顔料懸濁液の遠心分離機による分級

UDC
667.622.067.5

A study on centrifugal grading of pigment suspension

大藪 権昭*・川井 均*・中西 千長*

ÔYABU Yosiaki KAWAI Hitosi NAKANISI Yukinaga

要 旨

塗料の製造を対象とした範囲の酸化チタン顔料の懸濁液について、顔料粒子の径が 5μ 以上のものを除去することによる粒度管理および能率向上の目的で遠心力による分級を行なった。

適当な条件の酸化チタン顔料の懸濁液を使用することにより、得られる分級結果は理論的計算値とほぼ一致することが認められた。適当な懸濁液の条件は、分散媒の粘度が低く、懸濁液のもつ構造粘性の程度が少なく、構造粘性の回復の時間が長いことである。このような系に対しては、円筒コンベヤ形遠心分離機は適しているものの一つであり、沈降粒子は自動的に機外に除去することができる。

1. 緒 言

塗料を製造するにあたって、塗料中の顔料の粒度分布は塗料の粘性並びに、塗膜の性質および外観に大きな影響を与える。特に粒度の大きい顔料粒子の存在は、たとえその数が少なくとも非常に影響するところが大きい。従来塗料中の顔料の粒度管理に使用されている方法は、たとえば Hegman のグラインドゲージで、その分散工程中の粒度の検査およびエナメル中の粒径の大きい未分散粒子のドラバル形遠心分離機による除去などであった。しかし、エナメルは高粘度であるのでドラバル形遠心分離機を使用した場合でも、単位時間の処理量は少なく、除去顔料は機内に留まっているので一定量処理すれば分解洗浄を必要とした。本研究においては、顔料に酸化チタンを使用し塗料製造の見地より、塗膜の諸性質に悪影響を及ぼす粒径の大きい顔料を懸濁液より連続的に高能率に除去することにより、塗料中の顔料の粒度管理を行なうことを目的としたものである。

遠心分離機により顔料粒子を分級するにはその粘度が低く、かつ構造粘性を示さない系を適用するのがよい。

このことはこのような系に対しては顔料粒子の沈降がストークスの法則に従うようになることより自明である。しかし塗料を対象とする場合、自らその懸濁液の顔料、溶媒百分率は制限をうける。この条件を満足させて、なおかつ分級を行なうに適した懸濁液をつくることが重要な手段である。このような懸濁液は顔料、溶媒の外に顔料の分散を助ける適当な展色剤または界面活性を与える物質を考慮することによって得られる。このような分散剤はいかなる性質を有するものであるか、また顔料はどんな状態がよいかなどは非常に興味ある問題である。しかしこのような点については非常に大きな問題を含むので稿を改めて報告することとし、本報告においては顔料の遠心力による沈降分離に焦点を絞って記述することとする。

2. 顔料懸濁液中の粒子の沈降速度

2.1 理論的考察

顔料懸濁液中の顔料粒子の沈降速度はその粒子の容積濃度、形、粒子径、分散状態により著しく影響をうける。ストークスによると粒子が完全な球形であり、粒子の懸濁液中の濃度が粒子の相互作用がないほど低いときはその沈降速度は次式により与えられる。

$$V_s = \frac{2g(\rho_s - \rho_f)r^2}{9\eta} \quad (1)$$

ここに g は粒子に働く重力の加速度、 r は粒子の半径、 ρ_s は粒子の密度、 ρ_f は媒体の密度、 η は媒体の粘度。

Steinour¹⁾ は粒子の濃度が became 大になった場合について考察しストークスの式を変形した。すなわち顔料濃度が増大したために全懸濁液に対する液体部分の占める体積百分率 ε を考える。(ストークスの場合は $\varepsilon=1$) 粒子の受ける抵抗 R はストークスの場合 $6\pi\eta r V_s$ であるが、 ε の液体容積濃度がある場合はその抵抗は次のようになる。

$$R = 6\pi\eta r V / \phi(\varepsilon) \quad (2)$$

ここに $\phi(\varepsilon)$ は粒子の形および大きさの因子で ε のみの関数である。さらに粒子は互に存在する粒子のために浮力を受けるから

昭 36. 11. 8 受理

* 日本ペイント株式会社

$$\rho_s - \rho_m = \rho_s - [(1-\varepsilon)\rho_s + \varepsilon\rho_f] = (\rho_s - \rho_f)\varepsilon \quad (3)$$

