

平成 21 年 9 月修了

博士（学術）学位論文

団塊世代技術者の暗黙知の活用

-半導体信頼性技術分野での分析-

Practical Use of Tacit Knowledge

of DANKAI-Generation Engineers

-An analysis of tacit knowledge in semiconductor reliability field-

平成 21 年 6 月 12 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻（起業家コース）

学籍番号 1108001

宮本 和俊

Kazutoshi Miyamoto

論文要旨

日本の経済成長を支えてきた団塊世代の定年退職は、労務コストの軽減や年齢構成の若返りというプラス面はあるものの、後の世代への技術・技能の伝承という面で大きな問題があるといえる。

団塊世代のうち製造業における知識は技術と技能の二種類に大別することができる。技能は製造現場が持つ知識であり、技術は技術者や研究者の持つ知識である。技能の知識は、巧みの技ともいいかえることができ、言葉にできない知識、すなわち形式知化できない暗黙知が多く含まれる。これらの暗黙知は、現場でのコツ・カン所のようなものづくりの技量やノウハウであり、その伝承に関しては世間や企業の中でも注目度が高い。それ故、既に企業においても定年延長や退職後の再雇用という制度が設けられており、暗黙知の伝承への対策がおこなわれている。

一方、技術を扱う技術者・研究者が持つ知識は新しい製品の開発や技術問題の解決等々に関するものであり、知識創造に関わるものであるといえる。この分野である科学技術分野においては、論文、技術レポート等を使って知識を形式知化し易いことから、知識は人類の歴史の中で伝承され積み上げられ、科学をおおいに発展させて来た。そのために、技術者・研究者が持つ知識は形式知であり、論文やレポート等の書き物を残せば技術の伝承は十分であると考えるのが一般的である。

しかし、技術者・研究者は過去の色々な失敗・成功を通じてさまざまな体験をしたことで豊富な暗黙知を蓄えている。技術者・研究者が形式知として論文やレポートにまとめているのは、彼らの持つ暗黙知のごく一部分を抽出したものにすぎないといえる。また、自然科学分野での大きな発明・発見においてはヒラメキや発想の転換が大きな役割を果たしているといわれており、種々の実験や観察等の体験から得られた暗黙知の介在を示唆している。つまり、科学技術的分野においても暗黙知が必要となる可能性が考えられ、本研究の目的の一つはこのことを明らかにすることにある。暗黙知の比重が比較的高い半導体信頼性技術分野を具体例として取り上げ考察する。

科学技術分野においても暗黙知が重要だと考えると、団塊世代の技術者・研究者の暗黙知が産業界から一斉に消失してしまうことは大きな社会問題であり、早急な対策が必要となる。ところが、技術者・研究者は企業が準備す

る定年延長や再雇用制度には興味がなく、定年を迎えると会社を辞める傾向が強く、技能者に対する対策がそのまま研究者や技術者には有効とならない可能性が高い。半導体技術者・研究者に対するアンケート結果を分析することで、技能者に対する知識消失対策が技術者・研究者に対して適していないことを示し、この観点から、団塊世代の暗黙知活用の典型例として信頼性技術に焦点を絞り、団塊世代を活用した信頼性技術サービスの仕組みを提案し、有効性を示すことが本研究のもう一つの目的である。

目次

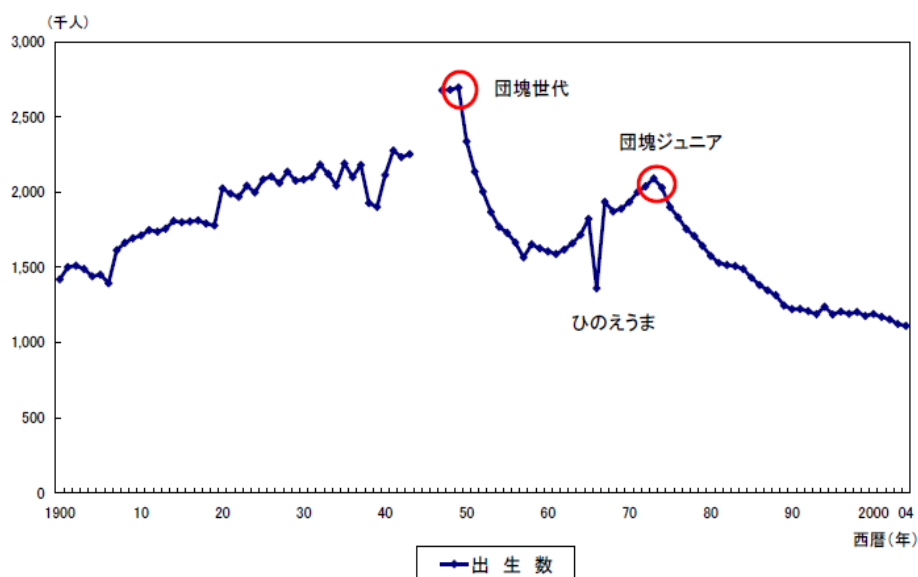
論文要旨	3
第1章 序論	7
第1-1節 研究の背景	7
第1-2節 研究の目的	11
第1-3節 論文の構成	13
第2章 半導体の信頼性技術における暗黙知	17
第2-1節 半導体デバイスにおける信頼性の考え方	17
第2-1-1項 半導体の歴史	17
第2-1-2項 半導体の故障	19
第2-1-3項 半導体の評価の概要	30
第2-1-4項 半導体デバイスの故障解析	32
第2-1-5項 半導体デバイスの故障メカニズム	37
第2-2節 半導体信頼性技術における暗黙知	48
第3章 知識創造における暗黙知の役割	59
第3-1節 知識の構造	59
第3-1-1項 知識とは何か	59
第3-1-2項 知識の構造	65
第3-2節 知識創造における暗黙知の役割	67
第3-3節 信頼性技術における知識創造の事例	83
第3-3-1項 市場故障の発生と問題解決までの経緯	84
第3-3-2項 故障メカニズム	88
第3-3-3項 知識創造のプロセス	93

第4章 団塊世代の技術者・研究者の活用.....	95
第4-1節 半導体技術者の暗黙知活用の調査	95
第4-2節 団塊世代の退職者の生活に関する希望.....	126
第4-2-1項 半導体技術者の定年退職後の生活希望の調査	126
第4-2-2項 技術者・研究者とそれ以外の職種との違い.....	140
第4-3節 半導体技術者の暗黙知の活用	153
Appendix I 半導体技術者の暗黙知活用調査票	162
Appendix II 半導体エンジニアへのアンケート調査票	163
Appendix III 半導体ユーザーへのアンケート調査票	165
第5章 まとめと結論.....	169
参考文献	171
謝辞	175

第1章 序論

第1-1節 研究の背景

団塊世代とは、通常、戦後の1947（昭和22）年～1949（同24）年のベビーブームに誕生した世代の人々をさす。「団塊世代」という表現は、1976年に堺屋太一氏が小説「団塊世代」において名づけたもので、人口が多いこと（ベビーブーマー）と、他の世代と経験・性格が違うという二つの特徴を指摘し、それ以降注目されるようになった。戦後のベビーブームは全世界共通



資料：厚生労働省「人口動態統計」

図 1-1 日本の出生数推移

であるが、図 1-1 に示されるように日本の場合は特に短期間に集中して人口が増加している特徴がある。図 1-2 は 2000 年時点での日本の人口ピラミッド¹であるが、団塊世代は国勢調査では 2000 年度の団塊世代（1947～1949 年生まれ）の人口は 691 万人であり、全人口の 5.4%を占め、他のどの世代よりも突出している。団塊世代は、戦後初めて生まれた世代であるため、それまでの価値観を破壊し、新しい若者文化（60 年代）、「ニューファミリー」（70 年代）、土地住宅ブーム（80 年代）といった新しい社会潮流を創り出

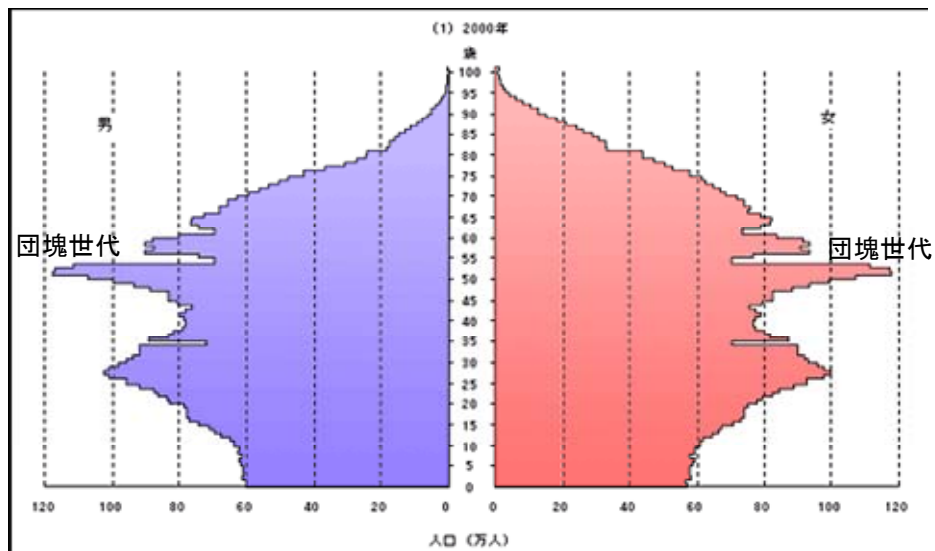


図 1-2 日本の人口ピラミッド(2000年時点)

した世代である。また、日本の高度経済成長を企業戦士、モーレツ社員として現場で支え、バブル崩壊後はリストラなどの厳しい時代を経験してきた世代である。

この団塊世代が定年退職の時期を迎えている。財務省財務総合政策研究所の「団塊世代の退職と日本経済に関する研究会」の報告書²によれば、団塊世代を含む 1945～1950 年生まれが、今後、10 歳年上の世代と同ペースで退職した場合、2010 年度には最大 110 万人の労働力人口が失われ、今後、人材不足が深刻な問題になると警告している。しかも、それは単なる従業員数の不足に留まらない。彼らは、戦後の日本経済を牽引してきた世代であり、そこには、長年培ってきたビジネスに関する経験やノウハウ、高度な技術や技能が蓄積している。そういった団塊の世代が持つ貴重な資源を、次世代にいかにかに伝承していくかが大きな問題になるというのである。

団塊世代の職業は、2000 年の国勢調査によると (図 1-3³)、全国の 50～54 歳 (団塊世代は 51～53 歳) の就業者数である約 8,150 千人のうち、生産工程・労務作業従事者は 31.9%になり 1 位である。また、専門的技術的職業従事者も上記年齢層で 10.5%を占めている。この年代のうち製造業に従事しているのは 21.6%の 1,759.6 千人であり、そのうち 70.2%が生産工程・労務作業業者の高い割合を占めていることから、団塊世代がこのまま定年退職しまう

総数(50-54歳)	8,151,314	生産工程・労務作業者	2,597,629	31.9%
		専門的・技術的職業従事者	859,078	10.5%
		管理的職業従事者	354,969	4.4%
		21.6%		
製造業の内訳	1,759,561	生産工程・労務作業者	1,234,822	70.2%
		専門的・技術的職業従事者	72,413	4.1%
		管理的職業従事者	76,087	4.3%

2000年平成12年 国勢調査(50-54歳の就労者)

図 1-3 日本の就労者数

と日本のものづくりに大きな影響を与える可能性を示している。また専門的・技術的職業も管理的職業を含めると 8.4%になり、割合は低いですが技術スタッフとして日本のものづくり技術の発展を支えてきた重要な人達であり、この人達の定年退職も大きな影響があると考えられる。

各企業においては「技能」の伝承に関して気にしており、「2007年問題」として危機意識が高い。図 1-4 に示すように、厚生労働省「平成 19 年度 能力開発基本調査 結果概要」⁴によると、調査対象企業の 32.7%で「問題がある」と答えている。その中でも製造業では 51.6%の企業が問題ありとしており、特に危機意識が高いことを示している。日本の経済成長を支えてきた製造業における団塊世代の退職は、労務コストの軽減や年齢構成の若返りというプラス面はあるものの、後の世代への技術・技能の伝承という面で大きな問題があるといえる。

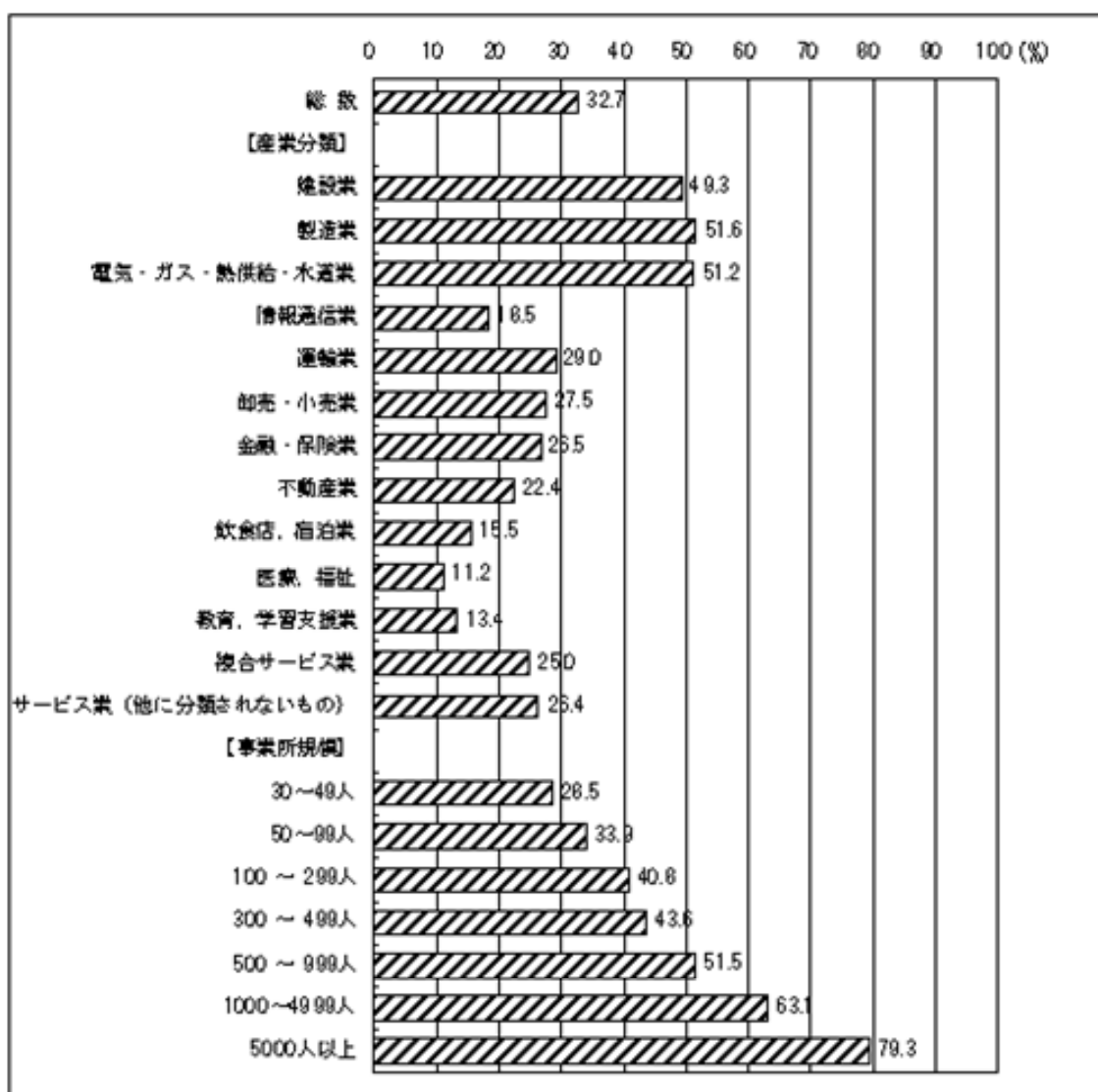


図 1-4 団塊世代の退職等による問題があるとした事業所

第1-2節 研究の目的

製造業において、団塊世代が持つ知識を「技能」と「技術」の二種類に大別することができる。「技能」は製造現場が持つ知識であり、「技術」は技術者や研究者が持つ知識である。「技能」の知識は、「巧みの技」ともいいかえることができ、言葉で説明できない知識、すなわち形式知化できない暗黙知が多く含まれており、この例として、酒造り、宮大工、染め物、陶芸、旋盤、溶接等々の芸術に近い、いわゆる職人の「巧の技」として知られている。このような「巧の技」は個人とともに消失することが多く、伝承が難しい。なんとか言語化できて書き物で残ったとしても、本当に理解するには受取側の体験が必要となり、結局は個人の問題となってしまうため暗黙知の伝承が困難となる。

「技能」である「巧みの技」は企業においては製造現場で要求され、いわゆる現場でのコツ・カン所のようなものづくりの技能やノウハウにあたる。これらの知識が日本の高品質で生産効率が高いものづくりを支えているのであるが、これらの知識を守り、伝承させるために、企業では形式知化を推進しており、作業をマニュアル、規則、作業要領書、教育指導書等々で書き物にして形式知化することで残そうとしている。しかし、大事なコツやカン所は暗黙知であり、形式知化できる知識は限られている。このような「巧みの技」ともいわれる暗黙知の伝承に関しては世間や企業の中でも注目度が高い。それゆえ種々の調査や研究がなされており、既に定年延長や退職後の再雇用のような制度が設けられており暗黙知の伝承への対策が実施されている。これは、「技能職」の暗黙知の伝承が目的であるので、時間をかけてでも知識の継承者の熟練度を磨く手助けをすればよいのであることから、退職者に対して定年延長や再雇用の制度を設けることで、知識伝承のための期間延長もしくは時間の確保という点から効果的な対策といえる。こうした状況での企業の対策を見ると、厚生労働省「平成19年度 能力開発基本調査 結果概要」³(図 1-5)によると、「退職者の中から必要な者を選択して雇用延長、嘱託による再雇用を行い、指導者として活用している」が63.4%、「中途採用を増やしている」が37.9%等となっており、技能伝承のための時間確保による対策が主になっていることが分かる。

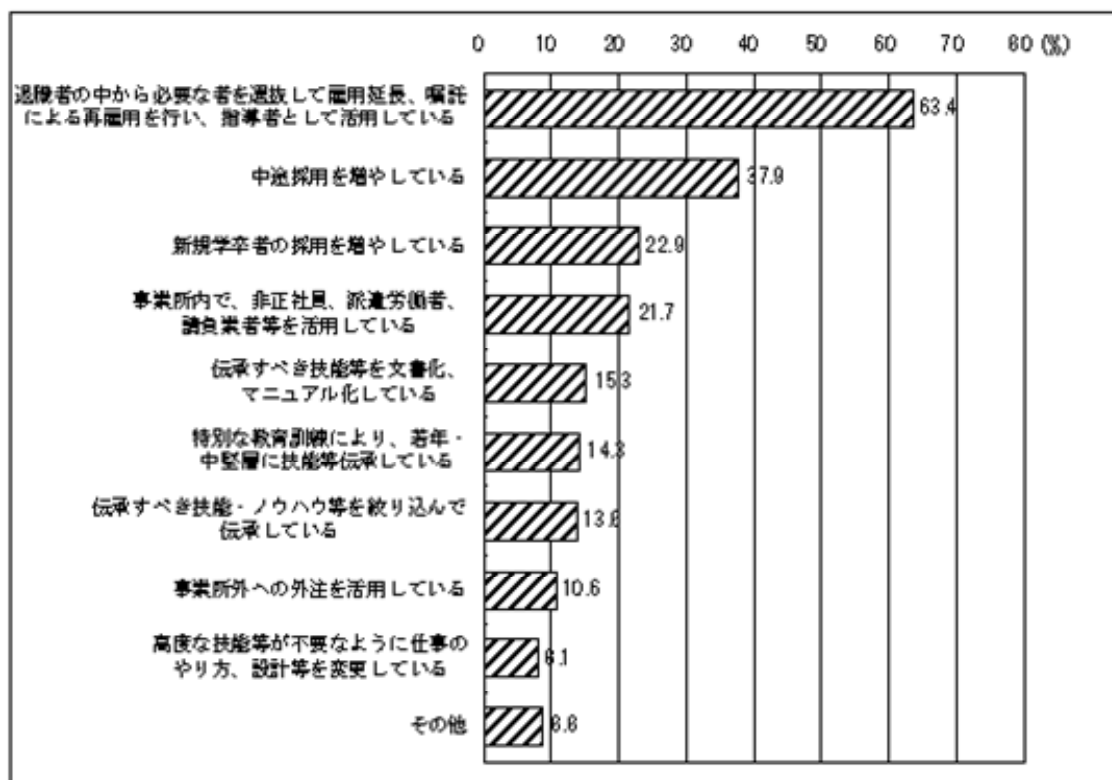


図 1-5 技能継承の取組を行っている事業所の取組の内容(複数回答)

一方、技術を扱う技術者・研究者が持つ知識は、新しい製品の開発や技術問題の解決等々に関するものであり、新しい知識を創るという知識創造に関わるものである。この分野である自然科学においては、論文、技術レポートや理論等を使って知識を形式知化し易いことから、知識は人類の歴史の中で伝承され積み上げられ、科学をおおいに発展させて来た。そのために、技術者・研究者が持つ知識としては形式知であり、論文やレポート等の書き物を残せば技術の伝承は十分であると考えるのが一般的である。

しかし、技術者・研究者が持つ知識として形式知は重要であることはもちろんであるが、この形式知のみを使って彼らの主なる仕事である「知識創造」が可能であろうか。技術者・研究者は過去に色々な失敗・成功を経験しており、これらを通じて様々な体験をすることで得てきた、形式知以外に豊富な暗黙知を蓄えているのである。M.Polanyi は人間の思考・行動はすべて体験することで得た「暗黙知」が基本要素になっているとしている。さらに、野中氏は組織における「知識創造」は、個人の暗黙知を組織で共同化した後、形

式知に変換し、さらに連結化することで増幅させ、さらに内面化にすることで可能になると、SECIモデルの中で説明している。経験や体験を持たない幼児において、いくら記憶力が抜群で形式知を詰め込むことができたとしても、「知識創造」が可能とは誰も思わない。新しい知識を創るというのは、問題意識の基に形式知や暗黙知の関連づけが必要なためである。すなわち、技術者・研究者の「知識創造」にも暗黙知が必要であると考えられ、本研究の目的の一つはこのことを明らかにすることにある。

科学技術分野においても暗黙知が重要だと考えると、団塊世代の技術者・研究者の「暗黙知」が産業界から一斉に消失してしまうことは大きな社会問題であり、早急な対策が必要となる。ところが、技能者に対する定年延長や再雇用制度の対策はそのまま研究者や技術者に有効であるとは思えない。なぜなら、技能者は若い技術者の下で働くことになれているので、定年延長や再雇用に対し拒否感がないのであるが、技術者・研究者の多くはかつての部下の下で働くことを好まないと思われるからである。

本研究のもう一つの目的は、定年退職を迎える団塊世代の技術者・研究者の「暗黙知」をうまく活用する方法を提案することである。

第1-3節 論文の構成

以上述べたとおり、団塊世代が一斉に定年退職する問題は、定年延長や再雇用という製造現場中心の「巧の技」に対する施策だけでは収まらない。団塊世代の技術者や研究者という知識創造に携わるエンジニアが保有する膨大な暗黙知が産業界から一斉に消失してしまうことに対する対策が必要なのである。

本論文では、知識創造における暗黙知の重要性を示すとともに、暗黙知の比重が比較的大きい半導体信頼性技術の分野を具体例に取り上げ、団塊世代の技術者・研究者を効果的に活用する仕組みを提案する。

第2章では暗黙知が殊更重要である半導体信頼性技術を概説し、第2-2節では半導体信頼性技術分野においてはなぜ暗黙知の重要性が高くなるのかを示す。

そして第3章では、まず知識を分類し、巧の技と科学技術的な知識がどのように位置づけられかを暗黙知／形式知と関係づけながら明らかにし、次に過去の研究者（特にM.Polanyi）の知見を基本にして、体験から得た知識が何故暗黙的に働くのかを示す。さらに、知識創造のプロセスにおいて既存の形式知の組み合わせで成すことができる知識創造と既存の形式知の組み合わせでは難しく「ヒラメキ」に代表される何らかのきっかけが必要な知識創造の二種類に分類して考察し、何らかのきっかけが必要な知識創造では暗黙知の役割が重大になることを脳科学の知見も活用して明らかにする。次に、半導体の故障メカニズム解明という具体的事例のなかで上記の考え方を証明する。

第4章では、まず第4-1節において半導体技術者が「暗黙知」をベースとした「ヒラメキ」や「勘」を日常の業務で使うことで大きな成果を出していることをアンケート調査の分析結果を用いて示す。次に、第4-2節では、団塊世代の定年退職を迎える半導体技術者・研究者に対するアンケート結果から、彼らが意欲を持って働ける環境を明らかにした。また、他の職種の団塊世代へのアンケート結果を分析することで、技術者・研究者は事務・営業・販売他の職種の人達とは仕事に対して大きく異なった考え方を持っていることを示し、定年延長や再雇用制度では彼らの暗黙知流出は食い止められないことを示す。さらに、彼らの暗黙知が生かせる市場を調査する意味で、第4-3節において半導体ユーザーに対するアンケート調査も実施する。この観点から、団塊世代の暗黙知活用の典型例として信頼性技術に焦点を絞り、団塊世代の技術者・研究者を活用した信頼性技術サービスの仕組みを提案する。

第5章においては、本研究で得られた成果を箇条書きにまとめ、結論とする。

以下に論文構成をブロックダイアグラムで示す。

第1章 研究の背景と目的

- 知識が、すべて次の世代へ伝承されていけば問題はないが、形式知は次の世代に問題なく伝わるが、暗黙知は難しい。
- 熟練技能者のいわゆる「現場の巧の技」は暗黙知であり、知識の伝承の問題は広く議論されており、対策も打たれている。
- 技術者・研究者の知識（科学技術的知識）は形式知がすべてであると考えられているが、暗黙知も含まれているのではないか？
- 暗黙知が含まれているのであれば、団塊世代の技術者・研究者の一斉退社は社会的問題であり、対策はどうすればいいのか？



第2章 信頼性概論

2-1半導体デバイスの信頼性の考え方

2-2半導体信頼性技術の分野における暗黙知の重要性を示す。



第3章 知識創造における暗黙知の役割

3-1知識を分類し、巧の技と科学技術的な知識がどのように位置づけられかを暗黙知／形式知と関係づけながら明らかにする。そして、結論的には形式知と考えられている科学技術的な知識の周辺には膨大な暗黙知が存在することを示す。

3-2先行研究を用いて、手続き的知識が体験を基に暗黙的に創られることを示す。次に知識創造はそのプロセスにおいて既存の知識の組み合わせで可能なものと既存の形式知の組み合わせだけでは難しく何らかのきっかけが必要な知識創造に大別できることを示し、最後に何らかのきっかけが必要な知識創造においては暗黙知の役割が重大になることを脳科学の知見も活用して明らかにする。

3-3半導体信頼性技術分野での事例を用いて証明する。





第4章 団塊世代の技術者・研究者の活用

4-1半導体技術者が日々の仕事の中で、ヒラメキや勘といった暗黙知を使って仕事をしているかどうかを調査・分析し、半導体分野での成果の多くは暗黙知が強く影響を及ぼしていることを示す。

4-2半導体技術者・研究者に対するアンケート調査をおこない、定年退職後の生活に関する希望を調査・分析する。会社が用意する再雇用制度には興味がなく、時間のゆとりを求めているが、自分の経験を活かす仕事ならしても良い、との傾向が強いことを明らかにする。

また、アンケート結果を技術職と営業・事務職他の職種とに分けて分析すると、仕事への考え方が異なることが判明し、企業が用意する知識流失対策は技術者・研究者には有効でないことを示す。

4-3半導体ユーザーへの調査結果から、故障発生時の半導体メーカーの対応には満足しておらず、半導体の品質・信頼性サービスをおこなう第三者機関を希望していることを示し、団塊世代の半導体技術者を活用した、半導体ユーザーをサポートする新しい仕組みを提案する。



第5章 まとめと結論

第2章 半導体の信頼性技術における暗黙知

序論で述べたように、本論文においては半導体信頼性技術を事例として分析する。種々の科学技術分野の中で、比較的暗黙知の比重が重いためである。

本章においては、まず半導体の信頼性技術を概説し、その後に信頼性技術分野における暗黙知の位置づけを説明する。第 2-1 節で半導体信頼性の考え方、品質評価や品質保証、そして品質の改善において重要となる故障物理や故障メカニズムを概説する。次に、第 2-2 節では、微細化・複雑化の進展が著しい半導体分野であるがゆえに、暗黙知がより重要になっていることを示す。

第2-1節 半導体デバイスにおける信頼性の考え方

本節では、まず初めに第 2-1-1 項で半導体の歴史を簡単に振り返った後、第 2-1-2 項において半導体信頼性の基本的考え方である半導体の故障と基本故障モデル、次に第 2-1-3 項において半導体の信頼性評価、さらに第 2-1-4 項において半導体の品質・信頼性の改善に重要な半導体の故障解析、最後に第 2-1-5 項で半導体の主な故障メカニズムに関して概説する。

第2-1-1項 半導体の歴史

半導体は約 60 年前にトランジスタが発明されて以来進歩し、それまで一般的に広く使われてきた真空管に置き換えられてきた。キルビーが複数のトランジスタを一つのチップ上に形成して金属で配線する集積回路 (Integrated Circuit; IC) を発表してから近年 30~40 年の期間で飛躍的に技術が進歩し、大

大きく発展してきた。

一番初めの半導体であるトランジスタを、ノーベル賞を授与されたショックレーが発明するまでは、真空管が広く使われていた。真空管は、真空にしたガラスチューブの中でフィラメントに電流を流して高温にすることでフィラメントから熱電子を飛び出させ、対向する電極の間に電流を流し、それらの間に置いた異なる複数の電極に電圧を印加して流れる電流を制御した。このような原理のため真空管を使うとフィラメントの熱によって、かなり高温になる。このため、外部の電極が酸化してソケットとの接触不良を起こしたり、熱膨張のために機械的な歪みが発生して壊れたり、フィラメントが切れたりとかで信頼性は非常に低かった。真空管でできた電子計算機で有名なアメリカ ペンシルバニア大学のENIACは約 2 万本の真空管を使っていたが、週に 2~3 本の頻度で真空管を取り替えなくてはならなかったほど真空管は信頼性が低い。しかし、それでもENIACは信頼性を重視して設計されており通常よりも相当高い信頼性が得られていたようである⁵。

それに対して半導体トランジスタは発熱がほとんど無く、信頼性は飛躍的に高くなった。さらに集積回路にすることによって、最近では数千万個のトランジスタを一つのシリコンチップ上に形成することでたくさんの機能を詰め込むことができるようになり、大量生産することで安価になり、さらにその上に信頼性が高いことで、ありとあらゆるアプリケーションに使われるようになってきている。

真空管の時代は、信頼性を示す物差しとして、故障発生 の頻度を現すMTTF^Aが使われていた。通常の使い方での真空管のMTTFは 2,000 時間程度であった。半導体になって飛躍的に信頼性が向上したために、半導体の信頼性を示す物差しには使われなくなり、不良率をppm^Bで現す方が適切になってきている。ある期間（例えば 1 年間とか数年間とか）に百万個の半導体を使って一個故障したとすると、ある期間の不良率は 1ppmであるという。

半導体集積回路の発展は、ゴードン・ムーア氏が言ったと言われているい

^A MTTF; Mean Time To Failureの略。単位は時間で、故障が発生するまでの平均の時間間隔を現す。

^B ppm; Part Per Millionの略。百万分の一を現す割合。

わゆるムーアの法則に従って発展してきた。ムーアの法則とは半導体の集積度は18～24ヶ月で倍に向上する言うものである。1975年頃には $10\mu\text{m}$ のMOSトランジスタが最先端技術であったが、最近は $0.15\sim 0.2\mu\text{m}$ 、さらに進んだ90～65nmのトランジスタサイズを用いた集積回路が大量生産されている。

第2-1-2項 半導体の故障

半導体集積回路（デバイス）の信頼性は、図 2-1 に示すようなバスタブカーブで表現される。デバイスの使用（稼動）開始後、比較的早い時期に発生する初期故障、その後長い使用期間にわたって発生する偶発故障、デバイスの本質的寿命にともなって時間とともに増加する摩耗故障（耐用寿命）の3領域に分けることができる。

初期故障は、デバイスの製造工程で作り込まれた潜在欠陥が、使用中のストレスで劣化することにより起こるものと考えられ、潜在欠陥としては、製造工程で微小な異物が付着することによって半導体チップ内に欠陥が形成され、それがデバイスの故障を誘引する例などがあげられる。潜在欠陥を持つデバイスのみが故障し、デバイスを使用するにしたがって除去されるため、故障率は時間とともに減少する傾向がある。

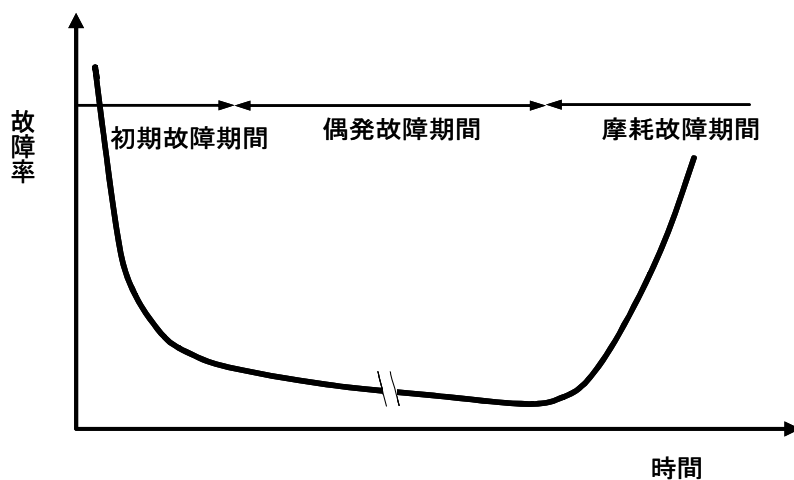


図 2-1 半導体の故障率時間推移（バスタブカーブ）

偶発故障は、潜在欠陥を持つデバイスが初期故障領域で故障して除かれ、残存した潜在欠陥を持たないデバイスが安定して稼動する間の故障現象であるといえる。故障の原因は主に偶発的に生じるオーバーストレス（外部から印加されるサージ、や電源ノイズ等）やソフトウェア^cおよび初期故障の残存分等であると考えられる。

摩耗故障は、デバイスが基本的に持っている摩耗や疲労に対する寿命によるもので、その領域に入ると故障率は急激に増加する傾向を示す。デバイスは、実使用期間中に摩耗故障が訪れないように設計されている。

したがって、初期故障率を抑え、十分な摩耗故障寿命（耐久性）を確保することが、高信頼性半導体デバイス実現の重要ポイントである。

高信頼性デバイスを実現するには、製造時の潜在欠陥を低減するために、高度な品質管理と品質改良活動によって製造品質を向上させ、電気的特性検査およびバーンイン等のスクリーニングを実施することで初期故障率を低減させる。また、実使用期間に対して十分な摩耗寿命を確保するため、設計開発段階から信頼性の作り込みを推進し、信頼性確保に向けた信頼性設計や設計審査（デザインレビュー）などの活動と信頼性試験による検証をおこなうことが必要である。

ここで、故障率は、ある時間における単位時間あたりに半導体が故障する割合を示し、次式の $\lambda(t)$ と表すことができる。

$$\lambda(t) = -\frac{d(1-R(t))/d(t)}{R(t)}$$

$R(t)$; 信頼度関数 ある時間の良品数

$(1-R(t))$; 不信頼度関数 ある時間までの故障数

$\lambda(t)$; ある時間での故障率

^c ソフトエラー; 半導体メモリなど電荷をためて記憶するデバイスに放射線が当たることで電荷を失ってしまう現象。故障になっても、もう一度記憶させれば問題なく使用できるのでこの名前が付いた。最近では微細化が進んだことでメモリだけでなくロジック回路でも問題になると言われている。半導体で話題となる放射線は α 線や中性子線がある。

次式のように平均故障率 λ を用いることもよくある。

$$\text{平均故障率} = \frac{\text{(ある期間に故障になったデバイスの数)}}{\text{(ある期間に動作したデバイスの総数)} \times \text{(ある期間の時間)}}$$

例えば、1,000 個の半導体を 10,000 時間動作させて 1 個の故障が発生したとすると、平均故障率は以下のように計算できる。

$$\text{平均故障率} \lambda = \frac{1}{1000(\text{個}) \times 10000(\text{時間})} = 1 \times 10^{-7}$$

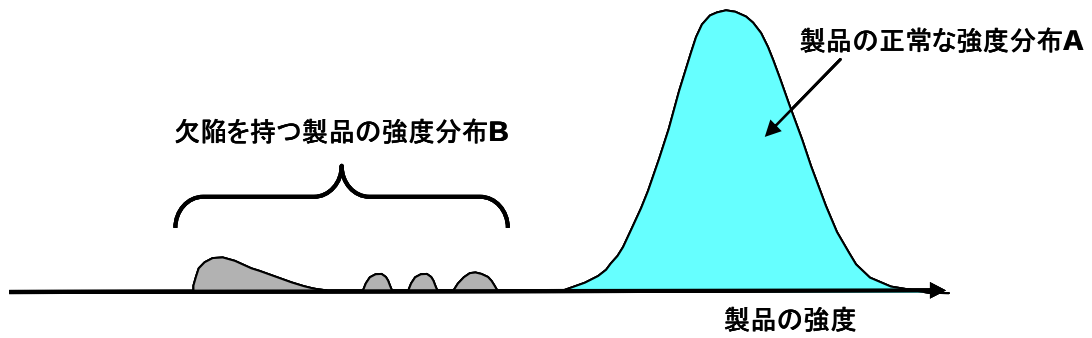
この数字はあまりにも小さいので、 10^9 倍して FIT^D と呼ぶ単位を用いる。この場合の平均故障率は、100FIT ($100 = 1 \times 10^{-7} \times 10^9$) になる。

(1) 初期故障領域

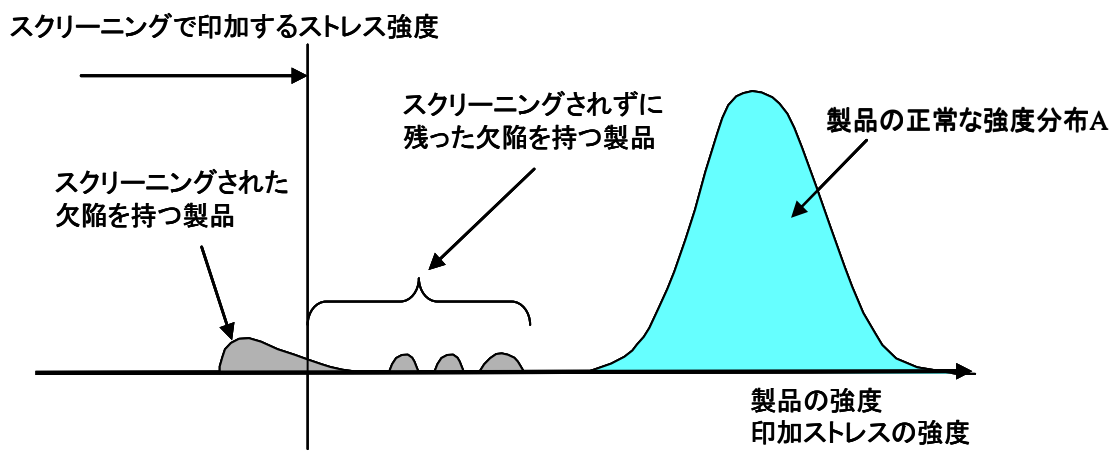
潜在欠陥に起因する故障が支配する領域である。半導体に電圧を印加して動作状態にすると、半導体内部の各部分に電圧が印加され、電流が流れる。半導体を製造する間に種々の潜在欠陥が作り込まれてしまうことから、その結果ショートやオープン故障が発生する。例えば図 2-2 (1) は製造直後の半導体製品の環境ストレスに対する強度もしくは耐力の分布の模式図を示す。図中、正常な耐力を持つ分布を A とすると、図中の分布 B のように主な分布より弱い耐力の潜在欠陥が作り込まれた製品の小さな分布が必ず付いてくる。

初期故障率を下げるために、製造後実施するテスト中に電圧を印加し電流を流す電氣的ストレスによって、図 2-2 (2) に示すようにある程度までの潜在欠陥を含む半導体は除去される。しかし、それだけではまだまだ欠陥を含む半導体は取りきれずに残る。この欠陥を含む半導体を除くことをスクリーニングと呼ぶが、スクリーニングをくぐり抜けた欠陥を持つ半導体は、図 2-3 のように実使用の初期の領域で故障を起こす。これが初期故障である。

^D FIT; Failure In Time の略。



(1) 半導体製品のストレスに対する強度分布の模式図



(2) 欠陥を持つ製品のスクリーニング

図 2-2 半導体製品の環境ストレスに対する強度(耐力)の分布の模式図

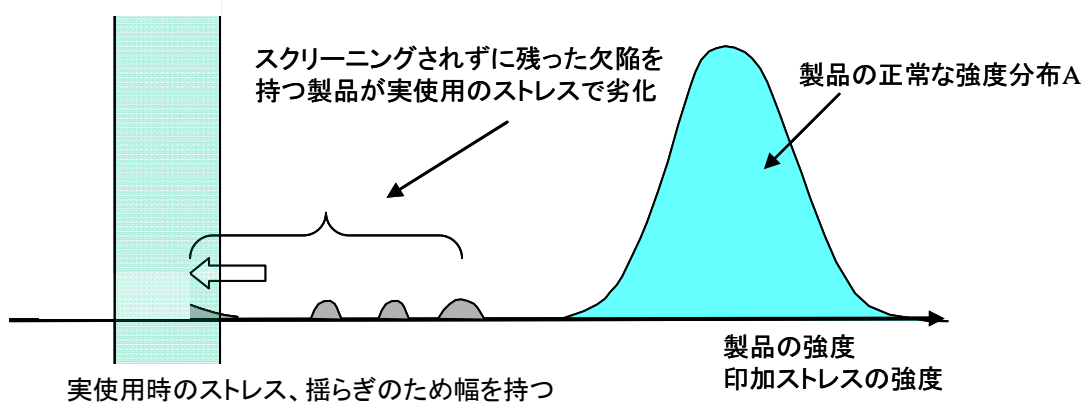


図 2-3 初期故障領域の模式図

初期故障領域での主な故障の原因は潜在欠陥であるので、使えば使うほど潜在欠陥を持つ半導体は故障することで減少し、故障率も減少していく。

(2) 偶発故障領域

この領域では、初期故障がほとんど無くなり一番故障率が安定して低い領域である。ただし、実使用の電圧や環境温度の揺らぎのため、ランダムに強い外部ストレスが印加されることから、ランダムに故障が発生する。図 2-4 に示すように、潜在欠陥はほとんど無くなっているが、未だ少しは残っており、このため外部環境の揺らぎによる強いストレスのため故障が起こる。またランダムに突発的に強いストレスが印加される場合もあり、これによっても故障が発生する場合もある。

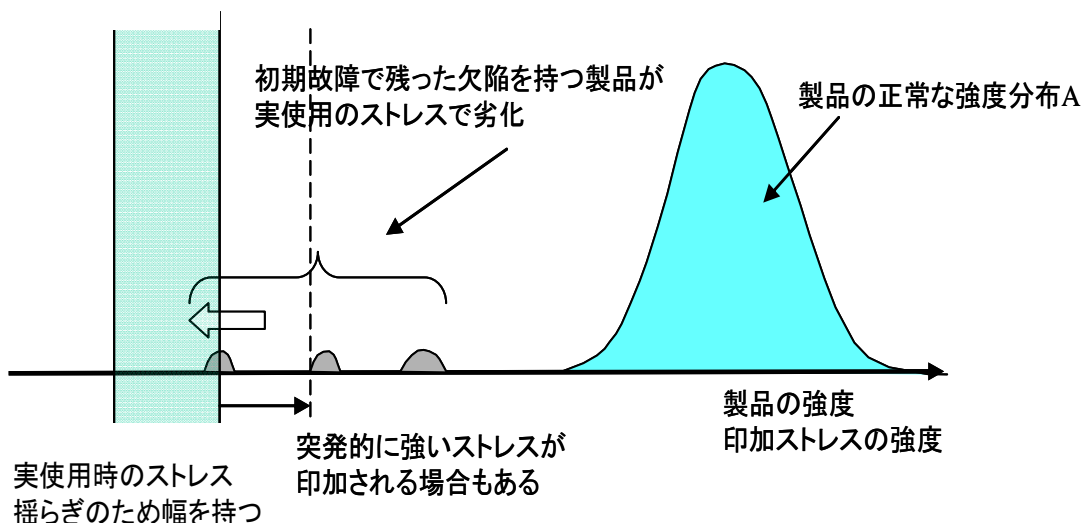


図 2-4 偶発故障領域の模式図

(3) 摩耗故障領域

この領域では、半導体を構成する材料や構造からくる寿命のために故障が起こる真性の寿命領域である。図 2-5 のように、半導体の強度がどんどん低下（劣化）することで、時間とともに故障が増加していく。

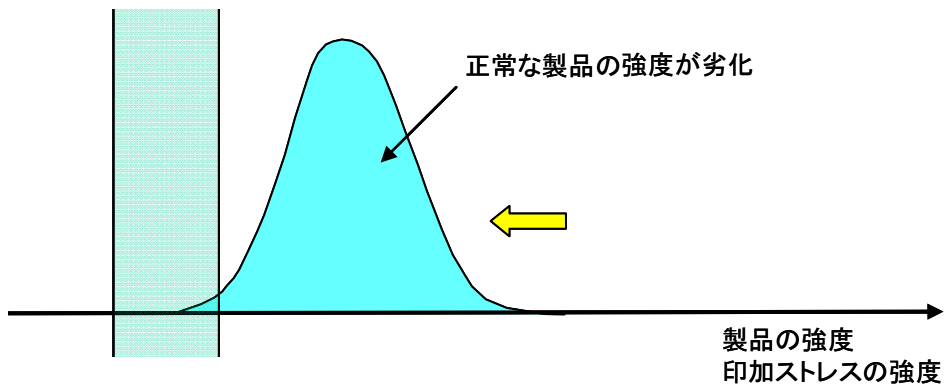


図 2-5 摩耗故障領域の模式図

基本故障モデル

半導体デバイスの信頼性は、接合温度、周囲温湿度、電圧や電流条件、温度サイクル（温度の上昇下降の繰り返し）、湿度等の使用環境によって大きく左右される。このため、市場における実使用状態での故障率を推定する手段として、故障メカニズムごとの基本故障モデルに基づいて、実使用状態の環境を基準にして、評価のときの環境条件を厳しくすることで故障の発生を加速し、短時間内に故障を発生させる加速試験をおこなう。加速条件下で起こる故障から加速係数を用いて実使用環境での故障の予測をおこなう。加速試験のストレス条件をパラメータとして故障の発生を観察し、実使用状態における故障率を推定する方法であり、この手法は新しいプロセスを採用するときや新製品を開発する際に、環境ストレスに対するロバストネスの評価としてよく用いられる⁹。

