

技術紹介

5

ロボットハンド用着脱式近接触覚センサグローブの開発

Development of a Detachable Proximity Tactile Sensor Glove for Robot Hand

佐藤 隼也	Junya Sato	商品開発センター 主任
後藤 理恵	Rie Goto	商品開発センター
大胡 拓矢	Takuya Daigo	商品開発センター 主任
富岡 昭浩	Akihiro Tomioka	商品開発センター エグゼグティブマネージャー
米田 将允	Masayosi Yoneda	コネクタ事業部 生産技術部
野口 英之	Hideyuki Noguchi	コネクタ事業部 生産技術部 生産技術シニアマネージャー

キーワード: フレキシブル、ロボット、センサグローブ、フィルム型コネクタ

Keywords: Flexible, Robot, Sensor glove, Film-type connector

要 旨

少子高齢化による労働力不足、都市化による労働市場の変化、人工知能の実用化による自動化技術などを背景に、ロボット市場は世界的な成長が見込まれております。本稿では、接着剤の弾性特性を利用したフィルム型コネクタ(FTC: Film-Type Connector)と FTC を利用したロボットに感覚を付与する近接触覚センサグローブ、および近接触覚センサグローブを装着したロボットハンドの把持動作について報告いたします。柔軟、低背、熱レスでの電気接続が可能な FTC を利用することで、ロボットハンドからセンサグローブを容易に着脱することが可能であり、ロボットハンドの動きに追従し意匠性を損なうことなく把持動作が可能であります。ロボットハンドに装着することで感覚を付与するセンサグローブは、将来のロボット市場への適用だけでなく、柔軟なデバイスを装着するという新たな付加価値をもたらすことによる、低侵襲で非拘束なウェアラブルデバイス市場への適用可能性が期待されます。

SUMMARY

The robot market is expected to grow globally with the backdrop of labor shortages due to declining birthrate and aging, changes in the labor market due to urbanization, and automation technology through the practical use of artificial intelligence. We report the grasping operation of the robot hand with the proximity tactile sensor glove using the film-type connector (FTC). The FTC, which is utilized for flexible, low-profile, and thermally-less electrically connected demands, can be easily detached from the robot hand. Its flexibility follows the movement of the robot hand, allowing for smooth gripping operation. The proposed sensor glove using the FTC should show its value in the robot market, more the added value of mounting flexible devices would also exploit the wearable device market.

1. はじめに

少子高齢化による労働力不足、都市化による労働市場の変化、人工知能の実用化による自動化技術などを背景に、ロボット市場は世界的な成長が見込まれております。ロボット市場の中でも家庭用ロボット、協働ロボット、搬送ロボットなどのサービスロボット市場が大きく成長し、産業分野から家庭内までロボットとの共存社会の到来が期待されております。ヒトの作業をロボットが代替するには、ヒトと同じような作業をさせるための技術が必要であります。そのためには、ヒトの手のように、ワーク形状に合わせ指が追従する動作性、ワークの硬さ・重さに合わせ最適な力で把持するための圧力センサ、けがをしても治癒し、汚れたら洗えることを想定した容易な交換性などが必要となります。また、ロボットハンドの形状は用途により異なるため、用途に合わせカスタム対応する必要があり、多品種・少量生産性が求められます。このような「動作性」「部品実装」「容易な交換性」「カスタム対応」といった要求を達成するため、柔軟な電気接続・実装技術である FTC¹⁾、プリントドエレクトロニクス(PE: Printed Electronics)²⁾を利用したロボットハンドに容易に着脱可能なセンサモジュールを発想するに至りました。

電子デバイス基板のフレキシブル化には、フレキシブルプリント配線板(FPC: Flexible Printed Circuit)³⁾が適用され、FPC とセンサデバイスとの接続や FPC への電子部品の実装には、リジッドな FPC 用コネクタや異方導電性フィルム(ACF: Anisotropic Conductive Film)^{4, 5)}などが一般的に利用されますが、コネクタや ACF は屈曲性や繰返し着脱性などへの課題が生じることがあります。

