

学籍番号：CD081015

事業環境からの距離がイノベーションプロセスに与える影響

—ArF レジスト材料開発の比較分析—

(要 旨)

大学院商学研究科

博士後期課程 経営・マーケティング専攻

久保田 達也

1. 本論文の目的

本論文の目的は、組織内での開発活動の配置や位置づけが、開発者の問題解決活動を含む具体的な開発プロセスに与える影響を解明することである。

1980年代の中央研究所のリストラの加速を契機として、開発活動の組織的位置づけの問題は、実務の世界でも、学術の世界でも頻繁に議論されてきた。しかしながら数多くの議論が積み重ねられてきたものの、組織的位置づけが開発活動に一体どのような影響を与えるのか、あるいは開発プロセスの特徴にどのような違いが見られるのかは、ほとんど明らかにされないままであった。開発活動の位置づけや、開発活動と事業部との関係といった問題は、技術戦略上非常に重要な問題であるにもかかわらず、それが具体的な開発プロセスにどのような影響を与えるかはほとんど解明されてこなかったのである。本論文は、ArFレジスト材料産業の4社の開発活動の比較分析を通して、特に開発者の活動や問題解決プロセスに注目しながら、このブラックボックスの中身を解明するものである。

2. 各章の構成と要約

以下で、各章の構成と内容を説明していく。本論文は、全部で9章から構成されており、問題意識とリサーチデザイン（第1章から第3章）、事例分析（第4章から第7章）、ディスカッションと結論（第8章と第9章）の大きく3つの部分に分けられる。

（1）問題意識とリサーチデザイン（第1章から第3章）

第1章から第3章までは、本論文で扱う問題と調査方法を明確にする部分である。第1章では、開発活動の位置づけの問題が実務の世界でどのように扱われてきたのかを確認し、そこからリサーチクエスチョンを導出した。開発活動の位置づけの問題や議論は、特に1980年代以降の中央研究所のリストラを契機として盛んになった。中央研究所の問題点を指摘する立場、逆に研究所の意義を主張する立場から様々な議論がなされてきたが、その中で、開発活動の組織的な位置づけが開発プロセスにどのような影響を与えるかということは、単純な想定はなされているにしろ、ほとんど焦点があてられることはなかった。実際に、企業の研究開発活動の組織的位置づけも、中央研究所主導から事業部主導の開発へと移行してきたが、そうした動きの背景に他社の模倣やブーム、経済環境の悪化がある。こうした安易な配置の仕方には、開発活動の組織的位置づけが与える影響に対する無理解が存在することをまず指摘した。そこで、本論文では、「開発活動の組織的位置づけが、開発者の

問題解決プロセスにどのような影響を与えるのだろうか」という問題を扱うということを提示した。

第 2 章では、開発活動の組織的位置づけに関する先行研究のレビューを行った。本章で指摘したことは、開発活動の組織的位置づけが開発プロセスに与える影響はいくつかの研究で議論されてきたが、研究開発活動の中心を占める開発者の活動や課題解決活動に与える影響はほとんど解明されてこなかったということである。先行研究の多くは、組織的位置づけが開発プロセスに与える影響を、中央研究所と事業部のミッションの違い、中央研究所のマネージャーと事業部長のマネージャーの意思決定の仕方の違いから説明しようとしてきた。これらの違いが、組織の探索範囲や開発の方向性に影響を与え、成果（例えば、革新的な成果の生まれやすさ）に影響を与えると考えられてきたのである。ここからは確かに一定程度開発プロセスを理解することは可能である。しかし、これらの議論では、開発者に与える影響はほとんど考慮されていない。開発プロセスの中心を担うはずの開発者に、組織的位置づけがどのような影響を与えるのか、組織的位置づけの違いによって開発者の活動にどのような違いが見られるのかは意識されて論じられてきてはいないのである。これらの議論が想定しているのは、ミッションやマネージャーの指示に従って、そのまま活動するという「受動的」な開発者像である。開発活動の位置づけが開発プロセスに与える影響を解明するには、開発者の活動、具体的には開発者らの開発課題への取り組み方（問題解決プロセス）に与える影響を理解する必要があることを指摘した。

