T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

# 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-チョビットハンド導入による生産性向上効果のシミュレーション- |
| Title(English) | Research on a Weighing System Capable of Adjusting the Weight of Linear-shaped Foods in Small Quantities with High Accuracy Simulation of Productivity Improvement Effects by Introduction of Chobit Hand |
| 著者(和文) | 櫻木嵩斗, 遠藤玄 |
| Authors(English) | Takato Sakuragi, Gen Endo |
| 出典(和文) | ロボティクス・メカトロニクス講演会2023講演論文集, , , 1A2-F21 |
| Citation(English) | , , , 1A2-F21 |
| 発行日 / Pub. date | 2023, 6 |

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

# 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
## チョビットハンド導入による生産性向上効果のシミュレーション

Research on a Weighing System Capable of Adjusting the Weight of Linear-shaped Foods in Small Quantities with High Accuracy

Simulation of Productivity Improvement Effects by Introduction of Chobit Hand

学　櫻木嵩斗 (東工大)　○正　遠藤玄（東工大）

Takato SAKURAGI, Tokyo Institute of Technology

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology, endo.g.aa@m.titech.ac.jp

In food factories, serving is still done manually by people in many cases. To solve the problem of quantitative serving, which is one of the challenges in robot operation, we developed a Chobit Hand that can precisely grasp only one strand of spaghetti. In this paper, we simulated whether installing the Chobit Hand on a multihead weigher would increase the efficiency of the weigher. As a result, the number of combinations could be increased by more than 1 set by replacing some of the existing hands with the Chobit Hand. It was also found that the introduction of the Chobit Hand reduces the variation in food product weight, allowing the producer to reduce the cost of food.

***Key Words***: Food, Handling, Gripper, Multihead Weigher

## 1　緒言

食品工場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．弁当や総菜などに用いられる食品は形状や大きさにばらつきがある上，特にオイルパスタなどの場合は線状かつ粘性のある食品であるため，素早さや定量性，正確性の観点からロボットによる把持が困難とされてきた．

線状の食品のハンドリングにおける先行事例としては，図 1 の遠藤らが開発したツンモリハンド [1] がある．このハンドを 10 台以上同時に運用することでスパゲティの自動計量を実現した製品が図 2 の組み合わせ計量機（GCW-V，イシダ）[2] である．本装置は組み合わせ計量という手法をとることで，一度に複数個の食品を少ない誤差で盛り付けることができる．

また，本研究室では線状食品用の少量かつ定量把持可能なエンドエフェクタ ”チョビットハンド”を開発した [3]．図 3 の通り，これは 2 本指の小型な把持機構を最大 16 個搭載することができる．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，把持部を 4 つ搭載した状態で，各把持部において，85%の確率でスパゲティを 1 本のみ把持することができた．

本報の目的は，チョビットハンドとツンモリハンドの導入コストが同程度であるという仮定の下，把持部を複数具備したチョビットハンドを組み合わせ計量機に導入し，計量機の効率を高め，生産性を向上させることができるかを，計算機シミュレーションにより明らかにすることである．製品化されている計量機ではツンモリハンドが複数台利用されていることから，ツンモリハンドの一部をチョビットハンドに置き換えた場合，どれほど生産性が向上するかについて検証を行った．

Fig.1: Tsummori Hand

Fig.2: Multihead Weigher[2]

