

「低炭素社会を実現する超低電圧ナノエレクトロニクス
プロジェクト」
低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」
事後評価報告書

平成28年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成28年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 古川 一夫 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「低炭素社会を実現する超低電圧ナノエレクトロニクス
プロジェクト」
低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」
事後評価報告書

平成28年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	8
研究評価委員会コメント	9
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	
3. 評点結果	1-19
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「低炭素社会を実現する超低電圧ナノエレクトロニクスプロジェクト／低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」の事後評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第31条に基づき、研究評価委員会において設置された「低炭素社会を実現する超低電圧ナノエレクトロニクスプロジェクト／低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第47回研究評価委員会（平成28年3月15日）に諮り、確定されたものである。

平成28年3月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（平成27年12月3日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 実用化、事業化の見通しについて
8. 全体を通しての質疑

公開セッション

9. まとめ・講評
10. 今後の予定、その他
11. 閉会

● 第47回研究評価委員会（平成28年3月15日）

「低炭素社会を実現する超低電圧ナノエレクトロニクスプロジェクト」

低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」

事後評価分科会委員名簿

(平成27年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	いとう たかし 伊藤 隆司	広島大学 ナノデバイス・バイオ融合科学研究所 客員教授
分科会長 代理	まつやま きみひで 松山 公秀	九州大学 大学院システム情報科学研究所 情報エレクトロニクス部門 教授
委員	おおの ひでお 大野 英男	東北大学 電気通信研究所長 省エネルギー・スピ ントロニクス集積化システムセンター長 教授
	きつかわ たかまる 吉川 公麿	広島大学 ナノデバイス・バイオ融合科学研究所長 教授
	しんぐうぼら しょうそう 新宮原 正三	関西大学 システム理工学部 機械工学科 教授
	ふじわら あきら 藤原 聡	日本電信電話株式会社 物性科学基礎研究所 量子電子研究部長 兼 ナノデバイス研究グループリ ーダ 主幹研究員 (上席特別研究員)
	まつざわ あきら 松澤 昭	東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理工学 専攻 教育革新センター長 教授

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

我が国の半導体産業を取巻く環境が大きく変わり、半導体企業の研究開発力がこの 5-10 年間で急速に衰退した状況下で、本プロジェクトは低炭素社会の切り札となる超低電圧デバイスの実現に向けたチャレンジングなテーマに取り組んだもので、非常に大きな意義を持っている。

集中研方式による研究開発体制や、300mm ウェハラインを備えた産総研スーパークリーンルームを活用した運営は効果的であり、また共通基盤要素は研究期間の早い時期に開発を完了させたことも、以降の研究開発の効率的な推進に寄与した。

結果として、世界をリードする研究開発成果が多くの項目について得られた。例えば、0.4V 動作 CMOS ナノトランジスタ構造の実現や、原子スイッチによるプログラマブル論理回路の実用化レベルの動作実証などは、世界的に極めて高いレベルのものとなった。また、日本発の新材料を用いた相変化メモリとその次世代集積化技術の立ち上げも、顕著な成果であった。

実用化面では、技術のベンチマークも概ね良好になされ、また中間評価における指摘事項に対する適切な対応を講じたことにより、マクロレベルでの集積化実証やプロトタイプの実作評価など IoT 時代のキーデバイスとして成長性や経済効果が見込まれる目標達成に至った。事業化に関してはテーマによって程度の差はあるものの、各社の開発ロードマップに組み込まれており、今後着実に進展し、集積回路事業のみならず、社会の発展への大きな結果が期待される。

ただし、参加企業の事業状況は刻々と変化し、世界の競合企業の事業展開にも影響される中、楽観できる状況ではない。プロジェクト実施期間中の技術及び市場等外部状況の変化について分析を加え、多角的でフレキシブルな出口戦略を策定してほしい。

対抗する海外拠点が研究開発を継続している状況で、本分野における我が国の技術開発が途絶えてしまえば大きな損失であるので、産官学共同研究体制が自律的に継続するよう対応を取ってほしい。その際、個別デバイスの性能向上のみに頼って大規模な市場を開拓することは困難となってゆくと思われるので、適用する産業分野を見極め、マーケティングを的確に行い、ニーズ主導型でのシステムティックな技術開発をすることが益々重要になる。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

低電圧・低電力デバイスの開発はますます重要になっており、我が国が優位性を持つことが産業競争力の確保につながる。また、本プロジェクトは我が国のエネルギー政策や環境政策にも完全に合致したもので、単体デバイスの技術の開発にとどまらず集積化技術まで高めることを想定し、実用化につながる基盤技術に取り組むものであった。既存の半導体集積技術の延長のみでは、将来予測される情報機器の急激な消費電力増加の抑制には限界があるた

め、革新的なデバイス原理の探索とそのデバイス化技術の確立のために実施された本プロジェクトの必要性は大きい。

また、本プロジェクトは公益性が高く、コア技術の創出を通して社会的課題の解決を目指すものであるため、NEDO の事業として相応しく、民間活動のみではこのような技術レベルの高い開発は不可能であったと言える。実績のある複数の企業を中核とする産官学の共同開発体制を NEDO 事業として構築し、異なる要素技術を総合的に開発することによって世界最高水準の研究成果が達成されたものである。国際的にも大きな優位性を有し、社会の変革を促すために不可欠な技術が開発され、波及効果は数兆円のレベルと考えられる。

対抗する海外拠点が研究開発を継続している状況で、本分野における我が国の技術開発が途絶えてしまえば大きな損失である。プロジェクトの総括として、産官学共同研究体制が自律的に継続するよう何らかの対応を取ってほしい。

組合メンバ企業間の横方向の連携が限定的で、出口として自社内製品への応用を主に考え、国際競争力についての視点が不十分と思われる点もあった。出口戦略を専門に検討するチームや担当をさらに強化し、プロジェクト全体にフィードバックをかける仕組みがあるとよいのではないかと。

2. 2 研究開発マネジメントについて

各課題は半導体業界の重要なテーマであり、日本発の材料・デバイス技術を集積化技術として高めるような開発目標は妥当であった。また、IoT 時代のキーデバイスとなる省エネルギー集積回路につながる多くの先端要素技術を取り上げたことは、国際的な市場、技術動向から判断して適切であった。本プロジェクトの到達点を起点として新たな後継プロジェクト等へ継承されていくことを期待する。その際、プロジェクトの遂行中に世の中の動向変化によって、当初の目標を修正したほうが良い状況となった場合には、方針転換あるいは技術目標の変更に関して、より一層柔軟に対応できるような枠組みを期待する。

研究開発計画は、技術的目標が全て達成されていることから申し分のないものであり、研究加速化のための追加予算などのフレキシブルな運用も評価できる。ただ、本事業が目標とした電源電圧 0.4V 動作のデバイスコア技術は、多くの場合デバイスにかかる電圧が 0.4V あるいはそれ以上となっていたので、目標の電源電圧で動作することを見極めることも課題に入れるべきであった。

研究開発体制ではプロジェクトリーダーの人選も適切であり、優秀なチームによって研究が実施され、事業化能力を有する実施者が選定された。全期間を通じて多くの技術委員会、共同実施先との技術打ち合わせ等が実施されており、集中研体制内及び共同研究機関との間の進捗状況の共有や研究連携が緊密に行われた。参加企業のラインアップはやや横並び型であり、事業者間の連携がさらに一層あるとより良かったと思われる。知財戦略及び標準化戦略では、総合的に漏れのない権利取得ができるか、という観点からのシナリオが明確ではなく、プロジェクトの途中および終了時点における競合デバイスや競合技術との比較のベンチマークを明示する必要があったと思われる。

一般に、成果の実用化・事業化は、このような技術開発プロジェクトでは大きな課題とな

りがちであるが、本プロジェクトでは開発技術が概ね各社の開発ロードマップに落とし込まれ、事業化に対して高い意欲が感じられたため、今後が期待できる。一部には研究として興味深くとも実用化が見えないテーマもあり、適当な時期に見直す判断が必要と思われる。

ユーザーフォーラム活動など一定の成果普及活動を実施した点も高く評価される。その一方で、グローバルな活動は、国際会議会場等での議論レベルにとどまっており、最初から海外の企業や大学を取り込むなど、グローバルな視点で日本の高い技術力を生かした営みも検討できるのではないかと。

2. 3 研究開発成果について

いずれのテーマも世界トップクラスの目標を設定したにも関わらず、当初の研究開発目標を概ね達成しており、達成度は十分である。すなわち、革新的なデバイスコンセプトの創出により各種情報機器における消費電力の大幅削減に資する、極めて高い水準の研究成果が得られ、さらに日本が優位性を持つデバイス性能の実現ばかりではなく、量産に向けた歩留まりや信頼性も見通しもある程度得ている。300mm ウェハで研究開発が行われたことから、メモリセル動作やばらつきまでを検討することができ、効果的な研究開発が行われたものである。達成した個別数値目標のさらなる連携により、より上位の成果も今後期待できる。

0.4V 動作 CMOS 回路では、ドーパントレスチャネルと基板バイアス制御による特性ばらつき低減及び低電圧動作を実現し、実用回路レベルでの低消費電力化を達成した。原子スイッチでは、SRAM ロジックセルと比較して、小型化・省電力化・高速化を達成した。全般に集積化技術として高い水準を達成している点は高く評価され、要素技術をもとにした大規模な市場への展開が期待できる。産総研への技術移転、ナノカーボン配線技術の標準化活動なども大いに評価できる。今後、競合技術に対する優位性をベンチマークなどで明確にし、弱点や不足点などの課題を冷静に分析してほしい。

細かい要改善点として、磁性変化デバイスは熱安定性が低い層構造で開発が進められたが、これはより高い熱安定性がもたらされる構造を採用してばらつき低減などが検討されるべきであった。ナノカーボン配線では、低抵抗配線としてのカーボンナノチューブ (CNT) (ビア部分) とグラフェン (横配線部分) の特性が明らかにされたが、CNT とグラフェンの双方を使うことは未検討であり本技術の将来的な見通しが現時点では不明である。また、1Mb マクロの初期不良が多すぎるため更なる加工技術の改善が必要である。

技術流出防止の観点からも、知財権確保のためのより積極的な特許戦略が望ましい。本プロジェクト終了後も数年間、登録特許件数を増やす努力を続けられることを希望する。

相変化デバイスに関しては、世界的にも新規性が高く、また技術的優位性も高いので、本研究成果を世界に広めるべく戦略的なバックアップを期待する。

2. 4 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本プロジェクトで開発された不揮発メモリ、集積スイッチ、ナノトランジスタ等は、各種情報機器の多様な機能階層への適用が可能であり、IoT 時代のキーデバイスとしてセンサ、クラウドコンピューティング、情報ネットワーク等の様々なアプリケーションにおける大幅

な省電力化を促進するもので、極めて大きな成長性・波及効果と社会的価値・経済効果が見込まれる。各開発技術はロードマップに落とし込まれており、実用化に向けた各社の意気込みは明確である。長期的ビジョンも示されており、将来の展開に期待できる。

今後、各技術について、基礎研究をした成果を外国に先に量産されないような枠組みで進めてほしい。特に **TRAM** については、新材料ということもあり、海外との競争に勝てる技術として、時間軸を意識しながらぜひ集積化技術として完成して頂きたい。

いずれのテーマにおいても受け入れ予定企業との連携ができており事業計画が提示されているが、製造委託を利用する場合には、投資に見合う企業収益へ繋いでいくために、より具体的かつ現実的なビジョン設計が必要である。基礎研究成果の技術移管による事業化では、メーカーだけでなく、製品を使用するユーザーの世界的な規模での確保も必要である。

具体的な事業化・製品化へのマイルストーンとその国際競争力（シェア）までは未設定であるが、**Integrated Device Manufacturer** だけでなくファンドリでの活用も視野に入れた展開を検討してほしい。

