

Title	実装大変革期にEMSが対応すべき技術革新と新たなビジネスモデル提案 : EMS生き残りの解を握る異種材料接合技術
Author(s)	鈴木, 貴人; 若林, 秀樹
Citation	年次学術大会講演要旨集, 37: 429-434
Issue Date	2022-10-29
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/18600">http://hdl.handle.net/10119/18600</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

# 1 F 0 5

## 実装大変革期に EMS が対応すべき技術革新と新たなビジネスモデル提案 ～EMS 生き残りの解を握る異種材料接合技術～

○鈴木貴人(東京理科大学), 若林秀樹 (東京理科大学)  
8821216@ed. tus. ac. jp

### 1. はじめに

半導体産業は、Moore の法則にみられるように、半導体チップの回路パターン微細化による高集積化と共に発展してきた。しかし、微細化に限界が近付く中、More Moore (微細化) から More than Moore (複合化) へと潮流がシフトしている。複合化の実例として、Si インターポーザー上へ小片化した半導体チップを実装する 2.5D 実装、小片化した半導体チップ同士を直接積層する 3.0D 実装、あるいは Si 半導体とは異なる化合物半導体チップを複合的に実装する異種材料接合技術が報告されており、半導体後工程の重要性が高まっている[1]。

半導体前工程及び後工程を含むバリューチェーンの川上における付加価値が高まる一方で、川中を支える電子機器受託製造サービス Electronics Manufacturing Service (以下 EMS) では、更なる付加価値の低下が懸念される。実際、低コスト・大量生産を得意とする鴻海などの海外 EMS は、売上高営業利益率(以下 OPM)が約 2%という低マージン問題に直面している。また、高品質・高信頼性を強みとして比較的高い OPM を確保してきた日系 EMS でさえ、昨今の半導体供給不足によるサプライチェーンの混乱、さらには海外 EMS の事業領域拡大影響により、競争力の低下が懸念されている。このような背景を踏まえ、日系 EMS でも新たなビジネスモデル構築は急務であると考察した。

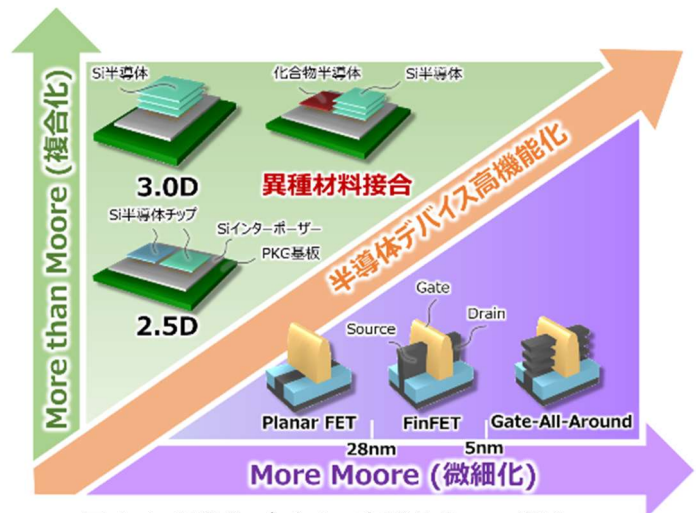
そこで本稿では、実装大変革期に日系 EMS が生き残りを掛けて対応すべき技術革新と新たなビジネスモデル提案を目指して論考する。

### 2. 先行研究

EMS に関する報告は、それほど多くないが、鴻海によるシャープ買収などを機に研究が増えている。EMS 企業には、顧客ニーズに合わせて、的確かつ迅速に対応していくことが求められている。急速な市場規模の拡大、市場支配力の強化及び新市場への進出を目指し M&A が活発化する中、収益性向上に結実しなかった事例は多数報告されている[2]。その要因として、M&A の目的が既存機能のパフォーマンス向上を目指した「機能的な目的」に基づくものであり、新しい価値創造を目指した「意味的な目的」でなかったことが指摘されている。

