

生活を支援する技術としてのロボット工学

Robotics as an assistive technology

太田裕治

Yuji OHTA

(お茶の水女子大学生活科学部)

1. はじめに

従来ロボットといえば、自動車溶接ロボットの映像に代表されるように工場の中で働く産業ロボットを指し、製造ラインで予め決められた動作プログラムをひたすら繰り返すものであった。そこでは人間とロボットの働く領域は明確に分離されており、万一ロボットが動作プログラムの異常により故障しても、接触によりロボットが人間を傷つけることがないように考えられていた。つまりロボットと人間の領域は完全に分離する方向で開発が進められてきた。

これに対し近年、ロボットを製造現場ではなく我々の身の回りに導入しようとする動きが盛んになってきている。その理由は、ロボットの持つ正確性、繰り返し作業能力にあることは言うまでもないが、それ以外に社会的経済的要因に拠るところも多い。以下本稿では具体例をあげながらロボット技術の導入状況を述べる。

2. 外科手術への応用

どのロボット導入事例についても言えることであるが、ロボットを身の回りで利用するとなると、ロボットは当然人間に接触しなければならない。ところが上で述べたように従来のロボットでは安全面を最大に考慮し、人間とロボットを完全に分離する設計方針であったため、人間と共存し、人間に接触して仕事を行うロボット開発のためには安全性等に関し設計思想の転換が必要であった。とくに外科手術のような人命に直接関わるロボットでは機構やアクチュエータ(モータ)そのものから設計方針を考え直さねばならなかったため手術ロボットの開発には時間を要

したが、コンピュータ工学やロボット工学の進歩により徐々にロボット手術の導入が進められ、現在では開胸手術、消化器外科手術などに応用され始めてきている。

腹腔内手術ロボット

腹腔とは様々な臓器が収まっている腹部スペースをさし、この腹腔内の臓器を手術するためのロボットが開発されている。具体的には図1に示すように、まずこの腹腔に小孔を数カ所開けて金属パイプを挿入し腹部の表皮全体を持ち上げる。次にこの状態でパイプに図で示したようなごく細いロボットの先端(ロボットアーム)を挿入し臓器をハンドリングし各種の外科手術を行う。超小型の CCD カメラをアームの先端に取り付けて内部構造の観察を行うとともに、別途、アーム先端に小さな手術器具を固定し、微細な切開切除、縫合、止血を行う。操作はすべて術者(医師)が行う。

このロボット手術を従来の用手的術式と比較すると、CCD カメラ映像を見ながらの手術は

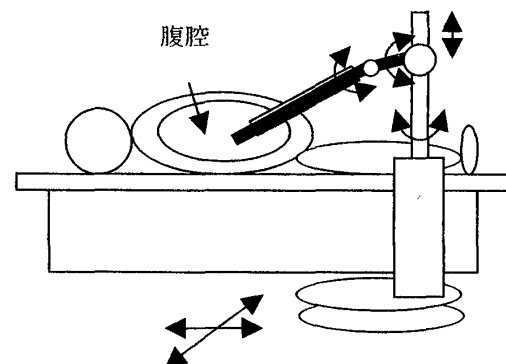


図1 ロボットによる腹腔内手術

外科医にとっては人間工学的に決して楽とは言えない。しかし患者にとってみれば、切開量が少なく術後の跡が目立たない、また切開量が少なければ出血も痛みも少ないといったメリットがあり、以前では体力が無いために実施できなかった大がかりな手術が小児、高齢者にも適用可能となり手術治療の可能性が大きく開けたといえる。同時に患者負担の軽減により術後回復も早まり、入院期間は短縮され早々に社会復帰が可能となる、いわゆる”日帰り手術”も十分可能となる。これは病院経営の面から見ても、財政の医療費負担軽減の面からも大きなメリットが期待できる。つまり低侵襲手術は患者側のためでもあり、社会全体のためにもなる方法といえる。現在の工学的な開発課題としては、生体組織をつかむ感触をいかに適切に外科医に伝えるかという技術や、また患部の画像を見ながら遠隔地から共同で手術を行う遠隔手術などがある。

脳手術ロボット

脳の手術の場合も腹腔手術ロボット同様に様々なロボットが開発されてきている。ただし脳手術の場合は腹部手術とは異なる問題がある。それは脳の表面にある大脳皮質機能野である。この皮質には、運動、感覚、視覚といった人間の様々な重要機能を司る部位が局在しているため、手術に際してダメージを与えることは極力避けなければならない。しかし用手的な方法では、脳組織の深部に到達するためには表面をある程度削りとらざるを得ない。これでは手術が成功しても患者の脳機能に障害が残る可能性があり、手術後の患者の QOL (Quality of life, 生活・人生の質の意味) を考えた場合に問題が残る。

