

博士論文

半導体製造産業における黎明期のビジネス・エコシステムに関する研究

A Study on Early Stage Business Ecosystem
in the Semiconductor Manufacturing Industry

2017年3月

三宅 賢治

山口大学大学院理工学研究科

半導体製造産業における黎明期のビジネス・エコシステムに関する研究

要 旨

本論文は、半導体製造産業における未充足のニーズの存在と、それを前提とした最適規模生産について分析し、中小ベンチャー企業が中心となりうる新たなビジネス・エコシステムの形成について検討した。これまで半導体製造産業は、産業全体で規模の経済性追求を目指し、国際半導体技術ロードマップ(ITRS)に従って微細化やウェハの大口径化実現に向けて協調的・分業的に研究開発を遂行して、強固なエコシステムを形成してきた。しかし、規模の経済性追求を目指した高度なエコシステムの合理化は、小ロットの需要に対して対応力がないという課題を有している。したがって、それを充足する生産方式を核とした新たなエコシステムの形成・成長は、長期的には産業の平均生産費用曲線に変革をもたらし、業界の新たなエコシステムの形成に至る可能性がある。

第1章の序論は、研究の背景、目的、研究方法及び論文の構成について記載した。

第2章では半導体製造産業の近年の動向について概説し、漸進的な微細化とウェハの大口径化による規模の経済性実現によっては充足されない市場の存在を明らかにした。半導体製造産業では、大口径ウェハによる大量生産でコストダウンを行い、マス市場の高機能化と低コスト化の要求に対応してきた。しかし、その弊害は試作等を目的とした小ロット生産は割高かつ長納期となっており、大口径化が進行すればするほど、代替的生産方式の重要性とそれに対するニーズの高まりを示した。さらに、生産システムの小型化による小ロット向けの最適規模生産の実現は、半導体製造産業において中小ベンチャー企業による新たなビジネス・エコシステムの形成につながるケースの存在を明らかにした。

第3章では、上記の問題提起の妥当性を検討する枠組みを構築するため、成熟産業である鉄鋼産業において、生産システムの小型化と操業度に関する柔軟性の実現によって市場を獲得していったミニミル生産方式の事例を分析した。その結果、①設備投資金額が少なく低環境負荷を実現した生産システムの小型化、②マーケット規模に合わせた最適規模生産、③既存製造プロセスとの組合せによる品質向上の3つの要因がミニミルを普及させたと示した。

第4章では、前章での分析を前提に、革新的な製造プロセス開発によって半導体製造産業において生産システムの小型化を目指し、不首尾に終わったボールセミコンダクター社(以下、ボールセミ社)の事例を分析した。その結果、①イノベーションの発生時期が半導体製造産業の成長期であったために大量生産を目指した、②主要部材がウェハから球状シリコンへと非連続に変化したために全製造工程の要素技術の研究開発が必要であった、③参加企業が少ないためにビジネス・エコシステムを形成できなかった。これらがミニミルのケースと本質的に相違と解明した。

さらに、現在の半導体製造産業のエコシステムでは、ボールセミ社の活動時と異なり、大規模化による生産性の向上は市場ニーズを十分満たせず、新たなエコシステムの登場に適した環境条件にあると示した。半導体の成長期から成熟期までの規模の経済をけん引した ITRS 活動は終焉し、アプリケーションの観点からの新たなロードマップ(IRDS)策定の議論が始まった。この背景を分析した結果、微細化、大口径化を伴わない化合物半導体、MEMS、アナログデバイス、バイオデバイスなどを主体とする、従来とは違う新たなビジネス・エコシステム形成の可能性を明らかにした。

第 5 章では、半導体業界において多品種少量ニーズを充足する新たな最適規模生産方式を構築する可能性を持つミニマルファブプロジェクトに注目し、中小企業の連合体によっていかにして新たなビジネス・エコシステムが形成されつつあるかを、当該プロジェクトに参加した企業に対してアンケート調査とフレームワークにより分析した。この結果、①産学官連携コンソーシアムの設立によって、コア技術を有するオープンイノベーションを志向する企業が幅広く参集する、②早期にコンセンサス標準を策定して、各主体が自身の強みを生かしながら効率的に技術開発を分業化できる体制の早期整備、③プロジェクトマネジメント力とコンセプト立案力を有する強力なリーダーの存在。これら 3 つによって、ミニマルファブのビジネス・エコシステムは推進可能であると明らかにした。

第 6・第 7 章では、黎明期にあるビジネス・エコシステムに属する企業の戦略と組織能力について分析し、参加企業に求められる内的条件について検討した。

第 6 章での分析は、4 章のボールセミ社の事例分析から導いた戦略に関する仮説の妥当性を検証した。検証の対象は、株式会社 PMT 社の半導体試作受託製造サービスである。PMT 社のターゲットとする試作半導体は、ITRS に追従しない化合物半導体、MEMS、バイオデバイスなどである。試作で一番コストと時間を要するのはマスク製作である。PMT 社では同社が開発したミニマルファブ用のマスクレス露光装置をフォトリソプロセスに導入し、その他の製造プロセスには既存装置を使用するハイブリッドプロセスで短納期と低コストを実現している。

また、ビジネス・エコシステムの形成が着実に進行していくためには、関係各主体が外部からの知識を効果的に吸収・活用し、全体の開発ロードマップに沿って開発を推進できるだけの組織能力を有していなければならない。

そこで、第 7 章では、オープンイノベーション推進の基礎である適応能力(Absorptive Capacity)について検討した。まず、適応能力の定量的評価のためのフレームワークを考案し、PMT 社がマスクレス露光装置の開発を成功できた要因を、ボールセミ社との比較で検討した。その結果、開発着手時点での社内の適用能力の程度に照らして、適切に外部知識を活用する能力の肝要を明らかにした。こうした情報はビジネス・エコシステムを構成する企業群での共有により、エコシステム内での連携は活発になり、知の共有化が進展して、より合理的かつイノベティブなエコシステムの形成につながると示した。

最後に、第 8 章は本研究の結論を述べる。鉄鋼産業におけるミニミルのように半導体製造産業においても新たな最適規模生産方式を核としたビジネス・エコシステムの形成余地は十分存在するが、それを実現するための中小企業間のネットワークは各参加主体の戦略的な協調と、主体ごとの適応能力の違いを反映したコンピタンスの相互補完関係の強化の必要不可欠を指摘した。また、今回の研究は、半導体製造のビジネス・エコシステムに限定して検討したが、IRDS にみられる近年の動向を踏まえれば、アプリケーションまでも含めたより広範なビジネス・エコシステムの検討が、本研究の発展につながると考える。

A Study on Early Stage Business Ecosystem in the Semiconductor Manufacturing Industry

Abstract

This paper examined the existence of unsatisfied needs in the semiconductor market and analyzing the optimum scale production on that basis, and examined the formation of a new business ecosystem that can be centered on SME (Small to Medium Enterprise) & Start-up companies. Until now, the semiconductor manufacturing industry still aims to pursue the economy of scale as a whole industry, conduct research and development in a cooperative and divisional manner toward realization of microfabrication and wafer diameter scale-up according to ITRS; thereby realizing a robust ecosystem has been formed. However, the rationalization of sophisticated ecosystems aimed at pursuing the economy of scale has a problem that there is no ability to respond to demand of small lots. Therefore, the formation and growth of a new ecosystem centered on a production method that satisfies this, will lead to a change in the average production cost curve of the industry over the long term; possibly leading to the formation of a new ecosystem in the industry.

In Chapter 1, I described the background of the research, research method and composition of the paper as an introduction.

Chapter 2 outlines recent trends in the semiconductor industry and clarifies that there is a market which is not satisfied with the realization of economies of scale with incremental change of wafer diameter. In the semiconductor industry, we have responded to the demands for high-performance and low-cost for huge markets by reducing costs of mass production with large-diameter wafers. However, as a hindrance to this, small-lot production for the purpose of prototype manufacture, and such, are expensive and have a long delivery time, I showed that the larger the diameter is, the more important the alternative production methods and the need for those methods become. Furthermore, The realization of optimum scale production for small lots by scaling down of production systems revealed that there may be cases where SME & Start-up companies can form new business ecosystems in the semiconductor industry.

In Chapter 3, in order to establish a framework to examine the validity of the above-mentioned problems, I referred to the example. that in the steel industry, which is a mature industry, And, I analyzed the case of the mini-mill production method which gained market share by realizing a scaled down version of its manufacturing system

and realization of flexibility in its operations. As a result, the following points were clarified as factors of the mini mill spread: (1) The scale down of production system with low capital investment amount, low environmental impact. (2) Optimal scale production with market scale. (3) Quality improvement by combining with existing manufacturing processes.

In Chapter 4, based on the analysis in the previous chapter, I analyzed cases of Ball Semiconductor Company (Ball), which aimed to scale down the production system in the semiconductor industry through the innovative process development, but failed, I focused on the point that it differs from the mini mill case in particular. As a result, there were three differences: (1) Since the timing of occurrence of innovation was the growth period of the semiconductor industry, it was aimed at mass production. (2) The main component changed discontinuously from wafer to silicon sphere, so it is necessary to research and development of the elemental technologies of the whole manufacturing process. (3) Business ecosystem was not formed because of few participating companies.

Furthermore, in the current semiconductor industry ecosystem; unlike Ball's activities, improvement in productivity due to large-scaled products cannot fully satisfy the market needs and it is shown that the environmental condition is suitable for the appearance of a new ecosystem. The ITRS activities that towed economies of scale from the growth stage of semiconductors to the maturity stage was finished, as a result of analyzing the background that a new roadmap (IRDS) formulation from the viewpoint of the application is being discussed, it became clear that the possibility of forming a new business ecosystem was different from the conventional one which is mainly composed of compound semiconductors, MEMS, analog devices, bio-devices and the like without miniaturization and large diameter wafer.

In Chapter 5, I focus on the minimal fab projects that may establish a new optimal scale production method that meets the needs of high-mix and low volume production in the semiconductor industry, and I analyzed how a new business ecosystem is being formed by the federation of SME by questionnaire survey of companies participating in the project. As a result, it became clear that the business ecosystem of the minimal fab could be promoted by the following three points: (1) The establishment of industry-academia collaborative consortium, companies that have core technologies oriented towards open innovation will gather from a wide. (2) By establishing consensus standards at an early stage, early development of a system that allows each entity to divide up technological development efficiently while making full use of its strengths. (3) Existence of strong leaders with project management skills and concept planning

skills

In Chapter 6 and Chapter 7, I analyzed the internal conditions required of participating companies by analyzing the strategy and organizational capabilities of companies belonging to the business ecosystem in the early stages. The object of analysis is PMT Co., Ltd. who was in charge of developing a mask-less exposure equipment for the minimal fab.

The analysis in Chapter 6 examines the validity of the strategy hypothesis derived from the case analysis of Ball in Chapter 4. As a target of verification, I analyzed PMT which started foundry service of semiconductor prototyping. The targeted prototype semiconductor by PMT is supposed to be a compound semiconductor, MEMS, biotechnology device, etc. that does not follow ITRS. Making the mask is the most costly and time-consuming activity in prototype cost. It became clear that the PMT realized short delivery time and low cost by using the hybrid process between photolithography process with the mask-less exposure equipment for the minimal fab developed by PMT and existing equipment for other processes.

Also, in order for the formation of business ecosystems to progress steadily, we must have enough organizational capacity so that each of the parties concerned can absorb, utilize externally knowledge effectively, and promote development along the entire development roadmap.

Therefore, Chapter 7 discussed the Absorptive Capacity that is the basis of promoting open innovation. First, I developed a framework for quantitative assessment of Absorptive Capacity, and investigated the factors that PMT was able to successfully develop the mask-less exposure equipment, in comparison with Ball. As a result, it was clear that it is essential to have the ability to properly utilize external knowledge in light of the degree of in-house Absorptive Capacity at the time of development. This kind of information is shared by a group of companies expected to compose a business ecosystem, so that cooperation within the ecosystem becomes active; thus, progress of sharing of knowledge also, shown innovation that leads to a more rational and innovative ecosystem.

Finally, in Chapter 8, as a summary of this research, I showed that just as mini-mill in the steel industry case could prove, the semiconductor industry could also follow the same example. Thus, it is possible to form a business ecosystem centered on a new optimal scale production method. And in order to realize this, it is essential to strengthen mutual complementary relationships between strategic cooperation of each participating entity and competence reflecting the difference in Absorptive Capacity of

each entity.

In addition, although this study was limited to business ecosystem related to semiconductor manufacturing, based on recent trends in IRDS, I pointed out that consideration of a broader business and ecosystem including the application will lead to the development of this research.

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 本論文の目的	2
1.3 本論文の研究方法	3
1.4 本論文の構成	4
注釈	6
参考文献	7
第 2 章 半導体製造産業の現状と問題提起	9
2.1 半導体製造産業の現状	9
2.2 半導体製造産業の問題提起	15
注釈	17
参考文献	18
第 3 章 鉄鋼産業の最適規模生産システム事例研究	19
3.1 緒言	19
3.2 ミニミルとは	20
3.3 鉄鋼産業のビジネス・エコシステム	22
3.4 結語	24
参考文献	25
第 4 章 半導体生産システムの小型化を試みた事例研究	27
4.1 緒言	27
4.2 1996 年当時の半導体製造産業について	28
4.3 ボールセミ社とは	30
4.4 球状半導体の開発目的	34
4.5 球状半導体の製造プロセスイノベーション	35
4.6 球状半導体製造の技術的課題	40
4.7 球状半導体のアプリケーション開発	45

4.8	高付加価値デバイスへの開発方針変更	47
4.9	新たなオープンイノベーション	48
4.10	知財戦略	49
4.11	ディスカッション	50
4.12	結語	55
	注釈	57
	参考文献	58
第5章 黎明期のビジネス・エコシステム生成要因研究		61
5.1	緒言	61
5.2	ミニマルファブ	64
5.2.1	ミニマルファブとは	64
5.2.2	ミニマルファブが誕生した経緯	68
5.2.3	ミニマルファブのターゲット市場	70
5.2.4	ファブシステム研究会へのアンケート調査	71
5.3	ビジネス・エコシステムの先行研究	81
5.4	本研究のフレームワーク	83
5.5	既存生産システムのフレームワークによる分析	85
5.6.	ミニマル生産システムのフレームワークによる分析	88
5.7	ディスカッション	90
5.8	結語	92
	注釈	94
	参考文献	95
第6章 ミニマルファブのマーケット参入事例研究		97
6.1	緒言	97
6.2	株式会社ピーエムティー会社概要	98
6.3	ファウンドリ事業	100
6.4	事業戦略	101
6.5	結語	105
	参考文献	106
第7章 Absorptive Capacity の評価尺度研究		107

7.1	緒言	107
7.2	Absorptive Capacity についての先行研究	110
7.3	Absorptive Capacity 評価フレームワーク	111
7.4	事例研究：マスクレス露光装置	114
7.5	インプリケーション	119
7.6	結語	120
	参考文献	121
第 8 章 結論		123
8.1	本研究のまとめ	123
8.2	今後の展望	126
謝辞		127
付録		
付録 A	ボールセミコンダクター社インタビュー	A-1
付録 B	第 1 回 ミニマルファブイノベーション戦略に関する アンケート調査報告書	B-1
付録 C	第 2 回 ミニマルファブイノベーション戦略に関する アンケート調査報告書	C-1
付録 D	第 3 回 ミニマルファブイノベーション戦略に関する アンケート調査報告書	D-1

図目次

1.1 「半導体製造産業における黎明期のビジネス・エコシステムに関する研究」の論文構成	4
2.1 スケーリング則	10
2.2 マイクロプロセッサの集積度トレンド	10
2.3 微細化技術ロードマップ	12
2.4 液浸露光装置のメーカー別マーケットシェアと液浸特許比率	12
2.5 半導体製造産業の成長と飽和	13
2.6 世界半導体地域別市場(%)	14
2.7 全米ファブ(185)の最小線幅とウェハ口径	16
3.1 総合鉄鋼生産方式とミニミル生産方式の比較	20
3.2 ミニミルの市場拡大	21
3.3 国内鉄鋼産業のビジネス・エコシステム	23
4.1 シリコンインゴットとウェハ	28
4.2 半導体製造企業の企業形態の変遷	29
4.3 直径 1mm 球状半導体	30
4.4 米国テキサス州アレン市のボールセミ社	31
4.5 ある半導体製造プロセスフロー	35
4.6 ウェハ, チップ, 及びパッケージ	36
4.7 圧縮性流体中の非接触プロセス (直径 1.6mm, 600m のテフロン・チューブ)	36
4.8 設備投資の比較	37
4.9 球面に集積回路を形成する製造工程	38
4.10 後工程の比較	38
4.11 自由落下中の単結晶化技術	40
4.12 連続ポリッシング技術	41
4.13 ボール搬送のコンセプト	41
4.14 マスクレス露光システム	42
4.15 Advanced Ball Layout Editor	43
4.16 クラスタリング技術	43
4.17 実装学会でのロードマップ	44
4.18 シングルチューブでの評価結果(ドライ酸化での酸化速度)	44
4.19 ボールセミ社のオープンイノベーション体制	46

4.20	新たなロジスティック曲線の可能性	56
5.1	多くのムダがあるサプライチェーン	64
5.2	ミニマルファブ	65
5.3	ミニマルファブ装置	65
5.4	ミニマルファブ装置群	65
5.5	ミニマルファブ用マスクレス露光装置開発	66
5.6	ミニマルファブ開発ロードマップ	69
5.7	半導体リソグラフィ装置のビジネス・エコシステム	82
5.8	ビジネス・エコシステムのフレームワーク	83
5.9	既存半導体生産システムのビジネス・エコシステム	85
5.10	既存半導体生産システムの価値設計図	86
5.11	ミニマル生産システムのビジネス・エコシステム	89
5.12	ミニマル生産システムの価値設計図	89
6.1	PMT 社屋全景	98
6.2	PMT 社のオープンイノベーション	99
6.3	サポイン事業での成果 12 インチ・ウェハ用マスクレス露光装置	99
6.4	ミニマルファブ用 0.5 インチ・ウェハ用マスクレス露光装置 (294mm x 450mm x 1440mm)	99
6.5	既存と PMT 社ファウンドリのサービスフローの比較	101
6.6	ミニマルファブと既存のファブを組み合わせたハイブリッドプロセス事例	103
6.7	PMT 社の社名を発光させているハーフインチ GaN 青色 LED ウェハ	103
7.1	Absorptive Capacity 評価手順	113
7.2	DMD 方式マスクレス露光技術	115
7.3	特開 2005-1567788 の引用・被引用関連図	116

表目次

3.1	ミニミルのイノベーションとマーケットの推移	22
4.1	ボールセミ社沿革	31
4.2	ミニミルと球状半導体の比較	53
4.3	半導体製造産業の変遷	54
5.1	半導体製造国家PJの変遷	63
5.2	既存メガファブとミニマルファブの比較	67
5.3	ファブシステム研究会会員企業の構成推移比較	71
5.4	ファブシステム研究会会員企業の業種(n=106)	72
5.5	ファブシステム研究会への入会動機	73
5.6	ファブシステム研究会への入会目的(複数選択可)	73
5.7	ファブシステム研究会企業のコア技術保有の有無 (n=105社, 最終年度での調査)	74
5.8	自社コア技術のミニマルファブ貢献度合い(n=94社, 最終年度での調査)	74
5.9	ミニマルファブ関連技術の他社への製品開発寄与度合い (n=107, 最終年度での調査)	75
5.10	自社コア技術の向上に最も貢献する活動(n=93, 最終年度での調査)	75
5.11	お互いのシナジー効果による製品開発(n=109, 最終年度での調査)	75
5.12	中小企業, 小規模事業者の技術に対する見方(n=61, 最終年度での調査)	76
5.13	ITRSの影響度合い(n=94, 最終年度での調査)	76
5.14	国家PJの評価(n=106, 最終年度での調査)	77
5.15	国家PJ成功の根拠(複数選択可, 最終年度での調査)	78
5.16	国家PJ成功の要因(複数選択可, 最終年度での調査)	79
5.17	既存とミニマル生産システムのビジネス・エコシステムの違い	91
6.1	ミニミル, 球状半導体, 及び, PMT ミニマルファウンドリの比較	104
7.1	特開 2005-1567788 の引用・被引用回数	116
7.2	マスクレス露光装置の各要素技術に対する Absorptive Capacity 評価	118

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

背景の第 1 は、半導体製造産業に著者は約 35 年間以上勤務している。この間、日本の半導体製造メーカーは 1990 年代には世界半導体トップ 10 企業の過半数以上を占め、世界市場の 50%以上を占有していた。世界半導体市場統計によると日本の半導体製造産業は IT バブルのはじけた 2001 年においても世界市場の 24%を占めていた。しかし、年々市場を失い 2013 年では 11%と半分以下に下落した。

半導体は“産業の米”といわれている。日本の半導体製造産業に国際的な競争力を持たせるために、幾つかの国家プロジェクト（以下、国家 PJ）が実施された。その中で 1976 年から実施された超 LSI 研究開発は、成功事例として米国の国家 PJ である SEMATECH（半導体共同開発機構）他の模範とされた（垂井，2003）。その後も大企業を中心とした幾つかの国家 PJ があった。しかし、それらの国家 PJ は成功とは言い難く、色々な要因はあるが、結果として、現在の国内半導体製造産業は凋落している。

第 2 は、このような状況の中で、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）は、短納期、低コストで多品種少量生産方式を可能とする国家 PJ “革新的製造プロセス技術開発”を 2012 年より 3 年間実施した。これは通称“ミニマルファブ”といわれている。ミニマルファブの基本コンセプトは、半導体製造工場の設備投資を少なくし、クリーンルームが不要で、半導体を 1 個から製造可能とする（原ほか，2011）。

ミニマルファブは、過去の国家 PJ とは 2 つの点で異なっていた。第 1 に、発足の背景は、技術的な脅威からではなく、現在の半導体生産システムを問題にしていた、第 2 に、産総研が主導し、2015 年 4 月時点では企業 110 社が参加する産学官のコンソーシアムで革新的な半導体製造プロセスを可能とする小型化した製造装置とファクトリーの研究開発を実施した。さらに、このミニマルファブには多くの中小企業が主体となって参加している。

著者が勤務している中小企業も、このコンセプトに新たなビジネスチャンスを見出し、この国家 PJ に参画して、マスクレス¹⁾露光装置²⁾の開発を担当している。さらに、ミニマルファブ装置を活用して上流工程である半導体製造への進出も試みている。

1.2 本研究の目的

現在の半導体製造メーカーは、米国インテル社、台湾 Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)社、韓国サムスン電子などに寡占化が進んでいる。半導体製造産業は International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS：国際半導体技術ロードマップ) に従って研究開発を遂行してノベーションにつなげている特徴がある。また、ITRS は大手半導体製造メーカーの製品開発ロードマップに従った、技術開発のロードマップである、したがって、これは大手半導体製造メーカーの” Wish Map” (龜山, 2010) とも呼ばれている。さらに、ITRS により微細化やウェハ³⁾の大口径化が進み、生産量が大きい規模の経済が働いている。

このような場合、生産コストを下げるアプローチは、大規模マーケットでは、大口径ウェハによる大量生産でコストダウンを実施している。しかし、その弊害として、大口径メガファブ⁴⁾は、少ロットや試作などの少量生産はコストアップになり、さらに納期が長い。小規模マーケットでは、生産を最適化するアプローチとして、2, 4 インチなど小口径ウェハで製造している。この弊害として、小口径ファブは、製造中止された古い製造装置を使用しているために設備は老朽化し、保守パーツの入手や新規更新に多額な費用が発生している。

この状況の中、産総研は中小企業を主体としたミニマルファブ国家 PJ により半導体生産システムの小型化を進めている。これにより最適規模生産が可能となり半導体製造を短納期、低コスト、及び低環境負荷で実施する。したがって、これらを充足する生産方式を核とした新たなビジネス・エコシステムの形成・成長は、長期的には産業の平均生産費用曲線に変革をもたらし、業界の新たなビジネス・エコシステムの形成に至る可能性がある。

一方、半導体製造産業より長い歴史を持つ鉄鋼産業は、生産システムを小型化したミニミル⁵⁾により生産システムをマーケット規模に合わせて最適化して、規模の経済の弊害を克服している。

本論文は、半導体市場における未充足のニーズの存在と、それを前提とした最適規模生産の分析により、中小ベンチャー企業を中心となりうる新たなビジネス・エコシステムの形成について事例研究により検討する。さらに、このビジネス・エコシステムに属する企業の戦略と組織能力について分析し、参加企業に求められる内的条件について検討する。

1.3 本研究の研究手法

ボールセミ社の事例は、公開資料である日経 3 紙、インターネット、及びボールセミ社 COO(最高執行責任者)仲野の書籍『IT の先駆者 丸い半導体 (ボール・セミコンダクター) に挑んだ男たち』より調査を実施した。非公開情報の入手は、元ボールセミ社日本人の A 氏には、会社全般、企業連携、及び球状半導体の技術的な内容について合計 25 項目の質問、B 氏には、会社概要、技術・製品戦略、及び特許戦略について合計 23 項目の質問による聞き取り調査を実施した(詳細は付録 A 参照)。

なお、ボールセミは 2010 年に廃業された。しかも、CEO(最高経営責任者)・CTO(最高技術責任者)石川、仲野は他界されている。通常このように廃業された企業の聞き取り調査は困難とされている。

ミニマルファブの事例は、国家 PJ のメンバー企業を対象に 2012 年のプロジェクト開始から 2015 年の終了まで 3 年間に渡って毎年アンケート調査と分析を実施した。このような事例研究は大変少ない。それは、非当事者が現在進行形の国家 PJ の内部へ入っての批評は、通常有り得ない。

さらに、ミニマルファブのマーケットに参入した事例は、株式会社ピーエムティーへヒアリング調査を実施した。

1.4 本研究の構成

本研究は、図 1.1 に示すように、序論と結論を含む 8 つの章から成り立つ。

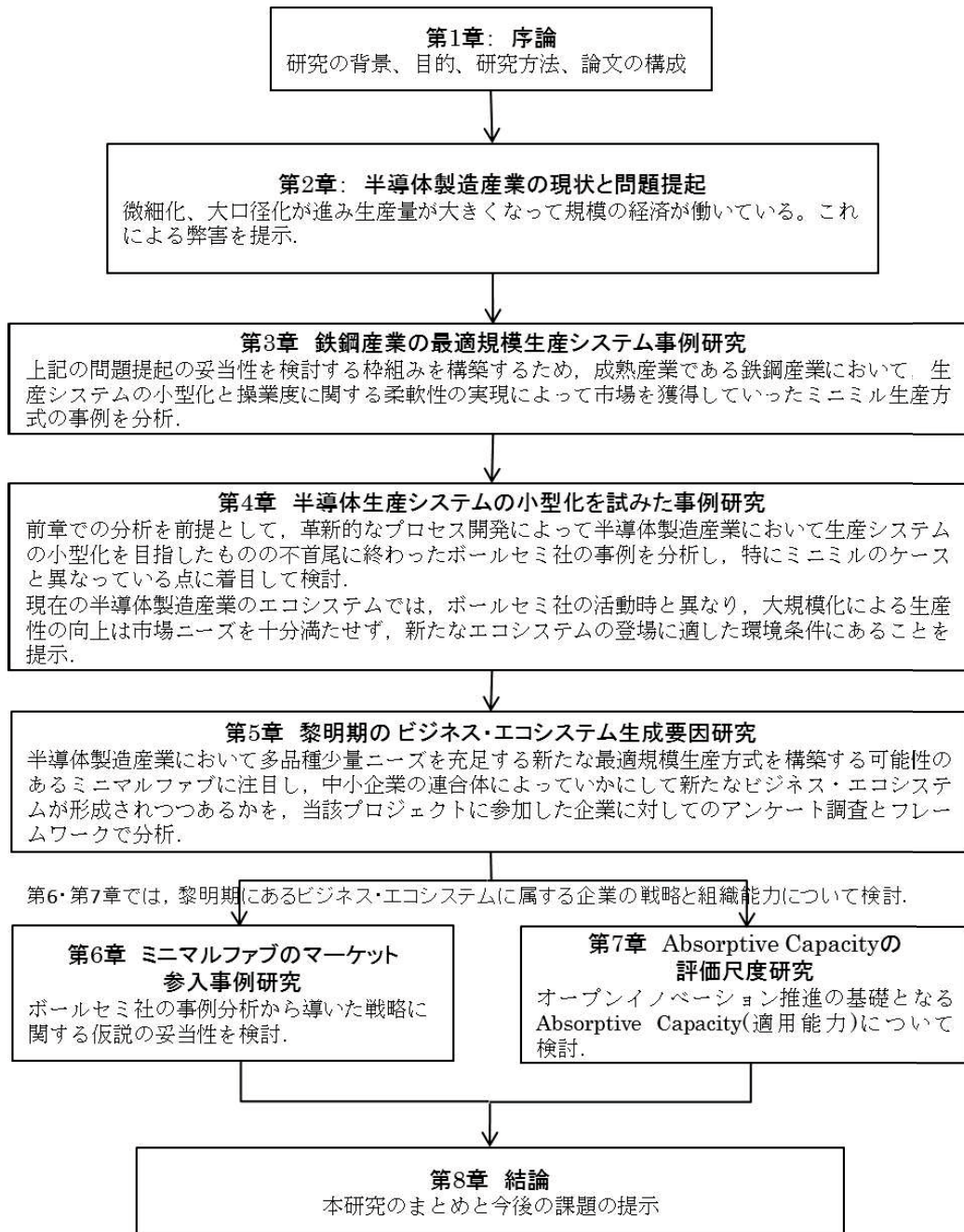


図 1.1 「半導体製造産業における黎明期のビジネス・エコシステムに関する研究」の論文構成

各章の主たる内容は、以下のとおりである。

第 1 章では、研究の背景、目的、研究方法及び論文の構成について記載する。

第 2 章では、半導体製造業界の近年の動向について概説し、漸進的な微細化とウェハの大口径化による規模の経済性実現による弊害を示す。さらに、生産システムの小型化による小ロット向けの最適規模生産の実現は、半導体製造産業において中小ベンチャー企業が新たなビジネス・エコシステムの形成につながるケースの存在を明らかにする。

第 3 章では、上記の問題提起の妥当性を検討する枠組みを構築するため、成熟産業である鉄鋼産業において、生産システムの小型化と操業度に関する柔軟性の実現によって市場を獲得していったミニミル生産方式の事例を分析する。

第 4 章では、前章での分析を前提にして、革新的な製造プロセス開発によって半導体製造において生産システムの小型化を目指したが、不首尾に終わったボールセミ社の事例を分析し、特にミニミルのケースと異なる点に着目して検討する。さらに、現在の半導体製造産業のエコシステムでは、ボールセミ社の活動時と異なり、大規模化による生産性の向上は市場ニーズを十分満たせず、新たなエコシステムの登場に適した環境条件にあると提示する。

第 5 章では、半導体製造産業において多品種少量ニーズを充足する新たな最適規模生産方式を構築する可能性を持つミニマルファブ国家 PJ に注目し、中小企業の連合体によっていかにして新たなビジネス・エコシステムが形成されつつあるかを、当該プロジェクトに参加した企業に対してアンケート調査とフレームワークで分析する。

第 6・第 7 章では、黎明期にあるビジネス・エコシステムに属する企業の戦略と組織能力について分析する。

第 6 章での分析は、4 章のボールセミ社の事例分析から導いた戦略に関する仮説の妥当性を検証する。検証の対象は、株式会社 PMT 社の半導体試作の受託製造サービスの分析を実施する。また、ビジネス・エコシステムの形成が着実に進行していくためには、関係各主体が外部からの知識を効果的に吸収・活用し、全体の開発ロードマップに沿って開発を推進できるだけの組織能力を有していなければならない。

そこで、第 7 章では、オープンイノベーション推進の基礎とされる **Absorptive Capacity**(適応能力)について検討する。

最後に、第 8 章で本研究のまとめと今後の課題を述べる。

注釈

- 1) マスク: 回路パターンの原版.
- 2) 露光装置: ウェハ基板上に集積回路を焼き付ける装置.
- 3) ウェハ: 半導体製造の基板材料. シリコンを高度な純度に製錬した円柱状のインゴットを薄くスライスした. 口径は 50,100,125,150,200,300,450mm がある.
- 4) メガファブ:半導体工場は, ウェハに回路パターンを形成する前処理工場とウェハから個片に切り出したチップを樹脂封止して電気的特性を検査する後処理工場に別れる. 前処理工場をファブと呼んでいる. 8, 12 インチのウェハ口径のファブを小口径ファブと区別するためにメガファブと呼ぶ.
- 5) ミニミル: 高炉でなく, 鉄スクラップを原料にして電気炉で鉄鋼製品の小規模生産. 詳細は第 3 章参照.

参考文献

- [1] 龜山雅臣. (2010). リソグラフィと ITRS (No. 10-06). Institute of Innovation Research, Hitotsubashi University.
- [2] 垂井康夫. (2003). 日本の半導体技術とコンピュータ. 情報処理, 44(1), pp.67-72.
- [3] 原史朗, 前川仁, 池田伸一, & 中野禪. (2011). ミニマルファブシステムの構想と実現に向けて. 精密工学会誌, 77(3), pp.249-253.

第 2 章 半導体製造産業の現状と問題提起

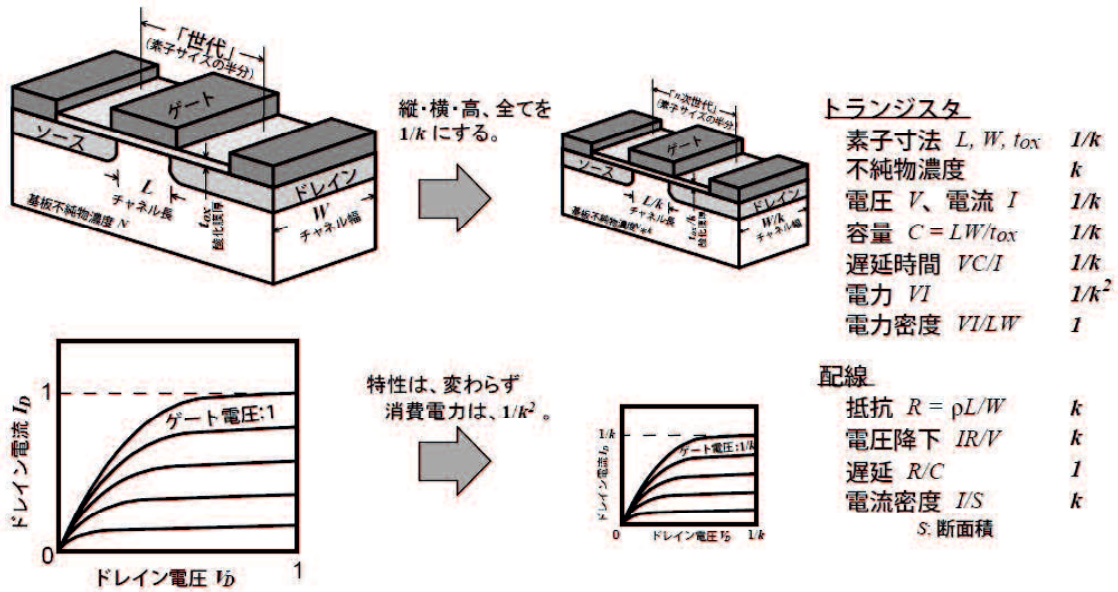
2.1 半導体製造産業の現状

半導体製造産業は 1958 年に米テキサス・インスツルメンツ社 (以下, TI) のジャック・キルビーにより集積回路が発明されて以来, 半導体素子の集積度と半導体製造産業の規模は今日まで増大し続けている。これを可能にした有名な経験則「ムーアの法則」は, 米国インテルの共同経営者であったゴードン・ムーアにより 1965 年に発表された(Moore, 1965), さらに, この経験則は, 1975 年に半導体の集積度は約 2 年毎に倍増すると改訂された(Moore, 1975)。例えば 1.5 年で倍の集積度は, 3 年で 4 倍, 10 年で 100 倍に対応する。

また, 半導体素子は微細化により素子当たりの動作電圧を低く抑えられる(R.H.Dennard, et al., 1974), これにより, チップに付加価値が付いた。これはスケールング則と呼ばれ, 図 2.1 に示すように, 半導体素子の縦・横・高をすべて $1/k$ にすると, 電気的特性は変わらず, 消費電力は, $1/k^2$ に低下する。つまり, 半導体製造産業は微細化によりチップの性能や機能が向上し, 製品価格が下がるポジティブなスパイラルに変わった。これによって市場が持続的に拡大し, チップの生産量も飛躍的に増大する産業モデルが成立している。

実際の歴史上ではマイクロプロセッサのトランジスタの集積度は図 2.2 のように 10 年でほぼ 100 倍の実績を残している。このように半導体製造産業では, 約 60 年間にわたってムーアの法則を維持している。

この要因の一つとして半導体の技術ロードマップである International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS: 国際半導体技術ロードマップ)がある。



※チップ内トランジスタ数は、ダイ面積が同じなら k^2

図 2.1 スケーリング則(R.H.Dennard, et al., 1974)

出典: 産業技術総合研究所 原 史朗の資料に加筆作成

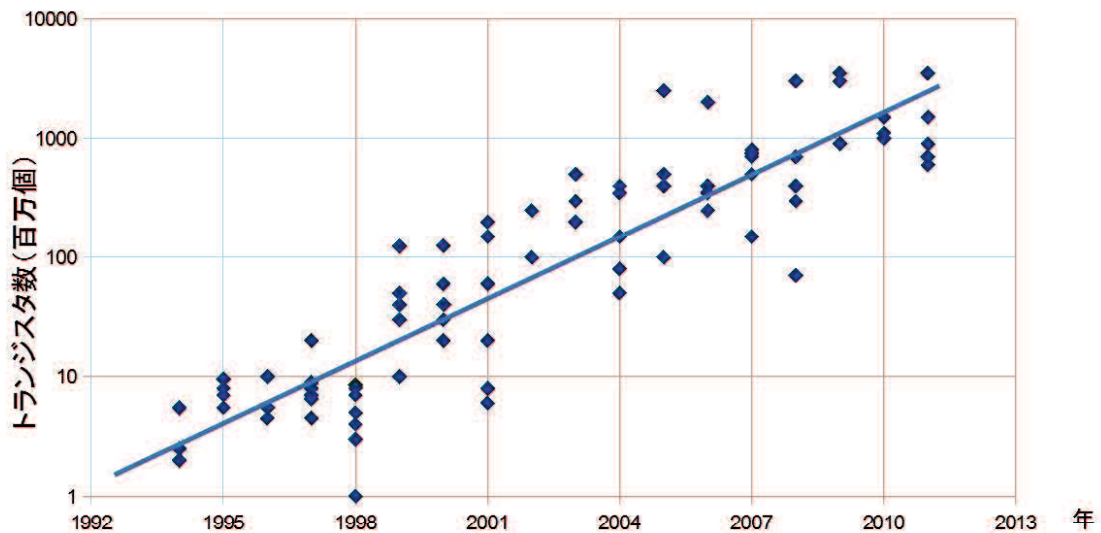


図 2.2 マイクロプロセッサの集積度トレンド

出典: ISSCC 2011 TRENDS REPORT から加筆作成

http://isscc.org/doc/2011/2011_Trends.pdf [2014/2/27]

当初、半導体製造メーカーはTIのように基板材料であるウェハの製造から、製造装置の研究開発、半導体の製造、営業&販売のすべてを自社で行い、そこで得た知的財産権を保持する完全垂直統合型であった。しかし、集積回路の微細化は1社で開発するのは難しくなり、1970年代よりウェハメーカー、装置メーカー、デバイス・メーカーなどと国際分業化が進んでいる。

1993年には米国インテルのPaolo Garginiが米国の半導体製造メーカーと共に装置・材料メーカーなどに特定の技術が必要な時期を示す活動が始まり、1997年にはPaolo Garginiが共同議長となって世界中の半導体製造メーカーが参加する国際的なロードマップ委員会であるITRSがスタートした(Schaller, 2004)。2014年時点では、欧州、日本、韓国、台湾、米国から半導体製造産業の関連企業1,288社が加盟している。また、欧州半導体産業協会(ESIA)、社団法人電子情報技術産業協会(JEITA)、韓国半導体産業協会(KSIA)、台湾半導体産業協会(TSIA)、米国半導体工業会が支援組織となって、2年毎にITRSを改版している。

しかし、龜山(2010)は、ITRSの位置づけはムーアの法則を実現させる半導体製造産業の発展と大手半導体製造メーカーの自社製品のロードマップと連携した”Wish-Map”と述べている。

例えば、図2.3はDRAM,Flash,MPU/Logicデバイスを製造するための微細化技術ロードマップの一例である。このようにITRSには半導体製造メーカーが半導体を製造するために必要な全てのプロセスや部材などの数値目標がロードマップに提示されている。赤色セルは、技術的には未解決な数値目標である。これはレッドブリックと呼ばれ、装置・部材メーカーはこのレッドブリックを解決するためにR&Dリソースを投入している。なお、黄色いセルは、技術的には解決が済んでいることを示している。

ITRSの最少パターン幅40-45nm提示により、オランダの露光装置メーカーASML社は図2.4に示すように液浸露光²⁾技術の研究開発比率を伸ばして、露光装置のマーケットシェアを伸ばした。なお、このシェア拡大は経済的、経営的要因もある(中馬, 2002)。

Table LITH1 Lithography Technology Requirements

Year of Production	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
DRAM									
DRAM minimum 1/2 pitch (nm)	28	26	24	22	20	18	17	15	14
CD control (3 sigma) (nm) [B]	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4
Minimum contact/via after etch (nm) [H]	28	26	24	22	20	18	17	15	14
Minimum contact/via pitch(nm)[H]	85	78	72	66	60	55	51	45	41
Overlay (3 sigma) (nm) [A]	5.7	5.2	4.8	4.4	4.0	3.7	3.4	3.1	2.8
k1 (13.5nm) EUVL	0.52	0.64	0.58	0.53	0.49	0.45	0.41	0.38	TBD
Flash									
Flash 1/2 pitch (nm) (un-contacted poly)	18	17	15	14	13	12	12	12	12
CD control (3 sigma) (nm) [B]	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
Contact CD after etch (nm) [G]	28	26	24	22	20	18	18	18	18
Overlay (3 sigma) (nm) [A]	6.1	5.6	5.1	4.7	4.3	3.9	3.9	3.9	3.9
k1 (13.5nm) EUVL	0.34	0.41	0.38	0.35	0.32	0.29	0.29	0.29	TBD
MPU / Logic									
MPU/ASIC Minimum Metal 1/2 pitch (nm)	40	32	32	28	25	23	20	19	19
MPU/ASIC finFET fin minimum 1/2 pitch (nm)	30	24	24	21	19	17	15.0	13	12
MPU High-Performance Gate Length in resist (nm)	28	25	22	20	18	16	14	12	11
MPU High-Performance Physical Gate Length (nm)	20	18	17	15	14	13	12	11	9.7
Gate CD control (3 sigma) (nm) [B] **	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
MPU/ASIC minimum contact hole pitch (nm)	144	115	115	102	91	81	72	64	57
Contact/via after etch (nm) [H]	40	32	32	28	25	23	20	18	16
Overlay (3 sigma) (nm) [A]	8.0	6.4	6.4	5.7	5.1	4.5	4.0	3.6	3.2

図 2.3 微細化技術ロードマップ

出典: ITRS2013 <http://www.itrs.net/links/2013ITRS/Home2013.htm> [2014/10/13]

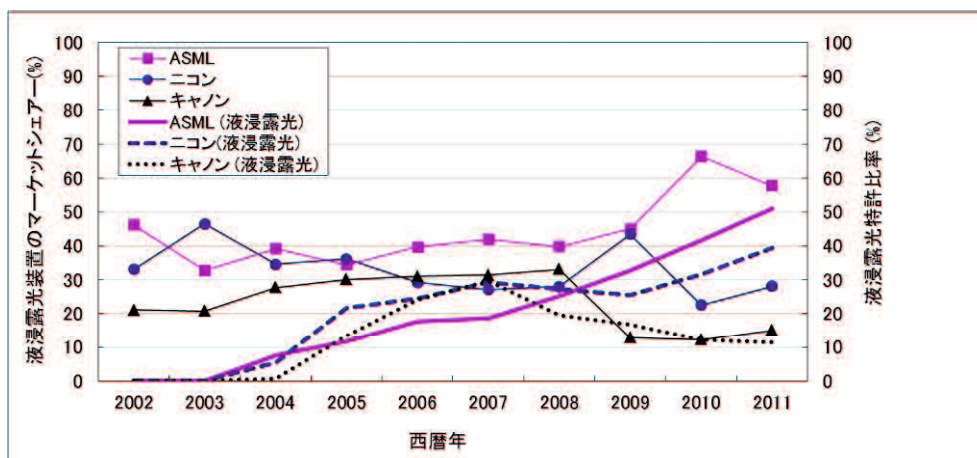


図 2.4 液浸露光装置のメーカー別マーケットシェアと液浸特許比率

このように半導体製造産業は ITRS をベースに半導体製造メーカを頂点とした巨大なビジネス・エコシステムを形成している。このエコシステムにより半導体製造産業は歴史的な成長を示している。なお、このビジネス・エコシステムの先行研究については第 5 章 5.3 で詳細を述べる。

原ほか(2011)は図 2.5 に示すように半導体製造産業の全売上額の推移をロジスティック曲線でフィッティングしてシミュレーションを行った。これによると、1991 年が第 1 変曲点、

2007 年が第 2 変曲点であり，現在の半導体製造産業は成熟期であると述べている。

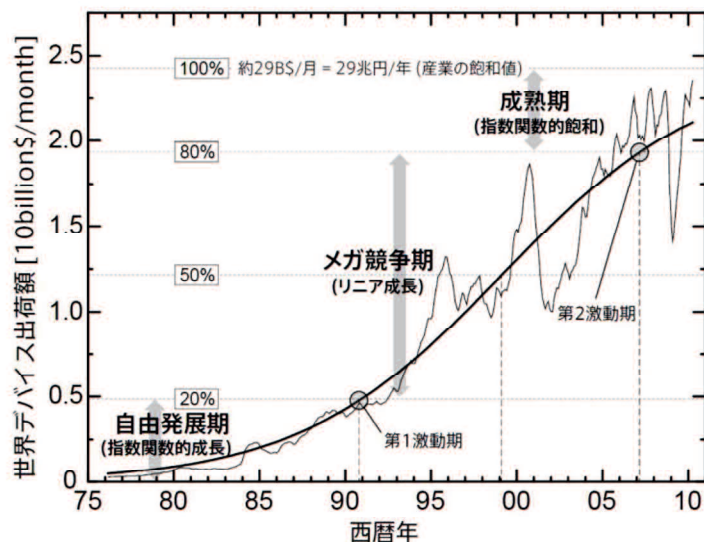


図 2.5 半導体製造産業の成長と飽和

出典：原ほか(2011)の図 1 を基に加筆作成

半導体製造産業の成長期であった 1990 年代では，日本の半導体製造メーカーは世界半導体トップ 10 企業の過半数を占め，世界市場の 50%以上を占有していた．さらに，世界半導体市場統計によると日本の半導体製造は，IT バブルのはじけた 2001 年でも世界市場の 24%を占めていた。

しかし，成熟期では作れば売れる時期は終わり，リーマンショック後は，多くの国内半導体製造工場の閉鎖，海外企業への売却，リストラなどが実施され社会問題が発生している．さらに，年々市場を失い 2013 年では 11%と IT バブル期の半分以下に凋落した(図 2-6)。

現在では ITRS の微細化ロードマップは物理限界に近い数ナノメートルを示し，さらに量産効果をねらってウェハ口径を現行 300mm から 450mm を提示している．これらを実現させるには巨額な開発投資と工場設備投資が必要となり，これらを 1 社で行える半導体製造メーカーは，米国インテル，台湾 TSMC，韓国サムスン電子などに寡占化が進んでいる。

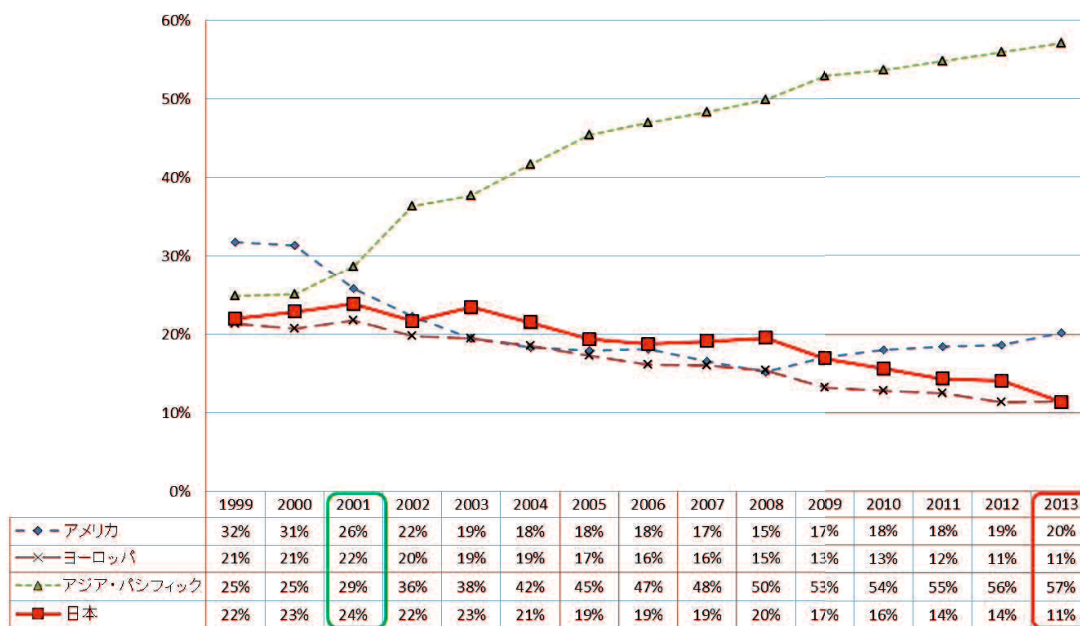


図 2-6 世界半導体地域別市場(%)

出典: 世界半導体市場統計(WSTS)から著者作成

<http://semicon.jeita.or.jp/statistics/wsts.html> [2014/6/27]

2.2 半導体製造産業の問題提起

このように半導体製造産業では大手半導体製造メーカーの”Wish Map”と呼ばれている ITRS に追従するビジネス・エコシステムが成立している。これにより、微細化とウェハの大口径化を進めて、生産量が増大する規模の経済が働いている。

この場合、生産コストを下げるアプローチは、大規模マーケットでは、大口径ウェハによる大量生産でコストダウンを実施している。しかし、その弊害として、大口径メガファブでは、少ロットや試作などの少量生産はコストアップになり、さらに納期が延びている。

例えば、8インチ口径ファブでは、通常1ロットは25枚構成である。しかし、1ロットが1,2枚の小ロット製品や試作も同じラインで製造されている。これらは、大量生産ロットとの生産効率の関係上、現場ではオペレーションの優先順位が低く、滞留時間が長くなり、納期は3ヵ月以上を要している。さらに、大量生産を主体とするファウンドリ³⁾は、少量生産ロットの顧客には、大口顧客の約10倍の製造費用を請求し、さらに納期も倍以上を提示している。

ITRS に追従しない特殊用途向け半導体、化合物半導体などの小規模マーケットでは、生産を最適化する、2、4インチなど小口径ウェハで製造している。図2.7は全米185ファブのデザインルール(最小線幅)とウェハ口径の関係を示している。この中で、ウェハ口径が2から4インチで最小線幅が $0.5\mu\text{m}$ 以上のファブは全体の30%の54ファブもある。しかし、この弊害として、レガシーな小口径ファブは、製造中止の古い製造装置を使用しているために装置・設備は老朽化しており、保守パーツの入手や新規更新に多額な費用が発生している。

このように規模の経済性追求を目指した高度なビジネス・エコシステムの合理化は、小規模マーケットや試作などの小ロットの需要に対して対応力がない課題を有している。

この状況の中、産総研は中小ベンチャー企業を主体としたミニマルファブ国家PJを2012年より3年間実施し、半導体生産システムの小型化を進めた。産総研は、国家PJ終了後も研究開発を継続中である。これにより最適規模生産が可能となり半導体製造を短納期、低コスト、及び低環境負荷で実施している。

このように生産システムの小型化による小ロット向けの最適規模生産の実現は、半導体製造産業において中小ベンチャー企業により新たなビジネス・エコシステムの形成につながるか。これをリサーチクエスチョンとする。

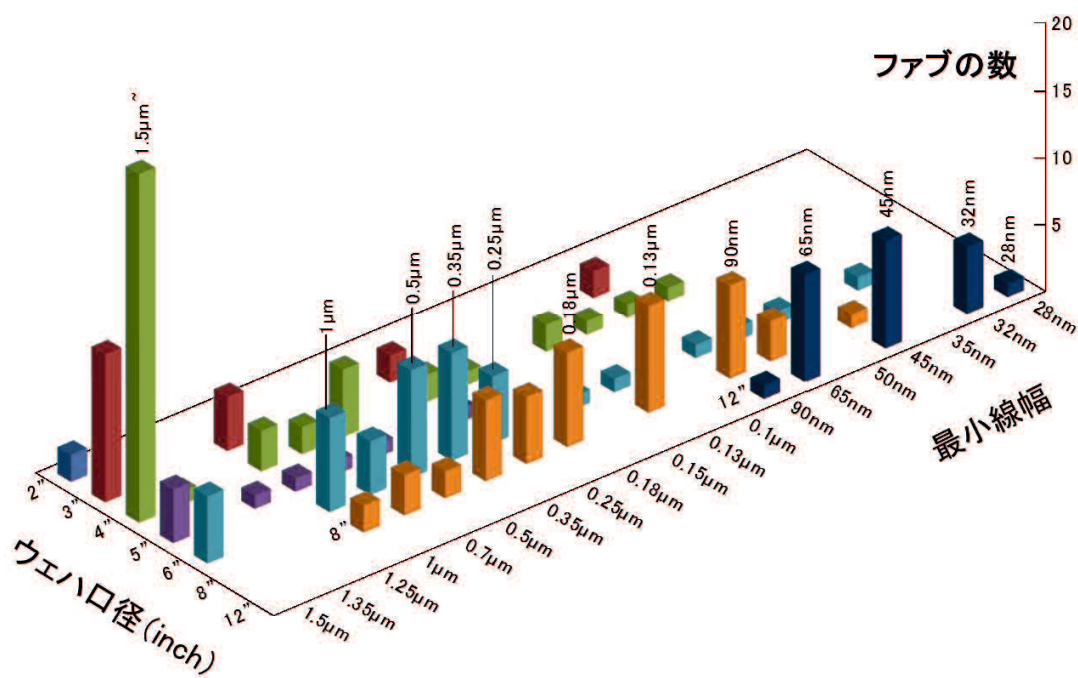


図 2.7 全米ファブ(185)の最小線幅とウェハ口径

出典：ファブシステム研究会内部資料より

注釈

- 1) チップ: 半導体集積回路が形成されたウェハから切り取られた個片。又は、それを樹脂で封印した半導体製品の総称、デバイスとも言う。
- 2) 液浸露光: 露光装置の投影レンズとウェハの間に空気より屈折率の高い超純水を満たし、既存の波長でより微細な集積回路を焼き付ける技術。
- 3) ファウンドリ: 半導体の製造受託サービス。自ら半導体の設計や販売は行わない。

参考文献

- [1] Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electron. Mag.* 1965, 38, pp.114–117.
- [2] Moore, G. E. (1975, December). Progress in digital integrated electronics. In *Electron Devices Meeting* (Vol. 21, pp. 11-13).
- [3] Dennard, R. H., Rideout, V. L., Bassous, E., & LeBlanc, A. R. (1974). Design of ion-implanted MOSFET's with very small physical dimensions. *Solid-State Circuits, IEEE Journal of*, 9(5), pp.256-268.
- [4] Schaller, R. R. (2004). Technological innovation in the semiconductor industry: a case study of the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) (Doctoral dissertation, George Mason University).
- [5] 龜山雅臣. (2010). リソグラフィと ITRS (No. 10-06). Institute of Innovation Research, Hitotsubashi University.
- [6] 中馬宏之.(2002).資本財産業におけるモジュール化.一橋大学イノベーション研究センター資料.
- [7] 原史朗, 前川仁, 池田伸一, & 中野禪. (2011). ミニマルファブシステムの構想と実現に向けて. *精密工学会誌*, 77(3), pp.249-253.

