

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：32649

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K03459

研究課題名(和文) 技術が資本に体化された下での技術転換に関するマイクロデータ分析

研究課題名(英文) A Microdata Analysis on Technological Change when Technologies are Embodied in Capital

研究代表者

中村 豪 (NAKAMURA, Tsuyoshi)

東京経済大学・経済学部・教授

研究者番号：60323812

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：技術別に生産活動や修繕活動が定量化できるユニークなデータセットを用い、技術が設備に体化された下で、設備の修繕がどのように行われるのか、実証的に考察した。これにより、旧技術を体化した設備においても修繕は一定程度生産性を向上させており、新技術が採用された後もその効果を得るための修繕活動は続けられていることが分かった。ただし、次第に旧技術の利用が縮小していく中で、旧技術を体化した設備に対する修繕の収益率が低下するため、修繕活動が漸減していくことも示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study empirically analyzes repair and maintenance (R&M) of production facilities embodying technologies, exploiting a unique dataset that contains production and R&M with distinguishing technologies used. We find that R&M improves productivity to some extent even for facilities embodying an old technology, and the firm continued to use and repair the old technology after its adoption of new technology. However, as the use of old technology shrinks, the rate of return of R&M decreases for facilities embodying old technology. This explains the decreasing trend of R&M for such facilities a while after the adoption of new technology.

研究分野：実証的産業組織論、イノベーションの経済学

キーワード：修繕 生産性 技術転換 鉄鋼業

1. 研究開始当初の背景

本研究開始当初の背景としては、以下の3点が挙げられる。

まず1つは新旧技術の転換に伴う費用を巡る議論である。一般に新技術は旧技術に比べて生産性が高く、ひとたび新技術が登場すれば旧技術の使用をただちにやめ、新技術を採用する方が有利なはずである。しかし実際には、多くの事例において、新旧技術の転換には一定の時間がかかっている。これは、技術の転換には何らかの費用がかかっており、新技術が生産性において優位であっても、直ちにそちらに移行するのが最適とは限らないことを示唆している。

第2には、資本の vintage、およびそれに体化された技術の存在が指摘できる。伝統的な企業のモデルでは、資本ストックは同質であり、設備投資は単にその同質な資本ストックを拡充するものに過ぎない。しかし現実には、旧技術で生産を行うのに用いる設備と、新技術のための設備とはかなり異質なものであり、例えば旧技術の設備を強化しても新技術による生産を増やすことはできない。このように資本が生産技術を体化しており、どの技術を体化しているかによって vintage の区別がある場合、技術転換の意思決定は設備投資の意思決定を伴う。

さらに第3には、設備の修繕が持つ役割の重要性が挙げられる。従来は生産能力を拡充するには新規の設備投資のみがとりあげられていたが、既存設備の修繕や補修が持つ役割にも着目した研究が行われるようになってきた。長期間にわたって使用する設備の場合、その維持のために修繕が行われる。設備を使用していると減耗によってその生産性や生産能力が低下するが、修繕によって一旦劣化していた生産性や生産能力が回復することが先行研究においても示されている。設備を継続して使用し続けるようであれば修繕から得られる利益も大きい。もし技術転換に伴って旧技術を体化した設備を使わなくなるようであれば、修繕を続ける意味はなくなるであろう。

本研究は、これら既存研究でそれぞれになされてきた論点をつなぐことにより、新たな知見を得ようというものである。すなわち、修繕の役割を分析した既存研究では資本の vintage は考慮されず、どのような資本を修繕しているものかは区別していなかった。しかし上述のように、修繕が資本の生産能力や生産性を回復させるものであり、かつ一定の費用を伴うからには、技術の転換に伴って将来の利用の見込みがなくなれば、旧技術を体化した設備については修繕のインセンティブは低下するはずである。そのため技術の転換期には、修繕のあり方にも資本が同質の時とは異なるものが予想される。さらに、修繕の度合いがその設備の利用に対する見込みを反映しているのであれば、技術転換後の旧