加速する環境ストレスによって半導体の故障発生依存性が異なることから以下に示す基本故障モデルを表すモデル式の中から最も適切なモデルを選ぶ。選んだモデルが適切であるかどうかは、複数の条件下で加速試験を行い、加速条件の依存性が直線になるかどうかで確認する。以下に代表的な基本故障モデルを説明する。

(1) 反応論モデル

半導体デバイスの加速寿命モデルとして最も一般的に使用されている故障モデルである。半導体の故障メカニズムとして拡散、酸化、吸着、転位、電解、腐食クラック成長等があるが、一般的に、これらの故障（破壊や劣化）は原子や分子レベルでの変化に起因していると考えて、これらの変化が進行し、材料や部品を劣化させ、ある限界を超えると故障にいたると考えるのが反応論モデルの考え方である。正常状態から劣化状態へ進む過程には、その途中にエネルギーの障壁があり、それを飛び越えてしまうための必要なエネルギーを環境から供給する必要がある、このときのエネルギーの障壁の高さを活性化エネルギー (E_a) と呼ぶ。図 2-6 に反応前後のエネルギー状態の概念を示す。特に温度による反応の依存性についてはアレニウスにより見いだされたので、アレニウスの式と呼ばれ広く用いられている。表 2-1 に代表的な故障メカニズムの活性化エネルギーを示す。

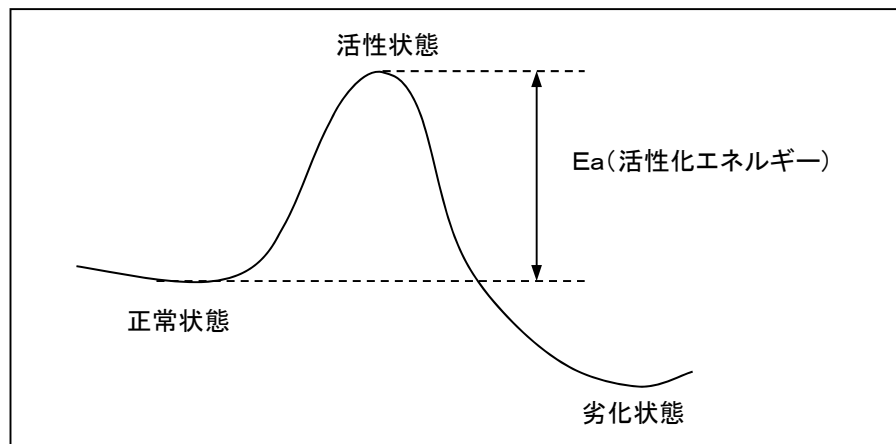


図 2-6 反応モデルの活性化エネルギー (E_a)

反応速度を K とするとアレニウスの式は次のように表すことができる。

$$K = \Lambda \exp(-E_a/kT)$$

Λ ; 定数

E_a ; 活性化エネルギー (eV)

k ; ボルツマン定数 (8.6157×10^{-5} (eV/K))

T ; 絶対温度

故障にいたるまでの時間を L とすると

$$L = A \exp(E_a/kT)$$

両辺の対数をとると次のようになる。

$$\ln L = A + E_a/kT$$

A ; 定数

E_a ; 活性化エネルギー (eV)

k ; ボルツマン定数 (8.6157×10^{-5} (eV/K))

T ; 絶対温度(K)

この式は、寿命の対数と温度の逆数が直線になることを示し、かつ、この直線の傾きが活性化エネルギーとなることを示している。そして、これをもとにある温度 2 点間の加速係数を求めることができる。

例えば、温度 T_1 と T_2 における寿命を各々 L_1 、 L_2 とすると

$$\ln(L_1/L_2) = 11606 (1/T_1 - 1/T_2) E_a \quad , \quad (11606 = 1/k)$$

となる。この式より反応の活性化エネルギーを求め加速性の目安とする。

図 2-7 にこのモデルの概念図を示す。

表 2-1 代表的な故障メカニズムの活性化エネルギー

故障メカニズム	活性化エネルギー(eV)
酸化膜破壊	0.5~0.8
ホットキャリア	—
Al のエレクトロマイグレーション	0.6~1.0
Al のストレスマイグレーション	1 程度

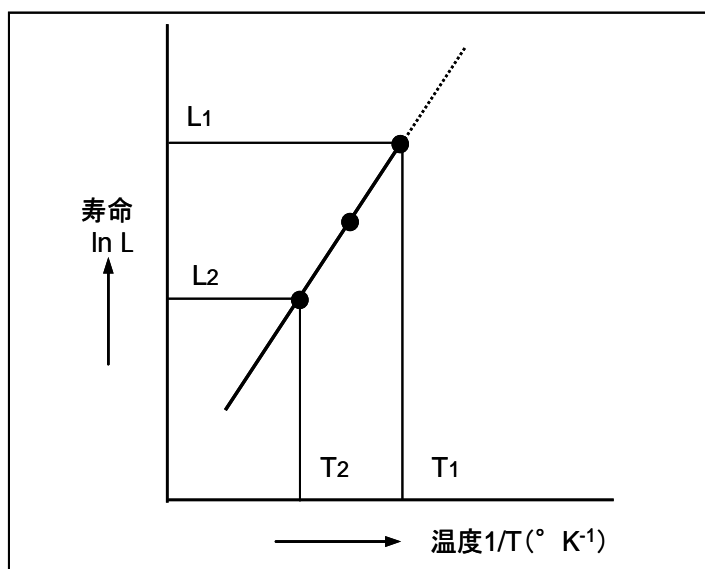


図 2-7 アレニウスモデル概念図
 L_1/L_2 が T_2 と T_1 の加速係数になる

(2) アイリングモデル

アレニウスのモデルは、反応速度の温度依存性について着目したものであったが、温度以外のストレスに対する依存性（例えば機械的ストレス、湿度、電圧等）も考慮して、より一般化したものがアイリングのモデルである。

アイリングモデルの一般式は次の式で表される。

$$K = a(kT/h) \exp(-E_a/kT) \cdot S^\alpha$$

a, α ; 定数

h ; プランク定数

S ; 温度以外のストレス因子

T ; 絶対温度(K)

温度 T の狭い領域であれば

$$K = \Lambda \cdot \exp(-E_a/kT) \cdot S^\alpha$$

さらに、温度以外のストレスのみに注目し、寿命を L とすれば L と $1/K$ は比例関係にあり、対数をとると

$$\ln L = A - \alpha \ln S$$

A ; 定数

と表すことができる。アイリングモデルはストレスによる加速をおこなう場合によく適用される。例えば、プラスチック材料の熱疲労等の場合はストレスとして交番応力 S 、寿命として繰り返し寿命 N をとり、交番応力 S_1 と S_2 における繰り返し寿命を各々 N_1 、 N_2 とすると

$$\ln(N_1/N_2) = -\alpha \ln(S_1/S_2)$$

となる。また、温度サイクル試験の例では、ストレスとして温度差 (ΔT) を用い、故障までの温度サイクル数を N とすると、前述の例と同様に

$$\ln(N_1/N_2) = -\alpha \ln(\Delta T_1/\Delta T_2)$$

と表すことができる。

アイリングモデルの概念図を図 2-8 に示す。

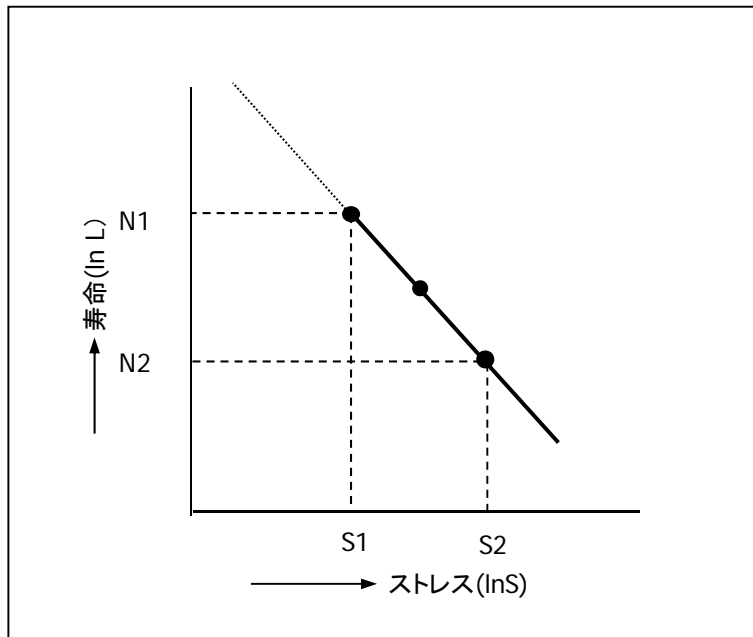


図 2-8 アイリングモデルの概念図

(3) ストレス・ストレングスモデル

図 2-9 に示すようにあらかじめ材料強度とストレスの間に安全余裕を取っておいたものが、材料強度の経時劣化により材料強度がストレスより低下したとき故障にいたるというモデルである。ストレス強度、デバイスの強度分布が示すように故障も確率の要素を含んでいる。

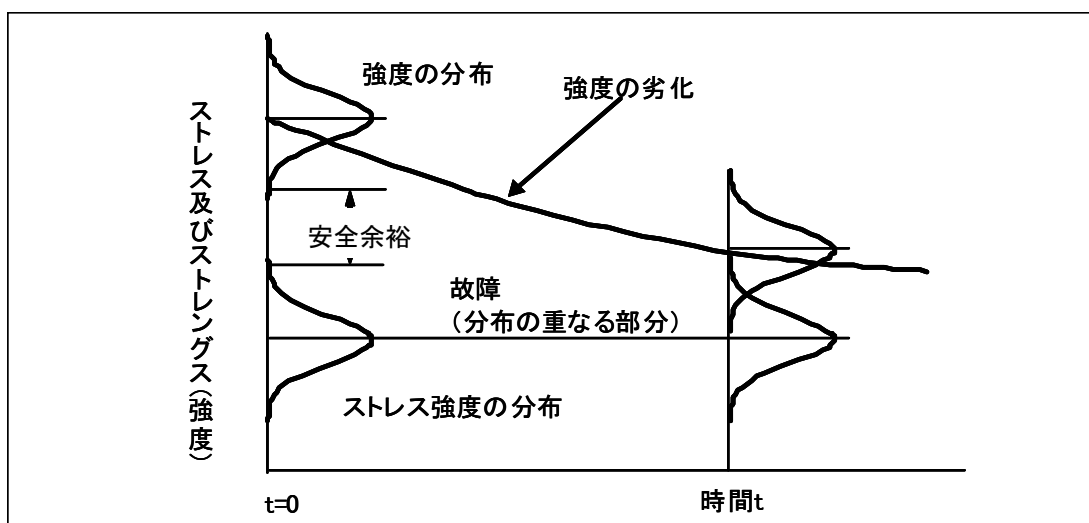


図 2-9 ストレス・ストレングスモデル

第2-1-3項 半導体の評価の概要

半導体製品は量産を開始するまでの開発段階で、信頼性評価をおこなう。この信頼性評価によって、実使用において十分な品質・信頼性を有しているかを評価するためである。信頼性評価では、評価に供するデバイスによって大きく二つに分けることができる。

- (1) TEG^Eを用いたプロセス信頼性評価^{6,7}
- (2) 製品を用いた信頼性評価^{8,9}

半導体製品は、ウェハプロセスおよびアセンブリプロセスを経て完成するが、それらの製造プロセスと構造に十分な信頼性があるかを(1)の評価で実施する。この評価では故障メカニズム別に、実使用時よりも大きなストレス(温度や電界)を印加する加速試験を行い、主に摩耗故障領域が実際の製品での使用期間内(例えば10~20年)に、実使用の条件下で始まることがないかどうかを評価する。製造プロセスと故障メカニズムに関しては第2-1-5項の表2-3に示す。

実際の製品を用いた試験では、次のようにさらに二種類に分けることができる。

- (a) 長期信頼性試験⁹
- (b) 初期故障評価試験¹⁰

^E TEG; Test Element Groupの略、特定の故障メカニズムに注目して評価しやすいように作成したデバイス。大きなストレスを印加することができ、また故障が検出し易く、かつ故障解析がやりやすくした特殊な回路を持つ。

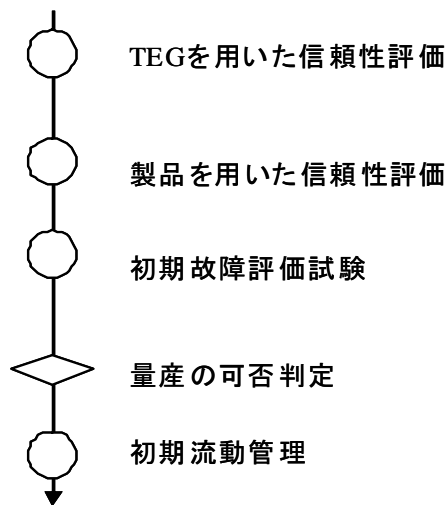


図 2-10 半導体製品の開発から量産までのフロー

(a) 長期信頼性試験は、実際の製品を用いて実使用状態の条件より高い電圧、温度、湿度等々のストレスを 1,000～2,000 時間の長期間印加することで、偶発故障領域の評価や摩耗故障領域の評価をおこなう。

(b) 初期故障評価試験は、数千個～1 万個以上の製品を用いて、初期故障領域の評価をおこなう試験である。製造プロセスでの仕上がりバラツキで品質に影響が出ないか、また出荷までのスクリーニングが適切であるかを評価する。

これらの評価の中で発生した故障品は、すべて故障解析が実施され、故障原因を見だし、その故障メカニズムを明らかにして製造プロセスや設計にフィードバックをおこない改善を図ることで製品の品質・信頼性の向上をはかる。

図 2-10 に評価のフローを示す。開発した製品であるデバイスの量産可否判定において合格となった後に、製品を量産しながら品質をモニターする初期流動管理をおこなう。これは期待したとおりの品質になっているかのモニターするのが目的であり、故障品が出れば故障解析を実施し、予想した以外の故障が発生していないかを評価するとともに、故障原因を前段階の製造工程へのフィードバックをおこなうことで、さらなる品質向上をはかる。

第2-1-4項 半導体デバイスの故障解析

半導体製品であるデバイスの故障解析は、故障品の故障原因を調査し、その故障にいたったメカニズムを明らかにすることで、設計や製造プロセスに対して迅速なフィードバックを行い、再発防止活動につなげる品質・信頼性向上活動として非常に重要である。半導体ユーザーにおいて発生した故障の解析結果は、実使用での半導体デバイスの弱点を見つけて改善するためには非常に大切である。高度に集積されたLSI^Fのユーザーにおける故障は、ただ単に「動作しない」といった具合に故障発生状況に関する情報が非常に乏しい場合が多く、故障の原因を見つけるのが困難な場合が多い。したがって、半導体メーカーにおける故障解析は、まず半導体ユーザーで発生した故障と同じ故障の症状を再現させるところから始まる。

故障解析は、まず故障モード（故障の症状）から故障原因を推定し、故障メカニズムを確定することである。表 2-3に示すように故障メカニズムはたくさんあるが、故障の結果として表れる故障モード（故障の症状）は、短絡、リーク電流増加、開放等々数種類しかない。さらには、これらの故障モードはデバイスをユーザーの基板に取り付けた状態では外から直接見ることができない場合がほとんどであり、ユーザーからの情報は、「動作しない」となるざるを得ないところでもある。

故障には大きく分けてDC故障と機能故障の二種類に大別できる。DC故障とはリーク電流が多いとか端子間でショートしているとか直流的な電気的特性評価で検出できる故障である。機能故障とは、半導体の回路機能が正しく動作しない故障である。

いずれの故障であっても、ユーザーで発生した故障と同じ故障モードを再現させて、どこの箇所の故障であるかを推定する。図 2-11 に故障解析の手順を示す。ユーザーから故障発生状況（使用条件、温度、電圧、半導体の動作状況、ソフトウェア等）を聞き取り調査し、その情報を基にして、LSIテスターを用いて故障を再現させる。再現すればLSIテスターの測定結果を参考にして故障原因を推定していく。この推定を誤ると解析失敗につながるこ

^F LSI; Large Scale Integrated circuitの略、大規模集積回路。大規模に回路を集積したICの総称。

とになるので、様々な故障原因を頭の中でシミュレーションしながら、非破壊解析^Gさらに開封解析へと進める。まずは、非破壊で外観を顕微鏡で検査し異常の痕跡がないかのチェックをおこなう。また、X線透過装置で内部に異常がないかのチェックをおこなう（図 2-12¹¹）。

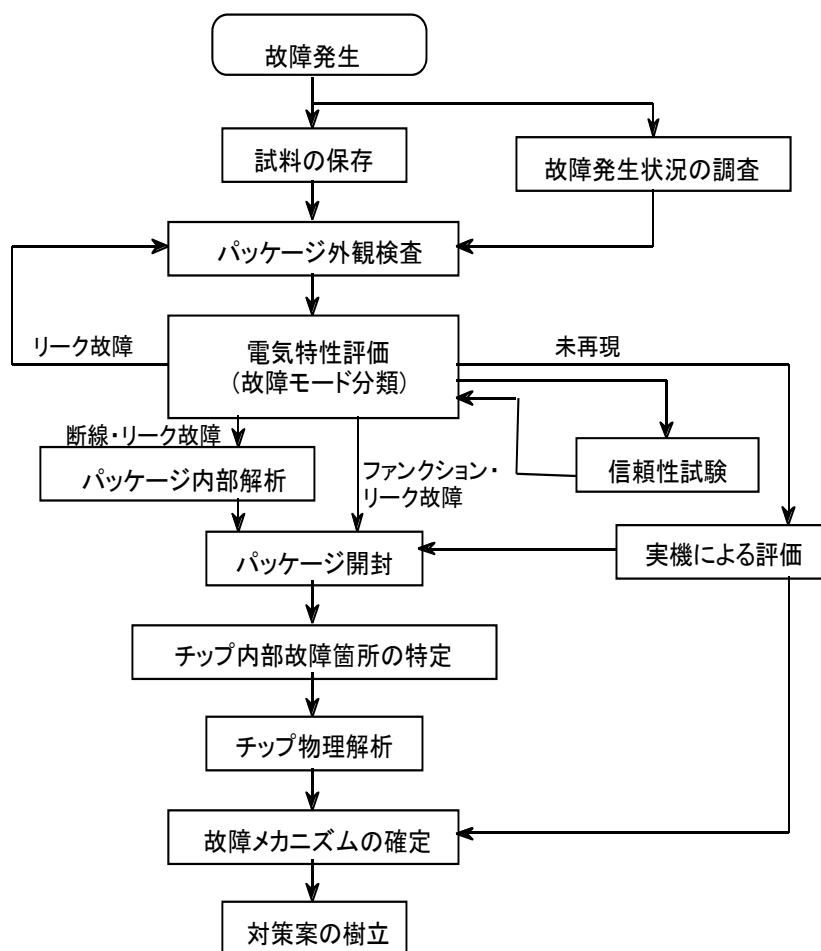


図 2-11 故障解析の手順

^G 非破壊解析;故障解析をする対象の半導体を破壊することなく解析すること。例えば、パッケージ表面の外観を見るときか、X線解析装置を用いて内部観察する等。

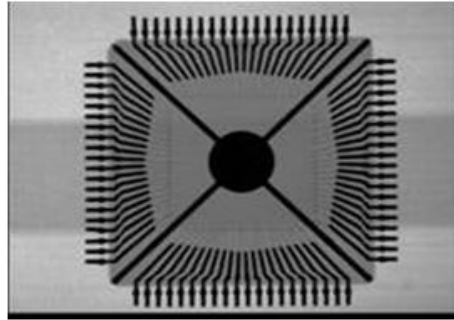


図 2-12 X線透過装置を用いたパッケージ内部の観察

その後、LSI テスターを用いて、DC 的・機能的な電気的特性を測定する。DC 測定によって異常が見つければ、その異常がなぜ起こったのか測定データを基に故障原因の推定をおこなう。この推定は、既存の故障メカニズムや過去に経験した故障を参照して、何が起これば、この症状になり、故障メカニズムとして筋が通るかを検討し、さらに実使用の状況で発生し得る故障かどうかを検討する必要がある。

次に、パッケージ開封をおこなっても故障の症状は変化しないことを検討した上で、パッケージ開封を行い、シリコンチップが見える状態にする。故障の症状から故障箇所の推論に基づいて、顕微鏡を用いてチップ表面に異常がないかを観察する。DC 的な電気特性に異常があった場合は、発光解析^H (図 2-13¹¹) や OBIRCH^I 解析を実施しリーク電流が流れている部分を見つけ出し、故障箇所を推定していく。

光を使うこれらの解析の場合、チップ表面側にある配線 (アルミや銅配線) が何層にも重なっていることから、光が妨げられてチップ表面から見ることはできない場合は、Si チップの裏面側から観察する場合もある。機能的な電気的特性に異常がある場合は、テスターでのテスト結果を基に、故障している回路モジュールを推定し、EB テスター^J 装置を用いてモジュール内配線が

^H 発光解析; 電流リークにともなって発生する極微弱な光を検出し、その位置と強度を二次元的な像として捉えることで故障箇所を特定する技術。

^I OBIRCH法; Optical Beam Induced Resistance Change の略。レーザー光をデバイスに照射した際に起こる電流の変化を像に変換することにより故障箇所を特定する技術。

^J EB テスター; LSI テスター等によりデバイスを動作させた状態でチップ表面に約 0.1 μm 径の電子ビ

正しくH/Lの電位になっているかを確認しながら（図 2-14¹¹）故障箇所を推定する。故障箇所が分かれば、故障部位を詳細に観察することで、推定した故障原因の絞り込みをおこなう。さらに、チップの上層部から順番に保護膜を除去し、異常箇所を見つけ出す。故障箇所が特定できれば、故障原因の推定を行い、故障メカニズムを特定して、原因の対策をおこなう。

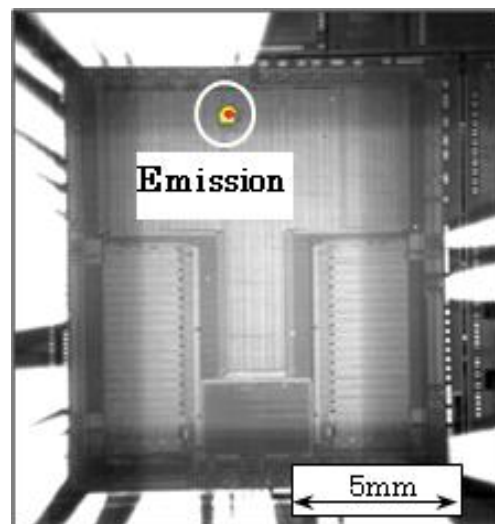


図 2-13 発光解析の事例（白丸で囲った赤い点が発光部分）

ーム (EB) を照射し、非接触でチップ内部の配線における電位分布や電圧波形を測定する方法。

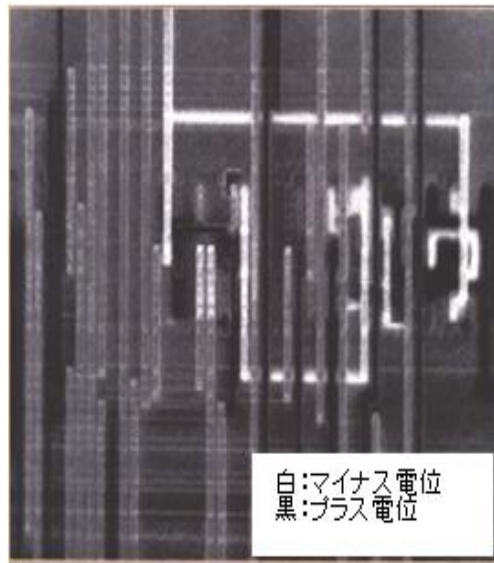


図 2-14 EBテスターでの解析事例
(配線の色が電位によって変わる)

種々の故障解析手法によって検出された異常箇所をデバイスの故障原因と確定するには、慎重な検討が必要である。電気的特性との関係などその故障メカニズムを矛盾することなく説明できなければならない。なぜならば、検出された異常がすべて異常に結びつくとは限らず、誤った結論は改善に結びつかない誤った対策を導くからである。

半導体デバイスは、ますます高集積化・大規模化が進められ、チップ上で実現している回路は複雑を極めてきている。この複雑な回路の中で微細なピンポイントでの異常が故障を引き起こすのであり、故障モードはシンプルでも、故障原因の発見は非常に困難になってきている。このため故障メカニズムの解明のためには、故障を検証するためのシミュレーションや過去の解析事例を蓄積したデータベースなどを活用するとともに、開発段階でテスト(解析)容易化設計を施し、故障メカニズムの解明を容易化することも必要になってきている。しかし、故障モード－故障原因－故障メカニズムは常に一義的に決まらず種々の選択要素があるため、簡単にはいかないのが現状である。

第2-1-5項 半導体デバイスの故障メカニズム

トランジスタが発明され、さらにトランジスタとそれらを接続する配線を一つのチップの上に作り込んだ集積回路が開発されて以来、ムーアの法則にほぼしたがってLSIの集積度は向上してきた。集積度の向上は、トランジスタの微細化、メタル配線の細線化や多層化とそれらを品質良く作る製造技術によって実現されている。トランジスタやメタル配線の微細化はスケーリング則¹²と呼ばれるルールに従ってなされている。図 2-15 は典型的な半導体集積回路の断面図を示す。この例ではメタル配線は5層を用いており、メモリ内蔵型のCMOS回路である。ムーアの法則は、このスケーリング則によるところが大きい。トランジスタをスケーリング則で縮小し、トランジスタ間の距離を縮小することで飛躍的に集積度を上げることができた。

表 2-2は、トランジスタを縮小させるときのスケーリング則である。1/kに縮小しようと計画すれば、この表に従って縮小すれば同等の特性が得られるという法則である。ただし電圧だけは前世代との互換性確保やシステム側からの要求や内部信号レベルの確保の観点から、スケーリング（電源電圧の低電圧化）されにくい傾向にある。電圧が同じで、1/2に微細化されれば、電流や電界は2倍になり、信頼性に大きな影響を及ぼすことになり、以前にも増して信頼性が重要になってきている。

表 2-2 トランジスタ縮小のスケーリング則 (k ; スケーリングファクター)

パラメータ	スケーリング
ゲート酸化膜厚	$1/k$
ゲート長	$1/k$
ゲート長	$1/k$
拡散深さ	$1/k$
不純物濃度	k
電圧	$1/k$
電界	1
電流	$1/k$

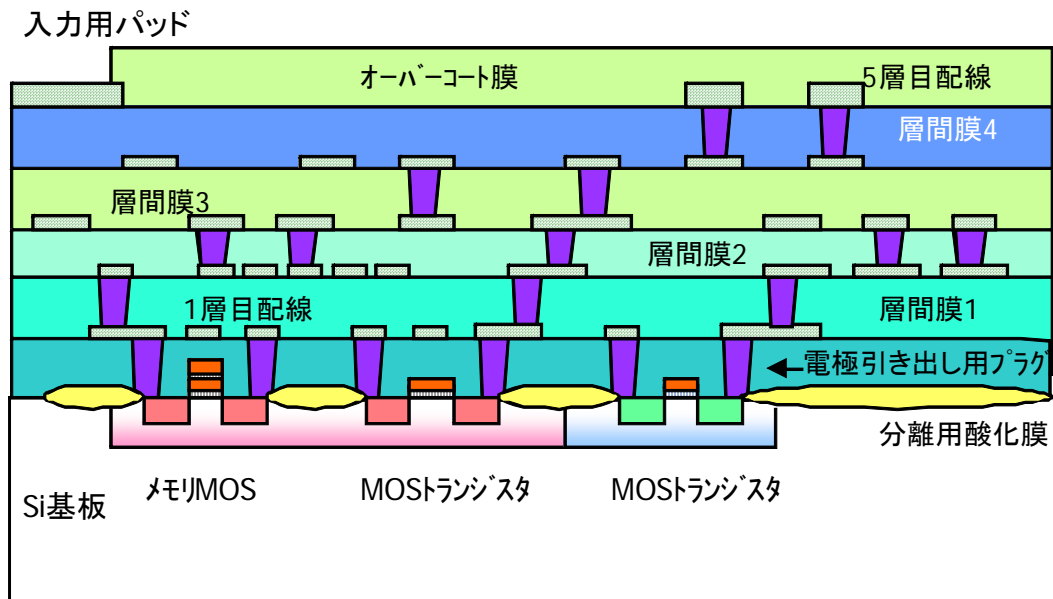


図 2-15 典型的な半導体集積回路の断面

表 2-3は集積回路での構成要素と故障メカニズムと故障モードを示している。各構成要素で故障メカニズムは多岐にわたっているが、故障モードがあまり種類はなく似たような症状を示すのが半導体の特徴である。このため、故障解析では、故障の症状だけから故障モードを確定して、故障メカニズムを推定するには多数の故障メカニズムを想定しなければならないことになり、困難を極めることになる。

表 2-3 各要素・製造工程と故障メカニズム

故障に関連した要素		故障メカニズム	故障モード
拡散、接合	基板	結晶欠陥、不純物折出、	耐圧劣化、 短絡、 リーク電流大
	拡散接合 アイソレーション	ホトレジマスク不整合、 表面汚染、ホットキャリア	
酸化膜	ゲート酸化膜	可動イオン、ピンホール、	耐圧劣化、短絡、リーク、 h_{FE} 変動、
	フィールド酸化膜	界面準位、 絶縁膜破壊、ホットキャリア	

故障に関連した要素		故障メカニズム	故障モード
			V_{th} 変動
メタライゼーション	チップ内配線 コンタクト スルーホール	傷、ボイド、機械的損傷、 非オーミックコンタクト、 段切れ、接着強度不足、 厚さ不適當、腐食、 エレクトロマイグレーション、 ストレスマイグレーション	開放、 短絡、 抵抗増大、断線
パッシベーション	表面保護膜 メタル配線層間絶縁膜	ピンホール、クラック、 厚さ不均一、汚染、 表面反転、耐湿性劣化	耐圧劣化、短絡、 リーク電流大、 h_{FE} 変動、 V_{th} 変動、 雑音劣化
ダイボンド	ダイ・フレーム接続部	ダイはがれ、 チップクラック	開放、短絡、 動作不安定、 熱抵抗増大
ワイヤボンド	ワイヤボンド接合部 ワイヤリード	ボンディング外れ、 ボンディング位置ずれ、 ボンディング下の損傷、 断線、線たるみ、 ワイヤ間の接触	開放、 短絡、 抵抗増大、リーク電流大
封止	レジン フィラー	ボイド、未注入、 水の侵入、剥離、表面汚れ 機械的圧力	開放、短絡、 リーク電流増大
入出力端子	静電気、サージ 過電圧、過電流	拡散接合破壊、酸化膜破壊、 メタライズ破壊、ラッチアップ	開放、短絡、 リーク電流増大
その他	α 線、高電界 ノイズ メッキ	電子・正孔対の生成、 表面反転 ウィスカー、電気分解	ソフトエラー、 リーク電流増大

構成要素ごとに多種多様な故障メカニズムがあるにも関わらず、故障の結果発生する症状である故障モードはリークや開放など数種類しかない。これは、故障の症状だけから故障の原因を探ることが非常に困難であること示している。

以下代表的な故障メカニズムを紹介する。

(1) 酸化膜破壊現象

MOSFET のゲート酸化膜は、集積度の向上にともないスケーリング則にしたがって薄膜化の傾向にあり、電源電圧も低電圧化が図られてきていが、微細化の進行と性能の向上のため、ゲート酸化膜には従来に比べより高い電界が印加されることになる。先端プロセス製品においては、4~5MV/cm と電界強度が大きくなり、酸化膜の信頼性が重要となっている。

酸化膜の絶縁破壊強度は、10MV/cm以上と高電界であるが、実使用状態等のような低電界においても時間の経過とともに破壊が起こる現象をTDDB (Time Dependant Dielectric Breakdown ; 経時破壊現象) と呼び、この酸化膜 (絶縁膜) のTDDBが重要な故障原因の一つとなっている (図 2-16¹¹)。破壊が起こるまでの時間は電界強度が大きくなるか、温度が高くなると短くなり、経験的にTDDBの故障モデル式は下記の式が、よく用いられる。

$$MTTF=A10^{-\beta E} \exp(E_a/kT)$$

$MTTF$; 平均故障時間(h)

A ; 定数

E_a ; 活性化エネルギー

E ; 電界強度(MV/cm)

β ; 電界強度係数(cm/MV)

k ; ボルツマン定数

T ; 絶対温度 (K)

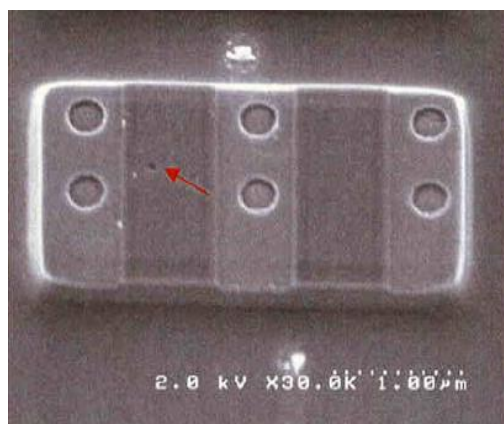


図 2-16 酸化膜破壊の例
矢印部分で破壊

TDDBの故障メカニズムは様々なモデルが考えられているが、最近では定性的なメカニズムとしてパーコレーションモデル¹³が支持されている。

酸化膜への電界印加により、プラス電極側で酸化膜へのホール注入が発生し、酸化膜中に電子トラップ作る。トラップの増加にともない、電子がホッピング現象あるいはトンネル現象によりトラップを介して流れ、その電流がSILC (Stress Induced Leakage Current) として観測される。さらにトラップが増加し、トラップがゲート電極からSi基板まで繋がると、大電流が流れ、ゲート酸化膜破壊にいたると言われている¹⁴。

以上のように、TDDB 現象は酸化膜中に形成されるトラップ準位、すなわち欠陥と関係しており、加速試験によりプロセスの酸化膜質を十分把握し、製品設計する必要がある。また、プロセス的には欠陥が発生しにくい SiO₂ 膜とすることが大切であり、そのための酸化膜の形成方法が重要になる。

(2) エレクトロマイグレーション現象

半導体集積回路では、金属配線膜として主にAl膜が用いられている（最近の先端製品ではCuを採用している場合もある）。半導体集積回路においてエレクトロマイグレーションが問題となるのは、Al膜が多くの粒界を持つ多結

晶構造をしていること、さらに半導体集積回路が急激に高機能化、高速化しているために、Al配線を流れる電流の密度が $10^4 \sim 10^5 \text{A/cm}^2$ と大きいことが理由にあげられる。エレクトロマイグレーションとは、導体に電流を流すことにより金属イオンが移動する現象ある。Al配線では電子の流れる方向にAl原子が移動し、その後に空孔（ボイド）が発生し断線故障になる、一方、Al原子が集まった部分においてはヒロックやホイスカが成長し、最終的にはショート故障にいたる。図 2-17 に断線の発生メカニズム、図 2-18 にその故障例¹¹を示す。

エレクトロマイグレーションの故障モデル式は一般的に次のような式で表される。

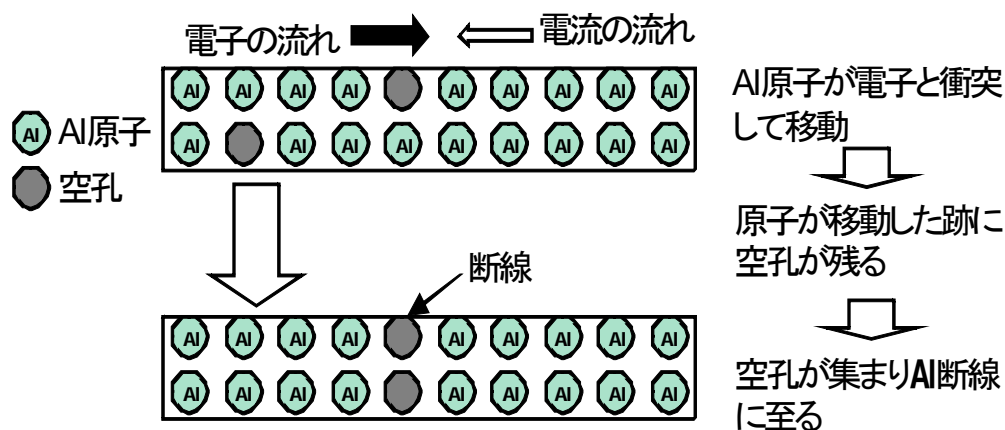


図 2-17 エレクトロマイグレーション現象のモデル

$$MTTF = A J^{-n} \exp(E_a/kT)$$

$MTTF$; 平均故障時間(h)

A ; 配線の構造、材料で決まる定数

J ; 電流密度

E_a ; 活性化エネルギー

n ; 定数

k ; ボルツマン定数

T ; 配線部の絶対温度 (K)

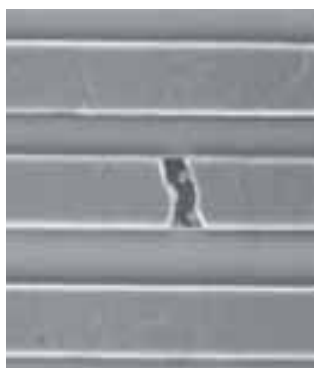


図 2-18 エレクトロマイグレーションによる断線

J.R.Blackによれば $n=2$ として示されている¹⁵。また、温度依存性は、 E_a が $0.6\sim 1.0\text{eV}$ の値が確認されている^{16,17}。

エレクトロマイグレーション現象に対しては、Al配線の下層、上層あるいは上下層に、タングステン(W)、チタン(Ti)等の高融点金属をバリアメタルとして積層配線する、Al配線にCuを添加する(粒界拡散の抑制)、ビアホールにタングステンプラグ等を導入することで、微細化により限界の見えてきていた配線のエレクトロマイグレーション耐性向上を計っている。

(3) ストレスマイグレーション現象

ストレスマイグレーションとは、電流が流れない温度ストレスのみの状態で、金属原子が移動する現象である¹⁸。

ストレスマイグレーションは、配線の周りを囲っているパッシベーション膜や層間絶縁膜とAl配線の熱膨張係数の差から生ずる機械的応力によって発生する。そのメカニズムは、図 2-19 に示すように、配線の周りにある膜から、配線に引張応力が加わり、これによりAl原子が移動することでボイドが形成され、最終的には断線にいたる。低温ほど応力は大きくなり、一方金属原子は高温ほど動きやすいため $150\sim 200^\circ\text{C}$ という中間的な温度での長期保存によって発生する。このモードは、低温長期モード呼ばれており、主にス

リット状の断線となる。配線幅が細くなるほど、起こりやすくなる¹⁹。

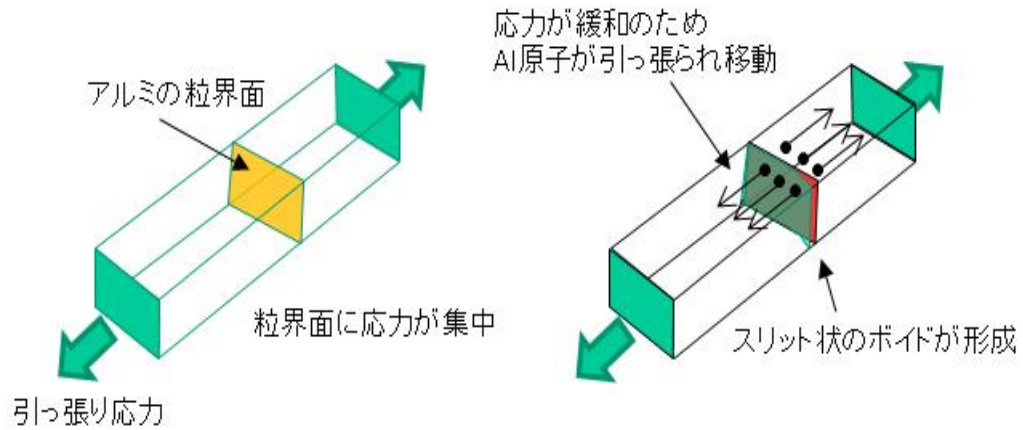


図 2-19 ストレスマイグレーション現象

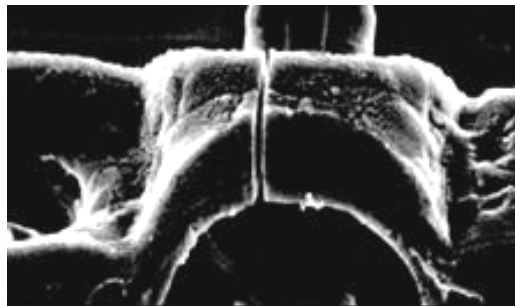


図 2-20 ストレスマイグレーションの事例

ストレスマイグレーションに関しても、エレクトロマイグレーションと同様に、バリアメタルの適用、Al配線へのCu添加（粒界拡散の抑制）、ビアホールにタングステンプラグ等を導入することで耐性向上を計っている。図 2-20 に典型的なストレスマイグレーションの事例¹¹を示す。

(4) ホットキャリア現象

微細加工プロセス技術の進歩にともない、半導体デバイスは高集積化の一途をたどってきているが、電源電圧はシステム側からの要求や内部信号レベルの低下につながるため、スケーリング（低電圧化）されにくい傾向にある。電源電圧をスケーリングせずに微細化を進展させることは、デバイスを構成する内部素子の電界強度を増大させることを意味し、特にMOSFET^K（図 2-21 はn型MOSFETの例）では、ドレイン近傍の電界強度が増大し、ホットキャリア現象が起こる。ゲート電圧を上げることによって生成したチャネルを通して、高電界領域に流れ込んだキャリア（電子）は、高電界によって加速され大きなエネルギーを得て基板のSi原子と衝突する衝突電離現象を起こす。

この衝突電離によってたくさんの電子・ホール対が生成され、電子はまた電界に加速されて、衝突電離を繰り返す。生成したホールは基板電流と流れ、電子はドレインに流入するが、ごく一部の高いエネルギーを持ちゲート酸化膜に向かう電子が、シリコンとゲート酸化膜の電位障壁を乗り越えてゲート酸化膜中に注入され、ゲート電流（ I_g ）として流れる。さらに一部の電子が酸化膜中にトラップされる。トラップされた電子は空間電荷を形成し、MOSFETのしきい値電圧（ V_{th} ）および電流特性（伝達コンダクタンス g_m ）などの特性を経時的劣化させる^{20,21}。これらの劣化は半導体デバイスの諸特性を劣化させ、究極的には故障にいたる。図 2-22 はn型MOSFETのドレイン近傍の拡大図を示す。n型MOSFETの電气的特性劣化の例を図 2-23 に示す。

^K MOSFET; Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistorの略、MOSトランジスタを指す。

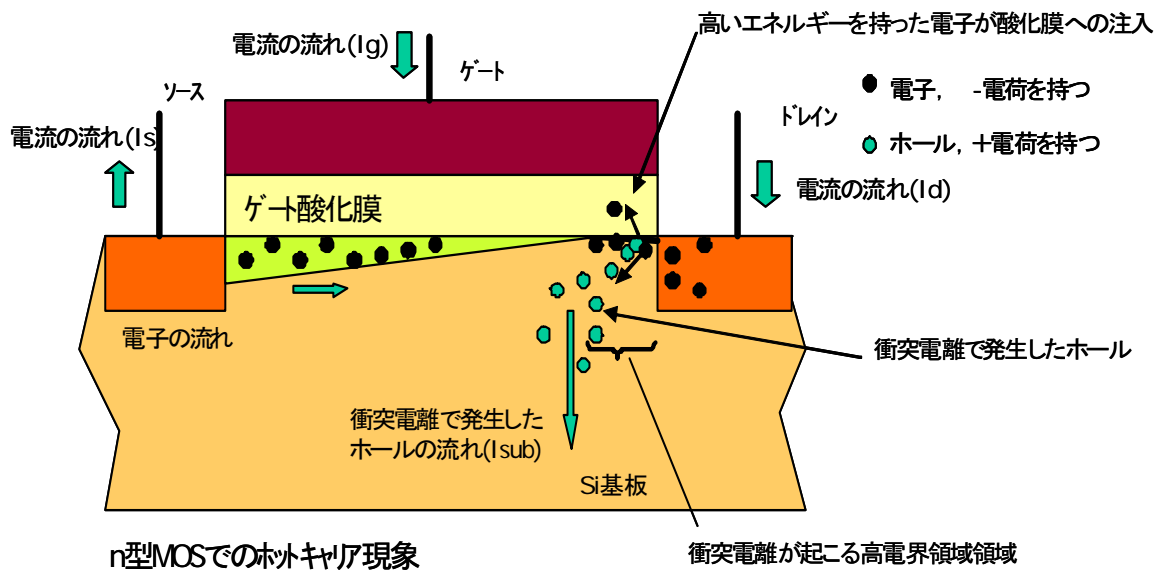


図 2-21 MOSFETでのホットキャリア現象の断面図

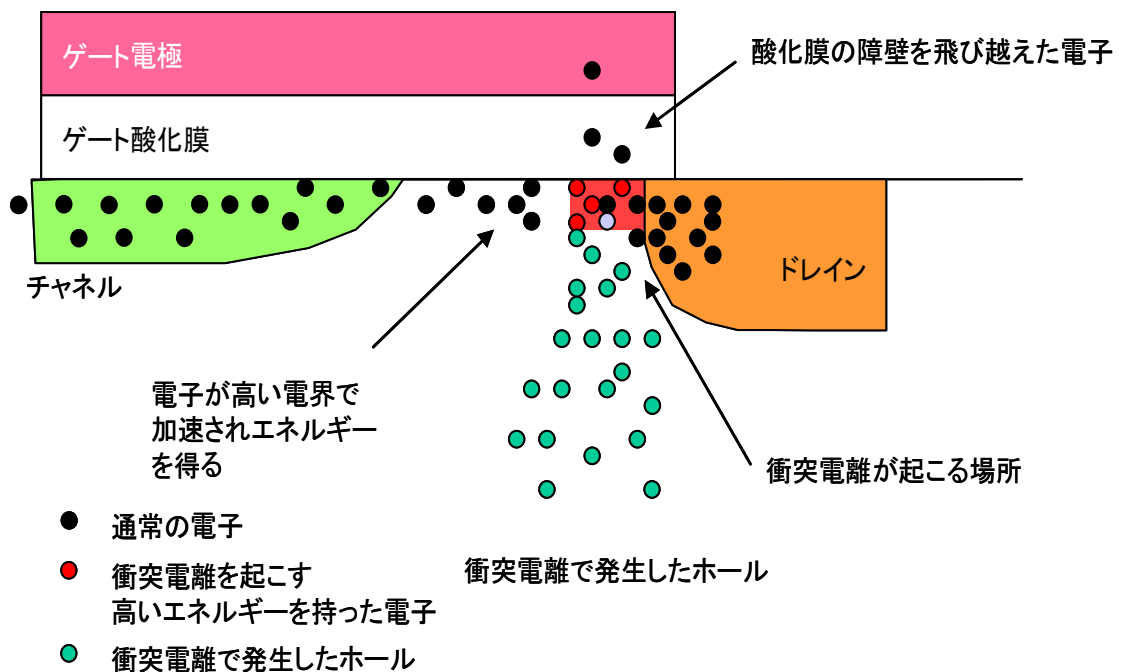


図 2-22 ホットキャリア現象を起こすMOSFETドレイン近傍の拡大

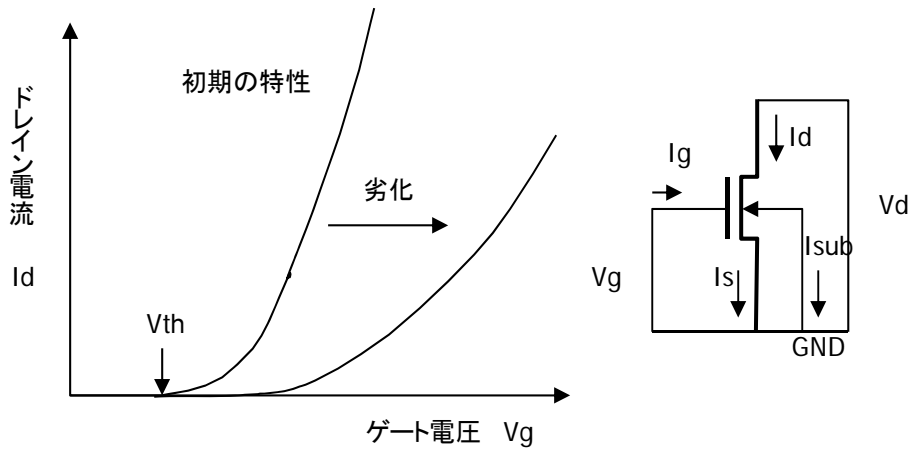


図 2-23 ホットキャリア現象によるMOSFETの劣化

上記の説明はn型MOSFETでの説明であるが、p型MOSFETでも（電子とホールが入れ替わる）同様の現象がある²²。しかし、ホールの質量は電子と比べて大きいため、衝突電離現象が起こりにくく、ホットキャリア現象も発生しにくい。