加えて第 2 章では、「開発活動の組織的位置づけ」という概念が先行研究では十分に整理されて論じられていないことも指摘した。先行研究は、開発活動の組織的位置づけが次の 3 つの要因に影響を与えると想定している。それは、(1) 事業環境（事業部、製造工場、顧客）からの圧力の強さの程度と、(2) 事業環境からの情報流入の程度、(3) 事業環境から得られた情報を開発において考慮する程度である。先行研究ではほとんど意識されていないが「開発活動の組織的位置づけ」には、開発活動の事業環境から起点とした公式的な組織上の距離で表される「組織的距離」、事業環境（事業部、製造工場あるいは試作ライン、顧客）と開発活動の地理的な近接性を示す「地理的距離」、事業部や試作ラインのメンバーとの人的なつながりや非公式的コミュニケーションの頻度を示す「人的距離」の 3 つの下位概念が含まれていることを指摘した。「組織的距離」は圧力の強さに関係し、「地理的距離」と「人的距離」はそれぞれ情報流入の程度やその情報を考慮する程度に影響を与えていることを指摘した。この 3 つの距離をあわせて、本論文では「事業環境からの距離」と

呼ぶことを第 2 章で提示した。

第 3 章では、この問題に実際にアプローチするためのリサーチデザインを示した。事業環境からの距離が、開発プロセスに与える影響を明らかにするためには、同じ目的をもった同じ技術の開発活動でありながら、事業環境からの距離がそれぞれ異なる開発活動の比較分析を行うことが適切である。ArF レジスト材料産業はこの条件を満たすもので、レジスト材料開発を行っている 4 社（富士通、NEC、東芝、IBM）は、事業環境からの距離という点でそれぞれ異なるという非常に珍しい業界であった（下表）。この 4 社の問題解決プロセスを比較することで、事業環境からの距離が開発者の活動や問題解決プロセスに与える影響を確認できるということを示した。

表 ArF レジスト材料メーカー各社の事業環境からの距離の比較

	富士通	NEC	東芝	IBM
組織的距離	近い ・事業部研究所での開発	中間 ・中央研究所での開発 ・委託研究(特定)	やや遠い ・中央研究所での開発 ・委託研究(複数)	遠い ・中央研究所での開発 ・100%コーポレート
地理的距離	極めて近い ・同じフロアでi線、KrF、エッチングの量産開発	やや遠い ・同じ県内から筑波へ移動	やや遠い ・同じ県内だが場所は異なる	遠い ・米国西海岸と東海岸
人的距離	近い ・以前から開発部隊と頻繁なやり取り	比較的近い ・研修を通して、交流が行われる	やや遠い ・実験設備の利用、評価など限定的	遠い ・1990年代中盤まで接触がない

(2) 事例分析（第 4 章から第 7 章）

第 4 章から第 7 章までが、本論文の中心となる事例分析である。第 4 章では、事例分析に先だって、事例分析を理解するための情報を提示した。具体的にはレジスト材料に要求される性能要件（性能基準）やレジスト材料メーカー各社が取り組んでいた問題、レジスト材料開発の歴史などを説明した。第 4 章で重要なことは 3 つあり、(1) ArF レジストには複数の性能要件（エッチング耐性、解像度、溶解性、密着性、標準現像液濃度）が存在すること、(2) それらの性能要件の間には複雑な問題やトレードオフが存在しており、実用化のためには全ての問題を解決する必要があったこと、(3) ArF レジスト材料開発は、ゼロから化学構造を設計するという開発であり、それゆえ様々な材料系統が各社で検討されたということである。これらの多くの問題を各社がどのように認識し、どのように取り