日系 EMS に関しては、最大手のシークスが世界最大手のティア 1 企業である独ロバート・ボッシュからカーマルチメディア用基板実装を受託した事例報告 [3]、筆者が所属する沖電気工業(以下 OKI)では、医療機器あるいは航空宇宙用の基板実装の受託事例が報告されている[4]。すなわち、日系 EMS は、高品質・高信頼性を強みとしたビジネスモデルとなっている。このように海外 EMS とは一線を画した付加価値の創造的活動により事業発展を遂げてきた日系 EMS にとって、更なる付加価値を創造し続けることは重要な課題である。

しかし、これら報告において、その具体的なアプローチについては、十分な検討が行われていない。そこで、本稿では、日系 EMS のあるべき付加価値向上施策について考えたい。

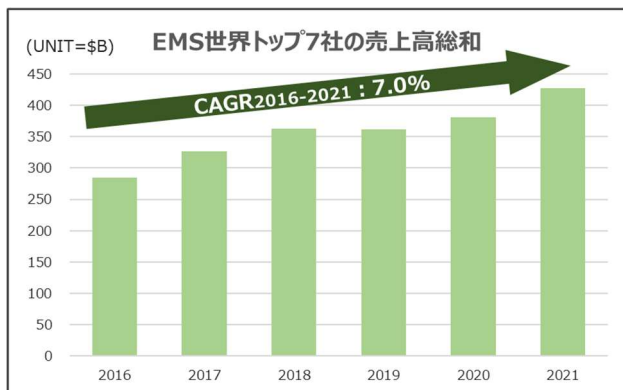


図表 1 半導体デバイス高機能化への潮流

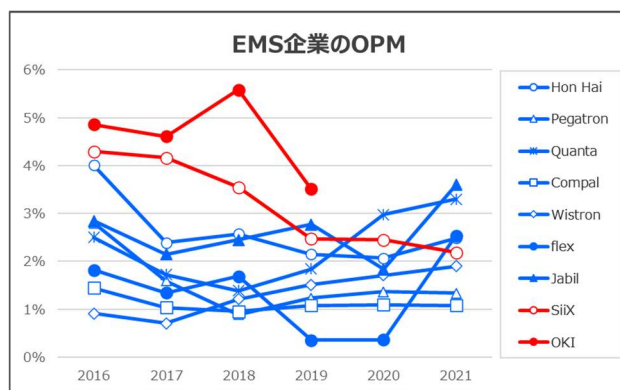
### 3. EMS 市場の現状分析

EMS の市場規模は、2019 年の 4,456 億米ドルから 2024 年には 5,812 億米ドルに達すると予測されており、EMS は今後も順調に成長していく市場であることが予測されている[5]。2020 年の世界トップ 7 社(図表 3 の海外 7 社)の売上高総和は、2016 年から 2021 年の年平均成長率が 7.0%と順調に成長している(図表 2)。

このように EMS 市場規模が拡大する一方、OPM は、海外 EMS では低収益ながら約 2%を維持しているのに対して、比較的収益性が高いと言われていた日系 EMS では、従来の約 4%から約 2%に向けて低下傾向にある(図表 3)。