技術を体化した設備の修繕状況には、どの程度その設備の利用価値を企業が認めていたかが反映されているはずであり、新技術導入後に旧技術を使い続ける価値、あるいは旧技術を廃止し新技術に移行することに伴う費用についても、示唆が得られるものと期待される。

2. 研究の目的

企業やプラントにおいても、古い生産技術から新しいものへの転換は一足飛びに生じるとは限らず、一定の時間を要するものである。新しい生産技術における不確実性が存在する場合などにおいて、新技術の導入と同時に古い技術を廃棄することは大きな費用を伴うからである。

本研究では、こうした技術転換に伴う調整過程の性質について、設備の修繕というデータに注目しながら考察しようというものである。古い技術を体化した設備について、新技術の導入後も修繕が行われており、修繕によって古い設備・技術の減耗を抑えているということは、それだけ技術の転換を遅らせる利益があることを示唆する。技術の転換期に旧技術を体化した設備の修繕が、どの程度行われ、また新技術への置き換えが進む中でどのように変化したのかを、実証的に探ることとする。

3. 研究の方法

本研究は、以下のように1つの製鉄所について、それを構成する工場レベルのパネルデータを作成し、実証分析を行う形で進めた。本研究では、既存研究には見られない詳細なデータが必要であり、まずそのデータセットの構築が必要となった。

本研究の分析対象は、戦後(1950年代から60年代初頭)の日本における鉄鋼業のうちの1企業が保有する製鉄所の1つである。鉄鋼業においては、1950年代に平炉と呼ばれる技術から、転炉と呼ばれる技術へと製鋼技術の転換が生じ、これによって飛躍的に生産性が上昇したことが知られている。これらの名称からも分かるように、鉄鋼業において製鋼技術は生産設備に強く体化されている。

本研究においては、生産や修繕に関するデータが、資本の vintage ごとに利用できる必要がある。本研究が主として依拠したデータは、「八幡製鐵参考資料」である。これは、八幡製鐵(現・日本製鐵)の八幡製鉄所において、生産活動や従業員数等に関する数値を、工場別・四半期別にまとめたものである。八幡製鉄所においては、平炉工場と転炉工場は別々に分かれており、工場別のデータを利用することで、vintage 別のデータが得られることになる。この資料には、「作業」に関す

る記録として生産活動等にかけた時間を、工場別・製鋼炉規模別に採録している。ここから修繕に要した時間数を知ることができ、本研究の核となるデータが得られている。これに加えて、各工場で用いられている設備の規模や年齢などの情報を加え、本研究で用いるデータセットを構築した。

このデータを用いて、まず実際に修繕をした後に生産性が回復するかどうかを分析した。粗鋼生産に用いられる投入要素および生産量（生産金額ではなく）のデータが得られているので、通常の生産関数分析の手法を用いて、修繕が生産性にもたらす効果を定量的に計測できる。

また、本研究では修繕の程度は企業（あるいは工場）が内生的に意思決定するものとして捉えているため、修繕の程度を決める式も推定することにした。ただし、動学的な意思決定を直接推定式に落とし込むには利用できるデータに限りもあり、誘導型として推定した上で、その性質を理論モデルと比較検討して考察を加える。

以上の推定は、いずれも vintage を区別して行う。これにより、新技術を体化した資本の追加は、単なる資本ストックの増加ではなく質的な変化を伴うものとして表現でき、また技術の転換期における修繕の意味の変化も捉えることができる。

4. 研究成果

まずデータより、当該製鉄所における技術転換の様子を把握した。新技術、すなわち転炉による生産は、1957年より開始している（なお、これは日本で最初の転炉の導入である）。導入当初は旧技術、すなわち平炉に比べてかなり少ない生産規模であったが、平炉による生産を上回るペースで拡大していき、導入から5年経った1962年には、平炉による生産が大幅に減少したこともあって生産量は逆転し、以降その差は拡大し続けている（図1。実線が平炉による生産量、点線が転炉による生産量）。このように当該製鉄所では、新旧技術の転換は漸進的に生じていた。

