有機材料成形工学

はしもと　としまさ
橋本　壽正
南8号館513号室

講義の方針

- 今まで学んできた高分子材料物性の総まとめをできるだけ簡単な記述で，高分子の構造・物性との関係を明確にしながら実際の工業材料への展開を交え，演習を適宜入れながら主にレオロジーを中心とした成形工学の基礎を論じる

レオロジーの応用範囲

プラスチックの溶融成形加工
繊維・フィルムの製造
潤滑剤と摩擦
接着材・塗料・懸濁液
ゲル・食品
土壌・セメント
生体・細胞内・血液
材料一般の力学物性

レオロジー小史

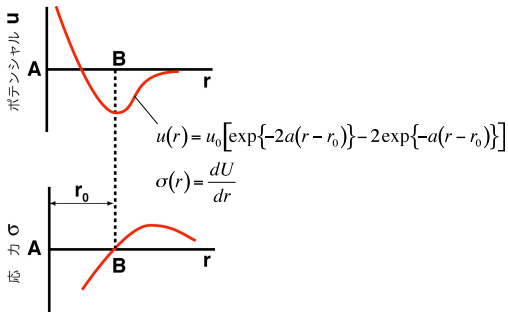
1632 Galileo	空気抵抗と物体速度
1660 Hooke	弾性法則
1687 Newton	粘性法則
1821 Navier	流体の運動方程式
1846 Hagen-Poiseuille	管内流動
1847 Stokes	ストークスの法則
1890 Voigt	粘弾性モデル
1876 Boltzman	粘弾性の一般論
1920 Staudinger	高分子の概念
1929 The Society of Rheology	

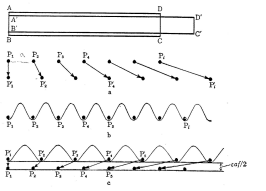
弾性・粘性

力を加えた時の変形（弾性）
　成形時の容易な変形
　製品としての安定性
　機能としての弾性　　新聞紙とティッシュ
力を加えた時の永久変形（粘性）
　液体の変形
　温度依存性

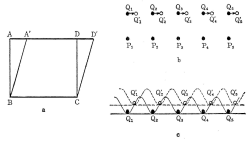
弾性の発現と分子的概念

抗力によって、原子間距離が変わり弾性が発現する

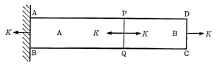


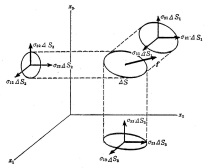


伸張したときの原子間ポテンシャルの変化．伸張方向ではポテンシャルがb型よりc型に変わる．



単純ずり変形による原子位置の変化とポテンシャルの変化





$$\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dS_1 \\ dS_2 \\ dS_3 \end{pmatrix}$$

s-sカーブ

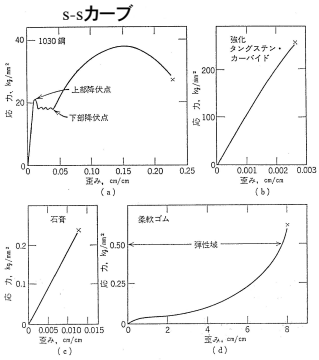


図 1.3　若干の工学材料に対するみかけの応力−歪み曲線．(a) 1030 鋼．(b) 強化タングステン・カーバイド．(c) 石膏．(d) 柔軟ゴム．

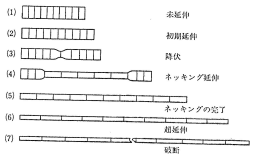
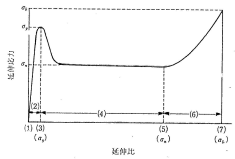
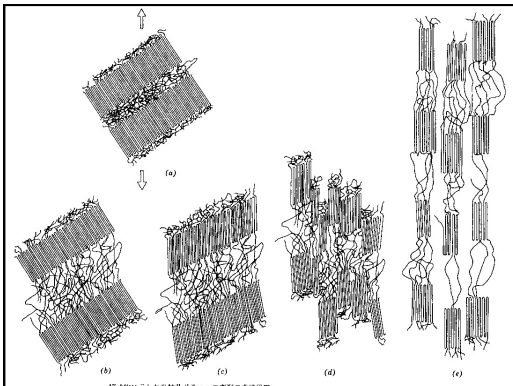


