

「高速不揮発メモリ機能技術開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	7
評点結果	10
（参考）評価項目・評価基準	11

はじめに

本書は、第35回研究評価委員会において設置された「高速不揮発メモリ機能技術開発」(事後評価)の研究評価委員会分科会(第1回(平成25年11月18日))において策定した評価報告書(案)の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第38回研究評価委員会(平成26年3月27日)にて、その評価結果について報告するものである。

平成26年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「高速不揮発メモリ機能技術開発」分科会
(事後評価)

分科会長 桜井 貴康

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「高速不揮発メモリ機能技術開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成25年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	さくらい たかやす 桜井 貴康	東京大学 生産技術研究所 第3部 教授
分科 会長 代理	たかはし やすお 高橋 庸夫	北海道大学 大学院情報科学研究科 情報エレクトロニクス専攻 教授
委員	きもと つねのぶ 木本 恒暢	京都大学 大学院工学研究科 電子工学専攻 教授
	しらいし けんじ 白石 賢二	名古屋大学 大学院工学研究科 計算理工学専攻 教授
	ひがしの てるお 東野 輝夫	大阪大学 大学院情報科学研究科 情報ネットワーク学専攻 教授
	みやもと やすゆき 宮本 恭幸	東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理工学専攻 教授
	むらかみ かずあき 村上 和彰	九州大学 大学院システム情報科学研究所 情報知能工学部門 教授

敬称略、五十音順

注* : 実施者の一部と同一組織であるが、所属部署が異なるため(実施者: 東京大学 大学院工学系研究科)「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条(評価における利害関係者の排除)により、利害関係はないとする。

プロジェクト概要

		最終更新日	平成25年10月21日		
プログラム名	IT イノベーションプログラム・エネルギーイノベーションプログラム				
プロジェクト名	高速不揮発メモリ機能技術開発	プロジェクト番号	P10002		
担当推進部/ 担当者	電子・情報技術開発部 主担当者 島津 高行 (平成22年4月～平成23年6月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 主担当者 酒井 俊二 (平成23年7月～平成25年3月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 主担当者 遠目塚 幸二 (平成25年4月～平成25年11月)				
0. 事業の概要	電源オフにしてもデータが保存され、かつ高速に動作する高速不揮発メモリを搭載したシステムの開発が革新的な超低消費電力情報機器の実現のために重要である。これらの要求に応えることのできる、高速性と不揮発性を両立したメモリの開発と不揮発アーキテクチャの研究開発を実施する。				
I. 事業の位置付け・必要性について	わが国のエネルギーセキュリティの確保や世界中で取り組みが行われている温室効果ガス削減運動への対応は、今後の我が国の発展に不可欠な課題である。一方産業の観点においては、我が国の製造業で重要な位置を占める半導体および電子機器産業競争力の維持向上もまた重要な課題である。このような問題意識のもと、本プロジェクトでは情報機器において看過できない問題となっているメモリ消費電力の抜本的削減を目的として、高速不揮発メモリを搭載する革新的な超低消費電力情報機器の実現を目的とする。これまで多種の不揮発性メモリが提案されたものの、現時点では大容量・高速性・高信頼性・低消費電力をはじめとする種々の要求を満たしたものはなく、既存のメモリ素子を置き換えるまでに至っていない。そのため新規素子の提案も含め、メモリ素子の開発が引き続き重要である。同時に、開発されるメモリ素子の動作特性を想定したうえで、効率の良いシステムが成立するアーキテクチャの仕様、およびその基本構成を明らかにすることが期待される。アーキテクチャの開発は、メモリ素子の開発成果として得られる特性を最大限に生かし、メモリ素子が早期にかつ広く普及するための基盤となるため、世界的にも研究開発が進められている。以上のように、本プロジェクトは、わが国の競争力の確保と、地球レベルでのエネルギー消費削減・低炭素化の両方に貢献すると期待され、本プロジェクト推進の必要性は高い。				
II. 研究開発マネジメントについて					
事業の目標	<ul style="list-style-type: none"> ・システムを部分的または全体的に不揮発化するために、現行メモリの代替となる高速不揮発メモリ素子を開発する。 ・基本ソフトウェアを含むデモシステムまたは仮想デモシステムによって消費電力を実質上1/10以下に削減できる構成を提示する。 				
事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy
	高速不揮発メモリの開発			→	
	不揮発アーキテクチャの研究開発			→	
開発予算 (会計・勘定別に 事業費の実績額 を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	特別会計(需給)	267	225	107	599
	加速予算(成果普及費を含む)	29	20	0	49
	総予算額	296	245	107	648
契約の種類	委託 (負担率:100%)	48	49	49	146
	共同研究 (負担率:2/3)	248			248
	共同研究 (負担率:1/2)		196	58	254

