

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04406

研究課題名（和文）食品の高速ハンドリングのための非線形モデルの構築

研究課題名（英文）Establishment of nonlinear modeling method for high-speed food handling

研究代表者

王 忠奎（Wang, Zhongkui）

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：50609873

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：食産業自動化が進まない原因となるロボットエンドエフェクタの不足問題を解決するため、食品高速ハンドリングに関わる食品のモデリング、力学特性計測、ロボットエンドエフェクタの開発を研究した。食品の粘弾性を再現するために3要素モデルとパラメータ推定手法を提案し、唐揚げと天ぷらを用いて実験検証を行なった。また、実験装置を開発して、食品ハンドリングに大きく影響する食品物理特性である粘弾性、摩擦係数、3D形状を計測した。さらに、粘弾性モデルと物理特性に基づいて、脆弱で滑りやすい食品の把持用グリッパ、天ぷら自動盛り付け用ロボットハンド、カキフライの高速トレイ入れ作業用のグリッパを開発し、実験検証を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的に、剛体物体の操作に関する研究が多く行われていたが、食品のような粘弾性がある柔らかい物体を高速で扱うときのモデリングと把持成功や失敗に繋がる理由はまだ解明されていない。本研究で提案した食品の粘弾性モデルとパラメータ推定手法や食品特性の計測は食品ハンドリングに特化した方法であり、食品の高速ハンドリングの解明に役に立つ。
社会的に、食産業の自動化に不可欠となるロボットエンドエフェクタはまだ少ない現状がある。特に、滑りやすい食品や脆弱食品を高速でハンドリングできるロボットエンドエフェクタはさらに稀少である。本研究で開発したいくつかのロボットエンドエフェクタはこの状況を改善することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：One reason hindering the development of automation in the food industry is the lack of robotic end-effectors for handling food materials. To solve the problem, we studied food modeling, measurement of mechanical properties, and development of robotic end-effectors for high-speed handling of food products. A three-element model and parameter estimation method were proposed to reproduce the viscoelasticity of foods, and experimental verification was conducted using fried chicken and tempura foods. We also developed an experimental apparatus and measured food properties such as viscoelasticity, friction coefficient, and 3D shape, which are playing essential roles in robotic food handling. Based on the physical properties, a gripper for gripping fragile and slippery foods, a robotic hand for automatic arrangement of tempura, and a gripper for high-speed tray-loading of fried oysters were developed and experimentally validated.

研究分野：ロボティクス

キーワード：食品粘弾性 モデリング 高速把持 ロボットエンドエフェクタ

1. 研究開始当初の背景

日本では、少子高齢社会の加速により、食産業の人手不足問題が深刻となり、自動化のニーズが急速に高まっている。食産業に自動化を導入する上で最も困難な点は形状および物理特性が多様である対象物の高速ハンドリングである。市販されたロボットエンドエフェクタがあるが、滑りやすい食品や脆弱食品に対応できない状況がある[1]。また、食品のモデリングと物理特性について、様々な研究や計測方法があったが、ロボットによる高速ハンドリングの視点からのものが少ない。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえて、本研究の目的は食品高速ハンドリングの視点から食品の力学モデリング、物理特性の計測、食品特性に基づくロボットエンドエフェクタの開発を目指す。特に市販されたロボットエンドエフェクタでは対応が難しいとされる柔らかくて滑りやすい食品と脆弱食品の高速ハンドリングを目指して研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 食品粘弾性モデリング

食品の粘弾性は Fig.1 のような 3 要素モデルで表して、モデル化した。モデルに関わる 3 つのパラメータを推定するために、1 回の把持実験で推定可能となる「等速把持+保持」の計測方法を提案した。この方法を用いることで、3 要素モデルの解析解を得ることができ、カーブフィッティングにより 3 つのパラメータを推定した。

(2) 食品物理特性の計測

ロボットハンドリングのための物理特性を計測するため、Fig.2 のような計測方法を提案した[2, 3]。6 軸力センサを搭載した開閉式ロボットハンドを用いて食品を把持する。ロボットハンドは位置制御と力制御の両方ができるようにし、粘弾性を計測する際に位置制御を利用し、前述した「等速把持+保持」の方法で力センサのデータから粘弾性を算出する。一方、食品の摩擦を計測する場合、ロボットハンドの力制御方式を利用する。一定の把持力で食品を把持して持ち上げ、途中で Block bar と接触させ、把持した食品をロボットハンドの表面に沿って滑らせる。その際の法線力と接線力を用いて摩擦係数を算出する。また、3D スキャナーを用いて食品の 3D 形状を計測する。

