

# 介助犬ロボットの開発

井上喜雄 \*

甲斐義弘 \*\*

谷岡哲也 \*\*\*

\* 高知工科大学工学部

〒 782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口 185

\*\* 東海大学工学部

〒 259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117

\*\*\* 徳島大学医学部

〒 770-8503 徳島市蔵本町 3 丁目 18-15

\*E-mail : \*inoue.yoshio@kochi-tech.ac.jp, \*\*kai@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

\*\*\*tanioka@medsci.tokushima-u.ac.jp

**要約** : 介助犬のような作業を行うロボットを開発するための要素技術のなかの重要なものの一つに、ロボットが周辺の設備や人間と接触した場合に、ロボット、人間、設備のいずれかが損傷をうけることがないようにするための技術がある。ここでは、主に、4足歩行ロボットに位置指令型のインピーダンス制御を適用し、仮想のばね、質量を適切に設定することにより、接触時に大きい力が発生しないような制御を行うことが可能であることを示している。

**Abstract** : One of the most important fundamental technologies for developing caregiver robots is to avoid damage caused by contact or collision between the robot and the human body or facility. In this paper, the impedance control technique is applied to a 4-legged robot to suppress the force due to the collision or contact by assuming appropriate stiffness and mass. Summary and effectiveness of the proposed method is presented.

## 1. はじめに

介助犬は、身体障害者を助けるように訓練された犬であるが、高齢化社会が進行している我が国において、今後、高齢者が在宅生活を送る上でも必要とされるであろうと考えられる。しかし、訓練の困難さや動物であるが故の問題のために、その数は僅かである。そこで、本研究では、工学的立場から介助犬の役割を果たすロ

ボットを開発することを最終目標として、そのための要素技術の開発を進めている。

介助犬は、人間を支援するロボットであり、介助の作業によっては人間との接触や、周辺の設備と接触することが多い。介助犬ロボットを開発するための要素技術としては、多くのものが必要であり、著者らは、これまで、図1に示すような4足歩行ロボットに、音声認識を用い

たロボットと人間のコミュニケーションの検討などを実施してきたが、ここでは、おもに、文部科学省研究科共同研究経費の補助を受け、前述の人間や設備との接触や衝突に関する検討を行った結果について示す。

## 2. ロボット本体の概要

図1に示しているロボットは、汎用の4足歩行ロボット TITAN-VIII に、コンピュータ（制御用ボード、音声認識合成処理ボードを含む）、CCDカメラ、超音波センサ、ワイヤレスマイク受信機を自装させ、自律移動可能にしたものがある。音声入力、カメラによる情報、超音波センサの情報に基づいてロボットは動作可能である。

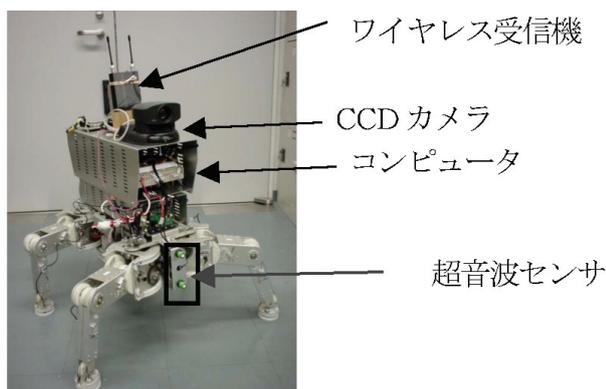


図1 4足歩行ロボット

## 3. 障害物（人や物）との接触時の柔軟制御

介助犬ロボットを開発する上で、介助犬の役割について考えると、新聞など物を取りに行く、人が立ち上がる際の補助をするなど様々な介助をすることが考えられる。新聞をロボットに取りに行かせる場合を考えると、新聞を把持するハンドを取り付けた移動ロボットに新聞の置かれている位置を教示あるいは認識させれば可能であるように思われる。しかし、家の中には、机や椅子あるいは人自体などの種々の障害物があり、その障害物は常に同じ位置にあるとは限らない。このような障害物を画像処理機能を駆使してロボットがうまく回避しても、カメラ

死角部での接触・衝突、突然の外部環境変化時（人が突然ロボットの前に現れるなど）の接触・衝突などが考えられる。特に、人間に対する直接的な介助作業を行う場合には、ロボットと人間は非常に近いところに位置している場合が多い。したがって、ロボットは、物体や人と接触あるいは衝突することを前提として駆動する必要がある。すなわち、外部環境（人や物）と接触しても、外部環境を壊さない、また、ロボット側も壊さないように、ロボットが外部環境と柔らかく接触する必要がある。

