

多指ハプティックインターフェイスを用いた 物体把持における摩擦力の提示

川崎晴久^{*1}, 大塚義夫^{*1}, アルハラビ ムハンマド オサマ^{*2}, 毛利哲也^{*1}

Display of Object Grasping Friction Forces Using Multi-Fingered Haptic Interface

Haruhisa KAWASAKI^{*1}, Yoshio OHTUKA^{*1}, M.Osama ALHALABI^{*2} and Tetsuya MOURI^{*1}

Abstract — When a virtual object is grasped by human hand, the grasped and the slipped states should be both presented with reality. This paper presents a computational technique for calculating the static and dynamic friction force, in addition to friction moment applied to haptic rendering. The proposed technique is evaluated by using a five-fingered haptic interface named HIRO II combined with virtual reality simulation system.

KeyWords : haptic interface, rendering, friction, virtual reality.

1 はじめに

仮想空間において複数の指により物体を操作するとき、指と物体との接触で生じる接触力により物体は空間運動する。接触力は、指先が仮想物体への侵入により計算される物体表面に垂直方向の抗力と、物体表面の接平面上にある摩擦力から構成される。指と物体あるいは物体と物体との接触により生じる摩擦には、滑りのない静摩擦状態と滑りのある動摩擦状態がある。吉川ら[1]は、仮想物体への指の侵入量とそのときの速度に応じた復元力として静摩擦が作用するとしているが、動摩擦を扱っていない。静摩擦と動摩擦との遷移を扱う方法として C. B. Zilles ら[2]の God objects 法を修正した W. S. Harwin ら[3]による摩擦錐を用いた手法がある。この方法では、仮想物体への侵入量に比例した復元力が摩擦として作用し、物体内の侵入点が摩擦錐の外部にあるときは滑りが生じているとし指先を摩擦円錐上に移動させている。C. Ho ら[4]も同様な摩擦計算法を示している。黒田ら[5]は、滑りの移動量を垂直抗力に応じて制御する手法を提案している。また、物体表面のよりリアルなハプティックレンダリングのために、物体表面の摩擦モデルとして、Y. Zhang ら[6]のブラシモデル、V. Hayward ら[7]の物体表面での滑り、ス

ティックスリップ、クリープ、振動を表すための計算モデルなどが提案されている。しかし、これらの多くは固定して置かれた物体の表面を指先でなぞるときの実験で検証しており、3本以上の複数の指での把持実験の検証が十分になされていない。実空間で物体を把持し操作を行う場合は、5本の指を用いて物体操作を行うことが多い。また、これらの実験で使用されているアルゴリズムでは、計算の離散化の影響により物体の運動に振動が生じることがある。また、指と物体との接触を点接触とするため、摩擦モーメントについての検討は十分でなく、物体を把持し操作する場合の摩擦力の提示において、実空間での操作感覚に近い力覚提示や VR シミュレーションが実現されていない。長谷川ら[8]は、接触体積に基づいて物体間に作用する抗力と摩擦力の計算法を提案しているが、分布的な接触点の考察のため従来の一点での接触と比較すると計算量は多くなる。また、多指による物体把持の評価はなされていない。

本論文は、堅く把持した静止摩擦状態と緩やかに把持した動摩擦状態での摩擦計算法の安定化のための改良とソフトフィンガー接触にもとづく摩擦モーメントの計算法を示し、我々の研究グループで開発した5本指のハプティックインターフェイス HIRO[9]を用いて3次元 VR 空間での仮想物体の把持における静摩擦から動摩擦あるいはその逆の摩擦状態の遷移と摩擦モーメントの効果を実験的に検証し、操作者に与える触感の評価について述べる。

^{*1}岐阜大学工学部人間情報システム工学科

^{*2}岐阜大学 VSL

^{*1}Depat. Of Human and Information Systems, Gifu University

^{*2}Virtual System Laboratory, Gifu University

2 物体把持における物体の空間運動

実環境の物体は、指先から物体に作用する接触力に加え、重力が作用し物理法則に基づいて運動する。仮想環境での物体の運動も物理法則に基づいて構築すれば、実環境の物体と同様な運動を仮想環境で生成できる。ここでは、図1に示すように物体と複数の指先が接触した時に生じる抗力と摩擦力及び接触点の移動の計算法について考察する。同図において、第*i*指の指先は物体表面上の点 S_i ではじめに接触した後、物体内部に侵入して点 C_i の位置にある。 Σ_{ref} は基準座標系、 Σ_{obj} は物体座標系、 p_o は物体の位置ベクトル、 p_i は物体内部の指先位置 C_i の位置ベクトル、 s_i は接触位置 S_i の位置ベクトル、 a_i は指先位置 C_i から接触位置 S_i への位置ベクトル、 n_i は接触点の接平面における法線ベクトル、 a_i^n の抗力方向ベクトルを a_i^n と摩擦方向ベクトルを a_i^t としている。

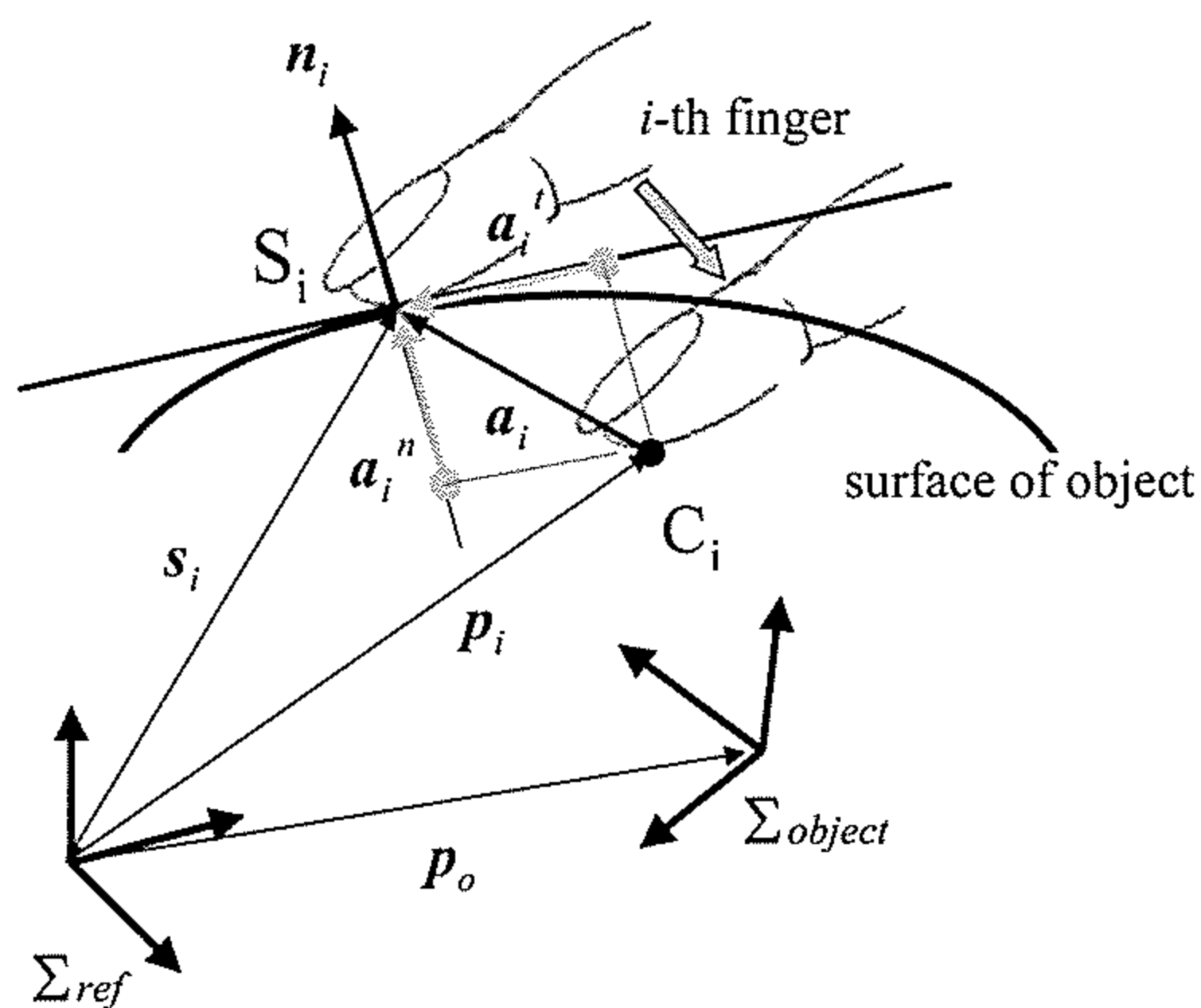


図1 抗力と摩擦力

Fig. 1 Constraint force and Friction force

2.1 接触点の移動

幾何学的な関係から、

$$a_i^n = (n_i^T a_i) n_i \quad (1)$$

$$a_i^t = a_i - a_i^n \quad (2)$$

の関係がある。この時、W. S. Harwinら[3]の手法を採用し、物体表面の接触位置 S_i から見た指先位置 C_i が図2のような摩擦錐の内部にあるときは、接触点は移動しないと、摩擦錐から飛び出しているときは、摩擦錐のエッジにくるように接触点が移動する。すなわち、静止摩擦係数を μ_i とおき、

$$\eta_i = \|a_i^t\| / \|a_i^n\| \quad (3)$$

とおくと、 $\eta_i \leq \mu_i$ のとき物体表面の接触点は移動しない、 $\eta_i > \mu_i$ のとき物体表面の接触点は接触平面上では図2に示す S_i^* の位置に移動するものとする。こ

