

遠隔操作ロボットを用いたロボット介在リハビリテーションの試み

大久保英一^{*, **}、鉄井 俊宏^{**}、永沼 充^{**}

* 帝京短期大学、** 帝京科学大学

A trial of Robot Assisted Rehabilitation with a remote control robot.

Eiichi Ohkubo^{*, **}, Toshihiro Tetsui^{**}, and Mitsuru Naganuma^{**}.

要 旨

今日、我が国は世界有数の超高齢化国家となり、医療・介護の現場を支える政策や制度も手探り状態に変化の激しい状態がつづいている。特に高齢者介護の現場におけるリソース不足が続いている。我々は高齢者施設において行われるレクリエーション活動やリハビリテーションに着目した。アニマルセラピーAAA (Animal Assisted Activity) / AAT (Animal Assisted Therapy) は世界各地で実施例とその効果が示されてきた。しかし、検疫や飼育の問題等から実行には困難が伴う。そのころ日本ではエンタテインメントロボットという新しい分野のロボットが生まれた。我々は、動物の代わりにロボットを用いることから萌芽したロボットセラピーRAA (Robot Assisted Activity ロボット介在活動) / RAT (Robot Assisted Therapy ロボット介在療法) に取り組んできた。その中でロボットの利点、中でも遠隔操作機能をより活かしたRAA/RAR (Robot Assisted Rehabilitation ロボット介在リハビリテーション) の可能性を模索してきた。本稿では、フィールドワーク試行から、RAA及びRARの試みについて報告する。

Abstract

Today, Japan is changed a super-aging country in the world.
In particular a lack of resource in the spot of elderly people care continues.
We paid our attention to recreation and rehabilitation done in a elderly nursing home.
AAA/AAT (Animal Assisted Activity/ Animal Assisted Therapy) are effective in the world.
But AAA/AAT has problems in execution. (Quarantine, Handler, and etc).
At that time, "Entertainment robot" was developed from Japan.
We began by using Robot instead of an animal.
And RAA (Robot Assisted Activity)/RAT (Robot Assisted Therapy) was created as a new field.
We groped for potency of RAA / RAR (Robot Assisted Activity / Robot Assisted Rehabilitation) which our made use of a remote control system in between advantages of a robot more in RAR.
With this report, I report it about trial of RAA and RAR from fieldwork conation.

1. 背 景

現在わが国は世界有数の高齢化国家となった。人口ピラミッドの変化と政治情勢の変化にともない、医療・介護に関するさまざまな施策や制度は刻々と変化している。しかし、高齢者が増加しさまざまな社会支援を必要とする状況はより深刻な状況になりつつある。

特に介護においては、要支援度によってグループホーム、老人保健施設、特別養護老人ホーム、デイケアセンターなどと多種にわたっているが、それを支える従事者不足が続いている。一方、医療制度は質向

上・治療から予防へとシフトしており、基本理念として、これまでの健診による早期発見・早期治療という治療中心の保健医療制度から、保健指導に重点を置く1次予防への転換が図られることとなった。¹⁾

そこで高齢者施設に於いて行われるレクリエーション活動に目を向けた。子供の施設訪問や運動など様々な活動が行われる中で、通称アニマルセラピーとされる動物介在活動AAA (アニマル・アシステッド・アクティビティ) や動物介在療法AAT (アニマル・アシステッド・セラピー) の存在があった。横山らは、病院においてアニマルセラピーの実行を試みた。²⁾ 実施に

は人畜共通感染症の問題などの困難があったことを報告している。

一方で我が国が誇るロボット技術はめざましく、FA（ファクトリ・オートメーション：工場自動化）や工業現場で主流だったロボットを一般家庭向けにシフトさせ、エンタテインメント性を持たせた「エンタテインメントロボット」の分野を萌芽させた。代表的なエンタテインメントロボットにSONY製のAIBOが挙げられ、最初のモデルはインターネット販売にも関わらず数時間で売り切れるという反響ぶりであった。³⁾

