

図説 レオロジー

～レオロジーなんかこわくない
数式のないレオロジー入門～

上田レオロジー評価研究所 代表
日本レオロジー学会 元会長 監事
日本化学会 元理事
コロイドおよび界面化学部会 副部会長
上田 隆宣

Ver2016

1

質問、問い合わせ先

上田 隆宣（隆は旧漢字で生まれるの上に一が入る）

Takanobu Ueda

上田レオロジー評価研究所 代表

日本レオロジー学会 元会長、監事

日本化学会 元理事

コロイドおよび界面化学部会 副部会長

Mail taka_ueda@me.com

URL <http://rheo.sakura.ne.jp>

blog <http://rheology.sblo.jp>

Twitter taka_ueda

2

上田 隆宣うえだ たかのぶ

1954.01.20 山口県徳山市生れ

1964 東京オリンピックの日上京

1966 世田谷区立経堂小学校卒業

1969 世田谷区立緑ヶ丘中学校卒業

1972 慶応義塾志木高等学校卒業

1979 慶応義塾大学工学部研究科応用化学修了

1979 日本ベイント（株）入社

1998 日本レオロジー学会有功賞受賞

2005 日本レオロジー学会 理事

2007 日本レオロジー学会 理事・副会長

2008 神戸大学 非常勤講師

日本レオロジー学会技術賞受賞（清水建設共研）

2009 日本レオロジー学会 理事・西日本支部長

日本レオロジー学会技術賞受賞（クラシエ共研）

2010 福井大学 非常勤講師

2011 日本化学会 理事

京都大学 非常勤講師

福井大学 非常勤講師

日本レオロジー学会 理事・副会長

2013 日本レオロジー学会 理事・会長

日本化学会 コロイドおよび界面化学部会 副部会長

日本ベイント（株）退社

2014 上田レオロジー評価研究所 創業



3

上田レオロジー評価研究所



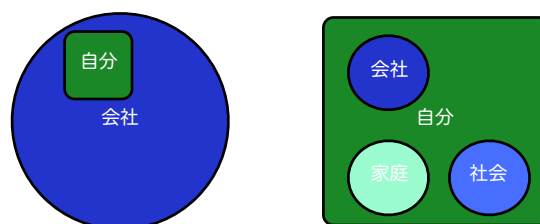
4

あなたと会社の関係を
図に描いてください

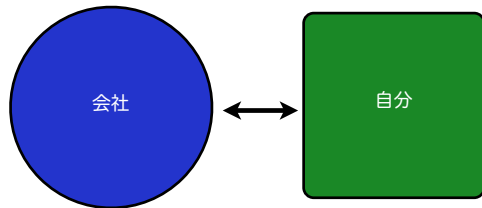
貴方が□で、会社が○

5

自分と会社との関係



6



7

脚本家 橋田壽賀子さんの話

人にある事を伝えるには
同じ事を3回繰り返す必要がある

→台詞が長い、役者泣かせ

同じスライドが視点を変えて何度か出てくるが、
それは重要な事であるととらえてください

8

ファイト！（中島みゆき）



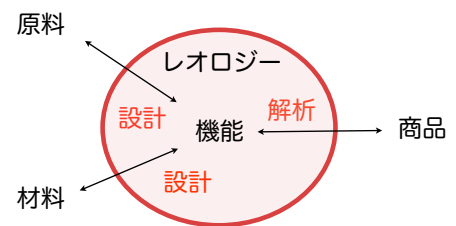
いっそ水の流れに身をまかせ 流れ落ちてしまえば楽なのにね・・・

ファイト！ 戦う君の歌を 戦わないやつらが笑うだろう

ファイト！ 冷たい水の中を震えながら 上って行け

9

レオロジー測定、解析の意味



レオロジーは商品（企業の最終目的）の
機能を解析し組み立てるための設計道具である。
無くても商品はできるが、あれば便利になる。

10

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

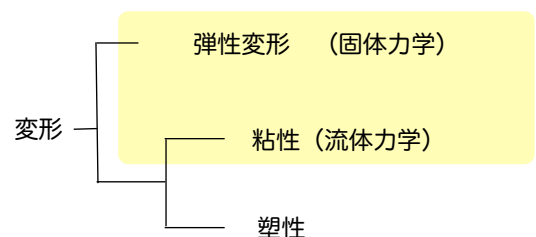
- 1922年アメリカの化学者ビンガム（G.Bingham）が提案した名称であり、ギリシャ語のreo（流れるの意）に由来し**流動学**と訳される。レオロジーは**物質の変形と流動に関する科学**と定義される 理化学辞典より

11

レオロジーとは？

☆ レオロジーとは？

（日本語では流動学、中国語では**流变学**）
物質の変形と流動を扱う学問



12

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
レオロジー	複雑な液体/固体	単純な流れ/変形

13

日本でのレオロジー研究

レオロジー討論会 2015年で 63回
(9/23~9/25 神戸大学参加者約320名)

2016 大阪大学

日本レオロジー学会 2015年で 42回
(5/13~14 京都大学化学研究所)

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)

14

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

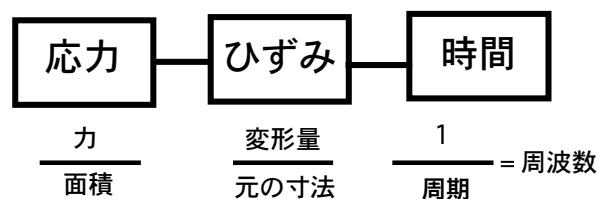
石炭化学

・・・

あらゆる分野に関連
している

15

レオロジーの現象論的な目的



温度が入っていないのはなぜ？

16

時間温度換算則

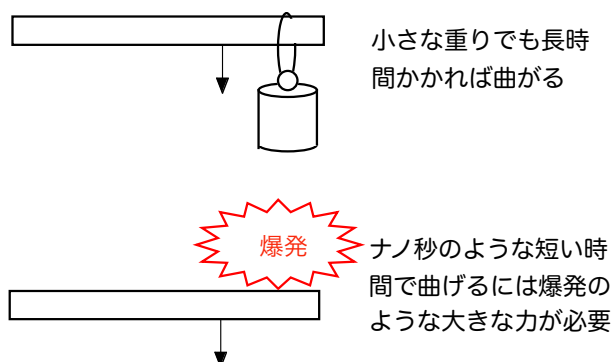
高温 は 遅い変形 低周波
貯蔵安定性試験、折り曲げ

低温 は 速い変形 高周波
チップング、衝撃試験

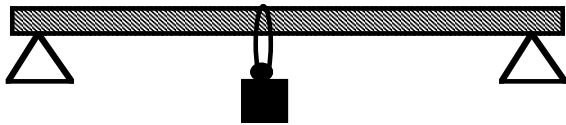
*例外

トマトの貯蔵では熱処理 (50~60℃)
がされることにより10カ月以上も貯蔵
できる。これは植物は生き物であるからである

17



18



長時間：低い弾性率→高温

板ガラスでも何年も荷重をかけ続ければ変形する
 ロート内の20℃のアスファルトは8年に1滴落ちる
 プラスチックを温めると簡単に変形する

短時間：高い弾性率→低温

名刺で割り箸を切れる
 水で鉄を切れる
 蜘蛛の糸で釣り糸が切れる

19

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

20

観測のタイムスケールについて

人間の一生は100年 $3.15 \times 10^9 \text{ sec} / 3.17 \times 10^{-10} \text{ Hz}$
 →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 $2.88 \times 10^4 \text{ sec} / 3.47 \times 10^{-5} \text{ Hz}$ である

21

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。 *昭和の初めの旧約聖書に掲載
 現在の翻訳では異なる表現

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
 悠々とお覧になれるとデボラは歌っています。

22

デボラ数

アクロン大学のホワイト先生が提唱

*イスラエルのライナー先生との説も

緩和時間	大きいほど固体的
観測時間	小さいほど液体的

100年で30cm 地球の年齢は45億年として

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

23

人間のデボラ数

- ・怒りの緩和時間6秒
 怒りのアドレナリンは4～6秒で消える
 6秒我慢できれば怒らない（アンガーマネジメント）
- ・精神的ダメージの回復には2週間

上司から怒られた翌日（観測時間1日）だと、
 -上司は忘れている（水に流す） $De=6 \text{ 秒} / 1 \text{ 日} \ll 1$
 -怒られた部下は覚えている $De=2 \text{ 週間} / 1 \text{ 日} > 1$

24

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

料理の材料を調べる

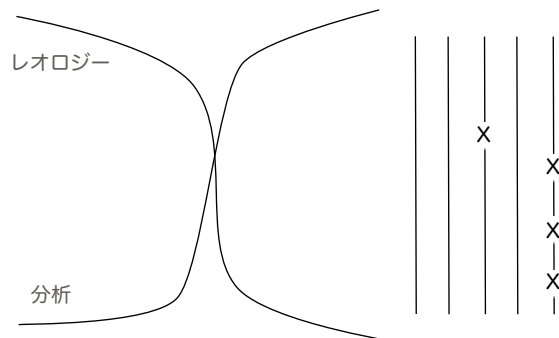
レオロジー 物理的な性質の解明
緩和スペクトル

さわった感覚を測る

料理の作り方（調理）を調べる

25

レオロジーの検知能力



26

レオロジーはおさわりの学問

硬い、脆い、腰がある、粘りなど
人間がさわってわかることを研究する学問

手は ☆高精度で動く
☆応力と温度の高精度センサー

人間は 最も優秀な レオメーターである

人間は みな レオロジストである

27

さわるという事

刀鍛冶が刃の仕上げを確認するには
刃文を観察し、さわる

高度な加工を行う旋盤工は
MC旋盤で不可能なナノ領域の加工を
さわることで可能にしている



28

麒麟ビールCM



29

おさわりの学問の必要性

現象の定量化
触った感覚の定量化

みなが
レオロジストへ

なぜを考えメカニズムを推定

新材料、新機能の設計

レオロジストは占い師

30

うれっこ占い師

売れっ子占い師の条件

1. 組み合わせて判断する
2. 相手の知らないことを少なくとも1つ言う
3. 自信をもって断定的に
4. 疑わしいことは玉虫色に
5. カリスマ性が必要

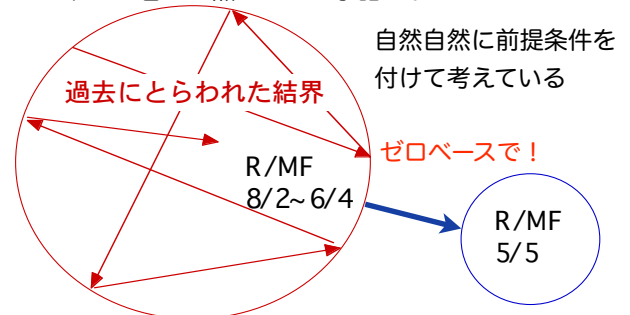
*どんな研究分野でも進んでいる会社には
こんな人がいるのも事実である

31

結界

相談に来るとき

考えられる分析や測定はすでに終わっている
それでも答えが無い → 手詰まり



32

レオロジーは触った感覚の定量化

製造業の会社ならどこにもいる

神様のような職人さんの言うことは

レオロジー的にも正しい場合が多い

→ この人たちがよくするのは現象をまるで
見てきたように解説することである

33

高分子溶液を覗く



スパゲッティナポリタンのような絡み合った高分子



スープスパゲッティのような配向した高分子

34

覗く分子量効果



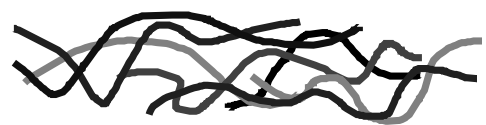
通常のスパゲッティ



半分に折ったスパゲッティ (分子量半分)

35

覗くゲル化



↓ ゲル化



36

高分子固体を覗く



実線で示す化学結合
があれば
熱硬化
(Thermosetting)

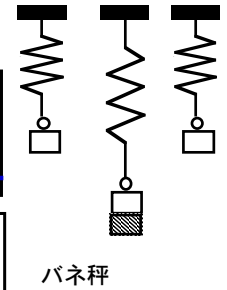
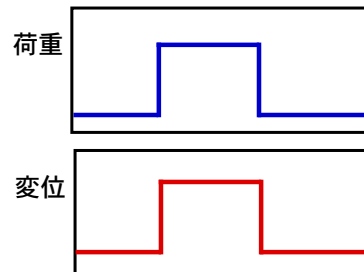
無くて絡み合いだけ
であれば
熱可塑
(Thermoplastic)

37

弾性（フックの法則）

小学校4年生で習う

$$E = \sigma / \gamma$$



バネ秤

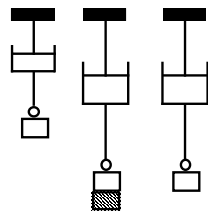
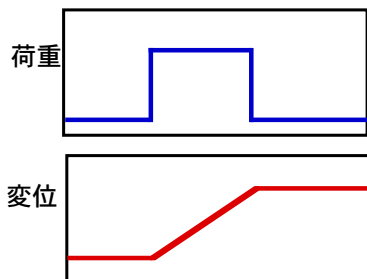
38

粘性（ニュートンの法則）

大学卒業まで習わない

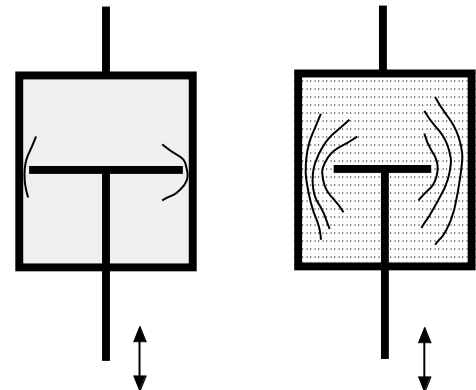
$$\eta = \sigma / (d\gamma / dt)$$

$$= \sigma / \dot{\gamma}$$



ショックアブソーバー

39

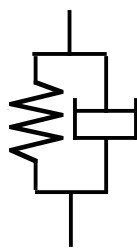


40

粘弾性モデル



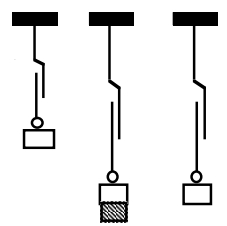
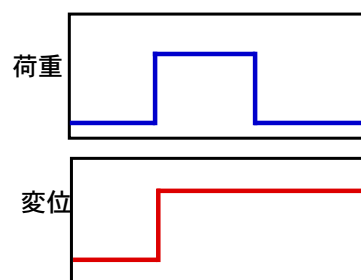
マックスウェルモデル



フォークトモデル

41

塑性



プリン
豆腐

42

粘弾性とは？

一般にレオロジーでは物の性質を

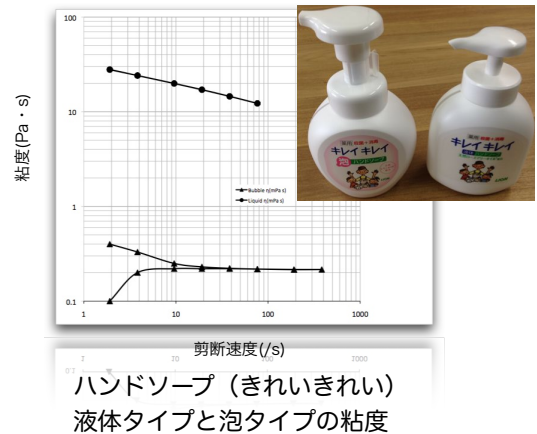
弾性と粘性との組み合わせで考える

よけいなパラメーターを考えない

データに算数的ないたぶりをしない

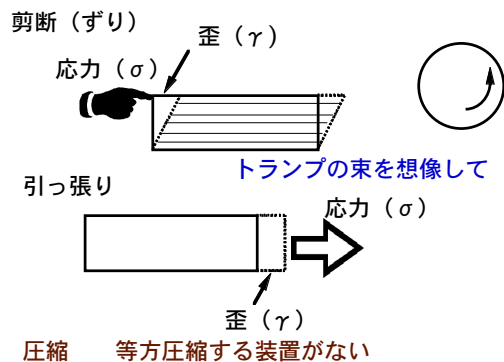
粘弾性データを素直に見ることが大事

43



44

剪断と引っ張り



45

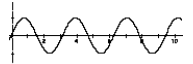
静的測定と動的測定

静的測定 試料に一方向に歪または応力をかける

液体 定常流動測定、クリープ測定、応力緩和
固体 引っ張り測定、クリープ測定、応力緩和

動的測定 試料に正弦振動の歪または応力をかける

液体 振り振動動的粘弾性測定
固体 引張振動動的粘弾性測定



46

等価回路 (なぜ電気回路と同じ)

