JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	プロジェクトの連続性を考慮した半導体分野プロジェクト群の評価手法に関する一考察
Author(s)	工藤，祥裕；有馬，宏和；佐藤，義竜
Citation	年次学術大会講演要旨集，24：661-666
Issue Date	2009-10-24
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/8717
Rights	本著作物は研究・技術計画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 Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

２Ｅ１２

プロジェクトの連続性を考慮した半導体分野プロジェクト群の評価手法に関する一考察

○工藤　祥裕、　有馬　宏和、　佐藤　義竜（NEDO）

１．はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO という）では、幅広い分野で公的資金を原資とした研究開発プロジェクト（以下、プロジェクトという）を実施している。これら NEDO が実施するプロジェクトにおいては、公的資金を投入した結果として、我が国の産業競争力強化、産業創出にどのように貢献したかを説明することが求められている。したがって、プロジェクトを評価する際には、目標であった技術開発成果だけではなく、波及効果も含めたアウトカムも広く整理、把握することが重要である。

NEDO はこれまでも実施プロジェクトのアウトカム調査を行っているが[1]、個別プロジェクトの評価は数多く行われているものの、プロジェクト間の成果の連続性や関連性まで評価していなかった。

そこで本研究では、これまでの評価方法とは視点を変え、技術テーマ毎にアウトカムを抽出・整理することにより、同一分野の技術テーマにおけるプロジェクト成果の連続性や関連性を明らかにするという評価手法について検討および考察する。

２．調査手法

（１）アウトプット、アウトカムの定義

本稿では「アウトプット」を NEDO プロジェクトの研究開発により得られた技術的成果とし、「アウトカム」を製品化事例および産業への波及効果等とする。例えば、研究開発による技術的成果や、それらを用いて実用化した製品（一次製品と呼ぶ）はアウトプットである。これに対しアウトカムとは、アウトプット以外の全ての成果を指し、アウトプットの技術が研究開発当初には想定していなかった製品として実用化されたもの、一次製品を販売したことによる国内メーカーのシェア向上、関連産業への波及を意味する。

（２）評価手法の特徴

本研究では、「個別プロジェクト」成果の評価ではなく、複数のプロジェクトを束ねた「プロジェクト群」の評価手法を検討する。具体的には、個別プロジェクトのアウトプットやアウトカムを技術分野毎に体系化し、さらにこれらを半導体分野として統合・整理するものである（図１）。これにより、技術の視点からプロジェクトの連続性（ある技術テーマの成果が他の技術テーマに繋がった事例等）や各プロジェクト間の関連性（ある技術テーマの成果が他の技術テーマに影響を及ぼした事例等）を明らかにすることができ、更には、半導体産業における各プロジェクトの位置づけ、役割を明確にすることができる。

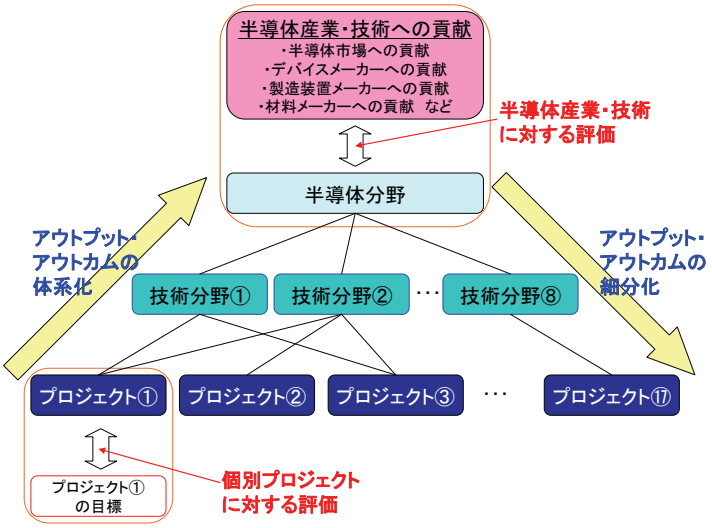

図１　プロジェクト群の体系的な評価の概念図

（３）調査内容

「プロジェクト群の評価」を行うため、（ａ）プロジェクトを構成する技術テーマ毎のアウトプット・アウトカムの抽出、（ｂ）技術分野毎の産業および技術に関する実績・動向、（ｃ）半導体産業に与えた影響の３構成にて調査・分析を行った。