ただし ρ_m は懸濁液の見掛けの比重

ゆえに粒子が周囲の液に対して沈降する速度を V とすれば (2), (3) 式より

$$V = \frac{2g(\rho_s - \rho_f)r^2\varepsilon\phi_{(\varepsilon)}}{9\eta} \quad (4)$$

V と固定した水平面に対する速度 Q との関係を求めるのに一定時刻における水平切断面を通過する顔料と液体の体積は等しく、方向は反対である。ゆえに

$$Q = \varepsilon V \quad (5)$$

(1), (4) 式を (5) 式に代入して

$$Q = V_s \varepsilon^2 \phi_{(\varepsilon)} \quad (6)$$

$\phi_{(\varepsilon)}$ は流動空間の大きさと形の影響を示している。Emersleben²⁾ は $\phi_{(\varepsilon)}$ の大きさおよび形の影響の一部は水力学的半径を使用することによって評価され、残った部分は濃厚懸濁液に対してはほとんど一定であるとしている。

$$\text{水力学的半径} = \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)\sigma} \quad (7)$$

ただし、 σ は単位体積当りの表面積であって、粒子が球の場合は $3/r$ に等しい。すなわち

$$\phi_{(\varepsilon)} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \theta_{(\varepsilon)} \quad (8)$$

$\theta_{(\varepsilon)}$ は水力学的半径を使用することによって評価することができない形の影響を示す。(8) 式を使用すれば

$$Q = V_s \frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon} \theta_{(\varepsilon)} \quad (9)$$

$\theta_{(\varepsilon)}$ が高濃度で一定であることは、Kozeny, Fair & Hatch Carman 等により ε の 0.26 から 0.90 の範囲で確かめられている。

Powers は Poiseuille の法則から出発して水力学的半径を使用し、また粒子の落下によって生ずる静水圧から圧力こうばいを決定することにより、セメントおよび他の粉体の濃厚凝集懸濁液の沈降速度を提出している。

$$Q = \frac{g(\rho_s - \rho_f)}{5\eta\sigma^2} \frac{(\varepsilon - \omega_i)^3}{1-\varepsilon} \quad (10)$$

ここに ω_i は試験する粉体について独立でありポルトランドセメントでは約 0.28 である。粒子が球であると $\sigma = 3/r$ を代入して次式を得る。

$$Q = 0.1 V_s \frac{(\varepsilon - \omega_i)^3}{1-\varepsilon} \quad (11)$$

Steinour は直径 0.174 cm の tapioca が潤滑油の中に完全に分散しているときの沈降速度を実験し、 ε の広い範囲において $\omega_i = 0$ であり $\theta_{(\varepsilon)} = 0.123$ であることを示した。

$$Q = 0.123 V_s \frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon} \quad (12)$$

(12) 式は $\varepsilon = 1$ に近い点では Q は無限大になる。この不都合をなくするために、彼は次の実験式を提出した。

$$Q = V_s \varepsilon^2 10^{-1.82(1-\varepsilon)} \quad (13)$$

すなわち粒子の形が球であって完全に分散している場合は (13) 式で沈降速度は与えられる。さらに Steinour は粒子の形が球形でなく、角をもったものに拡張した。この場合液体の一部に粒子と共に移動する「不動液体」を考えると、これは粒子の体積に比例する。この比例常数を α とすると「不動液体の全量」は $\alpha(1-\varepsilon)$ になるから (12) 式の ε より $\alpha(1-\varepsilon)$ を引くと次式を得る。

$$Q = 0.123(1+\alpha)^2 V_s \frac{\left(\varepsilon - \frac{\alpha}{1+\alpha}\right)^3}{1-\varepsilon} \quad (14)$$

ここで $\omega_i = \alpha/(1+\alpha)$ とおくと $\alpha = \omega_i/(1-\omega_i)$ ゆえに

$$Q = \frac{0.123 V_s}{(1-\omega_i)^2} \frac{(\varepsilon - \omega_i)^3}{1-\varepsilon} \quad (15)$$

この式は実験事実とよく一致している。さらに $\varepsilon = 1$ に対しても適用し得るような次の実験式を提出した。

$$Q = V_s \left(\frac{\varepsilon - \omega_i}{1 - \omega_i}\right)^2 10^{-1.82 \frac{1-\varepsilon}{1-\omega_i}} \quad (16)$$

