

平成 11 年度 ものづくり人材支援基盤整備事業

- 技能の客観化、マニュアル化等 -

プラスチック成型用金型（その 2）

平成 12 年 7 月

中小企業事業団

情報・技術部

目 次

1 . このマニュアルの目的、内容、位置付け	
2 . このマニュアルの体裁	
3 . 技術と技能とその変化	
4 . 今後の課題	
5 . 終わりに	
6 . 本マニュアルの編集作成協力者	
§ 1 新製品開発と設計	1
(1) 設計に関する色々の観点	2
(2) 設計と各部門との関連	3
(3) 新商品の開発の手順	7
(4) 設計のステップ	10
(5) 適正サイズと好適方式	13
(6) 設計者に求められる資質と知性	15
(7) 設計者に求められる新しい任務	18
(8) エンジニアリング・スピリットと技術者の姿勢	21
§ 2 プラスチック成形材料	22
(9) 部品設計とプラスチック	23
(10) 熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチック	30
(11) 種々のプラスチック成形材料	33
(12) エンジニアリングプラスチック	36
(13) 成形材料の製造プロセスと添加剤、充填剤	41
(14) 新商品開発を支える材料コンパウンドの開発	44
(15) プラスチック成形品の強さ	47
(16) プラスチック複合材料	52
(17) ACM	55
(18) ガラス繊維強化プラスチックの概要と用途	57
(19) ガラス繊維強化プラスチックの諸物性	60
(20) 炭素繊維複合プラスチックの位置づけ、機能、種類	64
(21) PAN 系炭素繊維	69
§ 3 プラスチック成形材料の開発と選定	71
(22) ポリマーアロイの概要	73
(23) ポリマーアロイの改善と将来展望	76
(24) 材料開発へのCAEの活用	80
(25) 高分子構造の流動粘度	84
(26) ポリマーアロイの開発の一例	88
(27) アラミド繊維複合材料、ポロン繊維複合材料	93
(28) ナイロン4・6	97
(29) 液晶ポリマー	102
(30) 熔融材料の流動性	105

はじめに

中小企業事業団では、中小企業庁が進める国の重要施策である、中小企業のための数々の施策を実施しています。

さて、中小企業事業団では、平成 10 年度「ものづくり人材支援基盤整備事業」において、技術・技能の客観化、マニュアル化等を行うことが、技術・技能の継承を図る上で重要と考え、それらを必要とする業界を対象に、「平成 10 年度ものづくり人材支援基盤整備事業 - 技術・技能の客観化、マニュアル化等 - プラスチック成形用金型（その 1） - 金型の製作 - 」を作成いたしました。

最近の中小製造業の現場では、熟練技術者・技能者の高齢化が目立ち、退職後の製造現場の能力の維持等が問題となってきています。

これは、熟練技術者・技能者、その個人の持つ技術・技能を後継者に伝承することにより、解決されうるものでありますが、その伝承、継承には訓練が伴い、適切な指導を行える指導者と時間が必要であります。

そこで、業界団体を通じて各中小企業者に本件を有効に活用頂き、技術・技能を継承すべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力を頂きました関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成 12 年 7 月

中小企業事業団
情報・技術部
部長 鈴木 達也

(31)	商品設計と材料選択	110
(32)	射出成形材料の選択の原則	114
(33)	材料購入前の検討と受け入れ時の注意	118
§ 4	プラスチック成形部品設計	120
(34)	部品形状をきめる要素	122
(35)	プラスチックの変形	126
(36)	プラスチックのクリーブ破壊	131
(37)	プラスチックの疲労	135
(38)	プラスチックの衝撃強さ	140
(39)	物理的強さ - 熱的性質	144
(40)	熱による変形	149
(41)	熱に対する強さ	153
(42)	物理的強さ - 耐光性	158
(43)	プラスチックの新機能・光学特性	159
(44)	プラスチックの電氣的性質と絶縁体力	163
(45)	電氣的性質の劣化、誘電特性	167
(46)	帯電.....	170
(47)	耐薬品性、ストレスクラッキング、ソルベルトクラッキング	173
(48)	マイグレーション、銅害、吸水性.....	176
(49)	耐候性	181
(50)	成形上の制約	184
(51)	リブの基本的事項	187
(52)	リブの効用と副作用	193
(53)	リブの強さ	198
(54)	ボスの設計	203
(55)	成形品表面とマイクロフローマーク（転写性、外観）	207
(56)	ウェルドラインの会合角と流速合流角.....	210
(57)	成形品の形状・寸法・精度	213
(58)	組立性、分解性、リサイクル性.....	217
§ 5	成形品の品質、信頼性、検査.....	219
(59)	破壊原因の究明	220
(60)	信頼性設計と成形品	223
(61)	成形品の検査	225
(62)	成形品の品質管理	228

1. このマニュアルの目的、内容、位置づけ

1.1 目的

- (1)プラスチック成形品の生産に携わる新進技術者の技術および技能の飛躍的向上のためにこのマニュアルを作成した。本編は昨年編集した「プラスチック成形用金型(その1)一金型の製作 - と対をなすものである。
- (2)バブル中期以降、若い人達の産業界からの離脱、諸製造業の海外生産への移行による若い従事者の減少はプラスチック分野においても全く同じである。このために生じる従事者の高齢化に対処するために「プラスチック部品設計」編として、本編を作成した。
- (3)このマニュアルでは、かなり高度の知識をもつ技術者には知識の整理を期待している。あわせて自分のもつ技術の尊重と、技術者としての自覚を深め知識の普遍化・定量化、周辺技術・技能への接近の端緒をつかむことを期待している。
- (4)このために、このマニュアルでは各項目ともその事項の全てを解説し尽くしているわけではない。より高い技術を目指している方への問題提起、ヒントの提供、先輩からの伝承も記す努力をしている。

1.2 内容

- (1)このマニュアルは(その1)、(その2)を通じて、プラスチック成形品の設計から成形金型の設計・製作・検査までのプロセスを述べる。(その1)では、どちらかという成形品設計業務のバックアップのためのマニュアルより急を要する成形金型について記した。そして、その内容の理解を助けるために、成形品の設計に立ち入った部分もある。本編すなわち(その2)では成形品設計上、知っておかなければならない金型に関する事項についても、僅かばかり触れざるを得ない。
- (2)プラスチック成形品設計から成形金型設計・製作を経て成形にいたる工程を図1に示す。本年は*を付した部分を対象とする。必要に応じて補助的に金型技術、成形技術に触れることもある。因みに昨年度は*を付していない部分を「プラスチック成形用金型(その1)一金型の製作」としてマニュアル化した。
工程の後段から取り上げた理由も(その1)に述べた通りである。
- (3)製品自身にも各企業は独自性を発揮することを念頭に置いている。製品の機能を果たす上で必要な部品の機能・性能・製作法を各企業は開発、実現している。そして、必ずしも、その全てを公開されるということは期待すべくもない。本編の内容はそのような事情で、各社事情と必ずしも一致するとは限らないことをご了承願いたい。

1.3 このマニュアルの位置づけ

- (1)金型設計についてできるだけ新しい技術を紹介しながら、伝承しなければならない基盤技術を指摘する心積もりで本編をまとめた。
- (2)金型設計は技術だといいいながら、着想とか発想のしかた、巧拙は多分に属人的であるために、技能的な側面もある。また、技能を基盤に普遍化する例もある。金型設計のノウハウは各社の秘伝とするところも少なくない。全てを文字・図面で表現しきれない。このマニュアルをたたき台にして、金型部門の責任者・指導者がより具体的な解説を加えて、熱心な新進後継技術者の教育に

用いて頂くことを願っている。

2. このマニュアルの体裁

2.1 このマニュアルの表現方法

見開き 2 頁で 1 項目を述べる。おおむね左頁に、

1. 定義、問題凍起、現象鋭明

2. 内容説明、適用の方法

できるだけ右頁に

3. 図表、注意事項、改善策の案、複数教育者に伝えて欲しいコメント等を記載する。しかし、記述の量や図表の関係でこの原則から外れることがある。また取り上げている項目の性格により、上記 3 項目の見出しや区分が異なることがある。

2.2 各章節の説明

- (1) プラスチック金型設計実務 3、5 年の者を対象に、従来より高度な設計が確実に迅速にできるようにレベルアップするためのマニュアルを作る。実務をこなすだけの成り行き教育では 8、10 年以上を要した育成期間をこのマニュアルによって、3、7 年に短縮できるように記述する。
- (2) その記述にあたっては、各職場の指導者が事前に若干の準備をすれば、短時間の継続教育または、OJT (On the Job Training) によって目的が達せられるように先に述べたような表現方法をとった。余白の部分は指導者から与えられた補足、経験に基づくコメント、自社の事情などを記載するのに活用して頂きたい。
- (3) 具体的な技術的な内容については、できるだけ、内容に客観をもたせるため、公刊の文献に、マニュアル作成委員会ならびに企業訪問調査に応じて下さった各社の方々の経験、知見を加えて説明した。また十分成熟していない技術内容については注意深く、その旨記すことにしたが、現在の情報メディアの発達に鑑み、できるだけ広く取り入れることにした。

2.3 このマニュアルの試み

(その 1) に述べたことと全く変わらぬ試みをしている。本編にふさわしく下記しておく。

- (1) 成書には書かれていない事柄で是非金型設計者に覚えておいて欲しい事柄、頭のすみにおいて頂きたい事柄も大胆に書いた。こういう点ではいわゆる教科書とは異なる。
- (2) この意味で、このマニュアルを使用されるインストラクターは御自身の経験も加え、あわせて教育対象者の経験も相互に分かち合うような指導をして頂きたいと願っている。
- (3) 技術と技能との協調、製造現場からの生々しい情報のフィードバックは成形品設計者にとっては生きた教材である。金型製作現場、成形現場からの情報を率直に受け取って頂くよう、折にふれて記述したい。

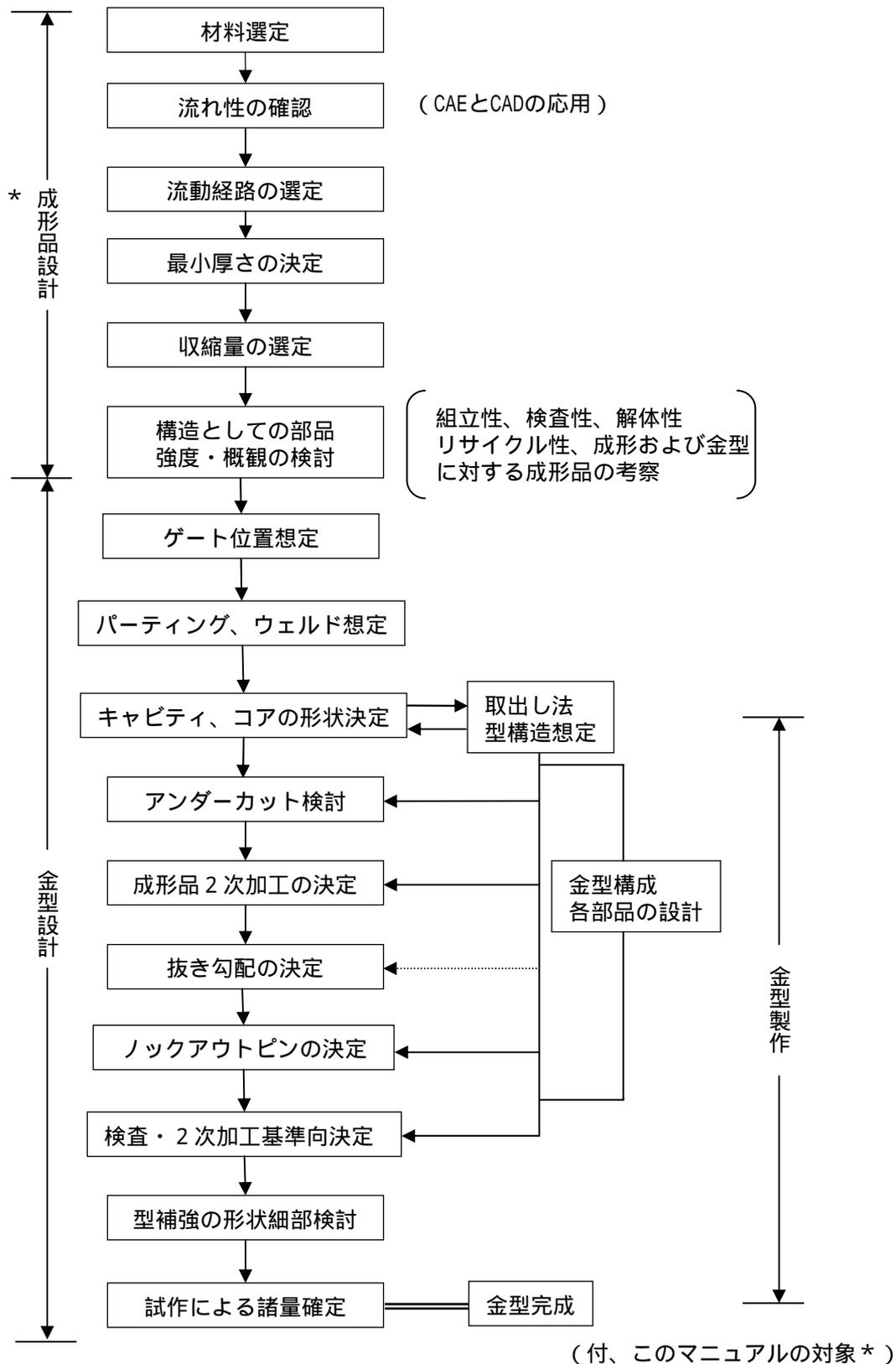


図1 成形品設計から成形まで

(4) このマニュアルでは、成形品だけでなく、これに関連する設計上の諸注意事項について述べるとともに問題提起を試みた。それは将来の成形品設計者にそれだけの幅を持って頂きたいからである。

「頭の中に何も入力されていない素人からは何も出て来ない。」^[1]「アイデアを生み出すには先ずもってしっかりした知識や体験が必要である」^[1]

(5) 確かに映像による伝達・伝承はアトラティブではあるが、具合の悪い情景はどうしても作りにくい。静かに考えるのには不適當なものになり易い。その意味で、昔ながらの記述式のマニュアルを作ることにしたが、果たして、映像化した方が教育効果がよいかどうか、このマニュアル作りの主旨に照らして考えて頂きたい。指導者各位のこのマニュアルの活用法に期待したい。

(6) また、このマニュアルでは厳密な学問的な説明を屢々省略してある。是非、人づくりの OJT で実務に則して補って頂きたい。このマニュアルはヒントとして御活用頂きたい。

3. 技術と技能とその変化

(その1)において「技術と技能」「技術と技能の変化」「ものづくりと技能の大切さ」に分けて、掲題の内容を説明した。ここでは、それを繰り返さない。

「男が手抜きをしようと、言葉とか機械とか、コンピュータとか、要するにバーチャルなものばかり作ってそれを進歩と勘違いしていた間も、女は着実にマニュアル・ワークをこなしてきた。」^[2]「染めと織り」を仕事にしている4人の若い女連の共同生活を題材にした長編小説の批評の中に、技術の基礎には手でこなすことから始まる技能があるということを示唆している。そして、あわせて、技能を接術に高める処に文明があることも示唆している。

4. 今後の課題

プラスチック成形にも最近見直され実用化が進んでいる技法、新たに開発改良された技法もある。今回も伝統的な射出成形に限り、設計の意義・役割、部品の重要性、成形品の設計の意味とその技法などを解説する。成形材料も、熱可塑性プラスチックに重点化した。

従って、下記の課題については別の機会に取り上げることになる。

- (1) 新しい射出成形法他
- (2) 熱硬化性プラスチックの成形
- (3) 成形品の原価と金型の原価
- (4) 従来の CAE の概念より進んだコンピュータ応用設計

出典

- [1] 中川威雄：評論選集・産学協同による技術開発を考える、p23、TEAMS 研究所 (1999. 6. 18)
- [2] 池澤夏樹：手の仕事とモノの実在感 - 梨木香歩「からくりからくさ」：波、33(5) pp16~17、新潮社 (1999 - 5)

5. 終わりに

「ものづくり人材支援基盤整備」という観点から、プラスチック成形品設計の人材育成、基盤技術技能の伝承に重心を置いてこのマニュアルを作った。従って、執筆にあたっては、次の方針で進めた。

- (1) 技術の基本を述べ、その中に含まれる技能の伝承を記した。
- (2) 生々発展しているこの分野では常に学ぶ重要さを認識して貰うために、新しい研究成果も積極的に取り入れた。
- (3) 説明の内容はあまり偏らないように、世に表れた文献を出典として用いた。まだ他にも立派な文献もある筈であるが、諸般の事情で不十分な点もあろうかと思う。
- (4) 用いた文献もこのマニュアルの流れに沿うように原典の真意を損ねない範囲で表現を少々変えてある所もある。原著者のお許しを請う次第である。
- (5) 技術的には、ハウツー式でなく、ブラックボックス入りすることを極力避けて、その本質を考えて頂くような記載をした。そして、各種技術・技能の関連づけも試みたつもりである。
- (6) 各節の注意事項はあまり書物に書かれていない泥くさいこと、野暮だと思われることもお役にたてば幸いと思い勇を鼓して書いた。誤りがあれば、御叱正を頂くとともに、正しい技術・技能を伝承して頂きたい。

本稿を草するに当っては次に示す事業所に伺って多々お教え頂いた。色々お話し頂いた事柄も、お立場も考え具体的な細部は省き、御主旨を汲んで筆を執った。ここに記して感謝の意を表したい。

自信をもって独自技術・技能の確立に御協力され、独自技術・技能と優れた経営のある企業には有能な次世代の人々は定着し、空洞化の懸念は少ない。これが各社の訪問調査の実感である。

訪問先：

- ・(株)日立情映テック 横浜事業所
- ・(株)エム・ジー
- ・(株)今野工業所
- ・(株)オギハラ
- ・(株)宮津製作所
- ・(株)三琇ファインツール
- ・(株)日立製作所 情報機器事業部
- ・ミノルタ(株) 豊川工場
- ・(株)メルコ
- ・(株)日立製作所 生産技術研究所

6. 本マニュアルの編集作成協力者

中川 威雄	東京大学	名 誉 教 授
青木 正義	技術士青木事務所	代 表
佐々木哲夫	日本工業大学	教 授
米澤 俊雄	スタンレー電気(株)	顧 問
飯田 誠	(株)日立製作所生産技術研究所	主任研究員

1. 設計とは何か

(1)プラスチック成形品の設計にあたっては、プラスチックの成形品はどのように作られるのか、設計の任務は何か、部品設計は企業の中でどのように位置づけられるのかを十分理解しておく必要がある。

メーカーにおける「設計」業務は、経営的な、技術的な司令塔の役割を果たすものである。製造能力(質と量)の制約のもとで社会的なニーズにこたえる製品・システムを商品として作るための基本的な指示を、与えることである。芸術作品と異なり、工業製品の場合には、でき上がるべき商品という作品に対して、要求仕様という明確な先行概念がある。この概念に実際の形を与えることが「作る」ということである。

この考え方をしっかり把握しておくことが必要なのである。

製品・システムに関する指示を与えるために、設計として必要があれば、研究・開発・試作なども行って商品の仕様をきめる。企業の考え方により、これらの業務をいくつかの職制に分割している場合もある。

これも大きい意味で設計部門といえる。^{[1][2][3]}

(2)設計について議論する時間も機会も少なくなっているので、ここで少し設計についてまとめておこう。

設計は何を論ずるか、その分野は表1.1に示すように3つの分野がある。例を機械の設計にとっているが、材料の設計、工程の設計なども同じように考えられる。図1.1に示すアシモフの図はあまりにも有名なので取り出しておく。

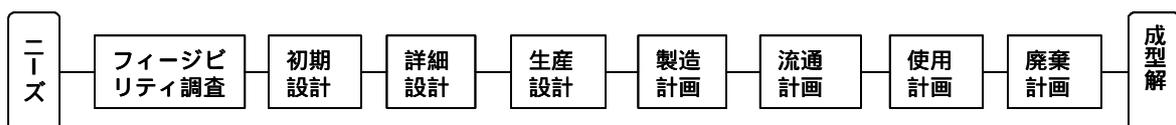


図1.1 アシモフのデザインモルフロジー^[3]

(1) 設計に関する色々の観点

表1.1 設計論の3分野^[4]

分野	主題と提唱者	要点
設計方法論 (Design Methodology)	機械要素設計法 ・ルーロー (F. Reuleoux, 19C)	機械の要素の分角と体系づけ 現在の規格化・標準化の思想の原点
	設計プロセスの標準パターン抽出 ・アシモフ (M. Asimov, 1960年代)	設計手順の基本的同一性の指摘 (図1.1)
	機能から機械への対応を具体的に示す シンセシス* (統合) ・ローデナッカー (W.G. Rodenaker)	「案内・持合・停止の3機能単位の組合せ」の提案
設計理論 (Design Theory)	設計現象を科学的に扱う. ・サイモン (H. A. Simon)	設計活動を通じ人工物をシンセシス* するプロセスの解明
	一般設計学 ・吉川弘之	設計作業現象の客観的把握と支配法則 の一元的把握
設計を論ずる	設計の設計、設計の選択、設計の科学 ・グレッグ (G.L. Gregg)	学問にならない所を設計体験談による 伝承の試み
	設計論 ・波辺茂	工学全分野の設計基礎論
	設計技術 (Design Engineering) ・デイクソン (J.D. Dixon) 設計工学基礎 ・北郷 薫	機械設計者に求められる広汎な知識作 業を支える方法

(文献[4]より青木作成)

*synthesis: analysis 分析の反対語

2. 注意事項

- (1) 設計は単純に設計図を作る処と考えると自己の業務推進や、他部門からの協力のための判断を誤る。
- (2) 近年、コンピュータの大幅の活用により、出図の方法がハードコピー (紙) とは限らない。ディスクであったり、部分的には直接生産機械につながる CAM データであったりする。そのため、設計の任務が何であるかを考える機械も失われつつある。時にはふり返ることも必要である。

出典

- [1] 竹村伸一：設計者の新しい任務：日機誌 84 (749) pp342 - 346 (1981-4)
- [2] 市川健一・駒形栄一：家電品の設計 - 家庭用冷蔵庫について - 日機誌 84 (749) pp354 - 359(1981-4)
- [3] 吉川弘之：設計とは何か - 一般設計学の試み - 日機誌 84 (749) pp328、335 (1981-4)
- [4] 中川尚正：設計論の今後の展開：日機誌 94 (866) pp26 ~ 29 (1991 - 1)

1. 設計の位置づけ^[1]

企業における設計部門の位置づけを図 2.1 に示す。設計部門は製造部門ばかりではなく、最近では企画部門との連携を強め、商品の早期上市に力を注ぐ企業が多い。

(1) マーケティング・市場調査

需要予測・ニーズ調査・分析によって消費者の欲求にこたえる商品コンセプトを生み出す。省エネルギーでいくか、機能追加でいくか、大形化がよいか、小形化がよいか等々である。営業部門、企画部門と共に設計部門が直接顧客ニーズを掴まなければならない現状にある。すでにセクトの時代は過ぎた。

(2) 商品開発

早期上市のためには迅速な商品開発が必要で、そのための基礎技術と未来予測が必要である。自動車の低燃費化のために、エンジン効率改善を主にするか、車輻軽量化を主にするのか。冷蔵庫の熱効率改善のために、圧縮機方式から攻めるのか、ガスもれ防止から攻めるのか。設計部門は商品の未来展望を画き、必要な新技術の把握と開発を常に考え、研究部門にシーズを求め、ニーズを明らかにする必要がある。またあわせて、顧客の求めるデザインの発掘と欲求の刺戟が必要で、インダストリアルデザイナーの活躍を引き出すことも大切である。

(3) 原価管理・VA (Value Analysis)

商品企画が予定の敗売価格、製造原価、利益とともに承認されると、設計と並行してVA活動を始める。設計、経理、VA部門、製造、検査などの諸部門が参加して、多角的、効率的に検討して、商品具体化、最低コスト実現について協力意識とコンセンサスを得ることが大切である。機能評価とともに省資源、省エネルギー、解体廃棄性の評価も重視されている。機能のためのコストに、資源・エネルギーを加えた総合評価が将来を見通した真のVAではなかろうか。

VA活動はデザインレビューと併行して、しかも信頼性を作り込むという考えで、QAの観点から商品のあるべき姿を追究する。

(4) 生産技術・生産管理

CAEの浸透と共に可能な限り商品開発の諸工程を前倒しして開発期間の短縮を図っているのは御承知の通りである。生産設備、治工具の計画・設計に先立って、加工し易く、組立し易く、しかも解体し易く、しかも搬送・運搬し易い。高い生産性の設計を実現する。このために組立性・分解性・リサイクル性の評価法((58)節)などが開発されている。

生産管理上、棚卸資産の極小化を図るために混流生産方式や前工程への生産指示方式などの生産システムの計画が進められる。このような生産性向上のための活動に設計部門は理解と協力が求められる。

(5) 製造・品質管理

設計・生産管理部門から製造部門に技術情報、管理情報、指示情報が遅滞なく届き、指示に対応する改善・改良の提案情報が返送され、さらに採否が応答されてくるような企業内情報システムを構築する必要がある。システムの構築に当っては製造部門の積極性だけでなく、設計部門による高い立場

からの誘導が不可欠である。

製造部門では現場の企業活動への参画意識昂揚のうえで、日本で開発された小集団活動、改善運動を低成長期の時こそ強く推進したい。米国で創案された QC 手法は日本に導入育成されて統計的手法の枠を越えて TQC 活動となって広く根付いている。

設計部門ではこれらの活動を支援し、商品の改良に反映するよう心掛けたい。特に家電品では、この活動に携わる製造現場の人々を通じて、消費者の要望が設計部門に伝えられるチャンスが少なくない。

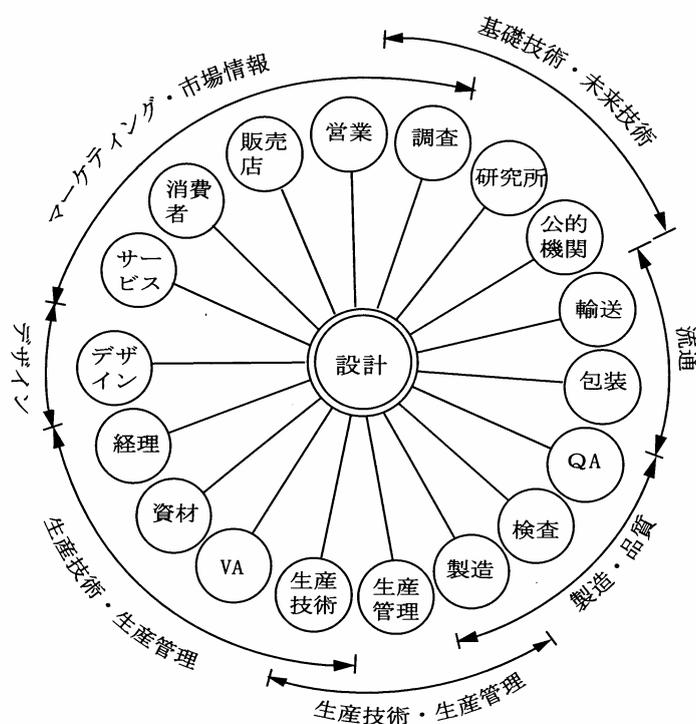
商品の品質は生産工程で作り込まれる。生産工程の中間主要部に、製品の最終性能を裏づけるために当然必要な中間特性値をセンシングしてインライン制御するシステムが普及しつつある。ここまでいかないにしても、与えられた機械稼働が満足されているかどうかモニタする仕掛けをそれぞれの企業で考えている。このための支援もまた設計部門の活躍舞台の一部である。

(6) 流通

設計は、商品そのものばかりでなく、包装、梱包も指定する。輸送経路、輸送ロット使用輸送機関、積載効率を考えて梱包設計をしなければならない。輸送経路によっては、商品だけでなく、梱包の耐振動性、耐高温性、耐低温性、耐高湿性を特に考える必要がある。船積み、空輸などの際の荷扱いフック位置や落下衝撃に対する強さなど総合的に考えた荷姿、流通用モジュールシステムを開発する時の担当の中心になるのも設計部門が多い。

(7) マーケティング、市場情報

企業の幹部や設計部門は発生したクレームに対応するというのではなく、上市した商品の反応を見て次の一手は何かを考える必要がある。第一線の設計者も時に販売実習をして市場環境を肌で感じ、次期設計に活かして欲しい。



設計の位置付け [1]

1. 新商品の開発の業務の流れ

安定成長期ないしは低成長期におけるメーカーの競争力、成長力は、新商品のタイムリーな発表と既存商品の機能アップまたはイメージアップ、買換需要期を視野に入れた価格低減にかかっている。または全くの新規分野の開拓・開発の実力の有無にかかっている。

新商品の開発は通常ニーズの発掘、開拓とシーズの育成に始まる。そのために開発研究者はシーズの育成をつづけ、マーケティングエンジニアは絶えずニーズ発掘に努め、この間の緊密な連繋が必要である。

新商品の開発の過程は図 1.1 の慧眼なるアシモフが 1962 年に図式的に示したデザインモルフロジーに要約されていると思うが、これに肉づけをすると図 3.1 のようになる。ニーズの発掘に基づく基礎研究の開発段階から、機能設計、強度等の設計を経て生産性設計、工程設計、設備設計、量産試作に到達する流れに沿って進められる。^{[1][2][3]}

この過程をいかに早く経済的にたどれるかがメーカーの実力のバロメータの一つである。CAE (Computer Aided Engineering) の発達によって、生産可能な形状の確定や、適正な材料選択、生産手段の部分的な準備等が可能になり、コンピュータを応用したコンカレント技術がこの過程を早めている。コンカレント技術の特徴は図 3.2 に示す通りで、詳細設計から試作評価までを数回繰り返していたものをコンピュータの中で生産性チェックまでを含めて実行し、1~2 回の確認試作で販売可能な商品を生み出そうとするものである。^[4]

企業の規模によっては、基礎研究から量産試作までを開発・設計・生産技術に分けてきたが、コンカレント技術の浸透とともに、こういう職制区分も流動的になっている。たとえ、区分がどのように変わろうと、(7)節に述べるように、設計者は商品を世に送り出す取りまとめ約の意識をもち、全般にわたって深い関心を持ち続けなければならない。

プラスチックに限らず、その分野に新素材を導入するときは、製品設計者にその長所を十分に活かそうとする努力を払わなければならない。あわせて、予期しない欠点で失敗をしないよう、今までの設計では気にしないで済んだことでも、あらためて問い直して確認検討する必要がある。

2. 注意事項

プラスチック部品設計と関係なさそうだが、設計部門と各部門との関連について述べたのは、将来の部品設計業務を考えるために必要だと考えたからである。ブラックボックスのままに置いて、ハウツー的に結果だけ求めては成長はない。

出典

[1] 青木正義：プラスチック成形品設計：pp5～8、(株)工業調査会(1988)

〔一応の区分〕

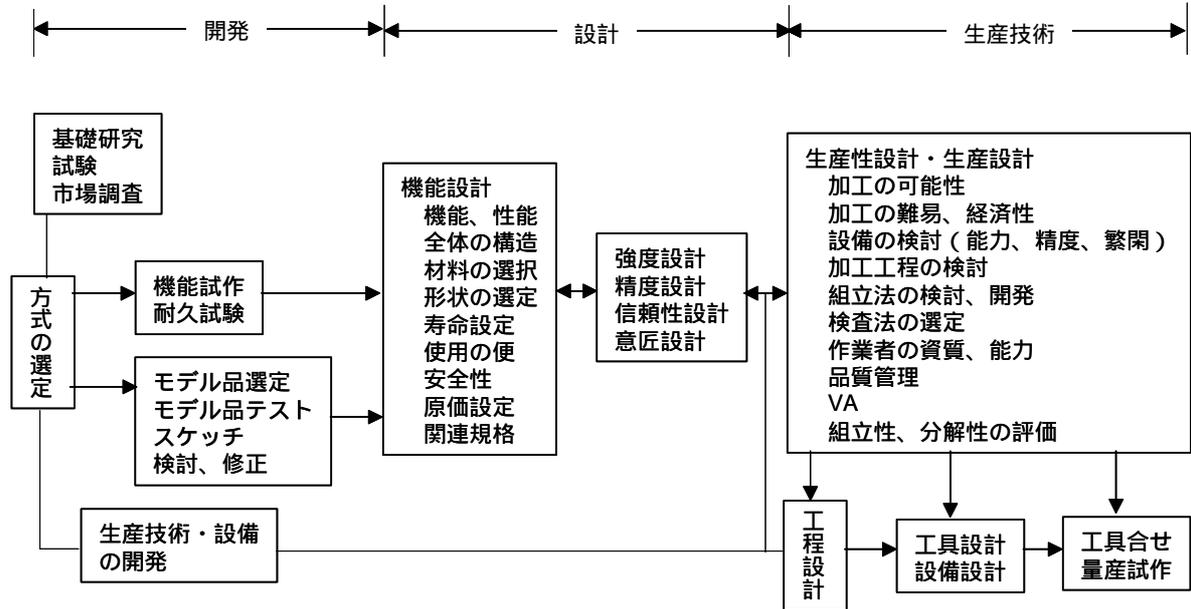
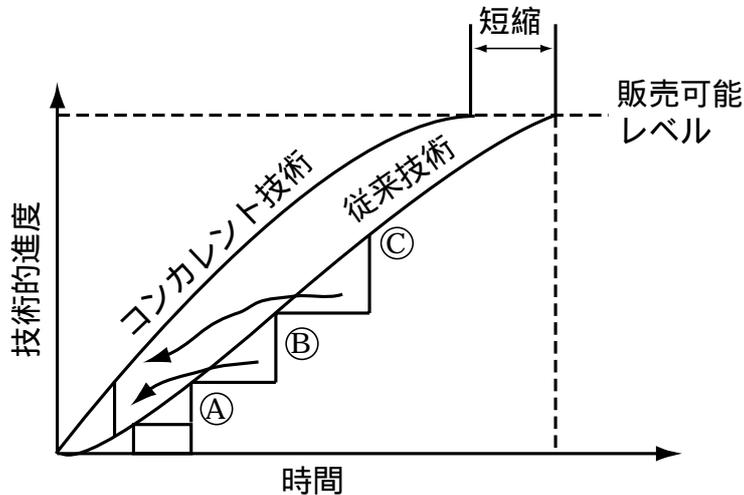


図3.1 新製品開発の流れ



従来技術：①、②、③を逐次行う
 コンカレント技術：①と同時に②、③などを可能な範囲で同時進行させる

図3.2 コンカレント技術の特徴^[4]

(3) 新製品の開発の手順

2. 注意事項・関連事項

(1) 景気動向のよくない時代には、顧客は真に必要なものしか買わない。生活必需品と生活に新しい利便性、快適性を与える商品がマーケットニーズになる。そして同じ機能の物ならば、僅かでも安いものが求められる。

また、反面、不況により所得格差が大きくなり、資産の偏在が大きくなれば、顧客の本物指向が著しくなる。

このようなニーズの多様性への対応は企業の大きな課題で、ニーズの先取りとともに、ニーズに応じて早く商品化できる技術力、他社と一味違う独自性のある技術力の開発、育成、蓄積が必要である。常に未解明技術のサーベイとその技術の応用の可能性に注目している必要がある。

不透明な経済状況の下にあっても、技術者は自分の専門技術の温存・維持・自己啓発に努めておかなければいけない。あわせて関連する技能の実情も把握していなければならない。これによってニーズを待ち伏せすることが望ましい。

(2) 参考までにニーズを分類すれば表 3.1^[1]のようになる。

図3.1 ニーズの種類

	種類	内容
1	ソシアルニーズ	例えば省エネルギー、省資源
2	マーケットニーズ	需要層のライフスタイルによる需要構造に関連する(必要サイズ、機能・機種など)
3	ユーザニーズ	消費者意識(センス)による。 時代の背景により、特に求められるニーズの種類とその内容が著しく変わる。

(3) 日本の新製品開発リードタイムは世界の中で最も短い。先進国間で比較して 1.5~2 倍という大差がある。特に典型的な一品生産である試作品や金型製作は最も高度な熟練技能を要するものとされている。この分野に情報技術を駆使した生産技術が取り入れられつつあることが特徴と言える。このように述べた後に中川^[5]はリードタイムを短縮するいくつかの新技术として「積層造形によるラピッドプロトタイピング」「ラピッドツーリング」「高速シーリングによる金型製作の高能率化」「コンカレントエンジニアリング」について概説している。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp2 - 4 ;(株)工業調査会(1988)
- [2] 日本能率協会編：設計管理第 1 版、日本能率協会 (1961)
- [3] 生産管理便覧編集委員会編：生産管理便覧第 1 版、日刊工業新聞社
- [4] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望第 2 回：型技術止 (2) p13 (1998 - 2)
- [5] 中川威雄：プラスチック射出成形品の迅速開発技術：成形加工、10(8) pp614 - 619 (1998 - 10)

§ 1 新製品開発と設計

1. 設計のステップ

(1) 設計の内容にも色々な把え方があって、設計の完了へ向かって、種々な名称がつけられている。作ろうとする対象によって名づけ方も論者によって変わると思うが、一つの例として私見を下記に示す。

設計はどんな材料でどんな形のどんな役割をもつものを如何様にするかを指示することである。この観点から主として設計の工程の順に並べれば表 4.1 のようにも書けるであろう。

実際には色々な条件があるから、概念設計をはっきりさせて、その商品開発のフィロソフィーを確認したならば、色々な段階(ステップ)の設計を行きつ、戻りつしながら設計は完了する。表 4.1 には一つの設計段階が終わったら、次の設計に確実に移れるというのではなく、一応の手順を示したものである。

したがって、強度設計にいたって、意匠設計を少し改めるというようなことがある。現状ではあるルールに乗って、そのように走れば目的地に自然に到達するという方法はないと思われる。コンピュータの中でいくつかのケースをシミュレーションし、よいものを選択して一歩進むというのが実用の段階であろう。

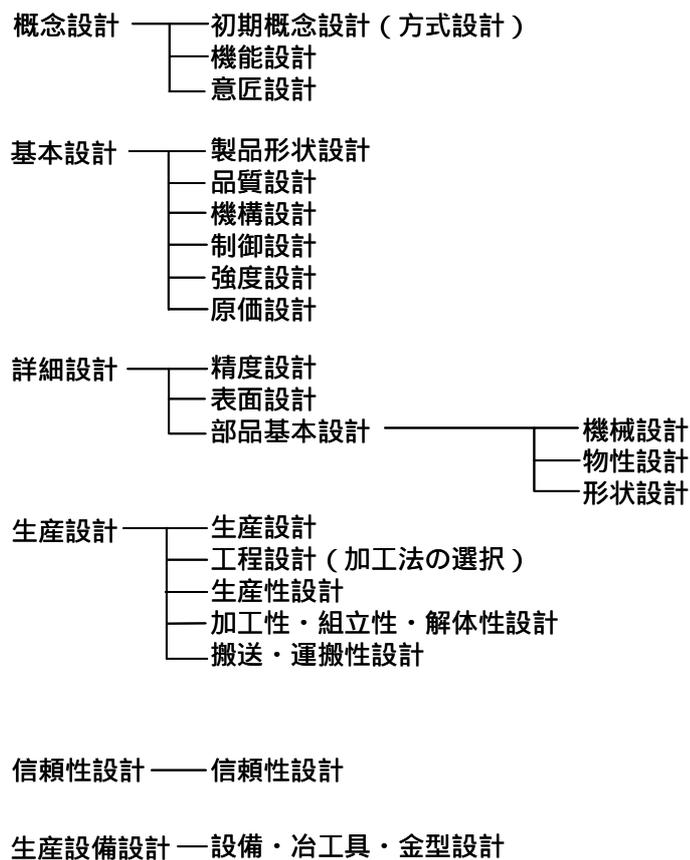
次の段階で大きく元に戻ったりするであろう。新商品の開発にあたって、CAE、CAD では方がつかず、人間の頭脳の介入が必要になるであろう。

先に述べた設計論が何十年かの低調期があって、後に再び論議・研究されるようになった。それは A (知識工学) の手法が CAD に導入されるにあたり、設計論の展開を俟たないとエキスパートシステムが十分に活かされないような事態が起こったからだという。^[1]なお、AI の手法を導入した CAD は「インテリジェント CAD」と呼ばれている。^[2]

また、色々な段階の設計分野を行きつ、戻りつせざるを得ないだろうというのは、中島の示すところ^[3]によると、現状では次の事情によると思われる。いま、伝達トルク、軸の長さ、材質が具体的に与えられて、その軸の質量をある値以下に抑えることが求められているとする。どうしても質量を許容値以下にできないときは、従来の CAD では「解がない」とアウトプットする他はない。しかし、設計者の場合には中空軸を思いついて、これを検討するであろう。または中空軸を提案するであろう CAD システムでは中空軸の提案をどのように扱うかが大きな問題であろう。自動的に中空軸を考え出す仕組みを与えておくこと、即ち必要な機能からこれを実現する機構の生成ができる範囲は極めて限られていると考えられるからである。このようなシンセシス(統合、Synthesis; 分析、Analysis の反対語)が可能な CAD は乏しいと考えられているからである。

(4) 設計のステップ

表4.1 設計のステップ



2. 注意事項、付記

(1) 設計のステップ、内容については、視点によって命名も、位置づけも異なる。しかし、設計に携わらない方々にも設計に対する視野を広げて頂くために記した。

(2) 経験された方はすぐお判りになると思うが、あの条件、この条件を考えながら、商品全体の形をきめ、意匠をきめ、部品の事情も考えて修正していくというのが開発設計作業の実情である。商品の種類はきまっており、ある部分だけに新規性を持たせる場合には、他の部分はずでにある手法で解が求め易くなっていることも承知して頂きたい。

(3) コンピュータのお陰であるが、同じようなことを繰り返して試みる必要が少なくなったことは否定できない。しかし、本文に述べたように全てをコンピュータに任すには経済的にも技術的にも現状では容易ではない。そこで介在する人間の思考は必ずしも理論的でもなく技術的でない場合も少なくない。思いつきとか、属人的な経験であるとか、技能的な要素も多々あることも理

解しておく必要がある。

(4) 製品と商品の関係、製品設計と部品設計の関係は、(9) 節で述べる。

出典

[1] 中島尚正：設計論の今後の展開：日機誌 94 (866) pp26-29 (1991-1)

1. 適正サイズ

概念設計の最初にきめなければならないのは、開発、設計を通じて根幹になる方式である。どんな交通手段をとろうか、どんな橋梁にしようか、どんな通信方式にしようか、どんな生産方式にしようか等々である。そして、ここでいう方式は目的、対象の特質、大きさ、量によって変わる。技術的な手段としての方式は対象がある限度までなら大形化する程、経済的になるという経験則がある。これを規模におけるスケールの法則という。

工場の経営にしても、その中のプラントにしても、通常、大形にすると効率は高く、規模に応じた変動費は低くなるけれど、固定費が高くなるので、負荷が大容量の時は有利だが、小容量の時は不利となる。

小形プラントは小容量で使う方がよい。すでに 10 年も前から、環境との調和、需要量の変動と需給バランスの点から、この法則の理解と設備、施設の見直しは求められていた。^{[1][2]}

スケールメリットに関する法則には「2 乗 3 乗の法則」がある。板厚一定の容器を例にとると、コストは面積すなわち長さの 2 乗に比例するのに対し、容積は長さの 3 乗に比例する。従って相似な容器のコストは容積には比例せず、容積の $2/3$ 乗に比例する。これは化学機械などでは「Williams の法則」としてよく知られている。^{[2][3]}このような理由でプラントや船舶は大形化してきた。

しかし、大形化の有利性にも限度があり、適正サイズが存在することになる。それはつぎのような反対要因により「2 乗 3 乗の法則」から外れてくる。

機械装置が大形化すると応力レベルも上がる。荷重は一般に重量（長さ） 3 に比例し、応力は（長さ） $3 /$ （長さ） 2 に比例するからである。

航空機では、翼面積と全重量が 2 乗 3 乗の関係にあるが、性能的にメリットには上限が生じる。

大形化に伴い、安全性、環境保全性、情報伝達性のための費用が急増することもある。大形化による経済的有利性も激減する場合もある。

以上のように、機械装置・設備にはその時代の要求規模にあった方式のみが発達しているという指摘がある。原動機を例にとれば単位出力に応じた好適方式があるが時代の要求によって選択が異なるといえる。

このような事情を石谷は技術の「内的発達法則」^{[2][4]}として説明している。

2. 好適方式

機械、装置やシステムについて、需給バランスと規模の関係、規模と適正サイズの関係がある条件を満たしたうえで、規模に応じた好適方式の選択が問題になる。この分野の研究成果は赤木^{[2][5]}によって報告されているので、これを紹介させて頂く。

(5) 好適サイズと好適方式

(1) 橋梁の例

普通、小規模（スパンが0～50m）の橋梁ではプレートガーダが用いられ、スパンが増す（50～400m）とトラスが用いられる。さらに長大なときは釣橋というように使い分けられる。本四架橋のうち児島～坂出の一部を示す図を、このマニュアル（その1）の図91.2に示した。成形用金型の検査と保守にあたり、仮定した方式の有効性を示すために取り上げたためである。

(2) 交通機関の例

速度を一種の規模とすると、マニュアル（その1）の図91.1に示したKarman線図によって方式に応じた好適範囲が求まる。縦軸HP/WV（HP：所要動力、W：全重量、V：速度）は単位輸送量あたりの動力を表し、横軸は速力（km/hおよびkt）である。図上縦座標が低い方式ほど経済的で、低速の時は水中翼船より、大形タンカー（浮力支持）が遠かに有利であり、高速では航空機（揚力支持）、中間領域ではヘリコプター、乗用車より鉄道の新幹線（反力支持）が遠かに有利であることがわかる。ここでHP/WVは機能相似数と呼ばれる無次元数で、方式の比較検討に重要な役割を果たす。先にマニュアル（その1）で、この図を掲げたのは、類似異種のもの进行比较するのに、共通類似性を抽象化した無次元数によることが有効であることを示すためである。プラスチック成形の分野では、流動比（L/t）、レイノルズ数、熔融時のpVT線図などがこの例である。因みに、Karman線図は交通機関の支持方法と経緯性をまとめた図で1950年に発表された。

(3) 海洋石油掘削リグの例^[5]

図5.1に示すように掘削深さに応じて好適方式がきまり、図5.2のような好適範囲配分図が得られている。この場合はコストを間接的に機能相似数の評価値にしている。

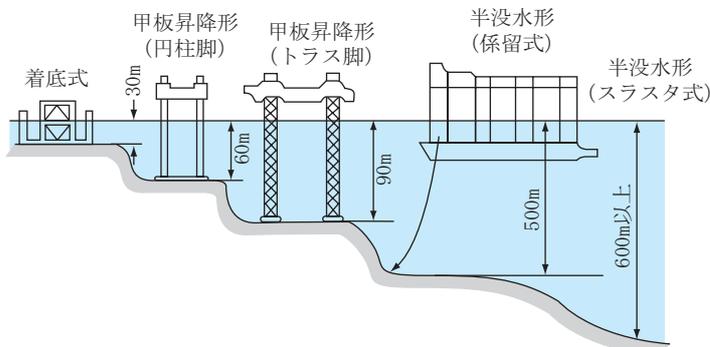


図5.1 水深と海洋石油掘削リグの好適方式の関係^[5]

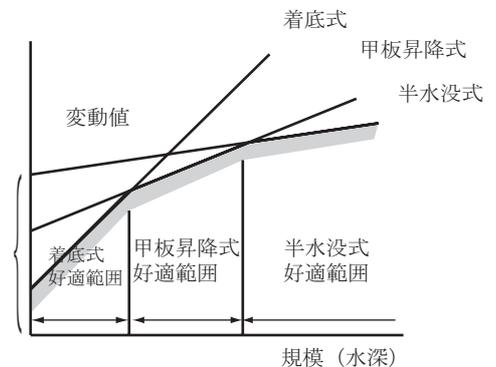


図5.2 好適範囲配分図^[5]
(海洋掘削リグの例)

2. 注意事項

プラスチック成形部品の設計においても射出成形にするのか、ブロー成形にするのか、他の成形法にするのか、また、一個取りにするか、複数取りにするか、共取りにするかなどの決定に上のような手法を使っている所もあるであろう。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp9-13
- [2] 赤木新介：設計における適正規模の考え方、日機誌84（748）pp336-341（1981-4）
- [3] Peters, M.S. and Timmerhaus, K. D Plant Design & Economics for Chemical Engrs., 2nd ed., McGraw-Hill, (1968)
- [4] 石谷：工学概論、コロナ社（1972）
- [5] 赤木新介：複合技術と設計の機能一設計工学的アプローチ日機誌 86（770）pp21-27（1983-1）

§ 1 新製品開発と設計

1. 設計者に求められる資質

一人前の設計者になるには、理論 40、経験 60 といわれてきた。分業やジョブローテーションが進む中、技術の伝承には標準、マニュアルが必要不可欠となった。マニュアル化、コンピュータ化が進むと新人は先輩が作ったシステムのインプットの方法さえ学べば必要と思われるアウトプットが得られるようになった。しかし結果が正しいかどうか判断を誤ってはならない。本来、設計者は大きな自由度をもって、判断行為を重ねて設計という仕事をする。自由度が大きい故にミスを犯す可能性も大きい。その成果をまとめたマニュアルや情報に本当にミスはないのだろうか。この判断力を養う方法は実践を繰り返して体で覚えるしかない。「技術は書き物によっては伝わらない。眼と実践のみが人を鍛えることができる。」(Ferguson E. S.) 失敗から学び、文献、書物から疑問に対する答のヒントを見つけ、利用し易いマニュアルを作らなければならない。

すなわち ; -

資質の第 1 現象を直視し、当たり前なことでも正しいか否か考え、判断する能力、習慣を持つこと

また、Ferguson は「技術者とか設計者が描く図面は芸術家が描くデッサンとか絵画に通ずる所がある。いずれも、白紙の上にそれぞれが心の中に思い描いたことを表現する。心眼でみたビジョンを白紙の上に移していく作業を行っている」^[3]と述べている。設計者も無数の答を白紙の上に描けるけれど、環境、資源、法規、顧客の要求などという「社会」の制約を受ける所が芸術家と違う。その中で、最適と思われる「解」を「形」として具象化する。そして、その形を美的感覚、経験などから、バランス、機能性のよしあしを判断して設計の解とし、そして計算によってそれらを確認する。

すなわち ; -

資質の第 2 「形」「形状」に対する深い洞察力と「社会的」制約をよく認識するとともに、設計上の計算は一つの手段に過ぎないことをよく理解できること

現実の設計者は社会的に認められれば認められるほど多忙になり、自分の仕事にも、部下(グループ)の仕事のチェックにも十分な時間が持たなくなる。このために、既存の技術を予め集めて統合(Integration)し、一つのシステム・装置を組み上げていく。実績、先例のないことに直面した時はどうするか。類似例の探し方、スケールアップの手法が正しくなければならない。これを誤ると設計ミスを生じる。設計ミスの原因の多くはその誤りにある。

すなわち ; -

資質の第 3 新しい設計に対して自ら正しさを検証できる能力を持つこと

次に、トラブルが生じた時に、原因が設計にあるのか、他にあるのかを判断する上で、実際に起こったことに基づく計算が有力な根拠になる。こうした観点から、システム・装置の数学モデルを作り数学的に解析できることが大切である。

すなわち ; -

資質の第 4 数学的モデルが作れ、基礎的な数学を理解できること

また以上のようなマニュアルをアップ・ツー・デートに更新し、自分自身の作業のチェックリスト

を用意することが必要である。

すなわち； -

資質の5 現象の体系的整理とマニュアルの更新が習慣となっていること^{[1][2]}

設計ミスを防ぐには^[3]設計マニュアルが設計経験を正しく伝えることが前提である。マニュアルの継承に問題があるとすれば言語によらないインフォーマルな情報の活用法も必要であろう。また人への継承に限界があるとすれば、設計のコンピュータによる診断を進展させ併用することも必要であろう。こういう議論も決して新しくない。スペースシャトル事故やテレビの電源部のミスなど。特に開発設計者に要求される資質は次のようにまとめられている。^[4]

(6) 設計者に革められる資質と知性

謙虚に専門家、経験者や他人の意見を聞き、多くの資料を吸収でき、

芸術を鑑賞し、スポーツを愛する円満な人格と明晰にして幅の広い頭脳を持つこと、

鋭い直感力を持つこと、

開発中の困難に真っ向から対し、的確、冷静な判断をし、早急にトラブルを克服するファイトと忍耐力を養っておくこと。

設計者は企業の方向を定める上で重要な位置にあるから、観点を換えれば、設計者に求められる知性は表 6.1^[5]のようにもまとめられる。そして設計者は、自分の業務に誇りを持ち、小さな面子にこだわらず、情報を吸収する能力を高めることが大切である。情報収集上の注意を表 6.2^[5]に示す。

表 6.1 設計書に求められる新しい知性^[5]

特定の専門家にとどまることなく、広い視野を持っていること

関連分野、学際的な分野の知識を持っていること

製品が置かれていさえ社会環境をよく理解していること

社会経済と、経済性に深い関心を持っていること

国際的感覚を持っていること

今後、ますます求められる目的指向形の設計に対応して短期間に必要な知識を吸収できること

表 6.2 情報収集上の注意

情報が容易に集まってくる情報収集システムつまり「しかけ」を作ること

収集した情報の性質、内容を予め明らかにすること

情報は定量的に、客観的にデジタル化した形で収集するようにする。また一方、フィーリング、アナログ的な形の情報も取りこぼさないようにすること

2. 注意事項

(1) 成形品設計者は詳細設計まで経験するので、他分野からスカウトされることが多い。そのつもり

で日常の研鑽が活かされ易い。

(2) ここでは「製品」とは販売に無関係に技術的に設計仕様に対する完成度で計られるもの、「商品」とは技術的完成度とは異なり、顧客に対する魅了度、売れ行きで計られるものという使い方をしている。

出典

[1] 幸地生好：エンジニアリング会社の設計者論；日機誌 100 (938) pp85、86 (1997 - 1)

[2] 幸地生好：エンジニアリング会社の設計者論 - 設計ミスとその防止 - 日機誌 100 (947)pp1098 - 1101

[3] 中島尚正：設計論の今後の展開；日機誌 94 (866) p28 (1991 - 1)

[4] 大槻幸雄：開発設計のあり方 - 副題略 - 86 (771) pp173 - 180 (1983 - 2)

[5] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp14 - 15、(株)工業調査会 (1988)

§ 1 新製品開発と設計

1. 設計を取りまく環境^[1]

従来、設計部門はメーカーの中心的存在で、商品の品質、利益を設定、管理するという考えで、「設計中心主義」という言葉があるほど、設計第一主義であった。経済成長期にもたらされたマーケットニーズの多様化、技術の高度化、プロジェクトの大形化、主産体制の強化によって設計の業務は量的に増加し、人員の強化と業務の細分化がもたらされた。また製造原価低減と需要拡大に対処するため主産技術の進歩、コンピュータ端末の発達によって、製造現場の生産技術が重視されるようになり、「設計中心主義」は徐々にくずれてきた。製造、検査などを支えたデザインレビュー（Design Review）、QA（Quality Assurance）、TQC（Total Quality Control）、VA（value Analysis）などの検討会に各部門がそれぞれで協調しながら業務を推進するようになり、商品全体に対して責任をもつという設計者の気質は薄らぎ、現場や部品設計からの商品改善の提案も少なくなる傾向が見えて来た。

2. 設計者に求められる新しい任務^{[1][2]}

上に述べた状況が新しい商品に対応する新しいシステム、機械、装置を開発する側にも、これを受け入れる側にも、商品の開発という立場から組織を含めて全体を掌握できる人材が必要不可欠であることがあらためて認識された。すでに現場の生産システム、機械、装置はコンピュータを中核に構成されるようになってきているから、これを運用するような人材は設計者の集団の中に求められるようになった。まさに製品開発から新商品開発という発想の転換にあたり、開発プロジェクトが発足することが多くなった。

これを受け止める設計者には自ら新しい任務に対する自覚が求められるようになった。

(1) 新商品の開発

担当商品の機能、特性、製造法、市場の評価を設計者は常によく反復勉強しておく。この中に改良や追加したい機能、全く反対のニーズを発見することができる。「アイデアマンでとりわけ技術開発に熱心に取り組んでおり、次々と新技術を応用」して開発した社長の新商品より、「世の中が何を求めているか知っている」営業部長が手がけた「開発商品は必ずヒットする」^[3]という話もある。設計者は営業の第一線を見て歩かなくてはならない。製品を商品にするには、重厚長大であろうと軽薄短小であろうと変わらない。

(2) 業務の取りまとめ

制御盤、キューピクル、プラント装置などの設計には従来から取りまとめ設計者が定められていた。しかし、先に見たようにそれぞれの業務がケーブルか無線でつながるようになり、背中合わせへの伝言もメールですのような状況になっている。それが必要なこともないではないが、商品に本当に息を吹き込むにはそんなことではできない。最後の設計目標への到達度が眼に見えるように、取りまとめ

(7) 設計者に求められる新しい任務

設計者は責任をもって事に処しなければいけない。

機知・既存の技術、製品を上手に取りまとめ、新しい価値を付加するのがシステム技術であるけれど、「創造の取りまとめ者」としての任務は、志ある設計者の仕事である。自分がその企業にいる存在理由だと考えて欲しい。

(3) システムエンジニアリング

たとえ部品の設計という仕事をしていても、その設計者の背景には、製品（商品）設計、製造部門、それを動かすための生産管理業務があり、一つのシステムの中の技術者である。だから、自分が育っていくためには、システム技術者、さらにはシステム設計者としての能力を身につけることが大切である。

しっかりしたデザイン・コンセプト（設計の基本概念）をもつこと。一つの部品であろうと、なぜ、どのようにそこにあるべきかをはっきり認識すること。

多くのハードウェア、ソフトウェアの中から各種の理論、技法によって、適切な要素を取捨選択し、最適システムを組み上げること。

取りまとめの・ために、関連部門に対し強いリーダーシップを発揮すること。

(4) コンピュータソフトウェア

現在の設計業務は CAE（Computer Aided Engineering）CAD によって武装され、製作現場へは CAD の他 CAM によって指示連絡できる。この中に少々のトラブルが大きく拡大され大きな被害を生む時と、別のトラブルではその時、難なくパスしてしまう場合とがある。なかなか別人の作ったプログラムは判りにくいことが多いが、内容が見えるプログラムを選び、ブラックボックスのまま放置しないで、内容を見る日頃の努力が必要である。

(5) 事故の対策

先に開発設計者に求められる資質について述べたが、業務の取りまとめに当たる設計者はく事故の原因が最も判り易い位置にすることが多いから是非第一に飛び出して行って事故の対策を指揮する任務がある。

こうした努力が失敗の経験の活用につながる。

2. 注意事項

(1) 業務の取りまとめの方法でも、最適の部品形状選択の方法でも考え方は何も変わらない。

(2) 上述のシステムエンジニアリングは各部門へのローテーションで育つものではない。計画性と創造性をもった自らの積極的な好奇心で育てられる。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p4、(株)工業所査会(1988)を改訂
- [2] 竹村伸一：設計者の新しい任務、日機誌也(749) pp342 - 346 (1981-4)
- [3] 中川成雄：評論選集産学協同による技術開発を考える、p3、pp33-36、TEAMS 研究所(1999)

§ 1 新製品開発と設計

1. エンジニアリング・スピリット^[1]

エンジニアリングは今まで世の中のどこにもなかった新しい有形、無形のものを作り出す人間の知恵である。技術者は、現象の解析、解明だけではすまないところが自然科学者と異なっている。また、教科書・演習書の問題には理想的な解答が用意されているけれど、実際の問題はそうはいかない。必要な費用と時間を見極めて、その中で問題を解かなければいけない。もっと深く追究した方がよいのか、この辺で見極めをつけるのか技術者は苦しい選択を迫られる。

こういう事態に対処するには、科学的、数学的手法と多くの経験例による検討の末に、安易な妥協ではなく、自分なりに到達した自信の上になら、失敗の対策も見通した自信が必要である。技術者は専門技術、関連技能とともにエンジニアリング・スピリットを養う必要がある。

エンジニアリング・スピリットとは技術者の見識に基づく技術者根性だと考える。

2. 日本の応用実用化研究^[2]

企業における研究開発は応用実用化研究が主体で、その成功率は次式で表わされる。

$$S = E_n \cdot P \cdot E_c$$

ここで、S：企業の研究開発成功率

(アメリカでは20%以下、日本では70%程度といわれていた)

E_n ：技術的成功の確率；技術的な目標を達成する確率

P ：商品化成功の確率；技術的に成功し、製品化される確率

E_c ：経済的成功率；タイミングよく製品が商品化され、投資額を回収し、さらに目標利益を得る確率

アメリカより日本の方がSの値が大きいのは、日本における研究開発は；-

先行的、偶然的な研究への挑戦は少なく、後発的、必然的なものが多く、

比較的早期に基礎的な研究の成功・成果見通しを検討して中止してしまう。

試作品完成後の製品化、商品化に必要な設計、生産、検査の技術がすぐれている。

比較的長いスパンで見て、人材育成に努め、技術者、技能者とも教育水準、業務意識が高かった。

協同研究開発の際の仲間意識が強かった。

現在の経済状態と世相の変化により、先の数字がどう変わっていくのに関心をもつ必要がある。かげりもあり、明るさもありそうだという社会状況にあつてこそ、基礎研究をなおざりにすることなしに E_n 、 P 、 E_c の値を上げて、Sの値を大きくする努力が必要であろう。

3. 失敗の経験を活かす

スペースシャトル・チャレンジャー号の爆発事故の主因は固体燃料タンクの継ぎ目のOリングの取り付け方のミスであったという。^{[2][4]}正しく設計されていたものを後に軽量化を図ろうと改良設計した

(8) エンジニアリング・スピリットと技術者の姿勢

ときに初歩的な注意を見逃している。

また、一時期相次いで起こったテレビやコンピュータの欠陥トラブルの原因は成熟技術であるはずの電源部の設計ミスであったという。^[3]

こういう話は決して新しいものでも古いものでもなく、今に続く問題である。原子炉とか航空機、公共交通機関では絶対に失敗してもらっては困るのに、未だに根絶できない。「ばかの繰り返し」をしないよう、失敗の経験を無にしてはいけない。

航空工学に一時期を画した富塚清によれば、^[5]失敗の問題処理と失敗から得た教訓の学び取り方に、それぞれの国民的性向があるという。日本ではとにかく面子を重んじ、また一方、一旦失敗のレッテルを貼られると世間の眠が冷たいので、温情主義になっているとみられる。イギリスではある程度の失敗経験を持たないと一人前に見られないという。ドイツの工場では失敗の記録を蓄積保存し、これによって社員教育のテキストを作っているという。日本にも、古くからこのような失敗の記録を作っている企業はあるけれど、そう多くはないように思われる。

富塚はこういう失敗の記録は失敗防止の哲学をくみ取れるように整理しておいて初めて意味があると説いておられる。先生は自ら、エンジンについて、「失敗検討判定書」を作って、最高裁判所判例集のように権威あるものにしたいと述べておられる。^[5]教科書は原則を述べたものであって、専門書の数値を無批判に採用してはならない。^[6]自社の設計資料を忠実に守れという注意もある。失敗経験からにじみ出たまことに貴重な知恵であるノウハウを体系的に身につけて、「二度あることは三度ある」の警を防ぐ意味で失敗の経験の上手な、真剣な活用が望まれる。

4. 注意事項

- (1) 第1章では新製品の開発とそのもとになる設計と、設計を取りまく諸々相を述べた。そして、設計者の資質、新しい任務、あるべき姿勢を見直した。よい設計をするには、設計とは何かを知り、よい設計技術者を育てることが必要だからである。部品設計こそが全ての設計に通ずる道である。
- (2) 分業化とコンピュータ化が進む環境にあつて、本当により設計をするには、ブラックボックス化されつつある業務手順に常に新しい疑問を持つことが企業のためにも、技術者・技能者のためにも益々重要になってくることを指摘しておきたい。

出典

- [1] 江守一郎：これからの設計、日機誌出（749）pp317 - 321（1981-4）
- [2] 藤江邦男：新製品開発の成功率について、日機誌 90（818）pp54 - 55（1986 - 1）
- [3] 中島尚正：設計論の今後の展開、日機誌 94（866）pp26 - 29（1991 - 1）
- [4] Presidential Commission, Report on the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident, The White House. Washington D. C.（1986）
- [5] 富塚清：失敗経験の活用について、日機誌出（749）pp408 - 411（1981-4）
- [6] 大槻幸雄：開発設計のあり方 - 副題略 -、日機誌（771）pp173 - 180（1983 - 2）

§2 プラスチック成形材料

1. 製品設計、商品設計、部品設計

製品、商品はつぎのように考えられる。^[1]

製品：販売に無関係に技術的に設計仕様に対する完成度で計られるもの

商品：技術的完成度とは異なり、顧客に対する魅了度、売れ行きで計られるもの製品と商品は少々視点が遠い、具体的設計作業の点からは、製品、商品とも設計的には顧客の魅了度に対する力のおき方が異なるもので、基本的には商品設計も製品設計と考えて議論を進めてもよいと思う。

この設計を、マーケティング、営業の立場からみれば意匠設計、原価設計から強調して商品設計になるであろう。

先に、設計のステップ(4)節表1)において、概念設計が、製品設計にあたり、基本設計の一部は製品設計でもあり、部品設計でもある。プラスチック部品設計では特に重要な、材料設計、物性決定設計、形状設計が部品基本設計となっている。

2. 部品設計の考え方

部品設計は製品の - 部を設計するという立場にあるから、
作れること 組み立てられること

が大切である。 いろいろな設計の分野があるが、部品を見る観点により命名されており、部品設計はいろいろの側面をもつことになる。設計のいろいろの分野を表 9.1^[2]に示す。

3. プラスチック部品設計上の注意

部品設計にあたり、種々の材料の中からプラスチックを選ぶのはプラスチックの特長がその部品にふさわしいからである。プラスチックは表 9.2^[3]のように定義されている。厳密にはプラスチックは成形された固体であって、高分子は有機物とは限らないし、合成樹脂は成形品を意味していない。

そこで、現状では、プラスチック成形部品としては

極めて難しい寸法公表に対して、金属材料より比較的安価に部品を作れる。

経済性ばかりでなく、物理的、光学的、電磁氣的な特性を活用できる。

成形品の精度も成形品設計、材料設計、成形用金型の設計・製作によってかなりの域に達している。

そして、(17)節に述べるよう ACM (Advanced Composite Material) などによって、比引張り強さ $4 \times 10^6 \text{cm}$ に到達しているとみてよい。

しかし、つぎのような欠点も十分注意する必要がある。

リサイクル技術は十分進歩しつつあるが、十分に浸透実行されにくい。

さらに環境ホルモンなど生態系に良くない添加物を配合してきたものがある。なお、表 9.2 に関連して、生成過程を考えた高分子化合物の分類を表 9.3 に、プラスチックの特徴を表 9.4 に示す。

この章では、プラスチック成形材料とその選択に必要なそれぞれの特質を述べる。

(9) 部品設計とプラスチック

表9.1 設計のいろいろな分野（青木）^[2]

設計の分野	意 味
概念設計	製品、商品のあり方、コンセプトをきめる計画で、 概括的に方式、機能、意匠について大筋をきめる 設計
機能設計	製品または部品あるいはユニット、システムとし て果たすべき役割の設計
意匠設計	デザイン、外観などの指定。風合い（ふうあい）、 趣を含むこともある
品質設計	要求される機能を満足するために考慮すべき設 計、配慮の技術
強度設計	力学的強さに限定せず、製品または部品に対して 付与する強さの指定・指示
精度設計	部品、ユニットのもつべき特性値の限界の指定
表面設計	具体的な形をもつ部品の表面性状の指定
材料設計	機能、品質、強さを実現するための材料の指定選 択、探索、開発指示
形状設計	具体的な形の設計
生産設計	生産方法を考えた設計および生産方法の指定
工程設計	生産のための工程の編成指定時に、使用する設備・ 治工具、刃具も指定する。
生産性設計	経済性を考え、材料、精度、組立性、後加工性、 検査、運搬までを含む設計業務
信頼性設計	品質を具体的に表す精度設計の他に、移動・使用 に耐えられる強さを統計的見地から指定すること

表9.2 高分子、プラスチック、合成樹脂の概念^[3]

高 分 子	分子量が大きい化合物で、物性に対する分子量の影響が少ないもの ^[4] 有機高分子と無機高分子がある 天然高分子と合成高分子に分けられる 有機高分子は分子量10,000以上をいう（シュタウディングの定義）
プラスチック	高分子物質（合成樹脂が大部分）を主原料として人工的に有用な形状に形づくられた固体。ただし、 繊維、ゴム、塗料、接着剤などは除く（JIS K 6900-1971） 非常に大きな分子量をもった有機化合物からできているか、それを基本成分として含んでいる一群 の材料の総称であって、最終状態では固体であるが、それにいたる途中では、熱、圧力などで流れ て成形できる性質を持っているもの 合成によって作られた高分子物質でプラスチック、塗料、接着剤などの主原料
合 成 材 脂 （合成レジン）	熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂に大別される 植物、動物から得られた樹脂状物質を天然樹脂という

表9.3 天然および合成高分子化合物の分類^[4]

天然高分子化合物	{	でん粉 米、麦、じゃがいも、など 蛋白質 肉、卵、絹、羊毛、など セルロース 木綿、麻、など
天然高分子化合物から導かれる高分子化合物	{	ゴムを原料とするもの 塩化ゴム、環化ゴム セルロースを原料とするもの ニトロセルロース、アセチルセルロース 蛋白質を原料とするもの カゼイン樹脂
合成高分子化合物	{	合成ゴム 合成繊維 プラスチック

表9.4 プラスチックの特徴^[3]

観点	基本的性格	金属に比較した性状	
		長所	短所
有機物	炭素の、水素(H)、酸素(P)、窒素(N)などの元手で群成される有機物	密度が低い 腐食しない 熱、電気を導きにくい 透明、半透明である 着色しやすい ソフトな感じがする	燃えやすい 熱分解しやすい 酸化劣化しやすい 表面がよごれやすい
高分子	主に低エネルギーの分子間力で形を保つ高分子	複雑な形状の加工が容易(賦形性) 量産が容易 柔軟性がある 振動・音を吸収する 耐摩耗性がよい 他材料と複合化しやすい 組み立てに柔軟性が利用できる	剛性、強度が小さい 温度により性質が著しく変わる クリーブ変形が大きい 線膨張係数が大きい 有機溶剤に弱い 溶剤、水を吸って寸法が変わる 解体後の処理に注意を要する

4. 注意事項

- (1) 成形部品設計に当たり、材料の選定、設計が第一の問題になるので、§2 では成形材料を取り上げた。この意味をよく理解して研鑽して頂きたい。
- (2) プラスチック材料は有機化合物である主材料の他に、必要な特性を実現するために、添加物質が加えられる(§2(13))。このものは末端ユーザーには明瞭ではなく、ある意味では一抹の不安を残している。
商品化の際に明らかにする努力が望まれる。
- (3) 長所を助長し、短所を解消して、プラスチックは著しく普及した。しかしその一生は十分に検討されなかったためリサイクル、廃棄問題が今後とも重要な課題となっている。

出典

- [1] 大槻幸雄：開発設計のあり方 - 副題略 - 日機誌、86(771)pp173～180 (1983 - 2)
- [2] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第18回)型技術、14(10)pp90～108(1999 - 10)
- [3] 青木正兼：プラスチック成形品設計、pp21～29、(株)工業調査会(1988)
- [4] 小林 昭：プラスチック構造材料、p1、(株)工業調査会(1962)

§2 プラスチック成形材料

1. 熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチック

何をプラスチックというかは前節で述べたので、つづいて、プラスチックの種類について説明しよう。

プラスチックは大きくは熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックに分けられる。普通、その相違点を分子構造的に鎖状であるか、網目状であるかによると説明されるが、素材から成形品になる過程が物理的变化であるか、化学的变化であるかで考えた方が理解し易い。

熱可塑性プラスチックは物理的变化で、加熱・溶融・流動・冷却・固化という過程で成形品となる。従って成形品を適温で再加熱すれば軟化して、上の過程で別の成形品にできる。すなわち、いわゆる材料のリターンができるのである。

これに対し、熱硬化性プラスチックは加熱により、材料内で重合・統合という種類の反応が起こって同化するので再加熱しても軟化することはない。熱硬化性プラスチックはリターン剤として再成形はできない。

以上のようにして固化するので両者の分子構造は異なり、一般的性質も異なってくる。一言で言うて網目状になる種類のプラスチックは強固なものとなる。

この相違点を表 10.1 に示す。

従って成形法も若干異なるので、このマニュアルでは熱硬化性プラスチックは若干の紹介にとどめる。

2. 熱可塑性プラスチック

熱可塑性プラスチックには雑貨を主体とする家庭用品に多く用いられる比較的安価な汎用プラスチックと、機構・構造要素部品など、強さを要求されるものや、特別な物理的性質を要求されるものや特別な物理的性質を要求される部分に使われるエンジニアリングプラスチックとがある。