図 5.24　大変形過程における形状変化



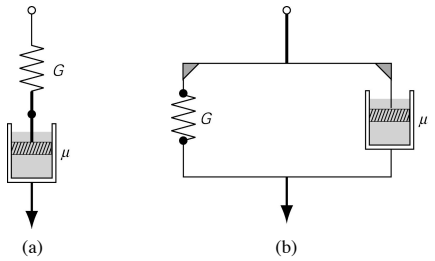
大変形過程における延伸応力・延伸比関係



模式的に示した半結晶ポリマーの変形の進行段階
（J. M. Schultz の許可を得て，*Polymer Materials Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliff, N. J. 1974 より転載）

粘弾性

- 理想弾性と理想的粘性の中間として扱う
- 現実材料の問題　　応力緩和とクリープ
- モデルでの表現と材料の経時変化の推定
- 直流的な刺激応答
- 交流的な刺激応答
- 複雑の系への適用



単純線形粘弾性応答に対するMaxwell (a)とVoigt (b)力学モデル

成型法のいろいろ

- 射出成形
- ブロー成形
- プレス成形・打ち出し成形
- 押し出し成形
- インフレーション成形
- 削りだし
- 仮想成形　CAE　　経験則から自動設計へ

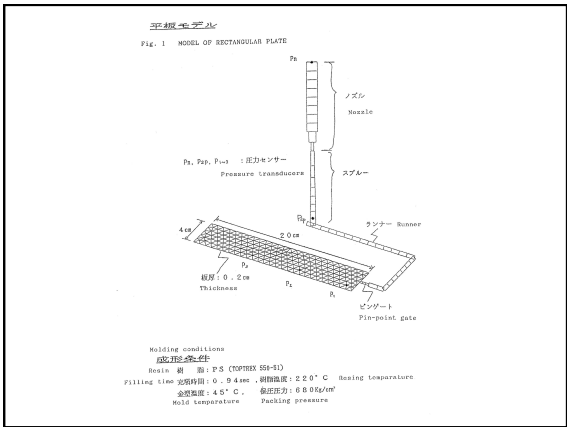
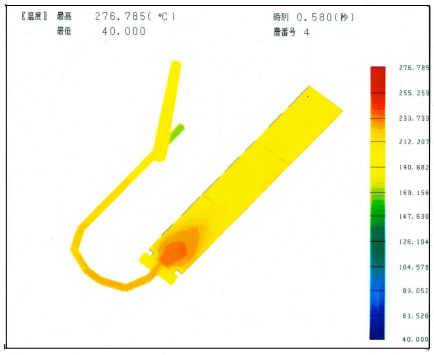
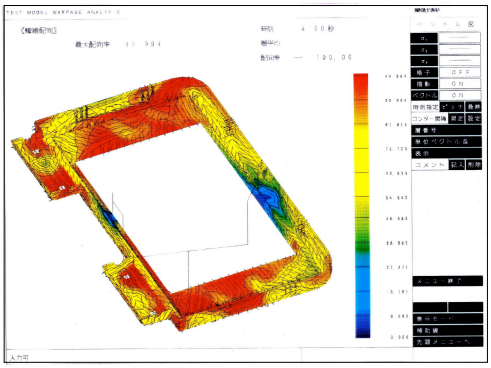


Table 射出成形のCAEで必要な物性値と実際使用されている測定手段・測定条件

物性項目	測定方法	測定装置	試料	標準測定条件
比熱	DSC法	示差走査熱量計	フィルム状 φ5mm×200μmt 約10mg	室温～320℃(10℃/min) N2雰囲気 前処理あり
熱伝導率	熱線法	熱伝導率測定装置	50×30×30mm	室温と溶融状態　2水準
定常せん断流粘度	細管押出法	キャピラリ粘度計	ペレット	成形温度領域を中心に4水準 12.2～6080(/sec)
密度	ピクノメーター法 浮沈法 密度勾配管法		JISに準拠	JISに準拠
PVT	ピストン法	PVT測定装置	ペレット	室温～成形上限温度 200～1600barの5点 0.2℃/sec
結晶化熱	DSC法	示差走査熱量計	フィルム状 φ5mm×200μmt 約10mg	1.25～160℃/min N2雰囲気 前処理あり
溶融粘弾性	等温等歪周波数応答測定	ダイナミックスペクトロメータ	ディスク状	成形温度領域中心 水準数任意
縦弾性率 ポアソン比	引張試験法 等温引張測定	材料試験器	射出成形ダンベル	室温 1mm／sec
熱膨張係数	プローブ法	模型膨張計	圧縮成形→切削研磨	室温～T_g，T_m付近 2℃/min
		熱機械分析装置	圧縮成形	室温～T_g，T_m付近 2℃/min 圧縮　1g
クリープ特性		クリープテスター	JISに準拠	JISに準拠
加熱変形温度		HDT&VSPT TESTER	JISに準拠	JISに準拠
ビカット軟化温度			JISに準拠	JISに準拠





