

03-3

幼児用電動義手から成人用電動義手の共通化設計の研究

Study on common design handwork from infant to adult prosthetic hand

東原孝典(高松義肢製作所)、斎藤之男(芝工大)、大西謙吾(東電大)、大島 徹(富山県大)

Takanori HIGASHIHARA(Takamatsu Orthotic Limited Co.), Yukio SAITO(Shibaura Institute Technology of College), Kengo OHNISHI(Tokyo Denki University), Toru OSHIMA: Toyama Prefectural University),

Abstract: The drawback of the prosthetic design; in childhood, magnitude of change of hand size is large with one's increasing years, prehension form of hand increases with one's age, Therefore, it is necessary to strengthen the stiffness of functional hand and to amend hand weight according to one's age.

We established a design handwork to conform hand function from infant to adult as a general rule as following items;

We have increased first shape measuring data from infant to adult as compile database. Grasp functions are seemed to increase by using a spring material in finger parts. A lot of options of several commands are obtained by using microcomputer. We described a series of design plan of the prosthetic hand.

Key Words: Electrical Prosthesis, Prosthetic Hand, Prosthetic Design, Prosthetic Mechanism, CAD System for Prosthetic Hand

1. はじめに

電動義手の研究は、1960年代義手の研究はその力源の違いすなわち、CO<sub>2</sub>による駆動、マイクロモータによる駆動、さらに試みとして、油圧による駆動が特徴であり、これらを第一期とすれば、第二期は、コントローラにマイクロコンピュータを搭載しコンピュータの汎用性を生かしたシステム化と我々は位置付けている。第三期は1970年代である。この時代は、肩義手のシステム化としては大きく前進している。それは、これまでのボールジョイントによる肩の受動的な機構からモータによる動作が可能となったことから位置付けている。第四期はヒトの意思伝達として、筋電やそのたの生体信号の活用可能性と義手との関連を中心に開発が進んだと見ている。

1960年代の小児用動力義手に対し、Corriveauの言葉を借りると、①両側アメリア、両側肩離断など通常用いられている能動義手のコントロールシステムはほとんど役立たない。②小児の成長に合わせて、能動義手や装飾義手よりさらに、高度の機能が必要である。1) また、初山らによる筋電電動義手の実用化に当たった問題点と対策に関する研究(労働省 労働災害科学研究所の昭和63年度報告)によると問題点は、①高価格、②機能性の悪さ、③支給制度の改善、④重すぎる・大きすぎる、バッテリー、外観の改善、汚れやすさ、研究開発への要望と指摘している。その調査時では47名が電動義手を付けたことのある経験者である。全体の43%が毎日使用していると回答している。

このように、これらの問題に対し開発検討の少ない点と基本的な問題解決を我々は、義手の機構とそのシステムであり、幼児から成人に対し、機能性、形状、メカニズムそして制御など一貫性に欠けているために、問題点の①、②、③、④および以下の問題はクリアできると考えている。

本研究は、義手の機構としての機能を幼児から成人に対し共通化した設計方針はブレイクスルーとした考察結果を報告するものである。

2. 共通化設計とは;

我々は、電動義手の設計には次の項目が欠かせないと考えている。

- 1) 幼児用義手と成人用義手の目標は如何にあるべきか
- 2) 幼児と成人の手の形状、大きさ、機能の相関関係は、
- 3) 手の機能とはどのような分類で表現できるか
- 4) 共通化されたメカニズムとは、
- 5) 装飾手袋とそのCAD設計とは、
- 6) 義手の自由度に対する将来展望などである。

2・1 幼児用義手と成人用義手の目標は如何にあるべきか  
手と腕の自由度は、解剖学的に表示されているが、義手の手となると製作や形状条件からかなり限定される。前述の小児切断者のすべて(Ⅱ)によると、小児用手先具に対する問題点と今後の課題としてTable1に示す。

T Table1 The problems of the prosthetic hand for an infant and the subject in future 1)

