

足指マウス開発にむけての基礎的検討—母指の運動特性—

田中 則子*・上田 知生*・中尾 恵*・佐藤 哲大*
湊 小太郎*・吉田 正樹**・瀨瀬 和美***

Evaluation of Kinematic Characteristics of the Foot Thumb for the Development of a New Input Device

Noriko TANAKA,* Tomoo UEDA,* Megumi NAKAO,* Tetsuo SATO,*
Kotaro MINATO,* Masaki YOSHIDA,** Kazumi KOUKETSU***

Abstract The kinematic characteristics of the foot thumb were evaluated in order to develop a new input device; the "Foot Mouse." Seven healthy subjects pushed a sensor button placed under the right-foot thumb and three components of the pressure were measured by the sensor. The subjects were requested to push the button in five directions applying three kinds of effort each. The maximum value among the lateral, anterior and posterior pressures was about 3.5 kgf and the maximum downward pressure force was about 19.2 kgf. The objective direction of recording pressure was different from the direction of the user's intention. Large downward pressure was observed in every task. Moreover, there were significant variations in kinematic characteristics between individuals. A dedicated transformation process for these objective pressure components should be designed for the interface of the "Foot Mouse."

Keywords: kinematic characteristics, thumb, foot, input device.

1. はじめに

計算機ディスプレイ画面上のカーソルを移動させる入力装置として、従来からマウスを使うことが多い。しかし、手のひらと指先でマウスを使用する際には、次の二つの問題点がある。すなわち、手元の移動が必要なこと、キーボード操作などで両手を使っている場合にはカーソル移動のために作業を一旦中断してマウスを操作する必要があること、である。

通常入力操作に使用しない「足」を用いてカーソルを制御できれば、両手が自由に使用でき、上述の問題が解消されて作業効率の向上が期待できる。すでに市販されている

足で操作するマウスには、スリッパなどを履いて足部をユニットに載せて前後に動かして制御するもの[1]、各種フットスイッチ[2]、左右の足でカーソル操作とクリック機能を使い分けるもの[3]などがある。これらは、操作時に下腿部の移動を要求されるため、下肢に疲労を生じ、大雑把な操作となりやすい。これらの課題を軽減できるものとして、兼行らが開発した足操作型入力装置[4]は、踵を床につけて前足部で操作するもので、踵を支点としてリラックスした姿勢で操作できるように工夫されているが、足部を全体として動かす必要がある点は従来と同様である。

我々は、印加された力ベクトルの3分力を独立して計測することができる小型の力覚センサ[5]を利用して、足母指の接触により発生する力を入力操作に用いる「足指マウス」の開発を計画している。利用者が意図する任意の方向に力を加えると、その大きさと方向が力覚センサで測定され、適当なコントロール部を経て、従来のマウスと同様にカーソル座標に変換されて、画面上のカーソルが移動する。この足指マウスを使用すれば、従来のマウス使用時の問題点を解決でき、また、手などに障害のある人々の入力装置としても応用できる。さらに足部の小さな関節の運動や内筋を含めた足指の筋の使用を促すので、転倒につながる高齢者のバランスや足部機能低下の改善などのリハビリテーション用トレーニング装置としても寄与できると考

生体医工学シンポジウム 2005 発表 (2005 年 9 月, 大阪)
2005 年 8 月 1 日 受付, 2005 年 10 月 12 日 改訂, 2005 年 11 月 6 日 再改訂

Received August 1, 2005; revised October 12, 2005, November 6, 2005.

* 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

** 大阪電気通信大学医療福祉工学部医療福祉工学科
Department of Biomedical Engineering, Osaka Electro-Communication University

*** (株)テック技販
TEC GIHAN CO., LTD

える[6].