これに対し図2に示す脳手術用穿刺ロボットが提案されている。これは外科医の手に代わり極く細い針を脳内の患部に到達させ、吸引やレーザー照射などの方法で患部の除去を行うも

のである。この方法によれば手術に際して頭蓋骨を大きく切除し脳全体(半球程度)を開ける必要がなく、針が通過するためのごく小さい孔を開ければ十分なので、脳表面の機能野の損傷を最小限にとどめることができる。患部に針先を正確に到達させる技術に関しては、近年普及の著しい X 線 CT (Computed Tomography) や MRI (Magnetic Resonance Imaging) 等の画像撮影装置により術前に患部の3次元位置が計測可能であり、実際に図2に示すロボットではそのデータに基づいて、針の位置や方向を6つのモータとコンピュータにより正確にコントロールしながら、1mm 以下の精度で正しく患部に誘導させることが可能である。針を進める経路についても大きな血管、重要な機能部位を避ける方向を計算により精密に求めている。

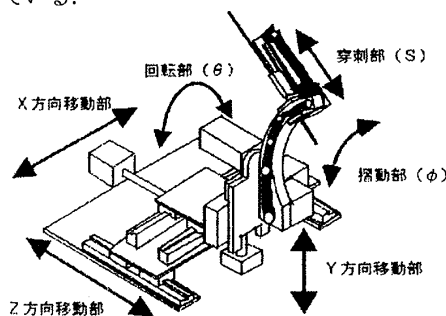


図2 脳手術用穿刺ロボット (土肥, 山内)

3. 移動能力を支援するロボット技術

次に生活(福祉)の分野においてロボット技術がどのように応用されているかを紹介したい。広く言われているように、わが国の人口動態は現在、急激な転換期を迎えている。高齢化率は今後 50 年間上昇を続けることが予測されており、さらに少子化に伴って高齢者を介助する人口は相対的に減少すると見られる。従って、今後は高齢者・障害者が残存機能を出来る限り使って、なるべく自立した生活を営むことが求められる。これはもちろん QOL の観点からも望ましいことである。従って、自立生活を支援する

機器や、社会参加を促進するための機器（福祉機器）の開発が急がれる。ユーザの QOL を高め積極的な社会参加を促進するためには、まずユーザが移動手段を確保することが必須である。

移動支援技術の代表は車椅子であるが、単に移動だけではなくスポーツ用など多種多様なタイプが市販されている。近年ではロボット技術を利用したパワーアシスト機能（自転車などによく利用されている）を備えた移動支援機器の開発が盛んである。日本では介護される側もする側も高齢者である場合（夫婦同士の場合など）が多いためパワーアシスト技術に対する潜在的需要は高いと考えられている。

また、ジョンソン・エンド・ジョンソン社からは新しいタイプの電動移動機器が開発・販売されている（図3）。これは通常の電動車いすと同様にキャスターと後輪で走行するが、四輪駆動により砂地、砂利道、坂道も走行可能であり、座面を水平に保ちながら道路の縁石などの段差も超えることが可能である。また制御技術により2輪で安定した自立姿勢を取る事が可能で、ユーザが座った状態のまま移動できるため、高い場所にあるものを取り上げることや、立っている人と同じ目線で会話をすることが可能となる。さらに自力または介助者の助力を得て、階段を昇り降りすることも可能である。



図3 新しい移動支援機器（ジョンソン・エンド・ジョンソン社）

現在、著者らは移動支援機器の一つとして、脊髄損傷患者用の歩行補助装具の開発を国立身体障害者リハビリテーションセンターと共同で進めている。脊髄とは脳から伸びた神経束であり、脳から末梢への命令並びに末梢からの信号は全てこの経路を通過する。正常では頑丈な背骨に守られているが、交通事故、労働災害、スポーツなどにより脊髄を切断損傷すると損傷部位から下の機能は失われ、残りの生涯を車椅子の上で過ごさねばならなくなる。しかし、車椅子のみに頼り歩行を断念すれば精神的にも肉体的にも様々な弊害を免れることはできない。ここでは対麻痺（下半身麻痺）の患者を対象に、車椅子との併用を想定して日常的に利用できる補助具の研究を進めている。図4に装具の概念図を示す。市販の装具は使用時に膝が曲がらないため足底と床の間の距離（foot-floor clearance）が少なく歩きにくいという欠点がある。この膝裏部分にリンク機構を組み込み、リニアアクチュエータ（直線運動するモータ）を用いて駆動させることにより、最大70度まで膝関節の屈曲伸張運動を実現した。現在、ユーザを対象に実機を試作し、動作分析等のデータをもとに最適設計に関して検討を進めている。

