

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7261490号  
(P7261490)

(45)発行日 令和5年4月20日(2023.4.20)

(24)登録日 令和5年4月12日(2023.4.12)

(51)Int. Cl.		F I		
A 6 3 F	9/08	(2006.01)	A 6 3 F	9/08 5 0 3 C
B 6 5 D	6/22	(2006.01)	B 6 5 D	6/22
G 0 9 F	23/14	(2006.01)	G 0 9 F	23/14

請求項の数 20 (全 17 頁)

(21)出願番号	特願2020-503522(P2020-503522)	(73)特許権者	503360115
(86)(22)出願日	平成31年2月26日(2019.2.26)		国立研究開発法人科学技術振興機構
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/007314		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(87)国際公開番号	W02019/167941	(74)代理人	100135013
(87)国際公開日	令和1年9月6日(2019.9.6)		弁理士 西田 隆美
審査請求日	令和3年11月8日(2021.11.8)	(72)発明者	鍛冶 静雄
(31)優先権主張番号	特願2018-33395(P2018-33395)		福岡県福岡市西区元岡744番地 九州大
(32)優先日	平成30年2月27日(2018.2.27)		学マス・フォア・インダストリ研究所内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	ヨハネス リヒャルド シュンケ
			沖縄県国頭郡恩納村字谷茶1919番地1
		(72)発明者	エリオット マーティン フリード
			沖縄県国頭郡恩納村字谷茶1919番地1
			学校法人沖縄科学技術大学院大学学園内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】メビウスのカライドサイクル

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

環をなすように結合されたN個の要素を備えるメビウスのカライドサイクルであって、  
 $N \geq 7$ であり、  
 各要素は、分離された平行な平面上に延びる2つの稜線であって、当該平行な平面において測定したときに互いに捻れ角度  $\theta$  だけ回転している2つの稜線を有し、  
 前記環を構成する各要素の1の稜線は、当該環における隣りの要素の対応する1の稜線と結合されて、これら2つの要素の間に回転ヒンジが形成され、  
 前記捻れ角  $\theta$  は、前記要素の数であるNについての臨界捻れ角と略等しく、  
 結合された前記要素により形成される前記環は、単一自由度を有する、メビウスのカライドサイクル。

【請求項2】

請求項1に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
 $7 \leq N \leq 21$ であり、  
 前記要素は、以下の表に示した臨界捻れ角に略等しい捻れ角  $\theta$  を有する、メビウスのカライドサイクル。

【表 1】

N	臨界捩れ角 (度)
7	72.819
8	61.968
9	54.183
10	48.240
11	43.525
12	39.678
13	36.473
14	33.758
15	31.427
16	29.402
17	27.625
18	26.054
19	24.653
20	23.397
21	22.264

## 【請求項 3】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、

$N > 21$  であり、

前記要素は  $22.264^\circ$  未満の捩れ角 を有する、メビウスのカライドサイクル。

40

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、

$N$  は 3 で割り切れ、

当該メビウスのカライドサイクルの形状は三回対称性を有する、メビウスのカライドサイクル。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、

$N$  は 3 で割り切れず、

当該メビウスのカライドサイクルの形状は不規則である、メビウスのカライドサイクル

50

。

## 【請求項 6】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
前記回転ヒンジは全て、同じ長さであり、かつ、前記要素の中央対称軸を中心において

おり、  
各要素の前記中央対称軸は、当該要素の前記 2 つの稜線に対して垂直であり、かつ、当該 2 つの稜線を接続する、線分である、メビウスのカライドサイクル。

## 【請求項 7】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
前記回転ヒンジのうちの少なくとも 2 つは、同じ長さではない、メビウスのカライドサイ

10

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
前記回転ヒンジのうちの少なくとも 1 つは、この回転ヒンジに結合される 2 つの要素のうちの 1 つの中央対称軸に対して、中心が合わされておらず、

各要素の前記中央対称軸は、当該要素の前記 2 つの稜線に対して垂直であり、かつ、当該 2 つの稜線を接続する、線分である、メビウスのカライドサイクル。

## 【請求項 9】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
全ての前記要素は、同じ形状を有する、メビウスのカライドサイクル。

20

## 【請求項 10】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
全ての前記要素は、四面体状の形状を有する、メビウスのカライドサイクル。

## 【請求項 11】

請求項 10 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
全ての前記回転ヒンジは、最大長さの少なくとも 90% の長さを有し、  
前記最大長さは、それ以上の長さにすると、前記要素同士の干渉に起因して、前記メビウスのカライドサイクルが単一自由度で動くことが不能となる、長さである。

## 【請求項 12】

請求項 10 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
N 個の要素は、合計で 4 N 個の面を有し、  
当該 4 N 個の面に付されるデザインの種類は 4 つ以下である、メビウスのカライドサイ

30

## 【請求項 13】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
全ての前記要素は、当該要素の前記 2 つの稜線の間、挟れたバンド状の形状を有する、メビウスのカライドサイクル。

## 【請求項 14】

請求項 1 に記載のメビウスのカライドサイクルであって、  
前記回転ヒンジにより定義されるバンドは、メビウスの帯のトポロジーを有する、メビウスのカライドサイクル。