第2-2節 半導体信頼性技術における暗黙知

前節では半導体の概要を述べたが、近年の複雑化した LSI において信頼性技術者の頭を悩ます課題の一つに半導体の故障がある。既に述べたように、真空管に比べて飛躍的に信頼性が向上したことで、ありとあらゆる分野で半導体は使われ、我々の周りの家庭用電子機器においても半導体を使っていないものを探すのには苦労するほどである。このように大量に広く使われている半導体がひとたび故障を起こせば、その波及範囲が広範囲に及ぶことから社会に及ぼす影響は計り知れない。

このように半導体は高信頼性であることから広く使われているが、半導体の故障を避けることは、前節の半導体の概要にも述べたように不可能に近い。各半導体製造メーカーではさらなる信頼性向上を目指して日夜努力しているが、半導体ユーザーから故障品が返品されて来ない日がないのが現状である。

返却された故障品は故障解析をして原因を探り、多発性がないか、他に波及することがないかを迅速に判断しなければならない。例えば最近の自動車では、数十個から百個以上のマイコン^Lを各装備器機の制御^Mに用いている。もしこれらのマイコンが故障すると安全上大きな問題になる。

それゆえに、半導体メーカーの技術者や研究者は過去の故障に関する経験や過去のデータに基づいて、完成した半導体が出荷可能かどうかを判断して出荷している。半導体ユーザーからの返却品は、その故障メカニズムや故障率が想定内かどうかの観点から故障解析をおこない、想定内であれば殊更の対策を必要としないが、想定外であれば早急なる対策をおこなう。さらに故障解析は、半導体ユーザーからの返却品のみならず、半導体メーカーの製造工程で発生した故障品の原因追及にも重要である。ユーザーからの返却品と同様に、想定外の故障が発生していないかをモニターしておく必要があるからである。もし想定外の故障品があれば、製造工程に何か異常が起こっていると考えられ、早急なる原因究明と対策が必要になる。製造ラインが常に安定であることのモニターは欠かすことができない。

^L マイコン;マイクロコントローラ(Micro Controller)の略称。コンピュータシステムを用いた電子制御をおこなう装置において、処理の中心を担う集積回路。

^M 自動車器機制御用半導体;エンジン制御、排ガス制御、トランスミッション制御、エアバッグ、ステアリング制御、ブレーキ制御、車体の姿勢制御、バックモニター、コーナーセンサー、車間距離制御等々マイコンとソフトウェアの組み合わせで様々な制御に用いられている。

このように半導体の故障解析は半導体製品の信頼性を維持向上させる上で重要であるが、第 2-1-4 項で述べたように、最近の複雑なLSIになるほど、故障解析が難しくなる。LSIには多くの機能が詰め込まれているために本当にLSIが故障しているかどうかを調べるために故障を再現させるだけでも大変である。また、故障が再現しても、どこが故障しているのを突き止めることは困難を極める。

さて、故障解析は半導体技術者の技術すなわち知識を使ってなされるが、第 3 章で詳細に議論するが、知識には言語化された明示的知識である形式知と、言語化し得ない／し難い暗黙知の二種類がある。半導体の信頼性においては、第 2-1 節で述べたように様々な知識が形式知として既にある。また故障メカニズムや故障の症状についても、多くが形式知として、様々なテキストや論文で解説されている。しかし、第 2-1-5 項で示したように症状は同じであっても原因は各種各様であり、逆に原因が同じであっても症状は異なるのが常である。それゆえ、「この症状であれば原因はこれ」と一対一に結びつけることは一般的に不可能であり、一覧表を作って形式知にすることができないのが現状である。

例えば、図 2-24 で示す 5 層配線を持つ LSI で絶縁膜破壊があった場合の故障解析を想定してみる。この程度の構造を持つ平均的な LSI の規模は、6～7mm 角のチップサイズであるので、マイコンの場合搭載されているトランジスタ数は論理回路部分で 60～70 万個、不揮発性メモリ部分で 8 百万個（1Mbyte の場合）、RAM 部分では 3 百万個程度（480kbyte の場合）の規模が平均的である。

このチップ内で使用しているメタル配線の総延長は数十メートル程度にもなる。このような LSI の内部で破壊が起こっているのが分かっているにもかかわらず、破壊の可能性がある場所の数は天文学的数字になり、考えられる故障の症状も天文学的な数字となる。

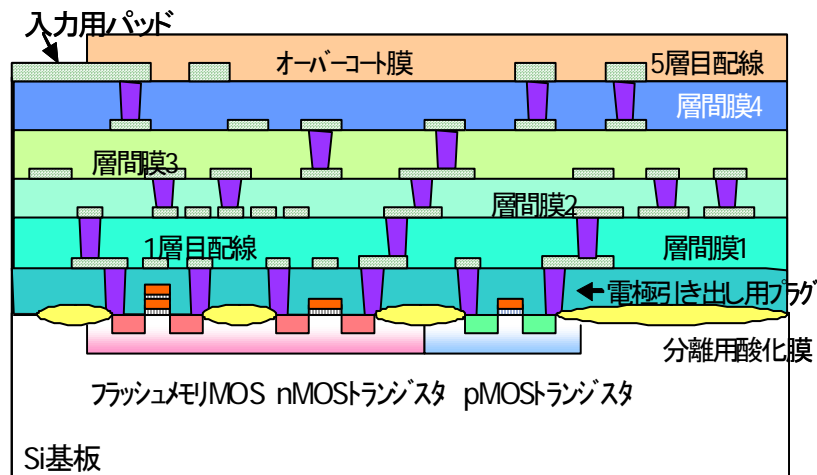


図 2-24 故障解析の形式知化を阻むLSIの複雑な構造

絶縁膜の破壊箇所を探し出すには、まず合計 11.6 百万個のトランジスタのゲート酸化膜や無数に存在する層間絶縁膜を一つずつ確認しなければならない。膨大な時間がかかってしまい、現実的には無理である。例え探し出すことができたとしても、別の製品で起こった解析には役に立たない。同じ個所で破壊が起こるわけではなく、種々のランダムな個所で破壊が発生するのが通常であり、ルーチン作業化できないのである。「この症状であればここが怪しい」との関連があれば定型的に場所の特定ができるが、同じ症状であっても膨大な可能性があるために、「これであればここ」というわけにはいかない。いいかえれば、形式知化できないのである。

半導体においては技術の進歩は驚くほど速く、図 2-24 に示した構造も次々と変更されていく。このことも形式知化が難しい一因となっている。

一方、経験を積んだ技術者が解析すると、リークの電気的特性と配線やトランジスタ等のパターンレイアウトを見て、観察装置や観察方法を適切に選ぶことによって、短時間に破壊箇所を絞り込んでいく。これは、その技術者が過去に何度も絶縁膜破壊の原因解析を経験しており、どんな時にどうなるかという膨大な知識を持っており、それらの知識が暗黙的に機能することによって絞り込みができるのである。いわゆる「経験」や「勘」といわれるも

のである。

このことは、第3章で述べる、ポランニーがいう群衆の中で知人の顔を認識する例と同じである。顔の認識のためには、目鼻口や顔の輪郭の情報を暗黙的に使って一瞬で知人の顔を見分ける。どうして認識できたかは言葉で説明できない。経験を積んだ技術者も顔認識の場合と同じように、「こんな場合はこうなる場合が多い」「このケースではここは大丈夫だ」といった知識を既に持っており、それらの知識を暗黙的に使って判断しているのである。逆に形式知だけを用いて破壊場所を探そうとして、「前回の破壊場所はこの症状でここだった」とのレポートになっている形式知を使って場所を特定しようとしても、違った場合はそれ以上に解析は進まない。結局はしらみつぶしに調べなくてはならない。ではもっとデータを集めて、色々な症状と故障場所との関係をデータベースにしてコンピューターを用いたエキスパートシステムを作ればよいとの案が提案できるだろうが、これも非現実的である。なぜならばLSIの構造は複雑すぎるために可能性のある場所があまりにも多すぎるために、出てくる答えはリストの山になってしまうのである。実際、筆者が属する半導体メーカーでは、過去から故障解析のエキスパートシステムを作ろうと何度か試みられたが、結局は成功しなかった。十数個のトランジスタで構成されるロジックICと呼ばれる非常に簡単なICであっても、一つの症状に対する破壊の可能性のある場所は非常にたくさんあり、結局はエンジニアが目で見ただけの方が早くて確実であったのである。

経験を積んだ技術者は、医者が患者の胸を指でたたいて、X写真やCT像など適切な装置を選び、病気を見立てるのと同じであり、過去の経験が暗黙知となって、それが暗黙的に働くことによって、怪しいところを探し出し、高い確率で絶縁膜破壊箇所を特定できるのである。

暗黙知が働くのは、破壊箇所の特定だけでない。破壊箇所と破壊の状況から原因の推定にも暗黙知が働くのである。

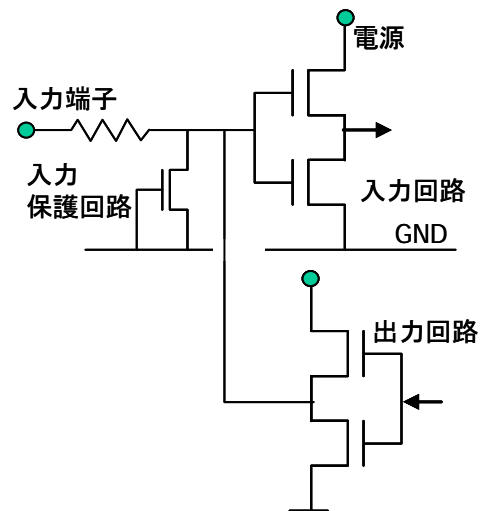


図 2-25 LSIの入力回路
(I/Oポートになっており、信号で入出力を切り替える)

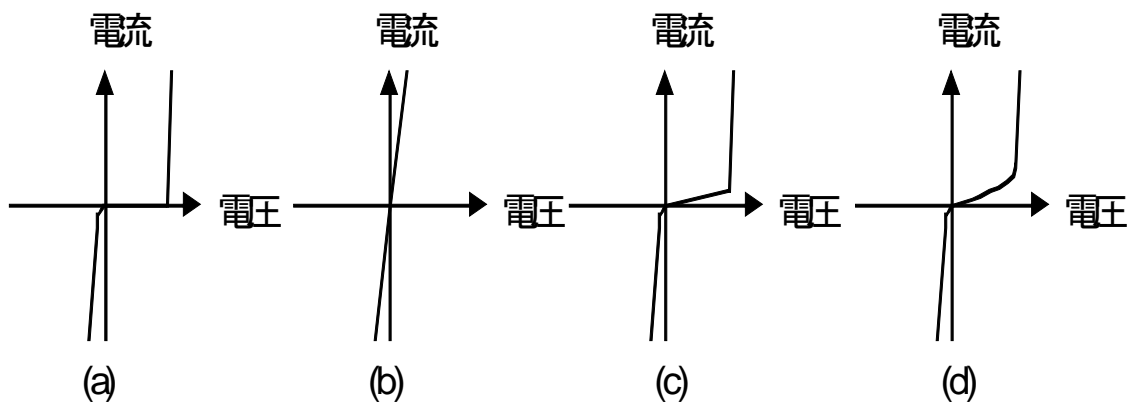


図 2-26 入力の電圧電流特性
((a)は正常品)

もう少し具体的な故障解析での暗黙知の働きの事例を紹介する。

図 2-25 のような入力回路で入力リークがあった場合の故障解析を紹介する。表 2-4 は、その原因となる可能性がある故障メカニズムの一部を示す。

故障メカニズムは LSI の構成部位ごとに分けてある。最も簡単で分かり易い故障モードである入力リークでさえ、非常に多くの故障メカニズムが関係する。入力リークの情報だけでは故障解析は進まないの、解析方針を立てるために、図 2-26 のように入力端子の電圧 vs. 電流特性を取る。この結果から原因を推定する。(b)のモードであれば外部の導電性異物付着やパッケージ内部の導電性異物である可能性が高い。(c)であれば軽い ESD 破壊か湿気侵入、汚染等々が考えられる。(d)の場合は ESD もしくは EOS が印加されて保護回路やトランジスタが破壊している可能性が高い。

このように、入手できる情報を基に、過去の経験を形式知として表現できるのはここまでである。つまり、推定される故障メカニズムを示す表 2-4 と、入力特性から原因を推定する図 2-26 である。これ以上は、あまりにも組み合わせが多く形式知としては表すことができない。例えば、図 2-26 の入力特性においても故障品の特性として(b)(c)(d)をあげたが、故障メカニズムや故障発生場所によって微妙に波形が異なる。先の例にあげた顔の認識であれば、図 2-26 の分類は、顔の輪郭が丸いから日本人で、細長いからヨーロッパ人という程度の分類である。ヨーロッパ人でも顔が丸い人もいるし、日本人でも顔が細長い人もいる。例えヨーロッパ人と分かっててもフランス人かドイツ人かのように、故障解析の場合にはさらに詳しく分からなくてはいけない。顔の認識の場合では、外国人をよく知っている人であればその人の国や地方までも言い当てることができる。しかし、識別できる理由を聞いてもほとんどまともな説明は返ってこないし、説明を聞いても聞く側が理解できない。入力リーク故障解析も同じで、故障メカニズムの大きな分類程度は上記の例のように形式知をうまく使えばできるが、それ以上の解析には形式知だけでは不可能である。入力リーク特性波形の微妙な違いを見分けることができるのは、「経験」や「勘」の力であるといえる。「経験」や「勘」といっても第六感で当てているのではなく、過去の経験から得た言葉で説明できない知識が暗黙的に働くことによって適切な解析装置を選び、怪しいところから順序立てて調査することで言い当てることができるのである。

技術者が持つ暗黙知を使って、可能性がある故障メカニズムを絞っていくのである。

表 2-4 LSIで入力リークがあった場合の可能性がある故障メカニズム

症状	部位	メカニズム
入力リーク	外部リード	金属製異物付着 ウイスキー メッキくず付着
	ワイア	ワイアタッチ ワイアのチップタッチ ワイア間に異物付着 ボール間ショート ボールハガレ ボンディングの異常
	モールド樹脂	ポイド フィラーのストレス パッケージクラック フレームとの密着性 フレーム露出
	フレーム	フレーム変形によるショート フレームテープの異常 ダイボンド樹脂のショート ダイボンド樹脂の這い上がり 部分メッキ異常
	オーバーコート膜	クラック 下地への機械的ストレス
	ボンディングパッド	絶縁膜破壊 ピンホール 異物付着によるショート 腐食
	保護回路トランジスター	保護抵抗のリーク ゲート破壊 トランジスターの接合リーク 汚染 湿気の侵入のためのリーク ESD/EOS破壊 コンタクト/VIAの不良 異物による配線ショート
	入力トランジスター	ゲート破壊 汚染 湿気の侵入のためのリーク コンタクト/VIAの不良 異物による配線ショート ESD/EOS破壊
	出力トランジスター	機能不良 ゲート破壊 汚染 湿気の侵入のためのリーク コンタクト/VIAの不良 異物による配線ショート ESD/EOS破壊

このように、LSIの故障解析は過去の経験を基に可能性のある故障メカニズムを推定しながら調査を進め、順番に原因を絞っていく。たった一個しかない故障品であるので失敗は許されない。だが、LSIはモールド樹脂でパッケージされているので中にあるSiチップを見ようとすれば、樹脂を除去しなければならず、破壊解析^Nになってしまう。Siチップが見えるようにしても、図 2-24 に示したように、チップの表面側は多層配線で覆われているために、中まで見ることは困難である。解析には上から順番に膜を除去していかなければならない。すなわち、すべて破壊をともになってしまうので、後戻りできない。自分の技術力、すなわち自分の経験を駆使することで、解析を成功させるしかないのである。

このことは、机上の学習で得た形式知だけでは十分な知識があるとはいえず、過去に色々な故障を経験して得た知識を用いた推定が重要であることを示している。システムティックな解析方法としてFMEA^OやFTA^P等が解析方針を決めるのによく使われているが、結局は形式知を用いた解析しかできない。形式知をつなぎ合わせるだけで解析が可能なケースもあるが、形式知の枠を超えた発想は出てこないことから、解けないケースはまったく解けない。これは経験未熟な技術者に相当する。色々な症状の、色々なメカニズムを経験することで得た膨大な知識をつなぎ合わせることで、「これかもしれない」との推定をおこなうことで成功が得られるのである。

第3章で詳しく述べるが、熟練工が持つ巧みの技の知識と同じで、故障解析は故障の症状を確認していく中で自分が持つ知識を暗黙的に使って推論を進めていくのである。

半導体ではないが、半導体とよく似た充電池の故障解析にまつわる興味深い事例があるので紹介する。2005年11月に新聞に取り上げられた、S社のパ

^N 破壊解析;故障解析を進める過程で、サンプル(故障解析する対象品)を破壊しなければ次の解析が進めない、解析で失敗が許されない解析。樹脂封止されたサンプルの樹脂を除去する場合やチップ上の膜を除去する場合等がこれにあたる。

^O FMEA;Failure Mode and Effect Analysisの略。製品を構成する要素などが故障したときに、どのような製品の故障症状になるかを整理し、影響の大きい故障現象を事前に排除することができる設計手法。

^P FTA;Fault Tree Analysisの略。製品の故障症状から、その原因を逐次詳細レベルに展開し、重要な原因が起らないように事前対策をおこなうことができる設計手法。逆に故障発生したときにその原因、メカニズムを究明する場合にもよく用いられる。

ソコン用リチウムイオン充電電池の発熱・発火事故である。米国有名パソコンメーカーD社のノートパソコンが2005年11月に発火事故を起こした²³。D社は翌月、同タイプの充電電池を搭載したパソコンの充電電池を交換するリコールをおこなった。S社はこの時点で、発火は自社製充電電池の製造時に、金属粒子が混入したのが原因と特定しており、発火はD社のパソコンだけの問題として、リコールは35,000台に限られた。充電電池がS社製であることも公表されなかった。S社は、発火事故を起こしたのと同タイプ、同時期に生産されたD社向けの充電電池について安全調査した。しかし、他社向けの充電電池の調査は、事故が起きていないことを理由に見送られた。パソコン側の電子回路の調査なども不十分だった。S社は充電電池の製造工程を改善したが、パソコンメーカー他社は、12月以降も在庫の充電電池を使って発火のある恐れがあるパソコンを出荷していた。

その後2006年4月に米国A社のパソコンでも発火が起こったりして、2006年8月にD社は対象410万台のリコールを発表、直後に米国A社も180万台のリコールを発表した。S社は8月終わりにこれ以上の拡大はないと新聞発表した。ところが9月になって中国L社のパソコンで発火事故が起こり、L社は52万台の回収を発表した。結局、9月の終わりにS社は全世界のパソコン用充電電池を無償交換する全面回収を発表した。対象は960万個にのぼり、費用は510億円を超えると発表されている。S社は「パソコンのシステム構造まで含めた原因の検証が足りなかった」（広報センター）と発表しているが、自社の故障解析力が不足していたことが原因であり、発生原因から波及範囲の推測に誤りがあったことは明らかであり、結局は初期の段階での故障解析で、暗黙知が不足していて真の原因がつかみ切れていなかったことから、予測を間違ってしまったことが真の原因であると推測できる。

しかし、もう少し詳細に考えると疑問がわく。現実的に市場で発煙事故を起こした電池を故障解析しても、発煙するくらいに高温になった電池の内部は解析できないくらいに構成材料が溶けてしまっており微細な金属粒子を見つけることは非常に困難であったと推測できるからである。それでも、「金属粒子が電池の中に混入していた」と早い段階で発表されている。これは、製造を担当している技術者であれば、金属粒子が非常に希ではあるが混入する可能性があることを暗黙的に知っていたのではないかと考えられる。大きな問題になるとは考えていなかったから対策が取れていなかったのであろう。

対象 960 万台に対して、実際に発火した電池は数台以下であり、発生率は 1ppm 以下と十分小さな値であるので、再現実験や抜き取りの品質モニターでは決して見つけられる数字ではないし、事故が起こるまでは問題ないのであるから見過ごされていたものと推測される。「金属粒子の混入」が原因と特定した段階で、担当技術者の暗黙知はランダムな発生を予測したはずであるが、その暗黙知が生かされずに特定ロットの問題と判断したことが解決を遅らせた原因であると推測できる。技術者が持つ形式知は大切であるが、形式知の周辺にある暗黙知も形式知と同様に重要であることを示す事例である。（後半の原因推定は、筆者のかつてな推定であり、事実に基づいたものでないことを断っておく）

故障解析において、故障メカニズムや故障の症状、解析の結果取った対策などは形式知である。また、進歩の速度が著しく早い半導体分野ではあるが、最近の十数年間に新しい故障メカニズムは発見されていない。さらにすべての故障メカニズムは、発表され論文になっており、形式知になっている。しかし、故障の症状だけから故障メカニズムを推測し解析を進め、原因を特定し、波及範囲を推定して対策を決める工程は、形式知でカバーできる部分は少なく、技術者が経験から得た知識が暗黙的に働いてこそ、いいかえれば技術者が持つ暗黙知こそが問題解決の重要な鍵になっているといえるのである。

第3章 知識創造における暗黙知の役割

本章では知識創造における暗黙知の役割を、過去の研究者の知見をベースに具体的事例の分析もおこなって明らかにする。第3-1節で、過去の研究者（特にM.Polanyi）の知見を基本に知識の構造を議論し、知識の全体構造における暗黙知の位置づけを示す。そして第3-2節では、知識創造における暗黙知／形式知の役割を分析し、ヒラメキや発想の転換が必要な画期的知識創造ほど暗黙知の役割が大きくなることを示し、ヒラメキや勘が自由連想によって生まれることを脳科学の知見を用いて説明する。第3-3節においては、半導体の故障メカニズム解明という具体的事例の中で上記の考えを証明する。

第3-1節 知識の構造

本節では知識を分類し、巧の技と科学技術的知識がどのように位置づけられるかを形式知／暗黙知と関係づけながら示す。まず、第3-1-1項では知識を整理分類する。暗黙知中心の手続き的知識（procedural knowledge）は生きる知恵を中心としたものであるが、巧の技の知識もここに分類されることを示す。

一方で、宣言的知識（declarative knowledge）の代表である科学技術的知識は形式知中心であるが、この形式知の周辺には膨大な暗黙知があることを示す。次に第3-1-2項では、知識の構造から何故知識は暗黙知化するのかをポランニーの手続き的知識に関する研究を中心に説明する。

第3-1-1項 知識とは何か

現在の人間に近いホモサピエンスが地球上に登場したのは今から約10万年以上前といわれており、それ以前のネアンデルタール人などの類人猿に近い人類を含めると100万年を超える期間において人間は知識を用いて生き延びてきた。他の哺乳類に比べて俊敏でもなく、強くも頑健でもない人間が生き延びてきたのは知識の力であったといえるのである。それが可能となった

のは人間の並はずれた大脳新皮質^Qの発達にある。人類学者のロビン・ダンパーによれば、人類が数十人から数百人の群れを作って狩猟採集生活をおこなっていたことと関係しており、個体どうしの相互コミュニケーションの複雑化のために大脳が発達したという。大脳新皮質の発達により膨大な記憶が可能となるとともに考えることができるようになり、知識を創り活用することができるようになったのである。ホモサピエンスの時代と現在を比べると人類の進歩は科学技術的には目覚ましいものがあるが、身体的には大きな差はなく頭蓋骨の容積もほぼ同じ大きさであり、ほとんど同じような思考回路で同じように知識を用いて生活していたのであろうと思われる。

人間の知識に関する研究は非常に古くギリシャ時代に遡ることができ、西洋哲学における認識論の源流となっている。古典的には「知識は正当化された真なる信念」と定義付けされるが、ゲティア問題を通じて現在もなお多くの議論がなされている。しかし、本論文の目的は認識論の立場から知識を考えることではないので、哲学的議論は避ける。本論文では、知識のもっと実際的な側面「情報を認識・意味づけし、行動にいたらしめる秩序」の観点から知識の構造を分析し、知識がどのように創られるかを明らかにすることに努める。それゆえまずは種々の観点から知識を分類し、知識とは何かを考える。

知識は形式化や伝達方法の観点から、形式知と暗黙知に分類される。

形式知は言語化された明示的な知識であり、暗黙知は言語化し得ない／し難い知識である。

形式知と暗黙知の比較で一般的によく用いられているものを表 3-1 に示す。次節（第 3-1-2 項）で詳しく議論するが、ポランニーは人間の知識は基本的に暗黙知である²⁴としており、形式知は暗黙知の中の論理的に分かり易い部分だけが分節された体系的知識であると考えられる。暗黙知は経験や五感からの直接的な知識であるがゆえに主観的／個人的なものであり、身体的な勘どころやコツと結びついた「巧みの技」のようなものが典型例である。一方で、形式知は客観的／論理的で、明示的な方法／手法／事物について情報を

^Q 大脳新皮質;本論文76頁参照。

理解するための辞書的構造を有しており、科学技術的な知識が典型例といえる。

表 3-1 暗黙知と形式知^{例えば26}

暗黙知	形式知
主観的な知 (言語化し得ない、し難い知識)	客観的な知 (言語化された明示的な知識)
経験知 (経験や五感から得られる直接的な知識)	理性知 (暗黙知から分節される体系的知識)
同時的な知 (今ここにある知、現時点での知識)	順序的な知 (過去の知識)
アナログ的な知 (個人知、主観的、個人的、情緒的、情念的)	デジタルな知 (客観的、社会的、理性的、論理的)

知識を「宣言的知識」と「手続き的知識」とに分類することも可能である²⁵。前者を「knowing what」、後者を「knowing how」と呼ぶこともある。手続き的知識には、自転車の乗り方やピアノの弾き方といった身体行動的なもの、熟練工の巧みの技、そして他人の顔の識別というような直観的認識が含まれ、基本的には暗黙知である。

例えば、宮大工や陶芸家などが持つ巧みの技は手続き的知識の典型例であり、師匠に弟子入りして、教科書も設計図もない中で師匠の模倣を繰り返して得られる知識である。理屈ではなく、「こうするためにはこうしなければならない」といった具合に体験を通じて得られる知識であり、いわゆる身体で覚えた知識といわれるものである。巧みの技の事例に野中氏の「知識創造企業」²⁶に紹介されている、電気機器メーカーのホームベーカリー開発事例に登場するパン職人がある。ホームベーカリーを開発するために開発スタッフがパン職人に弟子入りし、同じ材料を用いて同じように作っても、決して

おいしいパンができない。パン職人に聞いても困った顔をするだけであり、どうすればいいのかを言葉で説明してもらえない。通常であれば弟子入りしてから何年もかけて親方のやり方を模倣し練習を重ねることで技術を身体で覚えてやっと一人前のパン職人になれるのであり、単に真似をするだけでは一朝一夕においしいパンはできないのである。そこで、つぶさに職人のやり方を観察していると、パン生地をこねるときに、単にパン生地をこねているだけでなく、パン生地に「ひねり伸ばし」の動作を加えているところに差があることに気がついた。早速この情報を持ち帰って試作品に「ひねり伸ばし」を取り入れる改造を施したところうまくいったという事例である。パン職人はパン生地をこねることに意識を集中しており、手はいつもとおりに動いて「ひねり伸ばし」をやっている。職人にとって特に手の動きは意識されておらず、暗黙的に「ひねり伸ばし」が実行されている。つまり、完全に暗黙知化していることから、どのようにパン生地をこねているかを言葉で説明できなかったのである。

このように、人の意識は目的を達成することに集中しており、個々の要素となる知識は暗黙知化しているためこれらの要素をどのように使ったかを言葉で説明できないのである。人間が歩くときに意識しながら左右の足を交互に動かすのではなく、歩行の知識を暗黙的に使って歩いているのと同じであり、「パンをこねる」知識であるか「歩く」知識であるか、使っている暗黙知の種類が異なるだけである。巧の技の場合では、師匠に弟子入りしてから、模倣をしながら失敗や成功を幾度も繰り返して経験することで膨大な量の情報が記憶に残る。宮大工の場合などは20年～30年でやっと一人前になるといわれるくらい長期間の修行が必要とされており、蓄えられた記憶は膨大な量になる。これらの経験から得た記憶は、作品の仕上がり（パン職人の場合はパン、陶芸家の場合は作品）に影響を及ぼす非常に多くの考慮すべき項目に関連するパラメータであり、これらの項目やパラメータ同士の関連づけと仕上りの関係が知識となっていく。次項の第3-1-2項で詳しく述べるが、各層の要素となる知識が関連づけられて大きなピラミッド状の知識の体系が完成する。この体系は高度なシミュレータなようなものといえ、この複雑なシステムが巧の技やスポーツ選手の持つ知識である。目的を遂行するためにこの知識が働くのであるが、個々の要素となる知識は暗黙的に働くことから暗黙知化して、その人の意識には上らない。したがって、暗黙知は言葉で説

明し難い知識になっている。言葉で説明できる形式知との大きな違いは、知識を意識することなく使うことにあり、使っていることを意識していないので、どれをどのように使ったかを言葉で説明しきれない知識になっているのである。

別の事例で、自転車に乗る場合の知識を考えると、「あるスピードで、あるカーブであればこの程度ハンドルを切って、この程度身体を内側に傾ける」というものになる。この場合スピード、カーブ、ハンドル、身体の角度の四つの要素を書いたが、他に地面の角度、地面の凹凸、障害物、荷物の重さ等々の要素があり、これらの要素を「自転車に乗る知識」として時々刻々処理していかなければならない。自転車に乗ることができる人はいとも簡単に乗っているが、とても言葉で説明できない複雑な処理プロセスを処理しているのである。また一つ一つの要素の処理をいちいち意識しては、処理が間に合わないともいえる。したがって、自転車に乗る人は自転車をうまく走らせることにだけ専念して処理はすべて暗黙的に実行させているのである。ピアノの演奏の場合も同様で、指の運びが気になって指に意識を集中させてしまうとうまく演奏することがおろそかになって演奏がダメになってしまうが、音楽を演奏することに集中して、指の動きを暗黙的に処理する状態になれば、素晴らしい演奏になる。当然ながら、自転車に乗ったことがない人やピアノを弾いたことがない人にはこのような暗黙知は存在せず、いきなりやってみても決してうまくはいかない、練習を通じて暗黙知を作らなければならないのである。

このように経験することで得た知識は暗黙知として蓄えられ、この知識を用いて現状の複雑な処理に対処しているのであり、しかもそれは暗黙的に遂行されるのである。

もちろん、自転車の乗り方やピアノの弾き方の大事なポイントを形式知化することは可能であり、特に産業界では巧みの技を形式知化する努力は不断に続けられている。

一方で、宣言的知識は自然科学や社会科学における理論や法則が代表例であり、基本的に形式知である。しかし、科学技術的な知識においても暗黙知が存在し、新たな知識を創るときに暗黙知が必要になることを示すのが本論文の目的である。例えば、研究者や技術者が研究の結果を学術論文にまとめ

るケースを考えてみよう。研究結果の中から論理的に説明できる新規性のある部分をまとめたものが学術論文であり、もちろん形式知となっている。しかし、その形式知がすべてではない。形式知を生みだした技術者・研究者は、その形式知の周辺に膨大な情報を持っている。論理的にきれいにまとめられないがゆえに形式知となっていないが、形式知と関連づけられて膨大な暗黙知として存在しているのである。条件が変わったときにどういう振る舞いをしたか、ノイズや測定誤差かもしれないが何となく気にかかる特性や傾向のようなものである。次節で詳しく議論するように、これらの暗黙知が問題解決のためのヒラメキのもとになる。発想の転換が必要な問題で思考が堂々巡りしてしまい袋小路に入って悩んでいる研究者が、暗黙知の中の何らかの現象との関連性に気づき、解がヒラメクのである。

以上のように、種々の知識を暗黙度^Rで分類すると図 3-1 のようになる。図中の左端の科学技術的知識は形式知が中心であり、形式知として発表・報告されるが、その形式知に関連づけられた研究者・技術者の持つ暗黙知は次の知識創造において重要になる。右端の自転車の乗り方等の身体的な勘や顔の認識などはほとんどが暗黙知である。そして、中間的な哲学や宗教、そして巧みの技は、暗黙知が中心であるが、形式知化（文書化）も積極的になされている。しかし、その形式知を受け取った人は、そのままでは本当の意味では自分のものとはなっておらず、次の知識創造に際しては野中氏のいう内面化^{26,27}が必要となることが多いのである。

—— 暗黙的 ——>

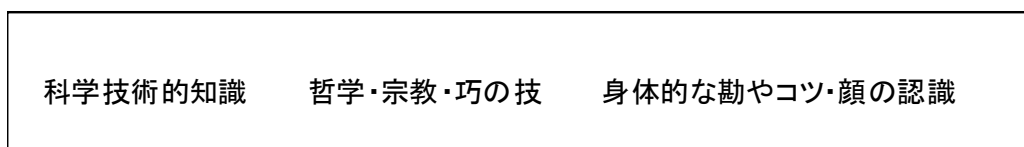


図 3-1 種々の知識の暗黙度
(科学技術的知識は形式知が中心であるが第3.2節で述べるように、知識創造においては暗黙知も必要になる。)

^R 暗黙度;知識の内、一般的に暗黙知が占めると考えられている割合の意味。

第3-1-2項 知識の構造

さて本項では、何故知識が暗黙化するのか、暗黙知となるのかを述べる。

ポランニー^Sは簡単な事例を用いて手続き的知識における暗黙知の紹介をしている²⁴。群衆の中で知人の顔を見分ける例であるが、人が顔を見分ける場合には、目鼻口等の顔を構成する部品の特徴や並び方やさらに顔の輪郭等々から判断している。しかし、実際に顔を見分ける場合は、それらを感知はしているが意識することなく一瞬に見分けることができる。これは、目的である「〇〇さんの顔を見分ける」ことの実行には「顔認識」は強く意識しているが、「顔」を構成するそれぞれの部品の特徴を感知しているが、意識していないので、どのように照合したかを明確に説明できないのである。この顔認識の知識の構造は図 3-2 のように表すことができる。要素となる目鼻口や輪郭の特徴は下層に位置しており、それぞれ相互に関連づけられている。これら要素の特徴を合成すると上層に位置する「〇〇さんの顔」の知識ができる。「〇〇さんを見分ける」という目的を実行しようとする、その目的に意識を集中させるために、下層にある要素となる知識は暗黙化してしまい、どのようにして各部品を感知して特徴を照合したかを言葉で説明できないのである。

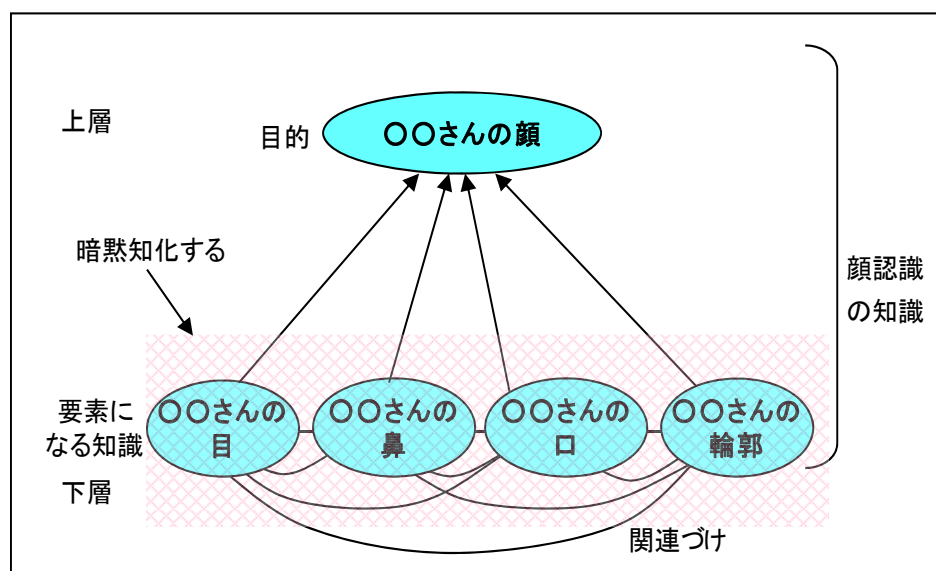


図 3-2 顔認識の知識の構造

目的を実行するときは、目的を構成する要素となる知識は暗黙化する

^S ポランニー; Michael Polanyi, 1891年～1976年

このように、知識は上下二層で構成されていて、下層の知識は上層の知識の要素となっている。要素となる知識は、同じ層の中の他の要素と互いに関連づけ合っている。上層の知識は、要素となる知識を集めて合成された知識であり、下層にある知識の要素をそれらの関連づけも含めて包括的に説明する知識である。上層の知識の実行に際しては、上層の知識（目的）に意識が集中することから下層の知識は暗黙的に働く。人は暗黙化した要素の知識を意識することなく目的を達成するのである。

これが知識の基本的構造であり、上層の知識は同じ層の他の知識と関連づけ合って、さらに上層にある知識の要素となる。このように、知識は何層にも積み上ったピラミッド状の構造を持ち、ピラミッド全体が大きな知識となる。ピラミッドの頂点に位置する知識は、その下の層にある知識全体を包括的に説明できるものであるから、その人の思考・行動の目的もしくは結論になる。

ポランニーはさらにピアノ演奏の例も紹介している。ピアノ演奏の場合も長年の訓練によって成し遂げられる巧の技の一つである。ピアノ演奏の場合は顔の認識のように視覚情報だけでなく、聴覚情報や指や足の情報と運動も必要であり、顔認識の場合よりさらに複雑な知識の要素が必要となりそれらの関連づけも複雑になる。ピアノ演奏の場合は、楽譜を見ながら自分が描いた音楽のイメージに沿って手や足を適切に動かすように「ピアノ演奏の知識」を使っているのである。練習によってその演奏家なりの音楽のイメージを作り上げ、そのイメージに沿って演奏がなされる。この場合も顔認識と同様にこの音楽を演奏することに意識は向かっており、どのように手や足を使ったのかの要素になる知識を意識しておらず、暗黙的に実行されているのである。もし要素の知識である手・足の動きに意識を向けてしまうと、音楽を演奏することから意識がそれてしまうので、演奏が乱れてしまう。手や足の動きが暗黙的に実行されて、演奏家の意識が音楽の演奏に向かっていたら素晴らしい演奏になる。知識のピラミッドの頂点にある目的に意識を集中して知識全体を使うことで、下層に位置する要素となる知識は暗黙的に実行されて正しく知識が実行できるのである。知識を構成する要素の数やそれらの関連づけは演奏家の過去の経験によって異なることから、「ピアノ演奏の知識」の要

素である暗黙知が演奏家ごとに違うことによって、同じ楽譜の曲であっても異なった演奏になり、さらに演奏の上手下手にもなる。例え、「ピアノの弾き方」のテキストをいくら熟読しても、形式知からだけでは決して同じような演奏をできるはずがない。必ず、練習という経験が必要である。

他の巧みの技の知識の場合も同様で、繰り返しの経験から得た膨大な知識の要素が複雑に関連づけられて知識が何段も積み重なった大きなピラミッド状の構造になっている。最上層にある目的を実行するときには人の意識は目的達成に意識が向けられており、下層にある知識は暗黙的に実行され、どの知識をどのように使ったのかを言葉にすることはできず、ほとんどの知識は暗黙知化しているのである。

さて、科学技術の分野での知識は、常に論理的であり言葉で説明できない暗黙知は通常受け入れられない。自分の考えや研究の成果を言葉もしくは文書で説明して自分以外の研究者達を納得させなければ研究者として認められない。すなわちすべてを形式知にしなければならず、これらの形式知も論理的積み上げとして多層のピラミッド構造を成している。しかし、前項で述べたように、研究者・技術者がまとめるそれぞれの形式知（例えば論文）は彼が持つ膨大な知識のうちのほんの一部にすぎない。論理的に説明できる部分を彼の持つ知識から抽出したものであり、その形式知の周辺には膨大な暗黙知が存在しているのである。

第3-2節 知識創造における暗黙知の役割

前節では知識を整理分類して、知識は暗黙知中心の手続き的知識と形式知中心の宣言的知識に分けることができ、手続き的知識は生きる知恵を中心としたものであるが、巧の技もここに分類されることを示した。宣言的知識の代表である科学技術的知識は形式知中心であるが、形式知の周辺には膨大な暗黙知があることを示した。

また、知識は多くの経験から得た知識（要素）が関連づけられ意味づけさ

れて上位の知識（目的）をなすが、その目的がさらに上位の目的の要素となるピラミッド状の階層化された構造を持つことを示した。意識は常に目的に集中することから、要素は暗黙化する。

本節では、知識創造の観点から知識の構成をもう一度レビューし、科学技術的知識での暗黙知の重要性を確認する。知識創造は既存の知識を組み合わせることで可能なものと、既存の知識の組み合わせでは達成できず「ヒラメキ」のような何らかのきっかけが必要な知識創造との二種類に分けることが可能で、「ヒラメキ」のようなきっかけが必要な知識創造では暗黙知が重要な役割を果たすことを示す。

最後に、知識創造のプロセスにおいて「ヒラメキ」のようなきっかけが必要な知識創造において、「発想の転換」や「ヒラメキ」がどのように発生するかを脳科学の知見を用いて説明する。

科学技術的知識の分野では、主に形式知を用いて議論されなければならないので、知識創造の成果を形式知として現さなければならない。図 3-3 に示すように知識創造は自分が持つ既存の知識をもとにして、それらに関連づけることで新しい知識創造をおこなうのが基本形である。科学技術分野の場合は新しく創られた知識が形式知である必要があるのはもちろんのこと、基になる知識の要素も形式知でなければ知識創造全体が認められない。したがって、図 3-3 は自分が持つ形式知を関連づけして得た知識創造の形になっている。

このようにすべてが形式知であることから、他の研究者達がおこなった研究や過去の先人達の論文や書物を調べることが可能であり、別の観点からの知識や考え方等を知識の要素として取り入れることで、自分の知識の抜けや誤りを修正することができる。これにより過去からの知識の積み上げが可能になり、またおおいに議論できることから科学技術はおおいに発展することができた。

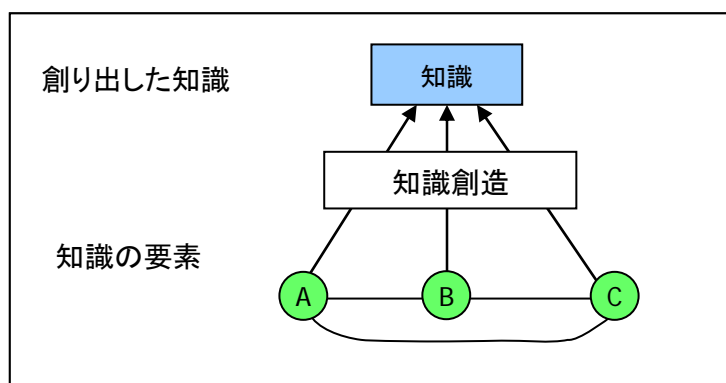


図 3-3 知識創造の基本形

知識を集めて関連づけをおこない、新しい知識を創り出す知識創造は大きく二種類に分けることができる。その創造のプロセスにおいて、既存の知識を組み合わせることで達成可能な知識創造と、既存の知識の組み合わせだけでは難しく、「ヒラメキ」のような何らかのきっかけが必要な知識創造の二つである。既存の知識を組み合わせることで可能な知識創造は、従来の学説や理論からはずれることなく、論理を延長した知識創造であり、関連する既存の知識をつなぎ合わせることでなされる。既存の知識は、形式知であるか、またはその延長上にあるもので、容易に予想できる知識であり、これらに関連づけることで創り出される。後に詳細を述べるが、半導体 LSI の信頼性問題として世界中に波紋を投じた、ホットキャリア現象で起こる MOSFET の電気的特性劣化現象は、既存の衝突電離現象と電子の酸化膜中への捕獲を組み合わせた既存の知識を組み合わせることで可能な知識創造である。この知識創造のプロセスは、図 3-3 に示す知識創造の基本形そのものになる。要素になる形式知 A、B、C で示される知識を関係づけることで新しい知識ができる。

一方、その創造プロセスにおいて既存の知識のみ合わせるだけでは達成することができない知識創造の場合は、関係があると考えられる知識を組み合わせるだけでは創り出すことが難しい知識創造である。

図 3-4 のように、自分で選り関連づけた知識を組み合わせても知識創造を達成することができず、これらの形式知（図中の A、B、C の要素となる知識）の見方を変えるか解釈を変えて何らかに変化させるか、もしくは関連があるとは思えないような知識を組み合わせる必要がある知識創造である。