金剛砂に対する実験結果より下記のような ω_i に対して (16) 式はよく一致することが見出された。

Specific surface cm ² /cc	Average Diameten μ	ω_i
4,930	12.2	0.268
6,250	9.6	0.288
12,950	4.6	0.350

なおこの式は“floccluate”した懸濁液に対してもかなりよく一致した。さらに Steinour は濃厚懸濁液で粒子の粒度が巾を持って存在しているときは

$$Q = \frac{0.246}{(1-\omega_i)^2} \cdot \frac{g(\rho_s - \rho_f)}{\eta\sigma^2} \cdot \frac{(\varepsilon - \omega_i)^3}{1-\varepsilon} \quad (17)$$

ただし σ は空気透過法によって求めた Specific Surface Value を s_0 とする $\sigma = s_0/1.22$ となる。

一方 Dintenfass^{3,4)} は (16) 式の $1-\varepsilon/1-\omega_i$ は全容積に対する (粒子+不動液体) の体積、すなわち沈降容積 F に相当する。すると $(\varepsilon - \omega_i/1-\omega_i)$ は実際に流動する液体 $(1-F)$ に相当するから (16) 式は次式で表わされる。

$$Q = V_s (1-F)^2 10^{-1.82F} \quad (18)$$

そして完全に分散している場合は η_r を媒体の粘性係数に対する懸濁液の粘性係数の比とすれば

$$\log \eta_r = \frac{F}{1-F} \quad (19)$$

となる。(19) 式は F が沈降容積としてではなく、顔料相の水力学的容積とするならば、チキソトロピックな凝

集をした懸濁液に対しても成立することが知られている。

2.2 実験方法

塗料を目的とする顔料懸濁液より遠心力によって顔料を分級するのに適した顔料-展色剤系を検討して得られた組成のうち表1および表2の配合の系について懸濁液中での顔料粒子の沈降速度とその粒度を調べた。

表1 懸濁液Ⅰ (アミノアルキド樹脂塗料用)

配合物質	重量	比重	容積
酸化チタン	66.0	4.1	16.1
ワニス	6.6	1.0	6.6
キシロール	27.4	0.856	31.7
合計	100.0		54.4

表2 懸濁液Ⅱ (ニトロセルロースラッカー用)

配合物質	重量	比重	容積
酸化チタン	60.6	4.1	14.8
ワニス	7.3	1.0	7.3
混合溶剤	32.1	0.84	38.2
合計	100.0		60.3

酸化チタンの粒度分布は、そのモード径は0.2~0.3 μ であって粒径の大きな方に尾を引いている形としているのが普通である。顔料の粒度分布を論ずる場合は、その顔料がどんな系において測定されたかを留意する必要がある。空気との界面を有する顔料を液体中に入れて分散させた場合、粒子の分散または凝集を起すので、その粒度分布は変化するのが当然である。よって懸濁液の粒度を調べるのに次の方法を使用した。

i) 顕微鏡試験 試験管に懸濁液を入れ重力場で沈降させる。すなわち濃厚顔料溶液のまま沈降させる。この場合沈澱した顔料は試験管の底部に、硬く沈降しているから容易に上層液を分けて取り出すことができる。この粒

子を100倍の顕微鏡で検鏡する。肉眼の分解能を0.3mmとすれば 0.3×10^{-2} mmすなわち3 μ までの凝集粒子はその形状を認め得る。100倍程度で観察するのは一度に見得る視野が広く多くの試料を短時間に見るためである。この事実より懸濁液を使用溶媒で希釈して検鏡することによって約3 μ 以上の凝集粒子を知ることができる。もっとも懸濁液を溶媒で希釈すれば存在する系に変化を与えるための理論的には分散状態は変化するが、粒子の界面の状態はすでに溶媒で湿潤されているからその変化は少なく、またこのような系における粒子が凝集する場合と未分散の塊状粒子とは顕微鏡下で識別し得る。

ii) 光沢測定 懸濁液の粒子の沈降時間を変化させて沈殿粒子を除去し、上層液に必要な成分を添加してエナメルとして塗膜の光沢を測定する。

iii) 沈降試験 平底の試験管(長さ約15cm, 直径1.5cm)の懸濁液を、その高さが10cmになるように入れて密栓し、そのまま24時間、48時間静置後の沈殿物の全懸濁液に対する重量百分率を求める。沈殿物の沈降容積は小さく、またその性状は密に充テンされているので、懸濁液を傾斜により容易に分けることができる。

