

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：27103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K03966

研究課題名(和文) 学術研究における経路依存の発生過程および企業の研究開発への影響の解明

研究課題名(英文) A study on generation process of path dependency for scientific research and an effect of the dependency on R & D for enterprises

研究代表者

品川 啓介 (Shinagawa, Keisuke)

福岡女子大学・女性リーダーシップセンター・教授

研究者番号：70791549

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：自然科学分野の専門の学術領域を構成する研究者集団には、それまでの成果や蓄積された知識に囚われ他領域の進歩や現況の認識を欠いたまま、それぞれの研究に邁進してしまう現象が散見される。本研究ではこのような現象を経路依存と定義し、自然科学への依拠の度合の高いハイテク製品開発において、製品化の鍵とされながら、その成否が分かれた競合する学術分野に対し、それぞれ定量分析(関連する科学論文の書誌情報分析)と定性分析(研究者へのインタビューなど)を行うことで、「経路依存」が発生する過程と、それが企業の研究開発へ及ぼす影響を理論化する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

経路依存が自然科学分野の研究者集団でも生じることについて学術的に解明するものは見られない。そこで経路依存の発生過程について定性分析と定量分析(論文書誌情報分析)とを合わせて議論を進めた。加えてそれが企業の研究開発に及ぼす影響について議論した。結果、成功に至らなかった集団は大企業の保守的な体質の影響を受けやすく既存の理論や知識の蓄積に焦点を当て、新しいアプローチを敬遠するルーチンを持つこと、成功に至った集団は、保守的な体質を有さず既存の科学理論を覆すような試みを頻繁に行う型破りなルーチンを有していたことが分かった。この結果は企業の研究開発戦略策定において熟慮すべきものとして意義を持つと考える。

研究成果の概要(英文)：In community of researchers who comprise specialised academic fields in the natural sciences, there is a phenomenon in which they are trapped by previous achievements and accumulated knowledge, and pursue their own research without being aware of the progress and current status of other fields. In this study, this phenomenon is defined as path dependency, and quantitative analysis (analysis of bibliographic information on relevant scientific papers) and qualitative analysis (interviews with researchers, etc.) are conducted on competing academic fields, which are considered key to the development of high-tech products with a high degree of reliance on natural science, but which have been divided in their success or failure, respectively. Theorise the process by which 'path dependence' emerges and its impact on corporate R&D.

研究分野：経営学

キーワード：scientific progress path dependency knowledge accumulation routine 科学進歩 経路依存 知識蓄積 ルーチン

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は、企業内の技術開発において経路依存が存在することを示唆する研究[1]は多く見られていた。しかし自然科学分野の研究者集団において同様の現象が生じることを検証する議論は見られなかった。ここでいう経路依存とは、蓄積された知識やルーチンに囚われ他領域の進歩や現況の認識を欠いたまま、自身の領域の技術開発に邁進してしまうことで発展の方向性(発展経路)の幅を決めてしまう現象を指す。これに対し、本研究は Kuhn (1962)[1], Price (1963)[2], Crain (1972)[3]らの先行研究から科学進歩は科学知識の蓄積の上に成り立つという解釈に着想を得て、知識の蓄積性が科学の発展経路を決定するという仮説を設けた。研究対象として自然科学の研究がハイテク製品開発の要となった研究を選び経路依存の発生過程を分析することで、得られた知識は国や企業の、ハイテク産業の持続的成長のための研究戦略策定において勘案すべきものに成り得ると考えた。

2. 研究の目的

自然科学分野の専門の学術領域を構成する研究者集団には、それまでの成果や蓄積された知識に囚われ他領域の進歩や現況の認識を欠いたまま、それぞれの研究に邁進してしまう現象が散見される。本研究ではこのような現象を科学研究における経路依存と定義し、自然科学への依拠の度合の高いハイテク製品開発において、製品化の鍵とされながら、その成否が分かれた競合する学術分野に対し、発展経路を科学論文の書誌情報分析で、その時の研究者集団の研究に対する認識を研究者へのインタビューから明らかにすることで、科学研究における「経路依存」が発生の特徴と、それが企業の研究開発へ及ぼす影響を理論化することを目的とした。