40

## 【請求項 15】

7 個からなる環状の機構であって、環をなすように結合された 7 個の要素を備え、  
各要素は、分離された平行な平面上に延びる 2 つの稜線であって、当該平行な面において測定したときに互いに挟れ角 だけ回転している 2 つの稜線を有し、

前記環を構成する各要素の 1 の稜線は、当該環における隣りの要素の対応する 1 の稜線と結合されて、これら 2 つの要素の間に回転ヒンジが形成され、

前記挟れ角 は、 $72.8^\circ$  と  $90^\circ$  との間の角度であり、

結合された前記要素により形成される前記環は、単一自由度を有する、メビウスのカライドサイクル。

50

## 【請求項 16】

N個の四面体の要素を環状に結合したメビウスのカライドサイクルへと組み立てることが可能な、4N個の三角形の片を備える、メビウスのカライドサイクルのパズルであって、

N = 7であり、

各要素は、分離された平行な平面上に延びる2つの稜線であって、当該平行な面において測定したときに互いに擦れ角  $\theta$  だけ回転している2つの稜線を有し、

前記環を構成する各要素の1の稜線は、当該環における隣りの要素の対応する1の稜線と結合されて、これら2つの要素の間に回転ヒンジが形成され、

前記擦れ角  $\theta$  は、前記要素の数であるNについての臨界擦れ角と略等しい、メビウスのカライドサイクルのパズル。 10

## 【請求項 17】

請求項 16 に記載のメビウスのカライドサイクルのパズルであって、

前記 4N 個の三角形の片は、

前記回転ヒンジの一部分を含むN個の三角形の片と、

前記回転ヒンジの相補的な部分を含むN個の三角形の片と、

前記回転ヒンジのいずれの部分も含まない2N個の三角形の片と、

から構成される、メビウスのカライドサイクルのパズル。

## 【請求項 18】

請求項 17 に記載のメビウスのカライドサイクルのパズルであって、 20

前記回転ヒンジの一部分を含む前記N個の三角形の片は全て、同一の第1形状であり、

前記回転ヒンジの相補的な部分を含む前記N個の三角形の片は全て、同一の第2形状であり、

前記回転ヒンジのいずれの部分も含まない前記2N個の三角形の片は全て、同一の第3形状である、メビウスのカライドサイクルのパズル。

## 【請求項 19】

請求項 16 に記載のメビウスのカライドサイクルのパズルであって、

$\theta = \frac{7}{N-21}$  であり、

前記要素は、以下の表に示した臨界擦れ角に略等しい擦れ角  $\theta$  を有する、メビウスのカライドサイクルのパズル。 30

【表 2】

N	臨界捩れ角 (度)
7	72.819
8	61.968
9	54.183
10	48.240
11	43.525
12	39.678
13	36.473
14	33.758
15	31.427
16	29.402
17	27.625
18	26.054
19	24.653
20	23.397
21	22.264

## 【請求項 20】

請求項 16 に記載のメビウスのカライドサイクルのパズルであって、  
 $N > 21$  であり、  
 前記要素は、 $22.264^\circ$  未満の捩れ角を有する、メビウスのカライドサイクルの  
 パズル。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、概してカライドサイクルおよびパズルに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

数千年にわたって、パズルは人々を魅了し続けている。パズルには様々な形態のものが

50

あり、それらには、解いて遊ぶ絡み合ったワイヤーや、日本の組み木キューブや、平面状に敷き詰める古典的なジグソーパズル等が含まれる。これらのものは、我々に、幾何学、トポロジー、対称性、およびその他の原理の神秘を見出させる。

### 【0003】

上記のものの1つに、複数の回転する四面体を環状にしたものであって、カライドサイクルとしても知られているものがある。長年にわたって、伝統的なカライドサイクルは知られている。米国特許第1,997,022号(1933年、Stalker)には、斯かる環を、広告媒体またはおもちゃとして利用することが記載されている。そのStalkerの特許には、6個または8個の二等辺四面体からなる環が、好適な実施形態として図示されている。それぞれの面は、互いに異なる模様で覆われているものとしてとすることができる。カライドサイクルが操作されると、四面体の各面が、環の中央の方へ向かって回転するように見える。この効果を活かすためには、環の各四面体の4つの三角形の面のそれぞれが、色彩または図案のいずれかにおいて視覚的に異なるようにすることが望ましい。また、当該環が比較的少ない数の四面体を含むようにすることが望ましい。インターネットでカライドサイクルを検索すると、6個または8個の二等辺四面体からなる伝統的なカライドサイクルのための、種々のデザインおよびパターンを、数多く見つけることができる。

10

### 【0004】

これらのカライドサイクルは、長きにわたって人々を楽しませてきたが、常に何か新しいものが望まれるのが現状である。

20

【特許文献1】米国特許第1,997,022号

### 【発明の概要】

### 【0005】

本開示は、新しいカライドサイクルの集合を提供する。これらのカライドサイクルは、7個以上の要素(例えば、四面体)を含み、これらは回転ヒンジによって環状に結合される。例示的な要素として四面体を用いた場合、各四面体の2つの稜線が、隣接する四面体の対応する稜線と結合される。好ましくは、複数の四面体は全て同じ形状である。しかしながら、四面体の2つの稜線は「擦れて」いる。このことは、2つの稜線は互いに直角ではなく、互いに擦れ角度で回転した位置関係にあることを意味する。擦れ角度は、環が閉じられるように(即ち、第1の要素を最後の要素と接続できるように)適宜の値に選択される。結果として生じる環は、単一自由度を有し、伝統的なカライドサイクルと同様に、操作することにより、異なる面を露出させることができる。しかしながら、当該環は、伝統的なカライドサイクルとは違って、方向付け不能なトポロジーを有する。結果として、伝統的なカライドサイクルと区別するために、これらのカライドサイクルをメビウスのカライドサイクルと称することとする。詳細な開示の中には、四面体の数であるNに対する擦れ角度を示した表が提供されている。

