絹糸の屈折率に関する研究（Ⅳ）

液状絹の伸長条件と配列度との関係

石川　博・呉　祐吉

Hiroshi ISHIKAWA and Yukichi GO: Studies on the Refractive Indices of Silk Fibres (IV)
On the Relation between the Optical Orientation and the
Stretching Conditions of Liquid Silk

（1958年9月20受理）

絹フイブロインの繊維形態発生機構は蛋白質の"機械的変性"[1]とも称すべき極めて特異な繊維化機構によるものであり，これは湿式紡糸法におけるような化学的分解作用も凝固作用も必要とせず，乾式紡糸法におけるような外部からその溶剤を蒸発させる操作も必要とせず，また熔融紡糸におけるような高温から急に冷却することも必要とせず，単なる機械的引張り作用のみによつて凝固繊維化してしまう特異な現象なのである。

そのため古くから多くの研究者の注目するところとなり，その繊維化機構につき色々な推測が行われ，[2]最近では大部理論的な取扱[3]もなされるようになつてきた。また一方結晶構造についてもX線的に興味深い報告も多数行なわれている。[4]しかしその本質である"機械的変性"の機構は未だ明らかにされていないようである。

筆者の一人はさきに熟蚕の体内より摘出した絹糸腺の液状絹を人為的に伸長繊維化してこれにともなう複屈折の変化を測定し，このような単なる人工的な機械的繊維化によつてもほとんど天然絹糸の複屈折と同一の配列度をもつ凝固絹（テグス）がえられることを報告した。そのさい繊維化条件を決定するため稀醋酸浸漬と伸長倍数の複屈折におよぼす影響について調査したのであるが，伸長倍数の影響が極めて大きく，醋酸浸漬の影響は稀薄溶液で短時間浸漬のためかほとんどその影響は認められなかつた。すなわち引張り作用は絹フイブロインの繊維化機構の本質であることを示している。しかるに醋酸浸漬を行わず蚕体内から取り出したままの液状絹を繊維化するためには，極めて高速度(20cm/sec以上)でしかも一定伸長倍数(15～20倍)以上に伸長しなければならない。しからば実際の蚕児の吐糸繊維化はどうであろうか。吐糸速度は緩かで伸長倍数もそれほど大きいものとも思われない。すなわち前述のように本質的には機械的引張り作用により同一複屈折を示す絹フイブロインが，かかる機構的な差異によつて生成される理由を解明するため，液状絹の pH，濃度，温度および引張り作用などの凝固繊維化条件を種々に変化し，生成した絹フイブロインの複屈折から，天然絹糸の凝固繊維化機構を推定しようとして本実験を行つた。

本実験を行うにあたり実験材料を多数しかも長期に渡つて恵与していただいた本学部山口教授，竹田助教授，長島助教授，小平講師らに深謝するとともに，終始実験に協力し実験試料を調製していただいた越佐輪子氏に厚く御礼申上げる。なお本研究の一部は文部省科学研究費（呉各個研究）によることを附記し，当局に対し深謝の意を表します。

実験方法

前報[6]において明らかにしたように，液状絹の引張り繊維化の第一条件として伸長倍数が挙げられる。これは分子配列を定めるためには，極めて大きな因子であり，繊維化条件と配列度との関係を知るためには，この伸長倍数を規定しないかぎり他因子の影響が分らないと考えて，伸長倍数をある一定伸長率に規定し，醋酸濃度，浸漬時間および引張り速度などの分子配列におよぼす影響について実験を行つた。