横山らは、動物介在活動AAAで用いる動物の代わりにロボットを用いるアイデアを発想し、実際に導入した。そして動物介在活動AAAに対してロボット介在活動RAA（ロボット・アシテッド・アクティビティ）を提案した。⁴⁾ ロボットは人畜共通感染症の問題や、飼育者・給仕・排泄の問題もなく病院等医療機関への導入も比較的容易であり、小児科病棟・特別養護老人ホーム・リハビリテーションの現場（理学療法・作業療法）への導入・試行を行った。

当初は動物の代わりにロボットという位置づけであったが、エンタテインメントロボットはICT（インターネット・コンピューティング・テクノロジー）との結びつけが可能であることから、ロボットの優位性を活かしたロボット介在活動を検討し、RAAを発展させたロボット介在療法RAT（ロボット・アシテッド・セラピー）の一環としてロボット介在リハビリテーションRAR（ロボット・アシテッド・リハビリテーション）を提案している。

本稿では、我々が研究対象としているRAA及びRARについて報告する。

2. ロボット介在活動の紹介

最初にRAA：ロボット介在活動とRAT：ロボット介在療法の差違について説明する。

RAAはA：アクティビティ・活動重視であり、その「場」の雰囲気によって楽しく過ごせるように心がける活動である。効果測定はできればよいが必須とはいえない。一方でRATはT：セラピー・治療の一環として行うことを想定している。その場合には当然効果測定が必須とされる。我々の研究は、動物の置き換えとしてロボットが用いることが可能かどうかという始点からRAAをスタートさせた。⁵⁾

ロボット介在活動では、ロボットと介在者および被験者の三者により実施される。実施形態については施設訪問型と施設常駐型があるが、双方にはメリット・デメリットがあり、ロボットのエンジニアサポートの面から、施設訪問型の方が実施に関する施設負担が少ない。しかし、エンジニアやサポートスタッフの派遣

状態により、実施が不定期になる可能性も含んでいる。一方で施設常駐型であれば、施設スタッフによる機動的実施が可能である。しかし、システムトラブルなどが発生したときの対処に時間がかかってしまい、実施が困難になってしまうケースもある。我々の研究におけるフィールドワークは施設訪問型での活動をベースに行ってきた。⁶⁾



図1 老人ホームにおける活動の様子

フィールドワーク先は特別養護老人ホーム、リハビリテーション病棟、小児科病棟である。一部フィールドワーク先は計測自動制御学会システムインテグレーション部門ロボット・セラピー部会との共催で行っている。但し、小児科病棟でのフィールドワークは、相手先病棟の縮小などに伴い近年行っていない。研究の方向性はやや高齢者対象にシフトしている。中でも、2002年7月のフィールドワークの立ち上げからかわっている特別養護老人ホームサントピア（東京都八王子市）での活動は2009年9月実施で73回を数え、他施設での実施も含むと200回以上のフィールドワークを実施してきた。

使用するロボットは「エンタテインメント・ロボッ



図2 ロボット介在活動に供されるロボット

ト」の分野を築いたSONY製のAIBO(ERS-210,ERS-311/312,ERS-7)や、猫に似せたOMRON製のNeCoRo、ギネスブックにノミネートされた知能システム社のPARO、恐竜型のPLEO、対話型ロボットifbot等を用いている。

但し、ロボットを置いておけばよいというものではなく「介在活動」であるため、ロボットと被験者そして介在者の存在がある。この三者のつながりについても着目し、ロボットと被験者・介在者間のコミュニケーションに関しても検討を行った。⁷⁾

3. 遠隔操作型ロボット導入

RAA当初は「動物の代替」としてロボットを用いていた。一般的に「エンタテインメントロボット」は自律制御すなわち単独で動作するタイプが多い。当初は自律制御での活用を主としてきたが、自律制御ソフトウェアでは成長や飼育度合など様々なパラメータが含まれており、なかなか思い通りに言うことを聞いてくれないこともあった。使用していたロボットの一つ、エンタテインメントロボットの雄であるAIBOは通信機能やカスタマイズ機能など様々な機能があった。そこで、ロボットならではのメリットを活かす方法を模索した。特に遠隔操作システムには動物には難しいユーザーからの制御が可能であることが非常に有用ではないかと考えた。そこで、メーカーから提供されている遠隔操作システムを用いたRAAを実施した。⁸⁾

