

繭の乾燥、貯蔵、輸送について

元昭栄(株)小山工場工務課長 河 西 和 久

1. 繭 乾 燥

繭乾燥の目的は、出蛆発蛾を防ぎ、生繭の含有水分を除去して長期間の貯蔵に耐えることが可能にすること及び乾燥中に繭層セリシンの安定化を図って、繭質を損傷することなく工場の製糸方針に適するよう熱処理を行うことである。

したがって乾燥処理に当っては、1) 繭の解舒と飼育条件、2) 繭の輸送と乾燥前の放置、3) 乾燥温度と繭質の関係を熟知して処理に当たる事が必要である。特に乾燥温度の設定については上簇時の気象状況、地域別の繭質傾向を考慮して繭質を予測して設定することが望ましい。

(1) 生繭の輸送、放置処理

重荷重による繭質の損傷防止（トラック輸送）

生繭取扱い中の落下衝撃（落下距離30cm以上の場合）は、厚皮、中皮の落繭が増加する。生繭の放置中の蒸熱は繭層含水率を増加させ、繭質不同の原因となるから、可能な限り蒸熱の発生防止に努め、温度30℃以下湿度65～75%通風佳良、太陽直射光線の防止、24時間以内の処理が望ましい。

(2) 加熱乾燥による繭糸質の変化

一般に繭層セリシンは加熱乾燥でエネルギーを受けることによって、分子運動が活発化し、分子形状もしくは凝集状態（高次構造）が変化し、又結合水の蒸発によって分子間結合が変り、親水性が低下して難溶化するものと想像される。セリシン、フィブロインに関しては、多くの研究がなされているが、図1に生繭の繭層に熱処理を施したときの繭層の吸湿性、セリシン溶解性の

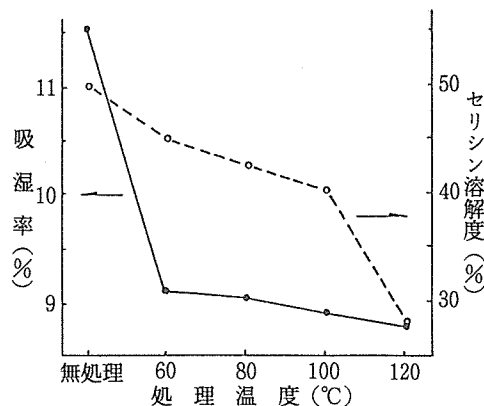


図1 熱処理による繭層の吸湿性及びセリシン溶解性の変化

- 1) 熱処理は各温度とも2時間行なった。
- 2) 吸湿率は20℃60%における平衡含水率を示す。
- 3) セリシン溶解度は純水中で10分間煮沸したときの減耗量を試料の練減率（27.04%）で除して求めた。

変化を示す。これらの結果から繭層セリシンの性状変化は処理温度が高いものほど、大きくなる
ことが容易に知られる。

(3) 繭乾燥のしくみ

玉繭は乾燥物性の著しく異なる繭層と蛹体とからなり、しかも乾燥の主体をなす蛹体が硬くて
構造が緻密なキチン質によっておおわれていて、更に繭腔が存在するため一層複雑な乾燥機構を
示すが、次のしくみで乾燥が行われるものと思われる。

- 1) 熱風が繭表面に作用し繭層の温度が上り、繭層の水分が内部拡散し表面より気化蒸発する。
- 2) 繭腔の加熱された空気と繭層の下部より伝導された熱により蛹体が加熱され、蛹体の水分は
拡散によって蛹表面に出て、気化蒸発する。
- 3) 繭腔内の空気に水蒸気が加えられて多湿となり、繭層を通して内外の湿度差によって水蒸気
が移動し、繭層を出た水蒸気は熱風に伴送されて除去される。