用いた試料は昭和32，33年夏本学部蚕品種 日115×支108，長光×信和の熟蚕の体内より摘出した絹糸腺であり，各々一定の濃度の醋酸に一定時間浸漬処理を行つたのち，水洗，附着した水を濾紙にてのぞき，規定された伸長倍数に一定の伸長速度をもつて伸長し繊維化させたものである。

a.　醋酸処理条件

本来ならば醋酸処理によつて変化した液状絹の pH をもつてその変化を示すべきであるが，装置不備のため浸漬すべき醋酸濃度をもつて液状絹の pH の変化状態を推察することにした。処理方法は前報と同様，濃度は0.01%より90%におよび，また浸漬時間は1分間から120分等々極めて広範囲をえらぶとともに，伸長速度もまた実際の吐糸速度附近を中心に0.03cm/sec～4.0cm/secの範囲を，伸長倍数は5倍または10倍とし特別な条件のものにあつては適宜の倍率を定めて伸長した。

b.　引張り速度の調節

引張り速度の影響を調査するため歯車式セリメーターの下降装置を改良し0.25cm/sec～4.0cm/secまで調節できるようにして実験した。また極めて遅い速度あるいは速い速度は熟練した実験者の伸長技術によつたものであり若干の誤差はやむをえない。すなわち中部糸腺中区を両手に持ち，または一端を固定して規定した倍率に伸長しこれに要した時間から引張り速度を決定する方法である。

さらにまた伸長荷重の影響については，液状絹の一端を固定し，他端に任意の荷重を吊して伸長し，24時間後の伸長率をもつてその試料の伸長倍数とした。

荷重速度の影響については荷重速度を変化させて伸長するため傾斜型の引張り試験機（島津製スコット型テンサイルテスター）を利用した。

c.　配列度の表示方法

複屈折の測定法は前報同様ベツケ法により，繊維軸方向の屈折率 $n_{//}$ と繊維に直角方向の屈折率 $n_{\perp}$ を求め，$n_{//}-n_{\perp}$ をもつて複屈折とし $f_0=\frac{n_{//}-n_{\perp}}{n_{\gamma}-n_{\alpha}}$ をもつて配列度 f_0 とした。$n_{\gamma}-n_{\alpha}$ は理想繊維の複屈折であり，絹フイブロインについては乾燥状態で0.068[6]である。本実験においては $n_{//}-n_{\perp}$ は風乾試料の値であるから $n_{\gamma}-n_{\alpha}$ もその吸湿状態に対応した値を用うべきである。したがつて前報[5]による屈折率補正法より求めた $n_{\gamma}-n_{\alpha}=0.0645$ を用いた。

因みにこの方法で求めた絹フイブロインの配列度は0.82であり，この値をもつて配列度限界値とした。

なおこの方法では結晶化度の影響を分離することができないため，結晶部分と非晶部分の配列度の平均値として示されていることに注意する必要がある。

また液状絹の濃度の影響のように，本質的に n_{iso} の異る場合には配列度を用いず，n_{iso} の値と $n_{//}-n_{\perp}$ とにより結晶性と配列度の目安とした。

実験結果および考察

1　醋酸処理条件と配列度

醋酸処理濃度を低濃度区と高濃度区とに分け，低濃度区は 0.01～3.0%とし，高濃度区は11%～90%，浸漬時間を夫々60秒として比較した結果は次のようである。ただし低濃度区を10倍伸長したのに対し高濃度区を6倍伸長したのは高濃度区では10倍伸長が不可能なためである。

	醋酸濃度	伸長率	配列度
低	0.01%	10倍	0.031
濃	0.3 〃	〃	0.615
度	1.0 〃	〃	0.610
区	3.0 〃	〃	0.610

備考　浸漬時間60秒，引張り速度1.0cm/sec

	醋酸濃度	伸長率	配列度
高	11.0%	6倍	0.540
濃	22.0 〃	〃	0.550
度	45.0 〃	〃	0.600
区	90.0 〃	〃	0.695

備考　浸漬時間60秒，引張り速度1.0cm/sec

同上両区の0.01%醋酸区と45.0%醋酸区とを代表させて浸漬時間を変化させた結果は次のようである。

	浸漬時間	伸長率	配列度
低	1.0分	10倍	0.030
濃	5.0分	〃	0.520
度	15.0分	〃	0.610
区	120.0分	〃	0.630

備考　0.01%CH_3COOH，引張り速度1.0cm/sec

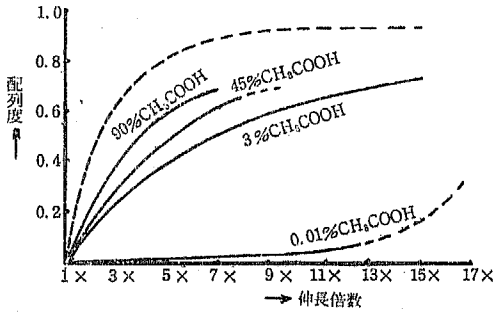
	浸漬時間	伸長率	配列度
高	10分	5倍	0.51
濃	13.0分	〃	0.51
度	5.0分	〃	0.51
区	10.0分	〃	0.55

