解 説

欧州における福祉・医療関連機器の研究開発

—その1, 基礎研究編—

Survey of the Development of Assistive Apparatuses for Disabled Persons and Surgery in Europe
—Part 1, Fundamental Study—

岡田 徳次^{*1} 大鍋 寿一^{*1} 水口 文洋^{*2} 畠 中 規^{*3}

^{*1}新潟大学 ^{*2}海上保安大学校 ^{*3}横浜市総合リハビリテーションセンター

Tokuji Okada^{*1}, Hisaichi Ohnabe^{*1}, Fumihiro Mizuguchi^{*2} and Tadashi Hatakenaka^{*3}

^{*1}Niigata University ^{*2}Japan Coast Guard Academy ^{*3}Yokohama Rehabilitation Center

1. はじめに

ロボット技術が医療の分野にまで広がりつつある中で、外国技術がどのような方向性をもって展開しつつあるかを知ることは、今後のロボットの活躍場を展望する上で非常に重要である。筆者らは、欧州の福祉行政が行き届いた国（スウェーデン、デンマーク、イギリス、ドイツ）を訪ねて移動技術に特化した国際会議に参加し、また、大学の研究者と意見を交わし、さらに、リハビリテーション関連機器展に参加し、福祉・医療関連技術を調査した。以下、その中から注目すべきロボット技術を解説する。しかし、限られた紙面ですべてに触れることはできない。そこで、多くの内容を基礎研究編と応用研究編に、さらに応用研究編を車いすと階段昇降支援装置に分け、3回に分けて解説する。

本稿は第1回目としてロボット技術の基礎として、大学の研究事例をあげ、注目すべき技術を解説する。関連する日本の技術については文献[1]~[3]や訳本のハンドブック[4]、国際福祉機器展 HCR2001 (Home Care & Rehabilitation) の資料等に紹介されていることを記しておく。

2. 移動技術

高速移動を求めない限り脚や足を採用することでその場に適する様々な移動が可能になる。しかも、上下動関節の有無によって脚と足を区別できる。ヒューマノイドロボットは、移動手段を2足に特化するため、重心移動の検出と制御が転倒防止に不可欠である。日本は、ASIMO, SDR, ISAMU 等の愛称をもつロボットの動きによって世界に先がけて転倒防止用の綱をなくして自ら歩けることを実証し

たが、そこに至るまでには足の制御のほかに足首部の構造や足裏弾力の設計に多くの困難があったと考えられる。

このような取り組みは欧州にもある[5]。ここでは、国際会議 CLAWAR (Climbing and walking robots) に併設された展示コーナーの目玉的存在であったミュンヘン工大のヒューマノイドロボット、愛称 Johnnie [6] について述べる。このロボットの外観は身長 1.8 [m] の人間と見てよい。本稿は、歩行技術に着目するのでその下肢部を図1に示す。足首は、図2のように頸骨部にユニバーサル関節で結合する。着地部は、上板と下板で構成され、その間に着地時の衝撃力を吸収するダンパが挿入される。このダンパは、センサ情報の処理時間や制御系の遅れ時間の解決にも役立てられる。下板の角に丸みがあり、これで着地時と引き上げ時の足を滑らかに回転可能にする。

また、足の感覚として、板の上下間に6自由度力センサ、

図1 ジョニー (Johnnie) の足部外観

原稿受付 2002年5月2日

キーワード: Assistive Technology, Disabled Persons, Rehabilitation, Mechatronics, RAID

^{*1}〒950-2181 新潟市五十嵐 2-8050

^{*2}〒737-8512 呉市若葉町 5-1

^{*3}〒222-0035 横浜市港北区鳥山町 1770

^{*1}Niigata-shi, Niigata

^{*2}Kure-shi, Hiroshima

^{*3}Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa

三つの直線変位センサ, 着地角センサを備える. 三つの直線変位センサは上板に対する下板の傾きを計測する. 人間の足裏感覚がつま先において鋭く, 踵において極めて鈍いことを考えれば, 変位センサ数が前後で違う理由が分かる. 歩行動作は非常に遅く, 転倒防止用の綱が繋がれていることから未だ完全に自立して歩行するまでには至っていない.

