

テキストシリーズ プラスチック成形加工学VI

先端 成形加工技術

プラスチック成形加工学会 編



シグマ出版

テキストシリーズ
プラスチック成形加工学 VI

先端 成形加工技術

プラスチック成形加工学会 編

江苏工业学院图书馆
藏书章

シグマ出版

テキストシリーズ
プラスチック成形加工学VI
せんたんせいけい か こうぎじゆつ
先端成形加工技術

1999 年 12 月 25 日 初版第 1 刷発行

©編 者 (社) プラスチック
成 形 加 工 学 会
発行人 高 橋 満
発行所 株式会社シグマ出版
〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町15-8
電 話 03 (3 4 7 7) 0 3 3 6 (代)
FAX 03 (3 4 7 7) 2 7 1 0
印刷所 新 日 本 印 刷 (株)
製本所 小 高 製 本 (株)

Printed in Japan

ISBN4-915666-45-X-C3058

テキストシリーズ「プラスチック成形加工学」刊行にあたって

すべての技術革新は、科学を組織的に応用することによってなされるといわれる。プラスチック成形加工のように、さらに新しい局面を拓いていかなければならない技術分野では、これまで得られた知識を理解し体系づけることによって未知の現象の予測をできるようにすることが望まれる。このシリーズは、プラスチック成形加工を志す学生や技術者を対象にして、プラスチック成形加工学で理論的に解明されている成果や手法を、現場の問題解決に役立つものを選び、入門書にふさわしい形で、より具体的にわかりやすく説明するものである。

プラスチック成形加工理論に関する成書にはすでに優れたものがあるが、多くは理論の展開に重きを置いていて、現場の問題にその成果を適用するのには説明を補足する必要がある。一方、重要であるがわかりにくい問題については理論で扱えないからと何も触れずに済ませている。

成形現場の問題に立ち入ろうとすると、工学としてわかっていない事項も入ってくる。現実には、これにも挑戦する必要がある。限界はあるが、こういう問題もあえて取り上げた。また、CAEの進展に伴い用語の混乱などがそろそろ話題に登ろうとしている。これらを早く正していくことも必要である。こういう作業を通じて、さらに学会活動の今後の方向を示す指針となればという狙いもある。かくしてできた本テキストシリーズが今後の教育・学習に大いに活用されることを願うものである。

プラスチック成形加工学会には、プラスチック成形加工の科学と技術を振興し、その啓蒙と教育活動を通じて成形加工業界に対して貢献しようという目的がある。平成6年度に法人化を達成したのを記念して、成澤郁夫学会会長の発案でプラスチック成形加工学の基礎理論の標準的な教科書をシリーズとして出版することを企画した。このプラスチック成形加工学は発展中の分野である。今後の展開に応じて息長く改訂を加えていくために、若手にこの仕事を委ねることにして、学会で活躍中の第一線の研究者を集めて執筆担当を決められた。

テキストシリーズの構成は第Ⅰ巻をプラスチック成形加工学の序論とし、第

II巻以降第V巻まででプラスチック成形加工における移動現象，プラスチック材料のミクロ物性・マクロ物性と成形技術との関連および評価・解析技術を説明し，最後の第VI巻を先端成形加工技術のトピックスの紹介に当てる．必然的に，この最後の巻だけは短期に改訂を重ねることになろう．

最後に，忙しい中を本テキストシリーズのためにご協力頂いた執筆者諸氏に感謝するとともに，本書の出版にご尽力頂いた(株)シグマ出版の高橋 満社長，編集部の西尾文一，末永昭二氏に心から感謝する次第である．

1996 年 3 月

(株)プラスチック成形加工学会
テキストシリーズ編集委員会
委員長 荒井貞夫

まえがき

身の回りのプラスチック製品は、様々な「形」をもっている。プラスチック材料は、軽量、着色性、成形性、透明性などの優れた材料機能とともに、その「形」のもつ機能によってはじめて私たちの生活に役立てられている。合成から始まる材料の流れの中で、成形品として人に触れられるまでの最後の出口に成形加工プロセスがある。そのため、成形品に対する多様なニーズが、成形加工技術に対する直接的、具体的な厳しいニーズへと形を変えて、まさに創意工夫に富む成形加工技術を育んできたといえる。かつて成形加工技術を“広義の材料工学”とする考え方があった。しかし成形加工の産業分野は素材産業分野とは別にすでに大きなすそ野を形成し、トップダウン式の材料工学からの視点に代わって、今日では材料工学をその一部に取り込みながら、ニーズに密着したボトムアップ式の成形加工技術の体系がつくられている。

