

人にやさしいモニタロボットの研究（第2報）

光井 輝彰 横山 貴宏 永田 可彦* 福田 修**

Health Monitoring Robot for Human Living Space (II)

Teruaki MITSUI Takahiro YOKOYAMA Yoshihiko NAGATA* Osamu FUKUDA**

あらまし 平成14年度より、人の生活空間にやさしく溶け込み健康管理を支援するとともに、日々の生活に潤いをもたらすロボットについて研究を行っている。ここでは、ミミックセンシングの技術を採用し、人がロボットに接触する際に意識することなく自然な状態で生体情報のモニタリングを行うことを目指している。本報では、安定して脈波のミミックセンシングを行うためにセンサー機構の改良を行い、それらを組み込んだロボットを試作した。ロボットには自然の植物を取り入れて、人が植物の世話をを行う作業の中で生体情報の計測を試みている。また、ロボットの機能として、植物の育成を管理するための周辺環境のセンシング機能と、その情報を基にした行動生成機能について検討するとともに、植物のアメニティ効果と併用したロボットの効果的な利用方法について検討を行った。

キーワード ロボット、生体情報、モニタリング、脈波、ミミックセンシング、行動生成

1. はじめに

社会の高齢化が進む中、医療費の急増や、看護・介護従事者の不足が現実化しつつある。このような状況を解消し、高齢者が心身ともに健康に豊かな生活を送るためには、高齢者自身が健康な状態を維持することが重要であり、そのためには日常的な健康管理が必要である。本研究では、橋野、永田らが提案するミミックセンシング^[1]の技術を採用することで、人がロボットの一部に触れる際に意識することなく自然な状態で生体情報のモニタリングを行うロボットを提案してきた^{[2][3]}。

ミミックとは擬態という意味であり、ミミックセンシングとは図1に示すように個人の生活パターンを考慮して日常生活で立ち寄る場所や触れる箇所に、検出部を埋め込んで目立たなくさせたミミックセンサーによる生体情報の計測を意味する。これにより、間欠的ではあるが継続的な生理状態の取得を行うことが可能となる。また、センサーを埋め込み隠しているので、一般の計測機器のように計測時に身構えるなどの所作を引き起こすことがなく、日常生活において意識することなく平時の状態での体調測定を行うことができる。さらに、ロボットにセンサーを埋め込み、その機能として人がロボットに触れる機会を作り出すことにより、能動的にミミックセンシングを行うことができると考える。ところが、一般に安静状態で行う生体計測と異なり、目的動作に付随して生体計測を行うミミックセンシングでは、計測自体が困難になることが想定される。

* 新エネルギー産業技術総合開発機構

** 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門

利用者の体調を測定するミミックセンサー



図1 ミミックセンサー

我々はこれまでに、計測中のセンサー接触状態の変化、特に荷重の変化が計測結果に与える影響について調べてきた^{[2][4][5]}。本報では、この荷重変化による影響を緩和するためのセンサー機構を開発し、これをミミックセンサーとして組み込んだロボットを試作した。そして、ロボットの世話や操作などの想定される状況の中で、脈波のミミックセンシングの可能性を探った。また、周辺環境のセンシング機能やその情報を基にした移動機能、植物のアメニティ効果^[6]を有効に利用するための機能などロボットの機能について検討を行った。

2. ミミックセンサーの開発

本稿ではモニタリングする生体情報として光電容積脈波（以降脈波という）を選定している。脈派とは指先な

どの生体組織へ近赤外領域の光を照射し、その反射あるいは透過光を検出するもので、ヘモグロビンの近赤外光の吸光度を利用して血液の脈動を電氣的に計測するものである。この脈波を計測するためのセンサーをロボットの一部に埋め込み、人が触れる際や握る際に計測を行うミミックセンサーとして開発を行った。

