

〈一般研究課題〉 ロボットのための水平多関節型摩擦感試験機の試作

助成研究者 名城大学 野々村 裕



ロボットのための水平多関節型摩擦感試験機の試作

野々村 裕
(名城大学)

Prototyping of a SCARA Friction Sense Tester for Robot Use

Yutaka Nonomura
(Meijo University)

Abstract :

Industrial robots are operated in segregated areas from human. It is being looked for to operate in the same spaces with humans. Robots should have physically advanced communication abilities by haptic functions as simulating humans. The evaluation results in a tactile analysis are affected by the subjectivity of experimenters and objective judgments. The relationships between sensory expressions of touch and quantitative evaluations of tactile sense should be established. The relationships between physically measured values of fabrics and sensory expressions of human beings have been investigated by using a friction sense tester (KES-SE-SR-U, Kato Tech Co., Ltd.). The friction sense tester measures feelings of touch only in a direction. In order to extend the performances of the friction sense tester, we made a new friction tester using four motors and a general-purpose 3-axis force sensor with special skins. The new friction tester works like a human arm by the SCARA robot type structure. A sensor head of the tester moves like a human finger. The mechanisms and functions of the new friction sense tester were compared with the conventional one. The good performance of the new friction sense tester was successfully obtained.

1. はじめに

工場等の産業分野で普及し、大きな成果を上げているロボットの活躍の場が人間の生活空間へ拡張されようとしている。これは少子高齢化と労働人工の減少により、会社や店、家庭における労働

者、作業者の不足を補い、手助けするロボットが求められているからである。特に病院や介護施設、家庭においての介助、家事のサポートを人間の代わりにおこなうことが求められている。従来の産業用ロボットはパワーも大きく、作業速度が速いため人間と隔離された環境下での運用がおこなわれている。人間と共存する環境、人間と共通の空間内において、人間を補助し、協調動作する次世代のロボットは周囲への配慮をおこない、人間に優しい動作をすることにより、安全、安心な運用が可能となる。我々はロボットに対し人間の感覚を模擬した触覚機能を付与することにより、ロボットに人間に近い触覚感を持たせ、人間と物理的に高度なコミュニケーションが取れるようにすることにより、人間にフレンドリーなロボットを生み出すことができると考えており、温度や熱流、力の同時計測が可能なセンシングシステムの開発に取り組んでいる[1],[2]。

触覚解析における実験評価方法は、対象となる素材や測定装置、測定環境に依存することが多く、主観からなる官能表現との関係を求めるために、これらを含めた総合的な測定・評価方法が求められている[3],[4]。手触りを言葉で表した官能表現は触覚と密接な関係があるが定量的な評価方法が確立されていない。また、地域や国により相違があることが確認されている[5]。我々は人間の生活に必要で手触りや官能に関わりが深い織物類(布地類)に着目し、そのさわり心地を測定する摩擦感テスト(カトーテック製KES-SE-SR-U)を用い、布地の物理測定値と人間の持つ官能表現との関係を調査してきた[6],[7]。官能表現とは触覚で感じた事象を言葉で表したものである。この試験機は布地の摩擦感測定に関し業界標準的な位置づけにあるとされている[8-12]。しかし、摩擦感覚をロボットへ適応するにはセンサヘッドの改良、掃引機構の改良により、布地へのセンサヘッド接触方法の自由度拡大や布地以外の物体の摩擦特性を調査する必要性が生じた[13]。

従来の摩擦感テストは対象(布地)を乗せたステージを一方向へ動かし測定する装置であり、多方向へのステージ移動が無い、センサヘッド部は2種となっており、ヘッド形状の交換や変更という多様性を持っていない。そこで、従来の摩擦感テストの性能を生かしロボットに応用展開するために、汎用型の3軸力覚センサを用い、2次元掃引が可能な新規な摩擦試験機を提案し、試作をおこなった。従来の摩擦感テストと新規摩擦試験機の機構や機能を比較し、ロボットのための摩擦評価試験機としての可能性を調査した。

