

画像を用いた食事摂取量計測システムの開発とその評価

佐伯欣洋 竹田史章 (高知工科大学 工学部 知能機械システム工学科)

Development of Food Intake Measuring System with Image for Medical Use and Its Evaluation

Yoshihiro Saeki and Fumiaki Takeda

Department of Intelligent Mechanical systems Engineering, Kochi University of Technology

キーワード：食事摂取、食器抽出、食材抽出、食事摂取量測定、摂取カロリー

1. はじめに

現在、入院患者の食事管理の方法は、栄養士が患者に食膳を配膳する前の状態と患者が食事を終えた後の状態の二つの状態を目で確認し、食品成分表と照らし合わせて、個々の患者毎の摂取量を計測している[1][2]。したがって、測定基準は目分量であり一定しているとは言えない。また、入院患者数、食事のメニュー数、さらに患者ごとに異なる摂取量と、それらを記録として残す作業を考慮すると、膨大な手間と時間が費やされている。そのため、これらの作業を栄養士に代わって機械で計測・記録したいという病院関係者の強い要望がある。

そこで、このような背景の下で、著者らは食事摂取量計測システムの開発を提案する[1]~[6]。本研究では開発システムの実用化を目指し、全ての処理部分をシステムで連携させた動作確認実験を行う。また、実用化へ向けた撮影筐体の小型化再設計、それに伴う広角レンズの導入を検討し、その評価実験を行う。最後に、再設計を実施した筐体を用いた実用性能について論議する。

現状の食事摂取量計測に関する問題点は、患者が摂取した食事の量を計測する際に、栄養士が目視によって計測をするため、測定値はあいまいで測定基準が栄養士によって異なるということである。また、図1に示すような個々の患者の食事をすべて栄養士が目で計測するため作業効率も高くない。さらに、患者個人の計測データの管理においても電子化されていないなどの問題点がある。一方、著者らが実施した病院関係者に対する食事摂取量計測システムについてのアンケートによると、アンケート回答者全体の約80%が食事摂取量計測の自動化に高い興味を有していることが判明している。

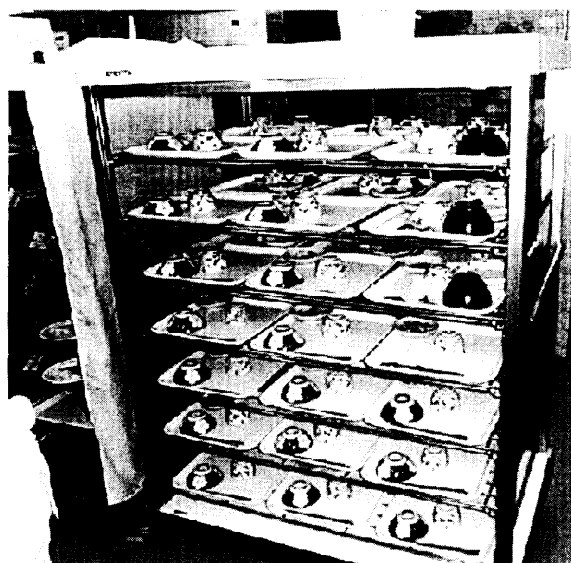


図1：Meal Management in Medical Center

2. 提案の食事摂取量計測システム

2.1 システムの提案

食事摂取量計測システムの基本コンセプトは、システム内で食前、食後における画像の比較、計測を行い、患者が摂取したカロリーおよび各種栄養素(塩分、鉄分、カルシウム、ビタミン、など)を算出するものである。提案システムの処理の流れは、まず撮影筐体の中に食膳を入れ、食膳全体を撮影する。次に、その撮影画像から食器位置を特定し、食器を抽出する。更に、抽出された食器から食材を抽出する。最後に、食材ごとに画素面積を食

前、食後で比較し、食物栄養素データベースとリンクして摂取カロリーを算出している。本論文では、これらの食器確定ならびに食材抽出などのサブシステムの個々の性能を院内に近い環境を模倣した形で定量的に示す。

提案システムを導入することにより、測定基準が一定になる、計測時間の短縮、厳密な栄養管理が可能になる、栄養士の負担が軽減される、記録の電子化によってデータ管理や共有が容易になる、独居老人などへの遠隔食事指導が可能になる、といった効果が期待される。

