

# 把持性能評価のための食品サンプルとセンシングシステム

松野 孝博 (近畿大)

○平井 慎一 (立命館)

## 1. 背景

現在、日本では少子高齢化の影響により、食品産業における働き手不足の課題を抱えており、その解決策としてロボットによる自動化が注目されている。ロボットで食材を取り扱う場合、食品を傷つけず、かつ安定してハンドリングができるグリップが必要となる。食品用のグリップが提案されており[1]、これらのグリップの把持性能の評価は実際の食材で行われる。しかし、本物の食材は時間経過で痛むため、食材側の特性の再現性を確保することができない。そのため、統計的にグリップの性能を評価するためには、短期間で常に新しい食材へ交換する必要があり、最終的に大量の廃棄食材を生む問題がある。この問題を解決するために、食材の形状、粘弾性特性、摩擦特性などを再現した食品サンプルが研究されている[2]。この物理特性まで再現された食品サンプルを用いてグリップの把持性能を評価することで、再現性のある評価環境を確保でき、またグリップ研究における食材ロスを削減することができる。

本研究では、これらグリップ研究におけるハンドリング成否の計測方法について着目した。既存研究におけるグリップの評価では、外界にカメラなどを設置し、把持対象物の位置や姿勢を観測することで、ハンドリングの成否を記録する。従来では検証に本物の食材を使用していたため、外界にセンサを設置する方法しか存在し得なかった。一方でグリップの評価に食品サンプルを用いる場合、センサの埋め込みなどで計測機能を食品サンプル自身に持たせることができる。従来の様に外界に大規模なセンシング環境を構築せずに、グリップの統計的な評価を実現することができる。以上より、本研究ではグリップ研究のための、把持性能評価が可能なセンサ入り食品サンプルを提案する。

## 2. センサ内蔵食品サンプル

### 2.1 コンセプト

将来的に、グリップの評価を再現性のある環境で行いつつ、統計的な評価の記録を可能にすることを目標とし、本研究ではセンサ入り食品サンプルの基本案を示す。第一段階の研究として、まずは食材の形状を忠実に再現したサンプルに対し、その食品サンプルを把持したグリップのハンドリングの成否を推定する。なお、推定のためのセンサはロボットアームや外界には設置せず、すべて食品サンプル内に収める。

### 2.2 センサ内蔵食品サンプルの構成

食品を模倣した樹脂製の模型内部にセンサを設置する。本研究ではハンバーグと大福の食品サンプル

を作成する。まず、図 1(a)に示す通り、食品の 3 次元形状を 3D スキャナ(Artec Micro, Artec 3D, ルクセンブルク大公国)で計測する。使用した 3D スキャナは計測対象を 3 次的に回転させる。回転により食材の形状が変化することを防ぐため、予め食材を冷凍してスキャンした。続いて、スキャンした 3D データを加工し、センサ設置用の空間を作成する。センサはネジで自在に内蔵、取り出しが可能な構造にした(図 1(b))。加工した 3D データを 3D プリンタ(Original Prusa i3 Mk3, Prusa Research, チェコ共和国)で印刷し、センサ内蔵が可能な食品サンプルを作成した。今回は無線 3 軸加速度センサ(TWELITE CUE & STICK, モノワイヤレス株式会社, 日本)を用いる。食品サンプルに加わる加速度情報はパソコンに送られる。この加速度を基に食品サンプルの状態を判断し、この食品サンプルを把持したグリップのハンドリング成否を推定する。

### 2.3 グリップの把持性能の評価方法

加速度から食品サンプルの状態を判定する方法を述べる。食品サンプルの状態を以下の 4 通りで判別する。

- (1)正しい姿勢(想定した姿勢)で静止した状態
- (2)誤った姿勢(想定外の姿勢)で静止した状態
- (3)ロボットによるハンドリング中の状態
- (4)グリップから落下した状態

