

令和 元 年 6 月 10 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K03848

研究課題名 (和文) セル生産における作業適性の測定と活用方法に関する実験研究

研究課題名 (英文) Experimental study on measurement of workers aptitude in cell production and its application

研究代表者

董 彦文 (DONG, Yanwen)

福島大学・共生システム理工学類・教授

研究者番号：90292458

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 2,900,000 円

研究成果の概要 (和文) : セル生産は人間依存型生産システムであり、作業者の適性がセル生産の効率に多大な影響をあたえるため、本研究では実験研究手法を用いて、作業者の適性と作業効率との関連を調べた。厚生労働省編一般職業適性検査 (GATB) を適用する場合、作業者の空間判断力が、性格特性5因子モデル (Five-Factor Model) に基づくパーソナリティ検査を適用する場合、作業者の内向性と非情動性が作業効率に有意な正の相関をもつことが明らかになった。また、適性の低い極少数の作業者を予測する手法を提案したうえ、社会的比較理論を適用し作業者同士の競争を促すことによる作業効率の改善効果を統計的に検証できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、一般職業適性検査 (GATB) の適性得点から作業者の空間判断力を表す新たな適性指標を抽出し、また性格特性5因子モデルを初めてセル生産に適用し、作業効率にもっとも関連の強い適性を明らかにしたうえ、適性が顕著に低い作業者を判別する分類・学習モデルを構築したため、セル生産における作業者の適性に関する新しい知見を与え、一定の独創性と新規性がある。本研究で提案した分類・学習モデルは、作業者の適材適所を実現し、生産性の向上とストレスの低減に貢献できる。さらに、作業者同士の競争を促す社会的比較の適用結果は直接にセル生産現場で実用し、セル生産のさらなる発展に寄与することができる。

研究成果の概要 (英文) : As the performance of cell production systems depends largely on workers' aptitude, we applied experimental study method to investigate the relationship between the performance of production cells and workers' aptitude. We administered the Japanese General Aptitude Test Battery (GATB) and extracted a new score that correlates significantly to the workers' performance in cell production and represents workers' spatial aptitude. We also administered FFPQ-50 (a short form of Five Factor Personality Questionnaire), it is clear that unemotionality and introversion have a significantly positive correlation to the performance of production cells. Then we constructed classification models so that the workers with low aptitude can be identified. Furthermore, we have addressed the effect of social comparison in cell production systems and confirmed that announcing relative performance information can improve the performance of production cells significantly.

研究分野：経営情報

キーワード：セル生産 適性 GATB 5因子モデル 社会的比較

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

セル生産は組立製造業において、1人または少数の作業員が部品の取り付けから組立、加工、検査までの全工程を担当する生産方式である。多品種変量生産への対応に優れているため、数多くの企業で導入されている。セル生産方式は、勤勉さや手先の器用さなどの日本人の特性をフルに活用できるため、製造業の国内回帰現象を引き起こし、日本企業の国際競争力を向上させる役割を果たしている。

一方で、セル生産方式では、作業効率が作業員個人の能力や意欲などに強く依存し、作業員の適性が作業効率を決定する重要な要因となっている。研究代表者のいままでの研究成果によると、作業員によりセル生産の作業効率は3～5倍の差が生じ、生産性の50～60%は作業員適性により決定される[1]。また、セル生産方式を導入した企業において、作業効率が作業員により激しく変わり、日々の生産数量は正確に予測できないため、生産計画の立案には新たな不確実要因が生じて生産管理上の課題となっている[2]。

セル生産に関しては、これまでに製品の類似性に重点を置いたセル編成方法などの技術的課題を中心として、セル生産システムの設計方法に関する研究が多数行われてきた[3]。これに対して、作業員の適性がセル生産の効率に多大な影響をあたえることは理論的にも実践的にも広く認識されたにも関わらず、セル生産における作業員の適性評価に関する研究は、研究代表者の発表された論文を除いて全く見当たらない。研究代表者は2009年から実験データに基づきセル生産における人的要因の影響を定量的に解析する研究に取り組んでいた。また、2012年から科研費の助成を受けて、セル生産における人的要因に関する実験研究を展開し、作業員の適性診断手法の考案に着手した。研究代表者の研究を通じて、作業員の器用さ、細かい作業に対する好き嫌い、作業意欲、学習能力と記憶力などの人的要因の影響を定量的に評価し、作業効率を大きく影響する作業員の特性を特定することができた。

