

テレグジスタンスの研究 第 98 報

-TELESAR VI ハンド指先のための力・加速度・温度センシングシステムの開発-

Study on Telexistence XCVIII - Haptic Primary Colors Sensing System for TELESAR VI

加藤史洋¹⁾, 井上康之¹⁾, 舘暲¹⁾

Fumihiko KATO, Yasuyuki INOUE, and Susumu TACHI

1) 東京大学 高齢社会総合研究機構

(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1, {fumihiko.kato, y-inoue, tachi}@tachilab.org)

Abstract: We propose a tactile measurement system based on the tactile primaries (HPC) of TELESAR VI. We have developed a finger tactile sensor that incorporates sensors that measure three physical quantities: force, vibration, and temperature. We also developed five fingers for both hands. These tactile measurement data can be taken into the PC through the tactile mother board mounted on the back of the hand and transmitted to the master glove to display haptic. The fingertips consisted of a hard base bone such as the phalanx and a flexible surface material to make it easier to grasp the object, so that the master operator are able to respond to fine manual work.

Key Words: haptic primary colors, tactile, telexistence, humanoid robot

1. はじめに

テレグジスタンスによるロボットの操縦では触覚の把握が不可欠である。これまで TELESAR V[1] など触覚を搭載した人型ロボットが提案されている。

我々は、TELESAR の次世代機として TLESAR VI を開発している。従来は 3 本指の指先への触覚付与だったが、全 5 本指について触覚を付与したロボットハンドを開発した。力/振動/温度の触原色[2]からなる触覚取得システムを構成するために、力/加速度/温度センサをそなえた指先を提案する。本稿では開発した TELESAR VI の触覚ハンドについて報告する。

1.1 関連研究

指先型のプローブを用いて触覚情報を取得する手法が報告されている。加速度センサを埋め込んだ指先型プローブで材質表面をなぞることで、触覚信号の振動成分を特定する手法[3]や触覚計測向けの指先型センサデバイスである Biotac[4]をロボットの手の 2 指に取付けて、ロボットハンドによる絞りやつかみなどのジェスチャにより対象の材質を分類する手法[5]がある。

2. 触原色原理

ヒトの触覚特性と触原色原理について述べる。触覚は、体性感覚・内蔵感覚を感じる機械刺激の一種である[6]。体性感覚は皮膚で感じる表在性の皮膚感覚（触覚や温度感

覚)と骨格筋や腱、関節で感じる深部感覚とに分類される。皮膚の触や圧、筋肉の伸張や緊張など体に加えられた機械的刺激に応答する。触覚は、皮膚に加えられた適度の大きさの機械的刺激を受容する感覚である。触覚受容器は受容野の大小により刺激の境界を明瞭に感じたり、刺激の変化や変位に対応するよう役割分担される。遅順応 (Slowly Adapting : SA) 型と速順応 (Rapidly Adapting : RA) 型とに分けられる。I 型は受容野がごく小さいため境界が比較的鮮明であるのに対し、II 型は受容野が広いために境界不鮮明である。触覚受容器は 4 種、マイスナー小体 (RAI) やメルケル触盤 (SAI), パチニ小体 (RAII) やルフィニ終末 (SAII) があり、皮膚の振動に最も反応するのは RAIII で 100~300 Hz, RAI で 40 Hz 前後である。SA 型は変位にも反応するため力などの変位量にも発火しつづける。指先には RAI 型, SAI 型それぞれ 1 平方 cm あたり 140,70 個の密度で分布する。温覚受容器の神経発火しやすい温度は 40~45°C であり、冷覚受容器は 30°C である。深部感覚は位置覚、運動覚、力覚とに分けられる。力覚は固有受容器で皮膚の変形で捉えきれなかった大きな力を、抵抗に逆らって関節位置を保持するための筋力として推定する感覚である。

皮膚感覚の測定のために、ヒトの触覚や深部感覚と同等の情報に測定するには機械的な振動は 1 kHz ほどのサンプル

リングが必要で、ある程度の大きさの力も測定できる必要がある。

触原色原理とは、触刺激は触覚受容体別の刺激要素への分解が可能で、触情報の組み合わせにより再構成も可能とする理論[2] [7]を指す。光の三原色と同様のアナロジーである。ヒトの目では、光波長の吸収特性が異なる3種の錐体の応答の組み合わせから色の知覚が生じる。触原色原理では、触覚受容器と温度受容器に対応する振動、力、温度を対象の物理量と捉える。

