

研究論文

新技術に対する技術者の認知バイアスに関する研究

Engineers' cognitive biases against emerging technologies

森 良弘 北 寿郎

Yoshihiro Mori Toshio Kita

要約：人間の情報収集・処理能力は有限であり、その制約の下で行われる意思決定は必然的にヒューリスティック等の影響を受け結果として認知バイアスが生じる。これは企業の経営判断においても例外でなく、経営層のバイアスが原因で失敗した企業やプロジェクトは数多く指摘されている。技術者のバイアスも同様に企業の技術戦略に影響を与える可能性が考えられるが、この点に関する先行研究は極めて少ない。そこで本研究では、技術選択に関する先行研究の再分析と事例研究から技術者の意思決定にバイアスが影響するかどうかの検証を試みた。その結果、論理性と専門知識を有するはずの技術者といえども認知心理学の研究で指摘されている多くのバイアスが技術判断に影響を与えていることが示唆された。

キーワード：意思決定 限定合理性 ヒューリスティック 技術マネジメント

Abstract: Because of limited human capacity to gather and process information, heuristics inevitably impact on decision making to cause cognitive biases. This applies to firms' managerial decision making and a lot of examples of misjudgment has been reported. R&D engineers may also be suffered from such biases, but very few research articles are found in this field. In this paper, we investigated whether such biases also apply to engineers by literature reanalysis and case studies. Our research suggested that engineers are suffered from several types of cognitive biases that are generally observed in psychological studies. Because of these biases, R&D engineers potentially cause wrong technological decision.

Keyword: Decision making, bounded rationality, heuristic, technology management

1. はじめに

われわれは日々、意思決定を行っている。伝統的な経済学や経営学は意思決定を演繹的なものと解釈してきた。すなわち完全合理性ⁱを前提としている。しかし現実の人間の意思決定プロセスにおいてこのような前提が成り立たないことは容易に想像できる。

この問題に対し Simon(1997) は限定合理性 (bounded

rationality) の概念を導入した。Simon によると限定合理性とは「現実世界の客観的・合理的行動に必要な、解決せねばならない問題の大きさ (the size of the problem) に比べ、複雑な問題を形式化し、解決する人間の知的能力は余りにも小さい」ことであり、よいかみ砕いて言うならば、現実の意思決定において必要な情報がすべて入手できることは稀であり、また意思決定に費やすことのできる能力や時間も限定されるという、新たな前提条件

ⁱ 意思決定主体はあらゆる情報を入手でき、そのうえで可能なすべての選択肢を生成し、それらの中で効用関数が最大となる選択肢を選ぶという仮定。

Engineers' cognitive biases against emerging technologies

であった。限定合理性モデルは人間の実際の意味決定プロセスによく当てはまることから、現実世界を研究対象とする学術分野で広く受け入れられている(長瀬, 2008)。

実際のところ企業では金銭や時間などのリソースの制約が常に存在し、また企業ごとの思考パターンの特異性もあることから、経営者・経営層の意味決定が限定合理性の影響を受けることはごくありふれた前提となる。むしろ限定合理性が存在するからこそ意思決定にバリエーションが生じ、その結果企業間の差異が生じるともいえる。

企業戦略が限定合理性の影響を受けたと考えられる典型例の一つは、ボラロイド社である。Tripsas and Gavetti(2000)によると、同社はイメージングのデジタル化の流れについて他社と同等の情報を入手しデジタルへの移行という選択肢も生成して実際に高性能なデジタルカメラ開発で先行したにもかかわらず、自社がRazor and Bladesモデルⁱⁱの会社であるという信念を越えられずデジタルへの商業的移行を躊躇し続けた。その結果は経営破綻であった。他にもたとえばSchwenk(1984, 1988)は、認知的なバイアスが原因と思われる誤った経営判断に陥った多くの企業を例示している。

これらは経営的観点から見た限定合理性の影響であるが、組織の中でより実務に近い層に位置している技術者に関しても限定合理性は重要視されるべき問題だと考えられる。通常企業の技術開発部門は階層化・細分化されており、技術分野ごとに専門の技術者が少数ずつ配置される構成になっている。その結果、ある技術分野に関する一次判断はそれを専門とする技術者あるいは一定人数からなる集団がまず担うことになり、その結論が組織の階層を通じて上層部に伝わっていく。その事例であると解釈可能な例の一つが、久保・北(2017)により報告された大画面ディスプレイデバイス開発における液晶(LCD)の適用サイズ予測に関するものである。この論文によると、既知の科学的・技術的知識をもとに計算すればLCDが将来的に大画面化を実現可能であることは

合理的に予測できたはずだが、現実には様々な分野の技術者がそういった綿密な計算を行わず本人の経験や直感に基づき大画面化は不可能だと考えていたことをインタビューで明らかにしている。この誤った判断はそのまま企業全体の戦略ひいては業界の方向性にまで反映されていた。

技術開発を成功させるためには論理的な思考が欠かせず、技術者はそのような教育・訓練を受けた存在のほずである。しかし上述したLCDの技術開発に見られるように、限定合理性の制約の下で技術者はときとして合理的でない判断を行うことがある。本研究では技術者の思考に内在するヒューリスティックやバイアスに着目し、それらにより引き起こされると考えられる非合理性について解釈・説明を試みる。

2. 先行研究レビュー

2.1 認知心理学におけるバイアス

ヒューリスティックは、「人間が日常の意味決定に用いる簡便法」(長瀬, 2008)などと定義される。人間にとって日常のあらゆる判断に肉体的・精神的リソースを100%使用して理想解を求めようとするのは非効率なうえに、生命に影響するような局面においては解の正確さよりも迅速さを優先しないと生存に不利なので、本能的あるいは過去の経験に基づいて思考のショートカットを行う手順を人間は進化論的に獲得したのである。ヒューリスティックで得られる解は近似解ではあるが、日常生活のほとんどの場面において大きな支障のない解でもある。ヒューリスティックは無意識的に発動するので、意思決定において自分がヒューリスティックを使用したことに本人は気づいていない場合が多い。

バイアスとは、人間の認知における偏りを意味する。人間の意思決定は中立でなく一定の方向に偏りを帯びていることがある(長瀬, 2008)。バイアスを引き起こす原因の一部はヒューリスティックにあるとされる(Kahneman, 2012)。しかしあらゆるバイアスの原因が

ii Razor and Blades(カミソリと刃)モデルとは、本体を安価で提供したうえで比較的高価な専用の消耗品を継続的に販売するビジネスモデルである。米 Gillette 社が発明したとされる。

新技術に対する技術者の認知バイアスに関する研究

ヒューリスティックに帰属されるわけではなく、人間の認知能力の限界などにより生じるバイアスもある。これまで多種にわたるバイアスが指摘・提案されているが、類似の現象に異なる命名がなされるなど必ずしも系統的に整理されているわけではない。本研究においては Bazerman and Moore(2008) の分類をもとに下記5種類のバイアスについて考察を行った。

