

背骨折り法（spine-breaking method）：中子の除去を必要としない空気圧駆動の柔軟体の製作方法

○松尾 泰知（立命館大学） 三森 友貴（立命館大学） 平井 慎一（立命館大学）

This paper proposes a novel fabrication method of pneumatic actuators, which is referred to as spine-breaking method. Traditionally, pneumatic actuators have been fabricated by glueing or lost-wax methods. However, both methods have several problems: glue obstructing air paths of chambers, air leakage at glued areas, and melting material remaining in air paths. We thus propose spine-breaking method, which does not require glueing or melting material removal. We applied the proposed method to fabrication of wrapping hand fingers. We experimentally demonstrated that the fabricated wrapping hand fingers worked well.

1. 緒言

現在、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどの様々な場所で弁当が売られており、弁当の食品は工場での手によって詰められている。しかし、少子高齢化の影響などにより食品製造業で深刻な人手不足に陥っている。そのため、弁当製造の自動化による、人件費の削減や作業効率の向上が期待されている。実際にロボットを使用してピッキングが行われている製造工場や飲食店もある。例えば、デルタロボットやスカラロボットは弁当の盛り付け、ピッキングロボットとして用いられる[1]。ほかのロボットも飲食業界に少しずつ普及してきている。

本論文では、シリコンゴムを使用した空気圧駆動ロボットハンドに焦点を当てる。空気圧駆動のロボットハンドのメリットは、空気圧の制御のみで対象物の把持が可能であること、ハンドの部分の製作コストが非常に安価で交換が簡単であることである。一方で、製作難易度が高く、ハンドを量産することが難しく、耐久性能が足りないことが課題である。製作方法を見直すことで製作難易度の易化、耐久性能の向上が期待でき、柔軟素材を用いた型成型で製作する製作物に関しての応用が利く、製作技術の有用性を確認した。そこで、本論文では、中子の除去を必要としない製作方法を提案する。

2. 空気圧駆動の柔軟指

2.1 構造

PneuNetは柔軟な空気圧駆動の指機構として良く用いられる。PneuNetの基本的な構造をFig. 1に示す。PneuNetはシリコンゴムなどの柔軟素材で作られており、複数の連なった中空部（チャンバー）を含む構造を持っている。チャンバー内に空気が供給することで、チャンバーが膨張し、柔軟指の形状が変形する。印加する圧力を変えるだけで曲がり具合を調整できるアクチュエータである[2]。

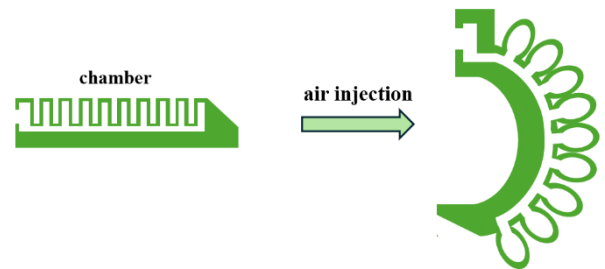


Fig.1 PneuNet

PneuNetを有した柔軟指として、Fig.2に示す包み込みハンド[3]があげられる。包み込みハンドはPneuNetを有した四本の柔軟指を使用し、対象物を包み込むように把持するハンドである。主に細断食品と呼ばれるネギやコーンなどを把持対象とする。ハンドの隙間を閉じることが特徴のハンドである。

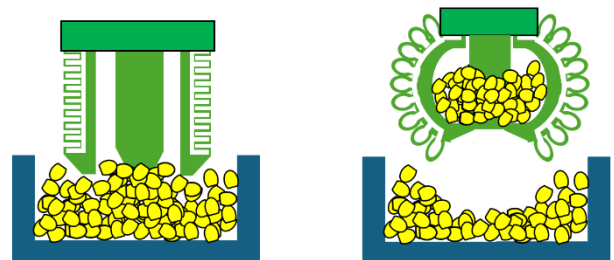


Fig.2 Wrapping Gripper Grasping Method

2.2 製作方法

包み込みハンドで使用する柔軟指従来の成型方法を、二つ紹介する。

一つ目の製作方法は、接着法である。CADソフトを使用して把持部とチャンバー部の鋳型を設計する。この設計データを基に、3Dプリンターで鋳型を造形する。次に、造形した鋳型にシリコンゴムを流し込む（Fig.3）。この際、シリコンゴムに含まれる気泡を除去するために脱気を行う。脱気が完了したら、おもりを乗せ、ネジで固定した状態で放置し、シリコンゴムを固める。固まったシリコンを鋳型から取り出す。取り出したシリコンゴムの把持面とチャンバー面を接着する。この際、チャンバー部の流路に