形式知は論理的であるがゆえに一般的には固定観念化されており、応用が利き難いといえ、既存の知識を変形（具体的には見方を変える）させるとか、まったく新しい種類の知識との連結は難しい。したがって、この場合の知識創造では、形式知だけではどうすることもできず、「ヒラメキ」のような何らかのきっかけが必要となる。

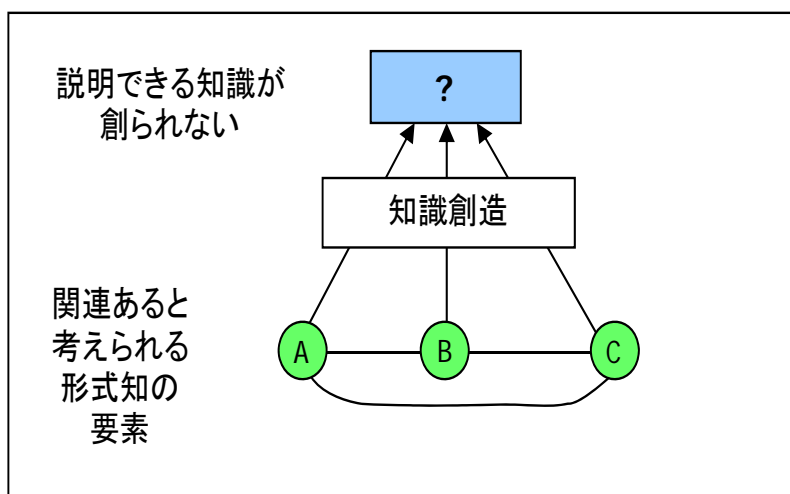


図 3-4 既存の知識を組み合わすだけでは成すことができない知識創造

前節で、技術者・研究者が持つ形式知の周りには彼らの研究過程で得た膨大な暗黙知があることを述べたが、この形式知の周りには暗黙知が「ヒラメキ」に重要な役割を果たすのである。暗黙知の存在を考慮すると図 3-4 は図 3-5 のようになり、形式知の周りには論理的にきれいにまとめられないがゆえに形式知となっていないが、形式知と関連づけられた膨大な量の暗黙知が存在しているのである。研究室での実験で条件が変わったときにどういう振る舞いをしたか、ノイズや測定誤差かもしれないが何となく気にかかる特性や傾向のようなものである。

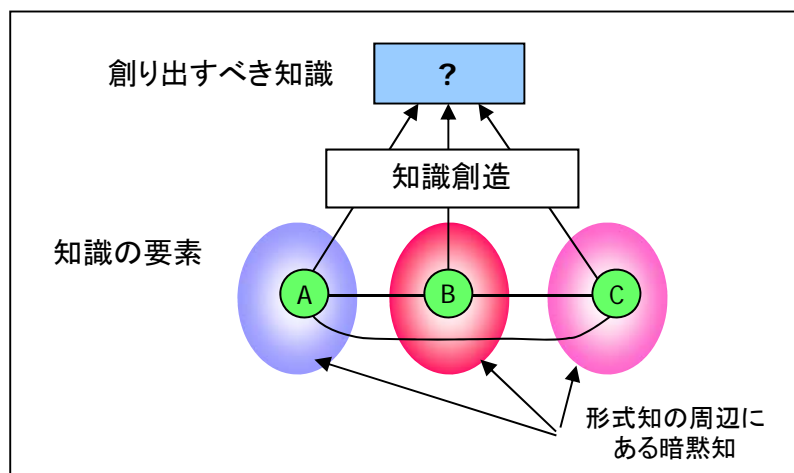


図 3-5 形式知の周りにおける暗黙知

基になる要素にあたる知識が単なる形式知だけであれば固定化されて見方を変えることは難しいが、様々な情報が詰まっている暗黙知があることによって異なる形式知に作りかえることができ、さらにそのきっかけとなる「ヒラメキ」が得られるのである。過去の論文や書物を学習して得た形式知は、自分で研究や実験をして得た知識ではないので、自分自身の知識とはなっていない状態であり、暗黙知がない。固定観念化されており展開性に乏しいので応用が利かず、既存の知識の組み合わせでは成すことができない知識創造においては活用が難しい。しかし、取り入れた知識を確認するための実験等を行うことで、内面化（Internalization）させれば、暗黙知に変換することができ自分の知識となり活用できるようになる。

ここで、形式知の組み合わせで達成された知識創造の例として、半導体信頼性技術の分野で大きなインパクトがあった具体的事例であるホットキャリア現象によるMOSFET^Tの劣化現象を紹介する。

^T MOSFET; Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistorの略、MOSトランジスタを指す。

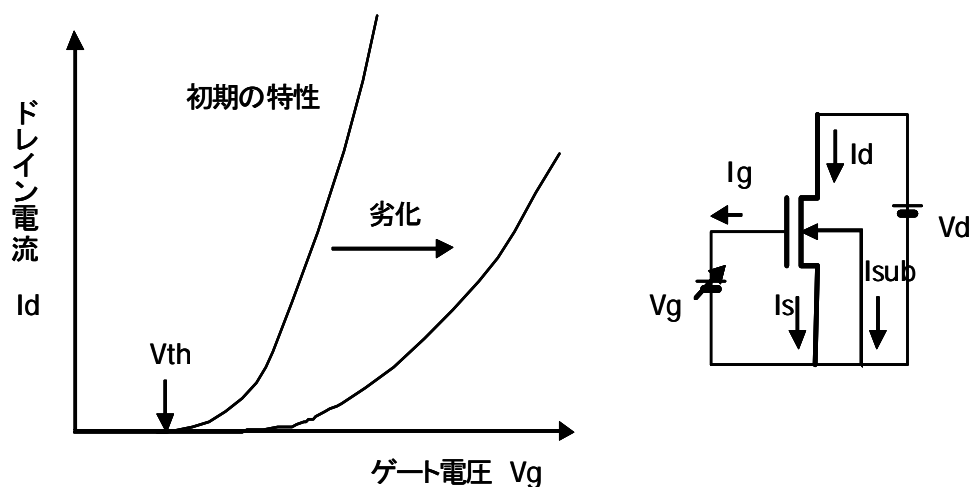


図3-6 ホットキャリア現象によるトランジスタ特性の劣化

ホットキャリア現象に関しては、既に第2章の故障メカニズムの節で解説したが、動作中のn型MOSFET^Uの特性劣化現象として報告された。図3-6、図3-7のように、n型MOSFETのドレインに電圧（ V_d ）を印加し、ゲート電圧（ V_g ）を上げて、ドレイン電流を流すと、ドレイン付近に高い電界の領域ができる。この高電界領域の中でソース領域から流れ出した電子は加速されて高エネルギー電子（ホットキャリアまたはホットエレクトロン）となることで衝突電離現象が発生する。つまり加速されて高エネルギーを持った電子は基板を構成するシリコン原子に衝突することで多数の電子正孔のペアが発生するのである。発生した大部分の電子はドレイン領域に流れ込むが、ごく一部の大きなエネルギーを持った電子は、シリコンとゲート酸化膜の電位障壁を乗り越えてゲート酸化膜中に注入されゲート電流（ I_g ）となるが、酸化膜に注入された一部の電子が酸化膜中にトラップされる。この現象をMOSFETの断面から説明したのが図3-7である。トラップされた電子は図3-6に示すようにMOSFETの電気的特性を大きく劣化させる。

^U n型MOSFET; p型のシリコン基板の上にn型のソース・ドレインを持つMOSFET。

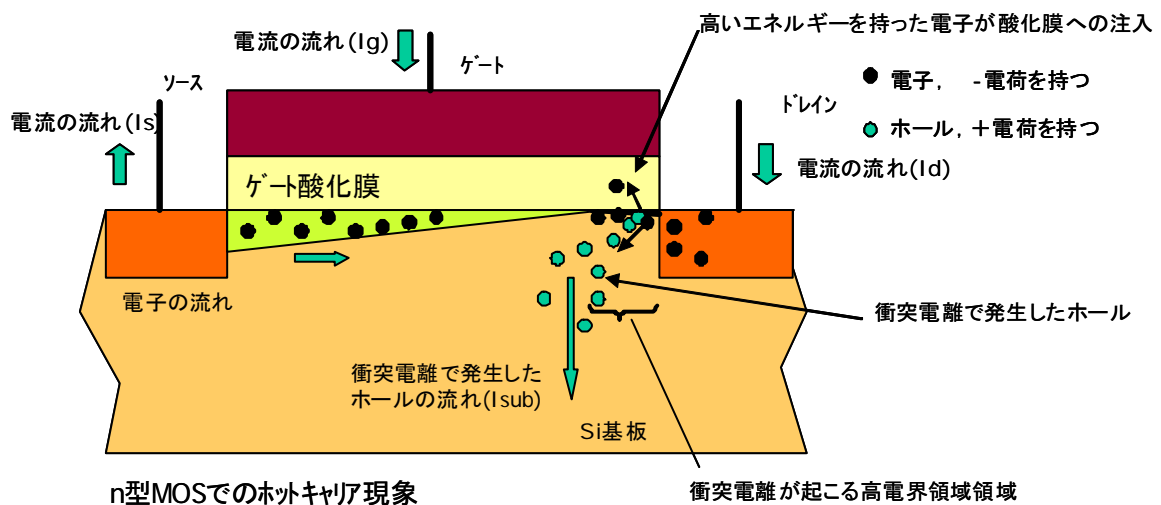


図 3-7 ホットキャリア現象を起こすMOSFETの断面図

このホットキャリア現象は、MOSFET のゲート長が微細化されて $2\mu\text{m}$ 以下になると顕在化してきた。もともとゲート長が大きな MOSFET でもホットキャリア現象は起こっていたが、ゲート長が大きいためにドレイン近傍の電界がそれほど高くならず、かつ MOSFET 自体わずかな電子のトラップに対する感度も高くなったことから、大きな問題になっていなかった。そのためホットキャリア現象による劣化現象が発表された 1977 年の半導体業界には大きなインパクトのある論文であった。その年以降、数々のホットキャリア現象に関する発表が相次いだ。

このホットキャリア現象は、高電界になるドレイン領域で、MOSFET を流れる電子が起こす衝突電離現象が発端になっている。衝突電離現象は、1960 年代には既に半導体の pn 接合で起こるアヴァランシェブレイクダウン^Vでよく知られた現象であった。先に述べたように、ホットキャリア現象はゲート長が大きな MOSFET でも起こっており、衝突電離現象によって発生するゲート電流 (I_g) や基板電流 (I_{sub}) が観測されていた。すなわち、ホットキャリア現象による劣化現象を説明する材料はほとんどが形式知だったのである。

^V アヴァランシェブレイクダウン; Avalanche Breakdown 半導体の pn 接合の逆耐圧破壊、なだれ降伏ともいう。例えば "Physics and Technology of Semiconductor Devices", A.S.Grove 著、John Wiley and Sons Inc. (1967)

多数の研究者・技術者は現象を知っていたが、MOSFETの電気的特性がそれほど大きく変化するとは思っていなかっただけである。いいかえれば、1977年の衝撃的な発表の内容は、論文の影響は大きかったが、既存の形式知をつなぎ合わせた従来の論理を延長した知識創造であるといえる。知識創造のプロセスは知識の論理的な組み合わせでよいので、発想の転換やヒラメキは必要なく、暗黙知が必要な場面が少ない知識創造であるといえる。

一方、既存の知識を組み合わせるだけでは達成することができない知識創造であるが、この知識創造の場合にはその創造のプロセスにおいて、既存の形式知を論理的につなぎ合わせただけでは達成できず、何らかのきっかけとして「発想の転換」や「ヒラメキ」が必要となる。ただし、科学技術的分野での知識創造であるので要素になる知識も、創り出された知識もいずれの知識も形式知でなければならないのは変わりがない。それでなければ達成した知識創造を論理的に説明できないからである。このような知識創造において、何らかのきっかけとしてヒントをくれるのが「ヒラメキ」であり、新しい知識創造を論理的に説明できる新しい形式知を作るための基になるデータは図 3-5 で示す暗黙知である。暗黙知やヒラメキが重要な役割を果たしているのは、既存の形式知だけでは解決できず新しい知識を導入したり、新しい発想を得たりして現状をどのように打破するかのプロセスを進める上で重要なのであり、結果として知識創造は形式知を用いて論理的に説明されるのである。

次節の第 3-3 節で詳細に述べるが、先の半導体のホットキャリア現象を起こすMOSFETから遠く離れた場所において発生する破壊現象の事例において、なかなか故障原因が分からず暗礁に乗り上げてしまったときに、一人の技術者の「ヒラメキ」がきっかけとなってメカニズム究明ができた。この事例も技術者の日々の研究を通じて蓄えられた暗黙知が作用した結果であった。

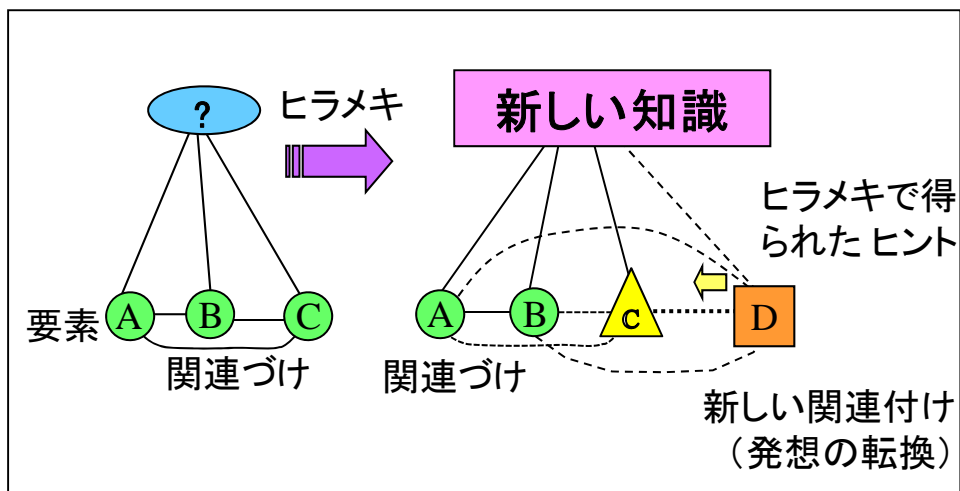


図 3-8 ヒラメキ・勘が起こったときの模式図
ヒラメキによって形式知Cが変化し、要素Dが加わり新しい関連づけができる

このように科学技術的分野であっても、既存の形式知を組み合わせるだけでは達成することができない知識創造（問題解決ともいえる）においては、暗黙知の働きをなくして解決はあり得ないのである。

さて、暗黙知から「ヒラメキ」・「勘」が生まれるプロセスはどんなものであろうか。「ヒラメキ」・「勘」は人間の意志ででてくるものではなく、自然に現れるものであるので発生のプロセスは未だよく分かっていない。しかし、「ヒラメキ」や「勘」は、第六感のような当てずっぽうなものとは異なるもので（第六感も体験やある種のデータから生まれている可能性もあるが）、解決策が見つからず悩んでいるときに、頭の中に何らかの情報がどこからか一瞬浮かび上がってきてヒントをくれるものであって、決して非科学的なものではない。その人がヒントを浮かばせるために必要な知識や経験を持っていなければ、「ヒラメキ」や「勘」は浮かんではこない。このヒントは、そのとき使っている知識とは関係がないと本人が思っている種類の知識であったり、記憶であったりするが、これらが今使っている知識と一瞬つながることで、今まで考えていたこととはまるで違う発想や考え方に気づかせてくれるのが、「ヒラメキ」・「勘」である。このプロセスを模式図にすると図 3-8 のように現すことができる。既存の知識だけでは知識創造が行き詰まった状態で悩んでいるときに、ある一瞬ヒラメキが起こり頭の中のどこからか分からないが、見方を変えることで要素である知識Cの形を変えたり、ある要素が加わり関連づけられるとか、例えば新しい別の知識Dを関連づけ

たりするような発想の転換が頭の中に浮かぶのである。

その人が持つ既存の知識を使っただけでは解が得られないということは、その問題解決に対して知識が不完全であるか、もしくは誤っているということになる。知識の構造面から見ると、要素になる知識が不足しているか、要素になる知識の関連づけが誤っているか、解釈を間違えて真実と違う知識になっているかであるが、その人にはどこがどのように構造上問題であるのかが気が付いていないことから、目の前の問題が解決（知識創造）できないのである。そこへ「ヒラメキ」や「勘」が働くことでヒントが得られ、「ここが悪いのかもしれない」と知識を修復（考え直す）するか、追加の別の知識を取り入れて構造を立て直す（学習や追加の研究）ことで問題解決を図るのである。

「ヒラメキ」・「勘」から得られるヒントは、通常は浮かんでこないが、ある瞬間に頭の中のどこからか湧き出てくるのであるが、近年著しく進歩している脳科学の分野において研究が進んできている。そこで、知識や記憶が蓄えられ、人間の行動を司る人間の頭脳の働きを以下に説明する。

図 3-9²⁸に示す人間の脳の側面図の中で、前頭葉、頭頂葉、側頭葉、後頭葉の四つは脳の最表面 2-5 mmにあたる大脳新皮質と呼ばれる部分であり、ヒトのヒトたる所以は大脳新皮質の働きに負っている。

大脳新皮質は約 140 億個のニューロン（神経細胞）で構成されており、大脳新皮質のおかげで我々は「ものごとを統合」して、「記憶」、「伝達」、「理解」、「判断」、「創造」することができる。また、ニューロンは 1 個あたり数千以上のシナプスを持っており、他のニューロンと複雑に結びついている。脳の構造はコンピューターの CPU / ソフトウェア / メモリのような構成とはまったく異なり、ニューロンのネットワーク化により情報処理回路や記憶が脳内に作られている^W。

^W コンピューターのハードウェアは CPU とメモリが中心になって、周辺機器とのインターフェイスとで構成されている。メモリにはプログラムとデータが格納されており、CPU はプログラムによって動作し、インターフェイスを介して周辺機器を制御し、いかなる動作もすべて CPU の指令で実行される。これに対して脳の中では、CPU やメモリに該当するものはなく、ニューロンとニューロン同士の情報伝達を受け持つ樹状突起やシナプスのネットワークだけが存在するのみである。またコンピューターはプログラムされたこと以外ではできないが、脳は新しいことを創造することができる。

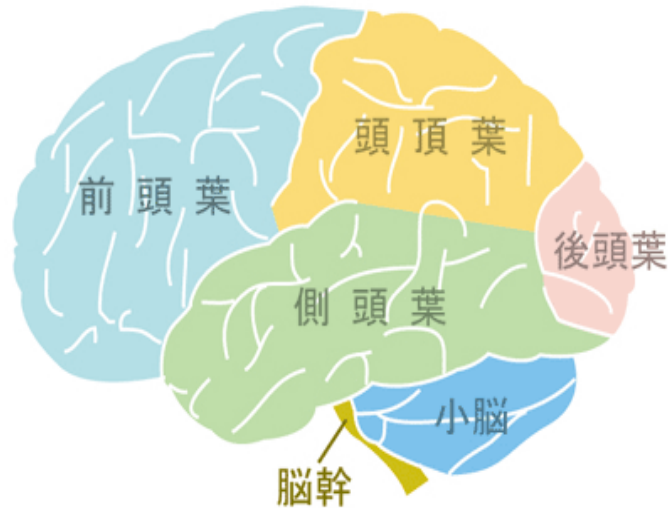


図 3-9 人間の脳の側面図
「前頭葉」「頭頂葉」「側頭葉」「後頭葉」の4部位をまとめて大脳と呼ぶ。

ニューロンのネットワークは人が体験することで自己組織化し、シナプスのつながりを変化させてネットワークがさらに複雑に結びつきあって進化する。この進化することによって知識が増えていることになる。脳は種々の知覚からの入力（視覚、聴覚、感覚、嗅覚 等）を決まった領域でリアルタイムに分散処理しており、処理した結果のうち必要な情報だけが無意識のうちに選別されて意識に上る。意識された情報は「連合野」と呼ばれる領域で統合化され、必要な判断が下されることになる。リアルタイム処理のために必要な短期記憶とは別に、インパクトの強い情報や繰り返された情報は長期記憶として「連合野」に蓄積される。

「連合野」は広義には大脳新皮質のうちで「感覚野」や「運動野」^{X,29}を除く領域であり、情報処理の高次なプロセスを担っている（大脳新皮質の別

^X 運動野、感覚野；大脳新皮質はその形状から前頭葉、頭頂葉、側頭葉、後頭葉の四つに分けられるが、その他にも色々な分け方がある。運動野は全身に運動の指令を送る、感覚野は皮膚からの信号を認識する体性感覚野の他に視覚野、聴覚野、嗅覚野、味覚野がある。感覚野や運動野は全身の様々な部位との情報のやりとりをするが、連合野は大脳皮質の中のいくつかの部位が連合野の中でやりとりをする。なかでも前頭連合野は思考・想像、推論、意欲、情操といった人間ならではの行為の源といわれている。

の分け方で前頭連合野、頭頂連合野、側頭連合野、後頭連合野がある)。「連合野」に記憶を書き込むには「海馬」の助けを必要とする^{Y,30}が、蓄積された知識や情報から思考／推論を経て新しい知識を創造するのは「連合野」の仕事である。

このような脳の各部位の機能や、人間が物事を考えるときにどの部位を使うかなどは最近の10～20年の測定機器 (PET^Z、fMRI^{AA} 等) の進化によってある程度は分かってきたが、まだまだ未解明の部分が多い。現在の脳科学では、考える内容によって脳が活動する場所が異なり、判断する内容によって使う部位が異なり、さらにその結果次のことを考えたり行動を起こしたりするときも別の場所であることが分かっている。このプロセスで、コンピューターのCPUのような司令塔があって指令を送っているわけではない。しかも、繰り返し体験することで学習して、脳は自己組織化し処理や判断がやりやすいように変化していく。脳は高度にモジュール化された分散システムであると同時に常に全体統合がなされている。

これらの脳の構造および働きは、前節で述べた知識の構造とよく似ている。目的によって脳の中でシナプスによって複雑に関連づけされた、暗黙的に働く神経細胞が組み合わさった知識体系を人それぞれ持っており、体験を積むことで関連づけがさらに複雑に自己組織化し、目的によって体系を使い分けられているといえる。

ごく最近の脳科学の研究によると、ナンシー・C・アンドリアセンは「天才の脳科学」の中で自由連想を取り上げ、自由連想が起こっているときに脳の連合野がすべて活性化していることを明らかにした³¹。自由連想とは、身体をリラックスさせて、運動や感覚への入力を入れない状態で、脳を無意識

^Y 海馬;記憶に関しては未だよく解明されていないが、海馬は視覚情報、聴覚情報、皮膚感覚の情報などバラバラの情報を集めて一つのまとまったエピソードにして短期記憶する。長期の記憶は海馬から大脳皮質の連合野に転送されて蓄えられるといわれている。

^Z PET;ポジトロン断層法(Positron Emission Tomography)とは陽電子検出を利用したコンピューター断層撮影技術。精神活動がある状態から別の状態に変化するのにもなって起きる脳の各部位ごとの血流変化を測定し、視覚化するのに使われる。

^{AA} fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) はMRI(核磁気共鳴)を利用して、脳や脊髄の活動に関連した血流動態反応を視覚化する方法の一つである。

の状態にすることである。自由連想自体は歴史的に古く、フロイト^{BB}が、医学的にはっきり説明できない身体症状を訴える患者を精神的な観点から診察しようとしたことから広まり有名になった³²。脳の中を無意識の状態にして次々と浮かんでくる連想を分析するのであるが、患者をソファに横にならせてなんのストレスもない、ボーっとする状態にして頭に浮かんだことを聞き取り、精神分析をおこなった。人間には、自分ではまったく意識できない心の領域が存在しており、そのため自分で努力してもその部分を意識することができず、完全な無意識状態を作って初めてその部分の意識というものを表面化（意識化）させることができることから、自由連想法をフロイトは応用した。通常の状態では、その人が持つ常識や価値観、倫理観等のために無意識に働く検閲によって意識に上ることが阻止されている心の奥底にある潜在意識を吐き出させ、神経症の真の原因を探ったのである。

ナンシー・C・アンドリアセンはこの自由連想が起こっているときにPET²を用いて被験者の脳を調べると、休んでいるはずの脳の連合野がすべて活性化していることを発見した。さらに、記憶の一つであるエピソード記憶の部位が特に参照されていることを発見したのである。エピソード記憶は、人間が持つ記憶の一つであり図 3-10 の記憶の種類に示すように、言語的記憶と非言語的記憶の二つに分けられるが、時系列的に並んだ一連の出来事からなっている言語的記憶が重要であり、時間空間両面でその人が経験したことを参照できる記憶である³⁰。このエピソード記憶の中には、過去に経験した、本人は既に忘れてしまっているような記憶であってもすべて消えずに蓄えられているといわれている。自由連想が起こり、連合野全体が活性化することで、連合野の中では知識や記憶が相互に応答しあい、相互連絡しあう状態になっており、過去の経験や知識の中で連想・連合・参照・結合が自由に起きている状態になる。事実合うか、常識にあうかといった通常ならば支配している原理原則に服することなく、自分が持つ常識や論理性、倫理観等の検閲なしで連想が進行するのである。

したがって、自由連想が起こることによって、暗黙知や納得できていないで放置されて孤立していた知識や、さらには忘れていた記憶までもが自由に

^{BB} フロイト; Sigmund Freud, 1856~1939.

参照され、関連づけされることが可能になり、通常では思いつかない知識創造が可能になるのである。形式知は誰が見てもよく分かる固定化した知識であるので、自由連想では参照されない意味記憶である（図 3-10）。経験をすることで、その形式知を内面化し暗黙知化させることによって、エピソード記憶の言語的記憶に入れ込むことが可能であり、自由連想が起きたときに参照されるようになる。取り入れた形式知だけでは、自分が経験して創りだした知識でないことから情報量がわずかであり固定化しており応用が効かないが、この形式知を基にして経験をすることで暗黙知化させれば、応用が利くほどに情報量が増え、自由連想が起こったときに役立つようになると考えられる。

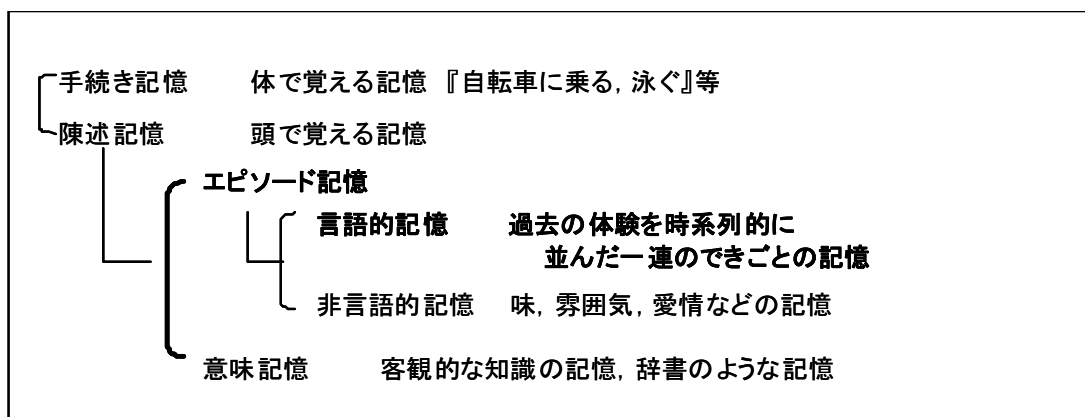


図 3-10 記憶の種類

このように、「ヒラメキ」や「勘」は自由連想が起こることで生まれてくるといえる。このとき、固定化された形式知だけでは「ヒラメキ」は生まれ難く、その形式知の周辺にある暗黙知の中に含まれる経験から得た種々雑多で膨大な情報こそが大切であり、不要と思われるような種々雑多な情報であるからこそ、大胆な発想の転換や「ヒラメキ」や「勘」が浮かぶのであるといえる。

歴史的に有名な天才は表 3-2のようなエピソードを残しており、自由連想を使うことによって素晴らしい結果を残していることがうかがえる。

劇作家のニール・サイモンは、「現実から離れた状態に入り込む」、「意識しているわけではない、まるで詩神が肩に来てとまっているような具合だ」との言葉を残しており、自由連想によって劇の筋書がどんどん湧き出てくると言っている。

モーツアルトは、「私が完全に自分だけになり、まったく一人で気分がいいとき、そういうときに思いつきをもっともたくさん、滑らかに流れでる。全体が全部一緒に聞こえるのだ」との言葉を残しており、彼の作曲は自由連想によりすべてのパートの音符が同時にできていたことを示している。

レオナルド・ダヴィンチは、「最後の晩餐」を描いているときにしばしば休んで、ひどいときには半日以上何もせず考えていたことから依頼人に告げ口されたときの言い訳に、「天才はほとんど働いていないときにもっとも生産していることが多い」と答えている。仲間の一人がキリストを裏切ったことを知ったときの驚きの表情を自由連想で得ようとしていたのである。

湯川秀樹博士は、原子核の中に陽子・中性子がバラバラになることなくひつついておられるのは中間子という素粒子があるからだというのを夢の中で思いついたという。その20年後に夢のとおり中間子が発見された。夢を見るという自由連想の中でこの大発見がなされた。

これら天才達の事例のように、自由連想によって芸術家は作品を創造し、科学者は新しい発見のヒラメキを得ている。

自分が持つ既存の知識の枠内で解が得られずにもがき苦しんでいる科学者は、自由連想のなかでヒラメキを得て、新しい知識創造をなすことができる。

以上のように、脳科学の分野で研究されている自由連想が起こることによって意識はその人が持つ既存の知識の構造とは関係なく、通常従うべき常識や規則にとらわれることなく自由に彷徨い、連想が進行する。この自由連想が起こっている状態では、その人の持つ既存の知識の関連づけや結びつきの枠を超えてすべての知識同士が融合し、論理的に説明できるかどうかは関係なく関連づけられる。暗黙知のみならず、思い出すこともできなかったノイ

ズのような記憶までもが自由連想によって一時的に関連づけられることによってヒラメキが生まれると考えることができる。自由連想が起こっていない普段の状態では、自分が持つ固定観念のために結びつくことがなかった知識や記憶が、自由連想が起こることで簡単に結びつくようになり、まったく新しい知識創造のための「ヒラメキ」・「勘」や発想の転換が生まれ、問題解決のためのヒントが得られるのである。

表 3-2 歴史的天才が残したエピソード

芸術や科学の天才	残されているエピソード
ニール・サイモン ^{CC}	まるで詩神が肩にきてとまっているようだ ³¹
モーツァルト ^{DD}	一人で気分がよいとき、思いつきが最もたくさん流れる ³¹
チャイコフスキー ^{EE}	作曲の萌芽は突然思いがけなくやってくる ³¹
レオナルド・ダヴィンチ ^{FF}	天才はほとんど働いていないときに最も生産している ³¹
ニュートン ^{GG}	りんごが落ちるのを見て、万有引力の法則を思いつく ³³
アインシュタイン ^{HH}	ひらめきから相対性理論の発見 ³⁴
湯川秀樹 ^{II}	中間子の存在を夢の中で思いついた ³⁵

CC ニール・サイモン; Neil Simon, 1927～.

DD モーツァルト; Wolfgang Amadeus Mozart, 1756～1791.

EE チャイコフスキー; Peter Ilyich Tchaikovsky, 1840～1893.

FF レオナルド・ダヴィンチ; Leonardo da Vinci, 1452～1519(ユリウス暦).

GG ニュートン; Sir Isaac Newton, 1642～1727(ユリウス暦).

HH アインシュタイン; Albert Einstein, 1879～1955.

II 湯川秀樹; 1907年～1981年。日本人として初めてのノーベル賞を受賞した。

第3-3節 信頼性技術における知識創造の事例

前節で述べたように、人間の知識とは本質的に暗黙知であるといえ、膨大な量の体験や情報が目的に向かって意味づけられて知識を形成している。ポランニーやゲシュタルト心理学者がいうように、ヒトの意識は常に目的に向かうために、形式知として他人に説明できる知識は人間の持つ知識のほんの一部だということになる。すなわち、知識は明確に関連づけられて論理的に説明できる部分（形式知）だけではなく、暗黙知としてその周辺に膨大な量の情報や体験の記憶が存在し非明示的に関連づけられているのである。それゆえ、暗黙知は新たな情報や体験の入力によって、比較的容易に新たな関連づけ（意味づけ）がなされ知識創造につながる。一方で、形式知は論理的に説明可能な部分だけを抽出してまとめあげたもので固定観念のような知識にすぎないので、それを受け取った人間はそれを脳内で孤立した知識として記憶しており、展開性に乏しい。形式知は何らかの体験を通じて自分の暗黙知と関連づけられて初めて本当の意味で納得した（腑に落ちた）自分の知識となるのであり、野中氏のいう内面化によって暗黙知化され応用可能な知識に変えることができる。形式知を論理的に組み合わせることで得られる知識は既に分かっていることといえなくもなく、厳密な意味では知識創造と呼べない。新たな知識を創る知識創造とは、今までにない意味づけや関連づけを作り上げることであるがゆえに、暗黙知の役割が大きい。特にまったく関連がないと考えられていた事象が結びつく画期的な知識創造においては、脳内の自由連想による「ヒラメキ」や「発想の転換」が大きな役割を果たすことを前節で示した。

本節では、前節までにまとめた上述の知識創造のメカニズムを、半導体の故障メカニズムの解明という実際の事例で証明する。まず第3-3-1項で、この故障が市場で発生した時点から問題解決までの経緯を述べる。第3-3-2項では故障メカニズムを説明し、第3-3-3項で問題解決にいたる知識創造のメカニズムをまとめる。

第3-3-1項 市場故障の発生と問題解決までの経緯

三菱電機の半導体事業は、日本の他の半導体メーカーと同様に、DRAMで大きく発展した。三菱電機は投資規模や開発体制において常に二番手であり、NECや日立や東芝から遅れをとっていた。それでも順調に成長できたのは「品質や信頼性が高く安心できる」との評価を得ていたからであり、ミニコンで世界を制覇したDEC社からは「三菱は開発が遅くて製品を持ってるのがいつも遅いけど、品質・信頼性が高いからベンダー枠を空けてもう少し待ってあげる」とよくいわれたものである。当時、DRAMを最も大量に消費したのはコンピューターであるが、パソコンの市場は未だ大きくなく、メインフレームやミニコンそしてワークステーションがターゲット顧客であった。DRAMの使用数は膨大であるがゆえに、リスク分散の観点から数社からの購入が一般的で、国内でいえば競合関係にある日立やNECや東芝にも納入していた。しかし最大の顧客は海外のコンピューター会社や通信機器会社であり、IBM/HP/シーメンス/DEC/BULL/ICL、あるいはAT&T/NTI/アルカテルといった欧米の超一流企業であった。本論文で取り上げる品質トラブルは我々が上記の一流企業に入り込もうと努力している最中に発生したものであり、解決に向けての必死の活動を通じて「高品質・高信頼性」の評価を得て、顧客からの信頼を逆に得たのである。

三菱電機はDRAM事業を256ビットから開始したが、本格的に人と金を集中しての事業参入は16KビットDRAMからであった。上記のような超一流企業では、DRAMの採用にあたって非常に厳しい評価試験を実施する。HP社の動作エージング試験において、大量の故障が発生したのである。実はその故障発生前に、国内の数社からぱらぱらと同様のモードの故障品が返却されていた。電源ラインのリーク不良であり、あまり詳しく調べもせずに顧客の不適切な取り扱いが原因の破壊であると処理していたのである。当時はMOS型半導体の取り扱いに関する知識が不十分で、顧客における静電気やサージ電流が原因となった破壊が多く発生していた。電源ラインにサージが入ってしまうと、その電力で金属配線やPN接合が破壊され、電源ラインのリーク不良が発生するのである。これらの故障はチップ表面を観察すれば、熱による破壊が図3-11のように明確に確認できるのが常である。ところが、これ

らの返却品では明確な破壊が観察できず、担当者達はおかしいなどは感じていたのである。そこに、HP 社からの大量の故障品の返却であった。HP 社にはなんとか入り込みたいと考えていたので、大騒ぎとなった。

電源リーク不良として、一般的に、二つのモードが考えられた。一つは上述の電源ラインの熱的破壊であり、もう一つは MOSFET の特性劣化による貫通電流の増大である。リーク電流や動作領域の大きさに両者が判別できるのであるが、今回の故障は明らかに熱的破壊が原因と考えられた。しかし、電源入力部で発見されるべき破壊箇所が見つからないのである。破壊箇所の解析を進めるとともに、故障を再現しようということになり、電源電圧を破壊が発生するまで上昇させたり、電源にサージ電流を印加したりして破壊を引き起こした。このような再現実験では常に見慣れた図 3-11 のような破壊となり、今回の破壊は再現できなかった。そんな中で、ついでに実施した DRAM を動作させながら電源電圧を上昇させる実験で、ついに同じモードの破壊が再現できたのである。

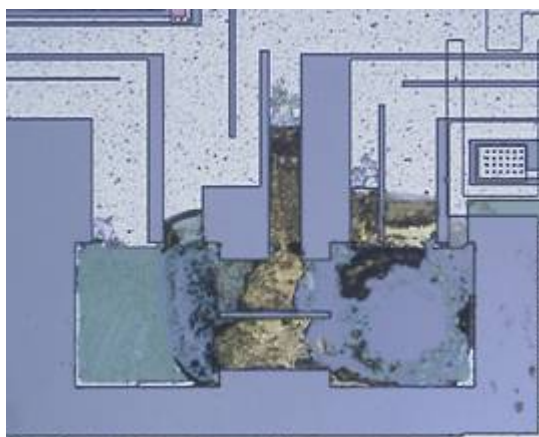


図 3-11 通常のVccでの破壊
大きな電流が流れてアルミ配線が溶融してしまっている

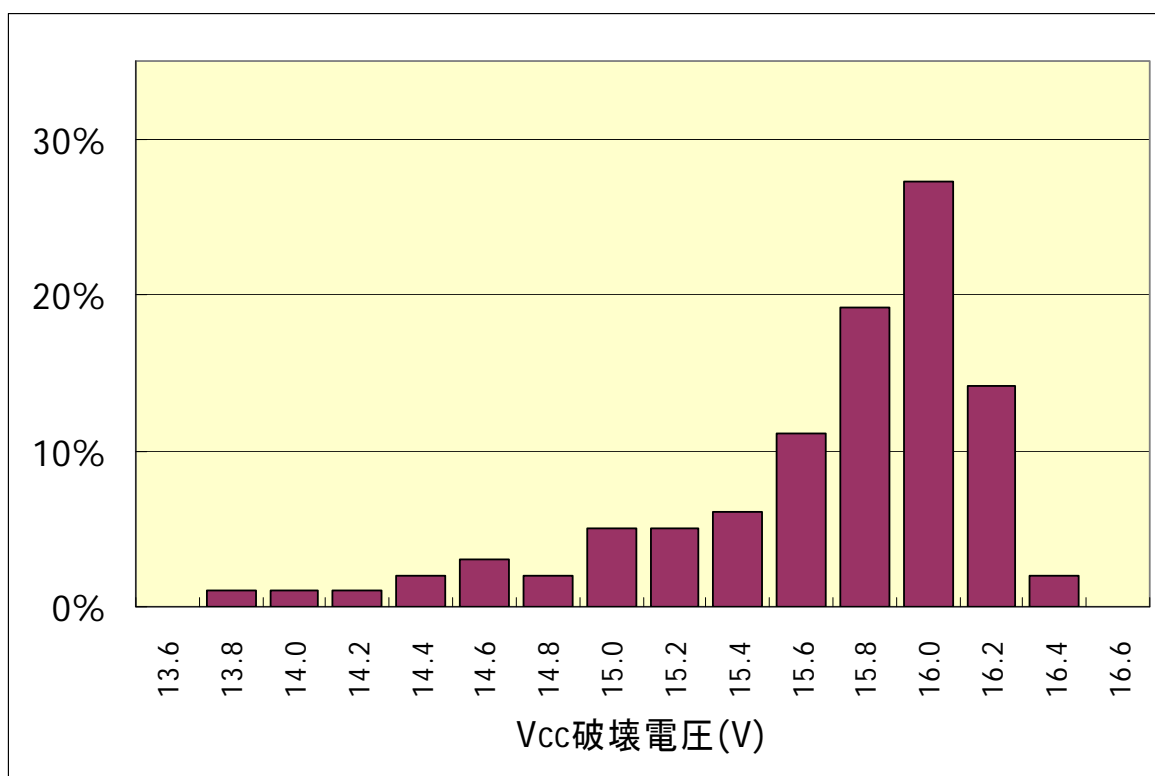


図 3-12 16kDRAMのVcc破壊耐圧分布
DRAMを動作させながらのVcc破壊耐圧

我々はこれを Vcc 破壊と名づけたが、驚くべきことに、保証している Vcc 電圧値からあまりマージンがなかったのである。(図 3-12 この DRAM の定格 Vcc 電圧は Vss 基準で $12V \pm 10\%$ であり、最大 13.2V になる)

慌てて前世代品や他の種々の製品の Vcc 破壊耐量を調べたが、他の製品ではまったく問題がない。この新製品に固有の破壊故障であり、高い電源電圧で動作している場合にのみ発生する特有の破壊メカニズムであるということが判明した。設計グループが前世代品との回路的相違を懸命に検討したが何ら思い当たるところがなく、論理的暗礁に乗り上げた。

一方で、破壊箇所を発見するために、DRAMのチップ上の電源ラインに沿って気が遠くなるような顕微鏡観察が延々と進められた。そして、ついに図 3-13 (A)に示す破壊箇所 (Aluminum bridge) が発見されたのである。電源ラインの拡散層と接地ラインの拡散層が近接する部分であり、すべての故障品において電源ラインから接地ラインへと大電流が流れたことを示す熱的破壊の痕跡が観察された³⁶。問題の箇所は図 3-13 (B)に示すように単にN⁺拡散

層が隣接しているだけの構造であり、寄生的なバイポーラ型のNPNトランジスタを形成している。バイポーラ型NPNトランジスタのエミッター／コレクター間電圧を上いくと、半導体物理から容易に推測されるように、PN接合耐圧で決まる電圧以上で大電流が流れる。その電流により熱的破壊が発生するのは珍しいことではない。そこで、まったく同様の構造を持ったテストサンプル（TEG）で種々の実験を繰り返したが、電流が流れ始める電圧は2倍以上高く、破壊箇所の形状も著しく異なるものであった。今回の故障の電流パスが非常に狭い領域に集中するのに対して、単純に電圧を上げる破壊実験では広い領域に電流が流れるのである。破壊箇所は見つかったものの破壊のメカニズムが分からないので、拡散層間の距離を広げる対策を取ろうにも、どの程度まで広げればよいのか分からない状況であった。故障解析からのアプローチも論理的暗礁に乗り上げてしまったのである。

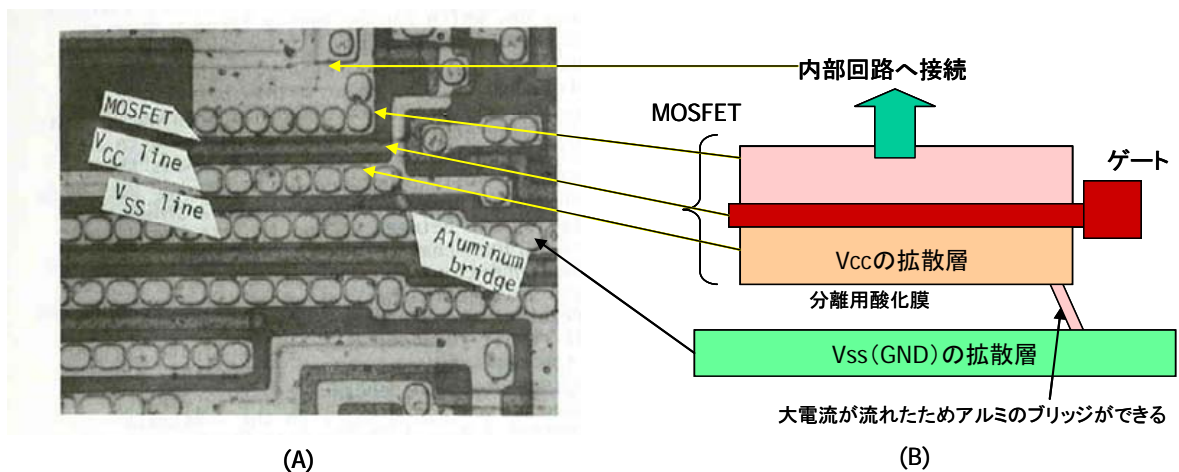


図 3-13 (A) Vcc破壊を起こした場所 (Aluminum bridge)
(B) 破壊が起こった場所のレイアウト図

苦境を救ったのは一人の技術者の体験（暗黙知）であった。彼は日常的業務の合間にホットキャリア現象の研究を続けていたのであるが、今回の故障モードに非常に似ている現象を経験していたのである。研究は多くの

MOSFETが並んでいるTEGを用いておこなうのであるが、ストレスを印加しているMOSFETの周辺のMOSFETが破壊してしまうことがあり、この破壊の症状が非常に似ていたのである。つまり、ソースとドレイン間に電圧が印加されているだけで普通に考えると破壊されるはずがないMOSFETが破壊され、その破壊は集中した電流パスに沿っての熱的破壊であったのだ。この周辺MOSFETの破壊に関して、彼はホットキャリア現象が関与していると推定していた。ホットキャリア実験をしているMOSFETで生成されるホールが回りこんで、周辺MOSFETの基板電位が持ち上がってしまうことによる効果ではないかと考えていたのである。今回の故障が上記と同様のメカニズムで発生しているということには多少の疑問があったが、念のために破壊箇所周辺の回路分析が行われた。あったのである。百マイクロンほど離れた所に大面積のMOSFETが存在し、大量のホールを周辺にばらまいていたのだ。故障メカニズムに関しては次項（第3-3-2項）で詳しく説明するが、電源ライン拡散層が隣接せざるをえない場合は周辺に大面積MOSFETの配置を禁止するという新しい設計基準によりVcc破壊耐量が著しく改善できることが実証され、故障メカニズムが確定されたのである。

第3-3-2項 故障メカニズム

MOSFETにおけるホットキャリア現象については、既に第2-1-5項で述べた。微細化が進むにしたがってドレイン近傍の電界が高くなることで、電子がこの電界に加速され高いエネルギーを得て衝突電離を起こし、多量の電子・ホールを発生させる。第2-1-5項では発生した電子がゲート酸化膜にトラップされることによるMOSFETの電気的特性が劣化することを述べた。一方、多量に発生したホールは、Si基板に流れる基板電流になるが、Si基板には抵抗があるために、基板の表面電位が上昇する。この状態で、図3-14に示すように大量のホールが発生するごく近くにある拡散層であるMOSFETのソースとSi基板とで形成されるpn接合が順方向にバイアスされるように働くことから、ドレインー基板ーソースのn-p-nで寄生的に形成されるBipトランジスタがONする電位配分になり、ドレインーソース間はブレイクダウンする。