FTC は弾性特性を有する接着剤状に電極が形成され、加圧接合時に弾性変形した接着剤の弾性体の復元力と被着材との接着力により対向する電極間に接触荷重を発現する電気接続技術であります。フィルム状の柔軟な弾性体を使用しているのでデバイスの動きに追従する柔軟な接続・実装が可能であり、さらに接続部が接着剤で覆われた密閉した防水構造の設計が可能であるため、屋外使用など使用環境の拡張性も期待できます。

本稿では、PE 技術によりグローブ上に形成した配線に、FTC により把持位置・姿勢制御するための近接センサと把持力を調整するための触覚センサを実装した近接触覚センサグローブについて紹介いたします。

2. 近接触覚センサグローブの作製

2.1 近接触覚センサグローブの構成

ワークと指先の位置関係を検知するための距離センサと、ワークを把持するための圧力センサをロボットハンドに実装することで、ワークに対する位置と姿勢を調整し、把持動作を制御する研究が行われております。⁶⁾グローブ上に近接センサと圧力センサを実装することで、故障時や汚染時にグローブを交換するだけでメンテナンス可能な近接触覚センサグローブの検討を行いました。ロボットハンドの動作時に装着した近接触覚センサグローブが動いてしまうと、指の位置とセンサの相対距離も変化し、ワークに対する姿勢制御が困難となるため、近接触覚センサグローブには、ロボットハンドへの密着性やロボットハンドの複雑な動きへの追従性が必要とされます。このような要求特性を満足するには、ハンドの動きに追従する柔軟なフレキシブル配線が必要となりますが、柔軟性のある基材は一般的に耐熱性が低いため、チップ部品を実装する際のハンダなど熱プロセスが必要な実装技術の適用が困難であります。そこで著者らがこれまでに開発してきた熱レスで柔軟な配線接続、部品実装が可能なフィルム型コネクタ(FTC)を適用し近接触覚センサグローブの試作を実施しました。

2.2 フィルム型接続・実装技術

2.2.1 FTC の構造と特徴

FTC の概念図を図 1 に示します。FTC は弾性特性を有する接着剤上に電極が形成されており、接着剤の接着力と弾性力により接圧を保持するコネクタになります。FTC は接着力を利用した電気接続技術であるため、熱レスでの配線接続・部品実装が可能となり、耐熱性の低い基材、部品の実装や接続時の熱履歴による歪みの影響を受けない接続が可能となります。

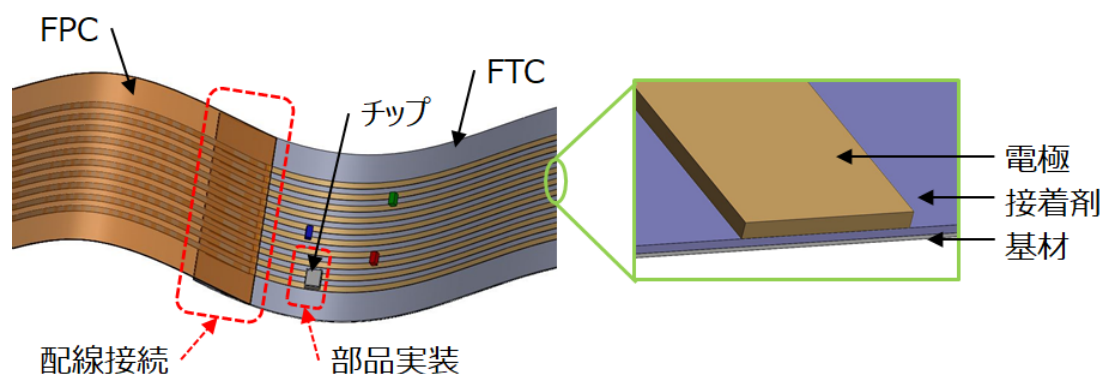


図 1. FTC の概念図

FTC の電極の作製方法としては、めっきやエッチングを用いたサブトラクティブ方式と印刷を用いたアディティブ方式のいずれもが利用できます。ロボットハンドは様々な形状での利用が想定されるので、近接触覚センサグローブもハンド形状に合わせて作製する必要があります。そこで、多品種少量生産性が要求されること、故障時や衛生状態を維持するために近接触覚センサグローブを容易に交換可能なデ

