

1C18 政府研究開発プロジェクトの費用対効果分析手法に関する一考察

—電子・情報分野のNEDO研究開発プロジェクトにおける実例分析—

○安永裕幸, 工藤祥裕 (NEDO)

近年、我が国の産業競争力強化の観点から政府の研究開発プロジェクトへの期待が高まる中、いわゆる「ナショナル・プロジェクト」としての研究開発事業の費用対効果分析についても高い関心が寄せられている。ここでは、NEDO技術開発機構の研究開発プロジェクトを事例として、特許出願件数や開発対象技術が実装された製品の販売シェア及びそれらに対する当該政府研究開発プロジェクトの貢献度等を定性的・定量的に分析することにより、研究開発プロジェクトの費用対効果について明らかにするとともに、その成功要因について分析した。

Cost/benefit analysis is considered to be one of the key factors to evaluate government-funded R&D projects, while strong public expectation is paid in the context of intensifying Japan's industrial competitiveness. We made a study on cost/benefit analysis taking one national R&D project as a case, by evaluating the number of patents, market share of the product incorporating the patents, and contribution of governmental fund to such product in qualitative and quantitative ways, as well as its background of the success.

1. はじめに

近年、我が国の産業競争力強化が政府全体の大きな政策課題となる中で、政府の研究開発事業に関する期待も高まっている。こうした状況下、NEDO技術開発機構（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）においては、2003年10月の独立行政法人化を機に、「成果を挙げるNEDO」「利用しやすいNEDO」をキャッチフレーズとして業務改革に取り組んでいる。

中でも、より大きな成果を挙げるために評価の重要性がここ数年強調されてきており、NEDOにおいてもプロジェクトの中間段階での第三者委員による評価を基に、研究計画の縮小、中止、拡充、加速等を実施しているところであるが、今後更なる評価体系の充実のためには研究開発プロジェクトの終了後の費用対効果分析を導入することが必要と考えている。ここでは、NEDOの電子・情報分野における代表的な研究開発プロジェクトである「超先端電子技術開発事業（1996～2001）」の電子ビーム描画装置技術開発を例にとり、その成果や効果を分析することを通じて、こうしたプロジェクトの費用対効果分析に関する手法を検討するとともに、その一般化について検討したものである。

2. 分析対象、分析手法及び分析結果

2-1. 分析対象プロジェクト

分析対象とした「超先端電子技術開発事業」は、1990年代半ば、世界の半導体産業がいわゆる「ムーアの法則」の遵守の観点から「光の壁」と呼んでいた0.1 μ mレベルの微細加工の技術的ブレークスルーを実現するために発足したものである。当該プロジェクトにおいては、エキシマレーザ光であるArFレーザによる露光レジストプロセス技術、電子ビームによる直接描画技術及びマスク描画システム技術、等倍X線露光システム技術、という3種類の選択肢が同時に研究開発のテーマとなった。その中でも電子ビーム描画技術については技術的成果も大きく産業界へのインパクトも大きなものとして評価が高く、NEDOの研究開発プロジェクトの代表的な成功例とされている。

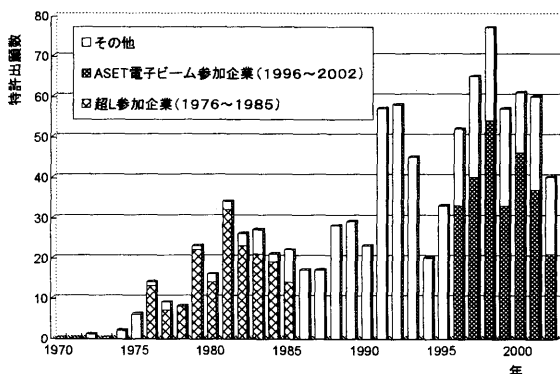
2-2. 分析手法及び分析結果（その1）

分析手法としては、以下の3手法を用いた。

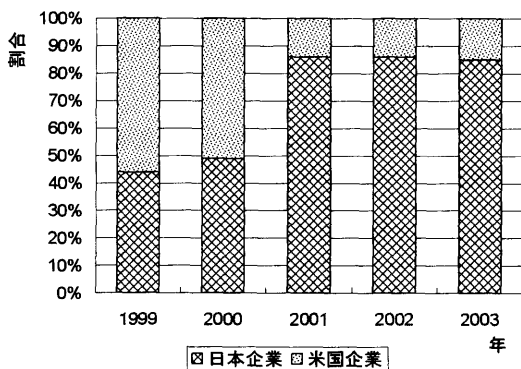
- 1) 特許出願件数
- 2) 研究成果を実装した製品の市場シェア
- 3) 当該プロジェクトにより得られた研究成果がもたらした経済的付加価値（プロジェクトにより得られた便益分析）

