

Number of Possible Weave Patterns Increased by Introducing Long-Eye Heald

MATSUURA Isamu^{a,*}, ANDOH Masayoshi^a, HIRATA Tomio^b

^a Owari Textile Research Center, Aichi Industrial Technology Institute, Mabiki Yamato-cho, Ichinomiya, Aichi 491-0931, Japan

^b Graduate School of Information Science, Nagoya University, Furo-cho, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan

Received 2 October 2006; accepted for publication 11 January 2007

Abstract

Woven fabric consists of two sets of yarn, called the warp and the weft. Warp yarn movements in the process of weaving cloth produce the yarn interlacement pattern. The number of patterns of warp yarn movements and thus the number of possible weave patterns depend on the number of heald frames that the loom is equipped with. If we introduce long-eye healds into a dobby loom, the number of possible weave patterns increases. In this paper, we show that the number of possible weave patterns is roughly doubled when the long-eye healds are introduced.

Key Words: Long-eye heald, Enumeration, Dobby loom

長目綜統導入による製織可能な織物組織数の増加

松浦 勇^{a,*}, 安藤正好^a, 平田富夫^b

^a 愛知県産業技術研究所, ^b 名古屋大学大学院情報科学研究科

1. まえがき

織物はたて糸とよこ糸が交差して成り立っている。織機では、数千本のたて糸が平行に並べられて、たて糸を上下2つの層に分離して、その間によこ糸を通すことにより、織物を製造している。たて糸を2つの層に分けることを開口といい、開口の機構の違いにより、タペット織機、ドビー織機、ジャカード織機に分類される。資材用、衣料用など、単純な模様の織物はタペット織機、または、ドビー織機で製織され、インテリア用など、複雑な模様の織物はジャカード織機を用いるのが一般的である。ドビー織機は、ジャカード織機と比較すると、たて糸の太さ、密度等の変更が容易で小ロット生産にも対応しやすいという利点がある。ドビー織機で複雑な模様の織物を織ることができれば、新たな商品開発に寄与することができると思われる。

ドビー織機に長目綜統を導入することにより、同じ綜統枠枚数で複雑な模様の織物を織ることができる。長目綜統とは、目が上下方向に長い綜統であり、通常、ジャカード織機で大

きな模様の織物を織る際に用いる。これまでも、ドビー織機に普通綜統と長目綜統を組み合わせて用いることで、複雑な模様の織物を織る方法は提案されていたが、千鳥模様や平織が主体であるなど、特定の織物組織に限られていた。

本論文では、たて糸4本、よこ糸4本からなる織物組織で、綜統枠3枚を用いた場合に、長目綜統を導入することで、製織可能な織物組織数が約2倍に増えることを示す。実際に製織される織物組織と比べると小規模ではあるが、長目綜統導入の効果を評価することができる。

織物における糸の交差の状態は、通常、たて糸本数、よこ糸本数で表される大きさをひとつの単位として、その繰り返りとなり、ドビー織機で製織される織物では、たて糸8本、よこ糸8本からなるもの、たて糸16本、よこ糸16本からなるものなどがある。与えられたたて糸本数、よこ糸本数からなる織物組織を数え上げる研究はこれまでも多くなされている。しかし、織物組織数は、たて糸本数、よこ糸本数が増加すると急激に増加し、複雑となるため、従来の研究で対象としている織物組織のたて糸本数とよこ糸本数の積の最大

* 連絡先: 愛知県産業技術研究所 尾張織維技術センター 491-0931 愛知県一宮市大和町馬引字宮浦35,
E-mail: matsuura@owaritex.jp, Tel: +81-586-45-7871, Fax: +81-586-45-0509

値は18（たて糸6本，よこ糸3本）である[1]。また，織物組織数と綜統棒枚数を関連づけている論文は見受けられない。

本論文の構成は次のようである。第2章で長目綜統の使い方について述べる。第3章で，普通綜統を使う場合と長目綜統を使う場合の製織可能な織物組織数を評価する。第4章はまとめである。

2. 準備

2.1 製織のメカニズム

Fig. 1に製織の原理を示す。綜統棒に取り付けられたヘルドロッドがFig. 2に示す綜統の耳に通されている。たて糸は綜統の目に通されており，綜統の上下運動によって，2つの層に分けられ，開口部が形成される。（本論文では綜統棒が上に動いて開口部を形成する上口開口を仮定する。）よこ糸は杼（ひ）によって開口部に通され，筥（おさ）によって織前に押し付けられる[2]。織機には，複数の綜統棒が装着されており，綜統は，いずれかの綜統棒に取り付けられている。そのため，同じ綜統棒の綜統を通るたて糸は同じ動きをし，たて糸の動きの種類は綜統棒枚数で決まる。通常，タペット式開口装置で使用できる綜統棒の枚数は12から15枚位であり，それ以上になるとタペット開口では機構上困難になる。ドビー式開口装置の綜統棒枚数は30枚程度までで，それ以

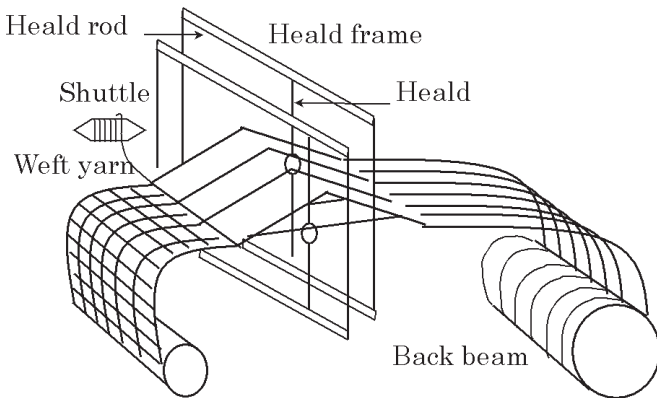


Fig. 1 Schematic diagram of a loom.

