関節物体の運動立体視機構のモデル

加 藤 克 己*
大 西 昇**
杉 江 昇**

A computational model for reconstructing 3D structure and motion
of an articulated object

Katsumi KATO*, Noboru OHNISHI** and Noboru SUGIE**

*Toshiba Co. Ltd.

**Nagoya University, School of Engineering

Abstract

A computational model is proposed to recover the 3D structure and motion of a moving articulated object, related to "biological motion", from 2D projected images. Two constraints are assumed in the model: one is that an object consists of several rigid rods, and the other is that each rod rotates around its own axis fixed in relation to the joint with the preceding rod. We implemented the model on a computer and obtained satisfactory results from simulations using artificial motion and human walk as input data.

1. はじめに

図1(a)のように体のあちこち（主に関節）にランプをつけた人が暗闇の中で動いているのをカメラで撮影し、そのフィルムを被験者に観察させる。すると、1コマ1コマは図1(b)のように単なる不規則な点の集合が写っているだけだが、観察者はフィルムに写された点の集合が何を表し、何をを行っているのか知覚することができるのである

る（図1(b)は二人の人間がダンスを踊っているのを撮影したもの）。この実験に用いられた人間の動きのように、関節で結合された物体（関節物体）が関節を支点として動きながら変形していくような動きをバイオリジカル・モーション¹⁾と呼ぶ。そして、運動情報を手掛かりにして物体の三次元構造と運動を知覚できる現象を「運動立体視効果」²⁾と呼ぶ。

運動立体視の研究は心理学だけでなく、コンピュータ・ビジョンの分野においても二次元情報から三次元情報を求めるための一手法として研究が行われている^{3)~7)}。そして、このような研究は1台のカメラによる三次元情報の推定を可能とし、歩行などの運動の計測をより簡便な形で実現できる。

剛体の運動について、Ullman³⁾は、正射影と中心射影の両方の場合について二次元投影像の位置情報のみが与えられた問題を扱った。また、

平成4年4月8日受付

* (株) 東芝

** 名古屋大学 工学部

〒464-01 名古屋市千種区不老町

キーワード: 運動立体視 (kinetic depth effect),

三次元構造復元 (Reconstruction of 3D

structure), 関節物体 (articulated object),

バイオリジカルモーション (biological motion),

回転運動 (rotational movement)

Sugihara and Sugie⁴⁾ は、正射影の下でオプティカル・フローの情報も用いることにより剛体の三次元情報の復元を行っている。

関節物体について、Webb and Aggarwal⁵⁾ は正射影の場合において固定軸回りの回転運動の考え方の導入と、光点間の構造が剛体であると仮定することによって、バイオロジカル・モーションの位置情報のみから剛体ロッド（棒）間の構造復元を試みた。一方、柴田ら⁷⁾ は、正射影像において

図1 バイオロジカルモーション

Fig.1 Biological motion

(a) 人体に付けた豆球

(b) 二人のダンスをする人を写したフィルム

(a) Lamps attached to human body

(b) Successive frames showing two dancing persons

位置および速度の情報を用いて、回転運動をしている2本の剛体ロッドの構造復元法を提案した。

本稿では、柴田らの方法をさらに拡張し、バイオロジカル・モーションなどのより一般的な運動時の関節物体の構造と運動を復元する手法とそのシミュレーション結果について述べる。

2. 問題設定

1章で触れたように、運動が全く自由であったり、観察される点間の構造が非剛体である場合には運動立体視効果は生じない。そこで、本研究では次のような仮定、束縛条件に従う関節物体を定義する。

図2 関節物体

Fig.2 An articulated object.

図3 ロッド L_{k-1} に対するロッド L_k の回転
() 内の数字は時刻を表す。

Fig.3 Rotation of rod L_k relative to rod L_{k-1} .
The number in parentheses shows time.

「物体はいくつかの関節を持ち、複数の剛体ロッドを組み合わせたものだと考える (図2参照).」

「各ロッドは連結点においてそれぞれ固有の回転軸を持って回転運動を行っているものとする.」

つまり、 L_k と名付けたあるロッドが他のロッド L_{k-1} との連結点を支点として回転しているとき、 L_{k-1} の方向が変化した場合、 L_k の回転軸も L_{k-1} と一定の方向関係を保ったまま、変化することになる (図3参照).

