

# 咀嚼を模擬する装置の開発と評価

## —制御設計とシリンダの特性評価—

### Development and evaluation of device simulating mastication

小澤 俊介(東電大院) 山崎 敬則(東電大)

Yusuke FUKAZAWA Graduate school of Tokyo Denki university, Ishizaka, Hatoyama, Hiki, Saitama 350-0394  
Takanori YAMAZAKI, Tokyo Denki university, Ishizaka, Hatoyama, Hiki, Saitama 350-0394

#### 1. 緒言

咀嚼嚥下とは、食べ物や飲み物を口に入れ、押し潰し、飲み込む行為のことである。舌は咀嚼嚥下の過程で食塊のコントロール、食道への送り込みなどの重要な働きがある。しかし、老化や病気により咀嚼機能が低下してしまうと、誤嚥などの事故が発生してしまう。誤嚥の原因に咀嚼機能が及ぼす影響は大きく、咀嚼機能、ひいては口内での食塊形成の重要性を理解することが重要であるという<sup>(1)</sup>。また、従来の研究では咀嚼、嚥下時の押しつぶしによる舌圧が測定されている<sup>(2)</sup>。しかし、人の動きを直接測ることから危険性や倫理的な問題により測定に制限がある。

そこで我々の研究では、様々な咀嚼動作を再現できる模擬装置を開発し、シリンダの出力電流値や圧力センサシートにより咀嚼力を推定、誤嚥との関係について検討する。本稿では、製作した模擬装置と配電盤についての報告とシリンダの機能評価、推力定数の推定について報告をする。

#### 2. 装置概要

Fig. 1 に咀嚼模擬装置を示す。15 個の穴を開けたアルミ板にシリンダ (IAI 製 RCD-RA1DA) の駆動部を突出させるように 15 本取り付ける。この駆動部の上に柔軟なシリコンシートを被せることで模擬舌の再現をする。さらに、硬口蓋いわゆる口の中の上の部分を取り付け、圧力センサシートを貼り付ける。これにより、口内の再現、咀嚼時の口内上部の圧力を測定可能にする。

シリンダを制御するために、PMAC (Programmable Multi Axis Controller) を使用する。PMAC とは多軸制御が可能な上位装置で、プログラムに沿って各軸の移動量を RCON に指令する。RCON はアンプに相当する装置で、PMAC から来た信号を受けてシリンダを駆動させ、舌の形状を模擬する構造となっている。

#### 3. 配電概要

咀嚼模擬装置の制御盤を Fig. 2、回路構成を Fig. 3 に示す。電源電圧は AC100V で供給しており、スイッチにより主電源の ON, OFF を行う。電気信号のノイズを除去するためにノイズフィルタを配置し、電磁接触器を接続することで過負荷の電流が流れたときに電流を遮断する。これにより、以降に接続してある装置を保護する。

PMAC と RCON の駆動電圧は DC24V であるため、AC-DC コンバータで AC100V を DC24V に変換し、PMAC と RCON にそれぞれ供給している。PMAC(PC) と RCON では LAN 接続の EtherCAT 通信が用いられており、RCON とシリンダはモータおよびエンコーダケーブルで接続されている。本研究の制御モードでは RCON1 台につき最大 8 軸まで接続可能であるため、2 台の RCON を使用し、15 軸の同時制御を可能にしている。

#### 4. 咀嚼模擬装置の評価

咀嚼模擬装置は Fig. 1 に示すようにシリンダ 15 本で構成されるが、今回はその 1 本に着目して評価を行う。PMAC からシリンダに送る指令パラメータは、目標位置 20 mm, 速度 20 mm/s, 位置決め幅 20 mm, 加減速度 0.2 G, 電流制限値 50 % と設定した。

実際にプログラム運転した時のシリンダに内蔵されているモータ、エンコーダからの出力結果を Fig. 4 に示す。実験結果から、設定した目標位置である 20 mm まで実位置が確実に到達していることが分かる。さらに、7.2 秒から駆動開始し、8.2 秒までの 1 秒間で目標位置に到達しているため、速度に関しても指令通りであることが分かる。



