Jutaro SHINOZAKI 1953 On the Cocoon of Slug Moth. *Low Temperature Science*, **10**. (With English résumé p. 133)

イラガの繭について

繭の作り方，繭の構造並びにその二三の性質*

篠崎壽太郎
（低溫科學研究所 生物學部門）

（昭和27年8月受理）

イラガ *Cnidocampa flavescens* は，札幌附近では，8月上旬より下旬にかけて，樹の小枝や幹の表面に繭を作り，その中で前蛹の状態のまま越冬する。したがつて冬中直接寒氣，風雪にさらされるわけで，イラガ前蛹の寒さに對する抵抗力は大きいものと思われます。このイラガ前蛹の耐凍性に關する研究の一環として，自然において，繭が如何なる生態學的意義を有しているかを知るため，繭の作り方，繭の構造と，その通氣性及び通水性を調べた。

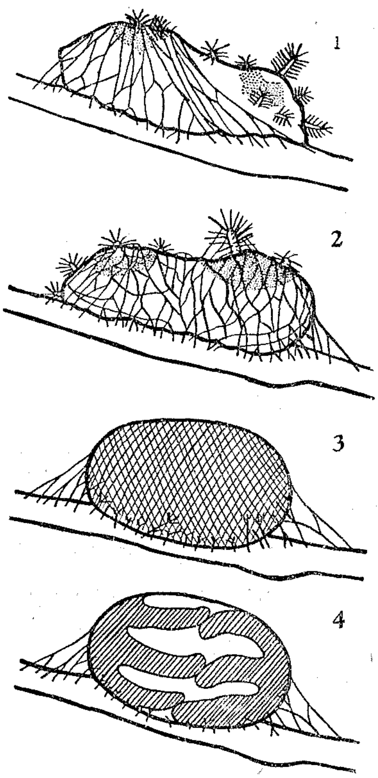
I. 繭の構造

(イ) 繭の作り方

繭が如何にして作られるかが明らかになれば，繭の大体の構造を理解することができる。繭の作り方を觀察するために，野外から採集してきた幼蟲を一面が硝子張りで上面が金網張りになつている木の箱の中で飼育した。餌は紅葉あるいは楓の葉で，枝についたまま箱に入れ，此の枝を毎日取り換えた。若いときには，背面に青紫色の斑紋を有する綠色乃至黄綠色であつた体色は繭を作る直前になるとやや透明になり，色は多少褐色がかつて蠟細工のような感じになる。このような個体を枝と共にとり出してその繭の作り方を肉眼あるいは双眼顯微鏡の下で觀察した。

幼蟲はまず繭を作るに適した場所を選定する。此の際細い枝の場合には枝が二叉，あるいは三叉に分れた所を選ぶことが多い。又一度地面に落ちてから幹に匍い上り，その部に繭を作る場合もある。岡島・武田[2] 及び田村[4] によると，幼蟲は繭を作る場所の樹皮を嚙り取るとのことであるが，札幌ではこのような現象は稀であつた。場所を選定した幼蟲はその場に靜止したままでいる。次いで幼蟲は絲を吐きながら繭の土臺となる網格子を作りつつゆつくり前進する(第1圖，1)。蟲体のほぼ全長がこの網格子中に入つてしまうと，蟲は突然体を180°廻轉させて逆向となり，網格子の未完成部を完成させる(第1圖，2)。以後此の網格子を土臺に頭部を8の字に運動させて絲を吐きながら繭を作つて行く。この場合幼蟲は出來つつある繭の中を，背を極端に反らせた姿勢で匍いまわつて方向を變えながら，腹部で繭壁を壓してその形を整えてゆ

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第159號.



第 1 圖　繭の作り方（模式圖）
（本文參照）

く（第1圖, 3）。このようにして，繭の表面の網目が相當密になり，內部の蟲が外部からやや見難い狀態になると蟲は肛門から白色液を出して，繭の內面に腹面を以つて塗りつける。此の液は岡島・武田[2]も指摘しているようにマルピギー氏管の分泌物で，マルピギー氏管及び直腸の蠕動收縮により肛門から出される。この液は針狀，六角柱狀の結晶を含んでいて，空氣中では速やかに凝固する。この結晶は Urate と云われている。白色液を蟲が繭の內面に塗附する際，將來斑紋となる部にはあまり附かず，斑紋が淡褐色に浮びでてくる。この斑紋の生ずる機構は現在のところ明らかではない。かかる操作を繰返すことにより繭は段々厚くなつてゆくと同時に斑紋は黑味を增し明瞭となる（第1圖, 4）。後に述べるように繭は4層からできている。第1層及び第2層の生成は上に述べたとおりであるが，第3層以下の生成は外部から見ることができないため，はつきりしたことは判らないが，前者とだいたい同じような方法で作られるものと思われる。繭の最內層はほとんど絲のみから構成されている。

