

## 論文の内容の要旨

論文題目 知識結合を軸としたロボット分野のイノベーション進展に関する研究

氏 名 古瀬 利博

ロボットは、少子高齢化に伴う深刻な人手不足といった社会的ニーズの高まり、生活の質（QOL）を高めるための家庭・生活面への普及、第4次産業革命の担い手として、IoT、AI との融合による更なる進展などが見込まれることから、わが国のみならず、主要国において、ロボット戦略を策定し振興を図るなど、国際競争力の維持・発展のための重要なハイテク産業と位置付けられている。しかしながら、期待ほどサービス分野へのロボットの導入は進んでおらず、ロボットへの期待と現実との間に乖離が生じている。

本研究は、ロボットが、ロボットとしての機能を発揮させる技術開発とともに、ロボットを導入する分野へ応用・適用するための応用技術開発、用途開発を伴うことを特徴とすること、すなわち、応用分野の適用技術を含む多様なロボット技術と応用分野の技術との結合・融合で成り立っていることに着目し、ロボットを用いたサービスを適用しようとする分野において、ロボットの導入、社会実装を妨げているのは、アプリケーションの実現に必要な多様な技術の結合・融合の遅れが大きな要因ではないかとの問題意識から出発する。

最近の学術研究（Science）と技術開発（Technology）の進展のスピードはますます早くなりかつ細分化され、異なる分野間の融合や新たな分野の出現でイノベーションが進展しており、また、応用分野が広範囲に渡るために結合・融合の対象となる技術の幅広さと比較して事業領域が狭いロボット産業においては、必要な研究開発をすべて単独で行うこと

は難しく、いわゆるオープンイノベーションが不可欠になっている。したがって、異なる学術研究分野間、技術開発分野（特許）間の結合・融合（「知識結合」と呼ぶ。）の現状や潜在力を把握することが、研究開発面、ビジネス面、さらには国や地方自治体のイノベーション政策の企画立案面において、極めて重要になっている。

その観点から、知識結合を伴うイノベーションの企画立案に役立つ一連の手法の開発と検証を行うとともに、当該手法を、ロボットに関する学術研究論文および特許に適用して、ロボット分野におけるイノベーションの重要な特徴を明らかにすることを本研究は目指している。

第1章では、問題意識・背景、研究の目的と学術研究（Science）と技術開発（Technology）からみたロボットをめぐる最近の状況をまとめている。

本研究の目的を、入手できる学術研究論文および特許のデータに基づき、知識結合を軸として、ロボット分野におけるイノベーションの進展の重要な特徴を明らかにすることとし、具体的には、マクロ、メソ、ミクروسケール、すなわち、主要なアプリケーションおよび機関の単位で、知識結合を定量的に把握し特徴量を抽出する手法を開発するとともに、開発した手法を、ロボットに関する学術研究論文および特許データに適用して、ロボット分野における知識結合の状況に関する知見を抽出し、専門家の評価も得て、ロボット分野におけるイノベーションの重要な特徴を明らかにし、知識結合の観点からの政策立案、研究企画、技術経営に資する知見とする。

第2章では、本研究に関連するクラスタ・ネットワーク分析、技術結合・融合（Technology convergence）、ロボット分野のイノベーション計測に関する先行研究の検討を通じて、俯瞰的あるいは概括的に学術研究や技術の結合・融合を抽出・把握するに留まっている先行研究に対し、本研究で開発し提案した手法（「MM 手法（Module-based Mining Method）」と呼ぶ。）は、細かい粒度で知識結合ネットワークの構造やイノベーションの進展状況を定量的に把握する手法として優位であることをまとめている。

第3章では、本研究の分析の基礎となる MM 手法とそれを構成する個々の分析手法の開発と実験を通じた評価をまとめている。具体的には、クラスタ・ネットワーク分析による引用ネットワークの形成と学術研究分野と技術開発分野（特許）のカテゴリ化、ノードに複数の分野が割り付けられている場合に、共引用（co-citation）を利用して単一分野間ネットワークに分解（Factorizing）する手法、知識結合ネットワークの構築と平均クラスターリング係数、次数中心性などのネットワーク指標による特徴量の抽出と社会ネットワーク分析を中心に研究されているコア/周辺構造の考え方に基づくハブ、コア、周辺、関連の各分野を抽出する方法、特許ポートフォリオに加え、新たに「知識結合ポートフォリオ」と「クラスタポートフォリオ」を導入し、複数の技術から形成され、その技術の構成が似通っているロボットの場合であっても、技術ポートフォリオに、機関間の相違がより粒度細かく計測できる手法からなる。

