



# 各社が磨く協働ロボットの強み 技術から見る生産現場の未来

各ロボットメーカーはさまざまな工夫を協働ロボットに施している。そこで、「人に近い双腕」「重量/軽量物への対応」「現場での柔軟性」「独自の安全設計」「簡易ティーチング」という5つの視点から主要な協働ロボットの特徴を探るとともに、「可能性を高める周辺技術」から、協働ロボットが将来の生産現場でどのような役割を果たす可能性を秘めているのかをみている。

## 技術動向 1

### 人に近い双腕

企業が協働ロボットを導入する目的の1つに、人が行う単純な作業を代替するというものがある。そのため、一部のロボットメーカーは、人に似せた動作を目指し、双腕の協働ロボット

を開発している。

2つのアームを備える双腕型は単腕型と比較して、アーム当たりの設置専有面積が小さくて済む。活用方法によっては省スペース化に大きく貢献するだろう。ここでは、代表的な3つの双腕型協働ロボットの特徴について述べる。

### 14軸で高い自由度を実現

スイスABB社の「YuMi」はアームの軸数が各7軸、計14軸ある双腕の協働ロボットである(図1)。リンガーハットが生餃子をトレーに整列して並べる作業に利用するなど、幅広い分野で活躍している。各アームが7軸あるという特徴を生かし、限られたスペースでも複雑な動きを実現できるのが特徴。可搬質量は1アーム当たり0.5kgと小さいものの、位置決め精度が0.02mmと高いのも利点だ。

さらに内部の配線などを工夫して配置することにより、ロボットのサイズをコンパクトにしているという。質量が38kgと軽量で、2人いれば容易に運べるという手軽さも市場で受け入れられている要素の1つだろう。ティーチング用に汎用タブレット端末で使える専用のアプリケーションを提供している他、ダイレクトティーチングも可能だ。

今後は、「工具メーカーと一緒にねじ締め用・はんだ付け用などのハンドや工具を開発してみたい」(ABBロボティクス&モーション事業本部ロボティクス事業部長の中島秀一郎氏)という。これが実現すれば、ロボットを介してねじ締めのトルク管理やこて先の温度管



図1 スイスABB社の「YuMi」

アームが各7軸、計14軸もある双腕の協働ロボット。汎用タブレット端末を用いて、ティーチングすることも可能だ。ねじ締め用などのハンドや工具の開発も考えているという。

理などが期待できる。

### 固定の専用治具を可能な限り排除

川崎重工業が開発した「duAro」は、他の協働ロボットとは異なり、水平多関節型（スカラ型）のアームを採用している。各アームが4軸あり、可搬質量は1アーム当たり2kgである（図2）。スカラ型のアームは動作が限られるので、同社はYuMiとは逆に複雑な動きを必要としない作業での導入を指向している。

同社がduAroを双腕型にしたのは、専用の治具を可能な限りなくすためだ。人間は片方の手で作業を行う一方で、もう片方の手でワークを押さえたり、支えたりすることが多い。それを単腕型の協働ロボットで実現しようとすると、ワークを補助するための治具が必要となる。

しかし、特定の治具を用意すると、その導入に時間がかかるとともに、治具の段取り替えが煩雑になる。そこで同社は、双腕型にして治具がなくても作業できるロボットを目指したという。「片腕でワークを支えるなどして、治具の役割をロボットの動作で代替する」（川崎重工業ロボットビジネスセンターセンター長常務執行役員自動化推進担当の橋本康彦氏）。

また、duAroに工具などを持たせたい場合は、それに向けたエンドエフェクターを用意するのではなく、工具側にduAroの標準ハンドで把持できるアタッチメントを取り付ける。そして人間と同じように片手でワークを押さえつつ、作業できるようにしている。

