

§ 3 回転粘度計による測定

(1) 回転粘度計の形式

表-1に各形式のずり速度式と、非ニュートン流体に対する数式成立区分を表します。ずり速度式からみると、非ニュートン流体を理論的に正しく測定出来る回転粘度計は、コーンプレート式、コーキシアル式、スパイラル式であることがわかります。種々の粘性体を利用する際に重要な要素となる流動特性を、コーンプレート式、コーキシアル式、スパイラル式により表に表したものを次に示します。

粘度計 ずり速度式一覧表

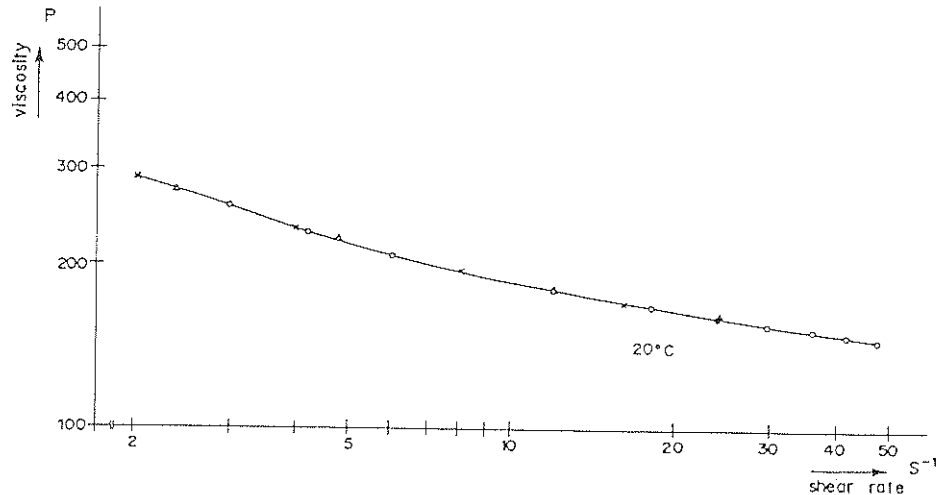
表-1

形式	粘度計	ずり速度式 (1/秒)	適用	数式成立流体	
				ニュートン流体	非ニュートン流体
直一円筒型	シリンドー式	$D_n = 0.2 N$ N: 回転数 RPM	<ul style="list-style-type: none"> ① ニュートン流体に限る ・非ニュートンの場合既視性を示す流動であればD_nは指数nに比例する。 n = 3ならば3倍変化する。 	○	×
	ディスク式	$D_r = \frac{r}{h} \times 0.1 N$	<ul style="list-style-type: none"> ・ $0 \leq D_r \leq D_n$ ① ニュートン、非ニュートンに関係無く、ずり速度を特定した計測は不可能。 	○	×
円錐型	コーンプレート式	$D = \frac{1}{\theta} \times 0.1 N$ θ: 角度 RAD	<ul style="list-style-type: none"> ① θが微小ならばDは高精度である。 ・ギャップ精度が微妙。 ・粒子を含む液体は不適。 	○	○
円筒型	コーキシアル式	$D_{a2} = 0.21 N \times \frac{R_1^2}{R_1^2 - R_2^2}$ R ₁ : 外筒半径 R ₂ : 内筒半径	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既視性流体なら $D_{a2} = 0.21 N \frac{R_1^{2n}}{R_1^{2n} - R_2^{2n}}$ となり、指数nによって大きく変化する。 	○	△
	平均コーキシアル式	平均ずり速度 $D_r = 0.1 N \times \frac{R_1^2 + R_2^2}{R_1^2 - R_2^2}$	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平均ずり速度D_rは既視性、ビンガム等広い範囲で成立する。(技術資料4) 	○	○
直一円筒型	スパイラル式	$D = \frac{h_1}{h} D_1 + \frac{h_2}{h} D_2$ h ₁ : 内筒山部幅計 h ₂ : 内筒谷部幅計 D ₁ : 山部平均ずり速度 D ₂ : 谷部平均ずり速度	<ul style="list-style-type: none"> ① 平均ずり速度理論、ポンプ理論による。 ② ずり速度一定。 ③ ずり時間一定。 	○	○