本プロジェクトは大学との共同研究を活用しており、若手の研究者や学生が国際会議で受賞を受けるなど、人材育成の点で重要な役割を担った。半導体の技術者養成は今後も我が国にとって必須であり、**NEDO** には引き続き人材育成も視点に入れた事業やプロジェクト実施をお願いしたい。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長／教授
委員	浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 社会経済研究所 副研究 参事
	安宅 龍明	国立研究開発法人産業技術総合研究所 イノベーション 推進本部 上席イノベーションコーディネータ
	稲葉 陽二	日本大学 法学部／大学院 法学研究科 教授
	亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授／シニア教授
	佐久間一郎	東京大学大学院 工学系研究科 附属医療福祉工学開発 評価研究センター センター長／教授
	佐藤 了平	大阪大学 産学連携本部 名誉教授／特任教授
	菅野 純夫	東京大学大学院新領域創成科学研究科 メディカル情報 生命専攻 教授
	丸山 正明	技術ジャーナリスト
	宮島 篤	東京大学 分子細胞生物学研究所 教授
	吉川 典彦	名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム 工学専攻 教授

研究評価委員会コメント

第47回研究評価委員会（平成28年3月15日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 非常に高い水準の研究成果が得られており、今後は実用化に向けて着実に研究開発を展開し、CO₂削減に貢献するデバイス低電圧化の推進において、我が国が世界をリードするよう期待する。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

我が国の半導体産業を取巻く環境が大きく変わり、半導体企業の研究開発力がこの5-10年間で急速に衰退した状況下で、本プロジェクトは低炭素社会の切り札となる超低電圧デバイスの実現に向けたチャレンジングなテーマに取り組んだもので、非常に大きな意義を持っている。

集中研方式による研究開発体制や、300mm ウェハラインを備えた産総研スーパークリーンルームを活用した運営は効果的であり、また共通基盤要素は研究期間の早い時期に開発を完了させたことも、以降の研究開発の効率的な推進に寄与した。

結果として、世界をリードする研究開発成果が多くの項目について得られた。例えば、0.4V 動作 CMOS ナノトランジスタ構造の実現や、原子スイッチによるプログラブル論理回路の実用化レベルの動作実証などは、世界的に極めて高いレベルのものとなった。また、日本発の新材料を用いた相変化メモリとその次世代集積化技術の立ち上げも、顕著な成果であった。

実用化面では、技術のベンチマークも概ね良好になされ、また中間評価における指摘事項に対する適切な対応を講じたことにより、マクロレベルでの集積化実証やプロトタイプの実作評価など IoT 時代のキーデバイスとして成長性や経済効果が見込まれる目標達成に至った。事業化に関してはテーマによって程度の差はあるものの、各社の開発ロードマップに組み込まれており、今後着実に進展し、集積回路事業のみならず、社会の発展への大きな結果が期待される。

ただし、参加企業の事業状況は刻々と変化し、世界の競合企業の事業展開にも影響される中、楽観できる状況ではない。プロジェクト実施期間中の技術及び市場等外部状況の変化について分析を加え、多角的でフレキシブルな出口戦略を策定してほしい。

対抗する海外拠点が研究開発を継続している状況で、本分野における我が国の技術開発が途絶えてしまえば大きな損失であるので、産官学共同研究体制が自律的に継続するよう対応を取ってほしい。その際、個別デバイスの性能向上のみに頼って大規模な市場を開拓することは困難となつてゆくと思われるので、適用する産業分野を見極め、マーケティングを的確に行い、ニーズ主導型でのシステムティックな技術開発をすることが益々重要になる。

〈肯定的意見〉

- ・ 超低電圧デバイス技術として、極めて高いレベルで完成されており、開発に従事された方々に敬意を表す。中間評価時に心配していた事業化戦略が各社から明確に策定されており、プロジェクトとして評価できる。
- ・ 我が国の半導体産業をとりまく環境が大きく変わった状況で、低炭素社会の切り札となる超低電圧デバイスの実現に向けてプロジェクト全体が邁進し、世界的にも高い技術レベルを達成した。重要課題の目標設定の妥当性とプロジェクト体制および 300mm ウェハラインを備えた産総研 SCR を活用した運営は効果的であり、全体として高く評価できる。基礎研究に関わる学会発表も多く、対外的にもプロジェクト活動を周知せ

しめ、社会に貢献した。

- 多くの研究項目で世界をリードする研究開発成果が得られており、IoT 時代のキーデバイスとして成長性や経済効果が見込まれる。特にナノトランジスタ構造デバイスは実用化判断可能レベルの技術水準に既に到達しており、今後の発展が期待される。
- 超低電圧デバイスの集積化技術、微細化技術の開発というチャレンジングなテーマに取り組み、高い水準の研究成果を挙げている。特に、0.4V 動作 CMOS 回路の実現、原子スイッチによるプログラマブル論理回路の動作実証などで実用化レベルの研究目標を達成し、相変化メモリでは日本発の新しい材料を用いて、次世代のストレージクラスメモリの実現に向けた集積化技術の立ち上げを行った点などが顕著である。技術のベンチマークも概ね良好になされており、得られた成果が世界的にも高いレベルであることが示された。
- 集中研体制による研究開発の効率化や各研究グループ間の相乗効果により、各種情報機器の大幅な低電圧・低消費電力化に係わる 5 つの研究開発項目の全てにおいて高い水準の最終目標が達成された。300mm 基板対応のバックエンドラインプロセス等、各開発テーマに対する共通基盤を研究期間の早期に集中して開発したことが、以降の研究開発の効率的な推進に寄与している。個別テーマの中には、技術的ハードルの高いものも含まれているが、実用化に向けて着実に成果が積み上げられてきた。長期的視野で取り組むべき挑戦的研究テーマが、総合的プロジェクトの一環として本格的に取り組み優れた研究成果が得られた点も高く評価できる。プロジェクト中間評価における指摘事項に対し、多くの大学研究機関等を実施体制に加えて回路・システム技術開発を加速する等の適切な対応を講じることにより、プロジェクト最終段階ではマクロレベルでの集積化実証やプロトタイプを試作評価など、実用化に繋がる目標達成に至っている。
- 今後の集積回路技術にとって極めて重要な技術に関し、日本の強みになる各種技術を開発し、当初目標を全て達成した。また、技術開発だけでなく事業化に関しても各社の開発ロードマップに組み込まれており、事業化に向けて着実に進展している。開発した技術は、今後大きな発展が期待される人工知能、ビッグデータ解析、IoT デバイスなどの開発に対して不可欠なものであり、集積回路事業のみならず、今後の社会の発展にも大きく寄与するものとなった。今後はこのプロジェクトで開発した技術を大きく発展させてほしい。
- 国内半導体企業の研究開発力がこの5-10年間で急速に衰退している日本国内の現状を鑑みると、本プロジェクトは非常に大きな意義を持っている。また、世界に通用する独創的かつ実用化可能な研究成果も数件得られており、投資対効果の点でも十分な成果が得られている。

〈改善すべき点〉

- 実用化・事業化の進展についてはテーマによってかなり開きがある。受け入れ予定の企業については研究開発部門ばかりでなく、プロジェクトの初期から事業部門とも積

極的な関わりを持ちユーザーをさらに意識する必要がある。

- 実用化・事業化への見通しは、一定の期待はできるものの、参加企業の事業状況も刻々と変化し、世界の競合企業の事業展開にも影響されるので、楽観できる状況ではない。実用化・事業化については、多角的、フレキシブルな出口戦略の策定が必要であり、現在の、研究開発成果の各参加企業持ち帰りのスキームと異なる方法が必要かもしれない。また、5年間の外部状況の変化がプロジェクトに与えた影響が必ずしも明確ではなかったので、プロジェクトを総括する際に、技術や市場の外部変化の分析を加えてはどうだろうか。
- 本研究成果を事業化する上で、参加各企業が自社の枠組みの中での事業化を考えているケースが多くあった。半導体産業に関しては、事業展開を国内企業のみ留めていると世界の技術潮流から取り残される危険性が大きく、世界市場でどのように事業展開するかというシナリオを早期段階から描く必要があるのではないかと？

〈今後に対する提言〉

- 国際競争に打ち勝つ経営戦略を各参加企業は展開していただきたい。
- 特許は相当数出願していると思うが、知財の重要性が増しており、プロジェクトを通じてその活用をさらに意識する必要がある。基本的な課題の研究を含むプロジェクトなので、隙間なく特許網を張る等の戦略性があってもよいだろう。
- 本事業で取り上げられた技術および開発拠点は、継続することが我が国の産業競争力にとって重要である。事業を実施する際にベンチマークをした海外拠点が全て研究開発を継続している中で、我が国の技術開発が終了することは大きな損失である。産官学共同研究体制が自律的に継続するよう何らかの対応が求められる。
- 低電圧動作のデバイスは、将来のIoT技術への展開が期待される。0.4V動作CMOS回路や原子スイッチプログラマブル回路については、既存回路に比して優位性も実証されているので、マーケティングをしっかりと行って、今後の実用化・事業化を目指して頂きたい。相変化メモリ（TRAM）については、優れた性能を有する競争力の高いメモリデバイスとして期待できるので、早期に集積化技術として完成させて、実用化を目指して頂きたい。
- 電子産業分野では、個別デバイスの性能向上のみに頼って大規模な市場を開拓することは困難化することが予測される。今後は重要となる産業分野を見極め、そこからのニーズ主導型でのシステムティックな技術開発が益々重要になっていくように思われる。このプロジェクトではITイノベーションをその一つと位置づけ、特に低電圧・省電力という点にフォーカスしてアプリケーション市場の開拓が指向されており、社会的なニーズとのマッチングも的確であった。
- 開発した技術の事業化に関しては、製造メーカーだけでなく、世界的なレベルで製品を使用するユーザーの確保が不可欠である。しかしながら、開発者がそれを行うのは困難であるので、産業革新機構もしくはそれに準ずる産業活性化の組織の活用も検討していただきたい。また、このようなハードウェア技術の開発に留まるのではなく、

ソフトウェアやシステム開発の国家プロジェクトとの連携も併せて考えていただきたい。

- 本プロジェクトの実施期間中に自社での生産ラインを持たない企業が増えており、ファブレス企業がどのように新技術を生み出し、それを実用化していくかという新しい事業展開戦略が求められている。米国などでは、ファブレスでありながら新技術を生み出し、また事業展開に成功している企業は数多くあり、日本においてもそのような企業がこれからは多く輩出されるような土壌作りや NEDO としての枠組の整備が望まれる。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

低電圧・低電力デバイスの開発はますます重要になっており、我が国が優位性を持つことが産業競争力の確保につながる。また、本プロジェクトは我が国のエネルギー政策や環境政策にも完全に合致したもので、単体デバイスの技術の開発にとどまらず集積化技術まで高めることを想定し、実用化につながる基盤技術に取り組むものであった。既存の半導体集積技術の延長のみでは、将来予測される情報機器の急激な消費電力増加の抑制には限界があるため、革新的なデバイス原理の探索とそのデバイス化技術の確立のために実施された本プロジェクトの必要性は大きい。

また、本プロジェクトは公益性が高く、コア技術の創出を通して社会的課題の解決を目指すものであるため、NEDOの事業として相応しく、民間活動のみではこのような技術レベルの高い開発は不可能であったと言える。実績のある複数の企業を中核とする産官学の共同開発体制をNEDO事業として構築し、異なる要素技術を総合的に開発することによって世界最高水準の研究成果が達成されたものである。国際的にも大きな優位性を有し、社会の変革を促すために不可欠な技術が開発され、波及効果は数兆円のレベルと考えられる。

対抗する海外拠点が研究開発を継続している状況で、本分野における我が国の技術開発が途絶えてしまえば大きな損失である。プロジェクトの総括として、産官学共同研究体制が自律的に継続するよう何らかの対応を取ってほしい。

組合メンバ企業間の横方向の連携が限定的で、出口として自社内製品への応用を主に考え、国際競争力についての視点が不十分と思われる点もあった。出口戦略を専門に検討するチームや担当をさらに強化し、プロジェクト全体にフィードバックをかける仕組みがあるとよいのではないかと。