30

### 【0006】

他の観点として、上述のいずれかに関連する構成要素、装置、システム、改良、方法、プロセス、適用、およびその他の技術が含まれる。

### 【0007】

以下に続く詳細な説明および添付の特許請求の範囲とともに、添付図面に示した例を参照することにより、開示の実施形態が有する他の利点や特徴がより容易に明らかとなる。

40

### 【図面の簡単な説明】

### 【0008】

【図1a】図1aは、9個の同一の四面体で構成されるメビウスのカライドサイクルを示している。

【図1b】図1bは、図1aのメビウスのカライドサイクルの、折られていない状態の複数の面を示している。

【図2a】図2aは、9個の同一の四面体で構成されるメビウスのカライドサイクルの操作を示している。

50

【図 2 b】図 2 b は、図 2 a のメビウスのカライドサイクルの、折られていない状態の複数の面を示している。

【図 2 c】図 2 c は、7 個の同一の四面体で構成されるメビウスのカライドサイクルの操作を示している。

【図 3 a】図 3 a は、擦れた四面体の透視図を示している。

【図 3 b】図 3 b は、積み重ねられた擦れた四面体の透視図を示している。

【図 3 c】図 3 c は、図 3 b に示した積み重なりにより定義されるバンドの透視図を示している。

【図 4 a】図 4 a は、四面体を形成するために用いられる 4 つの三角形の片を示している。

【図 4 b】図 4 b は、図 4 a の 4 つの片から四面体を組み立てたもの示している。

【図 4 c】図 4 c は、2 つの隣接する四面体の結合を示している。

【図 5 a】図 5 a は、9 個の同一の四面体で構成されるメビウスのカライドサイクルを示している。

【図 5 b】図 5 b は、図 5 a のメビウスのカライドサイクルの、折られていない状態の複数の面を示している。

【図 6 a】図 6 a は、12 個の同一の四面体で構成されるメビウスのカライドサイクルを示している。

【図 6 b】図 6 b は、図 6 a のメビウスのカライドサイクルの、折られていない状態の複数の面を示している。

【発明を実施するための形態】

【0009】

図面および以下の説明では、単なる例示として、好適な実施形態について述べる。以下の詳解においては、ここに開示された構造および方法の代替的な実施形態は、特許が請求される範囲から趣旨が逸脱しない限り、実行可能な変形例として容易に理解されるべきであることに、留意するべきである。

【0010】

図 1 a は、回転ヒンジにより環状に結合された 9 個の同一の四面体からなる、メビウスのカライドサイクルを示している。各四面体は、2 つの隣接する四面体に結合される。この例では、厚紙により構成されるため、回転ヒンジは、当該紙の折り目である。9 つの回転ヒンジは、110A-I の符号が付された破線で示してある。また、ヒンジは、どの面がどの四面体に属しているかについても示している。

【0011】

カライドサイクルは、めくり動作とも表現できるような態様で、四面体の各要素を回転させるように操作することができる。複数の面は、環の中央に向かって落下しているように見えるはずである。あるいは、反対向きに回転させると、複数の面が、環の中央から現れるように見えるはずである。また、カライドサイクルの効果を活かすために、複数の異なる面（1 つの四面体につき 4 つの面があり、四面体は 9 つであるから、合計 36 面）を、様々な態様に装飾することもできる。図 1 a のメビウスのカライドサイクルは、隣接する面に交互に適用される 2 種類の図案を有する。"OIST" は、沖縄科学技術大学院大学学園を意味し、図形は OIST のロゴである。このカライドサイクルは、OIST の宣伝広告用に用いることが可能である。

【0012】

後に詳述するように、図 1 a のカライドサイクルはメビウスのトポロジーを有するため、複数の面は、単一の連続的な面へと展開することができる。図 1 b は、図 1 a のメビウスのカライドサイクルの、折られていない状態の複数の面を示している。

【0013】

図 2 a および図 2 b は、9 個の四面体を利用した、他の 1 つのメビウスのカライドサイクルを示している。このカライドサイクルの形状は、図 1 のものと同じであるが、図 2 a には、その単一自由度に従ってこのカライドサイクルを操作する様子を示している。図 2

10

20

30

40

50

bは、展開された面を示している。複数の面には、1 - 36の符号が付してある。このカライドサイクルでは、2 - 3 - 20 - 21の面が1つの四面体をなし、36 - 1 - 18 - 19の面、および4 - 5 - 22 - 23の面が、四面体2 - 3 - 20 - 21と隣接するいずれかの四面体をそれぞれなす。図2 aでは、これらの3つの四面体を太線で示してある。これらの太線は、異なる四面体を識別するために用いているが、必ずしもヒンジの配置に対応するものではない。