(4) 生繭、乾繭の含水率

含水率は次式で計算表示されている。

表 1 含水率の表示法

$\text{含 水 率} = \frac{\text{繭の含有水分}}{\text{無水繭重量}} \times 100\%$ (乾量基準)		$\text{含 水 率} = \frac{\text{繭の含有水分}}{\text{繭全重量}} \times 100\%$ (湿量基準)	
生繭の場合	含水率 $\approx$ 17.4%	生繭の場合	含水率 $\approx$ 63.5%
乾繭の場合	含水率 $\approx$ 12.3%	乾繭の場合	含水率 $\approx$ 11 %

(5) 自由含水率、平衡含水率

任意の含水率から平衡含水率を差引いたものを自由含水率（自由水分）と呼び、これが乾燥に
よって除去される水分である。平衡含水率はある温度、湿度の空気の中で一定の含水率となって
平衡（約合）しているときの含水率をいう。繭層及び蛹体の平衡水分は関係湿度60%を境として
湿度を増す毎に蛹体の吸湿量は急速に増すが繭層は比較的緩慢である事が知られている。

(6) 主繭の乾燥特性

繭乾燥研究の権威者である松本介博士（1949年）は生繭の乾燥特性について詳細な報告をされ
ているので、その部を次図に示す。

また松本博士は生繭繭層、生蛹体及び生繭の乾燥機構について次のように述べている。

- 1) 生繭繭層の乾燥機構は乾燥開始後間もなく平衡水分に達するもので恒率乾燥期を経ずして最
初から減率乾燥が行われる。しかし乍ら生繭として乾燥する場合は蛹体から蒸発した水分が繭層
を通過するため繭層はつねにある程度（6～7%）の水分を保有した状態で乾燥が続行される。
- 2) 生蛹体の乾燥機構は生物体特有の作用によって最初僅かの間は水分蒸発阻止の作業で蒸発は
緩かであるが、蛹が致死すると急速に水分の蒸発が始まり恒率乾燥が進み次に減率乾燥に移行し
てこの時期から蛹体の温度が上昇し始めるものとされている。
- 3) 生繭の乾燥機構は生繭体の乾燥機構と同じく、したがって生蛹体の乾燥に支配されるもので
ある。生繭が乾燥機に入室当初は、繭層の水分が急速に発散して繭層含水率は3～4%になる。
また蛹体への熱伝達は繭層を通して行われ、蛹の致死後（約10分内外）から蛹体水分の蒸発が促
進されるものであるから繭層に対する熱の影響は入室当初における繭層水分および機内の状態に

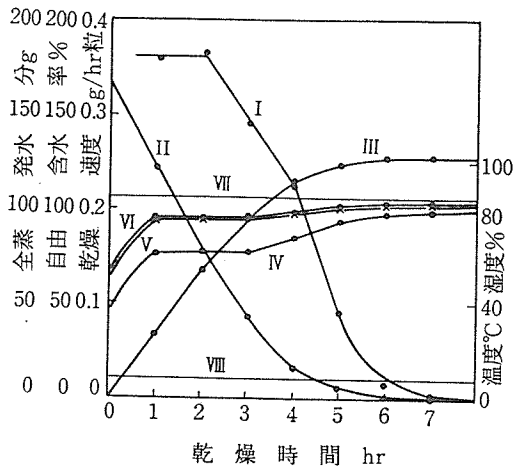


図2 生繭乾燥実験

空気温度85°C 関係湿度8% 空気速度3 m/sec

曲線 I 乾燥速度 曲線 V 繭層温度
 " II 自由含水率 " VI 繭腔温度
 " III 全蒸発水分 " VII 空気温度
 " IV 蛹体温度 " VIII 関係温度

