岐阜数学教育研究
2017，Vol. 16，1 - 33

組みひもを題材とした高校生向けの教材開発と実践

石原拓哉[1]，田中利史[2]

高校生向けの教材として「組みひも」を扱う。本論文では，組みひもを空間図形としてとらえ，その性質を調べることで組みひも同士の違いを考察する，高校生向けの授業案及び実践授業について述べる。
＜キーワード＞　組みひも，ブレイド，ねじれ数

1. 序文

平成 21 年度改定の高等学校学習指導要領数学編（[5]）において，数学科の目標は次のように設定されている。

数学的活動を通して，数学における基本的な概念や原理･法則の体系的な理解を深め，事象を数学的に考察し表現する能力を高め，創造性の基礎を培うとともに，数学の良さを認識し，それらを積極的に活用して数学的論拠に基づいて判断する態度を育てる。

また，図形領域において「図形に対する直観力・洞察力を養い, 図形の性質を論理的に考察し表現する能力を育成する」と書かれている。

そこで，数学的活動を通して事象を数学的に考察し表現する能力を高め，数学の良さを認識し，それらを積極的に活用して数学的論拠に基づいて判断する態度を育てることを目標とし，日常の事象に現れる図形の数量的な性質を考察できることをねらいとした，組みひもを題材とした高校生向けの教材開発を行った。本論文では，その教材の概要とそれを用いた授業実践について述べる。

[1]岐阜大学大学院教育学研究科
[2]岐阜大学教育学部

2. 題材について

研究で題材としている「組みひも」は，いくつかの（細い）ひもを編むことによりできる「ひも」のことである。本研究ではこれを空間図形としてとらえ題材として扱う。組みひもは，靴ひも（糸で編まれたもの）やヘアアレンジ（三つ編み）など身の回りにあるため，高校生にとって馴染みのあるものであると考える。一方で，組みひもを題材に応用した教材研究は少ない。

2 つの組みひもの図形としての違いを考察する際に，ひもの上下の状況を理解することでその数量的性質を調べるため，本題材は高校数学における「図形の性質」の内容を発展させたものとして位置づける。

組みひもの数学的研究（[1]）は結び目理論（[2]）の分野の一つとして考えられる。結び目理論は国内外において盛んに研究されている最先端の数学の分野である。一方で，組みひもの分類を教材研究に用いた先行事例は少ない。（[3]）本研究では，組みひもの数学的性質を用いて組みひもの図形としての違いを調べる，高校生向けの数学教材を開発をしている。さらに本研究で作成した授業案を用い

て，大学 4 年生を対象とした授業実践を行った。

3. 組みひもについて

＜定義 1＞

空間内に 2 つの水平面（xy-平面に平行な 2 つの異なる平面）を考える。それぞれの水平面にいくつかの点を考えるとき，上下の点をつなぐ何本かのひも全体を**組みひも**または**ブレイド**という。ブレイドは次の条件を満たすものとする。

条件 1. ひもでつなぐ点は，各水平面と xz-平面が交わる直線上に等間隔に置かれた，いくつかの点とする。上下の点は同数であり，x 座標はそれぞれ一致しているとする。

条件 2. ひも同士はぶつからない。

条件 3. ひもに沿って上からたどると必ず下がっていき，途中で上がることはない。（図 1）

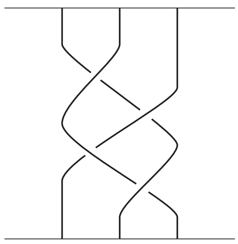
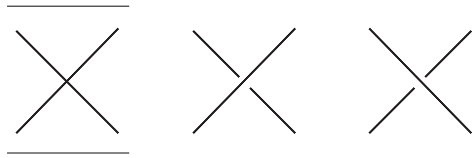


図 1

＜定義 2＞

ブレイドの xz-平面への投影図を考える。影の交わりは図 2(a) のような交差点のみであるとする。このとき，各交差点に図 2(b) のように上下の情報を与えた図をブレイドの**図式**という。（図 1）



(a) (b)

図 2

＜定義 3＞

図 3, 図 4 のようにブレイドの図式の一部を変形する操作を**ライデマイスター移動** R1，R2 という。

- R1

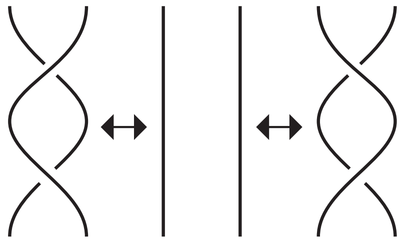


図 3

- R2

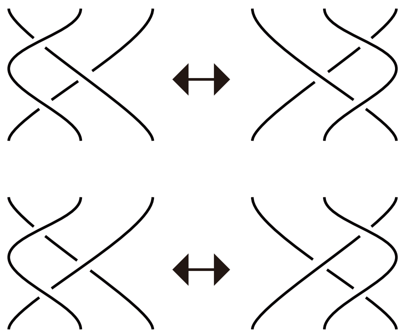


図 4

＜定義 4＞

2 つのブレイド B_1 と B_2 の図式が，何回かのライデマイスター移動をすることによって互いに移り合うとき，ブレイド B_1 と B_2 は**同じブレイド**であるという。

＜定義 5 ＞
あるものの集まりについて，同じものに対し同じ数量を与える対応を**不変量**という。

注意．誕生日やマイナンバーは人の集まりに対する不変量である。

＜定義 6 ＞
ブレイドの図式について，水平面に対し図 5(a) のような交差点を**正の交差点**，図 5(b) のような交差点を**負の交差点**という。
また，正の交差点の個数から負の交差点の個数をひいたものを**ねじれ数**という。

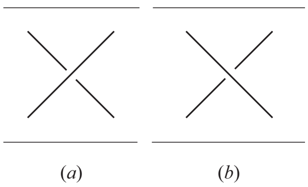


図 5

＜定理 1 ＞ [2]
ねじれ数はブレイドの不変量である。
（証明）
定義よりライデマイスター移動でねじれ数が変化しないことが分かる。

＜定義 7 ＞
ひもの本数が同じ 2 つのブレイド B_1，B_2 を図 6 のようにつなげて，高さを押し縮めてできるブレイドを B_1 と B_2 の**積**といい，$B_1 \cdot B_2$ で表す。

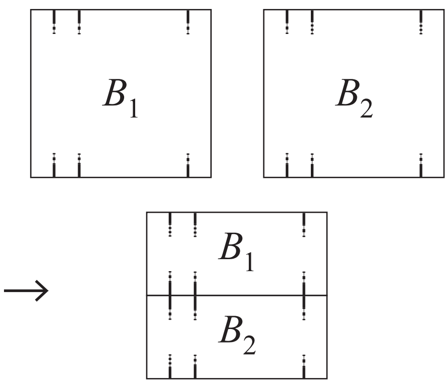


図 6

＜定義 8 ＞
図 7 の図式を持つブレイドを**単位ブレイド**という。

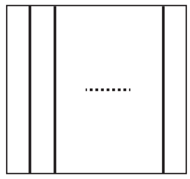


図 7

＜定義 9 ＞
あるブレイドについて，その図式を図 8 のように 2 つの水平面の中間の直線に関し折り返して得られる図式を持つブレイドを**逆ブレイド**という。

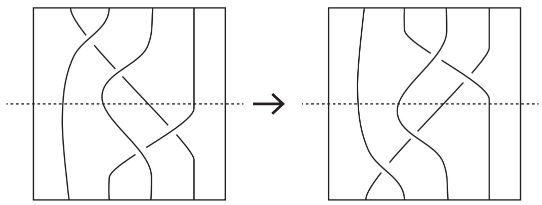


図 8

＜定理 2 ＞ [1][2]
n 本のひもからなるブレイド全体を考え，同じブレイドは同値とみなしたときの同値類全体の集合を B_n とする。このとき，B_n は定義 7 の演算に関して群をなす。
（証明）
結合法則については明らかに成り立つ。単位ブレイドが単位元，逆ブレイドが逆元を与えることが分かる。

4. 授業の概要

(1) 教材について
本論文で紹介する授業の教材は，組みひもである。これを題材として扱う理由を以下に示す。

1. 生徒にとって身近であり，また分かりやすい概念である。
2. 数学の中でそれまで扱ったことのない空間図形であり，生徒の興味関心を得ることができる。
3. 高校で扱う内容と関連づけができる。
4. 研究されている内容が豊富にあり，関連してさまざまな課題を与えることができる。

(2) 授業のねらい
本授業のねらいを以下のようにした。

(a) 2つの同じブレイドに対し，ライデマイスター移動を用いて，一方のブレイドの図式をもう一方のブレイドの図式に変形できる。

(b) ねじれ数を用いて，違うブレイドかどうかの判別ができる。

(c) ブレイドに対して積や逆ブレイドを求めることができる。

(3) 授業の構成
ここで授業案の流れを説明する。本授業は3時間の内容で構成している。

まず本授業における課題を提示し，授業の概要を説明する。
課題　組みひもの数学的な性質を理解しよう。

「三つ編み」や「しめ縄」といった身近な組みひもについて振り返る。そして，針金を用いて作成した組みひもを提示し，数学的なとらえ方を説明したあと課題を掲示する。組みひもを数学的に定義し，本授業ではブレイドと呼び授業を進めていくことを説明する。
ブレイド及びその図式を定義する。次に針金とシリコンチューブを用いて作成した組みひも（図9）を配布し，演習1に取り組む。

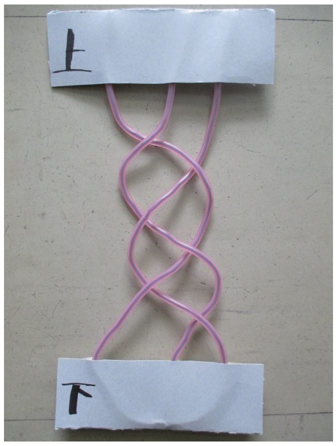


図9

演習1 配られた組みひもをブレイドの図式で表してみよう。

この演習では，生徒が組みひもを空間図形としてとらえ，その投影図の各交差点に上下の情報を与え図式で表すことを学習し，ブレイドの定義における条件を理解することを目的としている。
続いてライデマイスター移動及び同じブレイドであることを定義し，本授業の課題であるブレイドの数学的な性質を扱う内容に入る。

演習2 次のブレイドの図式の一つに対してライデマイスター移動を施し，もう一方のブレイドの図式に移り合わせよう。

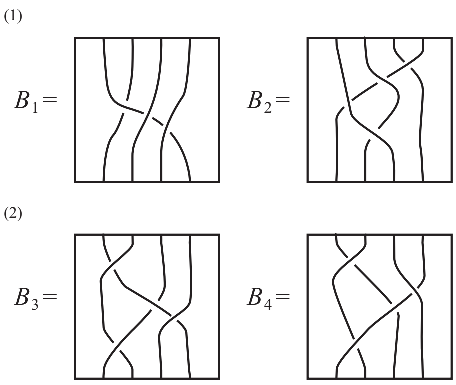
この演習はブレイドの同型について理解させることを目的としている。また，同じブレイドであることの意味を，実際にライデマイスター移動を施して同じブレイド同士を移り合わせる活動をすることで理解し，またブレイドの図式の変形の仕方についても理解できるようにしている。特にライデマイスター移動による変形では，具体的にどの操作に対応するのかを図と文章で示していくようにし，正しい理解ができるようにする。
次に2つのブレイドがライデマイスター移動では移り合わない（すなわち，同じブレイドでない）ことを示すために，ねじれ数とい

う不変量を用いる。ねじれ数を定義した後，具体的にブレイドの対を与え，ねじれ数を求めることでそれらが違うブレイドであるかどうかを生徒が判定する次の演習3を行う。（添付プリント参照）