(1) 利用可能性ヒューリスティック

思い出しやすい、あるいは情報の多い出来事ほど発生しやすいと考える傾向。

(2) 代表性ヒューリスティック

ある種のデータや事例があたかも全体を代表しているかのように錯覚する傾向。

利用可能性ヒューリスティックと代表性ヒューリスティックはリソースを節約しつつも概ね正しい答えを得ることができる方略であるが、ときとして意思決定に偏りを生む原因となる。

(3) 確証ヒューリスティック

自分が正しいと思っている仮説を裏付けるような情報を積極的に求め、そうでない情報を軽視あるいは無視する傾向。

(4) 覚知の限界

注意の向いている情報を重視し、そうでない情報を軽視する傾向。ヒューリスティックとは異なり必ずしもリソース節約を原因としない。

(5) フレーミング効果

同じ意味・物であってもその提示のされ方によって発生確率や価値の認知が変化する現象。

また同書で付加的に触れられている「感情ヒューリスティック」の影響についても考察を加える。感情ヒューリスティックは人間がある種の条件下で状況を自分にとって都合の良い方向に解釈するものであり、フェスティンガーが提唱した認知的不協和理論 (Festinger, 1957) に関係している。このほか、様々なヒューリスティックとバイアスに起因するとされる「コミットメン

トのエスカレーション」とよばれる行動についても考察を行う。

2.2 認知心理学と経営学

経営上の意思決定におけるバイアスの影響に関する初期の研究としては Schwenk(1984) が挙げられる。同論文では限定合理性によりもたらされる認知の簡略化プロセス (cognitive simplification processes) が経営上の判断に影響を与えた例を列挙している。その後もバイアスに関しては様々な研究が行われてきており (Schwenk, 1988; 上田, 1997; 長瀬, 2008)、Bazerman and Moore(2008) はそれらを経営学的視点から包括的にまとめている。これら先行研究において指摘されたバイアスを、Bazerman and Moore の分類をもとに整理したのが Table 1 である。

このようなバイアスが技術者についても観察されるかどうかは興味深い問題である。技術者は教育や訓練により合理的思考を身に付けているはずであるが、実際には特定の技術に対する思い入れを有している技術者も多い。論理的であるはずの技術者にもバイアスは存在するのか、存在するならば技術開発にどのように影響するのかについて検証、考察するのが本研究の目的である。

3. 文献再分析・事例研究と考察

3.1 研究方法

2.2 節で述べた Schwenk(1984) の論文では、意思決定プロセスにおいて想定しうるバイアスを予めリストアップし、それらの事例と考えられる経営上の意思決定失敗事例を複数挙げることで当該バイアスの影響を示した。長瀬 (2008) も同様のアプローチをとり、Schwenk(1984) よりも多岐にわたるバイアスの影響を指摘、引用している。本研究においても同様に認知心理学の分野ですでに存在が知られているバイアスをリストアップしたうえで (Table 1)、先行研究の事例において技術選択に影響を与えたと考えられるバイアスの特定を試みた。また文献の再分析以外に、久保・北 (2017) の研究事例に倣い特定の技術領域に対して複数の技術者にインタビューを行っ

Engineers' cognitive biases against emerging technologies

て、どの認知バイアスが意思決定に影響したと考えられるかを検証した。

3.2 技術判断を含む先行研究の再分析

バイアスに起因する経営上の意思決定の誤りに関する先行研究の中には、必ずしも明示されているわけでもなく、技術者のバイアスが原因の一部となって技術開発の失敗や読み誤りを引き起こしたと解釈できる報告が存在する。そこで本研究ではまず先行研究論文の記載から

技術者のバイアスを抽出することを試みた。対象論文の抽出については、まず経営におけるバイアスの問題をまとめた成書（長瀬，2008）や論文（小高，2004）に引用されている文献の中から技術選択に関わる内容のものを選び、さらにその論文の引用文献も同様に調査した。また著者の一人がかつて携わった研究も対象とした。結果的に抽出できた先行研究は数例であり、ここではそれらの中で技術者のバイアスに関連する記載が多く含まれていた2つの例をとりあげる。

Table 1 バイアスの分類（著者作成）

分類	現象	説明
1 利用可能性ヒューリスティック	想起容易性	鮮明で新しい出来事ほど思い出しやすいので、それらが発生しやすいと判断してしまう
	不完全情報の軽視(Schwenk, 1984)	情報の少ない選択肢を軽視し情報の多い選択肢を重視する
2 代表性ヒューリスティック	代表性ヒューリスティック	ある種のデータや事例があたかも全体を代表しているかのように錯覚する
	確認バイアス	正しいと思っていることを追認するような情報を探す傾向、新しい情報を得ても予想を変えない傾向
3 確認ヒューリスティック (肯定型仮説検証)	アンカー効果	初期値に引きずられ調整不十分なまま結論に至る
	自信過剰、知識の錯覚	ある事柄についての知識が増えると、それ以上に自信が深まってしまう。特に中難度から最高難度の問題に対しては自分の回答の正確性について自信過剰になる傾向がある
	後知恵バイアス	結果を知った後で、もし事前にその結果を予測していたら正しく予測したであろうという確率を過大に見積もる
	一貫性(Schwenk 1988)	一度決めたことをなかなか変えようとしないう傾向
	焦点化	判断するとき利用可能な情報の一部しか使用せず、またその情報を重く見すぎる一方で、注意の向いていない情報は軽く見すぎる傾向
4 覚知の限界	集団の覚知の限界	集団は、共有されていない情報より共有されている情報を重要視して結論を出しがちであること
	参照集団の無視	競争相手の能力について鈍感。企業家の注意は競争相手よりも自分の強みや弱みに向けられているため、わかりやすい競争には進んで参入し、わかりにくい競争への参入はためらってしまう。
	全体性の無視	全体的な文脈の重要性を低く評価して、最終状態や結果がはっきり見える要素を重視する
	疑似確実性効果	客観的結果は同じであっても、「確実」という印象を与えられたほうを重視する傾向
5 フレーミング	授かり効果	自分が所有しているものを過大に評価する。所有することによって、合理的に分析した場合は整合しない価値が生まれる。
	固着(長瀬, 2008)	ある種の問題の解法に習熟すると、その方法では効率の悪い問題に切り替わったときに気づきにくい
	多重自己	短期的な利益を選ぶ自己と、そうでなく期待効用の高い選択肢を選ぶ自己の同居
感情ヒューリスティック	選好逆転	選択肢を個別に評価するときは感情への訴え(「したい」自己)が強くなるが、複数の選択肢を同時に比較評価するときは合理的で内省的な「すべき」自己が強くなる
	時間差の影響	意思決定において未来の便益は現在の便益に対して割り引かれる。
	肯定的幻想	人は自分自身や世の中、そして将来を客観的に正確に見ているのではなく、かなり肯定的に見ている。自分自身にとって都合の悪い情報に接すると、自分の価値の高さを示すような自己奉仕的な要因を数え上げようとする。また自分が所属しているグループのほうがかかのグループより優れていると信じている傾向がある。
	相対的楽観主義	自分の身には他人に比べて肯定的な出来事はたくさん起こるが、否定的な出来事は少ししか起こらないという信念。このため客観的なリスクの確率と、他人と比較した場合の自分のリスクの度合いの見積もりとの間に不一致が生じる。
	自己奉仕バイアス	自分に都合がいいことが公正なことであると考え正当化しがちな傾向。
	後悔の回避	人は後で後悔を味わわなくてよいよう自分の決定をゆがめてしまうことがある。①選ばなかった方の選択肢からのフィードバックから自分を擁護する。②選択しなかった方と比べて選色のない選択肢を選ぶ
コミットメントのエスカレーション	コミットメントのエスカレーション	当初の意思決定を状況が変化してからも非合理的に継続しようとする心理状態