ａ）プロジェクトを構成する技術テーマ毎のアウトプット・アウトカム抽出

各半導体関連プロジェクトを NEDO ロードマップで定めた技術テーマに細分化した(図２)。技術テーマ毎に、統計データ・文献データ等の公開情報の分析や事業者へのヒアリング調査を実施し、技術テーマ毎のアウトプットおよびアウトカムを纏めた。また、連続性および関連性を考慮してアウトプットおよびアウトカムを整理した。整理に際し、俯瞰図テンプレートを準備し、技術テーマ毎にテンプレートに即した俯瞰図を作成した。俯瞰図は「時代的背景・技術課題」、「技術テーマの変遷」、「製品の変遷・市場への貢献」の３つのパートで構成した。図３に俯瞰図の表記例を示す。

ｂ）技術分野毎の産業および技術に関する実績・動向

図２のように各技術テーマを上位概念である技術分野毎(「①LSTP デバイス技術」、「②プロセス技術」、「③リソグラフィ技術」、「④配線技術」、「⑤実装技術」、「⑥評価・解析技術」、「⑦設計技術」および「⑧製造技術」）に類型化し、俯瞰図を作成した。併せて、各技術分野に関する１９９５年頃から現在に至るまでの産業および技術の実績・動向を統計データ・文献データ等の公開情報および必要に応じて有識者の意見から調査し、俯瞰図へ盛り込んだ。これより、技術テーマの立案の意義および技術的な位置づけ等を抽出した。

ｃ）半導体産業に与えた影響

NEDO が半導体関連技術プロジェクトを開始した１９９５年頃から現在に至るまでの半導体産業に与えた影響を調査した。具体的には、本調査で把握したアウトカムの中から代表的なものをピックアップし、デバイス、製造装置、材料といったメーカーの分類にそって整理することで、NEDO プロジェクトが半導体産業に与えた影響を確認した。