バネ=抵抗

$$I = 1/R * E$$

$$(1/R)=I/E$$

$$E = \sigma / \gamma$$

ダッシュポット=コンデンサー $I = C * dE/dt$

$$C = I / (dE/dt)$$

$$\eta = \sigma / (d\gamma/dt)$$

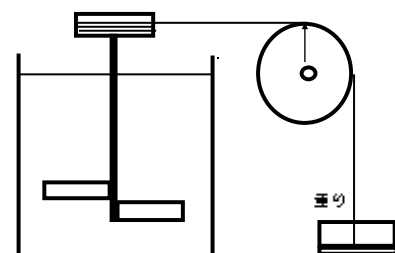
粘弾性 = インピーダンス

静的測定 = 直流

動的測定 = 交流

47

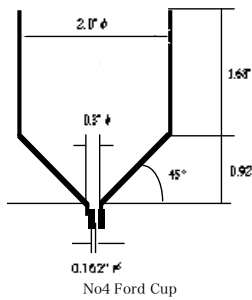
ストーマー粘度計



1周が30秒となるように重りを調整し
換算表からKU値を求める

48

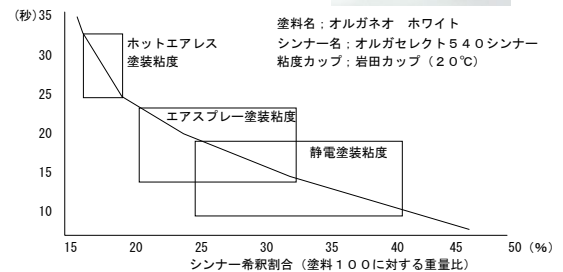
#4 Ford cup



すり切り一杯の塗料が全て出てしまうまでの時間で
粘度管理をする

49

粘度-希釈率曲線



50

平行板プラストメーター



紙コップ



51

食品業界のレオメーター



52

B型粘度計

東機産業
B型



53

TI値 TF値

Thixotropy Index (or Factor)

$$TI \text{ (or TF)} = \frac{\text{6回転での粘度}}{\text{60回転での粘度}}$$

1でニュートン流動

54

静的粘弾性測定

液体測定

定常流測定	B型、E型、R型粘度計 キャピラリー、LSV ひずみ制御メーター
等速昇降法 (ポストビット測定)	ひずみ制御メーター

クリープ測定 応力制御型メーター

固体測定

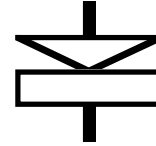
測定装置

引っ張り試験	インストロン型引っ張り試験機 (テソロ、オートグラフ など)
クリープ測定	山電クリープメーター
応力緩和測定	インストロン型引っ張り試験機

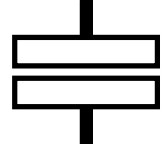
液体測定治具



ボブシリンダー
二重円筒
応力検知力が大
低粘度～中粘度
低粘度試料に適



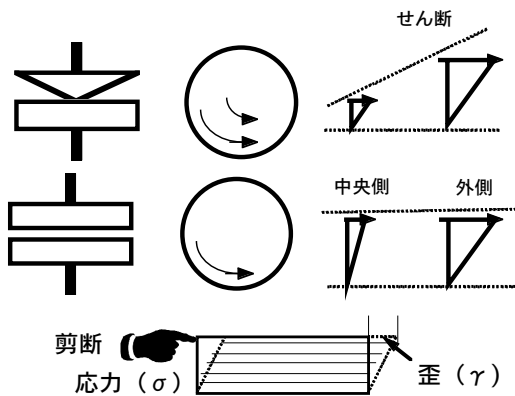
コーンプレート
円錐円盤
剪断速度が均一
低粘度～中粘度
少量で測定可



平行平板
試料を充填しやすい
高粘度
硬化過程などに有効
温度分散有効

56

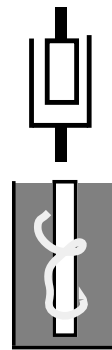
コーンプレートでの剪断均一性



57

B型粘度計

(Brookfield型粘度計の模倣でB型)



- ・二重円筒を用いた定常流粘度計
- ・渦巻きバネで応力（トルク）を検知
- ・上部ローターが回転しながら応力を検出
- ・ローターが数種類あり試料粘度によって使い分ける
- ・回転数は多段階の固定

利点

- ・幅広い範囲の粘度が測定できる

欠点

- ・構造粘性試料では剪断が不均一
- ・温度を一定にするのは困難

58

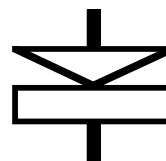
B型粘度計

東機産業
B型



59

E型粘度計



- ・円錐円板を用いた定常流粘度計
- ・渦巻きバネで応力（トルク）を検知
- ・上部円錐が回転しながら応力種類を検出
- ・円錐は0.8°、1°34'、3°の3で試料粘度によって使い分ける
- ・回転数は多段階の固定

0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100

利点

- ・少量の試料で測定できる
- ・温度を一定にしやすい
- ・剪断が試料全体に

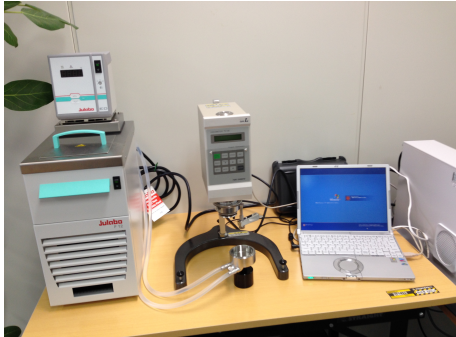
欠点

- ・回転が固定している

60

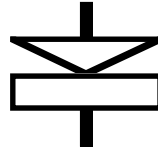
最新のE型粘度計

東機産業
TV型



61

LSV(Low shear viscometer)



- ・ E型粘度計と同じもの
- ・ **バネ緩和法**が可能であり、短時間に低剪断まで測定できる
- ・ **回転数が任意に設定**できる

利点

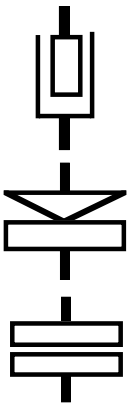
- ・ 少量の試料で測定できる
- ・ 温度を一定にしやすい
- ・ 剪断が試料全体にかかる

欠点

- ・ 比較的高価である（400万円）
- ・ 動的測定ができない

62

レオメーター



- ・ 二重円筒、円錐円板、平行平板が利用可
- ・ 定常流、等速昇降、動的測定が可能
- ・ 一般に駆動部が下で検知部は上である
- ・ 低温から高温までの測定が可能
- ・ パルス法などの特殊な測定もできる

利点

- ・ オールマイティな測定装置
- ・ 検知部を使用目的によって選べる

欠点

- ・ 高価である（800万～8000万円）
- ・ 室温近傍の測定が苦手である
- ・ 乾燥する物（揮発性）には不向き

63

RDA-2

レオメトリックス



64

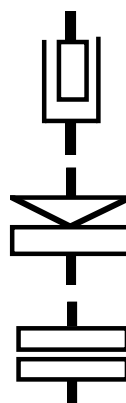
Rheosol G5000 (MR-500)

ユービーエム



65

応力制御型レオメーター



- ・ 二重円筒、円錐円板、平行平板が利用可
- ・ ストレススイープ、クリープ、動的、定常流が可能
- ・ 一般に駆動部と検知部共に上である
- ・ 中粘度向き（高粘度、低粘度では困難）

利点

- ・ 室温近傍の測定向き
- ・ ストレススイープにより真の降伏値を測定できる

欠点

- ・ 高価である（800万～8000万円）
- ・ 動的測定で線形性の保証がない
- ・ 定常流測定は非常に困難

66

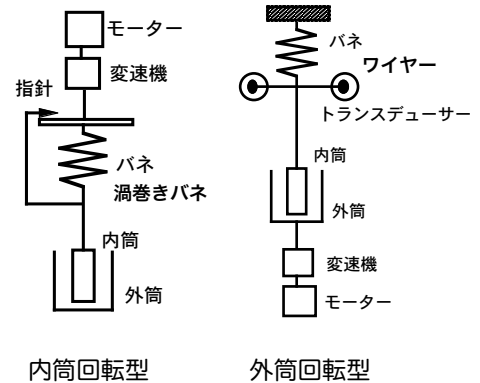
MCR501

Anton Paar
Physica



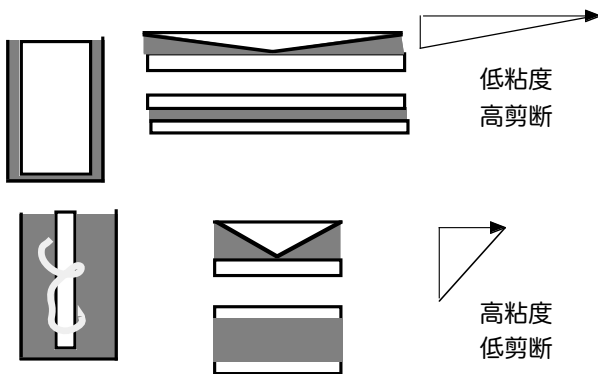
67

回転粘度計の原理図



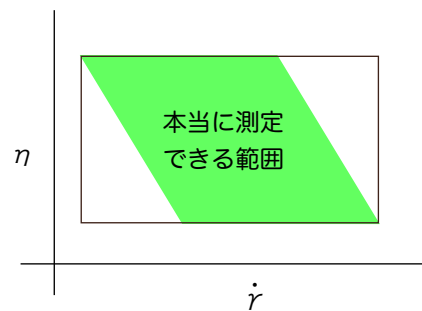
68

治具の選択



69

レオメーターの測定範囲



70

キャピラリーレオメーター



- ・細孔またはスリットから試料を押し出す圧力を測定する
- ・高剪断の粘度測定用で定常流動測定
- ・乱流にならない範囲では比較的簡単
- ・オストワルド粘度計も同じ

利点

- ・高剪断粘度が手軽に測定できる
- ・回転型の高剪断粘度計に比べ温度が正確

欠点

- ・けっこう高価
- ・試料の量がたくさんいる

71

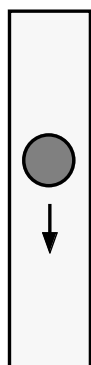
Rheosol CR100

ユービーエム



72

ストークス粘度計



- ・剛体球を試料中で落下させて落下速度を測定する
- ・落下物の形状を変化させてせん断速度／せん断応力を変えられる

利点

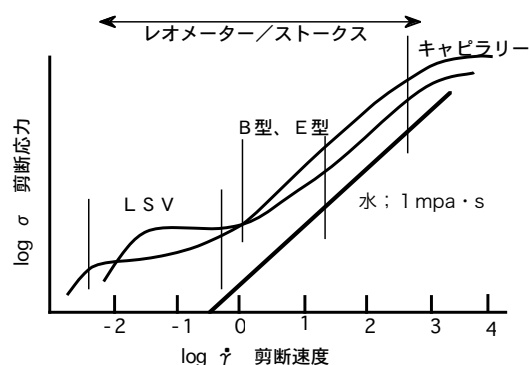
- ・機構が単純でこわれにくい
- ・ストークス粘度が測定でき流体の数値解析との連携がとれる

欠点

- ・測定がめんどうである
- ・一般に試料が透明である事が必要

73

分散系の流動曲線と装置の測定範囲



74

なぜ対数なのか？

人間の感受性は対数である

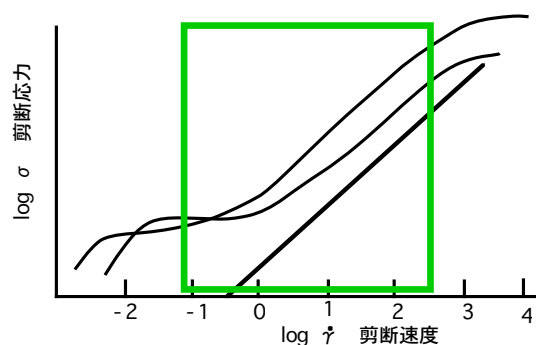
Weber Fechner則

地震 マグニチュード
味覚
感覚

裏を返せばレオロジー的な性質は感覚と同じで対数軸で変わらなければ変化がないと言える

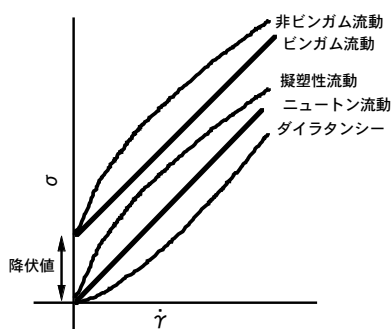
75

分散系の流動曲線



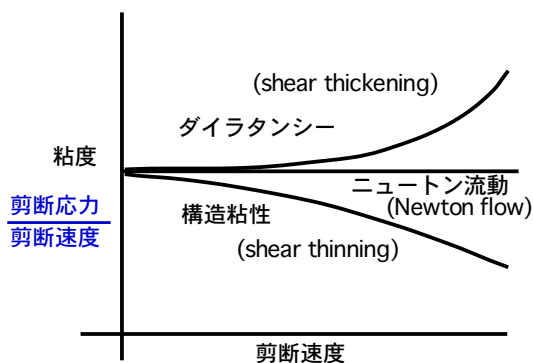
76

定常流測定



77

通常の流動曲線表示



78

流動の種類

剪断応力／剪断速度が一定	ニュートン流動
剪断速度が大きいと粘度が低くなる ＋時間依存性がある	構造粘性 チクソトロピー
剪断速度が大きいと粘度が高くなる ＋時間依存性がある	ダイラタンシー レオペキシー

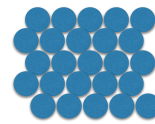
Shear thinning

Shear thickening

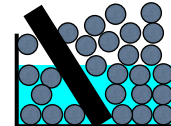
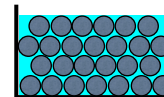
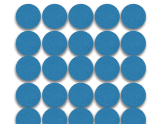
79

充填形態の変化

最密充填



四方充填



80

聖ジェンナー口の奇跡

サンジェンナー口のお話

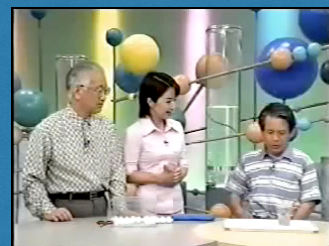
西暦305年に反キリスト勢力によってポッツオーリのソルファターラで殺害された聖人。殺害された際、血液は乳母が小瓶に集めて保管。遺体はナポリのカポデモンテ近くにある、カタコンベに埋葬された。

毎年ナポリに遺体に戻った5月の第一日曜日と聖人の殉職記念日9月19日に血液が溶解するのです。



81

非ニュートン流動



京都大学名誉教授 尾崎先生

82

ダイラタンシー



YouTube ; Collin's Lab: DIY Cymatics

83

ダイラタンシーと防弾



YouTube ; カスタードクリーム 銃弾

84

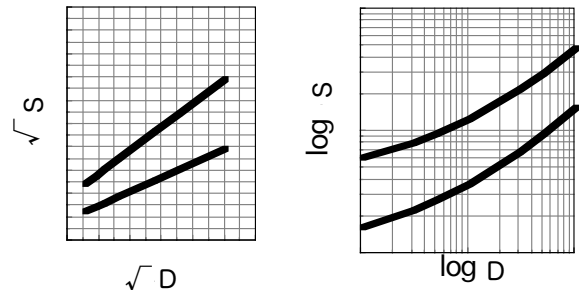
流動曲線

$\dot{\gamma}$ = 剪断速度 (1/sec)
 σ = 剪断応力 (pa)
 η = 粘度
 ニュートン流動 $\sigma = \eta \dot{\gamma}$
 オストワルド流動 (べき乗則) $\sigma = k \dot{\gamma}^n$
 k = 定数
 n = shear rate index
 ビンガム流動 $\sigma = \sigma_y + \eta_p \dot{\gamma}$
 σ_y = 降伏値
 η_p = 塑性粘度
 拡張オストワルド流動 (Herschel-Bulkleyの式)
 $\sigma = \sigma_y + k \dot{\gamma}^n$
 Cassonの式 $\sqrt{S} = a\sqrt{D} + b$
 a, b = 定数

85

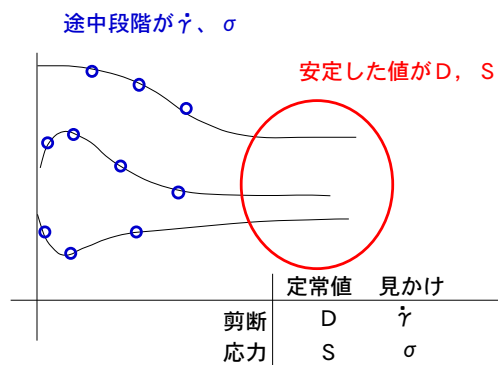
Casson Plot

$$\sqrt{S} = a\sqrt{D} + b$$

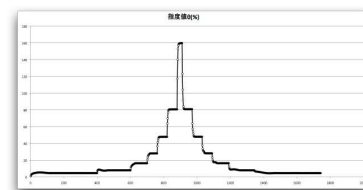


86

定常値(D、S)と見かけ($\dot{\gamma}$ 、 σ)



