

【公開版】

平成28年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「高精度深度センサーによる食事のメニュー識別
及び摂取量推定技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成29年5月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 株式会社ブレイン

目 次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制	4
1-3	成果概要	6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8
第2章	本論一（1）	9
第3章	全体総括	18
3-1	複数年の研究開発成果	18
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	19

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

・研究開発の概要

近年、株式会社タニタの社員食堂に代表されるように、社員の健康管理を福利厚生の一環としてとらえて、社員食堂に注力する企業が増えている。株式会社ソニーの本社の社員食堂は、1日4,000人もが社員が利用し、メニューは常時80種類以上あり、バランスのとれた食事が提供されている。企業が社員の健康に気を配っていることがわかる。

また、大手企業の社員食堂ではオートレジシステム（自動精算システム）が用いられ、トレイを所定の場所に置くだけでトレイ上の食器の種類と数を検出し、装置にカードをかざすと精算は完了する。

これらから食堂等の食事に関して次のようなニーズがある事が明らかになっている。

- ・素早く精算を完了したい。（レジに並びたくない）
- ・食堂で食べるだけで健康になりたい。

このニーズの一部は、従来技術で実現しているが、以下の課題解決が求められている。

・研究開発の背景

近年、健康意識の高まりにより、福利厚生の一環として社員食堂を充実させる企業が増加している。バランスの取れた食事を提供したり、栄養素やカロリーの情報提供が行われている。

また、病院に入院する患者に対して、薬による治療だけではなく、食事の面からも治療が行われることが一般的になっている。

この時に求められるのは食事量である。現在は、出された食事のうち「3割残した」など、おおざっぱな情報を患者本人からの申告によって取得している。従って食事の面からの治療が効果的であるか判断することが難しい。

食事の情報や食べ残し情報を健康管理に役立てたいというニーズがある。これらの情報を客観的な情報として計測提供するための仕組みが求められている。

社員食堂や学生食堂において、昼食時は社員や学生の利用が多く混雑している。大手企業の社員食堂では、福利厚生の一環としてオートレジシステム（食堂自動精算システム）を導入している。オートレジシステムによって、店員によるPOSへ手動入力が必要なくなり、混雑の緩和が図られている。また、SUICAなどの電子マネーとの連携に

よって会計業務の円滑化も進められている。

既存のオートレジシステムは、食器に RFID を貼り付け、RFID リーダーによって食器の種類を特定し、食事メニューを識別するものである。

RFID の読み取り精度が向上していること、重なった状態でも読み取り可能であること、そして食後精算が可能であるため、RFID を用いたオートレジシステムは食堂の混雑解消に非常に有効な方法である。しかし、RFID のコストが高く（1枚あたり数十円程度）、取り付け可能な食器の種類が限定されるため既存の皿が使用できず食器を入れ替える必要があるため、初期導入コストが高くなることが課題である。実際に、大手企業に導入実績はあるが、中小企業には費用対効果が小さくほとんど導入には至っていない。

また、トッピングが異なるなど、メニューにバリエーションをつけて価格に差をつけようとする、それだけ新たな種類の食器が必要になり、メニュー数に応じて導入コストが高くなる。食器の種類が多くなると運用・管理に手間がかかることも課題である。

・当該分野における研究開発動向

最近の健康志向により、健康管理をサポートするスマートフォン・タブレット向けのアプリケーションや Web サービスの提供が開始されている。これらは、利用者の食事のメニュー管理を行い、健康管理をサポートする仕組みとなっている。一部のサービスでは、カロリーや食事のメニューを自動的に推定する画像識別技術が用いられており実証実験が開始されている。

既存の技術では、食事のメニューの管理のみであるため、実際に摂取した量は正確に把握できていない。当技術を用いることにより、社員食堂や学生食堂での社員や学生が摂取したメニューとその量を管理し、より適切なカロリー等の管理を行うことができるようになる。

また、メニューの解析を行うことで、社員や学生に最適なメニューを提案することができる。例えば、不足している栄養素を含むメニューを提案したり、同じものを続けて食べているときには別のメニューを提案したり、個人の量的な嗜好に合わせたメニューを提案することが可能になる。