食事摂取量計測システムの概観を図2に示す。筐体内の上部4隅には25W白熱灯くもり球を4個取り付けられている[1]~[5]。撮影にはカラーカメラ(解像度:320×240)を使用し、ソフトウェア部分を格納するPC(Personal Computer)への接続はUSB(Universal Serial Bus)ポートを使用している。

次に、システムのソフトウェア構成を図3に示す。提案システムでは、画像処理プログラムとデータベースプログラム(以下DBPと略記する)の二つのプログラムによって成っており、両プログラムはUDP(User Datagram Protocol)通信を用いて各種コマンドや測定結果データのやりとりを行う。画像処理プログラムには通信処理サブシステム、画像処理ライブラリによる撮像処理サブシステム、計測処理サブシステムがあり、DBPは、食器データベース、メニューデータベース、料理データベース、食物栄養素データベース、個人データベースに分類される。また、これらのサブシステム、データベースはメインシステムとリンクしてプログラムとしてPCに格納され、メニュー登録から計測判定までがPC上でのオンライン処理となっている。摂取カロリーの算出は食事トレイ全体での画像ではなく、食器ごとに残留する食材の画像を食前画像と比較することによって実施される。

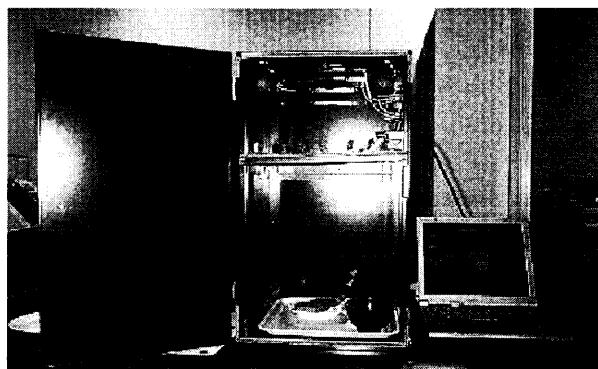


図2 : System Overview

2. 2 画像処理とそのデータベース (DBP)

画像処理プログラムではDBPとの通信処理、撮像処理、計測処理を行う事ができる。

DBPとの通信処理では通信には使用するポートの設定を行う。また、計測処理の際に画像処理プログラムはDBPへの命令の送信、DBPからのメニュー情報、テンプレート情報の受信、DBPへの計測結果の送信といった手順で処理を行う(図3を参照のこと)。

図4は撮像処理画面であり、左側の画像はカメラのリアルタイム画像、右側の画像が最後に撮影した画像の確認用画像である。この処理部においてDBPに必要な食器、料理などの画像を撮影する。また、この処理部でカメラの画像補正(コントラスト、シャープネス、ライトネス、など)の設定[7][8]を行う事ができる。

計測処理部では、まず、日付(年、月、日)、時間帯(朝、昼、夜)、提供者IDを選択する(これは開発用の操作であり、実際に病院内で使用するシステムでは日付、時間帯はPCから自動的に所得し、提供者IDもICチップなどを用いて自動的に選択することが可能である)。次に、画面内の「抽出スタート」ボタンを押すことで計測を開始する。このとき選択した日付、時間帯、提供者IDがデータベースに存在しない場合にはエラーメッセージが表示される。また、選択条件がデータベースに存在した場合には撮影された画像が右上に表示される。その画像に対して画像変換を行い、食器抽出および食材抽出を行う。続いて、そのデータを元に計測を行い、結果を出力する(計測開始から結果の出力に

