

「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発
(グリーンITプロジェクト)」

事後評価報告書

表紙

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

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
理事長 古川 一夫 殿

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 委員長 西村 吉雄

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。

「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発
(グリーン IT プロジェクト)」
事後評価報告書

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

目次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 評点結果	1-20
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1
参考資料3 分科会議事録	参考資料 3-1
参考資料4 評価結果を受けた今後の取り組み方針について	参考資料 4-1

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、「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発(グリーンITプロジェクト)」の事後評価報告書であり、第35回研究評価委員会において設置された「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発(グリーンIT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38回研究評価委員会(平成26年3月27日)に諮り、確定されたものである。

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

「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発(グリーンITプロジェクト)」

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	おうさか てつや 逢坂 哲彌	早稲田大学 理工学術院 教授 ／ナノ理工学術院機構 機構長
分科 会長 代理	むらおか ひろあき 村岡 裕明	東北大学 電気通信研究所 ブロードバンド工学研究部門 情報ストレージシステム研究室 大規模ストレージシステム 研究分野 教授
委員	あんどう こうじ 安藤 功兒	独立行政法人産業技術総合研究所 フェロー
	おしき みつまさ 押木 満雅	公益社団法人 日本磁気学会 事務局 事務局長
	かない やすし 金井 靖	新潟工科大学 工学部 情報電子工学科 教授
	ふたもと まさあき 二本 正昭	中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科 教授
	みやした えいいち 宮下 英一	NHK 放送技術研究所 新機能デバイス研究部 主任研究 員

敬称略、五十音順

審議経過

● 第1回 分科会（平成25年11月27日）

公開セッション

1. 開会、分科会の設置、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公開について
4. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

5. プロジェクトの詳細説明
6. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他
10. 閉会

● 第38回研究評価委員会（平成26年3月27日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

垂直磁気記録の実用化以降、HDD (Hard Disk Drive ; ハードディスクドライブ) の高密度化が順調に進む一方で、従来技術の延長線上では高密度化が困難な段階にきているが、本プロジェクトにおいては、新システム提案が明確化され、予想以上の成果が得られている。具体的には、将来有望とされている熱アシスト磁気記録、マイクロ波アシスト磁気記録やビットパターン媒体に関して果敢に研究開発を進め、 $5[\text{Tb/in}^2]$ 以上の面記録密度実現のための要素技術の明確化を図った点は高く評価できる。

一方、各要素技術の可能性は示されたが、シミュレーション結果の実現性検証や要素技術統合による HDD 装置としての稼働可能性検証は残された課題である。要素技術の再現性、量産化に向けた歩留まり検討が今後必要である。また、最終製品の在るべき姿や使われ方を考慮し、開発技術仕様にフィードバックし、本プロジェクト成果の高密度記録技術を適用した製品を検討頂きたい。

2) 今後に対する提言

本プロジェクトの成果は、多くの要素技術からなっているが、これらが実際に実用化される時期は、要素技術によって異なるはずである。従って、今後は周辺技術の開発状況、競合企業の開発戦略などを踏まえながら、本プロジェクトの成果を実用化に結びつけるための企業における柔軟な実用化戦略が必要である。また、ナノテクやスピントロニクスなどの基盤技術から構築して実用技術における大きな成果を得ているが、実用化する段には製造設備開発、導入に莫大な資金と労力が必要になる。その様な状況の中で生き残るためには、各社のグローバルな「競争」と「協調」が必要と考える。今後世界的規模の産業展開を見据えた進め方も必要になる時期にきている。量産体制の確立に向けての効率的な投資のために引き続き、産学官連携体制によるしっかりした公的なサポートが望ましい。

これまでもスピントロニクスにおける再生ヘッドでの産業応用など HDD とストレージ産業は先端技術の受け皿として大きな産業規模を活用して技術の発展を支えてきている。本プロジェクトの成果をうまく育成・発展させることで、この分野での我が国の国際的なイニシアチブを取り戻していくことが重要である。日本がストレージ技術において、世界を先導していくためのシナリオとして、ストレージシステム全体を俯瞰し、他のメディアについても必要なタイミングでナショナルプロジェクトを計画的に実施していただくことを期待する。本プロジェクトに次ぐ、将来の技術リードビークルとなり得る新プロジェクトも NEDO 主体で検討頂きたい。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

ストレージ産業の発展は、HDD 技術の飛躍的発展の成否に大きく依存するが、更に高密度化を進めていくためには、技術的なブレークスルーを必要としたため、更に企業の開発リスクは大きくなっていった。次世代の磁気記録技術は長い研究開発期間と巨額な投資が必要であり、NEDO の関与が必要であった。また、我が国の産官学の結集により、HDD 技術に一大変革をもたらそうとした本プロジェクトは、まさに NEDO が本来になすべき事業である。情報記録分野の国際的競争力を高める点でも本プロジェクトの優位性を認める。

2) 研究開発マネジメントについて

プロジェクトの途上で HDD 業界の大きな再編成（富士通、HGST）に見舞われたにも関わらず適切なプロジェクトの研究開発体制を維持して大きな成果を挙げた卓越したプロジェクトマネジメントは高く評価できる。本プロジェクト開始時点では、その開発目標はいささか挑戦的過ぎると思われたが、終わってみればまさに最適の目標設定であったことがわかる。中間評価を受けてその指摘を考慮した適切な方向修正もなされ、目標を達成したことは評価できる。

3) 研究開発成果について

要素技術に関して、研究開発目標をほぼ達成する成果を挙げている。外部エネルギーを用いない、連続媒体を用いた垂直磁気記録方式（現状の HDD）と比べて優位性がある。磁気記録媒体、超高性能磁気ヘッドに関する研究成果は、いずれも世界トップレベルであり、HDD 技術の今後の方向を左右する重要成果である。また、高温動作を要して信頼性確認に注意を要する熱アシスト技術を代替できる記録方式として、マイクロ波アシスト磁気記録技術についてスピントルク発振素子とそのヘッド化技術という、もう一つの選択肢を与えることができたことは重要である。

一方、シミュレーションでの可能性の見極め段階であり、実現に至る道筋の明確化が必要である。要素技術を統合した状態での技術検証まで至っていないため、今後担当企業を中心に技術開発を継続し、5[Tb/in²]の記録再生可能性を HDD 統合技術として示すことが望まれる。また、競合企業への情報流出を防ぐために発表を抑えるという方針には理解できる点もあるが、キーテクノロジーを秘匿したままに、アピールをすることも可能なはずであり、この点の努力にもう少し力を入れて欲しかった。本プロジェクト以外の研究機関や研究者の関心を引き付けて、研究活動相乗効果を生み出すために広報活動は重要である。今後の NEDO プロジェクト推進において、戦略的に広報を活用頂きたい。

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

技術的な難易度や資源の投入について順序を付けたうえで、実用化を検討している。特に熱アシスト磁気記録とマイクロ波アシスト磁気記録は競合他社の情報分析

を含めてよく検討されており、実用化・事業化に向けた重要な成果が得られている。実用化・事業化については、日本有数の HDD 及び記録デバイスメーカーの研究体制としたことが大きな利点である。

一方、開発技術がどれも高い完成度を持つことはよく理解できるが、実用化・事業化を考えると技術的、経済的課題など解決すべき課題は多い。引き続き開発へ取り組んで、この成果を実用化・事業化できることを期待する。

研究評価委員会におけるコメント

第38回研究評価委員会（平成26年3月27日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

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	西村 吉雄	技術ジャーナリスト
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	独立行政法人産業技術総合研究所 つくばイノベーション アリーナ推進本部 共用施設調整室 招聘研究員
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 招聘研究員 公立大学法人大阪府立大学 名誉教授
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 副所長／教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学 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	国立大学法人大阪大学 産学連携本部 名誉教授／特任 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授
	吉川 典彦	国立大学法人名古屋大学 大学院工学研究科 マイク ロ・ナノシステム工学専攻 教授

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「○」「●」「・」が付された箇条書きは、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. プロジェクト全体に関する評価結果

1. 1 総論

1) 総合評価

垂直磁気記録の実用化以降、HDD (Hard Disk Drive ; ハードディスクドライブ) の高密度化が順調に進む一方で、従来技術の延長線上では高密度化が困難な段階にきているが、本プロジェクトにおいては、新システム提案が明確化され、予想以上の成果が得られている。具体的には、将来有望とされている熱アシスト磁気記録、マイクロ波アシスト磁気記録やビットパターン媒体に関して果敢に研究開発を進め、 $5[\text{Tb}/\text{in}^2]$ 以上の面記録密度実現のための要素技術の明確化を図った点は高く評価できる。

一方、各要素技術の可能性は示されたが、シミュレーション結果の実現性検証や要素技術統合による HDD 装置としての稼働可能性検証は残された課題である。要素技術の再現性、量産化に向けた歩留まり検討が今後必要である。また、最終製品の在るべき姿や使われ方を考慮し、開発技術仕様にフィードバックし、本プロジェクト成果の高密度記録技術を適用した製品を検討頂きたい。

〈主な肯定的意見〉

- 垂直磁気記録の実用化以降、HDD の高密度化が順調に進んだが、従来技術の延長線上では高密度化が困難となってきた。今後も高密度化を進めるには、新たな技術的ブレークスルーが必要となるため、このタイミングでこのプロジェクトにより重要な研究成果が得られたことは、とても有意義である。是非とも、このプロジェクトの成果を実用化に結びつけ、新たな技術を導入した大容量 HDD が市場に出回ることを期待する。
- 難しい開発時期にきているにもかかわらず、新システム提案が明確化され、予想以上の成果が得られている。
- 磁気記録技術の先行き見通しが不透明な中、将来有望とされている熱アシスト磁気記録、マイクロ波アシスト磁気記録やビットパターン媒体に関して果敢に研究開発を進めた事は大いに評価される。
- 本プロジェクトにて $5[\text{Tb}/\text{in}^2]$ 面記録密度を実現する要素技術検討と実験検証を行い、次々世代超大容量 HDD 実現に向けた展望を開いた。媒体、ヘッド、補助記録方式、アドレッシング、信号処理等を総合検討し、 $5[\text{Tb}/\text{in}^2]$ 以上の面記録密度実現のための要素技術明確化を図った点は高く評価できる。
- 国際的な開発状況も踏まえて次世代 HDD の要素技術を網羅しその優先度判断に基づいて規模の大きい開発を完了した。現状技術の単なる改良では届かない目標に対する技術開発を行ったもので、戦略的な確かな視点から

の研究開発計画の策定と認められる。ビットパターン媒体、熱アシスト磁気記録、マイクロ波アシスト磁気記録のいずれもが従来技術から原理的に大きな革新が必要なものであり、先端的な技術開発のアウトプットとして5[Tb/in²]の面記録密度を設定し極めて高い目標を掲げている。実際に記録デバイスを試作し実ドライブでのデモまで行って高い完成度でのプロジェクトを終えていることは極めて高レベルの達成度である。シミュレーションによる検討とデバイス試作による実験の両輪にわたる幅広い成果を含めて総合的に高く評価できる。

- 低コスト高性能ストレージに対する強い社会的ニーズにこたえる、大変時宜を得た事業であった。野心的な目標を掲げながらも、世界のトップレベルまたは世界を主導する成果を得たことで、当該産業における我が国の優位性確保に大きく寄与した。
- このプロジェクトが開始された2008年は、垂直磁気記録に基礎をおく次世代磁気記録方式としてビットパターン媒体、エネルギーアシスト磁気記録（マイクロ波アシスト磁気記録、熱アシスト磁気記録）のうちどれが実用化されるか不透明な状態であった。そのような中でビットパターン媒体、熱アシスト磁気記録、マイクロ波アシスト磁気記録による5[Tb/in²]、0.3[W/TB]という意欲的な目標を掲げ、数々のブレークスルーを通じてほとんどの項目で目標値を達成し、目標以上の成果を得た項目も多い。これは称賛に値する。

〈主な問題点・改善すべき点〉

- 各要素技術可能性は示されたが、要素技術統合によるHDD装置として稼働可能性検証は残課題である。また、各要素技術はポイントデータ検証に留まっている。要素技術再現性、量産化に向けた歩留まり検討が今後必要であろう。
また、関連産業界状況がプロジェクト発足当時と様変わりした。本プロジェクトで開発した基本要素技術の実用化を確実に進めることが望まれる。今後実用化を担う会社への技術伝承を確実に行うことが必要である。
- 本プロジェクトの必要性の明確化が必要；情報が爆発的に増大している今日、高密度磁気記録技術開発が情報ストレージにとって重要な事は理解できる。本プロジェクト成果を適用することにより、世界全情報量の内、収納情報量30%がどの程度増える、また、HDD台数換算でどの程度台数が減り、省電力効果がどの程度になるかなど簡単な算数で算出できるので、適用効果を明確化する事により本プロジェクトの必要性がより明確になると思う。

シミュレーション結果の実現性検証が必要；本プロジェクトの目指す処は非常に微細な領域で、現段階で実物製作、試作が困難な状況のものもあるため、拡大寸法の実物試作とシミュレーションも用いて本プロジェクト目標達成を図っている。シミュレーションはその仮定次第でどの様な計算でも可能であるため、シミュレーションに用いた仮定の信憑性と実現性の検討無しでは、本プロジェクト目標が達成できたとは言い難いと考える。本プロジェクト成果の高密度記録技術を適用した製品を真剣に検討すべき；高密度磁気記録技術開発が本プロジェクトの目標であるが、その製品化には様々な領域での開発課題が多く残されている。最終製品の在るべき姿や使われ方を思い描く事により開発すべき技術課題が変わるはずである。本プロジェクトの超高密度磁気記録技術が完成した暁にはどの様な最終製品（HDD）がどの様な形態でどの様に使われるとの想定から、開発すべき技術はこの様であれば良い、この様でなければならない、などの様に技術仕様が変化する。そのため、最終製品形態や使用状況を考慮して、開発技術仕様にフィードバックすべきと考える。

- 媒体技術、ヘッド技術、ナノドレッシング技術がそれぞれ今後の高密度化のためのブレークスルーとなる技術であることは理解でき、レベルの高い成果も得られているが、開発の難易度、課題が多いこともあり、実用化に向けた技術ロードマップが明確に確定されていないように感じられた。

〈主なその他の意見〉

- ・ 次世代 HDD 技術に関する開発内容はどの要素技術も高度化・大規模化しており、その開発投資が大きく個々の企業が負うには負担が非常に大きくなっている。一方で、情報ストレージは今後の情報産業とビッグデータ展開を支える大きな産業規模を成す重要技術であり、将来にわたって我が国の産業競争力を維持することはきわめて重要である。特に、この産業分野は日米で独占し続けており、韓国や中国はいったん参入しても撤退するなどアジア新興諸国の追随を許さない高度な技術分野である。我が国の情報産業が必ずしも世界をリードしているとは言えない中、従前より強みを持つハードウェアと垂直統合できる戦略が可能な情報ストレージ産業を育成することは国が行う施策として適切なものと考えられる。また、プロジェクト途中での大きな開発組織の大幅変更を余儀なくされたにも関わらず大きな成果を得ており、変化に対応して開発を続行したプロジェクトマネジメントの努力は高く評価される。
- ・ プロジェクトを開始した当時では予測困難な、産業界の大きな再編成（富士通、HGST）があった。そのような環境の中でプロジェクトをまとめ上

げた NEDO の担当者の皆様、プロジェクトリーダー、サブプロジェクトリーダーのリーダーシップは称賛できる。

- 本プロジェクトでは、技術目標として HDD 面記録密度目標と省電力目標を掲げている。これは技術の見方を変えた目標であろう。最終技術成果報告会では面記録密度観点での研究成果報告が中心で、省電力観点での報告は少なかった。NEDO プロジェクトとして、「省電力」目標を掲げているのであるから、省電力観点での結果報告もしっかり行っておくべきであろう。
- 技術の難易度が高く、製品化のためには、別の課題を解決する必要がでてくると予想されるが、引き続き実用化を目指して研究を継続してほしい。

2) 今後に対する提言

本プロジェクトの成果は、多くの要素技術からなっているが、これらが実際に実用化される時期は、要素技術によって異なるはずである。従って、今後は周辺技術の開発状況、競合企業の開発戦略などを踏まえながら、本プロジェクトの成果を実用化に結びつけるための企業における柔軟な実用化戦略が必要である。また、ナノテクやスピントロニクスなどの基盤技術から構築して実用技術における大きな成果を得ているが、実用化する段には製造設備開発、導入に莫大な資金と労力が必要になる。その様な状況の中で生き残るためには、各社のグローバルな「競争」と「協調」が必要と考える。今後世界的規模の産業展開を見据えた進め方も必要になる時期にきている。量産体制の確立に向けての効率的な投資のために引き続き、産学官連携体制によるしっかりした公的なサポートが望ましい。

これまでもスピントロニクスにおける再生ヘッドでの産業応用など HDD とストレージ産業は先端技術の受け皿として大きな産業規模を活用して技術の発展を支えてきている。本プロジェクトの成果をうまく育成・発展させることで、この分野での我が国の国際的なイニシアチブを取り戻していくことが重要である。日本がストレージ技術において、世界を先導していくためのシナリオとして、ストレージシステム全体を俯瞰し、他のメディアについても必要なタイミングでナショナルプロジェクトを計画的に実施していただくことを期待する。本プロジェクトに次ぐ、将来の技術リードビークルとなり得る新プロジェクトも NEDO 主体で検討頂きたい。

〈主な今後に対する提言〉

- 本プロジェクトの成果は、ビットパターン媒体、熱アシスト磁気記録技術、マイクロ波アシスト磁気記録技術など、多くの要素技術からなっている。これらが実際に実用化される時期は、要素技術によって異なるはずである。よって、今後は周辺技術の開発状況、競合企業の開発戦略などを踏まえながら、本プロジェクトの成果を実用化に結びつけるための企業における柔軟な実用化戦略が必要である。
- 具体的な技術開発が行われており着実な事業化につなげる段階に達している。ナノテクやスピントロニクスなどの基盤技術から構築して実用技術における大きな成果を得ている。これを今後の産業展開として根付かせる過程では、加工機やプロセス、材料などの幅広い裾野技術に他のナノテク分野や磁気デバイス産業への大きな波及効果を及ぼすことが期待できる。熱アシスト記録やビットパターン媒体など、プロジェクトで開発したいずれの技術も今後の産業応用には大きな設備投資をして加工機や試験機を備え