2. 1 脈波のミミックセンシング

比較的容易に計測できる脈派であるが、ミミックセンシングでは安静状態で計測するとは限らないことから、計測が困難になる。様々な状況において計測を行うため、センサー接触状態の変化による外乱光の混入や計測部位の局所的な血流の変化がその原因と考えられる。この血流の変化は、センサーの形体や人の触れ方の違いから生ずるセンサーの押し付け荷重に大きく依存することから、前報ではセンサー押し付け荷重と計測波形との関係について調べた。その結果、センサー押し付け荷重により脈波波形は大きく変化し、荷重が小さすぎる場合や大きすぎる場合には計測が難しいことを確認した。安定して計測を行うためには、適度な荷重でセンサーを押し付けることが必要で、この最適な荷重は被験者の状態により異なるものの、10mmφのセンサーヘッドを用いた場合には、100~200g程度の荷重であった。

2. 2 接触圧調節機構の開発

前節からは、脈波のミミックセンシングを安定して行うためには、センサーの接触圧を適当な値に保ち、外乱光の混入や接触圧の変化を極力少なくすることが重要であると言える。そこで本稿では、図2に示すような緩衝材を用いた接触圧を調節するためのセンサー機構を考案した。可動式のセンサーヘッドを指先に押し付けることで、計測部位の垂直方向の微妙な位置変位にセンサーを追従させるとともに、指先から加わる大きな力はフレームで受け止め、計測部位には過剰な力が加わらない構造を持つ。センサーとの接触圧は緩衝材の物特性とセンサーヘッドの大きさにより調節することになる。

この接触圧調節機構の有効性を確認するために、図3に示すようにセンサーヘッドに力センサーを取り付けた実験装置を製作した。接触圧調節機構のある場合(a)と無い場合(b)それぞれについて、安静状態の被験者の指をセンサーヘッドに載せ、その指の上(爪側)から一定の荷重で指を押し付け、この際に計測されるセンサーヘッドに加わる力と脈波波形について調べた。指への荷重はXYZステージに取り付けたプッシャで行い、レーザー式のセンサーで測したばね長の変位により荷重の大きさを設定した。実験の様子を図4に、実験装置の仕様を表1に示す。脈波センサー及び力センサーによる計測値は、増幅後にA/D変換ボードを介してPCに取り込んでいる。

図5はウレタン系の緩衝材を使用し、指先をセンサーに押し付ける荷重を25gずつ増加させたときの計測結果の一例で、荷重に対する脈波振幅の変化(上)と計測部位とセンサーとの接触圧の変化(下)を示す。グラフ上の点