### 人型で圧迫感なく作業

カワダロボティクス（本社東京）の「NEXTAGE」はアームが各6軸、首が2軸、腰



図2 川崎重工業の「duAro」

スカラ型アームを利用した4軸のロボット。ロボットハンドを工具ごとに変えるのではなく、工具にアタッチメントを装着している。



図3 カワダロボティクスの「NEXTAGE」

アームが各6軸、首が2軸、腰に1軸の計15軸ある協働ロボット。貨幣処理機などを製造するグローリーなどの生産現場で利用されていて、活用方法のノウハウを蓄積している。

に1軸の計15軸の人型協働ロボットである（図3）。可搬質量は各アーム1.5kgずつだ。また、頭部に2つ、各アームに1つずつのカメラを標準で装備している。

このカメラは、ワークの検査の他、機体やワークの位置の特定などに使う。例えば、カメラによってマーカーを認識することで、自らの位置や作業対象までの距離を測定。設備装置やワーク、治具などの位置が多少ずれていても自動で補正をかけて動きを制御する。

双腕にした理由は、両腕を持つ人の作業をロボットに落とし込みやすいから。ただし、「そもそも双腕というより人型というのが、開発コンセプトだった」。同社取締役 企画担当の白間直人氏はこう語る。人型の方が、隣で一緒に働く作業者に親しみを持ってもらえるとの思いがあった。肩が下がったような構造となっているのも、優しい感じに見えることを狙ったという\*1。

\*1

NEXTAGEの下がった肩には安全上の理由もある。隣接して作業している人にとって、ロボットが左右に旋回する動作は予測しやすいが、脇を開いて二の腕を上げるような動作は予測しにくく回避しにくい。そこで、そうした動作ができない構造にしたという。旋回動作する際も、まず顔を振り向けてから胸部を旋回するようにしている。これによって隣の人がロボットの次の動きを認識しやすくしている。

技術動向  
2 重量/軽量物への対応

多くの協働ロボットの可搬質量が数kg～十数kgなのに対して、同35kgと飛び抜けて大きいのがファナックの「CR-35iA」だ(図4)。自動車メーカーや機械メーカーなどで大きなワーク、重いワークを扱う工程での利用を想定している。頑丈な安全柵を設けることなく、省スペースで重筋作業を軽減できる<sup>\*2</sup>。

そもそも協働ロボットの可搬質量が限られるのは、ワークが重い分だけ人にぶつかった際の危険性が高くなるため。モーターの出力が大きいので、ぶつかったときに生じる小さな力を検出するのも難しい。同社はこの問題を専用の力覚センサーを自社開発することで解決した。

「センサーの分解能が粗いと、(ぶつかった際に)止まるまでの時間が長くなる。重量可搬のロボットにおいて安全性を担保できる分解能を持つ力覚センサーがなかったのが、協働ロボットのために開発した」(同社取締役専務執行役員ロボット事業本部長の稲葉清典氏)。同

\*2

技術的にはまだ難しいが、ユーザーからは可搬質量がさらに大きい協働ロボットを望む声も多いという。

\*3

2015年11月の製品発表時の情報。

\*4

この他、人が居る場合にはアームの動作速度を250mm/s以下に制限する一方、安全柵内で人から隔離している場合には、1000mm/sで動かせる。



図4 ファナックの「CR-35iA」

可搬質量が35kgと他の協働ロボットに比べて飛び抜けて大きい。従来の産業用ロボットに自社開発した力覚センサーを搭載し重可搬と安全性の両立を実現した。写真は展示会でのタイヤ搬送のデモンストレーションの様子。



図5 デンソーウェーブの「COBOTTA」

可搬質量は0.5kg。工場だけでなく、研究設備などで机の上において使うことを想定している。自重も3.8kgと軽いので簡単に持ち運びできる。

社はこれまでもロボットに組み込むセンサー類を自社で開発してきており、CR-35iAの製品化でもその技術の蓄積が生きたという。

CR-35iAには、他のロボットと大きく異なる特徴がもう1つある。ほとんどの協働ロボットが新規設計であるのに対し、既存の産業用ロボットがベースになっていることだ。実績のある機能や市場で培ってきた信頼性などをつぎ込んだ協働ロボットを展開する考えである。

