

新塑性加工技術シリーズ 5

プラスチックの加工技術

—— 材料・機械系技術者の必携版 ——

日本塑性加工学会 編

コロナ社

■ 新塑性加工技術シリーズ出版部会

部会長	浅川基男	(早稲田大学名誉教授)
副部会長	石川孝司	(名古屋大学名誉教授, 中部大学)
副部会長	小川茂	(新日鉄住金エンジニアリング株式会社顧問)
幹事	瀧澤英男	(日本工業大学)
幹事	鳥塚史郎	(兵庫県立大学)
顧問	真鍋健一	(首都大学東京)
委員	宇都宮裕	(大阪大学)
委員	高橋進	(日本大学)
委員	中哲夫	(徳島工業短期大学)
委員	村田良美	(明治大学)

(所属は2016年5月現在)

刊行のことば

ものづくりの重要な基盤である塑性加工技術は、わが国ではいまや成熟し、新たな展開への時代を迎えている。

当学会編の「塑性加工技術シリーズ」全19巻は1990年に刊行され、わが国で初めて塑性加工の全分野を網羅し体系立てられたシリーズの専門書として、好評を博してきた。しかし、塑性加工の基礎は変わらないまでも、この四半世紀の間、周辺技術の発展に伴い塑性加工技術も進歩を遂げ、内容の見直しが必要となってきた。そこで、当学会では2014年より新塑性加工技術シリーズ出版部会を立ち上げ、本学会の会員を中心とした各分野の専門家からなる専門出版部会で本シリーズの改編に取り組むことになった。改編にあたって、各巻とも基本的には旧シリーズの特長を引き継ぎ、その後の発展と最新データを盛り込む方針としている。

新シリーズが、塑性加工とその関連分野に携わる技術者・研究者に、旧シリーズにも増して有益な技術書として活用されることを念じている。

2016年4月

日本塑性加工学会 第51期会長 真鍋健一

(首都大学東京教授 工博)

■「プラスチックの加工技術」 専門部会

部会長 松岡信一 (元富山県立大学)

副部会長 高山哲生 (山形大学)

■ 執筆者

まつおか しん いち* (元富山県立大学) 1章, 5.11節, Coffee Break (5章),
6.6節, 7.1節, 7.4節, 7.7節

なか やま かず お 中 山 和 郎* (NKリサーチ) 2章, 7.2節, 7.3節, 11章, 付録

すぎもと まさ たか 杉 本 昌 隆 (山形大学) 3.1節

たか やま てつ お 高 山 哲 生* (山形大学) 3.2節, Coffee Break (4章), 6.7節

まつ ば こう 松 葉 豪 (山形大学) 4章

あん ばい けん じ 安 倍 賢 次 (東芝機械株式会社) 5.1節

なが おか つとむ 長 岡 猛* (長岡国際技術士事務所) 5.2節

まつ ひろ ゆき 松 田 裕 行 (株式会社アイセロ) 5.3節

やま だ とし き 山 田 俊 樹* (東洋製缶株式会社) 5.4節, 5.7節

ば ば あき ふみ 馬 場 文 明* (三菱電機株式会社) 5.5節, Coffee Break (6章・
9章・10章)

い とう かつ や 伊 藤 勝 也 (東洋紡株式会社) 5.6節

たつ のり まさ 辰 巳 昌 典 (株式会社プラスチック工学研究所) 5.8節

あき もと ひで お 秋 元 英 郎 (秋元技術士事務所) 5.9節

やま かかわ たか よし 山 川 孝 好 (ポリマーエンジニアリング株式会社) 5.10節

た だ かず ひろ 多 田 和 弘 (三菱電機株式会社) 5.12節

なか い あき み 仲 井 朝 美 (岐阜大学) 6.1～6.5節

なが しげる 永 澤 茂 (長岡技術科学大学) 7.5～7.6節

さ とう ち あき 佐 藤 千 明 (東京工業大学) 8章

さ え き じゅん いち 佐 伯 準 一 (有限会社エデュース) 9章

まつ お う いち 松 尾 雄 一 (三菱電機株式会社) 10.1～10.3節

あ べ とも かず 阿 部 知 和 (本田技研工業株式会社) 10.4節

(* : 専門部会委員) (2016年9月現在, 執筆順)

阿	部	知	和	中	村	伸	之
今	井	嘉	夫	中	山	和	郎
岩	橋	俊	之	鳴	海	英	雄
宇	都	宮	直	哉	林	博	巳
大	澤	昭	二	保	木	恒	夫
大	谷	寛	治	牧	野	内	昭
大	柳		康	松	岡	信	一
小	出	一	毅	丸	橋	吉	次
古	住	敏	夫	南		智	幸
後	藤	輝	正	百	島	裕	忠
高	田	育	彦	矢	野		宏
高	橋	秀	郎	山	口	章	三郎
田	中	勝	一	横	井	秀	俊
長	田	豊	司				

(五十音順)