開発体制	経産省担当原課	商務情報政策局 情報通信機器課
	委託先	①「高速不揮発メモリの開発」 共同研究先:エルピーダメモリ株式会社 共同実施先:(独)産業技術総合研究所、シャープ(株) ②「不揮発アーキテクチャの研究開発」 委託先:中央大学 (平成24年4月1日 東京大学から権利承継)
情勢変化への対応	(1)平成22年2月 ReRAMとフラッシュメモリの統合ウェアレベリングの開発加速 (2)平成23年2月 ReRAM専用縦型MOSトランジスタ(4F ²)構造プロセス開発およびデータ処理アルゴリズムの研究開発加速 (3)平成25年1月 東日本大震災影響による開発遅延対応のため、実施計画書更新および事業契約期間の延長(終了を平成25年2月28日から平成25年3月31日に変更)	
中間評価結果への対応	本プロジェクトは、実施期間が3年間であるため、中間評価は実施しない。	
評価に関する事項	事前評価	平成22年 2月実施 担当部 電子・情報技術開発部
	基本計画検討委員会	平成22年 2月実施 担当部 電子・情報技術開発部
	採択審査委員会	平成22年 6月実施 担当部 電子・情報技術開発部
	技術推進委員会	平成23年12月実施 担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部
	事後評価	平成25年11月実施予定 担当部 評価部
Ⅲ. 研究開発成果について	①高速不揮発メモリの開発 プロジェクトの目標を全て達成した。特に、書換え耐性は、不揮発アーキテクチャの研究開発と組み合わせることにより、ストレージクラスメモリに必要な装置寿命を達成することが出来た。 ②不揮発アーキテクチャの研究開発 消費電力を従来SSDアーキテクチャより実質1/10とすることが出来た。	
	投稿論文	「査読付き」26件、「その他」0件
	特許	①「出願済」35件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願12件) ②「出願済」9件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願3件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	2012年1月24日 エルピーダメモリ株式会社よりプレスリリース。 「新メモリ(高速不揮発抵抗変化型メモリ、ReRAM)の開発に成功」 -64Mビットメモリセルアレイ動作を確認- 2012年6月12日 中央大学竹内研究室よりプレスリリース 「性能を11倍化、電力を93%削減、寿命を7倍化するReRAMとフラッシュメモリのハイブリッドSSD」

IV. 実用化・事業化の見通しについて	ReRAM実用化のためには、更なるスイッチング素子の信頼性向上とばらつき低減が必要であり、プロジェクト終了後の現在も中規模アレイを使った改善活動を継続している。一方、大容量プロトチップは、回路設計を終わり、チップレベルでの動作確認をシミュレーションレベルで完了した。今後は、スイッチング素子の改善結果を反映させた大容量プロトチップの試作を行い、早期にサンプル出荷を行うことを目指す。	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 22 年 3 月 作成
	変更履歴	平成 22 年 3 月 制定。 平成 23 年 4 月 共同研究事業 NEDO 負担率を 2/3 から 1/2 に改訂。