備考　45.0%CH_3COOH，引張り速度1.0cm/sec

以上の結果よりわかるように低濃度における醋酸処理の結果は極度の低濃度の場合を除き，短時間浸漬処理によつてはほとんど配列度に差を生じない。このことは前報[5]の結果を再確認したにすぎない。しかるに高濃度区に

おいては短時間処理により著しい変化が認められる。また浸漬時間の影響は低濃度区に著しく，高濃度区ではほとんど関係なくむしろ高濃度長時間浸漬において配列度の低下を示していることに注目する必要があろう。

また濃度と伸長倍数および配列度との関係を示せば第1図のようである。点線は Kratky の第一変形機構より求めた配列度を示す。[7] これは濃厚ゲルの中に棒状粒子が浮んだようなモデルである。



第1図　醋酸処理濃度と配列度との関係

第1図より明らかなように，低濃度では伸長率は大きいが配列度は伸長の割合に比べて小さく，伸長の最終段階での伸長率—配列度曲線の立ち上りは急である。そして濃度が大となるにしたがつて伸長率—配列度曲線は立つてきて Kratky の第1変形機構に近ずくことを示している。

以上の事柄は液状絹を醋酸液に浸漬することにより，分子の結び目が[8]増加する。すなわちこのことは液状絹の表面は等電点に接近した薄い凝固層におおわれこの凝固層が次第に液状絹の内部にひろがつて行くことを意味する。そしてこれは醋酸濃度，浸漬時間に比例すると思われる。この結果液状絹はゆるい網目構造が表面より内部に向つて発達し伸長し難くなる。上の図では全体的にスベリの生じていることが推定される。

また稀薄溶液，短時間浸漬ではこの結び目が極めてゆるやかに増加するため，伸長も極めて容易であるが，その伸長はむしろ流動によるもので分子の配向にはなんら関係しない。しかしこれも伸長率を極めて大きくするときは糸状分子が平行配列し分子間隔が接近し結晶化しやすくなるため，伸長の最終段階ではかえつて配列度は大となり曲線は急激に立つてくる。

また高濃度あるいは長時間浸漬処理によれば結び目は著しく増加し網目構造の充分成長した液状絹となり，これを強いて伸長するときには網目を形成する糸状分子の短い分子鎖は破壊され，次いで短いものが破壊されるなど同様なことが続き遂には完全に破壊されることも考えられる。

2　伸長速度の影響

伸長速度は従来より吐糸速度と関連し液状絹の凝固繊維化の重要因子と考えられている。しかし伸長速度と吐糸速度とは機構的に全く意味が異つていることに注意しなければならない。すなわち吐糸にあたつては吐糸管内の圧糸部か，あるいは圧糸部から吐糸口までのわずかの部分で繊維化するものと考えられ，吐糸速度には伸長率の考慮がなされていない，すなわち伸長倍数を伸長速度と分離して考えることができない。それに対して伸長速度は伸長倍数を基準にして計算される。しかしかかる吐糸機構を人為的に再現させることは困難であるから，ここでは一応吐糸速度と伸長速度とは比例的なものであるとして実験を進めることにする。

さて吐糸速度に関しては実際の測定から 0.4cm/sec～1.5cm/sec[10]附近とされていることから，本実験ではこの範囲内と，僅かにこの範囲を出た速度とについて比較し次の結果をえた。

伸長倍数 / 伸長速度	3×	5×	7×	10×
0.25cm/sec	0.325	0.460	0.525	0.620
1.00 〃	0.325	0.515	0.525	0.625
4.00 〃	0.350	0.480	0.500	0.605

