

補助事業番号 2024M-484

補助事業名 2024年度 産業応用を目指したゴム歯車の開発 補助事業

補助事業者名 九州大学大学院工学研究院 助教 大澤啓介

1 研究の概要

近年、機械の高機能化により、今まで以上に高精度で滑らかな歯面・小型・タフの3つの要素を有する歯車が求められている。その理由として、高回転化によるギャノイズの低減やモータの更なる小型化、耐久性向上などが挙げられる。申請者は、弾性体を機械要素に応用することを得意としており、柔らかさを内包するゴム歯車に着目した。例えば、自転車業界では、ギャ内部にシリコーンを装着し、ペダルを踏み込む力で内部のシリコーンを圧縮することで、その反発力を効率よく回転エネルギーに変換することができるギヤクランクシステム「フリーパワー」が開発されている。ゴム歯車は金属歯車と比べて設計自由度が高く、軽量で、騒音が少ないところに利点がある。一方で、これまでに柔らかく変形するゴム歯車に関する研究は行われていない。この大きな要因として、これまで産業界で活躍してきた歯車は硬く、単なる動力伝達手段として使われてきたためである。また、部品を柔らかい材料で高精度に作製することが困難であったのも一つの要因である。近年、Additive Manufacturing技術の進歩により、精度が求められる部品を3Dプリンタで作製することも容易になってきた。また、機械やロボット技術の応用が多様化しており、設計仕様求められるハードルも高くなってきている。例えば、ある一定の力が加わると歯先が撓み、回転しなくなることで機械の安全装置に使えるなどの応用も考えられる。そのため、ゴム歯車は産業界に革命をもたらすポテンシャルを秘めている。そこで、本研究では、ゴム歯車の基礎構造検討と有限要素解析によるゴム歯車の評価、プロトタイプを用いた実現可能性検証を行った。

2 研究の目的と背景

これまでの機械・ロボットは人間との協調作業を想定しておらず、センサやソフトウェアによる制御システムに依存しており、突発的な衝突などによる機械の破損や人間に危険を及ぼす可能性がある。そのため、更なる安全性向上のために、トルクリミッタなどの機械的な安全装置も加えることが望ましい。トルクリミッタとは、伝達されるトルクが設定値を超えた場合に何らかの機構を用いて動力の伝達を遮断し、機械の内部部品や内部動力の破損を防ぐ装置のことであり、摩擦式・ボールラチェット式・磁気式といったものがある。しかし、市販のトルクリミッタを用いる場合、トルクリミッタのためのスペースが必要となり、機構が大がかりなものとなる。そこで、動力伝達機構の歯車に着目し、柔らかく変形するゴム歯車を用いて過負荷時に歯が変形し、スリップすることで回転が遮断されるトルクリミッタを開発することを目的とした。

3 研究内容

ゴム歯車を用いたトルクリミッタの開発

(<https://sites.google.com/view/keiosawa-jp/研究-research>)

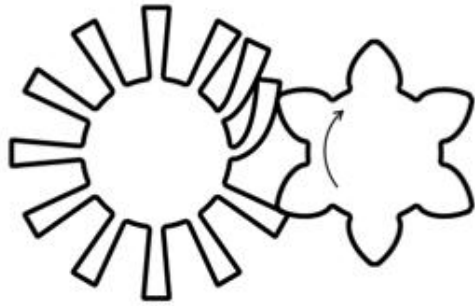


図1. ゴム歯車を用いたトルクリミッタの概念図

まず、ゴム歯車の基礎構造検討を行った。ゴム歯車によるトルクリミッタは過負荷時に歯が変形し、スリップすることで回転を遮断する。工業製品において、一般的に用いられる歯車はインボリュート歯車であるが、歯元に向かうにつれて太くなる形状をしており、歯を変形させることが難しい。そこで、図1のようにサイクロイド歯車を用いた基礎設計を行った。