このように定義したとき、他のロッドの回転の影響を受けない回転軸を持ったロッドが必ず存在する. そこで、その支点をルートと名付け、ルートを支点に回転するロッドのうちの一本を L_1 とする.

回転軸の方向には、上述のような束縛条件を設けたが、回転速度の大きさや、関節物体全体の行う並進速度については、全くの任意とする.

観測条件については、関節物体が三次元空間において動いているとき、正射映像上での各ロッド端の位置と速度ベクトルが観測されるものとする.

3. 復元手法

3.1 ロッド L_1 の復元

物体全体の並進運動では各ロッドは平行移動するだけであり、方向は変化しない. したがって、ルートを基準とした相対運動のみを考えると、ルートを支点として回転しているロッド L_1 は、一定方向の回転軸回りを回転しているので図4のように円錐軌道上を動く.

今、 L_1 の支点 P_1 の位置ベクトルを $\mathbf{P}_1$ 、円錐底面上の動点 P_2 の位置ベクトルを $\mathbf{P}_2$ とすると、剛体ロッドを表すベクトル $\mathbf{r}$ は、

$$\mathbf{r} = \mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1 \quad (1)$$

となる. ロッドは剛体であるから、

$$|\mathbf{r}|^2 = \text{const} \quad (2)$$

である. (2) 式を時間に関して一階微分すれば、

$$2\mathbf{r} \cdot \dot{\mathbf{r}} = 0 \quad (3)$$

である.

時刻 1, 2 における $\mathbf{r}$, $\dot{\mathbf{r}}$ をそれぞれ $\mathbf{r}(1)$, $\mathbf{r}(2)$, $\dot{\mathbf{r}}(1)$, $\dot{\mathbf{r}}(2)$ とする. $\dot{\mathbf{r}}$ はその円の接線方向のベクトル、また点 P_2 は常に底面円周上の点なの

図4 ロッド L_1 の回転運動

Fig.4 Rotation of rod L_1 .

で、 $\dot{\mathbf{r}}(1) \times \dot{\mathbf{r}}(2)$ は底面に垂直なベクトルであり、 $\mathbf{r}(1) - \mathbf{r}(2)$ は円錐底面上のベクトルである.

したがって、(2), (3) 式と合わせて、

$$|\mathbf{r}(1)|^2 = |\mathbf{r}(2)|^2$$

$$\mathbf{r}(1) \cdot \dot{\mathbf{r}}(1) = 0 \quad (4)$$

$$\mathbf{r}(2) \cdot \dot{\mathbf{r}}(2) = 0$$

$$[\mathbf{r}(1) - \mathbf{r}(2)] \cdot [\dot{\mathbf{r}}(1) \times \dot{\mathbf{r}}(2)] = 0$$

の連立方程式を得る.

時刻 t における $\mathbf{r}(t)$, $\dot{\mathbf{r}}(t)$ を直交座標系で次のように表す.

$$\mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$$

$$\dot{\mathbf{r}}(t) = (\dot{x}(t), \dot{y}(t), \dot{z}(t)) \quad (t = 1, 2)$$

$x - y$ 平面を投影面とすると、 x , y 成分は既知であり、未知数は $z(t)$, $\dot{z}(t)$ ($t = 1, 2$) になる.

よって、未知数 4 個に対し (4) の連立方程式は 4 式からなるので、各成分を代入し整理すると $z(1)$ に関する 4 次方程式が得られ、それを解くことによって解の候補を得ることができる.

4 次方程式であるから、その実数解は最大で 4 個存在する. さらに、連立方程式の第 1 式より、

$$z(2) = \pm \sqrt{z^2(1) + C} \quad (C \text{ は定数項})$$

であり、 $z(1)$ の 1 つの解に対し $z(2)$ は 2 つの解が

存在するから、4つのz成分の組合せは最大8組にもなる。

そこで、複数の解の候補から真の解へのしぼりこみを以下の方法で行う。

$$n = \frac{\dot{\mathbf{r}}(1) \times \dot{\mathbf{r}}(2)}{|\dot{\mathbf{r}}(2) \times \dot{\mathbf{r}}(1)|}$$