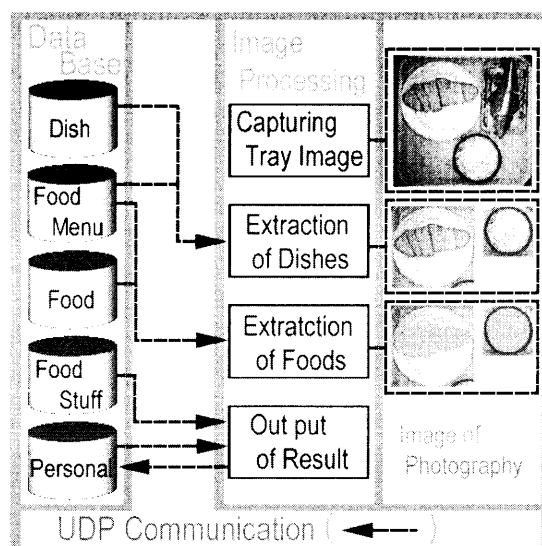


図3 : System Configuration

食器データベースには使用する食器の種別、撮影画像、その食器を抽出する際に必要なテンプレート情報が登録される。食器の抽出にはこのデータベースを参照し、登録されたテンプレート情報から食器を確定する。

一方、メニューデータベースには提供する食事のメニューが登録されている。提供年月日、メニュー名を決定し、料理を料理データベースより選択した後、その料理を盛り付ける食器を食器データベースより選択する。最後に提供者を個人データベースより選択する。また、提供する料理と料理データベースに登録された料理との量に差がある場合はその差を%で指定する事が可能である。これによって病院内で患者一人一人に適切な量で食事を提供している状態にシステムを一致させることが可能となる。

料理データベースはいわゆるレシピデータである。料理名と調理された料理を撮影した画像を登録し、その料理に使用されている食品、調味料、香辛料などを食物栄養素データベースから選択し、使用量を入力する。

また、食物栄養素データベースには文部科学省資源調査会編「五訂日本食品標準成分」から引用した食材の栄養成分が登録しており、上記の料理データベースに登録する際にこのデータベースから食品などを参照する。

個人データベースには患者の名前、生年月日などの個人情報登録される。また、実際に提供された食事を計測する際にこのデータベースに登録されたIDを選択する事によって、計測結果がそのIDの個人データベースに記録される。更に、このデータベースから患者一人一人の摂取栄養素情報を参照することが可能であり、摂取履歴をグラフ表示する機能なども備えている。



図10 : Personal Data Base

3. 結果及び検討

3.1 撮影筐体の決定

ここでは、提案システムにおいて抽出処理の能力を向上させるための検討を行う。はじめに、光源の実験を行い、光源を白熱灯くもり球 (25W) から、蛍光灯昼白色 (9W (40W 相当明度)) 変更することで表1のような結果を得ることができた。

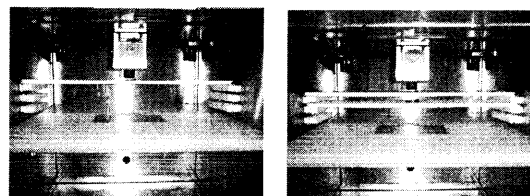
更に、これまで開発してきた撮影筐体[1]-[6] (高さ 65cm) では、容易に運搬することができない。そこで、実際に病院内で本システムを使用する際に搬送台に乗せて計測を行うことを考慮し、食膳を出し入れしやすい最低の高さを確保した撮影筐体 (高さ 39cm) を設計する。図11に再設計した撮影筐体を示す。しかし、小型化に

表1 : Result of Light Source Examination

Light Source Change	Dish Extraction (%)	Food Extraction (%)
Before	100.0	23.6
After	100.0	80.1



図11 : Platform (Left: Prototype, Right: Improved)



(a) One lens

(b) Two lens

図12 : Installation of wide-angle lens

食器データベースには使用する食器の種別、撮影画像、その食器を抽出する際に必要なテンプレート情報が登録される。食器の抽出にはこのデータベースを参照し、登録されたテンプレート情報から食器を確定する。

一方、メニューデータベースには提供する食事のメニューが登録されている。提供年月日、メニュー名を決定し、料理を料理データベースより選択した後、その料理を盛り付ける食器を食器データベースより選択する。最後に提供者を個人データベースより選択する。また、提供する料理と料理データベースに登録された料理との量に差がある場合はその差を%で指定する事が可能である。これによって病院内で患者一人一人に適切な量で食事を提供している状態にシステムを一致させることが可能となる。

料理データベースはいわゆるレシピデータである。料理名と調理された料理を撮影した画像を登録し、その料理に使用されている食品、調味料、香辛料などを食物栄養素データベースから選択し、使用量を入力する。

