

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

複数センサ情報を統合した  
人間の作業・行動支援機械システムの  
フレームワークに関する研究

Study on Framework of Mechanical  
Systems Supporting Human Operation and  
Action by Integrated Sensory Information

申請者

<small>ムトウ</small> 武藤	<small>シンヨウ</small> 伸洋
Shin-yo	MUTO

--

近年、様々なセンサが開発され、その利用範囲も工場の製造機器やプラントの状態監視といった分野から、一般の人々が活動する生活空間へとその利用が広がってきている。携帯電話やスマートフォンに多くのセンサがネットワーク機能とともに付属するようになり、専門性の高い分野から一般向けに広く普及が始まった段階と言え、情報・医療・公共等の様々な分野で、これらのセンサを活用した新しいサービスが期待されている。このような背景の下、本論文では、生活空間に普及しつつある多様なセンサを統合的に扱い、作業や利用者を支援する新規サービスを継続的・体系的に創出可能とする支援システムの構築方法について論じている。

製造分野では、1970年代からティーティングプレーバック型の産業用ロボットの普及が始まり、1980年代以降、センサフィードバック型としてアーク溶接やシーリング、自動車組立作業での利用を主体として多くの研究がなされ、実用化が図られてきた。同時に、複数のセンサを統合する概念としてセンサフュージョンの手法などが提案されてきた。しかし、現状、センサフィードバック型は必ずしも普及が進まず、環境を十分整えたティーティングプレーバック型のシステムが主流となっている。この背景には、求められている性能を達成するためのセンサ組み合わせの方法論が確立されておらず、技術者の知識や経験への依存度が高いことが考えられる。

また、生活空間におけるセンサ・ロボットサービスとしては、主に国の研究プロジェクトで大規模な研究例があり、総務省のネットワークロボット、EUの Ubiquitous Networking Robot in Urban Settings, 韓国の Ubiquitous Robot Companion などが代表的である。これらは、特定の実験環境、特定の期間利用を想定し、予め計画した複数のセンサの情報を収集し、その応用をケーススタディとして検証した研究例である。今後このようなサービスを発展させるためには、一般に普及したセンサやネットワークインフラを活用しつつ、実験からサービス実用に至る過程で効率良く展開が可能なシステム設計が求められる。これらの複数の作業やサービスに対するシステム設計の課題は実用化に向けて重要であるものの、センサ・ロボットの技術分野ではこれまでほとんど議論されてこなかった。

そこで本論文では、作業空間、生活空間に普及する多様なセンサを統合的に扱い、作業・行動支援機械システムの発展可能な設計論の構築を目的としている。そのために、機械と環境がインタラクションする作業点の物理特性やセンサ特性を利用した新しいフレームワークを、普及するネットワーク環境を効果的に利用する形で提案し、実システムへの適用と評価を行っている。

本論文は5章から構成される、以下に各章の概要を述べる。

第1章では、製造および情報サービスを対象としたセンサ・ロボットの技術分野における本研究の位置付けを明確にし、研究開発の目的とこれに向けた研究アプローチについて述べている。具体的には、複数のセンサ情報を統一

的に扱うための基本として、継続したインタラクションのある作業を対象に、作業点モデリングの考え方を導入したフレームワークの構成要素、階層構造、機能分担、主要インタフェースの構想を示している。

第2章では、作業点モデリングの基本的な構成を、産業用のセンサフィードバック型マニピュレータに適用することにより、提案手法の有効性について述べている。具体的には、グラインダ作業、溶接作業の複数の作業に適用し、グラインダ作業における力情報と速度情報の相補的利用による接触点検出の高精度化、作業教示の容易化を確認している。また溶接の作業点情報の可視化による作業支援の効率化および規定ワークにおける作業点情報の相関性を利用したチューニングによる精度向上を確認している。作業点モデリングを導入したシステムを、基本情報を管理する部分、作業点情報を管理する部分、これらの管理された情報からアプリケーションを構築する部分から構成し、提案フレームワークの基本的な構成要素をセンサフィードバック型マニピュレータに適用した具体例として示している。フレームワークの主要インタフェースの観点からは、複数センサ情報を扱うシステムとそれを活用する作業員とのマンマシンインタフェースに関して設計指針を与えている。これをグラインダ、溶接という複数作業のセンサフィードバック型マニピュレータに適用し、実システムでの有効性を確認している。このことにより、提案したシステム構成が、複数の作業に対して複数センサを機能させることで、人間・機械・作業環境の状態を把握するシステムとして有用であることを示している。