要素技術については, 1985年の筑波万博で話題になったゴム人工筋がヒューマノイドロボットの足駆動用アクチュエータとして研究されている. 空圧チューブを人工筋にして足腰を動かすサルフォード大学の2足ロボットである(図3参照). 具体的に, チューブを配置する足構造やチューブ内圧の制御に関するメカトロニクス技術の開発を目標とし, 1脚で立つときの遊脚を含める足底関節の制御について検討している[7]. 即応性の向上は本質的に困難であるが, 足動作が遅いことを問題にしなければ, ロボットの重量対出力比を電気モータに比べて大きくできる魅力があり, これをヒューマノイドロボットに応用する考えは理解できる. 小型軽量のコンプレッサーを容易に入手できる現在, 警護ロボットや威嚇ロボットのように大きな力を必要とするロボッ

図2 センサを有するジョニーの足底部

図3 サルフォード大の空圧2本足

トに活かす効果はあるかもしれない.

3. 歩行支援技術

ほとんど歩けない人のために車いすがある. これについては, シリーズ第2回目で詳しく述べる. ここでは, 歩行器, 車いす, 義足のいずれでもなく, 足の力の低下を補強し, また, 乱れた足取りを正常に戻す等に役立つ支援技術としての外骨格補装具を解説する.

足筋力の少々の低下で車いすに乗ってしまえば, 筋力の低下は益々進む. もし, 手の振りに合わせて乗せた足を動かす装置があれば, 杖さばきを利用して歩行できる. 日本ではこのような装置の開発は少ないように思われる. エジンバラの北約100[km]の港町DUNDYにあるABERTAY DUNDY大の歩行ロボットは, 自ら歩くことはない. 下肢麻痺者が伸縮自在の人工脚(Telescopic leg)に足を乗せ, あるいはこれを履き, 正常な上肢で松葉杖(Crutches)をついて歩くための外骨格(Exoskeleton)として機能する[8].

図4は, 動きのシミュレーションに使われる松葉杖を含めた外骨格モデルを示す. ただし, 中央部は下肢麻痺の人間モデルである. 左右の外骨格は, 膝に相当する屈曲関節をもたず伸縮させるだけで床面を交互に転がり移動する. このため, 腰部のモータが前後方向の移動に必要な力を発生する. これが大きな特徴である. 実験装置は実物の1/4である. 手足の運動は同相歩容(Ipsilateral gait)と逆相歩容(Contralateral gait)のどちらかに分かれ, 使う人の歩き方に合わせて外骨格を制御する必要がある. 足を載せるブーツと外骨格モデルの外観は図5の通りで, 研究は, シミュレーションの段階であるが, 数年後には歩行を支援する有効な手段になると思われる. 実際に人が乗る姿は, 子

図4 杖をもつ外骨格モデル

図5 データ入力用ブーツと外骨格モデルの外観

供が親から足の力を借りて親と一緒にスキー板の前に交互に進めるしぐさによく似ている。

4. 福祉関連用具

福祉王国スウェーデンの Lund 大学 (Lund Univ.) にはエフリング博士 (H. Efring) を中心として障害者を支援する技術の教育と研究を行う組織 CERTEC (Center for Rehabilitation Engineering Research) がある。以下、この組織が目指す目標、実際に取り組んだ用具、今後の取り組み内容等について述べる。

CERTEC は 20 名弱の教職員を抱え、およそ 1.4 億円の年間予算で約 8 名の博士コース学生を指導する。目標は、用具作りに役立つ設計思想を新たに構築し、また、少しでも活かせる力を引き出し、個人に適する学習法、訓練法、達成法を見出し、先天的にあるいは後天的に身体の一部機能が正常に働かなくても、人間として満足して生活できる機会をもつための支援技術の研究開発にある。その開発においては利用価値についての十分な検討が必要で、ユーザの強い要求を最優先させねばならない。すなわち、似たように製作されて使われてもユーザが真に満足できるものでなければ利用価値はないとの考えに立っている。

