二軸押出機による複合化プロセス

小林 昭 美*

1. はじめに

各企業にとって、グローバルな競争が激化する中で、「社会貢献」と「勝ち残り」が重要な経営のキーワードとなっている。プラスチック業界においても、炭酸ガス排出量削減を初めとした地球環境保護対策による社会貢献と、製造コスト低減による競争力強化で勝ち残りを目的として、省エネ・省工程化等による製造プロセスの合理化が永続的に進められている。一方、ベースポリマーのグレード数削減と多様化するユーザーニーズ対応を両立させるため、複合化や改質によるポリマーの高機能化も活発に行われている。また、プラスチック製品中の不純物除去による高純度化も、高度化する用途に対応すると同時に、リサイクル性や環境負荷の低減を目的として実施されている。

押出機メーカーもこのようなユーザーニーズに応えるため、省エネ・省工程を目的とした脱揮、脱水、反応用の同方向回転二軸押出機（以下では二軸押出機と省略する）や、高機能化を目的としたフィラー混練、ポリマーアロイ用の二軸押出機を開発してきている。また、高度化するユーザーニーズに応えるため、高トルク化、高速化、スクリュ深溝化などの機械自体の高機能化と機械要素、システムの開発も行ってきている。

そこで本稿では、ユーザーニーズを背景として、基本性能が高度化してきている二軸押出機の近年の開発動向と、それらの開発をベースとして実用化されてきたプラスチック製造プロセスの複合化について解説する。

2. 二軸押出機の開発動向

二軸押出機の基本的性能は、「許容トルク」・「最高スクリュ回転数」・「スクリュ深溝比」の三種類の基本的機械仕様で評価することができる。これらの基本仕様は、ユーザーニーズに応えるため高度化し続けてきている。

表1は、東芝機械製二軸押出機 TEM を例として、二軸押出機の開発の歴史を示している。第一世代 TEM-A 型機を開発後、順次機械性能を向上させて、現状の高トルク・高速・深溝の第五世代 TEM-SS 型機に至っている。そして、現在は超深溝の高トルク・高速型の第六世代が実用化され始めた所である。

2.1 高トルク化

許容トルクを決定する機械要素は、駆動系部品とスクリュ軸及びスクリュエレメントであり、これらの発生応力を材料の許容応力以下にする必要がある。発生応力を低下するためには、一般的には径を大きくすればよいが、二軸押出機においては、完全噛み合いという幾何学的形状の問題から二軸の芯間距離が制限されるため、安易に軸径を太くすることができない。

上述のような制約条件のもとで高トルク化を行なうため、各種機械要素の開発が行なわれてきている。歯車箱には、スクリュ側の一つの歯車をモーター側の二つの歯車で駆動するデュアルドライブ方式¹⁾が、歯車強度とベアリング寿命向上を目的として採用されている。スクリュ軸では、高強度・高靱性材料の採用、疲労強度改善の表面処理、応力

表1 二軸押出機の開発の歴史

	型式	スクリュ固定方法	許容トルク*	最高スクリュ回転数*	スクリュ形状**
第一世代	TEM-A	キー	低トルク (1.0)	低速 (1.0)	三条浅溝 (1.0)
第二世代	TEM-B	キー	低トルク (1.0)	低速 (1.0)	二条浅溝 (1.8)
第三世代	TEM-H	角スプライン	中トルク (1.4)	中速 (1.5)	二条浅溝 (1.8)
第四世代	TEM-BS	インボリュートスプライン	高トルク (2.0)	高速 (2.0)	二条深溝 (2.0)
第五世代	TEM-SS	特殊スプライン	超高トルク (2.6)	超高速 (5.0)	二条深溝 (2.0)