## 自重3.8kgのデスクトップ型

CR-35iAとは対照的に軽量部品に的を絞っているのが、デンソーウェーブ(本社愛知県・阿久比町)の協働ロボット「COBOTTA」(図5)。可搬質量0.5kg、アーム長310mmの6軸ロボットで、工場の他に医療分野の研究室や大学などの教育機関などにおいて、机の上に設置して小さいワークを扱うことを想定している。

通常は別体となっているロボットコントローラーも本体のベース部に格納。占有面積は227cm<sup>2</sup>と、同社の既存小型ロボットの14%程度に抑えている。質量も3.8kgと同15%程度で、容易に持ち運びできる<sup>\*3</sup>。

ただし、小型とはいえ、安全性には十分配慮している。指などが挟まれないよう可動部周辺の隙間や可動範囲などの設計を工夫した他、ぶつかってもケガをしないように全体に丸みを帯びた形状とした<sup>\*4</sup>。



生産現場に協働ロボットを導入するのは、多品種少量生産への対応や作業内容の変更はもちろん、将来的に活用方法が変わっても対応できる柔軟性を備えるからだ。現状では人と作業領域を分けた上で協働ロボットを利用しているケースが多いが、将来は人とロボットの作業領域が重なるような使い方が広がる。協働ロボットにはそうした将来の変化に対応する高い柔軟性・拡張性がますます求められそうだ。

例えば米Rethink Robotics社（以下、RR社）が開発・生産している「Sawyer」は、制御ソフトウェアをアップデートすることで、ロボットの機能を随時拡充している（図6）。2017年3月には、アームの先端に搭載したカメラでワークの向きを認識しピックアップする機能や、ロボットの動作に関するデータをリアルタイムで出力する機能などを追加した。日本でSawyerを販売する住友重機械工業によると、「これらは他社製品にもある機能だが、RR社は必要と考えれば後追いでどんどん機能を追加している」。

アームの抵抗を減らすことで、軽い力でもダイレクトティーチングができるようなアップデートも施している。「部品を取り換えたわけでもないのに、アームを動作させる際の抵抗が減った」（住友重機械工業）。

今後は、現在は機能していないSawyer頭部のカメラを使えるようにしたり、7軸というアームの自由度を生かした新しい制御ロジックを組み込んだりといった更新も予想される。

ドイツKUKA社は、移動の柔軟性を高めようとしている。具体的には、協働ロボットの「LBR

図6 米Rethink Robotics社の「Sawyer」

開発元の米Rethink Robotics社は、インターネット経由でSawyerのソフトウェアを随時更新している。例えば、頭部のカメラは、現在は機能していないが、今後利用できるようにするとみられる。



図7 ドイツKUKA社の「KMR iiwa」

7軸の協働ロボット「LBR iiwa」を独自開発のAGVに搭載したもの。レーザースキャナなどのセンサーを複数備えており、周囲の状況を計測しながら4つのオムニホイールを使って自由に動き回れる。



iiwa」を無人搬送車（AGV）に載せた「KUKA Mobile Robotics iiwa (KMR iiwa)」を開発、2017年中の発売を目指す（図7）\*5。このAGVは、走行用に4つのオムニホイールを備える他、レーザースキャナなどを駆使して周囲の状況を計測し、マッピングしながら自律的に走行する。いわばロボットAGVだ。

同社の狙いは、ロボットが自律的に生産現場を動き回れるようにし、指示1つで人間の同僚のように人員の足りない現場に移動できるようにすることにある。KUKAロボティクスジャパン（本社東京）代表取締役社長の星野泰宏氏によると「KMR iiwaの導入などによって、作業の3割を人が行い、残り7割を自動化する工場の建設プロジェクトが現在進行している」という。

