

**研究評価委員会**  
**「スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト」(事後評価) 第1回分科会**  
**議事要旨 (案)**

日 時：平成23年7月21日(木) 13:00～17:25

場 所：大手町サンスカイルームD室(朝日生命大手町ビル27階)

**出席者(敬称略、順不同)**

分科会長	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
分科会長代理	井上順一郎	名古屋大学大学院 工学研究科 マテリアル理工学専攻 応用物理分野 教授
委員	伊藤 公平	慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 教授
委員	黒田 眞司	筑波大学大学院 数理物質科学研究科 教授 (欠席)
委員	田中 雅明	東京大学 大学院 工学系研究科 電気系工学専攻 教授
委員	埜 健三	昭和電工(株) 研究開発本部 技術戦略室 担当部長
委員	陽 完治	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター 教授

**<推進者>**

中山 亨	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	主幹
宮田 典幸	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	主研
島津 高行	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	主査
万田 純一	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	主査
梅沢 茂之	NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部	統括研究員

**<オブザーバー>**

小竹 幸浩	経済産業省商務情報政策局 情報通信機器課	課長補佐
-------	----------------------	------

**<実施者>**

(PL) 安藤 功兒	産業技術総合研究所	フェロー
宮崎 照宣	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構	教授
鈴木 義茂	大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻	教授
小野 輝男	京都大学 化学研究所	教授
仲谷 栄伸	電気通信大学 情報理工学部	教授
安藤 康夫	東北大学 大学院工学研究科	教授
仲谷 栄伸	電気通信大学 大学院情報理工学研究科	教授
湯浅 新治	産業技術総合研究所 ナノスピントロニクス研究センター	研究センター長 ナノスピントロニクス研究センター 研究センター長
與田 博明	株式会社東芝 研究開発センター	LSI 基盤技術ラボラトリー 技監
伊藤 順一	株式会社東芝 研究開発センター	LSI 基盤技術ラボラトリー 主任研究員
下村 尚治	株式会社東芝 研究開発センター	LSI 基盤技術ラボラトリー 主任研究員

石綿 延行	日本電気株式会社	グリーンイノベーション研究所	主幹研究員
吹譯 正憲	財団法人	新機能素子研究開発協会	研究開発部 統括部長
土井 清三	財団法人	新機能素子研究開発協会	研究開発部 部長
片山 利一	財団法人	新機能素子研究開発協会	研究開発部

<企画調整>

立石 正明      NEDO 総務企画部      主任

<事務局>

竹下 満	NEDO 評価部	部長
土橋 誠	NEDO 評価部	主査
松下 智子	NEDO 評価部	職員

<一般傍聴者>      なし

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置について、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
  - 4.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」
  - 4.2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」

(非公開セッション)

5. プロジェクトの詳細説明
  - 5.1 スピンRAM基盤技術 (含実用化の見通し)
  - 5.2 スピン新機能素子設計技術
    - 磁壁メモリ (含実用化の見通し)
    - 能動素子 (含実用化の見通し)
6. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

## 議事要旨

(公開セッション)

### 1. 開会、分科会の設置について、資料の確認

- ・開会宣言（事務局）
- ・事務局土橋主査より、研究評価委員会分科会の設置について資料 1-1 及び 1-2 に基づき説明があった。
- ・松山分科会長挨拶
- ・出席者（委員、推進者、実施者、事務局）の紹介（事務局、推進者）

### 2. 分科会の公開について

事務局より資料 2-1 に基づき説明し、議題 5「プロジェクトの詳細説明」および議題 6「全体を通しての質疑」を非公開とすることが了承された。

### 3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について

評価の手順と評価報告書の構成について、事務局より資料 3-1～資料 3-5 及び資料 4 に基づき説明し、事務局案どおり了承された。

### 4. プロジェクトの概要説明

#### 4.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」

推進者（NEDO 中山部長および宮田主研）より資料 6 に基づき説明が行われた。

#### 4.2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」

実施者（安藤 PL）より資料 6 に基づき説明が行われた。

#### 4.3 質疑

説明に対し以下の質疑応答が行われた。

【質問】市場規模 9 千億円とあったが、デバイス全体で見た場合に 9 千億円がプラスされるのか、または市場の何かを置き換えて 9 千億円になるのか。

【回答】DRAM の市場がいまの推移で伸び、そのうちのある割合が MRAM に代わったときにどれくらいの市場規模かを推測したものである。半導体デバイス市場全体としては同じということである。