ま え が き

プラスチックは化学工業の発展とともに、多くの期待と可能性を秘めた材料として著しい発展を遂げ、金属材料と肩を並べる基材の一つとなった。

プラスチックの元祖ともいべきセルロイドが1869年に誕生し、また、1909年にベークライトの合成に成功し、合成高分子として初のプラスチックが誕生した。これがプラスチックの二大要因（熱可塑性と熱硬化性）の誕生である。

その後、大規模な近代工業として生産されるようになったのは、第二次世界大戦後のことである。以来、石油化学工業の急激な発展と新しい合成技術の開発により、多彩なプラスチック（樹脂）が市場した。中でもポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリ塩化ビニルは、四大プラスチックと呼ばれている。わが国では、1958年頃から国策の後押しで本格的な生産がスタートし、わずか半世紀余の短期間で目覚ましい躍進を遂げ、1999年にわが国は世界有数のプラスチック王国となった。

プラスチックは、他素材に見られないすばらしい特性と可能性を秘めた材料として、多くの期待とともに発展してきた。このプラスチックの代表的な特徴は、軽く、強く、耐食性に優れ、その上いかなる大きさの製品も自由自在に、しかも任意の形状に造形できることである。

例えば、代表的な射出成形では、材料のプラスチックを加熱溶融して型に流し込み、冷却するのみで所要の形状の成形品が大量に生産できる。また、技術の複合化によりきわめて精巧で複雑な形状の部品・製品が得られる。近年では、3Dプリンターやナノ・マイクロ成形が市場を賑わしている一方、既存の

成形プロセス技術の変革と改良が進められている。さらに、社会的ニーズや環境調和に沿ったものづくりが定着し、部材のプラスチック化（軽量化）、小型化、高強度化、コスト低減化が一段と図られている。

このように、あらゆる分野で使用されるプラスチックおよびその複合材料は、それを利用する機械、構造物、その他あらゆる産業、工業分野の設計者、技術者などにプラスチックの広範な知識や情報が要求されるようになった。

本書は、プラスチック材料の種類と特性・物性をはじめ、材料の流動特性、状態変化と結晶化、各種成形加工法（射出成形、押出し成形、ブロー成形、熱成形、粉末成形、圧縮・トランスファー成形など）の概要・特徴・応用、複合材料の成形、塑性加工、接合・接着、金型設計とCAE、リサイクル技術および各種材料試験・評価法などについて、基礎から先進技術まで幅広く網羅し、かつわかりやすく記述した。したがって、これからプラスチック材料や成形加工などを学習する方はもとより、日常的な生産や研究の場において、実際に必要となる種々の加工技術やデータなどは、有効に活用できるものと確信する。

本書は、塑性加工技術シリーズ『プラスチックの熔融・固相加工』（1991年）を基に改編した。編集に伴い一部では旧版を加筆修正し、新技術やデータ等の更新を図り利便性を高めた。旧版の著者におかれては、ご了承賜りたくお願い申し上げます。また、多くの専門書を参考にさせていただき、データ等の引用をご快諾いただいた著者の方々には、深く謝意を表するものである。また、限られた紙面の中では説明や資料不足の箇所もあるかと思われるが、ご理解いただきご指導賜れば幸いです。

終わりに、執筆者の方々には、ご多用中にもかかわらず快くお引受けいただき、ここに改めてお礼申し上げます。さらに出版を企画された一般社団法人日本塑性加工学会ならびにコロナ社には謝意を表する。

2016年8月

「プラスチックの加工技術」 専門部会長 松岡 信一

目 次

1. 総 論

1.1	プラスチックの発展と経緯	1
1.2	プラスチックと金属（材料の科学）	4
1.3	プラスチック加工と金属加工（加工の形態）	6
1.4	多彩なプラスチック（構造の形態）	8
	引用・参考文献	10

2. プラスチック材料の種類と特性

2.1	プラスチックの分類	11
2.1.1	熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチック	11
2.1.2	汎用プラスチックとエンジニアリングプラスチック	14
2.2	おもなプラスチックの特性	19
2.2.1	汎用プラスチック	19
2.2.2	汎用エンジニアリングプラスチック（汎用エンプラ）	28
2.2.3	特殊エンプラ（スーパーエンプラ）	32
2.2.4	熱硬化性プラスチック	36
	引用・参考文献	38

3. 材料の流動特性

3.1	流動特性	39
-----	------	----

3.2 塑性変形特性	44
3.2.1 塑性加工の温度領域	45
3.2.2 負荷時の変形特性	46
3.2.3 変形後のひずみ回復特性	48
引用・参考文献	50