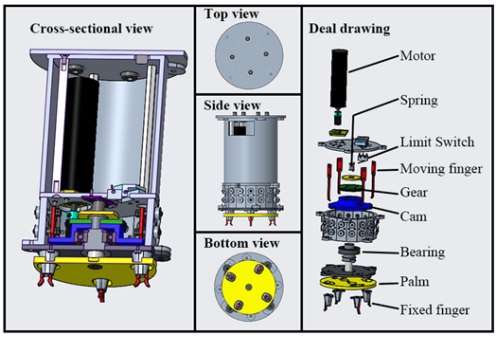



Fig.3: Overall view and cross-sectional view of Chobit Hand

## 2　チョビットハンド導入による組み合わせ数の向上

### 2.1　組み合わせ計量の原理

組み合わせ計量とは，複数の計量機で計量した食品のグラム数を，適切な組み合わせで加算することで目標質量との誤差を軽減させる計量方法である．緒言にて紹介したスパゲティの計量機の場合[1]，装置内にツンモリハンドが 16 台× 2 セット搭載されており，容器内のスパゲティの残存量に応じて開閉量を制御する．16 台のツンモリハンドが同時にバットから商品を把持し，目標質量の 4 分の 1 から 2 分の 1 程度の食品をそれぞれ把持する．その後，目標質量の許容誤差内に収まるように，適切なハンドを複数台選択して開くことで，1 つの商品を盛り付ける．1 度の運用で複数個の商品を生産可能である．この数を組み合わせ数と定義する．組み合わせ数が増加すると，一度のハンドの移動でより多くの商品を生産することが可能になるため，生産スピードが向上する．

### 2.2　シミュレーション方法

検証ではツンモリハンドのみを用いた組み合わせ計量と比べ，チョビットハンドを併用した際の組み合わせ数がどれほど向上するかを数値シミュレーションにより求めた．シミュレーションには MATLAB（MathWorks 社）を用いた．

ここでは，チョビットハンドとツンモリハンドの合計台数，ツンモリハンドの平均把持量・標準偏差，食材 1 本の質量を変数とした．なお，把持量は正規分布に従うと仮定する．チョビットハ

[1] より正確には各ハンドの把持量調整や組み合わせを最大化するアルゴリズムを含んだ「マッチング計量」と名付けられた手法を用いている．

ンド 1 台につき 4 つの把持部を持たせ，1 つの把持部で 1 本の食材を 85%で把持できるとした．

盛り付ける目標質量は 40 g とし，許容誤差は± 2.4 g とした．この値は経済産業省の定める量目公差表 [4] より定まる．MATLAB 上で 1000 回，ランダムなサンプルを作成し，シミュレーションを行った．

### 2.3　組み合わせ計量のアルゴリズム

本研究では図 4 で示される簡易的な組み合わせ計量アルゴリズムを作成し，シミュレーションに用いた．まず，ツンモリハンド 1 台で目標質量内に含まれるものがないか探索する．次に，食品をあと $X$ 本足す[2]ことで許容誤差内に収まる台を探索する．$X$ はチョビットハンドの導入台数であり，0〜4 の整数である．見つかった場合，チョビットハンドの掴んでいる $X$ 本と合わせて 1 組とする．続いて，ツンモリハンド 2 台の合計値で目標質量内に届くかを探索する．その後，同様にあと $X$ 本あれば足りる 2 台の組を探索し，$X$ 本と合わせて 1 組とする．このように，組み合わせ台数を 1 台ずつ増やしていき，5 台の組となるまで繰り返す．終了時までに成立した組み合わせの数を計測する．一度使用したハンドは除かれるため，重複してカウントされることはない．

