

変形アクチュエータの拘束位相による系統的分類

平井 慎一, 川村 貞夫
立命館大学 ロボティクス学科

Qualitative Analysis of Deformable Actuators through Constraint Topology

Shinichi Hirai and Sadao Kawamura
Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ.

Abstract - Behavior of deformable actuators is qualitatively investigated with respect to constraint topology. Elastic shells expanded by air pressure have a capability of generating various motion directly by imposing mechanical constraints on the shells. In this paper, we will propose a qualitative analysis of the motion of deformable actuators with mechanical constraints.

Keywords: pneumatic actuators, deformation, linear constraints, topology, qualitative reasoning

1. はじめに

空気圧で膨張する弾性殻に、機械的な拘束を付加することにより、様々な運動を直接実現するアクチュエータが実現できると考えられる [1]。このようなアクチュエータを、変形アクチュエータとよぶ。本報告では、弾性殻に付加する拘束の位相と、実現しうる運動との関係を定性的に調べる手法を提案する。

2. 変形アクチュエータにおける機械的拘束

線状物体を弾性部に接着あるいは埋め込むことにより、変形アクチュエータに線拘束を与える。線状物体の変形は、a) 曲げ、b) 伸縮、c) ねじれ、から成る。線状物体のねじれ変形は、弾性部にねじれを引き起こし、線拘束と弾性体との接合が失われる可能性がある。したがって、ねじれ変形は、線拘束の変形として適当ではない。そこでねじれが生じない線状物体を線拘束として用いる。このような線状物体には、曲げと伸縮が生じるので、次の三種類の線拘束が考えられる。

線拘束	曲げ	伸縮
ワイヤ (wire)	×	×
ファイバ (fiber)		×
スライダ (slider)	×	

ワイヤは、曲げ変形、伸縮変形ともに起こりにくい線状物体である。ファイバは、曲げ変形のみが起こりやすい線状物体、スライダは、伸縮変形のみが起こりやすい線状物体である。以上の線拘束を、Fig.1に示す記号で表す。

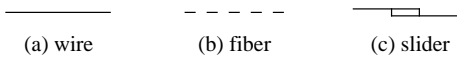


Fig.1: Linear constraints for deformable actuators

3. 拘束位相による平面変形の種類

本節では、線拘束を付加した弾性平面を対象とし、付加する線拘束と平面の変形特性との関係を調べる。弾性平面は、二方向の伸縮の自由度と、二方向の曲げの自由度を持つ。平面が有する四つの変形自由度に対して、変形しやすい自由度には記号 \circ を、変形しにくい自由度には記号 \times を付ける。すべての自由度が \times の場合は、

拘束が全くない弾性平面の変形特性を表す。すべての自由度が \times の場合は、剛体の特性を意味する。これらの変形特性を除くと、位相的に異なる変形特性は 8 種類ある。線拘束を付加することにより、これら 8 種類の変形特性を実現できるか否かを調べる。

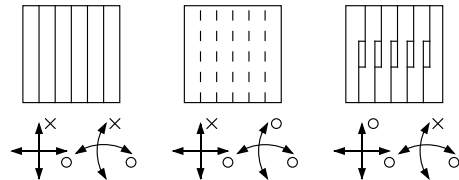


Fig.2: Deformation of plane with one-directional constraints

一方向に線拘束を付加した場合の変形特性を、Fig.2に示す。たとえば、一方向にファイバを付加した場合、その方向の伸縮が \times 、それ以外の変形自由度は \circ である。

次に、二方向に線拘束を付加した場合の変形特性を調べる。系統的に変形特性を導くために、定性推論を適用する。たとえば、Fig.3に示すように、縦方向にワイヤ、横方向にファイバを付加した弾性平面の変形特性を求めよう。Fig.2に示すように、縦方向にワイヤを付加した弾性平面の変形特性は、縦方向の伸縮と曲げが \times 、横方向の伸縮と曲げが \circ である。また、横方向にファイバを付加した弾性平面の変形特性は、横方向の伸縮が \times 、それ以外の変形自由度が \circ である。これら二つの線拘束を付加した弾性平面の変形特性は、次のように求めることができる。

- 両方の変形特性が \circ の場合、変形特性は \circ である。
- 一方の変形特性が \times の場合、変形特性は \times である。

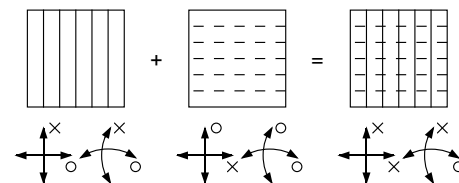


Fig.3: Superposition of constraints

たとえば、横方向の曲げは、縦方向にワイヤを付加した場合も、横方向にファイバを付加した場合もである。したがって、これら二つの線拘束を付加した場合、横方向の曲げは に対応する。縦方向の伸縮と曲げは、縦方向にワイヤを付加した場合×、横方向の伸縮は、横方向にファイバを付加した場合×である。したがって、これら二つの線拘束を付加した場合、縦方向の伸縮と曲げ、横方向の伸縮は×に対応する。以上のように、一方向に拘束した弾性平面の変形特性を重ね合わせることで、二方向に拘束した弾性平面の変形特性を系統的に求めることができる。