4. 成形による状態変化

4.1 状態変化	51
4.2 固化および結晶化	55
4.3 構造発現	59
引用・参考文献	62

5. 各種成形方法

5.1 前処理	64
5.1.1 乾燥	66
5.1.2 混合，混練	70
5.2 射出成形	73
5.2.1 概要	73
5.2.2 射出成形機	85
5.2.3 製品，金型設計	98
5.3 押出し成形	104
5.3.1 概要	104
5.3.2 成形機	106
5.3.3 押出し成形の理論的解析	107
5.3.4 成形機の設計と成形品品質	111
5.3.5 スクリューの設計	112
5.3.6 成形ヘッドの設計	116
5.3.7 各種の押出し成形法とその進歩	117

5.4	ブロー成形	118
5.4.1	概要	118
5.4.2	成形の基本現象	119
5.4.3	成形法, 成形機	123
5.5	熱成形 (真空・圧空成形)	125
5.5.1	概要	125
5.5.2	熱成形法の種類	126
5.5.3	成形機	128
5.5.4	材料	131
5.5.5	成形技術	131
5.5.6	成形品物性	134
5.6	延伸成形	134
5.6.1	概要	134
5.6.2	特徴	136
5.6.3	延伸成形法と延伸成形機	139
5.6.4	延伸の効果	142
5.7	ラミネーション成形	144
5.7.1	概要	144
5.7.2	押出しラミネーション	145
5.7.3	ドライラミネーション	146
5.7.4	無溶剤ラミネーション	147
5.8	カレンダー成形	148
5.8.1	概要	148
5.8.2	ロール構成	150
5.8.3	製品厚み精度の要因	152
5.8.4	カレンダー成形の未来	155
5.9	発泡成形	156
5.9.1	概要	156
5.9.2	発泡成形に用いる発泡剤	156
5.9.3	代表的な発泡成形	159
5.10	RIM 成形	163

5.10.1	概 要	163
5.10.2	高圧注入機	164
5.10.3	高圧ミキシングヘッド	165
5.10.4	R-RIM 成形およびエアローディング	166
5.10.5	RIM 成形の未来	168
5.11	粉 末 成 形	169
5.11.1	概 要	169
5.11.2	粉末成形法の種類と特徴	169
5.12	圧縮・トランスファー成形	178
5.12.1	概 要	178
5.12.2	トランスファー成形の特徴	178
5.12.3	成 形 工 程	180
5.12.4	成 形 装 置	184
	引用・参考文献	185

6. 複合材料の成形

6.1	複合材料の創製	188
6.2	複合の目的と効果	189
6.3	強化複合のしくみ	191
6.4	熱硬化性プラスチックの成形方法と特徴	193
6.4.1	オープンモールド（開放型）法	193
6.4.2	クローズドモールド（密閉型）法	195
6.5	熱可塑性プラスチックの成形方法と特徴	198
6.5.1	中間材料	198
6.5.2	プレス成形	199
6.5.3	引抜き成形法	201
6.5.4	液体複合材成形	202
6.5.5	ハイブリッド成形	203
6.6	複 合 鋼 板	203

6.7 ナノコンポジットの成形	205
6.7.1 ナノ充てん材	205
6.7.2 ナノコンポジットの成形方法	206
引用・参考文献	207

7. 塑性加工

7.1 鍛造加工	208
7.1.1 加工法	208
7.1.2 特徴	209
7.1.3 加工例	210
7.1.4 関連技術(転造加工)	211
7.2 押出し加工	213
7.2.1 固体押出しの種類	213
7.2.2 加工法	214
7.2.3 加工条件	215
7.2.4 特徴	216
7.3 引抜き加工	217
7.3.1 引抜き加工法の種類	217
7.3.2 特徴	220
7.4 圧延加工	221
7.4.1 加工法	221
7.4.2 特徴と加工例	223
7.4.3 異方性とその対策	224
7.5 せん断加工	225
7.5.1 種類	225
7.5.2 熱可塑性プラスチックのせん断加工	225
7.5.3 複合材料のせん断加工	226
7.6 曲げ加工	229
7.7 深絞り加工	230

7.7.1 加工法	230
7.7.2 特徴と絞り性	232
引用・参考文献	233

8. 接着・接合

8.1 機械的締結	236
8.2 融着接合	236
8.2.1 加熱方法による分類	237
8.2.2 融着接合と材料	238
8.3 接着剤を用いた接合	239
8.3.1 接着剤の種類と特徴	239
8.3.2 プラスチック材料の接着	239
8.3.3 接着工法	241
引用・参考文献	242

9. 金型設計と CAE

9.1 射出成形の CAE システム	243
9.2 プラスチック流動シミュレーションの経過と現状	245
9.3 プラスチック流動シミュレーションの理論	246
9.3.1 充てん解析	246
9.3.2 保圧解析	249
9.4 プラスチック流動シミュレーションの適用例	251
引用・参考文献	252

10. リサイクル

10.1 プラスチックリサイクル	254
------------------	-----

10.2	プラスチックリサイクルのLCA	255
10.3	家電製品のプラスチックリサイクル	257
10.3.1	解体分離の可能な成形品のリサイクル	258
10.3.2	解体分離の困難な成形品のリサイクル	259
10.4	自動車のプラスチックリサイクル	261
10.4.1	自動車リサイクルの現状	262
10.4.2	バンパーのリサイクル技術	263
10.4.3	自動車部品へのリサイクルプラスチックの適用状況	264
10.4.4	自動車部品へのリサイクルプラスチックの課題	266
	引用・参考文献	266