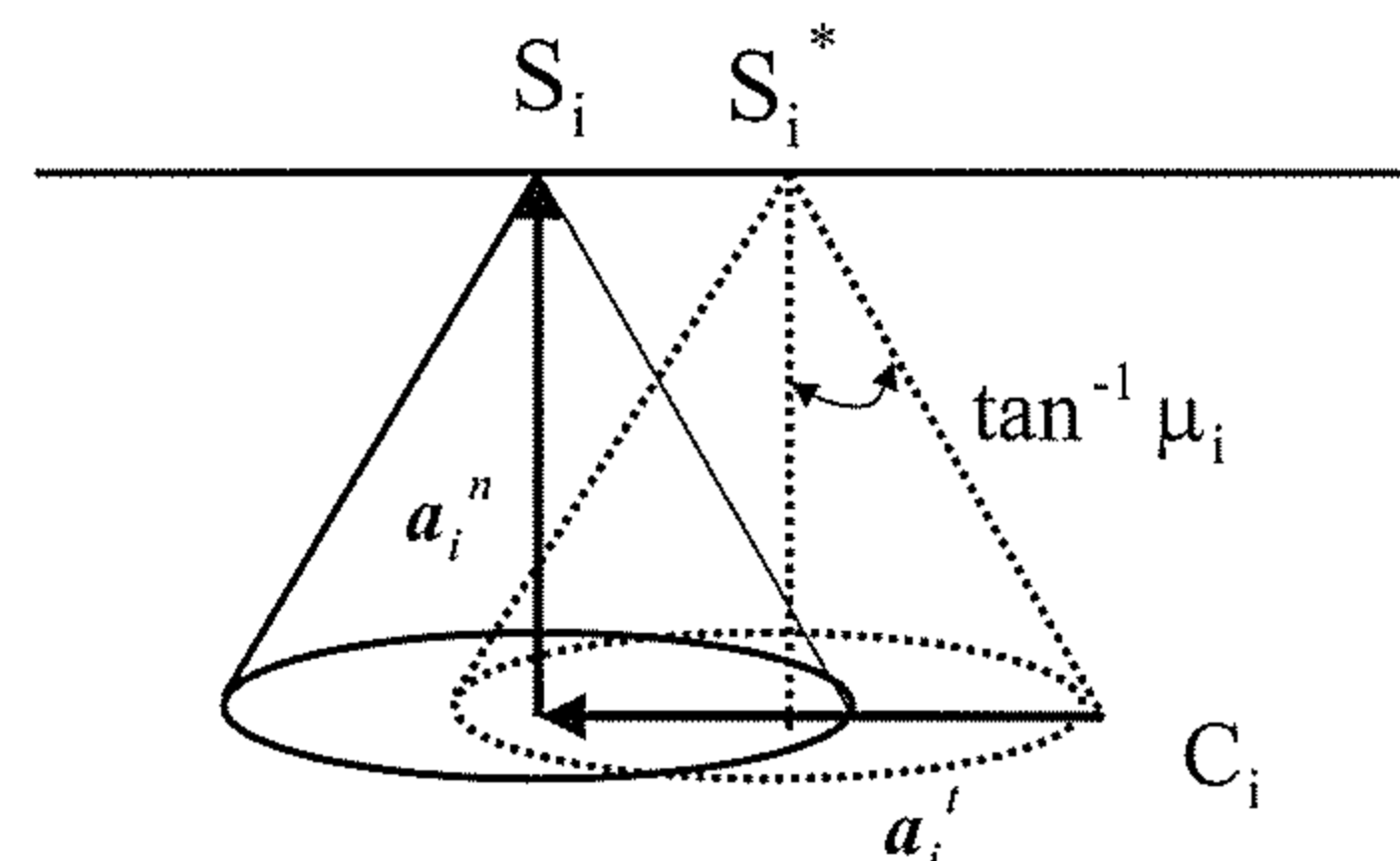


図2 接触点の移動

Fig.2 Movement of contact point

のとき、接触点の位置は、

$$s_i^* = s_i - a_i^t + \mu_i \|a_i^n\| t_i \quad (4)$$

と表せる。但し、 $t_i = a_i^t / \|a_i^t\|$ は摩擦方向の単位ベクトルである。移動後は、接触点 S_i^* を S_i に、 s_i^* を s_i に置き換え、動摩擦状態とする。動摩擦状態では、動摩擦係数を λ_i とするときその後の移動判定は、 $\eta_i \leq \lambda_i$ のとき物体表面の接触点は移動せず静摩擦状態に戻り、 $\eta_i > \lambda_i$ のとき物体表面の接触点は接触平面上では S_i^* の位置に移動し動摩擦状態を継続する。このとき、接触点の位置は、

$$s_i^* = s_i - a_i^t + \lambda_i \|a_i^n\| t_i \quad (5)$$

と表せる。一般に、 $\mu_i > \lambda_i$ である。

2.2 指先抗力

指先と物体との干渉により、バネダンパモデルにより指先抗力が生じるとすると、 a_i^n に比例したバネの復元力と指先と物体との法線方向の相対速度に応じて定まる減衰力の和として

$$f_i^n = K a_i^n + D v_i^n \quad (6)$$

と表せる。ただし、 K は接触点でのバネ係数であり、 D は減衰係数、 $v_i^n = v_i - (t_i^T v_i) t_i$ は第*i*指先の物体に対する法線方向の相対速度である。ここで、 v_i は第*i*指先の物体に対する相対速度である。

2.3 摩擦力の計算

次に摩擦力の計算について考察する。第*i*指の指先と物体との接触点が移動せず静摩擦が作用しているときは、摩擦力 f_i は抗力の大きさ $\|f_i^n\|$ に比例[4]するので

$$f_i = \eta_i \|f_i^n\| t_i \quad (7)$$

と表せる。物体内部での指先位置が摩擦錐の円周上で静止しているときは、最大静止摩擦となる。しかし、この式では物体の運動が計算の離散化の影響により安定しないので、指先の物体に対する接平面に平行な相対速度に比例する減衰項を加え、

$$f_i = (\eta_i \|f_i^n\| + d t_i^T v_i) t_i \quad (8)$$

とした。ここで、 d は計算の安定化のために導入した粘性係数である。式(8)の粘性項により、摩擦錘内での指先の振動的な挙動に対して減衰効果がある。指が物体表面で滑り接触点が移動するとき、指の滑り速度に比例した粘性が作用すると

$$f_i = (\lambda_i \|f_i^n\| + \gamma_i t_i^T v_i) t_i \quad (9)$$

と表せる。ここで、 λ_i は動摩擦係数、 γ_i は動摩擦状態における粘性摩擦係数である。このような設定により、スティックスリップ現象が表現できる。

2.4 摩擦モーメントの計算

指先での法線まわりの回転で生じる静止摩擦モーメントは、吉川ら[1]により指先と物体との相対ねじれ角と相対ねじれ速度から計算する方法が示されているが、この方法は摩擦モーメントが抗力に比例[10]する関係となっていない。ここでは、摩擦モーメントは相対ねじれ角と抗力の両者に比例する計算法を提案する。