で、角速度ベクトル方向の単位ベクトルが得られる。これを用いて、回転軸方向一定の条件を表すと、

$$\begin{aligned} & \frac{[\mathbf{r}(1) - (\mathbf{r}(1) \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n}] \times \dot{\mathbf{r}}(1)}{|\dot{\mathbf{r}}(1)|} \\ &= \frac{[\mathbf{r}(2) - (\mathbf{r}(2) \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n}] \times \dot{\mathbf{r}}(2)}{|\dot{\mathbf{r}}(2)|} \quad (5) \end{aligned}$$

と表せ、これをチェック式として用いる。そこで、(4)式を満たす解の候補を(5)式に代入し、満足するもののみを取り出す。さらに、時刻2, 3についても解き、両者の時刻2での解を比較し、一致するもののみを真の解として選び出す。このようにして、解の候補の中から真の解とその鏡像解のみを取り出すことができる。

ここで鏡像解とは投影面に対して真の解と対称な構造、運動をしているものであり、正射影法を用いている限り、これらを区別することは不可能である。実際、人間においても鏡像を知覚することが知られている⁶⁾。

3.2 ロッド L_k の復元

次に、ルートを支点としないロッドの復元法について述べる。このロッドがルートから k 本目のロッドであるなら、 L_k と名付ける($k \geq 2$)。2本目のロッドの回転軸の方向は1本目のロッドに固定されているので、1本目のロッドの回転とともに、方向は変化してしまう。このため L_k の場合には、ロッド端の軌跡は円錐にはならない。

図5に時刻1, 2の3本連結ロッドの状態を示す。図中の円錐は時刻1における、それぞれの回転軸の方向で決まる軌跡軌道を表している。図を見ればわかる通り、1本目のロッドは各時刻で回転軸方向は一定なので時刻2においても円錐軌道上にのっている。それに対し、2, 3本目のロッドは、それ以前のロッドの回転のために円錐軌道

上にはない。

L_1 と同様な手法で L_k の復元を行うには、円錐軌道上にのった剛体ベクトルと、その底面接線方向の速度ベクトルが2時刻分必要であるから、

図5 3本連結ロッドの運動

図中の矢印は角速度ベクトル。

Fig.5 Motion of three articulated rods.

An arrow shows angular velocity vector.

このまま連立方程式を解いても実数解は得られない。そこで、 L_k を円錐にのせる方法を考える。各ロッドの回転軸は直前のロッドに固定されているから、直前のロッド方向が一定なら、回転軸も一定方向になり、 L_1 と同様円錐を軌跡として描くはずである。したがって、 $L_1 \sim L_{k-1}$ のロッドの時刻間の回転運動を打ち消せば、 L_k を円錐軌道上にのせられるはずである。

i 本目の回転による($1 \leq i \leq k-1$)、時刻1の状態から時刻2の状態への座標変換を表すマトリクスを $[\theta_i]$ として、時刻1, 2における k 本目の剛体ロッドベクトル $\mathbf{r}_k(1)$, $\mathbf{r}_k(2)$ の関係を表すと、

$$\mathbf{r}_k(2) = [\theta_1] \cdots [\theta_k] \mathbf{r}_k(1) \quad (6)$$

$[\theta_i]$ は3次元空間における回転マトリクスであるから、その逆変換 $[\theta_i]^{-1}$ は回転角の符号を逆にすればすぐに求めることができる。

図6(a)は図5で1本目のロッドの回転を打ち消したもの、図(b)は同様に1, 2本目のロッドの回転を打ち消した図である。図のように2本目, 3本目のロッドを円錐上にのせることがで

(a)

(b)

—— $t = 1$
 - - - - $t = 2$

図6 (a) 1本目のロッドの回転を補償.

(b) 1, 2本目のロッドの回転を補償.

Fig.6 (a) Compensation for the rotation of the first rod.

(b) Compensation for the rotation of the first and second rods.

きた.

このようにして, 円錐軌道上にのったロッドは L_k の回転のみによる座標変換を受けたものであり, そのベクトルを $R_k(2)$ とすると,

$$R_k(2) = [\theta_k] r_k(1)$$

である. また, (6) 式より,

$$R_k(2) = [\theta_{k-1}]^{-1} \cdots [\theta_1]^{-1} r_k(2) \quad (7)$$

である. したがって, R_k の導出には, $[\theta_{k-1}]^{-1}, \cdots [\theta_2]^{-1}, [\theta_1]^{-1}$ が必要である.