新技術に対する技術者の認知バイアスに関する研究

光ファイババブルに直面した光通信技術者 (Kaplan, 2008)

1990年代に急速に成長した光ファイバー通信業界は2001年から2002年にかけてバブルが急激に崩壊し、各社は戦略の見直しを余儀なくされた。Kaplan(2008)が事例研究対象としたCommCorp社(仮名)も例外でなく、同社の中央研究所機能を有していたAdvanced Technology Group(ATG)では次の二つのプロジェクトについて意見が割れていた。

Last Mile Project: 施設済み光ファイバー通信網をエンドユーザーまで拡張するのに必要な技術。

Multiservice Project: バブル崩壊で投資力の低下した通信キャリアに対し、既設のインフラを更新することなく新たなサービスを追加する技術。

Last Mile Projectを最初に提案したのはSenior ScientistだったHughである。彼は高い自由度を与えられた社内研究所CommCorp Labsで光通信技術を研究してきた経歴があり、光通信推進の立場から世界を見ていたという。光ファイババブル崩壊は彼にとって脅威であり、Last Mileプロジェクトに投資して通信需要を喚起することが光通信市場を復活させるために必要だと考えていた。光通信技術の追究について彼は次のように発言している。

「*It is natural to gravitate to a technology you know.*」
(Kaplan(2008), 737頁)

これは情報の多い選択肢を重視するという「不完全情報の軽視」バイアス(分類は利用可能性ヒューリスティック)であり、また注意の向いている情報を重視する「焦点化」(同、覚知の限界)、自分が所有しているものを過大評価する「授かり効果」(同、フレーミング)の一種でもあると解釈できる。

またLast Mile Projectの経済性分析チーム員だったSusannahはHughを含む技術チームのことを次のように評している。

「*the technical team involved have only optical skills*

and background, so that being open to looking at the big access picture and their non-optical starting points wasn't going to be even considered.」

(ibid.)

これは一度決めたことをなかなか変えようとならない「一貫性」(確証ヒューリスティック)、注意の向いている情報を重視し逆にそうでない情報を軽視する「焦点化」(覚知の限界)、「授かり効果」(フレーミング効果)であろう。

大画面ディスプレイの技術予測(久保・北, 2017)

経営意思決定者のバイアスに着目した研究が多い中、調査した範囲において唯一技術者に焦点を当てた研究として、大画面ディスプレイ技術に関する久保・北の論文が挙げられる。同論文によると、2000年前後までのLCD技術者はテレビ用大画面ディスプレイについて、例外なくプラズマディスプレイ(PDP)が本命と考えていた。そして後にPDPの生産が終息しLCDが絶対的の王者として君臨したという事実に対し、インタビューしたすべての技術者がLCDの「予想を超える進化」「想像を超える進化」を原因として挙げたという。またインタビュー結果から、技術者に共通する、

・「データに基づく客観的な判断」でなく「主観」で技術の限界を判断

・現在の延長上である連続的な限界判断にとどまる

という思考傾向を抽出している。これらには認知的なバイアスが内在していたものと考え、文献内の技術判断事例についてどのようなバイアスに帰属できるかを考察した。なお久保・北はインタビュー対象技術者の専門性を半導体・液晶・太陽電池・電子管の4つにカテゴリー分けして考察しているが、ここでは技術的判断について記載のある前二者(半導体および液晶技術者)を取り上げる。

<半導体技術者>

LCDは現在、ガラス基板を用いて製造される。ガラスは大量のNa(ナトリウム)を含むが、半導体製造

Engineers' cognitive biases against emerging technologies

ロセスにおいて Na はトランジスタの動作を劣化させる代表的な汚染物質であり、同じくトランジスタで動作させる LCD にガラス基板を使うことは半導体技術者の中ではありえないと考えられていた。このため LCD の共同開発機関として設立された ALTEDEC(Advanced LCD Technologies Development Center) に派遣されていた半導体技術者は LCD 開発試作ラインにガラス基板を流すことを認めず、Na を含まない石英基板で研究開発が行われていたという。ここには半導体技術者として、思い出しやすい情報を重視する「想起容易性」(利用可能性ヒューリスティック)、ある種のデータや事例があたかも全体を代表しているかのように錯覚する「代表性ヒューリスティック」、ある種の解法に習熟するとその方法では効率の悪い問題に切り替わったときに気づきにくい「固着」(フレーミング)の影響が窺われる。

この事例にはもう一つ興味深いエピソードが続いている。その後あるガラスメーカーが、ガラスとトランジスタの間に絶縁層を設ければガラス中の Na の悪影響が生じないことを実験的に証明したが、その結果を受けても当の半導体技術者はガラスを使用することについて否定的だったという。ここには「一貫性」(確証ヒューリスティック)、判断するとき情報の一部しか使用しない「焦点化」(覚知の限界)がみられる。

< 液晶技術者 >

LCD の表示品位について液晶技術者は共通して、テレビに使えるほどにはなりえないと考えていたという。その理由は表示品位を決める 3 つのパラメータ①応答速度、②コントラスト、③視野角特性の問題がいずれも解決できないと考えていたからである。しかし実際は、当時の知識水準でも既知の材料物性値と理論式を用いればこれらのパラメータの物理限界を計算することが可能であった。にもかかわらず当時の液晶技術者は、電卓用 LCD 時代からの経験と化学・光学の高い専門性に基づく常識や思い込みにより誤った物理限界を設定していたことを、久保・北は指摘している。可能なはずの理論