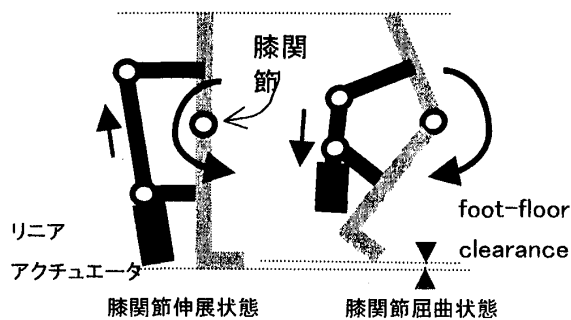


図4 歩行補助装具（リンク機構の導入により膝関節を回転可能にする）

4. ペットロボットによる生活支援技術

AIBO (Sony 株) の登場により現在様々なペット型ロボットが販売されているが、この技術を

高齢者の生活の支援に役立つ試みが行われている。たとえば、ペットロボットに生体情報の計測機能を持たせることで、基本的な生理機能データを収集し情報ネットワークを經由して健康管理を行う試みも進められている。その場合は小型の信号計測装置が必要となるが、たとえば苗村らは日常の生活における複数の生体データを記録したいというニーズにもとづいて、ウェアラブルなデータロガー(データ収集機器)を開発している。それによると生体情報(心電図、体動3軸加速度、姿勢)、環境情報、GPS (Global Positioning System)による位置情報など8つの信号を小型のハードディスクに記録可能であり、リチウム電池の使用で1時間以上の連続使用ができる。大きさは、13.5 cm x 8.5 cm x 2.8 cm、重さは260gである。今後の各種生体計測の利用に期待できよう。

また、ペットロボットの特徴を生かして精神面での支援も可能であろう。実際に従来より痴呆性高齢者を対象に乳幼児の外観をした人形を用いた治療が行われており、施設における重度痴呆性高齢者の精神的な安定を保つことを目的に応用されている。病院での実際の導入ケースからは乳児を扱うような自然な介護動作や柔和な表情が誘発されることが分かってきており、情緒的な安定を保つ施設ケア用具として有用性が期待されている。このことから人形療法同様にペットロボットの“癒し”効果なども今後、積極的に研究や開発が進められていくものと考えられる。

5. おわりに

本稿では現在積極的に進められているロボット技術の生活分野への導入事例に関して、外科手術と福祉分野の事例を紹介した。産業用機器とは異なり、医療福祉用のロボット設計は困難な点が多い。人間の生命と生活に密着する形で機能を発揮しなくてはならないため、その機構やソフトウェアには特別な設計が要求されるためである。その駆動範囲や発生力は安

全性を十分に考慮して適切な範囲に制限されるべきであり、また機械と人間の接点となるインタフェースに関しても安全面や人間工学・認知工学的側面に十分配慮しなければならない。

我が国はロボット技術が諸外国と比較し従来より強く、また、鉄腕アトム、ロボカップなどロボット文化になじみが深いため、今後、社会の様々な分野へロボット技術の導入が進んでいくと考えられるが、ロボットが本稿で述べたような人間的な分野に導入されることに対しては議論も多い。患者から、“ロボットには手術されたくない、やはり人間である外科医に手術してもらいたい”という意見はよく耳にする。これは誤解であり、ロボットが判断も含め単独で手術することは決してなく(技術的に不可能)、医師の判断の下に全操作が行われる。あくまで高級手術器具の一つと考えれば良い。一方、福祉分野ではロボット介護は非人間的であるという否定的な意見がよく見られた。これに対しては、(1)手術ロボット同様にロボットが全て行えるということはない。介護作業に関してはロボットが物理的な支援(力が必要な作業)を担当し、その肉体的負担が減った分、介助者は精神的介助作業に振り向ける余裕が生じる、(2)ロボットのほうが気兼ねが無く良い、と考える被介護者や作業内容(食事・排泄など)もあろう、(3)人口動態の変化、財政問題から今後はロボット技術を導入せざるを得ない状況が生じる、等、ロボット導入によるプラス面を評価すべきと考えている。実際にはこういった作業をこなすロボットの設計技術は工学的に未知の領域である。個々のケースを十二分に考えて一つ一つ設計・開発・評価することが重要といえる。特に福祉用機器では、技術があまり全面に出ることは好ましくない。あくまでユーザをうしろからそっと支える、といった感覚が肝要と考えている。