組んでいったのか、事業環境からの距離が、これらの問題の認識の仕方や取り組み方の違いにどのような影響を与えていたのかということが、本論文で行った分析である。

第 5 章では、各社から発表された学会発表論文を利用して、各社の問題解決プロセスの特徴の違いの大枠を把握することを試みた。学会発表論文に記載されている様々な指標や構造を整理して企業間で比較することで、各社の問題解決プロセスの特徴の違いを粗いながらも客観的に把握する、各社の開発プロセスの詳細を読み取っていく上での視点を提供することが可能となる。学会発表論文には様々な性能値や構造が書かれているが、ほとんど全ての論文で記載されている (1) 材料を評価する性能次元の種類、(2) 現像条件、(3) 採用していた構造の違いを企業別、年次別に整理して各社の開発プロセスの特徴を比較した。

分析の結果、各企業の問題開発プロセスに次の 3 つの点で違いが確認できた。一つは、複数ある性能要件の中でどの性能に優先的に注意を向けて開発を行っていくかという「性能要件の優先順位」である。二つ目は、複数存在する問題を同時並行的に解決しようとしたのか、順次的に一つずつ解決しようとしたのかという「問題解決のシーケンス」である。三つ目は、どの材料系統まで幅を広げて検討するのかという「探索範囲」の違いである。分析から、各社の問題解決プロセスで 3 つの特徴の違いが明らかになった。

第 6 章と第 7 章では、主にインタビューから得られたデータをもとに、各社の事業環境からの距離と問題解決プロセスを企業別に確認した。その上で、企業ごとの問題解決プロセスに具体的にどのような違いが見られるか、そうした違いと事業環境からの距離はどのような関係にあるのかを確認した。第 6 章と第 7 章から得られた分析結果を簡潔にまとめると、各社の問題解決プロセスには「性能要件の優先順位」「問題解決のシーケンス」「探索範囲の広さ」という点で明確な違いが見られ、事業環境から距離の違いがそれらの違いに影響を与えているということである。

各社の事業環境からの距離には、それぞれ違いが見られた。組織的距離に関しては、富士通のみが事業部内の研究所で開発を行い、あと 3 社は中央研究所内で開発を行っていた。その 3 社の内、NEC と東芝は事業部からの委託研究として開発が進められたのに対して、IBM は委託研究ではなく、開発資金の全てが全社予算から配分されていた。前掲の表に示されるように、地理的距離、人的距離にも違いが見られた。概ね、事業環境からの距離は、富士通、NEC、東芝、IBM の順で近い。

以下で、事例分析から明らかになった問題解決プロセスの特徴の違いと事業環境からの

距離との関係について簡単に説明する。

「性能要件の優先順位」、すなわちどの性能要件の向上に優先的に取り組むのかという点では、(1) 開発初期でのエッチング耐性と解像度の相対的な重要度と (2) 初期の工業化条件の考慮という点で各社の違いが確認できた。これらの違いは、事業環境からの地理的距離と組織的距離が大きく影響を与えていた。開発部隊と試作ラインや工業化関連の開発グループとの地理的な距離が近いと、開発者の事業環境からの情報に対する「敏感度」が高まる。そのことが、工業化条件を重視する姿勢につながっていることが明らかになった。同様に、組織的距離も影響を与える。組織的距離が近いと、開発者が事業環境からの要求に応えなければならないという「義務感」が高まる。そのことが、事業環境で重視されている性能、事業環境から要求されている問題を重視する傾向へとつながっていった。分析からはまた、これらの距離が遠いと、組織内外に技術力をアピールしやすい性能基準や問題が開発部隊で重視されやすいということも明らかになった。

「問題解決のシーケンス」では、複数の問題を同時並行的に解決していくか、順次的に解決していくかで違いが見られた。富士通だけは、ArF レジスト材料開発の上で存在する複数の問題を同時並行的に解決しようと試み、他の 3 社は一つずつ順次的に問題を解決していこうとする傾向が見られた。特に、IBM の問題解決の順次性は他の企業よりも強かった。