図表 2 EMS 業界市場規模推移 (Top7 社総和)  
出所：各社決算報告書より鈴木作成 2022

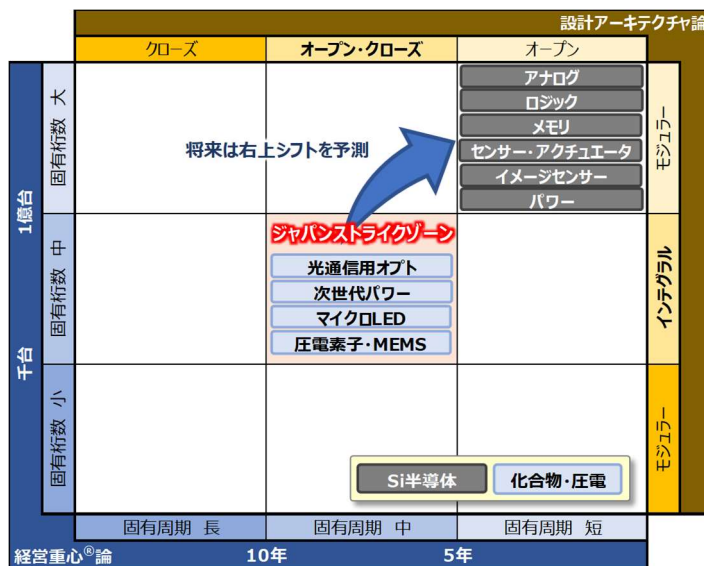


図表 3 EMS 企業の OPM 推移  
出所：各社決算報告書より鈴木作成 2022

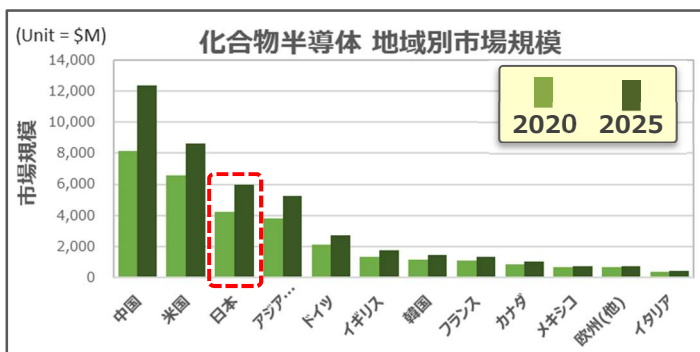
### 4. 半導体デバイス市場の現状分析

EMS の付加価値を高めるアプローチを考えるために、半導体前工程及び後工程との統合を念頭に、現在活況にある半導体デバイス市場の現状分析を行った。なお、統合すべき領域を明確にするため、若林が論じる経営重心<sup>®</sup>と設計アーキテクチャ論を参考に分析を行い[6]、図表 4 にその結果を示した。

固有桁数 1 億台以上かつ固有周期 5 年以下の領域には、Si 半導体からなるアナログ、ロジックおよびメモリーなどの巨大市場が展開されていることが分かる。しかし、既に海外 IDM および海外ファウンドリが圧倒的に強い領域であり、日系企業が目指すべき領域ではないと考察した。一方、固有桁数 1 千台から 1 億台、かつ固有周期 5 年から 10 年のジャパストライクゾーンには、化合物半導体から成る光通信用オプト、次世代パワーなど、近い将来急成長が見込まれるデバイス市場が展開されている。化合物半導体市場は図表 5 に示すように、日系企業が得意とする領域でもある。さらに、ジャパストライクゾーンは設計アーキテクチャ論から日系企業が得意とするインテグラル領域とも重なる。これらの事象から、化合物半導体市場は、パートナー企業との擦り合わせによりモノづくりが行われる日系 EMS にとって、相乗効果の高い領域であると考察した。



図表 4 半導体デバイス経営重心<sup>®</sup>論と設計アーキテクチャ論



図表 5 化合物半導体の地域別市場規模  
出所：MARKETS AND MARKETS レポートより鈴木作成 2022

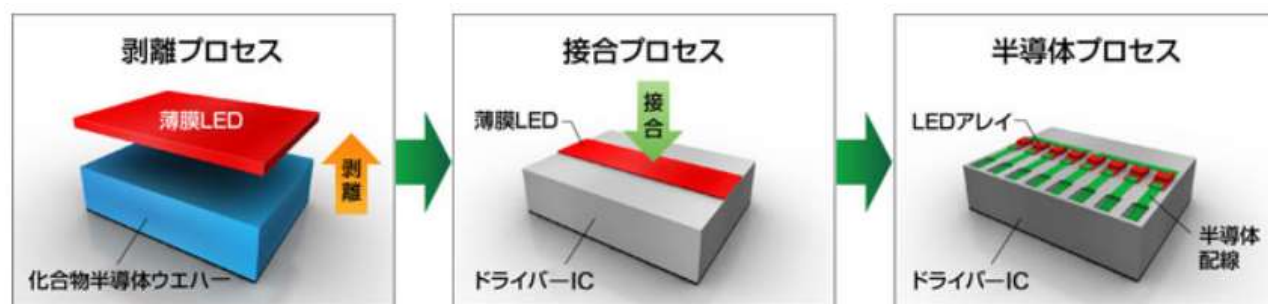


## 5. OKI 独自の異種材料接合技術 Crystal Film Bonding (CFB) 実績紹介

ここで、OKI が独自に開発し、2006 年に世界で初めて商用化に成功した異種材料接合技術の一種、「Crystal Film Bonding (以下 CFB)」について紹介する。図表 6 に CFB プロセスの概略フローを示し、図表 7 に CFB による商用実績を紹介する。