しかしながら、適性診断シート（またはアンケート表）を設計し、作業員の適性を測定しようとしたところ、一部の作業員特性が正確に測定できたものの、問題点もいくつか発見できた。その一つは、組立作業の種類により必要な作業員適性が異なるため、作業員の適性項目をうまく測定できたとしても、作業効率との関連が必ずしも明確ではないことである。もう一つは作業員が必ずしも客観的・公正的に自分の適性を評価できなく、適性診断シートの回答には多数の歪曲なもの（過大・過小評価、作業実績とかけ離れた回答など）があるため、適性診断シートの回答だけでは作業員の適性を正確に評価できないことである。

2. 研究の目的

本研究は実験研究手法を用いて、セル生産システムにおける作業の種類と必要な作業員適性を体系的に解明する。また、作業員の適性を正確に測定する手法を考案のうえ、その有効性を検証し、歪曲回答の検出・補正手法を提案する。さらに、これらの解析結果を活かして、作業員適性に合わせて、効果的な教育訓練方法および効率的なセル生産システムの設計方法を提案し、セル生産システム理論と実践の更なる発展に貢献する。

具体的には次のことを明らかにしようとする。

- (1) セル生産における作業の体系的な分類と作業員適性との関連に関する解析と検証：セル生産方式がよく導入される製品組立工程について、組立作業の体系的な分類を行ったうえ、各種の作業に必要な作業員技能、性格などを考究し、作業種類と作業員適性との関連を解明する。
- (2) 効果的な適性診断手法の考案と検証：研究代表者のこれまでの研究成果をさらに発展し、作業技能の検査器具の改良・開発も含めて、セル生産に対する作業員適性を効果的に測定する手法を考案する。また、セル生産実験を通じて、その有効性および問題点を検証する。
- (3) 歪曲診断結果の発見と補正方法の提案：適性診断シートを用いて作業員の適性を測定する場合、作業員の様々な意図により歪曲回答が多く、産業・組織心理学分野においても一つの難問となっている。設問の設計と質疑方式の面で工夫するだけでなく、統計解析手法を用いて回答間の矛盾・一貫性などを検証し、歪曲回答を発見し補正する方法を提案する。
- (4) 適性を考慮した作業員の教育訓練手法およびシステム設計方法の考案と検証：作業員の適性測定結果に基づき、もっとも効果的な教育訓練方法、および効率的なセル生産システムの設計方法を提案する。また、実験とシミュレーションによりこれらの提案を検証する。

3. 研究の方法

セル生産における人的要因の影響に関する従来の研究では、定性的考察と事例研究を主な手法としてきたが、本研究では実験研究手法を採用する。つまり、セル生産に関する実験室実験を設計・実施し、作業時間などのデータを測定し、これを用いてセル生産の効率を定量的に評価する。作業の種類と作業員の適性との関連を調べるために、厚生労働省編一般職業適性検査（GATB）を活用し、GATBの筆記検査で作業員の適性を測定する。また、作業員の個人差を測定するために、性格特性5因子モデル（Five-Factor Model）に基づいたFFPQ-50検査を活用する。さらに、セル生産システムにおける作業員の作業効率を高める方策として、社会的比較理論を適用し、作業員間の競争を促すことによるモチベーションの維持とその効果を検証する。集めた実験データに対して、分散分析、共分散構造分析などの統計解析手法および不均衡データ学習などの人工知能手法を用いて、いろいろな解析を行い、セル生産の効率を強く左右する作業員の適性を特定したうえ作業効率の改善策の効果を定量的に解明する。

