

ロボットハンドガイドブック（応用編）

組立

Rev1 2025.3.13

ロボット革命産業IoTイニシアティブ協議会（RRI）
マニピュレーション委員会

1. ハンド選択手法の確立

使用するハンドの決定
把持姿勢の決定

2. ハンド選択に必要な要素

安定な把持の実現
アライメント
ツールチェンジ
複数機能の実現
コンプライアンス
特殊作業

3. 将来技術

4. 執筆者

5. ご協力いただいたメーカー様

6. 情報の活用とコピーライト

- 検討項目は非常に多い
 - 経験と勘に基づいてハンドを決めている部分が多い
- 目次的な構成になっている

1. ハンド選択手法の確立

使用するハンドの決定

把持姿勢の決定

2. ハンド選択に必要な要素

安定な把持の実現

アライメント

ツールチェンジ

複数機能の実現

コンプライアンス

特殊作業

3. 将来技術



1. 使用するハンドの決定（Step 1, 2を往復）

Step 1 作業に適した大まかなハンド形態の選択

Step 2 各ハンド形態でのより詳細な検討

2. ワークにおける把持箇所・把持姿勢の決定

一般的に考慮する事項

各ハンド形態で考慮する事項



Step 1 作業に適したハンド形態の選択

用途に応じた（大まかな）選択

把持した対象を単純に所定された位置に置く

⇒吸着グリッパ（一つのハンドでなるべく多くの種類のワークを把持）

把持した対象を力を加えてはめ合いなどの作業を行う

⇒2指 or 3指グリッパでハンドの中で一つのワークがずれないように確実に把持

把持を伴わない作業の場合

特殊ツールが存在するか or 一般的なツールで精度が保証されるか, e.g., ドライブ
特殊ツールをロボットに搭載可能か

ワークに応じた（大まかな）選択

把持するワークの壊れやすさなど（物理特性）の考慮

⇒2指 or 3指グリッパで力制御をする（電動グリッパ or ソフトグリッパの検討）

⇒ or 吸着する（ワークの性質に応じて吸着方式が異なる）



Step 2 各ハンド形態での検討

2指 or 3指グリップの場合

指本数の決定

ワークに2指グリップで把持できる平行面があるか

ワークに3指グリップで把持できる円筒側面があるか

開き幅の決定

次項で決める把持姿勢に基づいて開き幅を決める

指形状の詳細設計

ワークの形に添うように指表面を決定

接触面素材の決定

摩擦係数

柔らかさ（柔らかいと把持が安定するが精度が落ちる。くっつきが起こる可能性）

吸着の場合

吸着パッドの選択

ワークの重さ、吸着面の広さ、吸着面の面粗さ、吸着面の平面度などを考慮

ワークの材質

ワークが磁性体の場合は磁カグリップも選択肢

ベルヌイを用いた吸着が可能か



Step 2 各ハンド形態での検討：把持箇所・把持姿勢の決定

一般的に考慮する事項

安定な把持を実現する場所（後述する安定指標の考慮）

ワークにおいて組み付ける箇所以外を把持

ワークを傷つける or 壊れる箇所以外を把持

ワークの荷姿を考慮（隣接したワークに干渉するような把持姿勢はとれない）

タスクの考慮

⇒置かれたワークを把持した姿勢と他のワークに組付けた姿勢の両方を考慮
他のワークや環境と干渉が生じないようなハンドの把持姿勢を選択

タクトタイムが短くなる（Pick and placeでロボットが回り道をしない）把持姿勢を選択

1. ハンド選択手法の確立

使用するハンドの決定

把持姿勢の決定

2. ハンド選択に必要な要素

安定な把持の実現

アライメント

ツールチェンジ

複数機能の実現

コンプライアンス

特殊作業

3. 将来技術



一般的な議論

2指 or 3指グリップの場合

Force Closure/Form Closure

把持の安定性を判定する指標として、指が力を加えることでワークを安定に把持する Force Closureと形態的にワークを動けなくするForm Closureの二つの概念がある。点接触の場合、Force Closureでは3点、Form Closureでは7点の接触点が必要。面接触の場合、Force Closureでは2面必要。