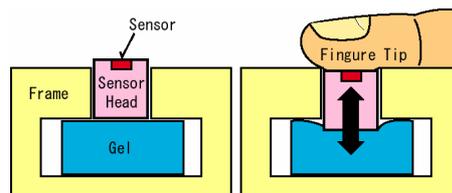


図2 接触圧調節機構

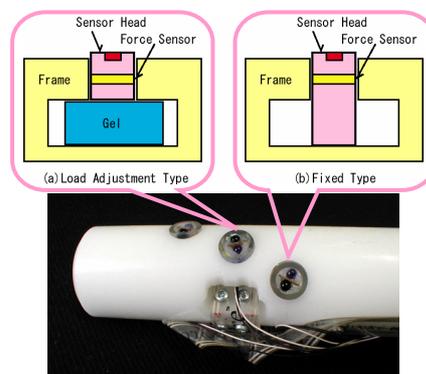


図3 実験装置

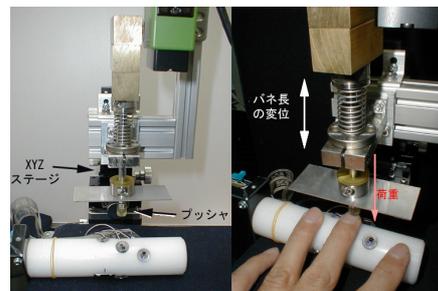


図4 実験の様子

表1 実験装置仕様

脈波センサー	フォトダイオードSHARP GL380 ピーク発光波長：950nm フォトトランジスタSHARP PT380F ピーク受光波長：860nm
緩衝材	ウレタン系：エクシールコーポレーション、人肌のゲル シリコン系：ゲルテック、αゲル
力センサー	蒲田工業株式会社 FlexiForce A101-1 最大測定荷重 4.4N
測長センサー	SUNX DSA-L100 繰り返し精度：-0.1~0.1mm
A/Dボード	CONTEC AD12-16U(PC)EH 入力：-5V~5V 分解能：12bit
サンプリング周期	リアルタイムOS(RT-Linux)の周期タスクによるサンプリング：100Hz

は各荷重における脈波10拍分の平均値、その点に付いた縦線は標準偏差を示し、曲線は平均値データを平滑化しスプライン補間したものである。指先を押し付ける荷重がそのままセンサーヘッドに加わる(b)と比較して、荷重調節機構のある(a)ではセンサーヘッドに加わる力が緩和されていることがわかる。(b)の場合は基本的に前報における実験と同じ条件であり、結果は脈波の振幅が荷重により大きく変化し、波形形状が安定するのは荷重が100g強の時という前報と同様の結果を得た。一方(a)を用い

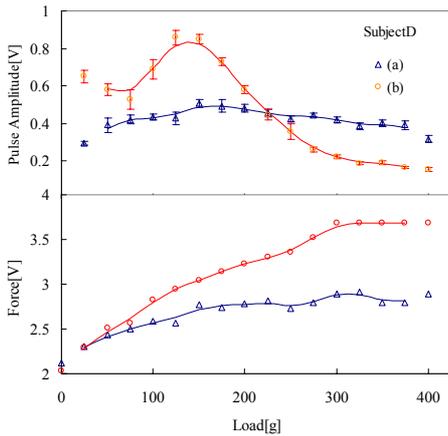


図5 脈波振幅と計測部に加わる力の変化

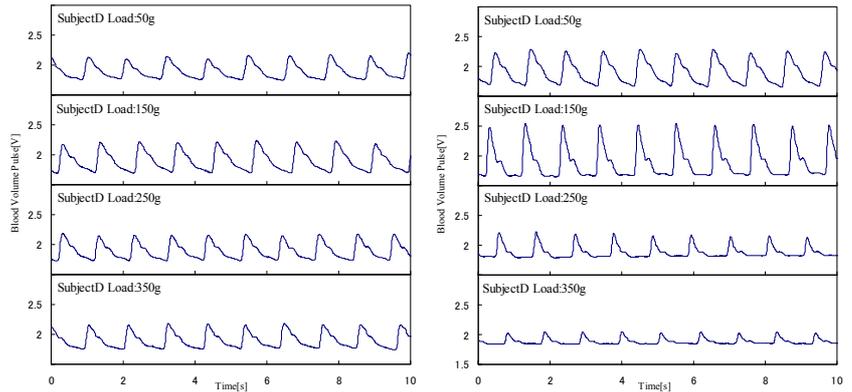
た場合は、指先を押し付ける荷重に対する振幅の変化が減少し、(b)では計測困難であった大きな荷重を加えた場合でも安定した計測が可能であった。図6は各荷重で計測された脈波の波形を示すが、接触圧調節機構のある(a)の場合には、荷重によらず波形形状が安定していることがわかる。以上の結果から、接触圧調節機構が有効に機能していることが確認できた。但し、荷重の動的な変化については未検討であり、今後その確認方法を含めて改善が必要である。また、取得した脈波波形は荷重の変化に対して安定してはいるものの、(b)の脈波波形の振幅の最大値から明らかなように、さらに大きな波形を取得することが可能であり、そのような状態で波形形状を安定させることができれば、更に脈波の可観測性が上がると考える。

