

題名

振動式レオメータ RV-10000
Vibration Rheometer RV-10000

副題 音叉振動式粘度計のシアレートを変更し、新しい液体用レオメータを開発

執筆者

出雲直人
Naoto IZUMO

要旨

音叉振動式粘度計のシアレートを変更可能とした、振動式レオメータRV-10000を開発しました。このレオメータによって、非ニュートン流体の解析を可能としました。また、このレオメータでは、 $0.3 \sim 10000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ までの広範囲の粘度連続測定や、シアレートの変更による急激な粘度変化が測定できます。ここでは、RV-10000と、RV-10000にて測定された非ニュートン流体の物性について紹介します。

1.はじめに

液体の状態を表す一つの量として粘性があり、粘性を表す単位として『粘度』が使われています。粘度の基準物質は水となっており、20℃の水(純水)の粘度は $1.002\text{mPa}\cdot\text{s}$ [ミリパスカル・秒] と定義されています。粘度測定の実用性については、自動車のエンジンオイルの粘度がエンジン性能に大きく影響し、また原油のパイプラインや工業プラントでも、液体を流動させるのに粘度管理が不可欠であることは容易に推測されます。

最近では、新しく粘性を評価する必要がある場面が増えています。それは、例えば人体に関わり、具体的には血液や胆汁の粘度測定、喉越しを決める清涼飲料水の粘度測定や、高齢者死亡原因の1位となる、肺炎を誘発する「摂食嚥下(せつしょくえんげ)」に関する粘度測定などです。

特に誤嚥に関しては、発生頻度が食品の粘度に支配されることが明らかとなっており、高齢化社会が進み、市販される「とろみ剤」の性能や、介護現場での粘度管理が新たな問題となっています。*

1

2.開発の背景

㈱エー・アンド・デイでは、世界に唯一となる音叉振動式粘度計を長年製作した経緯があり、特に9年前からは汎用性ある音叉振動式粘度計を販売してきました。この粘度計は、短時間で水以下の低粘度($0.3\text{mPa}\cdot\text{s}$)から、硬いハチミツ程度となる $10000\text{mPa}\cdot\text{s}$ まで、連続した粘度測定ができる特徴があります。

過去に市販されているレオメータは、回転式がほとんどを占めています。回転式では、回転軸で検出されるトルクを液体の粘度として測定しています。回転トルクの測定は、高い粘度域での粘弾性測定には向いています。しかし、低粘度領域の粘度測定には感度が不足しており、再現性に乏しい、取り扱いが難しいなどの問題が発生しています。これらの市場要求に答えるため、振動子の振幅を変える事で、相対速度(シアレート)を変更可能としたレオメータ：RV-10000を開発しました。

RV-10000のセンサ部の構造図と外観の写真を図1、2に載せました。図1は粘度の検出部をモデル化したものです。左右に配置した振動子が一定振幅で共振するように、変位センサで振幅を検出し、変位が一定となるように電磁駆動部の電流制御を行います。この時、被測定液体の粘性抵抗が電磁駆動部に必要となる電流値に比例することを利用して、粘度×密度で表される粘性抵抗を測定しています。

図 2 は付属する防振台に RV-10000 を載せ、液体の温度を制御するために恒温循環水槽を配置し、付属する循環水ジャケットに試料となる液体を配置した写真となります。

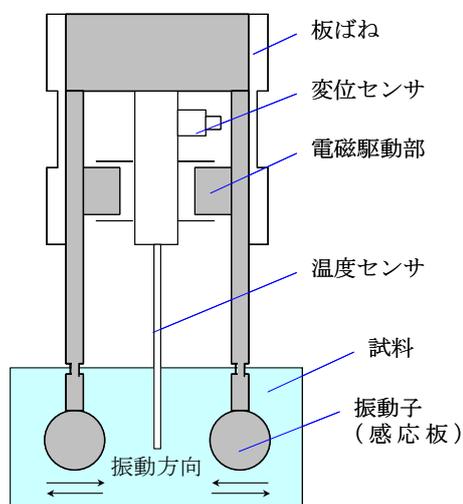


図 1 粘度検出部の機構



図 2 RV-10000 製品外観

3 .RV-10000 の仕様

RV-10000 では、振動子の固有振動数 30Hz を固定して、振幅のみを変更できるようにしました。振動子は往復運動をしますの、ある振幅を固定しても、振動子の速度はゼロから最大速度を周期的に繰り返します。ですから、シアレートを数値で表すと実効値になります。また、振動式粘度計では、運動方程式を解いて得られる粘性抵抗が、『粘度×密度』で求められます。そこで、粘度÷密度となる『動粘度』や『粘度』と区別するため、新たに粘度×密度を『静粘度』と表記することを提案しています。* 2