各ロッドの回転を表すために, 角速度ベクトル ω を用いると, ロッド端の相対速度成分 $\dot{r}$ は,

$$\dot{r} = \omega \times r$$

となる. L_k の回転を表す角速度ベクトルを ω_k とすると, $[\theta_{k-1}]$ は ω_{k-1} で定まる座標変換であるから, R_k を導出するには $\omega_1 \sim \omega_{k-1}$ が求まればよい.

一方, ロッドの相対速度ベクトル $\dot{r}_k(t)$ は,

$$\dot{r}_k(t) = \left(\sum_{i=1}^k \omega_i(t) \right) \times r_k(t) \quad (8)$$

で表せる. しかし復元に必要なのは円錐底面の接線方向の速度ベクトル, すなわち L_k の回転のみによる速度ベクトルである. このベクトルを v_k とすると,

$$v_k(t) = \omega_k(t) \times r_k(t)$$

であり, (8) 式から,

$$v_k(t) = \dot{r}_k(t) - \left(\sum_{i=1}^{k-1} \omega_i(t) \right) \times r_k(t) \quad (9)$$

と表せる. ただし, $v_k(2)$ は時刻2における円錐底面の接線方向の速度ベクトルであるから, $r_k(2)$ を時刻1の円錐上のベクトル $R_k(2)$ に座標変換したように, 時刻1における円錐底面の接線方向の速度ベクトルに変換しなければならない. 今このベクトルを $V_k(2)$ と名付けると,

$$V_k(2) = [\theta_{k-1}]^{-1}$$

$$\cdots [\theta_1]^{-1} v_k(2) \quad (10)$$

となる. したがって, $v_k(1), V_k(2)$ も $\omega_1 \sim \omega_{k-1}$ が求まればよいことがわかる.

さて, L_1 は3.1節での方法により運動が復元でき, 回転軸方向の角速度ベクトル ω_1 も時刻間の回転角 ϕ_1 も導出することができる. これらから, マトリクス $[\theta_1]$ も求まるので L_1 と同様に連立方程式がたてられる.

$$|r_k(1)| = |R_k(2)|$$

$$r_k(1) \cdot \dot{r}_k(1) = 0 \quad (11)$$

$$r_k(2) \cdot \dot{r}_k(2) = 0$$

$$[r_k(1) - R_k(2)] \cdot [v_k(1) \times V_k(2)] = 0$$

これらの式を z 成分に関して整理すると10次方程式が得られ, これを解くことによって, 解の候補が得られる. しかし, L_1 と同様に解の組合せを考えてみると10次方程式であるから, 解の

図7 シミュレーション実験

(a) 入力データ (b) 復元結果

Fig.7 Simulation experiment.

(a) input data (b) reconstructed results

組合せは最大20通りにもなってしまふ。したがって、(5)式と同様のチェック式を作り、さらに3時刻分のデータを用いればやはり真の解と鏡像解の2組のみを取り出すことができる。

このように、何本もつながった関節物体についても、次々とロッドを復元することができる。

4. シミュレーション実験

大型計算機を用いて、本稿の条件を満たす関節物体の運動データを生成し、本手法によりその三次元的形状と運動の復元を倍精度計算で行い、良好な結果が得られた。図7にシミュレーション実験の結果を示す。図(a)は、復元アルゴリズムに入力したデータから作成した画像であり、FRAMEは、その画像の時刻を、丸は各点の位置を、矢印は各点の速度ベクトルを表している。図(b)はその入力データを用いた復元結果である。図(a)で観測された9つの点が、点1と点4をルートとする二つの関節物体((1,2,3,5,6,8)と(4,7,9))を構成することが正しく復元されている。したがって、今回用いた手法によって、同一画面上に複数の物体がある場合でも、それらの判別が可能であるといえる。

表1に、物体の三次元情報の真値と復元値の比

較(一部)を示す。表中、(P_i-P_j)は、点iから点jへの連結構造を示し、DEPTHはルートから見てそのロッドが何本めのロッドに対応しているかを表している。ZとVZはそれぞれ相対的奥行とその時間的变化、FRAMEは時刻を表す。表(a)が真値、表(b)が復元値を表し、表(b)で値が二組あるが、一つは真の解、もう一方が正負が全て逆の値を取る鏡像解である。表(a)、(b)を比較すると、ほぼ7桁前後の精度で一致していることがわかる。