・研究開発の高度化目標

①既存のオートレジシステムでは、食器に RFID を貼り付けるなど初期導入コストが高いため、中小企業の社員食堂には導入が進んでいない。低コストで導入可能であり、かつ維持管理の容易なオートレジシステムのニーズがある。

②社員食堂、学生食堂も含めて、セルフサービス式の飲食店の会計業務において、スムーズに会計を行うためには、レジ店員が店舗の食事メニューを覚えるなど熟練したレジ打ち技術が必要となる。食事メニュー識別技術を用いてレジ店員の熟練度に依存しないスムーズな会計が可能になる。

③カロリー等の管理を実施するためには、食べ残し量を人の手で登録しなければならない。この分野はどのメーカーも手を付けていない状況である。メニューの識別とともに、食事の分量を推定して情報を提供することが求められている。

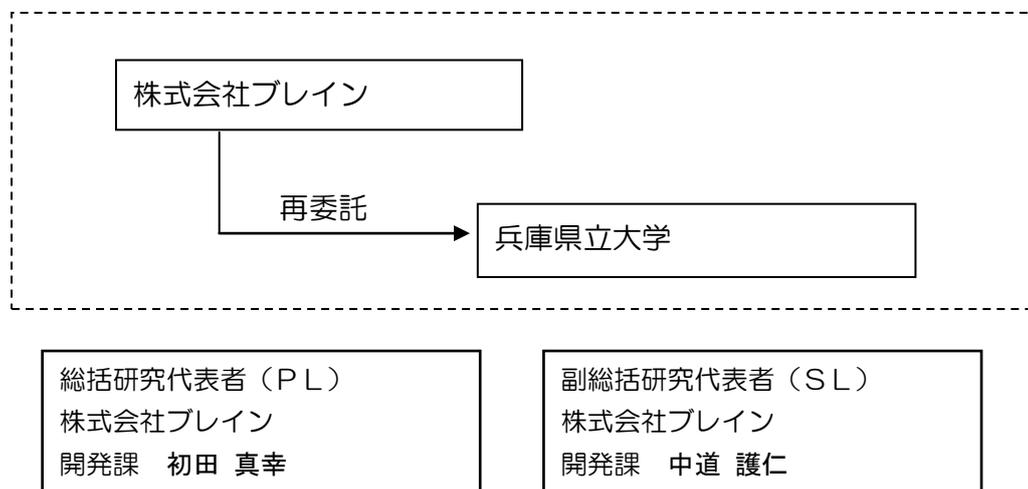
上記機能を開発し、オートレジシステム等に導入可能な技術を確立する。

1-2 研究体制

2. 研究体制

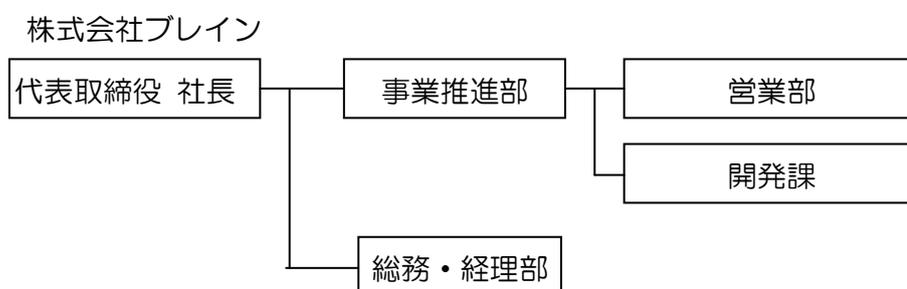
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