4. 研究成果

(1) 厚生労働省編一般職業適性検査の紙筆検査を適性診断シートとする場合の研究結果

厚生労働省編一般職業適性検査（GATB）は、多様な職業分野で仕事をする上で必要とされる適性を測定するものである。GATB は 11 種類の紙筆検査（筆記検査）と 4 種類の器具検査から構成され、紙筆検査は 9 つの適性：知的能力(G)、言語能力(V)、数理能力(N)、書記的知覚(Q)、空間判断力(S)、形態知覚(P)と運動共応(K)を測定する。50 人の大学生を作業者として、セル生産の実験室実験を実施し、また回帰分析などの手法を用いて GATB による適性検査点数と作業効率との関連を解析した結果、作業者の空間判断力(S)だけが直接に作業効率と有意な相関をもち、運動共応(K)を除いた 6 つの適性得点に強く依存する主成分得点は作業者の認知・知覚能力として作業効率に有意に関連することを明らかにした。

GATB 手引によると、空間判断力(S)と形態知覚(P)の検査得点が高いほど、熟練技能を必要とする加工・組立作業に適する。本研究の実験結果では、形態知覚(P)の検査得点と作業効率との相関を確認できなかった。特に、作業時間と適性検査得点における外れ値は、相関係数の評価に強い影響を与えるため、これらの外れ値を除去して解析を行った結果、空間判断力(S)と形態知覚(P)の検査得点はすべて作業効率と有意な相関を持たないことがわかった。つまり、GATB の空間判断力(S)と形態知覚(P)の検査得点だけではセル生産に対する作業者の適性を評価することができない。

このとき、適性ごとの検査得点ではなく、GATB の紙筆検査 6（平面図判断）と検査紙筆 9（立体図判断）の得点から合成した主成分得点は作業効率と有意な相関をもち、また適性得点よりも作業効率との相関が強い。このため、この主成分得点は作業者の空間判断力を表す新たな適性指標となり、セル生産における作業者の適性を評価するのに利用できる。

また、セル生産実験に際する作業者の行動を観察して、作業者の持続性がセル生産の作業効率に強い影響を与えることがわかったが、作業者の持続性と GATB の適性得点との関連を調べたところ、筆記検査の得点から作業者の持続性を測定することが容易ではないことが分かった。特に、実験結果における外れ値（特異・欠損値）が分析結果に強い影響を与えるため、外れ値を適切に扱う必要がある。

(2) FFPQ-50 を適性診断シートとする場合の研究結果

性格特性 5 因子モデル（Five-Factor Model）は、パーソナリティ特性を少数の特性因子で説明するもので、このモデルに基づいたパーソナリティ検査は神経症傾向(N)、外向性(E)、経験への開放性(O)、協調性(A)と誠実性(C)の 5 つの視点から人間が持つさまざまな性格の特徴または個人差を測定する。FFPQ（Five-Factor Personality Questionnaire）は日本 FFPQ 研究会から提案され、日本人のパーソナリティ理解に特化した検査である。FFPQ 検査は 150 項目の設問をもち、外向性、愛着性、統制性、情動性と遊戯性の 5 つの超特性を測定する。FFPQ-50 は FFPQ の短縮版であり 50 項目の設問から構成される。

セル生産の効率と作業者の適性との関連を調べるために、79 人の大学生を作業者としてセル生産実験を行い、FFPQ-50 検査を実施した。FFPQ-50 の 5 つの超特性得点と作業時間との関連を調べた結果、作業者の内向性と非情動性が作業効率に有意な正の相関をもち、つまり内向性と非情動性の検査得点が高い作業者はセル生産に適することが明らかになった。また、作業者の遊戯性が作業効率と正の相関をもちながら、遊戯性の検査得点だけでは正しく測定できないため、因子分析を行ったうえ遊戯性を表す因子得点を使って作業者の遊戯性を評価する必要がある。さらに、作業時間と FFPQ-50 検査得点における外れ値は、解析結果に強い影響を与えるため、外れ値の除去を慎重に行う必要がある。