演習 3 ねじれ数を求めて，次のブレイドの対が違うブレイドかどうか調べよう。（添付プリント参照）

この活動を通して，生徒がねじれ数という不変量の有用性を実感し，扱えるようになると考える。また，ねじれ数が同じであるならば同じブレイドであるとは言えないことを説明し，不変量ついての正しい理解ができるようにする。

演習 4 次のブレイドの積を求め，ブレイドの図式で表そう。



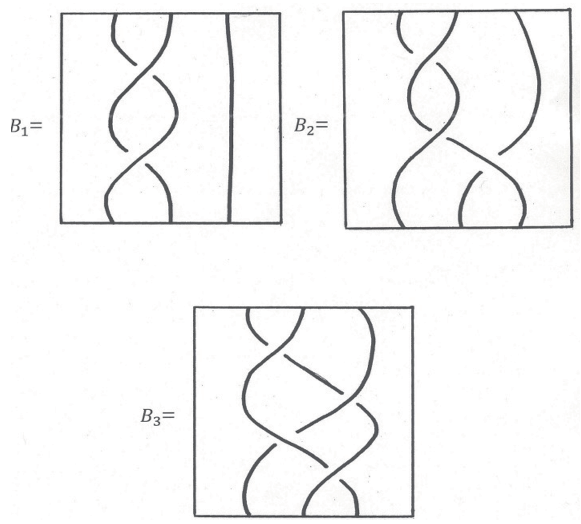
ここで，次のように単位ブレイド及び逆ブレイドを定義する。

＜定義＞

1. どのブレイド B に対しても $B \cdot I = B$ となるブレイド I がある。このブレイド I のことを**単位ブレイド**という。

2. I を単位ブレイドとする。ブレイド B に対して $B \cdot E = I$ となるブレイド E がある。このブレイド E のことを B に対する**逆ブレイド**という。

演習 5 (1) 下の 3 つのブレイドの単位ブレイドと逆ブレイドを見つけよう。



(2) (1) の活動を通して，一般のブレイドについて単位ブレイドと逆ブレイドの作り方を自分なりの言葉で表そう。

演習 4 ではブレイドという空間図形にも積の演算が定義できることを知り，またその演算ができるようになることを目的とした。

次に演習 5 の答えを提示し説明を行う。その後，群の定義について紹介し，ブレイドの集まりが群を与えることを説明する。

最後に授業のまとめ及びアンケート調査を行う。

まとめ

(1) ねじれ数という不変量を用いてブレイドの違いを調べることができる。

(2) ブレイドについて積が定まり，単位ブレイド，逆ブレイドがある。

5. 実践と結果

(1) 実践内容

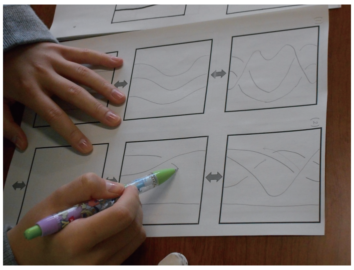
講座名：『君の縄 your rope.』

日程：平成 28 年 12 月 16 日 (金)

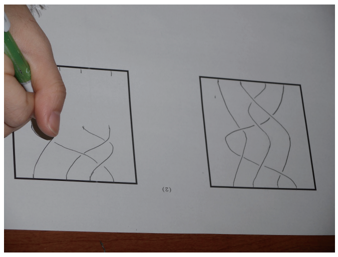
場所：岐阜大学教育学部
対象：岐阜大学教育学部数学教育講座の大学4年生 (18名)

(2) 実践の流れ

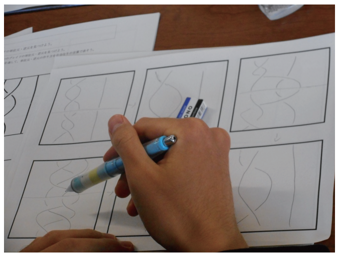
1. テキスト及び授業で使用する教材を配布する。
2. 日常の組みひもを紹介し，道具を用いて幾何学的なとらえ方を示す。
3. 組みひもを定義し，本授業ではブレイドと呼んで授業を進めることを確認する。
4. ブレイドの図式を定義する。学生が演習1に取り組む。
5. ライデマイスター移動及びブレイドが同じであることを定義する。
6. 学生が演習2に取り組む。



7. ライデマイスター移動を用いるだけではブレイドの違いが分からないことを確認した上で，不変量及びねじれ数を定義する。
8. ねじれ数が不変量であることを確認する。同じブレイドならばねじれ数は同じであること及び，ねじれ数が違うならば違うブレイドであることを確認し，演習3に取り組む。
9. ねじれ数が同じならば同じブレイドになるとは限らないことをスライドにより確認する。
10. ブレイドの積を定義する。学生が演習4に取り組む。



11. 群について定義する。また，ブレイドが群をなすことを紹介し，結合法則の成立について説明する。学生が演習5に取り組む。本実践の対象集団は大学4年生であり，群の内容については既習である。そのため，ここでは4節で述べた定義の紹介の代わりに群の定義を復習し，演習5については単位ブレイドと逆ブレイドの部分を単位元と逆元に置き換えて，演習を行なっている。



12. アンケート調査を実施する。

(3) アンケート調査結果
　以下，授業後に行ったアンケートの結果及びねらいの達成度について述べる。(アンケートの図については添付プリント参照)

Q1. ライデマイスター移動やねじれ数を用いれば組みひもの違いが調べられることがわかりましたか。
分かった $\cdots$ 12人
まあまあ分かった $\cdots$ 6人
どちらともいえない $\cdots$ 0人

あまり分からなかった $\cdots$ 0 人
分からなかった $\cdots$ 0 人

Q2. 組みひもについて数学的な興味が持てましたか。
そう思う $\cdots$ 8 人
ややそう思う $\cdots$ 9 人
どちらともいえない $\cdots$ 1 人
あまりそう思わない $\cdots$ 0 人
そう思わない $\cdots$ 0 人

Q3. 次のブレイドの中で自明なブレイドはどれですか。
正答 $\cdots$ 18 人
誤答 $\cdots$ 0 人

Q4. 組みひもについて正しいものを選んでください。
(ア) ねじれ数が同じ 2 つのブレイドは必ず同じブレイドである。
(イ) ねじれ数が違う 2 つのブレイドはライデマイスター移動を施すと互いに移り合うことがある。
(ウ) 違うブレイドのねじれ数は必ず違う。
(エ) ねじれ数の違うブレイドは同じブレイドでない。
正答 $\cdots$ 15 人
誤答 $\cdots$ 3 人

Q5. 次のブレイド B_1, B_2 について以下に答えてください。
(1) ブレイドの積 $B_1 \cdot B_2$ を求め，ブレイドの図式で表してください。
正答 $\cdots$ 17 人
誤答 $\cdots$ 1 人

(2) 以下のブレイドから B_1 とは違うブレイドを選んでください。

正答 $\cdots$ 15 人
誤答 $\cdots$ 3 人

(3)B_1 の逆元を (ア)〜(ウ) から選んでください。
正答 $\cdots$ 18 人
誤答 $\cdots$ 0 人

Q6. この授業の感想を書いてください。
・自分で定義を考えて言葉で表すということは，なかなかしないことなので楽しく感じました。
・組みひもに関しては，頭でイメージすることとそれを図で表現するということは数学ではあまりないですが，必要な力だと思うのでとてもいい題材だと思いました。また数学にこのような分野があるのを知れてよかったです。
・頭の中で動かすのが面白かった。どんな移動を施したか定義の言葉選びなど細かいところまで考えるのが難しいと思った。感覚でやってはダメ。
・一見違うブレイドでも，さまざまな判別方法により，ブレイドが同じか違うかが分かり，どんな変形を使えば分かりやすいのかを考えるのが楽しかった。幾何学的なことを言葉で説明することの難しさを感じた。
・組みひもの分野は初めて学びましたが，ひもを動かしながら交差点を 1 つ 1 つほどいていくのがとても楽しかったです。
・想像するのが大変でしたが，ライデマイスター移動を繰り返してブレイドを調べるのは楽しかったです。
・イメージしたり実際に書くことは難しかったですが，操作は単純なことが多く楽しみながら参加できました。また周りの人と確認しながら取り組むことで理解を深めることができました。初めて学習しましたがとても分かりやすく楽しかったです。
・最初はライデマイスター移動が難しいなと思ったけれど，どこから動かしていけばよい

かを考え，1 つ 1 つ丁寧に移動していけば同じブレイドを作ることができると分かった。逆元についても初めはうまく考えられなかったけれどしっかりと理解することができた。
・単位元や逆元を考えるときに図は考えることができたけれど，それを言葉で説明するとなるとどのように説明すればいいのか分からなかった。ブレイドについていろいろと知ることができてよかったです。
・逆元を自分で考えるのも面白かったです。規則性も分かったし，群で考えることにつながると知ってなるほどと思いました。

6. ねらいの達成度

授業の終わりに今回の実践のねらいを踏まえた事後アンケートを行い，以下のような結論を得た。

(1) ねらい (a) について

Q1 の質問に「分かった」及び「まあまあ分かった」と 18 人全員の学生が答えた。また Q3 におけるライデマイスター移動を施すことで交点を持たないまっすぐなひもで表されるブレイドを選ぶ問題は全員が正解した。また授業においてライデマイスター移動を用いたブレイドの変形問題も，ほとんどの学生が正解していた。したがって，ねらい (a) については達成できたと考える。

(2) ねらい (b) について

Q4 のねじれ数について正しいことが書かれた文を選ぶ問題と，Q5(2) のねじれ数を求めることで違うブレイドを選ぶ問題に対する結果として，1 つ目については約 83 %の学生が正解した。2 つ目については，ねじれ数を求めることで違うブレイドであると判断し正解した学生は約 78 %いた。また，問題文をより分かりやすくすれば正解したと判断できる生徒がいた。したがって，ねらい (b) について達成できたと考える。

(3) ねらい (c) について

Q5(1) のブレイドの積を求める問題と Q5(3) の与えられたブレイドの逆ブレイドを 3 つのブレイドから選ぶ問題に対する結果として，1 つ目については約 94 %の学生が正解していた。2 つ目については全員が正解していた。また，授業で扱った関連する問題もほとんどの学生が正解していたことから，ねらい (c) について達成できたと考える。

7. 本研究のまとめと課題

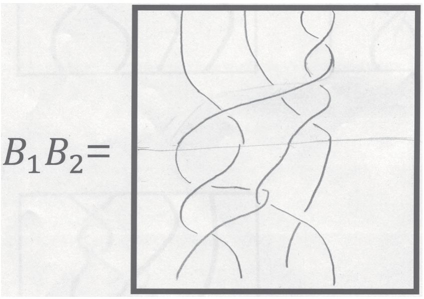
(1) 本研究のまとめ

本研究では，組みひもに関する数学の研究を応用した，組みひもを題材とした高校生向けの教材開発をしている。内容は組みひもを空間図形としてとらえ，その幾何的性質や代数的性質について理解をしていくものであり，授業では組みひもを図式で描いたり，その変形を行なう。また「ねじれ数」という不変量を求めることで，同じでない組みひもを判定したり，組みひもの集まりが群をなすことなどの確認をする。

授業実践では大学生を対象集団としたが，アンケートＱ 6 の結果より，実践を通して，現代数学である組みひもの幾何学について学習者が興味を持つきっかけにつながったと考える。

(2) 今後の課題

実践を終えて，組みひも（ブレイド）についての定義をより丁寧に指導することと，演習問題を充実させることが課題であると考えた。以下の画像は事後調査での学生の解答である。



この解答を見ると次の二つの問題点がある。問題点 1⋯ ひもの端点の間隔が等間隔でないこと及びひもが途中で切れている。

ブレイドを定義した際にブレイドの約束を学生に細かく指導したが，この解答ではその約束が守られていなかった。ひもが途中で途切れているため，ブレイドを正確にとらえているとは言い難い。

問題点 2⋯ 高さが半分の所に B_1 と B_2 を区別する線を残したままにしている。

ブレイドの積を手順通りに行う意識が感じられるが，解答を途中で終えてしまっている。B_1 と B_2 をくっつけて縮めた際に高さが半分のところの線を消すことで，積 $B_1 \cdot B_2$ が求められたことになるため，この解答では積が求められたとはならない。

ブレイドは学習者にとって新しい内容であるので，定義及び約束があいまいになってしまうのは，授業者にとって予想しうることである。この 2 つの問題点をふまえて，演習においてブレイドを描く際に配布するプリントに，授業序盤は等間隔に端点が与えられた解答用紙を配布し，学習者がブレイドの条件を意識し確認できるようにすることや，スライドで解答を確認する際に，授業者が定義を丁寧に確認していくなどの改善が必要であると考える。

一方で，良かった点は，演習 5 においてグループで取り組む活動を入れたところである。学習者がグループ内で話し合うことで，ブレイドの単位元と逆元について気付いたことや分かったことなどを，自身の思考で終わるのではなく周りに伝えることが出来ていた。そのことが授業で扱ったブレイドに関する正しい言語を用いることや，互いのものを評価し本当にあっているか確かめあうことにつながり，考えをより深め合っている姿が見られた。

8. 添付資料

本論文に，授業で使用したテキストおよびアンケートを添付する。

9. 謝辞

本研究において，授業実践を行うにあたりお世話になった岐阜大学の山田雅博教授に感謝する。

10. 参考文献

[1] 河野俊丈,『新版　組みひもの数理』, 遊星社 (1993).