	Motions	Problems	Desirable design
Infant (0~1.5 Year old)	+Rough co-operative motions of both hands +Grasp motion of ball +Simultaneous motion of two toys	+Impossibility of grasping by hook +Small-sized pitch between thumb and mitt	+Weight under 100gr +Positive grasp +Durability +Harmless material +Softness
Preschool (1.5~6 Year old)	+Cleanliness of doll and him/herself +Making a mud cake	+Problem of hook appearance + Impossibility in grasping circular or cylinder object	+Weight under 200gr + Durability +Simple mechanism +Center pull type
School children (7~12 year old)	+fastening shoelaces +Using a knife and folk	+Hook appearance +Impossibility in grasping a circular or cylinder object +Weight of hand +Weakness of gloves +Size +Small open width of cylinder type	+Weight under 350gr + Durability +A little complicated mechanism
Junior and high school	+Carpentry +Sewing and handcrafts +cooking +Instruments +sports +daily movements	+Hook appearance + Impossibility in grasping circular or cylinder object +Weight of hand +durability in a growth process	+durability +strong force of pinch +Minute pinch +rough grasping +Light weight +Upper limb amputation

以上のようにこれらのデータは、1974年の資料(Trefler,E:Put a Hand on Capotain Hook,L.C.I.B.XIII(12):7-12,1974)を参考としたもので、37年前であるが要求事項は今だに変わっていないと思う。それだけ、幼児用電動義手は進んでないのが実情である。

Table1 に対し、我々は以下の提案をしておきたい。

(1) 幼児から成人まで同じメカニズムであること

これまでの経験から表にある当時の機構は、幼児用としては小型なためピンチのみの簡単な蝶番関節機構であった。しかし、我々のこれまでの成果では、2・4章で述べる機構により、その必要はなくなり幼児から成人まで同一の機構を採用できるに至っている。その理由は、幼児に必要な動作は表に示すボールの把持を一つとっても蝶番関節のピンチのみでは、把持は不可能であるからだ。したがって、我々は、年齢にかかわらず、同一のメカニズムが必要と考える。結局、幼児からメカニズムは成人と同じメカニズムでなければならないのである。

(2) フックの手は外観的に日本の風土に合わないことが知られている。

まず、手の外観は五指が揃い、できるだけコスメチック・グローブの形状が手でなければならない。これは、幼児から成人まで共通した条件である。(3) 手の感触、手の機能として柔らかいとは、第三者が触ったとき手としての感触が得られることであり、できれば、暖かいことが理想である。暖かいとは、握手のような外に向けた場合と、装着者が装着した時に暖かさを感じることであり、特に、冬場には必要と考えている。

## 2・2 幼児と成人の手の形状、大きさ、機能の相関関係は、

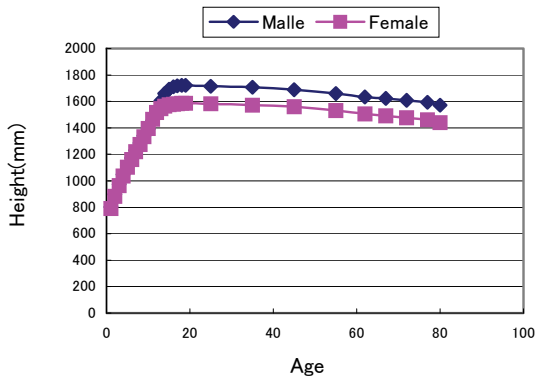


Fig.1 Relationship of the age with the hand size of Japanese

Fig.1 は日本人の平均身長と年齢との関係を示している。幼児から成人に至る身長の変化は、ほぼ比例的に成長していることが分かる。手に関しても同様な関係である。ただし、先天的欠損の場合は、手の使用頻度も関係し、残手の大きさが大きいことが知られている。また、成長に合わせ義手を準備することが可能と考えている。2・5章に於いて、手の形状を正確に測定すれば、その後の成長を予測し手の形状をCAD技術により、予め準備することが可能である。

## 2・3 手の機能とはどのような分類で表現できるか

ヒトの手の機能は、把持形態と非把持形態に分類される。把持形態では、物を掴むことを前提としており実際にはこのような分類で必ずしも掴みを実行するわけではない。対象物の大きさ、形状、重さ、柔らかい、硬い等の区別を瞬時に判断し、把持形態が決まる。

(1) 把持形態 (Fig.2 参照)

