

半導体プロセスエンジニアの暗黙知に関するインタビュー調査と探索的分析

Interview survey and exploratory analysis of tacit knowledge in semiconductor process engineers

池原 優斗[†], 岡谷 基弘[‡], 宮原 克典[†]
Yuto Ikehara, Motohiro Okaya, Katsunori Miyahara

[†]北海道大学, [‡]東京エレクトロン株式会社
Hokkaido University, Tokyo Electron Ltd.
ikehara.yuto.p0@elms.hokudai.ac.jp

概要

半導体プロセスエンジニアにおける暗黙知、および、その習得・継承のプロセスの解明を目的とした予備的インタビュー調査について報告する。哲学や文化人類学の理論に基づいて、半導体プロセスエンジニアの暗黙知に関する仮説を「ドレイファスのモデルにおける規則としての物理的知識」、「モノが学習のための行為を形作る」、「様々な要素の影響を受けて形成されるモデル」という三つの論点に分けて提案する。

キーワード: 暗黙知、技能習得、技能継承、エンジニア、ドレイファス、アクターネットワーク理論、正統的周辺参加

1. はじめに

本発表では、半導体プロセスエンジニアにおける暗黙知、および、その習得・継承のプロセスを明らかにすることを目的とした予備的インタビュー調査に関する報告をおこなう。ここでいう半導体プロセスエンジニア（以下、「プロセスエンジニア」と表記）とは、半導体製造装置の仕様検討からプロセス条件設定までを担当する技術者である。プロセスエンジニアは、長年業務に携わるなかでさまざまな「暗黙知」(Polanyi, 2009 高橋 2003) を習得すると考えられる。この暗黙知の具体的な性格や習得プロセスが把握できれば、プロセスエンジニアの育成や業務効率化に大いに役立つと思われるが、これまでプロセスエンジニアの暗黙知の性格は十分に解明されていない。

本研究では、プロセスエンジニアの暗黙知を解明するための最初のステップとして探索的なインタビュー調査を行い、哲学や文化人類学における理論に基づいてインタビュー内容が暗黙知および暗黙知の継承に関してどのようなことを示しているかを分析した。本発表では、調査と分析の内容を「ドレイファスのモデルにおける規則としての物理的知識」(3.1)、「モノが学習のための行為を形作る」(3.2)、「様々な要素の影響を受け

て形成されるモデル」(3.3) という三つの論点に分けて紹介する。

なお、本研究は、北海道大学人間知・脳・AI 研究教育センター (CHAIN) と東京エレクトロン (TEL) による共同研究の一環として実施されたものである。

2. 調査対象と方法

本発表におけるデータは、CHAIN と TEL による共同研究において、TEL のプロセスエンジニアに対して、予備的なインタビュー調査を行った際に得られた。インタビュー調査は、一人のエンジニアに対して行う個別調査を 5 回 (2024 年 1 月 17 日、1 月 19 日、1 月 24 日、1 月 25 日、1 月 26 日) 実施し、3 名のエンジニアに対して調査をおこなう複数人数インタビューを 1 回 (2024 年 1 月 23 日) 実施した。インタビューは、すべて事前に質問項目を定めない「非構造化インタビュー」の形式で実施した。ただし、本調査はあくまでも予備的なものであり、デプスインタビュー等の特定の метод論を採用して行ったものではない。

3. 結果と考察

本研究では、今後実施予定の本格的な調査に向けて着目すべき論点を洗い出すために、哲学や文化人類学の理論に基づいて予備的なインタビューから得られたデータの解釈を試みた。以下では、「ドレイファスのモデルにおける規則としての物理的知識」(3.1)、「モノが学習のための行為を形作る」(3.2)、「様々な要素の影響を受けて形成されるモデル」(3.3) という三つの論点に分けて、その内容を報告する。

3.1. ドレイファスのモデルにおける規則としての物理的知識

第一に、本実験のインタビューデータでは、プロセスエンジニアの暗黙知の習得プロセスがドレイファスら (Dreyfus & Dreyfus, 1986 棕田訳 1987) の熟練技能獲得5段階モデルと合致した性格をもつことが示唆された。ドレイファスらによると、ある技能を学び始めたばかりのビギナーは、まず全体的な文脈から切り離された分析的な事実と抽象的な規則を学ぶ。それに対して、熟練者や達人の域に達した者は、全体的な状況を直観的に理解し、必ずしも抽象的な規則に頼ることなく、具体的な個別的な状況に臨機応変に対応することができる。

本インタビューでは、経験の浅いエンジニアと経験豊富なエンジニアにおける物理的知識の位置づけが、ドレイファスらのモデルにおけるビギナーとエキスパートの違いに対応した性格をもつことが示唆された。

半導体の製造で利用される技術については一定の物理学的な説明があり、経験の浅いエンジニアは、この物理的知識に基づいて基本的な技術を身につけていく。

経験の浅いエンジニアは次のように語っている。

どっちかっていうと、この形状を意識しながら作っていると言うよりは、なんか現象をその理解しようとしてその評価進めてる感じなので、先輩にこれなんでこんな形状なったんですかねっていう話をしてて、こういう現象なんじゃないみたいな話を言って (エンジニア A)

