

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 4月30日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2012

課題番号：24656160

研究課題名（和文） 機能統合型階層的樹脂成形法とそれを用いた内骨格型ハンドの構築に関する研究

研究課題名（英文） Multi-function Integrated Endoskeleton robot hand via Layered Manufacturing

研究代表者

小菅 一弘 (KOSUGE KAZUHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30153547

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、人間のように器用に物体を操れるロボットハンドの実現を目指し、従来から開発されてきたハンドの構造を根本的に見直し、新しい内骨格型多指ハンド構築のための基盤技術を開発することを目的として、MEMSの製造方法のアイデアを樹脂成型に応用したSDM（Shape Deposition Manufacturing）にヒントを得た新しい機能統合型階層的樹脂成形法を提案し、それを利用した内骨格型指モジュールおよびプロトタイプハンドを開発した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we are aiming to realize a robot hand that can manipulate an object dexterously in a human-like way. The goal of this study is to review the fundamental structure of the hitherto developed robot hand and to develop a basic technology for building a novel endoskeleton robot hand that has polymorphic fingers. Concrete results of this research include: (1) a novel multi-function integrated endoskeleton robot hand via layered manufacturing method inspired by SDM, (2) endoskeleton finger modules and a prototype hand using the method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：機能統合型階層的樹脂成形法，多自由度指モジュール，内骨格型ハンド，知能ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

人間の器用さを有するロボットハンドを実現しようと、米国で開発されたUtah/MIT HandやStanford/JPL Hand，ドイツで開発されたDLR Hand，ドイツと中国で開発されたDLR/HIT Hand，日本で開発されたGifu Hand，Wabotハンドなど，様々な多指ハンドが開発されてきた。

このような従来から開発されてきたハンドは，その表面がラバーや樹脂で覆われているものもあるが，多自由度を有する人の手の器用な運動を機構学的に模倣することに注

力した，基本的には外骨格型構造のハンドである。これらのハンドは，（1）ハンドの有する冗長自由度の利用の仕方がわからない，（2）力覚などごく限られたセンシング機能しか有していない，（3）マニピュレータよりもコストが高い，など多くの課題を抱えている。

申請者らは，食器ハンドリング用ロボットハンドの開発を行い，人の把持形態とその原理を模倣することで，簡単な機構を用いて様々な形状の食器をロボアームに操ることが可能なことを示してきた。しかし一方で更な

る機能を追求するには、人の皮膚のような特性と感覚を有する指を簡単な機構で実現することの必要性が明らかになった。従来型の外骨格型ハンドでは、その指表面のコンプライアンス等、実現可能な機械的特性に限界があり、利用できるセンシング機能も限られるため、指に必要な機能を完全に実現することができない。

近年、米スタンフォード大学のM. Cutkoskyらは、MEMSの製造方法のアイデアを樹脂成型に応用したSDM (Shape Deposition Manufacturing) を提案し、小型の移動ロボットの製作に適用、従来にないメカニズムを実現することに成功しており、MEMSのファブリケーションに用いられる犠牲層エッチングのアイデアを用いることで、容易に複雑な機構が実現できることを示した。

本研究は、内骨格型高機能ハンドの設計・製作を目的として、SDMにヒントを得た新しい機能統合型階層的樹脂成形法を提案し、それを利用した指モジュールを開発することを計画した。本モジュールは、高剛性の内骨格と皮膚に相当する樹脂部から構成され、樹脂成型法と樹脂部そのものを工夫することによって、皮膚のような力学的特性を実現するとともに、力・温度などのセンサ機能も統合する。さらに、2本の指モジュールを用いてハンドを試作しその有効性を検討する。

2. 研究の目的

本研究は人間のような自在なハンドリングに必要な多数の機能を統合的に実現する内骨格型ハンドを開発するもので、従来実現できなかった人間のような柔軟な機械的特性と豊富なセンシング機能を持ちロバスタな把持を可能とする小型で安価なハンドの技術開発という意義があると同時に、後述のように、義手製作や小型ロボット開発のために有用な知見を得る大きな意義がある。

これまでも多くの先進的なロボットが提案・開発されているが、生活環境内の多様な物体を自由に操れるロボットは実現していない。人間のように器用に物体を操れるロボットハンドが存在しないことが主な理由の一つである。そこで、本研究では、従来から開発されてきたハンドの構造を根本的に見直し、新しい内骨格型多指ハンド構築のための基盤技術開発を行う。まず、多指ハンドへの展開を前提とした指モジュールを開発する。本モジュールは、高剛性の内骨格と皮膚に相当する柔軟性を持つ樹脂部から構成され、樹脂部を工夫することによって、皮膚のような力学的特性とセンシング機能をもった指モジュールを実現することが可能である。さらに、2本の指モジュールを用いてハンドを試作し、提案するコンセプトの有効性を検討する。

