

# 次世代スマートロボットの開発

## A Next-Generation Smart Robot with Force-Sensing Technology

アズビル株式会社  
技術開発本部

原田 豊  
Yutaka Harada

アズビル株式会社  
技術開発本部

田原 鉄也  
Tetsuya Tabaru

アズビル株式会社  
技術開発本部

岩下 純久  
Sumihisa Iwashita

### キーワード

スマートロボット, カセンシング, ロボットハンド, 柔らかく掴み, ダイレクト教示, 協働ロボット

アズビルはロボットに力センシング技術を内蔵した“次世代スマートロボット”を開発した。このロボットの特長は力センシング技術で、それをロボットアームおよびロボットハンドに適用し、これを触覚機能として実現した。また、画像処理技術を用いた視覚機能を実装した。このロボットを用いたデモ装置も開発し、2017年11月29日～12月1日に開催されたSCF/計測展2017に出展した。まだ試作機ではあるが、生産ラインの自動化に貢献できるよう、商品化に向けた開発を進める。

Azbil has developed a next-generation smart robot with built-in force-sensing technology implemented especially in its robot-arm and hand to enable tactile functions. We also implemented a visual function using image processing technology. Demonstration equipment using this robot was exhibited at the System Control Fair / Measurement & Control Show 2017 held in Tokyo from Nov. 29 to Dec. 1, 2017. Although the robot is still a prototype, we are working to develop it for commercialization in order to contribute to the automation of production lines.

### 1. はじめに

昨今のファクトリーオートメーション (FA) 工場では、組み立て生産ラインの自動化に産業用ロボットが用いられている。アズビルも汎用アンプ内蔵光電センサHP7の自動化ラインに、産業用ロボットを導入している<sup>(1)</sup>。±0.02mmの高度な繰り返しの位置決め精度と10m/sの高速な移動動作を備え、精密な組み立てと高速なタクトタイムの要求に对应している。ただ、この社内ユースでいくつかの課題が顕在化した。

1つは教示作業である。教示作業は専用の動作デバイス (教示ペンダント) を使う。操作ボタンと液晶画面で操作するのだが、例えばロボットの手先を思っている方向に移動させる場合、モード変更、移動速度 (または移動量) 設定、移動方向設定 (ロボット本体に対する方向や手先に対する方向などいくつか方向の基となる種類が選択できる) 等を行い、ようやくボタンを押して移動させる。この時に各設

定が間違っていたり、方向の+/-を間違えたり、押すボタンを間違えるとロボットの手先が有らぬ方向に移動し、周辺機器と接触し破損するなどの事象が生じる。教示点を1つ設定するだけでも、ロボットに対する専門知識と教示作業経験が必要になり、時間も要する作業となっている。このほか、ロボットを動作させるためのプログラミング作業や、ワークに適切なエンドエフェクター (吸着ハンドや把持ハンド) の選定/設計、自動化装置としての全体装置への結合などのエンジニアリング作業があり、これらも専門知識や技能が要求され、これがロボットの導入の敷居を高くしており、小ロットで多品種の組み立て作業等がある生産ラインへの導入が難しい状況となっている。

しかし、ロボットの導入ニーズは高まる一方である。理由は人件費を下げるための自動化が主であるが、それ以外に国内においては働き方改革や労働人口が減少する背景もあると考える。この影響だとすると、ロボットの使われ方ニ

ズは、(休んだ、退職した、繁忙期で急に忙しくなったなど)一時的に人が必要になったときに使いやすいロボットのニーズが増えてくることが予想される。急にロボットを利用したいような場合、先に記述したような高度なエンジニアリングスキルを不要にする必要がある。

これに応える機能として、教示作業のときにロボットに「力」を加え思いどおりの方向や位置に動かせるダイレクト教示とか、適切な「力」でワークを掴むとか、適切な「力」で作業を行うといった力覚機能が「使いやすさ」に対して重要であると考えた。このことから当社の計測と制御技術を応用して、「力」センシング技術を開発し、これをロボットやロボットハンドに搭載した“次世代スマートロボット”を開発した。

この「力」センシング技術をベースに今まで導入が困難であった力加減が必要な作業の自動化や、使いやすくなったロボットで高度なスキルを持たないユーザーでも使用することを可能とし、ロボットの利用範囲を広げることで社会的な課題に貢献することを目指した。

2. 特長機能と開発仕様

“次世代スマートロボット”として必要な機能を下記に列記する。(1)～(4)は「力」センシング技術に基づく機能、(5)については画像技術に基づくものである。このように触覚に相当する機能と視覚に相当する機能を有している。