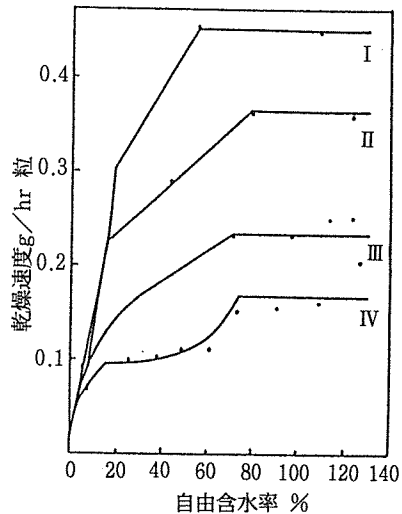


図3 乾燥速度対自由含水率

関係湿度8% 空気速度3 m/sec
 曲線 I 空気温度95°C 曲線 III 空気温度75°C
 " II " 85°C " IV " 65°C

よって異なる。すなわち恒率乾燥前の温度はやや低目にして繭層水分の均斉と低減をはかることによりその後の処理に安定性を与えることが望ましい。

(7) 生繭の乾燥速度に關係する温度、湿度及び風速の影響

生繭の乾燥速度を決定するものは空気のもつ乾燥力（乾燥機内の空気温度における最大水蒸気張力とそのときの空気の水蒸気張力の差）で温度と湿度に支配されるが湿度よりも温度の影響の方がはるかに大きい。繭層は水分の発散に対して大きな障害にならないが、空気の流通を著しく妨げるので、繭を厚く積んで強制的な通風乾燥を行なう場合以外では風速を増しても乾燥速度はあまり向上しない。次表に乾燥速度に關係する温度、湿度、風速の影響をまとめる。

表2 乾燥速度に關係する温度、湿度、風速の影響

生繭乾燥機構		温度	湿度	風速
I	恒率乾燥期間 (水分多く蒸発水分の多い時)	大	大	中
II	減率乾燥期間第1段 (水分蒸発がやや少なくなった時)	中	中	小
III	減率乾燥期間第2段 (水分が少なく、水分蒸発がしにくい時)	小	小	殆ど小

(8) 蛹体の黒変

生繭の乾燥方法によっては、蛹が黒変して繭質を損傷することがある。蛹体の黒変は蛹体中の含水率、温度及び経過時間によって異なるが、生繭の乾燥は30時間以内に乾燥程度55%以下にす

れば、蛹体の変色を生じないといわれている。

(9) 乾燥条件と繭質

加熱乾燥による繭質変化の程度は原料繭の性状によって異なり、一様でない。繰糸成績も乾燥以後の輸送、貯蔵、煮繭、繰糸の処理条件によって著しく異なってくる場合が多いので、乾燥条件と繭質との関係を一律に論じることとはできない。(繭質は上簇中の温湿度、換気に支配される。)

a) 乾燥温度について

自動繰糸機に移行し、糸故障の軽減、能率の向上及び品質(節)保持のため高い乾燥温度を用いるようになった。乾燥温度を高くすることは乾燥能率を高めるだけでなく、次の煮繭工程、繰糸工程との関連で繭層セリシンに熱変性を与えておいた方が繰糸能率、生糸収率及び節の成績を向上する場合が多いためである。但し図1で明らかなように乾燥時の温度を高くすると繭層セリシンの熱水に対する膨潤、軟和、溶解性は低下する。その為乾燥温度を高くしていくと、解舒、索緒抄緒効率が低下するが、生糸量歩合、小節成績等は逆に向上する場合もあり、糸故障も減少する傾向も認められるが、ある温度以上になると落繭増加による緒糸量、蛹しん量の増加で低下してくる場合もある。このような限界温度は原料性状(生繭)によって異なるが、熱風乾燥の場合115~120℃の範囲に入るものが多い。汽熱乾燥では蒸気パイプによる輻射熱による繭質変性が考えられるので最高温度も105℃内外が無難である。乾燥初期の恒率乾燥期間は湿熱の影響が著しいから換気を十分にはかり、繭層の通気性を損傷しないことが重要である。

減率乾燥期(55%以降)の仕上乾燥温度は、乾燥能率の点から高温を有利とするが繭層セリシンの溶解性を減少するものであるから55~60%を境として逐次温度を低下すべきである。仕上温度を高目に失うと内層落緒を多くし次工程の煮繭、繰糸で支障を生ずる恐れがある。