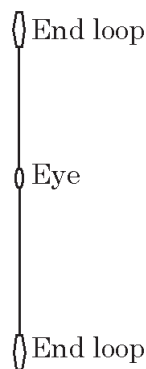


Fig. 2 A heald.

上の綜統棒枚数が必要な紋織のような極めて複雑な組織ではジャカード式開口装置が利用される。ジャカード式開口装置は扱える完全組織内のたて糸本数が数百本から2千本程度のもので大きさの異なる各種のものがある。開口の機構はドビー装置もジャカード装置も原理は同じであるが，ドビー装置が綜統棒1枚ごとの開口であるのに対し，ジャカード装置は綜統の代わりに通糸（つうじ）を用い，これに連結された目がらすにたて糸を通し，個々に動かして開口する。

2.2 織物組織図と等価組織

織物における糸の交差の状態は，通常，たて糸本数，よこ糸本数で表される大きさをひとつの単位として，その繰り返しとなっている。その単位を完全組織と呼ぶ[3]。Fig. 3の織物では，黒で示すたて糸3本，白色で示すよこ糸3本からなる完全組織の繰り返しとなっていることがわかる。糸の交差の状態は，織物組織図（weave diagram，以下，組織図と呼ぶ）で表現される。たて糸がよこ糸の上を通っている交差点を■で表し，よこ糸がたて糸の上を通っている交差点を□で表す。完全組織は同一織物内でも位置の取り方によって違ってみえる。これらを等価組織と称する。その中で，上下左右に平行移動すると同じ組織になるものは第一種等価組織と呼び，織物面に垂直な軸に180度回転する操作により等価となるものを第二種等価組織と呼ぶ[4]。Fig. 3の織物の3通りの第一種等価組織をFig. 4に示す。

2.3 織方図

その織物組織を織るための，たて糸の綜統への通し方を示すのが綜統通図（threading draft diagram）であり，開口装置の運動順序を示すのが紋栓図（peg plan diagram）である。完全組織図，綜統通図，紋栓図を合わせて，織方図（lifting plan diagram）と呼ぶ。Fig. 5に織方図の例を示す。よこ糸が

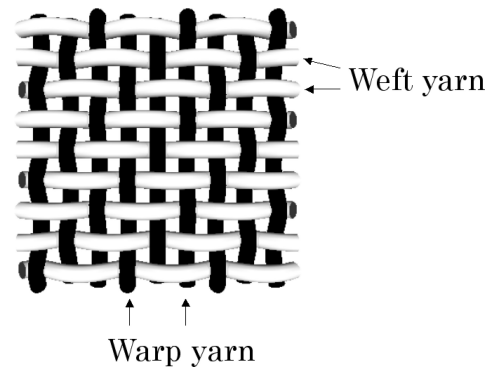


Fig. 3 Yarn interlacement in fabric.



Fig. 4 Three equivalent weave diagrams.

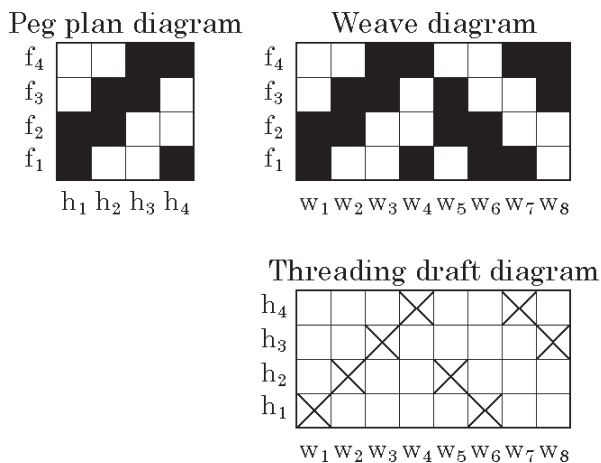


Fig. 5 A lifting plan diagram.



Fig. 6 Four different patterns of warp yarn movement.

F 本, たて糸が W 本からなる完全組織で, 綜統枠枚数が H 枚であれば, 組織図は F 行 W 列, 紋控図は F 行 H 列, 綜統通図は H 行 W 列となる. 綜統枠は織前に近いものから順に, h_1 から h_H で表す. 紋控図はよこ糸 f_j が入るときに綜統枠 h_i が上昇する場合に, (h_i, f_j) を■で表す. 綜統通図は, たて糸 w_i が第 j 綜統枠 h_j を通る場合に, (w_i, h_j) を×で表す. Fig. 5の組織図の各列について見ると, Fig. 6の4通りのパターンが現れているので, 綜統枠は4枚必要である. 以降, 織方図を示す場合には, Fig. 5に示すように, 左上部に紋控図, 右上部に組織図を描き, 組織図の下に綜統通図を描くこととする.

2.4 長目綜統

長目綜統とは, Fig. 7に示す形状の, 目が上下方向に長い綜統であり, 通常, ジャカード織機で大きな模様の織物を織る際に用いる[5]. ドビー織機において, 長目綜統と普通綜統を共に用いて, 必要綜統枠枚数を減らすことができる. 渡辺[6-8]は文献[6]で平織が主体である千鳥模様を対象として,

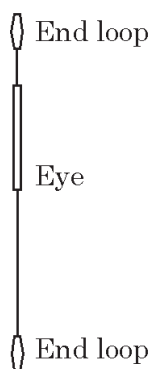


Fig. 7 A long-eye heald.

必要綜統枠枚数を30枚から24枚に減少させている. 千鳥模様を構成しないたて糸は普通綜統のみに通すが, 千鳥模様を構成する各たて糸を1つの普通綜統と2つの長目綜統に通している. 長目綜統用の綜統枠は8枚である. 文献[7]では平織が主体である組織を対象として, 必要綜統枠枚数を40枚から24枚に減少させている. 地たて糸と模様たて糸を交互に配置し, 地たて糸は普通綜統のみに通すが, 模様たて糸は普通綜統と1つの長目綜統に通している. 長目綜統用の綜統枠は2枚である. 文献[8]では千鳥模様などの飛模様を対象として, 必要綜統枠枚数を24枚から16枚に減少させている. 模様たて糸を1つの普通綜統と1つの長目綜統に通している. 長目綜統用の綜統枠は2枚である. これらの手法に共通しているのは, 特定の織物組織に対して, 織前に近い側に長目綜統を配置し, バックビームに近い側に普通綜統を配置していることである.