2.3 実験結果

顕微鏡試験、光沢測定および沈降試験結果を表3に示す。

2.4 考察

1) 懸濁液ⅠおよびⅡについての粘度を表4に記す。

表4より懸濁液ⅠはⅡに比べて構造粘性が大きく構造

表4 粘度 (cps, 25°C)

回転粘度計の回転数		6	12	30	60	T. F.*
Ⅰ	カキマゼ直後	130	95	65	48	1.79
	24時間後	152	108	69	51	2.12
Ⅱ	カキマゼ直後	—	11.5	12.4	13.5	0.85
	24時間後	—	11.5	12.4	13.5	0.85

* T. F. = 12 回転の粘度/60 回転の粘度

表 3

沈降時間	0 時間			24 時間			48 時間		
	検鏡法	光沢*	沈降** (%)	検鏡法	光沢*	沈降** (%)	検鏡法	光沢*	沈降** (%)
懸濁液Ⅰ***	5 μ 以上の粒子をかなり認む	92	0	5 μ 以上若干あり	95	1.6	5 μ 以上ほとんどなし	97	1.8
懸濁液Ⅱ***	同上	83	0	5 μ 以上ほとんどなし	86	1.8	同上	87	2.0

* Gardner の 60° 鏡面反射率

** 全懸濁液に対する沈降物質の百分率

*** 懸濁液は実験用高速かく拌機 (16,000 rpm) で 30 分カキマゼて得られたものである

注 懸濁液の沈降距離は 10 cm とした

の回復が早いことがわかる。

2) 懸濁液について粒径 5μ の粒子の重力場における沈降速度を計算する。

a) 懸濁液 I について $\eta=0.016$, $\rho_f=0.89$, $\rho_s=4.1$ である。

(1) 式より $V_s=162 \times 10^{-3}$ cm/min

$\omega_i=0.35$ と仮定すれば $\varepsilon=0.70$ (表 1 より) であるから

(16) 式より $Q=V_s \times 0.0202=3.27 \times 10^{-3}$ cm/min

(18) 式より計算しようとするばまず F を決定しなければならない。この懸濁液は幾分構造性を有するので F の値を決定するための粘度が決定できない。よって F の実測を行なった。懸濁液を 1,000G の遠心分離機に 30 分かけると次の結果を得る。

	比 重	容 積
懸濁液 56.9 g	沈殿物 16.7g	2.29
	上層液 40.2g	1.69
		23.8

この沈殿物の不揮発物の百分率は 84.96% であった。ゆえに表 1 配合で 660 の顔料がすべて沈降した場合も顔料の充テン状態は余り変化しない。すなわち空間率はほとんど不変であると考えてその時の容積 x を求める。

(この場合ワニスの重量は少量であるから無視する)
 $x \times 2.29 \times 0.846 = 660$ これより $x=339$ を得る。懸濁液の容積は 544 (表 1) であるから

$$F=339/544=0.624$$

これより Q を (18) 式を使用して求めると

$$Q=V_s \times 0.0103=1.67 \times 10^{-3}$$
 cm/min

(16) 式 (18) 式の値より粒子の沈降速度は 2×10^{-3} cm/min とする。

b) 懸濁液 II について $\eta=0.016$, $\rho_f=0.866$, $\rho_s=4.1$ である。

ゆえに, $V_s=165$ cm/min

$\omega_i=0.35$, $\varepsilon=0.75$ を使用すれば

$$Q=V_s \times 0.755=12.4 \times 10^{-3}$$
 cm/min

これより 24 時間, 48 時間で 10 cm 沈降する粒子径を求めると表 5 のようになる。

この結果は顕微鏡観察とほぼ一致するといつてよい。

3. 遠心力による懸濁液粒子の分級

3.1 遠心分離機選定の根拠

対象にしている顔料懸濁液は前項の実験により遠心効果 $\times$ 時間 (分) で考えれば懸濁液 I では 2,000~3,000 懸濁液 II では 1,500 程度あればよいことがわかる。