技術分野全体での位置づけ

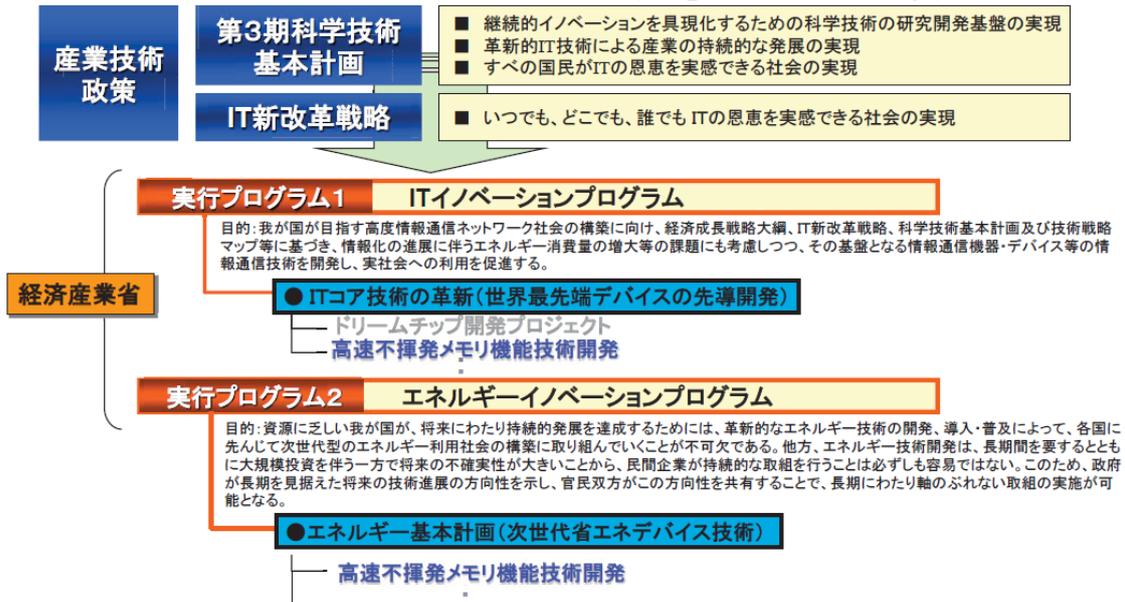
(分科会資料5-2より抜粋)