* 新エネルギー・産業技術総合開発機構企画調整部

** 新エネルギー・産業技術総合開発機構企画調整部



【図-1】電子ビーム描画装置関連特許出願の推移



【図-2】電子ビーム描画装置世界市場メーカー別シェア

【図-1】は、電子ビーム描画装置関連の我が国における特許出願の推移及び「超先端」プロジェクト参加企業により出願された件数の、関連出願件数全体に占める比率を示したものである。

これから明らかとなり、プロジェクトの開始された1996年からプロジェクトの終了した2001年及びその翌年（民間企業における特許出願の慣行から考えればプロジェクト終了後2年程度は過去の研究に基づく特許出願の可能性が存在するものと考えられる）に至るまで、プロジェクトに参加した4つの企業ないしは企業グループ（東芝+東芝機械（その後、ニューフレアテクノロジーズ社に分離子会社化）、日立+日立ハイテクノロジーズ、日本電子、富士通+アドバンテスト）により、それ以前と比較して非常に多くの特許が出願されていることが判る。参考として、1970年代後半から80年代半ばに

至る同分野の出願動向を示した。ここでは、1976年～79年にかけて通商産業省の補助により実施された「超LSIプロジェクト」の影響により同事業参加企業（超L組合及びNEC、日立、東芝、富士通、三菱電機及び日本電信電話）により多くの特許出願がなされており、「超先端」と同様、国家プロジェクトが大きな効果を挙げていることの一つの証左であると考えられる。

【図-2】は、1990年代後半から最近に至る電子ビーム描画装置の世界市場におけるシェアを示したものである。これから明らかとなり、「超先端」プロジェクトでの開発以後、急激に我が国企業（超先端事業の参加企業）の市場シェアが向上している。（やや詳しく言えば、マスク描画装置については東芝+東芝機械が市場のリーダーとなり、日立ハイテクノロジーズと日本電子はそれぞれ直接描画装置で大きなプレゼンスを示すに至っている。）

2-3. 分析手法及び分析結果（その2）

続いて、当該研究開発プロジェクトの経済的インパクトを算出し、プロジェクトの費用対効果について検討することとした。

ここでは、次のような手法を採用した。すなわち、プロジェクトの成果として得られた特許（出願中のものを含む）に係るロイヤリティ（実施料）を設定するのに用いられる「利用率」に、当該技術が実装された製品のおおよその販売価額を乗じ、その総和を計算することにより、それをプロジェクトから得られた便益（製品の今後の売上高予測も算定に含めたので、プロジェクトから今後得られると予想される便益も含まれる）として計算する方法である。ここで、「利用率」は、各社から当機構に提示されたデータをベースとしたが、これについては主として「当該特許が当該製品のサブシステムのうちの幾つに应用されているか」の比率をベースとしている。電子ビーム描画装置のような機械システム製品については、特許に関する企業慣行上も極めて一般的な手法である。

その結果は次のとおりである。尚、製品売上高の対象年度は2001年から2005年までとし、2005年については予測値を参考として計算した。

$$\sum (S_i \times U_j) = 168 \text{ 億円}$$

ただし、 S_i は各企業の対象年度における製品売上高の総額を、 U_j は、企業ごとに定まる利用率を表している。

これを本プロジェクトの経済的便益とすると、本

プロジェクトへの予算投入額が総計70億円であるから、本プロジェクトは明らかに費用対効果分析上、非常にポジティブな効果を示すものであったと総括されよう。(なお、上記経済的便益の計算上、将来において期待される売上高を含むほか、売上高は数年間の期間に亘っていることから、それらの数値については、正確には social discount rate を用いて正味現在価値として算出すべきであろうが、ここでは social discount rate の適切な設定が困難であることや、それを反映する金融市場における長期金利が極めて低いことから、単なる総和とした。)