さらに、熱可塑性プラスチック全般にわたり、結晶性のものと非晶性（非結晶性）のものがある。その相違点を表 10.2 に示す。結晶性といっても、成形品全体が結晶するのではなく、部分的に結晶となる。

その割合は、成形固化する時の状況によっても異なるので、結晶化度を問題にすることもある。

また、成形品の結晶化度が増すと、分子量ならびに密度、力学的性質は増すと考えてよい。しかし、引張り伸び、衝撃値は減少するのが普通である。

(10) 熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチック

表10.1 熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックの相違点^[1]

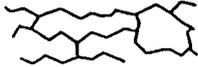
		熱可塑性プラスチック	熱硬化性プラスチック
分子の形		鎖状 	網目状 
分子量		10,000 ~ 1,000,000	10,000 ~
成形	特徴	物理的变化（分子構造変化せず） 	化学的变化（反応・硬化） 
	サイクル	速い	反応速度による
	再成形	可	不能
一般的性	力学的性質	比較的強靱	硬くて脆い
	加熱時	軟化・流動	軟化せず
	耐熱性	小	大
	耐溶剤性	侵されるものが多い	侵されにくい
	電気絶縁性	比較的小	大
代表例		ポリエチレン ポリスチレン 塩化ビニル樹脂	フェノール樹脂 エポキシ樹脂 シリコーン樹脂

表10.2 結晶性プラスチックと非晶性プラスチックの相違点（熱可塑性）^[1]

	結晶性	非晶
透明度	透明性を欠く（結晶による光散乱） 例外：急冷したPPフィルム 2軸延伸フィルム	透明のものが多い
成形温度	低め（注）	高め
寸法精度（初期）	劣（ひけ、そり）	良
経時変形	生じやすい（再結晶）	少ない
剛性	ガラス転移点より高温で低い	
耐熱性	低加重で良好	高加重で良好
耐溶剤性	良	劣

（注）6.6ナイロン、PPS、フッ素樹脂などは高い

3. 注意事項、付記

(1) プラスチックに関連する用語、付属的な説明は、エンジニアリングプラスチックの項で述べる。

(2) §1(9)において航空工学の先達・富塚の注意を紹介した。先人の遺訓は時に思い起こす必要がある。

プラスチック部品設計にあたっては成形技術も、あわせ学ぶ必要がある。わが国におけるプラスチック成形の先駆者として多くの業績を残されて、なお現在御活躍の廣恵の回顧録^[2]がある。熱硬化性プラスチックの成形と特質、そのインサート成形、手動式成形から学ぶべきことを先ず述べている。

つづいて熱可塑性プラスチックの射出成形技術の導入、成形機の選定、ポリアセタールの成形の研究、スクリー式射出成形機の国産化による移行について説明している。困難なポリ塩化ビニルの射出成形を懐古している。

さらにナイロン歯車の精度・強さの向上、熱厚肉品の成形の苦心について述べている。この回顧録全編を通じて、プラスチック成形の歴史を見ながら、技術に対処する心構えをさりげなく述べている。大いに学ぶところがあることを力説しておく。

出典

[1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p23、(株)工業調査会(1988)

[2] 廣恵章利：プラスチック成形技術回顧録(1)～(5)、成形加工、9(4)pp270～274、9(5)pp363～368、9(7)pp537～544、9(8)pp628～633、9(9)pp719～723、(1997)

§2 プラスチック成形材料

1. 熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチック

何をプラスチックというかは前節で述べたので、つづいて、プラスチックの種類について説明しよう。

プラスチックは大きくは熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックに分けられる。普通、その相違点を分子構造的に鎖状であるか、網目状であるかによると説明されるが、素材から成形品になる過程が物理的变化であるか、化学的变化であるかで考えた方が理解し易い。

熱可塑性プラスチックは物理的变化で、加熱・溶融・流動・冷却・固化という過程で成形品となる。従って成形品を適温で再加熱すれば軟化して、上の過程で別の成形品にできる。すなわち、いわゆる材料のリターンができるのである。

これに対し、熱硬化性プラスチックは加熱により、材料内で重合・統合という種類の反応が起こって同化するので再加熱しても軟化することはない。熱硬化性プラスチックはリターン剤として再成形はできない。

以上のようにして固化するので両者の分子構造は異なり、一般的性質も異なってくる。一言で言うて網目状になる種類のプラスチックは強固なものとなる。

この相違点を表 10.1 に示す。

従って成形法も若干異なるので、このマニュアルでは熱硬化性プラスチックは若干の紹介にとどめる。

2. 熱可塑性プラスチック

熱可塑性プラスチックには雑貨を主体とする家庭用品に多く用いられる比較的安価な汎用プラスチックと、機構・構造要素部品など、強さを要求されるものや、特別な物理的性質を要求されるものや特別な物理的性質を要求される部分に使われるエンジニアリングプラスチックとがある。

さらに、熱可塑性プラスチック全般にわたり、結晶性のものと非晶性（非結晶性）のものがある。その相違点を表 10.2 に示す。結晶性といっても、成形品全体が結晶するのではなく、部分的に結晶となる。

その割合は、成形固化する時の状況によっても異なるので、結晶化度を問題にすることもある。

また、成形品の結晶化度が増すと、分子量ならびに密度、力学的性質は増すと考えてよい。しかし、引張り伸び、衝撃値は減少するのが普通である。

(10) 熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチック

表10.1 熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックの相違点^[1]

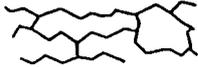
		熱可塑性プラスチック	熱硬化性プラスチック
分子の形		鎖状 	網目状 
分子量		10,000 ~ 1,000,000	10,000 ~
成形	特徴	物理的变化（分子構造変化せず） 	化学的变化（反応・硬化） 
	サイクル	速い	反応速度による
	再成形	可	不能
一般的性	力学的性質	比較的強靱	硬くて脆い
	加熱時	軟化・流動	軟化せず
	耐熱性	小	大
	耐溶剤性	侵されるものが多い	侵されにくい
	電気絶縁性	比較的小	大
代表例		ポリエチレン ポリスチレン 塩化ビニル樹脂	フェノール樹脂 エポキシ樹脂 シリコーン樹脂

表10.2 結晶性プラスチックと非晶性プラスチックの相違点（熱可塑性）^[1]

	結晶性	非晶
透明度	透明性を欠く（結晶による光散乱） 例外：急冷したPPフィルム 2軸延伸フィルム	透明のものが多い
成形温度	低め（注）	高め
寸法精度（初期）	劣（ひけ、そり）	良
経時変形	生じやすい（再結晶）	少ない
剛性	ガラス転移点より高温で低い	
耐熱性	低加重で良好	高加重で良好
耐溶剤性	良	劣

（注）6.6ナイロン、PPS、フッ素樹脂などは高い

§2 プラスチック成形材料

1. プラスチック成形材料の展望

前節で大づかみに2分したが、ここではプラスチック成形材料の具体的な名称をあげて展望してみよう。

図 11.1 に種々のプラスチックを分類系統的に並べた。一部に用途別分類と、構造的分類とが重なっている。結晶性、非晶性が繰り返して出ている。また、習慣や技術の成長過程で用語や、区分が論者により異なっていることもあるので、それを注記しておいた。

この図の視点を変えて区分すると、表 11.1、11.2、11.3 のようになる。これらの表には、あわせて主に成形品の特徴と主な用途を記しておいた。成形材料のモディファイ（特性改善・変容）により新しい用途が生まれたり、別の材料に変わったりしているものもあろうが、ここでは大づかみにこのように理解して頂きたい。なお、これらの材料は顆粒状あるいはペレット状と呼ばれる固形物で入荷する。

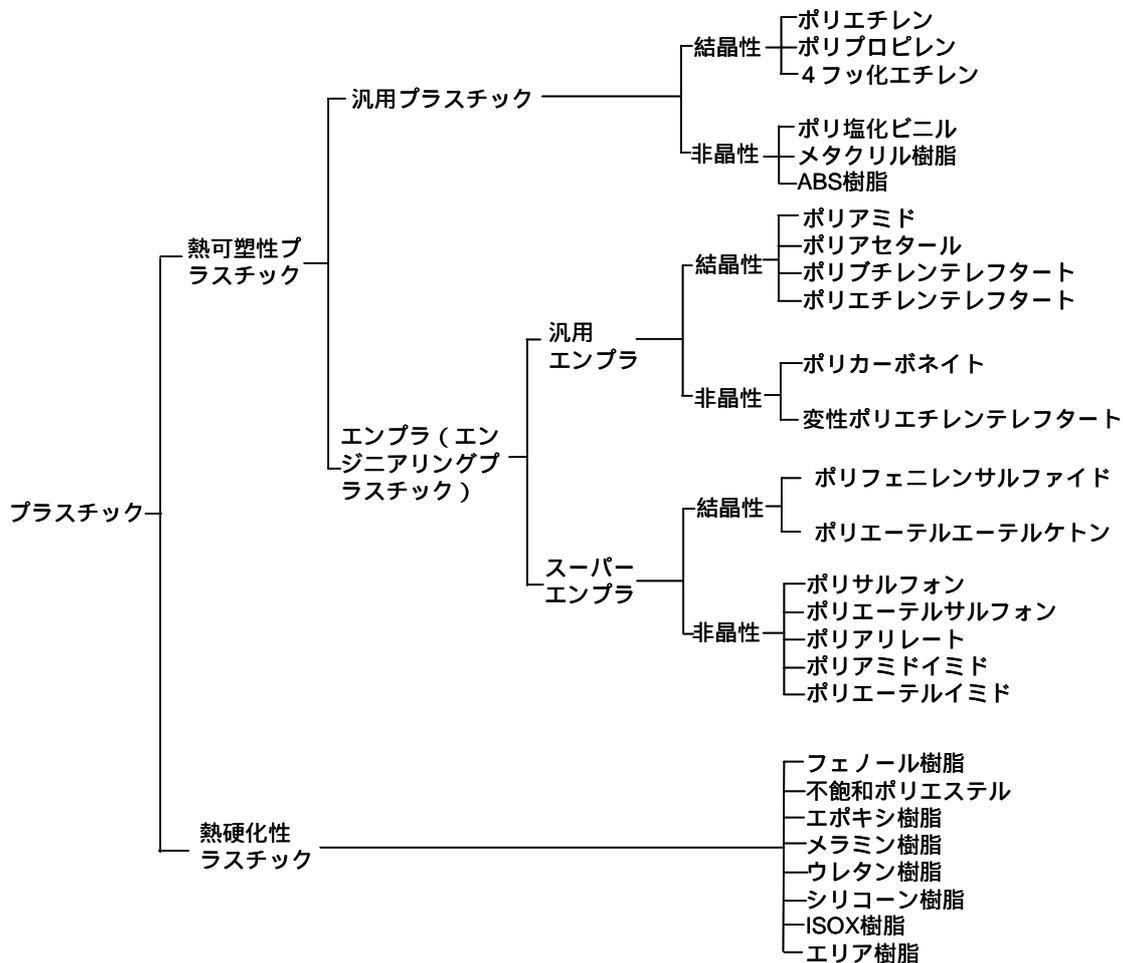


図11.1 種々のプラスチック^[1]

注 1) 繊維、ゴム、染料、接着剤などを除き、高分子物質を主原料として、人工的に有用な形状に形づけられた個体をプラスチックという (JISK6900 - 1971)。その主原料は合成で作られた高分子物質で合成樹脂といい、プラスチック、染料、接着剤となる。

なお、合成樹脂をプラスチックと称している文献も少なくない。

3. 注意事項、付記

(1) プラスチックに関連する用語、付属的な説明は、エンジニアリングプラスチックの項で述べる。

(2) §1(9)において航空工学の先達・富塚の注意を紹介した。先人の遺訓は時に思い起こす必要がある。

プラスチック部品設計にあたっては成形技術も、あわせ学ぶ必要がある。わが国におけるプラスチック成形の先駆者として多くの業績を残されて、なお現在御活躍の廣恵の回顧録^[2]がある。熱硬化性プラスチックの成形と特質、そのインサート成形、手動式成形から学ぶべきことを先ず述べている。

つづいて熱可塑性プラスチックの射出成形技術の導入、成形機の選定、ポリアセタールの成形の研究、スクリー式射出成形機の国産化による移行について説明している。困難なポリ塩化ビニルの射出成形を懐古している。

さらにナイロン歯車の精度・強さの向上、熱厚肉品の成形の苦心について述べている。この回顧録全編を通じて、プラスチック成形の歴史を見ながら、技術に対処する心構えをさりげなく述べている。大いに学ぶところがあることを力説しておく。

出典

[1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p23、(株)工業調査会(1988)

[2] 廣恵章利：プラスチック成形技術回顧録(1)～(5)、成形加工、9(4)pp270～274、9(5)pp363～368、9(7)pp537～544、9(8)pp628～633、9(9)pp719～723、(1997)

注2) エンプラはエンジニアリングプラスチックの略。

注3) ABS樹脂は汎用プラスチックでありながら、エンジニアリングプラスチックとして扱われる。(瀬戸編、射出成形、第8版、p.62)ことも少なくない。

注4) 図中の結晶性、非晶性も厳密には結晶化度によって定義され、状態で、どちらにでもなり得るものがある。慣例に従って区分したつもりである。

なお、汎用エンプラの変性ポリフェニレンエーテルおよびスーパーエンプラのポリイミドは結晶性、非晶性のどちらに属させるべきか筆者には不明なので図中には記載していない。

注5) この図の骨子は、片山：6/66 ナイロン、型技術 Vol. 12, No.10, p57 (1997 - 9) によったが、廣恵・本吉：プラスチック成形加工入門(第2版) 小林：プラスチック構造材料、三菱油化技術資料などにより補填してある。

(11) 種々のプラスチック成形材料

表11.1 代表的な熱可塑性樹脂 - 結晶性高分子のもの^[2]

No	名称	特徴	用途
1	ポリエチレン	軟い、軽い、耐寒性、低誘電損失、安価	ポリ袋、容器、ケーブル、スポンジ
2	ポリプロピレン	硬い、軽い、耐熱性、光沢、ヒンジ性、安価	梱包ひも、コンテナ、洗濯機、自動車部品
3	四ふっ化エチレン樹脂	耐熱性、耐寒性、耐薬品性、軟い、耐摩耗性	フライパン、アイロン、ライニング、軸受
4	ポリアセタール	耐摩耗性、成形性	軸受、歯車、テレコメカ
5	ポリアミド(ナイロン)	強靱、耐油性、吸湿性	靴下、漁網、歯車、電動工具
6	ポリエチレンテレフタレート	強靱、耐熱性	Yシャツ、オーディオテープ、ビデオテープ
7	ポリブチレンテレフタレート	耐熱性、強靱	自動車耐熱部品、電機部品
8	ポリフェニレンサルファイド	耐熱性、高強度、難燃性、硬い、低粘度	軸受用、電気部品

表11.2 代表的な熱可塑性樹脂 - 非晶質性高分子のもの^[2]

No.	名称	特徴	用途
1	ポリスチレン	硬い、脆い、透明、光沢、着色、成形性、安価	容器、緩衝材、テレコ、灯具
2	ABS樹脂	耐熱性、耐衝撃性、耐薬品性、光沢、着色、メッキ	スーツケース、冷蔵庫、内箱、クリーナー
3	塩化ビニル樹脂	耐薬品性、耐光性、難燃性、可塑剤移行、安価	水道パイプ、雨桶、電線、電話機
4	アクリル樹脂	透明性、耐候性	防風ガラス、コンタクトレンズ、光学レンズ
5	ポリカーボネイト	耐衝撃性、透明、耐候性、耐熱・耐寒性、難燃、寸法精度	防弾ガラス、精密部品、電動工具
6	ポリフェニレンオキサイド変性樹脂	耐衝撃性、難燃	UL規格テレビ、情報機器
7	ポリスルホン	耐熱性、強靱、透明、無毒、難燃	コーヒーメーカー、電子レンジ
8	ポリエーテルスルホン	高耐熱性、透明、難燃、無煙	電機部品
9	ポリアリレート	透明、耐熱性、耐衝撃性、難燃、弾性回復	バネ、ファスナー、歯車

表11.3 代表的な熱硬化樹脂^[2]

No.	名称	特徴	用途
1	フェノール樹脂	耐熱性、硬い、絶縁性、トラッキングに弱い、安価	電気器具、プリント板、絶縁ワニス
2	メラミン樹脂	耐熱性、耐衝撃性、耐熱水性	食器、化粧板、塗料
3	不飽和ポリエステル樹脂	常温硬化、柔軟、ガラス繊維と複合、湿熱に弱い	FRP、スキー、浴槽、浄化槽、水タンク、RXモータ
4	エポキシ樹脂	接着力、高強度、低収縮、低粘度、多品種	絶縁ワニス、接着剤、モールドトランス、モールドIC、
5	ウレタン樹脂	軟質、硬質、速硬化、発泡体、耐光性不良	クッション材、断熱材、冷蔵庫、パンパ、塗料、
6	ポリイミド樹脂	最高耐熱性	絶縁フィルム、半導体パッシベーション
7	シリコーン樹脂	耐熱性、離型性	パワートランジスタ
8	ISOX樹脂	耐熱性、高温強度	車両モートル、H種モールドトランス

(注) 生産量が多くて表にないもの - コリア樹脂、アルキド樹脂

2. 注意事項

- (1) 成形材料は実際に購入された状態でどんな形状で入荷するか、梱包から、材料自身までよく観察して記録・記憶することが大切である。
- (2) 梱包は成形機のレイアウト、材料の供給方法、使用量によって変わってくる受け入れ方法を考えてきめた方がよい。
- (3) 万一、プラスチック成形材料の品不足の時などはペレットのつやや形状臭をよくチェックすることが必要になる。そういうことができるように成形品設計者はよく材料を現場で見なければいけない。できれば、材料の製造プロセス、最終段階の取り扱いの状態まで見ておいた方がよい。
- (4) 成形不良が発生した時に、現場まかせにするのはよくない。現場が持っているノウハウをその際に学ぶとともに、材料が本当によいものが間違わずに入荷しているのか、保管状態がどうだったのかなど、調べて身につくノウハウも少なくない。それは、文字にはしきれないものである。

出典

[1] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望（第3回）、日刊工業新聞(1998-3)

[2] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp24 - 25、(株)工業調査会(1988)

§2 プラスチック成形材料

1. エンジニアリングプラスチック

顧客のニーズと新商品の展開のために、商品の精緻化が進むため、プラスチック成形部品に対する常に厳しさを求めつづける。これにこたえるためエンジニアリングプラスチック（エンブラ）が生まれ、スーパーエンジニアリングプラスチック（スーパーエンブラ）が生まれた。これらのプラスチック材料の成形品は特定の物理的または化学的物性の他に、強さと精度をともに必要とするところに用いられるので、一体に成形条件は難しい。しかし、これに対し成形材料メーカーも成形性・強さ・精度をおとすことなく、金型の形状を成形転写できる性能 - のよい材料の開発に努力している。

エンジニアリングプラスチックの性格づけを表 12.1^[1]に示す。現状では、いろいろの考え方があって、統一的な定義は浸透されていない。ここで、エンブラの熱変形温度（荷重たわみ温度）は100 以上といわれているが、さらに強い耐熱性をもつものがスーパーエンブラである。しっかりした定義は見出せないが、使用耐熱温度が150 以上^{[2][3]}のを耐熱スーパーエンブラとすることは定着しているように思う。

代表的な耐熱スーパーエンブラの物性値を表 12.2 に示す。^[2]これらに使う成形用金型はいうまでもなく熱変形に対する精度保持、プラスチック材料からの発生ガスによる付着・粘着物の排除・清浄などの注意が必要である。

エンブラには、それぞれ開発の動機があり、当初の目的があったのであろうから、持って生まれた特性に合うように使わなければならない。期待された性能が発揮できないのは、材料選択ミス、強度計算の不徹底、使用条件の相異、肉厚、形状の選択、成形条件の不適切などがある。これは、材料メーカー側の基本的な言い分で、材料選定時には十分話し合いをしておく必要がある。

(12) エンジニアリングプラスチック

表12.1 エンジニアリングプラスチックの性格づけ^[1]

	内容	出典
1	下記を同時に満足するプラスチック材料をいう 引張り強さ：400kgf/cm ² (39.2MPa)以上 曲げ弾性率：20,000kgf/cm ² (1960MPa)以上 熱変形温度(耐熱性)：100以上	NIKKEI MECHANICAL, 1988.2.8号、p66の要抄
2	PE,PPなどの汎用熱可塑性ら巣チックに比べて強さ、耐熱性などの機能が著しく優れ、主に機械材料や各種の機能部品として使われるプラスチック材料の総称で、高機能プラスチックともいう。略称「エンブラ」	廣恵・本吉：プラスチック成形加工入門、第2版p53、日刊工業新聞社、(1994.1.31)の要抄
3	次に示す条件を少なくとも1つ以上もつ材料をいう 力学強さ：高くかつ適度なバランスを持っていること 耐熱性、耐久性：ある程度の超寿命で常時運転の負荷で異常をきたさないこと 特殊機能：摺動特性、溶着加工性、耐候性、優れた電気特性、磁気特性などを持つもの 加工法：特別の成形方法を用いないで容易に加工できること	片山勉：6/66ナイロン、型技術Vol.12, No.10, pp56～63(1997.10)を補筆
4	ポリアミド、ポリアセタール、ポリカーボネイト、ポリフェニレンオキサイド、ポリエチレンテレフタレートを近時5大汎用エンブラと呼んでいる	片山：型技術Vol.12, No.10, pp56～63(1997.9)
5	ポリフェニレンサルファイドは第6のエンブラといわれるようになった	竹山、望月：型技術Vol.12, No.10, pp45～49(1997.10)
6	ABS樹脂はGPPSの成形のし易さ、HIPSの耐衝撃性、AS樹脂の耐薬品性、これらの3つの特徴を加味し、バランスをとりながら作り出された樹脂で、汎用プラスチックでありながら、エンジニアリングプラスチックとして扱われる。	瀬戸編：射出成形(第8版)p62、プラスチックエージ社(1997)

表12.2 代表的な耐熱スーパーエンブラの特性と物性値

プラスチック名	記号	軽量性	成形性	成形収縮率	吸水性	耐煮沸水性	低温物性	強靱性	耐クリープ性	耐溶剤性	耐候性	耐熱性	電気特性	耐摩擦摩耗性	容積コスト
ポリサルフォン	PSU														
ポリエーテルサルフォン	PES														×
ポリフェニレンサルファイド	PPS														
ポリアミドイミド	PAI		×												×
ポリエーテルイミド	PEI														×
ポリエーテルエーテルケトン	PEEK			×											×
液晶ポリアリレート	LCP														
(参考)ABS樹脂	ABS					×					×				
備考		: 特に優れる		: 優れる		: あまり良好でない		: 劣る							
文献		安田: 工業材料、35(6)27(1987)													

表 12.2 一部は次ページに示す。

2. 注意事項

- (1) エンブラには、ガラス繊維や、他の繊維、ホイスカー、ビーズなどを配合した材料も開発されているので、目的に応じて、調べること、材料メーカーと打ち合わせることが必要である。(14) 節で述べるが、自社固有のブレンドを開発、内作しているところもある。
- (2) プラスチック材料の強さは § 4 中に述べるように単純に引張り強さだけではないのでいろいろな検討が必要である。
- (3) エンブラの採用にあたっては、メーカーの開発済の材料の転用を図ることになることが多いと思う。現在、新規材料の本格的開発は限られていると思われるので、新規材料の採用の際には、具体的物性項目について、材料メーカーとその特性値につき話し合い、ある数の成形テスト品による確認が必要であろう。

出典

- [1] 青木正義: プラスチック精密成形の展望(第3回)型技術、13(3) pp96~97、(1998-3)
- [2] [1]の p98
- [3] 廣恵章利・本吉正信: プラスチック成形加工入門(第2版) p60、日刊工業新聞社(1995)

表12.2 代表的耐熱スーパーエンブラの特性と物性値

プラスチック	記号	融点	ガラス転移温度	引張り強さ	引張り伸び	曲げ強さ	曲げ弾性率	アイゾット衝撃値	ロックウェル硬さ	加重たわみ温度	UL長期耐熱温度	注	
				(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(J/m)	()	()			
ポリサルフォン	PSU	-	189	71	70	1,100	2,750	70	M69	175	150	数値はガラス40%入りの物性値	
ポリエーテルサルフォン	PES	-	230	86	60	1,320	2,650	87	R120	210	180		
ポリフェニレンサルファイド	PPS	285	85	137	1.3	2,000	12,000	76	R123	260	~240		
ポリアミドイミド	PAI	-	280	190	10	1,900	3,700	150	E78	260	250		
ポリエーテルイミド	PEI	-	217	107	60	-	3,370	130	M109	200	170		
ポリエーテルエーテルケトン	PEEK	334	143	99	80	1,450	3,800	80	M98	152	240		
液晶ポリアリレート	LCP	421	(360)	128	4.8	1,390	13,400	210	(R77)	337	~250		
(参考)ABS樹脂	ABS												
備考		SI単位 近似値 1kgf 0.1MPa, 1kgf・cm・cm 10J/m											
文献		田中：プラスチックエージ、35(4)48(1999)											

§2 プラスチック成形材料

1. 原料から成形材料までの主要工程

現在、新商品開発にあたり、商品の特殊化、差別化やための新機能を実現するために、自社内で材料配合または添加物・充填物を加えている例が少なくない。また、強さや特別な物性値を目標の範囲に入れるために繊維類を充填してペレット化している材料メーカーもある。こういう工程を位置づけるために、原料から合成樹脂材料を経て、成形品、接着剤、布、写真材料等々の製品にいたるプロセスを図 13.1^[1]に示す。また、原料から各プラスチック材料までの合成経路の一例を図 13.2^{[1][2]}に示す。

プラスチック成形材料は有機化合物の重合体に添加剤、充填剤を加えて生成される。この工程で、整形品として必要な物性償や、成形工程、商品外観を維持するための成形性をもったペレットを材料から作り上げる。

2. 添加剤、充填材

有機物重合体に成形品の形を与え、部品としてのいびきを与えるために、種々の性質を賦与しなければならない。その目的に対して種々の添加・充填物が必要である。これをまとめると表 13.1^[3]のようになる。

通常、上市材料については、強化材の種類、配合率は公開されているが、他の添加剤、充填材については通常公開されていない。これは時に材料メーカーの企業秘密であったり、特許として公開されていたりする。

図 13.1-2

(13) 成形材料の製造プロセスと添加剤、充填剤

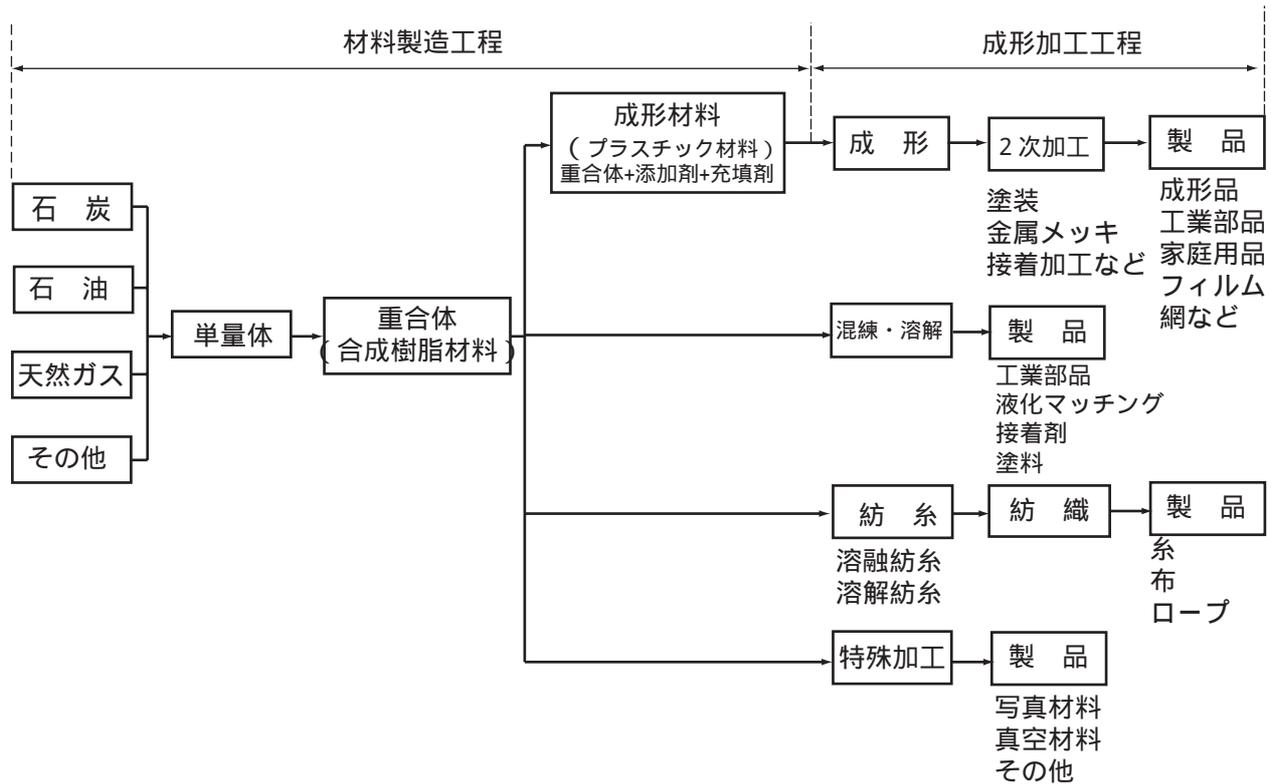


図13.1 原料から製品にいたるプロセス^[1]

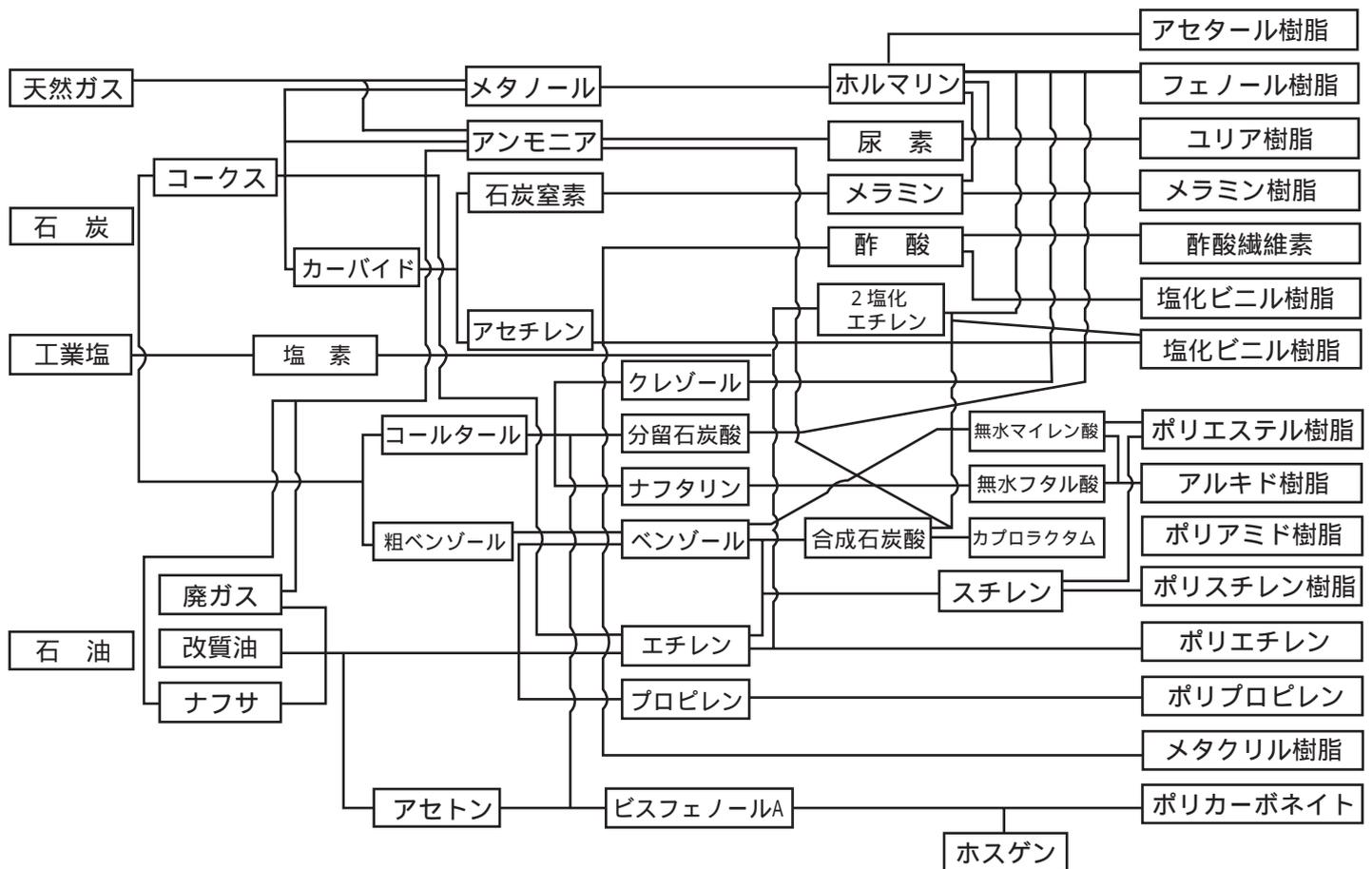


図13.2 プラスチック材料の合成経路^{[1][2]}

表13.1 添加剤、充填剤の種類と留意点^[3]

項目	目的	添加剤・充填剤	留意点
可塑剤	プラスチックに柔軟性を与える 耐寒性を改善する 低温脆化を防ぐ 他の添加剤の分散をよくする	エステル類 DBP, DOP, DOA, TCPなど 低分子物質	Tg, HDTの低下に注意する マイグレーションの原因にならないか
安定剤 酸化防止剤 紫外線吸収剤	プラスチックの耐候性、耐光性、熱安定性を改善する	サルチル酸エステル、アミン酸、フェノール誘電体、金属石鹸など	Tg, HDTの低下に注意する
滑剤	プラスチックの滑りを良くする	ステアリン酸、金属石鹸など	HDTの低下に注意する
潤滑剤	プラスチックの摩擦係数を少なくする	二硫化モリブデン、オイル、フッ素樹脂、PE, ポリアミドなどの粉末を添加	プラスチックから分離しないか 形状が変化しないか ブリードした成分が環境を汚染しないか 銅害、ストレスクラックの原因にならないか
帯電防止剤	成形品の帯電を防ぐ	練込み、表面塗布、表面焼付けなどのタイプがある 金属石鹸、界面活性剤など カーボン	練込みではTg, HDTの低下に注意 高温多湿の下では白化、変形に注意 電気絶縁性、電気抵抗の変化に留意 帯電防止能力低下に注意
着色剤	プラスチックに色彩的美観を与えると同時に耐候性などを高める	有機塗料 - 透明性に優れる、鮮やか 有機顔料 - 耐光性に優れる、鮮やか 無機顔料 - 隠蔽性に優れる	外装品か内装品か 屋外仕様か屋内仕様か メッキ液に溶解しないか
特殊光沢剤	特殊美観	真珠光沢、金属光沢	分散性に注意
難燃剤	難燃性を与える	リン酸エステル、ハロゲン（塩素、臭素など）有機化合物などを添加	Tg, HDTの低下に注意 腐食性ガスの発生に注意 人体への考慮 成形機、型のガス抜きを良くする
増量材	成形用材料の価格低減 寸法安定性改善	炭酸カルシウム、タルク、クレー、木粉など	耐熱性が向上するが力学的強さが低下する プラスチックの透明性も落ちる
強化剤	プラスチックの力学的強さを改善する	GF, CF, ウィスカなどの短繊維や織物を充填または含浸させる	35%以上の配合に圧縮強さなどを下げる 耐摩耗性のシリンダー、スクリュウ型材を使う HDT、耐候性、透明性の低下に留意
	耐衝撃性を改善する	ジエンゴムとのブレンド、またはポリマーアロイ化	力学的強さの方向性に注意
表面硬化剤	プラスチックの表面に傷をつきにくくする	シリコーン系、アクリル系ウレタン系などの硬化塗膜を表面に形成させる	2次加工としてみる観点もある

3. 注意事項

- (1) 目的とする物性、特性を向上させるために添加した添加剤が、他の物性を低下する副作用があることがある。たとえば昔、屢々見られたポリ塩化ビニールにおける可塑剤によるブリーデング、色剤の移行などである。定量的に示される引張り強さと衝撃値などである。このように予期しない副作用があり得るから、十分な検討が必要である。
- (2) 公開されない添加剤についてその内容を知るためには相当の努力が必要である。少々の着色剤の変更が成形品の外観に影響し、色むら、銀條、ジェットングなどの外観不良を呼んだりするので、成形条件の検討とともに着色剤の確認が必要になることもある。
- (3) 入荷したペレットが購入予定（仕様）の通りか否か、誤りを見出すのも、購入者側の知恵である場合が多い。
- (4) 図 13.2 に示した合成経路は、技術進歩、経済性の点から、この図に限られたものではない。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p26、(株)工業調査会(1988)
- [2] 桜内：新版プラスチック技術読本、(株)工業調査会
- [3] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第6回)型技術、13(9)p99(1998-8)

§2 プラスチック成形材料

1. 日本に残し継承すべき技術・技能

プラスチック成形技術は急速にアジア各地に移転されるとともに、成形の生産拠点が、少しでも安い原価で生産できる地域に移動していく流れはとどまらない。日本国内の平凡な成形品の成形メーカーは並みの努力では経営を維持することは難しい状況が続いている。

現在、プラスチック成形品ものが抱えている問題点は、表 14.1^[1]に示すように成形品に厳しく要求される一層の精密化、高強度化、後処理による変形の防止、電磁遮蔽性の高度化、リサイクル性である。

この1つでも2つでも他社に先んじ、海外拠点に先んずれば優位を保つことができる。そして、次々と新しい手法で優位を保ちつづければ追いつかれてしまう。こういう観点から、何を自社に残し、どのように育てるかを常に考えなければならない。自社に、あるいは日本国内に残すべきかを検討する上で、また技術、技能をどのように継承すべきかを考える上で、成形品の今後の方向と課題をまとめると図 14.1^{[1][2]}のようになる。高精度成形用金型を製作する技術と技能ならびに新商品を開発するポテンシャルと、これを裏づける革新的な材質変更を可能にする技術と技能である。

2. 成形部品メーカーの戦略とプラスチック材料の自社開発成形品設計の上でプラスチック成形材料の選択が占める割合は極めて大きい。新成形品探索と並行して材料の探索・開発が必要である。屢々話題に上がる新成形部品探索の着眼点を表 14.2^[2]に示す。この際、当然のことながら、環境保全と資源の有効活用を十分検討しなければならない。

さて、生き残りがかかっている新商品の開発とそれを裏づける材料開発は、当然、企業秘密で容易には公開されない。エンジニアリングプラスチックメーカーの事業戦略を公表された例^[2]があるので、これをまとめて作表すると、表 14.2 のようになる。金型技術が全面に押し出されているが、新成形品開発の陰には材料開発ここでは材料コンパウンドのノウハウが大きな力になっていることがわかる。

表14.1 プラスチック成形品の現在の問題点（青木）^[1]

	現在の課題	具体的事項
1	成形品の精密化	繰り返し使用による型摩耗に基づく精度確保困難
2	成形品の高強度化	速度の薄肉化のために発生する強度異方性による繊維配合樹脂の使用困難
3	後処理に対する変形防止	処理工程におけるそりのため、無機フィラー配合ポリマーアロイに無電解メッキの適用困難
4	電磁遮蔽性の高度化	電磁遮蔽性の要求高度化のため従来のフィラーの使用困難
5	リサイクル性	廃棄物処理から求められるリサイクル性の乏しい強化材配合の使用困難
6	特殊機能への対応	はんだ耐熱性、耐線照射性、人体適応性、等の限りない要求に確実に応えることの困難

(14) 新商品開発を支える材料コンパウンドの開発

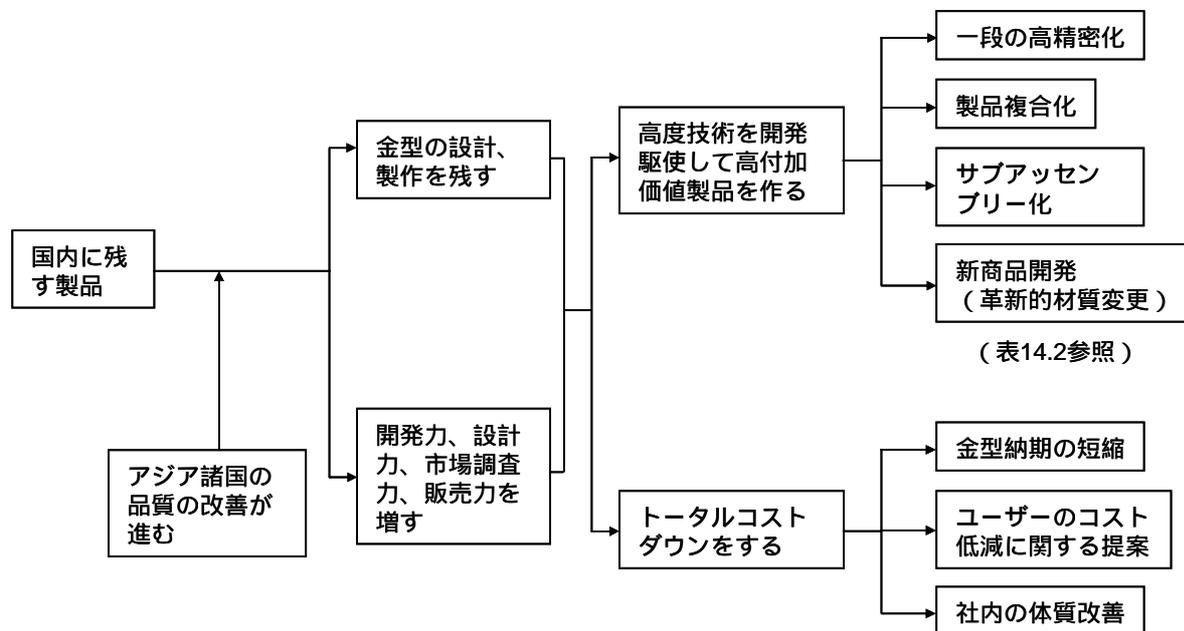


図14.1 成形品と今後の方向と課題^{[1][2]}

表14.2 エンジニアリングプラスチック成形品メーカーの事業戦略^[2]

成長の条件		社別							
		A	B	C	D	E	F	G	H
力発揮 自社の実	核となる技術と支援技術、ノウハウ蓄積（独自性）	金型技術とコンパウンドのノウハウ	金型技術と光学技術	金型技術と光学技術	金型技術と材料コンパウンドのノウハウ	金型技術と光学技術	金型技術と射出成形技術の内製技術	金型技術と束ねる技術、ファスナー技術	金型技術と電磁波対策技術（EMC）技術
技術の拡大または絞り込み	基本技術と拡大絞り込み技術	・トライボロジを核として、ベアリング複合部品に絞り込み ・ただし、OA機器から自動車、建築まで、直線往復動ユニットなどに	・精密成型技術に光学レンズ技術を付加、ハイビジョンプロジェクト用レンズ、光ピックアップレンズなどに	・精密成型技術に光学レンズ技術を付加、オプトメカ技術 ・コピー機、ファクシミリ、プリンターなどの複合部品	・トライボロジ ・OA機器のシャーシ、ハウジング ・POM, PA, PBT, PPS, PEEK までに及ぶ	・光技術を核に、関連技術を結合 ・技術ごとに分社化	・mm単位の極小部品に特化 ・AV, OA, 光学、医療分野まで	・OA分野、オフィス向けファスナー応用部品	・EMC関連部品
の短時間で	-	-	1週間で試作する（試作専門会社をもつ）一般に2ヶ月かかる	-	-	-	-	図面のないアイデア段階のニーズを新規部品として企画する	同左
その他	備考	・POM, PA, PPSなどに潤滑油、カーボンなどを2~3%添加 ・摺動性、成形性のバランス解決	・試作の有料化 ・大学との共同研究	・精密ギヤからの透明のレンズへの拡大 ・ガラスの研磨技術の活用	材料、金型、成形技術をカバー成形品のみ外販する	・複数部品を1つにまとめる ・そのほとんど内作	特定企業の協力会社にはならず	1社のニーズを他社にも応用	・ユーザーのコスト低減に協力する開発 ・生産の80%は外注

3. 注意事項

- (1) 成形部品の寿命をどのように評価するかも、成形部品メーカーのノウハウの一つである。なかなかデクラレーション（高分子の分解：degradation）や劣化による機能低下に対する迅速等価試験の一般的手法も、解法も見出せない。それ故に、技能、技術が大切であるし、故障・事故の記録（§1（8））が大切である。
- (2) ポリカーボネートにおける添加剤のブリーディング、フィラー配合プラスチックにおける界面剥離、強度材料として用いる材料の疲労確認のためのフラクトグラフィーの未成熟なども、頭のすみに置くべきであろう。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望（第2回）型技術、13（2）pp90 - 92（1998 - 2）
- [2] 和泉志伸：エンジニアリングプラスチック成形部品メーカーの事業戦略、成形加工、7（12）pp737 - 742（1995 - 12）の要点まとめ

§2 プラスチック成形材料

1. 強さの意味

繊維強化プラスチックにおける強化の意味は「力学的強さ（いわゆる機械的強さ）の増強」と理解され易い。プラスチック成形品の場合、強さとは力学的強さに限らない方がよい。成形品の設計にあたっては、材料の決定が重要である。材料選定や必要な材料モディファイ、材料開発のために、成形品は何のために、どういう所に使われるか、そしてどんな物性をどの位求められるかを考えなければならない。この場合、成形品の強さと限定せず、品質・強さとあわせ考え、品質・強さは取り上げた物性を定量化した大きさとあり方と考えた方がよい。

材料の選定にあたってはどの物性値をどう決めるかが大切である。従来、金属材料を使用していた部品では、特に問題とすることなく見過ごしていたある種の物性値をあらためて問い直す必要も生じる。

そういう意味で、成形品の品質・強さをまとめてみれば表 15.1^{[1][2]}のようになる。また、力学的な強さに限っても表 15.2^[3]のようにいろいろに受け取られている。

2. 強さ・品質の評価の留意点

具体的には成形品の検査条件にも拘わってくることであるが、プラスチックの物性値について論ずるときは、種々の環境条件を明確にしでからにしないと不具合を生ずることがある。物性値が少々の環境の差で大きく変わることがあるからである。そのような留意点を表 15.3^{[1][2]}にまとめておく。

実際に、同じと考えられるものを成形しても、別々の所で測定したら、結果が異なって出るとを時に経験する。引張り強さも引張り速度によって変わることは周知の通りである。シリコーン樹脂では引張り速度を変えると引張り伸びが数%から数百%まで変わる。このように引張り特性が引張り速度によって変わる現象はプラスチック材料の負荷時間依存性や時間・温度変換則によって理解できる。

また、ポリスチレンのような非結晶性プラスチック材料を加熱した場合、低温で固くて脆いいわゆるガラス状態から、液状流動状態のゴム状態に変化する。^[2]ガラス状態にあるプラスチックの一部が分子間力から解放されて動き始め軟らかい状態に移る現象である。これをガラス転移といい、この温度をガラス転移点（通常 T_g と略す）という。ガラス転移点はプラスチック材料によって変わり、例えばチューインガムの基材になるポリ酢酸ビニルの T_g は 43 くらいである。固形状のチューインガムを口に入れると温まって T_g 近傍の温度になるのでチューインガムらしい歯ざわり舌ざわりになるのである。

3. 耐久性

金属材料では建造物、大形設備で主に話題になるが、日用品などでは大きく取り上げられることが少ない耐久性がプラスチックでは成形品設計時に十分検討しなければならない事項である。

前項までは所定温度に所定時間保持した所定の大きさのいわゆる標準試験片か、成形品から切

り出した試験片を主に想定してきた。実用の機器、設備、器具、什器の類ではある期間まである水準以上の品質・強さを求められる。すなわち耐久性を求められる。屢々問題にされる各種の耐久性をまとめると表 15.4^{[1][2]}のようになる。

(15) プラスチック成形品の強さ

表15.1 成形品の品質・強さ^{[1][2]}

力学的	電氣的	熱的	化学的	電氣的	光学的
引張り強さ	耐電圧	耐熱温度	耐薬品性	電気抵抗	光透過性
圧縮強さ	絶縁破壊	脆化温度	耐溶剤性	絶縁耐力	屈折率
曲げ強さ	体積抵抗率	軟化温度	耐光線性	誘電特性	複屈折率
剪断強さ	耐アーク性	ガラス転移点	耐紫外線性	力率	耐光性
衝撃強さ（引張り、曲げ振り）	耐コロナ性	熱伝導率	耐候性		透明度
疲れ強さ	帯電性	比熱	マイグレーション		色彩性
クリープ	力率	熱膨張係数	銅害		
破断強さ	誘電正接	成形収縮率	ガス透過率		
弾性限度			吸水性		
降伏強さ			衛生試験適合性		
縦弾性係数					
剛性率（横弾性係数）					
伸び					
摩擦					
硬さ					
きずのつきやすさ					
比重					

品質としては：上記諸物性の成形品の所定位置ならびにロット内、ロット間の再現性、均一性も問う。また、経時劣化も問われる。

表15.2 「強さ」の受け取りかた^[3]

(1)	強度(Strength)が大きい	引張り強さ _B が大きい
(2)	剛性(rigidity)が大きい。変形しにくい	縦弾性係数が大きい
(3)	硬い。局部加重でくぼみにくい	硬さ試験値（プリネル、ロックウエル、ビッカース、ショアー、バコールなど）が大きい
(4)	耐摩耗性が大きい。すり減りにくい	テーパー値が大きい

表15.3 強さの評価の留意点^{[1][2]}

番号	内容
1	雰囲気によって変わらないか
2	温度・湿度によって変わらないか
3	保存した履歴によって変わらないか
4	作成後経過時間によって変わらないか
5	作り方によって変わらないか
6	形状、試験片の大きさによって変わらないか
7	物性に関する相似則が成り立つか
8	負荷速度、保持の仕方で変わらないか
9	試験機によって変わらないか
10	強さの定義はそれでよいのか

表15.4 各種の耐久性^{[1][2]}

単一要因による劣化	実用上の総合耐久性
耐光線性	耐候性
耐放射線性*	耐疲労性（能動劣化に対する）
耐熱性	耐摩耗性
耐電磁性	ストレスクラッキング**
耐寒性	クリープ***
耐ガス性	応力緩和****
耐水性、耐湿性	
耐薬品性	
耐油性、耐溶剤性	
耐金属製	

* 耐放射線性：放射線による褪色、脆化などの劣化に対する耐久性

** ストレスクラッキング：プラスチックが薬品、溶剤、油脂などに接触すると、残留応力の緩和が促進されて亀裂を発生する現象

*** クリープ：一定加重をかけて長時間置くと、時間が経つにつれて変形する現象

**** 応力緩和：物体に変形を加え、歪みを一定保っておくと時間とともに応力が減少する現象。
高温継手パイプのパッキンのゆるみ

4 . 注意事項

- (1) プラスチック材料を選定するときは金属材料を選択するときより、慎重な調査検討が必要である。カタログ値は材料メーカーの測定値で、全て顧客ユーザが実現可能とは限らないと断ってあることを見落としてはいけない。成形条件や、成形用金型も異なるわけであるから。
- (2) 材料種類、品番を決定するときはよい点ばかりに気をとられず、着実に副作用として生ずる欠点の有無と程度を調べる必要がある。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望（第3回）型技術、13(3)pp95-96(1998-3)
- [2] 青木正義：成形品設計の基礎(No.1)pp68-70、工学研究社(1995-1)を補筆
- [3] 島村昭治：プラスチックコンポジット 10 講（第5講）、プラスチックス、22(7)を参照にまとめ

§2 プラスチック成形材料

1. プラスチック複合材料

プラスチック複合材料は第二次世界大戦中に米国が熱硬化性プラスチックである不飽和ポリエステル樹脂をガラス繊維で補強した FRP(Fiber Reinforced Plastic)に始まるといわれる。いわゆる強化プラスチックのはしりがこれで、航空機用ガソリタンク、上陸用舟艇に用いられた。

この技術を拡大発展させて、1955年に米国の Fiberfil 社がガラス繊維を熱可塑性プラスチックに充填することに成功した。FRTP(Fiber Reinforced Thermo Plastics)はこのようにスタートした。その後、プラスチック強化のために繊維だけでなく粒体、粉体、ウイスカの充填も行われるようになった。また一方、1973年頃のオイルショックによるプラスチック材料の不足に対処して、増量を目的とする研究開発も行われ、上市されたこともあり、その成果も現在活用されている。しかし、現在は特殊機能性プラスチック材料の方向にも向かっている。この中で、最も求められているものの一つである自然崩壊形複合材料は自然崩壊性と所定の耐久性をもたせるという二律背反の要求に応えなければならない。古くから自然環境保護のために大きなニーズと期待があるけれど、実用規模で上市されるには至っていない。

ここまで、専らフィラー充填材料について述べたが、ABS樹脂などポリマーアロイも複合材料である。ただし、構造上本質的な差があり、強さの評価計算上異なる点があるので注意を要する。

「複合化」について概要をまとめると表 16.1^{[1][2][3][4]}のようになる。また、参考までに特殊機能性プラスチックの開発動向を図 16.1^[5]及び表 16.2^[6]に示す。

2. プラスチック複合材料とその応用

わが国におけるプラスチック複合材料と成形技術の動向を図 16.7^[7]に示す。参考のために熱硬化性プラスチック複合材料も並記しておく。

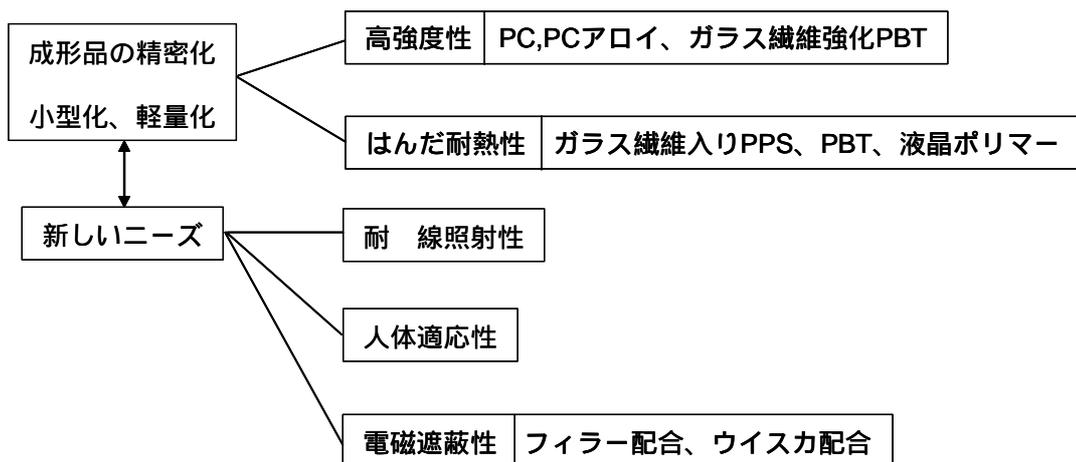


図16.1 成形材料に求められる物性と対応する材料^[5]

表16.2 高機能プラスチック材料

機能の種類		具体的内容
材料に要求する高度機能	化学的変換	感光性樹脂 光官能形プラスチック ほか
	物理的変換	高性能レンズ 光学繊維 光ディスク関連 非線形光学ポリマー
	導電性	断熱性導電ポリマー 耐食性ポリマー (目標:銅、銀なみ) 超伝導ポリマー
	医化学用途	抗血栓性ポリマー 人工臓器 ほか
	高度分離用途	微多孔膜 逆浸透膜

	(昭和35年) 1960	(昭和45年) 70	(昭和55年) 80	(平成2年) 90	(平成10年) 98
熱可塑性 プラスチック		PVC 汎用プラスチック使用拡大 FRTP フィラー充填剤 (特性改良、増量剤)	エンブラ 利用拡大	機能性複合材料 導電性、難燃性 自己潤滑性、 高耐熱性高剛性 スーパーエンブラ大幅実用化	高機能複合材料
熱硬化性 プラスチック		FRP BMC	SMC	長繊維強化材料 (ガラス、カーボン、 アミド繊維)	
製品関連		意匠部品の プラスチック化	省プラスチック化 複合材料	半導体高密度パッケージ 光ディスクなど	
プラスチック 技術		成形自動化	成形制御 CAE、ハイサイクル化	高精度成形(金型の高度化は 常に求められ漸進している)	

図16.2 プラスチック複合材料とプラスチック応用技術の進歩^[7]

(16) プラスチック複合材料

表16.1 複合化の概要^{[1][2]}

複合化の定義	2種以上の素材のそれぞれの特徴を損なうことなく、組み合わせて新しい工業材料を作り出すこと。物理的にも、化学的にも異なった相を作り有効な機能を生み出すこと、 ^[3] または経済性を高めること。					
複合化のための素材	母体になるマトリクスと目的の機能を発現するために加える充填剤とからなる。複合化が主として強化のために手を染められたので、充填剤といわず強化剤ということも多い。					
複合化の卑近な例	粘土や黒土にわらを混ぜて壁を作る。 ^[4] セメントと砂利でコンクリートを作る					
複合化の目的 (機能の改善)	機能	特性	マトリクス	充填剤		
				繊維体	粉体	
	力学的	引張り	(1)本来もっている物性が目的の機能に近いものを選ぶ (2)充填剤との親和性・密着性、充填剤に対する包囲性のよい材料を選ぶ	GF、CF、セルロース、合成繊維	グラファイト、木粉	
		圧縮		-	マイカ、ガラスフレーク	
		衝撃		CF、繊維質材質		
		摩擦・摩耗		CF、	黒鉛、MoS ₂	
		剛性		石綿、GF、セルロース、ナイロン、レーヨン、TFE、他	カオリン、マイカ、グラファイト、水酸化アルミ、炭酸石灰	
	幾何学的	滑性		ナイロン、TFE	CB、滑石、カオリン、MoS ₂ 、マイカ	
		寸法安定(形状安定)	(3)精密品を考えた場合、充填材を配合後適度な溶融流動性期待できるものを選ぶ	GF、セルロース、ナイロン、レーヨン、TFE	炭酸石灰、硫酸石灰、カオリン、グラファイト、CB	
	電氣的	絶縁		CF、石鹼、ナイロン、レーヨン	水酸化アルミ、シリカ、マイカ	
		導電		CF	アルミニウム粉末、グラファイト、CB、金属コーティングフィラー	
	磁氣的	磁気遮蔽	(4)材料が金型の細部まで行き渡るように発泡ガスの少ないものの方がよい。また金型材料に粘着しないものがよい	CF	同上	
		磁気		-	磁性粉(フェライト系、レアメタル系)	
	熱的	耐熱		石綿、GF、ナイロン、オーロン	滑石、マイカ、ケイ酸石灰、炭酸石灰	
		難燃		-	結晶水を含む充填剤	
		熱伝導		CF	グラファイト、CB	
	耐薬品	耐薬品		石綿、GF、ナイロン、オーロン	CB、グラファイト、石灰粉末、滑石、マイカ、カオリン	
	耐候	耐候		<紫外線吸収剤>		
		耐オゾン		酸化防止剤(フェノール系、芳香族アミン系)、硫黄系、リン系		
	環境	自然崩壊		(プラスチック素材そのもの、モノマーからスタートする必要がある)		
汎用	低廉性	(性能とのかね合いで適切なもの見あたらす)		炭酸カルシウム、タルク、クレイ、シリカ、ウォラストナイト、ケイ酸アルミニウム、酸化マグネシウム、溶融石粉、酸化チタン、シラスバルーン、ガラスビーズ		
付記	(1)ABS樹脂も、ポリマーアロイも複合プラスチック材料である。上記の複合化の目的の具体例は、充填による場合による複合化の例をあげてある。 (2)繊維強化複合プラスチック材料FRPは文字通り、Fiber Reinforced Plasticをいう場合と、繊維で強化した不飽和ポリエステルをいう場合がある。					

2. 注意事項

(1) 材料の複合化によって機能は改善されるが、充填材をマトリックス中に分散充填するために、分散剤、表面活性剤、活剤などを用いる。この量が適切でないと、分散複合後の解離・剥離が生じたり、上記添加剤を浮き出して、所期の機能が発揮できない場合がある。新規に複合材料を開発する時は、成形性に注意するとともに、上記の現象にも配慮することが必要である。

(2) 自家ブレンドする場合には特に配合率の単位に注意することが大切である。重量パーセントか、容量パーセントか、配合比率「何部 + 何部 + 何部 + ...」の表現なのか、約束をはっきりしておくことが必要である。

出典

- [1] 青木正式：プラスチック精密成形用金型の展望（第6回）型技術、13(9)pl00（1998 - 8）
- [2] 高分子、44(6)p396（1997 - 6）
- [3] 小林昭：プラスチック構造材料（策4版）p104（株）工業調査会（1972）
- [4] 廣恵章利・本吉正信：プラスチック成形加工入門（第2版）p29、日刊工業新聞社（1995）
- [5] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望（第5回）型技術、13(6)p98（1998 - 5）
- [6] 同上（策7回）型技術、13(10)pl02（1998 - 9）
- [7] [1]のpl02

§2 プラスチック成形材料

1. ACM (Advanced Composite Materials)

歴史的な FRP、FRTP と区別して、機能の高度化を強調するために、1980 年代後半に、先端複合材料 ACM という概念が提唱された。

新しい目で見えた先端複合材料の概要を図 17.1^[1]にまとめた。この材料に、比引張り強さが $4 \times 10^6 \text{cm}$ 以上、比引張り弾性率が $4 \times 10^8 \text{cm}$ 以上の力学的強さがあり、導電性、耐熱性、耐摩耗性などの高機能化のニーズに応えるために開発が続けられている複合材料である。この中にはマトリックスがプラスチック系のもの、金属系のもの、セラミック系のものがある。

この中でプラスチック系 ACM すなわち PMC の特徴、用途、素材繊維コストをまとめると表 17.1^[1] のようになる。PMC はこのように CFRP、AFRP、BFRP のように分類できる。^[1]BFRP は極めて優れた材料であるが、コストが著しく高いため、経済的に広い範囲への普及は未だしの観がある。特殊な分野に限られて、その特長が活かされている。

ACM を他の各種材料と比較すると、図 17.2^[2]のように比弾性率、此強さとも勝っているうえ比弾性率と比強さの値がバランスしている。ACM という青葉が生まれる以前の 1970 年代の初期に、島村^[3]が「強度特性のバランス」を強調して、当時の FRP は十分でなく、今後の開発目標として比引張り弾性率、比引張り強さの向上と、この 2 つの値のバランスをあげているのは卓見であろう。

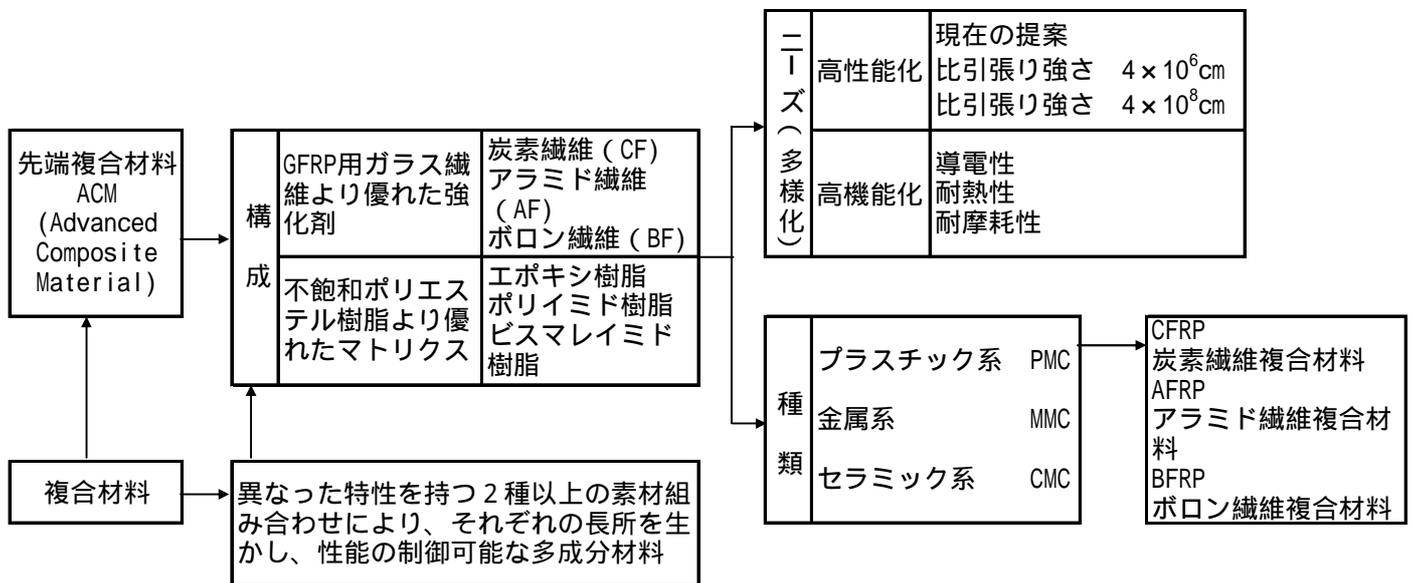


図17.1 先端複合材料の概要^[1]

(17) ACM

表17.1 プラスチック系ACMの概要^[1]

区分	特徴	用途	素材繊維コスト
炭素繊維系 (CFRP)	<ul style="list-style-type: none"> ACMの代表的なもの 比強さ、比剛性、耐薬品性が優れている 	特徴を生かし拡大中	汎用タイプ 2,500~3,000円/kg 中弾性タイプ 約 6,000円 高弾性タイプ 約 10,000円 将来価格予想 1,000~1,400円
アラミド繊維系 (AFRP)	<ul style="list-style-type: none"> 軽量性、耐衝撃性、震動減衰性が優れている CF、GFとハイブリッドも併用することも多い 圧縮強さ低い 	スポーツ、レジャー用品 (クラブ、スキー、カヌー、ヨット、釣竿、ヘルメット) 主構造部材には使用されないが、2次構造部材に多方面に使われる	パラ系 (ケブラー49) 約5,000円/kg
ボロン繊維系 (BFRP)	<ul style="list-style-type: none"> 金属強化繊維として優れる CFRPに比し格段にコスト高 	スポーツ、レジャー用品 (クラブ、ラケット、スキー、ストック) 米軍では軍用機、宇宙機器	約100,000円/kg

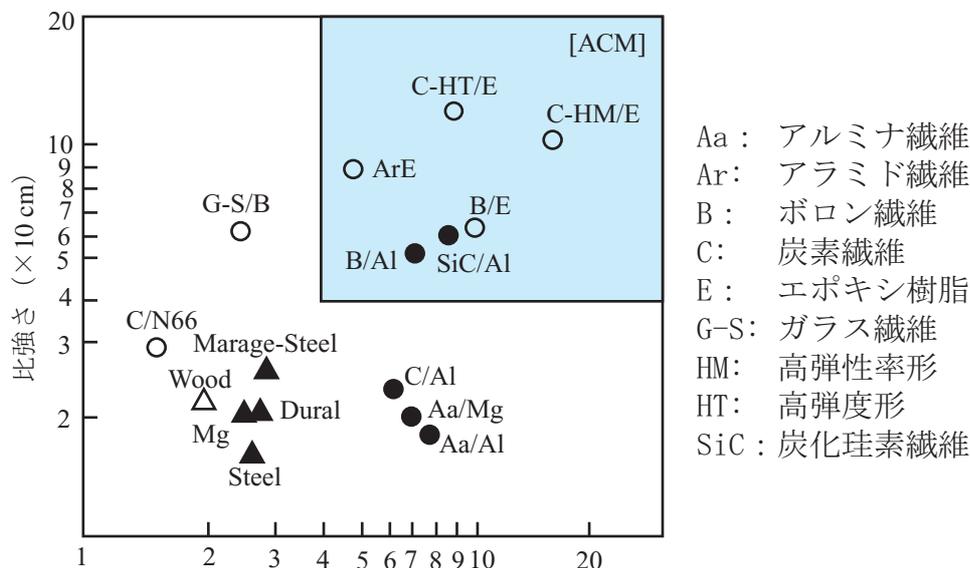


図17.2 各種材料とACMの範囲

2. 注意事項

- ここではACMの中でプラスチック系のACMすなわちPMCを中心に述べた。MMC (金属系先端複合材料)やCMC (セラミック系先端複合材料)は、このマニュアルの範囲を超えているのでこれ以上の説明は省略する。しかし、MMC、特にCMCは素材として供給される例は珍しいのか、ほとんどなく、成形品として供給されている。
- FRTPはFRPについて世に出た材料で、ガラス繊維配合であることを強調してGRTP (Glass Fiber Reinforced Thermo Plastics)と断ることが望ましいけれど、慣習として浸透していない。またGFRTPはACMには含まれないことも注意しておく必要がある。
- ACMの一つとして大いに活用されているCFRTP (Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics)を説明する前に、非常に普及しているGFRTPを次節に述べたい。

出典

- [1] 森本尚二:プラスチック系先端材料の開発動向、成形加工、9(5)pp336-344(1997)の要約作図、作表
- [2] [1]のp337
- [3] 島村昭治:プラスチックコンポジット10講(第5講)、プラスチック、22(7)(1971-7)

§ 2 成形材料

1. 用いるガラス繊維、ガラス繊維強化プラスチックの概要

代表的なガラス繊維は表 18.1^{[1][2]}に示すようなもので、開発当初の FRP および射出成形に用いられるのは E ガラスである。ガラス繊維は直径 7.9 (または 10)、13、17 μm で、これを集めて 1 本の束にしたものを「ストランド」という。ストランドを約 60 本、平行に並べてバインダで結合して扁平な紐状にしたものを「ロービング」と呼ぶ。カップリング剤で処理したロービングを単味の (複合または混合してない) プラスチックで十分に包み、密着させた後に切断して、成形機に投入できるようなペレットに造粒する。

このようにして作ったガラス繊維強化プラスチックのガラス繊維材、配合上の注意事項、適用材料、効果を表 18.2^[3]示す。熱可塑性プラスチックをガラス繊維で強化する場合、非晶性プラスチックより結晶性プラスチックの方が多くの点で有効であるが特に HDT では結晶性プラスチックの方が顕著であることが示されている。

また、ガラス繊維充填の上限値は 35wt%といわれてきた。しかし、最近の報告^{[4][5]}によればマトリックスとなるプラスチック材料と強化材や充填材をドライブレンドする「直接射出成形法」によって 50~60wt% (40vol%) に達する高い充填率を実現できるようになったという。この結果、一般成形法にくらべ強さが 20~30%も向上することができたとしている。直接射出成形法の場合にはコンパウンド工程を経ないため、ガラス繊維強化プラスチックの場合、繊維を折損しないですむためと理解されている。

2. 特性と用途例

ガラス繊維強化プラスチックの応用製品は表 18.3 の分野にわたっている。このマニュアルの範囲を超えるが、主として熱硬化性プラスチックをマトリックスにした場合の材料特性と用途例を表 18.4 に示す。

繊維強化材料の物性値はマトリックスおよび強化材の充填率によって変わるので、それらを概観することは難しい。マトリックスの基本的な特徴を把握した上で、プラスチック材料メーカーに強化剤の種類と充填率を変えた場合の物性値を照合して比較してみる必要がある。次項で若干の具体例を示す。

表18.1 各種のガラス繊維^{[1][2]}

種類	Eガラス	Cガラス	High modulus	Sガラス	
用途・目的	一般FRP用	耐酸性	高弾性係数	高引張り強さ	
引張り強さ*(kgf/mm ²)	350	250	350	490	
縦弾性係数(kgf/mm ²)	7,400~7,700	7,000	12,000	8,400~8,800	
密度(g/cc)	2.54~2.6	2.49	2.84	2.49	
化学組成 (%)	SiO ₂	52~56	65	45~65	65
	CaO	16~25	14	9~13	-
	Al ₂ O ₃	12~16	4	-	25
	B ₂ O ₂	8~13	5	-	-
	K ₂ O	} 0~1	} 9	-	-
	Na ₂ O			-	-
	MgO	0~6	3	6~9	10
	BeO	-	-	7~12	-
	TiO ₂	-	-	4~8	-
	その他	-	-	LiO ₂ 1~6 ZrO ₂ 1~3	-

*単繊維に関する値

(18) ガラス繊維強化プラスチックの概要と用途

表18.2 ガラス繊維強化プラスチックの概要[3]