I. 事業の位置付け・必要性
1.2 事業の位置付け

政策上の位置付け

公開

経済産業省 研究開発プログラム「ITイノベーションプログラム」および「エネルギーイノベーションプログラム」の1テーマとして実施



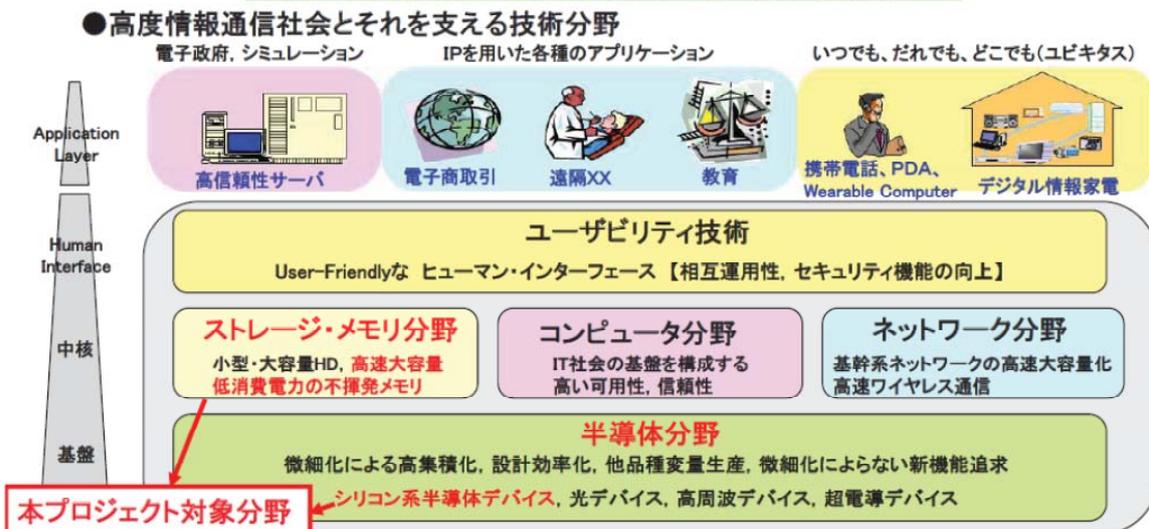
I. 事業の位置付け・必要性
1.2 事業の位置付け

NEDO第2期中期計画('08~12年)における位置付け

公開

「高度な情報通信社会の実現」「IT産業の国際競争力の強化」のため情報技術開発分野の半導体における技術開発の一環として実施

第3期中期計画(2013年-2017年)においても継承



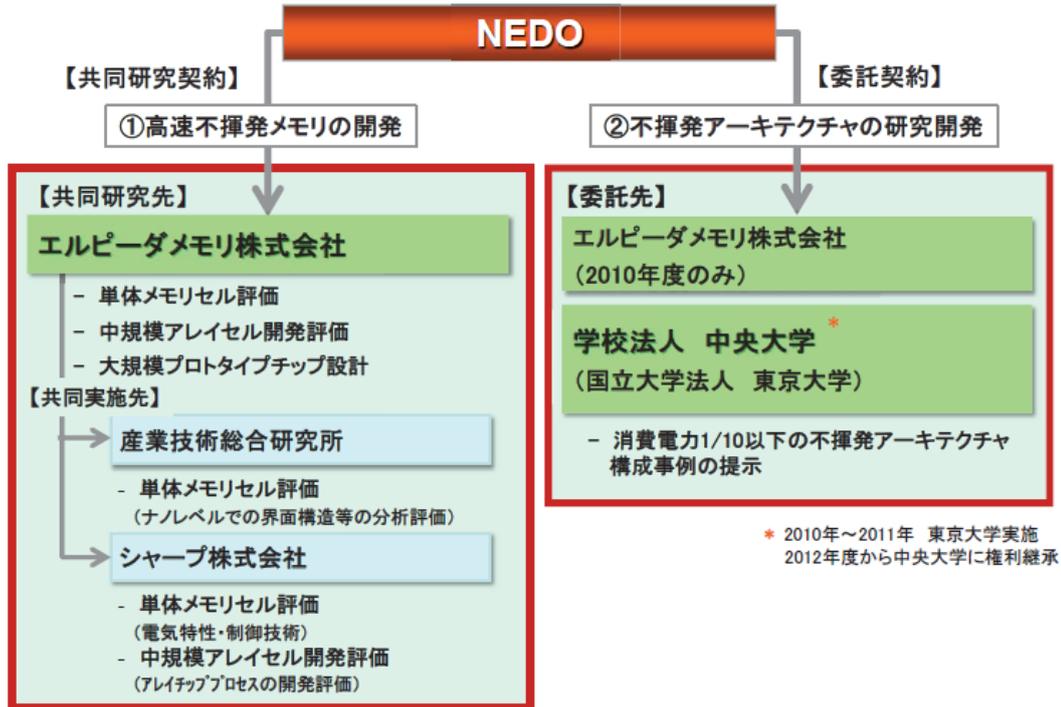
「高速不揮発メモリ機能技術開発」

全体の研究開発実施体制

II. 研究開発マネジメント
2.3 研究開発の実施体制

プロジェクト実施体制

公開



「高速不揮発メモリ機能技術開発」（事後評価）

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

クラウドコンピューティング、ビッグデータ等で今後重要性を増す低消費電力ストレージクラスメモリを目指し、**ReRAM** (**Resistance Random Access Memory**; 抵抗変化メモリ) をベースとしたアーキテクチャ技術とデバイス技術の開発が、レイヤー連携しながら行われた。アーキテクチャ・レイヤーでは **ReRAM** デバイスに対する仕様を明確化し、デバイス・レイヤーでは、その仕様に対応するデバイス開発に注力した結果、より効率的な技術開発が行われ、競争力のある技術成果が得られた。魅力的なメモリと言われながら、学術的知見に乏しく、特性バラツキの大きかった **ReRAM** の実用化に向けた挑戦的なプロジェクトであったが、**ReRAM** 素子の材料に立ち返り、スイッチング材料の酸素制御という物理的メカニズムを踏まえて素子特性の改善に取り組んだ点が高く評価できる。