るべき分野である。量産体制の確立に向けての効率的な投資のために引き続きの産学官連携体制によるしっかりした公的なサポートが望ましい。

- HDD ベンダーは、全世界で僅か 3 社（HGST を 1 社とすれば 4 社）となっており、我が国のシェアは少ない。本プロジェクト技術を実用化する段には製造設備開発、導入に莫大な資金と労力が必要になる。その様な状況の中で生き残るためには、各社のグローバルな「競争」と「協調」が必要と考える。そのための枠組み作りなど、本プロジェクトの骨格が利用できないであろうか。
- 国策的に進めてきたが、今後世界的規模の産業展開を見据えた進め方も必要になる時期にきているので、その点の考慮が必要であろう。
- 米国では大容量ストレージ（HDD）を安全保障に関わる技術と捉えているとも聞く。市場規模からも、情報セキュリティの観点からも、日本の大容量ストレージが世界をリードするような施策やプロジェクトが継続されることを望む。
- 5[Tb/in²]面記録密度を実現するためのビットパターン媒体およびエネルギーアシスト記録方式は新規技術であり、産業的に応用するためにはこれら技術の信頼性、量産適応性ととも、これら技術に適合した信号処理技術や記録再生制御技術などの開発も必要となる。関連技術、周辺技術にも十分目を配って、プロジェクトで開発した基本技術の着実な実用化を今後推進して頂きたい。
- 日本は、ハードディスクのヘッド、媒体、モーター、などの要素技術は高い技術力があり、世界でも一定のシェアを確保できているが、汎用のシステム LSI についてはシェアが少ない。ビットパターン媒体の実用化には、新たな信号処理方式が必要という認識もあったため、信号処理分野の技術開発も望まれる。

〈主なその他の意見〉

- HDD の面密度はきわめて高く最先端の微細なビットサイズは真のナノテク領域である。本プロジェクトでは非常に高いレベルでの技術開発を終えている。熱アシスト磁気記録での近接場光技術、マイクロ波アシスト磁気記録や再生ヘッドでのスピントロニクス技術、ビットパターン媒体での自己組織化技術等、いずれもが国際的に見ても大きな優位性のある技術レベルに到達出来ている。これまでもスピントロニクスにおける再生ヘッドでの産業応用など HDD とストレージ産業は先端技術の受け皿として大きな産業規模を活用して技術の発展を支えてきている。本プロジェクトの成果をうまく育成・発展させることで、この分野での我が国の国際的なイニシ

アチブを取り戻していくことが重要である。

- 今回は、HDD の高密度化を推進するプロジェクトであったが、ストレージシステムではメディアが階層化され、キャッシュとしての DRAM (Dynamic Random Access Memory ; ダイナミック・ランダム・アクセス・メモリ)、MRAM (Magneto resistive Random Access Memory ; 磁気抵抗メモリ)、オンラインストレージとしての SSD (Solid State Drive ; 記憶媒としてフラッシュメモリを用いるドライブ装置)、HDD、ニアラインストレージとして低価格 HDD、オフライン、バックアップストレージの磁気テープ、光メディアなど HDD 以外にもさまざまな重要な記録メディアが存在する。日本がストレージ技術において、世界を先導していくためのシナリオとして、ストレージシステム全体を俯瞰し、他のメディアについても必要なタイミングでナショナルプロジェクトを計画的に実施していただくことを期待する。
- HDD に代表される情報記録は、情報通信、情報処理と並んで高度情報化社会の重要技術である。日本はこの技術分野発展で継続的な貢献をしており、現状、更なる技術発展を可能ならしめる技術的基礎能力を関連産業界は保有している。
技術の進展ではリーダーシップの発揮が必須である。本プロジェクトに次ぐ、将来の技術リードビークルとなり得る新プロジェクトも NEDO 主体で検討頂きたい。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

ストレージ産業の発展は、HDD 技術の飛躍的発展の成否に大きく依存するが、更に高密度化を進めていくためには、技術的なブレークスルーを必要としたため、更に企業の開発リスクは大きくなっていった。次世代の磁気記録技術は長い研究開発期間と巨額な投資が必要であり、NEDO の関与が必要であった。また、我が国の産官学の結集により、HDD 技術に一大変革をもたらそうとした本プロジェクトは、まさに NEDO が本来になうべき事業である。情報記録分野の国際的競争力を高める点でも本プロジェクトの優位性を認める。

〈主な肯定的意見〉

- 爆発的な情報量の増大により社会インフラとしてのストレージ技術の重要性は益々増大しているが、一方で、それを支えてきた HDD 技術はその従来技術の単なる延長では社会的ニーズを満たすことが出来なくなっていることも明らかになってきた。これにより、今後のストレージ産業の発展は、HDD 技術の飛躍的発展の成否に大きく依存することになったが、これは同時に、HDD 技術に関して現時点で幅広い優位性を保持している我が国ストレージ産業にとっても、その将来を左右する大きな変革期である。このようなタイミングにおいて、我が国の産官学の結集により、HDD 技術に一大変革をもたらそうとした本プロジェクトは、まさに NEDO が本来になうべき事業であった。
- 新たな技術開発には、装置などに多額の投資が必要となるため、企業は大きなリスクを負うことになる。日本の磁気記録分野での技術開発力は高い水準にあるが、コストなど競争も激しく、大企業でも生き残りをかけて競争を続けることは難しくなっている。特に HDD 分野では、今後も高密度化を進めていくためには、技術的なブレークスルーを必要としたため、更に企業の開発リスクは大きくなっていった。このような中、今回のプロジェクトは、ハードディスクドライブの次世代技術を開発する上で、大きな進展となったと評価できる。
- 5 [Tb/in²], 0.3 [W/TB] という当時としては困難な目標を掲げたこと、目標を達成し、事業化に目途をつけたことは IT およびナノテクノロジーの進展、エネルギー消費の面からも大いに評価できる。
次世代の磁気記録技術は長い研究開発期間と巨額な投資が必要であり、NEDO の関与が必要であったと思われる。
日本の産業界は HDD の部品に関与するところが多く、今回の成果が世界で 3.5 兆円という規模の産業 (HDD 装置、部品) に与える経済効果は、

投資に対しても十分に大きいと思われる。

- 本プロジェクトは IT およびエネルギーイノベーションに密接に関連する。NEDO が民間企業および関連公的機関を率先リードする意義は高い。技術成果が関連国内企業で実用化されることにより、企業利益や利便性の形で広く国民に還元されると考える。情報記録分野の国際的競争力を高める点でも本プロジェクトの優位性を認める。
- 磁気記録の高密度化が、当然 IT イノベーションプログラムに沿ったものであり、この点がエネルギー低減につながるが、そのみならずさらなるエネルギー低減の工夫と改良がなされている。
- HDD 産業は年間数億台の生産規模で数兆円に達し、データセンターなどの情報ストレージ産業については、それ以上の大きな産業であり、情報量が 5 年で 10 倍とも言われる急速な拡大を考えると今後の市場規模はますます拡大することが予想される。現在、ほぼ米国の独壇場であるこの分野に我が国が打って出ることが必要である。個々の HDD メーカーの企業育成というより我が国の情報産業の育成と捉えるべき状況である。
- 磁気記録技術は、先行きが混沌としている中、本プロジェクトで先行技術開発が大いに促進されたと考えられる。全世界の HDD 部品製造を支える日本企業が再委託先となっており、日本の先行技術力の向上が図られている。

〈主な問題点・改善すべき点〉

- プロジェクトにおけるというよりも HDD 開発の全般的な課題であるが、我が国の情報ストレージシステム産業との連携の基に、ストレージシステムとの位置付けから技術的に優位性の高いデバイス開発に取り組むメリットが大きいと考える。特長ある垂直統合型のストレージシステム技術が実現できれば米国企業に対抗できる大きな武器になる。
- プロジェクト発足当時と比べて国内の関連産業状況が変化した。ビジネス分野での世界規模の競合、国内生産のコスト増大、関連企業の経済的余裕度低下などが影響したと思われる。国内関連企業は世界レベルで高い技術力を持つが、ぜひ本プロジェクトで開発した技術の実用化等を通して成果を有効活用し、事業発展に結び付けて頂きたい。本プロジェクト推進者(企業、NEDO) は開発技術の実用化フォローを着実に行って頂きたい。
- 複数の企業が共同して行うプロジェクトでは、製品範囲が重複する場合、成果の波及範囲などが限定されないかが懸念される。

〈主なその他の意見〉

- ・ 現在取り組んでいる技術課題のハードルは高く国際的な競争状態にある。大きな産業的成功を予測させる技術開発が本プロジェクトで得られている。この技術的な優位性をビジネスチャンスに活用することが期待される。
- ・ 技術開発成果が生かせるかどうかは、技術のみならず経済・産業動向にも影響される。技術開発には成功したが、実用化利益は他国にシフトするケースも散見される。NEDOプロジェクト提案や推進において、経産省や関連省庁の将来計画や方針を考慮するなどの多面的で効率的な運用が望まれる。

2) 研究開発マネジメントについて

プロジェクトの途上で HDD 業界の大きな再編成（富士通、HGST）に見舞われたにも関わらず適切なプロジェクトの研究開発体制を維持して大きな成果を挙げた卓越したプロジェクトマネジメントは高く評価できる。本プロジェクト開始時点では、その開発目標はいささか挑戦的過ぎると思われたが、終わってみればまさに最適の目標設定であったことがわかる。中間評価を受けてその指摘を考慮した適切な方向修正もなされ、目標を達成したことは評価できる。

〈主な肯定的意見〉

- 研究開発マネジメントは、企業が磁気記録分野に関わり大きく変化していることに対して、十分な対応を行っている。
- プロジェクトの途上で大きな状況の変化に見舞われたにも関わらず適切なプロジェクトの研究開発体制を維持して大きな成果を挙げた卓越したプロジェクトマネジメントは高く評価できる。優れたリーダーシップと深い技術開発の洞察に基づくプロジェクト運営がなされた証左である。
- 本プロジェクト開始時点では、その開発目標はいささか挑戦的過ぎると思われたが、終わってみればまさに最適の目標設定であったことがわかる。とくに、マイクロ波アシスト磁気記録技術などは、米国企業に対する我が国企業の技術的優位性をもたらした目標設定であったと評価できる。HDD 関連企業が国際的に大きく再編された時期に行われた事業であったが、その情勢変化に対応した研究体制の変更が適切に行われ、高い成果を得ることに成功した。プロジェクトリーダーの指導力と推進部の対応を高く評価したい。
- 目標設定は他の技術ロードマップと比べても挑戦的な目標値となっており、中間評価を受けてその指摘を考慮した適切な方向修正もなされている。また、途中でプロジェクト構成企業の交代など計画変更があったが、その対応でも開発した技術の継承性など適切に管理できている。
- 目標設定は戦略的かつ困難であったが、目標を達成し、実用化・事業化に目途をつけたことは評価できる。当初の予算に加え、加速資金が有効に使われたと判断する。
- 本プロジェクト発足時と終了時では、推進企業および再委託先等の構成が大きく変化した。社会や経済情勢の影響で関連産業界は大きな変化を経験した。このような変化に対応して、本プロジェクトでは適切妥当なマネジメントが行われてきたことは高く評価される。推進企業構成に変化があったにも拘らず、当初設定した技術開発目標をほぼ達成している。
- 企業環境が目まぐるしく変化する中、本プロジェクト技術開発の遂行にあ

たりご苦労が多かった事と推察いたします。その様な中、多くの成果が得られている状況を見ると、十分なマネジメントが行われたと感じている。

〈主な問題点・改善すべき点〉

- 磁気記録分野の企業で海外企業が日本法人を作っている場合、このようなプロジェクトに加えるかどうかなどの判断を今後微妙に変える必要がありそうである。
- 実質的にはヘッドメーカーやディスクメーカーとの技術開発連携がなされているが、今後の産業化を踏まえるとプロセスや周辺技術を担当する幅広い企業群からなる裾野が形成されるものと予測される。このポテンシャルを持つ企業ができるだけ多く明示的に本プロジェクトへの研究開発へ参加があればなお望ましかった。
- 最終年度に大学・公的研究機関を一律的に外し、企業のみに絞ったのはいささか形式的過ぎる感がある。各要素技術の実用化時期に応じて、柔軟に判断すべきではなかったか。たとえば実用化までの時間がより長いと思われるメディア材料に関しては、最終年度まで産学官連携で技術を詰めたほうが、将来、実用化された時点での我が国の優位性をより高めることが出来たのではないかと思われる。
国際的な企業間の合従連携が普通となった時代において、NEDO 事業の評価をどのような観点から行うべきかを、明確にしていただけると良かった。
- 本プロジェクトは HDD 分野の重要将来技術開発を担当した。技術選択の主導権を握って将来の本命技術の流れを決定するためには、適切で効果的な技術情報発信が不可欠である。技術情報発信を行い、世界の技術潮流をリードする観点から本プロジェクト活動を見ると必ずしも十分ではない。特許を押さえ、コア情報は未公開とした上での継続的な情報発信可能性は十分にあったと思われる。日本が世界で技術リーダーシップを発揮するための、戦略的な技術広報が望まれる。NEDO でぜひ検討頂きたい。

〈主なその他の意見〉

- ・ プロジェクトを開始した当時では予測困難な、産業界の大きな再編成（富士通、HGST）があった。そのような環境の中でプロジェクトをまとめ上げた NEDO の担当者の皆様、PL、SPL のリーダーシップは称賛できる。
- ・ 本技術開発に関し、NEDO プロジェクトとほぼ並行して文科省プロジェクトが大学主体で推進された。産学で相乗効果を生み出す点で効果的であったと考える。重要技術開発における関連機関との連携は大切である。今後

もぜひ連携したプロジェクト推進を検討頂きたい。

3) 研究開発成果について

要素技術に関して、研究開発目標をほぼ達成する成果を挙げている。外部エネルギーを用いない、連続媒体を用いた垂直磁気記録方式（現状の HDD）と比べて優位性がある。磁気記録媒体、超高性能磁気ヘッドに関する研究成果は、いずれも世界トップレベルであり、HDD 技術の今後の方向を左右する重要成果である。また、高温動作を要して信頼性確認に注意を要する熱アシスト技術を代替できる記録方式として、マイクロ波アシスト磁気記録技術についてスピントルク発振素子とそのヘッド化技術という、もう一つの選択肢を与えることができたことは重要である。

一方、シミュレーションでの可能性の見極め段階であり、実現に至る道筋の明確化が必要である。要素技術を統合した状態での技術検証まで至っていないため、今後担当企業を中心に技術開発を継続し、5[Tb/in²]の記録再生可能性を HDD 統合技術として示すことが望まれる。また、競合企業への情報流出を防ぐために発表を抑えるという方針には理解できる点もあるが、キーテクノロジーを秘匿したままに、アピールをすることも可能なはずであり、この点の努力にもう少し力を入れて欲しかった。本プロジェクト以外の研究機関や研究者の関心を引き付けて、研究活動相乗効果を生み出すために広報活動は重要である。今後の NEDO プロジェクト推進において、戦略的に広報を活用頂きたい。

〈主な肯定的意見〉

- 要素技術に関して、研究開発目標をほぼ達成する成果を挙げている。技術成果はいずれも世界トップレベルであり、HDD 技術の今後の方向を左右する重要成果である。
- 次世代の垂直磁気記録技術として挙げられているビットパターン媒体、エネルギーアシスト磁気記録（マイクロ波アシスト磁気記録、熱アシスト磁気記録）のすべてが含まれており、海外の技術動向や投資を考慮した上で実用化（市場への投入）の順序まで検討されている。これらの成果によって、外部エネルギーを用いない、連続媒体を用いた垂直磁気記録方式（現状の HDD）と比べて優位性があり、HDD の市場拡大（シェア拡大）につながることを期待される。材料やシミュレーションなど、独自の高い技術を持った大学や公的機関に再委託することによって、開発の促進を行ってきた。
- 超高密度ナノビット磁気記録媒体、超高性能磁気ヘッドに関する研究成果は、世界的に見ても高い水準にあり、目標も達成できている。実用化までは、さらにいくつか課題もあると思われるが、世界に先駆けた、エネルギーアシスト記録方式を用いた超大容量 HDD の実現に向けて大きく進展で

きたのではないか。

- 目標は予想以上に次の磁気記録方式を示唆する成果をあげている。
- 媒体、ヘッド、システムのいずれの開発項目においても世界最先端の成果が上がっている。
- 何より目標である 5 [Tb/in²]の見通しをしっかりとつけている。現在 1 [Tb/in²]に向かう技術レベルであることを鑑みると、これは国際的に優位性の高い先端的な技術開発でありその達成度は高く評価できる。ビットパターン記録の開発では、ディスク媒体の自己組織化プロセス技術を開発して実際に 5[Tb/in²]のディスクを試作し、その微細構造の解析まで完了して実ドライブデモにつなげているのは卓越した成果である。高く賞賛したい。

〈主な問題点・改善すべき点〉

- 現実の試作品として目標が達成できたわけではない。シミュレーションでの可能性の見極め段階であり、実現に至る道筋が不透明で、明確化が必要。開発技術が海外からの諜報に曝されている事は認識しているが、本プロジェクトの成果を更に幅広く世間に公表すべきと考える。
- 要素技術を統合した状態での技術検証まで至っていない。今後担当企業を中心に技術開発を継続し、5[Tb/in²]の記録再生可能性を HDD 統合技術として示すことが望まれる。
- 競合企業への情報流出を防ぐために発表を抑えるという方針には理解できる点もあるが、本プロジェクトの成果が世界の最先端集団またはそれ以上に位置していることを広く一般にアピールすることは、国の予算を使った事業の有効性の認知には欠かせない。キーテクノロジーを秘匿したままに、アピールをすることも可能なはずであり、この点の努力にもう少し力を入れて欲しかった。熱アシスト磁気記録とマイクロ波アシスト磁気記録の実用化可能性に関する比較検討をもう少し詰めて欲しかった。