この現象は、ホットキャリアが引き起こすMOSFETの耐圧低下現象として、広く知られており形式知になっている。また、この寄生的に存在するBipトランジスタは、ホットキャリア現象に敏感に影響を受けるMOSFET自身に寄生しているからこそ耐圧低下の問題を起こすと考えられていた。しかし、このMOSFETの耐圧低下は大きな問題にはならない。それはLSIの内部回路に使われているMOSFETの場合は、ドレインもしくはソース側に必ず負荷として別のMOSFETや抵抗などが必ず接続されている。したがって、ホットキャリア現象が起こってMOSFETの耐圧が低下しても、電流が制限されて大きな電流が流れて破壊にいたることはない。

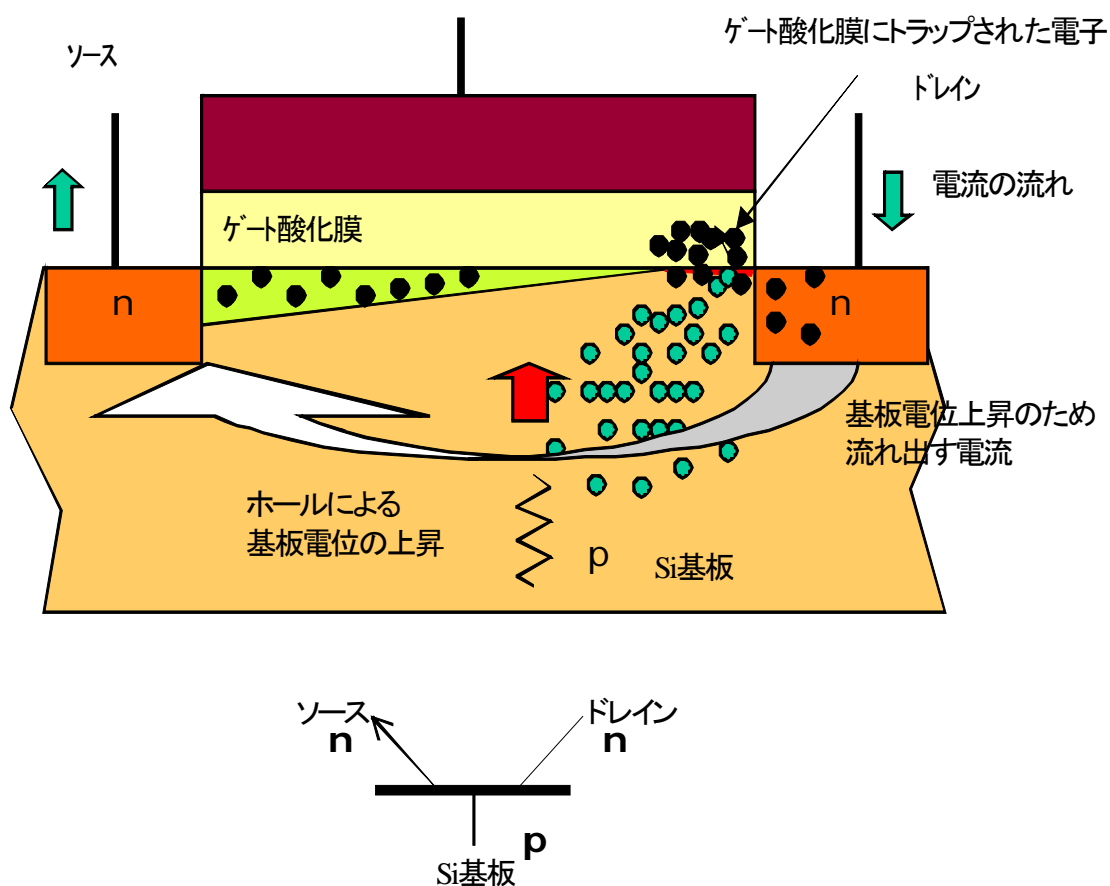


図 3-14 ホットキャリア現象によって引き起こされる寄生Bipアクションによるドレイン-ソース間のブレイクダウン

ここで新しく発見された現象は、ホットキャリアを発生するMOSFETから離れた拡散層での耐圧低下現象である³⁷。LSIの内部では、VccやGNDに直接接続された拡散層はいたる所にある。例えば、図 3-15 は今回のVcc破壊現象の再現実験用に作成したTEGの模式図である。図中DRAIN（ドレイン）は直接Vccに、VssはGNDに接続されており、SOURCE（ソース）は他のMOSFETに接続されている場合を想定したTEGである。このTEGを用いてMOSFETにホットキャリア現象を起こして基板電流を増やしていくと、図 3-16 のようにVssから流れ出る電流（ I_N ）が急激に増加する。この電流パスには電流を制限するものは何もなく、VccからGNDに直接大量の電流が流れるため、結果として大きな破壊にいたる。

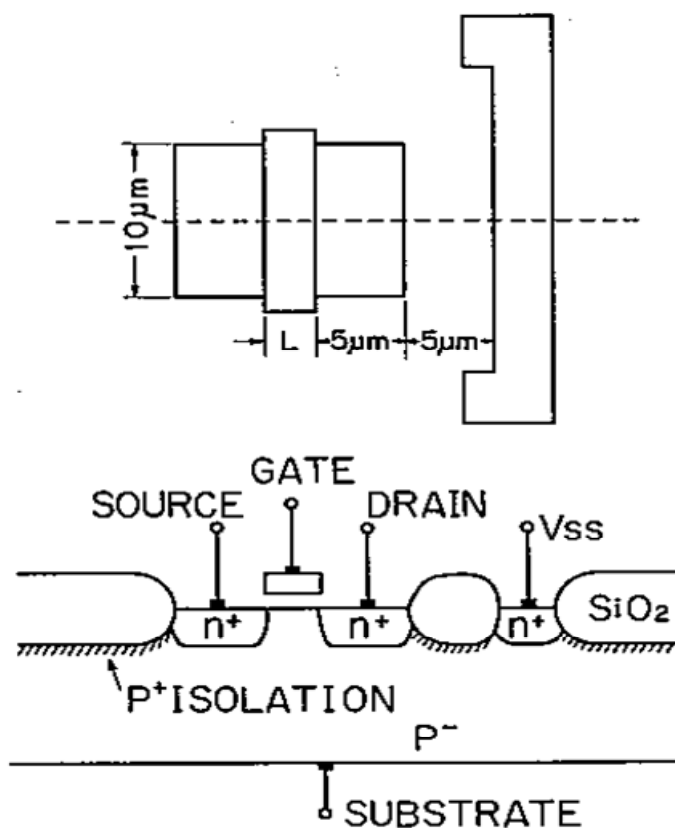


図 3-15 Vcc破壊を再現するためのTEGの上面図と断面図

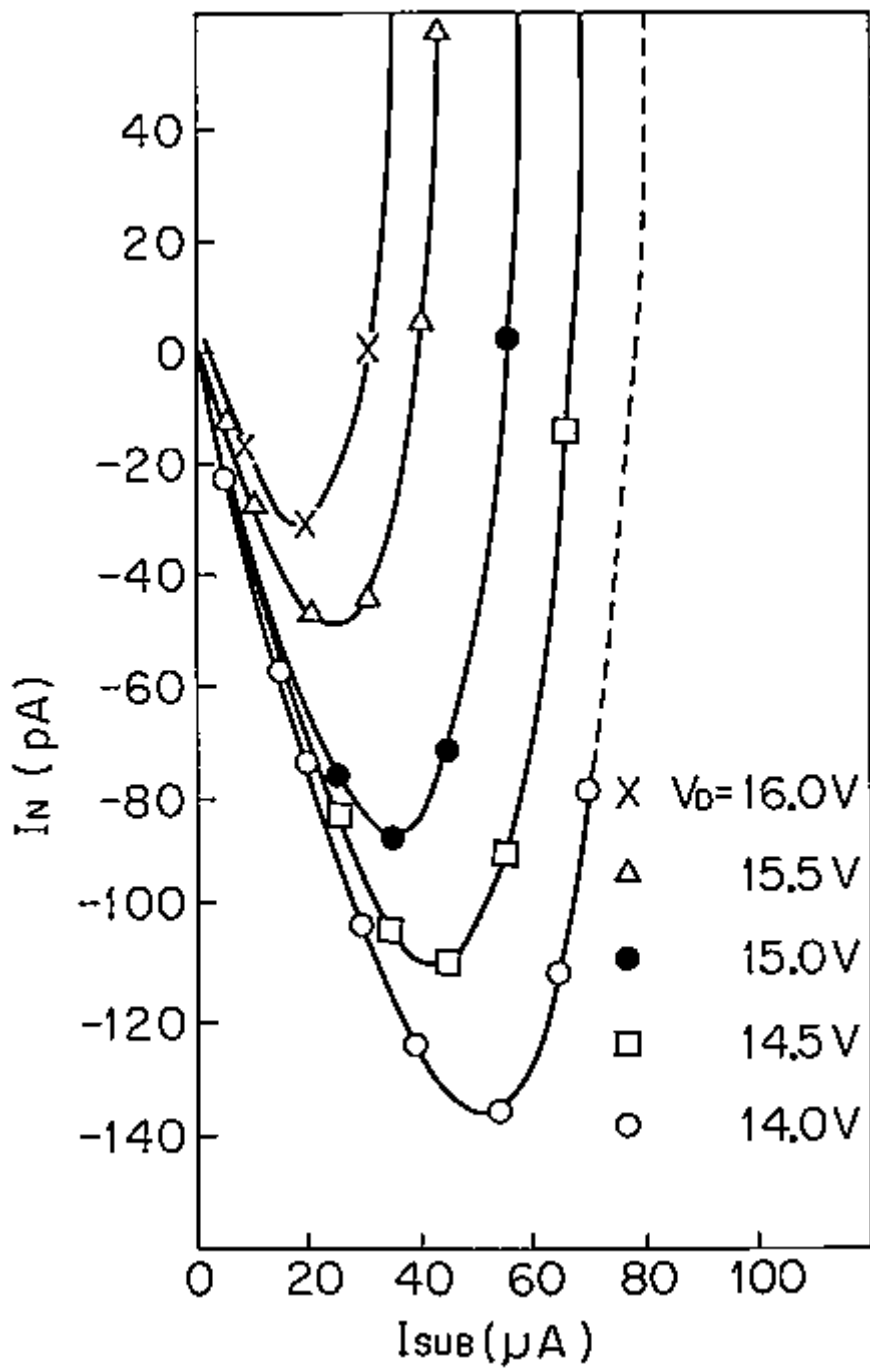


図 3-16 基板電流 I_{sub} と近傍の拡散層 V_{ss} に流れる電流 I_N

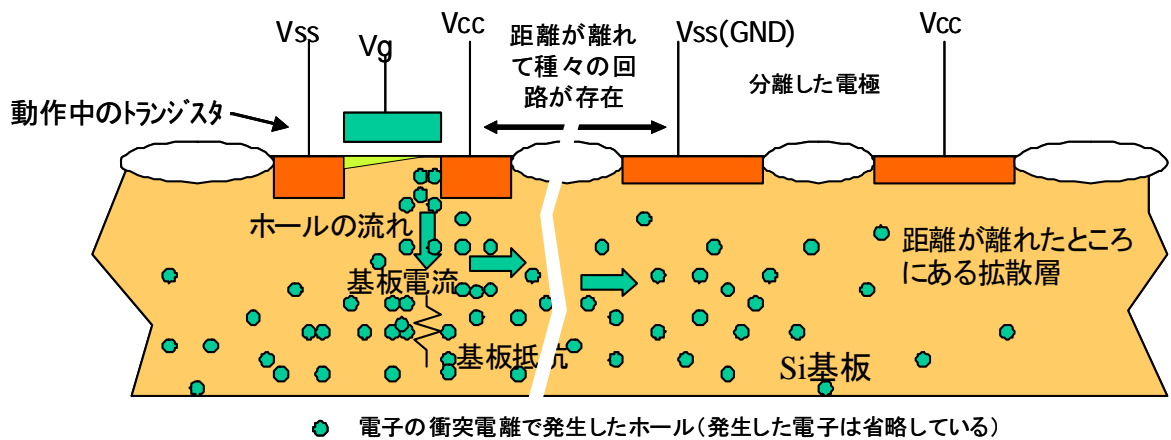


図 3-17 MOSFETのホットキャリア現象で周辺にホールがばらまかれる

実際の LSI では、MOSFET が動作すれば必ずホットキャリア現象が起こり、基板表面電位の変動があるが、問題になるのは大量のホールをまき散らす大きな MOSFET が動作する場合である。例えば電圧を発生させるチャージポンプ回路やクロックドライバ等がそれにあたる。これらの回路では大型の MOSFET を動作させているので、図 3-17 に示すようにこの回路周辺では大量のホールがばらまかれている。基板の表面電位や V_{cc} 電圧の変動等によって、ある閾値を超えると図 3-18 のように、突然 V_{cc} 破壊が起こる。

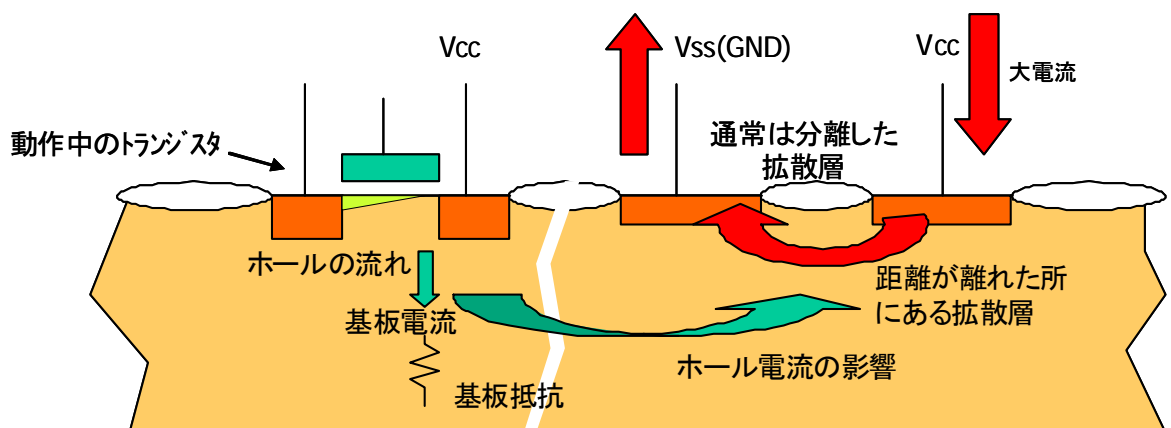


図 3-18 MOSFETのホットキャリア現象によるVcc破壊

第3-3-3項 知識創造のプロセス

第 3-3-1 項で経緯を説明したが、Vcc破壊現象のメカニズム解明は既に判明している形式知の組み合わせや論理的展開では困難であった。必要とされる形式知はホットキャリア現象であるが、この破壊現象（Vcc破壊）と関係すると想像するには困難があったからである。形式知は論理的であるがゆえに一般的に固定観念化されており、明確な条件や場面を想定するのが常である。ホットキャリア現象に関していえば、それはチャネル長が短くなったMOSFET内部の問題として創造された形式知である。その形式知を学んだだけの個人が、まったく関係のない離れた回路に影響を及ぼすと考えるには無理がある。そういった一見関連のない形式知を関係づけるには、何らかのきっかけ（ヒラメキ）が必要となるのである。

本事例の場合は、Vcc 破壊現象のメカニズム解明に苦しんでいる技術者が、過去にホットキャリア現象を研究していたことが役立ったのである。研究中に経験した種々の現象やデータはこのエンジニアの形式知の周りに暗黙知として蓄積されており、この中にホットキャリア現象を評価している MOSFET の周辺に存在する MOSFET が不可解なことにストレス印加されていないのに破壊してしまうという現象が含まれていた。この破壊の状態が Vcc 破壊に似ていたのであるが、関連性に気づくことなく、ユーザーに回答を迫られる中で、再現実験や過去に経験した形式知から論理的な説明が可能かどうかを懸命になって探っていたのである。その答えが見い出せないで苦しんでいるときに、彼の脳が無意識の状態に放置され自由連想が起こったのである。自由連想が起これば、前節で述べたように、過去の記憶や暗黙知が自分の意志に関係なく自由に参照され、関連づけされることから、ホットキャリア評価中に破壊した周辺 MOSFET の症状が似ていることに気づいたのである。これが「ヒラメキ」である。ひとたび「ヒラメキ」が得られれば、それがきっかけとなってホットキャリア現象の形式知と問題となっている破壊現象とを関連づけることが可能となり、DRAM における Vcc 破壊の故障メカニズムを解明することができたのである。

第4章 団塊世代の技術者・研究者の活用

前章までで科学技術的分野においても暗黙知が重要な役割を果たしていることを示した。本章では、団塊世代へのアンケート調査を基にして、団塊世代の技術者・研究者の持つ暗黙知を活用できる仕組みを提案する。

まず第4-1節で、半導体技術者に対するアンケート調査を基に、日々の仕事の中で、ヒラメキや勘のような暗黙知を使うことで日々の仕事のなかで成果をだしているかを分析した。次に、第4-2節では半導体技術者が持つ定年退職後の生活への希望を調査し、さらに団塊世代の様々な分野の職種の人達へ「仕事に対する考え」についてアンケート調査結果の分析をおこない、技術職と営業・事務職他とでは仕事への考えが異なることを明らかにして、現在、各企業が取っている定年退職者の知識消失対策が、技術者・研究者には有効でないことを示す。最後に第4-3節では、半導体ユーザーへのアンケート調査を基に、半導体故障発生時の半導体ベンダーの対応には満足しておらず、半導体の品質・信頼性サービスをおこなう第三者機関を希望していることを示し、定年退職する団塊世代の半導体技術者の暗黙知を活用した、新しい仕組みを提案し、その有効性を検討する。

第4-1節 半導体技術者の暗黙知活用の調査

第2章、第3章で、形式知が重要視される科学技術的知識の分野である半導体技術に従事する技術者・研究者であっても、暗黙知の役割は重要であることを示した。本節では、次の二種類（質問Ⅰと質問Ⅱのグループ）のアンケート調査を実施し、半導体技術者は日々の仕事の中でヒラメキや勘のような暗黙知を役立てていることを明らかにする。

まず、半導体技術者・研究者が持つ暗黙知に関連する言葉として、イメージ／勘／過去の経験／ヒラメキ／ノウハウの五つを選んで日々の仕事をする中で使うことがあるかどうかの質問をした。（全体の質問票は本章末のAppendix IIに掲載している）

質問 I -1;あなたは日ごろ仕事を進める上で、仕事のイメージを描きそのイメージに沿って仕事をすることがありますか。あてはまるものをひとつだけ選んでお知らせください。(ひとつだけ)

① イメージ (よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

質問 I -2;普段仕事をする上で、以下にあげることが役に立ったことがありますか。(それぞれひとつだけ)

② 勘 (よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

③ 過去の経験 (よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

④ ヒラメキ (よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

⑤ ノウハウ (よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

①～⑤の言葉の定義は大辞泉によるが、半導体の信頼性に従事する技術者が受け取る意味は次のとおりであると筆者は考える。いずれの項目も過去の体験から作られるものであるといえ、形式知ではなく暗黙知である。

①イメージ;心に思い浮かべる像や情景。ある物事についていづく全体的な感じ。形象。印象。また心の中に思い描くこと (大辞泉)

こんな状況であれば全体としてこのような感じで、こんな結果になるはずだとの全体のイメージをはじめに持ってそのイメージに沿って仕事を進める。ある程度経験を積んだベテランでないとできない。

②勘;理屈では説明がつかない、鋭く本質をつかむ心の働き。(大辞泉)

ある特定の初めて経験する場面であるが、過去にもこんなことがあったような気がすると思ったとたん、こんなことになるかも知れないとふと湧き出てくる思い。

③過去の経験;実際に見たり、聞いたり、行ったりすること。また、それによって得られた知識や技能など。(大辞泉)

自分もしくは親しい同僚が具体的に過去に経験した事柄を参考にすること。しかし、過去の経験と似ているかどうかの判断は非常に主観的である。(過去のトラブル集のようなデータベースを各社持っているが、それとは関

係なく、非常に個人的な身に染みついた過去の経験という意味である。)

④ヒラメキ；素晴らしい考えなどが瞬間に思い浮かぶこと。直感的な鋭さ。

(大辞泉)

ヒラメキはまったく突然閃くように頭に浮かぶこと。何故浮かんできたのか理由はわからない。

⑤ノウハウ；ある専門的な技術やその蓄積のこと。技術競争の有力な手段となり得る情報・経験。(大辞泉)

半導体製造会社のエンジニア部門では形式知化したノウハウ集とかノウハウを加味したチェックシートなどを持っているが、それらとは異なる非常に個人的なノウハウ。こういうときにはこうするものだといったきわめて曖昧なノウハウで、何故そうなのかは決して説明できないもの。

次に、日々の仕事の中で大きな成果を出した経験があるかどうかの質問である質問Ⅱグループ(質問Ⅱ-1と質問Ⅱ-2)を以下のようにおこなった。

質問Ⅱ-1;あなたは以下にあげる仕事において難局を打開したことがありますか。(それぞれひとつだけ)

(a)故障解析の方法について

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(b)故障品の故障メカニズムの推定について

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(c)故障品の故障再現方法について

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(d)故障品の故障率推定について

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(e)故障発生への対策方法について

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(f)ユーザーへの故障品についての説明方法について

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

調査対象者は、半導体の現役の品質・信頼性の技術者であるので、質問内容が半導体用語を用いているため以下に質問内容の解説をする。質問Ⅱ-2についても同様に解説している。

【質問の解説】

- (a) 故障解析の方法について；故障品をどの装置を用いて、どのように解析するかで困ったとき、良い方法を思いついたことを経験したことがあるかどうかの質問。
- (b) 故障品の故障メカニズムの推定について；故障の症状から原因までは分かったが、故障原因を起こす故障メカニズムが分からなかったときに、うまく解明できた経験があるかどうかの質問。
- (c) 故障品の再現方法について；ユーザーでの故障品を返却されたが、なかなか故障が再現できずに困っていたときに、うまく再現する方法を見つけた経験があるかどうかの質問。
- (d) 故障品の故障率推定について；故障品の故障メカニズムまで究明できたが、市場で発生する故障率を推定するにあたって困っていたときによい方法を見つけた経験があるかどうかの質問。
- (e) 故障発生の対策方法について；故障発生の究明はできたが、故障発生の対策方法をどうするかで困っていたときに、良い方法を見つけた経験があるかどうかの質問。
- (f) ユーザーへの故障品についての説明方法について；ユーザーから返品された故障品の究明まではできたが、ユーザーへどのように説明すればよいか困っていたときに、良い方法を見つけた経験があるかどうかの質問。

質問Ⅱ-2;以下にあげる仕事についてあなたのご経験をお知らせください。(それぞ

れひとつだけ)

(イ) 半導体製品の故障品(半導体ユーザーで発生した故障品、自社での信頼性試験で発生した故障品など)の原因究明

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(ロ) 半導体設計のデザインレビュー会議で大きな成果を上げたこと

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(ハ) 開発品の量産移行可否判定会議で大きな成果を上げたこと。

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(ニ) 出荷判断等で大きな損失を防いだこと

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

(ホ) ユーザーへの納入を急ぐ製品出荷判断で、テスト結果などの異常を見つけてユーザーで発生する故障を未然に防いだこと。

(よくある、ときどきある、分からない、あまりない、まったくない)

【質問の解説】

(イ) 半導体製品の故障品(半導体ユーザーで発生した故障品、自社での信頼性試験で発生した故障品など)の原因究明；故障した半導体の故障の症状から推定して解析を進めたが、その症状を起こす原因を突き止めることで困っていたときに、うまく原因を突き止めることができた経験があるかどうかの質問。

(ロ) 半導体設計のデザインレビュー会議で大きな成果を上げたこと；半導体製品を開発する途中で、正しく設計できているかどうかを評価するデザインレビュー会議において、設計に問題があることを指摘した経験があるかどうかの質問。

(ハ) 開発品の量産移行可否判定会議で大きな成果を上げたこと；半導体製品の開発最終段階で、その時点までに収集したデータを集めて、開発段階から量産段階に移行しても問題ないかを審議する量産移行可否判定会議で、確認漏れもしくは問題があると指摘した経験があるかどうかの質問。

(ニ) 出荷判断等で大きな損失を防いだこと；開発途中品や通常ならば出荷できない半導体製品（例えば、正規のフローで製造していない等で十分な品質保証ができていない製品等）をどうしても出荷しなければならないときに、ユーザーに出荷しても良いかどうかを判定する出荷判定会議で、問題があることを指摘してユーザーで発生する故障（損失と呼ぶ）を未然に食い止めた経験があるかどうかの質問。

(ホ) ユーザーへの納入を急ぐ製品出荷判断で、テスト結果などの異常を見つけてユーザーで発生する故障を未然に防いだこと；ユーザーへの納期遅延が起り急いで出荷しなければならないときに、誰も見つけていなかったテスト結果の異常を発見して、ユーザーで発生するだろう故障を未然に食い止めた経験があるかどうかの質問。

質問Ⅰのグループは①～④の暗黙知に関連する項目をあげて、日頃使っているかまたは役に立ったことがあるかの質問をし、質問Ⅱのグループは、(a)～(f)と(イ)～(ホ)で過去に仕事の上で難局を打破したことがあるか、もしくは大きな成果を上げた経験があるかを質問している。それぞれ質問Ⅰと質問Ⅱは独立に質問しており、暗黙知に関連する項目を経験した技術者が、成果をどれほど上げているかの相関関係を調査することが目的であり、相関の係数が高ければ、日頃半導体技術者は暗黙知を役立てているかを知ることができる。

アンケート調査の対象者の職種は半導体製造の品質保証や信頼性の技術者であり、合計54人である。アンケートは2009年3月31日～4月6日にインターネットアンケート形式で実施した。半導体製造会社での勤続年数は図4-1に示すように93%の人達が30年以上の半導体経験を積んでおり、半導体に関する暗黙知を十分に持った人達であると考えられる。

また、年齢は50才以上が84%であり、50才未満の人も46才以上であった。

【Q.10】 B001 あなたが学校を卒業してからの勤続年数をお知らせください。（ひとつだけ）

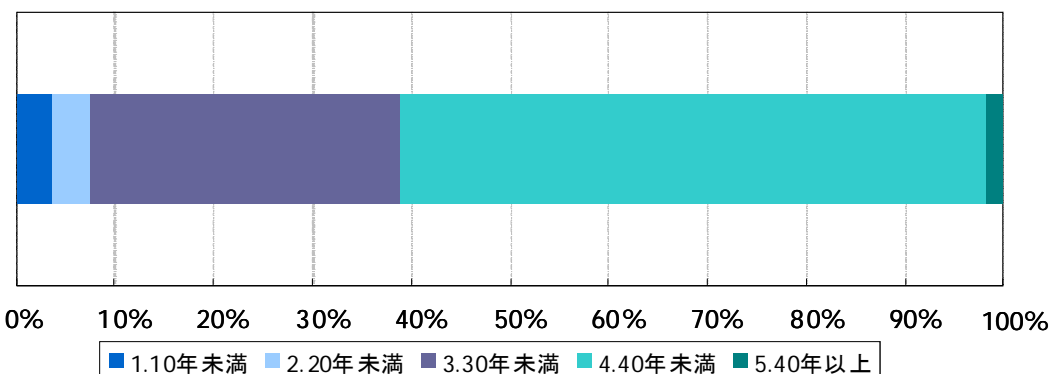


図 4-1 回答者の勤続年数

質問 I に対する回答の集計結果は、図 4-2、図 4-3 のようになった。この結果を「よくある」と「ときどきある」と回答した人の割合を表 4-1 にまとめて示す。

表 4-1 暗黙知に関する項目の「よくある」と「ときどきある」の割合

項目	よくある	よくある+ときどき
1 「イメージ」を描く	83.3%	98.1%
2 ご自身の「勘」	37.0%	85.2%
3 ご自身の「過去の経験」	77.8%	100.0%
4 ご自身の「ヒラメキ」	31.5%	87.0%
5 ご自身が身につけた「ノウハウ」	66.7%	98.1%

「勘」では 85.2%、「ヒラメキ」では 87%の人達が「ときどき」もしくは「よくある」を選択している。また、「イメージ」を描くも 98.1%、「過去の経験」では 100%の高い率である。

次に、日頃の仕事での成果に関する質問であるが、図 4-4 は質問 II-1 の仕事の難局を乗り越えた経験に関する質問の結果である。図 4-5 は質問 II-2 の仕事で大きな成果を上げた経験に関する質問に対する回答である。

【Q.1】B001 :あなたは日ごろ仕事を進める上で、仕事のイメージを描きそのイメージに沿って仕事をすることがありますか。あてはまるものをひとつだけ選んでお知らせください。(ひとつだけ)

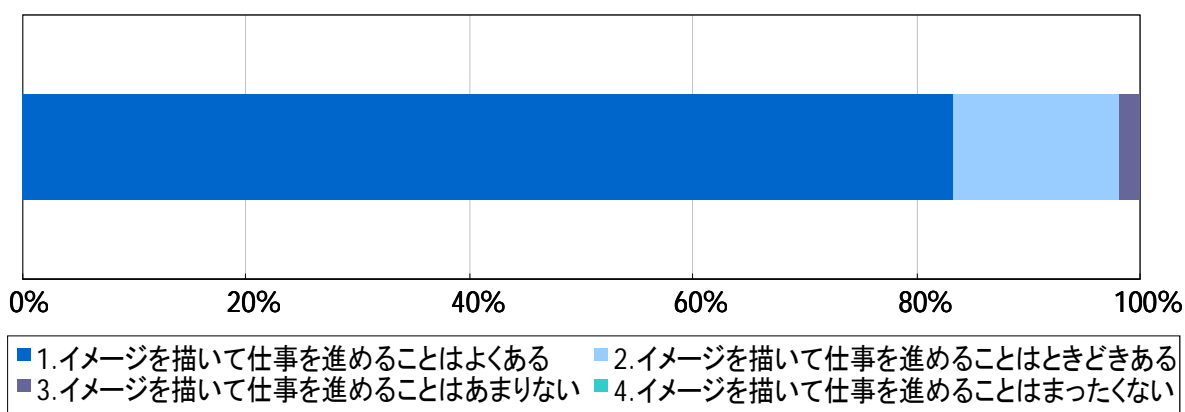


図 4-2 質問 I -1 イメージを描きそのイメージに沿って仕事をすることがありますかの回答

【Q.2】B001 :普段仕事をする上で、以下にあげることが役に立ったことがありますか。(それぞれひとつだけ)

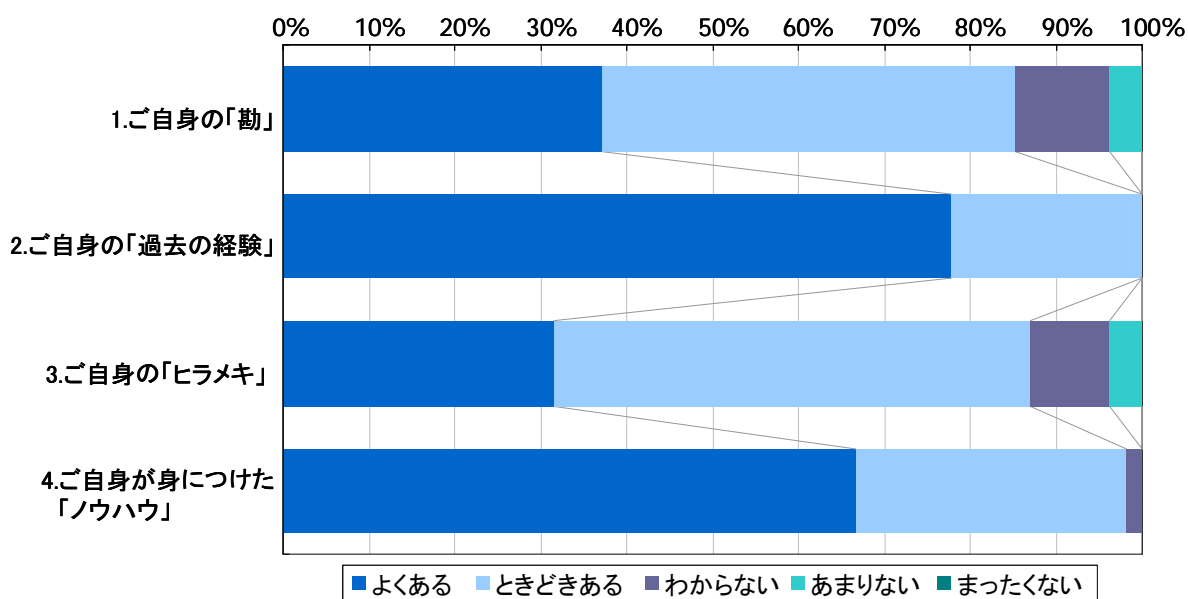


図 4-3 質問 I -2の回答集計結果

【Q.3】B001 : あなたは以下にあげる仕事において難局を打開したことがありますか。(それぞれひとつだけ)

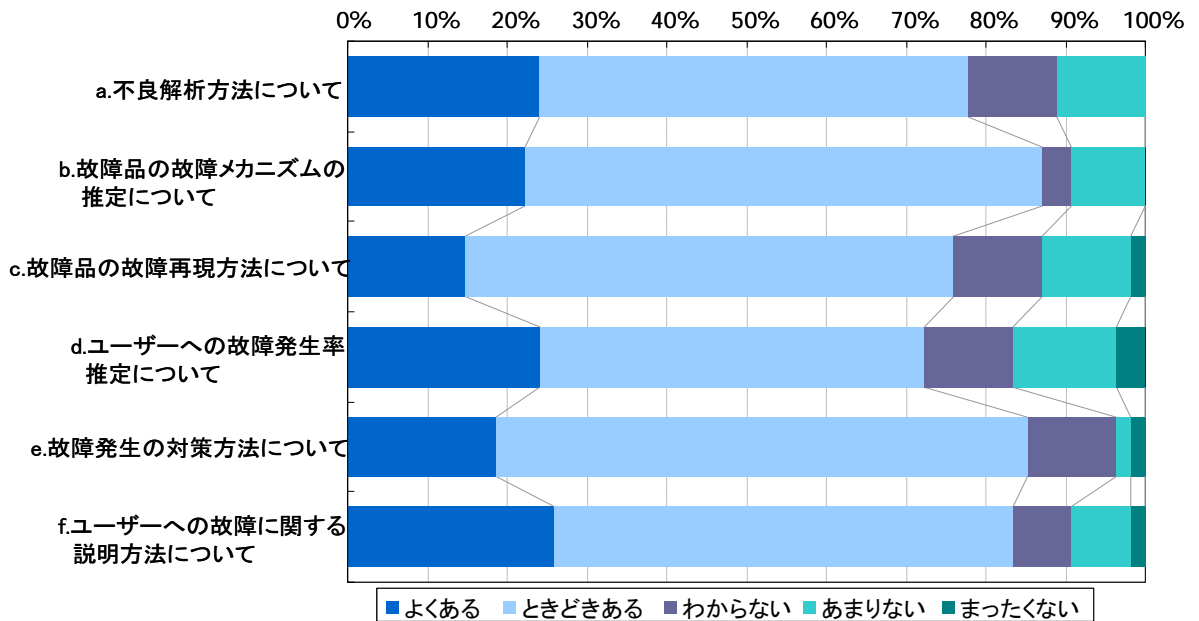


図 4-4 質問Ⅱ-1の回答集計

【Q.4】B001 : 以下にあげる仕事についてあなたのご経験をお知らせください。(それぞれひとつだけ)

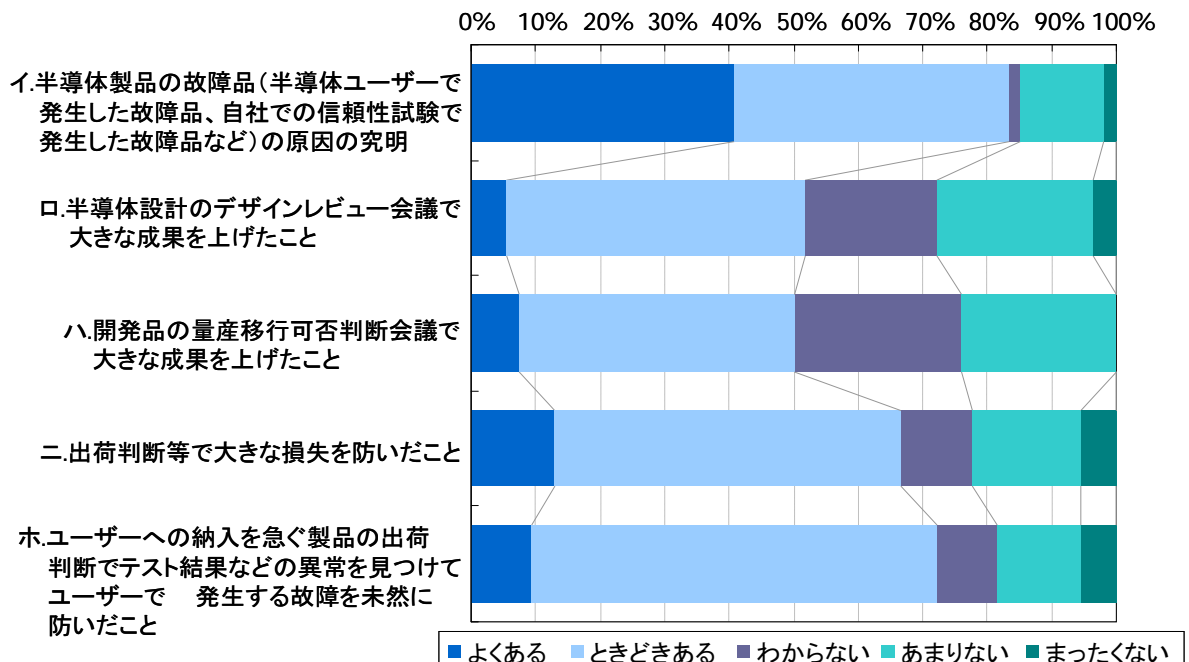


図 4-5 質問Ⅱ-2の回答集計

表 4-2 質問Ⅱ-1の集計

項目	よくある	よくある+ ときどきある
a.故障解析方法について	24.1%	77.8%
b.故障品の故障メカニズムの推定について	22.2%	87.0%
c.故障品の故障再現方法について	14.8%	75.9%
d.ユーザーへの故障発生率推定について	24.1%	72.2%
e.故障発生の対策方法について	18.5%	85.2%
f.ユーザーへの故障に関する説明方法について	25.9%	83.3%

質問Ⅱ-1の回答で、「よくある」と「ときどきある」の集計を表4-2に示す。勤続年数が長いベテランの技術者であることから、(a)～(f)項目で「よくある」もしくは「ときどきある」と答えた人はすべて70%を超える。中でも故障メカニズムの推定では、87%になる。

質問Ⅱ-2の回答で、「よくある」と「ときどきある」の集計を表4-3に示す。(イ)の「故障品の原因究明」の項目で「よくある」が40.7%にあり、ときどきある」も加えると83.3%になっている。(ホ)の出荷判断で故障の未然防止も高い値になっている。

表 4-3 質問Ⅱ-2の集計

項目	よくある	よくある+ ときどきある
イ.半導体製品の故障品の原因の究明	40.7%	83.3%
ロ.半導体設計のデザインレビュー会議で大きな成果を上げたこと	5.6%	51.9%
ハ.開発品の量産移行可否判断会議で大きな成果を上げたこと	7.4%	50.0%
ニ.出荷判断等で大きな損失を防いだこと	13.0%	66.7%
ホ.ユーザーへの納入を急ぐ製品の出荷判断で、テスト結果などの異常を見つけてユーザーで発生する故障を未然に防いだこと	9.3%	72.2%

それぞれ独立におこなった質問 I と質問 II の回答を使って、相互にどのような関連があるのかを分析するために SPSS を用いて、まず相関係数（数字は 1~0 であり、1 に近い値ほど相関が強い）と有意確率を求めた。その結果を図 4-6 に示す。図中には相関係数が 1%水準で有意な項目には**を、5%水準で有意な項目には*を相関係数に付加してある。

日頃「ヒラメキ」が役に立つことがあると答えている人達では、「故障解析方法を見つける」、「故障メカニズムの推定」、「故障の未然防止」の項目において強い相関がある結果が得られ、さらに「故障の再現方法」、「故障発生率の推定」、「故障品の原因究明」、「デザインレビュー会議での成果」の項目においても高い相関がある。また、「勘」においても 11 項目中 6 項目で高い相関が得られた。逆に成果を上げている項目から見ると、「故障解析方法」、「故障メカニズムの推定」、「故障品の原因究明」、「デザインレビュー会議での成果」、「故障の未然防止」などで暗黙知の項目に強い相関がある。

n=54

		故障解析法	故障メカニズムの推定	故障再現方法	故障発生率の推定	故障発生時の対策方法	故障に関する説明	故障品の原因究明	デザインレビュー会議での成果	量産移行可否判断会議での成果	出荷判断での損失防止	故障の未然防止
イメージ	Pearson の相関係数	.196	0.323*	.028	.223	.048	.135	.396**	.366**	.247	.165	.116
	有意確率 (両側)	.155	.017	.840	.105	.733	.331	.003	.007	.072	.233	.404
勘	Pearson の相関係数	.323*	.272*	.091	.368**	.072	.139	.097	.297*	.147	.217	.338*
	有意確率 (両側)	.017	.046	.514	.006	.607	.314	.484	.029	.288	.115	.012
過去の経験	Pearson の相関係数	.296*	.449**	.203	.046	-.014	.089	.334*	.182	.290*	.173	.039
	有意確率 (両側)	.030	.001	.141	.740	.923	.523	.014	.187	.034	.210	.779
ヒラメキ	Pearson の相関係数	.535**	.543**	.307*	.306*	.178	.203	.323*	.327*	.201	.371**	.436**
	有意確率 (両側)	.000	.000	.024	.024	.197	.141	.017	.016	.144	.006	.001
ノウハウ	Pearson の相関係数	.212	.363**	.177	.182	.081	.187	.219	.177	.286*	.128	.139
	有意確率 (両側)	.123	.007	.201	.187	.561	.175	.111	.202	.036	.357	.316

*. 相関係数は 5% 水準で有意 (両側) です。

** . 相関係数は 1% 水準で有意 (両側) です。

図 4-6 質問 I、II の相関係数

次に、質問 II の半導体信頼性技術分野の仕事で成果を上げた人が、質問 I で暗黙知を使うと答えた人とどの程度相関があるかを、重回帰分析をおこなった。ただし、成果の項目との相関係数が比較的低い「ノウハウ」は省略した。分析は、AMOS の飽和モデルを用いて重回帰分析を用いた。図 4-7 に示すモデル図を用いて分析した。

このモデルは、「イメージ」、「勘」、「過去の経験」、「ヒラメキ」という暗黙知に関する要因四つがそれぞれ相互に影響を受けながら（あるいは影響を与えながら）、各々の要因が、11項目の仕事の成果にどの程度つながっているか（関係しているか、もしくは各要因が影響を及ぼしているか）の強弱を数量化するモデルである。

図 4-7 のモデルは下記の数式で表される。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + b$$

y：仕事の成果

a₁～a₄：各暗黙知の偏相関係数

x₁：ヒラメキ

x₂：過去の経験

x₃：勘

x₄：イメージ

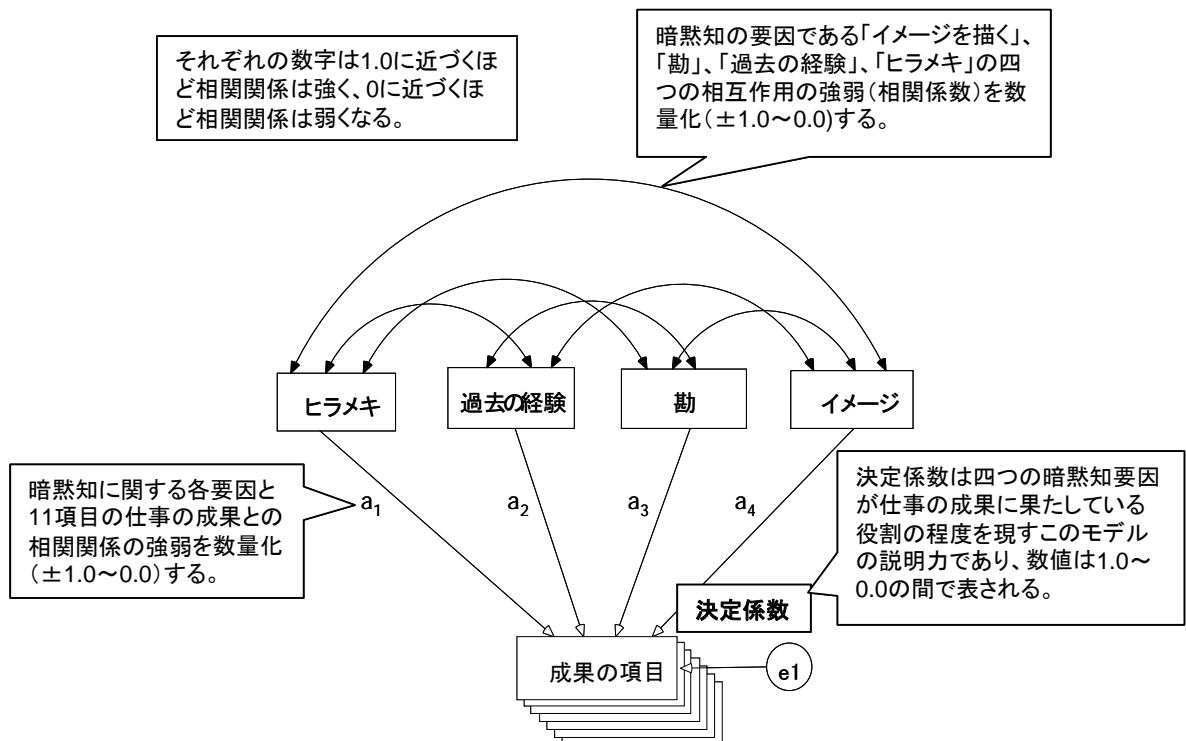


図 4-7 半導体技術者の暗黙知生成モデル (AMOSによる重回帰分析)

以下に仮説を設定し、支持されるかどうかを分析した。

仮説 1 の設定

「故障解析の方法」を見つける技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

項目		項目	相関係数
イメージ	<-->	ヒラメキ	0.20
ヒラメキ	<-->	過去の経験	**0.291
イメージ	<-->	勘	**0.324
過去の経験	<-->	勘	**0.128
ヒラメキ	<-->	勘	***0.608
イメージ	<-->	過去の経験	0.18