足指の力計測に関する先行研究には、握力計を改良して計測した足指の把持力に関する報告[7-11]が散見され、足指間圧力(母指と第二指の挟みこむ力)についての報告[12]や、藤原ら[13]の長座位姿勢で歪計を用いて母指屈曲力(母指を足底方向へ押す力)を計測した研究がある。しかし、我々の想定したような母指の3方向への力特性を検討したものは見あたらない。

本研究は、足指マウスを開発するにあたり、設計上必要となる足母指の力制御と運動の特性を明らかにし、入力信号の補正などシステム構築に係わる基礎的情報を得ることを目的としている。

2. 母指力制御運動特性の測定と評価

2.1 実験方法

下肢に傷害のない若年者7名(男性4名,女性3名;年齢 23 ± 4.7 歳,身長 167.0 ± 7.3 cm,体重 58.7 ± 7.8 kg)を対象とし、**図1**のようにパソコン操作を想定して椅子に座位をとらせ、3分力力覚センサ((株)テック技販製)上に足部を載せて、右母指で主観的に5つの方向(前後左右,および、鉛直方向)へ力を加える課題を試行した。この際、被験者には、「最大の力で(最大努力)」、「最小の力で(最小努力)」、および「長時間繰り返しできるような楽な力で(普通努力)」という3種類の指示を与え、1方向ずつ10秒間にそれぞれ3回反復させた。課題の順序はランダムとした。そしてこの課題遂行時の母指の力制御運動特性を記録した。

なお、今回計測に用いた3分力力覚センサの計測範囲は前後左右方向にはそれぞれ ± 25 N,鉛直方向には200N,応答周波数は100Hzであった。被験者には、計測に先立



図1 測定風景

Fig. 1 A view of the measurement process.

ち運動課題に関する十分な説明と練習を実施した。

2.2 実験結果

2.2.1 最大努力時の3分力 3分力力覚センサの客観的座標系は、X軸が左右、Y軸が前後、Z軸が上下とする。被験者が意図した主観的5方向、すなわち、右(X+),左(X-),前(Y+),後(Y-),鉛直(Z-)方向を意識して、最大努力で力を発生した場合の被験者aの測定結果を**表1**に示す。目的方向の力成分を表中太字で表示しているが、この被験者では、前方へ努力している際に F_z 成分に非常に大きな値が出力される場合もある。被験者7名の測定値をもとに各方向の最大値を見ると、 F_x (左右方向の力)では正方向最大値3.36kgf,負方向最大値3.45kgfであり、 F_y (前後方向の力)では正方向最大値3.28kgf,負方向最大値3.44kgf,また、 F_z (鉛直方向の力)の最大値は19.18kgfであった。これらの値は頑健性に関する入力装置の仕様を作成する際に必要であり、20kgf以上の力にも耐えられる構造が要求される。

2.2.2 最小努力時の3分力 被験者が主観的に左右前後および鉛直方向へ最小努力でほぼ一定の力を発揮している時間帯の出力を算出した。この値の被験者7名の平均値を**表2**に示す。この結果は入力装置の閾値設定に必要である。

2.2.3 測定期間内の3分力の推移 普通努力時のある被験者の3分力測定結果の10秒間にわたる時間的変化を、**図2**に示す。いずれの方向へ運動を意図した場合も、客観座標系では単一の方向だけでなく、3方向すべての分力が同時に発生していることがわかる。また、どの課題においても、必ず鉛直方向への非常に大きい出力が伴っている。

2.2.4 個人差 右方向最大努力時の3分力を、客観座標系で3次元ベクトル表現し、7人の被験者(a~g)に対するその軌跡を**図3**に示した。同一課題であるにもかか

表1 最大努力時の3分力計測結果

Table 1 Three components of force with maximum effort.

	Right	Left	Anterior	Posterior	Vertical
F_x	3.36	-3.45	2.76	-0.60	1.12
F_y	0.01	-0.93	0.02	-0.71	0.01
F_z	7.85	-0.12	19.18	-0.13	15.28

(kgf)

表2 最小努力時の3分力計測結果平均($n=7$)

Table 2 Average of each component of force with minimum effort($n=7$).