そこで、本研究では、ロボットが物に接触または衝突した場合に、できるだけ大きい力が発生しないような制御方法の検討を行った。

その一つとして、ロボットを柔軟にすることを考えられる。ただし、接触による外力に対しては柔軟に対応するとしても、歩行に対しても柔軟になれば、本来の歩行がムズにいかなくなる。そこで、外力に対してのみ柔軟に対応する制御方法として、図2のようにロボット本体に力センサを取り付け、障害物と接触した時に本体にかかる力をセンシングし、その力に対応した位置指令型インピーダンス制御を用いることによって、外力に対してのみ柔軟な制御を実現することを試みた。本手法では、ロボット本体部に外力が作用した場合に、図3のように本体部に、あたかもバネ $K$ ダンパー $C$ 質量 $M$ が取り付けられているかのようにロボット本体部を動作させる。具体的には、式(1)により、時刻 $t(=n\Delta t)[s]$ に目標インピーダンスを実現するための目標移動量 $\Delta P_x$ ,  $\Delta P_y$ ,  $\Delta P_z$ を求め、それらをロボット本体の目標軌道に加えることにより、インピーダンス制御をしつつ、ロボットを歩行させるようにした。

$$\Delta P_n = \frac{F + \frac{M}{\Delta t^2}(2P_{n-1} - P_{n-2}) + KP_0 + C \frac{P_{n-1}}{\Delta t}}{\frac{M}{\Delta t^2} + K + \frac{C}{\Delta t}} - P_{n-1} \quad (1)$$

ここで、 $P_n$ は本体重心位置、 $F$ は力センサにかかった外力、 $P_0$ は時刻 $t$ におけるロボット本

来の位置,  $\Delta t$  はサンプリング時間である.

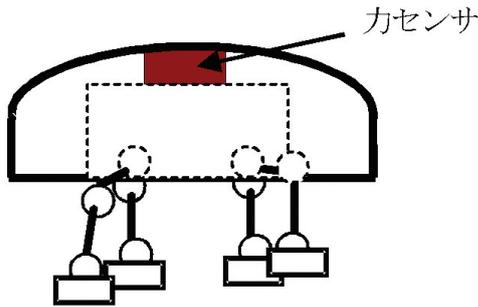


図2 ロボットイメージ

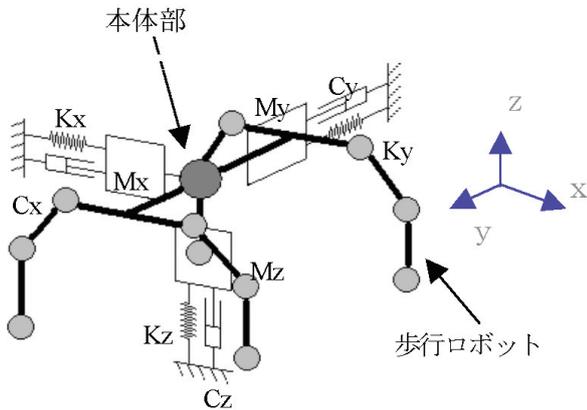
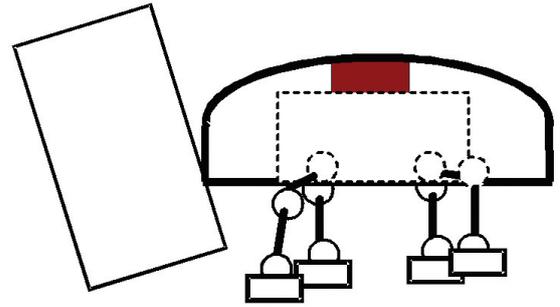


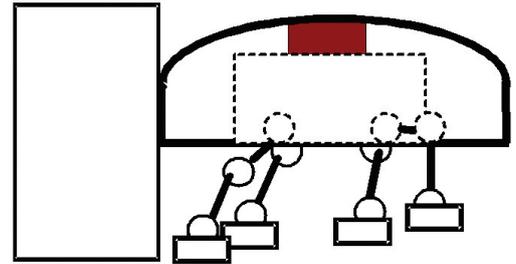
図3 4足歩行ロボットのインピーダンス制御

以上の制御方法であれば, 力センサに信号が入らなければ, 本体の目標軌跡に何も加わらないので, 歩行自体は柔軟にはならず, 通常通りの歩行を行うことになる.

このような制御を用いることにより, 図4に示すように, 突然人の脚などの障害物が現れ, ロボット本体部が接触してしまう場合でも, 本体部が  $x$   $y$   $z$  の3方向にあたかもバネ・ダンパーで支持されているかのように動き, 障害物に対して柔らかく接触することが可能である. 4足歩行ロボットをインピーダンス制御で動作させた場合の姿勢変化の様子の一例を図5に示す. 図では, 手で水平方向に力を加えているが, 力の加わっていない状態 (a) と比べて, 力が加わった (b) ではわずかな力でも水平に変位していることがわかる.