3. ロボットの製作と計測実験

接触圧調節機構を備えた脈波センサーを組み込んだロボットの試作を行い、ミミックセンシングによる脈波の可観測性を調べるために計測実験を行った。

3.1 モニタロボット

モニタロボットは図7に示すように観葉植物を構成要素とした植木鉢形の移動機構である。2つの駆動輪と任意方向の回転が可能なローラーを2つ備え、前後進動作のほか超心地旋回を含めた様々な旋回動作が可能である。ロボットの動作はPCからのマニュアル操作のほか、ロボットの周囲に配置したCdSセンサー (CdS光導電性セル EVERLIGHT 9P5-1/H) の情報をもとに明るい方向へ移動する機能を持つ。その他に植物の育成環境の管理に利用することを考え、湿度センサー (サーモメトリクス HF15PF) と温度センサー (National Semiconductor LM35DZ) を植物の真下に当たる部分に備えている。人の生体情報の計測は図8, 9に示すように人がロボット上部の運搬用のグリップをつかんだ際や霧吹きを使用する際にミミックセンシングにより行う。ロボットはこれ



(a)接触圧調節機構のある場合 (b) 接触圧調節機構の無い場合

図6 荷重による脈波波形の形状変化

らのセンサー情報を32msの周期でAD変換して取り込み3周期ごとに外部のPCへ無線送信して、計測データはそこで管理される。また、植物を世話する道具として、霧吹きとじょうろにもセンサーを埋め込み、ここで計測したデータも同様に外部PCへ送信される。図10にシステム構成を示す。



図7 モニタロボット

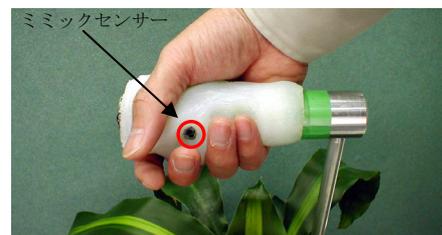
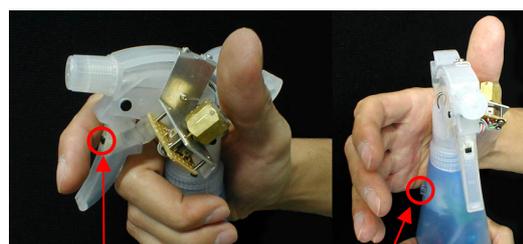


図8 グリップ把持によるミミックセンシング



ミミックセンサー (レバー) ミミックセンサー (手掌)
図9 霧吹き使用時のミミックセンシング

3. 2 計測実験

植物を日当たりの良い場所へ移して霧吹きで水を与える場面を想定し、図 1 1 に示すようにロボット上部のグリップをつかんでロボットを窓際まで運び、霧吹きで散水する動作を行った。これらの動作の最中に計測された脈波波形とその時にセンサーに加わる力を計測した。

図 1 2 はロボット運搬時の計測結果で、横軸は時間で縦軸はグリップに埋め込んだ力センサーと脈波センサーの出力値を示す。計測開始から約2秒後にグリップをつかんだ時点で力センサーの出力が変化している。ここから約18秒後までは比較のためにグリップを把持して静止した状態で計測したデータであり、比較的安定して脈波の計測が行われている。その後ロボットを持ち上げて運搬し、約43秒後に運搬を終えてロボットを降ろしている。ロボットの運搬距離は約5メートルである。運搬時は静止した状態と比較すると計測部位に力が加わり、その値も乱れており、センサーと計測部位との接触状態が安定していないことが推測できる。当然ではあるが、ロボットを持ち上げる・降ろすといった状態が大きく変化する動作を伴うときには、脈波の計測値は大きく乱れている。しかし、ロボットを運搬中でも約26秒後からは計測部位に加わる力がある程度下がっており、何とか脈波の検出が可能になっている。約43秒後に運搬が終了してからは、ロボットを降ろして静止した状態で計測している。ここでの計測結果は振幅が小さく基線も安定しておらず、読み取りにくい計測結果となっている。これは力センサーの出力値がほとんど無負荷状態であることから、脈波センサーと計測部位の接触圧の不足が原因と考える。