【質問】MRAM によって、新しくできる市場はどんなものか。

【回答】ノーマリ・オフ・コンピューティングに発展すれば、携帯端末のような新しい市場が拡大するとか、センサーネットワークに使われる可能性がある。

【質問】MRAM によって、ノーマリ・オフ・コンピュータになると、パソコン市場はさらに増えることは期待できるのか。

【回答】パソコン市場はあまり広がらなくて、iPad のような携帯の市場のほうがこれからは広がっていくと考える。

【質問】省電力はどの程度の電力セーブになるか。それを金額に直すとどの程度になるか。

【回答①】このプロジェクトではなく、先日公募が終ったノーマリ・オフ・コンピューティングでは目標設定をしており、現状の性能を維持しつつ 10 分の 1 ぐらいというところを目指している。

【回答②】1 回充電して 1 カ月使えるパソコンが出来たら、災害時や、教育に使える。壁に埋め込まれるコンピュータとか、目に見えないコンピュータが出てくる可能性がある。ただ、10 分の 1 というのは、いま公募されているノーマリ・オフ・コンピューティングプロジェクトの話であり、他にディスプレイが不揮発になるとすれば、10 分の 1 では留まらない。

【質問】「新原理によるデバイスの機能実証」ではどのようにしてメタル系のテーマを選定したのか。ま

た、中止テーマに関して、研究された内容の公表や、今後どう生かすかの方針はどうか。

【回答①】テーマを選ぶときは、NEDO の性格上あまり広げずに、メタル系のものに限るということを選んだ。メタル系の中では有望なものを中心に拾ったつもりだ。スピン RAM は別格だが、他のテーマは NEDO としてはチャレンジングなテーマを入れた。

【回答②】中止した 2 テーマに関して。光に関しては、終わっても招待講演の依頼はかなり来ている。ただ、企業が乗り出すかといふとなかなか難しい。NEDO プロジェクトとしてのマッチングはよくなかったということかなと思う。ストレージに関しては、会社側の事情であった。しかし、その後京大と NEC が垂直系の磁壁移動技術で IBM を超える世界トップのものを開発した。

【質問】スピン RAM に関して、なるべく公表しないようにしているというのは、ノウハウを漏らしたくないという、先行したいという意図からか。ほかのグループから大勢フォロワーが出たほうが、その分野は発展すると思うが。

【回答】スピン RAM に関しては、このプロジェクトでは、最終的に日本企業が実用化をするのが目的であり、企業は大学や産総研とは立場が違う。企業としてはなるべく閉じて発表はしないが、産総研や大学側は発表しなければいけないので、そこらへんで妥協は出来て、お互いに相手の立場を思いやっている。すなわち、どこまで発表できるかギリギリの判断をするという、大学・産総研としては、いつもやっているのとはちょっと違う判断を、自らのボランティアな意志としてやっているということである。

【質問】実用化のところでは DRAM と比較しているが、不揮発性メモリの新しい候補として、スピン RAM 以外では、相変化メモリ (PCM) とか、ReRAM が気になるが、それらの評価はどうか。

【回答】 ReRAM や PCM はまだものになるかどうか分からない状態なので、比較してもあまり意味がないと思う。もう 1 つ、PCM や ReRAM は RAM でもない、ストレージでもない中間の性格を持っており、少し違うカテゴリの製品になると思う。我々のスピン RAM は RAM 狙いであり、カテゴリが違うので比較はあまりやっていない。市場としては DRAM が大きいので、そこを取りたいというのが一番である。