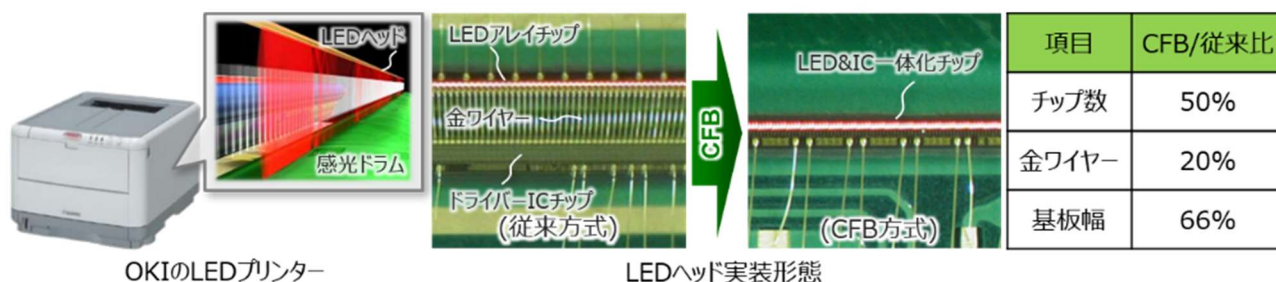
CFB 技術は化合物半導体からなる約  $2\mu\text{m}$  の LED 機能層を、成長基板となる化合物半導体ウェハーから剥離し、Si 半導体からなるドライバー IC 上に接合することで機能集積する実装技術である。分子間力による強固な接合により、接合後であっても半導体前工程を流動することができるため、LED とドライバー IC との結線を従来の金ワイヤー方式から半導体配線方式へと変更することができる。この CFB 技術を、プリンターに搭載する LED ヘッドの LED アレイチップに採用することで、従来方式と比較して実装チップ数を半減し、金ワイヤー使用料を 80%削減し、さらに PCB 基板幅の 34%を縮小することに成功した。その結果、プリンターの小型化、低コスト化に大きく貢献した。

現在は、この CFB 技術を活用したマイクロ LED ディスプレイの開発[7]、さらには圧電単結晶薄膜などの新材料への横展開など[8]、さらなる新市場に向けた探索を行っている。



図表 6 CFB プロセスフロー

出所：OKI HP より掲載



OKIのLEDプリンター

LEDヘッド実装形態

図表 7 OKI の LED プリンターへの適用実績

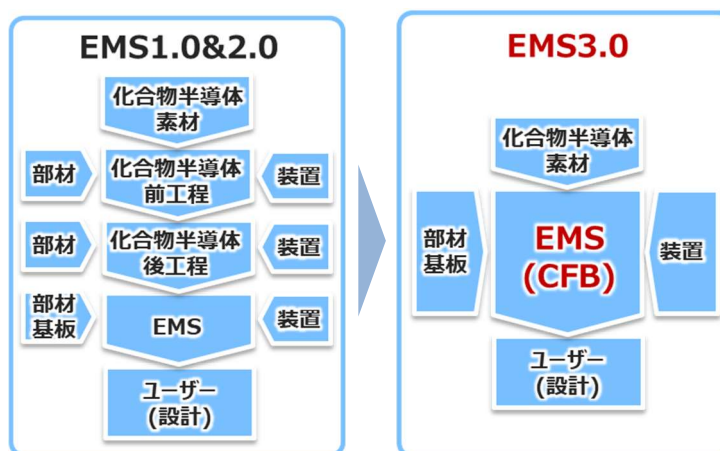
出所：OKI HP より鈴木作成 2022

## 6. 仮説

上述の EMS 及び半導体デバイス市場の現状を踏まえ、以下のように仮説を立てた。

異種材料接合技術をコア技術とする化合物半導体前工程及び後工程を統合した新たなビジネスモデル「EMS3.0」が日系 EMS 生き残りの解を握る、という仮説である。

本仮説に基づく EMS3.0 の業界構造を、後述の EMS1.0 & 2.0 からの変革を踏まえ、図表 8 に示す。バリューチェーンの川上にある化合物半導体前工程及び後工程を EMS と統合することで、付加価値の高いビジネスモデルへの変革を狙う。また、黎明期にある異種材料接合技術との相乗効果により、EMS を中心としたオープンイノベーションの場を展開し、付加価値が創造される新たな EMS のビジネスモデル構築を目指す。