また、経験が浅いエンジニアに対して、経験豊富なエンジニアが助言をする際には物理現象の説明が意識されていることがインタビューでは述べられていた。

その実際に何が起きてるかってのはちょっとじゃあ一緒に考えようかっていう感じで、まあ今話に出ましたけど、まあ、その現象どういうことかっていうのは、ちょっと話すようにしています。(中略) まあ、うん、本当に物理的に何が起きてるかっていうのを、あのそういうところで話すようにして心がけてます (エンジニア B)

しかし、実際の半導体の製造では様々な変数が複雑

に関係するため、物理的知識のみで結果を完全に説明することはできない。よって、エキスパートレベルのエンジニアは物理的知識を絶対的なものとして扱わず、経験に基づいた暗黙知を用いて、最終的に作り出される形状を意識しながら半導体製造装置の操作を行う。

経験豊富なエンジニアは、半導体の製造時に起こる現象が理論によって全てを説明できないことを踏まえて、経験が浅いエンジニアに説明している。

僕の場合は、あの事実と理論をあのうちゃんと別々に考えて説明することかなと思ってます。(中略) 正直、あの100%説明することできないんですよ。プラズマっていうすごい複雑なものを扱っている以上、それを完璧に解釈することできなくて、まあある程度見当を付けるぐらいしかできないんで。(中略) 理論一辺倒でこうやったらこうなるはずだっていう気持ちで結果を見ちゃうと誤った解釈をしてしまったりとか、偏った場所しか見なくなったりとかしてしまうので、そうではなくて、まあ素直に結果ここは良くなってんだけど、ここは悪くなっているよねみたいな (エンジニア C)

これらの事例は、プロセスエンジニアにおける技能習得プロセスがドレイファスらの熟練技能獲得モデルに合致したものである可能性を示唆する。

3.2. モノが学習のための行為を形作る

第二に、本実験のインタビューデータでは、プロセスエンジニアにおける暗黙知は、モノによって形作られた学習のための行為によって継承される面があることが示唆された。「モノが行為を形作る」という考え方は「アクターネットワーク理論」(Latour, 2005 伊藤訳 2019; Callon & Law, 1997 林訳 1999) において打ち出されている。日常的にも学術的にも、行為を形成する「エージェンシー (主体性)」は、個人に属すものと考えられることが多い。しかし、アクターネットワーク理論は、エージェンシーを人間と非人間からなるネットワークの効果として捉える。その際、ネットワークをまとめあげ、行為を形作るエージェンシーを発揮するのは人間 (個人) である場合もあれば、非人間である場合もある。

本インタビューにおいては、エキスパートのプロセスエンジニアが、新人に対して実験の方法を教える際

は、一緒に実験の計画を立て、実験を実施し、データの解析を行うということが語られた。その際、エキスパートは、新人と共に行動し、常にそばに居るようにする。このように新人がベテランと共に行動することは「正統的周辺参加」(Lave & Wenger, 1991 佐伯訳 1993)の観点から学習に有益であると考えられる。

しかし、エキスパートが新人と共に行動する理由は、たんに学習効果が高いからではなく、新人が一人で行動をした場合に危険が伴う可能性があるためであると語られた。

一緒に実験の計画を立てて、一緒にその実験をやって、一緒にその出てきたデータを解析してみた感じがですね。(中略) やっぱ危険がともなったりとかもするんで、それに初めてやる人に1人でやらせるってことはないですね(エンジニアC)

半導体製造装置には、通常の操作では装置が破損することのないように「ガード」がかけられている。しかし、実験の中にはあえて通常の操作の範囲外で行われるものや、通常の操作の範囲を決めるためのものがあるため、危険を伴う作業が発生する。ここにおける危険とは、プラズマの異常放電による設備の焼損や有毒ガスの漏出などのことである。そのため、どこまでが安全でどこからが危険であるかを判断できるベテランが、新人の現場作業を確認して教え込む必要があるというのである。

要するに、プロセスエンジニアの暗黙知は、新人とベテランが共に行動をすることで継承されているが、その共同行為は新人だけで作業を行うことには危険が伴うという事情によって形作られている。学習の上でモノのエージェンシーが、教える者と学習者の共同行為を形作る点、および、それが作業に危険が伴うというネガティブな特性によって生起するという点は、プロセスエンジニアにおける暗黙知の継承に一般的にみられる特徴なのかもしれない。

3.3. 様々な要素の影響を受けて形成されるモデル

第三に、本インタビューデータでは、半導体の製造プロセスの「モデル」の構築プロセスが社会的なコンテキストから大きく影響を受けていることが示唆された。ここでいうモデルとは、半導体製造設備において、どの