第 3 章 鉄鋼産業の最適規模生産システム事例研究

3.1 緒言

半導体製造産業より長い歴史を持つ鉄鋼産業は、生産システムをマーケット規模に合わせた最適化により、規模の経済の弊害を克服している。

圧延鋼板を一例とすると高品質を求められる製品は総合鉄鋼メーカーが製造している。一方、それ以外の製品は、生産設備を小型化したミニミル生産方式で棒鋼、線材、形鋼、鋼板などを製造している。

この章では、第 2 章で述べた問題提起の妥当性を検討する枠組みを構築するために、本研究のスタートとなったミニミル事例を示す。この事例はある特定企業の事例ではなく、鉄鋼産業全体の事例である。

生産方式や製造プロセスのイノベーションが既存に対して優位であるか、それがどのマーケットでその技術が適用されて、更にそこから新しいイノベーションサイクルが始まり、ハイエンドへ移っていくかを分析して、鉄鋼産業のビジネス・エコシステムを述べる。

3.2 ミニミルとは

ミニミル(Mini-mill)とは、図 3.1 に示すように、鉄鉱石や高炉・転炉の代替による、鉄スクラップを電気炉で溶解し、それをビレットと呼ぶ中間形態に鑄造してから、棒鋼，線材，形鋼，鋼板などの製品に圧延する“小さな鉄工所”である。1995 年当時は、ミニミルへの設備投資は高炉・転炉を使用する総合製鉄所の約 15 分の 1 であった。さらに、鉄スクラップを使用するために同程度の製品を約 15% 安く生産できた。しかし、品質がバラついている鉄スクラップを使用するため、図 3.2 に示すようにミニミルの市場は、当初、品質の低い鉄筋市場だけであった。その後、ミニミルは品質を改善して市場シェアを拡大し、棒材，線材，山形鋼，さらに形鋼の市場をほぼ独占した。しかし、圧延鋼板市場は、高品質を求められるためにミニミルには新たな多額な設備投資が必要であった。また、圧延鋼板以外の市場は総合鉄鋼メーカーにとっては利益率が少なく、魅力的な市場ではなかった(Christensen,2003)。

しかし、ミニミルの生産量に関しては、2002 年以降、高炉・転炉鋼を上回る(田中, 2014)。また、中島ほか(2004)や梅澤(2006)はミニミルの低環境負荷プロセスの優位性も述べている。

ミニミルは、総合鉄鋼メーカーにとって魅力的でない領域に、図 3.2 に示すように、生産システムの小型化によって、品質とコストをバリューとして市場を拡大していった。

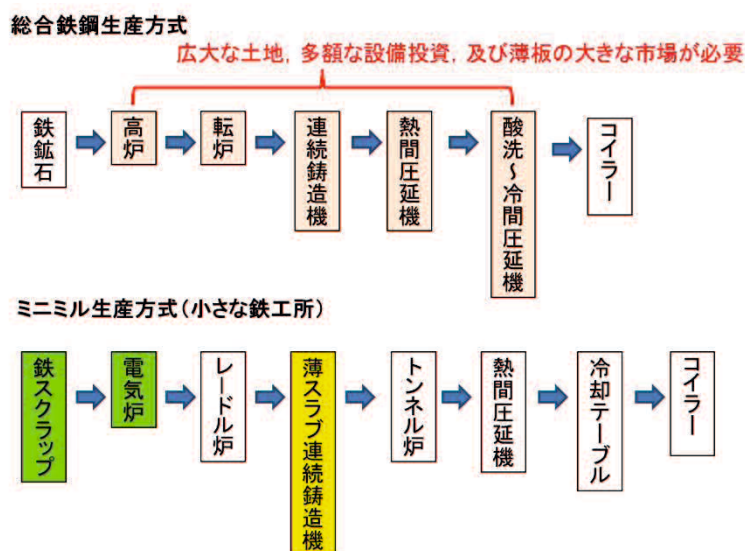


図 3.1 総合鉄鋼生産方式とミニミル生産方式の比較

出典: 梅澤(2002)と <http://www.nisshin-steel.co.jp/saiyo/process/index.php#> [2016/12/29] を基に著者作成

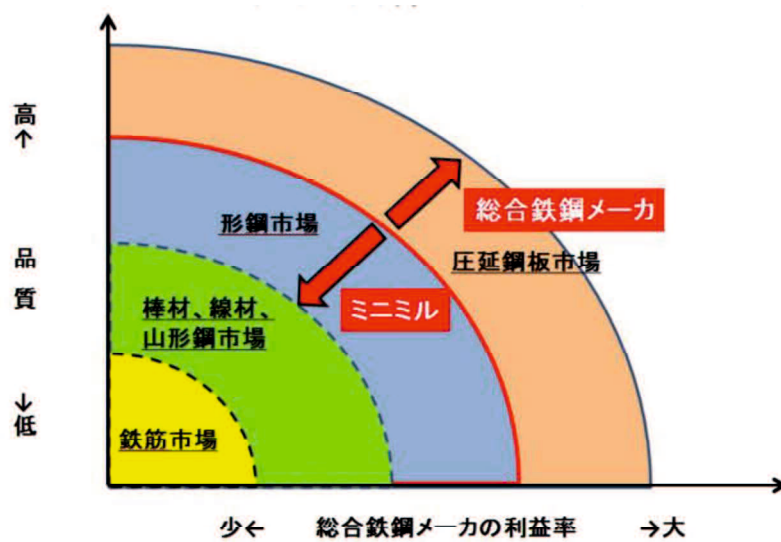


図 3.2 ミニミルの市場拡大

出典: Christensen(2003)pp. 135-137 を基に著者作成

3.3 鉄鋼産業のビジネス・エコシステム

梅澤(2002)はミニミルの黎明期から成熟期までを表3-1に示す世代に分類し分析した。第一世代は、製造ラインの短い熱間圧延で製造する鉄筋や小形形鋼。第二世代は、薄スラブ連続鋳造。このラインは、ミニミルの技術で安い電気代と原料の鉄スクラップを収集に有利な場所に立地された。第三世代は、鉄鋼の品質を向上させる未凝固域圧下を備えた薄スラブ連続鋳造機が作られ、ミニミルは薄鋼板を一例とする総合鉄鋼メーカーの市場に踏み込んでいる。さらに、現在の第四世代では、高炉の銑鉄をミニミルのレードル炉に流す、従来の一貫鉄鋼プロセスとミニミルのハイブリッドプロセスにより、総合鉄鋼メーカーと同等な品質が可能となり、さらに、多品種少量生産や老朽化した工場の更新にミニミルは必要である。このように鉄鋼産業は、生産システムの小型化を行ったミニミルにより生産システムをマーケット規模に合わせて最適化している。そこから新しいイノベーションサイクルが始まり、ハイエンド製品へ移行し、規模の経済の弊害を克服している。

表 3.1 ミニミルのイノベーションとマーケットの推移

		キーとなる技術	ミニミルのマーケット	その他
1960年代	第一世代	電気炉製鋼と棒・形鋼の連続鋳造機の組み合わせ	鉄筋棒鋼, 小形形鋼	
1980年代末	第二世代	薄スラブ連続鋳造	地域的な薄板需要に安価で工場立地可能	鉄スクラップの収集に有利な場所に工場立地
1990年代前半	第三世代	未凝固域圧下を備えた薄スラブ連続鋳造機	薄鋼板	
1990年代後半以降	第四世代	従来の一貫製鉄プロセスとのハイブリッド	総合鉄鋼メーカーと同等な品質が可能となった	・老朽化した工場の更新 ・多品種少量生産

出典: 梅澤(2002)を基に著者作成

ミニミル普及の要因として下記が考えられる。

- ① 設備投資金額が少なく低環境負荷を実現した生産システムの小型化
 広大な土地、及び多額な設備投資が必要な鉄鉱石を原料とする大型高炉・転炉から鉄スクラップを原料とする資源の再利用と安価な電気炉により生産システムを小型化した。これにより低コスト製造、短納期、及び多品種少量生産が可能である。
- ② マーケット規模に合わせた最適規模生産
 生産システムを小型化して、ローカル市場規模に適合した生産が可能である。
- ③ 既存製造プロセスとの組合せによる品質向上
 “ミニミル=電気炉”ではなく、原料は高品位な鉄鉱石を原料とする大型高炉・転炉で行い、図3.1のレードル炉以降の製造プロセスはミニミルで行う。これにより、総合鉄鋼メーカーと同等な品質に向上した。

鉄鋼産業は、総合鉄鋼メーカーを主体とした規模の経済が働くビジネス・エコシステムから生産システムを小型化したミニミルの漸進的なイノベーションにより規模の経済の弊害を克服したビジネス・エコシステムへと変化している。

図 3.3 は、国内鉄鋼産業のビジネス・エコシステムを示す。鉄鋼製品は、鉄鉱石を用いた製鉄法（高炉法）により鋼材を製造する総合鉄鋼メーカー 4 社と電気炉を使用した、鉄スクラップから普通鋼を製造するミニミル 32 社、硬さ、耐磨性等の特殊な機能を持たせた高級鋼を製造する 10 社により製造され、鉄鋼流通網を介して、国内外の顧客へ出荷している。

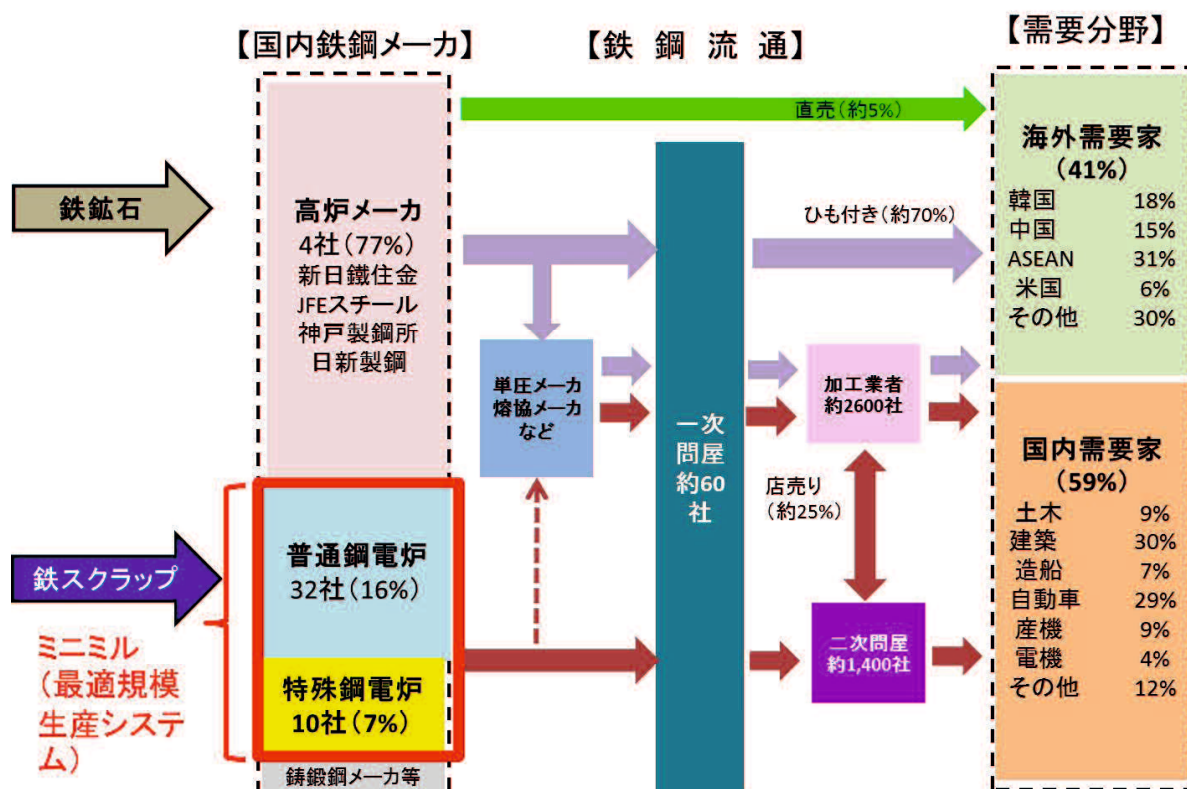


図 3.3 国内鉄鋼産業のビジネス・エコシステム

出典：鉄鋼業の現状と課題(2015),経済産業省を基に著者作成

3.4 結語

鉄鋼産業は、総合鉄鋼メーカーを主体とした規模の経済が働くビジネス・エコシステムから生産システムを小型化したミニミルの漸進的なイノベーションにより規模の経済の弊害を克服したビジネス・エコシステムへの変化を明らかにした。

上記により、国内の鉄鋼産業の国内総出荷額は18兆円(2012年)となり、さらに、製造業全体のGDPに占める割合は、7.2%(6.4兆円)を占め、鉄鋼産業は産業機械、自動車、情報通信機器等の他産業の基盤産業である(鉄鋼業の現状と課題, 2015)。

参考文献

- [1] Christensen, C. (2001). The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail. Harvard Business Review Press.
玉田俊平太監修, 伊豆原弓訳(2003) 『イノベーションのジレンマ』 翔泳社.
- [2] 梅澤修. (2002). 低環境負荷・資源循環型対応の製鉄プロセス. ふえらむ Vol. 7, No7, pp.27-36.
- [3] 梅澤修. (2006). リサイクル社会と素材産業の融合. Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan 13(325), pp.386-389.
- [4] 田中英年. (2014). 資源動向と還元鉄を利用した鉄鋼製造プロセス (特集 資源・エネルギー). R&D 神戸製鋼技報= Research and development, Kobe Steel engineering reports, 64(1), pp.2-7.
- [5] 中島謙一, 内山洋司, & 原田幸明. (2004). 産業連関表を用いた新たな鉄リサイクルシステムの環境負荷低減効果. 日本金属学会誌, 68(8), pp.565-567.
- [6] 鉄鋼業の現状と課題(2015), 経済産業省
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sansei/kaseguchikara/pdf/010_s03_02_03_01.pdf [2017/01/28]

第4章 半導体生産システムの小型化を試みた事例研究

4.1 緒言

鉄鋼産業で成功した生産システムの小型化が半導体製造産業でも適用可能か。半導体製造産業では、小型化により、既存の半導体製造プロセス技術でメリットを生むマーケットが存在するのか。

本章では前章での分析を前提に、球状半導体を独自技術で半導体製造の生産システムを小型化して、低価格・短納期で球状半導体の事業化を試み不首尾に終わったボールセミ社の事例を分析してミニミル事例との比較を行う。

ボールセミ社の事例は、日経3紙、インターネット、及びボールセミ社COO仲野の書籍『ITの先駆者 丸い半導体（ボール・セミコンダクター）に挑んだ男たち』の公開資料より調査を実施した。非公開情報の入手は当事者に聞き取り調査を実施した。なお、CEO/CTO石川、COO仲野は他界されている。元ボールセミ社日本法人のA氏には、会社全般、企業連携、及び球状半導体の技術的な内容について合計25項目の質問、B氏には、会社概要、技術・製品戦略、及び特許戦略について合計23項目の質問による聞き取り調査を実施した（付録A参照）。

1990年代後半、ボールセミ社は半導体業界では大変注目されていた。本研究は、ボールセミ社の事例研究にも貢献できると考える。

なお、ボールセミ社は廃業前にはマスクレス露光装置の事業を主に行っていた。本ケースは球状半導体事業を事例研究の対象とする。

また、武藤(2010)は、中小ベンチャー企業¹⁾に関する課題の一つに資金調達を述べている。本研究では、技術的なマネジメント課題に考察範囲を限定する。

4.2 1996年当時の半導体製造産業について

最初にボールセミ社が起業した1996年当時の半導体製造産業について述べる。半導体製造工場への設備投資はムーアの法則に従って微細化やウェハ(図4.1参照)の大口径化が進むにつれて80年代前半の1億米ドルから90年代初頭には4,5億米ドル,さらに2000年前後には20億米ドルと言われていた(鈴木,2009)。このように半導体製造産業は技術力でなく投資力が雌雄を決する産業となりつつあった。また,ウェハ口径は6インチから8インチへの切替え時機であった。



図 4.1 シリコンインゴットとウェハ

出典: JEITA 半導体部会 http://semicon.jeita.or.jp/exposition/topics_03.html

[2013/11/9]

さらに,その当時,半導体製造には3つの基本特許が不可欠であった。

- ①ウエスタン・エレクトリック社(以下,WE)の拡散法²⁾に関する基本特許
- ②フェアチャイルド社(以下,FC)のプレーナ特許³⁾
- ③TIのキルビー特許⁴⁾

日本の半導体製造企業は,これら基本特許についてTI,FC,WEの三社に払う特許料は売上げに対して10%に達していた(毎日新聞,1973)。これらの特許は2001年まで有効であり現行製造プロセス技術で半導体製造を行う場合,このように多額の特許使用料が課せられていた。

半導体製造企業のビジネスモデルの変遷は,当初は70年代のTIのようにシリコンウェハの製造から,製造装置の研究開発,半導体の製造,営業&販売のすべてを自社で行い,すべての知的財産権(IP: Intellectual Property)を保持する完全垂直統合型であった。その後,製造装置の研究開発は分業化が進み,90年代の半導体製造企業は製造装置を外部から調達

し、半導体の製造、営業&販売を自社で行い、そこで得た知的財産を保持していた。90年代後半からは米国インテル、TI など大手半導体製造企業は、一部の製造を外部に委託している。しかし、2000年代頃より製造を完全に外部に託するファブレス企業が生まれた。ファブレス企業は、台湾 TSMC などウエハ前処理工程に特化したファウンドリ企業へ製造委託を行う。現在では、英国 ARM 社のように半導体の設計のみを行い、その知的財産をビジネスとする IP プロバイダー企業も生まれている。図 4.2 には、半導体製造企業の企業形態の変遷を示す。

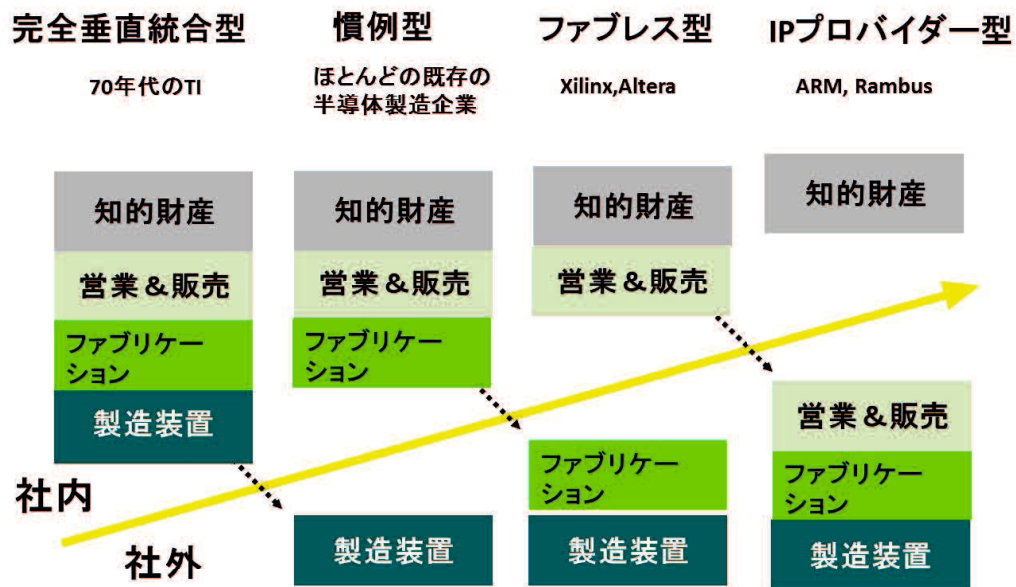


図 4.2 半導体製造企業の企業形態の変遷
出典：ボールセミ社内部資料に加筆作成

4.3 ボールセミ社とは

元米国 TI 半導体事業部上席副社長であった石川は、既存の半導体製造は各社の特許で縛られているが球状半導体は独自技術であり、工場の設備投資は 1 億米ドルから 2 億米ドルへ削減、さらに、何も競合他社の特許に抵触しないというアイデアで、1996 年 10 月に米国テキサス州アレン市に各種センサ、医療分野、光発電分野の球状半導体(図 4.3 参照)を開発・製造する会社を資本金 5,200 万米ドル、社員 50 名で設立した(図 4.4 参照)。

1998 年 6 月には球状シリコンを使用した MOS(Metal Oxide Semiconductor:金属酸化膜半導体)ダイオードでトランジスタの基本構成回路 p 型と n 型の 2 種類のジャンクション・ダイオード試作に成功し、同年 10 月には球状シリコン表面に形成したトランジスタ回路を完全動作させた。1999 年 4 月には球状シリコン表面に集積回路(インバーター回路)を形成して、世界で初めて完全動作させた。ボールセミ社は、このように短期間で製造装置開発、製造プロセス開発を行って球状半導体の試作に成功した(ボールセミ社沿革は表 4.1 を参照)。

半導体製造産業はメモリ半導体の世代交代のたびに設備投資が膨らみ、収益性が悪化している。球状半導体の出現で、半導体製造産業はその技術的行き詰まりを打破する可能性が見つかった(日経産業新聞、1998/10/14)、このように球状半導体は脚光を浴びていた。

しかし、ボールセミ社はサンプル出荷のみで事業化までには至らなく 2004 年の石川の急逝後、2010 年に廃業された(仲野、2006)。

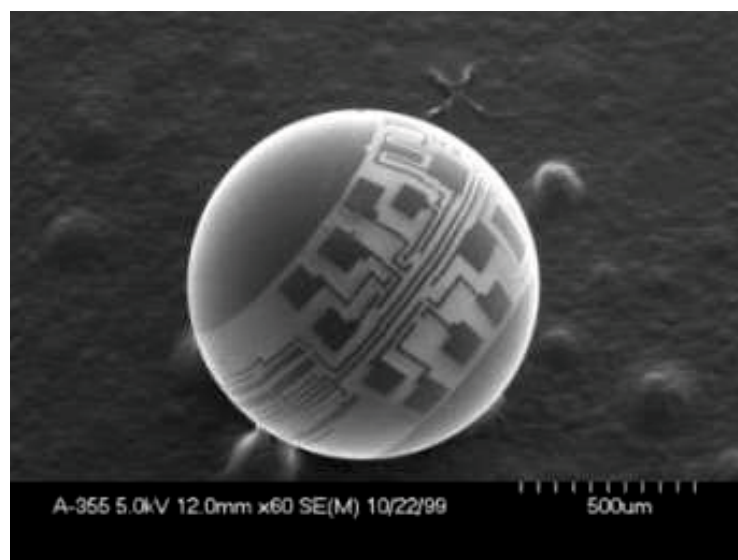


図 4.3 直径 1mm 球状半導体

出典：ボールセミ社内部資料より



図 4.4 米国テキサス州アレン市のボールセミ社

出典：ボールセミ社内部資料より

表 4.1 ボールセミ社沿革

出典：日経テレコン 21 より著者作成

日付&出典	技術開発	その他
1996/10		会社設立
1997/4/01 日経産業新聞 1 ページ		・2000 年年までに量産体制を確立する計画 ・球面半導体技術を他社にもライセンスしていく方針
1998/2/06 日経産業新聞 9 ページ		5 つの技術課題克服のために東北大学前学長の西沢潤一先生の弟子であった竹田宣生博士もボールに入社
1998/2/24 日本経済新聞 朝刊 8 ページ		資金力のない新興企業が一級の人材を集めるための「報酬後払いシステム」であるストックオプションを使用
1998/6/24 日経産業新聞 1 ページ	球状シリコンを使った MOS(金属酸化膜半導体) ダイオードの試作に成功	
1998/7/17 日経産業新聞 9 ページ	3 次元設計のアルゴリズムや球面に回路を一発露光する技術など、中核技術を一挙に展示、実用性を実証	
1998/10/14 日経産業新聞 1 ページ	球状シリコン表面に形成したトランジスタ回路を完全動作	
1999/4/6 日本経済新聞 朝刊 11 ページ	・球状の半導体表面に形成した集積回路(インバータ回路)を完全動作。 ・生産技術を確立し、2001 年の商用化を目指す。 ・米国で特許が成立	

第 4 章 半導体生産システムの小型化を試みた事例研究

1999/4/28 日経産業新聞 9 ページ	従来型の半導体と差別化したアプリケーション案 ・医療分野(MEMS+無線) ・3次元計測が可能な加速度センサ	
1999/6/11 日経産業新聞 1 ページ	日立マクセルと球面半導体を利用した IC タグの共同開発発表	
1999/9/22 日経産業新聞 8 ページ	手術用チェックシステム: 器具置き忘れ防止の開発発表	・医療事業部を新設 ・副社長兼医療事業部長に元脳神経科医のスザンヌ・アン氏が就任
1999/10/3 日 本経済新聞 朝 刊 7 ページ	米特許成立, 「球面半導体集積回路」 「三次元球面集積回路のための全内部反射ホログラフィーの方法と機器」 など 4 件. 第一号製品を自動車やゲーム機器, 精密測定器など幅広い用途が見込める高精度センサに決定. 近くサンプル出荷を始め, 2000 年 4 月に年間 2 百万個を量産出荷予定.	
1999/12/14 日本経済新聞 朝刊 11 ページ	山武と制御機器やセンサ向けの半導体を開発, 来年末をめどに実用化する方針	ボールセミ社は約 60 人の社員を来春に 100 人に増員, 技術開発を加速.
2000/3/29 日経産業新聞 9 ページ	球面用の回路設計支援ソフト「アドバンスト・ボール・レイアウト・エディター(ABLE)」を開発	
2000/7/13 日経産業新聞 9 ページ	医療用アプリケーション: メディカルボール 球面上に温度や圧力, 水素イオン濃度や酸素濃度などを測定できるセンサをとりつけて, 血管や臓器上に置く.	
2001/2/02 日経産業新聞 8 ページ		富士エレクトロニクスと球面半導体製品の展示や技術支援拠点「テクニカル・センター」を日本に開設
2001/2/28 日経金融新聞 18 ページ		・富士エレクトロニクスは球面半導体の本格販売を年内にも開始する. 既に太陽電池用にサンプル出荷をしているが, 2001 年中には本格出荷を始める予定. ・市場の評価は「技術的には画期的だが, 実際の需要は現在のところ医療機器向けに限定されそうで, 市場が形成されるまでには時間がかかる」と, 早期の業績寄与には懐疑的な向きが多い.
2001/4/14 日本経済新聞 朝刊 11 ページ	オムロンと小型センサ開発で連携	
2001/4/17 日経産業新聞 1 ページ	・山武との連携: 無線温度センサを開発する ・凸版印刷との連携: SAW(表面弾性波)素子の開発に着手した	
2001/10/29 日経産業新聞 13 ページ	価格 30 万円強で球面センサのサンプル出荷開始 無感覚地震より少ない 0.3mG から 4G までの振動を感知	
2002/2/22 日経産業新聞 1 ページ	モリテックスと提携し, マスクレス露光を中国で製造装置生産	

第 4 章 半導体生産システムの小型化を試みた事例研究

<p>2003/12/8 プレスリリース</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・東北大学, 凸版印刷, ボール社, 山武がボール SAW センサを共同開発 第一弾は, 燃料電池の実用化に必須の水素センサの開発に着手. ・2010年には水素センサ以外の用途を合わせると 1000 億円以上の市場が生まれると見込む. 	
<p>2004/4/02 日経産業新聞 2 ページ</p>		<p>石川社長, 2004 年 3 月 30 日, 胃がんのため死去した. 66 歳.</p>
<p>2006 ボールセミ社 ホームページ</p>	<p>ボール SAW センサ, 太陽電池プロジェクト開発中断</p>	
<p>2010/10</p>		<p>ボールセミ社廃業</p>

4.4 球状半導体の開発目的

A氏によると、半導体製造の基本特許は2001年には期限が切れる。球状半導体開発は石川の手段であって目標ではなかった。当時、半導体製造産業は、ウェハを大きくして大量生産して行く方向に向かっていて、これにより、設備投資が非常に膨らみ、一つの会社だけでは運営できない状況になりつつあった。石川は、TI時代にはTIとイタリア政府、TIとシンガポール政府など大きなプロジェクトをたくさん仕掛けて、大きな半導体工場を建設してメモリを生産した。しかし、メモリは波があり、経済の影響を非常に色濃く受ける分野ゆえに、それをもっと安くと、石川は思い。投資額で100分の1、それで究極の1個作りで高速にやる方法で量産性を稼げないかと考えた。さらに、石川は今までの特許のしがらみを受けない方法を探って、球状半導体を考えてのがスタート地点であった。石川は8インチウェハと同じぐらいの生産のキャパシティを得るには、球状半導体1個作りであればどれぐらいの生産性でないと等価にならないかを考えて目標を1秒間に2,500個生産に設定にした。石川の目的は半導体を安価に、しかも既存の生産キャパシティと等価な半導体生産システムの構築であった。

4.5 球状半導体の製造プロセスイノベーション

最初に既存半導体製造プロセス概要を述べる。半導体製造工場は、ほかの産業の工場との相違が 2 つある。1 つはファブと呼ばれる前工程の工場と組立て・製品動作試験を行う後工程の工場に大きく 2 つに分かれる。これらの工場は形態が全く異なり、ファブは高度技術・設備装置産業であり、後工程は、組立て・テストの労働集約型産業である(柳井, 1986)。2 つ目はファブでは同じ製造装置群を 20 回以上繰り返して使用する。

図 4.5 に示すように、ウェハと呼ばれるシリコン基板上に、一例として酸化膜を成長させ、感光材を塗布して、露光機で半導体回路パターン素子をウェハ上に焼付け、現像する。そして、エッチングして半導体回路パターン素子をウェハ上に転写する。これにリンやボロンなどの不純物をドーピングして半導体回路パターン素子を形成する。このような製造プロセスを約 20 回以上、同じ装置群を繰り返し使用する回帰オペレーションである。ボールセミ社が起業した当時の半導体は、合計 600 以上にわたる作業工程で集積回路がウェハ上に形成された。

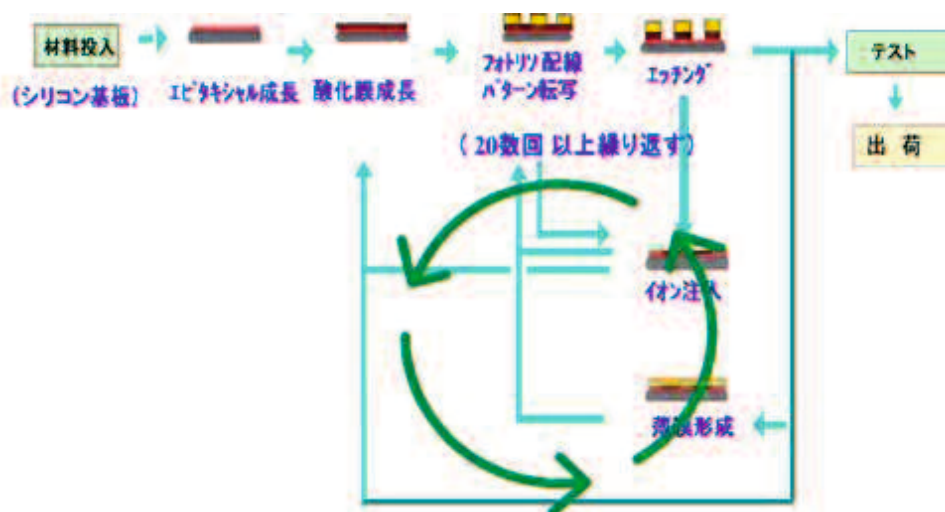


図 4.5 ある半導体の製造プロセスフロー

ファブで形成されたウェハを後工程の工場ではチップと呼ばれる個片に切断して、パッケージと呼ばれる樹脂封止を行って製品化される(図 4.6 参照)。後工程の製造プロセスは、個片に切断するために一部の装置以外は、ウェハ口径には依存しない。

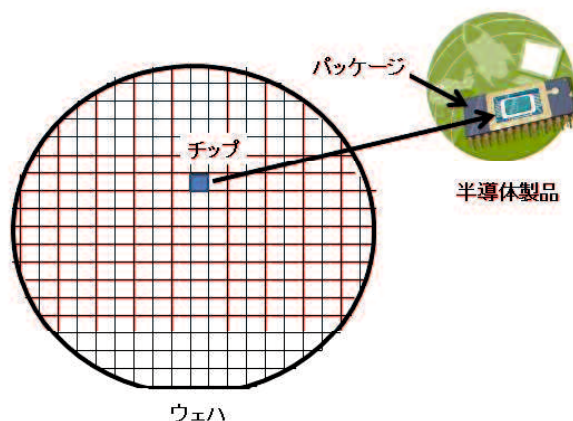


図 4.6 ウェハ, チップ, 及びパッケージ

一方, 球状半導体は形成された直径 1mm の球状シリコンを連続する細いチューブ・プロセス内で外気を遮断して連続加工するためシリコンインゴットの結晶引き上げ, スライスなどのプロセスがないほか, クリーンルームも使わず, 成膜・拡散・フォトリソグラフィ⁶⁾などを行って表面に集積回路を形成する.

既存の半導体製造とのアドバンテージは, 下記の 7 項目が挙げられる.

- ① 建設費とメンテナンスコストが高額なクリーンルームが不要

球状シリコンは外気と遮断されたチューブ内をそれぞれのチューブ・プロセスを通過して球状半導体が形成される(図 4.7 参照).



図 4.7 圧縮性流体中の非接触プロセス(直径 1.6mm, 600m のテフロン・チューブ)

出典: ボールセミ社内部資料より

② パッケージが不要

球と言う形状は機械的に丈夫であるため、通常の半導体のようにパッケージに入れて樹脂でモールドしなくても使用できる可能性がある。

③ 小型でシンプルな製造装置

④ 10分の1の工場建設設備投資

チューブ・プロセスによりクリーンルームは不要、安価な製造装置などによって新設時の設備投資は、総額 15 億米ドルから 1 億米ドルへ 15 分の 1 に削減(図 4.8 参照)。

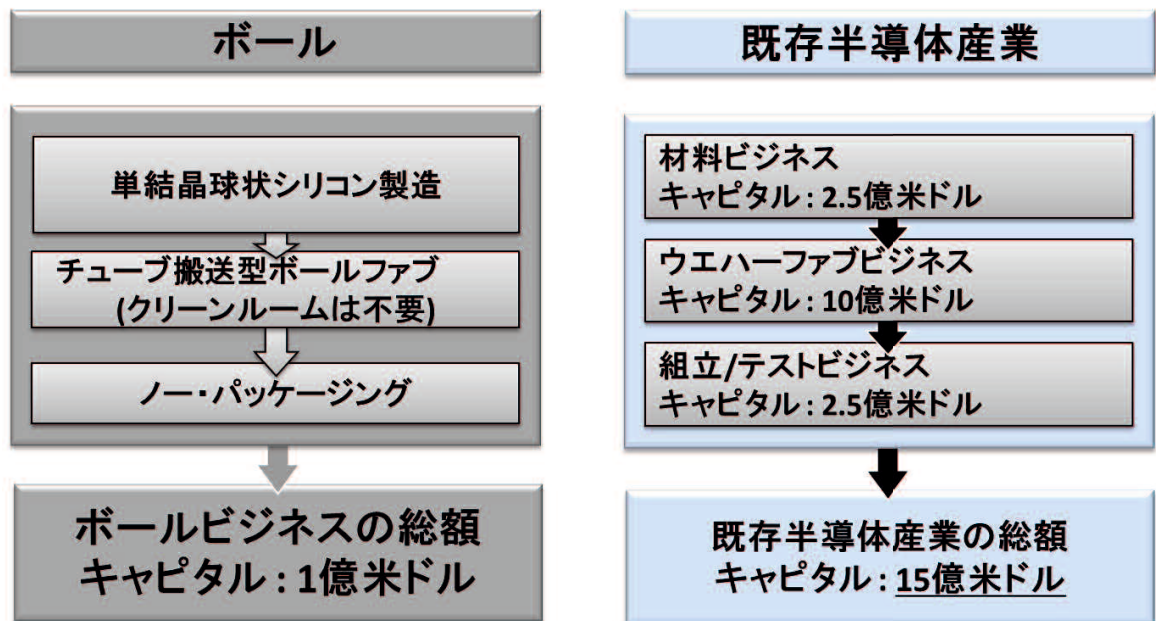


図 4.8 設備投資の比較

出典: ボールセミ社内部資料に加筆作成

⑤ 20分の1のサイクルタイム

球面に集積回路を形成する工程は図 4.9 の酸化からメタルエッチング。この工程は基本的にはシリコンウェハに集積回路を形成する工程と同じである。しかし、これらの製造プロセスはすべてチューブ(図 4.7 参照)で連結され、連続的なオペレーションを行う。さらに図 4.10 のようにパッケージ工程は不要となり、サイクルタイムは 100 日から 5 日に大幅に短縮される。

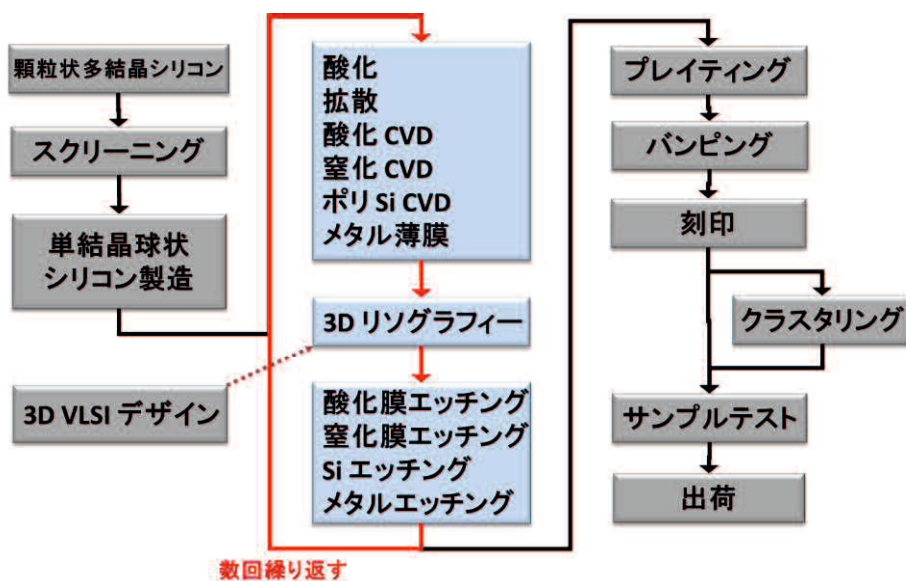


図 4.9 球面に集積回路を形成する製造工程

出典：ボールセミ社内部資料に加筆作成

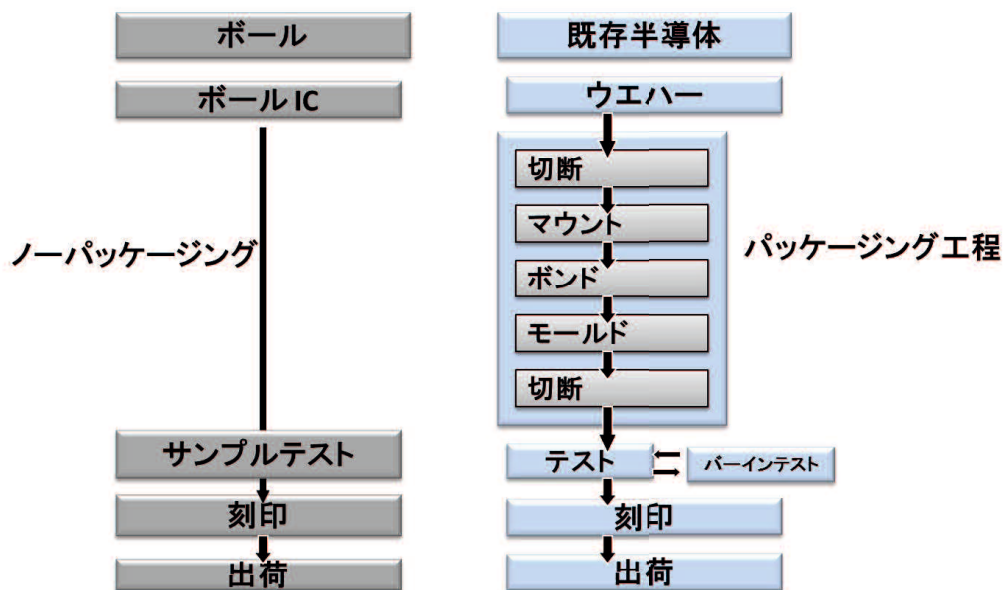


図 4.10 後工程の比較

出典：ボールセミ社内部資料に加筆作成

⑥ 既存の3倍の集積度

従来チップであれば1mm角のチップ面積は1mm²、しかし直径1mmの球状シリコンの面積は4mm²より約3倍となり集積度を格段に向上できる。

⑦ 前工程と後工程工場の統合

図4.10に示すようにチップと呼ばれる個片に切断する必要もなく、パッケージング工程も不要ゆえに図4.9のように後工程は前工程に含まれる。

しかし、3次元の球面表面に集積回路を製造するには球状単結晶製造技術、非接触搬送プロセス技術、球面露光技術、3次元VLSI(Very Large Scale Integration)設計、単純な機能ブロックの球同士を3次的に分子のように積み上げるクラスタリング技術など解決すべき5つの主要な技術的課題があった(竹田, 1999)。しかも、これらは、既存の半導体製造プロセスや装置では一切代替できなく、すべてにおいて既存の技術とは非連続的な技術開発によるイノベーションを必要とした。

4.6 球状半導体製造の技術的課題

① 球状単結晶製造技術

既存ウェハは CZ(チョクラスキー)法⁸⁾の製造プロセスで製造を行う。球状単結晶の製造は反応炉でできる球状の多結晶シリコンを連続的に熱処理し、自然落下により直径 1mm の単結晶シリコン球を作る(図 4.11 参照)。

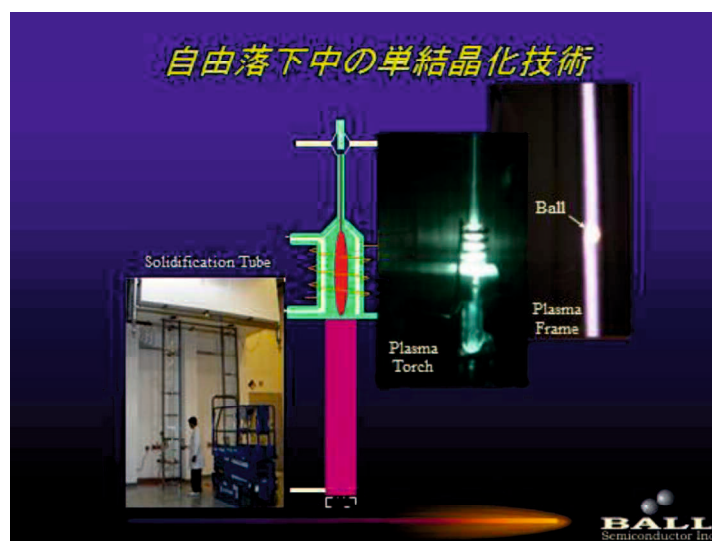


図 4.11 自由落下中の単結晶化技術

出典：ボールセミ社内部資料

自由落下して形成された球状単結晶は歪な形状をしている。これを直径 1mm に連続的にポリッシングする技術は、石川が TI 時代に懇意にしていた D 社と共同開発で行った(図 4.12 参照)。



図 4.12 連続ポリッシング技術

出典：ボールセミ社内部資料

② 非接触搬送プロセス技術

ボールの表面にはダメージや汚染があってはならないため、数ミリ径のチューブ中で各製造プロセスの連続処理を目指した。圧縮性流体中における非接触プロセスのボール搬送装置開発は、石川が TI 時代に半導体部品メーカーに育てた M 社と行い、液中搬送技術は、T 社と共同開発を行った。液中に泡が混在した時、光学的に強い凹レンズ効果のため、ボールのカウント数が不安定になり、泡の検出を行うボールセンサ、バブルセンサは Y 社と共同で開発を行った(図 4.13 参照)。

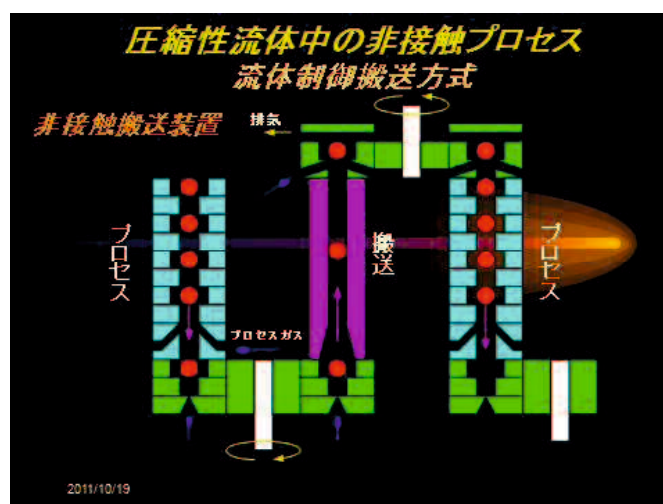


図 4.13 ボール搬送のコンセプト

出典：ボールセミ社内部資料

③ 球面露光技術

3次元の球面への回路パターンを露光するには次の6つの要素技術開発が必要であった。

- ・セルフ・アライメント⁹⁾
- ・ファイン・アライメント
- ・多面体ミラー
- ・マスクレス¹⁰⁾露光
- ・レジストコーティング(球面に感光材を塗布する技術)
- ・ディベロップ(露光後に現像を行う技術)

集積回路は複数の層を重ねて形成するために、下の層に新しい上の層を正確に重ねる必要がある。最初にセルフ・アライメントで大まかな位置合わせ、次にファイン・アライメントで精密な重ね合わせを行う。これらの要素技術開発の委託先は東京電機大のS研究室にはアライメント用超精密ステージの開発、東京農工大のT研究室には3軸で球を回転させる球面超音波モータの開発を委託して産学連携でマスクレス球面露光機の開発を行った(図4.14参照)。

なお、B氏によるとマスク製作に高額な費用を要しているために、石川がマスクを使わない露光機を発案した。

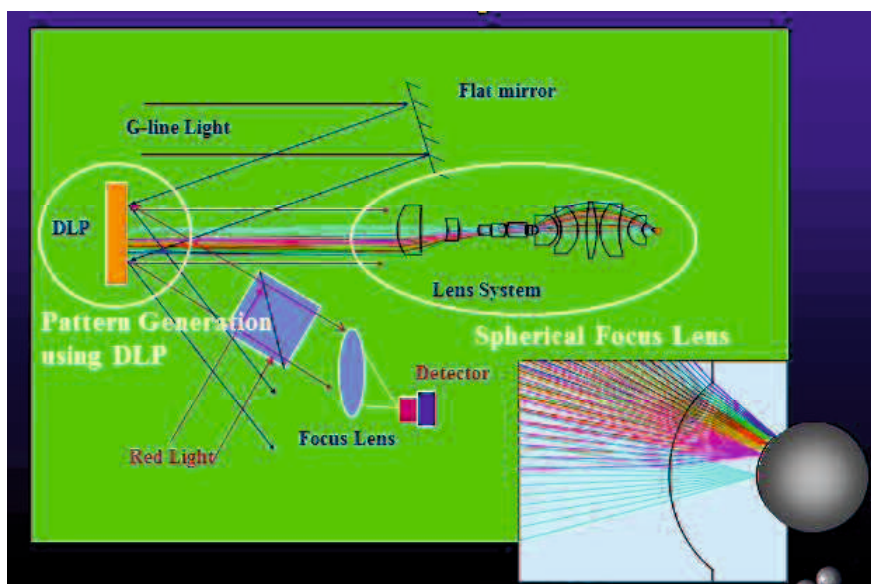


図 4.14 マスクレス露光システム

出典：ボールセミ社内部資料

④ 3次元VLSI設計

既存の集積回路をデザインするツールは2次元表面ゆえに、球面と言う3次元に集積回路パターンを設計するツールABLE(Advanced Ball Layout Editor)をH社と共に開発した。H社の社長は石川のTI時代の元部下であった(図4.15参照)。

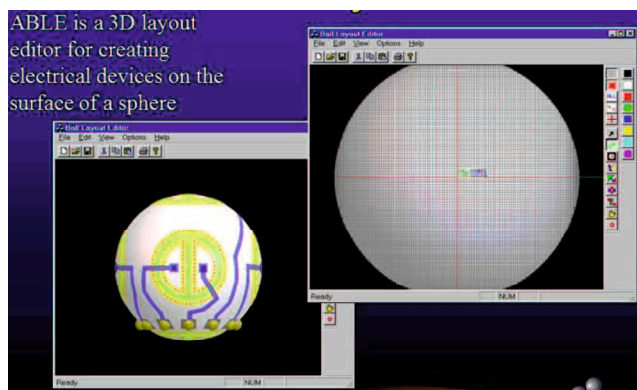


図 4.15 Advanced Ball Layout Editor

出典：ボールセミ社内部資料

⑤ クラスタリング技術

当時の半導体はシステム・オン・チップのように一つのチップの中に異種機能の半導体を形成する方向であった。ボールセミ社は、単純な機能ブロックの球同士を3次元的に分子のように組み上げて、システムLSIを作るクラスタリング技術を開発した(図4.16)。この技術は画期的な技術で当時の実装学会ではロードマップへ入る可能性を秘めていた(図4.17)。なお、3次元実装技術は現在では、More than Moore¹¹⁾を実現するための一般的な技術である。

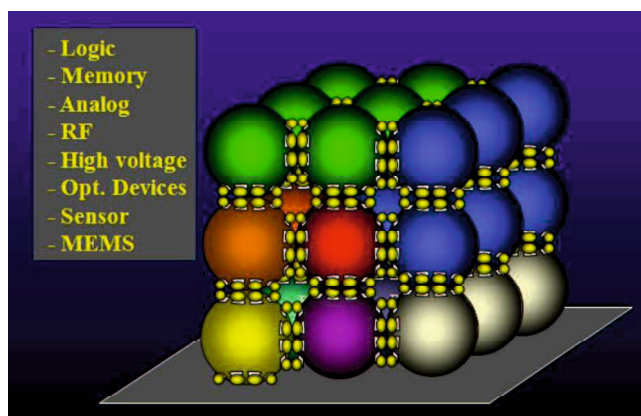


図 4.16 クラスタリング技術

出典：ボールセミ社内部資料

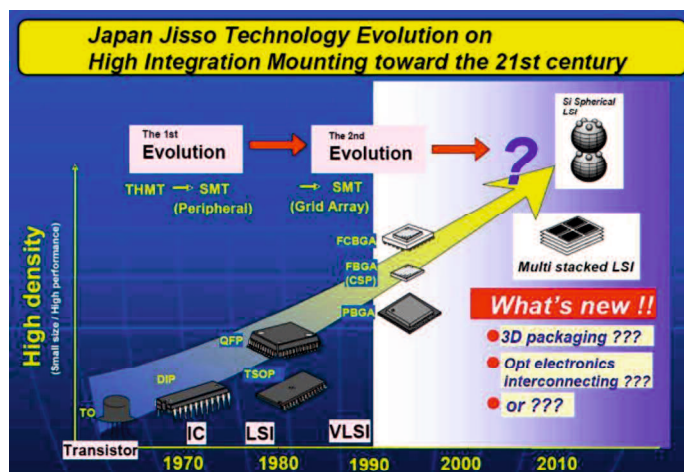


図 4.17 実装学会でのロードマップ

出典：ボールセミ社内部資料

ボールセミ社はこのように企業や大学と連携するオープンイノベーションにより酸化・拡散，CVD(chemical vapor deposition)多結晶シリコン膜，CVD 酸化膜，CVD 窒化膜，配線層形成，ウエットエッチ，ドライエッチなど一通りの球状半導体製造の製造プロセス要素技術を確立した．例えば，ドライ酸化での酸化速度は，既存製造プロセスでは 40 分で 1000 Å の酸化膜が成膜するが，球面上では同じ酸化膜厚が 5 分で成膜するドライ酸化プロセスを開発した(図 4.18 参照)．上述の製造プロセス開発で半導体素子やそれらを集積した集積回路の試作品が 1999 年 4 月にはできあがった．

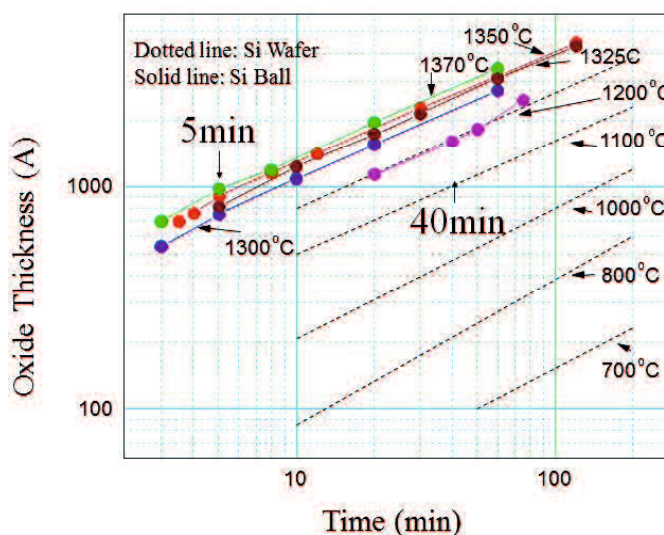


図 4.18 シングルチューブでの評価結果(ドライ酸化での酸化速度)

出典：ボールセミ社内部資料

4.7 球状半導体のアプリケーション開発

起業より2年数ヶ月で球状半導体の試作品を完成させた石川は、メモリやロジックICといった従来の半導体技術で代替できないアプリケーションを生み出すために、著名企業との連携で下記のアプリケーション開発をスタートさせた。

石川は日本の大手家電メーカーH社とICタグの共同開発を1999年6月に発表した(日経産業新聞, 1999/6/11)。これはバーコードの代替で、立体構造である球面にコイルを巻き付けて無線で情報を読み取る。ボールセミ社がRF(Radio Frequency:無線)機能を持った球状半導体の開発、H社が読み取り装置を開発した。

石川は医療機器へのアプリケーション開発を行うため、社内にアドバイズ委員会を設けて、ボールセミ本社には毎月一度の頻度で全米から20名ほどの医師が集まり、色々な議論を交わし、アイデアを次々と出した。例えば、球状なら体内挿入が容易になり、がん患者向けの患部からの“痛み信号”を打ち消す信号を出す「電子モルヒネ」デバイス。

このように技術開発のみならず、アイデアや意見もオープンイノベーションで創出した。さらに、1999年9月には、脳神経外科医のアン氏は球状半導体の可能性に魅力を感じて、ボールセミ社へ自ら入社を申し出て、副社長兼医療事業部長に就任した(日経産業新聞, 1999/9/22)。

米国大手企業との提携を解消した日本の大手制御機器メーカーY社は新たに環境ビジネスを立ち上げた。しかし、この事業は後発であったために技術的なブレークスルーを必要とし、球状半導体に魅力を感じて、社長自ら石川と直接掛けあって協力を求め、約76万米ドルを出資して両社で温度・湿度用センサ向けの球状半導体の共同開発を1999年12月に発表した(日本経済新聞朝刊, 1999/12/9)。

さらに、2001年4月には日本の大手センサメーカーO社と小型センサ開発で連携を発表した。両社は20名の共同開発チームでO社のセンサ技術とボールセミ社の球状半導体技術で従来センサの大きさとコストが10分の1の小型センサ開発を発表した(日本経済新聞朝刊, 2001/4/14)。

Chesbrough(2003)の定義に従えば、オープンイノベーションとは「有能なアイデアは、企業の内部又は外からもたらされると同様に社内又は社外から市場に出て行く」。このように石川は、球状半導体の製造装置や製造プロセス開発のみならず、アプリケーション開発も社内外のリソースを活用したオープンイノベーション戦略で課題解決を行った(図4.19参照)。

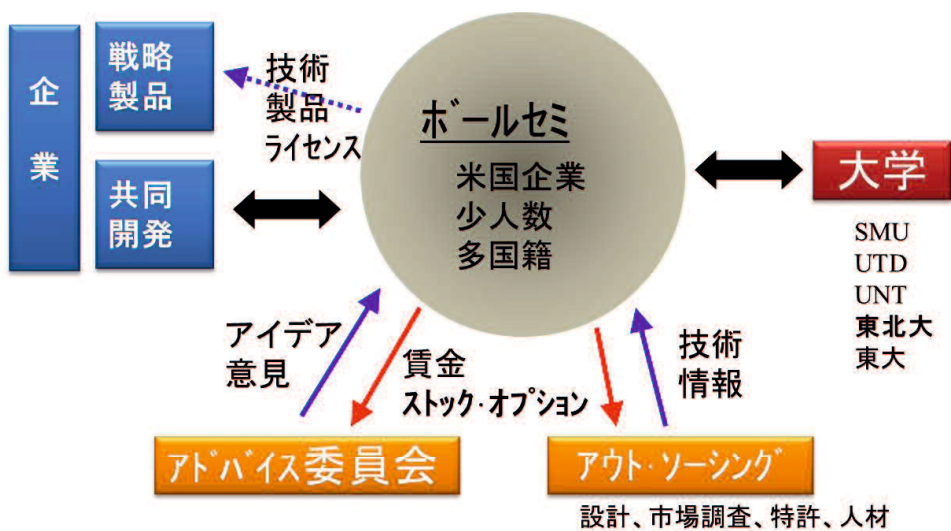


図 4.19 ボールセミ社のオープンイノベーション体制

出典：ボールセミ社内部資料に加筆作成

4.8 高付加価値デバイスへの開発方針変更

A氏によると一通りの球状半導体製造の製造プロセスは完成した。しかし、量産に必要とされる各装置間や製造プロセス間の生産性がそろっていなかった。よって、石川のゴールであった秒間2,500個生産して、1個を1セントで販売できるところまで到達できなかった。唯一、D社と連携して開発したベルトコンベアーのポリッシャーが一番それを忠実に守っていた。それでも秒間に1,000個生産であった。量産時のボトルネックは10分間に1個の処理を行うマスクレス球面露光装置であった。装置の要素技術開発は産学連携で行っていた。それらを装置に組み込むには追加的な技術開発が必要とし、結果的にはセルフ・アライメントとファイン・アライメントの技術開発が未達で、マニュアルでアライメント操作を行っていた。

したがって、球状半導体製造は生産できても月10個、20個であった。B氏によるとそれに付加価値を付ける製品が3軸の加速度センサであった。球と言う物理的特性を生かした3次元の立体計測が容易な加速度センサは、現在の平面半導体で作ったセンサに比べて感度が一けた向上した。3軸の加速度センサ(ジャイロ)などのように、付加価値を付ければ1個100万円、200万円で売れる高付加価値デバイスがあった。

しかし、この開発にリソースの選択と集中を行わず、大量生産のICタグや小型センサの開発と並行して高付加価値で少量生産のMEMS¹²⁾(Micro Electro Mechanical Systems)開発を行った。

このように球の特徴を生かしたMEMS開発を2000年頃から始め、2001年に傾斜計、2002年に3軸の加速度センサの試作品を発表した(日本経済新聞朝刊、2001/10/29)。しかし、いずれの試作品も、死の谷を越えられず、事業化までには至らなかった。

4.9 新たなオープンイノベーション

東北大学は、球の弾性表面波は普通の波のように広がらず、赤道に沿った細いルートを周回する性質を 1999 年に発見した(凸版印刷株式会社ホームページ)。東北大学のシーズを凸版印刷が商品化を計画した。しかし、現象は見つかったがデバイスを作る技術がなかった。そこでデバイスを作る技術を持つボールセミ社に開発依頼が来た。

B 氏によると通常の開発とは異なっていた。石川はこの開発には直接関与せず、ボールセミ社は、この開発のリーダーシップは持っていなかった。球状半導体の製造特許を出して、B 氏がアドバイザ的な立場で参画した。高性能な直径 1mm のボール水素センサ(ボールセミ社が開発したシリコン球でなくクリスタル球)の開発にあたっては東北大学と日本の大手メーカー T 社がボール SAW¹³⁾(Surface Acoustic Wave filter: 表面弾性波フィルター)デバイスの基礎的な開発を受持ち、球状半導体の製造技術については、ボールセミ社が米国テキサス州で行っていた研究開発の設備とエンジニアを Y 社の日本国内 F 工場に移し、Y 社は球状半導体製造技術の開発パートナーの立場でボールセミ社と共に試作開発を行った。

これはボールセミ社のテクノロジーが社外に出て行ったインサイド・アウト型オープンイノベーションであった。

4.10 知財戦略

半導体製造プロセスは、4.5 で示したように多数の工程より構成される。よって、これらの工程は、様々な製造プロセス特許により構成されている。この技術蓄積システム (Cumulative Systems Technologies) の知財戦略は、クロスライセンスが用いられている (Grindley and Teece, 1997)。これはお互いが持つ特許を相互に許諾する。従って、相互ライセンスを行う企業より自社の持つ特許の価値が低い場合は、差額のライセンス費用を支払う。1990年代半ば、TIはクロスライセンスによる年間特許収入は約230億円であった。

このようにTIのクロスライセンスを熟知している石川はボールセミ社でも同じように球状半導体製造プロセスに関する多くの特許を出願した。A氏によると商業的に成功したら、TIのクロスライセンス戦略と同じように、球状半導体製造プロセス特許を公開して、実施権やロイヤリティーを計画していた。工場建屋を建築する当初の1年間は日本人、中国人、インド人、ロシア人、タイ人など博士号を持つ社員十人以上が200件以上の特許を出願した。

医療事業部は毎月全米より20名ほどの医者が集まり、球状半導体のアプリケーション特許を出願していた。例えば、「電子スポンジカウント」は外科手術の際に医師や看護婦が使う手袋やメスなどの器具に発振器の機能を持つ球状半導体を取付け、手術後に専用の受信装置を使って体内への医療器具の置き忘れがないかどうかを調べる特許であった。この特許について米国大手製薬ヘルスケア会社から問い合わせがあった。しかし、請求項に既存半導体が含まれていないと分かるとビジネスはストップした。B氏によると社名がボールセミコンダクターなので既存の半導体は扱う予定はなかった。特許出願の失敗は、特許請求項に既存半導体を記載してなかったと述べている。

4.11 ディスカッション

ミニミル事例と事業化には至らなかった球状半導体事例を表 4.2 のように比較する。

半導体製造メーカーは ITRS が示すウェハ口径の大口径化による微細化と量産効果を目的に 90 年代半ばにはウェハ口径を 6 インチから 8 インチへと移行していた。しかしながら、球状半導体は ITRS に追従しなく、主要部材であるシリコンを“シリコンウェハ”から“球状シリコン”へと代替した。これは、ミニミルの“鉄鉱石”から“鉄スクラップ”に相当した。

球状半導体により、製造プロセスのイノベーションが必要とされた。その結果、クリーンルームが不要となり、装置・設備投資が既存の 15 分の 1 となって、出荷までの期間が大幅に短縮された。しかし、微細化の解像度は $2.0\mu\text{m}$ であった。90 年代半ばの最先端ファブの 250nm に比較して製造プロセス性能は 8 分の 1 に低下していた。よって、ミニミルと同じく、最初にターゲットとした製品は LSI デバイスではなく、非微細化デバイスであるセンサとした。

このように球状半導体は、ミニミルとのアナロジーにより成功の可能性を持っていた。しかし、両者には表 4.2 に示すように大きな違いが 3 つあった。

第 1 の相異は、イノベーションの発生時期である。ミニミルは鉄鋼産業の成熟期であるために用途が広がり多品種少量生産が求められた。一方、球状半導体は、ボールセミ社の起業時期である 1990 年代は半導体製造産業の成長期であった。この時期、半導体は“産業の米”として需要量が急激に増えた。したがって、石川は既存の半導体と等価な生産キャパシティを目指した。つまり、最適規模生産でなく、規模の経済を追求した。

A 氏によると一通りの球状半導体製造のプロセスは完成した。しかし、量産に必要な各装置間や製造プロセス間の生産性がそろっていなかった。石川のゴールとした秒間 2,500 個生産して、1 個を 1 セントで販売できるところまで到達できなかった。

第 2 の相異は、主要部材のウェハが球状シリコンへと非連続的に変化した。一方、ミニミルの製造方法は、既存技術・設備を用いた漸進的な製造プロセスのイノベーションであった。しかし、球状半導体の製造方法は、既存技術・設備を一切使用できなく原材料の球状シリコンを含む全製造工程の要素技術の研究開発が必要な非連続なイノベーションであった。

これを自社開発、企業や大学とのオープンイノベーションで球状半導体のサンプル出荷ができるレベルまで到達した。しかし、その技術開発は両極であった。B 氏によると幾つかの製造プロセスは当時の最先端の技術レベルに到達していた。これらは自社で装置と製造プロセス技術をマネジメントしていた。

一方、マスクレス球面露光機のアライメント技術は確立できなく、手動操作であったために石川の意図する量産レベルまで到達しなかった。この要因の一つは組織能力であった。幾つかの要素技術を個別に企業や大学が開発を担当し、それらをボールセミ社で統合する

能力が必要であった。これは **Cohen and Levinthal(1990)**が述べている、企業が新しい外部の知識の価値を認識して取り入れ、商業的成果に適用する能力”**Absorptive Capacity**”であると考え。また、元橋(2005)は研究開発型企業では産学連携の成功には大学における基礎的な知見を社内のイノベーションプロセスに取り入れる追加的な技術開発を行う **Absorptive Capacity** の存在が重要であると述べている。マスクレス球面露光装置の開発には、この **Absorptive Capacity** が不足していたと考える。よって、目標とする生産キャパシティを達成できなかった。このように石川が求める量産製造プロセス技術のイノベーションには至っていなかった。

第3の相異は、参加企業が少なくビジネス・エコシステムを形成できなかった。このエコシステム概念は生態学の研究から展開されている(**Hannan and Freeman,1977**)。鉄鋼産業と半導体製造産業は裾野の広い巨大な設備・装置産業である。したがって、ビジネス・エコシステムの存在なしには成り立たない。

ミニミルは既存技術・設備の漸進的なイノベーションによりビジネス・エコシステムが既に存在している。しかし、球状半導体は既存技術・設備を使用できない非連続なイノベーションにより多くの半導体関連企業との連携で研究開発を計画した。しかし、結果は、石川とTI時代に親交のあった数社の装置メーカ、デバイス・メーカのみであった。このように、球状半導体製造に賛同する企業が少なくビジネス・エコシステムの形成はなされていなかったと考える。

ミニミルとボールセミ社の分析により、小型化した生産システムを現在の半導体製造産業へ適用するには、表4.3に示すように半導体製造産業の黎明期からの変遷を考える必要がある。第2章で述べたように半導体製造産業はムーアの法則や技術ロードマップであるITRSに従って微細化とウェハの大口径化を遂行している。この間、世界の半導体市場規模は黎明期の1960年650億円から成熟期の2015年33兆円へと約半世紀で鉄鋼産業の世界市場規模の約半分を占めた。

しかし、ITRSが指し示す微細化は物理限界に近づき、ウェハ口径450mmのファブ建設は厳しい状況である。さらに、電気自動車、自動運転、IoT、AI、医療機器などには、ムーアの法則に従わない**More than Moore**といわれる化合物半導体、MEMSセンサー/アクチュエータ、アナログデバイス、バイオデバイスなどが主体となって搭載される。つまり、個別半導体ではなく、社会システム全体で考える必要がある。この社会状況の変化に伴い、2016年5月にIEEE(電気電子技術協会)よりITRSに変わる新たな**IEEE International Roadmap for Devices and Systems(IRDS:国際デバイス及びシステムのロードマップ)**策定の発表があった

(http://rebootingcomputing.ieee.org/images/files/pdf/rc_irds.pdf [2016/10/25])。これは半導体のみならずシステム、アーキテクチャ及びソフトウェアなどコンピュータを基盤とするビジネス・エコシステム構築の技術ロードマップを指し示す。