繭を作る速さは個体により遲速があるが，だいたい作り始めてから約1～1.5時間で第1圖, 1の狀態になり，この直後蟲は180°廻轉し，1.5～2時間で2の狀態となつて，2.5～3時間で3の狀態に達する。斑紋はだいたい3～3.5時間位で淡褐色に浮び上つてくる。5時間も經つと繭は相當に固くなる。繭を作り始めてから2～3日位の個体を繭から出して硝子容器中に入れておくと絲を吐く。このことから繭の完成には4日位かかるものと思われる。

(ロ)　繭の大きさと構造

繭の形は附着場所によりいくぶん差異があるが，繭の枝に附着している部分は，扁平になつたり窪んだりしているが，繭の全体の形は大雜把に見て廻轉楕圓体と云える。何故なら繭の橫斷面は圓形をなしているからである。斑紋については岡島・武田[2]の報告がある。明瞭な條紋を有する繭は細い枝に多く，條紋がなく全体が褐色がかつたものは幹に多い。

上記2氏によると，鹿兒島地方のイラガの繭の大きさは長徑12～14 mm，短徑9～10 mm で繭壁の厚さは樹に附着している部分を除いて平均約0.3 mm である。札幌近邊の繭について測定した結果は，長徑12.5±3.7 mm（20個平均），短徑8.8±2.8 mm（20個平均），繭壁の厚さ0.29±0.04 mm（15個平均）で鹿兒島のものよりやや小型に思われるが，この測定は通氣性，通水性の測定に用いた繭について行つたもので，實驗條件を簡單にするため，なるべく形の整つてい

るものを選んだ結果（形の整つている繭は小型のものが多い），繭の大きさの平均が小さい方へづれた可能性が充分にあるので兩地方の繭の大きさはだいたい等しいとみて差支えない。

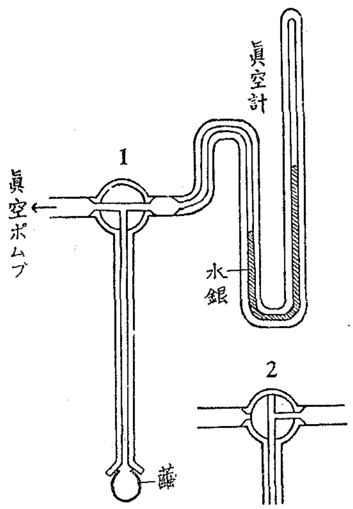
繭壁は4層から成り（第1圖版，1），第1層（最外層）は最も薄く斑紋はこの層にあつて，これに續く第2層は最も厚く繭の主要部を成し，いくぶん褐色の色素を含んでいる。第1層と第2層の連絡は密で區別も困難である。第3層はやや厚く色素を多量に含み他層から明瞭に區別できる。2層と3層の接着も密で，此の兩層は絲狀構造を認め難く緻密である。第4層（最內層）はわりあい薄く絲のみからできていて，此の層はピンセットで簡單に剝離できる。繭にはイラガが將來羽化して繭を出る際に，はずれ去る蓋が輪線狀の刻線によつて明瞭に區別できる。この刻線は單に繭壁がくびれ込んでいるに過ぎない（第1圖版，1）。

繭の表面，裏面とも Neopark で見ると，明瞭に絲狀構造が認められる。表面において，斑紋部は色素が沈着しているため白色部よりも絲が明瞭に認められる。內面は表面よりも絲が密である（第1圖版，2及び3）。