Fig. 1 Device simulating mastication

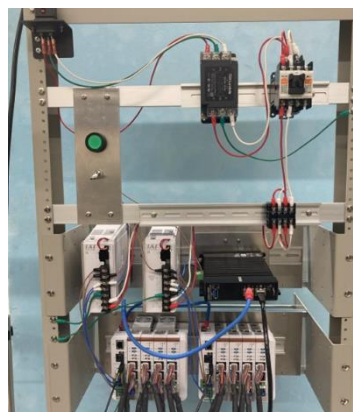


Fig. 2 Control panel

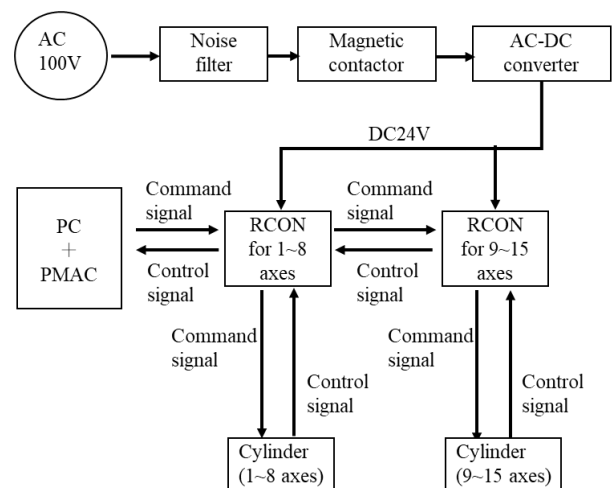


Fig. 3 Control configuration

Table 1 Load for each axis

Cylinder number	1st axis	2nd axis	3rd axis	4th axis
Weight (g)	0	100	200	500
Output current (A)	0.150	0.265	0.380	0.725

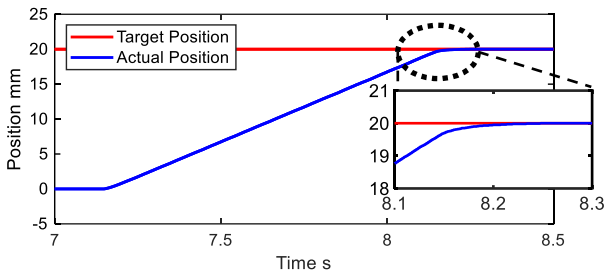


Fig. 4 Target and actual position

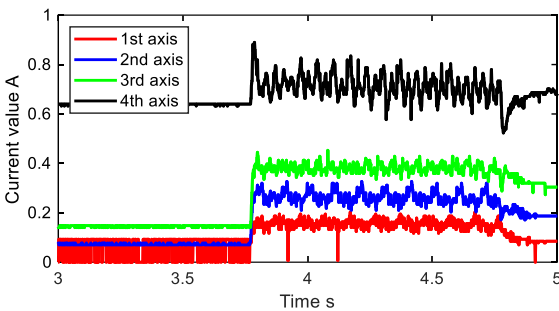


Fig. 5 Current value for each axis

### 5. シリンダの推力定数

電動シリンダの推力と駆動電流は、式(1)に示すように比例する。この関係を用いてシリンダに生じる電流値から咀嚼力を推定するため、推力定数を求める必要がある。そこで、シリンダに加える荷重(分銅)を変えて電流値の測定を行い、荷重が100g増加した時の電流値増加量を求めた。測定結果をTable 1, Fig. 5に示す。ここで、荷重以外の条件は先ほどの評価時と同じにした。