イスポーザブル用途として使用することを考慮し、印刷⁷⁾により FTC を作製しました。

2.2.2 FTC を用いた配線接続・部品実装

FTC と基板の接続プロセスを図 2 に示します。配線接続プロセスの一例として、FTC の電極と FPC の電極との位置合わせをした後に室温下 2 N/mm^2 の圧力で 60 秒加圧することで、相対する電極同士が接触し、電極間から接着剤が押し出され、FPC の基板であるポリイミド(PI)フィルムと接着することで電気的な接続が可能となります。

FTC の接続時に加えられる圧力により、接着剤は電極形状に追従し、厚さ方向に圧縮され変形します。変形した接着剤が元の形状に戻ろうとする弾性復元力と、弾性復元力を保持するための FPC の基板との接着力により、電極同士を押さえつける方向に接触荷重が発現することで電気的な接続保持が可能となります。FTC は弾性体上に電極が形成された構造であり、接触する電極を弾性体で押さえつけることで電極表面の凹凸に追従して面接触し、接触する二つの電極間の接触面積が増加し接触抵抗が低下する構造となっております。また電極接続界面に樹脂が介在しない電極面同士の接触による電気接続であるため接続部の動きや振動に電極面が追従し、かつ電極面同士を押さえつける方向に荷重がかかる電気接続であるため、デバイスの動きや振動に対して安定した接続を提供できることが特長のひとつとなっています。さらに、接続後に電極の周りが接着剤で充填された構造であるため水が電気接続部に流入しない防水機構を有した柔軟な電気接続が実現されます。

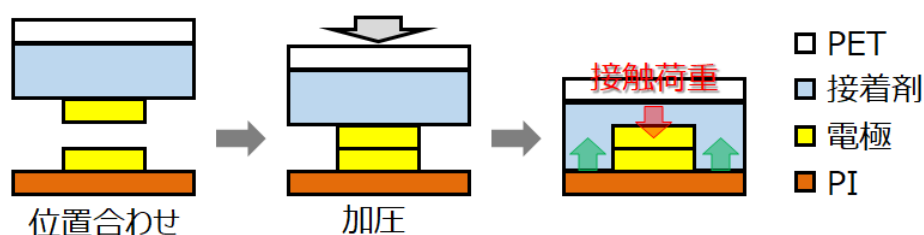


図 2. FTC と基板との接続プロセス

FTC と FPC の配線接続と同様の手順で、FTC 上に部品を実装することも可能であります。FTC と部品の実装プロセスを図 3 に示します。

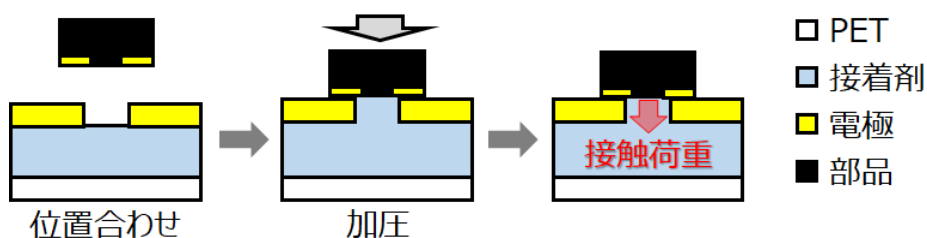


図 3. FTC への部品実装プロセス

2.3 近接触覚センサグローブ作製

FTC の配線接続技術と部品実装技術を利用し近接触覚センサグローブを作製しました。接続、実装工程を図 4 に示します。図 4(a)に示される配線パターンを有する FTC を印刷により作製し、チップ抵抗、距離センサ、圧力センサを実装(図 4(b))し、近接触覚センサグローブを作製(図 4(c))しました。図 4(d)に作製した近接触覚センサグローブとロボットハンド制御用基板との配線接続部、図 4 (e)にロボットハンドに装着した外観を示します。