現行のKMR iiwaよりも小型の機種を展開する計画もある。小回りが利くようにすることで、工場内におけるモビリティ性をさらに向上させる戦略だ。

\*5

ドイツで開催される世界最大級の産業技術展示会「Hannover Messe」など、国内外の展示会でデモンストレーションを既に披露している。

技術動向  
4

## 独自の安全設計

協働ロボットが人と作業領域を共有する以上、接触や衝突などのリスクは付きまとうことから、各ロボットメーカーも十分に配慮して製品開発に取り組んでいる。その中でユニークな安全設計が施された2つの協働ロボットを紹介しよう。

1つはライフロボティクス（本社東京）が開発する6軸の「CORO」だ（図8）。ロボットから肘となる部分をなくして、作業者がロボットの動きを予測しやすくした。ロボットアーム先端と支柱の間にある伸縮部が蛇腹になっており、アームを前に突き出したり、後ろに引っ込めたりできる。これで肘がなくても遠くのワークを掴み、近くにまで引き寄せられる。

「肘を持つロボットは余分な動作空間が生まれる」（同社代表取締役の尹祐根氏）。作業者はエンドエフェクターは見えても、ロボット全体の動きを視野に収めているわけでない。作業者がロボットの動きを把握しやすいように

## \*6

同社がHC-10のプロトタイプを発表したのは2015年11月。当初は樹脂製カバーを被せた無骨なロボットだったが、その後、大幅にリニューアルした。

## \*7

現在は、安全性を考慮して6軸全てで力覚センサーを冗長化しているが、接触検知だけでなく6軸全てに搭載する必要はないため、このまま製品化するかどうかは検討中。センサーの感度とコストなどによってバランスを取るといふ。

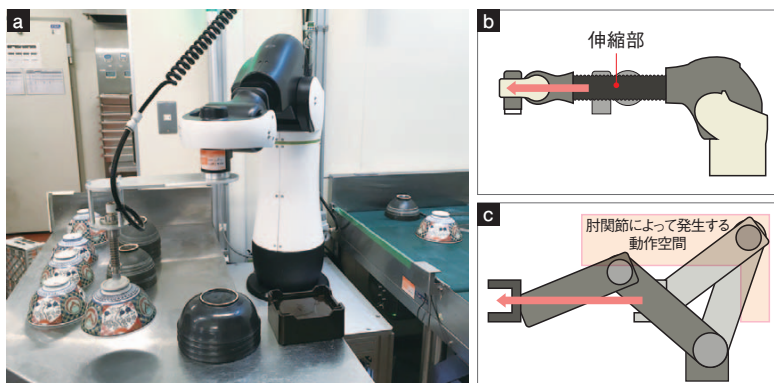


図8 ライフロボティクスの「CORO」

(a)は吉野家で食器を移動させている様子。蛇腹部分を伸縮させてワークを掴む(b)。肘があるロボットには余分な動作空間が生じる(c)。

“余分な動作を生み出す肘部分”をなくし、安全性を高めた。

大手牛丼チェーンの吉野家では、COROを試験導入し、従業員が洗浄し終わった食器を所定の場所に移すという補助作業をさせている。限られたスペース内で、従業員にロボットの肘が当たらないよう考慮されている点が評価されたようだ。

従来の産業用ロボットでの知見を生かし、新しい協働ロボットを開発しているのが安川電機だ。同社は、2017年度内に可搬質量10kgの「MOTOMAN HC-10」の製品化を計画している（図9）。HC-10は6軸の各関節に力覚センサーを2つずつ搭載した冗長構成を採る。「安全性を考慮して、こうした構成にした」（同社ロボット事業部ロボット技術部の岡久学氏）。

加えて、2015年の製品発表当時に比べるとアームを細くするとともに、関節部を挟まれにくい構造にしている\*6。さらに「内蔵するセンサーの使い方も進化させた」（同氏）。例えば、安全規格上は所定の力を受けたら動きを止めればいいが、所定の力以下でも押し込む動きを検出すればアームが逃げるようにしたり、緩やかに止まるようにしたりと、「力覚センサーを活用して安全性を高めた」（同氏）という\*7。