手の掌側を把持物体に接触させる型と指のみを対象物と接触する型に分けられ、その差は、他指の遠位側2関節の活用にある。前者はDIP, PIP両関節が作用して把持制御であるのに対し、後者はPIP関節が対象物形状に作用する。特に、他指のDIP関節、拇指IP関節は対象物の形状の違いに適合する調整機能を担っている。

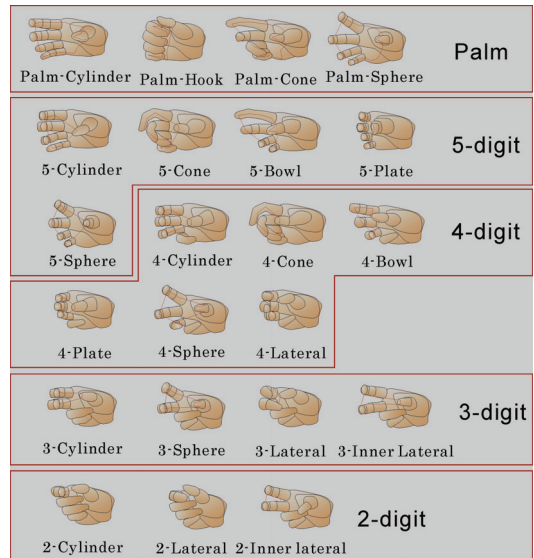


Fig.2 Prehensile mode (22 forms)

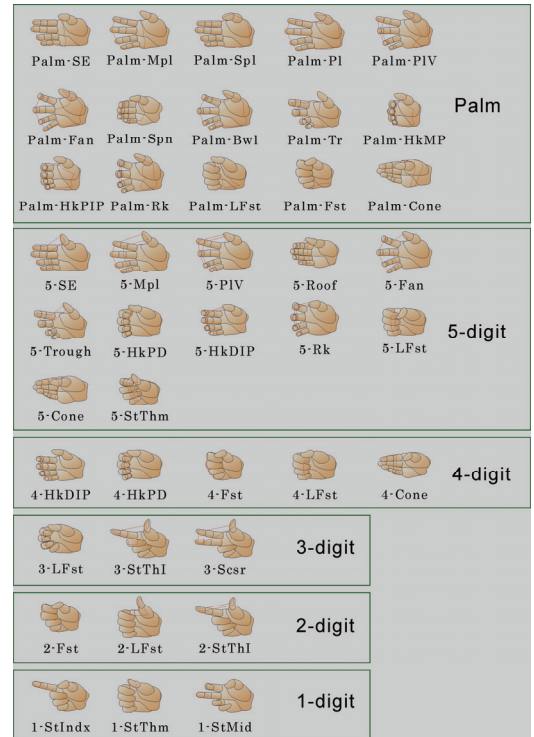


Fig.3 Non-prehensile contact mode(41 forms)

指のみを対象物と接触し、小指・環指を用いる型は、掌内の関節と関連性を強く持つ。指間で対象物を拘束するには、拇指と他指を対立動作として、掌中のアーチ機能と関係が強くなる。

全ての型と関連性が強いのは各指の近位側関節である。他指のMP関節の屈曲もしくは内外転と拇指のCM関節の屈曲と対向が型の形成に強く関連する。

(2) 非把握接触形態 (Fig.3 参照)

全指による指のみでの接触の場合、拇指は手の形から他指遊離しており、拇指の協調動作は他指との拘束点の不確定であり、CM関節との関連性が強くなる。

掌を接触させる型は、指の近位側関節との関連性が比較的強いが、接触する指が減少するに従い遠位側との関連性が強まる。接触形態に関与する関節の極少化は、掌の接触、5指の接触、4指の接触と接触する指の本数が減少するに従い、反力のモーメントが極少になるような動作となる。対象物に

対し、力の伝達方向から対象物形状にあわせ点、線、面接触を形成するように適合され反力との関係が強くなる。また、接触部位と使用関節の間には、ある決められたパターンが生じる。以上の把持形態、非把持形態は、腕の動作に関与している。基本的に腕の基本動作により手の把持形態、非把持形態の手姿位が決まり、最後のアプローチでさらに補正を行っている」と解釈している。ここで述べている総括は、5指が必要であることを強調している。