* 表中の()内の数値は、第一世代<TEM-A>型機の仕様数値を1.0とした場合の各世代型機の比率を示す。

**スクリュ形状における()内の数値は、フリーボリュームの比率を示す。

* Kobayashi, Akiyoshi
東芝機械(株) 押出成形機技術部
沼津市大岡 2068-3 (〒410-8510)
2006.1.27 受理

図1 二軸押出機(TEM)の許容トルクの変遷

上図は深溝型、下図は浅溝型

図2 深溝型と浅溝型のスクリュ断面(模式図)

集中を低減する特殊スプラインの開発が行なわれている。スクリュエレメントに対しては、外側に耐磨耗あるいは耐腐食といった機能性材料を採用し、内側には高靱性材料を使用するソフトコア構造を採用することで、強度と機能のバランスを取りながら高トルク化に対応している。

図1は、TEM機の許容トルクの変遷を示している。縦軸は許容トルクを芯間距離(単位はcm)の三乗で割ったトルク密度であり、前述したような機械要素の開発により、現状の第五世代二軸押出機の許容トルクは、第一世代の2.6倍程度まで増大している。

2.2 スクリュ深溝化

スクリュ深溝比は、スクリュ外径(OD)とスクリュ谷径(ID)の比で規定される。スクリュの深溝比が大きいとフリーボリュームが大きくなり、同一二軸芯間距離の二軸押出機において、同一スクリュ回転数での押出量増大あるいは同一押出量での滞留時間の延長を実現することが可能になる。

しかしながら、深溝比が大きくなると弊害も発生する。図2²⁾は、同一の二軸芯間距離における浅溝と深溝のスクリュ断面を模式的に示したものである。深溝化するとスクリュ谷径が小さくなり、スクリュ軸径も細くなって高トル

図3 スクリュ隙間と混練性能

ク化が困難となる。また、スクリュの断面形状も、深溝化したスクリュではフライト山幅が小さくなって混練能力の低下が発生する。すなわち、スクリュ断面形状に基づく混練性能や、押出量に対する許容トルクの問題から、深溝は混練不足を、浅溝は過剰混練を引き起こしやすくなる。以上の混練性能と許容トルクの関係から、現状の主流機にはスクリュ深溝比(OD/ID)として1.5~1.6程度を採用している。

2.3 高速化

現状の二軸押出機は、1000 rpm以上のスクリュ回転数が利用可能となっている。従来も1000 rpm程度のスクリュ回転数が適用されていたが、少ない押出量で樹脂温度上昇の少ない高滑性あるいは低粘度の原料に適用が限定されていた。

高速化における最大の技術的問題点は、ベアリング寿命の低下とせん断発熱である。高トルク・高速回転で一定以上の寿命を確保するには、ベアリングへの荷重を低減する必要がある。そのためには、前述したデュアルドライブ駆動は、上下の歯車でベアリングに負荷される荷重が反対方向になって相殺されるので有効である。

一方、せん断発熱の低減は、スクリュ隙間とスクリュ構成の適正化で達成される。すなわち、適正な圧力で有効な混練が行なわれるようにしている。図3は、スクリュ隙間と混練性能の指標となるMFR変化率(供給された原料が二軸押出機で混練されることで変化するMFRの比率を意味し、混練性能の高さを示す指標として評価している)の関係を示している。MFR変化率はある隙間で極大値を示し、隙間が狭すぎても広すぎても混練性能が低下することを示している。また、ポリマー中に無機粒子を分散させるフィラー混練でも同様の傾向となっており、ある隙間で分

図4 ABS製造プロセスへの複合化の適用

散粒子径は極小値となる³⁾。そのため、温度上昇を抑制しつつフィラー分散に適した隙間となるように、隙間を最適化する必要がある。

3. 二軸押出機を用いた複合化プロセス

二軸押出機は優れた混練性能を持っていることから、ガラス繊維やフィラーの混練、ポリマーアロイ等に広く使用されている。混練性能に優れるということは、ベースポリマーの均一溶解に優れるだけでなく、ベースポリマー中に異種粒子を微細かつ均一に分散・分配混合できることを意味している。また、二軸押出機の機械特性からシリンダ内部に樹脂が充満しない領域を持つため、ポリマー中から不純物などを除去する分離性能にも優れる。このような特性を活かして、二軸押出機は単なる混練押出機としてだけでなく、脱揮・脱溶剤、脱水・乾燥、反応等の機能を持たせることによって、工程を複合化できるため、プラスチック製造プロセスの合理化手段として使用される。