	Right	Left	Anterior	Posterior	Vertical
F_x	0.26	-0.17	-0.01	0.00	0.00
F_y	-0.01	0.01	0.04	-0.08	-0.07
F_z	0.41	0.83	0.55	0.36	0.59

(kgf)

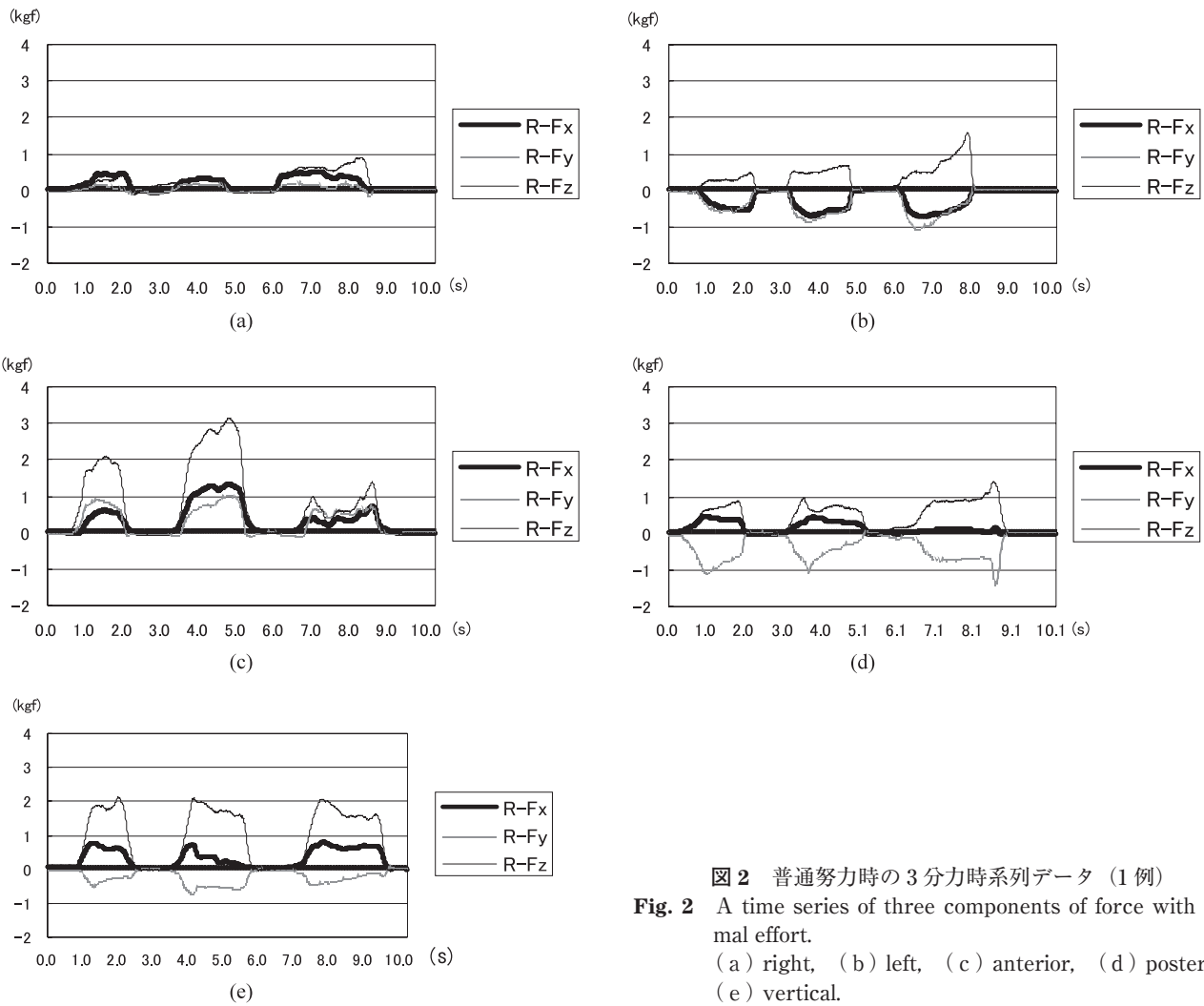


図 2 普通努力時の 3 分力時系列データ (1 例)
 Fig. 2 A time series of three components of force with normal effort. (a) right, (b) left, (c) anterior, (d) posterior, (e) vertical.