以上のようにこの速度範囲では生成糸の配列度にはほとんど差を認めることができず，さらに広範囲の速度について測定した結果では

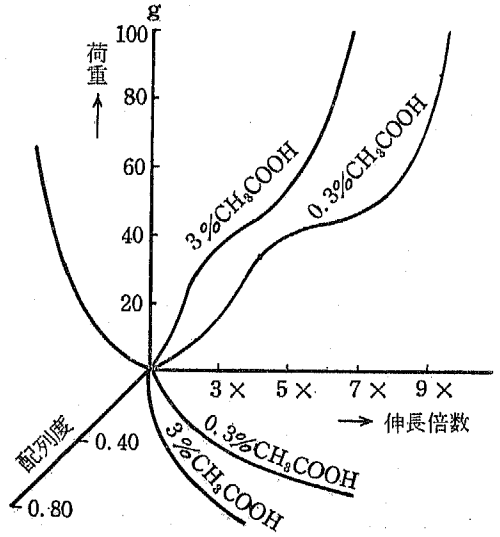
濃　度	浸漬時間	速　度	配列度
10%	5秒	40cm/sec	0.095
〃	〃	20.00	0.450
〃	〃	0.12	0.500
〃	30秒	40.00	0.505
〃	〃	20.00	0.645*
〃	〃	0.12	0.63*
〃	〃	0.03	0.54
3.0	10	20.00	0.60*
〃	〃	0.17	0.61*
〃	〃	0.07	0.06*

備考　10倍伸長，＊標準以上の配列度のもの

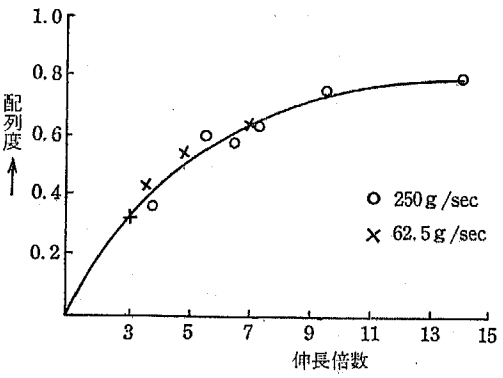
すなわち伸長速度を極度に速くすると分子の配向はそれについてゆけないため結び目の生成も大きい伸長までは起らず，また逆にゆつくり伸長すると分子の配向はそれにつれておこり結び目も比較的小さい伸長度で生じ始めることを示す。

以上のように液状絹の伸長凝固条件としての速度依存性は極めて少く，相当広範囲の速度条件で配向し繊維化する。したがつて液状絹の分子配向条件として伸長速度の影響をそれほど考慮する必要はないように考えられる。

また伸長荷重の分子配向におよぼす影響については第2図のように荷重—伸長曲線には差があつても配列度には全く無関係である。すなわち配列度は伸長率によつて決定される。



第2図　伸長荷重と伸長倍数の配列度におよぼす影響



第3図　荷重速度の配列度におよぼす影響

第3図は荷重速度について伸長率—配列度曲線を示したのであるが荷重速度の速いほど伸長率は大きいが配列度におよぼす影響は認められない。

3　液状絹の濃度の影響

蚕が営繭する場合5齢8日目附近で吐糸を始めるがこれより充分若い蚕，すなわち5齢8日目以前の蚕にあつても絶食後所要日数を経過すれば立派に営繭することが知られている。また5齢期より前，すなわち孵化当時の蟻蚕より1齢2齢等々の就眠時において吐糸することもよく知られた事実である。このように熟蚕以前の濃度の低いと考えられる頃より液状絹は繊維化するのであるが，かかる繊維化条件と複屈折との関係より分子配向性を知ることは興味深い問題であり，前項の繊維化機構の重要な手がかりもえられるものと考えて次の実験を行つた。

