

はじめに

佐々木 裕¹

東亜合成株式会社

¹hiroshi_sasaki@mail.toagosei.co.jp

- ① レオロジーとは？
 - レオロジーの始まり
 - レオロジーのやり方
- ② 会社の仕事とレオロジー
 - レオロジーの関わる分野
 - 会社の仕事とレオロジー
 - レオロジーと商品
- ③ 人の感覚とレオロジー
 - 人はみなレオロジスト
 - 人間の判断基準は？
 - ウェーバー・フェヒナーの法則
- ④ レオロジーを理解するために
 - レオロジーの難しい点
 - 理解へのアプローチ
 - 見える化のすすめ

ここでのお話

ここでは、レオロジーという「考え方」についての説明から始めていきます。

この章で議論する内容について、簡単にまとめました。

- はじめに、「レオロジー」という言葉について、その歴史的背景を振り返りその流れを確認します。
- 次に、レオロジーが関わる分野が非常に広範囲に渡り、会社での商品開発へ有用であることを見ます。
- そして、人間の直感とレオロジーとの親和性が高いことについて考えてみます。
- 最後に、ここでの「おすすめの理解へのアプローチ」について紹介します。

- ① レオロジーとは？
 - レオロジーの始まり
 - レオロジーのやり方
- ② 会社の仕事とレオロジー
 - レオロジーの関わる分野
 - 会社の仕事とレオロジー
 - レオロジーと商品
- ③ 人の感覚とレオロジー
 - 人はみなレオロジスト
 - 人間の判断基準は？
 - ウェーバー・フェヒナーの法則
- ④ レオロジーを理解するために
 - レオロジーの難しい点
 - 理解へのアプローチ
 - 見える化のすすめ

レオロジーの始まり

レオロジー (Rheology) とは、
「物質の変形と流動に関する科学」

- **panta rhei** (ギリシア語)
- “**everything flows**”
- 万物流転



Eugene Cook Bingham

レオロジーという言葉は E.C. Bingham の造語であり、万物流転という意味を表すギリシア語の “*panta rhei*” から引いた接頭語である “Rheo-” を学問の分野を表す “-logy” と組み合わせたもの。そして、その対象を「物質の変形と流動に関する科学」と定めたのです。

古典論からレオロジーへ

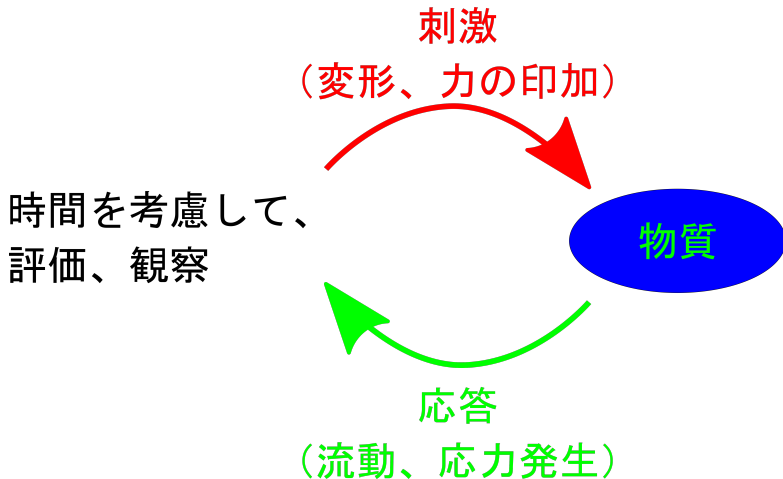
物体の変形や流動に関する古典的な物理学

- 弾性論はフックの法則を基本にして弾性固体を対象
- 流体論はニュートンの法則に従う単純な流体を対象

レオロジーは

- 弾性固体とか粘性流体のような「理想的な物体」に限らない「一般にそこらに存在する物質や材料」を対象に
- その変形と流動に関する事柄をすべて取り扱う
- 変形や流動というキーワード
- 物質や材料の特性を評価できる
- 工学的な考え方に有効