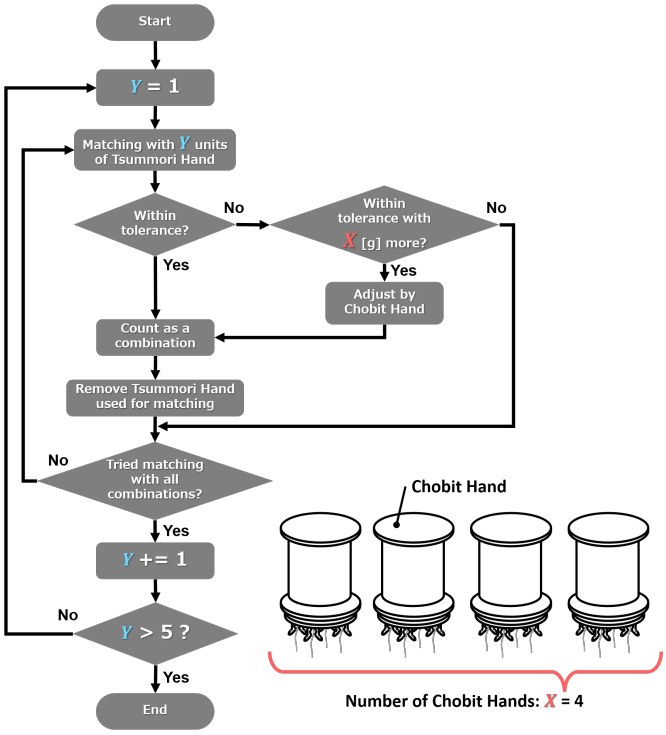



Fig.4: Algorithm for Multihead Weigher in this Study

### 2.4　シミュレーション結果

まず，4 つのパラメータの内，食品 1 本の質量を 1 g，平均把持量を 15 g，標準偏差を 5 g と定数とし，チョビットハンドとツンモリハンドの合計台数のみを変化させた場合のシミュレーション結果が図 5 である．横軸がハンドの合計台数，縦軸が組み合わせ数の平均値である．

図中の黒色線はすべてのハンドがツンモリハンドの場合を示し，青，緑，黄，赤となるにつれてツンモリハンドを 1 台ずつ減らし，代わりにチョビットハンドを 1 台ずつ増やした場合となる．図より，合計台数が 12 台以上の場合，ツンモリハンドのみの時よりもチョビットハンドを併用した場合の方が組み合わせ数が多いことが分かる．合計台数が 16 台の時，最も組み合わせ数が増加するのはチョビットハンドを 3 台導入した時であり，ツンモリハンドのみの時よりも 1.00 組，組み合わせが増加した．

[2]チョビットハンドの台数が多いほど，誤差の埋め合わせに使えるスパゲティの本数には余裕がある．そのため，チョビットハンドの台数が多い時は，ある程度本数が必要な組み合わせに対しても埋め合わせを行う．

次に，ハンドの合計台数は 16 台で固定したまま，食品 1 本の質量を 2 g に変更し，ツンモリハンドの平均把持量と標準偏差を 2.5 g 刻みで変数としてシミュレーションを行った．図 6a は組み合わせの増分をバブルチャートで示したものになる．横軸がツンモリハンドの平均把持量で，縦軸がツンモリハンドの標準偏差である．バブルの色は，組み合わせ数が最大となる場合のチョビットハンドの導入台数を示している．図 6b はチョビットハンドが 0〜4 台の内，最も組み合わせ数が大きかったときの組み合わせ数を示している．

ツンモリハンドの平均把持量が 17.5 g で，標準偏差は 5 g の場合，チョビットハンドを 2 台併用することで，組み合わせが 1.1 組ほど増加することがわかる．一般的な市販のスパゲティの重さは 1 本 1.8 g 程度であることを踏まえると，多くの商品の生産に対してチョビットハンドの導入が有効であると言える．

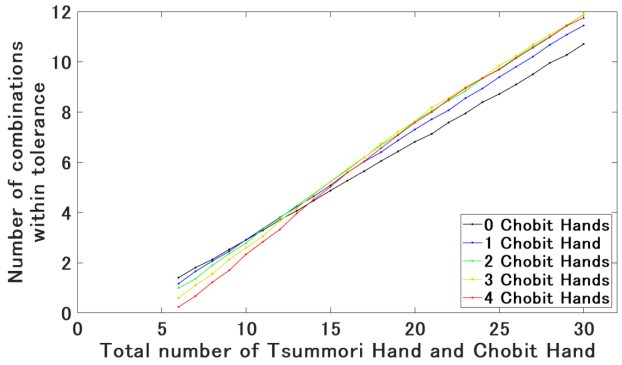
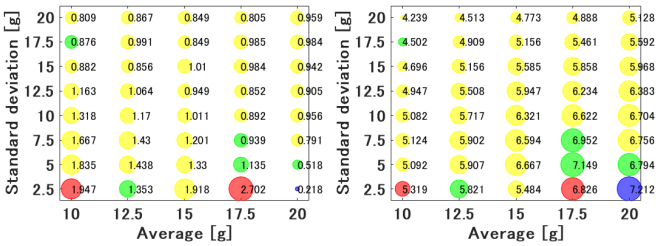