(2) 流動特性 (流動曲線)

ずり速度を変化させると粘度値も変化するものを非ニュートン流体といいます。その内でずり速度が大きくなると、粘度値が下降してゆくものを擬塑性流体といい、攪拌すると粘度が下がる性質を表しています。攪拌後、静置されると時間の経過と共に粘度が元の値に回復してゆくものがあり、この性質をチクソトロピー性といいます。図-1はチクソトロピー性を持つペーストの回転粘度計による測定結果を示しており、このグラフを流動特性 (流動曲線) といいます。

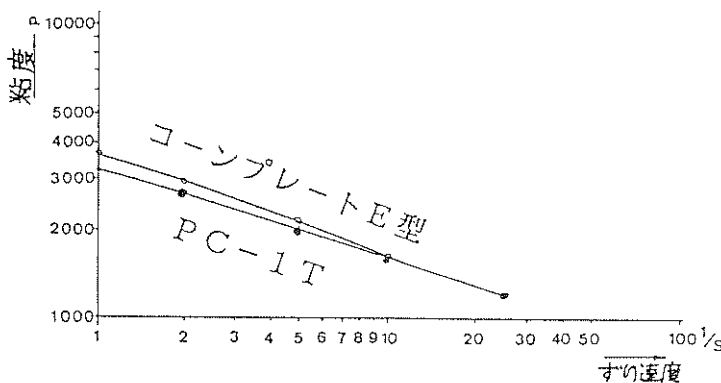
図-1



(3) 他形式とスパイラル式との測定比較

① コーンプレート式とスパイラル式

導電ペースト 粘度-ずり速度特性



実験日 1987.8.18

温度 25.0°C

粘度計・スパイラル式

○コーンプレート式

考察：非常に良く一致しています。E型が高めになっているのは、チクソ性の為で回転が高くなるとスパイラルに近似して来るのがその証拠です。但しE型にあっては、ずりが微量試料に積分的に加えられるので時間経過と共に測値は下がっていきます。