ならず、母指が実際に発揮した力の大きさと方向はさまざまであった。

2・2・5 XY 平面上の軌跡 図 4(a)(b)には代表的な 2 名について、鉛直成分を除いた水平面 (XY 平面) 上のベクトル軌跡を示す。図 4(c)(d)は各々の方向について最大値の 50%未満のデータを除いたベクトルの長さや角度の平均値と標準偏差を示している。被験者が意図した方向と実際に発生した力ベクトルの方向は異なっているものの、図 4(c)(d)を見るとそれぞれおおむね独立したクラスを形成している様子が見てとれる。従って、適当な変換を定義すれば、主観的方向と客観的力ベクトルを対応させることが可能と考えられる。

3. 足指マウスに必要な変換処理の考察

母指の力制御については上述のような特性があり、主観的方向と実際に発生する力ベクトルの間に大きな差が生じ、各方向間のクロストークや個人差も認められた。このような特性をもった足母指でマウスを操作するためには、3 分力信号の変換だけでなく、個人的特性を補償できる何らかの補正システムが必要であると考えられる。



図 3 X 右方向へ最大努力時の力出力の個人差 (7 例)
 Fig. 3 Three dimensional visualization of individual differences among components of force to the right with maximum effort.

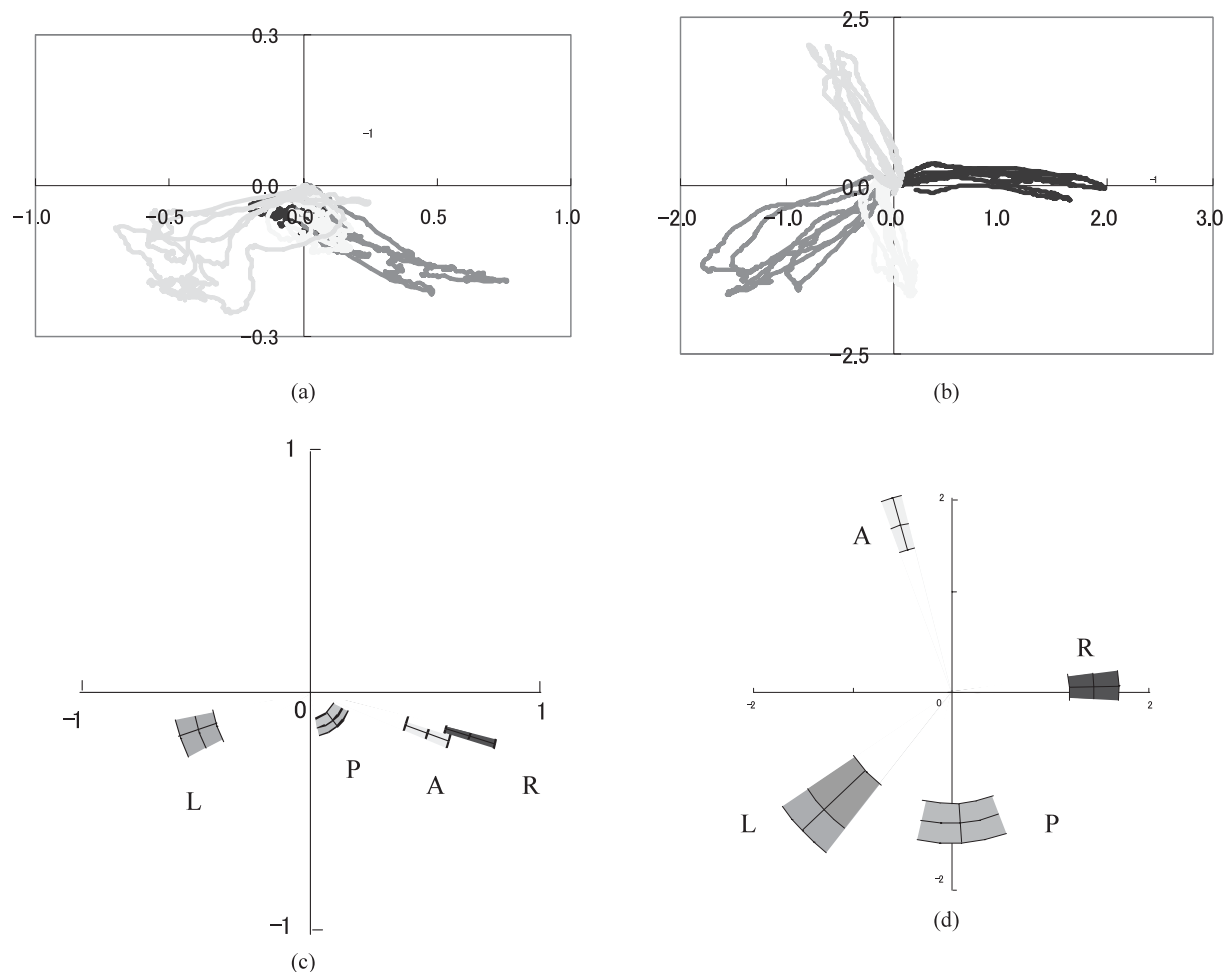