〈主なその他の意見〉

- ・ マイクロ波アシスト磁気記録技術についてスピントルク発振素子とそのヘッド化技術への取り組みは中間評価時点から大きく進んでおり高く評価できる。高温動作を要して信頼性確認に注意を要する熱アシスト技術を代替できる記録方式としてもう一つの選択肢を与えることができたことは重要である。
- ・ 本プロジェクト最終段階では、学会や報告会である程度の研究成果情報発信が行われたが、研究初期や中期における広報活動は、投資費用と研究従

事者数を考慮すると、必ずしも十分ではなかったように思われる。本プロジェクト以外の研究機関や研究者の関心を引き付けて、研究活動相乗効果を生み出すために広報活動は重要である。今後の NEDO プロジェクト推進において、戦略的に広報を活用頂きたい。

- 1社は論文や広報など対外的な発表に関しては「敢えて知らせない」という方針であり、結果から判断すると見事であった。他社は、これに比較すると論文発表や広報が非常に多かったように思われる。こちらも戦略としては見事であった。いずれも見事であったので、どちらが優れているか、という比較は意味が薄いと思われる。

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

技術的な難易度や資源の投入について順序を付けたうえで、実用化を検討している。特に熱アシスト磁気記録とマイクロ波アシスト磁気記録は競合他社の情報分析を含めてよく検討されており、実用化・事業化に向けた重要な成果が得られている。実用化・事業化については、日本有数の HDD 及び記録デバイスメーカーの研究体制としたことが大きな利点である。

一方、開発技術がどれも高い完成度を持つことはよく理解できるが、実用化・事業化を考えると技術的、経済的課題など解決すべき課題は多い。引き続き開発へ取り組んで、この成果を実用化・事業化できることを期待する。

〈主な肯定的意見〉

- 本プロジェクトでは熱アシスト磁気記録、マイクロ波アシスト磁気記録、ビットパターン媒体の技術的な難易度や資源の投入について順序を付けたうえで、実用化を検討している。特に熱アシスト磁気記録とマイクロ波アシスト磁気記録については他社の情報分析を含めてよく検討されており、実用化・事業化の順序を明確にしている。事業化・実用化がなされれば、容量の面からもエネルギー消費の面からも現状の方式 (HDD) を置き換えることにより大きな経済効果が見込まれる。
- 非常に難易度の高い研究課題であるエネルギーアシスト記録技術の開発に取り組み、目標を達成したことは評価できる。高精細映像での放送サービスやクラウドストレージなどのアプリケーション向けに、今後も HDD の大容量化の大きなニーズがある。この研究成果をもとに、熱アシスト記録とマイクロ波アシスト記録のどちらが次世代の高密度記録に適した記録方式かを適切に判断し、実用化に向けた技術ロードマップを作成できることを期待する。
- エネルギーアシスト磁気記録がいよいよ物になるかもしれないとの感を十分に抱かせる、実用化・事業化に向けた重要な成果が得られている。パターン化媒体にかんしては、まだ実用化までには時間がかかると思われるが、その実現に向けてナノ構造形成技術の基礎から、システムの検証まで行われたことは大きな前進である。
- 実用化・事業化については、日本有数の HDD 及び記録デバイスメーカーの研究体制としたことが大きな利点である。これまで多くの挑戦的な技術をモノにして量産化を成し遂げてきたドライブメーカーと先端的なデバイスを世界に先駆けて供給してきた実績を持つヘッドディスクメーカーとしての取り組みが期待できる。開発技術の選択にも、ビットパターン媒体に自己組織化プロセスを開発するなど量産性を強く意識した取り組み

である。

- 実用化・事業化の明確なプランが設定されている。
- 本プロジェクトで開発した媒体技術、ヘッド技術の実用担当企業は明確化されているように思われる。

〈主な問題点・改善すべき点〉

- 高密度磁気記録はこれまで一貫してグラニューラ型の記録媒体に磁界書込みを行う記録方式を用いてきた。次世代技術では、グラニューラ媒体を替えるか、単に磁界書込みだけでなくエネルギーアシストを用いるなど、大きな原理的な変更が必要である。本プロジェクトによる開発技術がどれも高い完成度を持つことはよく理解できるが、今後の量産化に向けて不測の課題が生じることはあり得る。引き続きの産学官の支援が必要なように考える。
- 研究開発成果の実用化・事業化に向けたシナリオが概念的で具体性に欠ける。実際に実用化するには、その生産規模、投資額、人員などの検討や設備発注、設置、立ち上げ期間などを考慮して、何時までにどうすると言う様な具体的な施策検討が必要。まだまだ先の話との思いで具体案が考えられていない。設備発注、立ち上げなどを考慮すると時間の余裕が無いと思う。
- 実用化・事業化への残された技術的、経済的課題などの検討およびその解決への道筋が具体的に示されているとは言い難い。
- 研究成果については目標達成度などについても高い水準であるが、実用化を考えるとまだまだ解決すべき課題が多い。引き続き開発へ取り組んで、この成果を実用化できることを期待する。
- 本プロジェクトの成果のみで実用化が可能になる性格の技術開発ではなく、実用化までにはさらに多くの開発が必要なはずである。必要に応じて、その援助も検討されたい。実用化された場合に本国家事業の寄与とその意義をアピールする方策を、最近の企業間の国際的合従連携の動きをも考慮しながら、NEDOとして引き続き検討してほしい。
- ビットパターン媒体は巨額な投資がからむこと、まだビジネスが数年後になることが予想されるため、事業化が不透明であることは否めない。
- エネルギーアシスト磁気記録方式として、熱アシスト方式とマイクロ波アシスト方式の2方式の可能性が示されたが、これら方式の優劣を決するに至っていない。両方式に対応した磁気ヘッドを試作して、記録再生実験を行って超高密度磁気記録方式としての優劣を決定する必要がある。これは必ずしも5[Tb/in²]面記録密度で行う必要はなく、1-2[Tb/in²]記録密度での実験でも可能である。プロジェクト終了後の検討になるが、ぜひ着実に推

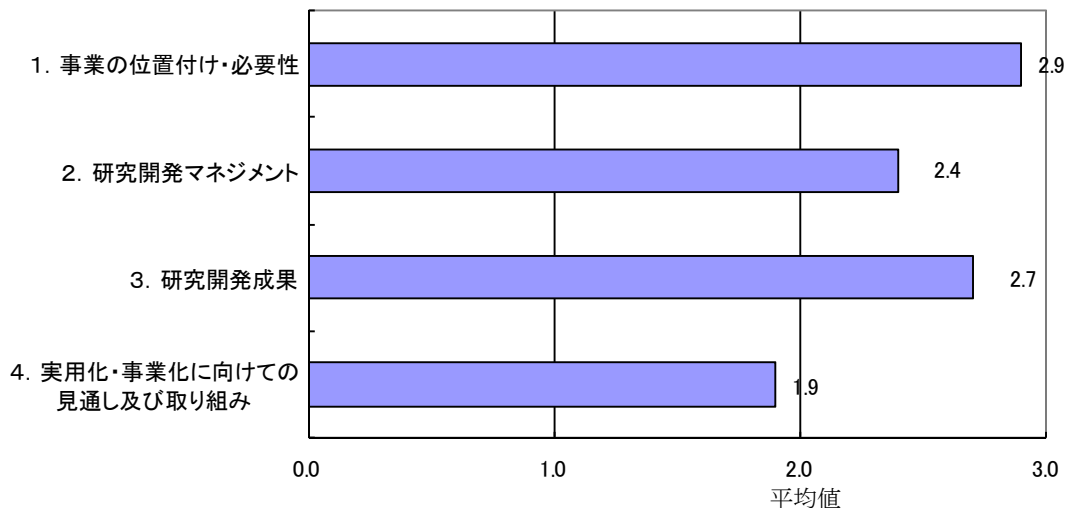
進頂きたい。

〈主なその他の意見〉

- シミュレーション技術を多用して技術的な目途をつけている項目が多い。シミュレーション結果からモノへの橋渡しに必要な新技術や精度向上など、表（おもて）に現れない多くの項目が積み重ねられていると思われる。
- 本プロジェクトを担当した主要 2 企業において、実用化シナリオとマイルストーン設定がなされている。直実に推進し、企業売上増大まで結び付けて頂きたい。

2. 評点結果

2. 1 プロジェクト全体



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	2.9	A	A	A	A	B	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	B	B	A	A	C	A	A	
3. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	C	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	1.9	B	A	B	B	D	B	B	

(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。

〈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 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発」
(グリーン IT プロジェクト)

事業原簿

2013. 11. 27

(公開版)

担当部室	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
------	--

－目次－

概要

プロジェクト・プログラム基本計画

技術戦略マップ

NEDO POST および事前評価書

プロジェクト用語集

I.	事業の位置付け・必要性について	
1	NEDO の関与の必要性・制度への適合性	・・・ I-1
1.1	NEDO が関与する事の意義	・・・ I-1
1.2	実施の効果（費用対効果）	・・・ I-5
2	事業の背景・目的・位置付け	・・・ I-7
II.	研究開発マネジメントについて	
1	事業の目標	・・・ II-1
2	事業の計画内容	・・・ II-2
2.1	研究開発の内容	・・・ II-2
2.2	研究開発の実施体制	・・・ II-9
2.3	研究の運営管理	・・・ II-16
2.4	研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメント	・・・ II-17
3	情勢変化への対応	・・・ II-17
4	中間評価への対応	・・・ II-18
5	評価に関する事項	・・・ II-20
III.	研究開発成果について	
1	事業全体の成果	・・・ III-1
2	研究開発項目毎の成果	・・・ III-4
3	特許、論文、外部発表等の件数	・・・ III-7
IV.	実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	
1	実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み	・・・ IV-1
2	波及効果	・・・ IV-3

概要

		作成日	平成25年10月25日			
プログラム(又は施策)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	超高密度ナノビット磁気記録技術の開発(グリーンITプロジェクト)	プロジェクト番号	P08010			
担当推進部/担当者	新エネルギー・産業技術総合技術開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部 松岡隆一、井谷 司(平成25年10月現在) 電子・材料・ナノテクノロジー部 木村淳一(平成22年6月～平成24年5月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 森本政仁(平成22年4月～平成23年9月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 上村哲也(平成20年6月～平成22年5月) 電子・材料・ナノテクノロジー部 有馬宏和(～平成22年4月) 電子情報技術開発部 田中健一(～平成20年5月)					
0. 事業の概要	データセンターにおける消費電力増大や市場ニーズの高度化に応えるため、低消費電力・小型・大容量のストレージ技術が求められている。そこで、現状のHDDの記録密度を1桁以上向上させる技術、すなわち、5 Tbit/inch ² 級の超高密度ハードディスクドライブの実現に向けた研究開発を行う。具体的には、超高密度ナノビット磁気媒体技術の開発、超高性能磁気ヘッド技術の開発、超高精度ナノアドレッシング技術の開発、ハードディスクドライブシステム化技術の開発を行い、将来的に2.5インチディスク1枚あたりの記録容量が3テラバイト以上、かつ、消費電力が0.3W/テラバイト以下となる超高密度ハードディスクドライブを量産するための基盤技術の確立を目指す。					
I. 事業の位置付け・必要性について	5 Tbit/inch ² の超高密度磁気記録のための要素技術開発を行い、地球温暖化対策へ貢献すること、ならびに、HDD分野における国際的イニシアチブの獲得を目指す。					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	HDDの記録密度を2007年(平成19年)レベルから1桁以上向上させる技術開発に取り組み、単位情報量当たりの消費電力量を2007年のHDDの数十分の一へと低減させることで、IT機器の大幅な省エネルギー化を達成して地球温暖化対策へと貢献するとともに、HDD分野における日本の国際的イニシアチブの獲得を目指すことである。 具体的には、HDDを構成する媒体、ヘッド、アドレッシング技術に関して革新的高度化を図り、それらを統合・集積化する技術開発に取り組む。平成22年度までに中間目標として2.5 Tbit/inch ² 、平成24年度までに最終目標として5 Tbit/inch ² 対応の個別要素技術を開発し、得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、単位情報当たりの消費電力を0.3W/テラバイト以下に低減可能であることを示す。					
事業の計画内容	主な実施事項 ①ナノビット磁気媒体 (1)微細加工技術 (2)記録性の検証 (3)界面技術 ②磁気ヘッド技術 (1)強磁場発生記録ヘッド (2)エネルギーアシスト機構 (3)高感度・高分解能再生ヘッド (4)ヘッド動作の検証 ③超高精度ナノアドレッシング技術 (1)超精密位置決め技術 (2)シミュレーション開発 ④ハードディスクドライブシステム化技術 (1)システム化とHDD性能の検証	H20FY	H21FY	H22FY	H23FY	H24FY

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	H20FY	H21FY	H22FY	H23FY	H24FY	総額
	一般会計	—	—	—	—	—	—
	特別会計 (高度化)	755 (実績)	1,012 (実績)	883 (実績)	950 (実績)	480 (実績)	4,081
	総予算額	755	1,012	883	950	480	4,081
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					
	プロジェクトリーダー	日立製作所 主管研究長 城石 芳博					
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載)	株式会社日立製作所 株式会社東芝(平成21年度以降) 日立グローバルストレージーズ、(平成23年9月まで) 富士通株式会社(平成20年度まで)					
情勢変化への対応	米国の HDD 関連研究プロジェクト(INSIC)の実用化を目指した開発方針転換、加速策の実施に伴い本プロジェクトの記録密度2.5Tbit/inch ² の熱アシスト記録磁気ヘッドに対応した熱アシスト媒体、ナノビット媒体におけるプロセス開発を加速し、これら媒体技術目標達成時期の1年前倒しを実施。						
評価に関する事項	事前評価	平成19年度実施 担当部 電子・情報技術開発部					
	中間評価	平成22年度 中間評価実施 担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部					
	事後評価	平成25年度 事後評価実施 担当部 電子・材料・ナノテクノロジー部					
III. 研究開発成果 について	<p>以下に研究開発項目ごとの成果をまとめる。 なお、以下では面密度の単位 Tbit/inch²は Tb/in²と略して表記する。</p> <p>研究項目①「超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発」</p> <p>(1) ナノビット微細加工技術の研究開発 2.5 Tb/in²(17nm ピッチ)の CoPt ビットパターン媒体および 5 Tb/in²(12 nm ピッチ)の FePt ビットパターン媒体を作製・評価した。後者においてナノビットの配置精度±4.5 nm および円周方向の無欠陥(SEM 10 万倍視野内)配列を確認した。これらの知見を基に、2.5 インチ径の媒体面内の 30 トラック以上において、面密度 2.5 Tb/in²相当のナノビット(面積 200 nm²程度)の位置決め精度が 3σ で 6.7 nm 以内で配列されたプロトドライブに搭載するナノビット媒体を作成した。また、自己組織化によるガイドパターン密度 9 倍化プロセスにより 6 Tb/in²相当の円周状配列ナノビットパターンを作製し、再委託先の HOYA で磁気異方性変調方式、日立製作所で磁化変調方式によるイオン注入技術を検討し、イオン注入技術が 5 Tb/in² 級ナノビット微細加工に適用可能である見通しを得た。</p> <p>(2) 単一ナノビット記録性の検証 ダイナミック磁気特性評価とシミュレーションにより、試作したナノビット媒体のばらつきおよび磁化反転性能を評価し、5 Tb/in² 級媒体において磁化反転が制御可能で、周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認した。磁性膜としては、2.5 Tb/in² 向け媒体仕様($K_u \geq 2.2 \times 10^7$ erg/cc)を満たす L₀ 型 FePtAg-C 規則合金グラニューラ媒体を開発した。また、ビットパターン媒体(Bit Patterned Media: BPM) 対応 L₀ 型 FePt 系規則合金連続膜を開発し、イオン注入技術によるナノビットパターン化の実現可能性を確認した。再委託先の東北工業大学及び秋田県産業技術センター(AIT)で傾斜異方性ナノビット媒体によるアシスト記録を検討し、5 Tb/in² 級単一ナノビット記録の可能性を得た。</p> <p>(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発 新規開発の FCAC 保護膜、Starfish 型潤滑膜の組合せで、ナノビット媒体(BPM)仕様である 1.6 nm の総膜厚でも、5 Tb/in² 級熱アシスト記録の実現に必要な信頼性(耐熱性、ヘッド浮上性)を確保できることを確認した。再委託先の名古屋大学では、ナノビット媒体界面評価技術として、MEMS を用いた局所部の摩擦特性計測法やナノ潤滑膜のせん断特性を定量的に計測するファイバーウォープリング法を開発した。また、ドライブプロセスによる埋め込みを選定し、2.5 Tb/in² 媒体で浮上量 7 nm のヘッド浮上確認、および 5 Tb/in² 媒体で表面凹凸±5 nm 以下を確認した。</p> <p>研究項目②「超高性能磁気ヘッド技術の研究開発」</p> <p>(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発 アシスト機構を組み込む記録ヘッド集積技術を構築した。再委託先の AIT では強磁場発生記録ヘッド磁極を設計し、5 Tb/in² 級熱アシスト記録に適した非対称型多面テーパ磁極形成技術を構築した。</p>						