3. 研究の方法

まず、感覚を有する人工皮膚の開発を行う。樹脂の持つ物理的性質を活用し、力覚・触覚等を皮膚を構成する樹脂に統合することを考える。次に、その一部にアクチュエータの本体を利用した指の骨格構造の設計を行う。これらを組み合わせることによって、センシング、アクチュエータなどの機能を有する指モジュールを製作するために必要な、機能統合型階層的樹脂成形法を開発するとともに、開発した成形法を用いた多自由度指モジュールを開発する。さらに、2本の多自由度指モジュールを用いて2本指ハンドを構成し、本研究で提案する、内骨格型ハンドのコンセプトの有効性を検討する。最後に、センシング機能の実現、アクチュエータ機能を内蔵した内骨格の設計法、機能統合型階層的樹脂成形法を、高機能システムの構築手法として一般化することを試みる。

(1) 感覚を有する人工皮膚の開発

表皮となる柔らかい樹脂の特性を生かすと、例えばその変位を検出するセンサを樹脂内に埋め込むことができれば、触覚や力覚(せん断力も含む)を実現することが可能になる。また、内部にチャンバーを設け、圧力を計測すれば把持力の計測が可能になる。小型のセンサデバイスを樹脂に埋め込むことによって、すべり覚、温度感覚などが実現できる。MEMSを利用することで、高密度に配置された分布型センシングシステムの実現も可能であろう。

ここでは、感覚機能を有する人工皮膚開発のために必要な基盤技術として、樹脂の持つ物理的性質を利用し、力覚・触覚等のセンシング機能を有する人工皮膚の開発を行い、基礎的な特性を評価する試験を行う。

(2) アクチュエータを利用した骨格構造の開発

内骨格型の指機構では、限られた空間にアクチュエータをどのように内蔵するかが問題となる。指機構はその外形の大きさがその性能に大きな影響を及ぼすため、その設計においては小型化が重要な条件となり、アクチュエータの体積が大きければ、センサ類の自在な配置のための空間が十分用意できずその良さを生かせない。アクチュエータ自体を骨格構造として利用することができれば、指機構が統合的に実現すべき感覚機能を実装するための十分なスペースを確保でき、人間のような自在なハンドリングに必要な多数の機能を統合的に実現する指モジュールを非常に小型に製作することが可能となる。

ここでは、指モジュールへのアクチュエー

タの統合を前提として、小型直動アクチュエータを内骨格の一部として用いる骨格構造を設計・開発し、基礎的な評価実験によりその機械的特性を評価する。

(3) 機能統合型階層的樹脂成形法の開発

内骨格ハンドを製作するためのものづくり技術として、機能統合型階層的樹脂成形法を開発する。具体的には、異なる性質の樹脂と様々な部品を、ネジ等の連結部品を使わずに、部品の機能を維持しながら、樹脂と一体化させて構造を実現する技術の開発である。

ここでは、模型製作では一般的な快速造形法 (Rapid Manufacturing) の一種である積層造形法 (Layered Manufacturing) を用いて、(2) で設計した骨格構造を製作した後、(1) で開発した人工皮膚と融合する。この際、骨格構造に直接人工皮膚を積層造形する成形法についても検討する。これらの方法は樹脂であるからこそ可能な成形法である。

(4) 内骨格型指モジュールの構築

樹脂ハンドは、種々のセンサを指モジュールの中に埋め込むことにより、ハンドに様々な機能をもたらすことが可能であり、その可能性は無限大である。また前述のように、樹脂の特性を工夫することにより把持特性の改善が可能であり、可能性は更に大きくなる。

ここでは、(1) で開発した感覚を有する人工皮膚と、(2) で開発した骨格構造とを、(3) で開発した機能統合型階層的樹脂成形法を用いることによって統合し、アクチュエータを骨格構造として利用することで得られる省スペース性を利用し、樹脂の物理的性質を利用した様々なセンシング機能を備える多自由度の指モジュールを構築する。

(5) プロトタイプハンドの構築

開発した2本の多自由度指モジュールを用いて、2本指ハンドを構成する。これを用いて様々な把持実験を行い、本研究で提案する、内骨格型ハンドのコンセプトの有効性を検討する。

