

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	線状食品質量を少量高精度に調節可能な計量システムの研究
Title(English)	Research on a Weighing System Capable of Adjusting the Amount of Linear Food in Small Quantities with High Precision
著者(和文)	櫻木嵩斗, 難波江裕之, 鈴森康一, 遠藤玄
Authors(English)	Takato Sakuragi, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2022講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2022, 6

# 線状食品質量を少量高精度に調節可能な計量システムの研究

## Research on a Weighing System Capable of Adjusting the Amount of Linear Food in Small Quantities with High Precision

○学 櫻木嵩斗 (東工大) 正 難波江裕之 (東工大)  
正 鈴森康一 (東工大) 正 遠藤玄 (東工大)

Takato SAKURAGI, Tokyo Institute of Technology, sakuragi.t.aa@m.titech.ac.jp  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology  
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology  
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology

In the field of food processing and production processes, serving is still done manually by people in many cases. To solve the problem of quantitative serving, which is one of the challenges of robotic operations, we have developed an end-effector that can grip only one spaghetti. In this paper, we propose a method of attaching several small fingers to the end-effector, and attaching capacitance sensors to each of them. The system detects the success or failure of grasping with each finger and controls the number of fingers to be opened accordingly to compensate for the error in the amount of serving. We actually constructed the system and conducted experiments using spaghetti, and confirmed that the system can control the end-effector by detecting the capacitance.

**Key Words:** Food, Handling, Gripper, Capacitance sensor

### 1 緒言

食品加工・生産工程の分野では現在も多くの場合、人による手作業で盛り付けを行っている [1]. ロボットが作業を代替していない理由としては、弁当や総菜などに用いられる食品が他の物体と比べ柔軟で、傷がつくと商品価値が著しく低下することが挙げられる。また、これらの食品は形状や大きさにばらつきがあるため、定量性、正確性、速度などの観点から、現状ではロボットが代替することが難しい。

そこで本研究室では定量性の課題に着目し、手作業や他種のロボットハンドの盛り付けによって生じた数グラムの誤差を埋め合わせることができる線状食品用の定量把持可能なエンドエフェクタを開発した [2]. 図 1 の通り、これは 2 本指の小型な把持機構を有する。把持部の空間を線状食品 1 本分に制約することで、高精度で定量的な把持が可能となる。市販のスパゲティを用いた実験では、85%の確率で番重を模したトレーのスパゲティを一本のみ把持することができた。

一方で、スパゲティ自体の粘弾性や、表面の調味油による摩擦の低下が原因で把持を失敗するケースは常に 10%ほど存在し、機械的工夫のみでこの確率を低減させることは困難である。

本報の目的はエンドエフェクタに小型の把持部を複数具備し、その各々にセンサを取り付けることで、把持の成否を検出し、それに応じて開放する把持部の個数を制御することで誤差の埋め合わせを行うシステムの構築である。

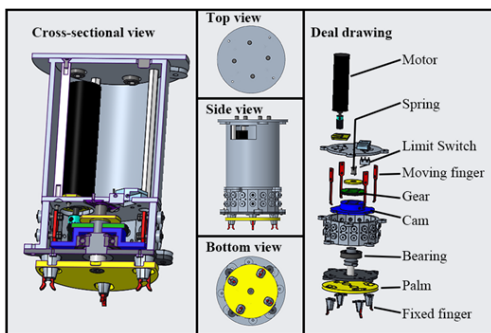


Fig.1 Overall view and cross-sectional view of end-effector

### 2 把持検知システムの原理

#### 2.1 静電容量センサによる把持検知

本報では把持検知の方法として静電容量センサを提案する。検知の方法としてはロードセルを用いた方法も考えられるが、質量計測のために装置を停止させることがタクトタイムの増大につながるため、静電容量センサ方式を採用した。

図 2 のように、各把持部にて RC 回路を作成し、ポート A でパルス波を出し、ポート B でパルス波を受け取る。

回路にキャパシタンスがない場合はポート A と B の立ち上がり時間に差は生じない。一方で、キャパシタンスが存在する場合、過渡現象が起り、ポート A と B の立ち上がり時間に差が生じる。

食品の静電容量を  $C$ 、ポート A-B 間の抵抗を  $R$ 、ポート A 入力からの経過時間を  $t$ 、ポート A,B の電圧を  $V_A, V_B$  とおくと、式 (1) の通り  $V_B$  は時間変化する。

