

# 農作業用スマートスーツのためのセミアクティブS-FRPアクチュエータの開発

田中 孝之 [北海道大学大学院情報科学研究科／准教授]

吉成 哲 [北海道立総合研究機構工業試験場製品技術部人間情報応用科／科長]

前田 大輔 [北海道立総合研究機構工業試験場製品技術部人間情報応用科／研究職員]

堀田 大介 [株式会社スマートサポート／研究員]

## 背景・目的

葡萄の摘粒作業などの高所腕上げ作業は上腕部や肩部に掛かる負担が大きいため、この作業を補助する筋力補助スーツの開発が進められてきた。しかし、従来の高所腕上げ作業用の筋力補助スーツでは補助力を調整できなかった。そこで、補助力の調整が可能な高所腕上げ作業用スマートスーツの実用化のために、複合弾性材を用いた軽量かつ高柔軟性のストレッチFRPアクチュエータを開発するとともに、上腕部及び肩部を補助するスマートスーツに搭載し、有効性を検証することを目的とした。

## 内容・方法

FRPの曲げ剛性とバネの柔軟性を融合した「ストレッチFRPアクチュエータ」を開発した。本アクチュエータはFRPロッドをFRPパイプ内で収動させ、さらに、パイプとロッドをバネにより連結した構造となっている。これにより、圧縮剛性と曲げ剛性を持ち、3次元方向に的確に抗力を発揮できる軽量かつ柔軟性の高いアクチュエータを開発した。

構成部材のFRPは、繊維の種類やマトリックス樹脂の種類及び成型方法等により特性が大きく変わるが、本研究では最も強度に優れたCFRPを採用し、バネ材として圧縮バネを採用した。

ストレッチFRPアクチュエータの基本性能確認としてX-Yテーブル型の特性試験機を製作し、圧縮、屈曲方向に自由度のあるアクチュエータの圧縮量と曲率に対するロッドの復元力とバネの反発力を計測した。

特性試験の結果を用いて、上腕の屈曲運動時の補助効果を調べるシミュレーションを行った。

高所腕上げスマートスーツ試作機を開発し、評価試験を実施し、上腕の屈曲運動時の補助効果を筋電位によって評価した。

## 結果・成果

### (1) 高所腕上げ作業用スマートスーツ用ストレッチFRPアクチュエータ

図1に示す高所腕上げ作業用スマートスーツ用ストレッチFRPアクチュエータを開発した。

強度や耐摩耗性を高めるためにCFRPを採用した。スマートスーツへの搭載を考慮して、上腕を屈曲運動させた際にアクチュエータが破損しないように寸法を決定した。それにより、FRPロッドを直徑2.5mm、同パイプを外径8mm、内径4mmのものを採用した。

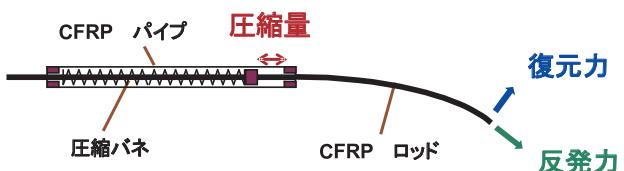


図1：ストレッチFRPアクチュエータ

### (2) アクチュエータ基本特性試験

試作したストレッチFRPアクチュエータの基本特性を計測した。

X-Yテーブル型試験機を用いて、図2のように一端を固定台に、もう一端を試験機の固定部に六軸力覚センサを介して固定し、バネの圧縮量及びパイプ上端より露出したロッド長を一定に保ちながらアクチュエータ屈曲させた。この時のアクチュエータの曲率、圧縮量、復元力、反発力を記録した。

その結果、図3に示す特性を持つことが分かった。復元力は曲率に、反発力はバネの圧縮量に比例して変化することが確認できた。

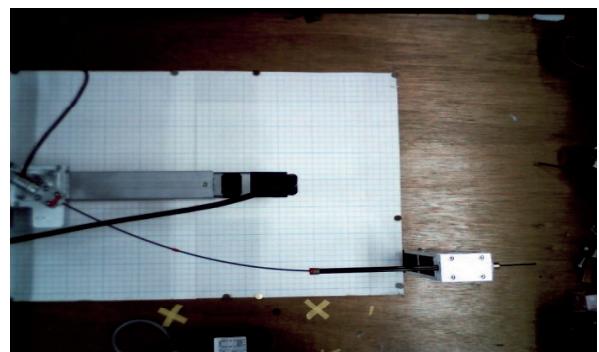


図2：基本特性試験の様子

### (3) 上腕の屈曲運動時における補助効果のシミュレーション

適切なアクチュエータを製作するために図4に示すモデルを用いたシミュレーションを行った。基本特性試験の結果からアクチュエータの補助力を算出し、補助力及び腕の重さが肩回りに発生させるトルクをそれぞれ補助トルク、負荷トルクと定義した。そして、負荷トルクに対する補助トルクの割合をアシスト比として定義した。シミュレーションでは上腕が屈曲運動を行った際のアシスト比の変化を調べた。また、取り付け位置や内蔵するバネの硬さを変更し、同様のシ