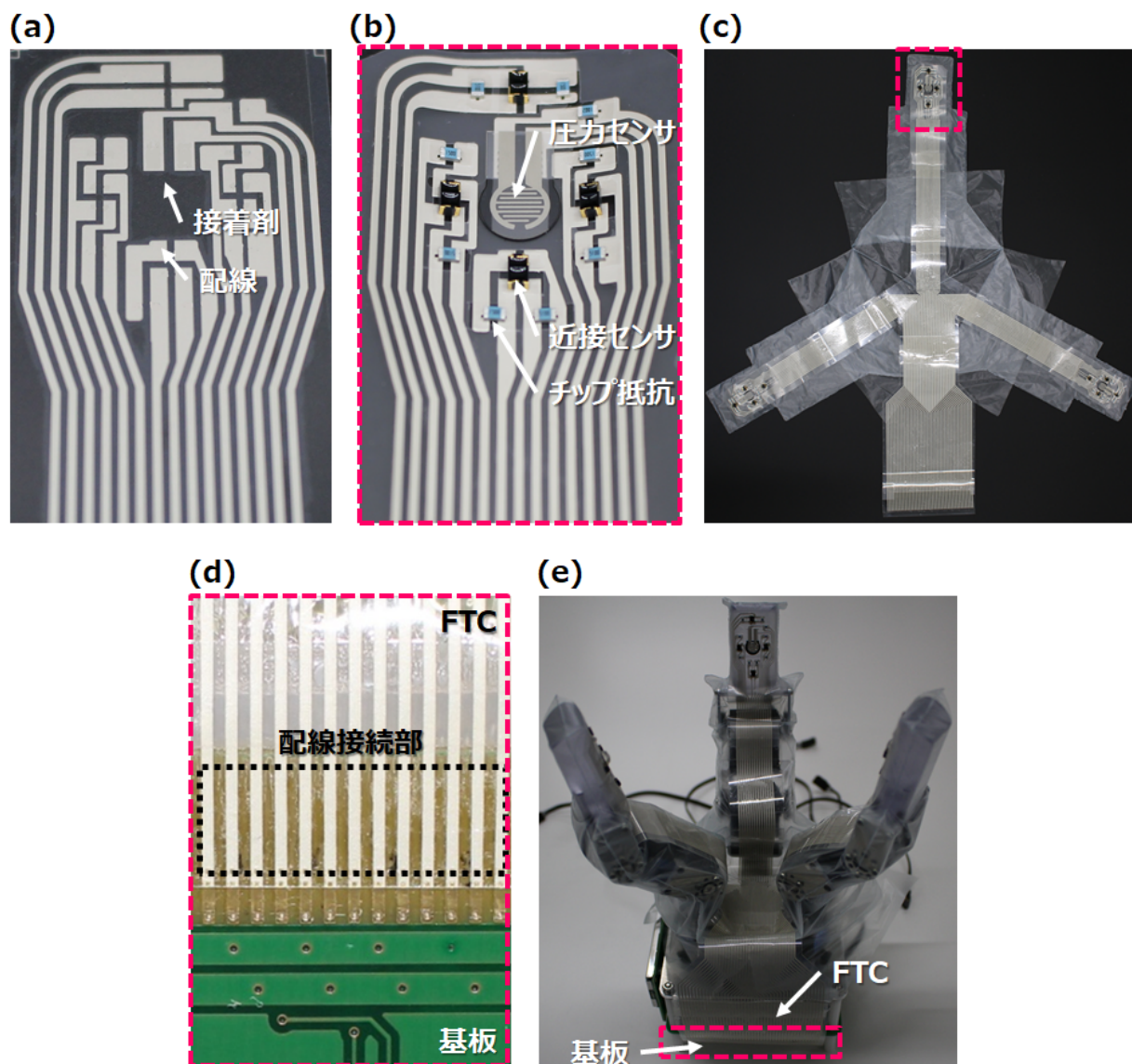


図 4. FTC を用いた接続・実装: (a)FTC 配線パターン; (b)部品実装部; (c)近接触覚センサグローブ; (d)配線接続部; (e)ハンド装着時

3. 近接触覚センサグローブを装着したロボットハンドによる把持動作

3.1 近接触覚センサグローブの電気特性評価

図 5 に近接触覚センサグローブに実装した距離センサにワークが近づいた際のセンサ出力電圧値の測定結果を示します。距離センサにワークが近づくと出力電圧値は上昇し、センサとワーク間の距離が 0.7 mm の時に感度が最大となり、さらに近づくと電圧値は低下する特性を示しました。そこで、距離センサとワーク間の距離が 0.7 mm 以上の位置で圧力センサとワークが先に接するように、圧力センサ上に高さ 3 mm の半球状のシリコンゴム製の突起を形成しました。