3.1 プラスチック製造工程の複合化

ペレット等のプラスチック中間原料の製造プロセスにおける二軸押出機の立場はフィニッシャーであり、上流側には数多くのプロセスが存在する。また、最終プラスチック製品という観点から見た場合は、下流側にも多くのプロセスが存在する。したがって、優れた機械的特性を持つ二軸押出機は、これらの上下流のプロセスを取り込んで工程複合化を実現することができる。

プラスチック製造プロセスにおける最上流工程は重合であるが、重合と二軸押出機における混練・造粒工程の間には、脱揮・脱溶剤、脱水・乾燥などの分離を行なう重合後処理工程が存在する。これらの分離プロセスにおいては、二軸押出機の持つ分散混合能力は粒子の微細化を、分配混合能力は分離界面の増大を実現し、結果として分離能力の向上を可能とする。また、非充満領域により分離された物

質は円滑に系外に排出される。二軸押出機に分離工程を取り込んだ脱揮混練造粒押出機や脱水乾燥混練造粒押出機は、工程の複合化による合理化だけでなく、エネルギー効率向上やクロードシステムを実現することが出来るため、省エネルギーや環境対策にも有効である。

図4⁴⁾には、複合化プロセスの例として、ABS樹脂製造プロセスを示す。ABS樹脂は、乳化重合により製造された高ラバー分ABSパウダーと、塊状重合により製造されたSAN樹脂ペレットを混合して製造される一種のポリマーアロイである。SAN樹脂側に対しては3.2節で説明する脱揮工程が、高ラバー分ABS樹脂側には3.3節で説明する脱水・乾燥工程が、コンパウンディング工程に複合化されている。

3.2 脱揮工程の複合化

従来の脱揮処理方法は、重合後の揮発成分を多量に含むポリマーを再加熱した後、攪拌インペラーを備えたデボラティライザーへ導入して残留揮発成分を目標値以下に低減させている。場合によっては、残留揮発成分を更に低減させるため、ベント負荷の小さい単軸押出機をデボラティライザーの後に使用することも行なわれてきた⁵⁾。しかしながら、最近では高濃度に揮発成分を含む原料の脱揮処理を混練と同時に二軸押出機で行なう複合化プロセスが、品質向上、合理化、環境対策といった観点から増えてきている。

従来のデボラティライザーによる脱揮は、表面更新効果が乏しいため脱揮効率が悪いこと、脱揮が進行し粘度が上昇してくると、外壁面近傍では表面更新が少ないために樹脂が滞留して熱劣化が発生するなどの問題がある。一方、二軸押出機を使用した複合化プロセスでは、二軸押出機の持つ高い表面更新性能やセルフワイピング性能により、熱劣化を起こすことなく高効率な脱揮を行なうことが可能になっている。

二軸押出機を用いた脱揮の複合化プロセスでは、5～6

図5 二軸押出機によるABS脱水乾燥方式

ベントを有する多段ベント押出機や、ロングベントを有するベント押出機⁶⁾などが採用されている。また、脱揮効率促進のため、水や抽出ガスを脱揮助剤として使用する技術も開発されている⁷⁾。このような脱揮効率改善と同時に、高濃度に揮発成分を含有する原料を取り扱う場合には機械の設置場所が防爆地域となるため、揮発成分の封止や外気遮断などの防爆対策が重要となる。そのため、スクリュ基部の軸封構造やベント部の構造などに工夫を凝らし、機械的な安全性を高めている。