第4章 半導体生産システムの小型化を試みた事例研究

これにより、微細化、大口径化を伴わない化合物半導体、MEMS、アナログデバイス、バイオデバイスなどが主体なり、新たなビジネス・エコシステム形成の可能性が考えられる。

以上より、小型化した生産システムを半導体製造産業へ適用する戦略の仮説をミニミルと球状半導体の相違により考案する。

- ① 多品種少量生産
- ② 短納期と低コストが可能な漸進的プロセス・イノベーション
- ③ 製品領域は微細化、大口径化を伴わない化合物半導体、MEMS、アナログデバイス、バイオデバイスなど

下記は、これらの仮説の制約条件である。

- ① ビジネス・エコシステムの存在。
- ② 主体企業は組織能力の一つである Absorptive Capacity が必要。

表 4.2 ミニミルと球状半導体の比較

	ミニミル	球状半導体
ロジスティック曲線におけるイノベーションの発生時期	成熟期	成長期
代替とした主要部材	鉄鉱石から鉄スクラップへ	シリコンウェハから球状シリコンへ
プロセス・イノベーション形態	高炉・転炉を必要としない電気炉で融解。 既存技術・設備の漸進的なイノベーション	クリーンルームを必要としない非接触の チューブ内製造。 既存技術・設備を使用できない非連続な イノベーション
設備投資コスト	総合鉄鋼メーカーの10分の1以下	主力メーカーの15分の1
出荷までのサイクルタイム	粗圧延機や中間圧延機などを配さずに、仕上げ 圧延機のみで鉄鋼生産を行う製造ラインの短い 熟間圧延工場(梅澤, 2002)	100日から5日に大幅に短縮
生産方法	“小さな鉄工所”と呼ばれる多品種少量生産	既存ファブと等価を目指した秒間2500個の 大量生産
最初にターゲットとした製品	原材料である鉄スクラップの低鉄鋼品質に対応し た市場の最下層に位置する鉄筋分野	露光装置の解像度が2.0 μ mであったので MEMSやセンサなど非微細化デバイス
ビジネス・エコシステム	既存技術・設備の漸進的なイノベーションなので ビジネス・エコシステムが既に存在	参加企業は少なくビジネス・エコシステムが 未形成
知財戦略	各社による知財戦略	クロスライセンス戦略として初年度は200件 以上の特許出願

出典: Christensen(2003) を基に著者作成

表 4.3 半導体製造産業の変遷

年代	世界半導体市場 推移 (B\$)	半導体市場の牽引製品	半導体業界動向
1940年代後半～1950年代	-	<ul style="list-style-type: none"> 米国: 軍需・航空・宇宙用途コンピュータ 日本: トランジスタ・ラジオ 	<ul style="list-style-type: none"> 1947年 ベル研究所トランジスタ発明 1958年 TI Jack Kilby IC発明
黎明期	1960年 1965年	<ul style="list-style-type: none"> メインフレームコンピュータ ICラジオ 	<ul style="list-style-type: none"> 1965年 ムーアの法則提唱
	1970年 1975年	<ul style="list-style-type: none"> メインフレームコンピュータ 電卓, 時計 	<ul style="list-style-type: none"> 1975年 超LSI技術研究組合発足 1977年 米国SIA(半導体工業会)が設立
1980年代	1980年 1985年	<ul style="list-style-type: none"> ワンチップマイコン VTR, テレビゲーム 	<ul style="list-style-type: none"> 1987年 米国SEMATEC(半導体共同開発機構)設立
	1990年 1995年	<ul style="list-style-type: none"> パソコン (Windows95) 	<ul style="list-style-type: none"> 1997年 ITRSスタート
成長期	2000年 2005年	<ul style="list-style-type: none"> 携帯電話 デジタルカメラなどのデジタル家電 	<ul style="list-style-type: none"> 2000年 あすかプロジェクト発足 2001年 MIRAIプロジェクト発足 2001年 HALCAプロジェクト発足 TSMC台頭 微細化の投資 Intel, Samsung, TSMC, 東芝 More than Moore 半導体の台頭
	2010年 2015年	<ul style="list-style-type: none"> スマートフォン サーバー(ビッグデータ) インターネットの普及 	<ul style="list-style-type: none"> 微細化は物理限界に迫る(10nm以下) 2012-2015年 ミニマルアブ国家PJ
成熟期	2010年 2015年	<ul style="list-style-type: none"> AI IoT 自動運転, 電気自動車 	<ul style="list-style-type: none"> 2016年 ITRS終息, IRDS策定発表
新たな黎明期		2016年～	

出典: 世界半導体市場推移は WSTS のデータを基に加筆作

4.12 結語

前章での分析を前提に、ボールセミ社の生産システムを小型化するアイデアは、ミニミルの成功事例とのアナロジーで事業化の可能性を持っていた。しかし、①ボールセミ社は、半導体製造産業の成長期に起業したために大量生産を目指した、②主要部材のウェハが球状シリコンへと非連続に変化したために全製造工程の要素技術の研究開発が必要であった、③参加企業が少ないためにビジネス・エコシステムを形成できなかった。以上がミニミルのケースと本質的に異なる。

さらに、現在の半導体製造産業のエコシステムでは、ボールセミ社の活動時と異なり、大規模化による生産性の向上は市場ニーズを十分満たせず、新たなエコシステムの登場に適した環境条件にあると提示した。つまり、半導体製造の成長期から成熟期までの規模の経済をけん引した ITRS 活動は終了し、アプリケーションの観点からの新たなロードマップ (IRDS) 策定が議論されている背景を分析した結果、微細化、大口径化を伴わない特殊用途半導体、化合物半導体、MEMS アクチュエータ/センサー、アナログデバイス、バイオデバイスなどが主体とされる新たなビジネス・エコシステム形成の可能性が判明した。よって、新たなロードマップにより図 4.20 に示す新たなテクノロジーによるロジスティック曲線の可能性が考えられる。

下記のように小型化した生産システムを半導体製造産業へ適用する戦略の仮説を提示する。

- ① 多品種少量生産
- ② 短納期と低コストが可能な漸進的プロセス・イノベーション
- ③ 製品領域は微細化、大口径化を伴わない化合物半導体、MEMS、アナログデバイス、バイオデバイスなど

下記は、これらの仮説の制約条件である。

- ① ビジネス・エコシステムの存在。
- ② 主体企業は組織能力の一つである Absorptive Capacity が必要。

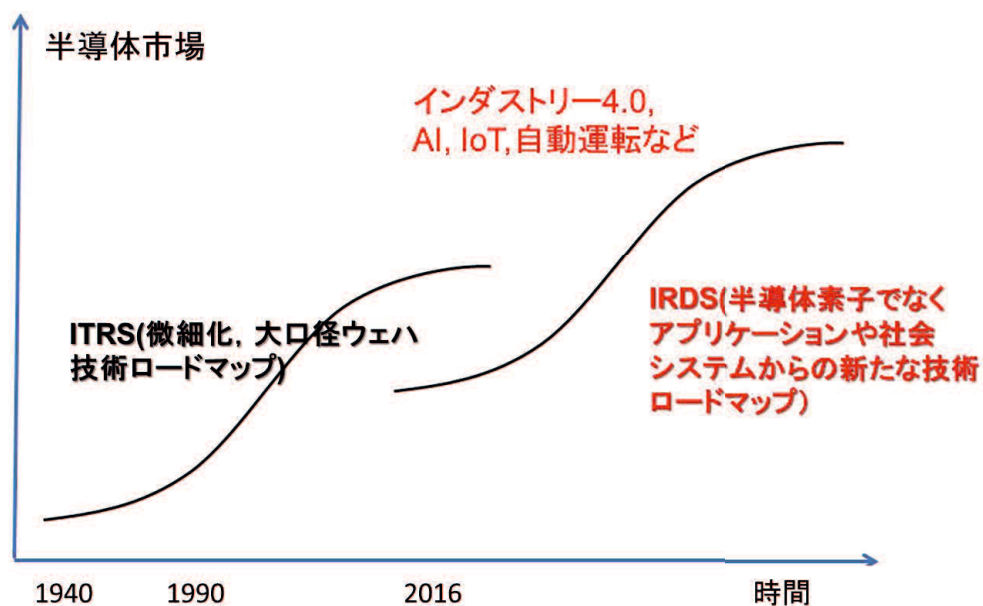


図 4.20 新たなロジスティック曲線の可能性

注釈

- 1) ベンチャー企業: ベンチャー企業の定義は、金井一頼・角田隆太郎編 『ベンチャー企業経営論』(有斐閣 2002) pp.1-26 を参照.
- 2) 拡散法: シリコン基板の表面にシリコン酸化膜を形成してトランジスタ素子を構成するために不純物(リン, ボロン, ヒ素など)を選択的に拡散させる技術.
- 3) プレーナ特許: 不純物拡散によって形成された二酸化シリコン膜を残し, その後の拡散や配線層による回路形成を行う技術.
- 4) キルビー特許: 能動回路素子であるトランジスタや抵抗, 受動回路素子であるコンデンサー, インダクタンスを同時に一つの基板に乗せる概念. IC の構造にかかわる基本特許.
- 5) パッケージ: 半導体チップを外部からの衝撃, 湿度, 熱, ガス, 光線などから守るために樹脂や金属やセラミックで封止する.
- 6) フォトリソグラフィ: 感光性の物質(レジスト)を塗布した物質の表面にパターンを露光し, 露光された部分と露光されていない部分を生成して電子回路を形成する技術.
- 7) サイクルタイム: ウェハ工程の製造から出荷までの日数. 1990年代は, ロット投入から出荷まで2,3ヶ月以上を要していた.
- 8) CZ(チョクラルスキー)法: 種結晶を坩堝内で熔融状態のシリコンに接触させてゆっくりと回転させながら引き上げて大きな単結晶のシリコンインゴットを製造する方法.
- 9) アライメント: ウェハに電子回路を形成するため, 回路パターンを幾層にも積み重ねて構築する. その場合, 積み重ねを精度良く行うために下の層にマークを形成する. 積み重ねる上の層は, 下の層のマークに合わせて積み重ねて精度が向上する. アライメントとは, このマークの重ね合わせを行う位置合わせ作業.
- 10) マスクレス: 正式な名称はフォトマスクレス. フォトマスクとは露光機でシリコンウェハに集積回路を焼き付ける回路パターンの原板. 1990年代の0.5 μm のマスクセットで数100万円. マスクレスとは高価なフォトマスクを使用しない.
- 11) More than Moore: 必ずしもムーアの法則に従ってスケールしない機能をデバイスに取り入れ, 最終顧客にさまざまな面で付加価値を与える.
- 12) MEMS: 機械要素部品, センサ, アクチュエータ, 電子回路を一つのシリコン基板, ガラス基板, 有機材料などの上に集積化したデバイス(出典:ウィキペディア <http://ja.wikipedia.org/wiki/> [2013/4/7]).
- 13) SAW: 圧電体の薄膜, 若しくは基板上に形成された規則性のある“くし型電極”により, 特定の周波数帯域の電気信号を取り出す素子(出典:ウィキペディア <http://ja.wikipedia.org/wiki/> [2013/4/7]).

参考文献

- [1] Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business Press
大前恵一朗訳(2004). *OPEN INNOVATION ハーバード流イノベーション戦略のすべて*, 産業能率大学出版部, p.58.
- [2] Christensen, C. (2001). *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business Review Press.
玉田俊平太監修, 伊豆原弓訳(2003) 『イノベーションのジレンマ』 翔泳社.
- [3] Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, pp.128-152.
- [4] Grindley, P. C., & Teece, D. J. (1997). Managing intellectual capital: licensing and cross-licensing in semiconductors and electronics. *California Management Review*, 39(2), pp.8-41.
- [5] Hannan, M. T., & Freeman, J. (1977). The population ecology of organizations. *American journal of sociology*, pp.929-964.
- [6] 鈴木直次. (2009). アメリカ IT 産業のグローバル展開 (1) 東アジアを中心とする半導体産業の海外事業. 専修大学社会科学研究所月報, (556), pp.1-39.
- [7] 竹田宣生. (1999). ボール半導体技術. 電子情報通信学会技術研究報告. ED, 電子デバイス, 98(629), pp.49-55.
- [8] 武藤健. (2010). 金融危機後のベンチャー企業の資金調達に関する新しい潮流 (特集 産業特集号). 情報未来, 35, pp.14-19.
- [9] 凸版印刷株式会社ホームページ.
http://www.toppan.co.jp/archives_news/article0071.html, [2013/4/7].
- [10] 仲野英志 『IT の先駆者 丸い半導体(ボール・セミコンダクター)に挑んだ男たち』, 新生出版社, 2006 年, p.12, p.102, p.145.
- [11] 日経産業新聞: 苦境の半導体 球が突破口. 日本経済新聞社, 1998/10/14, p.1.
- [12] 日経産業新聞: 球面 IC タグ開発へ. 日経産業新聞. 1999/6/11, p.1.
- [13] 日経産業新聞: 手術用チェックシステム. 日経産業新聞. 1999/9/22, p.8.
- [14] 日本経済新聞朝刊: 球面半導体でセンサ. 日経産業新聞. 2001/4/14, p.11.
- [15] 日本経済新聞朝刊: 山武が技術・資本提携. 日経産業新聞. 1999/12/9, p.17.
- [16] 日本経済新聞朝刊: 直径 1 ミリ球状センサ開発. 日経産業新聞. 2001/10/29, p.13.
- [17] 毎日新聞, トランジスタ 25 年「特許戦争 “黒船来ると” 緊張」(『毎日新聞』1973 年 10 月 27 日 http://www.komazawa-u.ac.jp/~kobamasa/lecture/japaneco/Ti_1968/ti_pat/TIpat.htm [2013/11/9].

第4章 半導体生産システムの小型化を試みた事例研究

- [18] 元橋一之.(2005). 中小企業の産学連携と研究開発ネットワーク：変革期にある日本のイノベーションシステムにおける位置づけ日本における産学連携. ポリシーディスカッションペーパー.
- [19] 柳井雅也.(1986).地方における電機産業の立地と展開：会津若松市の事例を中心として. 東北経済, Vol.80, pp.75-118.

第 5 章 黎明期のビジネス・エコシステム生成要因研究

5.1 緒言

本章は半導体製造産業において多品種少量ニーズを充足する新たな最適規模生産方式であるミニマルファブ国家 PJ に注目し、中小企業の連合体によっていかにして新たなビジネス・エコシステムが形成されつつあるかを、当該プロジェクトに参加した企業に対してアンケート調査とビジネス・エコシステムのフレームワークにより分析する。

過去、表 5.1 に示すように幾つかの国家 PJ が実施された。その中で最初に実施された超 LSI 研究開発は成功した。この国家 PJ は、米国の国家 PJ である SEMATECH (Semiconductor Manufacturing Technology)ほかの模範とされた(垂井, 2003)。

日本の半導体製造が最盛期であった 1990 年代半ばには、微細加工が光学技術の限界に近づいた。これに伴って、半導体製造メーカ、半導体製造装置メーカ、大学、及び産総研は約 266 億円の予算で超先端電子技術開発の国家 PJ をスタートさせた。

しかし、その後、日本の半導体製造産業は競争力を失い 2001 年には DRAM 依存からシステム LSI への競争力回復を目的とした通称 MIRA と呼ばれる国家 PJ や少品種大量生産型の汎用製品向け工場からの脱却を目的とした通称 HALCA と呼ばれる国家 PJ が多額の国費を投入して行われた。しかし、日本の半導体製造産業の低迷は現在も続いている。

そして、2012 年度から短納期、低コストで多品種少量生産方式を可能とする“革新的製造プロセス技術開発”国家 PJ が 3 年間実施された。これは通称“ミニマルファブ”といわれている。ミニマルファブは、過去の国家 PJ とは 2 つの点で大きく異なっていた。第 1 に、表 5.1 に示すように発足の背景は、国際競争力や技術的な脅威からではなかった。現在の半導体生産システム¹⁾を問題にしていた、第 2 に、産総研が主導し、2015 年 4 月時点では企業 110 社が参加する産学官のコンソーシアムで革新的な半導体製造プロセスの装置とファクトリーの研究開発を遂行している。さらに、この国家 PJ には多くの中小企業が主体となって参加している。

この国家 PJ では、ゼロから半導体生産システムを構築する意味で、過去の国家 PJ とは全く意義と困難さを異にしていた。ミニマルファブの開発は当初から 3 つのステージで計画した。第 1 ステージの 3 年間は、半導体前工程システムの基本部分、すなわちフォトリソグラフィ・システムを完成する、そして、小型化が難しい CVD(化学気相成長法)やイオン注入装置等の小型化の試作機製作が目標であった。第 2 ステージの 3 年間では、CVD やイオン注入を完成させて、簡易デバイスのファクトリー・システムを構築する。すなわちミニマルファブを一つの産業システムに成立させるところまでの実用化が目標である。第 3 ステージでは、600 工程以上を必要とする集積回路のファブ構築が目標である。この国家 PJ では、この立ち上がりの第 1 ステージまでを遂行した。

現在では、コンソーシアム設立当初、学会で見られたミニマルファブへの批判や懐疑論は影を潜めた。しかし、ミニマルファブは、半導体生産システムのイノベーションにつながるにはいくつかの課題があると思われる。

Adner(2006)は、顧客を魅了する補完的な技術やパートナー企業との関係なしにはイノベーションは成功しないと述べている。さらに、Adner(2012)は、イノベーションの成功のカギは独自のイノベーションから協働的なエコシステムに移る時にあると述べている。

このように産業界のイノベーションにおいてビジネス・エコシステム生成の黎明期が重要であると考えられる。

既に存在しているビジネス・エコシステムの生成事例研究は多く行われている。しかし、まだ完全なビジネス・エコシステムが生成していない黎明期におけるエコシステムの事例研究は日本では見受けられない。

実際、ミニマルファブは第1ステージを終了した段階にあり、まだ、すべてが完成したわけではない。ビジネス・エコシステムの視点で、ミニマルファブがどのように、システムティックな産業に成長するかは、極めて興味深い。したがって、黎明期におけるビジネス・エコシステム生成要因を国家PJの期間毎年実施したアンケート調査とビジネス・エコシステムのフレームワークにより明らかにする。従って、スコープは国家PJにより設立された技術研究組合の解散(2017年3月)までとする。

本研究のように国家PJを毎年調査した事例研究は少ない。それは、現在進行形の国家PJを外から非当事者が内部へ入ったの批評は通常ありえない。ミニマルファブについては、コンセプトを掲げつつ、広く理解を得て、そして、広くユーザを募りながら仕事を進める、これからの新しいプロジェクトのあり様を実際に実行しており、プロジェクトリーダーの特別な許可の下、現在進行形の調査が可能とされた。

表 5.1 半導体製造国家PJの変遷

国家PJ	超LSI技術開発	超先端電子技術開発	次世代半導体材料・プロセス技術開発 (通称 MIRAI)	高効率次世代半導体製造システム技術開発 (通称 HALCA)	革新的製造プロセス技術開発 (通称 ミニマルファブ)
期間	1976～1979年度	1995～2001年度	2001～2007年度	2001～2003年度	2012から2014年度
発足の背景	IBMの次世代大型コンピュータへの脅威	微細加工技術が光技術の限界に近づいた	DRAM依存からシステムLSIへの競争力回復	少品種大量生産型の汎用製品向け(例えばDRAM)工場からの脱却	既存半導体生産システムのムリ・ムダ・ムラをなくす
発足時日本半導体のシェア	28%	40%	24%	24%	14%
目的	微細加工技術に関する研究開発	微細加工技術の高度化を支える基礎的・共通基盤的技術開発	微細トランジスタ構造の技術開発	多品種少量生産型のシステムLSI用生産システムの開発	多品種少量生産システム開発
国家予算	約286億円	約266億円	約300億円	約17億円	約38.5億円
プレイヤー	富士通、日立製作所、三菱電機、日本電気、東芝、電総研	半導体11社、装置系7社、大学、産総研	半導体14社、装置・材料系11社、大学20、産総研	9社、東北大学	組合:24社、産総研 コンソーシアム:110社、大学9、特許事務所3、公的研究機関5
プロジェクト後	・日本半導体のシェア28%(1975年)⇒52%(1988年) ・米SEMATECH他の模範となった	株式会社先端テクノロジーズ(SELETE)半導体10社が共同出資して設立した共同研究・標準化のための(会社)設立	デバイスメーカー、装置・材料メーカーへ技術移行	プロジェクトの成果を全面導入した半導体メーカーはゼロ	プロジェクトの成果をこれまで半導体デバイスを製造していない企業や中小ベンチャー企業が導入。

出典: 経産省 http://www.meti.go.jp/committee/summary/0001620/031_05_00.pdf [2015/07/04]
 谷光(2000), 安永・真鍋(2003), 安永裕幸, & 真鍋洋介. (2003)から著者作成,

5.2 ミニマルファブ

5.2.1 ミニマルファブとは

半導体製造産業は寡占化し初期投資額が5,000億円以上に達している。さらに、図5.1に示す既存の半導体生産システムには多くのムダがある。例えば、半導体の設計は微細化により複雑な回路設計を行う。その設計の検証費用は総設計費の9割を占める。

製造装置は多機能化により装置コストの7~8割は、複雑化したソフトウェアの検証費用に費やしているムダがある。

ファブでは、500種類以上の半導体を製造する混流生産である。ゆえに、1台数億円から数十億の高額な製造装置の稼働率が低いムダがある。さらに、半導体の最少生産単位は、数百~数千個ゆえに、試作や人工衛星など使用する必要個数の少ない半導体の大半は捨てられるムダが発生している(原, 2012)。

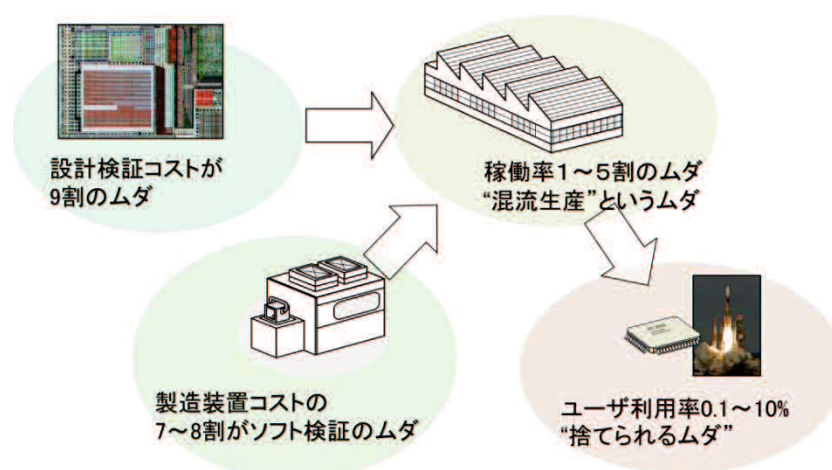


図5.1 多くのムダがあるサプライチェーン

出典: ファブシステム研究会内部資料より

産総研主催のコンソーシアムであるファブシステム研究会は、ミニマルファブの多品種少量生産システムによる上記課題解決を提唱した(原ほか, 2011)。これは ITRS のウェハの大口径化とは反して、図5.2に示すように、既存メガファブの直径300mmウェハと比較して1/1000の面積である直径12.5mmの0.5インチウェハを使用する。よって、製造装置の幅は既存の約2mから0.294m、さらに、ウェハ搬送容器のミニマルシャトル開発、微粒子とガス分子を同時遮断する局所クリーン化前室システム PLAD(Particle Lock Air-tight Docking)の開発によりクリーンルームやクリーンスーツが不要となり、半導体工場の設備投資額のゴールを既存の1/1000の約5億円に設定している(久保内・原, 2015)。

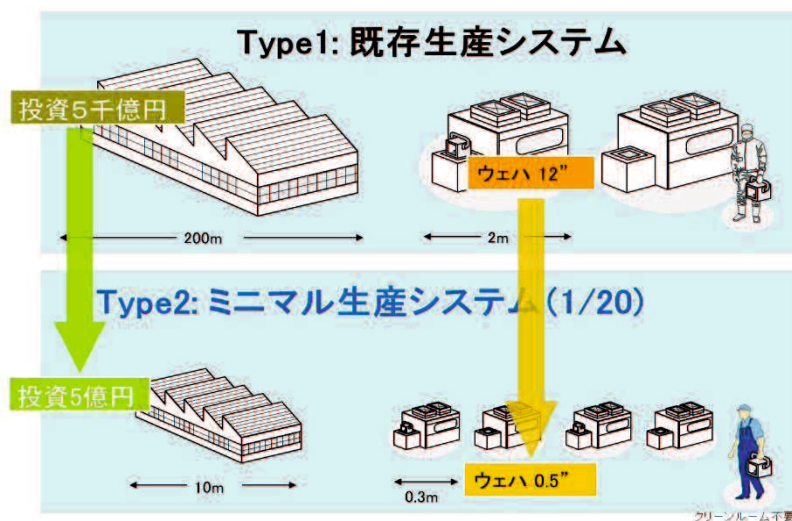


図 5.2 ミニマルファブ

出典：ファブシステム研究会内部資料より

既存生産システムでは、製造プロセスにより装置外形や大きさは大小様々である。ミニマルファブでは、コンセンサス標準を設定している。例えば、筐体サイズは、拡散装置や露光機など装置種類に依存しなく、すべて 294 x 450 x 1440mm (図 5.3, 図 5.4)に統一している。ファブシステム研究会は、その他、搬送系・ウェハ・工場システム等々の規格化も行い、さらに、知財化やブランド化も実施している(原ほか, 2013)。



図 5.3 ミニマルファブ装置

出典：ファブシステム研究会内部資料より



図 5.4 ミニマルファブ装置群

出典：ファブシステム研究会内部資料より

しかし、その規格化された筐体サイズに既存のメガファブ装置を単純に縮小するのは物理的にも不可能で、各装置メーカーはチャレンジングな技術開発課題が産総研から課せられている。

例えば、露光装置は水銀ランプの光源でマスクパターンを感光性レジストに焼き付ける。このプロセスは、微細化の要となり半導体製造プロセスで最も重要な工程である。これを図 5.5 に示すようにマスクレス方式により巨大レンズ群、大型ステージ、恒温室を削減して、小型・省エネを図りつつ、生産に要する期間の大幅短縮を図る等々。これを遂行する企業には高度なコア技術が必要とされる。その他のメガファブとの違いは表 5.2 に示す。

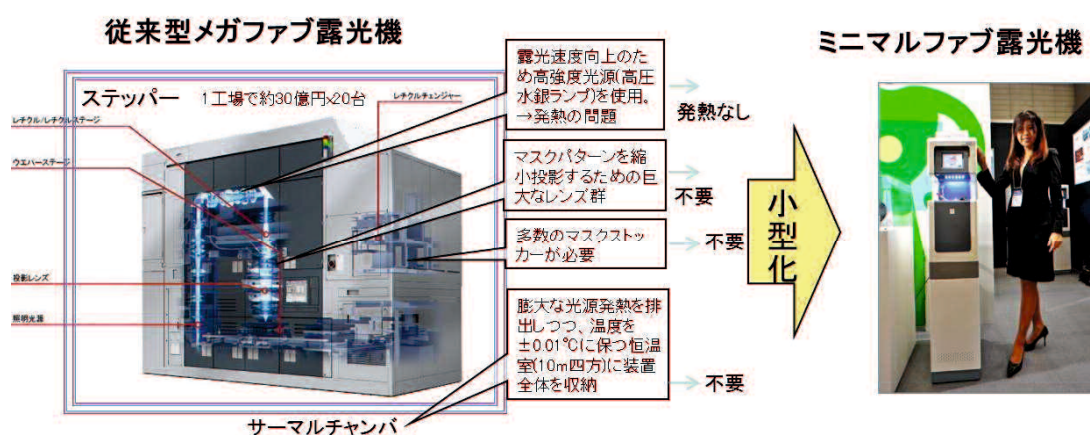


図 5.5 ミニマルファブ用マスクレス露光装置開発

出典: ファブシステム研究会内部資料より

2013年の SEMICON Japan²⁾では、既存メガファブでは数ヵ月を要する工場立上げを半日間で行って、クリーンルームではない、イベント会場にて、トランジスタ製造を SEMICON 史上初めて成功させて、装置販売を開始した。

さらに、2014年の SEMICON Japan では後工程も含む半導体製造プロセスのほぼ全装置を展示した。クリーンルームでないイベント会場で論理回路の一種であるインバータ回路をその場で設計して、製造まで行うデモンストレーションを実施し、ミニマルファブの可能性をアピールした(久保内・原, 2015)。

表 5.2 既存メガファブとミニマルファブの比較

		【メガファブ】	【ミニマルファブ】
ウェハサイズ		300mm	12.5mm
装置サイズ		幅 2~3m, 奥 4~15m, 高 3m	幅 0.3m, 奥 0.45m, 高 1.44m
最低生産能力		月産 2~3 万枚	月産 4 万枚(最終目標)
クリーンルーム		ISO Class 3~6	不要 (清浄室は推奨)
マスク		必要	不要(DMD 露光, EB 露光の場合)
LSI ライン	投資額	5,000 億円	5 億円(最終目標)
	製造規模	300 台・4 万 m ²	350 台・400 m ²
	製造日数	30~60 日	1 日
	消費エネルギー /LSI ライン	540GWh(原発 0.06 個分)	0.1GWh
	消費エネルギー /ウェハ面積	1(メガファブを 1)	0.13 (省エネ率 87%)
試作 ライン	投資額	20 億円	1 億円(最終目標)
	規模	20~30 台・500 m ²	20~30 台・100 m ²

出典：原ほか(2011)を基に加筆作成

5.2.2 ミニマルファブが誕生した過程

ミニマルファブは国家PJにより誕生したではなく、下記の①から④の過程で誕生した。

① 市場ポテンシャル・ニーズ調査

産総研は既存半導体生産システムの問題点を発見するために、大企業 11 社、マスコミ 1 社、1 大学、2 協会と産総研が 2006 年にナノテクノロジーによる生産技術革新に関する下記の調査研究(新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO), 2006)を行った。

- ・大量生産方式が内在する課題
- ・開発と生産の間にある大きな死の谷
- ・生産工場の巨大投資の問題
- ・企業組織肥大化と分業進化の問題
- ・大量生産の課題を克服する戦略

この結果、産業のスケールアップ(大口径ウェハによる大量生産システム)が、投資回収、迅速な新製品市場投入、研究開発の率化などを阻害を見いだした。半導体製造産業の課題は生産システムの小型化によって解消する。この事が、小型ファブであるミニマルファブを誕生させる上での重要な産業レベルでの理解である。

この概念は鉄鋼産業のミニミルと同じく、生産システムの小型化による最適規模生産であるとする。

② 研究会設立

①の提言を受けて産総研は 2008 年に大企業を主体とした 16 社、2 大学とファブシステム研究会を組織して、ミニマルファブ構想を具現化するために創発的作業でロットの流し方・搬送方法、レトロフィット³⁾、局所クリーン化、及び環境負荷低減についてオープンディスカッションを実施し、搬送システムと局所クリーン化を合わせたコアテクノロジーに適合した装置を作れば良いと結論を得た(ファブシステム研究会, 2008)。

③ コンソーシアム設立

産総研は、②の結論を実現させるためにミニマルファブを構成する装置群とファクトリーの研究開発を目的に企業 26 社、4 大学、1 公設研と産総研で構成するコンソーシアムのファブシステム研究会を 2010 年 1 月に新たに組織し、ミニマルファブ開発ロードマップ(図 5.6 参照)を策定して開発をスタートした。2017 年度までに、小型化難開発装置群を開発して、簡易デバイス向けのミニマルファブの実用化を行い、2020 年頃を LSI デバイス量産化のゴールにしている(久保内・原, 2015)。

このコンソーシアムに参加している企業は、技術開発班と想定ユーザ班に分かれて、産総研が全体のプロジェクトマネジメントを行う。なお、ミニマルファブのアイデアを海外企業からプロテクトするために、公開資料はすべて日本語のみとした。

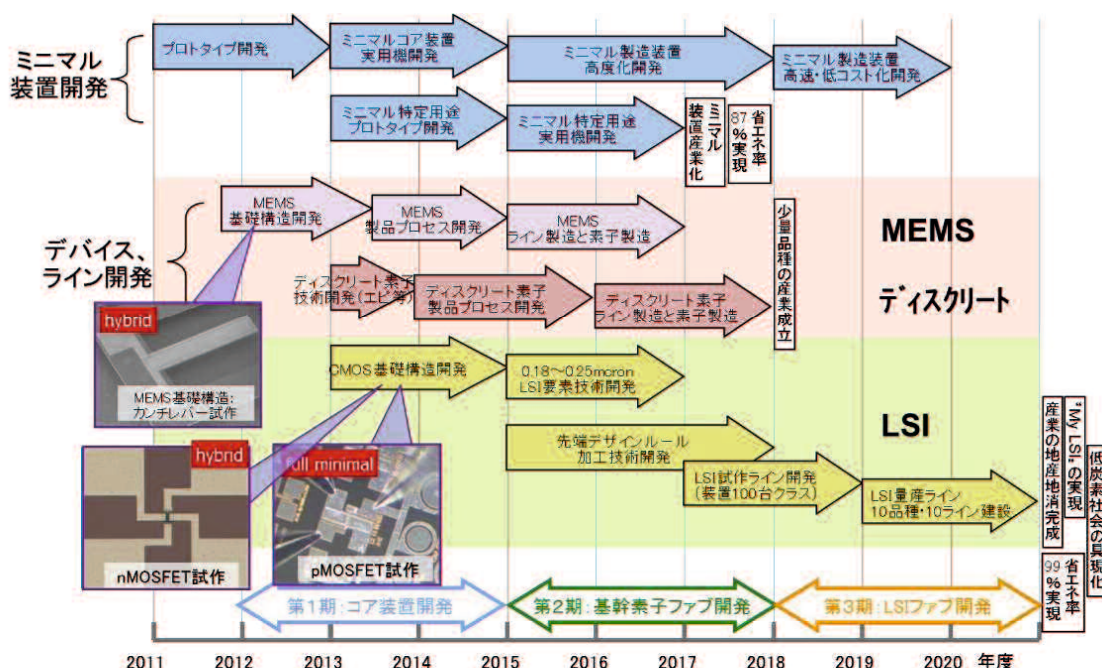


図 5.6 ミニマルファブ開発ロードマップ

出典：ファブシステム研究会内部資料より

④ 国家PJに採択

ミニマルファブは2012年度から3年間の国家PJ(3年間の予算規模38.5億円)に採択されて、21社の参画により技術研究組合が設立された。ファブシステム研究会の企業とともに製造装置の省エネ化、小型化に必要な要素技術開発や搬送系・ユーティリティ・局所クリーン化等の研究開発を行った。さらに、2014年には国家重要科学技術政策である“アクションプラン”に特定された。

国家PJが終わった2015年4月時点では、ファブシステム研究会には大企業や中小企業など110社、9大学、3特許事務所、5公的機関が加入している。

5.2.3 ミニマルファブのターゲット市場

ミニマルファブは、ITRS に追従しない、生産システムの小型化を目指している。折しも 2016 年 5 月に ITRS に変わる新たな技術ロードマップ IRDS の策定が発表された。このロードマップは、半導体の微細化からではなく、半導体のアプリケーションや社会システムの観点から下記のようなロードマップ策定を行う

- ・ System Integration(システム統合化)
- ・ Heterogeneous Integration(異種デバイスの集積化)
- ・ Heterogeneous Components(センサ、アクチュエータ、RF-MEMS などの異種部品)
- ・ Outside System Connectivity(システム外との無線あるいは光学的接続)
- ・ More Moore(さらにムーアの法則に従った微細化)
- ・ Beyond CMOS(CMOS の先に位置付けられる将来の新規デバイス)
- ・ Factory Integration(装置、材料、ファシリティ、自動化システム、管理システムなどの構成要素の工場レベルへの統合)

(出展：マイナビ <http://news.mynavi.jp/articles/2016/06/14/itrs/> [2016/11/13]).

特に、Heterogeneous Integration, Heterogeneous Components, 及び Outside System Connectivity 関連の半導体は、大量生産の最先端メガファブよりはミニマルファブが製造に適していると考えられる。Factory Integration にはミニマルファブも含まれる可能性があると考えられる。

さらに、このロードマップは IoT, グリーンデバイスなどアプリケーションやシステムの観点から特殊用途半導体, 化合物半導体, MEMS アクチュエータ/センサー, アナログデバイス, バイオデバイスなど非微細化, 多品種少量生産の半導体もロードマップに含まれる可能性がある。現在, これらの半導体の大半は 8 インチ以下のファブで生産している。特に, ミニマルファブは, 製造中止の古い装置・設備を使用している老朽化した 2, 4 インチの小口径ファブの代替に適すると考える。

第 2 章図 2.7 は全米 185 ファブのデザインルール(最小線幅)とウェハ口径の関係を示している。現状のミニマルファブで可能な最小線幅は $0.5\ \mu\text{m}$ である。ゆえに, この中で, ミニマルファブとの代替が可能なウェハ口径が 2 から 4 インチで最小線幅が $0.5\ \mu\text{m}$ 以上のファブは全体の 30%(54 ファブ)を占めている。

ミニミルが総合鉄鋼とのハイブリッドラインにより, ミニミルの鉄の品質を補完しているように, 5 インチ以上の既存ファブもミニマルファブとのハイブリッドプロセスにより, 未充足なミニマルファブ装置(例えば, イオン注入や CVD 装置など)を補完して, ミニマルファブの導入が段階的に可能と考える。

5.2.4 ファブシステム研究会へのアンケート調査

著者はファブシステム研究会に所属している企業に対して、アンケート調査を国家 PJ 期間中、下記のように 3 回実施した。調査方法は調査票（アンケート用紙）をファブシステム研究会代表よりファブシステム研究会会員企業の代表者へメールで送信して、回答もメールで得た。

- ・初年度 2012 年 11 月実施(付録 B 参照)
66 社中 62 社回答（回収率 93.4%）
- ・次年度 2014 年 1 月実施(付録 C 参照)
88 社中 84 社回答（回答率 96.6%）
- ・最終年度 2015 年 4 月実施(付録 D 参照)
110 社中 106 社回答（回答率 96.4%）

よって、これらの標本は母集団を代表していると考ええる。

① 中小企業の割合

ファブシステム研究会の会員企業構成比は、発足当初の 2008 年と国家 PJ 終了時(2015 年)の比較を表 5.3 に示す。2008 年では回答 3 の大企業が約 8 割であった。国家 PJ 終了時の 2015 年には回答 2 の中小企業と回答 1 の小規模事業者で約 6 割を占めている。会員企業の伸びは、2008 年比で約 7 倍である。この要因は応用物理学会での各種技術成果発表や SEMICON Japan でのトランジスタ、MEMS 製造などのデモンストレーションにより認知を得たと考える。

なお、中小企業庁の定義より中小企業は資本金 3 億円以下、又は常時使用する従業員の数が 300 人以下の会社、小規模企業者は従業員 20 人以下の会社とする。

表 5.3 ファブシステム研究会会員企業の構成推移比較

回答	資本規模	2008 年 n=16		2015 年 n=106	
		企業数	(%)	企業数	(%)
1	小規模事業者	0 社	0.0	18	17.0
2	中小企業	3 社	18.8	44	41.5
3	大企業	13 社	81.2	44	41.5

注: 2015 年アンケート回答企業は 110 社中 106 社

② 会員企業の業種

国家 PJ 終了時点でのファブシステム研究会会員企業の業種を表 5.4 に示す。回答 1 を選択した装置製造メーカーが約 5 割を占めている。次に回答 2 を選択した装置メーカーに部品を供給するメーカー、回答 3 の装置に対して保守を行うサービスメーカー。さらに、回答 5 の半導体製造メーカー。回答 4 のメーカーに薬品やガスなどを供給する材料メーカー。その他はファイナンス業、マニュアル制作、電子部品、クリーンルームの設計・施工、設計受託、技術者派遣、運送業、精密部品加工、半導体のユーザ企業、受託製造等々、半導体生産システム構築に必要なすべての業種の企業が参加している。

表 5.4 ファブシステム研究会会員企業の業種(n=106)

回答	業 種	企業数	(%)
1	装置製造	48 社	45.3
2	パーツ(バルブ, モータなど 製造装置のパーツ)	16 社	15.1
3	サービス(ソフト, コンサル, 保守など)	7 社	6.6
4	材料(薬品, ガス, ウェハ など)	6 社	5.7
5	デバイス製造	6 社	5.7
6	商社	3 社	2.8
7	デバイス設計	3 社	2.8
8	その他	17 社	16.0

③ ファブシステム研究会への入会動機と目的

表 5.5 の回答 1 を選択した企業がいずれの年度も約 5 割を占めており、大半の企業は積極的にファブシステム研究会に参加している。

表 5.6 の回答 1, 2, 3 は、ミニマルファブによる新しいイノベーションを目的に積極的に参加している。これらの合計は、初年度は約 6 割、次年度は約 8 割、最終年度は約 7 割である。

表 5.5 ファブシステム研究会への入会動機

回答	入会動機	初年度(n=54)		次年度(n=24)		最終年度(n=28)	
		企業数	(%)	企業数	(%)	企業数	(%)
1	自ら希望した	27社	50.0	12社	50.0	13社	46.4
2	産総研より勧められた	18社	33.3	4社	16.7	10社	35.7
3	ファブシステム研究会の企業より勧められた	5社	9.3	5社	20.8	4社	14.3
4	その他	4社	7.4	3社	12.5	1社	3.6

表 5.6 ファブシステム研究会への入会目的(複数選択可)

回答	入会目的	初年度		次年度		最終年度	
		度数	(%)	度数	(%)	度数	(%)
1	ミニマルファブによる新規ビジネス開拓	39	32.2	17	45.9	18	35.3
2	自社の技術力とミニマルファブの概念で半導体製造にイノベーションを起こす	23	19.0	8	21.6	9	17.6
3	大学・産総研・企業から技術支援を受けてミニマル製品開発	12	9.9	5	13.5	8	15.7
4	ミニマルファブの情報収集	22	18.2	3	8.1	7	13.7
5	コミュニティーでのネットワーク構築	15	12.4	2	5.4	6	11.8
6	開発資金補完(補助金)	4	3.3	1	2.7	0	0.0
7	その他	6	5.0	1	2.7	3	5.9

④ ファブシステム研究会企業のコア技術

表 5.7 の回答 1 と 2 により参加企業の約 9 割は、何からのコア技術を持ってミニマルファブ開発に参加していると判明した。

さらに、表 5.8 の回答 1 と 2 によりコア技術を持つ企業の内、約 8 割がそのコア技術を半導体製造プロセスのイノベーションであるミニマルファブへ貢献できる回答している。これはミニマルファブによる外部知識を活用したイノベーションの遂行は可能と考える。

表 5.9 の回答 1 により約 4 割の企業が他社のミニマルファブ装置開発に寄与していると回答している。この理由は PLAD、ミニマルシャトル、筐体、操作パネルなどを統一しているために、これらの技術が他社の装置開発に寄与していると考えられる。

自社のコア技術向上に貢献する活動は、表 5.10 の回答 1 により、約 3 割の企業は“社内での自社研究開発活動”と回答している。回答 2, 3, 4 により約 6 割の企業は、“大学、公的研究機関、大企業、中小企業”との連携、つまり、“オープンイノベーション”である。

表 5.7 ファブシステム研究会企業のコア技術保有の有無（n=105 社、最終年度での調査）

回答	コア技術の有無	企業数	(%)
1	持つ。	68 社	64.8
2	おおむね持つ	26 社	24.8
3	判らない	2 社	1.9
4	ほとんど持っていない	4 社	3.8
5	持っていない	5 社	4.8

表 5.8 自社コア技術のミニマルファブ貢献度合い（n=94 社、最終年度での調査）

回答	自社貢献度合い	企業数	(%)
1	貢献できる	36 社	38.3
2	概ね貢献できる	42 社	44.7
3	判らない	14 社	14.9
4	ほとんど貢献できない	2 社	2.1
5	貢献できない	0 社	0.0

表 5.9 ミニマルファブ関連技術の他社への製品開発寄与度合い
(n=107, 最終年度での調査)

回答	他社への寄与度合い	企業数	(%)
1	Yes(ファブシステム研究会の企業)	43 社	40.2
2	Yes(ファブシステム研究会以外の企業)	2 社	1.9
3	No	62 社	57.9

表 5.10 自社コア技術の向上に最も貢献する活動 (n=93, 最終年度での調査)

回答	自社コア技術向上活動	企業数	(%)
1	社内での自社研究開発活動	31 社	33.3
2	大学や産総研などの公的研究機関との連携	28 社	30.1
3	大企業との連携	13 社	14.0
4	中小企業との連携	12 社	12.9
5	技術を持つ企業の M&A	4 社	4.3
6	その他	5 社	5.4

⑤ 他社とのシナジー効果

表 5.11 の回答 2 によりファブシステム研究会の企業間において、約 5 割はお互いのシナジーによりミニマルファブ製品開発を行う。特に興味深いのは、回答 1 により約 1 割の企業はミニマルファブ以外の製品もお互いのシナジーで製品を開発している。

表 5.11 お互いのシナジー効果による製品開発 (n=109, 最終年度での調査)

回答	お互いのシナジー効果	企業数	(%)
1	Yes(ミニマルファブ以外の製品を開発)	10 社	9.2
2	Yes(ミニマルファブの製品開発)	52 社	47.7
3	No	47 社	43.1

⑥ 技術戦略

中小企業や小規模事業者は大企業に比べて暗黙的には技術力に劣る場合は、知識の受容者よりは、創造者の活動が有効である。アンケート結果も同様に、表 5.12 の回答 4 と 5 を選択した企業が約 5 割を占めている。ミニマルファブによる、イノベーションの場合は、このように提案型企业が多い程、プロジェクトの成功度合いは高まると考える。

既存半導体製造関連企業は技術ロードマップである ITRS に従って、研究開発を行う。しかし、ファブシステム研究会の企業は、表 5.13 の回答 1 と 2 を選択した ITRS に追従しない企業が約 4 割を占めており、ウェハの大口径化とは違うミニマルファブ構想と同じベクトルを持つと考える。

表 5.12 中小企業、小規模事業者の技術に対する見方 (n=61, 最終年度での調査)

回答	技術に対する見方	企業数	(%)
1	知識の受容者.	0 社	0.0
2	おおむね知識の受容者	10 社	16.4
3	判らない	20 社	32.8
4	おおむね知識の創造者	17 社	27.9
5	知識の創造者	14 社	23.0

表 5.13 ITRS の影響度合い(n=94, 最終年度での調査)

回答	研究開発方針	企業数	(%)
1	ITRS には関係なく研究開発している	11 社	11.7
2	ほとんど ITRS とは関係なく研究開発している	27 社	28.7
3	ITRS は参考程度で研究開発している.	39 社	41.5
4	おおむね ITRS が示す方向で研究開発している	14 社	14.9
5	ITRS が示す方向を主体に研究開発している	3 社	3.2

⑦ 国家 PJ の評価

ミニマルファブ 3 年間の国家 PJ は、表 5.14 の回答 3 の概ね成功までを加味して、約 9 割のファブシステム研究会の企業は成功と評価している。

その成功の根拠は表 5.15 の回答 1, 2, 3 の、“当初計画した装置開発が概ね完了”，半導体素子や MEMS 素子である“p-MOS, n-MOS, C-MOS, カンチレバーが完成した”，及び“SEMICON での多くの集客数”を選択している企業が約 5 割を占めている。

国家 PJ 成功要因は、表 5.16 の回答 1, 2, 3, 4 に示すように、“ミニマルファブ構想が高い価値を持っていた”，“プロジェクトマネジメント力，リーダーシップ力”，“参加企業の技術力”，及び“PLAD, ミニマルシャトル, 筐体など各装置の共通部分がユニット化された”を選択している企業が約 5 割を占めている。

表 5.14 国家 PJ の評価 (n=106, 最終年度での調査)

回答	国家 PJ の評価	企業数	(%)
1	大成功	12 社	11.3
2	成功	53 社	50.0
3	概ね成功	30 社	28.3
4	判らない	10 社	9.4
5	ほとんど失敗	1 社	0.9
6	失敗	0 社	0.0

表 5.15 国家 PJ 成功の根拠(複数選択可, 最終年度での調査)

回答	国家 PJ 成功の根拠	度数	(%)
1	当初計画した装置開発が概ね完了	54	19.3
2	p-MOS, n-MOS, カンチレバー, C-MOS が完成した	54	19.3
3	SEMICON での多くの集客力	45	16.1
4	次への大きな方向性を示し, 産業界でかなり話題になって, 注目している	36	12.9
5	装置販売の実績があった	32	11.4
6	国家 PJ の実行計画を, 一切の頓挫無く進めて完遂した	29	10.4
7	デバイスメーカー等ユーザでかなりミニマルへの理解が進み, 導入を検討しているところができている	27	9.6
8	その他	3	1.1

表 5.16 国家 PJ 成功の要因(複数選択可, 最終年度での調査)

回答	国家 PJ 成功の要因	度数	(%)
1	ミニマルファブ構想が高い価値をもっていた	73	16.6
2	プロジェクトマネジメント力, リーダーシップ力	61	13.9
3	参加企業の技術力	40	9.1
4	PLAD, ミニマルシャトル, 筐体など各装置の共通部分がユニット化された	39	8.9
5	産総研技術力	33	7.5
6	意思決定の速い製品開発型の中小・ベンチャー企業が装置開発を行った	30	6.8
7	産総研支援	27	6.2
8	ミニマルファブの開発が時宜を得ていた	26	5.9
9	ミニマルコミュニティの運営がうまく行き, 各社の力が集積した	25	5.7
10	投資された国費に対する成果物	20	4.6
11	ユーザが研究会に参加して, 狙いがより明確にされた	18	4.1
12	ファブシステム研究会の参加企業が 100 社以上に上った	15	3.4
13	参加企業の支援力	13	3.0
14	参加企業間の垣根がなく自由にコミュニケーションができた	11	2.5
15	自社の支援力・体制	2	0.5
16	その他	6	1.4

⑧ アンケート分析結果のまとめ

- a) 約 7 割の企業の入会目的はミニマルファブによる新しいイノベーションに積極的に参加(表 5.6).
- b) 約 9 割の企業は何らかのコア技術を持って参加 (表 5.7).
- c) 約 8 割の企業は自社のコア技術がミニマルファブへ貢献できると考えている (表 5.8).
- d) 約 4 割の企業は他社のミニマルファブ装置開発に寄与 (表 5.9).
- e) 約 5 割の企業はお互いのシナジーによりミニマルファブ製造装置の製品開発を実施 (表 5.11).
- f) 約 6 割の企業は自社のコア技術向上に貢献する活動はオープンイノベーションと考えている (表 5.10).
- g) 中小企業の約 5 割は大企業に比べて暗黙的に技術力が劣る場合は、知識の受容者よりは創造者の活動が有効と考えている (表 5.12).
- h) 約 4 割の企業は ITRS に追従しない方向性で自社の研究開発を実施 (表 5.13).
- i) ファブシステム研究会はメガファブの生産システムと同じように半導体製造に関連するすべての業種の企業が参加している (表 5.4).
- j) 国家 PJ 成功要因は、ミニマルファブ構想が高い価値を持っていた”, “プロジェクトマネジメント力, リーダーシップ力”, “参加企業の技術力”, 及び“PLAD, ミニマルシャトル, 筐体など各装置の共通部分がユニット化された”を選択している企業が約 5 割を占めている(表 5.16).

5.3 ビジネス・エコシステムの先行研究

ビジネス・エコシステムの概念は生態学の研究から展開した(Hannan and Freeman, 1977). さらに, Moore(1993)は生態系のアナロジーによりビジネス・エコシステムを提唱した. しかし, 梶山・高尾(2011)は, その概念は曖昧であると指摘している. 例えば, 横澤(2013)は, 経済学におけるエコシステムの理論的検討を行って上で, 生態学におけるエコシステムの概念に立ち返って概念定義を述べている.

Moore(1993)は, ビジネス・エコシステムを4つの進化ステージで区分し, “誕生”, “拡大”, “リーダーシップ”, 及び“自己再生”により, ビジネス・エコシステムの生成を説明している. さらに, 各ステージは協業的チャレンジと競合的チャレンジから構成すると述べている. 誕生では, イノベーションの価値提案の定義を顧客やサプライヤーと協力して行い, 同様なアイデアを持つ企業からはプロテクトし, リードユーザやキーサプライヤーとタイアップが重要であると主張している.

Iansiti and Levien(2004)はビジネス・エコシステムのキーストンと呼ばれる中核企業はプラットフォームを提供してビジネス・エコシステムとともに成長していると述べている. 例えば, 半導体製造プロセス関連産業はプラットフォームである製造装置やウェハなどは, オランダのASML, 東京エレクトロン, 信越化学工業など多くのキーストン企業が開発している.

米国競争力協議会は2004年にパルミサーノ・レポートと呼ばれる Innovate America を発表した. このレポートでは, 政策立案が重要とし, これによりエコシステムからイノベーションを生み出すと提言している.

Adner and Kapoor(2006)は, 半導体生産システムの微細加工プロセスにおけるリソグラフィ装置を事例に, 図5.7のようにビジネス・エコシステムを提示した. 中核企業である露光装置メーカーのイノベーションの成功には, その装置の部品であるコンポーネントを開発しているレンズメーカーやランプメーカーなどのコンポーネント企業の成果に依存している. また, 例え, 露光装置のイノベーションが成功しても, 顧客である半導体製造メーカーは, 露光装置単独では最先端半導体の製造はできない, フォトマスクメーカーやレジスト⁴⁾メーカーなどの部材を供給する補完企業の成果にも依存するとし, コンポーネント企業や補完企業の課題が中核企業に与える影響を分析している.

さらに, Christensen and Rosenbloom(1995)や Christensen(1997)は, イノベーションにより従来とは違う“バリュー・ネットワーク”を持ったビジネス・エコシステムを生成すると述べている.

梶山ほか(2008)は, 光ファイバ通信を事例に, ビジネス・エコシステム生成期には強い紐帯による企業関係が技術開発にとって有効であると示した.

羅(2011)は, 携帯電話端末産業のビジネス・エコシステムの生成は“新しい技術システム

の開発”, “バリュー・ネットワークの変更”, “技術プラットフォーム企業の登場”により, それぞれ違うビジネス・エコシステムを生成していると述べている.

陳ほか(2014)は, 台湾スマートフォン産業において, ビジネス・エコシステムの構築は難しいと述べている. その理由を3つ挙げている: “既に大手メーカーのビジネス・エコシステムに組み込まれている”, “ITRI(台湾工業技術研究院)がイニシアチブを発揮できない”, 及び“中核企業の弱体化”.

以上のように先行研究は既に生成しているビジネス・エコシステムを事例研究で分析している. 現在, 生まれつつあるビジネス・エコシステムの事例研究に基づく黎明期のビジネス・エコシステム生成についての研究は日本では見受けられない.

本研究では, 国家PJが終了した直後であるミニマルファブを事例に, 全項のアンケート結果とビジネス・エコシステムのフレームワークにより下記を明らかにする.

- ① どのような状況下であれば既存の半導体生産システムとは違うビジネス・エコシステムを生成するのか, 既存との比較を行う.
- ② 黎明期のビジネス・エコシステム生成要因を見出す.