〈肯定的意見〉

- ・ 超低電圧ナノエレクトロニクス技術開発プロジェクトは国際競争力の状況に鑑みて、NEDOの事業として妥当である。
- ・ 低電圧・低電力デバイスの開発はますます重要になっており、本プロジェクトは時宜を得たものであり我が国ばかりでなく世界のITイノベーションに貢献した。複数のテーマごとに基礎から応用まで網羅したプロジェクト活動は技術の幅が広く、その規模もNEDOの事業として妥当であった。
- ・ ITイノベーションを担う海外の研究拠点に対し、我が国が優位性を持ち産業競争力につながる技術を取り上げ、産学官共同研究体制で省エネルギー集積回路を実現する基盤を構築することは公共性の高い事業と判定される。IoT時代のキーデバイスとなる省エネルギー集積回路を実現する基盤を構築することは、内外の状況から見て極めて適切であると認められる。
- ・ 高度情報化社会の実現に伴うネットワークや情報処理端末のエネルギー消費の増大は、地球環境およびエネルギーコストの観点から、大きな課題となっている。本プロジェクトは、IT機器の低消費電力化につながるコア技術の創出を通して社会的課題の

解決を目指すものであり、NEDO の事業として相応しい。本プロジェクトの特徴として、単体デバイスの技術の開発にとどまらず、回路動作実証を行うための集積化技術まで高めることを想定していることが優れた点として挙げられる。民間企業が事業において厳しい戦いを強いられている中、NEDO の事業として、実用化につながる基盤技術に取り組んだ点を評価したい。集積化技術の開発という視点から、妥当な予算規模で実施されたと考える。

- 高度情報化社会の持続的発展には、急増しつつある情報機器の消費電力低減が喫緊の課題であり、その対策は地球環境問題やエネルギー資源枯渇問題などの観点からも極めて公益性が高く、NEDO の事業として取り組むプロジェクトとして妥当なものであった。既に極限的に高度化した既存の半導体集積技術の延長のみでは、将来に予測される急激な情報機器の消費電力増加の抑制には限界があり、革新的なデバイス原理の探索とそのデバイス化技術の確立が必要である。本プロジェクトでは NEDO の関与のもと、実績のある複数の企業を中核とする産官学の共同開発体制を構築し、ナノトランジスタ構造、新規不揮発メモリ、極微配線技術などの異なる要素技術を総合的に開発することにより、情報機器の飛躍的な低電圧化、省電力化において世界最高水準の研究成果が達成されている。
- 今後の ICT イノベーションに不可欠な技術であり、IT イノベーションプログラムの目標達成のために寄与している。民間活動のみでは改善は困難であり、公共性が高いため、NEDO の関与が必要とされる事業であることは言うまでもない。民間だけではこのような技術レベルの高い開発は不可能であった。波及効果は数兆円のレベルには到達すると思われるため、投じた予算との比較においてその効果は極めて大なるものがある。本プロジェクトは人工知能、ビッグデータ解析、IoT デバイスなど社会の変革を促す技術に対して不可欠な技術であり、内外の技術動向や政策動向に対して完全に合致している。開発された技術は国際的にも大きな優位性を有している。また開発技術は全て省エネルギーに寄与するものであり、エネルギー政策や環境政策に対しても完全に合致している。
- 投じた予算に対する成果としては、おおむね妥当であると判断される。メモリ技術や集積回路技術の低消費電力化・高速度化に大きく寄与する研究成果が複数あり、IT イノベーションに多大な寄与をすると期待される。研究開発内容には企業独自で開発すべきものも幾つかあるが、半導体関連企業の資金力や生産力が以前よりも落ちている最近の現状を鑑みると、NEDO の関与は妥当であると思われる。

〈改善すべき点〉

- 技術研究開発を国主導で終了した場合の、投じた予算との比較において、各社の売り上げに寄与したかどうか量産展開まで見届ける評価が必要。
- 当初からテーマごとに受け入れ予定企業がほぼ特定されており、組合メンバ間の横方向の連携が限定された。
- 事業を実施する際にベンチマークをした海外拠点が全て研究開発を継続している中

で、我が国の技術開発が終了することは大きな損失につながることから、産官学共同研究体制が自律的に継続するよう事業期間中から何らかの対応をするべきであったと考える。

- 目まぐるしく変わる半導体業界の現状を考えると、出口戦略が極めて重要である。実用化に近いプロジェクトを行う際には、出口戦略を専門に検討するチームや担当をさらに強化し、プロジェクト全体にフィードバックをかける仕組みが必要ではないか。5年間という短い期間でそのような仕組みが難しい場合は、さらに長期的なロードマップで戦略を考え、複数のプロジェクトをつないだり、発展させたりする仕組みが必要でないか。また、そのような長期的戦略を立てられる人材の育成が必要ではないだろうか。
- 世界的なレベルでの研究開発動向を視野に入れてみた場合、概ね国際競争力の強化に貢献する内容と思われる。しかし一部のテーマにおいては、出口を社内製品への応用を主に考えている場合もあり、国際競争力についての視点が不十分なのではと思われる点もあった。

2. 2 研究開発マネジメントについて

各課題は半導体業界の重要なテーマであり、日本発の材料・デバイス技術を集積化技術として高めるような開発目標は妥当であった。また、IoT時代のキーデバイスとなる省エネルギー集積回路につながる多くの先端要素技術を取り上げたことは、国際的な市場、技術動向から判断して適切であった。本プロジェクトの到達点を起点として新たな後継プロジェクト等へ継承されていくことを期待する。その際、プロジェクトの遂行中に世の中の動向変化によって、当初の目標を修正したほうが良い状況となった場合には、方針転換あるいは技術目標の変更に関して、より一層柔軟に対応できるような枠組みを期待する。

研究開発計画は、技術的目標が全て達成されていることから申し分のないものであり、研究加速化のための追加予算などのフレキシブルな運用も評価できる。ただ、本事業が目標とした電源電圧 0.4V 動作のデバイスコア技術は、多くの場合デバイスにかかる電圧が 0.4V あるいはそれ以上となっていたので、目標の電源電圧で動作することを見極めることも課題に入れるべきであった。

研究開発体制ではプロジェクトリーダーの人選も適切であり、優秀なチームによって研究が実施され、事業化能力を有する実施者が選定された。全期間を通じて多くの技術委員会、共同実施先との技術打ち合わせ等が実施されており、集中研体制内及び共同研究機関との間の進捗状況の共有や研究連携が緊密に行われた。参加企業のラインアップはやや横並び型であり、事業者間の連携がさらに一層あるとより良かったと思われる。知財戦略及び標準化戦略では、総合的に漏れのない権利取得ができるか、という観点からのシナリオが明確ではなく、プロジェクトの途中および終了時点における競合デバイスや競合技術との比較のベンチマークを明示する必要があったと思われる。

一般に、成果の実用化・事業化は、このような技術開発プロジェクトでは大きな課題となりがちであるが、本プロジェクトでは開発技術が概ね各社の開発ロードマップに落とし込まれ、事業化に対して高い意欲が感じられたため、今後が期待できる。一部には研究として興味深くとも実用化が見えないテーマもあり、適当な時期に見直す判断が必要と思われる。

ユーザーフォーラム活動など一定の成果普及活動を実施した点も高く評価される。その一方で、グローバルな活動は、国際会議会場等での議論レベルにとどまっており、最初から海外の企業や大学を取り込むなど、グローバルな視点で日本の高い技術力を生かした営みも検討できるのではないかと。

(1) 研究開発目標の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 世界の研究機関の動向を踏まえ IT イノベーションの重要課題を設定し、プロジェクトを推進した。
- ・ 研究開発目標のマネジメントは妥当である。
- ・ 0.4V 動作 CMOS 回路の開発、新材料を用いたストレージクラスメモリの開発、BEOL の不揮発デバイスの開発と回路応用といった研究課題は、将来の IoT 技術にもつながる半導体業界の重要なテーマであり、開発目標として適切である。また、TRAM や原

子スイッチなど日本発の材料・デバイス技術を集積化技術として高めるような目標設定がなされている点を高く評価したい。

- ・ 目標や研究開発計画の妥当性、技術マネジメントに関しては技術的目標が全て達成されていることから申し分のないものであったと評価できる。全般的に研究開発マネジメントに関しては申し分のないものであったと判断される。
- ・ 研究開発目標、計画などはおおむね妥当だったと思われる。
- ・ IoT時代のキーデバイスとなる省エネルギー集積回路につながる要素技術として、不揮発性デバイス（磁性変化デバイス、相変化デバイス、原子移動型スイッチ）およびナノカーボン配線とナノトランジスタ構造デバイスを取り上げたことは国際的な市場、技術動向から判断して適切であったと認められる。

〈今後に対する提言〉

- ・ 本プロジェクトの推進を通して、材料系、デバイス構造、周辺回路に亘る広範な技術分野で重要な研究成果が蓄積されてきた。公的研究資金によるこれらの成果をなんらかの形で社会還元に戻すため、その到達点を起点として新たな後継プロジェクト等へ継承されていくことを期待する。
- ・ 技術革新の激しい分野では、5年間というプロジェクトの遂行中に、世の中の技術動向や他社の新技術開発動向が変化して、当初の目標を変えたほうが良い場合も多々出てくると思われる。そのような事情による方針転換あるいは技術目標の変更に関して、今後はさらにより一層柔軟に対応できるような枠組みを期待する。
- ・ コアテーマではないが、磁性変化デバイスにおけるヒステリシスを抑制した MTJ 開発に関しては、十分な新規性があったのか？ 若干の疑問を感じる。このサブテーマに関しての知財取得は、十分だったか？

(2) 研究開発計画の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 計画のマネジメントは妥当である。
- ・ 予算配分のマネジメントについては、テーマ毎に研究加速化のための追加配算を実施しており、フレキシブルな運用が一部見られている点を評価したい。
- ・ 各研究開発項目毎の開発フェーズやプロジェクト全体の中での位置づけに配慮し、各年度毎に重点開発項目への予算の傾斜配分や、研究の進捗状況に応じた加速資金投入を行う等、目標達成に向けた戦略的マネジメントが行われている。単体デバイスでの基本動作検証、マクロレベル集積化実証、プロトタイプ試作・評価など、開発年度毎に中間及び最終目標の達成に向けた計画的な研究開発スケジュールが策定された。
- ・ 本事業が目標とした電源電圧 0.4V 動作のデバイスコア技術は、多くの場合デバイスにかかる電圧が 0.4V あるいはそれ以上の技術となっていた。種々の研究開発成果が得られており、また技術開発のステップからやむを得ない面はあるが、それらの技術が目標とした電源電圧で動作することを見極めることも入れるべきであった。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 体制のマネジメントは妥当である。
- ・ 参画した研究員およびマネジメントも優れた人材が集結した。
- ・ 研究開発体制および事業化能力を有する実施者が選定されている。
- ・ 研究実施体制、プロジェクトリーダーの人選も適切であり、優秀なチームによって研究が実施されている。
- ・ 研究期間全期を通じて多くの技術委員会、共同実施先との技術打ち合わせ等が実施されており、集中研体制内及び共同研究機関との間の進捗状況の共有や研究連携が緊密に行われている。

〈改善すべき点〉

- ・ 異なる事業者が担っているのが難しいのは重々承知しているが、事業者間の連携はさらに一層あると良かった。
- ・ 参加企業のラインアップを見ると国内半導体メーカーがほぼ全て参加しており、やや横並び型参加の感がある。各企業の経営状況やファブの状況も様々であり、一部の研究テーマについてはより出口戦略に即したチーム選定、あるいは、チーム構成の精鋭化があっても良かったのかも知れない。
- ・ 知財戦略に関しては、研究開発した技術に関して基本特許が何件くらい取得できるか、あるいは改良特許レベルのものが何件程度か、総合的に漏れのない知財権取得ができているか、という観点からのシナリオが見えていなかったように思われる。

(4) 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 事業体制や研究開発成果の実用化・事業化については、これまでのこのような技術開発プロジェクトの大きな課題であったが、今回は開発された技術が各社の開発ロードマップに落とし込まれ、事業化に対して高い意欲が感じられたため、今後は期待できる。

〈改善すべき点〉

- ・ 知財戦略や標準化戦略は明確でなかった。プロジェクトの途中経過および終了時点における競合デバイスや競合技術とのベンチマークを明示する必要がある。
- ・ 各テーマの研究成果・技術は、国際競争力のある高いレベルのものになっているだけに、将来の出口戦略をもっと多角的に検討できないものであろうか。