3.3 脱水・乾燥工程の複合化

二軸押出機による脱水・乾燥工程の複合化は、ABS樹脂および合成ゴムの分野で最も多く使用されている。二軸押出機を使用しないプロセスでは、凝固・水洗の各工程を経た含水樹脂を遠心脱水機により含水率30~40%程度に脱水した後、乾燥管・流動乾燥炉によって含水率1%以下程度まで乾燥する。このような乾燥システムは、原料中に含まれる水分を全て蒸発により除去するが、水の蒸発潜熱が高いため膨大なエネルギーが必要となる。また、含水率1%程度の乾燥パウダーは、酸化による劣化や粉塵爆発の危険性なども伴うため、加熱窒素ガスによる酸素遮断等も必要となる。そのため、設備は大規模となり、エネルギー効率も悪くなる。一方、二軸押出機による脱水・乾燥は、3.1節にて述べた理由からエネルギー効率が良好であり、粉塵爆発の危険性も少ない。

二軸押出機による脱水乾燥混練の方式には、圧搾方式⁸⁾と蒸発方式があり、その概略図を図5⁴⁾に示す。圧搾方式は、含水樹脂を二軸押出機のスクリュで圧搾することにより、水分を液体の状態で分離してパレル途中に設けた脱水スクリーン部から排出する方法である。蒸発方式は、全水分を減圧下で熱エネルギーによって蒸発させベント部から蒸気として排出する。この両者には一長一短があって原料性状による使い分けが必要であるが、エネルギー効率で比較するならば水分を液体の状態で分離する圧搾方式の方が優れる。

最近では、ABS樹脂の製造プロセスにおける全ての重合後処理(脱水・乾燥・脱揮)と混練工程を複合化した、SANメルトフィード型の複合化プロセスが検討されている。蒸発方式の脱水乾燥二軸押出機をベースとし、これに

図6 リアクティブプロセッシングの分類

SANメルトフィードと脱揮技術を付加したものである。

3.4 反応プロセスの複合化

リアクター等で行なわれる反応を二軸押出機における混練に複合化した反応押出(以下ではREP, リアクティブプロセッシングと省略する)は、その機械特性を活かして(1)~(3)項の例に示されるような多くの特徴から製造プロセスの合理化と製品の高負荷価値化の有力な手段として実用化されている。図6⁹⁾には、反応形態の違いによって分類されたREPの例を示す。

一般的に、二軸押出機によるREPは、バッチ反応方式に対して反応時間の短縮が可能である。これは、スクリュの持つ優れた分散及び分配混合能力によるものである。すなわち分散混合は、粘度差が大きな樹脂間でも均一に微細粒子化を進め、分配混合は微細化された粒子間の接触確率を増加させる。結果として反応速度が向上し、反応時間が短縮する。

(1) 重付加反応への応用例

重付加反応の代表例としてポリウレタン反応があり、この反応をREPに適用した例を図7⁹⁾に示す。原料は液体で供給され、重付加反応は分配混合能力とセルフワイピング機能により、パレル内で材料が局部的に滞留することなく、ニーディングディスク(KD)部で主に進行する。更に、パレル途中に異種材料や添加剤を供給するためのサイドフィーダを設置することにより、これまで別に必要であった添加剤の添加工程が不要となるため、省力化、高付加価値化及び多品種少ロット生産が可能になる。

(2) 化学的改質

化学的改質の具体例としては、ポリマーへの官能基導入による変性やゴムの動的加硫などがある。その1つにPPの変性反応があり、PPに無水マレイン酸をグラフト反応させて得られた変性PPは、ポリマーアロイにおける相溶

図7 ポリウレタン重合反応への二軸押出機の応用例

図8 PPマレイン酸変性及びPAのグラフト反応への二軸押出機の応用例

化剤として知られている。また、近年では、超臨界流体を使用した化学的改質（架橋切断）なども検討されている¹⁰⁾。

(3) ポリマーアロイへの応用例

ポリマーアロイの一例として、PPとPAのグラフト反応があり、図8⁹⁾にはこの場合の機械構成を示す。最初にPPと無水マレイン酸が供給され、スクリュの上流部分でPPの酸変性が進む。PPの酸変性が完結した後にPAを途中添加することで、PPとPAのグラフトポリマーを得ることができる。この時、バレル途中に真空ベントを設置し、過剰に添加された無水マレイン酸の除去を行なう。