	<p>(2) エネルギーアシスト機構の研究開発 高効率光導入機構及び近接場素子を集積した熱アシストヘッド内蔵スライダ、及びレーザ光源を内蔵スライダに搭載した熱アシスト集積ヘッドを試作した。また、パターンスリミング技術を用いたマイクロ波アシスト記録(MAMR)用微小スピントルク発振素子(STO)形成技術を構築し、6 Tb/in²級アシスト記録を可能とする15nm級素子で発振を確認した。再委託先の工学院大学では、主磁極とSTOとの磁氣的相互作用を考慮する統合シミュレータを開発し、STOを安定発振できることを検証した。</p> <p>(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発 高感度TMR素子でRA:0.3Ωμm², MR比:60~70%を実現し、2.5 Tb/in²級の高分解能再生を可能とする20nm以下の狭小トラック幅で規格化MR比0.9以上の低ダメージ加工が可能であることを確認した。また、新規ナノコンタクトMRセンサを試作し、2.5 Tb/in²の感度スペック(抵抗変化率35%、面抵抗0.15Ωμm²)を検証した。さらに信号処理の工夫で5 Tb/in²が可能であることをシミュレーション検証した。極薄3層構成センサヘッドを試作し、5 Tb/in²の再生分解能を確認した。</p> <p>(4) ヘッド動作の検証 熱アシスト集積ヘッドを用いて5 Tb/in²対応媒体への熱アシスト記録動作を確認した。またMAMR集積ヘッドで記録を行い、試作ヘッド搭載スライダで浮上量5nm以下の安定浮上動作を確認した。さらに、シミュレーション設計に基づき、極薄3層構成のヘッドを試作、周速5~20m/sでの5nm以下の浮上量と5 Tb/in²の再生分解能を確認した。</p> <p>研究項目③「超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発」</p> <p>(1) 超精密位置決め技術の確立 小型、高剛性熱駆動MEMSアクチュエータを設計・試作・評価し、超精密位置決め目標性能を確認した。また、位相差サーボパターンを具備した2.5 Tb/in²(17nmピッチ)のCoPtビットパターン媒体においてトラックフォロ잉精度4.4nmを確認した。</p> <p>(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発 5 Tb/in²向け位置決め制御系仕様及び流体振動低減目標を策定し、開発したシミュレーション及びアームサスペンション風乱の実測評価により、目標のナノアドレッシング仕様の実現可能性を確認した。</p> <p>研究項目④「ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発」</p> <p>(1) システム化とHDD性能の検証 再委託先の豊田工業大学で、狭トラック記録対応変復調方式と超高密度対応の積符号形式誤り訂正技術を組合せ、5 Tb/in²級HDDを可能とする信号処理方式を実現した。媒体/ヘッド/アドレッシング/信号処理などのナノビット個別要素技術の仕様に基づき2.5, 5 Tb/in²HDDシステムの概略仕様をシミュレーションにより策定・検証し、BPMへのアシスト記録により6-8 Tb/in²級HDDの実現可能性を確認した。また、ナノビット媒体の設計・試作、記録再生評価、アドレッシング性能評価を統合して行い、各要素技術の2.5 Tb/in²および5 Tb/in²に向けた方向性を各フェーズで明確化した。ナノビット媒体、ナノアドレッシング技術の個別要素技術をベースとしたHDDプロトタイプを試作し、原理動作を検証した。</p> <table border="1" data-bbox="475 1339 1386 1487"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>「査読付き」69件、その他・研究発表・講演 298件</td> </tr> <tr> <td>特許</td> <td>「出願済」146件(うち国際出願55件)</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表(プレス発表等)</td> <td>8件(新聞掲載11件、他9件)</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」69件、その他・研究発表・講演 298件	特許	「出願済」146件(うち国際出願55件)	その他の外部発表(プレス発表等)	8件(新聞掲載11件、他9件)
投稿論文	「査読付き」69件、その他・研究発表・講演 298件						
特許	「出願済」146件(うち国際出願55件)						
その他の外部発表(プレス発表等)	8件(新聞掲載11件、他9件)						
IV. 実用化、事業化の見通しについて	HDD業界・学会関係の専門家が集まるIEEE国際会議TMRC 2013での業界関係者による実用化時期アンケートで、本プロジェクトで開発した、マイクロ波アシスト、熱アシスト記録は2017年、ビットパターン媒体は2019年に実用化されるとの見通しが示された。以上から本プロジェクトの目標、成果は適切かつ先進的で、実用化は確実と考えられる。						
V. 基本計画に関する事項	<table border="1" data-bbox="475 1615 1386 2004"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成20年3月作成</td> </tr> <tr> <td>変更履歴</td> <td> 平成20年7月改訂(イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂) 平成22年6月改訂(平成22年度加速予算による最終目標達成年度の変更) 平成22年11月改訂(平成22年度加速予算による最終目標達成年度の変更) 平成23年2月改訂(開発成果促進財源の投入による最終目標達成年度の変更および最終達成目標の追加) 平成23年7月改訂(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法の改正に伴う改訂) 平成23年9月改訂(研究開発内容の絞り込みによる最終達成目標の変更) 平成24年3月改訂(開発成果促進財源の投入及び研究開発の効率化に伴う最終達成目標の変更) </td> </tr> </table>	作成時期	平成20年3月作成	変更履歴	平成20年7月改訂(イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂) 平成22年6月改訂(平成22年度加速予算による最終目標達成年度の変更) 平成22年11月改訂(平成22年度加速予算による最終目標達成年度の変更) 平成23年2月改訂(開発成果促進財源の投入による最終目標達成年度の変更および最終達成目標の追加) 平成23年7月改訂(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法の改正に伴う改訂) 平成23年9月改訂(研究開発内容の絞り込みによる最終達成目標の変更) 平成24年3月改訂(開発成果促進財源の投入及び研究開発の効率化に伴う最終達成目標の変更)		
作成時期	平成20年3月作成						
変更履歴	平成20年7月改訂(イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂) 平成22年6月改訂(平成22年度加速予算による最終目標達成年度の変更) 平成22年11月改訂(平成22年度加速予算による最終目標達成年度の変更) 平成23年2月改訂(開発成果促進財源の投入による最終目標達成年度の変更および最終達成目標の追加) 平成23年7月改訂(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法の改正に伴う改訂) 平成23年9月改訂(研究開発内容の絞り込みによる最終達成目標の変更) 平成24年3月改訂(開発成果促進財源の投入及び研究開発の効率化に伴う最終達成目標の変更)						

(A) プロジェクト基本計画

プロジェクト基本計画は、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と表記する）のプロジェクトを効率的かつ効果的に実施するために、次に掲げるプロジェクトの基本事項を定めたものである。

- ①プロジェクトの目的、目標及び内容
- ②プロジェクトの実施方式
- ③研究開発の実施期間
- ④評価に関する事項
- ⑤その他の重要事項

基本計画は、原則として全研究開発期間に亘り有効であるが、技術評価の結果や内外の研究開発動向・政策動向、研究開発予算の確保状況等の外部状況変化、あるいは研究体制、当該研究開発の進捗状況等の内部変化に応じて、適宜・適切にその内容を変更する。

本プロジェクト「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発（グリーンITプロジェクト）」の基本計画¹を次ページ以降に示す。

¹ 「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発（グリーンITプロジェクト）」基本計画：

(省エネルギー技術開発プログラム／高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム)
「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 (グリーン IT プロジェクト)」基本計画

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

地球温暖化問題は、世界全体で早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動と地球環境の調和を実現するためには、画期的な技術革新が求められている。

ブロードバンドの普及、IT 機器の高度化・設置台数の急激な増加に伴い、社会で扱う情報量は増大傾向にある。IT 機器が消費する電力も膨大な量が見込まれ、省エネルギー化が重要な課題となっている。海外においても、低消費電力化に向けて IT 関連企業の垣根を越えたコンソーシアムの動きが活発化しており、IT 機器に関する省エネルギー技術の開発は、産業競争力の観点からも重要な要素となっている。

その中でも、データセンターの消費電力削減は世界規模での喫緊の課題である。データセンターが消費する電力のうち、ハードディスクドライブ (HDD) の占める割合は 20%以上と比較的大きいため、HDD の単位情報量あたりの消費電力量の削減は主要な技術開発課題である。現状の HDD の記録密度を 1 桁以上向上させる技術、すなわち、数 Tbit/inch² 級の超高密度化を実現できれば、データセンター内の HDD 台数の縮減や HDD の小型化が進むと考えられ、またその結果、冷却装置の必要量も低減すると考えられるため、データセンター全体の消費電力を 20%以上削減できると期待される。また、超高密度化の実現は、情報家電やパーソナルコンピュータ等の分野でも大きな波及効果が期待できる。現在、中型 HDD 分野においては我が国が非常に高いシェアを保有しているが、米国・韓国・シンガポールなどでの国家的な支援に基づく高密度記録技術開発が推進されていることや、さらには、省エネルギーに関する技術開発の重要性が増大していることから、HDD を超高密度化する技術開発を行い、HDD 技術を強化することは産業競争力強化の観点からも重要である。

したがって、本プロジェクトは、「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」の一環として、HDD の記録密度を現状レベルから 1 桁以上向上させるための技術開発に取り組み、単位情報当たりの消費電力を既存の HDD の数十分の一程度にすることで、IT 機器の大幅な省エネルギーを達成して地球温暖化対策へ貢献すること、ならびに、HDD 分野における国際的イニシアチブの獲得を目指すことを目的とする。

(2) 研究開発の目標

HDD を構成する媒体、ヘッド、アドレッシング技術に関して革新的高度化を図り、それらを統合・集積化する技術開発に取り組む。平成 22 年度までに中間目標として 2.5Tbit/inch²、平成 24 年度までに最終目標として 5 Tbit/inch² 対応の個別要素技術を開発し、得られる各性能値をもとに HDD 性能を検証し、単位情報当たりの消費電力を 0.3 W/テラバイト以下に低減可能であることを示す。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

[委託事業]

- ① 超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発
- ② 超高性能磁気ヘッド技術の研究開発
- ③ 超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発
- ④ ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、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。）が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託して実施する。

また、研究体には NEDO が委嘱する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として、株式会社日立製作所 研究開発本部 主管研究長 城石 芳博氏を置き、密接な関係を維持し、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 20 年度から平成 24 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度、事後評価を平成25年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取り扱い

① 成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

② 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第26条の規定等に基づき、原則として、すべて受託先に帰属させることとする。

なお、各国の高密度記録技術開発の動向を踏まえ、国際競争力強化に繋がる省電力消費技術・システムに係る知財管理を適切に行うこととする。

(2) 基本計画の変更

NEDO は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ニに基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成20年3月制定。

(2) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

(3) 平成22年6月、平成22年度加速予算による最終目標達成年度を変更。

- (4) 平成 22 年 11 月、平成 22 年度加速予算による最終目標達成年度の変更
- (5) 平成 23 年 2 月、開発成果促進財源の投入による最終目標達成年度の変更および最終達成目標の追加
- (6) 平成 23 年 7 月、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法の改正に伴う改訂
- (7) 平成 23 年 9 月、研究開発内容の絞り込みによる最終達成目標の変更
- (8) 平成 24 年 3 月、開発成果促進財源の投入及び研究開発の効率化に伴う最終達成目標の変更

研究項目① 「超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

HDD の記録密度の向上は、既存の媒体構造である連続膜あるいは分離トラックなどに基づく技術改良ではその実現は困難であると考えられており、新規媒体構造、それに対応する新規磁性材料など大きな技術革新が必要である。

数 Tbit/inch² の実現のためには磁気記録領域のサイズを一辺 10nm 程度、あるいはそれ以下に微細化が必要だが、磁性体積の微小化に伴って、現行の媒体材料では保磁力が不十分となる問題が発生する。その解決のためには、より高い保磁力を達成する新規磁性材料、ならびに、極微小孤立磁性領域（ナノビット）間の磁氣的干渉を抑制するための非磁性材料を開発した上で、超高密度かつ均一に配列したナノビット構造に加工する技術確立することが必要である。媒体表面のナノレベルでの平滑化技術や媒体表面に存在する付加機能層（表面保護膜、潤滑剤など）の革新もヘッドの超低浮上安定動作と信頼性の高い媒体-ヘッドインタフェースを保証するために必要である。さらに、付加機能層の材料はアシストエネルギーの照射にも十分な耐性を有することが求められるため、新規材料開発が望まれる。したがって、上記を充足する超高密度ナノビット磁気媒体の技術開発が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

媒体材料、製膜プロセス、加工技術、ならびに、媒体磁気特性、記録再生特性や媒体界面における媒体-ヘッドインタフェースなどに関わる各種シミュレーションを通じて媒体について必要材料特性や構造の仕様を明確化した上で、5 Tbit/inch² の記録面密度を実現するための超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発を行う。

(1) ナノビット微細加工技術の研究開発

ナノビットの面積を 100nm² 程度以下とするための媒体微細加工技術及び高精度配置加工技術の開発を行う。あわせて、ナノビットの大面積生成技術の開発を行う。

(2) 単一ナノビット記録性の検証

ナノビット媒体に適応した高保磁力磁気材料の開発を行い、単一ナノビットにおける磁化反転を通じてナノビット媒体における磁気情報の記録可能性を検証する。

(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発

ナノビット媒体に照射されるアシストエネルギーの散逸を適切に制御し、かつ、ナノビット間の磁氣的干渉の防止を可能とする非磁性材料の開発に取り組み、5nm 以下の超低浮上条件でのヘッド安定浮上を達成するための媒体表面平滑化技術、耐エネルギー性と機械的強度に優れた新規保護膜、耐エネルギー性に優れており飛散性の少ない新規潤滑剤、などのディスク界面関連技術について総合的に研究開発を行う。

3. 達成目標

(1) ナノビット微細加工技術の研究開発

シミュレーションを通じて媒体に関わる材料や構造の仕様を明確化した上で、平成 22 年度までに 2.5 Tbit/inch² の面密度に対応するナノビットが面積 200 nm² 程度、かつ、±7nm 以内の位置決め精度にて加工でき、平成 23 年度までに 5 Tbit/inch² の面密度に対応するナノビットが面積 100 nm² 程度、かつ、±5 nm 以内の位置決め精度にて円周配列構造をもって加工できることを示す。また、2.5 インチ径の媒体面内における少なくとも 3 トラックで前記特性を確認する。平成 24 年度までに 2.5 インチ径の媒体面内における少なくとも 30 トラックで 2.5 Tbit/inch² の面密度に対応するナノビットが面積 200 nm² 程度、かつ、±7nm 以内の位置決め精度にて加工できる事を確認する。

(2) 単一ナノビット記録性の検証

シミュレーションを通じて媒体に関わる材料や構造の仕様を明確化した上で、平成 22 年度までに 2.5 Tbit/inch² の面密度、平成 23 年度までに 5 Tbit/inch² の面密度にそれぞれ対応するナノビットにおいて、磁化反転が制御可能で、かつ、その際に当該ナノビットの周辺ナノビットにおける磁気情報には影響がないことを確認する。

(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発

平成 22 年度までに 2.5 Tbit/inch² に対応する 2.5 インチ径のナノビット媒体面内の 100 トラックにおける表面凹凸が±10nm 以内の範囲となるよう開発を行う。また、アシストエネルギーの散逸を適切に制御し、ナノビット間の磁氣的干渉の抑制を可能とする非磁性材料の開発や新規表面保護剤、新規潤滑剤などの開発にも取り組み、5 Tbit/inch² に対応するナノビット媒体界面の確立に向けて見通しを得る。それらの成果、ならびに、媒体-ヘッドインタフェースに関わるシミュレーション結果などを活用し、平成 23 年度までに 5 Tbit/inch² に対応する 2.5 インチ径のナノビット媒体における表面凹凸は±5nm 以内の範囲となるよう開発を行う。また、媒体表面に付加機能層（表面保護膜、潤滑剤など）を付与する場合は、ヘッドの安定低浮上動作と磁気情報の記録／再生を阻害することがないように、当該層が十分薄くかつ均一に作製可能で、さらに、ヘッドの安定低浮上動作やアシストエネルギー照射に対して十分な耐性を有すること。

研究項目② 「超高性能磁気ヘッド技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

媒体の革新に伴って、記録/再生ヘッドの革新も求められる。より高い保持力を持つ媒体材料に対する磁気記録は従来の手法では実現困難となるため、ナノビットへの記録の際に、例えば、光もしくはマイクロ波などを磁場と共に瞬間的に照射する等のエネルギーアシスト技術の適用が考えられる。5 Tbit/inch²の面密度に対応した超高性能磁気ヘッドは、高磁場発生磁極、エネルギーアシスト機構、高感度・高分解能磁気検出素子等の技術開発も必要となる。

2. 研究開発の具体的内容

媒体-ヘッドインタフェースやヘッドの加工、また、ナノビットに対する磁気情報の記録/再生に関わるシミュレーションや媒体開発を踏まえて、ヘッドに要求される詳細仕様を明確化した上で、5 Tbit/inch²の面密度に対応した超高性能磁気ヘッドを開発する。

(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発

エネルギーアシスト技術等を援用しつつ、ナノビット媒体に対して十分大きな記録磁場を発生し、5 Tbit/inch²の記録面密度で磁気記録を行うことのできる強磁場発生記録ヘッド技術の研究開発を行う。

(2) エネルギーアシスト機構の研究開発

上記の強磁場発生記録ヘッドにエネルギーアシスト機構を搭載するにあたり、磁場とアシストエネルギーの印加される空間的領域、さらに、両者が印加されるタイミングの制御も極めて重要な開発課題となる。その点を踏まえた研究開発を行い、記録面密度5 Tbit/inch²のナノビット媒体に対してエネルギーアシスト型磁気記録を行うことが可能な素子の開発を行う。

(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発

5 Tbit/inch²の記録面密度で磁気情報が記録されたナノビット媒体の磁気再生を行うための再生ヘッド実現に向け、ナノビットの微弱磁気特性を高分解能、高感度で検出する超高性能磁気抵抗素子の開発を行う。

(4) ヘッド動作の検証

開発する超高性能磁気ヘッドが、5 Tbit/inch²のナノビット媒体に対して適用可能であることを検証する。具体的には、高磁場発生磁極、エネルギーアシスト機構、高感度磁気検出素子を搭載する超高性能磁気ヘッドの加工・集積化・制御に関わる技術の開発を踏まえて、超高性能磁気ヘッドの動作を検証する。

3. 達成目標

(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発

記録用素子に関して、平成 22 年度までに磁場出射口から 5kOe 以上の磁界強度を発生できる素子技術を確認すると共にヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認し、平成 24 年 9 月までにマイクロ波アシスト機構を併用し、5 Tbit/inch² 対応のサイズのナノビットに記録可能な磁場強度を発生できることを示す。さらに、6Tbits/inch² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。

(2) エネルギーアシスト機構の研究開発

平成 22 年度までに強磁場発生記録ヘッドによる印加磁場領域とエネルギーアシスト機構によるエネルギー照射領域を空間的に適切な位置関係に合わせ込むための基本技術を確認する。平成 24 年 9 月までに 5 Tbit/inch² に対応する磁気ヘッドにより印加磁場領域とマイクロ波アシスト機構によるマイクロ波照射領域が空間的に適切な位置関係に合わせ込まれ、その条件下において単一ナノビットの磁化反転が可能であり、また、それぞれの照射に際して周辺ナノビットにおける記録情報には影響がないことを確認する。さらに、パターンスリミング技術を用いたマイクロ波アシスト素子の微細化により、6Tbits/inch² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。