先ず5齢期4日目より8日目に至る蚕の体内より絹糸腺を摘出し，1.0%醋酸に1分間浸漬したのち1cm/secで4倍および8倍に伸長繊維化させた。また4日目および6日目の蚕児を絶食させ所要日数を経て吐糸を始めた時に同上と同じ条件で伸長繊維化させた。このようにして作つた凝固絹フイブロインの複屈折は次のようである。

試料	4倍伸長		8倍伸長	
	$n_{//}-n_{\perp}$	n_{iso}	$n_{//}-n_{\perp}$	n_{iso}
5齢　4日目	0.012	1.548_5	0.016_5	1.549_5
5齢　5日目	0.013	1.551_3	0.030	1.551_5
5齢　6日目	0.013	1.551_3	0.030	1.551_7
5齢　7日目	0.019	1.554	0.030_5	1.554_1
5齢　8日目	0.020_5	1.555_5	0.033_5	1.555_4
同上4日目絶食蚕	0.024	1.555	0.027	1.555_1
同上6日目絶食蚕	0.020_5	1.552_5	0.031	1.553_3

備考　風干試料，65%RHにて測定

この表から明らかなように5齢期の発育日数に比例して複屈折および平均屈折率 n_{iso} は大きくなり，配列度も結晶性（n_{iso} より推定して）も向上することが分る。また絶食蚕試料の複屈折および平均屈折率は熟蚕（正規）とほぼ同様な配列度および結晶性を示すことに注目すべきであろう。このように正規の熟蚕による凝固絹と絶食蚕による凝固絹の複屈折がほとんど同じであることは，ある一定濃度に至つて始めて吐糸されることを示し，吐糸直前には液状絹の濃度が各品種を問わずほとんど同程度の濃度に達することを意味するのではなかろうか。

吐糸開始とともに濃度の低下することが報告されているが[11]，伸長率と吐出量との関係からたえず一定配列度を保つように吐糸伸長が行われるようにも推定される。しかしこのことは複屈折から見た場合であつてこれ以上立入つた推定は危険であろう。

次に天然に吐糸された就眠時および上蔟時期別の絹フイブロインの複屈折について測定した結果は次のようである[12]。

試　料	$n_{//}-n_{\perp}$	n_{iso}	備　考
毛　蚕	0.017	1.541_5	垂　糸
1　齢	0.032	1.543_7	足場糸（脱皮）
2　齢	0.036	1.544_8	〃
3　齢	0.036_7	1.545_9	〃
4　齢	0.036_5	1.546_7	〃
5齢3日目	0.042_3	1.555_1	絶食吐糸
5齢4日目	0.049	1.558_3	繭層糸
5齢5日目	0.049_7	1.559	〃
5齢6日目	0.052_5	1.560	〃
5齢7日目	0.051_5	1.559_7	〃
5齢8日目	0.052	1.560_8	〃
再生絹糸	0.045	1.555	塩類処理某社製品

この表から明らかなように1齢より4齢期までは $n_{//}-n_{\perp}$ および n_{iso} はほとんど変化なく5齢期に至つて始めて急激な向上を示し5齢4日目以降はほとんど変化はない。このことは前述の絶食蚕凝固絹の配列度と正規蚕凝固絹の配列度とがほとんど同一であるという結果を立証するものであり，また5齢期を境にその前後で全く異つた複屈折を示すことも興味深い問題ということができよう。

さて以上のように温度を一定と考えて液状絹の醋酸処理条件（液状絹のpHの影響），伸長速度，液状絹の濃度等について配列度との関係を調査してきたのであるが，ここでこの結果を総括して天然絹糸の繊維化機構と比較してみよう。

先ず液状絹を醋酸によつて浸漬処理することは液状絹の表面より内部に向つて分子の結び目の増加することを示し，醋酸濃度の高いとき（pHの小さいとき）は結び目のでき方が急激に，そして濃度の低いときは極めてゆつくりと増加する。そのため低濃度の醋酸処理の液状絹を極めて速い速度で伸長するときは分子の結び目が充分に生長していないため配向がこれにともなわず流動を生じ充分大きな伸長ののち糸状分子の接合する確率が高くなつたところで急激に結晶化してくる。また高濃度処理のものを伸長するときは，例え短時間処理であつても，液状絹の表面に凝固層が生成し，小さな伸長度で伸長不能となり内部には未配列の部分をのこしたまま凝固繊維化する。（このことは稀酸による場合にも認められるため，スキンとコアーの成因と断定することはできない），したがつて醋酸処理によつても引張り伸長によつても分子の結び目をつくることには変りがないが，その配向の仕方が全く異つてくることに注意しなければならない。