特別養護老人ホームでのフィールドワークにおいて、他の自律制御型ロボットが動いている中に、遠隔操作型ロボットを導入し試行したところ、「ロボットが言うことなら興味を持ってくれやすい」など介在者からの評価が良好であった。介在者からの評価だけでなく技術スタッフとして入る我々にとっても、ロボットが制御できることはテーブルからの落下による破損事故などを減らすメリットが生まれる。その上で、ロボットの制御ができるメリットから、リハビリテーション病棟へ導入し、試行した。リハビリテーション病棟では理学療法／作業療法とも治療計画があり、患者の病状も患者により異なる。いわばリモコン操作のロボットを導入したわけであるが、患者の治療計画に沿った動きをさせることが可能であり、リハビリテーションへのモチベーションを確保できることから有意と考えられる。鷹左右らによれば、リハビリテーション（作業療法）におけるRATにおいて、自律制御型ロボットと遠隔制御型ロボットの比較を行ったところ、自律制御の市販ソフトの場面では受動的な訓練になりがちであるが、遠隔操作ではOTR（作業療法士）や操作者の意図する反応を導き出せる可能性があることを示した。⁹⁾

4. 評価方法の検討

RAAをRATへ発展させるためには、効果の評価を避けて通れない。しかし、実際に老人ホームの利用者や患者に対し痛みなどを伴う侵襲的手法を行っては、本来の目的に反してしまうという二面性をもっている。実際に、特別養護老人ホームでは介護度の評価を行うために使われるHDS-R（改定長谷川式知能評価スケール）がある。HDS-Rは、老人のおおまかな知能障害の有無と、おおよその程度をスクリーニングする目的で作成された評価スケールのことである。

HDS-Rの判定方法はいくつかの質問を口頭で行い最高得点を30点とし、点数を付けていく。その方法からアクティビティ最中のリアルタイム評価用途には適用が難しい。そこで、非侵襲的手法を軸に試行を行った。

○視線観察

被験者の視線先から興味の方向を把握することができると仮定し、観察することによって定性的評価を擬似定量化へつなげると考え、実証を行った。観察手法としては、RAA実施現場、あるいは実施時に撮影された映像から、10秒のインターバルで被験者の視線方向を項目毎に分類され記録する。基本項目は「ロボット」「介在者」「隣」「遠く」「近く」の5つの分類を基本形とした。「ロボット」は被験者がロボットを見ていた時、「介在者」は対応した介在者を見たとき、「隣」は近くににいる他の被験者や介在者を見たとき、「遠く」は遠くで起きた物事に反応してそちらを見たとき、「近く」は自分の身体や何も無いところを見たときである。この判断基準は観察の目的により変更することもある。この手法は被験者に負担を与えることはほとんどなくRAA実施時における非侵襲のデータ採取方法として有用であると考えられるが視線観察時に被験者が、記録者や記録用カメラを気にすることが無いようにしなければ、データに影響が及んでしまう。インターバルの10秒という間隔について検証した結果、10秒毎ではほぼ良好な結果が得られている。¹⁰⁾

○モーションキャプチャによる軌跡観察

視線観察によって被験者の興味の先を解析することは有効と考えられるが、視線の先という「カテゴリー」によって記録されているために、定性的な観察手法になりかねない。そこで、より定量的なデータを記録するため、軌跡観察の導入を試みた。モーションキャプチャには、マーカーの軌跡を記録するタイプのモーションキャプチャシステムを使用した。マーカーは赤外線反射マーカー＋赤外線カメラによる記録を行った。RAA実施時に対象者へマーカーを装着してもらい、ビデオカメラで記録する。解析ソフトウェアは移動量を