図4 普通努力時のXY平面座標軌跡と修正データ(2例)

Fig. 4 Trace of X-Y components with normal effort and modified data.

(a) subject a, (b) subject b, (c) subject a(modified), (d) subject b(modified).

3・1 水平面上のマウスカーソル制御

すべての運動方向課題遂行時に、大きな鉛直方向の力が測定された。このため、水平面(XY平面)上でのカーソル位置制御には、この鉛直成分を予め除いて、2次元に縮退させた力ベクトルの信号を利用することが考えられる。水平面上ベクトル軌跡の個人間分散は大きい。各運動方向とも最大値の50%以上のデータを用いる処理を検討した結果、幸い同一個人内ではおおむね運動方向ごとにクラスターを形成する傾向を確認することができたので、使用前にあらかじめ個人の特性を標準的な力制御運動特性に変換する写像を定義して力ベクトルを補償することが可能である。

3・2 クリック操作の制御

マウスのクリック操作は、機能の選択や確定に必須である。一般の入力装置では、カーソル位置制御とは独立したスイッチやボタンを使用している。一方、開発中の足指マウスは、常に3分力成分を測定できるため、カーソル制御と同一のセンサを用いてクリック機能も実現することが可能である。しかし、カーソル操作に用いる水平面上の力ベクトルと鉛直方向の力の間には、常にクロストークがある

