

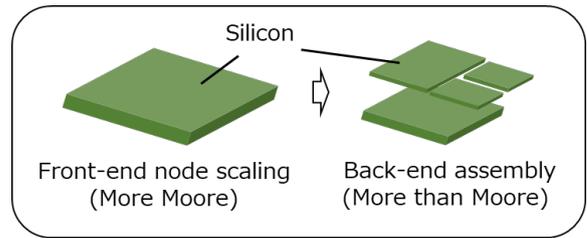
|              |                                                                                                                                                   |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 半導体材料メーカーが牽引するプラットフォームを活用したR&Dエコシステムを社会実装する条件の考察                                                                                                  |
| Author(s)    | 満倉, 一行; 若林, 秀樹                                                                                                                                    |
| Citation     | 年次学術大会講演要旨集, 37: 412-417                                                                                                                          |
| Issue Date   | 2022-10-29                                                                                                                                        |
| Type         | Conference Paper                                                                                                                                  |
| Text version | publisher                                                                                                                                         |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/18514">http://hdl.handle.net/10119/18514</a>                                                                 |
| Rights       | 本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management. |
| Description  | 一般講演要旨                                                                                                                                            |

## 半導体材料メーカーが牽引するプラットフォームを活用した R&D エコシステムを社会実装する条件の考察

○満倉一行（東京理科大学経営学研究科技術経営専攻）  
 若林秀樹（東京理科大学経営学研究科技術経営専攻）  
 8821233@ed.tus.ac.jp

### 1. はじめに

半導体産業の海外大手企業による寡占化が進む中で、日本の半導体材料メーカーと製造装置メーカーは比較的競争力が高く、シェアが高いと言われている[1][2]。一方で、半導体素子の微細化の限界に伴った技術変化 (More than Moore : 図表 1 参照) によって、後工程技術は重要性を増し、業界構造が大きく変わることが想定される。



図表 1 半導体素子の微細化に伴った技術変化  
 出所：満倉 2022

### 2. 先行研究

日本の半導体デバイスメーカーのシェア低下についての研究事例は多く、政治、業界構造の変化、意思決定スピードの課題が述べられている[3][4]。一方で、半導体の製造装置や材料メーカーに関する先行研究は少なく、個別の装置のシェアを左右する価値や成功要因を検証しているが、業界を俯瞰した競争力の源泉は述べられていない[5][6]。その中で、半導体の製造工程から、前工程業界における装置メーカーの連携の重要性を論じている研究もあるが、その効果を十分に定量的に検証する必要があることに加え、後工程業界における記載はない[7][8]。一方で、海外のコンソーシアムの資金調達やターゲットする時期[9][10]、コンソーシアム標準活動に必要な要素[11]やイノベーションの必要性[12]、知財面での課題[13]を述べた研究はあるものの、いずれも成功や失敗要因を比較したものではなく、定量的な分析もなされていない。

### 3. 半導体業界の現状と本研究の目的

#### 3.1. 半導体後工程の市場

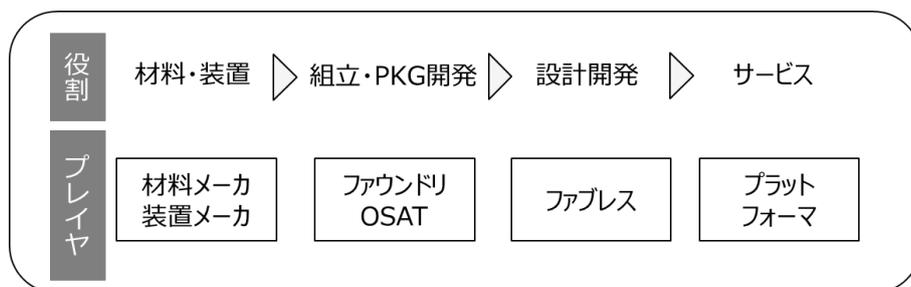
半導体デバイス市場は 60 兆円規模であるが、図表 2 に示した通り、このうち 10 兆円程度が後工程の市場であり今後も成長が見込まれている。後工程市場のうち 90%以上を材料が占めており、前工程装置の市場が 10 兆円規模であることと比較すると、前工程市場は装置、後工程市場は基板を含む材料が重要な位置にあると言える。