(1) 繊細なハンドリング

柔らかいもの、傷つきやすいものを掴むことが可能

(2) ダイレクト教示

直接ロボットアームを操作でき、軽い力で楽な教示作業が可能

(3) 力覚動作

探り動作やならい位置合わせ動作により、状況の変化による対象物の位置ズレなどに対応が可能

(4) 高精度衝突検知

軽い接触力で停止することによる安全機能の実現

(5) 画像認識

対象物の位置や形状の認識により確実なハンドリングと作業を実現

次に開発のための仕様を記す。

表1 ロボットアーム仕様

|        |            |
|--------|------------|
| 種類     | 垂直多関節型ロボット |
| 軸数     | 6軸         |
| アーム長   | 683mm      |
| 可搬質量   | 3kg        |
| 繰り返し精度 | ±0.02mm    |
| 教示     | ダイレクト教示方式  |
| 作業力    | 指定可        |
| 接触停止   | 可能         |
| 最大速度   | 2m/s       |

表2 ロボットハンド仕様

|     |         |
|-----|---------|
| 種類  | 2指把持ハンド |
| 把持長 | 0～90mm  |
| 把持力 | 1～75N   |

これを基に開発したロボットおよびロボットハンドを図1に示す。

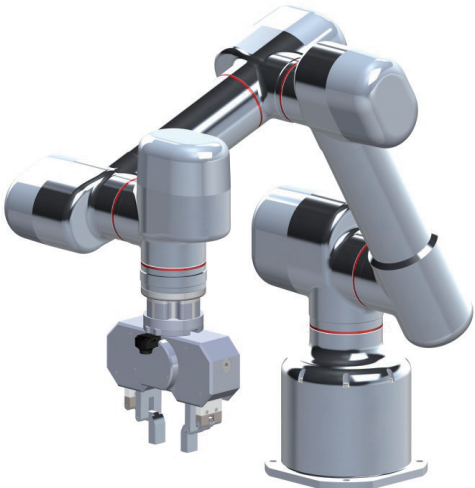


図1 ロボットアームおよびロボットハンド

ロボット形状の特長としては、手挟みを抑制するための隙間が設けられている。これはダイレクト教示で直接人がロボットに触れるためである。ほかの協働ロボットもこの本質安全な構造になっており、従来の産業用ロボットと異なる形状になっている。また、ロボットアームやロボットハンドの内部に「力」センシング技術が内蔵されていて力覚機能を実現している。さらにロボットハンドにはカメラが内蔵されており画像処理装置をとおして視覚機能を実現している。なお、図1にはロボットを制御するコントローラおよび画像処理装置は記されていない。

### 3. 「力」センシング技術を用いた機能について

“次世代スマートロボット”の最も特長となる機能は前章の(1)～(4)で、それを「力」センシング技術で実現している。ここではその技術を用いた実施例を紹介する。なお、(5)の画像認識について今回は紹介を省く。

#### 3.1 微細なハンドリング

ロボットを用いて作業を行わせるときに対象物を移動したり作業したりする手段として、吸着や把持(掴む)などがある。社内ユースでも把持を行わせるために2指の電動ハンドを用いる場合がある。空気式ハンドを用いるのと比較して、複数点の把持位置が設定できたり、掴んだ位置を検出して状態を確認できたりと利点がある。さらに掴む力(把持力)を設定できるため、対象物ごとに適切な把持力で作業することが可能である。しかし、従来の電動ハンドには次の課題が挙げられる。

- ・「ストローク」と「把持力」の要求仕様に基づき市販品のラインアップから選択する必要があるが、選定者にはメーカー知識、対象物の適正な把持力、作業に応じた把持力やストローク決めなどのスキルが求められる。
- ・「ストローク」と「把持力」の関係について複数メーカーの電動ハンドを調査すると、大ストロークで微小把持力を制御できる製品が存在していない(図2参照)。

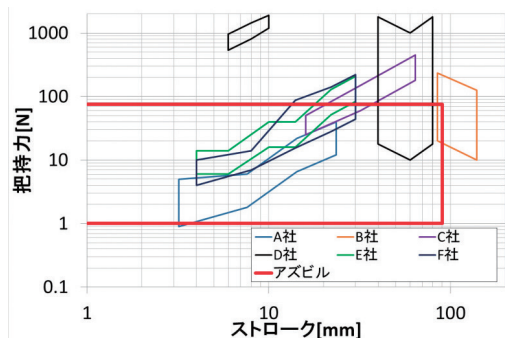


図2 「ストローク」と「把持力」の関係(当社調べ)

大ストロークで、かつ微小力で掴めるハンドがあると、1つのハンドで様々な対象物をハンドリングすることが可能となる。

この課題に対応するため1つのハンドで広範囲の把持力とストロークが可能なロボットハンドを開発した(図2赤線内)。そのハンドの概要図を図3に示す。2指の機構は並行リンク式となっており1つのアクチュエータで同期動作させている。