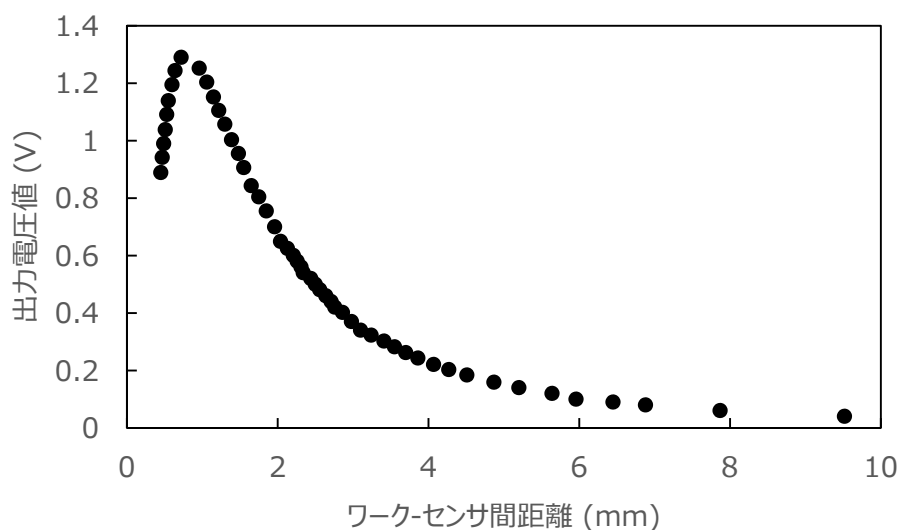


図 5. ワークとセンサ間の距離に対する距離センサの出力電圧値変化

図 6 に圧力センサにかかる荷重が変化した場合の出力電圧値の測定結果を示します。

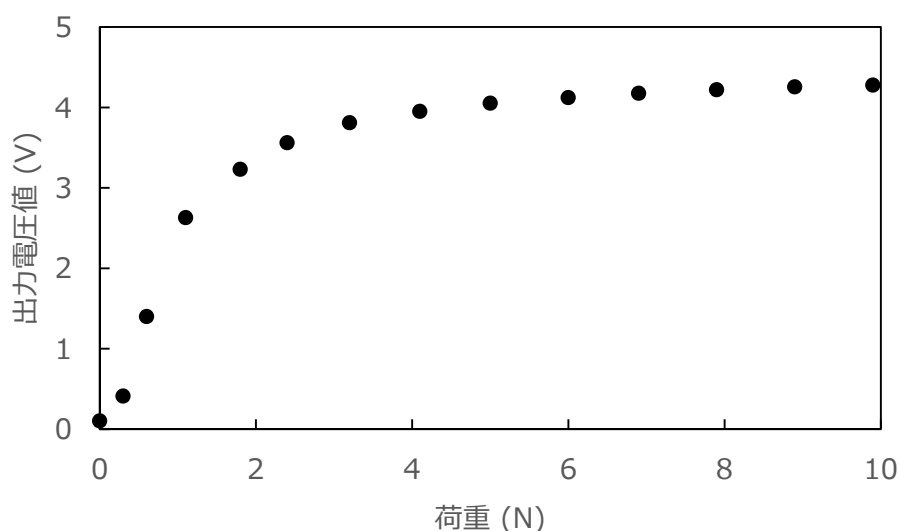


図 6. ワーク把持における圧力センサの荷重に対する出力電圧値変化

圧力センサ上に半球形状の突起を形成することで、ワークが距離センサに接するより先に圧力センサで荷重変化の検出が可能となりました。つづいて、圧力センサにかかる荷重の増加とともに出力電圧値が増加するので、ワークの材質に対し適した荷重で把持するよう電圧値の制御プログラムの調整を行いました。また、突起の形状を半球形状から円柱形状などに変更することや、材質の硬度を変更するなど、用途に合わせて様々な形状や材質に変更することで、ワークに対し適した把持が容易に調整できることが分かりました。