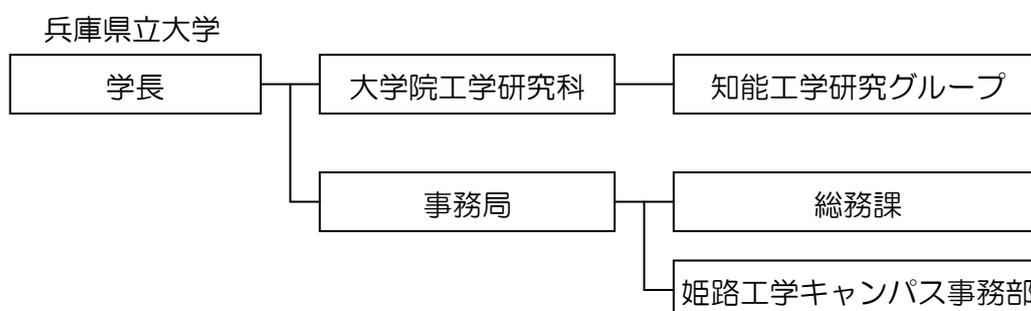


2) 管理体制

①事業管理機関



②再委託先



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 株式会社ブレイン

①管理員

原 進之介 事業推進部 本部長

多鹿 一良 事業推進部 部長

山下 美帆 開発課

②研究員

志方 泰 開発課 課長

初田 真幸 開発課 研究員

中道 護仁 開発課 研究員

中嶋 貴裕 開発課 研究員

橋間 智博 開発課 研究員

横山 貴広 開発課 研究員

片山 裕史 開発課 研究員

【再委託先】 兵庫県立大学

①研究員

森本 雅和 大学院工学研究科（電気系工学専攻電子情報工学部門）准教授

(3) アドバイザー

グローリー株式会社 商品企画部

HaRe コンサルタント

1-3 成果概要

1. 深度情報による食器の抽出

RFID を用いた食器の検出方法では、導入コストが高い。既存の食器を使用し、導入コストを抑えることができるように、深度センサーを用いた検出方法を研究した。また、トレイの上に食器が並べられた時に接触していると食器識別が難しくなる。深度情報から食器領域を食器単位に分離する方法を研究した。

(1) 深度センサーの性能評価・選定

→ 安価でコンパクトな深度センサーを選定した。

(2) 深度情報の精度向上（キャリブレーション、ノイズ除去）

(3) 接触している食器の分離（食器の高さ、凹み、形状等から分離）

→ トレイ1枚に載せた複数の食器の位置を0.2秒以内で検出可能となった。

→ 2つ真円型、楕円型の食器の分離については分離率99%以上を達成した。

2. 食器識別率の向上

深度センサーで取得した食器の形状情報、深度情報、カラー画像による情報を複合的に判断して食器の種類を特定する方法を研究した。

(1) 食器の高さ、輪郭形状によるマッチング

(2) 複数台の深度センサーを用いたマッチング

(3) 色違いの食器の識別（カラー情報による識別）

→ トレイ1枚に載せた複数の食器種類を0.2秒以内で特定することが可能となった。

→ 単一食器の識別精度は99%を達成した。また、反射が少なく識別が困難な黒色食器については、95%まで識別率を高めた。

3. メニュー識別方法の研究

食器に盛り付けられた食材を、深度情報と重量情報とカラー画像から識別する。食器の種類（形状）により、おおまかな食事メニューを特定し（麺類、カレー類、ご飯類、主菜、副菜、サラダなど）、その情報も含めて食事メニューのトッピング（天ぷらや油揚げ等）や具材の種類を識別を行う研究を行った。また、トッピング麺類などのトッピング（天ぷらや油揚げ等）のバリエーションを考慮した食事メニューの推定を行った。

(1) 具材領域のセグメンテーション（分割）、具材の最小単位の抽出

(2) 深度センサー、カラー画像を用いた具材の識別

(3) 具材情報を用いたメニューの識別

→ 食器1つあたりの食材の種類を0.2秒以内で識別可能となった。

→ トレイ1枚に載せた食事メニューを1秒以内で推定可能となった。

→ 料理領域の識別精度が97.0%となった。

4. メニューの量の推定方法の研究

深度センサーを用いることで具材の体積を検出し、体積と重量と密度を用いて具材の量を推定する研究を行った。体積と重量の計測精度の向上を図った。

(1) 深度センサー、カラー画像を用いた具材の量の推定

→ 食品の体積を求め重量の算出誤差は、平均4.4~4.7%となり±10%以内を達成した。

5. 新メニューのマスタ登録作業の軽減

新メニューを登録する場合に、登録の容易さがシステムを運用するために重要になる。学習のため料理することなく、既存のメニューや具材の組み合わせから新メニューを推定するアルゴリズムを研究した。