静摩擦状態での物体表面における指先の相対ねじれ角は、指先と物体との n_i 軸まわりの回転角度として表される。ここで、静摩擦状態の開始時点で、指先表面の接触点に座標系 $\Sigma_i^B = \{x_i^B, y_i^B, z_i^B\}$ を設定する。ただし、 z_i^B 軸は接触時の接平面の法線と一致させる。このとき x_i^B, y_i^B 平面は、接平面と一致する。同時に、物体の接触点にも座標系 $\Sigma_i = \{x_i, y_i, z_i\}$ を座標系 Σ_i^B と重ね合すように設定する。二つの座標系は空間運動すると、 x_i 軸は $x_i^B \times x_i$ 軸まわりに

$$\theta_i^* = \sin^{-1}(\|x_i^B \times x_i\|) \quad (10)$$

回転したことになる。これを、 n_i 軸に射影した回転角度は

$$\theta_i = \theta_i^* \left(n_i^T \frac{x_i^B \times x_i}{\|x_i^B \times x_i\|} \right) \quad (11)$$

と表せる。この回転角度が物体と指先との相対ねじれ角とみなせる。

最大静止摩擦モーメントは、 n_i 軸まわりに $\|f_i^n\|$ に比例して作用すると

$$m_i = \zeta_i \|f_i^n\| n_i \quad (12)$$

と表せる。ここで、 ζ_i は静摩擦状態におけるねじり摩擦係数であり

$$\zeta_i = k_s \theta_{i\max} \quad (13)$$

と表せるとする。ただし、 $\theta_{i\max}$ は最大摩擦モーメントにおける最大相対ねじれ角、 k_s は指と対象物体の物性できる係数である。一方、指先が物体に固定

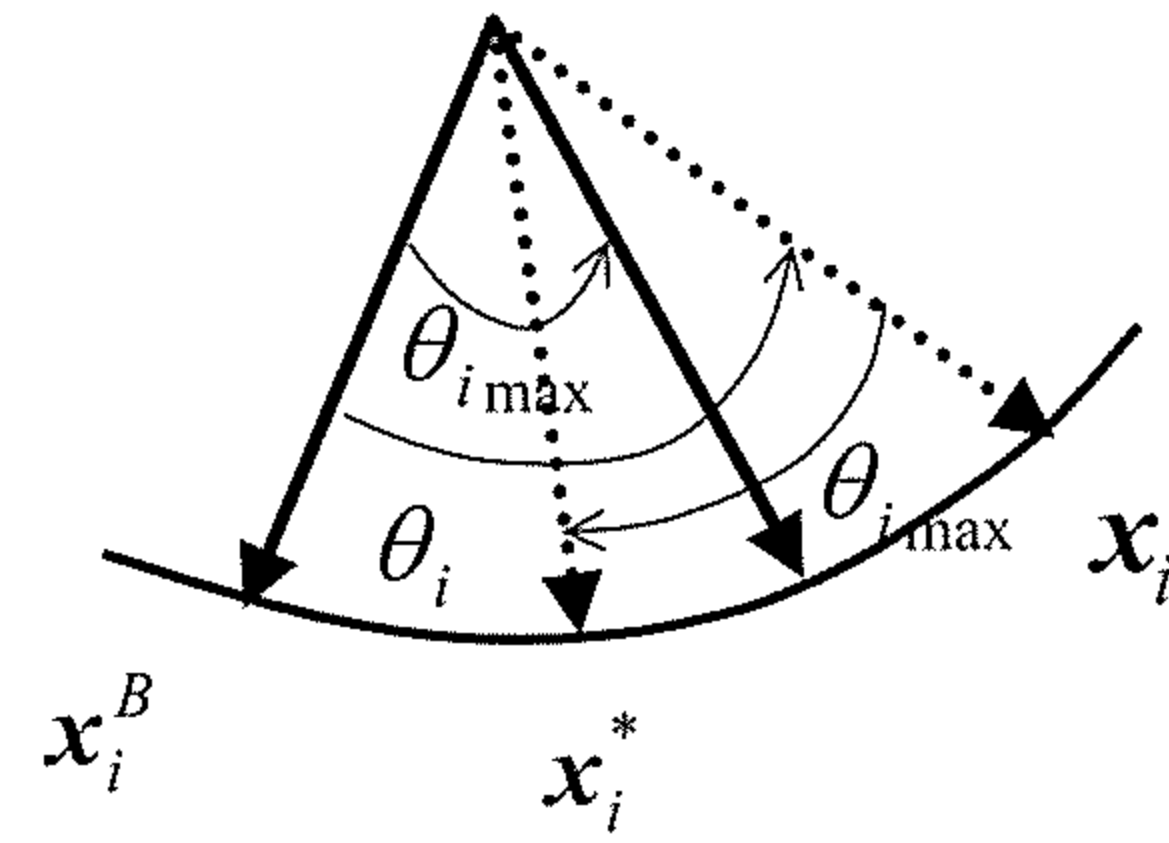


図3 x_i^B の移動

Fig. 3 Movement of x_i^B

されているときの静摩擦モーメントは、指先の物体表面での相対ねじれ角と $\|f_i^n\|$ の両者に比例するので、

$$\xi_i = k_s \theta_i \quad (14)$$

とおくと、

$$m_i = \xi_i \|f_i^n\| n_i \quad (15)$$

と表わせる。ここで、図3に示すように、頂角が $\theta_{i\max}$ の摩擦モーメント円弧を考えると、この内部に θ_i があるときは静摩擦状態であり、外部にあるときは動摩擦状態である。境界上にあるときは最大摩擦モーメントとなる。すなわち、 $|\theta_i| \leq \theta_{i\max}$ の条件を満たすとき静摩擦状態であり、 $|\theta_i| > \theta_{i\max}$ のときは動摩擦状態である。静摩擦状態から動摩擦状態に移した時点で現在の x_i から n_i 軸まわりに $-\theta_{i\max}$ 回転して得るベクトルを x_i^* とし、線形補間により

$$x_i^* = x_i - \frac{\theta_i}{\theta_{i\max}} (x_i - x_i^B) \quad (16)$$

として求め、これを x_i^B と置き換えることで、指先表面の接触点での座標系を更新でき、新しい摩擦モーメントの開始点が設定される。

動摩擦状態での摩擦モーメントは式(15)に回転速度に比例する粘性が作用すると

$$m_i = (\gamma_i \|f_i^n\| + \rho_i \dot{\theta}_i) n_i \quad (17)$$

で表される。ここで、 $\gamma_i = k_d \theta_i$ は動摩擦状態でのねじり摩擦係数であり、 ρ_i は粘性係数である。ただし、 k_d は動摩擦モーメントが作用するときの指と対象物体の物性できる係数である。動摩擦状態では、摩擦モーメントの計算開始点をその都度式(17)で求める。また、 $\xi_i > \gamma_i$ の関係がある。

提案する摩擦モーメントの計算法は、指先と物体との相対ねじり角度と抗力に比例する摩擦モーメントが生成される。

2.5 物体の運動

物体に作用する力は、指先力、摩擦力、重力である。これにより物体の運動は、次のニュートン・オ

イラーの運動方程式から計算される.

$$m_o \ddot{p}_o = -m_o g - \sum_i (f_i^r + f_i^n) \quad (18)$$

$$I_o \dot{\omega}_o + \omega_o \times (I_o \omega_o) = \sum_i \{-(s_i - p_o) \times (f_i^r + f_i^n) + m_i\} \quad (19)$$

ここで, m_o は物体の質量, I_o は物体の慣性テンソル, ω_o は物体の角速度ベクトルである. 物体の位置, 速度は上式の離散化モデルにより計算される.

3 多指ハプティックインターフェイス

実験で用いた多指ハプティックインターフェイスは HIRO II と呼び, 5 本指ハプティックハンドとアームから構成される. その詳細は文献[9]を参照されたい. ここでは, その概要を述べる.

図 4 に多指ハプティックインターフェイスロボット HIRO II の外観図を示す. HIRO II は 5 本指 15 自由度のハプティックハンドと 6 自由度のアームから構成され, (1)指先 5 点に力覚を提示でき, (2)仮想物体の重量感も提示可能で, (3)操作者の手に大きな圧迫感を与えない等の特徴としている.