一般に繭層セリシンの変性の大きいほど繭層の吸湿量が少ないといわれているので、繭層の吸湿性によって繭質変性の動向を確かめたのが図4である。これによると、繭乾燥に用いる温度を高くする程繭層の吸湿性の低下が著しいことがわかる。

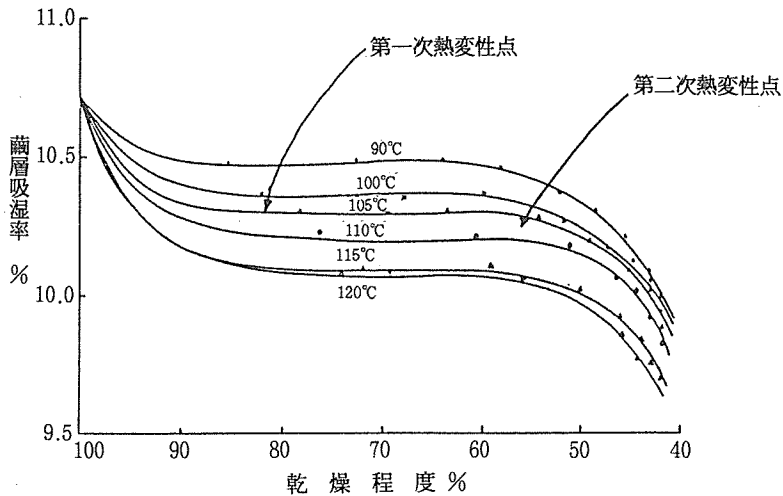


図4 乾燥各段階の繭層吸湿率

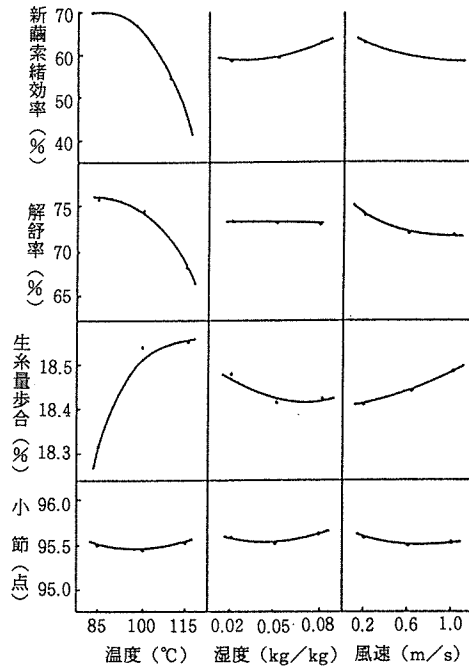


図6 生繭の乾燥条件と繭糸成績との関係

また図から乾燥程度80～90%の間に第一次熱変性点、同50～55%に第二次熱変性点があることが判かる。このことから生繭の乾燥過程では乾燥程度が両変性点付近での吹込み温度の管理と第二次変性点の温度低減を図る必要があり、最終仕上温度は55℃前後にすることが結果的によい。

b) 乾燥湿度について

恒率乾燥期間中の多湿は繭層内外の全層に、減率乾燥期の多湿は外層に悪影響が大きいとされている。従って恒率乾燥期の関係湿度は4～5%とし、減率乾燥期には繭層水分6%内外であるから、この繭層水分を過度に減少することのない程度に関係湿度15～20%内外で処理することが無難である。

c) 乾燥空気速度について

風速の乾燥速度に及ぼす影響は、恒率乾燥期間が著しく、機内各部を均一な風圧にすることが必要条件で、減率乾燥期に入って風速を大にすることは繭層表面を著しく荒すことになる。一段バンド式乾燥機の厚積通気乾燥では繭粒間を通過する風速は1.0～1.3m/sec程度を適當とするが極端に風速を増すと解舒率を低下するばかりでなく繭層の毛羽立ちが著しくなる。(多段熱風乾燥機の空気下降速度は0.15m/sec程度が適當とされている。)