この時間差を測定し、閾値を超えた際にスパゲティが把持されていると判定する。

$$V_B = V_A(1 - e^{-\frac{t}{CR}}) \quad (1)$$

図 3 の通り、樹脂製の把持部に銅箔テープを貼り付けて回路を生成した。なお、装置全体は絶縁体の樹脂が素材であるため、スパゲティ以外のキャパシタンスは無視できる。

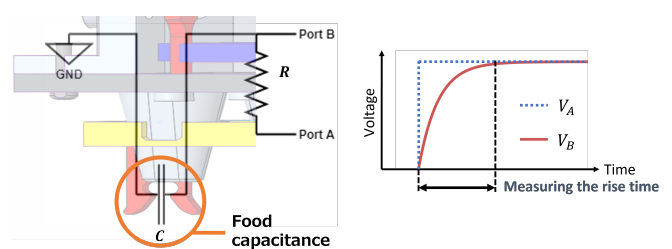


Fig.2 Principle of capacitance sensor

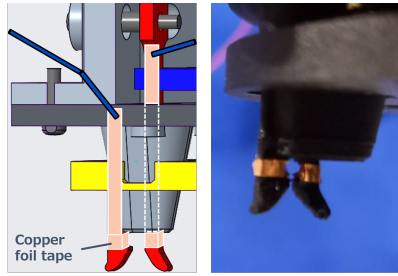


Fig.3 Mounting method of the capacitance sensor

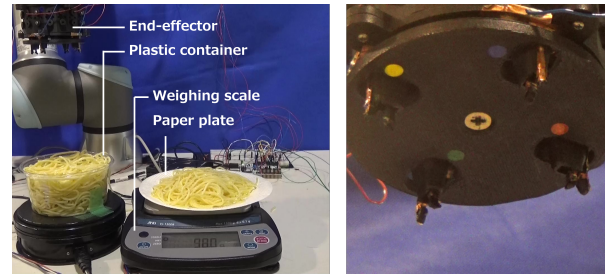


Fig.6 Equipment used in the experiment

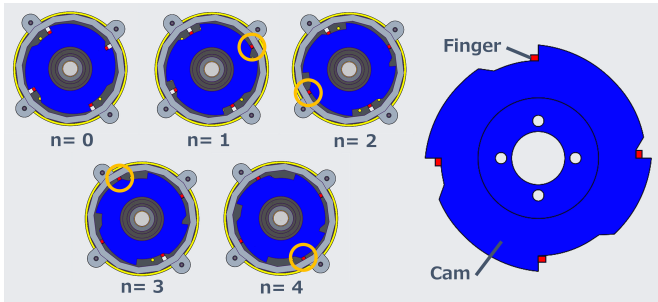


Fig.4 Ordering the opening and closing of fingers by cams

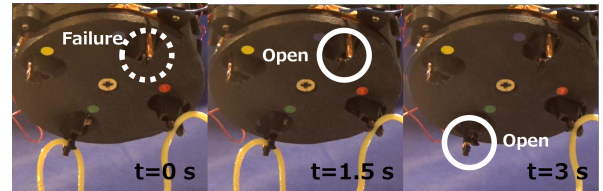


Fig.7 View of the experiment

### 3 スパゲティを用いた検証実験

#### 3.1 実験方法

実験ではエンドエフェクタに同形状の4本の把持部を取り付け、それぞれの把持部に静電容量センサを取り付けた。装置底面にはそれぞれの把持部に青、緑、黄、赤のシールを貼り付けており、青、緑、黄、赤の順番でスパゲティを開放する。図6の通り、プラスチック容器に詰められたスパゲティをエンドエフェクタで把持し、秤の上に乗せた紙皿に盛り付ける。紙皿の上にはあらかじめ100g未満のスパゲティを盛り付け、目標質量は100gに設定している。盛り付け後に秤の値が目標質量未満の場合、把持を繰り返す。使用したスパゲティ一本当たりの平均質量は1.7gである。

#### 3.2 実験結果

図7は実験の様子を1.5秒ごとに撮影したものである。このとき、紙皿上のスパゲティが98gであり、埋め合わせに必要なスパゲティの本数は1本である。開く順序が1番目の把持部で把持を失敗しているため、2番目の把持部まで開き、スパゲティを盛り付けている。4番目の把持部が把持しているスパゲティは目標質量を超過するため、盛り付けずに元の容器へ戻す。

このように本システムを用いて、およそ2gの分解能でスパゲティ盛り付け時の誤差を調節可能なことを確認した。

### 4 結論

本研究では線状食品盛り付け時の誤差を高精度に埋め合わせ可能な計量システムとして、静電容量センサを用いた検知システムを提案し、スパゲティを用いてその動作を検証した。

実験では食品の接触面に銅箔を用いたが、食品の安全性などの観点から本来は把持部全体をステンレス製にすることが望ましい。

今後は本計量システムを用いて、その他の線状食品についても高精度な誤差の埋め合わせが可能であることを検証する予定である。

### 5 謝辞

本研究を進めるにあたり、協力を頂いた株式会社イシダに深謝する。

### 参考文献

- [1] 遠藤玄, "食品把持機構", 日本ロボット学会誌 Vol.37, 2019
- [2] 櫻木嵩斗, 難波江裕之, 鈴森康一, 遠藤玄, "線状食品を少量かつ定量把持可能なエンドエフェクタ", 日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 2021

Fig.5 Flow of finger opening and closing control

#### 2.2 把持部の順序付け開閉制御

本エンドエフェクタでは複数の把持部を開閉する際に、中央のカムで押しつけることで駆動させている。先行事例ではすべての把持部を同時に開閉させていた。本研究では、従来の機構から図4の通りカムの形状を変更し、アクチュエータの回転角度を定めることによって開閉する把持部の個数を制御する方法を採用した。

#### 2.3 秤と連携した自動制御システム

図5の通り、スパゲティを計量する秤と連携したエンドエフェクタの自動制御システムを提案する。本システムは3つのフェーズに分かれる。

まず把持フェーズでは、センサを使用せず、すべての把持部でスパゲティの把持を試みる。次にセンシングフェーズでは前節で提案した静電容量センサによって、各把持部がスパゲティを把持しているか個別に検出する。最後に、開放フェーズでは開放する把持部が持つスパゲティの合計質量と目標質量が一致するように把持部を開放し、スパゲティを盛り付ける。ただし、各把持部が検知しているのは把持の成否であり、把持しているスパゲティの質量は計測できないため、事前にスパゲティ一本分の平均質量を求め、その値を用いた。