*10%水準で有意
 **5%水準で有意
 ***1%水準で有意

図 4-8 暗黙知の各要因間の相関係数

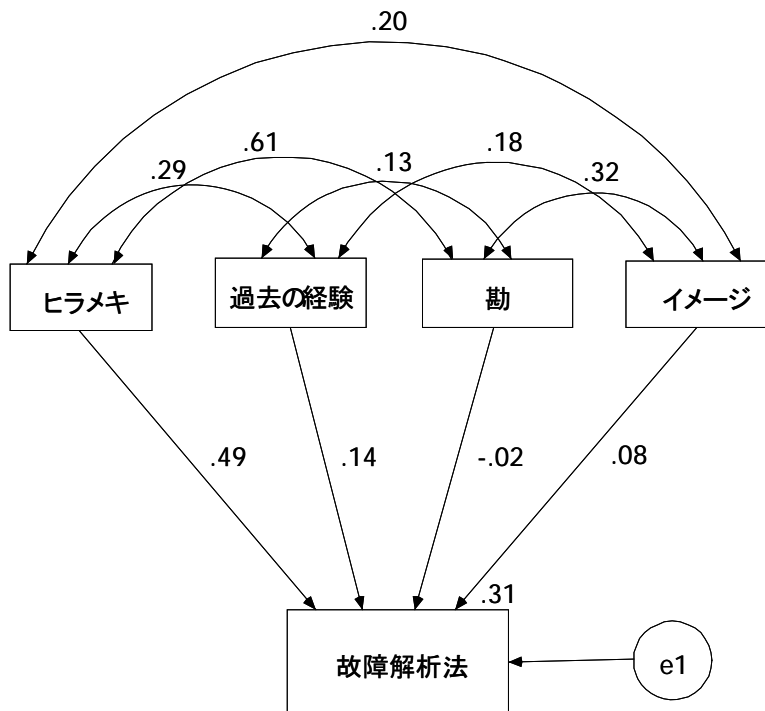


図 4-9 「故障解析方法」の重回帰分析結果

係数 (モデル番号 1)		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障解析法	← ヒラメキ	0.595	0.181	3.284	0.001
故障解析法	← 過去の経験	0.302	0.258	1.17	0.242
故障解析法	← 勘	-0.021	0.172	-0.123	0.902
故障解析法	← イメージ	0.157	0.249	0.628	0.53
相関係数 : (モデル番号 1)					
故障解析法	← ヒラメキ	0.49			
故障解析法	← 過去の経験	0.141			
故障解析法	← 勘	-0.018			
故障解析法	← イメージ	0.077			
重相関係数の平方:(決定係数 モデル番号 1)					
故障解析法		0.313			

図 4-10 「故障解析方法」の重回帰分析の統計量

暗黙知に関する項目間の相関係数を図 4-8 に示し、「故障解析法」に関する重回帰分析結果を図 4-9 に示し、統計量を図 4-10 に示す。モデルの説明力を表す決定係数は 0.31 であり、このモデルで「故障解析方法」の 31%は四つの暗黙知でなされていることを示しており、高い値である。また、「ヒラメキ」との相関係数は 0.49 と特に高い値を示しており、さらに図 4-10 に示すように「ヒラメキ」の確率は $p < 0.01$ (1%水準で有意) であり、「故障解析方法」に大きな影響を及ぼしていることが統計的にも明らかであることを示している。一方、「勘」の「故障解析法」への直接効果は -0.02 でありほとんど影響力はないといえるが、「勘」と「ヒラメキ」の相関係数は 0.61 と他の要素と比べて非常に高い値であり、「勘」は間接的に「故障解析法」に対して影響を及ぼしていることが分かる。これは、「勘」が働いて「ヒラメキ」が起こるからであるといえ、仮説は支持されたと考える。

仮説 2 の設定

「故障メカニズムの推定」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている

「故障メカニズムの推定」に関する重回帰分析結果は図 4-11、図 4-12 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数が 0.43 であることから、このモデルで「故障メカニズムの推定」の 43%は暗黙知によってなされていることを示している。また、「ヒラメキ」、「過去の経験」、「イメージ」の三つの相関係数が大きな値であり、特に、「ヒラメキ」の相関係数は 0.50 であり、その影響力が大きく現れている。さらに、図 4-12 に示されるように「ヒラメキ」の確率は $p < 0.01$ (1%水準で有意)、「過去の経験」の確率は $p < 0.05$ (5%水準で有意)、「イメージ」の確率は $p < 0.1$ (10%水準で有意) であり、これらの要因が強く影響を及ぼしていることが統計的にも明らかであることを示している。よって仮説を支持しているといえる。

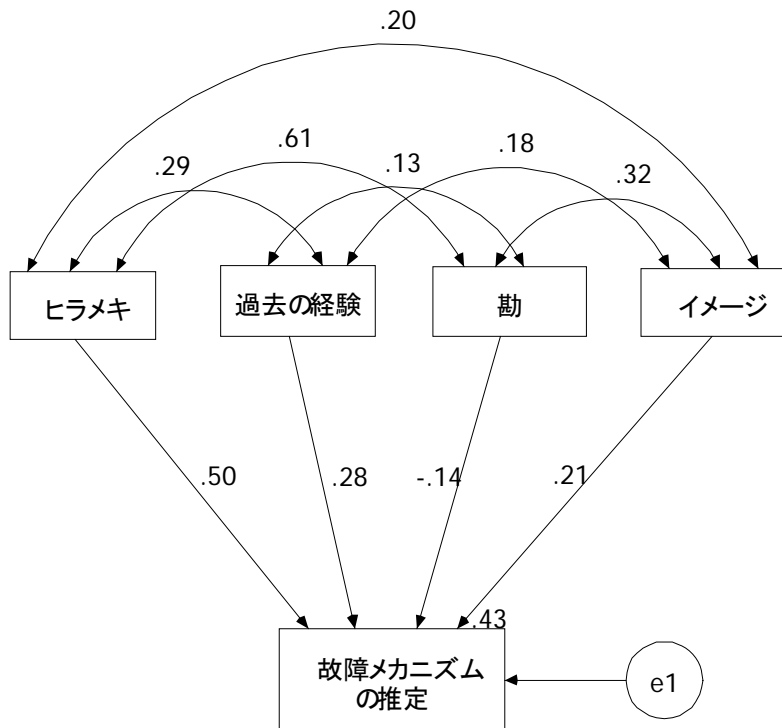


図 4-11 「故障メカニズムの推定」の重回帰分析結果

係数: (モデル番号 1)

		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障メカニズムの推定	← ヒラメキ	0.545	0.147	3.696	***
故障メカニズムの推定	← 過去の経験	0.537	0.21	2.562	0.01
故障メカニズムの推定	← 勘	-0.143	0.14	-1.02	0.307
故障メカニズムの推定	← イメージ	0.392	0.203	1.933	0.053

相関係数 (モデル番号 1)

	推定値
故障メカニズムの推定 ← ヒラメキ	0.502
故障メカニズムの推定 ← 過去の経験	0.282
故障メカニズムの推定 ← 勘	-0.139
故障メカニズムの推定 ← イメージ	0.214

重相関係数の平方: (決定係数 モデル番号 1)

	推定値
故障メカニズムの推定	0.43

図 4-12 「故障メカニズムの推定」の重回帰分析の統計量

仮説 3 の設定

「故障品の原因究明」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている

「故障品の原因究明」に関する重回帰分析結果を図 4-13、図 4-14 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.30 であり、このモデルで「故障品の原因究明」の 30%は暗黙知によってなされていることを示している。また図 4-14 の確率に示されるように、「故障品の原因究明」に対する「ヒラメキ」の相関関係の確率 p は $p < 0.05$ (5%水準で有意) であり、「イメージ」においても $p < 0.01$ (1%水準で有意) と「故障品の原因究明」にはこれらの暗黙知が大きく影響を及ぼしていることが統計的にも示している。仮説は支持されたと考える。

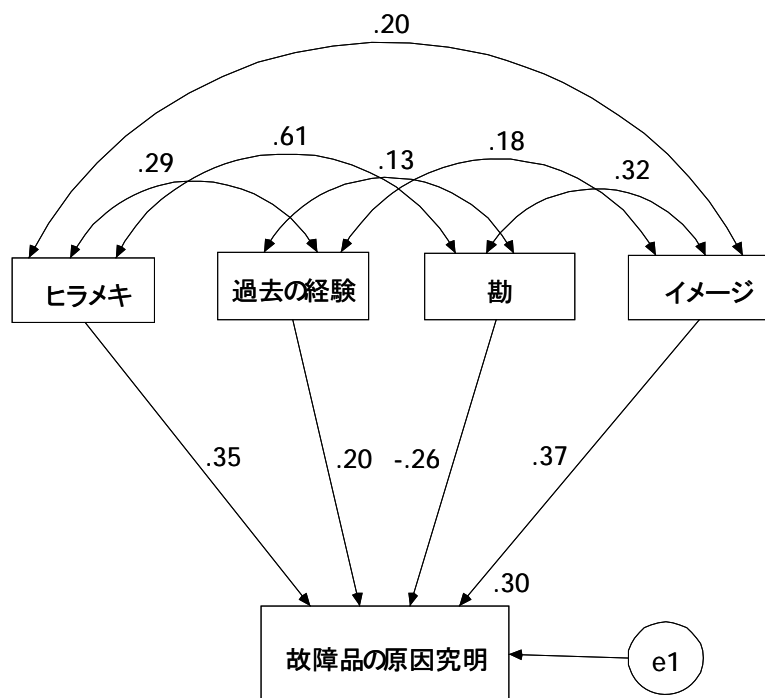


図 4-13 「故障品の原因究明」の重回帰分析結果

係数:		(モデル番号1)			
		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障品の原因究明	←— ヒラメキ	0.502	0.217	2.317	0.021
故障品の原因究明	←— 過去の経験	0.501	0.308	1.626	0.104
故障品の原因究明	←— 勘	-0.356	0.205	-1.734	0.083
故障品の原因究明	←— イメージ	0.905	0.298	3.038	0.002

相関係数 :		(モデル番号1)	
		推定値	
故障品の原因究明	←— ヒラメキ	0.348	
故障品の原因究明	←— 過去の経験	0.198	
故障品の原因究明	←— 勘	-0.261	
故障品の原因究明	←— イメージ	0.373	

重相関係数の平方:(決定係数		モデル番号1)	
		推定値	
故障品の原因究明		0.301	

図 4-14 「故障品の原因究明」の重回帰分析の統計量

仮説 4 の設定

「デザインレビュー会議での成果」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキ等が影響を与えている。

「デザインレビュー会議での成果」に関する重回帰分析結果を図 4-15、図 4-16 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.21 であり、このモデルで「デザインレビュー会議での成果」の 21%は暗黙知によってなされていることを示している。「デザインレビュー会議での成果」には暗黙知の影響を及ぼしていることを示しているが、図 4-16 の確率を見ると「ヒラメキ」は $p>0.1$ であり「デザインレビュー会議での成果」に対する「ヒラメキ」の相関関係は高くないが、「イメージ」では $p<0.1$ であり 10%水準で有意であることを統計的に示しており、少し強い相関があるといえる。

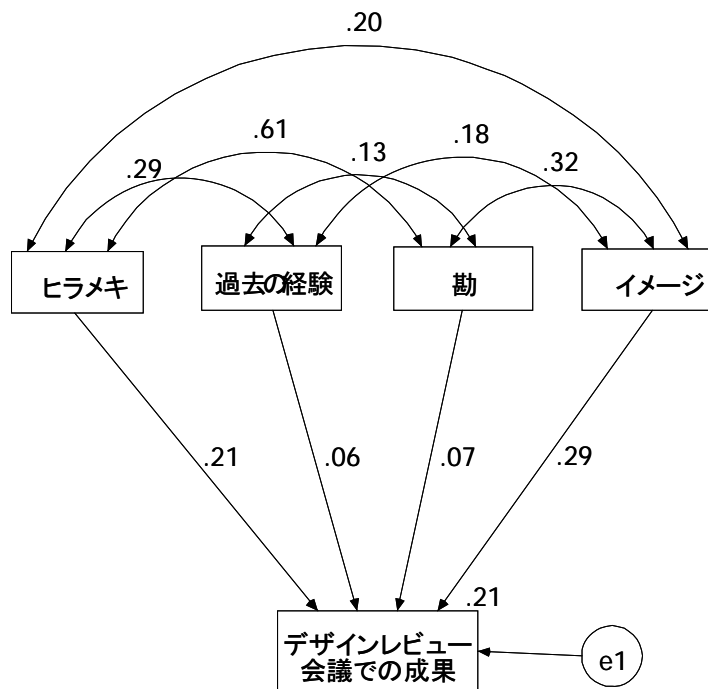


図 4-15 「デザインレビュー会議での成果」の重回帰分析結果

係数: (モデル番号1)

	推定値	標準誤差	検定統計量	確率
デザインレビュー会議での成果 ←--- ヒラメキ	0.286	0.22	1.3	0.194
デザインレビュー会議での成果 ←--- 過去の経験	0.145	0.313	0.462	0.644
デザインレビュー会議での成果 ←--- 勤	0.089	0.209	0.425	0.671
デザインレビュー会議での成果 ←--- イメージ	0.672	0.303	2.216	0.027

相関係数 : (モデル番号1)

	推定値
デザインレビュー会議での成果 ←--- ヒラメキ	0.209
デザインレビュー会議での成果 ←--- 過去の経験	0.06
デザインレビュー会議での成果 ←--- 勤	0.068
デザインレビュー会議での成果 ←--- イメージ	0.29

重相関係数の平方:(決定係数 モデル番号1)

	推定値
デザインレビュー会議での成果	0.209

図 4-16 「デザインレビュー会議での成果」の重回帰分析の統計量

仮説 5 の設定

「故障の未然防止」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

「故障の未然防止」に関する重回帰分析結果は図 4-17、図 4-18 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.21 であり、このモデルで「故障の未然防止」の 21%は暗黙知によってなされていることを示している。図 4-18 の確率が示すように「故障の未然防止」に対して「ヒラメキ」の相関関係は $p < 0.05$ で 5%水準で有意であり、仮説を支持しているといえる。

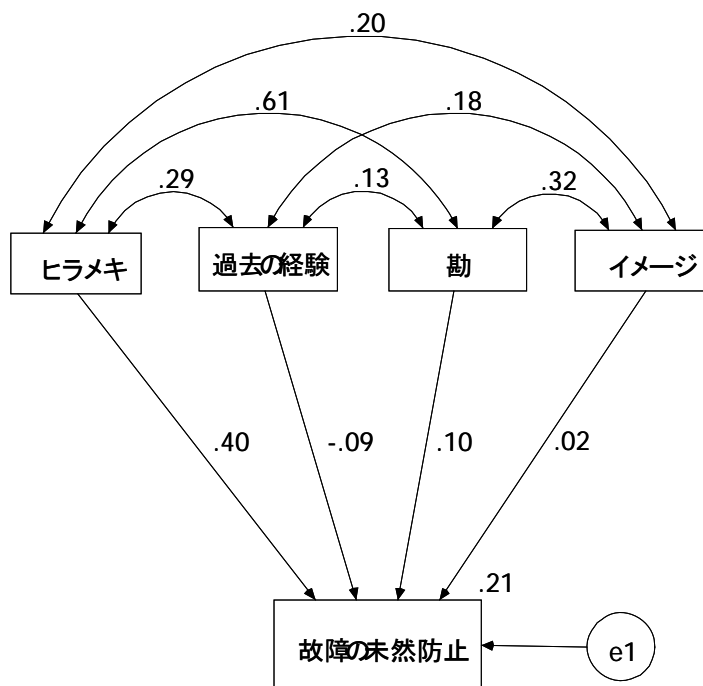


図 4-17 「故障の未然防止」の重回帰分析結果

係数:		(モデル番号1)			
		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障の未然防止	<--- ヒラメキ	0.55	0.222	2.48	0.013
故障の未然防止	<--- 過去の経験	-0.227	0.315	-0.718	0.472
故障の未然防止	<--- 勘	0.134	0.21	0.64	0.522
故障の未然防止	<--- イメージ	0.044	0.305	0.143	0.887
標準化係数:		(モデル番号1)			
		推定値			
故障の未然防止	<--- ヒラメキ	0.397			
故障の未然防止	<--- 過去の経験	-0.093			
故障の未然防止	<--- 勘	0.103			
故障の未然防止	<--- イメージ	0.019			
重相関係数の平方: (決定係数		モデル番号 1)			
		推定値			
故障の未然防止		0.207			

図 4-18 「故障の未然防止」の重回帰分析の統計量

仮説 6 の設定

「故障発生率の推定」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

「故障発生率の推定」に関する重回帰分析結果は図 4-19、図 4-20 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.16 であり、このモデルで「故障発生率の推定」には暗黙知の影響はあまり大きくないことを示している。図 4-20 の確率では「故障発生率の推定」と暗黙知の項目との相関関係はすべての項目の確率は $p > 0.1$ であり、暗黙知の影響は小さいことを示しており、仮説は棄却される。

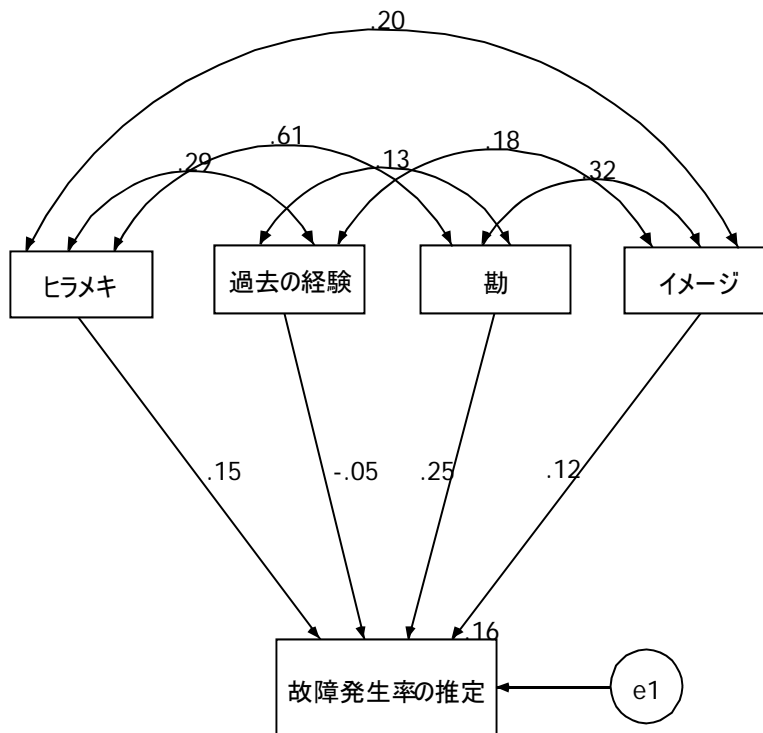


図 4-19 「故障発生率推定」の重回帰分析結果

係数: (モデル番号1)

		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障発生率の推定	← ヒラメキ	0.215	0.242	0.888	0.374
故障発生率の推定	← 過去の経験	-0.13	0.344	-0.378	0.706
故障発生率の推定	← 勘	0.34	0.229	1.487	0.137
故障発生率の推定	← イメージ	0.304	0.332	0.914	0.361

相関係数 : (モデル番号1)

		推定値
故障発生率の推定	← ヒラメキ	0.146
故障発生率の推定	← 過去の経験	-0.05
故障発生率の推定	← 勘	0.245
故障発生率の推定	← イメージ	0.123

重相関係数の平方: (決定係数 モデル番号1)

	推定値
故障発生率の推定	0.16

図 4-20 「故障発生率推定」の重回帰分析の統計量

仮説 7 の設定

「出荷判断での損失防止」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

「出荷判断での損失防止」に関する重回帰分析結果は図 4-21、図 4-22 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.15 であり、「故障発生率の推定」には暗黙知の影響はあまり大きくないことを示している。ただし、図 4-22 の確率では、「出荷判断での損失防止」に対する「ヒラメキ」の相関関係の確率は $p < 0.05$ と 5%水準で有意であり相関は強いといえる。決定係数の値が低いことがあり、全体として暗黙知の影響は少なく、仮説は棄却されたと考えるが、「ヒラメキ」の影響を強く受けることを示している。

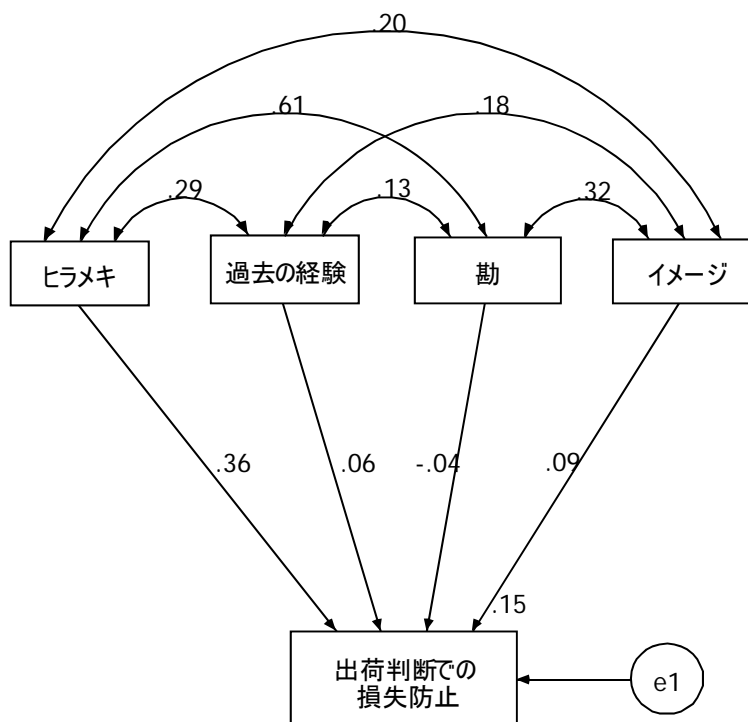


図 4-21 「出荷判断での損失防止」の重回帰分析結果

係数: (モデル番号1)

	推定値	標準誤差	検定統計量	確率
出荷判断での損失防止<--- ヒラメキ	0.532	0.246	2.16	0.031
出荷判断での損失防止<--- 過去の経験	0.148	0.35	0.423	0.672
出荷判断での損失防止<--- 勘	-0.054	0.233	-0.232	0.816
出荷判断での損失防止<--- イメージ	0.235	0.339	0.694	0.488

相関係数 : (モデル番号1)

	推定値
出荷判断での損失防止<--- ヒラメキ	0.358
出荷判断での損失防止<--- 過去の経験	0.057
出荷判断での損失防止<--- 勘	-0.039
出荷判断での損失防止<--- イメージ	0.094

重相関係数の平方:(決定係数 モデル番号1)

	推定値
出荷判断での損失防止	0.15

図 4-22 「出荷判断での損失防止」の重回帰分析の統計量

仮説 8 の設定

「量産移行可否判断会議での成果」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

「量産移行可否判断会議での成果」に関する重回帰分析結果は図 4-23、図 4-24 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.13 であり、「量産移行可否判断会議での成果」には暗黙知の影響はあまり大きくないことを示している。ただし、図 4-24 の確率では、「量産移行可否判断会議での成果」に対する「過去の経験」の相関関係の確率は $p < 0.1$ で 10%水準で有意であり相関はやや強い。決定係数の値が低いことがあり、全体として暗黙知の影響は少なく、仮説は棄却されたと考えるが、「過去の経験」の影響を受けていることを示している。

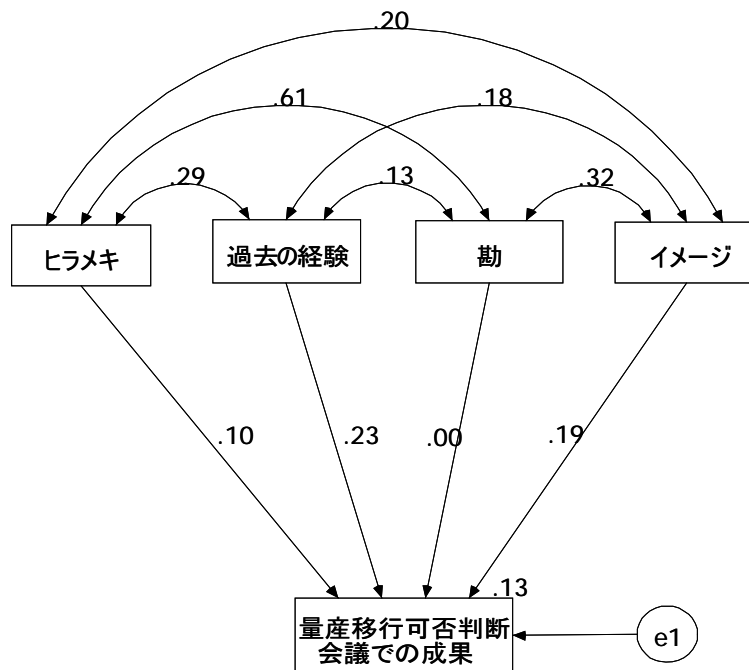


図 4-23 「量産移行可否判断会議での成果」の重回帰分析結果

係数: (モデル番号1)

		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
量産移行可否判断会議での成果	←— ヒラメキ	0.125	0.212	0.588	0.556
量産移行可否判断会議での成果	←— 過去の経験	0.504	0.301	1.673	0.094
量産移行可否判断会議での成果	←— 勘	-0.002	0.201	-0.012	0.99
量産移行可否判断会議での成果	←— イメージ	0.396	0.292	1.358	0.175

相関係数 : (モデル番号1)

		推定値
量産移行可否判断会議での成果	←— ヒラメキ	0.099
量産移行可否判断会議での成果	←— 過去の経験	0.227
量産移行可否判断会議での成果	←— 勘	-0.002
量産移行可否判断会議での成果	←— イメージ	0.186

重相関係数の平方:(決定係数 モデル番号1)

	推定値
量産移行可否判断会議での成果	0.131

図 4-24 「量産移行可否判断会議での成果」の重回帰分析の統計量

仮説 9 の設定

「故障の再現方法」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

「故障の再現方法」に関する重回帰分析結果は図 4-25、図 4-26 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.12 であり、「故障の再現方法」には暗黙知の影響はあまり大きくないことを示している。ただし、図 4-26 の確率では、「故障の再現方法」に対する「ヒラメキ」の相関関係の確率は $p < 0.05$ と 5%水準で有意であり相関は強い。決定係数の値が低いことがあり、全体として暗黙知の影響は少なく、仮説は棄却されたと考えるが、「ヒラメキ」の影響は強く受けていることを示している。

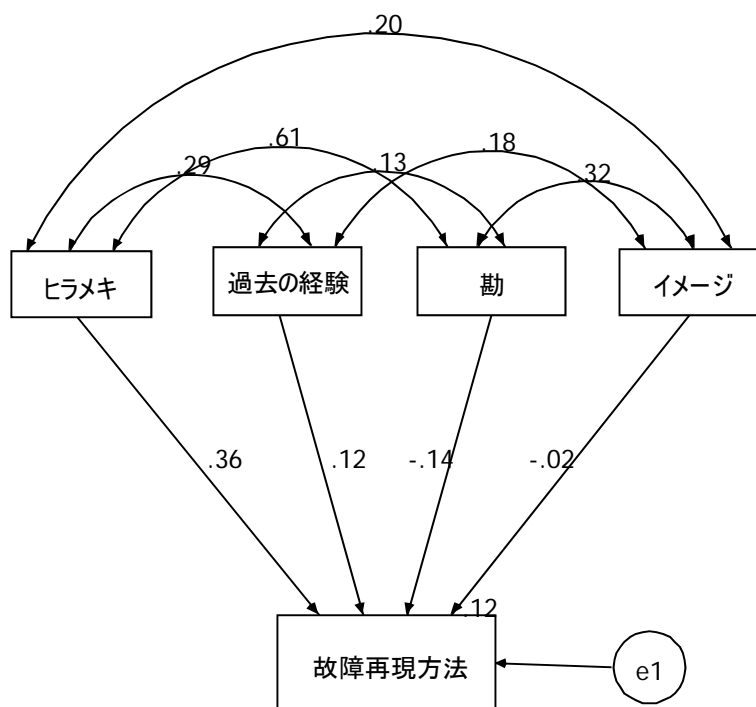


図 4-25 「故障の再現方法」の重回帰分析結果

係数:		(モデル番号 1)			
		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障再現法	<--- ヒラメキ	0.444	0.208	2.135	0.033
故障再現法	<--- 過去の経験	0.26	0.296	0.879	0.379
故障再現法	<--- 勘	-0.159	0.197	-0.807	0.42
故障再現法	<--- イメージ	-0.048	0.286	-0.167	0.867

相関係数 :		(モデル番号 1)	
		推定値	
故障再現法	<--- ヒラメキ	0.36	
故障再現法	<--- 過去の経験	0.12	
故障再現法	<--- 勘	-0.136	
故障再現法	<--- イメージ	-0.023	

重相関係数の平方:(決定係数		モデル番号 1)	
		推定値	
故障再現法		0.122	

図 4-26 「故障の再現方法」の重回帰分析の統計量

仮説 10 の設定

「故障に関する説明」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

「故障に関する説明」に関する重回帰分析結果は図 4-27、図 4-28 に示すとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.05 であり、「故障に関する説明」には暗黙知の影響はあまり大きくないことを示している。また、図 4-28 の確率において、「故障に関する説明」に対するすべての項目の確率は $p > 0.1$ であり、暗黙知の影響は少なく、仮説は棄却されたと考える。

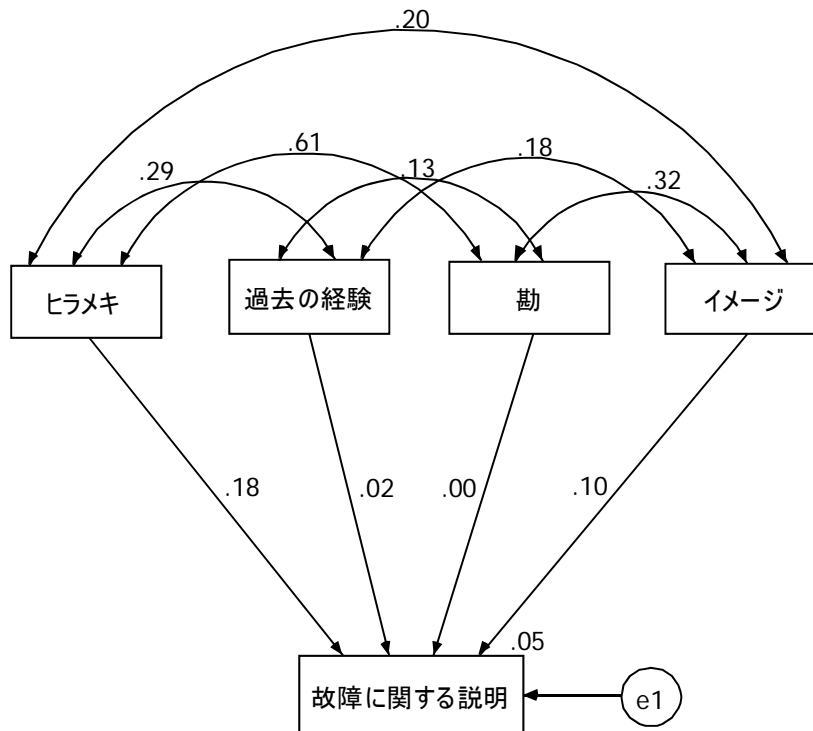


図 4-27 「故障に関する説明」の重回帰分析結果

係数: (モデル番号 1)

		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障に関する説明	←— ヒラメキ	0.22	0.214	1.028	0.304
故障に関する説明	←— 過去の経験	0.041	0.304	0.135	0.892
故障に関する説明	←— 勘	-0.004	0.203	-0.021	0.983
故障に関する説明	←— イメージ	0.197	0.295	0.669	0.504

相関係数 : (モデル番号 1)

		推定値
故障に関する説明	←— ヒラメキ	0.18
故障に関する説明	←— 過去の経験	0.019
故障に関する説明	←— 勘	-0.004
故障に関する説明	←— イメージ	0.096

重相関係数の平方:(決定係数 モデル番号 1)

	推定値
故障に関する説明	0.051

図 4-28 「故障に関する説明」の重回帰分析の統計量

仮説 11 の設定

「故障発生対策方法」をする技術は、長く半導体に従事することで培われた暗黙知、すなわち 1.イメージを描く、2.勘、3.過去の経験、4.ヒラメキが影響を与えている。

「故障発生対策方法」に関する重回帰分析結果は図 4-29、図 4-30 のとおりである。モデルの説明力を表す決定係数は 0.04 であり、「故障発生対策方法」には暗黙知の影響はほとんどないことを示している。また、図 4-30 の確率において、「故障発生対策方法」に対するすべての項目の確率は $p > 0.1$ であり、暗黙知の影響は少なく、仮説は棄却されたと考える。

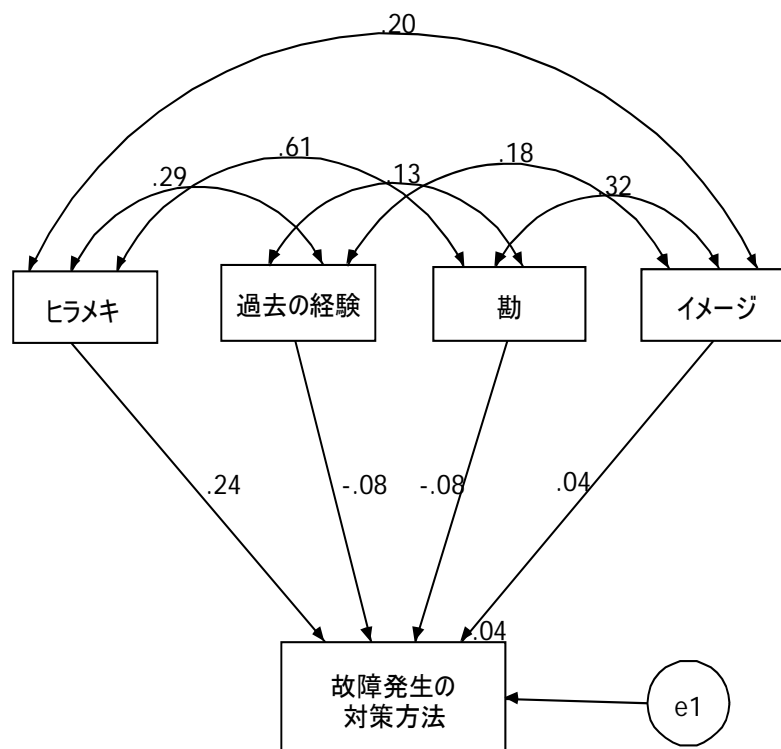


図 4-29 「故障発生対策方法」の重回帰分析結果

係数:		(モデル番号1)			
		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
故障発生対策法	← ヒラメキ	0.241	0.177	1.365	0.172
故障発生対策法	← 過去の経験	-0.142	0.251	-0.566	0.571
故障発生対策法	← 勘	-0.073	0.168	-0.436	0.663
故障発生対策法	← イメージ	0.064	0.243	0.265	0.791

相関係数 :		(モデル番号1)
		推定値
故障発生対策法	← ヒラメキ	0.241
故障発生対策法	← 過去の経験	-0.081
故障発生対策法	← 勘	-0.077
故障発生対策法	← イメージ	0.038

重相関係数の平方:(決定係数		モデル番号1)
		推定値
故障発生対策法		0.04

図 4-30 「故障発生対策方法」の重回帰分析の統計量

表 4-4 は重回帰分析の結果まとめである。暗黙知に関する各項目の相関係数も表示してある。決定係数が 0.2 以上になった項目は上から五項目である。したがって、暗黙知に係わる項目が強く影響を与えている仕事の成果の項目は、「故障メカニズムの推定」、「故障解析方法」、「故障品の原因究明」、「デザインレビュー会議での成果」、「故障の未然防止」の順である。また、暗黙知の種類では相関係数の値が、「ヒラメキ」が他の項目と比べて非常に高く、影響力がおおきいことがいえる。ただし、先にも述べたように「勘」は各仕事の成果に対する相関係数は低いが、「ヒラメキ」との相関係数が高く、「勘」は間接的に「ヒラメキ」を介して各成果へ強く影響を及ぼしていることを現している。

表 4-4 重回帰分析の結果まとめ

成果の項目	決定係数 モデルの説明力	相関係数			
		イメージ	勘	過去の経験	ヒラメキ
故障メカニズムの推定	43%	*0.21	-0.14	***0.28	***0.50
故障解析法	31%	0.08	-0.02	0.14	***0.49
故障品の原因究明	30%	***0.37	*-0.26	0.20	**0.35
デザインレビュー会議での成果	21%	**0.29	0.07	0.06	0.21
故障の未然防止	21%	0.02	0.10	-0.09	**0.40
故障発生率の推定	16%	0.12	0.25	-0.05	0.15
出荷判断での損失防止	15%	0.09	-0.04	0.06	**0.36
量産移行可否判断会議での成果	13%	0.19	0.00	*0.23	0.10
故障再現方法	12%	-0.02	-0.14	0.12	**0.36
故障に関する説明	5%	0.10	0.00	0.02	0.18
故障発生の対策方法	4%	0.04	-0.08	-0.08	0.24

*10%水準で有意
 **5%水準で有意
 ***1%水準で有意

このように、半導体信頼性の仕事では「ヒラメキ」、「勘」等の暗黙知に係わる項目を役立てた経験を持つ人が、日々の仕事の中で難局を打破したり、成果を上げたりしていることを示しており、暗黙知が重要な役割を果たしていることが示されている。このことは第2-2節や第3-3節で詳しく述べたように、半導体信頼性技術においては、特に故障解析では暗黙知の役割が大きいと説明したが、表4-4において「故障解析法」「故障メカニズムの推定」、「故障品の原因究明」のように故障解析に係わる仕事において暗黙知に関する項目が強く影響を及ぼしていることが証明された。

また、「デザインレビュー会議での成果」、「故障の未然防止」のような提出されたデータをもとに判断する状況においても暗黙知の影響が大きいことを証明している。

このように、半導体技術者は仕事を遂行する上では形式知のみならず、「暗黙知」が重要な役割を果たしていることが証明できた。

第4-2節 団塊世代の退職者の生活に関する希望

第2章、第3章において、半導体信頼性技術分野では技術者が持つ暗黙知が、特に故障解析の仕事で重要な役割を果たしていることを述べた。前節（第4-1節）において実際の半導体信頼性での仕事では、「ヒラメキ」のような「暗黙知」を日頃の仕事遂行で役立てていることが証明できた。

本節では、第4-2-1項において、団塊世代の半導体技術者に対するアンケート調査をおこない、定年退職を迎える半導体技術者が定年後の生活にどのような希望を持っているかを調査し、第4-2-2項では技術・研究職の人達はその他の分野の職種である営業/事務/生産/現業等々の人達とは仕事に対する考え方が異なることを示し、半導体技術者の暗黙知の消失は、企業で現状おこなっている定年延長や再雇用制度では食い止めることができないことを示す。

第4-2-1項 半導体技術者の定年退職後の生活希望の調査

本項では、半導体技術者が定年退職後にどのような生活を希望しているかを調査し結果を分析する。

まず、一般仮説を、以下のように設定した。

「団塊世代の多くの人々は、かつての部下の下で働くとかフルタイムの仕事は好まないが、自分が役に立てる仕事がある程度自由にできるなら喜んでやる。」

この理由は、筆者の勤務する半導体製造業であるルネサステクノロジでは、会社が用意した再雇用制度を利用する技術者・研究者は少なく、定年退職を迎える技術者の基本的な考え方（希望）を調査するために設定した。

上記一般仮説を基に、作業仮説を以下のように設定した。

- (1) 半導体製造会社のエンジニアで長期間勤めている人は、現在勤めている会社が準備した定年延長制度や再雇用制度には興味がなく、現在の会社に残りたくない。
- (2) 現在の会社は退職するが、退職後も何かしたいと思っている。もし、自分の経験を生かせる仕事ならば、喜んでやる。
- (3) 半導体の仕事に自信がある人ほど、現行の会社に残りたくないと思っており、経験を活かした仕事をやりたいと思っている。
- (4) 退職後に仕事をするにしても、フルタイムの仕事はしたくない。ゆとりのある生活をしたいと思っている。
- (5) 退職後の生活で大切に思っていることは、収入ではない。ゆとりの時間や家族、健康。

アンケートは2008年4月～6月の期間に、メールでの回答返信もしくは直接アンケート用紙に記入してもらった。対象者数は半導体の技術者・研究者であり92人で、回収率は100%である。既に定年退職を経験して再就職している人も含まれている。対象者の年齢構成を図4-31に示し、対象者の半導体経験年数を図4-32に示す。半導体経験年数は87%が10年以上であり、十分半導体を知り尽くしていると考えられる。また、年齢は50才以上が84%であり、50才未満の人も46才以上であった。(質問票は本章末のAppendix IIに掲載している。

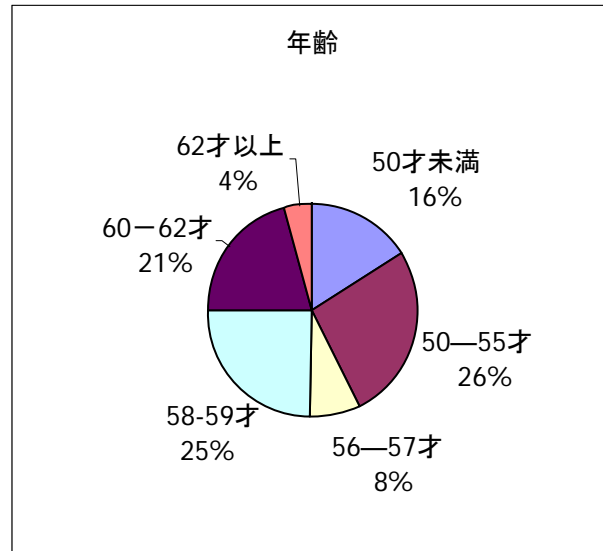


図 4-31 調査の対象年齢構成

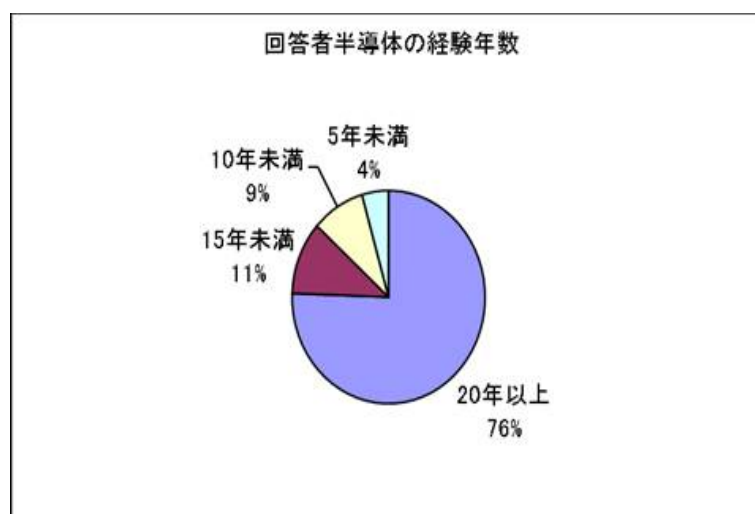


図 4-32 対象者の半導体経験年数

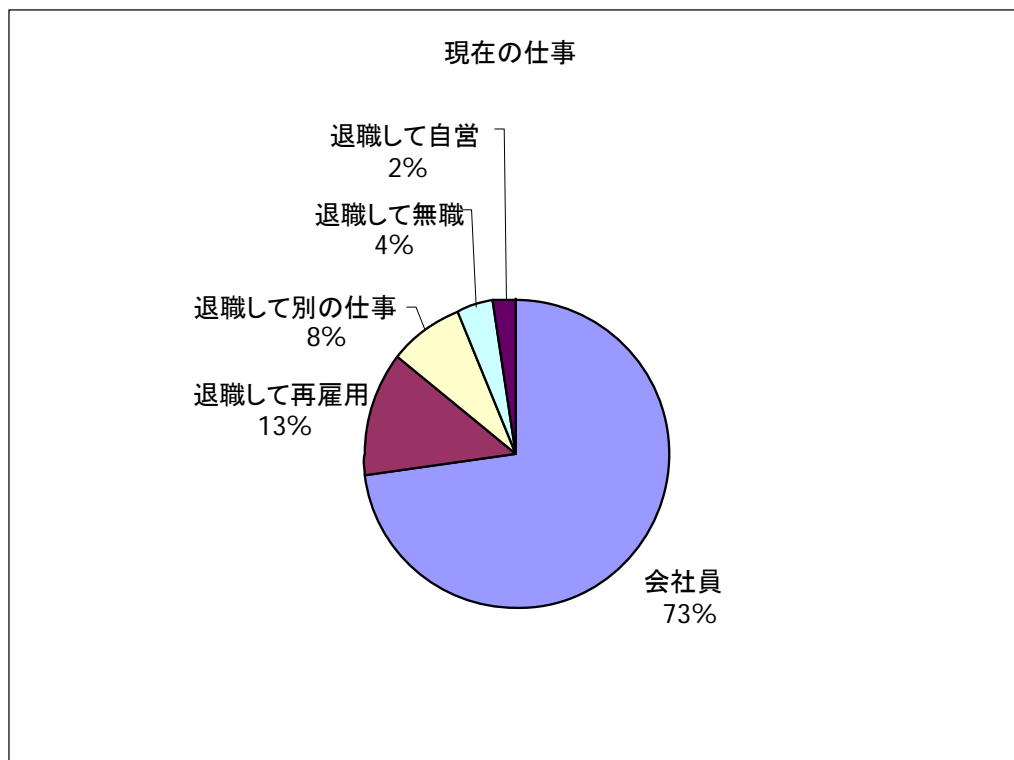


図 4-33 アンケート対象者の現在の仕事

対象者の現在の仕事を図 4-33 に示す。勤めていた会社に再雇用している人は 13%であり、会社員は 73%である。また退職して別の仕事をしている人は 8%である。

図 4-34 は現在の仕事を定年退職後どんな生活を希望するか以下の質問の回答である。

質問1; 定年後はどのような過ごし方を希望しますか/希望していましたか?