第3章では公共空間でのロボットによる情報支援サービスを想定し、様々な種類のロボットやセンサからの情報をネットワークを介して情報共有するプラットフォームを提案している。このようなサービスでの課題として、施設を利用するユーザを計測するために施設の広さや明るさなどの環境に適用可能な多種多様なセンサを利用しなければならないこと、サービスを提供するロボットは施設の環境に適応可能な機能を有していなければならないことを指摘し、そのようなセンサ・ロボットを扱うシステムに対して、XML技術を導入して情報を柔軟に記述し、基本的な情報管理を容易に実現できるプラットフォームを設計している。このプラットフォーム上にロボットによる複数の案内サービスを構築し、実証実験を通じて4施設で最大15システムを接続したサービスを実現している。また、開発工数の観点からプラットフォーム化した開発規模と個別開発した場合の想定開発規模比較を行い、複数システムを構築する場合の開発の効率化も示している。このシステムは、提案するフレームワークの階層構造と各階層における機能分担、主要な情報インタフェースの設計指針を具現化したものであり、一連の実際の複数施設における実証実験により、提案したフレームワークが多種センサを接続した複数ロボット情報サービス構築に有効であることを確認している。

第4章では現在の携帯端末インフラを活用したアプリケーション開発を対象に、第2章、第3章の技術の双方を適用したフレームワークを提案し、ヘルス

ケア分野等への応用について述べている。作業点モデリングの考え方を、歩行者の運動や車輪移動機構に適用するとともに、XML 技術を活用したプラットフォームを導入し、携帯端末上でのセンサ情報収集の特性を考慮したシステムを提案している。リウマチ患者を対象として段階的にシステムを拡張した歩行概要モニタリング実験と、ベビーカーによる歩道路面状況の情報収集実験に適用し、リウマチ疾患活動性の状態把握や歩道路面状況の状態の把握という観点から有効性を示している。これにより、提案フレームワークが、複数の作業や対象物に対して複数センサを機能させ人間・機械・作業環境の状態を把握するシステムとして実現できること、普及する社会インフラを活用して段階的に拡張することで種々のサービスを構築可能であることを示している。

第 5 章では本研究の総括として、生活空間に普及しつつある多様なセンサを統合的に扱い、作業や利用者を支援する新規サービスを継続的・体系的に創出可能とする提案フレームワークの拡張性について述べている。また、より広い事例への適用、拡張を見据えた今後の課題と、昨今の社会情勢を踏まえた将来展望についても述べている。

以上要するに、本論文は多様なセンサを統合的に扱い、様々なサービスを効率的に創出可能にするシステム設計という課題に対し、作業点の物理特性やセンサ特性を利用した新しいフレームワークを進歩するネットワーク環境に適用する形で提案し、その有効性を実システムによる実証実験で明らかにしたものである。本フレームワークにより、複数のセンサを高次の情報で管理し、柔軟に機能分担させ、多様なサービスを段階的に拡張してシステム構築することができる。本論文で得られた成果は、センサ統合やヒューマンマシンインタフェースといったセンサ・ロボットの技術分野での学術的な貢献のみならず、複数センサを活用した新たな情報・医療・公共サービスの実現に大きく寄与するものである、よって、本論文は博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

2014 年 10 月

(主査)	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	菅野重樹
	早稲田大学教授	博士（工学）早稲田大学	藤江正克
	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	三輪敬之
	早稲田大学教授	博士（工学）早稲田大学	尾形哲也
	早稲田大学教授	博士（工学）早稲田大学	岩田浩康