3.2 ロボットハンドの姿勢制御と把持動作

ワーク形状を円柱と四角柱形状に変更した際のロボットハンドの姿勢制御、把持動作時の様子を図 7 に示します。各指に配置された 4 個の距離センサでワークまでの距離を検出することで各指がワークの平面部を探索し、かつ各指がワークと平行になるように指の垂直方向と水平方向の位置を自動で調整することで指の姿勢を制御(図 7(a),(c))します。図 7(a)では、円柱形状のワークと各指に配置された 4 個の距離センサとの距離が一定の値となるように把持位置の探索と指の姿勢制御をしている様子、図 7(c)は、把持位置が四角柱形状の角部にならないようワークの平面を探索し指の姿勢制御をしている様子を示しています。指の姿勢制御後、ハンドは把持動作に移行し、ワークと圧力センサが接触することで把持力を検知し、設定した圧力センサの出力電圧値となる荷重でワークを把持(図 7(b),(d))します。

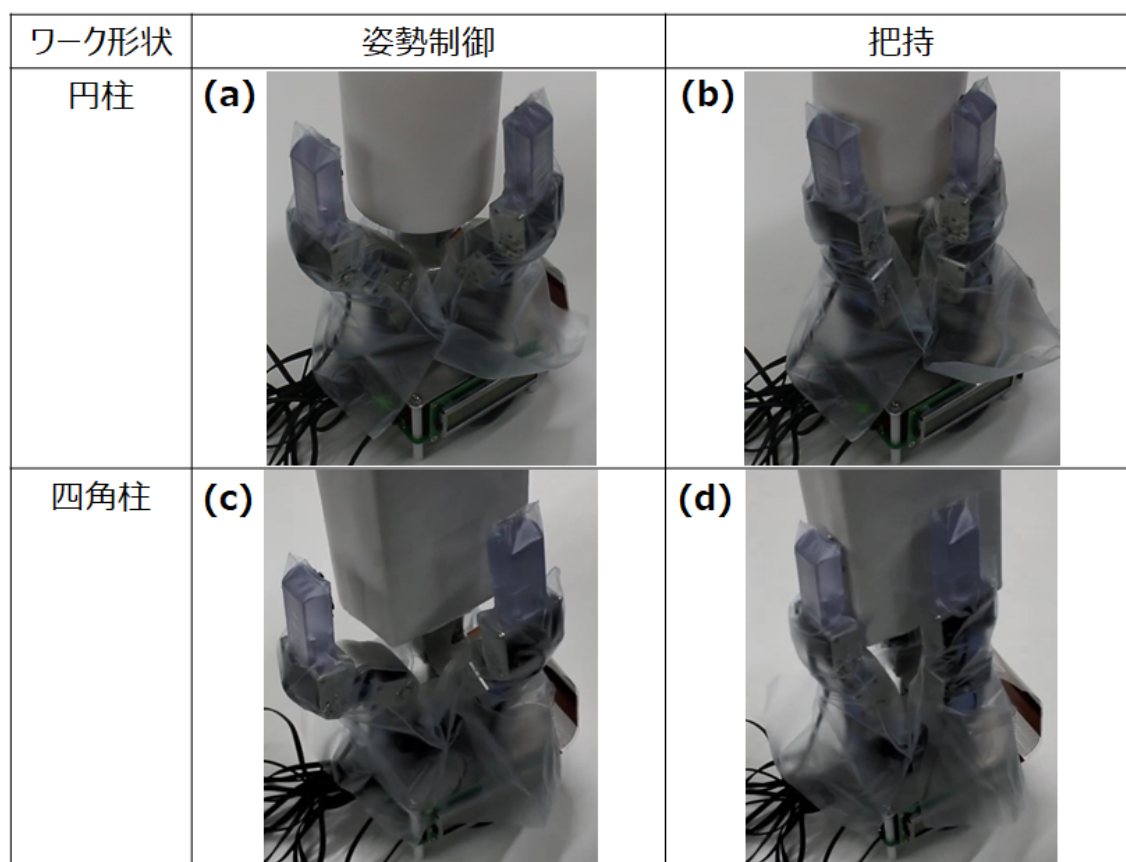


図 7. ロボットハンドによるワークの把持動作: (a),(c)姿勢制御; (b),(d)把持

異なるワーク形状に対して各指が自動で把持位置の探索と姿勢を制御し、ワークの材質・重さに適した荷重で把持することが可能であるため、ワーク形状に合わせてハンド部を交換する必要がなく、また制御プログラムを変更することなくワークの把持が可能となります。同一の指先上に距離センサと圧力センサが実装されているため、ワークを把持している際も距離センサとワーク間の距離を測定することが可能となります。さらに、圧力センサとワークが接触してからの圧力センサの荷重・電圧特性と距離センサによる距離・電圧特性から、ワーク把持時の荷重・変位特性を算出し指の動作にフィードバックすることで、圧力センサの制御だけでは困難なワークの把持も可能になると考えています。

また、着脱式のグローブにすることで故障時にも容易に交換が可能となり、医療現場や食品の搬送など衛生性が要求される環境で使用する際にもグローブを交換することで衛生を保つことが可能となります。把持するためのセンサを実装していないロボットハンドでも、近接触覚センサグローブを装着することで感覚を付与することが可能であり、容易に交換可能なため、ロボットハンド市場への新たな適用領域の拡大が期待されます。

8. まとめ

本稿では、接着剤技術を利用したフィルム型電気接続術 FTC と FTC を利用したロボットに感覚を付与する近接触覚センサグローブに関し、作製プロセスと FTC を用いた配線接続・部品実装したセンサの特性評価、および近接触覚センサグローブを装着したロボットハンドの把持動作について報告いたしました。柔軟、低背、熱レスでの電気接続が可能な FTC を利用することで、容易に着脱可能であり、ロボットハンドの動きに追従し意匠性を損なうことなく把持動作が可能であります。容易な交換性、柔軟性、熱レス接続という新たな付加価値をもたらすことにより、将来のロボットハンド市場への適用可能性が期待されます。また、ロボット市場への適用だけでなく、柔軟なデバイスを装着するという新たな付加価値をもたらすことにより、低侵襲で非拘束なウェアラブルデバイス市場への適用可能性が期待されます。