図表2 半導体後工程の市場予測  
 出所：富士キメラ総研のレポートをもとに満倉2022作成

### 3.2. 半導体のサプライチェーン

半導体のサプライチェーンを図表3に示す。川上から、エンドユーザとしてサービスを提供するプラットフォーム、設計開発を担当するファブレス、ファブレスから製造を委託されるファウンドリやOSAT(Outsourced Semiconductor Assembly & Test)、そして材料、装置メーカーがプレイヤーである。プラットフォーム、ファブレス、ファウンドリは寡占化が進み、各社の営業利益率は30%を超える高水準である。OSATは、ファウンドリからの進出と中国企業の台頭によって競争が厳しくなり、その営業利益率は5-10%程度である。一方で、材料、装置メーカーの利益率は各社で大きな差があり、変革を遂げた前工程装置メーカーの高収益の因子を解析し、後工程の材料、装置メーカーが取るべき戦略を考察する。



図表3 半導体のサプライチェーン  
出所：満倉 2022

### 3.3. 半導体コンソーシアム

中長期の研究開発を効率的に進めるためにはコンソーシアムが有効であり、半導体業界における研究開発コンソーシアムは、ベルギーの imec、アメリカの Sematech 等、半導体前工程を中心として活発に活動し、技術を牽引するとともに参画企業の成長に大きく貢献してきた。例えば、ファウンドリと露光機メーカーが、ベルギーのコンソーシアムである imec 内で最新鋭の露光技術を共同開発し、両企業とも世界有数の企業に成長している。日本でも超 LSI 技術研究組合が、デバイスメーカーが協力して製造技術を創出し日本の半導体産業の興隆期をもたらした。変革期を迎える後工程の半導体材料と製造装置メーカーが生き残るためには、研究開発リスクを低減するとともに企業間連携を強化するコンソーシアム活動が重要となってきている。本稿では、図表4に示す昭和電工マテリアルズが2021年10月に創成した異業種連携の後工程評価プラットフォームである JOINT2(Jisso Open Innovation Platform of Tops) [14] の役割を他のコンソーシアムと比較しながら考察する。