レオロジーのやり方



① レオロジーとは？

- レオロジーの始まり
- レオロジーのやり方

② 会社の仕事とレオロジー

- レオロジーの関わる分野
- 会社の仕事とレオロジー
- レオロジーと商品

③ 人の感覚とレオロジー

- 人はみなレオロジスト
- 人間の判断基準は？
- ウェーバー・フェヒナーの法則

④ レオロジーを理解するために

- レオロジーの難しい点
- 理解へのアプローチ
- 見える化のすすめ

レオロジーの関わる分野

レオロジー討論会への協賛学会

日本材料学会，プラスチック成形加工学会，高分子学会，
日本化学会，日本物理学会，繊維学会，応用物理学会，
化学工学会，強化プラスチック協会，日本ゴム協会，
日本接着学会，日本セラミックス協会，日本木材学会，
セルロース学会，日本機械学会，日本雪氷学会，
日本混相流学会，日本流体力学会，可視化情報学会，
日本食品科学工学会，日本家政学会，日本調理科学会，
日本食品工学会，日本繊維機械学会

関連分野は多岐にわたり、レオロジーは高度に学際的な科学と言える。

レオロジーの関わる分野

学術分野としてみても幅広い

- 学術分野：化学、物理、生物、化学工学、応用物理、流体力学、地球物理学
- 高分子化学（科学）：プラスチック、繊維、ゴム、強化プラスチック
- 材料：金属、セラミックス、木材
- 応用：機械、接着、塗料、食品化学、家政学、成型加工

幅広い分野に渡ること

- 多様な切り口での議論
- それぞれの要素技術が異なる。
- 一見、複雑に見える。

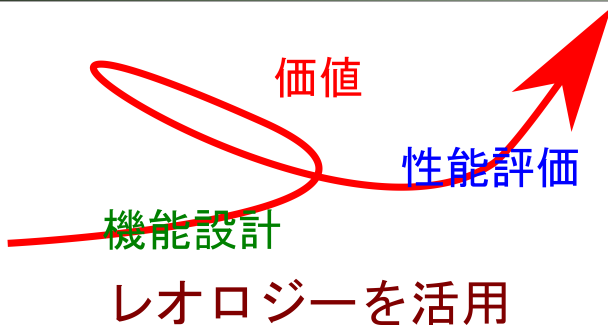
会社の仕事

開発のフローとレオロジー

- 会社での仕事
 - 営利団体
 - 利益を出し続けて、存続
 - 利益を生み出せる商品（製品）を作りたい
- 開発のフロー
 - 原料⇒材料⇒商品
 - それぞれのステップで
 - 評価・解析に基づく、設計を行う。
- そのステップでレオロジーも活用。

商品の開発と設計

原料（物質）→ 材料 → 商品



機能設計とレオロジー

レオロジーの活用

- 心地良さの定量化をレオロジー的感覚で、
 - 食感の定量化
食品工学における「舌触り」や「のど越し」
 - 触感の定量化
肌触りの良い下着やノビの良い化粧品
- 原料、材料の機能設計にレオロジーを利用
 - 力学特性の評価
ショックのない運動靴やよく飛ばせるゴルフクラブ
 - 流動特性の評価
塗り易くて液だれしない塗料

1 レオロジーとは？

- レオロジーの始まり
- レオロジーのやり方

2 会社の仕事とレオロジー

- レオロジーの関わる分野
- 会社の仕事とレオロジー
- レオロジーと商品

3 人の感覚とレオロジー

- 人はみなレオロジスト
- 人間の判断基準は？
- ウェーバー・フェヒナーの法則

4 レオロジーを理解するために

- レオロジーの難しい点
- 理解へのアプローチ
- 見える化のすすめ

オノマトペとレオロジー

オノマトペとテクスチャ

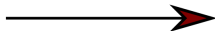
- オノマトペとは、状態や感情を言葉に表したもの
- これが多彩で豊富であることが日本語の大きな特徴
- 織物などの手触りのような質感を表すテクスチャ
- 食品の食感表現にもテクスチャを表すオノマトペ