ワークの形状に応じた安定な把持形態

ワークの面を把持

ワークの凹部を把持

ワークの角を指の凹部で把持

ワークに空いている穴に対して内側から把持

⇒一般に接触点の数や接触面の面積が増えるほど安定になる

⇒一般にワークの曲面に対して曲率を合わせるように把持面の形状を決めると安定になる

より詳細に考える

2指グリップで安定な把持になる例

凸型のワークを指の面で接触する場合

指が接触可能な平行な面のペアがあり、両方の指が面接触

指が接触可能な面が一つあり、もう一方の指は点接触か線接触

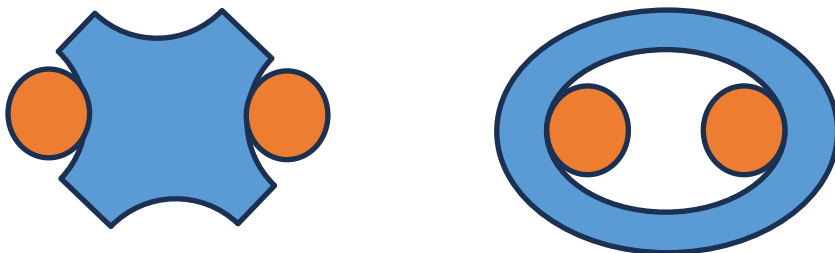
両方の指と接触可能な稜線があり、両方の指が線接触



凹部を有するワーク

ワークのくびれを指で把持

穴があいたワークに対して指を穴に入れて指の外側で把持



より詳細に考える

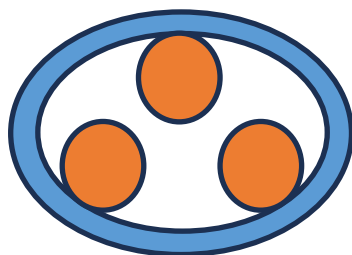
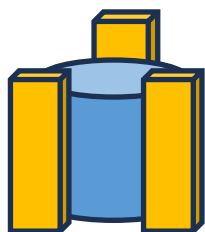
3指グリップで安定な把持になる例

凸型のワーク

ワークに円筒形状をした部位があり、それに対して3指の全てが線で接触するように把持

凹型のワーク

ワークに円筒形状の穴があいており、その穴に指を入れて指の外側で把持



2指3指関係なく

ワークの形状を指の中に転写することで、指とワークと接触面積をより広くとる

円筒物の把持のための指形状



吸着パットの場合

接触面の広さ

ワークに吸着パットを当てるのに十分な広さを持ち、かつ空気抜けの心配が無い面が存在するワークの重量と一つの吸着パットで持ち上げ可能な重量の関係から、吸着パットの個数を決める

接触面の平面度

吸着面として平面が存在しない場合は、なるべく平面で近似可能な面が存在するかを探す
一般的に平面から離れるにしたがって、吸着パットとして柔らかい素材を用いて吸着パット内の真空を確保。どの程度の平面度を持ったらいいかはパットの素材との関係。

接触面の粗さ

接触面が滑らかな場合は吸着パットの真空を確保しやすい。面が粗くなるに従い、真空を確保するのが困難になる

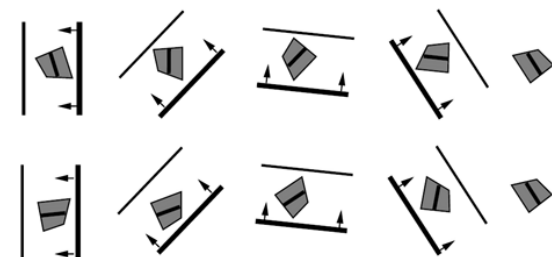


- アライメントの概要
 - ハンドに対するワークの相対的な位置または姿勢を目標のものに揃える（位置決めする）操作
 - 幾何学的な囲い込みによるワークの拘束（caging）から form closure への遷移もアライメントの一種
 - ワークの初期位置・姿勢にある程度の不確定性があっても実現可能
- ハンドによる基本的なアライメントの方法
 - 作業台面上でワークを押し動かす（押し操作）
 - V字溝などを有する指で把持の過程でワークを追い込む
 - 治具や環境にワークを仮置きする、あるいは押し当てる

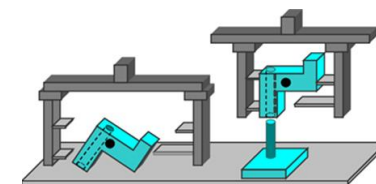


- ワーク形状別の基本的なアライメントの具体例
 - 平行面を持つワークに対して、平行 2 指グリッパで方向を揃える
 - 円筒面を持つワークに対して、指先にV字溝を持つ 2 指グリッパ、あるいは 3 指グリッパで円筒の中心位置を揃える
 - 直方体や立方体のワークに対して、平行 4 指グリッパで位置・姿勢を揃える
 - 対向する凹形状部を持つワークに対して、2 指グリッパで位置・姿勢を揃える