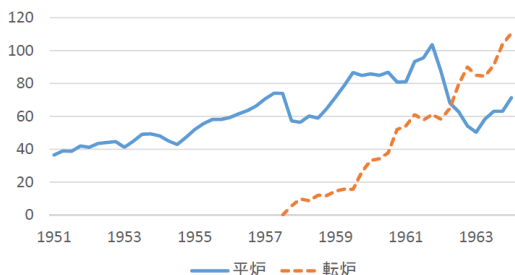


図1. 技術別粗鋼生産量（単位：万トン）

労働生産性を比べると、図2（実線が平炉、点線が転炉の値）のように一貫して新技術の方が上回っており、かつその差も緩やかなが

ら拡大傾向が見られる。図2における労働生産性は生産量を従業員数で割ったもので、生産量が比較的少ない時に変動が大きく出やすいが、新旧技術の生産性格差（対数値）をトレンドに回帰させると、四半期ごとに1.2%生産性格差が拡大したことが分かる（ P 値=0.052）。単純に生産性の面では、新技術への転換をできるだけ早く進めた方がよかったことが一見すると伺える。

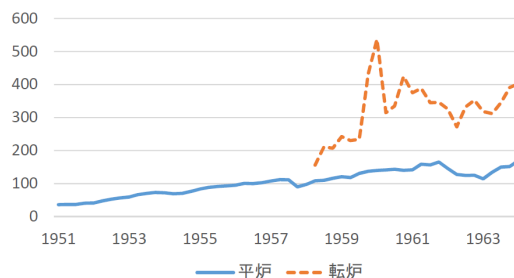


図2. 技術別労働生産性（単位：トン/人）

このような生産性の格差にも関わらず、旧技術は使われ続けていた。旧技術を使い続ける意思是、図3の修繕時間のグラフからも読み取れる。各四半期の総時間数（各四半期の長さにかける炉の数）のうち修繕にかけられていた分は、時期によって変動があるものの、概ね15%程度を占めていた。新技術による生産が始まった後も、旧技術を体化した設備を継続して利用する意思が伺える。ただし、新技術の登場以後は、それ以前に比べてやや修繕にかかる時間は低下している。新技術登場以前の平炉については、平均して17.1%の時間を修繕に充てていたが、新技術登場後にはこの値は13.9%まで低下している。転炉についてはこのような低下傾向は見られない。

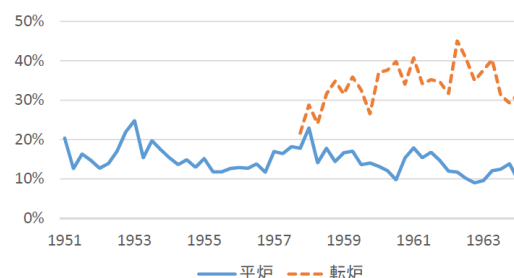


図3. 技術別修繕時間の割合

上記の議論では、暗黙裡に修繕が生産性の維持に役立つことを前提としていたが、この点は実証的に示す必要がある。修繕が他の目的、例えば事故の発生を防ぐために行われているとすると、継続的に使用する意思がなくても当座の修繕を行う必要があるからである。

生産性の指標としては、生産量を従業員数で割った労働生産性を用いることも可能で

はあるが、多くの先行研究では労働投入以外の要因もコントロールした全要素生産性を用いており、本研究もこれに従う。本研究では修繕に加え、粗鋼生産や従業員数など、生産関数を推定するのに必要なデータが、vintage を区別できる形で利用可能となっており、この枠組みの中に修繕の要因も取り込んで、修繕と全要素生産性の関係を分析することにする。