項目		説明
用いるガラス繊維材		低アルカリガラスまたは無アルカリ（Eガラス：Electrical ガラス）（アルカリ成分0.8%以下のもの）
配合上の注意		無機物ガラス繊維と有機物のプラスチックが分離しないようにシランカップリング剤でガラス繊維を表面処理する。（シランとは有機ケイ素化合物である水素化ケイ素 Si_nH_{2n+2} の総称）
注意事項		<p>不必要に充填量を多くしないこと ガラス繊維の場合上限は35wt%くらい（本文参照）、多すぎると圧縮強さ、曲げ強さが低下する（結晶化が妨げられて、樹脂同士の結合が弱くなるためだろう） ペレットの粒度を定期的に調べ、粒度が均一な材料を入手使用すること 成形条件のパラッキ、成形不良の多発の原因を防ぐため リターン材の混入率は10%以下に抑えること リターン材では強化材が切断されているので初期強さが低下している 成形収縮率などの物性の異方性を調べて金型設計をすること ウェルド部のクラックについて特に注</p>
適用材料	熱可塑性	強化材添加の無意味なもの 透明な非晶プラスチック（PMMA, PSなど） Tgの低いプラスチック（PE, PP）
	熱硬化性	広く使用されているもの PC（透明だがTgが比較的高く140～150 で耐衝撃性に優れている） PPS, PA, POM, PBT, PET, PAI（ポリアミドイミド）
		不飽和ポリエステル、フェノール樹脂、エポキシ樹脂、DAP、これらは成形収縮、衝撃値改善のため、ほとんどFRPにされる。
効果		<p>力学的強さ向上、耐熱性向上、成形収縮減少、寸法安定性向上、いずれも結晶性プラスチックで顕著 PA, PET, ではHDTが摂氏で100deg. PP, POMでは60～80deg. くらい向上する 一般に非晶性樹脂、例えば、スチレン系、PMMA、PC、PVC、PPO、SSFなどは力学的強さ、寸法安定性が向上する。しかし、HDTは10～20 くらいしか改善されない。結晶性プラスチックでは充填剤が結晶の融解を妨げるからであろう</p>

（この表は金型制作 § 14(83) に表83.1として掲出したものに同じ）

表18.3 ガラス繊維強化プラスチックの応用製品^[6]

	分野	応用例
1	基幹素材	-
2	工業機材	タンク、プラント機器
3	船舶舟艇、自動車、航空機部品	各種
4	応用製品、住宅資材	バスタブ、浴室部材、浄化槽、スポーツ、レジャー用品

表18.4 ガラス繊維強化プラスチックの特性と用途例^[6]

材料特性	説明	用途例
耐衝撃性	破壊直前まで、歪みエネルギーとして衝突に対する衝撃を吸収でき、この点で金属より優れている	保安帽、防弾板、特殊フジング
力学的強さ	積雪、風圧、人間の体重程度の外力に耐える	波板
材料選択性	ガラス基材とポリエステルを選択で好みの強さにできる	釣竿、弓、スキー
耐食性	油、薬品、海水に対する耐食性が優れている	タンク、パイプ、船舶
透光性	外光を通す	波板
電気絶縁性	電気的な絶縁性のある構造・機構のメンバーとして使える	電気部品、医療機器、携帯電話、パソコン部品、
電波透過性	電波透過を必要とする構造体として使え、かつ力学的強さもある	レーダー部品
一体成形性	複雑な曲面のものを一体成形でき、デザインに自由度を与えられる	浴槽、椅子、船舶、自動車、車両
注) 上記は主として熱硬化性プラスチックを基材にしたものである		

3. 注意事項

- (1) 表 18.2 の中に、ガラス繊維強化プラスチックに関する技術的な注意事項を細かに羅列しておいたので、これを常に念頭において、成形品を設計し、成形品のトラブルシューティング(事故の解決策探索のためのチェック)に用いて頂きたい。
- (2) 少々補足すれば、材料の購入に当たっては適切なガラス充填量で、粒度・配合が均一で、リターン材の混入割合が明らかかなものを選び、時折、それをチェックした方がよい。海外生産の場合にはリターン材の扱いが徹底しにくい。
- (3) 実用に当たっては成形品の物性の異方性、ウェルド部のクラック発生の有無に関する確認も必要である。

出典

- [1] 小林昭：プラスチック構造材料(第4版)、p104、(株)工業調査会(I972)
- [2] 瀬川浄一郎：日機誌、71(6)p593(1968-6) ([1]の原典)
- [3] 内尾舜二：プラスチックの知識、型技術、6(12)pp97～103(1991-11)、所載の関連事項を要約
- [4] 池川直人：複合材料の成形、成形加工、9(7) pp495～499 (1997-7)
- [5] 森脇毅行ほか4名：直接射出成形法の開発と高能性複合プラスチックの実現、成形加工、8(7)pp467～472(1996)
- [6] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第6回)、型技術、13(9)p104(1998-8)

§2 プラスチック成形材料

1. ガラス繊維強化プラスチックの諸物性

実際の成形品設計作業ではマトリックスと強化材との定合比すなわち強化材充填率を細かに表示した物性表を確認して材料選択ならびに形状設計をする。現在この種のデータは材料メーカーから容易に入手できるので、ここでは、大づかみにガラス繊維を充填強化するとどのようなことが生ずるかを展望することにする。実務に当たって材料メーカーのカatalog値を読む上のチェックリストの一部として活用して頂きたい。

ポリカーボネートにガラス繊維を20~3.5wt%充填した場合の各種物性値は表19.1^[1]によって見当がつけられる。ポリカーボネートというマトリックスからみれば、ガラス繊維は異物だから、成形時の流動性は悪くなるので外観も悪くなる。異物が混入しているから、大目的の引張り強さは向上するが、強化材充填界面のあり様によって衝撃値は下がることが多く、摩耗特性も悪くなる。こんな具合にこの表はいろいろな角度から見て頂きたい。

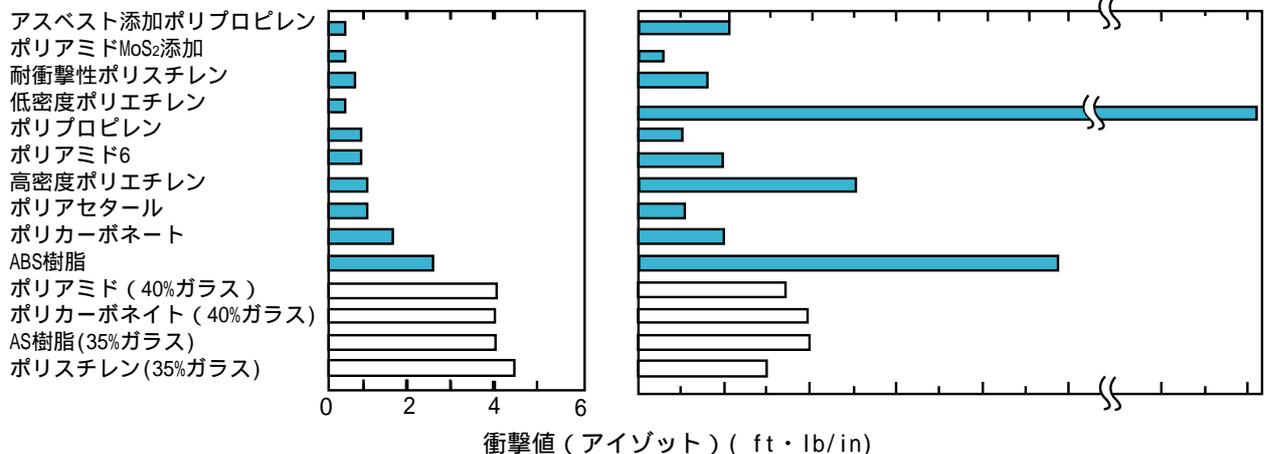
各種充填材を配合すると低温では充填効果が現れるが、少々的高温になると必ずしも全ての場合に効果を期待することはできない。この様子を図19.1^[2]に示す。マトリックスのプラスチックが脆い状態にあるか、しなやかな状態にあるかによるであろうことはガラス繊維強化プラスチックが温度差によってマトリックスほど変わっていないことから理解できるであろう。

また各種の伝統的な汎用プラスチックならびにABS樹脂にガラス繊維を配合強化した場合に、充填率が変化した時に種々の物性がどう変わるかを示したものが表19.2^[3]である。図19.1と同じように読みながら、いろいろに読んで頂きたい。

先に(18)節で「直接射出成形法」に関連して、充填する繊維が折損されないことの重要性を述べた。主にガラス繊維強化熱可塑性プラスチックの場合であるが、熱硬化性プラスチックでは成功していた引抜成形法(プルトーション法)^[4]が、熱可塑性プラスチックにも連用されるようになり、長繊維化の新しい方法が活用されるようになった。この間の状況を表19.3に示す。そのシステムを図19.2に示す。

表19.1 ポリカーボネイトにガラス繊維を充填した場合の物性の変化^[1]

物 性	倍 率	物 性	倍 率
強さ(引張り、曲げ、圧縮)	2	成形収縮率	1/5~1/10
弾性係数	2~3	吸水性	3/5~4/5
伸び	(数%増)	耐電圧	1.5~2
硬度	1.3	ウェルド部の強さ	1/3
疲れ強さ	3	テーパ摩擦	2~3
クリープ変形	1/3	比重	1.2
熱膨張係数	1/3~1/4	(成形品価値)	(1.5~5)



(a) -40 °F (b) 73 °F

図19.1 各種教材配合熱可塑性プラスチックの衝撃値^[2]

(19) ガラス繊維強化プラスチックの諸物性

表19.2 ガラス繊維充填率と物性の変化^[3]

特性	変化	特性	変化	特性	変化
引張り強さ	↖ PA ↗ POM	熱変形温度	↖ PA ↗ POM ↘ PC	成形流動性	↘
引張り伸び	↘	比熱	→	耐候性	→
曲げ強さ	↗	熱伝導率	↘	耐薬品性	→
曲げ弾性係数	↗	熱膨張係数	↘	耐クラック性	↗ PC
アイゾット衝撃値	↖ PA ↗ PC ↘ ABS	耐熱老化性	→	電気体積抵抗	→
疲労特性	↗	吸水率	↘	絶縁破壊	→
クリープ特性	↗	成形収縮率	↘	耐アーク性	→
摩耗特性	↘	異方性	↗	誘電率	→
比重	↗	外観	↘	燃焼性	↘

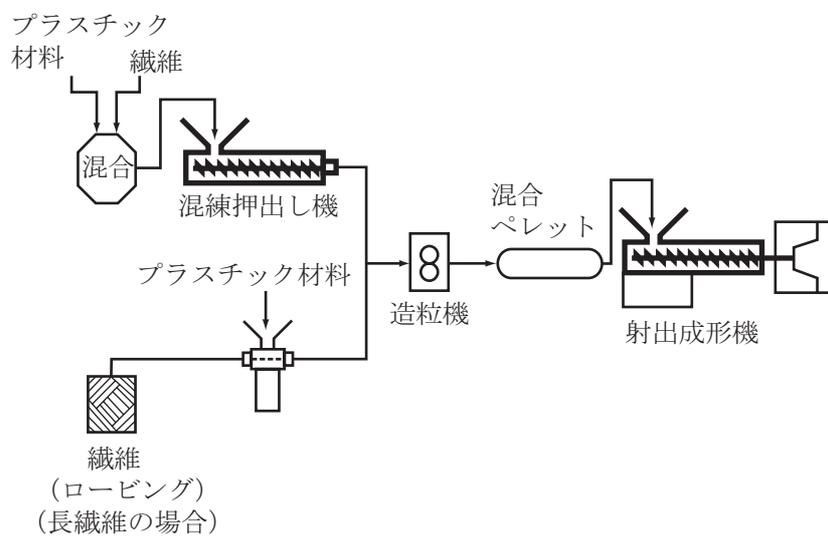


図19.2 繊維強化熱可塑性プラスチック材料の材料・成形システム^[4]

表19.3 長繊維強化熱可塑性プラスチックの射出成形への活用（主にガラス繊維）^[5]

長繊維の種類	ガラス繊維、カーボン繊維、合成繊維、金属繊維
ガラス長繊維材料が射出成形に活用可能になった理由	1 熱可塑性樹脂を含浸させる方法が改良されたため 2 すなわち、引抜き法（プルーション法：熱硬化性プラスチックで、棒、パイプ、異形成品を作る一方、図19.2に示す）が適用できるようになったため 3 繊維が押出機の中を通らなくして、ペレット作成時に繊維が切損されないようにできたため 4 ローピングの各フィラメントの間に、溶射樹脂を含浸させ、マトリクス樹脂と繊維との界面密着をよくするようにした
備考	繊維強化熱硬化性プラスチックは従来からSMC、BMC、RIM、などとして知られている 繊維強化熱可塑性プラスチックは力学的複合、機械的複合によって、特徴ある性能の材料が作れる（この分野に長繊維素材が活用できるようになった）
*ローピング：roving、多数ストランド***（普通60本ぐらい）を平行に並べて、バインダで結合して扁平な紐上としたもの **ストランド：strand、ガラス単繊維を集めて1本の束にしたもの なお、プラスチック用ガラス単繊維は直径7.9（または10）、13、17μmといわれている	

2.注意事項

- (1)よいガラス繊維強化プラスチック成形品の特長を十分に活かすにはよい成形をすることが大切である。そのためには成形用金型のスプル、ランナ、ゲート等々までこの材料に適したように金型を設計製作しなければならない。（金型の製作編 § 14(83)の表 83.2 に詳細を示した）
- (2)ガラス繊維強化プラスチックではガラス繊維が研削剤のような機能をして、成形機、金型の表面を摩耗させる。これに耐えるような金属材料及びその表面処理の選択が必要である。また、非強化プラスチックを成形する場合より、常時、清掃が必要である。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p143, (株)工業調査会(1988)
- [2] 白松豊太郎：高分子工学の基礎と応用、p327, 丸善(株) (1968)
- [3] 日野春紀: 1つの指向/エンジニアリングプラスチック複合材料、プラスチックス、27(4)pp35～40.(1976-4)
- [4] 高野菊雄：長繊維熱可塑性樹脂の射出成形:合成樹脂、35(11)p7(1989-II)
- [5] [4]の一部要約に、注記追加

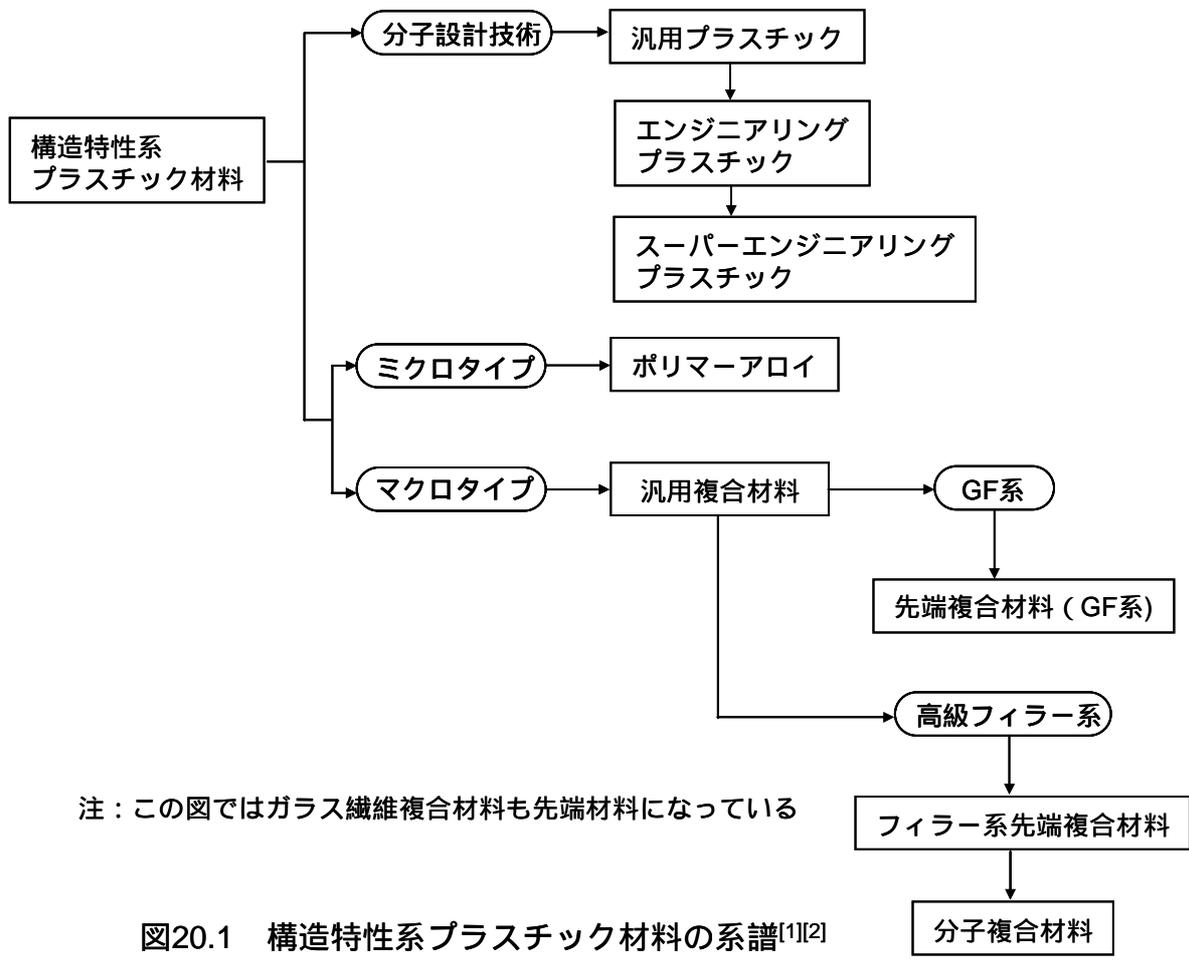


図20.1 構造特性系プラスチック材料の系譜^{[1][2]}

§2 プラスチック成形材料

1. 炭素繊維強化プラスチックの位置づけと種別

機能特性系材料に対して構造特性系材料がある。構造特性系材料には図 20.1^{[1][2]}に示すように、分子設計技術から出発するスーパーエンジニアリングプラスチックと複合技術から出発するポリマーアロイおよび分子配合材料とがある。炭素繊維強化(複合)プラスチックは高級フィラー系の先端複合材料に位置づけられる。

先に(17)節に述べた先端複合材料には図 17.1 に示すように炭素繊維複合プラスチック、アラミド繊維複合プラスチック、ボロン繊維複合プラスチックとがある。歴史的にはフィラーの開発に並々ならぬ努力と著しい成果があったものを、ガラス繊維強化プラスチックと一線を画して、フィラー系先端複合材料と区別しているように思われる。

なお、1950 年代後半にわが国ではガラス繊維強化プラスチックが普及し始めたが、炭素繊維複合プラスチックが日本で上市されたのは 1971 年頃である。

2. 炭素繊維複合プラスチックの機能特性、ACM

応用分野は広範にわたるが、利用する特性とともに、表 20.1^{[1][3]}に示す。炭素繊維複合プラスチックの一般的特徴は表 20.2^[1]に示す通りで、ガラス繊維強化材料より比強さ、比剛性、機能特性など種々の面ですぐれている。またアラミド繊維複合材料とのハイブリッド化も可能で、軽量、高耐衝撃性の材料が得られる。

先に述べた ACM (Advanced Composite Materials)は 1992 年頃より提唱され、高機能化と軽量化を同時に狙うものとして注目された。3 次元強化複合材料という観点からまとめている村山の解説^[4]を抄録作表したものが表 20.3^{[1][4]}である。村山によればこのような ACM で成形型内で、Resin Transfer Molding 法(RTM)によってニアネットシェイプのプリフォームの製織ができ、究極の Structural RIM (Resin Injection Molding)となるといわれる。

(20) 炭素繊維複合材料の位置づけ、機能、種類

表20.1 炭素繊維複合プラスチックの応用分野・機能特性^{[1][3]}

分野	利用特性	用途例（予定を含む）
スポーツ レジャー	比強さ・比剛性 軽量化 振動減衰性 耐食性・成形性 成形性	ゴルフシャフト、ヘッド 釣竿、釣り用リール テニス、その他のラケット、アーチェリー、スキー、アイスホッケー用スティック スケートボード、ヨット、ボード 自転車部品、オートバイ部品
航空・ 宇宙	比強さ・非剛性 軽量化	(a) 航空機：戦闘機、民間機、ヘリコプター (b) 宇宙：ロケット部品、衛星部品、スペースシャトル
医療機器	比強さ・比剛性、X線透過性、 形態安定性 軽量化、高機能化、耐久性 生体適合性	(a) X線装置関係ベッド、カセット、カセットレスフロント板 (b) 補装具：車椅子、義手、義足 (c) 生体関係：骨材料、筋肉補強メッシュなど
一般産業	剛性、低慣性、経時寸法安定性、 精度、低摩耗性、軽量性 振動減衰性、低騒音、 低摩擦、摩耗性、疲労特性 耐薬品性、振動減衰性 軽量化、低慣性	(a) 繊維機械部品：ルーババーアセンブリピッキングスティック、レピアロッドなど (b) 事務機器部品：端末機、複写機 (c) 摺動部品軸受：ギヤ、バルブ (d) 産業機械部品：振動板バネ、耐食 (e) 産業用ロボット
自動車	軽量化、耐疲労性、振動特性、 低騒音 軽量性、成形性	競争車、ラリー車（シャフト、スプリング、シャーシ、ホイールバンパ他） 高速車両
オーディオ その他	振動減衰性、比剛性 耐食性	(a) オーディオ部品：トーンアーム、スピーカーコーン、振動板、ヘッドシェル (b) 楽器部品
エネルギー 関係	比強さ、比剛性 耐食性	遠心分離器ロータ フライホイール、風車
海洋 その他	比強さ、比剛性、耐食性 導電性、軽量性 導電性 経時寸法安定性	船体補強、耐圧力器 導線ロッド、長大トラフ アンテナ、電子機器 マイクロメータ

表20.2 炭素繊維複合プラスチックの一般的特徴^[1]

<ol style="list-style-type: none"> 1. ガラス繊維強化プラスチックより比強さ、比剛性、などが高性能 2. ガラス繊維強化プラスチックより機能特性がよく活用されている 3. 疲労特性がよい 4. 強度の配向性を調整しやすい 5. 複雑な曲面形状の部品の成形ができる 6. 振動減衰性が大きい 7. 摩耗係数が小さい。また、摩耗特性もよい 8. 耐薬品性がよい 9. X線の透過性がよい 10. 導電性がある 11. 新グレードの開発、マトリックスの改良が見通され、その活用が期待される
<p>付1 : アラミド繊維複合材料 (AFRP)は炭素繊維、ガラス繊維とハイブリッドに多く利用され、軽量性、耐衝撃性を賦与するのに貢献している。</p> <p>付2 : ボロン繊維複合材料 (BFRP)は特殊用途に用いられる。しかし、ボロン繊維が高価なため、需要減少</p>

(注 当マニュアル(その1)表 84.2)

表20.3 構造用途プラスチック複合材料の軽量化^{[1][4]}

	軽量化手法	説明
1	高性能繊維を高密度で使う	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非剛性、比強度の極めて大きい繊維を使う ガラス繊維 炭素繊維 (PAN系、ピッチ系) アラミド繊維 シリコンカーバイド繊維 アルミナ繊維 兆高分子量ポリエチレン繊維 各種金属 (ステンレスなどの) 繊維 ・ 複合材料中における体積含有率を大きくする
2	繊維束相互の絡みをできるだけなくする	<ul style="list-style-type: none"> ・ 連続繊維の形で展伸状態で使う 高性能繊維の特性を最大限に活用するため
3	必要な方向のみ繊維を配列する	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複合材料の最適設計の基づき繊維の特性を最大限に活用する
4	マトリックスとなるプラスチックと十分に複合化する	<ul style="list-style-type: none"> ・ 界面制御が重要である

3. 注意事項

(1) 炭素繊維複合プラスチックの成形はガラス繊維で強化したプラスチックの成形法と原理的にはほとんど同じである。しかし成形性が悪く、黒色不透明なため、外観良否の判定には艶のむらなど感覚感能的な技能別によることも多くなる。経験の積み重ねが必要である。

(2) 炭素繊維複合プラスチックの射出成形とその金型の要点は、このマニュアルの(その1)金型の製作の表 84.5 に示しておいた。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第7回)型技術、13(10) pp101 - 107(1998-9)
- [2] 永井進監修：実用プラスチック用語辞典(改3版)、p398、プラスチック・エージ社(1989)
- [3] 森本尚美：プラスチック系先端複合材料の開発動向、成形加工、4(5) pp336-344(1997 - 5)
- [4] 村山邦彦：3次元強化複合材料の可能性、成形加工、4(6) pp331-40(1992-6)

§2 プラスチック成形材料

1. 複合材料用炭素繊維

炭素繊維の開発と工業的利用はすでに 1880 年の Edison の白熱電燈フィラメントの特許に始まるからそう新しいことではない。プラスチックの機能・強さを意識した研究開発はこれより 70 年余り後に開始された。

プラスチック複合材料用炭素繊維には大きくは表 21.1^{[1][2]}のようにピッチベースのものと PAN (ポリアクリロニトリル)ベースのものがある。そして、ピッチ系と PAN 系はほとんど並行して開発、改良、上市、高性能化が進められた。その様子を表 21.2^{[1][2][3]}に示す。現状では、ピッチ系炭素繊維は汎用炭素繊維として耐熱、耐食、導電性賦与のために用いられ、PAN 系炭素繊維は高強度、高弾性率を複合プラスチックに与える目的で配合されている。この他にある活性炭素繊維、耐熱繊維を含めた分類を表 21.3^[4]に示す。

これらの炭素繊維の製造工程例を図 21.1^[5]に示す。

2. PAN 系炭素繊維およびその複合プラスチックの需要量

PAN 系炭素繊維複合プラスチックは宇宙航空部品やスポーツ用品のように常に先端材料を求めている分野に用いられる。ピッチ系炭素複合材料で、高性能炭素複合材料を得るには、複合材料が生成される時に繊維とマトリックスの結合力が劣るという欠点を克服しなければならない。

ここでは PAN 系材料の需要の推移の状況を見てみよう。経済状況に左右される度合いが少ない先進技術に関連する素材といえども、その影執はまぬかれない。

図 21.2^{[4][5]}、図 21.3^{[4][5]}に炭素繊維の需要推移を示し、表 21.4^[3]にその複合プラスチックの需要を若干のコメントとともに掲げておく。

表21.1 炭素繊維の2大区分^{[1][2]}

	種類	用途	収率
1	ピッチベース炭素繊維	炭素複合材料、耐熱性・耐食性・摺動特性・導電性の応用	85～90
2	PANベース炭素繊維	構造材として	45*

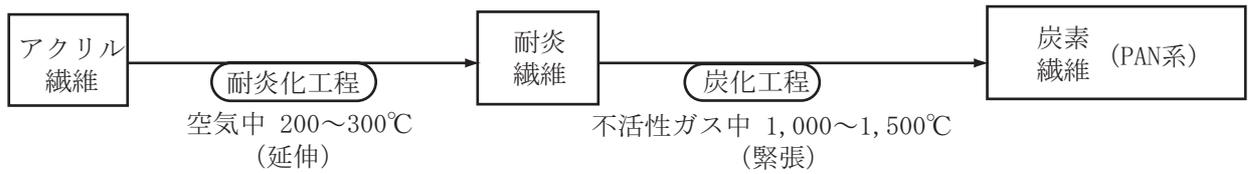
表21.2 各種炭素繊維の開発の歴史^{[1][2][3]}

1880年	T. Edison	白熱電球用フィラメント特許（20世紀に入り、フィラメントはタンゲステン線に代わった）
1950年代後半	-	航空宇宙用の複合材料として研究開始
1955年	UCC	レーヨンを原料とした製品Thonel*を上市（ロケットのノズル、各種パッキン用）
1959～61年	進藤 （大阪府公試）	ポリアクリロニトリル（PAN）を原料として試作、完成
1962年	日本	PAN系繊維は汎用品として生産開始
1963～64年	大谷（群馬大）	PVCを300 以下で脱塩酸して溶液性ピッチを得る。このピッチが系性に富むので熔融紡糸
1964年	-	レーヨン系、PAN系とも高性能品が開発された
1967年	呉羽化学	ピッチ系の工業的規模の研究に入り2年で10年10トン/月のプラントを建設
1969年	？	ピッチ系高性能品の製法が報告された
1970年(2月)	呉羽化学	ピッチ系のプラント運転開始。続いて米国の宇宙開発の市場を狙って市場開拓を図ったが第1次石油危機で市場が伸び悩む
1970年	-	レーヨン系、ピッチ系とも特性改善が重ねられ（大谷）汎用品として工業化された
1971年	東レ	PAN系製品を量産開始
1973年	東洋紡・呉羽化学	ピッチ系炭素繊維活性炭育成のため大洋化研設立(1978年呉羽に戻る)
1975年	東洋紡・呉羽化学	同上 50トン/年 生産
1980年	呉羽化学	同上 200トン/年 生産

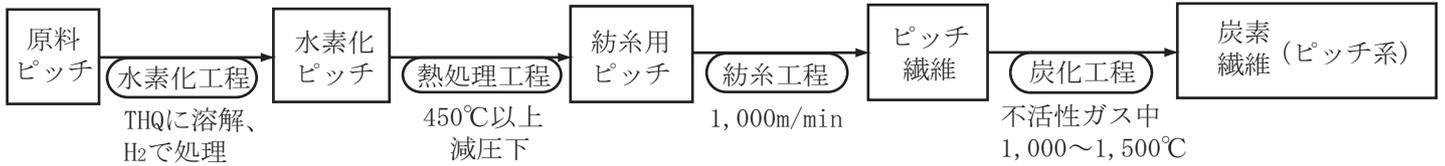
表21.3 炭素繊維の分類^[4]

	区分	利用目的	特性ほか
1	高性能炭素繊維 high performance carbon fiber (HPCF)	先端複合材として	比強さ 7×10 ⁶ cm：強さ 1.2GPa 比弾性率 7×10 ⁸ cm：弾性率 120GPa 密度 1.8g/cm ³ 高密度タイプ(HT)と高弾性率タイプ(HM)に細分することもある
2	汎用炭素繊維 general purpose carbon fiber (GPCF)	耐熱、耐食、導電 性賦与のため	上記より劣る
3	活性炭繊維	活性炭として	
4	耐火繊維	難燃性繊維として	PAN系繊維を300 付近で加熱して作ったもの PAN系炭素繊維の前駆体に相当する

(21) PAN系炭素繊維



(a) PAN系



(b) ピッチ系

図21.1 炭素繊維の製造工程例 [5]

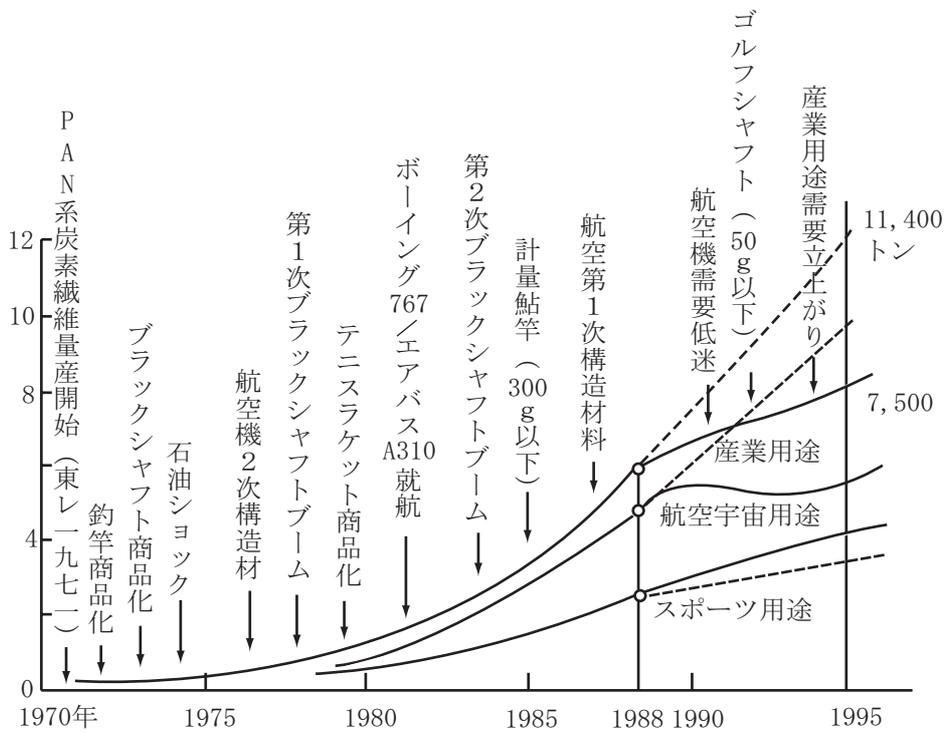


図21.2 PAN系炭素繊維の需要 [4][5]

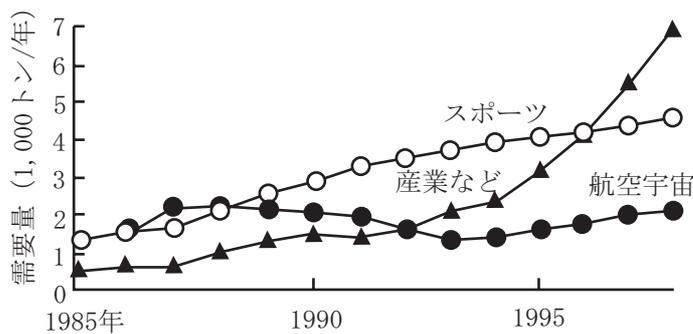


図21.3 PAN系炭素繊維の用途別需要 [4][5]

表21.4 PAN系炭素繊維複合プラスチックの需要量^[3]

周期	期間の特徴	需要量増加の状況	主な用途
1979～1989年 (昭54～昭64)	(揺籃期に続く全盛期) ACMの全盛期	10年間で12倍 1979年出荷500トン 1989年出荷5,800トン	・スポーツ・レジャー ・航空・宇宙 ・一般産業
1990～1993年 (平2～平5)	(低迷期) バブル経済崩壊 米ソ冷戦構造集結	年率3.5%	・スポーツ・レジャーの伸び大 ・航空機需要減少 ・一般産業用は着実に成長
1994～1995年 (平6～平7)	(回復期) ハイテク産業の成長 用途分野の拡大	年率9.5%	・ゴルフシャフトのブーム ・一般用途拡大=自動車用CNG燃料タンク、フライホイール ・風力発電用ブレード ・被災鉄筋コンクリート構成物補修用

注：CFRPの約90%はPAN系CFを用いている

3. 注意事項

繊維フィラー複合材料では繊維配向、強さの予測とその実現により成形品の信頼性も高まる。高次構造制御と新成形法により、新しい展陶が進んでいる。^[6]

出典

- [1] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第7回)型技術、13(10)p101(1998-9)
- [2] 天城康雄(談)：炭素繊維、呉羽化学工業、高分子、31(1)p62(1982-1)
- [3] 高分子学会編：高分子新素材便覧、p456 (1989)
- [4] 森本尚夫：プラスチック系先端複合材料の開発動向、成形加工、9(5) pp336-344(1997-5)
- [5] 寺西伸秀：化学経済、pp34-39 (1995-7)
- [6] 武田正、阿称一登：複合強化材料、プラスチックスエージ(1997-5) pp117-124

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. ポリマーアロイの発祥

プラスチック材料の複合化について述べてきたが、非ポリマー主として繊維材料との複合化の範囲を越えなかった。ここで改めて複合化の内容を見ると表 22.1^{[1][2]}のように分けられる。

成形加工中にグラフトコポリマーやブロックコポリマーを形成するための反応基礎剤が研究されてきた。この結果、ポリマー間の界面接着強さを上げるために、図 22.1^[3]に示すようにジブロックコポリマーやグラフトコポリマーを用いる研究が進んだ。そして分子量の大きいランダムコポリマーが接着強さ向上に効果的であることがわかってきている。これは界面の上下の相に効果的に分散しながら、上下の相に存在する高分子鎖の絡み合いを多くするためと考えられている。^[3]

さてポリマーアロイという言葉は「1942年にアメリカのDow Chemical社がスチレンとブタジエンのINP "Styralloy"の開発のなかで初めて使ったといわれているが、一般には1980年頃から聞かれるようになった」^[4]という記録がある。プラスチック開発史上重要で、今日でも依然として活躍しているのがABS樹脂で、開発されてすでに50年を経ている。ポリマーアロイの歴史は図 22.2^[4]に示す通りである。

その根底には、耐衝撃性と高剛性、耐熱性と成形性のような、相反する物性をバランスよく両立させるように既存ポリマーを組み合わせる技術の追究の考えが流れているとみてよいと思う。

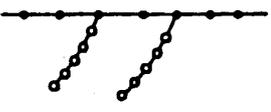
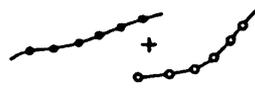
2. 種々のポリマーアロイ

より高機能の目標の複合化に対応してプラスチック材料を組合せ実用化した例を図 22.3 に示す。ABS樹脂では母材スチレン樹脂が海となって剛性や熱変形を受け持ち、アクリロニトリルブタジエンゴムを分散させて島となして、耐衝撃性を受け持たせている。ゴム系のポリマーアロイではゴム粒子の周辺に応力集中で発生し易い微細なクラック（クレーズ）の原因となる応力集中を吸収緩和している。^[5]クレーズが集まるといわゆる白化現象が生じる。ゴムを多量に入れると、それに応じて耐衝撃性は上がるが、剛性や熱変形温度が低下してしまう。

三菱エンジニアリングプラスチックス(株)はポリエーテルを島とし、ポリアミド、ポリエステル、ポリプロピレンなどの結晶性プラスチックを海とした海島構造のポリマーを上市している。結晶性材料に耐薬品性、成形性を、非晶性材料に寸法安定性、高温下剛性を負担させている。^[6]そのさきがけは1988年のカタログに見ることができる。^[7]

また、住友グループからは、^[4]ポリフェニレンエーテル/ポリアミド、ポリオレフィン/ポリアミド、ポリカーボネート/ABS樹脂、ポリカーボネート/ポリエステルなどが上市されている。

表22.1 複合化による新材料の開発パターン^{[1][2]}

ポリマー相互複合 ポリマーアロイ	コポリマー (注)	グラファイトコポリマー	あるポリマーを幹にして別の一種のポリマーが枝状に接ぎ木した形のコポリマー	
		ブロックコポリマー	あるポリマーを別の一種のポリマーが線塊になって結合しているコポリマー、この二種のポリマーが交互に連なっていることがある	
	ポリマーブレンド		ポリマー同士を加熱し、機械的に混練する	
	IPN (Interpenetrating polymer network)		網目構造になった異種ポリマー同士を高度に絡み合わせた構造	
非ポリマーとの複合	複合化プラスチック材料	繊維配合	主として材料強化のために加える	ガラス繊維、炭素繊維、有機繊維 (セルロース、セルロース、綿、ジュート、ザイザル麻)、化学繊維 (ナイロン、オーロン、レーヨンなど)、石綿
		粒体・粉体充填	主として原価低減、比重・硬さ・滑り改善のために加える	水酸化アルミニウム、粉末アルミ、炭酸石灰、マイカ、ケイ酸石灰、カリオン、シリカ、二硫化モリブデン、滑石、グラファイト、カーボンブラック、石灰、木粉、樹皮
		ウイスカ配合	主として材料強化のために加える	Al ₂ O ₃ 、SiC、BeO、Si ₃ O ₄ など

(22) ポリマーアロイの概要

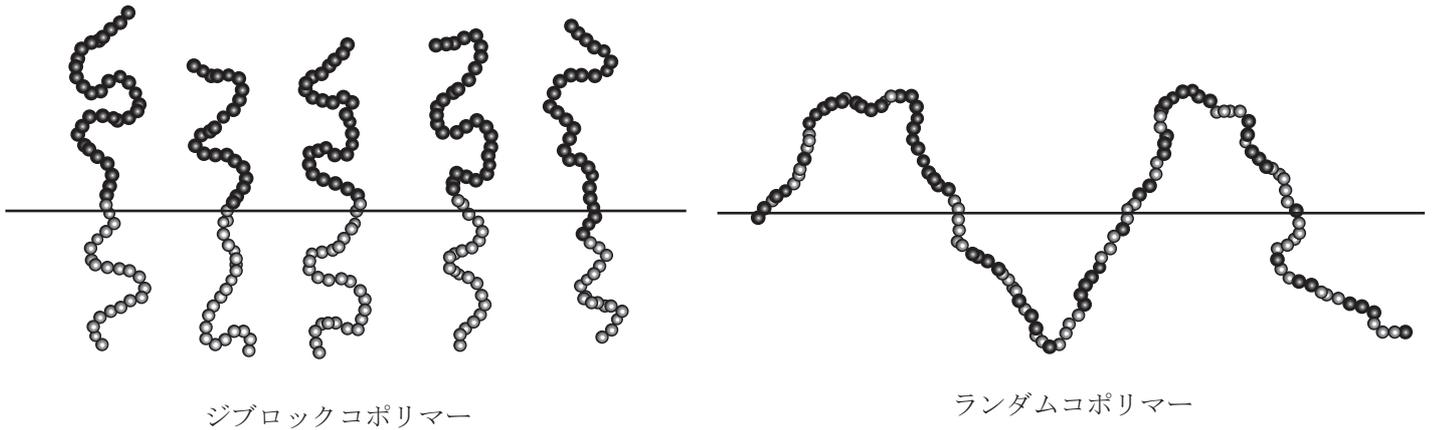


図22.1 ポリマー間界面にあるポリマーの模式図 (扇澤)^[3]

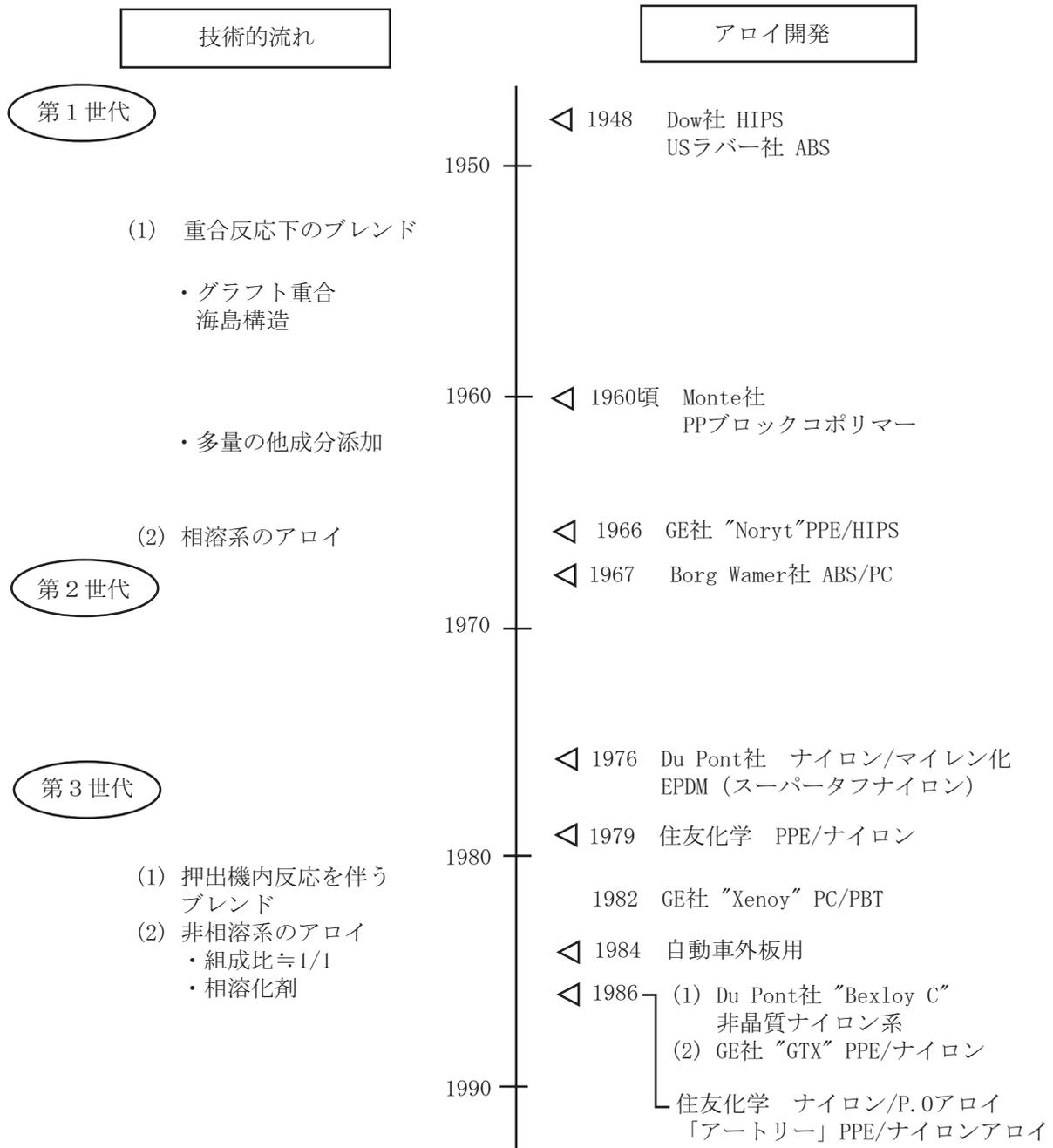


図22.2 ポリマーアロイの歴史^[4]

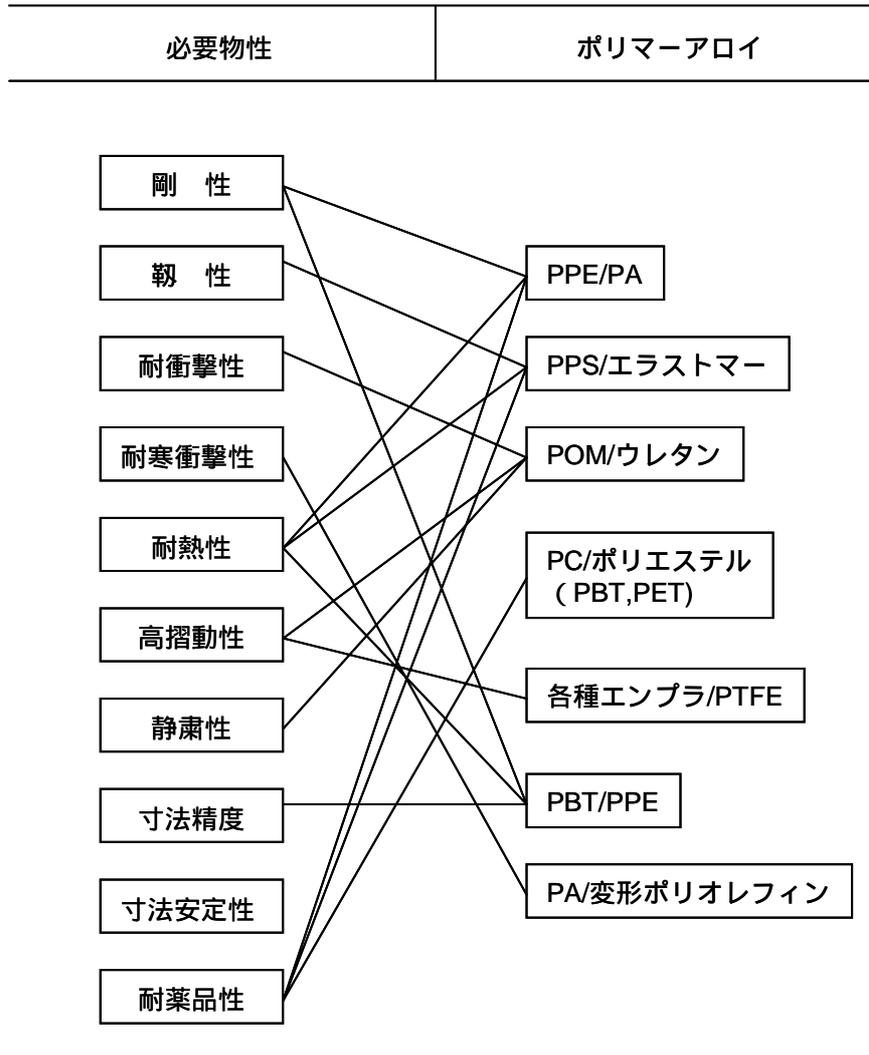


図22.3 必要物性に対応するポリマーアロイ

3.注意事項

通常のエンジニアリングプラスチックでは必要機能が満足できないときに複化材料を探す。どんな機能を求めるか目標をはっきりさせ、現れる副作用、欠点をよく調べてから採用する必要がある。

出典

- [1] 廣恵章利・本吉正信：プラスチック成形加工入門(第2版)、pp18-19、日刊工業新聞社(1995)
- [2] 小林昭：プラスチック構造材料, p22、p104, (株)工業調査会(1969)
- [3] 扇澤敏明：ポリマーアロイ、成形加工、9(7)pp500-504(1997-7)
- [4] 長岡、御旅屋、上野：わが社のポリマーアロイ技術、住友化学、住友ノーガタック、プラスチックス42(7)pp88-99(1991-7)
- [5] 成沢郁夫：プラスチックの強度設計と選び方, p67、(株)工業調査会(1986)
- [6] 三菱エンジニアリングプラスチック(株):カタログ Rev3、(1997-7)
- [7] 三菱油化(株):カタログ、レマロイ、88.121.000(0)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. ポリマーアロイの特性改善

ポリマーアロイには 構成する相の界面の接着強さ、 溶融時の流動性、 表面偏析などの問題が潜在していて、これを巧みにかわさないと、例えばウェルド(湯境部)強さの低下などのような品質の欠陥となってあらわれる。

結晶性であるポリブチレンテレフタレート(PBT)にゴム強化非晶性である ABS 樹脂を添加すると衝撃値を高めることができる。しかし、ウェルド部の強さは低下してしまう。このような単純なポリマーアロイの実用化は難しい。或いはアロイ化が難しいのかもしれない。阪野等^[1]に ABS/PBT のアロイに、SAN(アクリロニトリルスチレンポリマー)とグリシジルメタクリレート変成ポリエチレン(GMA-mPE)を配合したときのウェルド強さの変化を調べた。その結果は表 2.3.1^[2]のようになった。この試料 に見るように衝撃値もウェルド強さも良好な値になる配合を見出している。

この際 GMA-mPE は相溶剤として働き、ゴムの分散剤として寄与しているとみられる。また SAN は PBT と ABS を相溶化する条件を整える補完のポリマーとなっていると筆者は理解している。

次に流動性についてみると、阪野等は PBT と上記 PBT・ABS 系ポリマーアロイについて、剪断速度と粘度の関係を図 23.1^[1]のように示している。広い剪断領域にわたって、PBT 単品より、ABS/SAN/PBT が、さらに ABS/SAN/GMA-mPE/PBT の方が溶融粘度が上の非ニュートン性が強くなっているとしている。

また、前節図 22.2 に示す第 1、第 2、第 3 世代のポリマーアロイの熱変形温度とアイゾット衝撃値の関係をくらべると、図 23.2^[3]のようになる。この熱的特性と力学的特性はプラスチック材料にとっては相矛盾する要求であるにもかかわらず、アロイ化によって相補って改質されてきている様子がよくわかる。

2. ポリマーアロイの今後

すでに工業化されているポリマーアロイはプラスチック素材の組合せとして約 70 種に及び、また全ポリマーの 30%がポリマーアロイとなり、年率 9%の成長を継続しているという。^{[4][5]}すでにほとんど全てのポリマー素材がポリマーアロイの原料になっていると考えられる。現段階は素材の探索より、既成素材で要求性能を満たす、より巧みな混練時の高分子反応で新性能、新機能を獲得する手法の開発に移っており、「第三世代のポリマーの高度化」^[4]の時代とみられる。

その基盤技術として、次のものがますます重視されているといわれている。

- (1) ポリマー相の界面活性剤として作用して相溶化剤の開発
- (2) ポリマーアロイのリアクティブプロセッシングと、モルホロジーや界面構造の制御およびアロイの性能・機能のための想定・設計の技術

これらによって、海島構造か、共連続層構造かというポリマーブレンドにおけるモルホロジーのタイプと分散層のサイズ、粒径予測などが進められている。あわせて界面層に存在するポリマー鎖が界面接着強さと破断面相の相関などから深く追究していくであろうとの見解も示されている。^[4]

ポリマーアロイの種類としては二律背反とされてきた各種特性の同時向上を図る「高性能化」ポリマーアロイと、通常の実用化プラスチックでは難しい帯電防止、導電性、制振性、難燃性の改良を図る「高

機能化」ポリマーアロイの開発が期待されている。さらに「この場所にはこの構造、隣接部分には別の構造といった高次構造の形成技術も期待されている。これら「新世代ポリマーアロイ」が今後の目標であるという見解もすでに示されている。

(23) ポリマーアロイの改善と将来展望

表23.1 ABS/PBTポリマーの力学的性質^[2]

試料	ABS	SAN	PBT	GMA-mPE	衝撃値 (J/m)		ウェルド強さ (J)
					1/4"	1/8"	
	15	35	50	-	74	106	2.9
	15	25	50	10	170	556	24.5
	15	10	65	10	706	872	42.1
	15	5	65	15	827	899	44.1
	-	-	100	-	44	67	44.1

注： 衝撃試験：アイゾット
全試験片：5×12.5×62.5mm
ウェルド強さ：岩本製作所製高速落下衝撃試験機

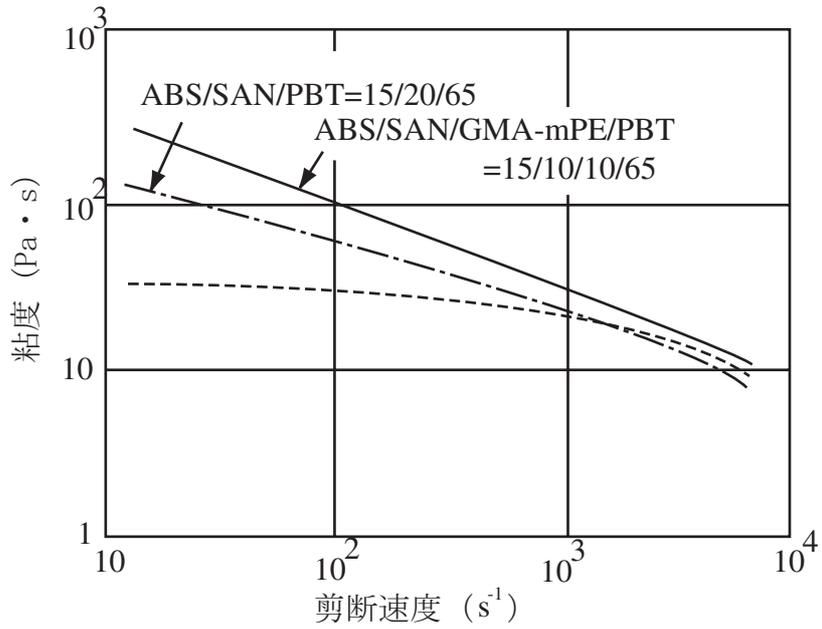


図23.1 PBTおよびPBT・ABS系ポリマーアロイの流動性

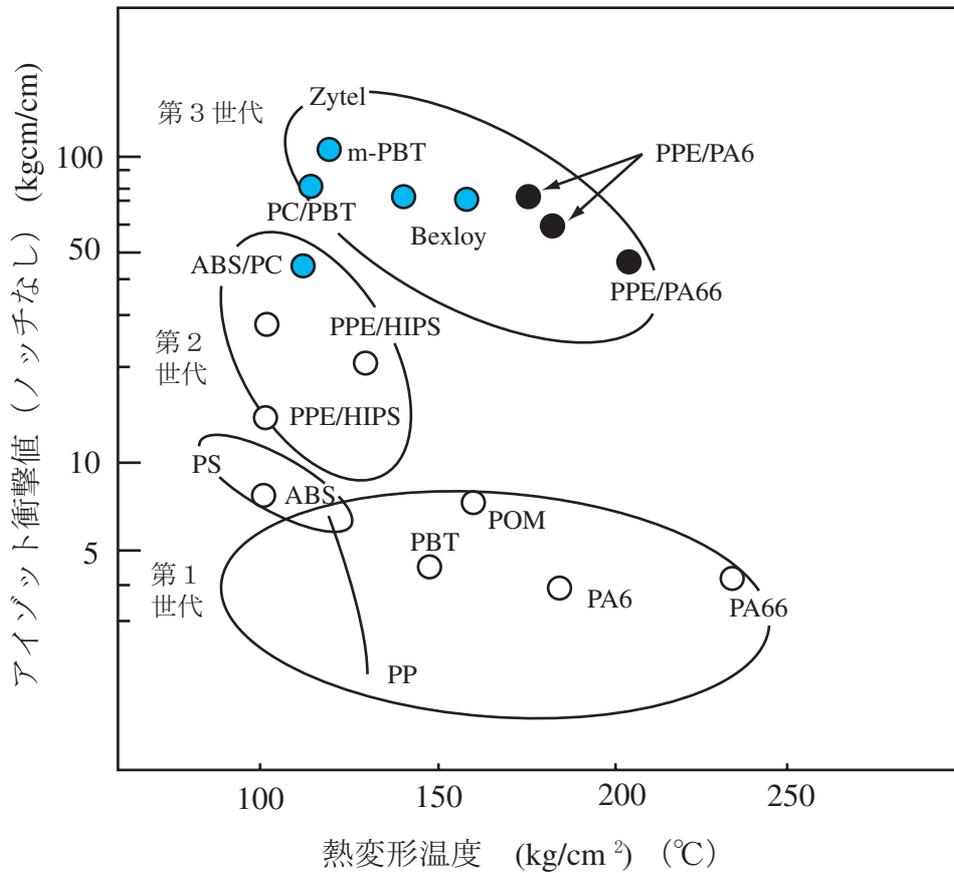


図23.2 各ポリマーアロイの熱的特性と力学的特性^[3]

3.注意事項

- (1)ウェルド強さの低下は非相溶性アロイで特に顕著である。PA 単体ではほとんど低下せず、PA・ホモPP とのブレンドでは 0 に近い。すなわちポリマーアロイは分散する粒度が小さいとウェルド強さは大きくなる。しかし、変成 PP と PA のアロイでは粒子が 1 μm より小さいと逆に低下する。^[6] こういう変化に留意する必要がある。
- (2)ポリマ「アロイメーカーは独自の相溶化剤の開発に注力していることを見守ることが必要である。

出典

- [1] 阪野元・青木寛充・山口秀樹・高川泰延延：ABS/PBT アロイの相構造とウェルド強度、成形加工、9(6)pp464-468(1997-7)
- [2] [1]の Table 1 の抄、及び本文中の説明により構成
- [3] 長岡健二、御旅屋瑛一、上野捷二：わが社のポリマーアロイ技術、住友化学、住友ノーガタック、プラスチック、42(7)pp89-99(19917)
- [4] 今井昭夫：ポリマーアロイ、成形加工、11(4)pp267-272(1999-4)
- [5] Utracki. L・A・：Encyclopedic Dictionary of Commercial Polymer Blends, p39 (1994)
- [6] 木之下正史、丹羽俊夫、柴田欧：変成ポリプロピレンとポリアミドとのポリマーアロイにおける成形品のウェルド強度、成形加工、8(5) pp325-330 (199615)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. プラスチック成形材料開発の流れ

材料設計と一口に言うけれど、必ずしも既存の材料に配合すればよいのではなく、成形品に求められる品質を満足できるようなプラスチック材料を選択または開発しなければならない。

一方、プラスチック成形に関する CAE (Computer Aided Engineering) は急速な進歩を遂げている。CAE については後に述べるが、成形品設計者が承知しておかなければならない材料開発に CAE が有効に活用されているので概況を説明しておく。

材料開発の流れは図 24.1^[1]に示す通りで、種々の材料物性をストアするデータベースから選出された材料の配合、物性のシミュレーション、成形シミュレーションによる評価に活用される。プラスチック材料メーカーではプラスチック成形品の持つべき特性、成形性を実現するための分子構造・骨格ならびに改質剤、配合剤を CAE により把握する。そして候補材料の問の組合せの適否のシミュレーションに CAE を活用している。この過程を図 24.2^[1]に示す。

図 24.2 において、材料開発に際しては、高分子の構造と熔融流動性との関係が重要である。その関係式は本来、分子量・剪断速度・温度・圧力等の依存性が考慮されていなくてはならない。しかし、目下開発中といわれている。^[2]

しかし、この文献^[2]によれば、Power law-Arrhenius の式:

$$\eta = A \cdot \dot{\gamma}^B \cdot \exp C \cdot T$$

: 粘度、 $\dot{\gamma}$: 剪断速度、A: 分子量依存、B: 剪断速度依存、C: 温度依存、T: 温度

を用いて、それぞれメルトフローインデックス MI の PS (GPPS), PP (ホモポリマー)を用いて粘度近似式の係数と分子構造の相関を確認したと報告している。結果だけをあげれば、PS について、次のように述べられており、表 24.1 のようにまとめられる。

- (1) 分子量が大きければ A は大きくなり、粘度は高くなる。
- (2) 分子量分布が広ければ B が大きくなり、高剪断速度領域における粘度低下が大きい。
- (3) 高 MI のプラスチック材料は C、が大きくなり、温度上昇による粘度低下が大きい。

さらに CAE 解析によって、PP ホモポリマーに、プラスチック配合用微粒子タルク(平均粒径 $3 \pm 1 \mu\text{m}$)を配合した場合、

- (1) タルクの配合量が増すにつれて、粘度は高くなり、充填率が大きくなる
- (2) タルク配合プラスチックでは成形時の充填性に剪断発熱量が大きく影響することも明らかにされている。^[3]

しかし、共重合体やポリマーアロイなどへの展開の可能性^[3]は確認を要するとしている。

2. CAE の材料開発への利用

繊維、ウスカ、ビーズなどの充填やゴム、異種プラスチック材料とのアロイ化による材料の高性能化、

高機能化はプラスチック材料メーカーのみでなく、成形メーカーや商品メーカーの部品部門で絶えず研究されている。その成果は他社との差別化のために、すぐにはその全貌は明らかにされないけれど、着実な努力によって、CAE 解析からプラスチック材料の成形品特性、成形性の点から望ましい分子構造、分子量分布が探索されている。成形加工から材料設計の指針が得られる時期も遠くないという見解も出されている。^[3]

(24) 材料開発への CAE の活用

次ページに図を示す。

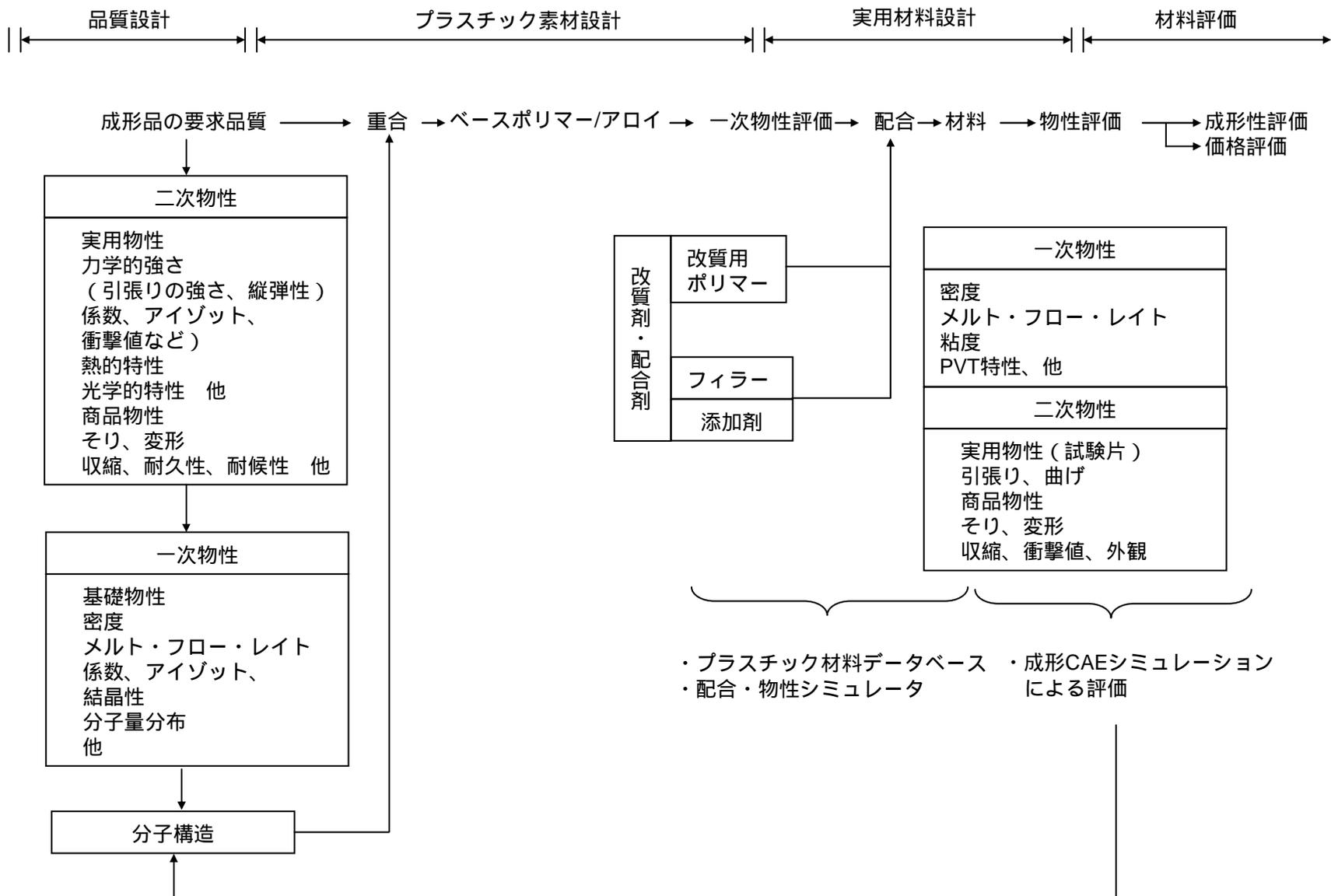


図24.1 プラスチック成形材料開発の流れ^[1]

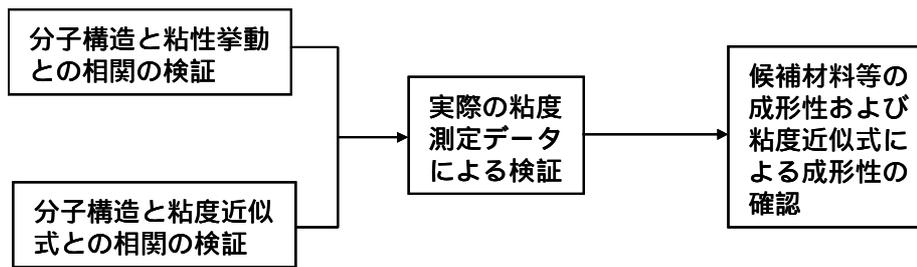


図24.2 候補材料の適格性の判定の過程^[1]

表24.1 ポリマー構造概念^[2]

	分子量 (A)	分子量分布 (B)	分子鎖末端数 (C)
低MI	大(大)	広い(大)	少ない(小)
高MI	小(小)	狭い(小)	多い(大)

3. 注意事項

このマニュアルではまとめては触れないが、新規材料の巧みな利用には、在来の射出成形法ばかりでなく、新規性のある工夫を凝らした成形法を採用した方がよい場合がある。成形品設計者は成形法の勉強にも意を用いる必要がある。

出典

- [1] 秋葉豊彦：射出成形 CAE の樹脂材料開発への利用(1)：成形加工、9(4)pp252-257 (1997-4) より抽出または用語変更
- [2] 上記[1]に示されている
- [3] 秋葉豊彦：射出成形 CAE の樹脂材料開発への利用(2)：成形加工、9(9) pp663 - 666 (1997-9)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 溶融流動粘度

成形部品の設計の基盤は材料の選定にある。材料の選定にあたっては成形加工可能なことが前提となる。成形加工は溶融プラスチック材料の流動粘度が温度、充填速度、流動圧力によって変わることを利用している。材料の選定にあたって、材料の開発にあたってこの点に注意する必要がある。

プラスチック材料が成形加工性に影響する要因を図 25.1^[1]に示す。

そして溶融粘度を左右する因子を細分すれば表 25.1^[1]のようになる。しかし、現在の CAE では粘度近似式に圧力依存性が考慮されておらず、開発中^[2]といわれている。前節で、この表を前提にして成形材料開発の流れの一部に Power law-Arrhenius の式を用いて説明したがその背景をここに示す。

ただし、高分子構造といっても骨格的な把握でなく、諸要因に対する依存性から見た構造として捉えて作表した。

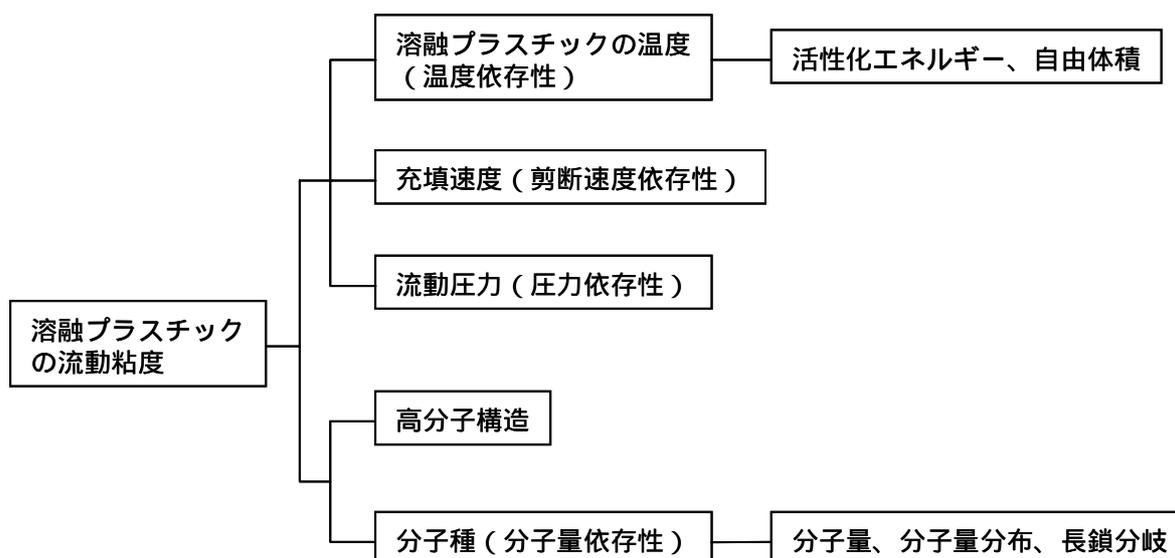


図25.1 溶融粘度が成形加工に影響する要因^[1]

(25) 高分子構造と流動粘度

表25.1 溶融プラスチックと粘度の関係

区分	説明	
分子量依存性	粘度は高分子鎖の緩和時間に支配され、緩和時間は分子量に依存する。 分子量が大きくなれば緩和時間は長くなる。 ゼロ剪断粘度 $\eta_0 = K \cdot M_w^{3.4}$ [3][4][5][6] K: 定数、Mw: 重量平均分子量	
剪断速度依存性	分子量分布 (Mw/Mn) Mw: 重量平均分子量 Mn: 数平均分子量	Mw/Mnが大きくなるに従って、高剪断速度領域において、著しく粘度が低下する。そして、剪断速度の関数である非ニュートン性が増加する。[7][8] 実用面では分子分布によって高剪断速度下の流動粘度は大きく影響される。 ----- Mw/Mnが同じでも分布の形により剪断粘度は異なる。
	長鎖分岐数	長鎖分岐数が多いものほど剪断依存性は著しい。[6][7] HDPEについて長鎖分岐の影響の検討結果が報告されている[9]が、一般にこの影響だけを取り出すことは難しい[6]とされている。
温度依存性	流動のための活性化エネルギーEv及び自由体積Vfによる	Vfは分子鎖末端数に左右されるが、分子量が十分大きいときは、低分子量成分の添加がない限りEvはほとんど一定となる。[3] ----- Evが大きいほど温度依存性が上がる。 結晶性プラスチックの場合：成形温度がガラス転移点Tgより相当高いため、Ev=const.として扱える。 非晶性プラスチックの場合：成形温度がガラス転移点Tgに近いので、粘度は温度に大きく影響される。[5] 但し、 $\eta = A \exp(Ev/RT)$ (Andradeの式) $Ev = 4.31 T^2 / (51.6 + T - Tg)^2$ T: 温度、A・R: 定数
圧力依存性	溶融プラスチックを高圧にすると分子鎖の移動が困難となり粘度は増す。[7] $\eta = \eta_0 \exp(P/P_0)$ P: 圧力、 η_0 : 定数	

3. 注意事項

- (1) 材料開発は材料メーカーだけの仕事だと思っはいけない。成形品の必要な物性をきちんと規定すること、開発過程でできた候補材料の実用的な立場の評価試験をするのは、材料開発依頼者の仕事である。その中間過程で、材料メーカーが実用評価を示唆できる試験片による試験のあり方を探索している場合、これを支援するのも依頼者の仕事である。このことを真剣に行わなければよい材料も、従ってよい商品も生まれて来ない。
- (2) 本格的にその材料をものにして生産に活用するために、初めて国産化されたポリアセタールを成形し、外国産品と比較された話、[10] 600形電話機を硬質塩化ビニールで製品化した話[11]など先人の仕事の仕方を学ぶことも必要と考える。

出典

- [1] 秋葉豊彦：射出成形 CAE の樹脂材料開発への利用、成形加工、9(4)pp252-257 (1997-4)より作図、作表
- [2] 文献[1]、p254