図 1 遠心沈降機

今遠心分離機について考察を加える。大山⁵⁾によると図 1 において、沈降距離 $\times$ [cm] は粒子の回転軸からの距離に比べてはるかに小さく液体の流速 u [cm/sec] は容器内一様で上下両端の影響はないものとし、角速度は一定で流体は回りがなく一定回転をしているものとする。A 面に入った粒子が完全に沈降分離される条件は流体の流速を u とするとき B 面に達するまでに X だけ沈降していればよい。したがって

$$X/v_{te} \leq l/u = V/M \quad (20)$$

ここで v_{te} は粒子終末沈降速度, l は A-B 間の距離, V は回転体内の液体の容積, M は給液速度である。ゆえに今遠心効果を Z とし, 懸濁液が機体内を通過するに要する時間を t 分とすれば $V/M=t$, $V_{te}=Q \cdot Z$ となるから

$$X \leq Q \cdot t \cdot Z \quad (21)$$

Q : [cm/min] 粒子終末沈降速度

すなわち (21) 式を満足するような遠心効果および給液速度を与えてやればよい。

次に遠心分離機の形式について考察する。現在塗料に使用されているドラバル形遠心分離機は遠心効果は大きい沈殿物を機外へ運転中に取出すことはできない。またそれができる形式のものには沈殿物に可塑性を要求される。本懸濁液のような顔料濃度が高く樹脂の少ない系の沈殿物は密で硬いので、この形式の遠心分離機には不適当である。遠心効果および沈殿物の連続的機外除去の二点より円筒コンベヤ形遠心分離機を選定した。

3.2 円筒コンベヤ形遠心分離機の機能

a) 構造, 選定した連続式横形遠心分離機の構造を図 2 に示す。本機の主要部分は高速回転するボウルとボウル内で外筒ボウルとわずかの回転差をもって回転するスクリーとがある。その作動原理は図から明らかなように原液を機体の中心より供給すると遠心力により粒子は沈降して円筒の周壁に達し、スクリーで掻き送られて

図2 円筒コンベヤ形遠心分離機

機外に排除される。

3.3 使用遠心分離機の常数

a) ボウルの回転速度と遠心効果 液に与えられた遠心効果は回転速度 ω と液体吐出口よりの回転軸までの距離 r により決定される。これを表6にまとめる。

b) ボウルと掻出スクリーンの回転差

図3に示す。

表6 遠心効果

n (rpm)	$r(\text{cm})$	14	13	12	11
	$l(\text{cm})$	24.0	32.5	41.5	49.0
	$X(\text{cm})$	2	3	4	5
3,420		1,830	1,700	1,570	1,440
2,850		1,270	1,180	1,090	1,000
2,280		811	753	695	637
2,000		626	582	536	492

n : ボウルの回転数

r : 液体排出口の中心よりの距離

l : 液の長さ

X : 液深

図3 ボウル回転数とスクリーン回転差の関係

3.4 分級実験

顔料懸濁液 I および II を分散機械にかけて調製し、その液とギヤーポンプで遠心分離機に送り込む。流量は圧力で調整した。分級後の懸濁液は検鏡、沈降試験およびエナメル之光沢の測定を行なった。

3.5 実験結果

使用した懸濁液の量は I, II, それぞれ 200 kg である。実験条件および結果を表7にまとめる。

表7 実験条件および結果

試料	懸濁液 I			懸濁液 II		
	I	II	III	I	II	III
条件						
回転数 (rpm)	2,850	2,280	2,000	2,850	2,280	200
遠心効果	1,090	811	626	1,090	811	626
r (cm)	12	14	14	12	14	14
結果						
t (min)	2.0	1.4	1.5	1.9	1.2	1.0
平均給液量 (kg/min)	12.6	11.3	9.0	13	13	13
排出沈殿量 (kg)	7.0	5.2	1.0	8.5	5.5	2.5

注1 t : 機内滞留時間は液が機内に入り始めてから出始めるまでの時間

2 排出沈殿量は正確には測定が困難であった

本実験の場合の懸濁液の粘度は表8のとおりであった。

表8 粘度 (cps)

懸濁液	回転数	6	12	30	60	T.F.
I		36.0	32.5	24.0	20.0	1.62
II		—	11.5	12.5	13.5	0.85

分級した液の試験結果は表9, 表10に示される。

表9 懸濁液 I

Sample	測定法	48 hrs の沈降量 %	光沢	検鏡
I		0.8	98	5 μ 以上ほとんどなし
II		0.9	97	"
III		1.2	94	5 μ 以上若干あり
原液		1.6	91	5 μ 以上かなり認める