【質問】新ストレージデバイスについて、もう少し具体的に知りたい。たとえば、スピン RAM (の中間評価での評点は) は 3 点中 2.9 だったとのことだが、その 2 番目、3 番目の打ち切られた経緯について説明願いたい。

【回答①】全体にそれほど厳しいコメントではなかった。ただ、ストレージや磁壁全体に関して、中間評価までにデータが出たのはパーマロイで、まだ垂直磁気は出ていなかった。やはり垂直でないとなかなか性能が上がりにくいという部分があり、何とかもっと頑張るよというコメントは付いていた。満点ではなかったが、全体としてはよくやっているという評価は得た。光に関しても、完全にネガティブではないが、なかなか難しいところがあるという評価だったと思う。

【回答②】2 つの開発項目に関して個別に点数は付いていないが、研究開発成果全体として 3 点中 2.3 だった。ストレージ部分は、富士通側の社内の事情で委託業務を実施できないということで中止した。NEDO としては、これを受けて再公募をして同じテーマを続けるかどうかを判断するわけだが、中間評価の結果が、それまでの成果とは別に、いったん基礎に立ち戻った検討が必要とのコメントであり、残り 2 年で新しいグループが実用化まで進めるのは難しいという判断から中止とした。

【質問】スピン RAM について、ギガビットのところを想定した数十ナノメートルというオーダーで、非常に微弱な電流で動作が出来たという報告だったが、今後の技術の伸び代、将来性、展望に

ついてはどうか。

【回答】 LSI にするとき、もう 1 つの解決課題はばらつきである。ばらつきをどれだけ減らせるかによる。現状では技術の熟成度が低い、将来、ばらつきを通常の半導体と同じぐらいまで持っていったと仮定した場合、NAND ほど微細になるとは言えないが、DRAM よりは微細化できると思う。特に書き込み電流を下げるのは、まだ伸び代がある。ほかにも、NAND やハードディスクのように、エラーコレクションを入れたりして、伸ばすことができる。そうすることで、DRAM は超えられるという見解を持っている。

【質問】 フラッシュメモリーでは、3 次元という新しいディメンジョンの取り方で、先行きを伸ばそうとしている。スピン系のデバイスは、上のほうに性能を伸ばしていくという方向性のようなものがいまの時点でありそうか。

【回答】 単純なスピン注入反転はなかなか難しい。単純なスピン注入ではないがスピン注入を応用したものがあって、それを使って積層する解は出てくると考えている。ただし積層すると、それだけ配線遅延は大きくなり、スピードが落ちるので高速 RAM の領域から少し落ちてくる。それは仕方ないが 3 次元化は可能と考えている。

【質問】 大目的のところで国際競争力をつけるというところがあるが、それは日本企業が実用化するのを国際競争力と呼んでいるのか。

【回答】 日本企業がこの技術を使って、何らかのかたちで収益性を高めるということ。すなわち、必ずしも自分で手作業するというのではなく、そこから先は各社の実用化段階、事業化段階のとき、自社ファブ、ライセンス、パートナーングというやり方がある。またこのことを使って別の部分で儲けるということもある。そういう非常に広い意味で日本のデバイス産業の競争力につながる新デバイスという言い方をしている。

【質問】 スピン RAM と、磁壁メモリの事業化について、この 2 つは棲み分けるのか。磁壁メモリは高速性の特色を生かすのか、違う方向性でロジックとの組み合わせという話もあったが、その 2 つのものの取り組みは今後どういうふうに進むのか。

【回答①】 磁壁の技術はスピン RAM ほどにはマチュアになっていない。例えば電流自体は多いけれども、周辺回路の工夫で高速に動くというので、今回はエンベデッドメモリ用という位置付けでやっている。3 端子化すると、高速化したときに 2 端子よりも周辺回路的に非常に処理しやすい。そういう意味でアプリケーションは切り分けていくと思う。ただ、スピン RAM も今後また速くなっていくし、いずれそういう周辺回路の技術なども取り込むかもしれない。

