

C HANGE THE VIEWPOINTS

視点を変えて

ヒトの哺乳と搾乳に関する研究

— 乳児の哺乳行動に基づいた搾乳ロボットの開発 —

信州大学繊維学部 機能機械学科 河村 隆

筆者はロボットの研究者であり、はじめ、ロボットの姿勢制御の問題に興味を持ち研究を行っていた。その中で子どもの頃からの難問「猫はなぜ宙返りをするか」がロボットの姿勢制御に関して重要な示唆を与えるということに気づき、猫の宙返りの研究を行った。猫の宙返り動作を繰り返し観察して、その物理的原理を明らかにし、ロボットでこれを実現した。なんと猫はよく言われるように体をねじっているのではなかった。まるで空中でフラフープでもするように背骨を回していたのである。この動作を行うためには柔軟な背骨構造が不可欠であり、猫が猫背であるのは必然である。これによりロボットの姿勢制御に新しい方法を提案するとともに、このようなロボットの運動（非ホロノミックな拘束を受けるロボットの運動という）の研究の端緒を開いたと自負している。より詳しくは [1] [2] を参照されたい。

したがって生物、特にヒトを扱うのは専門分野ではない。そのような私がヒトの哺乳と搾乳のことに興味を持ったのは、たまたま出会った助産婦の廣瀬ミエ子氏 [3] の一言からだ。「搾乳で苦労しているお母さんが多いので現在のロボット技術で何とか手助けできないか」というのが、いただいたお題である。私は猫ひねりロボットの研究を通して、これからのロボットは、ヒトや生物が持っている優れたスキルを自ら学習によって身につけることが必要だと考えていたの

で、この課題にチャレンジすることとした。以下、これまでに行ってきた研究の

概要を示す。何かの参考にしていただければ幸いである。

1. 搾乳ロボットの必要性

近年、少子化の傾向が定着し、日本女性が一生のうちに産む子供の数は平均で1.38人と聞いている。このような急激な少子化が進んでいくことは、日本の将来にくらい影を落とすと考えるが、個人の選択の総和である統計結果を大きく変えていくことはどのような施策でも難しいであろう。

さて、少子化が進む一方で、子どもの数が少なくなったので当然といえるかもしれないが、子育ての重要性が強く認識され、子どものケアに対する出費も大きくなった。子どもは6つのポケット (Six pockets) を持つといわれ、両親とその両親 (祖父母) の計6人 (のポケットに入っている財布) から経済的な援助を得ている。いまや子ども関連産業は大きなマーケットを持つこととなっている。

子どものケアに時間もお金もかけようというような状況の中で、母乳保育の重要性が再認識されてきた。少ない子どもを大切に育てることが重要なことであり、出きる限り母親として与えられた使命を果たしたいと考える人が多くなり、母乳の持つ役割、たとえば初乳に含まれる免疫なども広く認識されるに及んで、

若い母親の間では母乳保育は善で人工栄養は悪であるかのような雰囲気もあるという。また、若い母親にとって出産・育児による体型の変化は大きな関心事で、このような面からも乳房ケアの必要性を感じている人も多い。

いずれにせよこのような背景のもと母乳により乳児を育てる人が増加している。母乳保育において、乳房管理や授乳時間のコントロールを行うことが必要になる場合や、子供が未熟児であるために直接授乳できない場合など様々な理由から搾乳がおこなわれる。その場合、現在はほとんどの場合、医師および助産婦、看護婦は自分の手による搾乳を薦めている、どうしても必要な場合、補助器具として搾乳器が使用されている。

しかし、従来の搾乳器はその動作原理から乳房に悪影響を及ぼし、乳腺炎などをひきおこす可能性が指摘されている。そこで、本研究は母乳保育を支援するために、母体に優しい搾乳機器の開発を目標にヒトの哺乳と搾乳について研究を行うものであり、その搾乳のためにヒトの乳児の行っている哺乳動作をお手本とする搾乳ロボットを開発する。



2. ヒトの哺乳動作の測定と解析

猫の宙返り動作もヒトの哺乳動作も生得的に行う動作であり、これは長い時間と世代間淘汰を経て獲得されたスキルである。このように獲得された動作は、動作主体自身のサイズ、持っている筋肉の力の強さなどの条件と生活環境条件における最適化が行われていると考えられ、ロボットでこれをお手本としない手はない。そこで、まず乳児の搾乳行動の観察を行った。