3. プロジェクトの成功要因分析

3-1. 電子ビーム描画装置に係る技術論

次に本プロジェクトの成功要因について分析してみることとしたい。まずは、技術的観点からであるが、筆者が電子ビーム描画装置の専門家数名にインタビューした結果と技術文献の精査を行ったところ、次のような内容が明らかになった。すなわち、電子ビーム描画装置は、幾つかの重要コンポーネントから構成されるが、その基本的な構成は過去30年に亘って殆ど変化していない。これは次の点に現れている。

- ① 電子ビーム放射源は、1970年代にはタングステン (W) 又はホウ化ランタン (LaB6) が用いられていたが、現在もホウ化ランタンが用いられており、基本的に電子ビーム発生メカニズムが不変であると考えられる。
- ② また、電子ビームの収束・偏向制御を行う電子光学系には、一貫していわゆる電磁レンズが用いられている。これは原理的に不変であるとともに、我が国企業が蓄積してきた電子顕微鏡や各種の電子ビームによる計測機技術を活用することが可能であることを示している。
- ③ また、電子ビームによるパターン描画の基本技術は、いわゆる走査型の電子ビーム制御技術であり、ラスタ方式又はベクタ方式が使われるが、これらの基本方式についても不変である。

一方、次のような要素技術はこの30年間に漸次発展してきているが、それらについても、以前と異なる非連続な要素技術が採用されている訳ではなく、いわゆる“incremental innovation”の形で発展してきたものと考えられる。特に、電子ビーム描画装置の最大の弱点が描画速度(スループット)が小さい点であるため、これを解決するために次のような工夫がなされている。

- ④ 点描→可変成形(簡単な図形を組み合わせながら描画)→部分一括成形(図形の組み合わせを高度化)という流れで発展してきている。この中で、転写・偏向電極の数が増加するとともに、図形データの量が拡大し、制御系はソフト・ハードともに複雑になっている。
- ⑤ 電子ビームを高速でオンオフするための高速ブランキング技術や、電子ビーム源を多数並べて一気に描画する技術の開発が行われている。今後は電子源を「面」化する研究も進展してくると考えられる。
- ⑥ 描画ルールが微細化するに伴い、振動制御や電子ビーム源の電源安定性、アンプの直線性等への要求がシビアになってきている。

このように、電子ビーム描画装置は、30年間不変の技術要素も持ち、漸進的改良を幾つかのサブシステムにおいて導入しながら発展してきたものと考えられる。その中で、描画速度(スループット)の向上も段階的になされるようになってきたと言える。

3-2. 電子ビーム描画装置の市場環境論

次に電子ビーム描画装置に関する市場の競争環境についてである。1970年代、80年代、2000年代の世界市場における主要なベンダーをまとめたものが【表-1】である。これから明らかなように、新規参入企業は決して多くはなく、30年間を通じて主要プレイヤーの「顔ぶれ」にはそれほど大きな変化はない。すなわち、比較的「閉じられた」競争環境となっている。電子ビーム描画装置は生産財であり、大衆消費財ではないこと(現在も年間の世界市場規模は数十機である)、高度の電子光学技術と総合的なシステム構築技術を要すること等がその原因であろう。

【表-1】年代別世界の主要プレイヤー

1970年代	1980年代	現在
JOEL(日)	JEOL	日立ハイテクノロジーズ
ケンブリッジ(英)	東芝	ニューフレアテクノロジー
トムソンCSF(仏)	日立	JEOL
ETEC(米)	ETEC	ETEC
IBM(米)	ケンブリッジ	ライカ=ケンブリッジ
ベル研究所(米)	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