【回答②】 磁壁メモリの狙いは混載メモリである。磁場書きのときから 3 端子の MRAM を開発してきている。その磁性体の部分のスケールビリティを、この新しいスピントロニクスを使って実現することを狙っている。

【質問】 NEDO のプロジェクトではすごい量の書類提出を求められて、かなり負担に感じたことがある。想像するに、安藤 PL はじめ、これだけのプロジェクトでは、相当マネジメントで苦労されたと思うがどうか。

【回答①】 NEDO もいろいろ予算制度があって、今回に関しては始まったときから拍子抜けするほど書類は少なかった。電子部の歴代部長、主任研究員の方が、PL をバックアップする立場に立ってくれた。もう 1 つ、最終的にものになればいいということを非常に強く言っていただいたので、予算配分も実質は私の意向で決まっているし、企業の間でいろいろ意見対立があったときもバックアップしていただいて助かった。今回は運営に関しては私のほうからは不満はまった

くない。

【回答②】 PL からそう言っていただいたので、大変ありがたいと思う。例えば経済産業省なり、国が直接実行する予算だと年度の区切りが非常に厳しいなどいろいろあるが、交付金で NEDO が一括で受け取った後は、NEDO の判断で予算の配分も出来ている。

【コメント】 今後もそういう研究者の立場に立った運営をよろしくお願ひしたい。それが結果的には国民のためになると思う。

【質問】 いくつかのサブテーマが動いていたが、予算的な配分では、特に意見の相違があったりすることはないのか。かなり大きな金額だが。

【回答】 予算配分に関しては、実際に決めるときにテーマごとの調整はしなかった。PL と NEDO とで相談して決めた。特にスピン RAM に関しては当初の提案をしたときよりはかなり傾斜配分になって、ほかのテーマはかなり苦しいところがあった。もう少し本来はお金をもらえるはずだったということもあったが、そこもいろいろ革新的技術推進費、NEDO で加速予算などを取ってもらって、磁壁移動はほぼ予定の金額がキープは出来た。スピン RAM に関しては予定以上について。潤沢ではないが、不満が爆発するような話ではなかった。

(非公開セッション)

## 5. プロジェクトの詳細説明 (非公開のため省略)

### 5.1 スピンRAM基盤技術

スピンRAM (含実用化の見通し)

### 5.2 スピン新機能素子設計技術

磁壁メモリ (含実用化の見通し)

能動素子 (含実用化の見通し)

## 6. 全体を通しての質疑 (非公開のため省略)

(公開セッション)

## 7. まとめ・講評

【陽委員】 全般的に満足できる素晴らしい結果で、このプロジェクトそのものは大成功だったと認識している。この後は、ばらつき、歩留まり、信頼性の問題等、実際に製品を作り始めると多くの課題が出てくるので、そこをどうするかというところにかかっていると思う。

【埴委員】 基本的な物理現象から実用までをつなげたい研究だと思う。これからの事業化では桁違いに金が必要となる。たぶん2桁ぐらい余計に金が掛ると思う。今後、事業化をどのように進めるがいいのか、ただ会社に投げるのか、国が音頭を取るのか、難しいところに来ているのではないかと感じている。

【田中委員】 プロジェクトとしては大成功だと思う。特にスピン RAM の基盤技術に関しては研究段階として大変素晴らしい成果があり、独自技術も開発しており、非常に楽しみだ。事業化も成功し、日本の産業を強くする方向に持って行っていただきたいと思う。後半のスピン機能素子技術と能動素子、磁壁メモリと能動素子については、まだ基礎研究の段階だと思うので、すそ野を広げるという意味で、こういう基礎研究は継続的に続けるというのが大事だろう。少し長い目で見て続けるということが将来を失わないという意味で重要だと思っている。

【伊藤委員】 安藤 PL を中心として、柔軟に産総研、企業、そして大学が上手に協調したということがよく分かった。企業に関してもそれぞれがしっかりと場分けをし、目標をそれぞれ異なる分野

