

## 固体および液体のレオロジー測定技術

高野 雅嘉<sup>\*,†</sup>

<sup>\*</sup> ティー・エイ・インスツルメント・ジャパン(株) 東京都品川区西五反田5-2-4 (〒141-0031)

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-mail: MTakano@tainstruments.com

(2020年4月27日受付, 2020年5月21日受理)

### 要 旨

レオロジー測定は、水やインクジェット用インクのように非常に低粘度の液体から、ガラス状態のポリマーやCFRPをはじめとした高弾性の複合材料まで、非常に広範な材料の物性を解き明かせる、今やものづくりに必須な評価・分析手法の一つである。材料は、種類や物理的な状態、またその利用形態に大きく依存することなく特性化することが可能であり、ポリマーのみならず、食品や医薬品、化粧品など活躍する市場は多岐にわたる。新規マテリアルの研究や開発、量産化プロセスや加工性のシミュレート、品質管理、そして最終製品のパフォーマンスまで、粘度や弾性率といったキーワードで横断できる汎用なツールといえる。本稿では、固体および液体のベーシックなレオロジー測定技術について解説する。

キーワード：レオロジー、動的粘弾性測定、クリープ、応力緩和、フローカーブ

### 1. はじめに

レオロジー (Rheology) という言葉は、かの有名なギリシアの哲学者であるヘラクライトスが提唱した“panta rhei”, すなわち「万物流転」に由来する。米ペンシルバニア州ラファイエット大学のピンガム教授によって提唱された造語であり、1929年にAmerican Society of Rheologyが設立されたときに承認され、物質の変形と流動に関する科学の一分野と定義された<sup>1,2)</sup>。レオロジーの測定においては、変形は「ひずみ」、流動は「せん断速度」と言い換えられ、各々印加された力の単位面積当たりの大きさの物理量である「応力」の応答として観察される。ひずみとは材料の元のサイズに対する変形量の割合であり、材料や治具の大きさに依存しない無次元の物理量である (Fig. 1)。

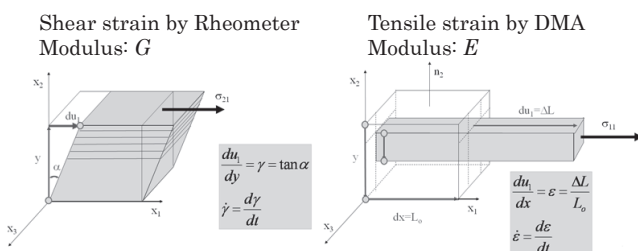


Fig. 1 Difference between strain deformation classification and calculated modulus symbol.



【氏名】 たかの まさよし  
 【現職】 ティー・エイ・インスツルメント・ジャパン(株)アプリケーション課ケミスト  
 【趣味】 クラフトビール、レトロゲーム  
 【経歴】 2002年工学院大学大学院工学研究科工業化学専攻修士課程修了。2013年MITスローン経営大学院エグゼクティブ教育修了。修士(工学、経営、技術)。独および米化学メーカーの自動車向け接着剤R&Dを経て、2009年より現職でレオロジー測定・分析業務に従事。Six Sigma Master Black Belt保有。

ばねで表現されるフック (理想) 弾性体において、応力 $\sigma$ とひずみ $\gamma$ には以下のような比例関係が成立し、フックの法則と呼ばれている。

$$\sigma = E\gamma \quad (E: \text{弾性率一定}) \dots\dots\dots(1)$$

ここで、ひずみ量は時間には依存しない瞬間応答であり、応力を取り除けば元の形状に復元する可逆性がある。一方、材料が三次元的な内部構造を有さないニュートン (純粘性) 流体の場合、応力を加えると瞬間的に一定のせん断速度で流動し続け、応力を取り除くとその場に留まる。ダッシュポットで表現される振る舞いであり、応力 $\sigma$ とせん断速度 $\dot{\gamma}$ には以下のような比例関係が成立し、これをニュートンの法則という<sup>3)</sup>。

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad (\eta: \text{粘度一定}) \dots\dots\dots(2)$$

フック弾性体もニュートン流体も思考上の概念であり、筆者らが測定する材料はそれらの中でバランスしているのが通常である。そのような粘性と弾性の両方の特性を併せもつものを粘弾性体という。レオロジー測定においては、おもに粘度で表現される液体の粘っこさやサラサラの度合い、弾性率で示される固体の硬い、柔らかい以外にも、液体寄りか固体寄りか、といった情報も定量的に得られる。低粘度ほどニュートン流体に近い、高弾性率ほどフック弾性体のような応答とイメージされることもあるが、蜂蜜のように高粘度であってもニュートン流体に近いものもあれば、柔らかい固体でもシリコンゴムやある種のゲル材料のように理想弾性体に迫るものもあり、レオロジーがその表現力の拡大をサポートする。

### 2. レオロジー測定でわかること

多くの液体材料は、その配合または組成に応じて、幅広い流動特性、つまり粘度の挙動を示す。また固体材料であれば、弾性率の違いのみならず、伸びやすさや温度に対する応答が変わってくる。これらの特性は、ある用途には役立つかもしれない