(1) 新メニューの既存メニューを用いた推定

→ 未知のメニューをマスタの設定情報から食器の情報と紐づけて識別する方法を検討した。

6. メニューの付け合せ具材変更への対応

食事によっては、その日の材料の調達状況によって付け合せの具材が異なる場合がある。例えば、ハンバーグなどの主菜の場合、付け合せ野菜が人参、ブロッコリーなど日によって変化することがある。このような食事の具材の変化に対応した識別技術を研究した。

(1) メニューを決定づける主素材の検出と変更パターン推定

→ 付け合せが変更された場合の食事メニューを識別する方法を検討した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ブレイン

事業推進部 部長 多鹿一良

TEL : 0795-23-5510

FAX : 0795-23-6357

E-mail : info@bb-brain.co.jp

第2章 本論一（1）

1. 深度情報による食器の抽出

(1) 深度センサーの性能評価・選定

RGB-D センサーとして Intel 社の RealSense について性能評価を行った。RealSense は近接撮影に対応しており取得可能な解像度も高い。トレイの範囲を撮影するためには 45cm 以上の高さから撮影する必要がある。



Intel 社の RealSense SR300

(参照 <https://click.intel.com/intelrealsense-developer-kit-featuring-sr300.html>)

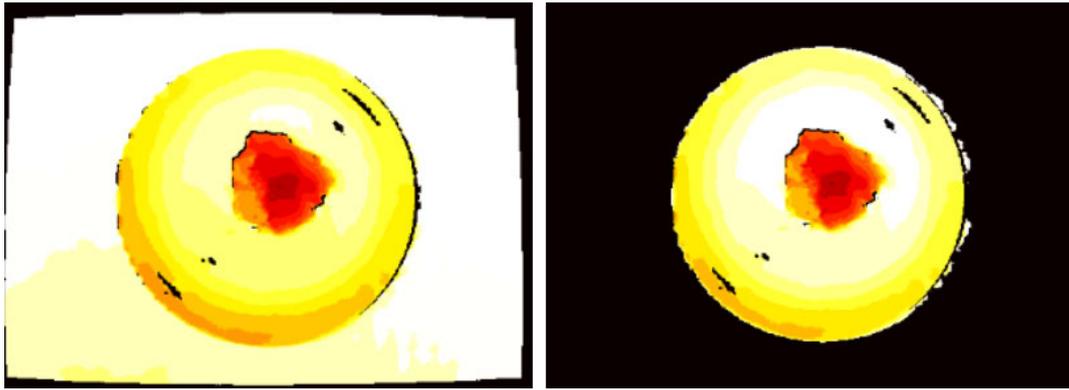
(2) 深度情報の精度向上

Intel 社 RealSense RGB-D センサーを用いてトレイの上に載せたお盆が写った距離画像を撮影し、RANSAC によって平面を検出して、平面によるノイズを除去した。



RANSAC による平面モデル推定の結果

平面検出後、平面の除去を行う。



平面除去前

平面除去後

(3) 接触している食器の分離

• 高さ分割

皿の縁の高さをもとに高い皿のグループと低い皿のグループに分割する手法である。複合の皿の輪郭点から重心方向に高さを調べ、各最高点の中央値が一定値を以上の場合に、その値を用いて高い皿のグループと低い皿のグループに分割する。



複合皿の高さの検索

高い皿

低い皿

• 重心-輪郭点距離分割

複数の皿が接している場合にはその接地点辺りには二つの凹みが存在する。その凹みは皿画像の輪郭点を取得した際に重心に近い二点になるということを利用し、その二点で輪郭点を分割する。この二点を境に黄色と白の輪郭点に分割し、その点を基に分割する。