また、食物栄養素データベースには文部科学省資源調査会編「五訂日本食品標準成分」から引用した食材の栄養成分が登録しており、上記の料理データベースに登録する際にこのデータベースから食品などを参照する。

個人データベースには患者の名前、生年月日などの個人情報登録される。また、実際に提供された食事を計測する際にこのデータベースに登録されたIDを選択する事によって、計測結果がそのIDの個人データベースに記録される。更に、このデータベースから患者一人一人の摂取栄養素情報を参照することが可能であり、摂取履歴をグラフ表示する機能なども備えている。

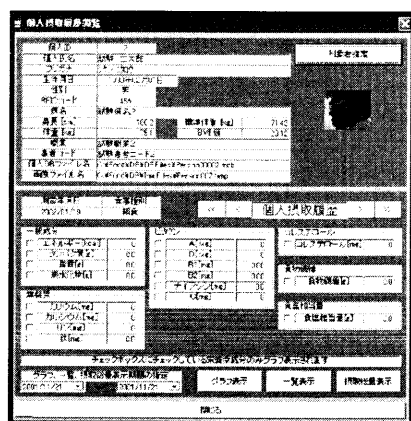


図10 : Personal Data Base

3. 結果及び検討

3.1 撮影筐体の決定

ここでは、提案システムにおいて抽出処理の能力を向上させるための検討を行う。はじめに、光源の実験を行い、光源を白熱灯くもり球 (25W) から、蛍光灯昼白色 (9W (40W 相当明度)) 変更することで表1のような結果を得ることができた。

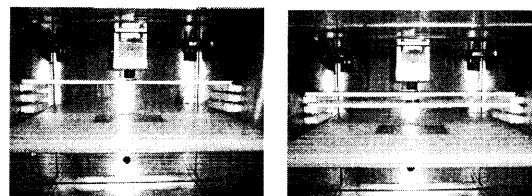
更に、これまで開発してきた撮影筐体[1]-[6] (高さ 65cm) では、容易に運搬することができない。そこで、実際に病院内で本システムを使用する際に搬送台に乗せて計測を行うことを考慮し、食膳を出し入れしやすい最低の高さを確保した撮影筐体 (高さ 39cm) を設計する。図11に再設計した撮影筐体を示す。しかし、小型化に

表1 : Result of Light Source Examination

Light Source Change	Dish Extraction (%)	Food Extraction (%)
Before	100.0	23.6
After	100.0	80.1



図11 : Platform (Left: Prototype, Right: Improved)



(a) One lens

(b) Two lens

図12 : Installation of wide-angle lens

に伴いカメラ位置が低くなり、食膳全体を撮影することができなくなるという問題を誘発した。

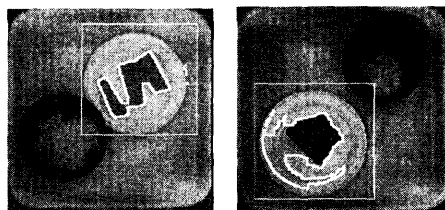
したがって、小型化を行った際に食膳全体を撮影する事が不可能になったため、広角レンズを導入し撮影範囲を装着した状態である。そして、表2に実験結果を、図13に抽出の成功例と失敗例を示す。

表2に示す結果から、食器抽出、食材抽出処理、共に高い成功率を得ることができなかった。これは、図14に示すように、トレイの四隅に食器を配置した場合、広角レンズにより画像に歪みが生じたためである。そこで画像補正アルゴリズムを導入し、画像の歪みに補正を行った。図15に補正適用前後の図を示す。しかしながら、画像補正アルゴリズムでは、「高さのある食器(湯飲み、コップ、など)に対応できない」ということや「処理時間の増加」へとつながる事が判明した。

このように撮影筐体の小型化を行ったが、それに伴い計測が困難になった。そこで撮影範囲の縮小という問題の別の解決手法として物理的に焦点距離を確保することを検討する。それゆえ、撮影時にカメラ部分のみを引き伸ばすことができる撮影筐体の設計を行った。図16、17のように再設計を行うことで撮影範囲を拡大することが可能になった。これにより表3のように抽出性能を向上させることができた。

