

人工筋肉の寿命を最大 100 倍、身体装着型アシスト装具などへの応用を目指す

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と中央大学工学部中村研究室は、軸方向繊維強化型人工筋肉に用いるゴムの伸張結晶化特性を利用することで亀裂の広がりを防ぎ、人工筋肉の最大 100 倍の長寿命化に成功しました。今後、本成果を可変粘弾性下肢アシスト装具などに適用することを目指します。

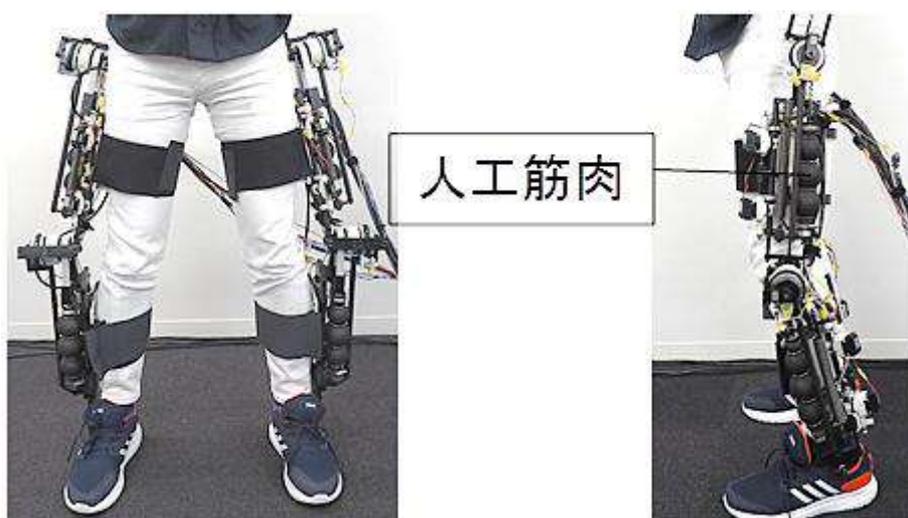


図 1 今回開発した長寿命型の軸方向繊維強化型人工筋肉を適用した可変粘弾性下肢アシスト装具 Airsist

高齢化社会では人口に対する労働力の不足が問題となっており、現在、業務の自動化、機械化による効率改善が盛んに行われていますが、農業、製造業、介護などの分野では、作業効率やスペース不足などの理由から自動化、機械化が困難な作業が存在します。そのため、身体装着型アシスト装置など、作業負担の軽減を目的とした機器の実用化が期待されています。

身体装着型アシスト装置で用いられる駆動装置（アクチュエーター）の一つに、空気圧ゴム人工筋肉の一種である軸方向繊維強化型人工筋肉があります。本人工筋肉は、ゴムチューブの中に軸方向にそろえた補強繊維を挿入した構造となっています。これに空気圧を加えることで、半径方向には膨張、軸方向には収縮し、アクチュエーターとして利用することができます（図 2）。また、本人工筋肉は軽量、柔軟であり、低圧駆動で最大 38% 以上収縮するなど、一般的な McKibben 型人工筋肉と比較して優れた収縮特性を持ちます。しかし、本人工筋肉はゴムが大きく変形するため、ゴムの劣化による亀裂が生じやすく、寿命が短いという欠点があり、実用化に向けた課題となっていました。

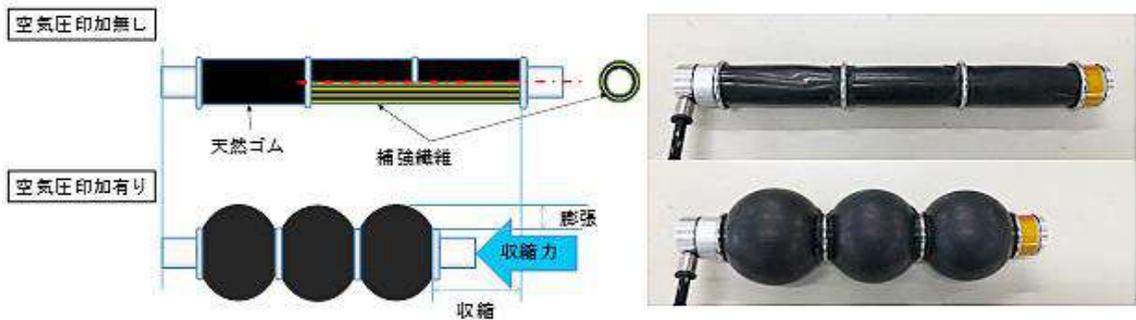


図 2 軸方向繊維強化型人工筋肉

今回の成果

図 3 にゴムの伸張結晶化特性による長寿命化モデルを示します。外部応力によりゴムにひずみが発生すると、ある応力に達したところでゴムの分子鎖の最も結合の弱い部分が切断されます。これにより切断された隣の分子鎖に大きな負荷がかかり、次の分子鎖が切断されます。これを繰り返すことで亀裂が広がり、最終的な破断に至ります。しかし、ゴムの伸張結晶化特性を利用することで、伸張により形成された結晶層が亀裂の広がりを防ぎゴム材料の長寿命化を図ることができます。