(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発

平成 22 年度までに 5 Tbit/inch² の面密度に向けて磁気検出感度、もしくは、S/N 比の達成を見通すことができる再生原理・素子構造について、検討を行い、ヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認し、平成 24 年 9 月までに高感度・高分解能の再生ヘッドを作製し、5 Tbit/inch² 対応サイズのナノビットにおいて磁気情報が再生できる性能を有することを示す。

(4) ヘッド動作の検証

媒体-ヘッドインタフェースやヘッドの加工、また、ナノビットに対する磁気情報の記録/再生に関わるシミュレーションや媒体開発を通じてヘッドに要求される詳細仕様を明確化した上で、平成 22 年度までに記録ヘッド、再生ヘッドの両方を搭載する 1 つのスライダ、もしくは、各々を独立に搭載する 2 つのスライダが、周速 5~20m/s で高速回転する磁気媒体上において浮上量 10nm 以下で安定浮上し、かつ、2.5 Tbit/inch² に対応するナノビットに対して記録と再生を検証する。平成 24 年 9 月までにマイクロ波アシスト機構付き記録ヘッド、再生ヘッドの両方を搭載する 1 つのスライダ、もしくは、各々を独立に搭載する 2 つのスライダが、周速 5~20m/s で高速回転する磁気媒体上において浮上量 5nm 以下で安定浮上し、かつ、5 Tbit/inch² に対応するナノビットに対して記録と再生ができる性能を有することを示すことを目標とする。

研究項目③ 「超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

5 Tbit/inch²の面密度に対応した超高性能ヘッドを面積 100nm²程度以下のナノビット一つ一つに、超高精度、かつ、超高速で同期アクセスさせるためには、適切なスライダに搭載された超高性能ヘッドが周速 5~20m/s で高速回転するナノビット磁気媒体上で数 nm 程度の浮上量にて安定浮上することのみならず、当該条件下において少なくとも 5nm 以内の超精密位置決め精度をもって所望のナノビットにヘッドをアクセスさせることのできる超高精度ナノアドレッシング技術の開発が必須となる。そのためには、デバイスの加工精度が重要であることは言うまでもないが、それに加えて、超高精度な時空間的制御技術が要求されるため、ナノ精度アクチュエータの開発、ならびに、超高速サーボ技術や記録タイミング制御機構の開発も必要となる。

なお、プロジェクト終了後に実用化に向けた研究開発を行うことも念頭に置いて、各要素技術は低消費電力特性、他部品・技術との接続性や信頼性に優れ、かつ、量産可能なものであることが望ましい。また、ナノアドレッシングに関わるシミュレーション技術の発展はナノスケールデバイスの許容製造マージンの高確度予測など将来の実用化に直結するものとしても期待される。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 超精密位置決め技術の確立

5 Tbit/inch²の記録/再生に対応するシステムを実現するため、超高性能ハイブリッド磁気ヘッドを超精密位置決め精度をもって所望の単一ナノビットへ同期アクセスさせることができるナノアドレッシング技術、すなわち、ナノ精度アクチュエータの開発、ならびに、超高速サーボ技術や記録タイミング制御機構の開発を行う。

(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発

5 Tbit/inch²の記録/再生に対応するシステムを実現するため、ナノメートルオーダーの動的位置制御技術の確立に向けたナノアドレッシングに関わるシミュレーション開発（位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析、さらに、熱・磁気・振動の連成解析など）も併せて行う。

3. 達成目標

(1) 超精密位置決め技術の確立

平成 22 年度までに超高密度ナノビット媒体、超高性能磁気ヘッド技術開発の成果進捗も踏まえながら、ナノビットアドレッシングの実用化に向けた開発手段・方向性の明確化を図る。具体的には、シミュレーション解析に基づき、ナノ精度アクチュエータ機構と超高

速サーボ技術の開発を進め、それらを統合することにより、平成 22 年度までに 2.5 Tb/inch² 級 HDD を模擬した環境において、ナノビット媒体に対し浮上量 7 nm 以下で安定浮上するヘッドが、動径方向共に 10 nm 以内で動的 position 制御できることを確認する。 (2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発

平成 22 年度までに位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析、および、熱・磁気・振動の連成解析などナノアドレッシングに関わる解析を行うシミュレーションツールの開発を進め、媒体、ヘッド技術開発の成果進捗も踏まえながら、ナノビットアドレッシングの実用化に向けた開発手段・方向性の明確化を図る。また、平成 24 年度までに HDD の動的 position 制御条件を模擬したシミュレーションにおける空間分解能が 2 nm 以下で行えることを検証の上、5 Tbit/inch² の面密度に対応したナノビット媒体へのナノアドレッシング技術のためのシミュレーション技術を確立する。

研究項目④ 「ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

5 Tbit/inch²の記録面密度実現にあたっては、媒体・ヘッド・アドレッシング技術それぞれの革新に基づく高度化が不可欠であるのみならず、それら個別要素技術の到達技術レベルを見極めながら、いかにハードディスクドライブとして機能させるかという問題を解決するための摺り合わせ技術やシミュレーション技術など、個別要素技術を統合するハードディスクシステム化のための技術開発が必須である。したがって、超高密度・小型・低消費電力動作ハードディスクドライブ実現に向け、各部材・部品を統合・集積化するためのシステム化技術については本プロジェクトの主要な課題として位置づけ、個別要素技術の組み上げによる実用性検証を目標達成のための必要条件とする。

2. 研究開発の具体的内容

(1) システム化と HDD 性能の検証

本プロジェクトにおける超高密度ナノビット磁気媒体・超高性能ハイブリッドヘッド・超高精度ナノアドレッシング技術は5 Tbit/inch²の記録密度を持つHDDの実現という観点から見れば独立した開発要素ではなく、相互に影響を及ぼしあうものである。したがって、上述の個別要素技術の設定目標は必要条件ではあるが、十分条件ではなく、個別要素の動作や機能を機動的に連携させる制御技術の確立、および、その連係動作を確認することが求められる。5 Tbit/inch²の記録面密度を有する超大容量・小型・省電力動作ハードディスクドライブの実現に向けたHDDインテグレーション技術の開発を行い、プロジェクトの目標達成を図る。

3. 達成目標

(1) システム化と HDD 性能の検証

平成22年度までに、超高密度ナノビット媒体、超高性能磁気ヘッド、超高精度ナノアドレッシング技術の個別要素技術を2.5 Tbit/inch²レベルで達成すると共に、位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析などを行うシミュレーションを整備し、省電力性・他部品・技術との接続性・信頼性・量産性などの点も考慮して、最終目標に向けた研究開発の手段と方向性を具体的に確認する。それを踏まえ、平成24年度までに5 Tbit/inch²の磁気記録に対応する超高密度ナノビット媒体と超高性能ハイブリッド磁気ヘッド、超高精度ナノアドレッシング技術、または、それらの組み合わせによって得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、5 Tbit/inch²の磁気記録密度(2.5インチディスク1枚での記憶容量としては3テラバイト以上)、かつ、アクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力が0.3W/テラバイト以下(現状の3.5インチHDD製品に対して、1/50以下に相当)の実現が図れることを検証する。更に、上記の個別要素技術をベースとしたHDDプロトタイプを試作し、原理動作を検証する。さらに、統合シミュレーションにより6 Tbit/inch²級記録のフィージビリティを確認する。

(B) イノベーションプログラム基本計画

経済産業省が実施している研究開発プロジェクトは、7つの政策目標のもとにまとめられ、市場化に必要な関連施策（規制改革、標準化等）と一体となった施策パッケージである「イノベーションプログラム」として推進されている。本プロジェクト（「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発（グリーンITプロジェクト）」）は、そのうち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一環として実施されている。この2つのイノベーションプログラム基本計画²のうち、本プロジェクトに関係ある部分を中心に抜粋したものを次ページ以降に示す。

なお、「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発（グリーンITプロジェクト）」は、次のプログラムの一部として実施するものである。

- ・ ITイノベーションプログラム基本計画
 - Ⅱ. 省エネ革新
 - [i] 情報ネットワークシステムの徹底的省エネの実現
 - (2) グリーンITプロジェクト

- ・ エネルギーイノベーションプログラム基本計画
 - 4-I 総合エネルギー効率の向上
 - 4-I-iv. 省エネ型情報生活空間創生技術
 - (2) グリーンITプロジェクト

² イノベーションプログラム基本計画(経済産業省): <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90427b18j.pdf>

(抜粋)

平成 21・03・23 産局第 2 号

平成 2 1 年 4 月 1 日

I T イノベーションプログラム基本計画

1. 目的

我が国が目指す高度情報通信ネットワーク社会の構築に向け、経済成長戦略大綱、I T 新改革戦略、科学技術基本計画及び技術戦略マップ等に基づき、情報化の進展に伴うエネルギー消費量の増大等の課題にも考慮しつつ、その基盤となる情報通信機器・デバイス等の情報通信技術を開発し、実社会への利用を促進する。また、情報システム・ソフトウェアについて品質、信頼性及び生産性の向上を推進し、組込みソフトウェア産業強化、オープンソースソフトウェアを安心して活用するための環境整備、独創的な人材の発掘等、我が国産業競争力強化のための必要な基盤整備を実施することによって、I T の利活用の深化・拡大を図り、より豊かな国民生活を実現するとともに、我が国の経済活力の向上を図ることを目的とする。

2. 政策的位置付け

- 「経済成長戦略大綱」(2006年7月財政・経済一体改革会議。2007年6月改訂・経済財政諮問会議報告、2008年6月改訂・経済財政諮問会議報告)

I T 革新による競争力強化、I T 革新を支える産業・基盤の強化に必要な研究開発の推進に対応

- 「第3期科学技術基本計画」(2006年3月閣議決定)

国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点推進4分野である情報通信分野、分野別推進戦略(2006年3月総合科学技術会議)における重点分野である情報通信分野に位置づけられるもの。

- 「I T 新改革戦略」(2006年1月高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部)

次世代のI T 社会の基礎となる研究開発の推進等に対応。「I T による地域活性化等緊急プログラム」(2008年2月)、「I T 政策ロードマップ」(2008年6月)、「重点計画-2008(2008年8月)」等を策定。

3. 達成目標

- (1) 情報経済社会を形成する上で必要不可欠な基盤技術である情報通信機器・デバイス等に関しては、「革新的な技術の確立」と「その開発成果の普及促進」を図る。

【目標】

- ・情報通信機器・デバイス産業の付加価値額を、2020年度において、2008年度比で、約50%増加させる。
- ・半導体の微細化に係る革新的基盤技術の開発(テクノロジーノード45nm以下)
- ・革新的な大型ディスプレイ技術の開発(消費電力を現状機器と比較して約50%以下)

- ・革新的なネットワーク機器技術の開発（消費電力を現状機器と比較して60%以下）

(2) 経済社会システムの信頼性確保に大きく寄与する情報システム・ソフトウェアに関しては、品質、信頼性及び生産性の向上や産学官の開発リソースの連携強化により、「人材育成」と「ソフトウェア工学の開発」等を積極的に推進する。

【目標】

- ・情報サービス・ソフトウェア産業の付加価値額を、2015年度において、2004年度比で、約25%増加させる。
- ・組み込みシステム等の不具合発生率（2011年度までに2006年度比50%減）

4. 研究開発内容

[プロジェクト]

I. ITコア技術の革新

[i] 世界最先端デバイスの先導開発

- (1) 次世代半導体材料・プロセス基盤プロジェクト (MIRAI) (運営費交付金)
- (2) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発 (MIRAI) (運営費交付金) (再掲)
- (3) ドリームチップ開発プロジェクト (運営費交付金)
- (4) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発 (運営費交付金)
- (5) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発ーうち新材料・新構造ナノ電子デバイス (再掲)
- (6) スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト (運営費交付金) (再掲)
- (7) 半導体機能性材料の高度評価基盤開発 (運営費交付金) (再掲)

[ii] 半導体アーキテクチャの革新

- (1) 半導体アプリケーションチッププロジェクト (運営費交付金) (再掲)
- (2) 次世代回路アーキテクチャ技術開発事業

[iii] 光技術の革新利用

- (1) 低損失オプティカル新機能部材技術開発 (運営費交付金) (再掲)
- (2) 次世代光波制御材料・素子化技術 (運営費交付金) (再掲)
- (3) 三次元光デバイス高効率製造技術 (運営費交付金) (再掲)

II. 省エネ革新

[i] 情報ネットワークシステムの徹底的省エネの実現

本プロジェクト

- (1) グリーンITプロジェクト (運営費交付金) (再掲)
- (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発 (運営費交付金) (再掲)
- (3) 次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業 (再掲)

[ii] 情報機器の徹底的省エネの実現

(1) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

②技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

[iii] 省エネを支えるプロセス基盤技術

(1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発（運営費交付金）（再掲）

Ⅲ. 情報爆発への対応

ITの利活用による知の創造

- (1) 情報大航海プロジェクト
- (2) ITとサービスの融合による新市場創出促進事業

Ⅳ. 情報システム・ソフトウェアの安全性・信頼性・生産性の向上とオープンスタンダードの普及推進

- (1) セキュアプラットフォームプロジェクト
- (2) 産学連携ソフトウェア工学の実践（運営費交付金を含む）
- (3) オープンソフトウェア利用促進事業（運営費交付金）
- (4) IT投資効率向上のための共通基盤開発プロジェクト
- (5) ITSの規格化事業（第2フェーズ）

5. 政策目標の実現に向けた環境整備

【法律】

- ・ 情報処理の進行を目的に、昭和45年に情報処理の促進に関する法律が制定。
- ・ 半導体集積回路の回路配置の適正な利用の確保を目的に、昭和63年に半導体集積回路の回路配置に関する法律が制定。

【税制】

- ・ 情報セキュリティ強化を確保しつつ生産性の向上を図るためのIT投資に対し、35%特別償却又は7%税額控除（情報基盤強化税制）。
- ・ ソフトウェアを含む機械装置等に対し、30%特別償却又は7%税額控除（中小企業投資促進税制）。

【国際標準化】

各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。特に、産学連携ソフトウェア工学の実践における組込みソフトウェア開発については、国際標準の動向を踏まえた開発を促進することにより、プロジェクトの成果の幅広い普及を促進する。

【関係機関との連携】

各プロジェクトのうち、研究開発を効率的・効果的に推進する観点から関係機関との連携が必要なものについては、これを積極的に行う。

但し、関係機関が行う研究開発等の独自性を妨げるものではない。

【導入普及促進】

成果の普及を図るため、これまでの終了プロジェクトの成果の全部または、一部についてはオープンソースソフトウェアとして公開する。また、高信頼な組込みソフトウェアの開発では、ソフトウェアエンジニアリングセンター（SEC）において提供される各種エンジニアリング手法を開発現場に適用し、当該技術の効果を明らかにしながら開発を進める。

【その他】

・ グラント事業

NEDOの産業技術研究助成事業を活用し、萌芽的・革新的な情報通信関係の技術シーズの発掘を行う。また、ソフトウェア分野の独創的な技術やビジネスシーズを有した人材を発掘する。

・ 事業終了後の連携

産学官連携の研究体制を通して活動を行い、これらの事業の終了後も各分野の研究者・技術者が有機的に連携し、更に新たな研究を作り出す環境を構築する。

・ 人材育成

ハードウェア分野においては、出来る限り大学との連携を重視し、各種フェロシップ制度を活用しつつ、最先端の情報通信基盤研究現場への学生等の参画を推進することにより次世代の研究開発人材の育成を図る。また、ソフトウェア分野における独創的な人材を発掘し、育成するとともに、優秀な人材が集うコミュニティを構築するなど、発掘された人材の才能をさらに伸ばすための取組を進める。

・ 広報／啓発

毎年10月を「情報化月間」としている。

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け、情報通信基盤高度化プログラム基本計画を制定。
- (2) 平成14年2月28日付け、情報通信基盤高度化プログラム基本計画及び次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム基本計画を制定。情報通信基盤高度化プログラム基本計画（平成12・12・27工総第12号）は廃止。
- (3) 平成15年1月31日付け、情報通信基盤高度化プログラム基本計画及び次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム基本計画を制定。情報通信基盤高度化プログラム基本計画（平成14・02・25産局第17号）及び次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム基本計画（平成14・02・25産局第18号）は、廃止。
- (4) 平成15年3月10日付け、情報通信基盤高度化プログラム基本計画、次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム基本計画、次世代ディスプレイ技術開発プログラム基本計画及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画を制定。情報通信基盤高度化プログラム基本計画（平成15・01・29産局第1号）及び次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム基本計画（平成15・01・29産局第2号）は、廃止。
なお、情報通信機器高度化プログラム基本計画（平成15・01・29産局第1号）及び次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム基本計画（平成15・01・29産局第2号）の一部は、次世代ディスプレイ技術開発プログラム基本計画及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画へ移行。
- (5) 平成16年2月3日付け、高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム基本計画及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画を制定。情報通信機器高度化プログラム基本計画（平成15・03・07産局第14号）、次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム基本計画（平成15・03・07産局第7号）、次世代ディスプレイ技術開発プログラム基本計画（平成15・03・07産局第4号）は、高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム基本計画に統合することとし、廃止。また、情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画（平成15・03・07産局第14号）は、廃止。
- (6) 平成17年3月25日付け、高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム基本計画を制定。高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム基本計画（平成16・02・03産局第1号）は廃止。また、平成17年3月31日付け、情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画を制定。情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画（平成16・02・03産局第2号）は廃止。
- (7) 平成18年3月31日付け、高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム基本計画及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画を制定。高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム基本計画（平成17・03・25産局第7号）及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画（平成17・03・25産局第6号）は廃止。
- (8) 平成19年4月2日付け、高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム基本計画及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画を制定。高度情報通信機器・デバイス基

盤プログラム基本計画（平成18・03・31産局第4号）及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画（平成18・03・31産局第5号）は廃止。

- (9) 平成20年4月1日付け、ITイノベーションプログラム基本計画を制定。情報通信機器高度化・デバイス基盤プログラム基本計画（平成19・03・12産局第7号）及び情報通信基盤ソフトウェア開発推進プログラム基本計画（平成19・03・12産局第8号）は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (9) 平成21年4月1日付け、ITイノベーションプログラム基本計画を制定。ITイノベーションプログラム基本計画（平成20・03・27産局第1号）は、廃止。