3. 研究の方法

この研究対象として、ハイテク製品開発の要となる研究において競合した研究として知られる、先端 LSI 開発に欠かせない微細パタンニング技術である NIL (Nano Imprint) 技術開発研究と EUVL (Extreme ultraviolet lithography) 術開発研究および、青色発光ダイオード開発における新しい発光素材開発として競合した NIL (gallium nitride) 結晶開発研究と EUVL (Zinc selenide) 結晶開発研究などを研究対象として選び(1)(2)(3)(4)(5)の順に研究を進めた。(両者とも同様の結果が得られたことから本報告では Nano Imprint 技術開発研究と EUVL 技術開発研究の事例について説明する)

(1) 一般資料による状況分析

技術専門誌、技術新聞から、先端 LSI 開発に欠かせない微細パタンニング技術である NIL (Nano Imprint) 技術開発研究と EUVL (Extreme ultraviolet lithography) 術開発研究の進展を整理する。

(2) 論文書誌情報の分析 (I)

(1)を踏まえ各研究の「発展経路」を明らかにすることを目的に、論文書誌データベース Scopus(エルゼビア・ジャパン株式会社)を用いそれらの進展に関わる研究論文を収集し、論文累積数推移からそれぞれの科学進歩を明らかにする。(ここでは(1)の結果からスループット向上であったことからこれに焦点をあてた)

(3) 論文書誌情報の分析 (II)

(2)の論文累積数推移の分析の際に収集した研究群の中から、研究の急進(論文累積数の急増)の契機となった研究を特定することを目的に被引用数の高い研究を見出す。

(4) 研究関係者への半構造化インタビュー

(2)(3)の結果を踏まえ、それぞれの研究における「経路依存」の発生過程とそれが企業に与えた影響を把握することを目的に、それぞれの研究関係者に(研究)当時の認識、研究を取り巻く環境などの事象を半構造化インタビューによって明らかにする。

(5) 考察とまとめ

(2)(3)(4)の結果を照合し、研究者集団に発生する経路依存の発生過程の解明とこれをもとにした提言を行う。

4. 研究成果

(1)一般資料による状況分析

両開発の現状について記す。EUVL は先端光学を用いた回路パタンニング技術でありキヤノン、ニコン、ASML(オランダ国)の光学機器メーカー大手3社が2000年前後より本格的に開発を始めていた。しかし光源の出力が上がらず、量産に適したスループットがかなわない為、量産への適用が遅れていた。一方、Nanoimprint は回路パタンの版を転写して回路パタンを形成する技術であるが、これまで LSI 製造に用いられたことがなく、そのため次世代 LSI への応用はほとんど意識されてこなかった。EUVL 開

発に臨んでいた光学機器メーカーのキヤノンは EUVL の開発を断念し、2014 年、米国の Nanoimprint 機器メーカーの M&A に踏み切り、研究の方向転換を図った。本研究の時点では、両者とも有力 LSI 製造企業にこれらの研究を基にした試作機が導入されていたが、スループットを満足させることができず、その向上が課題となっていた。

(1) 論文書誌情報の分析 (I)