II. 繭の通氣性

第2圖の裝置を用い繭の通氣性を調べた。蓋部を除いた繭を，眞空用コンパウンドで毛細管の先端の漏斗狀部に接着し，コツクを1の狀態にしておいて眞空ポンプで吸引し，適當な壓（約7 mm Hg）になつたときコツクを急に2の狀態にすると空氣が繭壁を通して裝置內へ入るため內部の壓が增加する。此の壓力變化を讀み，通氣性を測定した。接着部の良否を確めるために繭の代りに繭型に作つた硝子球を同一コンパウンドで裝置に取りつけて減壓してみたが，4時間餘り裝置內の壓力には變化がなかつたので，接着部からの空氣の漏洩はないとみてよい。

この方法による測定原理は次の通りである。コックを2の狀態にした時の裝置內（繭も含めて）の容積を V．裝置內の壓力を P とし，實驗溫度 T (°K) における壓力 P，容積 V の空氣の目方を m とする。尙空氣の密度は標準狀態で 1.293 g/l であるから 1 Mol の空氣の目方は 28.98 g である Boyle-Charles の法則により次式が成立する。



第2圖　通氣恒數を測定した裝置

$$PV = \frac{m}{28.98}RT \qquad (1)$$

實驗溫度 T を一定に保持すれば

$$K \equiv \frac{RT}{28.98}$$

とおくことができる。よつて(1)式は

$$P = K\frac{m}{V} \tag{2}$$

となる。實驗中 V の變化は眞空計中の水銀が毛細管を上下するだけで極めて僅かであるから，これを一定と考えても差支えない。したがつて(2)式を時間 t につき微分すると

$$\frac{dP}{dt} = \frac{K}{V}\frac{dm}{dt} \tag{3}$$

となる。繭の表面積（測定の間繭の空氣に觸れる部分の面積）を S，厚さを h とし，繭の單位表面積を dt 時間に通過する空氣の量 dm は繭の内外の壓力の勾配に比例するものと考えれば

$$\frac{dm}{dt} = kS\frac{P_e - P}{h} \tag{4}$$

が成立する。但し P_e は繭の外側の空氣の壓力即ち大氣壓，P は時刻 t における繭内部の壓力である。k は比例常數で通氣恒數と呼ぶことにする。(4)を(3)に代入すると

$$\frac{dP}{dt} = \frac{KkS}{Vh}(P_e - P) \tag{5}$$

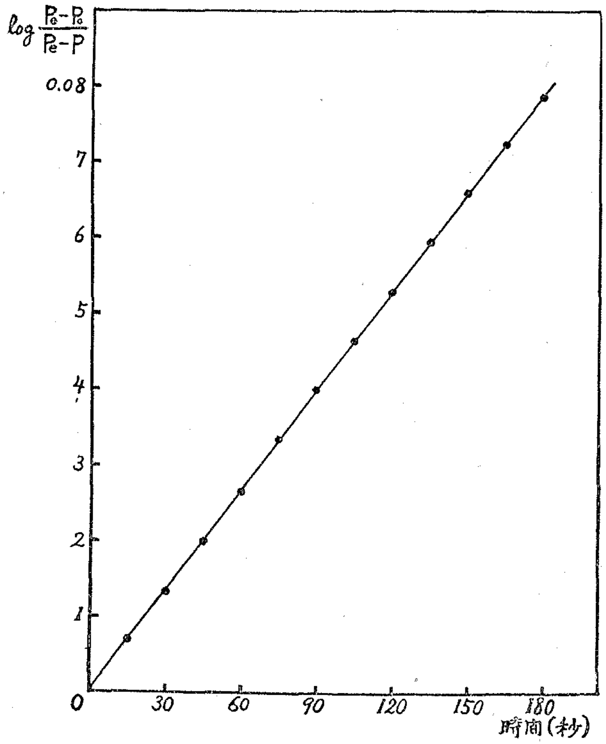
となる。この式を積分し，$t=0$ の時 $P=P_0$ とすれば次式が得られる。

$$ln\frac{P_e - P_0}{P_e - P} = \frac{KkS}{Vh}t \tag{6}$$

(6)式において通氣恒數以外の値は，總て實測し得るので k を求めることができる。もし此の式が正しければ，$\ln\frac{P_e-P_0}{P_e-P}$ を時間 t に對してとれば直線が得られるはずであり，此の直線の t 軸に對する傾きから容易に k の値を求めることができる。第4圖は實測の一例であつて，上述の方法の妥當性を證明するものである。

