化組織委員会を組織し委員長として, アジア・オセアニア地区 11 か国から構成される正式な国際会議に発展させた AWPP を新たに設立し, プラスチック成形加工技術の国際化にも貢献した (図 39)。

## 4.3 KT POLYMER の設立

当時, 出光興産の退職年齢は 60 歳だったが, 業務上の都合や金沢大学の博士課程学生の修了時期, 学会の会長職でもあり, 退職年齢を 1 年伸ばし, 61 歳で退職した。退職と同時に, KT POLYMER を設立し, また京都工芸繊維大学の特任教授や東京工業大学の再度の非常勤講師として, 活動を開始した。

KT POLYMER は機能性フィルムや高機能材料の技術のコンサルティングを目的とした会社として運営した。

設立開始当初から KT POLYMER にいろいろな企業からの依頼があり, 結局, 東京, 京都, 金沢での大学関係の仕事とお互いに分野が重ならない数社の企業に絞ってコンサルタント業務を行うことから始めた。



図 39 2011 年 AWPP 青島での Opening スピーチをする筆者

#### 4.4 コンサルタント活動の始動

主な仕事は、①材料や成形加工、高分子解析やその評価方法など基礎教育講座による製品開発に必要なとなる知識の講義、②各企業の研究開発テーマに対する個別アドバイス、③商品開発に対するアドバイスや開発品の実機成形指導、④企業の抱えている課題解決手法や評価方法の相談と解決策の提案、⑤新たな研究所設立に対する組織、必要な成形機や評価設備とその評価方法のアドバイスなどを行っている。

KT POLYMER を設立してすでに 13 年になるが、その間、約 70 社の大手企業の方々が事務所に来訪され、研究テーマに関する打合せをする機会が多い。今まで研究してきた領域以外の話題が多い。特に、最近では高機能フィルムに関するニーズが多く、これらに関連した研究開発の仕事が多くなっている。

KT POLYMER と関係の深く、企業が興味を持っている研究テーマや学会・研究会などで取り上げた機能性フィルム分野を整理すると、表 1 のようになる。

表の中に記載した内容の話が、コンサルタント案件として持ち込まれるケースが多い。

一方、最近感じていることであるが、各企業により多少状況は異なるが、大手企業でも若手から中堅研究員までを対象とした専門教育を実施している企業が少なく、基礎的な専門教育を希望する企業は多い。また、現場での課題を原因究明し本質的に解決したいケースや研究開発テーマに関する具体的なアドバイスを希望する企業も多い。さらに、基礎研究から開始し、最終的には実機試作や商品化技術まで仕上げる案件もある。共通して言えることは、直面している問題に対して、原因を究明し、納得した解決方法を知ることによる、本質的な解決方法を望んでいるということである。

コンサルタント業では、分野の異なる今まで経験したことのない樹脂や成形メーカーや機械メーカーの企業からの依頼が多く、相談を受けた当初は難しいのではないかと思っていたが、必要な技術はレオロジー、結晶化、成形加工とその理論、構造解析、実用物性の関係を考えることで

あり、樹脂が異なっても研究開発の考え方はまったく同じであると実感した。基礎教育の重要性を感じると共に、入社当時から行っていた成形現象の実験的な把握と理論解析を組み合わせる成形加工現象のメカニズムを考えることで、成形加工問題解決や新規な材料での開発テーマが取り組みやすくなった。

今までの分野からさらに取り扱う分野が広がり、視野も広がった。

#### 4.5 大学での学生たちとの交流

大学関係の仕事としては、出光興産を退職後、京都工芸繊維大学は、「長持ちの科学研究センター」の特任教授として学生の研究テーマの指導を 2019 年までの 6 年間行った。東京工業大学では再度、非常勤講師として有機材料設計の授業を 2020 年までの 5 年間担当した。金沢大学の博士課程の学生もいたため、博士修了まで研究指導も継続した。この博士課程の学生は、その後、研究開発した二軸延伸評価機を製作販売する企業を 2019 年に立上げている。

2017 年にはプラスチック成形加工学会から長年にわたる学会への貢献から名誉会員の称号を与えられた。

#### 4.6 今までの経験から感じること

会社での研究開発およびマネージング経験による樹脂設計、構造解析、成形理論解析、レオロジーなどの知識習得と収益も考えた製品開発、海外の大学留学経験を通じての基礎解析技術や英語力の向上、大学の研究室の運営による基礎技術の向上や後継者の指導を経験させてもらったことが、幸いにもさらに広い分野での研究開発に応用できることを実感し、人脈も広がり、各社の協力もあり、非常に楽しく仕事をさせていただいている。

また、大型テーマの場合には、一社だけではなく、他社との共同取り組みも重要であることを実感した。今までのすべての経験が何らかの役に立っていると実感し、いろいろな経験は最終的には無駄がなかったと思っている。