② コーキシアル式とスパイラル式

図-3でNO.1とNO.2は半径の異なるローターを用いて得たコーキシアル式の流動曲線。PC-1Tはスパイラル式で得た流動曲線。

図-4は図-3におけるNO.1とNO.2の値を平均ずり速度理論による平均ずり速度式によって修正した結果、スパイラル式による流動曲線と一致した例を示します。

図-5、図-6も同様にコーキシアル式の流動曲線を平均ずり速度に修正した結果、スパイラル式の流動曲線に近接してきたことを示します。

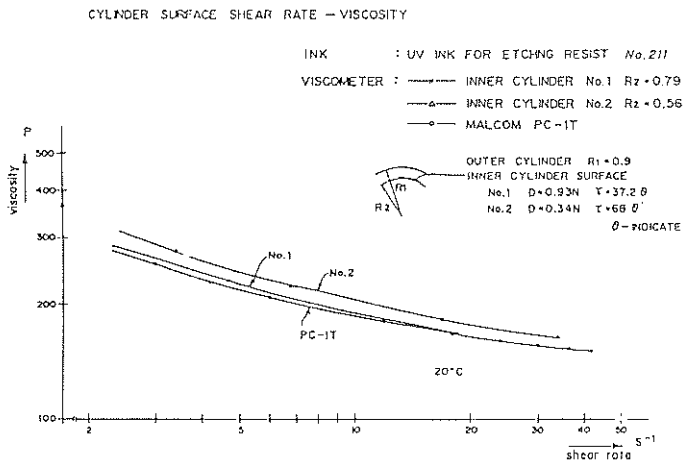


図-3

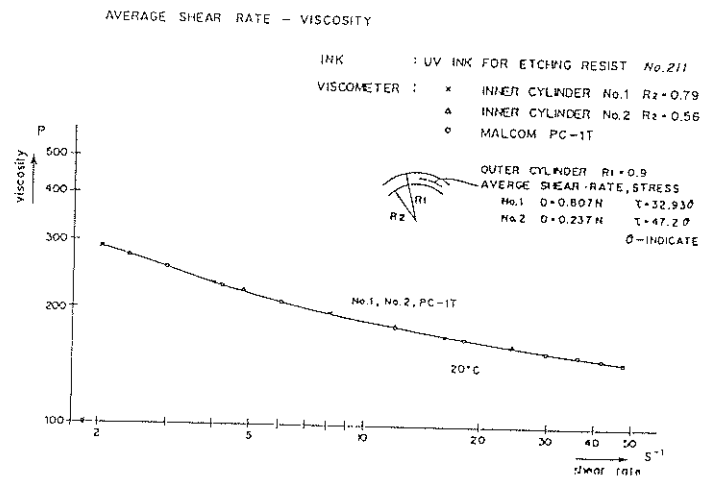


図-4