第4章では、第3章で開発した MM 手法を、学術研究論文と特許の両方に適用し、クラ

スタ・ネットワーク分析によりカテゴリ分けしたクラスタごとに知識結合ネットワークを構築し、平均クラスタリング係数、次数中心性などの知識結合ネットワークの特徴量を計測している。その特徴量に基づき、ハブ分野、コア分野、周辺分野、関連分野となる学術研究分野と技術開発分野（特許）を抽出し、その抽出結果とロボットに関する文献と専門家による知見と評価に基づき、MM 手法を用いた知識結合を軸とした分析が、研究開発の進捗や社会実装の度合いを把握できることを明らかにしている。

具体的な例を挙げると、学術研究分野では、産業用ロボットからサービスロボット、医療・ヘルスケア分野向けロボットへ学術研究のウエイトが移っていること、手術用ロボットは1つの主要な学術研究分野を形成し、咽頭がん、子宮がん、心臓手術などに手術用ロボットが適用されていったことが、外科学（Surgery）と医療・ヘルスケア分野との間の知識結合の形成から把握できる一方、医療・ヘルスケア分野と工学分野との間の知識結合はロボティクスなどの一部に限られていること、技術開発分野（特許）では、90年代の産業用ロボットの成長期には、産業用アプリケーションとして、マニピュレータなどのロボットの基盤技術と溶接、塗装、半導体デバイスなどの技術との知識結合が形成され、2000年代以降には、ゲーム/アミューズメント、家電、医療・ヘルスケア分野の技術との知識結合が形成されているなど、ロボットの基盤技術とロボットが応用される分野の技術との組み合わせで、知識結合が形成されていることが抽出された。

第5章では、特許の技術分類をもとに計測する特許ポートフォリオに加え、第3章で新たに定義した「知識結合ポートフォリオ」と「クラスタポートフォリオ」を特許保有上位50機関に適用し、各機関の特許ポートフォリオ、知識結合ポートフォリオおよびクラスタポートフォリオを計測して、各機関の保有する特許の特徴を把握するとともに、機関間の各技術ポートフォリオの相違を比較することにより、その競合状況、補完状況を定量的に把握できることを示している。ロボットのように応用分野への適用技術を含む複数の技術から形成され、その技術の構成が似通っている場合には、特許ポートフォリオから機関間の相違を検出することは難しかったが、知識結合ポートフォリオとクラスタポートフォリオを用いることで、機関間の技術ポートフォリオの相違が、より細かい粒度で定量的に計測できるとともに、知識結合ポートフォリオとクラスタポートフォリオから、その競合状況、補完状況を定量的に把握できることを明らかにし、その分析結果と専門家による知見と評価に基づき、企業の競合分析、補完分析への応用可能であることを示している。

第6章では、第3章の手法の開発と第4章、第5章の分析結果を、ロボットの研究開発の進捗や社会実装の事例、ロボットの研究開発動向や医学系の学術専門誌などの文献および専門家の知見、評価に基づき考察し、①MM 手法が、学術研究論文と特許データにより、ロボット分野のアプリケーションレベルでの知識結合の構造、特徴を捉えられていること、②知識結合と研究開発の進捗や社会実装の度合いの関係を把握できること、③ロボットのように複数の技術から形成され、その技術の構成が似通っている場合においても、機関間の相違を把握できることを示し、知識結合を軸とした提案手法の有用性、新規性を明らか

にするとともに、知識結合に着目する意義と知識結合に関する指標の意味、本研究の貢献、本研究の限界と課題、他分野への活用可能性をまとめている。

第7章では、本研究の結論として、学術研究（Science）と技術開発（Technology）に関して、一般に入手できる学術研究論文の書誌情報と特許情報を用いて「知識結合」を軸に分析することで、ロボット分野のイノベーションの進展が、マクロおよびメソスケールで、定量的に把握できること、主要アプリケーションごとに、知識結合の構造と中心的役割を持つ学術研究分野、技術開発分野（特許）の抽出ができること、そして、知識結合の形成が、ロボットの研究開発の進捗や社会実装、実用化の度合いを把握できること、ミクロスケールの機関間の技術ポートフォリオの相違が、新たに提案した知識結合ポートフォリオとクラスタポートフォリオにより、ロボットのように複数の技術から形成され、その技術の構成が似通っているロボットの場合においても、定量的に把握でき、企業間の競合分析、補完分析にも適用可能であることなど本研究の目的が達成できていることを結論としてまとめている。