自立支援と介護支援におけるロボット技術

斎藤之男**

Robotic Technology for Self-support and Nursing Support / Yukio SAITO
Key words nursing robotic, technical aids, rehabilitation robot

1. は し め に

1989年から2000年の間に増加する日本の労働力人口は460万人のうち半数が60歳以上と推定されている。日本の労働人口の高齢化には、生きがいを仕事に求め就労意欲旺盛である一方、欧米諸国では、高い失業率、年金などの社会保障制度がもたらす意欲の喪失の影響など、高齢化に対するその違いには欧米諸国と比べると著しい数値が見られる(表1)。

団塊の世代が高齢期に達してからでは遅すぎる問題が二つある。その一つは老化の問題であり、他の一つは老化の予防である。

21世紀では労働時間の短縮や勤務時間の弾力化は今以上に進むものの、寝たきり老人を抱えながら仕事に携わる者、体力の衰えからいつ転倒して骨折するかわからないと心配する高齢者は多くなるであろう。

本稿では老化の予防となる自立のための技術支援と寝たきり老人となった際の介護のロボット技術支援による可能性を検討していきたい。

2. 自立支援と介護支援

「平成元年老人保険施設調査老人保険施設報告書」(厚生統計協会)によれば、日常生活動作の介助の割

合は次の通りである。

	(入所者)	(通所者)
入浴要介助	90.0%	70.1%
着脱衣要介助	71.7%	39.6%
歩行要介助	59.9%	47.6%
トイレ要介助	56.5%	16.8%
起立要介助	42.8%	28.6%
食事要介助	24.6%	13.8%

入所者と保険施設に通う通所者としては介助の必要性に差があることに注意されたい。

2.1 高齢者に対する技術支援とは

四肢麻痺などの身体障害者と高齢者とは介助・介護に差がある。高齢者の場合は、まず体力の衰えから機能の適応範囲が狭くなる。そのため通常は、補聴器に代表されるように聴力障害を補綴することである。

高齢者は平行機能が低下すると共に、筋力の低下、環境変化に対する適応能力の低下、さらに、応答性の低下から転倒の危険度が高くなる。

高齢者に対する技術支援とは、まず機能低下を防止

表1 男子高齢者の労働力率の比較(1987年 OECD)
(%)

* 原稿受付 平成5年3月17日

** 正会員 東京電機大学(埼玉県比企郡鳩山町石坂)

1973年東京電機大学大学院工学研究科博士課程満期退学、工学博士 ロボット工学、リハビリテーション工学、画像応用などの研究に従事 特に医学と工学の協調と機器開発に力を入れている

するサポートに始まる。これまでに検討されている介助・介護ロボットは、ロボットによる技術支援として次のように区別され考えられている¹⁾。

1) リハビリロボット

高齢者の機能回復を目的に特殊機能を備えたロボットであり、しかし生活の支援を目的とするものではない。主に病院や訓練センター、スポーツセンターなどで用いられ、セラピストや指導者の直接的な指導のもとに使用される。家庭での使用はその変形であり、訓練を受けたケースワーカーや家族の一員によって使用することができる。

リハビリロボットとしての対象は、

- ・自然歩行訓練（バランスの補助、転倒防止、階段の昇降補助、不整地の歩行補助など）
- ・腕の作業領域拡大訓練と筋力トレーニング（指先の微細作業訓練、動作領域拡大訓練など）
- ・体幹の直立バランス訓練（ポスチャコントロールシステムなど）
- ・有酸素運動を目的とした訓練（トレッドミルや自転車エルゴメータの応用など）
- ・思考能力の訓練（言語訓練と視覚、聴覚との組合せによるトータルシステム）

2) 介助ロボット

介助ロボットは障害者、高齢者の意志により直接操作するものであり、自己の生活に必要な機能動作を実現し、介助者の援助を必要としなくなるか、または介助者の作業を軽減するような技術支援ロボット、簡単に区別すれば「アシスト」を行うロボットである。

介助ロボットとしては支援の機能と程度により種々の形式が必要となる。

- ・上肢機能支援（動力装具、電動ハンド、電動アームなどの応用）
- ・下肢機能支援（動力下肢装具、電動車いすの利用、階段昇降支援、歩行支援専用機など）
- ・四肢機能支援（電動アーム付き車いす、走行ユニット付電動アームなど）

3) 介護ロボット

身障者、高齢者が直接ロボットの操作をすることはなく、単一な操作によりロボットは駆動・停止し、生活の一部を援助するロボットであり、簡単に区別すれば「ケア」を行うロボットである。操作者は、付添いの者として家族の者であり、介護者の負担（力、作業時間）を軽減することを目的とする。