これまでに寝たきり女性用の尿瓶を CERTEC-bottle として実用化し、その形と製法の特許として登録している。ほかにも使う不便をなくすため、靴下、乳瓶、ブラシ、ハサミ、食器、温度計突きフライパン等のシンプルな用具を特別に考え出している。彼らはこれらをローテクと呼んでいる。時間の感覚には色が有効であるとも話している。事実、時間の経過を状況の逼迫度と見なし、水色、緑、黄、赤に変える装置を開発し、これが非常に喜ばれている。似た発想ではかにも部屋の特定な箇所を見て病院のような大きな

建物内の居場所を認識させる研究が計画されている。

ハイテクと呼ぶものもある。視覚障害者がコンピュータに向かって情景の画面を理解しやすくするハプティックインターフェースと呼ばれる支援技術である。人は、スクリーン上の三次元情景を経験に基づく距離感をもって感覚できるが、視覚障害者は視差情報を欠くため奥行きを感覚できない。仮に、それが立方体でもどの向きにあるか、また、積み木かスポンジかを見分けられない。しかし、手や指の動きを活かせる状況であれば、皮膚から力感覚を得られる。そこで、映像画面を触空間に変換しておき、障害者が、接触子を手にもって何もない触空間をこつこつと探索することにより奥行きや硬軟を感じ、探索範囲を周囲に広げていくうちに全体を把握できる。接触子は、人によって動かされる 6DOF マニピュレータに過ぎないが、画面情報を基に奥行き感覚を硬さで表現する。障害者がこの臨場感生成技術によせる期待は大である。

5. 医療用具関連プロジェクト

医療用具は工学技術で一方的に開発できるものでなく、臨床医との共同で開発されるのが一般的である。例えば、DUNDEE 大、機械工学科の Jim Hewit 教授のグループでは医学部や Ninewells Hospital (Scotland) と共同して外科手術を支援するシステムや装置、道具の開発に当たっている。大学と病院間に研究協力を進める機関 MERIT (Medical Engineering Research Institute) が特別に設置されている。限られた紙数であるので同グループが関わるプロジェクトの概要と予算を以下に記すに留める。ただし、すべての予算は 3 年間の合計である。

- ① ACCOST (Access-optimised Transanal Surgery) 限られた広さの穴 (Keyhole) から種々の用具や道具を挿入して患部を炭酸ガス等で膨張させ、内部を治療する技術の開発 (直腸癌等が対象); 約 4,500 万円。
- ② DUMAS (Dundee University Minimal Access Surgery Assistant) 患部空間に作業手を挿入するスマートなロボットの設計や制御、および医師が着用する HMD や指先用マウス、レーザポインティングシステム等の開発研究; 約 2,800 万円。不確かさを会話通信でなくするのが目標。
- ③ MASEIC (Microwave Ablation of Liver Cancer) マイクロ波による肝臓癌切除を目的とするエジンバラ大学との共同研究; 約 3,300 万円。マイクロ波エネルギーをいかに絞って標的に集中させるかが課題の核心で、シールド板を使わないのが特徴。
- ④ PATOMAS-a (Palpation Tool for Minimal Access Surgery) 時間短縮のための触診処置用具の開発; 約 4,500 万円。その日入院その日退院が目標。
- ⑤ PATOMAS-b (Palpation for Breast Cancer) 乳癌切除のための触診処置技術の開発; 約 4,500 万円。加振機

と硬さ入力センサ, およびその信号処理が主題.

⑥OSTEO (Osteotomy Robot) 整骨ロボットの開発; 約 2,700 万円, 以前は整形 (外科) ロボット Orthopaedics Robot と呼ばれていた. 骨以外の組織を傷付けず, また, 熱発生を抑えて, 温度, 振動, 切削厚等を検知しながら, 例えば骨のみを切るスマート鋸や歯ぶれの無いドリルを開発するのが目標.

以上の予算のほとんどは英国科学技術機関 OST (Office of Science and Technology) にある七つの研究資金プログラム中の EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council) や MRC (Medical Research Council) から出ている. 以上のプロジェクト概要から取り組まれている開発技術を想像することは難しくない.