ハプティックハンドは, 成人男性の手のサイズの 1.2 倍程の大きさである. 各指は, 内外転の第 1 関節, 前後屈の第 2, 第 3 の関節の計 3 自由度ある. 触覚指の先端リンクには, 6 軸力センサを装着しその内 x,

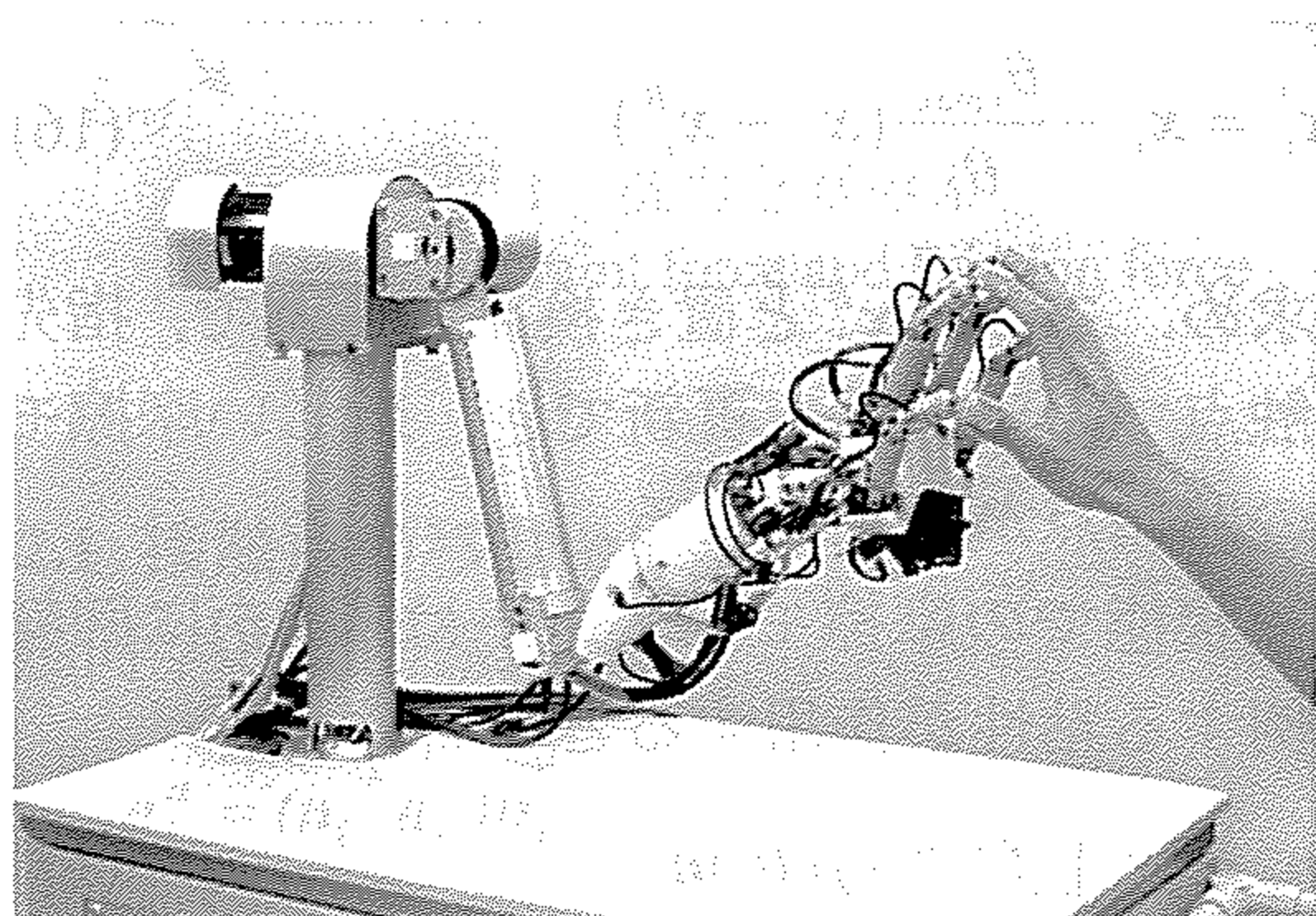


図 4 5 指ハプティックインタフェース HIRO II
Fig. 4 Five-fingered haptic Interface robot: HIRO II



図 5 指ホルダー
Fig. 5 Finger holder

y, z 軸の 3 軸出力を利用している. また, 先端リンクには, 永久磁石で吸引する受動球関節と図 5 に示す指ホルダーがある. 受動球関節は, 操作者の指と触覚指の姿勢の調整機能を持たせている. また, 緊急時の安全対策のために 5N 以上の引き抜き力で脱着できるように設計されている. HIRO[11]の指ホルダーは, 指先に受動球関節の球が配置されていたため, 指先に力が作用する感覚を与えていた. HIRO II では, 図 5 に示すように, 操作者の指の腹部に力が作用するように受動球関節の球を配置している.

ハプティックアームの上腕と前腕は約 300mm であり, 肩部に 2 自由度, 肘部に 1 自由度, 手首部に 3 自由度の合計 6 自由度ある. 卓上での仮想作業に対して, 力覚を提示できる十分な作業空間があるといえる.

本システムの制御装置[12]は, 指先と物体との干渉チェックと触覚レンダリングを計算する VR システムとハプティックデバイスの制御システムから構成される. VR システムは OS を Windows XP とし, 制御システムの OS は ART Linux とし, 両者の通信を LAN で実現している. その通信サイクルは 1KHz である. 制御システムの制御サイクルも同じく 1KHz である.

4 実験

HIRO II を用いた物体把持における摩擦力の提示の有効性を検証するために, 五本の指を用いて直方体(40×12×25cm, 150gf)を把持し持ち上げ静止後, 徐々に把持力を弱め, 滑り出したらまた強く把持するという動作を行った. 実験時に使用する摩擦計算での静止摩擦係数は 0.85 とし, 動摩擦係数, 粘性摩擦係数はそれぞれ 0.6, 0.05[Ns/m]とした. 実験の様子を図 6 に示す. 操作者はディスプレイの画面をみて操作する. 表示画面での指先は, 球として表示される.