このハンドは、従来のアクチュエータ駆動負荷から掴み力を推定する方式と異なり、2指構造部にかかる「力」を直接センシングする技術を用いていることで、微小力制御を実現している。

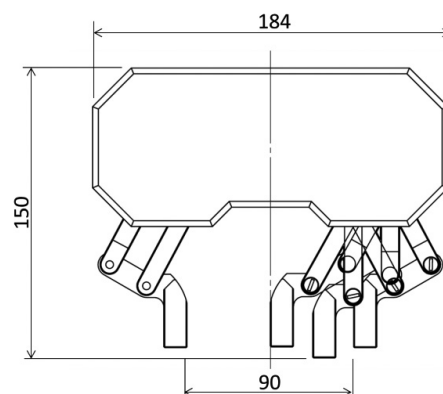


図3 開発したロボットハンド概要

この「力」センシング技術を用いたことで、従来は定格把持力の30%程度が最小把持力だったのを、1%程度を実現することができた。この能力を示す実験として、木綿豆腐の把持と、飲料用のアルミ缶をつぶす程度の把持が可能なることを確認している(図4参照)。

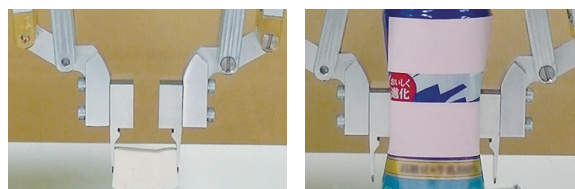


図4 把持実験(左:木綿豆腐, 右:アルミ缶)

実験では豆腐は0.5Nで持ち、アルミ缶は30Nでつぶしている。この豆腐並の微小な把持力が実現できたことで、これまで難しいとされていた柔らかいものや脆いもののワークハンドリングができるようになる。これは工業用の生産だけでなく、食品や農産物の生産現場へも適用できる可能性がある。

また生産現場では、当初の掴み力に対する要求仕様が間違っていた場合や、製品の変更によって対象物が変化した場合に、適切な把持力に変更する必要がある。把持力の設定範囲やストロークが広いハンドはこのような変化への対応にも容易である。

#### 3.2 ダイレクト教示

“次世代スマートロボット”では、教示を直観的かつ容易にするためにダイレクト教示機能を搭載した。ダイレクト教示は人がアームを直接操作して教示点と姿勢を教示するものだが、本ロボットでは「力」センシング技術を用いてこの機能を実現している。本節ではこの機能を実現するための制御技術について述べる。

図5に制御系の概略構成図を示す。人がアームを操作することで発生した外力は、「力」センシング部によって検知される。しかし、検知される力には重力に起因する成分も含まれているため、そのまま用いても人の操作どおりにアームを動かすことはできない。そのため、重力補償を行い、人によるアームの操作のみを推定する必要がある。開発した制御アルゴリズムにはこのための外力推定機能があり、ロボットの重力モデルに関節角測定値を代入して重力成分を

推定することで、検知した外力を補償している。推定されたアームの操作は従動制御ロジックに送られ、人の操作に従うように関節角指令値が更新される。このようにして、人のアーム操作に従って動作するような制御系を実現している。

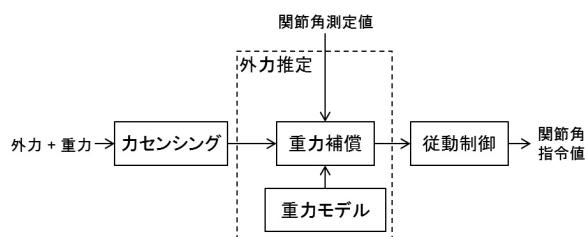


図5 ダイレクト教示のための制御系概略構成図

### 3.3 力覚動作

“次世代スマートロボット”は基本的な位置制御に加え、「力」センシング技術を用いた力覚動作機能を持っている。本節ではこの機能の概要について述べる。

図6に力制御系の概略構成図を示す。ダイレクト教示の節で説明した外力推定機能により外力を推定し、それを指定された力指令値(ベクトル)と比較することで、力制御を行っている。これによりアームの位置と姿勢が決まるので、逆運動学(IK)によって関節角指令値に変換し、ロボットアームを制御する。このようにして、「力」フィードバック制御を実現している。

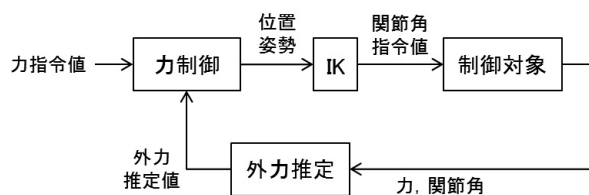


図6 力制御系概略構成図

力覚動作の一例として押付け作業を実現するには、外力の推定値が力指令値と一致するように位置・姿勢を制御することで、押付け力が一定となるようにしている。

これを用いてスナップフィットなどの挿入作業を行わせることができる。スナップフィットでは適正な挿入力で組み立てることが要求される。挿入中に過大な力を生じると対象物が破損することがあるからである。押付け作業をさせると、外力推定値と関節角(作業位置)を監視しているため過大な力を生じたときに安全に動作を止めることができるのと、その位置を評価して挿入作業の良否判定が行える。また、接着作業など確実に対象物同士を密着させて、かつ一定の接触力で押し付ける作業にも適用できる。