判別では 3 軸の加速度の絶対値 $|a|$ と単位ベクトル $[e_x, e_y, e_z]$ に着目する。まず絶対値の判定のために、閾値 $a_{th1}$ ,  $a_{th2}$ を設定する。食品サンプルが落下した場合、地面と衝突するため大きな加速度が計測される。そのため、加速度の絶対値が閾値 $a_{th2}$ を超えた場合、この時点で食品サンプルが落下したと判断する。また、ロボットアームが食品サンプルを動かすと、この加速度も計測される。これは重力加速度より大きく、衝突による加速度よりは小さい。よって、絶対値が閾値 $a_{th1}$ を超え、かつ $a_{th2}$ を下回った場合、ロボットによる加速と判断する。 $a_{th1}$ を下回った場合、ここから加速度の単位ベクトルに着目し状態(1)と(2)を判別する。事前に食品サンプルの底面方向を示す単位ベクトル $[e_{xs}, e_{ys}, e_{zs}]$ と許容する範囲 $\alpha$ を定義する。

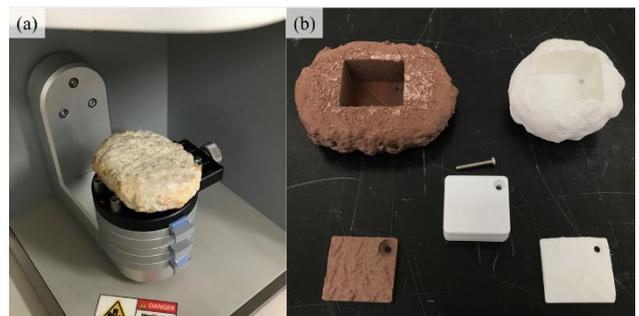


図 1(a)食品形状計測(b)センサ入り食品サンプル

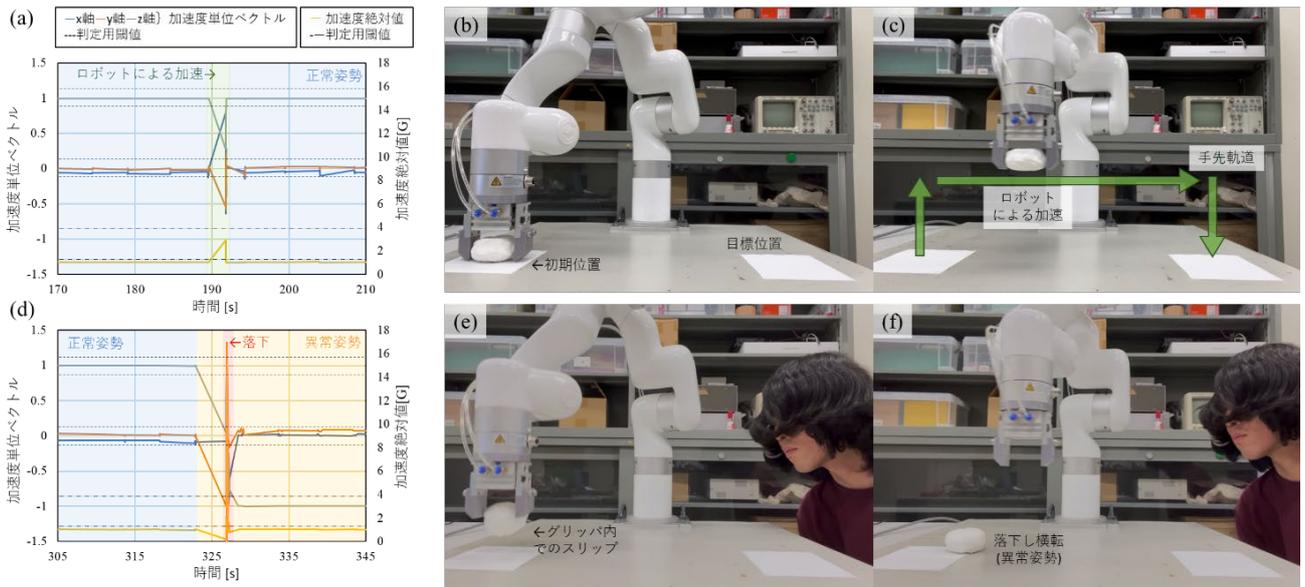


図2 センサ入り食品サンプルを用いたグリッパの把持状態推定, (a)ハンドリング成功時の計測値と判定結果, (b)-(c)食品サンプルの初期値, 目標位置, ロボットの軌道と成功時の様子, (d)ハンドリング失敗時の計測値と判定結果, (e)-(f)ハンドリング失敗時の食品サンプルの様子