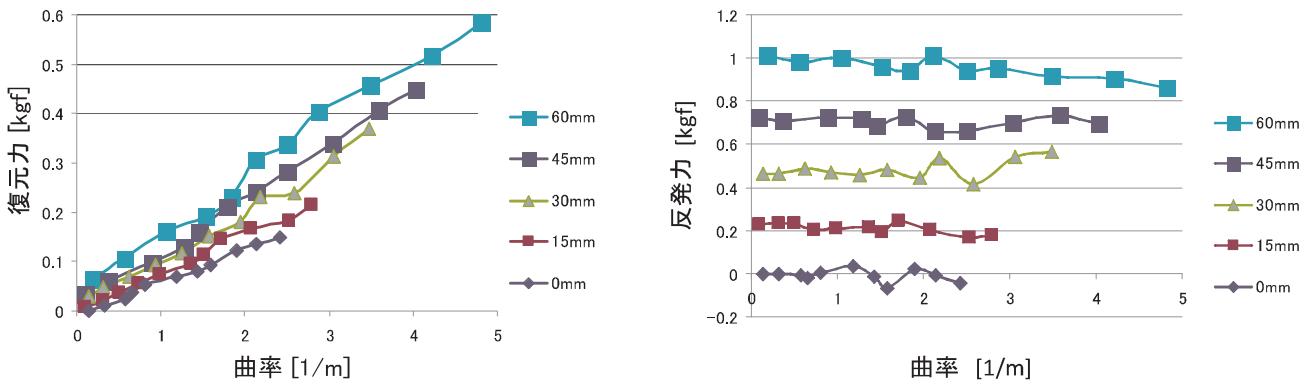


図3：アクチュエータ基本特性

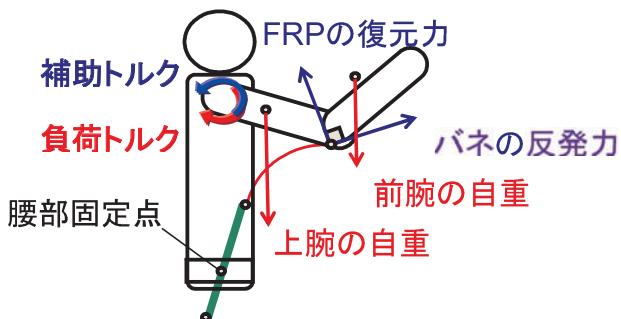


図4：アシスト比算出シミュレーション用モデル

ミュレーションを繰り返した。

シミュレーションの結果から、アクチュエータのパイプ長215mm、ロッド長410mm、全長625mmのアクチュエータを製作した。

#### (4) 高所腕上げ作業用スマートスーツ試作機の開発と基本性能試験

図5に示すように、製作したストレッチFRPアクチュエータを搭載した高所腕上げ作業用スーツを試作した。

両腕に腕部と腰部に固定用器具を装着し、アクチュエータを取り付けた。上腕の屈曲、外転、内転においても、腕部と腰部に取り付けたアクチュエータが上腕の動きに応じて変形することが確認された。これにより、上肢の3次元運動でも適切な補助が期待できる。

また、試作機の基本性能試験として、図6のように上腕を挙上した状態(1分間、上腕の角度を100°で保持)における筋負担軽減度を筋活動電位より評価した。図7に各部位のスーツ未装着時を100とした筋負担を示すとおり、スーツ装着時に全ての筋の負担が軽減し、特に屈曲運動の主動筋である三角筋(前部線維)の負担は6割程度軽減されていることが確認された。

#### (5) 高所腕上げ作業用スマートスーツ試験機のフィールド試験

農家の方々からスーツ試験機の補助感覚などについての聞き取りを行った。ロッドが枝に接触する可能性や腕を下ろすために力が必要である等の意見が得られたと同時に、スーツ試験機による補助効果が得られたとの回答も得られた。



図5：高所腕上げ作業用スマートスーツ試作機



図6：筋負担評価実験

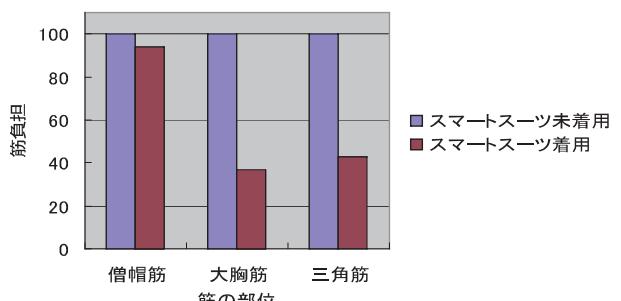


図7：筋負担評価実験



図8：フィールド試験の様子

### 今後の展望

先ず、開発したストレッチ FRP アクチュエータの動特性を試験機により解析する。これを基に、筋骨格動力学シミュレータでの解析が可能となり、より動作に適したアクチュエータ特性・配置の設計が期待できる。また、本アクチュエータに電気モータを組み合わせて、セミアクティブ型ストレッチ FRP アクチュエータを設計、開発したので、これにより、さらに複雑な動作への適用や補助力の調整も可能になることを実験的に確認する。