ここでは、樹脂の性質と把持特性の関係を評価し、これに基づく最適な樹脂の探索、感覚機能と把持形態、把持特性の関係を評価し、把持やハンドリングの制御に有効な感覚機能についての考察と適宜改良などを行う。

(6) 高機能ハンド構築手法の一般化

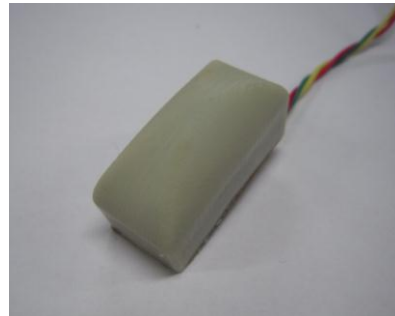
樹脂を用いたセンシング機能の実現、アクチュエータ機能を内蔵した内骨格設計法、機能統合型階層的樹脂成形法を用いたこれらの統合など、指モジュールの開発を通して得られたノウハウを一般化し、高機能システム

の構築手法として体系化することを試みる。

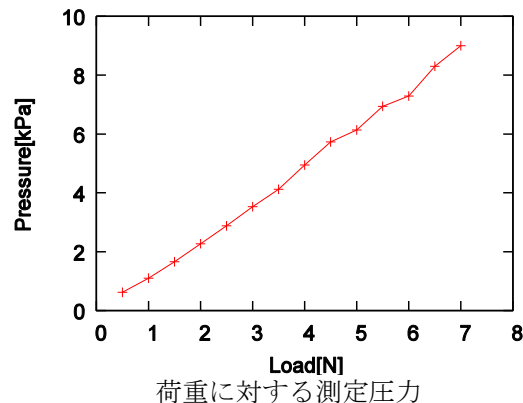
4. 研究成果

研究課題では、従来から開発されてきたハンドの構造を根本的に見直し、新しい内骨格型多指ハンド構築のための基盤技術を開発した。本年度は、多指ハンドへの展開を前提とした指モジュールを開発した。本年度の成果は次の通りである。

(1) 感覚機能を有する人工皮膚の開発を行った。柔らかい樹脂により成形された空気袋に圧力センサを埋め込むことによって、樹脂の持つ物理的性質を利用した接触力のセンシングを行えることを実験により確認した。

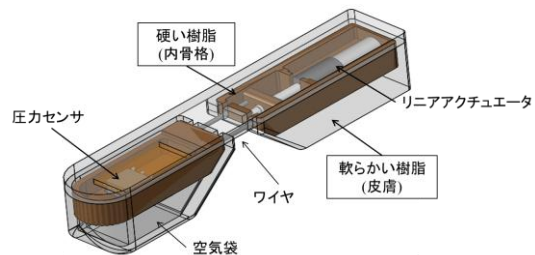


開発した人工皮膚の外観

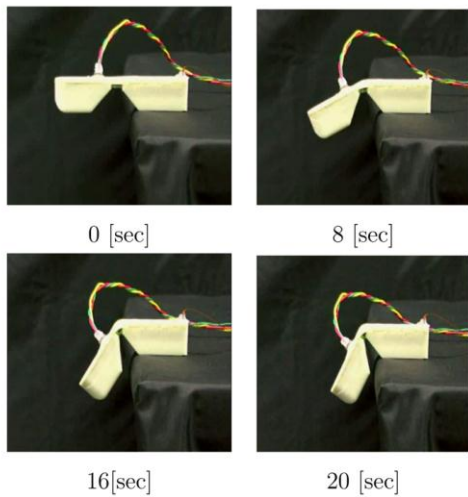


荷重に対する測定圧力

(2) 樹脂で一体成形された、アクチュエータおよびセンサを内蔵した指モジュールの開発を行い、動作確認を行った。アクチュエータを内骨格の一部として利用することで指のモジュール化を実現した。これにより小型ロボットへの適用も可能で、将来的には、医療、福祉分野などへの展開も期待される。