2.5 長目綜統を用いた製織

織機を側面から見た4つの模式図をFig. 8に示す. 各模式図において, 左側がよこ糸が入る織前側で, 右側がバックビーム側である. ここでは, 2本の長目綜統A, Bを考え, 太線で示したたて糸は両方の長目綜統に通っているとする. Fig. 8(a)に示すように, A, Bとも上昇していない状態では, たて糸は静止している. A, Bいずれか一方が上昇するとたて糸は開口する(同図(b), (c)). 綜統の目が長いので, 他方の綜統がたて糸の上昇を妨げることがない. A, Bとも上昇した場合も, たて糸は開口する(同図(d)).

長目綜統を使うことで綜統枠枚数を減らすことができる簡単な例を示す. 普通綜統を使った場合の織方図をFig. 9(a)に示す. 組織図をみると, 4本のたて糸は異なる動きをするため(同図(b)), 普通綜統を使った場合には, 綜統枠が4枚必要である. Fig. 10に長目綜統を併用した場合の織方図を示す. 左から1番目のたて糸は第1綜統枠の綜統のみに通っているが, 2番目のたて糸は第1綜統枠, 第2綜統枠の2つの綜統を通っている. 3番目のたて糸は第2綜統枠, 第3綜統枠の2つ

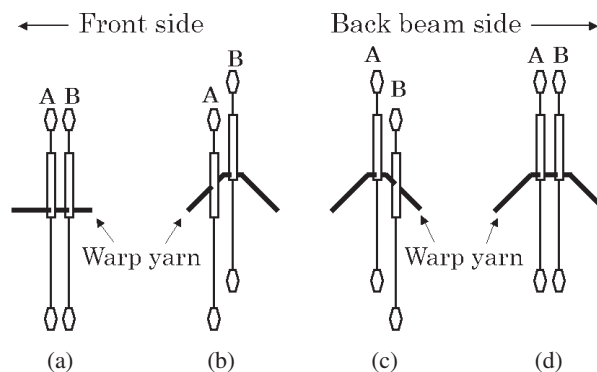


Fig. 8 Movements of long-eye healds in bottom closed shedding.

- (a) Both long-eye healds are still
- (b) Long-eye heald B is ascend
- (c) Long-eye heald A is ascend
- (d) Both long-eye healds are ascend

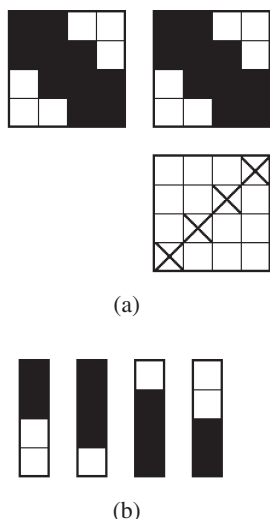


Fig. 9 A weave pattern that needs four heald frames.
 (a) A lifting plan diagram
 (b) Four patterns of warp yarn movements

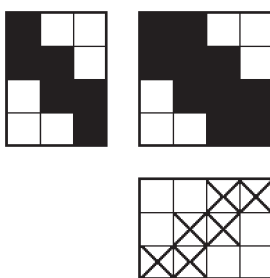


Fig. 10 The lifting plan diagram with long-eye healds.

の綜統を通っている。そして、4番目のたて糸は第3綜統枠の綜統のみに通している。これにより、綜統枠が3枚で済むことがわかる。

3. 製織可能な織物組織の数

本章では、普通綜統のみを使用した場合と長目綜統を併用した場合とで、製織可能な織物組織数を比較する。考察の対象とするのは、たて糸4本、よこ糸4本の織物組織である。なぜなら、たて糸、よこ糸の一方が5本以上、他方が4本以上となると、上下2枚の布に分かれて、2枚の布の間にどちらの布とも交差しない糸が存在する織物組織を考慮する必要があり、複雑となるからである。この場合、必要綜統枠枚数は、2枚、3枚、4枚のいずれかである。綜統枠枚数が2枚であれば、長目綜統を使っても、1本のたて糸は、1つの綜統しか通らず、普通綜統と同様の使い方しかできない。4枚であれば、普通綜統のみを使ってすべての織物組織を製織することができる。そこで、綜統枠枚数が3枚の場合を考察の対象とする。つまり、普通綜統を使った場合であれば4枚の綜統枠が必要な織物組織の中で、長目綜統を用いることにより、綜統枠3枚で製織可能になる織物組織数を数える。

3.1 織物組織の数え方

織物組織数の数え方には、どのような織物組織を除外するかにより、さまざまな手法がある[1, 4, 9-11]。糸が交差しないため織物として成立しないものと、織物組織図を平行移動することで同一となる第一種等価組織を除外することは各手法に共通している。呉ら[9, 10]は、たて糸3本、よこ糸3本の織物組織に対して、表裏の関係にある織物組織を除外している。高寺ら[4]は、たて糸4本、よこ糸4本の織物組織を対象としている。よこ糸方向をx軸、たて糸方向をy軸、織物面に垂直な面をz軸とすると、x軸、y軸、z軸それぞれの軸まわりに180度回転して同一となるものは、除外している。Guら[11]は、たて糸2~5本、よこ糸2本の4通り、たて糸3~5本、よこ糸3本の3通りの計7通りの織物組織を対象としている。x軸に対して対称、y軸に対して対称、z軸まわりに180度回転して同一となるもの、また、それぞれのたて糸浮きとよこ糸浮きを反転させたものも同一として、除外している。さらに、織物組織が、より小さな織物組織の繰り返しとなっているものを除外している。Dawson[1]は、たて糸2~8本、よこ糸2本の7通り、たて糸3~6本、よこ糸3本の4通り、たて糸4本、よこ糸4本の1通りの計12通りの織物組織を対象としている。Guら[11]の手法に加えて、たて糸本数とよこ糸本数が等しい場合には、z軸まわりの90度回転、270度回転、2本の対角線に対して対称となる織物組織、また、それぞれのたて糸浮きとよこ糸浮きを反転させたものも同一として、除外している。さらに、織物組織が、より小さな織物組織の繰り返しとなっているものを除外している。