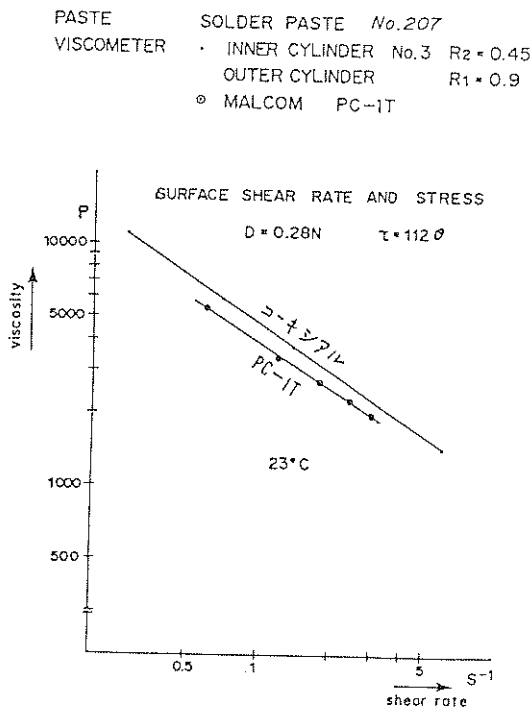


図-5

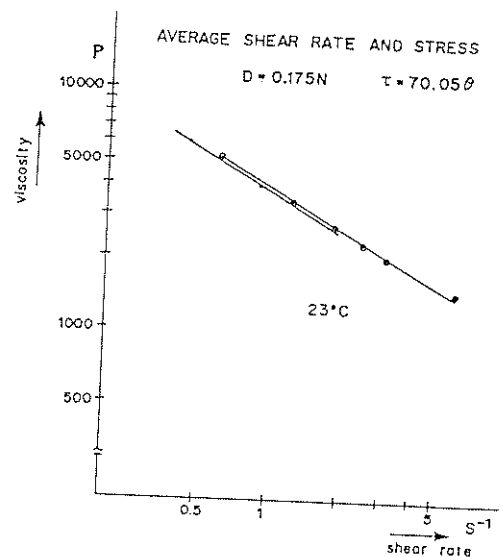


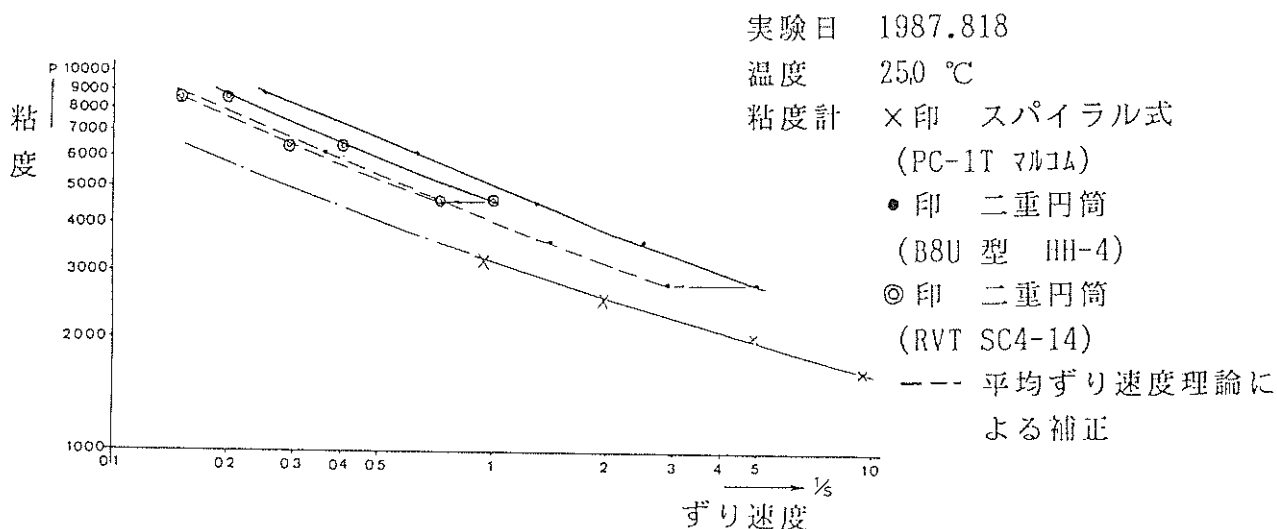
図-6

③ スパイラル式の値と一致しない例

図-7は、代表的なコーキシャル式粘度計2種とスパイラル式粘度計の測定を導電ペーストについて行なった例です。……線（平均コーキシャル式）とスパイラル式とは、ほぼ平均な傾きではありますが、測値そのものに40%近くの誤差がみられます。（ものによっては2倍以上の差がでる場合も有ります）これは、コーキシャル式の外筒と内筒間のギャップが充分狭くなっていない為に生じた、測値誤差が原因です。