6. 生活支援マニピュレータ

生活を支援するロボットには据え付け型と車いす搭載型とがある. これらは, RAID (Robot for Assisting the Integration of the Disabled) と呼ばれる. 据え付け型 RAID は, 欧州プロジェクト TIDE (Technology Initiative for Disabled and Elderly People) の一部として 1994 年に立ち上げられた EPI-RAID (Evaluation of Prototype and Improvement to RAID Workstation) で取り上げられている. エフリング教授は, スウェーデン国側として英国, 仏国と共同してこの研究に参加し, ページ捲りロボットの開発に当たっている [9].

欧州では車いす搭載型 RAID として Hand のラテン語 MANUS を愛称とするマニピュレータ (図 6 参照) が広く使われている. ただし, 同図は折り畳まれた状態を示す. 図 7 はその関節構成を示す. これは, オランダで製造され, CERTEC でその制御プログラムが組まれた [10]. その仕様

図 6 折り畳まれたマニピュレータ MANUS

は, 重量: 20 [kg], 最大可搬重量: 2 [kg], 最大握力: 2 [kg] である. キーパッド, もしくはジョイスティックからの指令で作動し, 手を離すと動作を即刻停止する. 全方向において MANUS の力に差がなく, 補助者の腕力で動きは停まり危険を回避する. 二つの同時指令は無効である. 停電でもグリッパの状態は保持される.

MANUS を車いすに付けたユーザは, 1 日 3~4 時間の練習で 2 日後には使いこなせるまでになる. 人によっては顎で指令を与えている. 摂食動作に限らず, 台所の棚, 冷蔵庫の扉, 水蛇口等の開閉, 棚からテーブルへのコップの取り出し, 水差しポットの掴みと注ぎ等にも使われている. 使い慣れたユーザは, ビデオテープをデッキに挿入し, あるいは棚から本を取りテーブルや膝の上に置くこともできる.

MANUS は, 1996 年 7 月から 2 年間をかけた欧州プロジェクト RAIL (Robotic Aid to Independent Living) において, 洗面, ひげ剃り, 歯磨き等の作業を実現するためのトレイの操作に Handy 1 として応用された. これに関係した Lund 大の Gunnar Bolmsjoe 教授は現在 RAIL を発展させる研究に取り組んでいる. このプロジェクトは調査研究 [11] の段階という理由で, 車いすと一体となって作業をする MANUS の動きを見れる状況になかったが, コンピュータアニメーションでその内容を知ることができる. この研究は MATS (Mechatronic Assisting System) と呼ばれ, カメラやジャイロ, 手先力感覚センサ等をロボット用センサとして沢山取り付け, 得られる情報を車いすとマニピュレータの自律化に活かす計画になっている.

7. おわりに

欧州におけるヒューマノイドロボットへの取り組み状況を解説した. また, 障害者の日常生活や作業を支援する福祉用具の例や医療用具の開発に関わる研究やプロジェクトについて解説した. 2 足歩行ロボットには, 転倒時に自力

図 7 6 動作自由度 MANUS の関節構成

で起きあがる技術が不可欠で、その研究が日本ではすでに始まっているが、欧州ではまだのように思える。

車いす搭載型 RAID は、ケーブル類をすべて内部に収納して作業の邪魔物を一切なくし、非常にコンパクトに設計されている。飲み物の注ぎ、食膳の準備や片づけ等の作業にすでに 60 を超す台数が使われていると報告されている。しかし、高価である（およそ 40,000 ユーロ）、1 日平均で 2 時間しか使えない、車いす改造時の取り外しが難しい等が問題とされている。このため、Handy 1 の開発に当たったイギリスの Staffordshire 大学の Mike Topping が中心となって、ヨーロッパのパートナーを集めたコンソーシアムを作り、多機能汎用サービスロボットの開発計画を進めている。Flexibot システムである。この計画の概要は文献 [11] にも紹介されており、その成果に注目したい。

研究予算確保のためには現実的な研究内容に傾くのはいずとも同じであるが、欧州では概して地味で堅実な方法を採用していると感じられる。企業からの外部資金の占める割合が高く、政府や欧州の資金援助も大きい。獲得した予算で有能な研究者を外から雇い、雇用される側も次のステップにつなげる新たな考えを出す、という体制がよく機能している。それゆえ、研究者の移動は避けられない事実になっている。