本論文では、たて糸がよこ糸と、または、よこ糸がたて糸と交差しないため織物として成立しないものと第一種等価組織のみを除外する。糸が交差しないものを考慮した、たて糸E本、よこ糸P本の織物組織数は、次式のWで表すことができる[11]。

$$W = (2^P - 2)^E + (2^E - 2)^P - 2^{EP} + A \tag{1}$$

$$A = 2 \sum_{F=1}^{F=E} \sum_{Q=1}^{Q=P} (-1)^{F+Q} \frac{E!P!}{F!Q!(E-F)!(P-Q)!} 2^{(E-F)(P-Q)} \tag{2}$$

Wはたて糸E本、よこ糸P本からなり、交差しない糸が存在するものを除外した織物組織数である。Aは交差しないたて糸と交差しないよこ糸の両方を含む場合の数である。このWから第一種等価組織を除外したものが本章で求める織物組織数である。式(1)にE=4, P=4を代入すると、W=22874が得られ、第一種等価組織を除外すると、1446となる[4]。

3.2 普通綜統を使用した場合

ここでは、普通綜統を使用した場合に製織可能な織物組織の数を数える。紋枠図の種類と綜統通図の種類をそれぞれ数え、紋枠図と綜統通図の組み合わせにより、織物組織数を数えることとする。紋枠図を固定して考えると、綜統通図の行方向の循環シフトは、組織図の行方向の循環シフトとなり第一種等価組織となる。そのため、綜統通図は、行方向に環状

であるとして数える。また、綜統通図を固定して考えると、紋栓図の列方向の循環シフトは、組織図の列方向の循環シフトとなり、第一種等価組織となる。そのため、紋栓図は、列方向に環状であるとして数える。また、紋栓図に同じ列が含まれる場合、綜統通図との組み合わせによって得られる組織図は、同一、または、第一種等価組織となる。そのため、同じ列を含む紋栓図は除外する。以下では、綜統棒2枚の場合と3枚の場合に分けて組織図の数を数える

(1) 綜統棒2枚の場合

まず、綜統棒が2枚の場合の綜統通図の数を数える。第1綜統棒の綜統に通る糸は1本、2本、3本の場合が考えられる。行方向に循環シフトした綜統通図は等価であるとして除外すると、第1綜統棒の綜統に通る糸が1本の場合は1通り、2本の場合は2通り、3本の場合は1通りであり、Fig. 11に示す計4通りである。

次に紋栓図の数を数える。紋栓図において、すべての要素が0である行(列)を0行(0列)と呼ぶ。すべての要素が1の行(列)を1行(1列)と呼ぶ。すべての綜統棒が同時に同じ位置にあることはないので、紋栓図は0行と1行を含まない。また、どの綜統棒も下がったまま、または上がったままということはないので紋栓図は0列と1列を含まない。また、列方向に循環シフトした紋栓図は等価であるとして除外する。綜統通図の行の順序を考慮することにより、紋栓図における列の順序の違いは吸収されるため、列の順序は考えない。紋栓図は4行2列の行列であり、可能な列は、Fig. 12に示す14通りである。これらから2列を選んで得られる紋栓図から等価なものを除外すると、Fig. 13に示す3通りが得られる。紋栓図の各列を、第4行目(F₄)を最下位ビット、第1行目(F₁)を最上位ビットとして、1から15の値とみなす。16進数の表記法と同様に、10から15の値はAからEのアルファベットを用いる。ここでの紋栓図は2桁の英数字で表される。ただし、等価な紋栓図は最小の値で表すものとする。

上で数え上げた綜統通図と紋栓図を組み合わせ、組織図の種類を数える。一般には、1つの紋栓図と4通りの綜統通図の組み合わせにより、4通りの組織図が得られる。しかし、Fig. 13の2つの紋栓図3Cと5Aは、それぞれ第1列と第2列を入れ替えたものが、元の紋栓図を列方向に平行移動したものとなっている。そのため、第1行と第2行を入れ替えた綜統通図から得られる組織図は等価である。たとえば、Fig. 11に示す4通りの綜統通図の第1行と第2行を入れ替えたものと考えると、No.1はNo.4と等価であり、No.2とNo.3と等価な綜統通図はないため、3通りの組織図が得られる。そのため、綜統

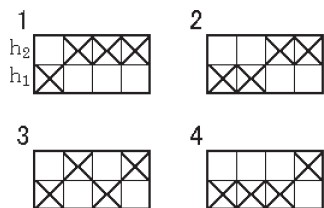


Fig. 11 Four threading draft diagrams when two heald frames are used.

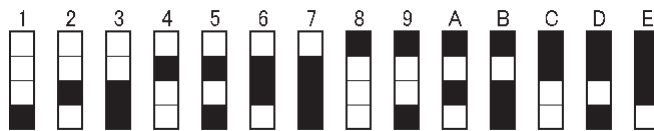


Fig. 12 The feasible patterns of warp yarn movements.



Fig. 13 The feasible peg plan diagrams when two heald frames are used.