粘度測定の基本となる細管式粘度計では、動粘度の測定ができます。また、測定される動粘度は粘度を密度で割った値となり、粘度を出すには計測された値に密度を掛ける必要があります。

一方、振動式粘度計では静粘度が求められます。測定された数値を密度で割って粘度を求める必要があります。* 3

図 3 に RV-10000 の振動子の振幅と粘度測定範囲、及び左記条件下でのシアレートを表しました。粘度値にもよりますが、5 ~ 1000s⁻¹ の範囲で測定され、粘度値が高いと大きな電磁力が必要となり、小さいシアレートしか測定できないことが理解されます。振幅が同じでも、粘度値が高いとシアレートが小さくなるのは、粘度が高いと『ずり応力』の及ぶ範囲が広がりその結果、測定容器の寸法的な制限から、相対的にシアレートが下がる為と推測されます。

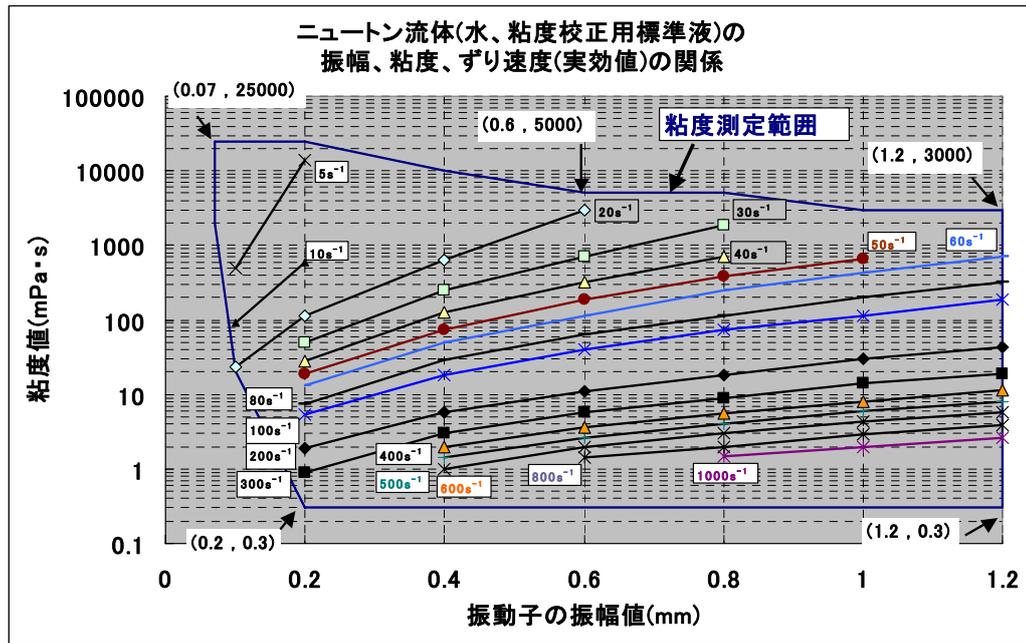


図 3 ニュートン流体の振幅、粘度、ずり速度の関係

4 .RV-10000 を利用した測定結果

振動子の振幅を変え、シアレートを変化させた粘度の測定結果について説明します。

水の測定結果が図 4 です。横軸に振動子の振幅を、縦軸に粘度を表示しています。水はニュートン流体となり、振幅変化に対して粘度値が一定になります。図 5 は重量比でコーンスターチ 62%+水 38%を混ぜ合わせたものです。振幅 0.8mm から粘度値が急上昇することが理解されます。また、僅かに混合比が変り 60%+40%では、急激な粘度上昇の見られないことが理解されます。

この現象は、現在インターネット上でも紹介されており、その上を走る事はできても、歩くと沈む現象として話題になっています。つまり強いシアレート(圧力)をかけると、粘度が急上昇して個体のような挙動を示し、圧力が弱いと液体としての性能を示します。このような挙動を示す液体は、ダイラタント流体と呼ばれています。