レオロジーにつながるような物性を表す言葉

- 「サラサラは低粘度、ドロドロは高粘度」
- 「ふにゃふにゃは低弾性、カチカチは高弾性」
- フワッフワとかモッチモチ

人間の五感とレオロジー

物をたたく



硬いな⇔軟らかいな

液体を飲む



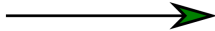
飲みやすい⇔飲みにくい

ビールを飲む



コクがあるのにキレがあるな。のどごしが違う。

音楽を聴く



きれいな声だな。重低音が響くな。

物を食べる



歯ごたえがあるな。口の中でとろけるな。

モノの物性を五感で評価

人間の五感とレオロジー

五感で評価

- 陶磁器の品質を見分ける
 - 指先ではじいてその音を聞く
 - 焼き上がり具合に応じて振動状態が変化し、陶器と磁器の見分けがつく。
- スイカの熟し具合
 - 熟れ過ぎたスイカは音が低くなる。
 - 実の部分に微小な気泡が生じている。
- 医者が打診によって診断
 - お医者さんが指で胸やお腹を叩く。
 - 音の響きで、内臓の腫れやうっ血を判断できる。

人間の判断基準は？

オノマトペのような言葉としての表現は感覚としての相対的な比較であり、違いを何でどのように表すかが難しい。

ウェーバー比

- ドイツの生理学者である E. Weber は、
- 「人間の変化を感じ取る感覚量は、受ける刺激の差ではなく何倍になったかという比に依存する」という関係
 - はじめに加えられる基準となる刺激量の強度を R とし、
 - 違いに気づくことができる閾値 ΔR との間に

$$\text{ウェーバー比} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\text{増加量}}{\text{初期値}}$$

- そのウェーバー比は事柄ごとに決まる

ウェーバー比について具体的に

- ある人が、10 の刺激が 20 になったときに「増加した」と気づくとしましょう。
 - このときの増加量は、10
 - ウェーバー比は、 $\frac{10}{10} = 1$
- その人は、20 の刺激が同じ増加量で 30 になっても、
 - ウェーバー比は、 $\frac{10}{20} = 0.5$
 - 気づかせるためには 40 にする必要がある。

ウェーバー比の示すこと

- 「強い刺激を基準にすると、その違いの見分けは難しい。」 ⇔ 「強い刺激には鈍感」
- 人の感覚は異なるから、ウェーバー比の値も個々には異なる。

フェヒナーの法則

フェヒナーの法則

- Weber の弟子である G. Fechner は、以下の対数法則
- 刺激の強度 R が変化する時、人が感じる感覚量 E は、

$$E = C \log R \quad (\text{ここで } C \text{ は定数})$$

この数式の示すこと

- 心理的な感覚量 E は、
 - 刺激の強度の値 R ではなく、
 - その対数 $\log R$ に比例して知覚される
- 具体的に言えば、以下が等しいとなります。
 - 100 の刺激が倍に増加して 200 になるときの感覚量
 - 200 の刺激が倍に増加して 400 になるときの感覚量

ウェーバー・フェヒナーの法則

ウェーバー・フェヒナーの法則の意味すること

- 刺激量の差だけではわかりにくい
 - 相対変化は見やすいが、絶対的な差はわかりにくい。
- 基準値によって閾値が変わる
 - 元々強い刺激の変化には鈍感
 - 基準値をそろえたほうがわかりやすい。
- 差ではなく比で比較する
 - 桁数の違いで感じるということが大事。

ここで議論したような人間の感覚に関わるような分野は、心理レオロジー（サイコロロジー）と呼ばれており、定性的な感覚量を定量化するためには重要な考え方になっています。

1 レオロジーとは？

- レオロジーの始まり
- レオロジーのやり方

2 会社の仕事とレオロジー

- レオロジーの関わる分野
- 会社の仕事とレオロジー
- レオロジーと商品

3 人の感覚とレオロジー

- 人はみなレオロジスト
- 人間の判断基準は？
- ウェーバー・フェヒナーの法則

4 レオロジーを理解するために

- レオロジーの難しい点
- 理解へのアプローチ
- 見える化のすすめ

似たものを比べると？

身近にある水と蜂蜜を比べましょう

- 水
 - 箸で簡単にかき混ぜることができる。
 - たやすくコップに注ぎ込むことができる。
- 蜂蜜
 - 容易にかき回すことができない。
 - 入れ物を傾けても、流れにくい。
- 触ってみたときの手応えはずいぶん違う
- しかしながら、その違いは感覚としての相対的な比較
- この違いを何で表すかが難しい
- 粘っこいハチミツとマヨネーズでは？