11. 試験・評価方法

11.1	材料試験方法	268
11.1.1	標準化	268
11.1.2	比較可能なデータ	272
11.1.3	分子量, 成形性	274
11.1.4	熱的性質	275
11.1.5	機械的性質	276
11.2	成形品の評価方法	277
11.2.1	基本性能	277
11.2.2	物理化学的特性	277
11.2.3	表面特性	278
11.2.4	光学特性	278
11.2.5	電気的特性	279
11.2.6	環境試験, 耐久性	279
	引用・参考文献	280

付	録	281
索	引	286

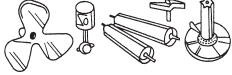
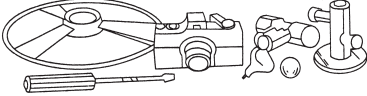

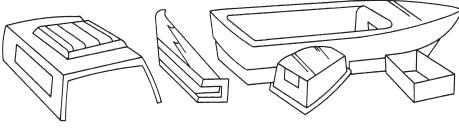
1.1 プラスチックの発展と経緯

化学工業の発達とともに著しく進展してきたプラスチック（plastics）は、あらゆる分野、産業で利用され、工業材料（または機械材料）として確固たる地盤を築いた。プラスチックは日常生活品をはじめ自動車・車両、航空・宇宙、海洋開発および原子力分野に至るまで幅広く用途が拡大した。その応用例を表 1.1 に示す。

プラスチックが化学工業の発展とともに大規模な近代工業として生産されるようになったのは、第二次世界大戦後のことである。以来、半世紀足らずの短期間で目覚ましい躍進を遂げ、1990年代後半から2000年にかけて、日本は生産量で世界有数のプラスチック王国となった。

プラスチックが金属やセラミックなどの素材に見られないすばらしい特性と成形加工性を秘めた材料として、多くの期待とともに急速に発展してきた。プラスチックの代表的な特徴は、軽く、強く、耐食性に優れ、その上、いかなる大きさの製品も自由に成形加工でき、任意の形状に造形できることである。その代表的な成形法として、射出成形、押出し成形、圧縮成形などがある。その後、成形技術も日進月歩の進化を遂げ、“21世紀の成形革命”と謳われる画期的な3D（三次元）プリンターが市場し、一躍、プラスチック造形技術の雄となった。

表 1.1 プラスチックの応用例（工業用製品）とおもな成形法^{1)†}

応用分野	応用事例	適用材料 おもな成形法
機構部品 構造部品	 <p>歯車, カム, ピストン, ローラ, バルブ, 羽根 (ポンプ, ファン), ロータ, 洗濯機の羽根, 各シール</p>	<p>熱硬化性 (フェノール樹脂) 熱可塑性 (汎用・特殊エンブラ)</p> <p>射出成形, 押出成形</p>
軽機構部品 装飾部品	 <p>ノブ, ハンドル, バッテリーケース, 配線用クランプ, 装飾品, カメラボデー, 管継手, 眼鏡フレーム, 自動車ハンドル, 工具類の取っ手</p>	<p>熱硬化性 (フェノール樹脂) 熱可塑性 (汎用プラ)</p> <p>射出成形</p>
小型ハウジング 小型中空体	 <p>受話機・ケース, フラッシュライト・ケース, スポーツ用ヘルメット, ヘッドライト枠, 事務器ハウジング, 電動工具ハウジング, ポンプハウジング</p>	<p>熱硬化性 (フェノール樹脂) 熱可塑性 (汎用プラ, 特殊エンブラ)</p> <p>射出成形</p>
大型ハウジング 大型中空体	 <p>ボート船体, オートバイ座席, コンバイン類座席, 大型器具ハウジング, 通信機ハウジング, 圧力容器, タンク, 浴槽, 導管, 冷蔵庫内箱</p>	<p>熱可塑性 (汎用プラ, 特殊エンブラ) FRP, FRTP,</p> <p>射出成形, 押出成形, フロー成形, 発泡成形, ハンドレイアップ成形, スタンピング加工</p>
光学部品 透明部品	<p>安全眼鏡, 眼鏡レンズ, オプティカルファイバ, テールライトレンズ, 安全カバー, 冷蔵庫たな, メータ類カバー, 透明標識, 調理器具, スノーモービル風防</p>	<p>熱可塑性 (特殊エンブラ)</p> <p>射出成形, 押出成形, 熱成形</p>
対摩耗部品	<p>歯車類, ブッシュ, 軸受, すべり面用板, 各種すべり路, ロールカバー, 産業機械用車輪, ローラスケート車輪</p>	<p>熱硬化性 (フェノール樹脂, ポリウレタン) 熱可塑性 (特殊エンブラ)</p> <p>射出圧縮成形, 押出成形</p>