[2] 河内明夫,『レクチャー結び目理論』, 共立出版株式会社 (2007).

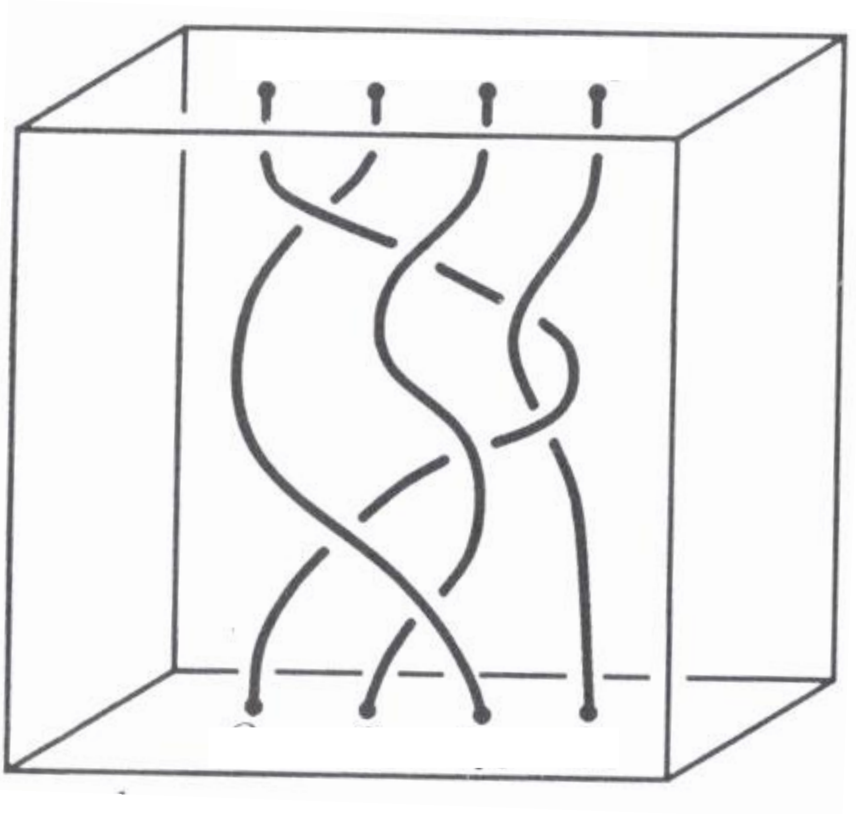
[3] 河内明夫・柳本朋子編,「結び目の数学教育」への導入―小学生・中学生・高校生を対象として―, 研究報告書 第 4 号, 2014 年.

課題

組みひもの幾何学的・数学的性質を理解しよう。

定義１

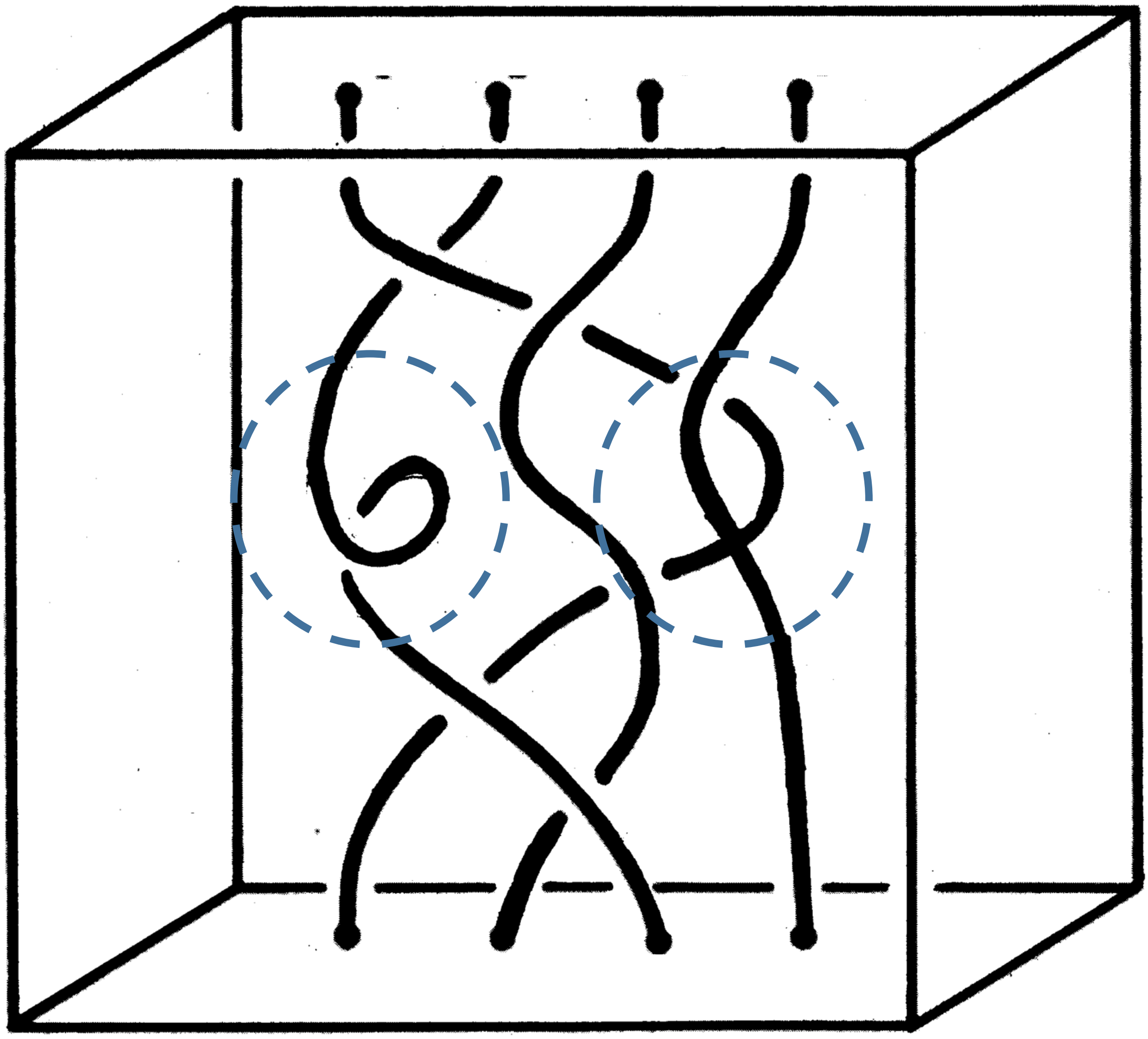
　空間中に２つの水平面を考えその間を上から下へ何本かのひもで結んだものを，
　　　　　　　　　　　　　または　　　　　　　　　　といい記号　　　で表す。