本提案ではヒトの触覚が得ると同等の高いサンプリングレートで力と振動と温度を同時に取得できる触覚センサシステムをそなえたロボット手を構築する。

3. TELESAR VI

我々の研究グループでは TELESAR V を改良した、全身67自由度の TLESAR VI を開発した。詳細はテレイグジスタンスの研究第 96, 97 報[8][9]を参照いただきたい。TELESAR VI は片手で16自由度を持つ。手の指先部に触覚を組み込み、マスタースレーブシステムでは触覚を計測し提示しながらの操作が可能となる。図1に手の構成を示す。

3.1 触覚計測システム

力、加速度、温度センサをそなえる触覚計測システムを構築し手の指先に装着した。図2に開発した触覚基板を示す。ベースとなる制御基板はロボットの手の甲に搭載され、5指の先端に配置する指先基板と接続される。

指先基板にはセンサ基板、力センサとが接続される(図3)。センサ基板には加速度センサが搭載され、またサーミスタの抵抗値変動はADCを介して接続され、各センサ・ADCはI2C接続により、ベースとなる触覚基板と接続される。力の取得には piezo 抵抗型 3 軸力覚センサ μ DynPick MAF-3 (1kHz, ワコーテック社製) を用いて鉛直方向の力と水平2軸のモーメントの計3軸の力を取得する。加速度の取得には KX126-1063 (読出レート/重力加速度/量子化 bit は 1.6kHz / 2g / 12bit, 3 軸, Kionix / ROHM Semiconductor 社) を用いた。サーミスタ (56A1002-C3, Alpha Technics) は ADC (ADS1015, 4ch, 12bit, I2C 互換) を経由して、最大 6ch 接続可能な構成である。5 指の触覚センサが取得した信号は並列に取得可能である。得られた計測値は、ベース基板からネットワークを経由して PC に取り込まれ波形を可視化したり、マスターグローブに伝送して触覚提示[10]したりする。触覚情報取得の流れを図4に示す。また、センサが取得する触覚センサの波形例も図4内(触信号の可視化)に示す。

3.2 指の構成

指先基板、センサ基板や触覚センサの指先への組み込みを実現するために、センサを組み込んだ指先を開発した。各指の第一関節にはめ込む末節骨様の指先ベース骨の上部(図3中の黄色いパーツ)には指先基板と力センサを固定する。中間レイヤー(図3中の灰色部)の上面には力センサーのアーム部のもう一方がネジで固定され、下面には

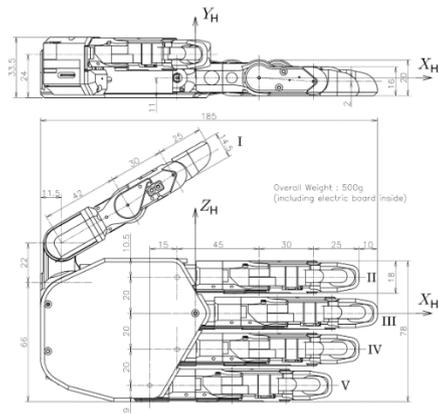


図1 TELESAR VI 手の模式図 (16 自由度)