3D プリンターの研究は、1980年代はじめ日米両国で始まり、当初は積層成形やラピッドプロトタイピング（rapid-prototyping, 素早い試作）と呼ばれた。最初に積層造形として光造形法を考案したのは、名古屋工業技術試験所、名工試（当時）の小玉秀男氏（1980年）であり、数年後、米国のチャック・ハル氏が知的財産権を取得（1986年）した。その後、市場を眺めながら技術の改良を重ね、2012年に入り格安の3Dプリンター登場で急テンポに普及した。デジタルデータから三次元の立体物を造形できることで、プリンター開発の高度化と多面的活用が強調される。今後は、材料の幅が広く、より強度の高いFDM（fused deposition modeling, 熱溶融積層法）技術によるラピッドマニユファクチャリング（迅速な製造）時代になることが予測される。

一方、既存の材料にいろいろな特性や機能を付与して、単体では得られないまったく新しい性質や機能をもった製品・部品が創製できるポリマーアロイ、ポリマーブレンド、繊維強化法などの諸技法は、ニーズも広範となり、より確実的で実証性の高い技法の開発が求められている。

Coffee Break

プラスチックと合成樹脂の相違

樹脂には、天然樹脂（天然ゴム、松ヤニ、絹など）と合成樹脂があり、一般に後者をプラスチックと呼んでいる。プラスチックとは、熱や圧力などによって可塑性（力を加えると変形し、除荷しても形状が保たれる性質、金属の塑性変形と類似の性質）を示し、任意の形に成形・加工できる高分子物質の総称である。これらにはポリエチレン（PE）、ポリ塩化ビニル（PVC）、ポリカーボネート（PC）などの熱可塑性プラスチックと、フェノール樹脂（PF）、エポキシ樹脂（EP）などの熱硬化性プラスチックに大別される。「プラスチック」は用語として曖昧な点も多く、合成樹脂と同義である場合や、あるいは原料の合成樹脂が成形・硬化した製品をプラスチックと呼称するなど、多様な意味で用いられている。したがって、英語で標記（論文等）する場合は、特定の材料や製品を扱わない限り、“Plastics”よりも“Resin”あるいは“Polymer”のほうが誤解をまねかない。

† 肩付き数字は、章末の引用・参考文献を表す。

1.2 プラスチックと金属（材料の科学）

プラスチックは、化学依存度が大きく、化学工業技術によって生産・創製される。それゆえ構成分子の種類、組合せ、配列、構造などによって無限に近いプラスチックの出現やその改質の可能性を秘めている。

プラスチックは金属に比べ、軽い、錆びない（耐食性）、耐薬品性に強いなど、大きな長所がある反面、熱にはきわめて弱い。材料によって異なるが、単体の熱可塑性プラスチックはおおよそ 100℃前後で軟らかくなり、さらに温度を高め、約 170～220℃で流動する性質を有する。これは金属と比べてきわめて低い温度域で成形加工（成形温度または加工温度）が容易にできることを示している。

軽さの点では、プラスチックの比重は鉄の 1/8～1/6 にすぎない。この比重は無機物や有機物などの充てんや添加により広範に調整できる。例えば、ポリマーアロイ、ポリマーブレンドあるいは繊維強化プラスチック（FRP）などの複合化技術によって任意に調整でき、さらに発泡させることにより極端に小さくできる。また、軽さのわりにある程度強い。プラスチック材料の強さをほかの材料と比較する場合には、通常、比引張強さ（=引張強さ / 比重）を用いる。図 1.1 に各種材料の比引張強さの一例を示す。

プラスチックの力学的な強さは、金属に比べてはるかに低いが、ガラス、カーボン、ボロン、アラミド等の繊維で補強した繊維強化プラスチックでは強度が格段に増加し、Al 合金や Ti 合金などと同等のものもある。例えば、繊維強化熱可塑性プラスチック（FRTP）は、構造用鋼や黄銅と同程度であり、繊維強化熱硬化性プラスチック（FRTS）は、クロムモリブデン合金鋼などに匹敵する。

金属が空気中の酸素や水分で錆が発生し、酸やアルカリで腐食されるのに対し、プラスチックはまったく影響がなく、格段に強い。しかし、この化学的な強さがリサイクル技術や廃棄物処理を難しくし、悩みを生んだ。また、金属は自由に動く電子を有しているが、プラスチックの構造は、このような電子が存