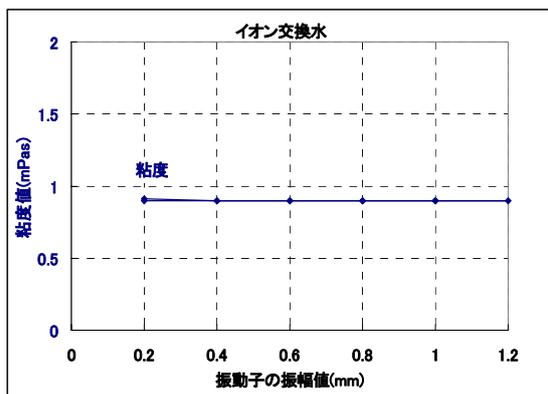


図 4 イオン交換水：振幅値・粘度

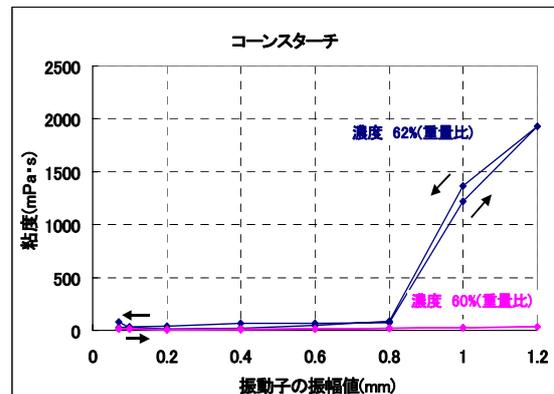


図 5 コーンスターチ：振幅値・粘度

肌用保湿クリームとトマトケチャップについて、測定した結果が図 6、7 となります。ともにシアレートが高くなると粘度の下がるビンガム流体としての特性のあることが理解されます。

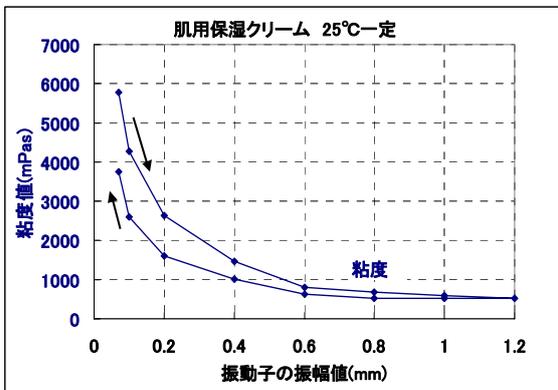


図 6 保湿クリーム：振幅値・粘度

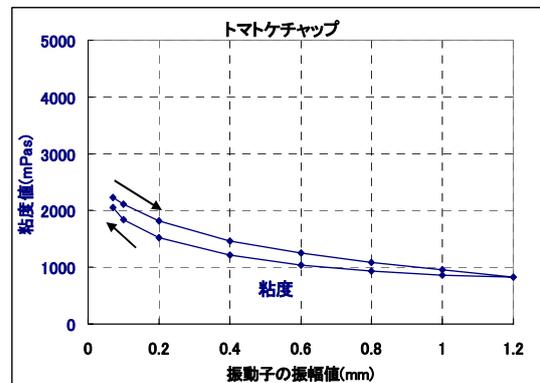


図 7 トマトケチャップ：振幅値・粘度

介護の現場で使われる、とろみ剤について測定した結果が図 8、9 となります。誤嚥による肺炎を防ぐ重要な食事補助剤となりますが、同じ分量を水に加えても、製品により得られる粘度が大幅に異なることが理解されます。また、とろみ剤を添加すると、粘度の温度係数がベースとなる水の約 2/3 に減少することが確認されます。