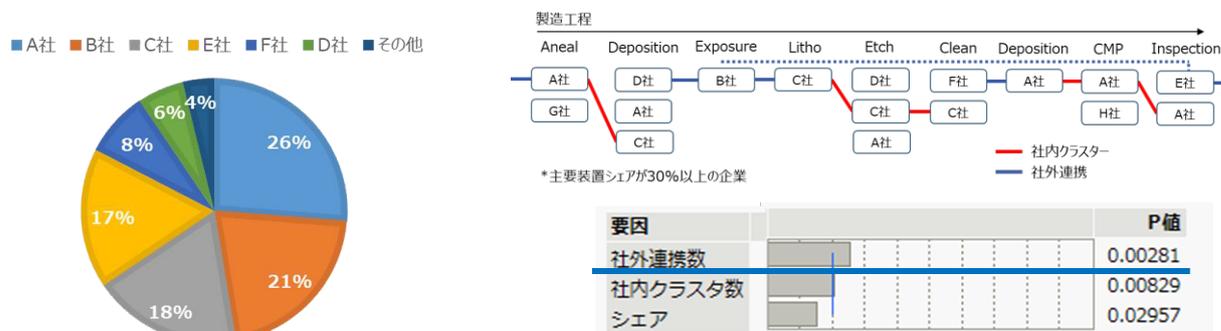


図表4 後工程評価プラットフォーム“JOINT2”  
出所：昭和電工マテリアルズのプレスリリースをもとに満倉 2022作成

#### 4. 仮説と検証

##### 4.1. 半導体前工程装置メーカーの高利益率因子

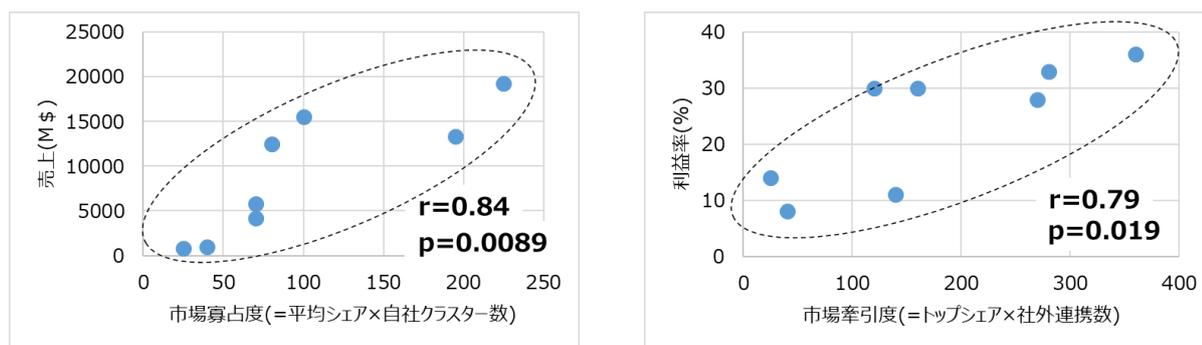
半導体前工程の装置メーカーの業界は寡占化が進んでおり、企業連携による疑似的な寡占度上昇によって高利益率を確保しているのではないだろうか。図表5の左図は、前工程装置市場規模と各社売上から算出しており、上位6社によって寡占された業界であることがわかる。また、半導体の製造工程と各企業の社内クラスターと社外連携を示しており、統計解析から高い収益性はシェアや社内クラスター数よりも社外連携数が高い相関関係を持つことが分かった。



図表5 半導体前工程装置メーカーの寡占度(左)と製造工程と高利益率因子(右)

出所：満倉 2022 作成

次に、市場寡占度を各製造工程でのシェアの平均値と自社クラスター数を乗じた値、市場牽引度を製造工程におけるトップシェアと社外連携数を乗じた値と定義して解析した。図表6の通り、売上は市場寡占度、利益率は市場牽引度との相関が認められた。一方で、市場寡占度と利益率の相関係数  $r$  は 0.52、 $p$  値は 0.19 であり相関性が低いことが分かった。高収益の鍵は、自社で業界を掌握しようとせず、関連する企業との連携によって相互の技術力を高めて、顧客へ期待以上の価値を提供することであると推察した。以上の結果から、M&A もしくは技術革新によって一部工程でのシェアを高め、前後の製造工程を担う企業との連携することで参入障壁を高くすることが前工程装置メーカーにとっての高収益戦略であろう。

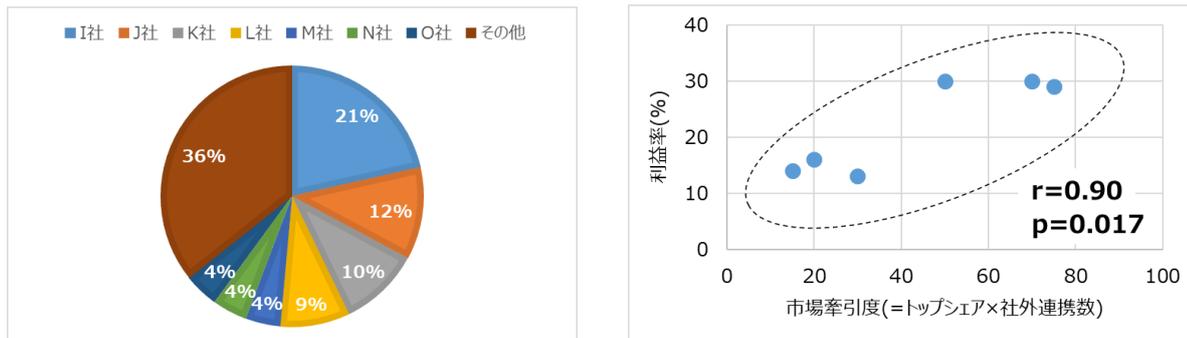


図表6 売上と市場寡占度との関係(左)と利益率と市場牽引度との関係(右)