ひもは自由に伸ばしたり，縮めたりできます。

※以降はブレイドという言葉を使って授業を進めます。

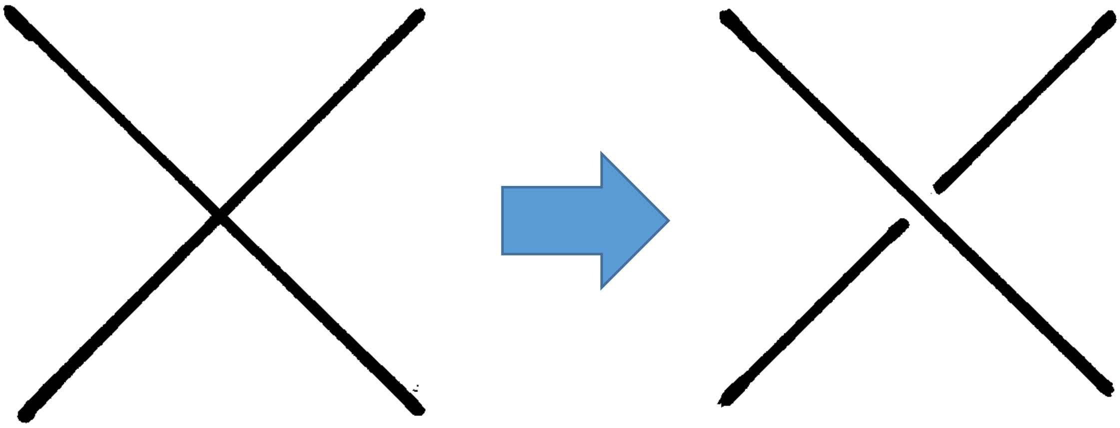
【ブレイドの約束】



①ひも同士は途中でぶつからない。

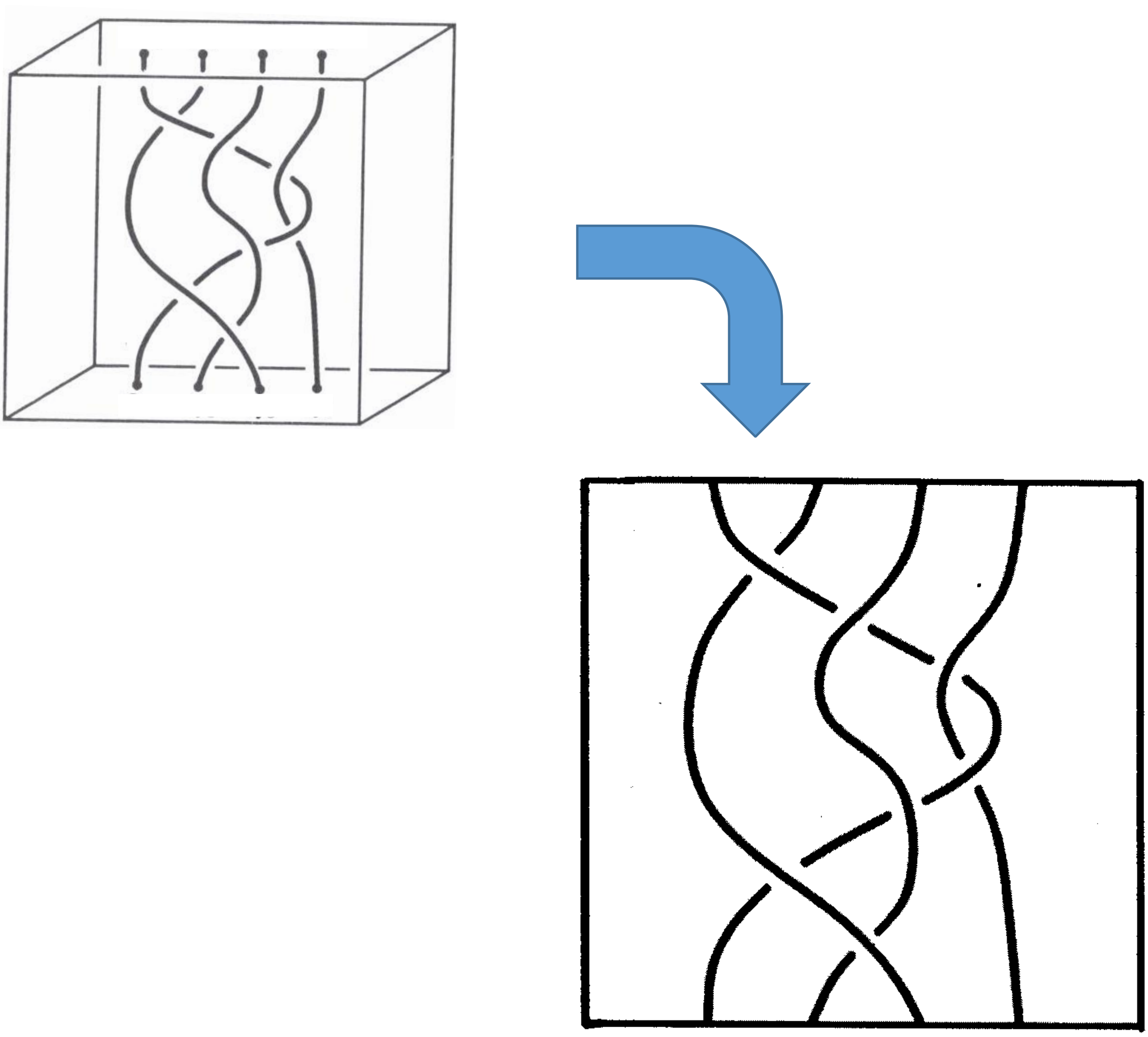
②ひもは必ず下がっていき，途中で上がることはない。

定義２
下図のようにブレイドの平面への投影図の各交点に上下の情報を与えた図を，
ブレイドの　　　　　　　　という。



例

３ページのブレイドを図式で表すと

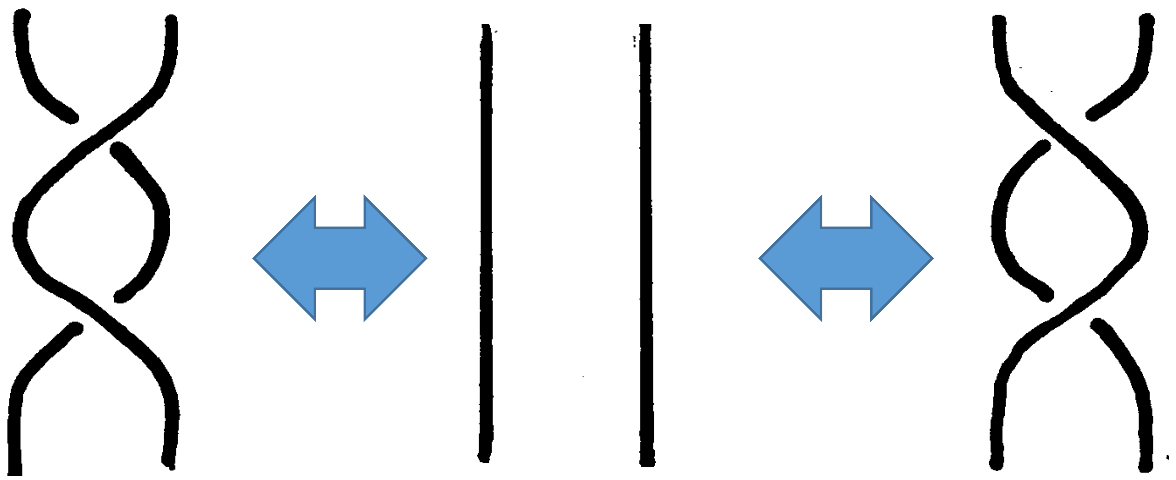


演習①

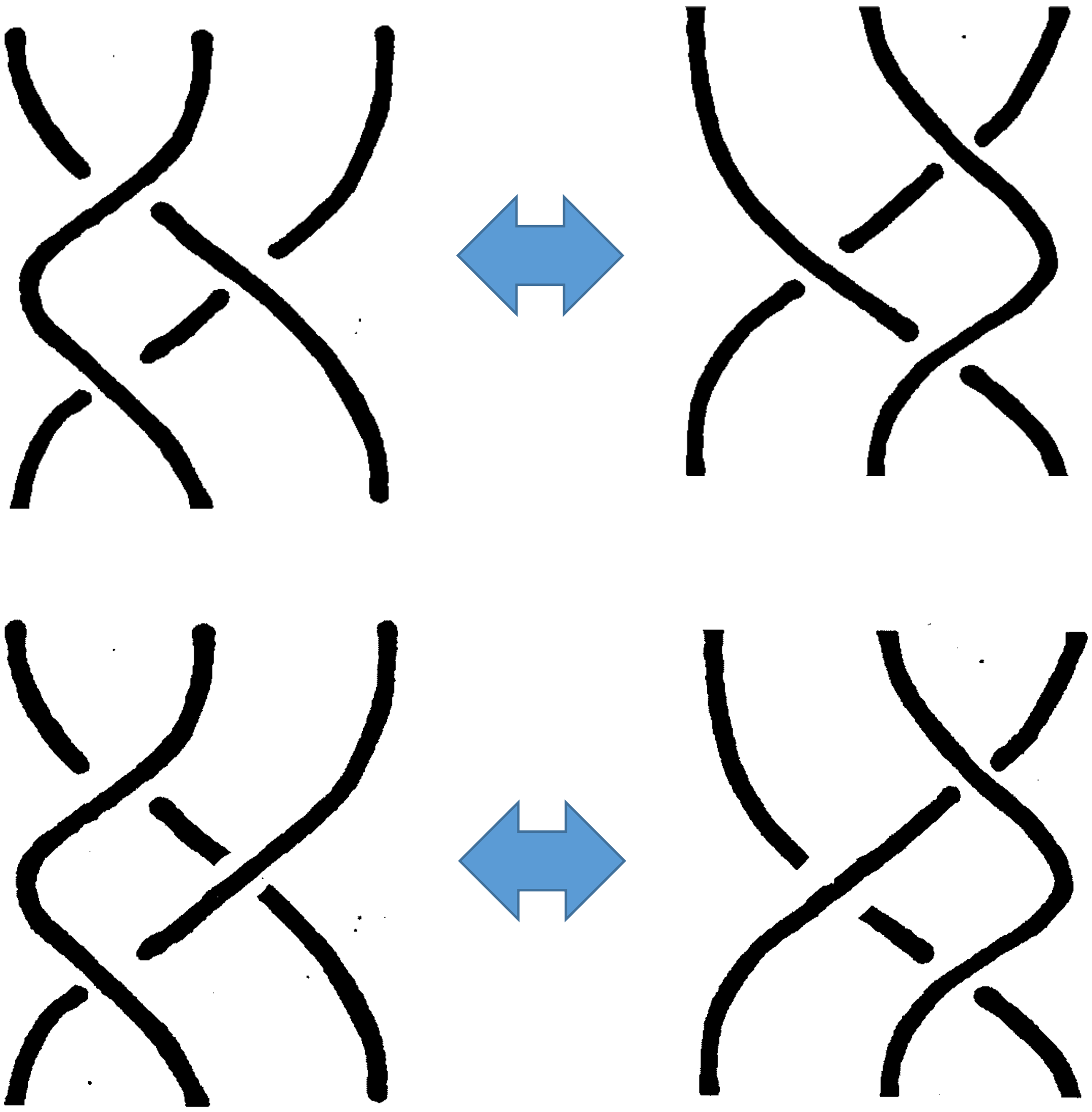
配られたブレイドをブレイドの図式で表してみよう。

定義３
下図のようにブレイドの図式の一部を変形する操作を　　　　　　　　　　　　という。

Ⅰ図式内で交点の数を減らしたり増やしたりする操作。



Ⅱひもの一部が交点を超える操作。

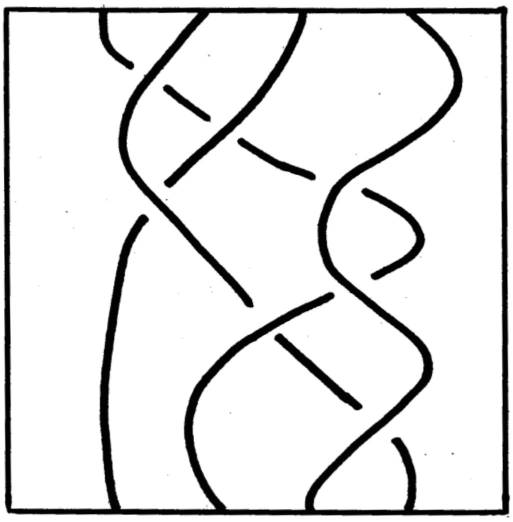


定義 4

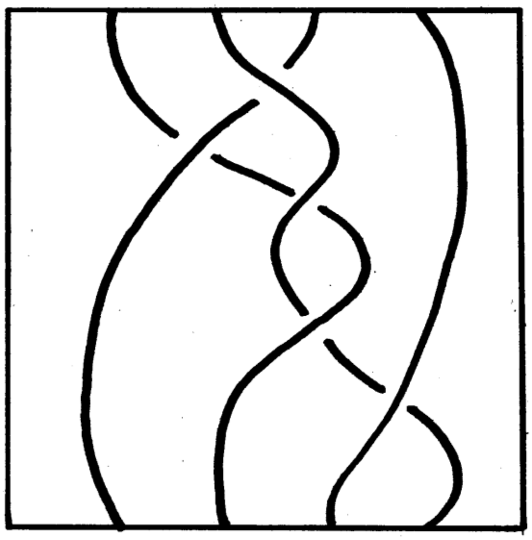
ブレイドB_1，B_2の図式がライデマイスター移動を施すことによって互いに移りあうとき，B_1とB_2は　　　　　　　　　　であるという。