ような操作により、処理後の微細構造がどのように変化するかについてのイメージや物理的記述のことを言う。半導体製造の過程に関する「モデル」は、なぜ特定の設定で製造をすると特定の形状になるのかを考察し、説明するために構築される。しかし、モデルは必ずしも実証的なデータのみに基づいて構築されるわけではなく、インタビューでは、他者に向けての説明の実践がモデルに与える影響が語られた。たとえば、半導体製造におけるプラズマの挙動は直接に計測できるものではないため、モデルには必ず直接に実証されない仮説的内容が含まれる。プロセスエンジニアは、他者に向けての説明や合意形成を行うとき、この仮説的内容を伝承や通例などで補完することによって直観的に分かりやすいモデルを構築するのだという。

インタビューでは、次のように複数のモデルが考えられる場合が存在することが語られた。

人によって言うことが違うようなモデルもあつたりしますし(中略) みんな、このモデルだって言ってるけど、それって本当に正しいのかっていう、正しさを誰も、裏付けるデータを誰も持っていないみたいなモデルもあつたりして諸説ある場合がありますね(エンジニアD)

こうした場合、モデルの構築では、実験結果を説明できるかどうか、また追加の分析や測定によって検証されていくこととなることが説明されている。

やっぱりいろんな実験結果を1番あの説明できるモデルが多分正しかろうっていうのが、まあ1つあるかなっていうことと、あとはわからないことに対しては、その別なんか分析を試みたりとか、ほかの測定を通して、その確からしさを検証していくっていう手順があるかなと思いますね(エンジニアD)

しかし、次のように社会的影響を受ける場合もあることも述べられた。

なんか直感的に(中略) 受け入れやすいようなモデルがなんか生き残ったりする時がありますね。やっぱなんかこう説明しやすさだったりとかね。(エンジニアD)

またインタビューでは、直観的な理解しやすさを重視したモデルは、エンジニアの思考を誤った思い込みへと誘導するリスクについても報告された。

説得するっていう意味では、まあ、決して悪いことではないと思いますけど、まあ、その正しく実験を進めるっていう目的についていえば、まあ、あの、何でしょうか、そのエンジニアの先入観を与えてしまったりとか、あの、まあ、その間違っただけの思い込みをするっていうのは、その実験を進める上では、まあ、悪いことかなという認識です (エンジニア D)

このような誤った思い込みは結果的に大きな手戻りを生じさせる恐れがあるため、モデルの取り扱いには細心の注意を払う必要があるという。つまり、モデルは実験や他者への説明といった実践で自覚的に活用される一方で、その形成の過程における様々な要素からの影響のためにプロセスエンジニアの業務に意図せぬ形で望ましくない効果を生み出す恐れもあるということである。熟練したプロセスエンジニアは、このような両義的な性格を理解したうえでモデルを使いこなす術も、暗黙知として経験的に習得しているのだと考えられる。

4. おわりに

本発表では、半導体プロセスエンジニアに対して行ったインタビュー調査の内容を報告した。インタビューは予備的なものであったが、プロセスエンジニアの暗黙知、及び、その習得プロセスに関して、いくつかの洞察がえられた。第一に、プロセスエンジニアは、経験の浅いうちは分析的事実に関する抽象的な物理的知識に基づいて作業を行うが、熟練するにつれて全体的な状況に対応するための具体的な知識(ノウハウ)を利用するようになることが示唆された。第二に、プロセスエンジニアの暗黙知の継承においては、作業に危険が伴うからこそ生じるような初心者とベテランのあいだの共同行為(すなわち、モノによって形作られる行為)が重要な貢献をなしている可能性が示唆された。第三に、半導体製造におけるモデル構築が実証的データと社会的コンテキストの両方に影響を受けたプロセスであり、熟練したプロセスエンジニアの暗黙知にはこのようなモデルの両義性に対する理解が含まれることが示唆された。

以上は、あくまでも少数のインタビューに基づいた探索的な結果である。今後の研究では、この結果をふまえてインタビューの実施方法を洗練し、ここでえられた洞察の一般的な妥当性の検証が求められる。

文献

- Callon, M., & Law, J. (1997). After the individual in society: Lessons on collectivity from science, technology and society. *Canadian Journal of Sociology/Cahiers canadiens de sociologie*, 22(2), 165-182.
(林隆之(訳)(1999). 個と社会を超えて—集団性についての科学技術社会論からの視座 岡田猛・田村均・戸田山和久・三輪和久(編著) 科学を考える—人工知能からカルチュラル・スタディーズまで 14 の視点 (pp. 238-257) 北大路書房)
- Dreyfus, H., & Dreyfus, S. E. (1986). *Mind over machine*. Simon and Schuster.
(椋田直子(訳)(1987). 純粋人工知能批判：コンピュータは思考を獲得できるか アスキー)
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social: an introduction to actor-network-theory*. Oxford University Press.
(伊藤嘉高(訳)(2019). 社会的なものを組み直す：アクターネットワーク理論入門 法政大学出版局)
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge university press.
(佐伯胖(訳)(1993). 状況に埋め込まれた学習：正統的周辺参加 産業図書)
- Polanyi, M. (2009) *The Tacit Dimension*. University of Chicago Press. (Original published 1966) (高橋勇夫(訳)(2003). 暗黙知の次元 筑摩書房)