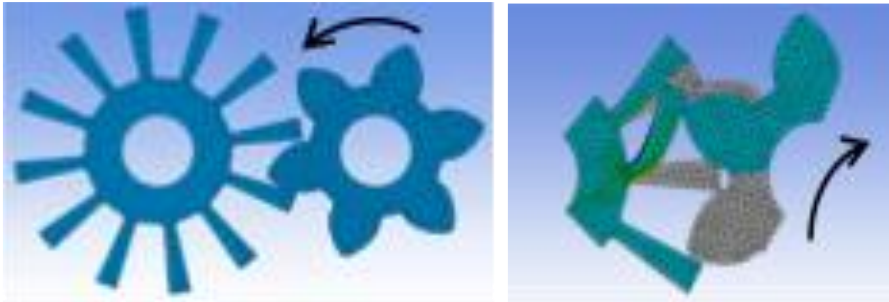


図2. 有限要素解析を用いたゴム歯車の解析：(左) かみ合い解析、(右) 遮断トルク解析

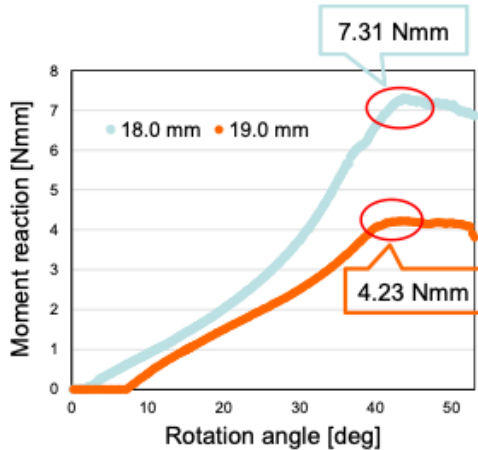


図3. 中心距離を変更した時の遮断トルクの比較

次に、有限要素解析を用いてゴム歯車の基礎的な駆動特性を評価した。図2のように有限要素解析ソフトウェアAnsys Motion (Ansys, USA)を用いて、歯車同士を中心距離を変更した時のかみ合い解析を行った。中心距離を18.0mm~19.0mmの間で変更しても、かみ合うことを確認した。また、歯がスリップし回転を遮断する時の遮断トルクを算出した。図3に解析結果を示す。解析結果から、中心距離を変更した時に遮断トルクの調整が可能であることを示した。



図4. 光造形方式3Dプリンタで作製したプロトタイプ

最後に、プロトタイプを用いてかみ合いとスリップ挙動を確認するための実現可能性検証を行った。ゴム歯車のプロトタイプは光造形方式の3DプリンタForm3B+(Formlabs, USA)を用いて作製した。材料として繰り返しの曲げに強いゴムライクな材料でショア硬度80AのFlexible80Aを用いた。ゴム歯車とかみ合う硬い歯車はインクジェット方式の3DプリンタAGILISTA(Keyence, Japan)を用いて作製した。材料としてアクリル性のスタンダード樹脂AR-M2を用いた。サーボモータPMX-SCR-5204HVを用いて歯車の回転を制御した。実験結果として、通常の回転時は歯車同士がかみ合い、過負荷が加わると柔らかい歯車が変形し、回転が遮断されることを確認した。このことから、提案機構の実現可能性が示された。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究成果は、九州大学の城戸健君(修士2年)、D.S.V.バンダラ助教、荒田純平教授、広島大学の池条清隆助教、早稲田大学の田中英一郎教授、アムテック有限会社の上田昭夫様の協力の下で得られたものであり、新たな機械要素技術の創出が学術に貢献するだけでなく、その産業応用により社会に貢献する可能性がある。本研究で開発した柔らかいゴム歯車は機構の小型化・軽量化に寄与するため、自転車や釣具、医療ロボットなど、小型で軽量性が求められる機械装置に有用であると考えられる。江戸時代のからくり人形を代表するように日本の歯車技術の歴史は長く、特に高精度歯車や特殊歯車の製造技術において世界的に高い評価を受けている。そのため、産業におけるゴム歯車の活用可能性は十分高いと考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者はこれまでに弾性体の変形を利用した柔軟メカニズムを要素技術とした新たな医療ロボット・デバイスの創出に携わってきた。その中で、回転を伝達するための重要な機械要素である歯車に着目し、柔らかいゴム歯車を開発した。これまでの研究では、自走式内視鏡ロボットの推進機構への応用のみであったが、本研究では、産業応用を見据えたトルクリミッタへの応用可能性を示すことができた。また、申請者の知見を広げる観点でも非常に有意義であった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

○知財

米国特許仮出願1件

○発表論文

1. **Keisuke Osawa**, Takeshi Kido, Kiyotaka Ikejo, Akio Ueda, D.S.V. Bandara, Jumpei Arata, Eiichiro Tanaka. Design and Fabrication of Soft Gears with a Stereolithography 3D Printer, Proceedings of the 11th International VDI Conference on Gears 2025 (ICG2025), 2025.
2. Takeshi Kido, **Keisuke Osawa**, Kiyotaka Ikejo, Akio Ueda, D.S.V. Bandara, Jumpei Arata, Eiichiro Tanaka. Design and Analysis of Soft Gear for Application to Torque Limiter, Proceedings of the 10th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2025), pp. 266–267, 2025.

○研究会

1. 大澤啓介. 新会員紹介, 精密工学会成形プラスチック歯車研究専門委員会第158回研究会, 東京, 2024年12月. [招待あり]

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 九州大学大学院工学研究院
(キューシュウダイガクダイガクインコウガクケンキュウイン)

住 所: 〒819-0395
福岡県福岡市西区元岡744

担 当 者: 助教 大澤啓介(オオサワケイスケ)

担 当 部 署: 機械工学部門 精密加工学研究室
(キカイクウガクブモン セIMITSUKAKOUガクケンキュウシツ)

E - m a i l: k-osawa@mech.kyushu-u.ac.jp

U R L: <https://www.mech.kyushu-u.ac.jp/~premach/index.html>
<https://sites.google.com/view/keiosawa-jp>