4. 複合化プロセスを目指した新しい二軸押出機

この数年で、新しいタイプの二軸押出機が開発されている。以下では、それらの機械的特徴と複合化プロセスへの適用例について解説する。

4.1 長大L/D二軸押出機

長大L/D二軸押出機のメリットをまとめると次の①～③のようになる。

- ①大きなフリーボリュームによる滞留時間の増大
- ②ブロード化した滞留時間分布による微細均一混練
- ③脱揮・脱水・反応・混練を同時に行なう複合化プロセス

(1) 滞留時間の特性

長大L/D二軸押出機の最大の特徴は、長い滞留時間である。L/D=40～60程度の従来型機では、低粘度ポリマーでスクリュ構成を工夫し押出量を極めて少なくしても数分の滞留時間である。経済的にプロセスが成り立つ押出量レベルでは1分以内が限界であり、そのため、適用範囲は反

図9 運転条件と初期滞留時間の関係（スクリュ径 37 mm, L/D: 100）

応時間が短いウレタン反応、ナイロン縮重合、マレイン酸による変性・改質などに限定されている。

図9¹¹⁾には、スクリュ径 37 mm, L/D=100を持つ二軸押出機の滞留時間測定結果を示す。図から明らかなように、機械のトルク限界における最低速（40 rpm）・低押出量（10 kg/H）での初期滞留時間は約6分、平均滞留時間は約8分であった。これは、同一条件におけるL/D=50の二軸押出機の約二倍の滞留時間であった。また、実用的レベルの押出量に近づく110 rpm, 27 kg/hの条件でも、初期滞留時間約2.5分、平均滞留時間約3分が可能であった。

以上より、長大L/D二軸押出機は、従来の2倍以上の滞留時間を可能とすることにより、反応や脱揮用途における二軸押出機の性能向上と、複合化プロセス等への適用範囲拡大を実現する可能性がある。

(2) 滞留時間分布の特性

ナノコンポジットを初めとした高機能化ポリマーにおいては、機械物性や光学特性の向上を図るために粒子の微細分散混合と均質分配混合が求められる。これを実現するためには滞留時間分布をブロード化する必要がある。従来機ではスクリュ構成の適正化や特殊スクリュ・バレルを採用することで対応している。しかし、スクリュ構成の適正化では限界があるため押出量に制限を受けることが多く、特殊スクリュ・バレルでは同方向回転二軸押出機の特徴であるセルフワイピング性を崩してしまうため、適用できる範囲が限定されると同時に長時間の連続運転安定性に不安がある。

図10¹²⁾には、スクリュ径 37 mm, L/D=100を持つ二軸押出機の、L/Dに対する「平均滞留時間－初期滞留時間」の関係を示す。平均滞留時間と初期滞留時間の差は間接的に滞留時間分布を評価することができ、この差が大きいほど混練性能が優れていると判断できる。図から明らかなように、従来型機のL/Dである50付近ではその差が20秒程度であるのに対し、100では60秒以上と3倍程度にしている。

図 10 L/D と滞留時間分布の関係 (スクリュ径 37 mm, L/D : 100)

図 11 超深溝二軸押出機

以上より、長大 L/D 二軸押出機は従来機の 3 倍以上の滞留時間分布を可能にしたことから、フィラー混練やポリマーアロイ用途における二軸押出機の性能向上と、複合化プロセスへの適用範囲拡大を実現する可能性がある。