棒が2枚で製織可能な織物組織は $2 \times 3 + 1 \times 4 = 10$ 通りとなる。

(2) 綜統棒3枚の場合

まず、綜統棒が h_1, h_2, h_3 の3枚の場合の綜統通図の数を数える。綜統通図は行方向に環状で、行方向に循環シフトしたものは等価であると考えられる。4本のたて糸が3枚の綜統棒の綜統に通るので、2本のたて糸が、同じ綜統棒の綜統に通る。その綜統棒は h_1, h_2, h_3 の3通りである。 h_1 を固定すると、同じ数を2つ含む4つの数の順列と考えられる。また、行方向のシフトによる等価な綜統通図が4通りあるので、 $3 \times (4!/2!) / 4 = 9$ となる。Fig. 14に9通りの綜統通図を示す。

次に、紋栓図の数を数える。綜統棒2枚の場合と同様に、0行(0列)と1行(1列)を含まないものを数える。また、列方向に循環シフトした紋栓図は等価であるとして除外する。また、綜統通図の行の順序を考慮することにより、紋栓図における列の順序の違いは吸収されるため、列の順序は考えない。紋栓図は4行3列の行列であり、可能な列は、Fig. 12に示す14個である。そこから相異なる3つの列を選べる

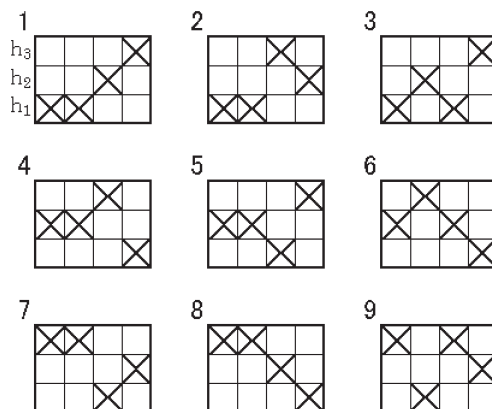


Fig. 14 Nine threading draft diagrams when three heald frames are used.

紋枠図の集合をUとすると、 $|U|=_{14}C_3=364$ 通り。ここから、0行を含む紋枠図と1行を含む紋枠図を取り除く。0行を含む紋枠図の集合をXとし、1行を含む紋枠図の集合をYとする。i行目がすべて0の紋枠図の集合を $A_i(i=1, 2, 3, 4)$ とすると、 $|A_i|=_{7}C_3=35$ である。また、相異なるi, j, kに対して $|A_i \cap A_j|=1$ かつ、 $|A_i \cap A_j \cap A_k|=0$ である。よって0行を含む紋枠図の個数は、 $|X|=|A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4|=|A_1|+|A_2|+|A_3|+|A_4|-\sum |A_i \cap A_j|=4 \times 35 - 6 = 134$ 。同様に、1行を含む紋枠図の個数も $|Y|=134$ である。次に、 $|X \cap Y|$ を計算する。0行と1行の決め方が ${}_4C_2 \times 2 = 12$ 通りある。残りの2行は4通り。よって、 $|X \cap Y|={}_4C_2 \times 2 \times 4 = 48$ である。したがって、紋枠図の種類は、 $|U|-|X|-|Y|+|X \cap Y|=364-134-134+48=144$ となる。

次に、列方向の循環シフトによる等価な紋枠図を削除する。上の144個の集合には、一般にひとつの紋枠図についてそれを列方向に循環シフトした4通りの等価な紋枠図が含まれている。ただし、Fig. 15に示す4通りの紋枠図については、列方向に2回循環シフトすると、元の紋枠図の列を入れ替えたものと一致する。2回の循環シフトで元の列と同一の列になるのは、Fig. 12の列5と列Aである。2回の循環シフトで互いに入れ替わる列の対は(1, 4), (3, C), (B, E)である。これらを組み合わせてできる紋枠図はFig. 15の4通りのみである。そのため、これらの紋枠図については、列方向に循環シフトしてできる等価な紋枠図は2通りである。これらを考慮することにより、列方向の循環シフトによる等価な紋枠図を削除すると $(144-4 \times 2)/4+4=38$ 通りとなる。Fig. 16に38通りの紋枠図を示す。綜統棒2枚の場合と同様に、紋枠図を3桁の英数字で表し、等価な紋枠図を最小の値で表した数を各紋枠図の上に示し、その昇順で示した。

一般には、1つの紋枠図と9通りの綜統通図の組み合わせにより、9通りの組織図が得られる。しかし、上で述べたように、Fig. 16の紋枠図14A, 35C, 3AC, 5BEは、ある列を

入れ替えたものが、元の紋枠図を列方向に2回循環シフトしたものとなっている。そのため、紋枠図において入れ替えた列に対応して綜統通図の行を入れ替えると、得られる組織図は等価である。たとえば、紋枠図14Aにおいて、第1列と第2列を入れ替えたものは、元の紋枠図を列方向に2回循環シフトしたものに等しい。一方、Fig. 14に示す9通りの綜統通図の第3行と第2行を入れ替えると、No.1はNo.5と、No.2はNo.4と、No.3はNo.6と、No.7はNo.8と一致する。このような入れ替えでNo.9と一致する綜統通図はないため、5通りの組織図が得られる。Fig. 17に紋枠図14Aと9通りの綜統通図を組み合わせてできる9通りの組織図を示す。上で述べたように、これらのうち、異なる組織図は5通りである。紋枠図35C, 3ACでは、第1列、第3列に関して同様であり、紋枠図



Fig. 15 Four peg plan diagrams each of which has only two equivalent diagrams.