図 1 3 は霧吹きで散水の動作をしたときの計測結果で、横軸が時間、縦軸が上から順に指の当たるレバー部分に埋め込んだ力センサーと脈波センサーの出力、手掌の当たる水溜めの部分に埋め込んだ力センサーと脈波センサーの出力を示す。レバー操作の最中は急激な力の変化により脈波センサーと指の接触状態が安定しないことから、脈波の計測値は大きく乱れ計測は不可能である。一方、手掌での計測結果は、力センサー出力の変化が少なく比較的安定している。レバー操作の前後で多少の波形形状の変化や基線の変動が見られるが、全体を通して接触状態が安定していたことが推測される。

これらの計測結果は、ある程度の動作を伴った場合でも脈波として認識できる計測結果が得られることを示している。ただし、計測結果はセンサー周りの形状と人の握り方によるセンサーの接触位置や、人の動作に伴う接触圧の変化等に依存していると考えられる。そのため、より安定した計測結果を得るためには、人の動きや動作を考慮に入れてセンサーを埋め込む位置や形状を調節していくことが必要であると考える。

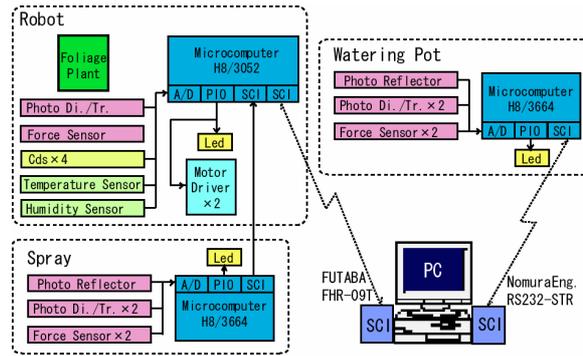


図 1 0 システム構成



図 1 1 ミミックセンシングの様子

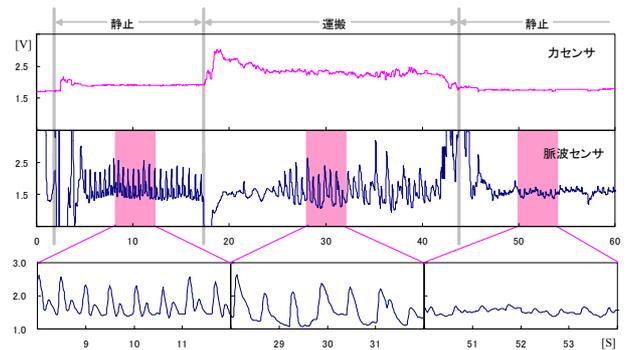


図 1 2 グリップでの計測結果

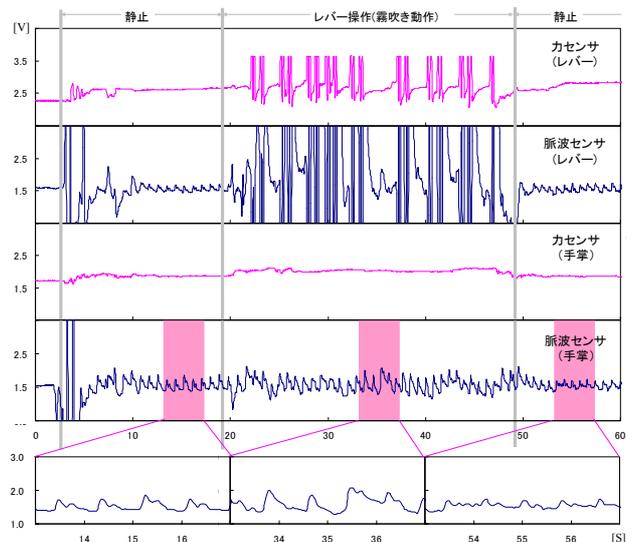


図 1 3 霧吹きでの計測結果

4. ロボットの機能と利用方法

試作ロボットの機能として、植物を日当たりの良い場所へ移動させるための走光性（明るい場所へ自律的に移動する）機能について検討した。また、気温と湿度の計測データの利用方法について、ロボットの機能と合わせて考察する。