4.2 超深溝二軸押出機

超深溝二軸押出機 (図 11) に採用されたスクリュ深溝比は 1.80 になっている。この数値は、二条ネジスクリュプロファイルにおいて、有効なせん断作用が行なわれるフライト山幅を必要最小限確保し、かつ搬送体積が最大限になるとの観点から選定されている。結果として、スクリュ外径が 8% 増大、スクリュ谷径が 8% 減少、フライト山幅が 40% 減少し、搬送体積は 40% 増大している。

搬送体積の増大は、同一スクリュ回転数での処理量増大を実現し、低カサ密度原料での押出量増大が期待できる。また、同一押出量では滞留時間の増大を実現し、反応押出や脱揮押出で押出量増大や品質向上を期待できる。一方、フライト山幅の減少は、せん断作用の低下により過剰な局部発熱を抑制することが可能となり、長時間運転での品質

a) 深溝スクリュ

b) 超深溝スクリュ

図 12 深溝スクリュと超深溝スクリュの断面温度分布

安定性に寄与すると考えられる。図 12 にシミュレーションにより得られた深溝と超深溝スクリュの断面温度分布を示す。超深溝ではフライトトップ近傍の高温部分が減少し、全体の温度分布も均一となっている。

以上の特徴を持った超深溝二軸押出機の成形特性について、以下に説明する。

(1) 処理能力

低カサ密度原料の二軸押出機による混練押出は、一般的にフィード喰い込み特性によって能力が制限される。したがって、大きな搬送体積を持つ超深溝二軸押出機は、これらの原料の処理能力を飛躍的に増大させるはずである。図 13 には、各種形状の原料における深溝と超深溝の処理能力の違いを示す。カサ密度の大きなペレット原料では大きな差は無いが、カサ密度が小さくなるパウダーや粉碎原料では超深溝の効果が発揮されている。

(2) 消費動力

有効な混練作用は、フライトトップの隙間部で行なわれる。フライト山幅の減少は、過剰な局部せん断作用の低減

図 13 各種原料における深溝と超深溝の押出特性比較

図 14 各種原料における深溝と超深溝の動力特性比較

による消費動力の削減を実現する。図 14 には、各種原料における深溝と超深溝の動力特性の違いを示す。溶融粘度の高い原料ほど超深溝での消費動力の低減率が大きくなっており、このことは省エネルギーと同時に、樹脂温度低下による高品質化も実現することを意味している。

(3) 滞留時間

図 15 には、深溝と超深溝の滞留時間の特性を示す。大きな搬送体積を持つ超深溝は、確実に滞留時間が長くなっている。一方、滞留時間分布は同程度であることから、分配混合性能には大きな差が無いと判断される。したがって、長い滞留時間と良好な攪拌性能が必要とされる反応押出や脱揮押出において、超深溝二軸押出機は能力向上を実現することを意味している。

5. おわりに

本稿では、二軸押出機による複合化プロセスについて解説した。複合化プロセスは、省エネルギーや省工程等によりプラスチック製造プロセスを合理化するための有効な手段として発展してきたが、同時に廃ガスや溶剤等の削減による環境対策やプラスチック製品の機能向上に対しても有効である。そして、多様化するニーズに対応するために、「アレ」と「コレ」を同時にできないかという単純な複合

図 15 深溝と超深溝の滞留時間比較

化の発想が、結果として新しい材料と装置を生み出してきている。「社会貢献」と「勝ち残り」が我々の課題である限り、複合化プロセスは課題達成のために最も取り組みやすい手段である。今後も単純な発想を大事にし、1+1 が 2 以上になる新しい複合化プロセスを創出していくことが重要である。そして、二軸押出機がその中核になれるように努力していきたい。