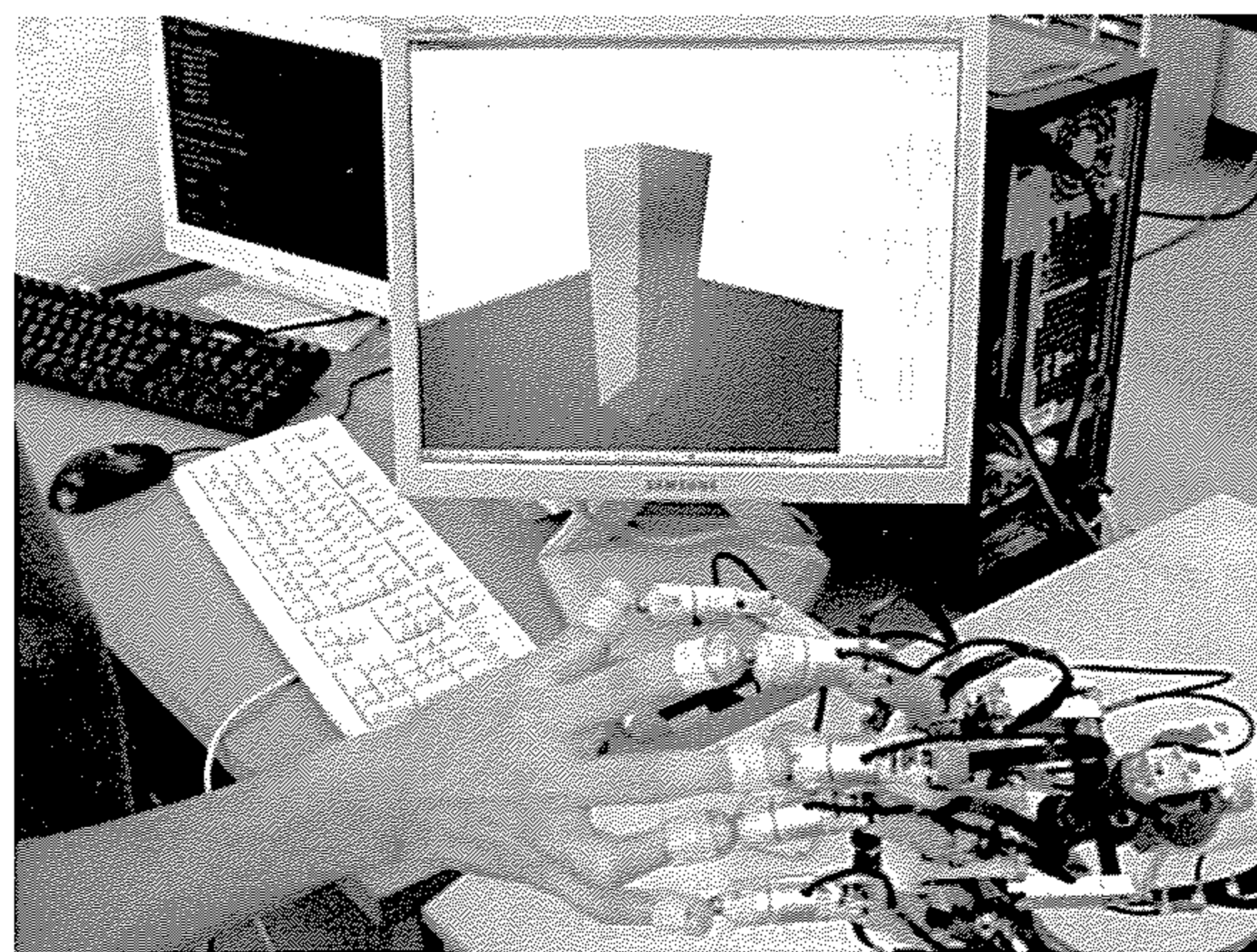


図 6 実験環境
Fig. 6 Experimental environment

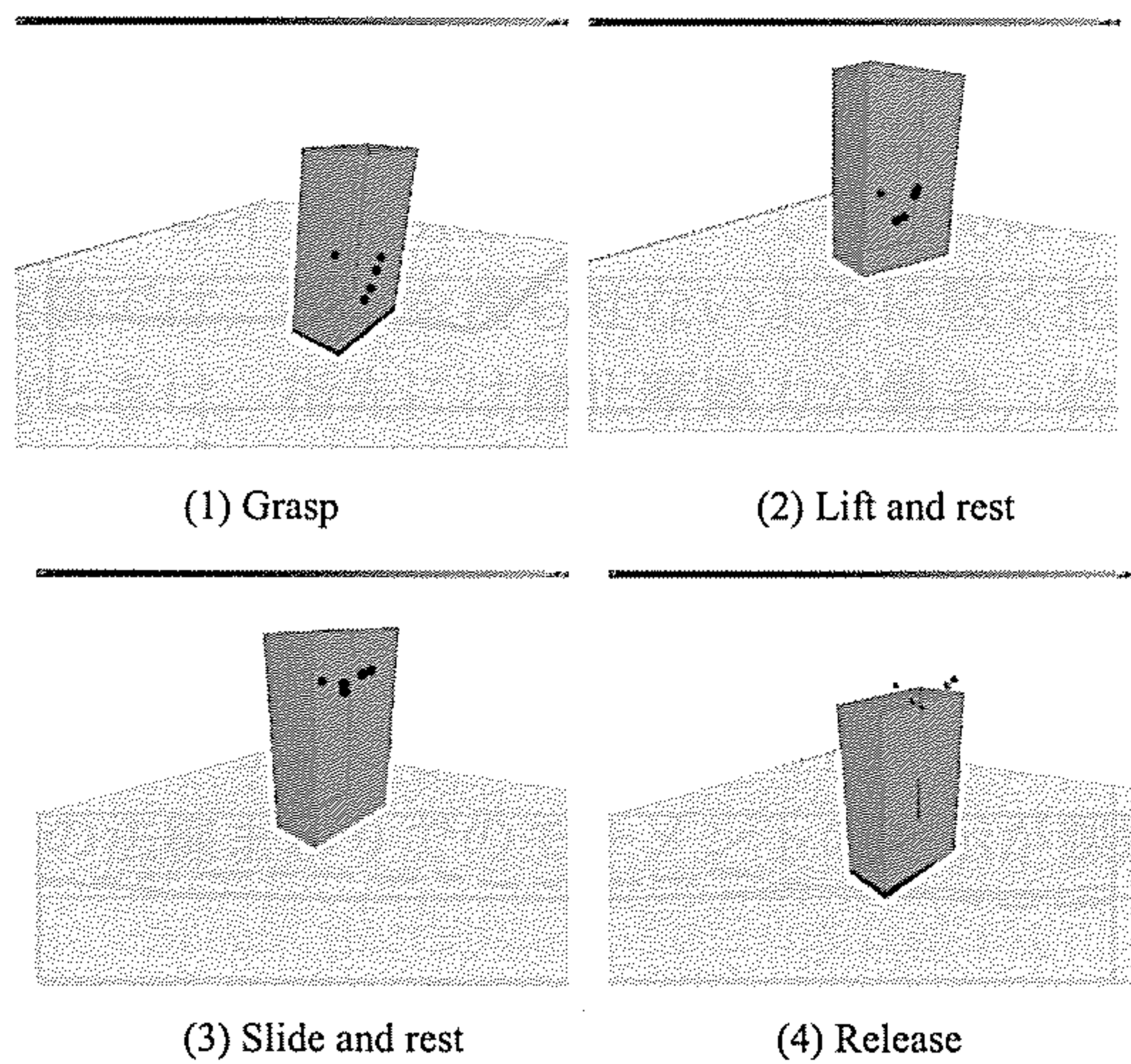


図7 直方体の把持のシーン

Fig. 7 Scene of grasping of a rectangular solid

かる。特に拇指では、他の指と対向しているため変化が顕著である。また、図9に示されるように、静摩擦時の摩擦力の総和は、物体重量 150gf とほぼ一致している。操作者の感想では、ハプティックインターフェイスと画像との総合により、摩擦力の変化と物体の重さを感じ、実際に物体を把持し滑らず状態に近い感覚が得られている。

次に、図10に示すように、物体の姿勢変化が生じるように、拇指と薬指で物体の端部を強く把持して持ち上げて静止（静摩擦状態）し、次に把持力を弱め自重により回転するように把持力を弱め（動摩擦状態）、再度強く把持し静止（静摩擦状態）する実験を行った。実験では、操作者の指先の姿勢を計測する必要がないようにするため、指先の姿勢を一定に

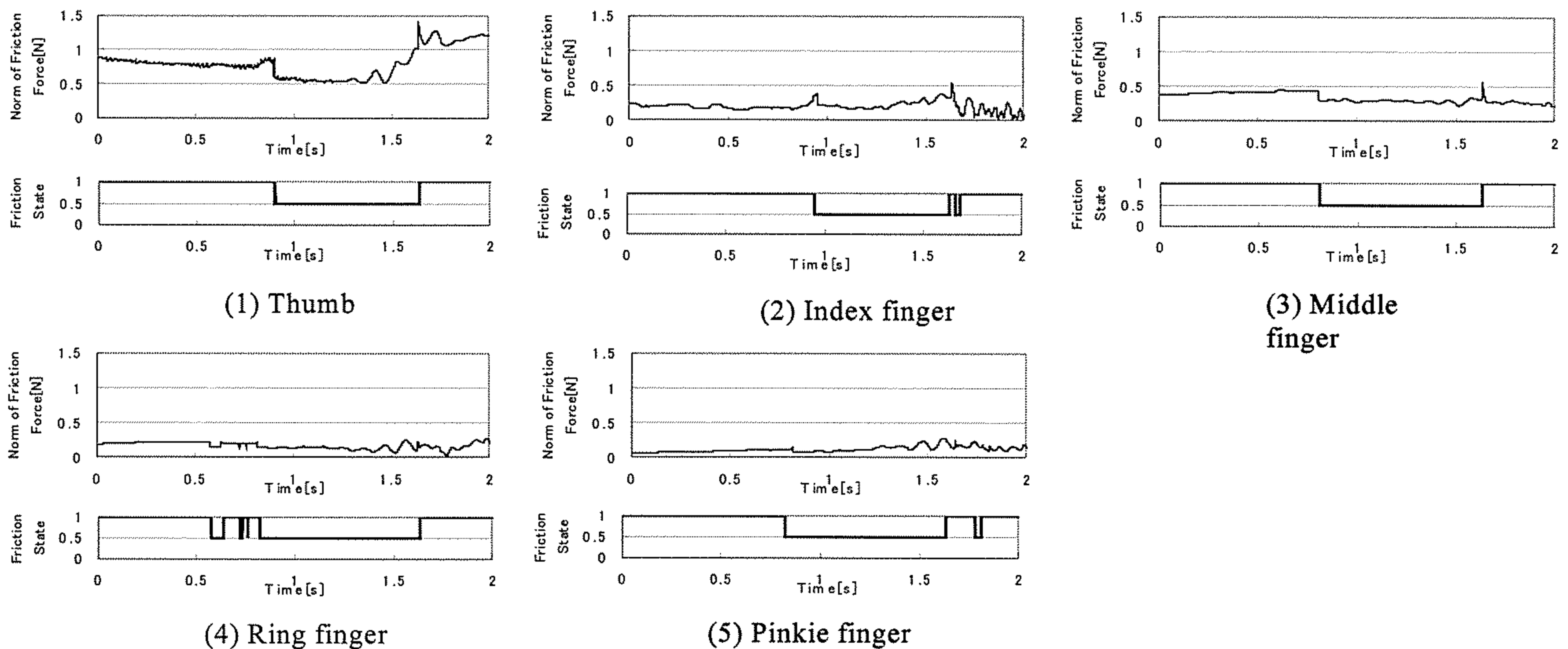


図8 指先での摩擦力と摩擦状態

Fig. 8 Friction force and friction state at fingertip

はじめに、図7に示すように、物体の姿勢変化が生じないような接触点で物体を把持し、持ち上げてから静止（静摩擦状態）し、次に把持力を弱め指先と物体を重力方向に滑らし（動摩擦状態）、再度強く把持し静止（静摩擦状態）する実験を行った。このときの、各指先で生じた摩擦力の大きさと摩擦状態を図8に示す。摩擦状態は静摩擦状態のとき1、動摩擦状態のとき0.5としている。ここで、計算の安定化のために導入した減衰係数 d は $2.5[\text{Ns/m}]$ とした。このとき、物体に作用する摩擦力の総和と変位を図9に示す。把持した状態から徐々に把持力を弱めていくと、物体に作用する重力に釣り合うように生じていた摩擦力が最大静摩擦力を超えるため、滑りが生じ物体が指先を滑りながら落下する。この時、それぞれの指先には動摩擦力が働いている。そして再び強く把持すると、摩擦力は再び静摩擦状態に変わり落下運動は止まる。静摩擦と動摩擦の遷移において、摩擦力の大きな変化が表れていることがわ