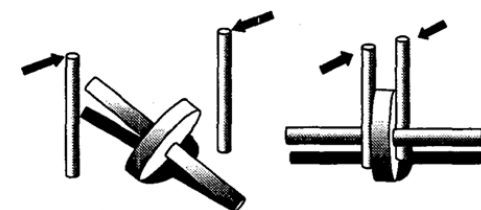
- 平板でのアライメント [Goldberg, 1993]
 - 平板の方向を変えて有限回数ワークを挟み込むことで、ワークの姿勢を揃える
- 指に突出し板を持つ 2 指グリッパでのアライメント [Zhang & Goldberg, 2002]
 - ワークの形状に合わせて突出し板を適切に指に配置することで、水平軸まわりに傾いた状態のワークを把持の過程で起き上がらせ、その姿勢を揃える
- ワークの凹部を利用した 2 指グリッパでのアライメント [Gopalakrishnan & Goldberg, 2002]
 - ワーク上の対向する凹形状部を 2 本のスティック指で挟み込むことで、ワークの三次元の位置・姿勢を揃える



[Goldberg, 1993]



[Zhang & Goldberg, 2002]

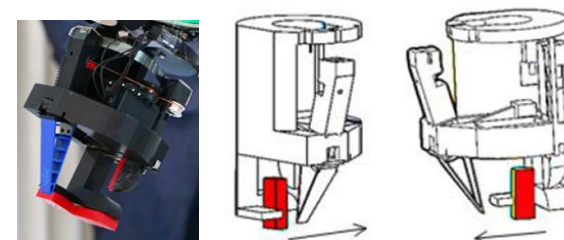


[Gopalakrishnan & Goldberg, 2002]

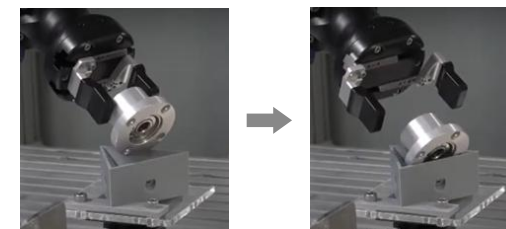
- 指先に切欠きのある2指グリップでのアライメント [Hirata et al., 2011]
 - 適切な形状の切欠きを指先に設けることで、把持の過程でワークを追い込み、その位置・姿勢を揃える
- L字指によるアライメント [Nie et al., 2018]
 - L字形状の指でワークを水平方向に押し動かして、ワークの位置・姿勢を揃える
- 三角コーナー型治具によるアライメント [Hu et al., 2024]
 - グリッパで暫定的に把持したワークを三角コーナー型の治具に落下させ、その形状から幾何学的に決まる位置・姿勢にワークを揃える (仮置きする)



[Hirata et al., 2011]



[Nie et al., 2018]



[Hu et al., 2024]

概論

- 従来ライン型生産システムにおいては多くの場合1台のロボットは1種類のワークのみを扱うため、そのワークに適したハンドを備えていれば充分
- 近年では1台のロボットが複数の作業を行うことが多くなり、複数ワークを扱う需要が増えているが、ロボットハンド（特にエアチャック）は様々なサイズのワークに対応することは困難
- 複数のワークを扱えるようにするための工夫
 - ツールチェンジャ（ハンドチェンジャ）
 - 複数のハンドを付け替えて使用する
 - 一つのハンドに複数の爪
 - ハンドの先に向きを(90度など)変えて、複数の爪を取り付ける
 - 爪チェンジャ
 - 1つのハンドの爪部を付け替えて使用する
 - マルチハンド（複数のハンドを取り付け）
 - 複数のハンドを取り付けて、複数のワークを同時に扱えるようにする



- ツールチェンジャ（ハンドチェンジャ）
 - ツールの交換方法は以下のような種類がある
 - 空圧式
 - 圧縮空気でロック／アンロックおよびロック時の精度出しを行う.
 - 一般的に, 圧縮空気が遮断されてもロックを維持しツール（ハンド）の落下は防ぐ
 - 電気式
 - 電気信号でロック／アンロックを指示する
 - モータ等によりロック／アンロックおよびロック時の精度出しを行う
 - メカ式
 - 圧縮空気やモータ等によらず, ロボットの動作によってロック／アンロックを行う
 - 手動式
 - ロボットのオフライン時に人が手動でロック／アンロックを行う



- ツールチェンジャ（ハンドチェンジャ）の留意点

- 配線，配管

機構的に着脱をするツールチェンジャだが，実際のハンドやツールはエアの配管や信号線の配線などが必要。これがそのままロボットにはわけてある／内部配線・配管を通してしているとハンドやツールを切り離せない。