問題解決のシーケンスの違いに直接的に影響を与えていたのは、開発者のもつ「志向性」の違いであった。志向性の違いには 2 種類ある。一つは、開発者ら自身が開発で達成したいと考える方向性の違いであり、モノとして世に出す、すなわち実用化を優先して開発を進めるか、あるいは、新たな技術の創出を優先して開発を進めていくかの志向性の違いである。実用化をするためには、その技術に必要とされる全ての性能を一定程度以上満たす必要があり、そのどれか一つでも欠けると実用化する事はできない。そのため、実用化を優先する開発者は、全ての条件を最低限満たすことができる構造を「多重方程式」的に解決していこうとする。一方で、新たな技術の創出を目的とする場合、複数の複雑な問題を同時に解決していこうとするよりも、一つの性能や問題に注目して開発を進めていった方が効率的である。そのため、新たな技術の創出への志向性をもつ開発者は、順次的に問題解決をしていくという傾向がみられた。この違いは、もちろん開発者の個人の性格によるところでもあるのだが、事業環境からの距離、特に人的距離が志向性に影響を与えることが事例分析から示唆された。

問題解決のシーケンスに影響を与える二つ目の志向性の違いは、開発者が自身の評価を企業の内部に求めるか、外部の専門家集団に求めるかの違いである。評価を学会や論文などの外部の専門家集団に求める開発者らは、そこで重視されている性能に絞ってなるべく扱う問題を少なくして開発を進める傾向にある。一方、社内からの評価を重視する開発者は、実用化に必要な複数の問題に同時に取り組む傾向にある。この違いも、特に試作ラインのメンバーとの人的つながり、すなわち人的距離が影響を与えていることが明らかになった。NECの開発事例からは、試作ラインのメンバーとレジスト材料開発のメンバーとの交流が増えていくにつれ、開発者の求める評価が社外から社内へと動いていく様子が明らかになった。

「探索範囲の広さ」も、事業環境からの情報に対する「敏感度」と開発者のもつ「義務感」に影響を受けていた。事業環境からの問題に対する意識が強いほど、また要求に応えなければならないという認識が強いほど、事業環境でいずれ生じる問題を先取りして開発に取り組んでいくという傾向が見られ、このことが結果的に探索範囲を狭くさせていた。反対に、こうした認識が薄くなるほど、学習や新たな機会を求めて、探索範囲を拡大させる傾向にあることも明らかになった。

以上のように、事例分析からは、事業環境からの各距離が、開発者の事業環境からの情報に対する「敏感度」、事業環境からの要求に応える「義務感」、開発者のもつ「志向性」に影響を与え、それが問題解決プロセスの 3 つの特徴の違いを生み出しているということが明らかになった。

(3) 議論の展開とまとめ（第 8 章と第 9 章）

第 8 章と第 9 章は、事例分析から得られた知見をもとに議論を展開した。第 8 章では、従来盛んに議論されてきた、開発活動の組織的位置づけと革新的成果の生まれやすさの関係に関して、問題解決プロセスの違いという視点から議論を行った。

従来の研究の多くは、中央研究所での開発から革新的な技術が生まれやすく、事業部主導の開発からは革新的な成果は生まれにくいということを想定している。しかし、一部には事業部主導の開発から革新的な成果が生み出されやすいと指摘する研究もある。本論文で扱った事例では、事業部研究所で開発を行っていた富士通からアダマンチルと脱離アダマンチルという 2 つの革新的な成果が生み出された。この技術が生まれた背景を考察することで、事業部主導の開発から革新的な成果が生まれる一つのメカニズムを推察すること