- ・入浴介助・介護支援
- ・体位交換補助支援
- ・身体移動補助支援など

4) 看護補助機器

ロボットとしての機能には欠けるが、身障者、高齢者の残存機能を生かし、または外部操作により不足機能を外部動力によりサポートする機器、器具である。時には、一般に使用されている機器に対し身障者・高齢者の操作を助長する機能を付加した生活補助機器。

- ・上肢動力増倍機（動力装具とすることで一部の萎縮した機能を補うなど）
- ・下肢機能増倍機（動力補装具として歩行機能を助長し転倒防止などの役目を持つ）
- ・生活補助機器（日常生活の汎用品にセンサや駆動機構を付加することで安全性確保、非常時の対応などを補う）

5) 社会参加支援ロボット

基本的には介助ロボットと同じ機能を持ち、介助ロボットを特定の作業に従事させることで社会的に職業として認められる作業を行うものである。

- ・コンピュータ操作支援（コンピュータのたち上げまでの複雑な操作、機種変更による新しい操作法の補助、双方向通信による相手側からの操作指示など）
- ・製造業作業支援（現在のロボット操作に加えエキスパートシステムなどの支援ソフトにより高齢者の経験を生かした作業支援）
- ・非製造業作業支援（農業、園芸、養豚など作業手順から力仕事まで安全性を確保した作業支援）

3. 機能低下に対するトレーニング事例

最近の研究成果より高齢者用としての利用技術を吟味する。

3.1 自立姿勢維持のトレーニング（ポスチャコントロールシステム）²⁾

この装置はリハビリテーション機器として直立姿勢維持のために開発されたシステムである。機能的には体幹のバランスを検知し、そのバランス状況から毎回の姿勢バランスを評価しバランス維持能力を訓練する装置である。したがって、機能的にはロボットの機能を備えた装置である。以下に概要を述べる。

この装置は、被験者が立っている床面を機械的に揺動させることによって足元から体幹にローリング、ピッチングの合成運動を与え、その時生じるバランスの変化を床面に作用するモーメントの変化として計測する。同時に姿勢の変化を身体各部の傾斜角を動的に計測し体幹の重心点の移動量から評価基準としている。

1) 訓練・評価システム

図1 高齢者の動的バランストレーニング装置（ポスチャコントロールシステム）

図1はジンバル機構で構成された揺動発生装置と計測システムである。被験者はプラットホームの回転中心に直立姿勢を保ち、動作速度（0.1 Hz～最大2 Hz）、動作方向（7通り）、動作角度（0～7°、高齢者の場合）から、学習機能を考慮した動作パターンによる一連のメニューにより行われる。

揺動発生のアクチュエータは速度、位置、トルクサーボ系が組み立てられ、プラットホームの傾斜角度の指令値 ϕ と実際の傾斜角度 θ が $\phi = \theta$ を維持するようにトルク平衡が保たれる。もし、被験者がバランスを崩しプラットホームが $\Delta\theta$ だけ傾いたとすると、実際には $\Delta\theta$ に比例した電流がモータに流れ、プラットホームは常に $\phi = \theta$ のトルク平衡を保つ。このときの電流変化に直接比例した電圧を計測することでバランスを崩したときのモーメントの変化を知ることができる。

2) 重心点評価モデル

図2は人体の3次元モデルである。全体を17の剛体要素に分割し、任意の剛体要素 i ($i=1, 2, 3, \dots, 17$) に関しその重心の位置 P_{Gi} (X_{Gi}, Y_{Gi}, Z_{Gi}) を求めると、

$$X_{Gi} = X_{bi} + \frac{1}{2} L_i \sqrt{\frac{\tan^2 \alpha_i}{1 + \tan^2 \alpha_i + \tan^2 \beta_i}} \quad (1)$$

$$Y_{Gi} = Y_{bi} + \frac{1}{2} L_i \sqrt{\frac{\tan^2 \beta_i}{1 + \tan^2 \alpha_i + \tan^2 \beta_i}} \quad (2)$$

$$Z_{Gi} = Z_{bi} + \frac{1}{2} L_i \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \alpha_i + \tan^2 \beta_i}} \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 L_i ：剛体要素 i の長さ、 α_i ：

図2 人体の3次元モデル

剛体要素 i の前後方向傾斜角度、 β_i ：剛体要素 i の左右方向傾斜角度、 $P_{bi}(X_{bi}, Y_{bi}, Z_{bi})$ ：剛体要素 i の座標系の基底座標系に対する座標値である。直立姿勢維持の条件からねじりを伴う動作は微小であるため重心点を求める上ではほとんど影響はない。各剛体要素の重量と長さは、被験者の体重と身長から割り出す。その結果得られる人の合成重心点は、

$$X_G = \left(\sum_{i=1}^{17} W_i X_{Gi} / \sum_{i=1}^{17} W_i \right) \quad (4)$$

$$Y_G = \left(\sum_{i=1}^{17} W_i Y_{Gi} / \sum_{i=1}^{17} W_i \right) \quad (5)$$

$$Z_G = \left(\sum_{i=1}^{17} W_i Z_{Gi} / \sum_{i=1}^{17} W_i \right) \quad (6)$$