- [3] プラスチック成形材料：高分子加工講座、p203、地人書館(1966)
- [4] 升田利史郎、高橋雅興：高分子、42(9)p734(1993)
- [5] 日本レオロジー学会編：講座レオロジー、P54、p212、高分子刊行会(1993)
- [6] 小野木重治：高分子材料科学、p193、誠文堂(1973)
- [7] 橋本明紘、永井洋三：高分子、42(9)p747(1993)
- [8] 船津和守監修：高分子・複合材科の成形加工、p538, p540、信山社サイテック(1992)
- [9] 升田利史飾、高林雅興：日本レオロジー学会誌、18p78(1970)
- [10] 廣江章利：プラスチック成形技術懐古録(2)、成形加工、9(5)pp363-368(1997-5)
- [11] 廣江章利：プラスチック成形技術懐古録(3)、成形加工、9(7)pp537-544(1997-7)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. フッ素 / PPS ポリマーアロイ

フッ素樹脂は摩擦・耐摩耗性・すべり性にすぐれるとともに、耐熱性、耐薬品性、耐候性にすぐれている。すべり性がすぐれていることは非粘着性に乏しいこと、すなわち、親和性に乏しいことになる。また、フッ素樹脂そのものは力学的性質もすぐれていない。

ここで、旭硝子^[1]は上記の長所を生かし、なおポリアミド PA4・6 よりも力学的強さを持つ開発に着手した。手法としては図 26.1^[1]に示す非相溶系ポリマーブレンドモデルを取り上げた。その手順・考え方を展開すると、図 26.2^[2]のようになる。

この結果、フッ素 / PP アロイ 60%ガラス繊維 40%を配合した複合材料を開発できた。この材料の特質は次の通りである。

引張り強さ、曲げ強さとも、従来の 40%ガラス繊維強化プラスチックを上回り、かつ、ポリアミド PA4・6 より大きい。

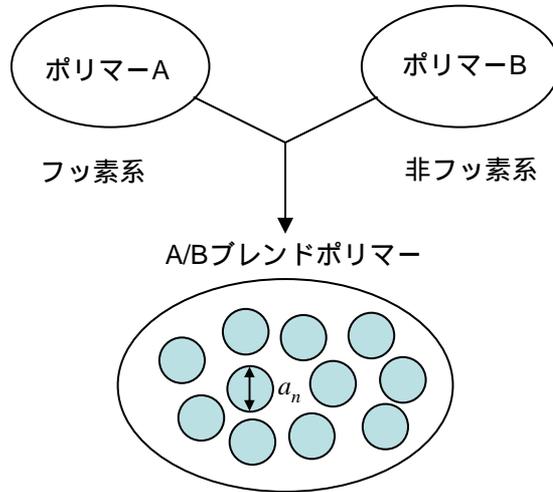
アイゾット衝撃地は PA4・6 と同等レベルである。そして図 26.3^[1]に見るようにクラック、破壊域が PA4・6 より狭い。

上記に加えて、摩擦係数 (JIS K7218)、比摩耗量 (JIS K7218) とともに、PPS と PTFE を組み合わせた従来の全社摺動グレードよりすぐれている。

吸水率も従来の GF40%充填 PPS、GF30%充填 PPS / PTFE より下回っている。

耐熱性も前項の 2 材料と同等以上である。

なお、参考までに、フッ素樹脂 / PPS アロイを他材料と概念的に比較した表を表 26.1^[1]に示す。



$$\frac{G\eta_m a_n}{\gamma} = 4 \left(\frac{\eta_a}{\eta_m} \right)^{0.84} \quad \frac{\eta_a}{\eta_m} > 1$$

$$\frac{G\eta_m a_n}{\gamma} = 4 \left(\frac{\eta_a}{\eta_m} \right)^{-0.84} \quad \frac{\eta_a}{\eta_m} < 1$$

G : 剪断速度 η_m : マトリクス相粘度
 η_a : 分散相粘度 γ : 界面張力

均一分散 (a_n 細粒化)

γ 小 : 界面活性剤の採用
 (相溶化剤)
 G 大 : 高剪断速度混練

図26.1 非相溶系ポリマーブレンド^[1]

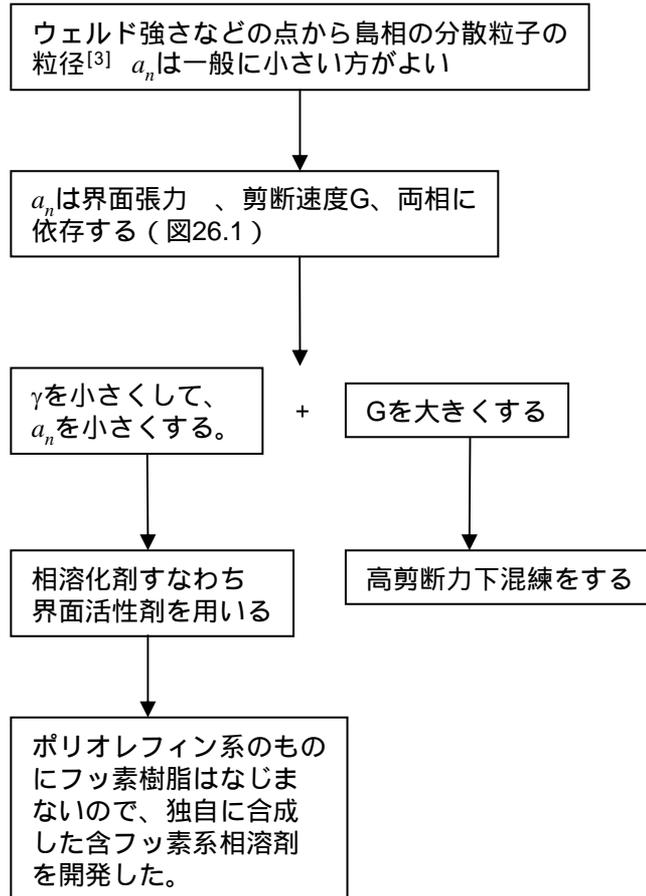
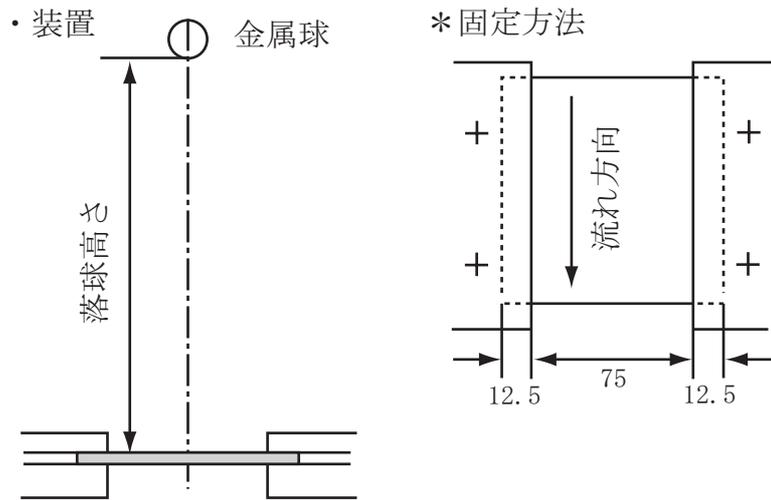


図26.2 アロイ化の手法^[2]

(26) ポリマーアロイ開発の一例

[条件]

- ・ 試料…100mm×100mm×3.0mm×t 3.0^{±0.1} mm
角板成形品



[結果]

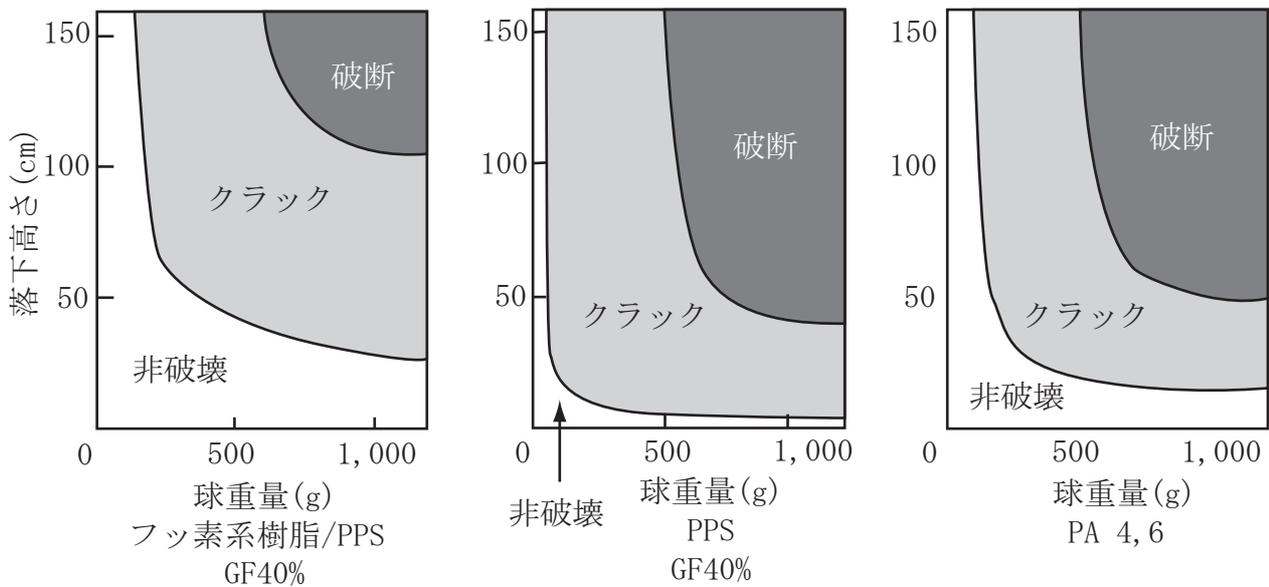


図26.3 落球衝撃試験^[1]

表26.1 フッ素樹脂/PPSアロイの新開発品と他材料の比較^[1]

品種	組成	強度	アイゾット衝撃強さ	落球衝撃強さ	耐熱性	耐薬品性	難燃性	摩擦・摩耗性	成形性	寸法精度
新開発品	フッ素樹脂/PPSアロイ+ガラス繊維				~	~				
標準PPS	標準PPS+ガラス繊維			×				×		
耐衝撃PPS	高靱性PPS+ガラス繊維		~					×		
超耐衝撃PPS	PPS+エラストマーなど+ガラス繊維							×		
フッ素樹脂コンパウンド	PTFE+ガラス繊維									
摺動性PPS	PPS+PTFE+ガラス繊維			×						
ポリアミドコンパウンド	ポリアミド+ガラス繊維				×	×	×	×		

○：良好、□：標準、△：やや劣る、×：劣る

2.注意事項

- (1) ポリマーアロイについては、金属工学における合金の状態図^[4]のようなものはなかなか見当たらない。状態図における析出、相律による解明などで金属合金とポリマーアロイとはまだあまり近い関係になっていないように見える。
- (2) ポリマーアロイの選択には、成形品の切断面をきちんと採って、電子顕微鏡などで、島相の分散などを確認し、アロイ化しているか、ブレンドにとどまっているのか確認する必要がある。
- (3) ポリマーアロイの種類によっては島相の分散粒子の粒径の好適値に、下限があり、小さければよいとは限らぬことがある。^[3]

出典

- [1] 横田正隆：フッ素/PPS ポリマーアロイの開発とその特徴、プラスチック・エージ、(1997-5)、pp133-136
- [2] [1]により作表
- [3] 木之下正史、丹羽俊夫、柴田欧：変性ポリプロピレンとポリアミドとのポリマーアロイにおける成形品のウェルド強度、成形加工、8(5) pp325-330 (1996-5)
- [4] たとえば草間秀俊、佐藤和郎、一色尚次、阿武芳朗：機械工学概論(第2版)、p24、理工学社(1980)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 先端複合材料 (ACM) の種類

先端複合材料の概要については(17)節で述べた。プラスチック材料ばかりでなくアルミニウムや炭素鋼^[1]などの金属や、セラミックスに炭素繊維、アラミド繊維、ボロン繊維を配合するものである。プラスチック系の ACM である炭素繊維複合材料 CFRP については、すでに記したので、ここではアラミド繊維複合材料、ボロン繊維複合材料について少し細かい補足をしておく。

ただし、このマニュアルの主な対象にしている射出成形以外の成形法による場合があったり、熱可塑性プラスチックを超えて熱硬化性プラスチックとの複合材料に活用されていることが多い。また、先に述べたように、高価なため、軍事用、宇宙用が主で、民生用としては高級スポーツ用品、レジャー用品に用いられている。最近では、アラミド繊維とポリアミド 46 との複合材料^[1]も開発されている。

2. アラミド繊維とその複合材料

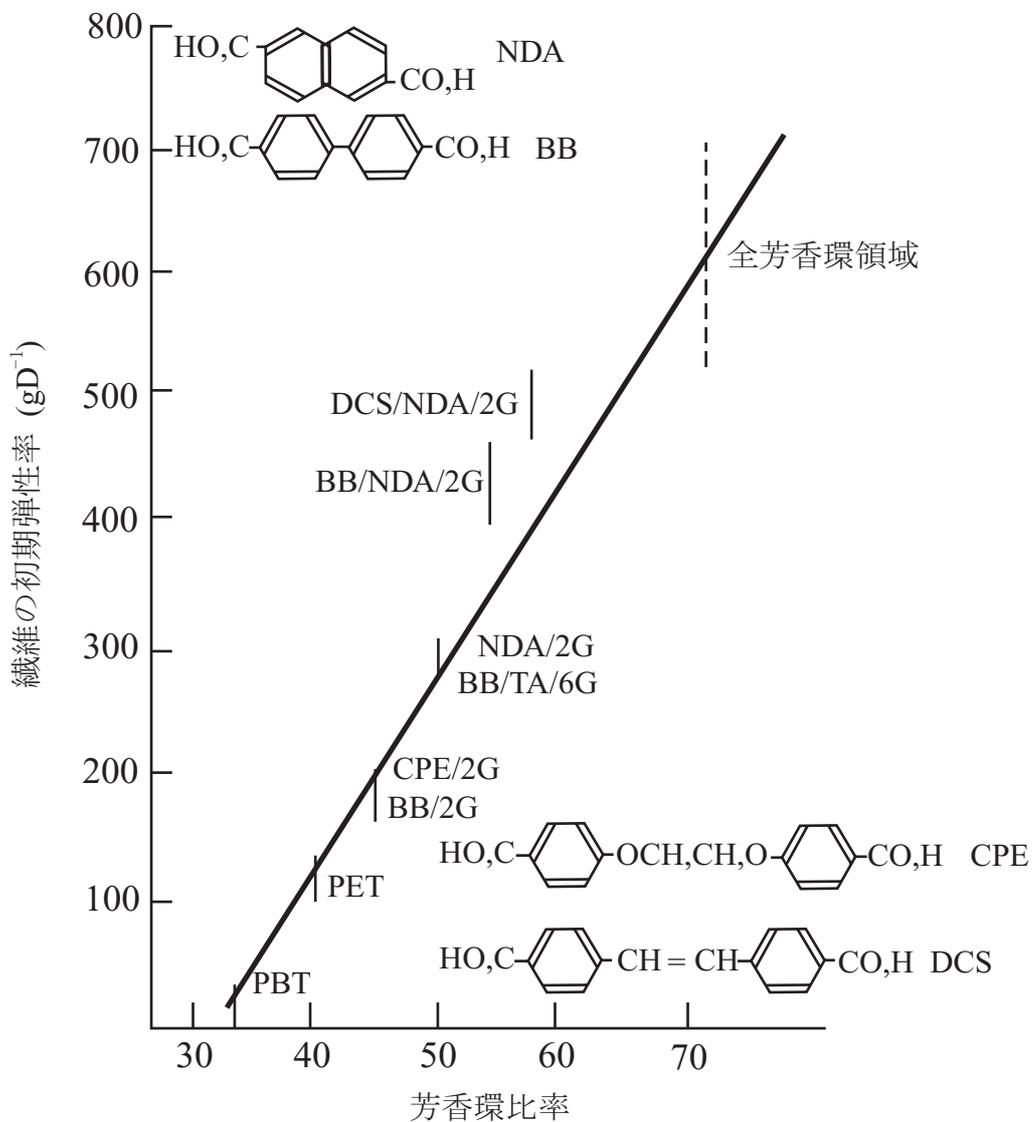
1970 年代のはじめに、DuPont 社が上市したポリ(p-フェニレンテレフタルアミド)(PPTA) 繊維 (Kevlar®) が、在来の剛直性高分子繊維から初めて脱却した高強度高弾性繊維である。このような全芳香族ポリアミドをアラミドと呼ぶ。^[2]

全芳香族ポリエステル系では図 27.1^[2]のように芳香環の比率を高めると高強度高弾性化し、融点も上がり、不溶不融となってしまう。この種の材料の実用化の歴史は融点を下げることにあった。Celanese 社は p-ヒドロキシ安息香酸 (HBA) と 2-オキシ-6-ナフトエ酸 (HNA) の共重合系を生み出した。クラレは Vectran®を、Carborundum 社は HBA、ビスフェノール、テレフタル酸の 3 元系ポリエステルを開発し、住友化学がエコノール®繊維を開発した。また PPTA には沿っているが、第 3 成分として 3,4-ジアミノジフェニールエーテルを共重合して帝人は液晶系ではない高強度・高弾性係数繊維を作った。因みにいくつかの代表的アラミド繊維を表 27.1^[2]に示す。繊維として扱っているので力学量は gD^{-1} 単位になっている。

これらの繊維材料のうち、高強度・高弾性係数の他に耐熱性が要求されることが多いため屈曲性高分子鎖系より、剛直性分子系の方が良いというが、すでに Kevlar はスポーツ用品、宇宙・航空分野で用いられている。全般的に見て、全芳香族ポリエステル系よりアラミド系の方が優位を保っていると思われる。

3. ボロン繊維とその複合材料

実際にボロン繊維といわれるものはタングステン線や炭素繊維を芯材としてホウ素を被覆した複合形繊維である。通電が熱により 1100~1300 となった芯材表面にホウ酸を析出させる CVD (Chemical Vapor Deposit) 法による。ホウ素のみからなる繊維は製造が困難で実現できていない。ボロン繊維の物性値を表 27.2^[3]に示す。エポキシ樹脂との複合材料の力学的物性値を表 27.3^[3]に示す。宇宙航空用材料としては高く評価されているが、高価なため、民生用としてはテニスラケット、釣竿などスポーツ、レジャー用の域をまだ越えてないようである。



PBT: ポリプチレンテレフタレート、PET : ポリエチレンテレフタレート
 TA : テレフタル酸、2G : エチレングリコール、
 6G : ヘキサメチレングリコール

図27.1 ポリエステル繊維の芳香環比率の引張弾性に及ぼす影響^[2]

T.Chung, Polym.Eng.Sci.,26(13)(1986)

(27) アラミド繊維複合材料、ボロン繊維複合材料

表27.1 アラミド繊維 [2]

繊維名	会社名	商品名	化学式	強度 [gD ⁻¹]	伸度 [%]	弾性率 [gD ⁻¹]	融点 [°C]	密度 [g cm ⁻³]
(リオトロピック系)								
PPTA* ¹	Du Pont	Kevlar 29	$\left[\text{NH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{NHCO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CO} \right]$	22	4	500	500* ⁴	1.44
"	"	Kevlar 49	同上 (熱処理)	23	3	1000	500* ⁴	1.45
" (共重合)	帝人	Technora	$\left[\text{NH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3 \text{---} \text{NHCO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \right]_{50} \left[\text{PPTA} \right]_{50}$	25	4.5	570	470* ⁴	1.39
PBT* ²	米空軍		$\left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3 \text{---} \text{S} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{N} \right]$	30	1.4	2700	550* ⁴	1.5
PBA* ³	Du Pont	PRD-49-1	$\left[\text{NH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CO} \right]$	20	2	1000	—	—
(サーモトロピック系)								
ポリアリレート	住友化学	エコノール	$\left[\text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CO} \right]_x \left[\text{CO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C} \right]_y \left[\text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{O} \right]_z$	30.8	2.7	1080	約400	1.40
	クラレ	Vectran	$\left[\text{CO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{O} \right]_x \left[\text{CO} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3 \text{---} \text{O} \right]_y$	23.1	3.7	560	320	1.40
ポリアゾメチン	Du Pont	—	$\left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3(\text{CH}_3) \text{---} \text{N} = \text{CH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{CH} \right]$	44	4.8	1118	255	—
ポリイミド	—	—	$\left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2 \text{---} \text{N} \right]_{35} \left[\text{O} \text{---} \text{C}_6\text{H}_2(\text{O})_2 \text{---} \text{O} \right]_{50} \left[\text{N} \text{---} \text{C}_6\text{H}_3(\text{Cl})_2 \text{---} \text{N} \right]_{15}$	26.1	2.0	1400	—	—

*1 ポリ (*p*-フェニレンテルタルアミド)、*2 ポリ (*p*-フェニレンビスベンゾチアゾール)、*3 ポリ (*p*-ベンズアミド)、*4 分解
 神田 扱馬、第3回次世代産業基盤技術シンポジウム予稿集、p174(1985)；島田 恵造、米良博、繊維学会誌、37(3)、p129(1981)；
 植田 啓三、金丸 龍実、高性能化繊維・フィルムの最先端後援会要旨集、p18(1987)などより

表27.2 ボロン繊維の特性^[3]

特性	B-W	B-C	B ₄ C被覆B-W
直径[μm]	100 140 200	100	145
密度[gcm^{-3}]	2.57 2.49 2.46	2.22	2.27
引張強度 [kg mm^{-2}]	357 357 357	328	400
引張弾性率 [t mm^{-2}]	41 41 41	36	37

AVCO社カタログによる

表27.3 ボロン繊維 - 方向強化エポキシ樹脂複合材の特性^[3]

特性	AVCO 5521/4			AVCO 5505/4		
	室温	82	121	室温	132	190
引張り強度 kgmm^{-2}	154	151	147	154	151	140
引張弾性率 [t mm^{-2}]	22	22	22	22	22	22
圧縮強度 [kg mm^{-2}]	330	193	127	330	193	127
層間剪断強度 [kgmm^{-2}]	10.5	8	6	10.5	6.3	4.5
曲げ強度 [kgmm^{-2}]	193	180	175	193	186	154
曲げ弾性率 [t mm^{-2}]	20	18	17.5	20	18	17
製造条件	AVCO 5521/4			AVCO 5505/4		
繊維含有率 [%]	33 \pm 2			33 \pm 2		
揮発分 [%]	1			1.5		
幅交差 [cm]	0.05			0.05		
フィラメント数 [cm^{-1}]	528 ~ 533			528 ~ 533		
プリプレグ硬化 []	121 ~ 177			121 ~ 177		
成形圧力 [kgcm^{-2}]	3.5 ~ 6.0			3.5 ~ 6.0		
成形時間 [min]	60			90		

AVCO社カタログによる

4.注意事項

- (1) 炭素繊維、アラミド繊維の熱膨張係数は負なので、プラスチック材料との配合比を適当に選べば熱膨張係数が0の材料が作れる。宇宙空間アンテナ、工作機械、測定機器に有効な材料ができる。
- (2) この節で述べた複合材料は民生用実用例、使用量とも多くはないが、成形部品設計者としては、その長所を念頭におき、製造価格を検討して材料メーカーとともに、実用化を覗える一つの着眼点であると考え。

出典

- [1] 大野禎史、川瀬領治、三田村賢治、河西和雄：ポリアミド4-6 樹脂<Stanyl>の特性と応用展開、プラスチックスエージ(1998-2)、pp140-145
- [2] 高分子学会編：高分子新素材便覧、pp585-586、丸善(株)(1989)
- [3] [2]のpp463-464

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. ポリアミド 4・6

エンジニアリングプラスチックはすでにまとめて述べたが、材料の開発という観点から、ポリアミド 4・6 を取り上げる。ABS 樹脂でポリマーアロイが始まったように、エンブラはポリアミドに始まるといえる。

ポリアミドは主鎖にアミド結合(-CONH)が繰り返しあらわれる線状高分子である。Carotlcrs が 1938 年にナイロン®6・6 繊維を作り、1939 年に東レが溶融紡糸を作り、1961 年に、Polypenco 社が大形成品を作っている。^[1]

現在屢々使われるポリアミドは表 28.1^[2]の通りで名称内の番号もよく理解できよう。ポリアミド 4・6 の特徴は表 28.2^[2]のように要約でき、ポリアミドの代表的な物理的性質は表 28.3^[3]の通りでポリアミドの構造によって、アミド基濃度、融点が図 28.1^[3]のように変わる。

1988 年^[4]にポリアミド 4・6 は Dutch Petrochemical Giant DSM 社から発表され、1990 年^[5]より工業生産が開始された。わが国では 1986 年頃^[6]より紹介され始め、1991 年^[7]に学会で疲労特性などが報告されている。

他のエンブラと物性を比較すれば、表 28.4^[3]に示すように引張り、曲げの強さが大きく、摩擦摩耗特性、熱的特性にすぐれている。この材料の成形品設計はポリアミド 6・6 と同じと言われているが、小物の場合に特長を発揮する。液晶ポリマーについて流動性がよく、PPS (ポリフェニレンサルファイド) についてバリが出にくいいためである。参考までに衝撃値のデータを図 28.2^[3]示す。主な成形品例は図 28.3^[2]の通りである。この材料が市場に浸透するのが遅かったのは、吸水率が高いうえ、薄物の成形が難しかったためと言われている。また、充填性はよいがガス焼け、シルバーが発生し易い。成形制御、金型技術、成形技能の向上によってこの材料は普及浸透した。

表28.1 各種のポリアミド^[2]

名称		融点 ()	100%RHにおける 平衡吸湿量(%)
ポリアミド4	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_3 \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	-	>10%
ポリアミド6	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_5 \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	215	10%
ポリアミド11	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	186	1.9%
ポリアミド12	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	175	3%
ポリアミド4・6	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	295	12% (注)
ポリアミド6・6	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	255	9%
ポリアミド6・10	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	215	4.5%
ポリアミド6・12	$\left[\begin{array}{c} \text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]_n$	206	3%

(28) ナイロン4・6

表28.1 ポリアミド4・6と各種エンジニアリングプラスチックの物性比較^[3]

() の性質は吸水時の物性

性質	物性	単位	ナイロン 4・6	ナイロン 6	ナイロン 6・6	PBT	POM	PC	変性 PPE	ポリサル ホン	PAR	PPS	PAI
力学的 性質	引張り強さ	kg/cm ²	1020(700)	820(380)	830(500)	550	660	610	660	720	715	670	1900
	引張り破断伸び	%	50(>200)	140(>200)	60(>200)	>200	50	110	60	70	60	1.6	12
	曲げ強さ	kg/cm ²	1460(500)	1050(500)	1150(700)	810	910	920	900	1000	800	980	2160
	曲げ弾性率 (×10 ³)	kg/cm ²	32(12)	26.5	29.5(15.5)	24	27	22.5	25	27	19	39	46.7
	アイゾット衝撃値 (ノッチ付き)	kg・cm/cm	9(40)	4.5	5.5	4.5	7	95	27	7	20	2.5	13.8
	ロックウェル硬度		R121(R102)	R120	R120	R119	R115	R120	R118	R120	R125	R123	E91
	テーパ摩耗	mg/10 ³ 回転	4	7	7	8	14	13	20				12
	摩擦係数 (対銅)* p=1kg/cm ² , v=6cm/s	-	0.35	0.4	0.32	0.42	0.25	0.5	0.49	0.52	0.49		-
熱的 性質	融点		295	224	260	224	180	246	-	-	-	285	-
	熱変形温度 (18.6kg/cm ²)		220	64	80	60	110	135	129	174	175	138	274
	線膨張係数	10 ⁻⁵ /	8	9	9	9	10	5.6	6			2.5	4
電気的 性質	体積固有抵抗	・cm	10 ¹⁵	10 ¹⁵ (10 ¹²)	10 ¹⁵ (10 ¹²)	10 ¹⁶	10 ¹⁴	4×10 ¹⁶	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶
	絶縁破壊強さ	kV/mm	24(24)	20(4~5)	23(13~14)	17	20	16	20	17	34	15	23.6
	誘電率(10Hz)	-	4	4~5(15)	3.1(15)	3.2	4	2.85	3	3.1	3	3.1	3.4
	耐アーク性	s	121	180~190 (同)	180~190 (同)	180	240	120	75	39	130	-	0.006
その他	比重	-	1.18	1.14	1.14	1.31	1.41	1.2	1.05	1.24	1.21	1.34	1.4
	吸水率	%	(4.0)	(3.5)	(2.8)	0.1	0.22	0.15	0.07	0.3	0.25	0.02	0.19
	燃焼性	-	94V-2	94V-2	94V-2	94HB	除燃性	94V-2	自消性	94HB~ 94V-0	94V-2	94V-0	94V-1

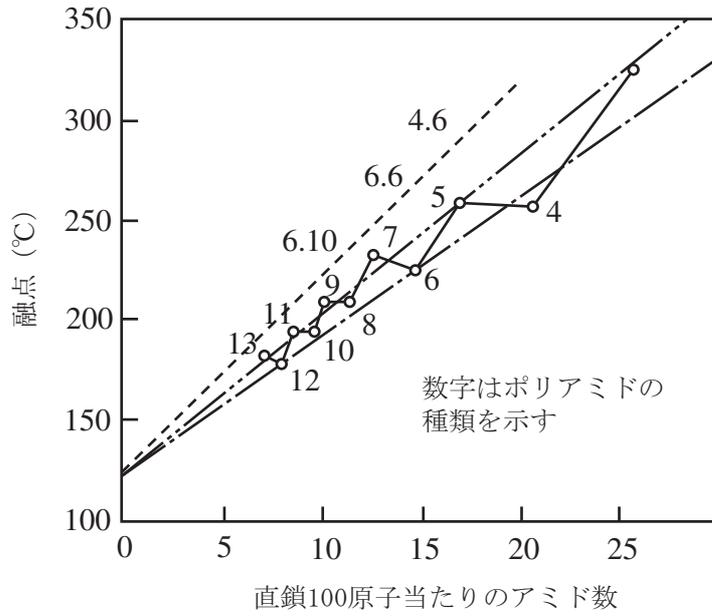
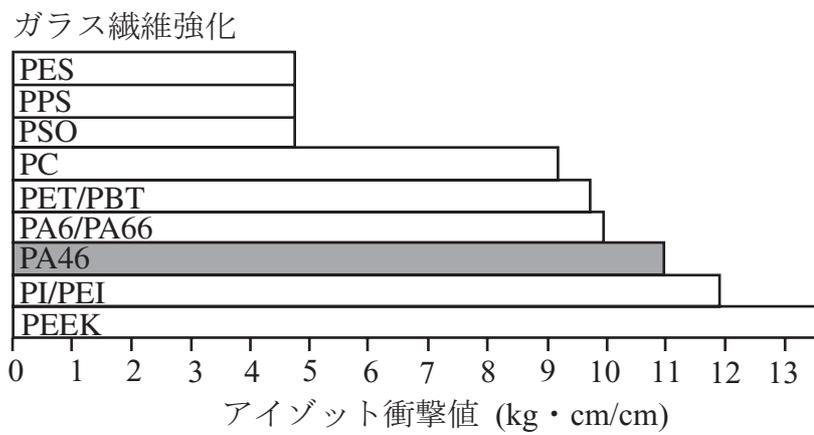
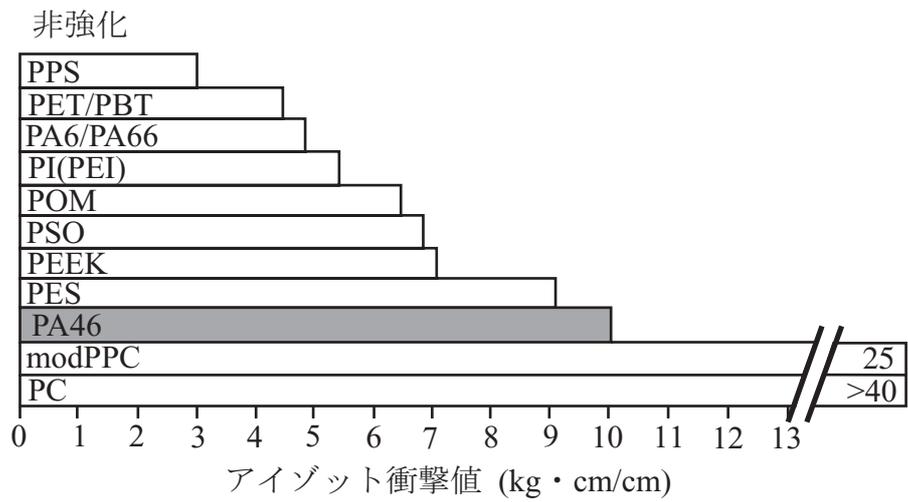


図28.1 アミド基濃度と融点^[3]



注) 表28.4と数値に差があるのは測定誤差による

図28.2 アイゾット衝撃値 (ノッチ付)^[3]

活用される物性	適用グレード	成形品例
高温剛性	汎用・低粘・無変成・ガラス繊維30%	コイルボビン、リレー
靱性		
耐クリープ性	汎用・低粘・難燃性・ガラス繊維30%	SMT用コネクタ
高撓動性	耐熱性・標準粘度・無変成・無補強	チェーンテンショナー/ガイド
高温耐油性		
はんだ耐熱性	耐熱性・低粘・無変成・ガラス繊維(20~30%)	ベアリングリテーナ
耐久性	汎用・低粘・無変成・ガラス繊維30%	スイッチノブ
成形性		

2.注意事項

- (1) 日本では、帝人、ユニチカ、日本合成ゴム(JSR)の各社が DSM 社と個別に提携し、ベースレジンの供給を受け、成形コンパウンドを製造販売していた。社会状況の変化に伴い1997年4月1日に、DSM JNR エンジニアリングプラスチック(株)が設立され、製造供給ルートが一括化された。成形部品設計者は、材料選定にあたり、材料の周辺事情まで十分承知することが必要である。
- (2) この材料の普及には成形技能の向上に負うところが大きい。

出典

- [1] 小林昭：プラスチック構造材料(4版) p54、(株)工業調査会(1972)
- [2] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第4回)型技術、13(5) pp96-99(1998-4)
- [3] 日本合成ゴム(株)カタログ：新しいエンジニアリングプラスチック、ナイロン46樹脂、JSR、Stanyl®、(1996-3 k - 310)
- [4] Design Engineering、Jan . 1988、pp33 - 44
- [5] デーエスエム ジェイエスアール エンジニアリングプラスチック(株)ポリアミド4・6樹脂 stanyl®、全2頁の第1頁
- [6] 堀：オランダのDSM社とナイロン46樹脂で提携、ポリマーダイジェスト(1986-6)
- [7] 河西、土川、鈴木：ナイロン46樹脂の疲労特性、日機69期講論集 Vol . A、p7(1991)

§ 3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 液晶ポリマー(LCP)の意義

高温耐熱性、耐溶剤性と精密成形性にすぐれ、形状によっては 0.1 ~ 0.2mm の薄肉成形が可能なので着目されているプラスチック射出成形材料に液晶ポリマーがある。この特長を活かしてファインピッチのコネクター、ソケットなどの SMT に用いる部品に多く採用されるようになってきた。

液晶とは液体のような流動性と固体のような分子配向の規則性を持つポリマーと定義されている。^[1]液晶にもいろいろあって、射出成形に用いられる液晶に図 29.1^[2]に示される高分子液晶の中のサーモトロピック液晶と呼ばれるものである。液晶の概要を表 29.1^{[3][4]}に示す。液晶の開発は他のエンジニアリングプラスチックにくらべて歴史が浅く、構造式等は各社のノウハウになっていて、完全な姿で公表されているものは少ない。

2. 液晶の分類と特徴

日本では、表 29.1 の中の C_6H_4 、 C_6H_2 形のように耐熱性で分類されている。ベンゼン環が棒状に連なった分子鎖を持つ C_6H_4 形が最も結晶化しやすく耐熱性が大きい反面、流動性、成形性は C_6H_2 形には及ばない。

C_6H_4 形の中心に荷重たわみ温度が 300 を超えるものもある。 C_6H_2 形にはガラス繊維などを配合して荷重たわみ温度を 200 から 240 に引き上げているものも少なくない。

液晶ポリマーでは主鎖には反応原料の種類を変えたり、側鎖分子を付加したりしてポリマーに特長を持たせる工夫をして、次々と高まる顧客の要求に応じる努力を続けている。国内の材料メーカーから上市されている商品グレードを表 29.2^[3] に示す。日本石油化学(株)のカタログ^[5]ならびに比較的最近の解説論文^[3]によれば同社の LCP の特徴は表 29.3^[3]の通りである。

分子構造的にみれば C_6H_4 形は、剛直分子メソゲンが PHB (パラヒドロキシ安息香酸)中心にビフェノール、テレフタル酸その他により構成されており、メソゲンとエステル結合だけで結ばれている。これを全芳香族 LCP という。メソゲンの間にメチレン基等の脂肪族があるものを半芳香族 LCP という。構造式を比較すると図 29.2^{[6][7]}のようになる。武田はこの二者を物性、充填性能から比較している。^[7]それを表にまとめると表 29.4^[7]のようになる。

各種ポリマーの溶融同化の形態を模式的に示せば図 29.3^[7]の通りである。そして液晶ポリマーは図 29.4^[7]のように剪断速度が上がると急速に溶融粘度が下がる。その具体例を図 29.5^[7]に示す。高速充填すると他のプラスチックより粘度低下が著しく、流動性が優れる。成形機に対してはそれなりの配慮^[8]が必要であるが、固化速度が非常に速く、流動性がよいのにバリが出にくい。

表29.1 LCPの概要^{[3][4]}

項目	内容
上市	1980年代半ば、ただし市場に受け入れられるに数年を要した
名称の由来	溶融時に液晶(Liquid Crystal)状となるため(分子構造による命名ではない)
分子構造の系統	ポリエステル系、パラピロキシ安息香酸をもつ 全芳香族系と半芳香族系とがある。
構造上の特徴	主鎖が直線性の高い分子骨格で、棒の詰まった壊れやすい箱の集まり、因みに、一般的なポリマーは絡み合った分子鎖で構成される
分類	加重たわみ温度(DTUL)タイプ、 に分ける

表29.2 LCPのメーカーと商品グレード^[3]

区分(耐熱レベル)	加重たわみ温度(DTUL)	樹脂メーカーと商品グレード							
		住友化学工業	日本石油化学	三菱エンジニアリングプラスチック	ポリプラスチック	上野製薬	東レ	ユニチカ	出光石油化学
-a	270~350	スミカスーパーE5000 E4000	ザイダーRC PC 400	-	-	-	-	-	-
-b	240~270	スミカスーパーE6000	ザイダー300 500	ノバキュレートE345G30	ベクトラA B C E	UENOLCP2000	L204G45 L204A35 L204G35H	-	-
	180~240	スミカスーパーE7000	-	-	ベクトラA B	UENOLCP1000	-	ロッドラン5000	出光LCP200
	60~180	-	-	ノバキュレートE310	-	-	-	ロッドラン300	-

(29) 液晶ポリマー

表29.3 LCPの主な特徴（日本石油化学）^[3]

長 所	短 所
<p>射出成形性がよい</p> <p>熱可塑性樹脂の中でも最も耐熱性が優れている</p> <p>薄肉になるほど単位厚さ当たりの強さ、弾性係数が大きくなる</p> <p>成形収縮率、線膨張係数が小さい</p> <p>振動が伝わりにくい</p> <p>添加難燃剤なしでUL-94V-0である</p> <p>耐薬品性が優れている</p> <p>絶縁耐力高く、対アーク性が優れている</p> <p>誘電率の温度依存性が少ない</p> <p>GHz帯の誘電率が小さい</p>	<p>ウェルド部（湯境）が弱い</p> <p>スキン層の分子配向方向には力学的に強いが、これと直角方向には弱い</p> <p>収縮率も分子配向方向依存性が大きい</p> <p>表面がはがれやすく、表面粗さもよい方ではない</p>

表29.4 2つのLPCの物性の違い^[7]

全芳香族LCP	半芳香族LCP
<ul style="list-style-type: none"> ・低吸水性 ・高流動性 ・中耐熱性 ・優れた熱安定性 ・高い寸法安定性 ・優れた耐薬品性 ・低線膨張係数 ・V-2レベル ・振動減衰性 ・中ウェルド強度 	<ul style="list-style-type: none"> ・低吸水性 ・高流動性 ・高耐熱性 ・優れた熱安定性 ・高い寸法安定性 ・優れた対薬品性 ・低線膨張係数 ・難燃性（V-0等） ・高い振動・減衰性 ・低ウェルド強度

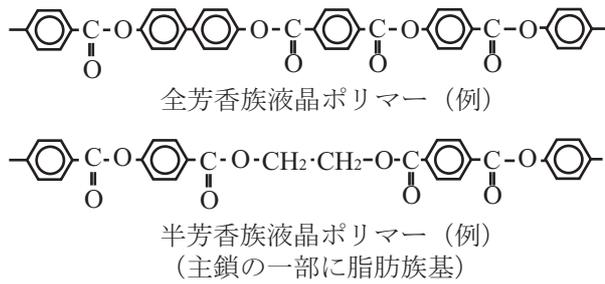


図29.2 全芳香族LCPと半芳香族LCPの分子構造の違い^{[6][7]}

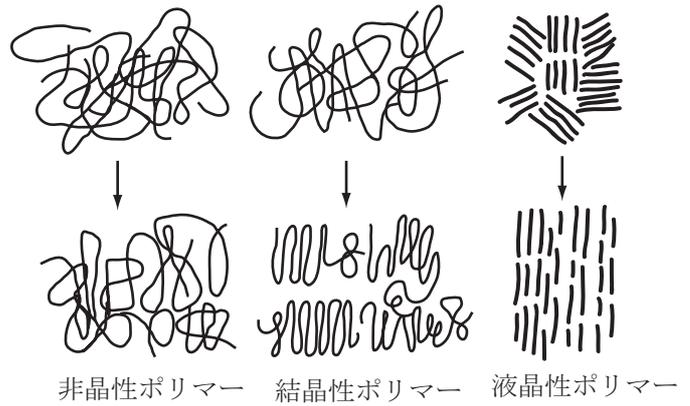


図29.3 各ポリマーの溶融固化の形態^[7]

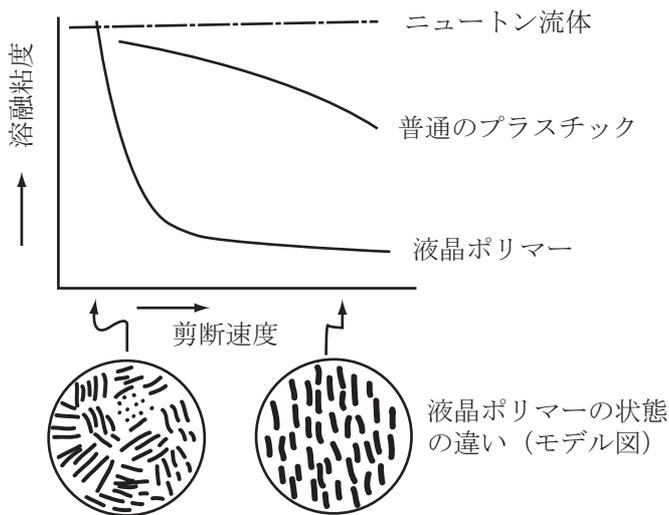


図29.4 液晶ポリマーの剪断速度と溶融粘度^[7]

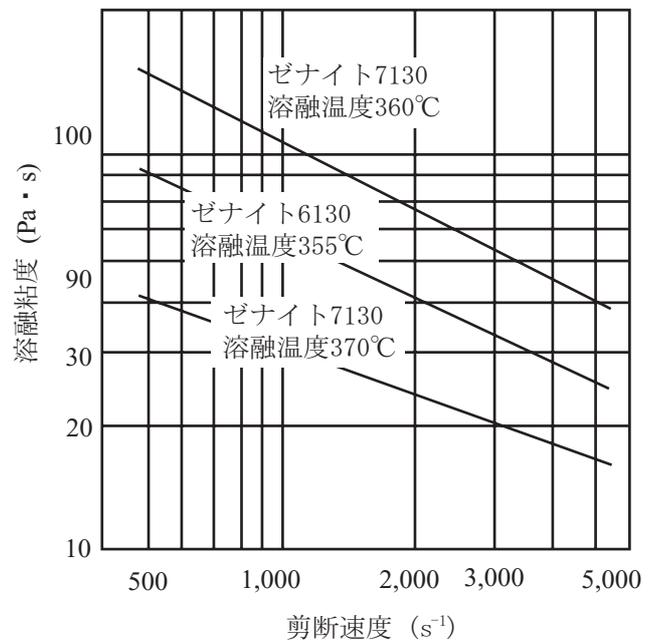


図29.5 溶融粘度対剪断速度^[6]

3. 注意事項

この種の材料は新進なだけに変転が激しい。適用にあたっては、構造式、添加物など可能な限り情報を集めておくことが大切である。

出典

- [1] 金沢修治：新素材ガイド；液晶ポリマー、日経メカニカル、1990-2-19、p192
- [2] 同上のpp192-194の要点を作表
- [3] 川口淳：材料特性と金型設計・LCP、型技術、12(10)pp50-55 (1997-9)
- [4] エンプラ連絡会：新エンプラの本改訂版、第3刷、p9 (1996-7)
- [5] 日本石油化学(株)カタログ；液晶ポリマー、ザイダー(706, 3000)
- [6] Du Pont Technical Report '96-'97
- [7] 武田敏比古：薄肉成形品への液晶ポリマーの展開；成形加工、10(12)pp943-948(1998・12)
- [8] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第4回)、型技術、13(5)pp98-102(1998-4)

§ 3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 熔融材料の流動性

熔融した材料が成形金型の空洞内に充填されて、その内面形状を正確に転写するには、先ず細部まで流れ込む必要がある。プラスチック材料の物性の中に、成形品となった後の物性に係わるものと成形できるための成形性があり、流動性は成形性の一つである。

ここでは簡単に流動性に関連するいくつかのことを説明する。

流動性は簡易的には図 30.1^[1]に示す流動比 L/t で評価される。多くの場合、 L にはスプルー、ランナーを含め、実成形品から L/t を求めるときは流動経路を推定して L を算出する。流動性の程度を見るためのものであるから成形品の形状、厚さ t 、成形条件などによって変わるが大きな問題になる性質ではない。大観把握、類似想定のためである。よく紹介されている値を図 30.2^{[2][3]}に示す。

少し、きちんと考える時はスパイラルフロー試験片で L/t を求める。一定の断面積をもつ螺旋状の試験片を成形して螺旋の長さ L を測る。螺旋状の平面形状、断面形状（丸・角、かどの丸味、キャビティ・コアの片側か、両側に跨るか等）、螺旋末端のガス抜き形状などで様々の試験片があり得る。

現在最も権威あるものとされているのは JIS7210-1976 に規定されているメルトフローレート MFR 値（メルトフローインデックス MI 値ともいう）で示す方法で、多くのカタログではこの方法を採用している。

加熱シリンダーに定量の材料を入れ、所定の温度、圧力でシリンダー下部より熔融材料を 10 分間押し出し、その量をもって表す。この場合には同一実部品を成形して MFR 値とショットの具合との関係を見ておくことが必要である。

2. 成形品の最小厚さ

LCP の節でみたように、熔融粘度も重要で、この値が小さいほど、薄肉成形ができる。 L/t 、MFR 値から、流動長さを指定すれば成形品厚さ t が求まる筈である。しかし、成形品の形状や成形条件の影響が大きく、簡単に相似則は見出し難いから、CAE の流動解析の結果と、十分な確認実験の結果、最小肉厚は決定できる。

3. フローフロントと成形品表面状況

現在、成形用金型からの成形品の転写性及び表面不良現象の多くは、フローフロントの様態から説明されることが多くなった。フローフロントは文字通り熔融材料の流動過程の先端であって、フローフロントのファウンテン現象^[4]によって成形品表面のスキン層が形成されるからである。シルバーストリーク、フローマークなどの発生機構を図 30.3^[4]、図 30.4^[4]、図 30.5^[4]に示す。

4. ウェルドラインにかかわる事項

ウェルドラインは成形時に熔融材料の 2 つ以上の流れが会合（合流）する部分にできる細い線である。^[5]その発生メカニズム、防止法、ウェルド部の強さの低下、ウェルド部に対するスリット穴の影響については、プラスチック成形用金型（その 1）- 金型の製作一の中ですでに述べた^[5]のでここでは省略する。金型からの転写性に関連してマイクロフローマークについては（55）節で述べる。

(30) 溶融材料の流動性

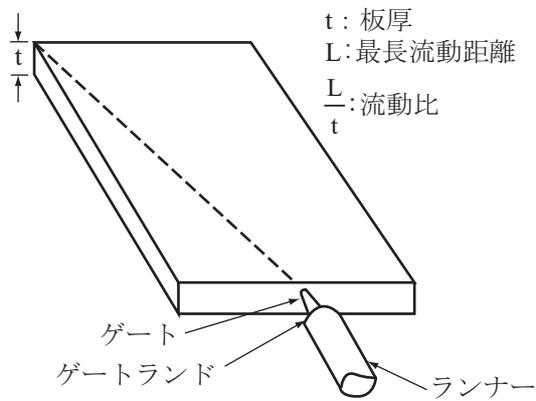


図30.1 流動比^[1]

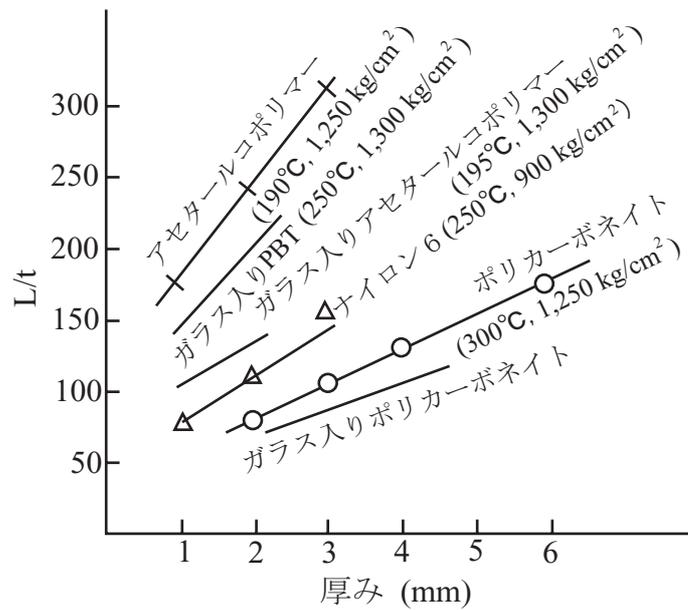


図30.4 エンジニアリングプラスチックの流動比 L/t ^{[2][3]}

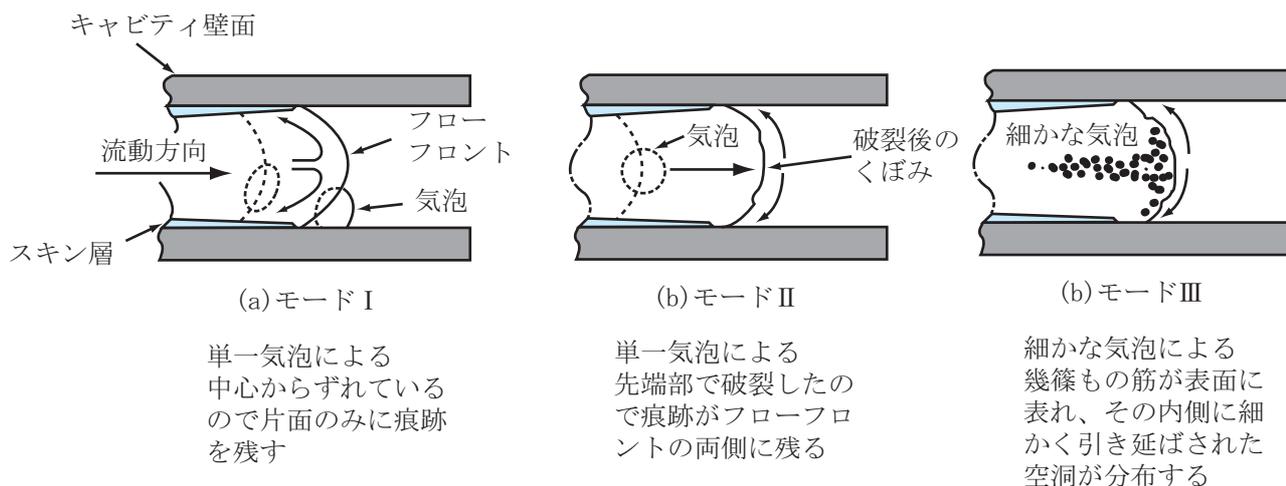


図30.3 シルバーストロークレーク生成機構の模式図^[4]

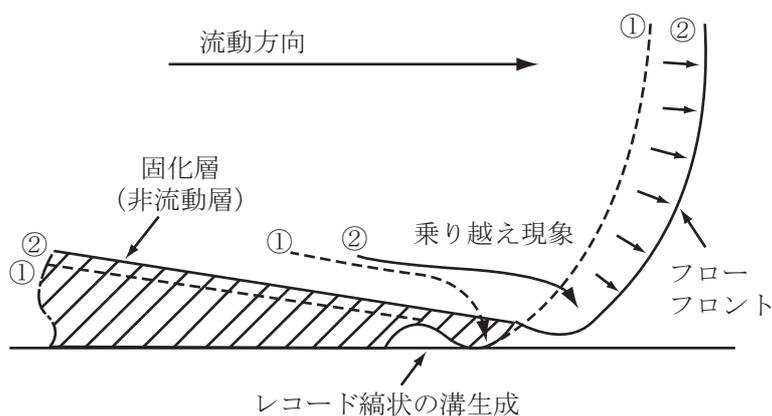


図30.4 レコード縞状のフローマークの発生機構模式図^[4]

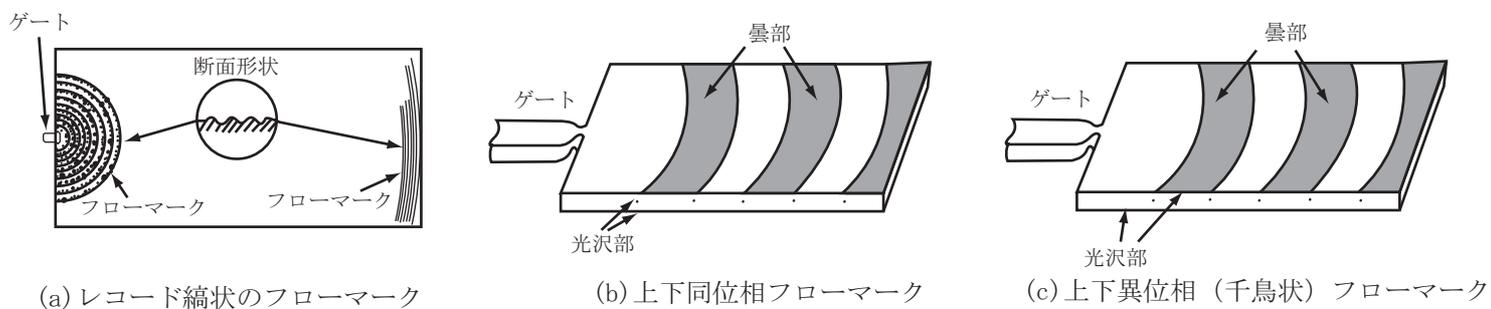


図30.5 各種フローマーク^[4]

5.注意事項

成形現場では上記のような細かい観察・考察をほとんどしていないといえよう。高品質化を図るには、このような着眼点を浸透させる必要がある。

出典

- [1] 構造計画研究所・モールドフロッージャパン(株):プラスチック成形の基礎知識および成形シミュレーションの実践講座セミナー資料 1、p12 (1998.9.1)
- [2] 瀬戸正二監修：射出成形(第 8 版)、p121、プラスチックスエージ社(1977)
- [3] 高野菊雄：工業材料, 21(2)p2(1975-10)
- [4] 横井秀俊：射出成形品の表面不良現象と対策、成形加工、6(2)pp100-103(1994-2)
- [5] 中小企業事業団：プラスチック成形用金型(その 1) - 金型の製作 -、pp33-40 (1999-5)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 短所・長所の確認

- (1) プラスチックの長所を活かし、短所を補える材料を選び設計する。プラスチック材料と金属の比較を(9)節表 9.4 に示した。プラスチック材料固有の物理的性質の活用その他、軽量化、部品複合化による部品数削減、組み立て、解体の削減、省力を考えて、この材料を巧みに活用する。
- (2) 実際の材料選定のプロセスをまとめると図 31.1^[1]のようになる。図には省略されているが、副次的な性能、期待しない副作用、安全・製造プロセスにおける無毒性、廃棄物処理、トータルコストなども検討しなければならない。
- (3) この際の際の要領は図 31.2^[1]に示すようにするとよいと考える。その際考えるべきことは表 31.1^[1]に示すような特性項目である。
- (4) 光ディスク用プラスチック材料の選択の要件を成形機の要件と合わせて記したものがあるのでこれを表 31.2^{[1][2]}に転載しておく。

2. 成形品の力学的配慮

成形品の強さ、品質については(15)節表 15.1 に示した。使用環境に耐え、実用的な強さを持ち、荷重に対する変形を検討するには成形品の力学的配慮が必要である。

このためにプラスチックと金属の力学的性質の差を大掴みに理解しておくことが重要である。常温において常識的な比較をすると、表 31.3^[3]のようになる。概ね比重は 1/3 以下、引張り強さは 1/5 ~ 1/10、比強さは 2 倍、縦弾性係数は 1/20、比剛性は 1/6 程度と見当をつけておくと速断するのに便利である。但し、特別な使用環境にあっては特に検討吟醸が必要である。

因みに、金属たとえば鋼は零下数十度から 100 前後まで強さも弾性係数もほとんど変わらず、広い範囲で同じ材料力学的計算をしても大きな問題を生じることが少ない。しかし、プラスチックでは金属のように広い温度範囲では使えないことは、図 31.3^[4]、図 31.4^[4]を比較すれば明らかである。

具体的な力学的特性は後述するが力学的短所を補うポイント^[3]を下記しておく。

- (1) 高剛性の補強 - 材料と成形品設計
- (2) 静的強さの補強 - 材料特性値の理解のしかた、表面クラック
- (3) 衝撃値に対する検討
- (4) クリープによる破壊
- (5) 劣化による破壊
- (5) 成形による強さ低下

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 短所・長所の確認

- (1) プラスチックの長所を活かし、短所を補える材料を選び設計する。プラスチック材料と金属の比較を(9)節表 9.4 に示した。プラスチック材料固有の物理的性質の活用その他、軽量化、部品複合化による部品数削減、組み立て、解体の削減、省力を考えて、この材料を巧みに活用する。
- (2) 実際の材料選定のプロセスをまとめると図 31.1^[1]のようになる。図には省略されているが、副次的な性能、期待しない副作用、安全・製造プロセスにおける無毒性、廃棄物処理、トータルコストなども検討しなければならない。
- (3) この際の際の要領は図 31.2^[1]に示すようにするとよいと考える。その際考えるべきことは表 31.1^[1]に示すような特性項目である。
- (4) 光ディスク用プラスチック材料の選択の要件を成形機の要件と合わせて記したものがあるのでこれを表 31.2^{[1][2]}に転載しておく。

2. 成形品の力学的配慮

成形品の強さ、品質については(15)節表 15.1 に示した。使用環境に耐え、実用的な強さを持ち、荷重に対する変形を検討するには成形品の力学的配慮が必要である。

このためにプラスチックと金属の力学的性質の差を大掴みに理解しておくことが重要である。常温において常識的な比較をすると、表 31.3^[3]のようになる。概ね比重は 1/3 以下、引張り強さは 1/5 ~ 1/10、比強さは 2 倍、縦弾性係数は 1/20、比剛性は 1/6 程度と見当をつけておくと速断するのに便利である。但し、特別な使用環境にあっては特に検討吟醸が必要である。

因みに、金属たとえば鋼は零下数十度から 100 前後まで強さも弾性係数もほとんど変わらず、広い範囲で同じ材料力学的計算をしても大きな問題を生じることが少ない。しかし、プラスチックでは金属のように広い温度範囲では使えないことは、図 31.3^[4]、図 31.4^[4]を比較すれば明らかである。

具体的な力学的特性は後述するが力学的短所を補うポイント^[3]を下記しておく。

- (1) 高剛性の補強 - 材料と成形品設計
- (2) 静的強さの補強 - 材料特性値の理解のしかた、表面クラック
- (3) 衝撃値に対する検討
- (4) クリープによる破壊
- (5) 劣化による破壊
- (5) 成形による強さ低下

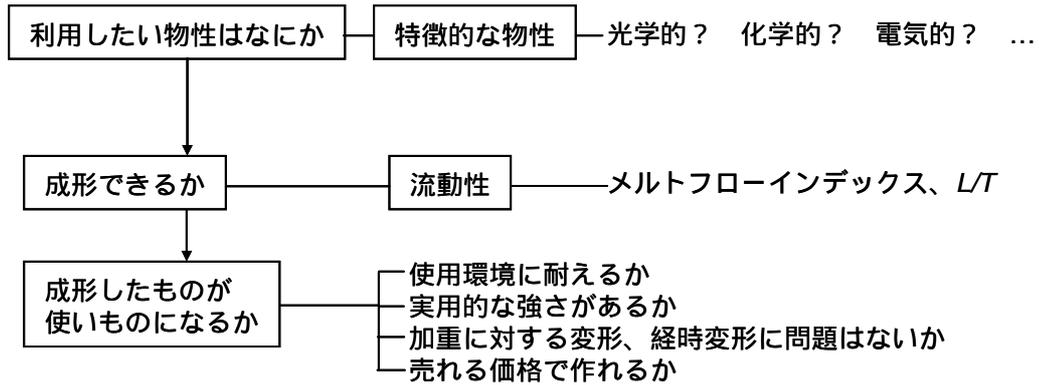


図31.1 材料選定のプロセス

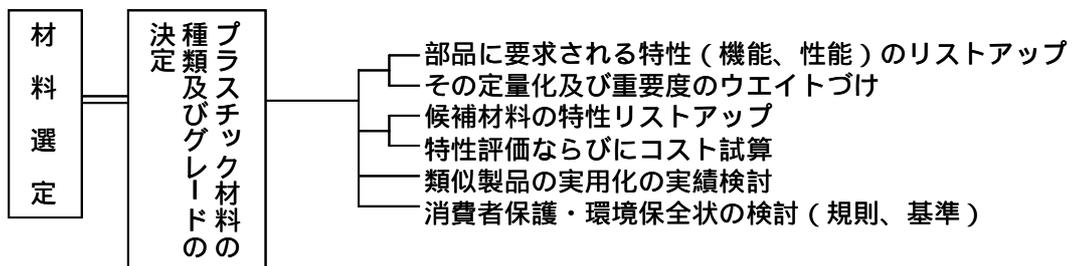


図31.2 材料選定の実施要領^[1]

表31.1 材料選定のポイント^[1]

区分	
1 初期物性	破壊強さ、破壊時の変形、衝撃強さ、剛性、硬さ、熱変形温度、熱膨張、絶縁抵抗、誘電損失、難燃性
2 物理的耐久性	クリープ変形、クリープ破壊、応力緩和、疲労破壊、摩耗、寸法変化、耐コロナ、トラッキング
3 化学的耐久性	熱劣化、紫外線劣化、耐水（湿）性、耐溶剤性、耐薬品性
4 耐環境性	温度範囲、湿度、周囲ガス、周囲物質、接触物質、電界強度、期待寿命
5 加工性	粘性、流動性、硬化性、（熱硬化）、成形サイクル、外観、寸法精度、成形収縮、異方性、残留応力、バリ、離型性、塗装性、印刷性、メッキ性、切削性、接着性、セルフタッピング性
6 その他	毒性、廃棄性
7 価格	体積価格、材料歩留まり

(31) 商品設計と材料選択

表31.2 光ディスク用プラスチック材料と成形機（塚原）^{[1][2]}

光ディスク用円板（成形品）特性	材 料	成 形 機
転写性がよいこと	流動性がよいこと	材料を均一に溶解すること 高速射出すること 高剛性で、偏加重を生じないこと
反り変形が小さいこと		
寸法（特に厚さ）が一定であること		
内部応力が小さいこと		
透明で光透過率が高いこと	左に同じ	
変色しないこと	加熱溶融時に変色しないこと 複屈折率が小さいこと	
ゴミの混入がないこと		成形機、周辺機器設備環境を整備

表31.3 大づかみにみたプラスチック^[3]

	比重	引張り強さ(kgf/cm ²)	比強さ	縦弾性係数(kgf/cm ²)	比剛性
プラスチック材料 (ガラス繊維強化を含む)	1~2	$(5\sim 8) \times 10^2$	$(4\sim 7) \times 10^2$	$(1\sim 10) \times 10^4$	$(1\sim 10) \times 10^4$
常用金属材料	2.5~7	$(30\sim 50) \times 10^2$	$(3\sim 5) \times 10^2$	$(5\sim 210) \times 10^4$	$(7\sim 30) \times 10^4$

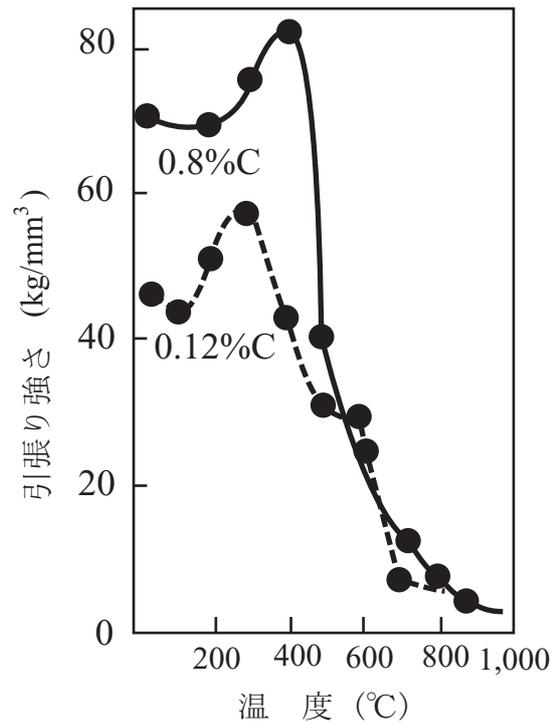


図31.3 炭素鋼の引張り強さと温度との関係^[4]

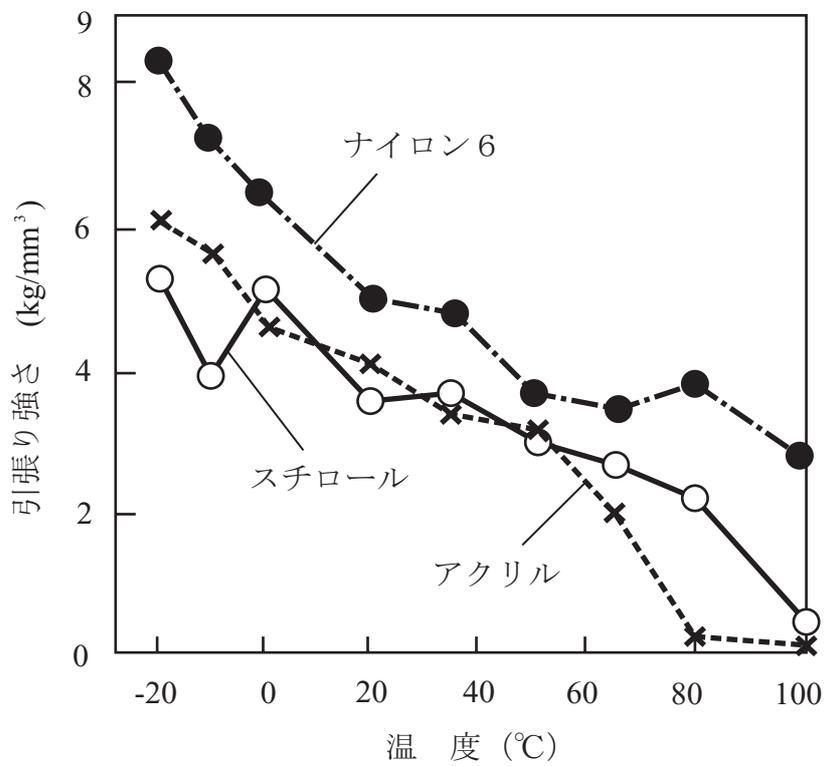


図31.4 プラスチックの引張り強さと温度との関係^[4]

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

材料選定の注意事項をまとめると次の9箇条になると思う。^[1]

1. 使用目的を明確にせよ

使用時の状態を事前によく検討し、効果的に活用する。

プラスチックのどんな物性を利用しようとしているのか。

有効に利用できる見通しがあるか。

他の材料に比較して確かにプラスチックがよいのか。

2. 副次的な性能も確認せよ

候補に上った材料については利用しようとする物性の他に、他の物性についても検討し、不測のトラブルを起こさないようにする。

自重や、荷重に対する強さは大丈夫か。強さ、剛性、耐クリープ性、応力緩和、耐摩耗性、耐疲労性など

周囲環境に耐えるか。耐水性、耐油性、耐薬品性、耐熱性、耐湿性、耐汚性(たとえば口紅、油脂など)、耐光性、耐ストレスクラック性、耐汚染空気性など

毒性、公害上の心配はないか。難燃化のための添加物、顔料中の鉛、カドミウムなどの添加物の毒性の有無。廃却時の生成物処理性は大丈夫か。

従来使用していた材料の場合に、無意識に期待していた特性が不測のうちに損なわれていないか：透明性、重量感、断熱性、電磁遮蔽性など。

3. カタログを正しく理解すること

諸物性値は個々の物性試験値のチャンピオン・データであることが多く、一個の成形品で、いくつかの物性値を同時にカタログ通りには実現しがたい。

個々のチャンピオン・データも上手に成形しないと実現できにくい。

測定データは試験方法、試験片、試験機によって異なる。同一条件の測定値でないと比較できない。試験片の寸法その他、ゲート位置によるウェルド(湯境)の発生状況、保存・調質の方法によって、測定結果はかなり変わる。

従来の衝撃値の測定法は、相対比較には有用だが、異なる測定法によるデータの換算法は確立されていないので、厳密には比較できない。

いわゆる熱変形温度(HDT)は材料の耐熱性の相対比較の尺度であって、耐熱温度そのものではない。実用時の応力を考慮すること。(付記) HDT はプラスチックの耐熱性を示すアメリカの規格 ASTM648 に定められているもので、スパン 100mm の中央部の曲げ応力がプラスチック材料の種類及び試験片の厚さに応じて 4.6kg/cm²、または 18.6kg/cm² になるように、中央部に荷重を加えて昇温し、たわみが 0.25mm に達した時の温度である。但し、試験片断面は幅 3.0~4.2mm × 高さ 9.8~12.8mm である。加えられる応力が異なればたわみが 0.25mm になる温度も異なる。

カタログ値は物性の初期値であって、劣化によってどこまで低下するかを示している例は少ない。

耐候性のデータはウェザメータで暴露後の強さを示しているものが多い。この値と実際の屋外放置との関係は、現状では明らかでない場合の方が多い。類似事例の比較結果を参照することが望ましい。

4. 製品による試験を重視せよ

材料の溶融・流動・固化の過程からみて、標準試験片では製品そのものをシミュレートできない。最終的には製品そのもので試験することが必要である。

(32) 射出成形材料の選択の原則

単純な形状の標準試験片では、複雑な形状の湯流れは推定できない。試験片によっては逆の結果になることもある。

つや、色調、フラッシュなど、外観については試験片では判断できない。

5. 環境の最悪条件を探せ

最悪の環境の予想設定が甘いために、現実の厳しい環境で事故になることが多い。

顧客使用時

家庭用品の傍に電気釜、ストーブなど発熱体がある時など、他の機械、器具からの影響のような特殊条件も考える必要がある。

流通過程

倉庫では必ずしも温度、湿度の管理は十分とはいえないことがある。また、製品の後入れ先出しにより、倉庫に長時間停留する可能性がある。

販売店店頭、ショーウィンドーでの太陽光暴露、輸出時の経由地の温・浸度の激変や荷扱条件、出荷時の梱包条件、航空機の離着陸時の衝撃などの考慮も必要である。

6. 材料の成形性、加工性を確認せよ

適合する成形法を考えよ：圧縮成形か、射出成形か、押出成形か。

可能な2次加工法を確認せよ：切削、接着、印刷、メッキ、ホットスタンプなど。

7. 安定した材料を使用せよ

一般に、特に優れた特性を示す材料は成形条件による変動が大きい。成形条件が必ず一定に保てることを確認しないで、こういう材料を量産に使うことは損失を招きやすい。幅広い成形条件で、安定した特性を示す材料を選ぶ方が賢明である。その理由は、

成形機により成形条件が同じにはできにくい。

同一成形機でも成形温度、成形圧力は直接制御する例は少なく、間接的測定・制御をしているのとどまるため、その精度は十分ではない。成形温度の代わりにノズルにおける樹脂温度や成形用型温度を用いたり、成形圧力の代わりに型のたわみ量を用いたりすることが多いからである。

8. 将来の展開を考えよ

現状では、長時間にわたる耐久性を短時間に確実に推定する方法は確立、普及されていない。候補材料について適用の可能性を確認するのに相当の長時間を必要とする。何らかの理由で、将来、材料の変更が必要になると再び長時間の検討を要し、多大の時間的、金銭的損失を生じることになる。

