二次元型顎運動シミュレータ (JSN/S1)

— かみしめを伴う開閉口運動制御 —

中 嶋 新 一^{*1} 小 林 祐 司^{*2} 林 豊 彦^{*3} 小 林 博^{*4}

2D Jaw-Movement Simulator (JSN/S1)

— Control of Opening and Closing Movement with Clench —

Shin-ichi Nakajima^{*1}, Yuji Kobayashi^{*2}, Toyohiko Hayashi^{*3} and Hiroshi Kobayashi^{*4}

Human mastication is performed by coordinated motions of several muscles attached to the jaws. To clarify the functions of these muscles, we have developed a jaw movement simulator (JSN/S1). The simulator consists of a 2DOF mechanism and four muscle actuators, capable of realizing jaw movements in a sagittal plane. The actuator is a cable-tendon driven by DC-servo motor, which is controlled under a compliance control scheme to obtain viscoelastic characteristics of the muscle. In order to simulate life-like clenching motion, we attempted to control the position and force at the incisal point, by incorporating position/force sensors to that point, and employing a neural-network based learning control scheme. Consequently, the trajectory and force at the incisal point were successfully converged into desired value through learning process.

Key Words: Jaw-movement Simulator, Mastication, Muscle Actuator, Neural Network, Learning Control

1. は じ め に

生体の運動機能に関する研究において、近年、工学的な立場からシステムとして生体を把握することの重要性が強調されている[1]。脳、感覚器-神経系、筋-骨格系、など多数の要素からなる複雑なシステムである生体の機能を解明しようとするとき、従来の生理学的手法では十分ではなく、これとは異なる手法として、生体の運動機能をロボットでシミュレートする制御工学的な手法が有効である。この方法は、解剖学や生理学の分野で得られている知見を基にシミュレータを構成し、その制御法の開発を通じて生体の運動機能や制御構造を解明することを目的とする。

生体のシミュレータに求められる条件には、骨格や筋配置、関節等の機械的な構造が生体のそれらと同等であることや、アクチュエータが筋の特性をシミュレートできることなどが挙げられる。最終的に、生体に近い機構とアクチュエータを用いて生体に近い運動が実現できれば、その制御構造は生体の制御構造と同等であるといえるだろう。このような生体のシミュレー

タとして咀嚼ロボット、つまりヒトの顎運動を模擬するロボットが開発されている[2]~[8]。

これらのうち、高西、高信らは、かみしめ動作をシミュレートする1自由度モデルWJ-1[2]、咀嚼動作ができる3自由度モデルWJ-2[3]、WJ-3[4][5]を開発し、かみしめ時の顎関節負荷軽減[4]、食物コンプライアンスに対する適応制御などの検討を行っている[5]。これら一連の研究では、下顎の構造や筋をできるだけ生体に近くすることで、生体に近い自然な咀嚼運動を実現している。しかし、個々の運動と各筋の活動の関係は必ずしも明らかにされているわけではない。また、顎運動にかかわる筋の数は運動の自由度よりも多く、冗長アクチュエータとなっているが、この冗長性を生かした制御に関しても十分な検討はなされていない。

一方、林らは3自由度咀嚼ロボットJSN1を開発し、歯牙接触センサや咬合力センサ情報を用いることにより、ヒトに近いかみしめ運動を実現している[6]~[8]。しかし、この場合もセンサ情報を各筋にフィードバックするための制御構造に関しては十分な検討がなされていない。

このように、従来の研究において顎運動制御構造の解明が進んでいない一つの理由として、対象とする顎構造が複雑なことが挙げられる。つまり、生体に近い三次元的な顎運動モデルでは運動が複雑となり、そこに複数の筋を取り付けた場合の制御の困難さが問題となる。

これに対し、開閉口やかみしめ等の基本的な咀嚼運動においては、顎の機構をかなり単純化しても本質的な運動機能は損なわれないと考えられる。そこで、本研究では下顎の運動を必要

原稿受付 1996年3月26日

^{*1}新潟工科大学

^{*2}東芝機械(株)

^{*3}新潟大学大学院自然科学研究科

^{*4}新潟大学歯学部

^{*1}Niigata Institute of Technology

^{*2}Toshiba Machine Co.