2. 新規摩擦試験機の設計仕様

摩擦感計測に使用してきた摩擦感テスト(カトーテック製KES-SE-SR-U)は、可動ステージに測定対象物の布地片を固定し、予め設定した荷重で支持された測定用センサヘッドを布地片に接触させ、可動ステージを左右へ60mm移動する際に発生する摩擦力を測定するものである。測定用センサヘッド接触時の荷重を重りで印加している。上下動用センサヘッドに対する印加荷重は10gf、左右動センサヘッドに対する印加荷重は50gfとなっている。センサ方式は上下動用センサヘッドが歪みゲージ(左右力検知)と差動トランス(上下変位検知)、左右動用センサヘッドが差動トランス(左右力検知)となっている。2種類のセンサヘッドによって摩擦係数、摩擦係数の変動平均、表面粗さの変動平均を測定し算出している。この摩擦感テストは重りによる荷重印加と機械的に大掛かりなセンサ構造、1軸駆動ステージからなり、計測器としての機能を実現している。そのため、動作が限定的であり汎用性を欠いている。

人間が布地を吟味する時は指先の指腹で布地に軽くタッチし、左右、前後に10mm程度の往復運

動、あるいは半径10mm程度の円運動をおこない、指先の力学的触覚器で検知し感じ、官能表現としてデータを表現し、記憶している。そこで、ロボットに適したデータを取得し、解析を進めるために人間の動きを模した運動をおこなえるロボットアーム型新規摩擦試験機の設計をおこなった。

試験機はロボットへの応用を意図し、人間の腕の動きを模すことのできる水平多関節型ロボットアームとした。アームは全長を300mm程度としている。水平方向への駆動に2軸、アーム先端機構の回転・上下駆動に2軸を用いた4つのモータから構成されておりこれらをPLC(Programmable Logic Controller)を用いて同時に精度良く制御することにより、センサヘッドに荷重を印加しながら2次元平面上で布地に対しセンサヘッドを摺動可能とする機構とした。新規摩擦試験機の仕様を表1に示す。

表 1 試験機仕様比較

	カトーテック製 KES-SE-SR-U	新規ロボットアーム型試験機
駆動方向	1次元方向	2次元方向
駆動速度	1, 2, 5, 10mm/s	1~20mm/s
印加荷重	10gf, 50gf	0~200gf
センサ形状	2種	2種以上(センサスキンとして交換可能)

3. 新規試験機の試作

設計・製作した新規試験機の特徴および機能について具体的に記載する。

3.1 極座標系機構

ロボットアームの機械構成として、直交ロボットや垂直多関節ロボットなどが存在するが、摩擦感の評価において人間の腕の動きに近い動作を実現しやすい水平多関節型(SCARA: Selective Compliance Assembly Robot Arm)を採用した。2次元平面上での先端機構の移動・掃引が容易という特徴を有している [14],[15]。新規摩擦試験機の2次元平面上での摺動動作を実現するために、2つの関節部に各1つのモータを使用した。これらは図1において極座標系駆動用モータとして示されている。汎用ロボットアームにはACサーボモータを用いたフィードバック制御が一般的だが、フィードバック制御時、低速掃引動作や静止動作中に発生するサーボ振動(微細振動)の影響を抑えるためにステッピングモータを採用した。人間の動き模擬し掃引速度を1~4mm/sとした。ステッピングモータを用いたため低速でも高トルク出力が可能となっている。

図2に示す上下駆動用モータはリニアアクチュエータとして働き、センサヘッドの上下方向の位



図 1 ロボットアーム構成一覧

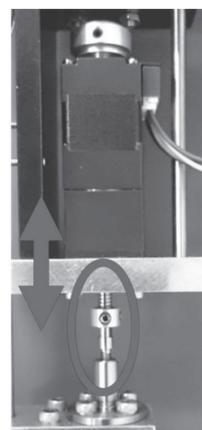


図 2 上下駆動部

置決めをおこなう。センサヘッドの上下方向の位置設定をおこなうと共に、バネ系を用いた印加荷重を設定できる。荷重を重りでなく、バネと変位で設定する構造としたため、センサヘッド掃引時の荷重を測定対象に合せて設定できる。布地に接触させてセンサヘッドを掃引した時に、測定対象物である布地の厚み分布、織り模様等で測定対象表面が平坦でなく凹凸があるため、図3に示した先端ばね機構によりセンサヘッドが上下し、布地の表面の上下位置変動をばねで吸収する働きをしている。先端ばね機構のばね定数を0.1N/mmに設定し、測定対象物の上下凹凸振幅が最大1mmの場合において、荷重変動を0.1N以下に抑えるようにした。印加荷重1Nに対し10%以内の印加荷重変動で測定ができる。布地のような表面凹凸が複雑な測定対象の場合において、ばね機構を用いた調整荷重を用いたため、一定荷重を印加した状態で、布地に対し滑らかな掃引が実現できた。