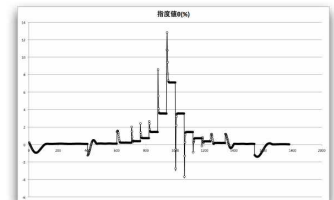
87



E型粘度計
(TV-35L)

1°34'コーン
25°C

回転数(rpm) 測定時間
0.5 400"
1.0 200"
2.5-100



88

降伏値と残留粘度

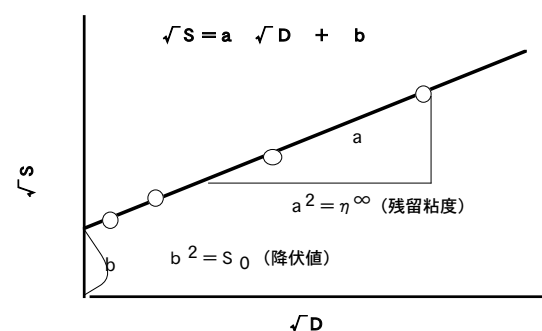
Casson降伏値とCasson粘度 (残留粘度)

$$\sqrt{S} = a\sqrt{D} + b$$

$D \rightarrow 0$
 $\sqrt{S} = b$
 $S_0 = b^2$
 降伏値
 $\frac{\sqrt{S}}{\sqrt{D}} = a + \frac{b}{\sqrt{D}}$
 $\sqrt{\eta} = a + \frac{b}{\sqrt{D}}$
 $D \rightarrow \infty$
 $\sqrt{\eta} = a$
 $\eta_{\infty} = a^2$
 残留粘度

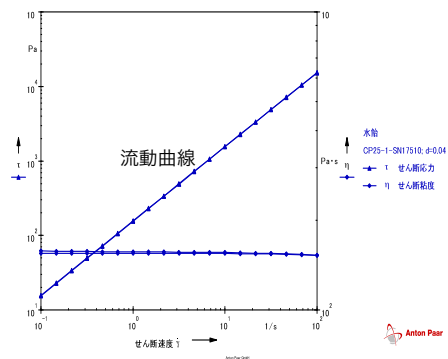
89

$$\sqrt{s} = a\sqrt{D} + b$$

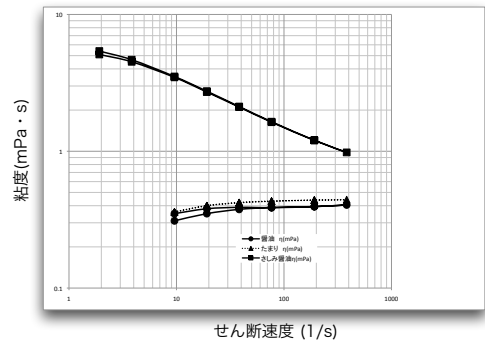


90

水飴の流動曲線（ニュートン流動）

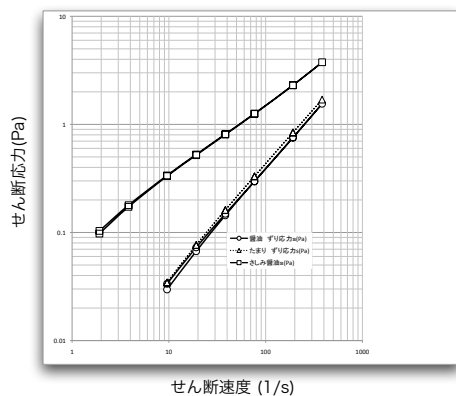


91



あまい醤油とキッコーマン醤油の粘度

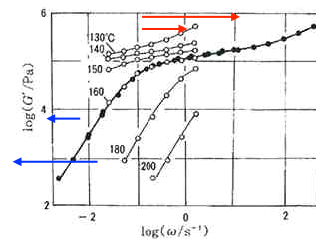
92



あまい醤油とキッコーマン醤油の流動曲線

93

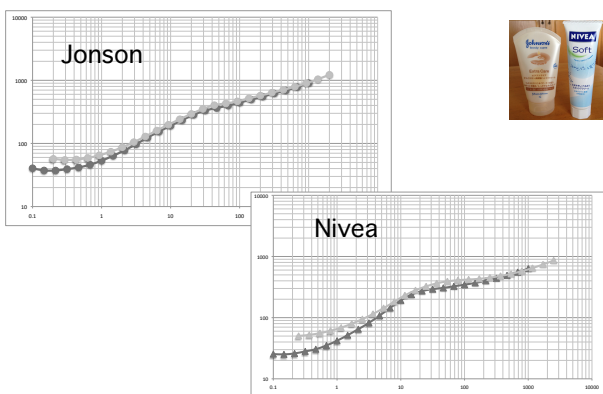
時間温度換算則



高温での測定結果は 左に平行移動
低温での測定結果は 右に平行移動

94

ハンドクリームの時間温度重ね合わせ



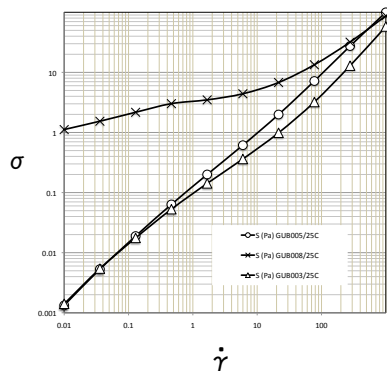
95

フタロシアニンブルー顔料分散ペースト

	GUB003	GUB005	GUB008
記号	×	○	△
樹脂	A	B	C
K/S	2.56	4.15	3.80
着色力	62%	100%	92%

96

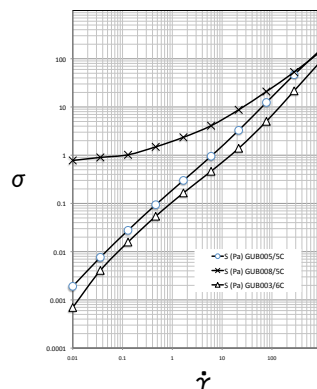
青顔料ペーストの流動曲線 (25℃)



分散安定性
GUB005 ○
ほぼニュートン流動
GUB003 △
若干の擬塑性流動
GUB008 X
構造粘性

97

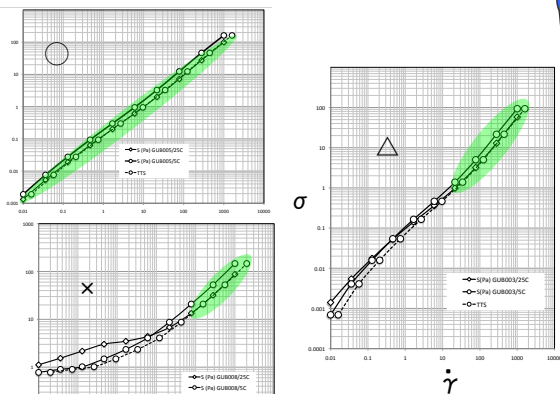
青顔料ペーストの流動曲線 (5℃)



分散安定性
GUB005 ○
ほぼニュートン流動
GUB003 △
若干の擬塑性流動
GUB008 X
構造粘性

98

青顔料ペーストの時間温度換算則による重ね合わせ



99

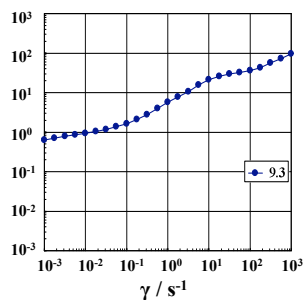
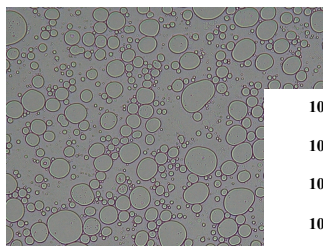
乳化とレオロジー

油（流動パラフィン他） 36.0%
界面活性剤 5.4%
水、その他 58.6%

POE(15)	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.4
セチルエーテル						
モノパルミチン酸	3.8	3.4	3.0	2.6	2.2	2.0
ソルビタン						
Total HLB	9.3	9.9	10.5	11.1	11.7	12.0

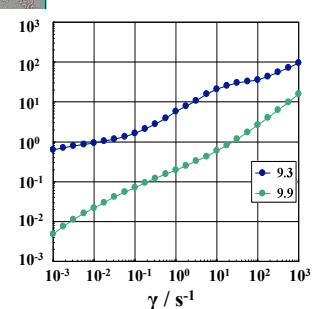
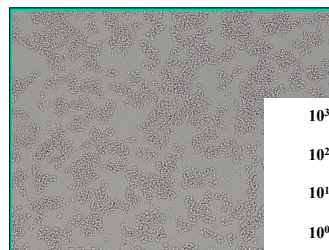
100

HLB 9.3



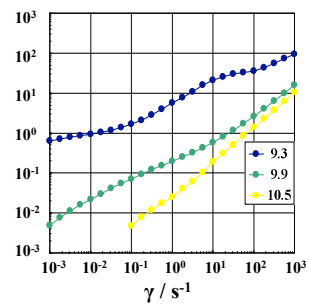
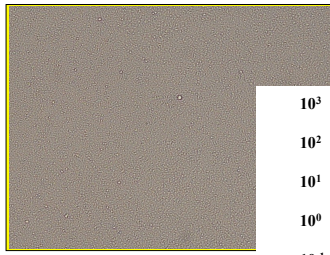
101

HLB 9.9



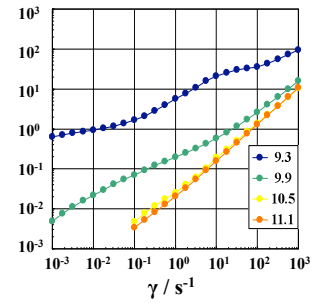
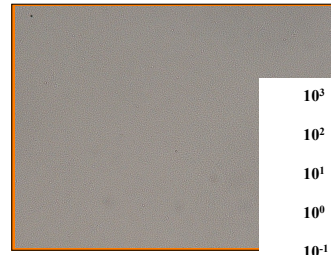
102

HLB 10.5



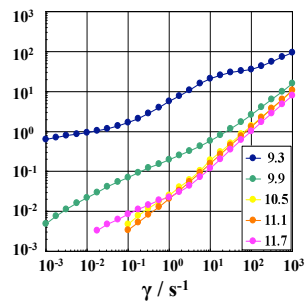
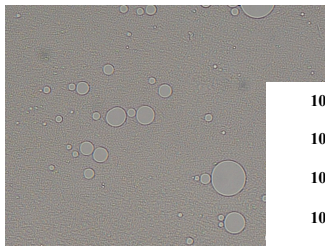
103

HLB 11.1



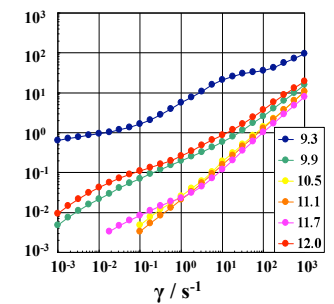
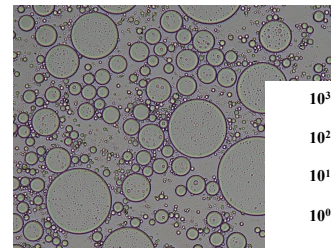
104

HLB 11.7



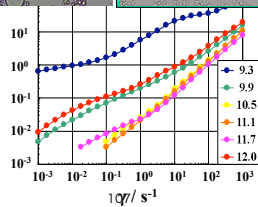
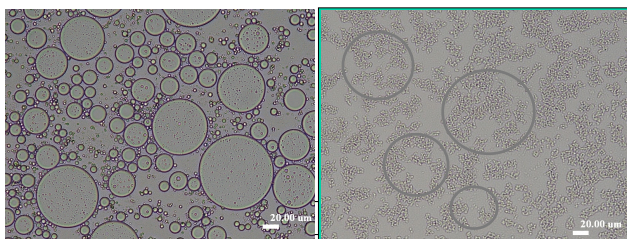
105

HLB 12.0



106

HLB 9.9と12.0

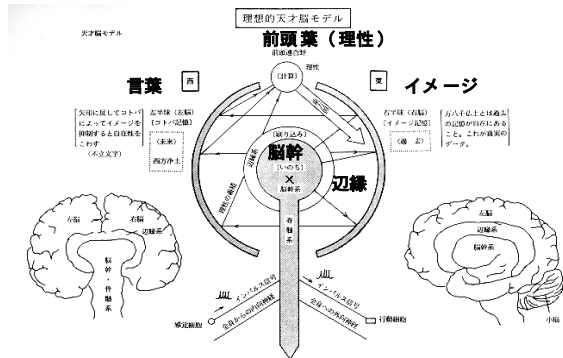


乳化安定性評価



108

右脳のはなし（創造する脳）



109

1. 脳幹系 生きるための基本的能力で、五臓六腑を初め、生まれた時すでに持っている働き



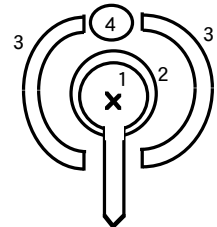
創造性に関する働き

- 1) 予知能力 気配を感じる能力
 - 2) 創造する脳 新しい方法、考え方を造る
 - 3) 健康をつくる能力 ホメオスタシス（治癒能力）体を修繕する
 - 4) 集団能力（チームワーク） 一緒にいたい本能
- 1) ～ 4) を広義には知恵と言います

2. 辺縁系 条件反射
スキップ・しごきの脳・土台作り・
氏より育ち・住めば都・潜在意識・刷り込み

3. 新皮質 経験したものを記憶する場所
左側がコトバ
右側がイメージ

- #### 4. 前頭葉 理性の脳 論理、意志力の座

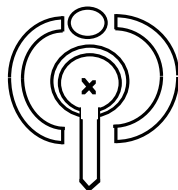


110

- ・日本の文化は右脳文化
右脳を活性化するためには
第1にトンチ、俳句、和歌、長歌、短歌、謎掛け
第2に茶道、華道という道のつくもの
第3に謡、長唄、小唄、民謡、仏教、般若心経、ヨガ、禅など呼吸法にある

- ・好きこそものの上手なれ
脳幹を鍛えることは成人には不可能、子供時代に決まる
いいイメージは右脳から脳幹を傷つけないため脳幹は働かない、いいイメージは脳幹に受け付けられる信号をうけるためと脳幹がつかれるので、ある一定量になるまでは送られないようなセーフティスイッチがある。繰り返してはじめて送られるという実験もある。

好きな人に好きなことをやらせる
(適材適所)こそ
創造性の原点



111

脳梁と男女



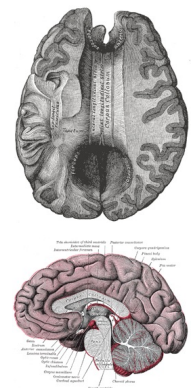
右脳と左脳の架け橋

生まれた時は同じ太さであるが、
成長することで男は細くなる

男は狩猟を生活のためにできる
感情に左右されず
女は子供を育てる
愛情を持って育てる

交通事故で左脳を損傷すると
男は一生喋れない、女は喋れる

黒川伊保子「恋愛脳」



112

ロボットミイ手術（前頭葉切除手術）
(prefrontal) lobotomy



てんかんやうつ病などの精神病に対し、抗精神剤が開発される以前に行われた手術

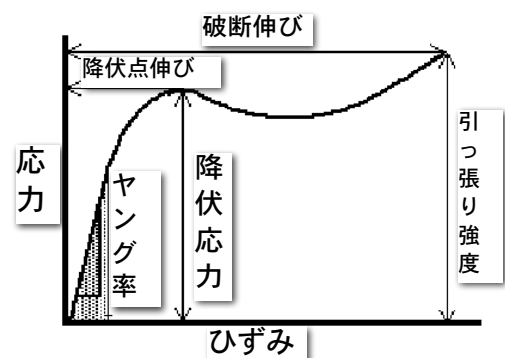
1949年にエガス・モリスがノーベル生理学・医学賞を受賞
米国で1万件の症例

その副作用から、人格がなくなる
のちに“悪魔の手術”と呼ばれ、日本では1975年に正式に禁止

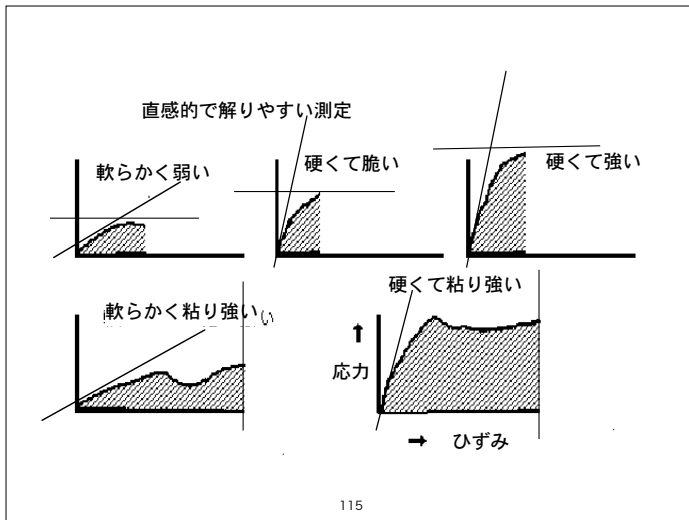
- ノーベル賞を受賞しても正しいとは限らない
- 前頭葉の機能が全て解っていない