このように成形加工技術は、他の生産技術分野からの技術導入と改良、新規技術の開発と創意工夫などを通じて、具体的なニーズに基づきボトムアップ的な発展を遂げてきた。それぞれの技術には、個別の開発経緯と発展の歴史があり、これらを知ることは個別技術の本質を正しく理解する上で大きな意味をもつ。

本書では、テキストシリーズ第4巻までの材料および加工プロセスの基礎を踏まえた上で、個別成形加工技術の過去、現在、未来について、(1)開発の経緯とこれまでの発展過程、(2)技術の現状、(3)技術的課題と将来につながる萌芽的な技術、以上の3つに分けて述べることにした。すなわち、(1)ではその技術がどのような背景から開発され、どのような時代のニーズの中で何を技術的課題として発展してきたかを説明し、(2)では、その結果として現在どのような加工技術となっているかについて、最も基本となる事例を通して具体的に述べることにした。さらに、こうした技術の到達点と課題から、(3)では今後はどのような方向に技術が発展するか、技術動向についてベクトルを明示し、その事例としての萌芽的な加工技術のいくつかを紹介することとした。

本書は、いわゆる便覧とは違って各個技術の詳細を述べることはせず、あく

までも技術の実際を理解するために最小限必要となる、最も基本的な技術の骨格部分を詳述するにとどめている。それぞれの改良、応用技術については、要点のみ、場合によっては名称のみの簡略な紹介とし、できる限り関連文献を引用した。これにより、必要に応じてさらに詳細な調査を個別にできるように配慮した。その際にも、網羅的に加工技術を収録するには紙面が限られていることから、「先端成形加工技術」の本書名にも象徴されるように、敢えて高付加価値、高機能化を目指す先端的な成形加工技術を中心に上げることとしている。

本書では第2章、第3章に熱可塑性プラスチックの混合・混練、加工技術を取り上げたが、本書の特徴として熱硬化性プラスチックの加工技術についても力を入れており、第4章に主要な加工技術を収録した。なお、加工技術として個別分野に含まれないもの、あるいは別に取り扱ったほうが適切な新しい技術分野として、横断的なシステム技術とラピッドプロトタイピング、リサイクル技術を別章とし、それぞれ第5章、第6章に取り上げた。

プラスチック成形加工学の体系を考えると、材料と成形品とを繋げる成形加工プロセスには2つの側面がある。一つは①材料に対する外的な作用（加工操作）、もう一つは②それに対する材料内部での反作用（加工現象）である。材料内部の加工現象が成形品の機能や品質を直接左右するため、現象を解明し制御することが成形加工プロセスの本質的な課題といえる。本書では、上述①の成形加工技術の具体的プロセスは記述しているものの、②の加工現象についてはほとんど記述していない。これは、現在なお体系化に向けた発展途上の学問分野であることによるもので、知識の体系化を経た将来、“第7巻 成形加工現象工学”のような形で結実することに期待したい。

本書が、成形加工技術の大きな流れの中で私たちの立っている「今」を知るとともに、技術の実際と本質の理解を助け、さらに新しい成形加工法を創出するきっかけになれば幸いである。

1999年11月

第VI巻担当編集委員

横井秀俊

竹村憲二

目 次

第 1 章 成形加工法概説

1.1 成形加工の位置づけ	1
1.2 プラスチックの分類と成形加工プロセス	3
1.3 各種成形加工法	4

第 2 章 混合・混練

2.1 混合・混練装置の歴史	7
2.2 混練の原理	9
2.2.1 混練モデル	9
2.2.2 分散混合	11
(1) フィラーの分散混合理論	11
(2) ポリマーブレンドにおける分散混合理論	13
2.2.3 分配混合	14
2.2.4 混練メカニズムの解明	16
2.3 混合・混練技術	16
2.3.1 混 練 機	16
(1) バッチ式混練機	16
(2) 連続式混練機	19
(3) 単軸押出機および二軸押出機	20
2.3.2 混合・分散評価技術	20
(1) 繊維長分布	22
(2) フィラーの分散度	22
(3) ポリマーアロイのモルフォロジー	23
2.3.3 コンパウンディングとポリマーアロイ化技術の現状	24
(1) ガラス繊維強化プラスチック	24
(2) フィラーのコンパウンド	24
(3) ポリマーアロイ	26

2.3.4 リアクティブ・プロセッシング	27
2.4 混合・混練の技術動向	29
2.4.1 シミュレーション技術	29
2.4.2 期待される新技術	31
(1) 高生産・高能率化のための改良	32
(2) 混練装置の組み合わせによる最適化	32
(3) 化学反応を含む用途への展開	32