(a) インピーダンス制御なし

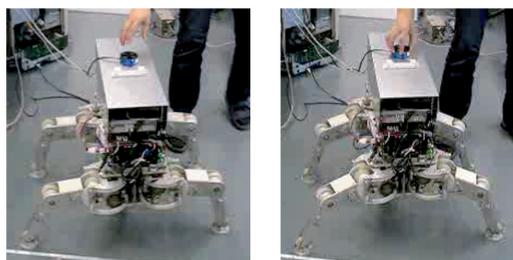


(b) インピーダンス制御あり

以上のように, 仮想のばねを十分やわらかく設定すれば, ばねの変形で逃げられるような, ゆっくり加わる外力に対しては, 十分対応できることがわかった. なお, 変形が大きくなれば, 変形をもとへ戻すように軌道を修正し体制を立て直せばよい.

図6は, 柔らかいばね  $K_1$  で支持された質量 (ロボット) がかなり大きい速度で運動している状態を模式的に表したものである. それ, なにに衝突した場合を考える. この場合には, 質量の運動エネルギーを相手のばねで受け止める際に衝撃力が発生する. 運動エネルギーによる衝撃力の大きさは, ロボット自身のばね  $K_1$  を柔らかく設定してもあまり変化せず, 質量の大きさ, 速度, 相手との間のばね定数  $K_F$  に依存する部分が多い. 速度は, ロボットの機能に係わるものであるのであまり制限したくない要素である. 質量を低減させることも非常に有効であるが, 実際の質量を低減することは機能的な制限から困難である. そこで考えられるのが, 前述の位置指令を表す式 (1) のなかの仮想の質量  $M$  を小さく設定することである. 図6のように, ある速度で運動する質量が衝突する場合には,

外力として力が与えられているのではなく、2つの物体がある速度で衝突した後の2つの物体の応答により結果的に発生する力が決まることになる。実際の質量 $M$ が速度 $V$ で外部のばね $K_F$ に衝突すれば、かなり大きい力が発生するが、仮定の質量を小さく設定してインピーダンス制御を行えば、理論的には衝撃力を小さくすることが可能になる。しかし、それが理論通りに機能するかどうかについては、いろいろな課題がある。



(a) 外力なし (b) 外力あり

図5 外力作用時のロボットの姿勢変化

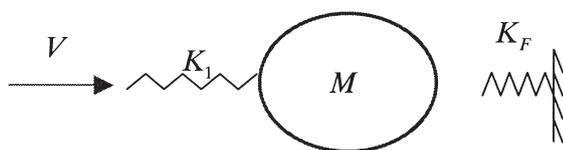


図6 柔らかいばねで支持された質量の衝突

仮想的に質量を小さく設定した系が、ばね $K_F$ に衝突した場合には、仮想質量による仮想の運動エネルギーは実際の運動エネルギーよりも小さいので、より短いストロークで減速し静止することになる。したがって、接触部分のばね $K_F$ にもあまり大きい力は発生しない。しかし、実際の系には大きい質量である $M$ が存在し、大きい運動エネルギーが実在している。停止するまでのストロークが短くなれば、ばねで吸収するエネルギーも小さくなるので、その差をどこかで埋める必要があり、その分については自らブレーキをかけてエネルギーを吸収していることになる。ブレーキはインピーダンス制御により自動的に指令値として送られるが、問題はアクチュエータ

がその指令通りに動けるかどうかである。位置指令型であるので力を指令しているわけでないが、減速のために必要である大きい力を供給することができるかどうか、また急な減速の指令に十分応答するかどうか、慣性力により前めりにならないかなどの問題がある。したがって、それらを解決しないと理論通りには運ばない。そこで、実行可能な方法として、ロボット側の接触部に少しやわらかいばね $K_R$ を構造として組み込んでおくことが考えられる。(図7)

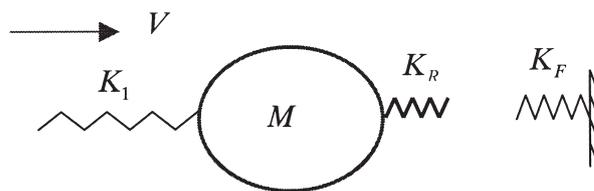


図7 ばねの挿入

ばね自体で衝撃力をやわらげる効果があるだけでなく、ばねを挿入していない場合と比べて大きいストロークが許容されるので、減速も、ゆっくりでよいことになる。以上のような組み合わせをうまく設定すれば、衝突時の衝撃力を低減することが可能となる。