表10 懸濁液 II

Sample	測定法	24 hrs の沈降量 %	光沢	検鏡
I		0.7	88	5 μ 以上ほとんどなし
II		0.9	87	"
III		1.3	85	僅少認める
原液		2.0	83	かなり認める

3.6 考察

1) 本分級試験により除去される粒子径を 5 μ とし、(16) 式が成立立するとすれば懸濁液 I および II では重

力場における沈降速度は 3.27×10^{-3} cm/min, 12.4 cm/min である。また懸濁液 I では前者のものより低い粘度になった。これは使用した分散機の相違および顔料の含水率が原因していると思われる。(17) 式より F を求めて (18) 式より Q を計算する。 F を求めるに際して遠心機内の液体は回転容器に対して 1~3% のおくれがある⁵⁾。本実験の場合回転数は 2,000~2,850 が使用されているから 20 rpm~85 rpm の速度こうばいをもって考えると考えられる。したがってその平均速度は 50 rpm である。ゆえに 50 rpm の粘度を使用すべきであるが安全率を見て 30 rpm の粘度 24 cps を使用して F を求める。 $\eta_0 = 1.6$ cps であるから $F = 0.541$, $Q = 3.48 \times 10^{-3}$ cm/min を得る。同様にして懸濁液 II について計算すると $F = 0.473$, $Q = 6.3 \times 10^{-3}$ cm/min をうる。ゆえに懸濁液 I および II は遠心分離機内では、両者の低い方の値をとり遠心効果 1 に対してそれぞれ 3×10^{-3} cm/min, 6×10^{-3} cm/min の速度で沈降していると考えて (21) 式の条件を調べてみる。表 11 のとおりとなる。(21) 式の条件は本試験においてはすべてのサンプルに対して満足しているが試験結果からみて、サンプル III が両者共不満足であるのは遠心分離の中では液が流れていること、およびスクリーが回転していることによる液の乱れに

よる影響が出ているものと思われる。

2) 遠心分離機の液体吐出口より出る液の厚みを計算する。回転軸よりの半径 r_r より r_F までの厚みで、液が流出するとすれば、この時の理論流出量 M_{th} および実際の流出量 M は次式で与えられている⁵⁾。

$$M_{th} = \frac{2}{3} \pi \omega (r_r^2 - r_F^2)^{3/2}$$

$$M = C_D \cdot \frac{2}{3} \pi \omega (r_r^2 - r_F^2)^{3/2}$$

この C_D はレイノルズ数が 8 以上のときは $C_D = 0.62$ である。懸濁液 I のサンプル I について、懸濁液の比重は約 1.8 であり給流量=流出量であるから

$$M = 12.6 \text{ k/l} \cdot 1.8 \div 7 \text{ l/min}, r_F = 12$$

であるから厚み Δr は 0.06 cm となる。本機の場合は実際の吐出口は考えている円環の 1/3 だけが実際の吐出口になって空隙になっているから厚みは 3 倍になると考えても 0.18 cm しかない。ゆえに沈降距離には影響しない。

3) 本研究では酸化チタンを対象としたが懸濁液の性質が適当であれば、すなわち分散剤を適当に選択して顔料懸濁液の粘度を管理すれば目的の粒径の沈降速度を計算しそれに応じて遠心分離機の条件を選ぶことができる。

文 献

- 1) Steinour : *Ind. Eng. Chem.* 36, 618, 840, 901 (1944)
- 2) Emersleben : *Pysik. Z.* 26, 601~10 (1925)
- 3) L. Dintenfass : *Chem. & Ind.*, 98 (1958)
- 4) L. Dintenfass : *Chem. & Ind.*, 141 (1957)
- 5) 大山義年 : 新化学講座 V-3 “遠心分離” (日刊工業) (昭 36. 11. 18 関西支部秋季研究発表会において発表)

表 11 (21) 式の条件

Sample	懸濁液 I			懸濁液 II		
	I	II	III	I	II	III
X	4	2	2	4	2	2
t	2.0	1.4	1.5	1.9	1.2	1.0
Z	1,090	811	625	1,090	811	629
Q.t.Z	6.6	3.45	2.8	7.5	5.85	3.88