^{*3}Graduate School of Science and Technology, Niigata University

^{*4}School of Dentistry, Niigata University

最小限の自由度をもつ機械機構でモデル化することにより、各筋の活動と顎運動の関係を明らかにすることを考えた。このように運動機構を単純化することにより、模擬できる運動は限定されるが、機械制御の立場からの運動制御構造の解明は容易となる。

ヒトの下顎の運動学モデルの一つに全運動軸モデルがあり、下顎の矢状面内運動に適用できる。矢状面内運動とは、顎をなるべく左右に動かさない運動で、下顎の最も基本的な運動といえる。この場合、左右の顎頭は、ほぼ同様な回転・並進運動を行う。つまり、矢状面内運動における下顎の運動は、全運動軸を中心とした回転と並進の2自由度運動となり、左右どちらかの顎頭および筋を考慮した二次元型の機構でモデル化できる。

このことから本研究では、下顎の矢状面内運動を実現する2自由度機構を用いた二次元型の下顎モデルを構成した。そして、この下顎モデルに筋に相当するアクチュエータを設置し、顎運動シミュレータ JSN/S1 を構成した。

顎運動に限らず、ヒトの運動は経験や学習を通じて獲得されると考えられている。ヒトが何か運動をするときには、そのたびに複雑な計算により筋を活動させているのではなく、繰り返して運動を行うなかで、筋の活動パターンが形成され、初歩の幼稚な運動から次第に滑らかで効率の良い運動ができるようになる。また、筋の冗長性を生かした協調的な筋活動も、同様な過程で獲得されると考えられる。このようなヒトの学習機能を考慮して、筋アクチュエータの制御にニューラルネットワークを用いた学習制御を適用した。

筆者らは、以上のシステムを用い、これまでに切歯点の位置制御による自然な顎運動を実現した[9]。このときの顎運動は、上下の歯牙接触を伴わない単純開閉口運動であったが、実際の顎運動では、このような運動が行われることはまれである。そこで、本稿では、かみしめを伴う顎運動についてとりあげる。

ヒトが何か物を噛んだり歯を食いしばったりするときには、自分が意図した場所で、意図した力で噛むことができる。このようなかみしめ動作は、複数の筋の協調動作により切歯点に関する位置と力の制御が行われていると考えることができる。この考え方にに基づき制御システムを構成し、実験を行うことにより、試作したシミュレータおよび制御システムの有効性を示すとともに、かみしめを伴う開閉口運動における各筋の機能を考察する。

2. 顎運動シミュレータ JSN/S1 の構成

2.1 下顎運動のモデル化と機構モデル

まず、下顎の形態、機能について、解剖学、生理学の分野で明らかにされているいくつかの知見を述べ、これに基づき下顎のモデルを構成する。

Fig. 1 に矢状面内における下顎の運動を示す。顎頭は顎関節の上顎と下顎が接する部分にあたり、下顎の運動に重要な役割を果たしている。下顎が矢状面内運動をするときの顎頭の動きに着目すると、顎頭上のある特定点を測定点に選んだ場合、様々な顎運動によってこの点が描く経路が接近し、狭い帯状をなす。この点は、自らを中心に回転しながら顎路と呼ばれる一定経路上を前後に移動することが報告されている[10]。また、

Fig. 1 2DOF mandibular model

Fig. 2 Structure of temporomandibular joint

顎路は一般的には曲線となるが、通常の咀嚼運動などに動作を限定した場合、ほぼ直線とみなすことができる。つまり、矢状面内における下顎の運動は、顎頭を中心とした回転運動と並進運動による2自由度運動であるといえる。また、顎を左右に動かさないことから、左右の顎頭の運動は同じになる。よってこの運動は、左右どちらかの顎関節および筋を模した機構でモデル化できる。

Fig. 2 に JSN/S1 の顎関節部を示す。この装置では、スライダに回転機構を取り付けることにより回転と並進の2自由度機構を構成している。

顎体は筋アクチュエータの配置を考慮して、ヒトのほぼ2倍の大きさとした。また、軽量でかつ十分な剛性をもつように、20 [mm] のアルミ板をくり抜き、肉厚 5 [mm] の箱形構造とした。重量は約 750 [g] である。

並進回転部には、直動型と回転型のポテンシオメータを取り付け、これらの出力により切歯点の位置を算出する。このため、関節の並進量はポテンシオメータのストローク 20 [mm] で制限を受けるが、通常の開閉口運動の動作範囲は十分カバーしている。なお、切歯点位置には、歪ゲージを用いた力センサを取り付け、咬合力を測定できるようにした。