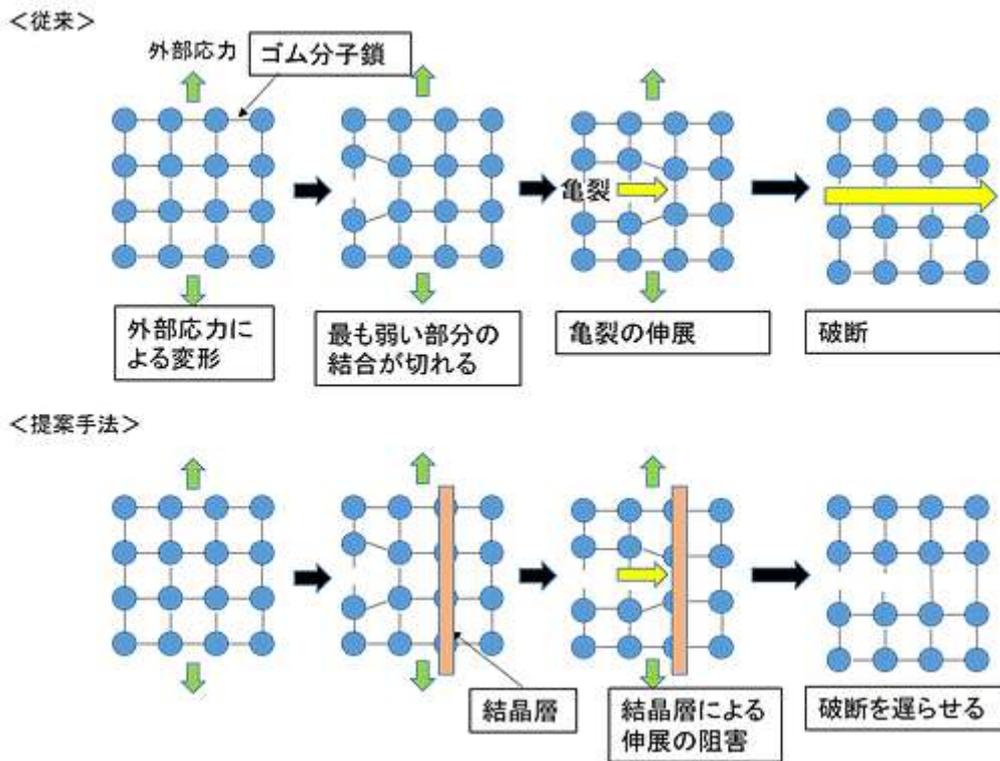


図 3 結晶層による亀裂成長阻害のモデルのイメージ図

図4に広角X線回折※3による結晶層の測定結果(上)と、天然ゴムの応力ひずみ曲線(下)を示します。応力ひずみ曲線の横軸はひずみ、縦軸は応力です。測定は元の長さの7倍まで伸張させた後に元の長さまで収縮させています(青三角形は伸張および収縮の方向を示します)。広角X線回折の測定から、伸張過程では元の長さの4倍まで伸張させた時点から、結晶層が形成されていることを示す明点が観察されはじめ、収縮過程では元の長さの3倍まで収縮させた時点まで、明点が観察されました。以上から、伸張結晶化特性は可逆的な反応であり、結晶層を維持するには赤線の領域で使用する必要があることがわかりました。