〈今後に対する提言〉

- ・ 成果の実用化・事業化シナリオに基づき、量産・実用化の担い手、ユーザーが関与す

る体制は構築されていないので、国際競争力をにらんだ各社のコミットメントはプロジェクト申請時に明示する必要がある。

- 成果の実用化・事業化につなげる戦略はかなり検討され、実施に尽力されたと思うが、研究として興味深くとも実用化が全く見えないテーマも中にはあり、適当な時期に見直す判断が必要である。
- 成果の実用化・事業化に向けた取り組みについては、ユーザーフォーラム活動など一定の成果普及活動を実施した点を高く評価したい。一方で、グローバルな活動としては、国際会議会場等での議論レベルにとどまっている。IPの問題など色々と制約は発生すると思うが、本プロジェクトに限らず、最初から海外の企業や大学を取り込んだ国際連携のプロジェクトとするなど、グローバルな視点で、日本の高い技術力を生かした勝てるチームやコンソーシアムを作る営みを盛り込んではどうだろうか。

(5) 情勢変化への対応等

〈肯定的意見〉

- プロジェクトの進展に合わせ、規模・予算の見直しも概ね適切に行われた。
- 事業遂行中の情勢変化にも適切に対応していると認められる。
- 情勢変化への対応に関しては、一部の技術をセンサ用としても使用できるように目標を追加するなど、柔軟に対応していることが評価できる。

2. 3 研究開発成果について

いずれのテーマも世界トップクラスの目標を設定したにも関わらず、当初の研究開発目標を概ね達成しており、達成度は十分である。すなわち、革新的なデバイスコンセプトの創出により各種情報機器における消費電力の大幅削減に資する、極めて高い水準の研究成果が得られ、さらに日本が優位性を持つデバイス性能の実現ばかりではなく、量産に向けた歩留まりや信頼性を見通しもある程度得ている。300mm ウェハで研究開発が行われたことから、メモリセル動作やばらつきまでを検討することができ、効果的な研究開発が行われたものである。達成した個別数値目標のさらなる連携により、より上位の成果も今後期待できる。

0.4V 動作 CMOS 回路では、ドーパントレスチャネルと基板バイアス制御による特性ばらつき低減及び低電圧動作を実現し、実用回路レベルでの低消費電力化を達成した。原子スイッチでは、SRAM ロジックセルと比較して、小型化・省電力化・高速化を達成した。全般に集積化技術として高い水準を達成している点は高く評価され、要素技術をもとにした大規模な市場への展開が期待できる。産総研への技術移転、ナノカーボン配線技術の標準化活動なども大いに評価できる。今後、競合技術に対する優位性をベンチマークなどで明確にし、弱点や不足点などの課題を冷静に分析してほしい。

細かい要改善点として、磁性変化デバイスは熱安定性が低い層構造で開発が進められたが、これはより高い熱安定性がもたらされる構造を採用してばらつき低減などが検討されるべきであった。ナノカーボン配線では、低抵抗配線としてのカーボンナノチューブ (CNT) (ビア部分) とグラフェン (横配線部分) の特性が明らかにされたが、CNT とグラフェンの双方を使うことは未検討であり本技術の将来的な見通しが現時点では不明である。また、1Mb マクロの初期不良が多すぎるため更なる加工技術の改善が必要である。

技術流出防止の観点からも、知財権確保のためのより積極的な特許戦略が望ましい。本プロジェクト終了後も数年間、登録特許件数を増やす努力を続けられることを希望する。

相変化デバイスに関しては、世界的にも新規性が高く、また技術的優位性も高いので、本研究開発成果を世界に広めるべく戦略的なバックアップを期待する。

(1) 目標の達成度と成果の意義

〈肯定的意見〉

- ・ 研究開発としての成果は目標を十分達成している
- ・ 数値目標は、いずれのテーマも世界的に高いレベルを設定したにも関わらず当初の研究開発目標を概ね達成したことは評価できる。デバイス性能の実現ばかりでなく量産に向けた歩留まりや信頼性を見通しもある程度得ている。さらに設定された目標以外にも、近い実用化を狙った応用展開を果たした。
- ・ 300mm ウェハで研究開発が行われたことから、メモリセル動作やばらつきまでを検討することができ、効果的な研究開発が行われたと認められる。ナノトランジスタ構造デバイスは実用化判断可能レベルの技術水準に到達しており、大きな進展があったと判断される。
- ・ 0.4V 動作 CMOS 回路については、ドーパントレスチャネルと基板バイアス制御によ

る特性ばらつき低減と低電圧動作を実現し、実用化回路レベルでの低消費電力化を達成している。原子スイッチについても、300nm ウェハでの CMOS 混載集積化技術として回路レベルの動作実証を行い、SRAM ロジックセルと比べて、小型化・省電力化・高速化を達成している。上記 2 つについては、集積化技術として高い水準を達成している点を高く評価したい。TRAM については、日本発の新しい材料を用いて将来のストレージクラスメモリの候補としての優れた特性を実証し、集積化への試みが行われた。現在実用化が進みつつある PRAM を凌駕する次世代のメモリとして期待ができる成果である。STT-RAM の微細化、ナノカーボン配線については、一部（ナノカーボンの低抵抗化・ドーピング技術）についてマイルストーン達成見込みの部分もあるが、要素技術開発が概して良好に進捗した。

- ・ 超格子相変化材料、カーボン系配線材料等の新規材料系の探索や、SOTB ナノトランジスタ、原子移動スイッチ等の革新的なデバイスコンセプトの創出により、各種情報機器における消費電力の大幅削減に資する極めて高い水準の研究成果が得られている。本プロジェクトの各開発項目で取り組まれた、不揮発メモリ、3次元ナノ配線技術、集積スイッチなどは、低電力での動作が可能のため、クラウドコンピューティングなどの高度情報技術を、環境への負担を伴うことなく普及させることのできる要素技術として大規模な市場形成に向けた展開が期待できる。
- ・ 技術的な目標を全て達成しており、また日本が優位性を持った技術として開発されている。全てのテーマにおいて世界トップクラスの技術レベルにある。また研究だけでなく、量産化技術も併せて開発していることを評価したい。
- ・ 研究成果はほぼ目標を達成しており、また研究発表・講演などの件数は非常に多く、十分な成果だったと思われる。また、産総研への技術移転、ナノカーボン配線技術の標準化活動などは大いに評価できる。

〈改善すべき点〉

- ・ テーマ間の協力も検討され具体化された部分は評価できるが、さらなる連携によりより上位の成果が期待できるのではないかと。個別数値目標は概ね達成されているが、同じデバイスで整合がとれていることを確認できるようにすべきである。
- ・ 磁性変化デバイスは熱安定性が低い層構造で開発を進めたが、これはより高い熱安定性がもたらされる構造を採用してばらつき低減などの開発を進めるべきであったと思われる。ナノカーボン配線では、低抵抗配線としての CNT（ビア）とグラフェン（横配線）の特性が明らかにされたが、CNT とグラフェンの双方を使うことの検討が行われておらず、本技術の将来的な見通しが不明である。
- ・ 各テーマの研究成果について、技術のベンチマークが概ね良好になされていて、開発された要素技術の長所、レベルが示されていた点は大いに評価できる。一方で、弱点やマスプロダクションに向けての課題、今後の対応策などがもしあればそれらを明示して頂けると、今後取り組むべき課題がよりはっきりしてより良かったと思う。
- ・ 研究目標は全て達成しているが、メモリ関連技術において 1Mb マクロの初期不良が

多すぎるため更なる加工技術の改善が必要になっている。量産技術に対してもできるだけ早期に取り組むような研究開発スケジュールにしていきたい。

〈今後に対する提言〉

- ・ 世界の研究機関とのベンチマークを踏まえ、競合技術に対する優位性を明確にしてほしい。
- ・ 事後評価では、当初の研究目標の達成度合いに重点が置かれるため、どうしても成功した、達成したというストーリーに終始する傾向にあると思う。一方で、当初目標を達成した状態であっても、外部動向や世界との競合により、弱点や不足していた点など反省すべき点、今後の課題が新たに出てくることもあるわけで、そのような項目を冷静に分析できているか、明らかにしたかも、プロジェクトを総括する上で大切な要素であろう。評価の一つのメジャーとして、NEDO の評価実施方法の中に、そのような項目を設けてはどうであろうか。
- ・ 国際競争力向上の観点から、早期研究開発の優位性を量産・実用化に生かす仕組みの評価が必要。
- ・ 本プロジェクトにおける各個別テーマの研究開発を通じて、物質の相変化を利用した新概念のコンピューティングアーキテクチャ、原子移動を機能再構成に応用したプログラマブルロジック、ナノカーボンを利用したポストメタル配線技術など、数々の革新的な IoT 基盤技術が事業化イメージを描けるまでに到達しており、日本の集团的技術開発力の底力を実証しているように思われる。NEDO のフォローアップによりこれらの技術が本格的な事業化に向けてさらに進展し、公的研究開発マネジメントの成功事例として電子デバイス産業の再活性化に繋がることを期待する。

(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

〈改善すべき点〉

- ・ 外部委託製造などにおける技術流出防止の観点からも、知財権確保のためのより積極的な特許戦略が望ましく思われる。
- ・ ヒアリングでのプレゼン内容や資料等において、知財戦略や知財成果に関する説明が不十分だったので、これらに関しては判断できなかった。研究開発成果としては、論文や国際学会発表以上に知財権の戦略的取得が重要と思われる。その根拠を示して欲しかった。特許登録件数は国内 17 件、国外 19 件とまだ十分な数ではないが、本プロジェクト終了後も数年間以内に登録特許件数を増やす努力を続けられることを希望する。

(3) 成果の普及

〈肯定的意見〉

- ・ 対外発表も積極的に行っており、成果を世界に周知させている。

〈改善すべき点〉

- ・ 新聞・プレス発表件数は 5 年間で 27 件であり、予算規模からすると少ないように思われる。一般社会への情報発信はもっとすべきと思われる。

〈今後に対する提言〉

- ・ 相変化デバイス (TRAM) に関しては、世界的にも新規性が高く、また技術的優位性も高いので、本研究成果を世界に広めるべく戦略的なバックアップがさらに必要と思われる。技術的には、まだこれからも新たな展開があり得そうに思える。

2. 4 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本プロジェクトで開発された不揮発メモリ、集積スイッチ、ナノトランジスタ等は、各種情報機器の多様な機能階層への適用が可能であり、IoT時代のキーデバイスとしてセンサ、クラウドコンピューティング、情報ネットワーク等の様々なアプリケーションにおける大幅な省電力化を促進するもので、極めて大きな成長性・波及効果と社会的価値・経済効果が見込まれる。各開発技術はロードマップに落とし込まれており、実用化に向けた各社の意気込みは明確である。長期的ビジョンも示されており、将来の展開に期待できる。

今後、各技術について、基礎研究をした成果を外国に先に量産されないような枠組みで進めてほしい。特に TRAM については、新材料ということもあり、海外との競争に勝てる技術として、時間軸を意識しながらぜひ集積化技術として完成して頂きたい。

いずれのテーマにおいても受け入れ予定企業との連携ができており事業計画が提示されているが、製造委託を利用する場合には、投資に見合う企業収益へ繋いでいくために、より具体的かつ現実的なビジョン設計が必要である。基礎研究成果の技術移管による事業化では、メーカーだけでなく、製品を使用するユーザーの世界的な規模での確保も必要である。

具体的な事業化・製品化へのマイルストーンとその国際競争力（シェア）までは未設定であるが、Integrated Device Manufacturer だけでなくファンドリでの活用も視野に入れた展開を検討してほしい。

本プロジェクトは大学との共同研究を活用しており、若手の研究者や学生が国際会議で受賞を受けるなど、人材育成の点で重要な役割を担った。半導体の技術者養成は今後も我が国にとって必須であり、NEDO には引き続き人材育成も視点に入れた事業やプロジェクト実施をお願いしたい。

