

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32630

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K12850

研究課題名（和文）予想外の技術発展が起きるメカニズムの解明：問題解決プロセスの視点から

研究課題名（英文）Understanding the mechanism of unexpected technological trajectories: from the perspective of problem-solving process

研究代表者

久保田 達也（Kubota, Tatsuya）

成城大学・社会イノベーション学部・准教授

研究者番号：20634116

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：技術の中には、専門家たちによって予測された技術の発展経路を外れ、予想外の性能伸長を遂げるものがある。本研究の目的は、こうした予想外の技術発展を対象に、なぜ予想外の性能向上を遂げるのか、なぜ事前予測が困難なのかを、特に研究開発者たちの行動に焦点をあてて明らかにすることにある。予想外の発展を遂げてきた光露光装置を対象に定性分析を行った結果、研究開発者たちのもつ「認知フレーム」が有望な技術を過小評価させ、それらの技術への資源投入をさせにくくさせること、その結果、技術軌道が予想外となることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

予想外の性能伸長を対象に分析を行った研究はこれまでいくつか存在したものの、研究開発者の活動や技術に対する認知という側面からこの現象にアプローチした研究はほとんど存在しなかった。イノベーションの基礎となる技術軌道の問題を既存研究と異なる観点から説明したことには一定の学術的な意義があるといえる。また、本研究の知見を含めることで、技術が変化するタイミングをより正確に予測することが期待できる点や、研究開発マネジメントで留意すべき点を導き出したことは実践的意義があるといえる。

研究成果の概要（英文）：Some technologies develop unexpectedly, deviating from the technological development trajectory predicted by industry experts. This study aimed to clarify the reasons for these unexpected technological developments, focusing on the behavior of R&D personnel. We showed why technologies achieve unexpected performance gains and why it was difficult for experts to predict their trajectories. From the case study of optical lithography, which had experienced unexpected developments, we clarified that the cognitive frame that R&D personnel has caused R&D personnel to underestimate promising technologies. It makes investing resources in promising technologies difficult, making the technology trajectory unpredictable.

研究分野：経営学

キーワード：技術軌道 研究開発者 問題解決プロセス 認知フレーム 技術開発

1. 研究開始当初の背景

(1) 予想外の技術発展への注目

技術軌道の問題、すなわち技術がどのように性能向上し、どのような軌道をたどるのかは、イノベーションの問題を考える上での基礎となるものであり、これまで多くの研究者が注目してきた。その多くの研究では、初期はゆっくりとした技術進歩で、途中で急速に性能向上し、ある時点で限界に直面して性能向上が止まるという「S字カーブ」(Foster, 1987)を前提に議論を進めている。

しかし、技術の中にはこのような経路をたどらず、予想外の技術進歩を遂げるものもある。衰退したと思われる技術が突然、性能向上を遂げたり、予想に反して発展することがある。このような予想外の技術発展は、イノベーションの性質を理解したり、技術への投資判断を考える上で重要な問題である。

(2) 研究開発者による活動への注目

予想外の性能向上に対し、既存研究は複数の観点から説明してきた。例えば、新たな技術の登場により、旧来の技術が生き残りを賭けて性能を伸ばすという指摘(Harley, 1971)や、新しい技術を支えるエコシステム上の課題が、従来の技術を生き残らせるといった指摘(Adner and Kapoor, 2016)、顧客の嗜好の予想外の変化が古い技術を延命させるといった指摘(Tripsas, 2008)がある。このように、既存研究の多くは、外部環境の変化という視点から予想外の性能の伸長を説明してきた。

その一方で、予想外の性能伸長が、なぜ、どのようにして起きたのかを組織内部の視点から説明した研究はほとんどない。予想外の技術軌道の背後には、それに貢献した研究開発者の活動や、それを周囲で評価・観察し、予想を立ててきた研究開発者が存在するはずである。それにもかかわらず、彼らの活動から予想外の性能伸長を説明する研究は限られている。そこで、本研究では、特に研究開発者の活動という点に注目して、予想外の技術伸長にアプローチすることにした。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、以下の2つの問題の解明を目指した。

- (1) 研究開発者の活動から観点から予想外の性能伸長が起きるプロセスを明らかにすること
- (2) 研究開発者が正確に技術軌道を予測することが難しい理由を明らかにすること

これらの解明を通じて、予想外の技術発展のメカニズムを明らかにすることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、本研究では定性調査を用いてアプローチした。具体的には、半導体露光装置の露光方式を対象とした事例研究を行った。

(1) 露光装置産業の露光方式について

露光装置は、半導体の回路パターンを形成するために使われる技術で、マスクに描かれた回路パターンをシリコン上に焼き付ける(露光する)技術である。露光方式は、光露光を含めて複数の方式が存在し、光露光方式は1970年代から使われていた方式であった。この方式は、その技術特性から半導体の微細化要求に応えられないと考えられており、1990年代前半から2010年代後半に至るまで繰り返し、「数年後には、光露光方式に代わって新たな露光方式(EUV、X線、インプリントなど)が使われるようになる」と予測されていた。しかしながら、その予測に反し、光露光方式は性能を伸長させ、2018年までほぼ唯一の露光方式として使われてきた。光露光方式は、複数回にわたって予想外の発展を遂げた技術であり、本研究の課題を考える上で最適な技術であると考えられる。