が第 8 章の目的のうちの一つである。

富士通の革新的な開発成果、特に脱離アダマンチルが生み出された背景には、同時並行的な問題解決方法があったと考えられる。富士通は、様々な問題を同時に考慮することで、厳しい矛盾に直面していた。具体的に言うと、1993 年前後で「柔軟性があり、かつ標準現像液を使っても密着性が良好な材料で、溶解性とエッチング耐性を両立させる構造は何か」という問題に富士通は取り組んでいた。この問題には、性能間の複雑なトレードオフなど様々な矛盾と困難が伴う。この解決には、大きな発想の転換や、開発方法の転換が必要とされた。富士通の開発者はこの矛盾の解決に注目し、開発努力をそこへと集中させたことが、脱離アダマンチルをいち早く生み出す契機となっていたと推察された。ここからは、事業部主導の開発から、革新的な技術が生まれるという一般的な見解に反する現象に対する一つの説明が明らかになった。

一方で、NEC から開発された NEC ラクトンも革新的な成果であると評価でき、この背景には順次的な解決方法があるということも指摘した。具体的には、順次的に解決していくなかで、いくつかの問題を考慮から外すことが、その後取り組むべき問題の矛盾を拡大させる。その矛盾の解決に向けて、開発努力が集中することが革新的な成果を生み出す契機となっていることを示した。また、東芝や IBM からは、一つずつ問題を解決することのメリットが明らかになった。原理や学習が進むこと、他の技術へ応用できる汎用的な技術が生まれやすいということなどである。このように事業環境からの距離の違いによる問題解決プロセスの違いという視点から、事業環境からの距離と開発成果との関係を推察したのが第 8 章である。従来の研究では、上記のような説明はほとんどされてこなかった。

最後に、第 9 章では結論と課題、インプリケーションを示した。理論的インプリケーションでは、事業環境からの距離に関する先行研究に対する理論的なインプリケーションと、製品開発論に対するインプリケーションを示した。前者については、事業環境からの距離が開発者の活動に与える影響という視点はほとんど考えられてきておらず、それを明らかにしたことは一つの重要な理論的貢献であることを指摘した。後者は、製品開発論、特に「問題解決アプローチ (problem-solving approach)」と呼ばれる領域では、開発プロセスの具体的な中身にまで踏み込んで議論を展開しているが、開発者の課題解決や、コンセプトの作成過程には注目されてきていないことを指摘した。その上で、本論文のように開発者の活動や問題解決プロセスに注目することで、多くの知見が生み出される可能性がある

ことを示し、今後の製品開発論の中で、こうしたプロセスに注目する必要性があることを指摘した。実務的インプリケーションでは、開発活動の管理を行うマネージャーに対するインプリケーション、開発活動の配置を行う実務家に対するインプリケーションを提示した。

最後に、筆者が重要だと考える 3 つの課題を提示した。それは、(1) 事業環境からの各距離が独立に問題解決プロセスに与える影響を必ずしも明確にできなかったこと、(2) 技術的成果の分析が中心であり、商業的成果との関係については十分に論じられなかったこと、(3) 外的妥当性の問題である。3 つ目は、本論文で分析を行ったのは単一産業での開発であり、発見事項や分析結果が ArF レジスト材料開発のもつ独自の条件に依存している可能性は否定できないということである。この問題を解決するためには、分析対象を他の産業にも広げる必要があるということを指摘した。

3. 結論

ArF レジスト材料産業の分析から明らかになった本論文の結論は、事業環境からの 3 つの距離（組織的距離、地理的距離、人的距離）の違いが、開発者の事業環境からの情報に対する「敏感度」、事業環境からの要求に応えるという「義務感」、開発者の「志向性」に影響を与え、さらにそれらが問題解決プロセスの 3 つの違い（性能要件の優先順位、問題解決のシーケンス、探索範囲）に影響を与えるということである。開発活動の組織的な位置づけが、具体的な開発プロセスに与える影響はこれまでほとんど明らかにされてこなかったことであり、本論文から得られる知見は、学術上、実践上重要な貢献を果たすものであると考えられる。