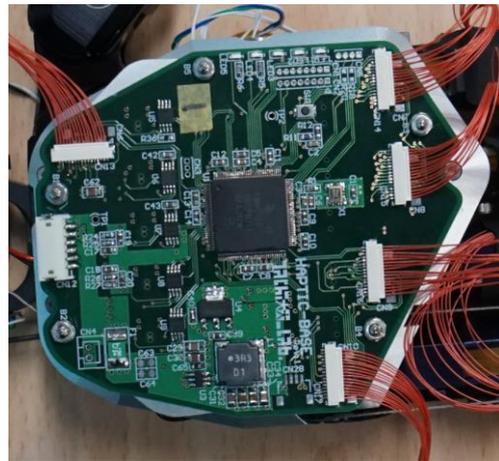
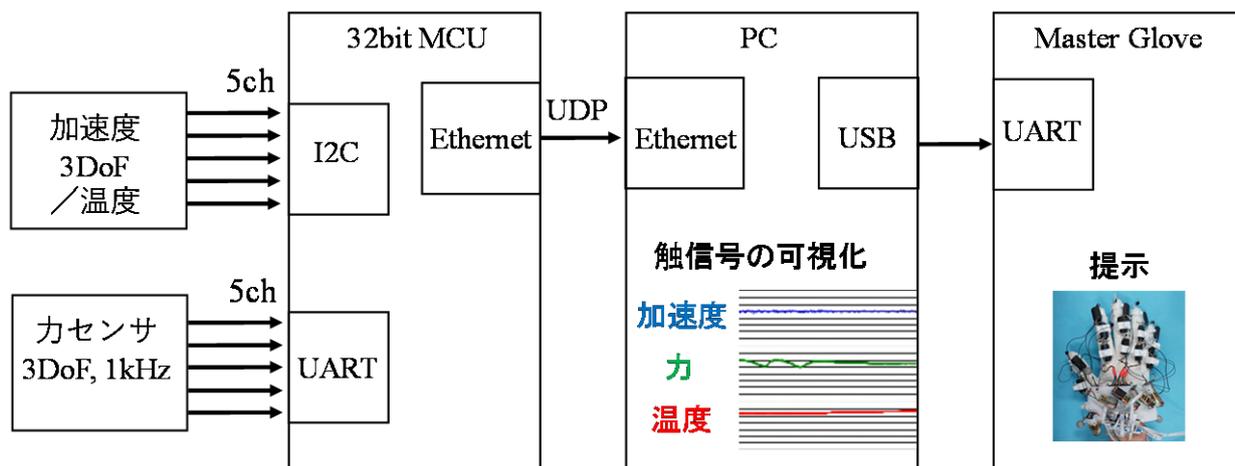


図2 触覚ベース基板

指先センサ基板が配される。指先カバーの表面(底面)(図3の緑色領域)に固定するサーミスタからの配線が、指先センサ基板に接続される。サーミスタを配置するためのカバー穴を複数もうけてあり、指腹のどの位置が物体に触れているかは温度変動より検出可能である。サーミスタは厚み 0.01mm の高伸縮フィルム(厚み 0.01mm, モイストヒーリングパッド, 白十字社)で指先カバーに固定される。

サーミスタへ熱が素早く伝わるように、シリコン樹脂と酸化アルミニウム粉末を混合した人工皮膚を検討した。しかし、先述のフィルムよりも厚みがあり、また強い粘着性を抑えるため表面にタルク(粉末)をまぶす必要がある。ロボットの回路に粉末が散らばってしまうを防ぐため、濡れた物体に触れるとタルクが流れてしまうため採用は見送った。調整した人工皮膚は、シリコン樹脂(人肌のゲル 硬度 7)と酸化アルミニウムの粉末を混合して固めたもので、厚みは 1mm ほどのシート状に整形した。熱伝導率はシリコン樹脂は $0.14[W/(m \cdot K)]$ ほどで酸化アルミニウムが $30[W/(m \cdot K)]$ であるため、調製した質量%濃度 20% の混合物は $6.1[W/(m \cdot K)]$ であると推算できる。成形した柔らかい樹脂を貼り付けることで柔らかい指先を損なわず、熱伝導率はヒトの皮膚(大部分を占めるタンパク質で 0.2, 水で 0.6)よりも十分に高い。試作してロボット



左右の手に各一組

図 4 触情報の計測から提示への流れ

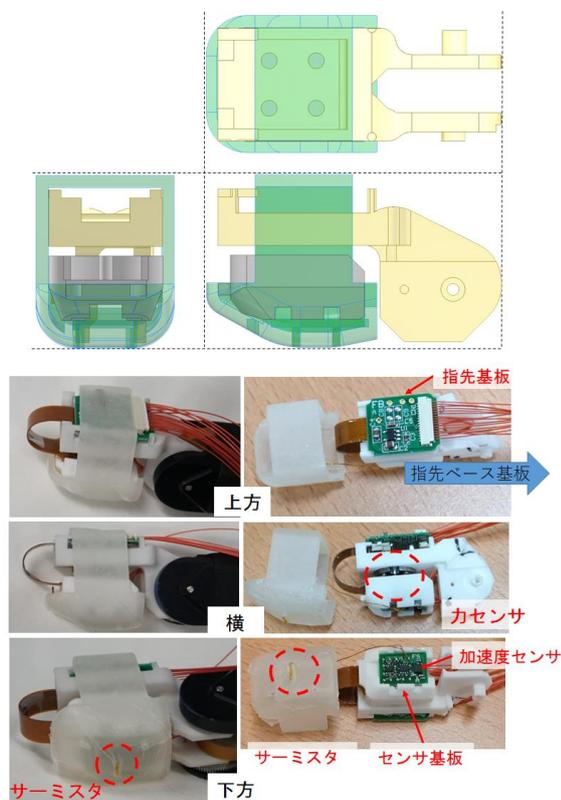


図 3 指先の構造 (上：設計図，下：開発物)