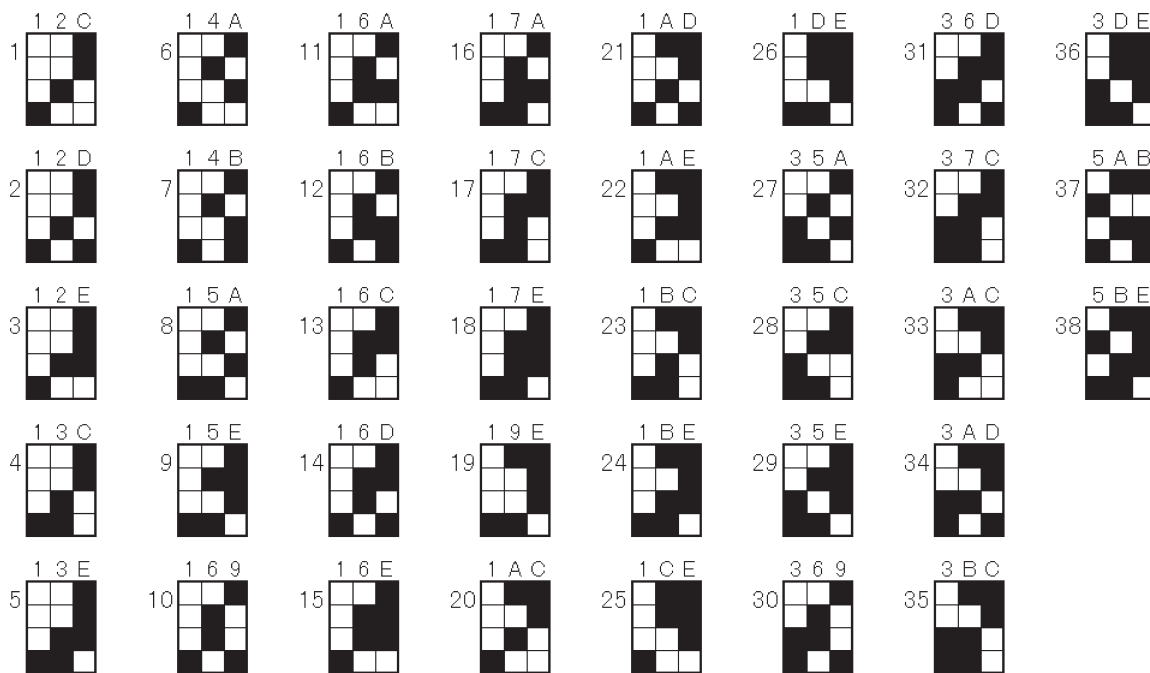


Fig. 16 Thirty-eight peg plan diagrams when three heald frames are used.

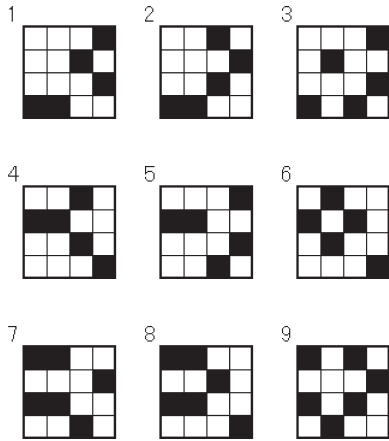


Fig. 17 The nine weave diagrams, in which No.1 and No.5, No.2 and No.4, No.3 and No.6, No7 and No.8 are equivalent, respectively.

5BEでは、第2列、第3列に関して同様である。そのため、組織図の数は $34 \times 9 + 4 \times 5 \times 9 = 326$ となる。

綜統枠を2枚使用した場合と、3枚使用した場合の織物組織数に重複はないため、綜統枠が3枚で製織可能な織物組織は $10 + 326 = 336$ 通りとなる。

3.3 長目綜統を使用した場合

綜統枠が2枚の場合は、長目綜統を導入しても製織可能な組織は増加しない。その理由は、1本のたて糸を2本の綜統に通すと、そのたて糸は組織されない、つまり、どのよこ糸とも交差しなない糸となるからである。したがって、綜統枠が3枚の場合を考える。この場合でも、長目綜統を使用して、1本のたて糸を3本の綜統に通すと、そのたて糸は組織され

ない糸となる。そのため、複数の綜統を通るのは、2本の綜統を通る場合のみを考えればよい。3本の綜統から2本を選ぶ選び方は ${}_3C_2 = 3$ 通りであるため、4本のたて糸すべてが、2本の綜統を通るとすると、綜統の通し方が同じたて糸が存在する。よって、普通綜統を使用しても、綜統枠3枚で製織可能である。そのため、2本の綜統を通るたて糸の本数は1本、2本、3本の場合を考える。以降、2本の綜統を通るたて糸を、2HLDたて糸と呼び、1本の綜統を通るたて糸を1HLDたて糸と呼ぶことにする。

普通綜統のみを使用した場合の紋枠図は、各列がたて糸の動きを表している。長目綜統を使用した場合は、2HLDたて糸の動きは、紋枠図の異なる2列の論理和で表すことができ、新たなたて糸の動きとなる。しかし、この2列のとり方によっては、そのたて糸が組織されない場合や、新たなたて糸の動きとならない場合がある。また、2HLDたて糸が2本以上の場合には、組織されないよこ糸が現れる場合もある。これらを考慮して、2HLDたて糸が通る綜統を決める必要がある。

以下では、2HLDたて糸の本数が1本、2本、3本のそれぞれの場合において、2列の論理和で表わされる列も含めて4行4列の紋枠図を考える。その4列を並べて組織図がつけられる。組織図は行方向へ循環シフトしたものは、すべて等価であるので、この4列の並べ方は、すべてが異なる4つのものからなる円順列の種類と同じで、 $4!/4 = 6$ 通りである。紋枠図の条件は、長目綜統を使用しても普通綜統を使用した場合と同じであるため、Fig. 16の38通りの紋枠図を基にして考えることができる。この紋枠図の数を数えることにより、織物組織数を数える。