d) 繭付量について

乾燥温度は原料の性状によって限界があるので、乾燥能率を増すために繭付量を増させねばならないが、極力避けて変動を少なくすることが望ましい。気熱乾燥では1.8～2.3粒程度を適當とし、熱風乾燥では3.0粒内外が適當である。繭付量と乾燥不同との関係は、熱風乾燥では繭付量を薄くすると乾燥機内に気流の短路を生じ、また段落移送中に斑ができ給熱を不均一にして乾燥不同をきたし易い。厚積みバンドの場合は300m/mが限度で200m/m内外が好ましい。

e) 再乾燥法について

生繭の入荷数量が短期間に集中して止むを得ず再乾法をとる場合と、煮繭、繰糸を有利に導く手段としての此の再乾法を採用する場合がある。再乾法は乾燥不同を減少しかつセリシンの安定をはかるうえから良い結果を収められる場合もあるが、現在は温度制御が容易で乾燥機の機能が改良されており、処理能力以上に生繭入荷する状況でないで、故意に再乾処理の必要はないと思われるが参考までに再乾法を採用する場合は、乾燥程度55%内外で二昼夜前後とし、最高温度100℃以下で処理することが重要である。また乾繭の遠距離輸送による繭質の損傷を防止する為には乾燥程度48%内外の中乾程度で、繭層ならびに蛹体に多少の水分を残して輸送し、5日内外を経て仕上乾燥すればよい結果が得られるようである。(重目のときは潰れ繭を生じ繭質は損傷しやすい。)

f) 乾燥程度について

乾繭を長期間貯蔵するには蛹体の含水率を15%以下におくことが必要とされている。仮りに生繭の含水率を13%、乾燥後の繭層含水率を8%、乾繭の蛹体含水率を15%とすると、標準乾燥% Yは、生繭の繭層歩合Xと蛹体含水率Pから次式によって示される。

$$Y = (0.0115P - 0.2104)X - 1.15P + 115 \quad \text{木村真作氏 (1964年)}$$

又宮沢正明氏 (1963年) は $Y = (a + 0.07)X + (b + 0.03)(100 - X)$

$$a \cdots \cdots \text{繭層無水量歩合} = \frac{\text{繭層無水量}}{\text{生繭の繭層量}} \%$$

$$b \cdots \cdots \text{蛹体無水量歩合} = \frac{\text{蛹体無水量}}{\text{生繭の蛹体重}} \%$$

(乾繭の繭層および蛹体の残留水分量は、夫々湿量基準の7%および3%と仮定した) しかし、現場では蛹体の含水率を正確に調査することは困難であり、次の様な簡単な式でYを求めている場合が多い。

$$Y = (X + 20) \pm 1.0$$

$$Y = X(0.67) + 26.5$$

乾燥程度の若いものは繭質変性の度合いが少ないので、解舒、索緒効率はいいが繭質が不安定であるから煮繭抵抗も少なく、したがって糸故障も多い。それに反し乾燥程度の進んだものは、大中節の成績もよく、糸故障も少ない傾向のため、一般に標準乾燥程度よりやや進めて軽目を指向している。然し此の場合高温短時間を避け、しかも過乾の状態となつては却つて繭質を損傷するから、標準乾燥程度より気熱で0.5%、熱風乾燥で1.0%進めることが適當である。乾燥過程での乾燥%を知るためには、100粒程度の繭を網袋に入れて適宜調査する必要があるが、中途での出入りによる誤差、網袋の抵抗を伴うことを承知しておかねばならない。鑑定法としては繭を握ったときの手触り、重量感、静かに振ったときの音及び臭い、切開して蛹の形状、蛹の碎け具合、油のりなどの状態で鑑定する。

g) 乾燥むらについて

乾燥処理の不均一性の表現にしばしば用いられているが、乾燥不同が大であると製糸工程上に悪影響を与える。その主な点をあげると次のような点がある。

- 1) 貯繭中に繭質劣化が大であり、カビの発生等生じて繭を損傷する。
- 2) 煮繭のとき斑煮となり、均一煮繭ができない。
- 3) 節づまり、蛹はだの飛び付などの糸故障も多く、反面落繭多く繰糸能率の低下、生糸収率も減少する。