図表 8 EMS3.0 への業界構造変革

## 7. 検証

### 7.1. EMS3.0の優位性検証

EMS3.0の優位性を、図表9のように検証した。なお、図表9ではEMS各段階における受託サービス内容と、そのバリューチェーンのポジションを列挙した。さらにEMSの各段階における経営システムの特徴も合わせて列挙することで、技術と経営の両面から優位性検証を行った。そして、EMS企業の比較対象としては、世界最大手の鴻海、シークス、そしてOKIを挙げた。

まずEMS1.0は、鴻海などの海外EMSが圧倒的に強い低コスト・大量生産型EMSである。プリント基板実装、家電機器の組み立て受託は言うまでもなく、金型の設計・製造、及びMg合金などの特殊素材の生産を行うなど、バリューチェーンの川上から川中に掛けてバランスよくカバーしており、日系EMSが勝負を挑むべき領域でないと考察した。

次にEMS2.0は、日系EMSが得意とする変種・変量生産型EMSである。高品質・高信頼性を強みとしており、車載電装機器、FA産業機器あるいは医療機器の設計・製造を行うことで、その存在価値を高めてきた。そして、そのビジネスモデルを支えるのが特殊認証システムによる経営システムである。ここで、各社の認証システム取得状況を図表10に示す。この内容から、日系EMSは海外EMSと比較して、多くの特殊認証システムを取得していることが分かる。一方で、近年、鴻海も医療機器のQMSであるISO13485を取得したことが報告されており[9]、海外EMSによる事業領域拡大傾向を想定した。このような背景を踏まえ、今後、日系EMSの差別化が困難になるのではないかと考察した。

そこで最後に、本稿提案による化合物半導体前工程及び後工程を統合するEMS3.0の優位性を検証した。その結果、現在、未踏な領域であることを確認した。また、半導体前工程及び後工程のバリューチェーン川上を統合することで、付加価値を向上することができると考察した。さらに、異種材料接合技術の実績を活かして開発する電気、熱及び力学を統合的に設計可能とする統合EDAを用いた設計支援、あるいは統合EDA自体のリリース、さらに接合装置及び接合ツールに関するライセンスを行うことで、バリューチェーンをバランスよくカバーすることができると考察した。

上記検証結果から、EMS3.0はニッチではあるが、世界の最先端で成長するエッジの効いたビジネスモデルであると考察した。

EMS-Phase	EMSケイパビリティ		鴻海	SiiX	OKI
	内容	ポジション	世界最大	国内最大	当社
EMS1.0	プリント基板実装	セット	◎	◎	◎
	家電機器の組立受託	セット	◎	◎	△
	筐体(板金、成型)設計・製造	部品	◎	○	△
	光学部品の設計・製造	部品	◎	◎	△
	液晶パネルの設計・製造	部品	◎	-	-
	金型の設計・製造	部品	◎	-	△
	ソフトウェア開発	部品	◎	◎	◎
	特殊素材の生産	材料	◎	◎	-
	半導体製造装置OEM	装置	◎	-	-
	短納期生産体制	システム	◎	◎	△
	低コスト生産体制	システム	◎	○	△
	大量発注・大量生産体制	システム	◎	○	△
EMS2.0	機密性管理体制	システム	◎	◎	◎
	車載電装機器の設計・製造	セット	△	◎	◎
	情報通信機器の設計・製造	セット	○	◎	◎
	FA産業機器の設計・製造	セット	△	◎	◎
	計測機器の設計・製造	セット	-	-	◎
	医療機器の設計・製造	セット	-	◎	◎
	航空宇宙機器の設計・製造	セット	-	-	◎
	特殊基板設計・製造	部品	△	△	◎
	特殊FPC・電線の設計・製造	部品	-	-	◎
	特殊電源の設計・製造	部品	-	-	◎
	規格試験サービス	サービス	-	-	◎
	評価代行サービス	サービス	-	○	◎
EMS3.0	高品質・高信頼性体制	システム	△	◎	◎
	変種・変量生産体制	システム	△	◎	◎
	特殊認証取得体制	システム	○	◎	◎
	異種材料PKGの設計・製造	部品	-	-	⇒◎
	異種材料PKGの実装技術	セット	-	-	⇒◎
	異種材料PKG基板の設計・製造	部品	-	-	⇒◎
	異種材料PKGの仕様開示	材料	-	-	⇒◎
	異種材料PKGの実装ツール	装置	-	-	⇒◎
	設計ツール(統合EDA)リリース	サービス	-	-	⇒◎
	オープンイノベーション支援体制	システム	-	-	⇒◎
	変種・変量生産体制(部材)	システム	-	-	⇒◎
	異種材料PKG企画提案	システム	-	-	⇒◎
異種材料PKG環境構築支援	システム	-	-	⇒◎	