各繭につきそれぞれ5回づつ測定を行い，その平均から通氣恒數を求めた。その値は第1表にまとめてある。

此の値から見て解る通り，假りに



第 3 圖　通氣恒數測定の一例

繭の表面積…2.28 cm²　厚さ…0.033 cm
實驗温度…278.6°K　通氣恒數 1.76×10^{-4} $cm^3sec^{-1}\ cm^{-2}(atm\ cm^{-1})^{-1}$
黒丸は5回の測定の平均

壓力勾配が 1 atm cm^{-1} あつても通氣量は極めて小さく，實際問題としてこのような壓力勾配の生ずることはないので，空氣は繭壁を殆んど通らぬと考えても差支えない程度である。但し，この値は繭蓋を含まぬ繭の下半分で得たもので，繭蓋刻線部の通氣性は恐らく，この 1.75 ($\times 10^{-4}$ cm^3 sec^{-1} cm^{-2} (atm cm^{-1})$^{-1}$) という値よりは大きいものと思われるので，この部を含んだ上半分については改めて確める必要がある。

第 1 表

通氣恒數*[$\times 10^{-4}$ cm^3 sec^{-1} cm^{-2} (atm cm^{-1})$^{-1}$]

1.30	1.18	0.87	1.65
1.76	2.85	0.97	2.29
1.64	2.76	2.08	0.98
2.47	平均 1.75±0.66		

* 通氣恒數kは毎秒，繭の表面の毎 cm^{2}を1 atm cm^{-1}の壓力勾配のときに通過する空氣の容積(標準狀態)を cm^3 で現わしたものである。

III. 通　水　性

通氣性と同樣に定量的な値を得ようと色々工夫したが，適當な方法が見出せなかつたので，次のような簡單な方法で定性的な測定を行つた。

まづ繭蓋を破壞せぬようにはずし，繭の内部に乾燥した $CaCl_2$ 又は $CoCl_2$ で染色乾燥した濾紙片を充塡した後再び蓋をパラフィン・ワセリンで接着してからシャワーの下に放置，その前後の重量差から水の透過量を測つた。對照實驗として，硝子球で同樣の實驗を行い接着部から水の滲入のないことを確めた。第 2 表は通水性の測定結果を示すものである。シャワーにさらした時間は約 21 時間である。

第　2　表

通　水　量

	繭自身の目方 (g)	實驗終了時の繭自身の目方 (g)	吸水による繭自身の目方の増加 (%)	通　水　量* (g)	繭の表面積 (cm)
1	0.131	0.142	8	0.050	2.7
2	0.125	0.128	2	0.032	2.5
3	0.096	0.103	7	0.035	
4	0.076	0.081	7	0.020	2.2
5	0.086	0.093	8	0.097	2.2
6	0.172	0.182	6	0.062	2.9

* 繭自身の吸水による目方の増加を差引いた値

ほとんど一晝夜水を注いでおいても，透過水分量は極めて僅かであり，自然界においてこのように長時間水浸しになつているようなことは非常に少ないので，自然狀態では水は殆んど通らないと考えて差支えないと云えよう。繭自身の吸水による目方の増加は平均 6% である。

IV. 斷熱性 (熱の傳導度)

繭が小さいこと。繭の形が球でないことなどのため，繭壁の熱傳導度を正確に測定すること

は頗る困難なので未だ行つていない。然しほとんど同じ條件の下で，蟲の冷却曲線を①熱電對を繭の外側に接觸させた場合と，②繭に穿けた孔に熱電對を挿入して蟲体に直接接觸させた場合と測定したところ，冷却速度にはさして差異は認められなかつた。このことから繭壁の斷熱能はあまり大きいものとは考えられない。然し繭壁の熱傳導度は小さくとも，その厚さが薄い(0.3 mm)ため斷熱能が小さいのかも知れない。とにかく繭壁の熱傳導度の正確な測定は残された問題である。

V. 繭の生態學的意義に關する考察

前述のように繭は空氣を殆んど通さない。したがつて，繭壁を空氣が出入して，換言すれば風により直接蟲体が熱を奪われることはほとんどなく，蟲体の冷却は主として繭壁を通しての熱の傳導及び輻射により起るものである。又繭壁の通氣性がこのように小さいことから，蟲の繭内における呼吸が問題になる。呼吸に關しては未だ詳細な検討は行われていないが，Warburg の裝置で測定してみたところ，酸素消費はほとんど認められないので，無氣呼吸が行われていると思われる。この點については將來くわしく調べる必要がある。