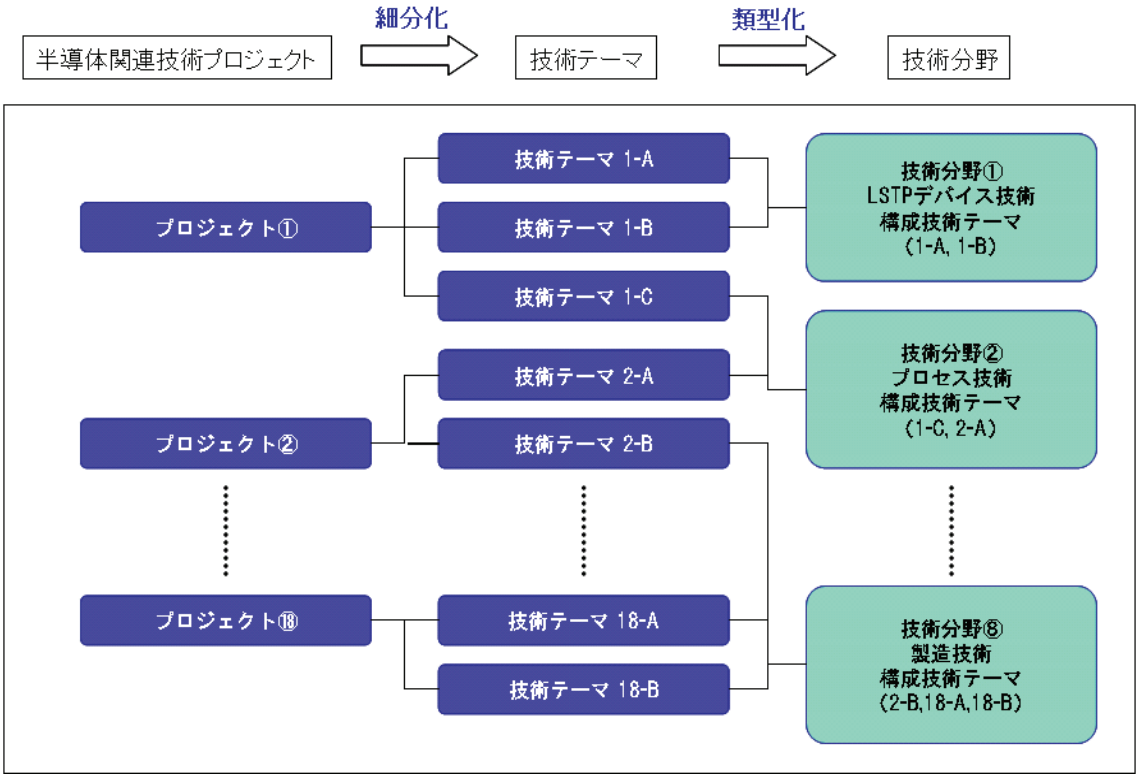

図２　細分化および類型化のフロー

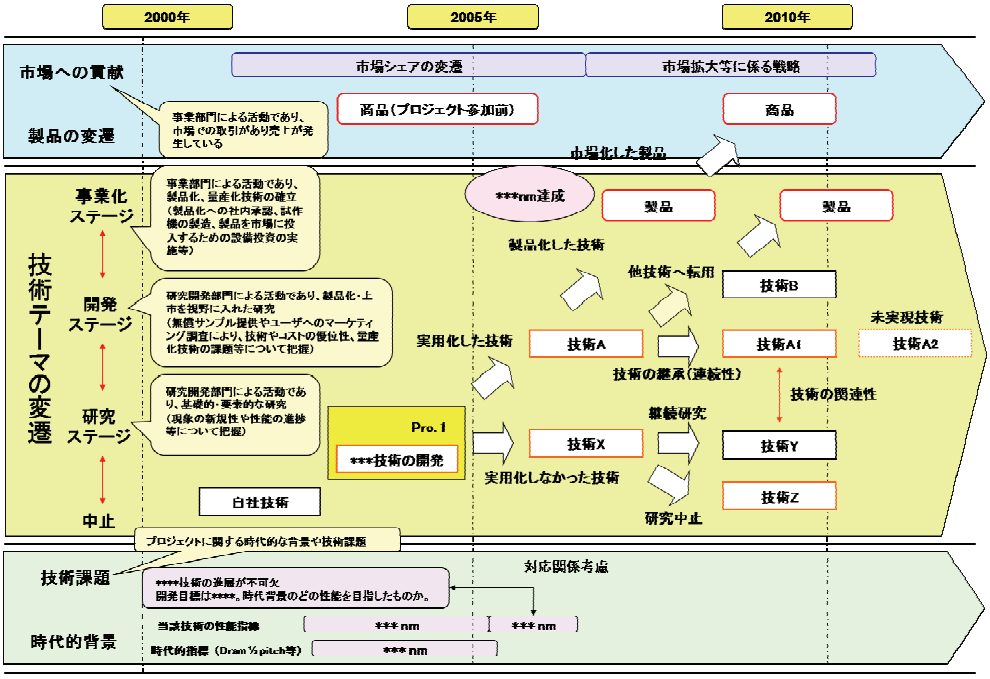

図３　技術テーマの発展状況の俯瞰図の表記例

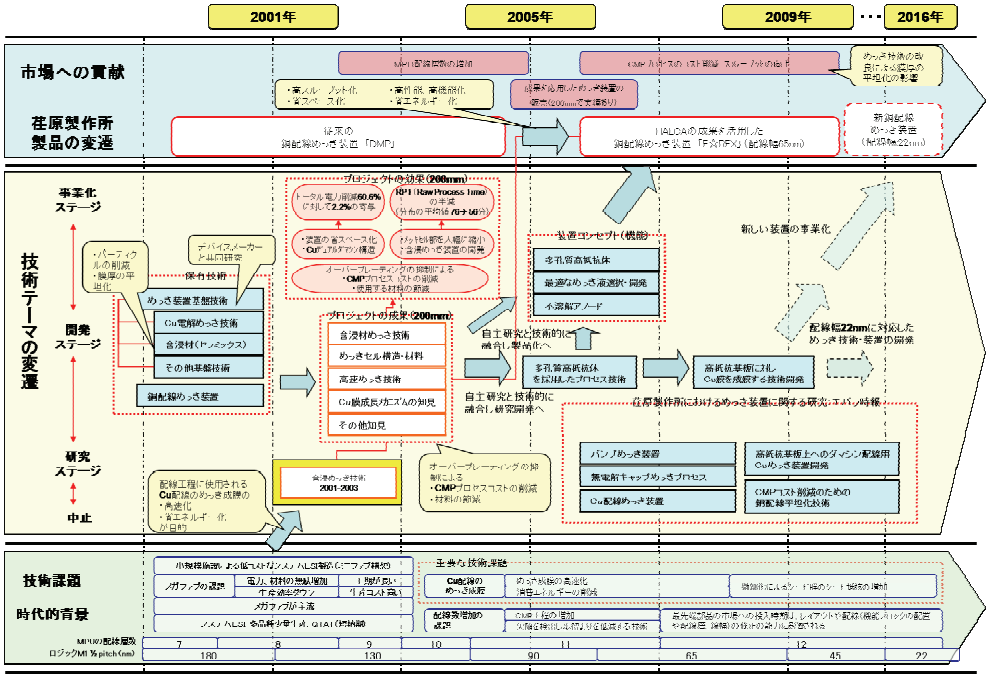

図４　含浸メッキ技術の発展状況を示す俯瞰図

３．結果と考察

（１）各技術テーマにおける調査結果

各技術テーマの変遷を示した俯瞰図は、32 の技術テーマについて作成しているが、その中から代表的な事例として、A 社における含浸メッキ技術の発展状況を示した俯瞰図を示す。（図 4）

本技術テーマは、2000 年頃からはじまる情報化社会がますます進展し、多品種少量生産や QTAT が要求されるミニファブ構想が囁かれるような時代背景の中、これを実現させる様々な技術的課題のひとつとして、Cu 配線のめっき成膜の高速化および省エネルギー化が求められていた。

このような時代背景のもと、NEDO では「高効率次世代半導体製造システム技術開発（HALCA プロジェクト）」において含浸めっきに関する研究開発を実施した。図 4 の技術テーマの変遷からは、A 社がプロジェクト参加前からめっき装置に関する基盤技術および銅配線めっき装置に関する技術を保有しており、プロジェクトでは保有技術を基に 200mm ラインにおいてめっき成膜の実証を行った結果、高速めっ

き技術や Cu 膜成長メカニズムなどの技術的知見が得られたという一連の流れを見ることができた。他にも、オーバープレーティングの抑制による CMP プロセスコストの削減や材料の節減などの副次的効果の確認や、プロジェクト終了後に配線幅 22nm 世代で予想される高抵抗シード膜に対して Cu 膜を成長するめっき技術を開発しているという継続研究の展開を確認するなど、「めっき」という技術テーマにおけるプロジェクト前後の変遷を一覧することができた。

市場化への貢献については、従来の銅配線めっき装置「DMP」から、プロジェクトの成果を利用し自社研究開発を経て開発した配線幅 65nm 用の銅配線めっき装置「E☆REX」への変遷を確認することができた。

（２）各技術分野における調査結果

３－（１）で示した各技術テーマにおける俯瞰図を統合し、技術分野における俯瞰図の作成を行った。8 つに分類した技術分野の中から、代表的な事例として「リソグラフィ技術分野」を取り上げた。（図５）