表2 : Result of Measurement Experiment

Food Remainder (%)	Dish Extraction (%)	Food Extraction (%)
0.0	42.9	10.7
50.0	32.1	25.0
100.0	30.4	23.2
Average	35.1	19.6



(a) Success (b) Failure

図13 : Measurement Experiment

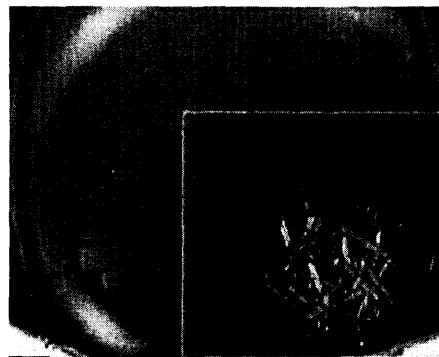
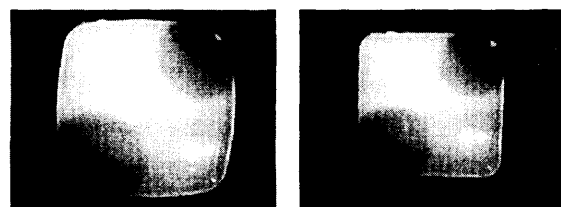


図14 : Distortion of Image



(a) Before

(b) After

図15 : Distortion Correction Algorithm

表3 : Experimental Result of Extraction Measurement

Process	Dish Extraction (%)	Food Extraction (%)
Before	35.1	19.6
After	100.0	95.2

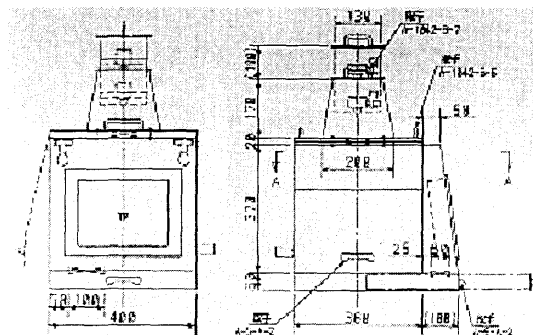


図16 : Blueprint of Latest Platform

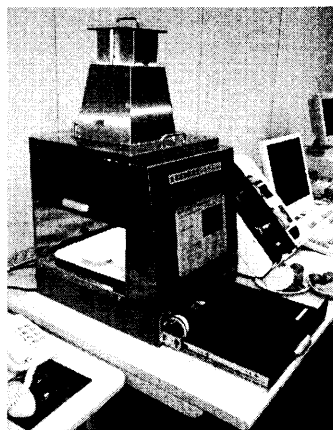


図17 : System Overview

3. 2 システム評価

食材及び食器さらに光源のオンオフ変動に対する種々の評価結果を表4、5、6にそれぞれ示す。

実験条件として、食材はダミー食材、A:とんかつ、B:輪切りトマト、C:牛肉、D:千切りキャベツ、E:米飯、F:コロッケ を使用した。メニューを図18に示す。そして表4では電源投入後の時間、表5では食膳全体の回転角度、表6では食材の回転角度を変えて評価を行った。また、表に記された数値は計測された食材摂取量(%)、記号はそれぞれ、食材抽出における目視評価であり。○:抽出良好、●:抽出可、▲:抽出不良、△:抽出失敗(食器含)、×:抽出失敗(他食材含)となっている。

まず、表4に示されたように、電源投入後2、3分間は評価が安定しない、これは光源の安定に3分間は必要であることを示している。更に表5、6で示すように、食膳、食材を回転させた場合も評価が安定しない、これは回転によって食材の影のつき方が変化するためである。

このように本システムにおいて光源、撮像系による影響は大きく、光源の安定化、撮像系の再検討が今後の課題となる。

表4 : Results of different time after power on

Time(min)	A	B	C	D	E	F
1	×	▲	▲	×	●	△
2	●	▲	▲	×	●	△
3	○	▲	●	×	●	△
4	○	▲	●	×	●	△
5	○	▲	●	×	●	△
10	○	▲	●	×	●	△
15	○	▲	●	×	●	△