9. トータルコスト・経済性をチェックせよ

プラスチック応用の経済的効果があるかどうか、稔合的にチェックする。

製品コスト：材料費、加工費

メンテナンスコスト：保守費、交換費

切替費用、付帯費、エネルギー費、公害対策費、他

出典

[1]青木正義：プラスチック成形品設計、pp110-113、(株)工業調査会(1988)

3.注意事項

- (1) 材料選択のより具体的な注意事項は次節で述べる。プラスチック材料を使う目的をしっかりと考えて着手することが大切である。
- (2) プラスチック成形品には通常の方法力学の公式をそのまま適用しかねる場合がある。力学的性質が、温度、時間、応力に依存して変わることには配慮が必要である。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp107 - 110、(株)工業調査会(1988)
- [2] 塚原・細谷：加工精度の極限を求めて、高分子、32(5) p353(1983 - 5)
- [3] 高野菊雄：製品設計と材料選定のポイント、合成樹脂、42(4) pp19 - 23(1996 - 5)の表2に基づく
- [4] 山口幸三郎：加工と設計のためのプラスチックの機械的性質、p43、日刊工業新聞社(1967)

§3 プラスチック成形材料の開発と選定

1. 材料購入前の確認事項

先に材料選定にあたって検討すべき 9 箇条を示した。材料購入前には、さらに次のことも含めてもう一度念を入れて検討して頂きたい。

(1) 実用条件下における耐久性の確認

標準試験片だけでなく、実物成形試験品から切出した試験片で、クリープ、疲労、応力緩和の試験をした方がよい。破損した破面解析をしてどういう外的環境に弱いかを追究する。

変動荷重だけでなく残留歪みの解放による変形とこれに伴うクラックの発生の有無の確認をする。

(2) リサイクル性と環境汚染防止に関する確認

スプルー、ランナー、成形不良品の工場内リサイクルの可能性ならびに、製品性能、成形性から許されるバージン材料への混入率限度、リサイクル回数を確認する。

スプルー、ランナー、成形不良品及び成形機始動時の押し出し屑などの買取先の有無、クラッシュ業者の有無を調べておく。

リサイクル不能な場合の廃棄業者の信頼性、廃棄依頼者の法的責任を確認しておく。

廃棄材料の自社焼却の要否、可否、発生ガス及び燃えかすの適正な処分の方法を確認し、必要なことは実現できるようにしておく。

2. プラスチック材料受け入れ上の注意事項

(1) 既存材料の受け入れ

市場ですでに使用実績のある既存材料を購入し、受け入れる場合には選定した通りのものが入荷したか否かを確認めればよい。その際の受け入れにあたっては表 33.1^[1]によればよい。

プラスチック材料は受け入れたままの状態で行える試験項目は少ない。開梱し成形し、所定の負荷を与えてから測定評価する。開梱開封するとプラスチック材料は長時開放できず、また条件によってはすぐ評価が終わるといってもないので、金属材料ほど受け入れ検査が行われていないのが実状である。後でトラブルが生じ易いことは否定できない。

(2) 開発中の材料の受け入れ

既存のグレードでは要求される成形品ができないために、成形試作と並行して材料改質・開発をすることがある。この際

成形品としての物性の確保... 外観、風合い、破壊の試験確認

溶融流動性の適確な確保... MFR 値または L/t 値、溶融粘度など

経時変形、耐候性の試験方法の確認と適確値の確保

重合等反応の進行のおそれの有無

などが必要である。

(3) 候補材料からの選定

材料選定にあたっては成形諸費用を含めた物性のバランスが必要で、重要特性は十分に、比較的重きをなさない特性は軽く評価しないとなかなか選定の結論が出ない。この際、図 33.1^[1]のように基本にな

るのは材料選定の考え方で、成形部品の任務を出発点として、求める形状、強さを満足させられる材料を決めるという作業を進めるとよい。実際に物性のバランスを判定して、一つの材料に絞り込むのは一人の知恵では不十分で、過去のデータの他に、現在活躍している成形現場の人達のノウハウの援用も大切である。その方法は各社各様であって、それで差支えはないけれど、ここでは、OR (オペレーションズリサーチ：Operations Research)などにも均衡需要の算出システムに用いられるリグレット(不満足度)の考え方に基づく選走法を紹介しておこう。

プラスチック技術にこの考えを最初に取り入れたのは、本田技研工業(株)がインスツルメントパネルのプラスチック化に踏み切った時に、同社専用開発した耐熱性 ABS 樹脂の採否を決める根拠にしたといわれる。

そしてこれがリグレット(Regret)法^[2]として知られるようになった。その計算例を表 33.2、表 33.3 に示す。価格とリグレット指数の積が製品のシェアに比例する^[3]という経験則に基づくといわれている。

(33) 材料購入前の検討と受け入れ時の注意

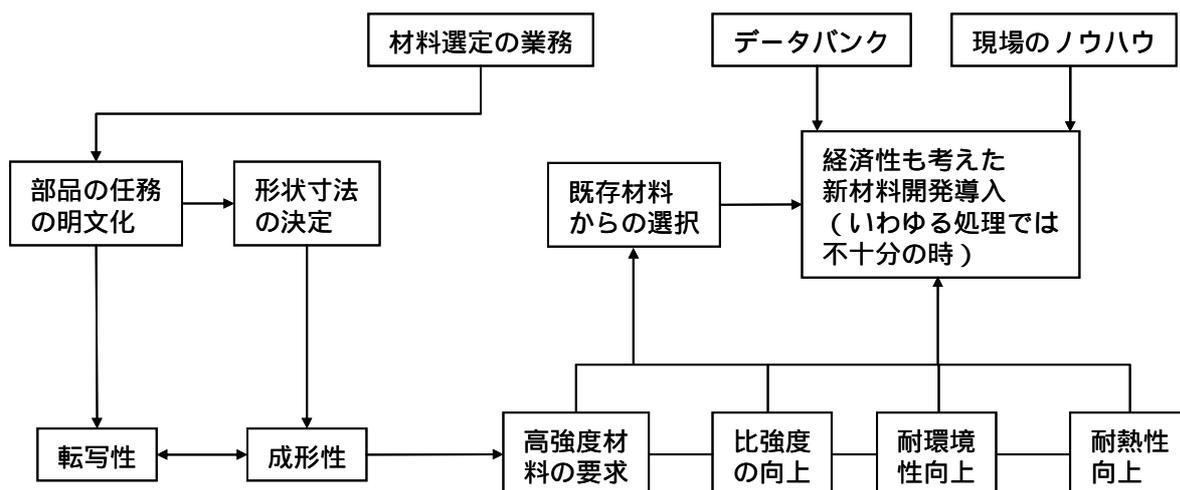


図33.1 材料選定のプロセス^[1]

表33.1 既存材料の受け入れ上の注意事項^[1]

	チェック項目	注意事項	付記
1	指定した材料か?	グレード、色相まで正しいかをみる	不慣れだとグレード違いを受け取ることがある。必要なら赤外分析をするルートをつけておく
2	指定した荷姿か?	高温、吸湿による変質、反応の進行はないかを確認	エポキシ樹脂などでは、運搬経路における冷温保存などの注意も必要
3	材料メーカーのデータは?	流動性など必要なものは事前に添付を依頼することが必要	時には分子量分布など
4	受け入れ検査は?	いわゆるJIS標準試験のなかから選べばよいのか	ときに過剰品質要求にもなるし、ポイントをはずすことにもなる

表33.2 リグレット法による評価の計算表の例^{[1][2]}

評価する物性項目 ウエイト	耐熱性		衝撃強さ		成形性		その他の物性		M	Mo	M-Mo	$R = \frac{M-M_0}{M}$	P	R×P	判定 順位
	8	8	8	8	5	5	5	5							
候補成形材料	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点							
ポリカーボネイト	3	24	3	24	0	0	2	6	72	54			2.33		
ポリアセタール	2		1		1		2		72				2.15		
ABS樹脂	2		2		2		3		72				1.33		
AS樹脂	1		1		2		1		72				1		
HIポリエステル	0		1		2		0		72				0.83		

(注) 評価：下記基準で決める(上記は評価記入済み)

評価基準：0...全く適正なし、1...やや適正を持つ、2...かなり適正がある、3...非常に優れた適正をもつ

M : 完全に満足する場合の得点(この例では(評点の最大値3)×(この要素のウエイトの和8+8+5+3)=3×24=72)

MO : 評価による得点

R : リグレット、不満足なものほど1に近くなる

P : プライス指数、某時点の例(1個当たりの製造原価で材料費、加工費ほか必要経費の和に相当する比較値、または容積当たりの単価に相当する比較値)。この例ではAS樹脂を1.00にとってある。そして、Pのウエイトは10として折込済み

表33.3 リグレット法による評価の完結例

評価する物性項目 ウエイト	耐熱性		衝撃強さ		成形性		その他の物性		M	Mo	M-Mo	$R = \frac{M-M_0}{M}$	P	R×P	判定 順位
	8	8	8	8	5	5	5	5							
候補成形材料	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点	評価	要素 得点							
ポリカーボネイト	3	24	3	24	0	0	2	6	72	54	18	0.25	2.33	0.58	
ポリアセタール	2	16	1	8	1	5	2	6	72	35	37	0.52	2.15	1.12	
ABS樹脂	2	16	2	16	2	10	3	9	72	51	21	0.29	1.33	0.39	
AS樹脂	1	8	1	8	2	10	1	3	72	29	43	0.6	1	0.6	
HIポリエステル	0	0	1	8	2	10	0	0	72	18	54	0.72	0.83	0.62	

出典

- [1] 青木正式：プラスチック精密成形用金型の展望(第 10 固)、型技術、14(1)pp94-99(1999-1)
- [2] 瀬戸正二監修：射出成形(第 8 版) p56、プラスチックエージ社(1977)を整理要約
- [3] 横山ほか：需要予測の実測—塩化ビニル樹脂製品の需要予測に関する実証的研究、東洋経済新報社、pI90 (1962)

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 部品形状をきめる要素

プラスチック成形部品形状をきめる要素は次のように考えると便利だと思う。

部品としての機能

機能を維持できる強さ

商品に組立て、また分解できる形態

製作(ここでは射出成形)できる形状

交換できる形状

商品の一部として必要な意匠性

コスト 他

これらを考えるのには、成形品ができるプロセスと金型設計を含む金型製作に関する知識も必要である。そのキーワードの相互関係を図 34.1^[1]に示す。ここで取り上げる成形部品の機能は商品設計と関連し、細かくは、表 9.1 における概念設計、機能設計にかかわる問題である。機能を維持できる強さは、§2 の(15)に述べた。力学的強さの評価についても表 34.1 のような注意が必要であって、他の物性値についてもそれぞれの注意が必要なわけである。

組立て、分解可能な形状設計の注意事項を表 34.2 に示す。実務に則しているいろいろなことが起こる。

成形の実情を知らない人に、コンピュータのディスプレイの上に説明を出すデータベースを知ることとは容易ではない。設計にも技術の他に技能が必要な所以である。

射出成形が可能な条件は図 34.1 の中から読み取って頂けると思うが、念のため表 34.3 にまとめておく。このことをよりよく理解してもらうために、もう一度成形品の成り立ちを考えることを希望する。

図 34.2^[1]にそのための説明図を示す。

また、交換できる形状を少し詳しく説明すると表 34.4 のようになる。

意匠性の問題は、2次加工がいらぬような成形品の仕上がり面を作ればよいのだけれど、技術的あるいはコスト的にできない場合には目指す2次加工が必要とする成形品表面状態を作り出すことが大切である。ここではその詳細は述べきれない。

のコストは、成形サイクルが短く、搬送性がよく、金型を作り易い形状に成形品の形状設計をすることが基本である。成形サイクルを短くするには結局は成形し易い形状に設計することである。現状では成形サイクルの短縮はそれぞれの成形現場で、いつも限界への挑戦が続けられている。今後ますます顧客ニーズの多様化と、ニューデザイン商品の早期発売のために、金型の納期とコストの圧縮が求められるであろうが、必要成形数に見合う金型をどのように作るかが最も大きな課題になるであろう。これこそ、商品の性格により異なり、対処の仕方も商品によって異なるので、このような設計はノウハウと技能の世界であると考えてよからう。

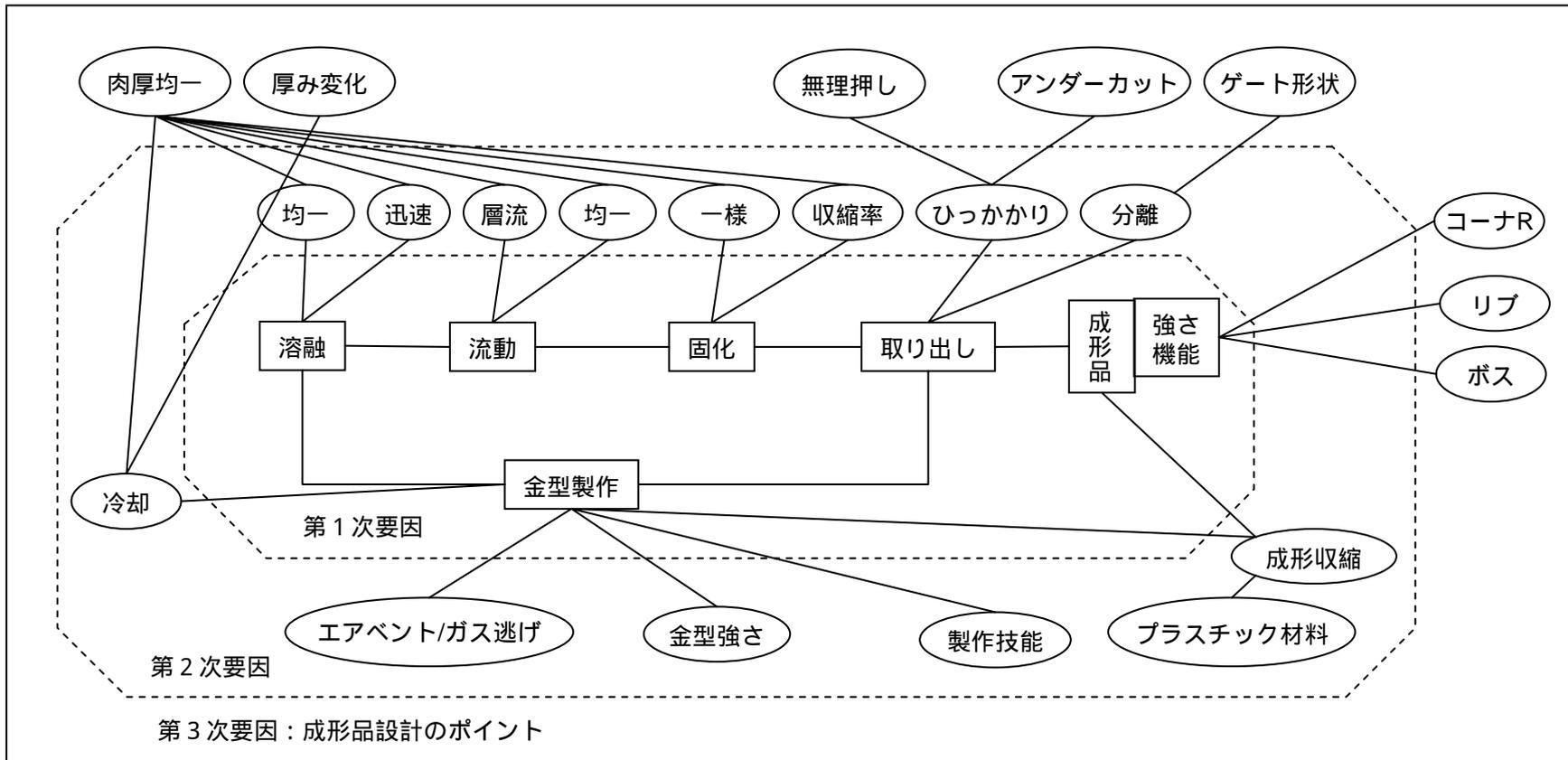


図34.1 成形品形状を決める主要因

(34) 部品形状をきめる要素

表34.1 力学的強さの評価上の注意事項

)	標準試験片と実用部品から取り出した試験片とは評価値が違うことが多い
)	金属の標準試験片でも、力学的には標準試験片の相似則は成り立たない。(Barbaの法則 ^[2])プラスチックでも当然考えられることである。
)	試験機は同一形式のものでも個性があると考える方がよい
)	プラスチック複合材料の成形品では均一性に欠けることがある

表34.2 組み立て、分解できる形状に関する注意

)	分解の方法、要否を考えて、嵌込み、たわみ弾性利用、溶着、セルフタッピングネジ使用を決める
)	締結する際には部品取り扱い上安定した姿勢で転倒しないように配慮して締結位置を決める
)	組み立てコストを考えると一体成形がよい。2色成形も効果的だが、リサイクル上解体を迫られた時のことを考えた設計にする。

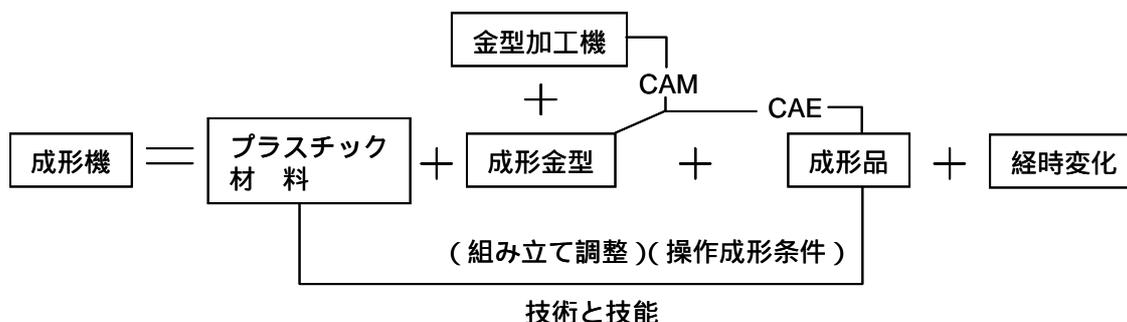


図34.2 成形品の成り立ち

表34.3 成形できる形状

)	金型ができる形状
)	溶融材料が流れ込める形状
)	弱い部分ができない形状
)	金型から取り出せる形状
)	できるだけ均一に冷却できる形状

表34.4 交換部品を用意できる形状

)	バラツキが少なく成形できる形状
)	適切な組立て、解体ができる形状
)	適切な部品組立(サブアセンブリ)となるようなインサート成形を考える。

2. 注意事項

CAD、CAE が次々と開発され、人工知能の技術が進んでも、暫くの間は、いや永久に、技術に基礎をおく設計分野にも、本文で述べたように、ノウハウとして保護される技能が限りなくあることに注意を払う必要がある。

出典

[1]青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第11回)型技術、14(2)p88-89(1999-2)

[2]日本金属学会編：金属便覧(改訂3版)p414、丸善(株)(1971)

§4 プラスチック成形部品設計

1. 大たわみ^[1]

金属材料を用いる材料力学では弾性範囲内で、変形を計算する。たわみは荷重に比例し、除荷後たわみは完全に回復するという前提にたっている。簡単のために図 35.1 に示す真直片持はりを考える。微分幾何学によって、荷重 P による各点の y 軸方向の変形量すなわちたわみ y は次の式から求められる。

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{R} = \frac{\frac{d^2v}{dx^2}}{\left\{1 + \left(\frac{dv}{dx}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}}$$

但し M : 着目している点の曲げモーメント

R : 同点の曲率半径、 E : 縦弾性係数

I : z 軸(x-y 平面に垂直)に対する断面 2 次モーメント

通常材料力学では、たわみ角は小さいとして $(dy/dx)^2 \ll 1$ と考え、たわみの微分方程式は、次の式からスタートする。

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

従って、たわみ角 $i = dy/dx = 30^\circ$ の時、先端のたわみは約 30% 小さく算出される。プラスチックの場合、 i が大きいこともあるので大たわみによる計算をした方がよい。簡単な場合を表 35.1^{[1][2]} に示す。他の荷重条件については成書^[3]を調べて頂きたい。

2. 弾性係数の歪み依存性^{[4][5]}

前項では縦弾性係数を一定としていたが、プラスチックの応力歪み線図には比例域はほとんど存在しない。厳密にプラスチック部品を比例域で設計しようとするれば、著しい厚肉設計となり不経済であり、射出成形ではできないことも生じる。

実際の設計に当たっては図 35.2^[4]に示す E_0 ではなく、ある歪みを予想した見かけ弾性係数 E_s を用いた方がよい。材料選定に当たり材料メーカーに許される歪みを示して E_s を問い合わせた方がよい。

ポリアセタール(POM)については H. Schmidt によって常温における見かけ弾性係数の応力、負荷時間依存性及び許容引張り応力の歪み、負荷依存性を明らかにしている。これらの関係の組み合わせにより、任意の負荷時間の見かけ弾性係数と歪みの関係がわかる。^[4]

E. Bear らは POM について 23 ~ 85 の間で E_s/E_0 (但し E_0 は E_s を問題にする負荷時間における見かけ弾性係数)は歪みの大きさのみによって定まり、負荷時間にも温度にも関係なく図 35.3 が成り立つことを示した。^[4]従って、 E_0 がわかれば $E_0 \times (E_s/E_0) = E_s$ によって E_s が判ることになる。このように、温度依存性、負荷時間依存性、歪み依存性を考慮した見かけ弾性係数が求められる。

3. 弾性係数の負荷時間依存性^{[1][5]}

図 35.4 に示すように一定の応力状態においても長時間後には歪みが増す現象をクリープ、図 35.5 のように変形量を一定に保つと、これを保つための応力が減少する現象を応力緩和(またはリラクゼーション)と呼ぶ。プラスチックではこの現象が大きく注意を要する。このような場合の見かけ弾性係数はそれぞれ

$$E_c = \frac{S_0}{e_0 + e_l} = \frac{S_{0eT}}{e_T} \quad E_R = \frac{S_0}{e_0} = \frac{S_{0eT}}{e_0}$$

となる。この値を通常の方法力学の公式に適用すればよい。

POM のクリープ曲線を図 35.6^[4]に示す。この図からそれぞれの時間に対する見かけ弾性係数を図 35.4 の考え方で求めることができる。その結果を図 35.7^[1]に示す。

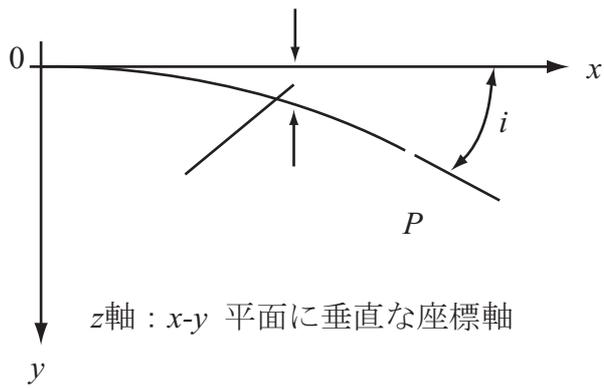


図35.1 真直ばりのたわみ

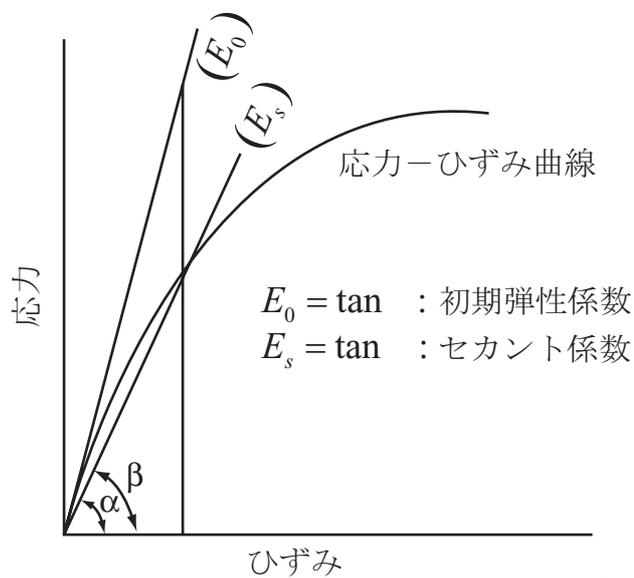


図35.2 初期弾性係数とセカント係数^[4]

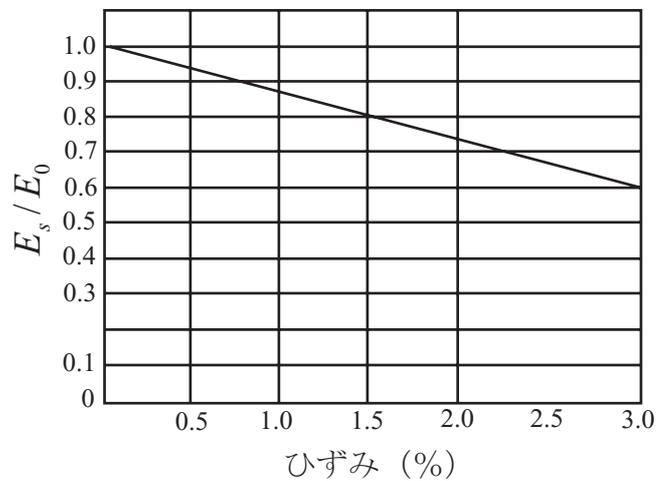


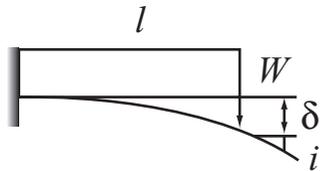
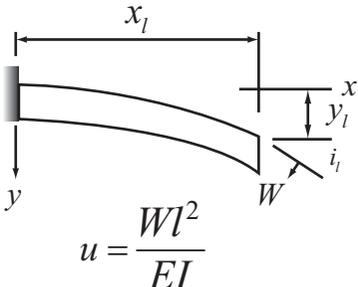
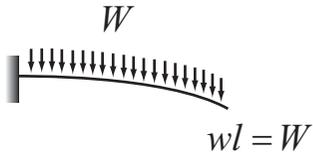
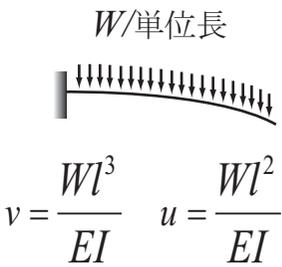
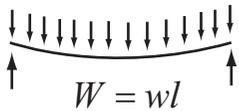
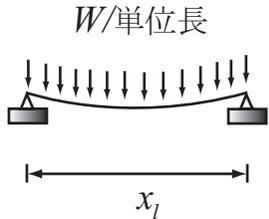
図35.3 ポリアセタール (ジュラコンM90、M25) の E_s / E_0 とひずみの関係^[4]

(35) プラスチックの変形

表35.1 はりたわみの公式

(1) 通常のたわみの公式

(2) 大たわみの公式 (近似解)

	加重W, wと弾性線	たわみδ、傾斜i、変位	加重W, wと弾性線	座標 x_i, y_i 傾斜 i_i
1		$\delta = \frac{Wl^3}{3EI} \quad i = \frac{Wl^2}{2EI}$	 $u = \frac{Wl^2}{EI}$	$x_i = l \left(1 - \frac{1}{15}u^2 + \frac{4}{315}u^4 - \dots \right)$ $y_i = \frac{1}{3}lu \left(1 - \frac{4}{35}u^2 + \frac{47}{1925}u^4 - \dots \right)$ $i_i = \frac{1}{2}u \left(1 - \frac{11}{120}u^2 + \frac{3601}{201600}u^4 - \dots \right), u \leq 1$
2	 $wl = W$	$\delta = \frac{Wl^3}{8EI} \quad i = \frac{Wl^2}{6EI}$	 $v = \frac{Wl^3}{EI} \quad u = \frac{Wl^2}{EI}$	$x_i = l \left(1 - \frac{1}{112}v^2 + \frac{1}{5731}v^4 - \dots \right)$ $y_i = \frac{1}{8}lv \left(1 - \frac{1}{80}v^2 + \frac{59}{172800}v^4 - \dots \right)$ $i_i = \frac{1}{6}v \left(1 - \frac{41}{4320}v^2 + \frac{313}{194400}v^4 - \dots \right), u \leq 2.5$
3	 $W = wl$	$\delta_{\max} = \frac{5Wl^3}{384EI} \left(x = \frac{l}{2} \right)$ $i_{\max} = \frac{Wl^2}{24EI} \left(x = \frac{l}{10} \right)$		$x_i = l \left(1 - \frac{1}{1333}v^2 + \frac{1}{151062}v^3 + \frac{1}{318188}u^4 - \dots \right)$ $y_m = \frac{5}{384}lv \left(1 - \frac{28}{14347}v^2 + \frac{1}{105404}v^4 - \dots \right), u \leq 20$

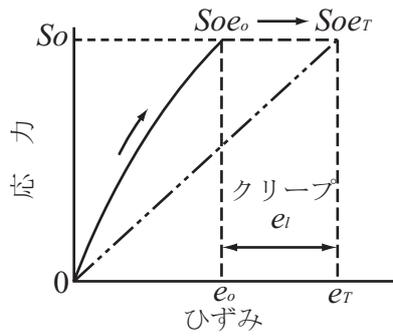


図35.4 クリープ

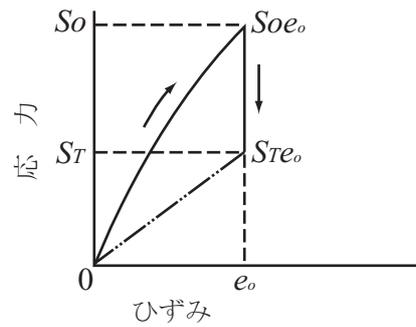


図35.5 応力緩和

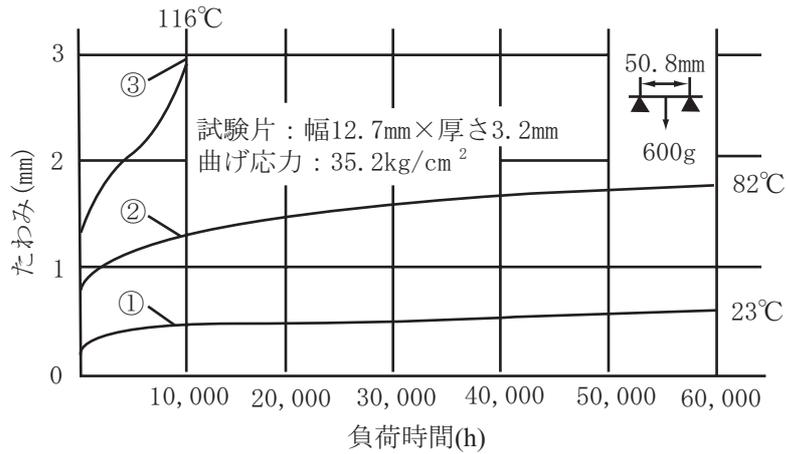


図35.6 POM (ジュラコンM90、M25) のクリープ変形^[4]

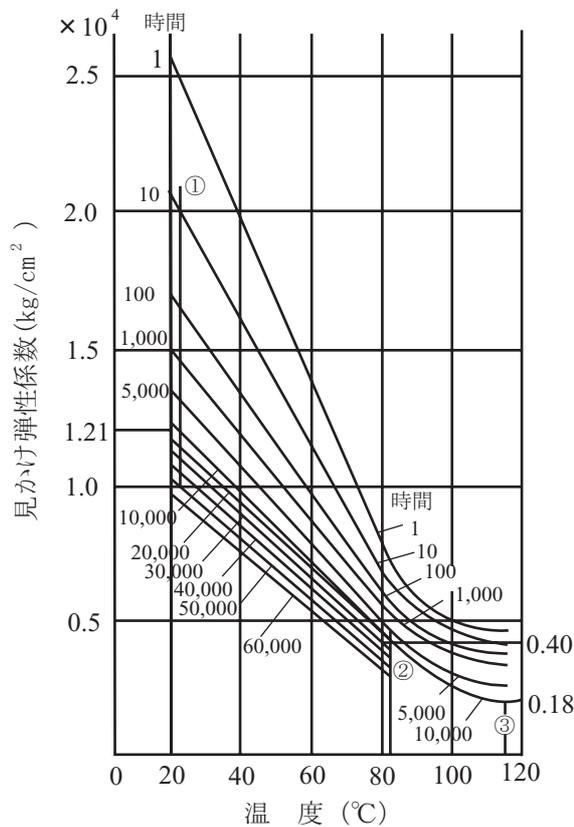


図35.7 ポリアセタール (ジュラコンM90、M25) の見かけ弾性係数 ($\sigma = 35.2 \text{ kg/cm}^2$)^[4]

4.注意事項

プラスチック成形品の設計の際の変形の計算は十分に行われているとは思われない。CAE の強度解析でもその内容が破断に片寄っているように思う。プログラムの選択・活用にあたっては、ここで述べた変形について内容を検討した方がよいのではないかと思う。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp131-137、(株)工業調査会(1988)
- [2] 青木正義・小高忠男：片持はりにおける大たわみの数値計算法、精密機械、31(9)pp754-758(1965)
- [3] 編集委員会(代表 津村利光)：強度設計データブック、p345、p349、裳華房(1962)
- [3] 岡田達也:プラスチックを用いた設計の要点、日機誌、80(701)pp345-349(1977-4)
- [4] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第 13 回)、型技術、14(4)pp101-108(1999-4)

§4 プラスチック成形部品設計

1. プラスチックの破壊の種類

破壊を試験の点から分類すると表 36.1 のようになると考える。いずれも荷重としては、引張り、圧縮、曲げ、ねじりなどがある。そして、試験片の形状、試験機、試験の方法が JIS で決まっている標準試験法と、材料メーカー独自の研究開発に適する試験法がある。ここではクリープ破壊に絞って説明する。

2. 応力緩和の WLF 変換ならびにクリープ破壊

クリープ強さは外力の負荷時間によって図 36.1^[1]のように変わる。負荷時間が長くなると小さな応力でも破壊を起こす。応力が小さい時に変形が回復し易いが、応力が大きい時に図 36.2^[1]のように理解される。具体的に所定のプラスチック成形品の時間・ひずみ曲線を求めるには長時間を要するので図 36.3^{[2][3]}左のように温度別に得られた応力緩和曲線群を時間軸に沿って移動させ、ある曲線(この例では 25)を基準に上下温度の曲線を接続すると図 36.3 右のような合成曲線ができる。ここに掲げたポリイソブチレンの例は Tobolsky と Ferry の研究結果によるものである。この際、応力緩和曲線の時間が t の場合、基準温度(25)の曲線に向けて時間軸方向に移動すべき量 a_T は次式で求まる。

$$\log a_T = \log t - \log t_{25} = \log \frac{t}{t_{25}}$$

ポリイソブチレンについて Williams、Landel、Ferry は基準温度 T_0 を -30 に選び、

$$\log a_T = \log \frac{t}{t_0} = \frac{-8.86(T - T_0)}{101.6 + T - T_0}$$

を導いている。^{[3][4]}また、ガラス転移温度 T_g を基準にとると次式が求まる。^{[5][6]}

$$\log a_T \approx \log \frac{t}{t_0} = \frac{-17.44(T - T_g)}{51.6 + T - T_g}$$

これらの式は応力緩和の長期予測に有用で、研究者の名に因んで、WLF 変換と呼ばれる有名な式である。

同じような考え方で、図 36.4^[1]のようにクリープ曲線も合成できる。クリープ曲線が第 3 次領域に入ると、通常の静的試験より遙かに小さい応力で破壊に至る。クリープ破壊曲線も WLF 変換と同じ考え方で求められる。その例を図 36.5^[1]に示す。多くの場合この曲線の変曲点付近で延性破壊から脆性破壊に移る。

図 36.6^[7]、図 36.7^[7]にポリアセタールの成形品の大気中、水中のクリープ破壊データを示す。荷重一定の時、温度をパラメータにして引張り応力による破壊時間が求まる。既存のプラスチックのクリープ寿命から、新しい設計の寿命推定には、金属材料の熱的クリープの経験則 Larson-Miller の式を用いるとよいとされている。^[7]この式を示せば、 K ：応力水準によって定まる常数、 T ：温度(k)、 t ：破壊に至る時

間、C：ポリアセタール成形品の引張り応力の場合、空気中では25、水中では18.5として、

$$K = T(C + \log t)$$

この図を図 36.8 に示す。実用に便利だと考える。

表36.1 破壊を伴う試験

負荷の種類	加重の種類	物性名
瞬時負荷	衝撃荷重	衝撃値
短時間負荷	常用定格条件 独自条件の試験	(JIS引張り試験など) 力学的強さ
長時間負荷	一定静加重 繰り返し動加重 (一定歪みとなる負荷)	クリープ 疲れ (応力緩和)

(36) プラスチックのクリープ破壊

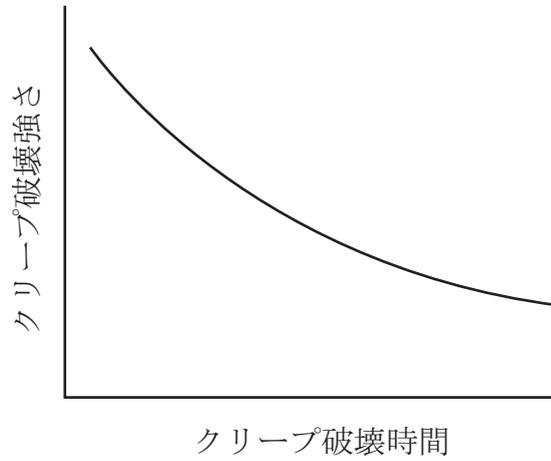


図36.1 クリープ破壊^[8]

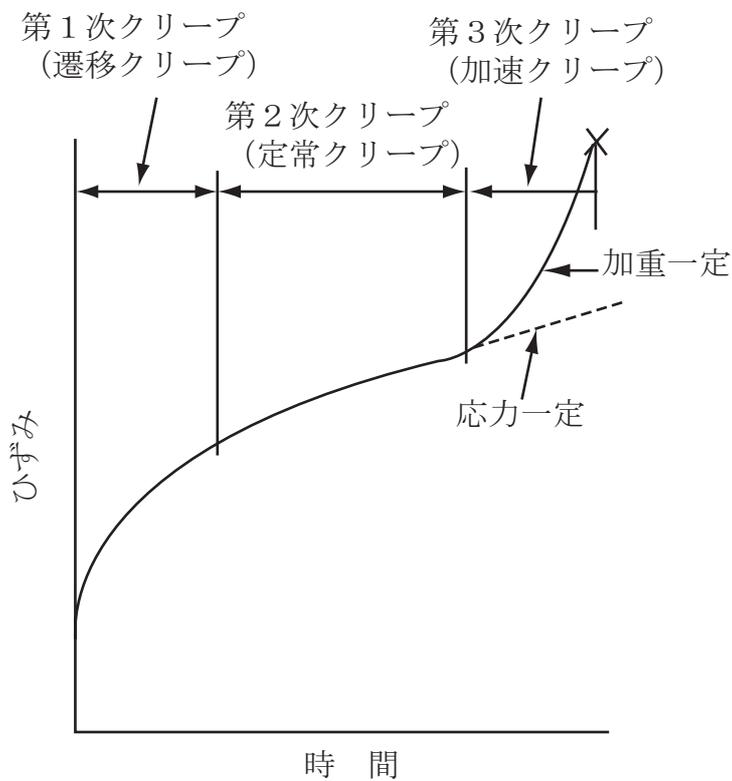


図36.2 応力が大きいときの
クリープの状況^[1]

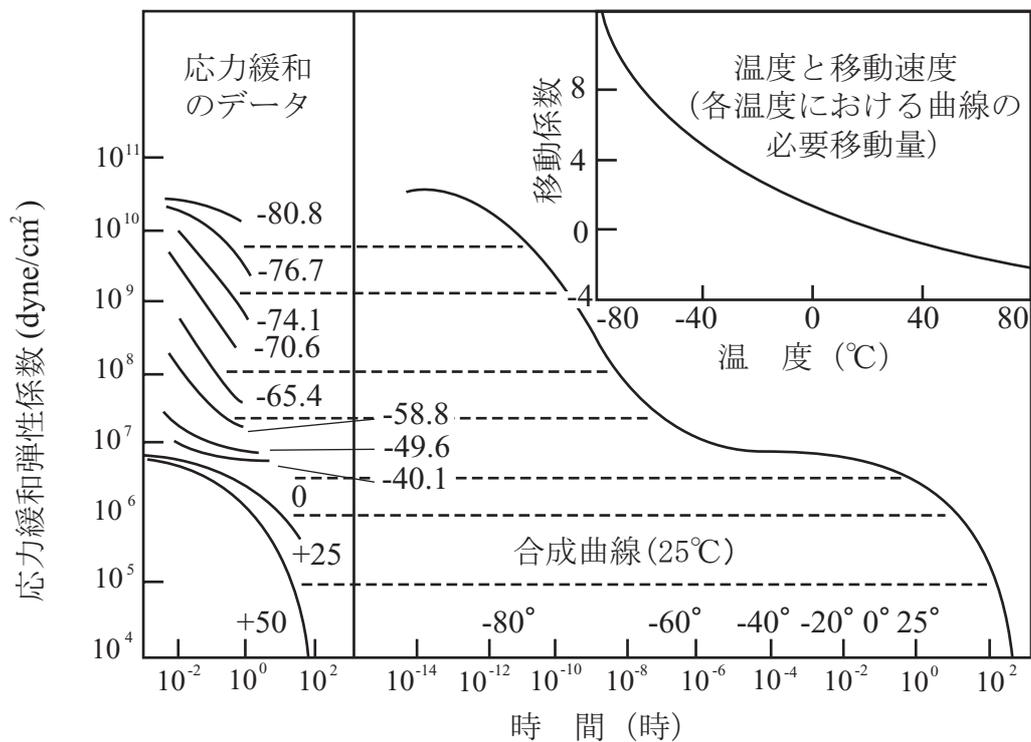


図36.3 クリープの時間-温度重ね合わせの原理
 (ポリイソプチレンの例：基準温度25°Cの場合)^[2]

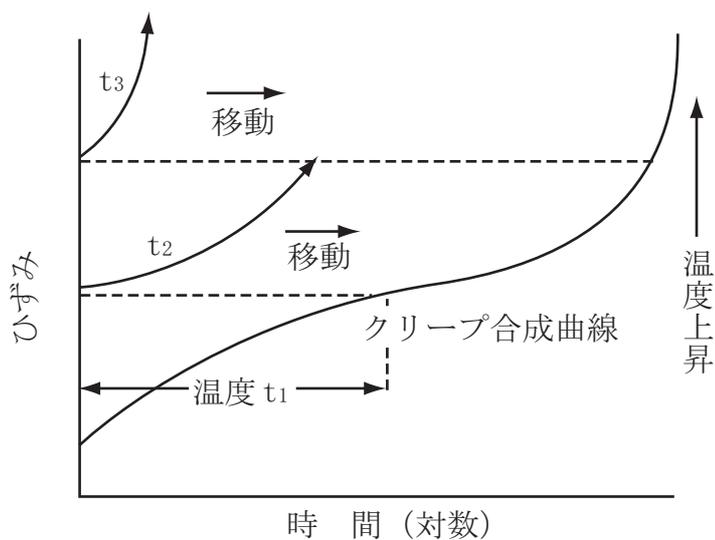


図36.4 重ね合わせによるクリープ
 曲線の作成^[1]

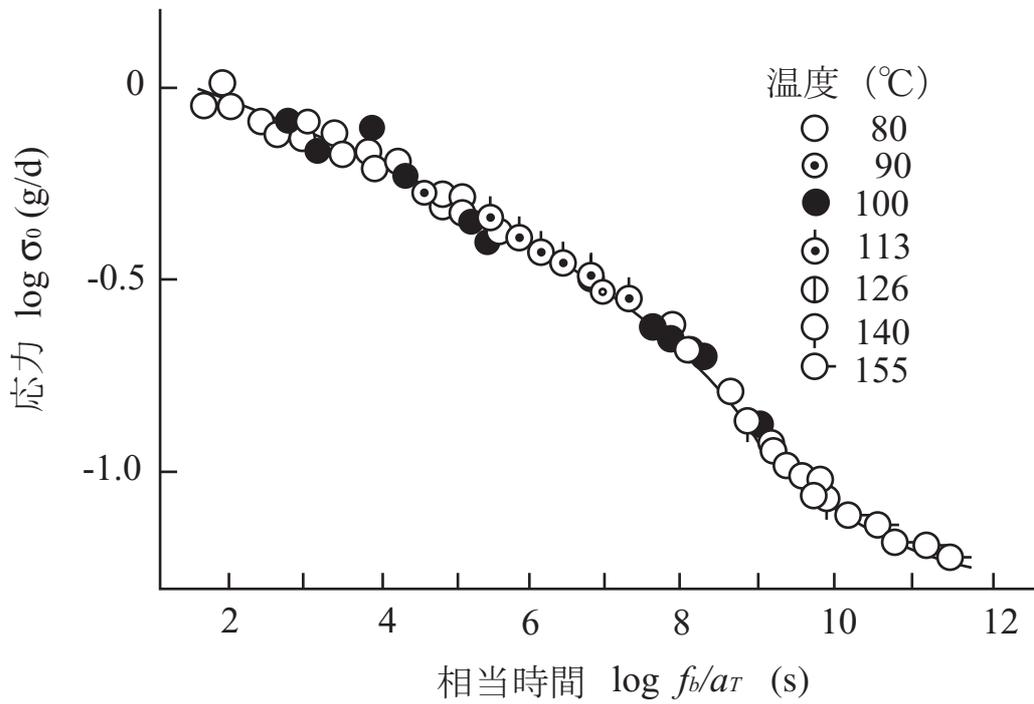


図36.5 クリープ破壊時間の温度-時間換算の例^[1]

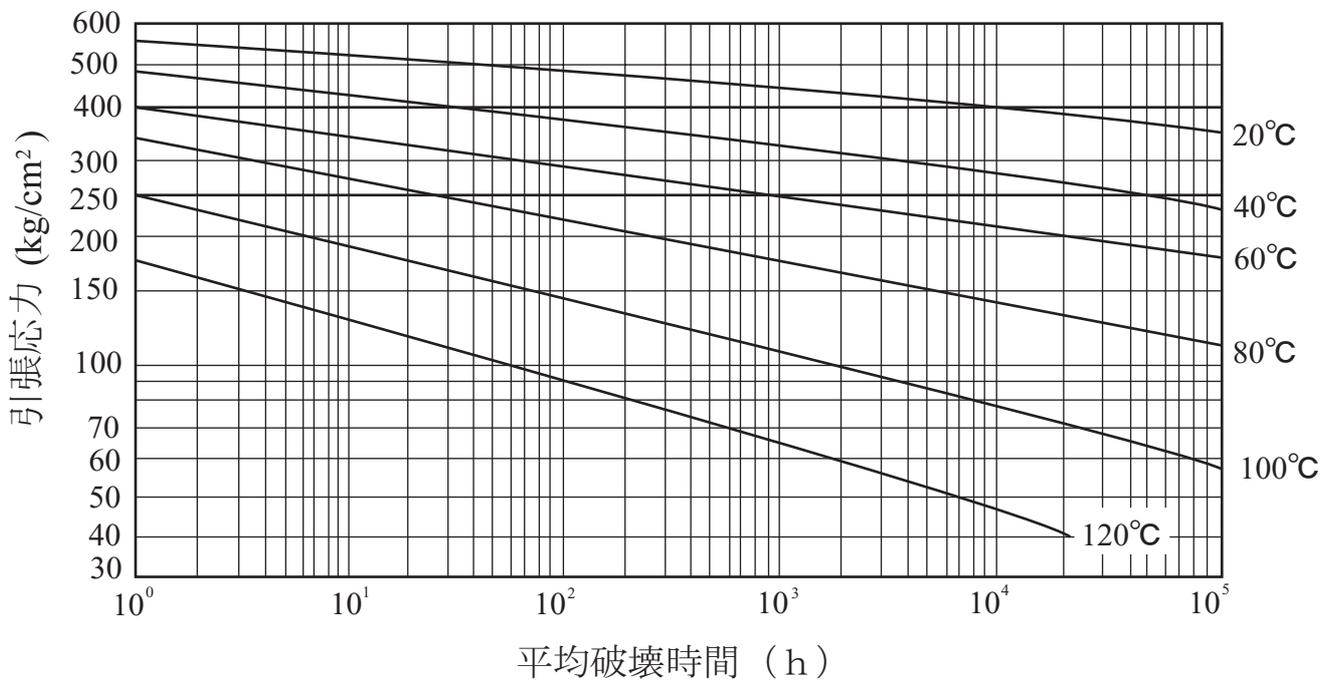


図36.6 ポリアセタールのクリープ破壊（空气中）の例^[7]

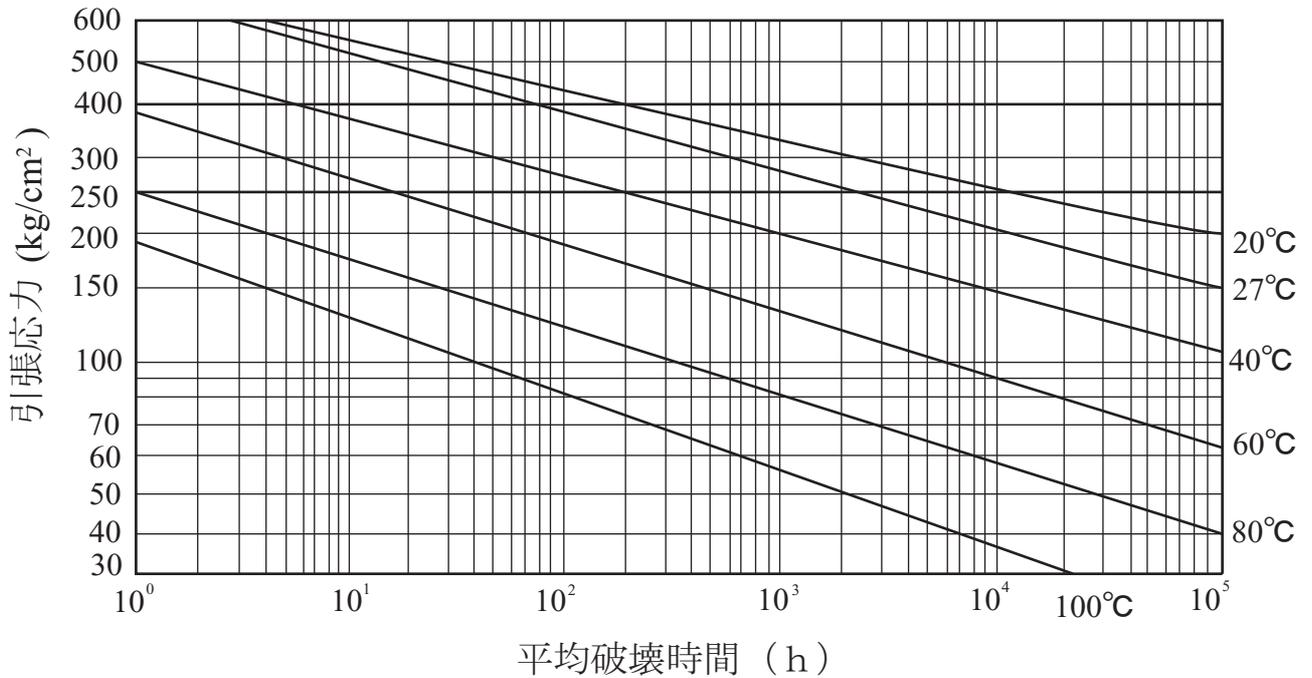


図36.7 ポリアセタールのクリープ破壊（水中）の例^[7]

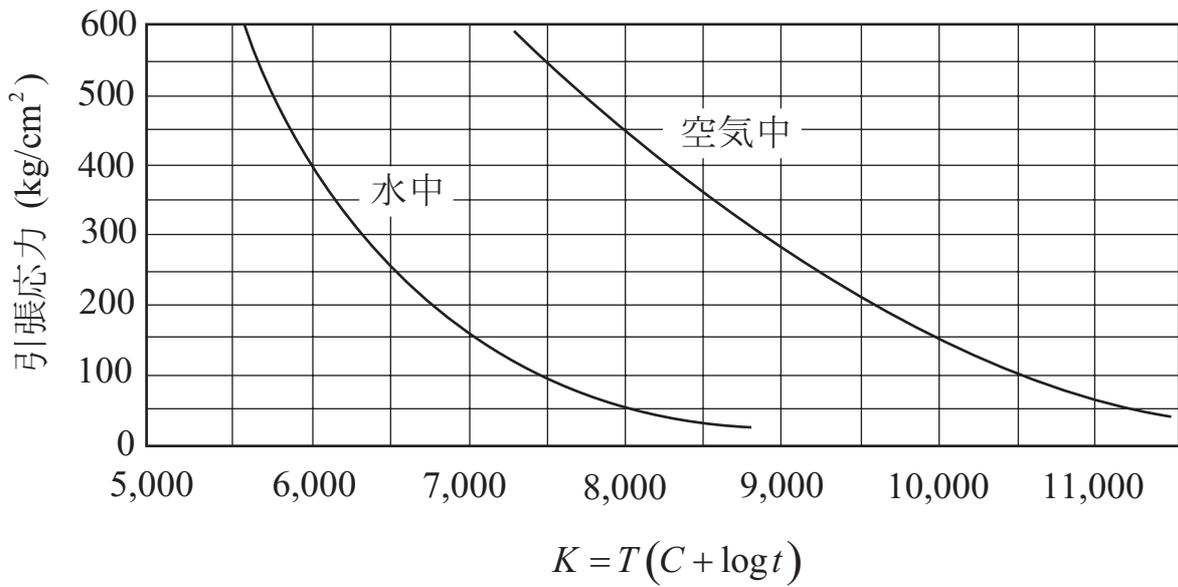


図36.8 ポリアセタールの引張応力とKの関係の例^[7]

3. 注意事項

クリープ現象は力学的要因だけでなく、形状や環境の影響を著しく受ける。設計に当たっては、実際の成形品を実際の環境または若干過酷な条件で試験したデータを用いた方がよい。データの蓄積が会社の財産である。

出典

- [1] 成澤郁夫：プラスチックの機械的性質、pp155-161、(株)シグマ出版(1994)
- [2] Catiff, E., Tobolsky, A.; J Colloid Sci. 10, p395 (1955)及びJ. polymer Sci., 19, p111 (1956)
- [3] L. E. Nielsen：高分子の力学的性質、化学同人社、pp85-88 (訳本1965)
- [4] 白松豊太郎：高分子工学の基礎と応用、p73、丸善(1968)
- [5] 小林昭：プラスチック構造材料、p25、(株)工業調査会(1969)
- [6] [3]のp13
- [7] 岡田達也：プラスチックを用いた設計の要点、日機誌、80(701)pp345-349(1977-4)

§4 プラスチック成形部品設計

1. プラスチックの疲労

機械器具が作動し、機能を発揮するには全ての部分の材料の応力が弾性限界内にあることが望ましい。しかし、長期にわたり連続的または断続的に変動する荷重下にあると公称の弾性限界以下の応力で、材料が破壊することがある。これを疲労破壊といい、この応力を疲れ強さという。荷重の種類や試験方式は多々^[1]あるけれど、ここでは省く。機械器具の寿命は摩耗、化学的損傷の他に疲労によっても左右され、複合要因で決まることが極めて多い。

プラスチックの場合、成形の良否、形状、荷重の種類・大きさによって疲れ強さは変わるが、何らかの目安に片持両振平面曲げ試験の結果を表 37.1^{[2][3][4]}に示す。

次に疲労を考慮した設計法を表 37.2^[5]に、設計上必要な安全率に関する若干のコメントを表 37.3^[5]にまとめておく。これらを考えるとプラスチック成形品の場合、十分なデータが公開されているとはいえない。

また、プラスチック成形品の疲労の特教は次の2点にあるとされている。

(1) ひずみ軟化(剛性率低下)

金属材料をひずみ効果とは逆に、プラスチック材料ではひずみ軟化がおきる。

- ）延性的なプラスチックのひずみ軟化は疲労破壊に至る初期の繰り返し数で生じることが多い。その後PPやPAのように定常的な状態に移るものや、PCのようにゆるやかに進行するものがある。
- ）脆性的なプラスチックはPMMAのようにひずみ軟化の程度は少ない。
- ）ポリマーアロイ(ABSなど)は定常状態はなく、ひずみ軟化継続後疲労破壊する。
- ）ひずみ軟化の程度は繰り返し外力に依存する。振幅が小さい時はひずみ軟化を示さないこともある。

(2) 変形による温度上昇

プラスチックは繰り返し変形を受けるとヒステリシス損失があるものは粘弾性損失による発熱がある。そして熱伝導性がよくないから、かなりの試験片温度上昇がある。ガラス転移温度の低い材料では熱によって破壊することがあるから注意を要する。

プラスチックの疲れ強さは繊維強化材料に関するものが多く、小林は表 37.4^{[6][7]}のようにまとめている。

(37) プラスチックの疲労

表37.1 各種プラスチックの疲れ強さ（片持両振平面曲げ）^{[2][3][4]}

樹脂名		10 ⁷ の疲れ強さ kg/mm ³	疲れ強さ 引張強さ α	疲れ強さ 曲げ強さ β	
熱硬化性プラスチック	不飽和ポリエステル	朱子織ガラス布	9.0	0.22	-
		平織ガラス布	7.0	0.33	-
		ガラスマット(22)	3.0	0.47	-
		なし	1.6	0.40	-
	フェノール樹脂	朱子織ガラス布	12.0	0.31	-
		太糸綿布	2.5	0.33	-
		紙	2.5	0.29	-
	エポキシ樹脂	朱子織ガラス布	15.0	0.37	-
		一方向ロービング	25.0	0.44	-
注 型		1.6	0.27	-	
熱可塑性プラスチック	塩化ビニル樹脂	1.7	0.29	0.15	
	スチレン樹脂	1.02	0.41	0.20	
	繊維素誘導体樹脂	1.13	0.24	0.19	
	ナイロン	1.20	0.22	0.24	
	ポリエチレン	1.12	0.50	0.40	
	ポリカーボネイト	1.00	0.15	0.09	
	ポリプロピレン	1.12	0.34	0.23	
	メタアクリル樹脂	2.83	0.35	0.22	
	アセタール樹脂	2.74	0.37	0.25	
	ABS樹脂	1.20	0.30	-	

表37.2 疲労を考慮した設計方法

<p>1) 作用する加重の種類、大きさ、頻度の把握・仮定</p> <p>2) 上記による実応力の大きさと位置の確認・決定</p> <p> i) 総繰返数 < 10⁷の時は実応力に対する平均寿命で求める) 実応力振幅が、不規則な時、周期的に変動するときはMinerの法則（直線被害法則）などにより、平均寿命を求める</p> <p>3) 実測の実応力波形により応力頻度を求める</p> <p>4) 候補材料の標準試験片により、加わる応力の種類に対するS-N曲線を求め、公称応力で表した対象品の疲労頻度 w_wを推定する</p> <p>5) w_wに対する寸法効果、切欠効果、加工硬化などの影響を修正したS-N曲線を求め、公称応力で表した対象品に疲労限度 w_kを推定する。</p> <p>6) 問題の部材の平均寿命を推定する。 Minerの法則、修正直線被害法則、Corten-Dolanの方法などを活用する</p> <p>7) 設計応力 σ と、許容応力 σ_{al}を比較する</p> $\sigma \leq \sigma_{al} \leq \frac{\sigma_{wk}}{S}$ <p>但し、S:安全率（経験値参照のこと）</p>
--

（青木作表）

図37.3 安全率に関するコメント

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) w (S-N曲線から推定される疲労限度)として多くの実験結果の最下限値、平均値のどちらを採用するかが課題 2) wに寸法効果、切欠効果、加工硬化などの影響をどのように取り込むかが課題 3) 疲労限度として wの平均値を用いる場合、実験値のばらつき $\pm 30\%$時は、安全率は1.3以上とすること 4) 実験値の下限値を用いる場合は、安全率は多くの場合1.0でよいと考えられている 5) 切欠のある場合は、切欠形状、加重種類に対応する切欠係数を考慮したことに相当する安全率を用いること 6) 他の諸効果について同じように考えること |
|--|

表37.4 繊維強化プラスチックの疲労^{[6][7]}

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) ガラス繊維との接着力が大きいプラスチックほど疲れ強さが向上する 2) 疲れ強さの向上は、2方向性充填の場合、ガラス繊維充填率は70%まで、1方向性充填の場合約80重量%まで期待できる 3) 高温になると疲れ強さは減少する。それはプラスチック材料の温度特性によって異なる 4) 一般に低温では疲れ強さは増す 5) 湿度の影響は比較的受けにくい。しかし切欠がある時は湿度によって疲れ強さは低下する 6) 穴、切欠、金属インサートなど応力集中するところは疲れ強さが大きく低下し易い 7) 成形時の残留気泡が応力集中の原因になって疲れ強さを低下させ易い |
|---|

2. 注意事項

鉄鋼については永年にわたり日本機械学会が検討し、疲労試験データを取りまとめている。プラスチック材料の土壌は金属材料とは違うけれど、大同団結してこういうデータの体系化が期待される。

出典

- [1] 成澤都夫：プラスチックの機械的性質、pp179-190、(株)シグマ出版(1994)
- [2] 山口幸三郎：加工と設計のためのプラスチックの機械的性質、p212、日刊工業新聞社(1967)
- [3] 島村昭治：機械設計、9(7)p18(1965-6)
- [4] 黒田・小牧：材料、14p172(1965-3)
- [5] 大道寺達・横塚実：生産設計法、p187、p268、パワー社(1986)を要約
- [6] 小林昭：プラスチック構造材料、p206、(株)工業調査会(1969)
- [7] 島村昭治：ファイバー強化プラスチックの特性、2、動的特性、日機誌、71(593)p766(1968-6)

§4 プラスチック成形部品設計

1. プラスチックの衝撃強さ

材料の種類によって程度は違うが、引張りの場合、一般に負荷速度が大きいほど破壊強さは大きく、破壊伸びは小さくなる。シリコン樹脂の引張り伸びの速度依存性はあまりにも有名で、速度によって伸びが 200 倍程度も異なる。従って負荷速度に応じた考え方が必要で、破断する時間が 1 ~ 10ms の荷重を材料にかける試験を衝撃試験といている。その時の衝撃特性を表す抵抗度を衝撃値または衝撃強さという。

試験方式も種々あり、その名称をあげれば、振り子形試験法に属するシャルピー衝撃試験、アイゾット衝撃試験、ダINSTATT 衝撃試験、落球・落錘式試験法、高速引速試験法などがある。

アイゾット衝撃試験は図 38.1^[1]のように、形切欠の側から切欠の上方を打撃する。シャルピー試験法は横に置いた試験片に垂直に、切欠の背面から打撃する 3 点曲げで、試験片の断面寸法や切欠の形状が多種認められている。そして、切欠のない場合の衝撃値との比(%)を相対衝撃強さといっている点などがアイゾットと異なる。ダINSTATT 試験法も独自の切欠形状を指定している。

種々の特性材料を落錘試験した結果の変形曲線を図 38.2^[2]に示す。他の試験法によっても変形曲線は概ね似たような材料間の遠いが見られる。

参考までに各種プラスチック材料のアイゾット衝撃強さを表 38.1^[3]に示す。この表に見るように、衝撃強さが大きい材料はガラス繊維を充填すると衝撃強さが低下している。無機充填材を添加すると、熱変形温度、曲げ弾性係数(図 38.3)は増し、成形収縮率、衝撃値(図 38.4)は減少する。^[4]

プラスチックの種類によって衝撃強さは次のように変わると言われている。^[5]

ポリエチレン、ポリアセタール、ポリカーボネートなどのように、室温で衝撃強さが大きい材料の動的粘弾性には低温で大きな粘弾性吸収ピークがある。(図 38.5)

ポリメチルメタクリレート、ポリスチレンなどのように、室温で衝撃強さが小さい材料では上記のようなピークは認められない。

テフロンでは温度について、衝撃強さと動的粘弾性のピーク的一致点が認められる。(図 38.6)また、結晶性プラスチックでは結晶化が進むと収縮し、表面にひけを生じるとともに、引張り強さ、降伏点、曲げ弾性係数は増すけれど、成形収縮率、衝撃強さは減少する。

表31.8 各種プラスチックのアイゾット衝撃強さ^[1]

樹脂名	種類	アイゾット衝撃強さ	樹脂名	種類	アイゾット衝撃強さ
		kJ/cm ²			kJ/cm ²
ポリエチレン	標準	8	ポリフェニレンオキサイド	標準	18
	強化			強化	10
ポリプロピレン	標準	1.8~4.5	メラミン樹脂	標準	
	強化	7~10		強化	
ポリスチレン	標準	1.4	フェノール樹脂	標準	
	強化			強化	7.1
AS樹脂	標準	2~2.3	不飽和ポリエステル樹脂	標準	3.5~4.5
	強化	5~6		強化	
ABS樹脂	標準	11~32	ジアクリルフタレート樹脂	標準	
	強化	5~8		強化	
ポリエチレンテレフタート	標準	3	ポリアリレート	標準	15~20
	強化	6~25		強化	5~10
ポリエチレンテレフタート	標準	3.5~4.4	ポリフェニレンサルファイド	標準	
	強化	8~10		強化	6~10
ナイロン66	標準	4.5~22	ポリエーテルサルフォン	標準	7.7~11.2
	強化	10~12		強化	7.6~8.2
ナイロン6	標準	5~6	ポリエーテルエーテルケトン	標準	8.5~9
	強化	11~15		強化	9.8~10
ポリアセタール	標準	6.5~220	ポリイミド	標準	
	強化	4~56		強化	1.4~30
ポリカーボネイト	標準	65~96	ポリエーテルイミド	標準	5
	強化	11~22		強化	6~11
アクリル樹脂	標準	1.6			
	強化				

注) 「標準」はプラスチック単体、「強化」はガラス繊維充填プラスチック

(38) プラスチックの衝撃強さ

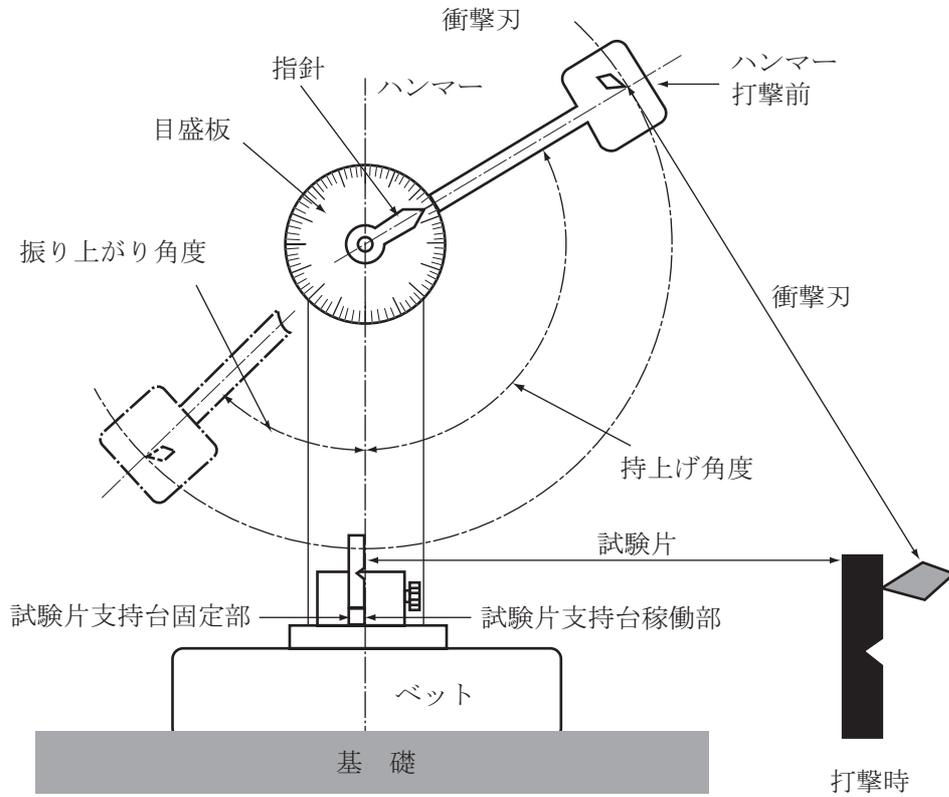


図38.1 アイゾット衝撃試験機 [1]

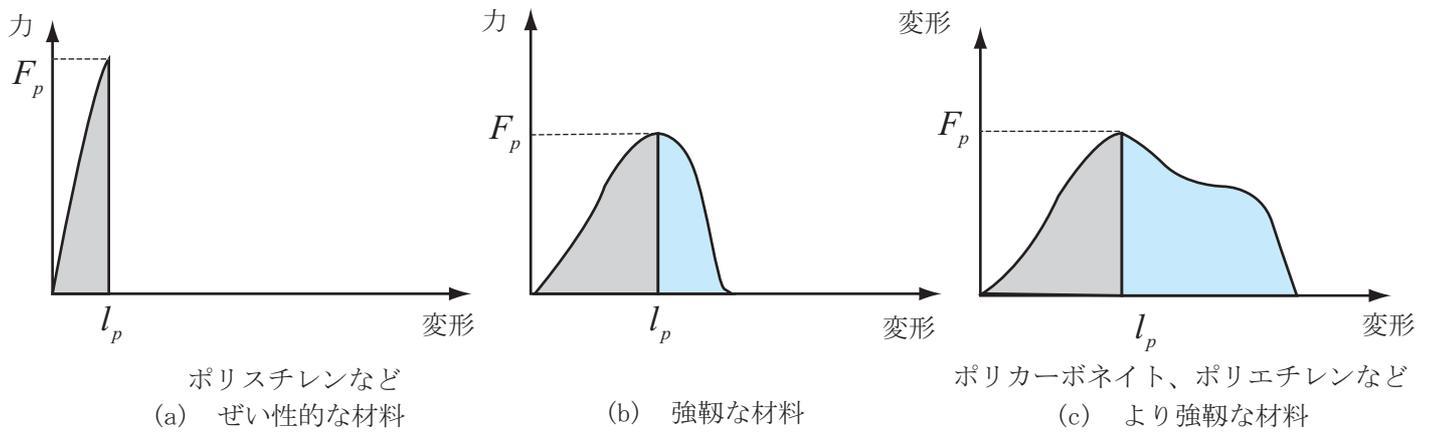


図38.2 落鐘試験の変形曲線 [4]

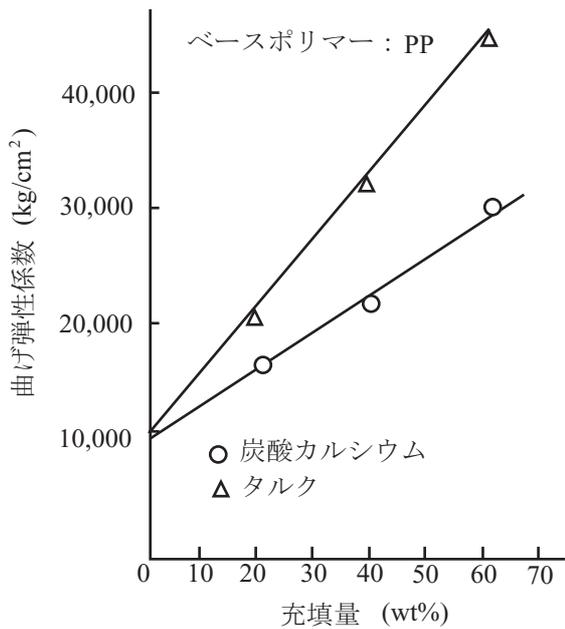


図38.3 無機充填材料と曲げ段数係数^[4]

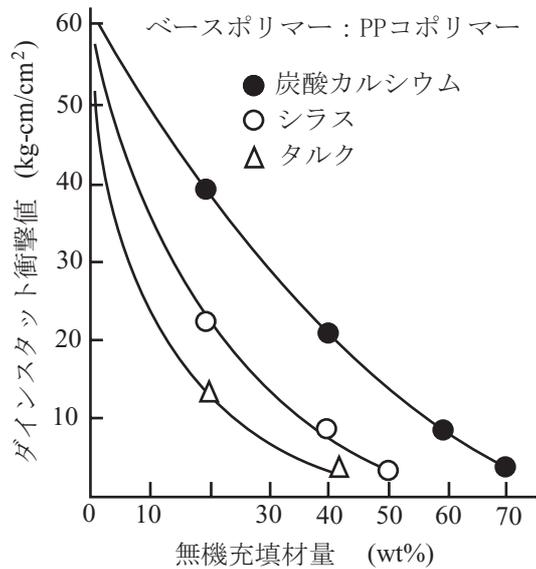


図38.4 無機充填材料と衝撃値^[4]

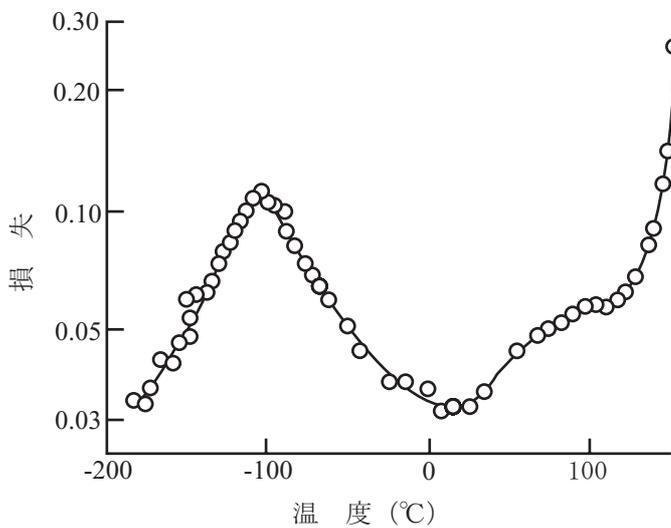


図38.5 粘弾性吸収の温度依存性^[4]
(ポリカーボネートの例)^[3]