＜露光装置技術＞

KrF リソグラフィ（波長 248nm）が実用化されていた 2000 年当時、次世代技術として ArF リソグラフィ（波長 193nm）が既に控えていたため、国家プロジェクトで取り組む研究テーマとして、ArF と 2015 年頃に開発されると考えられていた EUV（Extreme Ultra Violet、波長 13.5nm）との中間領域を埋める技術候補が求められていた。F2 リソグラフィ（波長 157nm）は、90nm 技術対応でも適用可能な技術として当時期待の高い技術であったが、一方で量産の見通しは立っていなかった。そこで開発投資リスクの大きい技術であった 70-100nm 技術対応の F2 露光装置に関連する技術を開発する『F_2 レーザリソ技術の開発プロジェクト』がスタートした。

その後、2003 年に次世代の 65nm ノードで ArF リソグラフィ技術が有望となり、2004 年の SPIE で次次世代の 45nm ノードだけでなく 32nm ノードで ArF 液浸リソグラフィ技術の採用可能性が発表された。これに応える露光装置の光源として要求されるのは、高スループット化のための高出力化と、高 NA レ

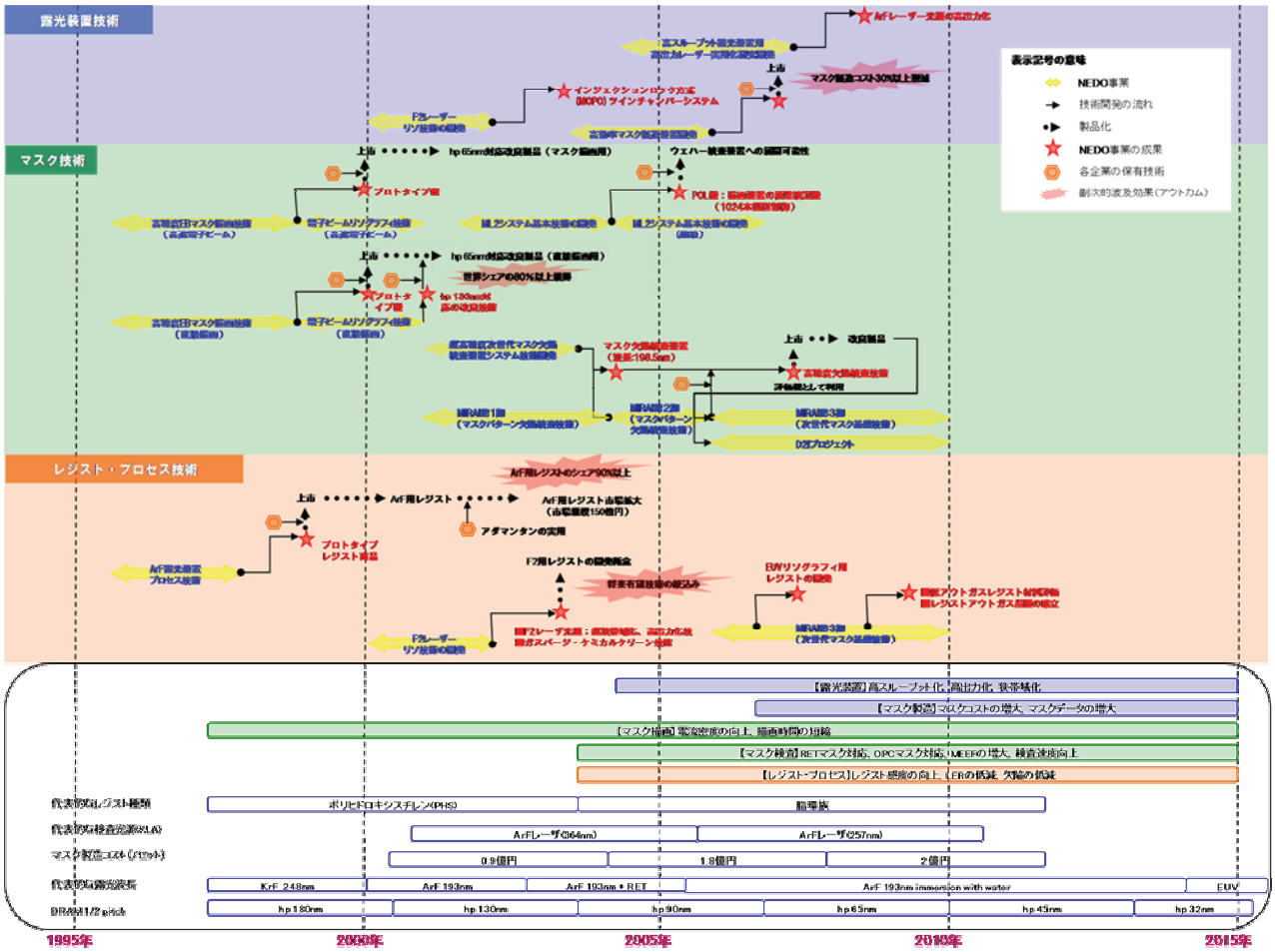

図５　リソグラフィ技術分野の俯瞰図

ンズに適用するための高いスペクトル特性であった。この２つの要求を同時に満たす方式として、インジェクションロック方式があるが、高コヒーレンスおよびASE発生等の光品位の点で実用化への技術課題を有した。そこでこの技術課題をクリアするために『高スループット露光装置用高出力レーザ実用化研究開発プロジェクト』がスタートした。その際、『F_2 レーザリソ技術の開発プロジェクト』で得られた要素技術を ArF レーザ光源に応用し、『高スループット露光装置用高出力レーザ実用化研究開発プロジェクト』することで「ArF レーザー光源の高出力化」の成果をあげた。