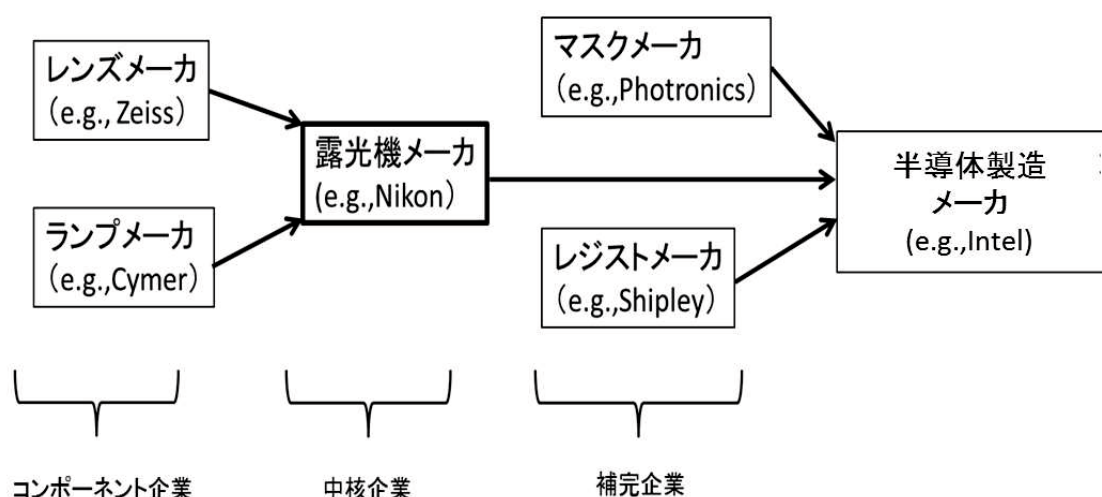


図 5.7 半導体リソグラフィ装置のビジネス・エコシステム

出典: Adner and Kapoor(2006) に加筆作成

5.4 本研究のフレームワーク

Adner and Kapoor(2010)は、図 5.7 をベースにして図 5.8 に示すようにビジネス・エコシステムのフレームワークを提唱した。これは、価値創造のために顧客のイノベーションを補完する企業とイノベーションを起こす Focal Firm(以下、中核企業)、さらにその中核企業へコンポーネントを供給する企業から成り立つ。

半導体製造メーカーは、半導体製造過程において、主たる装置は露光装置のみならず、数百種以上の製造装置が必要である。したがって、Adner and Kapoor(2010)のフレームワーク(図 5.8)を本研究に適用する。

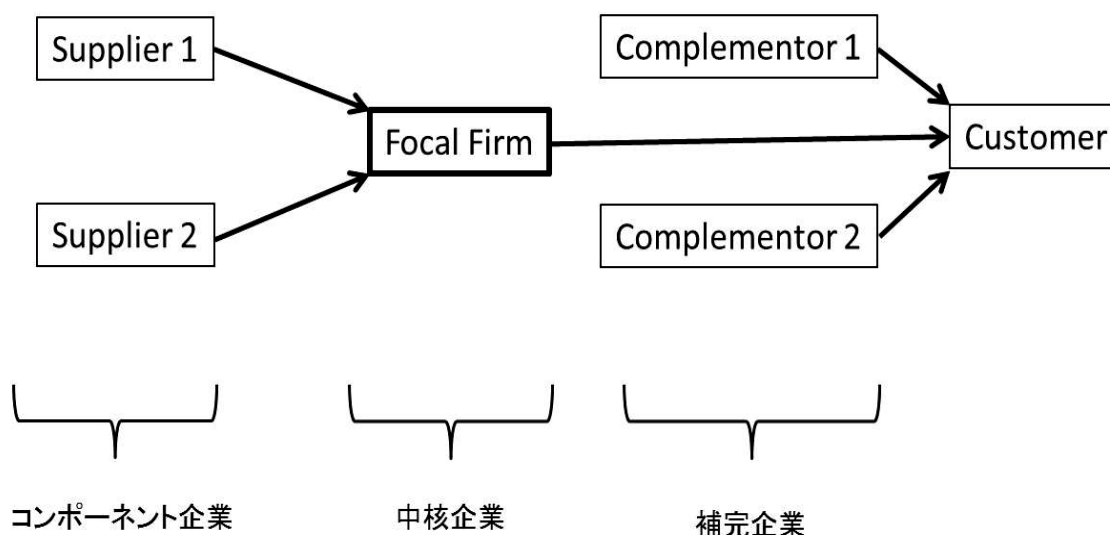


図 5.8 ビジネス・エコシステムのフレームワーク

出典: Adner and Kapoor(2010) に加筆作成

さらに、ビジネス・エコシステム生成のフレームワークは Adner(2012)が述べている下記の 3 点を用いる。

① コーイノベーション・リスク

自身のイノベーションの成功は他社のイノベーションの成功に依存するリスク。

例えば、最少パターン幅が数 10 ナノの最先端半導体製造には、液浸を一例とする露光装置メーカーのイノベーションが不可欠である。

② アダプションチェーン・リスク

エンドユーザが価値を評価する前にエンドユーザに価値を提供する仲介者がそのイノベーションを受け入れるリスク。

例えば、半導体製造メーカーがある最先端半導体デバイスを開発した場合、セットメーカー

が、そのデバイスをスマートフォンを一例とする商品に実装しないとエンドユーザである一般消費者はその最先端半導体デバイスを評価できない。

③価値設計図

これはエコシステムを構成しているパートナーとのつながりを示す全体像。各パートナーとのつながり度合いは信号機の色で示す。青信号は強くつながり、黄信号はつながりが弱い、赤信号はつながっていないと示す。

例えば、ビジネス・エコシステムは生態系の食物連鎖と同じように全ての主体がつながりを持った全体像を描けないと成立しない。

5.5 既存生産システムのフレームワークによる分析

既存半導体生産システムをビジネス・エコシステムのフレームワーク(図 5.8)により分析を行う。中核企業には、半導体製造に必要なリソグラフィプロセス、不純物拡散プロセス、成膜プロセスなど、すべての半導体製造装置メーカー、コンポーネント企業には、中核企業にバルブ、ポンプなどを提供する部品メーカー、補完企業には、半導体製造メーカーに半導体設計ツール、フォトマスク、ガス、薬品などを供給するメーカーが適合する。

破線は ITRS との関連を示す。デマンド側である Intel 等々の大手半導体製造メーカーは、自社の製品ロードマップに従って、必要な技術をサプライ側であるコンポーネント企業、中核企業、及び補完企業に、その技術が必要な時期を ITRS で提示している。

ITRS には、第2章で述べたように、欧州、日本、韓国、台湾、米国から半導体関連企業 1,288 団体が参画している。これら、中核企業、コンポーネント企業、及び補完企業は ITRS が提示する技術ロードマップに従って研究開発を行う。

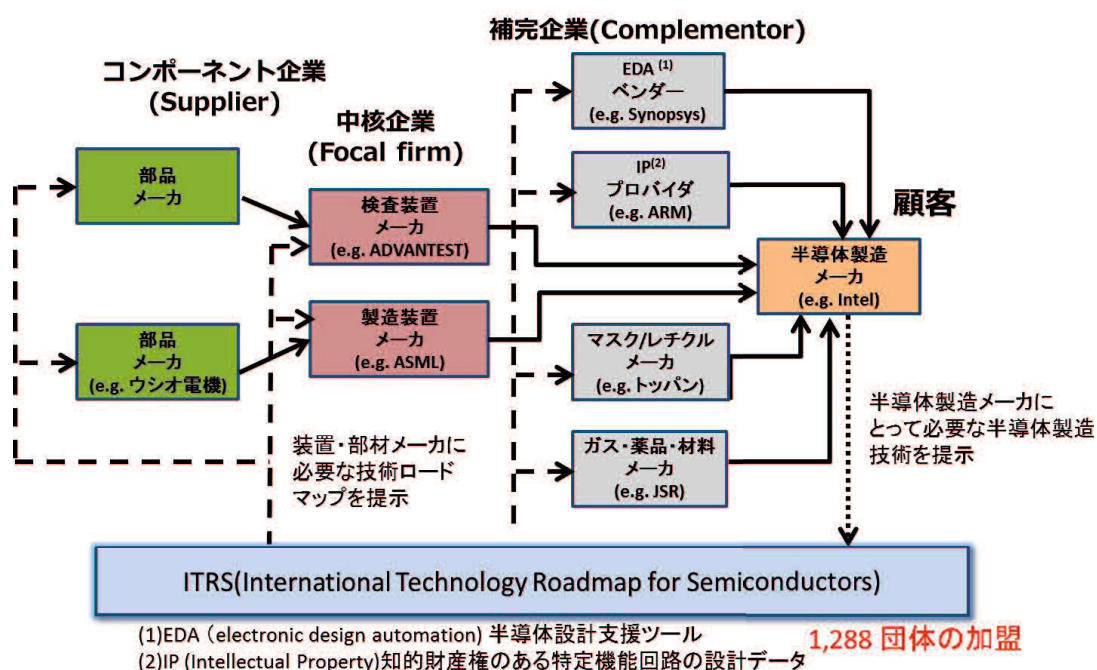


図 5.9 既存半導体生産システムのビジネス・エコシステム

したがって、ITRS によって Adner(2012)のフレームワークである自身のイノベーションの成功は他社のイノベーションの成功に依存するコーイノベーション・リスクは大変低い。さらに ITRS は大手半導体製造メーカーの Wish Map に従った、装置・部材である。ゆえにアダプションチェーン・リスクも大変低いと考える。

ビジネス・エコシステムを構成しているパートナーとのつながりを示す価値設計図を図5.10に示す。破線はITRSとの関連を示す。ITRSは大手半導体製造メーカーの自社製品ロードマップに従った技術ロードマップである。したがって、半導体製造メーカーは、中核企業、補完企業が開発した半導体製造に関連する製品を必ず購入する。よって、価値設計図の中核企業、補完企業は実線で示すようにすべて半導体製造メーカーにつながる。したがって、中核企業とコンポーネント企業間、半導体製造メーカーと補完企業、中核企業間はすべて青信号である。

循環する生態系のエコシステムのように、半導体製造産業は、ITRSにより世界規模で巨大なビジネス・エコシステムを構築していると考えられる。

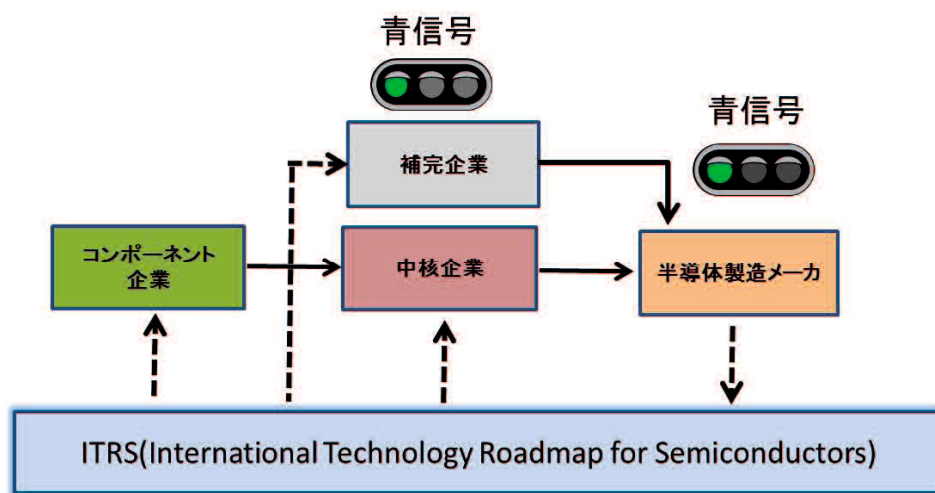


図 5.10 既存半導体生産システムの価値設計図

既存半導体生産システムのビジネス・エコシステムの特徴と課題のまとめを下記に示す。

- a) 大手半導体製造メーカーは彼らの Wish-Map である ITRS を提示している。
- b) 製造装置・部材メーカーは、ITRS に従ってウェハの大口径化や微細化等々の研究開発を実施している。
- c) 半導体製造メーカーは、ウェハの大口径や微細化レベルが変わる毎に巨額な設備投資を伴う新しいメガファブの継続的な建設が必要である。
- d) この大量生産型のバリュー・ネットワークにより、世界規模で巨大なビジネス・エコシステムを構築している。
- e) このビジネス・エコシステムにより半導体製造産業は歴史的な成長を示し、現在は成熟期に到達している。

- f) 2016 年 5 月に IEEE(電気電子技術協会)より ITRS に変わる新たな技術ロードマップ IRDS 策定の発表があった。

5.6 ミニマル生産システムのフレームワークによる分析

5.5 で行った既存の半導体生産システムのビジネス・エコシステムのフレームワーク分析と同様に本研究のフレームワークに基づき図 5.11 に示すようにミニマル生産システムの分析を実施する。表 5.4 のファブシステム研究会会員企業の業種より既存の半導体生産システムのビジネス・エコシステム(図 5.9)と同様にコンポーネント企業、中核企業、補完企業、及びミニマルファブの顧客である半導体製造メーカが存在している。ITRS の代わりに、産総研はミニマルファブ開発ロードマップ(久保内・原, 2015)を提示している。破線はその関連を示す。また、国家 PJ 成功の根拠(表 5.15 回答 6)と要因(表 5.16 回答 2)が示すように、このロードマップを計画通りに完遂した産総研のマネジメント力、リーダーシップ力がある。

したがって、既存と同様に自身のイノベーションの成功は他社のイノベーションの成功に依存するコーイノベーション・リスクは大変低いと考える。

ミニマルファブの各パートナーとのつながりを示す価値設計図を図 5.12 に示す。既存生産システム(図 5.10)との違いは、メガファブカへのアダプションチェーン・リスクは黄信号である。これは、産総研のミニマルファブ開発ロードマップは、メガファブの Wish Map に従っていないために、ミニマルファブは規模の経済に適したメガファブには採用は難しいと考える。

バリュー・ネットワークは、メガファブの大量生産システムからミニマルファブによる最適規模生産が可能な多品種少量生産システムに置き代わった。この生産システムは高額な設備投資は必要としない。つまり、半導体製造メーカの顧客自らが自社で半導体の製造ができる。したがって、従来には見られなかった、中核企業、補完企業から半導体ユーザ企業へのつながりが新たに生まれている。事実、ミニマルファブを最初に購入した顧客は、メガファブのメーカではなく、自動車関連企業の株式会社ジェイテクトであった。このように、ミニマルファブにより半導体製造への参入障壁が低くなり、中小企業もファウンドリ(半導体受託製造)サービスを開始した(日本経済新聞朝刊, 2014年10月20日)。つまり、これらの企業は、メガファブへのアダプションチェーン・リスクを補完する新たなパスである(図 5.11, 図 5.12 の(a))。

このように 2015 年 3 月に国家 PJ が完了したミニマルファブは、既存とは違う多品種少量生産のバリュー・ネットワークにより図 5.11 に示す新たなビジネス・エコシステム生成の黎明期であると考えられる。

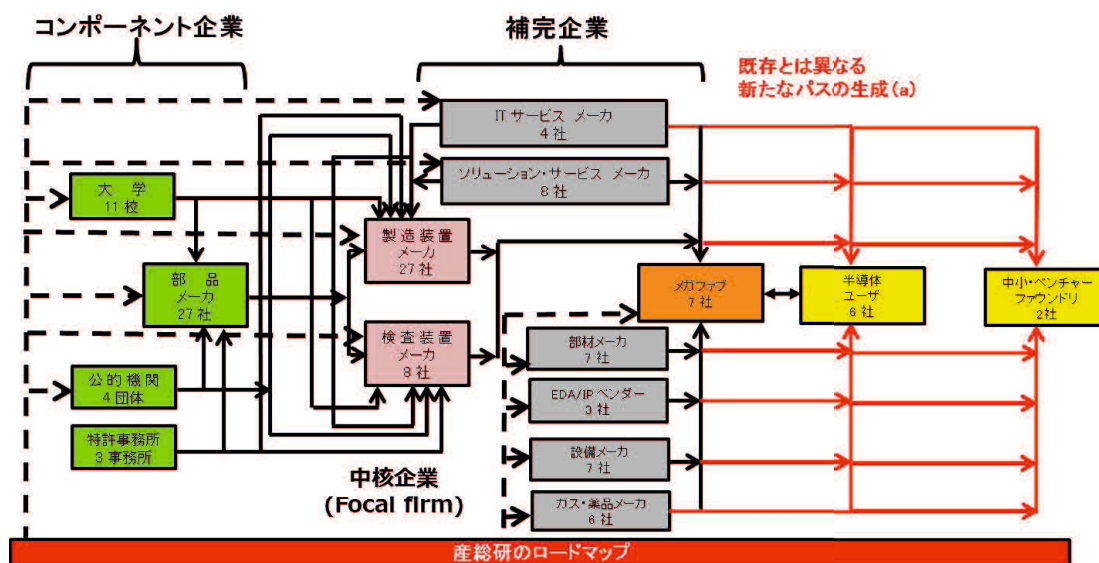


図 5.11 ミニマル生産システムのビジネス・エコシステム

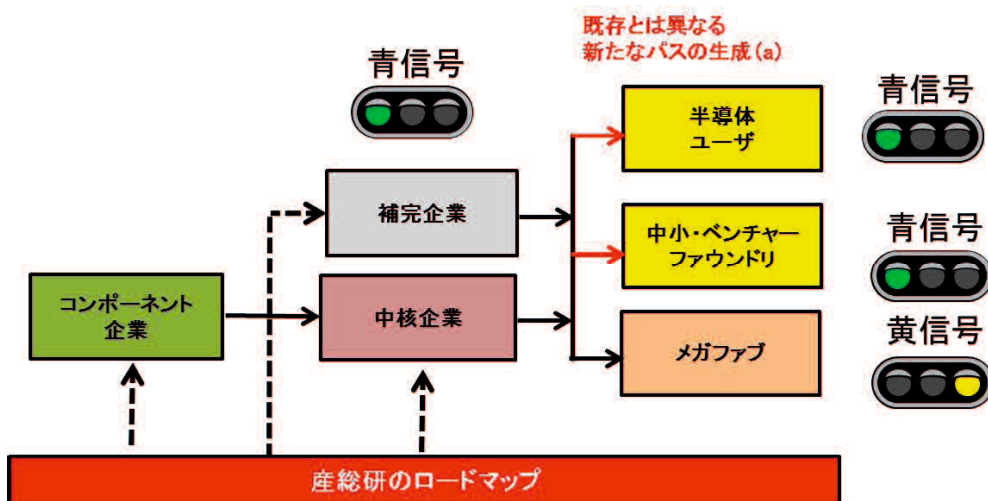


図 5.12 ミニマル生産システムの価値設計図

5.7 ディスカッション

本研究は、半導体製造産業におけるビジネス・エコシステムを新たな生産システムであるミニマルファブの出現に着目してアンケート分析や既存半導体生産システムとの比較をフレームワークによって論じてきた。表 5.17 はこれらの違いを示す。

コンポーネント企業、中核企業、及び補完企業の主体は中小企業である(表 5.3)。この理由は、ヒアリング調査により ASML、東京エレクトロン等々の大企業は ITRS が指し示す最先端の研究開発を行っており、装置の価格は 1 台数億から数十億円と大変高額である。しかし、ミニマルファブの装置は、1 台数千万円と大変安価である。従って、彼らのビジネスモデルとは根本的に違うと判明した。

ファブシステム研究会企業の特徴は、約 4 割の企業が ITRS に追従しない研究開発を遂行している(表 5.14)。この理由は、半導体製造産業は成熟期に達し、ミニマルファブのイノベーションに積極的に参加して、新たなビジネスを模索していると考えられる(表 5.6, 5.7)。さらに、自社のコア技術向上に貢献する活動は、約 6 割の企業が“大学、公的研究機関、大企業、中小企業”との連携、つまり、“オープンイノベーション”である(表 5.10)と述べている。

小川・立本(2009)は、従来の国家 PJ を一例とするオープンイノベーションでは協業と競合の峻別がなされていなく、シナジー効果が生まれていないと述べている。しかし、ミニマルファブでは他社とのシナジー効果が生まれている(表 5.11)。

この理由は、産総研はコンセンサス標準を設定している。例えば、装置の共通部分である PLAD、ユーザインターフェース、筐体などはミニマル規格を策定している。また、ITRS と同じように産総研はミニマルファブの技術ロードマップを提示している。これらにより協業と競合の部分が明確である。例えば、装置メーカーは独自性が必要なプロセスユニットや制御ユニットでは競合を行い、インターフェース、搬送系、真空系などの共通部分の開発は協業によるワーキンググループや他社とのシナジー効果が生まれている。このように規格化された装置はミニマルファブのプラットフォームである。

表 5.17 既存とミニマル生産システムのビジネス・エコシステムの違い

	既存半導体生産システム	ミニマル生産システム
中核企業	ASML、東京エレクトロン等々の大企業	中小企業をメインとする35社
補完企業	信越化学工業、東京応化等々の大企業	中小企業をメインとする35社
コンポーネント企業	アルバック、カール・ツァイス等々の大企業	中小企業をメインとする27社
エンドユーザ	半導体メーカー、ファウンドリ等々の大企業	<ul style="list-style-type: none"> 半導体メーカー、ファウンドリ等々の大企業 セットメーカー、自動車部品メーカー等々の半導体のユーザ企業
プラットフォーム	ウェハサイズと微細化レベル	規格化されたミニマルファブ装置
バリュー・ネットワーク	大量生産	多品種少量生産
コイノベーション・リスク	ITRSにより管理	産総研によるミニマルファブ開発ロードマップ
アダプションチェーン・リスク	エンドユーザである半導体メーカーがITRSを策定	<ul style="list-style-type: none"> 既存半導体メーカーは生産システムをカスタマイズしているため参入障壁は高い。 しかし、既存との組合せによるハイブリッドプロセスにより部分的に導入は可能。 半導体製造に新規参入する企業、小口径ファブ、試作用途には参入障壁は大変低い。
その他 コンセンサス標準	SEMIスタンダード	ミニマル規格による認証

5.8 結語

本研究の発見事項は、生産システムの小型化により、既存とは違う最適規模生産が可能な多品種少量生産システムにより、半導体製造メーカーのみならず、半導体のユーザ企業やこれから半導体製造産業へ進出する中小・ベンチャー企業も顧客とする新たなビジネス・エコシステムに成り得る可能性を見出した。

さらに、黎明期におけるミニマルファブのビジネス・エコシステム生成要因がアンケート分析結果により下記の 3 項目が判明した。

- ① 産学官連携コンソーシアムの設立によって、コア技術を有するオープンイノベーションを志向する企業が幅広く参集。

既存技術ロードマップに追従しない、イノベーションを積極的に取り組み、提案型中小企業を主体とした、コア技術を持つオープンイノベーション型企業の参加(表 5.5, 5.6, 5.10, 5.12, 5.13)。

- ② 早期にコンセンサス標準を策定し、各主体が自身の強みを生かしながら効率的に技術開発を分業化できる体制の早期整備。

装置の共通部分を規格化して協業と競合の峻別がされて、企業間のシナジー効果が生まれる(表 5.9, 5.11)。

- ③ プロジェクトマネジメント力とコンセプト立案力を有する強力なリーダーの存在
多く団体が参加する産学官連携のプロジェクトでは、全体を引き付けるコンセプトの立案と全体のマネジメント力、さらにリーダーシップ力が必要である(表 5.16)。

このようにミニマルファブによる新たなのビジネス・エコシステムは推進可能であると考える。

以上より、ミニミルが鉄鋼業界でも成功した生産システムの小型化はミニマルファブの初期段階では適用可能であると思われる。

なお、一つの事例研究ゆえに一般化は十分とはいえないが、技術ロードマップを持つ産業界の実務家は、新たなバリュー・ネットワークが出現した場合、Adner and Kapoor(2010)のフレームワーク(図 5.8)と本研究の発見事項である上記 3 項をマネジメント指針の参考にすれば、ビジネス・エコシステム生成の可能性がより高まると考える。

さらに、アンケート結果より、こなれた技術(成熟した技術)と自社の技術の組合せによりミニマルファブ装置はできている。しかし、こなれた技術が自社にないと装置開発は難しいと考える。特に、黎明期の段階では、"Absorptive Capacity"(Veugelors and Cassiman, 1999)により、トライ&エラーが減少すると考える。この定量的な評価方法は第 8 章で述べる。

本研究の限界は、技術ロードマップを持つ半導体製造産業にフレームワークにより分析

を行った。したがって、黎明期におけるビジネス・エコシステム生成要因を一般化するには、半導体製造関連以外の産業の事例研究を通じて精緻化して行く必要があると考える。

注釈

- 1) 半導体生産システム: 半導体製造のために必要な設備, 装置, 材料, IT システム, 及び生産方式などの総称.
- 2) SEMICON Japan: 毎年世界各地で開催する半導体関連産業展示会の日本での開催.
- 3) レトロフィット: 既存の製造装置を改良・改善して使用し続ける.
- 4) レジスト: 正式名称はフォトレジスト. ウェハ基板に塗布する感光材.

参考文献

- [1] Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard business review*, 84(4), p.98.
- [2] Adner, R. (2012). *The wide lens: A new strategy for innovation*. Penguin UK.
- [3] Adner, R., & Kapoor, R. (2006). Innovation ecosystems and innovators' outcomes: Evidence from the semiconductor lithography equipment industry,1962-2004. INSEAD Working Paper.
- [4] Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value creation in innovation ecosystems: how the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic management journal*, 31(3), pp.306-333.
- [5] Christensen, C. M., & Rosenbloom, R. S. (1995). Explaining the attacker's advantage: Technological paradigms, organizational dynamics, and the value network. *Research policy*, 24(2), pp.233-257.
- [6] Hannan, M. T., & Freeman, J. (1977). The population ecology of organizations. *American journal of sociology*, pp.929-964.
- [7] Iansiti, M., & Levien, R. (2004). *The keystone advantage: what the new dynamics of business ecosystems mean for strategy, innovation, and sustainability*. Harvard Business Press.
- [8] Moore, J. F. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard business review*, 71(3), pp.75-83
- [9] Veugelers, R., & Cassiman, B. (1999). Make and buy in innovation strategies: evidence from Belgian manufacturing firms. *Research policy*, 28(1), pp.63-80.
- [10] 小川紘一, & 立本博文. (2009). 欧州のイノベーション政策: 欧州型オープン・イノベーション・システムの構築. *MMRC ディスカッションペーパー*, (281).
- [11] 久保内講一, & 原史朗. (2015). 総論: ミニマルファブのコンセプトと開発体制. *電気学会誌*, 135(8), pp.534-537.
- [12] 新エネルギー・産業技術開発機構 (NEDO) . (2006) . ナノテクノロジーによる生産技術革新に関する調査研究.
- [13] 梶山泰生, 高尾義明, 具承桓, & 久保亮一. (2008). ビジネス・エコシステム生成における中核的企業の役割: 光ファイバ通信の事例. *研究・技術計画学会 年次学術大会講演要旨集*, 23, pp.297-300.
- [14] 梶山泰生, & 高尾義明. (2011). エコシステムの境界とそのダイナミズム (特集 エコシステムのマネジメント論). *組織科学*, 45(1), pp.4-16.
- [15] 谷光太郎. (2002). 第二次半導体国家プロジェクトの発足. *山口経済学雑誌*, 50(5),

pp.581-605.

- [16] 垂井康夫. (2003). 日本の半導体技術とコンピュータ. 情報処理, 44(1), pp.67-72.
- [17] 陳韻如, 朴唯新, & 上田昌史. (2014). 台湾スマートフォン産業におけるビジネス・エコシステムの構築可能性. 滋賀大学経済学部.
- [18] 羅嬉頰. (2012). ビジネス・エコシステム生成の多様性とダイナミズム. イノベーション・マネジメント, (9), pp.143-161.
- [19] 日本経済新聞朝刊 (2014年10月20日). 1/2 ウェハから半導体 電子回路の製造受託, p.13.
- [20] 原 史朗.(2012). 究極の少量生産 ミニマルファブ徹底解説. Electronic Journal Archives, 299, pp.1-74.
- [21] 原史朗, 前川仁, 池田伸一, & 中野禪. (2013). LSI 産業を変えるミニマルファブ構想の進展. 電子情報通信学会誌, 96(8), pp.649-655.
- [22] 原史朗, 前川仁, 池田伸一, & 中野禪. (2011). ミニマルファブシステムの構想と実現に向けて. 精密工学会誌, 77(3), pp.249-253.
- [23] ファブシステム研究会. (2008). 21世紀型生産システム.
- [24] 安永裕幸, & 真鍋洋介. (2003). 2402 我が国の半導体関係研究開発に関する国家プロジェクトのマネジメントに関する考察. プロジェクトマネジメント学会研究発表大会予稿集, 2003, pp.302-311.
- [25] 横澤幸宏. (2013). ビジネス・エコシステムの概念に関する理論的検討. 岡山商大論叢, 48(3), pp.61-76.

第 6 章 ミニマルファブのマーケット参入事例研究

6.1 緒言

この章と次章では、黎明期のビジネス・エコシステムに属する企業の戦略と組織能力について分析し、参加企業に求められる内的条件について検討する。

この章での分析は、4 章のボールセミ社の事例分析から導いた戦略に関する仮説の妥当性を検討する。検討の対象は株式会社ピーエムティー(以下、PMT 社)の半導体試作ファウンドリサービスとする。

同社は、商社からスタートして企動力®と言うオープンイノベーションの企業理念により、技術を有する企業や大学・公的研究所との連携を積極的に進めている。ファブシステム研究会には 2010 年の発足時から入会して、マスクレス露光装置の開発を担当している。さらに、同社は、2015 年には装置開発型のビジネスからミニマルファブにより上流工程であるファウンドリ事業に参入した。

ビジネスターゲットとする試作半導体は、ITRS に追従しない化合物半導体、MEMS、バイオデバイスなどである。

6.2 株式会社ピーエムティー会社概要

PMT 社は、1991 年に起業し、本社は福岡県糟屋郡須恵町にある(図 6.1 参照)。2015 年度のグループ売上げは約 60 億円、社員数 180 名の中小企業である。事業内容は、超精密 X-Y ステージの製作、NC 微細加工・加工機の製作、各種軸制御機器の製作、各種金型の製作、セラミック・超精密治具の加工、及びメカトロ機器・各種自動化機器の製作を行っている。

多くのものづくり中小企業は、自社の持つ技術的なコアコンピタンスで大企業の協力会社になる事例が多い。しかし、同社には技術がなく、商社業からスタートした。起業当初は介入価値をアピールするビジネスモデルで事業を遂行した。この収益モデルは直に似た競合が出てくるために、さらに大きな付加価値は生産改革と考えた。よって、PMT 社は顧客のウォンツを解決するために機械設計や電気設計の人材を増やした。しかし、商社であったために技術がなく“企動力®”と言う造語を作り、これをスローガンで、技術を持っている企業や大学、及び公的研究機関と連携するオープンイノベーションにより製品開発を行っている(図 6.2 参照)。

PMT 社の超精密軸制御技術と東北大学の犬見教授との連携による“微細加工装置の位置決め、高精度化、及びパターン生成技術”の研究開発は戦略的基盤技術高度化支援事業(以下、サポイン事業)に採択された。この産学連携でマスクレス露光装置(図 6.3)の商品開発を成功させた。さらに、産総研のファブシステム研究会に参画し、東北大学と開発した要素技術でミニマルファブ用のマスクレス露光装置(図 6.4)の開発を行った。



図 6.1 PMT 社屋全景

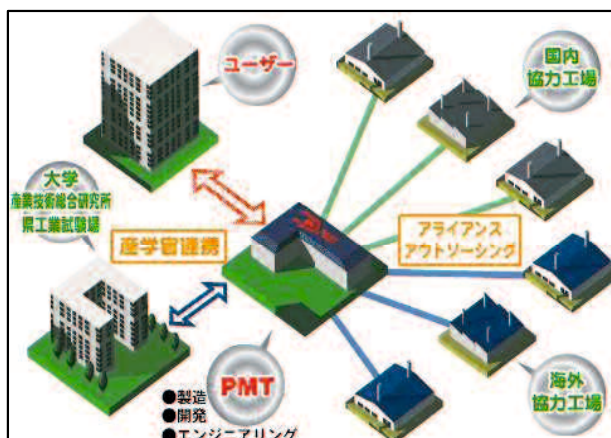


図 6.2 PMT 社のオープンイノベーション

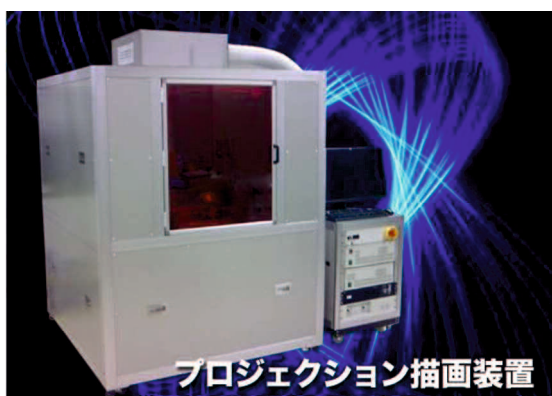


図 6.3 サポイン事業での成果
12 インチ・ウェハ用マスクレス露光装置



図 6.4 ミニマルファブ用
0.5 インチ・ウェハ用マスクレス露光装置
(294mm x 450mm x 1440mm)

6.3 ファウンドリ事業

台湾の TSMC はファウンドリサービスで半導体製造の世界シェアの上位を常に占めている。このビジネス形態は、半導体の設計やエンドユーザへの販売は行わずに、顧客から半導体製造のみを請け負うビジネスモデルである、さらに、ファブを効率良く稼働させるために、試作品や少量品は価格を高く、納期も長く設定している。この価格差は 10 倍とも言われている。

PMT 社の試作ファウンドリ事業を行っている社員全員は、元大手半導体製造メーカーにおいて半導体製造経験が 25 年以上あり、さらに、社員 A は大手ファウンドリの担当を 11 年間携わっていた。ゆえに、上述の規模の経済で行っている大手ファウンドリ企業の弊害を良く熟知している。

PMT 社はこの規模の経済の弊害の解決を狙って、2015 年 4 月から世界で初めて半導体を 1 個から製造を受託するファウンドリ事業をスタートさせた。従来では、半導体製造に参入するには、装置、クリーンルームなど多額な設備投資が必要とされ、中小ベンチャー企業には資金的に不可能であった。しかし、ミニマルファブがこれを可能にした。同社は装置開発型のビジネスから上流工程への半導体製造の試作ファウンドリ事業に参入した。

論文を執筆している 2016 年 12 月現在では、同社以外に株式会社ネイタス、横河ソリューションサービス株式会社が同様なビジネスを開始した。株式会社ネイタスは、一般社団法人日本電子デバイス産業協会が 2016 年 1 月 4 日に設立した。横河ソリューションサービス株式会社は、ミニマルファブのデモ用ショールーム「横河ミニマルアプリケーションラボ」を 2016 年 4 月 1 日にオープンした。ここでは、装置販売や保守サービス以外にファウンドリサービスも提供している。これらの企業の事例は、第 5 章の図 5.11 で示したミニマルファブによる新たなビジネス・エコシステムの一翼を担う。

6.4 事業戦略

半導体の成長期から成熟期までの規模の経済をけん引した ITRS 活動は終焉し、アプリケーション、システムの観点からの新たなロードマップ IRDS 策定の議論が 2016 年 5 月にスタートした。これには、微細化、大口径化を伴わない化合物半導体、MEMS、アナログデバイス、バイオデバイスなどが主体となり、従来とは違う新たなビジネス・エコシステム形成の可能性が考えられる。よって、PMT 社がターゲットとする試作半導体は、化合物半導体、MEMS、バイオデバイスなどとした。

PMT 社はミニマルファブのマスクレス露光装置を開発しているのです、この装置を活用する投資コストが少ないミニマルファブを導入した。これによりクリーンルームが不要となり、さらにミニマルファブ装置電源は家庭用の 100V ゆえに、工場の電気代は既存と比較して約 80~90%減少している。これにより、ミニミルのように低環境負荷を実現している。

試作で一番コストと時間を要するのはマスク製作である。PMT 社が開発したマスクレス露光装置により、化合物半導体、MEMS、バイオデバイスでは、1 セット数百万円と高額な回路パターン原版のマスクが不要となり、さらに、図 6.5 に示すように、1 ヶ月程度を要するマスク製作のリードタイムも不要となり、ウェハ試作で不具合があった場合、マスクの再製作も不要になり、試作から量産までのリードタイムが数ヶ月から数週間に大幅に短縮した。

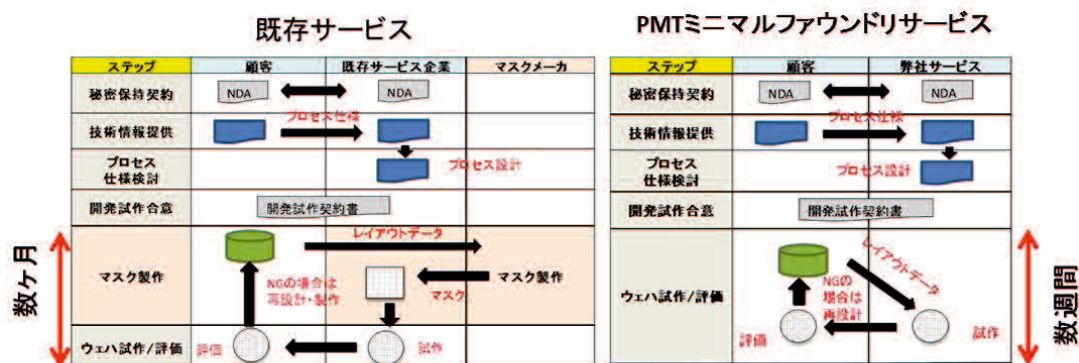


図 6.5 既存と PMT 社ファウンドリのサービスフローの比較

PMT 社のビジネスターゲットとする半導体を試作するには、フォトリソグラフィ、不純物拡散、薄膜成膜プロセスなど最低でも二十数台のミニマルファブ装置を必要とした、しかも、必要とする幾つかの製造プロセスのミニマルファブ装置は開発されていなかった。

この課題を解決するために、同社が開発したマスクレス露光装置を使用するフォトリソ

グラフィ工程は社内で行い、エッチング、薄膜成膜などの工程は社外の既存ファブの装置を組み合わせて使用するハイブリッドプロセス(図 6.6)を導入した。しかし、ハイブリッドプロセスの課題は、既存ファブとミニマルファブではウェハサイズが違っている。このために、既存装置のチャンバーに 0.5 インチ・ウェハを移載するには調整、治具、及び部品の変更が必要である。もう一つの課題は、ミニマルファブの生産システムと既存のシステム間での搬送中のパーティクルによる欠陥や汚染による半導体へのダメージである。同社は、この課題解決のために、図 6.7 で示す GaN 青色 LED プロセス開発を行って課題解決を行った。また、ミニマルファブにおいて、ファウンドリ事業を業界で始めてスタートした先駆者利益により半導体製造プロセス特許を取得している。

このように、PMT 社の半導体試作ファウンドリ事業戦略は、下記に示す 6 項目である。

- ①試作のターゲット半導体は新たなロードマップの主体である非微細化の化合物半導体、MEMS、バイオデバイスなど。
- ②ミニマルファブを活用したクリーンルーム不要な低環境負荷ライン。
- ③マスクレス露光装置を活用した短納期、低コスト。
- ④既存ファブとのハイブリッドプロセスにより未充足なミニマルファブ装置を補完。
- ⑤大量量産でなく、試作や少量生産に特化。
- ⑥先駆者利益によりミニマルファブの半導体製造プロセス特許取得を多く行い、ミニマルファブが普及した時はライセンス販売を実施する。

なお、表 6.1 にはミニミル、球状半導体、及び PMT ミニマルファウンドリの比較を示す。ミニミルと同じく、ロジスティック曲線は成熟期である。また、第 5 章に示したように黎明期のビジネス・エコシステムが形成しつつある。さらに、ミニミルと同様に、未充足な機能の補完として既存との組合せによるハイブリッドプロセスを活用している。

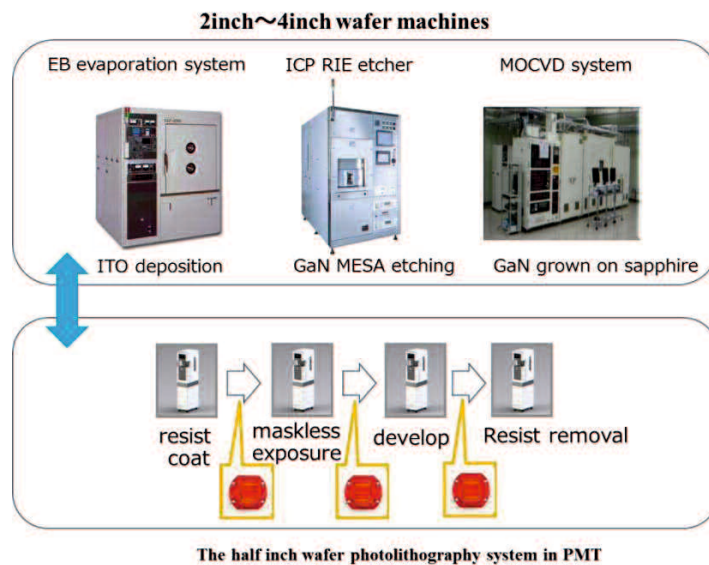


図 6.6 ミニマルファブと既存のファブを組合わせたハイブリッドプロセス事例

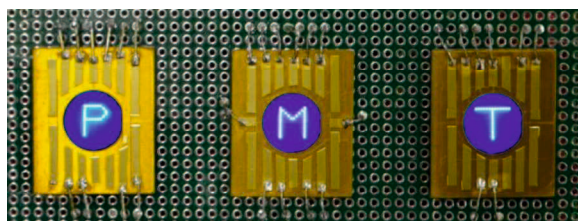


図 6.7 PMT 社の社名を発光させているハーフインチ GaN 青色 LED ウェハ

表 6.1 ミニミル、球状半導体、及び、PMT ミニマルファウンドリの比較

	ミニミル	球状半導体	PMT社試作ファウンドリ
ロジスティック曲線におけるイノベーションの発生時期	成熟期	成長期	I TRS:成熟期(IRDS:黎明期)
代替とした主要部材	鉄鉱石から鉄スクラップへ	シリコンウエハから球状シリコンへ	大口径ウエハでなく、0.5インチウエハ
プロセス・イノベーション形態	高炉・転炉を必要としない電気炉で融解。 既存技術・設備の漸進的なイノベーション	クリーンルームを必要としない非接触のチューブ内製造。 既存技術・設備を使用できない非連続的なイノベーション	製造装置の小型を行う漸進的なイノベーション
設備投資コスト	総合鉄鋼メーカーの10分の1以下	主力メーカーの15分の1	最終ゴールは既存設備の1000分の1(現状は10分の1)
出荷までのサイクルタイム	粗圧延機や中間圧延機などを配せずに、仕上げ圧延機のみで鉄鋼生産を行う製造ラインの短い熱間圧延工場(梅澤, 2002)	マスクレス露光機により100日から5日に大幅に短縮	マスクレス露光機により最終ゴールは、3か月から数日に大幅に短縮(現状は数週間)
生産キャパシティ	“小さな鉄工所”と呼ばれる多品種少量生産	既存ファブと等価を目指した秒間2500個の大量生産	試作と1万個/月以下の多品種少量生産
最初にターゲットとした製品	原材料である鉄スクラップの低鉄鋼品質に対応した市場の最下層に位置する鉄筋分野	マスクレス露光装置の解像度が2.0μmであったのでMEMSやセンサなど非微細化デバイス	マスクレス露光装置の解像度が0.5μmであったのでMEMS、センサ、化合物半導体など非微細化デバイス
ビジネス・エコシステム	既存技術・設備の漸進的なイノベーションなのでビジネス・エコシステムが既に存在している	参加企業は少なくビジネス・エコシステムを形成できなかった	黎明期のビジネス・エコシステムが形成しつつある
知財戦略	各社による知財戦略	クロスライセンス戦略	先駆者利益として多くのプロセスIP(特許)取得によりライセンス販売
未充足な機能の補完方法	ミニミルの鉄品質問題を補完するために総合鉄工所とのハイブリッドプロセス導入	秒間2500個の製造の律速となつているマスクレス露光機へ対応なし	開発が完了していないミニマルファブ装置の代替として既存設備とのハイブリッドプロセス導入

出典: Christensen(2003) を基に著者作成

6.5 結語

PMT 社の試作ファウンドリ事業を行っている社員全員は、元大手半導体製造メーカーにおいて半導体製造経験が 25 年以上あり、従って、次章で示す **Absorptive Capacity** を持っていると考えられる。さらに、第 5 章からミニマルファブは黎明期のビジネス・エコシステムを形成できる可能性がある。ゆえに、PMT 社は第 4 章のボールセミ社から導いた戦略の仮説を具体的な事業プロセスに落とし込んで遂行していると考えられる。

PMT 社の次の事業フェーズは、ミニマルファウンドリの量産工場を計画している。しかし、この工場はボールセミ社のように大量生産を目指すのではなく、新しい技術ロードマップ IRDS が示す微細化、ウェハの大口径化を伴わない半導体の多品種少量生産を計画している。

ミニミルは従来の一貫鉄鋼プロセスとミニミルのハイブリッドにより、未充足な品質（鉄スクラップ）を補完して総合鉄鋼メーカーと同等な品質に改善した。PMT 社も同様に既存メガファブとのハイブリッドにより未充足なミニマルファブ製造装置（例えば、GaN 結晶成長 CVD 装置、透明電極蒸着装置など）を補完して同等な品質を実現している。しかし、ハイブリッドプロセスの課題は、充足するとミニマルファブの装置開発が止まる恐れがあると考えられる。

参考文献

[1] Christensen, C. (2001). The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail. Harvard Business Review Press.

玉田俊平太監修, 伊豆原弓訳(2003) 『イノベーションのジレンマ』 翔泳社.

第7章 Absorptive Capacity の評価尺度研究

7.1 緒言

ビジネス・エコシステムの形成が着実に進行していくためには、関係各主体が外部からの知識を効果的に吸収・活用し、全体の開発ロードマップに沿って開発を推進できるだけの組織能力を有していなければならない。

そこで、第7章では、オープンイノベーション推進の基礎である Absorptive Capacity について検討する。まず、Absorptive Capacity の定量的評価のためのフレームワークを考案する。これにより、PMT 社がマスクレス露光装置の開発を成功できた要因を、ボールセミ社との比較で検討する。

Chesbrough(2003)によるオープンイノベーションの提唱以来、産学連携、企業連携などを含む外部知識を活用したイノベーションの推進が日本でもますます脚光をあびている。アウトサイド・イン型のオープンイノベーション、すなわち技術のライセンス・イン自体は、日本においても大企業を中心に広く行われてきているが、従来技術開発に関して自前主義的な傾向を有する日本企業にとって、受け入れ技術は限定的かつ補完的な役割しか与えられない可能性が高い。そこで、オープンイノベーション時代にふさわしい組織のあり方を模索する(元橋, 2012)。

アウトサイド・イン型のオープンイノベーションの成否を決定する重要な要因の一つは、技術学習の基盤を形成する受け入れ企業側の Absorptive Capacity である(Veugelors and Cassiman, 1999)。Cohen and Levinthal(1989, 1990)によって Absorptive Capacity がミクロ分析に適用されて以降、理論的・実証的に数多くの研究者が Absorptive Capacity を研究してきたが、それによって Absorptive Capacity 本来の意味が不明瞭になってきていると主張され(Lane et al, 2006), (Foss et al, 2010), 再定義が試みられている(Zahra and George, 2002), (Todorova and Dursin, 2007)。しかし、Absorptive Capacity に注目した外部知識の組織に対する価値を左右する点で共通している(Fabrizio, 2009)。Cohen and Levinthal(1990)の定義が最も広く受け容れられている(Murovec and Prodan, 2009), よって、本研究では Absorptive Capacity を“Ability of an organization to recognize the value of new, external information, assimilate it, and apply it to commercial ends.(適応能力: 新しい価値や外部情報を認知して、それを自社に同化させて、事業化させる能力)”と定義する。

多くの先行研究が、組織の Absorptive Capacity を向上させる要因を明らかにしてきた。自社内の R&D の水準(Cohen and Levinthal, 1989), 従業員のスキル(Vining, 2006), 過去の共同 R&D の経験(Becker and Diaz, 2004), 組織のルーティン(Zahra and George, 2002), 組織文化(Van den Borsh et al., 1999)などを代表的な要因にあげている。

イノベーションに与える Absorptive Capacity の効果と、Absorptive Capacity 蓄積に影響する要因を所与に、Absorptive Capacity の概念を実際の外部知識導入意思決定に適用するには、例えば以下の疑問への解答を導き出すように操作化する必要がある。「自社の現状を所与に、最も Absorptive Capacity の向上に貢献する活動は何か?」「自社の現在の Absorptive Capacity を前提としたとき、ある外部知識を活用したイノベーションは遂行可能だろうか?」こうした疑問に対する指針を提供する枠組みの考案によって、Absorptive Capacity をマネジメント手法に活用する可能性が大きく広がる。しかし、Absorptive Capacity は本来定性的である、また筆者の知る限り定量化の試みはこれまで十分行われているとは言えない。本研究は、後者の質問に対する評価の枠組みを考案し、Absorptive Capacity を外部知識に対する自社の”readiness”の尺度に活用する方法の提案を目的とする。

Absorptive Capacity 定量化の取り組みは、経営資源に乏しい中小ベンチャー企業が外部の知識を活用したイノベーションを目指す場合に特に有効であると考えられる。Absorptive Capacity は累積的であり、知識の幅も重要である(Cohen and Levinthal, 1990)。これは、他の条件を一定とすれば、Absorptive Capacity が蓄積する観点から見て、外部知識の活用で中小ベンチャーが大企業に対して優位性を有する可能性は極めて低いと示唆していると考えられる。いいかえれば、暗黙的には Absorptive Capacity に劣る中小ベンチャー企業は、知識の受容者よりも、創造者の活動が有効であると意味しているように思われる。企業規模に関する Absorptive Capacity の偏在は、中小ベンチャー企業によるインサイド・アウト型のオープンイノベーションの進展を理論的にサポートはできるが、中小ベンチャー企業によるアウトサイド・イン型のオープンイノベーションが効果的である状況をそれ単独では示唆しない。

資源制約に直面する中小ベンチャー企業が大企業に対して競争するには、外部とのネットワークが決定的な役割を果たし(Dogson and Rothwell, 1994)、また自社と外部環境をつなぐアクターは中小ベンチャー企業にとってとりわけ重要な資産であると主張するように(Noteboom, 1998)、Absorptive Capacity の水準は中小ベンチャー企業によるイノベーションにとってより重要な要素である。またクラスター政策に代表するように、アウトサイド・イン型の中小ベンチャー企業によるイノベーションと、それを通じた企業の成長は、地域経済の発展に寄与する観点からも強く望まれている(Maskell and Malmberg, 1999)。多くの政策的な取り組みにもかかわらず日本においては、アウトサイド・インの代表的ツールである産学連携により、中小ベンチャー企業への浸透は、十分とは言い難い水準である。

Madrid-Guierro et al.(2009)は、中小ベンチャー企業においては人的・資金的障壁がイノベーションと負の相関を有し、さらにイノベーションのリスクが高いために外部からの資金調達をためらう傾向を明らかにしている。外部知識を活用したイノベーションは、内部的に創造された知識に基づく場合よりも(少なくとも認知論的に)リスクが高いとするならば、中小ベンチャー企業は外部知識の活用に対してより慎重になって行くと予想する。こ

れを前提とすれば、中小ベンチャー企業によるアウトサイド-イン型のオープンイノベーションへの取り組みを推進するためには、外部知識を活用したイノベーションは自社の **Absorptive Capacity** を所与としたときに許容できるリスクかを客観的な明示が重要であると考える。

本研究では、暗黙知である **Absorptive Capacity** を形式知化するための評価方法と評価指標を述べる。

本研究は6節からなっている。第1節では本研究の課題、目的、背景を述べる。第2節では、日本の中小製造業企業に注目して **Absorptive Capacity** についての先行研究を分析する。第3節では、本研究のフレームワークを考案する。第4節では、マスクレス露光装置の事業化に至らなかったボールセミ社（会社概要等は第4章に記載）の事例と事業化が成功した **PMT** 社（会社概要等は第6章に記載）事例を本研究のフレームワークであるパテントマップにより **Absorptive Capacity** の評価分析を実施する。第5節では外部技術を核としたイノベーションを目指す際のインプリケーションを提示する。そして、第6節で結論を述べる。

7.2 Absorptive Capacity についての先行研究

Absorptive Capacity に関しては、良質なレビュー文献が多く存在するため、ここでは日本の中小製造業企業に注目して Absorptive Capacity の重要性について述べている先行研究をいくつか述べる。

児玉(2010)は、企業アンケート分析により、製造業において、設計能力と自社製品の売上げがある製品開発型中小企業は特許出願や新製品開発などの研究開発成果が多いとともに、産学連携、対大企業連携、対中小企業連携を研究開発成果に活用する力があると述べている。また、元橋(2005)は研究開発型企業では産学連携の成功には大学における基礎的な知見を社内のイノベーションプロセスに取り入れる追加的な技術開発を必要とする Absorptive Capacity の存在が重要としている。細谷(2013)は日本のものづくりニッチトップ企業に関するアンケート調査を行い、事業や製品開発の継続を通じニッチトップ型の企業は、他の中小企業に比べて Absorptive Capacity を高い水準に維持している背景があると述べている。

Absorptive Capacity を高める方法は、公的に補助された研究開発では、学習効果を生み、これによって企業は最新の科学的・技術的知識を得る能力が高められる(岡田・楢, 2004)。

以上の先行研究から産学連携において組織の Absorptive Capacity の重要性と組織の Absorptive Capacity を高める方法がわかった。先行研究は産学連携、企業連携などの成果に関する Absorptive Capacity の高さの重要性を概念的には示している。さらに、経営資源に乏しい中小ベンチャー企業が産学連携の成功確率を高めるために自社の持つ Absorptive Capacity の高さを定量的に知る方法が必要である。本研究では、この問題を解決するためのツールの考案を目指す。次節では、これらの評価フレームワークを示す。

7.3 Absorptive Capacity 評価フレームワーク

先行研究の多くは、R&D 支出を Absorptive Capacity の代理変数に設定している。しかし、中小ベンチャー企業の多くでは、Absorptive Capacity の獲得は暗黙的に行われる割合が多く (Vinding, 2004)、また多くの R&D 活動は非公式的に行われる (Muscio, 2007)。そこで、Muscio(2007)と同様に、人的資産よりは直接的に組織の成員の経験値に注目した Absorptive Capacity を評価する。組織の Absorptive Capacity は組織成員の Absorptive Capacity の単純な総和ではないが (Cohen and Levinthal, 1990)、組織学習は個人学習を通じてしか実現されない (Nicolini and Menzar, 2007)、さらには中小ベンチャー企業における知識は属人性の強さを考えれば、このアプローチには一定の合理性があると考えられる。

外部知識(技術)の導入に関する意思決定は、一定の知識集合単位で行われる。いいかえれば、何らかの当該知識を活用した事業ないし製品コンセプトが事前、少なくとも導入検討時には存在していると考えるのが自然である。そして、検討対象の技術を自社の技術的リソースと組み合わせて考え、当該外部知識を活用したイノベーションが実現できるかどうかを判断する。したがって、高次概念たる Absorptive Capacity を Readiness の尺度に操作化するためには、具体的な製品コンセプトと関連づけなければならない。

Absorptive Capacity の先行研究では、内部情報に関し社内で十分に認知され、かつそれにアクセスできると想定しているが (Tu et al., 2006)、中小ベンチャー企業においては上記の通り知識の偏在が起るため、意思決定者は内部知識ベースを十分認識しているとは言いがたいケースもある。したがって、多くの場合意思決定者である社長の主観的判断は不正確な知識ベースの認識に基づく可能性を常にはらんでいる。そして、その判断が自社の知識ベースの合理的把握に基づかなければ、自社の身の丈に合わないチャレンジにつながり、会社の存続を危うくするリスクが高い。よって、自社の知識ベースを前提に、当該知識集合の導入が許容可能かどうかを判断するベンチマークの設定によって、中小ベンチャー企業においても適切な外部知識導入意思決定を支援する中小ベンチャー企業のアウトサイド-イン型のオープンイノベーションの促進が可能であると考えられる。

すべての工業製品は複数のキーとなる要素技術から成り立つ。例えば液晶パネルの主要な要素技術は表示モードの方式(例えば垂直配向式)、アクティブ素子(例えば薄膜トランジスタ)、光量制御(例えば偏光板)、及び表示駆動(例えば信号制御システム)のように数多くの要素技術の組合せによって成り立つ。本研究は、この目的に向けて、当該知識集合を要素技術に分解して評価する方法を考案する。このような分解により、知識をシステムマテックに評価するための知識ベースがない中小ベンチャー企業でも、検討中の外部知識集合に対する自社の Absorptive Capacity がより客観的に評価できると考える。ただし、製品の要素技術への分解は、当該製品・サービスの専門家でなければ難しい。そこで、本研究では特許公報の引用・被引用パテントマップにより、未知なる知識集合を要素技術に機械的に

分解する方法を示す。多くの先行研究は特許分析でのパテントマップの必要性を述べている。例えば、桐山(2009)は特許情報から技術の動向を図解する、いわゆる、技術指紋により、認知し、把握し、そして自社の知財戦略を気付かせると述べている。しかし、パテントマップを Absorptive Capacity の評価尺度に活用する試みは、筆者の知る限り本研究が初めてである。

まず、ライセンス・インする特許を機械的に要素技術に分解する方法を述べる。特許の審査官が審査過程で「拒絶のため」あるいは「特許査定のため」に引用した過去の公報は、その特許を構成している技術的要素と考える。次に、それらの引用公報（要素技術）の中での主要な要素技術を機械的に見つけ出す方法を述べる。その引用公報（要素技術）に対して他から被引用回数が多い公報の技術的内容は、そのライセンスの重要な要素技術であると考えられる。したがって、引用公報（要素技術）を被引用回数の多い順でのソーティングを行えば機械的にそのライセンスの主要な要素技術を見つけて出せる。

次に抽出した主要な要素技術の自社に対する Absorptive Capacity を Excellent>Good>Average>Bad で評価する。基本的なアイデアは、各要素技術について、Cohen and Levinthal(1990)の定義にある、“recognize”、“assimilate”、“apply”のステップを進むたびに、当該要素技術に関する個人に帰属する Absorptive Capacity は高まって行く。

なお、どの位の被引用回数以上を主要な要素技術とするかについては議論のあるところであるが、引用公報（要素技術）が 10 以下で少ない場合は全件評価すべきである。しかし、100 以上であるとそれらの要素技術は冗長的なゆえに上位 10% くらいが妥当と思われる。

先行研究は“recognize”、“assimilate”、“apply”の変数の多くの要因を提示しているが(Noblet et al., 2011), 中小ベンチャー企業における意思決定ツールの有効性を考えたとき、評価尺度のシンプルさも重要となる。以上を踏まえて、各々の評価基準を下記のように定義する。

- ・その要素技術を使用した製品開発の実績がある場合は **Excellent** と評価する。
- ・その要素技術を担当する専門エンジニアを自社で保有している場合や関連特許出願や関連論文発表を実施している場合は、**Good** と評価する。
- ・その要素技術を理解するエンジニアを自社で保有している場合は、**Average** と評価する。
- ・その要素技術のエンジニアが自社にいない場合は **Bad** と評価する。

最後に、評価指標、Excellent, Good, Average, Bad の、それぞれに対して、100,75,50,25 のポイントを付加し、平均得点を求める。この得点が高い程、ライセンス・インする特許に対する自社の Absorptive Capacity は高いと評価され商品化の事業化達成確率は高いと期待する。このように特許公報の引用・被引用パテントマップを用いる方法により自社の

Absorptive Capacity の定量的な評価が可能となる。以上の引用・被引用パテントマップによる各要素技術に対する Absorptive Capacity 評価手順を図 7.1 に示す。

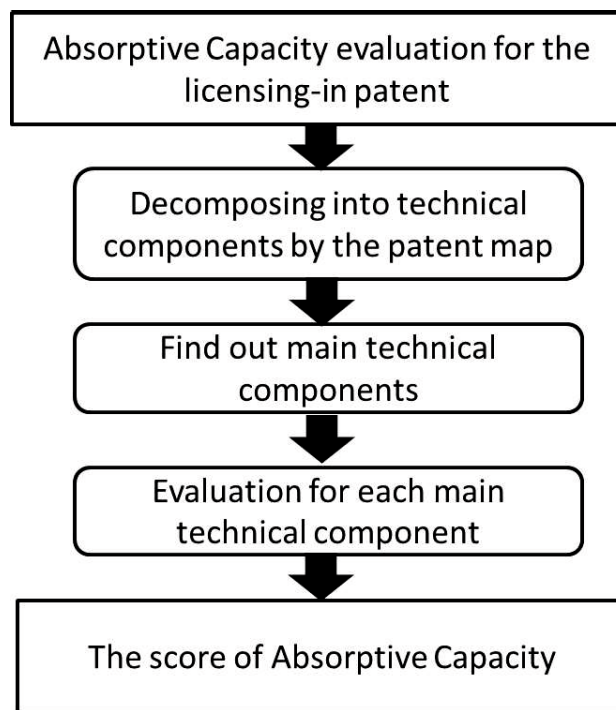


図 7.1 Absorptive Capacity 評価手順

そもそも有望外部技術の探索能力がなければ、外部技術を活用したイノベーションは起こせない。本研究のフレームワークは、ある外部知識群を認識する観点での Absorptive Capacity の評価にも活用できるが、各外部技術集合に対する認識力の評価は、知識グループの定義の方法を一例とする多面的な考察を要する。本研究では特定の外部知識集合に対する readiness の尺度である Absorptive Capacity に注目しているゆえに、“assimilate”と“apply”に関する認識の評価枠組みに関しては別研究に譲るとし、検討対象となる外部知識集合を規定した上で、フレームワークの適用方法を次節で示す。

7.4 事例研究：マスクレス露光装置

半導体製造には様々な製造プロセス技術が必要となる。特に微細加工が必要なフォトリソグラフィプロセスにより半導体技術は劇的な進歩を遂げた。フォトリソグラフィプロセスでは、露光装置により集積回路をウェハ上に転写する。この露光装置は、集積回路を各レイヤーに分割した回路パターンを描画したマスクと呼ばれる原版によりウェハ上に縮小投影で回路パターンを転写する装置である。1 種類の半導体製作に必要なマスクの数は 20 から 40 枚を必要とし、サブミクロンやナノメータレベルの微細パターン半導体では 10 万米ドルから 100 万米ドル、ミクロンのレベルでも数万米ドルのマスク製作費用を要する。さらに納期は 1 ヶ月から 3 ヶ月の長期を要する。さらに、マスクの維持管理には定期的な洗浄、保管庫、自動搬送など高いランニングコストが必要となる。

そこで、ボールセミ社 CEO/CTO 石川は TI の DMD(Digital Micro-mirror Device)について知見が深く、DMD を使えば、マスクを使用しない描画ができるというアイデアで、図 7.2 に示す DMD 方式によるマスクレス露光技術を東北大学の犬見教授と産学連携で研究開発を行って上述の課題解決をする特許を出願した。

これは、マスクを必要とせず、回路パターンを DMD チップへ転送し、その転送速度と同期して X-Y ステージをスキャンニングして縮小投影レンズでウェハ上に回路パターンを描画する。しかし、この装置は事業化までには至らなかった。

一方、PMT 社は、経済産業省地域コンソーシアム「マイクロ・ナノファブリケーションシステムの開発」を通じてナノレベルの分解能性能を持った超精密な XYZ ステージ制御技術を身に着けた。さらに、この分野で学位を取得した研究者も入社した。

東北大学の犬見教授は、ボールセミ社との共同研究終了後も研究開発を継続していた。PMT 社は、サポーティングインダストリー「微細加工装置の位置決め高精度化及びパターン生成技術の研究開発」で東北大学との産学連携により露光装置の事業化に成功した。このように、マスクレス露光装置のイノベーションは、元々ボールセミ社が東北大学の研究者とスタートさせ、それを後に PMT 社がライセンス・インで引き継いで事業化に成功させた。本研究の興味は、なぜボールセミ社は共同研究成果を核とした事業化を断念せざるを得なかったか。一方で、PMT 社は事業化ができたか。これを Absorptive Capacity によって説明する。両社の違いを本研究のフレームワークである特許公報の引用・被引用パテントマップで分析を行い評価する。

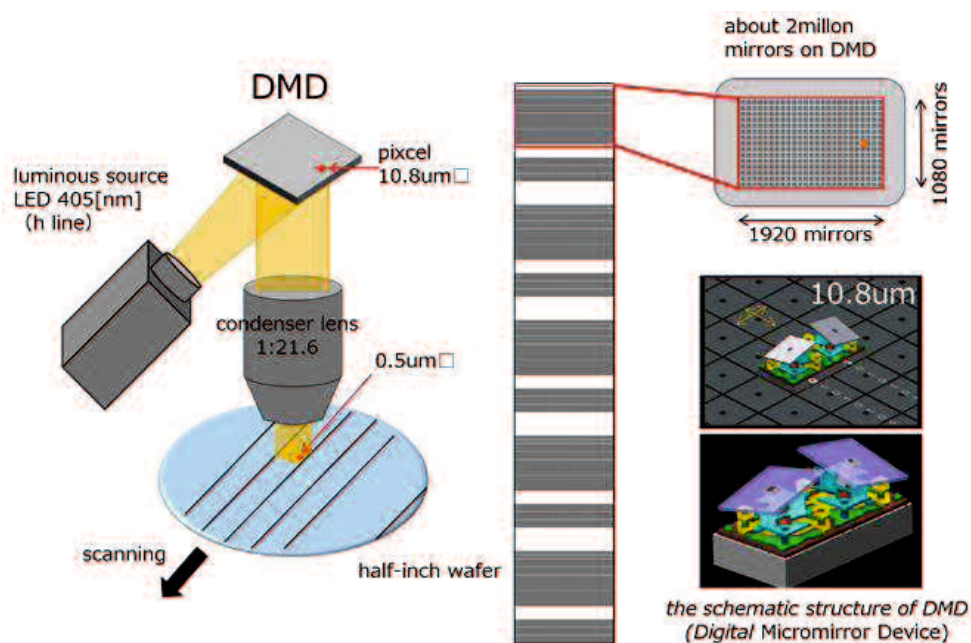


図 7.2 DMD 方式マスクレス露光技術

図 7.3 は東北大学が出願したマスクレス露光装置の特開 2005-1567788 の引用・被引用関連図である．表 7.1 は，特開 2005-1567788 の引用・被引用回数を示す．このパテントマップからわかるように特許審査官は「拒絶のため」あるいは「特許査定のため」に 246 件の公報を参考に行っている．これらより，マスクレス露光装置は大変多くの素技術により成り立っていると理解できる．すなわち，これらの要素技術に関する自社の Absorptive Capacity が不足している場合は製品化が難しくなると予想する．

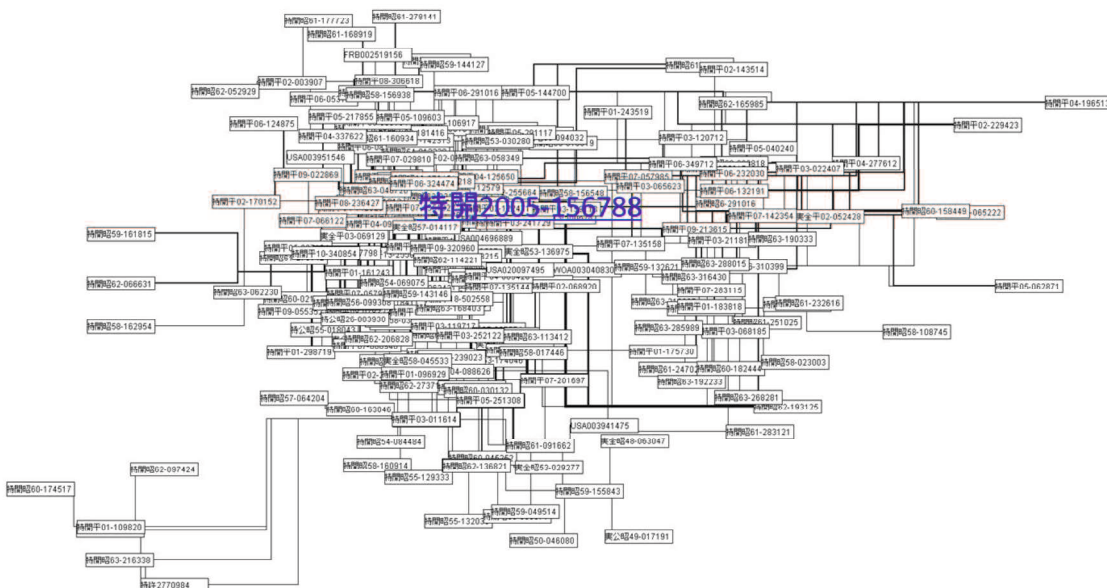


図 7.3 特開 2005-1567788 の引用・被引用関連図(山口大学特許検索システム使用)