出所：満倉 2022 作成

#### 4.2. 半導体後工程装置・材料メーカーの解析

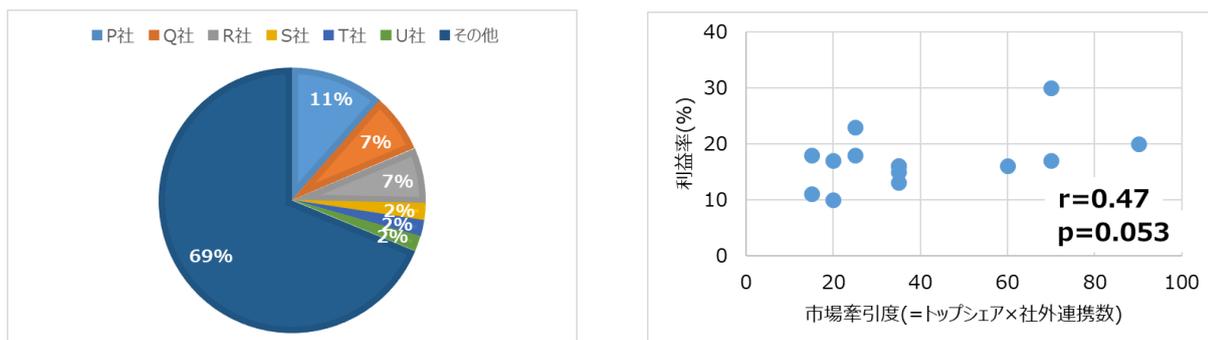
半導体後工程装置(テスター除く)に関しても、後工程装置市場規模と各社売上から寡占度を、製造工程におけるトップシェアと社外連携数を乗じた市場牽引度を利益率と合せて、それぞれ算出した。図表7の左図から、前工程装置メーカーほどではないものの上位4社によって52%、上位7社によって64%の市場が確立されているが、その他に分類される企業も数多く競争がある市場である。右図に示した通り、市場牽引度は利益率と高い相関があるが、前工程装置メーカーよりも連携数は少ない。利益率が高いのは各製品のシェアが高い日本企業I社と、社外連携に積極的な海外企業のJ社とL社である。また、各工程での競争が激しく、シェアと社外連携数の低い企業の利益率は7%以下である。今後、前工程装置メーカーの動きも活発化し、後工程装置市場にも参入する可能性が考えられ、業界構造も変化するであろう。



図表7 半導体後工程装置メーカーの寡占度(左)と利益率と市場牽引度との関係(右)

出所：満倉 2022 作成

半導体後工程材料に関しても、後工程材料市場規模と各社売上から寡占度を算出した。図表8の左図から、上位6社で30%程度であり、競争の激しい市場であるといえる。それにも関わらず、M&Aは少なく日本企業が多く表立った社外連携は見られない。図表8の右図に、製造工程におけるトップシェアと利益率との関係を示した。社外連携が見られないため、市場牽引度はトップシェアと同じ値を使用した。市場牽引度と利益率に相関は観察されず、前工程、後工程の装置メーカーよりも利益率が相対的に低いことが分かった。この結果は、技術力を磨くことでシェアを維持しているにも関わらず、過剰な競争と希薄な企業間連携によって技術力がディスカウントされた状態と言えるかもしれない。



図表8 半導体後工程材料メーカーの寡占度(左)と利益率と市場牽引度との関係(右)

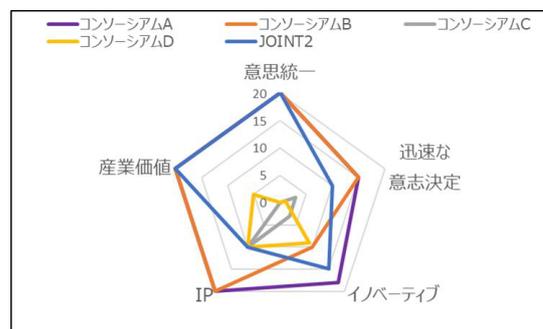
出所：満倉 2022 作成

### 4.3. 半導体コンソーシアムの解析

前述した通り、半導体後工程業界においても企業連携が重要になる。さて、国内外で種々のコンソーシアムが検討されてきた中で、成功、失敗と表現されるが、いずれも優れた技術者が集結して研究成果を挙げている。本研究では、研究成果の社会実装に必要な項目[15][16]に着目し、国内外の代表的なコンソーシアムと図表4記載のJOINT2を比較した。

