

アレイ状配置チャンバを有する舌型空圧ソフトアクチュエータの設計

機械工学専攻 機械工学コース

知能機械システム学領域 東森研究室 水野 海渡

1. 背景

ヒトの舌を再現可能なロボットの実現を目指し、従来ソフトアクチュエータの活用が盛んに議論されてきた。ヒトの舌は、その殆どが筋肉で構成された柔軟な器官であり、図1(a)のような複雑な形状変化により、摂食動作や構音動作など、複数の機能を果たしている¹⁾。ソフトアクチュエータは、シリコンゴムなどの柔軟素材によって構成されたアクチュエータであり、その特性を活かした舌の柔軟性や連続的かつ多様な形状変化の再現が期待されている。

ここで、多様な形状変化によって舌挙動の包括的な再現が期待される、アレイ状配置チャンバを持つ空圧ソフトアクチュエータ^{2,3)}に着目する。このアクチュエータは、図1(b)に示すように、各チャンバに異なる内圧を加えることにより、チャンバ表面の膨張やチャンバ内壁の伸縮や曲げ変形が連動し、多様な表面形状を表出する。当該アクチュエータにおいては、表面形状の解析モデル、および、これに基づく簡便かつ迅速な設計手法の構築が望まれている。

本研究では、アレイ状配置チャンバを有する舌型空圧ソフトアクチュエータにおいて、目標表面形状を再現するための内圧条件を設計する手法を提案する。具体的には、アクチュエータの内圧条件と表面形状との関係を表す新たな解析モデルを導入し、非線形最適化により内圧条件を決定する。

2. アクチュエータ表面形状のモデリングとチャンバ内圧ベクトルの決定

図2に本研究で扱うアクチュエータの表面形状モデルを示す。本稿では、チャンバが水平方向にのみ並べて配置されたアクチュエータを扱うこととし、アクチュエータ中央部の

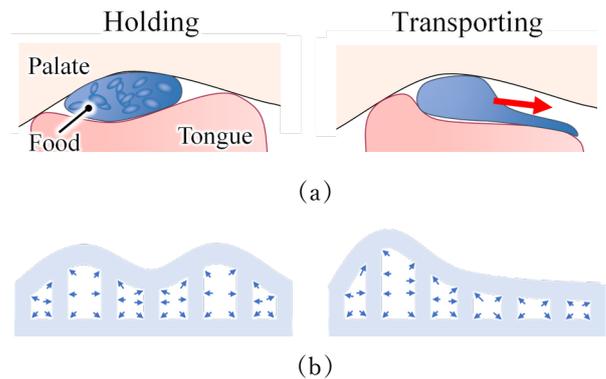


図1: 舌形状変化およびアレイ状配置チャンバを有する空圧ソフトアクチュエータの形状変化

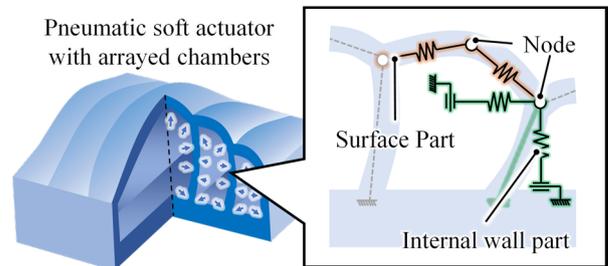


図2: アクチュエータ表面形状モデル概要

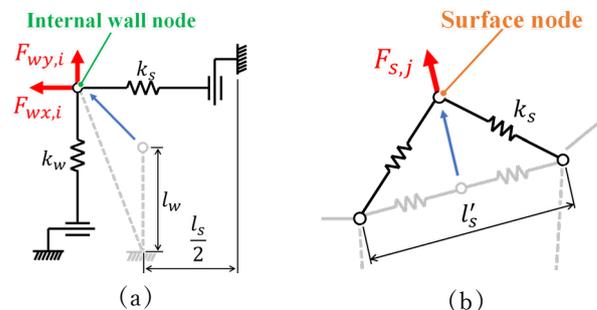


図3: 内壁部および表面部

鉛直断面における二次元的な表面形状をモデル化する。表面形状モデルは、チャンバ内壁上端の座標を表す内壁部と、チャンバ表面中心の座標を表す表面部の2つから構成される。