2.2 筋アクチュエータ

2.2.1 筋アクチュエータの構造と制御

ヒトの骨格筋制御系は、大脳皮質、大脳基底核、小脳、脳幹、脊髄反射系等の多重ループによる階層型の制御系である。このうち最も下位の脊髄反射系は、関節のサーボ系に相当する[11]。

骨格筋の活動には、上位中枢からの指令だけではなく、腱器官、筋紡錘の出力も重要な役割を果たしている。腱器官は筋繊維に直列に接続し、筋張力を検出する感覚受容器で、その出力は筋収縮力を抑制するように働く。一方、筋紡錘は筋繊維に並列に存在し、筋の伸びと伸張速度を検出する感覚受容器で、筋が外力などにより伸展されると、筋収縮力を増加させる信号を出力する。また、筋収縮力指令値は筋紡錘出力と中枢からの指令により決まる。

このことは、筋が中枢からの信号に応じて、筋長の偏差を筋収縮力に変換するためのゲインを調節する可変剛性バネであるということを意味する[12]。よって筋をシミュレートする場合、筋紡錘と腱器官に対応する感覚器を備えることだけでなく、それらのフィードバックにより筋の長さや剛性を任意に変えられる機能が必要となる。

これらの知見により、JSN/S1 では、Fig. 3 に示すような筋アクチュエータを設計した。このアクチュエータは、DC サーボモータ、プーリ、張力センサ、駆動ワイヤで構成される。ワイヤは、モータの軸に取り付けられたプーリから、二つのプーリを介して下顎モデルに固定される。また、ロータリエンコーダは筋紡錘に対応し、張力センサは腱器官に対応する。

筋の可変剛性バネ特性に関し、高西らの WJ-3 ではモータワイヤに直列に挿入したバネ・ダンパ機構によりメカニカルに実現している[5]。しかし、この場合、筋の剛性などのパラメータは、機構自体の特性により決まってしまう、自由に変えることはできない。

そこで本研究では、筋アクチュエータの駆動には Fig. 4 に示すようなコンプライアンス制御法を用いている。この制御法の特長は、脊髄反射系の構造と機能を制御に取り入れ、筋の剛性を任意に変えられることである。この制御系は、ワイヤの張力制御に位置フィードバックを組み合わせた構成になっており、全体でバネのような特性を持つ。また、この制御系で目標位置

Fig. 3 Muscle actuator

Fig. 4 Compliance control of muscle actuator

Pd と、位置フィードバックゲイン Kd の値により、ワイヤの長さや剛性を任意に変えることができる。

2.2.2 筋アクチュエータの配置

下顎は多数の筋の協調動作により運動しており、矢状面内での運動には、Fig. 5 に示す外側翼突筋 (lateral pterygoid muscle)、咬筋 (masseter muscle)、側頭筋 (temporal muscle)、前頸筋 (anterior cervical muscle) が主にかかわっていると考えられる。内側翼突筋も挙上筋として重要であるが、走行方向が咬筋とほぼ同じであり、矢状面運動では機能も咬筋と同じである。これより、内側翼突筋は咬筋に含めて考えることができる。一方、側頭筋は筋幅が広く、機能的にその前部 (anterior portion) と後部 (posterior portion) に分割して考えることができる。ゆえに、下顎の 2 自由度機構モデルに対して五つの筋群がアクチュエータとして機能し、冗長な駆動系となっている。

これらの解析結果に基づき、Fig. 6 に示すように筋アクチュエータを配置した。なお、前頸筋は単純開閉口運動やかみしめ運動においては活動が小さいため、バネで近似することによりモデルを単純化している。また、試作装置では各筋アクチュエータの最大張力は 30 [N] である。このため、三つの挙上筋の合力としての咬合力も約 30 [N] までであり、ヒトの咬合力に比べ、かなり小さい。

3. かみしめを伴う開閉口運動制御

本研究では、咀嚼運動を次の二つの動作モードに分けて考えることにした。一つは、歯牙接触を伴わずに口を開けたり閉め

Fig. 5 Masticatory muscles

Fig. 6 Arrangement of muscle actuators

たりする開閉口モードで、この部分は切歯点の位置制御として考えられる。もう一つは、かみ込んだ後咬合力を調節する咬合モードで、ここでは切歯点の力制御が加わる。

この位置と力の制御をロボットで実現する場合の制御手法として、運動学に基づいて制御系を設計する方法が考えられる。しかし、駆動系に冗長性がある場合、各アクチュエータへの入力は一意に決定できない。また、顎運動のような習慣的な運動は、学習や経験などから得られる筋活動パターンにより行われていると考えられる。