で設定し、下手に競争するとか、協調が阻害されることがないように上手にマネジメントされており、マネジメントの観点からもこのプロジェクトは大成功だったのではないかと思う。「死の谷を超える」という話もあったが、それを超えられるのは10件に1件あればいいほうだと思う。「谷を超える」ことを切に感じておられるだろうから、我々はそれを応援したいと思う。

【井上分科会長代理】 すべての課題について目標を達成されていて、十分に成功したプロジェクトだと思う。研究者の数と比較して、なかなかスピントロニクス分野でこういう製品が出来たというのは数が少ない。スピン RAM、磁壁メモリは、一般の社会人に、ここに使われているのはこれだと言えるようにしていただけたらと思うし、それが社会に対する恩返しだろう。能動素子のほうは、まだまだこれからかなと思うが、applied physicsとしては十分に成果をあげたと思う。

【松山分科会長】 スピン RAM の基盤技術は垂直磁化方式の優位性に早くから着目しており、産学官が強力な連携をし、非常に素晴らしい成果をあげたと思う。実際に試作評価された素子のサイズ、磁化反転時間からも当初の目標のギガビット級でなおかつ高速動作も持つという、そういう不揮発 RAM の可能性実証に成功した。海外の関連企業やプロジェクトの研究機関の動向にも注意し、適切な研究加速措置を取ったということも目標達成の要因と思われる。ただ、今後本格的に事業化していくと、歩留まりを確保しながら微細化を進めていくという、非常に難しい技術を開発することになるだろうが、磁性体、金属に関しては十分な加工技術が確立されていないように思うので、3次元的な微細加工技術の開発も重要になってくるだろう。製造装置メーカーとも連携を取り、加工反応の基礎に戻った研究を進める必要があるだろう。スピン RAM は、いろいろな応用システムの中でポテンシャルを試されていくだろうが、ReRAM などの競合するデバイスもたくさんある。システムサイドからいろいろなニーズが出てくるだろうから、それらを十分に分析し、初段階の市場参入を戦略的に行うことが必要になる。この部分は成果を社会に還元していく上で、重要な部分なので、さまざまなアプリケーションの可能性が開かれることを希望している。スピンの新機能素子に関しては、新しいものの開発ということで非常にチャレンジングなテーマであった。学術的には興味深い多くの成果が得られている。高い実用的な数値目標の達成にも成功している。磁壁のメモリについては世界最速の動作というインパクトのある成果を出して、MRAM の1つの高速動作性能というパフォーマンスを実証できたのではないかと思った。また、このデバイスは読み出しと書き込みが独立しているという構造なので、その点では設計の自由度等があり、高速性も含めてスピン RAM とはまた違った特色を出していけそうな気がする。最後に、不揮発性を持つロジックについて。これはまったく新しい機能デバイスということで、計算機のアーキテクチャの変革をもたらすような次世代技術になるのではないかと思う。また、最後のほうに電圧トルクという新しいスピン制御技術についても紹介があり、基本動作も検証しているということで、次々世代の技術として今後の展開に期待が持たれる。最後にこういうかたちで成果が数値化されるという、評価の厳しい新規のデバイスの開発の分野で、着実に成果をあげられた各研究機関の皆さまのご尽力に敬意を表したい。

8. 今後の予定

9. 閉会

## 配布資料

資料 1-1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 1-2	NEDO技術委員・技術委員会等規程
資料 2-1	研究評価委員会分科会の公開について（案）
資料 2-2	研究評価委員会関係の公開について
資料 2-3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
資料 2-4	研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
資料 3-1	NEDOにおける研究評価について
資料 3-2	技術評価実施規程
資料 3-3	評価項目・評価基準
資料 3-4	評点法の実施について（案）
資料 3-5	評価コメント及び評点票（案）
資料 4	評価報告書の構成について（案）
資料 5-1	事業原簿（公開）
資料 5-2	事業原簿（非公開）
資料 6	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 7-1	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）スピンドRAM基盤技術【スピンドRAM】
資料 7-2-1	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）スピンド新機能素子設計技術【磁壁メモリ】
資料 7-2-2	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）スピンド新機能素子設計技術【能動素子】
資料 8	今後の予定