

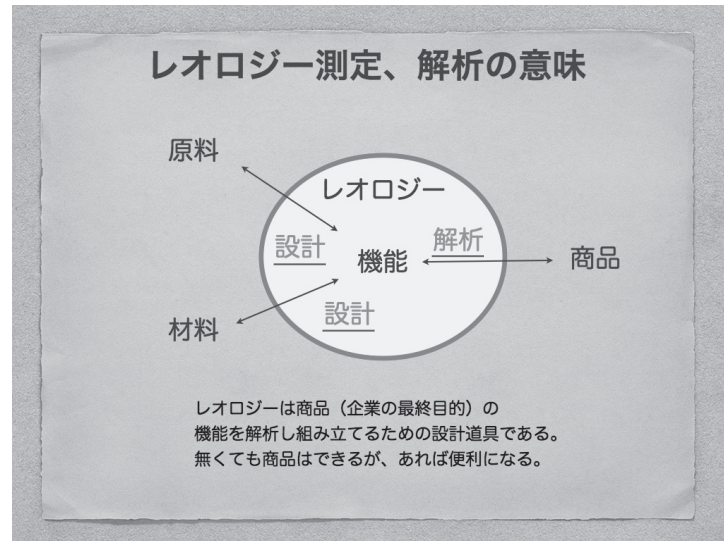
§ 2. レオロジーってなに

一般的な製造業では原材料を加工し、機能を付加して商品を作る。

商品を作るにはその機能を解析し機能を実現するための原材料を探す。

これらのワークフローの中にレオロジーが絶対に必要であるわけではない。

仕事を効率的に短時間に行い、経験を知恵として蓄積するために必要なひとつの物の見方がレオロジーである。



レオロジー (Rheology)

- 物質の変形・流動に関する科学。プラスチック・土壌・生物細胞など種々の物質の粘性、塑性、チキソトロピー、弾性などの性質を物理学や高分子化学などの境界にこだわらず総合的に扱う流動学。（ギリシア語の「流れる」に由来） 広辞苑より
- 1922年アメリカの化学者ビンガム（G.Bingham）が提案した名称であり、ギリシア語のreo（流れるの意）に由来し流動学と訳される。レオロジーは物質の変形と流動に関する科学と定義される 理化学辞典より

レオロジーを広辞苑と理化学辞典で引いてみると変形と流動に関するの学問でビンガム流動で有名なビンガム博士が、コロイドの流動を研究するなかで出てきた言葉である。

塗料やインキはレオロジーの対象物としては大変歴史の長いものである。

理化学辞典には1922年とあるが、ビンガム博士がアメリカでThe Society of Rheologyを作った1929年が最初らしい。

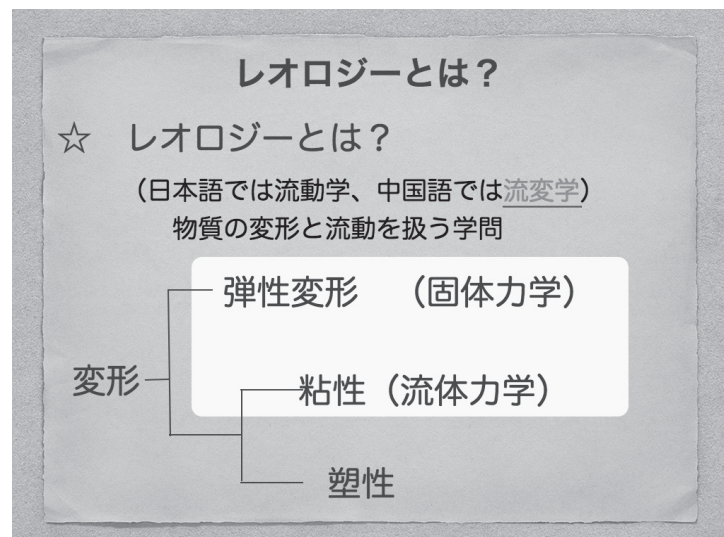
レオロジーは中国語では流変学と書くが、大变的を得た表現である。

固体力学と流体力学の学際領域としてレオロジーがあるのはプラスチックの登場によるものである。

プラスチックはthermoplastic（熱可塑性樹脂）からきた言葉で常温固体の物が、熱が加わると溶けて流動を始める。

この現象を解析するには固体も流体も扱える学問、すなわちレオロジーが必要である。

Wikipediaには塑性を扱う学問としてあるが、無責任編集であるから仕方がないが、粘弾性を測定するのが目的である。



流体力学は物質は単純であるが複雑な流れを、材料力学(固体力学)も同様に物質は単純であるが複雑な変形を扱う学問であるが、レオロジーは流れや変形は単純だが、対象物質は複雑な物を対象としている学問である。