$$B_1 = B_2$$

B_1



B_2

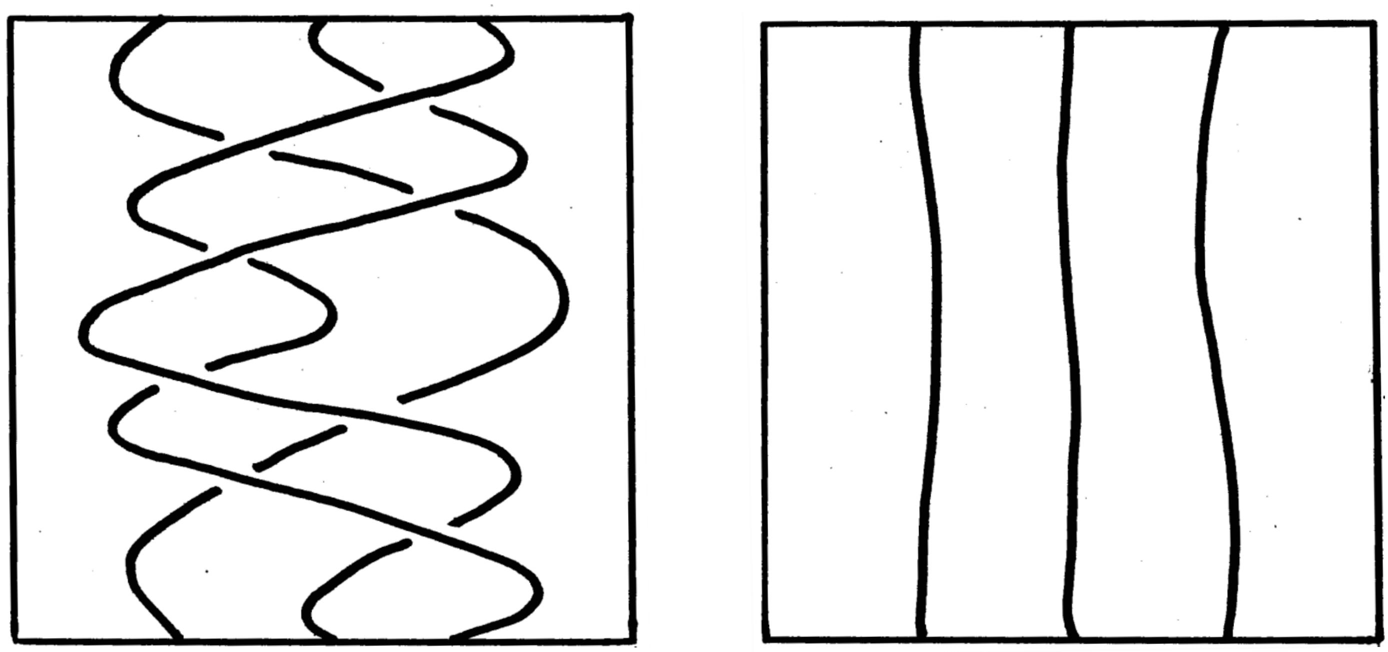


B_1とB_2は，ライデマイスター移動を施すことで互いに移りあうので同じブレイドである。

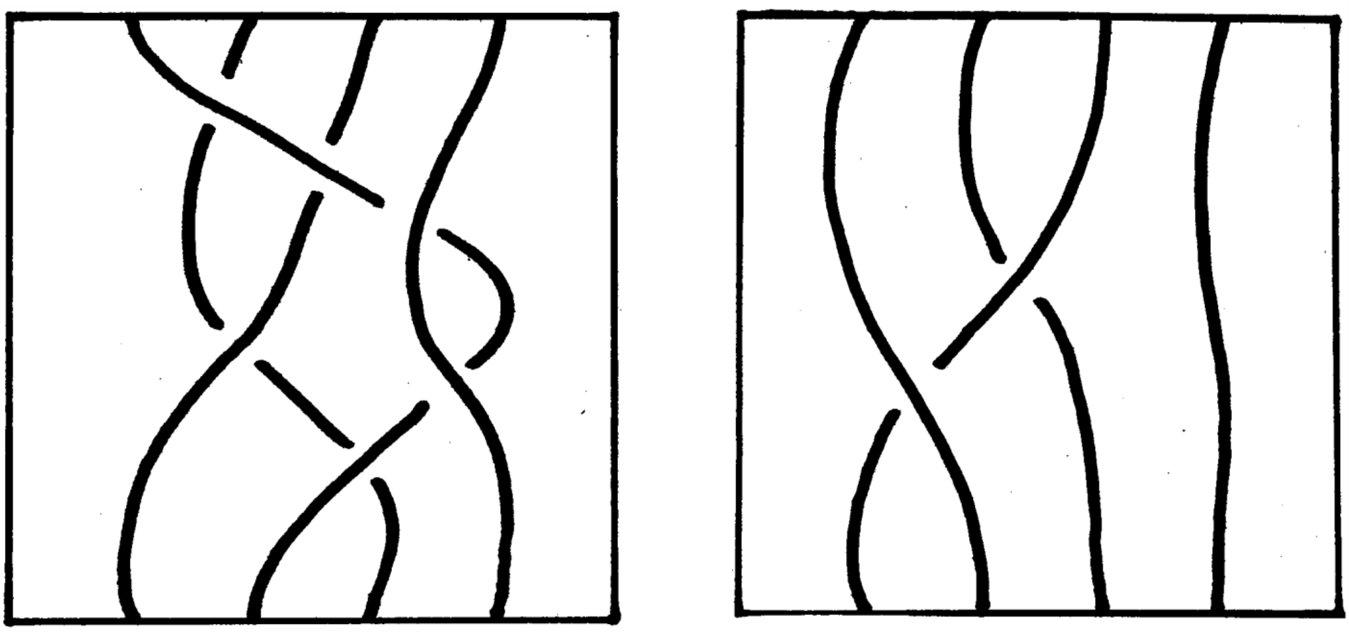
演習②

次のブレイドの図式にライデマイスター移動を用いてもう一方のブレイドの図式に移り合わせよう。

(1)

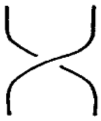


(2)



定義５
数や多項式などで，あるものの集まりを仲間分けする際に用いられるものを　　　　　とい
う。

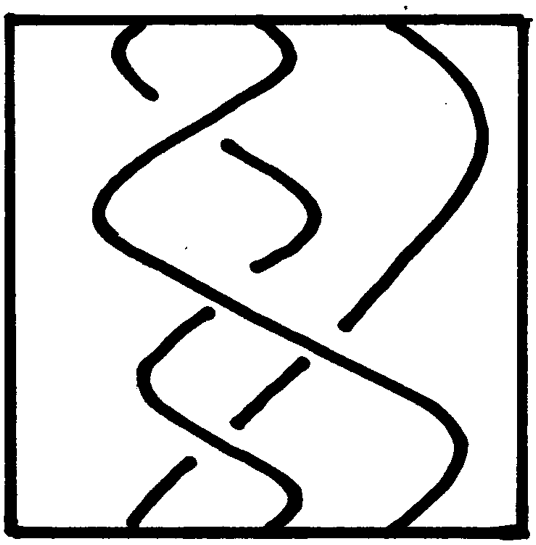
定義６
　ブレイドの図式の各交点において，

 を　　　　　　　， を　　　　　　　という。

正の交差点の個数から負の交差点の個数を引いた数を　　　　　　　という。

(ねじれ数)＝(正の交差点の数)－(負の交差点の数)

<u>例</u>



(正の交差点の個数)＝１

(負の交差点の個数)＝３

(ねじれ数)＝(正の交差点の数)－(負の交差点の数)