ツールチェンジャには通常，配管や配線も同時に着脱する機能がつけられている。（オプションの場合もある）

ただし，どれだけの数が用意されているかは機器によるので，確認が必要。

また，汎用的な信号線は用意されていても特殊な配線（イーサネットなどの高速通信線や高電圧高電流 等）は用意されていない場合も多い。

- ツールストックのスペース

多くの交換ツールを用意すると，それだけのストックを用意する必要があり，多くのスペースを必要とする。

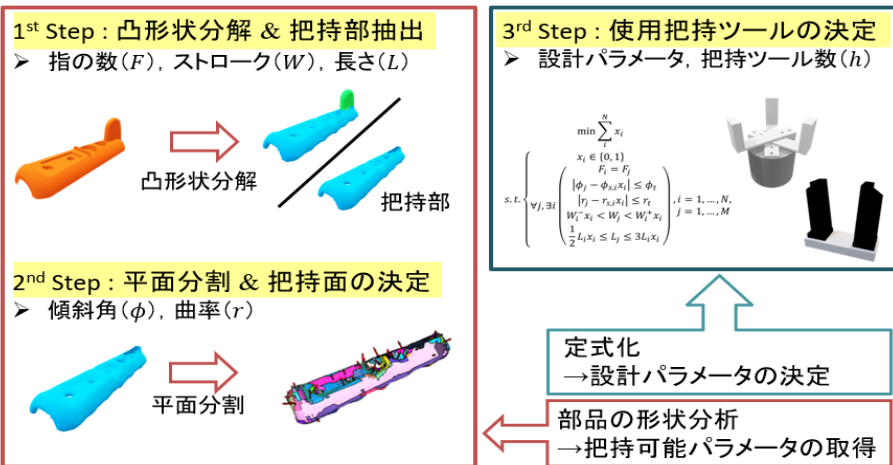
また，ストックのスペースによって取り付けられるツールのサイズが制限される場合もあるので検討が必要。



- 複数機能を実現する方法
 - 指の形状を工夫して同じ指で複数種類のワークを把持
 - 2種類以上の種類のツールを一つのハンド内に備える
 - 可動範囲の拡大による複数種類のワークの把持
 - 劣駆動により複数種類のワークの把持

- 事例紹介

複数機能の実現：複数種類ワーク把持の理論



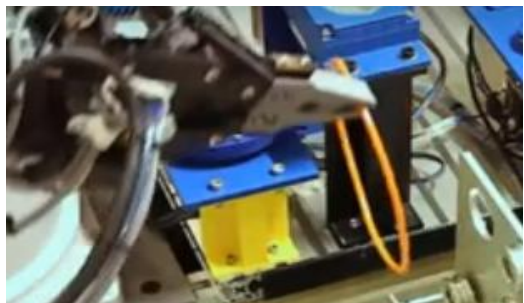
ワークの形状が与えられると、大まかな形状情報より、2指グリップを使うのか、3指グリップを使うのかを決める