学問領域	対象物質	対象変形/流動
流体力学	単純な液体	複雑な流れ
材料力学	単純な固体	複雑な変形
<u>レオロジー</u>	<u>複雑な液体/固体</u>	<u>単純な流れ/変形</u>

日本におけるレオロジー研究は学術的には世界トップクラスであるが、大半の研究は高分子のキャラクタリゼーションから理論が主体である。

このための対象となる高分子材料が分子量分布が非常に狭い現実的でない材料が主体であったために、非常に難しい学問であると思われる。

40回の討論会を日本ペイントが協賛で神戸で開催した時からバイオレオロジー学会と共催となったために、最近は食品のような塗料インキに近い材料も多くなり分散系の研究が盛んになってきている。

日本でのレオロジー研究

レオロジー討論会 2014年で 62回
(10/15~10/17 福井アオッサ 参加者約300名)

2015 神戸大学

日本レオロジー学会 2014年で 41回
(5/15~16 東京大学生産技術研究所)

日本では 高分子学会 関連

→ 高分子のキャラクタリゼーション主体
(粘弾性測定が多い) 世界トップレベル

米国では 化学工学会(AIChE) 関連

→ 成型加工関連の技術主体
(定常流測定が多い)

レオロジーの学問分野

物理化学の分野

エンタルピーとかエントロピーとかの・・・

高分子化学

地球物理学

調理科学

生物化学

セラミック

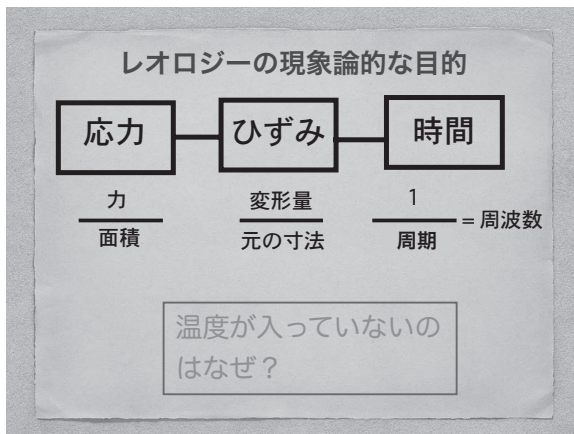
石炭化学

・・・

あらゆる分野に関連
している

レオロジーの対象とする分野はあらゆる分野に広がっており、溶岩や氷河から微細な液晶やバクテリア、血液まで、変形や流動のあるところには必ずレオロジーの研究がある。

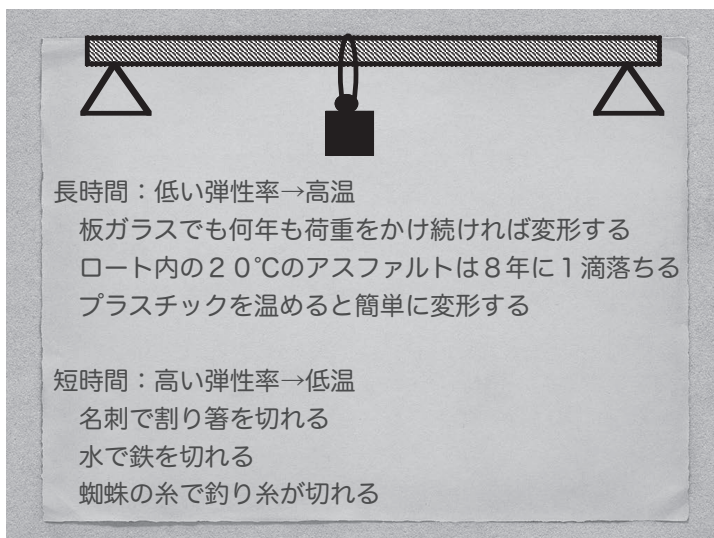
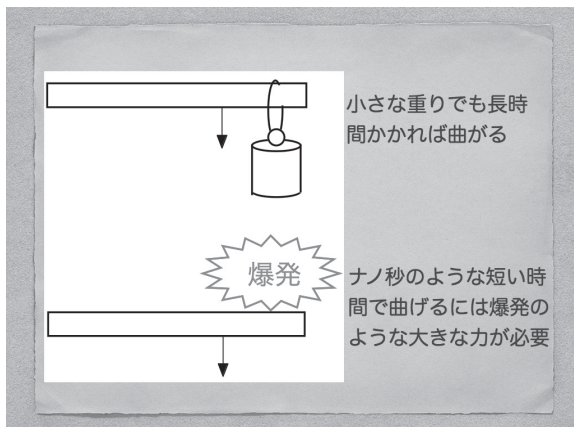
レオロジーは物理化学の分野であり、化学工学の中では運動量移動論の分野でもある。