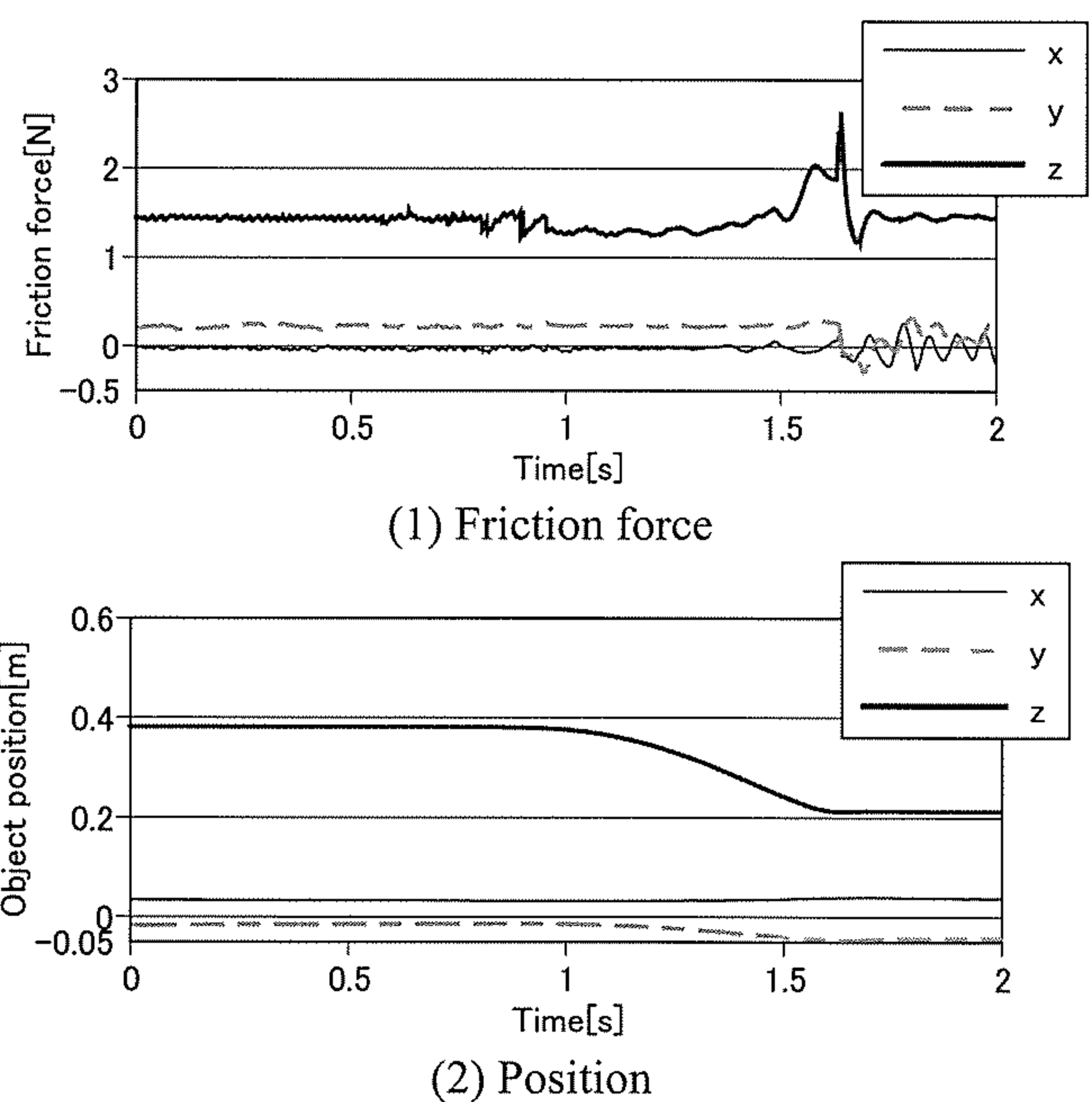


図9 物体に作用する摩擦力の総和と物体の位置
Fig. 9 Total friction force exerted to the object and its position

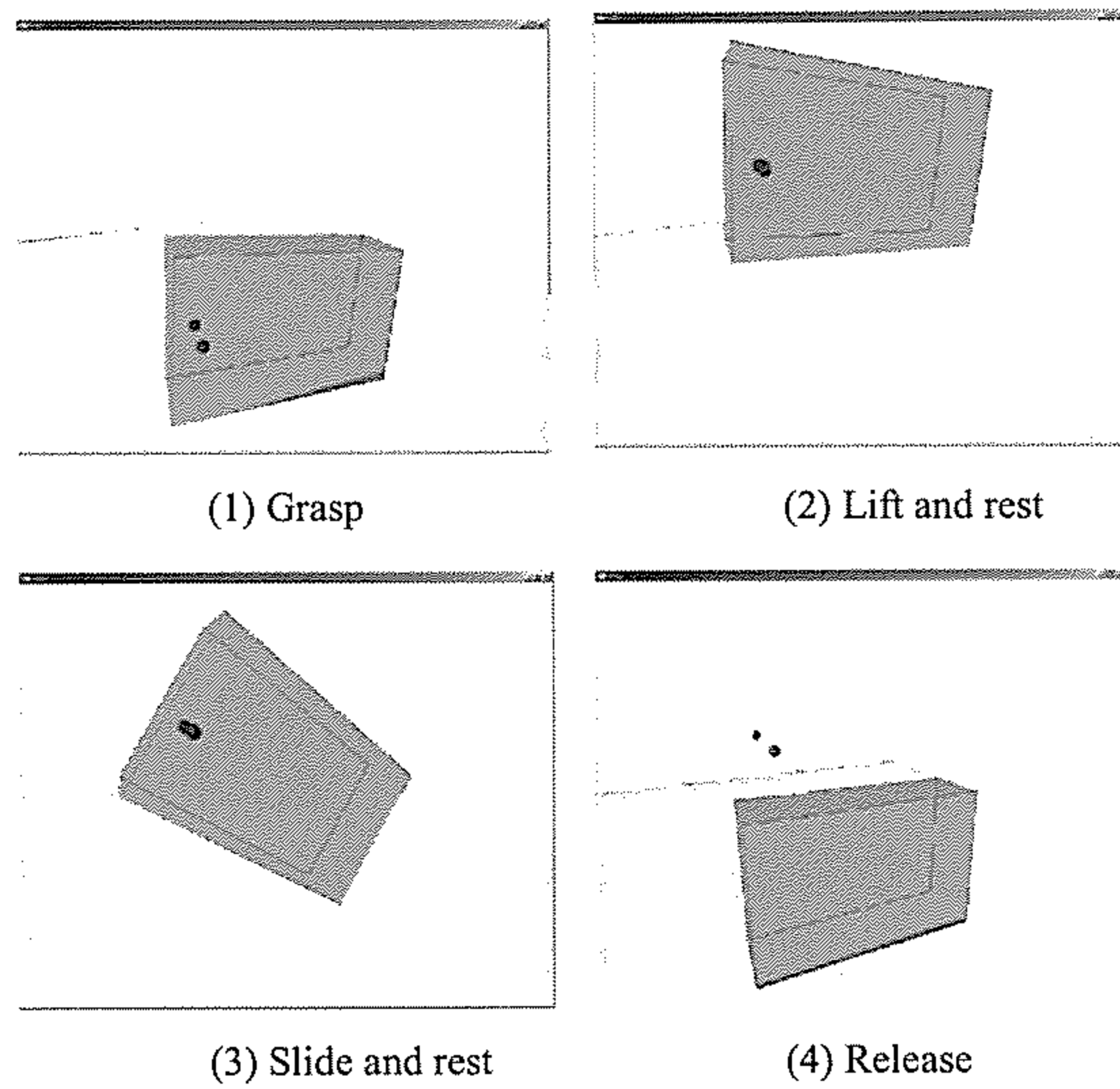


図 10 把持と回転のシーン
Fig. 10 Scene of grasping and rotation

保つようにした。このときの、各指先で生じた摩擦モーメントの大きさ、摩擦状態及び相対ねじれ角を図 11 に示す。指先と物体との最大相対ねじれ角は 0.05rad とした。動摩擦状態での相対ねじれ角は、ほぼ一定である。このときの、物体に作用する摩擦モーメントの総和とオイラー角で表した姿勢を図 12 に示す。静摩擦と動摩擦の遷移において、摩擦モーメントの大きな変化が二本の指に表れていることがわかる。