第3章 熱可塑性プラスチックの成形技術

3.1 射出成形	38
3.1.1 射出成形の歴史	40
3.1.2 充填(射出)・圧縮	42
3.1.3 射出成形機	44
(1) 可塑化・計量・射出装置	44
(2) 型締・突出し装置	48
(3) スクリュー	52
(4) 成形機配置および周辺機器	57
3.1.4 金 型	58
(1) 構造と構成部品	59
(2) ゲ ー ト	62
(3) ランナー	64
(4) ガスペント	66
(5) アンダーカット処理方式	68
(6) 冷 却	68
3.1.5 成形技術	69
(1) 射出成形プロセスと制御因子	69
(2) 成形不良	74
(3) 成形不良の低減	78
3.1.6 射出成形の技術動向	85
(1) 高品位化・高機能化・高精度化技術	86

(2) 複合一体化技術	94
(3) 薄肉・計量化技術	101
(4) 省エネ・ハイサイクル化技術	103
3.1.7 射出成形の将来展望	108
3.2 押出成形	109
3.2.1 押出成形の歴史	109
3.2.2 押 出 機	112
(1) 押出機の分類と用途	112
(2) 押出機の構造	117
(3) 押出機の機能と不良現象	123
(4) 押出機の技術動向	129
3.2.3 ダ イ	130
(1) ダイの分類	130
(2) ダイ設計の概要	135
(3) ダイの技術動向	138
3.2.4 フィルム成形	141
(1) 無延伸フィルム成形	142
(2) 無延伸フィルム成形工程	144
(3) 延伸フィルム成形	147
(4) 不良現象とその対策	151
(5) フィルム成形の技術動向	151
3.2.5 シート成形	152
(1) 技術の現状	153
(2) シート成形の技術動向	155
(3) 不良現象とその対策	157
(4) シート成形の今後の展望	158
3.2.6 紡 糸	158
(1) モノフィラメント成形	161
(2) 延伸条件とフィラメント物性	163
(3) 不良現象とその対策	164

(4) 紡糸の技術動向	164
3.2.7 パイプ成形	165
(1) 成形プロセスと装置	167
(2) 不良現象とその対策	170
(3) パイプ成形の技術動向	171
3.2.8 異形成形	172
(1) 成形プロセスと装置	173
(2) 成形条件	175
(3) 異形成形の技術動向	177
3.2.9 押出ラミネート成形	179
(1) 技術の現状	179
(2) 押出ラミネートの技術動向	184
3.2.10 延伸テープ成形	185
(1) 技術の現状	185
(2) 延伸テープの技術動向	189
3.2.11 押出成形の将来展望	189
3.3 中空成形	191
3.3.1 中空成形の歴史	192
3.3.2 小型中空成形技術の現状と課題	193
(1) 押出中空成形（ダイレクトブロー成形）	193
(2) 射出中空成形（インジェクションブロー成形）	195
(3) 延伸中空成形（ストレッチブロー成形）	195
(4) 多層化技術	197
3.3.3 大型中空成形技術の現状と課題	200
(1) 大型押出機	200
(2) 大型リングピストン式アキュムレーター	201
(3) 大型中空成形アキシャル方向バリソン肉厚調整装置	202
(4) 大型中空成形用型締装置	203
(5) 大型中空成形機における多層化技術	204
3.3.4 小型中空成形の技術動向と展望	204

(1) 材料技術	204
(2) 生産性向上技術	204
(3) 環境対応技術 (ソース・リダクション)	205
(4) 高機能化技術	206
3.3.5 大型中空成形の技術動向と展望	206
(1) 材料技術	206
(2) 生産性向上技術と材料のリサイクル技術	207
(3) 多機能化技術	208
3.4 発泡成形	213
3.4.1 発泡成形の歴史	213
3.4.2 発泡体の分類と発泡成形技術	214
(1) 発泡倍率による分類	214
(2) 気泡状態による分類	214
(3) 硬度による分類	216
3.4.3 発泡成形の原理	217
(1) 気泡の生成	217
(2) 気泡の成長	218
(3) 気泡成長の停止	220
3.4.4 技術の現状と課題	220
(1) 発泡剤分解法	220
(2) 溶剤気散法	224
(3) 化学反応法	226
3.4.5 発泡成形の技術動向	228
3.5 粉末成形	229
3.5.1 粉末成形の歴史	229
3.5.2 スラッシュ成形	230
3.5.3 回転成形	231
(1) ロックンロール型成形機	232
(2) シャトル型成形機	233
(3) アーム型成形機	233

3.5.4 焼結成形	235
3.5.5 粉末加圧成形	236
3.5.6 粉末成形の技術動向	237
3.6 二次成形	237
3.6.1 熱成形法	237
(1) 熱成形法の特徴と他の成形加工法との比較	238
(2) 熱成形法の現状の到達点と課題	240
(3) 熱成形の技術動向	243
3.6.2 スタンピング成形	248
(1) スタンピング成形の概要	249
(2) スタンピング成形の技術動向	254