現在のように蒸気圧力の変動が少なく、温度制御が適確に操作されてきているので、大きな不同は減少している。

h) 事 例

事 例 昭栄(株)小山工場 大和熱風3 F型10段 S. 51年 春

処理能力20,000kg/24H S. 37年新設

繭付量 65mm 時間 5.5H

蒸気圧 5.0kg/cm² 繭層歩合 23.00

上室 118℃ 第二 114℃

中室 88℃ 第二 ナシ

下室 65℃ //

各段の測定位置温度と乾燥程度

位置 段	2.5 ^m ℃	5.0	10.0	15.0	20.0	制 御 表示温度	乾燥程度
1	119	121	121	124	104	118	79.5
2	104	113	113	114	95	110	64.0
3	92	100	103	102	82	100	55.3
4	86	90	91	91	76	90	50.1
5	84	86	88	87	72	85	46.5
6						83	44.8
7						76	43.7
8						72	43.1
9						65	43.0
10						60	41.9

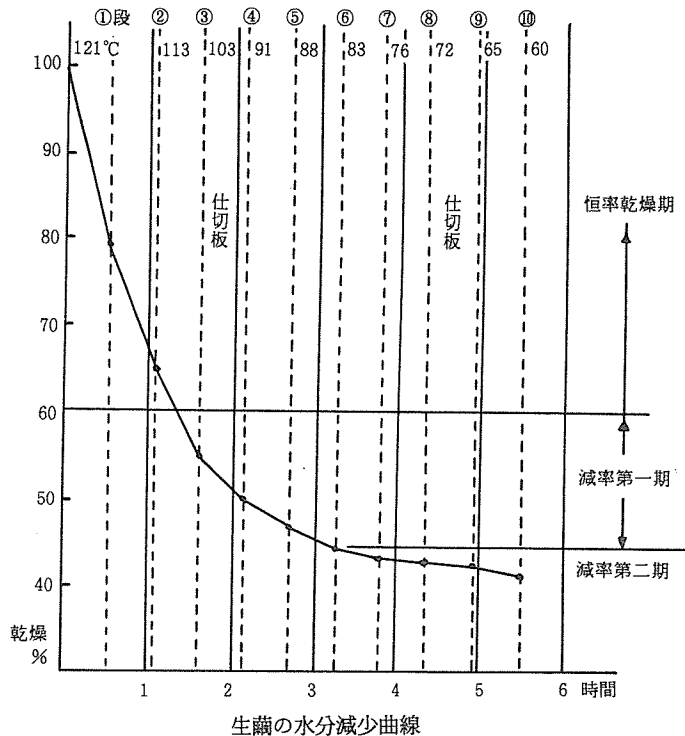
←仕切板

←仕切板

註1. 各段の温度は中央部温度で両サイドの温度は1～2段の高温区で3～5℃低い温度であった。

註2. 生繭200gを網袋に入れ、抵抗のないよう厚さを他の繭付量と同じにして実施

註3. S. 47年5 F型新設(能力30,000kg/kg) 1段目同温度、2段118℃、3段110℃、4段92℃(中室第二吹込み設置)が可能となり能力増加。



考察：減率乾燥に移行する4段目を極力下げよう重点に乾燥した。繰糸結果では大わ節については横浜検査で常に10ヶ以下で、煮菌で殆んど苦勞せずズル節に注意する程度であった。ズル節を押える煮菌方法で繰糸成績は良好であったが、比須量が比較的多く、少なくするため内層を煮込めば、反面ズル節が発生する傾向があり、これ等の点を総合的に検討して見ると、減率二期9～10段が高いのが一因とも考えられ、時間を長くして55℃位で仕上げるべきではないかと反省される（当時の入荷量はピーク時12万kgを記録するなど能率の事情があった。）。又比須量の厚い原因は給気量の不足による多湿も主な要因でもあったと考えられる。

i) 菌乾燥における実務の留意事項

1) 恒率乾燥期：10段型では1～3段、8段型では1～3段

高温度を使用してもよいが、反面索緒効率、解舒率も低下するので上簇時の条件から菌質予測して処理温度を決定する。 春菌、123℃前後 限度125℃ 解舒不良菌は、120℃以下で