エネルギーイノベーションプログラム基本計画

1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを2050年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

1-I. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

1-II. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、わが国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

1-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

1-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO₂を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

1-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

2. 政策的位置付け

○ 低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）

2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。

「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。

○ 環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）

温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。

1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策

○ Cool Earth—エネルギー革新技術計画（2008年3月）

2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。

○ エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

○ 新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

○ 第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

- 経済成長戦略大綱（２００６年７月財政・経済一体改革会議）
資源・エネルギー政策の戦略的展開として
 - １．省エネルギーフロントランナー計画
 - ２．次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
 - ３．新エネルギーイノベーション計画
 - ４．原子力立国計画
 - ５．資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化以上が位置づけられている。

- 京都議定書目標達成計画（２００５年４月閣議決定）
「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

3. 達成目標

3-I. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

3-II. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

3-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

3-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

3-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

4. 研究開発内容

4-I. 総合エネルギー効率の向上

4-I-i. 共通

- (1) 省エネルギー革新技术開発事業（運営費交付金）
- (2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業（運営費交付金）
- (3) 新エネルギー技術実用化補助事業（運営費交付金）（4-III-i 参照）
- (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業（運営費交付金）（4-III-i 参照）

4-I-ii. 超燃焼システム技術

- (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）
- (2) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（運営費交付金）
- (3) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発（運営費交付金）
- (4) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発（運営費交付金）
- (5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発（運営費交付金）
- (6) 希少金属等高効率回収システム開発
- (7) 低品位鉱石・難処理鉱石に対応した革新的製錬プロセス技術の研究開発
- (8) 環境調和型水循環技術開発
- (9) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発
- (10) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業
- (11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発
- (12) 高効率ガスタービン実用化技術開発
- (13) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技术開発（運営費交付金）
- (14) 革新的省エネセラミックス製造技術開発（運営費交付金）
- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発（運営費交付金）（4-IV-v 参照）
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（4-V-iv 参照）
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発（4-V-iv 参照）
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発（4-V-ii 参照）

4-I-iii. 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト（運営費交付金）
- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発（運営費交付金）（4-IV-iv 参照）
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト（運営費交付金）（4-IV-iv 参照）
- (4) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (5) 燃料電池先端科学研究（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (6) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (7) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (9) 固体酸化物形燃料電池実証研究（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (10) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業（運営費交付金）（4-IV-v 参照）
- (11) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発（運営費交付金）（4-IV-v 参照）
- (12) 革新型蓄電池先端科学基礎研究（運営費交付金）（4-III-iii 参照）

(1) グリーンITプロジェクト (運営費交付金)

①概要

情報化社会の進展に伴うIT機器の消費電力の大幅な増大に対応し、抜本的な省エネを実現するため、サーバ、ネットワーク機器等の各装置の省エネに加え、省エネ型の巨大コンピューティング技術（グリーン・クラウドコンピューティング技術）、パワーエレクトロニクス技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

- (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発 (運営費交付金)
- (3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発 (運営費交付金)
- (4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発 (運営費交付金)
- (5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発 (運営費交付金)
- (6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発 (運営費交付金)
- (7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発 (運営費交付金)
- (8) 次世代光波制御材料・素子化技術 (運営費交付金)
- (9) 次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業 (運営費交付金)

4-I-v. 先進交通社会確立技術

- (1) エネルギーITS (運営費交付金)
- (2) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発 (運営費交付金)
- (3) 次世代構造部材創製・加工技術開発 (次世代航空機用)
- (4) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発 (運営費交付金)
- (5) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発
- (6) 燃料電池システム等実証研究 (運営費交付金) (4-III-v 参照)
- (7) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発 (運営費交付金) (4-IV-v 参照)

4-I-vi. 次世代省エネデバイス技術

- (1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 ーうち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発 (運営費交付金)
- (2) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発 (MIRAI) (運営費交付金)
- (3) 半導体アプリケーションチッププロジェクト (運営費交付金)
- (4) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発 (運営費交付金)
- (5) 半導体機能性材料の高度評価基盤開発 (運営費交付金)

4-I-vii. その他

- (1) 次世代構造部材創製・加工技術開発 (次世代衛星基盤)

4-Ⅱ. 運輸部門の燃料多様化

4-Ⅱ-i. 共通

- (1) 新エネルギー技術実用化補助事業（運営費交付金）（4-Ⅲ-i 参照）
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業（運営費交付金）（4-Ⅲ-i 参照）

4-Ⅱ-ii. バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発（運営費交付金）（4-Ⅲ-iv 参照）
- (2) E3地域流通スタンダードモデル（運営費交付金）（4-Ⅲ-iv 参照）
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業（運営費交付金）（4-Ⅲ-iv 参照）
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業（運営費交付金）（4-Ⅲ-iv 参照）
- (5) セルロース系エタノール革新的生産システム開発（運営費交付金）（4-Ⅲ-iv 参照）

4-Ⅱ-iii. GTL等の合成液体燃料

- (1) 天然ガスの液体燃料化（GTL）技術実証研究（運営費交付金）（4-V-ii 参照）

4-Ⅱ-iv. 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発（運営費交付金）（4-Ⅲ-v 参照）
- (2) 燃料電池先端科学研究（運営費交付金）（4-Ⅲ-v 参照）
- (3) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発（運営費交付金）（4-Ⅲ-v 参照）
- (4) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業（運営費交付金）（4-Ⅲ-v 参照）
- (5) 水素社会構築共通基盤整備事業（運営費交付金）（4-Ⅲ-v 参照）
- (6) 燃料電池システム等実証研究（4-Ⅲ-v 参照）

4-Ⅱ-v. 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発（運営費交付金）（4-Ⅳ-v 参照）
- (2) 革新型蓄電池先端科学基礎研究（運営費交付金）（4-Ⅲ-iii 参照）

4-Ⅲ. 新エネルギー等の開発・導入促進

4-Ⅲ-i. 共通

- (1) 新エネルギー技術研究開発（運営費交付金）
- (2) 新エネルギー技術フィールドテスト事業（運営費交付金）
- (3) 新エネルギー技術実用化補助金（運営費交付金）
- (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業（運営費交付金）

4-Ⅲ-ii. 太陽・風力

- (1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

4-Ⅲ-iii. 電力系統制御・電力貯蔵

- (1) 革新型蓄電池先端科学基礎研究（運営費交付金）
- (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発（運営費交付金）（4-Ⅳ-v 参照）
- (3) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業（運営費交付金）（4-Ⅳ-v 参照）

4-Ⅲ-iv. バイオマス・廃棄物・地熱等

- (1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業（運営費交付金）
- (2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業（運営費交付金）
- (3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業（運営費交付金）
- (4) セルロース系エタノール革新的生産システム開発（運営費交付金）

4-Ⅲ-v. 燃料電池

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発（運営費交付金）
- (2) 燃料電池先端科学研究（運営費交付金）
- (3) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発（運営費交付金）
- (4) セラミックリアクター開発（運営費交付金）
- (5) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発（運営費交付金）
- (6) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業（運営費交付金）
- (7) 水素先端科学基礎研究事業（運営費交付金）
- (8) 水素社会構築共通基盤整備事業（運営費交付金）
- (9) 固体酸化物形燃料電池実証研究（運営費交付金）
- (10) 燃料電池システム等実証研究（運営費交付金）
- (11) 将来型燃料高度利用技術開発（4-V-ii 参照）

4-Ⅳ. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

4-Ⅳ-i. 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

<新型軽水炉>

- (1) 次世代軽水炉等技術開発

<軽水炉使用済燃料再処理技術の高度化>

- (2) 使用済燃料再処理事業高度化

<プルサーマルの推進>

- (3) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

<軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発>

- (4) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

<ウラン濃縮技術の高度化>

- (5) 遠心法ウラン濃縮技術開発

<回収ウラン>

- (6) 回収ウラン利用技術開発

<共通基盤技術開発>

- (7) 革新的実用原子力技術開発

4-IV-ii. 高速増殖炉（FBR）サイクル

- (1) 発電用新型炉等技術開発
- (2) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発（4-IV-i 参照）

4-IV-iii. 放射性廃棄物処理処分

- (1) 地層処分技術開発
- (2) 管理型処分技術開発
- (3) 放射性廃棄物共通技術開発

4-IV-iv. 原子力利用推進に資する電力系統技術

- (1) イットリウム系超電導電力機器技術開発（運営費交付金）
- (2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト（運営費交付金）

4-IV-v. その他電力供給安定化技術

- (1) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業（運営費交付金）
- (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発（運営費交付金）
- (3) 発電プラント用超高純度金属材料の開発（運営費交付金）

4-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

4-V-i. 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

- (1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型／特別研究（運営費交付金）
- (2) 石炭生産技術開発
- (3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発（運営費交付金）
- (4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発
- (5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発（運営費交付金）
- (6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発
- (7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

4-V-ii. 石油・天然ガスの有効利用技術

- (1) 石油燃料次世代環境対策技術開発
- (2) 石油精製高度機能融合技術開発
- (3) 将来型燃料高度利用技術開発
- (4) 革新的次世代石油精製等技術開発
- (5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発
- (6) 天然ガスの液体燃料化（GTL）技術実証研究（運営費交付金）
- (7) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型／特別研究（運営費交付金）（4-V-i 参照）
- (8) 高効率ガスタービン実用化技術開発（4-I-ii 参照）

4-V-iii. オイルサンド等非在来化石資源の利用技術

- (1) メタンハイドレート開発促進委託費
- (2) 革新的次世代石油精製等技術開発（4-V-ii 参照）

4-V-iv. 石炭クリーン利用技術

- (1) 革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト
- (2) 国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金
- (3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金
- (4) 石炭利用技術開発（一部、運営費交付金）（クリーン・コール・テクノロジーの研究開発の一部）
- (5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金
- (6) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発（運営費交付金）（4-I-ii 参照）

4-V-v. その他共通

- (1) 新エネルギー技術実用化補助事業（運営費交付金）（4-III-i 参照）
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業（運営費交付金）（4-III-i 参照）
- (3) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (4) 燃料電池先端科学研究（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (5) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (6) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (7) 水素貯蔵材料先端基盤研究（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (8) 水素社会構築共通基盤整備事業（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (9) 水素先端科学基礎研究事業（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (10) 固体酸化物形燃料電池実証研究（運営費交付金）（4-III-v 参照）
- (11) 燃料電池システム等実証研究（運営費交付金）（4-III-v 参照）

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

5-I. 総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークアプローチの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

5-II. 運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

5-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

- 補助金等による導入支援
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

5-IV. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

5-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用プログラム基本計画（平成16・02・03産局第6号）は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第8号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第10号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第12号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第11号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第13号）は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第14号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第9号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第17号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第12号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第13号）は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画（平成17・03・29産局第2号）は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・31産局第19号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成18・0

- 3・31産局第15号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (6) 平成21年4月1日付け制定。エネルギーイノベーションプログラム基本計画(平成20・03・25産局第5号)は廃止。

(C) 技術戦略マップ (分野別技術ロードマップ)

技術戦略マップ³は、新産業を創造していくために必要な技術目標や製品・サービス・コンテンツの需要を創造するための方策を示したものであり、経済産業省およびNEDOが、産学官の専門家の英知を結集してとりまとめたものである。

ストレージ・メモリは、膨大な量の情報を記憶させ、瞬時に読み出せることが求められている。

ストレージ分野は、磁気系ストレージメモリ、光系ストレージメモリに大別できる。

両者とも、記録密度を高めることが研究開発のターゲットであり、これまで、「超先端電子技術開発促進プロジェクト」(1996～2001年度)で、垂直磁気記録方式の研究開発を行い、HDDの高密度化に寄与した。また、「ナノメータ制御光ディスクの開発」(1998～2002年度)の一部の成果が現在のBlu-Ray Discシステムの開発に活用されている。

メモリ分野は、過去、MRAM等の研究開発を行ってきたが、現在は、「スピントロニクスIT揮発性機能技術プロジェクト」(2006～2010年度)の中で、電子の自転を利用した全く新しい原理のメモリである、スピンメモリの研究開発を進めている。

また、将来のメモリ技術の可能性を探るために、2007年度から開始したナノエレクトロニクスの研究開発プロジェクトの中で、ナノギャップを使ったメモリの可能性を研究している。更に2008年度から「グリーンITプロジェクト」(低消費電力ハードディスク技術等)を開始している。

ストレージ技術、メモリ技術の各々について、「容量」と「速度」を軸とし、「技術の位置付け」及び「技術の適用用途(アプリケーション)」を図示した。

また、各々の主たる性能(大容量化、高速化、低消費電力化)の観点から、重要となる技術を示した。

³ 技術戦略マップ: <http://www.nedo.go.jp/roadmap/>

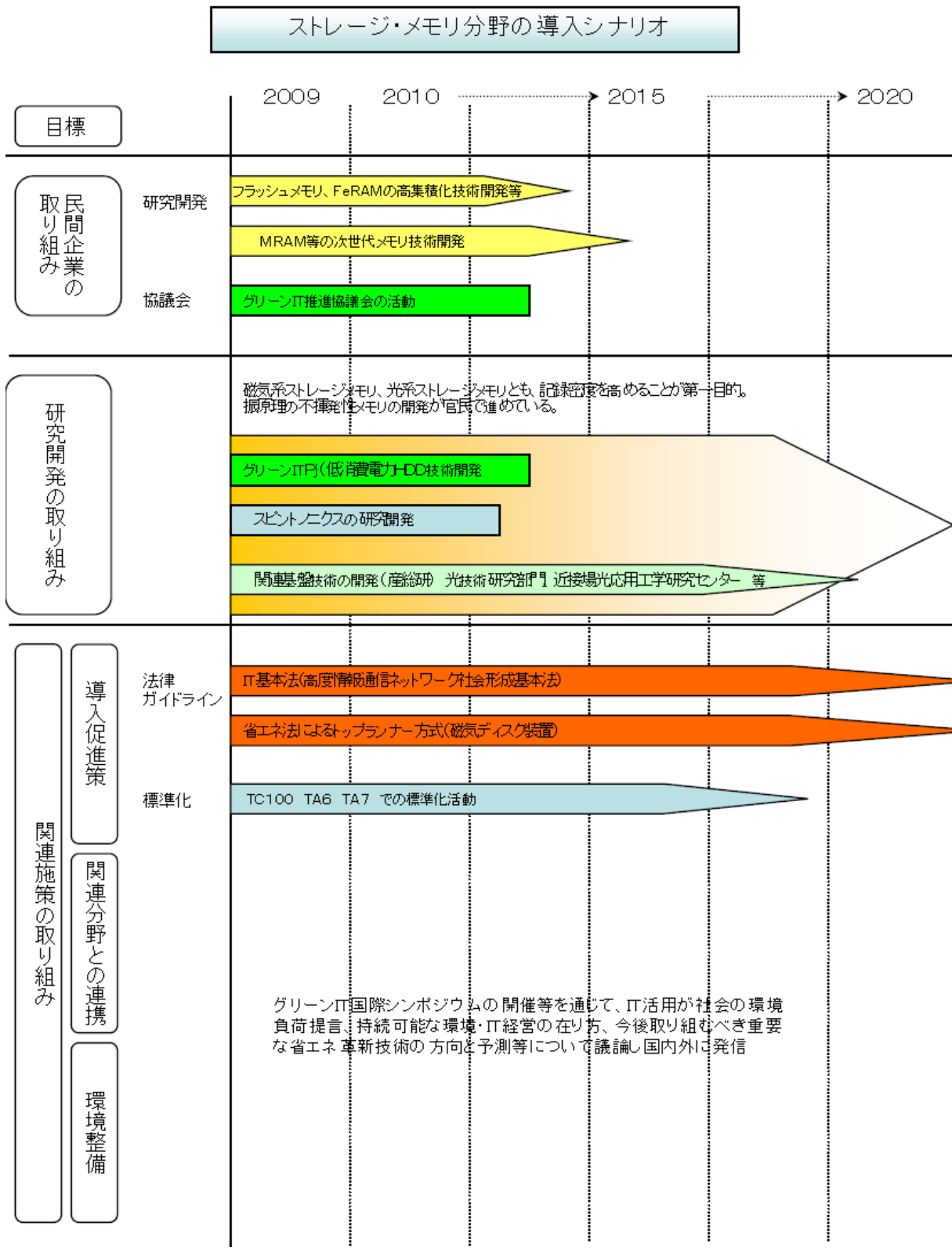


図 ストレージ・メモリ分野の導入シナリオ

高度化技術・新技術の性能分類

ストレージ・メモリデバイス

項目	開発技術	分類
磁性系ストレージ (HDD)	媒体技術(パターン媒体、熱アシスト対応媒体)	●●
	記録ヘッド技術(熱アシスト方式、微細加工技術)	●●
	再生ヘッド技術(TMR、CPP-GMR、スピントロニクス応用)	●●
光系ストレージ	高データ転送速度化技術(並列化処理)	●
	ビット微細化技術(スーパーレンズ、SIL)	●●
	三次元記録技術(ホログラム、2光子吸収)	●●
FLASH (NAND型、NOR型)	低アスペクト比セル(ナノドット、TANOS)	●
	多値化技術(低セル間干渉、高誘電体ゲート絶縁膜)	●
	多層化技術(3D、BiCS)	●
FeRAM	新メモリセル構成技術(Chain型、1T型、3Dキャパシタ)	●
	材料技術(新強誘電体材料)	●
MRAM	大容量化技術(誘導磁場型、スピン注入型、垂直磁化型)	●
	高速読み出し技術(高出力化、材料)	●
	書込み技術(スピン注入反転、磁壁移動)	●●
	メモリセル構成技術(高速動作、多層、多値、クロスポイント、論理回路)	●●
PRAM	材料技術(新相変化材料)	●●
	多値化技術(多値)	●
	3次元化(3D)	●

