

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32504

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K01874

研究課題名（和文）新興国におけるリーン生産成熟度とデジタル化の日系と独系企業実態調査研究

研究課題名（英文）The comparative study between Japanese and German suppliers on the maturity of Lean and IoT in the Brazilian market

研究代表者

塚田 修（Tsukada, Osamu）

千葉商科大学・経済研究所・研究員

研究者番号：90633884

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：日本の製造業の生産性の低さが課題である。近年、ドイツ工学アカデミーから提示された製造業のデジタル化がこの課題解決の方法となることが期待される。本研究は、中小企業の活動に終点を絞り実施した。定量的及び定性的調査を組み合わせた。その結果、日本とブラジルの90%以上の中小企業では、リーン生産を実践している。インダストリー4.0を導入していると回答した企業を訪問インタビューした。その結果、リーン生産方式はインダストリー4.0実現の前提条件だと回答した企業が多数を占めた。一方、コマツのSMART CONSTRUCTIONに見られるように個別設備のデジタル化のみならず新たな顧客価値の創造が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

製造業のデジタル化は極めて重要な技術である。近年インダストリー4.0が提唱されているが内容が複雑で中小企業にとり理解が困難な状況にある。何から始めて良いかわからない企業も多い。本研究では、現在広く普及しているリーン生産方式とインダストリー4.0の関係を明らかにし中小企業のデジタル化戦略立案に役立つロードマップを提供した。「守り」と「攻め」のデジタル化について解説した。まず、「守り」のデジタル化のためにはリーン生産方式の成熟度を上げる必要があることを示した。将来的には、「守り」のデジタル化だけでは十分でなく顧客価値創造の「攻め」のデジタル化の必要なことを示した。

研究成果の概要（英文）：According to the quantitative study, 90% of them practice Lean manufacturing and 40% of them practice Industry 4.0. In the qualitative study in Brazil, four managers responded that the Lean manufacturing is a prerequisite for Industry 4.0 since any production process with waste cannot be productive, even with digitalization technology. Originality/value; The authors explored further the relationship between “defensive Digital Transformation (DX),” which is based mainly on Lean manufacturing, and “offensive DX,” which relates to customer value creation through Industry 4.0. This study clarifies the relationship and plays as a roadmap to develop better the manufacturing from current status to the vision of Industry 4.0

研究分野：製造業のデジタル化戦略

キーワード：リーン生産方式 インダストリー4.0 顧客価値創造 リーン4.0

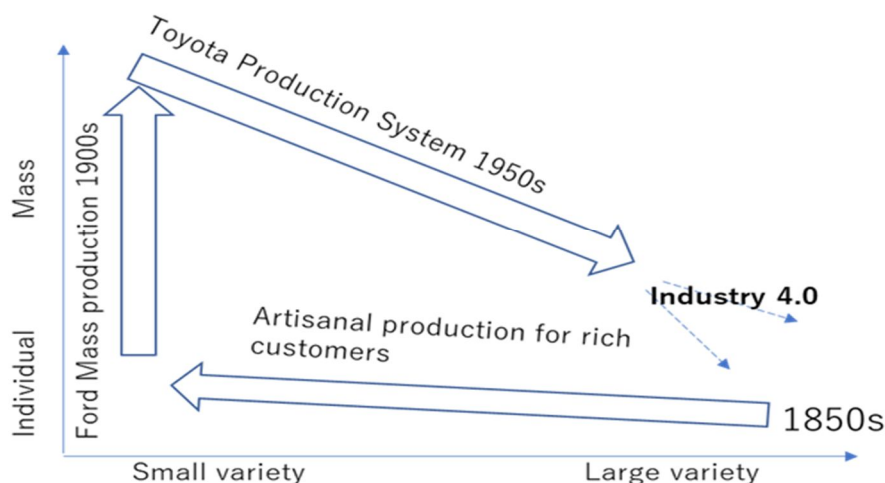
1. 研究開始当初の背景

日本の GDP は過去 30 年停滞しているとはいえ世界第 3 位である。しかし、日本生産性本部発表によれば 2019 年の日本製造業の一人当たりの労働生産性は、OECD 加盟 31 か国中第 26 位で 1970 年以降最も低かった。コロナ禍を起点として再認識された日本のデジタル化の遅れがその生産性低迷要因の 1 つとして議論されている。本研究において製造業のデジタル化で知られているインダストリー 4.0 にフォーカスして研究を進めた。