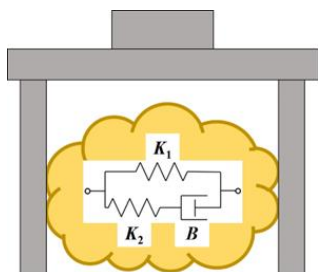


Fig. 1 食品粘弾性モデル

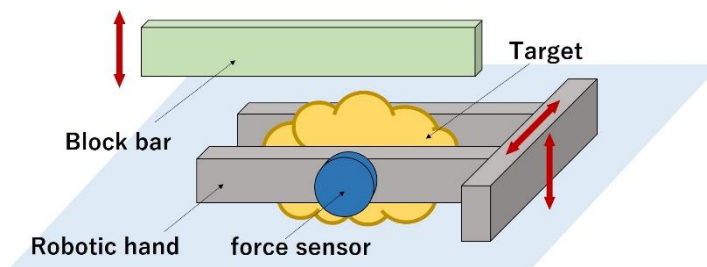


Fig. 2 食品物理特性計測手法

(3) ロボットエンドエフェクタ

柔らかくて滑りやすい食品をハンドリングするために、Fig. 3 に示す掬い込みハンドを提案した[4, 5]。ハンドの一番下に薄い板を設け、把持する際に対象物の下に潜りこみ、対象物の重量を支える。高速運搬する際に食品が飛び出さないように両側に伸縮性が高いゴム紐の複数本を用いて対象物を拘束する。ハンドの開閉動作は市販の平行グリップを利用して実現する。また、天ぷら自動盛り付けするために、Fig. 4 に示す 2 種類の力制御ができる電動ハンドを提案した。左側のハンド[6]は 3 本の棒状の指で構成し、2 本の棒の方は受動関節を設け、外力に応じて自動回転ができる。そうすることで対象物を把持した際に常に 3 点接触を確保でき、形状が複雑の対象物でも安定的に把持できる。対象物との接触点をさらに増やすために、Fig. 4 右に示す複数細線構造ハンドを提案した[7]。細い針金を用いて対象物を把持する。把持力が複数本の針金に分散され、対象物への負担を最小化することができる。また、ステンレス材料で製作できるため、実用化しやすいメリットがある。さらに、針金が細い形状となっているので、食品のバラ積みピッキングに応用できる。さらに、カキフライを高速でトレイに載せる作業を自動化するために、Fig. 5 に示すショベルハンドを提案した。ハンドはショベルの形状となる左右 2 本の空気圧駆動柔軟指と真ん中にある抑え部で構成している。柔軟指の内部に空気チャンバーを設け、負圧を印加するとグリップが開き、正圧を印加することでグリップを閉じ対象物を把持する。真ん中にある抑え部は上面から対象物を抑え、高速運搬する際に対象物が閉じたハンドの内部から逃げないように拘束する。

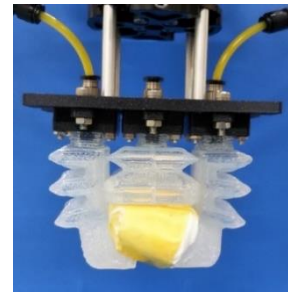
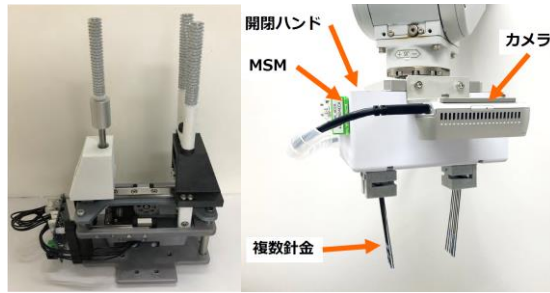
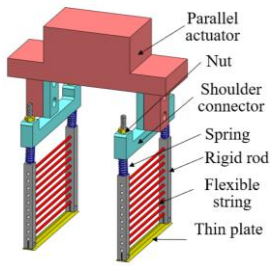