2・4 共通化されたメカニズムとは、

(1) 手のアーチによる把持機能の役割は、手の握り状態では、手根中手関節 (CM 関節) がアーチ上になることで5指先端が揃い把持動作を確実にしている。

現在市販されている多くの義手は拇指と示指とのラテラルピンチによる把持動作または、中指を加えた3点摘みが行われているが、5指のアーチによる保持から見ると不十分な把持動作である。特に、幼児の手のように指が物体の表面を覆う面積が少なくなると把持能力は落ち、指の接触面積が重要である。

先の手機能分類の Fig.2 に示すように2指、3指のラテラルピンチは全体の割合から見るとおおよそ30%以下である。それに対し、5指で把持する割合は、約60%以上にも及ぶ。また、手の把持機能は、幼児から成人までハンド部の指の開閉はMP関節部である指の付け根を原点とする1自由度の運動であり、Fig.5 に示すように指の開閉はXZ平面、YZ平面で表される。

今、各関節角度を Fig.4 のように定義すると、このモデルより、先端の位置座標は次の関係式で導き出される。

$$P_o = x_o i + y_o j + z_o k \quad \dots(1)$$

$$x_o = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 - \theta_2 - \theta_3) \quad \dots(2)$$

$$y_o = 0$$

$$z_o = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 - \theta_2 - \theta_3) \quad \dots(3)$$

$P_o$  : ハンド開状態での指部先端の位置

$l_1$  : MP 関節から PIP 関節の長さ (mm)

$l_2$  : PIP 関節から DIP 関節までの長さ (mm)

$l_3$  : DIP 関節から指部先端までの長さ (mm)

となる。ここで、YZ 平面での先端座標は、

$$P_o = 0j + z_o k \quad \dots(4)$$

ここで  $P_o$  を X 軸回りに  $\phi$  だけ回転させた点を  $P_o'$  とすると、

$$P_o' = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -z_o \sin \phi \\ z_o \cos \phi \end{bmatrix} \quad \dots(5)$$

と表される。

したがって、義手の開状態における指部先端の位置  $e_o$  は YZ 平面においての X 軸からの Y 方向への距離として表され、 $e_o$  は

$$e_o = -z_o \sin \phi \quad \dots(6)$$

となる。また、Fig.4.6 に示すように MP 関節が水平方向に  $\psi$  の角度で傾けられているため式 (6) は以下のように表される。

$$e_o = -z_o \sin \phi + d \sin \psi \quad \dots(7)$$

$d$  : MP 関節取り付け軸の直径 (mm)

同様に、義手の閉状態における指部先端の位置を  $e_c$  とすると開状態から閉状態における指部先端の巻き込み量  $e$  は

$$e = e_c - e_o \quad \dots(8)$$

と表される。

以上より、第4・5指軸の垂直方向への傾き角度  $\phi=7^\circ$ 、水平方向への傾き角度  $\psi=10^\circ$  の条件での幼児用電動義手にお

ける環指、小指の計算結果を Table2,3 に示す。

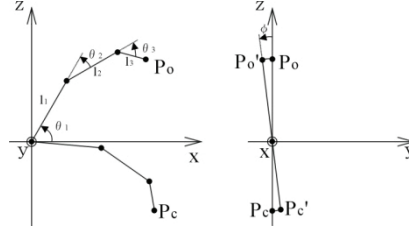


Fig.4 Coordinate of finger movement

Table 2. Rolled-in length of finger edge

	Interarticular length of finger (mm)			Bending angle of joint (deg)			Rolled-in length of finger edge(mm)
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	
4th finger	19.0	14.4	9.2	65/-3	20	43	5.2
5th finger	16.8	13.6	18.0	65/-3	30	45	4.5

Table 3. Comparison of measuring and calculation data

	Measuring (mm)	Calculation(mm)
4th finger	3.6	5.1
5th finger	4.1	4.5

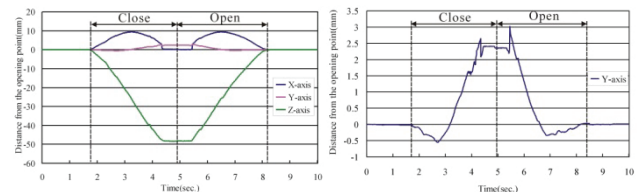


Fig. 5 Movement of 3 axis finger edge (a) and Y-axis measurement result (b) - 4th finger