コンソーシアムAは参画企業への技術移管や社会実装が多く、スピナウト企業は100以上である。コンソーシアムBも製造装置メーカーへ技術移管して世界的に市場を拡大させた。一方でコンソーシアムC,Dは、実証に留まり社会実装まで至らないものが多かった。図表9に国内外コンソーシアムを定量分析した結果を示しており、A,BとC,D間で顕著な差が見られた。JOINT2には、迅速な意思決定とIPに関して今後の改善余地があり、企業連携の効果を最大限に発揮するには、コンソーシアムAのような独立した運営も一つの選択肢になろう。

| 項目      | 判断基準             | 配点 |    | コンソーシアムA |    | コンソーシアムB |    | コンソーシアムC |    | コンソーシアムD |    | JOINT2 |    |
|---------|------------------|----|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|--------|----|
|         |                  | 10 | 10 | 10       | 10 | 0        | 0  | 0        | 0  | 10       | 10 | 20     |    |
| 意思統一    | 強い関心と使命感         | 10 | 10 | 20       | 10 | 20       | 0  | 0        | 0  | 0        | 10 | 10     | 20 |
|         | 共通の技術導入・改善       | 10 | 10 |          | 10 | 20       | 0  | 0        | 0  | 0        | 10 | 10     | 20 |
| 迅速な意思決定 | ・場所(独立、特定企業内)    | 2  | 2  | 15       | 0  | 15       | 0  | 0        | 1  | 0        | 0  | 0      | 10 |
|         | ・公的資金30~70%      | 3  | 1  |          | 3  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 0  | 3      | 3  |
|         | ・30~70%の企業からの出向  | 3  | 3  |          | 0  |          | 3  | 3        | 0  | 0        | 0  | 0      | 0  |
|         | ・ユーズ、プロテューサの両方の  | 3  | 0  |          | 3  | 15       | 0  | 3        | 0  | 0        | 1  | 3      | 3  |
|         | ・セレクトユーズ         | 3  | 3  |          | 3  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 0  | 3      | 3  |
|         | ・参加企業による意思決定     | 3  | 3  |          | 3  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 0  | 1      | 1  |
|         | ・開発目標の柔軟性        | 3  | 3  |          | 3  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 0  | 0      | 0  |
| イノベティブ  | ・異業種交流(ネットワーク)   | 3  | 3  | 18       | 0  | 10       | 0  | 3        | 3  | 9        | 3  | 3      | 15 |
|         | ・多国籍構成           | 2  | 2  |          | 0  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 0  | 0      | 0  |
|         | ・設置国(専占ユーズの有無)   | 3  | 3  |          | 0  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 0  | 3      | 3  |
|         | ・技術開発            | 3  | 3  |          | 3  | 10       | 0  | 3        | 3  | 3        | 3  | 3      | 3  |
|         | ・競争、共創領域         | 3  | 1  |          | 1  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 0  | 3      | 3  |
|         | ・研究開発の分散性        | 3  | 3  |          | 3  |          | 0  | 0        | 3  | 3        | 3  | 3      | 3  |
|         | ・独自性             | 3  | 3  |          | 3  |          | 3  | 3        | 0  | 0        | 0  | 0      | 0  |
| IP      | フリーIP(コンソによる保有か) | 20 | 20 | 20       | 20 | 20       | 10 | 10       | 10 | 10       | 10 | 10     | 10 |
| 産業価値    | ・大規模な初期投資        | 5  | 5  | 20       | 5  | 20       | 0  | 0        | 5  | 5        | 5  | 5      | 20 |
|         | ・業界の既存者との協力      | 5  | 5  |          | 5  |          | 0  | 0        | 0  | 5        | 5  | 5      | 20 |
|         | ・既存のネットワークを利用    | 5  | 5  |          | 5  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 5  | 5      | 20 |
|         | ・必須のツール          | 5  | 5  |          | 5  |          | 0  | 0        | 0  | 0        | 5  | 5      | 20 |