Fig.5: Simulation results for number of combinations




(a) Incremental number of combinations

(b) Maximum number of combinations

Fig.6: Number of combinations when the weight of a strand of spaghetti is 2 g

## 3　チョビットハンド導入による生産性の向上

線状食品を主とした弁当は，量目公差表より許容誤差が設定されている．しかしながら全ての弁当の質量を下限値付近で盛り付けることは現行の計量機では不可能であり，現状では，多めに盛り付けが行われている．商品質量を下限値付近で揃えることができれば，食材コストの削減につながる．本章ではチョビットハンドを導入することで商品質量の度数分布がどのように変化するかを検証する．

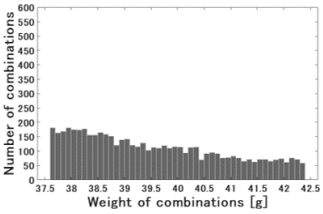
### 3.1　シミュレーション方法

商品質量の変化を求めるシミュレーションとして次の条件を設定した．平均把持量 15 g，標準偏差 5 g のツンモリハンドと 85%の確率で 1 本の線状食品を把持できる把持部を 4 つ搭載したチョビットハンドを合計 16 台使用する．チョビットハンドの台数は 0〜4 台の 5 通りである．

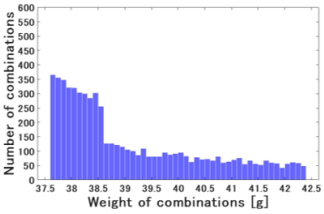
前章と同じく，盛り付ける目標質量は 40g とし，許容誤差は± 2.4g とした．食品 1 本の質量は 1 g とする．許容誤差内に収まって完成した商品の質量を記録する．MATLAB 上で 1000 回，ランダムなサンプルを作成し，シミュレーションを行った．

### 3.2　シミュレーション結果

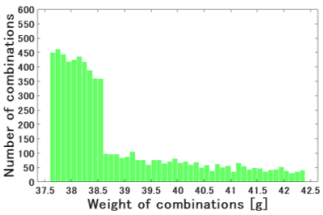
シミュレーションで得た商品質量の分布をヒストグラムで示したものが図 7a〜e である．図の横軸が商品質量で，縦軸が商品数である．図の通り，チョビットハンドの導入台数が増すにつれて，許容誤差の下限から 1 g の範囲である 37.6 g から 38.6 g までに多くの組が集まることが分かる．チョビットハンドを 3 台または 4 台導入することで，平均の商品質量を 2.3%削減できることが分かった．



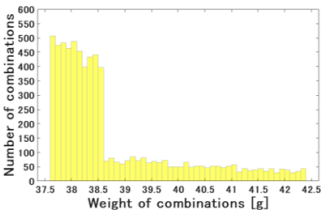

(a) Only Tsummori Hands



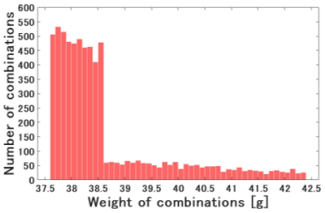

(b) 1 Chobit Hand




(c) 2 Chobit Hands




(d) 3 Chobit Hands




(e) 4 Chobit Hands

Fig.7: Serving weight when 1 to 4 Chobit Hands are used

## 4　結言

本報では，既存の組み合わせ計量機にチョビットハンドを導入することで生産性を向上させることができることを計算機シミュレーションにより示した．

## 謝辞

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] G.Endo, N.Otomo, ”Development of a Food Handling Gripper Considering an Appetizing Presentation”, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp.4901-4906, 2016

[2] 株式会社イシダ, https://www.ishida.co.jp/ww/jp/products/weighing/ccw/matching/gcw-v.cfm

[3] 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

[4] 経済産業省, https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun/techno_infra/14_gaiyou_ryoumoku.html