的推定を行うことなく自らの優れた知識・経験からの類推で判断していたのである。これは「代表性ヒューリスティック」、「自信過剰」(確証ヒューリスティック)「焦点化」(覚知の限界)、「固着」(フレーミング効果)に帰属することができる。

以上のとおり、専門知識を有するはずの技術者が技術の限界を主観的に(すなわち非合理的に)判断し結果として誤認していたことが明らかになっており、その背後には Bazerman and Moore(2008) の分類による 5 種のバイアスすべてが存在していたことがわかる。

3.3 半導体洗浄における技術選択と洗浄装置業界の変遷

前節では既存文献の再分析を行ったが、本節では予め技術者のバイアスという視点を設定したうえで専門誌記事の分析と 6 名の技術者へのインタビューを行うことで、技術者のバイアスについてさらなる検証を試みた。対象として選んだ技術分野は、半導体の洗浄技術である。この分野においては 2000 年代に大きな技術トレンドの変化が起こり業界地図が書き換わった。

半導体デバイスには、ウェーハと呼ばれる円形の基板に対し 1000 ステップ以上の処理を繰り返すことで製造されるⁱⁱⁱ。半導体は汚染を極端に嫌うことから各処理の前後には必ず洗浄が行われており、全処理の 20% 以上が洗浄プロセスであるとも言われている。

洗浄プロセスは半導体の黎明期から一貫して薬液を用いるウェット洗浄が主流であり、ウェット洗浄専用装置のメーカーが存在している。2000 年前後にウェーハサイズの大口径化(直径 200mm から 300mm)が起こったが、これに対応するには巨額の研究開発投資が必要であった。このため洗浄装置業界を含めた半導体製造装置業界全体で 300mm 化に対応できる技術力および資本力の有無による淘汰が起こった。半導体洗浄装置産業についていえば、2000 年当時は大手だけで 10 社以上がひしめき合っていたが 2010 年頃までに約半数に減少・集約

iii たとえば下記サイト参照。

<https://www.seaj.or.jp/file/process01.pdf> (2021 年 2 月 11 日閲覧)

新技术に対する技術者の認知バイアスに関する研究

されている。

ウェーハサイズ 300mm 化の過程では、洗浄技術に大きな変化が起きた。それは洗浄プロセスの枚葉化である。200mm から 300mm への移行が単純な装置サイズアップでなく枚葉化を伴ったことも、研究開発投資を増大させた大きな理由である。

ウェーハ洗浄方式は、25 枚または 50 枚のウェーハを洗浄槽に一度に浸漬するバッチ浸漬洗浄が 30 年以上にわたり主流であった (Fig. 1)。この方式は処理槽を直列に並べウェーハを逐次処理していくことで数百枚 / 時の高いスループットを達成でき、大量生産に有利であった。しかし 300mm への移行に際しバッチ浸漬洗浄の欠点が次第に顕在化し、ウェーハを 1 枚ずつ回転させながらノズルから吐出させた薬液で洗浄する枚葉スピン洗浄 (Fig. 2) への置き換えが次第に進んだ。そして Fig. 3 に示すように 2008 年にバッチ浸漬洗浄と枚葉スピン洗浄の売上高シェアが逆転、以後は枚葉スピン洗浄が市場の 70% 以上を占めていると見られる。

3.4 バッチ浸漬洗浄と枚葉スピン洗浄の比較分析

-1 生産性

半導体産業は 1 工場の建設に数千億円以上の投資を必要とする設備産業であり、投資回収の観点から製造プロセス装置には高い生産性が求められる。洗浄装置も例外ではない。バッチ浸漬洗浄は 3.3 で述べたように数十枚のウェーハを洗浄槽に数分ずつ順次浸漬していくという処理であることから、数百枚 / 時という高い生産性を有している。

一方枚葉スピン洗浄はウェーハを 1 枚ずつ 1~2 分かけて逐次処理するので、バッチ浸漬洗浄よりも生産性が 1 桁程度低い。このため初期の枚葉スピン洗浄の用途は、片面のみの処理などその特徴を生かせるニッチな領域に限られていた。

しかしここで留意すべき点がある。それは単位スペースあたりの生産性である。バッチ浸漬洗浄はウェーハ 50 枚×処理槽分のスペースが必要であり、さらにウェーハを移動させる空間が槽の上方に必要なことから、装置サイズは数メートル角という巨大なものになり、小型化

Fig.1 バッチ浸漬洗浄の模式図 (著者作成)

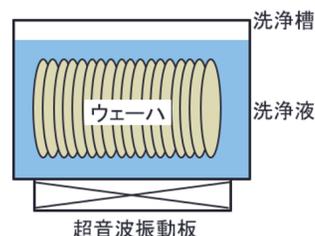


Fig.2 枚葉スピン洗浄の模式図 (著者作成)

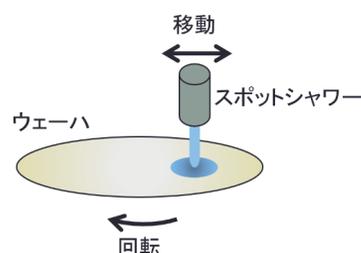
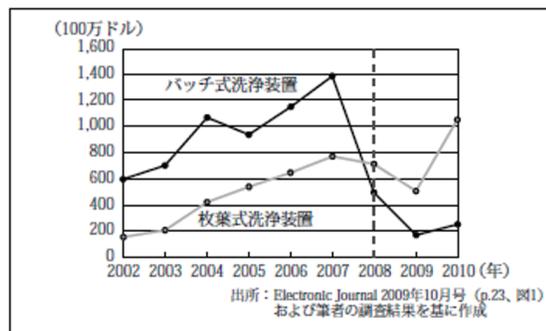


Fig. 3 バッチ浸漬洗浄装置と枚葉スピン洗浄装置の売上高推移 (湯之上, 2010)



Engineers' cognitive biases against emerging technologies

は物理的に困難である。一方で枚葉スピ洗浄は普及初期においても約1メートル角のスペースで処理チャンバーを構成できた。そこで、生産性を向上させるため1台の洗浄装置に複数のチャンバーが搭載されるようになった。早くから2~8個の処理チャンバーを同一平面に並列配置してスペース効率を向上させた洗浄装置もあった。さらに処理チャンバーを薄型化し縦積みする技術の開発が進み、2021年現在4階建てで計24チャンバーを組み込むことでバッチ浸漬洗浄装置以上の生産性を実現した装置が上市され、枚葉スピ洗浄装置の生産性の問題は解決されている。