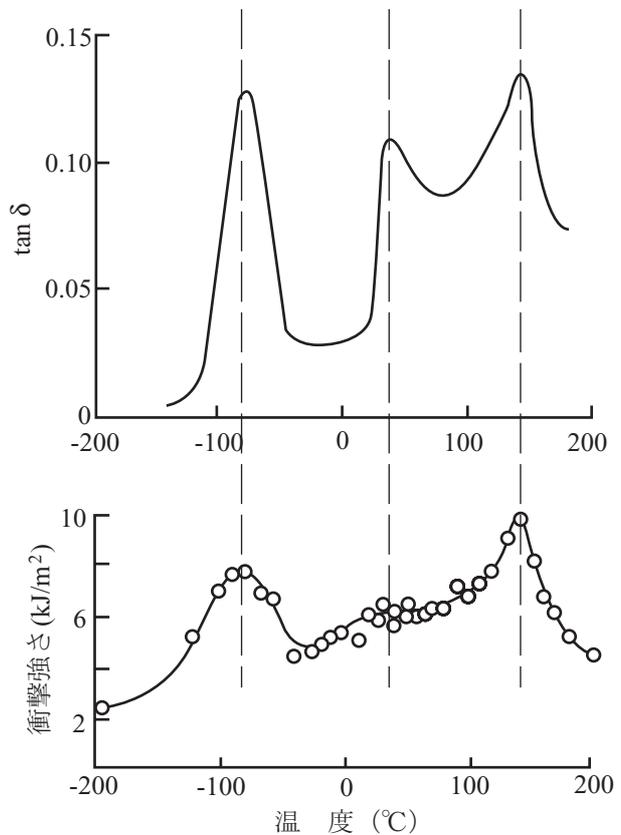


図38.6 粘弾性吸収位置と衝撃強さの温度依存性 (テフロン^[3]の例)

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 物理的強さの意味合い

物理的な外的条件に抵抗して、当初の物理的性質を保つ能力を物理的強さというのだろうが、原因が物理的なものでも所詮は化学的、物質的な変化に帰せられる。従って、化学的な構造・構成の保存能力が化学的強さであるとともに取り上げた物理的な強さになるわけである。^[1]

物理的性質は利用される立場にあることが多く、強さの概念より、むしろ、改善・向上の概念の対象になることが多いように思う。^[1]物理的性質として、古くから取り上げられるものに、密度^[2]、透湿率^[2]、気体透過率^[2]などがあり、これらはプラスチック材料の実用性の面から取り上げられているものである。また、成形品の残留応力の測定には、試験片削除法(力学的)、加熱法(熱的)、光弾性法(光学的；透過式、散乱式、反射式など)、線散乱法(放射線)などの物理的性質が利用されている。しかし熱的性質は力学的強さと同じように常に強いニーズをつきつけられている。以下には物理的性質のうちいくつかについて述べる。

2. 熱的性質

プラスチック材料の特質、射出成形の理解、改善、技術開発のためには、この材料の熱的性質の知識が不可欠である。常識的な意味で、大きな特質はガラス転移現象と既に述べた時間温度変換則である。

いわゆる熱的性質を表 39.1^[3]に一覧する。プラスチックの熱的特性は、

- (1) 図 39.1^[4]に示すように金属材料より重量比熱、熱膨張係数は大きく、熱伝導率は非常に小さい。成形品設計、金型設計にあたっては特に留意を要する。熱による変形は次節で、成形収縮については後に述べる。
- (2) 金属材料より、はるかに低く、狭い範囲の温度で、状態変化、物性変化が起こる。この特性を使ってプラスチックの成形は効率的に行われる。
- (3) 比熱(図 39.2)^[5]、熱伝導率、線膨張係数(図 39.3)^[6]、比容積(図 39.4)^[7]、結晶化温度、粘度などの多くの性質が温度によって変わる。このように、プラスチック材料では熱的性質が他の物性の基盤になっている。

3. ガラス転移温度

結晶性プラスチックでは図 39.4 に示すように結晶の生成または溶融のために結晶化温度付近で急激に体積が変化する。非晶プラスチックではガラス状固体からゴム状液体に変わる。このような点をガラス転移点といい、その温度をガラス転移温度という。ガラス転移現象は互いに凍りついていた分子のある部分が開放されて、ミクロブラウン運動を始める^[8]点と解説されている。この図については次節でも取り上げる。

各種プラスチック材料のガラス転移温度、融点、脆化温度を図 39.5^[9]に示す。

表39.1 種々な熱的性質

	区分	測定される物性値	単位	温度依存性大なるもの	関連する物性
1	熱的物性	比熱 熱伝導率 非容積 線膨張係数	Cal/ .g Cal/km.s cm ³ /g /		熱の移動速さ ” ” ”
2	状態の変化 (固化、軟化、溶融など)	ガラス転移点 結晶融点 結晶化温度			転移 ” ”
		粘度 剪断力 流動量 メルトフローインデックス	poise dyne/cm ² cmまたはg -		流動性・成形性 ” ” ”
3	耐熱性	熱変形温度 ピカット軟化点 クラッシュベルグ柔軟温度 加熱収縮率 加熱温度 結晶化度	% % %		形状、寸法の抵抗性 ” ” ” ” ”
		力学的性質の変化 電気的性質の変化	- -		
		外観(ふくれ、ひび割れ、変色、失透) 熱分解温度	-		化学的な抵抗性 ”
4	耐寒性	低温脆化温度			
5	耐熱性	燃焼速さ 外観劣化			

(39) 物理的強さ—熱的性質

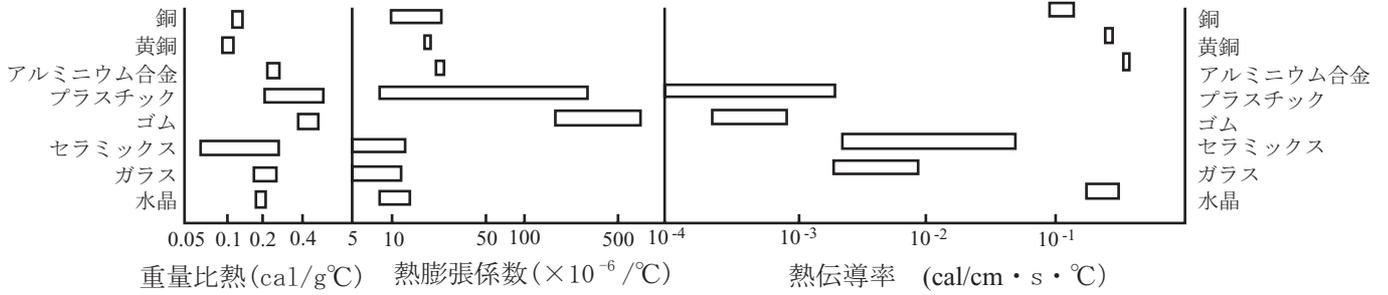


図39.1 各種工業材料の熱的物性^[4]

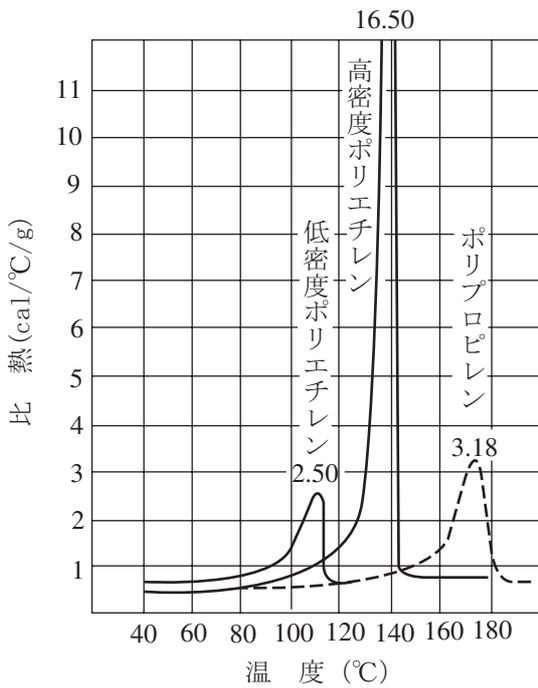


図39.2 ポリプロピレン及びポリエチレンの比熱—温度特性曲線^[5]

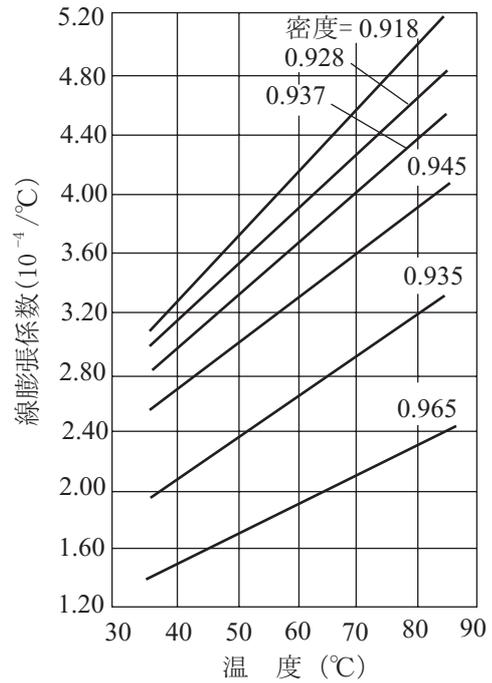


図39.3 種々の密度のポリエチレンの各温度における線膨張係数^[6]

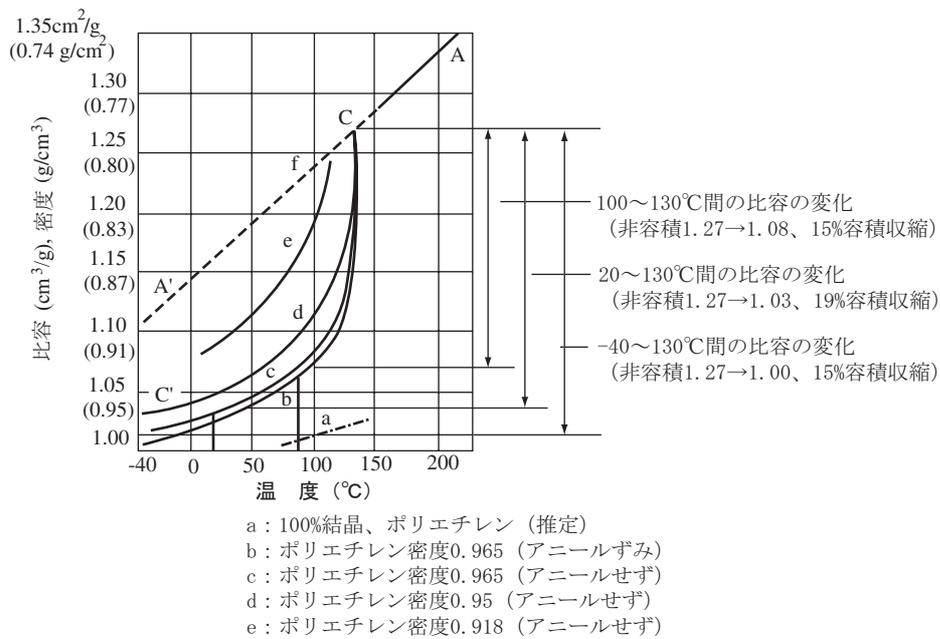


図39.4 ポリエチレンの各温度における比容の変化^[7]

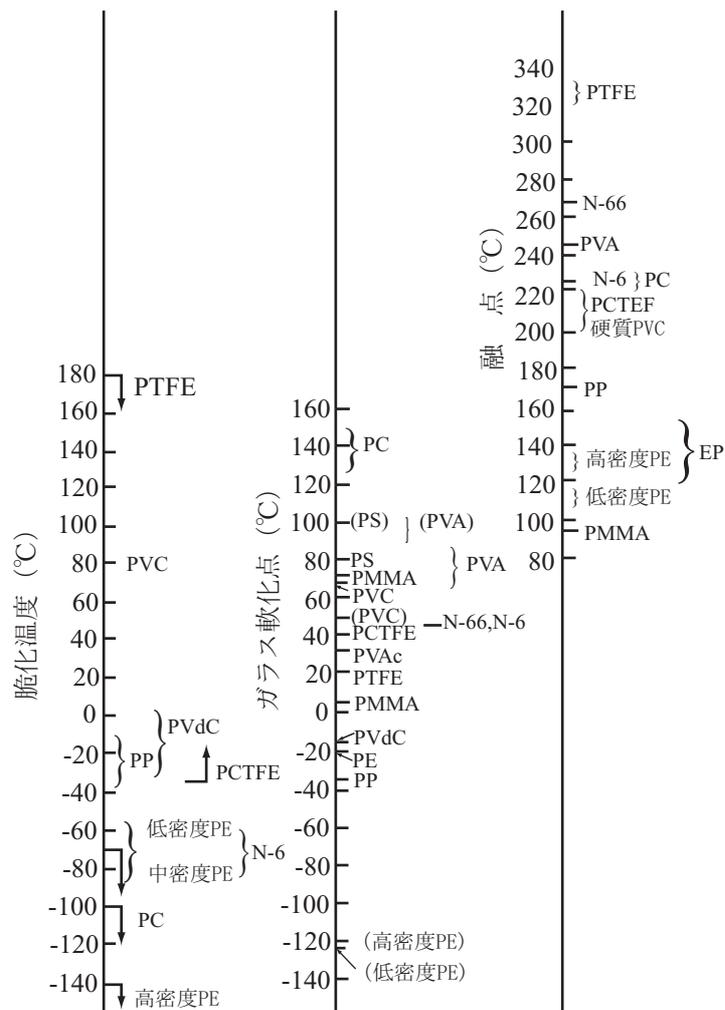


図39.5 各種プラスチックの融点、ガラス転移点、脆化温度^[9]

- (1) プラスチックは分子構造上、熱伝導率が悪く、蓄熱し、耐熱性については金属に遠かに及ばない。力学的強さの向上とともに熱的強さの向上のために、各種フィラーの配合充填が提案され、その意味の目的は達している。
- (2) 温度の測定は難しい。特に熱の移動が容易ではないプラスチックでは、成形品の温度は必ずしも均一でない時もあるから、入念な測定が必要である。また、技術的な説明にあたっては、測定条件、測定法を明記したい。
- (3) 熱変形は物理変化だが、熱劣化(酸化劣化)及びデグラデーション(生成物を生じないで平均分子量が低下する現象)は長期的化学変化、熱分解は短期化学変化をいう。

出典

- [1] 青木正義：プラスチックの強さについて(未発表)
- [2] 小林昭：プラスチック構造材料、pp123-126、(株)工業調査会(1969)
- [3] 青木正義：プラスチック成形品設計、p149、(株)工業調査会(1988)
- [4] [2]の p135
- [5] 廣恵章利・本吉正信：成形加工技術者のためのプラスチック物性入門、p136、日刊工業新聞社(1972)
(但し読取值修正)
- [6] [5]の p237
- [7] [5]の p239
- [8] 井本稔：高分子工学概論、p69、日刊工業所開社(1976)
- [9] 小林昭：プラスチック構造材料、p140、(株)工業調査会(1969)

§4 プラスチック成形部品設計

1. 熱による変形

熱による変形は成形過程にも成形品完成後にも生じる。その現象と原因は表 40.1^[1]の通りである。ここでは、この変形現象を通覧し、具体的に金型設計の寸法決定にかかわりの深い成形収縮率のみは後に述べる。

(1) 成形過程の体積収縮

- (i) プラスチック材料の成形固化過程で体積収縮が発生する。金属とプラスチックの差が大きいので成形品は金型より小さいものができる。
- (ii) 次に、固化の終わりの段階で、熱可塑性プラスチックのうち、結晶性のものは冷却過程で結晶化する際に体積収縮する。先に掲げた図 39.4 に見るように A から冷却した場合に、AA'のように直進せず、途中の C から結晶化し始め CC'のように比容(密度の逆数)は極めて小さくなる。この C 点を結晶化温度という。非晶性熱可塑性プラスチックの場合には、ガラス転移点があって屈曲するけれど、結晶化のようにはひどくない。一般に結晶性プラスチックの成形収縮率は非晶性プラスチックの場合より 1 桁大きい。結晶化度が大きくなると剛性を増し、線膨張係数が減少するので、幾分成形収縮率の増加を妨げることになる。

なお参考までに述べれば、熱硬化性プラスチックの場合には、成形時の加熱で、重合反応が進み、分子が巨大化するとともに、架橋が進み網目構造が成長する。そして体積が収縮し硬化度が進むと却って線膨張係数は小さくなるため成形収縮は小さくなる。硬化の進行に伴い成形収縮が正負いずれの方向に進むかは成形条件によって変わるので一概には結論づけられない。また、フェノール樹脂、ユリア樹脂、メラミン樹脂などの縮合形の樹脂では縮合重合によって生じる水ほかを放出し、体積収縮する。

(2) 成形過程の弾性回復^[2]

金型内の溶融プラスチック材料は熱膨張により体積を増そうとしているのに、成形圧力によって、図 40.1^[2]、図 40.2^[2]のように圧縮されている。かなり長い時間、成形品を金型内に放置しない限り、圧縮応力は凍結されないから、離型すると成形圧力が解放され、弾性回復する。弾性回復については、

熱的収縮による成形収縮の一部を相殺する

圧縮性の大きいプラスチックほど大きい。一般に熱可塑性プラスチックの方が熱硬化性プラスチックより大きい。

プラスチック材料、充填材・強化材の種類や配合比、成形条件特に溶融材料温度、成形圧力によって、図 40.1、図 40.2 のようになり異なる。

(3) 成形過程の分子配向の緩和^[2]

プラスチック材料の分子は成形のための溶融流動方向に配向する。冷却過程で、分子が元の状態に戻ろうとして、配向が一部緩和され収縮する。配向の緩和は内部応力が大きい所ほど大きいから、流動方向の方が直角方向より、成形収縮も分子配向緩和も大きい。冷却後に再加熱した時も次項に示すように加熱収縮を生じ、その値も上と同じ傾向を示す。

(4) 成形後の加熱収縮

成形時の配向によって生じる成形品内部の残留応力は、熱が加わると解放され、いわゆる加熱収縮を生じる。配向が強いほど加熱収縮は大きい。プラスチックを配向させると残留応力とあわせて力学的性質である引張り強さや衝撃強さを増すので、配向は改質の一手段としても利用される。

(5) 成形後の結晶化^[3]

非晶性プラスチックで 5/1000 程度、結晶性プラスチックで 20/1000-50/1000 の成形収縮があり、この差の原因の一つに結晶化がある。

一般に冷却速度によって結晶化の程度が変わる。結晶性プラスチックは冷却過程で融解熱に相当する量の結晶化熱を発生する。このために、離型後もある程度温度が高く結晶化が進み、収縮して表面にひけなどを生じる。一方結晶化が進むと、引張り強さ、降伏点、弾性係数は増し、伸び、衝撃強さは減少する。

(40) 熱による変形

表40.1 熱による変形^[1]

区分	現象	原因	熱可塑性	熱硬化性
成形仮定	体積収縮	熱的収縮（熱膨張係数で評価する）		
		結晶化		
		硬化（重合）反応による網状化（熱膨張係数の減少を伴う）	-	
		揮発性物質の放出		
	体積膨張	弾性回復		
変形の方向性	分子配向の緩和			
成形後	寸法変化	熱収縮	評価法	加熱収縮率
	形状変化	結晶変化		加熱減量
				熱変形温度
				ピカット軟化点
	外観変化（ふくれ、ひびわれ、変色、失透）	熱分解		クラッシュベルグ柔軟温度
外観試験				
			熱分解温度	
			加熱減量	

注) : 大きい、 : あり

(40) 熱による変形

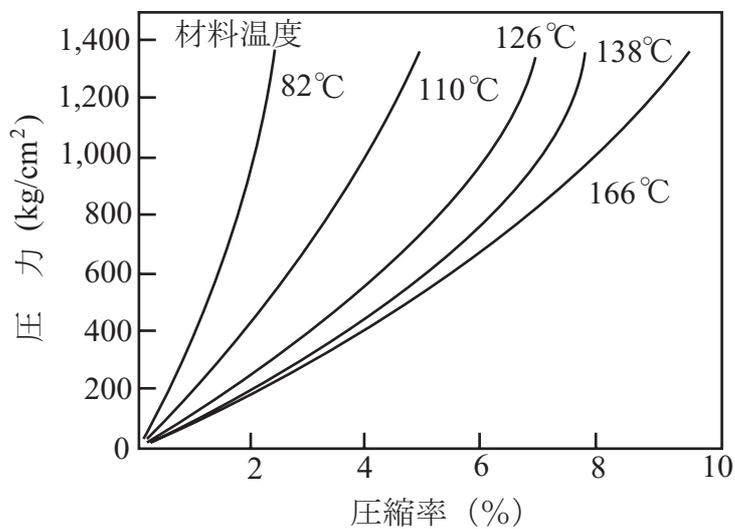
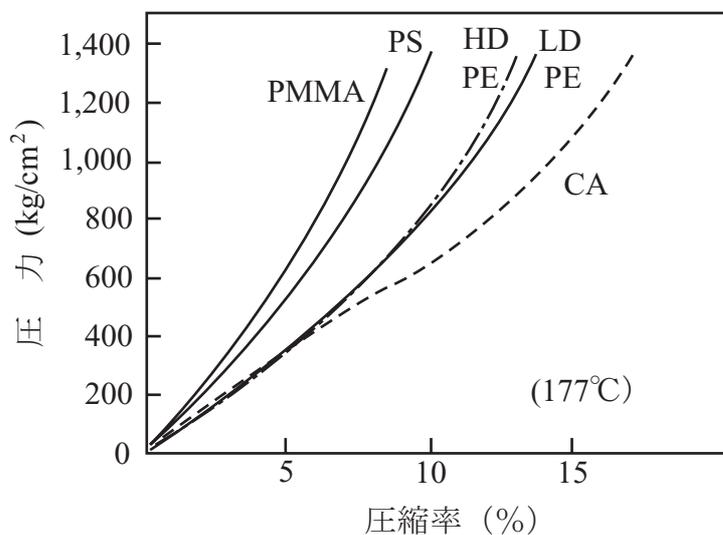


図40.1 種々の温度における汎用ポリスチレンの圧縮率と圧力の関係^[2]



PMMA : メタクリル樹脂
 PS : ポリスチレン
 HDPE : 高密度ポリスチレン
 LDPE : 低密度ポリスチレン
 CA : セルロースアセテート
 (酢酸繊維素)

図40.2 各種熱可塑性プラスチックの圧縮率と圧力との関係^[2]

2.注意事項

この節の説明は試験片モデルにより得られ、積み重ねられて、今日通説となっていることを記した。より新しい発見もあろうが、成形品設計者としては、この程度の知識・通説を担当実務に活かし、また、なおどういう成形品データを採るべきかを考えることが大切である。真髄はなかなか簡潔に紙の上には表現できないし、ノウハウは濫りには社外には流出しない。

出典

- [1] 青木正義:プラスチック成形品設計、p154、(株)工業調査会(1988)
- [2] 廣恵章利・本吉正信：成形加工技術者のためのプラスチック物性入門、p240、日刊工業新聞社(1972)
- [3] 瀬戸正二監修：射出成形(第8版)、p67、p133、プラスチックスエージ社(1977)

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 耐熱性

耐熱性は図 41.1^[1]に示すように高温における形状や寸法の変化に対する抵抗すなわち耐熱変形性で評価する場合と、外観変化で評価する場合とがある。熱可塑性プラスチック材料には耐熱変形性を、熱硬化性プラスチック材料には外観変化判定を用いることが多い。

耐熱変形性は所定の形状の試験片に所定の荷重を加えながら加熱して所定変形量に達する時の温度で表し、この耐熱温度を熱変形温度と呼んでいる。外観変化判定は所定形状の成形品を等温槽中で所定時間加熱した後に外観変化を生じなかった加熱温度で表す。

これらの耐熱温度は実際の成形品の長時間連続使用可能温度を示すものではなく、材料間の相対的比較値にすぎない。実用上重要な上記温度は熱変形温度より約 20～30 下回ると考えられている。アメリカ、全国損害保険組合の研究機関 UL (Underwriters' Laboratories Inc.)はアメリカでは権威あるものとされ、所定の試験片の合格品に対して合格認定を与えている。すなわち、合格試験片の材料の銘柄・品番・指定最小厚さを限定して長期使用温度と称することを認めている。ガラス繊維配合材料を含めて 200 を越えるものはごく僅かである。主なプラスチック材料の耐用温度を表 41.1^[2]に示す。

2. 荷重たわみ温度(熱変形温度)^{[3][4]}

従来、熱変形温度と呼ばれ ASTM D648 に基づいて行われていた試験法が、JIS (K7207-1983)に採択され、荷重たわみ温度と呼ばれるようになった。これは熱硬化性プラスチック材料及び塩化ビニル樹脂を除く熱可塑性プラスチック材料に広く連用されている。図 41.2^[3]のように試験機の油槽中に置いた試験片の中央から荷重を加え、材料の種類、試験片の厚さに応じて曲げ応力を所定の 4.6kg/cm²または 18.6kg/cm²にする。そして定速で油温を上昇させ試験片に一定のたわみが生じた時の油温を荷重たわみ温度という。いわば、曲げ弾性の温度評価のようなもので、曲げ応力の大きさが異なれば、図 41.3^[4]のように荷重たわみ温度も異なるから、曲げ応力の大きさ、試験片厚さも付記することが望ましい。

熱可塑性プラスチックでは図 41.4^[5]のようにアニーリングによって熱変形温度は著しく増す。あわせて残留応力除去、結晶化度調整、力学的性質向上、ストレスクラッキング防止、寸法安定性向上にも有効である。結晶性プラスチックの場合には結晶化も進んで硬さが増し、弾性係数が増す。またガラス繊維を充填すると熱変形温度は向上する。ポリアミド、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリアセタールなどは効果が著しいが、スチレン系材料は比較的少なく、ポリカーボネートはほとんど向上しないといわれている。

表41.1 プラスチックの耐用温度^[2] -UL Temperature Index (H. Reymersによる)

		UL利用温度 ()																				
材種		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220			
熱可塑性 射出成形用	ABS樹脂	(電気特性) (電気特性)																				
	ポリアセテート(コポリマー)																					
	ナイロン6																					
	" 6.6																					
	" 11																					
	" 6.10																					
	" 6.12																					
	" 6.6 -ガラス入り																					
	ASA樹脂																					
	ポリカーボネイト																					
	" -ガラス入り																					
	ポリエチレン																					
	PET(飽和ポリエステル)																					
	PBT()																					
	PPO(変性)																					
	ポリプロピレン																					
	ポリサルホン																					
" -ガラス入り																						
ポリスチレン																						
AS樹脂																						
ポリ塩化ビニル																						
CTFE(三フッ化)																						
FET																						
熱可塑性 フィルム	ナイロン(Nomex)																					
	PET(テトロン)																					
	ポリイミド(Kapton)																					
熱硬化性 成形材料	アルキッド樹脂																					
	ジブリルフタレート樹脂																					
	イソオルソ																					
	" コーティング用																					
	メラミン樹脂																					
	フェノール樹脂																					
	不飽和ポリエステル樹脂																					
	" -ガラス入り																					
ユリア樹脂																						
ポリウレタン																						
熱硬化性 積層板	フェノール樹脂																					
	" -紙基材																					
	" -綿布基材																					
	" -ガラス布基材																					
	" -石綿基材																					

(41) 熱に対する強さ

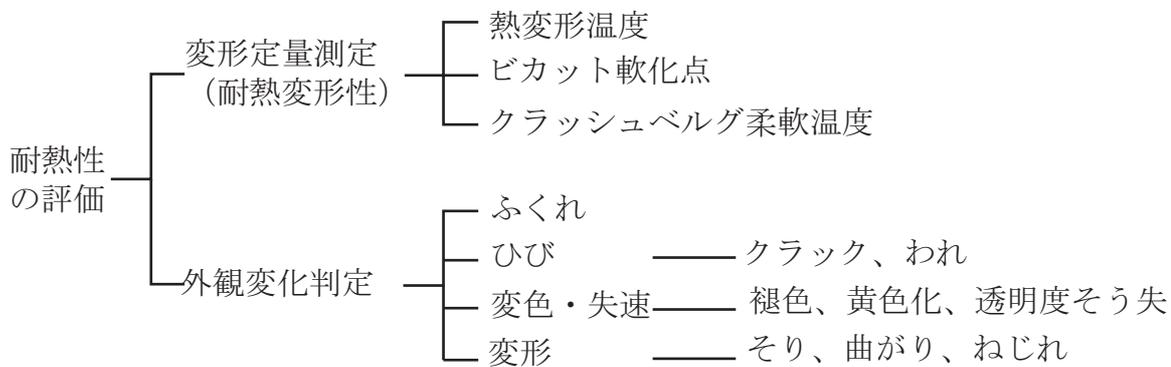


図41.1 耐熱性の評価^[1]

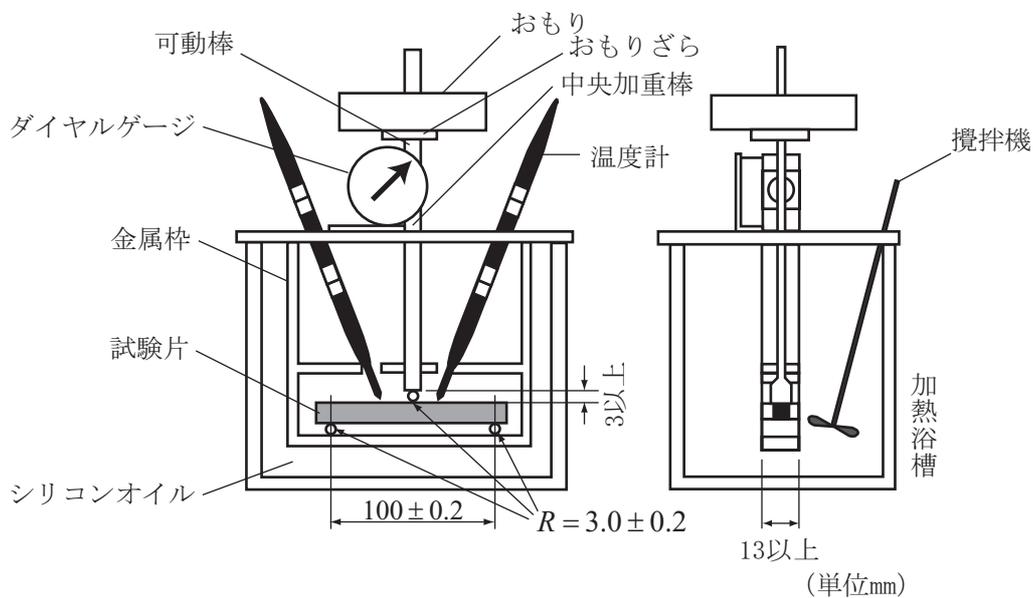
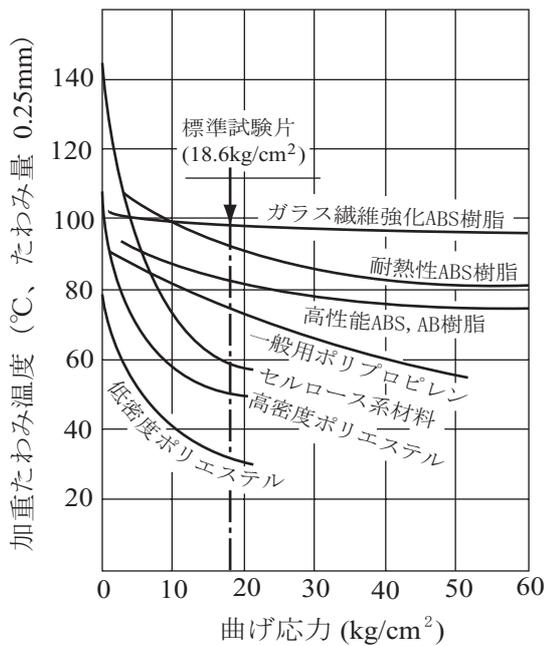


図41.2 加重たわみ温度試験器 (JIS K 7202)^[3]



試験片：射出成形試験片、厚さ3.2mm
 アニールなし
 試験法：JISK6871（ASTMD648に同じ）に
 準じ、試験片の加重を変化させる

図41.3 曲げ応力と加重的たわみ温度の関係^[4]

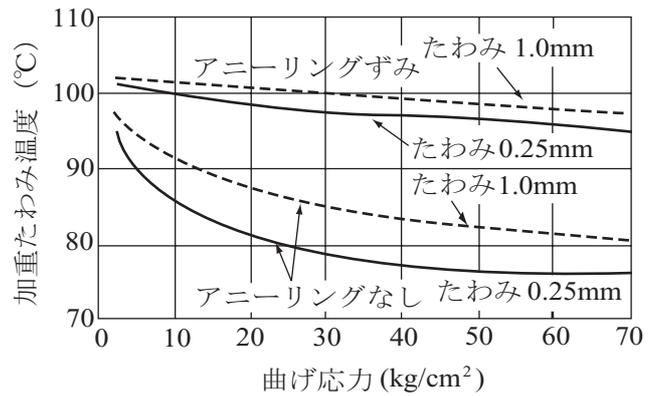


図41.4 一般用AS樹脂の加重的たわみ温度に及ぼすアニーリングの効果^[5]

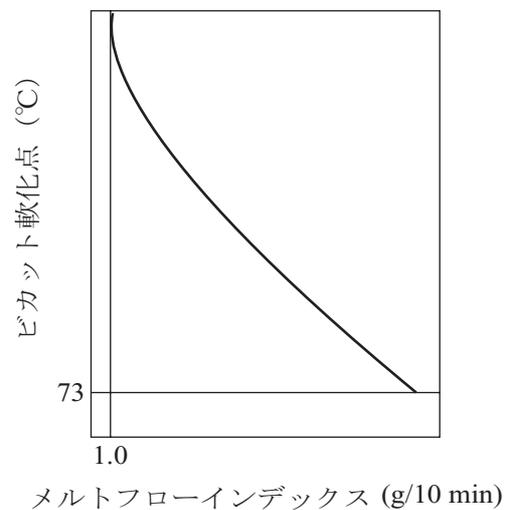


図41.5 ポリエチレンのビカット軟化点とメルトフローインデックスの関係^[5]

3. 付記、注意事項

- (1) 熱分解温度の低いもの(例ポリ塩化ビニル)は使用条件によってはガスによるヤケが生じる。
- (2) ポリスチレンのビカット軟化点は引張り強さ、曲げ強さ、メルトフローインデックスと強い相関を持っていることが認められている。(図41.5)^[5]
- (3) プラスチックは本来、有機化合物だから絶対燃えないというわけにはいかない。耐燃性とは耐火性ではなく難燃性として扱われている。難燃度はUL認定による。
- (4) 0°C以下の抵抗性を耐寒性といい、低温試験槽に入れた片持はり試験片に所定の打撃力を与え破壊した時の試験槽温度を脆化温度と呼び耐寒性を表す。(JIS K7216-1980プラスチックのぜい化温度試験法) 実用プラスチック材料では硬質ポリ塩化ビニル、ポリプロピレンは脆化温度が低い。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p160、(株)工業調査会(1988)
- [2] Modern Plastics Encyclopedia 49, 165 (1972-1973)
- [3] 日本規格協会：JISハンドブック、11、プラスチック、p301、日本規格協会(1991-4)
- [4] 廣恵章利・本吉正信：成形加工技術者のためのプラスチック物性入門、p143、日刊工業新聞社(1972)
- [5] [4]のpp146-148

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 物理的な強さ

プラスチックを使用する多くの場合、物理的な性質の中で、強さを直接問題にすることは稀で、副次的に表れる物性値を取り上げることが多い。物理的な物性値を取り上げる時は、その特性を主な目的とする場合が多い。例えば、光学的特性を活用する時はその特性値を主に検討するので全く専門分野の課題となる。高分子半導体、写真・複写などのトナー、感光硬化プラスチック、イオン交換樹脂、接着剤^[1]などのように、他の属性との巧みな組み合わせで、それぞれの分野を形成しているので、ここでは述べきれない。

2. 耐光性・光劣化

プラスチックを光に暴露した時の強さを耐光性という。研究的には、紫外線を含めた光によって、成形品となっているプラスチックの材料が劣化開始することを取り上げる例が多い。実用性から考えると太陽光による劣化の結果と防止法が取り上げられることが多い。太陽光は波長別に表 42.1^[2]のように分布している。そして、最大劣化を引き起こす波長は表 42.2^[3]の通りで可視光線より紫外線で光劣化し易いことも判っている。

田島はポリエチレンにカーボンブラックを配合すると引張り強さは図 42.1^[2]のように、脆化劣化時間は図 42.2^[2]のように遮蔽効果によって強化されるとしている。また、図 42.3^[3]のようにある種のプラスチック材料では光劣化は温度に著しく左右される。またポリエチレンについてはメルトフローインデックスが大きい時には耐光性が小さくなることも図 42.4^[4]のように示されている。すなわち分子量が大きく、メルトフローインデックスが小さく、結晶化度の小さいものの方が耐光性は大きくなるといえる。

ポリスチレンについて紫外線カーボンアーク灯によっても屋外暴露によっても表面近くは分子量低下が著しいことが図 42.5(a)(b)^[5]から判る。これを比較すると屋外暴露の方が水分、光の照射・不照射の繰り返しが過酷な条件になっていることになる。

また詳細は省略するが Je1linek ら^[6]の熱分解理論と Crank^[7]の拡散理論から劣化の程度を定量化するのに見かけの拡散係数が使われる。これを適用している渡辺等の報告から図 42.6^[5]を紹介する。

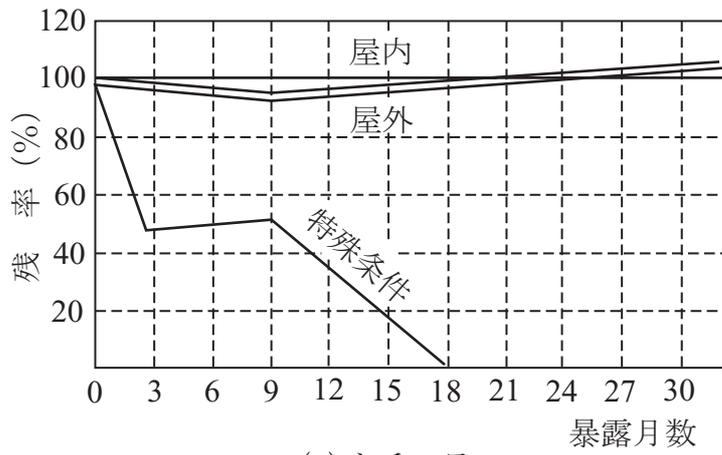
ここに比較のために屋外暴露試験を出したが、正しくは耐候性(耐天候性)といわれ(50)節に再び若干説明する。また、屋外暴露に代わる促進試験は間欠的に水をスプレーするが、このスプレーを止めれば、ここでいう紫外線カーボンアーク灯照射になる。

表42.1 太陽光の波長別エネルギー分布^[2]

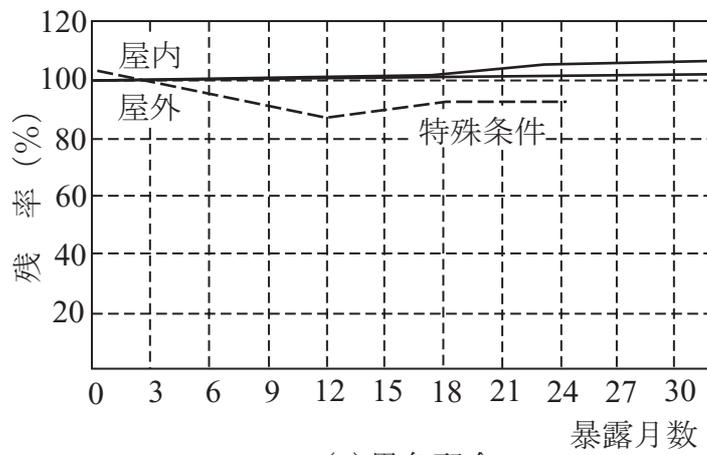
波長(nm)	1インチのエネルギー (kcal)	強さ ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
290 ~ 350	98.6 ~ 81.6	0.4
350 ~ 400	81.6 ~ 71.5	1.57
400 ~ 450	71.5 ~ 63.5	3.84
450 ~ 550	63.5 ~ 52.0	11.71
550 ~ 650	52.0 ~ 44.0	11.72
650 ~ 750	44.0 ~ 38.1	10.49
750 ~ 800	38.1 ~ 35.7	4.23
800 ~ 1000	35.7 ~ 28.6	12.1
1,000 ~ 3,000	28.6 ~ 9.5	18.02
290 ~ 3,000	-	74.08

表42.2 プラスチックの最大劣化波長^[3]

ポリマーの種類	吸収が最も多い波長 波長(nm)	ポリマーの種類	吸収が最も多い 波長(nm)
ポリエステル	325.0	ポリ酢酸ビニル	280.0
ポリスチレン	318.5	ポリカーボネイト	280.5 ~ 305.0
ポリプロピレン	300.0		330.0 ~ 300.0
ポリ塩化ビニル	320.0	ポリスチレン	300.0
塩化ビニル	327.0	AS樹脂	200.0
酢酸ビニルコポリマー	364.0		325.0



(a) ナチュラル



(b) 黒色配合

図42.2 ポリエチレンの劣化^[2]

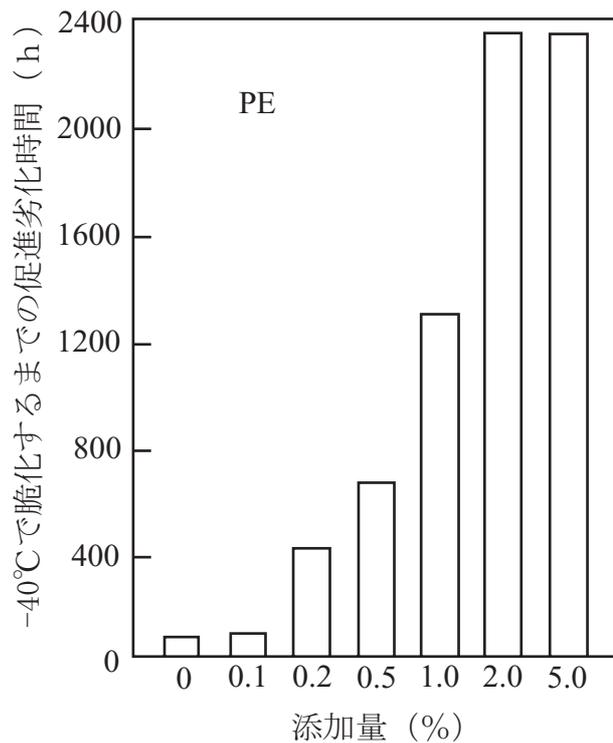


図42.2 カーボンブラックの効果 (添加量の影響)^[2]

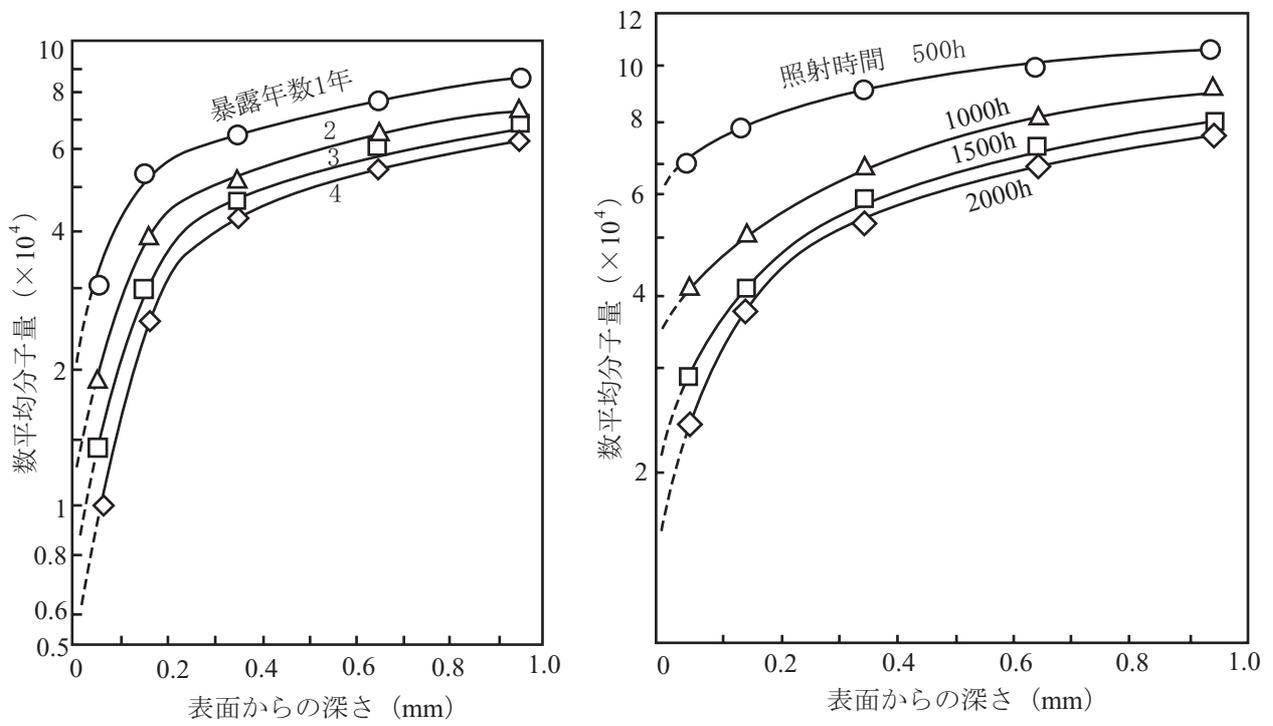


図42.5 ポリスチレンの深さ方向の数平均分子量の変化^[5]

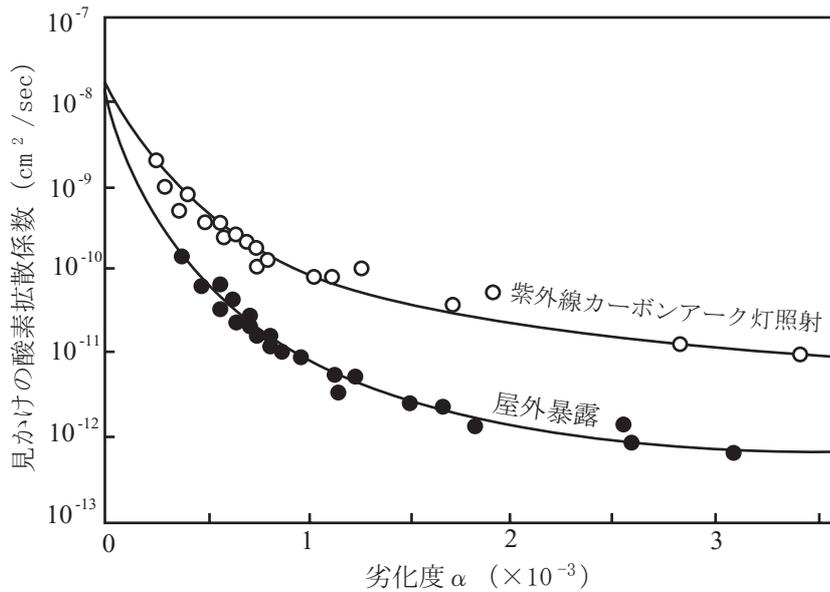


図42.6 暴露したポリスチレンの見かけの酸素の拡散係数と劣化度の関係^[5]

3. 注意事項

劣化原因を光だけに絞ると研究は取り上げ易いが、実物の劣化を説明しきれない。最近では複合要因、特殊過酷要因である耐候性の論議の方が盛んであるけれど、それに到る過程として、耐光性に関する一応の理解も必要であろう。

出典

- [1] 井本稔：高分子工学概論、pp145-154、日刊工業新聞社(1974)
- [2] 田島守隆：劣化と耐久性、セミナーテキスト、pp64-71
- [3] 廣恵章利・本吉正信：プラスチック物性入門、pp205-207、日刊工業所開社(1972)
- [4] 宮本：工業材料、16(3)p32(1968)
- [5] 渡辺寧・代田忠：高分子材料の光劣化過程と力学的性質、某所資料、pp50-54
- [6] [5]による：H.H.G.Jelline et al, Micromolecules,3p231 (1970)
- [7] [5]による：J.Crank, Mathematics of Diffusion, p19, Oxford (1956)

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 光学的機能の進展

プラスチックの特徴を金属と比較して表 9.4 に示した。セラミックスを含めて、力学的、物理的性質に関する井手の比較を表 43.1^[1]に掲げる。また、高機能プラスチック材料に要求される高度機能は表 16.2 に示した。これらの機能特性は分子設計、モルフォロジー設計にあわせて成形技術によって実現できる。

高度情報社会においてはオプトエレクトロニクス関連の技術と技能を駆使した商品の展開が著しい。また新商品の開発速度はすこぶる速い。久しい間、プラスチックに期待されていた光学的特性も高度化するとともに、新機能も着実に開発され成果を上げている。これを表 43.2^[2]に一覧する。

光ディスク用プラスチックは透明性、低複層折率、耐熱性などが要求されている。また半導体の DRAM(随時書き込み読み取りメモリー)の大容量化も進み、露光により、細線を描出できる感光性プラスチックが求められている。これらの材料は当マニュアルの範囲である熱可塑性プラスチックを適えた範囲である場合が極めて多いが、動向として承知しておかれた方がよいと考える。

具体的にこのような光学用成形部品の成形には表 43.3^[3]のような注意が必要である。

(43) プラスチックの新機能・光学特性

表43.1 各種材料の力学的、物理的特性

材料	構造	結合力	密度 (Mg/cm ³)	強さ (MPa)	弾性係数 E (GPa)	延性 (破断歪) (%)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ /)	融点又は ガラス 転移点(K)
プラスチック	多くは分子鎖からなる非晶質	主として共有結合	小 (1~2)	小 10~100	小 約1~10	小~大 (10 ⁰ ~10 ³)	大 (10 ² ~)	低 約350~600
金属	多くは単体又は固溶体の結晶	主として金属結合	中~大 (2~20)	中 400~3,000	中 70~400	中 (10 ⁰ ~10 ²)	中 (4~40)	中 約400~3,400
セラミックス	多くは化合物系結晶の集合体	主としてイオン結合と共有結合	小~中 (1~5)	大 1,000~20,000	大 70~700	小 (~10 ⁰)	小 (0~10)	低 約800~3,500

表43.2 要求される光学特性

	項目	備考、用途
従来からの要求	色及び彩色・着色性 光沢 透明性 — 光透過性 └ くもり値 屈折率 光弾性	色相・彩度・明度 鏡面光沢度、対比光沢度 複屈折
新機能要求	光・紫外線などによる重合効果、 架橋又は分解性 瞬間硬化接着性 超透明性 高解像度感光性	歯科材料 眼鏡レンズ、非球面レンズ、プリズム、回折格子、ディスク 256bitDRAM半導体（線幅0.25～0.3μm程度）

表43.3 光学用プラスチック部品の成形^[3]

区分	必要事項
材料	複屈折率が小さく、耐熱性、耐湿性に優れた高純度プラスチック
部品設計	光学仕様、形状精度を同時に確保できる設計
金型加工	キャビティ面の精密加工の要素技術、NC（数値制御）を応用した加工法
成形法・成形プロセス	熔融材料にキャビティ面（キャビティ・コアの空洞空間）形状を精密に転写できる技法

2. 注意事項、付記

- (1) 情報・映像機器、パソコンの家庭への浸透に伴い、光学特性を重視するプラスチック成形品が強く求められている。この傾向は 1995 年にはすでに見られ、成形メーカーでは独自に、または材料メーカーと共同でコンパウンドとか、新種ポリマーの開発に努めている。この様子はすでに(14)節に述べた。表 14.2 を再読頂きたい。
- (2) 光学的要素をもつ特性の良否または合否の判定は必ずしも定量的な測定値のみでは決めにくいことが多い。主観的要素が大きく判定に影響するからである。従って開発の中心となる成形部品設計者または金型製作者は、どういう方法でどういう結果であったら合格とするのか、オーソライズしておくことが必要である。あわせて量産時の品質管理の方法、ロット合格の判定方法も決めておく方がよい。納入先が合議制をとっている所もあるので、納入者側もこれに対応する方策を立てておく必要がある。

出典

- [1] 井手文雄：プラスチックの構造特性と機能特性の展開、プラスチックスエージ社(1996-5)、pp90-95
- [2] [1][3]より抽出作表 青木
- [3] 西村哲郎：家電・情報機器、成形加工、11(4)pp304-309(1999)

§4 プラスチックの成型部品設計

1. プラスチック材料の電氣的諸特性

プラスチックは適当な力学的性質、加工性を持ちながら、電気絶縁性に優れた材料として長く用いられている。1909年に熱硬化性プラスチックのフェノール樹脂が出現してから、種々のプラスチックが開発され、熱可塑性プラスチックも絶縁材料または絶縁性を要する部品・構造材料として用いられるようになってきた。電氣的に着目される物性と他の物性をあわせて、いくつかのプラスチック材料をまとめれば表 44.1 のようになる。大体のオーダーを把握して頂き、必要な時は材料メーカーに照合して頂きたい。

2. 電気抵抗と絶縁耐力^[2]

絶縁体をはさんで電極を設置し、直流電圧 V を加えると、僅かに漏れ電流 I が流れる。ここにも電気絶縁抵抗 R 、 ρ の間には $R=V/I$ が成立する。 I_s を表面を流れる電流、 I_v を内部を流れる電流に分けて測定し、 V/I_s を表面抵抗、 V/I_v を体積抵抗という。単位寸法に換算した値が表面固有抵抗(表面抵抗率)、体積固有抵抗(体積抵抗率)である。1辺1cmの立方体の向かい合った2面に電極板をはり合わせ、直流電圧を加えて、この間の抵抗を測り、間隔 1cm 当たりの抵抗を求めたのが体積固有抵抗で、 $\Omega \cdot \text{cm}$ 単位で表す。

通常材料の絶縁抵抗は体積固有抵抗で表す約束で、 V/I_v 10^{12} $\Omega \cdot \text{cm}$ の時絶縁性は良好とする。吸水率の小さいプラスチック材料なら 10^{14} $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上で、ポリスチレン、ポリエチレン、ポリプロピレンなどは 10^{16} $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上である。因みに、銀、銅の体積固有抵抗は 1.59 、 1.67×10^{-6} $\Omega \cdot \text{cm}$ である。^[3]

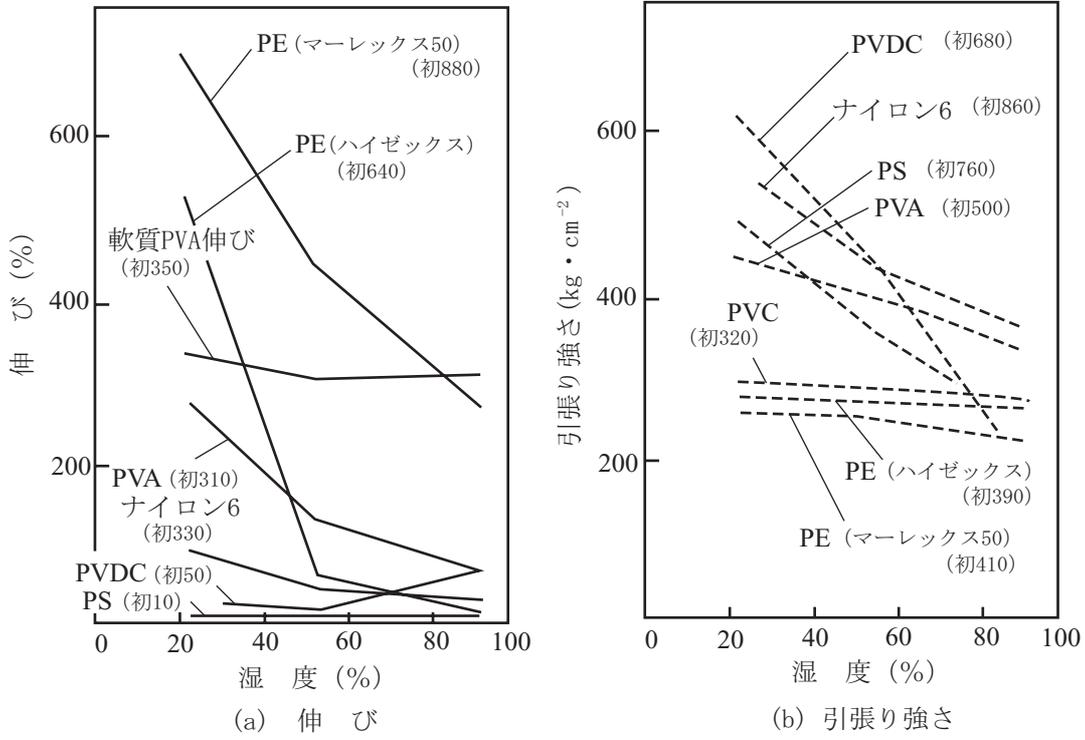
結晶化度の大きいもの、CH から成り立っているものは絶縁抵抗が大きく、OH、COOH、SO₃H、NH₂ など親水性の基を持つもの、吸水性のよいものは絶縁抵抗が小さい。キシレン樹脂、フェノール樹脂は通常体積固有抵抗は 10^{11-12} $\Omega \cdot \text{cm}$ であるが、2時間煮沸後、キシレンは 10^{11-12} $\Omega \cdot \text{cm}$ にとどまるのに、フェノール樹脂は 10^{8-9} $\Omega \cdot \text{cm}$ に下がる。フェノール樹脂の OH の数が約 2 倍だからである。

また、各種材料の 24 時間親水による絶縁抵抗の減少の様子を表 44.2^[1] に示す。分子が動き易くなると絶縁抵抗は小さくなるわけで、温度を上げた例を図 44.1^[4] に、可塑剤を配合した例を図 44.2 に示す。

印加電圧が大きくなり、絶縁材料が耐えられる限界を、観点によって絶縁破壊電圧、耐電圧絶縁耐力等という。絶縁が破壊される最低電圧が絶縁破壊電圧で、単位厚さ当たりの絶縁破壊電圧を絶縁破壊の強さという。体積固有抵抗が大きいほど、また厚さが薄いほど絶縁破壊の強さは大きい。ジュール熱を拡散し易く、熱破壊が生じにくくなるためと推定されている。また温度上昇につれて低下し、ガラス転移温度より高くなると急激に減少する。これは分子主鎖のミクロブラウン運動が活発になるためで、縦弾性係数の激減、誘電率の増加が生じるのと同じ原因である。

また、導電性プラスチックは、ベースになるプラスチック材料に微量の銀、銅の粉末や $0.01 \mu\text{m}$ 以下の炭素などを配合したもので、体積固有抵抗は金属なみである。

(42) 物理的な強さ－耐光性



(図中の“初”は初期値を示す)

図42.3 光劣化における湿度の影響^[3]

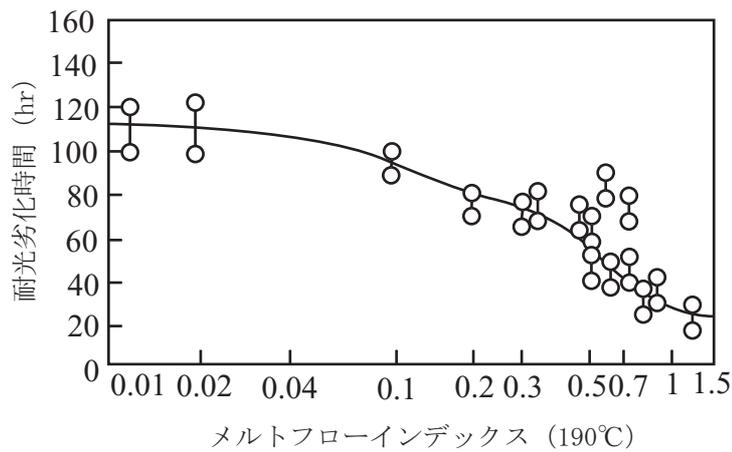


図42.4 ポリエチレンの耐光性に対する分子量の影響^[4]

(44) プラスチックの電気的性質と絶縁耐力

表44.1 プラスチックの電気的特性^[1]

プラスチックの種類 ^{*1}	PE	架橋PE	PVC	PP	ABS	PS	MMA	PA	POM	PC	ポリサルフォ ン	PPO	PI	PTFE	UP	EP	PF	DAP	PUR	SI
1) 体積固有抵抗(Ω-cm)	>10 ¹⁷	>10 ¹⁷	10 ¹³ ~ 10 ¹⁵	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁵	10 ¹¹ ~ 10 ¹⁴	10 ¹⁴	2 ×10 ¹⁴	10 ¹⁶	10 ¹⁷	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁷	>10 ¹⁶	10 ¹³ ~ 10 ¹⁴	10 ⁶	10 ¹¹ ~ 10 ¹³	2×10 ¹⁶	10 ¹²	>5× 10 ¹⁵
2) 絶縁耐力(kV/mm)	13~20	65~75	47	30~32	16~18	20~28	16	15~19	20~80	16	17	20~22	22	19	16~18	12~13		13	18~20	10~11
3) 耐トラッキング性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					-	
4) 耐アーク性		-																		
5) 耐コロナ性				×			×	×												
6) 誘電率(60Hz)	2.3	2.3	5~9	2.2~ 2.6	3	2.5	3	3	4	3	3	2.6	3	2.1	3~4	3.5~5	5~15	3	7	3
7) 誘電正接(60Hz)	0.0005	0.0003	0.08~ 0.15	0.002~ 2.6	-	0.00005	0.002~ 0.01	0.01~ 0.04	0.0001 ~0.04	0.0007 ~ 0.001	0.0008	0.0007 ~ 0.0014	0.001 ~ 0.005	0.0005	0.003~ 0.041	0.01~ 0.03	0.005~ 0.05	0.01	0.015~ 0.017	0.006 ~0.03
8) 耐水・耐湿性																				
9) 耐候性	小	中	中	小	小	中	大	中	中	中	-	小	-	大	中	大	中	大	中	大
10) 強さ	小	中	中	中	中-大	中	大	大	大	大	大	大	大	中	大	大	大	大	大	中
11) 燃焼性 ^{*2}	遅燃	遅燃	遅燃 自消	遅燃	遅燃	遅燃	遅燃	遅燃	遅燃	自消	自消	自消	不燃	不燃	遅燃 自消	自消	自消 不燃	自消	遅燃 自消	自消 不燃
12) 成形性													×							×
13) 加工性																				
14) 材料コスト	低	中	低	低	低	低	中	中	中	中	高	高	高	高	中	中	低	高	高	高

*1略号はISO式に慣用式を加えた。 *2ASTM-D635燃焼速度による区分 mil=1/1000インチ

表44.2 各種材料の吸水性と電気特性^[1]

		硬質PVC	ポリエチレン	ポリプロピレン	ポリスチレン	四フッ化エチレン	PETP	ポリカーボネイト	三酢酸セルロース	塩化ポリエーテル	フェノール樹脂		メラミン樹脂	エポキシ樹脂	ポリエステル樹脂	シリコーンゴム
基 材		-	-	-	-	-	-	-	-	-	低	ガラスクロス	低	ガラスクロス	ガラスクロス	ガラスクロス
吸水率(%)24hr		0.07~0.4	0.01	0.01	0.03	0.005	1.0	0.3~0.6	1.3~3.1	0.01	0.2~4.5	0.3~1.5	1~2	0.08~0.13	0.3~0.9	0.03~0.1
体積抵抗率 (Ω -cm)	常態	10^{15}	10^{16}	10^{18}	10^{16}	10^{18}	10^{16}	10^{16}	10^{15}	5×10^{15}	10^{12}	10^{13}	10^{14}	10^{14}	10^{14}	10^{15}
	浸水後	10^{15}	10^{16}	10^{16}	10^{14}	10^{15}	10^{13}	10^{15}	10^{11}	10^{15}	10^{10}	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{12}	10^{15}

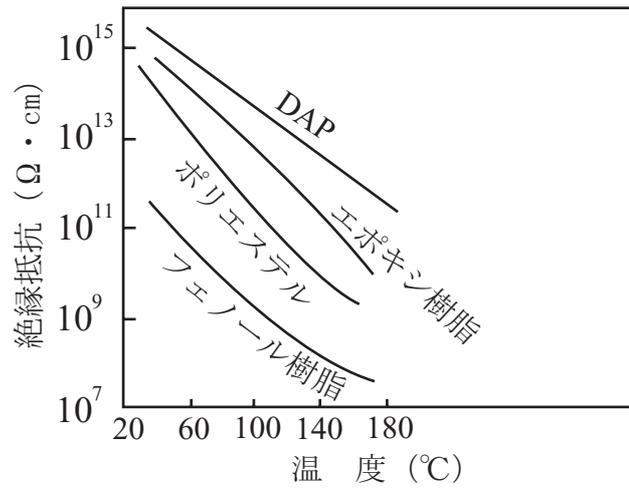


図44.1 絶縁抵抗と温度の関係^[4]

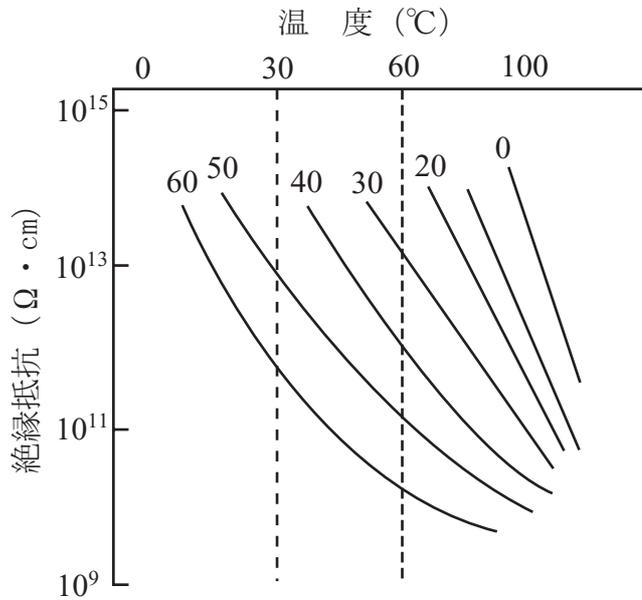


図44.2 PVCにトリクレジルホスフェートを加えたときの絶縁抵抗と温度の関係^[4]

- [1] 田島守隆：劣化と耐久性セミナーテキスト、pp64-71
- [2] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp184-186
- [3] 小林昭：プラスチック構造材料、p142、(株)工業調査会(1972、4版)
- [4] 瀬戸正二監修：射出成形(第8版)、(株)プラスチックスエージ社(1977)

§4 プラスチックの成型部品設計

1. 電氣的性質の劣化

先に掲げた表 44.1 において、絶縁耐力、耐トラッキング性、耐アーク性、耐コロナ性がいわゆるプラスチックの電氣的強さである。このうち、絶縁耐力については前節に述べた。

トラッキングとは電位差を持つ電極間の絶縁物の表面に、炭化した導電路を形成することをいう。導電路はプラスチックが放電によって熱的に変質してできたものである。アミド樹脂のように炭素主鎖にN、Oを持っている材料は、放電アークによるトラッキング現象が起こりにくく、すなわち炭化しにくく、耐トラッキング性に優れている。

また厚肉部品に長時間交流電圧を印加すると、表面の全体浸食に続いて放電の集中が起こる。集中部分の劣化が進み、樹枝状の模様ができ、これを特にトリーイングという。この原因は放電による電子の衝撃による蒸発、分割、オゾンなどによる浸食と考えられている。プラスチック中のポイドあるいは異物より発達したものと考えられている。

耐アーク性試験は板状試験片上に 2 個のタングステン電極をおき所定周波数所定電流のアークを発生させアークが消滅するまでの時間(秒)を測定するものである。耐アーク性の例を図 45.1^[1]に示す。

プラスチックに交流電圧を加えると、図 45.2^[1]のように、電極と絶縁物表面の間の局部放電すなわち表面コロナや、プラスチック内部のポイド中でコロナを発生する。これらに対する強さを耐コロナ性という。また耐コロナ試験の電極配置には図 45.2^{[1][2]}のようにしてコロナに弱いプラスチックに適用する方式もある。表 45.1^{[1][2]}はこの方式で測定した値である。

2. 誘電特性

プラスチックをコンデンサ、高周波部品、高電圧絶縁物に用いる時は、誘電率など誘電特性の検討が重要である。絶縁物でも電圧を加えると内部に正負の電荷が生じるから、交流場におくと発熱して電力の損失を招く。ある環境で絶縁体が静電気を得る比率を誘電率、真空中の誘電率を ϵ_0 とする時、 $\epsilon = \epsilon_0 / \epsilon_0$ を比誘電率という。ここで電力の損失 w は次のようになる。

$$w \approx k \cdot E^2 \cdot f \epsilon' \tan \delta$$

ここで k : 比例定数、 E : 印加電圧、 f : 周波数

ここに生じる $\tan \delta$ を誘電正接または損失因子、俗称タンデルタ、 $\epsilon' \tan \delta$ を誘導損失、 δ を損失角という。

理想的な特性のコンデンサに交流電圧 E を加えた時、 E と電流 I_0 の位相差は 90° で $w=0$ となる筈だが、実際の絶縁体内には 90° から角 δ だけ遅れた電流が流れる。普通のプラスチックは $\epsilon' = 2 \sim 8$ 、 $\tan \delta = (2 \sim 700) \times 10^{-4}$ にばらつくので、 $\tan \delta$ によって電力損失は大きく変わる。材料選択には $\tan \delta$ の吟味が必要で、 $\tan \delta$ と使用周波数を表 45.2^[1]に示す。 $\tan \delta$ はプラスチックの電氣的極性の大きさ及び構造的な非対称性の程度を表している。

(45) 電氣的性質の劣化、誘電特性

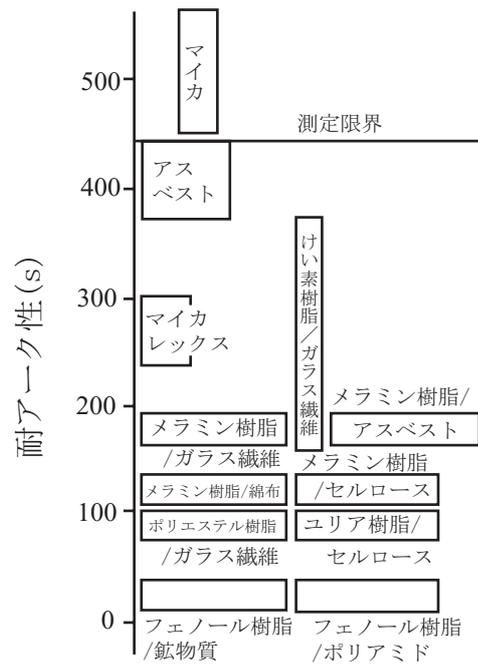


図45.1 各種絶縁材料の耐アーク性^[1]

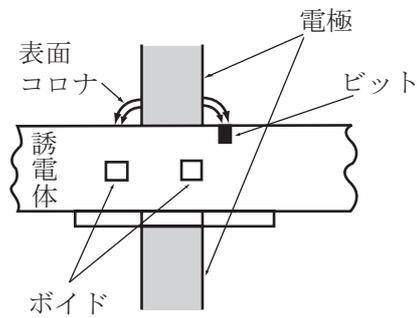


図45.2 表面コロナとボイド^[1]

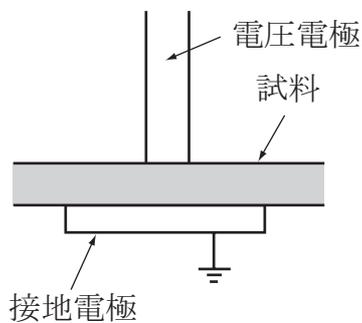


図45.3 耐コロナ試験電極配置図^{[1][2]}
(表45.1の測定に使用)

表45.1 コロナによる破壊時間^[2]

プラスチック材料	厚さ (μm)	電界 (V/min)	破壊時間 (hr)	
			平均	標準偏差
ポリエチレン	112.0	600.0	53.0	20.0
ポリエチレンテレフタレート	213.0	600.0	27.2	8.0
ポリエステル	127.0	600.0	74.0	22.0
ナイロン	127.0	600.0	36.0	7.0
シリコン樹脂	165.0	615.0	74.0	46.0
不飽和ポリエステル	127.0	583.0	33.0	12.0
ポリ三フッ化塩化エチレン (KelF)	127.0	600.0	7.1	2.3
ポリ四フッ化エチレン (テフロン)	127.0	600.0	5.7	4.3
マイカペーパーA	132.0	577.0	4,100.0	750.0
マイカペーパーB	152.0	510.0	1,218.0	383.0
はがしマイカ片	25.0	2,000.0	572.0	519.0