図表9 EMS各段階におけるケイパビリティ比較表

企業名	認証システム取得項目
鴻海	ISO9001(QMS) ISO13485(医療機器QMS) <b>2020年12月15日取得</b>
SiiX	ISO9001(QMS) ISO14001(環境MS) ISO27001(情報セキュリティMS) ISO13485(医療機器QMS) IATF16949(自動車産業QMS)
OKI	ISO9001(QMS) ISO13485(医療機器QMS) ISO14001(環境MS) IEC62304(医療機器ソフトウェア仕様) 薬機法(一般医療機器・製造) JAXA-QTS-2140(航空宇宙プリント配線板共通仕様) JIS-Q-9100(航空宇宙産業QMS) MIL-PRF-55110(防衛省プリント配線板一般仕様) 防爆認証 計量法

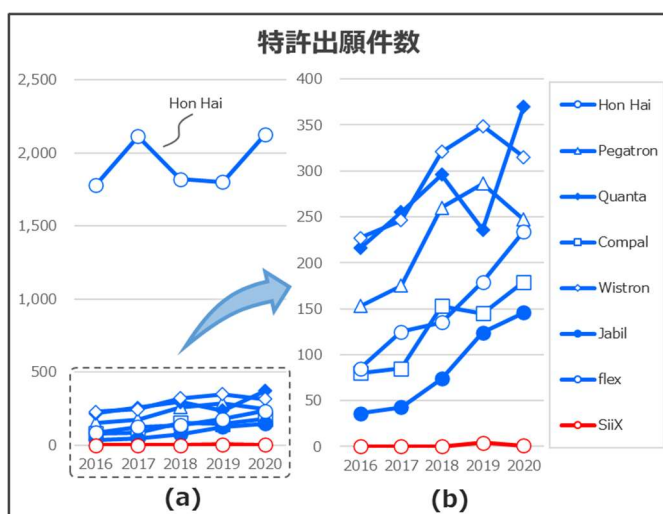
図表10 EMS各社の認証システム取得状況

## 7.2. EMS の収益性と創造的活動の相関性検証

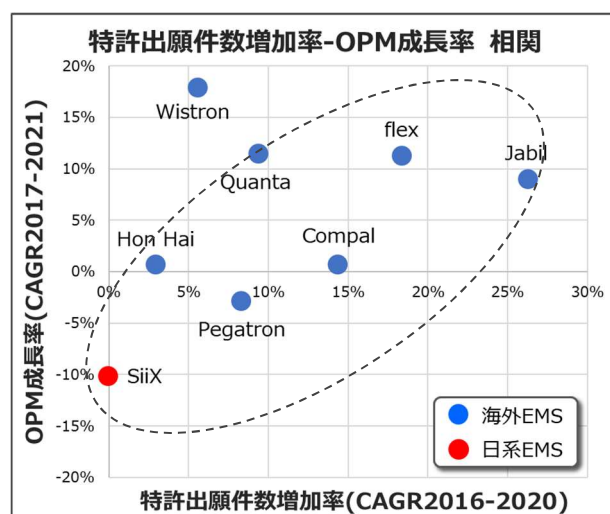
電子機器受託製造サービスを主として成長した EMS にとって、付加価値の創造的活動が求められるか否かについて検証した。具体的には、特許出願件数と OPM の相関について検証を行った。対象企業は、2020 年世界売上高トップ 7 社とシークスを含む計 8 社である。