本研究で想定する生産関数は、

$$Y_{it} = O_{it} F(K_{it}, L_{it}) \quad (1)$$

のように、生産に従事する従業員数 L と、実効的な設備の水準 K から生産能力が決まり、それに稼働率 O をかけたものとして生産量 Y が決まるものである (i は工場の、 t は時間のインデックスである)。本研究のデータセットでは、各工場の操業時間も得られるため、これを稼働率の指標として用いる。

修繕の影響は、実効的な設備水準（実際の生産能力）に現れるものとする。平炉や転炉などの設備はまず経年劣化があり、設備年齢が上がるにつれて実効的な設備水準は低下する。また、同じ設備年齢でも集中的に生産に使用されると、やはり劣化は進むと考えられる。これに対して修繕を行ってれば、生産能力が回復し、実効的な設備水準は上昇するものと想定する。時間をかけて大規模な修繕を行えば、それだけ大幅に生産能力の回復も見込まれる。設備の年齢や生産の強度（出鋼回数で測る）のデータもそれぞれ得られるので、修繕による回復の程度を推定することができる。

このほか関数 F のシフト要因、すなわち生産性を変化させる要因として、学習効果（操業経験による生産性の改善）や工場固有の要因（付帯設備の状況など）も考慮して、生産関数を推定することになる。また生産関数の推定においてしばしば問題となる内生性や、誤差項の系列相関については、操作変数や GMM（一般化積率法）による推定を用いることで対応している。

主な推定結果は表 1 のようにまとめられる。複数の推定手法や定式化を試みているが、いずれも定性的には同様の結果が得られている。本研究の中心の関心事である修繕が生産、ないし生産性に及ぼす影響は、新旧どちらの技術についても有意に正である（定式化によっては、転炉の修繕の効果が正ではあるが、有意ではないという結果が得られる。これは転炉については観測値が少ないことに由来すると考えられる）。

この推定における被説明変数は生産量の対数階差なので、得られた係数 × 修繕の強度を計算することから、修繕によってどれだけ生産性の回復が見られたかが分かる。例えば生産時間の 15% を修繕に充てると、平炉の場合は $0.122 \times 0.15 = 1.83\%$ 、転炉の場合は $0.096 \times 0.15 = 1.44\%$ の生産性の回復が生じたといえる。平炉の方が修繕の効果が高まっているが、統計的に有意な差ではない。またさま

ざまな推定手法を試みたところ、平炉に比べて転炉の方が、推定値の分散が大きくなる傾向が見られた。

	平炉	転炉
修繕の水準	0.122 (0.013)	0.096 (0.016)
稼働率	0.931 (0.032)	1.989 (0.332)
従業員数	0.874 (0.033)	0.258 (0.122)
操業経験	0.098 (0.017)	0.002 (0.055)

表 1. 修繕と生産性の関係

注) 推定手法は操作変数を用いた GMM。カッコ内は工場別にクラスタリングした標準誤差。観測値数=207。平炉と転炉のデータをまとめた上で、平炉と転炉で係数が異なるモデルを推定した。

本研究では、このような修繕の水準がどのように決まっているかも考察した。上記の分析からも分かるように、修繕は実効的な設備水準を増やす一種の投資であると考えられる。そのため、投資の収益率を左右するような要因の関数として、修繕水準の決定式を考えることができる。

そのような要因の 1 つは、各工場における従業員数である。従業員規模の大きい工場では生産量も多く、修繕によって設備の生産性が回復すれば、それによって得られる利益も多くなるはずである。従業員数はある程度固定的に推移するものなので、将来的な利益の大きさも現在の従業員規模を反映したものと見なすことができる。他方、修繕を行うということは生産活動をその間止めるということでもあるので、需要が高まっている時には修繕の機会費用が大きいことが予想される。以上述べた従業員数と、（各工場ではなく）製鉄所全体の生産量の前期から今期にかけての変化率に加え、各工場の設備年齢を修繕の決定要因とする。