#### 【0014】

図2 aにおいて、時計回りに動くことにより、カライドサイクルは、あたかも複数の面が環の中央から現れるかのように操作される。図2 aには、6つの異なる姿勢が示されている。このカライドサイクルは、三回対称の対称性を有する。このカライドサイクルには全部で9個の四面体が含まれ、それらは、それぞれが3個の四面体からなる3つのグループに分類される。図2 aでは、3個の四面体からなる1つのグループが、太線で識別されている。他の2つのグループについては図示していないが、これらのグループも、1つ目のグループと同様の動きをする。

10

#### 【0015】

姿勢1では、中央の四面体のうち面2 - 3のみが見えており、また、他の2つの四面体のうち面1および面4のみが見えている。この中央の四面体の動きを追跡すると、姿勢1から姿勢2に移行する際には、面2が外側に向かって回転し、消えてしまう。一方、面3は、全体が見える状態へと切り替わる。姿勢2から姿勢3に移行する際には、面3が外側に向かって回転し、消えてしまう。そして、面20が現れ始める。姿勢4においては、面20がよりよく見えるようになり、そして姿勢5では消えてしまう。面21は姿勢4で現れ始め、姿勢5で完全に見える状態となり、そして姿勢6では消えてしまう。最初の面2は、姿勢6において完全に見える状態となる。この時点では、面3はまだ見えていないが、カライドサイクルがさらに回転して姿勢1に戻ると、見えるようになる。

20

#### 【0016】

姿勢1と姿勢4とは、カライドサイクルが180°回転して裏返されている以外の点においては、同じである点に、留意されたい。面20 - 21は、面2 - 3に置き換わる。姿勢2と姿勢5との間においても、姿勢3と姿勢6との間においても、同様のことが言える。

#### 【0017】

4つの面2 - 3 - 20 - 21は、1つの四面体をなす。これらの4つの面は、図2 bで示した片においても識別されている。面2 - 3は互いに隣り合うが、面20 - 21からは離間している点に留意されたい。これは、面2 - 3はメビウスのカライドサイクルの一方"側"に配置されているのに対し、面20 - 21は反対側に配置されていることに起因する。

30

#### 【0018】

図2 cは、7個の同一の四面体により構成されるメビウスのカライドサイクルを操作する様子を示している。この例では、ヒンジがより容易に識別される。各四面体は、白色、縦縞、横縞、および黒色で塗られた4つの面を有する。矢印は、6つの姿勢のそれぞれにおいて、共通の1つの四面体を指し示している。姿勢1では、白色の面および縦縞の面が見えている。姿勢1から姿勢2に移行する際に、白い面が回転して見えなくなり、縦縞の面は全体が見えるようになり、横縞の面が見え始める。横縞の面は、姿勢3において全体が見える状態であり、姿勢4において回転して見えなくなり始め、姿勢5では見えなくなる。黒い面は、姿勢3において見え始め、姿勢4および姿勢5においてよりよく見えるようになり、姿勢6では回転して見えなくなってしまう。その他についても、これと同様である。

40

#### 【0019】

図3 a - 3 cは、メビウスのカライドサイクルの構成を示している。図3 aは、" 扱れた " 四面体の斜視図を示している。この四面体は、2つの稜線310A, 310Bと、中央対称軸320とによって定義される。2つの稜線310は、隣接する四面体の対応する

50

稜線に、それぞれ回転ヒンジにより結合される。2つの稜線310は、互いに捩れの位置の関係にある。中央対称軸320は、両方の稜線310に対して垂直であり、かつ、2つの稜線310を接続する、線分である。別の言い方をすれば、2つの稜線310A, 310Bは、平行な平面312A, 312Bに沿って延びている。平面312A, 312Bは、この両方の平面312A, 312Bに対して垂直な中央対称軸320の分だけ、離れている。図3aでは、これらの平行な平面312は破線で示してある。一方の稜線310Aの他方の稜線310Bに対する回転角を、捩れ角と称することとする。即ち、仮に両方の稜線310が1の平行な平面312に対して投影されたとしたら、これらの稜線310の間の角度は、捩れ角である。

【0020】

従来のカライドサイクルでは、捩れ角は90°である。今回のメビウスのカライドサイクルでは、そうではない。今回の構成においては、捩れ角は、環が閉じられるように選択される。そして閉じられた環は、単一自由度のみを有する。このタイプのカライドサイクルを構築するためには、四面体の数を7個以上としなければならない。以下の表1においては、異なる数であるN個の四面体に対して、必要とされる捩れ角(別名、臨界捩れ角)を示している。

【表 1】

異なる数の四面体についての臨界捩れ角

N	臨界捩れ角 (度)
7	72.819
8	61.968
9	54.183
10	48.240
11	43.525
12	39.678
13	36.473
14	33.758
15	31.427
16	29.402
17	27.625
18	26.054
19	24.653
20	23.397
21	22.264

## 【0021】

実際の捩れ角が臨界捩れ角と等しい場合、単一自由度を有するメビウスのカライドサイクルが形成されるように、環を閉じることができる。捩れ角が臨界捩れ角よりも小さい場合、環を閉じることができない。捩れ角が臨界捩れ角よりも大きい場合、結果として生じる環は通常、単一自由度よりも多くの自由度を有することとなる。例えばその場合、環は、単一自由度のめくり返し動きをするのではなく、蛇のような動きを見せることが可能である。N = 7の場合、捩れ角が臨界捩れ角よりも大きくても、単一自由度の環の仕組みがもたらされることとなる。