113

引っ張り試験



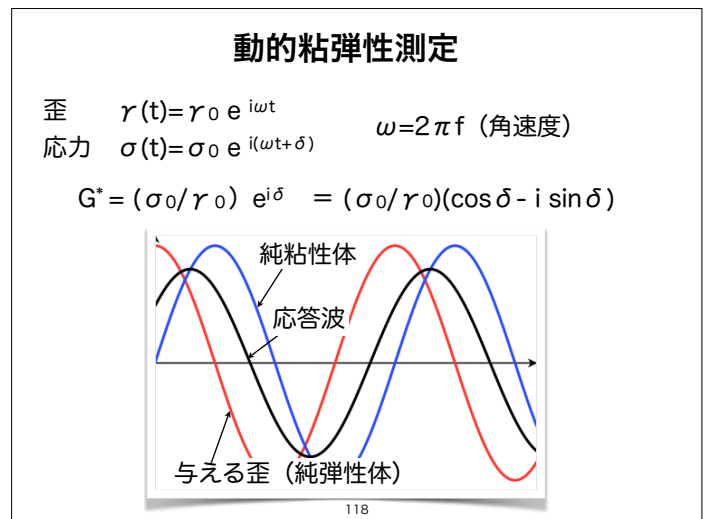
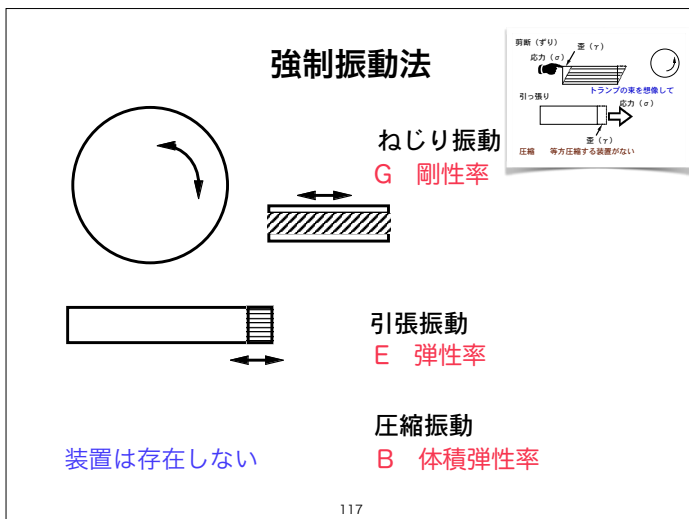
114



動的粘弾性測定

液体測定	測定装置
自由減衰振動	振り子型FDM
振り強制振動	ひずみ動的粘弾性測定
制御型レオメーター	応力制御型レオメーター
固体測定	測定装置
自由減衰振動	TBA
引っ張り振動	バイブロン

116

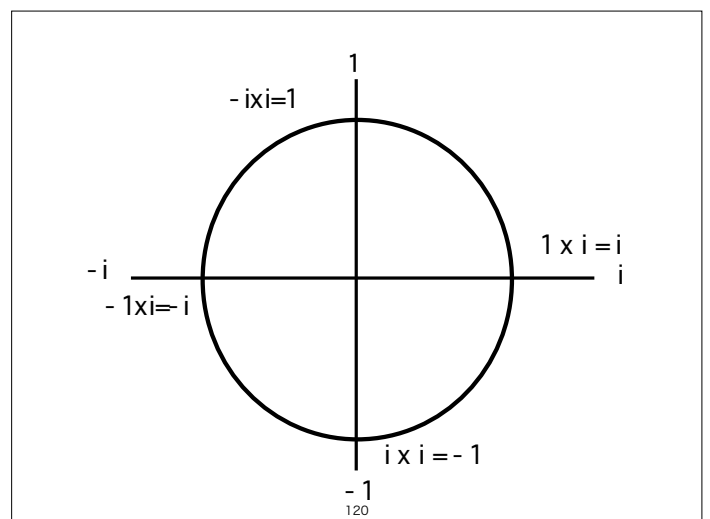


オイラーの式

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

$$e^{-ix} = \cos x - i \sin x$$

119



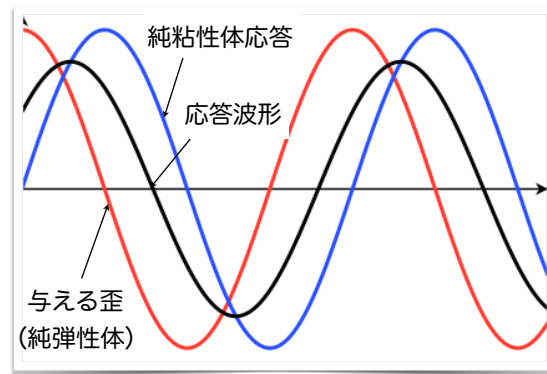
ひずみを $\gamma(t) = \cos \omega t$ とすれば

応力応答は

弾性 $\sigma = G' \gamma$
 $= G' \cos \omega t$

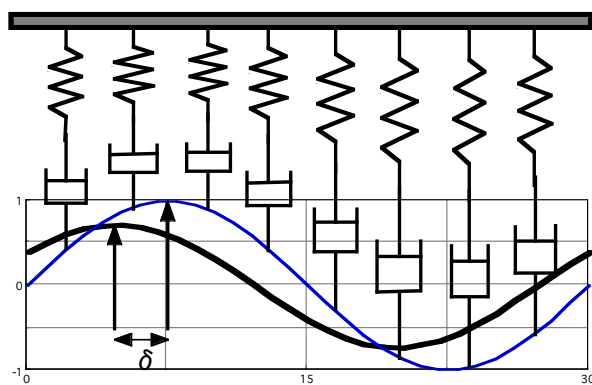
粘性 $\sigma = \eta' d\gamma/dt$
 $= \eta' d(\cos \omega t)/dt$
 $= -\eta' \omega \sin \omega t$
 $= -G'' \sin \omega t$
 $= G'' \cos(\omega t + \pi/2)$

121



122

粘弾性応答のマンガ的的理解



123

EとGの関係

$$G^* = G' + iG''$$

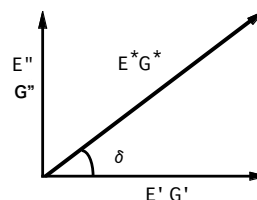
$$E^* = E' + iE''$$

$$\tan \delta = G''/G' = E''/E'$$

$$E = 2(1 + \mu) G$$

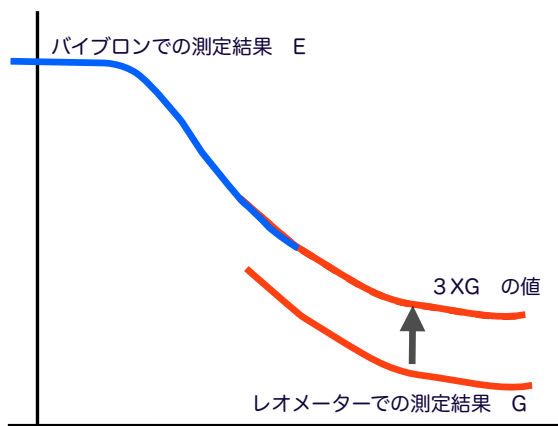
μ : ポアソン比
 (無定形高分子で
 ガラス転移温度以上
 では0.5とできる)

$$E = 3G$$



124

E=3Gとなることで



125

$$G^* = G' + iG''$$

G^* : 複素剛性率

G' : 貯蔵剛性率 (弾性項)

G'' : 損失剛性率 (粘性項)

$$\eta' = G'' / \omega : \text{動的粘性率}$$

126

レオロジーの役割

1. 物性

モノの指標としてつかう
材料選択, 品質管理
現象論的レオロジー

2. スペクトロスコピー

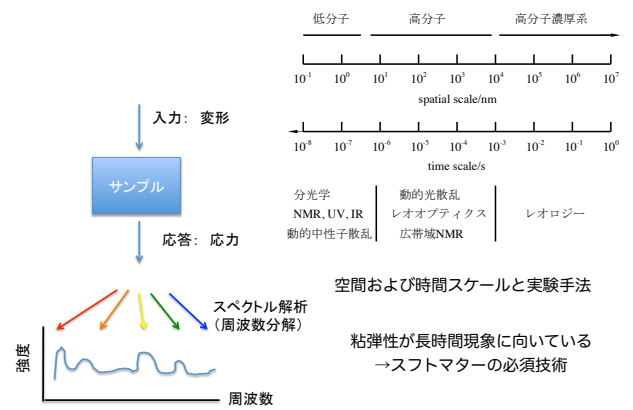
1 からモノの内部のミクロなダイナミクスを議論
(論文や学会発表はほとんどこの立場)
分子論的レオロジー

3. 機能

2 を押さえた上で1 を設計して付加価値をつける
(会社で求められているスキル)

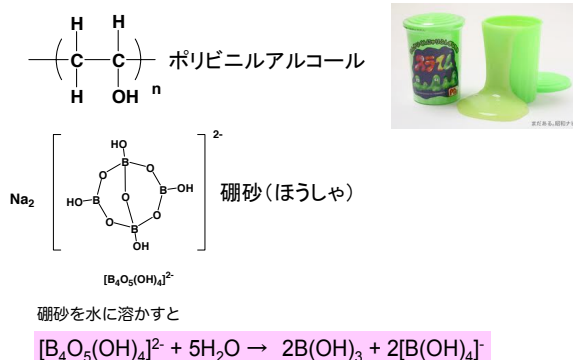
127

粘弾性解析=スペクトロスコピー

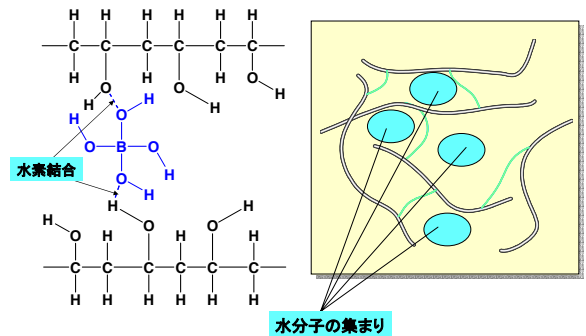


128

スライム

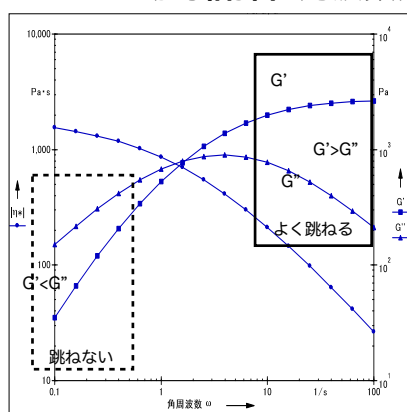


129

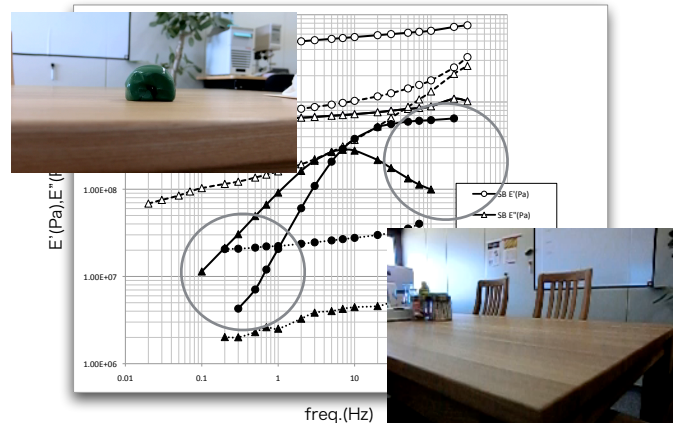


130

スライムの動的粘弾性周波数分散

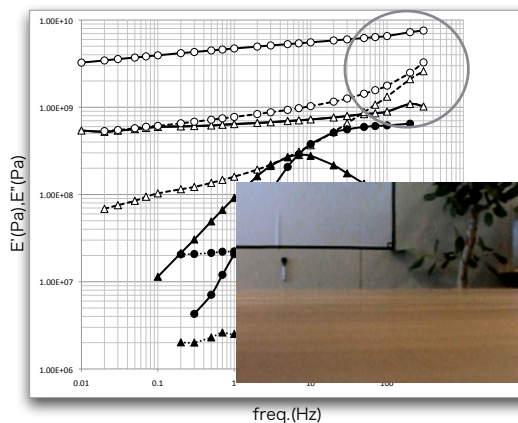


131



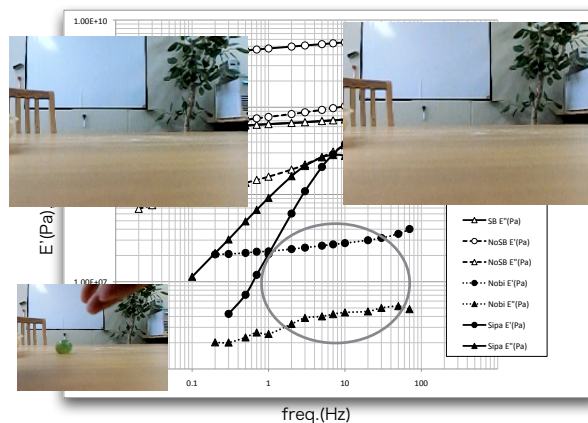
跳ねる、跳ねない、伸びる、変形 ボール

132



跳ねる、跳ねない、伸びる、変形 ボール

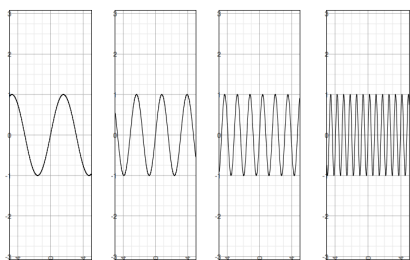
133



跳ねる、跳ねない、伸びる、変形 ボール

134

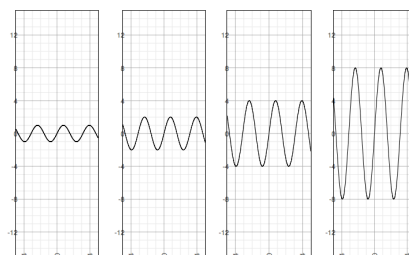
動的粘弾性周波数分散測定



温度一定

135

動的粘弾性ひずみ分散測定

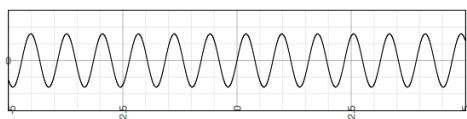


温度一定

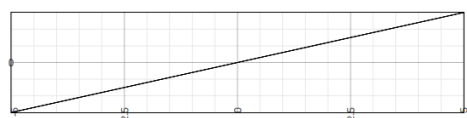
136

動的粘弾性温度分散

ひずみ一定の正弦波

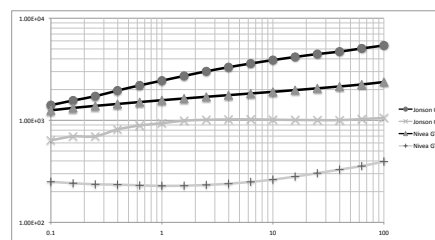


温度昇温

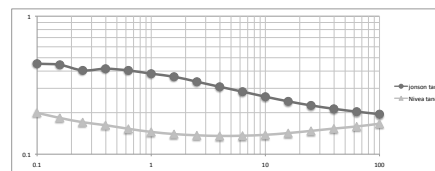


137

ハンドクリームの周波数分散



G', G''