5. 鏡像解について

もし各ロッド毎に鏡像解が存在するなら、n本のロッドから成る関節物体全体の復元を行ったとき、解には 2^n 通りの組合せが存在するようになる。しかし、シミュレーションの結果では各ロッドの解は真の解からは真の解、鏡像解からは鏡像解しか求まらず、解の組合せは2通りだけであった。その理由について以下に記す。

図8のように1本目が鏡像解、2本目が真の解であるようなロッドが解になりうるか考える。図8において、2本目のロッドの回転のみによる2本目のロッドの終端の速度成分は各々、x-y平面上で等しいことは想像できよう。次に、1本目

(a)				(b)			
CORRECT VALUES				CALCULATED VALUES			
(P1 -P2) DEPTH 1				(P1 -P2) DEPTH 1			
	Z	VZ			Z	VZ	
1FRAME	-5.3304787	5.5645466		1FRAME	5.3304787	-5.5645472	-5.3304787
2FRAME	1.6522112	7.4212627		2FRAME	-1.6522118	-7.4212631	1.6522118
3FRAME	7.5423746	3.5327587		3FRAME	-7.5423753	-3.5327591	7.5423753
(P2 -P6) DEPTH 2				(P2 -P6) DEPTH 2			
	Z	VZ			Z	VZ	
1FRAME	0.4358241	0.0800233		1FRAME	-0.4358241	-0.0800234	0.4358241
2FRAME	-0.4252946	-1.8783998		2FRAME	0.4252945	1.8784012	-0.4252945
3FRAME	-2.7111998	-2.0844679		3FRAME	2.7112005	2.0844689	-2.7112005
(P6 -P8) DEPTH 3				(P6 -P8) DEPTH 3			
	Z	VZ			Z	VZ	
1FRAME	-7.9742002	-2.4974689		1FRAME	7.9742037	2.4974688	-7.9742037
2FRAME	4.8001633	16.0058746		2FRAME	-4.8001664	-16.0058782	4.8001664
3FRAME	7.5233936	-6.4762726		3FRAME	-7.5233950	6.4762718	7.5233950

表1 三次元情報の真値(a)と復元値(b)

Table 1 True values (a) and reconstructed ones (b) of 3D information.

のロッドの回転により2本目のロッドの終端に与えられる速度成分を比較してみる。この速度成分は、1本目と2本目のロッドを合成したベクトルと、1本目の角速度ベクトルの外積で表されるが、鏡像解と真の解を組み合わせた解では、この合成し

図8 真の解 (P_1 - P_2 - P_3) とその鏡像解 (P_1 - P_2' - P_3')
Fig.8 True solution (P_1 - P_2 - P_3) and its mirror image (P_1 - P_2' - P_3')

たベクトルが真の解および鏡像解のみのものとは全く異なっている。したがって、この速度成分は一致せず、投影面上での速度ベクトルが異なるため、復元計算の解の候補には含まれないのである。

6. バイオロジカル・モーションへの適用

今回は、J. E. Cutting⁸⁾ が作成した人体歩行のモデルを使用した。図9にこのモデルを示す。この物体は、頭と首と腰の中央を静止点(図9の点1, 点14, 点15に対応する)として、両腕と両脚を動かしている。Cutting のモデルから生成したデータ(歩行一周周期分)を入力し、シミュレーション実験を行った。ただし、各点の速度ベクトルは微小時間の位置変位から計算した。

前述したように、このモデルは首と腰の中央を中心として両腕、両脚を動かしているので、それぞれをルートとした連結構造の復元が期待できる。表2は一周周期分のデータでの復元における、各点間の復元率を表したものである。表から、実際に構造が存在して回転運動を行っている部分については全て90パーセント以上の復元率を得、構造

図9 人体モデル
Fig.9 Human model.

表2 ロッドの復元率

Table 2 Reconstruction rate of rods.