表 7.1 特開 2005-1567788 の引用・被引用回数(山口大学特許検索システム使用)

出願番号	公開番号	被引用回数	名称	出願人
特開2003-393419	特開2005-156788	0	パターン検査装置	財団法人国際科学振興財団

公開番号	名称	引用回数	被引用回数
特開04-196513	投影露光装置および走査露光方法	19	2
特開02-193125	露光装置	12	0
特開01-209739	露光装置	11	19
特開02-037274	走査露光装置	11	28
特開02-229423	電圧及びビーム高解像度投影リングロー装置	9	29
特開02-065222	半導体装置の露光装置	9	17
特開04-277632	投影露光装置及び投影露光方法	8	16
特開06-1280619	露光装置	7	0
特開05-226212	投影露光装置及び方法並びに電子製造方法	6	14
特開05-038822	投影露光装置	5	14
特開01-091662	投影露光装置	5	0
特開07-066122	投影露光装置および投影露光方法	4	1
特開00-135562	リングロー装置	4	28
特開05-267124	投影露光装置	4	16
特開02-145730	投影露光装置	4	0
特開06-158449	露光装置	4	0
特開02-201692	露光装置	4	8
特開02-025830	走査露光装置	4	10
特開01-175736	露光装置	4	10
特開05-206606	パターンング装置	4	16
特開05-275317	露光装置及び方法、並びにデバイス製造方法	1	5
特開048-030874		1	5
特開06-230629	照明光学装置	1	0
特開058-116735		1	0
特開059-222844	マスク投影露光装置	1	0
特開02-115718	照明光学系	1	0
特開056-027414		1	0
USA04769680		1	0
特開050-103976		1	0
特開059-076425		1	0
特開06-1232616	露光装置	1	0
特開02-074024	投影光学装置	1	14
特開02-097424	半導体装置製造装置	1	0
特開055-143033		1	0
特開06-117854	露光装置	1	0
特開06-101540	投影光学装置	1	0
特開01-257322	露光装置及び投影露光装置による露光方法	1	12
特開06-182444	半導体露光装置	1	0

246 Patents

被引用件数が多い過去の公報は一般的に基本特許である。マスクレス露光装置は、この公報に記述された技術を適用している可能性が高いと推測する。ここで上位約 10%を構成する被引用件数が 15 回以上の公報はマスクレス露光装置を構成している重要な要素技術と仮定して、表 7.2 に示すように、各公報の要素技術からのアナロジーでマスクレス露光装置の要素技術を推定する。この各要素技術に対して、ボールセミ社、PMT 社へのヒアリング結果より Absorptive Capacity の評価を前節で述べた評価基準により Excellent>Good>Average>Bad で評価する。最後に、それぞれに対して、100,75,50,25 のポイントを付加し、平均得点を求める。この結果、ボールセミ社の Absorptive Capacity の評価指標は 46.9 ポイント、一方、PMT 社は 73.4 ポイントであった。

PMT 社がマスクレス露光装置の商品販売までの事業化ができたのは、各要素技術の Absorptive Capacity が高く、一方、ボールセミ社は、マスクレス露光装置の最も重要な要素技術であるパターンデータ転送速度と同期したステージの超精密移動制御技術の Absorptive Capacity が不足して、技術的に製品開発まで至らなかったと推測する。なお、ボールセミ社は日本国内の A 社にライセンス・アウトを行い、現在、この会社が製品化を行い事業化している。さらに、この会社は、ファブシステム研究会に入会して、PMT 社と同様にミニマルファブ用のマスクレス露光装置を販売している。

表 7.2 マスクレス露光装置の各要素技術に対する Absorptive Capacity 評価

No.	公開番号	内容	出願人	引用回数	被引用回数	既存露光装置に対する 公報の技術内容	マスクレス描画装置の技術要素	Absorptive Capacity	
								ポールセミ	PMT
1	特開平04-196513	投影露光装置および走査露光方法	ニコン	19	62	ステップアンドスキャン方式	パターンデータ速度と同期したステージの超精密移動制御技術	Bad	Excellent
2	特開平04-277612	投影露光装置及び投影露光方法	ニコン	8	46	投影光学系の見かけ上の焦点深度を拡大	ステージの超精密軸制御技術	Bad	Excellent
3	特開平02-229423	走査及びリポート高解像度投影リソグラフィ装置	Kantilal Jay	9	39	ステップアンドスキャン方式	パターンデータ速度と同期したステージの超精密移動制御技術	Bad	Excellent
4	特開平07-037774	走査型露光装置	キャノン	11	28	スキャン時の露光むらを補正し、均一な露光量分布にする	明るさマップ	Average	Good
5	特開2001-135562	リソグラフィ装置	日立	4	28	マスクレス露光方法	DMD制御技術	Good	Good
6	特開平03-065623	瞳上照度分布測定方法、及び同測定装置	日立	1	25	瞳上照度分布測定方法、及び同測定装置	明るさマップ	Good	Good
7	特開平05-251308	露光装置及び半導体素子の製造方法	ニコン	3	24	高性能な照明光学系	露光用の高性能な照明光学系	Bad	Bad
8	特開平06-310399	投影露光方法及び装置、並びに素子製造方法	ニコン	2	20	露光補正方法	DMD制御技術 & ステージの超精密移動制御技術	Average	Good
9	特開平01-298719	露光装置	日立北海セミコンダクター	11	19	照度調整の自動化	明るさマップ生成自動化	Average	Good
10	特開平05-045605	照明光学装置	ベンタックス	2	19	照明体の照度を高める方法	露光用の高性能な照明光学系	Bad	Bad
11	特開平07-057986	露光装置及び方法	ニコン	2	17	露光領域が大きな場合でも、スループットを低下させずに、良好な結像性能のもとで回路パターンを転写できる露光装置	DMD制御技術 & ステージの超精密移動制御技術	Average	Good
12	特開2000-058442	リソグラフィック投影装置	ASML	3	17	光線分布の均一化	明るさマップ	Average	Good
13	特開平02-065222	半導体装置の露光装置	山形日本電気	9	17	露光強度の自動補正	光源強度自動可変	Good	Good
14	特開平06-232030	露光方法、走査型露光装置、及びデバイス製造方法	ニコン	2	17	感光基板上での露光量を適正露光量にする	明るさマップ	Average	Good
15	特開平05-206006	パターンニング装置	Texas Instruments	4	16	DMDを用いたステップアンドリポート方式の描画装置	N.A.	N.A.	N.A.
16	特開平05-267124	投影露光装置	東芝	4	16	光源形状や瞳形状を規定するフィルタの改良	DMD制御技術 & 明るさマップ	Average	Good
17	特開平06-324474	フォトマスク及び露光方法	ニコン	2	15	画面合成時の接続部に生じるコントラスト差の低減	DMD制御技術 & ステージの超精密移動制御技術	Average	Good
Avg. Point								46.9	73.4

注：Bad は 25 ポイント，Average は 50 ポイント，Good は 75 ポイント，Excellent は 100 ポイントに換算して平均評価点を算出

7.5 インプリケーション

外部技術を核としたイノベーションを目指す際、自社の **Absorptive Capacity** を本研究のフレームワークである特許公報の引用・被引用パテントマップにより評価が可能であると考えられる。これにより、どのような評価基準でライセンス・アウト、ライセンス・イン、アウトソーシングイン、パートナーシップ・ネットワーキングなどを行えば良いかのマネジメント判断の準拠点の構築が可能であると考えられる。

企業は共同研究による技術探索と学習を実施し、なんらかの知識を創出し、それ以降の活動も社内でも実施する結論には直結しない。ボールセミ社のように **Absorptive Capacity** が不足している場合は、他社へのライセンス・アウトを実施するマネジメント判断が行える。ボールセミ社はそれによって特許収益を得て、ライセンス・インした A 社は事業化に成功している。

一方、PMT 社のようにその商品化への **Absorptive Capacity** が十分ある場合にはライセンス・インを実施するマネジメント判断が行える。また、**Absorptive Capacity** が不足している要素技術があれば、その研究開発や商品化を断念するのではなく、アウトソーシングやパートナーシップ・ネットワーキングなど、オープンイノベーションで自社の **Absorptive Capacity** を補うマネジメント判断もできる。PMT 社は光学系の技術を持っていなかった。よって、外部の光学専門メーカーに開発を依頼していた。しかし、光学系を装置に組み込むには、調整を一例とする摺り合わせ技術が必要である。現在ではその技術を行える光学専門のエンジニアを採用して社内にそのリソースを保持している。

7.6 結語

研究開発のリソースが乏しい製品開発型中小ベンチャー企業が大学や研究機関の持つシーズのライセンス・インを行って産学連携で未知なる要素技術で商品化する場合、その要素技術を自社へ同化して取り込む **Absorptive Capacity** が必要である。これを評価する方法は、特許公報の引用・被引用パテントマップによって主要要素技術の抽出を行い、それに対する自社の **Absorptive Capacity** 評価方法を、ボールセミ社と PMT 社のマスクレス露光装置の事例を通じて示した。

評価得点が低い場合は、ボールセミ社の事例のように他社へのライセンス・アウトによりその技術を他社で事業化ができる。また、ある特定の要素技術の評価得点が低い場合は、開発や商品化を断念するのではなく、その技術をライセンス・インで補うマネジメント判断もできる。

ただし、外部知識の受け入れ決定の際に、評価点の高い外部知識集合のみを取り入れるべきとは主張しない。高い評価点は外部知識と自社知識ベースとの技術的近接性、ひいては事業化の実現可能性の高さを示唆する。その一方で、高い評価点のみを受け入れるアプローチは、親しみのあるものしか受け入れない外部知識に対する保守的な姿勢を助長し、外部新知識に関する学習を阻害するリスクがある。

したがって、企業の競争優位の持続性に影響を与えるダイナミックなケイパビリティである **Absorptive Capacity** の拡張(Zahra and George, 2002)を目指すためには、社内で設定した **Absorptive Capacity** の下限値を上回る外部知識獲得プロジェクトの評価点にバラエティーを持たせる必要がある。どのようなプロジェクトであれば **Absorptive Capacity** 評価点が低くてもトライすべきか、といった点は戦略的な判断が必要となる。

このように、開発着手時点での社内の **Absorptive Capacity** の程度に照らして、適切に外部知識を活用する能力を持つことの重要性を明らかにした。こうした情報はビジネス・エコシステムを構成する企業群が共有し、エコシステム内での連携が活発になり、知の共有化が進展し、より合理的かつイノベーターなエコシステムとなると考える。

最後に、本研究のアプローチの限界も示しておくべきであろう。言うまでもなく、本研究は探索的な研究のために、より多くの事例への適用によって妥当性を検証されなければならない。それを前提に、大学や公的研究機関の持つシーズが過去の要素技術からの経路依存性が少ない場合は、特許審査官が引用する過去の特許公報の件数は少ないために引用・被引用パテントマップによる主要要素技術の抽出は難しい。また、大学や公的研究機関の持つシーズがブラックボックスになっている場合は、本研究の評価方法は適用できない。また個人への注目の妥当性を所与とした場合でも、個人の学習能力、モチベーション、パーソナリティといった要因の **Absorptive Capacity** への影響を考慮する必要性を検討しなければならない。こうした点は今後の課題としたい。

参考文献

- [1] Becker, W., & Dietz, J. (2004). R&D cooperation and innovation activities of firms—evidence for the German manufacturing industry. *Research policy*, 33(2), pp.209-223.
- [2] Chesbrough, H. W. (2006). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business Press.
- [3] Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and learning: the two faces of R & D. *The economic journal*, 99(397), pp.569-596.
- [4] Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, pp.128-152.
- [5] ALEXANDER, D. L., Dodgson, M., & Rothwell, R. (1996). *The Handbook of Industrial Innovation*.
- [6] Fabrizio, K. R. (2009). Absorptive capacity and the search for innovation. *Research Policy*, 38(2), pp.255-267.
- [7] Foss, N. J., Lyles, M. A., & Volberda, H. W. (2009). Absorbing the concept of absorptive capacity: how to realize its potential in the organization field.
- [8] Lane, P. J., Koka, B. R., & Pathak, S. (2006). The reification of absorptive capacity: A critical review and rejuvenation of the construct. *Academy of management review*, 31(4), pp.833-863.
- [9] Lund Vinding, A. (2006). Absorptive capacity and innovative performance: A human capital approach. *Economics of innovation and New Technology*, 15(4-5), pp.507-517.
- [10] Madrid - Guijarro, A., Garcia, D., & Van Auken, H. (2009). Barriers to innovation among Spanish manufacturing SMEs. *Journal of Small Business Management*, 47(4), pp.465-488.
- [11] Murovec, N., & Prodan, I. (2009). Absorptive capacity, its determinants, and influence on innovation output: Cross-cultural validation of the structural model. *Technovation*, 29(12), pp.859-872.
- [12] Muscio, A. (2007). The impact of absorptive capacity on SMEs' collaboration. *Economics of Innovation and New Technology*, 16(8), pp.653-668.
- [13] Nicolini, D., & Meznar, M. B. (1995). The social construction of organizational learning: conceptual and practical issues in the field. *Human relations*, 48(7), pp.727-746.
- [14] Noblet, J. P., Simon, E., & Parent, R. (2011). Absorptive capacity: a proposed

- operationalization. *Knowledge Management Research & Practice*, 9(4), pp.367-377.
- [15] Nootboom, B. (1999). Innovation and inter-firm linkages: new implications for policy. *Research policy*, 28(8), pp.793-805.
- [16] Maskell, P., & Malmberg, A. (1999). Localised learning and industrial competitiveness. *Cambridge journal of economics*, 23(2), pp.167-185.
- [17] Todorova, G., & Durisin, B. (2007). Absorptive capacity: Valuing a reconceptualization. *Academy of management review*, 32(3), pp.774-786.
- [18] Tu, Q., Vonderembse, M. A., Ragu-Nathan, T. S., & Sharkey, T. W. (2006). Absorptive capacity: Enhancing the assimilation of time-based manufacturing practices. *Journal of operations management*, 24(5), pp.692-710.
- [19] Van Den Bosch, F. A., Volberda, H. W., & De Boer, M. (1999). Coevolution of firm absorptive capacity and knowledge environment: Organizational forms and combinative capabilities. *Organization science*, 10(5), pp.551-568.
- [20] Veugelers, R., & Cassiman, B. (1999). Make and buy in innovation strategies: evidence from Belgian manufacturing firms. *Research policy*, 28(1), pp.63-80.
- [21] Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of management review*, 27(2), pp.185-203.
- [22] 岡田羊祐, & 櫛貴仁. (2004). 政府出資事業と共同研究開発: 医薬品機構出資事業のケーススタディー.
- [23] 桐山勉. (2009). 特許分析・解析の哲学小道. *情報管理*, 52(5), pp.286-299.
- [24] 児玉俊洋. (2010). 製品開発型中小企業を中心とする産業クラスター形成の可能性を示す実証研究. *経済産業研究所ポリシー・ディスカッション・ペーパー・シリーズ*.
- [25] 細谷祐二. (2013). グローバル・ニッチトップ企業に代表される優れたものづくり中小・中堅企業の研究. *RIETIDiscussionPaperSeries13-J-007*.
- [26] 元橋一之, 上田洋二, & 三野元靖. (2012). 日本企業のオープンイノベーションに関する新潮流: 大手メーカーに対するインタビュー調査の結果と考察. *経済産業省 経済産業研究所, RIETI Policy Discussion Paper Series*.
- [27] 元橋一之. (2005). 中小企業の産学連携と研究開発ネットワーク: 変革期にある日本のイノベーションシステムにおける位置づけ. *RIETI Discussion Papers Series*.

第 8 章 結論

8.1 本研究のまとめ

本研究では、事例研究に基づき、半導体製造産業における未充足のニーズの存在と、それを前提とした最適規模生産について分析し、中小ベンチャー企業が中心となりうる新たなビジネス・エコシステムの形成について検討した。各章で得られた結論は下記の通りである。

第 2 章では半導体製造産業の近年の動向について概説し、漸進的なウェハの大口径化による規模の経済性実現によっては充足されない市場の存在を明らかにした。半導体製造産業では、大口径ウェハによる大量生産でコストダウンを行い、マス市場の高機能化と低コスト化の要求に対応してきた。しかし、その弊害は試作等を目的とした小ロット生産は割高かつ長納期となっており、大口径化が進行すればするほど、代替的生産方式の重要性とそれに対するニーズの高まりを示した。さらに、生産システムの小型化による小ロット向けの最適規模生産の実現は、半導体製造産業において中小ベンチャー企業による新たなビジネス・エコシステムの形成につながるケースの存在を明らかにした。

第 3 章では、上記の問題提起の妥当性を検討する枠組みを構築するため、成熟産業である鉄鋼産業において、生産システムの小型化と操業度に関する柔軟性の実現によって市場を獲得していったミニミル生産方式の事例を分析した。その結果、①設備投資金額が少なく低環境負荷を実現した生産システムの小型化、②マーケット規模に合わせた最適規模生産、③既存製造プロセスとの組合せによる品質向上の 3 つの要因がミニミルを普及させたと示した。この結果、鉄鋼産業は、総合鉄鋼メーカを主体とした規模の経済が働くビジネス・エコシステムから生産システムを小型化したミニミルの漸進的なイノベーションにより規模の経済の弊害を克服したビジネス・エコシステムへと変化していると明らかにした。

第 4 章では、前章での分析を前提に、革新的な製造プロセス開発によって半導体製造産業において生産システムの小型化を目指し、不首尾に終わったボールセミ社の事例を分析した。その結果、①イノベーションの発生時期が半導体製造産業の成長期であったために大量生産を目指した、②主要部材がウェハから球状シリコンへと非連続に変化したために全製造工程の要素技術の研究開発が必要であった、③参加企業が少ないためにビジネス・エコシステムを形成できなかった。これらがミニミルのケースと本質的に相違すると解明した。

さらに、現在の半導体製造産業のエコシステムでは、ボールセミ社の活動時と異なり、大規模化による生産性の向上は市場ニーズを十分満たせず、新たなエコシステムの登場に適した環境条件にあると示した。半導体の成長期から成熟期までの規模の経済をけん引した ITRS 活動は終焉し、アプリケーションの観点からの新たなロードマップ IRDS の策定が

議論が始まった。この背景を分析した結果、微細化、大口径化を伴わない化合物半導体、MEMS、アナログデバイス、バイオデバイスなどを主体とする、従来とは違う新たなビジネス・エコシステム形成の可能性を明らかにした。

第 5 章では、半導体製造産業において多品種少量ニーズを充足する新たな最適規模生産方式を構築する可能性を持つミニマルファブプロジェクトに注目し、中小企業の連合体によっていかにして新たなビジネス・エコシステムが形成されつつあるかを、当該プロジェクトに参加した企業に対してアンケート調査とフレームワークで分析した。この結果、①産学官連携コンソーシアムの設立によって、コア技術を有するオープンイノベーションを志向する企業が幅広く参集する、②早期にコンセンサス標準を策定して、各主体が自身の強みを生かしながら効率的に技術開発を分業化できる体制の早期整備、③プロジェクトマネジメント力とコンセプト立案力を有する強力なリーダーの存在。これら 3 つによって、ミニマルファブのビジネス・エコシステムは推進可能であると明らかにした。

第 6・第 7 章では、黎明期にあるビジネス・エコシステムに属する企業の戦略と組織能力について分析し、参加企業に求められる内的条件について検討した。

第 6 章での分析は、4 章のボールセミ社の事例分析から導いた戦略に関する仮説の妥当性を検証した。検証の対象は、PMT 社の半導体試作ファウンドリサービスである。PMT 社のターゲットとする試作半導体は、ITRS に追従しない化合物半導体、MEMS、バイオデバイスなどである。試作で一番コストと時間を要するのはマスク製作である。PMT 社では同社が開発したミニマルファブ用のマスクレス露光装置をフォトリソプロセスを導入し、その他の製造プロセスには既存装置を使用するハイブリッドプロセスで短納期と低コストを実現している。

また、ビジネス・エコシステムの形成が着実に進行していくためには、関係各主体が外部からの知識を効果的に吸収・活用し、全体の開発ロードマップに沿って開発を推進できるだけの組織能力を有していなければならない。

そこで、第 7 章では、オープンイノベーション推進の基礎となる **Absorptive Capacity** について検討した。まず、**Absorptive Capacity** の定量的評価のためのフレームワークを考案し、PMT 社がマスクレス露光装置の開発を成功できた要因を、ボールセミ社との比較で検討した。その結果、開発着手時点での社内の **Absorptive Capacity** の程度に照らして、適切に外部知識を活用する能力の肝要を明らかにした。こうした情報はビジネス・エコシステムを構成する企業群での共有により、エコシステム内での連携は活発になり、知の共有化が進展して、より合理的かつイノベティブなエコシステムの形成につながると示した。

鉄鋼産業におけるミニミルのように半導体製造産業においても新たな最適規模生産方式を核としたビジネス・エコシステムの形成余地は十分存在するが、それを実現するための中小企業間のネットワークは各参加主体の戦略的な協調と、主体ごとの **Absorptive Capacity** の違いを反映したコンピタンスの相互補完関係の強化が必要不可欠であると指摘

した.

8.2 今後の展望

この新たなビジネス・エコシステムが、次の“拡張”ステージに進化するには、既存半導体製造メーカーに対するアダプションチェーン・リスクを回避・低減・容認する方策が必要であると考える。

本研究の限界は、技術ロードマップを持つ半導体製造産業にフレームワークにより分析を行った。黎明期におけるビジネス・エコシステム生成要因を一般化するには、他産業の事例研究を通じて精緻化して行く必要があると考える。

ファウンドリサービスは **PMT** 社以外に株式会社ネイタスも開始した。いずれの企業もビジネスの実績は乏しく、今後、各企業を引き続き調査研究する必要があると考える。

Absorptive Capacity の定量評価に関しては、大学や公的研究機関の持つシーズが過去の要素技術からの経路依存性が少ない場合は、特許審査官が引用する過去の特許公報の件数は少ないので引用・被引用パテントマップによる主要要素技術の抽出は難しい。また、大学や公的研究機関の持つシーズがブラックボックスになっている場合は、本研究の評価方法は適用できない。また個人への注目の妥当性を所与とした場合でも、個人の学習能力、モチベーション、パーソナリティといった要因の **Absorptive Capacity** への影響を考慮する必要性を検討しなければならない。こうした点は今後の課題としたい。

最後に、本研究は半導体製造のビジネス・エコシステムに限定して検討したが、**IRDS** にみられる近年の動向を踏まえれば、アプリケーションまでも含めたより広範なビジネス・エコシステムの検討が本研究の発展につながる、今後は、**IRDS** の動向に注力する必要があると考える。

謝辞

本研究の遂行，及び執筆にあたり，沢山の方々にご指導をいただきました。この場を借りて心より感謝の意を述べさせていただきます。

山口大学大学院理工学研究科の上西 研教授，同大学技術経営研究科の松浦良行教授，岡本和也教授には本研究の全体構想から遂行，及び論文をまとめるにあたっては，ご多忙の中，多くの時間を取っていただきました。心より御礼申し上げます。

山口大学大学技術経営研究科の春山繁之教授，稲葉和也教授には学会発表の論文指導をしていただき，心より御礼申し上げます。

ミニマルファブに関しては，ファブシステム研究会の企業や大学の皆様には 3 回実施したアンケート調査を快く受けてくださりました。さらに，ミニマルファブ技術研究組合の原田会長，久保内専務理事を始めとする皆様にはヒアリングを通じて色々な情報を得ました。産業技術総合研究所 原 史朗博士にはミニマルファブの基本構想から詳細な内容まで幾度となくディスカッションをさせていただきました。その他のミニマルファブ関連の皆様にも深く感謝いたします。

ボールセミコンダクター社の事例研究を遂行するにあたり，通常では，廃業した元経営者の方々へのヒアリングは大変な困難さを伴います。これを快諾された元日本法人の方々へは，心より御礼申し上げます。また，東京でのヒアリングに同行された山口大学大学技術経営研究科の稲葉和也教授には心より感謝申し上げます。

なお，本研究の機会を与えてくださり，色々とディスカッションや業務面からもサポートをいただいた，株式会社ピーエムティー代表取締役 京谷忠幸氏には，心より感謝申し上げます。また，株式会社ピーエムティーの社員の皆様にも感謝申し上げます。

最後に，妻 都久美や子供たち，孝，皓，傑は修士課程，博士課程後期の長期に渡り研究生活を支えてくれました。ありがとうございます。

付録 A

ボールセミコンダクター社インタビュー

ヒアリング対象者：元ボールセミコンダクター社 A氏

日時：2011年7月4日 午後3時から5時

場所：A氏経営の店舗

質 問 事 項	
1. 会社概要について	
1.1	石川さんはいつ頃から球面半導体の構想を持たれていましたか？
1.2	ファンドレイジング時の事業計画書をお持ちであれば、お見せください。
1.3	球面半導体がプレーナー半導体の何を代替するとお考えでしたか？
1.4	貴社の歴史的経緯について、特に、創業から廃業までの間で節目となった出来事について詳しく教えてください。
1.5	球面半導体の事業化が上手く行かなかった理由をお教えてください。
1.6	貴社を廃業にする決断をされた理由をお教えてください。廃業されたのはいつですか？
1.7	1999年1月22日の稲盛さんからの経営アドバイスはオープンイノベーションの勧めだと思います。しかし、それを速やかに実施されなかった理由をお教えてください。
2. 技術、製品戦略について	
2.1	現在ではあればオープンイノベーションがありますが、その当時、球面半導体の5つの技術課題（球状単結晶製造技術、非接触搬送・プロセス技術、球面露光システム、3次元VLSI設計、クラスタリング技術）を全て自社で開発しようとした理由をお教えてください。
2.2	しかし、アプリケーション開発は、他社や大学との連携で進められた理由をお教えてください。
2.3	2006年にBall SAWプロジェクトとBallソーラープロジェクトがペンディングになった理由をお教えてください。
2.4	2001年から本業ではない、マスクレス露光装置に注力された理由をお教えてください。
2.5	貴社が実用化に成功されたテクノロジーをお教えてください。
2.6	貴社が商業的に成功されたテクノロジーをお教えてください。
2.7	仲野さんの書籍で製品の商業化で、ソフトウェアの比重を軽視し、製品の信頼性確保、ソフトウェア開発へのリソース配分を誤ったとありますが、可能であれば具体的にお教えてください。
2.8	計画では2億ドルの投資が必要でしたが、このようなコストかけて球面半導体は誰が一番喜ぶと思われていましたか、お教えてください。
2.9	TIのような半導体製造会社はアプリケーション開発は自社では行いませんが、どのような理由でアプリケーション開発まで踏み込まれたか、お教えてください。

2.10	球面半導体のプロセス開発を終えたら、それを TI のような半導体製造会社へライセンスを売るような計画があったらお教えてください。
2.11	メディカルボール、RF タグ、球状太陽電池、無線温度センサー、SAW センサー、3 軸加速度センサーなど多くのアプリケーション開発に手を広げられましたが、どうして、選択と集中をされなかったのか、その理由をお聞かせください。
2.12	量産化に成功しなかった理由をお聞かせください。
3. 特許戦略について	
3.1	特許出願件数をお教えてください。
3.2	ボールの特許を公開して、参入コストを低くし、商業化に成功したら実施権やロイヤリティーを頂くことを選択しなかった理由をお教えてください。
3.3	球面半導体のプロセス開発を終えたら、それを TI のような半導体製造会社へライセンスを売るような計画があったらお教えてください。
3.4	貴社廃業後、特許はどうされましたか？

ヒアリング対象者：元ボールセミコンダクター社 B氏

日時：2011年9月6日 午前8時40分から10時50分

場所：株式会社ピーエムティー 第一応接室

質 問 事 項	
1. 会社全般について	
1.1	貴殿がボールセミ社に参画するようになった経緯をお聞かせください。 日本法人社長としての権限その他について明確にしておいてください。
1.2	CTO としての権限やスコープなどをお聞かせください。
1.3	CTO として、ボールセミはエコなのかコストダウンなのか？どちらを目指されて いましたか？
1.4	ボールセミのカルチャーはどのようなものですか？
1.5	採用の時、色々なバックグラウンドを持った人をどのようにして探されましたか？異 なるバックグラウンドを持った方々はコンフリクトすることは無かったでしょ うか？
1.6	ボールセミの技術的な歴史的経緯について、特に、創業から廃業までの間で節目と なった出来事について詳しくお教えてください。
2. 連携について	
2.1	ボールセミが目指していたビジネス戦略（完全垂直統合、既存型、ファブレス、IP プロバイダー型）をお聞かせください。
2.2	創薬ではスタートアップ企業は、一般的に量産でなく IP を目的にしますが、ボー ルセミは量産を目的された理由を、お聞かせください。
2.3	ボールセミはオープンイノベーション戦略（企業、大学、政府との連携）を当初か ら計画されていましたが？
2.4	どのよう、また、どのような基準でパートとなる企業や大学をサーチされていま したか？
2.5	ベンチャー企業であるボールセミがオープンイノベーションの核となって大企業 をリードされて何かコンフリクトがあればお聞かせください。
2.6	コラボレーション先の企業からボールセミへ派遣されたエンジニアのレベルは高 かったですか？
2.7	連携先の企業とのプロシージャー（会社の風土や仕組みなど）の違いでフラスト レーションや相手の能力への不信を引き起こすことはありましたか？ 更に両社の 経営陣は相手の行動や動機を誤解したことはありましたか？
2.8	連携に参加した企業は、ボールセミからどのようなメリットを期待していましたか？

3. 立地について	
3.1	資本構成の 80%近くは日本の投資家であったので何かジオメトリカルな制約はありましたか？アメリカに置いたことで問題などがあればお聞かせください。
3.2	ボールセミがダラスではなくシリコンバレーに在ったら事業化が早く成功した可能性はありますか？
3.3	ダラスにあるので日本企業や大学との共同研究はフェーストゥーフェースでの交流が難しいと思います。それによる問題は何かありましたか？その解決方法は何かお持ちでしたか？
4. 球面半導体について	
4.1	球面半導体がプレーナー半導体の何を代替するとお考えでしたか？
4.2	球面半導体が普及した場合、装置メーカーや材料メーカーのビジネスモデルは変わる可能性があります。これをどのように思われますか？
4.3	球面半導体の事業化が上手く行かなかった理由をお教えてください。
4.4	量産化に至らなかった技術的な理由があれば、お聞かせください。
4.5	廃業後、ボールセミの技術は何に継承されていますか？（SAW デバイス、ソーラー発電、その他）
4.6	貴社廃業後、特許はどうされましたか？
4.7	Welcome to Maverick World とはどのような世界ですか？具体的にお聞かせください。

付録 B

第 1 回 ミニマルファブイノベーション戦略に関するアンケート調査報告書

1. 調査の概要

1.1 調査目的

現在開発しているミニマルファブは半導体産業にイノベーションを引き起こすものと期待されています。これは期待しているだけでできるものではなく、ファブシステム研究会各社や産総研が持っている技術ポテンシャルをミニマル向けに引き出し、実用技術として醸成させなければなりません。それは、各社間と産総研との相互理解によってなされるものですし、戦略的な取り組みも重要となります。本アンケートは、ミニマルイノベーション戦略を構築してゆくうえでの基礎資料とするものです。

また、調査研究結果をベースに、私たちの産業構築の取り組みに内在する非常に新しい産業創造方法については論文としてまとめることで、私たちの取り組みのエッセンスを広く世間に知ってもらうことができます。これは私たちの努力を正しく世間に認識してもらうのにも役立ちます。

1.2 調査項目

ファブシステム研究会会員の所属、入会理由、過去その他機関・企業との連携、および企業の方へは技術戦略・技術マネジメントについて調査を行う。詳細なアンケート内容は 資料 1 の調査表を参照してください。

1.3 調査対象と調査方法

調査対象はファブシステム研究会に所属している企業、大学、公的機関の全数調査を実施した。なお、回答は個人としてではなく、所属している団体としての回答得るので、個人会員は調査対象から除く。

調査方法は調査票（アンケート用紙）をファブシステム研究会 代表 原 史朗氏よりファブシステム研究会会員へメールで送信して、回答もメールで得る。

1.4 実施期間

実施期間は 2012 年 11 月 27 日から 2012 年 12 月 14 日としたが、回収率が悪かったので 2012 年 12 月 28 日まで延期した。

1.5 回答者数と回収率

77 件中 71 件の回答を得た。回収率は 92.2%であった。

1.6 標本の構成

2012 年 11 月 27 日時点の母集団の構成は企業 66、大学 6、公的機関 5 であった。回答を得られた標本は、企業 62、大学 5、公的機関 4 であるので、標本は母集団を代表すると考えられる。

2. 調査の結果

2.1 質問文・単純集計結果のグラフ・説明・考察・結論

I 所属についての設問

【問 1】 所属先は産学官のどれですか. (1つだけ○印)

- ① 産 (企業) ② 学(大学・高専) ③ 官 (公設研究所など)

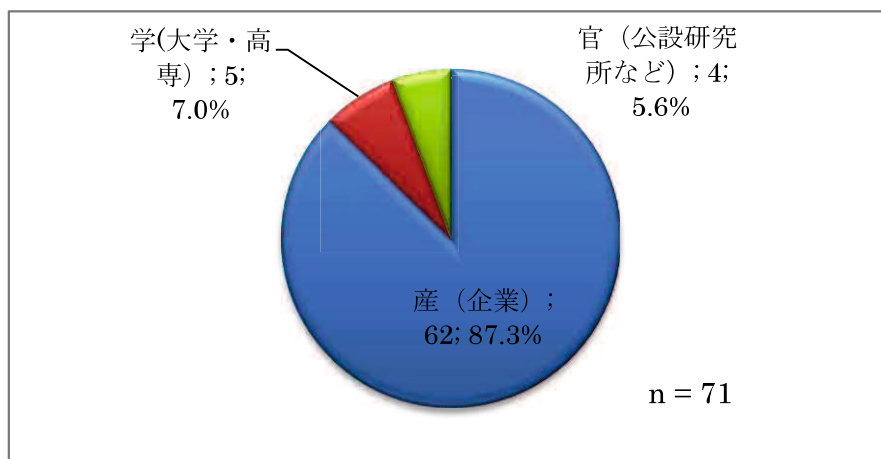


図 1 ファブシステム研究会 会員構成

【問 2】 産 (企業) の方にお聞きします. 御社の資本金はいくらですか.

- ① 10 億円以上 ② 1 億円以上 10 億円未満 ③ 1000 万円以上 1 億円未満
④ 1000 万円未満

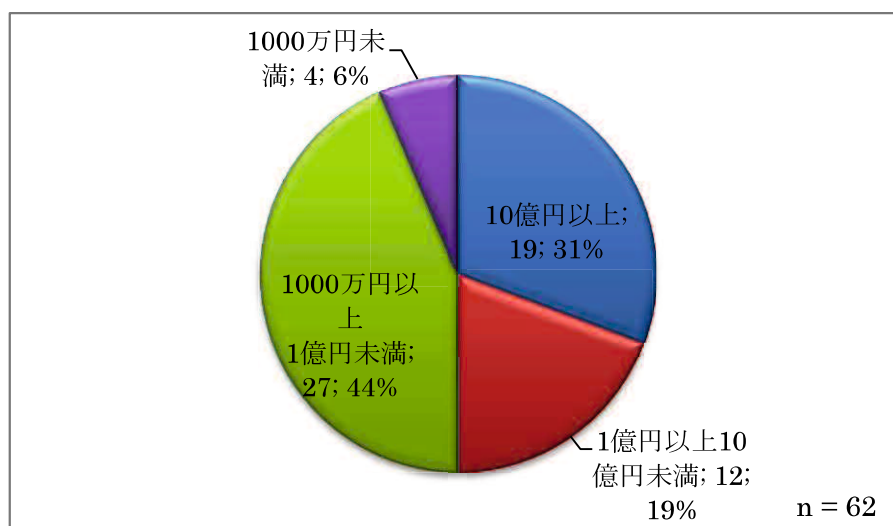


図 2 企業会員の資本金構成

ファブシステム研究会の会員企業は税法上での中小企業と大企業が約半々を占めている。

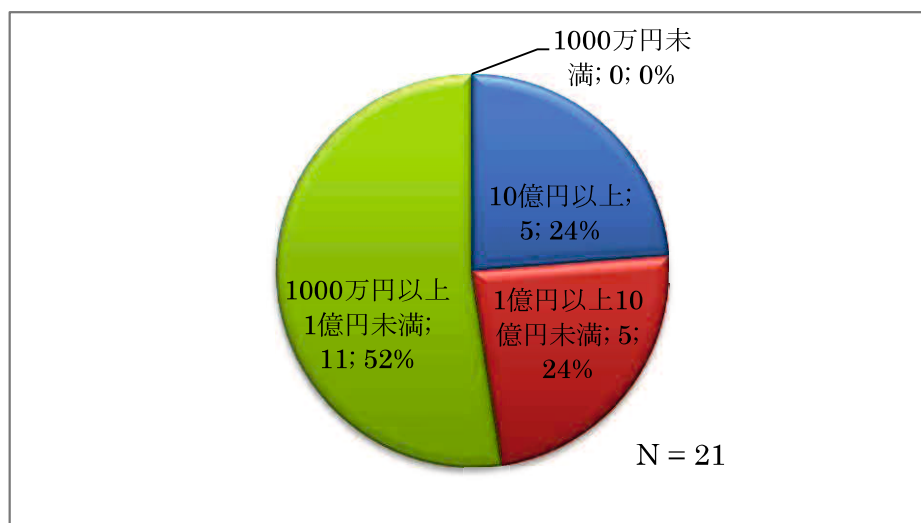


図 3 技術研究組合企業の資本金構成

ファブシステム研究会会員で技術研究組合に所属している企業の構成も同様に中小企業と大企業が約半々を占めている。

【問 3】 所属先の所在地はどこですか。

- ①北海道 ②東北 ③関東 ④北陸 ⑤中部 ⑥関西 ⑦中国
⑧四国 ⑨九州・沖縄

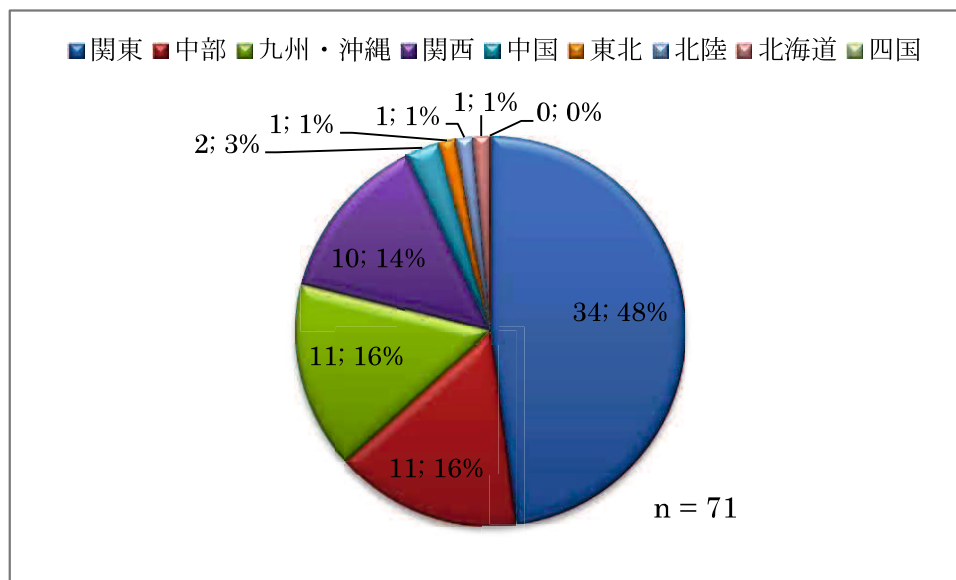


図 4 ファブシステム研究会 会員の所在地

関東地区の企業が約半数を占めているが、四国を除く全国からファブシステム研究会に参画している。

Ⅱ ファブシステム研究会についての設問

【問 4】 技術研究組合企業の方へお聞きします。 ミニマルファブでの活動は、 御社の戦略の中で重要な活動として位置付けられていますか。

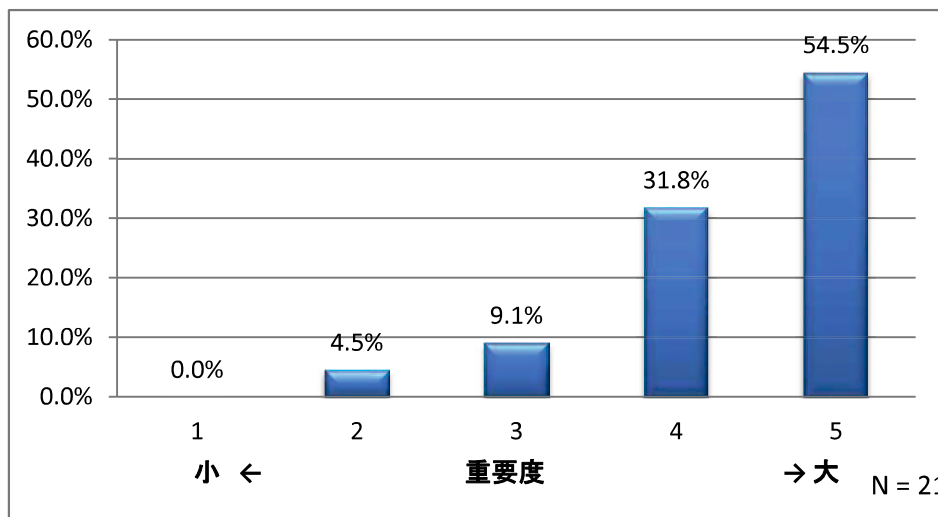
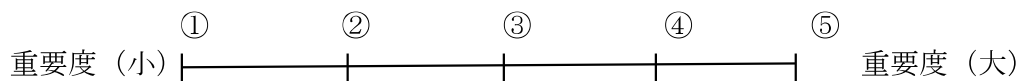


図 5 技術研究組合企業に於けるミニマファブの重要度

技術研究組合の約 85%の企業はミニマルファブを戦略上重要なものと位置付けている。

【問 5】 ファブシステム研究会にはいつ入会されましたか。

- ①2008 年の前身の研究会から
- ②2010 年のコンソ発足時
- ③コンソ発足より後

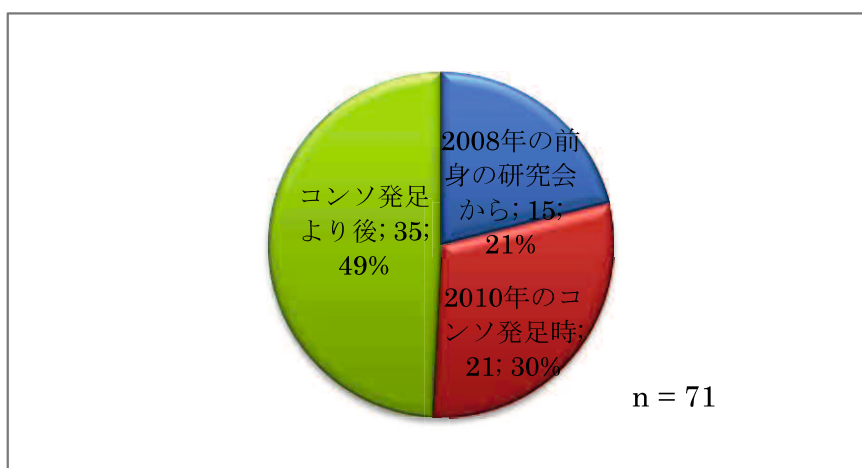


図 6 ファブシステム研究会への入会時期

コンソーシアム発足後に入会された新会員企業が約半数を占めている。ミニマルファブが半導体業界で注目を浴びているので今後多くの企業が参画すると思われる。

【問 6】 企業・大学の方にお聞きします。役割は何ですか（複数選択可）

- ①想定ユーザ ②技術開発 ③ターゲットデバイス提案
④プロセス開示 ⑤試作

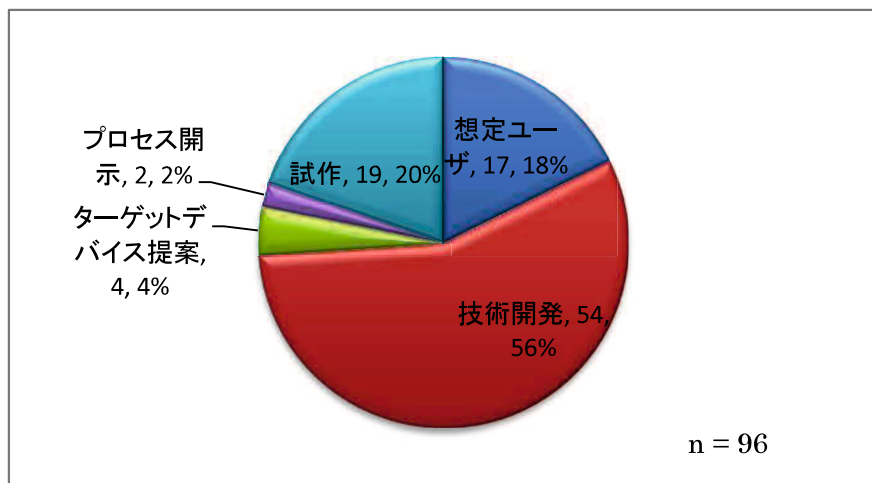


図 7 ファブシステム研究会での役割

【問 7】 ファブシステム研究会入会の動機をお聞きします。

- ①産総研より進められた ②自ら希望した
③その他（ ）

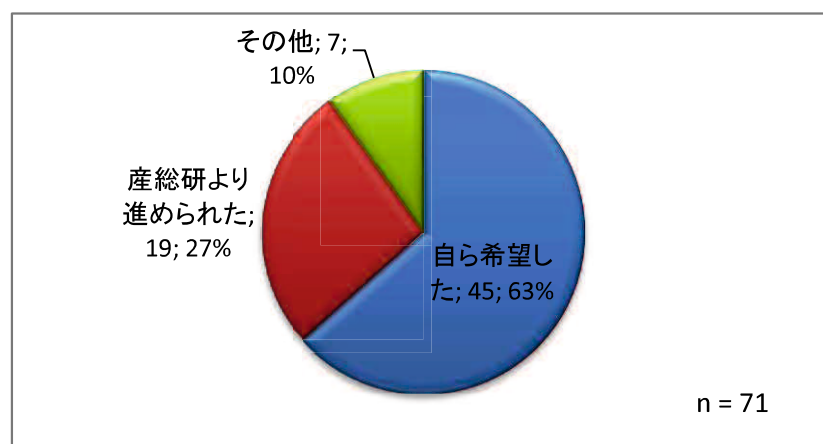


図 8 ファブシステム研究会入会の動機

その他として、「組合設立により必然的」、「サポイン事業遂行にあたり必要となったため」、「現ミニマルファブ技術研究組合事務局長加藤氏より進められた」、「既に参加された企業からの紹介」、「研究会参画企業様から参加の誘いを受けた後、参画」、「取引会社が先に入会しておりゲートバルブの開発を依頼されて入会」。

【問 8】 ファブシステム研究会入会の目的をお聞きします。（複数選択可）

- ①情報収集 ②技術開発パートナー ③販路拡大
④新事業探索 ⑤自社の大きな方向の開拓

⑥その他 ()

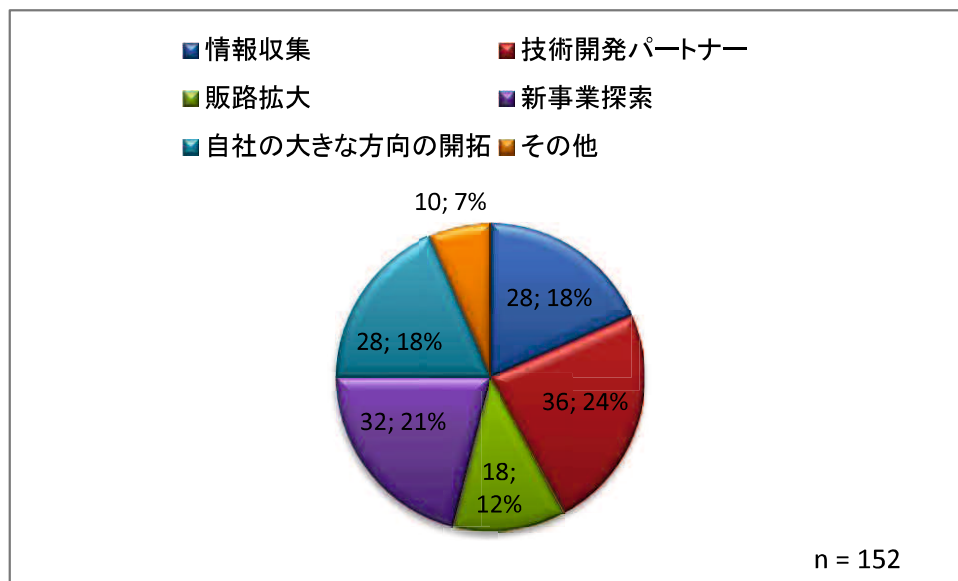


図 9 ファブシステム研究会入会の目的

その他として、「スタッフのモチベーションアップ」、「日本の基幹部分を守りかつ伸ばすお手伝いをするため」、「新事業開拓」、「サポインでミニマル装置を開発するため」、「ミニマルの考え方の勉強」、「日本の新しいモノづくりの方向性として参画すべきと思った」、「半導 MEMS の量産に使う装置として」。

【問 9】ミニマルファブが実用化された場合、半導体業界への影響はどの位あると予想していますか。

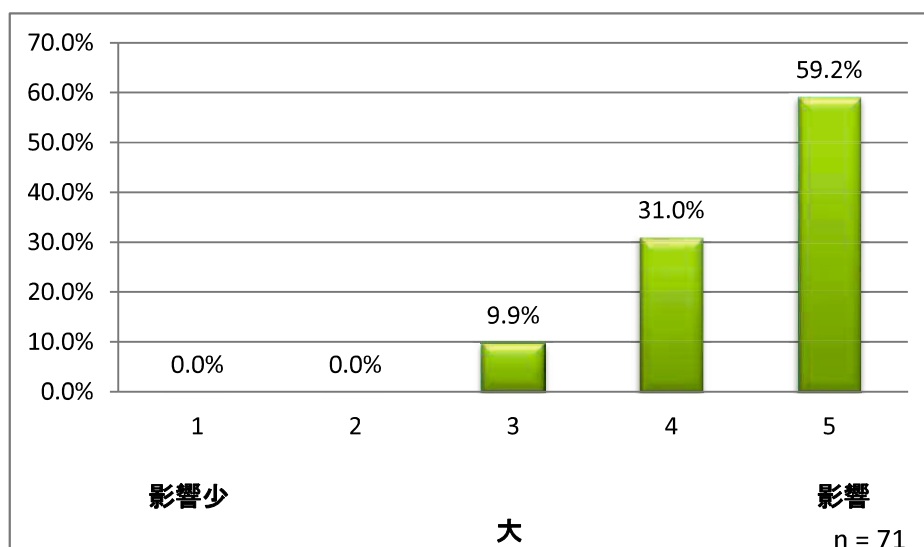
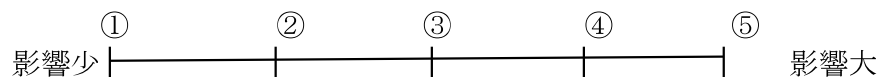


図 10 ミニマルファブの半導体業界への影響度

ファブシステム研究会の約 90%がミニマルファブは半導体業界への影響度は大き

いと考えている。

【問 10】 企業の方にお聞きします。 ミニマルファブが実用化された場合、 あなたの会社の事業にどの位の影響があると予想しますか。

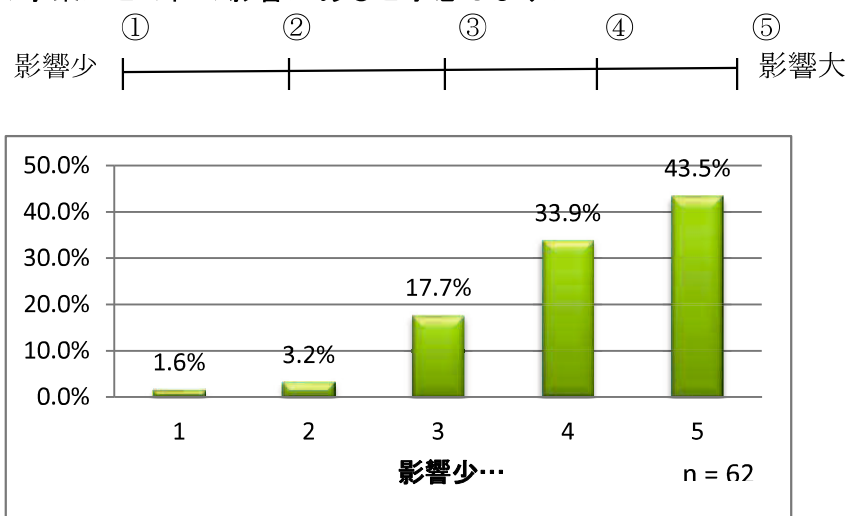


図 11 ミニマルファブの自社に対する影響度

問 9 より約 90%は、ミニマルファブは半導体業界への影響度は大きいと考えているが自社への影響度になると約 78%となり、10%ほどダウンしている。

Ⅲ 過去のお他機関・企業との連携についての設問

【問 11】 他機関・企業との連携についてお聞きします（一般的なコンサルティング・業務委託などは除く）。 -御社の連携活動に対するスタンスを教えてください。

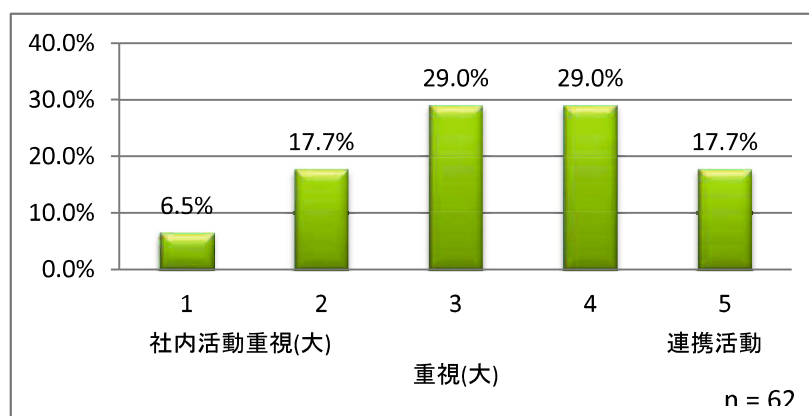
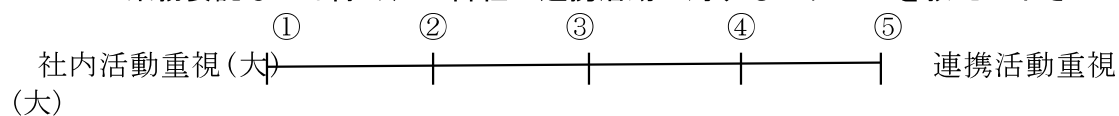


図 12 連携活動に対するスタンス

この設問はオープンイノベーションに対する意識度を意図して行った。連携活動を重要視している企業はオープンイノベーションの意識度が高いと考える。

【問 12】ファブシステム研究会の会員企業との連携や新たなビジネスは生まれますか。

- ①具体的な動きはない
- ②検討したことがあるが実現に至っていない
- ③人材交流を行うようになった
- ④個別に共同研究を実施している

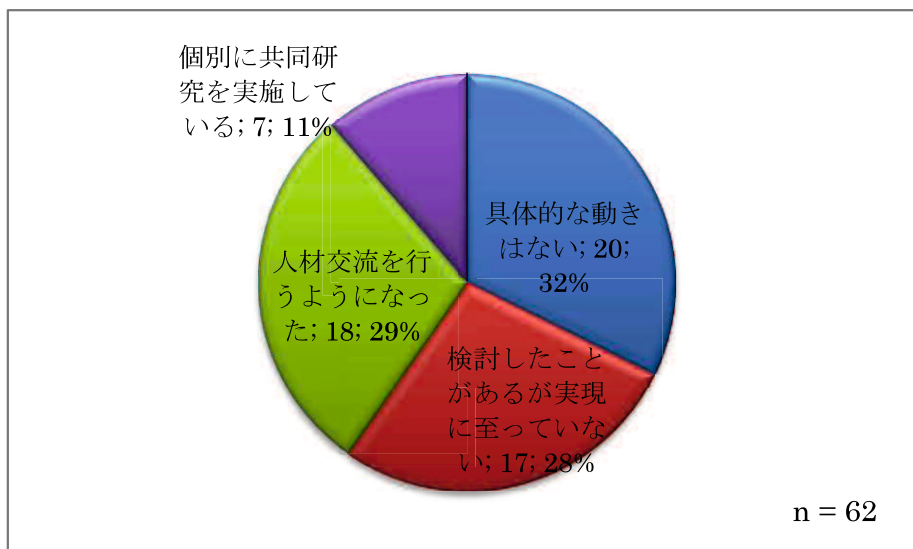


図 13 会員企業との連携や新たなビジネス

この設問は共創に対する意識度を意図して行った。約 70%の企業がお互いに何らかの接触を既に行っている。

【問 13】御社のコア技術はファブシステム研究会の各企業との間にはシナジーは生まれますか。

- ①生まれない
- ②おおむね生まれない
- ③どちらともいえない
- ④おおむね生まれる
- ⑤生まれる

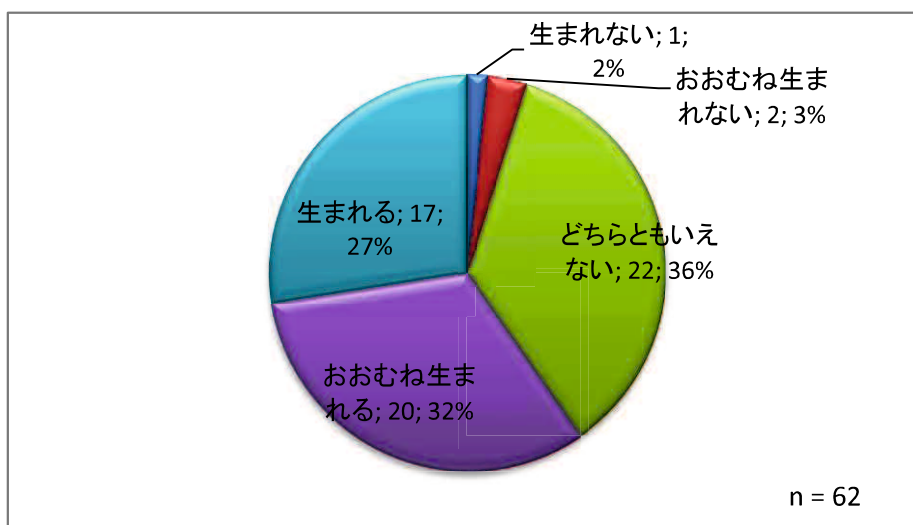


図 14 会員企業間とのシナジー

この設問も共創に対する意識度を意図して行った。約 60%の企業が何らかのシナジーが生まれると考えている。

【問 14】ファブシステム研究会や過去の外部連携において相手先から影響を受け、自社が変わったことはありますか。（複数選択可）

- ①組織 ②技術マネジメント ③プロジェクト管理
④コスト管理 ⑤その他（ ）

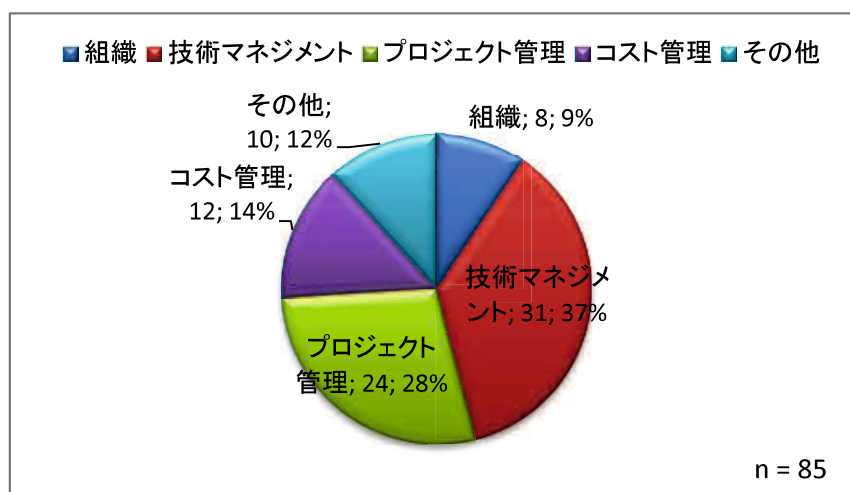


図 15 ファブシステム研究会や過去の外部連携における相手先からの影響

この設問は組織間学習の意識度を意図して行った。影響を受けていない企業は無回答もしくはその他のコメントで記述している。これらの数は 62 社中 8 社のみである。大半の企業は組織間学習を行っている。その他のコメントとして「会に影響を受け、社内で独自シーズを見つける為の会議が発足し、補助金に繋がった」、「開発者のモチベーションが高くなった」、「単なる設計受託事業から R&D 事業への展開」。