（流動指数 n - チクソ指数により大きく変化します）

導電ペースト 粘度-ずり速度 特性 図-7

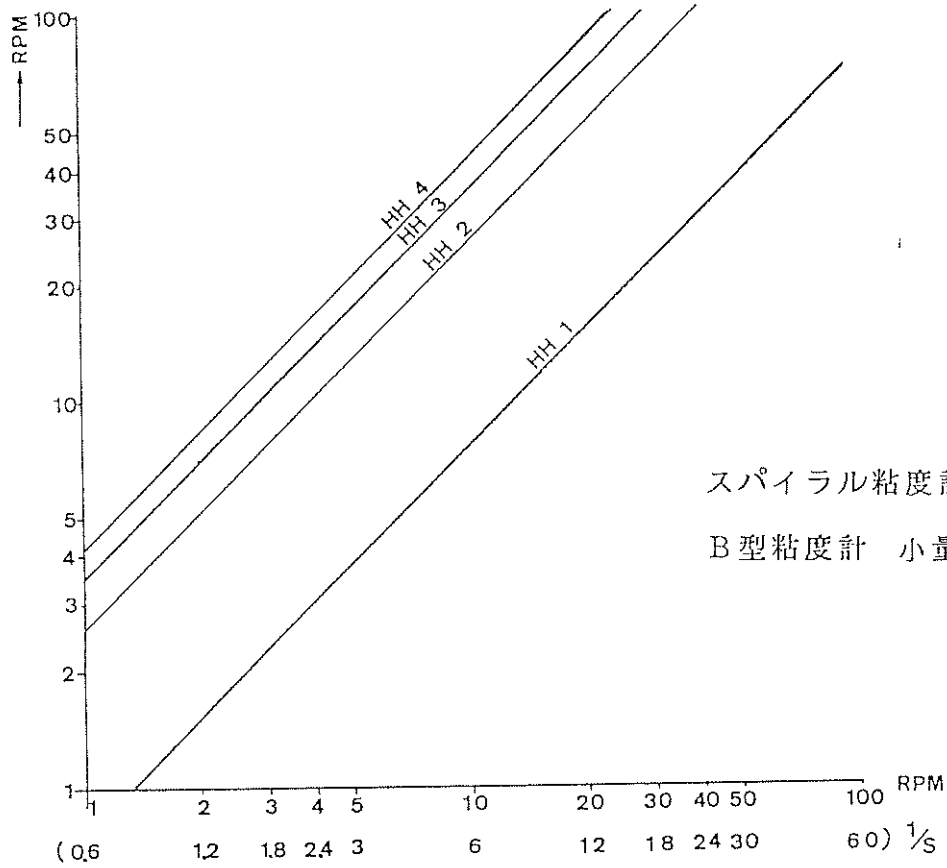


(4) コーキシャル式とスパイラル式の換算

図-8、図-9に換算グラフを示します。平均ずり速度理論に換算した読み取りが出来ます。測定時の回転数からグラフにより平均ずり速度を知ることが出来ます。

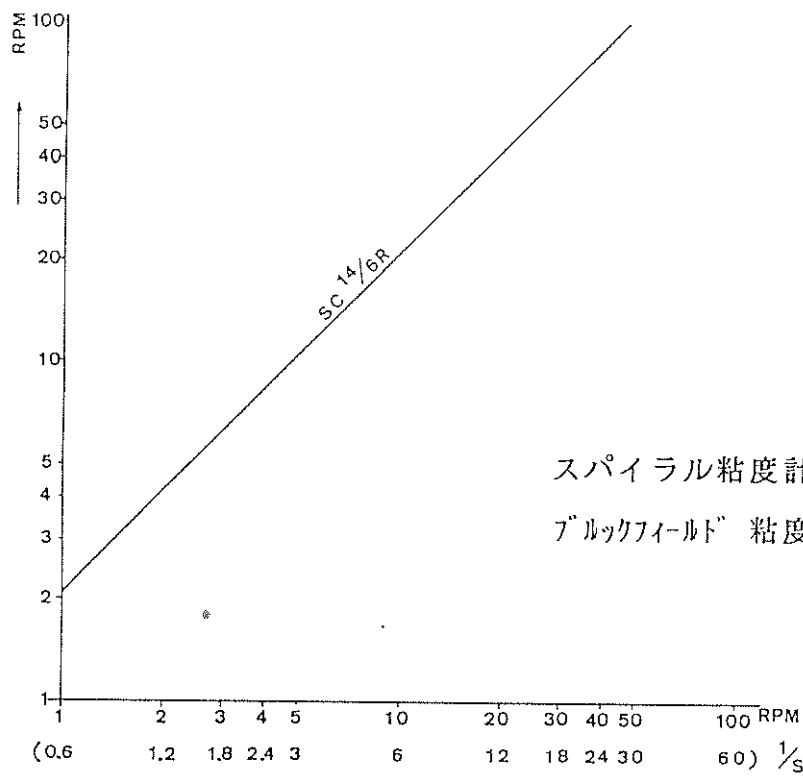
※注) 平均ずり速度に換算しても、内・外筒のギャップが充分狭くない場合の流動曲線は、スパイラル式で得られたものと一致しない場合が有ります。