4. 1 走光性のアルゴリズム

ここではロボットの前後左右に取り付けられたCdSセンサーにより計測した周辺の明るさの情報(照度情報)を基に、ロボットの動作を生成した。ロボットは前進、右旋回、左旋回、後退、停止の5つの動作を行うこととして、ロボット本体で取り込んだ照度情報を基に外部のPCで動作コマンドを生成した。各動作コマンドはロボット上のマイコンに送信されモーター制御用のPWM波形に反映され、左右両輪の加減速により実行される。

今回使用したCdSセンサーは光導電効果により、照射光エネルギーに対応して内部抵抗が変化する一種の可変抵抗器のようなセンサー^[7]であり、ロボットへの実装が容易である半面、照度に対する抵抗変化がリニアではなくその特性変化が低照度と高照度で異なるため、計測データの取り扱いには注意を要する。そのため、センサー情報を基にして5つの動作コマンドから適当な動作を選択するという単純な行動生成に関しても、単純にセンサーの計測値を比較するだけでは、ロボットを微妙な明るさの違いに対応させることはできなかった。もちろん、天候や時間帯により照度が大きく変化する様々な環境に対応できるように、各センサーを正確にキャリブレーションできればよいのだが、これは容易なことではない。そこで本報では、センサーの正確なキャリブレーションを行うことは考えず、入力にセンサー情報を含むニューラルネットを用いて適当な行動を生成することを試みた。ここではCdSセンサーの計測値に、2次の補正関数を適用するにとどめている。この補正関数は室内の明暗の差のある任意の5点における各センサーの計測値の差分から求めた。この処理の流れを図14に示す。ロボットは32ms毎にCdSセンサーの照度情報を取り込み、この計測データを3周期分まとめて96ms毎に外部のPCへ無線送信する。PCではこの通信周期の5周期の間は停止コマンドを送り、ロボットが停止した間のCdSセンサーの照度情報を蓄積し、これを基に次の行動を決定する。行動はロボットが停止中に計測した前右左のCdSセンサーによる計測値について、それぞれの平均値を正規化した値と、これらの3つの計測値の合計値の増減、前行動の履歴として右旋回と左旋回のフィードバックを合わせた合計6つを入力とするネットワークにより決定する。なお、教示データは表2に示す行動指針を基本として、部屋の数箇所でロボットが実測した計測値とそこで明るい方向へ動くために必要と考えられるコマンドを基にして作成した。ネットワークにはあらかじめこのデータを与えて誤

差逆伝播則^[8]にしたがって学習を行わせている。動作コマンドは上記の通信周期の5周期の間実行され、その後同様にロボットは停止と動作を5周期ごとに繰り返す。

動作実験は、曇りの日の部屋の奥の暗い場所や強い直射日光の差し込む明るい場所において行い、ロボットが比較的良好に周囲の明るさの違いに反応して目的とした明るい場所まで到達することを確認した。図15にロボットの動作例を示す。図中の数値はロボットの軌跡付近の床面での照度を示している。窓の高さで計測した照度は曇りの日の実験(a)でも床面よりかなり明るく2000lxあり、快晴の日の実験(b)では計測器の測定範囲の最大値5000lxを超える明るさであった。(a)では、照度の差が少ないためか明るい方向を探索しながら動作している様子