P 1-P 4	5.9 %	P 7- P 11	2.9 %
P 1-P 5	2.9 %	P 7- P 13	54.3 %
P 1-P 13	2.9 %	P 7- P 15	2.9 %
P 1-P 14	5.9 %	P 8- P 12	5.9 %
P 1-P 15	5.9 %	P 8- P 13	100.0 %
P 2-P 3	97.1 %	P 8- P 14	2.9 %
P 2-P 8	2.9 %	P 9- P 13	100.0 %
P 2-P 9	100.0 %	P 9- P 15	100.0 %
P 3-P 9	27.9 %	P 10- P 11	97.1 %
P 3-P 14	2.9 %	P 10- P 12	2.9 %
P 4-P 5	94.1 %	P 10- P 15	2.9 %
P 4-P 6	8.3 %	P 11- P 12	97.1 %
P 4-P 12	100.0 %	P 11- P 15	2.9 %
P 4-P 13	2.9 %	P 12- P 13	5.9 %
P 4-P 14	100.0 %	P 12- P 14	100.0 %
P 5-P 6	97.1 %	P 12- P 15	2.9 %
P 5-P 9	2.9 %	P 13- P 14	2.9 %
P 6-P 12	5.9 %	P 13- P 15	100.0 %
P 7-P 8	94.1 %	P 14- P 15	5.9 %
P 7-P 9	2.9 %

図10 復元された連結構造(時刻10)
Fig.10 Reconstructed connection structure (frame 10).

が存在しない部分の復元率は10パーセント未満であることが分かる。一部、脚の部分で腰と足首を結ぶことが多いが、これは人間の腕や脚には振子に近い動きをしている部分もあるので、3本目（膝から足首）がほとんど動かず、脚全体を一本のロッドと見なして復元したためと思われる。また、図10に、時刻10で復元された連結構造を示す。

7. まとめ

今回の復元手法では、関節物体および歩行データについて極めて良好な結果が得られた。

今後の課題としては、本手法の他のバイオリジカル・モーションへの適用、連結関係の効率的な探索法、画像間での点の対応の決定などがあげられる。

参 考 文 献

- 1) G. Johansson: "Visual motion perception", Sci. Amer., 76-88 (June 1975)
- 2) H. Wallac and D. N. O' Connel: "The kinetic depth effect", J. Exp. Psychol., 45, 205-217 (1953)
- 3) S. Ullman: "Analysis of motion by biological computer", IEEE Computer, 14, 57-69 (1981)
- 4) K. Sugihara and N. Sugie: "Recovery of rigid structure from orthographically projected optical flow" Compt. Vision Gr., Image Process., 27, 309-320 (1984)
- 5) J. Webb and J. K. Aggarwal: "Visually interpreting the motion of objects in space, IEEE Computer, 40-46 (1981, Aug)
- 6) N. Sugie and H. Inagaki: "A Computational aspect of kinetic depth effect", Biological Cybernetics, 50, 431-436 (1984)
- 7) 柴田勉, 杉原厚吉, 杉江昇: "正射影速度場からの関節物体の立体情報復元法", 電子通信

学会論文誌, J68-D, No. 9, 1689-1696 (1985)

- 8) J. E. Cutting: "A Program to generate synthetic walker as dynamic point-light displays", Behavior Research Methods and Instrumentation, 10, 1, 91-94 (1978)

加藤克己（かとう かつみ）昭和63年名古屋大学大学院工学研究科電気系専攻修士課程修了。同年東芝入社。以来、システム・ソフトウェア技術研究所勤務。主としてヒューマンインタフェース研究に従事。電気学会、情報処理学会の会員。

大西 昇（おおにし のぼる）昭和48年名古屋大学工学部・電気卒。昭和50年同大学院電気系専攻修士課程修了。同年労働福祉事業団労働リハビリテーション工学センター研究員。昭和61年名古屋大学工学部講師。現在電子情報学科助教授。生体工学、福祉工学、人工知能などの研究・教育に従事。工学博士。電子情報通信学会、情報処理学会、計測自動制御学会、ロボット学会、バイオメカニズム学会、IEEE等各会員。

杉江 昇（すぎえ のぼる）昭和32年名大・工・電気卒。昭和45年工学博士。昭和32年通産省電子技術総合研究所入所。昭和37-39年カナダ・マギル大学客員研究員。昭和45年同所バイオニクス研究室長。昭和53年同所視覚情報研究室長。昭和54年名大・工・情報工学科教授。現在に至る。バイオニクス、医療福祉工学、生体情報工学、コンピュータビジョン等の研究に従事。バイオメカニズム学会、電気学会、電子情報通信学会、情報処理学会、エム・イー学会、IEEE等各会員。