図 1 は、NIL や EUVL の本格的な研究の始まった 1995 年から本研究に着手した 2018 年までの NIL と EUVL の研究に関連する累積論文数の推移を示したものである。この図において、NIL 研究に関連する累積論文数は \bullet で示されており、1995 年から 2003 年頃まで徐々に増加し、その後急速に増加しておりこの推移はロジスティック曲線に類似している。一方、EUVL 研究に関連する累積論文数は \circ であり、1995 年から 2018 年まで時間の経過に比例して単調に増加している。これらの特徴を定量的に検証するために、NIL 研究に関連する累積論文数をロジスティック方程式で近似し、EUVL 研究に関連する累積論文数を一次方程式に近似した。NIL 研究の累積論文数についてロジスティック方程式に近似した結果は、 $E(Yt) = (1/1000 + (1.19E+197) \times 0.701^t)^{-1}$ であり決定係数 (R^2) は 0.985 となった。なお、 $E(Yt)$ は累積論文数、 t は時間 (西暦年) を表す。この結果は、NIL 研究の累積論文数の推移はロジスティック方程式への近似が適切であることを示唆している。次に EUVL 研究の累積論文数を一次方程式に近似すると $E(Yt) = -57 + 9.3953t$ となり、決定係数 (R^2) は 0.965 であった。この結果は、EUVL 研究の累積論文数の推移は一次方程式への近似が適切であることを示唆している。イノベーションの普及理論 [5] をもとに NIL 研究の結果がロジスティック式への近似に適していることを踏まえると、この研究においては、後の研究発展に強く影響する研究が早い段階で存在したことが示唆される。さらに本研究の先行研究である Kuhn (1962)[1]、Price (1963)[2]、Crain (1972)[3]、Guputa (1995)[5] の主張を踏まえると NIL 研究の急増は 1995 ~ 2003 年の間にその後の研究活動を活発化させる影響力の大きい研究が存在したことを示唆する。一方、EUVL 研究の結果が一次式への近似に適していることを踏まえると、この研究においては後の NIL 研究のように後の研究発展に強く影響する研究は存在しなかったことが示唆される。

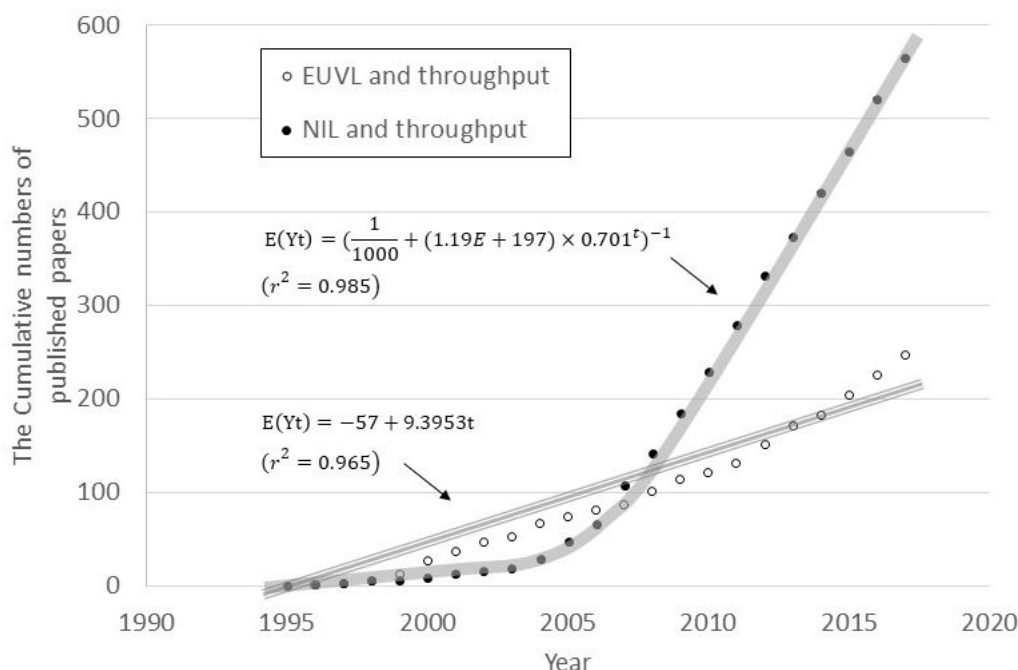


図 1: NIL と EUVL 研究の累積論文数の比較

(2) 論文書誌情報の分析 (II)