まず、2016 年から 2020 年の特許出願件数(全世界)を調査し、その調査結果を図表 11 に示した。図表 11(a)には、鴻海を含む上記 8 社の特許出願件数の推移を示し、図表 11(b)には鴻海を除いた 7 社(破線部分)を示した。そして、図表 11 と図表 3 の結果から、特許出願件数の年平均増加率(2016 年～2020 年)と OPM の年平均成長率(2017 年～2021 年)を算出して相関を求め、図表 12 に示した。なお、特許出願件数増加率と OPM 成長率を 1 年ずらした理由は、特許出願から収益を生むまで少なくとも 1 年以上の遅効性が生じると想定したためである。

図表 12 から、相関係数  $r$  は 0.42 と弱い相関関係が観察されたが、正の相関であることを確認した。この検証結果から、EMS が高収益性を維持し更に向上させていくためには、創造的活動が必要不可欠になるのではないかと考察した。



図表 11 EMS の創造的活動と収益性の相関



図表 12 EMS の創造的活動と収益性の相関

## 8. 提案

本稿による検証結果を受けて、EMS3.0 によるオープンイノベーション型業界構造を提案する。ここでは、ポーターのファイブ・フォースをメタファーとして[10]、EMS を中心とした各プレイヤーとの関係性を図表 13 のように検討した。以下に図表 13 による業界構造の特徴を箇条書きする。

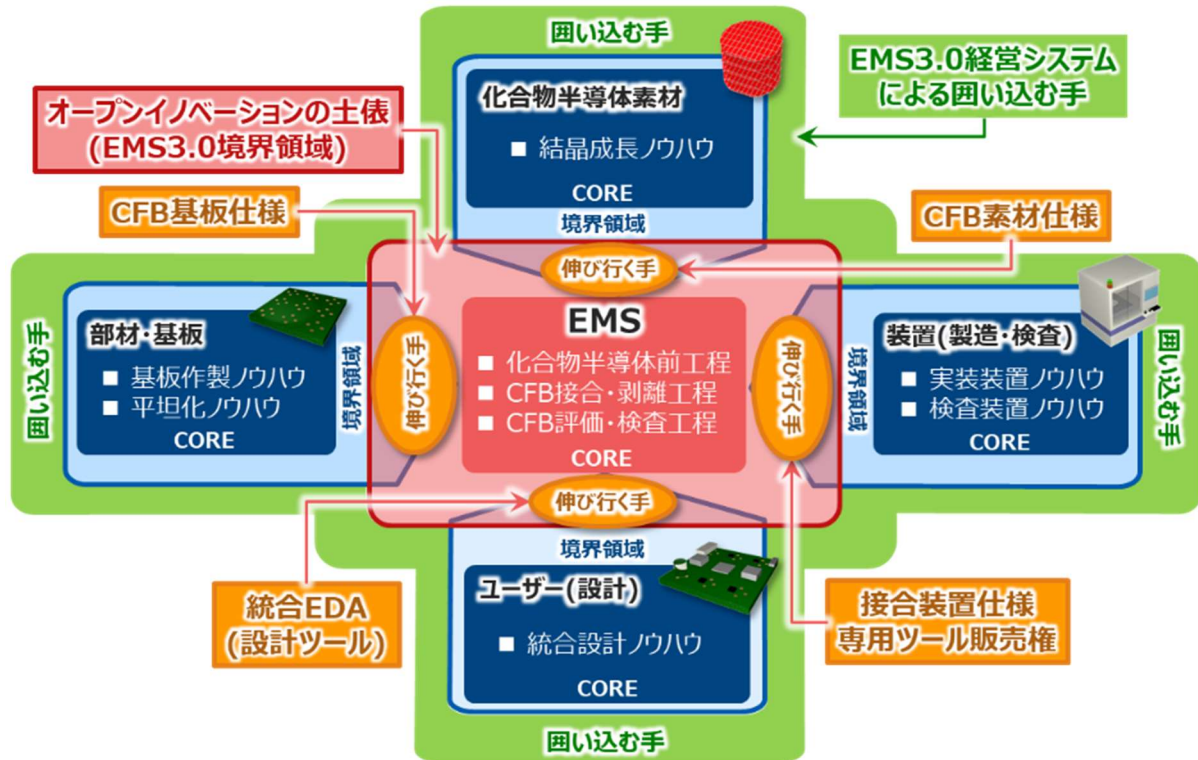
- ① EMS 及び各プレイヤーのコア領域と境界領域をあらかじめ、明確に定義する。
- ② EMS で取り扱う製品は、化合物半導体をキーデバイスとした製品に特化する。
- ③ EMS のコア領域には、CFB を行うための化合物半導体前工程ノウハウ、CFB の剥離・接合工程ノウハウ及び CFB の評価・検査工程ノウハウをクローズ情報として定義し、秘匿する。
- ④ EMS の境界領域をオープンイノベーションの土俵として定義し、各プレイヤーとの擦り合わせ領域を形成する。この擦り合わせ領域で創造されるアイデアは、契約により帰属区分を明確に定義することで、双方から自由闊達にアイデアが提案されるような仕組みとする。
- ⑤ 各プレイヤーとの擦り合わせ領域には、以下⑥から⑨記載の EMS への「伸び行く手[10]」を仕込むことで、各プレイヤーとの創造的活動を誘発する。
- ⑥ 化合物半導体素材メーカーとの境界領域には、CFB を可能とする結晶成長層構造などの素材設計仕様をオープン情報として仕込み、共創活動を支援する。
- ⑦ 部材・基板メーカーとの境界領域には、強固な CFB を可能する平坦性、あるいは線膨張係数の最適化を含む基板設計仕様をオープン情報として仕込み、共創活動を支援する。
- ⑧ 装置(製造・検査)メーカーとの境界領域には、CFB を安定的かつ効果的に実行するための接合装置仕様及び専用ツールの販売ライセンス、さらに CFB の安定性及び高信頼性を担保するための検査装置仕様をオープン情報として仕込むことで、共創活動を支援する。
- ⑨ ユーザー(設計)との境界領域には、CFB にとって必要となる電気、熱及び力学の相互作用を統合