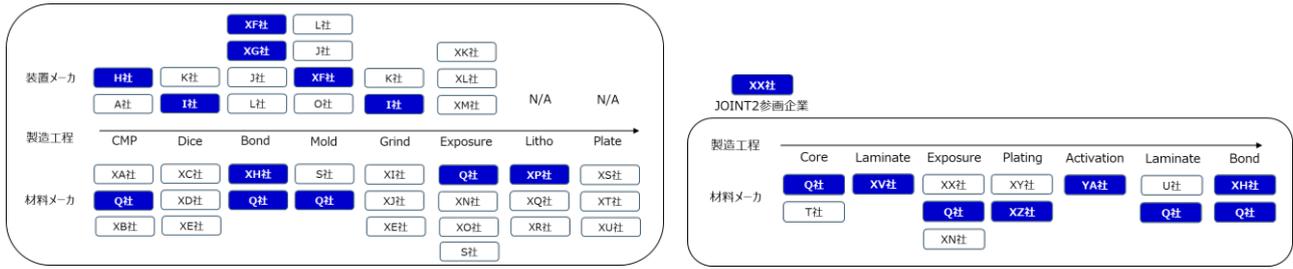
図表9 国内外半導体コンソーシアムの定量分析

出所：満倉 2022 作成

### 5. 後工程業界に対する考察

後工程業界において重要な役割を果たす材料メーカーは、技術力を持った日本の中小企業が多く、半導体のチョークポイントとなっている。これらの企業は、自社製品を評価する設備を有しておらず、各国の政治的、経済的な施策による地産地消の動向に連動する十分な資金力もないため、顧客である半導体メーカーの影響を受けやすい。また、各プレイヤーの同質的な経営は、同業者の過度な競争による相互の利益率低下と人材流出を招き、海外の新興企業からの参入障壁も低くなる。今後、日本の半導体産業を強くするためには、高収益性を確保している前工程装置メーカーの事例を参考に、日本に集中している後工程材料メーカーの強みを活かした合従連衡による適正なプレイヤー数と、共創を促進した企業連携による業界の寡占度を上昇させることが重要であろう。その中で、図表10に示したように、後工程の製造工程に高シェアで関わり、更に基板や部材メーカーも参画している後工程評価プラットフォーム“JOINT2”は世界に類を見ないコンソーシアムであり、今後の企業連携の流れに重要な役割を果たすであろう。

半導体デバイスメーカーやOSATのように海外企業の台頭や競争の激化によって市場を失うか、前工程装置メーカーのように企業サイズの最適化や企業連携によって高収益性を確保するか、後工程技術の重要性が増して注目を集めている数年内に日本企業の行く末が決まるかもしれない。



図表 10 半導体後工程製造工程と JOINT2 参画企業との関係  
出所：満倉 2022 作成

## 6. おわりに

半導体前工程装置メーカーが高収益である背景を、シェアや製造工程間の社内クラスター数、社外連携数との関係から論じ、さらに、シェアと社外連携数から算出される市場牽引度の概念を適用して定量的に評価した。半導体後工程装置においても同様の理論が当てはまる一方で、半導体材料市場においては過剰な競争によって相互の利益率が低下している可能性を指摘した。後工程業界においては、企業連携による共創が今後重要となり、それを牽引するためのコンソーシアムの成功条件を考察した。

## 7. 今後の研究課題

コンソーシアムの成功条件を基に、異業種連携の後工程評価プラットフォームである JOINT2 の今後の役割と展開を考察する。

### 参考文献

- [1] 経済産業省, 半導体戦略(2021)  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210604008/20210603008-4.pdf>
- [2] 若林秀樹, 半導体の後工程技術「ムーアの法則」超えのカギ, 日本経済新聞(2021年6月15日)  
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC142GWOU1A610C2000000/>
- [3] 濱田初美, 日本半導体産業の再生はあるか, 産業学会研究年報(2011)
- [4] 岸本千佳司, 台湾半導体産業における設計企業(ファブレス)の発展, 研究イノベーション学会(2014年)
- [5] 中馬宏之, わが国半導体露光装置産業が直面する複雑性と組織限界, 光学(2005年)
- [6] 井田琢也, 半導体と装置の価値は競争か共創か, 研究イノベーション学会(2020年)
- [7] 若林秀樹, 製造装置業界の垂直水平競争力分析, 研究イノベーション学会(2020年)
- [8] 若林秀樹, デジタル列島進化論
- [9] 小笠原敦 欧米における公的半導体研究機関の経営システムについて, 研究イノベーション学会(2007年)
- [10] 遠藤悟, 米国における研究開発エコシステムの特徴と最近の科学技術政策動向, 研究イノベーション学会(2014年)
- [11] 新井克己, 標準仕様開発型コンソーシアムの戦略とマネジメント, 研究イノベーション学会(2006年)
- [12] 大沢吉直, 公的研究セクターのイノベーションモデル, 研究イノベーション学会(2010年)
- [13] 鮫島正洋, 公的資金が投入されたコンソーシアムにおける課題と知財プロデューサーの必要性, 特許研究(2010)
- [14] 満倉一行, 企業連携による半導体パッケージ評価プラットフォーム(JOINT2), 電子機器トータルソリューション展(2022)
- [15] 垂井康夫, 半導体共同研究プロジェクト
- [16] アレックス・モザド ニコラス・L・ジョンソン, プラットフォーム革命