また、前半と後半の静止時の摩擦モーメントの大きさは、把持位置から質量中心までの長さと物体質量との積である 0.135Nm と 0.15Nm にそれぞれほぼ等しい。この実験では、操作者に摩擦力を提示するが、HIRO II の自由度の制限から摩擦モーメントは提示していない。しかし、物体の運動シミュレーションでは重力により生じるモーメントと摩擦モーメントが静止摩擦状態では釣り合いがとれ、動摩擦状態では前者が大きいので把持点で物体が回転運動しその動きはリアルに示されている。このため、操作者は、摩擦モーメントを感じることはないが、摩擦力の変化と物体の重さを感じている。

以上より、多指ハプティックデバイスを用いて、摩擦力及び摩擦モーメントの両者において、静止摩擦状態から動摩擦状態の移行が提示できることが確認された。しかし、よりリアリティのある力覚の提示には、接触表面の法線まわりモーメントの提示が今後の課題である。

5 まとめ

本論文では、仮想空間で物体把持において生じる摩擦力の計算法の改善とソフトフィンガー接触としての摩擦モーメントの計算法を示した。提案した摩

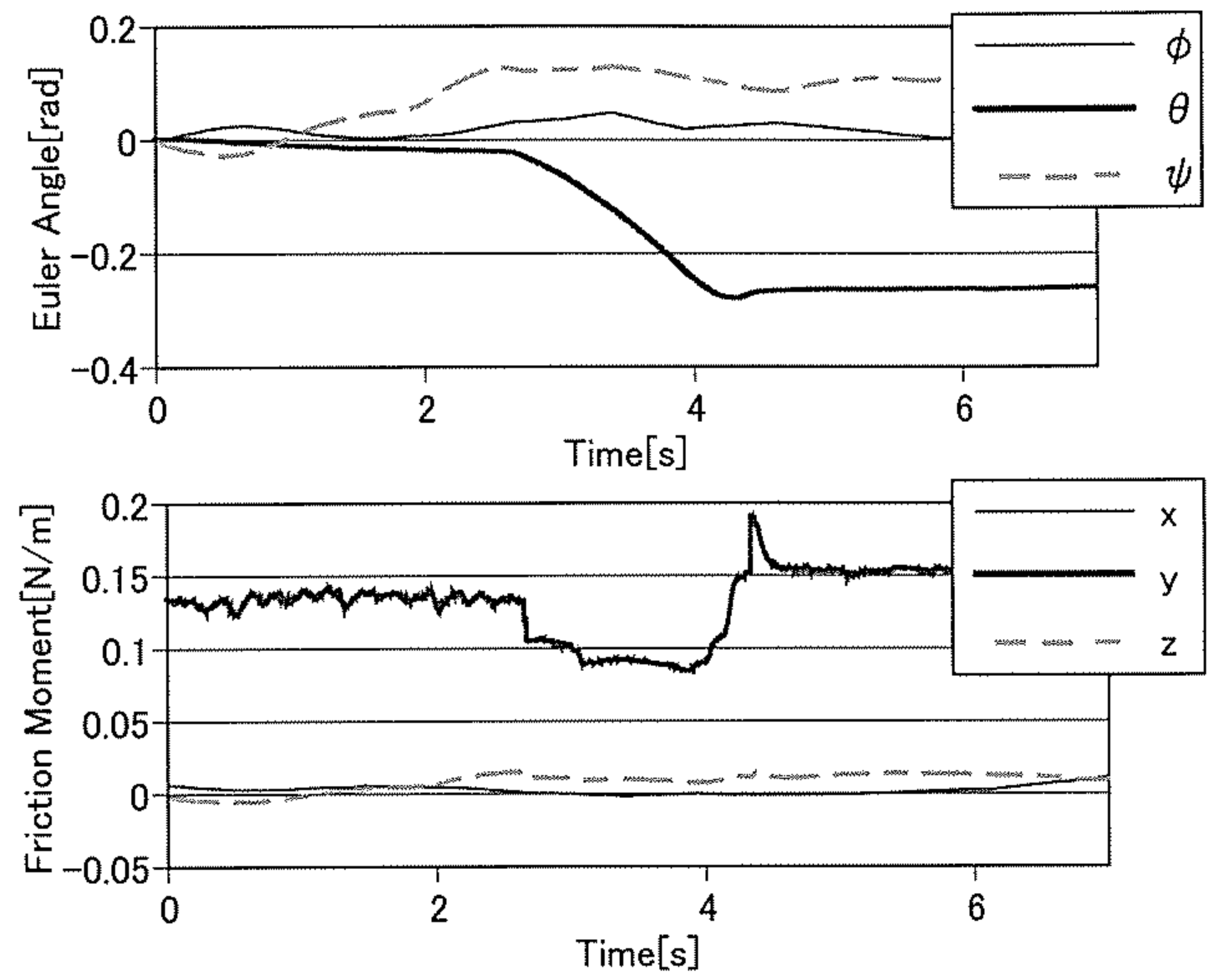


図 12 物体の姿勢と摩擦モーメント
Fig. 12 Orientation and friction moment of object

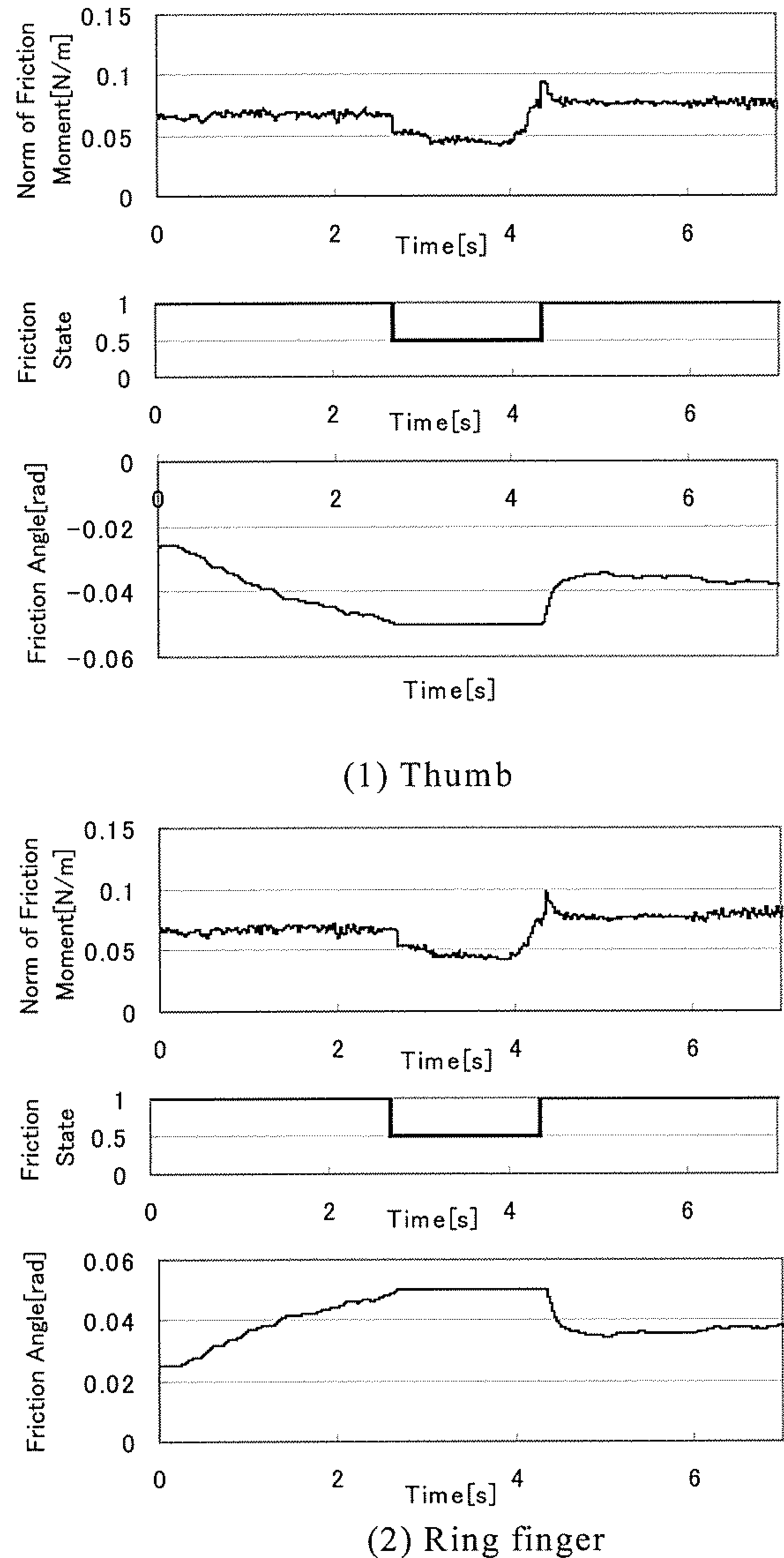


図 11 指先での摩擦モーメントと摩擦状態
Fig. 11 Friction moment and friction state at fingertip

擦モーメントの計算は、指先と物体の相対ねじれ角と抗力に比例する特徴がある。多指ハプティックインターフェイス HIRO II を用いて仮想物体を把持する実験では、物体を滑らせないように堅く把持しているときは、指先には静摩擦力が働き、物体が滑っているときには動摩擦力が働いていることを確認することができた。また、摩擦モーメントの計算法の導入により、物体の運動が物理学にもとづいてシミュレーションできるようになった。今後は、物体表面の法線まわりでのモーメントの提示が課題である。

参考文献

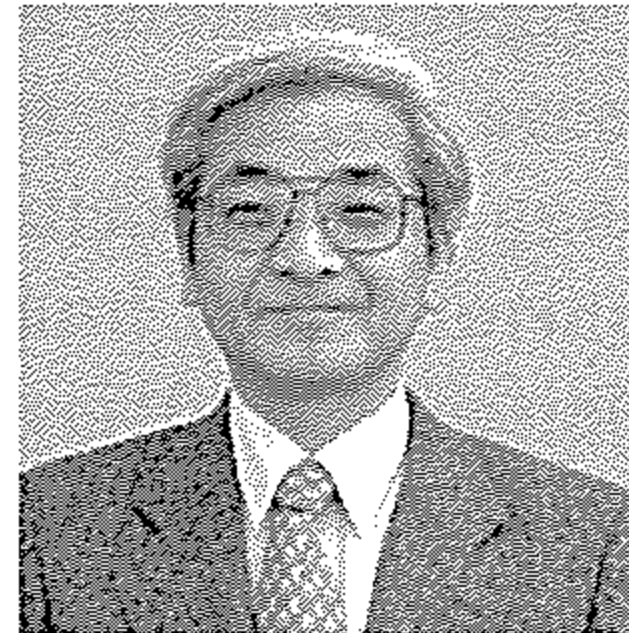
- [1] 吉川恒夫, 山口卓也, 野口将人, 川井昌之, 2 本指操作のための 6 自由度指先装着型力覚提示装置の開発, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.8, pp.893-899 (2002)
- [2] C. B. Zilles · J. K. Salisbury, A Constraint-based God-object Method for Haptic Display, Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems (1995)
- [3] W. S. Harwin, N. Melder, Improved Haptic Rendering for Multi-Finger Manipulation Using Friction Cone based God-Objects, Proc. of Eurohaptics Conference (2002)
- [4] C. Ho, C. Basdogan, and M. A. Srinivasam, Efficient Point-Based Rendering Techniques for Haptic Display of Virtual Objects, Presence, Vol.8, No.5, pp.477-491 (1999)
- [5] 黒田嘉宏, 中尾恵, 黒田知宏, 小川博, 松田哲也, 吉原博幸, 形状触知を可能とする弾性体を対象とした摩擦の力覚レンダリング手法, 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp.373-375 (2004)
- [6] Y. Zhang and R. Phillips, Efficient and Accurate Simulation of Friction using a Multi-asperity Surface Contact Model, Proc. of Eurohaptics2004, pp.36-43 (2004)