粘度計 回転数 (同一ずり速度) 比較図 図-8



スパイラル粘度計 PC-1A型
B型粘度計 少量のプルダプター

粘度計 回転数 (同一ずり速度) 比較図 図-9

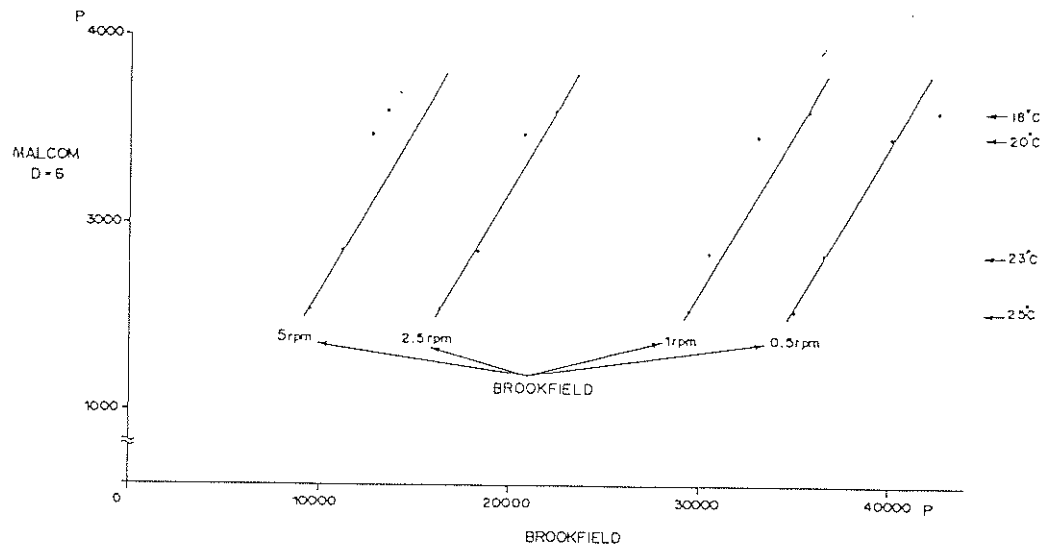


スパイラル粘度計 PC-1A型
"ブルックフィールド" 粘度計 少量のプルダプター

(5) Tバー方式とスパイラル式の相関

図-10にブルックフィールド社 T-Fバー、ヘリパススタンド使用における測値の相関図を示します。

相関図 マルコム-BROOKFIELD (ヘリパススタンド T-F) 試料(ハンダペースト)



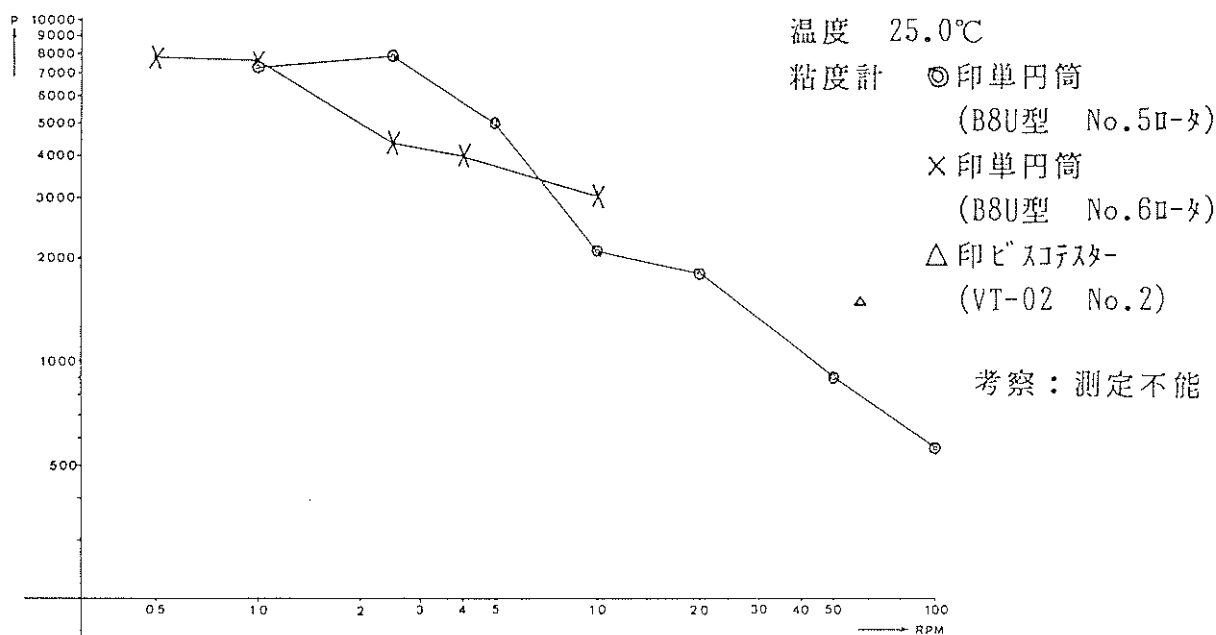
このハンダペーストの場合、マルコム粘度値×4.0 =ブルックフィールドヘリパス値となっております。この直線グラフの傾きは、ペースト毎の流動特性(チクソ性)の違いにより変化して来ますので絶対的なものではありません。