インダストリー 4.0 は製造業が GDP の約 24% を占めるドイツの国家プロジェクトとして 2011 年に発足した。G7 の中で製造業が GDP の 20% を超える国は日本とドイツだけである。インダストリー 4.0 を代表とする製造業のデジタル化は戦略から活用技術面まで多岐にわたり総合的なものである。そのうえ、これまでの価値観と対立する点も多く、中小企業経営者にとってわかり難いと想像される。その導入効果が、中小企業にとって、わかり難いことはインダストリー 4.0 の普及促進の主要機関であるドイツ工学アカデミーも認めている (Schu, et.al, 2020)。

インダストリー 4.0 とは、エレクトロニクス・IT 技術による(例えば PLC)自動生産を促進した第 3 次産業革命(インダストリー 3.0)に対し、第 4 次産業革命と呼ばれ CPS の活用が特徴であるといわれている(尾木、2015、Bauernhansl.T, 2014)。光山と中沢(2017)は一橋ビジネスレビューへの論文で幾つかのポイントに言及し、インダストリー 4.0 が描いている姿は空論で、現場に行くと具体的な事実はないとしている。インダストリー 4.0 の主要推進機関の 1 つであるドイツ工学アカデミーは、段階的に発展する「成熟度」という考え方を提示し (Schu, et.al, 2020)、インダストリー 4.0 は段階的に実現するものであることを示している。つまり、インダストリー 4.0 は現時点ですべてが実現しているわけではないとしている。

しかしながら多くの中小企業にとりインダストリー 4.0 の理解には混乱が見られる。そこで本研究では、中小企業がどのような考え方でデジタル化を進めれば良いのかのロードマップを示し、現実的な行動がとれるようにすることを目指す。



図表1 生産方式の歴史的発展過程(塚田、2019)

図表1は、自動車産業の生産方式の敵視的発展過程を示したものである。19 世紀ヨーロッパで富裕層を相手として個別受注型の生産方式が発生した。その後 20 世紀に入り、フォード社の大量生産方式が開発された。その後、多品種少量生産に適したトヨタ生産方式(リーン生産方式)が主流を占め、その後ドイツがデジタル技術を活用したインダストリー 4.0 を発表した。

本研究は、当初、日本とドイツ、ブラジルの中小企業を対象に開始したが、ドイツ側の準備が遅れたため日本とブラジルの 2 国を対象として実施した。

2. 研究の目的

デジタル化を中小企業がいかに推進すべきかのロードマップを提示して、デジタル化の第一歩を進めることを中小企業に進めることが大切であると考え、2022 年からの日本国内での中小企業に対する調査研究の結果は(2022 年組織学会発表)インダストリー 4.0 に対する理解の混乱が観察される。

そこで、日本とブラジルの中小企業が、リーン生産方式がどの程度実践されているか(成熟度)の実態調査、インダストリー 3.0 および インダストリー 4.0 がどの程度実践されているかの成熟度を調査する。この目的の調査票を、日本語とポルトガル語で作成し、対象企業に送付する。

このようなアンケート方式では知りえない内容は、インタビューで聴取することとした。まず文献研究により関連する課題を調査して整理する。インダストリー4.0 の概念は広範囲に及びしかも複合的であるので課題の関連性を整理することは極めて重要である。この先行研究の調査により、インダストリー4.0 と現在主流の生産方式であるリーン生産方式との関係を明確にする必要がある。リーン生産方式は広く世界中で実践されているがそれぞれの国で独自に発展した内容や、異なる解釈の下実践されている概念もある。中小企業にとり一番分かりにくいのは、現在実践中のリーン生産方式と、インダストリー4.0 によるデジタル化がどのような位置関係にあるかを知ることにある。何がオーバーラップして、何が異なるのかが分からないと、新しい技術への第一歩を踏み出すことが困難である。デジタル技術も多様で、様々な技術が入り組んでいる。何を初めに実施すべきなのか、どのように中長期的な戦略を描くべきなのかを知る必要がある。本研究で、これらの関係を整理して中小企業が活用できるロードマップを提供することが目的である。