(3) 適性評価と時間測定における外れ値に関する研究結果

適性診断シートを用いて作業者の適性を検査する際、歪曲回答が時々観測されたため、これらの歪曲回答を詳しく考察し、主に統計解析手法を適用し検出を試みた結果、ほとんどの歪曲回答は外れ値として検出することができた。また、数年間の実験結果を解析して、外れ値を検出した作業者の多くは適性が低いことも明らかになったので、適性診断シートの外れ値に基づき、適性の低い極少数の作業者を予測する手法について研究を進めた。

FFPQ-50 の 5 つの超特性ではなく、各超特性の下位尺度である 25 項目の要素特性得点に基づき、判別分析手法を用いて作業者をグルーピングする場合、90%以上の的中率で作業効率の高い作業者とそうではない作業者を予測することができる。この時、統制性の下位尺度である几帳面と情動性の下位尺度である心配性が作業者のグルーピングにもっとも有意に影響を与える。几帳面得点は効率の高い作業者グループに、心配性得点は効率の低い作業者グループに正の影響を及ぼす。

さらに、適性の低い作業者は極少数でしか観測されないため、不均衡データ学習の視点から作業者のグルーピングを考究した。FFPQ-50 の 25 項目の要素特性得点に基づき、SMOTE（Synthetic Minority Over-sampling Technique）手法を用いて、作業者をグルーピングする場合、99%の的中率で作業効率の高い作業者とそうではない作業者を予測することができる。

(4) 作業者の適性を考慮したセル生産システムの設計に関する研究成果

本研究では、作業者の適性または社会心理学特性を考慮し、効率的なセル生産システムの設計を考究した。作業効率と作業者のモチベーションとの強い関連に着目し、作業者のモチベーションを高めることを目的として作業者同士の競争を促す施策とその効果を調べた。まずは 37

人の大学生を作業員としてセル生産実験を実施し、作業員同士の競争を促すために、10～15分おきに各作業員の作業時間をチェックし、一番効率の高い作業員の作業時間、一番効率の低い作業員の作業時間、および実験班における各作業員の順位をアナウンスすることにより、作業効率が20%ほど改善できることが明らかになった。しかしながら、ご少数の作業員(37名中の2名)は作業員間の競争に対して強いストレスを感じたり、または全く無関心を貫いたりして、作業効率の改善効果が見られなかった。

また、作業員同士の競争を促すために全作業員に共有すべき情報について、社会的比較理論を適用し詳しく考察した。もっとも効率の高い作業員の作業実績を公開し比較対象とする上向き比較と、もっとも効率の低い作業員の作業実績を公開し比較対象とする下向き比較などの比較方向の影響を調べるために、70人の大学生を作業員としてセル生産実験を実施しデータを集めた。主に分散分析手法を用いて解析し、比較方向が作業効率の改善に有意な影響を与え、また下向き比較が上向き比較より強い改善効果をもつことが明らかになった。

<引用文献>

- [1] Hao, X., Haraguchi, H. & Dong, Y.: "An Experimental Study of Human Factors' Impact in Cellular Manufacturing and Production Line System", INFORMATION, Vol.16, No.7(A), pp.4509-4526 (2013).
- [2] Liu, C.G., Lian, J., Yin, Y. & Li, W.: "Seru Seisan- an innovation of the production management mode in Japan", Asian Journal of Technology Innovation, Vol.18, No.2, pp.89-113 (2010).
- [3] Bopaya, B. & etc.: "Human related issues in manufacturing cell design, implementation, and operation: a review and survey", Computers & Industrial Engineering, Vol.48, No.3, pp.507-523 (2005).