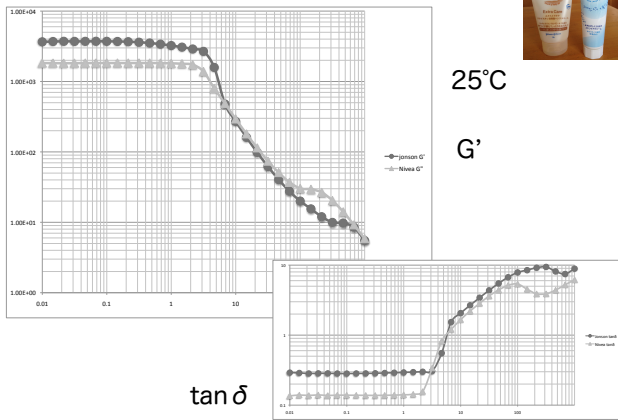


$\tan \delta$

25°C

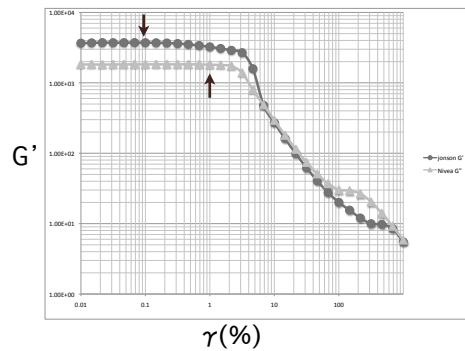
138

ハンドクリームのひずみ分散



139

ハンドクリームのひずみ分散



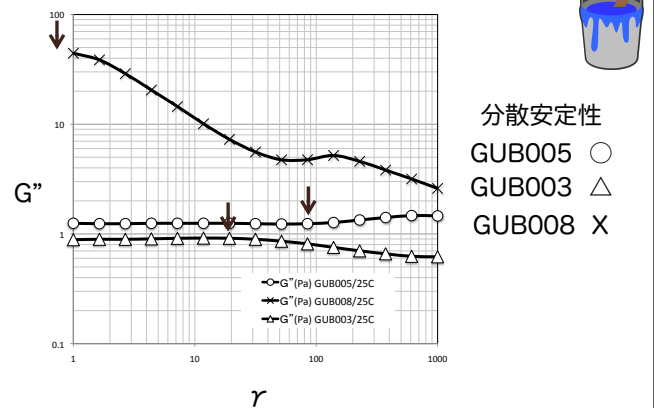
140

フタロシアニンプール顔料分散ペースト

	GUB003	GUB005	GUB008
記号	×	○	△
樹脂	A	B	C
K/S	2.56	4.15	3.80
着色力	62%	100%	92%

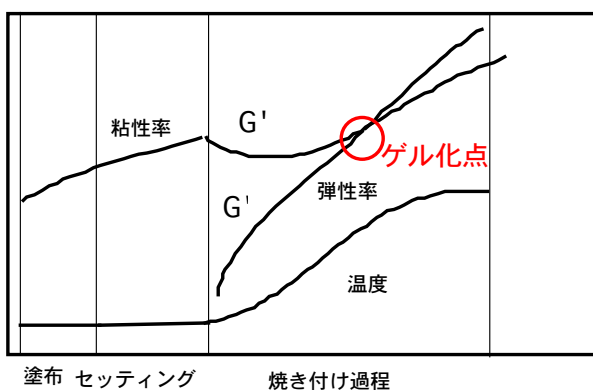
141

青顔料ペーストの歪み分散による線形性



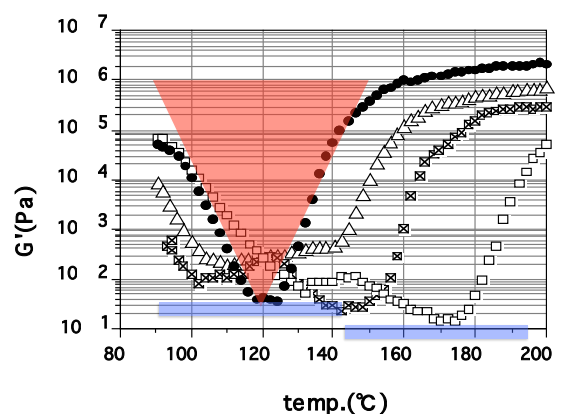
142

熱硬化型塗料の粘弾性変化



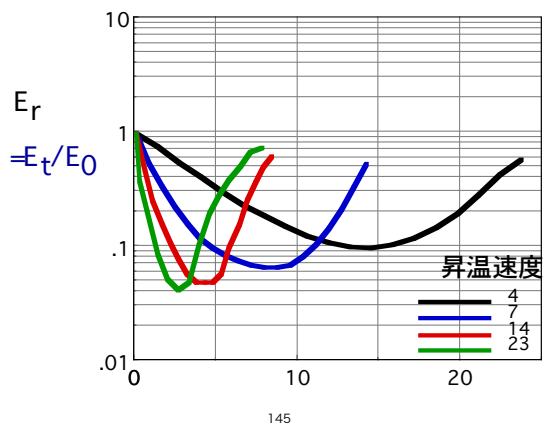
143

粉体塗料硬化過程の測定

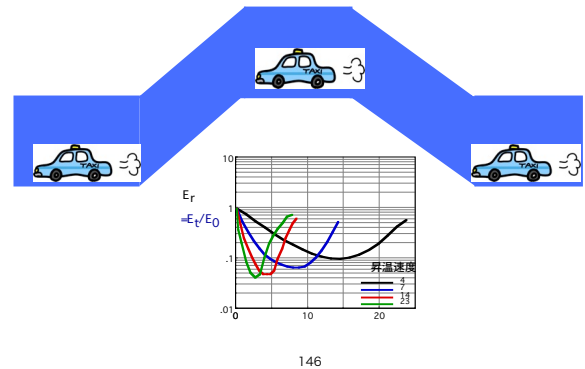


144

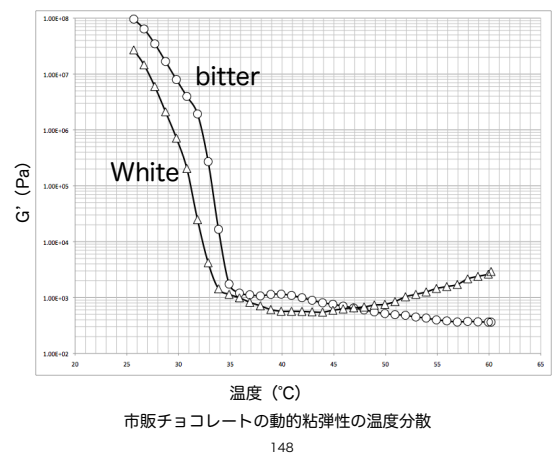
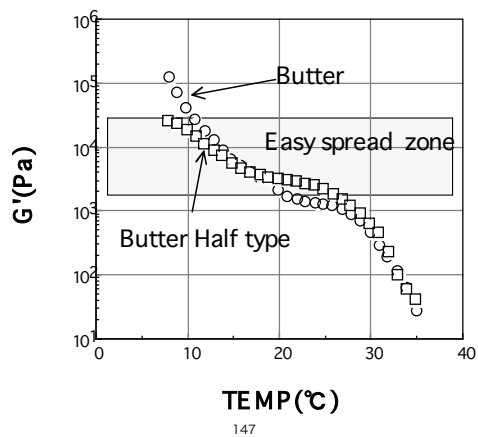
昇温速度による粘弾性変化



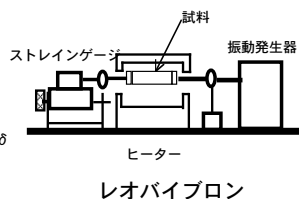
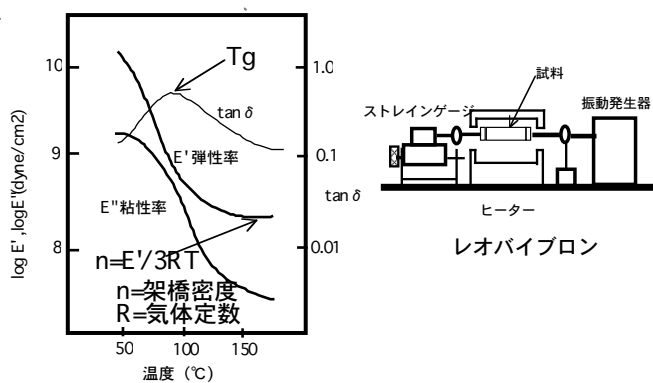
昇温速度の影響



バターの温度分散と塗り易さ



(固体の) 動的粘弾性測定



Rheovibron DDV2EP



A & D社製

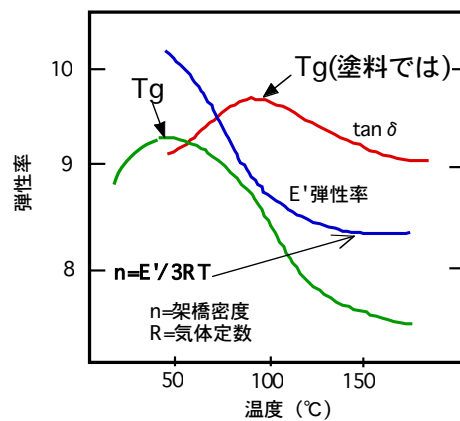
Rheogel E-4000



U B M社製

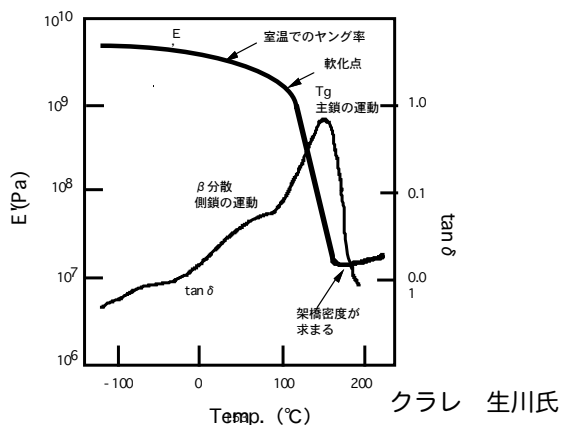
151

塗膜の動的粘弾性測定



152

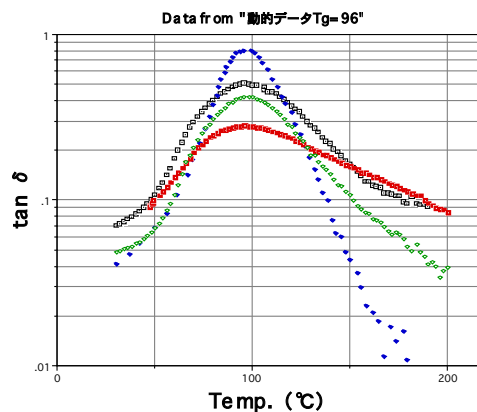
一般高分子での動的粘弾性



クラレ 生川氏

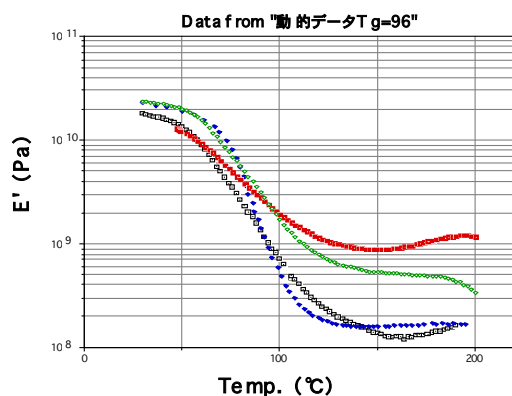
Temp. (°C)

tan δ 曲線の形状



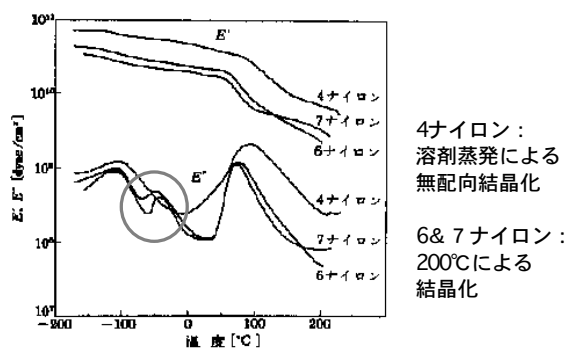
154

貯蔵弾性率E'の形状



155

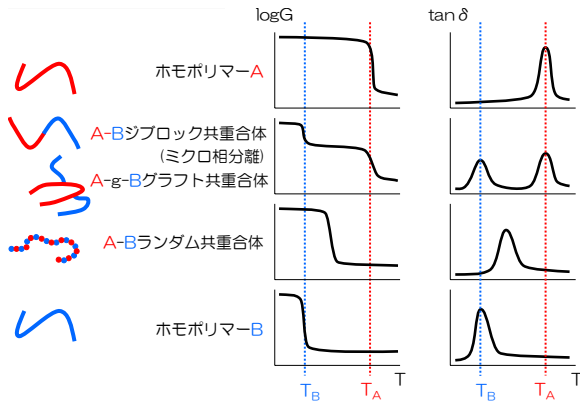
結晶構造の影響



レオロジーハンドブックより

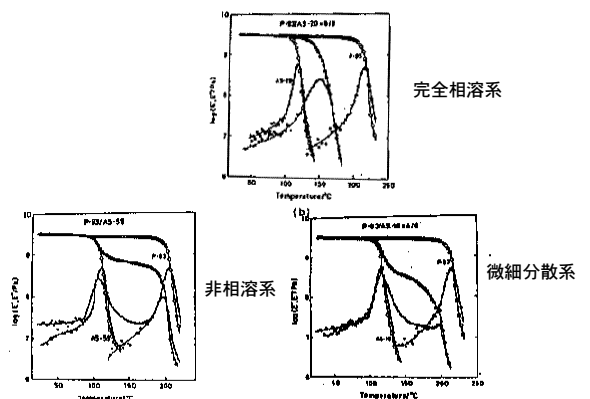
156

主分散での相分離評価



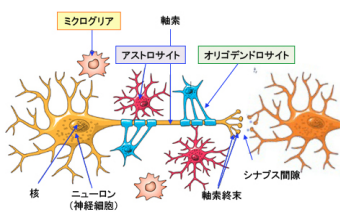
157

相溶性の影響



158

脳＝神経細胞（ニューロン）＋グリア細胞



成人;1200~1500g

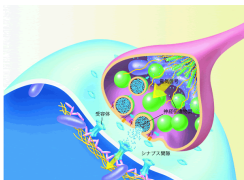
神經細胞；

大腦500~600億個

小脳1000億個

シナプス；

1万個/1細胞

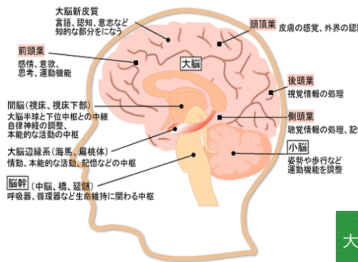


シナプス；

1～3歳までに急激に増える
その後は減っていくのみ

159

天才とは？



レム睡眠；
頭が起きて、体が眠る
ノンレム睡眠；
頭が寝て、体も寝る

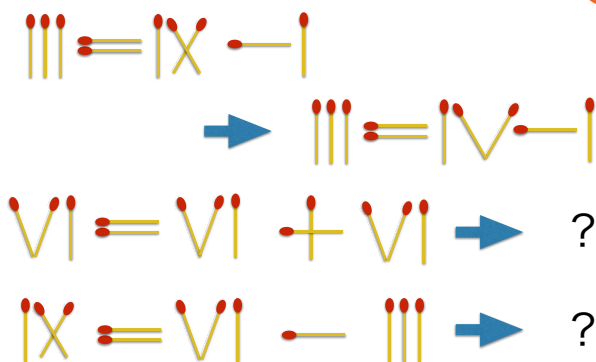
大脳皮質の考えが基底核へ多くの情報が
レム睡眠状態で直感になる

大腦皮質 ； 意味記憶

大脳基底核；手続き記憶

160

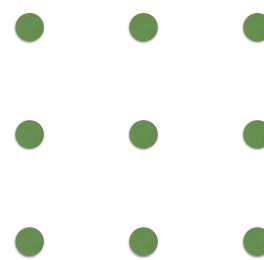
1本動かして正しい数式に



答えは最後のページに！

161

4本の直線で全ての点を通る一筆書き？



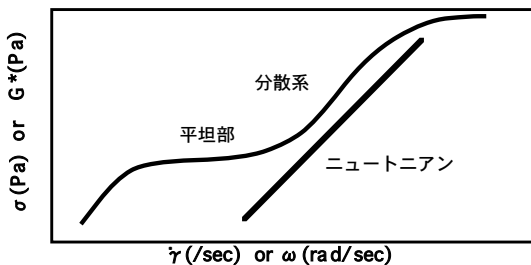
答えは最後のページに！

162

コックスメルツ則

動的粘弾性の周波数分散測定

動的測定（周波数分散）と定常流測定（流動曲線）は横軸を角速度（rad/sec）と剪断速度（1/sec）とすると剪断応力と動的剛性率は経験的に等価となる。
→コックスメルツ則（Cox Mertz rule）