より細かな形状に関する情報より、指をどの程度傾げるのか、また指のどの程度の曲率を設けるのかを決める

複数種類のワークに対して、同じハンドで把持できるかどうかを調べることで、組立作業において最小数のハンドの集合を求める

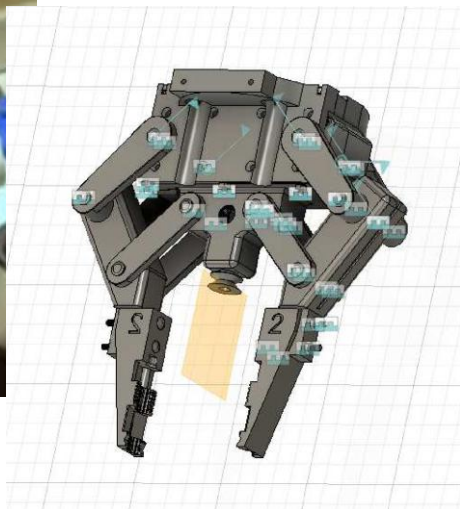


Nakayama et al., 2019
 Xu et al., 2021

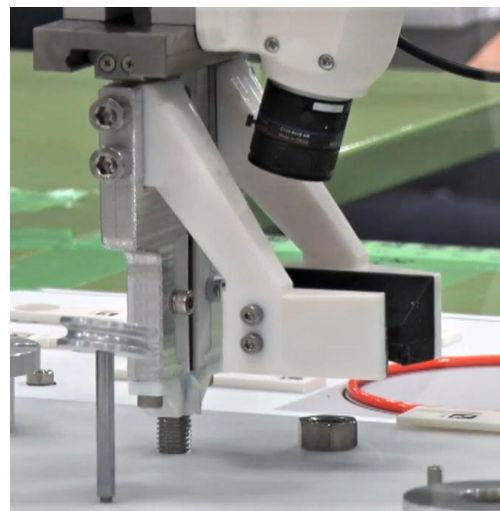


指の腹の形状を工夫することで、指の腹の別の箇所違ったワークが掴めるようにする。

プーリーの溝に合わせた把持と、ゴムのベルトの把持をそれぞれ指の別の箇所を用いることで実現



WRS2020 Team 3-up Technologies



Team. ALGoZa
一つのハンドに2組の異なる爪を搭載



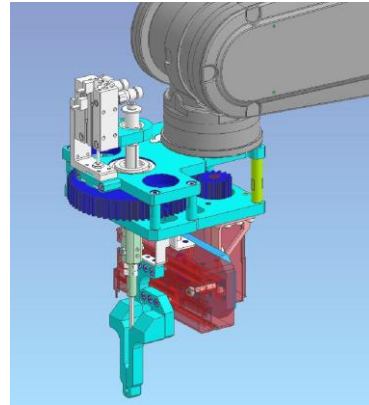
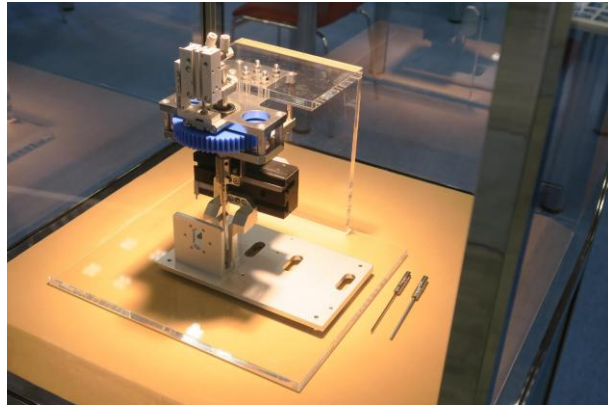
2指グリップの指の間にネジ締めツールを内蔵することにより、プーリーなどのパーツを指で把持した状態でネジ締めを可能にする