(2) 分析方法

分析に必要なデータは、聞き取り調査、半導体ロードマップ、露光装置メーカー各社のプレスリリース、技術論文、新聞、書籍などから得た。

まず、ロードマップやプレスリリースなどの資料を用いて露光装置産業の変遷を把握した。露光装置では、どれだけ微細なパターンを切ることができるのかを示す性能である「解像度」が特に重視される。資料から、解像度とそれに影響を与えるパラメーター(光源波長、NA、k1)の推移を明らかにし、これらのパラメータの増加に寄与した主要技術を特定した。

その後、露光装置産業をはじめとする半導体関連産業のキーパーソン(当時)に対して、聞き取り調査を実施した。具体的には、発展に大きく寄与した技術を開発した開発者、光露光装置の開発に携わった開発者、ロードマップの策定に携わっていた開発者などを対象に半構造化インタビューを実施した。露光装置メーカーの発展を知る上で重要となるキーパーソンの多くを網羅していることが本研究の特徴のひとつである。聞き取り調査は、2018年から2021年にかけて

て行われ、主要技術の開発プロセスや、その技術に対する開発者の評価、その技術が発展経路に与える影響などを明らかにすることができた。

4. 研究成果

(1) 予想外の発展に寄与した技術について

半導体露光装置の発展に寄与した技術は大きく二つ存在することが明らかになった。ひとつは1990年代中盤に導入された技術であり、もうひとつは2004年以降に導入された技術である。これらの技術に共通していたのは、(1)技術の基本となるアイデアは導入されるよりかなり前から存在しており、(2)登場してからしばらくの間、これらの技術に対して、開発者が否定的な反応を示していたということである。後に半導体を作る上で不可欠な技術になるものの、登場してからしばらくは、研究者達はその技術の価値をほとんど評価してこなかった。これらの技術が、「予想外」の技術発展に貢献していたことが示された。

(2) 見落とされてきた背景について

なぜ後に有望だと分かる技術の価値が、事前には評価されてこなかったのだろうか。インタビューからは、研究開発者達のもつ「認知フレーム」が技術の価値を過小評価させることに繋がっていることが明らかになった。認知フレームとは、技術を意味づけする、当該産業特有の認知枠組みのことである。半導体業界では、生産装置やプロセスに会わせてこの認知枠組みが形成されており、この枠組みが上記の二つの技術を遠ざけていたことが明らかになった。研究開発者たちは、これらの技術を否定的に捉え、開発努力を十分に投入してこなかったのである。同様の理由で、将来の技術予測においてこれらの技術は含まれていなかった。「予想外」の技術の発展の背後には、研究開発者の認知フレームと、それに適合しない技術の存在があることが明らかになった。

(3) 貢献点

これまで予想外の技術発展を対象に研究はいくつか行われてきたが、研究開発者の活動や技術に対する認知という側面からこの現象にアプローチした研究はほとんど存在しなかった。新たな観点から予想外の技術発展を説明したことは、技術軌道の研究での重要な貢献であるといえる。また、本研究の知見を用いると、より正確に技術が変化するタイミングを予測することが可能になったり、研究開発マネジメントで留意すべき点を導き出せたりする可能性がある。その点で、本研究は実践的・社会的な意義もあるといえる。

今後は、本研究で対象とした露光装置産業だけでなく、他の産業へも分析対象を拡大し、メカニズムの精緻化と一般化を図る必要がある。

参考文献

- Adner, R. and Kapoor, R. "Innovation ecosystems and the pace of substitution: Re-examining technology S-curves," *Strategic Management Journal*, vol. 37, 2016, pp. 625-648.
- Foster, R. *The Attacker's Advantage*, London: Pan Books, 1987.
- Harley, C. "The shift from sailing ships to steamships, 1850-1890: A study in technological change and its diffusion," in *Essays on a Mature Economy: Britain after 1840*, D. N. McCloskey, Ed. Princeton: Princeton University Press, 1971, pp. 215-238.
- Tripsas, M. "Customer preference discontinuities: a trigger for radical technological change," *Management and Decision Economics*, vol. 29, 2008, pp. 79-97.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yaichi Aoshima, Tatsuya Kubota
2. 発表標題 The role of cognitive frames that impede and drive the technological evolution
3. 学会等名 PICMET (Portland International Center for Management of Engineering and Technology) '22 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuya Kubota and Yaichi Aoshima
2. 発表標題 Expanding the Limits of Problem-solving: How has the life of optical lithography technology been repeatedly extended?
3. 学会等名 Asia Pacific Innovation Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Kubota and Yaichi Aoshima
2. 発表標題 Expanding the Limits of Problem-solving
3. 学会等名 Open Innovation Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田達也
2. 発表標題 認知ギャップと技術軌道：光露光方式の予想外の延命を対象とした分析
3. 学会等名 IIRサマースクール 2022 (招待講演)
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
---------	---------