アームの先端部分に回転補正用ステッピングモータを搭載することにより、センサヘッドの回転補正機能を実装した(図1参照)。試作試験機は極座標系機構での掃引動作をするため、2つの極座標系駆動用モータにより掃引すると、掃引に伴いセンサヘッドの面内方向が回転する。布地に方向性の織目等がある場合、測定データに影響を与えと考えられる。そこで、先端回転補正モータにより掃引中にセンサヘッドの回転を補正し、センサヘッドの方向を一定方向に維持する構成とした。

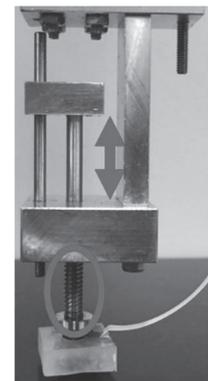


図3 先端ばね機構

3.3 センサヘッドの構造

センサヘッドを試作した。センサヘッドの検知部は汎用小型3軸力センサ(SP22-FFC15、タッチエンス社)を採用した。汎用小型3軸力センサはφ5mm x 2.8mmの円柱状でZ軸方向+2N、せん断方向X、Y軸±2Nの3軸の力検知ができる。このセンサ表面に自作センサスキンを装着し用いた。自作センサスキンの表面部分はピアノ線20本を束ね、従来の摩擦感テストのX軸センサヘッドの面積に近い寸法、縦12mm×横10mmとした。ピアノ線群により、掃引時に対象物と接触し、摺動時に削れにくく滑らかに動くための硬さを確保した。汎用3軸力覚センサにセンサスキンを装着することで摩擦感テストと同様のセンサ表面状態での測定を可能とした。図4において右側が従来型摩擦感テストの左右動センサヘッドの布地接触用ヘッド表面形状、左側が自作センサスキン表面の形状写真である。新規装置でのデータ取得に用いる汎用3軸力センサ用計測回路と信号処理回路をアーム先端部に固定した(図5参照)。

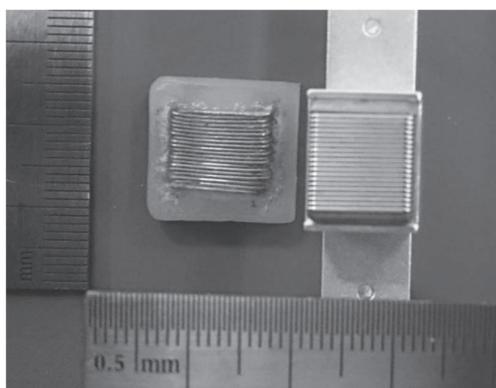


図4 自作センサスキン(左), 摩擦感テストスキン(右)



図5 計測回路の取付状態

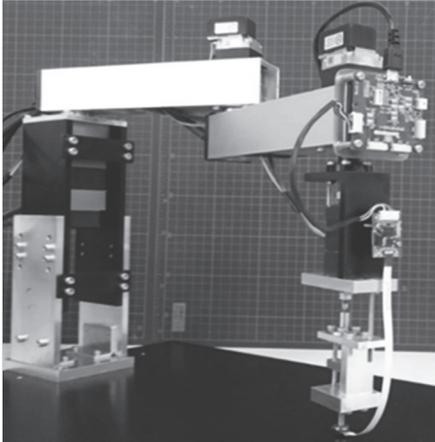
4. 新規摩擦試験機の実測結果

新規摩擦試験機の動作試験を行った。1つめは従来の摩擦感テストと同等の直線軌道である。これは30mmの直線区間を60秒間で往復する動作であり、必要な速度である1mm/sでの掃引が新規摩擦試験機でも確認できた。2つめは新たな動作として円軌跡による掃引を行った。各モータを制御しセンサの姿勢を一方向に保ちつつ、半径15mmの円を60秒で描くことが実現でき、2次元平面上での新たな掃引試験が可能となった。

5. まとめ

触覚解析において人間の動作を模擬するロボット用摩擦感試験機を製作した。完成した摩擦感試験機の仕様について表2にまとめる。従来の布地用摩擦感テストは駆動方向が1軸であり、往復方向のみであった。さらにセンサヘッド構造が2種に限定されており測定対象が布地専用となっている。印加荷重も予めヘッド毎に決められている。新規に製作した試験機はモータを4つ、3軸力覚センサを1つ搭載した。これにより2次元方向への掃引、印加荷重の調整、センサヘッド回転補正を可能とした摩擦感測定を実現した。またセンサヘッド先端に交換可能な自作センサスキンを装着し、ばね機構を用いた荷重機構により測定対象物の表面凹凸に追従可能で円滑な掃引を可能とした。その結果、布地以外の対象物においても設定荷重を変え、測定できる。これらにより従来の摩擦感テストでは実現できなかった各種素材に対し、広範囲な測定条件において、人間の動きを模した摩擦感の測定実験が可能となった。