- [7] V. Hayward, A New Computational Model of Friction Applied to Haptic Rendering, Proc. of Experimental Robotics VI (2000)
- [8] 長谷川晶一, 藤井伸旭, 赤羽克仁, 小池康晴, 佐藤誠, 力覚インタラクションのための多面体の接触体積に基づく実時間剛体シミュレーション, 計測自動制御学会論文集, Vol.40, No.2, pp.1-9 (2004)
- [9] H. Kawasaki, T. Mouri, M. O. Alhalabi, S. Yashutaka, Y. Ohtuka, S. Ikenohata, K. Kigaku, V. Daniulaitis, K. Hamada and T. Suzuki, Development of Five-Fingered Haptic Interface: HIRO II, Proc. of ICAT 2005, pp.209-214 (2005)
- [10] R. M. Murray, Z. Li, and S. S. Sastry, A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation, CRC Press (1994)
- [11] 川崎晴久, 堀匠, 毛利哲也, 対向型多指ハプティックインターフェイス, 日本ロボット学会誌 Vol.23, No.4, pp.449-456 (2005)

- [12] M. O. Alhalabi, V. Daniulaitis, H. Kawasaki, M. Tetsuya, Y. Ootuka, An Experimental Implementation of Networked Multi-Threaded Haptic Virtual Environment Applied to Educational Science Encyclopedia Using High Speed Network, Proc. of 2006 Haptics Symposium (to be presented).

(2005 年 9 月 26 日受付)

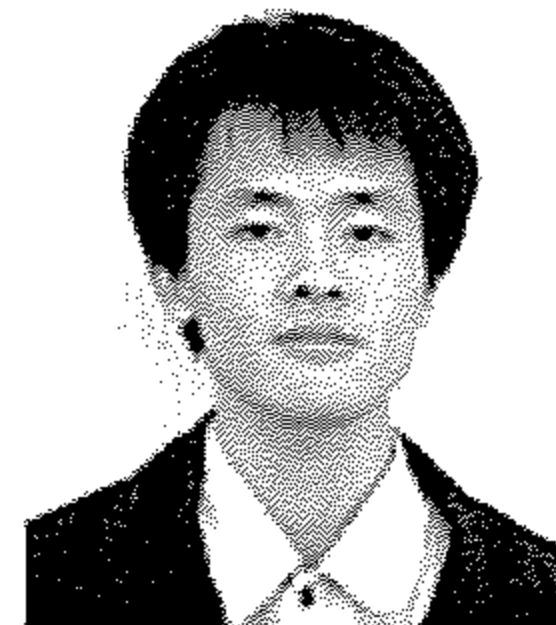
[著者紹介]

川崎 晴久 (正会員)



1974 年名古屋大学大学院修士課程修了。同年、日本電信電話公社(現 NTT)入社, 1990 年金沢工業大学教授, 1994 年岐阜大学工学部教授, 1996 年岐阜大学 VSL 施設長。1998 年 7 月から 1999 年 1 月英国サリー大学客員教授, 現在に至る。ロボティクス, ハプティックインターフェイスなどの研究に従事。中小企業優秀新技術・新製品賞, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門技術業績賞, 日本ロボット学会実用化技術賞などを受賞。

大塚 義夫 (学生会員)



2005 年岐阜大学工学部を卒業, 同年, 岐阜大学工学研究科に入学, 現在に至る。ハプティックインターフェイス, 物理計算に関する研究に従事。

アルハラビ ムハンマド オサマ (正会員)



1998 年上海大学情報科学修士課程修了。2001 年, 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科後期博士課程単位取得。同年同大学, 知識科学研究科富士通寄附講座教員。2003 年岐阜大学バーチャルシステムラボラトリー研究員, 現在に至る。協調触覚仮想環境, 触覚レンダリング, ハプティック・デバイス, VR 触診訓練などに関する研究に従事。

毛利 哲也 (正会員)



2000 年名古屋工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了。現在, 岐阜大学工学部講師。ロボットハンド, 力覚提示に関する研究に従事。日本ロボット学会, 日本機械学会, 計測自動制御学会の会員。工学博士。