Fig.3 掬い込みハンド Fig.4 天ぷら自動盛り付けハンド (2種類) Fig.5 ショベルハンド

4. 研究成果

(1) 食品粘弾性モデリングの結果

食品の粘弾性と摩擦係数を計測するために、Fig. 6 に示す計測装置を開発した。計測原理は Fig. 2 に示している。この装置を用いて天ぷらの粘弾性を計測した。Fig. 7 は計測した把持力の例を示している。前述のパラメータ推定手法を利用して 3 要素モデルのパラメータを推定した。Fig. 8 は推定した粘弾性パラメータの結果を示す。

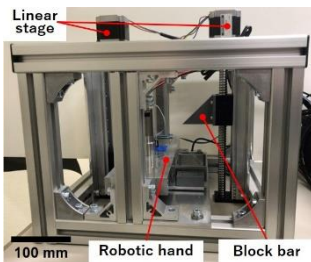


Fig. 6 計測装置

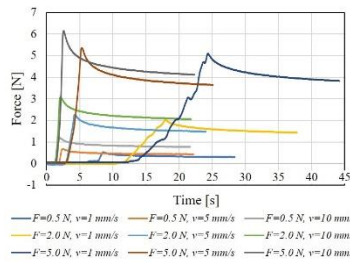


Fig. 7 計測した把持力

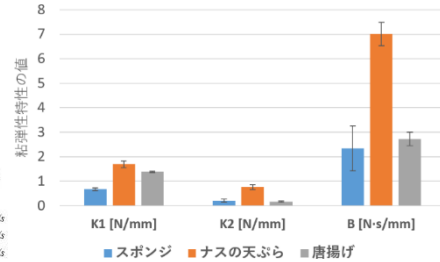


Fig. 8 推定した粘弾性

(2) 食品物理特性の計測結果

食品の摩擦係数は Fig. 6 の計測装置で計測した。計測原理の有効性を検証するために、Fig. 9 に示す有限要素モデルを構築し、Fig. 10 のように食品を滑らせるシミュレーションを行った。その後、4 種類の天ぷらを用いて計測実験を行った。計測した摩擦係数は Fig. 11 に示す。異なる把持力の影響も検討し、把持力の増加に連れて摩擦係数が僅かに減少する傾向が分かった。また、3D スキャナーを用いて様々な食品の 3D 形状を計測した。Fig. 12 はその結果を示している。計測結果は点群であり、STL ファイルとして出力し、3D プリンタで直接造形できる。

