解 説

高齢者・障害者用食事搬送自動ロボットシステム

Robot for Carrying Food Trays to the Aged and Disabled

藤 崎 正 昭*¹ 内 山 隆*²*¹(株)安川電機基礎研究所ロボット第二研究室 *²(株)富士通研究所マルチメディアシステム研究所 宇宙システム研究部Masaaki Fujisaki*¹ and Takashi Uchiyama*²*¹YASUKAWA ELECTRIC CORPORATION Research Laboratory *²FUJITSU LABORATORIES LTD. Multimedia Systems Laboratories

1. は じ め に

現在、我が国における高齢者・身障者数は、年々増加の傾向にある。特に65歳以上の高齢者人口が総人口に占める割合は、2000年に約17%、2020年には25%を超える[1]と予測されており、諸外国にはみられない速さで高齢化が進行している。さらに、近年の少子化による若年労働力の低下とあいまって、今後、深刻な看護・介護者不足が懸念されている。

また一方で、特別養護老人ホーム等の施設における看護・介護業務は多大な肉体的・精神的労苦を伴っており、業務に忙殺される看護・介護者は、被介護者一人一人と向き合った人間的に質の高い介護を行う余裕が無くなることが懸念される。このため、定型・非介助作業などの間接業務の省力化が望まれており、可能な範囲での機械化・自動化による支援が必要である。

特に、食事時間帯は、食事配膳、食事介助等の業務を全ての患者・被介護者に対して同時並行して行わねばならないため、介護者にとって負荷が非常に大きい作業時間帯となっている。そこで食事の運搬・配膳・下膳といった単純で煩雑な定型・非介助業務をロボットに代行させることにより、看護・介護者は食事介助のような対面・ケア業務により多くの時間を割くことが可能となり、人間的看護・介護の質を高めることができるものと考えられる。

現在、医療福祉施設内の定型・非介助の機械化・自動化の例としては、施設内の廊下を決められた経路に従って自律走行し、薬品、カルテ、X線フィルム等の搬送を行う搬送ロボット HelpMate がある[2]。この HelpMate は、超音波センサ、レーザセンサにより障害物回避を行い、曲がり角などの要所の手前に配置したマークを用いて

位置修正を行いながら自律走行を行う。しかし、このロボットは、複雑な環境である患者・被介護者の居室には入ることができない。荷物の積み下しをロボット自身が行えないため目的の場所で待機状態になることがある。このため、食事の運搬・配膳・下膳作業を考えた場合、居室内走行と荷物の自動積み下しは重要な要素となる。

そこで、筆者らは、重度障害老人を対象とする特別養護老人ホーム等の施設において、看護・介護者の食事時間帯の業務の低減を図るため、食事の運搬・配膳・下膳作業を自律的に行うマニピュレータを備えた「食事搬送自動ロボットシステム」の開発を進めている[3]。図1に開発を進めている食事搬送ロボットの概念図を示す。

本稿では、この食事搬送ロボットシステムに対する要求機能、各要素技術の構成、基本技術、作業手順などについて述べる。なお、本研究開発は、工業技術院の産業科学技

図1 食事搬送ロボットの概念図

原稿受付 1996年4月23日

キーワード: Manipulator, Mobile Robot, Autonomous Robot, Welfare

*¹〒806 北九州市八幡西区黒崎城石2-1*²〒211 川崎市中原区上小田中4丁目1-1*¹Yahatanishi-ku Kitakyushu-shi, Fukuoka*²Kamikodanaka Nakahara-ku Kawasaki-shi, Kanagawa

術研究開発制度（医療福祉機器技術研究開発）に基づき、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託により実施しているものである。

2. 食事搬送ロボットに必要な機能

食事の配膳・下膳業務を医療福祉施設内で円滑に行うために本食事搬送ロボットに求められる機能を以下に示す。

2.1 自律移動機能

食事搬送業務を機械化・自動化するうえで、ベルトコンベヤ等の大規模な搬送設備は施設の設計段階から導入を考慮する必要がある。しかし、医療福祉施設では、被介護者のベッド位置の変更が頻繁に行われるので、このような大規模な搬送設備では柔軟性に欠ける問題があり、費用も膨大になることから現実的な選択ではない。このため、自律移動可能なロボットに食事を搭載し、各ベッドサイドまで配達させる方法が有効となる。