40

## 【0022】

Nがいずれの値のときにも、臨界捩れ角を算出することが可能である。便宜上、21までの値のNについてのみ、表1に示してある。臨界捩れ角は、Nの関数として見たとき、単調に減少している。例えば、21よりも大きい値のNについての臨界捩れ角は、22.264よりも小さくなる。

50

## 【 0 0 2 3 】

N個の要素を有するカライドサイクルについての臨界捩れ角は、以下のようにして決定することができる。N個の四面体を繋げた開放状態の鎖であって、N + 1個のヒンジを有する鎖について考える。そして、末端のヒンジ1とヒンジN + 1とを同じ位置に配置することを考える。N + 1個のヒンジのシステムを、単位ベクトル  $\mathbf{h}(i)$ ,  $i = 1; \dots; N + 1$  を用いて表す。i番目の四面体は、ヒンジ  $\mathbf{h}(i)$  とヒンジ  $\mathbf{h}(i + 1)$  とを有する。捩れ角を  $\alpha$  とすると、以下の式で表される。

## 【数1】

$$\mathbf{h}(i) \cdot \mathbf{h}(i+1) = \cos \alpha; i = 1; \dots; N \quad (1)$$

## 【 0 0 2 4 】

ただし、 $\cdot$  はスカラー積を表す。

## 【 0 0 2 5 】

$0 < \alpha < \pi/2$  の場合、四面体の鎖を閉じるための条件は、以下の式で表現される。

## 【数2】

$$\sum \mathbf{h}(i) \times \mathbf{h}(i+1) = \mathbf{0} \quad (2)$$

## 【 0 0 2 6 】

ここで、総和は  $i$  を上回り、また  $\times$  はクロス積である。それぞれの被加数  $\mathbf{h}(i) \times \mathbf{h}(i + 1)$  は、 $i$  番目の四面体における2つのヒンジ  $i, i + 1$  の中点同士を接続する中央対称軸の方向を定義する。さらに、ヒンジ  $\mathbf{h}(1)$  とヒンジ  $\mathbf{h}(N + 1)$  とが平行かつ逆向きであることを確保するために、以下の式を満たす必要がある。

## 【数3】

$$\mathbf{h}(1) = -\mathbf{h}(N+1) \quad (3)$$

## 【 0 0 2 7 】

概して、この方程式の非線形システムは、多くの実数解を有する。臨界捩れ角は、実数解が存在する最も小さい値の  $\alpha$  を見つけることにより、数値として決定することができる。一つのアプローチとしては、 $\alpha$  の初期値を選択し、方程式を解いて実数解としての数値を得て、 $\alpha$  の値を減少させて上述の演算を繰り返す、という方法がある。実数解が見つかる最も小さな値が、臨界捩れ角である。

## 【 0 0 2 8 】

Nが3で割り切れる場合、メビウスのカライドサイクルの形状が三回対称の対称性を有することとなる点に、留意されたい。この対称性は、上述の図1および図2に表れている。

## 【 0 0 2 9 】

図3bは、3つの四面体が結合されているがヒンジ3 1 5の箇所で折られていない状態のものを示している。即ち、複数の四面体の中央対称軸3 2 0が、1つの直線をなしている。捩れ角ははっきりと表れている。現実のカライドサイクルでは、環を閉じるために、当該環は複数のヒンジの箇所で折られることとなる。

## 【 0 0 3 0 】

図3cは、メビウスのトポロジーを示している。この図では、四面体の形状が除去されており、中央対称軸3 2 0によって接続されている複数のヒンジ3 1 5が残っている状態である。複数のヒンジ3 1 5の端点を接続することにより、当該ヒンジ3 1 5によって、

バンドまたは片 3 3 0 を定義することができる。このバンド 3 3 0 は、符号 3 3 2 X および 3 3 2 Y が付された 2 つの表面を有する。表面 3 3 2 X は、読み手と向き合っている " 正面 " の表面である。そして、表面 3 3 2 Y は、読み手からは見えない " 背面 " の表面である。このバンドは、各四面体について定義することができる。環が閉じられた場合、全ての四面体により定義されたバンドは、全体として、メビウスのトポロジーを有する。すなわち、当該環を一周すると、X 表面が Y 表面に繋がる。

#### 【 0 0 3 1 】

複数の捩れた四面体からなる環を用いて、メビウスのカライドサイクルについて説明してきた。しかしながら、この構成に限定されるものではない。ヒンジの位置と捩れ角とが要件を満たしているならば、異なるパリエーションを作成することもできる。例えば、環を形成するために結合される要素は、必ずしも四面体ではなくてもよい。要素は、これに代えて、例えば図 3 c に示したような構造の物理的実装の、捩れたバンドとしてもよい。あるいはこれに代えて、要素を、単にヒンジおよび中央対称軸のみとしてもよい。