163

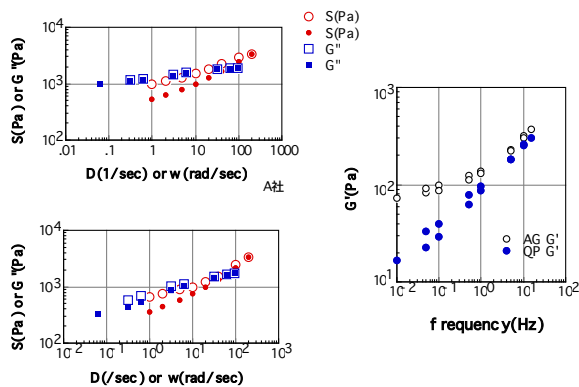
角速度

$$2 \times \pi \times f \text{ (Hz)}$$

$$1 \text{ Hz} = 6.28 \text{ rad/sec}$$

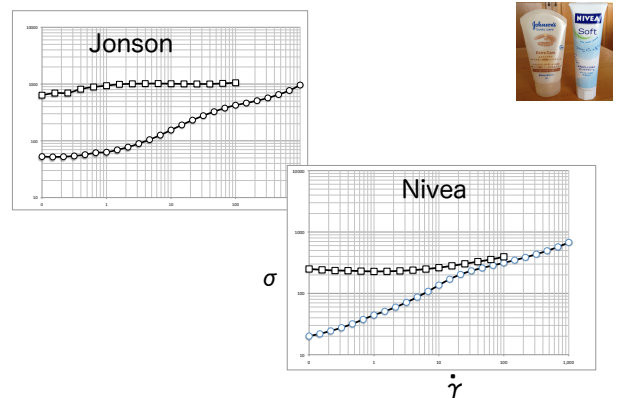
164

マヨネーズのコックスメルツ則



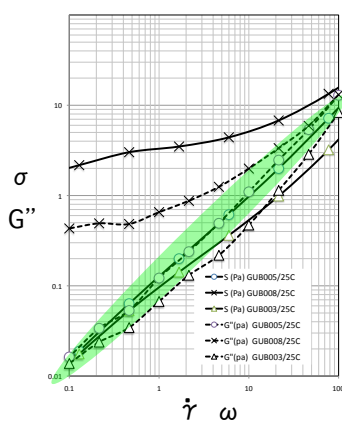
165

ハンドクリームのコックスメルツ則



166

青顔料ペーストのコックスメルツ則



分散安定性

GUB005 ○

ほぼ重なり成立

GUB003 △

GUB008 X

重ならない

167

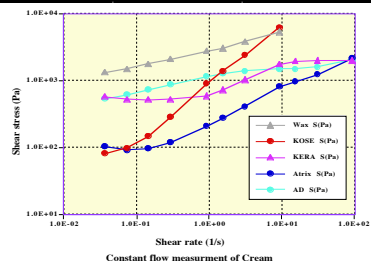
粒子分散系の分散評価

粒子分散系で分散良好で安定性良好な場合、分散粒子の性質は現れず、分散媒のレオロジー特性に近くなる

- ・流動曲線
ニュートン流動になり、降伏値は小さくなる
- ・ひずみ分散
値が変わらない最大ひずみが大いほど安定
- ・時間温度換算則が成立
温度を変えたデータが横スライドで重なる
- ・コックスメルツが成立
定常流データと動的データが重なる

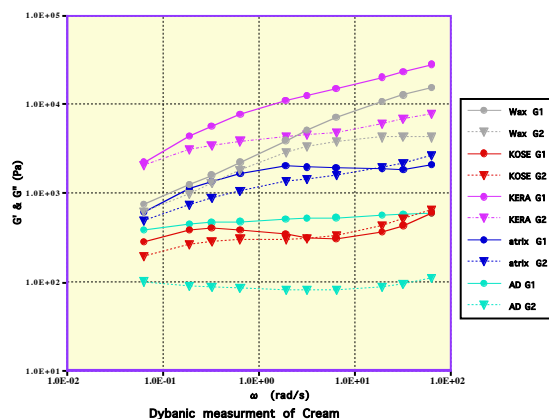
168

マンドムヘアワックス	KOSEホワイト美容クリーム	クラテナミンハンドクリーム	アトリックス ハンドクリーム	メンタームAD軟膏
しっとり	しっとり	べたべた	しっとり	伸びが良い
てかてか	しなやか	しっとり	うるおう	ふにゃふにゃ
ぼてぼて	なめらか	もちもち	伸びが良い	なじむ
香しい	うるおう	こってり	ぬるぬる	やわらかい
こってり	伸びが良い	てかてか	香しい	
油っぽい	塗り易い	油っぽい		
きつい	ふわふわ	不快		
		切れが悪い		
		くすんだ		