食品サンプルが静止しているとき、センサで計測される加速度は重力加速度である。この単位ベクトルが許容範囲内のとき、(1)の正しい姿勢の状態と判断する。これ以外の場合、誤った姿勢と判断する(表1)。最終的に成否は、一度でも状態(4)が観測されるか、状態(2)が継続したとき、ハンドリング失敗と判定する。この条件に該当せず、状態(1)を継続した場合、ハンドリング成功と判定する。

表1 食品サンプルの状態の判別方法

状態	加速度絶対値	単位ベクトル
(1)	$ a  \leq a_{th1}$	$e_{xs} - \alpha < e_x < e_{xs} + \alpha$ & $e_{ys} - \alpha < e_y < e_{ys} + \alpha$ & $e_{zs} - \alpha < e_z < e_{zs} + \alpha$
(2)	$ a  \leq a_{th1}$	else
(3)	$a_{th1} <  a  \leq a_{th2}$	—
(4)	$a_{th2} <  a $	—

### 3. 検証実験

#### 3.1 実験方法

提案したセンサ入り食品サンプルを用いて、グリッパのハンドリングの成否を正しく推定できるか検証する。検証では空気圧式グリッパ(HMF-12AS, 近藤製作所, 日本)とロボットアーム(xArm 5, UFactory, 中国)を用いる。このグリッパを用いて製作したセンサ入り食品サンプルをピック&プレイスし、その正否を正しく推定できるか検証する。なおこの実験では、 $a_{th1} = 1.5 G$ ,  $a_{th2} = 4.0 G$ ,  $[e_{xs}, e_{ys}, e_{zs}] = [0, 0, 1]$ ,  $\alpha = 0.15$ と設定した。

#### 3.2 結果と考察

実験結果を図2に示す。ハンドリングに成功したときの計測結果を図2(a)-(c)に示す。図2(b)-(c)に示す通り、食品サンプルは画面左側から右側に向かってピック&プレイスする。図2(a)はセンサで計測される加速度絶対値, 単位ベクトルと判定結果である。正し

い姿勢で静止しており、ハンドリングに成功していると判定され、実際の状況と一致していることが分かる。続いて図2(d)-(f)に失敗したときの計測結果を示す。この実験では、ロボットの横で人がグリッパ用の空気圧を減圧し、失敗する状況を再現した。図2(e)-(f)の通り食品サンプルはグリッパから滑り落ち、地面と衝突した後に180°横転して静止した。図2(d)より、食品サンプルが落下、横転したことを推定できており、実際の状況と一致することが分かる。以上より、提案したセンサ入り食品サンプルを用いることでグリッパの把持の成否を正しく推定できる。

### 4. まとめ

本研究では、食品用グリッパ研究におけるグリッパ評価用のセンサ入り食品サンプルを提案した。計測される加速度から、グリッパの把持の成否を判別することができる。本稿では食品の形状のみを模倣したサンプルであるため、今後は食品の物理特性なども再現したセンサ入りサンプルの構築方法を検討する。また、成否データの統計を取るシステムを構築し、実際のグリッパ評価へ応用する。

### 謝辞

この成果は、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)の委託業務(JPNP20016)の結果得られたものです。

### 参考文献

- [1] Z. Wang, S. Hirai, S. Kawamura: "Challenges and Opportunities in Robotic Food Handling: A Review, Frontiers in Robotics and AI", 2022
- [2] 亀岡, 渡辺, 他: "RepRap SWIMMERを用いたゲル食品サンプル", Proceeding of 4DFF 2020, OP-08.