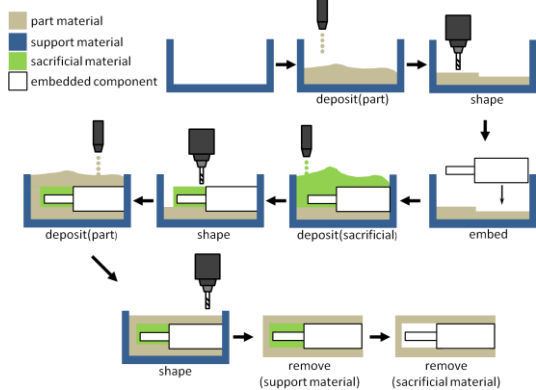


指モジュールの構造図



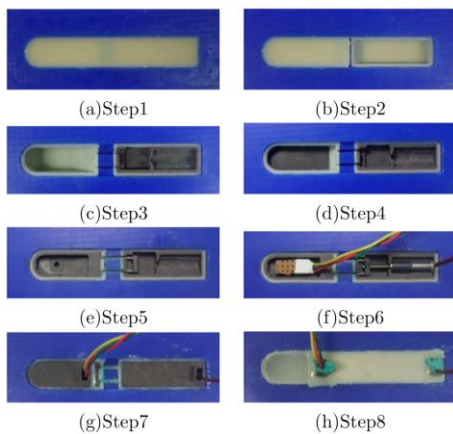
0 [sec] 8 [sec] 16[sec] 20 [sec]
 屈曲動作の確認

(3) 快速造形法の一つである積層造形法を用いて、(2)で設計した骨格構造に、(1)で開発した人工皮膚を直接積層造形する事で「様々な部品をそれらの機能を維持しながら、樹脂と一体化する」機能統合型階層的樹脂成形法の開発を行った。



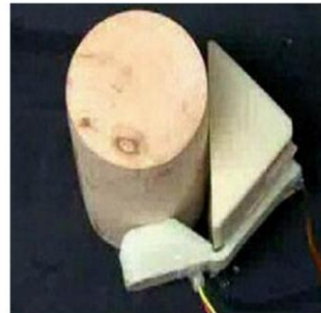
機能統合型階層的樹脂成型の手順

(4) (1)で開発した人工皮膚と(2)で開発した骨格構造とを、(3)で開発した樹脂成形法によって統合し、内骨格型指モジュールの構築を行った。

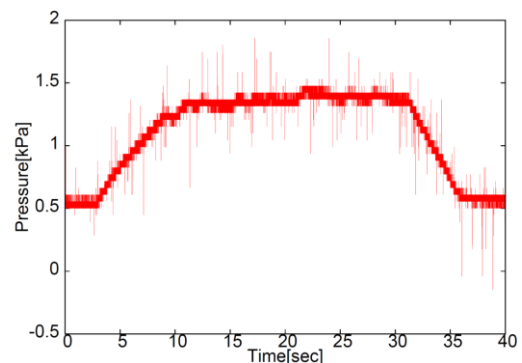


(a)Step1 (b)Step2 (c)Step3 (d)Step4 (e)Step5 (f)Step6 (g)Step7 (h)Step8
 内骨格型指モジュールの製作過程

(5) (4)で開発した内骨格型指モジュールによりプロトタイプハンドの構築を行い把持やハンドリングの制御に有効な指の構成や指先の感覚機能について考察を行った。

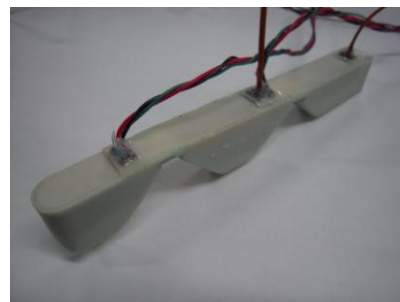


把持実験の様子



接触圧力制御実験結果

(6) より多自由度な指モジュールを開発し、高性能ハンドを構築するための手法を一般化することを試みた。



開発した2自由度指モジュール

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)
 原康介, 小菅一弘, 統合型内骨格型モジュール IEFM, 第13回システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), 2012年12月18日~2012年12月20日, 福岡国際会議場 (福岡県)

[産業財産権]
 ○出願状況 (計2件)

名称：ロボットハンド用の把持部材，ロボットハンド，ロボットハンド用の把持部材の製造方法及びロボット装置
発明者：南本高志，小菅一弘，盧俊榮
権利者：セイコーエプソン，東北大学
種類：特許
番号：特願 2013-45829
出願年月日：2013 年 3 月 7 日
国内外の別：国内

名称：ロボットハンド，ロボット装置及びロボットハンドの製造方法
発明者：南本高志，小菅一弘，原康介，山口賢吾
権利者：セイコーエプソン
種類：特許
番号：特願 2012-226109
出願年月日：2012 年 10 月 11 日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小菅 一弘 (KOSUGE KAZUHIRO)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30153547

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：