輪郭点と重心点

分割結果1

分割結果2

2. 食器識別率の向上

(1) 食器の高さ、輪郭形状によるマッチング

食器の縁の定義を行い、特徴を数値化し識別を行った。

皿が真円，楕円，四角のいずれかに分類されたとする。高さは距離画像を用いて皿の輪郭点から重心方向に高さを調べその中央値を採用する。長さは、真円は画像の重心を求め、重心から画像の垂直方向に皿の縁に向かって高さを調べ皿の縁を見つけ、縁の点の二点間の実距離を算出する。楕円は楕円フィッティングで得られる角度を用いて重心で直交するような形で長さを算出し、長い方を長径、短い方を短径とする。四角の場合は、皿領域を囲む傾きのある最小矩形を求め、この矩形の角度を用いて楕円と同様の方法で長径と短径の値を得る。

1 つトレイに載せた単一食器または 2 つまでの真円型、楕円型の食器では 0.2 秒以内に特定が可能になった。

(3) 色違いの食器の識別

エビフライの尻尾など食器をはみ出すような食品については、食器の周囲の模様を隠す場合がある。この範囲が小さい場合は影響を受けないように識別する方法を検討した。

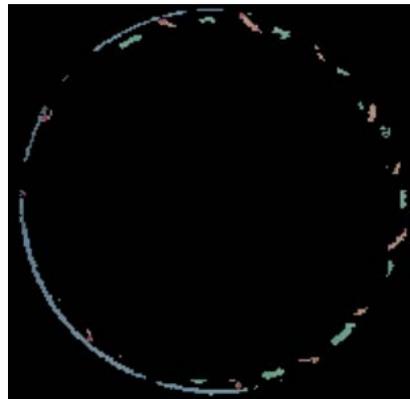
皿の全輪郭画像とこれを数回縮小させた画像との差分を皿縁の検索マスクとして取り出し、下図のような縁の部分のみのカラー画像を取得する。これに対して色情報を取得すると縁に料理の色が含んでしまうことがある。



皿縁画像

皿の縁の色のうち白色は多くの皿にある色であるので、白色を抽出する必要はないと考えた。皿の縁色画像を HSV 変換し、彩度と明度に閾値を設けると同時に、皿の高さに対する閾値を設けることで、条件を満たした画素の RGB 値のみを取得する。

下図に制限後の画像を示す。皿の縁の白色と料理の色を除去することができている。これに対して、RGB 値それぞれの平均値を取得して、皿の色情報とする。



制限後の皿縁画像

3. メニュー識別方法の研究

(1) 具材領域のセグメンテーション（分割）、具材の最小単位の抽出

・黒皿の料理領域抽出

黒皿において皿の距離情報の大部分は取得できないため、黒皿の領域で距離情報が取得できる部分が料理領域と考える。そのとき、黒皿の領域で距離情報がある中には料理領域以外の部分が存在することがあるので、黒皿の領域を縮小し距離情報における制限を設けてその影響を低減する。



黒皿の領域抽出画像



黒皿の料理領域抽出画像

・ 平皿の料理領域抽出

平皿では皿の底の高さが皿の縁の高さとほとんど変わらない。料理が盛られると縁よりも高くなるので、縁よりも高いところが料理領域と考えられる。そのため、皿領域を縮小したのち、皿の縁の高さより大きい部分を抽出することで料理領域を取得する。



平皿の領域抽出画像



平皿の料理領域抽出画像

・ 深皿の料理領域抽出

深皿では料理の高さが縁よりも高い場合や低い場合などがある。深皿の場合、料理領域まで高さは低くなっていくと考えられる。皿領域の輪郭点から重心方向に高さを走査したときに、高さが一定値以上大きくなった点を料理領域の輪郭点とする。それらの輪郭点を基に料理領域を作成する。



深皿の領域抽出画像



深皿の料理領域抽出画像

(2) 深度センサー、重量センサー、カラー画像を用いた具材の識別

・同時生起行列

テクスチャの統計的特徴量として、同時生起行列を用いる方法を用いた。これは、離れた 2 つの場所にある画素対の値から、画素値の一様性、方向性、コントラストなどの性質を表す特徴量を求めるものである。

・色ヒストグラム

対象領域内の画素値に対してヒストグラムを作り、平均、分散や最頻値等を求め、それを特徴ベクトルとして抽出する。ただし、RGB 値は撮影環境の変化による影響を受けやすいという問題点がある。