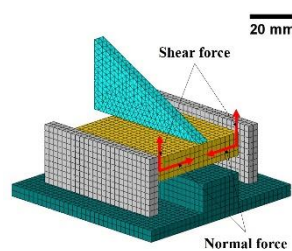


Fig. 9 有限要素モデル

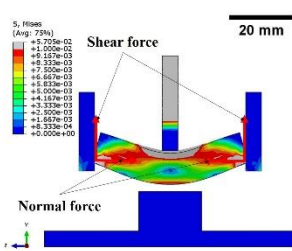


Fig. 10 シミュレーション

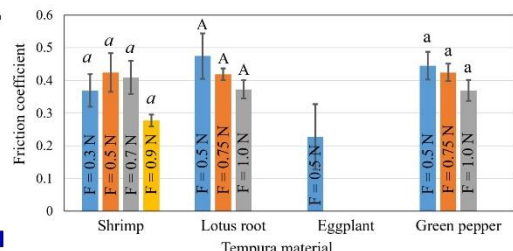


Fig. 11 推定した天ぷらの摩擦係数

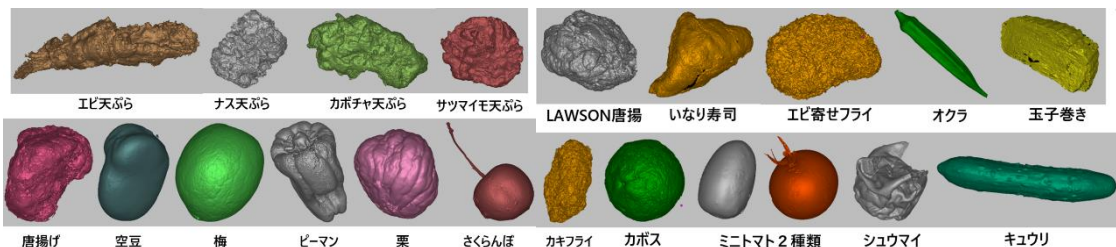


Fig. 12 計測した食品の 3D 形状データ

(3) ロボットエンドエフェクタの実験結果

三つのロボットエンドエフェクタの研究成果は下記の通りに報告する。

① 掬い込みハンド

掬い込みハンドの押し込み量や開閉動作によるゴム紐の張力の影響を実験と有限要素シミュレーションを用いて検討した。その後、スカラロボットに取り付け、Fig. 13 に示す様々な食品を用いて把持実験を行った。豆腐や明太子は接触により少し崩れがあったが、すべての食品の把持

と運搬が成功した。把持実験の様子は Fig. 14 に示す。また、3D プリンタで造形したゲルクラゲサンプル（摩擦係数が 10^{-4} 程小さい）を水槽から取り出す実験を行い、成功した。



Fig. 13 把持実験用食品

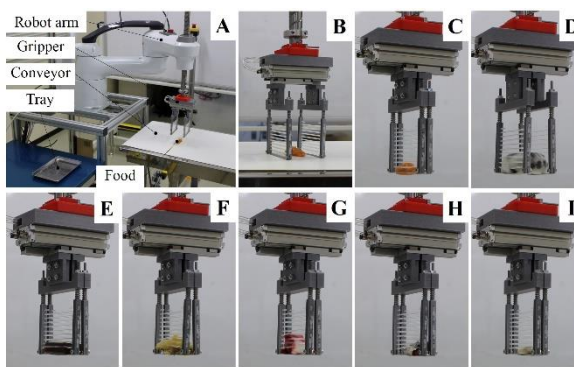


Fig. 14 掬い込みハンドの把持実験様子

② 天ぷら盛り付けハンド

まず、3本の棒のハンドを用いて、5種類の天ぷらを皿に盛りつける実験を行った (Fig. 15)。天ぷらの認識はロボットアームの先端に取り付けた3Dカメラで行った。認識した天ぷらの輪郭を抽出し、楕円近似により中心の算出を行い、把持位置を決め、ロボットを制御した。皿への盛り付けは、事前に決めた位置と姿勢に基づいて行なった。把持力はモーターの電流を制御することで1Nを実現する。実験の様子は Fig. 15 に示す。また、複数細線構造ハンドを用いて、天井と前菜の盛り付けを行った。実験様子は Fig. 16 に示す。針金の本数を増やしたことによって、把持力が分散され、脆弱な前菜でも崩すことなく盛り付けできた。



Fig. 15 3本棒ハンドの実験様子



Fig. 16 複数細線構造ハンドの実験様子

③ ショベルハンド

ショベルハンドを用いて重さが16gと40gの2種類のカキフライのトレイ入れ実験を行った。タクトは60個/分～100個/分に設定し、柔軟指に印加する圧力は69kPaと83kPaの2種類とした。コンベアから流れるカキフライの角度は0度(フライの長軸がコンベアの長さ方向と平行)、45度、90度の3種類とした。5回のトレイ入れ実験を連続で行い、成功する回数でシステムを評価する。実験の様子と結果はそれぞれ Fig. 17 と Fig. 18 に示す。5回全部成功したものは水色、失敗があったものは黄色で表している。失敗した理由は①～⑤で記載している。重さ16gのフライに対して、向きが0度であれば、タクトタイムの90個/分(向き0度)まで実現できた。向きが45度と90度の場合は失敗があったが、失敗の理由は衣剥がれがほとんどで、把持・運搬ができていた。一方、重さ40gのフライに対して、向き0度の場合、タクトタイム80個/分が実現でき、向き45度と90度となると、変形、ピックミス、衣剥がれの失敗があった。

