

結び目理論とその工業への応用について

1. 結び目理論とは

数学の分野において比較的新しい分野として最近注目されているものの1つに位相幾何学があります。位相幾何学は幾何図形のある種の性質を研究する幾何学の一分野で、図形の「つながり方」を調べる分野であるといえます。この、位相幾何学の一種に「結び目理論」と呼ばれる理論があります。文字通り紐の結び目を数学的に表現し研究する学問です。

2. 結び目理論による結び目の表現方法

紐の基本的な結び方に本結び（こま結び）と呼ばれる結び目がありますが、この結び目は、図1に示すように、結び方によって横結びと縦結びの2つの状態があります。

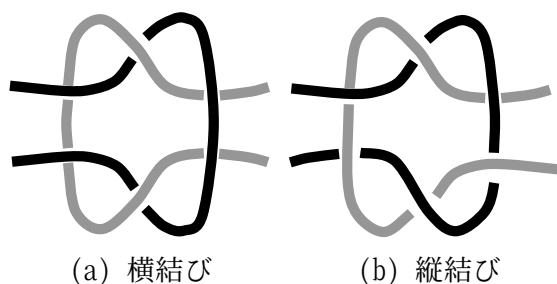


図1 本結び

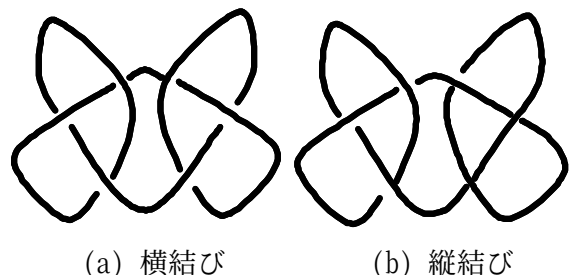


図2 結び目理論における本結びの表現

結び目理論では紐の両端を閉じて考えるため、本結びの図は図2のようになります。

これらの結び目をドウカーの表示法¹⁾と呼ばれる結び目理論における結び目を表示する方法のひとつで書き表すと、横結びは(10, 12, -8, -4, -6, 2)、縦結びは(10, 12, 8, 4, 6, 2)と表すことができ、異なる数列で表現されます。このように、結び目理論では本結びの2つの状態は本質的に異なる結び目であることを数学的に明らかにすることができます。

3. 工業への応用

この結び目理論ですが、工業的には今までそのほとんどを手作業で対応してきたケーブルやチューブ、ワイヤー、ロープ等の線状物体に生じる結び目の取り扱いに対して、(1)結び目を結ぶ(2)結び目を解くの2種類の動作を自動化させることが可能となります。

(1)については、型を用いることで様々な結び目を作成することができる、「紐結び装置および紐結び方法」²⁾が開発されています。結び目の構造をドウカーの表示法で表し、この情報を元に型を作成することで、型による結び目作成動作を連続的に行うことで、蛙叉網などの三河産地で製造されている網構造も作成することが可能となります。

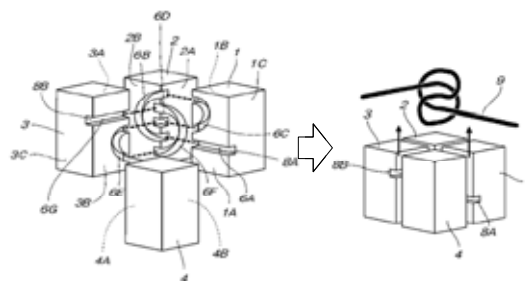


図3 型による紐結び装置²⁾

さらに、結び目を結ぶ、解くの方の操作については、ロボットによってケーブル、ロープ等のマニピュレーションする技術への応用³⁾が研究されています。この研究では、結び目中の交点の並び方と各交点での交差の仕方に着目し、結び目をCCDカメラで撮影、画像処理で解析し、交差状態の分類を行った後、ねじりや平行移動など、交差状態間の遷移に必要な基本操作を定義し、この基本操作の組み合わせでロボットにケーブル、ロープ等の結び目を結んだり解いたりすることが可能となります。

参考資料

- 1) C.C.アダムス(金信泰造訳): 結び目の数学、培風館(1998)
- 2) 特開 2006-176333
- 3) 若松ほか: 日本ロボット学会誌, 23, (2005), p344



三河繊維技術センター 加工技術室 太田 幸一 (0533-59-7146)
研究テーマ: 繊維技術のシミュレーションに関すること
担当分野: 産業資材、溶融紡糸、繊維製品性能評価