一方、デバイスとしては、当初目標はクリアしたものの、スイッチング素子の信頼性向上やばらつき低減など、高速不揮発メモリの実用化に向けて幾つかの課題が残っているので、それらを改善して実用化につなげていただきたい。

2) 今後に対する提言

データセンターなどのメモリシステムでは、データの種類やデータ操作などによってメモリアクセスのパターンには特徴が出てくることが予想される。今回はアーキテクチャおよびデバイス・レイヤーでの最適化で成果が得られたが、実際のシステムやアプリケーションに即した最適化技術を加味すると、より競争力が増すものと考えられる。競合する **MRAM** (**Magneto resistive Random Access Memory**; 磁気抵抗メモリ)、**PRAM** (**Phase-Change Random Access Memory**; 相変化メモリ) 等の進展を考慮し、これらのメモリに対する優位性とコスト競争力を十分に検討いただきたい。

一方、成果として技術的には素晴らしいものが出たと考えるが、事業戦略的には、顧客ターゲットの絞り込みを含めてもう少し戦略的に進めるべきである。また、メモリセルサイズを縮小した大規模容量メモリからコントローラとセットでシステムとするとなっているが、スケールリングに不安が有るのならば、まずは中規模容量メモリの時点でコントローラとセットで実用化すべきではない

か。中規模容量メモリのストレージクラスメモリのアーキテクチャなどが早く実用化されれば、国際的にもインパクトの大きな成果になると考えられる。今回のアーキテクチャ・レイヤーの成果は、**ReRAM**のみならず、他のデバイス技術にも有効である。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

今後のクラウドコンピューティング、ビッグデータ等を含む情報技術産業の変革を、タイムリーに見通した技術開発であると考ええる。従来のハードディスク主体のメモリシステムでは消費電力が膨大になってしまうという課題があった。そのため、本技術開発はより消費電力の小さい半導体メモリシステムを実現するもので、社会的な意義は大きい。特に、高速な不揮発性メモリのアーキテクチャやデバイスを使って、有効に半導体メモリシステムを構成する技術開発であり、市場としても大きいことが期待できる。日本の電気・電子・情報産業の国際競争力強化も含めて、重要な課題の研究開発であり、**NEDO**が推進するプロジェクトとして適している。

なお、メモリ業界は国際的な競争が激しく、日本の圧倒的な優位性も低下しているので、メモリ・LSI業界の産業競争力を高めるための政策を強化していただきたい。

2) 研究開発マネジメントについて

東日本大震災や共同研究先の会社更生法申請などの情勢変化によく対応した。**ReRAM**のような、まだ動作原理も完全に解明されていないデバイス開発において、これまでのメモリには無い高速大容量低ビットコストの不揮発性メモリを果敢に目指している点は評価できる。また、不揮発メモリーデバイスアーキテクチャの研究を併走させ協調させることで、**ReRAM**メモリデバイスの性能目標が的確になされたと考えられ、効果的であった。プロジェクトの構成として、大規模メモリの企業と、不揮発性メモリアーキテクチャの専門家を協働させた効果が現れている。研究開発目標は具体的、挑戦的であり、スケジュールや予算規模も適切である。材料選択というもっとも重要なところから着手して、最終的には実用化を見据えるところまでの実証が実現できている点は研究フローにおける要素技術間の関係、順序が適切であった。また、エルピーダ社は外資であるマイクロン社傘下に入ったが、フラッシュをストレージクラスメモリとして一体となった商品として供給できる強みがでたと言える。

3) 研究開発成果について

アーキテクチャ、デバイスともに競争力のある成果が出ている。**ReRAM** と **NAND** 型フラッシュメモリの協調で、高速大容量・低ビットコストの不揮発性メモリ技術が構築され、トータルメモリ性能向上に資する領域で実現しており、評価できる。素子の材料に立ち返り、物理的メカニズムを踏まえた素子特性の改善に取り組んだ点が高く評価できる。抵抗変化材料における酸素の供給、拡散を制御した点はユニークである。数値目標はほとんどクリアされている。フラッシュメモリなどの書き込み回数を削減し、消費電力を軽減するための不揮発アーキテクチャを開発し、有効性を示した点は高く評価できる。知財権の確保や成果の普及に関しても十分留意されている。