水もまた繭壁をほとんど通らない。水が凍結する際その中心となる核が必要なことは衆知の事實であり，或る種の昆蟲では体表に水滴が附着していると過冷却が早く破れることが知られている (Salt,'36)[3] 。イラガの前蛹でも同樣の現象が認められる。[1] イラガは繭に入つて居る限り，水滴が体表に附着するようなことはなく，その意味で蟲は過冷却されるのには都合の良い條件の一つを繭から提供されているものと云えよう。

更に蟲は繭により乾燥から守られていると云うことは繭壁が空氣，水を共に通さぬことから容易に想像されよう。實際繭から出した蟲を直接空氣にさらしておくと重量を減じ死ぬ個体もしばしば見られる。

冬期間，蟲が裸で直接寒冷な空氣に觸れるよりは，繭に入つていた方が熱の奪われ方は少ないであろうが，前述の通り繭壁の斷熱能は割合小さいらしく，繭は，蟲体が傳導，輻射により冷却されるのを防ぐにはあまり役立つているとは考えられない。

本研究を御指導下さつた青木教授竝びに種々の御援助を給つた朝比奈助教授に厚く感謝する。

摘　　　要

イラガの繭の作り方，繭の構造竝びに繭の通氣性及び通水性について觀察，測定を行い，併せてその生態學的意義を簡單に考察した。

繭の形は，樹に對する繭の附着部を無視すれば，ほぼ廻轉楕圓体とみなしうる。

繭を作るとき幼蟲は先づ適當な場所を選定し，次いで繭の土臺となる網格子を自己の体を包むように拵える。その後，頭を8字狀に運動させて絲を吐き自己の体の周りに絲を隙間なく紡ぐ。この際蟲は繭の中で体の方向を絶えず變化させ腹面で繭壁を壓し形を整える。このように

して体が外からやや見難い程度になると，蟲は肛門からマルピギー氏管の白色内容物を出し繭壁に塗り附ける。この時期に斑紋は薄鼠色に浮び出て來る。これを繰返して繭は完成される。

繭壁は4層より成る。外から數えて，第1層は最も薄く，第2層は最も厚く質は緻密である。第3層は此れに次ぐ厚さを有し，色素を多量に含み他層から明瞭に區別される。第4層(最内層)は割合薄く絲のみにより成る。繭は表面，裏面共明瞭に絲狀構造が認められる。

繭壁の通氣恒數(k)は 1.75 [$\times 10^{-4}$ cm^3 sec^{-1} cm^{-2} (atm cm^{-1})$^{-1}$] で自然狀態ではほとんど空氣を通さないと云うことができる。また水もほとんど通らないとみてよい。

斷熱能は非常に小さいようである。

文　獻

1) 青木　廉・篠崎壽太郎 1953 イラガ前蛹の過冷却に及ぼす冷却速度の影響，低溫科學，**10**，109

2) 岡島銀次・武田德雄 1932 刺蟲 *Cnidocampa flavescens* Walker の生態學的研究．鹿兒島高農學術報告, No. 10, 219.

3) Salt, R. W. 1936 Studies on the freezing process in insects. Minn. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. **116**, 3.

4) 田村　榮 1948 雀の卵(イラガの繭)(グラビア寫眞). 科學朝日, 昭23. 2月號, pp. 8～9.

Résumé

This study dealt with the cocooning process and some physical properties of the cocoon wall of the slug moth.

When it makes its cocoon, the caterpillar first spins a rough network around the body at a suitable place of the branch or the trunk of a tree, so as to enclose the whole body with this network. Then the caterpillar spins the thread all over the inner surface of the network by an 8-shaped movement of the head, continuously changing the position of the body and giving the spheroidal shape to the cocoon wall with the ventral side of the body. When the cocoon surface becomes close with the spun thread, the caterpillar plasters with the ventral side of the body the inner surface of the cocoon with a white fluid secreted from the Malpighian tubes through the anus. This fluid, containing rod or hexagonal prism-shaped crystals, rapidly coagulates in air. At this time, the brownish pattern faintly appears on the cocoon surface and then becomes blackish with the lapse of time. By repeating this procedure the making of cocoon is completed. It takes about 3 hours from the initiation of the cocooning to the first appearance of the brownish pattern on the cocoon. In the cocoon wall consisting of the spun thread and the secreted substance, four layers can be distinguished. The meshworks both on the outer and the inner surface of the cocoon are observable by means of a reflecting microscope (Neopark).