図9 安川電機の協働ロボット「MOTOMAN HC-10」

安全性を高めるため6軸全てに力覚センサーを2つずつ搭載している。可搬質量は10kg。

協働ロボットは、これまで産業用ロボットを利用したことがない中堅・中小企業や3品（食品、化粧品、医薬品）業界などでの活用が期待されている。その際に課題となるのが作業のティーチング。システムインテグレーターがシステム構築するとはいえ、エンドユーザーでも簡単なティーチングやちょっとした変更・修正に迫られることが多い。ほとんどの協働ロボットが、アームを直接動かして動作ポイントを指定するダイレクトティーチング機能を実装しているのもそのためだ。

加えて、操作性に工夫を凝らし、専門家でなくてもティーチングできるようにした協働ロボットを製品化している企業も多い。例えば、デンマークUniversal Robots社（以下、UR社）。同社General Managerの山根剛氏は、「誰にでも使えるロボットをコンセプトに開発している。システムインテグレーターありきではなく、エンドユーザー自らがティーチングできる」と、使いやすさに自信をみせる<sup>\*8</sup>。

専用のペンダントは視覚的に理解しやすいGUIを備えているのが特徴だ。全体の動きは画面左のツリーで把握でき、動作ポイントを編集して動きを定義する（図10）。協働ロボットのレンタル事業を展開するオリックス・レンテック事業開発本部副担当兼新規事業開発部長の戸川英明氏も「URシリーズは使いやすいと、ユーザーからの評価が高い」と認める。

## ワープロができれば教示できる

パソコン（PC）のGUI上だけでティーチング

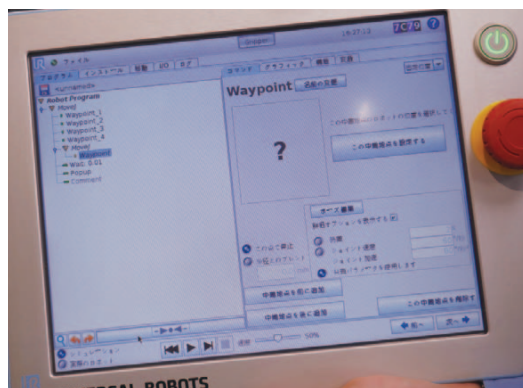
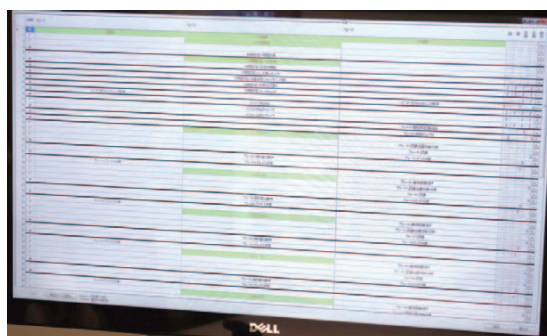


図10 URシリーズのティーチング画面

GUI上で動きを選んだり動作ポイントの座標を入力したりすれば動作を定義できる。エンドユーザーがティーチングできるようにしているという。

図11 カワダロボティクスのティーチング画面

ロボットに付帯したPC上でティーチングする。左アーム、右アーム、頭部・胴部の3領域に分けて動きの流れを記述。細かな動作ポイントはドリルダウンしたメニュー上で定義していく。



できるのがカワダロボティクス（本社東京）の「NEXTAGE」だ。同社取締役企画担当の白間直人氏は、「表計算ソフトやワープロが使えるレベルの人であれば、基本的なティーチングはできる」と語る<sup>\*9</sup>。