このバッチ浸漬洗浄装置と枚葉スピ洗浄装置の生産性の限界を過去の技術者はどう見ていたのであろうか。専門誌記事の調査と技術者インタビューから考察する。ここで対象とした主たる専門誌は日本工業出版(株)の「クリーンテクノロジー」および「超音波TECHNO」である。これら専門誌には日本の半導体洗浄関連機器・薬品メーカーおよび半導体メーカーの技術者が多くの記事を寄せており半導体洗浄技術特集号も複数回組まれていたことから、本研究の調査に適切と判断した。加えてより広く半導体業界の技術トピックスをカバーしているEE Times(United Business Media社)、Semiconductor International(Reed Business Information社)、Electronic Journal((株)電子ジャーナル)についてもキーワード検索により関連記事を抽出した。また当時半導体洗浄装置メーカー、超音波機器メーカー、半導体デバイスメーカーに所属していた技術者各2名ずつ計6名に対し半構造化インタビューを実施した。

まず専門誌記事によると、枚葉スピ洗浄装置は生産性の面でバッチ浸漬洗浄装置を超えられないという見方が2000年代中頃になるまで趨勢であった。たとえば以下のような記載が見られている。

「枚葉式の長所はFEOLに用いられる材料の多様化に伴うクロスコンタミネーションを防止できる事とクラスタ

ツールとして用いる事で洗浄後の表面コントロールも同時に可能となる点にあるが、欠点は薬品使用量の増大と処理能力が劣る点である。……従って枚葉洗浄が、……限定された用途で実用化が進むと考えられる。」

(1999年度STRJ年度報告書 2-3 フロントエンドプロセス, 下線筆者)

「Cycle time, however, is only one of many aspects of productivity, and because SWS has lower throughput, more tools need to be purchased for such a fab, leading to higher capital cost and factory footprint. IC manufacturers, as well as equipment suppliers, are attempting to determine if SWS can be profitably applied.」

(Becker, 2003, 下線筆者)^{iv}

「……枚葉処理ではその処理能力からスループットが全く合わず、バッチ処理に頼ることになる」

(今井, 2003, p.23, 下線筆者)^v

「……COOの観点から枚葉化には、現時点では消極的なところが多く、熱処理の多いFEOLでは、ウエハ表面の清浄度、レジスト剥離、窒化膜エッチング、未反応金属膜の除去など高温かつ長時間処理を必要とする為、生産形態の枚葉化は進み難く、生産性、COOの観点で優れるバッチ式の要求は今後もなくならないと考えている。」

(田中, 2006, p.33, 下線筆者)^{vi}

技術者インタビューにおいても、枚葉スピ洗浄の生産性について以下のような発言があった。

「枚葉洗浄のスループットがバッチ洗浄を抜くとは予想していなかった。」

(半導体メーカーの洗浄技術者、枚葉洗浄積極派、下線筆者)

iv 著者は洗浄装置メーカーの技術者。

v 著者は洗浄装置メーカーの技術者。

vi 著者は洗浄装置メーカーの技術者。

新技術に対する技術者の認知バイアスに関する研究

「このころバッチに勝てるとは思っていなかった。枚葉は均一性はよいが、洗浄に時間がかかるもの、と。」
(洗浄装置メーカーの技術者、下線筆者)

加えて、ある洗浄装置メーカー技術者に「バッチ浸漬洗浄装置と枚葉スピン洗浄装置の生産性を単位スペースあたりで比較していたか？」と質問したときの反応は興味深かった。同氏は回答に困りしばらく無言だった後、

「あまりフットプリントでは言っていない。枚葉スピン洗浄装置は同スループットのための投資金額が高くつくという議論はあった。」
(下線筆者)

と回答し、当時は単位スペース当たり生産性での比較という視点がなかったことを窺わせた。生産性の比較では枚葉スピン洗浄装置の処理チャンバーサイズの小型化可能性を計算に入れることが必須であるにもかかわらず、それを見落としていたといえる。

また別の洗浄装置メーカーの技術者は、

「枚葉が100%になると予想していた。バッチはいずれなくなると思った。」

「生産性についてはいずれマルチチャンバーで解決するかな、とすごく思っていた。技術は追いついていくもの、と。」

と、枚葉スピン洗浄の将来性を比較的正しく予想していた一方で、

「平面8チャンバーとか構想していた。16チャンバーも考えたが、これ大きすぎないか？と。チャンバーを縦にする発想はあまりなかった。」
(下線筆者)

とも述べ、枚葉スピン洗浄処理チャンバーの縦方向への

集積ひいては単位スペース当たり生産性という観点での検討をしていなかったことが窺われた。

以上の雑誌記事への記載内容ならびにインタビューから、枚葉スピン洗浄技術の利用領域が急速に拡大し始めてからも、多くの技術者は生産性の観点で枚葉スピン洗浄がバッチ浸漬洗浄に追いつけるとは予想していなかったことがわかる。その大きな理由は、「単位スペースあたりの生産性」予測に関する誤認である。前述のようにチャンバーを小型・薄型化すれば単位スペースあたりの生産性は向上する。どこまでチャンバーを小さくできるかは、構成部品の物理限界(ある負荷で所定の回転数を実現できるモーターサイズ、遠心力に対して剛性を保てる樹脂厚みなど)により決まり、これらの物理限界は当時の理論と知見から外挿により予測できたはずである。

しかし、少なくとも今回の調査範囲において、ほとんどの技術者にはチャンバーサイズを小さくして生産性を上げるという発想がなかったようである。これは当時の技術差を将来どこまで近づけられるかについて技術者が合理的に推定していなかったことを意味する。この判断には、枚葉スピン洗浄が新興技術で情報が少ないのに対しバッチ洗浄が実績ある技術でなじみがあることに起因した「不完全情報の軽視」(利用可能性ヒューリスティック)、「アンカー効果」(確証ヒューリスティック)、「焦点化」(覚知の限界)が背景にあることが窺われる。

また、生産性がマルチチャンバー化によりいずれ解決すると見ていたと述べた唯一の技術者も、チャンバーの縦積みは考慮していなかった。これもまた、バッチ洗浄で思考の枠が固定される「固着」(フレーミング)が起きていたと思われる。チャンバーの薄型化の限界を論理的に検証することなく、平面に並べるものだという発想から離れられていなかったのである。

3.5 バッチ浸漬洗浄と枚葉スピン洗浄の比較分析 -2 パターン倒壊防止

半導体の微細化が進むにつれ、最小構造体(パターン)の寸法は0.1ミクロン^{vii}を切るようになり物理的強度が低下してきた。このためバッチ洗浄で多用されてきた超

vii 1ミクロンは1/1000ミリメートル

Engineers' cognitive biases against emerging technologies

音波（メガソニック）洗浄技術において超音波の物理力により半導体パターンが倒壊するという現象が2000年代に多発し、その回避が急務となった（菅野，2006；橋本，2006；富田，2006）。現場レベルでは超音波強度を下げることでパターン倒壊を回避していたが、その代償として汚染除去力が低下し、また超音波強度の不均一性により洗浄槽内の特定の位置でパターン倒壊が残るといった現象もみられた。これを解決するため、バッチ浸漬洗浄+超音波を得意としていた洗浄装置メーカーや半導体デバイスメーカーは、超音波強度分布の均一化、高周波化、洗浄液の改良、溶存ガス制御など様々なパターン倒壊防止技術の開発に取り組んだ。しかし超音波洗浄は原理的に往復振動を対象物に対して繰り返し与え続ける技術であり^{viii}、半導体パターン寸法が年々縮小される中でパターン倒壊を避けるのは原理的に困難であった。