本研究では、カラー画像の RGB 値を HSV 変換する。料理認識対象領域のヒストグラムを求め、ヒストグラムを平坦化する。色相の値をクラスタリングし、分割された各領域の HSV の色平均を求め特徴量として用いた。

・texton 特徴量

texton 特徴量は、ガウシアンフィルタ、LoG フィルタ、微分フィルタ等、様々な方向やサイズによるフィルタの応答を特徴量とし、類似画像検索等に用いられる。本研究では、グレー画像に対し、ガウシアンフィルタ、LoG フィルタ、ガウシアン 1 次微分フィルタを用いた。

(3) 具材情報を用いたメニューの識別

2015 年 11 月 23 日から 27 日で兵庫県立大学の食堂で撮影した画像のうち平皿の料理（おろしロースカツ：99 枚、みぞれ唐揚げ：53 枚、ハンバーグ：49 枚、ロースカツ：41 枚、唐揚げ：59 枚）について識別実験を行った。それぞれのデータに対して手作業で皿領域+料理領域のマスクと料理領域のマスク画像を生成した。識別に用いる特徴量は計 71 次元とし、皿領域+料理領域で学習と識別を行ったものと料理領域で学習と識別を行った。学習と識別においてマイナー部分空間法を用いて Leave-one-outcross-validation で行った。

その結果、皿領域+料理領域の識別精度が 88.0%、料理領域の識別精度が 97.0%となり、皿領域+料理領域より料理領域のみを学習・識別を行った方が、識別精度が高いこ

とがわかった。料理領域のみの方が良くなったのは、皿領域部分の色特徴が影響しているためと考える。

また、食堂での識別実験ではトレイに載った食事のメニューを推定してリアルタイムで画面に表示しながら撮影を行った。画面の更新頻度は 0.6 回/秒となった。よって食事メニューを 1 秒以内に推定することが可能となった。



食堂での識別実験の様子

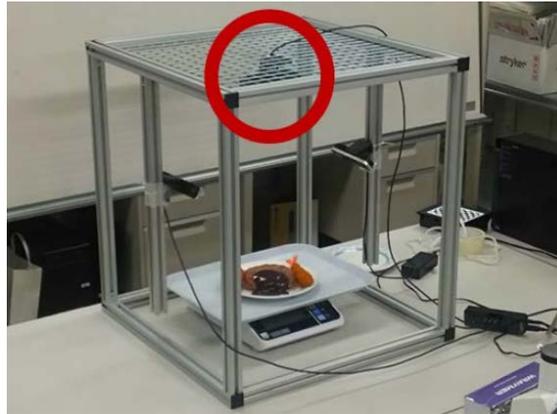
4. メニューの量の推定方法の研究

(1) 深度センサー、重量センサー、カラー画像を用いた具材の量の推定

RGB-D センサーで色情報と距離情報を取得し、その情報から撮影したメニューを品目ごとに領域分割し、識別を行う。次に RGB-D センサーから見えている範囲の距離情報を用いて体積を推定する。最後に重量の推定を行う。事前に計測しておいた食品の重量と体積の関係を体積-重量グラフによって導き、変換をおこなうことで重量を推定する。

唐揚げ単数の実験では、56 個の唐揚げを用いて実験を行った。下図の赤丸の位置に RGB-D カメラを設置する。唐揚げまでの距離は約 35cm とした。この距離は唐揚げの全体が写り、かつできるだけ唐揚げに近づけるようにすることが望ましい。