4 回にわたって、未来につなぐ成形加工と題して執筆してきたが、個人的な内容が主体になってしまったようであるが、読んでいただいた皆様には、ここで感謝したい。少しでも、参考になれば幸いである。

### 参 考 文 献

- 29) Kometani, H., Matsumura, T., Suga, T. and Kanai, T. : *J. Polym. Eng.*, **27**, 1 (2007)
- 30) Kometani, H., Kitajima, H., Matsumura, T., Suga, T., and Kanai, T. : *Int. Polym. Process.*, **21**, 32 (2006)
- 31) 米谷秀雄, 北嶋英俊, 松村卓美, 菅貴紀, 金井俊孝 : 成形加工, **19**, 883 (2007)
- 32) Kometani, H., Matsumura, T., Suga, T., and Kanai, T. : *Int. Polym. Process.*, **21**, 24 (2006)
- 33) Funaki, A., Kanai, T., Saito, Y., and Yamada, T. : *Polym. Eng. Sci.*, **50**, 2356 (2010)
- 34) Funaki, A., Kondo, K., and Kanai, T. : *Polym. Eng. Sci.*, **51**, 1068 (2011)
- 35) 船木章, 蔵谷祥太, 山田敏郎, 金井俊孝 : 成形加工, **23** (5), 229 (2011)

後注：

文献リスト（書籍、投稿論文、学会発表、専門雑誌）

[Online]. Available :

<https://www.ktpolymer.com/syoseki.html>

[Accessed : 31-July-2025]

表 1 機能性フィルムテーマの一覧表

フィルム種類	高機能フィルム	用 途	要求特性
環境対応材料	植物由来材料、PLA、PBS/PBSA、PHA、PEBH、ダンブレン、セロハン、CNF	ゴミ袋、食品包装、農業資材 家電・自動車部品、 産業用電気、建築材料	成形加工性、生分解性 高弾性、高強度 劣化に優れた材料
IR 減衰化 リサイクル リユース	BOPE、高耐熱BOPP モノマテリアル化 耐熱性、耐劣化	包装材料（減容化）、包装材料・ 家電・自動車材料リサイクル 省資源	良延伸性、高弾性・高強度 高弾性・高耐熱 リサイクル性
液晶用	偏光フィルム、超微細折 位和超微細折位、 反射フィルム、 拡散プロテクター	TV、携帯電話、 各種ディスプレイ、 パソコン、スマホ 電子ペーパー、PDA	厚み均一性 高透明、寸法精度 低湾曲度、低位相差 耐熱・透明薄膜、低異物
有機EL用 表示用	有機EL用超ハイドリア （有機無機ハイブリッド） 導電性フィルム 電子ペーパー	スマホ、照明 大型TV、照明 タッチパネル	ハイドリア 配向均一性 歩留まり 良表面外観 低ボウイング
電池関係	バックシート、封止材シート	シリコン太陽電池、 ペロブスカイト太陽電池、 有機薄膜太陽電池	耐熱性、耐熱、反射性、低吸水性、封止
	フレキシブルフィルム (PET、PEN、PI、PEEK)	データストレージ、 各種電子機器	耐光性、耐水性、耐熱性、耐熱性
	セパレータ（ポリアミド） ソフトパッケージ (PET/PA6/PP)	Liイオン電池 全固体Li電池	均一孔徑、微点、自己修復 高強度、ヒートシール強度、 深絞り、ハイドリア
	超薄膜フィルム (BOPP)	HEV用大容量コンデンサ	薄膜(2.3~2.5μm)、高BDV、低異物、 耐熱性、片面平滑・片面凹凸
高速通信	フレキシブル基板 (LCP、MPI、PEN、SPS、PTFE)	高速通信 5G、6G 等 無線伝送、家電、IoT	高周波特性(誘電特性)、高耐熱性、 表面平滑性、寸法精度、異物フリー 低異物、低吸水、低吸水性、厚み精度
食品包装	ハイバリア包装 (EVOH) レトルトフィルム	長期保存食品 レトルト食品	ハイバリア、透明性 耐熱性、耐水性、耐油性
医療包装	ハイバリア (EVOH)	PTP (両面ハイバリア) 輸送パック	ハイバリア、耐水性、耐油性、 透明性、安全性、異物フリー
透明包装・ トレイ	高透明フィルム	文具、化粧品パッケージ、 電線用トレイ	高透明（急冷、結晶制御、球晶抑制） 高弾性、熱成形性
加飾	加飾フィルム PP、PMAA、PET、PC、ABS	家電、LED、建材、自動車内外装、 バイク、電車、バス	高透明、印刷性、硬度、耐熱性 耐腐食性、耐熱性、厚み精度