シリコンゴムが入り込まないように注意する．シリコンゴムを硬化させることで柔軟指を製作できる．

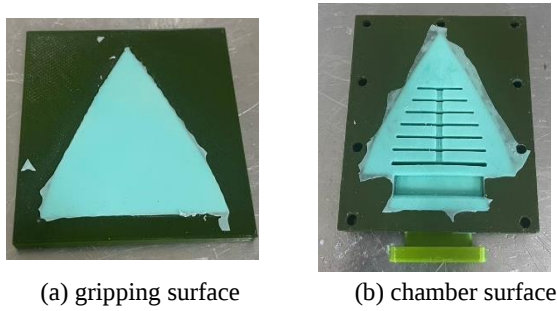


Fig.3 poured silicone rubber into the mold and allowed it to cure



Fig.4 hand

もう一つの製作方法は、ロストワックス法[4]である．ロストワックス法の手順をFig.5に示す．まずは、Fig.3(b)のチャンバー部の流路に融解素材を入れPneuNetを製作する．その上から、シリコンゴムを流し込み把持面を成型する．その後、中に残っている素材を溶かし出すことでチャンバー部を造る方法である．

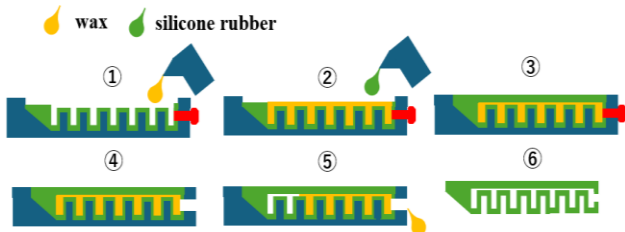


Fig.5 last wax casting

しかし、これらの製作方法は大きな欠点がある．接着法は把持面とチャンバー面を、手作業で塗り貼り合わせて製作しているので、接着剤の塗布量が多いとチャンバーが埋まってしまう．逆に塗布量が少ないと、空気圧を加えた際に空気が漏れてしまう．そのため、同じ屈曲角度を持つハンドを製作することが難しい．ロストワックス法は、チャンバー部の流路が細いため、中の素材をすべて溶かすことに、非常に時間がかかってしまう．また、溶け残りによって屈曲角度が変わってしまうことで、個体差ができてしまう．そのため、これらの製作方法では四本の同じ屈曲角度をもつ柔軟指を製作することは難しい．

3. 背骨折り法 (spine-breaking method)

本論文では、柔軟指のチャンバー部の流路を作るための中子を背骨と呼称する．背骨折り法は名前の通り、背骨を折ってシリコンゴムハンドを製作する方法である．従来の柔軟指の型成型では、PneuNetを製作するうえで、ロストワックス法などの中子を取り出す工夫をしてきた．一方で、提案する方法では、中子を折ることで流路を確保する．よって、中子を除去することなく、空気圧駆動のシリコンゴムハンドを製作することが可能になる．

製作方法を述べる．Fig.3(b)に3Dプリンターで造形した中子を入れ、把持面にシリコンゴムを流し込み固める．

シリコンゴムが硬化した後取り出し、ハンドを折り曲げ、中子を折ることでハンドの完成である．接着や中子を抜く工程がないため簡単に製作ができる．

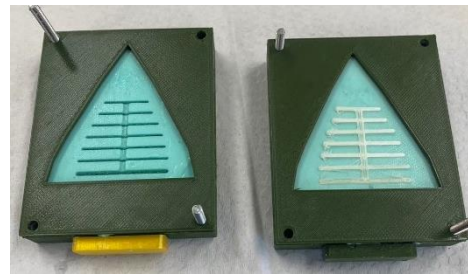


Fig.6 core-inserted hand

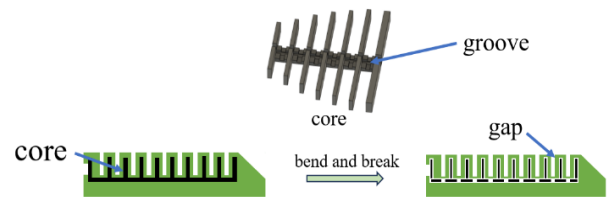


Fig.7 mechanism of the spine-breaking method

背骨折り法で製作したハンドの動作原理をFig.7に示す．中子の溝部分を折り、ハンドを揉むことで、中子とシリコンゴムが剥離し、空気の通り道を確保できる．中子が入っているため従来のハンドより少し曲げに対して硬くなっている．ただし、把持に影響はない．