3. 研究の方法

研究の方法論は定量調査と定性調査の複合型で実施した。

まず研究対象に関連する先行研究を8つの分野について行った。それらは、リーン生産方式、リーン4.0、アーキテクチャー論(インテグラルとモジュラー)、製造業のサービスマネジメント化、プラットフォーム戦略、新しいメトリックマネジメント、顧客価値創造、そして、インダストリー3.0と4.0である。

定量的調査に関しては、調査票を日本語とポルトガル語で作成した。内容は、1. 企業サイズ、2. リーン生産の成熟度レベル、3. インダストリー3.0 の成熟度レベル、4. インダストリー4.0 の成熟度レベルの4項目である。これらの調査に日本の20社が、また、ブラジルの30社が回答した。

定性的調査項目として6項目を用意して日本企業2社、ブラジル企業10社を訪問インタビューした。これらの項目は、1. リーンの成熟度はインダストリー4.0 の前提となるか、2. ブラジル企業のリーン成熟度の特徴、3. なぜ OEE(総合設備効率指標)がインダストリー4.0 の実践と関係しているか、4. インダストリー4.0 についての共通の理解はあるか、5. インダストリー4.0 には2つの方向性があるか、6. インダストリー4.0 には「攻め」と「防御」アプローチがあるかである。各社、約2時間をかけて、現場視察、質疑応答を行い内容を記録した。

4. 研究成果

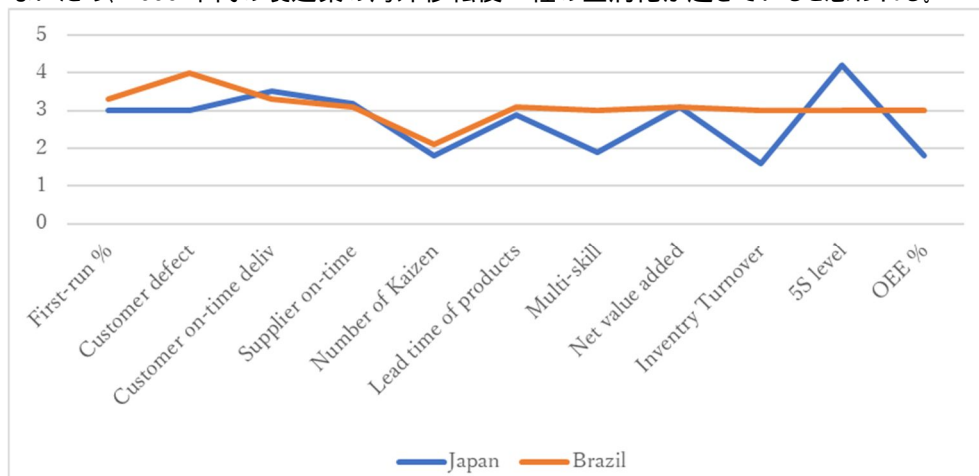
4-1 定量的調査の結果

(ア) 企業規模の調査

社員数、売上規模、資本金の3項目で調査した結果、今回の参加中小企業では日本の企業の方がブラジル企業に比べ、小規模である。企業規模、時に、従業員数が100名以下の企業では職務の分担が難しく、管理業務を担当するスタッフの不足がリーンの成熟度やデジタル化に影響を与えるものと推測される。

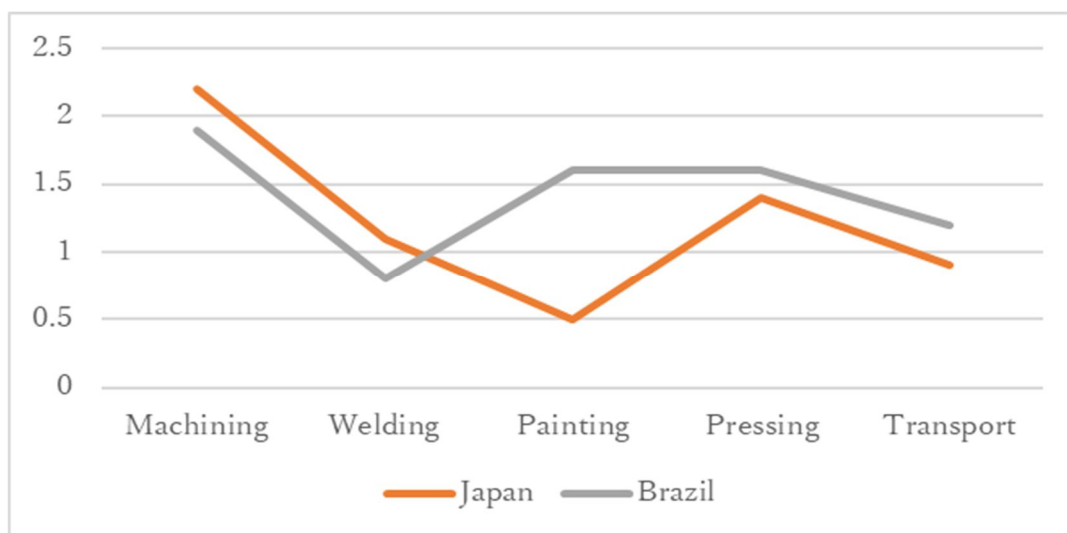
(イ) リーン生産の成熟度(図表2 参照)