乳児の哺乳動作は「噛む・吸う・吸る」の3つの動作からできているといわれている。「噛む」は唇で乳房に圧力刺激をあたえ、歯茎で乳頭の根本を噛むことによって、哺乳動作の信号を母体にする。「吸う」では乳児の舌中央部を大きく上下動させて陰圧を発生させると同時に「吸る」では舌を蠕動するように動かして乳首から母乳を絞り出す。

このような乳児の動作が実際にはどのような物理的特徴を持って行われているかを観察するために、実際に乳頭に加わる力(噛み合い力)、乳を吸い出すための

吸吸圧とを同時に測定するとともに舌の動きの観察を行った。

実験装置は図1に示すとおりで、ほ乳瓶の人工乳首部分に力測定用のセンサを配置して噛み合い力を測定する、乳首先端部には圧力センサを取り付け、乳児の口腔内圧を直接測定する。ちなみに従来の測定法では、口腔内圧を直接測定する直圧式とは乳瓶内圧を測定する間接圧式とがどちらも取り上げていたが、哺乳

動作を解析する立場からは直圧式の方が優れていると思う。

また、これらの測定と同時にエコーを用いて舌の動きを観察する。舌の動きは噛み合い力、吸吸圧のそれぞれに影響を与える動作主体と考えられ、これを観察することにより哺乳動作をよりよく理解することができると考えた。従来これらの測定は同時にではなく別個に行われることが多く、哺乳動作を現象としてとらえることはできても、動作を原理的に理解することは難しかった。

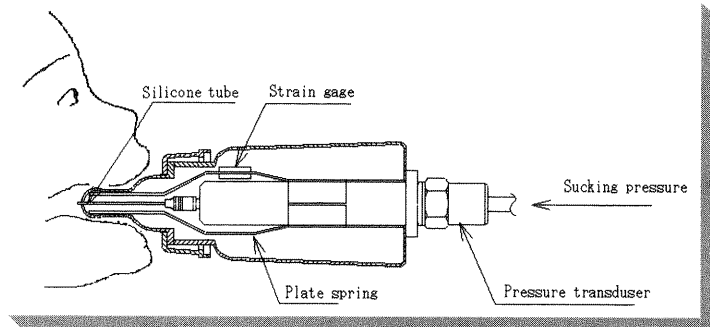


図1 哺乳動作測定装置

3. 観察・測定結果

測定対象は生後2週間と3ヶ月の乳児とした、生後2週間の乳児は比較的飲み方に癖がないとされている。これらは産院で出産後退院直前の乳児と帰宅後(この測定のために)外出がしやすくなった乳児である。

図2に示すのは、生後3ヶ月の乳児の噛み合い力と吸吸圧の関係である。非常に規則正しく動作を行っているのがわかる。特徴的なのは噛み合い力と吸吸圧の位相差であり、ほとんどの場合が1/4周期から2/5周期の範囲内の位相差を持っていた。これは舌と上顎で作る搾乳ポンプと舌による母乳の絞り出しの動作を持つ機械的構造によるものと考えられる。観察により飲み方の悪いと判断された乳児ではこの位相差をきちんと確認することができなかった。FFT(高速フーリエ

変換)で周波数解析を行うと1.1 Hz付近の周波数でこの動作を行っていることがわかった。乳児はこの規則正しい動作を数秒から十数秒繰り返した後、しばらく

動作を休止し、その後それらを繰り返す。生後2週間と3ヶ月の乳児でこれらの測定には大きな差は見られなかったが、3ヶ月の乳児の方が上記の位相差が多少大きくなる傾向が見られた。また、吸吸圧は3ヶ月の乳児の方が大きくなってお