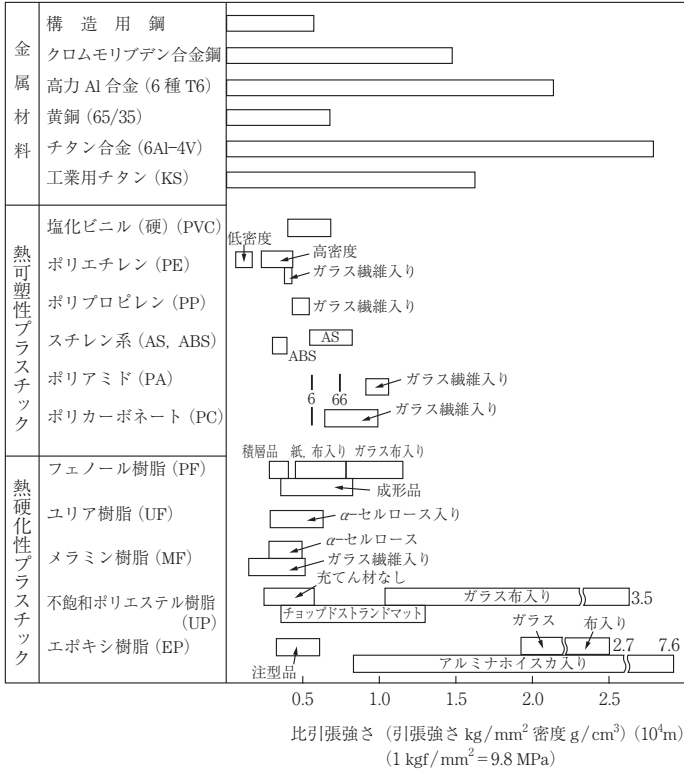


図 1.1 プラスチックの比引張強さ²⁾

在しないため電流を通しにくい (電気絶縁性)。これに対して独創的な発想から、ポリアセチレンにヨウ素などを加え、指向性をもった特定の導電性高分子が開発され、ノーベル化学賞 (筑波大名誉教授・白川英樹氏, 2000年) に輝いた。

プラスチックは優れた特質を有する反面、熱にきわめて弱い難点がある。プラスチックの熱膨張係数は鉄鋼に比べて10倍以上に及ぶ。また環境温度の変化にも敏感に作用し、精密さを要求される製品・部品には概して不向きである。例えば、熱可塑性プラスチックでは100℃前後で変形するものが多く、温度の上昇とともに溶ける。見方を変えると、低い温度で溶けることは成形加工性が良いことにつながる。また、プラスチックが燃えることは、金属や無機材料に比べて不利な点が多く用途面で制約される。さらに燃焼時に有毒なガスや

索引

【あ】	
アイゾット衝撃試験	276
アスペクト比	206
圧延加工	148, 221
圧下率	221
圧空成形	126, 128
圧縮試験	276
圧縮成形法	195
圧縮比	76
圧縮部	107
圧拮据込み比	211
孔型圧延	221
アレニウスの式	41
アンダーカット成形	133
【い】	
板圧延	221
板厚減少率	221
板状結晶	56
一次加工	6
異方性	224
インサート成形	133
インジェクションブロー成形	96
【う】	
ウレタン樹脂	163
運動量保存則	247
【え】	
エアースリップ成形	126
エアローディング	167
液状射出成形	206
液晶ポリマー	60
液体複合材成形法	196
エネルギー保存則	247
エポキシ樹脂	37
エンゲル法	170
エンジニアリングプラスチック	9, 14
延伸	135
延伸ブロー	121
【お】	
応力-ひずみ関係	46
雄型	125, 132
押し機	130
押し出し成形	42

押し出発泡成形	161
オートクレーブ法	194
オープンフレームカーボン アーク	279
オープンモールド法	192
オルガノシート	199
温室効果ガス排出量	256
温度均一度	132

【か】

回転成形法	171
化学発泡剤	156
可塑化機構	76
可塑化能力	80, 82
可塑化溶解	77
硬さ試験	278
型締め機構	75
型締めユニット	85
型締め力	80, 82
型鍛造	208
家電リサイクル法	254, 257
金型の設計	100
カバーリング糸	199
ガラス転移温度	12
ガラス転移温度 T_g	52, 210
カレンダー成形	148
環境試験	279
環境負荷	255, 258
間接押し法	213

【き】

機械的締結	236
キセノンアークランプ	279
気泡径	156
気泡密度	156
球晶	223
球晶構造	56
吸水性	277
急速加熱冷却成形法	200

【く】

クリアランス	232
クリープ試験	276
クリープ変形	7, 212
クロス圧延法	224
クローズドモールド法	192
クロス量	154

【け】

軽量鋼板	204
結晶核剤	58
結晶構造	59
結晶性プラスチック	12, 131, 210, 247
ケミカルリサイクル	254
減圧被覆成形	126, 128
限界絞り比	231
現場重合型樹脂	202

【こ】

コアバック法	162
高圧注入機	164
光学特性	278
高周波溶着	237
合成高分子化合物	8
合成樹脂	3
構成方程式	40, 248
積分型——	42
微分型——	42
高せん断加工法	206
高分子化合物	8
固体押し出し	213
固体輸送部	107
混合	70
混合度	70
混織糸	199
コンパウンド	65
混練	64, 70, 79