参 考 文 献

- 1) 東芝機械特許番号第 2099434 号
- 2) Todd, D.B.: *Plastics Compounding*, **75**(1998), Hanser Publishers
- 3) 富山秀樹: 成形加工, **17**(4), 230(2005)
- 4) 小林昭美: 東芝機械技報, **12**, 28(1993)
- 5) 佐伯康治他: 新ポリマー製造プロセス, 182(1994), 工業調査会
- 6) Wang, N., Sakai, T., Hashimoto, N.: *International Polymer Processing*, **10**, 296(1995)
- 7) 福島 武, 山近光明, 時久昌吉, 石川誠, 免出幸雄, 成形加工, **15**(6), 392(2003)
- 8) Kobayashi, A. and Ishibashi, J.: SPE ANTEC Tech. Papers, 370(1996)
- 9) 小林昭美, 葭川達也: プラスチックエージ, **41**(10), 98(1995)
- 10) 後藤敏晴, 山崎孝則: 成形加工, **17**(4), 242(2005)
- 11) 小林昭美: 産業機械, **631**, 22(2003)

書 評

「プラスチック成形品の高次構造解析入門」

日刊工業新聞社

A5判上製 202頁

(社)プラスチック成形加工学会編

定価 3,360 円 (本体 3,200 円 + 税)

「やあ、しばらく、合成・重合が専門の君に成形加工の学会で会えるとは…。奇遇だな」

「実は最近は成形加工や構造解析もやっていて、なかなか大変なんだ。自分たちが合成したプラスチック材料の性能評価も自分の手でやって、直ちにフィードバックし、開発や品質改良を早くする時代になってきたからね」

「それは非常にいいことだね。特にプラスチック成形品の性能は、材料の種類や分子量などの一次構造だけで決まるのではなく、成形加工過程で生じる分子配向や結晶構造などの高次構造によっても支配され、とても重要だね」

「確かに。熱分析や X 線解析、粘弾性測定などのデータはひと通りそろえているんだが、それらのデータをどのように生かして、合成・重合や成形加工の条件設定に戻していくかが問題だね。勉強不足は痛感しているが、今さら学生時代の教科書を勉強する暇も無いし…。何か手頃なテキストを紹介してよ」

「以前にこの学会の学会誌の編集委員をしていた友人から聞いたんだけど、そのような会員の要望に応じて、高次構造解析の講座を連載したそうだよ。実は最近その本が出版されて、このあいだ買ってきた」

「学会誌の講座のシリーズ物って結構興味あり、コピーしてファイルしているけれど、やはり本になったものを一気に読みたいね。連載が終わったら早く出版して欲しいな」

「この本なんだ。東工大の鞠谷雄士先生と伊藤浩志先生が中心に書かれていて、形態観察やメソ構造解析、非晶構造解析、表面・界面構造解析などの最近の進歩が著しい分野は、

それぞれ別の新進気鋭の先生が執筆されている」

「ほう、構造解析の重要性の第 1 章は小山清人先生だね。いつもながら難しいことを簡潔明瞭に解説されていて、感服するよ」

「編集も担当された鞠谷先生が“まえがき”で述べておられるように、X 線回折や熱分析といった評価方法や解析装置の解説書ではなく、結晶化度や分子配向度などの評価対象としての高次構造の要素を構成ユニットとしている点が、“何を測れば何が分かるか”という我々が一番知りたいポイントを衝いていると思う」

「でも方程式も多くて結構難しそう。第 12 章の絡み合い構造解析ってレオロジーなんですよ」

「たとえば、結晶の単位格子などベクトルが出てくるところは付録にして、本文の流れから外しているなどの工夫がしてあるよ。図表が多いのがいいね」

「長い文章を読むより、モデル図のひとつで多くのことが分かるものね」

「鞠谷先生は、“本書では、読者は「知りたいこと」についてのまとまった記述に容易に到達できるはずである”と述べておられて、講座開設の要望に応じている。また、“基本原理を重視した導入的な解説をなるべく平易に行うように心がけることで、必要に応じてさらに詳しい内容へと進んでいくための最初の道標となるように配慮したつもりである”と書かれており、難しいところを決して省略しているのではない」

「よく分かった。帰りに早速本屋へ寄ってみるよ」

(生川 洋)