これに対し枚葉スピンの洗浄では、超音波の代替技術として二流体ジェット技術が採用されるようになった。二流体ジェットによる汚染除去は高速の液流れによる洗い流しと考えられており、超音波とは異なり物理力の強弱変動が同一箇所を繰り返されないことから、原理的にパターン倒壊が起りにくい。また初期の二流体ジェット洗浄ではわずかながらパターン倒壊が起っていたが、その後の研究で原因が少数の大粒径液滴によるものであることがわかり、2005年頃には液滴のサイズを微小径側にコントロールする技術が発達、パターン倒壊を防止できるようになった^{ix}。半導体の最小構造体の寸法は2000年の0.18ミクロンから2010年には0.032ミクロンと1/5以下になり脆弱化がますます進行、このためパターン倒壊防止に対する要求レベルも年々厳しくなっていたが、二流体ジェット技術の進展に助けられたかたちである。

このパターン倒壊防止について特に超音波洗浄技術に着目し、その将来を当時の業界内技術者がどう認識・予想していたのかを前節同様に専門誌記事と技術者インタビューから分析する。なおここでは技術者を半導体デバイスメーカー、洗浄装置メーカー、超音波機器メーカー

に分類して考察した。(Table 2)

業界全体として、技術者は超音波によるパターン倒壊問題に対し懸命に取り組んでいた。しかし企業分類別にみると、各社の認識が少しずつ異なっていたことが読み取られる。

半導体デバイスメーカーは両技術に対して中立で、洗浄装置メーカーおよび超音波機器メーカーに根本的解決を委ねていた。それに対し洗浄装置メーカーはバッチ浸漬装置での超音波使用可能条件を探索するとともに枚葉スピン洗浄に二流体ジェット技術を組み合わせる方策も検討、最終的には後者が主流となった。

一方超音波機器メーカーは、パターン倒壊の起こらない超音波洗浄技術の開発に相当な努力を行っていたことが窺われる。そして洗浄装置メーカーが二流体ジェット技術をほぼ確立してからも、超音波にも解があると考え技術開発を続けていたようである。ここで、彼らが両技術の限界を合理的に推定していたかどうかという問題が指摘されよう。当時超音波洗浄によるパターン倒壊は溶存ガスの有無（すなわち気泡生成の有無）に左右されることが判明しており、気泡の運動について物理モデルを構築することは不可能ではなかった。これと半導体デバイスパターンの今後の微細化トレンド・材料物性など既知の情報を合わせることで、将来のバッチ浸漬洗浄技術の限界をある程度予測できたはずである。しかし超音波機器メーカーがそのような理論的予測をしていたとは見受けられず、ぎりぎりまでトライアンドエラーを繰り返していたことが窺われる。このような技術者の行動は本例に限らず見られるものである。超音波機器メーカーにとって超音波が使われなくなることはビジネス上の死活問題であるのみならず、技術者にとっても自身がこれまで蓄積してきた知識と経験を生かす場がなくなることを意味する。ここには、「知識の錯覚」「一貫性」（検証ヒューリスティック）、「授かり効果」（フレーミング）に起因した「コミットメントのエスカレーション」が見られている。技術者は自身の専門技術を高めるため過去に多大なりソースを投入しているため、その技術が用途を失う

viii よく使われる1メガヘルツの超音波の場合、1秒間に100万回の頻度となる。

ix 代表的な技術が大日本スクリーン製造(株)のNanoSpray。

新技術に対する技術者の認知バイアスに関する研究

Table 2 超音波洗浄で引き起こされるパターン倒壊問題に対する技術者インタビューの結果
(筆者作成、下線部筆者)

	半導体デバイスメーカー	洗浄装置メーカー	超音波機器メーカー
2006 文献	<p>「微細化が進むと、MHz 洗浄非適用工程が増大し、高歩留まり維持が困難になることが予想できます。」(橋本, 2006)</p> <p>「次世代の半導体製造工程にメガソニック洗浄を適応することは厳しくなっている。」(平野, 2006)</p>	<p>「大日本スクリーンは、バッチ式洗浄装置向けに高周波メガソニックの開発を進めている。メガソニックの周波数を上げることにより、ダメージの低減を図っている。」(村田, 2006)</p> <p>「メガソニック洗浄の低ダメージ化やそれに変わる物理洗浄が求められている。」(田中, 2006)</p>	<p>「この対策として、現在、音圧分布の均一化、低出力化、高周波数化、洗浄液との総合作用化等、主に4つのアプローチで検討が行われている。」(橋本, 2006)</p> <p>「徐々にではあるが、原理としても解明されており、<u>近い将来、超音波ダメージレス洗浄が実現することをお約束する。</u>」(副島, 2006)</p>
2008-2009 文献	<p>「メガソニックなどの物理的補助手段を……採用を中止せざるをえないケースが著しく増加している。……メガソニックが再浮上できるか否かは今後の研究の進展次第であろう。」(服部, 2008)</p> <p>「今後、洗浄装置メーカー、超音波振動子メーカーからの提案を待ちたい。」(富田, 2009)</p>		<p>「これらの方法は暫定的な手法であり、超音波ダメージレスを実現するものではない。……マイクロバブル洗浄で使われる気泡制御技術の導入が不可欠であると思われる。」(副島, 2008)</p> <p>「……音場の均一化と高周波化による手法に取り組んでいる。……技術的困難な部分もあり、非常に時間がかかると考えられる。」(杉山, 2008)</p> <p>「……高周波化によってメガソニックによるダメージ低減効果が期待されている。……前記の技術等の導入により実用化への第一歩を踏み出した。」(大川, 2008)</p>
2010-2011 文献	<p>「メガソニック照射時に、……パーティクル除去効率向上とパターン破壊防止を同時に実現する可能性が出てきた。」(服部, 2010)</p>	<p>「『NanosprayÅ』は、次世代半導体の洗浄工程におけるウエハーパターン倒壊の課題を解決し、……」(大日本スクリーン製造プレスリリース 2010)</p>	<p>「現在は、物理洗浄力としてのメガソニックを今後も活用出来るよう、さらなる洗浄原理の解明とそれを応用したメガソニックアプリケーションの開発に着手している。」(大川・高橋, 2010)</p>
インタビュー (全期間を通じた振り返り)		<p>「MS メーカーは枚葉の MS 改良にしっかりと取り合ってくれなかった。」</p> <p>「2006 年ごろ、新しい二流体ジェットがいける、という時点で枚葉技術が進んだ。この技術は衝撃的で、枚葉化の大きな理由。」</p>	<p>「社内には、MS でダメージレスにいけるという考えはあった。……実現すれば、MS のほうがパーティクル除去能は高いだろう、と。」</p>