新規デバイス

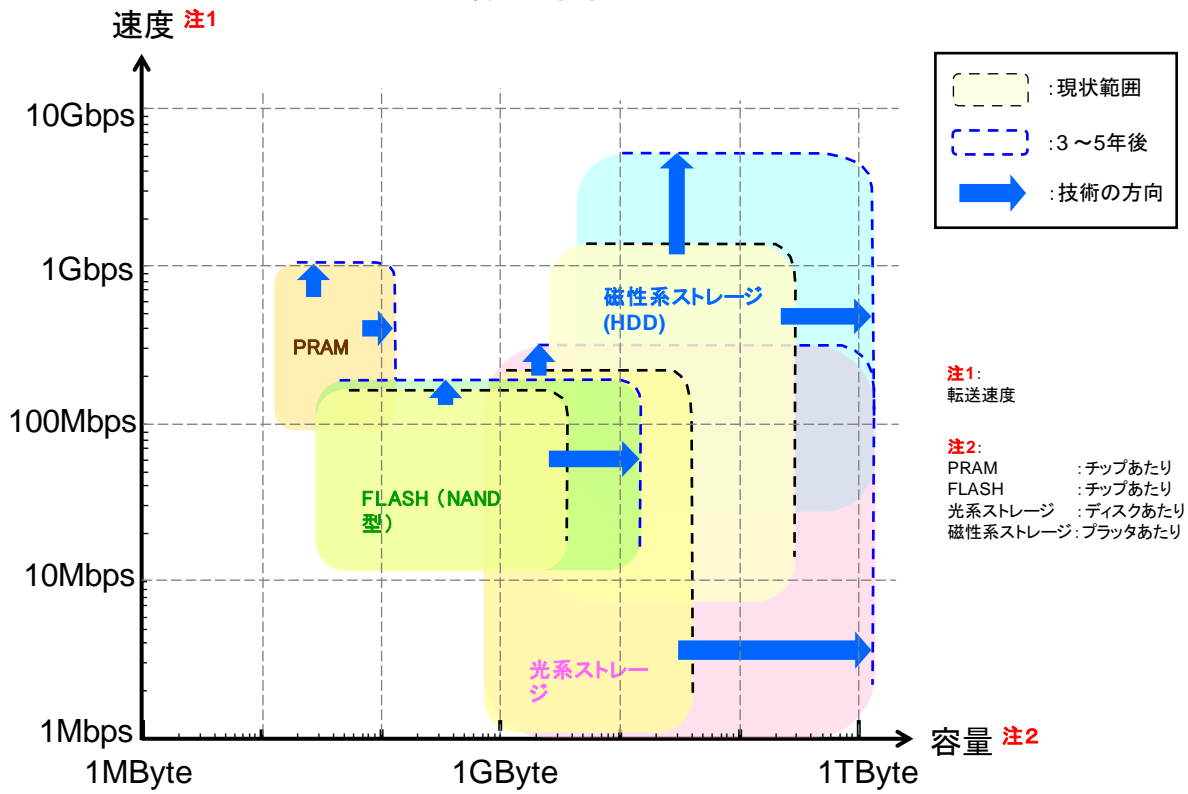
項目	開発技術	分類
ReRAM	大容量化技術	●
	材料技術	●
	機構解明	●
PMC-RAM (原子スイッチ、ナノブリッジメモリ等)	書き換え回数増大化技術	●
	低消費電力化技術	●
カード型ホログラムメモリ	導波路型(材料、構造、記録方式)	●
	体積記録型(材料、構造、記録方式)	●
MEMSプローブメモリ	トポ記録方式	●
	強誘電/強磁性方式	●
磁壁移動固体メモリ	スピントロニクス技術	●
	高集積化技術	●
有機メモリ	材料技術	●
分子メモリ	大容量化技術、低消費電力化技術	●●
ナノチューブメモリ	微細プロセス技術	●●

凡例

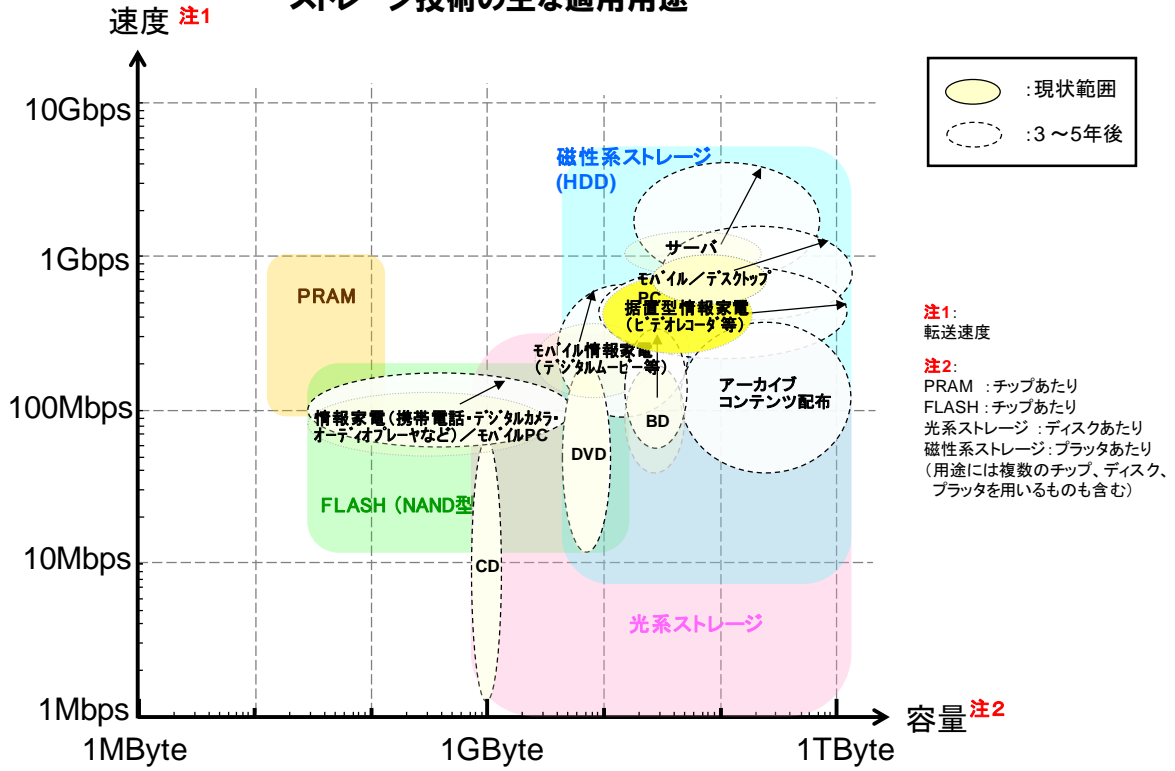
主たる性能分類

- ・大容量化技術 ●
- ・高速化技術 ●
- ・省電力化技術 ●

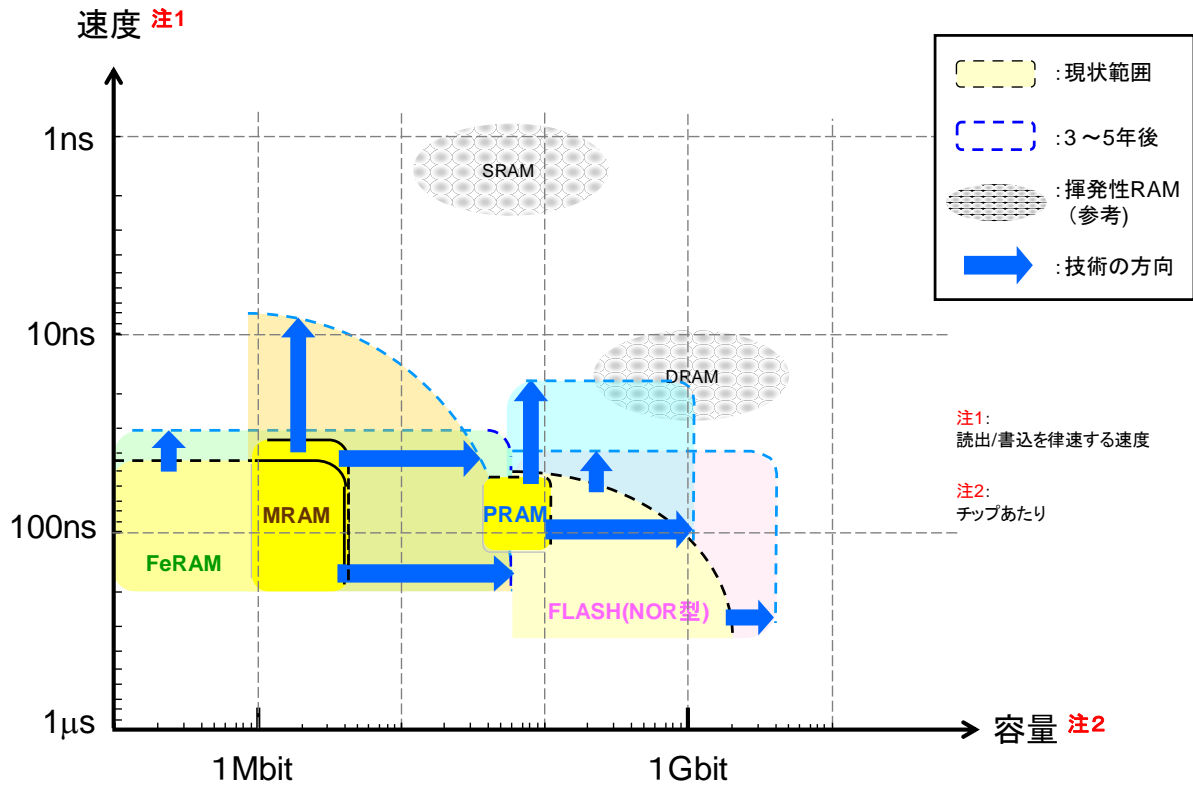
ストレージ技術の位置づけ



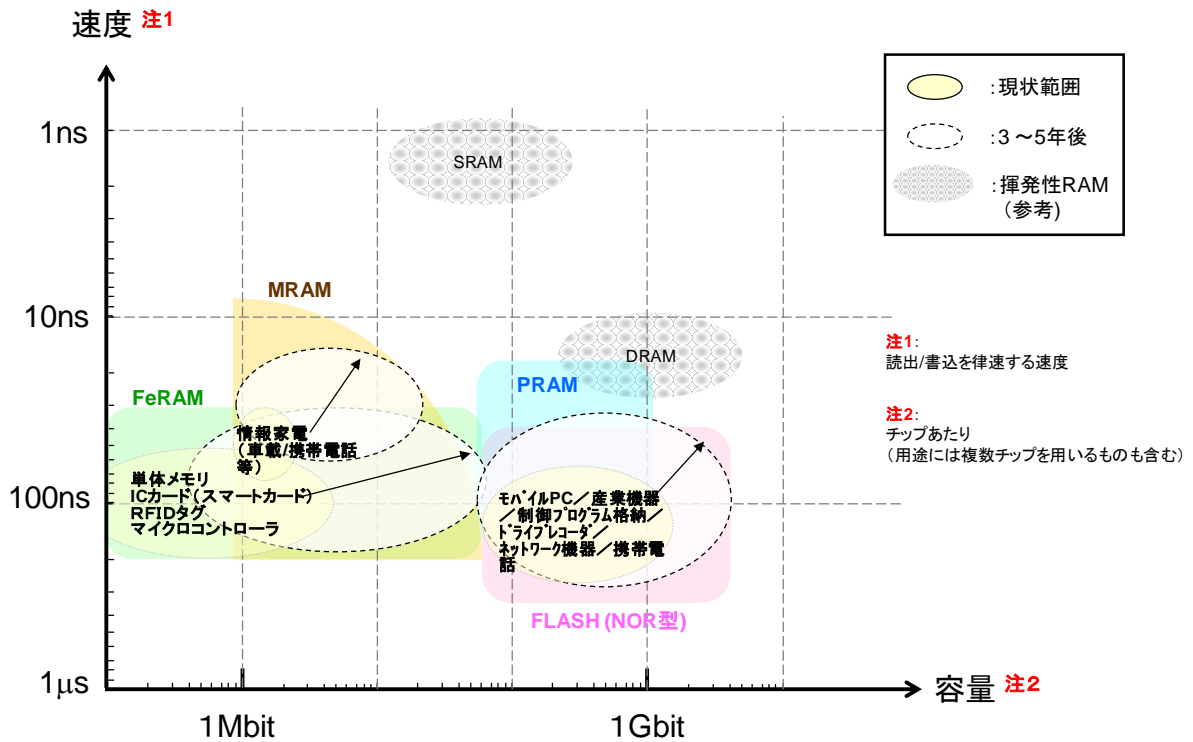
ストレージ技術の主な適用用途



メモリ技術の位置づけ



メモリ技術の主な適用用途



ローマップ抜粋 1

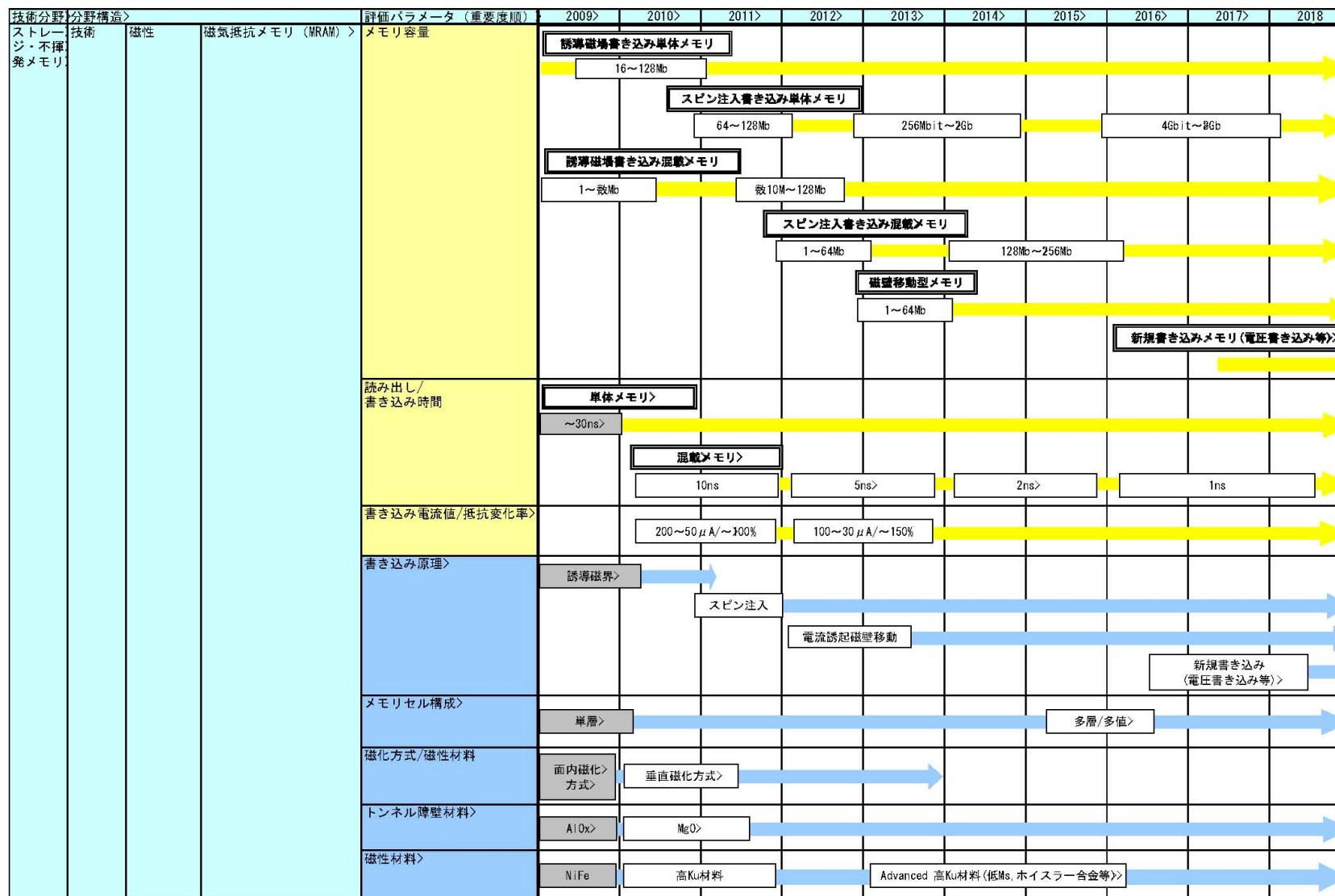
技術分野	分野構造	評価パラメータ (重要度順)	2009>	2010>	2011>	2012>	2013>	2014>	2015>	2016>	2017>	2018>		
ストレージ・不揮発メモリ	ワークメモリの用途 (高速動作) ↑ アーカイブ・バックアップの用途 (低速動作) ↓	システム・イン・メモリ	アクセス速度	100~10ns				5~2ns						
		メイン・メモリ	記録容量 アクセス速度	512Mb> 50ns>				2Gb> 50ns>			4Gb			
		エンタープライズ・ストレージ	高速読み出し速度 (IOPS)	高速低消費電力SSD (SLC) 2.5インチ	256GB> 30K IOPS	512GB>		1TB>	2TB>			4TB		
			ビットコスト 転送速度	高速・大容量HDD	3.5インチ> 2.0TB> 2.5インチ> 800GB> 転送速度4Gbps			3.5インチ> 6.0TB> 2.5インチ> 3.0TB> 転送速度6Gbps				2.5インチ>8.0TB> 転送速度8Gbps		
		ビジネス・ホーム・ストレージ	ビットコスト	大容量低コストHDD	3.5" HDD 2.0TB> 2.5" HDD 800GB> 消費電力1.0W			3.5" HDD 6.0TB> 2.5" HDD 3.0TB>				3.5" HDD 14TB> 2.5" HDD 8.0TB>		
			容量 書き込み速度 読み出し速度	大容量低コストSSD (MLC)	512GB>	1TB>		2TB>				4TB>		8TB
		モバイル・ストレージ	ビット単価	中容量SSD (MLC)	128GB>		256GB>		512GB>			1TB>		2TB
			ビット単価 耐衝撃性	中容量HDD	1.8" HDD容量400GB 消費電力 耐衝撃性				1.8" HDD容量1.6TB 消費電力 耐衝撃性					
		リムーバブル・ストレージ	記録容量 転送速度	磁気テープ	圧縮時: 1.6TB 転送速度: >				圧縮時: 6.4TB 転送速度: >					圧縮時: 12.8TB 転送速度: >
			容量 転送速度	アーカイブ用HDD	500GB>			1TB>				3TB		
			記録容量 転送速度	アーカイブ用光ディスク (WORM/RW)				容量>500GB/Cartridge 転送速度>1~2Gbps					容量>3TB/Cartridge 転送速度>6Gbps	
			記録容量 転送速度 メディア単価	コンテンツ配布用光ディスク (ROM)				容量>400GB/Cartridge 転送速度>288Mbps					2020年 容量>1TB/Cartridge 転送速度>1Gbps	