さらに『高スループット露光装置用高出力レーザ実用化研究開発』プロジェクトの開発成果と実施者(ギガフォトン)開発成果によってArF レーザ光源を製品化（GT シリーズ）へ繋げている。

以上より、『F_2 レーザリソ技術の開発』の研究成果が『高スループット露光装置用高出力レーザ実用化研究開発』に活用され、最終的に製品(ArF レーザ光源)に繋がるという一連の流れを確認することができた。

＜マスク技術＞

『超高精度次世代マスク欠陥検査装置システム技術開発』で確立された技術を用いた改良製品が『MIRAI 第３期（次世代マスク基盤技術)』、『D2I プロジェクト』において利用されていたということも確認することができ、プロジェクト間の関連性を確認することができた。

加えて、『超高精度次世代マスク欠陥検査装置システム技術開発』および『MIRAI 第１期』の成果と、『MIRAI 第２期』および実施者保有技術との統合により確立された成果が上市に至った流れを確認することができる。更に、この改良製品が『MIRAI 第３期』および『D2I プロジェクト』にフィードバックされていることが確認できた。

＜技術分野の中でプロジェクト群を評価することの効果＞

技術分野という大きな枠組みの中でプロジェクト群を評価することにより、プロジェクト単体の評価ではわからなかったプロジェクト成果の連続性や関連性を評価することが可能であることが確認できた。このことは、プロジェクト単体の評価とは異なる切り口の評価、具体的には、プロジェクト実施のタイミングやプロジェクト群のフォーメーションの妥当性を評価することが可能であることを示唆している。

（３）NEDO 事業が半導体産業に与えた影響についての分析

各技術分野における俯瞰図において抽出された代表的なアウトカムを、デバイスメーカー、製造装置メーカー、材料メーカーという切り口で分類した（表１）。ここで抽出された「代表的なアウトカム」