(1) 2HLDたて糸が1本の場合

2HLDたて糸を w_1 とし、他のたて糸を w_2, w_3, w_4 とする。 w_2, w_3, w_4 はすべて異なる綜統に通る。なぜなら、同じ綜

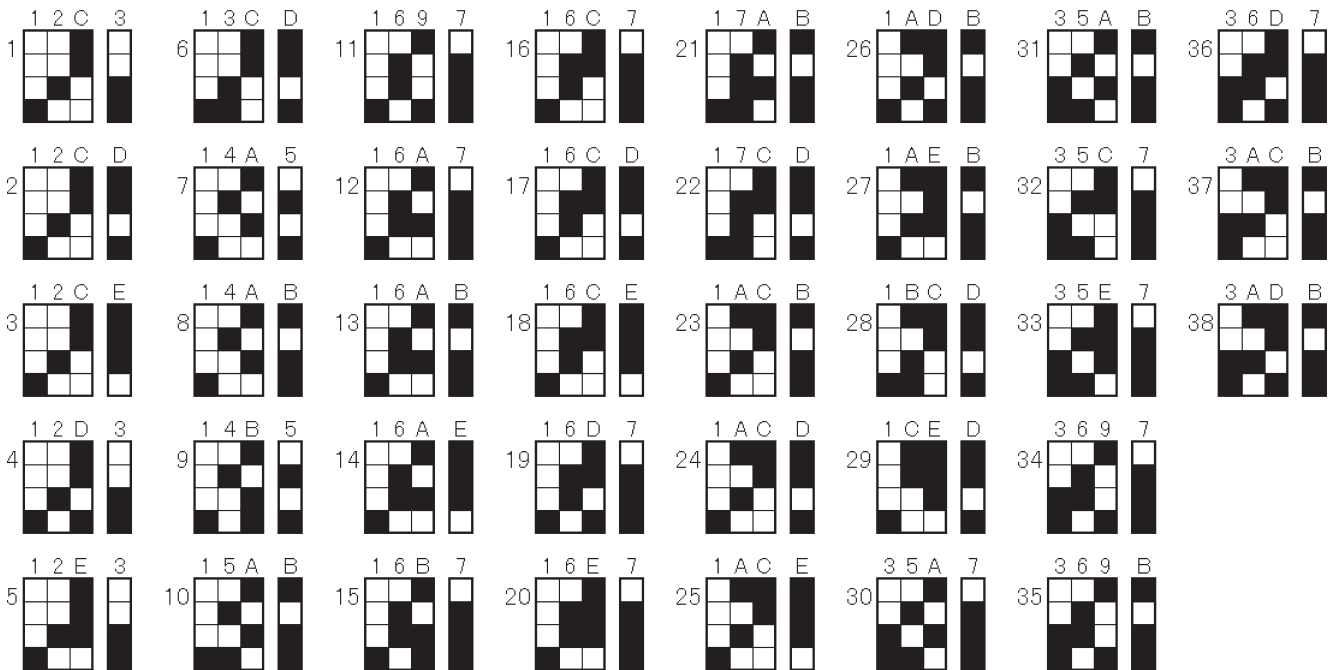


Fig. 18 Thirty-eight peg plan diagrams in the case that only one warp yarn is threading two long-eye healds.

統に通る糸が存在すれば、その組織は、普通綜統を用いても、綜統枠3枚で製織可能だからである。

Fig. 16の紋枠図を基に、 w_1 が通る2本の綜統を変えながら、条件を満たす紋枠図を数え上げたところ、Fig. 18に示すように38通りの紋枠図が得られた。Fig. 18で、各たて糸の動きの左側の3列が1本の綜統に通る3本のたて糸の動きであり、右側の1列が、2本の綜統に通る1本のたて糸の動きである。なお、紋枠図14Aの第1列と第3列を選んだ場合と、第2列と第3列を選んだ場合の4本のたて糸の動きは等価である。つまり、一方の紋枠図からできる組織図と等価な組織図を、もう一方の紋枠図からつくり出すことができる。紋枠図35Cは第1列と第2列、第2列と第3列、紋枠図3ACは第1列と第2列、第2列と第3列に関して同様である。

一般には、Fig. 18に示す紋枠図ひとつに対し、6通りの組織図が得られる。唯一の例外は、紋枠図14Aの第1列と第2列を選んだ場合 (Fig. 18 No.7) である。Fig. 18 No.7において、第1列と第2列を入れ替えたものが、元の紋枠図を列方向に2回循環シフトしたものとなっている。そのため、それらの列を入れ替えた組織図は等価であり、6通りの列の並べ方から3通りの組織図しか得られない。そのため、2本の綜統を通る糸が1本の場合の組織図は、 $37 \times 6 + 3 = 225$ 通りとなる。

(2) 2HLD たて糸が2本の場合

2HLDたて糸を w_1, w_2 とし、1HLDたて糸を w_3, w_4 とする。 w_1 と w_2 の綜統への通し方は異なるものとする。 w_1 と w_2 が共に通っている綜統と同じ綜統枠の綜統に w_3, w_4 のいずれかが通ることはない。なぜなら、その組織図は、2HLDたて糸が1本の綜統通図で製織することができるからである。Fig. 19に例を示す。よって、この場合、 w_1 と w_2 の綜統への通し方が決まれば、 w_3 と w_4 の通し方は2通りに定まる。

Fig. 16の紋枠図を基に、 w_1, w_2 が共に通る1本の綜統を変えながら、条件を満たす紋枠図を数え上げたところ、15通りの紋枠図が得られた。これをFig. 20に示す (左側の2列が1本の綜統に通る2本のたて糸の動きであり、右側の2列が、2本の綜統に通る2本のたて糸の動きである)。なお、紋枠図14Aの第1列と第3列を選んだ場合の4本のたて糸の動きと、紋枠図14Aの第2列と第3列を選んだ場合の4本のたて糸の動きは等価である。

一般には、1つの紋枠図を選べば、6通りの組織図が得ら

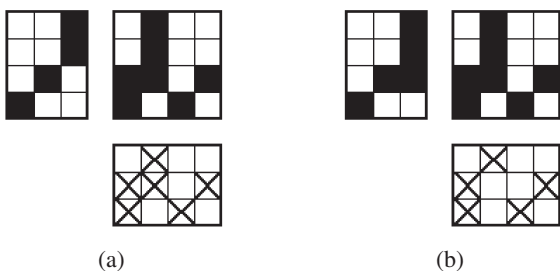


Fig. 19 Example of weave diagram.
 (a) Two warp yarns are threading two long-eye healds
 (b) A warp yarn is threading two long-eye healds