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 17 件)

- ① Yuren Cao, Yanwen Dong and Qin Zhu: "Effects of Upward and Downward Social Comparison on Productivity in Cell Production System", the 9th International Conference on Logistics, Informatics and Service Science (LISS2019), July 26-29, 2019, Maryland, USA, with satellite sessions in Beijing, China.
- ② Yanwen Dong: "Identifying Workers with Low Aptitude toward Assembly Tasks in Production Cells Based on the Five Factor Model of Personality", 2019 6th International Conference on Advances in Management Sciences (ICAMS 2019), February 13-15, 2019, Milano, Italy.
- ③ 董彦文: "セル生産実験結果に基づいた作業員の適性に関する考察", 日本経営工学会 2018 年秋季大会, 2018 年 10 月 27-28 日, 東海大学 (高輪キャンパス)。
- ④ 董彦文, 曹 誉仁: "セル生産実験における大学生と社会人の作業効率に関する比較研究", 経営情報学会 2018 年秋季全国研究発表大会, 2018 年 10 月 20-21 日, 近畿大学 (東大阪キャンパス)。
- ⑤ Yanwen Dong, and Munenori Kakehi: "An Investigation on Influence of Competition among Workers on Productivity in Cell Production System", the Fourteenth International Conference on Industrial Management (ICIM2018), September 12-14, 2018, Hangzhou, China.
- ⑥ Yanwen Dong and Qin Zhu: "An Investigation on Relationship between Workers' Performance in Cell Production and their Five Factor Personality", the 2018 International Conference on Management and Operations Research (ICMOR 2018), July 7-9, 2018, Beijing, China.
- ⑦ Yanwen Dong: "Application of Outlier Detection to Assessment of Workers' Aptitude in Cell Production based on the Five Factor Model of Personality", the 2017 Asian Conference of Management Science and Applications (ACMSA2017), December 25-28, 2017, Fuzhou, China.
- ⑧ Masanobu Sunakawa and Yanwen Dong: "Modeling Visual Palatability of Box-Lunches Based on Outward Appearance Impressions", The 2017 Asian Conference of Management Science and Applications (ACMSA2017), December 25-28, 2017, Fuzhou, China.
- ⑨ Yanwen Dong: "Outlier Detection and Assessment of Workers' Aptitude in Cell Production", the 3rd International Conference on Production Management, September 7-11, 2017, Bangkok, Thailand.
- ⑩ Yanwen Dong: "Assessment of Workers' Aptitude toward Assembly Tasks in Production Cells based on the Five Factor Model of Personality", The 1st UK International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), July 24-25, 2017, Bristol, UK.
- ⑪ 董彦文: "一般職業適性検査 GATB 結果に基づいたセル生産作業員の適性評価に関する考察", 日本経営工学会 2017 年春季大会, 2017 年 5 月 26-27 日, 龍谷大学 (深草キャンパス)。
- ⑫ Yanwen Dong: "An Investigation on Relationship between General Aptitude Test Battery Score and Workers' Productivity in Cell Production System", 2017 the International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences (ICMSS 2017), January 14-16, 2017, Wuhan, China.

- ⑬ 董彦文, 菊田 理学: "一般職業適性検査 GATB 結果とセル生産の作業効率との関連に関する考察", 日本経営工学会平成 28 年度秋季研究大会, 2016 年 10 月 28-29 日, 日本教育会館。
- ⑭ 菊田 理学, 董彦文: "GA による重量配分を考慮したパレタイジング問題の一解法", 日本経営工学会平成 28 年度秋季研究大会, 2016 年 10 月 28-29 日, 日本教育会館。
- ⑮ 董彦文: "東北地域信用金庫の地域貢献ランキング", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年秋季研究発表会, 2016 年 9 月 15-16 日, 山形大学。
- ⑯ Yanwen Dong: "An Investigation of General Aptitude Test Battery in Relation to Cell Production Efficiency", OR2016 – Annual International Conference of the German Operations Research Society, Aug 30 – Sept 2, 2016, Hamburg, Germany.
- ⑰ Yanwen Dong and Vinod Kumar: "Measuring Workers' Endurance and its Impact on Productivity of Production Cells", the 2016 International Conference on Management and Operations Research (ICMOR 2016), Aug 12-14, 2016, Beijing, China.

〔図書〕(計 1 件)

一般社団法人日本ロジスティクスシステム学会監修(編著者:唐澤豊):「SCM ハンドブック」(部分執筆:董彦文, II12, II14, III7-9 章, 計 135 頁), 共立出版 (2018/3/12).