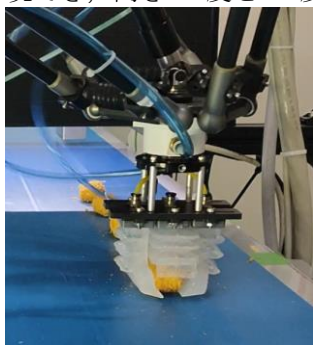


Fig. 17 把持実験の様子

ワーク重量	タクト	テスト結果					
		69kpa			83kpa		
		0	45	90	0	45	90
16g	60	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	70	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	80	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	90	5/5	5/5⑤	4/5③	5/5	5/5⑤	5/5⑤
	100	5/5⑤	5/5⑤	3/5③			4/5④
40g	60	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	70	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	80	5/5	4/5③	2/5④	5/5	5/5⑤	5/5⑤
	90	5/5⑤	5/5⑤	4/4⑤	5/5⑤	5/5⑤	5/5①
	100	5/5⑤	4/5⑤①	3/5⑤①	2/5③⑤		

失敗理由：

- ①：向き不ぞろい
- ②：ピックミス
- ③：放り投げ
- ④：変形
- ⑤：衣剥がれ

Fig. 18 トレイ入れ実験の結果

参考文献

- [1] Zhongkui Wang, Shinichi Hirai, and Sadao Kawamura, “Challenges and opportunities in robotic food handling: a review”, *Frontiers in Robotics and AI: Soft Robotics*, 8:789107. Jan., 2022. DOI: 10.3389/frobt.2021.789107
- [2] Zhongkui Wang, Syogo Inoue, Yasutaka Hashimoto, Sadao Kawamura, “Measuring viscoelasticity and friction of tempuras for robotic handling”, *Journal of Food Engineering*, 310:110707, Dec., 2021. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110707
- [3] 王忠奎, 井上昇悟, 橋本泰隆, 川村貞夫, “食品ハンドリングのための粘弾性と摩擦特性の計測”, 第38回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2020), オンライン開催, Oct. 9-11, 2020.
- [4] Zhongkui Wang, Haruki Furuta, Shinichi Hirai, Sadao Kawamura, “A scooping-binding robotic gripper for handling various food products”, *Frontiers in Robotics and AI: Soft Robotics*, 8:640805, 2021. doi: 10.3389/frobt.2021.640805
- [5] 古田晴規, 王忠奎, 平井慎一, “掬い込みバインディングハンドの提案”, 第38回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2020), オンライン開催, Oct. 9-11, 2020.
- [6] 寺下昇吾, 王忠奎, 新村猛, 川村貞夫, “ロボットアームによる天ぷら盛り付け作業の自動化システムの実現”, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020, オンライン開催, May 27-30, 2020.
- [7] 王忠奎, 橋本泰隆, 森佳樹, 有田輝, 川村貞夫, “食品自動盛り付けのための複数細線構造エンドエフェクタ”, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022, 2A1-J07, June 1-3, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Sachin, Wang Zhongkui, Matsuno Takahiro, Hirai Shinichi	4. 巻 7
2. 論文標題 Analytical Modeling of a Membrane-Based Pneumatic Soft Gripper	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 10359 ~ 10366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3183794	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hirai Shinichi, Wang Zhongkui	4. 巻 40
2. 論文標題 Object Manipulation by Soft Hands	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 369 ~ 374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.369	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 平井 慎一、王 忠奎	4. 巻 227
2. 論文標題 食品ハンドリング用ソフトロボットハンド	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 FFIジャーナル	6. 最初と最後の頁 095 ~ 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34457/ffij.227.2_095	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sachin, Wang Zhongkui, Hirai Shinichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Analytical Modeling of a Soft Pneu-Net Actuator Subjected to Planar Tip Contact	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Robotics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TR0.2022.3160048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Rosle Muhammad Hisyam, Wang Zhongkui, Shiblee MD Nahin Islam, Ahmed Kumkum, Furukawa Hidemitsu, Hirai Shinichi	4. 巻 6
2. 論文標題 Soft Resistive Tactile Sensor Based on CNT-PDMS-Gel to Estimate Contact Force	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Letters	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LSSENS.2022.3151659	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Zhongkui, Hirai Shinichi, Kawamura Sadao	4. 巻 8
2. 論文標題 Challenges and Opportunities in Robotic Food Handling: A Review	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Robotics and AI	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frobt.2021.789107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang Zhongkui, Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University, Kusatsu, Japan, Shimizu Masao, Kawamura Sadao	4. 巻 9
2. 論文標題 Cyber Physical System Considering Physical Contacts in Robotic Manipulation for Improving Automation in Food Industry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Intelligent Information	6. 最初と最後の頁 23~28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18178/jiii.9.2.23-28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Zhongkui, Inoue Syogo, Hashimoto Yasutaka, Kawamura Sadao	4. 巻 310