ので、分離のための仕組みが必要となる。実際には叩くような操作による鉛直方向成分の変化率だけを取り出して、クリック操作を認識するなどの方法が考えられる。

4. ま と め

足指マウス開発に必要な基礎的情報を得るために、母指の力制御運動特性を測定した。その結果、以下のいくつかの知見を得た。

(1)最大努力時に発生する足母指の力は、前後左右方向では3.5 kgf程度、鉛直方向には19.2 kgf程度であった。

(2)被験者が意図した主観的運動方向と実際に母指が発生した客観的な力の方向は異なっていた。また、運動方向間にもクロストークがあった。

(3)意図した方向が前後左右であっても、鉛直方向には常に大きな分力が観測された。

(4)個人差が認められるものの、XY平面上的軌跡ではおおむね前後左右4方向への独立したクラスターを形成できた。

本研究において明らかにした足母指の力制御運動特性を参考にすれば、利用者の意図した主観的方向に自然にカー

ソルが移動するような足指マウスカーソル位置制御方法が開発できると考えられる。手と同様に違和感なく使用できる足指マウスの開発は今後の課題である。

文 献

1. 加藤 勇, 池田芳則, 小川辰男, 稲本 稔, 上野伸行: 特許公開平 10-97374, 1998.
2. Kinesis Corporation: Kinesis Ergonomic USB foot switches for clicking the mouse and activating key actions. <<http://www.kinesis-ergo.com/foot.htm>>
3. Hunter Digital: Nohands mouse. <<http://www.footmouse.com/>>
4. 兼行秀和, 門脇重道, 石田浩一: 特許公開 2005-38387, 2005.
5. 黒木史郎, 野尻芳郎, 根本裕二, 平間直道, 辻内伸好, 瀧瀬和美, 土屋陽太郎: 特許公開 2004-245717, 2004.
6. 木藤伸宏, 井原秀俊, 三輪 恵, 神谷秀樹, 島沢真一, 馬場八千代, 田口直彦: 高齢者の転倒予防としての足指トレーニングの効果. 理学療法学. **28** (7): 313-319, 2001.
7. 山崎信寿: 足の動態. 山崎信寿編, 足の事典. 朝倉書店, 東京, 1999, pp. 182-198.
8. 木藤伸宏, 井原秀俊, 三輪 恵, 神谷秀樹, 有次智子, 田口直彦, 馬場八千代, 鶴川幹夫: 高齢者の易転倒性を予測する因子の抽出とその予防のための訓練方法の開発. 健康医学研究助成論文集. **15**: 25-36, 2000.
9. 半田幸子, 堀内邦雄, 青木和夫: 足趾把握筋力の測定と立位姿勢調整に及ぼす影響の研究. 人間工学. **40** (3): 139-147, 2004.
10. 村田 伸, 惣那龍雄: 足把持力に影響を及ぼす因子と足把持力の予測. 理学療法科学. **18** (4): 207-212, 2003.
11. 加辺憲人, 黒澤和生, 西田裕介, 岸田あゆみ, 小林聖美, 田中淑子, 牧迫飛雄馬, 増田幸泰, 渡辺観世子: 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究. 理学療法科学. **17** (3): 199-204, 2002.
12. 山下和彦, 野本洋平, 梅沢 淳, 宮川晴妃, 川澄正史, 小山裕徳, 斉藤正男: 足指間圧力を用いた高齢者の転倒リスクの評価とフットケア. 日本衛生学雑誌. **60** (2): 282, 2005.
13. 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦, 小山吉明: 立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与. 人類学雑誌. **90** (4): 385-399, 1982.

田中 則子 (タナカ ノリコ)

1987年神戸大学医療技術短期大学部理学療法学科卒業。理学療法士。2000年大阪教育大学大学院教育学研究科健康科学専攻修了。修士(学術)。現在、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程在学中。

日本臨床バイオメカニクス学会, 日本体力医学会などの会員。



上田 知生 (ウエダ トモオ)

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程2年。



中尾 恵 (ナカオ メグミ)

2003年京都大学大学院情報学研究所博士課程修了。同年同大学大学院医学研究科特任助手を経て、2004年奈良先端科学技術大学院大学助手、現在に至る。医用バーチャルリアリティ、物理法則モデリング、視覚・力覚提示に関する研究に従事。博士(情報学)。



IEEE Society Member, 情報処理学会, 日本バーチャルリアリティ学会, VR医学会, ヒューマンインターフェース学会に所属。

佐藤 哲大 (サトウ テツオ)

平成9年京都大学工学部情報工学科卒業。平成11年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。平成13年同大学博士後期課程修了。同年福井医科大学高エネルギー医学研究センター研究員。平成14年科学技術振興事業団研究員。平成15年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手、現在に至る。MRI医用画像処理に関する研究に従事。



日本生体医工学, ISMRM, 日本医用画像工学会の各会員。

湊 小太郎 (ミナト コタロウ)

昭和45年京都大学工学部電気系学科卒業。昭和52年同大学院工学研究科(博)単位取得退学。昭和54年同大学医学部附属病院放射線部助手。昭和58年同大学医療情報部助教授。平9年奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター教授。平13年同大学院大学情報科学研究科(生命機能計測学分野)教授、現在に至る。医療情報学, 医用画像工学, 生体計測などに関する研究に従事。京都大学工学博士。



日本生体医工学学会, 日本医療情報学会, 日本核医学会, IEEE, 日本医用画像工学会, などの会員。

吉田 正樹 (ヨシダ マサキ)

1984年大阪大学大学院工学研究科後期課程単位修得退学。同年神戸大学医療技術短期大学部講師, 1994年同大学工学部助教授, 1998年大阪電気通信大学教授。現在, 筋電制御義手の開発, 歩行分析, リハビリゲームなどの研究に従事。博士(工学)。1983年日本エム・イー学会論文賞受賞。



日本生体医工学学会, 電気学会, 電子情報通信学会, 計測制御学会, 日本体力医学会, 日本運動器リハビリテーション学会, IEEEなどの会員。

瀧瀬 和美 (コウケツ カズミ)

(株)テック技販 代表取締役社長。