日本、ブラジル企業とも平均でスケール3.2(最大で5.0)で大きな違いが無いことが示された。3.2という成熟度はそれほど高いレベルとは言えないが90%以上の企業がリーン生産を実践していることが示された。リーン生産はグローバルスタンダードに近い状態にある。ブラジル企業の中にはドイツ系企業の子会社が多かったため、生産技術の国際移転が良い状態で行われている。またブラジルの政府機関の職業訓練機関(SENAI)の活動も大きな影響をもたらしている。日本の中小企業への公的な訓練活動がないため、1990年代の製造業の海外移転後一種の空洞化が起きていると思われる。



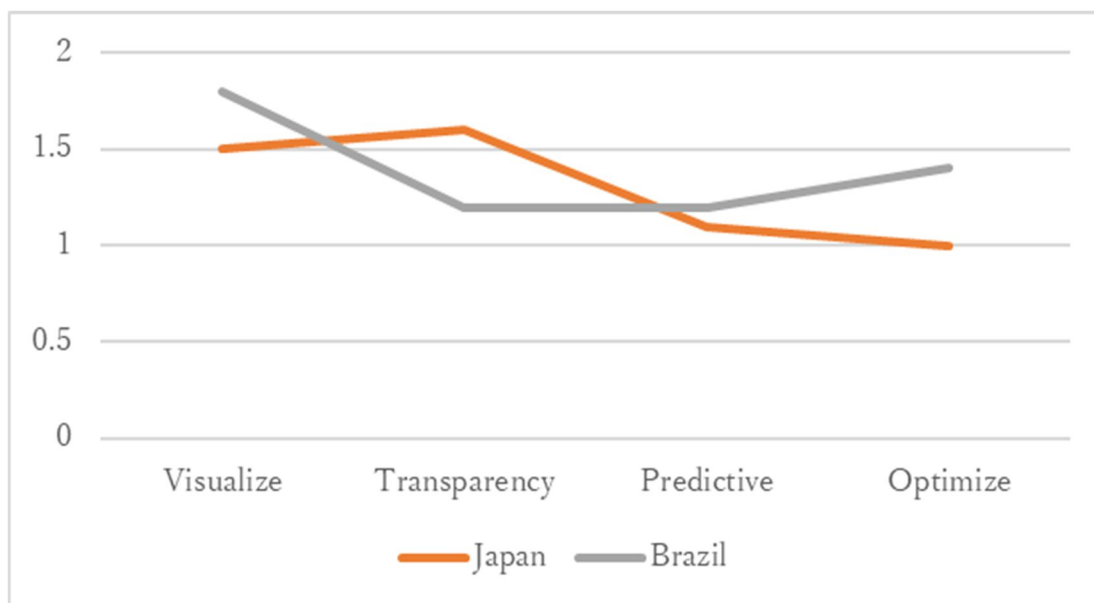
図表2 リーン成熟度の日本とブラジルの比較結果(筆者作成)

(ウ) インダストリー3.0の成熟度(図表3参照)
日本、ブラジル企業間で大きな差はみられない。



図表3 日本とブラジルのインダストリー3.0の比較結果(筆者作成)

(エ) インダストリー4.0の成熟度(図表4参照)
日本、ブラジル企業間で大きな差は見られない。



図表4. 日本とブラジルのインダストリー4.0の比較結果(筆者作成)