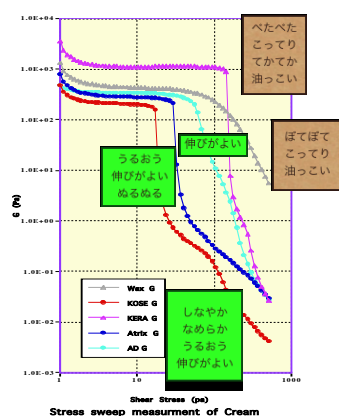
169

クリーム of 動的粘弾性



170

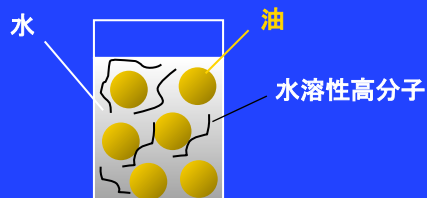
クリーム of 緩和弾性率



171

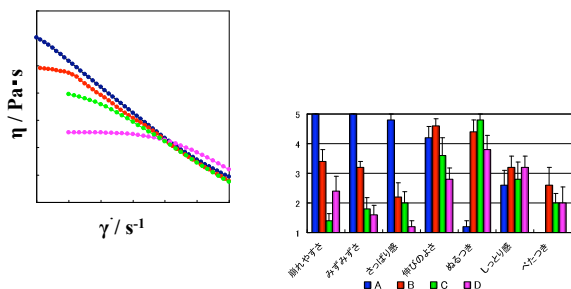
オールインワン製剤 Kracie中川

O/Wエマルジョン+水溶性高分子



172

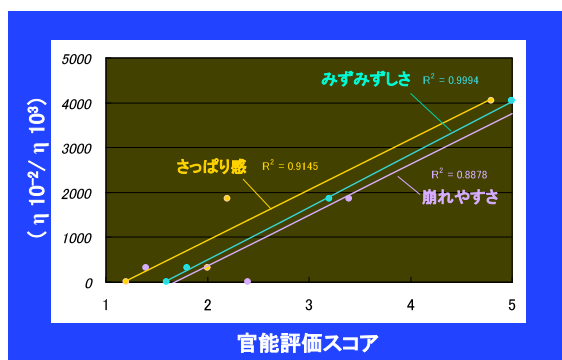
シェアシンニングと感触



シェアシンニング性が高いものは、崩れやすさ、みずみずしさ、さっぱり感に関して高い評価となった。

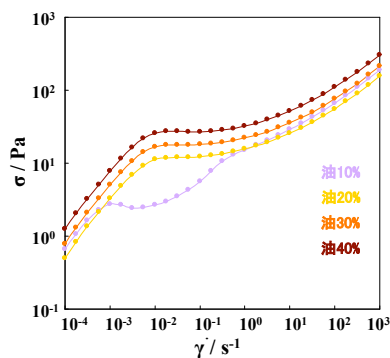
173

官能評価とTI値



174

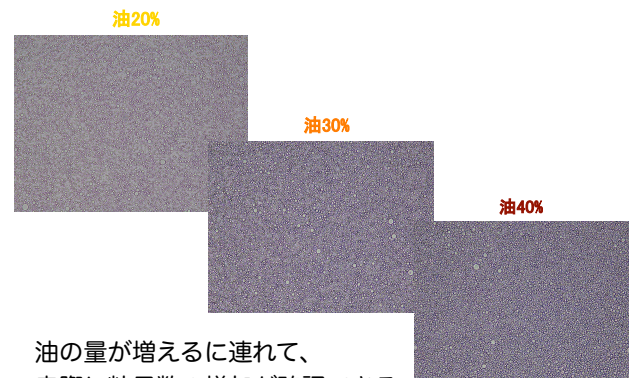
内相油の量の検討



油の量が増えるに連れて、低せん断側の山が上昇

175

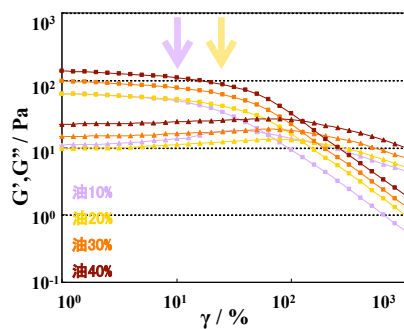
内相油の光学顕微鏡観察



油の量が増えるに連れて、
実際に粒子数の増加が確認できる

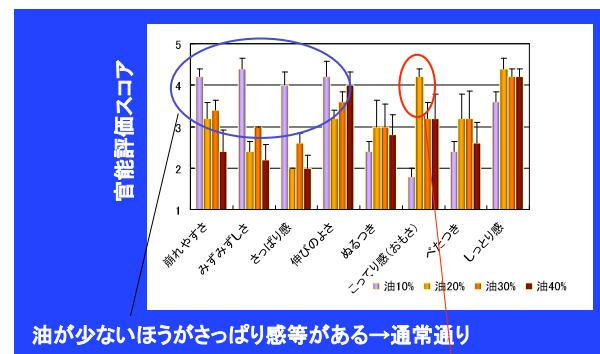
176

動的粘弾性のひずみ分散／線形性



177

油量と官能評価

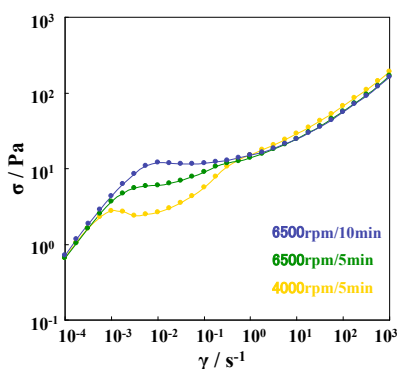


油が少ないほうがさっぱり感等がある→通常通り

こっくり感が内相油20%が最も高い結果となった

178

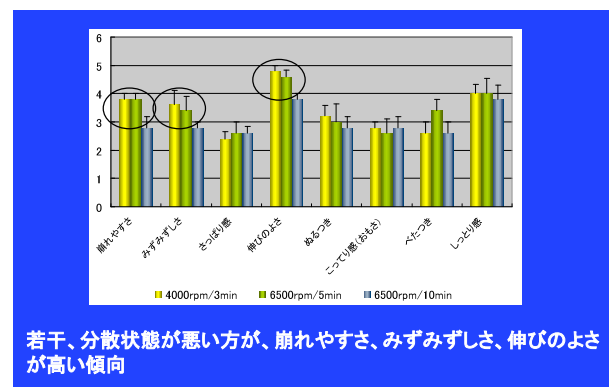
攪拌力と流動曲線



攪拌速度、時間によって、流動曲線が異なる

179

油量と官能評価



若干、分散状態が悪い方が、崩れやすさ、みずみずしさ、伸びのよさが高い傾向

180



181

企業研究者としてのレオロジー測定方法

企業では迅速に試料の性質を見極める必要がある

- ・ 8時間の労働時間に5種類程度の測定
- ・ 測定手段が決まっていない

↓↓↓

1. ひずみ分散測定
2. 周波数分散測定
3. 定常流測定
4. (等速昇降法、2段ずり測定をオプション)
5. ひずみ分散測定

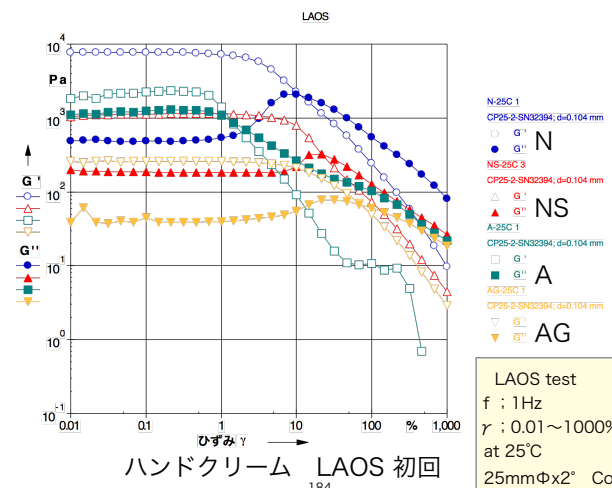
試料を入れ替えなしで40~60分程度で測定

182

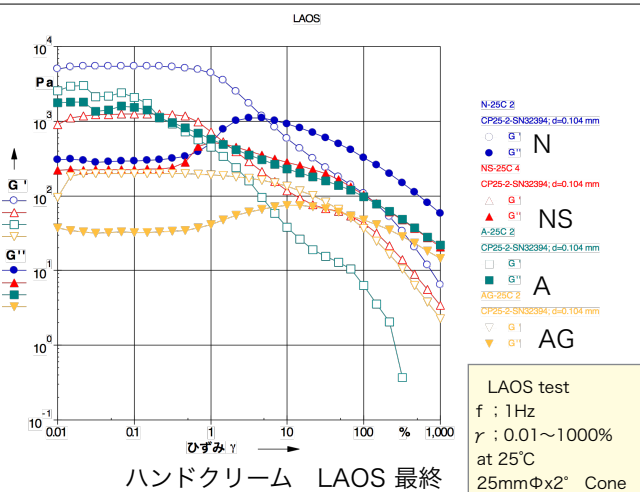


AG A N NS

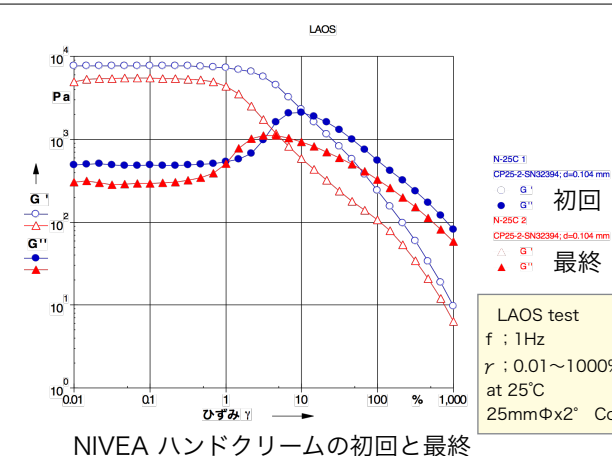
183



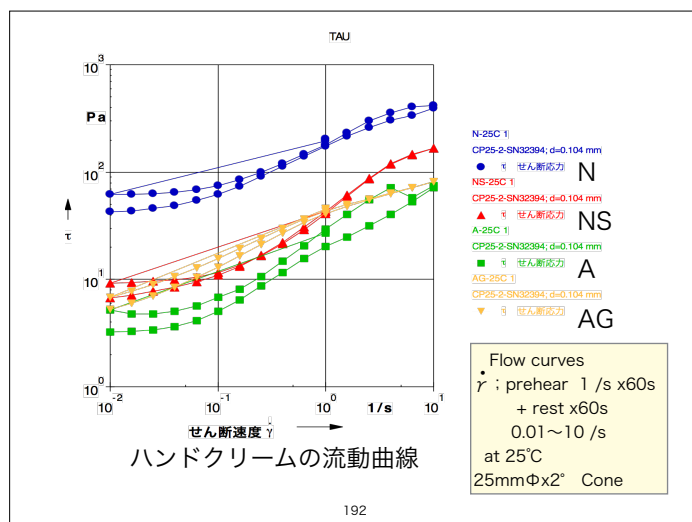
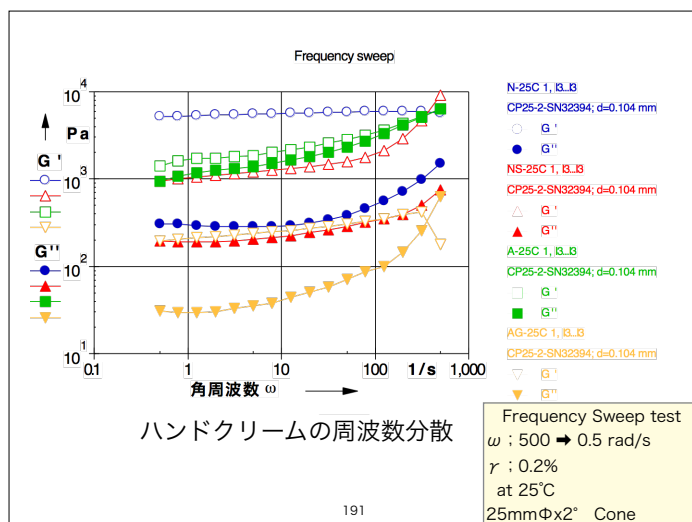
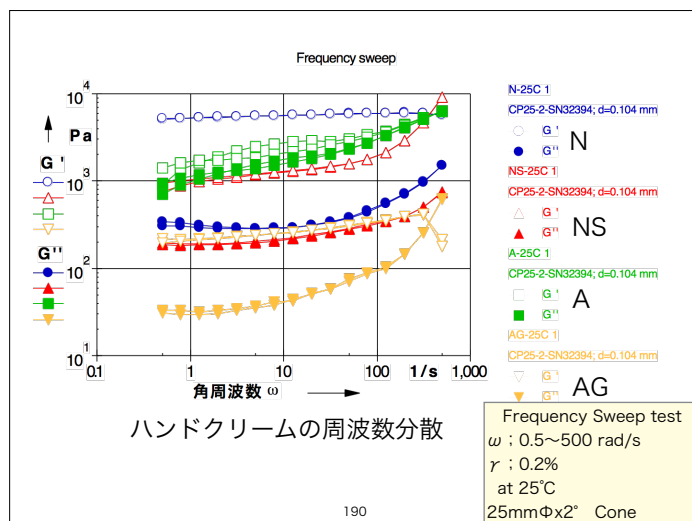
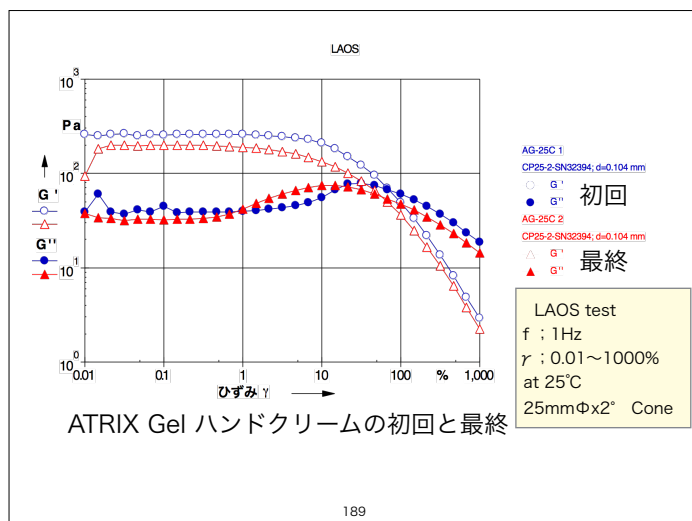
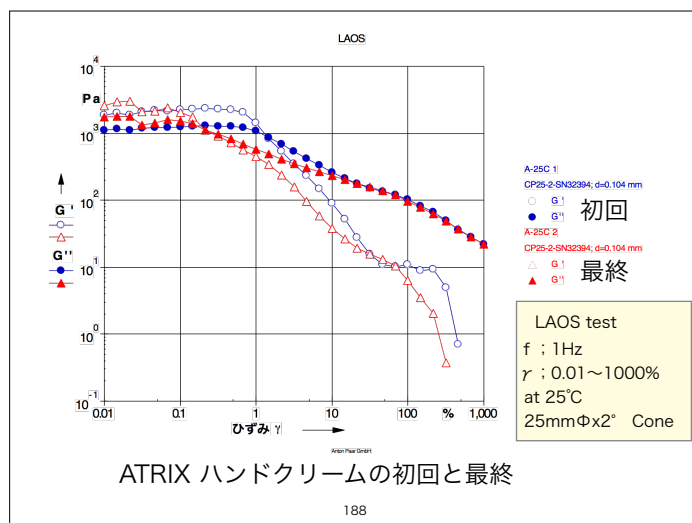
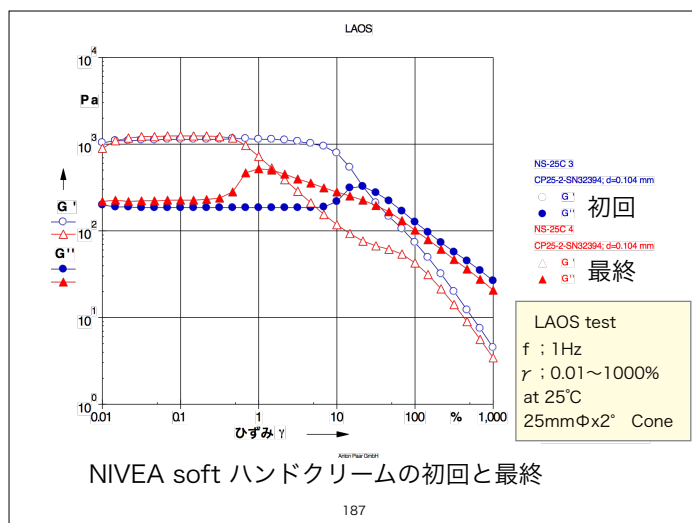
184

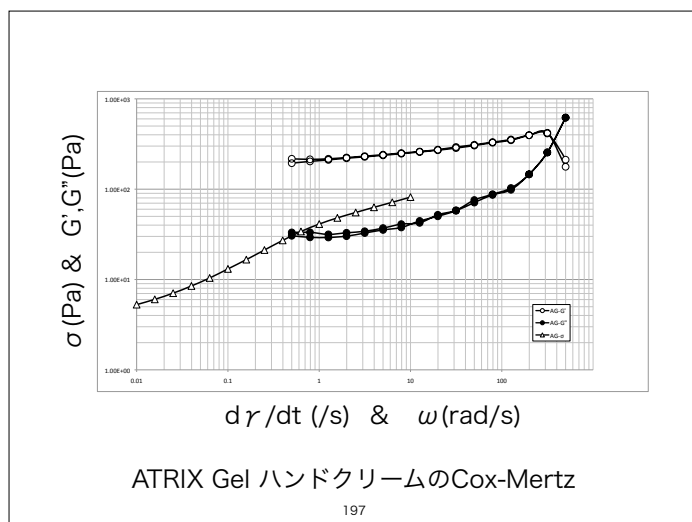
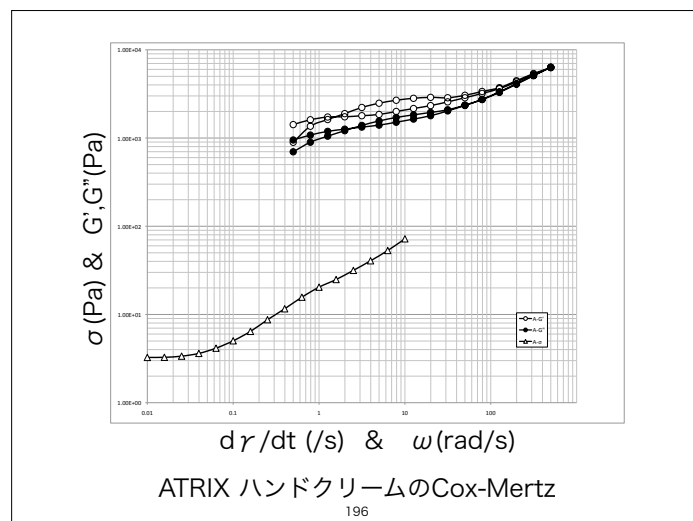
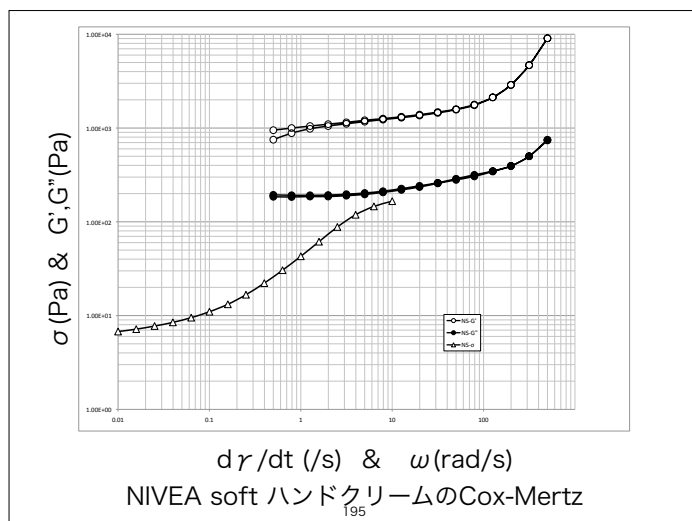
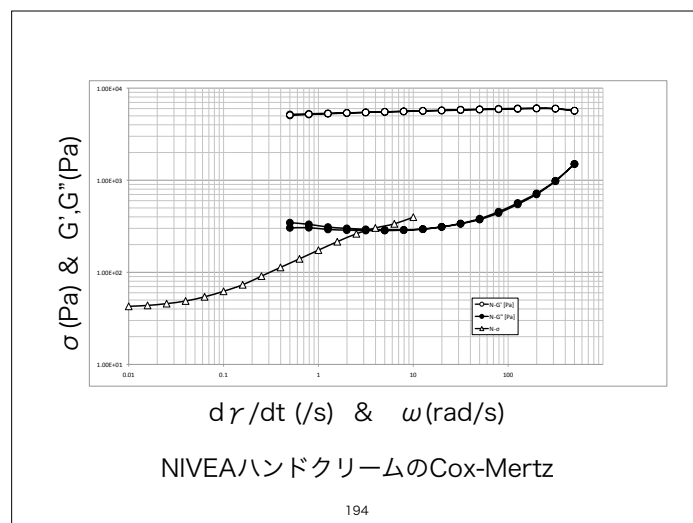
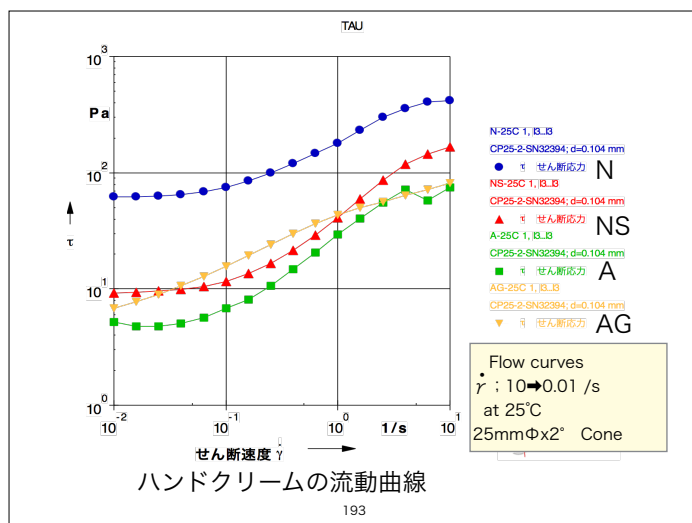


185



186





シュークリームカスタードの測定

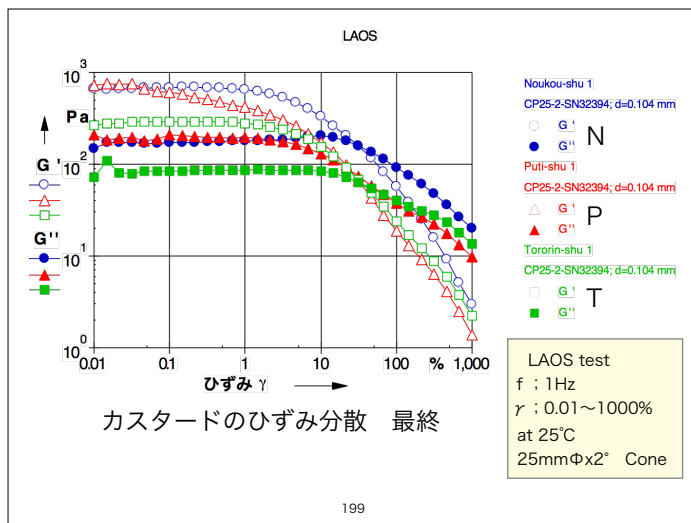
N; セブンイレブン パナ香る濃厚カスタードシュー (121円)
 カスタードクリームがぎゅー詰まったシュークリームです。
 食感の良いシュー生地に、濃厚で卵のコクをたっぷり感じられるクリームが良く合います。
 バニラビーンズを加えて、香り良く仕上げました。セブンカフェと一緒にいかがですか？

P; セブンイレブン プチシュークリーム (6個120円)
 ひとくちサイズの食べやすいシュークリームです。低温殺菌牛乳、卵で炊いたカスタードと
 北海道産牛乳をブレンドしたクリームが、香ばしく焼き上げたシュー生地に良く合います

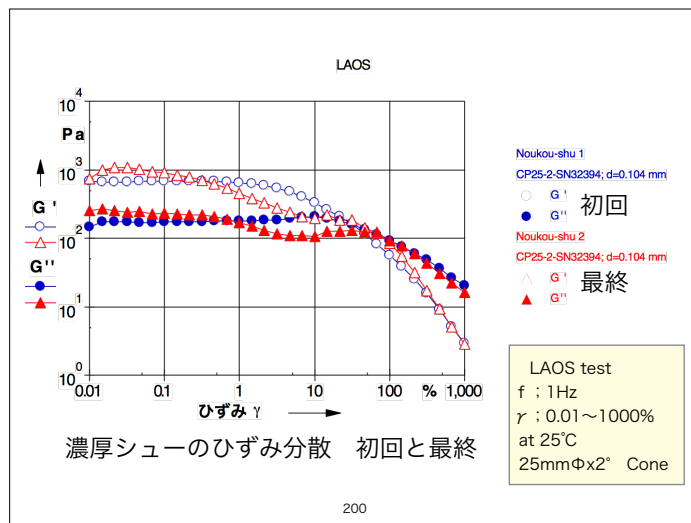
T; セブンイレブン ミルクたっぷりとりりんシュー (102円)
 ミルク風味のあるなめらかな食感のカスタードクリームが楽しめるシュークリームです。
 バターを使った香ばしいシュー生地と、なめらかなカスタードクリームの相性抜群です。

値段は税抜き 2016.1現在

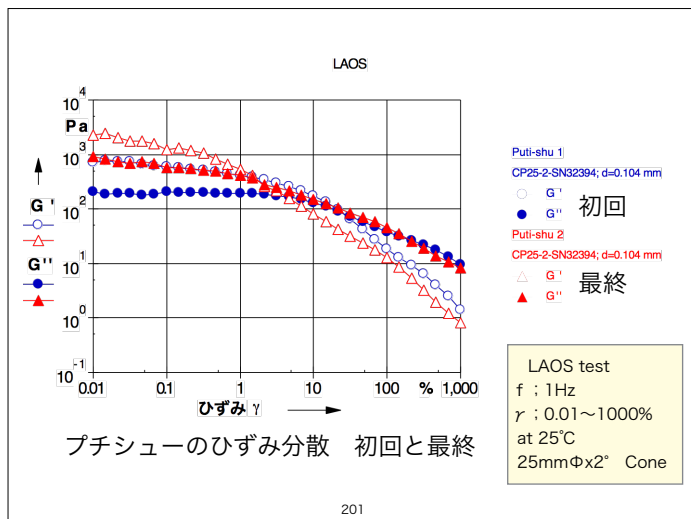
198



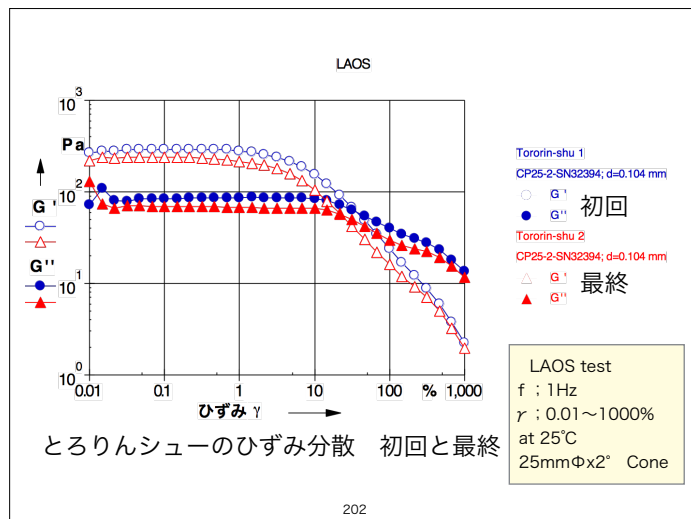
199



200



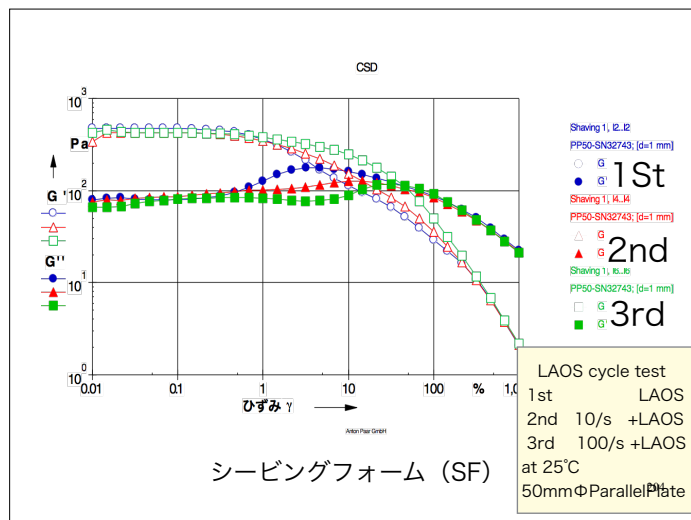
201



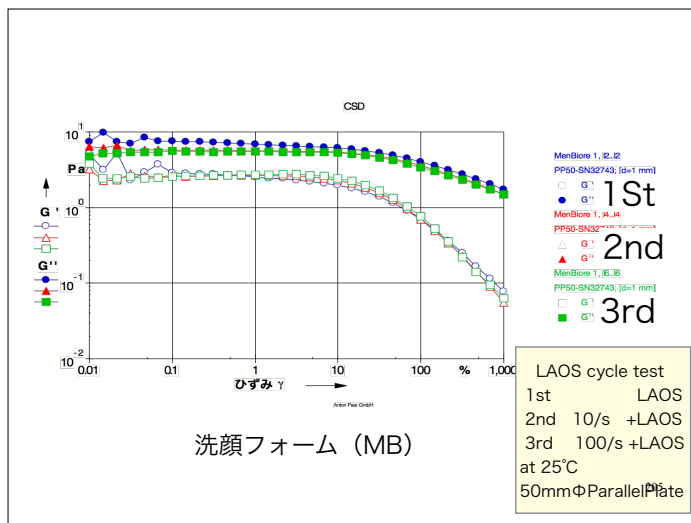
202



203



204



グリセリン／小麦粉=2/1の測定

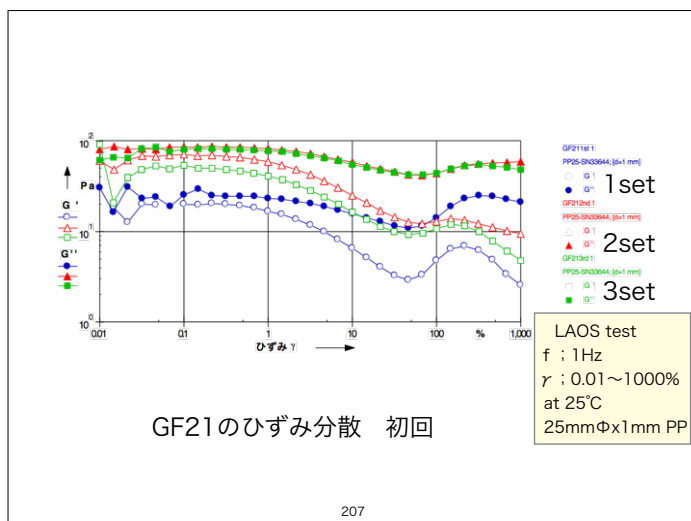
水:小麦粉=2:1はBatterと呼ばれ天ぷら粉の配合である
 粘度が低いのと腐る、乾燥するなどから水の代わりにグリセリンで実験