指の形状を工夫することにより種々のパーツを把持できるようにする。大会ではプーリー、ワッシャー、板状のパーツを1種類の指で把持することを可能にした



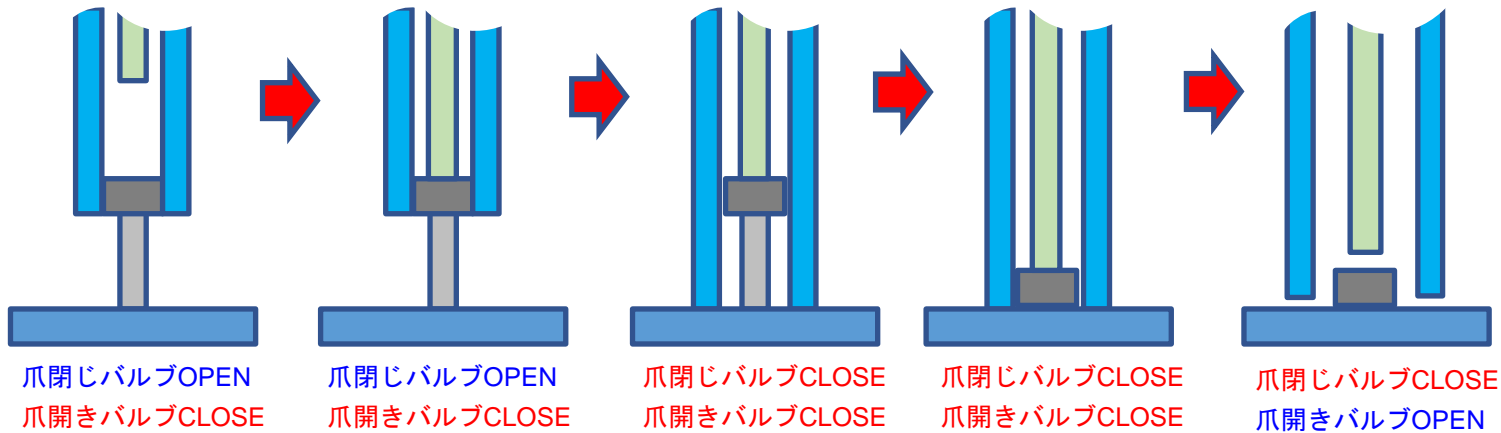
WRS2018 Team FA.com

複数機能の実現：ドライバ内蔵ハンド



WRS 2020 Team ROBO-SUPPO plus

- ドライバ軸回転（サーボモータ）
- ドライバ軸上下（エアシリンダ）
- ハンド（エアチャック）



複数機能の実現：可動範囲の拡大による複数種類ワーク把持



Team Robotic Materials in WRS2018



Team 3up Technologies in WRS2018

2指や3指グリップを使う場合、一つのグリップの動作範囲は狭いのが普通である。

パンタグラフ機構を用いることで、回転変位を並進変位に変換することが可能であり、指の動作範囲を拡大することが可能である。

動作範囲の拡大により、複数種類のワークを一つのハンドで把持することが可能になる



WRS 2018 Team SDU Robotics

一つの手首からネジ締めツールと2指グリップを直交させて同時に搭載



WRS2018 CPF Robotics

2指グリップ+吸着ハンドを同時に搭載

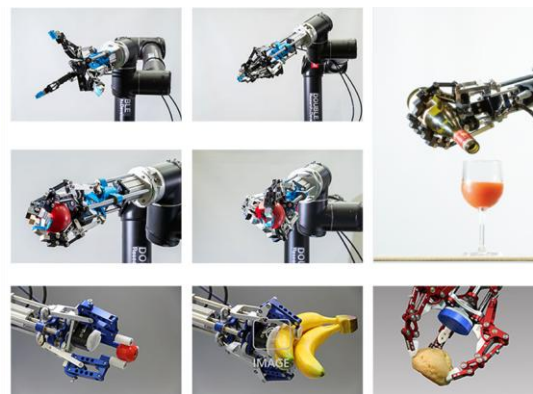
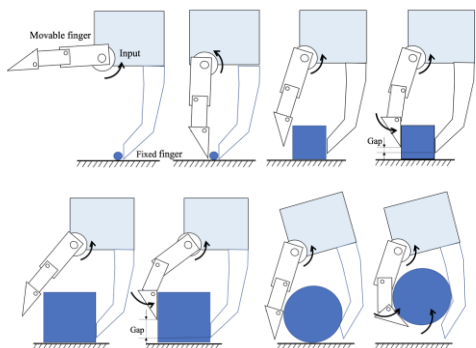
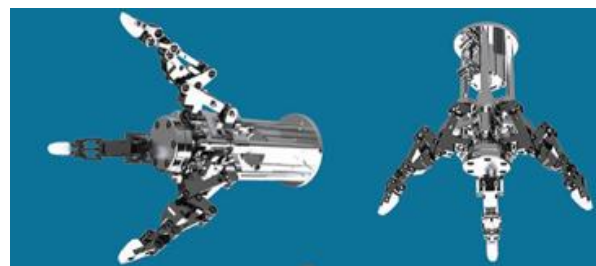


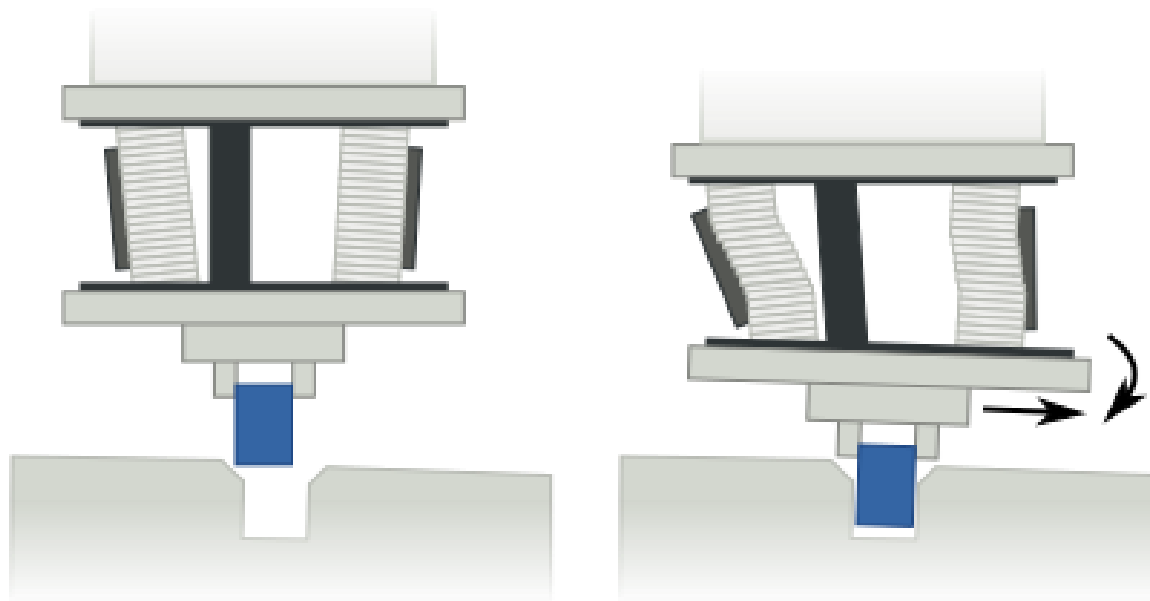
ARTC

一つの手首に2組の異なる爪を搭載

複数機能の実現：劣駆動による複数種類の把持形態

受動関節を利用することで、少ないアクチュエータで複雑な動作を実現する指にリンク機構を用いることで、指先でワークを掴んだり、指の内リンクを利用してワークを握りこんだりすることが可能
ワークの種類や要求される作業に応じて把持形態を変更することが可能