Engineers' cognitive biases against emerging technologies

ことは受け入れ難いことから自身の技術の延命を図ろうとすることは十分に考えられる。

3.6 考察

文献再分析並びに事例検討結果から抽出したバイアスを Table 3 にまとめた。n 数が少ないこと、サンプルに偏りがある可能性があることは否めないが、Bazerman and Moore(2008) の指摘する 5 つのカテゴリーのバイアスが技術者においても存在することが確認できた。

利用可能性ヒューリスティックおよび代表性ヒューリスティック

いずれのヒューリスティックも意思決定におけるリソースを節約するために無意識のうちに発動することから通常は避けにくいとされるが、技術開発の分野に限定するならとりわけインクリメンタルイノベーションの場合はその限界がある程度合理的に推測できるはずである。LCD 大型化限界(久保・北, 2017) および枚葉洗浄チャンバーサイズ小型化はその典型例といえ、物理法則が既知で必要な知識情報を有しているにもかかわらずその技術限界を計算するという労力を無意識のうちに避けている(ショートカットしている)とみられるのは、技術に対して合理的であるはずの技術者の意外な一面であり興味深い。

確証ヒューリスティック

肯定を前提とした仮説検証を行う傾向であり、「確証バイアス」「アンカー効果」「自信過剰」「一貫性」がみられている。

覚知の限界、フレーミング効果

上述のヒューリスティックと異なりリソース節約を目的としないバイアスであり、「焦点化」「授かり効果」「固着」が確認された。

またこれらのほか、Bazerman and Moore(2008) が指摘する「感情ヒューリスティック」が発動していた可能性もある。感情ヒューリスティックに起因する典型的な

バイアスは「肯定的幻想」、つまり自分の状況を客観的判断よりも良い方向に解釈する傾向であり、断定はできないものの本論文で取り上げた事例の中では光ファイバー通信グループがこれに影響されていた可能性がある。

さらに、上述のようなバイアスにより「コミットメントのエスカレーション」が起きていたことも指摘せねばならない。今回上げた事例の中で光ファイバー通信技術者と超音波機器メーカーは、自分たちが技術的に不利であることがほぼ明らかになってからもリソースを投入し続けていたようである。

4. 結論と今後の課題

本研究では、新技術に直面した技術者のバイアスが技術判断に及ぼす影響について先行文献の再分析と事例研究から検討を行った。その結果、Bazerman and Moore(2008) の分類した 5 種類のバイアス(利用可能性ヒューリスティック、代表性ヒューリスティック、確証ヒューリスティック、覚知の限界、フレーミング効果)すべてが技術者にもみられること、さらに感情ヒューリスティックの存在も窺われること、そしてそれらを原因としたコミットメントのエスカレーションが生じているとみられることを確認した。

本能的なものかどうかは別として、技術者にみられた 5 種類のバイアスの共通した帰結は対抗技術の将来性の見誤りである。大画面ディスプレイデバイスの例(久保・北, 2017)、枚葉洗浄装置の生産性の例とも、技術者が当該技術の将来の限界を論理的に推定できる可能性が十分にあったにもかかわらず、それをせず結果としてバイアスのかかった判断をしていたことが窺われる。

また「感情ヒューリスティック」は認知的不協和に関係していると思われ、自分がこれまで開発してきた技術が将来にわたり主流であり続けると考え続けようとしていることが根底にあらう。技術開発において同じ目的を達成できる技術が複数ある場合、研究開発リソースの制約からそれぞれの性能やコストの限界を客観的に評価・比較していずれかを選択する必要がある。しかし有望な

新技術に対する技術者の認知バイアスに関する研究

新技術がこれまで技術者自身が長年関与し続けてきたものと異なる技術だった場合、技術者は無意識のうちに自分の技術を優先する判断を下そうとするのかもしれない。

そしてこれらのバイアスが複合しあった結果、見通しの悪くなった技術にコミットし続けてしまう「コミットメント・エスカレーション」が生ずる。

本研究で述べたようなバイアスは無意識のうちに技術者の判断に影響を与えるので、上位者はそのことを十分理解したうえで研究開発管理を行う必要がある^x。

なお本研究は先行文献の再分析と事例研究からなるが、いずれも十分な事例数を確保できているとはいえない。再分析した先行文献は技術者のバイアスに最初から着目していた研究ではないためこの視点での要素が十分記載されているとは限らず、内容の解釈には限界が存在する。事例研究も半導体の洗浄技術という特定分野のみについての結果である。技術経営における技術者の心理という視点での先行研究は筆者らが調べた限りでは極めて少なく、今後検討事例数を増やすことで大きな発展が

見込まれる分野だと考えている。

ここで、バイアスについて事例研究を行ううえでの困難さについて指摘しておかねばならない。一例として、本研究の事例においてある技術者は、枚葉スピン洗浄がシェア的に主流になってからもバッチ浸漬洗浄に関する技術開発への取り組み継続方針とその進展を専門誌で複数回発表していた事実がある一方で、インタビューでは、そのかなり前から社内では枚葉スピン洗浄が将来的に主流になると認識されていたとの発言があり、その不一致に違和感を覚えた。このような不一致が生じた原因は多く考えられるが、その一つとして感情ヒューリスティックがあげられよう。たとえば人間は過去を振り返ったとき、現在の状況に対し辻褄が合うよう無意識のうちにストーリーを再構成することがあり、時には記憶すら改変されることが知られている。今回のように過去を振り返る調査ではこのようなバイアスが影響する可能性は否定できず、これを避けるためには技術開発の全過程を第三者として内部観察するといった異なるアプローチが必要になろう。