図3(a)に内壁部を示す。内壁部は、それぞれ水平方向・垂直方向にのみ弾性力が働く線形弾性要素2つから構成される。線形弾性要素のばね定数は、素材となるシリコンゴムの弾性係数から算出する。

図3(b)に表面部を示す。表面部は、両端が回転対称で接続された線形弾性要素2つから構成される。これらは内壁ノード間に予め引き伸ばされた状態で配置され、チャンバ内圧から決定される換算力を加えた際の変位から表面ノードの位置を算出する。

この表面形状モデルを用いた非線形最適化手法により、所望の表面形状を満たすための内圧条件を求める。非線形最適化には Levenberg-Marquardt 法を使用し、繰り返し計算により内圧条件を求める。

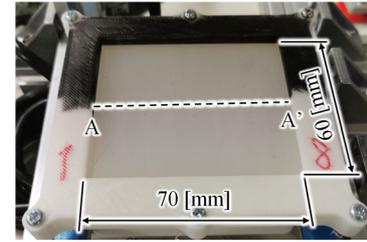


図4：アクチュエータ外観

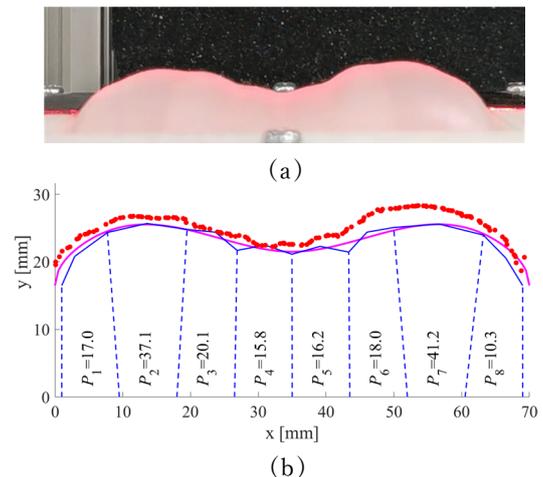


図5：表面形状再現実験結果

3. 表面形状再現実験

提案手法により任意の目標形状から求めた内圧条件を実機に与え、得られた表面形状を比較しその再現度を評価する。実験で用いるアクチュエータの外観を図4に示す。アクチュエータはヒト舌の2倍程度の外寸を、水平方向に8チャンバに分割した構造とした。

実験結果の一例として、図5に凹形状を再現した際の結果を示す。図5(a)に加圧時の実機外観を示す。図5(b)のマゼンタの実線は目標形状、青色の実線はモデル形状、赤色の点群は実機形状を示している。目標形状とモデル形状を比較すると、形状が定性的に一致しており、モデル上で適切な内圧条件を求められていることが確認できる。実機形状と目標形状を比較すると、実機--目標形状間の誤差の二乗平均平方根誤差(RSME)が2 [mm]以下に収まっており、提案手法により実機上で目標形状を再現するための適切な内圧条件を求められていることが確認できる。

4. 結論

本研究では、アレイ状配置チャンバを有するソフトアクチュエータの設計問題について議論し、目標形状を再現するための内圧条件を設計する手法を提案した。アクチュエータ表面形状の解析モデルを導入し、非線形最適化手法を用いて、目標形状とモデル形状との差異を最小化するための内圧条件の決定手法を示した。実験では目標形状に対して内圧条件を求め、実機で目標形状を定性的に再現できることを示した。

5. 参考文献

- 1) K. M. Hiimeae et al. *Crit. Rev. Oral. Biol. Med.* vol.14, issue6, 413-429, 2003.
- 2) J. Barreiros et al. *IEEE Int. Conf. Soft Robot.* pp.229-236, 2020.
- 3) 水野ら. システムインテグレーション部門講演会 2021 予稿集, 3D2-02, 2021.