

やわらかなロボットが示す 有機材料の新たな可能性

従来のロボットの概念を覆すやわらかいロボットの開発に挑むのは、山形大学学術研究院の大場好弘特任教授、古川英光教授だ。有機材料の機能を最大限に高め実用化につなげる取り組みと並行して、個々の成果を結集して新たな基幹産業となり得る「ソフトマターロボティクス」の概念を確立し、地域も巻き込んだ一大研究拠点の形成を目指す。



ふるかわ ひてみつ
古川 英光

山形大学 学術研究院
教授
2016年よりOPERA
「ソフトメカニクス」課題代表者

おおば よしひろ
大場 好弘

山形大学 学術研究院
特任教授
2016年よりOPERA領域統括

人工絹糸発祥の地、米沢 最先端の研究開発拠点へ

山形大学工学部がある米沢市は、1915年に秦逸三はたいつぞうが日本で初めてレーヨン（人工絹糸）を開発した地として知られる。2016年、秦逸三の起業家精神を受け継ぐ山形大学に世界屈指の有機材料システムの教育研究拠点を発足させたのは、OPERA「有機材料極限機能創出・社会システム化共創（SOFUMO）コンソーシアム」で領域統括を務める山形大学学術研究院の大場好弘特任教授だ。「私たちが掲げる有機材料システムとは、基礎研究から社会実装までの全工程を包含した概念です。有機材料のあらゆる工程で技術革新を起こし、全ての人々が全ての人を幸せにする社会の実現を目指しています」。

山形大学は2011年に有機エレクトロニクス研究の基礎と応用研究の拠

点、13年には事業化を見据えた実証実験拠点、さらに15年には異分野融合や学際的研究拠点を次々と立ち上げた。「16年には大学院に有機材料システム研究科を新設し、大学教員、学生、企業の技術者などを含め総勢約500人が有機材料システムに携わる一大拠点になりました」と大場さんはこれまでの変遷を語る。

最終目標から逆算で課題を設定 基盤技術を統合し産業応用へ

設備が整った16年、産学連携による新たな基幹産業の育成を目指すOPERAがスタートした。山形大学の下に22社（21年1月時点では26社）もの企業が参画し、「ソフト機能材料・デバイス」「ソフトセンシング」「ソフトメカニクス」「ソフト蓄電デバイス」のそれぞれで基盤技術を磨く。さらに産業的

革新を目指して、4つのテーマから生まれた成果を統合する「ソフトマターロボティクス」を5つ目のテーマに設定した（図1）。

従来のロボットは硬く無機質な印象を与えるものが主流だったが、人とロボットが当たり前共存する未来に向けて、近年では安全で触り心地の良いロボットの開発が求められている。「これを実現できるのがまさに有機材料だと考えました。そこで、従来のロボット分野とは一線を画すソフトマターロボティクスという概念を作り、OPERAではロボットを有機材料のみで作ることを目指したのです」と大場さんは語る。ロボット工学は総合工学といわれるように、求められる技術は多岐にわたる。わかりやすい目標を置くことで、独立した4つの基盤研究が見事に一本化し、成果の実用化まで見通せるようになった。



図1 有機材料極限機能創出・社会システム化共創コンソーシアムの体制

OPERAでは例えば、これまでに低コストでやわらかく耐久性のある薄膜デバイスの量産技術に取り組んできた。大面積のプラスチックに3D印刷技術で回路を印刷し、続けて水分や酸素から有機半導体を守る封止膜などを張って仕上げることで、低コストでやわらかく耐久性のある薄膜デバイスが量産できるという。「印刷技術の向上だけでなく、最適な回路設計から製品評価まで一貫して行える体制が強みです」と大場さんは説明する。

他にも電解液を半固体にして安全性を高めた薄く軽量なリチウムイオン電池を開発した。寿司を握る、豆腐を持ち上げるといった絶妙な力加減を実現する小型で低消費電力の接触センサーや温度センサーの開発にも成功