Table 3 文献再分析および本研究事例から抽出されたバイアスの一覧（著者作成）

分類	現象	光ファイバー	大画面ディスプレイ		半導体洗浄	
			半導体技術者	液晶技術者	生産性	パターン倒壊
利用可能性ヒューリスティック	想起容易性		○		○	
	不完全情報の軽視	○			○	
代表性ヒューリスティック			○	○		
確証ヒューリスティック (肯定型仮説検証)	確証バイアス				○	
	アンカー効果				○	
	知識の錯覚			○		○
	後知恵バイアス					
	知識の呪い					
覚知の限界	一貫性	○	○			○
	焦点化	○	○	○	○	
	集団の覚知の限界					
	参照集団の無視					
フレーミング	全体性の無視					
	疑似確実性効果					
	授かり効果	○			○	○
感情ヒューリスティック	固着		○	○	○	
	多重自己					
	選好逆転					
	時間差の影響					
	肯定的幻想	○				
	相対的楽観主義					
	自己奉仕バイアス					
後悔の回避						
コミットメントのエスカレーション	コミットメントのエスカレーション	○				○

x Nature 誌 (2015) では科学研究者が陥る可能性のあるバイアスとそれを避ける方法が編集室記事として掲載されており参考になる。

Engineers' cognitive biases against emerging technologies

参考文献

- Bazerman, Max H. and Don A. Moore (2008), *Judgment in Managerial Decision Making*, Wiley. (長瀬勝彦訳 (2011), 『行動意思決定論—バイアスの罠』, 白桃書房.)
- Becker, S. (2003), "The future of batch and single-wafer processing in wafer cleaning," *EE Times*, 24 March 2003. (https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1174510, 2021年2月11日閲覧。)
- Festinger, L. (1957), *A Theory of Cognitive Dissonance*, Stanford University Press. (末永俊郎訳 (1965), 『認知的不協和の理論—社会心理学序説』, 誠信書房。)
- Kahneman, D. (2012), *Thinking, Fast and Slow*, Penguin. (村井章子訳 (2014), 『ファスト&スロー あなたの意思はどのように決まるか?』, 上下巻, 早川書房。)
- Kaplan, S. (2008), "Framing Contests: Strategy Making Under Uncertainty," *Organization Science*, 19, pp.729-752.
- Nature, 526, "Let's think about cognitive bias", pp.163.
- Schwenk, C. R. (1984), "Cognitive Simplification Process in Strategic Decision-making", *Strategic Management Journal*, 5, pp.111-128.
- Schwenk, C. R. (1988), "The Cognitive Perspective on Strategic Decision Making", *Journal of Management Studies*, 25, pp.41-55.
- Simon, H. A. (1997), *Administrative Behavior* Fourth Edition. (桑田耕太郎ほか訳 (2009), 『新版 経営行動—経営組織における意思決定過程の研究』, ダイアモンド社。)
- Tripsas, M and G. Gavetti (2000), "Capabilities, Cognition, and Inertia: Evidence from Digital Imaging" *Strategic Management Journal*, 21, pp.1147-1161.
- 今井正芳 (2003), 「わが社の配線工程用洗浄技術・装置 大日本スクリーン (DNS) の配線工程洗浄の提案」『クリーンテクノロジー』2003年12月号, pp.23-26。
- 上田泰 (1997), 『個人と集団の意思決定—人間の情報処理と判断ヒューリスティクス—』文真堂。
- 大川真樹 (2008), 「半導体用超音波洗浄装置=45nm から32nm デバイスに向けてのメガソニック=」『超音波 TECHNO』2008年3-4月号, pp.27-29。
- 大川真樹・高橋広毅, 「超音波を使用した洗浄装置=半導体次世代デバイスに向けてのメガソニック=」『超音波 TECHNO』2010年3-4月号, pp.89-92。
- 小高久仁子 (2004), 「戦略マネジメントにおける認知的アプローチ」『京都マネジメント・レビュー』第5巻, pp.69-81。
- 菅野至 (2006), 「ダメージレス洗浄 薬液と2流体ジェットとの組合せ枚葉洗浄によるパーティクル除去」『クリーンテクノロジー』2006年3月号, pp.62-66。
- 久保真澄・北寿郎 (2017), 「技術領域の限界予測における『集団思考的判断』の影響」『同志社政策科学研究』第19巻1号, pp.261-276。
- 杉山晋 (2008), 「枚葉式ハイメガへの取り組み」『超音波 TECHNO』2008年3-4月号, pp.24-26。
- 副島潤一郎 (2006), 「超音波洗浄の原理と洗浄均一化, ダメージレス手法」『クリーンテクノロジー』2006年12月号, pp.22-24。
- 副島潤一郎 (2008), 「超音波洗浄におけるダメージ低減」『超音波 TECHNO』2008年3-4月号, pp.12-15。
- 田中真人 (2006), 「大日本スクリーン製造の洗浄・乾燥技術と装置」『クリーンテクノロジー』2006年12月号, pp.32-36。
- 富田寛 (2006), 「東芝の65/45nm ノード洗浄・乾燥技術 (FEOL.BEOL)」『クリーンテクノロジー』2006年12月号, pp.1-3。
- 富田寛 (2009), 「次世代半導体製造における洗浄技術の課題」『クリーンテクノロジー』2009年7月号, pp.1-5。
- 長瀬勝彦 (2008), 『意思決定のマネジメント』東洋経済新報社。
- 橋本芳樹 (2006), 「超音波洗浄の現状と将来技術」『超音波 TECHNO』2006年5-6号, pp.56-62。
- 服部毅 (2008), 「半導体洗浄技術の課題と展望」『SEMICONDUCTOR International 日本版』2008年4月号, pp.36-41。
- 服部毅 (2010), 「半導体洗浄技術・洗浄装置の最新動向」『クリーンテクノロジー』2010年4月号, pp.1-10。
- 平野栄樹・国安仁・服部毅 (2006), 「超希釈 HF 噴霧枚葉スピン洗浄"SCUD" 構造ダメージ・シリコンロスを抑止し環境負荷を低減する新洗浄法」『クリーンテクノロジー』2006年12月号, pp.17-21。
- 村田晋一郎 (2006), 「装置市場は競争激化でコモディティに FEOL の枚葉化へ向け技術革新が進む」『Electronic Journal』2006年8月号, pp.114-115。
- 湯之上隆 (2010), 「洗浄装置も枚葉式の時代に突入か 大日本スクリーンが全分野でトップ」『Electronic Journal』2010年11月号, pp.49-51。

新技術に対する技術者の認知バイアスに関する研究

著者略歴

森 良弘

株式会社堀場アドバンスドテクノ 開発本部長

1991年神戸大学大学院理学研究科修了。博士(工学)(九州大学)。新日本製鐵(株)、シルトロニック・ジャパン(株)、(株)堀場製作所にて半導体洗浄技術および各種分析技術の開発に従事。2017年より現職。水・液体分析装置開発部門の責任者。2018年同志社大学大学院ビジネス研究科修了。

北 寿郎

同志社大学大学院ビジネス研究科 教授

1976年名古屋大学大学院工学研究科修了。工学博士(名古屋大学)。NTT研究所において、磁気ディスクにおける先駆的な研究を行う。知能情報研究部長、社会情報研究部長を歴任後、住民基本台帳ネットワークシステム構築の指揮を執る。2004年より現職。イノベーションに関する研究教育に従事。

【投稿受領日】2021年02月17日

【査読通過日】2021年03月20日