なお、インピーダンス制御では、仮定のパラメータを状況に応じて変更することが可能であるので、人間とロボットの間での力による意思を伝達する場合や、ロボットが人間の支えとなる場合のように、人間とロボットの間で力が働く場合には、それぞれの状況に応じた柔軟な対応が可能になると考えられる。

#### 4. ネットワークロボット化

接触にかかわる問題以外にもネットワークの応用について若干検討を行った。介助犬ロボットによる在宅支援において、ロボットの故障時にどのように対処するか、あるいは、障害者や高齢者に不測の事態が起こり、ロボットがそれに対処するプログラムを持ち合わせていない場合どのように対処するかなどが問題となる。ま

た、各障害者や各高齢者がロボットに要求する介助は、各人の症状などにより異なると考えられる。すなわち、ロボットに要求される介助動作については、物を取りに行くなどの基本動作はあるものの、その他の細かな介助動作は各ユーザーによって異なると考えられる。以上のようなことを解決する1つの方法として、本研究では、ロボットをネットワークに接続することを考え、図8に示すようなシステムを構築した。

ロボットを無線LANを介してネットワークに接続することにより、遠隔地からのロボット操作や、必要なプログラムをロボットへ送ることが可能となる。また、画像・音声送受信機1より、音声命令を送れば、ロボットの音声認識機能により、ロボットを操作することも可能である。さらに、ロボットの故障や障害者らの不測の事態は、画像・音声送受信機2により監視可能である。

## 5. まとめ

本報告は、著者らが進めている介助犬の機能を有するロボットの開発のための要素技術研究のなかで、平成13年度、14年度に文部科学省の研究科共同研究経費の補助により実施したロボットが人間あるいは障害物と接触した場合の対応に関する研究を中心にその概要をまとめたものである。得られた成果は、介助犬ロボットを開発するために必要な多くの要素技術の一部ではあるが、本研究を通して、ロボットと人あるいは障害物との接触に関連した問題に対して有効な制御方法を得ることができた。

## 文献

- [1] 太田大, 光岡敬晃, 井上喜雄, 甲斐義弘, 位置指令型インピーダンス制御による四足歩行ロボットの柔軟な制御, 日本機械学会中国四国支部講演論文集, No.035-1, pp.393-394, 2003.
- [2] 光岡敬晃, 太田大, 井上喜雄, 甲斐義弘, 四足歩行ロボットの接触への対応に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第33回卒研講演会論文集, pp198, 2003.

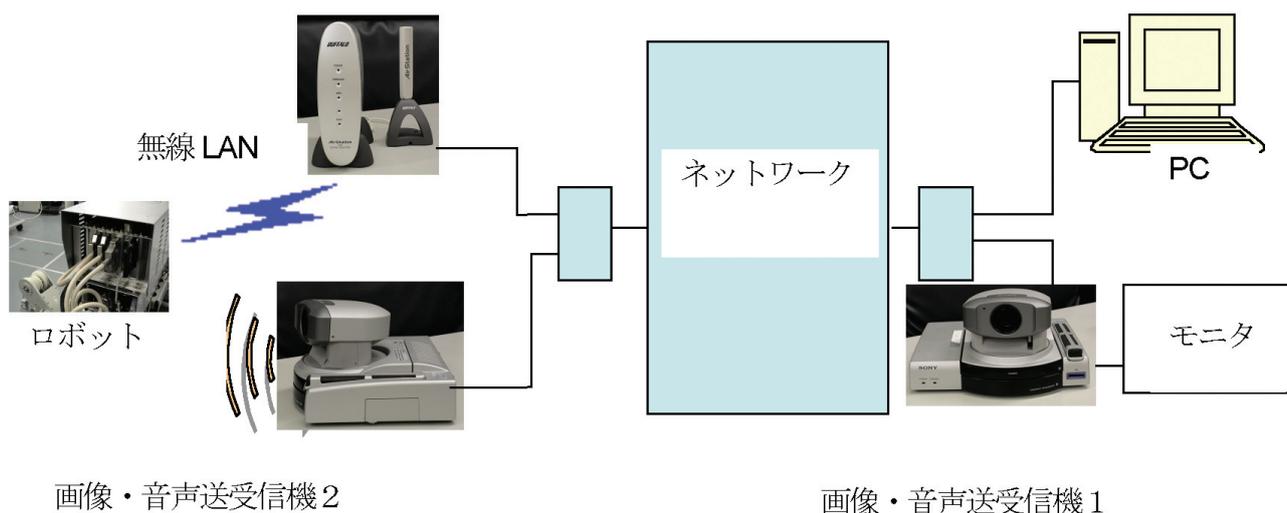


図8 ネットワーク接続