攪拌混合、脱泡は泡とり練太郎で
 2000rpm x 1min 自転公転混合 2200rpm x 30sec 公転脱泡を1setとして実験

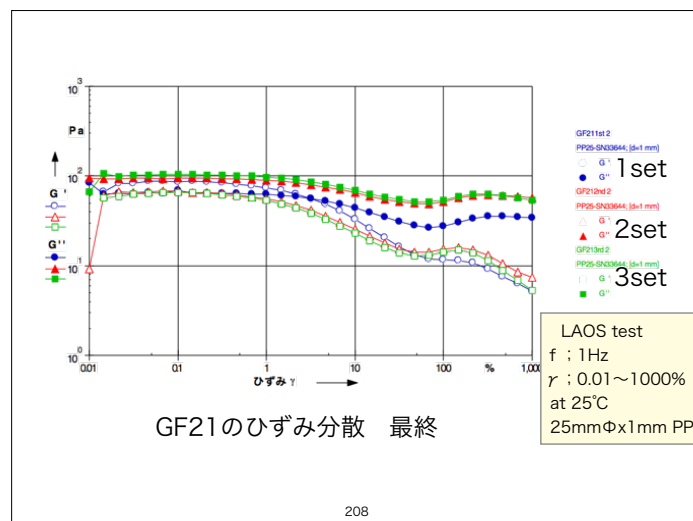
GF211st ; 1set
 GF212nd ; 2set
 GF213rd ; 3set



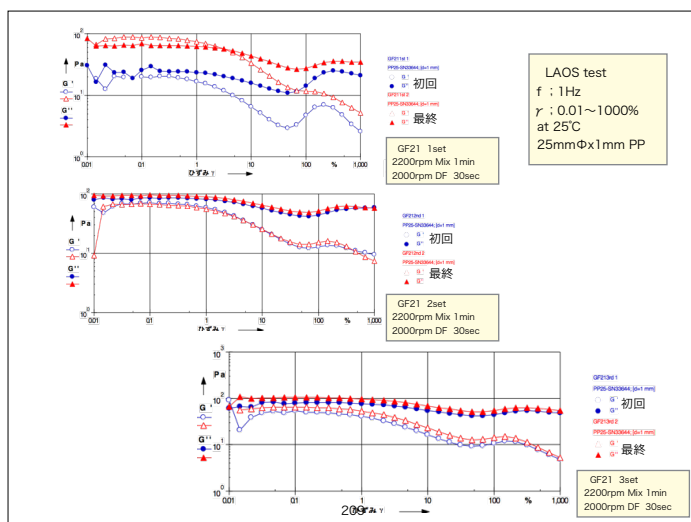
206



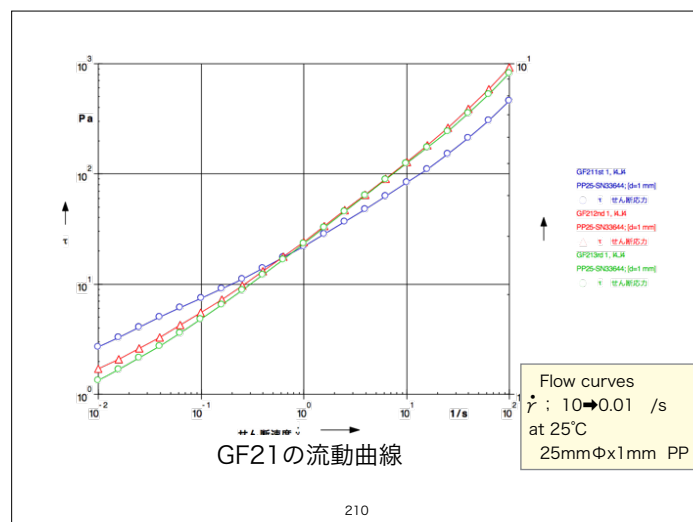
207



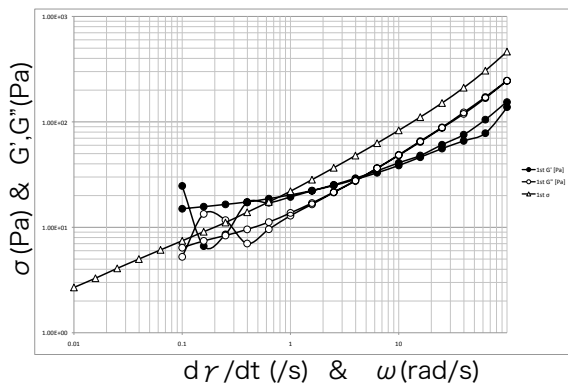
208



209

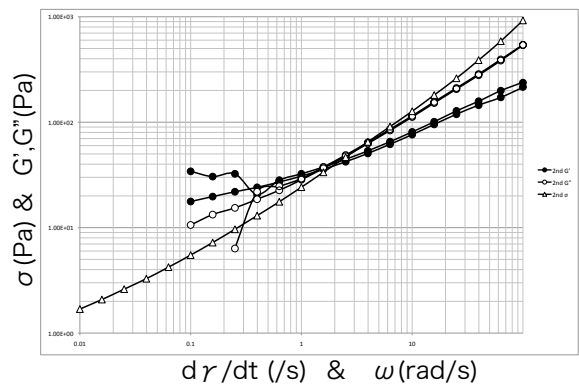


210



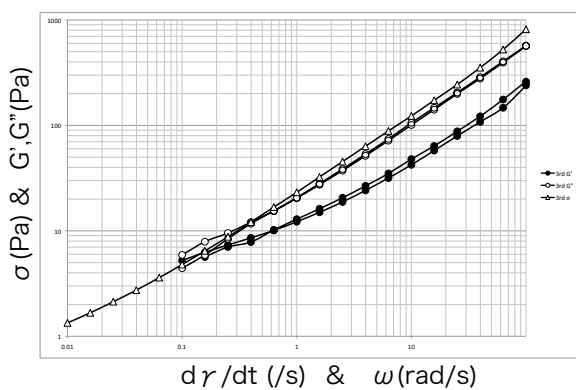
GF21 1set のCox-Mertz

211



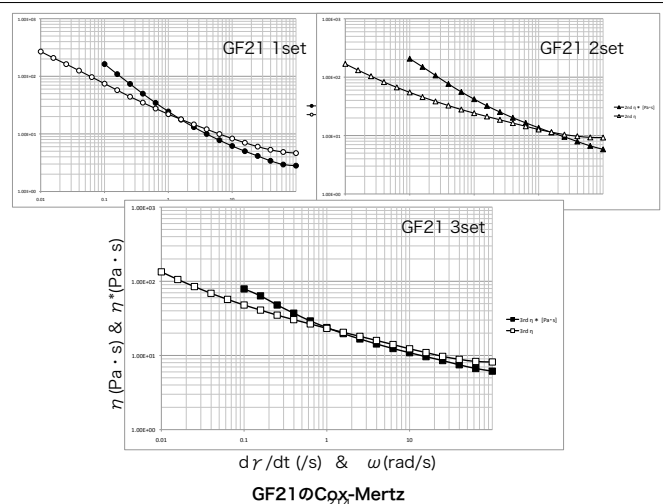
GF21 2set のCox-Mertz

212



GF21 3set のCox-Mertz

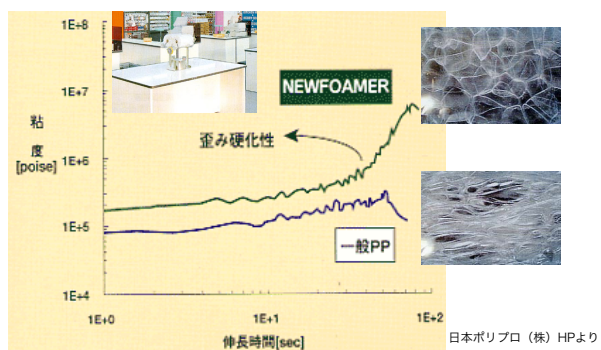
213



GF21のCox-Mertz

214

発泡性ポリプロピレンの伸長粘度



215

伸長粘度と米パン

米にはグルテンが無い
ので絡み合いがないので
気泡を保持できない



小麦グルテンを添加
(PanasonicのGOPAN)



山形大学の射出成形技術から生まれた
100%の米パン パウダーテクノのLoveRice

216

ジャンボシャボン玉



- 1) 台所洗剤
チャーミー「泡のチカラ」(2007年に新発売)が現時点でベスト以前はパワープラス「ジョイ」が良かったが新製品から泡の出来が悪くなったのと比較テストでチャーミー「泡のチカラ」が現時点でベストでした。
「スーパー泡ジョイ」が発売されましたが2009年に比較実験する予定です
- 2) 合成洗濯糊 (PVA)
「クラノール」(近くのスーパーで98円だったので)
- 3) 水は
精製水、ペットボトルの「超軟水」、沸騰させた雨水(雨水は新鮮なもの)、沸騰させた水道水・・・の順が良い
- 4) グリセリン 又は グラニュー糖(コーヒ用シュガー計量が簡単です)

217

流しソーメンとトムズ効果



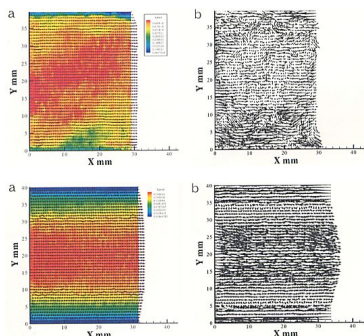
水だけで回すよりも
素麺が入った方が
水は流れ易い？

水の中に高分子を入れると
水は乱流抑制されて
抵抗が劇的に下がる

界面活性剤でも
ミセル構造により
同じ効果が得られる

218

トムズ効果



219

筆の匠



様々な動物の毛を混合するが
何千、何万本の中に
5本の馬の毛が跳ねを変える



NHKで見た話



220

固体での長時間緩和例

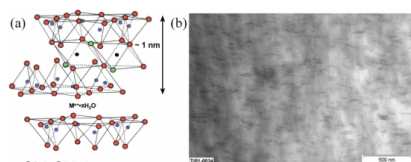
アイオノマー樹脂

金属イオンの凝集力で高分子凝集体を作る



ナノクレイ (ナノコンポジット)

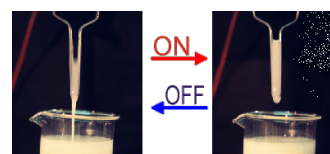
モンモリロナイトの層間でポリマーが凝集



221

2%ナノクレイとナイロン6の複合体

ER流体



ER流体のレシピ

500ccビーカーに
流動パラフィン400g入れ、
そこにコーンスターチ100gを
加えます。混ぜ棒でよく混ぜて
出来上がり。

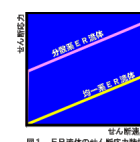
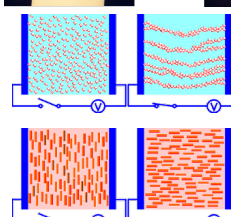


図1 ER流体のせん断応力特性

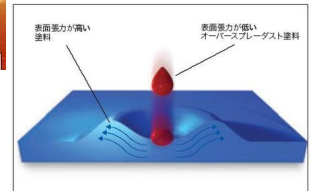
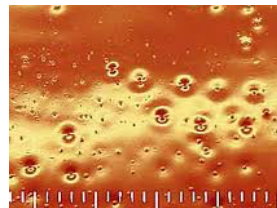
産業総合研究所資料

222

微量の 長時間緩和成分が 大変形時に 物体を拘束する

223

ハジキ



224

二匹のかえる



ゆでがえる (boiled frog)

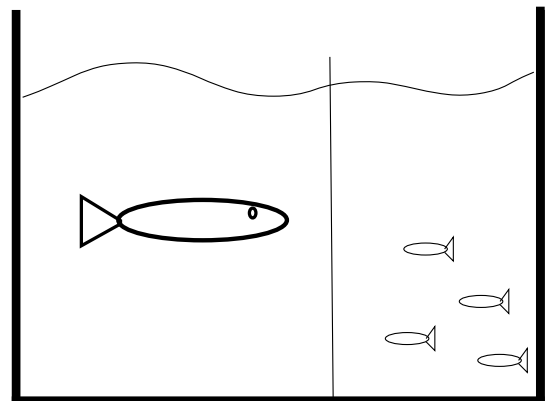
現状認識をしっかりと！！

もがきがえる (struggle frog)

現状分析よりも行動を！！

225

どうしたら魚は餌を食べるか？



226

蚤のサーカス

ガラスの天井を下ろしてゆくと遂には歩き出す

クマンバチの羽

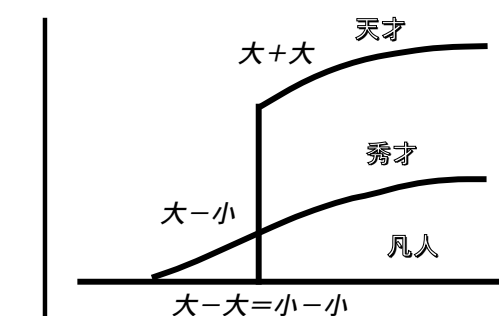
物理的には自分の胴体を飛ばす力がない

出来るんだと信じ、やり抜くことが大事である

(エーザイ 杉本氏)

227

$$F=f(\alpha - \beta)$$



(東京大学 山口氏)

228

有能な企業戦士の共通点

コメント

段取り

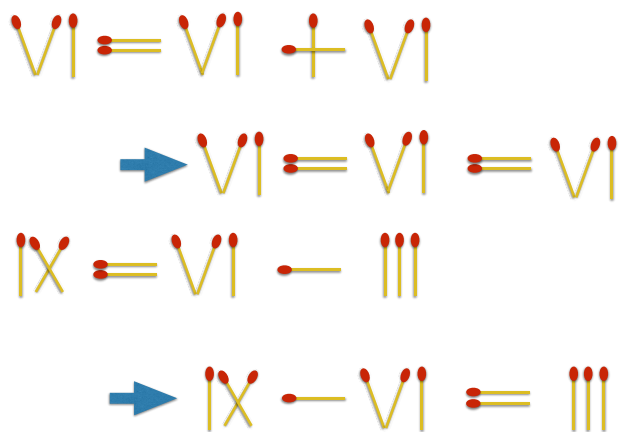
ものまね

229

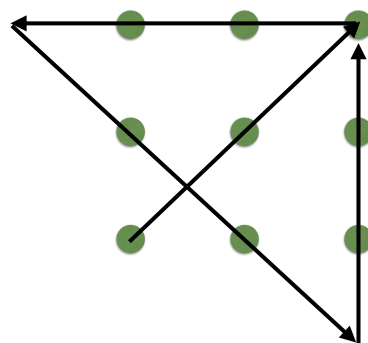
終了

御清聴ありがとうございました

230



231



232