図11が動作を定義する基本画面。左アーム、右アーム、胴部・頭部の動きの3つに分けて記述してあり、このフローチャートを上から順に追えば動きの全体的な流れが分かる。ここから下位の階層化されたメニューで、細かな動作や座標値を指定していく。「これまで産業用ロボットを使っていない企業がターゲットなので、PCの方が使いやすいと判断した」（同氏）。

座標の指定にも特徴があるという。ロボットを中心軸を原点とした絶対座標だけでなく、マーカーや周辺機器などを原点にした相対的な座標系を複数定義できる。動作ごとに基準点を設けることで、動作の定義や修正が容易になるという。

\*8

UR社は、業界に先駆けて2009年に可搬質量5kgの協働ロボット「UR5」を発売。2012年には同10kgの「UR10」、2015年に同3kgの「UR3」を市場投入してきた。

\*9

開発当初はペンダントを用意していた。また、動作の定義にもプログラムコードを書く必要があったが、ユーザーの要望を聞きながら現在のようにPCのGUI上で定義できるようにしたという。



技術動向  
6

## 可能性を高める周辺技術

既に多種多様な製品が登場している協働ロボット(表)。その役割を支える周辺技術も進化している。その1つが力覚センサーである。多くの協働ロボットが同センサーを人との接触検知に利用している他、人の代わりに部品の組み付けなどの細かな作業をさせる際にも威力を発揮する。中でも最近注目されているのが、セイコーエプソンが開発した水晶圧電方式の力覚センサー「S250」シリーズだ(図12)。同社取締役常務執行役員ロボティクスソリューション



図12 セイコーエプソンが開発した力覚センサー「S250」

水晶圧電方式を採用している。2017年中の発売を予定している双腕ロボットに搭載するために開発した。高剛性という水晶の特性を生かし高い分解能と耐久性を実現した。自社の産業用ロボットに搭載可能。搭載するロボットによって異なるが、同センサーの大きさは直径80~88mm、高さ49~66mm。質量は480~680g。

ズ事業部長の福島米春氏は、「これまでは難しかったわずかな力の検出が可能」とその性能に自信をのぞかせる。






水晶式は従来の静電容量式デバイスやひずみゲージに比べて剛性が高いことから、数 $\mu$ mの微小なデバイスの変形を基に0.1Nという小さな力を検出できる。XYZ軸の並進・回転の6軸の検出が可能で、ノイズにも強いという。

## ぴったりした部品のはめ込みも

セイコーエプソンは、2017年度中に発売を予定し、現在開発中の双腕ロボット用として同センサーを開発した(図13)。ハンドで把持した部品と、それを組み付ける対象との接触状況を検出することで、扱い動作で挿入するような繊細な作業をさせるためだ。「市販の力覚センサーは、壊れやすかった。そこで、自社のデバイス技術、半導体技術を生かしてS250を開発した」(福島氏)。

アームの先端に取り付けたこの力覚センサーを駆使することで、同社の双腕ロボットは、

表 主な協働ロボットの仕様

企業名	川崎重工業	カワダロボティクス	デンソーウェーブ	ファナック			安川電機	
製品名	duAro	NEXTAGE	COBOTTA	CR-35iA	CR-7iA、7iA/L	CR-4iA	MOTOMAN-HC10	
外観								
タイプ	双腕スカラ	双腕	単腕		単腕		単腕	
可搬質量(kg)	4(2×2)	3(1.5×2)	0.5	35	7	4	10	
リーチ(mm)	760	653	310	1813	717, 911	550	1200	
自由度	8	15	6		6		6	
質量(kg)	200(台車含む)	130(台車含む)	3.8	990	53, 55	48	47	
備考	下部の台車内にコントローラーを内蔵	下部の台車内にコントローラーを内蔵	コントローラー一体型 *仕様は2015年の発表時のもの	—	7iA/Lは、7iAの長リーチ版	—	コントローラーはYRC1000	