すなわち、低温で変形を与えるには大きな力が必要であり、これは短時間に変形を加えるのと等価である。

高温で変形を与えるには小さな力で済み、これは長時間に変形を加えるのと等価である。

当然、熱によって状態変化が起こってしまう場合は成り立たないが、レオロジーを考える上で大変重要な経験則である。

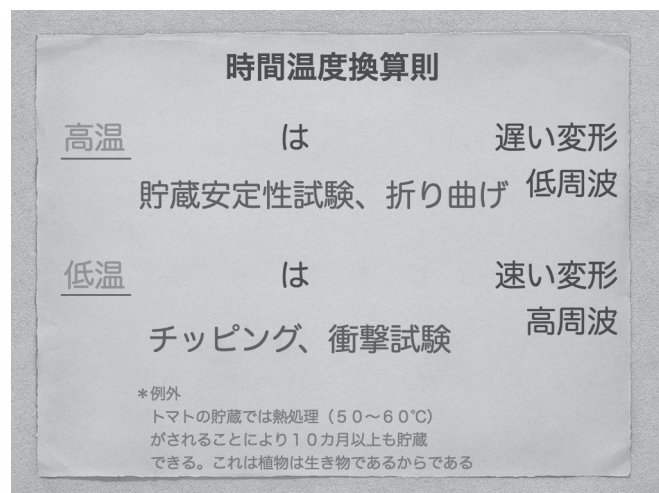


レオロジーの現象論的目的は応力とひずみの関係を時間の関数としてとらえることである。

物にある力を加えて変形させる時に瞬間的に変形させるか百年かけて変形させるかでは加える力の大きさが異なるのは容易に理解できる。

しかし、高分子を対象とするのであるから応力とひずみの関係は温度にも依存するのは誰が考えても常識であるのに、なぜ温度ではないのか？

温度と時間との間には時間温度換算則が成り立つために温度ではなく時間の関数として扱われている。



長時間かければ小さな重りでも曲がるが、ナノ秒のような短時間で曲げようとするれば、爆発するような大きな力が必要になる。

長時間にわたる実験は色々な報告があり「ガラスは流れる」という有名な本の中には米国のベル研究所が15mの板ガラスを2点支持して中央に重りを付けてガラスの変形を長期間にわたり測定をしたと述べられている。

また、ロートに入れたアスファルトは20年に1滴落ちるそうだ。24年間観察して3滴落ちたことで8年に1滴としている。

水で鉄を切るウォータージェットカッターがあるが、水はニュートン流体の代表的なもので、剪断速度を変えても粘度が変わらず、1mPa sである。

粘度は1つの値しかないのに鉄が切れたり、風呂に入っても怪我をしないのはなぜか？これがわかるようになれば、まずはレオロジーの第1歩である。

時間温度換算則		
高温	は	遅い変形 長時間 低周波
低温	は	速い変形 短時間 高周波

時間温度換算則は高温は遅い変形、すなわち長時間、周波数で言えば、低周波数。

低温は速い変形と等価、すなわち短時間、周波数で言えば高周波数となる。

貯槽安定性試験をする時、冷蔵庫に入れる人はいない。必ず高温にするのは、高温で粘度が低くなり、何日もかかる沈降現象を短い時間で見ることができるからで、これが時間温度換算則である。