3-3. プロジェクト実施の方法論

次が本プロジェクトの実施に関する方法論である。本プロジェクトでは、4グループ(日本電子、日立、

東芝+東芝機械、富士通+アドバンテスト)が競争的環境の中で研究開発を行った。予算制約等から、各グループは、それぞれが最も重要な技術課題とする要素技術を研究対象としたが、最終目標としては概ね同等の微細度や寸法加工精度を掲げて開発に当たった。これが緊張感を生み、良い成果を挙げることに繋がったものと考えられる。また、筆者のインタビューでは、各社の関係者が「本プロジェクトは、発足のタイミングが絶妙であった」と答えている。即ち、最も技術課題が明確で、それをブレークスルーするための技術的手法に関する検討の熟度が増した時期に、国から各年度10億円を超える予算措置がなされ、一気呵成の研究開発を行うことが可能であったという訳である。なお、これらの開発グループは、殆どが70年代には「超LSI技術研究組合」の一員あるいはベンダーとして国からの補助金を受けて研究開発を行っており、各社とも技術蓄積が豊富であったことも大きな成功要因のひとつと考えられる(また、本プロジェクト参加者の中には若手時代に「超L」に何らかの形で関与した研究者が複数存在したこともここに記しておく。)

4. その他の国による研究開発プロジェクトにおける上記各手法の適用可能性

2. で述べた特許件数・比率、製品市場シェア、経済便益による費用対効果分析等の手法はその他のプロジェクトの評価を行う際にも一定の有効性を示すものと考えられる。今後、「超先端電子技術開発プロジェクト」の中で行われた「A E Fリソグラフィ(レジストプロセス技術)」、「高密度磁気ディスク・ヘッド技術」等のテーマにも応用することを検討している。

一方で、**tangible** な形、すなわち「製品」として明確に市場に出ていない技術の場合には、こうした手法は必ずしも有効ではないのではないかと考えられる。例えば、同じく「超先端電子技術開発プロジェクト」の中でも「プラズマ計測・解析・制御」テーマは、日本が「経験主義的アプローチで取り組んでいるが故に弱い」と言われていたプラズマエッチングやCVD等のプラズマ反応系半導体製造プロセスの抜本的高度化のため、プラズマ現象を「計測」し、その反応メカニズムを「解析」し、その上で「制御」を行うための技術を開発するものとして企図されたが、学術的に大きな成果を挙げたと一部で評価されているが、明示的にプラズマ関係の半導体製造装置に体化されている部分を確定することは難しく経済効果面での分析は容易ではない。こうした、いわゆる「基礎的・基盤的」な技術がどのような経済

効果をもたらしているかについては、上記とは別の手法による検討が必要であると考えられる。

5. さいごに

本研究の実施に際しては、「超先端」プロジェクトの実施に携わった各社の研究者にもお話を伺った部分がある。これについては各位のご協力に感謝の意を表したい。

【参考文献】

- [1]安永裕幸、真鍋洋介(2003)「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 2003 年度春期研究発表大会予稿集』
- [2]技術研究組合 超先端電子技術開発機構「ASE Tにおける半導体技術の研究開発—超先端電子技術開発促進事業—」
- [3]産業構造審議会 産業技術文科会 評価小委員会 超先端電子技術開発促進事業 研究開発評価ワーキンググループ「超先端電子技術開発促進事業プロジェクト評価報告書(事後)」
- [4]西澤潤一(1982)『LSIの将来技術』(シリーズ<超LSI技術 5>) 工業調査会
- [5]西澤潤一(1996)『デバイスとプロセス その10』(シリーズ<超LSI技術 5>) 工業調査会
- [6]西澤潤一(1993)『日本の半導体開発—劇的発展を支えたパイオニア25人の証言—』工業調査会
- [7]半導体産業新聞(2000)『日本半導体50年史—時代を創った537人の証言—』産業タイムズ社
- [8]村岡泰夫(1999)『半導体デバイス』電気学会
- [9]垂井康夫(2000)『超LSIへの挑戦』工業調査会
- [10]菅野卓雄(1998)『半導体集積回路』コロナ社
- [11]大見忠弘(2000)『新しい半導体製造プロセスと材料』シーエムシー
- [12]大見忠弘(2004)『復活! 日本の半導体産業』財界研究所
- [13]超エル・エス・アイ技術研究組合『超エル・エス・アイ技術研究組合 15年の歩み』
- [14]木浦成俊(2000-2004)『半導体製造装置データブック』電子ジャーナル
- [15]木浦成俊(2000-2004)『半導体データブック』電子ジャーナル