上記の定量的調査と定性的調査の結果を分析考察したところ以下のような6つの知見を得るに至った。リーンの成熟度はインダストリー4.0を実現するのに必要か。ブラジルでインダストリー4.0を導入していると回答した会社を訪問インタビューした結果、すべての企業がリーン生産の成熟度はインダストリー4.0の導入に不可欠であると回答した。ムダの無い生産工程を実現することがインダストリー4.0のベースとなるという意見が大勢を占めた。一部のデジタル化すればす

べてが解決すると言った考えは非現実的ということで、リーン生産方式の重要性は今後も変わらないと推測される。

ブラジル企業のリーン成熟度に関する考察。

ブラジルのリーン生産の成熟度、インダストリー3.0 と 4.0 の結果があまり日本と差がなかったことについては、いくつかの理由が考えられる。一つは、参加企業の規模が相対的に大きく新規技術の導入に余裕がある。また、ドイツ系の子会社が多かったことで国際技術移転が成功していること。公的な職業訓練機関の寄与などである。

なぜ OEE がインダストリー4.0 と関係するか。

ブラジルのインダストリー4.0 導入企業はすべて OEE がインダストリー4.0 の導入の前提となるという意見だった。OEE は総合設備効率指標であるので一つのアプローチとして妥当であろう。

インダストリー4.0 に共通の理解はあるか。

インダストリー4.0 についてはドイツ工学アカデミーの定義があるが、その理解には大きな差があることが分かった。どんなデジタル化でもインダストリー4.0 と考える企業が多い。

インダストリー4.0 には2つの方向があるか。

インダストリー4.0 には、個別の設備をデジタル化して、設備の効率を上げるという考え方と、個別設備のみならず、材料資材の供給や販売先での設備の稼働状況をデジタル化で連結してより広範囲の最適化を図るという考え方がある。後者のより広い範囲の最適化をデジタル化の目的とする企業は今回の対象企業の中にはなかった。

中小企業にとって、より広い範囲の最適化をデジタル化の目的とするアプローチは立場上極めて難しく、また技術用設計が非常に困難である。

この研究結果により、中小企業がデジタル化を進めるにあたりロードマップを持つことが可能となるのではないかと考える。

まず、リーンの成熟度を上げる地道な活動が必要である。リーン生産の考え方は 1980 年代にほぼその基本が完成し、その後、バリューストリームマップ(VSM)など発展を遂げている。リーン方式の実践には長い時間と忍耐が必要である。明確な成熟度の仕様を決め、その向上のために忍耐強い活動を推進する必要がある。

そして、そのリーン方式をベースとするデジタル化に満足することなく、もっと広範囲の最適化を顧客価値の創造という視点で追求する必要がある。この考え方にはコマツの KOMTRAX と SMART CONSTRUCTION の事例が分かりやすい。日本にはこの素晴らしいデジタル化のあるべき姿の事例があることを幸運に考え、他社もこの事例を良く学ぶべきである。

本研究の成果が、自社の状況に合わせたインダストリー4.0 の実現に努力する企業の一助となれば幸運である。

< 引用文献 >

Bauernhansl, T. (2014), "Die vierte industrielle Revolution-Der weg in ein wertschaffendes produktionsparadigma", Bauernhansl, T., Hompel, M. and Vogel-Heuser, B. (Eds), Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung Und Logistik, Springer Vieweg, Weisbaden, pp. 5-35.

Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krueger, A. and Hompel, M. (2020), "Industrie 4.0 maturity index managing the digital transformation of companies", Acatech STUDY, available

Ogi, K. (2015), Inndasutori 4.0 [Industry 4.0], ToyoShinbunnsya, Tokyo, Japan.

Tsukada, O. (2019), Toyota Seisan Hoshiki No Kaigai Itensyuhō No Kaiseki [Analysis of Transfer of Toyota Production System Overseas], Hakuto Syobou, Tokyo.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Osamu Tsukada, Ugo Ibusuki, Shigeru Kuchii, Anderson Tadeu de Santi Barbisa de Almeida	4. 巻 -
2. 論文標題 Is Lean manufacturing maturity a prerequisite for industry 4.0? Survey of SMEs in Japan and Brazil	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Lean Six Sigma	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1108/IJLSS-08-2023-0149	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 塚田 修
2. 発表標題 リーン生産成熟度はインダストリー4.0実現の前提条件か？－日・伯・独における実態調査－
3. 学会等名 組織学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塚田 修
2. 発表標題 中小製造業のインダストリー4.0実現を支援する調査研究
3. 学会等名 組織学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------