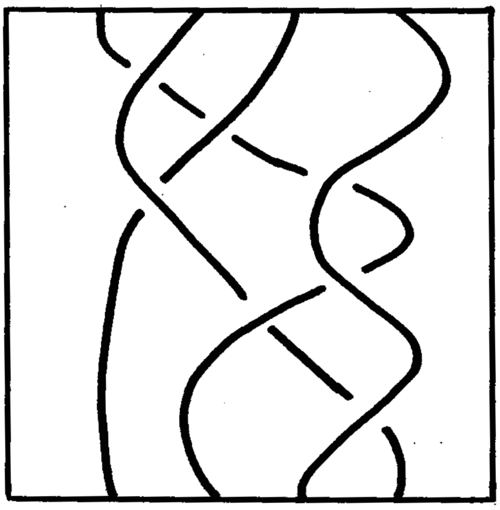
　　　　＝１－３

　　　　＝－２

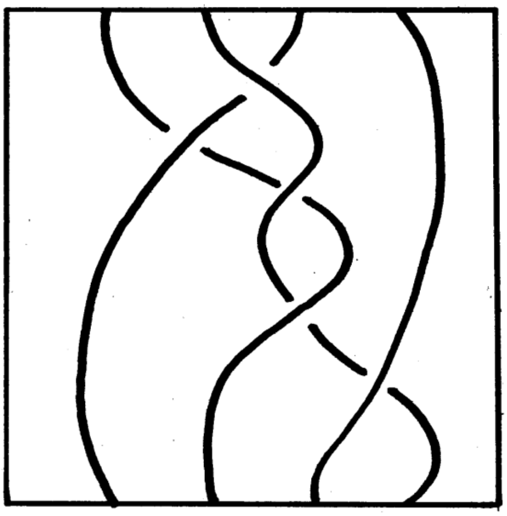
定理１

ねじれ数はブレイドの不変量である。

同じブレイド　⇒　ねじれ数が同じ

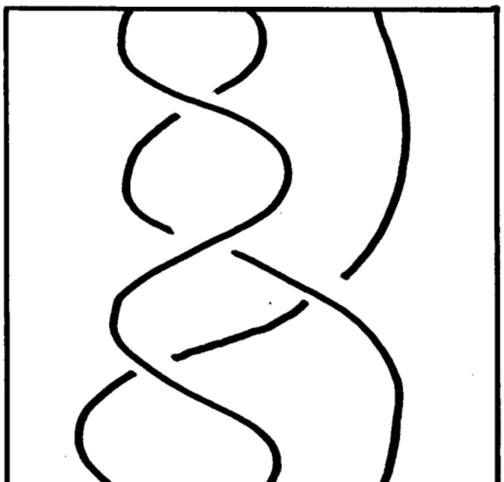


3

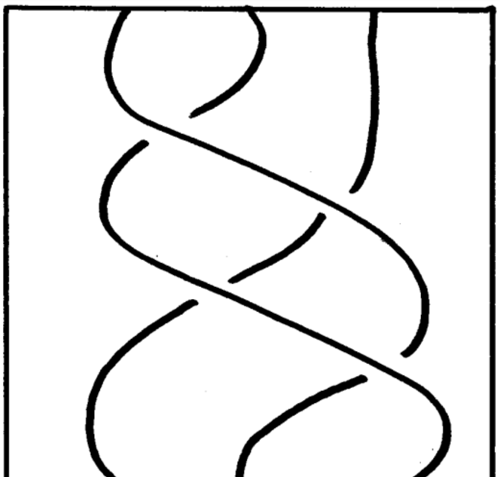


3

ねじれ数が違う　⇒　違うブレイド



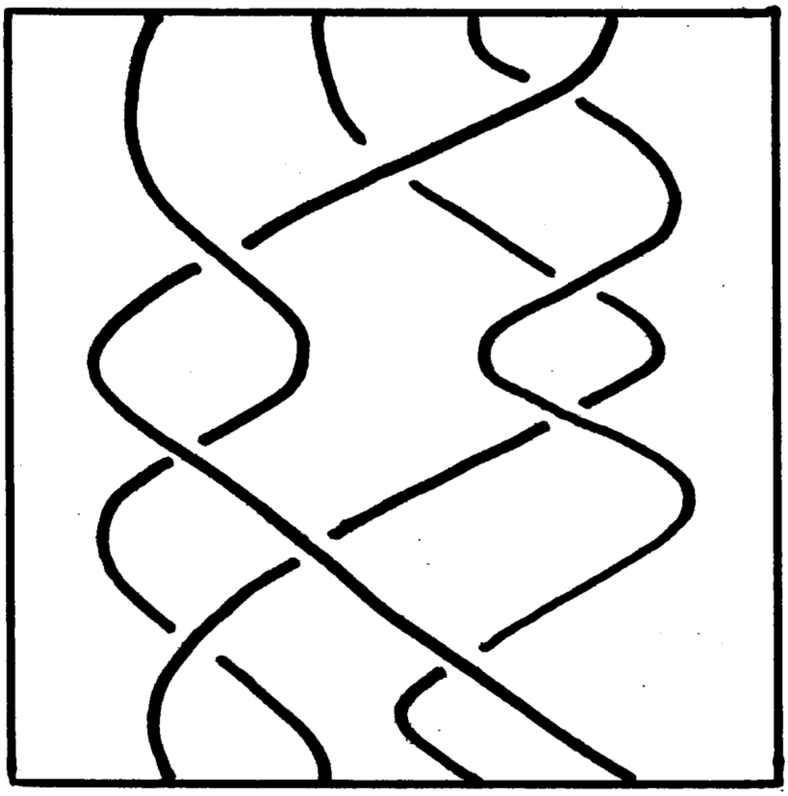
－２



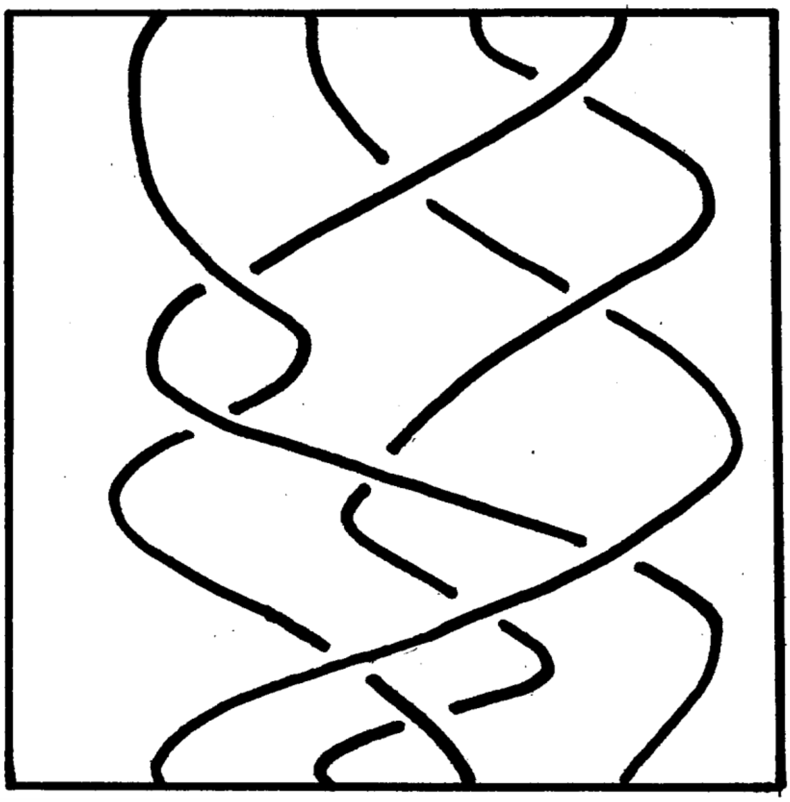
－4

演習③
ねじれ数を求めて，次の各ブレイドの対が違うブレイドかどうか調べよう。

（1）

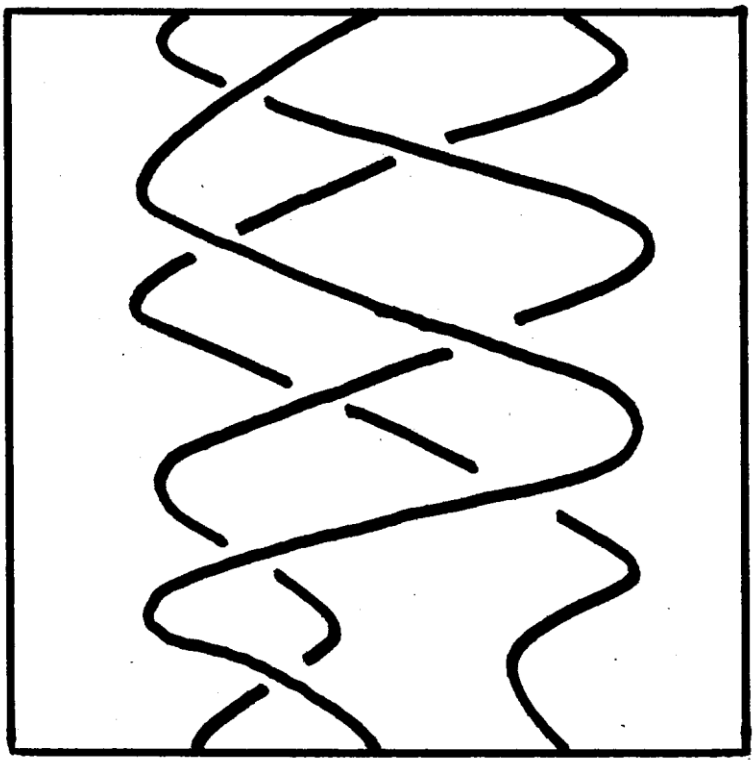


ねじれ数

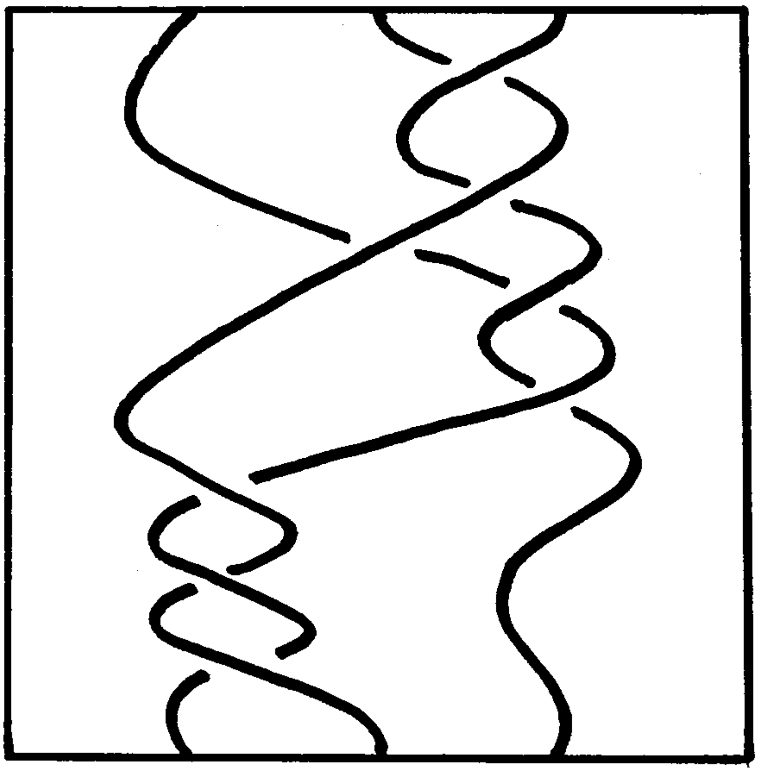


ねじれ数

（2）

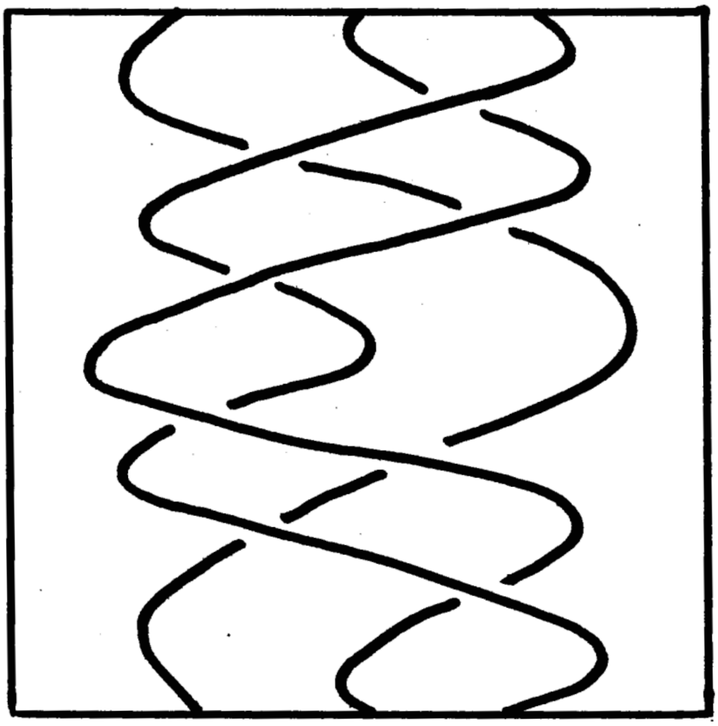


ねじれ数

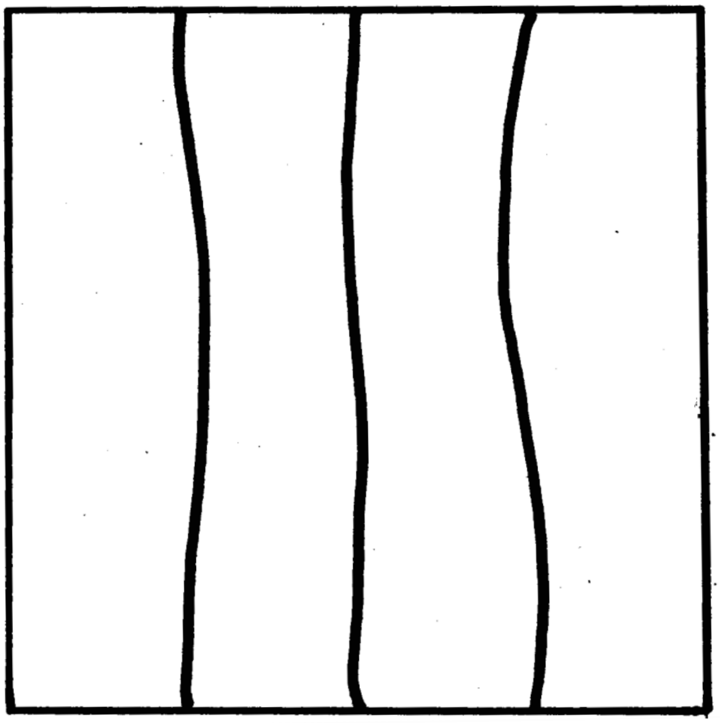


ねじれ数

（3）

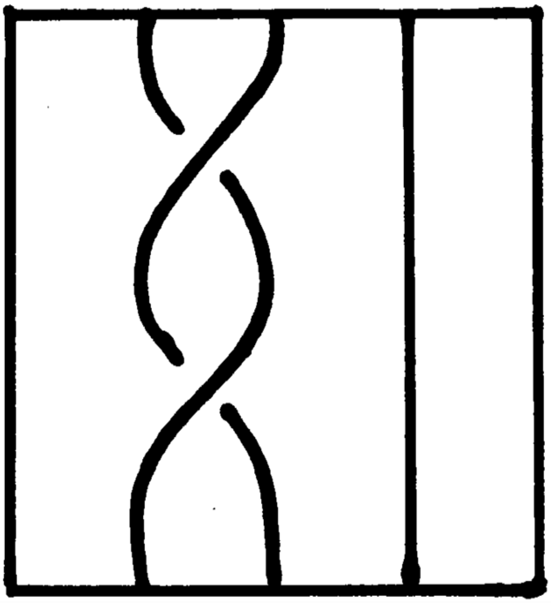


ねじれ数

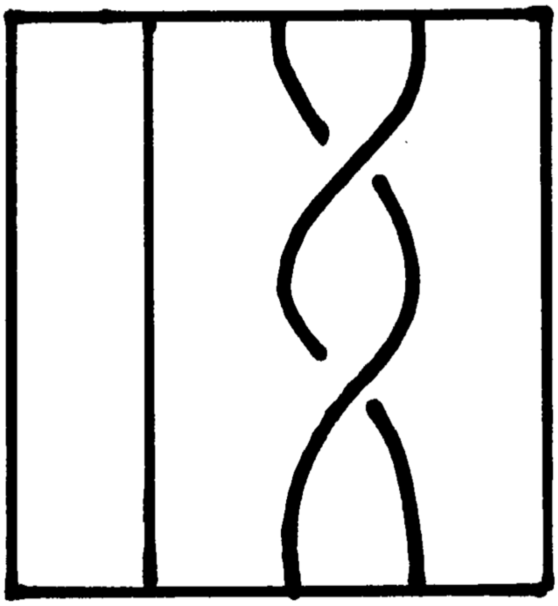


ねじれ数

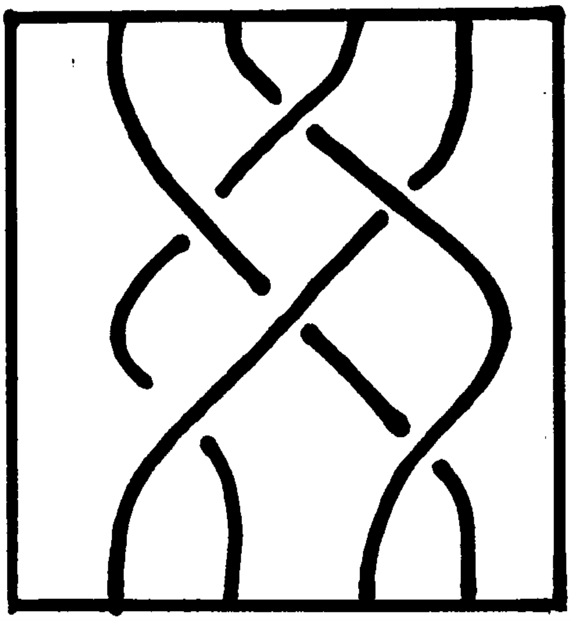
ねじれ数が同じならば同じブレイドであるとは限らない！！



2



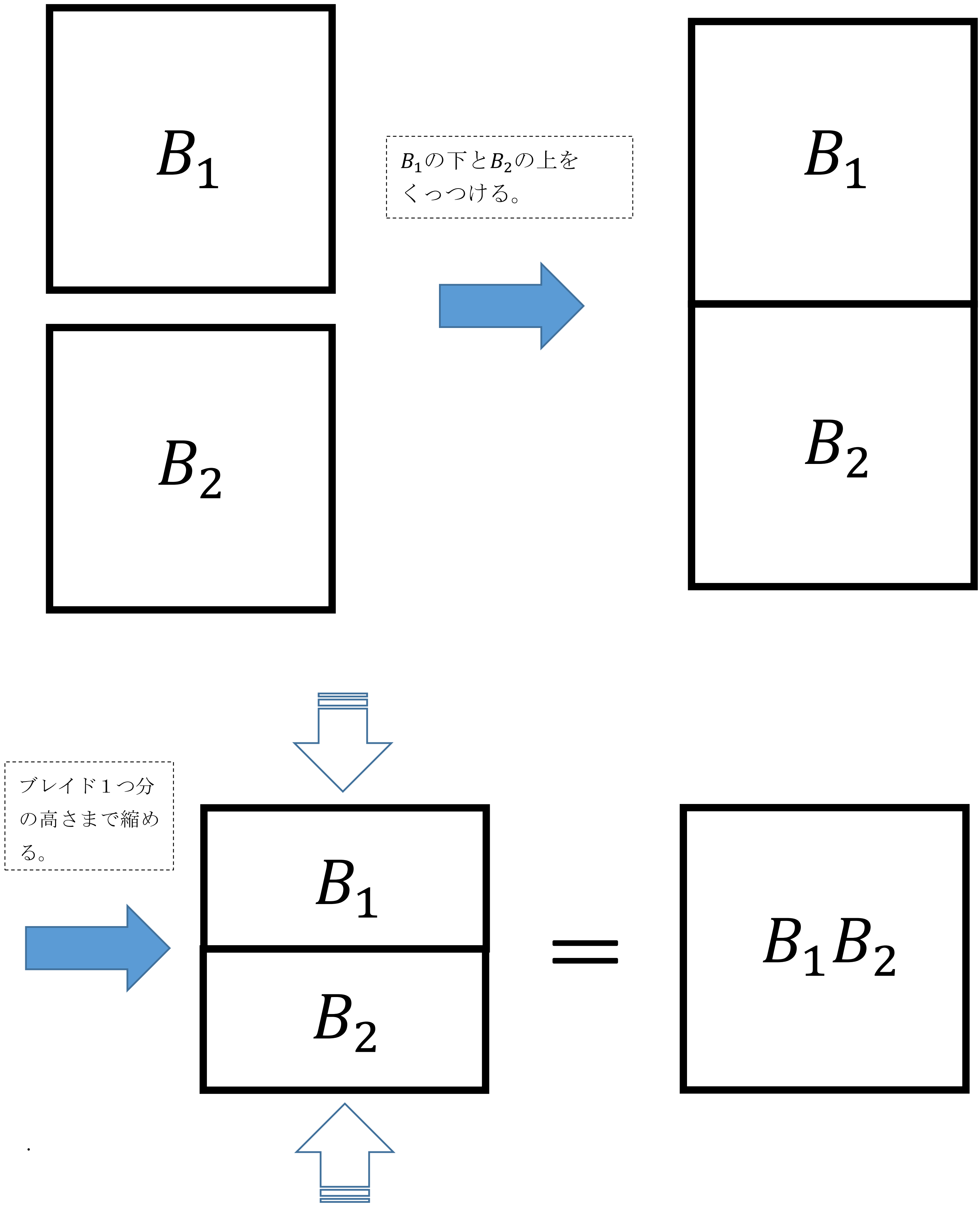
2



2

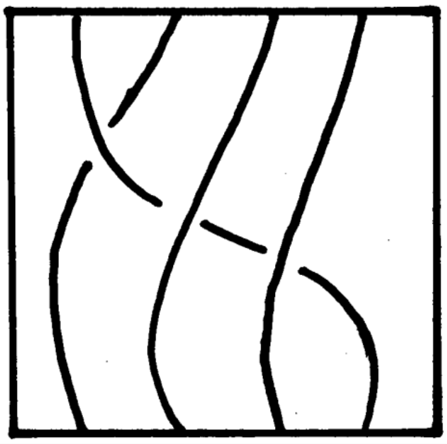
定義 7