の指に取り付けた人工皮膚を図 5 に示す。試作した人工皮膚は遠隔問診 MR で患者の肌温度の提示に利用[11]したがシリコンだけの人工皮膚に比べると伝熱が早く感じられたことから、熱伝導性のよい人工皮膚として構成できているといえる。

指先は 3DCAD で設計し、立体印刷器により三次元造形した。指先ベース骨やセンサ固定部は硬い素材であるナイロンで造形し、指先カバーは柔軟性がある素材



図 3 高伸縮フィルムで覆った指 (上側) と調製した酸化アルミシリコン樹脂カバーで覆った指 (下側、ちぎれない程度に強めにつまんで厚みを計測)

(AGILISTA (AR-G1L), ショア硬度 35) を用いて造形した。物体をつかみやすくするためである。TELESAR V の指腹はもっと硬い素材で造形されていたことから、TELESAR VI では物体をつかみやすくなると考えられる。

4. おわりに

人型ロボットの触覚計測機能の実現をめざし、力/加速度/温度センサを用いた指先を開発し、両手の指先 (5 指) に組み込んだ。これら触覚の計測データは手の甲に搭載した触覚ベース基板を通じて PC に取り込み、マスターグローブへ伝送可能である。指先は物体をつかみやすくするために、指骨のような硬いベースと柔軟性を持つ表面素材で構成することで、マスター操縦者による細かな手作業への対応をめざす構成とした。

謝辞 本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (ACCEL) 「触原色に立脚した身体性メディア技術の基盤構築と応用展開」の支援によって行われた。

参考文献

- [1] C. L. Fernando *et al.*, “Design of TELESAR v for transferring bodily consciousness in teleexistence,” *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 5112-5118, 2012.
- [2] S. Tachi, K. Minamizawa, M. Furukawa, and C. L. Fernando, “Haptic Media: Construction and Utilization of Human-harmonized ‘Tangible’ Information Environment,” *2013 23rd Int. Conf. Artif. Real. Telexistence*, pp. 145-150, 2013.
- [3] F. Kato, C. L. Fernando, Y. Inoue, and S. Tachi, “Classification method of tactile feeling using stacked autoencoder based on haptic primary colors,” *Proc. - IEEE Virtual Real.*, pp. 391-392, 2017.
- [4] N. Wettels, V. J. Santos, R. S. Johansson, and G. E. Loeb, “Biomimetic Tactile Sensor Array,” *Adv. Robot.*, vol. 22, no. 8, pp. 829-849, 2008.
- [5] Y. Gao, L. A. Hendricks, K. J. Kuchenbecker, and T. Darrell, “Deep learning for tactile understanding from visual and haptic data,” *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, vol. 2016-June, pp. 536-543, 2016.
- [6] 日本バーチャルリアリティ学会, 舘暲, 佐藤誠, 広瀬通孝, バーチャルリアリティ学. 工業調査会, 2010.
- [7] S. Tachi, *Telexistence*, 2nd Editio. World Scientific.
- [8] 舘暲, 井上康之, 加藤史洋, C. L. Fernando, Y. Saraiji, “テレグジスタンスの研究 (第 96 報) —TELESAR VI : 67自由度を有するテレグジスタンスAVATARシステム—,” テレグジスタンス研究会, pp. 1-6, 2020.
- [9] 井上康之, 加藤史洋, 舘暲, “テレグジスタンスの研究 (第 97 報) —5指ロボットハンドとレッグ機構を含む67自由度テレグジスタンスロボットの全身マスタースレーブ制御—,” テレグジスタンス研究会, pp. 7-10, 2020.
- [10] 加藤史洋, 井上康之, 舘暲, “テレグジスタンスの研究 (第 99 報) —TELESAR VI のための力提示マスターグローブの提案—,” テレグジスタンス研究会, pp. 15-18, 2020.
- [11] J. Fu, F. Kato, Y. Inoue, and S. Tachi, “Study on Telexistence C: A Telediagnosis Platform based on Telexistence: Investigation of the Roles of Presence and Tactile Information in Telemedicine,” *第15回テレグジスタンス研究会*, pp. 19-22, 2020.