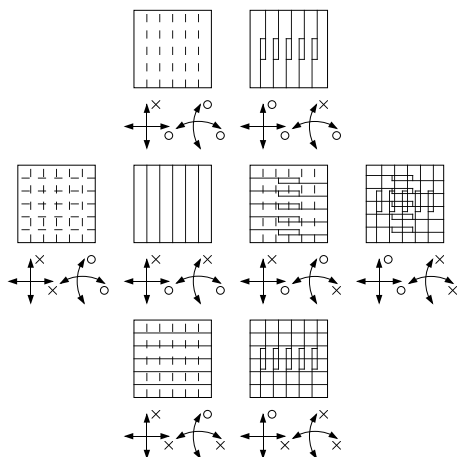


Fig.4: Deformation of plane for topologically different constraints

一方向に線拘束を付加した弾性平面と二方向に線拘束を付加した弾性平面の変形特性を調べる。その結果、Fig.4に示すように、位相的に異なる8種類の变形特性をすべて実現できることがわかる。すなわち、3種類の線拘束、ワイヤ、ファイバ、スライダを組み合わせることにより、任意の变形特性を有する弾性平面を構成することができる。

4. 拘束位相による円筒面変形の分類

本節では、Fig.5に示す円筒形変形アクチュエータの特性を調べる手法を提案する。円筒形変形アクチュエータの円筒面は、線拘束を付加した弾性体から成る。また、上面と下面は剛体であり、下面は空間に固定されている。内部に空気圧を加えることにより、円筒面が変形し、結果として上面剛体に運動が生じる。そこで、円筒面に付加する線拘束と、上面剛体に生じる運動の自由度との関係を定性的に解析する。

円筒面の一方向に線拘束を付加する。このとき、Fig.6に示す5通りの位相拘束がある。Fig.6-(a)は、軸方向拘束を面の一部に付加する場合、Fig.6-(b)は、軸方向

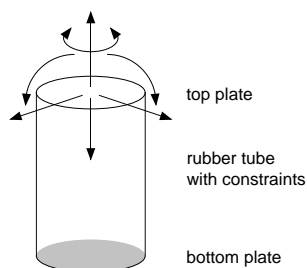


Fig.5: Cylindrical deformable actuator

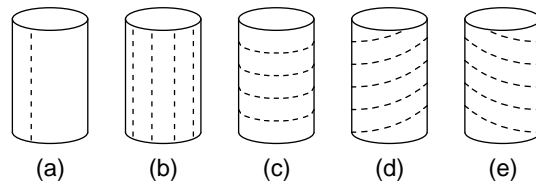


Fig.6: One-directional fiber constraints on cylinder

拘束を面全体に付加する場合、Fig.6-(c)は、拘束を円周方向に付加する場合、Fig.6-(d)(e)は、拘束を斜め方向に付加する場合を表す。

円筒面内に空気圧を加えると、円筒面の体積が増加する。付加する線拘束の自由度と体積の増加を考慮に入れて、上面の運動の自由度を定性的に導く。このとき、上面の運動を一意に決定できるとは限らない。Fig.6-(a)に示す拘束に対する上面の運動を、Fig.7に表す。ここでは、 に対応する運動の自由度を表している。定性的には、図に示すように二つの運動の可能性がある。Fig.7-(a)は、ファイバが内側に曲がり、円筒殻に曲げが生じる場合を表す。Fig.7-(b)は、ファイバが外側に曲がり、円筒殻が膨張する可能性を表す。このように運動を一意に決定できない場合、起こりうる可能性をすべて列挙する。

Fig.8に、円筒面上の線拘束を重ね合わせた結果を示す。二つの円筒面がともに、Fig.7-(b)に示す特性を有するとき、定性推論を通してFig.8に示す結果が得られる。このように、定性的に可能な変形をすべて列挙することが、定性推論を進める上で必要である。

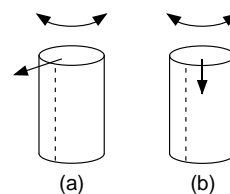


Fig.7: Enumeration of behavior possibilities

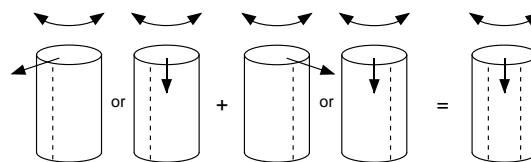


Fig.8: Superposition of cylindrical constraints

5. おわりに

本報告では、円筒形の弾性殻に付加する線拘束と、実現しうる運動との関係を定性的に調べる手法を提案した。円筒面上のすべての拘束位相に対して運動を導くとともに、定性的解析の妥当性を実験、シミュレーションを通して確認することが今後の課題である。本研究は、未来開拓事業研究「マイクロメカトロニクス・ソフトメカトロニクス」の一環として実施した。

【参考文献】

- 1) 川村, 平井, 変形を伴うアクチュエータの構造的分類, 第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1049-1050, 1997