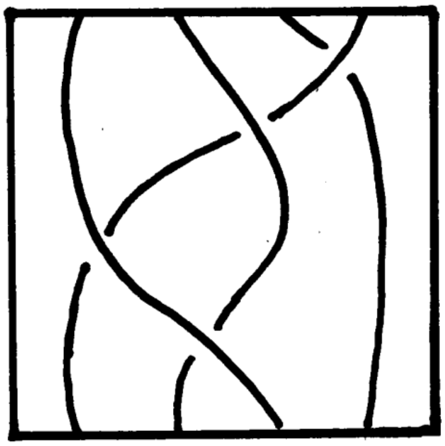
ひもの本数が同じ２つのブレイドB_1, B_2を下図のようにくっつけて，高さを押し縮めてできたブレイドをB_1とB_2の　　　　　　といい　　　　　　で表す。



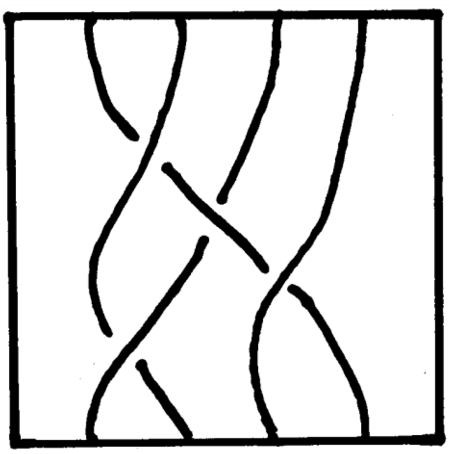
演習④
次のブレイドの積B_1B_2を求め，ブレイドの図式で表そう。

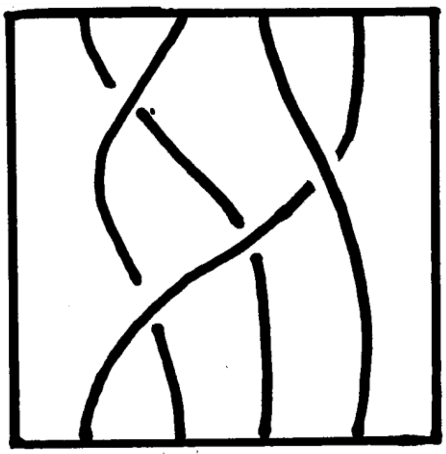
（1）

$B_1=$ 

$B_2=$ 

（2）

$B_1=$ 

$B_2=$ 

定義

　ある演算について次の性質が成り立つものを　　　　　　　　という。

【1】結合法則が成り立つ

演算の順番にかかわらずその演算の結果が同じになること

$$(B_1 B_2) B_3 = B_1 (B_2 B_3)$$

【2】単位元 I が存在する

任意の元に演算をしても変えない元

$$\mathrm{B} \cdot \mathrm{I} = \mathrm{B} = \mathrm{I} \cdot \mathrm{B}$$

【3】逆元が存在する

任意の元に対して，ある元で演算を行うと単位元になるような元

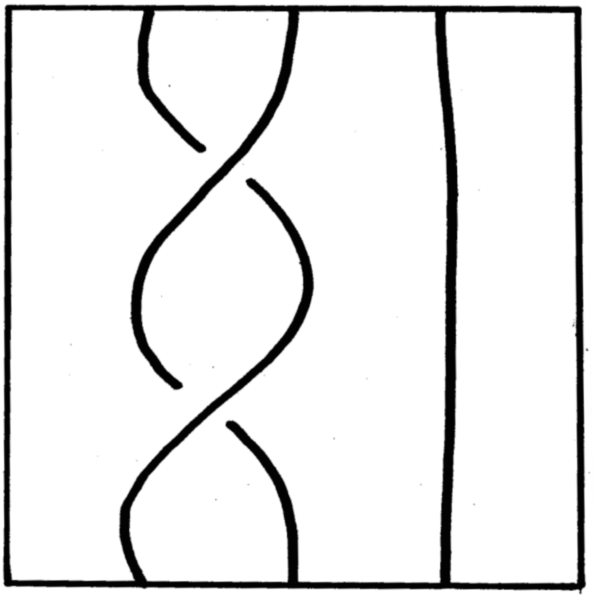
$$B_1 B_1^{-1} = B_1^{-1} B_1 = \mathrm{I}$$

演習⑤
ブレイドの単位元・逆元を見つけよう。

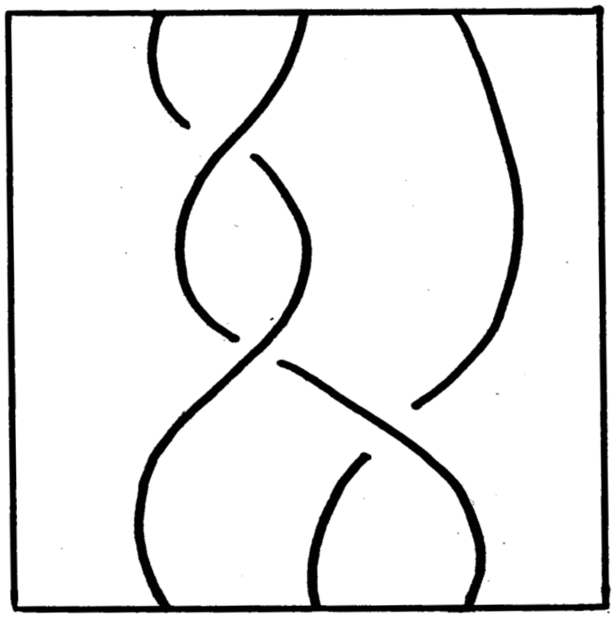
(1) 下の３つのブレイドの単位元・逆元を見つけよう。

(2) (1)の活動を通して，単位元・逆元の作り方を自分なりの言葉で表そう。

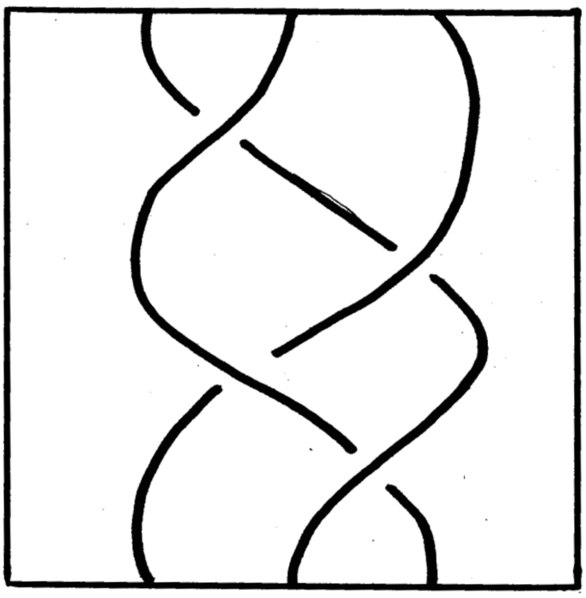
$B_1=$



$B_2=$



$B_3=$



(1)　単位元

逆元

(2)