10

#### 【 0 0 3 2 】

上述の例では、複数のヒンジは全て同じ長さであり、全てその中央対称軸を中心におくものとしていた。しかしながら、複数のヒンジは、長さや位置において互いに異なっていてもよい。中央対称軸を中心においていなくてもよい。全てが同じ長さではなくてもよい。ヒンジを長くすれば、力学的安定性が向上するはずである。しかしながら、それ以上長く設定すると、要素同士が干渉してメビウスのカライドサイクルが自由に動かなくなってしまうという、「最大長さ」が存在する。もっとも、いくつかの適用例では、メビウスのカライドサイクルが部分的にしか動かなくても、有益であろう。図 1 a において、仮にヒンジをより長く構成すると、ヒンジ 1 1 0 B , 1 1 0 E , 1 1 0 H が互いに干渉してしまうこととなる。

20

#### 【 0 0 3 3 】

図 4 a から図 4 c までは、他の 1 つの態様を示している。ここでは、メビウスのカライドサイクルは、パズルのようなものである。このパズルには 4 N 個の三角形の片が含まれ、これらは N 個の四面体の要素を有するメビウスのカライドサイクルとなるように組み立てられる。図 4 a から図 4 c までには、9 個の同一の四面体からなる環を構成するように組み立てることのできる、例示的な片を示してある。個々の片は、縁の部分に歯部を有しており、それにより複数の片をスナップフィット機構によって結合させることが可能となっている。図 4 a に示すように、3 つの異なるタイプの片が存在する。タイプ A , B は、他の四面体に結合するための回転ヒンジに対応する部分を有する。ここで、タイプ A はヒンジの軸を有する。一方、タイプ B は、ヒンジを構成するようにタイプ A の軸に留めることが可能な、当該軸に対応するクランプを有する。タイプ C は、タイプ A , B に接続するための歯部を有するが、ヒンジの一部は有していない。1 つの四面体は、図 4 b の組立順序に示すように、1 つの A 片と、1 つの B 片と、2 つの C 片とによって構成される。図 4 c に示すように、1 つの A 片は、隣接する四面体が有する相補的な B 片とともに、ヒンジを形成する。

30

#### 【 0 0 3 4 】

パズルおよびメビウスのカライドサイクルは、多種多様な異なるデザインを可能にする。1 つのデザイン上の選択は、環に含まれる要素の数についてである。これは、6 よりも大きいいずれの数としてもよい。9 個または 12 個の四面体からなる環は、これらは対称性を示す最も小さな要素の数であるが故に、いくつかの利点を有する。他のデザイン上のパラメータとしては、ヒンジの長さがある。この長さには、ある長さ以下でなければならないという制約がある。これは、あるヒンジ長さを超えると、四面体の間で干渉が生じ、環の構築が不能となってしまうためである。四面体の数が一定数であれば、ヒンジ長さの最大値は一意的である。概して、ヒンジ長さとしては、最大値に近い長さを選択することが好ましい。そうすることにより、環の力学的安定性が向上するためである。

40

#### 【 0 0 3 5 】

他の 1 つの重要なデザイン上の局面は、メビウスのカライドサイクルの表面の装飾であ

50

る。方向付け不能なメビウスのトポロジーに起因して、これらのカライドサイクルは、三角形に区分された複数の小さな面からなる、周期的な単一の表面を有する。この表面は、上述の図1および図2に示したように、細長い一片として平面上に展開することができる。以下の例では、展開された細長い一片を、各図の下部に示している。

【0036】

図5aおよび図5bは、黒色および白色のパターンを付した、9個の同一の四面体により構成される、メビウスのカライドサイクルを示している。図5aには、メビウスのカライドサイクルが単一自由度により回転する様子を示している。図5bの下部の細長い片は、三回対称のデザインパターンを示している。

【0037】

図6aおよび図6bは、12個の同一の四面体を要素として用いた、メビウスのカライドサイクルを示している。図5と類似するが、図6aおよび図6bでは、黒色および白色のパターンを示している。ただし、多色のパターン等の、他のパターンを付してもよい。

【0038】

メビウスのカライドサイクルは、様々な目的で用いることが可能である。例えば、装飾的に、または楽しむことを目的として用いることができる。カライドサイクルの表面は宣伝広告のために用いることができ、またカライドサイクルを宣伝販促用品として配布することもできる。また、カライドサイクルは、装飾品として用いることもでき、あるいは贈答品の容器として用いることもできる。また、カライドサイクルをめくり返す動作は、ミキサーとして用いることができ、あるいは他の工業用の用途で用いることもできる。何に適用するかに応じて、カライドサイクルを異なる材料で構成してもよい。当該材料のいくつかの例としては、紙、プラスチック、木材、および金属がある。

【0039】

以上、本発明の例示的な実施形態について説明および図示したが、本開示のカライドサイクルの原理は、様々な公知技術や非公知技術と組み合わせることが可能である。本開示は、上記において説明および図示した実施例に、決して限定されるべきではない。

【0040】

上記の臨界擦れ角の計算方法では、まず  $\theta$  の初期値を選択し、方程式を解いて実数解としての数値を求め、 $\theta$  の値を減少させつつ上記の演算を繰り返していた。そして、実数解が見つかる最小の  $\theta$  の値を、臨界擦れ角としていた。

【0041】

しかしながら、臨界擦れ角を算出するための別の方法がある。例えば、数値を最小化するための二次方程式で定義された条件付き最適化により、臨界擦れ角を決定することが可能である。これは、論理的方法であり、正確な値を求めることも可能となる。