図3 モーションキャプチャによる解析の様子

X-Yの二方向軸に分解し移動量・加速度の算出ができる。マーカの移動を把握することで手などのマーカ装着部分の移動量・加速度がわかる。

しかし、上記手法についてはデータ採取の後解析に時間を要するという欠点があった。

そこで、遠隔操作システムの端末に操作者の主観が入るが、被験者評価機能を装備した。3施設において数回のフィールドワークでの結果から、施設間において介護度との差と関係性が見られた。表中にある各施設参加者の平均介護度は、ヴィレッタ2.5、サントピア3.0、バストーン3.4であった。¹¹⁾

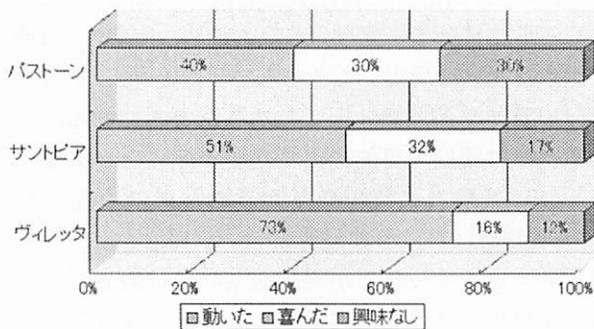


図4 3施設の比較

一方で、できるかぎり侵襲しない手法を用いた生体計測データの記録についても検討を行った。

○血圧測定

一部フィールドワークにおいて、対象者に事前事後の血圧および脈拍の測定を行った。試行例を表に示す。

表に示したデータn=10の平均を見ると全てのサンプルにおいて、血圧が安全な範囲で低下している。血圧動向の機序は交感神経刺激とカテコールアミンにより上昇、副交感神経刺激とアセチルコリンで下降する。試行例が少なく、個人差も大きいので断定することはできないが、副交感神経有意すなわちリラックス状態の傾向が見られると考えられる。

表1 血圧測定例

試行	収縮期(最高)血圧		拡張期(最低)血圧	
	実施前	実施後	実施前	実施後
1	107	105	77	72
2	159	144	93	85
3	114	110	74	71
4	156	164	78	72
5	156	164	78	70
6	143	145	100	69
7	114	113	90	74
8	158	149	69	83
9	138	140	80	78
10	156	143	99	65
平均	140.1	137.7	83.8	73.9

○加速度脈波測定装置による、自律神経安定度合の測定

光透過型脈波計測の原理を用いた加速度脈波計測装置を用いて脈波変動を計測する。一般に心拍を示す、R-R間隔測定であれば心電計を用いることで測定が可能であるが、医療用心電計は四肢に装着するクリップ電極（4カ所）と胸部に装着する電極（6カ所）が必要となり、運動負荷心電図などにも用いられるテレメータ型（遠隔測定型）であったとしても電極を装着することで被験者の移動や動きに大きな制約を与えてしまう。そこで、光透過型脈波計測装置であればプローブは指先に装着するだけで、体動による測定誤差の懸念はあるが、痛みも伴わず簡単に測定を行うことが可能である。本研究では、R-R間隔の微細変化を時間領域/周波数領域にわけて分析することで、自律神経の安定度合を計測することが可能である加速度脈波計測装置を用いて、実測が可能かどうかの試行を行った結果、装置の装着や連続計測ができることが確認できた。現在データを蓄積している状況である。

○皮膚電気反射（GSR：ガルバニック・スキン・リフレックス）の測定

被験者の興奮状態により、汗腺の活動が変化することに着目し、発汗量に応じて人体のインピーダンスが変化することに着目した測定法である。指先に電極を装着し、2極間交流電流を流し、その電圧降下から皮膚抵抗の変化を測定する。安全範囲で電流をかけるので被験者への痛みなどはほとんどない。この測定量の変化により、交感神経有意か副交感神経有意かの状態を判断することが可能である。

問題点もあり、個人差が大きいことや外気温や皮膚温との関係が高く影響を受けやすいことが挙げられる。またこの原理はいわゆる「うそ発見器」として利用される。^{12), 13)}