【単位元】

【逆元】

Q1 ライデマイスター移動やねじれ数を用いれば組みひもの違いが調べられることがわかりましたか？

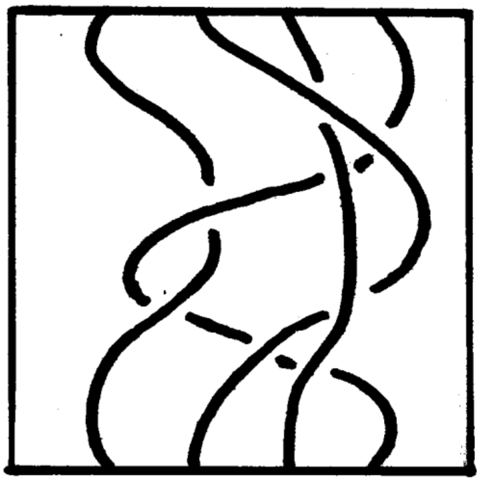
　分かった・まあまあ分かった・どちらともいえない・あまり分からなかった・分からなかった

Q2 組みひもについて，数学的な興味が持てましたか？

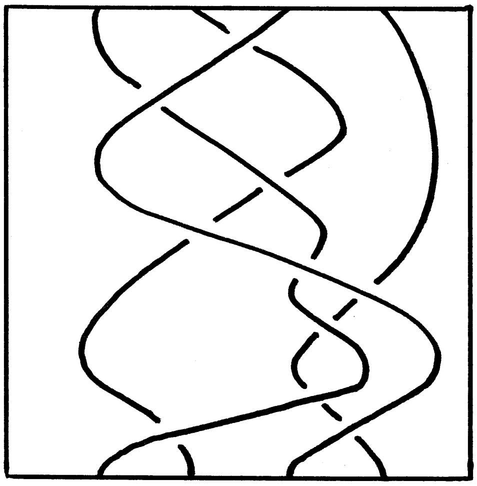
　そう思う・ややそう思う・どちらともいえない・あまりそう思わない・そう思わない

Q3 次のブレイドの中で自明なブレイドになるものはどれですか？　【　　　　　　　　】

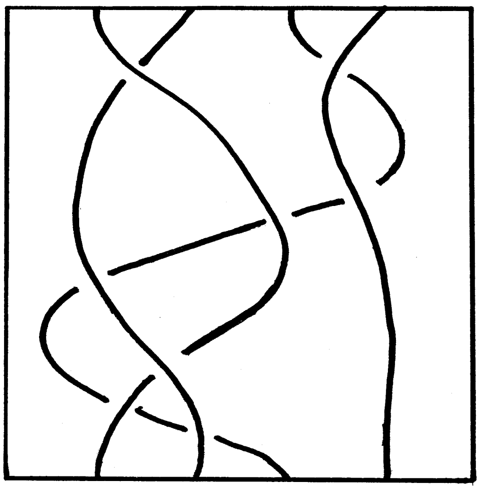
(ア)



(イ)



(ウ)



Q4 組みひもについて正しいものを選んでください。　【　　　　　　　】

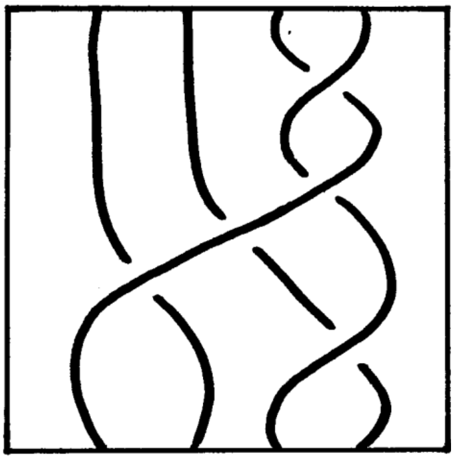
(ア)ねじれ数が同じ二つのブレイドは必ず同じブレイドである。

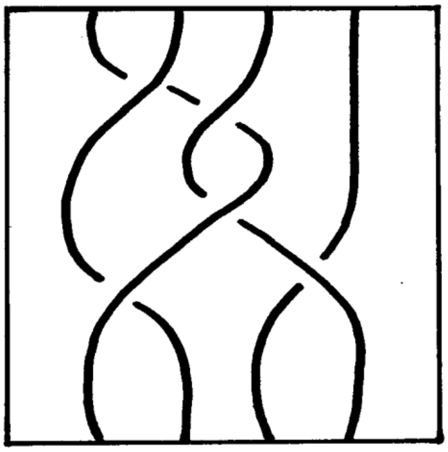
(イ)ねじれ数が違う二つのブレイドはライデマイスター移動を施すと互いに移り合うことがある。

(ウ)違うブレイドのねじれ数は必ず違う。

(エ)ねじれ数の違うブレイドは同じブレイドでない。

Q5 次のブレイドB_1, B_2について以下に答えてください。

$B_1 =$ 

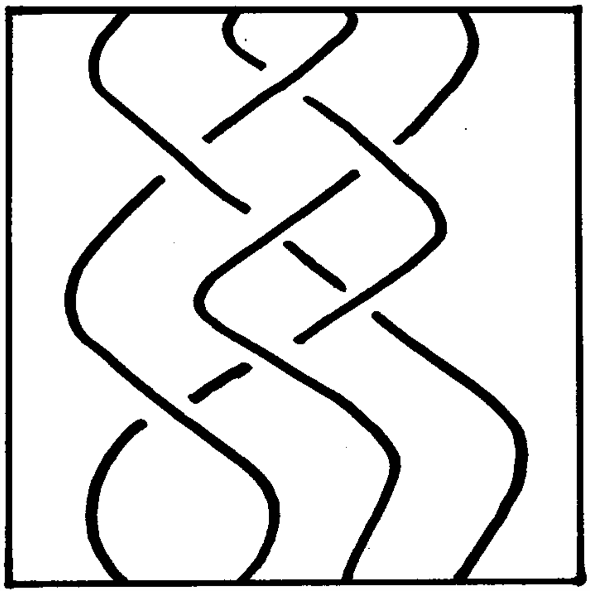
$B_2 =$ 

(1) ブレイドの積B_1B_2を求め，ブレイドの図式で表してください。

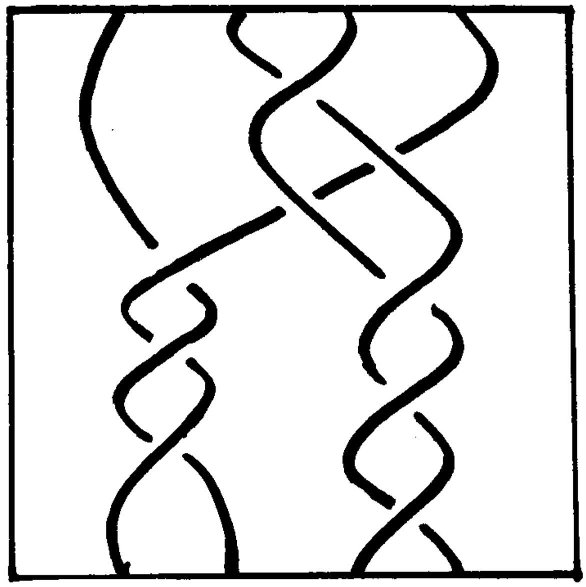
$B_1B_2=$

⑵以下のブレイドからB_1とは違うブレイドを選んでください。【　　　　　　　　　　　　　　】

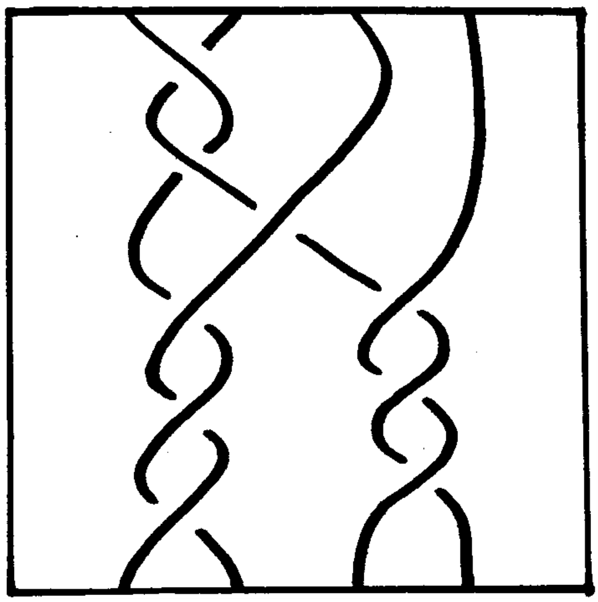
(ア)



(イ)

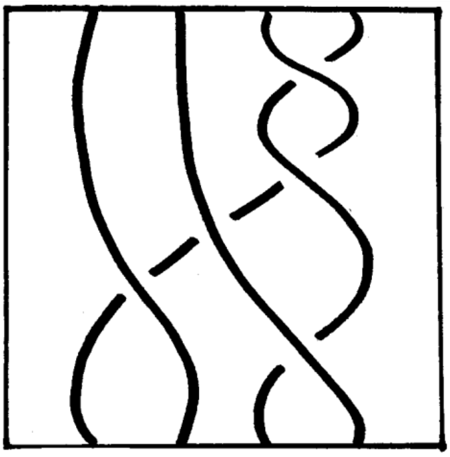


(ウ)

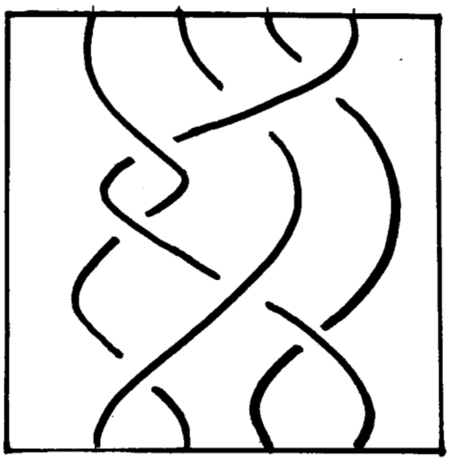


(3) B_1の逆元を(ア)～(ウ)から選んでください。【　　　　　　　　　】

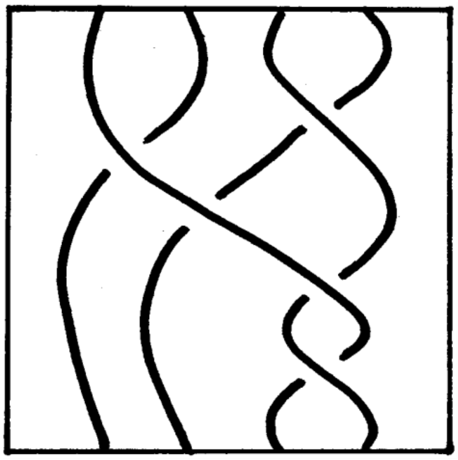
(ア)



(イ)



(ウ)



この授業の感想を書いてください。

<u>感想</u>