現在は、作製した近接触覚センサグローブの動作安定性の検証、異形状・異種材料など様々なワークに対するロボットハンドの把持動作検証、ロボットハンドに密着するための立体配線形成技術、立体配線への接続・実装技術について検討を進めています。

[参考文献]

- 1) Mitsui, R.; Sato, J.; Takahashi, S.; Nakajima, S. *Electronics*, **4**, 827-846 (2015).
- 2) Nathan, A.; Ahnood, A.; Cole, M. T.; Lee, S.; Suzuki, Y.; Hiralal, P.; Bonaccorso, F.; Hasan, T.; Garcia-Gancedo, L.; Dyadyusha, A.; et al., *Proc. IEEE*, **100**, 1486-1517 (2012).
- 3) Fjelstad, J. *Flexible Circuit Technology*, 4th ed.; BR Publishing: Seaside, OR, USA, (2011).
- 4) Yim, M. J.; Paik, K. W. Recent advances on anisotropic conductive adhesives (ACAs) for flat panel displays and semiconductor packaging applications. *Int. J. Adhes. Adhes.* **26**, 304-313 (2006).

- 5) Xie, B.; Shi, X. Q.; Ding, H. Understanding of delamination mechanism of anisotropic conductive film (ACF) bonding in thin liquid crystal display (LCD) module. *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol.* **30**, 509–516 (2007).
- 6) Koyama, K.; Suzuki, Y.; Ming, A.; Shimojo, M. *Journal of the Robotics Society of Japan*, **33**, 712–722 (2015)
- 7) Nomura, K.; Ushijima, H.; Mitsui, R.; Takahashi, S.; Nakajima, S. *Microelectron. Eng.* **123**, 58–61 (2014).