最後に、解説した内容は科学研究補助金基盤研究 (B)(1) No.12574002 の補助を受けて実施した調査研究結果の一部

であることを記しておく。

参 考 文 献

- [1] 齊藤：“就労支援ロボットの現状と課題”，日本ロボット学会誌，vol.11，no.5，pp.639-643，1993.
- [2] 米田，舟久保：“車いす・歩行介助装置の現状と課題”，日本ロボット学会誌，vol.11，no.5，pp.644-648，1993.
- [3] 手嶋：“高齢者用福祉ロボットの現状と将来”，精密工学会誌，vol.65，no.4，pp.507-511，1999.
- [4] R.A. Cooper: Wheelchair Selection and Configuration (田中，大鍋，監訳；車いすのヒューマンデザイン). 医学書院，pp.86-124，2000.
- [5] B. Espiau: “Stability Issues in the Control of Anthropomorphic Biped Robots,” ERCIM(European Research Consortium for Informatics and Mathematics) NEWS, no.42, pp.37-38, 2000.
- [6] M. Gienger, K. Loeffler and F. Pfeiffer: “Design and sensor system of a biped robot,” Proc. of CLAWAR’2001, pp.205-212, 2001.
- [7] P. Artrit and D.G. Caldwell: “Single support balancing of a pneumatic biped,” Proc. of CLAWAR’2001, pp.835-842, 2001.
- [8] C.A. Acosta Marquez and D.A. Bradley: “An Intelligent Exoskeletal Aid for Gait Assistance,” Proc. Of CLAWAR’2001, pp.55-62, 2001.
- [9] H. Eftiring: “The Useworthiness of Robots for People with Physical Disabilities,” Doctoral Dissertation CERTEC, LTH, no. 1, 1999.
- [10] H.H. Kwee: “Integrated Control of MANUS Manipulator and Wheelchair Enhanced by Environmental Docking,” J. of Robotica, vol.16, pp.491-498, 1998.
- [11] M. Topping: “Flexibot—A Multi-Functional General Purpose Service Robot,” J. of Industrial Robot, vol.28, no.5, pp.395-400, 2001.

岡田徳次 (Tokuji Okada)

1947 年 3 月 5 日生。1969 年，新潟大学工学部電気工学科卒業。同年 旧通商産業省工業技術院電子技術総合研究所に入所。知能ロボットシステムの研究に従事。1982～83 年カーネギメロン大学客員研究員，1987 年 7 月新潟大学工学部。現在 福祉人間工学科教授。工学博士。その間 1988～1989，1999 年カールスルーエ大学客員研究員，ロボティクス，メカトロニクス，インテリジェントセンサ等の研究に従事。計測自動制御学会，日本機械学会，電子情報通信学会，IEEE ほかの会員。(日本ロボット学会正会員)

大鍋寿一 (Hisaichi Ohnabe)

1938 年 4 月 10 日生。1962 年，海上保安大学校機関科卒業。同年 IHI 石川島播磨重工 (株) 入社。船用蒸気タービンの基本設計に従事。1968 年，デラウェア大学へフルブライト留学，1975 年同大学にて Ph.D. 取得。引き続き IHI 技術研究所にて構造強度，航空宇宙事業本部にて航空用エンジンの研究開発に従事。1998 年 4 月，新潟大学工学部，車いす等福祉機器の研究に従事。現在 福祉人間工学科教授。日本機械学会，日本複合材料学会，日本航空宇宙学会，日本生活支援工学会ほかの会員。

水口文洋 (Fumihiko Mizuguchi)

1949 年 8 月 2 日生。1972 年，海上保安大学校機関科卒業。1976 年，広島大学工学研究科修士課程修了。船艇勤務後 1978 年 4 月海上保安大学校機械工学講座。現在 機械工学講座教授。車いすの動特性等の研究に従事。日本設計工学会等の会員。

畠中 規 (Tadashi Hatakenaka)

1960 年 11 月 18 日生。1987 年，東京都立大学大学院電子工学専攻修士課程修了。1993 年カリフォルニア州立大学サクラメント校，生体医用工学専攻修士課程修了。同年横浜市総合リハビリテーションセンター入社。企画研究室に勤務，障害のある方がコンピュータや様々な生活支援機器を操作するための入力装置の研究に従事。電子情報通信学会および日本リハビリテーション工学協会会員。