4. 中子挟み込み一体成型

4.1 製作方法

背骨折り法を活用した柔軟指の一体成型方法を説明する．Fig.8のように左右を分けて型を造形することで、中子を挟み込み、固定することが可能になる．ロストワックス法や背骨折り法では、チャンバー部の流路に中子を入れていた．一方で、この製作方法では中子を型の中に浮かすことができる．その結果、シリコンゴムを中子の周りに流し込むことができ、一回の作業でハンドを製作することが可能になる．

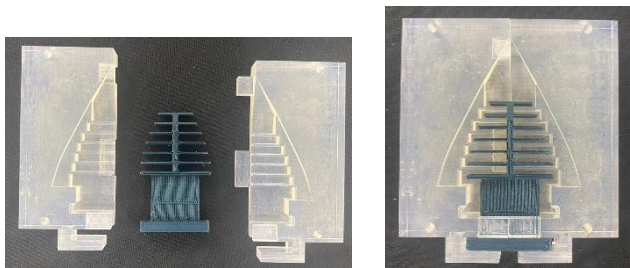


Fig.8 core insert mold

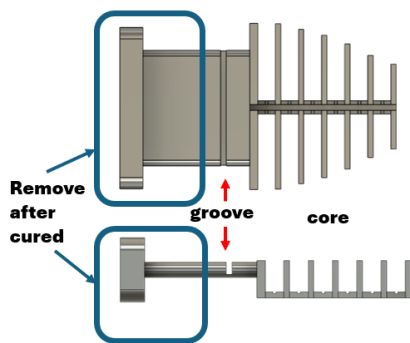


Fig.9 core and support remove after cured



Fig.10 hand made by core insert mold

ハンド (Fig.10) から飛び出した部分には溝 (Fig.9) を設計している。飛び出た部分を切り離すことで空気の流入口を確保する。

4.2 動作確認

空気を印加し実際に一体成型ができているか確認をした。Fig.11を見るとわかるように、チャンバーに空気が入り膨らんでいることが確認できる。これにより背骨折り法による一体成型は成功したといえる。



Fig.11 air injection

5. 結言

提案した柔軟指の製作方法により、接着するなどの工程を減らすことに成功した。ハンドの製作難易度の易化だけでなく、ハンドの耐久性能の向上も期待できる。さらに、中子の長さや太さを調整することで、駆動部に曲がる個所と曲がらない個所の調整もできる可能性がある。今回は、空気圧駆動のシリコンゴムハンドでの有用性について記述した。この製作方法はシリコンゴムの中に樹脂などの硬い素材を組み込むことができるので、ハリセンボンの表皮のように柔軟物と硬い棘が一体となった構造も簡単に製作することが可能ではないかと考えられる。今後この製作方法を使い、空気圧駆動のシリコンゴムハンドだけでなく、新たな柔軟体の製作に取り組む計画である。

謝辞 まず初めに、この研究を支援してくださった皆様に深く感謝いたします。本研究は株式会社ニップンにはグリップ製作精度向上のため型の提供を頂きました。

参考文献

- [1] 株式会社 FA プロダクツ JSS 事業部: “食品工場で活躍する自動化ロボットとは?”, <https://food-town.jp/customer/news/detail/222>, 2023.
- [2] F. Ilievski, A. Mazzeo, R. Shepherd, X. Chen and G. Whitesides: “Soft Robotics for Chemists”, *Angewandte Chemie International Edition*, vol.50, no. 8, pp. 1890-1895, 2011.
- [3] Y. Kuriyama, Y. Okino, Z. Wang and S. Hirai: “A Wrapping Gripper for Packaging Chopped and Granular Food Materials”, 2019 2nd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft), pp. 114-119, 2019.
- [4] N. Meeks, C. Tulp and A. Söderberg: “Precision Lost Wax Casting”, *EXARC Journal Issue* 2012/3, 2012.