Wikipedia

- Remote Center Compliance (RCC)機構
挿入する軸にずれがあっても、コンプライアンスにより自動的に補正



以下のような作業に特化したハンドが作られている（今回は詳細は省略する）

- シール剥がし
- フレキの組み立て
- ネジ・ナット締め
- 糊やグリースの塗布
- 切断
- 包装・梱包
- 鍛造
- 配線

1. ハンド選択手法の確立

使用するハンドの決定

把持姿勢の決定

2. ハンド選択に必要な要素

安定な把持の実現

アライメント

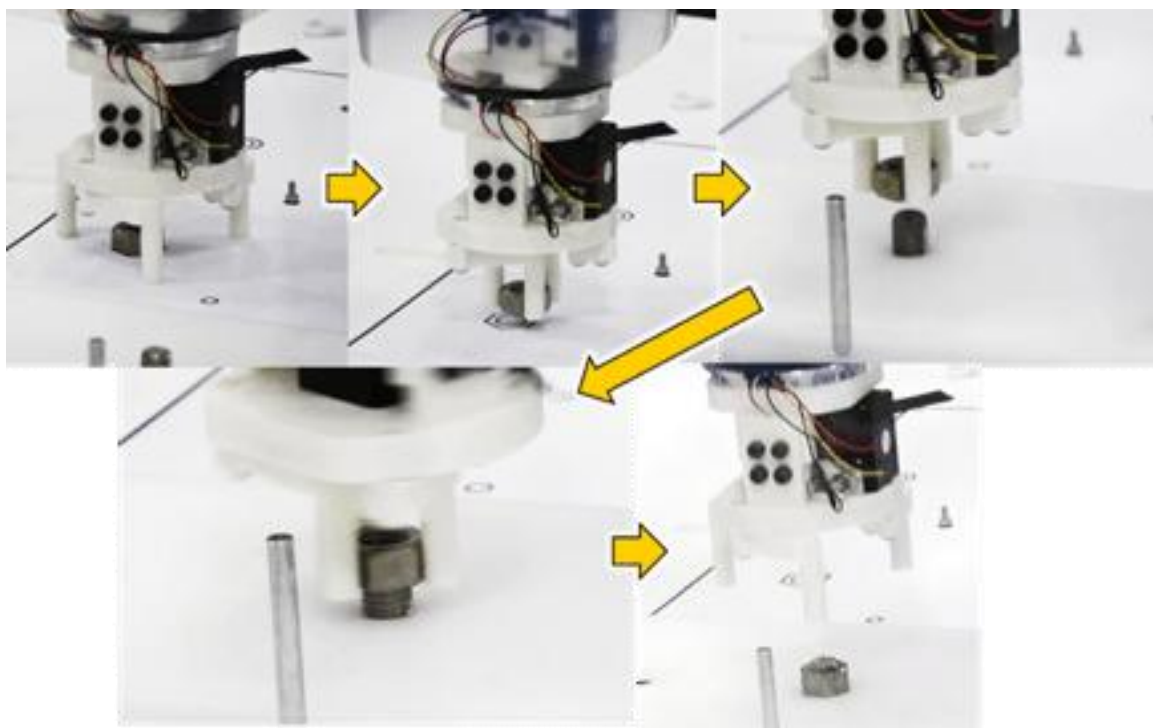
ツールチェンジ

複数機能の実現

コンプライアンス

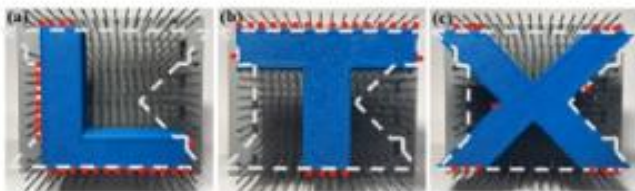
特殊作業

3. 将来技術

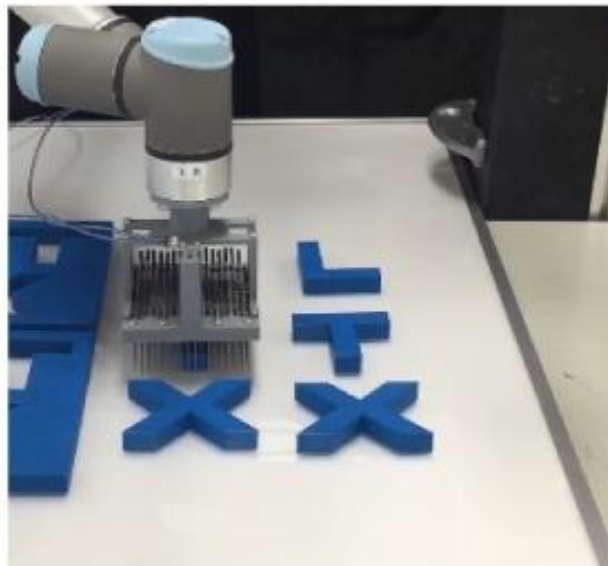


差動ギアを利用することで、一つのアクチュエータで把持からネジ締めまでを連続して行うことができる

Nishimura et al. RA-L 2021

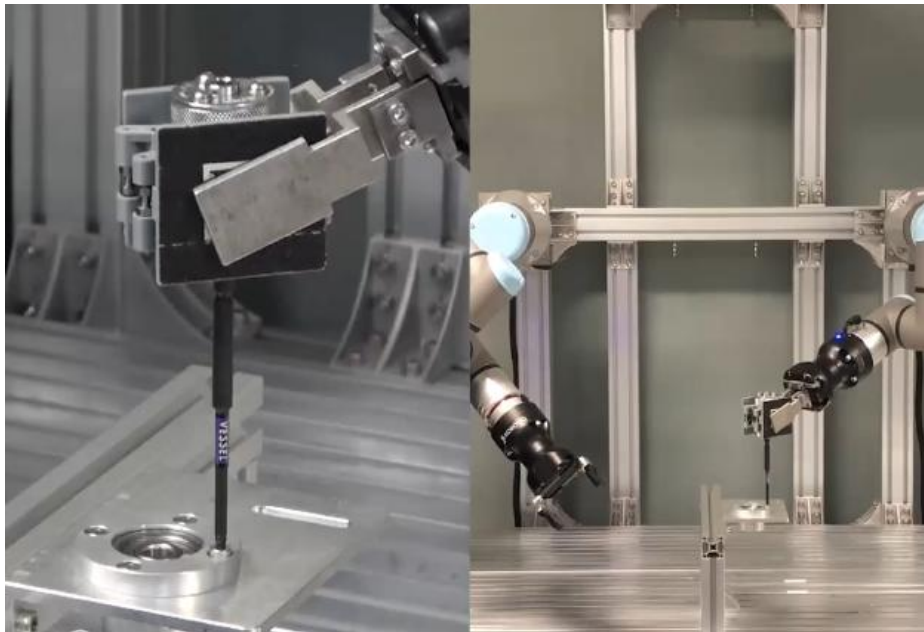


Common pin configuration which can fix three objects



Shi et al., 2020

ワークの形に応じて剣山の剣の変位を調整し、複数のワークに対する位置決めを可能にする



汎用グリップに種々のツール（ネジ締めや多様なワークの把持）を持たせることで作業を行う

Hu et al. TRO 2021

大阪大学 原田研介
筑波大学 相山康道
和歌山大学 土橋宏規
福島大学 衣川潤

■ BLオートテック

<https://www.bl-autotec.co.jp/products/index.php?cid=1>

■ ダブル技研 <https://www.j-d.co.jp/>■ イマオコーポレーション <https://www.imao.co.jp/>■ 北川鉄工所 <https://prod.kiw.co.jp/mtools/index.html>■ 近藤製作所 <https://www.konsei.co.jp/>■ コスメック <https://www.kosmek.co.jp/>