ヒトの咀嚼運動においては各筋に固有の役割があり、学習前でも基本的な運動を行うことができる。そのときの運動は、どこもなく幼稚なものであるが、試行や訓練を繰り返すうちに、筋の剛性などを微妙に調整して、滑らかで効率の良い運動ができるようになる。

以上のような筋の制御動作をシミュレートするために、ここではニューラルネットワークを用いた学習制御の適用を試みた。この制御系は Fig. 7 に示すように、切歯点位置を目標値とするフィードバック制御系を基本とし、これにニューラルネットワークを用いたフィードフォワード制御を加えた構成となっている。

まず、フィードバック制御系は各筋の基本的な役割に基づき構成している。外側翼突筋は、その収縮により下顎骨を前方に運動させる機能を持つことから、切歯点の前後方向 (X 方向) の位置偏差をフィードバックしている。咬筋は、その収縮により下顎骨を挙上することから、切歯点の上下方向 (Y 方向) の位置偏差をフィードバックしている。また、側頭筋は下顎骨を挙上するだけでなく下顎骨を後方に運動させる。つまり、水平方向には外側翼突筋と拮抗し、上下方向には咬筋と同様な機能を持つ。このことより、側頭筋前部と側頭筋後部には、切歯点の上下方向と前後方向の位置偏差の差をフィードバック信号として与えている。

一方、ニューラルネットワークは各筋アクチュエータの伸びと剛性を修正する。ここで、筋アクチュエータの剛性の大きさは、生

体における筋の緊張の強さに対応すると考えられる。このように、本制御系は上位中枢としてのニューラルネットワークにより筋の活動を学習的に調整していることになり、ヒトの筋制御構造に近い形となっている。

ネットワークは 7 入力 8 出力の 3 層の階層型ネットワークを用いた。入力には咬合力、XY 座標系での現在位置、目標位置、目標速度を加え、4 個の筋アクチュエータそれぞれへの変位の修正値 ΔPd と剛性の修正値 ΔKd を出力する。また、学習時にはバックプロパゲーション法を用いている。ただし、ここでは教師信号として筋の伸びと剛性の目標値を与えることができないため、川入らのフィードバック誤差学習法 [13] にない、フィードバック制御系の誤差を用いてネットワークの重みを修正している。具体的には以下のように誤差信号を与えている。

かみしめ時における咬合力の発現および調節は、主に咬筋と側頭筋前部の活動に依存すると考えられる。しかし、咬筋と側頭筋前部の活動だけでは安定したかみしめ動作はできず、外側翼突筋と側頭筋後部の活動によりかみしめの位置を調節する必要がある。このことより、外側翼突筋と側頭筋後部の学習には、切歯点の前後方向の位置偏差を誤差信号とした。また、咬筋と側頭筋前部に対しては動作モードにより誤差信号を切り換えている。咬合モードでは咬合力の誤差、開閉口モードでは切歯点の上下方向の位置偏差を与える。

つまり、開閉口モードでは、切歯点の位置偏差を各筋の誤差信号とすることで、切歯点の軌道を学習する。一方、咬合モードでは、外側翼突筋と側頭筋後部の作用により切歯点の前後方向の位置を制御しながら、咬筋と側頭筋前部の作用により望ましい咬合力を発現する。この二つの動作モードを、一連の動作として行わせることにより、かみしめを伴う顎運動を実現することができる。なお、誤差信号の切り換えは咬合力センサの出力に閾値を設けることにより実現した。

4. 実 験

本実験では、開閉口からかみしめを含む基本的な咀嚼運動を学習により実現し、学習後に形成された筋の剛性パターンから、かみしめ時における各筋の機能を調べることにした。

Fig. 7 Control system for clenching motion

Fig. 8 Desired trajectory of the incisor

Fig. 9 Incisal trajectories

開閉口とかみしめの二つの動作モードを一連の動作として行わせるために、Fig. 8 に示すような切歯点軌道を目標値として用いた。点Bから点Cまでの直線は咀嚼運動における「すりあわせ」を考慮したものである。目標咬合力は5.0 [N] とし、上下顎間にアルミニウム板を挿入することで咬合状態とした。