- ・続けて働きたい、
- ・働きたくないが、働かざるを得ない、
- ・働かない、
- ・働かないが、ボランティアなどで社会に貢献する、
- ・働きたくはないが、自分の知識・経験を生かしたい

続けて働きたいと働かざるを得ない人が合わせて 39%であり、残りの働きたくない人は 61%になる。そのうち 47%は経験を活かすか、ボランティアと答えているが、「働かない」と答えた人は 31%であり、残りの 69%の人は定年退職後も何かしたいと思っていることを示している。これは作業仮説（2）を支持していると考ええる。

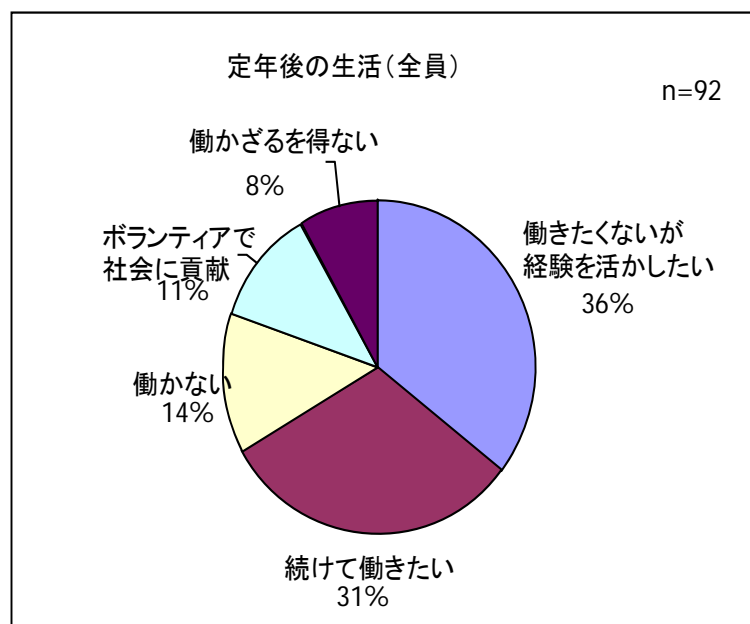


図 4-34 定年退職後の生活の希望

現在現役の会社員もしくは退職後別会社で会社員（図 4-33 中では退職後別の仕事）の人達が（n=74）（今後現在会社員と呼ぶ）、退職後にどのような仕事を希望しているかの調査のため、次の質問に対して図 4-35 の結果が得られた。

質問2;どのような仕事を希望しますか？

- ・再雇用制度を利用して、現在の会社を継続、
- ・現在の会社は辞めるが、これまでの経験、技術・技能を生かした仕事
- ・これまでの経験にかかわらず、資格を取るなどして新たな仕事
- ・会社を創業する(コンサルタント等)、

「再雇用制度を使いたい」と思う人は20%であるのに対して、80%の人は「現在の会社を辞める」と答えている。しかも60%の人は、「経験を活かしたい」と思っている。図4-34の定年後の生活の希望の質問で経験を活かした仕事をしたい人の数よりも多くなっており矛盾があるが、これは図4-34で続けて働くもしくは働かざるを得ないと答えた人が、改めて経験を活かす方を選び直したのであると推定する。この結果は、仮説(1)を支持していると考えられる。

図4-34、図4-35から、一般仮説に設定した、「かつての部下の下で働きたくない」「自分が役に立てる仕事を喜んでやる」を肯定する傾向があることが示されている。

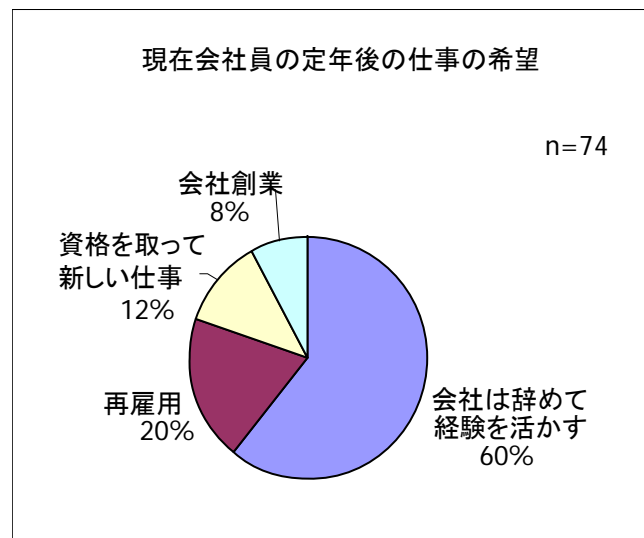


図4-35 現在会社員の人の退職後の希望

次に、同じ人達に働く時間に関して次の質問をした。

質問3;どのような働き方を希望しますか？

- ・フルタイム、
- ・パートタイム、
- ・時間に縛られず働く、

この結果図 4-36 の結果が得られた。フルタイムでもいい人は 19%、パートタイムが 14%、時間にとらわれず選んだ人は 67%になった。

このように、作業仮説（4）で設定した「フルタイムの仕事は好まない」を支持する傾向が得られた。

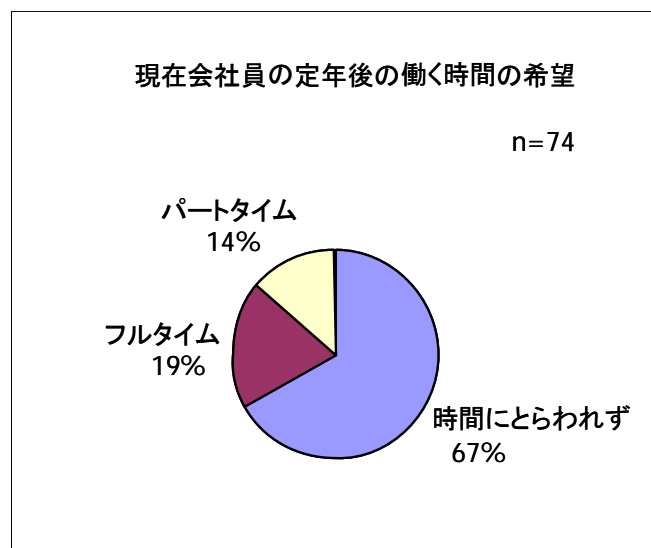


図 4-36 定年後の働く時間の希望

次に退職後の仕事で、収入の希望に関する以下の質問をした結果が図 4-37 である。

質問4;収入はどれくらい？

- ・退職時と同じくらい、
- ・多少少なくなっても仕方がない、
- ・年金がもらえる程度、
- ・こだわらない

希望する収入は、退職時と同じくらいと希望する人は 11%で、こだわらな

い人が 35%、少なくとも、もしくは年金がもらえる程度と答えた人は 54%であった。収入に関してはあまりこだわりが少ない様子が見える。この結果は作業仮説（5）の一部である「収入にこだわらない」を支持していると考えられる。

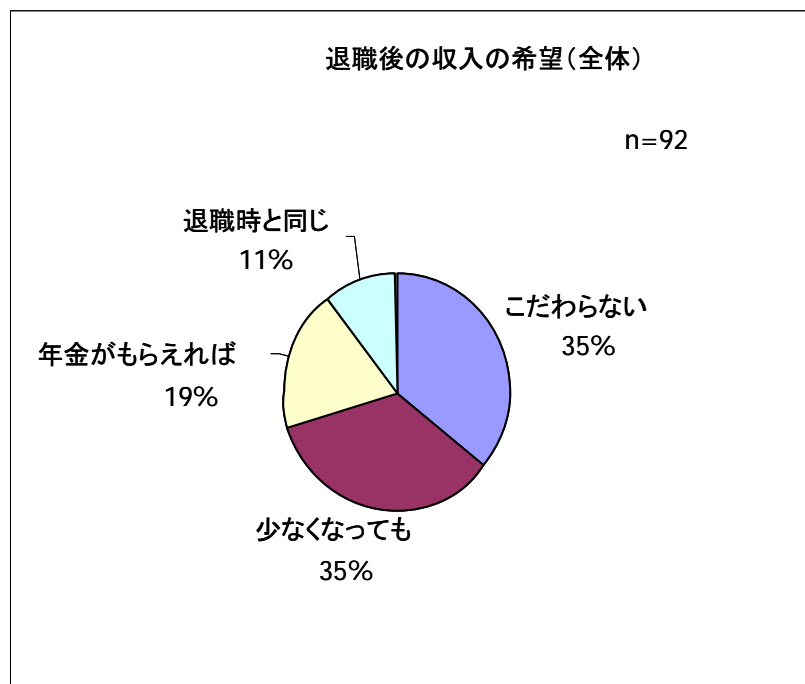


図 4-37 退職後の仕事で希望する収入

次に、経験を活かせる仕事をしたいかどうかを調べるために、以下の質問をした結果が図 4-38 である。

質問5;あなたの知識や経験が生かせる機会があれば、活かしたいですか？

- やりたい
- 条件による
- 気乗りがしない

自分の経験を活かした仕事をやりたいと思っている人は 41%で、条件によると興味を持った人は 55%であり、やらないと答えた人は 4%であった。条件によると答えた人が過半数を占めた。

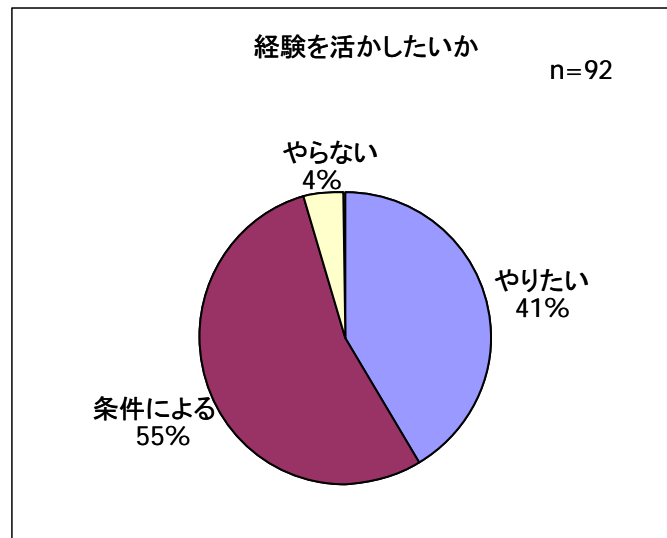


図 4-38 経験を活かせる仕事をしたいですかの質問の回答

条件によると答えた人が、収入にこだわっているのかどうかをクロス分析してみたのが図 4-39 である。

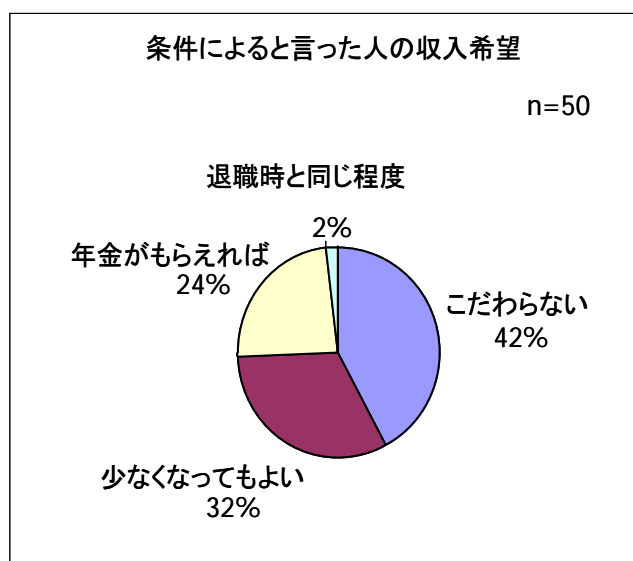


図 4-39 経験を活かせる仕事をした以下の質問に対して条件によると答えた人の収入希望

図 4-39 に示すように、退職時と同じ収入と答えた人は 2%しかおらず、条件によると答えた理由は少なくとも収入への希望のせいではないと考えることができる。

そこで、条件によると答えた人は、労働時間にこだわっているのかどうかをクロス分析してみたのが図 4-40 である。時間にとらわれずと答えた人が 74%で、パートと答えた人が 24%であり、合わせて 98%の人が、時間の拘束を嫌がっていることを示している。「条件による」を選んだ理由は、時間の拘束が主な理由であることが分かった。

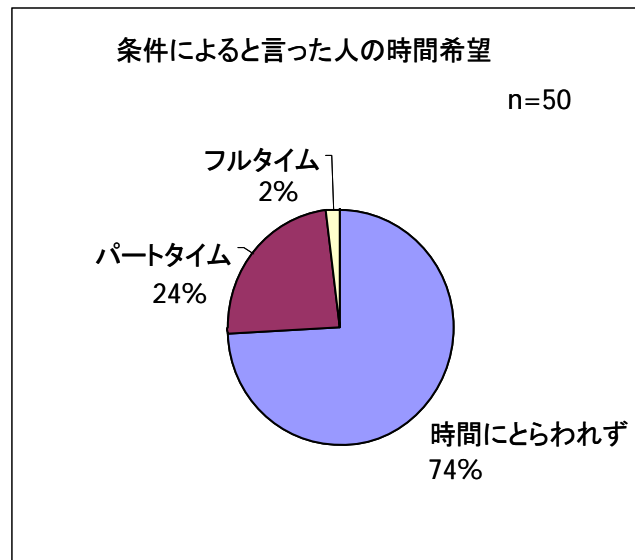


図 4-40 経験を活かせる仕事をした以下の質問に対して条件によると答えた人の勤務時間の希望

したがって、この質問 5 では、条件によると答えた図 4-38 の 55%の人達も拘束される時間を気にしているのであり経験を活かす仕事におおいに興味を持っており、結局 96%人達がやりたいと思っている。

次に、自分の持つ技術への自信の度合いと定年退職後の仕事への希望に関係があるかを調べるために、下記の質問をした。自信があれば、自分の自信がある分野を書いてくれることを想定している。

質問6; 半導体でご自分の得意分野をお持ちですか。

50文字以内でご記入下さい。

()

質問 6 に対して、空白の人が 22 名、1 個以上記入があった人が 70 名であった。この結果と質問 2 の定年退職後の仕事の希望をクロス集計した結果が図 4-41 である。

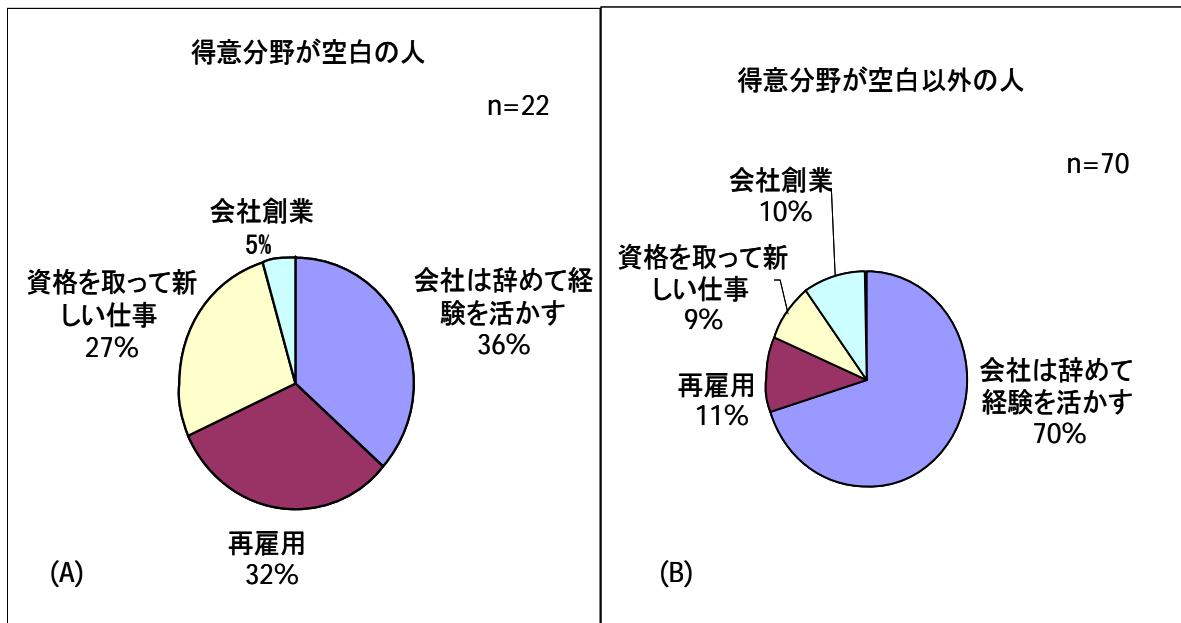


図 4-41 得意分野の質問による仕事の希望の差

得意分野に記入した人 (B)の方が自分の技術にある程度自身があると考えられるが、その人達の方が「会社は辞めて経験を活かす」70%と高い傾向を示している。逆に、得意分野が空白の人 (A)は「再雇用」を望む人が32%と得意分野が空白でない人の11%より高い傾向を示している。この結果は、作業仮説(3)「半導体の仕事に自信がある人ほど、現行の会社に残りたくないと思っており、自分の経験を活かした仕事をやりたいと思っている」を支持していると考えられる。

次に、定年退職後の生活で大切に思っていることを調査するために、次の質問をおこなった。

質問7; 定年後の生活で大切と思うことは? (複数可)

・収入、・時間のゆとり、・仕事、・家族、・趣味、・健康、・社会貢献、・特にない

その結果が図 4-42 である。

複数個が選択できるにもかかわらず「収入」「仕事」を選んだ人は15%しかない。これは図 4-37の希望する収入の質問と同じ傾向であり、収入よ

りも、「ゆとり」や「健康」等を大切に思っている。

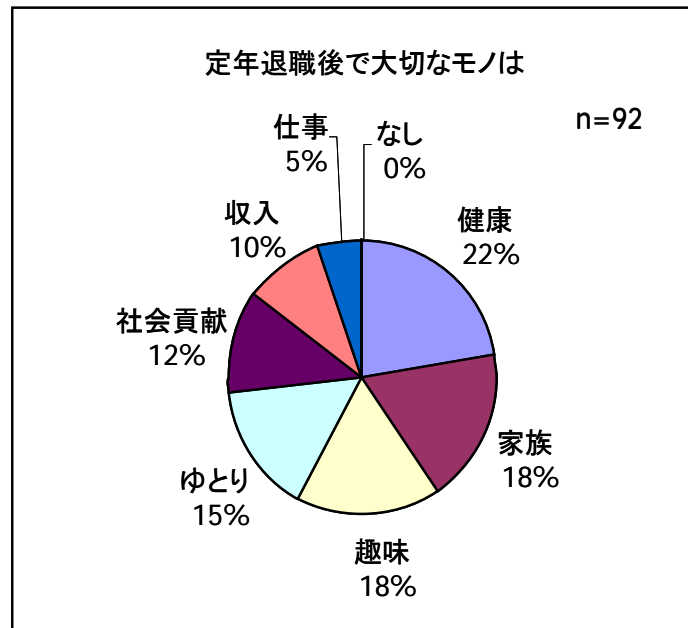


図 4-42 定年退職後に大切に思うこと

この結果は、作業仮説「退職後の生活で大切に思っていることは、収入ではなく、「ゆとりの時間や家族・健康」を支持している。

以上の結果を表にまとめてみると表 4-5のようになる。

表 4-5 半導体技術者で現在会社員の希望結果集計(n=74)

項目	結果	%
定年後の仕事	現在の会社を辞める	80%
	再雇用希望	20%
定年後仕事をする場合の拘束時間の希望	時間にとらわれず、パート	81%
	フルタイム	19%
定年後の収入の希望	少なくとも、こだわらない、年金	89%
	退職時と同じ	11%
自分の経験を活かす仕事をやりたいか	やりたい	96%
	やりたくない	4%

作業仮説との対応を見ると以下のようなになる。

(1) 半導体製造会社のエンジニアで長期間勤めている人は、現在勤めている会社が準備した定年延長制度や再雇用制度には興味がなく、現在の会社に残りたくない。

→図 4-35 現在の会社を辞める；80%、再雇用希望；20%

(2) 現在の会社は退職するが、退職後もなにかしたいと思っている。もし、自分の経験を生かせる仕事ならば、喜んでやる。

→図 4-34 定年退職後働かない；31%、何かをする；69%

→図 4-37 経験を生かせる仕事をやりたいもしくは条件による；96%

(3) 半導体の仕事に自信がある人ほど、現行の会社に残りたくないと思っており、経験を活かした仕事をやりたいと思っている。

→図 4-41 (仕事に自信がある人) 会社を辞めて経験を活かす仕事；70%、再雇用希望；11%。

(4) 退職後に仕事をするにしても、フルタイムの仕事はしたくない。ゆとりのある生活をしたい。

→図 4-36 時間にとらわれずとパートタイム希望；81%

(5) 退職後の生活で大切に思っていることは、収入ではない。ゆとりの時間や家族、健康。

→図 4-37 こだわらない+年金がもらえる程度+少なくとも良い；89%

→図 4-42 定年退職後に大切に思うことで仕事、収入以外；85%

以上のように、作業仮説はすべて支持されたことになり、これによって一般仮説も支持された。

したがって、半導体技術者は企業が準備する定年延長や再雇用制度を利用したいと思っていないことから半導体技術者・研究者の持つ暗黙知は消失に対して、何らか別の対策を講じなければならない。

第4-2-2項 技術者・研究者とそれ以外の職種との違い

前項では、定年退職を迎える半導体技術者のアンケート調査分析をおこな
い、「会社が準備する雇用延長や再雇用制度に興味がなく、収入にもこだわ
らず、フルタイムの仕事を好まないが、自分の経験が役に立てる仕事のある
程度自由にできるなら喜んでやる」との結果が得られた。

会社が雇用延長や再雇用制度を準備しているにもかかわらず、多くの技術
者・研究者は会社を辞めるとしているのは、他の職種の人達と仕事への考え
方が異なるとの仮説を立てて、分析する。調査データは、独立行政法人高齢・
障害者雇用支援機構殿のご厚意により、「団塊の世代の仕事と生活に関する
意識調査(2007)」³⁸のローデータを拝借して分析をおこなった。

独立行政法人高齢・障害者雇用支援機構の「団塊の世代の仕事と生活に関
する意識調査(2007)」

【調査概要】

調査対象者 1947年(昭和22)から1949年(昭和24年)生まれの男女で
民間調査機関にモニター登録をしている人。

調査実施時期 2007年8月10日～24日

調査方法 インターネットによるアンケート調査

回答数 2,073人(男性1,810人・女性233人)

【回答者のプロフィール】

生まれた年；

1947年生まれ 28.2%、1948年生まれ 31.4%、1949年生まれ 40.4%

年齢；

57歳 13.4%、58歳 39.1%、59歳 29.7%、60歳 17.8%

性別；

男性 88.2%、女性 11.8%

アンケート対象者の構成を図 4-43 に示す。

全対象者 2,073 名のうち企業勤務している人が 1,927 名である。

このうち定年未経験者で企業等に勤務しているのは 1,600 名 (83.0%) で、残り 327 名は定年経験者である。

この定年経験者 327 名の職種を図 4-45 の上段に、定年未経験者 1,600 名の職種を図 4-45 下段に示す。合わせると図 4-44 に示すように、技術者・研究者は 389 名 20.2%で、それ以外の事務・管理・営業・販売・現業・生産関係その他の職種が 1,538 名で 79.8%になる。分析の対象者は、企業等勤務者の定年未経験者と定年経験者を合わせた 1,927 名である。

種々の職種が混ざっており、仮説検証には好都合のデータである。ただし、このアンケート対象者は、調査機関にモニター登録をしている人達であり、技術者・研究者には半導体関分野以外の人も含まれている。

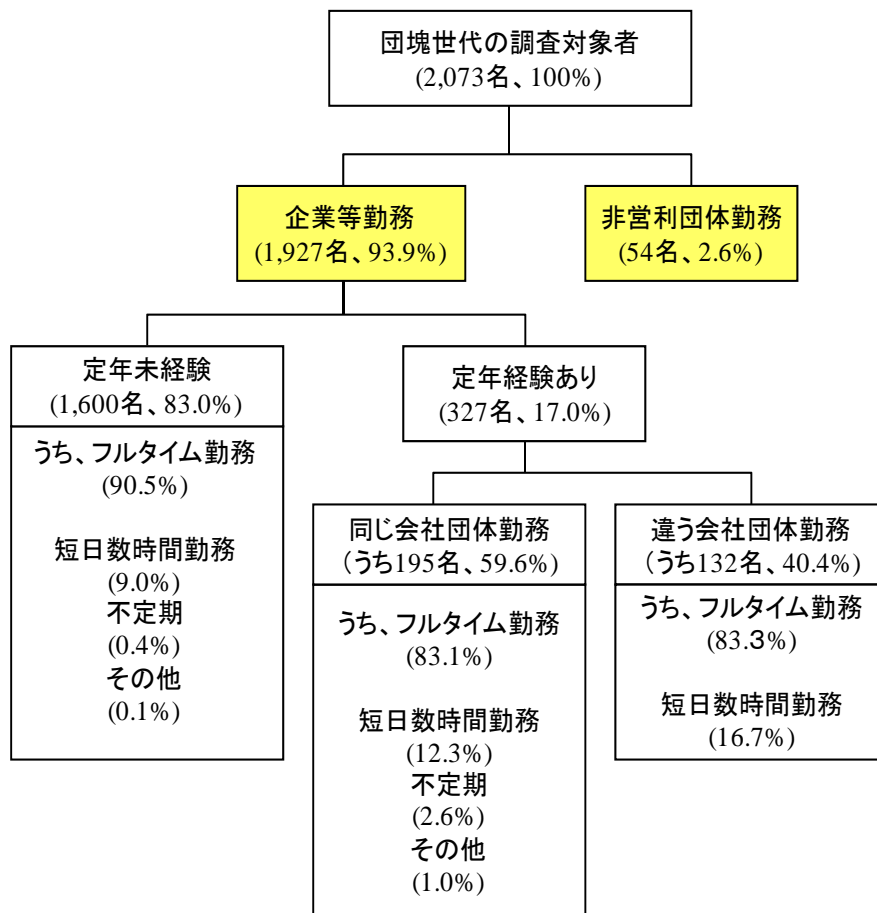


図 4-43 調査対象者の構成

分析に用いた質問は、複数選択可能な次の質問である。

質問;現在、働いているのは“なぜ”ですか、あてはまるものを全てお答え下さい。

- ・ 現在・将来の生活のため
- ・ 小遣いが欲しいため
- ・ 健康のため
- ・ 仕事を通じて、社会に貢献したいから
- ・ 仕事を通して実現したい夢や理想があるから
- ・ 社会とのつながりを維持したいから
- ・ やり残している仕事があるから
- ・ 今、担当している仕事が面白いから
- ・ 自分の経験や能力を發揮できるから
- ・ 会社や職場の仲間から働いて欲しいと頼まれているから
- ・ 所属先や肩書きがなくなると寂しいから
- ・ 家にいても仕方がないから
- ・ なんとなく、わからない
 - ・ その他（具体的に； ）

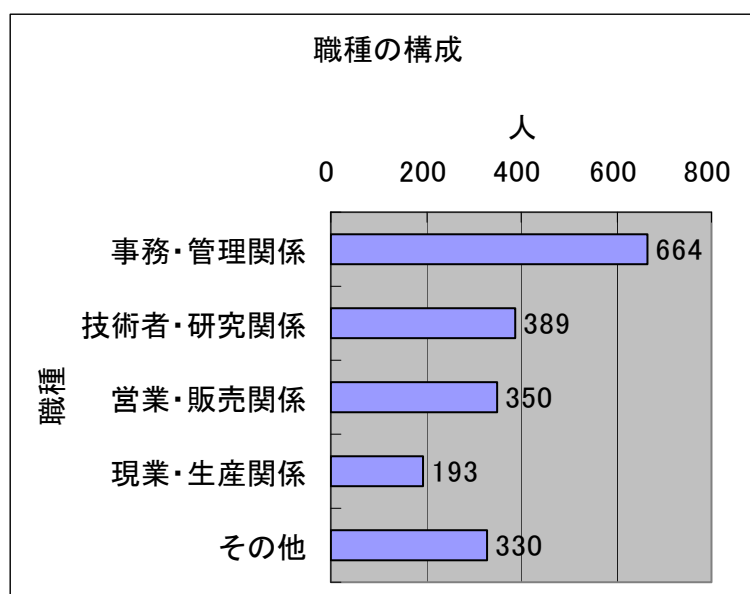
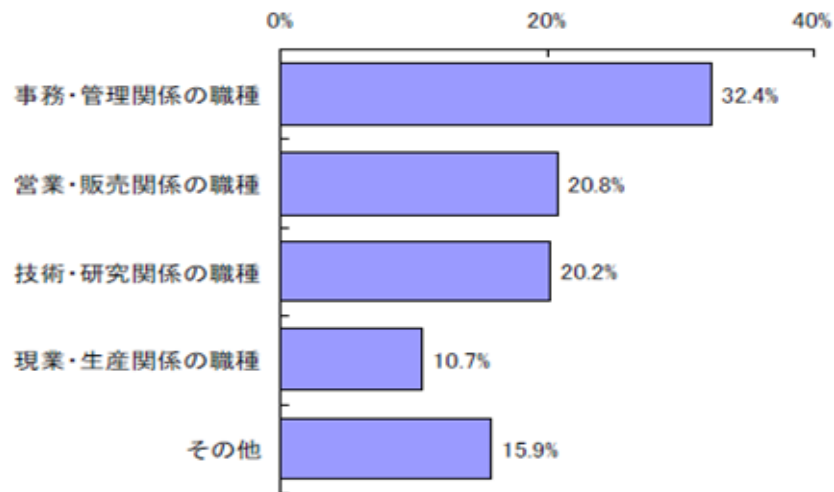


図 4-44 分析対象者全体の職種(全体)

定年経験者の担当職種（企業等勤務者 327 名、単一回答）



定年未経験者の職種（企業等勤務者 1600 名、単一回答）

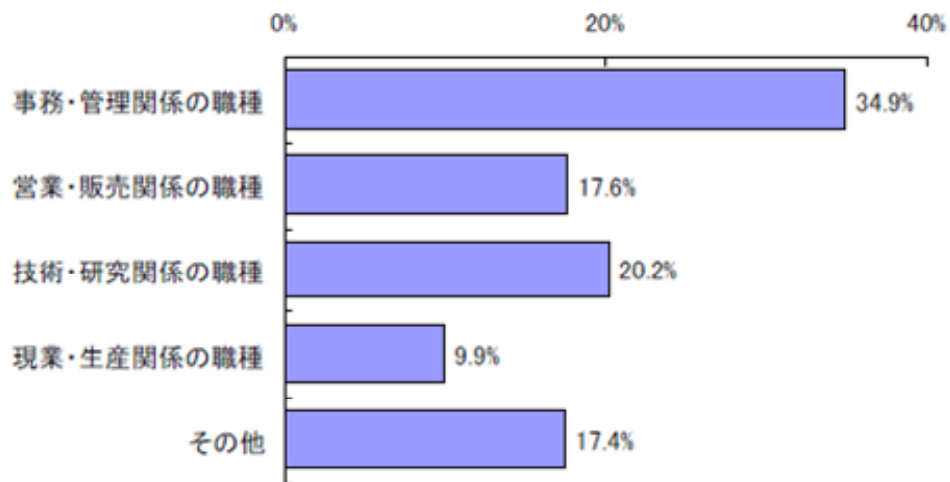


図 4-45 対象者の職種（定年経験者と未経験者別）

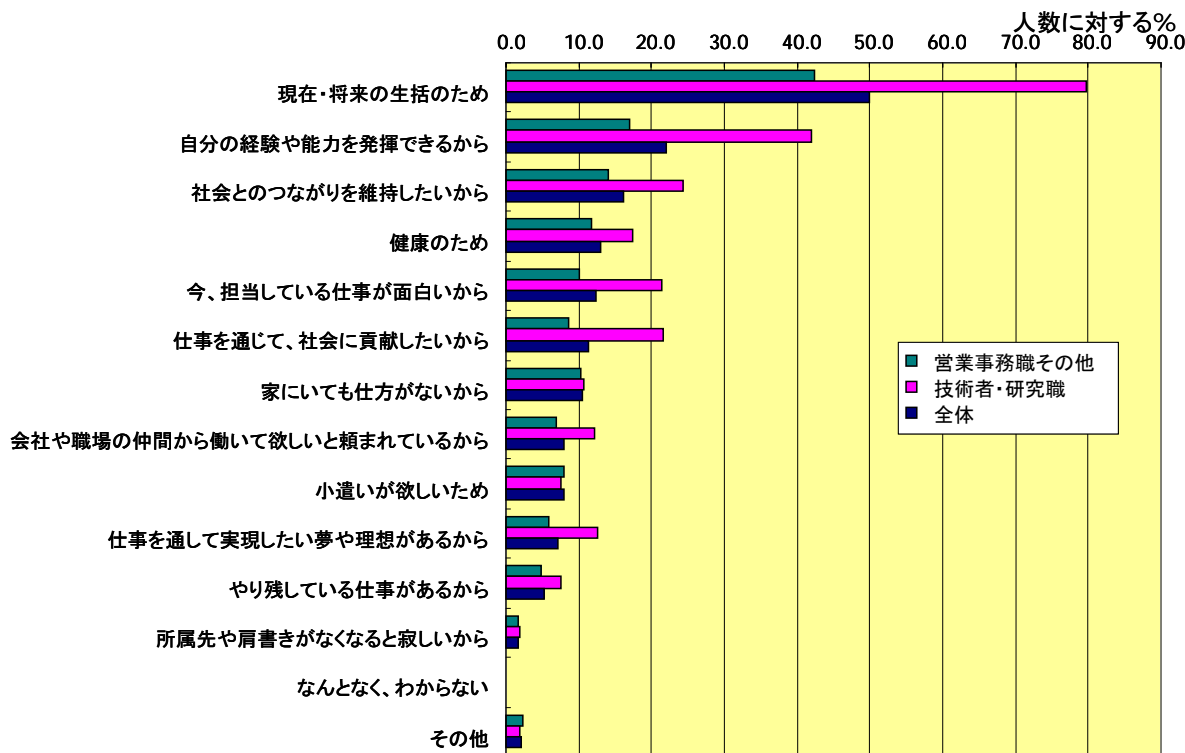


図 4-46 現在働いている理由(それぞれの人数に対して選択した項目数の割合)

回答の結果をそれぞれの職種と全体とでグラフにしたのが図 4-46 である。複数選択を可能にしているため、人数に対する選択した割合は全体的に技術者・研究職の方が高くなっているが、いずれの職種でも理由の項目である「現在・将来の生活のため」が一位になっており、その他の項目においても職種によって大きな差があるようには見えず、同様の傾向にある。

そこで、職種による差があるかどうかを詳細に分析するために、まず技術者・研究職と営業・事務職・その他とに分けて因子分析を実施した。初期の固有値が高い上位 4 グループの結果を、営業・事務職・その他を図 4-47 に、技術者・研究職の結果を図 4-48 に示す。

まとめると、「営業・事務職・その他」、「技術・研究職」のグループ分けは表 4-6 のようになった。それぞれのグループの特徴も合わせて表 4-6 に記入してある。

営業事務職その他の因子分析

働く理由	1	働く理由	2
仕事を通じて、社会貢献したいから	0.61	健康のため	0.62
自分の経験や能力を発揮できるから	0.51	家にも仕方がないから	0.55
社会とのつながりを維持したいから	0.48	小遣いがほしいため	0.45
仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	0.39	社会とのつながりを維持したいから	0.31
今、担当している仕事が面白いから	0.38	所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.20
やり残している仕事があるから	0.25	会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	0.16
健康のため	0.20	仕事を通じて、社会貢献したいから	0.14
小遣いがほしいため	0.08	自分の経験や能力を発揮できるから	0.06
所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.07	今、担当している仕事が面白いから	0.04
会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	0.07	やり残している仕事があるから	0.02
なんとなく、わからない	-0.04	仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	0.01
現在・将来の生活のため	-0.05	現在・将来の生活のため	-0.02
家にも仕方がないから	-0.07	なんとなく、わからない	-0.04

働く理由	3	働く理由	4
自分の経験や能力を発揮できるから	0.43	現在・将来の生活のため	0.61
会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	0.43	小遣いがほしいため	0.08
今、担当している仕事が面白いから	0.32	やり残している仕事があるから	0.04
やり残している仕事があるから	0.21	社会とのつながりを維持したいから	0.03
所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.12	今、担当している仕事が面白いから	0.03
家にも仕方がないから	0.11	所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.03
社会とのつながりを維持したいから	0.11	仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	0.01
仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	0.09	健康のため	0.01
小遣いがほしいため	0.07	自分の経験や能力を発揮できるから	0.00
なんとなく、わからない	-0.04	仕事を通じて、社会貢献したいから	-0.02
健康のため	-0.05	家にも仕方がないから	-0.05
仕事を通じて、社会貢献したいから	-0.06	会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	-0.05
現在・将来の生活のため	-0.11	なんとなく、わからない	-0.25

KMOおよびBartlettの検定

Kaiser-Meyer-Olkinの標本妥当性の測度	.729
Bartlettの球面性検定	1801.548
近似カ2乗	78
自由度	.000
有意確率	

説明された分散の合計

因子	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和			回転後の負荷量平方和		
	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積%
1	2.518	19.369	19.369	1.838	14.138	14.138	1.285	9.882	9.882
2	1.453	11.177	30.546	.766	5.893	20.031	1.083	8.328	18.210
3	1.175	9.042	39.589	.477	3.668	23.700	.582	4.476	22.686
4	1.048	8.065	47.653	.321	2.469	26.169	.453	3.483	26.169
5	.990	7.619	55.273						
6	.976	7.505	62.778						
7	.850	6.540	69.318						
8	.756	5.812	75.130						
9	.739	5.682	80.812						
10	.707	5.442	86.255						
11	.626	4.814	91.069						
12	.590	4.541	95.610						
13	.571	4.390	100.000						

因子抽出法: 主因子法

図 4-47 「営業事務職その他」の働く理由の因子分析

技術職研究職の因子分析

再雇用の理由	1	再雇用の理由	2
やり残している仕事があるから	0.84	仕事を通じて、社会貢献したいから	0.58
仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	0.49	今、担当している仕事が面白いから	0.45
今、担当している仕事が面白いから	0.33	自分の経験や能力を発揮できるから	0.41
会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	0.33	社会とのつながりを維持したいから	0.34
自分の経験や能力を発揮できるから	0.18	仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	0.26
仕事を通じて、社会貢献したいから	0.14	会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	0.22
所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.12	健康のため	0.14
健康のため	0.01	小遣いがほしいため	0.07
小遣いがほしいため	0.01	家にいても仕方がないから	0.06
なんとなく、わからない	0.00	やり残している仕事があるから	0.03
社会とのつながりを維持したいから	-0.02	所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.02
家にいても仕方がないから	-0.02	なんとなく、わからない	-0.03
現在・将来の生活のため	-0.23	現在・将来の生活のため	-0.12

再雇用の理由	3	再雇用の理由	4
小遣いがほしいため	0.59	所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.52
健康のため	0.56	社会とのつながりを維持したいから	0.38
家にいても仕方がないから	0.30	家にいても仕方がないから	0.31
自分の経験や能力を発揮できるから	0.21	健康のため	0.20
社会とのつながりを維持したいから	0.16	仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	0.20
会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	0.14	現在・将来の生活のため	0.20
今、担当している仕事が面白いから	0.08	自分の経験や能力を発揮できるから	0.11
仕事を通じて、社会貢献したいから	0.05	今、担当している仕事が面白いから	0.10
所属先や肩書きがなくなると寂しいから	0.04	仕事を通じて、社会貢献したいから	0.08
現在・将来の生活のため	0.03	やり残している仕事があるから	0.04
なんとなく、わからない	-0.02	小遣いがほしいため	0.03
仕事を通じて、実現したい夢や理想があるから	-0.03	なんとなく、わからない	-0.06
やり残している仕事があるから	-0.05	会社や職場の仲間から働いてほしいと頼まれているから	-0.07

KMO および Bartlett の検定

Kaiser-Meyer-Olkin の標本妥当性の測度	.713
Bartlett の球面性検定	558.845
近似加2乗	78
自由度	.000
有意確率	

説明された分散の合計

因子	初期の固有値			抽出後の負荷量平方和			回転後の負荷量平方和		
	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積%	合計	分散の%	累積%
1	2.601	20.005	20.005	1.953	15.020	15.020	1.281	9.857	9.857
2	1.650	12.694	32.699	1.037	7.978	22.999	.980	7.535	17.392
3	1.139	8.759	41.458	.408	3.140	26.139	.857	6.594	23.986
4	1.052	8.092	49.550	.396	3.050	29.189	.676	5.203	29.189
5	.987	7.594	57.143						
6	.938	7.215	64.358						
7	.858	6.597	70.956						
8	.735	5.654	76.610						
9	.698	5.373	81.982						
10	.682	5.249	87.231						
11	.595	4.581	91.812						
12	.579	4.456	96.267						
13	.485	3.733	100.000						

因子抽出法: 主因子法

図 4-48 「技術者・研究職」の働く理由の因子分析

表 4-6 因子分析のまとめ

因子

	(A) 営業事務職その他	(B) 技術研究職
1	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">社会とのつながり、貢献</div> 仕事を通じて、社会に貢献したいから.61 自分の経験や能力を発揮できるから.51 社会とのつながりを維持したいから.48	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">自分中心、自己満足</div> やり残している仕事があるから.84 仕事を通して実現したい夢や理想があるから.49 今、担当している仕事が面白いから.33
2	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">暇つぶし</div> 健康のため.62 家にも仕方がないから.55 小遣いが欲しいため.45	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">社会貢献と自己中心の混在</div> 仕事を通じて、社会に貢献したいから.58 今、担当している仕事が面白いから.45 自分の経験や能力を発揮できるから.41
3	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">自分中心、自己満足</div> 自分の経験や能力が発揮できるから.43 会社や職場の仲間から働いて欲しいと頼まれるから.43 今、担当している仕事が面白いから.32	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">暇つぶし</div> 小遣いが欲しいため.59 健康のため.56 家にも仕方がないから.30
4	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">生活のため</div> 現在・将来の生活のため.61 小遣いがほしいため.08	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">仕事を辞めると寂しい</div> 所属先や肩書きがなくなると寂しいから.52 社会とのつながりを維持したいから.38

数字は因子負荷量

営業事務職その他の人達の中で、社会とのつながりや社会貢献を重視する人の因子（A-1）が固有値 2.5（図 4-47）で一番高い、技術・研究職の人達の中では自分中心・自己満足である人の因子（B-1）が固有値 2.6（図 4-48）で一番高い結果になり、仕事に対する考えが異なる人が中心になっていることが示された。先に提示した仮説「技術者・研究者と営業事務職その他の人達とは仕事をする考え方が異なる」を支持していると考えられる。

次に、因子分析に使った同じ対象者への同じ質問の回答データを使ってCHAID分析をおこなった。営業事務職その他の人達の回答を分析した結果が図 4-49 である。

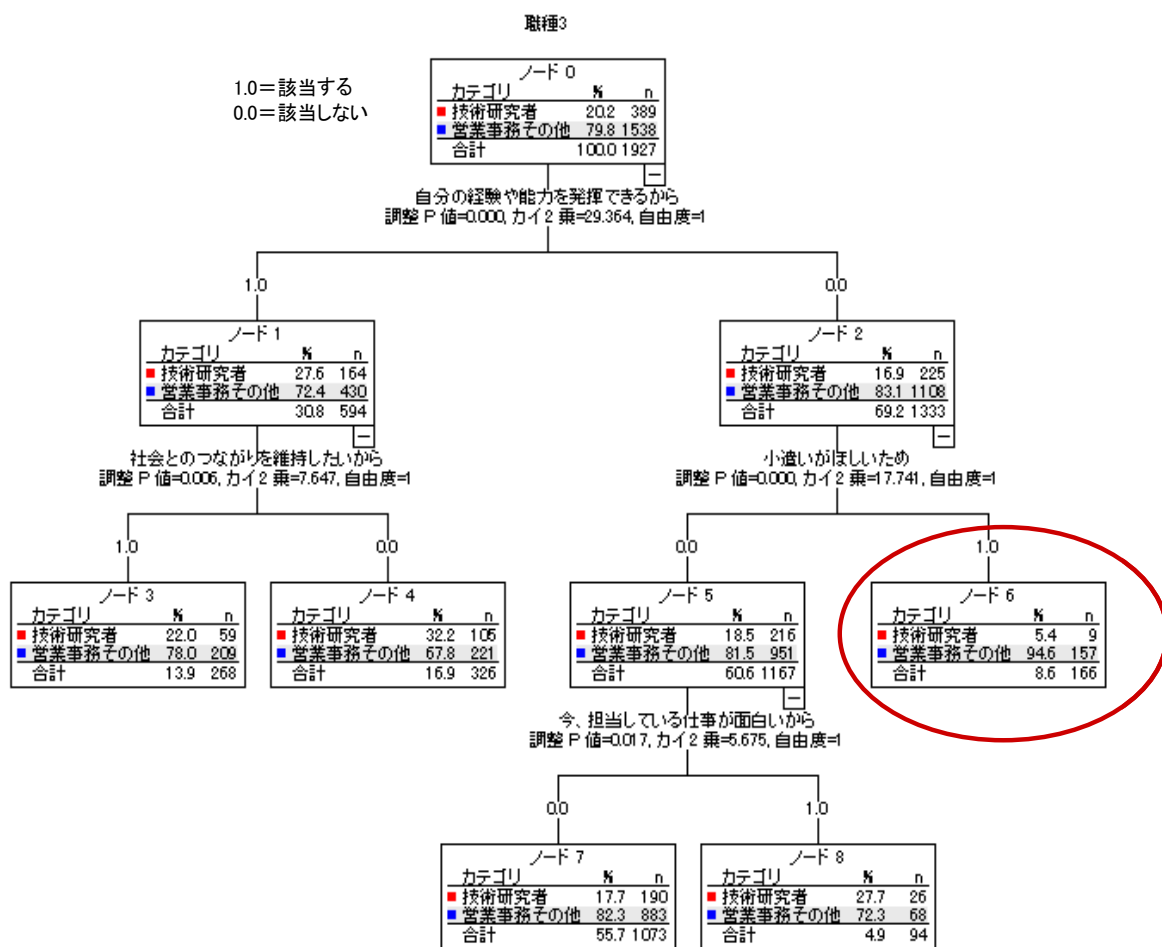


図 4-49 営業事務職その他のCHAID分析結果

第3層のノード6で94.6%（もとは79.8%）が得られた。このグループは、自分の経験や能力を生かせるかどうかには興味がなく、お金を稼ぎたいと思うグループである。このCHAID分析の結果まとめを図4-50に示す。図中「×」は該当せずで、「○」が該当である。ともかく収入を得たいグループが1Gになっている。

営業事務職その他

		%	n	
全体	技術者・研究職	20.2	389	
	営業事務職その他	79.8	1538	
1G	技術者・研究職	5.4	9	自分の経験や能力を発揮できるから(×)
	営業事務職その他	94.6	157	小遣いが欲しいため(○)
2G	技術者・研究職	17.7	190	自分の経験や能力を発揮できるから(×)
	営業事務職その他	82.3	883	小遣いが欲しいため(×) 今、担当している仕事が面白いから(×)
3G	技術者・研究職	22.0	59	自分の経験や能力を発揮できるから(○)
	営業事務職その他	78.0	209	社会とのつながりを維持したいから(○)
4G	技術者・研究職	27.7	26	自分の経験や能力を発揮できるから(○)
	営業事務職その他	72.3	68	小遣いが欲しいため(×) 今、担当している仕事が面白いから(×)
5G	技術者・研究職	32.2	105	自分の経験や能力を発揮できるから(○)
	営業事務職その他	67.8	221	社会とのつながりを維持したいから(×)