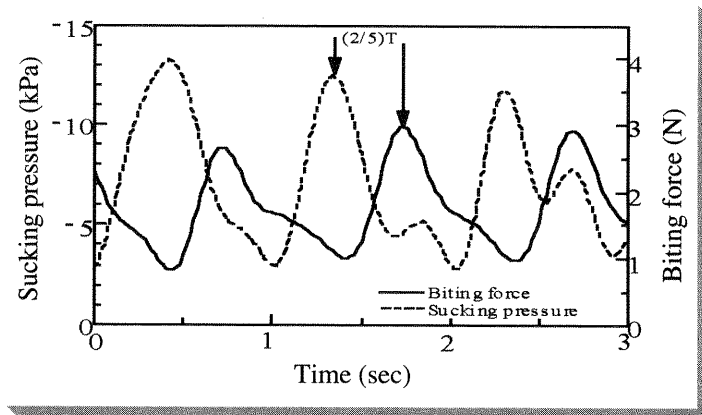


図2 噛み合い力と吸吸圧の測定結果(3ヶ月児)

■ 視点を変えて ■

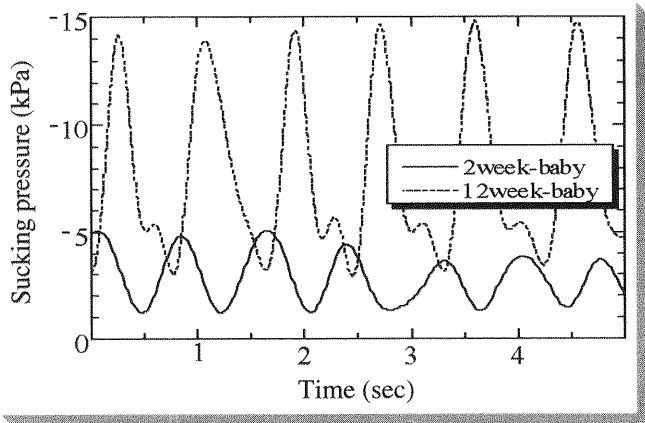


図3 2週間児と3ヶ月児の吸啜圧の比較

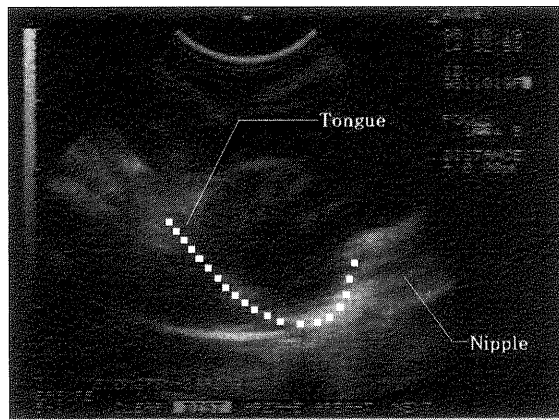


図4 舌動作のエコーによる解析

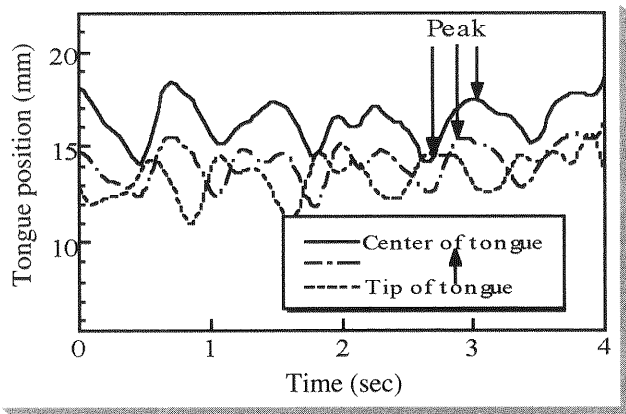


図5 舌の動作（先端付近部分）

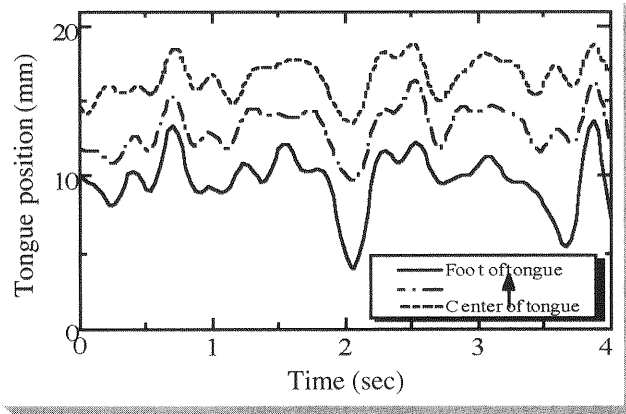


図6 舌の動作（中央部分）

り、力強く吸引していることがわかった。図3には生後2週間と3ヶ月の乳児の吸啜圧の比較を示している。

舌の動作の時間変化を見るために、超音波診断装置による動映像をビデオで録画し、その後静止画としてパーソナルコンピュータに取り込み、舌の位置をX-Y座標データにして解析した。その結果、舌の