一般的な搬送ロボットとして工場などで現在主流の軌道式自動搬送車（AGV）は床に反射・磁気テープ、誘導線等の敷設工事を要するので、ベッド位置の変更において別途の工事が求められ、病院・施設等にはコスト的に問題がある。また、搬送車の走行する廊下・居室内は、一般の患者・被介護者も歩行・車椅子等で生活する場であるため、障害物回避ができない軌道式自動搬送では、柔軟性に欠け無理がある。このため、食事搬送ロボットには無軌道走行、障害物回避動作が可能な自律移動機能が必要である。

2.2 マニピュレーション機能

厨房あるいは配送ワゴンからの食事取り込み、オーバベッドテーブルへの食事配膳等の動作を人手に頼っていたのでは省力化の意味がない。このため、ロード/アンロード機能も搬送ロボットに付加し、運搬・配膳・下膳の一連の動作が全て自律的に行えるようにする必要がある。ロード/アンロード装置には、例えば下膳時に食後のトレイの位置が一定位置にあるとは限らないことを考えると、トレイの位置を計測認識する技術および、多軸マニピュレータのような多くの自由度とロバスト性を有する機構が必要である。このマニピュレータはまた、人間と共棲する環境下で動作するための安全性を保證できるものでなければならない。

2.3 デザイン、ヒューマンインタフェース

これまでのロボットは工場などでの作業を行うため医療福祉施設等の環境に適合したデザインや操作性については、ほとんど考慮されていなかった。特に、福祉施設の場合、被介護者は、施設内が生活の場となるため、違和感のない、施設の環境に適合したデザインが求められる。また、看護・介護者など一般の人でも簡単にロボットを操作できるヒューマンインタフェース機能を実現する必要がある。

3. 食事搬送ロボットシステムの構成と基本技術

以上の機能を満たす、食事搬送ロボットシステムの基本システムブロック図を図2に示す。以下、本基本システムに対応した6つの装置の基本技術について述べる。

3.1 移動機構

各種搭載装置および食事を運搬することができる負荷能力を有する車輪駆動式で、バッテリーを搭載し、医療福祉施設内を無軌道で自律移動できる移動機構の開発を進めている。この移動機構の方向転換は本体中央に配置した2つの車輪を差動駆動することによって行われる。これにより、その場回転も可能にしている。さらに、ベッドサイドにおける食事配膳・下膳などの狭所での細かな動作に対応するためにステアリングモータを取り付けた駆動方式についても検討を行っている。

3.2 マニピュレータ

配送ワゴンからの食事トレイの移載およびオーバベッドテーブルへの配膳・下膳を行うためには、平均3[kg]程度の食事トレイを安全にかつ安定に短時間で作業できる必要がある。この作業に適切な方式として垂直方向に1自由度、水平面内に3自由度を持つスカラー型マニピュレータの開発を進めている。構成概要図を図3に示す。このマニピュレータには、動作中の人との接触時の安全性を確保するため、各関節軸にトルクリミッタが取り付けられており、機械的な滑りによって外界との接触時の過大な力を逃がすようになっている。現在、力センサなどのセンサ情報の利用による安全性の向上について検討を進めている。また、マニピュレータの基本動作についても、安全性および配膳時間の短縮を考慮して配膳・下膳時ともに図4に示すようにロボット本体内でマニピュレータが動作し、ロボットの両側から配膳できる方式について検討を行っている。

図2 基本システムブロック図

図3 小型軽量マニピュレータ構成概要図

図4 内部動作型マニピュレータの動作

3.3 環境計測認識装置

環境計測認識装置では、走行中に施設内でのロボットの位置の計測を行う自己位置計測、障害物回避を行うための障害物検出などの走行環境の計測認識および、配膳・下膳時の食事トレイの計測などのマニピュレーション環境の計測認識が必要である。このため、TVカメラなどの視覚センサからの画像情報を用いて、走行環境および、マニピュレーション環境の計測認識を行う環境計測認識装置の開発を進めている。

(a) 走行用環境計測認識装置

この環境計測認識装置では施設内という限られた環境に対して計測認識を行うので、対象を事前にテンプレート画像として登録し、このテンプレート画像とTVカメラから得られた画像とのマッチングをとる方法が有効である。そこで、画像内の局所領域とテンプレート画像との間で高速に相関演算を実行でき、実時間で画像内の対象の追跡が実行できるトラッキングビジョン[4][5]を本装置に適用する。図5に自己位置計測を行うために、本装置を用いて施設内の表示板などをランドマークとしてリアルタイムで検出している様子を示す。検出したランドマークをステレオ視により距離計測し、環境地図と照合することによりロボットは自己位置を確定できる。障害物検出に関しては床面が特徴がなく変化が少ないことを利用した障害物領域と床面領域の分離を行う方法について検討を行っている。