一方、ストレージクラスメモリの他の候補である、**STT-MRAM**（スピン注入型磁気抵抗メモリ）や **PRAM**（相変化メモリ）においても大きな技術革新がなされており、差別化が今後の展開の重要な要素となる。

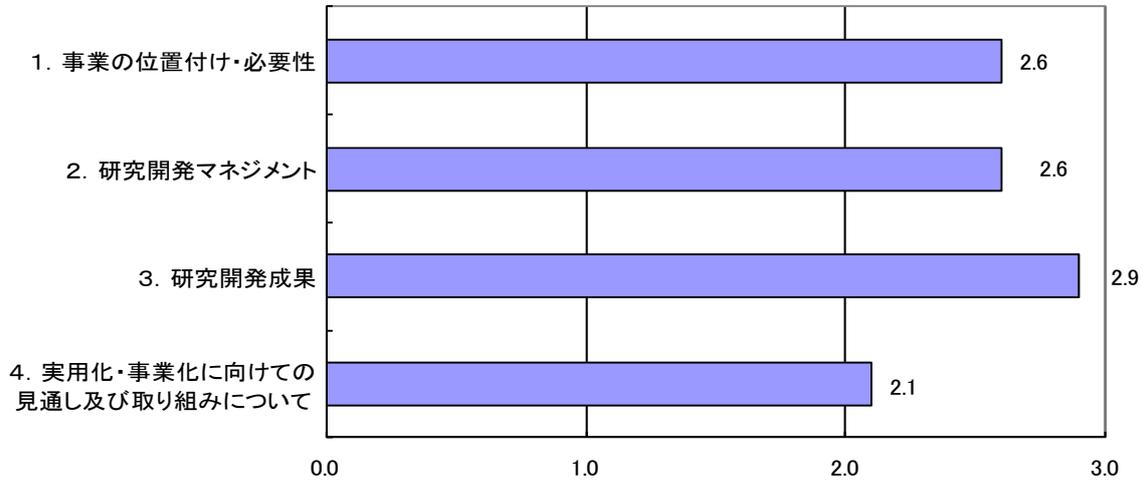
なお、クラウドのみならず、高速不揮発メモリシステムが有効に活用できる分野を開拓することも並行して考慮していくべきである。

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

歩留まりや信頼性の確保まで到達していないが、実用化まで、あと一步まで来ている。**ReRAM** の特徴と現在の技術水準を十分に把握した上で、本高速メモリの応用分野を見据えている。新たな大規模高速不揮発メモリとなり、情報産業など他産業への波及効果が大きい。ストレージクラスメモリの市場のニーズに焦点をあて、その中でも最有力とされる **ReRAM** に焦点を絞った点は評価できる。また、実用化の課題となっていた **SET-RESET** 電圧、信頼性、容量等に対する的確な課題が設定されており、消費電力 1/10、速度 11 倍、寿命 7 倍という成果は、実用化にとって非常に明瞭な優位性である。アーキテクチャ・レイヤーの開発技術成果は実用性が高い。

一方、デバイスでは実用化の過程で必要な、スイッチング素子の信頼性向上、バラツキ低減などのデータが、多少不足している。量産化において、バラツキなどの問題の解決の為に早急にメカニズムについて、より詳細な検討を行うべきである。また、当初計画時には想定していなかった超格子構造による **PRAM** の高速化や、**STT-MRAM** 研究進展の速さ等から見て、早期に実用化を検討して、現時点での優位さを生かすべきである。

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		B	A	A	B	A	B	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.6	B	A	A	B	A	B	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	B	A	A	A	A	B	B	
3. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	A	A	B	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	C	B	B	A	A	C	A	

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

平均値

〈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 |

<参考>

「高速不揮発メモリ機能技術開発」
に係る評価項目・評価基準

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

- ・ ITイノベーションプログラムおよびエネルギー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。

- ・ 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

- ・ 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で期待できるか。
- ・ 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、達成できなかった原因が明らかで、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。

(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. 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。

(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。
- ・ 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。