表45.2 プラスチックのtan と使用周波数^[3]

プラスチック	tan の値	使用周波数
四フッ化エチレン樹脂	2×10^{-4} 以下	最も優れた講習は絶縁材料 500MHzで使用可能
ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリイソブチレン、ポリブテン、ポリブタジエン、	3×10^{-4} 以下	300 ~ 500MHz以下
アニリン樹脂、ABS樹脂、AS樹脂、ガラスファイバ 充填シリコン樹脂、ポリエーテル樹脂	100×10^{-4} 以下	1 ~ 100MHz以下の周波数
酢酸セルロース、ポリ三フッ化エチレン、ジアリル フタレート、シリコーンゴム、キシレン樹脂、ポリ 塩化ビニル、ポリアセタール、ポリカーボネイト、 フェノール樹脂、ユリア樹脂、ポリエステル積層板	500×10^{-4} 以下	10MHz以下の周波数

2. 注意事項

ガラス転移温度では tan も変化するので、ガラス転移温度の測定にも tan が利用されることがある。

出典

[1] 廣恵章利・本吉正信：成形加工技術者のためのプラスチック物性入門、pp166-167、日刊工業新聞社
(1972)

[2] 鳳誠三郎：新制電気材料、オーム社

[3] [1]の p165

§4 プラスチックの成型部品設計

1. 帯電現象と帯電のし易さ^[1]

プラスチックは電気絶縁抵抗が高いので、導電性が悪く、接触や摩擦によって帯電し易い。特に、乾燥雰囲気では容易に 50,000 にも及ぶ。このために、

ごみを吸引して製品を汚損したり

プラスチック部品が組み込まれている電気回路系に電氣的雑音を与えたり、電気回路部品を破損したりする。

また、取扱者に電撃を与えたり、

粉塵爆発・溶剤引火の誘因となる放電を起こしたりする。

これらの問題に対して、帯電現象の解明と防止処理方法の研究が進められている。帯電発生機構については、ヘルムホルツの接触電位差説、イオン説、摩擦帯電説、剥離帯電説などがあるが、まだ定説はない。

プラスチックの帯電のし易さは、体積固有抵抗が大きいほど著しく、この時絶縁性も大きい。プラスチック分子中に親水性の-OH、-COOH、-NH₂ があると絶縁性が低く、帯電し易さが小さいが、耐水性、撥水性の-CH₃、-C₆H₅ があると絶縁性が高く、帯電し易い。また、重合形のもの、例えばポリオレフィン、ポリ塩化ビニル、ポリスチレンなどは一般に抵抗が高く、帯電し易く、フェノール樹脂、尿素樹脂などの縮合形ものは、分子中に親水基が残存したり、逃げ切れない水があつたりして抵抗があまり高くなく、比較的帯電しにくい。

帯電現象は電気の逃げにくさにもよるから、表面抵抗も帯電し易さの指標となる。表面抵抗の高いものほど集塵汚損が著しい。10¹⁰ 以下ではあまり汚損されないが、10¹⁵ 以上だと極めて汚損され易いといわれている。

帯電防止の方法としては、次の3つの方法がある。

除電器の利用

表面処理をして永久的な帯電防止層の形成、または塗布か浸漬による膜形成

帯電防止剤の練り込みによる材料改質

なお、環境の相対湿度が高いほどプラスチックの静電気の障害は激減するから、できれば、そのような湿度管理をするのも帯電防止の一法である。また、高温下で使用する時は、帯電防止剤の揮散が大きく、その効果が減少することがあるので注意を要する。

除電器の利用

コロナ放電によって反射イオンでプラスチックの表面電荷を中和する方法で交流式のものかなり広く用いられている。ラジオアイソトープ式、すなわち線、線によって空気をイオン化する方式もあるが、取扱いに注意が必要で面倒である。

帯電防止層または膜の形式

表面処理によって、-SO₃H、-COOH、-NH₂ のような親水性官能基を導入して永久的な帯電防止層を形成しようとする試みはあるが、実現が難しく実例が乏しい。実際に行われているのはスプレーまたは浸漬によって帯電防止剤の被膜をプラスチックの表面に形成させる方法である。この方法は簡便であるが、余分な工数がかかることと、すぐ取れてしまうという欠点があるけれども広く用

いられている。

帯電防止剤としては 4 級アンモニウム化合物、アミン化合物、ポリグリコール、エチレンオキサイド誘導体などで、界面活性剤として用いられるものが多い。なお食品包装に用いるプラスチックでは適切な衛生上の検討が必要である。

材料改質

帯電防止剤を練り込んだ原料をマスターバッチペレットとして入手する。帯電防止剤は前項と同じである。またこのペレットは成形加工時に、一般のペレットで 10~20 倍にうすめるような濃度にしておく。成形品における帯電防止剤の量は、ポリエチレン、ポリプロピレンなどの結晶性プラスチックの時は 0.3~0.5%、非晶性プラスチックでは 1~3%になるようにする。このような帯電防止剤は成形品中を移行して、表面に単分子膜を形成するとみなされている。従って、成形後数日を経て効果が現れる。

(46) 帯電

帯電防止剤を配合すると射出成形にあたり、僅かばかりシルバーラインが発生し易くなる。ポリスチレンの場合には、その対策として水分を除去するために成形前に乾燥することと、帯電防止剤が分解・揮発しないように成形温度を低めに設定することが必要である。

また、帯電防止剤の配合によって、ポリスチレンの場合には耐熱性が低下し、熱変形温度が 7~8 下がることもある。ポリ塩化ビニルの場合には、加工時の熱安定性の点から帯電防止剤の準類の選択が重要である。また効果の点から、軟質ポリ塩化ビニルの場合には可塑剤もあわせて検討した方がよいといわれている。

このように、3 つの帯電防止策があるけれど、これでよいという決め手になるものにはなっていない。

3. 帯電防止効果の評価法^[1]

帯電現象は原因が輻射しているので、理論的な測定は難しい。実務的には、灰付着テスト、ダストチャンバーテスト 電気抵抗の測定、誘電電位の減衰時間の測定、表面摩擦発生電圧の測定、コロナ放電後に必要な充電時間の測定などがある。決定的なものはないから、その選択は技術部門の問題ある。

これらの概略はつぎの通りである。

灰付着テスト

高所から吊下げた成形品を、机の上においた灰皿に近づけて、灰を吸引し始める高さを測定して比較する。簡便なのでしばしば利用される。

ダートチャンバーテスト

成形品を一定時間、乾燥した空気にトルエンの不完全燃焼によるススを混入して浮遊させた試験室内に放置する。ここで表面に付着したススの量の濃淡で比較する。おもに包装材料の汚れやすさを調べるのに使う。

電気抵抗の測定〔(44)、(45)節参照〕

誘導電位の減衰時間の測定

成形品を高電位電極間において、電圧を誘起させた後に大気中に放電させて、その放電速度、帯電電圧の減衰曲線の形や半減期で比較する。

表面摩擦発生電圧の測定

回転輪表面に試料を取付け、ステンレス板とか綿布など別の物質を摩擦させて、一定時間後に試料に生じた電圧を測定する。測定機は京大化研式ロータリスタテックテストとしてまとめられたものがある。

コロナ放電による充電時間の測定

成形品に 10kV 程度のコロナ放電し充電される電流が一定値になるまでの時間で比較する。

出典

[1] 青木正義:プラスチック成形品設計、pp188-190、(株)工業調査会(1988)

§4 プラスチックの成型部品設計

1. 種々の化学的性質

プラスチックは軽量、不錆で、熱、電気の不良導体で、耐薬品性にも優れているので、いろいろの目的に使われている。この際、力学的な強さばかりでなく化学的な強さも求められることになる。化学的性質の範囲は取り扱う人によって必ずしも同じではないので、ここでは耐薬品性、耐ストレスクラッキング性、マイグレーション、吸水性について取り上げる。このような化学的性質も他の要因・環境によって異なり、化学的強さも複合要因に対する強さである場合が多く、一口では論じきれない。

2. 耐薬品性

金属の腐蝕は主にイオン溶出によるとされるが、プラスチックの場合は腐蝕液体がプラスチック本体に浸透・拡散して分子構造を破壊したり、膨潤したりして材料を劣化させるものである。すなわち、酸・アルカリなど酸化剤で分子構造が破壊され溶剤で膨潤が起こる。ポリマー中にある種の原子団があるかないかによって耐薬品性が、表 47.1^[1]のように変わる。

通常、約 1 週間、応力が作用しないいわゆる静的浸漬試験により、表 47.2^[2]のいずれかの項目で比較する。この静的な耐薬品性を表 47.3^[3]に示す。

実用状態では膨潤・薬液侵入や応力による分子切断、脆性破壊など強さの低下をきたすことが多いので、応力負荷、流動液浸漬、温度勾配下など、使用状況に応じた動的浸漬試験をする。一見、応力負荷がないようでも、成形などにより残留応力があり得るので注意を要する。また、短時間浸漬に見えても、薬品が付着、侵入して残っている時は長時間放置と同じ状況になることも承知しておかなければならない。そして薬液にクリープ進行は早まり、その程度が薬液の種類によって変わることは図 47.1^[4]に示す通りである。

3. ストレスクラッキングとソルベントクラッキング

材料を一定の応力またはひずみの状態で薬液中に長時間開放すると応力と薬液の交互作用のため許容応力が低下して、ひび割れが生じ易くなる。このようなひび割れ現象は表面に発生する脆性破壊とみられており、ストレスクラッキング、より正しくは環境応力割れ(Environmental Stress Cracking)^[5]という。成形加工時の残留応力がある時にも、薬液に接してストレスクラッキングを生じることもある。この現象はポリカーボネートなど各種のプラスチック材料に生じるが、特にポリエチレンに多く、メルトフローインデックス(MFI)に大きく影響されるといわれる。MFI が大きいほど射出成形時に材料に加わる剪断応力が小さいので残留応力が小さく、ストレスクラッキングは生じにくい。またストレスクラッキング現象を利用してプラスチック成形品の残留応力の測定ができる。

上記に対し、ポリエステル、ポリメタクリル酸エステル(有機ガラス)が塗料、接着剤、化粧品などの溶媒に接すると表面にき裂が生ずることがあり、溶媒き裂(ソルベントクラッキング)という。溶媒がプラスチックを膨潤または溶解することが原因となっているので、ストレスクラッキングとは異なる。溶媒が材料内部へ浸透、拡散する深さは空隙、低分子部分、無定形部分の分布によって変わる。膨潤相も固体相も互いに相反する異方性の応力を受けることになり、未軟化の固体相中に応力集中部分があると、き裂発生に至ると理解されている。この意味で溶媒き裂は成形時の残留応力にも大きく依存する。

ポリスチレン、ポリメタクリル酸メチルなどでは 80~85 以上になると、どのような溶媒によってもき裂を生じない。2 次転移点に達して、分子運動が活発になって応力緩和が進むためと考えられている。

溶媒き裂発生を示す法則性も対策も明確にはなっていないが、現在有効だとされている防止策は表 47.4 に示す通りである。これらは局部変形、表皮の細かい傷の防止、残留ひずみの減少、クラック・劣化の成長の防止を目的としている。

(47) 耐薬品性、ストレスラッキング、ソルベントラッキング

表47.1 原子団とプラスチックの特性との関係^[1]

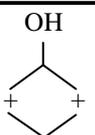
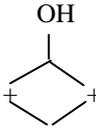
特性	増加する物	減少する物
耐酸性	 ,  , -Cl , -CH ₃ , -C ₆ H ₅	-NH ₂ , -COC-, -NHCO-
耐アルカリ性	 , -Cl -CH ₂ , -C ₆ H ₅	 , -COC- , -NHCOO- , -OCOO-
耐油性	-OH , -CH ₃ -NH ₂ ,	, -CH ₃ , OCH ₃ , -COOR , -C ₆ H ₅
耐水性	-CH ₃ , -C ₆ H ₅ , -COOR	-OH , -NH ₃ , SO ₂ H , -COOH
耐摩耗性	-OH , -NHCO-	, -CH ₃ , -COOR

表47.2 浸漬試験項目の例^[2]

外観変化；変色、はだあれ、つや落ち、ふくれ、そり、はくり
 機械的強さの変化；引張り強さ、曲げ強さ、衝撃値などの絶対値または変化率
 重量変化；重量または単位表面積当たりの重量の変化率

表47.3 熱可塑性樹脂の耐薬品性^[3]

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> 良 </div> <div style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> 使用前に 試験のこと </div> </div>	水	無機塩	ガソリン、石油	原油	天然ガス	アルカリ	稀無機酸	濃無機酸	有機酸	ヒドロキシ化合物	塩化物	アミン化合物	エーテル	ケトン、エステル	芳香族化合物	石鹼、洗剤
	ポリアセタール						■	☒	■	■			■	☒		
セルロース				☒		☒	☒	■	■	☒	■	■	■	■	■	
ABS樹脂			☒	☒				■	■	☒	■	■	■	■	■	
アクリル樹脂						☒		■	■	☒	☒	☒	■	■	■	
塩化ポリエーテル											☒	☒	☒	☒	☒	
四フッ化エチレン樹脂																
フッ化エチレンプロピレン樹脂																
三フッ化塩化エチレン樹脂											☒	☒	☒			
フッ化ビニリデン樹脂												☒	☒			
過フッ化アルコキシ樹脂												☒	☒			
アイオノマー								☒	☒			☒	☒			
ポリアミド				☒		☒	■	■	■							
ポリカーボネート						■			☒		■	■	☒	■	■	☒
ポリイミド						■		■			■	■	■	■	■	
低密度ポリスチレン			■	☒				☒			■	■	☒	■	■	☒
高密度ポリエチレン ポリプロピレン								☒			☒	☒	☒	☒	☒	
ポリフェニレンオキサイド											■	■	☒	■	■	
ポリフェニレンサルファイド											☒	☒	☒	☒	☒	
ポリスチレン			■	☒	☒	☒	☒	■	■	☒	■	■	■	■	■	☒
ポリスルホン											■	■	■	■	■	
ポリ塩化ビニル									☒		■	■	■	■	■	

表47.4 ソルベントクラック防止策^[2]

加熱処理によって内部ひずみを除く
 局部加熱を生じるようなバフかけはしない
 ガラス繊維、カーボン繊維などを配合する
 表面を不活性な塗膜で覆う

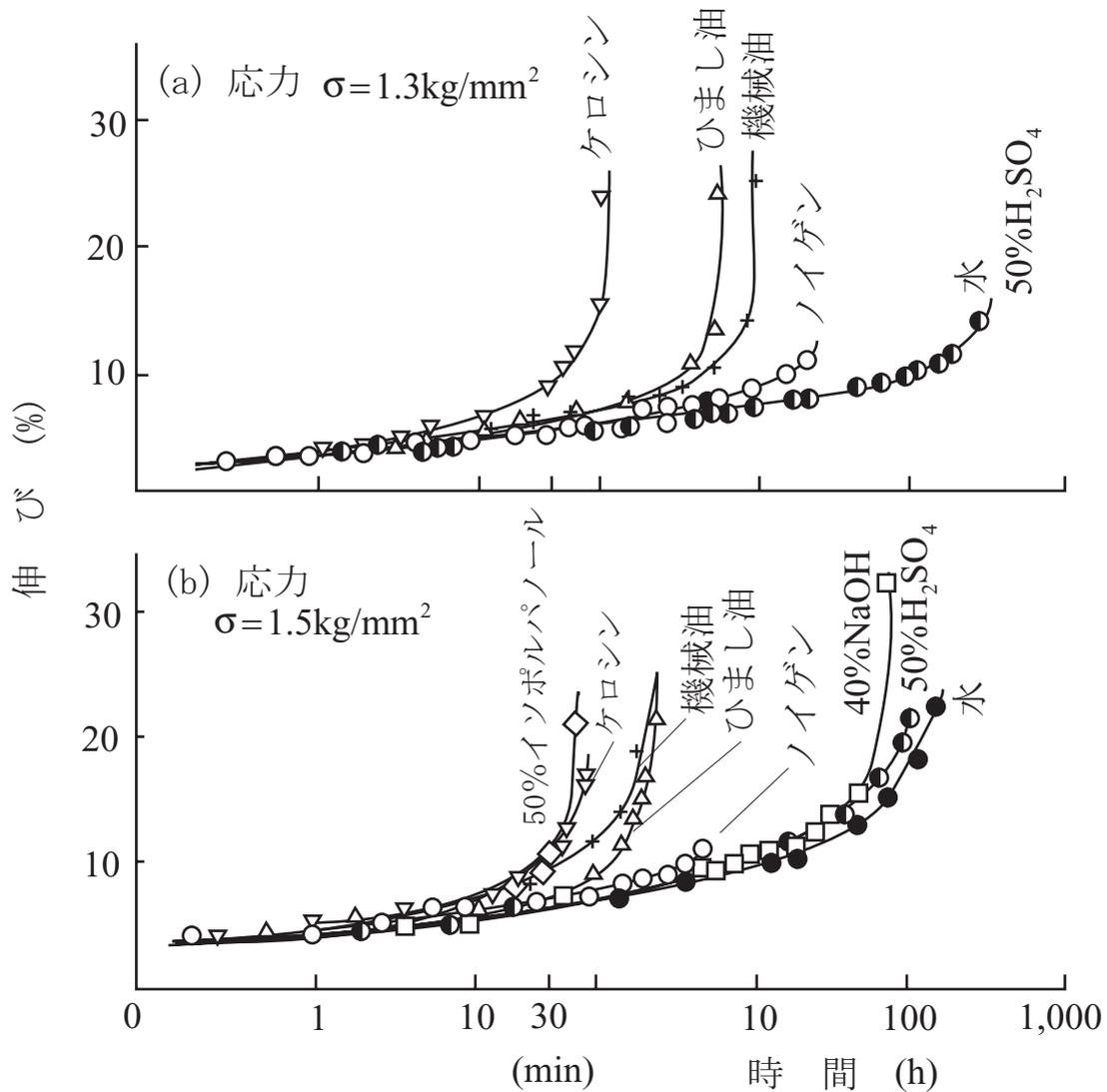


図47.1 ポリプロピレンの種々の溶液中でのクリープ曲線 (40°C) [4]

表47.4 ソルベントクラック防止策^[2]

- | |
|-----------------------|
| ① 加熱処理によって内部ひずみを除く |
| ② 局部加熱を生じるようなバフかけはしない |
| ③ ガラス繊維、カーボン繊維などを配合する |
| ④ 表面を不活性な塗膜で覆う |

4. 注意事項

主にポリエチレン、ポリアミドに生じるストレスクラッキングとは外観的に似ているが、全ての熱可塑性プラスチックの表層・内面に生ずるものにクレージングがある。ストレスクラッキングが不可逆的であるのに対し、クレージングは熱処理で回復する点が大きな差である。[5]

出典

[1] 廣恵章利・本吉正信：成形加工技術者のためのプラスチック物性入門、p136、日刊工業新聞社(1972)

[2] 白松豊太郎：高分子工学の基礎と応用、(株)丸善(1968)他をアレンジ

[3] 瀬戸正二監修：射出成形(第8版)、p59、プラスチックスエージ社(1977)

[4] [1]の p196

[5] 成澤郁夫：プラスチックの機械的性質、pp163-164、(株)シグマ出版(1994)

§4 プラスチックの成型部品設計

1. マイグレーション(移行)

成形材料に添加する可塑剤に成形時の可塑化能率・安全性の向上に必要なだが保留性(にじみ出にくい性質)も必要である。保留性が劣った可塑剤を用いると成形品の特性が低下する他に、製品表面への浸出、発汗(汗をかいたようにべたつく現象)、失透、白濁、軟化を生じる。さらに、隣接物に移行し、重ねておいたポリ塩化ビニルの板や膜の模様が相手に写ったりする。これをマイグレーションと呼び、隣接面の汚損、粘着の原因となる。^[1]可塑剤としては、プラスチックとの相溶性がよく、揮発性が少なく、移行性のないものが当然保留性がよい。

特に、ポリ塩化ビニルはマイグレーションを生じ易いので、可塑剤の検討と隣接面の材料に対する配慮が必要である。

マイグレーションの例を表 48.1^[2]に示す。

2. 銅害

ポリプロピレンは銅及び貴銅など銅化合物に接触し続けると割れを生ずることがある。これを銅害という。ナイロン6に対して、銅(若しくは銅の塩化物)がストレスクラッキングを起こさせる環境薬品にあげられている^[3]から、ポリプロピレンの場合もストレスクラッキングの一例かもしれないが、現場的には銅害と呼んでいるところもある。

3. 吸水(吸湿)性

プラスチックを長時間水分に接触させておくと、水分を吸収して重量を増す。このような性質を吸水性または吸湿性という。そして一定温度のもとで、一定時間蒸留水に浸した時の重量増加分を元の質量で割った百分率で表すことが多い。基本的には吸水率はプラスチックの種類によるが、配合される充填材、強化材の種類や配合比率、成形品の成形条件によっても変わる。これは高分子の化学構造、添加剤などの水との親和性の相違のためである。そして温度が高いほど吸水率が大きくなる。

若干のプラスチックについて付言すると^[2]： -

ポリフッ化エチレンは吸水性が皆無に近くセルロースアセテートやポリアミドは吸水性が大きい。ポリアミドの成形品は寸法安定化のため成形後煮沸して飽和吸水率に到達させてしまうことがある。

ポリカーボネートは予備乾燥が悪く、吸湿したまま射出成形すると加水分解して衝撃強さが低下する。また、フラッシュやシルバーストリークが発生することが多い。熱可塑性プラスチック材料では一般に表 48.2^[4]のように考えてよい。

(48) マイグレーション、銅害、吸水性

表48.1 マイグレーションの例^[2]

No.	被害	原因	対策
1	ポリスチレン成形品の艶消失、及び凹み発生（コード形の跡がつく）	接触していたPVCの可塑剤の移行	段ボール紙を介在させ、直接接触を防止
2	ポリスチレン製スモークパネルのくもり	指針のカバーとして用いたチューブに含まれる可塑剤がランプの熱で蒸発し、移行した	ビニルチューブをやめ、塗装に変更
3	PVC電線コードの黄変ならびに凹み発生	コードを束ねていたゴムバンドに含まれる老化防止剤または加硫促進剤のいずれかの移行	ゴムバンド テープ、ワイヤコンデ
4	白いPVC部品の変色	他のPVC部品に含まれる有機顔料のベンジンイエローが移行	無機顔料のカドミニウムイエローに変更
5	PVC部品の変色	ABS樹脂中の染料の移行	ABS樹脂中の染料配合量の変更(0.15% 0.10%)
6	Pb系安定剤使用のPVC内箱の変色	接触していた有機硫黄化合物をもつ食品成分が分解して生じる硫化水素と安定剤の反応	PVC ポリスチレン安定剤の変更 Pb系 (Pb+Sn)系

注1 PVC：ポリエンカピニル

注2 No.4、No.5は色剤の移行、No.6はマイグレーションとは言えないかもしれないが、注意事項として

表48.2 プラスチックの吸湿^[4]

条件	結果
成形前に吸湿している時	高湿時に電気的特性が劣化する
成形後に吸水性が大きい時	
成形時に吸湿する時	成形品の寸法が経時変化する 衝撃値が低下したり、表面硬さが低下したりする物がある
成形後に吸湿する時 (ポリアミドなど)	
吸水性が大きい材料の時	
	耐薬品製が劣るもの、吸湿により耐候性が低下するものがある

4. 注意事項、付言

化学的負荷、これに抵抗する能力といっても、実用のプラスチック部品では負荷の方が複合的で、単一の負荷要素では決められない。耐候性の場合と同じである。従って実用のプラスチック部品の設計者は外的使用環境を十分に理解して必要な、しかも実現の可能性ある物性についての強さを指定することが重要な任務である。

新分野へのプラスチック材料の進出に伴い、予測しなかった事実遭遇することもあるから、設計者には過去のデータバンクやこれに載っていない先人の持つ知恵とノウハウを引き出すことが求められるわけである。この垣根を乗り越えて新商品の開発、新成形部品の誕生を達成することがエンジニアの喜びでもある。

出典

- [1] 白松豊太郎：高分子工学の基礎と応用、p107、p325、(株)丸善(1968)
- [2] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp178-179、(株)工業調査会(1988)
- [3] 成澤郁夫：プラスチックの機械的性質、p164、(株)シグマ出版(1994)
- [4] の p179 より作表

§4 プラスチック成形部品設計

1. 耐候性(耐天候性)

屋外またはガラス越しまたは窓先の屋内で用いられるプラスチック部品の使用環境環に対する総合的な耐久性を耐候性(または耐天候性^[1])という。太陽光に曝されたり、酷しい温度、湿度変化や排ガス、酸性雨、酸性霧を受けることが多い。従って地上に届く波長 300nm 以上の太陽光だけに限られず、複合因子によって左右される。その中でどの因子が実用上重要であるかは成形品設計者の断判を要するところである。実用耐候性は物理的な原因ばかりでなく、図 49.1^[2]のように複合因子に左右される。また実用的な天候劣化と、やや学問的な耐候性との関係を模式的に示せば図 49.2^[2]のようになる。天候劣化の要因を整理すれば表 49.1^[3]のようになる。プラスチックの劣化は加水分解、生物劣化、熱分解、応力き裂、溶媒き裂による他は酸化劣化である。酸化劣化の原因も分類すればいろいろあるがこの表では一つの劣化要因にまとめておいた。

熱可塑性プラスチックでは高密度ポリエチレン、ポリプロピレン、ABS が耐候性に劣り、メタクリル樹脂が非常に優れている。また、ポリエチレン、ポリプロピレンの中では分子量が大きく、MIF が小さく、結晶化度が低いものの方が優れている。

耐候性試験には屋外暴露式と促進暴露式があり、評価のポイントは図 49.3^[2]の通りである。屋外暴露では季節、日射に対する試験片の向き、環境の配慮が必要である。促進暴露の場合、サンシャインカーボンアークが昼間太陽光のエネルギー分布に似ているので間欠的に照射し、間欠的に射水する。これを装置化したウェザメータの 200 時間の紫外線量が屋外 1 年分に当たるとし、促進試験 1,000 時間^[1]が屋外 1 年分に当たるとも言われているが、大体の相対比較に役立つ位で、絶対値としては確定できない。

天候劣化を防ぐには紫外線吸収剤の配合混練と着色剤配合、耐候性塗料の塗布などの方法がある。紫外線吸収剤には、サリチル酸フェニル系、ベンゾフェノン系など 4 種類あり、290~400nm の紫外線を遮るもので、酸化防止剤と相乗効果がある。カーボンブラック、酸化鉄などには有効だが、酸化チタンには有効でない。

最近の劣化解析の手法として、1961年に Ashby が報告している加熱による微弱な化学発光(ケミルミネッセンス)を利用する方法など、大石らが研究している。その概要は表 49.2^[1]の通りで、その成果が大きくまとまることが期待される。

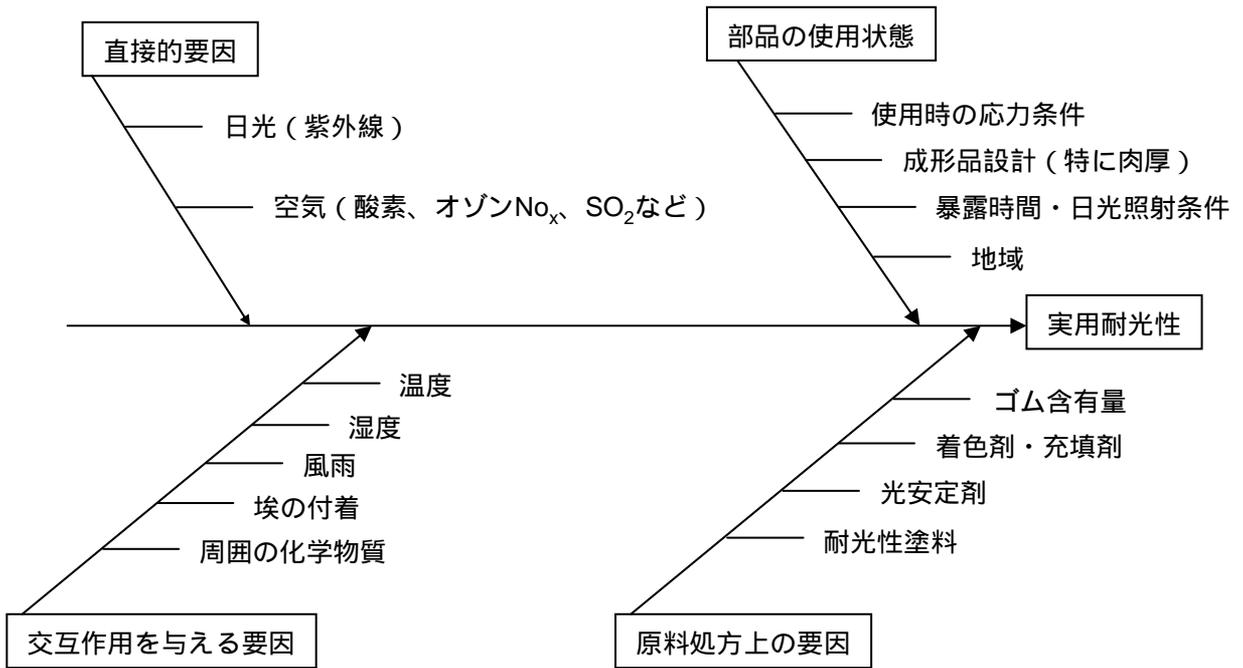


図49.1 実用耐候性に関する要因^[2]

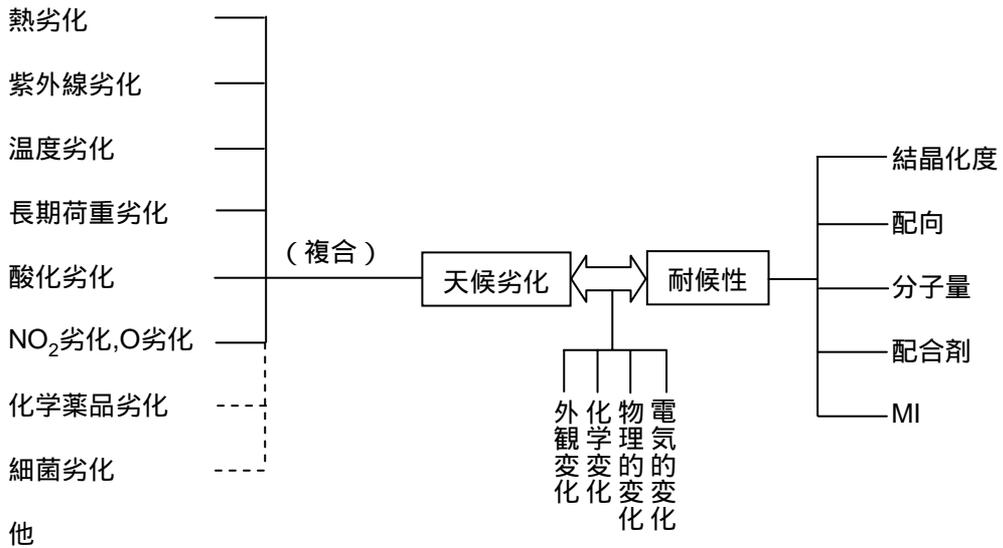


図49.2 天候劣化と耐候性^[2]

(49) 耐候性

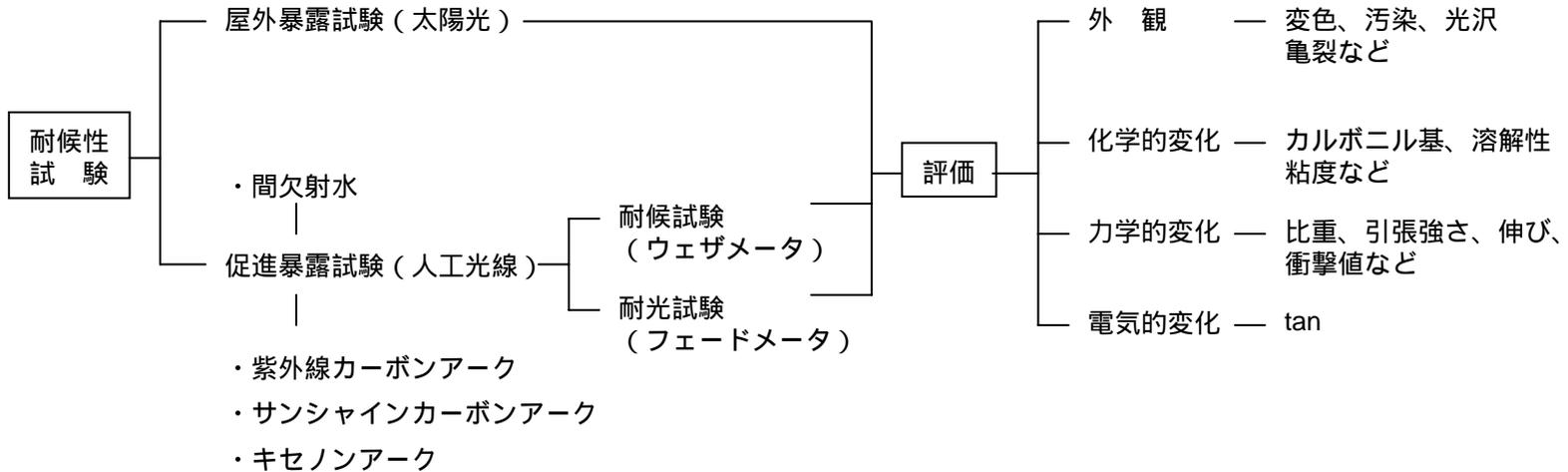


図49.3 耐候性試験の方法と評価^[2]

表49.1 天候劣化の要因^[2]

劣化要因	説 明
温 度	光酸化、膨潤、溶解、拡散、加水分解に影響する 劣化は冬季より夏季にひどい
紫外線	波長290nm以上の紫外線が地上に到達し、400nm以下のものが劣化に関与する 290nmの波長の紫外線のエネルギーは95kcal/molで波長の長い方の紫外線のエネルギーはこれより小さい C-C結合のエネルギーが80kcal/mol、C-Cl結合が78kcal/molであるから、徐々に破壊されて劣化する
湿 度	湿度の多い方が劣化が速い
応 力	他要因と重なって環境応力劣化となる 外力による応力の他、内部応力でも同じ
NO ₂ , O ₃	劣化を促進する、オゾンは特にゴムの場合に問題となる
酸 化	熱、紫外線、金属イオン、オゾン、放射線で促進される インサート成形、顔料、メッキの場合に金属イオンが問題になることがある

表49.2 劣化解析の新手法の試み^[1]

	新手法	手法の特徴	範 囲	制限事項
1	サーモメカノケミルネッセンズ (TMCL)	昇温速さ可変 環境条件と応用条件の同時付加・フォトン の同時追跡可 - 高分子の1次構造と緩和	プラスチック 硬質ゴム 複合材料	軟質材料の場合は矩形試験片 と葉滴下の組み合わせ - C形試験片は不適當
2	相関法 (CPAS)	表面層の解析可能 - 高分子の1次、2次構造	プラスチック ゴム	バルクの変化の把握不能
3	表面・断面解析 (SICAS) [大日本プラスチック製]	断面方向の変質把握劣化層の深さ把握 剪断強さの評価 - 高分子の2次構造	プラスチック ゴム	温度依存性あり (現状は温度可変) CFRTP, GFRTPは困難
4	深度化熱分析 (ATA)	熱分解の初・中・末期の試料につき、劣化 前後の高分子構造変化調査 他、劣化追跡 従来汎用の重量半減温度法より深度化可能	?	-
5	剪断特性評価法	超音波モータ式ねじり装置による 高分子の実用強度特性の把握	ポリマーアロイ ゴム プラスチック	-
6	急速促進劣化法用プラズマ照射法	低温プラズマ照射 (酸素・窒素他のガス雰 囲気中) 劣化進行と色差・外観変化の相関が得られる	プラスチック (例ポリカーボ ネイト)	-

2. 注意事項

耐候性は自然環境にかかわるから、使用地域の十分な把握が必要である。また、大気、太陽光、降雨等環境やプラスチック材料の添加物の変化について、見識と情報収集が必要な場合が少なくない。

出典

[1] 大石不二夫：プラスチックの耐候性、プラスチックスエージ社(1996-5)、pp117-120

[2] 青木正義：プラスチック成形品設計、pp180-183(株)工業調査会(1988)

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 成形上の制約

(34)節でプラスチック成形部品の形状を決める7要素をあげた。その の部品として機能については設計に関連する諸節で述べた。そして、(35)～(46)節で種々の観点から「機能を維持できる強さ」について述べた。強さの中には変形に関することも含めている。

ここでは(34)節の

商品に組み立て、または分解できる形態

製作(ここでは射出成形)できる形状

交換できる形状

について、まとめておく。

プラスチック成形材料メーカーから購入したペレット(顆粒)または稀にパウダーの姿の材料から成形品の姿に仕上げるために、成形に関連する諸因子からみると次のようなことが重要である。

- (i) 成形材料による制約...溶融状態の流動性(充填不足)、成形時の収縮率(寸法不良)、固化時間(成形能率)
- () 金型・成形工程による制約...抜き勾配、パーテングライン位置、ゲート痕位置、実出ピン痕位置、ウェルドライン有無及び位置、エアレント位置、金型キャビティ番号、光沢(以上は多くは成形品の上に痕跡が残る)、成形品の最小・最大寸法、部品部分寸法(例えば溝幅・溝深さなど)
- () 成形品自身による制約...取扱い性(つまみ位置、吸着面の仕上げ・位置)、検査性(基準面、抜取試験片切取部)、可搬性(コンベア搬送、トレイ収納)、自動倉庫収納性 等

プラスチック成形品は金型のキャビティ、コアの間隙の空洞(cavity)に流動状態の溶融プラスチック材料が流入・注入、加圧、温度制御されて形成されるものである。金型を知らないで、成形部品の設計はできないし、成形部品設計に必要な注文をつけられなければよい金型はできない。成形品設計技術と金型の設計・製作技術はあざなえる縄のようなもので、片方なしでは成り立たない。

このために(i)～()の中で金型製作に最少限必要なものは「プラスチック成形用金型(その 1) - 金型の製作 -」^[1]の中に述べた。

すなわち、次の通りで、念のため眼を通して頂きたい。

- (8) ゲートの種類、特徴 (§ 2 ゲート、ランナ、ウェルドライン)
- (10) ゲートの個数の決め方、ゲートバランス (")
- (16) ウェルドラインの防止法 (")
- (17) ウェルド部の強さの低下 (")
- (18) ウェルド部に対するスリット穴の影響 (")
- (21) パーテング面決定の原則 (§ 3 パーテング面)
- (22) パーテング面と成形品取り出し (")
- (23) 成形品のパーテングライン (")
- (27) キャビティ・コアと成形品肉厚 (§ 4 キャビティ・コア)
- (28) 精密成形と成形品形状 (")
- (29) 成形収縮率 (")

(30) 成形品の公差	(")
(31) 肉厚の設計	(")
(33) アンダカットの意味とその回避	(§5 アンダカット)
(55) 抜き勾配を左右する要因	(§8 抜き勾配)
(56) 抜き勾配の標準値	(")
(59) リブの抜き勾配	(")
(60) 筐体の抜き勾配	(")
(62) エジェクタピンの本数	(§9 エジェクタピン)
(65) 金型の変形	(§10 金型の強さ)

(50) 成形上の制約

以下の節では必要な補足事項、まとめについて述べる。

2. 注意事項

ここで述べた(その 1)^[1]に示したデータは多くは、いわゆる一般的な数値で、本当の極限を追究するような記録的な数値は少ない。この種の数値は、成形品の形状、材料、成形法、成形条件により異なるわけであって、全ての場合に万遍なく該当するというわけにはいかない。また本当の極限に迫るような記録的な数値はさらに高度なところにあると考えて、自社のデータ収集に拍車をかけた方がよい。

例えば、抜き勾配を例にとっても、必ずしも金型表面のみがき後の表面粗さが細かければよいとは限らない。このことは(その 1)の(57)節の注意事項(2)に述べた佐々木の報告^{[2][3]}からも明らかである。こういう勘所は、学問的に、技術的に追究されない限り容易には公開されない。その知識は、現場の辛苦の賜物であって、技能的財産であり企業の財産だからである。

どんな物性をとって使用される条件、データを採取される条件によって異なる。だから自分の類似製品の実線を記録し、体系化することを怠ってはならないと考える。

出典

- [1] 中小企業事業団：平成 10 年度、ものづくり人材支援基盤整備事業 - 技能の客位化、マニュアル化等 - プラスチック成形用金型(その 1) - 金型の製作(委員長 中川威雄、委員、代表執筆者 青木正義) (平成 11 年 5 月)
- [2] 豊嶋歩・佐々木哲夫・白井健二・小林義和：射出成形加工における離型抵抗力に関する研究、型技術、13(8)pp126-127(1998-7)
- [3] 佐々木哲夫・古関伸裕・白井健二・小林義和：射出成形における離型抵抗力に関する研究(第 2 報)、型技術、14(7)pp4-5(1999-4)

§4 プラスチック成形部品設計

1. リブの役割と標準寸法

リブは"牛の肋骨前半の上部の肉^[1]"といわれているが、もともとは肋骨^[2]の意味から建築の分野でも、両端の柱の上に組んだアーチの強さを増すためにアーチの曲線に沿った凸出部という意味で使われる。いわゆる迫持(せりもち:アーチ)の肋^[2]である。プラスチック、ゴムの分野では成形品の力学的な強さを増すために、部分的に設ける隆起物(ひだ)または支持物^[2]として使われている。板金プレスにおけるビードと同じ目的で成形品の剛性を増すための構造で、その断面は図 51.1^[3]のようになっている。

リブの先端は丸くなっている場合も、丸くなっていない場合もある。図 51.1 の上部からリブを見ると、多くの場合リブの稜線は直線である。

リブの設計の一般的注意事項を表 51.1^[1]に示す。いくつかの文献に著者の経験をまじえて作成したものである。より多くの知見を得て解析的に表現したいところである。リブの寸法は部分的に厚肉にならないように。図 51.2^[4]のように考えるのがよい。そしてリブの標準形状は図 51.3^{[5][6][7]}のようになっている見解がある。また材質別に見ると、図 51.4^[8]のようにも言われている。そして、諸々のことを考えて、リブの適正形状は図 51.5^[8]のようにまとめられる。

後で述べるようにリブの活用範囲は広く、しかも副作用なく目的を達するにはいろいろな配慮と工夫が必要である。また、ボスと同時に考えると、プラスチック成形部品化することにより、大きなメリットが生じる場合が少なくない。

表51.1 リブの一般的注意事項^[3]

項目	内容
数	高いリブより低いリブを数多く
方向	成形用金型での熔融材料の流動方向に沿うように、これに逆らうと流動を複雑にし、成形品の性質を低下させる
長所	成形品の強さ、剛性を増す 実用耐熱変形温度も高める
短所	衝撃値の応力集中を高め、成形品の実用タフネスを下げる。リブが大きすぎると裏面にひけができるので外観が問題になるところには設けない方がよい
基部のコーナ丸味	つけ忘れると、基部から破断しやすい。基部のコーナ丸味が大きすぎてもひけを生じる
他部品	直接取り付けないこと。必要ならそのための強度計算をすること
ガラス繊維配合の場合	弾性率が高いのでリブは小さくできる。 抜き勾配 2° R 0.5 t T リブが厚すぎると基部に気泡を生じる
ひけ対策	軽度なひけはつや消し塗装、表面の粗いシボ加工で目立たなく出来る。但し、光沢のある生地、つやのある塗装ではかなり目立つ

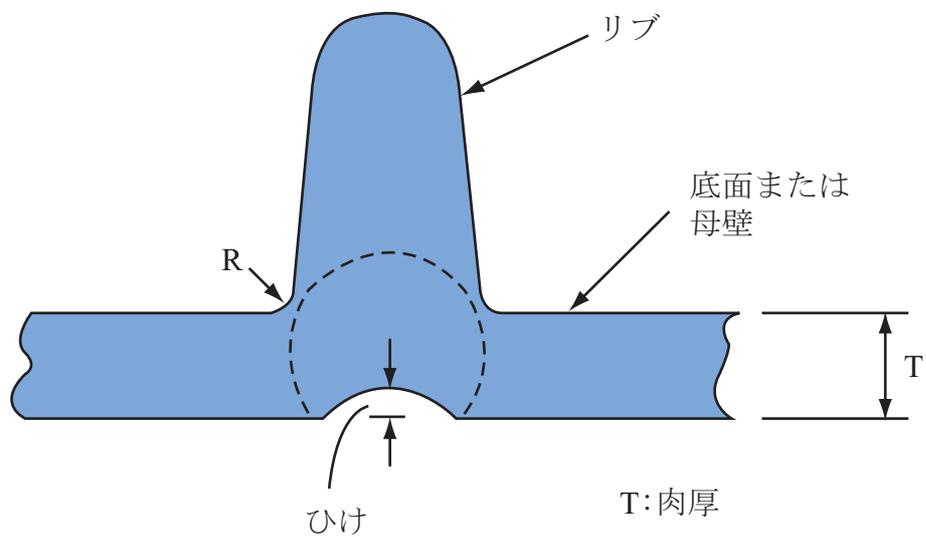


図51.1 リブの断面^[3]

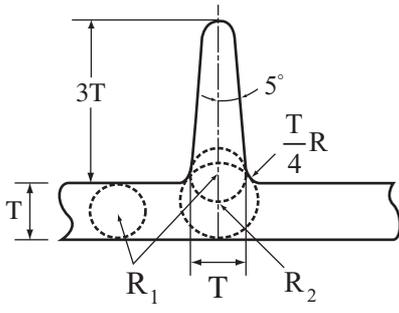
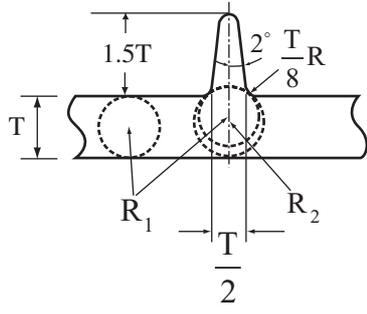
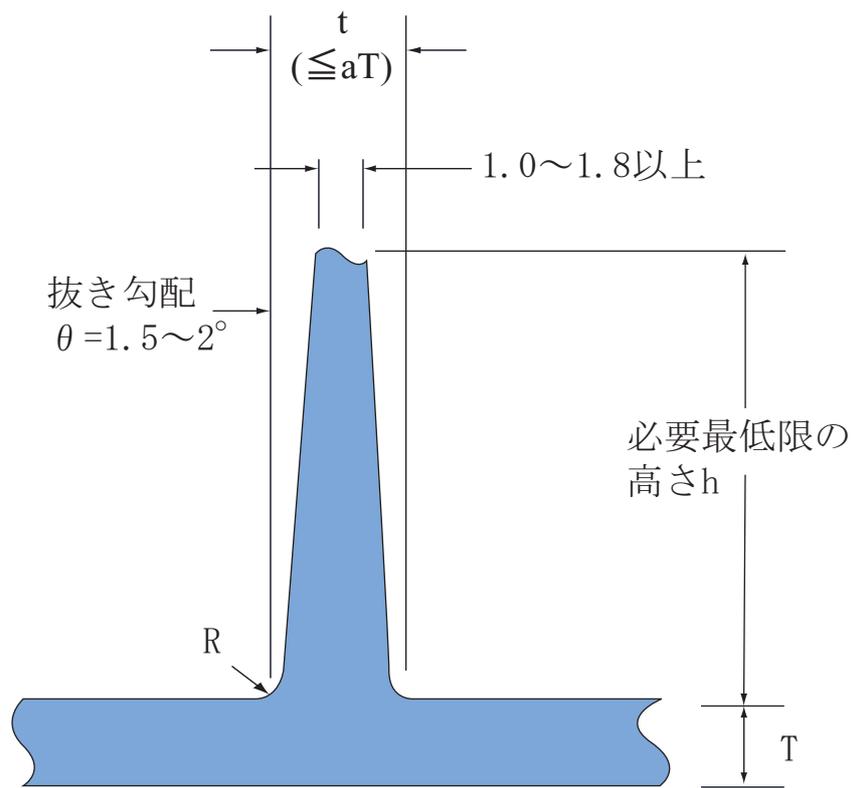
悪い例	良い例
 <p>部分的に肉厚が大きくなる</p>	

図51.2 リブの寸法の決め方^[4]

(51) リブの基本的事項



瀬戸の値	$\theta = 1.5 \sim 2^\circ$	$a = 0.5 \sim 0.8$	$R = 0.3$
里見の値	$\theta = 1.5 \sim 2^\circ$	$a = 0.5 \sim 0.8$	$R = 0.3$
青葉の値	$\theta = 2^\circ$	$a = 0.5$	$R = 0.25T$
		$h = 1.5T$	

図51.3 リブの標準形式 [5][6][7]

1. リブのベース面での厚さ t

樹脂	リブ厚さ t				出典
	0.2	0.4	0.6	0.8T	
全般	-----				工業材料13[1]1965ほか
	←-----				
	-----				工業材料15[12]1967
	←----- (2/3T)				
	←----- (3/4T)				
PP	←-----				三菱油化 資料
ABS	←----- (2/4T)				三井東圧プラスチックジャーナル
POM	(1/3T) -----				デュボンデザインハンドブック
	←----- (2/3T)				
PPO	←----- T>3mm				エンジニアリングプラスチック資料
	←----- T<3mm				
PS系	(T-0.25)mm				旭ダウ 資料

1. リブの高さ h

樹脂	リブ高さ h			出典
	1	2	3T	
全般	←-----			三菱油化 資料 三井東圧プラスチックジャーナル デュボンデザインハンドブック
PP	←-----			
	←-----			
	←-----			
	←-----			

(記号T, t, hは図51.3に同じ)

図51.4 プラスチック材料とリブの形状^[8]

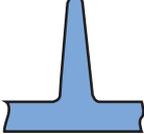
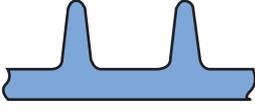
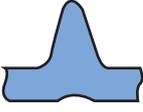
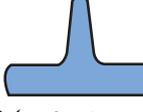
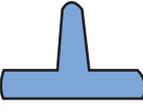
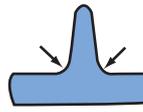
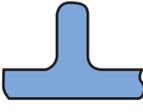
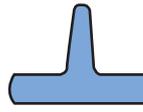
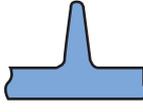
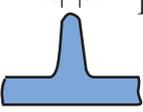
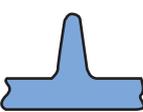
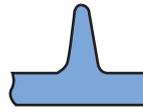
悪い例	良い例	補遺
 高いリブは座屈する	 低いリブを数多く	リブ寸法データ参照
 厚いリブはひけを生じる	 リブ厚さはベース肉厚より薄く	リブ寸法データ参照
 リブのつけ根は応力集中	 つけ根には必ずRを	大きすぎるRはひけのもと リブ寸法データ参照
 抜き勾配が少ないとかじる	 必ず抜き勾配をとる	リブ寸法データ参照
 細すぎるリブ先端は金型構造上望ましくない	 リブ先端の厚さは1.0~1.8mm	
 	 ガラス入りの樹脂ときリブ先端はRとする	
 リブが重たく複雑だとひけが生じ、また薄肉コアの加熱により成形サイクルが長時間となる	 リブが軽く一様にしても強度は同じで、しかも金型成形が簡単になり、かつひけもほとんどなくなる	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Machine Design Oct. 1978 </div>

図51.5 リブの適正形状^[8]

2. 注意事項

成形品の大きさ、厚さによって細くて高いリブが必要で成形可能であっても成形の本質から言ってリブ先端は溶融プラスチックは流れ込みにくい。加えてキャビティの堀込みも手間がかかり、成形品としては目立つ所に来る時もあるので、成形品設計者は無理のない設計を心掛けなければならない。

出典

- [1] 新村出編：広辞苑(第四版)、p2688、岩波書店(1991)
- [2] 研究社辞書部：研究社新英和大辞典(第4版)、p1541、研究社(1960)
- [3] 青木正義：プラスチック精密成形用金型の展望(第12回)、型技術、14(3)pp101-108(1999-3)
- [4] 廣恵章利：本吉正信：プラスチック成形加工入門、p301、日刊工業新聞社(1995)
- [5] 瀬戸正二監修：射出成形(第8版)、p124、プラスチックスエージ社(1977)
- [6] 里見英一：プラスチック成形品の設計(第2版)、p216、日刊工業新聞社(1986)
- [7] 青葉堯：プラスチック射出成形チェックリスト、p13、(株)工業調査会(1983)
- [8] [3]の p98-99

§4 プラスチック成形部品設計

1. リブの効用

リブは成形品の力学的強さを下げないように贅肉を取って、肉厚の均一化、薄肉化を図るのに有効な手法である。または重量を増さずに成形品の強さを増すのに効果がある。そのような例を図 52.1^[1]及び図 52.2^[2]に示す。贅肉を取り除くという意味で、図 52.3^[3]のようなヒントがある。

これらによって、材料費、成形費、運搬費は低減できる。しかし、程度が過ぎると溶融プラスチックの流動性は低下して充填不足を生じたり、ウェルドラインが顕著になったりする。材料に応じた適正な肉厚を調べておく方がよい。

成形品の変形防止の例を図 52.4^[1]に示す。これらは比較的大きな平坦面の平面度の形成・維持、形チャンネル状成形品の立ち上がり部のへこみ、曲がり防止、背の高いボスの何れ防止の例である。

2. リブの副作用の防止策

リブを設けると却ってそりを生じることがある。その様子を図 52.5^[4]に示す。リブが本体の肉厚より薄くて高い場合にはリブ部が急冷されるのでリブ側が凸になってそる。リブが厚くて低い場合にはリブ部が徐冷されるのでリブ側が凹になってそる。

先の図 52.4 の一部に示したが平面成形品の剛性を上げ、さらに平面度を維持するには、図 52.6^[1]のように、内側と外側の両側にリブをつけた方がよい。この種のリブによって、溶融プラスチックの流動もよくなり、フローマークなどによる外観劣化を小さくすることもできるようになる。

また、リブを設けるために厚肉化することになってしまう場合には、肉ぬすみとぼかしのための模様づけとか円環みぞを設けることも有効である。その例を図 52.7^[5]に示す。

リブ近傍に他の部品が来る時は、その部品の干渉を考えて、図 52.8^[6]のように少々丁寧に参考寸法を入れるとか、仮想線で他の部品を図示しておくとか、金型の設計によく注意が払われて、よい成形部品ができるようになる。

	不可	良
部品A		
部品B		

- ・ t と t' に注意
- ・ OR と R に注意

- ・ ビードに注意
- ・ リブに注意

図52.1 肉厚の均一化^[1]

	リブ利用前	リブ利用後
1		
2		
3		
4		

図52.2 リブによる薄肉化^[2]

(52) リブの公用と副作用

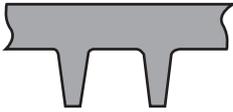
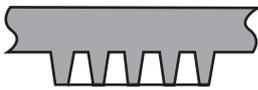
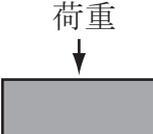
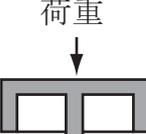
	普通の考え	アイデアのヒント
		 格子連結
	 荷重	 荷重方向のリブ

図52.3 リブ利用のアイデアのヒント^[3]

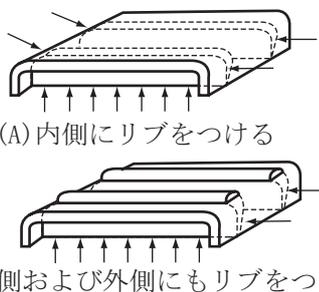
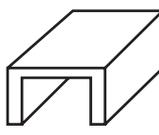
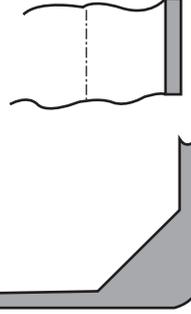
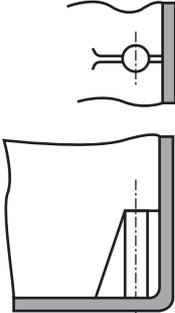
No	もとの設計	リブの利用
1		 (A) 内側にリブをつける (B) 内側および外側にもリブをつける
2		 リブ
3		 背の高いボスの周辺のリブ

図52.4 リブによる変形防止^[1]

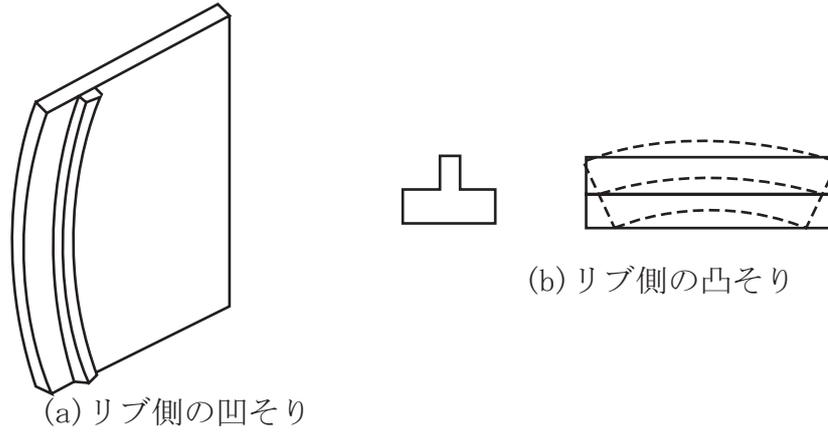


図52.5 リブのそり^[4]

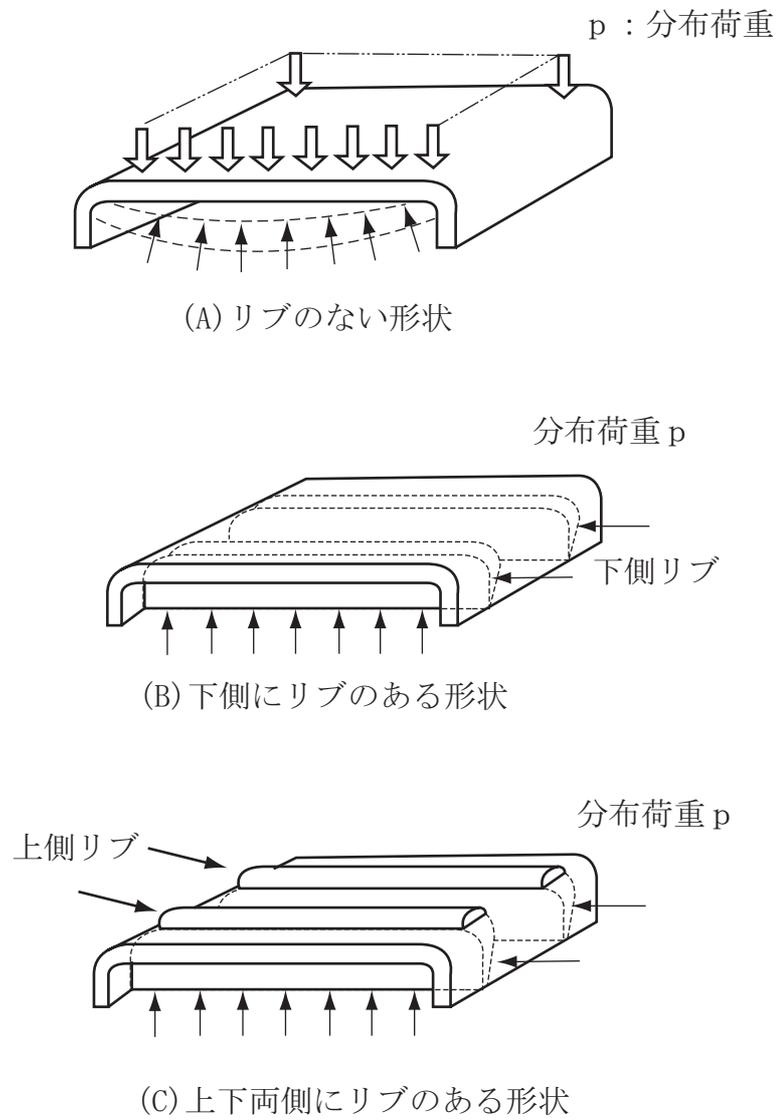


図52.8 リブによる変形防止 (矢印)^[1]

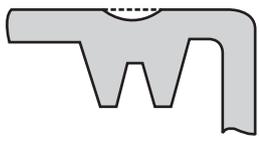
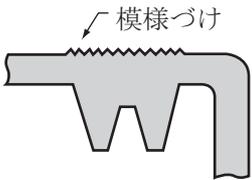
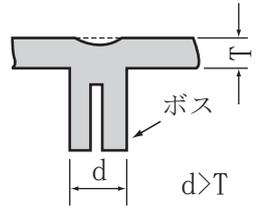
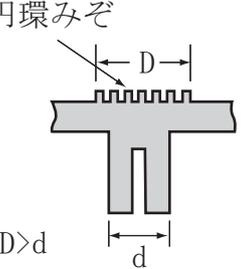
ひけの発生	対 策
	
	

図52.7 ひけを目立たなくする方法^[5]

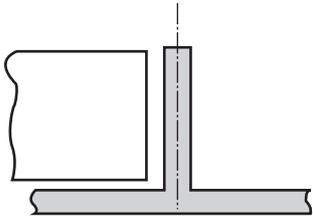
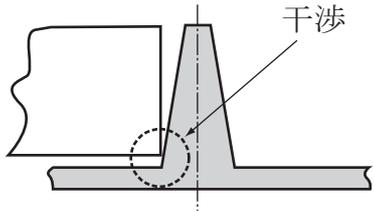
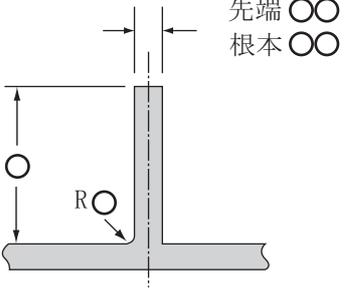
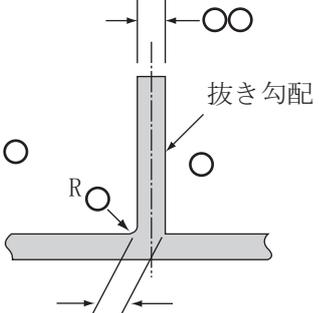
	
(a) 他部品との関係	(b) 太すぎるリブの干渉
	
(c) 素材は図面指定 (単位 mm)	(d) よい図面指定

図52.8 リブと他部品との関係^[6]

3. 注意事項

- (1) リブは簡単な構造でありながら大変有効な補強手段である。しかし置く場所によっては溶融樹脂流動を著しく変え逆効果になることもある。成形品としてはリブの近傍には貫通穴や深い窪みがないように、金型としてはゲートの数や位置を十分検討する必要がある。
- (2) ポータブルパソコンの筐体のような薄物では材料の流動と成形品の剛性を同時に確保するために、いろいろのシミュレーションが行われてきている。

- [1] 廣恵章利・本吉正信：プラスチック成形加工入門、pp300-301、日刊工業新聞社(1995)
- [2] 河野泰久：松下電器の型技術(第5回)、精密機構部品のハイサイクル成形、型技術、10(3)pp99-107(1995-3)
- [3] 青葉堯：プラスチック射出成形チェックリスト、p56、(株)工業調査会(1983)
- [4] 瀬戸正二監修：射出成形(第8版)、p162、プラスチックスエージ社(1977)
- [5] 里見英一：プラスチック成形品の設計(第2版)、p217、日刊工業新聞社(1986)
- [6] 青木正義：プラスチック精密成形金型の展望(第12回)、型技術、14(3)p103(1999-3)

§4 プラスチック成形部品設計

1. リブをつけた板に等価な平面板厚

薄肉化を図る際に重要なリブの強度計算を紹介する。たとえコンピュータで求めるにしても、大略のチェックが必要な時に有効に用いられると考えられる。

ここではリブ構造と等価な平面平板を求める曲線群を求めておき、これを利用しようという考え方に基づいている。

図 53.1 に示した記号によって抜き勾配 $\alpha = 0.5 \sim 1^\circ$ 、厚さについては $t=1/2 \cdot T$ とする。この時リブの断面 2 次モーメント I_R 、断面係数 Z_R は

$$I_R = \frac{1}{12} [4BT^3 + H^3(3t + t')] - A(H - Y)$$
$$Z_R = \frac{I_R}{Y}$$

但し

$$Y = (H + T) - 3BT^2 + 3Ht'(H + 2T) + H(t - t')(H + 3W) - 6A$$
$$A = \frac{1}{2} [BW + H(t + t')]$$
$$t' = t - 2H \tan \alpha$$

上のリブ構造と等価な、すなわち同じ剛さを持つ幅 B 、高さ h の平衡平面の 2 次モーメント、断面係数から、

$$I_p = \frac{Bh^3}{12} \quad \text{すなわち} \quad h = \left(\frac{12I_p}{B} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad Z_p = \frac{Bh^2}{6} \quad \text{すなわち} \quad h = \left(\frac{6Z_p}{B} \right)^{\frac{1}{2}}$$

従って、たわみが等価的な平行平面の厚さを T_{ED} とすれば $T_{ED} = \left(\frac{12I_R}{B} \right)^{\frac{1}{3}}$

また、最大曲げ応力が等価的な平行平面の厚さを T_{ES} とすれば $T_{ES} = \left(\frac{6Z_R}{B} \right)^{\frac{1}{3}}$

このように、たわみ量に着目するか、最大応力に着目するかによってリブ構造は変わってくる。

図 53.2 に示すようにリブ数 F_R は同形のリブの数で断面の幅を除いた値で、 B に置換して用いる。すなわち B の代わりに F_R を用いても等価的な平面の値は変わらない。6 インチの幅にリブが 3 個あるのと、2 インチの幅に 1 個あるのと力学的には等価だからである。

以上の式によって、任意の断面につき T_{ED} 、 T_{ES} を計算できる。 $t=T/2$ 、 $t=3/4 \cdot T$ の場合に、 F_R/T を変えた時のリブの高さに対する等価的な平面の厚さを求めると図 51.3、図 51.4 のようになる。

2. 例題1 図 51.5 のハウジングを単純支持し、全荷重 10lb が平面に均一に分布して加わった時の最大たわみと最大曲げ応力を求めること。材料の縦弾性係数を $E_{pl}=250,000\text{psi}$ とする。

[解]

$$T = 0.125 \text{ in}, \quad H = 0.75 \text{ in} \quad \therefore F = \frac{4}{5} = 0.125, \quad \therefore \frac{H}{T} = \frac{0.75}{0.125} = 6, \quad \frac{F_R}{T} = \frac{1.25}{0.125} = 10$$

$$\text{図 53.3(a)より} \quad \frac{T_{ED}}{T} = 3.4 \quad \therefore T_{ED} = 3.4 \times 0.125 = 0.425$$

$$\text{図 53.3(b)より} \quad \frac{T_{ES}}{T} = 1.85 \quad \therefore T_{ES} = 1.85 \times 0.125 = 0.231$$

i) $h = T_{ES} = 0.425$ である矩形断面について、

$$I_p = \frac{Bh^3}{12} = \frac{5(0.425)^3}{12} = 3.20 \times 10^{-2}$$

$$Z_p = \frac{Bh^2}{6} = \frac{5(0.425)^2}{6} = 1.51 \times 10^{-1}$$

平面に関する公式を用い、さらに上に求めた値を代入すれば

$$\delta = \frac{5Pl^3}{384EI} = \frac{5 \times 10 \times 10^3}{384 \times 250,000I} = \frac{5.21 \times 10^{-4}}{I} = \frac{5.21 \times 10^{-4}}{3.20 \times 10^{-2}} = 0.016 \text{ in}$$

$$\sigma = \frac{Pl}{82} = \frac{10 \cdot 10}{82} = \frac{12.5}{2} = 82.8 \text{ psi}$$

() $h = T_{ES} = 0.231$ の場合：省略

(53) リブの強さ

3. 例題2 既存の厚さ 1/8in のアルミ合金部品を同程度のスティフネスをもつガラス繊維配合プラスチックの射出成形部品に切り換えたい。ハウジングの板厚は 0.11in で、高さは 0.725in 以下にしたい。但し、アルミの縦弾性係数 $E_{Al}=10,000,000\text{psi}$ とする。(図 53.6)

[解] 加重に対するたわみは $1/EI$ に比例し、 I は t^3 に比例する。等価的プラスチック平面板の厚さは次のように求まる。

$$\frac{1}{E_{Al} \cdot T_{Al}^3} = \frac{1}{E_{pl} \cdot T_{pl}^3} \quad \therefore T_{pl} = \left[\frac{E_{Al} \cdot T_{Al}^3}{E_{pl}} \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{10 \cdot 10^6 \times 0.125^3}{0.5 \times 10^6} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.339 \text{ in}$$

ここで実用的、経済的な視点からリブ構造板を設計する。題意により、板厚 $T=0.11\text{in}$ で、形状が $t=3/4 \cdot T$ のリブを用いることにすれば、リブのベース面での厚さ t 及びリブの許容高さ H は

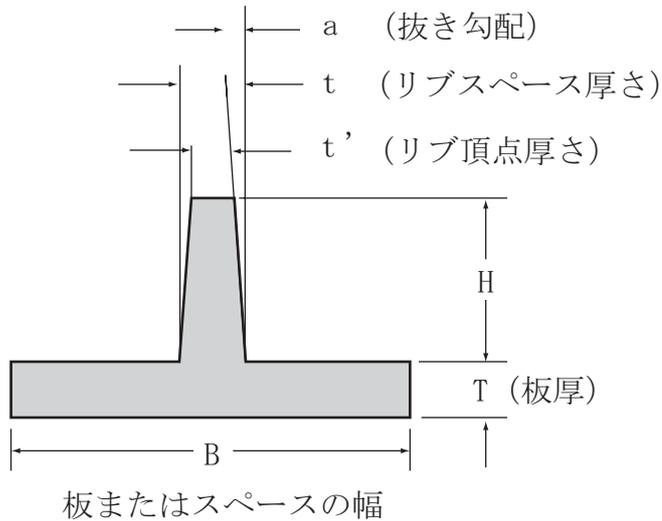
$$t = 0.11 \times \frac{3}{4} = 0.083 \text{ in}, \quad H = 0.725 - 0.110 = 0.615 \text{ in}$$

T_{pl} が T_{ED} に当たるので

$$\frac{T_{ED}}{T} = \frac{0.339}{0.110} = 3.1, \quad \frac{H}{T} = \frac{0.615}{0.110} = 5.6$$

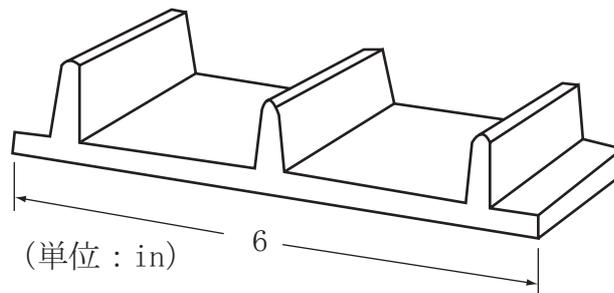
ゆえに、図 53.4(b)より $F_R/T=16 \quad \therefore F_R = 16 \times 0.110 = 1.76$

従って短辺 6"幅のリブ数は $6/1.76=3.4=4$ 、長辺 10"幅の方のリブ数は $10/1.76=5.6=6$ の結果、目的のリブ構造は図 53.7 のようになる。



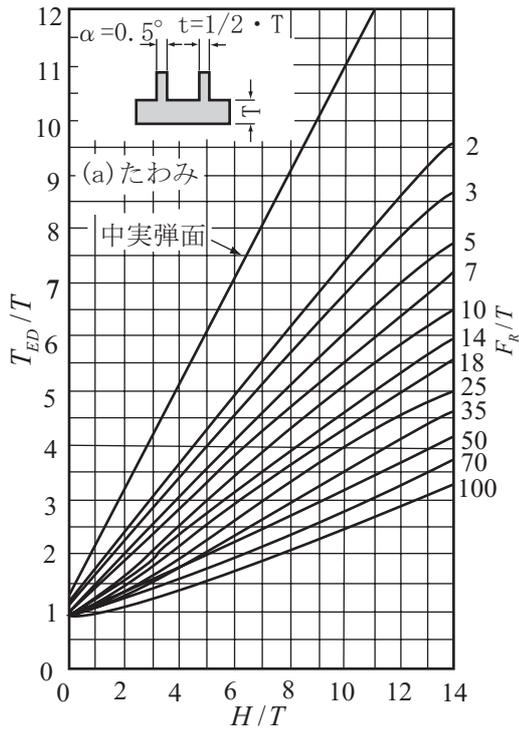
- Al=アルミニウム
- ED=等価的平面のたわみ
- ES=等価的平面の応力
- P=板
- P1=プラスチック
- R=リブ
- E=縦段数係数 (psi)
- F_R =リブの数 (図53.2による)
- Z=断面係数 (in³)
- I=断面2次モーメント (in⁴)
- P=荷重 (lb)
- δ =たわみ (in)
- σ =応力 (psi)