GSR測定器としてOG技研製BF-30で測定し、リハビリ

表2 GSR測定例

試行/疾患	年齢	HDS-R	通常リハビリ	自律制御ロボット	遠隔制御ロボット
1 右中脳出血	76	10	交感神経有意	副交感神経有意	交感神経有意
2 脳梗塞	78	0	交感神経有意	変化無し	交感神経有意
3 右急性硬膜下出血	79	8	変化無し	変化無し	変化無し
4 右視床小脳出血	87	5	交感神経有意	変化無し	交感神経有意
5 左視床出血	87	6	変化無し	変化無し	変化無し
6 右視床出血	76	7	交感神経有意	副交感神経有意	交感神経有意
7 右視床出血	72	16	交感神経有意	交感神経有意	交感神経有意

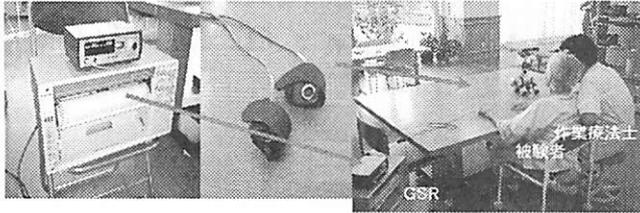


図5 GSR測定機器(左)、電極(中央)、測定の様子(右)

リテーション(作業療法)でのRAT実施中に被験者のGSR測定を行った結果を示す。¹⁴⁾

作業療法RAT時には、患者の注意持続や活性がRATの目的であるため、交感神経有意であることが、セラピーの効果となる。表2の結果から、個人差はあるが7例中5例で交感神経有意に働いたと考えられる。

5. RARの提案

我々は、RATの一環として、RARを提案している。これは遠隔操作型ロボットを用いたRATで特にリハビリテーション療法を志向したものを指している。

理学療法・作業療法におけるリハビリテーションは、本人のモチベーションを高め自発的動作を誘発する必要がある。このきっかけづくりにロボットを用いる試みである。動物と比べロボットは初見の人には珍しく「刺激」が強い。しかし、刺激が強いものほど時間がたつにつれて減衰も大きい。この刺激の強さから被験者・介在者(セラピスト)の共同注意対象となり、ロボット-被験者-介在者(セラピスト)の三者関係が発生しやすいと考えられる。リハビリテーションで用いられる様々な道具があるが、道具の刺激性は強くないことから被験者-介在者(セラピスト)の二者関係であることが多いと考えられる。その上、遠隔操作機能を用いていることから、治療計画に沿った動作を設計でき、音声などによる様々なレスポンスを返すことができる。これらの他の道具にない特性を使用することで、機能回復訓練の他、高次脳障害等の疾病に対する回復リハビリテーションへ適用できると考え試行している。

現在、様々なRARを支える遠隔操作システムの改良に注力している。当初のシステムではノートパソコンとロボット及び無線LANシステムと専用オペレータという構成でスタートしたが、これではマンパワー不足が叫ばれる現場では使用することが困難である。そこ

で、現地スタッフでも操作が可能になるよう、操作が用意で機動的実施ができる端末のニーズがあったため、現在ではPDA(パーソナル・データ・アクセスデバイス)とロボットを無線LANシステムと直結させたシステムや高齢者自身が操作可能なコントローラを使ったシステムの開発し、現在フィールドワークに投入し検証中である。¹⁵⁾

6. まとめ

本稿ではRAA/RARに関する研究の取り組みについて、RAAのスタートアップから現状までを報告した。当初は動物の代替としてロボットを用いることから始めたが、ロボットならではの機能を活かすことでより違った効果を狙うことができた。特に遠隔操作型ロボットを用いることでロボットの特異性を活かした活動へ進化したと考える。RAAをRATそしてRATのリハビリテーション特化させたRARへ拡張するためには効果の評価が焦点となっており試行錯誤を重ねている状態である。RARにおいて、ロボットは他のリハビリテーションに用いられるペグやパズルなどのツールよりも刺激・興味の引きやすさが強いので、この特性を活かすことで各種リハビリテーション療法へ適用できると考えられる。RAT/RARは試行例や研究グループが少なく、まだまだ試行も研究の余地もあり、今後も様々な医療・介護現場の方々と共同研究を行い、システムへのフィードバックを行うことで、様々なRAA/RAR用システムの開発を行っていくことでより現場で使用しやすくと考えられる。