観測のタイムスケールについて

人間の一生は100年 $3.15 \text{ E}+9 \text{ sec}/3.17\text{E}-10\text{Hz}$
 →100年間で変化しないものは動かない
 固体と考えることができる

- * 地球物理学者は氷河が100年で30cmも動けば大変である。
- * 蟬にとっては3ヶ月変化がなければ永遠である
- * 会社員である人にとって1日は8時間
 これは $2.88\text{E}+4 \text{ sec}/3.47\text{E}-5\text{Hz}$ である

長時間といってもどのくらいかは人それぞれであり、分野によっても異なってくる。

人間の一生を仮に100年とした場合、先の「ガラスは流れる」の実験でたしかにガラスは流れているかもしれないが100年で見れば固体で変化ないものと考えてもよい。

しかし、地球物理学の分野での100年は一瞬であるかもしれないので、アメリカ大陸とアジアが一つになっても不思議ではない。

デボラ

デボラは、旧約聖書の士師記に登場する3千年位前の女性の預言者です。旧約聖書には、彼女が

「山々は主の前に揺れ動いた。（5章5節）」

と歌ったと記されています。

我々人間の一生というごく短いタイムスケールでは、到底山々が揺れ動くなど観察できませんが、主のタイムスケールで測れば、山々が動いて海に入る様子など悠々とご覧になれるとデボラは歌っています。

旧約聖書の中に出てくる預言者デボラは神々の前では山でさえも揺れ動くと言ったと書かれている。

(1955年に訳された【口語訳聖書】)

デボラ数

アクロン大学のホワイト先生が提唱

<u>緩和時間</u>		大きいほど固体的
<u>観測時間</u>		小さいほど液体的

100年で30cm 地球の年齢は45億年として

$$\frac{100}{4500000000} = \frac{0.000002222}{100} = 70 \text{秒}$$

この故事からアクロン大学のホワイト教授はデボラ数という無次元数を定義した(ライナー教授であるという説もある。デボラはイスラエルの戦争の勝利を歌ったのでイスラエル人であるライナー教授の名前が出てきたのか? 真実は確かめようがない)。

緩和時間という物に固有の変形回復の時間と観測時間の比で表した。

デボラ数が大きいほど観測時間に比べて物の固有時間が長いために固体的となり、反対に小さければ液体的になる。

実はレオロジーから物を見ると液体と固体を区別するのは難しい。

民間企業でレオロジー研究を行っている部門の多くは分析も行っている。ここでは分析とレオロジーの違いを述べておく。

分析化学は人間が関知できないもので測定データは信じるしかない。

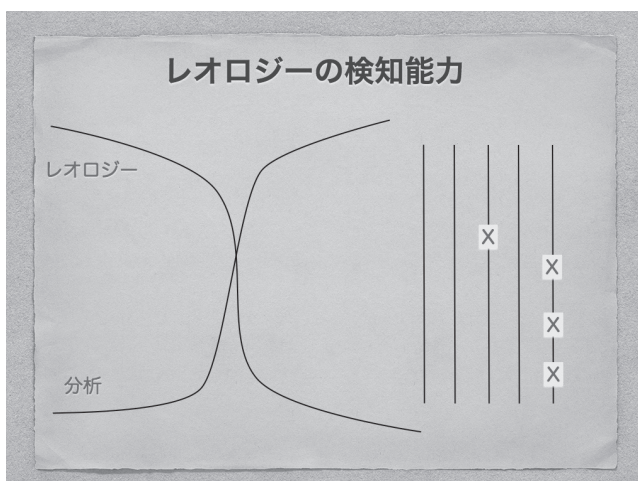
したがって、日常の機器のメンテナンスや標準物質の測定データを基に比較検討を行うしかないのである。

レオロジーはこれに対して人間の感覚を測定したものであるので、人間の方が機械より検知能力が高い。

測定データでこちらの方が硬いという結果が出ても触った感じが硬くないのなら、触った感覚が正しいので測定の方法や条件を感覚に合うデータが出るように工夫しなければならない。

分析化学とレオロジー

分析化学	化学的な性質の解明 共鳴スペクトル 人間の知覚ではわからない性質を測る <u>料理の材料を調べる</u>
レオロジー	物理的な性質の解明 緩和スペクトル さわった感覚を測る <u>料理の作り方(調理)を調べる</u>