【さ】

最小所要印加時間	177
再商品化	257, 258
材料と成形の同時性	191
サーマルリサイクル	255, 258
サーモトロピック液晶 ポリマー	34
三次元網目構造	9
三次元表面加飾成形	126, 128
三次元プリンター	1
サンドイッチ成形	96

【し】

ジアリルフタレート樹脂	37
ジェッティング現象	183

紫外線カーボンアーク	279	スワールマーク	159	断面減少率	222, 223
紫外線蛍光ランプ	279				
シシケバブ構造	60	【せ】		【ち】	
質量保存則	247	成形収縮率	83	逐次二軸延伸法	139
自動車リサイクル	262	成形の3要素	191	中間材料	198
自動車リサイクル法	262	制振銅板	204	中空成形	118
シート押出連動真空(圧空)		静水圧押し出し法	213	チューブラ法	139
成形機	130	製品, 金型設計	98	超音波粉末成形	176
シート加熱	132	製品バケット法	256	超音波溶接	237
シート状中間材料	198	接着剤	147, 239	超臨界状態	158
絞り加工	230	セパレーティングフォース		超臨界流体	156
射出圧縮成形	97		150	直接押し出し法	213
射出圧力	82	セラミックヒーター	132	直線式真空(圧空)成形機	130
射出成形	40, 243	繊維強化熱可塑性プラスチック	4		
射出成形法	74	繊維強化熱硬化性プラスチック	4	【て】	
射出接合	237		4	転移温度	275
射出発泡成形	162	繊維状結晶構造体	60	転移熱測定	275
射出馬力	80, 82	繊維状中間材料	199	電気的特性	279
射出ブロー成形	124	センター射出	94	電磁誘導加熱	200
射出容量	80, 82	せん断	225	転造加工	211
射出率	80, 82	せん断発熱	76	テンター	141
シャルピー衝撃試験	276				
自由鍛造	208	【そ】		【と】	
充てん解析	246	塑性加工	208	同時二軸延伸法	139
衝撃試験	276	塑性変形特性	44	動的機械特性	276
状態変化特性説明図	56	ソリッドスキン層	156	動的粘弾性測定	13
状態方程式	53, 250	ゾーン延伸	219	特殊エンジニアリング	
ショートショット	251			プラスチック	15
ショートショット法	162	【た】		特定家庭用機器再商品化法	254, 257
シリコーン樹脂	37	耐きず性	278	トグル方式	86
シルバーストリーク	159	耐久性	279	ドライサイクル	80
真空・圧空成形	125	耐衝撃性ポリスチレン	24	ドライサイクルタイム	82
真空成形	126	体積圧縮係数	52	ドラッグフロー	42
真空タンク	133	体積弾性係数	52	トランスクリスタル	56
真空併用圧空成形	128	ダイ引抜き	217	トリミング	126
真空ポンプ	133	耐摩耗性	278	ドレーブ成形	126
シングルポイントデータ	272	耐薬品性	278		
伸長粘度	43	ダイレクトブロー	119	【な】	
		ダイレス引抜き	217	ナノコンポジット	205
【す】		多孔質プラスチック	156	ナノ充てん材	205
据込み鍛造	208	多層成形	96		
スクリュウ	76	多層ブロー	122	【に】	
スタンパブルシート	199	縦延伸	141	二材・二色成形	95
スタンピング成形法	199	多目的試験片	274	二次加工	6
ステレン-アクリロニトリル		単軸スクリュウ押し出し成形機	106	二軸延伸法	139, 224
コポリマー	24		7	二軸スクリュウ押し出し機	106
ストレート成形	126	弾性回復	7	ニップヒーター延伸	219
スパイラルバリア形		弾性回復率	223		
ミキシングスクリュウ	113	鍛造	208	【ぬ】	
スプリングバック	7, 48	単発真空(圧空)成形機			
スプレーアップ法	193		129		
スライドコア	133	ダンピング材	204		

