

研究助成研究成果報告書

令和 3 年 9 月 3 日

公益財団法人江野科学振興財団
理 事 長 江 野 眞 一 郎 殿

貴財団より助成のありました研究の成果について下記のとおり報告します。

申請者名

小島 明寛 印

記

1.研究課題名

和 文 二重網目構造の天然ゴムを使用した軸方向繊維強化型人工筋肉の開発
英 文 Development of double network rubber straight fiber type artificial muscle

2.申請者名(代表研究者)

氏 名 小島明寛	ローマ字表記 Akihiro Kojima
所属大学・機関名 中央大学研究開発機構	英訳表記 Chuo university Research and Development Initiative
学部・部課名	英訳表記
役職名 専任研究員	英訳表記 Associate research engineer

3.共同研究者（下段 英訳表記）

氏 名	所属機関名・学部名・役職
(氏 名) 中村太郎	中央大学理工学部精密機械工学科教授
(英訳表記) Taro Nakamura	(英訳表記) Chuo university Faculty of Science and Engineering Professor
(氏 名) 奥井学	中央大学理工学部精密機械工学科助教
(英訳表記) Manabu Okui	(英訳表記) Chuo university Faculty of Science and Engineering Assistant professor
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)

4.英文抄録（300 語以内）

In this study, we developed a straight fiber type artificial muscle using natural rubber with a double network that has two types of networks with different strain states in the relaxed state, and developed a long-life, high-power artificial muscle.

Natural rubber with a double network was prepared by performing two-step cross-linking in different stretched states.

From the observation of the formation of the crystal layer by wide-angle X-ray diffraction, it was confirmed that the natural rubber having a double-mesh structure formed the crystal layer with a strain smaller than that of the natural rubber in the normal state.

Next, the strain concentration near the crack was confirmed from the finite element method analysis. As a result, it was found that strain concentration occurred near the crack and increased as the aspect ratio increased.

In addition, the strain concentration near the crack was confirmed by wide-angle X-ray diffraction. Normally, the crystal layer is confirmed from a strain of about 4, whereas the formation of a crystal layer is confirmed from a strain of about 1 in the vicinity of the crack.

From the above, it was shown that the application of natural rubber with a double network could produce straight fiber type artificial muscles with high contraction characteristics and long life.

5.研究目的

■背景

ソフトアクチュエータは従来のモータや油圧シリンダなどのアクチュエータと異なり構造的な柔軟さを有しており、身体装着型装置への応用が期待されている。現在までに様々な素材や駆動原理を用いたソフトアクチュエータが研究されているが、その中でも空気圧ゴム人工筋肉は、既に製品化された例があるなど、その出力密度の高さや安定した動作から、最も実用的なソフトアクチュエータのひとつである。

空気圧ゴム人工筋肉は、ゴム等の弾性構造体に空気等の作動流体を注入して動力を得るアクチュエータである。出力として収縮が得られ、柔軟であるという特徴から、人間との協調性の高いアクチュエータとして、身体装着型装置などへの応用研究が盛んにおこなわれている。

応募者らが提案した軸方向繊維強化型人工筋肉は、従来の McKibben 型人工筋肉と比較して同圧力、形状下において 4 倍程度の収縮力と 1.3 倍の収縮率が出力できることが実証されており、世界最高レベルの出力の革新的なソフトアクチュエータである(図 1)。

また、パワーアシスト機器、蠕動運動型移動ロボット、ポンプへの適用等、実用化に近い応用も数多く存在する。しかし、本陣公筋肉はゴム材料の変形を伴うため、繰り返し耐久性が低いという問題があった。

■研究目的

本研究では、弛緩状態に異なるひずみ状態を有する 2 つのタイプのネットワークを持つ「二重網目構造の天然ゴムを使用した軸方向繊維強化型人工筋肉の開発」を行い、長寿命、高出力な人工筋肉を作製する。