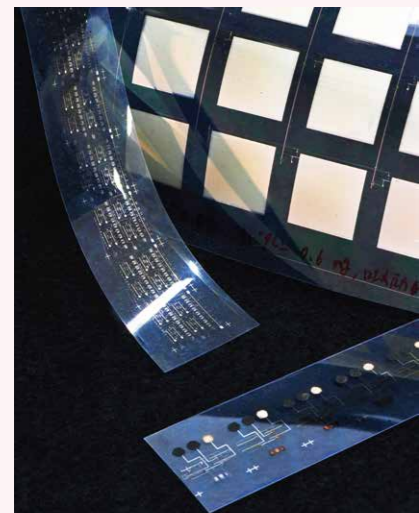


図2 薄くて軽い、折り曲げられ耐久性もある有機薄膜センサー。印刷技術を使い、低コストで大量生産できる。

した(図2)。さらに、狭い水道管やガス管内を自在に動き、故障箇所を検知する「配管探査ロボット」と、次々に成果を上げている(図3)。配管探査ロボットは配管内部の地図を自動で作りながら進み、自力で入り口まで帰ってくる。電機部品を内部に密閉してあるので水にぬれても故障しない上、小さなユニットがつながった蛇のような形は、それぞれのユニットが自由に向きや回転を変えられるようになっており、配管内部の汚れや浮遊物に絡まるのを防ぐという。いずれの技術もロボットに搭載することを目標に開発してきたが、単独でも実用化を見据えた研究に発展している。

「このプロジェクトではやわらかなロボットを作るという応用先をあらかじめ

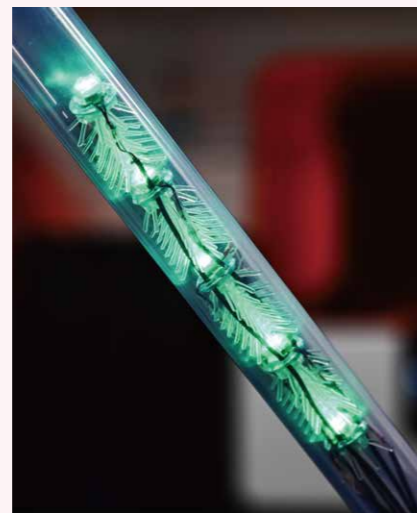


図3 狭い配管を検査しながら自在に動き回る配管探査ロボット。毛を振動させて進み、汚水の中でも確実に動作できる。

め掲げたことで、研究者自身がこれまでよりも一段高いレベルで目標を設定しました。だからこそ、成果の質は必然的に高くなりました」と大場さんは胸を張る。

研究現場と社会の乖離を克服 商品開発を通じ新たな課題も

ソフトメカニクスでは、3Dプリンターを使ってソフトアクチュエーターの技術開発に取り組む。その中心を担う山形大学学術研究院の古川英光教授は「機械と違って生き物は、発熱することも大きな音を立てることもなく、ほんの少しのエネルギーで柔軟に効率良く身体を動かします。それをゲルと呼ばれるやわらかい有機材料を使って実現するのが究極の夢です」と語る。ゲルと3Dプリンターを使い、人工筋肉を作ろうとしている。

OPERAでは、3Dプリンターを使って2種類のゲルを貼り合わせ、内側と外側の熱膨張率の違いを利用して電気を使わずにロボットが物をつかむことに成功した。「異なる素材を自由に貼り合わせる技術が発展し性能が向上すれば、低消費電力で駆動するソフトアクチュエーターの開発につながります」と古川さん。

ゲルと3Dプリンターを使って作製したロボット「ゲルクラゲ」の開発秘話を、続けて古川さんが語った(図4)。「開発したセンサーや発光デバイスを含め込んだ高性能な光るゲルクラゲを作っていました。完成後は、海洋研究開発機構の海洋調査に同行して海水温や海水中の汚染物質を検知する計画でした」と当初の研究計画を説明する。研究が順調に進んでいたことで実際にクラゲの専門家にも見てもらおうと、クラゲ展示で有名な加茂水族館(山形県鶴岡市)に試作品を持って行った。本物のクラゲにそっくりだと館長から評価を得た一方で、光ったり測定したりする付加価値より、もっと本物のクラゲに近いものを作ってほしいとリクエストされた。それならばと、ミズクラゲをモデルに浮遊感のある動きを再