前半部と後半部で動きに違いがみられた。舌先から舌の中央付近にかけてまでの乳首に触れている部分で、舌先から根元に向かっての蠕動運動が行われている。これに対して舌の中央付近から根元までの部分では、舌の上下動が盛んに行われており、陰圧の発生に大きく関係していると考えられる。また、舌の根本付近は

一種の弁というべき動作を行っていることがわかった。図5に舌先付近の動作の様子を示す。図中の舌の変位を表す線のピークが舌先から舌の中央方向に移動している様子がわかる。これに対して図6は舌の中央部から奥の部分の動きを示すが、各線のピークは同時に現れており、全体に上下動している様子がわかる。

4. 搾乳装置

以上のような測定結果をもとに乳児の哺乳動作を模倣する装置を製作した。本装置は、舌の蠕動、あごの動きによる噛み合い動作の役割をする舌機構部と吸啜動作の役割をする吸圧部で構成している。舌機構部はエアシリンダによって駆

動させ、蠕動運動を模倣すると同時に、乳児の舌による乳首への刺激を再現し、母乳の分泌を促すものである。これによって従来のように高い陰圧を必要とせず母体に優しいより自然な搾乳が行えるものである。図7に装置概略図、図8に

舌機構部写真、図9に舌機構部外略図を示す。本来はヒトの舌のように3次的に複雑な動作可能なアクチュエータが望ましいと考えられるが、実現が難しいため今回はアクリル板を一行に並べた構造とした。この板を一枚ずつそれぞれ動かすことにより蠕動運動を1次的に模倣する仕組みである。

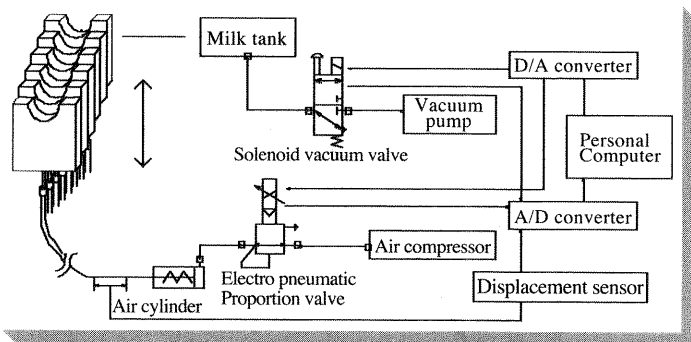


図7 搾乳ロボット装置概要

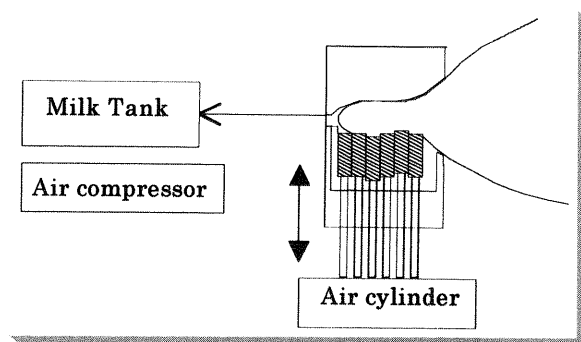


図8 蠕動運動発生装置概略図

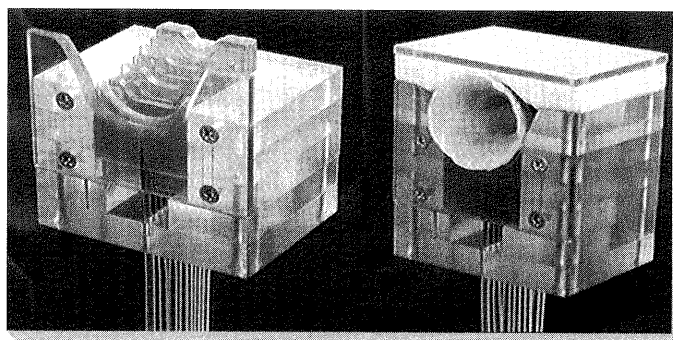


図9 蠕動運動発生装置写真

5. 搾乳実験

製作した搾乳装置を用いて実際に搾乳を行った。本装置との比較のため、一定の圧力で吸引する従来の搾乳器と吸引圧力を乳児の哺乳と同じリズムで脈動させて吸引するMedela社製搾乳器の圧力変化を調べ、また実際に搾乳実験も行った。