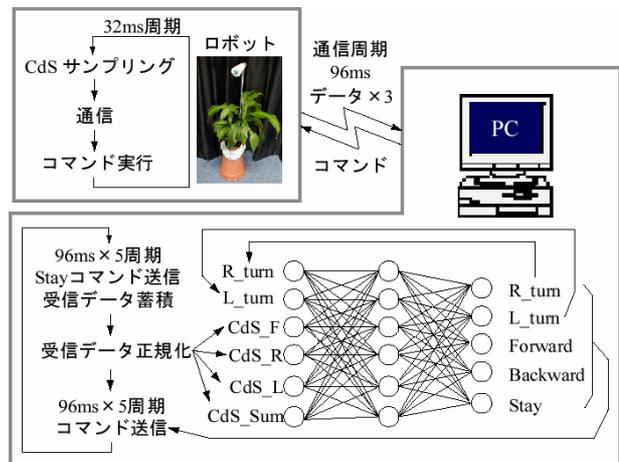
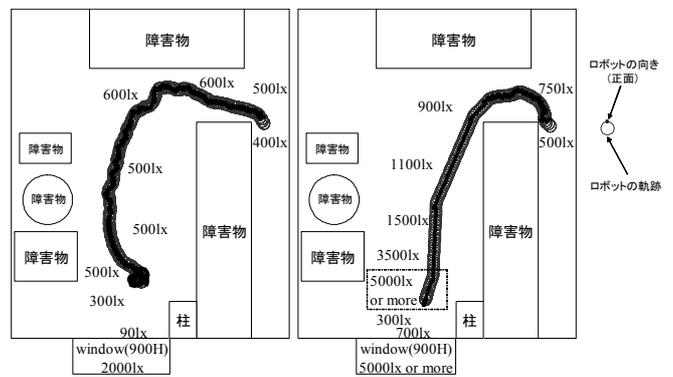


図14 処理の流れ

表2 ロボットの行動指針

	CdS(前右左)計測値	CdS合計増減	前回コマンド	コマンド
1	それぞれ十分に明るい	—	—	S
2	前方が明るければ	増減	B以外 F	F B
3	右方が明るければ	—	L以外 L	R F
4	左方が明るければ	—	R以外 R	L F

コマンド F:前進 R:右旋回 L:左旋回 B:後退 S:停止



(a)曇りの日の実験 (b)快晴の日の実験

図15 ロボットの動作例（窓際へ移動）

が伺える。この例では、窓の光が差し込む付近まで到達はしたものの、照度不足のため最終的に停止コマンドが生成されることは無く探索し続ける結果となった。一方(b)では、障害物の陰から窓の明るい方向を確認した後の動作は直線的となり、一気に窓際まで到達して十分な照度があることから停止コマンドで終了している。

現時点では特に評価等を行っていないが、センサーの取り付け位置より低い障害物や複雑な形状、光を透過する障害物は基本的に感知不能である。そのため、他のセンサーの併用や、判断が難しい場面で人のマニュアル操作を教示データとして学習するなど、様々な場面に柔軟に対応できるように改良する必要がある。また、今回使用したニューラルネットにも当然限界があるので、ニューラルネットの組み方や教示データの与え方等を見直し、より動作目標を具体化するための検討も必要と考える。