言葉の使い方が曖昧

- わかり易そうで、よくわからない表現（逃げ言葉？）
以下の言葉は、レオロジーの説明によく出てきますが？
 - 「応力集中が粘弾性により緩和します。」
 - 「チクソ性の高い液体は液だれしにくい。」
 - 「非ニュートン流体の特徴的な流動を設計しなければいけない。」
- 数式の羅列で数学的なお話
数式が突然天下りで出てきても！？
 - 一般化マックスウェルモデルの動的貯蔵弾性率の数式

$$G'(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{H}(\ln \tau) \frac{\omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} d(\ln \tau)$$

なお、これは見た目がややこしそうというだけの例

定義も不明確

- レオロジーの対象が幅広いことも混乱しやすい原因
- 食感や手触りから、材料の機能性の設計に至るまで
- 使っている人に応じて言葉に込めた意味合いが異なる

定義のわかりにくい例

- 人間の心地よさをレオロジー的感覚で評価
 - 「タピオカ」の喉越しのツルンとした感覚
 - 肌触りのよい下着
- 機能設計にレオロジーを利用
 - ショックのない運動靴
 - 塗り易くて液だれしない塗料

よくある状態

我々の身の回りで、よくある状態

- ありがちな両極端
 - 脳みそ筋肉状態
 - 「頭で考えずに手を動かして、とにかく測れ」
 - 頭でっかち
 - 「まずよく調べてから測定しよう」
 - 理屈ばかりで手が動かない
- 誰もが、最初は素人
 - ⇔ うまくやっている人の物まねが楽
 - でも、近くにいい先輩がいないときは？
 - 新しい問題へのアプローチは、誰も先輩になれない

おすすめのやり方

「急がば回れ」

おすすめのやり方

「急がば回れ」

ざっくり全体像をイメージ

- 慌てて結果を出そうとするのではなく、
 - 心を落ち着けて、
 - やるべきことを明確化してイメージ
- イメージとして全体像をザックリと捕まえる
- 理解は一気に容易に

見える化のすすめ

自分の中への落とし込み

- 「何のためにやりたいのか？」を明確に。
 - 目的がわからないと、ゴールが見えない。
 - 仕事であれば、上司とよく相談。
 - 自己啓発であれば、自分の本心をよく見極める。
- 「何をやりたいのか？」を常に意識しながら、
 - 因果関係をはっきりと
 - 因 \Leftarrow 原因
 - 果 \Leftarrow 結果
 - 図として捉える
 - 複雑な実事象をできるだけ単純化
 - 一目で理解できるように

色々なモデル化

レオロジーという道具を理解して、何をやりたいのか？
著者の場合：「様々な条件のもとで幅広い検討対象に対して
でも当てはめることの出来るような、汎用的なモデル」

モデル化のすすめ

- 適度な深さで尤もらしく
 - 簡単すぎるものは例外が多い。
 - 複雑化しすぎても過適応
 - n 個のデータを、 n 次の関数でフィット
 - 個々の現象にだけ適応可能
 - モデル化する意味がない
- 欲しいもの
 - 汎用的に使えるモデル
 - 尤もらしく、実験事実を説明できるもの

まとめ

ここでは、レオロジーという「考え方」についての説明を行い、会社の仕事にどのように役立つかを考え、「おすすめの理解へのアプローチ」について紹介しました。

内容

- 「レオロジー」という言葉の歴史的背景を振り返り、その流れを確認
- レオロジーが関わる分野は非常に広範囲に渡り、会社での商品開発に有用
- 人間の直感とレオロジーの親和性が高いこと
- 「おすすめの理解へのアプローチ」について紹介