従来の搾乳器は、手動、電動にかかわらず一定の陰圧のみで搾乳を行うものである。この市販器で搾乳を行う場合の実際の加わる陰圧を測定し、新生児の場合における陰圧の変化と比較する。測定に使用したものは電動式のもので圧力調整によって高圧力指定時と低圧力指定時の測定を行った。その結果、新生児と比較してみると高圧時に新生児に比べ約10倍の圧力を発生していることがわかった。

Medela社製の搾乳器は、乳児の哺乳時におけるリズムを考慮した搾乳器である。その特徴は、(吸引・吸引・離脱・休息)という生理学的吸引リズムを吸引フェーズと休息フェーズに分けて行っていることである。グラフからも1 Hz程度の周期

で圧力変化していることがわかる。また、圧力ピークも従来の市販器の最高圧の40%程度となっている。

本搾乳装置では、実際の新生児の哺乳時のデータを指令値として与え、舌機構の変位と力、および吸啜圧を制御している。図10に各搾乳器の陰圧の変化、図11にその拡大図を示す。各搾乳機の圧力変化の違いがよくご理解いただけたと思う。

哺乳ピンからの搾乳実験を行った結果を表1に示す。市販器においては、高圧時において乳児と同程度の搾乳量が得ら

れるものの、過大な負荷により乳首の大きな変形が観察された。本装置の場合には乳児と同程度の搾乳結果が得られている。また、従来の搾乳器では、搾乳が難しかったトレーニング用乳首からも搾乳が可能である。

本装置を用いて産後およそ2~3ヶ月の母体からの搾乳実験を行った。その結果、母乳の出がよかった母体からは搾乳に成功した。また、噛み合い力が乳児に比べると全体的に弱いという意見が多かった。これは乳首の長さなど個人差の問題や、乳頭保護のために付加したシリコンゴムにより十分な噛み合い効果を与えることができなかったためと考えられる。

表1 人工乳頭の種類

	ふつうの乳首	トレーニング乳首
乳児	60	20
従来の搾乳器		
高圧時	30	30
低圧時	5	0
吸圧変化を考えたMedela社製搾乳器	35	10
本装置	90	30

単位はすべて [cm³/min]