第4章 熱硬化性プラスチックの成形技術

4.1 圧縮，射出，トランスファー成形	266
4.1.1 圧縮成形	267
(1) 圧縮成形の歴史	267
(2) 技術の現状と課題	268
(3) 圧縮成形の技術動向	275
4.1.2 射出成形	276
(1) 射出成形の歴史	276
(2) 技術の現状と課題	277
(3) 射出成形の技術動向	282
4.1.3 半導体パッケージング技術	283
(1) 技術の現状と課題	284
(2) 半導体パッケージングの技術動向	289
4.2 レジンインジェクション	291
4.2.1 RTM/S-RIM	292
(1) RTM/S-RIM の歴史	292
(2) RTM の成形プロセス	293
(3) S-RIM への展開	296

(4) RTM/S-RIM の位置付け	296
(5) RTM/S-RIM の技術動向	296
4.2.2 RIM	299
(1) RIM の歴史	299
(2) RIM プロセス	300
(3) RIM 原料	300
(4) RIM 成形機	302
(5) RIM 金型	305
(6) RIM の技術動向	306
4.3 SMC 成形	308
4.3.1 SMC 成形の歴史	308
4.3.2 SMC の製造方法	309
4.3.3 SMC の圧縮成形	311
(1) 成形プロセスと成形条件	311
(2) 成形技術の現状	312
4.3.4 SMC の流動	313
4.3.5 SMC の技術動向	315
(1) 低圧成形 SMC	316
(2) SMC の射出成形と競合材料	316
(3) SMC 成形品のリサイクル	316
4.4 FW 成形	317
4.4.1 FW 成形の歴史	317
4.4.2 用 途	319
(1) 民生分野	319
(2) 自動車関連	320
(3) 航空宇宙分野	320
4.4.3 技術の現状	321
(1) FW 加工プロセス	321
4.4.4 FW 成形の技術動向	326
(1) クラッシュブルマンドレル	326

(2) ドライワインディング	327
(3) FEM による解析	327
(4) 高効率化	328
(5) 新しい用途開発	328
4.5 オートクレーブ成形	328
4.5.1 オートクレーブ成形の歴史	328
4.5.2 技術の現状と課題	329
(1) オートクレーブ装置	329
(2) 成形素材	331
(3) 成形用治具	331
(4) オートクレーブ成形工程	331
4.5.3 オートクレーブ成形の技術動向	334
(1) 一体成形	334
(2) 自動化	336
(3) オートクレーブ成形のスマート化	336
4.6 積層成形	338
4.6.1 積層成形の歴史	338
4.6.2 積層成形プロセス	338
4.6.3 積層成形用の材料	338
(1) 樹脂	338
(2) 基材	340
4.6.4 積層成形用の成形機	340
(1) 含浸装置	340
(2) 乾燥装置	340
(3) 成形装置	343
4.6.5 積層成形の技術動向	343
4.7 引抜成形	345
4.7.1 引抜成形の歴史	345
4.7.2 引抜成形プロセス	347
(1) 熱硬化性プラスチックの引抜成形設備	347

(2) 熱硬化性プラスチックの硬化特性	350
4.7.3 引抜成形の技術動向	351
(1) 生産性向上	351
(2) 複 合 化	351
(3) 熱可塑性プラスチックを用いた引抜成形	351

第5章 成形加工におけるシステム技術

5.1 積層造形法（ラピッドプロトタイピング）	357
5.1.1 積層造形法の歴史	357
5.1.2 積層造形法	358
5.1.3 積層造形モデルの応用	363
5.1.4 プラスチック射出成形との関わり	365
5.1.5 積層造形の将来	368
5.2 システム技術	368
5.2.1 成形支援システム技術	369
(1) エキスパートシステム	369
(2) 樹脂流動解析 CAE（シミュレーション技術）を活用した 成形支援システム	375
(3) 品質工学手法による品質管理支援システム	377
(4) 環境外乱の影響を補正する制御システム	378
5.2.2 成形支援システム技術の展望	381

第6章 リサイクル技術

6.1 リサイクル技術の現状と問題点	383
(1) サーマルリサイクル	384
(2) ケミカルリサイクル	384
(3) マテリアルリサイクル	386
6.2 マテリアルリサイクルのための成形加工技術の現状と動向	386
6.2.1 材料技術	387
(1) 異物除去技術	387

(2) 破碎技術	388
(3) 成形機へのフィードバック技術	389
(4) 材料調整技術	390
6.2.2 成形技術	391
(1) 型込成形	391
(2) サンドイッチ成形	393
6.3 リサイクル技術の展望	396
索 引	399