また液状絹の濃度については蚕児の生長に応じた繊維化機構を示し，4齢までは営繭を目的とせず配列度も結晶性も低くまた少量の絹物質を吐糸するにすぎないが，5齢期に入つては3日目頃より体内の液状絹の濃度は急激に高くなり8日目に至つて最高濃度となり吐糸を開始する。8日目以後の液状絹も人為的に醋酸処理を行つて繊維化することもできるが，結晶性も配向性も低いものとなる。しかし5齢8日目以前において絶食させ数日を経過して吐糸する場合の液状絹は正規熟蚕（5齢8日目）の濃度とほとんど同じ濃度である。すなわち蚕の吐糸開始濃度は品種によらずほぼ一定していることが推定される。

また人為的な伸長速度と吐糸速度とは全く意味が異ることに注意する必要がある吐糸速度は伸長速度と伸長率とが分離できず，人為的な伸長速度は伸長率を規定して計算することができる。しかるに複屈折は伸長率の函数であるため人為的な牽引速度には無関係でも，吐糸速度とは関係があることは容易に推定される。

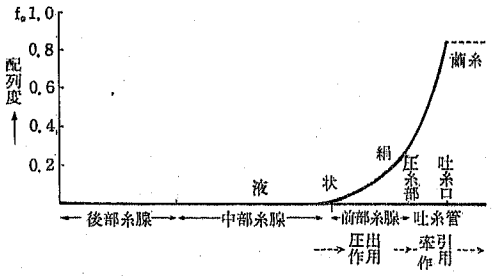
さて実際の吐糸伸長の繊維化機構と比較すると，先ず機構的な大きな差異は液状絹は蚕体内において絹糸腺内を移動して前部糸腺に達し吐糸管を経て繊維化するのに対し，人為的には中部糸腺の液状絹をそのまま繊維化することである。そのため中部糸腺前区より前部糸腺に移動するには次第に細い管となり前部糸腺より吐糸管附近では極めて細い管の中を流動することになる。そのためこの細管中の液状絹のセン断応力は壁の近くで極めて大きいことが流動学的にも推定される。それに比較して中部糸腺中区の液状絹のセン断応力は前部糸腺のそれと比べてはるかに小さい。そのため人為的に稀醋酸液に浸漬し液状絹の表面にある程度の分子の結び目を作つてやらなければならない。そして伸長倍数も大きくして充分結晶化を助長するよう緩和時間も大きくしてはじめて天然絹糸の配列度と同じ程度に繊維化させることができる。吐糸の場合には前部糸腺のセン断応力は相当大きいもの

と考えられるから，この部分では凝固しない程度のpHで流動し管壁のセン断応力の大きい部分は極めてよく分子の配向した状態で吐糸管に達するものと推定される。この推定を確かめるため営繭中の熟蚕を90%醋酸中に2時間浸漬し，蚕体内の液状絹を充分凝固させたのち摘出して複屈折を測定した結果は次のようである。

区　　別		$n_{/\!/}-n_{\perp}$	直径mm
前部糸腺	中部糸腺前区先端をAとして	0.001_3	0.300
	Aより6mm吐糸口え向つた部分	0.008	0.060
	Aより12mm吐糸口え向つた部分	0.013	0.030
	Aより16mm吐糸口え向つた部分	0.027	0.015

また吐糸管を経ずして繊維化が可能であるか否かを調べるため，前部糸腺の最尖端から液状絹を人為的に引き出して作つた凝固絹の最初の部分は天然絹糸の複屈折と全く同一であり上述の推定の正しいことが証明される。同様な事柄は林氏[13]によつても立証されている。