(b) マニピュレーション用環境計測認識装置

マニピュレーションのための環境計測としては、食事ト

図5 ランドマークの連続検出図

図6 トレイの検出図

レイの計測認識をトラッキングビジョンとステレオ視を組み合わせた方法で行う。図6にトラッキングビジョンを用いてトレイを認識するためにトレイコーナ部分の候補領域を抽出した例を示す。この方法では、大きさ・形が異なる多数のコーナのテンプレート画像を用いているためトレイの姿勢変化に対応できる。さらに、食事配膳業務の作業時間が朝昼夜であり、施設内の照明環境がその時々により変化するため、照明変化に対応した計測認識方式についても検討を進めている。また、被介護者の食事を識別するため、トレイのネームプレートも視覚により認識する方式を採用している。

3.4 情報提示装置

食事搬送ロボットと被介護者・介護者との間でのコミュニケーションやロボットへの指令の簡単化も重要な要素である。また、本ロボットには医療福祉施設に適合したデザインも求められている。このため、音声認識、音声合成、画像表示技術を用いて、被介護者および介護者との円滑な情報交換を行うことができる、人間との共棲に適したヒューマンインタフェース装置の開発および、医療福祉施設に

相応しいデザインについての検討を進めている。特に、被介護者との重要なコミュニケーション手段である音声認識では、ロボットと被介護者との距離が離れているうえ、雑音のある施設環境での音声の集音、認識を行うことが求められる。そこで、音声の高周波成分のみを用いればマイク指向性が向上すること、また高周波成分のみでも音声認識に支障がないことに着目し、マイクの前にいる介護者または被介護者の音声のみの集音、認識を行う方式の開発を進めている。

3.5 ナビゲーション走行装置

医療福祉施設における食事配膳業務では、被介護者の入退院に伴いベッド数・位置が頻繁に変更されることが多いため、食事配膳経路を容易に変更できる必要がある。また、環境計測認識装置（視覚センサ）からの障害物の情報に基づき滑らかな障害物回避経路を再計画し、安全にロボットを誘導制御する必要がある。このために経路計画および走行制御を柔軟に行えるナビゲーション走行装置の開発を進めている。

本ロボットは限られた医療福祉施設内を走行するため走行経路生成では施設内地図のブロック化を行いグラフ探索により目的値までの距離最短となる経路の生成を行う。環境計測認識装置からの障害物情報に基づいた回避経路再計画では、走行可能領域を分割後にグラフ探索し、滑らかな障害物回避経路を生成する[6]。ロボットはこの経路に沿ってジャイロ、超音波センサ、レーザセンサ等の各種センサ情報によりデッドレコニングの補正や視覚センサが検出できない近距離にある障害物の回避などを行いながら誘導制御される。

3.6 遠隔監視操作装置

環境計測認識装置のTVカメラ情報等から、ロボットの作業の進行状況や動作状態をナースステーションなどから監視し、ロボットが独自に対処できない不測の事態等においても人による簡易的な操作により作業に復帰させる必要がある。このためにロボットの状態監視および簡易操作が行える遠隔監視操作装置の開発を進めている。遠隔監視操作においてロボットの状態およびロボット周囲の状況を知ることは重要であり、これを無線LANシステムを用いた動画像/コマンド伝送により実現する。なお、医療福祉施設における無線LANなどの使用にあたっては周波数帯域、強度などが医療機器へ影響を与えないよう配慮することが重要である。

4. 作 業 手 順

以上の機能を用いた食事搬送ロボットシステムの食事の配膳・下膳時の基本的な作業手順を以下に示す。なお、この作業手順を実現することで、居室のベッドへの配膳だけでなく、医療福祉施設内で被介護者が食堂に集まり食事を