【ね】	比引張強さ	4	ポリエチレンサクシネート	
熱拡散率	132	標準化	268	27
熱可塑性プラスチック		表面処理	241	ポリエチレンテレフタレート
9, 11, 238, 243		【ふ】		26
熱間静水圧成形法	171	フィラメントワインディング法		ポリエーテルエーテルケトン
熱間鍛造	209	194		34
ネッキング現象	46	フェノール樹脂	37	ポリエーテルスルホン
熱硬化性プラスチック		不均一核生成	58	ポリ塩化ビニリデン
9, 13, 238,		複合銅板	204	ポリ塩化ビニル
熱成形	125	複合材料	188, 226	ポリオキシメチレン
熱分解型発泡剤	157	複合則	190	ポリカプロラクトン
熱変形温度	275	輻射加熱	126	ポリカーボネート
熱膨張係数	5	賦形圧	52	ポリスチレン
熱膨張性マイクロカプセル		物理発泡剤	156	ポリスルホン
156		不飽和ポリエステル樹脂	37	ポリテトラフルオロエチレン
熱溶融積層法	3	プラグアシスト		35
粘 度	41	リバースドロー成形	127	ポリ乳酸
粘度式モデル	248	プラスチックタブレット	178	ポリフェニレンエーテル
		プラスチックパッケージ	178	ポリフェニレンスルフィド
【は】		プラスチックリサイクル		32
ハイスラー成形	171	254, 261		ポリブチレンサクシネート
廃プラスチック	255	フラット法	139	ポリブチレンテレフタレート
ハイブリッド成形	203	フリーフォーミング	126	31
パウダー含浸糸	199	プリプレグテープ	199	ポリふっ化ビニリデン
バッチ発泡	160	フルショット法	162	21
発泡プラスチック	156	フルーツ溝付きバリア形		ポリプロピレン
パーティング射出	94	ミキシングスクリュー	114	ポリマーアロイ
バリア形ミキシングスクリュー		プレス成形	126	65
112		プレス成形法	195	ポリメタクリル酸メチル
バリソン	119	プレッシャーフロー	42	25
張出し加工	231	ブロー成形	42, 118	【ま】
バンク	151	分散混合	70, 71	前処理
ハンドレイアップ法	193	分子量	14, 274	64
反応射出成形	206	分子量分布	14	曲 げ
汎用エンジニアリング		噴水効果	59	229
プラスチック	15	粉末成形法	170	曲げ試験
汎用プラスチック	14			276
		【へ】		曲げ成形
		ベント機能	88	126
		【ほ】		摩擦圧着
		保圧解析	249	237
		保圧工程	52	マテリアルリサイクル
		棒圧延	221	254, 258, 261
		ホット・ゼット溶接	237	マルチポイントデータ
		ホットプレス成形法	171	273
		ポリアミド	28	【み】
		ポリアリレート	33	ミキシングヘッド
		ポリイミド樹脂	37	165
		ポリウレタン	37	密 度
		ポリエチレン	19	277
				【め】
				雌 型
				125, 132
				メタリング
				112
				メタリング部
				107
				メタルハライドランプ
				279
				メラミン樹脂
				37
				メルトフローレイト
				274
				【ゆ】
				融着接合
				236
				ユリア樹脂
				37

【よ】	
溶解度パラメータ	239
溶融温度 T_m	51
溶融混合	64
溶融成形	65
溶融体フィルム	108
溶融体プール	108
溶融粘度	274
横延伸装置	141
【ら】	
ライフサイクルアセスメント	254

落錘衝撃	276
ラピッドプロトタイピング	3
ラピッドマニファクチャリング	3
ラミネーション成形	144
ラム押出し法	213
ラメラ	56
ランナー	100
【り】	
リサイクル	254
リデュース	254
流動特性	39
リユース	254

【れ】	
冷間加圧成形法	172
冷間静水圧成形法	172
冷間鍛造	209
レーザー溶接	237
【ろ】	
ロータリー真空(圧空)成形機	129
ロールクラウン	153
ロールクロス法	153
ロールシート成形機	130
ロール隙間	154
ロール引抜き	218

【A】	
ABS	24
ADCA	156
Andrade の式	248
ASR	263
【B】	
BMC	89
BMC 成形	195
【C】	
CAD	244
CAE	243
CAE 解析	41
CAM	244
CFRP	168
CIP	172
Cross-Arrhenius モデル	249
Cross モデル	248
【D】	
Dekker-Lindt らのモデル	107
【F】	
FDM	3
fibril	60
FP	203
FRP	8
FRTP	4
FRTS	4
FSW	237

【G】	
GUI	245
【H】	
HIP	171
hot press 成形法	171
HP-RTM 法	198
【L】	
<i>L/D</i>	76
LCA	254
LCP	60
LDR	231
Leonev モデル	41
life cycle assessment	254
LIM	206
liquid injection molding	206
LP	203
【M】	
MFR	49, 274
MVR	49, 274
<i>M</i> 値	224, 232
【O】	
OBSH	156
【P】	
<i>P/D</i>	76
PVT	275
PVT 特性	250

【R】	
reaction injection molding	206
resin infusion molding	206
RIM	163, 206
RIM 法	197
R-RIM	166
RTM	168
RTM 法	197
【S】	
SMC 成形	195
Spencer-Gilmore の式	250
SP 値	239
【T】	
Tadmor らのモデル	107
Tait の式	251
Trouton の関係式	43
【V】	
VaRTM 法	197
<i>v-T</i> 曲線	51
【W】	
WLF 式	41
【数字】	
3D プリンター	1
3R	254
4 本逆 L 型カレンダー	152

プラスチックの加工技術
——材料・機械系技術者の必携版——

Processing technique of plastics
— Handbook of Materials & Mechanical Engineer —

© 一般社団法人 日本塑性加工学会 2016

2016年11月18日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 一般社団法人
日本塑性加工学会
東京都港区芝大門1-3-11
Y・S・Kビル4F
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04375-4 (森岡) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします