

# 自律型移動ロボットの行動獲得 （知的センサシステムの開発）

情報工学研究院知能情報工学研究系 教授 榎田 修一



## 自律型移動ロボットとは？

自律型移動ロボットとは、「認知」「判断」「制御」を繰り返し、仕事を遂行する機能を備えているロボットである（図1）。具体的には、自らが備えたセンサによって環境を知覚し、抽象化した状態に当てはめ、自らの知識に基づき適切な行動へと変換して、自らのアクチュエータによって動作するロボットである。

著者の研究の初めの段階では、「判断」する知識を適切に自律獲得する機械学習手法に興味があった。具体的には、強化学習の一般化、特に、Q学習と呼ばれる手法の状態表現に

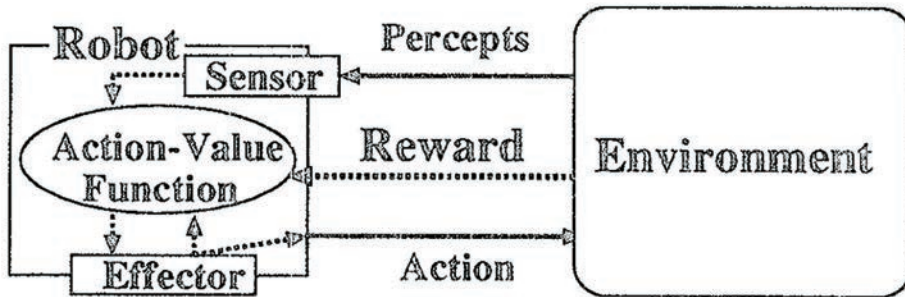


図1：自律型移動ロボットの模式図  
ロボットは、「認知」「判断」「制御」の機能を備える。  
（図は著者の博士論文より）

関する拡張に取り組んだ。従来は、テーブル引きで表現されていた知識を基底関数の重み付き線形和で表現することを提案し、基底関数の数や関数が持つパラメータを機械学習で同時に獲得可能とした。それらの技術の研究については、2002年の博士論文「自律型移動ロボットにおける行動獲得のための学習モデルに関する研究」にまとめたが、提案した学習モデルを備えたロボットを世界中で動作させるためには、「判断」の前段に適切な「認知」を備える必要があることを痛切に感じた。この研究の流れは、Daan Wierstraらによって2013年に提案されたDeep Reinforcement Learningとして世に出て、今、まさに注目されているが、当時の著者は、一旦「判断」から離れて、賢い「認知」機能を提供し、知的センサシステムの開発に興味を移し、研究を開始した。その際、広範囲の情報を獲得可能であり、かつ安価なセンサであるカメラに注目して研究を進めている。

一般的に「認知」部は、入力される高次のパターン（センサをカメラとした場合は、画像や映像情報）を

特徴量と呼ばれる数値ベクトルへ変換する特徴記述子と、数値ベクトルからカテゴリ（歩行者とそれ以外等）へと対応付ける変換関数からなる。後段の変換関数は、機械学習に基づき得られることが一般的であり、前段の特徴記述子は、機械学習が進みやすいように設計者が考慮し、構築することが必要となる。ここで、機械学習が進みやすいとは、異なるカテゴリの分離が容易、つまり「認知」性能の向上に寄与する面、高次のパターンからの変換が高速、かつ省メモリで実行可能となる実時間処理へ寄与する面があり、問題や最終的なシステムの要求に合わせて検討する必要があるので、特徴記述子の研究開発をいくつか行ってきたので、成果を交えて簡単に説明する。

**特徴記述とは？**  
**【輝度勾配方向分布特徴量】**

まずは、画像の特徴記述として広く世界で利用されている輝度勾配方向の頻度分布、HOG (Histogram of Oriented Gradients) 特徴量を拡張した。輝度勾配とは、画像中の注目画素と、その周辺画素の輝度との

関係から得られる輝度に変化する方向であり、微分フィルタを用いる等して算出される。そして、局所領域内で輝度勾配の方向に関する頻度を算出したものがHOG特徴量となる。

車載カメラからの歩行者のみを検出対象とする場合は、勾配方向の共起を特徴とすることでさらなる検出精度の向上が可能となることを利用し、著者は従来の共起特徴記述子を一般化する手法を提案した。共起特徴の算出に関する具体的な方法は、注目画素と、その画素にオフセット（例えば、右に10画素、下に3画素ずらす等）した第2の注目画素との両方で勾配方向を算出し、そのペアを用いるものである。従来手法では、共起を算出する際に単一の解像度の画像に対してのみであったところ、著者らは、高解像な画像に加え、低解像度化した画像情報も活用し、異なる解像度の画像間でも勾配共起を算出することを提案し、精度の向上を確認した。また、特徴記述については計算の高速化、計算回数削減等を合わせて検討することで、実時間での動作を実現している。これらの成果は、共同研究の成果として知

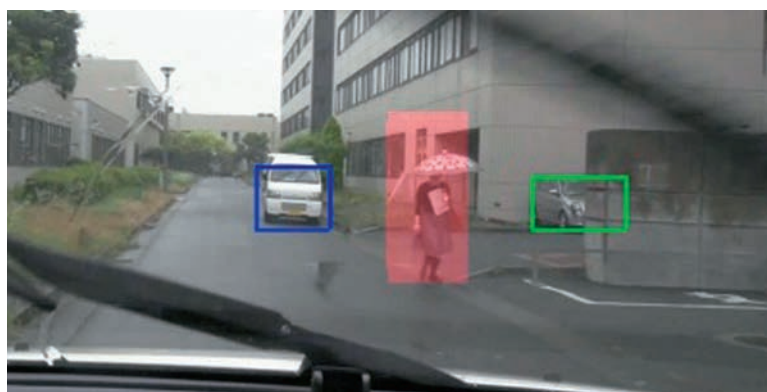


図2：車載カメラ映像からの物体検出の様子  
(降雨時であっても、「傘を持つ歩行者」「隠れがある車両」を検出)

財を獲得し、現在も、さらなる高精度化、高速化、そして専用ハードウェアを進めている(図2)。

**【回転不変特徴量】**

回転不変特徴量は、入力された画像が回転しても、それらの画像から算出される特徴量(数値ベクトル)が変わらない。簡単な例としては、画像中に含まれる色の割合がある。回転不変な特徴量を用いた「認知」

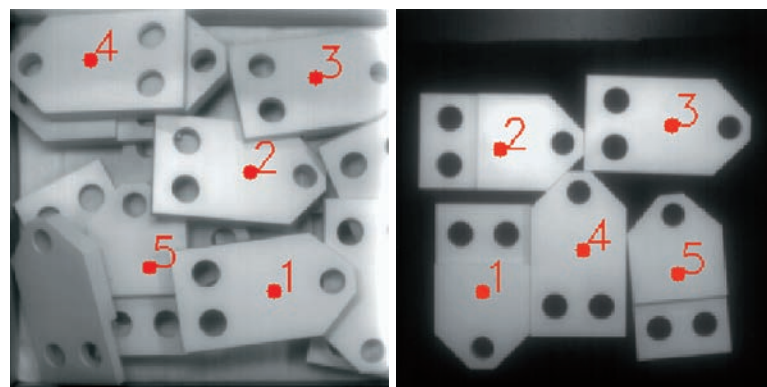


図3：バラ積み工業部品の位置推定  
(学習した画像は任意の姿勢一つのみ)

の利点は、変換関数を学習する際、任意の姿勢1枚の画像についてののみ学習すれば良いため、学習回数や必要メモリが削減されることが挙げられる。また、入力画像中に様々な角度で回転した物体が存在する場合も、一度に認知可能となる。

著者の提案する回転不変特徴量は、半径が異なる複数の同心円内の輝度分布の共起を用いる特徴である。高次元共起を用いることで、回転不

変の利点を備えつつ、「認知」すべき対象とそれ以外の物体を見分ける能力も向上させている。具体的な応用例は、航空写真からの車両の検出や、バラ積み工業部品の位置の認知(図3)があり、企業との共同研究を通して国内外の知財の取得や、実世界での応用にたえるための精度の向上を行った。

**最後に**

自律型移動ロボットの開発を通じ、知的センサシステムの開発に取り組んできた。現在は、LIDAR(Light Detection and Ranging)センサも研究対象にし、幅を広げている。また、現在、画像特徴記述は深層学習により自動獲得可能とも言われているが、さらなる精度向上に向け、既存の特徴記述構築技術と深層学習との融合にも取り組んでいる。

# 生産技術の高度化を目指して

情報工学研究院機械情報工学研究系 准教授 是澤 宏之



平成29年1月に大学院情報工学研究院機械情報工学研究系の准教授に就任した是澤宏之と申します。この度は、このような機会をいただきまして、誠にありがとうございます。本紙面をお借りして自己紹介、研究内容の紹介および今後の抱負を述べたいと思います。

## 自己紹介

私は、平成4年に工学研究科設計生産工学専攻博士前期課程を修了しました。平成5年に大学院情報工学研究科情報システム専攻博士後期課程に入学し、鈴木裕先生（現・九州工業大学名誉教授）のご指導の下、平成9年3月に博士（情報工学）の

学位を授与されました。同年4月より情報工学部教務職員として教育研究活動を開始し、平成12年4月より助手、平成19年4月より助教の職を経て、現在に至っております。学部生・博士前期課程の大学院生時代は戸畑キャンパスで、博士後期課程の大学院生時代以降は飯塚キャンパスで過ごし、2つのキャンパスで過ごした経験を持ちます。また戸畑キャンパス時代は、坂本正史先生（現・九州工業大学名誉教授）・水垣善夫先生、飯塚キャンパス時代は、鈴木裕先生・植原弘之先生の研究室に所属し、機械工学・生産技術分野で活動してまいりました。

## 研究紹介

私たちの生活を豊かにする身の回りの多くの工業製品について、普段から目に行っているにもかかわらず、その設計・製造を意識することは少ないかもしれません。大規模な工業製品のひとつである自動車では、こ

れを構成するパーツ点数は1万個以上、多いものでは3万個が使用されているといわれます。その使用パーツが大量生産を前提とする場合、これを安価かつ短時間に製作・供給する必要があり、これを実現するためにパーツ毎に金型と呼ばれる加工工具の利用が不可欠となります。金型には多くの種類がありますが、その中で射出成形金型とその成形を中心とした研究活動をしております。射出成形金型は、固定型と可動型で構成されており、その成形工程は、射出成形機でペレット状の固体樹脂を可塑化・溶融させ、固定型と可動型を勘合させた際に形成されるキャビティ空間にこれを高速・短時間に射出（注入）し、保圧・冷却の後、金型から固化した樹脂（成形品）を取り出すことで完結します。

工業製品は日々高機能化・高付加価値化していることから、これを支える金型技術と成形技術の高度化は必須といえます。その研究の一例として、付加製造(AM: Additive Manufacturing)技術による金型づくりについて述べたいと思います。AM技術とは、3次元形状を多数の積層面にスライスし、これを積み上げ（接

合し）ながら造形していく技術です。積層面は、CADデータを計算機で処理することで得られます。設備名称として3Dプリンタあるいは樹脂系の材料を材料押し出し方式によって造形された造形物を見た方もいると思います。金型の様な産業用の造形物を製造する場合、粉末床溶融結合による造形方式を用いた高い造形精度を有する産業用金属3Dプリンタを利用します。具体的には、金属粉末を敷き詰めた表面にレーザ光を選択的に照射することで金属粉末を焼結させ、これを積層して立体形状を得ます。図1はその製作手順の一例です。AM技術を利用することで、

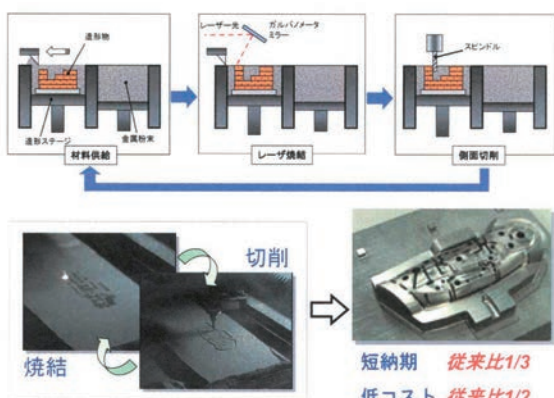


図1 産業用金属3Dプリンタによる金型の製作手順

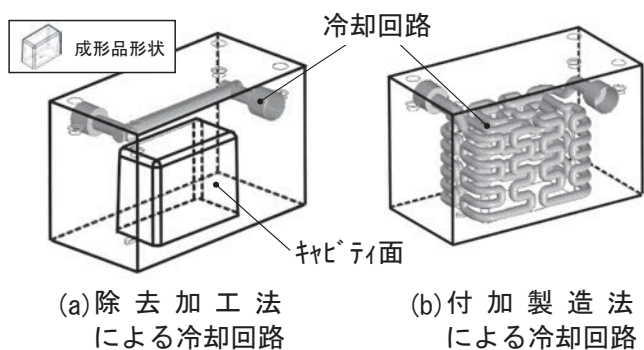


図2 各製造方法での冷却回路の例（固定型）

従来技術である除去加工法と比較して、非常に複雑な形状の実現のみならず新たな機能も付与可能となります。射出成形金型においては、従来技術としてガンドリルなどを用いた直線状の冷却管を組み合わせた冷却回路ではなく、金型内部に自由かつ曲線状の冷却回路を配置できます。これにより高い冷却性能を実現し、成形工程の時間短縮やソリ低減等を実現します。冷却管の配管例（固定型側）を図2に示します。AM技術により、キャビティ表面を覆う極めて複雑な冷却回路の形成が可能と

なっています。産業用金属3Dプリンタでは、表に示す様に、レーザ光の照射エネルギーを変化させることで、造形物に通気特性の様な新たな機能の付与を可能とします。これは、内部の空洞同士の連結による通気構造によって実現されます。他方、射出成形金型においては、溶融樹脂を射出する前の金型のキャビティ空間には、大気を主成分とするガスが充填されています。溶融樹脂の充填とは、短時間このガスを金型内部から外部に排出し、キャビティ空間を溶融樹脂で置換することでもあります。ガス排出が不十分な場合は、ヤケやシヨートシヨットと呼ばれる成形不良が発生します。この発生は生産性低下の一因でもあり、本成形法の利点を著しく損なうことから、これを回避しなければなりません。そこで、金型表面に通気特性を付与して、速やかなガスの排気を実現します。同

表 照射エネルギーによる造形物の特性の変化

	照射エネルギー	造形密度	機械強度	通気特性	造形時間
外層	高	高	高	無	長
中層	↓	↓	↓	無	↓
コア層	低	低	低	有	短

### 今後の抱負

生産技術の領域は、我が国の工業

時に、難成形である薄い厚さの成形品の成形性を向上することも可能とします。図3は、表面の通気特性により成形性（充填性）を向上させた例です。その他、成形時の成形機の消費エネルギーの低減など、多くの付加価値が実現可能となります。

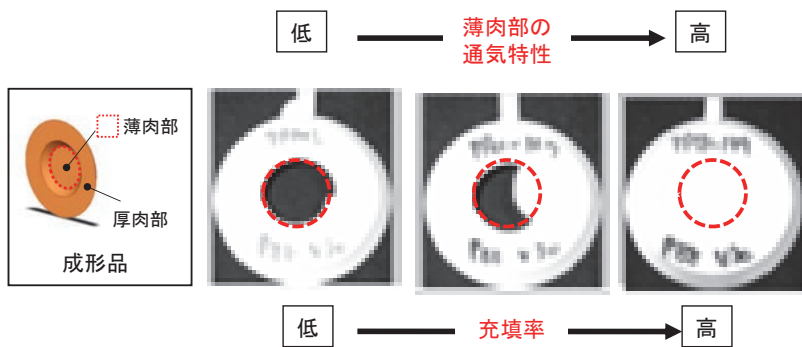


図3 薄肉部の充填性の改善例

製品おけるメイドインジャパンのブランド価値を維持しつづけるための重要技術の一領域であると考えています。高度な生産技術とは、高度な製品を実現するための前提であり、この一つが金型技術・成形技術です。製品に使用される素材も炭素繊維強化樹脂の様に、高機能かつ魅力的な複合材料が登場し、この様な材料の機能を最大限に活かすことを可能とする新たな生産技術の開発が求められています。そのため、研究活動では産学連携で研究開発活動が重要であると考えております。

生産技術分野はどちらかというと製品を生産するための縁の下の方の力持ち的な技術分野という印象があることから、教育活動では学生に対して、講義・演習等を通じ、関心およびものづくりの楽しさを知ってもらうよう努める所存です。生産技術は一見すると地味に見えるかもしれませんが、高機能な製品を実現するために、新たな生産方法を常に模索するダイナミックかつ総合的技術分野であると思っています。豊かな発想で問題を解決できる未来の生産技術分野を担う高度技術者・研究者の育成に尽力していきたいと考えております。