隙間がほとんどない部品同士のはめ込みのような作業をこなせるようになった。これまで人の手先の感覚に頼っていたような難しい作業や、柔らかいワークのハンドリングの自動化が期待できる<sup>\*10</sup>。カメラの死角になるような箇所へのはめ込みも、力覚センサーを使って力を検出しながら行うことで、ごく簡単な治具さえあれば位置を割り出して作業できるという。

同社は今後、この力覚センサーをさらに小型化・薄型化していく考え。ロボットはもちろん、他の生産設備にも搭載しやすくするためである。同センサーを活用すれば、「ロボットや自動機において繊細な動きが可能となり、ロボットと人と設備を協調させやすくなる」(福島氏)とみている<sup>\*11</sup>。

### 磁性流体入りグリップでどんな形状も把持

センシングとともに、ロボットを導入する上で課題となるのがワークの把持。ワークが変わるたびに専用のハンドや治具を用意するのは煩雑。特に柔らかいワークは扱いが難しい。その

図13 セイコーエプソンが開発を進めている双腕ロボット  
アーム先端に力覚センサーを搭載しており、部品のはめ込みなどの繊細な作業が可能。現状では協働ロボットとして利用は想定していない。写真は2015年の「国際ロボット展」でのデモンストレーションの様子。



ため柔らかいワーク、複雑な形状のワークを持てる汎用性の高いハンドを求める声は多い。

この点で実用化が期待されているのが、前田機工(本社山口県下関市)が九州工業大学の西田健研究室と共同開発を進めている磁性流体を使ったロボットハンドだ。並行チャック型のハンドの内側に、独自開発した磁性流体「MR $\alpha$ 」を封入した半球状の水素化ニトリルゴムのグリップ部を備えている。





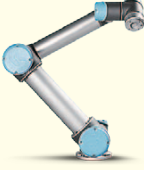
このハンドを使ってワークを挟むと、その形状に合わせて包み込むようにグリップ部が変形。その状態でMR $\alpha$ に磁力を印加すると、MR $\alpha$ が固まってワークを把持できるという仕組みだ(図14)。磁力を除去すれば、元の柔ら

<sup>\*10</sup>

双腕ロボットは、2013年に発表した。同年および2015年の「国際ロボット展」でデモンストレーションを披露したが、当時は動作が非常に遅く実用的ではなかった。しかし、力覚センサーやビジョンセンサーの進化、動作アルゴリズムの改善によって動作速度を大幅に向上。人の平均的な作業スピードの8割程度の速度で作業できるようになっているという。

<sup>\*11</sup>

発売当初は、人とぶつかったら止まるといった機能は双腕ロボットには搭載しない。ただし、将来は実装する予定という。

	ライフロボティクス	スイスABB社	ドイツKUKA社		米Rethink Robotics社	デンマークUniversal Robots社		
	CORO	YuMi	LBR iiwa 7 R800	LBR iiwa 14 R820	Sawyer	UR3	UR5	UR10
								
	単腕	双腕	単腕		単腕	単腕		
	2	1(0.5×2)	7	14	4	3	5	10
	860	500	800	820	1260	500	850	1300
	6	15	7		7	6		
	26	38	22.3	29.5	19	11	18.4	28.9
	—	コントローラー一体型	自走台車に搭載したKMR iiwaを開発中		—	—	—	—



かなグリップ部に戻る。「異形状のさまざまなワークを把持できる」(同社代表取締役社長の國本研一氏)という。

### 非磁性体を混ぜて課題を解決

実は開発当初は、一般的な磁性流体を用いていた。磁力を印加すると磁性流体中の強磁性微粒子が磁力線に沿って並び形状を保持する。しかし、圧縮せん断に対する強度が不足し多様なワークを把持できるまでには至らなかった。そこで前田機工と九州工業大は、磁性流体に非磁性体の粒子を混ぜることでこれを解決した。出来上がったのがMR $\alpha$ だ。