The permeability constant (k)* of the cocoon wall to air is 1.75 [$\times 10^{-4}$ cm^3 sec^{-1} cm^{-2} (atm cm^{-1})$^{-1}$] and the cocoon wall may be regarded as practically impermeable to air in the natural condition.

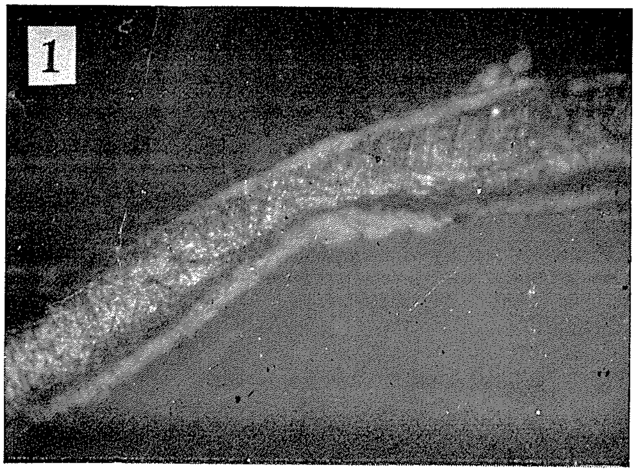
From the results of measurements of the weight difference, before and after the cocoon

* k expresses the amount of air in cc which penetrated into the cocoon through 1 cm^2 of its surface per 1 second when the pressure gradient between exterior and interior of the cocoon is 1 atmosphere per cm.

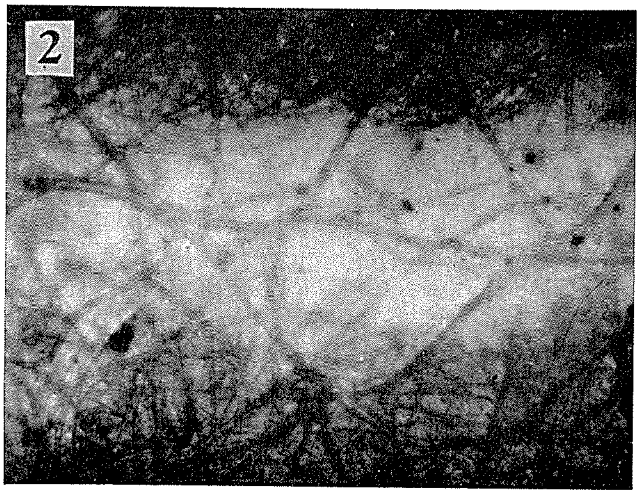
was showered with water for about 21 hours, it becomes clear that the cocoon wall is hardly permeably to water.

The cocoon wall has no protective property against low temperature, accordingly in winter the prepupa of slug moth in the cocoon may be directly exposed to extremely low temperature.

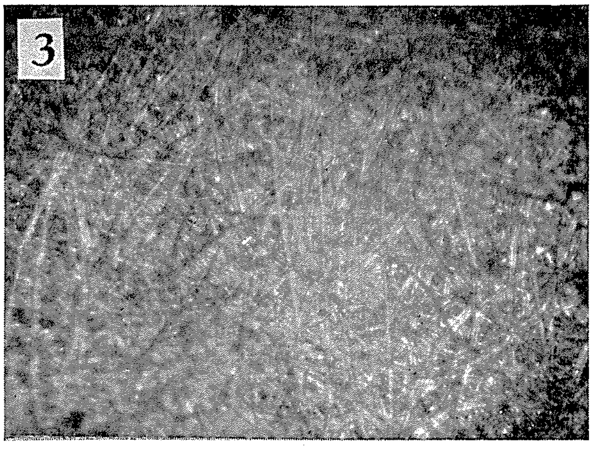
第1圖 版



1. 繭の斷面圖版 ×56.
寫眞の上が外側. 4層が區別出來る。凹んで居る部分の蓋部の刻線。



2. 繭の外表面 ×56.
黒い部分が斑紋部



3. 繭の內面 ×56.