表5 : Results of different rotation angle of tray

angle(deg)	A	B	C	D	E	F
0	○	▲	●	▲	○	△
90	×	×	●	▲	○	△
180	×	×	●	▲	○	△
270	○	▲	●	▲	○	△

表6 : Results of different rotation angle of dish

angle(deg)	A	B	C	D	E	F
0	○	▲	●	▲	○	△
45	○	●	●	▲	○	△
90	○	●	▲	▲	○	△
135	▲	▲	●	▲	△	△
180	△	▲	●	▲	△	△
225	▲	△	●	▲	△	△
270	▲	▲	●	▲	●	▲
315	×	×	○	▲	●	○

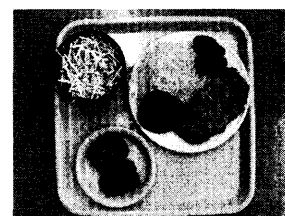


図18 : Photograph of Menu

4 まとめ

本論文では食事摂取量計測システムを提案し、そのシステム構成について述べた。また、本システムを実際に使用する際の運用手順を述べた。そして、光源の再検討を行い性能の向上を図った。さらに、実用化へ向けた撮影筐体の小型化を行い、それに伴う広角レンズの評価実験を行い、その際発生した問題から、さらに撮影筐体の再設計を行い、性能確認を行った。最後に一連のシステム評価実験を行い、光源、撮像系による影響を検討した。今後はシステム評価実験を基に、光源の安定化、撮像系の再検討を行い、本システムの性能の向上、安定化を図る。さらに、側面2箇所のUSBカメラによる残食材の立体的な計測も予定している。

参考文献

- [1] F. Takeda, H. Uchida and S. Hattori "Construction of Measuring System for Food Intake System", SPATJ, pp.75-80, 2001.
- [2] H. Uchida and F. Takeda "Development of a Measurement System for Food Intake using Neural Network", ICMIT'01, pp.19-24, 2001.
- [3] 熊田花奈子, 竹田史章, 高良元子 "医療用食事摂取量計測システムにおけるニューラルネットワークによる食器抽出処理の提案", 高速信号処理応用技術学会(2003), pp. 21-22
- [4] 熊田花奈子, 竹田史章, 高良元子 "摂取栄養量自動計測システムの研究と開発", 自動制御連合講演会(2003), pp. 36
- [5] 高良元子, 熊田花奈子, 竹田史章 "医療用食事摂取量計測管理システムの開発", システム制御情報学会研究発表講演会論文集, 京都, 2003年5月16日, pp. 581-582
- [6] F. Takeda "Dish Extraction Method with Neural Network for Food Intake Measuring System on Medical Use", CIMS'03IEEE, Switzerland, 2003.
- [7] 舟久保登 "パターン認識", 共立出版, pp. 154-157, 1993.
- [8] 安居院猛, 長尾智晴 "C言語による画像処理入門", 昭晃堂, pp. 47-74, 2000.

会, IEEE、システム制御情報学会、情報処理学会、電子情報通信学会

著者紹介

佐伯欣洋 (非会員)



1982. 09. 23 生。高知工科大学工学部知能機械システム工学科(2004) 高知工科大学工学部基盤工学知能機械システム工学コース(在学) 食事量計測システムを含む知的画像処理技術の研究開発

竹田史章 (正員)



1958. 04. 27 生。徳島大学大学院工学研究科博士後期課程(1994) 豊田中央研究所 (1984) : ロボット制御の研究 グローリー工業株式会社 参事補グループマネージャー(1986) : 貨幣識別の研究・開発。工学博士。現在、自己学習型知的貨幣識別手法の研究とその実システム

へのインプリメンテーションの研究、生体情報を用いた個人認証システムの研究とそのプロトタイプの開発、ニューラルネットワークを用いた画像認識による食事摂取状態のレベル分類システムの研究と開発、紙幣の汚れ・劣化メカニズムの解析とモデリングおよびその判定システム構築の研究に従事。日本機械学会関西支部賞(研究賞) 計測自動制御学会論文賞、高度自動化技術振興財団、研究業績表彰(本賞)、新技術開発財団 市村学術賞(功績賞) システム制御情報学会産業技術賞受賞。日本機械学会、電気学会、計測自動制御学