〈肯定的意見〉

- ・ プロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む各社の意気込みが明確になっている。
- ・ いずれのテーマにおいても受け入れ予定企業との連携ができており事業計画が提示されている。実用化・事業化の進展は、テーマにもよるが、受け入れ企業における量産技術が開発されれば、本プロジェクト成果を発揮できる分野での市場優位性が確保できる見通しである。また、新たな応用や他のユーザー開拓の努力もされたことは評価できる。
- ・ ナノトランジスタ構造デバイスは実用化判断可能レベルの技術水準に到達しており、今後の発展が期待される。他の技術開発項目でも適切な具体的取り組みが示されており、IoT時代のキーデバイスとして成長性や経済効果が見込まれるものとなっている。
- ・ 研究テーマ・企業によって温度差は感じられたが、一部の研究テーマについては実用化・事業化に向けて長期的ビジョンが示され、将来の展開に期待できるものがあつた。また、技術の利用シーンの想定やマーケット分析を進めている企業も散見されたので、今後の展開に期待したい。製造委託を利用する可能性が高いテーマが少なからずあるのがやや残念ではあるが、関連周辺技術の切り売りも含めて、本プロジェクトで開発

した技術やその周辺技術が日の目を見る道筋を引き続き検討頂きたい。TRAM については、新材料ということもあり、海外との競争に勝てる技術となる可能性があると思うので、時間軸を意識しながらぜひ集積化技術として完成して頂きたい。

- 本プロジェクトで開発された、不揮発メモリ、集積スイッチ、ナノトランジスタ等は、各種情報機器の多様な機能階層への適用が可能であり、センサ、クラウドコンピューティング、情報ネットワーク等の様々なアプリケーションにおける大幅な省電力化を促進するものとして、極めて大きな波及効果と社会的価値を有している。研究期間の当初より 300mm ウェハプロセスに適用可能な製造プロセスを基盤として試作評価が行われており、多くの開発デバイスにおいて信頼性・歩留り等においても実用レベルの特性が実現された。
- 事業体制や研究開発成果の実用化・事業化はこれまでのこのような技術開発プロジェクトの課題であったが、今回は開発技術が各社の開発ロードマップに落とし込まれ、事業化に対して高い意欲が感じられたため、今後が期待できるものとなっている。特に、社会情勢の変化により、研究開発が始まった時点よりもこの技術はより明確に必要なになっており、社会情勢の追い風をうまく利用して実用化が促進されるものと期待される。
- 産業技術としての見極めは、どのテーマも十分なされている。またプロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む者が概ね明確となっている。

〈改善すべき点〉

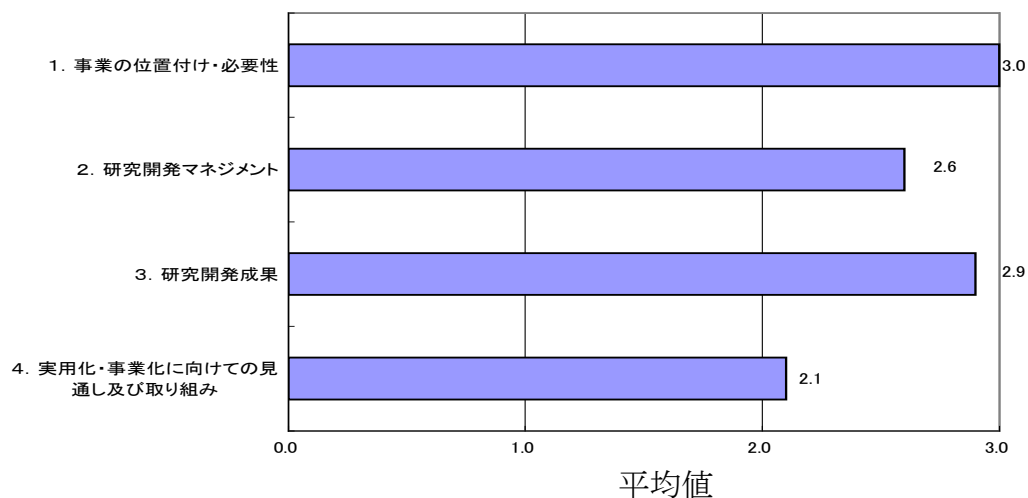
- 具体的な事業化製品化へのマイルストーンとその国際競争力（シェア）は示されていない。
- 我が国の半導体事業環境が大きく転換するなかで、本プロジェクトの成果を活用するためには様々な戦略性が求められる。IDM ばかりでなくファブドリでの活用も視野に入れた展開を検討する必要がある。
- 実用化に近いところを目指した研究開発であるため、5 年間の間に生じる世界の研究機関や企業での様々な動き（例えばインテル、マイクロンのクロスポイントメモリの SSD 量産開始の動きなど）を反映して、技術の価値自体が大きく変わってくるという懸念がある。成果の実用化・事業化の見通しをまとめる際に、技術動向や状況の変化の分析も説明として加えて頂くと良かったかも知れない。
- 開発技術の実用化においてどのような量産体制になるかが、ファブレス化した参加企業では、不透明な部分も若干見受けられた。開発技術を実用化する段階でのスピードは、技術的優位性を保持するためには非常に重要な要素と思われるので、NEDO 側からも何らかの支援が必要ではと思われる。

〈今後に対する提言〉

- 本プロジェクトの評価は研究開発の程度を評価するものではあるが、国費を投入して基礎研究した成果を外国に先に量産されないような枠組みが必要。

- 事業化戦略のなかに知財戦略を盛り込み、特許ライセンスや技術トランスファーなど当初から広く検討していく必要があるだろう。
- 本プロジェクトは、大学との共同研究を活用しており、若手の研究者や大学の学生が国際会議発表で受賞を受けるなど、人材育成の点で重要な役割を担っていることを指摘しておきたい。半導体の技術者養成は今後も日本にとって必須であり、NEDOとして、引き続き人材育成も視点に入れた事業やプロジェクト実施をお願いしたい。
- 各研究開発項目ごとに想定する応用分野が異なるため一概には言えないが、特に基礎研究成果を技術移管して外部製造する際、投資に見合う企業収益へ繋いでいくためには、より具体的かつ現実的なビジョン設計が必要に思われる。
- 開発した技術の事業化に関しては、製造メーカーだけでなく、世界的なレベルで製品を使用するユーザーの確保が不可欠である。しかしながら、開発者がそれを行うのは困難であるので、産業革新機構もしくはそれに準ずる産業活性化の組織の活用も検討していただきたい。また、このようなハードウェア技術の開発に留まるのではなく、ソフトウェアやシステム開発の国家プロジェクトとの連携も併せて考えていただきたい。
- このプロジェクト期間内に量産ラインがなくなった企業もあるので、そのような場合での実用化に関する枠組みや支援体制に関しての議論が今後重要と思われる。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	A	B	B	A	A	B	
3. 研究開発成果について	2.9	A	A	B	A	A	A	A	
4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.1	B	B	B	B	B	A	B	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会
「低炭素社会を実現する超低電圧ナノエレクトロニクスプロジェクト／
低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」(事後評価) 分科会
議事録

日 時：平成27年12月3日(木) 9:30～18:00

場 所：WTC コンファレンスセンター Room A

出席者(敬称略、順不同)

＜分科会委員＞

分科会長	伊藤 隆司	広島大学	ナノデバイス・バイオ融合科学研究所	客員教授
分科会長代理	松山 公秀	九州大学	大学院システム情報科学研究院	情報エレクトロニクス部門 教授
委員	大野 英男	東北大学	電気通信研究所長	省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター長 教授
委員	吉川 公麿	広島大学	ナノデバイス・バイオ融合科学研究所長	教授
委員	新宮原 正三	関西大学	システム理工学部	機械工学科 教授
委員	藤原 聡	日本電信電話株式会社	物性科学基礎研究所	量子電子研究部長 兼 ナノデバイス研究グループリーダー 主幹研究員(上席特別研究員)
委員	松澤 昭	東京工業大学	大学院理工学研究科	電子物理工学専攻 教育革新センター長 教授

＜推進部署※メインテーブル着席者のみ＞

山崎 知巳	NEDO	電子・材料・ナノテクノロジー部	部長
吉木 政行	NEDO	電子・材料・ナノテクノロジー部	統括研究員
波佐 昭則	NEDO	電子・材料・ナノテクノロジー部	主査

＜実施者※メインテーブル着席者のみ＞

増原 利明	超低電圧デバイス技術研究組合	専務理事
住広 直孝	(PL(H26 迄))	超低電圧デバイス技術研究組合 研究本部 研究本部長
木村 紳一郎	(副 PL(H26 迄))	超低電圧デバイス技術研究組合 研究本部 研究企画部 研究企画部長
柴田 英毅	(PL(H27))	株式会社東芝 研究開発センター 技監
國島 巖	(副 PL(H27))	株式会社東芝 研究開発センター プログラムリーダー
杉井 寿博	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 磁性変化デバイス研究グループ グループリーダー
長永 隆志	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 磁性変化デバイス研究グループ 副リーダー
高浦 則克	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 相変化デバイス研究グループ グループリーダー
浅尾 吉昭	株式会社東芝	研究開発センター 副リーダー(H27)
波田 博光	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 電子移動型スイッチ研究グループ グループリーダー
酒井 忠司	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 三次元ナノカーボン配線技術研究グループ グループリーダー(H26 迄)
梶田 明広	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 三次元ナノカーボン配線技術研究グループ グループリーダー(H27)
杉井 信之	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 ナノトランジスタ構造究グループ グループリーダー
蒲原 史郎	超低電圧デバイス技術研究組合	研究本部 ナノトランジスタ構造究グループ 主幹研究員

<評価事務局等※メインテーブル着席者のみ>

佐藤 義竜 NEDO 技術戦略研究センター 研究員

徳岡 麻比古 NEDO 評価部 部長

保坂 尚子 NEDO 評価部 統括主幹

三佐尾 均 NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」について
 - 5.2 「研究開発成果」及び「実用化等の見通し」について
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明 (含む質疑)
 - 6.1 ロジック集積回路内1次メモリを対象とした、高集積・高速特性・高書き換え耐性などの機能を有する超低電圧・不揮発デバイスの開発 (①磁性変化デバイス)
 - 6.2 外部記憶の高速低電力データ転送を実現する、高集積・高速低電力書き込み特性などの機能を有する超低電圧・不揮発デバイスの開発 (②相変化デバイス)
 - 6.3 配線切り換えを可能とするスイッチを対象とした、低電流・高速書き換え、高オン・オフ抵抗比、小面積などの機能を有する超低電圧・不揮発スイッチデバイスの開発 (③原子移動型スイッチ)
 - 6.4 集積回路チップ内において、機能ブロックの三次元集積を実現するための、微細幅・超低電気抵抗、超高アスペクト比配線・材料技術の開発 (④三次元ナノカーボン配線)
 - 6.5 CMOS トランジスタの超低電圧動作、及びリーク電流抑制を同時に実現するための、低しきい値ばらつきトランジスタを集積化するための技術開発、並びに、この技術を用いた高集積機能素子における低電圧動作実証 (⑤ナノトランジスタ構造デバイス)
7. 実用化、事業化の見通しについて (説明・質疑)
 - 7.1 富士通(株)／富士通セミコンダクター(株)
 - 7.2 三菱電機(株)
 - 7.3 (株)日立製作所
 - 7.4 日本電気(株)
 - 7.5 (株)東芝
 - 7.6 ルネサスエレクトロニクス(株)
8. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

9. まとめ・講評
10. 今後の予定、その他
11. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認

- ・配布資料確認 (評価事務局)
- ・出席者の紹介 (推進部署、評価事務局)

2. 分科会の設置について

研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明。

3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6. プロジェクトの詳細説明、議題7. 実用化、事業化の見通しについて、及び議題8. 全体を通しての質疑を非公開とした。

4. 評価の実施方法

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づきパワーポイントで説明した。

5. プロジェクトの概要説明

5.1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」について

推進部署より資料5-1に基づき説明が行われた。

5.2 「研究開発成果」及び「実用化等の見通し」について

実施者より資料5-2に基づき説明が行われた。

5.3 質疑応答

上記の内容に対し質疑応答が行われた。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。

ただ今のお二方の説明に対して、ご意見、ご質問等があればお願いします。

私から口火を切らせて頂きます。最初の説明の中で他機関のテーマと研究規模が図示されていましたが、これを表面的に見ると、NEDOのプロジェクトは研究員数も予算も少ないように思います。