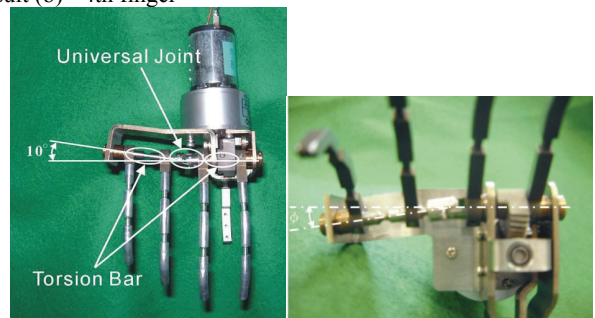


Fig.6 Arch mechanism by CM joint

計測結果より、環指、小指共に把持動作時に母指側へ回り込むことが確認できた。小指においては測定結果と計算結果がほぼ一致したが、環指においては1.5mmの誤差が生じた。

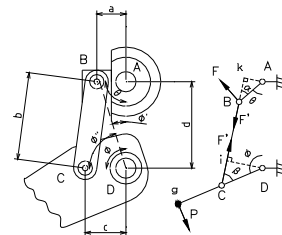


Fig.7 Grasp mechanism

(2) Fig.7 は手の把持機構である。多くの義手は、蝶番関節が使われているが蝶番関節は指の開き角度と共に指の先端に作用する力は余弦関数的に力は減少していく。人間の場合

は、開大幅と共に力は増加しさらに開くと減少する。Fig.7の機構は把持力一定の力から開き角度に合わせ、力は増加していく。

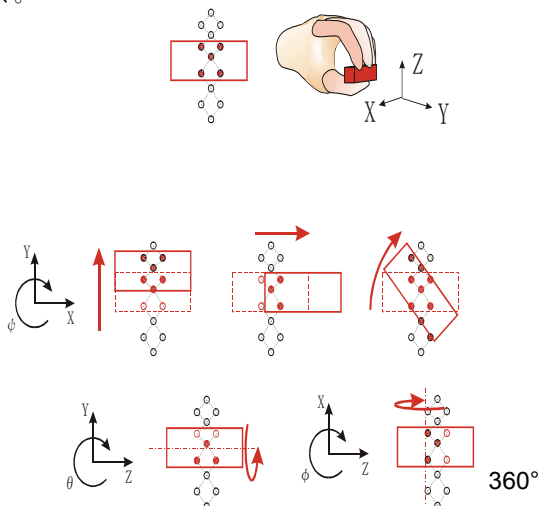


Fig. 8 Built-in tactile sensor in thumb finger and pattern recognition for sliding sense

(3) Fig. 8 は拇指に内蔵している触覚センサの機能とパターン認識の原理を示している。触覚センサは幼児では不可欠であり、さらに、成人に至る把持機能はコンピュータによるパターン認識で把持機能は拡大する。

(4) Table4 に指の材料として用いているメゾアライトの機械的特性を示す。この表からメゾアライトはアルミニウム系の金属でありながらチタンやステンレスに勝るとも劣らない引張り強さと耐力を持ち合わせている事がわかる。また、高切削性、低熱膨張係数、耐磨耗性、バネ性にも優れている。このように高い特性を持ちながら、密度が小さい為、この材料を用いて義手などの設計を行うことで非常に軽量に仕上げる事が可能となる。

Table 4 Finger material using mesoa-light

	Tensile strength [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Proof stress [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Tension [%]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Longitudinal elastic modulus [Gpa]
MES O-10	96.2	94.8	1.5	2.9	74
MES O-20	80.6	79.6	5.0	2.9	84
A707 5	57.8	50.6	11.0	2.8	71
Stainless	108.1	87.6	15.0	7.9	203
Ti	90.8	83.7	10.0	4.5	106