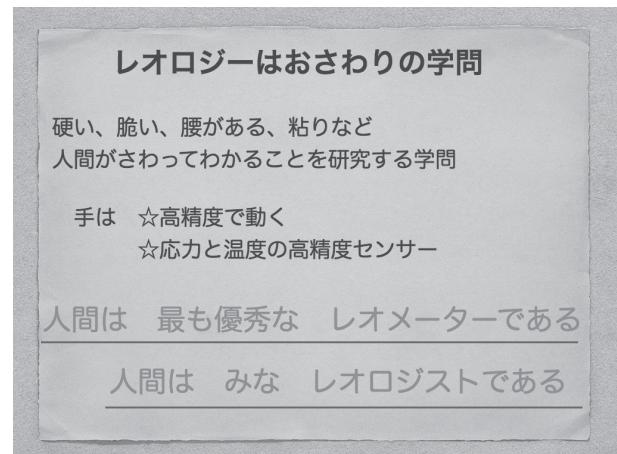
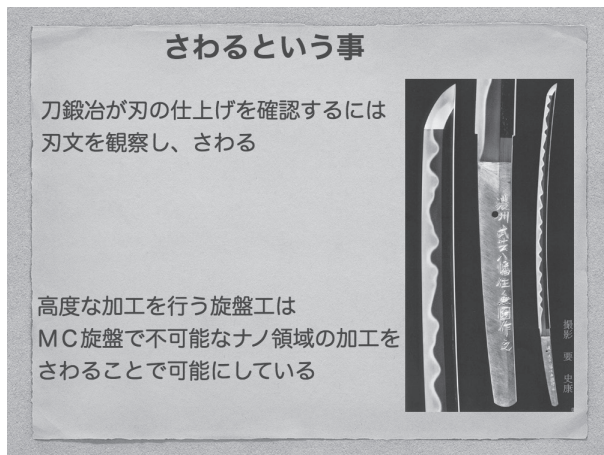
劣化の例で考えてみた時に図右に示すように5本の鎖があったとして1カ所が切れると力学的な力は1/5になる。

しかし、一本の鎖が3カ所切れても力学的には1/5と同じである。

一方、分析では切れたところに例えば-OH基ができてこれを検知するとすれば3カ所の方が検知能力は高くなる。

すなわち、劣化初期においてはレオロジーは高い検知能力を持つということである。

レオロジーは触った感覚を定量化する学問である。
人間は温度も力も変形も感覚でとらえることができるのであるからレオメーターそのものであり誰でもがレオロジストなのである。



よく言われるように現代の最先端の技術は優秀な下請けの職人の技術に支えられている。

高精度な装置を作るためには神業と呼ばれるような職人の感覚が必要であり、この感覚を定量化し汎用的に利用するためにレオロジーがある。

新幹線の先頭の丸い部分は力づくで成形することはできない。

麒麟ビールのCMにあるようにバナーで温め、人間の力加減ですこしづつ変形させて目的の形を作るのである。まさに芸術作品なのである。

レオロジーはこのような技術を定量化するための基盤技術だと言える。

感覚だけでいいのになぜ必要なのか？

それは定量化により共通の知識として、メカニズムを解明し設計を行うためである。



したがって、本来設計にたずさわる設計者全てがレオロジストでなければならないのだが、分析を依頼するようにレオロジー測定までも依頼する形をとってしまう場合がある。

しかし、分析は依頼側がどのような化学組成があるか？とか、変化してどのような化学組成となったかなど仮説をもって、確認をするために分析を行うので、分析のスペシャリストと依頼者の関係は明確である。

レオロジーの場合、粘度がどちらが高くてこのような問題がある、というのは依頼者側がよく知っており、分析のように確認で依頼されると大抵はうまく行かない。

なぜなら、確認しなくても感覚的には正解がわかっており単に数値にしたいだけだからである。

それなのにレオロジーのデータはどんな場合でも単純に1点のデータにはならず、どのようにも解釈が可能なデータとなってしまうのである。

そんなこともあり、レオロジーのところに来るのは設計者、開発者がどうにもならない行き詰まった時に相談に来る場合が多い。