この制御ロジックを用いて、ロボットの先端で秤を押し、その秤値を読み取るという実験を行った(図7参照)。

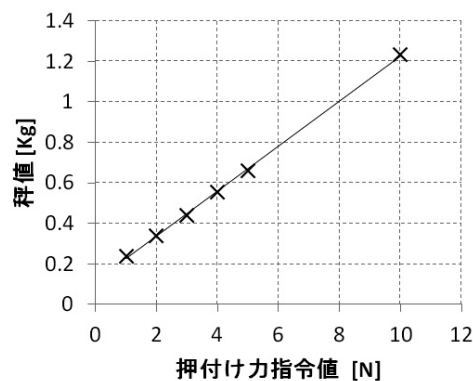


図7 押付け指令値と秤値

直線性は1%以下で、同じ作業位置であれば精度のよい押付け作業が可能であることが示された。この実験ではオフセットがあるので指令値に対して誤差を持っているが、押付け作業直前に外力値を取り込み、それに指令値を加算することで精度を出すことができることを確認した。

### 3.4 高精度接触検知

3.2項のダイレクト教示や3.3項の力覚動作はロボットアームに内蔵した「力」センシング技術によって実現されているが、これによってロボットアームが外部と接触したことの検知もできている。これによって人との接触が検知できるが、検知可能な「力」レベルが数N程度を目指し開発を進めている。押付け制御の実現しているレベルから十分可能性がある。

## 4. デモンストレーション装置について

“次世代スマートロボット”の特長(1)～(5)を適用したデモンストレーション装置をいくつか開発し、2017年11月29日～12月1日に開催されたSCF2017/計測展2017に参考出展を行った。そのデモ機について簡単に紹介する。

### 4.1 柔らかいもののハンドリング

柔らかいものの例として、木綿豆腐・カステラ・ブドウ・ゆで卵を掴み、皿に載せて、皿を掴み、テーブルに置くという作業を行わせた(図8参照)。

柔らかいものは1N程度で、皿は30N程度で掴み、それぞれを搬送することができた。見た目で分かりやすいという理由で食品系の対象物を用いたが、粉を固めたものや変形しやすい対象物なども掴める可能性がある。





図8 柔らかいものをハンドリングするデモ機

#### <参考文献>

- (1) 原田 豊, 人間の機能を融合した自動化技術の展開  
光電センサ生産ライン自動化技術, azbil Technical  
Review, 2013年4月発行号, pp.6-11

#### <著者所属>

- 原田 豊 アズビル株式会社  
技術開発本部HCA技術部  
田原 鉄也 アズビル株式会社  
技術開発本部HCA技術部  
岩下 純久 アズビル株式会社  
技術開発本部HCA技術部

### 4.2 スナップフィット作業とダイレクト教示

スナップフィットとはフックが付いた部品を差し込む作業で、ケーブルのコネクタ挿入・固定用ピン挿入などがある。フック部分の弾性部や樹脂材料の場合は挿入時に過度な力がかかると変形して破損したり差し込んだ後に抜けやすくなったりする。そこで挿入時に力制限を設けて過負荷を検知して作業を止める動作をデモンストレーションした(図9参照)。

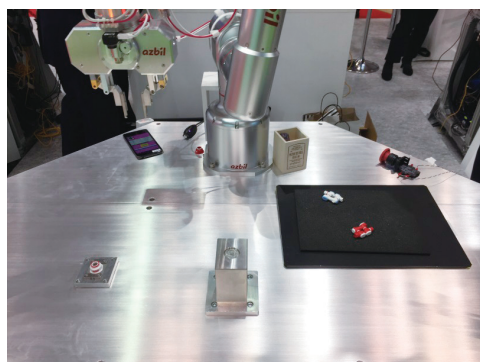


図9 スナップフィット作業をするデモ機

## 5. おわりに

この“次世代スマートロボット”は、これまでロボットの適用が難しい「力」作業の自動化、食品や農作物のハンドリング等への適用を想定している。また、ダイレクト教示や力覚動作機能で「簡単」にロボットが利用でき、容易に導入できることを目指していることから、ロボット関連のスキルを持った人材が少ない企業の生産現場への適用も想定している。

今後はアズビルと一緒に自動化を検討して頂ける企業とともにさらに開発を進める。