ここで、一般的な高分子の破壊は外力による亀裂の発生及び成長を経て起こる。そのため、亀裂の発生や成長を抑制することができれば繰り返し耐久性を向上できると考える。そこで、天然ゴムの伸張結晶化に着目した。天然ゴムなどの規則的な分子構造を持つ一部のゴムは架橋した後伸張することで公称の融点以上でも結晶化する。伸張結晶層は伸張方向と垂直に形成され、繰り返しの伸縮による亀裂の成長を抑制する効果が期待できる(図 2)。しかし、伸張結晶化は可逆的な反応であり、人工筋肉の収縮時には結晶層が形成されるが伸張時には形成された結晶層は消失すると考える。そのため、現状では耐久性試験(繰

り返し伸縮)の伸張時に印加圧力を一部残す(ひずみを全ては緩和しない：以下与圧と呼ぶ)ことで結晶層を維持し、長寿命化を図っている．ここで、本人工筋肉は自然長時に最も収縮力大きいことが知られている．与圧条件を使用することで、長寿命化を図ることができるが、収縮特性が低下するという問題がある．

そこで、本研究では与圧条件を使用せずに(収縮特性を低下させることなく)伸張結晶層を維持する方法として異なる 2 つのタイプのネットワークを持つ二重網目構造の人工筋肉の開発を行う．

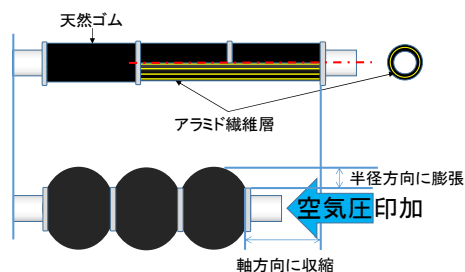


図 1 軸方向繊維強化型人工筋肉

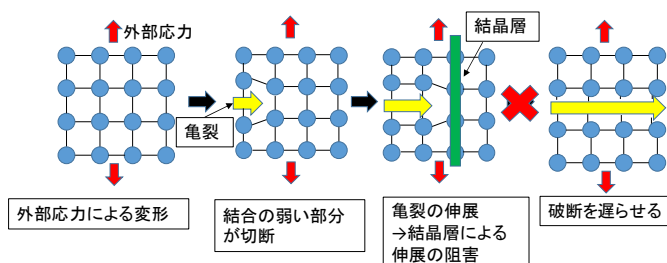


図 2 伸張結晶層による亀裂成長阻害

6.研究内容及び成果の本文

別紙に作成添付してください。(冒頭に所属、氏名、研究課題を記載ください)

7.今後の研究の見通し

二重網目構造の天然ゴムでは残留ひずみを発生させることが可能となり、通常よりも小さいひずみでの伸張結晶層の形成を確認した．

また、有限要素法解析から亀裂近傍でのミクロなひずみ集中を確認し、広角 X 線回折測定から実際にひずみ集中が発生していることを確認した．

以上から二重網目構造の天然ゴムを軸方向繊維強化型人工筋肉に適用することで、通常よりも長寿命である人工筋肉が作製できる可能性を示すことができた．今後は実際に二重網目構造の天然ゴムを適用した軸方向繊維強化型人工筋肉の作製、評価を行っていく予定である．

8.本助成金による主な発表論文、著書名

特記事項なし.

[注1] 本報告書は、助成金を受けた翌年9月末までに必ず提出してください。

[注2] (お願い)印刷物の郵送と電子媒体の添付ご提供をお願いします。インターネットメールでの送付を歓迎します。〈E-Mail: enozaidan@kokoku-intech.com〉

[注3] この報告書を当財団のホームページに掲載させていただきますので、予めご了承ください。

※当財団へのご意見・ご要望がございましたら、下記へご記入ください。
お寄せいただいたご意見・ご要望は今後の参考にさせていただきます。

アンケートへのご協力ありがとうございました。

以 上