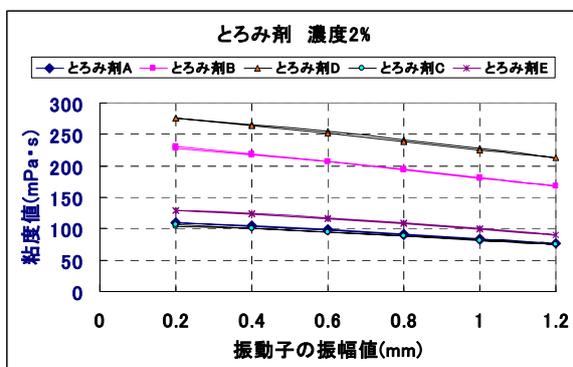


図 8 とろみ剤：振幅値・粘度

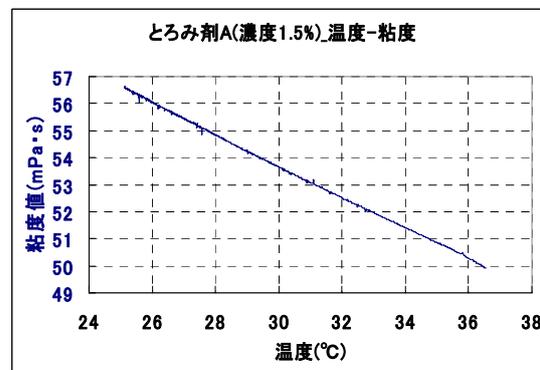


図 9 とろみ剤：温度係数(温度・粘度)

最後に、食品として構造破壊の起きやすい、ゼラチンの濃度差と温度をパラメータとした粘度変化の測定結果と、界面活性剤の曇点について図 10、11 に載せました。僅かな濃度差により粘度が大きく異なること。温度により急激に物性変化が起き、それが粘度として検出できることが、理解されます。また、界面活性剤の曇点が、温度上昇に伴う粘度の上昇と、それに続く急下降により変極点(35.4°C)として検出できる。興味深い現象が、測定されています。

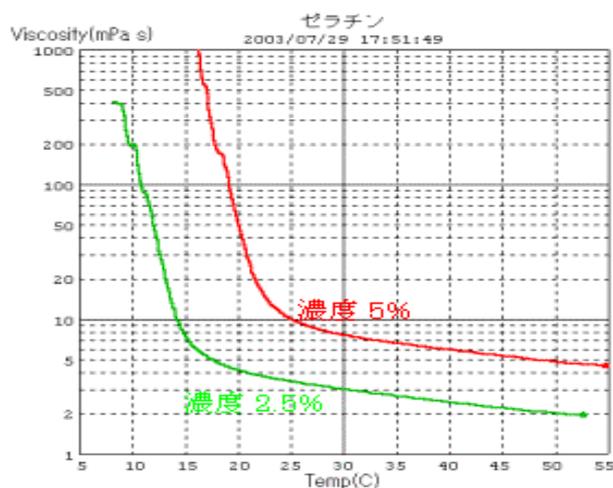


図 10 ゼラチン：温度・粘度

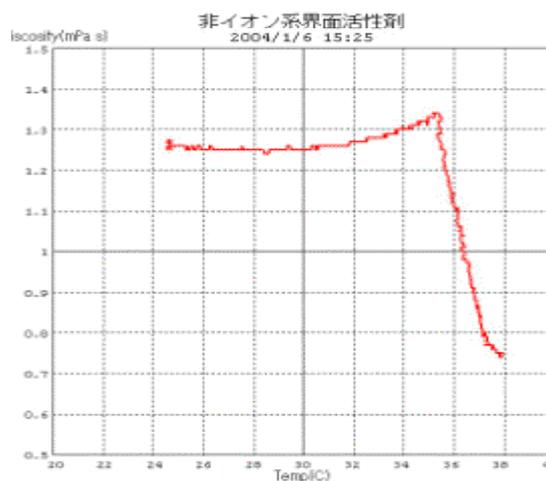


図 11 非イオン界面活性剤(濃度 1%)：
温度・粘度

5.まとめと今後

新しい振動式レオメータを製品化しました。このレオメータ：RV-10000 を利用することで、液体に最小限のエネルギーを加え、短時間での粘度測定と同時にシアレートを変更したデータ取得が可能となりました。

シアレート変更により、液体の非線形な挙動を把握したり、温度や経時変化による粘性変化を測定したり、構造破壊の起き易いゼリー状液体の粘度測定が可能となりました。

今後は RV-10000 を発展させ、液体の動的粘弾性測定が可能となる機器を、開発したいと考えています。また、これらの製品を利用することで、今まで難しかった界面活性剤の曇点とシアレートの関係を明らかにするなど、低粘度液体の研究現場における有力な物性測定方法として、提案していきたいと思っています。

参考文献

- * 1 「市販とろみ調整食品の温度と粘度変化の関係」
難病と在宅ケア Vol.17No.10 広島大学病院 安原幸美
- * 2 「振動式粘度計で測定される物理量について」
(社)計測自動制御学会計測部門 第23回センシングフォーラム (株)エー・アンド・デイ 出雲直人
- * 3 「粘度計ユーザズハンドブック」(株)エー・アンド・デイ
ホームページ