的に設計可能とする統合 EDA をオープン情報として仕込み、共創活動を支援する。

- ⑩ オープンイノベーションを推進する仕組み、双方の秘匿性を確保する仕組み、異種材料接合技術の評価、検査あるいは環境構築を支援する仕組みを盛り込んだ経営システムにより、EMS3.0 業界全体に対して、外側から「囲い込む手」を形成し、関係プレイヤーとの連携を強化する。

上記業界構造による EMS3.0 により、バリューチェーンの川上工程に属し、かつ設計アーキテクチャ論の観点から擦り合わせ技術による成長が期待できる化合物半導体との相乗効果により、EMS3.0 を中心とした付加価値の創造的活動が展開されると期待する。



図表 13 EMS3.0 によるオープンイノベーション型業界構造

## 9. おわりに

本稿では、実装大変革期に日系 EMS が生き残りを掛けて対応すべき技術革新と新たなビジネスモデルとして、異種材料接合の一種である CFB 技術をコア技術として、化合物半導体前工程及び後工程を統合した新たなビジネスモデル「EMS3.0」の提案を行った。そして EMS3.0 によるオープンイノベーション型業界構造により、モノづくりの現場から付加価値が創造される日系 EMS の進化を考察した。

今後の課題は、EMS3.0 をオープンイノベーションの場として機能させるための具体的なアプローチの深耕である。具体的には、OKI-EMS への特別解を導出したい。

## 参考文献

- [1] 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）
- [2] 瀬川良久，内平直志，井川康夫：M&A における知の変容要因，開発工学 vol.37 No.1（2017）
- [3] 野村和広：進化する日系 EMS 企業、M&A も活発化，電子デバイス産業新聞（2019）
- [4] OKI HP：EMS(設計・製造受託サービス)実績紹介（2022）
- [5] Digima ～出島～ HP：EMS(製造請負)の基礎知識 世界の EMS 企業ランキング(2022)
- [6] 若林秀樹：デジタル列島改造論，日経 BP 総合研究所（2022）
- [7] LIMO HP：OKI がマイクロ LED で協業を模索、複合集積フィルムを提供（2021）
- [8] 日本経済新聞：OKI、超音波センサーの感度 20 倍に 生体認証の精度向上（2022）
- [9] Leadership HP：鴻海精密工業株式会社 ISO13485:2016 認証取得（2020）
- [10] M.E,ポーター：競争の戦略 新訂版(日本語版)，ダイヤモンド社（1995）
- [11] 小川紘一：オープン&クローズ戦略，翔泳社（2015）