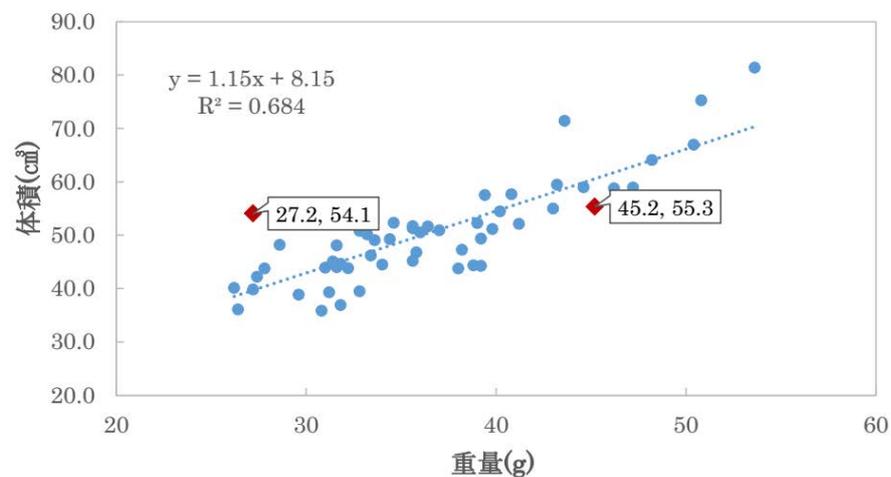
皿ごとに重量を計測しながら撮影を行う。そして前章で述べた体積推定の手法を用いて撮影した唐揚げの体積を推定し、計測した唐揚げの重量との関係を導く。この関係式を用いて重量を推定する。



撮影環境

- 唐揚げ(単体)の結果

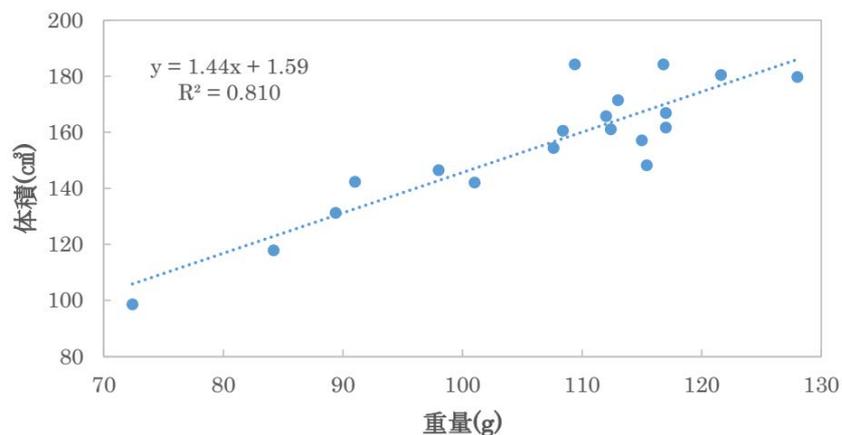
唐揚げ単体の体積と重量の関係を導き、重量を推定した。誤差率の平均値は 9.4% であった。大きく誤差が出た原因として、55.3 cm³ の唐揚げはどちらも推定した体積にほとんど差がないが、重量はそれぞれ 31.4g、45.2g と大きな差が生じている。このようなばらつきを補正するため、距離情報から形状の特徴量を算出して重回帰分析により誤差の補正を行った。補正により誤差率の平均値は 7.9% となった。



唐揚げ単数の体積-重量グラフ

- 唐揚げ(複数)の結果

複数の唐揚げを用いて同様の実験を行ったところ、誤差率の平均値は 4.78% といった結果になった。単体と比較して誤差が少ないのは、複数の唐揚げが重なることで形状の特徴が平滑化されたためと考えられる。さらに同様の誤差の補正を行った結果、誤差率の平均値は 4.2% となった。



唐揚げ複数の体積-重量グラフ

5. 新メニューのマスタ登録作業の軽減

(1) 新メニューの既存メニューを用いた推定

新メニューをマスタの設定情報から食器の情報と紐づけて識別する方法を検討した。食器の識別結果と紐づけてメニューの識別結果の候補を絞り込むことで新メニューを候補の上位に出力するアルゴリズムを検討した。既存メニューと新メニューが類似している場合に、既存メニューの学習データを用いて新メニューを識別することで、新メニューが識別可能であることがわかった。

6. メニューの付け合せ具材変更への対応

(1) メニューを決定づける主素材の検出と変更パターン推定

付け合せが変更された場合の食事メニューを識別する方法を検討した。主菜では食器の料理領域のうち主具材（ハンバーグやとんかつなど）の面積が大きく、付け合わせの料理領域は主具材に比べると小さいことが多い。その場合、付け合わせによる識別結果に対する影響は小さくなる。検証の結果、付け合わせが異なるパターンの学習を繰り返すことで付け合わせが異なる食事が識別可能であることがわかった。