(1)の結果を踏まえ、NIL 研究について論文数が急増した時期である 1995 年から 2003 年にかけて発表された NIL に関する研究論文のうち、被引用数の大きい上位 3 件を抽出し表 1 にリスト化した。最も被引用数が多い論文は、Zankovych らによる 2001 年のレビュー論文 [15] である。しかし、これは新たな科学成果を報告するものではないので後の研究活動を活性化するものではないと解釈し対象からは除外する。2 番目に被引用数が多いのは、Li らによる論文 (2001 年) で、実験的に NIL による 40nm 以下の LSI の作製を試みた研究であり、将来の先端 LSI 作製につながるものであった [16]。3 番目に被引用数が多いのは、Komuro ら (2000) の論文で、シリコン基板上に高分子材料からなるナノスケールの表面レリーフを持つハードモールドを離型することに成功し、スループットの向上を目指したものである [17]。これらの結果は Li ら (2001) [16] や Komuro ら (2000) [17] の研究者がその後の研究の活性化に影響を与えたことが示唆される。

表 1 1995 年から 2003 年の間に発表された NIL 研究論文のうち、最も引用された論文のトップ 3

<i>Authors</i>	<i>Title</i>	<i>Source</i>	<i>No. of citations</i>
Zankovych, S., Hoffmann, T., Seekamp, J., Bruch, J.-U., Sotomayor Torres, C.M.	Nanoimprint lithography: Challenges and prospects	2001. Nanotechnology 12(2), pp. 91-95	173
Li, M., Chen, L., Chou, S.Y.	Direct three- dimensional patterning using nanoimprint lithography	2001. Applied Physics Letters 78(21), pp. 3322- 3324	107
Komuro, M., Taniguchi, J., Inoue, S., (...), Hiroshima, H., Matsui, S.	Imprint characteristics by photo-induced solidification of liquid polymer	2000. Japanese Journal of Applied Physics, Part 1: 39(12 B), pp. 7075- 7079	106

(3) 研究関係者への半構造化インタビュー結果

科学進歩の急進がある科学(ここでは NIL 研究)とない科学(ここでは EUVL 研究)の背後の知識蓄積の特性にはどのような違いがあるのかについて、行政研究機関で EUVL の研究に携わっていた研究者 A、民間研究機関で EUVL の研究に携わっていた研究者 B と、行政研究機関で NIL の研究に携わっていた研究者 C、民間研究機関で NIL の研究に携わっていた D にインタビューした。その結果を表 2 に示す。

Q1 から、両者の研究の進歩は知識蓄積によることがわかる。Q2 から EUVL はマルチパタンニング(既存パタンニングの延長技術)を競合と捉えており NIL を競合としていないことがわかる。NIL は EUVL を競合と捉えている。Q3 と Q8 から、両研究は他の研究に注意を払っていないことが推測され自身の研究領域の発展を確信していることがわかる。Q4, Q5 から両研究はそれぞれの課題を理解していたことがわかる。Q6、Q7 から両者は多かれ少なかれ、自社のコンピテンスに沿って研究対象を選んだことがわかる。以上から、両者ともそれまでの成果や蓄積された知識に囚われ他領域の進歩や現況の認識を欠いたまま、それぞれの研究に邁進してしまう現象が散見された。また、Q2 の EUVL の結果は、特徴的で NIL を意識していなかったことから、かなり強く自身の領域の研究の成功を確信していたことが見て取れる。

表 2. 研究関係者への半構造化インタビュー結果

研究区分	EUVL		NIL	
	A	B	C	D
Q1: あなたの領域の科学進歩は知識の蓄積によるものですか?	Yes	Yes	Yes	Yes
Q2:			EUVL	EUVL