カウントの仕方が違うので、一概には比較できないでしょうが、他のプロジェクトと比較して本プロジェクトのあり方は妥当だったのでしょうか。あるいは集中してやるための工夫や戦略的な考えがあれば、紹介し頂けるとありがたいと思います。

【波佐主査】 他の研究機関は表面的にしか分からず、正直言ってLEAPにお願いしている研究開発に相当する部分も、どのぐらいの予算と人員でやられているのかわからないところがあります。ただ本超低電圧デバイスプロジェクトは加速も含めて予算を投入して、それなりの成果が出ているので、効果はあったと考えています。

また、本超低電圧デバイスプロジェクトだけではなく、NEDO、経済産業省も含めて、他の新しいデバイスの研究開発にも取り組んでいます。

次のフェーズとして、IoTに向けた来年度以降の新しいプロジェクトも含めて検討されています。

【山崎部長】 質問の趣旨をきちんと理解できていないかも知れませんが、NEDOのプロジェクトが予算規模として小さい、人員が少ないということは、私はないと思っています。総事業費が100億円を超え、人員も参加企業だけでなく共同実施先として多くの大学が入っているので、かなりの規模のプロジェクトだと理解しています。

【伊藤分科会長】 このまま単純に比較することはできないと思いますが、この表を表面的に見ると、研究員数や予算規模についてそういう感じを受けるので、このプロジェクトの規模は他と比べて妥当なのか、あるいは集中的、重点的に行って、効率的にやるというお考えだったのかということです。

【住広 PL】 他の研究機関は組織全体なので、これに対比させると日本の場合はTIA全体になると思います。研究テーマに対するプロジェクトという意味では、資源の投入は十分だと思っています。また学会レベルでの比較になりますが、他の研究機関に比べても貢献度は決して劣りません。

もう一つ重要なのは、どれだけの研究インフラを抱えているかということです。本プロジェクトの研究インフラとしては、産総研のスーパークリーンルームにLSIの検証をする場があります。これは我々の研究開発にとって不足のないものですし、他の研究機関より劣るものではないと思います。

【伊藤分科会長】 分かりました。ありがとうございました。

【松山分科会長代理】 研究費の100億円を費用対効果で見た場合、私は公的資金の投入としてそれほど小さいとは思いません。具体的な効果は先程のIoTで描かれたシナリオに対して、どこまで接近できたかということにかかってくると思います。ここに関してご意見、自己評価等があれば、お聞かせいただきたいと思っています。

例えば周辺回路やマクロの評価も含めた事業化への橋渡しというところでは、非常に成果が出ていると思いますが、具体的なシナリオとして、それを使って産業として興すところまで、どのくらい近づけたのかを参考まで聞かせて頂ければと思います。

【波佐主査】 詳細は非公開セッションの7で紹介して頂けるとと思いますが、どこまで近づけたかという観点から言うと、住広PLから説明があったようにユーザーフォーラムを活用して、本プロジェクトの技術成果の紹介をして、非常に良い印象を持って頂いています。

ただ、きちんと作れる状況がないと先に行けません。入口まで来ましたが、その先に行くために次の施策が必要だというのが現状です。

【松山分科会長代理】 私もそれが非常に重要だと思っています。技術とその先のアプリケーションからの相互のフィードバックですが、例えば、モノあるいはシステムに持って行く時に残された課題について、ユーザーフォーラムでどういう意見が出たのでしょうか。

まだかなり厳しい状況だという意見なのか、あるいは製造歩留りが上がる等、将来の見通しがもう少し明確に描ければ本格的に進められるという意見が出たのか、フィードバックの所で、どういうディスカッションのやり取りがあったのか、聞かせて頂けますか。

【住広 PL】 ユーザーフォーラムのサンプル評価では、次のアクションに入るというユーザーの数は非常に限られていました。サンプル評価もそれなりの資源を投入しなければなりません。それは将来のビジネスに対する先行リスクですが、研究開発でやられた技術のポテンシャルだけでは、そこを乗り越えてお客様にインセンティブを与えることができないという難しさがありました。

ただ、お客様が手を出して来るところに何らかの支援があれば、そのサイクルがうまくつながると思います。

【松山分科会長代理】 リスクに関しては委託製造を考える企業も一部あったと思います。その場合はライセンスで収益を取るという考え方もあると思いますが、自社ではリスクが大きいので、例えば、製造は外注して、部品調達の形で少しでもシステム化の目途をつけるとか、具体的なモノを作るというのかなり難しい状況ですか。

【住広 PL】 システム側のユーザーにとっては部品調達になりますが、部品が調達できる環境が出来て初めて事業としての取り込みを考えるフェーズになります。その意味では、未だそういうフェーズに至っていません。半導体メーカー、ものづくりを生業とする企業は、半導体のビジネスが回り始める時の投資が非常に大きいので、ものづくりそのものを興すのは、そこを乗り越える難しさがあります。

ファウンドリとしての専門メーカーは、国内にもいくつかありますし、海外にも大きなところがありますが、ここと新たなビジネスモデルでの協業を模索することは、このテーマの事業化の中で検討されています。これについては最後のセッションで話があると思います。

【増原専務理事】 追加します。応用を想定してユーザーと話をする場合、一つのグループの成果を応用する場合

は議論がしやすいのですが、複数になった途端に難しくなります。

組合としては、ずいぶん各成果の応用について組合外部の方とも話し合いをしましたが、企業のように製品に責任を持ってお客様とコンタクトすることは難しい面がありました。

例えばトランジスタグループの技術だけ使用する顧客なら割と入りやすいのですが、トランジスタと原子スイッチを用いたプログラムロジック（FPGA）をオンチップにするようなアプリケーションでは、議論は出来ても、この二つを同じ場所で商売として生産できる所まで持って行かなければいけないという問題があります。

さらにIoTになると、どこにアプリケーションを想定して、どういう機器につなぐかということになります。インテルもコンソーシアムを作ろうとしています。そこまで持って行く為には、もう少し別の努力が必要だと思います。

【大野委員】 中間評価の時はいなかったもので、枠組みについて簡単に質問させていただきます。ここで言う低電圧化は0.4Vを目標にしていますが、これは電源電圧ということでしょうか。

ロジックから大容量ストレージまでのピラミッドの絵で、途中の抵抗変化型不揮発デバイスには全部バックエンドに入れるという説明でしたが、電源電圧が0.4Vだと、個々のバックエンドのデバイスにかかる電圧はもっと低くなります。それを念頭に置いた全体の目標を立てて実行していると理解してよろしいでしょうか。

【住広 PL】 必ずしもそうではありません。ただ読み出しに関しては、0.4Vで動かすことを前提に考えています。実際に0.4Vで必ず抵抗変化を起こせるかということでは、非常に近い所まで行っているのがMRAMです。これは書き換えも含めて、非常に低電圧で出来るようになってきています。あとの二つのデバイスは、もう少し高いところにあります。

【大野委員】 そうするとデバイスを2種類に分けなければいけないのですか。0.4VのVDDできちんと動く範囲に近づけられるものと、不揮発を上手に使うと将来は0.4Vにするものと、2群に分けて見て行くべきだという視点でよろしいですか。

【住広 PL】 電圧の定量的な意味というのは絶対的なものではありません。ですから超低電力を目指すということで、目標として0.4Vを挙げています。やらなければならないのは、低電力でどれだけたくさんの仕事が出るかです。そういうことで、この目標をとらえています。

【大野委員】 もう1点は、先ほど話題になった他研究機関の開発状況です。他国でもさまざまなコンソーシアムが出来ているので、われわれも産官学連携できちんとやらなければいけないという位置付けをお話ししましたが、これからも同じ体制で続けて行く組織が多いと思います。

LEAPは大変素晴らしい成果を上げたと思いますし、顧客との対話も始まっていますが、今後もこういう体制を維持できるのか、産官学連携の拠点として更に発展できるのかという点について、考えをお聞かせ頂ければと思います。

【住広 PL】 LEAPはこのプロジェクトをやるために作られた研究組合なので、当初の計画通りプロジェクト終了をもって解散しました。ですから今後はLEAPとしての活動はありません。ここで作り上げられた技術の事業化、産業化に関しては、テーマを中心的に推進した個々の企業に委ねられます。ユーザーフォーラムで構築されたお客様との関係は、個社の活動に承継されています。

【大野委員】 そうすると他研究機関との比較という意味では、今後は産官学連携の拠点を、NEDO、経産省、あるいは政府として考えなければいけないと理解すれば良いでしょうか。

【山崎部長】 住広 PL から説明があったように、LEAP 自体は解散して、実用化・事業化は個別の企業に委ねる形になっていますが、実用化まで時間のかかるテーマがあることも事実です。来年度はLEAP 関係の予算要求はありませんが、IoT 絡みの別の研究開発プロジェクトの中で継続できる形にする等、いくつかやり方があるのではないかと考えています。

【新宮原委員】 違う視点から意見を申し上げます。わが国の半導体産業は苦しくなって来て、ここ数年いろいろと事業の変革が起きていますが、最大の危機は若手技術者の養成という問題だと思います。大学の学生数が急に減ったわけではありませんが、就職先がないとか、電子デバイスを学んだ学生が別の分野で職を求めなければいけないということが起こっています。

こういうプロジェクトで大学と共同研究をすると、学生が企業で研究や開発をしたいと思い始めて若手技術者が育って行くと思います。あるいは企業研究者もだんだん年を取って来て、中高年が主体の場合も結構あるという話を聞きます。

私が他研究機関の開発状況のところで気になったのは、LEAP の 55 名という研究者数です。1 テーマでは 10 名ぐらいになりますが、これは企業の研究者だけでしょうか。大学の共同研究者も入っていて、若手研究者もある割合で入って、きちんと養成されているのでしょうか。これで Ph.D.を取った学生はいるのでしょうか。

本来のNEDOのプロジェクトの目的とは違うかもしれませんが、若手技術者の養成という立場で見ると、ここは非常に大事な視点だと思うので、ここに関してコメントを頂ければと思います。

【住広 PL】 先ず最大時 55 名という研究員数は、LEAP に参加した研究員の数です。共同実施先の大学、他研究機関の人たちは含まれていません。大学の若い研究者については、関わっていると理解しています。

LEAP 中の年齢構成は、正しくは理解していません。それぞれの企業で研究者が高齢化しているということは、少し垣間見える気はしますが、若い研究者が全くいないわけではありません。それこそ私の子どもと同年代の研究者も参加しています。

【吉川委員】 このプロジェクトの意義と効果について質問させていただきます。日本の技術優位性による産業競争力強化が大目的で、それに対して効果のシミュレーションをすると、33 兆円規模に対してマイコン、メモリを足して 2 兆円という計算ですが、直感的に少し小さいような気がするので、2 兆円ということに対してコメントを頂きたいと思います。

もう一つは、ユーザーフォーラムでサンプル依頼が非常に少なかったという点です。正直に言って頂いて良いと思いますが、プロセスデザインキット (PDK) もしくはデバイスパラメータを提供できる形になっているのかどうか気になります。すなわちデバイスを使う側から見て使いやすくなっているかということも含めて、考慮しているかどうかです。この 2 点についてコメントを頂きたいと思います。

【波佐主査】 1 点目の経済効果に関しては、実際の商品として出さないと具体的に読めないところはありますが、超低電圧デバイスの技術が普及して、2020 年に 30%の規模で入った時の効果として計算しています。これが正しいかどうかは正直に言って分らないのですが、これを一つの目標として進めて、これ以上の成果普及を図ろうと、NEDO、LEAP が一緒になって、ユーザーフォーラムの取り組みを含め、研究組合員各社の出口以上の可能性を模索して、2 兆円以上の経済効果を期待しながら研究開発を進めて来ました。

【山崎部長】 効果の大小を測るのは難しいと思いますが、投入に対するアウトプットについて、我々は「研究開発プロジェクトに投入した予算に対して獲得できた市場規模」という見方をすることがあります。

100 億円の投入に対して 2 兆円ということだと 1%に満たない程で、企業の売上高と研究開発費の比率で言うと、エレクトロニクス産業の場合は 3~4%だと思うので、そこと比較するとかなりの効果が出ていると思います。

もちろん国の予算だけを使っているわけではなくて、大学や企業の持ち出しの部分もありますから、それも加味しなければいけません。国の予算と想定される獲得市場規模だけを見れば、そんなに悪くないと考えています。