表2 水平多関節型摩擦感試験機

		アームタイプ	水平多関節型
		軸数	4
		アーム長 [mm]	
		先端	150
		中間	150
		動作範囲	1軸 [°] ±180 (0.0036)
		(位置決め精度)	2軸 [°] ±135 (0.0036)
			3軸 [°] ±180 (0.0036)
			4軸 [mm] 0 ~ 26 (0.003)
		印加荷重 [N]	0 ~ 2
		許容トルク [N・m]	5.0
		先端部掃引速度 [mm/s]	1 ~ 4
		合計質量 [kg]	2.7
特徴:	人間の動きを模した摺動運動の実現		
	摩擦感測定用センサスキンを装着した3軸力センサを使用		
	荷重調整、センサスキン回転補正機構を装備		

謝辞

本研究を遂行するにあたり、名城大学大学院理工学研究科修士(博士前期)課程、メカトロニクス工学専攻の三島伊吹さん、名城大学理工学部メカトロニクス工学科の藤來将之さんの研究活動に感謝します。本ロボット用摩擦感試験機の製作にあたり、モータ選定、駆動方式に関し適切なアドバイスをいただいたオリムペクスタ株式会社、オリエンタルモーター株式会社の関係者に感謝いたします。

参考文献

- [1] 土屋駿斗,ShaoChenzhong,新海拓哉,中山貴裕,平野栄樹,田中秀治,室山真徳,野々村裕,「神経網型センシングシステム用LSIチップを用いたロボット用温力感センサヘッドの試作」,電気学会研究会資料フィジカルセンサ研究会,PHS-17-19 (2017)
- [2] 菅沼雄介,大橋祐也,佐々木実,野々村裕,「触覚熱流センサのための薄膜サーミスタ作製」,平成30年電気学会全国大会論文集,3-147 (2018)
- [3] 田中真美,「触覚センサの新展開:手触り感の情報化(アクチュエータシステム)」,機素潤滑設計部門講演会講演論文集,2006.6,pp.9-12 (2006)
- [4] 七島陽子,「布の圧縮特性と硬さ感覚に関する研究」,繊維機械学会誌 せんい,Vol.25,No.12, pp.244-254 (1972)
- [5] 矢中睦美,「布の肌触り評価と手触り評価の相関性のポリエステル. 一綿混紡地による検討:手触り官能評価のタイ王国と日本国における比較にも触れて」,繊維製品消費科学,Vol.49,No.1, pp.65-73 (2008)
- [6] 三島伊吹,井上祐輔,八幡拓真,中山貴裕,室山真徳,野々村裕,「3-135摩擦感テストによる布地の計測と官能評価」,平成29年電気学会全国大会,第3分冊,p.202,3-135 (2017)
- [7] 三島伊吹,井上祐輔,八幡拓真,中山貴裕,室山真徳,野々村裕,「布地の摩擦計測と摩擦感評価との関係」,センサシンポジウム,01am2-PS-147 (2017)
- [8] 川端季雄,「風合い評価の標準化と解析」,日本繊維機械学会,風合い計量と規格化研究委員会, pp.1-87 (1980)
- [9] 近藤智吏,「KES-SE摩擦感テストとその応用ー表面摩擦感の客観評価ー」,日皮協ジャーナル,No.87-93 (1987)
- [10] 廣澤明,「画像相関法を用いた触覚センシング手法の提案」,日本感性工学会論文誌,No.1-9 (2017)
- [11] 兵藤仁紀,他,「材質感評価時における触運動について」,日本感性工学会論文誌,No.1-6 (2012)
- [12] 菅沼薫,「マッサージクリーム触感と物理物性との関係」,日本化粧品技術者会誌,No.212-219 (1991)
- [13] 是永敦,「滑り案内面摩擦試験機」,日本トライボロジー学会,トライボロジスト60巻3号,pp.209-210 (2015)
- [14] 村山嘉明,「水平多関節型クリーンロボットの設計事例」,日本ロボット学会誌13巻6号,pp.744-747 (1995)
- [15] 吉田憲吾,「二関節同時駆動機構を持つロボットアームの実現」,電気学会研究会資料IIC,産業計測制御研究会,pp.1-6 (2008)