図 4-50 営業事務職その他のCHAID分析結果のまとめ

次に、技術・研究職の結果を図 4-51 に示す。第 3 層のノード 4 で 32.2% (もとは 20.2%)、第 5 層のノード 8 で 27.7% が得られた。ノード 4 は、自分の経験や能力を活かせることに興味があり、社会とのつながりには興味がないグループであり、ノード 8 は自分の経験や能力を活かせるかどうかに興味はなく、収入についても興味はなく、今自分がやっている仕事が面白いから仕事をしているグループであり、自分が仕事で満足できればよいと考えるグループである。この CHAID 分析結果のまとめを図 4-52 に示す。

先の図 4-50 で示した営業事務職その他の分析結果と明らかに異なっているといえる。

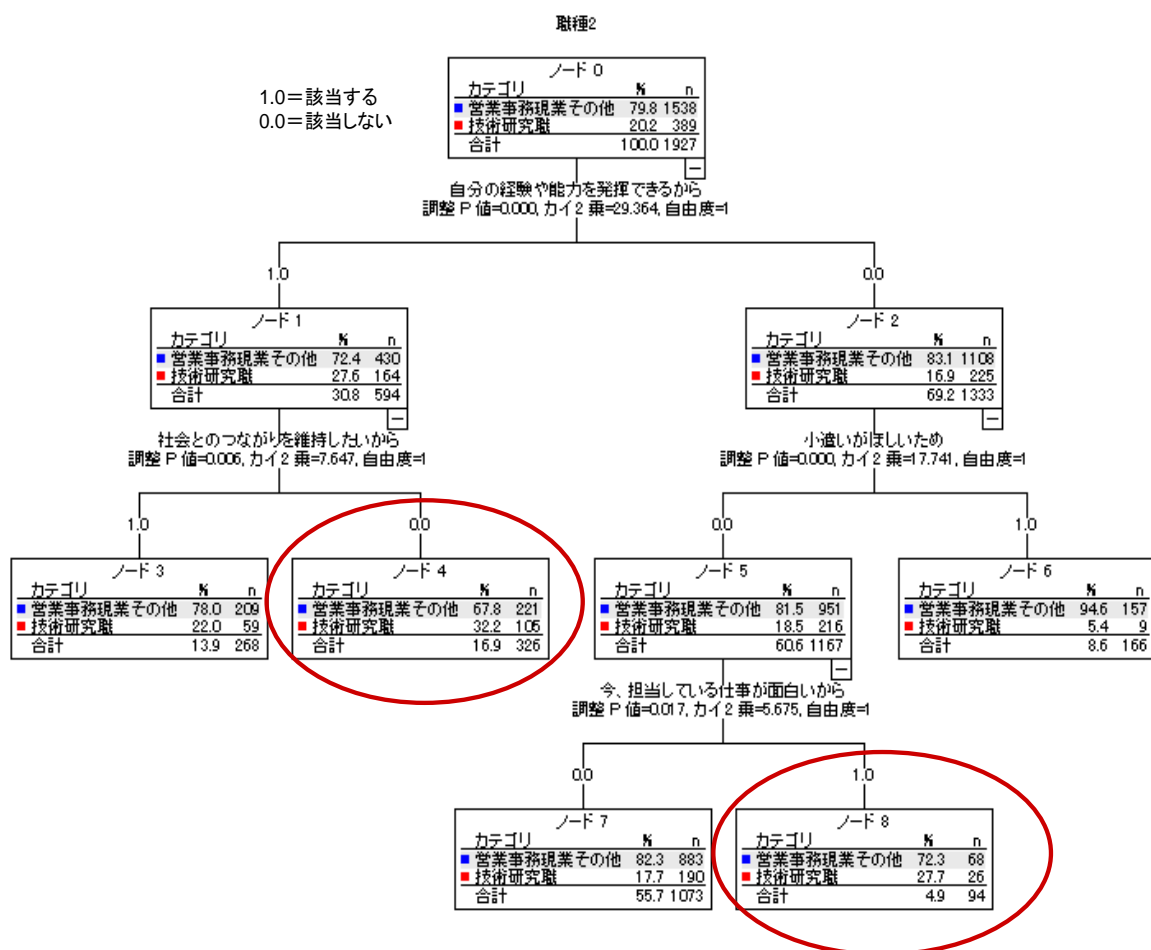


図 4-51 技術・研究職のCHAID分析結果

技術者・研究職

		%	n	
全体	営業事務職その他	79.8	1538	
	技術者・研究職	20.2	389	
1G	営業事務職その他	67.8	221	自分の経験や能力を発揮できるから(○)
	技術者・研究職	32.2	105	社会とのつながりを維持したいから(×)
2G	営業事務職その他	72.3	68	自分の経験や能力を発揮できるから(×)
	技術者・研究職	27.7	26	小遣いが欲しいため(×) 今、担当している仕事が面白いから(○)
3G	営業事務職その他	78.0	209	自分の経験や能力を発揮できるから(○)
	技術者・研究職	22.0	59	社会とのつながりを維持したいから(×)
4G	営業事務職その他	82.3	883	自分の経験や能力を発揮できるから(×)
	技術者・研究職	17.7	190	小遣いが欲しいため(×) 今、担当している仕事が面白いから(×)
5G	営業事務職その他	94.6	157	自分の経験や能力を発揮できるから(×)
	技術者・研究職	5.4	9	小遣いが欲しいため(○)

図 4-52 技術・研究職のCHAID分析結果のまとめ

以上二種類の分析をまとめると、次のことがいえる。

- (a) 技術・研究職の人達では自分が好きな仕事に興味がある人が多い（因子分析）
- (b) 技術・研究職の人達では、自分の経験や能力を活かす仕事に興味がある（CHAID分析）

- (c) 技術・研究職の人達では、今の仕事に興味があるから仕事をしている人が多い（CHAID 分析）
- (d) 営業事務職その他の人達は、収入を気にする人が多い（CHAID 分析）
- (e) 営業事務職その他の人達は、社会とのつながりを重視して仕事をする人が多い（因子分析）

これらのことから、「技術者・研究者とそれ以外の職種（事務・営業・販売等々）の人達とは仕事をする考え方が異なる」と設定した仮説は支持されたといえる。

第 4-2-1 項の半導体技術者に対するアンケートで設定した仮説である、「会社が準備する雇用延長や再雇用制度に興味がなく、収入にもこだわらず、フルタイムの仕事を好まないが、自分の経験が役に立てる仕事がある程度自由にできるなら喜んでやる」のうち、「自分が役に立てる仕事がある程度自由にできるなら喜んでやる」部分に対して支持していると考えることができる。

したがって、現在各企業で取られている暗黙知消失の対策である、定年延長や再雇用制度は、半導体技術者に対しては有効でないことを示している。彼らは、定年退職になればその会社に残りたいと思っていないし、フルタイムの仕事もしたくないし、収入も気にしていないのであって、自分の持つ経験や能力を役に立てられるかどうかに興味を持っているからであることを説明することができた。

第4-3節 半導体技術者の暗黙知の活用

前節（第4-2節）において、半導体技術者の定年後の生活に対する希望を分析して、「会社が準備する雇用延長や再雇用制度に興味がなく、収入にもこだわらず、フルタイムの仕事を好まないが、自分の経験が役に立てる仕事のある程度自由にできるなら喜んでやる」の仮説が肯定的であることを示した。本節では、まず半導体ユーザーが半導体故障発生時の対応の希望をアンケート調査し、その結果を基に半導体技術者の暗黙知を活かす仕組みを提案する。

まず、半導体ユーザーへ半導体が故障したときの半導体ベンダーへの満足度のアンケート調査をおこなった。アンケートに協力頂いた会社は、信頼性試験や半導体の故障品の故障解析の依頼を受けるルネサスクオリティエンジニアリングの顧客を中心に、メールでの回答もしくはアンケート用紙で回答を依頼した。アンケート実施は、2008年4月～6月であり、回収できたアンケートは60社である。（全体の質問票は本章末のAppendix IIIに掲載している）。

図4-53は、下記の質問の結果である。

質問;ベンダーに不良解析を依頼した時、「解析の質」についてお尋ねします

- ベンダーに依頼しない(あるいは依頼したことがない)
- 満足できる
- やや不満足
- 不満足

半導体ユーザーは、故障発生時の半導体ベンダーがおこなう故障解析レポートに対して満足しているのは7%に過ぎず、やや不満足を含めると、93%が満足していないことを示している。

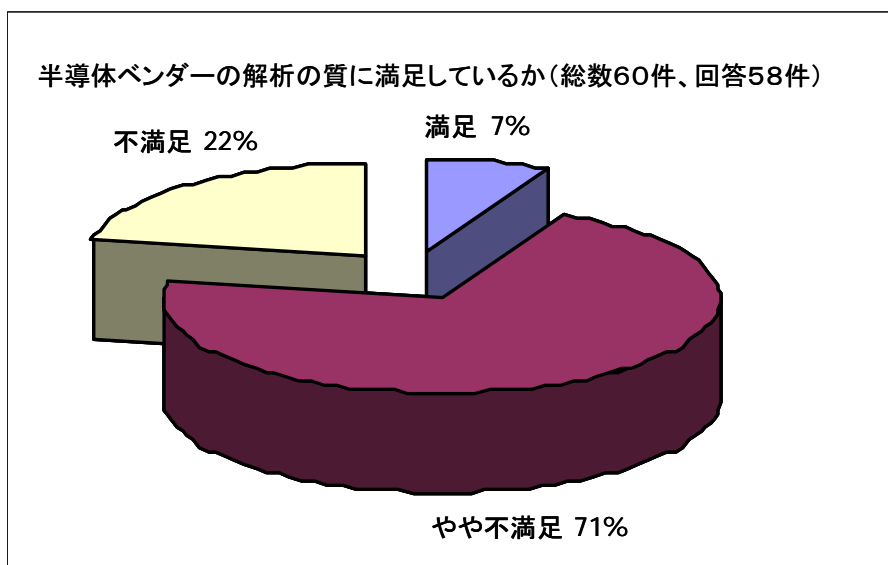


図 4-53 半導体ベンダーへの満足度合い

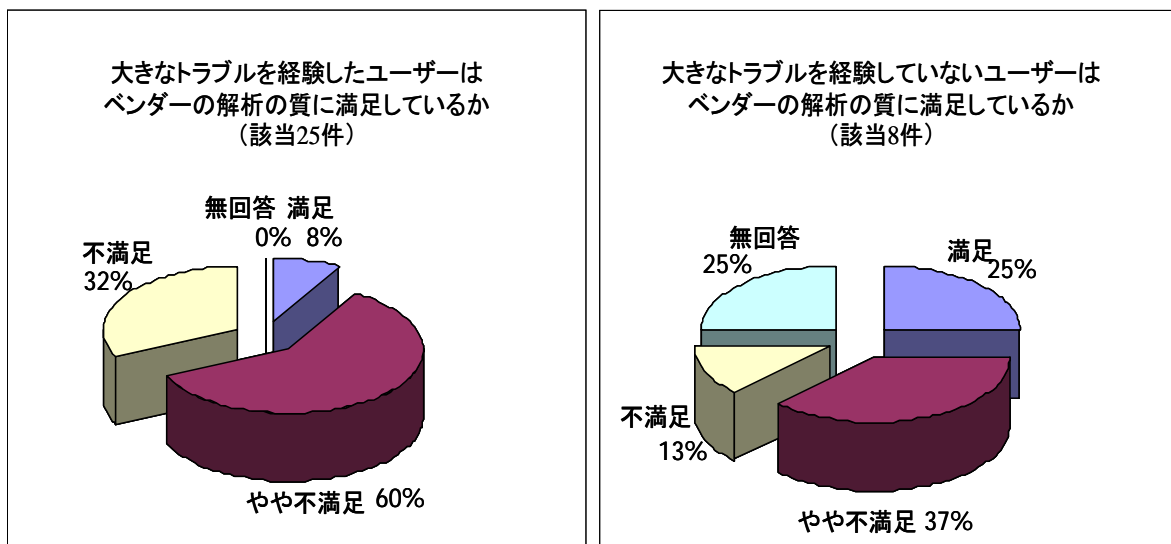


図 4-54 半導体ベンダーへの満足度の違い

次に、半導体ユーザーが大きなトラブルを経験しているかどうかで、半導体ベンダーへの満足度が変わるかどうかをクロス集計した結果が図 4-54 である。大きなトラブルを経験していない半導体ユーザー（右図）では 25%が満足しており、やや不満足も含めて 50%が満足していない。これに対して、大きなトラブルを経験している半導体ユーザー（左図）では、8%が半導体ベンダーのレポートに満足しているだけであり、92%が不満を持っている。

大きなトラブル時の、半導体ベンダーの対応が悪く満足度が下がっていると推定できる。しかし、大きなトラブルを経験していない半導体ユーザーでも半数のユーザーは不満を持っており、基本的に半導体ベンダーの故障発生時の対応はユーザーの要求に沿って十分できていないことを示している。

そこで、次のような質問をおこない、図 4-55 の結果が得られた。

質問;品質の不具合発生時に、解析をするだけでなく、ベンダーとの間に入り不具合の原因究明、および品質改善をサポートするような第三者機関(或いは企業)は必要とお考えですか

- ・必要ない
- ・場合によっては必要
- ・是非必要

必要ないと答えた半導体ユーザーは 9%しかなく、必要もしくは場合によっては必要と答えたユーザーは 91%になり、図 4-53、図 4-54 で示した半導体ベンダーへの満足度を反映する結果となった。

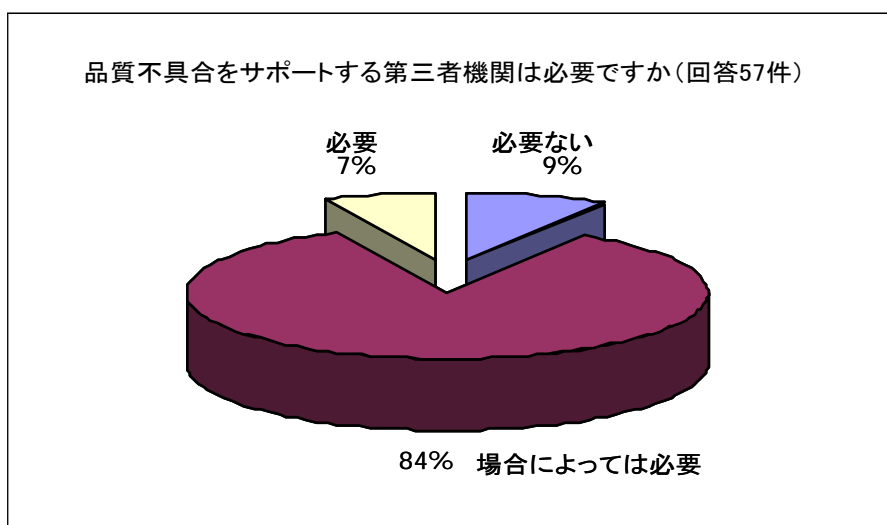


図 4-55 半導体の故障発生時のサポート機関の必要性

半導体製品（LSI）は、故障の確率は通常数 ppm 以下の値であり、充分低いといえるが、今や高集積度化が可能なることから多くの機能が一つの LSI に詰め込むことが可能になり、種々の商品の重要部品となっている。したがって、ひとたび半導体 LSI が機能故障を起こすと、その商品はまったく機能しなくなってしまう。

半導体ユーザー自身の製品価値を高めるためにも、半導体ユーザーの半導体への品質・信頼性に対する要求は、この数年どんどん厳しくなっているのが現状である。かつては民生用製品であるから 100ppm 程度の故障率でも許された時代があったが、今や 10ppm 程度の厳しい品質・信頼性を要求されるのが通常であり、一桁の品質向上が必要になる。さらに高品質を要求する自動車用の分野では、ppm の単位はもはや使われず、使用量にかかわらず何個故障を出したかで評価が決まるのが常識になってきた（通常年間 5 個程度が限度である）。半導体ベンダーもユーザーの要求に応じてさらに品質・信頼性を向上させてはいるが、故障をゼロにするにはいたらず、日常的な故障の散発とともに、突発的に大きな問題を起こすこともある。

半導体 LSI で故障が発生すると半導体ユーザーがまず対応するのであるが、原因、発生メカニズム、波及範囲、対策、回収が必要かどうか等々のできる

限り短時間での検討・決断が必要になる。多くのユーザーは、機能が詰まっているLSIを交換してLSIに問題がないのかどうかをまずチェックしているようである。もちろん、ユーザーが設計した基板や他の電子部品の故障である可能性も調査はしているようであるが。LSIが問題であることが分かれば、半導体ベンダーへLSIを不具合品として故障解析を依頼することになる。半導体ベンダーは、返却された故障品の解析を実施し、結果をユーザーに報告する。このやりとりの時に前述の半導体ユーザーの不満が発生している。ユーザー側は早く故障の原因を知って、既に出荷してしまっている商品を回収しなければならぬのか、もしくは静観するのか、さらに現在製造ラインで仕掛かっている商品を出荷していいのかどうかを判断しなければならないのである。第2章でも述べたように最近の半導体は益々集積度が上がり複雑度を増していることから、ユーザーが独自にLSIの故障解析をするには技術・費用ともに無理があり、ほとんどの場合は専門家であるLSIを購入した半導体ベンダーに故障解析を任さざるを得ないのが現状である。両者は顧客とベンダーの関係であるので利害が必ずしも一致しないことから、ユーザー側の要求をベンダー側は100%受け入れるわけにいかないこともあり、双方に不満が発生する。第2-2節の事例で紹介したように、故障解析が不十分だったことから500億円を超える被害に発展する可能性もあり、半導体ベンダーは慎重に報告するのに対して、半導体ユーザー側は一刻も早い回答を要求するからである。大きなトラブルとならない場合は半導体ベンダーに頼っていても大きな問題はないが、求償等に発展しそうな大トラブルの場合は、第三者からの技術サポートを半導体ユーザーは渴望している（図4-55を参照）。例えばLSIの故障発生のために、ユーザーの商品に内蔵するLSIを搭載した基板を交換することはよくあるケースであるが、部品代も含めて基板を含めた商品の製造コストが1枚10,000～20,000円として、1～2万枚交換するとなるとこれだけで1～4億円になってしまう。さらに交換のための余分な費用（人件費、運搬費等）がかかるので、簡単に数億円の損害が発生することになる。したがってユーザーはできる限り早く、大きな問題になるかどうかの見極めをするために原因を捜し、波及範囲をできる限り小さくすることが重要であり、半導体ベンダーにだけに依存することはリスクが高いのである。

そこで、半導体ユーザーが信頼して利用できる定年退職を迎えた半導体技

術者を活用した半導体ユーザーサポートの新しい仕組みを提案する。半導体をよく分かった第三者組織からのユーザーサポートは、半導体メーカーの都合でしか取られない対応の悪さを改善させ、半導体メーカーの独走に対して歯止め（抑止力）として働き、数億円の被害額が日常茶飯事である半導体製品トラブルの減少にもつながると期待できる。

まず、半導体ユーザーの役に立ちそうな技術資料（最新技術動向、過去のトラブル事例、各社半導体製品の比較評価結果、故障メカニズムの概説など）を作成し、ホームページ等で公開する。その結果、出てくるであろう質問や相談に対応する中で、技術サービス事業の立ち上げをおこなう。

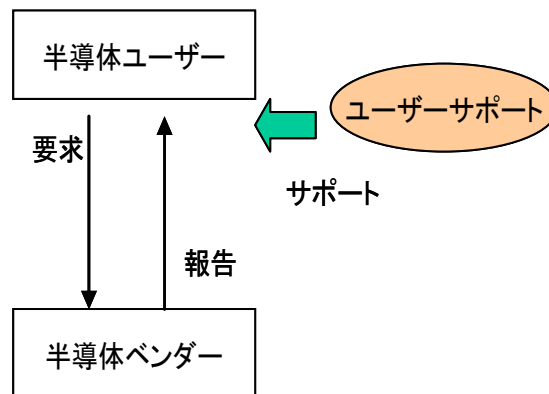


図 4-56 半導体ユーザーサポートの仕組み

半導体ユーザーサポートの新しい仕組みでのミッションは、半導体ユーザーで発生する半導体の故障解析のサポートをおこなうことである。原則的にサポートされるユーザーは、半導体ベンダーの関係は維持したままで、半導体をよく知った我々からのサポートを受けながらベンダーとの交渉をおこなう（図 4-56 に関係を示す）。半導体ベンダーが正しい方法で故障解析を実施しているか、原因追及が甘くないか、故障メカニズムの説明に矛盾はないか、故障発生率や波及範囲の予測に無理はないか等、ベンダーからの報告をベースにベンダーとは別の視点から故障の原因がどこにあるかを探り、ベンダーの対応が正しいかどうかを第三者の立場から判別し、半導体製造の都合

をよく理解した上での指導をおこなう。第 4-1 節で検証したように、この部分において技術者の暗黙知が重要な役割を果たし、コンサルタントの暗黙知の深さ・広さが発揮できる場所である。サポートは半導体技術に関する色々なことを熟知しているため、ベンダーの舞台裏での動きを推察して的確な要求をだすことによって、またユーザーからの情報もベンダーが必要とする適切な形およびタイミングで出すようにサポートし、迅速な故障原因追及を可能にする。時にはユーザーからの的はずれな要求がベンダーの対応を混乱させるケースもよくあるので、ユーザー要求が妥当かどうかのチェックもおこない、ベンダーとの会話をより円滑にする。

半導体ユーザーサポートの新しい仕組みでのポジショニングアプローチは次のようになる。市場には既に半導体の故障解析を実施する会社は色々あるが、半導体の使用量は毎年飛躍的に伸びているので、ユーザーはどんどん広がっているが、既存の故障解析の会社では、最新の技術に追随できていないと考えられる。新しい仕組みの会社では、つい最近まで実務をやっていた定年退職者であるから、保有する技術情報は最新であり、暗黙知も最新の LSI に基づいたものであるのがアピールできるポイントである。半導体の用途は広がり、複雑化しているため、ニーズは広がっていると考えられる。また、この仕組みは単に故障解析をするだけではなく、基本的に故障解析の実行は半導体ベンダーであり、解析の方法や結果の判定をサポートが持つ暗黙知を駆使することでサポートできるので、既存の解析会社のように解析装置の制限や LSI に関する技術情報の不足は皆無といえる。もちろん競争相手の徹底的な分析が必要である。

どのようなビジネス請負のやり方をするのかも戦略のうちであり、単に 1 個ずつのサポートや解析を請け負うのではなく、「〇〇不良の件」として問題解決までを一括して請け負うことも顧客満足につながると考える。特に、最近増加しているベンチャー企業の半導体ユーザーは、保有する技術者の数は少なく、自社の商品開発技術力は高いが、単なる半導体ユーザーであり、LSI は単なる部品と考えていることから、半導体で故障が発生すると大混乱になる。このようなときに問題解決のサポートが一時的な費用（固定費として常に払い続ける必要がない、必要なときにのみ契約する形を取る）で解決が約束できることからニーズは高いと考える。

新しい会社では、ネームバリューがないが、半導体製造会社の親会社の名前を使えば、ユーザーも安心してもらえると考ええる。したがって、ポジショニングアプローチをそれほど工夫することなくとも大きな問題ないと考ええる。

半導体ユーザーサポートの新しい仕組みでの資源アプローチは次のように考える。この新しい仕組みの売り物は、高い技術力である。高い技術力を維持するためには、ノウハウも含めた半導体技術をよく知った半導体製造会社の社員が必要とするのが通常である。この会社は故障解析をサポートする会社であるが、半導体製造会社である親会社を定年退職する技術者を雇い入れることで、半導体物理はもちろん、いろいろな故障事例、解析技術 等々過去の幅広い経験に基づいたノウハウも含めた暗黙知を提供することができ、高度な技術が既に備わっていることになる。これは、この会社の強いコアコンピタンスになると考える。さらに、これらの人材は必ずしも高い収入を期待していないので、コストが安くなるメリットもある。

半導体ユーザーサポートの新しい仕組みでの製品差別化は次のように考える。この会社の製品はサービスであるので、資源アプローチと同じであるが、よりよいサービスを提供することが差別化となる。高齢者の早起きを利用した、例えば時差を気にすることなくユーザーの海外工場へのサポートで差別化を図ることができる。また、担当は依頼会社に対して専任とし、自動車保険会社のように心を込めた対応を売り物にすることができる。さらに、故障解析サポートだけでなく、親会社の関連会社や友人の会社を使って半導体の受け入れ検査、信頼性評価、特性検査等々半導体に関することであればほとんどのことが実施可能であることから、ユーザーにとって便利に使ってもらえ、事業としても多角化できる可能性が高い。

半導体ユーザーサポートの新しい仕組みでの資金運営に関しては次のように考える。故障解析や分析装置は、半導体ベンダーに実施させるので基本的には不要である。また、ベンダーの報告内容の確認のために解析実施が必要な場合は、既にある親会社の装置を使用するので大きな投資は不要である。したがって、必要な費用は人件費が主であり、事業運営のリスクはきわめて小さく、成功は確実と考える。

以上のような方針で進めていくが、ユーザーへのこの会社の発信が一番の問題である。それはwebを用い、ホームページを充実させることで存在をアピールする。Web検索でのヒット率を高めるために、ホームページで使う言葉を吟味することにより、無料で宣伝できるように工夫する。

以上のように、第4-1節では半導体技術者・研究者に対するアンケート調査から、半導体信頼性技術では「ヒラメキ」や「勘」という暗黙知が日々の仕事において重要な役割を果たしていることを証明した。第4-2節では、技術者・研究者は他の職種（営業・販売・事務・製造等）の人達とは仕事に対する考え方が異なっており、「自分の好きな仕事」「自分の経験や能力を活かす仕事」に強く興味を示すことが、定年退職を迎える人達へのアンケート調査の分析から証明できた。さらに、定年退職を迎える半導体技術者・研究者は、企業が準備する再雇用や定年延長制度には興味がなく、収入にも興味がなく、時間を拘束されない生活を定年退職後に希望しておりことが証明することができた。第4-3節では、半導体ユーザーへのアンケート調査から半導体信頼性に関して、半導体ベンダーのサポートに対して不満を持っており、第三者からのサポートを望んでいることを示した。これに基づいて、定年退職を迎える半導体技術者の暗黙知を活用するための仕組みを提案し、ポジショニングアプローチ／資源アプローチ／差別化／資金運営の観点から半導体ユーザーサポートの新しい仕組みを分析し、提案する半導体ユーザーサポートの仕組みは、事業運営のリスクは低く、成功の確率が高いことを示した。

Appendix I 半導体技術者の暗黙知活用調査票

<p>【Q.1】B001：あなたは日ごろ仕事を進める上で、仕事のイメージを描きそのイメージに沿って仕事をすることがありますか。あてはまるものをひとつだけ選んでお知らせください。（ひとつだけ）[SA]</p> <p>1. イメージを描いて仕事を進めることはよくある</p> <p>2. イメージを描いて仕事を進めることはときどきある</p> <p>3. イメージを描いて仕事を進めることはあまりない</p> <p>4. イメージを描いて仕事を進めることはまったくない</p>
<p>【Q.2】B001：普段仕事をする上で、以下にあげることが役に立ったことがありますか。（それぞれひとつだけ）[SA]</p> <p>1. ご自身の「勘」</p> <p>2. ご自身の「過去の経験」</p> <p>3. ご自身の「ひらめき」</p> <p>4. ご自身が身につけた「ノウハウ」</p> <p>よくある</p> <p>ときどきある</p> <p>わからない</p> <p>あまりない</p> <p>まったくない</p>
<p>【Q.3】B001：あなたは以下にあげる仕事において難局を打開したことがありますか。（それぞれひとつだけ）[SA]</p> <p>1. 不良解析方法について</p> <p>2. 故障品の故障メカニズムの推定について</p> <p>3. 故障品の故障再現方法について</p> <p>4. ユーザーへの故障発生率推定について</p> <p>5. 故障発生への対策方法について</p> <p>6. ユーザーへの故障に関する説明方法について</p> <p>よくある</p> <p>ときどきある</p> <p>わからない</p> <p>あまりない</p> <p>まったくない</p>
<p>【Q.4】B001：以下にあげる仕事についてあなたのご経験をお知らせください。（それぞれひとつだけ）[SA]</p> <p>1. 半導体製品の故障品（半導体ユーザーで発生した故障品、自社での信頼性試験で発生した故障品など）の原因の究明</p> <p>2. 半導体設計のデザインレビュー会議で大きな成果を上げたこと</p> <p>3. 開発品の量産移行可否判断会議で大きな成果を上げたこと</p> <p>4. 出荷判断等で大きな損失を防いだこと</p> <p>5. ユーザーへの納入を急ぐ製品の出荷判断で、テスト結果などの異常を見つけてユーザーで発生する故障を未然に防いだこと</p> <p>よくある</p> <p>ときどきある</p> <p>わからない</p> <p>あまりない</p> <p>まったくない</p>
<p>【Q.5】B001：性別[SA]</p> <p>1. 男性</p> <p>2. 女性</p>
<p>【Q.6】B001：あなたの年齢をお知らせください。（ひとつだけ）[SA]</p> <p>1. 56歳未満</p> <p>2. 56歳</p> <p>3. 57歳</p> <p>4. 58歳</p> <p>5. 59歳</p> <p>6. 60歳</p> <p>7. 61歳</p> <p>8. 62歳</p> <p>9. 63歳以上</p>
<p>【Q.7】B001：あなたの現在の職種をお知らせください。（ひとつだけ）[SA]</p> <p>1. 半導体の製造</p> <p>2. 半導体を使った電子機器の製造</p> <p>3. 1、2以外の製造</p> <p>4. その他</p>
<p>Q009：4. その他[FA]</p>
<p>【Q.8】B001：あなたの職位をお知らせください。（ひとつだけ）[SA]</p> <p>1. 一般職</p> <p>2. 係長</p> <p>3. 主任級</p> <p>4. 課長級</p> <p>5. 部長級以上</p> <p>6. 取締役級</p>
<p>【Q.9】B001：あなたが現在勤めている会社の正規従業員規模をお知らせください。（ひとつだけ）[SA]</p> <p>1. 100人未満</p> <p>2. 100人以上～300人未満</p> <p>3. 300人以上～1000人未満</p> <p>4. 1000人以上～5000人未満</p> <p>5. 5000人以上</p> <p>6. わからない</p>
<p>【Q.10】B001：あなたが学校を卒業してからの勤続年数をお知らせください。（ひとつだけ）[SA]</p> <p>1. 10年未満</p> <p>2. 20年未満</p> <p>3. 30年未満</p> <p>4. 40年未満</p> <p>5. 40年以上</p>

Appendix II 半導体エンジニアへのアンケート調査票

あなたご自身についてお尋ねします

半導体の業務に過去に何年くらい従事されましたか？

5年未満, 10年未満, 15年未満, 20年以上

現在の年齢

50才未満, 50—55才, 55—57才, 60才未満, 60—62才, 62才以上

現在の仕事

会社員, 既に退職して無職, 既に退職して自営, 一度退職して再就職
会社員

既に退職して, 別の仕事

どのような仕事をしていますか/していましたか？(複数可)

基礎研究, 開発, 製造, 品質保証・品質管理, 企画・戦略

現在もしくは在職時の職位

役員級, 部長級, 課長係長級, その他

半導体でご自分の得意分野をお持ちですか。

50文字以内でご記入ください。灰色の部分にカーソルを当ててクリックしてからご記入ください。

(→)

あなたの定年後のお仕事についてお尋ねします

定年後の生活で大切と思うことは？(複数可)

収入, 時間のゆとり, 仕事, 家族, 趣味, 健康, 社会貢献, 特
にない

定年後はどのような過ごし方を希望しますか/希望していましたか？

続けて働きたい, 働きたくないが, 働かざるを得ない, 働かない,
働かないが, ボランティアなどで社会に貢献する,

働きたくはないが、自分の知識・経験を生かしたい

あなたの知識や経験が生かせる、機会があれば、生かしたいですか？

やりたい, 条件による, 気乗りがしない

どのような仕事を希望しますか？

- 再雇用制度を利用して、現在の会社を継続,
現在の会社は辞めるが、これまでの経験、技術・技能を生かした仕事
これまでの経験にかかわらず、資格を取るなどして新たな仕事
会社を創業する(コンサルタント等),

何歳まで働きたいですか？

- 60才まで, 60-63才, 65才くらい, 67-68才, 70才くらい,
年齢に関係なく

収入はどれくらい？

- 退職時と同じくらい, 多少少なくなっても仕方がない,
年金がもらえる程度, こだわらない

どのような働き方を希望しますか？

- フルタイム, パートタイム, 時間に縛られず働く,

あなたが定年退職したときに、あなたの勤めている会社は困る/困ったと思えますか？

- かなり困る, 少し困る, 普通, 困らない, 分からない

不良や故障で困っているユーザーと供給している半導体メーカーの間に立ったコンサルタントビジネスは、今後複雑化する半導体業界では必要である。

- そのとおり, そうでもない, それは違う

Appendix III 半導体ユーザーへのアンケート調査票

Q1. どのような品質不具合にお困りですか(複数回答可能)

- 品質不具合には困っていない,購入部品の不良,
自社の製造工程での不良,自社製品の出荷後の市場不良
その他の不具合()

Q2. 購入部品でどのような部品の不具合が多いですか(複数回答可能)

- 半導体,コンデンサー、抵抗、コイル,リレー、およびコネクターなどの機構部
品
その他の部材()

Q3. 半導体の中で、どのような機種の不具合が多いですか(複数回答可能)

- メモリ,MPU、MCU、DSP,ロジックLSI,アナログIC
ディスクリート素子,LD、LED、フォトダイオードなどの光素子

Q4. 新規に使用する購入部品の認定はどのようにしていますか(複数回答可能)

- 特にしない
ベンダーが提供する試験データで判定する。追加データを要求することもある
第三者の信頼性認定機関(或いは企業)に認定試験を依頼して判定する
自社で認定試験をして判定する
その他()

Q5. ベンダーにどのような試験項目のデータを要求しますか

- 依頼しない
依頼する。このとき、どの項目を依頼しますか(複数回答可能)
初期の電気的特性、電気的特性の分布データ
高温/低温動作試験、高温/低温保存試験、
温度サイクル試験、熱衝撃試験、耐湿性試験
半田付き性試験
その他()

Q6. 第三者の信頼性認定機関(或いは企業)にはどのような項目を依頼しますか

- 依頼しない

依頼する。このとき、どのような項目を依頼しますか(複数回答可能)

初期の電气的特性、電气的特性の分布データ

高温／低温動作試験、高温／低温保存試験

温度サイクル試験、熱衝撃試験、耐湿性試験

半田付き性試験, その他()

Q7. 御社で行う認定試験では、どのような項目を試験しますか

認定試験をしない

認定試験をする。このとき、どのような項目を試験しますか(複数回答可能)

初期の電气的特性、電气的特性の分布データ

高温／低温動作試験、高温／低温保存試験

温度サイクル試験、熱衝撃試験、耐湿性試験

半田付き性試験

その他()

Q8. 御社で品質不具合が発生したとき、原因の追求をどのようにしますか(複数回答可能)

自社で全数解析する, ベンダーに解析してもらい, 第三者の解析機関(或いは企業)に解析してもらい, 解析しない

Q9. ベンダーに不良解析を依頼したとき、「解析の質」についてお尋ねします

ベンダーに依頼しない(あるいは依頼したことがない)

満足できる, やや不満足, 不満足

Q10. ベンダーに不良解析を依頼したとき、改善策を含む「調査報告」についてお尋ねします

ベンダーに依頼しない(あるいは依頼したことがない)

満足できる, やや不満足, 不満足

Q11. 第三者の解析機関(或いは企業)に解析を依頼したときについてお尋ねします。解析を依頼する機関・企業は、何社ありますか

0社(依頼しない), 1社, 2～3社, 4社以上

Q12. 第三者の解析機関(或いは企業)に解析を依頼したとき、解析機関・企業の

「解析の質」に満足していますか

- 第三者の解析機関(或いは企業)に依頼しない
- 満足している, やや不満足, 不満足

Q13. 第三者の解析機関(或いは企業)に解析を依頼したとき、改善策を含む「解析レポート」に満足していますか

- 第三者の解析機関(或いは企業)に依頼しない
- 満足している, やや不満足, 不満足

Q14. 第三者の解析機関(或いは企業)に解析を依頼したとき、満足していますか

- 満足している,
- 満足していない。このとき、理由は何ですか(複数回答可能)
- 解析の質が低い, 解析レポートの質が悪い, 納期が長い
- 価格が高い
- その他()

Q15. 御社では、解析装置を保有していますか?

- 保有していない
- 保有している。この時、どのような装置を保有していますか(複数回答可能)
- 実体顕微鏡、金属顕微鏡などの光学顕微鏡を保有している
- オープン・ショートを確認できるテスターを有している
- テスタ(機能を確認出来る)を保有している
- 半導体を開封する装置を有している
- 不具合を確認できる解析装置(X線解析、SEM、EPMA等)を有している

Q16. 御社で解析をして不良原因の追求ができますか

- 究明できる, あまり究明できない, ほとんど究明できない

Q17. 御社で不良原因を究明できない原因は何ですか(複数回答可能)

- 解析装置がない, テスターがない,
- 半導体に対する知識、半導体の解析技術がない, マンパワーがない
- その他()

Q18. 品質の不具合発生時に、解析をするだけでなく、ベンダーとの間に入り不具

合の原因究明、および品質改善をサポートするような第三者機関(或いは企業)は必要とお考えですか

必要ない, 場合によっては必要, 是非必要

Q19. 品質上で、重大な課題は何だと思えますか

()

Q20. 半導体で品質上の問題が発生したとき、御社が評価解析を依頼する第三者機関(或いは企業)で、信頼できる評価解析の第三者機関・企業は有りますか

ある, ない

第5章 まとめと結論

団塊世代の技術者・研究者の一斉退社によって、彼らが持つ暗黙知が消失することは大きな社会問題であることを示した。科学技術分野での知識創造においても、暗黙知が重要な役割を果たすからである。

- I. 半導体技術者が持つ知識では、形式知が中心であるのは当然であるが、自分の体験を基にした暗黙知が形式知の周りに存在し、知識創造に「ヒラメキ」や「勘」といった形で暗黙知が重要な役割を果たしている。
- II. 知識創造は、その創造プロセスにおいて既存の知識の組み合わせで成すことができる知識創造と、既存の知識の組み合わせでは達成することができず「ヒラメキ」のような何らかのきっかけが必要な知識創造の二種類に分類することが可能であり、何らかのきっかけをもって導き出される画期的知識創造になればなるほど暗黙知の役割が大きくなる。
- III. 何らかのきっかけが必要な知識創造では、大脳新皮質での自由連想が関与している可能性が高く、自由連想によって「ヒラメキ」や「勘」が生まれ、知識創造のためのきっかけが得られる。
- IV. 半導体信頼性の技術者・研究者へのアンケート結果を分析して、日頃の仕事で「ヒラメキ」や「勘」を役立てている人達は、仕事の上で大きな成果を上げており、半導体信頼性技術分野では暗黙知の役割が大きいことが証明できた。

また、団塊世代の技術者・研究者に対するアンケート調査の分析で、自身の経験・知識を活かすことには積極的で、定年延長のような形でなく、自由な非常勤的勤務形態を好み、収入にも関心がないことを示し、企業が準備する定年延長や再雇用制度は団塊世代の技術者・研究者に対しては効果がないことを示した。

半導体ユーザーは、半導体の品質問題に悩んでおり、半導体メーカーとは利害が反することが多いため、第三者からの技術サポートを望んでいることがアンケート結果から示すことができた。

それゆえ、団塊世代の技術者や研究者を非常勤的に活用する半導体ユーザーサポートの新しい仕組みは低リスクであり有効であることを示すことができた。

参考文献

- ¹ 日本の人口ピラミッド;国立社会保障・人口問題研究所 推計人口(2000年時点) <http://www.ipss.go.jp/>
- ² 財務総合政策研究所 団塊世代の退職と日本経済に関する研究会 <http://www.mof.go.jp/jouhou/soken/kenkyu/zk068.htm>
- ³ 日本国勢調査結果;総務省統計局ホームページ <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2000/index.htm>
- ⁴ 厚生労働省「平成19年度 能力開発基本調査 結果概要」。
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2008/06/h0609-1.html>
- ⁵ Web で学ぶ 情報処理概論。
<http://www.infonet.co.jp/ueyama/ip/history/eniac.html>
- ⁶ JEITA規格 ED-4704 「LSIの故障メカニズムに基づいた信頼性試験方法」。
- ⁷ JEITA規格 EDR-4707 「LSIの故障メカニズム及び試験方法に関する調査報告」。
- ⁸ JEITA規格 ED-4705 「FLASHメモリの信頼性試験方法」。
- ⁹ JEITA規格 EDR-4701 /001、100～500 「半導体デバイスの環境および耐久性試験方法」。
- ¹⁰ JEITA規格 EDR-4704A 「半導体デバイスの加速寿命試験運用ガイドライン」。
- ¹¹ 株式会社ルネサステクノロジ提供。
- ¹² R.H.Dennard et al; "Design of Ion-Implanted MOSFET's with Very Small Physical Dimensions", IEEE Journal of Solid State Circuits SC9, pp.256-268, 1974.
- ¹³ T.Miyakawa, T.Ichiki, J.Mitsuhashi, K.Miyamoto, T.Tada, T.Koyama; "Study of Time Dependent Dielectric Breakdown in Ultrathin Gate Oxide", Jpn. J. Appl. Phys., 46(2007). ppL691.
- ¹⁴ H.Satake et al.; "Impact of TDDB Distribution Function on Lifetime Estimation in Ultra-Thin Gate Oxides", SSDM, Sendai, pp.248-249, 2000.
- ¹⁵ J.R.Black; "Physics of Electromigration", Proc. 1974 IEEE IRPS pp.142-159.
- ¹⁶ 松本、岩崎、沢田、大槻;“エレクトロマイグレーションによるAl薄膜の断線故障

- (2)」、第5回信頼性・保全性シンポジウム、pp. 393 (1975)。
- 17 松本、高野、岩崎、西岡、大槻.; “エレクトロマイグレーションによるAl薄膜の断線故障”、第4回日科技連信頼性・保全性シンポジウム、pp. 391 (1974).
- 18 J. Klema, R.Pyle and E. Domangue: "Reliability Implications of Nitrogen Contamination during Deposition of Sputtered Aluminum/Silicon Metal Films", The 22nd Annual Proc. of International Reliability Physics Symp. pp. 1-5, (1984).
- 19 西久保、尾上、宮本、牧、松本: “Al薄膜配線のエレクトロ/ストレスマイグレーション故障”、第19回日科技連信頼性・保全性シンポジウム、pp. 255 (1989).
- 20 T.H.Ning; "Hot-carrier emission currents in n-channel IGFET's", Int. Election device Meet. Tech., Dig. pp.144-147, 1977.
- 21 H.Matsumoto, K.Sawada, S.Asai, H.Hirayama and K.Nagasawa; "Effect of Long Term Stress on IGFET Degradation due to Hot Electron Trapping", IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-28, 923(1981).
- 22 H.Matsumoto, K.Miyamoto, Y.Satoh and S.Ishida; "Comparison of Impact Ionization Current between PMOS and NMOS" Jpn. App. Phys., 21(1984)L546.
- 23 YOMIURI ON LINE 2006年10月3日3時1分 読売新聞。
- 24 マイケル・ポランニー著、高橋 勇夫 訳、「暗黙知の次元」、ちくま学芸文庫。
- 25 森 敏昭、中條 和光 編、「認知心理学キーワード」、有斐閣双書。
- 26 野中郁次郎、竹内 弘高 著 梅本 勝博訳、「知識創造企業」、東洋経済新報社。
- 27 野中郁次郎、紺野登 著、「知識経営のすすめ —ナレッジマネジメントとその時代—」、ちくま書房。
- 28 Webページを参照 脳の構造と働き【脳のお勉強会】、
URL : <http://www.brain-studymeeting.com/str>
- 29 富永 裕久 著、茂木健一郎 監修、「目からウロコの脳科学」、PHP研究所。
- 30 ロバート・オーンスタイン+リチャード・F・トムソン著、水谷弘訳、「脳ってすごい!」、草思社。
- 31 ナンシー・C・アンドリアセン著、長野敬+太田英彦訳、「天才の脳科学」、青土社。
- 32 フロイト著、高橋 義孝、下坂 幸三 訳、「精神分析入門 上下」、新潮文庫。

- ³³ 茂木健一郎 著、「それでも脳はたくらむ」、中公新書。
- ³⁴ 茂木健一郎 著、「ひらめき脳」、新潮新書。
- ³⁵ 山鳥 重 著、「分かるとはどういうことか 認識の脳科学」、ちくま新書。
- ³⁶ K.Miyamoto, H.Matsumoto, Y.Ohbayashi, T.Miyamoto, H.Matsumura; "A New Breakdown Phenomenon in High Density RAM", Intern. Symp. For Testing and Failure Analysis(1983) .
- ³⁷ K.Miyamoto, H.Matsumoto, Y.Ohbayashi, I.Ohkura and H.Matsumura; "A New Breakdown Phenomenon in Fine Structured VLSI Circuits", Jpn. J. Appl. Phys. 20(1981) pp.L523.
- ³⁸ 独立行政法人 高齢・障害者雇用支援機構のホームページ。
(<http://www.jeed.or.jp>)から。

謝辞

高知工科大学大学院 起業家コース 博士課程への入学を、当時の松本平八教授に勧めて頂いてから、早いもので3年たちました。半導体 LSI の品質保証の仕事にどっぷりとついていた筆者にとって、起業家コースでの研究は、過去経験したことのない非常に新鮮で貴重な経験でした。昔、半導体 LSI の品質保証の仕事で大切なものは「KKD（勘・経験・度胸）」であるとよく同僚と話していました。当時は「暗黙知」の知識はなかったのですが、仕事を実践する中でヒラメキや勘の重要性を感じていたのだなと思いました。本研究をまとめながら、「KKD」の本質は「暗黙知」であり、過去に筆者が仕事を進める上で「暗黙知」は非常に重要な役割を果たしてきてくれたことを改めて認識しました。このような機会を紹介して頂き、さらに温かくご指導頂きました、松本平八客員教授に深く感謝申し上げます。

また、終始温かく激励・ご指導くださった指導教官の若木宏一教授、平野 真コース長、富澤 治教授 他起業家コースの教授・講師の方々のお陰で本研究をまとめることができました。ここに深く感謝申し上げます。

また、学業を続けていく上でいつも迅速で的確なサポートを頂きました秘書室の安東様と木藤様、大阪教室の水野様、東京教室の土井様に心より御礼申し上げます。

さらに、奉職先である株式会社ルネサステクノロジの長澤特別顧問、塚本会長、赤尾社長、魚谷顧問、中屋取締役をはじめとする経営幹部の皆様、同僚諸氏、そしてアンケートにご協力頂いた方々と、多くの皆様方のご支援・ご協力・激励を頂きました。改めて深く御礼申し上げます。

最後に、起業家コース 博士課程への進学を応援してくれ、温かく見守ってくれた妻 昌子に心から感謝します。

平成 21 年 9 月 吉日
東京・西葛西にて
宮本 和俊