【吉川委員】 その点に関して追加質問です。今のお答えは確かにその通りで、118 億円つぎ込んで 2 兆円儲かるのだから文句はないだろうということだと思いますが、私の質問は少し意味が違います。

日本の産業競争力強化は他者があって議論すべきことです。ヨーロッパ、アジアの国々も含めて全体市場規模が 33 兆円と予想されていて、そこに対してターゲットを絞った時に、「100 億円しかもらっていないか

ら2兆円で勝負します」というのではなく、もう少し広い目で見て「この分野を取ろう」という戦略的なアプローチはあるのかという意味でお尋ねしたつもりです。

【住広 PL】 とても難しいご質問で答えに窮するところがありますが、本プロジェクトは、この市場だからこの技術を作り上げるという従来のリニアモデルで産業化につながる研究開発とは少し違うと思います。技術の持つポテンシャルを最大限に引き出して、技術の開発とともに使われる市場を探すというのが、この研究でやられたことだと私はとらえています。ここの市場規模云々はあまり意味のない数字だと考えています。

ユーザーフォーラムに関しては、資料 24 ページに提供可能なサンプル・ボードがあります。ここで提供したのは SOTB で作ったマイコンのプロトタイプ、原子スイッチで作ったプログラマブルロジック (FPGA) のプロトタイプ、マイコンに原子スイッチを ROM として入れ込んだチップ、マイコンに原子スイッチの FPGA をアクセラレータとして内蔵させたテストチップです。

このチップを触るために、お客様にソフトを組んでもらいます。要はソフトウェア設計を試行することができるサンプルです。原子スイッチの FPGA に関しては、高度な技術を持つところでないとはだめですが、RTL レベルで、お客様が実現したいハードウェアを設計したものを、実際にチップにマッピングして動作させることができます。そういうハードウェアの設計試行ができるサンプルとして提供しています。

設計のプラットフォームとして PDK を提供して、お客様に直に設計してもらうことは、このフォーラムで提供するサンプルとしてはやっていません。そうすると触れる人が本当に限られてくるからです。

【山崎部長】 一つ追加します。市場規模の数字に意味がないわけではないと思いますが、確かに他国、国内の研究機関が何をやっているかという俯瞰的な押さえ方をしてプロジェクトの戦略を考えなければいけません。

NEDO では昨年の4月から技術研究戦略センターを作って、もう少し戦略性を持ったプロジェクトの企画・立案をやって行こうという動きをしています。もちろん技術動向だけではなく、将来期待される市場規模、勝つための戦略をまとめて、プロジェクトを立ち上げて行こうという動きになっています。

【藤原委員】 事後評価から初めて参加させて頂きましたが、0.4V の回路動作は素晴らしい技術だと思います。実用化のところで1点質問させていただきます。

ユーザーフォーラム活動で海外の訪問社数が掲載されていますが、これだけの高い技術なので、日本でうまく行かないのであれば海外ファウンドリなど、世界でチャンスがあるのではないかと思います。この訪問は、実際にはどういう形でやられたのでしょうか。また海外の展示会出展等の活動は、どのぐらい精力的に、本気でやられているのでしょうか。

あとは成果自体が海外でどう評価されているかというメジャーがあれば伺いたいと思います。

【住広 PL】 海外に関しては、これだけのためのプロモーション活動はやられていません。国際学会に参加した時に、その場で海外メーカーと面談して技術の紹介やディスカッションをしています。いま海外は 26 社とカウントしていますが、そういう形で議論しています。

紹介した技術に対しては、定量的ではないのですが、印象としては海外企業の方が強い関心を示す傾向にあると思います。具体的な行動に移ったかということ、LEAP の活動の中ではそれ以上の進展は出ていません。ただ個々の企業に出来たパイプがつながっているのも、その先発展しているかどうかは、最後のセッションで企業から話を伺えたらと思います。

【松澤委員】 このプロジェクトは中間評価の時もかなり良い成果が出ていると感じましたが、今日も技術的には満点というか、目標をほとんど達成しています。大事なのは、始めたころよりも技術の社会的な意味合いが高くなっているところだと思います。

ビッグデータ、IoT と言われますが、ローパワーに対する深刻な危機感から低電圧への要求が明確になっています。メモリに関しては、いまビッグデータを取り扱おうとするとロジックベースというよりも、先ずメモリが革新して、例えばユニファイドメモリをベースとしたシステムを作る方向にきています。

具体的には、インテルが FPGA メーカーを買収したのも、マイクロプロセッサでは処理できないので

FPGA ベースの処理でやろうという戦略があるからです。そう考えると、この技術の殆どが世の中の方向性に非常に合致していると思います。

そこで質問の1点目は、日本メーカーだけではなく、マーケットで強い世界のメーカーと協業できないかということです。

それから私は内閣府のICTワーキングの委員をやっています。ビッグデータ、AI、IoT等、各省庁のプロジェクトが紹介されてレビューしていますが、ほとんどがソフトウェア、システムの話で、集積回路なり、半導体なり、それと絡めてデバイスをどう開発するかというストーリーが少し弱いように思います。私はこの技術開発の活動を知っているので、もう少し国全体のICT政策とリンクさせて、期待感を喚起して行く活動も必要ではないかと思っています。

2点目の質問は、国全体の政策の中で、この技術の位置付けをもう少し高められないかということです。

【伊藤分科会長】 非常に重要なところですが、時間がないので、お答えは簡単をお願いします。

【住広 PL】 海外との連携に関しては、LEAPの活動の中でそこまで広げることが出来なくて、顧客との関係を作る所までです。ここから先は各企業で進めて行きます。最後のセッションでそれなりのことを答えてくれるのではないかと思います。

各省庁で連携を取った大きな構想の研究開発は、本プロジェクトの範囲を超えているので議論はできませんが、TIAを中心とした議論の中では、そういう構想の議論にも少し入り込んで行きました。ただ、その先までは出来ていません。

【山崎部長】 2点目について手短かに補足します。ICTはソフト寄り、システム寄りで、こちらはデバイス寄りになっていると思いますが、国を挙げてIoTの取り組みを強化するという事で総務省と経産省がIoTコンソーシアムを作って、いま1000社ぐらい参加しつつあると聞いています。

ハードとソフトを分けて考えるのではなくて、ある社会実装を想定して、うまく要素技術を組み合わせるという構想がIoT社会の実現に向けて動き出しています。そういう取り組みを見れば、松澤委員のご懸念は少し解消されるのではないかと期待しています。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。まだあろうかと思いますが、予定の時間が過ぎていきますので、ここで休憩に入らせていただきます。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明 (含む質疑)
7. 実用化、事業化の見通しについて (説明・質疑)
8. 全体を通しての質疑
省略

(公開セッション)

9. まとめ・講評

【伊藤分科会長】 それでは議題9「まとめ・講評」に入ります。松澤委員から始めて最後に私ということで講評をお願いします。

【松澤委員】 私は中間評価から参加させて頂いていますが、中間評価の時は技術的な課題と並んで、具体的にビジネス、事業をどう持って行くかというところに、かなり課題があったような気がします。

それで今日は心配して来ましたが、事業化については各社のロードマップ等にもかなりしっかり組み込まれていますし、前回と違って世の中が合って来たというか、用途がかなり見えて来たのではないかと思います。このプロジェクトの価値が出て来る機運にあるのではないかと感じるので、ぜひ技術を事業に結び付け

て頂きたいと思います。

メモリは数メガビットレベルでまだ少し課題があるようです。今はギガビットの時代なので、量産に向けてやることは結構あるだろうと思いました。相変化は少し時間もあるようですが、5年ぐらいはすぐ経つので、ぜひ技術を磨き上げて頂きたいと思いました。

メモリの技術の磁気センサへの応用は中間の時は無かったような気がしますが、派生的にいろいろな技術を使って行くのは大事なことだと思います。私の経験では、同じ技術でもアプリケーションが違っていると価値が数倍違うので、派生的な技術も軽視しないで、是非、用途開発をして頂けたらと考えます。どうもありがとうございました。

【藤原委員】 本日ご説明を頂いた皆さん、どうもありがとうございました。皆さんが非常に高い技術に取り組んでいることに非常に感銘を受けました。全部は挙げませんが、例えば0.4V動作のシリコンのSOIを使ったデバイスは、シリコンなので動いて当たり前かもしれないけれども、回路としてきちんと動く所まで作られています。

原子スイッチはだいぶ前から学会で拝見していましたが、今回示されたように集積のレベルまでしっかり出来ていることに非常に感心しました。またTRAMは新しい材料として非常に魅力的で、インテル・マイクロナのPRAMに負けないようなメモリが日本で実現出来れば良いと強く感じました。

実用化・事業化の見通しについては、総論としては少し温度差を感じる部分もありましたが、線表が非常にしっかり出来ている企業もあって、今回のプロジェクトで開発された技術が将来のロードマップの中の技術につながる期待を感じることが出来ました。

今後NEDOがどう関わって来るのかは議論になりませんでした。是非このプロジェクトの成果を生かして頂きたいし、NEDOでサポート出来ることがあれば、やって頂ければと思います。

【新宮原委員】 非常に興味深く聞かせて頂きましたし、各会社の方がものすごく努力されていると感じました。

私もここ数年TRAMをウォッチングしていて、非常におもしろいと思っています。1メガ、2メガのデバイスを作って、更にギガに向けてということになると、いろいろな障害があると思いますが、ぜひ事業化に向けて頑張りたいと思います。ReRAMと比べてどうなのかと思いながら聞いていましたが、恐らくReRAMよりも低消費電力という特性が出るのではないかとと思っています。

私はもともと配線屋だったので、カーボン系ナノ配線に関しては懐疑派の1人です。カーボンナノチューブが出て20年近く経ちますが、まだデバイスと配線に役に立たないと思っていました。

しかし今日のお話を聞いて、ついに役に立ちそうになって来たと思いました。ただしナノチューブのCVD成長はバラつきがたくさんあるので、その制御が大変だろうと思います。2020年ごろの実用化を考えておられるようですが、ぜひ頑張りたいと思います。

それからプロジェクトの途中で会社の状況が変わって、ファブを持たない会社は何社か出てしまったという問題があります。これからの展開をいろいろ考えておられますが、外国の会社が技術に興味を持って取引をしたいと言って来るとか、一部の技術を買いたいという話が出て来そうな気がします。そういう時は国内だけに閉じこもらずに、ビジネスとしてしっかりと考えた方が良いと思います。

【吉川委員】 2010～2015年まで、非常に長い間デバイス技術として開発に努力されて、きわめて高いレベルで完成されたと考えています。先ず開発に携わった方々に深く敬意を表したいと思います。

私もLEAPの最初のころから見ているのですが、特に中間評価の時に心配していたのは、やはり事業化戦略でした。各社の親会社が本当に面倒を見てくれるのかどうか心配でしたが、今日のお話を伺うと各社とも非常に明確な事業化計画を策定しているので、NEDOプロジェクトとしての意味が非常にあったと考えています。

実際にビジネスとしてお金につながるかどうかは別の問題です。とにかくプロジェクトとして非常にうまく行ったのではないかと考えています。皆さんのご努力に感謝したいと思います。

【大野委員】 今回お話を伺って、非常に高いレベルの技術を開発された素晴らしいプロジェクトだったと改めて

思いました。皆さん事業化についても触れていますが、ある見通しが立って、かつ位置付けが出来るというのは素晴らしいことだと思います。これは時代の流れがそうになって来て、IoT、ビッグデータとここで設定された超低電圧デバイスが、最後に非常に良い形、時代の要請に応える形になったのだと思います。

これも皆さんが言われていることですが、国内に閉じこもっていると、中々ビジネスの展開が出来ません。これから海外勢といかに付き合っていくか、いかに巻き込んでいくかということが重要になると思います。

一方で、国プロは税金を使います。会社もそうかも知れませんが、NEDOも説明責任が出て来ると思いますが、個別のプログラムとか事業という意味ではなくて、こういう時代に国プロを広い意味で日本の富につなげて行く仕組み、考え方は、技術だけではなくてさまざまなことが要求されて、我々はそれに答えなければいけないということを、あらためて強く感じました。