初秋 118℃ " " 120℃

晩秋 123℃前後 " 125℃

2) 減率第一期：10段型では4～8段、8段型では4～6段

4段目95℃、8段目75℃になる様空気量、温度調節が重要。50%の位置を把握することが肝要で95℃以上にならないこと。中内層の落菌が多くなる。

3) 減率第二期：10段型では9～10段、8段型では 7～8段

55℃程度で乾燥終了するよう温度低下を図る。高温では薄皮落緒多く、比須量多い。糸歩低

下。

4) 空気量の調節

温度設定と共に重要であり次表に各ダンパーの開度を示す。

	循環ダンパー	排気ダンパー	給気ダンパー	湿度
上 室	$\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 開	全 開	全開 $\sim \frac{1}{2}$ 開	上段湿度15%目標
中 室	$\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 開	〃	$\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 開	中 〃 18% 〃
下 室	全 開	〃	全閉 $\sim \frac{1}{3}$ 開	

排気能力の低下に注意 Vベルトのスリップ早目に交換

給気は循環ダンパーと関連有り、バランス考慮、金網のケバ等の除去

給気口を全開すると蒸気消費量増大するが梅雨期、雨天のときは全開に

エロフィンヒーター 吹込み穴、吸気穴等の整備、掃除

5) 繭付量

処理能力の関係で70mm程度で実施せざるを得ないときも多かったが65mm更に60mmが結果的によいようになった。

2. 貯蔵と乾繭輸送

乾繭は、長期貯蔵すると温湿度の変動によって繭層、蛹体の吸湿、放湿などで繭質は徐々に劣化し解舒の低下をきたす。関係湿度が少ない(20~60%)ときは繭層に多く蛹体に少ないが、65%を境として繭層の吸湿度は緩慢となり、蛹体の吸湿量が増加する。したがって庫内が多湿のときはまず蛹にカビが発生し、繭層に伝播して繭質を損傷すると言われているから、庫内の湿度を65~70%の範囲とし、変動を少なくするように努める。

1) 貯繭袋の手入れ、消毒の実施、天日乾燥の実施

2) 虫、鼠の被害防止、燻蒸剤(クロールピクリンなど)を使用して駆除する。

3) 乾繭の輸送は生繭の輸送より繭質の低下は大きい。とくに乾燥直後は繭層に水分少ないため繭質の低下は著しい。このため10日間位経過して輸送することが望ましい。乾繭輸送についての解舒率の低下は私の体験上からトラック輸送の場合6~8%程度低下したことがある(200km)。

3. 結 言

生繭の乾燥、輸送、貯蔵など繭糸質についての関係を簡単に記述したが、これらの過程における繭糸質の変化または処理の効果は以後の煮繭、繰糸の工程を経たのち比較検討してはじめて認識されるものであって、煮繭で一応対応するもののばん回不可能の点も少なくない。乾燥処理が及ぼす繭糸質の影響については、故鈴木三郎先生(1938年)の乾燥論を基に乾燥の権威者である松本介博士をはじめ、宮沢先生などの貴重な理論、実験値が発表されており、これらの資料を引用させて戴きました。衷心より謝意を表します。多条の全盛当時は解舒が重点項目であった。従って乾燥が重要視され、乾燥不同の防止などが課題であった(ボイラー圧が変動し必然的に乾燥不同が多かった)。

現在では、繰糸作業者の熟練者の減少、低下、労務不足で糸故障の減少、煮繭機の改良などで乾燥温度もやや高目指向されているが、反面高温処理に伴う中薄皮の落緒増加（新陳代謝の不良を招く）による糸故障、比須量増加による糸歩の低下も又軽視できないので、限界を超えない範囲で処理を施し、次工程の煮繭で容易に内層を煮込む事ができるよう留意されることを望みます。