2. 論文標題 Measuring viscoelasticity and friction of tempuras for robotic handling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Food Engineering	6. 最初と最後の頁 110707~110707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jfoodeng.2021.110707	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 平井慎一, 王忠奎	4. 巻 56
2. 論文標題 ソフトマターによる食品ハンドリング用ロボットハンド	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本設計工学会誌	6. 最初と最後の頁 305-311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 王忠奎, Yui Makiyama, and Shinichi Hirai	4. 巻 33
2. 論文標題 A Soft Needle Gripper Capable of Grasping and Piercing for Handling Food Materials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 王忠奎, Takao Hirata, Takanori Sato, Tomoharu Mori, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa, Sadao Kawamura	4. 巻 6
2. 論文標題 A Soft Robotic Hand Based on Bellows Actuators for Dishwashing Automation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 2139 ~ 2146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2021.3061063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 王忠奎, Haruki Furuta, Shinichi Hirai, Sadao Kawamura	4. 巻 8
2. 論文標題 A Scooping-Binding Robotic Gripper for Handling Various Food Products	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Robotics and AI	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frobt.2021.640805	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 王忠奎, Ryo Kanegae, Shinichi Hirai	4. 巻 -
2. 論文標題 Circular Shell Gripper for Handling Food Products	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Robotics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/soro.2019.0140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 王忠奎, 和田晃, 森佳樹, 川村貞夫	4. 巻 -
2. 論文標題 3Dプリンタを利用した空気圧駆動ソフトハンドの製作	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計46件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Tatsuya Kako, Zheng Wang, Yoshiki Mori, Hongying Zhang, and Zhongkui Wang
2. 発表標題 3D Printable Origami-Inspired Pneumatic Soft Actuator with Modularized Design
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Soft Robotics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Oki Morikage, Zhongkui Wang, Shinichi Hirai, and Akira Nonaka
2. 発表標題 A Soft Gripper for Automating Split Operation of Silkworm
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Soft Robotics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hannibal Paul, Zhe Qiu, Zhongkui Wang, Shinichi Hirai, Sadao Kawamura
2. 発表標題 A ROS 2 Based Robotic System to Pick-and-Place Granular Food Materials
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Aoyama, Zhongkui Wang, and Shinichi Hirai
2. 発表標題 Shell Gripper Inspired by Human Finger Structure for Automatically Packaging Agricultural Product
3. 学会等名 2022 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Issei Nate, Zhongkui Wang, Yosuke Watanabe, MD Nahin Islam Shiblee, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa, Shinichi Hirai
2. 発表標題 Jellyfish Grasping and Transportation with a Wire-Driven Gripper and Deep Learning Based Recognition
3. 学会等名 2022 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhongkui Wang, Masao Shimizu, Sadao Kawamura
2. 発表標題 CPS Based Robotic Systems for Improving Automation in the Food Industry
3. 学会等名 2022 The 5th International Conference on Software Engineering and Information Management (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名手一生, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 クラゲ把持と搬送のためのワイヤー駆動ハンドと深層学習に基づく認識
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川島圭太, 平井慎一, 王忠奎
2. 発表標題 カットケーキの箱詰め作業を可能とする薄型ソフトロボットハンドの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王忠奎, 橋本泰隆, 森佳樹, 有田輝, 川村貞夫
2. 発表標題 食品自動盛り付けのための複数細線構造エンドエフェクタ
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青山大樹, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 複数きゅうりの同時把持と箱詰め作業を目的とした薄型離型フリーシェルグリッパの提案
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 盛影大樹, 平井慎一, 王忠奎, 野中明
2. 発表標題 セバレートドライブグリッパによる蚕の割愛操作
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 薛鞅同, 王忠奎, 仇哲, 平井慎一
2. 発表標題 食品自動盛り付けのための食品認識と自動把持
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三森友貴, 王忠奎, 松野孝博, 平井慎一
2. 発表標題 複数材料から構成される空気圧駆動円筒形状膜の成型
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名手一生, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 外部との接触によるロック機構を用いた多関節指ロボットグリッパの開発