で求められる。

3) 重心点計測例

<被験者 T>

図3は動的バランスのデータであり、被験者は65歳の男性で、(a)はプレートの傾斜角度3°、1回転8秒、動作開始後3分経過したときのバランス変化である。(b)は、5分経過後の動作バランスデータである。(a)、(b)から全面積が拡大していること、また、それぞれ前方に作用点の中心が移動していることが見受けられる。この傾向は高齢者に見られる兆候である。

図4は頭部、胴部、腰部、大腿部、下腿部の左右方向と前後方向に取り付けた電子式傾斜計により測定した傾斜角測定結果である。これより、上半身に関しては左右前後方向を問わず、頭部が一番変動しており、

(a) 開始3分後の動的バランス

(b) 5分後の動的バランス

図3 65歳男性の動的バランス結果

身体下部に行くに従って変動量が少ないことが分かる。図5は人体のセグメントから得た重心点を合成した重心点を前額面、矢状面、水平面、それにモーメントとして表示したものである。

4. 自立支援ロボットと介護ロボット

4.1 介助・介護ロボット

高齢者に利用できるロボットは次のような条件が満足されていることが必要である。

- (1) ロボットが車いすに搭載されていること、車いすは電動化されてない方がよい。
- (2) ロボットは床面のものが拾える機能を有していること。
- (3) 通信機能が備えられており(携帯電話でも可

図4 傾斜角測定データ

能) 高齢者との会話が可能なこと。

- (4) 車いすは必要に応じて電動化が可能なこと。
- (5) マシニングセンタの工具交換と同様にロボットのハンドは機能性の違ったハンドを用意して交換可能なこと。
- (6) ロボットアームは両腕である必要性はない。
- (7) 高齢者側の条件として何事にも興味を示す人がよい。

図6は筆者らが開発を進めている介助ロボット³⁾であり、本来首から下が麻痺した頸随障害者を対象としたものである。高齢者用に対応したコンセプトとして

図5 重心位置の表示例

図6 介助ロボットの外観

図7 高齢者のコマンド操作訓練による正解率

は、痴呆性に見られない歩行困難な老人を対象とした場合、以下のような利用が考えられる。

〈音声認識による指令〉

- ・電動化された走行ユニットによる移動介助
普段の操作はジョイスティックによる操作を行い、

非常停止操作、前後・左右・回転などの基本動作に関しては、特定話者による音声認識によりコントローラに割込みを掛け優先させる。

・ロボットの動作指令

マニュアル動作とシーケンシャル動作を分けて考えると目的物を把持する場合には、音声で直接指示し、その後、シーケンシャルに動作する効果は大きく、また目的物に最終的にアプローチさせるような微少動作の場合には「もうちょい」と言った感覚的な操作には音声指令は

適している。ロボットとのやりとりには音声合成器との併用により、必ず確認の上で動作を進めることが高齢者にとって安心感を与える。

図7は76歳の両腕切断者に顎による操作で直交座標系で動くように人工の腕を操作する訓練結果の正解率を表にしたものである。顎スイッチは4接点のトランスファタイプの、操作しやすいように試作した顎スイッチである。この結果から分かるように、高齢者に対しても訓練によって学習効果の上がること分かる。しかし、完全正解でない点を重視すれば、他のコマンドで補うことを考える必要がある。その最も簡単な手法は音声認識である。

5. おわりに

高齢者の自立支援とは、まず現在の体調を本人が認識しトレーニングしていくことである。最近、老人ホームで姿勢維持のためのトレーニングを進めている。対象者の年齢は65歳から85歳まで(平均78歳)である。この老人ホームでは欠かさず体操やダンス教室など体を動かすことを日程として行っているが、共通課題は転ばないことである。

引用文献

- 1) 斎藤之男ほか：平成3年度身障者介助ロボットに関する調査研究報告書、日本機械工業連合会、日本産業用ロボット工業会、日機連3先端-15、(1992)。
- 2) 斎藤之男、大島 徹、石神重信、吉良 仁：姿勢制御訓練・評価システムの研究、バイオメカニズム、10、9 (1990) 205。
- 3) 斎藤之男、東原孝典、伊藤 裕、大島 徹、百崎 寛：在宅介護を目的としたロボットコントロールシステムにおける新しいアプローチ、バイオメカニズム、11、5 (1992) 341。