Fig. 5によると、無負荷時(1軸目)に流れる電流は0.15Aである。この値を考慮して荷重と電流との関係を見ると、100g(0.98N)増加する毎に115mA増加することが読み取れる。式(1)より推力定数を8.52N/Aと推定した。

$$K_F = \frac{F}{i} = \frac{0.98}{0.115} = 8.52 \text{ N/A} \quad (1)$$

### 6. 錠剤圧縮実験

錠剤の硬度と咀嚼模擬装置による押しつぶしに必要な推力を比較する。また、圧縮速度を変化させたときの推力を比較する。同じ条件で成形した錠剤を12個用意し、4個は硬度計で硬度を測定し平均硬度を求める。残り8個は、シリンダの上に錠剤を置き、模擬硬口蓋に押し当てて圧壊することとし、押しつぶし速度5mm/s, 2mm/sでそれぞれ4個圧壊し、平均推力を推定値とする。

硬度計での測定結果をTable 2, Fig. 6に、押しつぶし速度5mm/sでの測定結果をTable 3, Fig. 7に示す。ここでHardnessは硬度計では硬度、咀嚼模擬装置では推定推力を示している。硬度13.0Nの錠剤に対し咀嚼模擬装置では圧壊までの推定推力は18.6N必要になることが分かる。また、Table 4, Fig. 8に示した押しつぶし速度2mm/sの結果が16.9Nであることから、押しつぶし速度が遅くなると、推定推力は低くなる事が分かる。

Table 2 Hardness with hardness tester

Tablet number	1	2	3	4	Average
Maximum hardness (N)	12.9	13.0	13.4	12.7	13.0

Table 3 Hardness with device simulating mastication (5 mm/s)

Tablet number	5	6	7	8	Average
Output current (A)	2.24	2.22	2.24	2.15	2.21
Maximum hardness (N)	19.1	18.9	19.1	18.3	18.6

Table 4 Hardness with device simulating mastication (2 mm/s)

Tablet number	9	10	11	12	Average
Output current (A)	1.94	1.96	2.10	1.95	1.99
Maximum hardness (N)	16.5	16.7	17.9	16.6	16.9

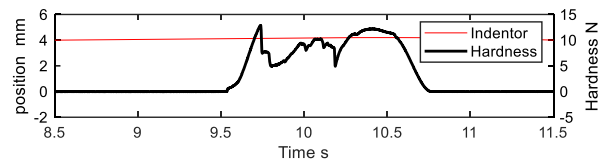


Fig. 6 Hardness profile for tablet number 1

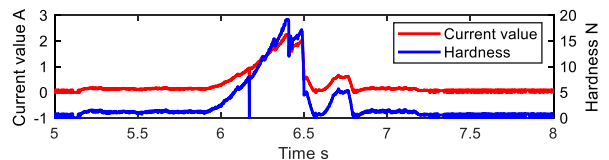


Fig. 7 Hardness profile for Tablet number 5

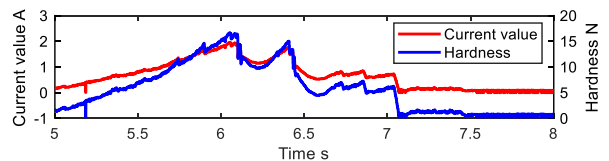


Fig. 8 Hardness profile for Tablet number 9

### 7. 結言

本稿では、食塊形成のメカニズムを解明することを目的に開発した咀嚼模擬装置概要、配電概要について述べ、シリンダの運動評価を行った。さらに推力定数を実験で定め、実際に錠剤を潰したときの推力を推定した。

今後の展望として、人の口内での先行研究データ<sup>(2)</sup>を参考に、我々の模擬装置で咀嚼嚥下パターンを再現する。その後、咀嚼嚥下時の舌圧分布から年齢別食塊形成メカニズムを推測し、誤嚥の防止について検討する予定である。

### 文献

- (1) 園田隆紹, 要介護高齢者における誤嚥, 窒息事故予防としての咀嚼機能維持の重要性について, 日本口腔インプラント学会誌, Vol. 28, No. 4 (2015), pp. 469-476.
- (2) 小野高裕, 堀一浩, 藤原茂弘, 皆木祥伴, 咀嚼・嚥下における舌圧の意味と可能性, 日本補綴歯科学会誌, Vol. 8, NO. 1 (2016), pp. 46-51.