物質	材料	製品
物理化学	材料科学	成形工学
理想的なモデル 基礎学問 厳密解・近似 普遍性 概念・哲学	現実的なモデル 応用学問 近似・数値解 安定性 計測法 度量衡	製品試験 デザイン シミュレーション 経済性・環境 製造技術 安全性 製造者責任 標準化 JIS/ISO

成形工学の基礎

レオロジー　　粘弾性モデルと数学表現
熱力学　　マクスウエルの記憶図を記憶する
線形応答理論　（応答関数と刺激の積和）
　　ボルツマンの重ね合わせ原理
　　測定・解析法の類似性
活性化過程・時定数・アレニウス温度依存性
微分方程式の解法　（数値解法を考える）

周波数ωと緩和時間τ　　ωτ＝1

- X線回折　　内核電子
- 紫外線・可視光吸収　外核電子
- IR吸収　　双極子
- ESR　　自由電子・ラジカル
- NMR　　核スピン
- マイクロ波吸収　　分子全体の運動
- 超音波吸収　　密度揺らぎ
- レオロジー　　分子間の運動

物理現象の数学表現

$$\nabla^2\varphi + f = \lambda\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} + \mu\frac{\partial\varphi}{\partial t}$$

$\nabla^2\varphi = 0$　　Laplace's Eq

$\nabla^2\varphi + f = 0$　　poisson's Eq

$\nabla^2\varphi = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}$　　wave Eq

$\nabla^2\varphi = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial\varphi}{\partial t}$　　diffusion Eq

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)$$
$$\Rightarrow \frac{dT}{dt} = \alpha\frac{d^2T}{dx^2}$$

モノづくり

- まず机上で考える
- この場合　知識の量がものを言う
- 簡単な概念でモデル化する（帰納）
- とにかく実験する
- 実験に合うモデルを再構築　最適化＝定式化
- 式を強引に解く　展開式・数値解法
- 演繹してたくさんの事例を検討する

ちょっと　研究紹介

- 熱物性（熱伝導とか熱発生とか）の基礎
- 新規熱計測技術の開発と世界標準へ
- 環境は熱の制御から　断熱材の開発
- 細胞の体温を測る
- 高分子複合材料の熱性能設計
- 可視化熱分析

参考書

小野木重治：化学者のためのレオロジー　化学同人

中川鶴太郎：レオロジー　岩波全書

岩柳茂夫　：レオロジー　朝倉書店

岡小天　：入門レオロジー 工業調査会

アトキンス：物理化学
キャレン：熱力学　吉岡書店
応用数学（相性の良さそうなものを）

アイザック：アシモフ：化学の歴史　ちくま学芸文庫
ファラデー：ロウソクの科学

- 4.16　物質から製品へ
- 4.23　弾性　　定義と 材料試験法としての観点
- 4.30　粘性　　定義 拡散現象との関連 測定法
- 5.07　すずかけ祭にて休講
- 5.14　粘性の温度依存性　時間・温度重ね合わせ則
- 5.21　熱力学と力学物性・熱物性
- 5.28　粘弾性モデル 静的粘弾性
- 6.04　粘弾性モデル 動的1　交流刺激と応答
- 6.11　粘弾性モデル 動的2　現象の複素数表示
- 6.18　粘弾性一般化モデル　粘弾性スペクトル
- 6.25　線形応答理論　　フーリエ変換入門
- 7.02　いろいろな複素物性　電気回路との類似性など
- 7.09　物性測定法　　サンプリング・単位・精度
- 7.16　まとめ　成形でどこまで機能を出せるか
- 7.23　予備