(6) 非ニュートン流体の粘度測定 補足

① ディスク式による測定例 (図-11)

ずり速度を特定出来ないことから回転数を変化させると、測値は安定せずなにをみているのかわからない。

導電ペースト 粘度-回転数 特性 図-11



② 温度による流動曲線の変化 (図-12・13)

図-12

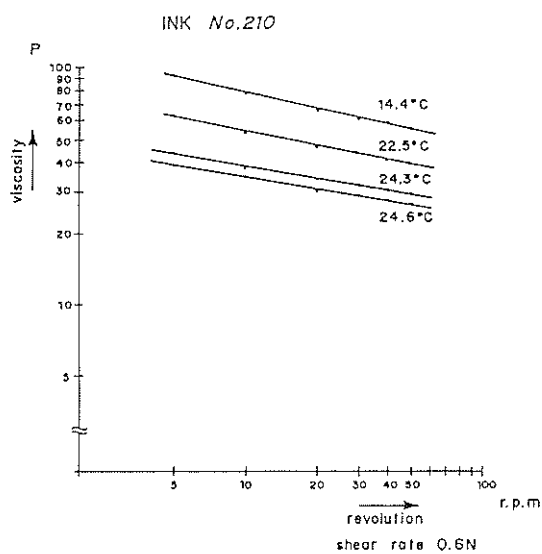
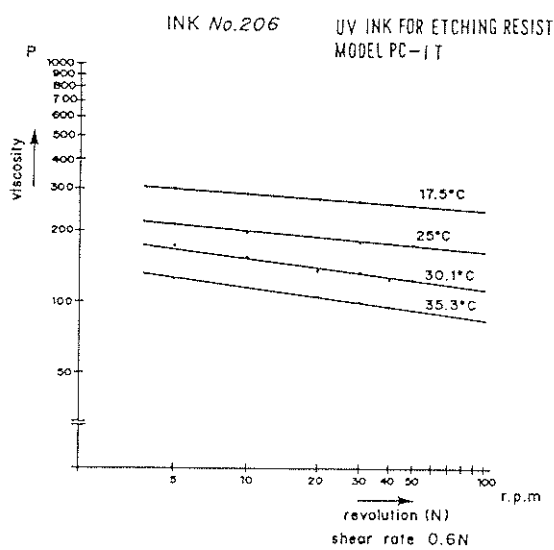


図-13



(7) 温度-粘度曲線 (スパイラル式) 図-14

5、10、50 RPMにおける温度-粘度曲線が平行であることを示し、流動特性を求め際にローター変速をしても、循環式である為に温度条件が非常に安定し、再現性に優れることを証明しています。

温度-粘度 図-14