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤睦仁, 有田輝, 王忠奎
2. 発表標題 低摩擦アクチュエータを用いた冗長平行グリッパの開発
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Oki Morikage, Zhongkui Wang, Shinichi Hirai
2. 発表標題 Multi-fingered soft gripper driven by bellows actuator for handling food materials
3. 学会等名 The IEEE 27th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sachin Sachin, Zhongkui Wang, and Shinichi Hirai
2. 発表標題 Analytical Modeling of a Soft Pneu-Net Actuator Based on Finite Strain Beam Theory
3. 学会等名 2021 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhe Qiu, Kaito Yamamoto, Hiroaki Araki, Zhongkui Wang, Ryuta Ozawa, Sadao Kawamura
2. 発表標題 A ROS 2-based robotic system for picking-and-placing tasks
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有田輝, 寺下昇吾, 橋本泰隆, 王忠奎, 川村貞夫
2. 発表標題 食品把持のための受動関節を有する低出力単駆動スティック指ハンドの開発
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青山大樹, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 狭空間での把持を目的とした薄型離型フリーシェルグリッパの提案
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhongkui Wang, Takao Hirata, Takanori Sato, Tomoharu Mori, Masaru Kawakami, Hidemitsu Furukawa, Sadao Kawamura
2. 発表標題 A soft robotic hand based on bellows actuators for dishwashing automation
3. 学会等名 International Conference on Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中肇, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 ロボットハンドリングのための食品データベースの構築
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾山颯太, 王忠奎, 鐘江峻, 平井慎一
2. 発表標題 食品バラ積みピッキングのためのロボットシステム
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Kanegae, 王忠奎, and Shinichi Hirai
2. 発表標題 Easily Fabricatable Shell Gripper for Packaging Multiple Cucumbers Simultaneously
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yui Makiyama, 王忠奎, and Shinichi Hirai
2. 発表標題 A Pneumatic Needle Gripper for Handling Shredded Food Products
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 巻山結, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 突き刺し把持と摘みみ把持が可能なニードルグリッパの開発と突き刺し動作の性能評価
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 盛影大樹, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 ペローズ伸縮を用いた負圧駆動グリッパ
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王忠奎, 井上昇悟, 橋本泰隆, 川村貞夫
2. 発表標題 食品ハンドリングのための粘弾性と摩擦特性の計測
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古田晴規, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 掬い込みバイディングハンドの提案
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鐘江峻, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 きゅうりの箱詰め作業を目的とした接着レス薄型平面シェルグリッパの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 (ROBOMECH 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗山佳之, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 包み込みグリッパによる粒状食品把持量の安定化
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 (ROBOMECH 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹村亮祐, 王忠奎, 坂上憲光, 川村貞夫
2. 発表標題 時間軸変換を用いた柔軟体の特性推定
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 (ROBOMECH 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本泰隆, 王忠奎, 川村貞夫
2. 発表標題 食品ハンドリングのための力学特性計測装置
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 (ROBOMECH 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 巻山結, 王忠奎, 平井慎一
2. 発表標題 突き刺しと把持が可能なニードルグリッパの開発と評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 (ROBOMECH 2020)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 脆弱物把持用ロボットハンド	発明者 王忠奎, 川村貞夫, 平井慎一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-187838	出願年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 把持装置およびその製造方法	発明者 川島圭太, 平井慎 一, 王忠奎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-041809	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 箸グリッパ	発明者 川村貞夫, 王忠奎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-034988	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 グリッパ	発明者 川村貞夫, 王忠奎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-029095	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 エンドエフェクタ	発明者 川村貞夫, 王忠奎, 森佳樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-141789	出願年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 グリッパ及びグリッパの製造方法	発明者 平井慎一, 王忠奎, 鐘江峻	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-021575	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	川村 貞夫 (Kawamura Sadao) (20186141)	立命館大学・総合科学技術研究機構・教授 (34315)	
研究 分担者	平井 慎一 (Hirai Shinichi) (90212167)	立命館大学・理工学部・教授 (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------