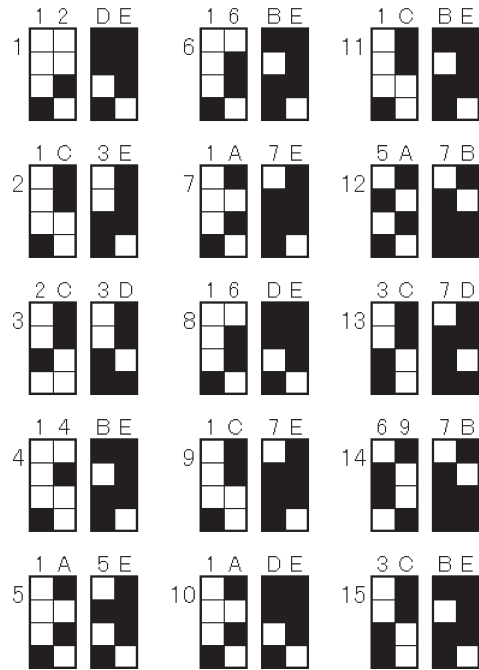


Fig. 20 Fifteen peg plan diagrams in the case that two warp yarns are threading two long-eye healds.

れる。例外は、3つの紋枠図14A, 35C, 3ACである。紋枠図14Aの紋枠図の第1列と第2列を選んだ場合がFig. 20のNo.4である。この図において、第1列と第2列を入れ替え、第3列と第4列を入れ替えたものが、元の紋枠図を列方向に2回循環シフトしたものとなっている。そのため、それらの列を入れ替えた組織図は等価であり、6通りの列の並べ方から4通りの組織図しか得られない。紋枠図35Cの第1列、第3列を選んだ場合、紋枠図3ACの第1列、第3列を選んだ場合も同様である。そのため、2本の綜統を通る糸が2本の場合の組織図は、 $12 \times 6 + 3 \times 4 = 84$ 通りとなる。

(3) 2HLD たて糸が3本の場合

2HLDたて糸を w_1, w_2, w_3 とし、1HLDたて糸を w_4 とする。 w_1, w_2, w_3 の綜統への糸の通し方はすべて異なる。

Fig. 16の紋枠図を基に、 w_4 が通る1本の綜統を変えながら、条件を満たす紋枠図を数え上げたところFig. 21に示す8通りの紋枠図が得られた。(左側の1列が1本の綜統に通る1本のたて糸の動きであり、右側の3列が、2本の綜統に通る3本のたて糸の動きである)。なお、紋枠図14Aの第1列を選んだ場合の4本のたて糸の動きと、紋枠図14Aの第2列を選んだ場合の4本のたて糸の動きは等価である。

一般には、1つの紋枠図を選べば、6通りの組織図が得られる。唯一の例外は、紋枠図14Aの第3列を選んだ場合 (Fig. 21 No.5) である。Fig.21 No.5において、第3列と第4列を入れ替えたものが、元の紋枠図を列方向に2回循環シフトしたものとなっている。そのため、それらの列を入れ替えた組織図は等価であり、6通りの列の並べ方から3通りの組織図しか得られない。2本の綜統を通る糸が3本の場合の組織図は、 $7 \times 6 + 3 = 45$ となる。

以上より、普通綜統を使った場合には4枚の綜統枠が必要

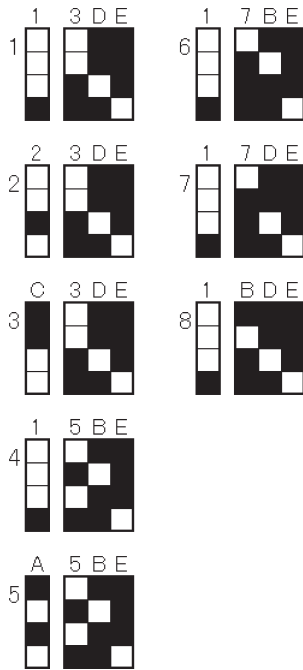


Fig. 21 Eight peg plan diagrams in the case that three warp yarns are threading two long-eye healds.

であるが、長目綜統を導入すれば3枚の綜統枠で製織可能な織物組織は $225+84+45=354$ である。

4. 結 言

たて糸4本、よこ糸4本からなる織物組織では、第一種等価組織を除くと1446通りの織物組織が存在する。4枚の綜統枠があれば、これらすべてを製織できるが、3枚の綜統枠で普通綜統のみを使う場合に製織可能な織物組織は、この中の

336通りである。長目綜統を導入することで、綜統枠3枚のときに新たに製織可能となる織物組織は354通りであり、綜統枠3枚で製織可能な織物組織は336通りから690通りに増加する。つまり、普通綜統のみを使う場合と比較すると、製織可能な織物組織が約2倍に増えることが分かった。

References

- [1] Dawson RM (2000) *Text Res J*, **70**, 304–310
- [2] Japan Association of Specialists in Textiles and Apparel (2001) “Sen-i Seihin no Kisochishiki (1)”, Chap 3, Japan Association of Specialists in Textiles and Apparel, Tokyo
- [3] The Text Mach Soc Japan (2002) “Sen-i Kougaku (IV)”, Chap 1, The Text Mach Soc Japan, Osaka
- [4] Takatera M, Shinohara A (1986) *Sen-i Gakkai Nenzi Taikai Kenkyu Happyoukai Kouen Youshisyu*, 194
- [5] Ministry of Education (1960) “Syokki3”, Chap 3, Zitsumu Syuppan, Tokyo
- [6] Watanabe K (1964) Japanese Official Gazette of Patent, Showa 39–000185
- [7] Watanabe K (1964) Japanese Official Gazette of Patent, Showa 39–000186
- [8] Watanabe K (1965) Japanese Official Gazette of Utility Model, Showa 40–021018
- [9] Go Y, Matsuhashi F, Shinohara A (1961) *Sen-i Gakkaishi*, **17**, 989–993
- [10] Go Y, Matsuhashi F, Shinohara A (1961) *Sen-i Gakkaishi*, **17**, 993–996
- [11] Gu Ping, Greenwood K (1986) *J Text Inst*, **77**, 88–103