【0042】

本発明のメビウスのカライドサイクルは、エネルギー効率が低い。具体的には、メビウスのカライドサイクルのヒンジに、巻きバネ、電荷、磁石を付加する形で実現した場合、そのエネルギーポテンシャルは回転動作の間ほぼ一定である。これは、メビウスのカライドサイクルがほぼ外力を加えることなく回転し続けることを意味する。したがって、メビウスのカライドサイクルのヒンジに、バネ、電荷または磁石を介して力を加えると、エネルギー効率の高い回転が実現される。これは、ミキサー、プロペラ、ギア、または他の同様の装置に適用することができる。

【0043】

すなわち、本願の開示は、以下の発明を含む。

【0044】

環をなすように結合されたN個の要素を備えるメビウスのカライドサイクルであって、 $N \geq 7$ であり、各要素は、分離された平行な平面上に延びる2つの稜線であって、当該平行な平面において測定したときに互いに擦れ角度  $\theta$  だけ回転している2つの稜線を有し、前記環を構成する各要素の1の稜線は、当該環における隣りの要素の対応する1の稜線と結合されて、これら2つの要素の間に回転ヒンジが形成され、前記擦れ角  $\theta$  は、前記要素

10

20

30

40

50

の数であるNについての臨界擦れ角と略等しく、結合された前記要素により形成される前記環は、単一自由度を有する。

【0045】

上記のメビウスのカライドサイクルであって、前記臨界擦れ角は、数値を最小化するための二次方程式で定義された条件付き最適化演算により決定可能である。

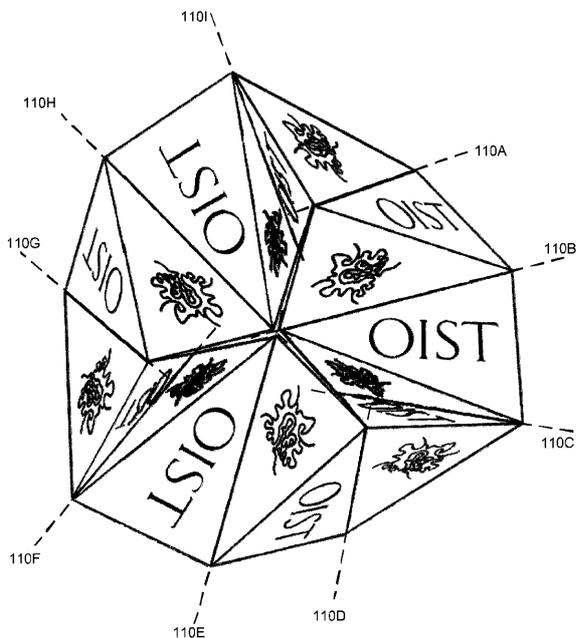
【0046】

上記のメビウスのカライドサイクルであって、少なくとも1つの前記回転ヒンジが、バネ、電荷、および磁石のうちの少なくとも1つと接続されて、前記メビウスのカライドサイクルを回転させる。

【0047】

明細書には多くの詳細が含まれているが、これらは発明の範囲を限定するように解釈されるべきではなく、様々な例を示しているに過ぎない。本開示の範囲には、上記で詳細には述べなかった他の実施形態も含まれると認識されるべきである。添付の特許請求の範囲により定義された意図および範囲を逸脱しない限りにおいて、ここで開示した配置、操作、ならびに方法および装置の詳細に対して、当業者にとって容易に想到することのできる様々な他の改良、変更、および変化を加えてもよい。そのため、本発明の範囲は、添付の請求項、および法上の同等物によって定められるべきである。

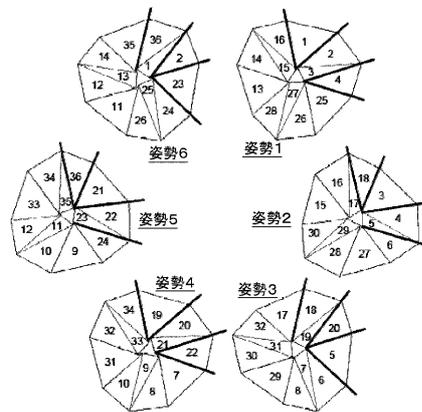
【図1a】



【図1b】



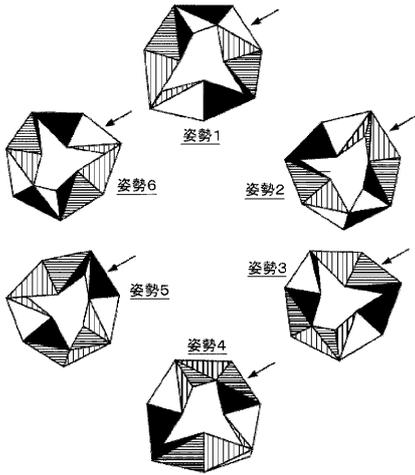
【図2a】



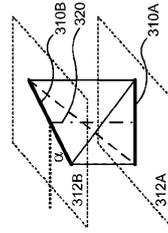
【図2b】

1	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1
36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	