今回の技術に関して言えば、300mmでさまざまなバックエンドのデバイスを試せたことが大きかったと思います。今後それをどうして行くかというのは、このプロジェクトの外になると思いますが、このプロジェクトが良い成果を上げれば上げるほど、これからどうやるかを考えていかなければいけないと思います。

いずれにせよ、非常に高いレベルの成果を上げていることを、今回聞かせて頂きました。どうもありがとうございました。

【松山分科会長代理】 5年ないし6年という限られた期間に、すべて最終目標達成ということで、集中研究体制の強みを生かして非常に高い水準の技術が達成されたのではないかと思います。

特に今回のプロジェクトでは、周辺回路やシステムの部分まで総合的な取り組みの中に入れて、最終的にはマクロレベルでの評価、あるいはプロトタイプの評価まで進んでおり、非常に実効のある成果が得られたのではないかと思います。いま取り組んでいる内容は省電力ということで非常に公益性の高い分野だと思います。その意味でも、NEDOを中心とした取り組みは高く評価されるべきではないかと思います。

今回最終的なところを振り返ってみると、実用化あるいは非常に大規模な商品化まで進める時の現状との距離感を若干認識した部分があったのではないかと思います。この辺はこれからの課題になって来ると思うので、プロジェクトは終了しても、研究期間に得られたいろいろなノウハウや意識の共有を今後も継続して、より高い成果が得られることを期待したいと思います。

この間震災もありましたが、最後までミッションの遂行に尽力された皆様に敬意を表したいと思います。

【伊藤分科会長】 半導体産業の外部環境が、ここ5年で大きく変わっている中で、最初に設定した目標に向けて、プロジェクト一丸となって、ぶれずに目標を達成したことに敬意を表したいと思います。

本プロジェクトは材料、現象など基本的な研究から始めて、それをデバイスレベル、集積化、量産評価まで持って来ています。過去のプロジェクトを見てもこれだけ奥深く実用に近い所まで持って来たプロジェクトはあまりないような気がします。これはプロジェクトのマネジメントが素晴らしかったこと、非常に優秀な研究者が集まって尽力されたことによるのではないかと思います。

これから量産化に向けて、いろいろ課題はあると思いますが、これも各企業が真摯に実用化を考えていることを説明して頂いたので、今後に大いに期待したいと思います。

これからわが国も、知財戦略が重要になって来ると思いますが、特許もたくさん取られて、受け入れ企業で活用して行くと思いますが、プロジェクトの中に知財戦略やライセンス、特許をどう活用して行くかということ盛り込むという議論があれば、なお良いと思います。これは、このプロジェクトに限ったことではありません。

全体として大変素晴らしい技術レベルまで持って来られたことに敬意を表します。どうもありがとうございました。

それでは推進部長、プロジェクトリーダーから最後に一言ございますか。

【山崎部長】 今日一日、本当に真摯にご議論頂きまして、どうもありがとうございました。また最後の講評では大変多くのお褒めの言葉を頂きまして、誠にありがとうございました。

私自身も特に最後の各企業の事業化に向けた発表を聞いて、これまでとは違ってずいぶん元気のあるプレゼンを聞くことが出来たという印象を持ちましたし、本当に心強く思った次第です。

先程もお話があったように、本当に優秀な方が多いのではないかと思います。ここまで持って来られた PL、サブ PL、グループリーダーはじめ研究者の皆様方に心から敬意を表したいと思います。

特に実用化・事業化のところは、中間評価と比べてステップアップ出来たという評価を頂いたと思います。分科会長からお話があったように、半導体業界の事業環境が非常に変化している中で、難しいかじ取りを求められて来たと思います。そういう中で各社のご努力でここまで持って来たということですが、こういう技術が生かされる時代になっていると思います。

生まれる時代は選べないと言いますが、LEAP で生まれた技術は、ちょうど良いところに生まれたという状況にあると思います。キーワードとして IoT という言葉が何度も出て来ましたが、来年度以降、NEDO でも IoT の研究開発プロジェクトを担って行くことになると思います。

実用化までギャップのある所は、こういう別の形の支援によって埋められるよう、NEDO としても精一杯サポートして行きたいと思います。本日はどうもありがとうございました。

【住広 PL】 長い時間ありがとうございました。我々のやったことを細かく見て、適切にご指導を頂き、良い所は褒めて頂いて、今後の活動への大きな後押しになると思います。中間評価を始め、いろいろな所で皆様にご指導頂いたことが成果につながったと思います。また NEDO の絶大なご支援があって、これだけの成果を上げることが出来たと思います。

技術の事業化・産業化はそれぞれの企業に委ねられますが、そこにもぜひ皆様のご指導、ご支援をお願いしたいと思います。本日はどうもありがとうございました。

10. 今後の予定、その他

11. 閉会

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5-1	プロジェクトの概要説明資料（公開）事業の位置づけ・必要性／研究開発マネジメント
資料 5-2	プロジェクトの概要説明資料（公開）研究開発成果／実用化等の見通し
資料 6-1-1～	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）研究開発成果 各テーマの研究開発成果の詳細
資料 6-1-5	
資料 6-2-1～	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）実用化・事業化の見通しについて
資料 6-2-6	
資料 7	事業原簿（公開）
資料 8	事業原簿－補足資料（非公開）
資料 9	今後の予定
参考資料 1	NEDO 技術委員・技術委員会等規程
参考資料 2	技術評価実施規程

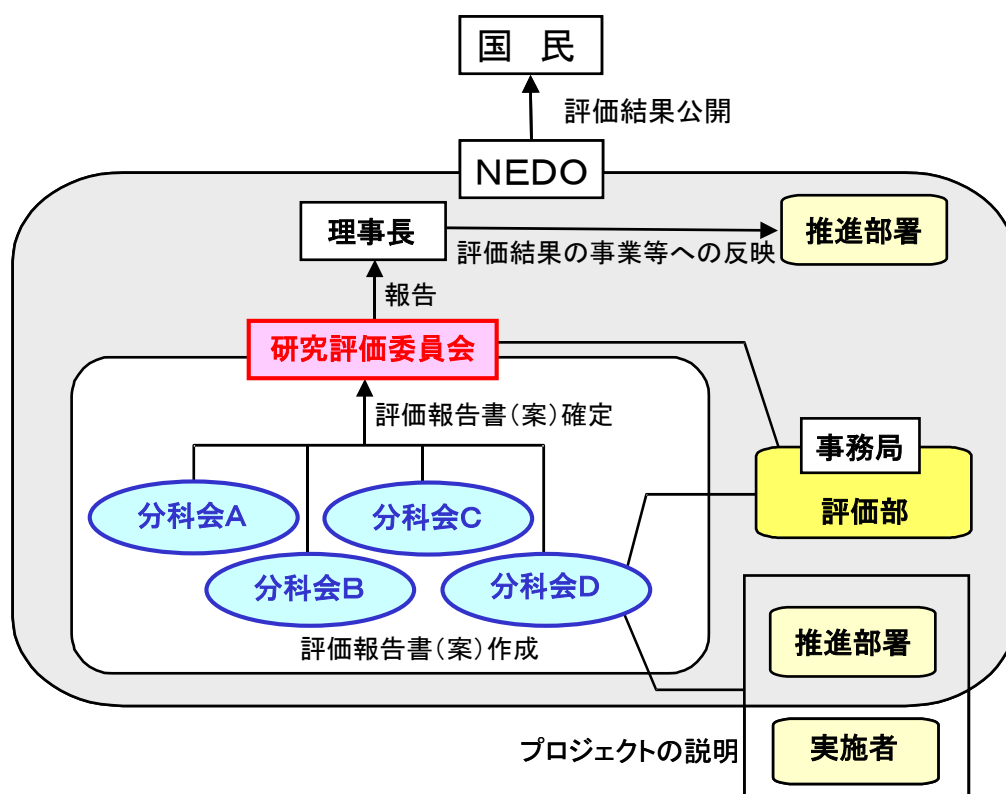
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「低炭素社会を実現する超低電圧ナノエレクトロニクスプロジェクト／低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取り組みや見通し等を評価した。

$$2(q^2 + \dots) > 0$$

$$\dots$$

$$f \approx -H$$

$$f \approx$$

$$\dots$$

$$f \approx$$

$$f \approx$$

$$f \approx$$

はじめに

本「標準的評価項目・評価基準」は、「技術評価実施規程」に定める技術評価の目的^{*}を踏まえ、NEDOとして評価を行う上での標準的な評価項目及び評価基準として用いる。

本文中の「実用化・事業化」に係る考え方及び評価の視点に関しては、対象となるプロジェクトの特性を踏まえ必要に応じ評価事務局がカスタマイズする。

※「技術評価実施規程」第5条(技術評価の目的) ①業務の高度化等自己改革の促進、②社会への説明責任、経済・社会ニーズの取り込み、③評価結果の資源配分反映による、資源の重点化及び業務の効率化促進

なお「評価項目」、「評価基準」、「評価の視点」は、以下のとおり。

- ◆評価項目：「1. . . .」
- ◆評価基準：上記、各項目中の「(1) . . .」
- ◆評価の視点：上記、各基準中の「・」

評価項目・基準・視点

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断できる具体的かつ明確な開発目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマごとの配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 適切な研究開発実施体制になっており、指揮命令系統及び責任体制が明確になっているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 知的財産取扱（実施者間の情報管理、秘密保持、出願・活用ルール含む）に関する考え方は整備され、適切に運用されているか。

(4) 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

（基礎的・基盤的研究開発及び知的基盤・標準整備等研究開発の場合は、「事業化」を除く）

- ・ 成果の実用化・事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化・事業化シナリオに基づき、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダーが選任されている場合、成果の実用化・事業化シナリオに基づき、適切な研究開発のマネジメントが行われているか。
- ・ 成果の実用化・事業化につなげる知財戦略（オープン／クローズ戦略等）や標準化戦略が明確になっており、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度と成果の意義

- ・ 成果は目標を達成しているか。
- ・ 成果は将来的に市場の拡大あるいは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 目標未達成の場合、達成できなかつた原因が明らかで、かつ目標達成までの課題を把握し、この課題解決の方針が明確になっているなど、成果として評価できるか。
- ・ 設定された目標以外に技術的成果があれば付加的に評価する。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、又は汎用性のある成果については、将来の産業につながる観点から特に顕著な成果が上がっている場合は、海外ベンチマークと比較の上で付加的に評価する。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 大学又は公的研究機関で企業の開発を支援する取り組みを行った場合には、具体的に企業の取り組みに貢献しているか。

(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、又は実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表は、将来の産業につながる観点から戦略的に行われているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

(4) 成果の最終目標の達成可能性(中間評価のみ設定)

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

本項目における「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することを言う。

なお、評価の対象となるプロジェクトは、その意図する効果の範囲や時間軸に多様性を有することから、上記「実用化・事業化」の考え方はこうした各プロジェクトの性格を踏まえ必要に応じカスタマイズして用いる。

(1)成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術としての見極め(適用可能性の明確化)ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 実用化に向けて、競合技術と比較し性能面、コスト面を含み優位性は確保される見通しはあるか。
- ・ 量産化技術が確立される見通しはあるか。
- ・ 事業化した場合に対象となる市場規模や成長性等により経済効果等が見込めるものとなっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2)実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- ・ プロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む者が明確になっているか。また、取り組み計画、事業化までのマイルストーン、事業化する製品・サービス等の具体的な見通し等は立っているか。

◆プロジェクトの性格が「基礎的・基盤的研究開発」である場合は以下を適用

4. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

(1)成果の実用化の見通し

- ・ 実用化イメージに基づき、課題及びマイルストーンが明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会

的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化に向けた具体的取り組み

- ・ 成果の実用化に向けて、誰がどのように引き続き研究開発を取り組むのか明確になっているか。

◆プロジェクトの性格が「知的基盤・標準整備等の研究開発」である場合は以下を適用

4. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

(1) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注) 国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化に向けた具体的取り組み

- ・ 成果の実用化に向けて、誰がどのように引き続き研究開発を取り組むのか明確になっているか。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 徳岡 麻比古

統括主幹 保坂 尚子

担当 三佐尾 均

宮嶋 俊平

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162