咀嚼物は、(a) 5.0 [mm] 厚、(b) 10.0 [mm] 厚の2種類のアルミニウム板を用いた。切歯点の目標軌道は同じであるため、(a) 5.0 [mm] 厚の場合は、学習の初期段階で咬合力が目標値より小さくなり、(b) 10.0 [mm] 厚の場合は、学習の初期段階で咬合力が目標値より大きくなる。このように学習初期における咬合力の大きさが違う場合のそれぞれについて実験を行った。

学習前後の切歯点軌道を Fig. 9 に示す。学習後 (350 回試行後) の切歯点軌道には、学習前には見られない前後動が認められ、目標軌道にほぼ近い動きが実現されている。

また、学習前後の咬合力の時間変化を Fig. 10 に示す。学習前の段階で咬合力が小さ過ぎる場合も大き過ぎる場合も、学習後は目標値に近い咬合力が実現されている。これより、ニューラルネットワークにより切歯点の位置と力の制御が実現されていることが分かる。

次に、学習による各筋の活動の変化を調べてみた。筋の活動は収縮力により評価することもできるが、ここではニューラルネットの出力である筋アクチュエータの剛性により評価することとした。咬合相のように、運動が拘束されている状態では、剛性は直接収縮力に対応するが、開閉口などの拘束のない運動では、目標軌道への追従精度を上げるためにも高い剛性が必要となる。したがって、本実験のように拘束運動と軌道制御の混在した運動では、筋の収縮力よりも剛性の変化のほうが筋活動の様子をよく表していると考えられる。

学習後の各筋の剛性の時間変化を Fig. 11 に示す。学習前には各筋とも剛性は一定としていたが、学習後では咬合力を発生している咬合相 (occlusal phase) に違いが見られる。咀嚼物を薄いアルミニウム板としている (a) の場合は、咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部の剛性が高くなり、咬合力を大きくしようとしている。厚いアルミニウム板を用いた (b) の場合は、咬

Fig. 10 Occlusal force

Fig. 11 Stiffness of muscle actuators (after 350 trials)

合相で咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部の剛性が低くなり、咬合力を小さく抑えようとしている。

これに対して、外側翼突筋の剛性は運動全体にわたって大きな値を保っている。このことは、この筋が側頭筋による後方への力に抗して微妙な前後運動の位置精度を保つために機能していることを示している。また、(a) (b) で大きな差は見られないため、咬合力の調節にはあまり関与していないと考えられる。

以上の結果より、矢状面内での咀嚼運動において咬合力の調節は、咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部の協調的な動作により行われ、外側翼突筋は主に切歯点の前後動の制御に機能していることが実験的に確かめられた。この結果は、従来の生理学的な分野で得られている知見と一致する。

また、本実験では、咀嚼物として2種類の厚さの違うアルミニウム板を用い、いずれの場合も学習により目標とする咬合力を実現できることが確かめられた。これは、生体において義歯等により咬合位が変化した場合に類似した条件といえる。このとき生体でも、咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部が新しい咬合位に適応し、咬合機能を回復することが示されている [14]。本実

験では、これらの適応動作をシミュレートすることができた。

以上のことから、本システムが下顎の矢状面内運動のシミュレータとして十分有効に機能することが確認された。

5. ま と め

本研究では、下顎運動における各筋の基本的な機能を調べるために、簡略化したモデルによる筋の協調制御について実験的検討を行った。

まず、下顎の基本的な運動である矢状面内運動を実現する、回転と並進の2自由度機構による二次元型下顎モデルを構成した。

また、筋の可変剛性バネ特性をシミュレートするために、コンプライアンス制御法に基づく筋アクチュエータを開発し、これを下顎モデルの駆動に多数配置し、二次元型顎運動シミュレータ JSN/S1 を構成した。

さらに、JSN/S1 おいて複数の筋アクチュエータを協調的に制御し、生体における運動の学習機能をシミュレートするために、ニューラルネットワークを用いて各筋の長さ、剛性を修正する学習制御法を試みた。

以上のシステムを用いて、かみしめを伴う顎運動の実験を行い、このときの各筋の機能について考察を行った。その結果、咬合力の調節は、咬筋、側頭筋前部、側頭筋後部の協調的な動作により行われ、外側翼突筋は主に切歯点の前後動の制御に機能していることを実験的に確かめた。また、学習により形成された各筋の剛性パターンと生体の筋の活動状態に類似点が認められた。提案した二次元型顎運動シミュレータは矢状面運動にしか適用できないこと等の問題は残るが、下顎の基本的な運動における筋活動の解析、制御構造の解明には十分有効に機能することが確認された。