### 2・5 装飾手袋とそのCAD設計とは、

装飾手袋は Table 1 に示すように外観から受ける必要条件である。これまでの義用手袋は余り研究が進んでおらず、筆者等は 1960 年代より研究を進めてきた。その結果、義手手袋は義手本体以上に幼児の成長に伴い大きさを変化させる必要と、内蔵する義手本体に合わせた手袋であることが必要不可欠となった。また、材質的に汚れと触感からシリコン製であることが良いこともこれまでの研究結果である。

最も効果的なことは障害者の一人一人の手として腕手がある場合は腕手の形を測定し、コンピュータで反転し反対の手形を作ることである。Fig.9 は石膏で腕手を模った原型モデルをレーザー光による光切断法で石膏の周囲を 6~12 点ほど測定する。

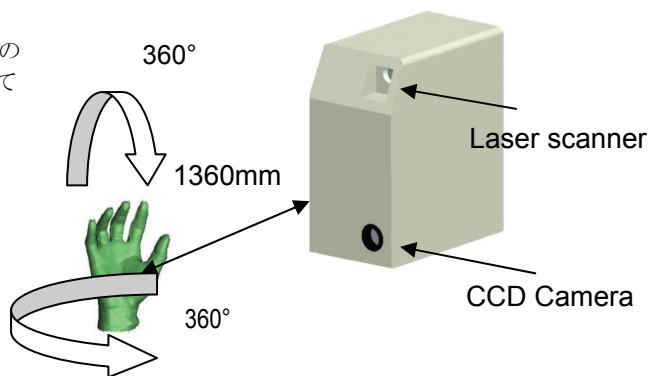


Fig. 9 Measurement Conditions

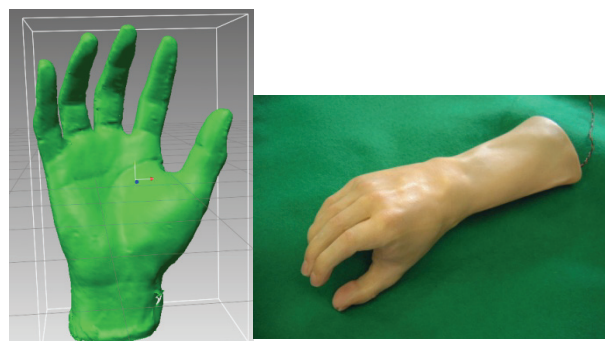


Fig. 10 Screenshot of Developed Model

ソフト処理により Fig.10 に示す手形を再構築する。その後、ミラーイメージ法により腕手から切断側のモデルを再現し、ラピッドプロトタイプング手法により陽性モデルを製作する。この時点で彫刻機による爪形状、生命線、指紋などを掘り、シリコンゴムによる陰性モデルを製作する。その上で、3層~5層のシリコン製の手袋を製作する。2層目では色付けを行う。Fig.10 はそのようにして製作した成人用義手である。

### 3. まとめ

義手の共通化設計とは、あくまで幼児から成人までの一連の設計手法であり、我々は、電動義手の設計には次の項目が欠かせないことを述べた。

- 1) 幼児用義手と成人用義手の目標は如何にあるべきか
- 2) 幼児と成人の手の形状、大きさ、機能の相関関係は、
- 3) 手の機能とはどのような分類で表現できるか
- 4) 共通化されたメカニズムとは、
- 5) 装飾手袋とその CAD 設計とは、

以上のシステム化により、これらの大半はコンピュータ上のデータベース化により幼児期から成人に至る義手設計が可能であることを述べたものである。最後に、(6) 義手の自由度に対する将来展望は 5 指独立駆動、指の内旋、外旋を含む 15 自由度の義手が可能と考えている。

#### 参考文献

- (1) 東京都補装具研究所小児切断プロジェクト：小児切断者のすべて (□)、第 6 章小児用
- (2) 初山泰弘ほか：筋電電動義手の実用化に当たっての問題点と対策に関する研究、昭和 63 年度報告書、pp41、1988
- (3) 大島、斎藤：コスミックカバー（義用手袋）の新しい製作法、バイオメカニズム学会、バイオメカニズム 7、pp134-142、1984
- (4) 斎藤之男：福祉機器の技術革新と近未来の義肢・装具技術、第 16 回日本 IFToMM 会議シンポジウム、pp1-12、2010.