このようにして吐糸管に達した液状絹は圧糸部を出た瞬間に極めて僅かの伸長で凝固繊維化するものと考えられ，この関係を模式的に示せば第4図のようになる。



第4図　絹糸腺各区の配列度

したがつて前報[6]において述べたように繭層部位別にも品種別にも複屈折の差異の認められなかつた理由もここにあると推定される。すなわち僅少伸長率で配列度限界値に達するものと考えられ，液状絹の濃度も吐糸営繭時には一定となることなどから推定して，品種別，繭層別吐糸速度の差異はあつても，繊維化条件の差異としては極めて僅かなものと推察され，複屈折には差が認められなかつたものと思われる。

摘　　要

液状絹の凝固繊維化条件として液状絹のpH，濃度，温度および伸長速度をえらび，これらと分子配列との関係を光学的配列度をもつて示し，温度一定の条件のもとでつぎの結果をえた。

1　液状絹にたいする醋酸処理濃度を低濃度と高濃度に分けて分子配列との関係を調査した結果，高濃度区において著しい配列度の増加を示す。また浸漬時間の配列度におよぼす影響は低濃度において著しい。このことは液状絹のpHが等電点附近にあるときにうける引張りは，配列に関し非常に効果的であることを示す。

2　液状絹の配列度におよぼす伸長速度の影響は比較的少く，相当広範囲の速度条件で繊維化し高い配列性を示す。しかしあまり速すぎても遅すぎても配列度は低下し繊維化限界速度のあることを示す。

3　液状絹の濃度の影響は5齢期の発育日数に比例して複屈折および平均屈折率は大きくなる。しかし営繭時においては正常蚕と絶食蚕の液状絹の濃度には差がなくなる。すなわち繊維化にあたつて最適の濃度条件のあることを示す。

以上より液状絹の凝固繊維化はある一定濃度に達した液状絹が中部糸腺前区より前部糸腺に入るにおよび急に細い管を通過するためセン断応力は増加しこのため分子配向は次第に良好となり，吐糸管附近において最大のセン断力をうけてわずかな伸長率で配列度限界値に達して繊維化することを示している。

文　　献

1) 呉　祐　吉：化繊月報p.65(1957)
2) C. Foa　：Kolloid-Z. 10.7(1912)
　手塚　英吉：蚕試報 1 (3)
　荻原　清治：日蚕誌 96 (3) 171(昭11)
3) 岡小天・近久芳明："絹糸の構造"千曲会284 (1957)
　佐藤　良泰：日蚕中部支部講演会(1955)
4) 清水　正徳：蚕試報10, 441, 475 (1941)
　O. Kratky : Farady Soc. Discussion No. 11, 171 (1951)
5) 石　川　博：信大繊報 5，97(1955)
6) 〃　　：　　6，104(1656)
7) O. Kratky : Naturwiss 18, (1930)
　O. Kratky : Kolloid-Z. 64, 213(1933)
8) P. H. Hermans : "Physics and Chemistry of cellulose Fibres"36(1949)

9) 荻原　清治：信大繊報 4, 60(1954)
10) 〃　　：日蚕誌 Vol. 6 No. 3, 171(昭11)
林貞三・青沼茂：蚕糸品質向上中間報告(1949)
11) 荻原　清治：蚕糸学誌14, 3(1943)
12) 石川博・寺内佐輪子：日蚕中部支部研究発表会(1956)
13) 林貞二郎：日蚕九州支部講演要旨12(昭和30年)

Summary

The writers measured on the relation between the optical orientation and the stretching conditions of liquid silk. The results obtained are as follows.

1. The action of acetic acid on the optical orientation of liquid silk is more striking in concentrated acetic acid than in diluted acetic acid.

2. The influence of the immersion time on the orientation of liquid silk is remarkable in diluted acetic acid.

3. The stretching velocity has only a little relation to, but the stretching ratio has much more relation to, the orientation of liquid silk.

4. The effect of the density of liquid silk on the optical orientation of coagulated silk is high in orientation in proportion to the days of growth of the silkworm at the fifth stage.