あなたの領域のライバルとなる研究は何ですか?	マルチパタニング	マルチパタニング		
Q3: あなた以外の研究領域の研究は実用化に適していると思いますか?	思わない	思わない	思わない	思わない
Q4: EUVLのブレークスルーとして必要なものは何でしょうか?	光源の発光強度強化	光源の発光強度強化	光源の発光強度強化	光源の発光強度強化
Q5: NILのブレークスルーとして必要なものは何でしょうか?	ハードモールドを離型	ハードモールドを離型	ハードモールドを離型	ハードモールドを離型
Q6: EUVL装置企業がそれを選んだ理由はなんでしょうか?	自社コンピテンス	自社コンピテンス	自社コンピテンス	自社コンピテンス
Q7: NIL装置企業がそれを選んだ理由はなんでしょうか?	副次的なコンピテンス	副次的なコンピテンス	副次的なコンピテンス	副次的なコンピテンス
Q8: 将来のパタニング技術は何でしょうか?	EUVL	EUVL	NIL	NIL

(4)考察とまとめ

以上の結果から、専門領域の科学者集団における経路依存性は科学の進歩を支える知識の蓄積性によって存在することがわかった。また、専門領域の研究者集団は、科学進歩が急加速している場合でも、そうではない場合でも経路依存性から逃れることができないということが見出された。

これらの結果から、研究が高度化することで研究開発に対する大きな努力(時間、費用)が膨大になる現在、研究管理者、研究者は、競合とのアライアンスを構築する、または、競合との情報を共有し互いの深度を意識して研究にとりくむ仕組みを備える必要があることが示唆された。この概念は、ハイテク産業の持続的成長のための研究戦略策定において勘案すべきものに成り得ると考えた。

参考文献

- [1] Nelson, Richard R. and Sidney G. Winter: An Evolutionary Theory of Economic Change. (The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA, 1982).
- [2] Kuhn, Thomas S: The Structure of Scientific Revolutions. (University of Chicago Press, Chicago, 1962).
- [3] de Solla Price, Derek J: Little Science, Big Science. (Columbia University Press, New York, 1963).
- [4] Crane, D: Invisible Colleges: Diffusion of Knowledge in Scientific Communities. (Chicago: University of Chicago Press, 1972).
- [5] Rogers, Everett M: Diffusion of innovations, (The Free Press of Glencoe, Division of The Macmillan Co., New York, 1962).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 SHINAGAWA Keisuke	4. 巻 11
2. 論文標題 Does path dependency in scientific community shape technological uncertainty?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Japan Association for Management Systems	6. 最初と最後の頁 41～48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14790/ijams.11.41	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Keisuke Shinagawa
2. 発表標題 Detection of promising science that contributes to high-tech business innovation
3. 学会等名 The XXXIII ISPIM Innovation Conference "Innovating in a Digital World", held in Copenhagen, Denmark on 05 June to 08 June 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Shinagawa
2. 発表標題 Are the SDGs challenges to tame problems?
3. 学会等名 The ISPIM Innovation Conference Innovating Our Common Future, Berlin, Germany on June 2021.（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Shinagawa
2. 発表標題 Creative thinking for deriving fruitful research themes of SDGs
3. 学会等名 ISPIM Connects Global 2020: Celebrating the World of Innovation - Virtual, 6-8 December 2020.（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Shinagawa
2. 発表標題 Does path dependency in scientific progress influence technological turbulence?
3. 学会等名 ISPIM Connects Fukuoka: Building on Innovation Tradition, Fukuoka, Japan on 2-5 December 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shinagawa
2. 発表標題 Creative thinking process towards the Nobel Prize in Physics
3. 学会等名 The ISPIM Innovation Conference Innovating, The Name of The Game, Stockholm, Sweden on 17-20 June 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shinagawa
2. 発表標題 What can the SECI model tell us about scientific innovation?
3. 学会等名 ISPIM Innovation summit (Dec 2017), Melbourne Australia (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>「SDGsを念頭に置いたイノベティブなアイデア発想法の基礎」 https://www.brighttalk.com/webcast/17932/431665/sdg アイデアの生み出し方を考える～イノベーションのアイデア教室～ 6/28開催イベントレポート https://open.kyoto/reads/2890/ 「ライフサイエンスゼミ」GoodLifeをめざす事業を立ち上げよう！ https://www.innovation-osaka.jp/ja/event-report/event-report-8883/</p>

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
---------	---------