【問 15】大学や公的機関との連携についてお聞きします。御社の連携の回数を教えてください。

- ①経験がない ②一度だけ ③複数回行った ④頻繁に行っている

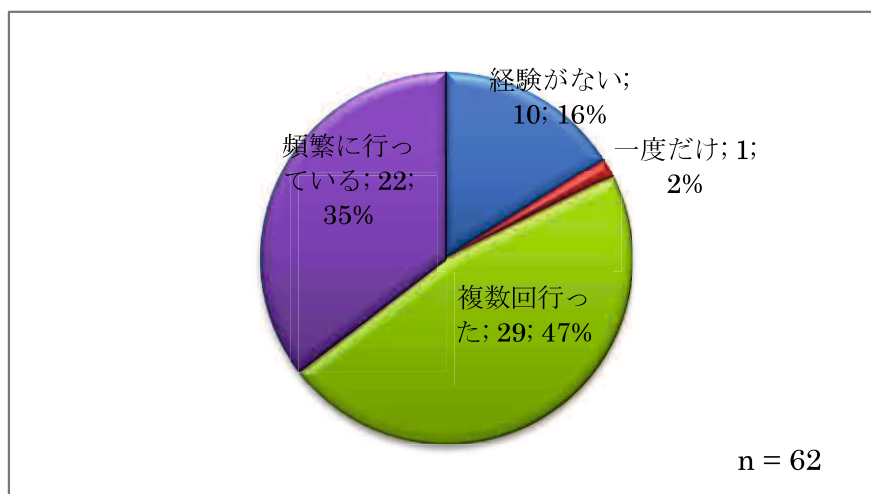


図 16 官学連携回数

この設問はオープンイノベーションの経験度合を意図して行った。82%の企業が官学と複数回以上実施している。

【問 16】 大学や公的機関との連携に当たっての目的は何ですか（複数回答可）。

- ①基礎研究 ②製品開発 ③開発資金補完（補助金など）
- ④技術支援を受ける ⑤その他（ ）

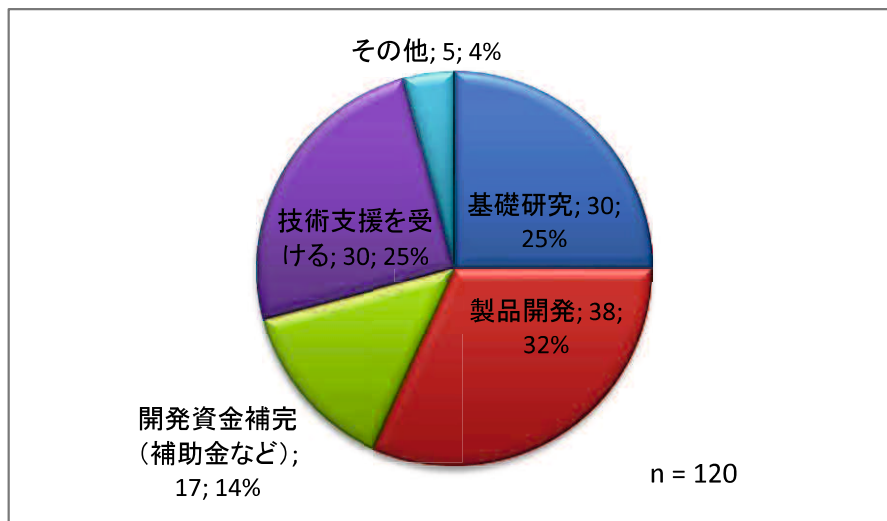


図 17 官学連携の目的

その他として「スタッフの意識向上」、「情報収集」、「製造及び評価設備の利用」、「学生の採用」。

【問 17】 大学や公的機関との連携を評価すると以下どれが最も適切ですか。

- ①失敗 ②おおむね失敗 ③どちらともいえない ④おおむね成功 ⑤成功

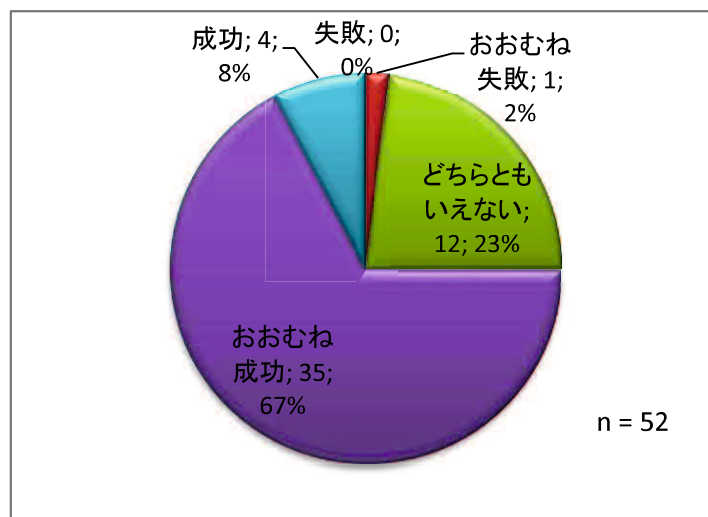


図 18 官学連携の評価

産官とのオープンイノベーションは75%の企業が成功している。

【問 18】大学や公的機関との活動に於いて当初予定した以外の成果が得られたことがありますか。

- ①ない ②ほとんどない ③たまにある ④しばしばある

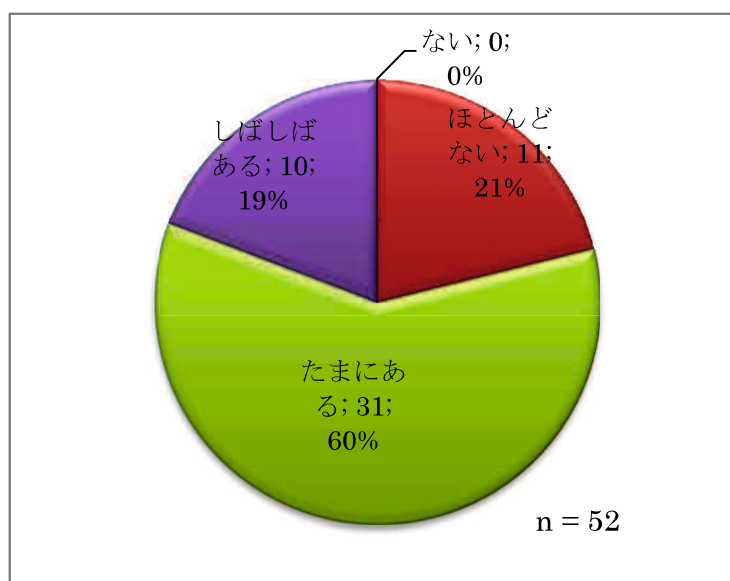


図 19 官学連携の成果

この設問は創発の度合を意図して行った。約 80%の企業が創発や共創で官学連携を行っている。

【問 19】大学や公的機関との連携で所定の成果を上げるために留意している点があれば教えてください。

表 1 官学連携で成果を上げるための留意点（自由回答）

セミナーや会合のお誘いにはなるべく現場の若手スタッフとともに参加し、臨場感を感じてもらおうようにして、現場の意思で参加しやすい雰囲気をつくるよう心掛けております。
協調性（とくに分業）に留意している
データの取得手法とまとめ方 アイデア，新規性，特許
コミュニケーション力，技術マネジメント
「機密保持契約」と「打ち合わせ議事録」の取り交わし
報告と打ち合わせ（ほぼ月例）
自社の技術・知識などスキルアップ
目的・ターゲットを決めてその研究開発をしている。
目標を明確にする。
実際のビジネスに繋がる具体的方策とスケジュール
大学との連携では、該当の先生が単なる論文目的ではなく、ビジネスでの中期的な課題解決に向けてのモチベーションが高い方と連携するようにしています。
課題自身は、できるだけユーザから生の課題をご紹介し、課題を共有できる

ように注意しています。
自分の考えをしっかり持つ、あるいは相手と一体化するよう柔軟な進め方を心掛けています。全体の方針を常に見誤らないようウォッチするよう努める。
開発スケジュールの管理、予算管理
金銭的な成果より、新しい価値創造に重きを置く。
企業のニーズが大学や公的機関の持っているシーズとが合致している事。または企業は大学や公的機関の技術シーズを前もって良く調査する事。
製品開発の全体構想を練り、期日から逆算して業務計画を立てる。 業務の進捗を常を確認して、問題点があれば検討を行い改善する。
企業側はビジネスの出口を見通して進めることが重要だと考えています。
研究機関と企業とで、それぞれの強みに合わせて、役割分担を明確にする。
長期的な視点で推進することが重要で、大学や公的機関に頼りすぎず自分達でも進める姿勢が重要
1. 該当する補助金 2. 利用する機器
役割分担の明確化（どのような事をどのような範囲で支援いただくか？お互いのメリットの確認と達成成果の明確化。双方がベストマッチである事
連携テーマに具体性があり、目的、目標、日程に妥当性があり、双方にとって意義の大きい異ものであること。
従来事例を見ていると、ほとんど任せきりで、何をやるか、何を詰めるかについて、こちらが主導権をとっていない。また、大学と対等に渡り合えるだけの人材がいなかったことがうまくいかなかった原因と考えられる。また、企業側の言葉と大学側の言葉にはギャップがあり、表面上問題なく進んでいるように見えて、実はすれ違いに気付かずにいるだけという事態に陥っている。実務をしない管理職が前面に出てくる場合は特に注意が必要。
目的の明確化。 スケジュール管理。
連携を密にして対応
定期ミーティング、スケジュール管理、To Do 管理等を企業側がリードする事
共同研究相手が競合となる企業とも共同研究している事が無いように事前確認をします。
多くがコンソーシアム活動となり、企業や個別産業特異性からの要望がなかなかまとめきれない場合が多く見受けられる。その対応として自社の明確な持ち帰り事項を決めて参画することとしている。個人的には国内の基盤産業の活路を見出すために、個別企業の枠を一步外れての参画も時期に応じては必要かと考える。
連携の本来の目的である技術開発以外に人的交流を深めることによりにビジネス成功の可能性を高めること。
できていないが、綿密なコミュニケーション、明確な目標設定
先生の責任感の有無
機密保持の提携と密な対応
・担当者に任せ切りにせず、定期的な交流の場をもつ ・相互の人間関係を築く
ターゲットの具体化と共有。
費用対効果 継続性 長期的な信頼関係の構築

【問 20】御社のコア技術や強みの形成にこれまでの大学や公的機関との連携活動はどの程度寄与していますか。

- ①全く寄与していない ②殆ど寄与していない ③やや寄与している
④かなり寄与している ⑤連携の成果が核になっている

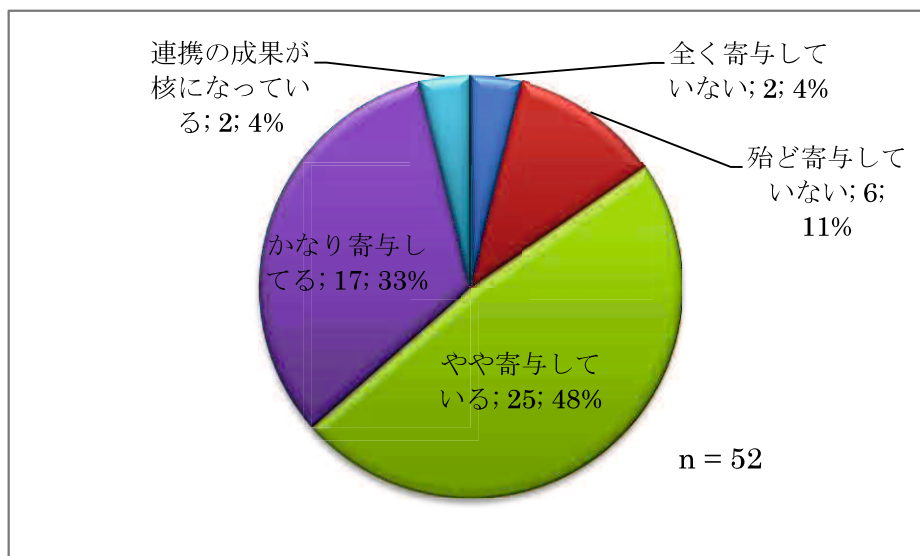


図 20 官学連携の成果として自社のコア技術への寄与度

この設問は官学連携のオープンイノベーションで自社のコア技術を獲得できることを調べることを意図した。約 85%の企業が自社のコア技術は官学連携が寄与していることが判った。

【問 21】企業との連携についてお聞きします。御社の連携の回数を教えてください。

- ①経験がない ②一度だけ ③複数回行った ④頻繁に行っている

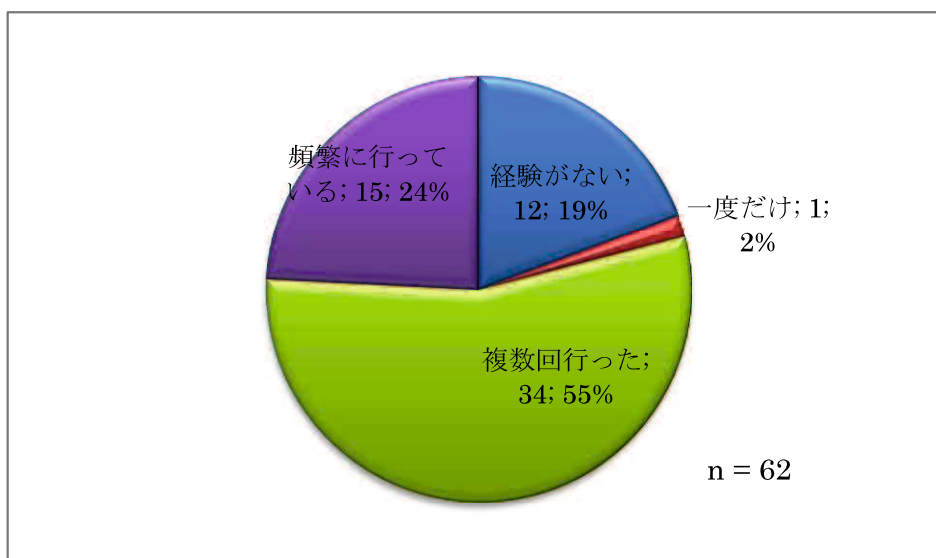


図 21 企業間連携回数

この設問はオープンイノベーションの経験度合を意図して行った。79%の企業が企業間連携を複数回以上実施している。

【問 22】 企業との連携に当たっての目的は何ですか（複数回答可）

- ①基礎研究 ②製品開発 ③開発資金補完（補助金など）
- ④技術支援を受ける ⑤その他（ ）

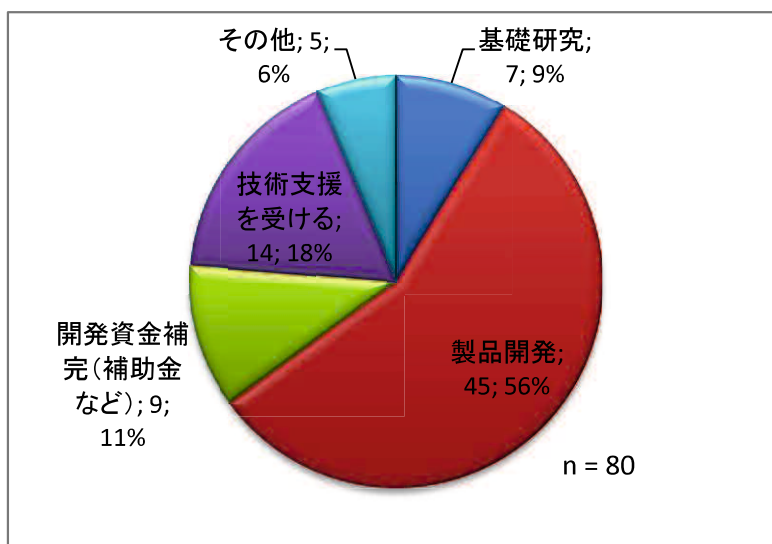


図 22 企業間連携の目的

官学連携と大きな違いは、製品開発を目的とした連携が半数以上を占めている。その他として「ビジネスの協業」、「情報及び各社開発品の連携」、「弊社はファブレスのため製造委託」、「開発加速」、「顧客企業での弊社の立場固め」。

【問 23】 企業との連携を評価すると以下どれが最も適切ですか。

- ①失敗 ②おおむね失敗 ③どちらともいえない ④おおむね成功 ⑤成功

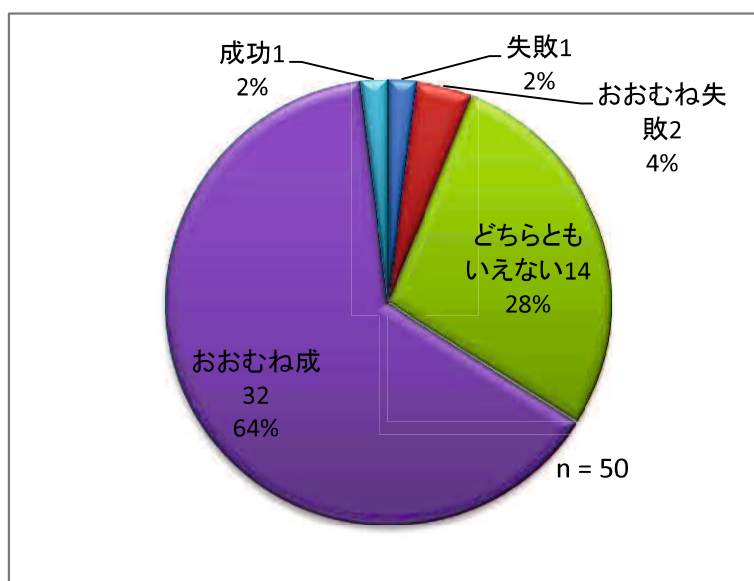


図 23 企業間連携の評価

企業とのオープンイノベーションは66%の企業が成功している。

【問 24】企業との活動に於いて当初予定した以外の成果が得られたことがありますか。

- ①ない ②ほとんどない ③たまにある ④しばしばある

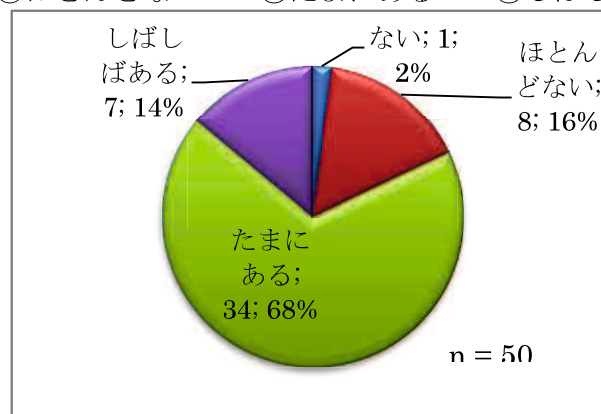


図 24 企業間連携の成果

この設問は創発や共創の度合を意図して行った。官学連携とほぼ同じ約80%の企業が創発や共創で企業間連携を行っている。

【問 25】企業との連携で所定の成果を上げるために留意している点があれば教えてください。

表 2 企業間連携で成果を上げるための留意点（自由回答）

相互補完・協調性に留意している
アイデア，新規性，特許
情報の共有化，技術マネジメント，知財管理
短時間で成果を上げる為に，担当するメンバーの能力やスキルを十分に吟味して取り組んでいます。
「機密保持契約」と「打ち合わせ議事録」の取り交わし
目的の意志統一
納期，責任，信頼
基本的なフィロソフィが一致しており，Win-Winの関係を築ける相手と連携する
1.ギブアンドテイクの精神である。 2.シークレット事項も互いに提示する。
目的を明確にする
ゴールの設定と運用については，連携中に議論を重ねてお互いwin-winになるように， また，開発スケジュールと成果物は実情に応じて都度見直す。
当たり前ですが，最終目標を明確にすることが重要と思います。
相手の要望に応えるための技術の向上と新たな価値を付与する努力を怠らないことが大切。また絶えず開発技術全体に気を配り積極的に実現の努力を怠らないこと。自分の得意な領域をベースにその上に新たな領域を築くことに務めたい，また優れた技術を持つ企業と協力してシナジー効果で新たな技術・商品

を作り出して行くことが求められる。
NDA
Give and take の関係
新規（商品）開発関連でのコラボレーションを目的とし、金銭的成果目標を設定する。
情報公開
各企業には得意、不得意がある、自社に無い技術は技術のある企業と連携するのが効率的で開発期間、費用共に低減できる。
製品開発の全体構想を練り、期日から逆算して業務計画を立てる。業務の進捗を常に確認して、問題点があれば検討を行い改善する。
生産設備メーカーとしてはカスタマ（企業）との連携を行うことで、真のニーズ発見ができ、実用的な機能の開発を効率的に進めることができると考えております。
それぞれの企業の強みに合わせて、役割分担を明確にする。
長期的に売り上げが見込める方がリスク分と費用負担を大きくすることが重要と考えます。
複数社で申請しても、補助金がなく、プロジェクトを断念
双方の利益（単純な製品開発以外の利益も含めて）
研究テーマ（共同開発）に対して、リスク、課題に対するハードルの高さを双方で共有し、且つ、製品価格目標、市場規模の合意をもって取り組むことにしております。
①ビジネスとしてのフェーズをはっきりさせ、やる内容に対し、最初の段階で「リファレンス」をしっかりと作っておくことが出発点です。このリファレンスは仕様といったハードレベルのものではなく、迷った場合に、どうするか、どちらへ進むかの指針になる”思想”であるべきだと思っています。
②当社の場合、製品に組み込む要素技術の開発を委託するケースが多く、その場合、受け皿となる担当者に、自社製品への実装作業を通じて、技術内容の習得を確実にフォローさせます。
そのチェック方法として、ドキュメントの作成は、委託先がやるのではなく、自社の担当者にやらせる。また、途中のチェックを働かせるためにも、作業場所を相手方に設けるのではなく自社内で確保するようにしています。
③大学との連携でも同じですが、外部連携の成果を一番左右するのは、誰に担当させるかが一番大きいように思います。それは、エンジニアとして優秀かどうかもちろんありますが、相手と強調し合いながら、自分の主張はちゃんとできて、自分の殻を作らない柔軟性かと思っています。
外部連携の場合は、担当者の報告が「ほぼ全て」となるため、軌道修正が必要な場合でも、そのタイミングを逸しがちになります。また、社内の雑音で本来の目的がねじ曲げられることも多く、そこを上手くあしらいながらブレさせないで、成果につなげられるかどうかは、担当者のパーソナリティとそれをバックアップして社内調整をしてやる上司（管理職）の裁量に負うところが大です。
発明・秘密に関する権利確保と開示
→協議すべき内容が、その時点で権利化されていないと議題とできない。それにより議論が進まず、結果として成果が上がらない。
相手企業のビジネス領域や方向性のベクトルを見極める。
企業間取引であるため、しっかりと契約として内容を落とし込む事。

目的の明確化（文書での取り交わし）
受け身にならず当社が主体となって連携を推進すること。
綿密なコミュニケーション、明確なゴール、両社経営層の理解
・ゴールを明確に共有したいと思っておりますが、なかなかできません。 ・トップ間で成功した案件については社員への説明に努めています。
ターゲットの具体化と共有。
費用対効果 知財所有権の明確化 競合状況

【問 26】御社のコア技術や強みの形成にこれまでの企業との連携活動ほどの程度寄与していますか。

- ①全く寄与していない ②殆ど寄与していない ③やや寄与している
④かなり寄与して ⑤連携の成果が核になっている

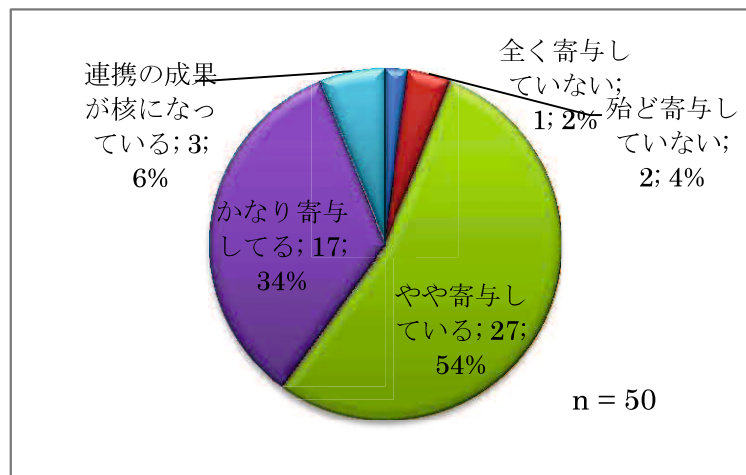


図 25 企業間連携の成果として自社のコア技術への寄与度

この設問は企業間連携のオープンイノベーションで自社のコア技術を獲得できることを調べることを意図した。94%の企業が自社のコア技術は官学連携が寄与していることが判った。官学連携の85%と比べても共に大きく、自社のコア技術獲得にはオープンイノベーションが大きく寄与することが判った。

IV 企業の方へ技術戦略・技術マネジメントについての設問

【問 27】御社の事業目標は明確に設定されていますか。

- ①設定されていない ②やや設定 ③どちらともいえない
④おおむね設定 ⑤明確に設定

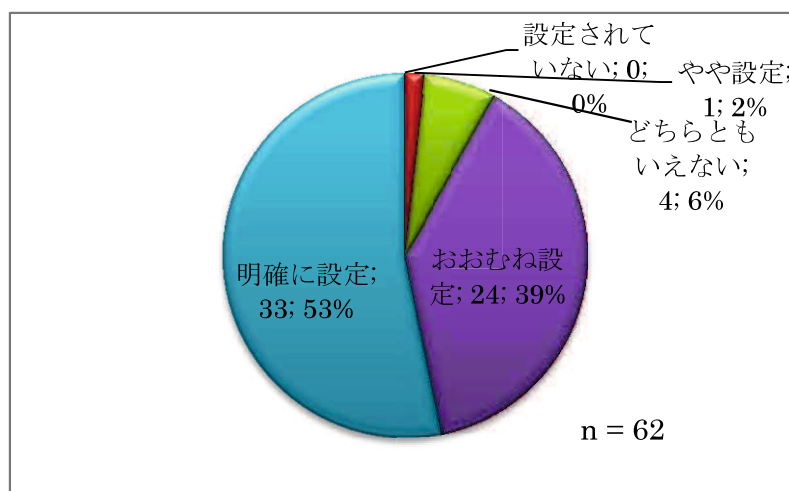


図 26 事業目標の設定度合

約 90%の企業が事業目標を設定している。

【問 28】上記に向けての明確な戦略は設定されていますか。

- ①設定されていない ②やや設定 ③どちらともいえない
 ④おおむね設定 ⑤明確に設定

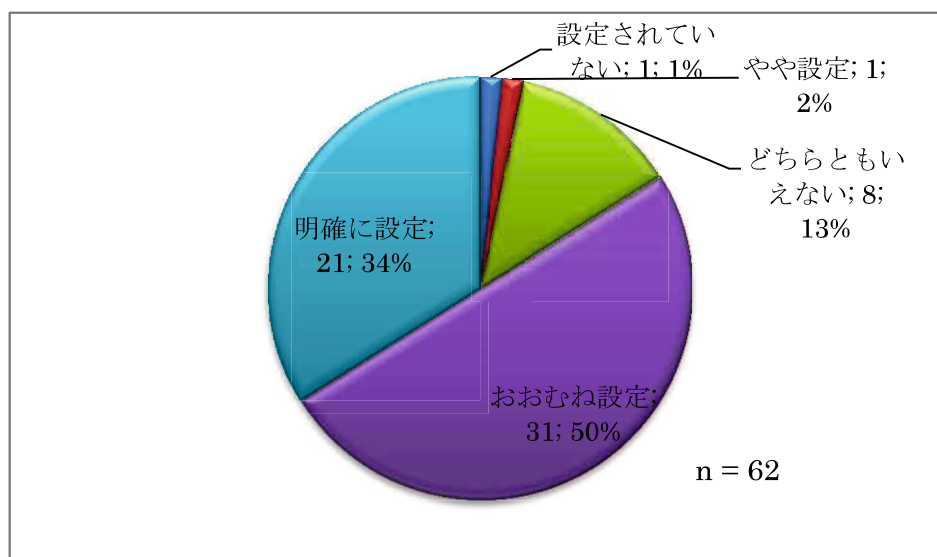
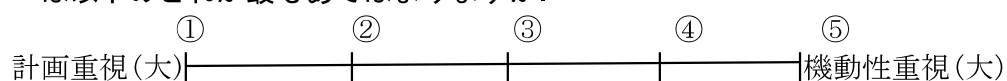


図 27 事業目標を達成するための戦略設定度合

事業目標を達成するために具体的な戦略設定は 85%となっている。よって、事業目標を設定している企業は全て具体的な戦略を設定しているとは言い難いことが判った。

【問 29】御社のマネジメントスタイルを、計画重視型と機動性重視型にわけるとすれば以下のどれが最もあてはまりますか。



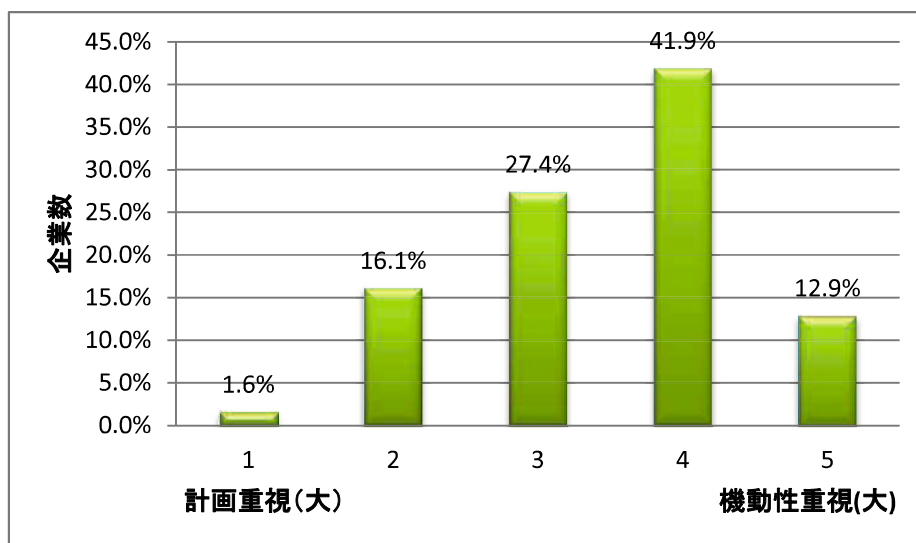


図 28 計画重視型と機動性重視型

この設問は、創発や共創の度合を調べることを意図して行った。初期の計画ではなく、プロジェクトを行って行く上で機動性を重視するマネジメントを行っている企業は創発や共創を行っていると思われる。今回の調査では、約 55%の企業が機動性を重視していることが判った。

【問 30】企業の方へお聞きします。インタビューが可能であれば、貴社の社名、住所、担当者名、電話、メールをお教えてください。

38社の企業からインタビューの承諾を得た。

【問 31】ファブシステム研究会での連携の促進などに対する改善や要望などの記述をお願い致します。

表 3 ファブシステム研究会への改善や要望（自由回答）

<p>ミニマル用プラズマ源を開発するので、ファブシステムに組み込むところを企業にやってほしい。また、成膜あるいはエッチングの実験を行うので、そのプロセスの評価を企業にやってほしい。ようするに、共同研究先企業を募集しています。</p>
<p>連携しなければできないようなテーマを与えて欲しい。（例えば、ミニマル（小面積）だからこそできるプロセスの開発など）</p>
<p>特にございません。 研究開発が自ら思い描いていたスピードになっていないので、反省しております。努力致します。</p>
<p>ミニマルファブ技術研究組合設立の母体は産総研コンソーシアムのファブシステム研究会でありこちらがユーザ含めて統括しているので今後益々ファブシステム研究会の発展と研究会と組合の緊密な連携が必要になっています。</p>
<p>ファブシステム研究会活動の成果をビジネス展開する場合に、PMT 三宅様が取り組まれている MOT（技術経営）思考や手法が研究活動の当初から必要であり重要な要素であると考えております。技術移転や知財を考えますと、必須の要素技術となります。また、原代表のお考</p>

<p>えも十分理解できるところです。これに積極的に賛同し協力致します。</p>
<p>現在のファブシステム研究会は非常に大きな組織となってきたので、参画企業どうしの交流や連携を促進しシナジー効果を高める為には分野や目的毎にWG（ワーキンググループ）を作り頻繁に交流する等の手法が効果的と考えます。</p>
<p>(Web. 1.0 から 2.0 への遷移になぞらえて)“日本 2.0”を確立し、伸ばす必要があり、ミニマルファブその土台の一つに育て上げる必要があると思います。</p>
<p>同様な機能（例：ウェアライメント）については、方式、部材の統一化がコストダウン等に効果が出ますので、将来的にはそういった標準化活動が有効になってくると思われます。</p>
<p>ミニマルファブプロジェクト活動のスピードを速め、具体的成果に早く結びつくよう期待しています。</p>
<p>入会したばかりで弊社開発製品と関係すると思われる数社とコンタクトを取っている段階。 Web 上(HP?)でニーズとシーズの意見交換出来るページを要望します</p>
<p>所属開発部門の中の部門別集まりで意見交換があっても良いか？</p>
<p>参加企業間で技術的な質疑や最近情報の共有を行えるメーリングリストや掲示板の設置。 特に PLAD や筐体・カバー等の共通ユニットの問題・課題について</p>
<p>ファブシステム研究会は装置進捗状況、成果発表が中心となった話が多い気がします。 活動内容の報告は、研究会としては重要な事ではあるが、あえて要求があるとすれば、全体的な流れにおいて、このような製造方法、プロセスを考えている等説明があるとどのような事に困っているのかが分かりやすくなるのかと思います。 最終的には、今の半導体を越えた考えが重要だと思いますが、まずは今の半導体程度で良いと思います。 また、それに対し、各社がソリューションを提示する等があれば、そのソリューション同士で競い合い良い物が残る等有りだと思います。いずれにしても、参加する全員に問題意識を持たせるような議論が重要かと思ひます。</p>
<p>特に技術開発班に於いて、課題を迅速にオープンにし、メンバー企業間での垣根を越えた支援を受けやすくする仕組みづくり</p>
<p>自社担当予定のプロセスのすぐ前後の工程における進捗が分かると、自社内での開発をすすめるにおいて、有益だと考えます。</p>
<p>今後を見据えて、ユーザ（MEMS や、半導体）のデバイス屋の方の参加が若干増ええてもよいのではと思ひました。 半導体については、まだ先かもしれませんが、TR 性能や、SPICE モデルをどうするかという議論が 1、2 年後には必要になるように思ひます。</p>
<p>内容が広く多くの専門家の協力が必要なテーマ・課題であり、成功の暁にはその波及効果は計り知れない。従来の会社主体の取組では限界のある総合技術開発テーマである。しかも実用化するためにはユーザ自身の研究も不可欠でありそれをコンソーシアム全体で検討しようとするコンソーシアムであり、その期待は日本に止まらない広がりを感じている。 完成までにさらに多くの人々、多くの企業の協力が欠かせない。この技術を日本の半導体業界の新しい流れの原点として標準化まで含めた技術の確立を目指す必要があり、その取り組みに強力な産総研のリーダーシップがあり極めて理想的な形で進められていることに満足している。 さらなる努力を怠らないように頑張りたいと考えている。完成を急ぎたいが実現するために今以上の協力が望まれる。</p>
<p>ミニマルという規格に沿って開発を進めるため装置メーカーに共通化・ユニット化できる技術/物が多いと思われる。共通化・ユニット化により、コスト削減や開発リソースの無駄の低減というメリットがあるが、どこを共通化できるのか、メリットが大きいのかななどの情報集</p>

約（各社の声を吸い上げる仕組み）がもっと進化すれば、開発がより効率化できると考える。
数十の企業・機関より構成される当該研究会では、それぞれ目的・ビジョン・目標のベクトルは概ね同じと考えられますが、それぞれの企業・機関の技術開発内容・シーズがミニマル市場の求めるニーズにどうマッチングしているか？個々の装置・要素のミニマル市場の求めるニーズはどんなものか？ということ当該研究会員が知り、共有することで連携の促進及び開発の加速・高度化に繋がるのではと考えております。
参加各社のミッションや技術などが一目で理解できる資料があれば要望します。
ファブシステム研究会の地域連携促進や知名度向上の観点から、総会等の会議を産総研（つくば）固定ではなく、地方開催の試み実施
2012年11月に、ファブシステム研究会に入会させていただきました。 まだ、理解が足りないところも多く、また、弊社の取り組み意義等も模索している段階です。（半導体組み立て関連・特に封止関連） 今まで得た情報の中で、感じた点は： 現在実現している各プロセスのミニマル設備での、課題の明確化、苦労された点（性能、コスト、スペース等）の情報共有があれば、これからの開発アイテムの開発期間短縮や、ターゲットコスト等が明確化されるのでは、？
システム研究会の各企業にも参加して頂き、早期にICを作って欲しい（製品）．製品が出来れば業界に対してインパクトは大きいと思われる。
ユーザー班からの報告・情報共有が、まだ少ないと思っております。企業秘密の部分もあろうかと思いますが、ビジネスの出口を常に確認しながら推進することが重要かと思っております。
参加企業の技術マップ（各社の強みが分かるもの）があると、連携や補完がし易くなる。
当社で検討しております少量デバイス（宇宙関係や特殊用途品）で適用検討したいと考えております。設備費用の目標を明確にさせていただき、より具体的なお話をさせていただきたいと考えています。
部品や設備の図面および仕様の設計責任権限の明確化と図面管理の強化を希望します
研究会員では「外注」と言う位置であり、「産総研主体で進める」とのことでしたので、弊社より叩き台用図面1部お送りしたのみでその後産総研開発チームとのコンタクトが途切れております。したがって弊社の立場では主体側より要望などが無いと動きにくいのもです。 以上
最近余りお力になっておりませんが、弊社のコア技術も最近の新製品開発ラッシュユニユのおかげで本研究会入時点より、より深耕してきております。特に永久磁石を使った周辺機構開発や、磁場解析シミュレーション技術を使った磁路改善提案等にお役に立てればと考えて折ります。又、精密部品の加工技術、モールド金型設計、製造しておりますので現状の課題克服のために力になればと考えております。今後とも宜しく願いいたします。
装置が形になってきたので、これから具体的な話が出てくるのではないのでしょうか？ それぞれの課題が見えてきたところで、周りを見渡す余裕や必要性も出てきて、研究会の会員企業の内容を調べたり、開発過程で協力を仰いだり、今後協力を仰ぐような企業を研究会へ勧誘するなど、「やりたい企業」から「必要性から引き込みたい企業」へと研究会の新規加入企業の入会理由が変化してくると思います。 装置メーカーとしても、今までの装置を作ることから、インフラ系への接続を具体的に考える段階になって来ています。また、装置のメンテを考えると、共通化すべき項目（例えば制御系）なども、ファブシステム研究会全体として議論しなければならない段階に近づいてきたかと思えます。 具体的な連携に関しては、「ミニマル」というのは「ひとつの共同体」として相互補完の考

<p>え方を意識しておくことが必要かと思います。</p> <p>標準化、共通化というようなことを後回しにしても、まず装置を作って世の中に見せることが最優先だった段階から、今は、明らかに一步を踏み出した段階になっています。</p> <p>例えば総会でのプレゼンは今はやったこと、出来たことの紹介の場になっていますが、次にやりたいこと、課題、助けてほしいことなどを明らかにして、協力者を募ると同時に、困っていることの共通項が何かを探れるようなことをやって行けばよいのではないかと思います。</p>
<p>装置の早期開発を希望します。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・真空装置系の分科会を開催して欲しい ・真空装置に係わる共通部品、共通製品等のリスト化協議会を設置して欲しい
<p>研究開発用の半導体デバイス実装ファブラインとして、ミニマルファブラインは非常に有効であると確信している。これまでの半導体デバイス研究開発がウエハサイズの大口径化により高コスト体質となって、そのコストがデバイス価格に上乗せされ、日本の半導体メーカーの競争力がどんどん失われていった。大幅な低コストで半導体デバイス研究開発できる環境が整えば、新しい知的財産の創造に向けて、大勢の研究者を研究開発に従事させて、人的資源の充実を図ることができる。大学でも半導体デバイス研究開発が容易に可能となる。ミニマルファブラインの対象となるデバイスは、MEMSデバイス、パワーデバイス、センサーデバイスなど、幅広く対応できる。また、デバイスからパッケージ、モジュールまで一貫製造することができる。このように研究開発におけるコストダウンが日本の電子産業の復活を促すものと期待できる。</p>
<p>ファブシステム研究会を主宰する方々には、これだけ多くの機関と参加者をよくまとめて頂いているという感嘆と感謝の思いをもって、見ております。総会時に懇親会を開催して頂けるのは、いろいろな方と知り合いになれば、有意義と思います。今後とも宜しくお願い致します。</p>
<p>プロセス装置の開発状況を他社組合員が解る様にして頂けると良いです。</p>
<p>ミニマルがコンセプト通りできれば非常に有用な武器になると思います。一方で、具体的な適用製品は、熱処理（拡散）や高加速の打ち込みを初めメガファブ工程とのミックスになります。そうすると結局一揃えの設備を持てる企業が限られます。</p> <p>通しで実現できないのであれば、これらの設備をそろえたファブを共同で運用する等の方策を検討しなくてはなりません。</p> <p>その場合、今の各社が装置を用意するスキームでは、台数が出ずに開発費の回収ができません。各社がプロセスを請け負う形で連携流動する等の戦略変更も必要でしょう。</p> <p>そもそも、数量の少ないICを狙うのであれば、自社ですべての設備を持つ必要もないとも言えます。</p> <p>これらを考えると、研究会内での連携方法や各社の役割が変わると考えます。</p>
<p>運営の方法など細部まで検討、実行されており、問題ないと感じています。</p>
<p>【連携の促進 要望】</p> <p>産総研の中に（または大学等に）共通に利用できる試作工場があると、まず実証試験をそこで行ってから各所に安心して導入することが出来る様になると思います。</p>
<p>【連携の促進 要望】</p> <p>狙いは GaN 系の LED、レーザ及び電子デバイス開発です。研究開発のパートナーを募集します。外部資金と一緒に取りに行きましょう。提供可能なモノは GaN テンプレート及び GaN 基板、エピ構造付き GaN 基板です。簡単なデバイス試作まで可能です。</p>

<p>ファブシステム研究会が目標としている各製造工程に於ける半導体製造技術をこれに携わった事のない者にも説明できるような冊子に纏めて頂けると非常に有難いのですが・・・例えば今回セミコンに出展されている装置群についてですが半導体が製造されるまでの過程が理解できる資料と各装置がどのような役割を持ちさらにその装置がどのような革新的技術を有しているのかまたその装置製造に関わっている企業名などの情報が盛り込まれていればファブ研究会に所属している各企業がどのようなところで参画しているのかが理解できいては企業同士のコミュニケーションに繋がるのではと考えます。</p>
<p>ファブシステム研究会に入会させていただき、ミニマルファブという産総研の画期的なアイデアを知ることができ、日本の復活に希望を持たた。</p> <p>実際のシステムが稼動し出すと、今以上に具体的なビジネスが生まれてくるものと思われる。システムが動き始めた際の、実証デモ体制を充実させ、ビジネスのネタをインキュベーションし易い環境を整備されることを期待している。</p>
<p>地方での部会を行い、各社の詳細状況を理解させたほうが良い。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原代表の極めて、強力で合理的なリーダーシップのおかげで、組織的な運営は素晴らしいと思います。 ・各企業/産総研の担当者同士のレベルでのディスカッションや連携は、まだまだ推進の余地があるかと思います。
<p>研究会への要望よりも、自社の取り組み姿勢を改善する事がより重要と認識しています。</p>
<p>*現状 α/β 機が出そろった段階だと思いますので、上位概念で野纏めをおこなって課題に対するプロジェクト、タスクチームを計画すると、より活動、開発スピードが加速するのではと思います。</p> <p>*実際のデバイス試作を狙っている企業も多くなっていると思いますので、AIST内のデモルームでの試作に関するガイドラインを纏めて頂きたく思います（この辺りも上記の課題として関係する機関で議論をさせていただければと思います）</p>
<p>貴会にはいつも大変お世話になっており、弊所では感謝致しております。</p> <p>基本的には、貴会の運営に十分満足いたしておりますが、もし可能であれば、</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 会員の皆様と、特許化できそうな開発成果を検討するための相談会のようなものを設けて頂く（あるいは、弊所で企画する）こと。 ■ 会員の方に対し、開発成果を簡単に概説して頂けるような紙面（「アイデアシート」や「発明届出書」と言われる類のものの簡略版）を配布させて頂けること。 <p>等をご検討頂ければ、弊所において、皆様の開発成果の保護支援に一層貢献できるのではないかと考えております。</p> <p>勝手な要望で恐縮ですが、ご検討頂けますと幸いです。</p> <p>よろしくお願い致します。</p>

2.2 まとめ

- ・ ファブシステム研究会と技術研究組合の会員企業は税法上での中小企業と大企業は約半々を占めている。
- ・ 関東地区の企業が約半数を占めているが、四国を除く全国からファブシステム研究会に参画している。
- ・ 技術研究組合の約 85%の企業はミニマルファブを戦略上重要なものと位置付けている。
- ・ コンソーシアム発足後に入会された新会員企業が約半数を占めている。ミニマルファブが半導体業界で注目を浴びているので今後多くの企業が参画すると思われる。
- ・ 研究会の約 90%がミニマルファブは半導体業界への影響度は大きいと考えている。
- ・ しかし、ミニマルファブが実現された場合の自社への影響度になると約 78%となり、10%ほどダウンしている。
- ・ 研究会の約 70%の企業がお互いにビジネスの可能性を求めて何らかの接触を既に行っている。
- ・ 研究会の約 60%の企業が企業間で何らかのシナジーが生まれると考えている。
- ・ 研究会の大半の企業が外部との連携により相手から影響を受け、自社が変わった。
- ・ 研究会の 82%の企業が官学連携を複数回以上実施している。
- ・ 官学連携を行った企業の 75%が官学連携を成功させている。
- ・ 官学連携を行った企業の約 80%は創発的に成果を出している。
- ・ 官学連携を行った企業の約 85%は、自社のコア技術は官学連携が寄与している。
- ・ 研究会の 79%の企業が企業間連携を複数回以上実施している。
- ・ 企業間連携を行った企業の 66%が企業間連携を成功させている。
- ・ 企業間連携を行った企業の約 80%は創発的に成果を出している。
- ・ 企業間連携を行った企業の約 94%は、自社のコア技術は企業間連携が寄与している。
- ・ 約 90%の企業が事業目標を設定している。しかし、事業目標を達成するために具体的な戦略設定は 85%となっている。
- ・ 研究会の企業は、約 45%は機動性重視型のマネジメントを行っている。

2.3 今後の課題（原 代表のコメント）

- ・ 自由記載欄で頂いた多数のコメントはとても有意義なもので、今後のミニマルファブ構想の推進と組織運営の参考となる。
- ・ コンソ設立当初に、ミニマル向けデバイスの議論を想定ユーザ班と技術開発班で行って、まずは MEMS 基礎デバイス（カンチレバー）、その次の段階で CMOS デバイスへと試作を発展されるということで、研究会内の合意が形成されていたが、新規加入者が多くなり、この辺の経緯が忘れられつつある。また、想定ユーザは、原則的に一揃いの装置群が完成しないと手を出せず、一方で、装置メーカーはユーザを巻き込んで、という意識であり、この両者に乖離が存在している。装置メーカーの理解不足が主な原因であるが、ユーザには、既存メガ装置とミニマル装置の併用で、実際にデバイス開発が加速するハイブリッドプロセスが有効であるとの認識を持ってもらうことも必要。すでに産総研において、ハイブリッドでカンチレバーを試作済み（ミニマル装置利用率約 27%）のところであるが、今後はさらにミニマル装置の利用率を向上させつつハイブリッドプロセスを実行し、ユーザへの理解を進め

るべきであろう。

- ・ ミニマルファブ構想推進に対する戦略的取り組みを、より加速することに期待する企業も当然存在している。本アンケートを一つの基礎として、単なる企業間情報交流というレベルではなく、より確からしく、強固で意義のあるイノベーション戦略を構築して行くべきである。その基本は、装置を作って見せ、デバイスを試作し、そして、実用装置を販売することである。アライアンスはそのような相互の実態をベースに行われなければならない。（リソテックジャパンと坂口電熱のコラボ(PZTコータ)は既に成立している)。他力本願は結実しない。また、現に進めている所であるが、ミニマル仕様群の構築を進めることは重要である。その他の戦略的観点(外国への展開、外部への開示、サービス・・・)については、適宜進めて行く。

【 謝辞 】

アンケートにご協力いただいた、ファブシステム研究会の方々に心より御礼申し上げます。

また産総研 原 代表には調査票の設計や内容に関して有益なご意見、建設的なアドバイスをいただいたことに心より御礼申し上げます。

資料 1

第 1 回 ミニマルイノベーション戦略に関するアンケート調査

I 所属についてお聞きします。

【問 1】所属先は産学官のどれですか。(1つだけ○印)

- ① 産(企業) ② 学(大学・高専) ③ 官(公設研究所など)

【問 2】産(企業)の方にお聞きします。御社の資本金はいくらですか。

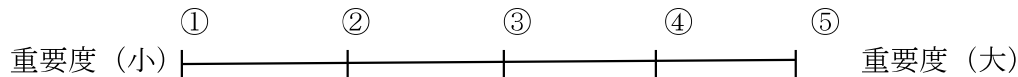
- ① 10億円以上 ② 1億円以上10億円未満 ③ 1000万円以上1億円未満
-
- ④ 1000万円未満

【問 3】所属先の所在地域はどこですか。

- ①北海道 ②東北 ③関東 ④北陸 ⑤中部 ⑥関西
-
- ⑦四国 ⑧九州・沖縄

II ファブシステム研究会についてお聞きします。

【問 4】技術研究組合員の方へお聞きします。ミニマルファブでの活動は、御社の戦略の中で重要な活動として位置付けられていますか。



【問 5】ファブシステム研究会にはいつ入会されましたか。

- ①2008年から ②2010年から ③2012年から

【問 6】企業・大学の方にお聞きします。役割は何ですか(複数選択可)

- ①想定ユーザ班 ②技術開発班 ③ターゲットデバイス提案
-
- ④プロセス開示 ⑤試作

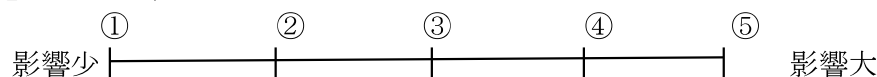
【問 7】ファブシステム研究会入会の動機をお聞きします。

- ①産総研より進められた ②自ら希望した
-
- ③その他()

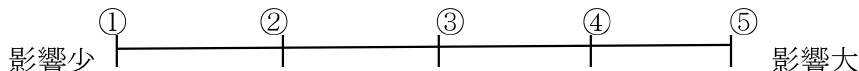
【問 8】ファブシステム研究会入会の目的をお聞きします。(複数選択可)

- ①情報収集 ②技術開発パートナー ③販路拡大
-
- ④新事業探査 ⑤自社の大きな方向の開拓
-
- ⑥その他()

【問 9】ミニマルファブが実用化された場合、半導体業界への影響はどの位あると予想していますか。



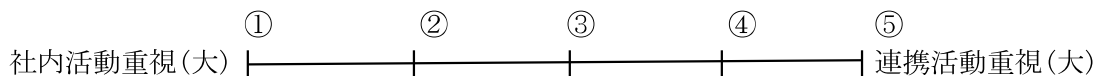
【問 10】企業の方にお聞きします。ミニマルファブが実用化された場合、あなたの会社の事業にどの位のインパクトがあると予想しますか。



Ⅲ 過去のお他機関・企業との連携についてお聞きします。

1. 企業の方は続き【問 11】 - 【問 26】をお答えください。
2. 大学、産総研などの公的機関の方は【問 31】へお進みください。

【問 11】他機関・企業との連携についてお聞きします（一般的なコンサルティング・業務委託などは除く）。-御社の連携活動に対するスタンスを教えてください



【問 12】ファブシステム研究会の会員企業との連携や新たなビジネスは生まれますか。

- ①具体的な動きはない
- ②検討したことがあるが実現に至っていない
- ③人材交流を行う用になった
- ④個別に共同研究を実施している

【問 13】御社のコア技術はファブシステム研究会の各企業との間にはシナジーは生まれますか。

- ①生まれない
- ②おおむね生まれない
- ③どちらともいえない
- ④おおむね生まれる
- ⑤生まれる

【問 14】ファブシステム研究会や過去の外部連携において相手先から影響を受け、自社が変わったことはありますか。

- ①組織
- ②技術マネジメント
- ③プロジェクト管理
- ④コスト管理
- ⑤その他（ ）

【問 15】大学や公的機関との連携についてお聞きします。御社の連携の回数を教えてください。

- ①経験がない
- ②一度だけ
- ③複数回行った
- ④頻繁に行っている

①経験がない方は【問 21】へお進みください。

【問 16】大学や公的機関との連携に当たっての目的は何ですか（複数回答可）。

- ①基礎研究
- ②製品開発
- ③開発資金補完（補助金など）
- ④技術支援を受ける
- ⑤その他（ ）

【問 17】大学や公的機関との連携を評価すると以下どれが最も適切ですか。

- ①失敗
- ②おおむね失敗
- ③どちらともいえない
- ④おおむね成功
- ⑤成功

【問 18】大学や公的機関との活動に於いて当初予定した以外の成果が得られたことがありますか。

- ①ない
- ②ほとんどない
- ③たまにある
- ④しばしばある

【問 19】大学や公的機関との連携で所定の成果を上げるために留意している点があれば教えてください。

(自由回答)

【問 20】御社のコア技術や強みの形成にこれまでの大学や公的機関との連携活動ほどの程度寄与していますか。

- ①全く寄与していない ②殆ど寄与していない ③やや寄与している
④かなり寄与して ⑤連携の成果が核になっている

【問 21】企業との連携についてお聞きします。御社の連携の回数を教えてください。

- ①経験がない ②一度だけ ③複数回行った ④頻繁に行っている

①経験がない方は【問 27】へお進みください。

【問 22】企業との連携に当たっての目的は何ですか（複数回答可）

- ①基礎研究 ②製品開発 ③開発資金補完（補助金など）
④技術支援を受ける ⑤その他（ ）

【問 23】企業との連携を評価すると以下どれが最も適切ですか。

- ①失敗 ②おおむね失敗 ③どちらともいえない ④おおむね成功
⑤成功

【問 24】企業との活動に於いて当初予定した以外の成果が得られたことがありますか。

- ①ない ②ほとんどない ③たまにある ④しばしばある

【問 25】企業との連携で所定の成果を上げるために留意している点があれば教えてください。

(自由回答)

【問 26】御社のコア技術や強みの形成にこれまでの企業との連携活動ほどの程度寄与していますか。

- ①全く寄与していない ②殆ど寄与していない ③やや寄与している
④かなり寄与して ⑤連携の成果が核になっている

IV 企業の方へ技術戦略・技術マネジメントについてお聞きします。

1. 企業の方は引き続き【問 27】 - 【問 29】をお答えください。

付録 C

第 2 回 ミニマルファブイノベーション戦略に関するアンケート調査報告書

1. 調査の概要

1.1 調査目的

現在開発しているミニマルファブは半導体産業にイノベーションを引き起こすものと期待されている。これは期待しているだけでできるものではない。ファブシステム研究会各社や産総研が持っている技術ポテンシャルをミニマル向けに引き出し、実用技術として醸成させなければならない。それは、各社間と産総研との相互理解によってなされるものである、また、戦略的な取り組みも重要となる。昨年は国プロ1年目としてアンケートを実施した。今回は国プロ2年目として、過去一年の間にどのように変化したかを目的に行った。今後、ミニマルイノベーション戦略を構築してゆく上での基礎資料とするものである。

また、調査研究結果をベースに、我々の産業構築の取り組みに内在する非常に新しい産業創造方法については論文としてまとめることで、我々の取り組みのエッセンスを広く世間に知ってもらうことができる。これは我々の努力を正しく世間に認識してもらうのにも役立つ。

1.2 調査項目

詳細なアンケート内容は、資料1の調査表を参照すること。

1.3 調査対象と調査方法

調査対象はファブシステム研究会に所属している企業に限定している。調査方法は調査票（アンケート用紙）をファブシステム研究会 代表 原 史朗氏よりファブシステム研究会会員へメールで送信して、回答もメールで得た。

1.4 実施期間

実施期間は2014年1月29日から2014年2月9日としたが、回収率が悪かったので2014年2月20日まで延期した。

1.5 回答者数と回収率

88社中85件の回答を得た。回収率は96.62%であった。よって、この標本は母集団を代表するものと考えられる。

2. 調査の結果

2.1 質問文・単純集計結果のグラフ・説明・考察・結論

【問 1】 ファブシステム研究会入会の目的をお聞き致します。（複数選択可）

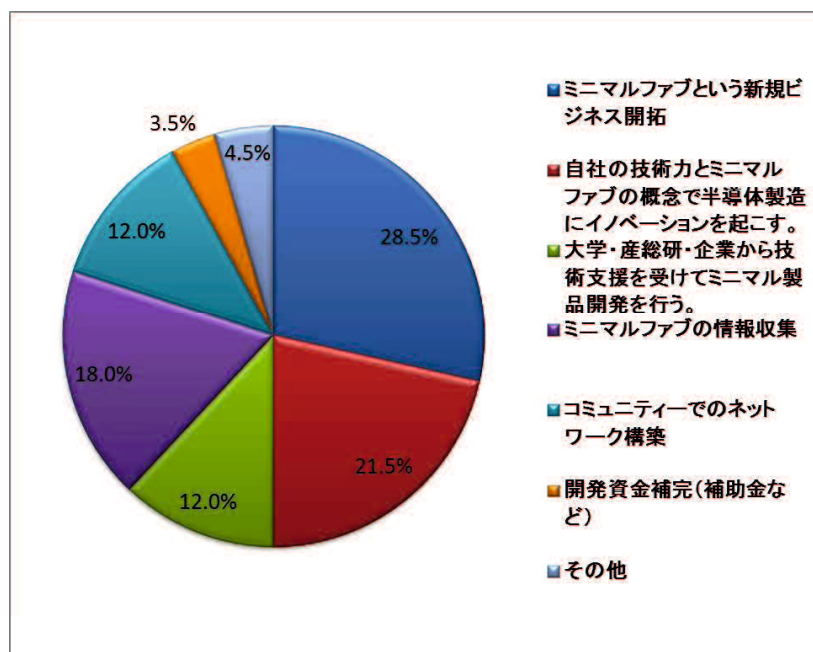


図 1 ファブシステム研究会入会の目的

約 6 割はミニマルファブと言う新しいイノベーションに積極的に参加することを目的としている。なお、情報収集と回答した企業 36 社中、大企業は 15 社を占めており、イノベーションのジレンマを回避する意図も見受けられる。ここで注意すべき事は、ファブシステム研究会への入会に当たり、情報収集だけを目的とした入会は認めていないことである。ここで 18%を占める情報収集は副次的な目的と推定される。

表 1 ファブシステム研究会入会の目的の“その他”の記述

社内でのこの活動を広く理解しモノ造りに対するプライドを高める。
当社への活用を検討すると共に、実用化段階においては優先的に技術を活用することができるため
将来のミニマルユーザとして運用検討可否検討する
MF 開発状況と正確に知り、活用可能性を探る
以前からこのような構想の必要を痛感していた。但し、ミニマルは想定サイズよりも更に小さかった
ミニマルコンセプトの共感、素材等のソリューション提案
ミニマル装置用温湿調機の開発を行う
日本の電子機器産業の再興に貢献したいため
ミニマル Fab を中核とした設計－製造－テストを一貫したフローの確立

【問 2】 ミニマルファブが実用化された場合、半導体業界への影響予想は、過去一年の間にどのように変化しましたか。

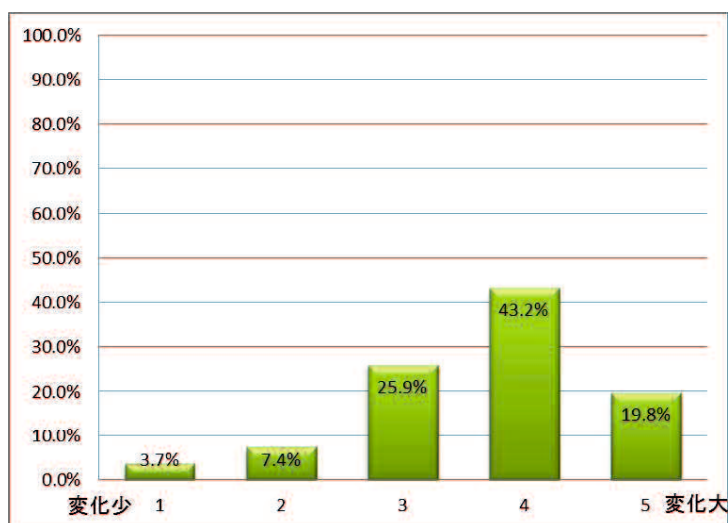


図 2 過去 1 年間の業界への影響度変化 (n=81 社)

昨年の調査では、約 9 割の企業が半導体業界に影響を与えると予想していた。今回の調査では、この中の約 6 割の企業が更に影響度が強まると考えている。この 1 年間でのミニマルファブ活動全体において最も重大な進展は、昨年のセミコンでのトランジスタ製造を成功させたことであり、上記影響度が強まったとの理解はこの実績によるものとする。

【問 3】 企業の方にお聞き致します。ミニマルファブが実用化された場合、あなたの会社の事業に対するインパクト予想は、過去一年の間にどのように変化しましたか。

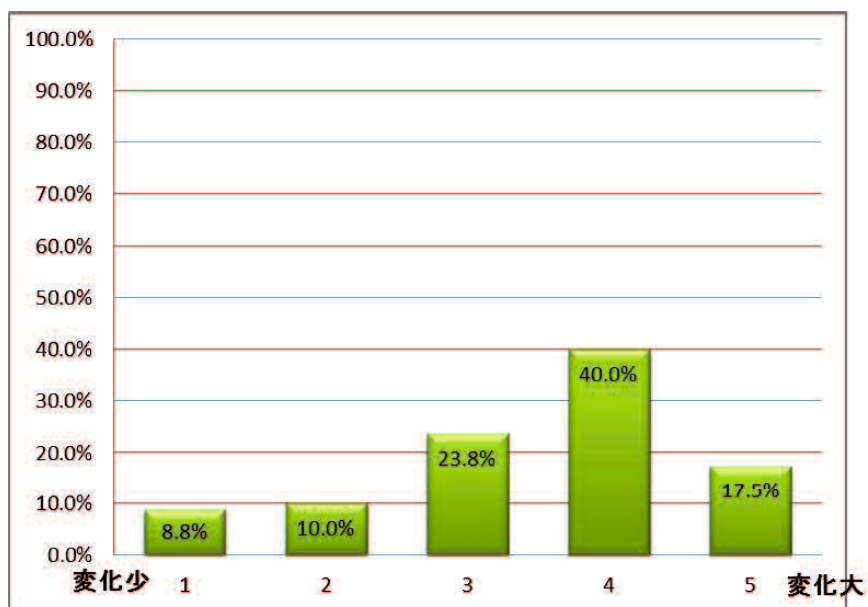


図 3 過去 1 年間の自社への影響度変化 (n=80 社)

