A110 筋紡錘を参考とした新しい張力センサーの開発

Mechanical Approach for the Artificial Muscle Spindle Development

○佐藤 毅顕 (長岡技科大) 正 三宅 仁

Takaaki SATO, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka Niigata

Hitoshi MIYAKE, Nagaoka University of Technology

Key words: muscle spindle, sensor, actuator, tensiometer

1. 背景

近年、生体の構造に大きな関心が寄せられているが、そのセンシングという分野では生物を参考にするという点でまだ十分だとはいえない。既存のセンサーとは異なる構造をもった体内のセンサーである筋紡錘を参考にすることで、新しい構造のセンサーを開発した。

2. 目的

筋紡錘の検出メカニズムは、機械力学的分野での応用が可能だと考えられる。それにより既存のセンサーにはない特性をもったセンサーが実現できると考えられる。そこで、本研究では筋紡錘の原理のメカニカルモデルを実現させる事を目的とした。

3. 筋紡錘とは

3. 1 筋紡錘の構造

筋紡錘 (muscle spindle) は、筋の長さや変化速度をセンシングしている感覚器官である。形状は数ミリの長さのカプセル状であり、筋内に多数存在する。その数はより繊細な運動をする筋に多く含まれる。筋紡錘は錘外筋に並列に付着して存在する。

筋紡錘内部には筋繊維が収められており、その筋繊維は形状によって2つに分けられる。1つは核袋繊維 (nuclear bag fiber) といい、大きく、長く、中間部に核が多数ある。他は核鎖繊維 (nuclear chain fiber) で、短く、核が1列に並ぶ。

構造の模式図を Fig.1 に示す

Fig.1 Schema of Muscle Spindle¹⁾

核袋、核鎖繊維ともに両端に運動性神経が接続され両端のみが収縮し、収縮する機能を持たない中央部分には感覚性神経が接続されるつくりになっている。

3. 2 神経線維

筋紡錘には数種類の神経線維が繋がっている。

筋紡錘において特に重要な働きをしているのが運動性神経であり紡錘内の筋繊維の両端に遠心性の信号を伝える γ 神経繊維と、感覚性神経であり筋の長さおよび伸展速度を測定し求心性の信号を伝える Ia 群繊維、II 群繊維である。

筋を受動的に伸展すると筋に平行に接着されている筋紡錘も伸展され、赤道部に張力がかかり、筋紡錘から信号が発生する。また、 γ 運動性神経からの興奮により錘内筋繊維が収縮しても紡錘内の筋繊維中央部に張力がかかり、信号が発生する。

錘内筋繊維とその神経支配を Fig.2 に示す。

Fig.2 Two kinds of Intrafusal Muscle Fiber with the Nerve Rule Muscle Spindle¹⁾

3. 3 筋紡錘の働き

筋が外力により伸展された際、その伸展速度と長さに応じてパルスが発射される。筋の身長に伴い筋に接着された筋紡錘も伸張されるためである。しかし、筋紡錘が特徴的なのは γ 運動性神経繊維により紡錘内の筋繊維の長さが調節され、この場合は緩める事で中央にかかるテンションを調整し、筋は伸張していても筋紡錘にかかるテンションを平常に戻す点である。同様に筋が弛緩したときも γ 神経線維の刺激により、

維内両端の収縮部分を縮めることで筋紡錘中央の状態を平常に戻す。これはつまり、センサーと長さを調整する機構との組み合わせであり、それにより本来のセンサーの使用可能範囲を大幅に広げる結果となっているのみならず、常にセンサーの最も感度のよい状態を維持できるようになっている。

4. 機械工学的アプローチ

この、センサー部と長さの調節部からなり、全体の長さを調整することでセンサー部分にかかる力を調整するという筋紡錘の構造を参考にする事で、新しい張力センサーを開発できると考えた。一般にセンサーの感度とレンジはトレードオフの関係にある。張力センサーの感度を高め、少ない変異に対して大きな反応をするようにすると、使用可能なレンジが小さくなり、また使用可能なレンジを広く取ると感度を低くせざるを得ない。(Fig.3)

Fig.3 Range and Sensitivity

ここで筋紡錘を参考に、張力センサーと長さの調節機構を組み合わせ、張力センサーの初期の変移を自在に調整できるようにする。すると感度が高く広範囲で扱えるセンサーとみなすことができるようになる。(Fig.4)

Fig.4 New Sensor based on the Muscle Spindle

このセンサーのメリットであるが、これまで測定範囲の広さから複数のセンサーを積むことでしか対応できなかった部分をひとつのセンサーで補えるようになる可能性がある。それにより低コスト化やメンテナンス性の向上、軽量化が望める。

5. 実験装置

試作した実験装置を以下に示す。

Fig.5 Trial Product

筋紡錘のミメティクスとしてのロードセルとアクチュエータの組み合わせと、その筋紡錘のミメティクスに荷重をかけるためのアクチュエータが必要である。つまり、このシステムはロードセル一つとアクチュエータ二つからなる。

各種条件より、アクチュエータにはボールネジ式のリニアステージを、またロードセルは圧縮引張両対応のものを選ぶ。

構成部品には、アクチュエータとして(株)ハーモニックドライブシステムズ製リニアステージ LNP シリーズ、ロードセルとして(株)VALCOM 製 VS2 シリーズ、また制御のために株 Keyence 製シーケンサ KV-1000 シリーズを選択した。

6. システム全体概略図

7. 今後への展望

今回装置を試作したことで得られた結果を元に、装置の改良につとめたい。

8. 参考文献

- 1) 中浜博, 田崎京二, 鈴木泰三: 生理学通論Ⅱ. 共立出版. 232p. (1972)