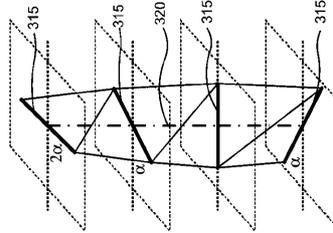
【 図 2 c 】



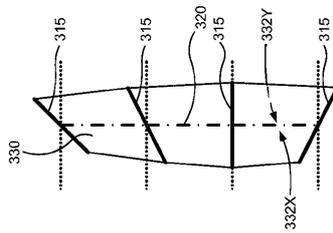
【 図 3 a 】



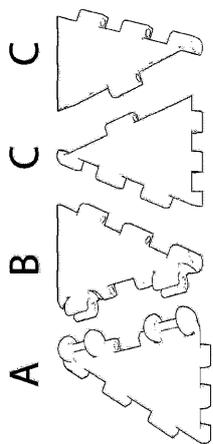
【 図 3 b 】



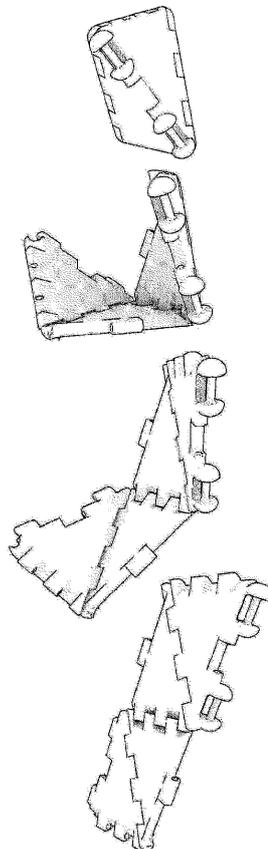
【 図 3 c 】



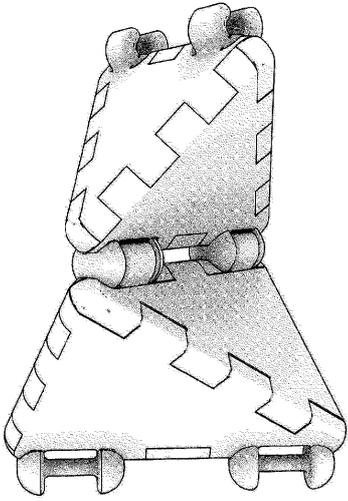
【 図 4 a 】



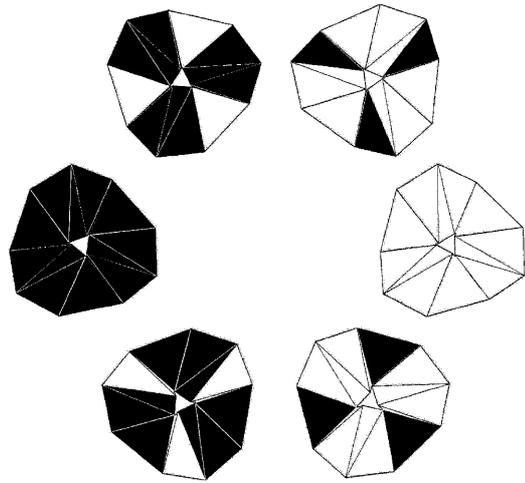
【 図 4 b 】



【 図 4 c 】



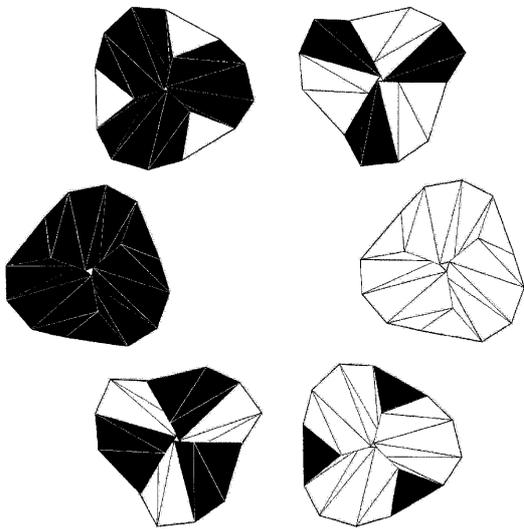
【 図 5 a 】



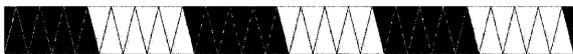
【 図 5 b 】



【 図 6 a 】



【 図 6 b 】



## フロントページの続き

(出願人による申告)平成29年度、国立研究開発法人科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業個人型研究「さきがけ」、研究領域「社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働」、研究題目「かたちと動きの数理基盤」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願」

(72)発明者 ミヒヤエル グルンワルド

沖縄県国頭郡恩納村字谷茶1919番地1 学校法人沖縄科学技術大学院大学学園内

審査官 宮本 昭彦

(56)参考文献 米国特許第01997022(U S , A )

実開昭63-032592(J P , U )

実開昭49-001099(J P , U )

国際公開第2006/075666(W O , A 1 )

メビウス・カライドサイクル：多分野への応用が基体されるセンセーショナルな構造，沖縄科学技術大学院大学，2018年12月18日，[https://www.oist.jp/ja/news\\_center/press\\_releases/3341](https://www.oist.jp/ja/news_center/press_releases/3341)

4

(58)調査した分野(Int.Cl.，D B名)

A 6 3 F 9 / 0 8

B 6 5 D 6 / 2 2

G 0 9 F 2 3 / 1 4