表１デバイス、製造装置、材料メーカーの代表的なアウトカム

項目	代表的なアウトカム（実現済）
デバイスメーカー（５）	・hp45nm デバイス用薄膜形成技術に貢献（High-k 膜） ・マスク製造コスト 30%以上削減 ・三次元実装技術の底上げ、世界的なイニシアティブの獲得（＋三次元積層 DRAM の国際的な優位性を獲得） ・SiP によるデバイスの高機能化・低コスト化 ・STARCAD の提供、半導体設計のインフラへ
製造装置メーカー（１１）	・縦型拡散炉の売上げの約 20%に貢献 ・CMP 装置の高スループット、高性能化、高機能化 ・Cat-CVD 装置の発売 ・太陽電池製造用大面積 Cat-CVD 装置 ・枚葉式 300mm 対応 ・世界シェア 80%以上獲得（hp65nm 対応装置） ・成膜装置（CVD）への売上げへ貢献（hp22nm 用） ・インクジェット技術による LTCC 回路基板 ・三次元実装技術に対しての、製造技術の向上 ・ウェハプロセスモニタの商品化 ・ウェハプロセス評価装置、半導体故障評価装置の商品化
材料メーカー（４）	・次世代の膜厚 SOI ウェハ ・ArF 用レジストのシェア 90%以上獲得 ・塗付系 Low-k 材料の国際競争力の獲得 ・三次元実装技術に対しての、材料技術の向上

表２　デバイスメーカー、製造装置メーカー、材料メーカーの期待されるアウトカム

項目	期待されるアウトカム
デバイス メーカー （３）	・三次元積層 DRAM の市場の拡大 ・次世代 SiP によるさらなるデバイスの高機能化・低コスト化 ・半導体設計の国際競争力強化
製造装置 メーカー （４）	・メモリ製造の Cu 導入により CMP 市場の拡大 ・マイクロ波プラズマを用いた新製品の発売 ・半導体プロセス評価装置・分析装置の売上げに貢献 ・省エネを実現する環境ボックス ・高環境性を有するドライ真空ポンプ
材料メーカー （２）	・SGOI ウェハの発売 ・32nm 向け Low-k 膜市場での優位性

とは、メーカーの売上、技術力強化に直接的に影響を与えるもの（製造装置に関するアウトカムによる製造装置メーカーの影響など）に限定し、間接的に影響を与えるもの（製造装置に関するアウトカムによるデバイスメーカー、材料メーカーの影響など）は対象外とした。

表１より、代表的なアウトカムの数としては、デバイスメーカーが 5 件、製造装置メーカーが 11 件、材料メーカーが 4 件という結果となった。アウトカムの件数に関しては、調査をした技術テーマの数にばらつきあるため一概に評価することはできないが、製造装置メーカーに対して NEDO プロジェクトが様々な寄与をしてきたことが示唆された。また、材料メーカーについては、ArF 用レジストの世界シェアトップを獲得するアウトカムがあり、材料メーカーへ大きな影響を与えていたと考えられる。一方、デバイスメーカーについては、三次元実装技術や SiP など実装技術でのアウトカムが目立っていた。

加えて、今後期待されるアウトカムを表２で示す。今後のアウトカムについては、デバイスメーカーでは三次元実装、SiP など新規実装技術を有するデバイスでの展開が引き続き期待できる。製造装置メーカー、材料メーカーについては、微細化や低環境負荷のトレンドに伴い、新たな市場が確立されることが期待できる。

代表的なアウトカムそれぞれの重みづけが出来ていないため、アウトカムの数だけで単純な比較をすることはできないという課題は残るものの、プロジェクトが産業の発展に与えているであろう影響や、どの業界でプロジェクトの成果が表れているかといった状況の把握をすることが可能であるため、産業に対してプロジェクト群が与えている影響をマクロ的に評価する一つの手法になるのではないかと考えられる。

４．まとめ

複数のプロジェクトから成る「プロジェクト群」としての評価を行うことにより、プロジェクトの成果を”連続性”と”関連性”の視点から評価することができた。また、プロジェクト群が半導体産業に与えた影響について評価する一手法を示すことができた。

今後は、日本の半導体市場や半導体デバイスメーカー等における売上高などの統計データ・文献データと今回の調査結果を比較し、今後の半導体政策立案時に利用できる状態まで昇華することができるよう、引き続き検討を継続する。

[1]参考資料　新エネルギー・産業技術総合開発機構　平成 18 年度半導体製造関連技術に係るアウトカム調査　報告書