謝辞

様々な助言をいただいた筑波学院大学の浜田利満教授、帝京科学大学の横山章光准教授、木村龍平准教授、およびフィールドワークでご協力いただいた特別養護老人ホームサントピア・パストーン浅間台・ライフヒルズ舞岡苑、介護付有料老人ホームヴィレッタ甲府、所沢ロイヤル病院理学療法士の加藤範子氏、健康科学大学の佐藤真一准教授、市立甲府病院作業療法士の有泉宏紀氏・鷹左右由紀氏にお礼の意を表します。

参考・引用文献

- 1) 政府・与党医療改革協議会、「医療制度改革大綱」(2005.12)
- 2) 横山章光、「アニマルセラピーとは何か」NHKBooks(1996.12)
- 3) SONY Aibo Official Site "AIBOの歴史や魅力を

- 知る"
<http://www.sony.jp/products/Consumer/aibo/aibostory/aboutaibo/story/09/092.html>
- 4) 防衛医大 横山章光、「ロボットを利用した精神医療の可能性 -アニマルセラピーの視点から-」最新精神医学7 (5) pp 439-447, (2002)
- 5) 木村龍平・永沼充・寺田貢、「小児科病棟におけるRAAの試み」計測自動制御学会 第3回システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI2002) 講演論文集 pp.391-392 (2002.12)
- 6) 海野仁・杉山陽太・大久保英一・木村龍平・永沼充、「医療現場におけるエンタテインメントロボット導入の試み」
 SONY OPEN-R Techno Forum/OPEN-R SIG 2004 (2004.12)
<http://journal.mycom.co.jp/articles/2004/12/13/open-r/001.html>
- 7) 大久保英一・海野仁・根岸崇・木村龍平・永沼充・鷹左右由紀・有泉宏紀・佐藤真一、「カード提示による遠隔操作を利用した新しいRAAの試み」計測自動制御学会 第5回システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI2004) 講演論文集 pp.110-111 (2004.12)
- 8) 佐藤真一・有泉宏紀・鷹左右由紀・海野仁・大久保英一・木村龍平・永沼充、「ロボット介在療法における自立型ロボットと遠隔操作ロボットの比較検討」計測自動制御学会 第5回システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI2004) 講演論文集 pp.104-105 (2004.12)
- 9) 鷹左右由紀・佐藤真一・有泉宏紀・土屋崇・永沼充・木村龍平
 「作業療法としてのロボット介在療法の紹介 -ロボット犬AIBOを通して-」
 作業療法 23巻特別号 2004/5 日本作業療法士協会
- 10) 塩谷盛泰・大久保英一・木村龍平・永沼充、「ロボット介在活動における視線観察手法の評価」計測自動制御学会 第6回システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI2005) 講演論文集 pp.201-202 (2005.12)
- 11) 大久保英一・村田秀和・鉄井俊宏・加藤典子・米岡利彦・若林丈晃・木村龍平・永沼充、「リアルタイムにロボット操作と被験者行動評価が可能なRAA/RAT用遠隔操作端末の改良」計測自動制御学会 第9回システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI2008) 講演論文集 pp.713-714 (2008.12)
- 12) 加藤象二郎・大久保堯夫、「初学者のための生体機能の測り方」日本出版サービス (2006.9)
- 13) 八木寛、「医用電子計測」産業図書 (1985.5)
- 14) 有泉宏紀・佐藤真一・鷹左右由紀・及川奏・大久保英一・木村龍平、「ロボット介在療法における皮膚電気反射と身体機能の関係」、第39回日本作業療法学会講演集 講演番号 101019 (2005.6)
- 15) 大久保英一・鉄井俊宏・丸山直司・伊藤翼・若林丈晃・加藤範子・木村龍平・永沼充
 「小型操作端末を用いた遠隔制御ロボットによるロボット介在活動・療法の検討」
 リハビリテーションネットワーク研究 Vol. 6 No.1 2008 pp.70-76 日本リハビリテーションネットワーク研究会 2008.8.10