図53.1 この節の記号の定義

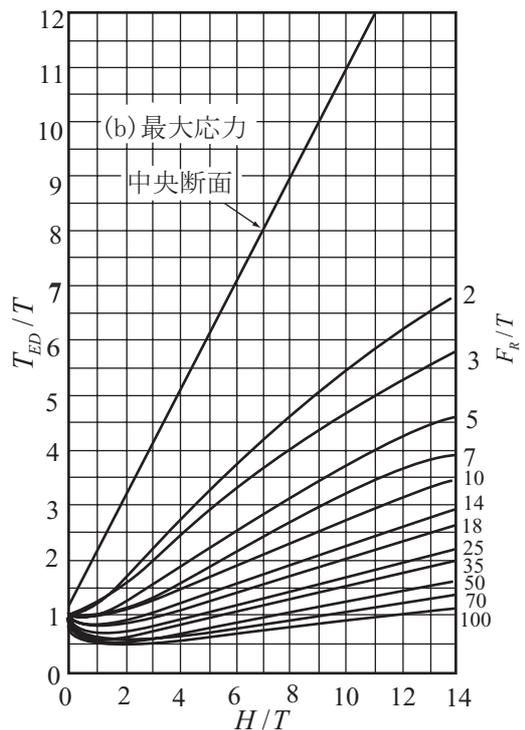


上図の場合は $F_R=6/3=2$
 ただしリブ間隔は等しくなくてもよい
 式や図では幅Bの代わりに用いる

図53.2 リブ数の F_R の定義

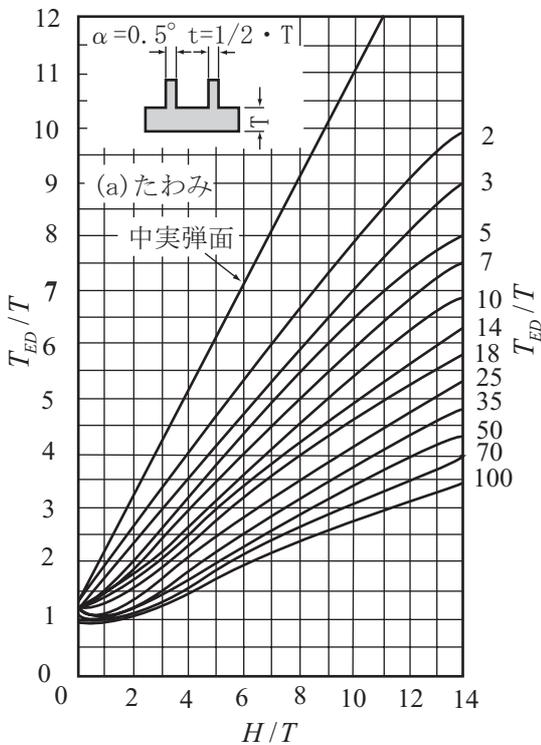


(a) 等価たわみに必要な板厚

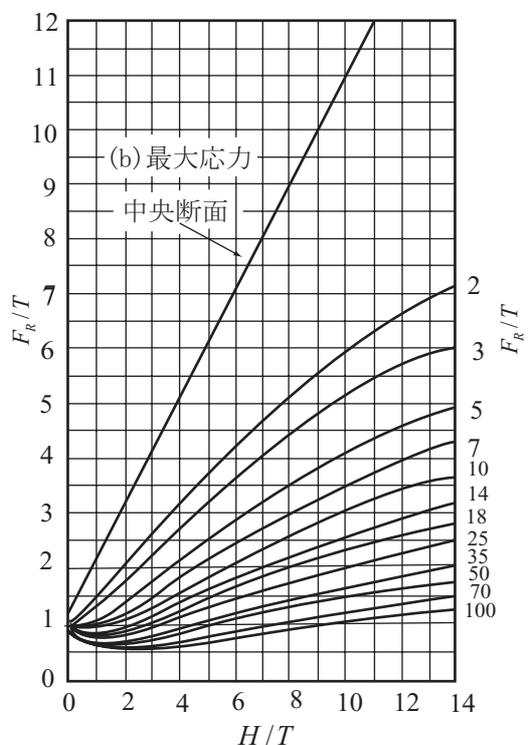


(b) 等価応力に必要な板厚

図53.3 $t=1/2 \cdot T$ 、 $\alpha=0.5^\circ$ の時の板厚を求める曲線



(a) 等価たわみに必要な板厚



(b) 等価応力に必要な板厚

図53.4 $t=3/4 \cdot T$ 、 $\alpha=0.5^\circ$ の時の板厚を求める曲線

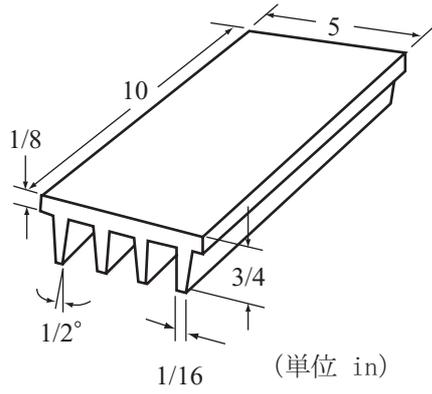


図53.5 プラスチックハウジング

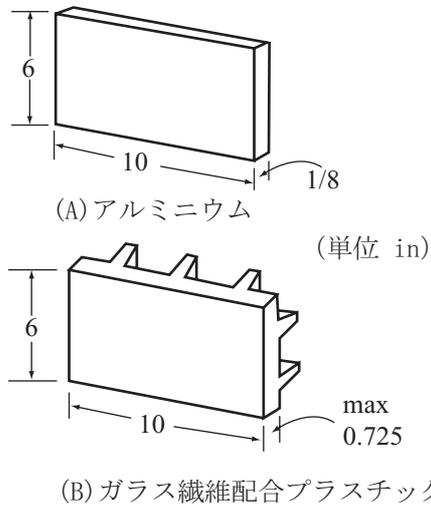


図53.6 例題2の条件

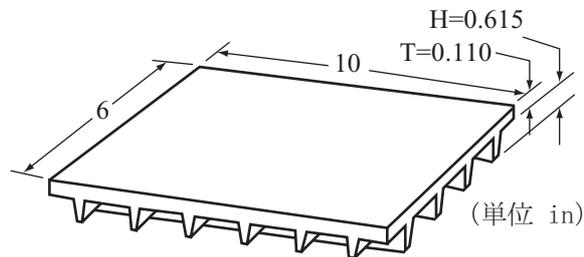
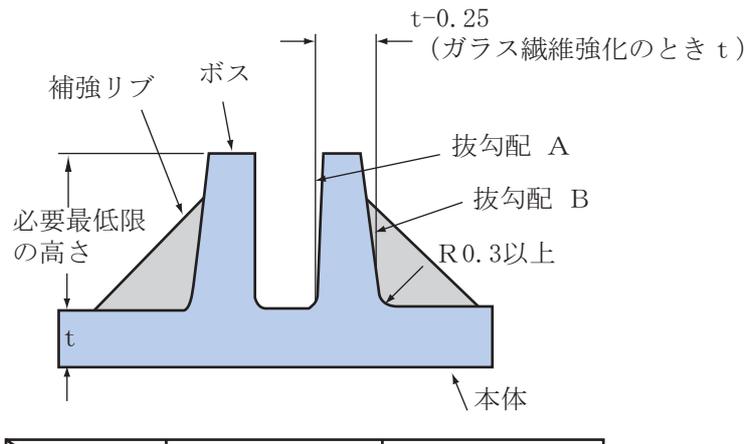


図53.7 例題2の結論

出典

[1] Arther L. Lifshy・五味富彦訳：リブつきプラスチックの簡易設計法、機械の研究、26(11)pp1417-1419(1974)

(54) ボスの設計



	ポリスチレン A S A B S	ガラス繊維 強化のとき
抜勾配 A	1 ~ 2°	2 ~ 3°
抜勾配 B	20' ~ 1°	30' ~ 1°

図54.1 スチレン系プラスチック材料のボスの一般的形状

部位	ボスのつけ方	部位	ボスのつけ方
1 箱底面のかど ^[4] (強化)	 0.3~0.5mm	5 ボスの斜面は少なく、 PLに垂直に (斜めボスは避ける) (離型) ^{[5][6]}	
2 切欠 ^[4] (強化)		6 キャビティ側の コアは収縮による 抱きつきを避ける ようにする ^[6]	
3 丸欠 ^[4] (強化)		7 ボス外側にはテーパ をつけ、深い穴は 同一方向に設ける ^[6]	
4 リブとの併用 ^{[5][6]} (ボスの強化)			

図54.2 種々のボスとそのつけ方

2. 注意事項

- (1) ここでは成形品の要素としてのボスを取り上げて解説した。しかし、ボスは一成形部品の要素であるから、成形品において、ボスが負わされている機能を全うしなくてはならない。そのためにはボスそのものに欠陥があったり、破壊を生じてはならない。そればかりではなく、ボスが設置されている基盤となる本体平面がよい平面度、平坦度を満足しなくてはならない。

本体平面にそりやひけを生じないように、必要かつ十分な厚さを指定し、溶融プラスチック材料の流動をよくしておかなくてはならない。この際ボス基部を裏からみた時のひけによるひけにも注意する必要がある。

- (2) 丈の高いボスが成形品の内側部にある成形品は、離型性が悪い。この点をよく理解して、抜き勾配を特に明示するなど、形状設計上の配慮が必要である。日本の金型メーカーには、成形品図面に書いてなくても必要だと思う所について、抜き勾配をつけてよいかを成形品設計者に確認する習慣がある。しかし、金型も国際調達の対象になっている現在、成形品設計者は十分留意する必要がある。図面通りの建前で仕事が進み、後日トラブルの種になりかねないからである。

- [1] 新村出編：広辞苑(第四版) p2360、岩波書店(1991)
- [2] 瀬戸正二監修：射出成形(第8版) p124、プラスチックスエージ社(1977)
- [3] 里見英一：プラスチック成形品の設計(第2版) p216、日刊工業新聞社(1986)
- [4] 廣恵章利・本吉正信：プラスチック成形加工入門(第2版) p301、日刊工業新聞社(1995)
- [5] [3]の p217
- [6] プラスチック工業技術研究会編：射出成形品設計の基礎、 p63、 p65、プラスチック工業技術研究会刊

プラスチック成形部品設計

1. 成形品の表面の課題と表面形成

成形品の外観はいわゆる意匠性と表面性状の 2 点から考えられる。意匠性は表面の機械能を、外観、美観、美麗、注目性に重点化したものと考えられる。プラスチック成形品の場合、必要に応じて 2 次加工も含め加飾によって意匠性は求められる。この節では表面性状に求められる機能を主体に述べる。

古くから、表面性状の機能性は歯車の歯面や、構造要素の摺動面などに求められる摺動性で、摩擦係数、摩耗係数などで評価されてきている。近年、光学機器の光透過板、レンズなどで平坦度、面粗さが厳しく要求されるようになってきている。光学的には透過率、屈折率、複屈折率、異物混入などが技術課題となる。

成形法そのものも検討され、従来技術の見直し、エンハンスや新技術の開発が進められている。ここでは従来の射出成形法の範囲で、よい表面形成の解明によって、成形諸条件を確立した技術的解析について述べる。

最近まで種々検討されてきた光学部品に、光ディスク基板がある。ポリカーボネート樹脂の薄肉円板の表面に情報ビットを形成し、あわせて信号ノイズの原因となる微小な凹凸を発生させないことが必要である。

2. マイクロフローマークの発生のメカニズム^{[1][2]}

以下に示すマイクロフローマーク発生のメカニズム解明に使用した成形材料、金型の製造工程ならびに仕上げ面粗さ、射出成形機は当然、十分、検討選択し、吟味されたものである。しかし、現在では、特に変わったものではないけれど、平滑平面の金属転写面としては、ニッケル製のスタンパと称されるものである。

一般に外観不良となるような大きな凹凸をフローマークという。これと分けて、光ディスク基板の場合、数 nm (ナノメータ) から数百 nm の凹凸が問題でこれをマイクロフローマークと呼ぶ。平滑平面をキャビティとする金型内に射出成形する場合、ポリカーボネート樹脂の温度、金型温度を高く、充填速度を大きくしていくと、マイクロフローマークの凹部深さは小さくなる。平滑平面への転写性低下の主要因はマイクロフローマークの発生に基づくことが多い。

射出成形におけるキャビティ内の熔融材料の挙動は流動、冷却、固化の過程を経る。まず、熔融材料は図 55.1(a)^[1]のようにファウンテンフロー状態で流入し、板厚の中央から次々と吹き出す材料は冷却しながら金型壁面に向かって移動する。そして金型壁面に接して固化する際に金型面を転写するものと考えられる。

これを細かにみると図 55.1(b)^[1]のようにフローフロントが A から B に移動すると材料要素 1 は金型面に接して同化して、この場合マイクロフローマークは形成されない。フローフロントが C に移動する時、材料要素 2 が流動停止温度まで冷却されたとすると、隣接する材料要素 1 が移動して金型面に接することになる。フローフロントが D に移動すると、フローフロントの冷却は進み、材料要素 2 の流動停止領域は要素 1 よりも拡大し、さらに流れの内部にあった材料要素 3 が移動し、金型面に接して固化することになる。このように周期的に材料要素が金型面に接して同化し、この間に周期的に金型面に接しない部分が生じる。このようにして成形品表面の周期的凹凸すなわちフローマークが発生するものと

理解される。

フローマークはこのように溶融材料の流動中の冷却によって生じるものである。従って、転写性を向上させるには、材料の冷却、固化を進行させないように速やかに充填させ、しかも充填後の材料圧力を高く保つことが望ましいことになる。実際の成形条件としては、(1)揮発性ガスを発生させない範囲で材料温度を高く、(2)金型温度を高く、(3)充填速度を大きく、(4)成形圧力、保圧力を高くすることが重要になる。

(55) 成形品表面とマイクロフローマーク（転写性、外観）

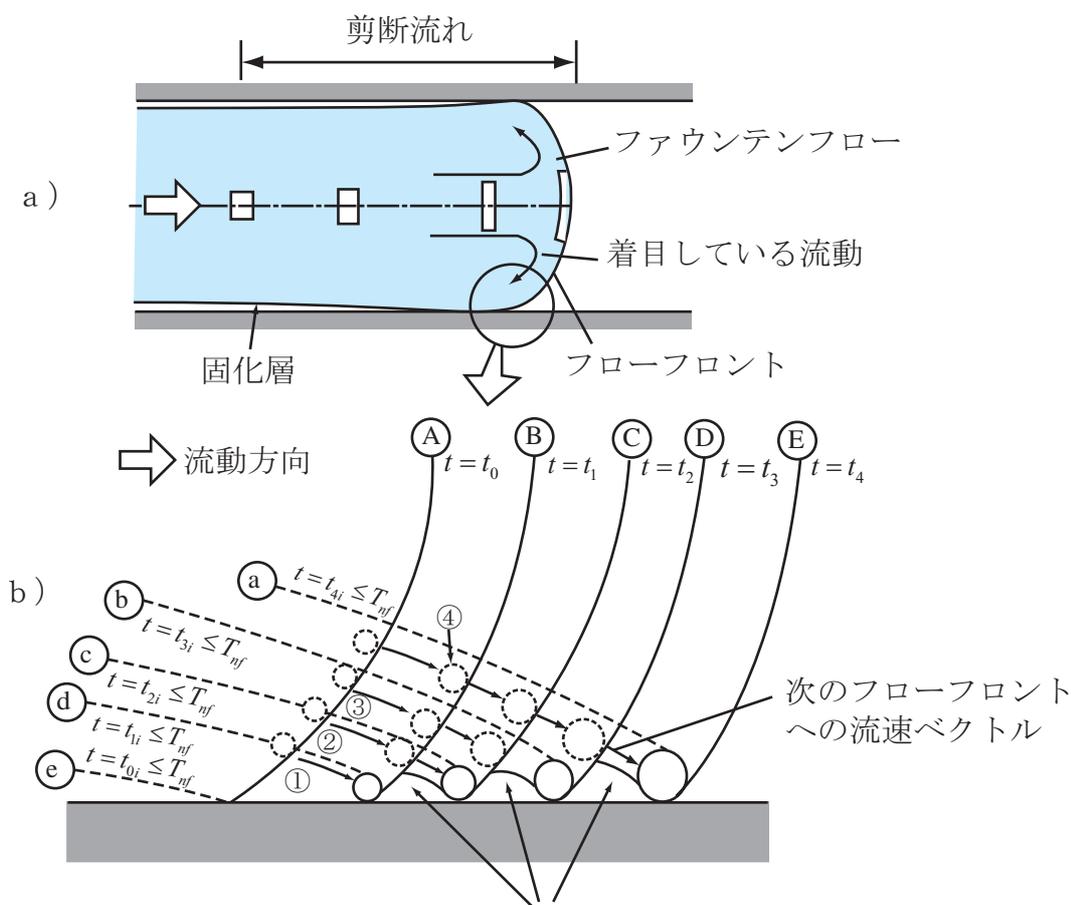


図55.1 フローマーク発生のメカニズム^[1]

3. 注意事項

- (1) 転写性を問題にする時は先ず気泡、シルバーストリーク並びにウェルドラインの発生を防ぐことから検討する必要がある。
- (2) フローマークの概念は曖昧で、「流れに関係ありそうな帯状の流れ模様全般を指す外観不良の一用語と解釈される」^[2]という見解がその辺の事情を語っていると思う。
- (3) また、フローマークには「(a) 間隔の狭いレコード縞状、(b) 帯状の光沢部と曇部が交互に成形品の上下両面の同位置に現れるもの、(c) これらが千鳥状に現れるものの3種」^[2]がみられる。

出典

- [1] 吉井正樹・蔵本浩樹：プラスチック射出成形におけるマイクロフローマークの発生に及ぼす成形条件の影響、高分子論文集、49(3) pp241~248 (1992)
- [2] 横井秀俊：射出成形品の表面不良現象と対策、成形加工、6(2) pp100-103(1994)

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. ウェルドラインの問題点

ウェルドラインの発生原因、ウェルドラインの発生位置・防止法、ウェルド部の力学的強さの低下、ウェルド部に対するスリット穴の影響、ウェルド部の後処理については金型設計の際に承知しておく必要があるため、このマニュアルの(その 1)^[1]で説明した。

マニュアルは手引、便覧の意味に用いられる^[2]が、最近では、定形的な作業について具体的な手順を示す指示書のように理解されていることが多い。しかしプラスチック成形用金型の場合には、同一のものを複数回作ることは珍しい。同じ目的の次の成形品を作る時は、商品の都合上、別の設計にするか、少なくともどこか変える必要が生じている。すでに説明したようにウェルドラインは溶融材料が会合(合流)する場所に生じるのであるから、成形品の部分的な厚さの変更、穴の新設、ゲート位置・数の変更によってすぐに変ってしまう。従って、このような変化に対応できるためには原理、原則をよく理解しておく必要がある。

2. ウェルドラインの会合角と流速合流角^[3]

ウェルドラインでは力学的強さが低下するので、これを対策するためにウェルド発生位置をかなり適確に予測できることが望ましい。ウェルドラインには、向かい合って流れてきた二つの溶融流動材料が正面からぶつかる場合にできる対向形ウェルド(と呼ばせて頂く)と、成形品の穴部すなわち金型のピンなどにより一旦分解されてから再び合流する合流ウェルド(と呼ばせて頂く)とがある。これらの発生防止法は前述の(その 1)の § 2(16)節で述べた。これを通用するのに必要な発生位置予測例を述べる。ここでウェルドラインの会合角と流速合流角の定義を図 56.1 に示す。

石田^[3]は図 56.2 に示すウェルド評価テストピースをショートショット法でウェルドライン開始点からの距離 L を逐次大きくなるように試験片を成形した。材料はガラス繊維 30% 配合ポリアミド 6・6 で、射出率 50cc/s、材料温度 285、金型温度 80 で成形した。

一方、有限要素法による流動解析プログラム MELTFLOW (日本ユニシス、宇部興産で共同開発した)で会合角を算出した。実験値を比較すると、図 56.3 のようになる。

次に同じ試験片と計算結果を流速合流角と比較すると図 56.4 のようになる。会合角が予測できるとウェルドラインの判定が容易になる。この材料の場合、表面層で会合角が 130° 程度まではウェルドラインは明瞭に認識できるけれど、会合角が 150° 程度を適えるとウェルドラインは判別しにくくなる。そしてウェルド部では表面層から固化し、内部層は固化が遅れるので、その間に二つの流動が混流してしまう。この結果、表面層の差異は引張り強さには影響しにくいけれど、表面層の僅かなウェルドラインの溝が曲げ強さの差に現れる。このような状況を図 56.5、図 56.6 に示す。図 56.6 に示すように、流速合流角が小さく、その結果ウェルドライン会合角が大きいほど、また射出率が大きく、保圧力は大きめで、溶融材料温度は大きい方が曲げ強さが大きくなる。

また、ガラス繊維は材料流速が遅くなるとウェルドラインと同じように、表面に浮き出してくる。この場合は図 56.7 に示す通りで、これも実験値と CAE 計算値と一致している。

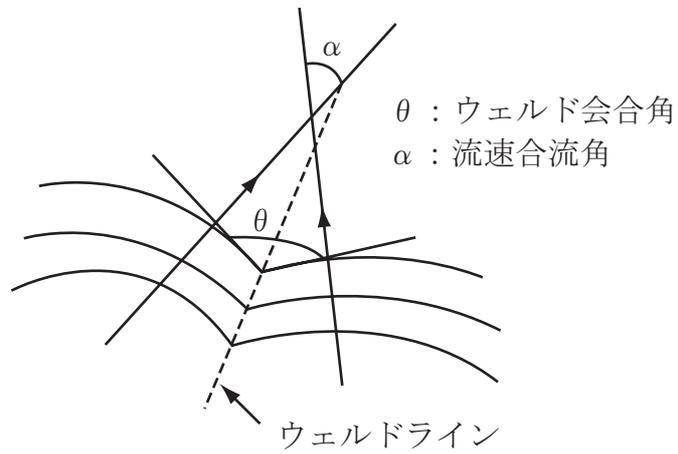


図56.1 ウェルド会合角・流速合流角の定義^[3]

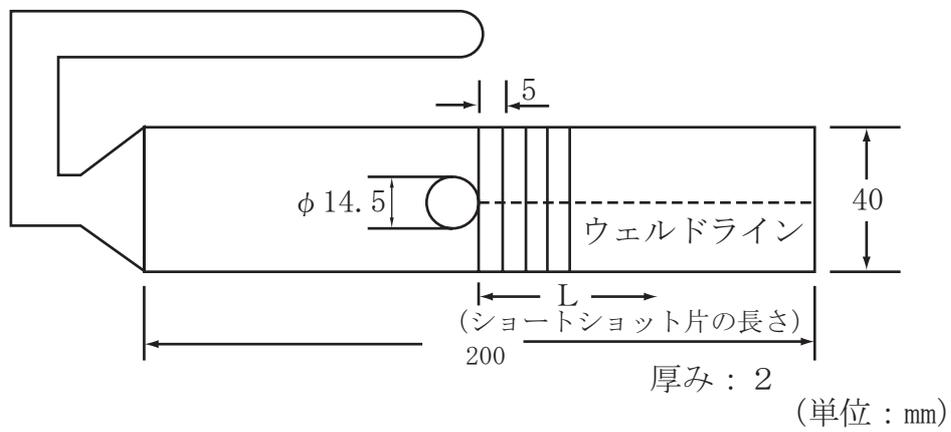


図56.2 ウェルド評価テストピース^[3]

(56) ウェルドラインの会合角と流速合流角

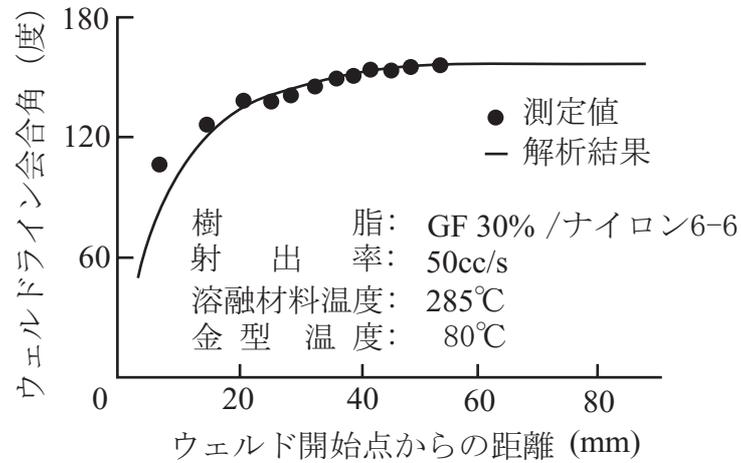


図56.3 ウェルドライン会合角

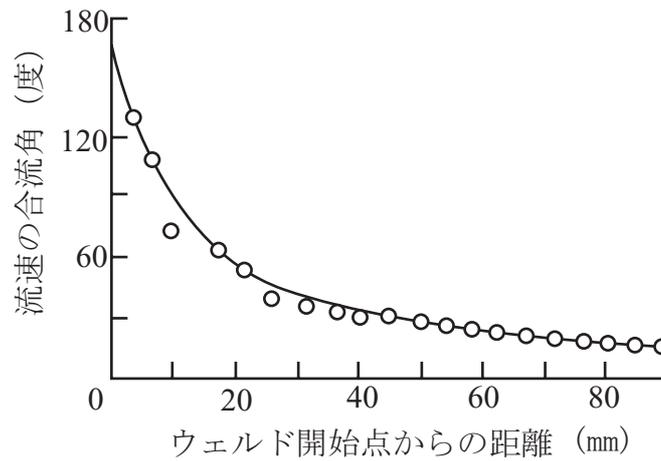


図56.4 流速合流角

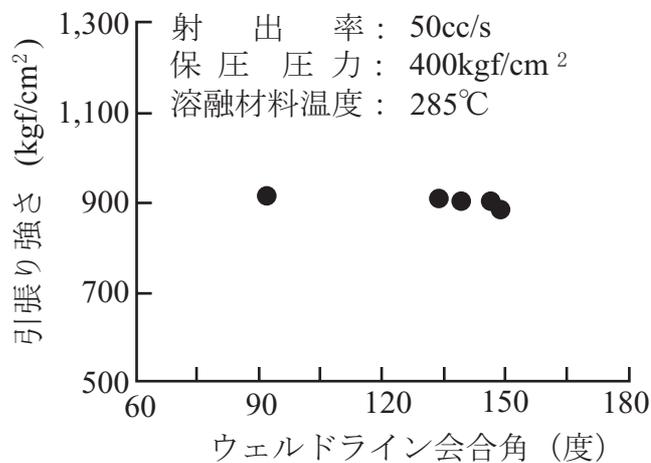
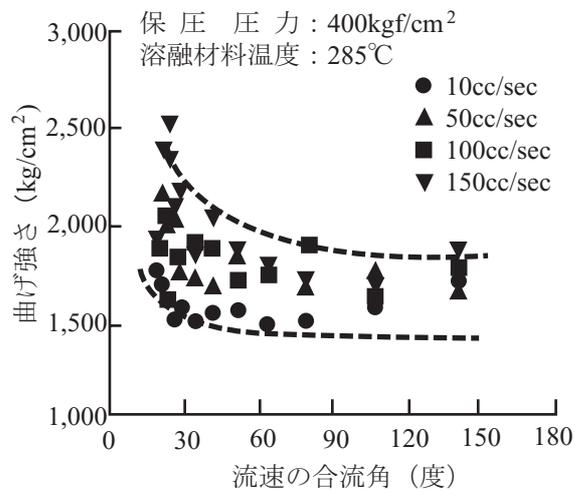
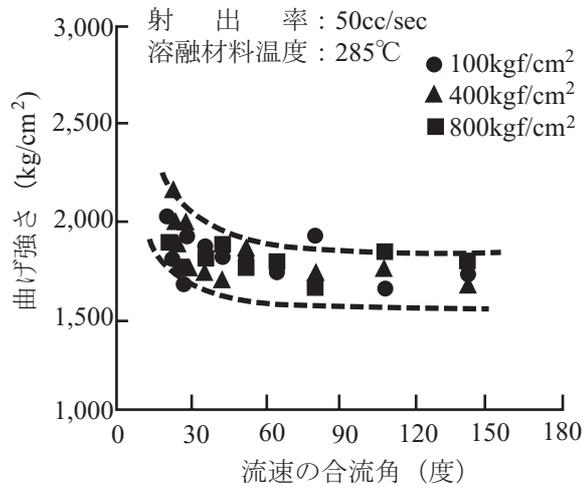


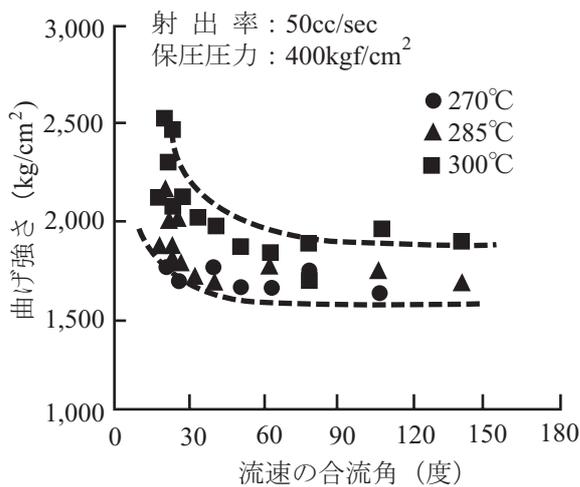
図56.5 引張り強さと会合角の関係



(a) 射出率の影響



(b) 保圧圧力の影響



(a) 溶融材料温度の影響

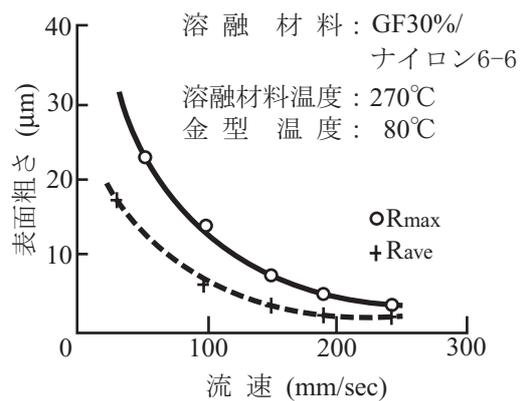


図56.7 成形品の表面性

図56.6 曲げ強さと流速合流角の関係

3. 注意事項

この材料の曲げ強さの例からみて、ウェルドラインを小さくする成形条件は、フローマークを小さくする成形条件と同じ傾向にあると考えられる。

出典

- [1] 中小企業事業団平成 10 年度、ものづくり人材支援基盤整備事業—技能の客観化、マニュアル化等—プラスチック成形用金型(その 1)—金型の製作(委員長 中川威雄、委員、代表執筆者 青木正義)(平成 11 年 5 月)
- [2] 新村出編：広辞苑(第四版)、p2442、岩波書店(1991)
- [3] 石田敏和：成形品の不良対策と CAE—ウェルドラインの特性解析—、プラスチックスエージ社(1992-8) pp197-201

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 成形品設計と寸法

成形品の寸法については、(その 1)の § 4、キャビティ・コアの章で、金型のキャビティ・コアの説明の都合上

(その 1) § 4 (27) キャビティコアと成形品肉厚

(28) 精密成形と成形品形状

(29) 成形収縮率

(30) 成形品の公差

(31) 肉厚の設計

(32) 成形品の反り

の節で一通り述べた。寸法精度ならびに外観の点から、成形品設計の大きな原則は、

肉厚は均一に、段差をつけず、肉厚よりもリブで強さをもたせ、内側・外側を問わず角は丸く、適切な肉ぬすみをする。寸法収縮による変形を予測した形状にする。精度を要する寸法は金型によって直接決まるような金型構造で成形できるような形状にする。しかも、クリープ、応力緩和、疲れなどに強い形状にすることである。

2. 成形品の寸法精度

成形品設計者は成形品の寸法とその精度が欲しいのであって、金型の寸法や形態に関与しなくともよいと考え易いが、金型の構造、構成、成形時の動作・状況などを熟知しなければ本当により成形品設計はできない。

形状ばかりではなく、寸法の公差も成形の実態を知らなければ、良くかつ安い成形品の裏付けとなる公差を指定することはできない。不必要な部分にうるさい公差をつけては不経済であるし、必要な部分にきちんと公差をつけなければ、他の部品との組み合わせ、組み立てに支障を生じる。

すでに(その 1)で述べたように、「プラスチックの寸法許容差の決め方」は JIS-Z-8208 に制定されているけれど、具体的に成形品そのものの寸法公差、許容差は JIS に見当たらない。わが国で屢々、参考にされるものは、DIN 16901 で、表 57.1^[1]及び表 57.2^[1]がある。[(その 1)の表 30.1、表 30.2 の再掲]

また、成形品設計者は金型を知るという意味で、プラスチック成形材料の成形収縮率の意味と程度を承知しておくことも大切である。寸法精度は合否判定の時に測定法が問題になるので、これについても事前に十分に検討する必要がある。

(57) 成形品の形状・寸法・精度

表57.1(1) プラスチック成形品の寸法公差^[1]

表からの公差等級	公差 ¹⁾	呼 称 寸 法 範 囲													
		越え まで	0	1	3	6	10	15	22	30	40	53	70	90	120
			1	3	6	10	15	22	30	40	53	70	90	120	160
110	1		0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.26	0.3	0.34	0.4	0.48
	2		0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3	0.32	0.36	0.4	0.44	0.5	0.58
120	1		0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.26	0.3	0.34	0.4	0.48	0.58	0.7
	2		0.32	0.34	0.36	0.38	0.4	0.42	0.46	0.5	0.54	0.6	0.68	0.78	0.9
130	(1)		± 0.08	± 0.09	± 0.1	± 0.11	± 0.13	± 0.15	± 0.17	± 0.2	± 0.24	± 0.28	± 0.34	± 0.41	± 0.5
	(2)		± 0.18	± 0.19	± 0.2	± 0.21	± 0.23	± 0.25	± 0.27	± 0.3	± 0.34	± 0.38	± 0.44	± 0.51	± 0.6
	1		0.16	0.18	0.2	0.22	0.26	0.3	0.34	0.4	0.48	0.56	0.68	0.82	1
	2		0.36	0.38	0.4	0.42	0.46	0.5	0.54	0.6	0.68	0.76	0.88	1.02	1.2
140	(1)		± 0.1	± 0.11	± 0.12	± 0.14	± 0.17	± 0.2	± 0.24	± 0.28	± 0.33	± 0.4	± 0.5	± 0.6	± 0.75
	(2)		± 0.2	± 0.21	± 0.22	± 0.24	± 0.27	± 0.3	± 0.34	± 0.38	± 0.43	± 0.5	± 0.6	± 0.7	± 0.85
	1		0.2	0.22	0.24	0.28	0.34	0.4	0.48	0.56	0.66	0.8	1	1.2	1.5
	2		0.4	0.42	0.44	0.48	0.54	0.6	0.68	0.76	0.86	1	1.2	1.4	1.7
150	(1)		± 0.13	± 0.15	± 0.17	± 0.2	± 0.24	± 0.28	± 0.33	± 0.39	± 0.47	± 0.58	± 1.71	± 0.87	± 1.1
	(2)		± 0.23	± 0.25	± 0.27	± 0.3	± 0.34	± 0.38	± 0.43	± 0.49	± 0.57	± 0.68	± 0.81	± 0.97	± 1.2
	1		0.26	0.3	0.34	0.4	0.48	0.56	0.66	0.78	0.94	1.16	1.42	1.74	2.2
	2		0.46	0.5	0.54	0.6	0.68	0.76	0.86	0.98	1.14	1.36	1.62	1.94	2.4
160	(1)		± 0.18	± 0.2	± 0.23	± 0.27	± 0.32	± 0.39	± 0.47	± 0.56	± 0.68	± 0.84	± 1.05	± 1.3	± 1.7
	(2)		± 0.28	± 0.3	± 0.33	± 0.37	± 0.42	± 0.49	± 0.57	± 0.66	± 0.78	± 0.94	± 1.15	± 1.4	± 1.8
	1		0.36	0.4	0.46	0.54	0.64	0.78	0.94	1.12	1.36	1.68	2.1	2.6	3.4
	2		0.56	0.6	0.66	0.74	0.84	0.98	1.14	1.32	1.56	1.88	2.3	2.8	3.6
精密	1		0.05	0.06	0.07	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.25	0.3	0.4
	2		0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.4	0.5

1)A.公差を示す寸法：1.金型によって直接定まる寸法 2.金型によって直接定まらない寸法

B.公差を示さない寸法：(1)金型によって直接定まる寸法 (2)金型によって直接定まらない寸法

表57.1(2) プラスチック成形品の寸法公差^[1]

表からの公差等級	公差 ¹⁾	呼称寸法範囲								
		越え まで	160	200	250	315	400	500	630	800
			200	250	315	400	500	630	800	1000
110	1		0.58	0.7	0.86	1.06	1.3	1.6	2	2.5
	2		0.68	0.8	0.96	1.16	1.4	1.7	2.1	2.6
120	1		0.86	1.04	1.3	1.6	2	2.4	3	3.8
	2		1.06	1.24	1.5	1.8	2.2	2.6	3.2	4
130	(1)		± 0.6	± 0.8	± 1	± 1.2	± 1.5	± 1.9	± 2.4	± 2.9
	(2)		± 0.7	± 0.9	± 1.1	± 1.3	± 1.6	± 2	± 2.5	± 3
	1		1.3	1.6	2	2.4	3	3.7	4.7	5.8
	2		1.5	1.8	2.2	2.6	3.2	3.9	4.9	6
140	(1)		± 0.95	± 1.15	± 1.45	± 1.8	± 2.2	± 2.8	± 3.5	± 4.4
	(2)		± 1.05	± 1.25	± 1.55	± 1.9	± 2.3	± 2.9	± 3.6	± 4.5
	1		1.9	2.3	2.9	3.6	4.4	5.6	7	8.8
	2		2.3	2.5	3.1	3.8	4.6	5.8	7.2	9
150	(1)		± 1.4	± 1.7	± 2.1	± 2.7	± 3.3	± 4.2	± 5.2	± 6.5
	(2)		± 1.5	± 1.8	± 2.2	± 2.8	± 3.4	± 4.3	± 5.3	± 6.6
	1		2.8	3.4	4.2	5.4	6.6	8.4	10.4	13
	2		3	3.6	4.4	5.6	6.8	8.6	10.6	13.2
160	(1)		± 2.1	± 2.6	± 3.2	± 4	± 5	± 6.2	± 7.8	± 9.9
	(2)		± 2.2	± 2.7	± 3.3	± 4.1	± 5.1	± 6.3	± 7.9	± 10
	1		4.2	5.2	6.4	8	10	12.3	15.6	19.8
	2		4.4	5.4	6.6	8.2	10.2	12.5	15.8	20
精密	1									
	2									

1)A.公差を示す寸法： 1 . 金型によって直接定まる寸法 2.金型によって直接定まらない寸法

B.公差を示さない寸法： (1)金型によって直接定まる寸法 (2)金型によって直接定まらない寸法

表57.2 DIN16901における材料区分^[1]

材料記号	表30.1の「表からの公差等級」	注
ABS, PC, PMMA, PS, AS	130	肉厚が4mm以上の場合は1つの大きな等級にする
CA (アセチルセルロース)、PA, PTFE (ポリエチレンテレフタート)、POM (<150mm)	140	
PE, POM (150mm), PP	150	

2.注意事項

- (1) 設計者にとっては寸法の許容差を厳しくしておけば、寸法のばらつきに対する配慮を大幅に軽減できるけれど、成形の現場ではそれに応えるために多大のロス(時間と材料)を生じる。許容差はできるだけ大きくとって、しかも上手に組み立てられるような部品設計が望まれる。
- (2) 設計者の大切な仕事の一つは商品原価の妥当な抑制にある。このために、製作費が高くないように、各部品に適切に寸法許容差を割り当てることが大切である。公差設計については品質管理とともに論じられたが、現在は、金型の製作技術と成形の制御技術の進歩のためにあまり声高には論議されない風潮である。むしろ、エンドユーザーの期待に沿えない成形メーカー、金型メーカーは取り残されていく厳しい環境にある。しかし、基礎技術としての公差設計は必要な所では、こつこつと努力している。
- (3) 成形収縮率は成形品の部位によって異なることが屢々ある。材料の流動による異方性と、成形条件による固化過程の差異によるものである。これらは、類似品を集めて、データを抽出整理しておかなければ仕方がない。また標準値に対して、どのように加減するかは重要な、固有のノウハウであって、一般的にも、具体的にも記述できない状況にある。
- (4) 外観とともに、寸法の合否を決める時にその測定法が問題なので、設計当初に部品の機能から考えて測定法を約束しておくことが大切である。平面度を例にとっても、どこの3点を基準にとって基準平面を決めるかなどの問題がある。

出典

- [1] 里見英一：プラスチック成形品の設計(第2版)、p234、日刊工業新聞社(1986)

§ 4 プラスチック成形部品設計

1. 生産設計と生産性設計、組立評価法^[1]

生産設計は機能設計、品質設計、強度設計、精度設計によって決まってくる構造機械部品を実際の加工、組立、検査ができるように仕上げなければならない。この段階では、適用する材料、製作法の選定、適用材料に適する工法、工程の確認、製作に用いる設備、治工具、加工姿勢に対応する配慮をすることが生産設計である。プラスチック射出成形部品では、機能、強さ、精度を満足するように材料、金型、成形機などを考えて、実際の成形品ができる設計をすることである。

これに加えて、いかに安く必要な構造、機構を実現するかという観点を強調した設計が生産性設計である。この考え方にたって、家電品の組立ラインの組み立て、取り付け能率の向上を図るために、組立ラインや治工具、ロボットばかりでなく、商品の設計にさかのぼって検討するのが生産性設計である。生産性設計では積極的に次のことを追究する。

経済的な材料、加工法、精度の選定

組立性、後加工性を考慮した要素機能の部分への配分

検査、運搬などを含む全工程で最も経済的なあり方の設計からの探索

この理念に近づけるために 1970 年代半ば^[2]に日立製作所の生産技術研究所が組立性評価法(AEM: Assimilability Evaluation Method)を開発し、同社の東海工場において、ビデオテープレコーダのメカ部品設計に適用した。基本的な考え方は基盤部分を倒立、傾斜させることなく、部品、工具を回転することなく、一方向からワンタッチで取り付けられる状態を満点とする。そして、これに反する動作を必要とするような設計については減点していく評価法である。

2. プラスチック成形品と組立性評価^[1]

プラスチック成形品を上記の評価法から見ると

賦形性が高く部品の複合化に寄与して組立工数を削減できる

プラスチック材料が持っている可能性を活かして弾性締結に利用し易い

プラスチック成形品に対しても金属部品と同じように寸法、精度を追究する設計を推進すれば効果が拡大する。なお、この際、基準点、基準線、基準面の明確化が必要である。

3. 拡張された組立性評価法

組立性の概念が拡大されて、製造性(PEM : Producibility Evaluation Method)として扱われるようになり、各社がその方法を探索した。主な減点着眼点は

製品系列の単純さ

機構の単純さ

機能構造の兼用性

機能ブロックのモジュール化、単純さ、標準化

部品自動供給の容易さ

組み付け方向の垂直性

締結の単純さ

2次加工の容易さ

である。この技術のポイントは減点の手法にあり、ノウハウとして商品化され、米国の GE 社が当時 5 万ドルで購入するほど高く評価された。

同様な手法でセイコーエプソン(当時、諏訪精工舎)が時計のムーブメントの新しい組立システムを完

成させた。各社が自動組立ラインの開発を競う中、ソニーはパーツフィダーに頼らない組立 FMS (Flexible Manufacturing System)を構築するのと並行して組立性評価法 DAC (Design for Assembly Cost-effectiveness)を開発、市販体制をとった。

さらに時代の要請により、保守性の向上や寿命の尽きた商品の廃却再生のための分解性、解体性あるいはリサイクル性の評価法について、多くのノウハウが、日立、ソニー、東芝、日本電気、日本電装、三協精機などの各社に蓄積された。現在、

生産段階でコストを左右する組立性設計

使用段階の保守

廃却段階のリサイクルを助ける分解性設計

を上手に協調させて、お互いの矛盾が損失をもたらさないようなソフトを作ってソニーなどが販売している。ノウハウ商品であるから細かい内容は公開されていない。以上の説明に関連する表、図を次に掲げる。

(58) 組立性、分解性、リサイクル性

表58.1 分解性と組立性の関係^[3]

改良方策	分解性	組立性
部品数削減		
部品移動の単純化		
積み重ね構造化		
分解方向の統一		
階層構造化		
一体成形化	×	
圧入化	×	
位置決め容易化	-	
有毒物・有価物集中配置		-

4. 注意事項

この節で述べた事柄について、プラスチック成形品を解明した論文・解説は乏しい。いろいろな角度から検討・再吟味すれば、実りあるものがあると考えている。

出典

[1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p66-69、(株)工業調査会(1988)

[2] ジェフリー・ブースロイド：製造性、組立性、分解性評価法、日機誌、101(954)p361(1998-5)

[3] 大橋敏二郎・弘重雄三・宮川正威：組立性・分解性を考慮した設計、IE レビュー202号、38(4)pp48-57(1997-10)

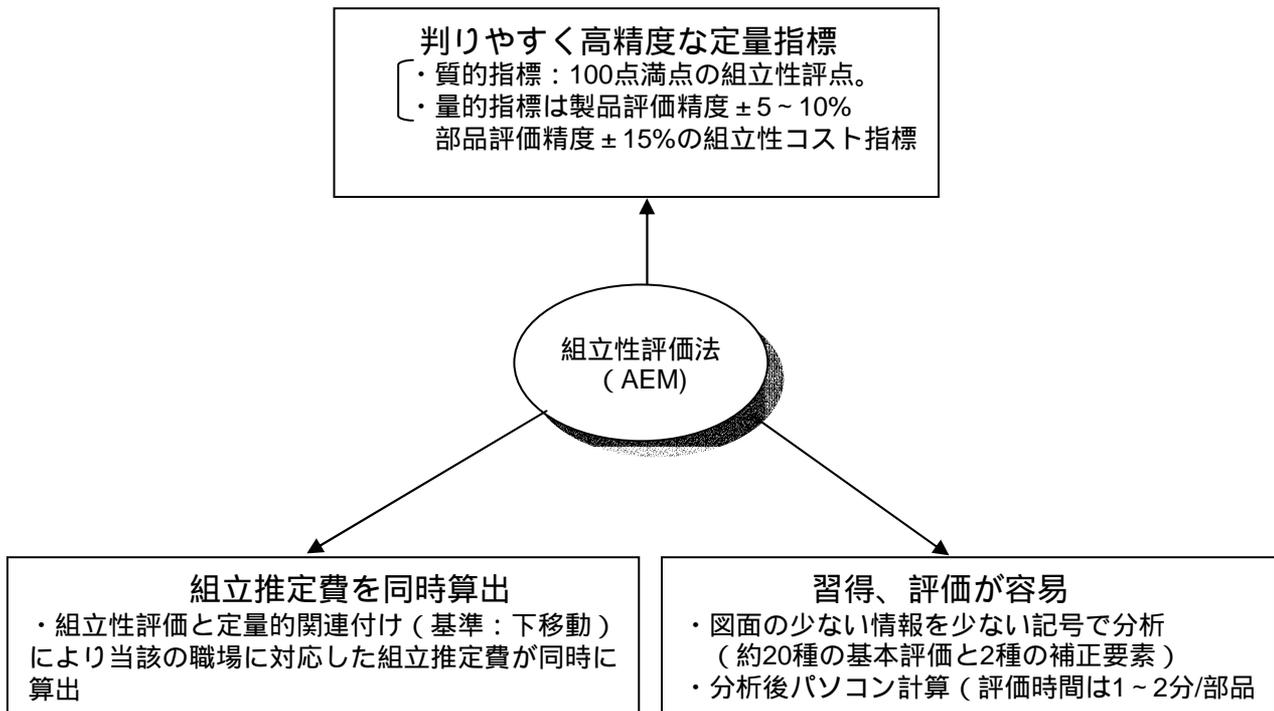


図58.1 AEMの特徴^[3]

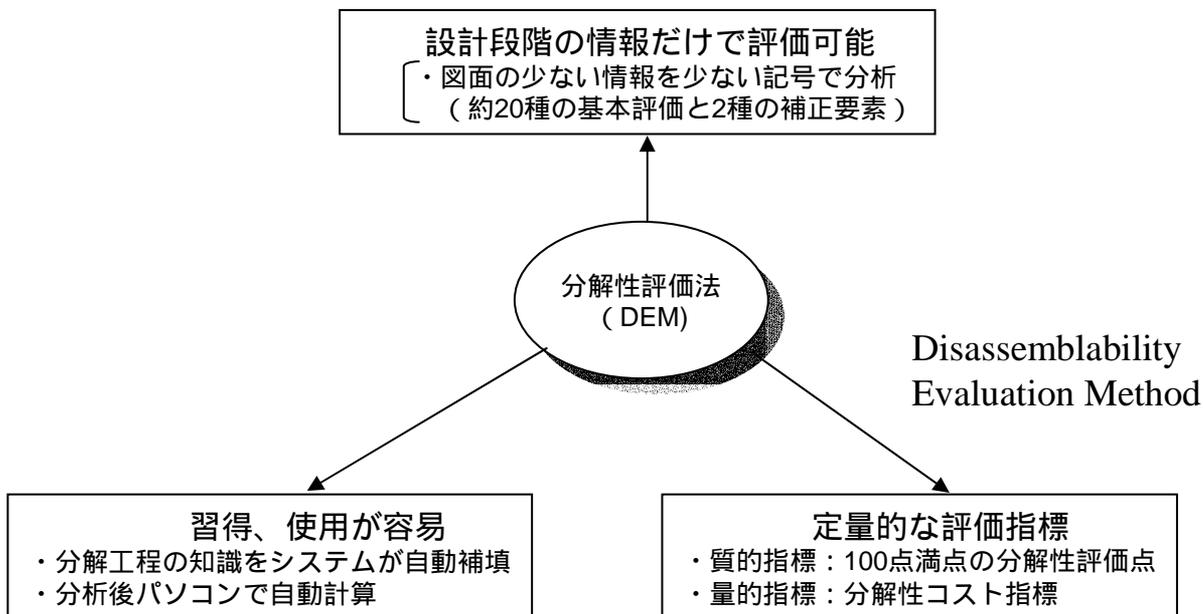


図58.2 分解性評価法 (DEM)の特徴^[3]

§5 成形品の品質、信頼性、検査

1. 破壊原因の究明の必要性

プラスチック成形部品も大形システムと同じように全く同じものが、次の機会に必要なとは限らない。何等かの意味で前回とは異なる注文がつく。この新しいものを手がけるにも、前例から学べるところは学んだ方が得策である。破壊に対する強さ、信頼性を保証するために過去のデータを活用する必要がある。その際に、原因の同一性を異にしてはデータの活用は難しいので原因の究明が必要である。

信頼性設計の具体的裏付けをするために、破損・破壊の原因を明らかにすることが必要である。すなわち、信頼性の一つの論拠になっている「故障の物理」の立場から、破損・破壊の究明が必要である。また、これらの主論は品質管理のデータと手法を裏付けるために必要である。

2. 破損・破壊の形態とフラクトグラフィー

破損・破壊の原因の推定は次の2分野になる。

破損状態となっている変形状況の観察・解析による破損モードの推定

破壊破面の観察・解析による破壊原因の推定

このうち について、金属材料、特に鉄鋼の破面解析が進んでいる。破面が貝殻状であるとか、樹木の年輪状であるとかによって、材料の強さより過大な衝撃力による破壊か、長期にわたる繰り返し負荷による疲労による破壊か、負荷の種類と大きさを判定している。この類例を集めて体系化し、フラクトグラフィーという技術分野を樹立している。おおまかに言って破壊が疲労によるものであれば特有の破面（ストライエーション）が、また脆性破壊ならば光沢のある平滑面がみられる。

しかし、プラスチック材料については負荷の種類によって破面が明確に区別できないので、現状では種々の手法を用いる必要がある。プラスチック材料は種類が多く、特性の違いが著しいうえ、金属材料のように膨大なデータを収集する体制ができて上がっていないので、フラクトグラフィーの確率は難しい。ポリアセタール POM について高野が破面データを発表しているが、他の材料までは律せられない。

3. プラスチック成形品の破面概察^[1]

上述のようにプラスチック成形品を広くカバーできるフラクトグラフィーは確立していない。ストレスクラッキングまたはストレス・コロージョン・クラックの分野では、AFC (Atomic Force Microscope : 原子子間力顕微鏡)、SEM (Scanning Electron Microscope : 走査電子顕微鏡)、TEM (Transmission Electron Microscope : 透過形電子顕微鏡)、OM (Optical Microscope : 光学顕微鏡)などが活用される。この場合のストレスとは、力、光、熱、電磁気、薬品類、微生物によるもので、このストレスによって、高分子の分散、結晶化、分子配向、官能基等の状況が異なる。

そして現状では、加えた外力と破壊した様態とは、常温ではほとんど相関を見出せていないという。まだ、破面だけの観察からでは、原因究明は難しいのではないかという見解がある。今後残された課題ではなかろうか。

4. 設計と強さ^[2]

ドイツのアリアンツ社材料試験所で多くの機械についてまとめた詳細な統計資料が報告されたことがある。これによると素材の損傷は少ないのに反し、塑性加工や切削加工、あるいは熱処理時に発生する欠陥が原因となっている例が多い。この資料にはないが、プラスチック部品の場合、成形時のウェルドラインや流動不整による残留応力による損傷が多いとされている。

近年、応力集中率など、材料力学的な検討が進み、構造上の欠陥のうち、形態上の欠陥は減り、工作上的欠陥の相対比が増している。鉄鋼材料を主体とする西岡の報告^[3]によると、破壊形態としては疲労が最も多い。また水素脆性損傷の比率が高くなっている。プラスチック材料についてもこのような解明の結果を広く公開して欲しいものである。

機器構造物における材料強さのもつ意味は重要で、設計者がよく理解しておくべきことを要約すると図 59.1^[3]のようになる。このような観点から事故原因が設計者に帰されると考えられる事故の原因は表 59.1 のようになる。

(59) 破壊原因の究明

表59.1 設計者に原因があると考えられる事故の原因

1	材料の強度不足	発生応力の過少見積もり 材料の強度に関する知識不足
2	製造上の問題に対する知識不足	応力集中のための実質強度の不足 製造法が設計者の意図通りでないための応力集中 (例 溶接など)
3	使用条件の評価の誤り	外荷重、環境条件の見積もり不足(防食疲労、応力腐食割れ) 実用条件を考慮した破壊のクライテリアの不正確(クリープデータの外挿、マイナー側の適用、疲労とクリープの重畳効果) 実際環境の把握不十分

(原著：西岡、平川、表にとりまとめ：青木)

5. 注意事項

- (1) 前から述べている失敗の記録の集積は、成功の記録の集積より難しいけれど、予期に反して破壊した事例は徹底的に調べて再発を防ぐ資料にしなければならない。富塚清教授の金言は前に述べた通りである。
- (2) 小物部品ほど事故発生現場で比較的小手先で処理できるので、きちんと原因究明されない。管理者・指導者が特に留意をしたいところである。

[1] 鈴木和男((株)日東技術情報センター)私信による(1999.8.31)

[2] 青木正義：プラスチック成形品設計、p53、(株)工業所査会(1918)

[3] 西岡・平川：材料強度研究と設計 - 実験室研究と実際問題、日機誌、84(749)pp365-370(1981-4)

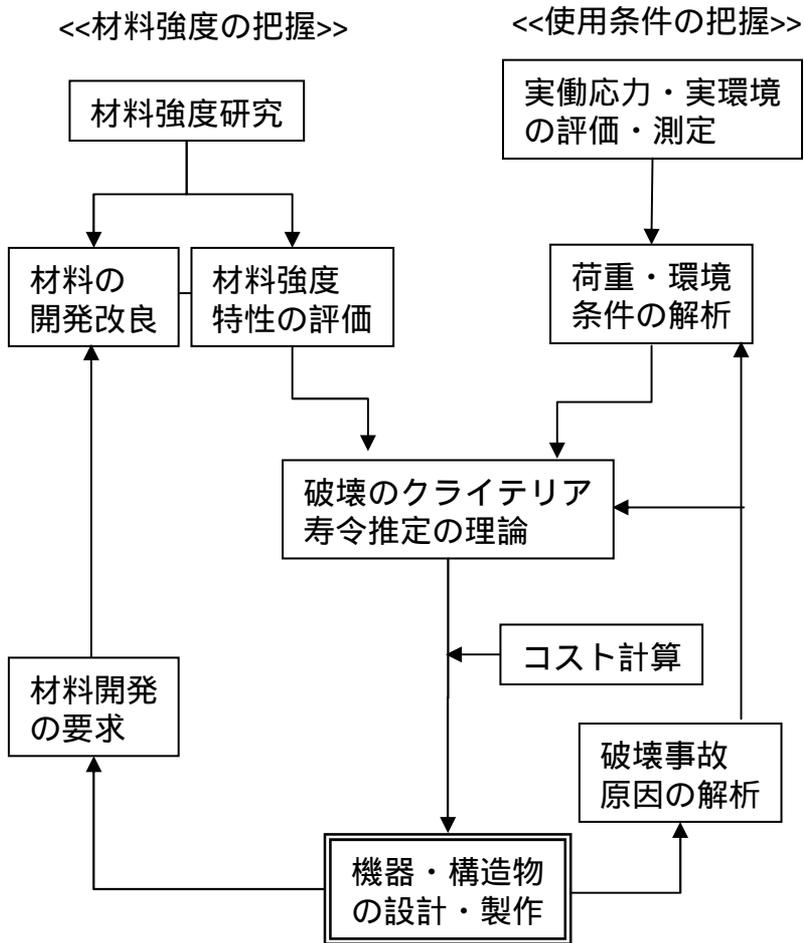


図59.1 設計における材料強度研究の役割

§ 5 成形品の品質、信頼性、検査

1. 信頼性・信頼度

システム、機器、製品または部品などの作動または性能の時間的安定性を表す度合い、または性質を信頼性と呼ぶ。所定の期間、所定の機能を果たす確率が信頼度である。信頼度としては次の諸項が論議される。そして、故障に対する区分、程度の判断基準もあらかじめ明瞭にしておく必要がある。

対象：システム、機器、装置、部品、材料あるいは加工法

条件：使用条件、環境、管理条件、保守条件

期間：使用に耐え得る時間、回数、サイクルの数、距離

機能：作動によって発揮する性能

確率：故障している確率、稼働している確率、時間当たりの故障度数など。

一口に故障といっても突然起こる完全な故障(破局故障)と経過時間に比例して発生する不明慮な故障(劣化故障)とがある。電球の線切れ、車軸の折損などが破局故障、また蛍光灯の照度低下、ステレオの音質劣化などが劣化故障の例である。また故障には機能を全く失う(極端な場合は人命事故に至る)ものと条件によっては機能を失わない程度のもとのとがある。一方、製品、機械の品質不良と使用条件の誤りによるものがある。故障の定義を明確にしておく必要がある由縁である。特にプラスチック成形品の場合には重要になってくる。

2. 故障率のパターン

故障のパターンには、時間とともに 減少するもの、 変化しないもの、 増大するものがある。これらの推移をまとめると、一般にこれらの推移に表 60.1 のようになり、図 60.1^[11]のように合成される。

この曲線は形が似ているのでバスタブ曲線 (Bath Tub Curve)と呼ばれる。DFR が短く、CFR が長く長いほどよい。この曲線は人間の一生にも適用できるといわれている。プラスチック成形品の場合にも経験的にほぼ同じことが言える。

3. アベイラビリティ

商品、機械に与えられた固有の(故障を起こさない)信頼性、信頼度

故障が生じた際、修理して以前の状態に復旧する保全度

を合わせたものが広義の信頼性、信頼度でアベイラビリティといわれ、規定の使用条件のもとで規定期間、満足に使える確率である。そして

$$\text{アベイラビリティ} = \frac{\text{故障間隔平均時間 (MTBF)}}{\text{故障間隔平均時間 (MTBF)} + \text{修復平均時間 (MTIR)}}$$

と書けるから適切な環境の下で、適切な保全が施されている商品・システムが任意の時点で稼働可能な状態にある確率である。この式からアベイラビリティは信頼度と保全性で決まることが判る。アベイラビリティを高く維持するには、保全度を高くしておくのも一法ではあるが、部品としてのプラスチック

成形品の場合には単品としての信頼度を高くし、商品やシステムにおける部品交換は止むを得ない時の救済方法だと考えるべきであろう。

4. 保全度

故障発生後ある時間までに保全が完了している確率を保全度といい、狭義の信頼性を補って稼働可能率を確保しようとするものである。コンピュータ、航空機など先端技術を駆使したシステムでは、全ての使用部品残らずその寿命を確認できていない場合も少なくない。予想できる部品・サブシステムの故障モードを検討し、故障の未然防止の予防保全をして公共性の高いシステムや、運用不可能になると莫大な損失を被るシステムを守る。また、家庭電気器具のように故障したら、危険が生じないように運転を自動停止するように設計し、修理をする事後保全をとる場合もある。いずれの場合も次に先ず「保全の3要素」が確立していることが必要で、プラスチック成形品を設計し、または製作供給する場合には十分承知しておいて頂きたい。

故障検知や点検が容易で、保全が容易な構造設計であること

保全担当の技術、技能が優れていて、保全体制が整備されている、こと

交換部品の取外性、組込み性が優れていて、必要な工具が整っていること

保全に関する生産設計は細かにみればリプレヘンシビリティ (Reprehensibility) からアクセシビリティ (Accessibility) までを含むわけである。

(60) 信頼性設計と成形品

5. 信頼性設計

組み付けられる商品・システムの高度化に伴い、部品に対しても高機能化、高精度化だけでなく高信頼性が求められている。部品の増加、大形化も進み、設計者の気配りが難しくなり、CAD、CAE でもカバーできない。求められる要求と時間的制約を部品設計者は工具(金型)設計者と協調して巧みに乗り切らなければならない。信頼性はコストとともに商品・システムの開発、設計段階に大半は決まり、製造段階で作り込まれる。従って設計者は商品・システム全体の経済性を吟味し、下記の値が最小になるように配慮しなければならない。

(設計品質のコスト) + (保全コスト) + (アベイラビリティのコスト)

§5 成形品の品質、信頼性、検査

1. 検査の諸々相

- (1) 成形部品は当然必要な機能を満足するような設計をすることが必要である。しかしそれを満足するには十分な寸法、外観、機能を指定することが大切である。わが国の部品はどれも過剰品質になり易い。また検査し易い形状、形態を与えることを忘れないことが大切である。
- (2) 成形品の予備的な検査または通常の商品の部品で、全数に及び選別のためのチェックは成形者が行うのが常である。このためには作業者の十分な教育をする必要がある。チェックには、次の3つの方法が考えられる。
- (i) 限度見本と比較照合する外観チェック
 - () 重要寸法に関するノウ・ゴージによるチェック
 - () 金型から落下した時の自動秤量
- この中で、バリ、ショートショット、ひけ、くもり、シルバーストリーク、ウェルドラインなど外観に関するものは主観検査によるので、検査レベルがばらつき易い。よく顧客事情に通じた検査員または納入先と打ち合わせをする部品設計者がこの検査法及び検査結果をオーソライズしなければならない。また、重量で不良を発見しようとする時は、経時変化も調べておき、測定時の重量で判断できるようにしておく。
- (3) 支給される図面、一般事情を記載した仕様書まで受注時の契約項目に従って、測定または検察して合否を判定する。特性項目によっては成形機、試験片の採取法、測定段階、測定機・検査機、測定法、判定基準まで約束することが必要で、その準備に留意をしなければならない。
- (4) プラスチック成形品の生成過程から十分察しられるように残留応力を残し易い。また、材料の種類によっては、成形後使用されるまで飽和吸湿量まで吸湿するものがある。これら、後に苦情の対象になり得る要素を検査前に十分取り除くためのシーズニングをすることが必要である。通常、正確な検査データを得るには24h以上標準指定状態に静置する。中にはポリアミドのように煮沸または湯通しするものがある。これらは寸法精度に影響する。
- (5) 外観不良に関する事項を一覧表として表 61.1^[1]に示す。先に述べたように合否判定には限度見本が必要である。
- (6) 寸法、形状の測定には、基準線・基準面の確定が必要で、JIS B 0621 幾何偏差の定義及び表示が必要である。その内容は別のテキスト^[2]で研究して頂きたい。

- (その1) §15 金型の検査と保守(86)-(93)
 - (") §1 (2)生産効率向上のための高品質、高精度化(精度の概念)
 - (") §11 (68)用途別金型選択基準の表 68・3 (品質について)
 - (") §6 (43)成形品設計時の注意(メッキ、塗装する成形品の設計上の注意について)
- (3) 検査では設計の結果も、製作の結果も明らかになる。プラスチック成形品の場合、金型製作前の検討、金型設計時の疑義発生、金型のコア・キャビティ合わせ、金型組み立て完了後の試み成形、少量試作などの過程を経て最終検査に入るのが普通であろう。いわば、いくつかの開門でチェックされながら進行し、成形品の量産の可否が決せられる。一つ一つの開門で問題点は修正される訳であるが、設計時に仮定した事柄が一つや二つは未解決のまま、検査に入り、審判される。この時こそ、仮定した事柄、仮定した係数などが実際にどうであったかを確認するチャンスであると考えて、後々使いものになるデータ生理をしておかなくてはならない。担当者だけに任せず、担当者がまとめた問題点解決の決め手を抽出して、数値であれば無次元化して、データベースにつけ加えることを怠るべきではない。これが、会社の財産になる筈である。
- (4) 検査は後始末検査ではなく、対象品の図面、設計仕様などを成形品製作前に事前検査をし、知見を設計にフィードバックする事前検査をする見識が欲しい。

出典

- [1] 青木正義：プラスチック成形品設計、p42、(株)工業調査会(1988)
- [2] 中野健一：精密形状測定の実際、海文堂出版(株)(1992)

§ 5 成形品の品質、信頼性、検査

1. 品質管理

(1) 品質管理(QC :Quality Control)は主に量産品の品質のばらつきを小さく、安定した商品、部品を供給する手法で、アメリカで開発された。第2次世界大戦終結後、日本にアメリカから導入された。この手法により、わが国の量産品の品質は向上し、ばらつきは極めて小さくなった。

(2) 品質管理の発想または主な手法は、商品または部品の品質を一定の範囲内に納めるよう、逸脱しないかどうか事前に予測チェックして、必要なアクションの方法を指摘することを主体とした。思想的には統計学に予測要素を数学的に付加した推計学(Stochastics)に基礎を置いている。

アクションを標榜しているのが当然製造部門及びこれを支援する生産技術部門が活動の中心であった。商品として消費者・使用者に満足を与えるために、商品の品質確保の理念が必要である。そのためには商品の性能の責任を持つ部署が中心になって、企業全体が協力していわゆる TQC(Total Quality Control)の思想が定着している。これが、全員参加の提案運動、改善発表会などの形をとって、企業に浸透し、わが国の商品の品質確保に貢献している。

成形材料の受け入れから完成した成形品の搬出まで、わが国のプラスチック成形工場の品質管理は、世界に例をみないと思う。設計部門の成形部品への指示は誤りなく徹底伝達されるように育まれている。

(3) 成形品の品質管理手法による成形条件の設定や、材料配合の決定の方法が着実に浸透しつつある。これがいわゆる品質工学であって、わが国では田口玄一博士の開発したタグチメソッドを、矢野宏博士等がプラスチックに連用している。^[1]

2. 成形品設計と品質工学

成形品を設計する際には、形状各部の寸法の公称値(ノミナル、基準値)と、その許容差を定める必要がある。公称値は、他部品との締結、嵌合、相対位置関係で決まり、成形品の機能、役割を果たす根拠になる。従来、許容差(上の許容差と下の許容差の合計が公差である)は工程能力指数 $Cp' = \text{公差} / 6$ (通常、 $2 \times \text{許容差} / 6$) を積み上げて決めることが多かった。 Cp' が大きい程、ばらつきが小さいことになる。

成形工学の発想では、許容差の振り分けではなく、それぞれの許容差について損失関数で検討する考え方が浸透しつつある。

損失 L は

$$L = (\text{製品 1 回あたりの工程能力を上げるコスト}) + \text{品質損失 } k \sigma^2 \quad [2]$$

で表す。ここで損失関数 L は、ばらつきの分散 σ^2 に対して、

$$L = k \sigma^2$$

で表されている。

このような視点にたつて、単に、許容寸法差ばかりでなく、計測特性、計測誤差、成形の加工性能、成形性、金型品質、金型材質、成形材料、強度変化等々と検討の対象を広げてきている。

(61) 成形品の検査

表61.1 成形品の外観不良項目^[1]

区分	不良項目	説明
成形条件にかんするもの	ひけ	成形品の表面に凹状にへこむ現象
	フローマーク	ゲート付近、または別の所に材料の年輪状、または流動の様相が発生する現象
	ジェットイング	成形品の表面にゲートからリボン状の様相を生ずる現象
	シンクマーク	型内で材料が固まらぬうちにプランジャーが後退し、型内に真空部ができて成形品表面に凹みが出る現象
	バリ	型の構成部品の間隙に材料が流れ込み、余分な肉が付く現象
	フラッシュ	成形中にキャピティから流れ出た部分。バリと同意
	くもり	材料本来の光沢と異なり層状に乳白色の膜に覆われ、かすみがかかったような状態になる現象
	ショートショット	材料が金型内に完全に充填しないで成形品となる現象
	やけ	金型内の空気が圧縮されて高温になり、樹脂が焼ける現象
	きず	型表面の傷の転写または取り出し時のへこみ、すり傷など
	銀条	成形品の表面にゲートを中心にキラキラした流動条痕が発生する現象
	クレージング	成形品表面に細かい線状のヒビが入る現象
	きれつ	クレージングがさらに進んだ状態
	フィッシュアイ	材料の混和が不完全のため透明・半透明成形品の中に小さい球状のかたまりが生ずる現象
	まだら	着色剤が不均一に混ざり合ったための外観の欠点
	オレンジピール	成形品表面がみかん皮のように凹凸になった外観上の欠点
	型に関連するもの	ふくれ
膨潤		成形品が水などで液体を吸収して体積を増大すること
ボイド		成形品の内部に空孔が出る現象
抜き勾配		型から取り出しやすくするために製品の表面につける勾配
ウェルドライン		分流した材料が合流する時に糸状の線を生ずる現象
ゲート跡		ゲートを折った跡
パーティングライン	型分割面が成形品上に残す線	
エジェクタピン跡		

2. 注意事項及び付記

- (1) 目視では不安が残る時は重量測定による検討を試みるのがよい。成形時の材料流動が適切でない時は、外観ばかりでなく、成形品重量を左右することが多いからである。
- (2) この節の記述に関連する若干の事柄については次に示すように、このマニュアルの(その 1)に記してあるので、検討して頂きたい。

(62) 成形品の品質管理

3. 補足

(1) 各工程で、その工程が異常なくできたか否かを判定するのに、先に述べた工程能力を用いる。工程能力 C_p は次式で定義される。

$$C_p = \frac{UL - SL}{6\sigma}$$

ここで、UL:規格上限値、SL:規格下限値、 σ :標準偏差

そして $C_p > 1.33$ なら、工程として適格

1.32 $C_p > 0.67$ なら、積極的に工程なり、設計なりを改善すべきで

0.67 C_p なら、不合格でその方式は適用すべきではない

とされている。

各工程で難しいのは公称値の管理より、公称値に対するばらつきの管理である。精密化を指向している射出成形において、公差の推奨値は前述のようにあるけれども、工程能力に関するデータは各メーカー、各現場のノウハウに属し、公表されたものは見当たらないように思う。

4. 注意事項

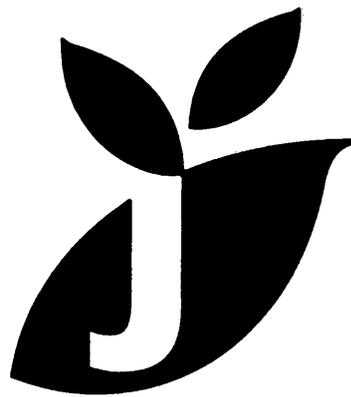
(1) 企業は、設計・発作の現場に忙しいというけれど、また、射出成形では再び同じ形状はないというけれど、あと一押ししてデータを体系化すること。技術要素に分解するなり、何らかの等価的無次元指数を考え出して横断的に知識体系をまとめること。こういう努力が、今後の余裕と実力を生み出すことになるであろう。

(2) ISO の品質保証条項の立場から、プラスチックの設計、成形、金型を見直すべき時期にきている。

出典

[1] 矢野宏編著：やさしい成形品質工学 - プラスチック精密成形品の設計、(株)工業調査会(1987)

[2] (1)の p44



中小企業総合事業団

〒105-8453東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル

☎03-5470-1523

情報・技術部

事業団ホームページURL <http://www.jasmec.go.jp/>

平成11年度 ものづくり人材支援基盤整備事業
—技術・技能の客観化、マニュアル化等—

「プラスチック成形用金型（その2）」

発行 中小企業総合事業団 情報・技術部 技術振興第二課

〒105-8453

東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル

TEL: 03-5470-1523 FAX: 03-5470-1526

無断転載を禁ずる

Copyright © 2000 中小企業総合事業団 All right reserved.

※このマニュアルは 財団法人 素形材センター の協力を得て中小企業総合事業団が作成いたしました。