図4 ゲルクラゲ。ライトアップされた水槽の中を漂う様子は、まるで本物のクラゲのようだ。

現したり触手を付けたりと工夫を重ねていったという。

クラゲの視覚的な癒やし効果を見込んだ企業の後押しもあり商品化の話は進んだが、企業の担当者に試作品を見せたところ不気味だという理由で触手は却下され、結局クラゲの傘の部分だけが商品化された。「人間とそっくりに作られたアンドロイドを見ると人間は味が悪いと感じてしまう『不気味の谷』現象が知られていますが、生き物に対しても不気味の谷が起こるのかと驚きました」と古川さんは苦笑する。

発売されたゲルクラゲには予想以上の問い合わせがあり、病院や介護施設、銀行の待合室を中心にこれまで25台売れ、いずれも好評だという。大場さんと古川さんはこの例から「研究者や技術者は、高性能で本物そっくりにすることをやみくもに追求しがちです。研究はそれで問題ありません。しかし、実用化を考えた時に社会は必ずしも研究者が目指す性能や理想を求めているとは限らないことを知るので。今回の製品開発でいろいろなかから意見をもらい、改良できたのは良い経験でした」と口をそろえる。

やわらかさが価値を生み出す 展示会で新たなニーズ開拓

大場さんらは産学官一体となり、ソフトマターロボティクスの実現に向けて4つの基盤技術に取り組んできた。

その集大成として開発したのが、「ゲルハチ公」だ(表紙)。渋谷ハチ公像の試作品として石こうで作られ保管されていた「鶴岡ハチ公像」を原型とした。

頭部や前足部は3Dプリンターによってやわらかなゲル素材で作られており、思わず触りたくなるように設計した。内部には触覚センサーが埋め込まれ、人が触ったりなでたりしたことを検知する。また、話し掛けてくる人の声色から人工知能を使って感情を分析するシステムを搭載した。寂しげな声だと青色、楽しげだと赤色にゲルハチ公の首輪が光ったり、鳴き方が変わったりする。19年に渋谷ヒカリエで開催された「超福祉展」に出展した時のことを古川さんはこう振り返る。「来場者は、ゲルハチ公とコミュニケーションがとれると知って驚くと同時に、さらに交流を深めようとし始めました。感情分析システムがあることで、ゲルハチ公があたかも自分に寄り添ってくれているかのように感じてもらったのでしょう」。

20年にはゲルハチ公の改良版を再び超福祉展に出展した。新型コロナウイルスの感染防止対策が強化される中での開催だったため、触り心地以外の強みを探ったという。「首輪に赤外線センサーを付け、さりげなく来場者の体温を測る機能を追加しました。ゲルハチ公には、自然に人が集まり交流が生まれるという効果があることが前回の出展でわかっていましたから、それを利用しました」と古川さんは狙

いを明かす。小学校や施設の入り口に設置しておけば、不快感なく検温に協力してもらえるだろうと、展示会での手応えを語る。「触り心地が良いため、多くの来場者がゲルハチ公に触れたがりました。物はやわらかくするだけで非常に大きな価値を生み出すのです」と大場さん。展示会でユーザーから評価を聞いて、やわらかい材料が持つ力や有機材料の可能性を強く実感したという。

20年11月には癒やし効果をさらに高めたゲルハチ公の改良版「ゲルハチロイド」も発表した(P3写真)。体を触るとやわらかさと温かさが感じられ、新たに開発したゲル素材の目からは涙を流す。より生き物らしさや愛着が感じられる設計で、介護施設や家庭での活用に一歩近づいた形だ。今後もユーザーの声を基に、一緒に暮らしたくなるロボットを目指して研究を続ける。

地域一帯で人材育成 世界の研究拠点に

成果の事業化を加速させる計画も進行中だ。20年度でOPERAは大詰めを迎えているが、山形大学では学生、企業の若手研究者や技術者も含め、幅広い人材が一体となって研究プロジェクトに柔軟に参画できる体制を維持するという。「世界をリードする研究と研究人材育成に向けて、さらに体制を充実させていきます。これまでの商品開発を通じて、大学の周りにはさまざまな技術を持った人たちが多くいることもわかりました」と大場さんも古川さんも口をそろえる。

これまでに大学と接点が無かった人たちも巻き込むことができれば、事業化に向けてより視野の広い研究開発ができる。仕組み作りの途中だが、産学官民が多層的に連携して課題を解決するオープンイノベーション2.0を志向した市民参加型のプロジェクトを進めていく。山形大学を中心とした地域全体を有機材料システムの世界的なプラットフォームにするために、大場さんと古川さんは歩み続ける。