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

1. 深度情報による食器の抽出

深度センサーは Intel 社の RealSense の性能評価を行った。

食器の高さを求めるため、カメラからの距離情報をトレイ底面から高さ情報に変換する必要がある。この時に求められる平面情報を手動によって更新する方法以外に、お盆が検出されたタイミングで自動的に更新を行う方法について研究を実施した。

2つ真円型、楕円型の食器の分離については分離率 99%以上を達成した。

2. 食器識別率の向上

深度センサーで得られた情報をもとに食器の高さを算出し、高さ情報を探索することで食器の検出を行った。

本研究に使用した深度センサーは、赤外線を使用して計測を行うため、光の反射が少ない黒色の様に非常に濃い色の食器検出が困難である。これを解決するために、カラー画像を用いた食器の検出および分離を行った。

単一食器の識別精度は 99%を達成した。また、反射が少なく識別が困難な黒色食器については、95%まで識別率を高めることが可能になった。

3. メニュー識別方法の研究

皿の種類ごとに料理領域抽出方法の研究を行った。黒皿、平皿、深皿ともに料理領域のみの抽出が可能になった。

2015年11月の県立大学の食堂で撮影した画像において識別実験を行った。5種類の料理画像 301枚に対して皿領域+料理領域の識別精度が 88.0%、料理領域の識別精度が 97.0%となり、料理領域のみ識別精度の方が高いことがわかった。単一食品の識別率は 95%を達成することができた。

4. メニューの量の推定方法の研究

深度センサーで得られた距離情報を利用して体積を推定し、さらに、食器内の食品を識別することによって、あらかじめ計測しておいた食品の体積と重量の関係式によって変換を行うことで重量の推定を行う研究を実施した。食品の体積を求め重量の算出誤差

は、平均 4.4～4.7%を達成した。これは、当初目標の推定誤差±10%以内を達成している。

5. 新メニューのマスタ登録作業の軽減

新メニューをマスタの設定情報から食器の情報と紐づけて識別する方法を検討した。食器による絞り込みによって該当する新メニューを識別結果の候補の上位にすることで登録作業を軽減させることが可能となった。

6. メニューの付け合せ具材変更への対応

付け合せが変更された場合に食事メニューの識別に与える影響について検討した。主菜では主具材の影響より付け合わせによる影響が小さいため、付け合わせが異なる食事の学習を繰り返すことにより対応可能であることがわかった。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

研究開発の成果を実証するために、実証実験（カフェテリア方式の食堂において、実際の食事を識別する実験）を実施し検証した。識別のための学習を十分にさせることにより、識別率は安定的に向上する成果があった。カフェテリア利用者が多く注文するメニューの識別率が高くなる傾向があるため、少ない注文数のメニューであっても安定した識別率を確保できるように研究が必要である。



試作装置

今後、カフェテリア形式の実店舗（外食チェーン店等を想定）において、支払い業務との連携も含めた実証実験を行う予定である。セルフ方式のうどんやそばのチェーン店への販売、回転寿司チェーン店での生産管理システムとの連携も視野に入れている。

また、実証実験において取得したバイキング形式の料理の距離情報と重量の計測結果の解析を行い、バイキング形式の料理の体積、重量及びカロリーの推定の実現を図る。

病院の入院患者の食事は栄養が管理された献立となっており、患者がどれだけの食事を摂取したかどうかは患者へのヒアリングにより記録されている。しかし、患者の申

告内容の正確性に個人差があるため必ずしも正確な量は記録されていない。食事は患者の病状、体調などにより最適な栄養バランスになるように提供されているにもかかわらず、患者の正確な食事の摂取量が把握できておらず、患者によっては食事の栄養バランスを把握できていないことが問題になっている。料理及び具材の量の推定技術を応用して食べ残し量を推定し、患者の食べ残し量を自動的に管理するシステムの製品化を実施する予定である。