

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 段 峰 (だん ふおん、DUAN Feng)

論文題目 Assembly Skill Transfer System for Cell Production
(和訳：セル生産のための組立技能伝達システムの開発)

本論文は、セル生産システムにおける組立のカン・コツを熟練作業員から初心者へ伝達する方法を研究対象とし、組立技能の抽出、技能の伝達方法の提案を行い、実験的にその有効性を検証し、最後に実生産システムに近い機器を使った作業支援システムを構築したものである。

本論文は、英語で記述され、“Assembly Skill Transfer System for Cell Production”、和訳「セル生産のための組立技能伝達システムの開発」と題し、全6章からなる。

第1章では、研究の背景と目的、ならびにセル生産システムの歴史、社会的位置づけ、生産上の問題点などを述べている。

第2章では、組立、技能などの概念を整理し、定義している。技能について、認識技能、判断技能、操作技能の3種に分類している。しかし、組立作業においては、製品組立を相当細かな単純作業の並びとなるまで経験的に分解しているため、製品や作業に関するある程度の知識がある作業員なら、判断技能は必要ないと考察し、本論では認識技能と操作技能についてのみ扱うことを論じている。一方、熟練者と初心者との違いを評価するために、組立所要時間、間違い発生率を測定することが一般的であることを示している。

第3章では技能の抽出方法を論じている。実際の組立では数多くの技能が必要とされるであろうが、それらすべてを伝達することは効率的でない。初心者にとって指示された技能を理解でき、記憶でき、実行できなければ、技能の伝達は達成し得ない。この条件から、組立技能としては、自然言語で表現できるものだけを扱い、動詞とその副詞的修飾を中心に表現する。言い換えれば、この研究では筋肉のシナジー効果、知覚の素早い反応などの複雑な技能を扱わない。数多くの技能候補の中で、熟練者が重要だと考え、しかし、初心者は気づかない技能を初心者へ伝達することが最も効果が高いと推定される。そこで、熟練者が重要と思う技能を集め、それらに対して、熟練者、初心者が重要度評価を行う。一方、それらの作業員全員が組立作業を行い、組立の効率を評価する。組立効率と重要度評価とが強い相関を持てば、伝達すべき候補であると推定される。このよう方法論を構成し、伝達すべき技能の抽出方法を導いている。

第4章では、第3章の提案方法を確認するために、3種類のケーススタディを行い、技能伝達を検証している。Case Study1 では「多数の丸釘挿入」を扱い、認識技能を抽出し、

伝達している。このタスクでは、穴を観察してその穴径に対応する寸法の釘を選択する。このために、穴の周辺条件など注視点を理解することが重要である。認識技能の抽出を行い、最重要と推定される技能と、それよりも重要度が低い技能とを個別に指示することで、伝達後の組立効率を比較測定し、前者の有効性を検証している。Case Study2 の「釘打ち込み動作」では、運動技能を検証している。このタスクでオペレータは釘を穴に打ち込まなければならないが、姿勢、軌道、打力などが影響を与える。組立精度を挿入深度として、それぞれの影響を調べ、運動技能を比較した。姿勢と軌道は作業者の身体にマークを付けることで画像的な動作解析を進めた。未熟なオペレータと比較して、訓練されたオペレータの挿入深度が向上するなど、技能の伝達が可能であることが検証された。さらに、相関係数が重要な技能を抽出の根拠になるという仮定が運動技能の場合にも確かめられた。Case Study3 では、「ケーブル・ハーネスの組立」という実作業に近い例を用い、提案方法の効果を検証する総合的な実験を行った。抽出された組立技能を指示しながら訓練すると、組立効率の向上が加速されることが確かめられた。これは、提案方法が実際の組立作業でも適用可能であることを示している。3つのケーススタディを通して、第4章は認識技能、運動技能のそれぞれが伝達可能であることを示し、加えて、技能の抽出方法並びにその表現が適切であることを示した。

第5章では、提案された技能抽出方法により組立技能を準備し、それを実際の組立作業中に指示することを目的としている。実際のセル生産現場を参考に、移動台搭載型双腕マニピュレータと作業者とが協調して組立を進めるシステムを開発し、その中に、技能伝達システムを構築している。技能伝達は作業情報支援システムの重要な部分として機能する。ケーブル・ハーネスの組立時間と間違い率とを測定し、情報支援システムによって初心者の作業習熟が加速されることが認められた。この装置の構築により、全体システムの構造を明らかにした。

第6章は結論であり、以上の成果によって、組立作業における技能の抽出方法・伝達方法が明らかとなり、人間ロボット協調型セル生産組立システムに適用することで高効率化の一翼を担うことが確認された。これによって当初の目的を達成することができたと結論づけている。

以上のことから、本論文はセル生産組立システムのように作業者の技能が求められるシステムにおいて、熟練作業員から初心者へ技能伝達を行うという課題に対し、システム的手法で技能の抽出・伝達を可能とする方法論を提案し、実験的に検証した。これは組立分野において、価値ある成果だと言え、工学全般の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）学位請求論文として合格と認められる。