- PFN <https://www.preferred.jp/ja/>
- SMC <https://www.smcworld.com/ja-jp/>

- ・本文書は、著作権法および国際条約により保護されています。
- ・個人または会社（または会社に準ずるもの）内部での使用を目的として、文書をダウンロード、印刷、または電子的に閲覧することができます。
- ・本資料の内容の全部又は一部については、私的使用又は引用等著作権法上認められた行為として、適宜の方法により出所を明示することにより、引用・転載複製を行うことができます。
- ・内容の全部又は一部について、ロボット革命産業IoTイニシアティブ協議会に無断で改変を行うことはできません。
- ・ロボット革命産業IoTイニシアティブ協議会はいかなる目的においても使用可能性を保証するものではなく、本文書の内容を使用したいいかなる場合においても責任を負いません。
- ・本文書の使用者は、本文書に記載された内容の使用に関連して発生した全ての要求、請求、訴訟、損失、損害（人身事故による損害を含む）、費用、経費（弁護士費用を含む）について、ロボット革命産業IoTイニシアティブ協議会になんらかの損害を与えないことに同意するものとします。

Copyright © 2025 ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会 All Rights Reserved.

発行者

ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会

〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 1丁目 31-18 高田馬場センタービル12階

Tel : 03-6302-1861 E-mail office@jmfrrri.gr.jp

URL <https://www.jmfrrri.gr.jp/>



ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会
Robot Revolution & Industrial IoT Initiative