昨年の調査では、約 8 割の企業が自社の事業に影響を与えると予想していた。設問 2 と同じく、この中の約 6 割の企業が更に影響度が強まると考えている。これも昨年のセミコンでのトランジスタ製造実績によるものとする。

【問 4】技術研究組合員の方へお聞き致します。ミニマルファブでの活動は、御社の戦略の中で重要な活動として位置付が過去一年の間にどのように変化しましたか。

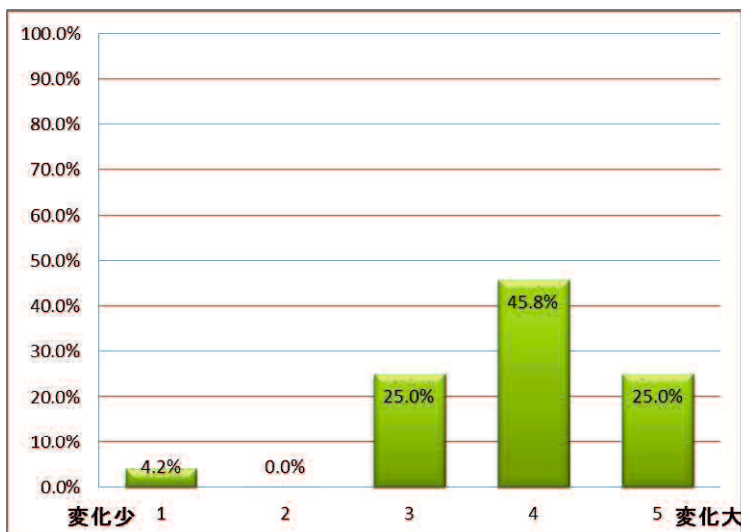


図 4 過去 1 年間の技術研究組合企業に於ける重要度の変化 (n=24 社)

昨年調査では、技術研究組合の約 85%の企業はミニマルファブを戦略上重要なものと位置付けているとしていた。今回の調査では、この中の約 7 割の企業が更に重要度が強まると考えている。これも、昨年のセミコンでのトランジスター製造実績によるものとする。

【問 5】企業の方にお聞き致します。御社はコア技術をお持ちですか。

- ①持っている
- ②おおむね持っている
- ③判らない
- ④ほとんど持っていない
- ⑤持っていない

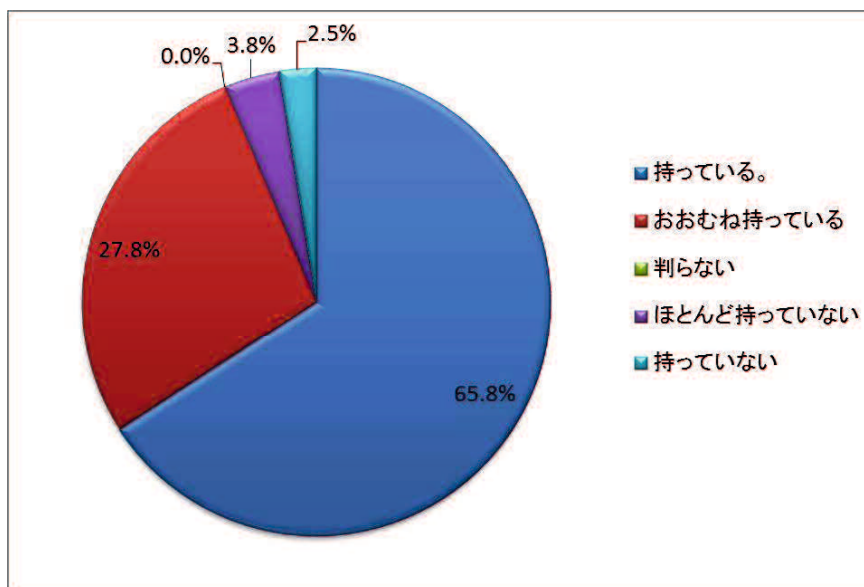


図 5 コア技術の有無 (n=79 社)

約 9 割の企業が何からのコア技術を持ってファブシステム研究会に参加していることが判った。

【問 6】 問 5 で①, ②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術は半導体製造のイノベーションであるミニマルファブへ貢献できますか。

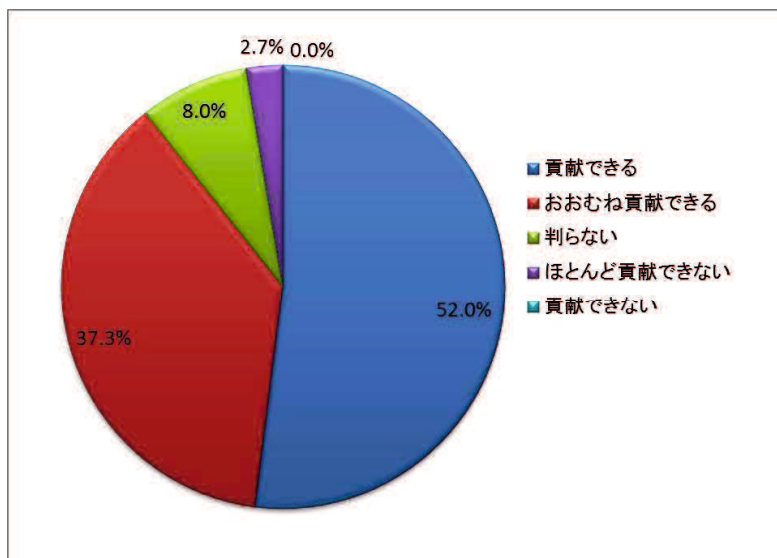


図 6 ミニマルファブへの自社コア技術の貢献 (n=75 社)

コア技術を持っている企業の内, 約 9 割がそのコア技術をミニマルファブへ貢献できるとしている。これはミニマルファブという外部知識を活用したイノベーションの遂行は可能であること示していると考える。

【問 7】 問 5 で①, ②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術の向上に最も貢献する活動は何ですか。(一つだけ選択)

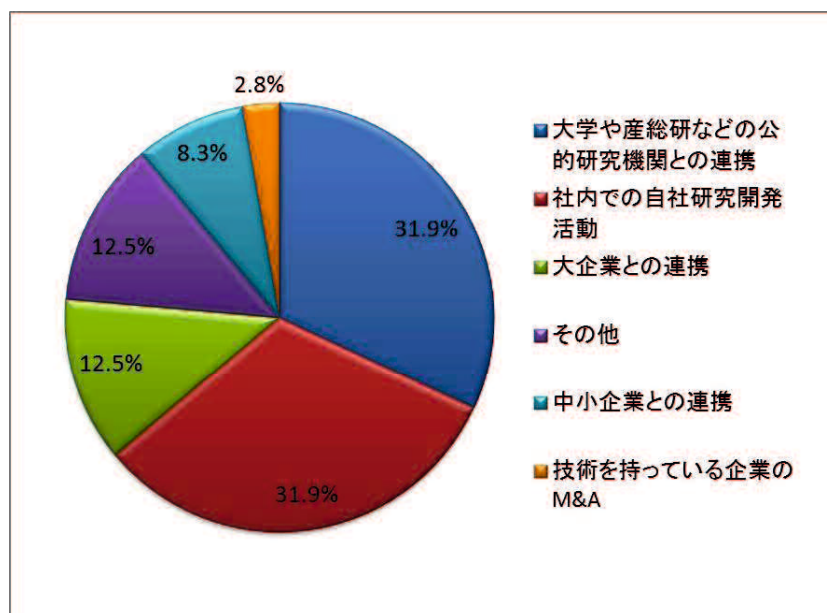


図 7 自社コア技術の向上に貢献する活動 (n=72 社)

表 2 自社コア技術の向上に貢献する“その他”の活動

技術を持っている企業とのコラボレーション
技術を利用して頂くユーザーとの連携
生産受託企業として産総研様含む多くの企業様のモノ造りを実践する
各種企業、公的研究機関との連携
市場からのフィードバックで技術を磨く
社外法人との連携
その技術が利用される業界(半導体)の企業・研究者との連携
他企業との協業
顧客との連携

自社のコア技術向上は、約 3 割の企業は大学や公的機関との連携が重要としている。ファブシステム研究会には、大学が 6 校、公的研究機関が 5 機関参加しているので、これらの企業はミニマルファブのプロジェクトに参加することにより、更に自社のコア技術は向上すると考える。

【問 8】問 5 で①, ②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術は主にどの活動により生まれましたか。(一つだけ選択)

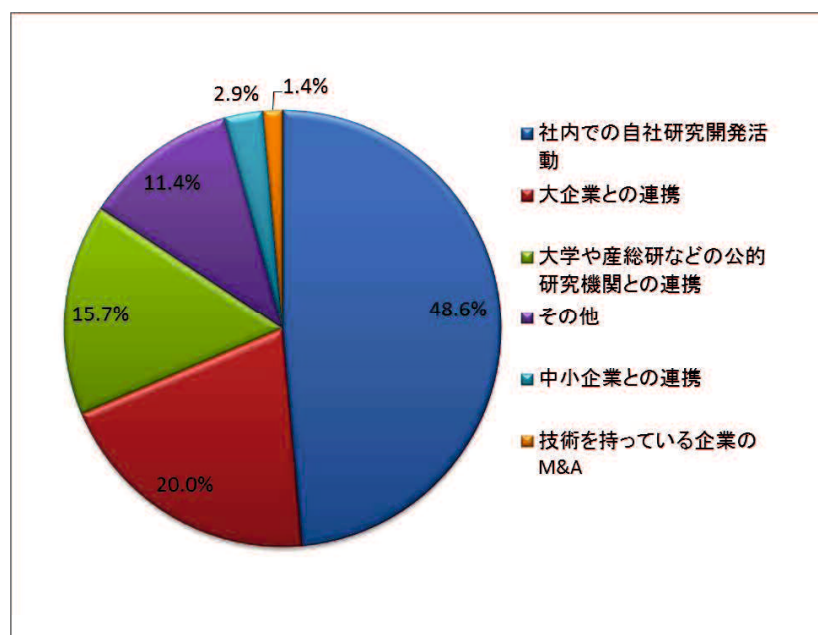


図 8 自社コア技術の源泉 (n=70 社)

表 3 自社コア技術のその他の源泉

技術を持っている企業とのコラボレーション
受託した多くの企業様のモノ造りの実践の場から
各種企業、公的研究機関との連携
海外の専門企業との連携
職歴による習得技術の応用
小型機器用途のある市場
複数企業での経験
他企業との協業
顧客への問題解決活動を通じて

約 5 割の企業は自社のコア技術の源泉は自社での研究開発としているが、約 4 割の企業は、公的研究機関、大企業、中小企業との連携から生まれたとしている。この事よりオープンイノベーションは、自社のコア技術の源泉の一つであると考えられる。

【問 9】問 5 で①、②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術はファブシステム研究会の各企業との間にはシナジー（人的交流・連携・新たなビジネス・ワーキンググループなど）の発生は、過去一年の間にどのように変化しましたか。

- ①生まれない ②ほとんど生まれない ③どちらともいえない
 ④おおむね生まれている ⑤生まれた

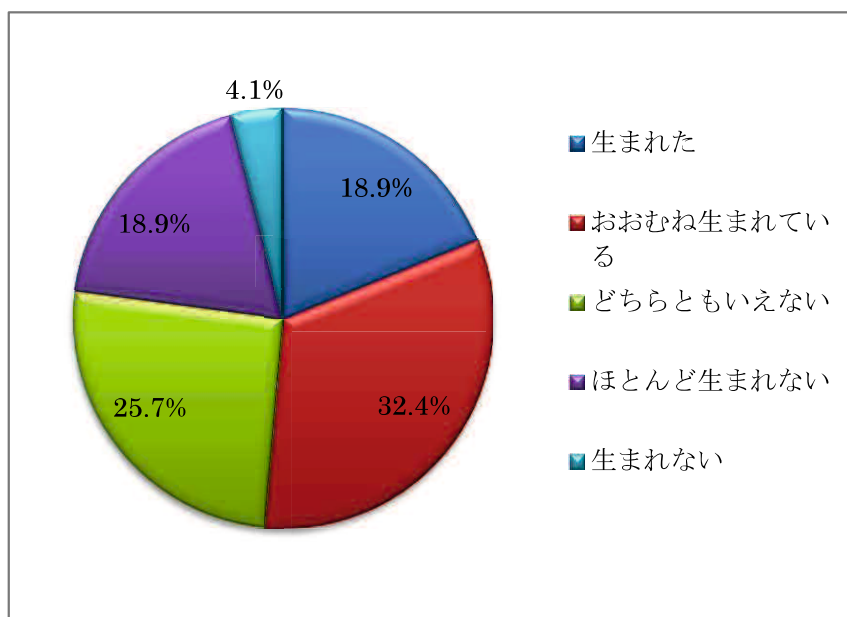


図 9 過去 1 年間の自社コア技術と他社とのシナジーの有無 (n=74 社)

昨年の調査では、約 6 割の企業がシナジーは生まれると期待していた。今回の調査では、約 2 割の企業が他社とのシナジーが生まれたとしている。また、約 3 割の企業が生まれているとしている。これは問 8 とも関連するが、オープンイノベーションをコア技術の源泉とする企業は積極的に人的交流・連携・新たなビジネスやワーキンググループなどを行っていると考ええる。

【問 10】 問 9 で④、⑤を選択された企業へお聞き致します。そのシナジーは企業としての組織学習と個人学習はいずれかを通じて実現されていますか。

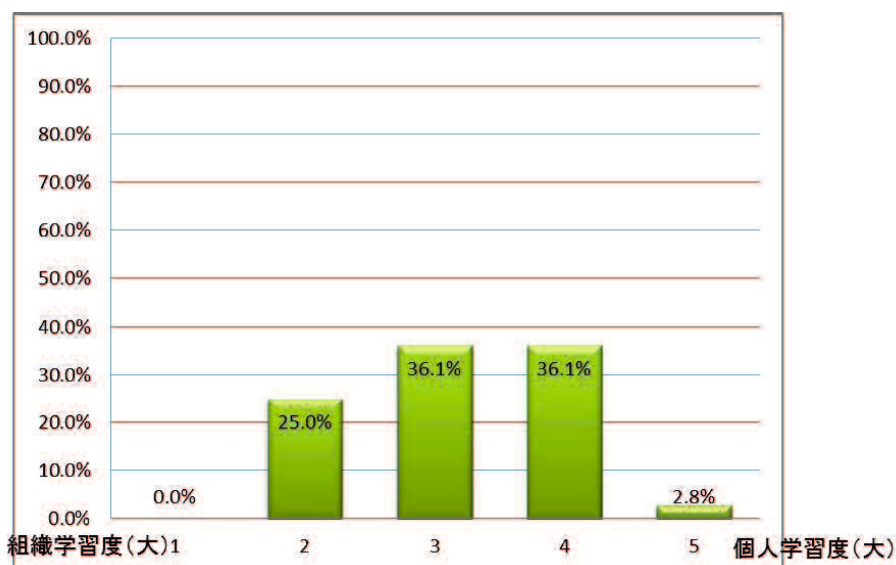


図 10 シナジーの源泉 (n=36 社)

シナジーが生まれた企業は組織としてまたは個人として他社や公的研究機関へ積極的にアプローチを行っていると考ええる。

【問 11】 中小・中堅企業の方にお聞き致します。大企業に比べて暗黙的には技術力に劣る場合は、知識の受容者よりは、創造者として活動することが有効と御考えますか。

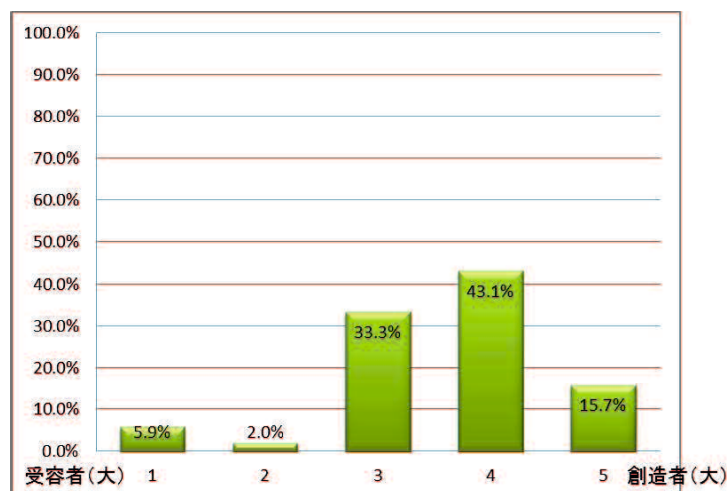


図 11 中小・中堅企業の技術に対する見方 (n=51)

技術力が大企業と比べて劣る中小・中堅企業は、一般的には新しい技術を受けるよりは、それを生み出す方が良いとされる。アンケート結果も同様な傾向が見られる。ミニマルファブという、イノベーションの場合は、このように提案型企业が多い程、プロジェクトの成功度合いは高まると考える。

【問 12】 企業の方にお聞き致します。御社の連携活動（一般的なコンサルティング・業務委託などは除く）に対するスタンスは、過去一年の間にどのように変化しましたか。

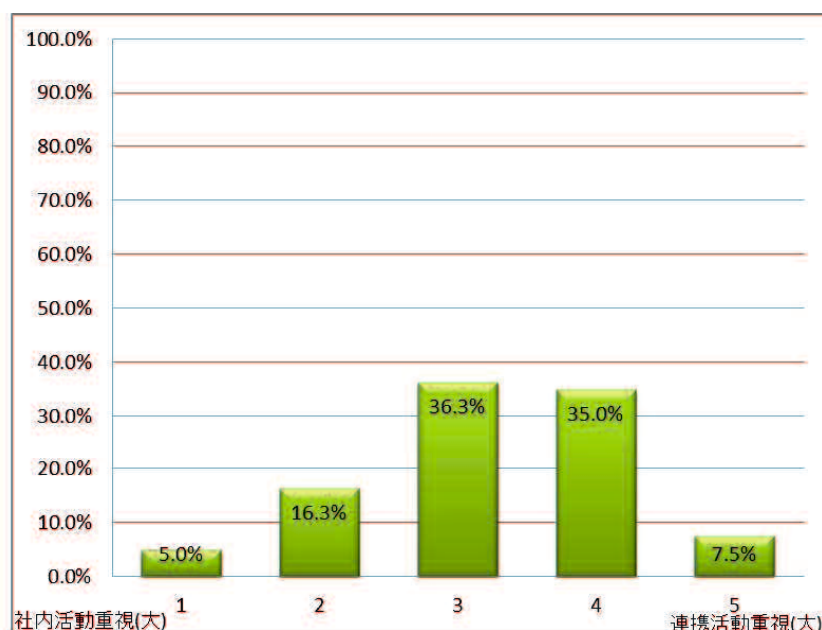


図 12 過去1年間の連携活動に対する変化 (n=80社)

この設問はオープンイノベーションの度合いを意図して行った。昨年の調査では約5割の企業が連携活動を重要視していた。今年の調査では、約4割の企業が連携活動を重要

視していることが判った。また、これは問 8 のシナジーの成果であると考える。

【問 13】 企業の方にお聞き致します。御社のマネジメントスタイルを、計画重視型と機動性重視型にわけるとすれば、過去一年の間にどのように変化しましたか。

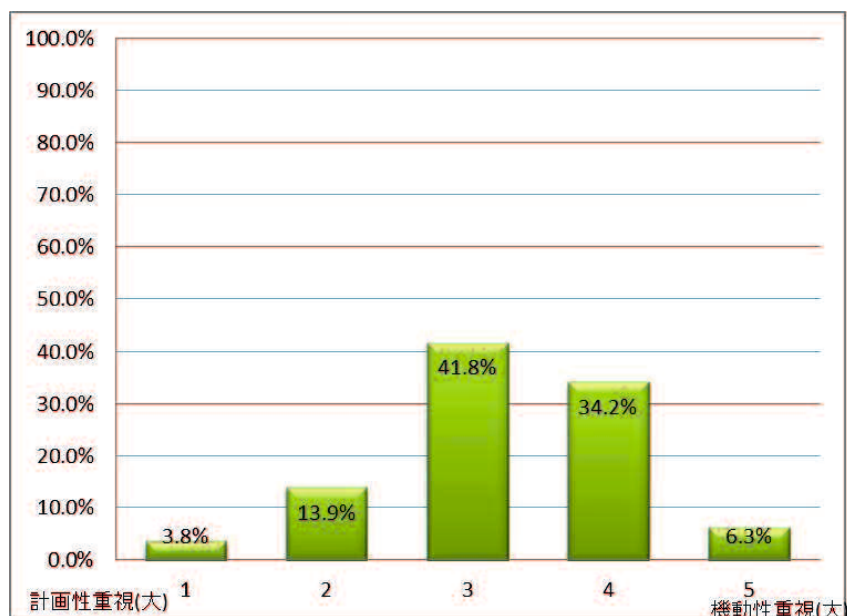


図 13 過去 1 年間のマネジメントスタイルに対する変化 (n=79 社)

この設問は、創発や共創の度合を調べることを意図して行った。初期の計画ではなく、プロジェクトを行って行く上で機動性を重視するマネジメントを行っている企業は創発や共創を行っていると思われる。昨年度の調査では、約 55%の企業が機動性を重視していた。今回の調査では、その内の約 4 割の企業が更に機動性を重要視している。つまり、全体では、約 8 割の企業が創発や共創を重要視していることが判った。

【問 14】 企業の方にお聞き致します。ミニマルファブの産学官連携活動に於いて当初予定した以外の成果が、過去一年の間に得られましたか。

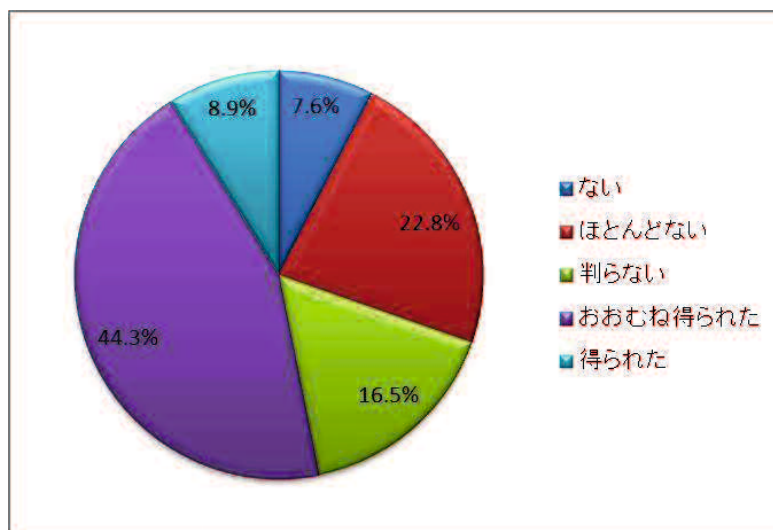


図 14 過去1年間、予定した以上の成果(n=79社)

約5割の企業がミニマルファブのプロジェクトで予定していた以上の成果が得られたことが判った。

【問 15】企業の方にお聞き致します。御社のコア技術や強みの形成にこれまでの大学や公的研究機関との連携活動はどの程度寄与していますか。

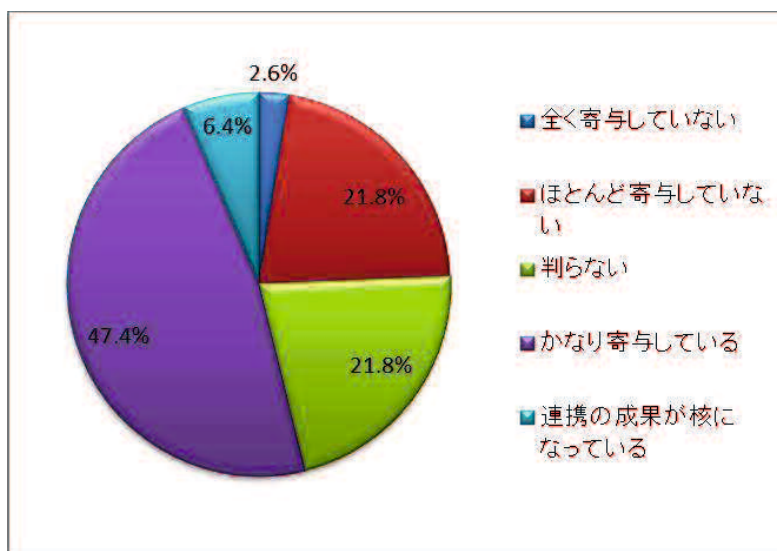


図 15 コア技術への産学連携寄与度合 (n=78社)

この設問は、大学など外部の科学的知識や技術を有効活用できる能力を持っている企業の度合いを調べるために行った。結果として約過半数以上の企業がその能力を持っていることが判った。これは一般的に Absorptive Capacity¹(技術吸収力)と呼ばれている。

【問 16】企業の方にお聞き致します。御社は大学や公的研究機関における基礎研究を自社の研究プロセスに役立てていますか。

¹ 新しい外部技術の価値を認識でき、それを自社に取り入れ、それを自社のものとして、更に商品化できる能力。

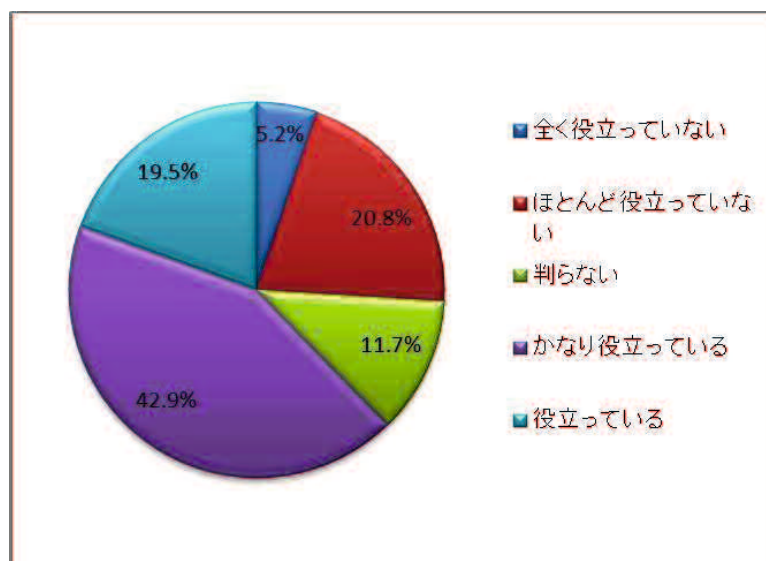


図 16 大学や公的研究機関における基礎研究の貢献度合 (n=77 社)

設問 16 より Absorptive Capacity (技術吸収力) を持つ製品開発型企業が過半数以上存在し、約 6 割の企業が大学における基礎研究を自社の研究プロセスに役立てることが判った。

【問 17】 中小・中堅企業の方にお聞き致します。御社は過去 3 年間、設計・開発能力と自社製品売上げ実績がありますか。

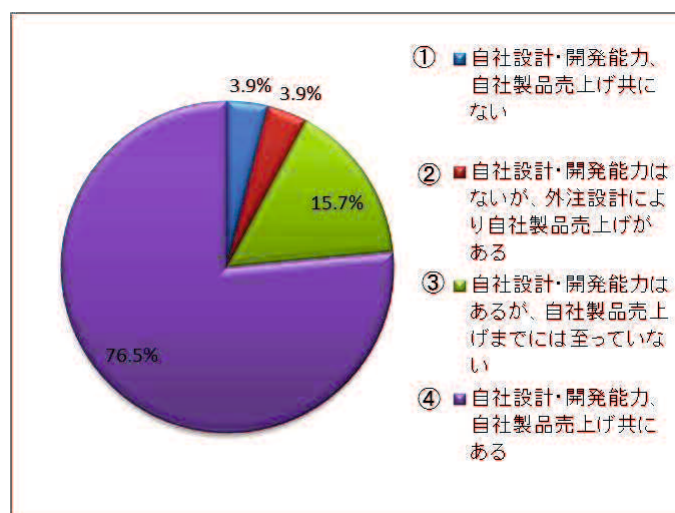


図 17 過去 3 年間の設計・開発能力と自社製品売上げ実績 (n=51 社)

ファブシステム研究会の中小企業の約 8 割は設計能力と自社製品の売上げがある製品開発型中小企業であることが判った。

【問 18】 問 17 で②、③、④を選択された企業へお聞き致します。御社の過去 3 年間の新製品件数と特許出願件数をお教えてください。

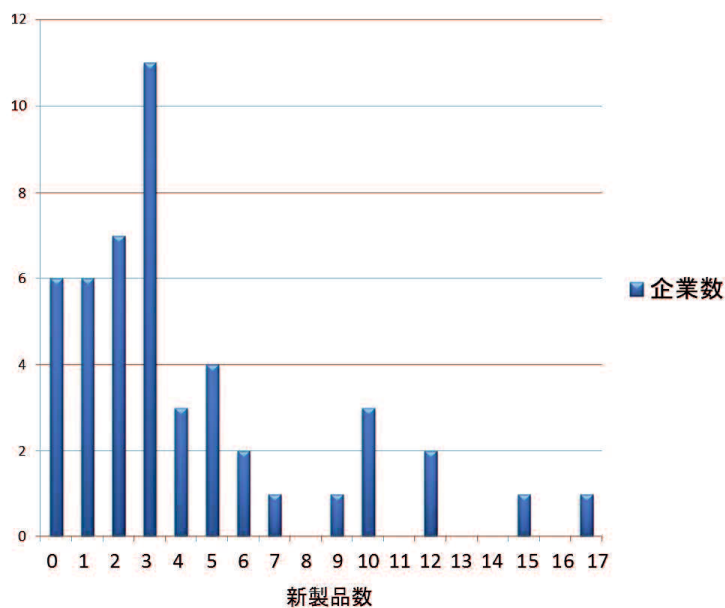


図 18 中小・中堅企業の過去3年間の新製品数 (n=48)

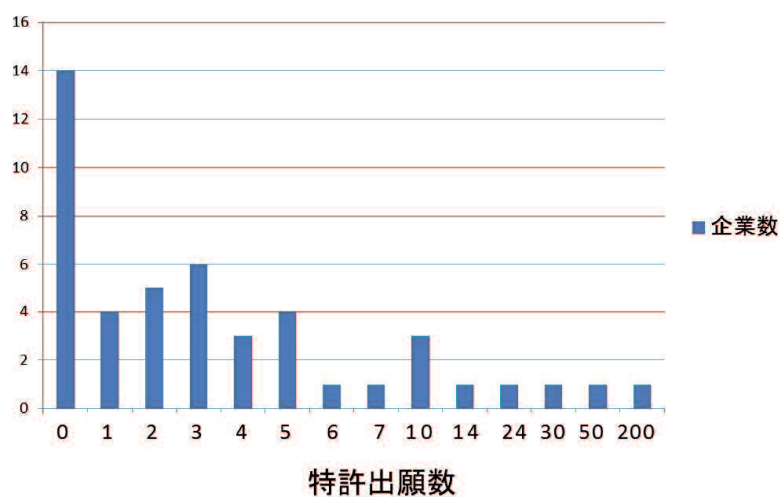


図 19 中小・中堅企業の過去3年間の特許出願数 (n=46)

設問 18 よりファブシステム研究会の中小・中堅企業は製品開発型企業が大半を占めている事が判り，更に本設問で過去3年間の新製品数，特許出願数とも多いことにより研究開発能力もある事が判った。

【問 19】 企業の方にお聞き致します。半導体メーカーの“Wish Map”である ITRS(国際半導体技術ロードマップ)をどの程度意識して研究開発の方向付けをされていますか。

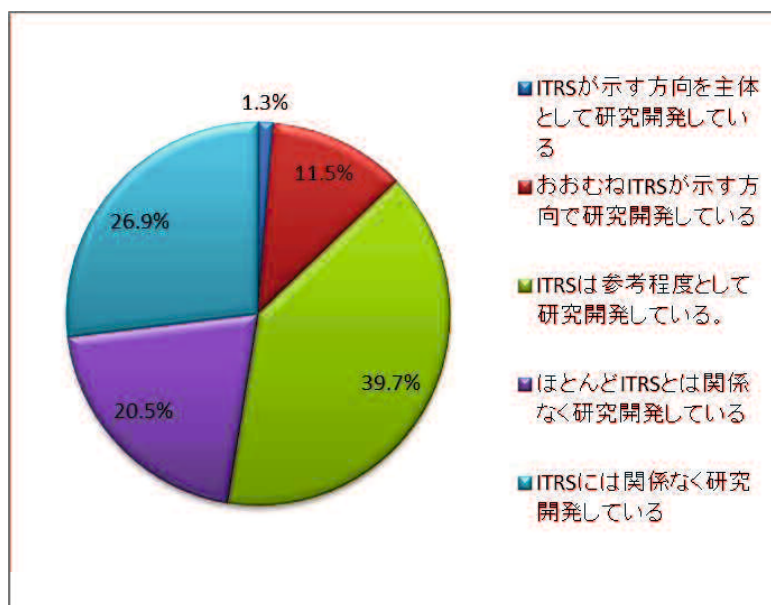


図 20 ITRS (国際半導体技術ロードマップ) の影響度合い (n=78)

半導体業界の主導的な企業は業界のロードマップである ITRS に従って、研究開発を行っているが、ファブシステム研究会では ITRS に追従しない企業が約 5 割を占めており、ウエハの大口径化に追従しないミニマルファブとは同じベクトルを持っていることが判った。

【問 20】ファブシステム研究会での連携の促進などに対する改善やご要望などがあれば記述をお願い致します。

表 4 ファブシステム研究会での連携の促進などに対する改善やご要望 (自由記述)

1	ファブシステム研究会の組織も年々大きくなってきており、企業間の連携を進めるためには、技術開発のテーマ毎又はビジネステーマ毎の委員会を設けて活動する等の手段も検討すべきかと思えます。
2	<ul style="list-style-type: none"> ・デバイスターゲットの絞り込みを行い、そのモデルラインの装置完成を早く進めていただきたい。 ・具体的引き合いのある顧客があるとお聞きしましたので、必要な設備に弊社の装置が含まれるのであれば、適正な時期に商談 (技術打ち合わせ含む) を行いたいと思っております。 引き続きご指導をよろしく申し上げます。
3	ミニマルファブの目指すメイン市場は既存の半導体市場ではなく、半導体ユーザの市場と考えております (メガファブの対応しづらい小ロットユーザ)。 そのユーザ側の「半導体素子調達をミニマルで対応することへの興味度 (どのくらい本気で考えてもらえるのか)」の掘り下げ、ライトハウスカスタマー (イノベータ) の意見が見えづらいように思います。この部分のセッションを企画遂行することを望みます。 また、研究会の中でも装置本体に関わらない企業 (部品のみを供給する企業) は、ニーズの掌握や提案する場が大変つかみづらく思います。すでにそのような段階にないのかもしれませんが、必要ニーズを提示いただき提案ツイートできるような場 (HP) を開設いただければと思います。

付 録 C

	認識不足であればすいません.
4	ニーズ/シーズの登録と、公開する仕組みを作ってみはてどうでしょうか？
5	今後 実用化に伴い、デバイス設計の重要性が増すと思います。 フロントエンドサイドでのデバイスのモデル化や調整などが来年度以降、期待されると思います。
6	日々変化・増加するユーザーニーズに対して、研究開発企業群が企業努力にてそのニーズを発掘又は創造に努めることは当然のことと思います。一方、事実上のリソースの制約などの観点から、例えば「あなたの開発においてこういうニーズがあります」「あなたの開発ではこういう課題があります」「この課題解決にはこの企業/研究機関/大学と協業して進めると良いのでは」といった旬な提案を仲介的な部署又は人を配置して提供頂けるような運営をして行ければ、一層研究開発が加速され、手戻りも少なくなり、オープンイノベーションに繋がりが易くなるのではと考えます。
7	当社のコア技術であるワークセル生産能力と多品種量産能力をいかんなく発揮し、ミニマルファブ研究活動に参加する弊社社員のみならず共に日本のモノ造りに革新と新風を吹き込むべき日々生産というステージで精進している我々の技能で貢献できる日が確実に近づいている事をこの1年間のミニマルの社会的認知の急速な拡大と向上から受止めております。また各装置の完成度の高ぶりも世界初の展示会会場でのトランジスタ生産の成功からも立証しております。今年もこの活動に参加する事に部下ともども我々啓装工業の誇りとして一つでも多くモノ造りのステージで貢献してまいります。
8	後工程に於けるミニマル 3DIC パッケージの実現に向けた、各工程設備の早期開発、環境構築のスピードアップに期待します。
9	大学や研究機関で ミニマル生産方式を採用し 組合以外での バグだしが出来れば 更に完成度を上げられると考えられるし また有るプロセスを完成させるため その前後のプロセスがどうあるべきかの課題が見え そこに各企業との連携が出来るように思われる。
10	参画会員も多く、どの企業、どの団体がどのような特徴・強みをお持ちなのかが、良く分かっておりません。各位団体が入会される時に総会やメールで情報をインプットしておりますが、記憶の範囲に留まっております。経時的に内容がアップデートされることもあるかと思えます。連携を取りたい時に最新情報を検索できるような仕組みがあると更に連携が強化されると思えます。
11	参加企業の技術マップ（各社の強みが分かるもの）があると、連携が補完し易くなる。
12	1) 本格導入検討に当たり、試作評価が可能な環境の整備を期待します。 【補足】導入するには工程ごとに必要な性能仕様を定め、基礎検証を行います。またラインとしての工程間の試作検証も重要であり、特にミニマルファブシステムにおいて製品適用可能なレベルであるか検証する必要があります。このような状況において、設備を購入して評価、立ち上げを行うような決断をすることができないと考えます。従いまして、試作したくても装置の空きがなく、購入しないと評価もできない状態では重要な判断ができない可能性が高いです。 2) 化合物デバイスでの要求が高いです。設計～試作を数回繰り返し製品化しているデバイスにおいて検証サイクルを短縮でき、少ない所要に向いていると考えられます。 3) ロット保障、バッチ保障など高い信頼性を担保する考え方に対してミニマルで製造した製品の検証をお願いします。

付 録 C

13	現在、新人や若手に対して、ミニマルの説明を社内で行っていますが、半導体製造に関する基礎講座等の教育の機会を作って頂き、各社の今後このミニマルファブに関わる若手の教育を一括で行う講座などを1日で良いので作っていただければと思います。また、年に1度程度、経営者向け教育の日も世代交代や新しい経営陣になった時の為に企画を検討いただければと思います。
14	例えば、真空技術をベースにした装置において、真空またはガス関連部品の共通化を考えてはいいいのではないかと。そのため関係する装置メーカーと部品メーカーの情報交換をする部会などいかがでしょう。
15	<p>昨年アンケートに対し</p> <p>「装置が形になってきて、それぞれの課題が見えてきたところで、開発過程で具体的な協力を仰がなければならない段階に来たかなとは思っていますが、まだまだ、自分の持ち分だけで精一杯の状態です。</p> <p>「こういうもの」ということはできても、それを具体的な形で表現できないことにもどかしさを感じています。</p> <p>これは裏返せば、我々が声をかけたい企業からも、強烈なアプローチはないということで、せっかく研究会内部で各企業が何をやっているのかを見えるようになっていながら、お互いが踏み込まずに模様眺めに陥っている気がします。</p> <p>「ミニマル」は、必要な製造装置が何か一つ欠けてもデバイスが作れなくなる「ひとつの共同体」であり、装置メーカーの立場としては、部品メーカーの方々ともっと近い立ち位置で、どんどん議論を進めてお互いの案を具体化いくことが必要かと感じています。</p>
16	<ul style="list-style-type: none"> ・ 早く 0.20 μ m 以下 (EB 露光機) の線幅ができるよう開発お願いします。 ・ SEM 測長機の早期開発 (EB 露光機と組み合わせ) ・ Deep RIE の早期開発 ・ スパッタ装置の早期開発 ・ 圧電メッキ膜装置の早期開発
17	製品を発注される際、前以って納入期限が決まっている物に関しては出来るだけ早い段階で情報を連絡を頂ければご迷惑をお掛けする事も少なくなると思います。
18	共通部品などの共同制作、コストダウン活動を強化していきたいと思っています。
19	<p>ミニマルファブが早い時期に民間会社へ事業として取り込まれ、広く拡販出来るよう協力していきたいと思っています。</p> <p>ミニマル装置上の評価で改善や機能向上などの要望あれば何なりと申しつけ下さい。</p>
20	筑波での会合に参加できない場合にも、当日配布された資料を速やかに送付するなど、お願い致します。(勿論、F2Fの会合の重要性は言を持ちませんが、昨今企業夫々で事情があり、又、スケジュールが、比較的近傍で通達されるなど、他の会合との重複を解消できない場合がありますので、御配慮お願い致します)
21	産総研が強いリーダーシップを発揮して参加企業をまとめている間は、弊社は出来る限り研究会の開発環境下で、プロセス・デバイス技術開発および検証を進めていきたいと考えている。

22	『顧客のコスト』を意識した取り組みがまだまだ不十分のように感じます。研究会の自己満足と取られないように、実用コストの実現に向けて客観的な意見も参考にできるようDR機関を設けるなどしてはどうでしょうか。情報共有の機会も限られている状況ですが、会員だけがアクセスできるような情報共有サイト、例えばソフトやパーツなど技術情報の提供や募集を共有できる掲示板や、事務局からのメルマガ配信を設けてはどうでしょうか。また、想定ユーザー班の関与があまりに希薄すぎて、このまま実現して行って多くの手戻りが出なければ良いのですが。．．．ホントに使えるシステムにして行くために、ユーザー班の企業もそろそろ成果物の享受と責任を共有できる(共有せざるを得ない)巻き込む仕組みを造って行っても良いのではと思います。展示会等のイベントや出版物を使って外部への情報発信もかなり進んで来たと思います。一部の参加企業のニッチ活動というように敬遠されないように、3Dプリンタや、ネットクリエイター、デジタル医療機器、サービスロボット、EV自動車など、先進的な開発活動の業界とも連携するような活動があれば、時代のニーズに応えるイメージを生む効果があるのではないのでしょうか。
23	ミニマルファブの開発ロードマップでは、主にCMOSプロセスをめざしていますが、弊社ではバイポーラプロセスにもそれなりに捨てがたい用途があり、1 μ mレベルのプロセスが可能になるための装置(エピ、拡散、イオン注入)の開発促進が期待されます。また、MEMSプロセスに不可欠のDeep-RIE装置の早期開発も望まれます。
24	当社が茨城県にあるため、関東地区以外の企業との情報交換をする事で、新たな技術やビジネスに繋げられる可能性があると考えております。 具体的な方法は、多くは案が出ませんが、専用のサイトを設けて研究会に参加している企業の情報を公開する。その中から気になった企業の担当者へ連絡出来る様にする(メールなど)。 もう一件は、臨時総会で実施されておりましたパネルディスカッションにて、パネルまでは出せない企業でも情報を発信できる仕組みがあると良いと思います。
25	我々の場合PLADの開発に部品メーカーとして協力させて頂いていますが、PLAD開発関係企業などとの定期的な集まりがあると全体の進行状況、技術的問題点などがより深まると思います。
26	弊社はマニュアルの制作会社として研究会に参加させていただいております。 各装置マニュアルの統一化に向けて開発、提案をすることで「ミニマルファブ」ブランドの定着、認知度のさらなる拡大に貢献していきたいと考えております。
27	各々のチームの開発進捗について、参画メンバー・企業がお互いに情報交換できる機会(総会のポスターセッションのような型式)が増えることが望ましいと思う。
28	原さんには相談していますが、研究会の広報活動が停滞しているため、会の内外に対する活動アピールが不足していると感じている。 ファブシステム研究会のホームページに関しては当方で改善案を策定しています。完成次第ご提案しますので、早めに改善を進めて欲しい。 ファブシステム研究会への参加者を半導体業界だけでなく、エンドユーザーである企業や団体に広げる方策を考える必要があるように感じている。
29	私達の事業主幹はLSI設計業務であり、それに付帯する設計メソドロジ組立、プロセス調査・選定、テスト技術立上といった極々小規模垂直統合できる半導体設計会社であります。これまでの半導体開発プロセスのノウハウをミニマルFabに寄与したく、設計工程の上下に位置付けられる企業さんとの連携をしたく、その後はその上下工程関係を広げていきたいと思っております。先ずは設計工程直近の関係会社さんとの連携をさせていただきたくよろしく、お願いいたします。

2.2 まとめ

本アンケートの発見事実として下記のように興味深いことが判った。

- ・約 6 割の企業はミニマルファブと言う新しいイノベーションに積極的に参加することを目的としている。なお、情報収集と回答した企業 36 社中、大企業は 15 社を占めており、イノベーションのジレンマを回避する意図も見受けられる。
- ・ファブシステム研究会の企業は Absorptive Capacity (技術吸収力) を持つ製品開発型企業が過半数以上を占めている。
- ・Absorptive Capacity を持つこれらの企業は大学における基礎研究を自社の研究プロセスに役立てることにより自社のコア技術を形成している。
- ・そのコア技術はオープンイノベーション以外でも自社開発からでも形成している。
- ・約 9 割の企業が何からのコア技術を持って、それがミニマルファブへ何等かな貢献ができるとしてファブシステム研究会に参加している。
- ・このコア技術を向上させる方法として自社の研究開発やオープンイノベーションが重要であるとしている
- ・このコア技術によりファブシステム研究会の企業とのシナジー（人的交流・連携・新たなビジネスなど）が生まれている。
- ・このシナジーの源泉は組織学習としてまたは個人学習である。
- ・約 5 割の企業がミニマルファブのプロジェクトで予定していた以上の成果が得られている
- ・約 8 割の企業が創発や共創を重要視している。
- ・昨年のセミコンでのトランジスタ製造実績により、半導体産業に与える影響や自社に与える影響度が高くなった。
- ・ファブシステム研究会では ITRS に追従しない企業が約 5 割を占めており、ウエハの大口径化に追従しないミニマルファブとは同じベクトルを持っていることが判った。

2.3 今後の課題（原 代表のコメント）

一部の企業からは、もっと企業間連携を促進してほしい、という声があります。もしこれが産総研がすべきサービスということなのであれば、それはご期待に添うことはできません。それは、本来創造的な取組みは、自発的なものであるからで、また、産総研がやりなさい、というようなことでは、決して価値のあるものは生まれないからです。また、産総研研究者は論文で査定され、企業へのサービスでは一切評価されません。ネットやブログも立ち上げて管理するには努力と労力がかかります。これらは本当にやりたい人が自ら立ち上げるべきです。また、企業間のシナジー効果にしても、これを目的にしてはいけません。これを目的にするならミニマルである必要はなく、単なる連携であり、この研究会でやらなければならないわけではなくなります。連携のための仕掛けをするなら、その連携効果はあくまでミニマルで結実するものでなければなりません。そうでないと、そこら中にある企業のサロンと同じ事になってしまいます。私たちのコミュニティーがサロン化したら、創造的な取組みはその時点でお仕舞いになってしまいます。ミニマルでは、連携というレベルのものでは、真の価値は生まれないと思っています。もっと 2 者が本気で一緒に仕事を取り組むことが有用です。

【 謝辞 】

アンケートにご協力いただいた, ファブシステム研究会の方々に心より御礼申し上げます.

また産総研 原 代表には調査票の設計や内容に関して有益なご意見, 建設的なアドバイスをいただいたことに心より御礼申し上げます.

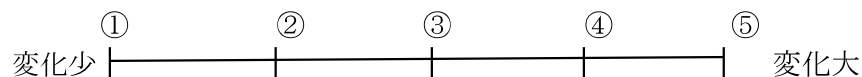
資料 1

第 2 回 ミニマルイノベーション戦略に関するアンケート調査

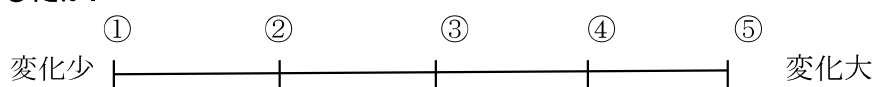
【問 1】 ファブシステム研究会入会の目的をお聞き致します。（複数選択可）

- ①ミニマルファブの情報収集
- ②開発資金補完（補助金など）
- ③コミュニティーでのネットワーク構築
- ④ミニマルファブという新規ビジネス開拓
- ⑤大学・産総研・企業から技術支援を受けてミニマル製品開発を行う。
- ⑥自社の技術力とミニマルファブの概念で半導体製造にイノベーションを起こす。
- ⑦その他（ ）

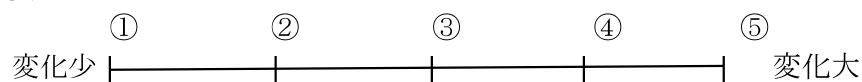
【問 2】 ミニマルファブが実用化された場合、半導体業界への影響予想は、過去一年の間にどのように変化しましたか。



【問 3】 企業の方にお聞き致します。ミニマルファブが実用化された場合、あなたの会社の事業に対するインパクト予想は、過去一年の間にどのように変化しましたか。



【問 4】 技術研究組合員の方へお聞き致します。ミニマルファブでの活動は、御社の戦略の中で重要な活動として位置付が過去一年の間にどのように変化しましたか。



【問 5】 企業の方にお聞き致します。御社はコア技術をお持ちですか。

- ①持っている。 ②おおむね持っている ③判らない
- ④ほとんど持っていない ⑤持っていない

【問 6】 問 5 で①、②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術は半導体製造のイノベーションであるミニマルファブへ貢献できますか。

- ①貢献できる ②おおむね貢献できる ③判らない
- ④ほとんど貢献できない ⑤貢献できない

【問 7】 問 5 で①、②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術の向上に最も貢献する活動は何ですか。（一つだけ選択）

- ①大学や産総研などの公的研究機関との連携
- ②大企業との連携
- ③中小企業との連携
- ④社内での自社研究開発活動
- ⑤技術を持っている企業の M&A

⑥その他 ()

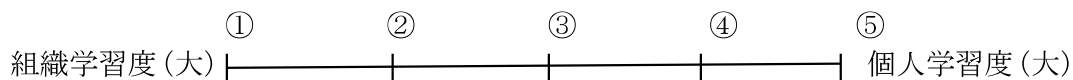
【問 8】問 5 で①, ②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術は主にどの活動により生まれましたか。(一つだけ選択)

- ①大学や産総研などの公的研究機関との連携
- ②大企業との連携
- ③中小企業との連携
- ④社内での自社研究開発活動
- ⑤技術を持っている企業の M&A
- ⑥その他 ()

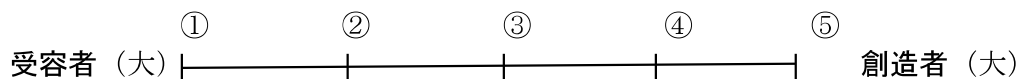
【問 9】問 5 で①, ②を選択された企業へお聞き致します。御社のコア技術はファブシステム研究会の各企業との間にはシナジー(人的交流・連携・新たなビジネス・ワーキンググループなど)の発生は、過去一年の間にどのように変化しましたか。

- ①生まれない
- ②ほとんど生まれない
- ③どちらともいえない
- ④おおむね生まれている
- ⑤生まれた

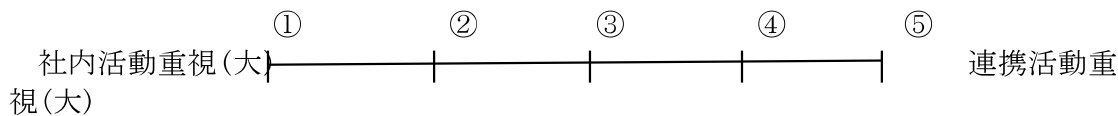
【問 10】問 9 で④, ⑤を選択された企業へお聞き致します。そのシナジーは企業としての組織学習と個人学習はいずれかを通じて実現されていますか。



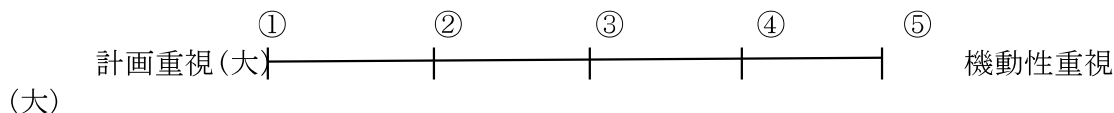
【問 11】中小・中堅企業の方にお聞き致します。大企業に比べて暗黙的には技術力に劣る場合は、知識の受容者よりは、創造者として活動することが有効と思いますか。



【問 12】企業の方にお聞き致します。御社の連携活動(一般的なコンサルティング・業務委託などは除く)に対するスタンスは、過去一年の間にどのように変化しましたか。



【問 13】企業の方にお聞き致します。御社のマネジメントスタイルを、計画重視型と機動性重視型にわけるとすれば、過去一年の間にどのように変化しましたか。



【問 14】企業の方にお聞き致します。ミニマルファブの産学官連携活動に於いて当初予定した以外の成果が、過去一年の間に得られましたか。

- ①ない
- ②ほとんどない
- ③判らない
- ④おおむね得られた
- ⑤得られた

【問 15】企業の方にお聞き致します。御社のコア技術や強みの形成にこれまでの大学や公的研究機関との連携活動はどの程度寄与していますか。

- ①全く寄与していない ②ほとんど寄与していない ③判らない
④かなり寄与している ⑤連携の成果が核になっている

【問 16】企業の方にお聞き致します。御社は大学や公的研究機関における基礎研究を自社の研究プロセスに役立てていますか。

- ①全く役立っていない ②ほとんど役立っていない ③判らない
④かなり役立っている ⑤役立っている

【問 17】中小・中堅企業の方にお聞き致します。御社は過去3年間、設計・開発能力と自社製品売上げ実績がありますか。

- ①自社設計・開発能力、自社製品売上げ共にない
②自社設計・開発能力はないが、外注設計により自社製品売上げがある
③自社設計・開発能力はあるが、自社製品売上げまでには至っていない
④自社設計・開発能力、自社製品売上げ共にある

【問 18】問 17 で②、③、④を選択された企業へお聞き致します。御社の過去3年間の新製品件数と特許出願件数をお教えてください。

- ①過去3年間の新製品件数 () 件
②過去3年間の特許出願件数 () 件

【問 19】企業の方にお聞き致します。半導体メーカーの“Wish Map”である ITRS (国際半導体技術ロードマップ) をどの程度意識して研究開発の方向付けをされていますか。

- ①ITRS が示す方向を主体として研究開発している
②おおむね ITRS が示す方向で研究開発している
③ITRS は参考程度として研究開発している。
④ほとんど ITRS とは関係なく研究開発している
⑤ITRS には関係なく研究開発している

【問 20】ファブシステム研究会での連携の促進などに対する改善やご要望などがあれば記述をお願い致します。

以上で調査は終わりです。ご協力ありがとうございました。

付録 D

第 3 回 ミニマルファブイノベーション戦略に関するアンケート調査報告書

1. 調査の概要

1.1 調査目的

現在開発しているミニマルファブは半導体産業にイノベーションを引き起こすものと期待されている。これは期待しているだけでなく、ファブシステム研究会各社や産総研が持っている技術ポテンシャルをミニマル向けに引き出し、実用技術として醸成させなければならない。それは、各社間と産総研との相互理解によってなされるものである、また、戦略的な取り組みも重要となる。一昨年、昨年とともにアンケートを実施した。今回は国プロ 3 年目として、この 3 年の間にどのように変化したかを目的に行った。今後、ミニマルイノベーション戦略を構築してゆく上での基礎資料とするものである。

また、調査研究結果をベースに、我々の産業構築の取り組みに内在する非常に新しい産業創造方法については論文としてまとめることで、我々の取り組みのエッセンスを広く世間に知ってもらうことができる。これは我々の努力を正しく世間に認識してもらうのにも役立つと思います。

1.2 調査項目

詳細なアンケート内容は、資料 1 の調査表を参照すること。

1.3 調査対象と調査方法

調査対象はファブシステム研究会に所属している企業に限定している。調査方法は調査票（アンケート用紙）をファブシステム研究会 代表 原 史朗氏よりファブシステム研究会会員へメールで送信して回答もメールで得た。

1.3 実施期間

実施期間は 2015 年 4 月 20 日から 2015 年 4 月 30 日としたが、回収率が悪かったので 2015 年 5 月 8 日まで延期した。

1.5 回答社数と回収率

110 社中 106 件の回答を得た。回収率は 96.4%であった。よって、この標本は母集団を代表するものと考えられる。

2. 調査の結果

2.1 質問文・単純集計結果のグラフ・説明・考察・結論

【問 1】御社のプロフィールをお伺いします。

- ・資本金はいくらですか () 円)
- ・常時従事する社員数 () 名)
- ・半導体産業における業種 (主たる業種を 1 つ選択)
 - ① 装置製造
 - ② デバイス製造
 - ③ デバイス設計
 - ④ 材料 (薬品, ガス, ウェハなど)
 - ⑤ パーツ (バルブ, モータなど製造装置のパーツ)
 - ⑥ サービス (ソフト, コンサル, 保守など)
 - ⑦ 商社
 - ⑧ その他 ()

ファブシステム研究会の約 6 割は中小企業・小規模事業者で構成されている (図 1 参照)。また、ミニマル技術研究組合の約 7.5 割は中小企業・小規模事業者で構成されている (図 2 参照)。更に、ファブシステム研究会の会員企業の約 6 割は半導体製造装置関連の企業から構成されている (図 3 参照)。



図 1 ファブシステム研究会の企業構成 (n=106 社)



図 2 ミニマル技術研究組合の企業構成 (n=25 社)

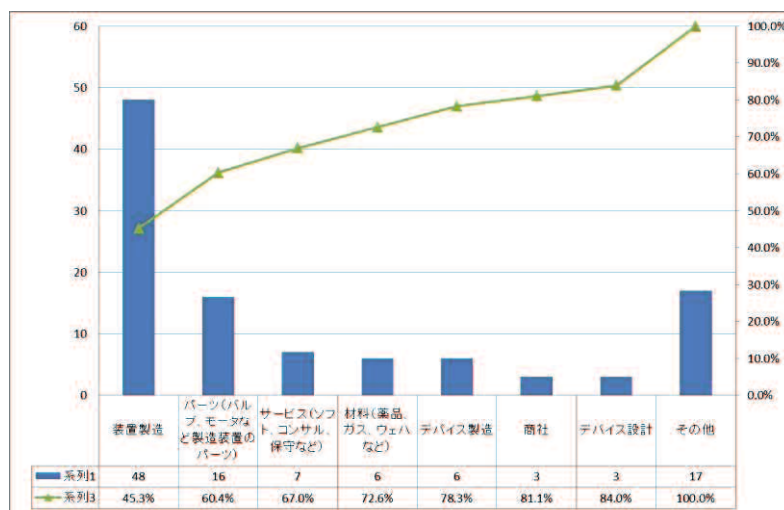


図 3 ファブシステム研究会会員企業の業種(n=106 社)

【問 4】 ファブシステム研究会入会の目的をお伺いします。（複数選択可）

- ① ミニマルファブの情報収集
- ② 開発資金補完（補助金など）
- ③ コミュニティーでのネットワーク構築
- ④ ミニマルファブという新規ビジネス開拓
- ⑤ 大学・産総研・企業から技術支援を受けてミニマル製品開発を行う
- ⑥ 自社の技術力とミニマルファブの概念で半導体製造にイノベーションを起こす
- ⑦ その他（ ）

約 55%の企業は、ファブシステム研究会へ“ミニマルファブという新規ビジネス開拓”，“自社の技術力とミニマルファブの概念で半導体製造にイノベーションを起こす”ことを入会目的としている（図 7 参照）。ファブシステム研究会参画会員企業はミニマルファブという可能性に期待を持っていると考える。

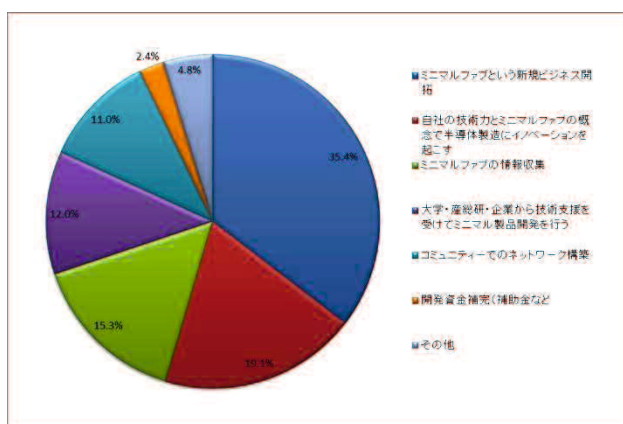


図 7 ファブシステム研究会入会の目的

【問 5】 ミニマルファブ 3 年間の国プロは成功したと思いますか。

- ① 失敗
- ② ほとんど失敗
- ③ 判らない
- ④ 概ね成功
- ⑤ 成功
- ⑥ 大成功

ミニマルファブ 3 年間の国プロは、概ね成功までを加味すると約 9 割の企業は成功と思っている（表 1、図 8 参照）。

表 1 国プロ成果

	度数
大成功	12
成功	53
概ね成功	30
判らない	10
ほとんど失敗	1
失敗	0
合計	106

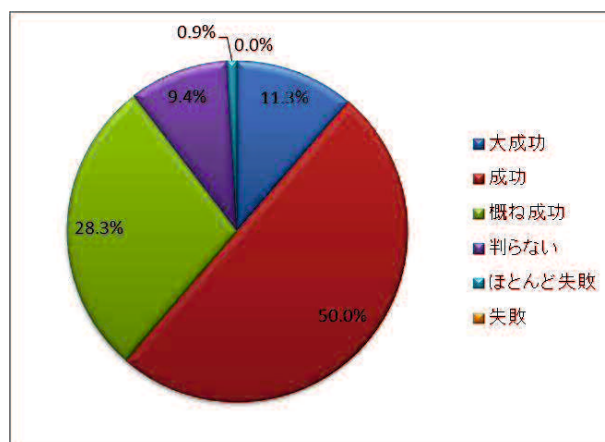


図 8 国プロ成果

【問 6】 問 5 で①失敗，②ほとんど失敗を選択された方にお伺いします。国プロの失敗要因は何ですか。（複数選択可）

- ①ミニマルファブ構想が現実的で無かった
 ②ミニマルファブの開発が時宜を得ていなかった
 ③開発集団とユーザが融合していなかった
 ④ミニマルコミュニティの運営が悪く，烏合の衆だった
 ⑤国費不足
 ⑥プロジェクトマネジメント・リーダーシップ
 ⑦産総研技術力不足
 ⑧産総研支援不足
 ⑨参加企業技術力不足
 ⑩参加企業の支援不足
 ⑪自社の支援力・体制不足
 ⑫その他（ ）
 具体的に失敗要因を記載してください。