■ 視点を変えて ■

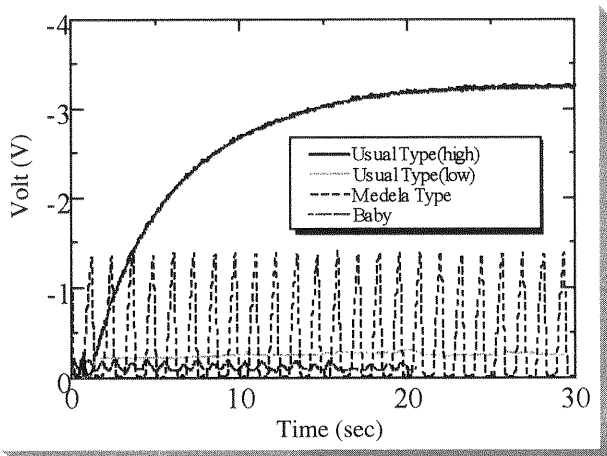


図10 各搾乳装置の圧力変化

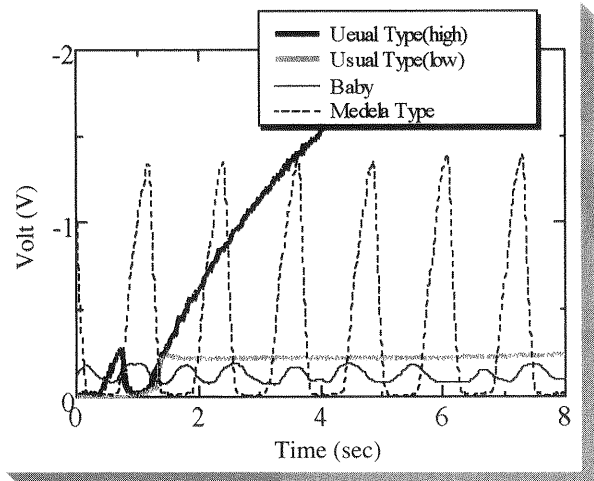


図11 各搾乳装置の圧力変化 (拡大図)

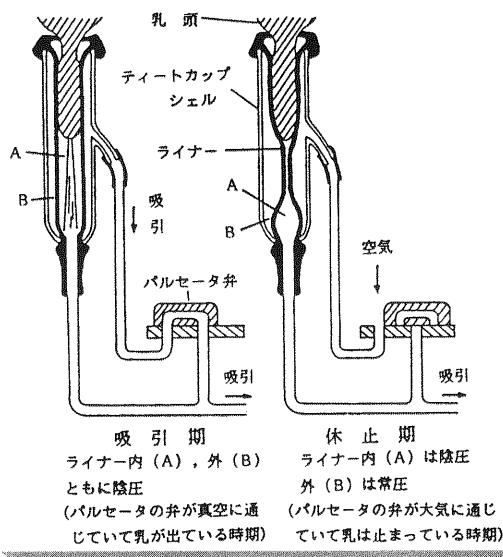


図12 牛の搾乳機ミルカーの動作原理図 [7]

ポットには母体の心地よさをフィードバックするような感性工学的アプローチが必要であると考えている。

謝辞

新生児の哺乳動作の測定は長野県立須坂病院および穂助産院にて行った。ご協力いただいた病院関係者、廣瀬助産婦ならびに新生児とその母親の皆様に感謝する。また装置の製作にあたって協力いただいた(株)M.A.T.、および(株)コガネイの各社、搾乳器などを提供いただいたMedela社に感謝する。

参考文献

- [1] 河村 隆, 山藤和男, 小林 剛; 空中を落下するロボットの姿勢制御と軟着地, (第1報, ねこひねりによる空中姿勢制御), 日本機械学会論文集 (C編), 57-544, 3895-3900, 1991.
- [2] 河村 隆; ねこひねりロボット, 計測と制御, Vol. 36, No. 6, 1997.
- [3] 穂 (みのり) 助産院, <http://www3.ocn.ne.jp/~minorih/>
- [4] 河村 隆, 中沢 賢, 依田 輝, 古柳幸夫; ヒトの哺乳と搾乳に関する研究, 第10回バイオエンジニアリング講演会 (1998) .
- [5] 加藤英夫, 平山宗宏, 小林 登; 母乳保育メディアサイエンス社 (1993) .
- [6] 坂下玲子; 母乳哺育児と哺乳瓶育児の吸啜パターンの検討 (1991) .
- [7] (社)全国乳質改善協会編; ミルカーの点検整備と乳房炎防除 (1987) .

6. まとめ

新生児の哺乳動作の測定結果をもとに、吸啜圧変化のみだけでなく舌の動きも考慮した搾乳機を開発した。この装置によって新生児の哺乳動作を模倣し、哺乳ビンから乳児と同程度の搾乳に成功した。また母体からも搾乳に成功した。しかし、これらの結果はまだ十分な結果とはいえ、本報告はいわば中間報告である。今後の発展にご注目いただきたい。今後特に力を入れていきたいのは3次元的な動作可能な舌型アクチュエータである。このようなアクチュエータは従来

存在せず、さまざまな分野での応用が期待される。また、この研究を行っているとよくご質問いただくことであるが、牛の搾乳機との比較である。図12に牛の搾乳機の動作原理を示す。牛の搾乳機でさえ (というと牛に失礼かもしれないが) 哺乳のリズムを考慮した搾乳を行っているのである。牛の搾乳では最短時間の最大搾乳量の確保が重要な問題であるが、人間の場合にはそうではない。むしろ母親の安心、安全、快適がキーワードとなる。そういう意味で、ヒト用の搾乳口