MR $\alpha$ の場合、磁力線に沿って形成される強磁性微粒子の柱(カラム)の間に大きな非磁性体粒子が入り込むことで、形状が崩れにくくなる(図15)。加えて、非磁性体の分だけ強磁性微粒子を減らせたので、質量とコストを軽減できるという利点もあった。

試作したハンドは、グリップ部の背面にネオ

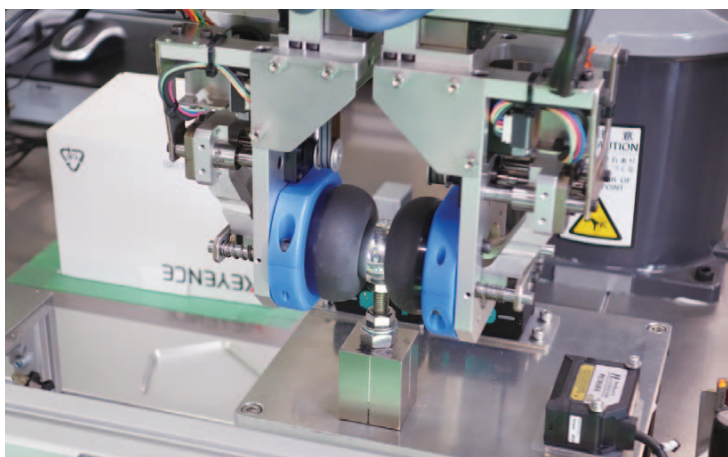


図14 前田機工が開発中のロボットハンド

九州工業大学と共同開発している。グリップ部はゴムでできた半球状の外皮の中に特殊な磁性流体を封入してある。グリップ部に背面からネオジム磁石を近づけると、挟んだワークの形状を保持したまま硬くなって把持できる。

ジム磁石を設置。把持する際は同磁石をグリップ部に近づけ、開放する際は磁石が待避する構造となっている。

ワークに合わせてグリップ部が変形するため、複雑形状のものほど高い保持力が得られる。包み込んで固めるので、ワークが外れにくいのだ。國本氏は、「将来は農産物などの1次産業にも適用できるのではないかと」期待をにじませる。農産物は、同じ品種なら似たような形をしているが、個体ごとに大きさや形状が少しずつ異なるからだ。今後はMR $\alpha$ 自体の性能向上や軽量化、コストダウンを図り、2017年中には製品化したいとしている。

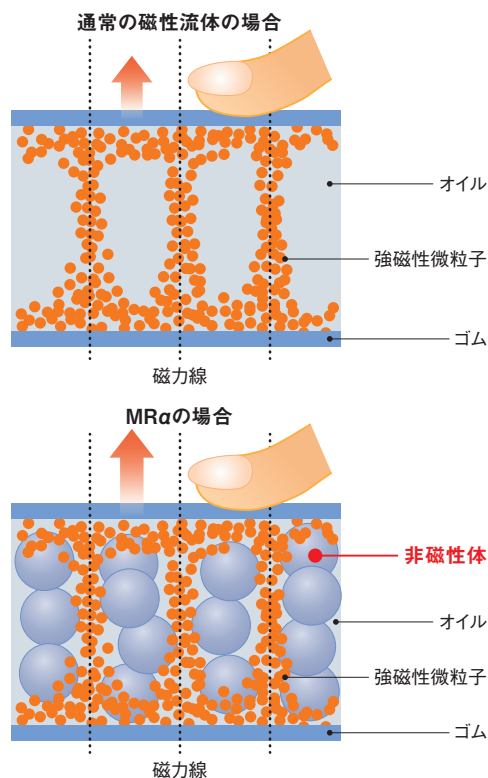


図15 形状保持の原理

磁力を印加すると、磁性流体中の強磁性微粒子が磁力線に沿って並び、カラム構造を形成して形状を保持する。ただし、通常の磁性流体だと形状が崩れやすい。MR $\alpha$ は磁力で整列した強磁性微粒子の間に非磁性体が入り込み、強固に形状を保持できる。