ミニマルファブ 3 年間の国プロは“ほとんど失敗”と考えられている企業は 1 社のみで，その要因として表 1 に示す，“産総研支援不足”と“参加企業技術力不足”である。更に，その他の要因として“3 年で 38.5 億円の国プロとしては実績がほとんど無いのは失敗では”と指摘されている。

表 2 国プロ失敗要因

失敗要因	度数
産総研技術力不足	1
参加企業技術力不足	1
ミニマルファブ構想が現実的で無かった	0
ミニマルファブの開発が時宜を得ていなかった	0
開発集団とユーザが融合していなかった	0
ミニマルコミュニティの運営が悪く、烏合の衆だった	0
国費不足	0
プロジェクトマネジメント・リーダーシップ不足	0
産総研支援不足	0
参加企業の支援不足	0
自社の支援力・体制不足	0
その他	1

【問 7】 問 5 で①失敗，②ほとんど失敗を選択された方にお伺いします。国プロを失敗と思われた根拠は何ですか。（複数選択可）

- ①装置販売の実績が少ない
 ②実アプリケーション試作の事例がない
 ③その他（ ）
 具体的に失敗と思われた根拠を記載してください。

表 2 に示すようにミニマルファブ 3 年間国プロが“ほとんど失敗”の根拠として“装置販売の実績が少ない”，“実アプリケーション試作の事例がない”と回答されている。

表 3 国プロ失敗の根拠

失敗の根拠	度数
装置販売の実績が少ない	1
実アプリケーション試作の事例がない	1
その他	0

【問 8】 問 5 で④概ね成功，⑤成功，⑥大成功を選択された方にお伺いします。国プロの成功要因は何ですか。（複数選択可）

- ① ミニマルファブ構想が高い価値をもっていた
 - ② ミニマルファブの開発が時宜を得ていた
 - ③ ユーザが研究会に参加して、狙いがより明確になった
 - ④ ミニマルコミュニティの運営がうまく行き、各社の力が集積した
 - ⑤ 投資された国費に対する成果物
 - ⑥ プロジェクトマネジメント・リーダーシップ力
 - ⑦ 産総研技術力
 - ⑧ 産総研支援
 - ⑨ 参加企業の技術力
 - ⑩ 参加企業の支援力
 - ⑪ 自社の支援力・体制
 - ⑫ 参画企業間の垣根がなく自由にコミュニケーションができた
 - ⑬ ファブシステム研究会の企業が 100 社以上になった
 - ⑭ PLAD，ミニマルシャトル，筐体など各装置の共通部分がユニット化された
 - ⑮ 意思決定の速い製品開発型の中小・ベンチャー企業が装置開発を行った
 - ⑯ その他（ ）
- 具体的に成功要因を記載してください。

多くの企業はミニマルファブ 3 年間の国プロ成功要因として，“ミニマルファブ構想”，“計画通りに遂行したプロジェクトリーダーのマネジメント力”，及び“参加企業”や“産総研の技術力”にあると考えている（図 9 参照）。

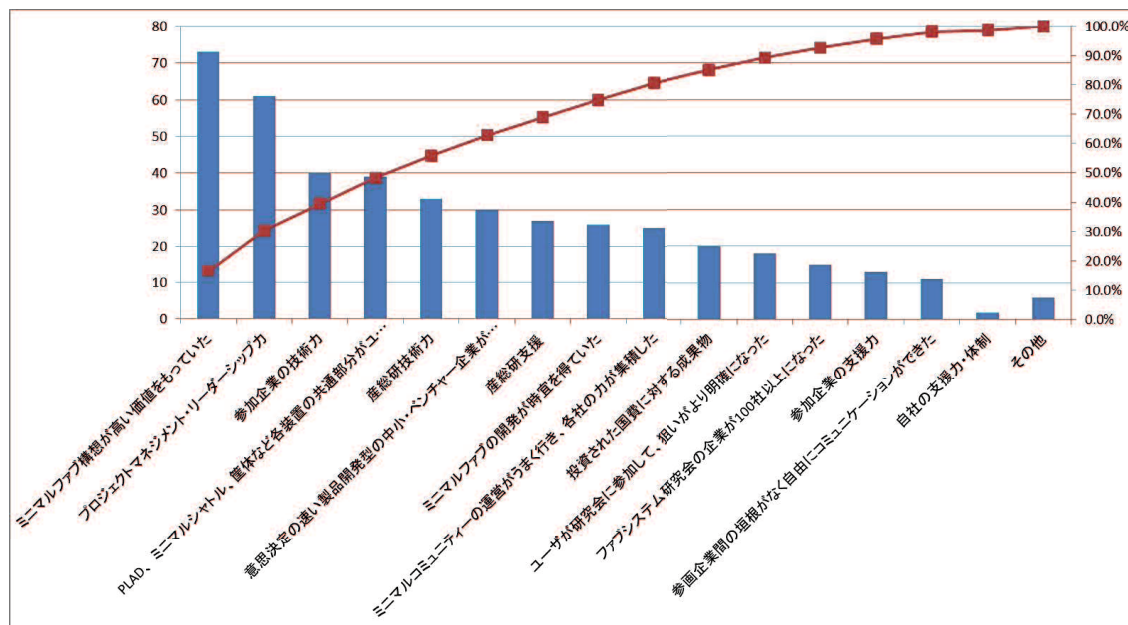


図 9 国プロ成功要因

【問 9】 問 5 で④概ね成功, ⑤成功, ⑥大成功を選択された方にお伺いします。国プロを成功と思われた根拠は何ですか。(複数選択可)

- ①SEMICONでの多くの集客力
 - ②概ね装置開発完了
 - ③装置販売の実績があった
 - ④p-MOS, n-MOS, カンチレバー, C-MOSが完成した
 - ⑤デバイスメーカー等ユーザでかなりミニマルへの理解が進み, 導入を検討しているところができている
 - ⑥次への大きな方向性として, 業界でかなり話題になって, 注目されている
 - ⑦国プロの実行計画を, 一切の頓挫無く進めて完遂したこと
 - ⑧その他 ()
- 具体的に成功と思われた根拠を記載してください。

ミニマルファブ3年間の国プロ成功の根拠として, 大半の企業は, “装置開発完了”, “半導体素子” や “カンチレバーの試作完成”, 及び “SEMICONの集客数” としている(図10参照)。

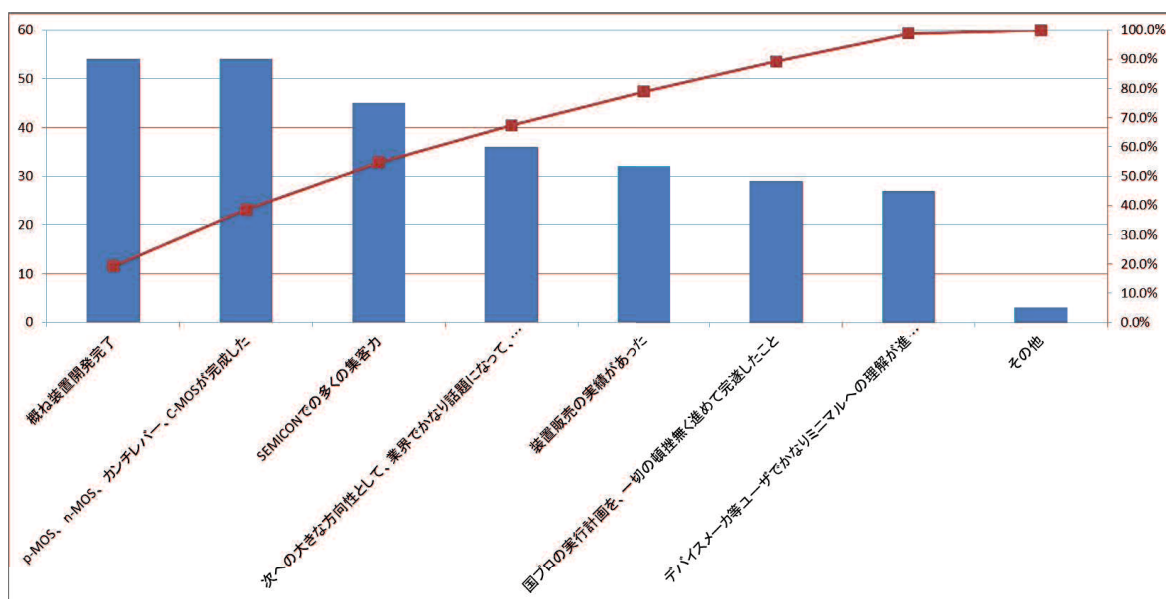


図 10 国プロ成功根拠

【問 10】 ミニマルファブが半導体業界へ与える影響についてお答えください。

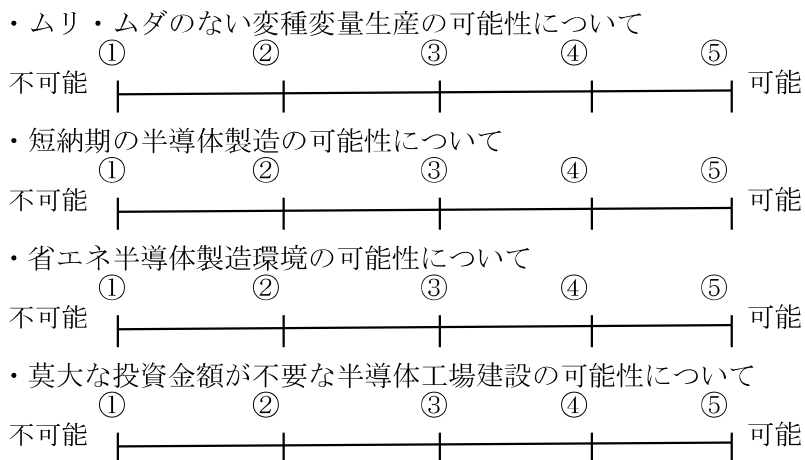


図 11, 図 12, 図 13 で示すように, 9 割以上のファブシステム研究会の企業は, ミニマルファブは半導体業界へ影響を与えていると考えている。

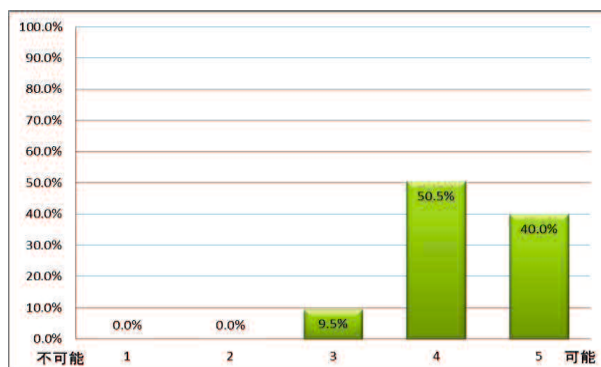


図 11 ムリ・ムダのない変種変量生産の可能性

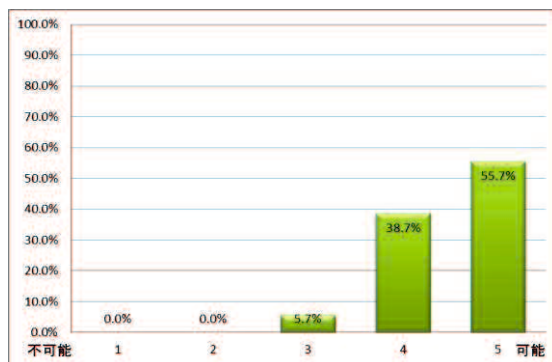


図 12 短納期の半導体製造の可能性

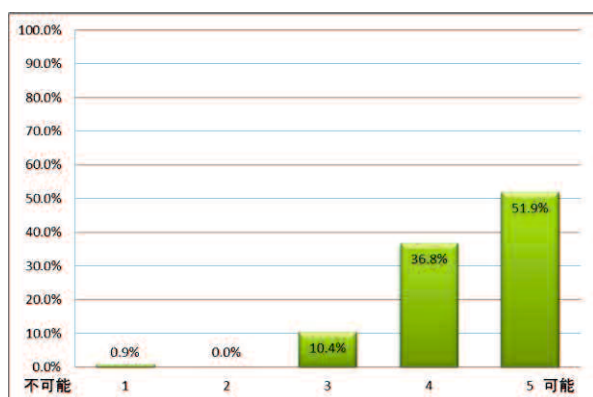


図 13 莫大な投資金額が不要な半導体工場建設の可能性

【問 11】 ファブシステム研究会の会員企業、大学、公的研究機関とのシナジーで御社は製品開発を行いましたか。

- ①Yes(ミニマルファブ以外の製品を開発) ②Yes(ミニマルファブの製品開発)
③No

ファブシステム研究会の企業の約 5 割はお互いのシナジーにより製品開発を行っている。特に興味深いのは、約 1 割の企業はミニマルファブ以外の製品もお互いのシナジーで開発している (図 14 参照)。

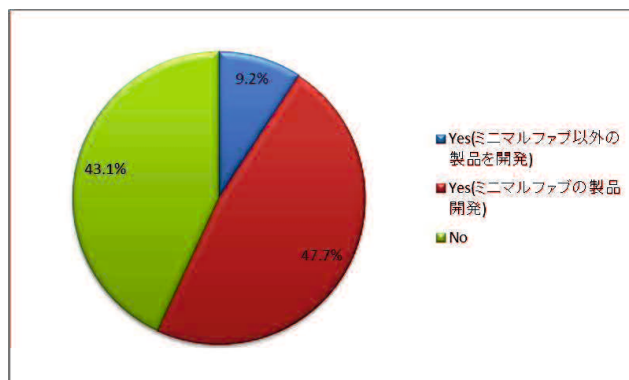


図 14 お互いのシナジーによる製品開発

【問 12】 御社のミニマルファブ関連の技術は他社の製品開発に寄与しましたか。

- ①Yes(ファブシステム研究会の企業)
②Yes(ファブシステム研究会以外の企業) ③No

ミニマルファブの関連技術は、約 4 割の企業が他社のミニマルファブ装置開発に寄与していると回答している (図 15 参照)。この理由はミニマルファブでは PLAD, ミニマルシャトル, 筐体, 操作パネルなどが統一されているので、これらの技術が寄与していると考える。

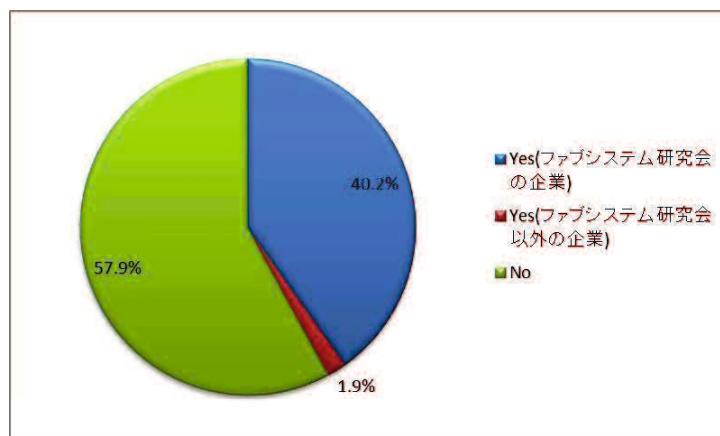
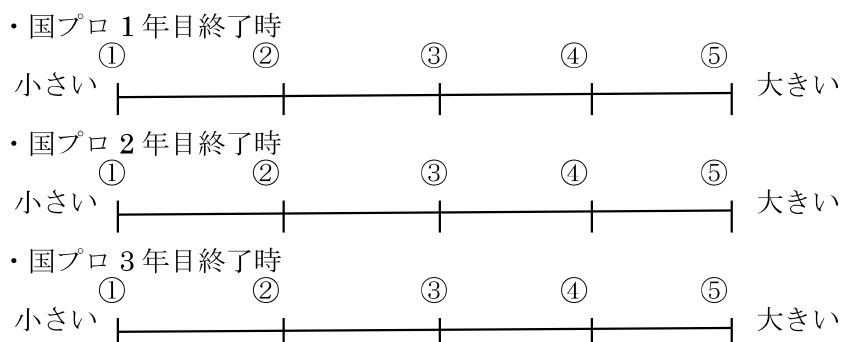


図 15 ミニマルファブ関連の技術の他社の製品開発寄与度

【問 13】 ミニマルファブに関して、御社の半導体事業に対する影響予測度の変遷についてお答えください。なお、途中から参加された企業はその時点からで回答をお願いいたします。



ミニマルファブが自社の半導体事業に対する影響度は、国プロ 1 年目終了時は過半数以上の企業は小さいとしていたが、国プロ 3 年目終了時には影響度は大きいとする企業が増えている（図 16 参照）。この理由は問 9 の成功の根拠とも関連するが、装置の完成、SEMICON での成果などからより現実味が帯びてきたと推測する。

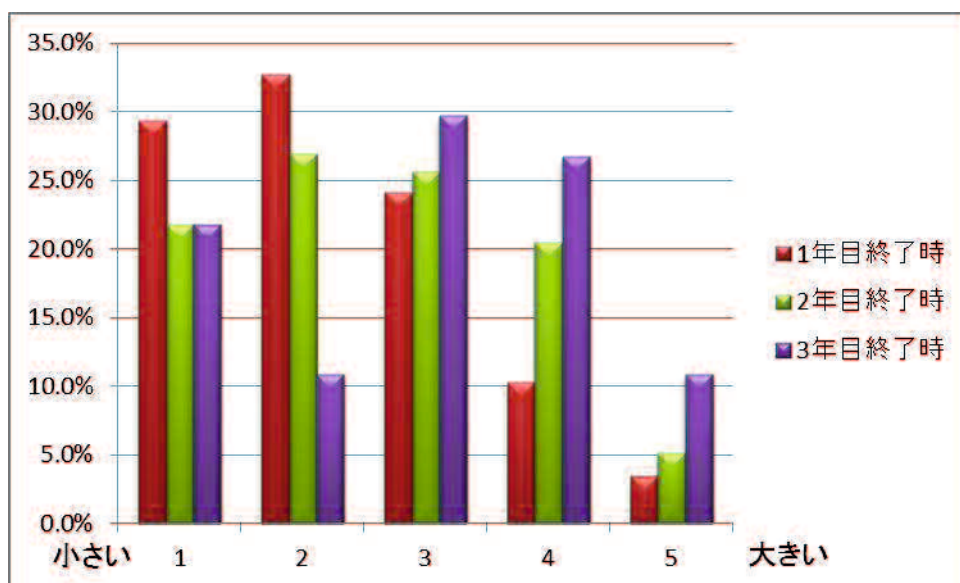
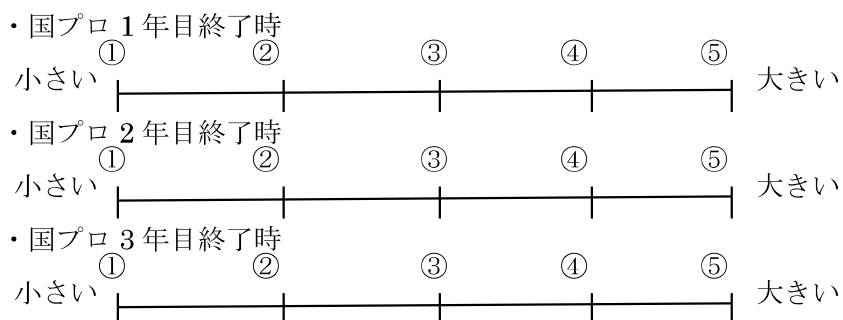


図 16 ミニマルファブの自社への影響度推移

【問 14】 ミニマルファブに関して、半導体業界に与える影響予測度の変遷についてお答えください。なお、途中から参加された企業はその時点からで回答をお願いいたします。



ミニマルファブが半導体業界に与える影響度は国プロ 1 年目終了時では小さいと考える企業が大半であった。しかし、ミニマルファブの成果に伴い、国プロ 3 年目終了時には、約 7 割の企業は、影響度は大きいと考えていることが判明した（図 17 参照）。

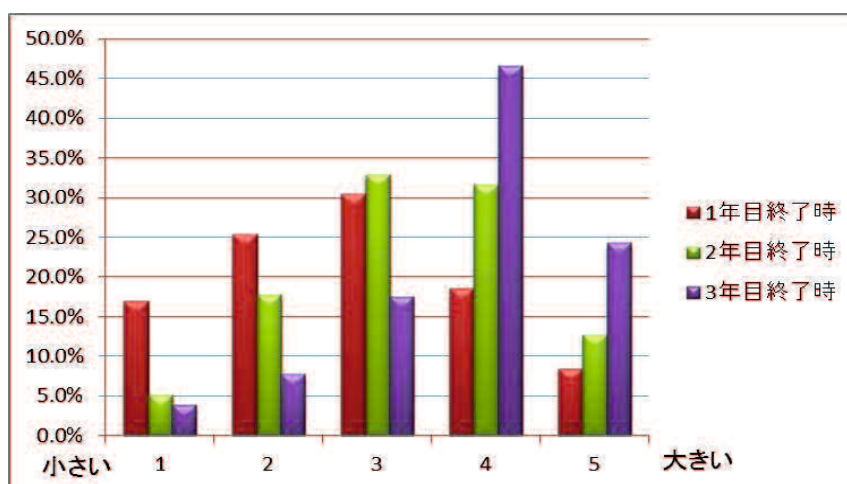


図 17 ミニマルファブが半導体業界へ与える影響度の推移

【問 15】 御社はコア技術をお持ちですか。

- ①持っている ②概ね持っている ③判らない
 ④ほとんど持っていない ⑤持っていない

ファブシステム研究会の企業は概ねコア技術を持っている企業も含めると約 9 割の企業は、何らかのコア技術を持って参画している（図 18 参照）。このような企業が多いのでミニマルファブの国プロは成功したと考える。

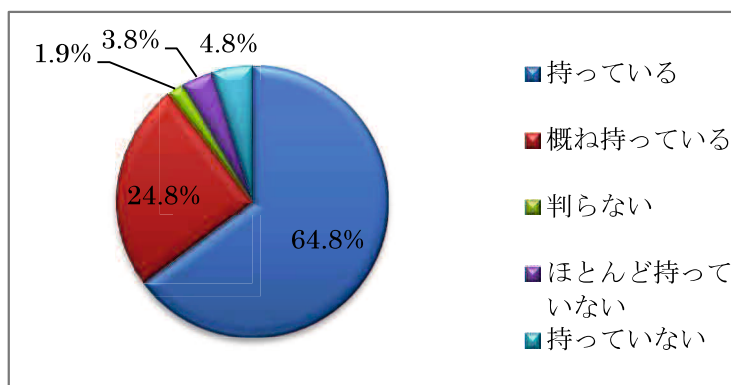


図 18 ファブシステム研究会企業のコア技術有無

【問 16】 問 15 で①, ②を選択された企業へお伺いします。御社のコア技術は半導体製造のイノベーションであるミニマルファブへ貢献できますか。

- ①貢献できる ②概ね貢献できる ③判らない
 ④ほとんど貢献できない ⑤貢献できない

“概ね貢献できる”を含めると約 8 割の企業が自社のコア技術はミニマルファブへ貢献できると考えている (図 19 参照)。

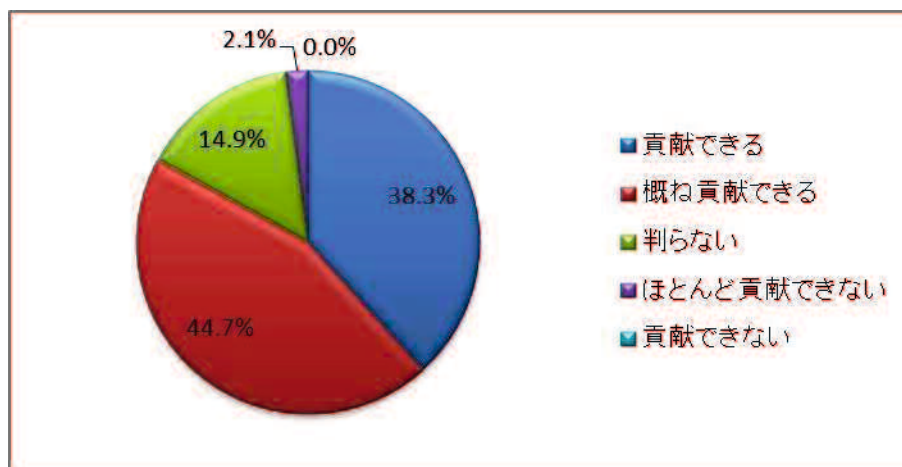


図 19 自社コア技術のミニマルファブ貢献度

【問 17】 問 15 で①, ②を選択された企業へお伺いします。御社のコア技術の向上に最も貢献する活動は何ですか。(一つだけ選択)

- ①大学や産総研などの公的研究機関との連携
 ②大企業との連携
 ③中小企業との連携
 ④社内での自社研究開発活動
 ⑤技術を持っている企業の M&A
 ⑥その他 ()

自社のコア技術向上に貢献する活動は、約 3 割の企業が“社内での自社研究開発活動”としているが、約 5 割の企業は、産学官のオープンイノベーションとしている（図 20 参照）。

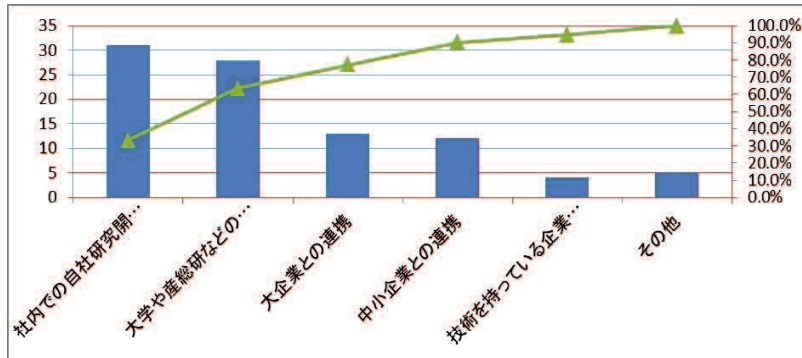
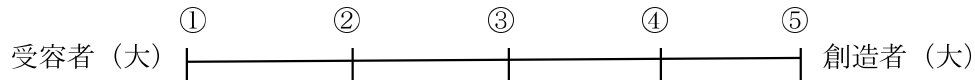


図 20 自社コア技術向上活動

【問 18】 中小企業、小規模事業者の方にお伺いします。大企業に比べて暗黙的に技術力に劣る場合は、知識の受容者と創造者ではどちらとして活動することが有効と思いますか。



中小企業、小規模事業者の約 5 割は、大企業に比べて暗黙的に技術力が劣る場合は、知識の受容者としては創造者として活動することが有効と考えている（図 21 参照）。ファブシステム研究会の約 6 割を占める中小企業・小規模事業者の大半がこのような考えを持っているので半導体生産システムのイノベーションが起せたと思う。

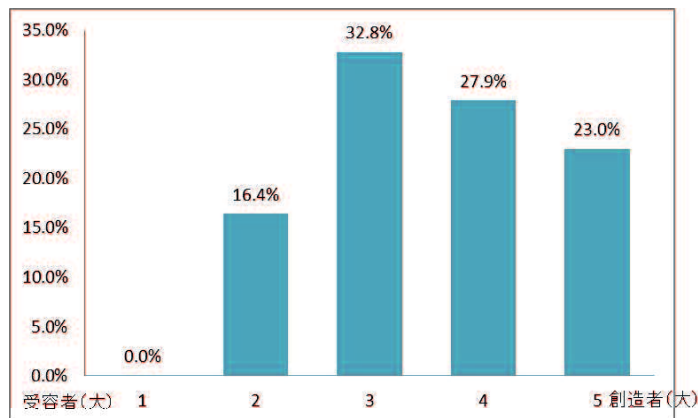


図 21 知識の受容者と創造者（n=61）

- 【問 19】** 企業の方にお聞き致します。半導体メーカーの“Wish Map”である ITRS (国際半導体技術ロードマップ) をどの程度意識して研究開発の方向付けをされていますか。
- ① ITRS が示す方向を主体として研究開発している
 - ② 概ね ITRS が示す方向で研究開発している
 - ③ ITRS は参考程度として研究開発している
 - ④ ほとんど ITRS とは関係なく研究開発している
 - ⑤ ITRS とは関係なく研究開発している

ミニマルファブは ITRS の指し示す方法性とは異なるプロセス開発を行っている。ファブシステム研究会の約4割の企業も ITRS に追従しない方向性で自社の研究開発を行っている (図 21 参照)。参加企業とミニマルファブのベクトルが合っているもの国プロ成功要因の一つと考える。

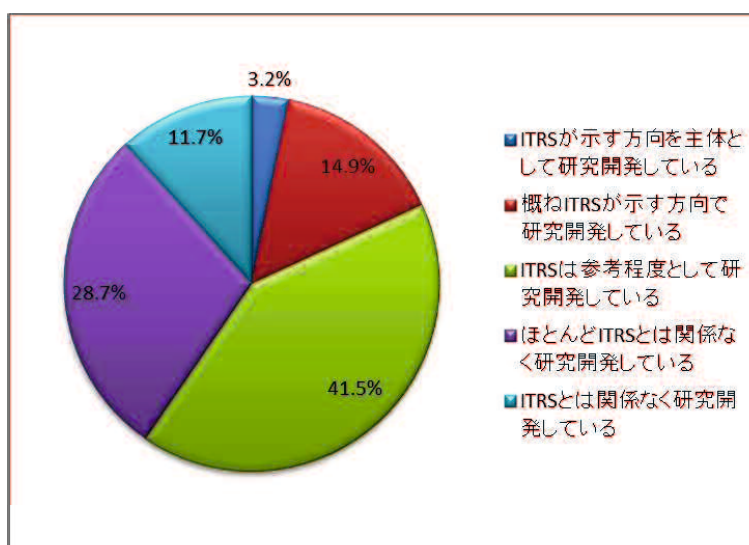


図 22 ITRS の位置付け (n=94)

- 【問 20】** 今後ミニマルファブを成功に導くためのご意見やご要望などがあれば記述をお願い致します。

表 4 には記名企業のコメント、表 5 には無記名企業のコメントを記載しています。

表 3 記名企業コメント

株式会社 ディスコ	<p>ミニマルファブ構想を実現した工場が立ち上がり運用されるまでには、まだ数年かかると思われるが、想定ユーザへ導入検討をしてもらうためにも、海外を含め、構想についての一般認知度をさらに広く上げていく活動が重要と考えます。</p> <p>プロセスが完成した一部分だけでも (メガファブとのコラボを伴っても) 早急に実用化し、その実績をアピールしていくのが得策であると思います。</p> <p>また、SEMI/CE などの国際規格についての検討は、各社とも早めに着手しておくべきではないでしょうか。</p>
三友製作所	<p>研究会会員のデバイス製造メーカーと装置製造メーカーの関係強化に期待をしております。</p>

付 録 D

沖エンジニアリング (株)	性能面では大きく前進して製品納入も開始されました。今後はさらに製品としての信頼性を意図した部分も考慮していく必要が大きくなっていくステージかと思えます。 フィールドでの安定稼働を意図した抑えるべき部分を明確にして 対応していくことが顧客満足を得て成長する要素になると考えます。
株式会社朝日工業社	品質の安定と向上
村田製作所	今の性能（線幅など）では、事業として広がりを見せないと思えます。小型化であるメリット（温度均一、etc）を活かし、現在のメガファブではできないような性能を持った時、はじめて世間に有用性が認められると思えます。 既に業界に、ミニマルではないファブが存在する限り（それを使った方が安い）、いくらメリットを訴えても、現実には広がらないと思われます。 それと、戦略という言葉の使用に違和感を覚えます。戦略とは、「自分の立ち位置を明確にし、中長期の目標を立て、それを実現するためのシナリオ」です。すなわち目標のない戦略は存在しません。
三菱UFJリース	今後は、生産現場での生産性や故障時の対応、不具合に対する改善などが問われる段階になってきていると思われます。ハードやプロセス開発に加え、実際のユーザーニーズへの対応も成功への重要な鍵となると思えます。 そういった点を意識した仕組み作りも大切ではないでしょうか？ ミニマルファブの今後の発展を心より期待しております。 よろしくお願ひいたします。
エドワーズ株式会社	各装置開発メーカーへの開発費確保が必要
株式会社共和電業	ミニマルファブ導入によるデバイス製品化実現のため、早期の装置ラインナップを希望します。
オリエンタルモーター株式会社	普及に向けて話題はタクトタイムと価格が残ると考えます。微力ながら協力していければと思ひます。
アイチシステム	まずは、触って、実際に物を作って頂くのが一番装置の事を分かりやすく伝える手段だと思ひます。
アワーズテック	ミニマルファブを製造現場が使いこなせるようになるまで、ミニマルのさらなる開発にも、製造現場のパイロットプラントの導入にも国の理解と支援が必要不可欠だと思ひます。
エスティケイテクノロジー	・多くのユーザーとの連携を深め、具体的なデバイス開発を推進していただきたい。 ・中小企業にとっては予算面の問題は大きく、多くを自社開発で進めるとなると難しい。
サンヨー（株）	これまで、装置・要素部品群・プロセス・設計ツールなどの多くが実用化に近いところまで到達しており、今後はデバイス自体とデバイス製造プロセスの品質管理・品質保証についてもユーザーレベルで取り組み、加速することが必要と考えます。技術はユーザーが促進剤となり成長させる場合が多々あることを鑑み、ユーザーにどんどんミニマルを活用して頂けるよう継続的改善を実施し、完成度を高めたいと考えます。また、将来的にはミニマルファブでしか実現出来ない様なデバイスの製造が可能となれば、①巨大投資問題の解決策、②My LSI などの Makers 的構想、と併せて鬼に金棒となり得ると考えます。
株式会社リガク	自社の技術を役立させるため、研究会内の WEB 上の掲示板等で情報発信や相互連絡ができると、活動がしやすくなるように思ひます。
株式会社ピーエムティー	中小規模エンドユーザーへの導入・運用支援と共同開発体制の構築

付 録 D

<p>光洋サーモシステム株式会社</p>	<p>今までは、開発フェーズで技術者の世界で進んできたが、ビジネスの領域に足を踏み入れてくると、各種の今までとは違う障壁が出てくる。スピードを持ってやらないと、海外の目敏いところに、新しいビジネスモデルで、足をすくわれることも考えられるかもしれない。当社でも、今までは実績のあるプロセスで、装置の小型化を進めればよかったが、これからは、特高ガスを使わないCVDという、いわば未知領域に入り、ミニマル対応の真空ポンプなど、必要だが、現状、世に存在しないというモノもまだまだあるため、ミニマルコンセプトと実用機との狭間で苦悩もしている。</p> <p>ファブとしての本当の開発は、実はこれからで、これからは「装置屋だけで何とかやれる」領域ではなくなるだけに、今までとは違う苦しさに覚悟が必要かと思う。</p>
<p>アピックヤマダ株式会社</p>	<p>大学や、企業研究機関でのミニマル装置使用（販売）をより積極的に展開し、装置の完成度、プロセスの確立を早める。</p> <p>パッケージングや実装関連の設備展開も進展させ、ユーザが直ぐにミニマル環境を構築できるようにする。（開発費用の問題はあるが、）</p> <p>今後も、ミニマルファブに「ワクワク」していきたいと考えています。よろしく願いいたします。</p>
<p>株式会社ナノテック</p>	<p>ミニマルファブが拓く新規世界市場とは、半導体産業の次世代市場とか、次世代デバイス市場とかの概念（コンセプト）を捨てて、まったく新しいコンセプトによる近未来社会の幸福と平和に貢献できる、ミニマルファブ独自のキラアアプリケーションを目指すべきと考えます。</p> <p>一例としては、米国で数年前に始まった内視鏡による技術支援システム「ダ・ビンチ」のような医療システムの「ミニマルファブシステムによる日本版」を立ち上げるとか、新しいマーケットを拓く発想が必要です。</p> <p>日の次世代産業でもっとも有望なのは医療機器、介護機器、医薬品、などですぐにタッチアップできる産業です。</p> <p>安部のミックスでも大型予算が付いていますので大いに頑張りましょう。</p>
<p>ニトー冷熱製作所</p>	<p>日本の半導体産業の復活を期待しています。</p>
<p>デザインネットワーク</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・今後、量産時の装置品質のバラツキをいかに抑えるかが課題になると思われます。自社の量産体制構築だけでなく、OEM生産できるよう企業間の連携や完成品検査仕様の確立を図っていくことが有効だと思われます。 ・半導体やデバイス産業分野以外では、まだまだミニマルファブは認知されておりません。潜在ユーザの掘り起こしのため、研究会の各企業が自ら営業することが必要です。そのために、ミニマルファブをきちんと（人によって言うことが違わないよう）説明できるよう教育/セミナーの実施やツールの充実が有効と思われます。
<p>横河ソリューションサービス</p>	<p>兎に角個々の装置の完成度を上げること。並びに装置の生産体制の確立。</p> <p>更に、顧客の視点で考えた場合、如何にミニマルとは言え数億の投資が必要なことから、特に国内の企業へ採用してもらうには自分たちの目的にミニマルファブが使えることを納得してもらうことが必要。即ちサンプル試作や評価が必要で、更にミニマルファブの場合、メガファブと異なりファブとしての試作・評価を求められる可能性が高く、それに伴う莫大なコストをどうするかは課題。顧客が安い料金で自由に使うことができるレンタルファブ等の検討も必要かもしれない。</p>
<p>太陽日酸株式会社</p>	<p>1プロセス1筐体で、外部接続はN2 & 100V-15A 電源、排出物は無害ガスというコンセプトは、プロセスライン・装置レイアウトの変更やメンテナンス対応に優れており、装置に精通していなくても取り扱えるメリットがある、と共感します。一方で、学生が装置を使用する大学を始め、幅広いユーザが想定される中、安全対策を十分に盛り込むことも重要と考えます。ユーザーサイトで事故を起こすと、ミニマルファブそのものに対する逆風が起きると懸念するからです。支燃・可燃の分離、漏洩検知時の動作などの観点から、毒性・可燃性・腐食性などのガスを扱う装置については、SiCVD装置同様に2筐体型として、ガスボンベと除害を一つの筐体に収めることを考えても良いと思います。</p>

付 録 D

東芝	一貫して流せるように装置のラインアップを早く揃えて頂きたい デバイス試作を通して装置の完成度を高めて頂きたい
CKD 株式会社	第一ステップとして、ハードウェアの開発は概ね目処がついてきていますが、今後は、それを制約条件としたプロセス開発を深掘りする第二ステップの時期であると思います。ハード（ミニマル装置）と異なり成果が地味になりますが、産学官連携の大切なミッションであり、次のハードイノベーションには不可欠であると考えています。
株式会社エピックエスト	装置によっては使用材料の使用量の問題もある。収納にこだわるだけでなく、使用し易さ、ランニングコスト、入手しやすさ等も考えて、開発していくのも重要。
熊本防錆工業（株）	産総研のスタッフの方々について、ウエハプロセス経験者は多数いらっしゃいますが、アセンブリの経験者はあまりいらっしゃいません。今後、アセンブリ技術経験者が必要になると考えます。
ルネサス エレクトロニクス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・将来ミニマルファブが成功した場合を想定し、現段階から開発参加機関の利益還元を考慮した進め方が必要。 ・ミニマルファブ（一部ハイブリッドも可）を用いた適切価格のデバイスを早期に市場に出すことが重要である。その段階まで到達すれば、さまざまなデバイス検討の可能性が明確に見えてくる。 ・現在、メガファブで生産している製品と競合するのか？またはメガファブで生産していない少量品を狙うのか？などのビジネスモデルの可能性を早期に見極めることが重要である。
(株)小松精機工作所	このまま継続をお願いします。
株式会社 ワイドテクノ	エンドユーザーにミニマルファブシステムを早く購入して頂き、ユーザーからの情報を、ファブシステムに還流することにより、より良いミニマルファブシステムを作り上げていくことだと思います。
(株)片桐エンジニアリング	<p>今後ミニマルファブの成功は各装置の完成度をどれだけ上げられ、販売量が伸びるかによって、どれだけの費用を改良・開発費に回せるかにかかっていると思っている。</p> <p>各装置の完成度は、使用している部品の性能・寸法に掛かっているので、各部品メーカーの開発に依存するところが大きい。その為にも数が出ることが重要である。</p>
(株) アルゴシステム	<ol style="list-style-type: none"> ①装置システムの商業ベースでの実生産数を増やす。（ユーザーを増やす。） ②多工程製品（システム LSI・MPU など）の生産が出来るようにする。 ③その多工程の、その生産管理システムの確立が必然。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 自動搬送 ・ 高速データ通信（EDA データ交換） ・ データ管理（統計解析） <p>それらのために弊社のコア技術である、制御システムのハード・ソフト・ネットワーク技術・リモート I/O 技術・サーバ技術などで貢献したいと思っている。</p>
株式会社システック井上	<ul style="list-style-type: none"> ・ ミニマルユーザーの更なる拡大 ・ 対象デバイスの増大 ・ プロセス技術(装置含む)成熟 <p>上記を推し進めることにより、日本の半導体産業の活性化および競争力の向上に寄与できればと考える。</p>
坂口電熱株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各社、装置としての完成度を高める為、デバイス製造におけるトライ&エラーの機会継続していく事が必要 ・ ユーザーを幅広く想定し、実際に試用して頂き、将来的に購入して頂く為に必要な”開発（性能など）ターゲット”を把握することが大切と感じます。
株式会社 SEBACS	国家プロジェクトとしての活動は終了しましたが、装置開発はほぼ全工程でミニマル化が達成できていますので、今後はマーケットが早期に形成される事に期待します。その為には、装置性能の向上、安定化が必要かと思います。

付 録 D

株式会社 TCK	<p>1. 公開型ファブ（デモ展示に近いレベルで十分）の全国展示 何処に行けば見れるのか？の声が多い</p> <p>2. 先端デバイスに対するミニマルファブとしてのソリューション提示 今後どうするのか？の専門家からの疑問が増えている</p> <p>3. 導入先の事例公開 現在、どのようなレベルなのか？ユーザはいるのか？ 等の問い合わせ多数</p> <p>などに応える手段として、ミニマルファブの Web サイトを整備し、それらを 開示（オープンに）してみてもいいでしょうか？</p>
株式会社 工裕精工	弊社は加工屋で半導体製造装置開発には直接的には寄与できませんが今後 ともできることがあれば皆さんの指導を頂きながら参加して行きたいと考 えます。
ジーダット	研究試作レベルから年数万個の量産保証へいつ品質向上が可能になるかが キーとなると思われます。それはそれで大きな壁のように思えますが、きつ と解決されると期待しています。
(株) 石井工作研究所	ユーザからのご意見などを、もっとお聞かせ願えればと思います。
不二越機械工業株式会 社	どの位多くのデバイス企業や研究機関が採用するかが鍵だと思います
横河電機	数個だけ作るというならあまり気になりませんが、数万個となると「品質」 が気になります。同じモノをどうやって作り続けていくかということを考え なくてはならないフェーズがきたとき、どう対応できるか。 そろそろそういったことも考えていく必要があるのではないのでしょうか。
株式会社アルバック	ミニマルファブ装置の開発に必要な支援活動を持続的にやっていくことが 極めて重要であると思います。
株式会社ブイテックス	今後ともお力になれるようにゲートバルブのさらなる発展に努めます
アズビル株式会社	各製造装置群について、概ね出揃ってきた感があります。今度は更に次段階 へとステップアップし、ハイブリッド製作から、フルミニマルで製作可能な デバイスの幅を広げると共に、その品質、スループット向上について追究さ れることを期待します。
株式会社大日本科研	生産者の立場でなく消費者の立場でデバイスの方向性について検討する必 要があると思います。
伯東株式会社	評価ユーザ数をいかに増やして、実際にデモ評価をどれだけ行い、 実機にフィードバックしてより完成度を高めるかが成功のカギかと思いま す。
株式会社アドウェルズ	本格的に成功に導く段階では、当初の目標だった 1 分 / 1 工程をいかに実現 するかを考える必要がある。一通りの装置が開発完了となった段階でスタ ートかと思う。
有限会社 VIYIA	回路を集積までの継続的な開発資金
啓装工業株式会社	今後の量産化に向けたご協力では是非ご協力させて頂きたい。
株式会社米倉製作所	<p>ミニマル技術組合を軸とした共通部品の供給体制確立</p> <p>販売ルートと販売価格の一貫性の確立</p> <p>ミニマル製品販売アドバイザーの育成</p> <p>デバイス設計者の育成</p> <p>ファンドリー事業の後押し</p> <p>完成品のサンプル作成</p>
大成建設(株)	ミニマルで製造した最終製品の早い段階での提示。
オムロン株式会社	装置価格が(メガファブ装置より)安いとはいえ、現状企業が研究開発で投資 を潤沢にできる環境では無い。従って、R&D やお試しで気楽に使えるミニ マルファンドリファブの立ち上げが急務と考える。その条件として、企業から 人がフルサポートするのではなく、ファブ付の担当者が顧客ニーズに応じて

	サンプル作成をしてもらうような仕掛けが必要。ぜひ前向きな検討をお願いします。
--	--

表 5 無記名企業コメント

A 社	① ミニマルファブの潜在市場では、多くは半導体に関する経験・ノウハウが少ないか持っていないユーザだと思われます。ですので、プロセス技術の提供がトータルソリューションビジネスを目指す企業に求められると思います。 ②ミニマルファブの導入で前工程への巨額投資は極度に押さえられるが、後工程への投資抑制効果に対してはユーザ側から見てあまり大きな魅力は感じてもらえないように思います。私ども後工程の装置開発メーカーとしては危惧するところであり、今後の課題でもあります。
B 社	産業の期待に応えるレベルの実用化を実現するには継続的な開発資金が必要。日本の製造業（デバイスメーカー、装置メーカー）が疲弊している環境下で、機器メーカー、EMS、通信会社、など最終商品・サービス事業者に対しても投資関心を集める必要がある。そのためにも一般大衆含め理解を広げるため、マスコミ報道を継続的に活用しながら周知拡大と、シンプルなデバイス関連でクリエイティブな最終商品の上市に寄与できる成功事例を探してはどうか。
C 社	ミニマルコストを実現するための課題解決（①装置単価を始めから数百万円台にする。②タクトタイム1分を実現する）が必須だと思います。期待しています。
D 社	ユーザへの PR 海外ユーザへの売り込み
E 社	大変お疲れ様でございました。特に、この3年間は、成果の前倒しを要請されていたシーンも多かったかと存じます。国家プロジェクトの区切りとして、CMOSが動作した事は先ず、喜ばしい事と存じます。これにより、トータルプロセスの状態が常に把握できる状態になったものと思います。 ありがとうございました。
F 社	ミニマルファブ構想はミニマルファブを構成する装置単体で成立させる仕組みではないと考えます。従って、ミニマルファブの普及には、ミニマルファブをライン＝工場として販売する統括販売窓口を担う組織、又は、企業が必要且つ重要な要件になると考えています。この点についての、現時点での構想がお聞きしたいと思います。
G 社	今年度はプロセス開発に入りますが、ファブ研究参画各社は更に開発スピードを上げて取組んで頂く事を希望致します。
H 社	ミニマルファブの成功は企業化の最後の死の谷に差掛っていると考えられます。その最後の一步が肝心と考えます。全関係者の意志がどれくらい集約されるか、その一步をいかに乗り越えるために払うべき努力が纏められるか、そのリーダーシップが大事であると思います。（産総研代表原様を意味するものではありません）企業側の意思統一と各社の協力をいかに合理化するかも重要な意味を持つと考えます。 各社の思惑を大事にし過ぎますと分裂するのように感じます。ここはドライに考え直すことも必要ではないでしょうか。

2.2 まとめ

本アンケートの発見事実として下記のように興味深いことが判った。

- ・ファブシステム研究会会員企業は、2008年の設立時は大企業がメインであったが、国プロ終了時の2015年には中小企業と小規模事業者で約6割を占めている。会員企業の伸びは、2008年比で約12倍となっている。
- ・参加企業の約5割は自主的に入会している。
- ・約5割の企業は、“ミニマルファブという新規ビジネス開拓”，“自社の技術力とミニマルファブの概念で半導体製造にイノベーションを起こす”ことを入会目的としている。ミニマルファブという可能性に期待を持っていると考える。
- ・約9割の企業は3年間の国プロは成功であると考えている。
- ・多くの企業はその成功要因として、“ミニマルファブ構想”，“計画通りに遂行したプロジェクトリーダーのマネジメント力”，及び“参加企業や産総研の技術力”にあると考えて

- いる
- その成功の根拠として、大半の企業は、“装置開発完了”，“半導体素子やカンチレバーの試作完成”，及び“SEMICONの集客数”としている。
 - 9割以上の企業は、ミニマルファブは半導体業界へ影響を与えていると考えている。
 - 約5割の企業はお互いのシナジーによりミニマルファブの製品開発を行っている。
 - ミニマルファブの関連技術は、約4割の企業は、他社のミニマルファブ装置開発に寄与している。
 - ミニマルファブが自社の半導体事業に対する影響度は、国プロ1年目終了時は過半数以上の企業は小さいとしていたが、国プロ3年目終了時には影響度は大きいとする企業が増えている。
 - ミニマルファブが半導体業界に与える影響度は国プロ1年目終了時では小さいと考える企業が大半であった。しかし、ミニマルファブの成果と伴い、国プロ3年目終了時には、約7割の企業は、影響度は大きいと考えている。
 - ファブシステム研究会の約9割の企業は、何らかのコア技術を持って参画している。
 - その約8割の企業が自社のコア技術はミニマルファブへ貢献できると考えている。
 - その自社コア技術は、約5割の企業は産学官のオープンイノベーションにより向上したと考えている。
 - このようなコア技術を持つ中小企業や小規模事業者の約5割は、大企業に比べて暗黙的に技術力が劣る場合は、知識の受容者としては創造者として活動することが有効と考えている。ファブシステム研究会の約6割を占める中小企業・小規模事業者の大半がこのような考えを持っているので半導体生産システムのイノベーションが起せたとする。
 - ミニマルファブはITRSの指し示す方法性とは異なるプロセス開発を行っている。ファブシステム研究会の約8割の企業もITRSに追従しない方向性で自社の研究開発を行っている。参加企業とミニマルファブのベクトルが合っているもの国プロ成功要因の一つと考える。

2.3 今後の課題（原 代表のコメント）

本アンケートは、本来国家PJのレビューを目的しているわけではありませんが、今回は、三宅さんがこのテーマにフォーカスしました。国家PJに参画したのは、狭義にはミニマルファブ技術研究組合の25社だけですが、組合からの発注、それに自主的に取り組まれた企業という意味では、ファブシステム研究会100組織全体がPJを推進したといえることができます。多くの物事がうまく行きましたが、その大きな理由は、時代がミニマル的な志向を後押しするように変わってきていることと、ミニマルコミュニティの皆さんが前向きに仕事に取り組まれたことにあります。

ここで一つ皆様に申し上げたいことは、お茶の水内外特許事務所、武和国際特許事務所、それに佐野国際特許事務所の3事務所が、全力で知財のサポートを行っていることです。また、ミニマルファブ技術研究組合の事務局メンバーも、形式主義に陥りがちな組合という組織を生きた物にしてくれています。

研究会外部の多くの皆さんとのコミュニケーションを通してわかっていることは、ミニマルファブという大変大きな価値が創造されたと理解されつつあること、そしてそれをどのようにビジネスにつなげるかは皆で考えて行かなければならないと、多くの皆さんが意識しているということです。予算が無い中、装置メーカーは、まだ生煮えの装置を本物に仕上げなければなりません。また、装置メーカーだけの努力で出来ないこととして、ファクトリーシステムを開発するということがあります。これについてはシステム概念とその実態の有り様、そしてビジネスモデルについては、すでに、私を中心にほぼ机上では概念は完成の域に達しています。課題は、これらを予算が無い中でどのように装置群に実装し、実現して行くか、ということです。

また、ミニマル装置群の市場投入については、現時点で皆様には見えにくくなっていますが、導入を検討している企業は数社あり、これらの企業全ては、いきなり購入するのではなく、ミニマルファブをまず触って理解し、それから適切に導入計画を立てて行くという過程を踏むこととなります。全く新しい創造物だけに、いきなり導入ということはありません。

えず、丁寧で時間をかけるサポートが必要になっています。

装置メーカーは、本物に仕上げ、デバイスメーカーは、ミニマルファブの価値をビジネスに転換することを考える、というフェーズに入っています。そのために、今年度からつくばのミニマルモデルルームを中心に、PMT ファウンドリも加わりながら、デバイスメーカーとデバイス試作を行って行きます。

なお、産総研、という狭いけれどもミニマルでは中核となっている組織的な視点で申しますと、上記ファブの実用化と平行して、ミニマルファブの R&D プラットフォーム化を推進して行きます。この最終的な目的は、世界中の研究開発者にミニマルファブを活用して、これまで困難であった創造的な仕事を加速してもらうことにあります。

【 謝辞 】

アンケートにご協力いただいた、ファブシステム研究会の方々に心より御礼申し上げます。

また産総研 原 代表には調査票の設計や内容に関して有益なご意見、建設的なアドバイスをいただいたことに心より御礼申し上げます。

資料 1

第 3 回 ミニマルイノベーション戦略に関するアンケート調査

回答は各企業のミニマル責任者 1 名でお願いいたします。

【問 1】御社のプロフィールをお伺いします。

- ・資本金はいくらですか () 円)
- ・常時従事する社員数 () 名)
- ・半導体産業における業種 (主たる業種を 1 つ選択)
 - ① 装置製造
 - ② デバイス製造
 - ③ デバイス
 - ④ 材料 (薬品, ガス, ウェハなど)
 - ⑤ パーツ (バルブ, モータなど製造装置のパーツ)
 - ⑥ サービス (ソフト, コンサル, 保守など)
 - ⑦ 商社
 - ⑧ その他 ()

設計

【問 2】ファブシステム研究会にはいつから入会されましたか。

- ①2008 年
- ②2009 年
- ③2010 年
- ④2011 年
- ⑤2012 年
- ⑥2013 年
- ⑦2014 年
- ⑧2015 年

【問 3】ファブシステム研究会入会の動機をお伺いします。

- ①産総研より勧められた
- ②ファブシステム研究会の企業より勧められた
- ③自ら希望した
- ④その他 ()

【問 4】ファブシステム研究会入会の目的をお伺いします。(複数選択可)

- ①ミニマルファブの情報収集
- ②開発資金補完 (補助金など)
- ③コミュニティーでのネットワーク構築
- ④ミニマルファブという新規ビジネス開拓
- ⑤大学・産総研・企業から技術支援を受けてミニマル製品開発を行う
- ⑥自社の技術力とミニマルファブの概念で半導体製造にイノベーションを起こす
- ⑦その他 ()

【問 5】ミニマルファブ 3 年間の国プロは成功したと思いますか。

- ①失敗
- ②ほとんど失敗
- ③判らない
- ④概ね成功
- ⑤成功
- ⑥大成功

【問 6】問 5 で①失敗, ②ほとんど失敗を選択された方にお伺いします。国プロの失敗要因は何ですか。(複数選択可)

- ①ミニマルファブ構想が現実的で無かった
- ②ミニマルファブの開発が時宜を得ていなかった
- ③開発集団とユーザが融合していなかった
- ④ミニマルコミュニティーの運営が悪く, 烏合の衆だった
- ⑤国費不足
- ⑥プロジェクトマネジメント・リーダーシップ不足
- ⑦産総研技術力不足
- ⑧産総研支援不足
- ⑨参加企業技術力不足
- ⑩参加企業の支援不足

- ⑪自社の支援力・体制不足
- ⑫その他()
具体的に失敗要因を記載してください。

【問 7】 問 5 で①失敗, ②ほとんど失敗を選択された方にお伺いします。国プロを失敗と思われた根拠は何ですか。(複数選択可)

- ①装置販売の実績が少ない
- ②実アプリケーション試作の事例がない
- ③その他()
具体的に失敗と思われた根拠を記載してください。

【問 8】 問 5 で④概ね成功, ⑤成功, ⑥大成功を選択された方にお伺いします。国プロの成功要因は何ですか。(複数選択可)

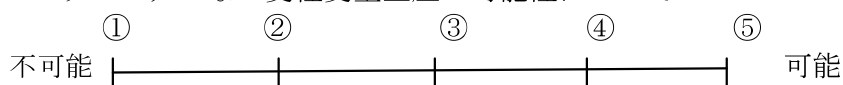
- ①ミニマルファブ構想が高い価値をもっていた
- ②ミニマルファブの開発が時宜を得ていた
- ③ユーザが研究会に参加して, 狙いがより明確になった
- ④ミニマルコミュニティーの運営がうまく行き, 各社の力が集積した
- ⑤投資された国費に対する成果物
- ⑥プロジェクトマネジメント・リーダーシップ力
- ⑦産総研技術力 ⑧産総研支援 ⑨参加企業の技術力
- ⑩参加企業の支援力 ⑪自社の支援力・体制
- ⑫参画企業間の垣根がなく自由にコミュニケーションができた
- ⑬ファブシステム研究会の企業が 100 社以上になった
- ⑭PLAD, ミニマルシャトル, 筐体など各装置の共通部分がユニット化された
- ⑮意思決定の速い製品開発型の中小・ベンチャー企業が装置開発を行った
- ⑯その他()
具体的に成功要因を記載してください。

【問 9】 問 5 で④概ね成功, ⑤成功, ⑥大成功を選択された方にお伺いします。国プロを成功と思われた根拠は何ですか。(複数選択可)

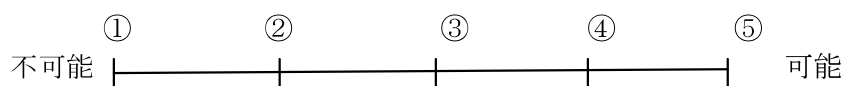
- ①SEMICON での多くの集客力
- ②概ね装置開発完了
- ③装置販売の実績があった
- ④p-MOS, n-MOS, カンチレバー, C-MOS が完成した
- ⑤デバイスメーカー等ユーザでかなりミニマルへの理解が進み, 導入を検討しているところがあるのできている
- ⑥次への大きな方向性として, 業界でかなり話題になって, 注目されている
- ⑦国プロの実行計画を, 一切の頓挫無く進めて完遂したこと
- ⑧その他()
具体的に成功と思われた根拠を記載してください。

【問 10】 ミニマルファブが半導体業界へ与える影響についてお答えください。

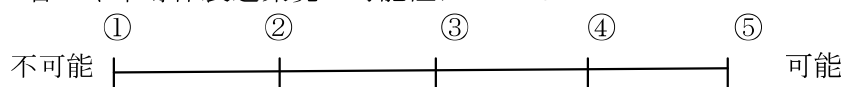
・ ムリ・ムダのない変種変量生産の可能性について



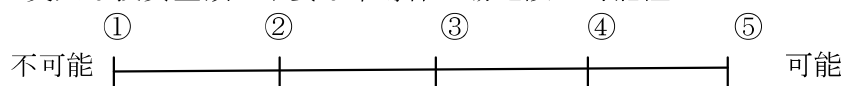
・ 短納期の半導体製造の可能性について



・省エネ半導体製造環境の可能性について



・莫大な投資金額が不要な半導体工場建設の可能性について



【問 11】 ファブシステム研究会の会員企業，大学，公的研究機関とのシナジーで御社は製品開発を行いましたか。

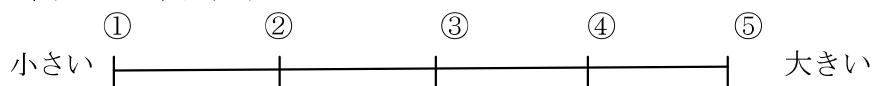
- ①Yes(ミニマルファブ以外の製品を開発) ②Yes(ミニマルファブの製品開発) ③No

【問 12】 御社のミニマルファブ関連の技術は他社の製品開発に寄与しましたか。

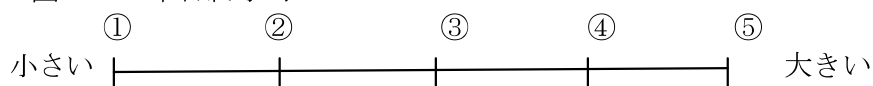
- ①Yes(ファブシステム研究会の企業) ②Yes(ファブシステム研究会以外の企業) ③No

【問 13】 ミニマルファブに関して，御社の半導体事業に対する影響予測度の変遷についてお答えください。なお，途中から参加された企業はその時点からで回答をお願いいたします。

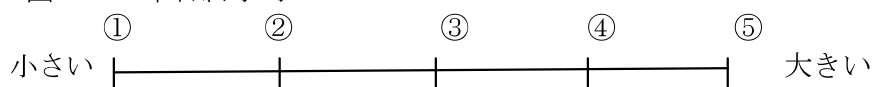
・国プロ 1 年目終了時



・国プロ 2 年目終了時

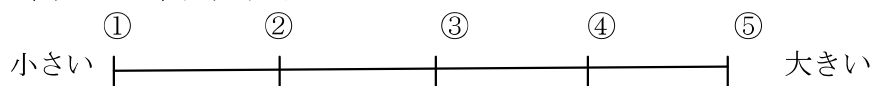


・国プロ 3 年目終了時

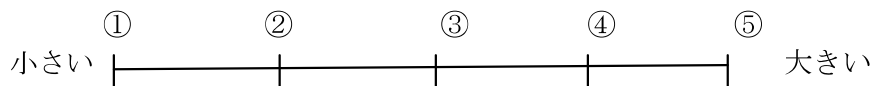


【問 14】 ミニマルファブに関して，半導体業界に与える影響予測度の変遷についてお答えください。なお，途中から参加された企業はその時点からで回答をお願いいたします。

・国プロ 1 年目終了時



・国プロ 2 年目終了時



・国プロ 3 年目終了時