とる形態に対しても、このロボットはトレイを配送ワゴンから食卓上に配膳する作業にも適用できる。

(1) 配送ワゴンによる食事の搬送

人手により調理室からエレベータで配送ワゴンを各フロアの所定の位置に配置し、配置完了信号を伝送する。

(2) 食事搬送ロボットへの作業開始指令

配送ワゴン配置完了指令を受けて、ロボットへ被介護者のID、部屋番号などの必要なデータを転送し、作業開始指令を送る。

(3) 食事トレイの配送ワゴンからの移載

ロボットがホームステーション（待機場所）から配送ワゴンまで移動し、一部屋分の食事トレイを、マニピュレータで移載する。

(4) 各ベッドへの搬送

フロア的环境地図を基にランドマーク等を識別しながら目標の部屋の前まで障害物を回避して移動し、室内へ入りベッドサイドに移動する。ベッドに設けた被介護者のIDを確認し所定の食事トレイをオーバベッドテーブルに載せる。

(5) 全部屋への配膳

(3)、(4)を繰り返し、全部屋への配膳を行う。

(6) 食後のトレイ回収

一定時間後にロボットが各部屋を回り、音声などにより食事の終了を確認し、トレイをロボットに移載し、配送ワゴンに搬送する。

(7) 回収完了とホームステーションへの移動

全部屋の食事トレイを回収後、回収完了信号を送出する。ロボットは、ホームステーションに移動してバッテリー充電などを行い、次の作業に備える。

5. ま と め

本文では、食事搬送ロボットへの要求機能、食事搬送ロボットの構成・基本技術、実際の作業手順等について明らかにした。

高齢化・少子化社会を迎えるにあたって、質の高い、人間的な介護を行うために、定型・非介助作業などの間接業務のロボットによる自動化は重要である。本ロボットシステムは、今後、食事分野のみならず

① 洗濯物・薬品その他の施設内物品搬送作業

② 施設内の清掃作業への応用

③ 夜間見回り・監視への応用

など施設内の業務への応用が可能で、定型業務の省力化、3K対策として期待できる。また、感染症の患者に対する業務への利用についても医療現場より大きな期待が寄せられている。さらに、本食事搬送ロボットの研究で開発される人間協調ロボット技術は施設のみならず在宅を含め、広範囲な医療福祉ロボット分野への応用が可能である

と考えられる。

この食事搬送ロボットシステムは平成10年の完成を目指しており、各要素装置の設計・製作を行い、現場での評価を行う予定である。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、有用な資料ならびに有益なご意見を頂きました安川電機基礎研究所の下園課長、松熊研究員および富士通研究所パーソナルシステム研究所の司波主任研究員、マルチメディアシステム研究所神田研究員に感謝致します。

参 考 文 献

[1] 厚生省人口問題研究所：“日本の将来推計人口平成4年9月推計”，

(1992-03)。

- [2] Gordon I. Robertson: “HelpMate Delivery Robot Operaties Safely Amongst the General Public,” Proc. 22nd Int. Symp. on Ind. Robots 24-1, p. 12, 1991.
- [3] 松熊, 藤崎, 下園, 神田, 司波, 村上, 内山: “高齢者・障害者用食事搬送自動ロボットシステム”, 日本機械学会第73期通常総会講演会資料集(V), pp. 146-147, 1996.
- [4] 井上, 稲葉, 森, 立川: “局所相関演算に基づいた実時間ビジョンシステムの開発”, 日本ロボット学会誌, vol. 13, no. 1, pp. 134-140, 1995.
- [5] 内山, 沢崎, 青木, 森田, 稲本, 佐藤, 稲葉, 井上: “ビデオレートトラッキングビジョンの実用化”, 第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 345-346, 1994.
- [6] 沢崎, 石井, 内山: “月面移動探査機の自律走行方式と経路計画アルゴリズム”, 第7回知能移動ロボットシンポジウム講演論文集, pp. 136-141, 1994.

藤崎正昭 (Masaaki Fujisaki)

1942年4月18日生。1966年東京大学工学部卒業。同年4月より(株)安川電機勤務。電動機の開発・設計および生産技術にかかわり、現在、基礎研究所・ロボット第二研究室室長。トレイグジスタンス技術、サービスロボットの研究に従事。日本機械学会会員。

(日本ロボット学会正会員)

内山 隆 (Takashi Uchiyama)

1947年12月19日生。73年東京工業大学大学院修士課程修了。同年(株)富士通研究所に入社。ロボットの制御、視覚システム、プランニングの研究を行うとともに、極限作業ロボット・宇宙用ロボットの開発に従事。現在、マルチメディアシステム研究所・宇宙システム研究部長。工学博士。精密工学会、IEEEなどの会員。

(日本ロボット学会正会員)