参 考 文 献

- [1] “ミニ特集 生理工学・生体機能へのアプローチ”，計測と制御，vol.25，no.2，pp.109-150，1986。
- [2] 高西淳夫ほか：“1 自由度顎モデル WJ-1 による開口反射，脱負荷反射の実現”，第9回バイオメカニズム学術講演会予稿集，pp.155-158，1988。
- [3] 高西淳夫，谷知之，田名瀬崇，加藤一郎：“咀嚼機械システムの開発 3 自由度顎機械モデル WJ-2”，バイオメカニズム 10 生体機能の解析と統合，pp.71-81，バイオメカニズム学会，1990。
- [4] 高信英明，朽木憲一，関口晃一，中原伸之，高西淳夫，加藤一郎：“咀嚼ロボットの開発側頭筋力ベクトル可変機構を利用した顎関節負荷の軽減”，第10回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.883-884，1993。
- [5] 高信英明，森寧，矢島武幸，柳沢直樹，高西淳夫：“咀嚼ロボットの開発非線形粘弾性機構を用いた食物コンプライアンス適応型顎運動制御”，第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.1045-1046，1995。
- [6] 青木たまよ，林豊彦，中嶋新一，小林博，宮川道夫：“自律顎運動ロボットの顎体と咬合力センサの試作”，信学技報，MBE 93-75，pp.115-122，1993。
- [7] 田村和巳，林豊彦，青木たまよ，中嶋新一，小林博，宮川道夫，石岡靖：“自律顎運動ロボット JSN/1 における咬筋アクチュエータの制御”，信学技報，MBE94-13，pp.97-104，1994。
- [8] 青木たまよ，林豊彦，田村和巳，中嶋新一，小林博，宮川道夫：“自律顎運動シミュレータ JSN/1B によるかみしめを伴う閉開口運動”，信学技報，MBE94-106，pp.89-96，1994。
- [9] 小林祐司，中嶋新一，林豊彦，小林博：“顎運動ロボットの制御（ニューラルネットワークを用いた筋アクチュエータの制御）”，第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.965-966，1994。
- [10] 河野正司：“Hinge Axis と全運動軸（シリーズ咬合器を理解するために3）”，補綴臨床 17（5），pp.181-192，1984。
- [11] 伊藤宏司，伊藤正美：“生体とロボットにおける運動制御”，計測自動制御学会，pp.121-146，1992。
- [12] 谷江和雄，横井一仁：“サイバネティックスマシン—生物の特長をそなえた機械の開発—”，日本ロボット学会誌，vol.6，no.3，1978。
- [13] 川人光男：“脳の運動学習”，日本ロボット学会誌，vol.13，no.1，pp.11-19，1995。
- [14] 河野正司：“咬合と筋活動”，顎口腔機能分析の基礎とその応用，デントアルダイヤモンド社，pp.208-217，1991。

中嶋新一 (Shin-ichi Nakajima)

1948年8月16日生。1973年新潟大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同大学工学部精密工学科助手，同講師，情報工学科助教授を経て，1995年4月より新潟工科大学機械制御システム工学科教授。1994年Illinois大Chicago校客員教授。ロボット用センサおよびセンサフィードバックによるロボットの制御などの研究に従事。工学博士。日本機械学会，計測自動制御学会などの会員。（日本ロボット学会正会員）

林 豊彦 (Toyohiko Hayashi)

1954年7月11日生。1979年新潟大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同大歯学部助手，附属病院講師，同大工学部情報工学科助教授を経て，1995年4月より同大大学院自然科学研究科助教授。顎口腔および下肢領域の生体工学，医用工学などの研究に従事。工学博士，歯学博士。日本ME学会，バイオメカニズム学会，IEEEなどの会員。（日本ロボット学会正会員）

小林祐司 (Yuji Kobayashi)

1970年8月2日生。1996年新潟大学大学院工学研究科修士課程修了。同年東芝機械(株)入社。現在同社中央研究所においてロボットの開発に従事。

小林 博 (Hiroshi Kobayashi)

1949年11月27日生。1984年東京医科歯科大学歯学部卒業。1990年新潟大学歯学部助手，1991年同講師。顎口腔機能と筋電図の関係，睡眠時無呼吸症候群，顎運動の中枢制御の研究。歯学博士。日本補綴歯科学会，日本顎口腔機能学会評議員，IADR，APS，日本ME学会などの会員。