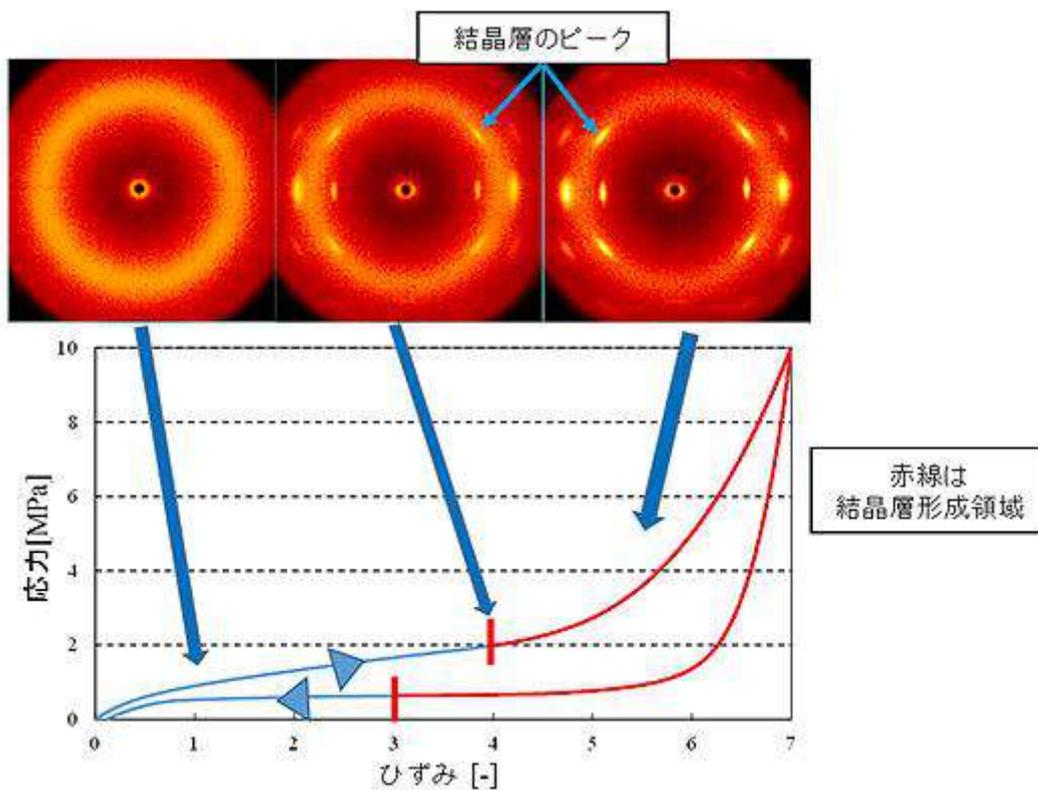


図4 広角X線による結晶層の測定

この知見に基づき、ゴムの結晶層が維持されるように、ゴムが一定程度以上伸張した状態を常に保つように人工筋肉を制御しました。これまでは、伸縮の回数が数百から数千回に達した段階で破断してしまいましたが、今回開発した人工筋肉の制御手法を適用したところ、80万回を超える伸縮が可能となり、本研究テーマの目標値である20万回(装着者が1分間に2回程度アシストされることを仮定し、1日5時間稼動で1年程度使用可能)を達成しました(図5)。

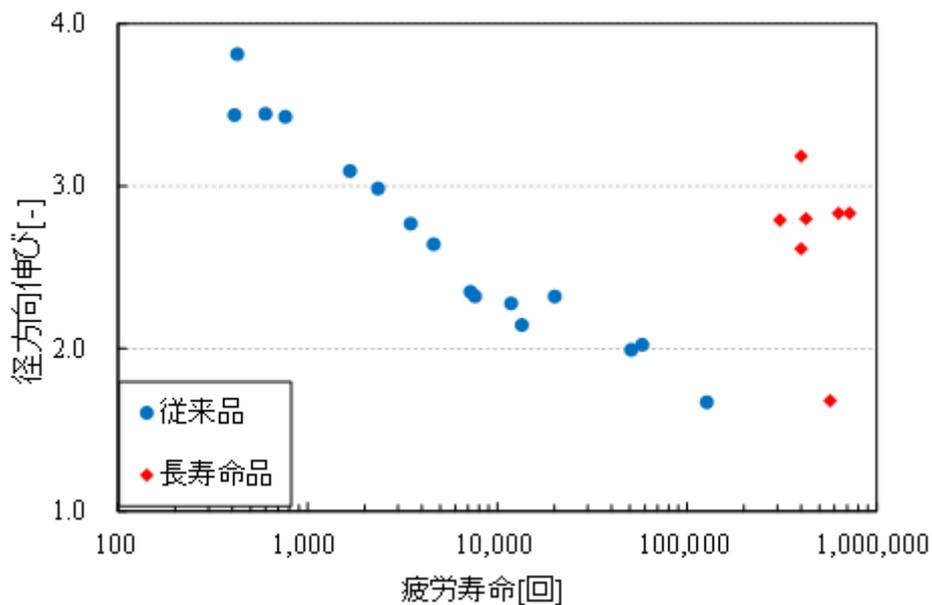


図5 軸方向繊維強化型人工筋肉の疲労寿命

今回開発の人工筋肉を身体装着型アシスト機器に適用することによって以下の4つの利点を得ることができます。

- (1) 軽量で高出力であるため、駆動部のモビリティが高く小型化が可能となります。また、McKibben型人工筋肉と比較して低圧で同程度の出力が得られるため、コンプレッサーなどの空気圧源の小型化が可能となります。
- (2) 構造的に柔軟性があり、剛性の制御がオープンループ（センサーによるフィードバックを使わない制御であり、センサーレスのシンプル構造と制御則が特徴）で可能です。また、減速器付きのモーターと比較して、バックドライバビリティ（アクチュエーターの出力側で受けた力が入力側に伝わる性質）の面で優れており、本質的に安全性が高いです。
- (3) 人工筋肉の形状の自由度が高いため、さまざまな構造の機器に適用することが可能です。
- (4) 部品点数が少なく原料が安価です。

日文新闻发布全文 https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101253.html

文：JST 客观日本编辑部翻译整理