ただし、修繕水準の決定式がどのような関数形となるかは事前に明らかなものではない。想定した決定要因が修繕とは単調な関係ではない可能性（例えば設備年齢が非常に低い場合はあまり修繕の必要はないが、あまりに古い設備だと修繕をすることの利益も小さくなるというような）があり、ある要因の影響が別の要因の水準に依存する可能性（従業員数の多い工場ほど、需要が高まっている時の機会費用が大きいというような）もある。上述の決定要因はいずれも動学的な意思決定における状態変数と考えられ、これらの多

項式として修繕水準を決める式の推定を行うものとする。

推定の結果、決定係数が 0.6~0.7 程度の比較的当てはまりのよい式が得られた。推定結果から、観測値周辺における関数形を確認したものが図 4a および 4b である(ここでの修繕水準は、生産時間に対する修繕時間の比率なので、100%を超えることは原理的にあり得る)。平炉については、少なくとも実際にデータが得られた近傍では、従業員数と修繕の水準には正の相関が見られる。ここでは 1962 年のデータに関する結果のみを報告しているが、他の年においてもほぼ同様の傾向である。1960 年代に入って、図 1 に見られるような生産の低下を受けて平炉の従業員数も大きく減少していった(1963 年には 1960 年の 4 分の 3 程度の水準になった)。そのために平炉を修繕するインセンティブも低下したと考えられる。

これに対し、転炉については従業員数と修繕の関係は一樣ではない。転炉は導入されてから日が浅く、技術的には未だ不安定なものであった。このため、上述のような投資利益の大きさに関する効果のほか、操業が安定して従業員規模が大きくなるにつれ、予期せぬ修繕の必要が生じにくくなり、修繕の水準が低下する効果もあったことが考えられる。

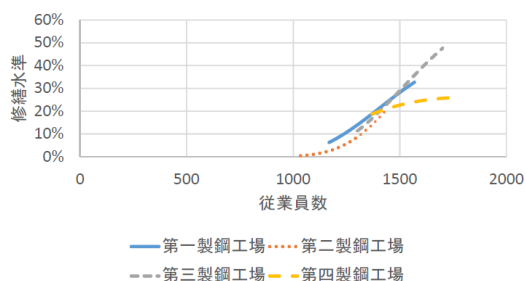


図 4a. 各平炉工場における従業員数と修繕の関係についての推定結果(1962 年の観測値近傍)

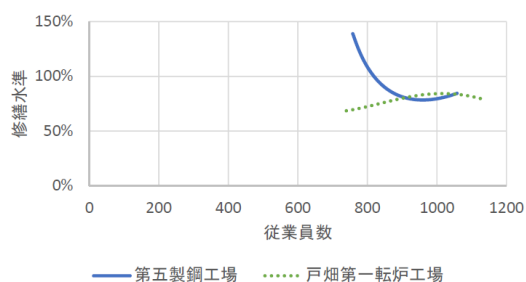


図 4b. 各転炉工場における従業員数と修繕の関係についての推定結果(1962 年の観測値近傍)

以上のように、本研究では、技術別に生産活動や修繕活動が定量化できるユニークなデータセットと用い、技術が設備に体化された下で、設備の修繕がどのように行われるの

か、実証的に考察した。これにより、修繕の効果は旧技術を体化した設備においても一定程度認められ、生産性を向上させており、新技術が採用された後もその効果を得るための修繕活動は続けられていることが分かった。ただし、次第に旧技術の利用が縮小していく中で、旧技術を体化した設備に対する修繕の収益率が低下し、修繕活動も漸減していくことも示唆された。

今後は、旧技術から新技術への転換自体が修繕のあり方にどのように影響したのか、また修繕によって旧技術の生産性を維持できることが、新技術への完全な転換(旧技術の廃止)に対してどの程度の影響を持っていたのか、更に明らかにする必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 0 件)

[図書](計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 豪 (NAKAMURA, Tsuyoshi)
東京経済大学・経済学部・教授
研究者番号: 60323812