4. 2 植物の効能を引き出すロボットの機能検討

モニタロボットは人の生活空間に共存し、日々人と触れ合いながら生体情報の計測を行うロボットである。そのため、その形態と機能は人を落ち着かせるものが適当であり、ここでは室内に配置した植物がもたらす快適性の向上や心理的安定など、観葉植物のアメニティ効果^[6]に着目した。これらの効果は自然植物の形態や色、日々の成長、部屋の湿度調整や空気浄化、芳香作用など様々な要因の関与が考えられるが、本研究ではその一部を工学的に模擬するのではなく、そのまま自然の植物を取り入れて利用することを考えている。さらに、植物の世話などの園芸作業には、循環器系機能や運動機能の改善等の身体的効果、達成感や気力の回復等の精神的効果、協調性やコミュニケーション促進等の社会的効果が確認され園芸療法として実践されている。これら植物の効能は療法とまで考えなくても、健康な人がより一層の健康と長寿を求めて行う「園芸健康法」^[9]としても利用されている。このような場面では、植物（ロボット）が人に世話を要求する機能や世話に対して何らかの反応を返す機能、植物の世話を手助けする機能等を持たせれば、人の植物への関心を高めながら園芸作業をより一層楽しく行うことができる。現在は、これらの機能を生成するために必要な情報として、4.1で述べたロボット周辺の照度の他に温度・湿度を取り込み、PC上で管理している。今後はこれらの情報を基にしてロボットの行動生成方法について検討し、ロボットの機能を向上させたい。またこれと同時に、人がミミックセンサーに触れる機会を効率的に作り出しながら、生体情報の計測を効率よく能動的に行う方法を検討する予定である。

5. まとめ

本研究は人の生活空間にやさしく溶け込み健康管理を支援するとともに、日々の生活に潤いをもたらすロボットの開発を目指している。本報では、脈波のミミックセ

ンシングを安定して行うために接触圧調節機構を開発し、荷重の大きさによらず安定して脈波が計測できることを確認した。試作したロボットは自然の植物を取り入れたもので、植物の運搬や散水というある程度の動作を伴う場合でも、脈波の計測が行えることを計測実験により確認した。また、ニューラルネットを利用したロボットの行動生成では、厳密なセンサーのキャリブレーションを行うことなく、3つのCdSセンサーの情報から目標とする行動を達成できる可能性を確認した。最後に、園芸健康法と組み合わせたロボットの機能と活用方法について簡単に述べた。最近では、動物型ロボットを用いたロボットセラピー^[10]が国内外の医療施設において実験され注目されている^[11]が、モニタロボットも同様な用途へ適用が可能であると思われる。

文 献

- [1] 単身生活者の健康状態モニタリングシステム, 特許 3168285
- [2] 光井輝彰, 千原健二, 永田可彦, 福田修, “人にやさしいモニタロボットの研究”, 岐阜県生産情報技術研究所所報 第4報, pp.27-30, 2003
- [3] 光井輝彰, 横山貴広, 永田可彦, 福田修, “人にやさしいモニタロボットの研究”, 第3回福祉工学シンポジウム講演論文集, pp.137-140, 2003
- [4] 永田・ほか, “ミミックセンサーを用いた身障者・高齢者体調監視システムの提案”, 日本機械学会第11回バイオエンジニアリング講演会論文集, pp.136-137, 1999
- [5] 光井輝彰, 横山貴広, 永田可彦, 福田修, “ミミックセンシングによる脈波のモニタリングについて”, 第18回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.137-138, 2003
- [6] 仁科弘重・他, “観葉植物が人間の心理に及ぼすアメニティ効果の脳波およびSD法による解析”, 植物工場学会誌 10巻 2号, pp.65-69, 1998
- [7] 谷腰欣司, “センサーのすべて”, 電波新聞社, 1998
- [8] D.E.Rumelhart, J.L.McClelland and R.J.Williams, “Learning Internal Representations by Error Propagation”, Parallel Distributed Proceeding, Vol. I, pp.318-362, MIT Press, 1986
- [9] 武川満夫, 武川政江, “園芸療法 21世紀を健康に生きる”, 源草社, 2000
- [10] 浜田利満, 横山章光, 柴田崇徳, “ロボット・セラピーの展開”, 計測と制御, 第42巻, 第9号, pp.756-762, 2003
- [11] 例えば, “アザラシ型ロボット「パロ」が「世界一の癒しロボット」としてギネスブックに登録”, http://www.aist.go.jp/aist_j/topics/to2002/to20020315/to20020315.html