(C) 技術戦略マップ-7

ロードマップ抜粋 2

技術分野/分野構造			評価パラメータ (重要度順)	2009>	2010>	2011>	2012>	2013>	2014>	2015>	2016>	2017>	2018
ストレージ・不揮発メモリ	技術	電荷>	フラッシュメモリ	記録容量 書き込み速度 読み出し速度	16Gb (多量化32Gb) 書込時間: > NAND 0.4ms NOR 1.2ms 読出時間: 50ns	32Gb (多量化64/128Gb)	64Gb (多量化128/256Gb)	128Gb (多量化256/512Gb)	256Gb (多量化512G/1Tb)	→			
		技術内容			NAND> 4ビット多値セル	NORトンネル酸化膜の厚み限界8nm	高性能ECC, SSD低消費電力回路> システム・不揮発性RAMキャッチ	NAND 3Dセル	ナノドット	ナノチューブ	→		
	磁性>	ハードディスク (HDD) >	記録密度	600Gb/in ²	1.2Tb/in ²	2.4Tb/in ²	4.8Tb/in ²	8.0Tb/in ²	→				
			記録再生方式・技術	垂直磁気記録	分離トラック垂直磁気記録, 2次元垂直記録再生方式	パターン媒体 垂直記録再生方式	エネルギー(熱, マイクロ波等) アシストパターン媒体垂直記録再 生方式	エネルギー(熱, マイクロ波等) アシスト垂直記録再生方式	→				
媒体技術>			グラニューラー 垂直媒体 粒径: 5-7nm Ku: 5-7*10 ⁸ erg/cm ³	改良型グラニューラー垂直媒体 粒径: 3-5nm, 低分散 Ku: >10 ⁹ erg/cm ³	磁気結合型垂直媒体 (多結晶, 単結晶, 非晶質) 微細パターン精度: 2nm	熱磁気特性制御型 ナノ垂直媒体 (ヘッド磁界/補助エネルギー 感応型)	→						
ヘッド技術>			高Bs記録ヘッド	高Bs 2次元垂直記録型	磁気/補助エネルギー (光/マイクロ波, 等) ハイブリッド型記録ヘッド 記録トラック幅: 17nm	再生ヘッド (TMRヘッド, CPP-GMRヘッド) トラック幅: 50-30nm, >	スピントロニクス応用再生ヘッド (スピン蓄積MR, パリステックMR, スピントランジス タ)	→					

ロードマップ抜粋 3



(C) 技術戦略マップ-9

ロードマップ抜粋 4

技術分野	分野構造	評価パラメータ (重要度順)	2009>	2010>	2011>	2012>	2013>	2014>	2015>	2016>	2017>	2018	
ストレージ・不揮発メモリ	強誘電体	強誘電体メモリ (FeRAM)	メモリ容量	4Mb~32Mb	64~512Mb		1~2Gb		4~8Gb				
				混載 1Mb~数Mb	混載>数10Mb~数100Mb		混載>数100Mb~1Gb		混載>数Gb				
		読み出し/書き込み時間	120ns~90ns	5~2ns>									
		メモリセル構成	1T1C>										
			6T4C>										
	強誘電体材料	PZT, SBT>											
	光記録	光ディスク	記録容量 転送速度	50GB>	500GB/Cartridge>		3TB/Cartridge>						
				144Mbps>	1~2Gbps>		6Gbps						
			三次元記録化技術	体積ホログラム (角度多重、> コリニア)>	体積ホログラム		体積ホログラム						
				2光子吸収 (20層)>	2光子吸収 (120層)		2光子吸収 (120層)						
多層化2層>				多層/多数枚 (20層)>		多層/多数枚 (SIL)							
ビットサイズ縮小化技術	NA 0.85 405nm	SIL/2層>	超解像	短波長 (UV)	SIL/4層>								
高転送速度化技術	ホログラム (2次元アレイ)>	ホログラム (高速センサ・SLM)>											
	1ヘッド>	マルチビーム/ヘッド (4)		マルチビーム/ヘッド (8~10)									

(C) 技術戦略マップー10

ロードマップ抜粋 5

技術分野	分野構造	評価パラメータ (重要度順)	2009>	2010>	2011>	2012>	2013>	2014>	2015>	2016>	2017>	2018>
ストレージ・不揮発メモリ	相変化> 相変化メモリ (PCM)>	メモリ容量	容量1Gb		容量8Gb		容量32Gb		容量128Gb		容量256Gb	
		高速化>		リセット電流 <100 μA		リセット電流 <50 μA		リセット電流 <20 μA				
		低消費電力 (低電流化)>		セット速度 < 100ns		セット速度 < 50ns		セット速度 < 10ns				
		材料技術>		カルコゲン&メモリセル材料開発				原子レベル制御による材料開発				
		メモリセル技術 (多値)>		クロスポイントセル		2層積層化				4層以上の積層化		
		積層化技術							4値多値化			
		新規	抵抗可変メモリ (ReRAM)>	メモリ容量> フォーミング> 高速化>			容量 1 Gb			容量32Gb	フォーミング不要	
	機構解明		巨大抵抗変化機構の解明			ユニポーラ動作によるセル構造微細化						
		磁壁移動メモリ>	記録密度					~1Tb/in ²	~2Tb/in ²	~5Tb/in ²		
			アクセス速度>					~200 ns	~100 ns			
			書き込み方式>					誘導磁界書き込み> or 電流誘起 磁壁移動書き込み		スピン注入書き込み		
		固体電解質メモリ>	動作電圧							導電フィラメント制御方式		
		ナノギャップスイッチ>	データ保持時間							ナノスケール原子移動制御方式		
		ナノワイヤメモリ>	ON/OFF抵抗 (電流) 比							ナノワイヤ自己整合配列方式		
		有機&分子&カーボンメモリ>	動作速度>							Siコンパチブルプロセス		
	MEMSメモリ>								相変化記録膜材料			
									プローブと機能膜の複合材料化			

(C) 技術戦略マップー11

(D) NEDO POST および事前評価書

NEDO POST⁴とは、NEDOが新規に研究開発プロジェクトを開始するにあたって、プロジェクト案の概要を示し、ウェブを活用して広くパブリック・コメントを集める手段であり、その結果をプロジェクト検討に役立てることによって、より社会のニーズに適合したプロジェクトを効率的に実施するためのコミュニケーション・ツールである。図のように、3つのフェーズごとに意見収集を行い、プロジェクト基本計画の策定などに利用している。

事前評価書は、新規に事業を開始する際に事業の推進部自らが、別途定められた評価項目・基準によって評価するものである。これによって、事業目的、目標設定根拠の明確化、実施内容の重複排除等を行い、事業の効率的かつ効果的な実施を行っている。本プロジェクト立ち上げにあたって公開されたNEDO POSTおよび事前評価書を次ページ以降に示す。

<NEDO POST1>

NEDO の新規研究開発プロジェクトに関して、主にプロジェクト実施の必要性、有効性の観点からのご意見を求める。

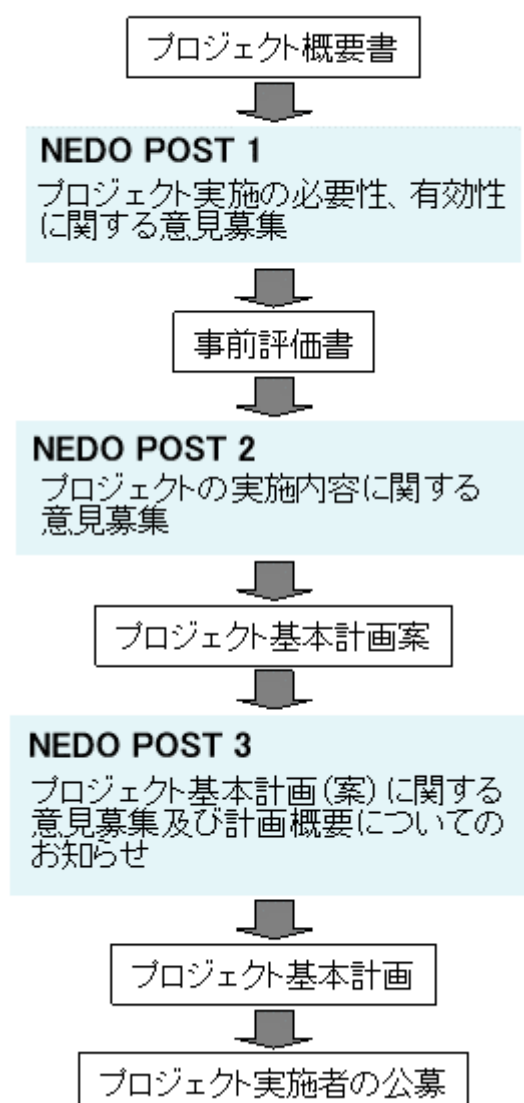
<NEDO POST2>

NEDO の新規研究開発プロジェクトに関して、主にプロジェクトの実施内容についてご意見を求める。


<NEDO POST3>

NEDO の新規/拡充研究開発プロジェクトの基本計画（案）を提示してパブリック・コメントを求め、かつ公募に先立って計画の概要をお知らせする。

NEDO POST実施の概略



⁴ NEDOPOST: <http://www.nedo.go.jp/nedopost/index.html>



独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

サイト内検索 検索GO

ホーム サイトマップ English

You are here ▶ HOME > 表示中のページ

NEDO POST

平成19年度新規/拡充プロジェクト(案)に対する意見募集について = NEDO POST1 =

NEDO技術開発機構は、平成19年度に新たに開始予定の研究開発プロジェクトについて、広く国民、事業者等の皆さまからのご意見等を頂いて計画に反映すべく、ウェブサイト上でご意見、情報を募集する「NEDO POST」を開催いたします。

お寄せ頂いたご意見等については、機構内で検討の上、プロジェクトの方針決定に活用させていただきます。また、さらに詳細が必要と考えられるものにつきましては、今後に予定されるワークショップ、有識者委員会等においてご説明をお願いする場合がございます。是非、忌憚のないご意見をお寄せ下さいますよう宜しくお願いいたします。

[>> NEDOPOSTについて](#)


■ 検討中のプロジェクトと募集のご意見について

下表に検討中の新規/拡充研究開発プロジェクトを掲載しております。資料(PDF)をクリックするとプロジェクトの概要をご覧頂くことができます。

新規/拡充プロジェクトについてNEDO技術開発機構が取り組む必要性、有効性等の観点から、皆さまからのご意見を募集いたします。

なお掲載されておりますプロジェクトの資料は現在、検討中のものであり、実施を決定したものではありません。同様に予算規模、内容等についても変更される可能性がありますのでご了承下さい。

■ ご意見の投稿方法

電子メールにてご意見を受け付けます。下記の投稿先  より投稿することができます。

投稿に際しては以下の投稿要領に従ってください。これに依らない投稿は、無効とさせていただきます。

■ 投稿要領

- (1)メールの「件名」には対象とするプロジェクト名(適宜簡略化は可)として下さい。
- (2)複数のプロジェクトについて投稿頂く場合は、お手数ですがメールを分けて下さい。
- (3)投稿は日本語で記述して下さい。
- (4)書式は特に定めませんが、以下の項目を記載して下さい。
 - [1]氏名
 - [2]所属(企業名、団体名、役職等)
 - [3]連絡先(電話番号、メールアドレス等)
 - [4]ご意見(当該プロジェクトに関するご意見に限る)

(5) 投稿いただくご意見は、1件について最大1200字程度でお願いします。それを上回る場合は、別途要約文を作成下さい。

■ その他

皆様からいただいたご意見は、プロジェクトの検討に活用させていただきます。なお、いただいたご意見についての個別の回答はできない場合がありますので、あらかじめご了承下さい。

いただいたご意見については、お名前、所属、連絡先等の個人情報を除き、すべて公開される可能性があることを、あらかじめご承知おきください。ただし、ご意見中に、個人に関する情報であって特定の個人を識別しうる記述、個人・法人等の財産権、プライバシー等を侵害するおそれがある記述、その他掲載が不相当と判断される記述がある場合は、公開する際に当該部分を削除して掲載させていただきます。削除の判断とそれに伴う文章の部分的な修正はNEDOの判断により行います。

NEDO POST1、NEDO POST2については、いただいたご意見を投稿ログとして公開いたします。ただし、長文の場合は要約文を掲載することがあります。

NEDO POST3については、いただいたご意見の概要とそれに対するNEDOの考え方、基本計画への反映結果を公開いたします。掲載するご意見の概要は、ご意見の趣旨を踏まえてNEDOの判断により要約させていただきます。

ご意見に付記されたお名前、所属、連絡先等の個人情報につきましては、適正に管理し、ご意見の内容に不明な点があった場合等の連絡・確認といった、NEDO POSTに関する業務のみに利用させていただきます。

■ NEDO POST について

NEDO POSTとは、NEDO技術開発機構が新規に研究開発プロジェクトを開始するに当たって、ウェブを活用して皆さまからの声を広く求め、それらのご意見をプロジェクトの検討に役立てることによって、より社会のニーズに適合したプロジェクトを効率的に実施するためのコミュニケーション・ツールです。

新規研究開発プロジェクトを検討する「事前評価」において、NEDO技術開発機構は各種調査、ワークショップ、各種委員会と並びNEDO POSTといったツールを用い、より適切な事業運営、「成果をあげるNEDO」を目指します。

< NEDO POST1 について >

NEDO技術開発機構の新規/拡充研究開発プロジェクトに関して、主にプロジェクト実施の必要性、有効性の観点からのご意見を求めます。

< NEDO POST2 について >

NEDO技術開発機構の新規/拡充研究開発プロジェクトに関して、主にプロジェクトの実施内容についてご意見を求めます。

< NEDO POST3 について >

NEDO技術開発機構の新規/拡充研究開発プロジェクトの基本計画(案)を提示してパブリック・コメントを求め、かつ公募に先立って計画の概要をお知らせするものです。

研究テーマ名 グリーンIT (コヒーレントナノビットストレージ技術研究開発)

研究目的

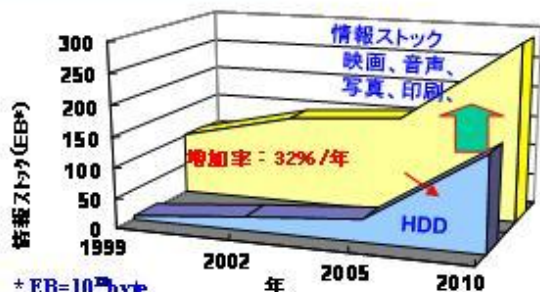
- ①背景: 社会生活の本格的なIT化に伴って、要求されるデジタル情報のストック量は増加の一途をたどっており、2010年には300 EBに達するとも推定される。
- ②市場ニーズ: 大容量性はもとより、低消費電力性も併せ持った経済的で信頼性の高い技術が必要。
- ③技術ニーズ: 数テラバイト級の大容量性や数十%の低消費電力化を達成するための基盤要素技術はもとより、デバイスの実用化にあたっては、それらを垂直統合するシステム化・プロセス技術の確立が不可欠。

プロジェクトの規模

事業費と研究開発期間(目安として)

事業費総額(未定) 研究期間 5年

その他関連図表



* EB=10⁹byte

**How Much Information? 2000 & 2003, UCB, TSR '06 and estimate

**IDC 2007/03: Produced Digital Information 161EB@2006, 988EB@2010(57%/y)

研究内容概略

超省電力動作を前提として、数テラバイト級の容量を実現する磁性系ストレージの技術開発を推進する。

○研究開発課題

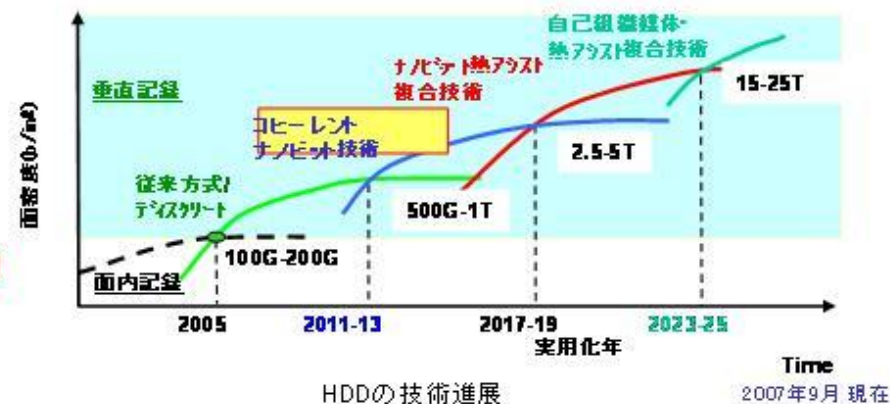
- ・記録・再生ヘッドやパターン媒体等に関わる高生産性ナノプロセス技術・材料、ならびに、それら各部品を組み合わせた製品として機能させるための実用性の高い摺り合わせ技術の確立
- ・高密度記録化、ディスク径の小型化、回転系制御技術向上などを通じた省エネルギー技術の確立、ならびに、脱高温プロセス等を含むサステナブル・マニュファクチャリング技術の確立

○キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント

- ①スピントロニクスヘッド、ナノディスク媒体、外場アシスト記録等の要素技術・材料開発、および、それらの融合技術開発
- ②外場アシスト磁性記録、あるいは、パターン媒体磁性記録システム集積化技術

技術戦略マップ上の位置付け

- ①ストレージ・メモリ分野の技術戦略マップにおいて、磁性系ストレージ技術「記録再生方式技術」・「媒体技術」・「ヘッド技術」は重要技術として位置付けられている。
- ②その他、ユーザビリティ分野及びコンピュータ分野の技術戦略マップにおいても重要技術として位置付けられている。



研究テーマ名 グリーンIT(コヒーレントナノビットストレージ技術研究開発)

研究目的

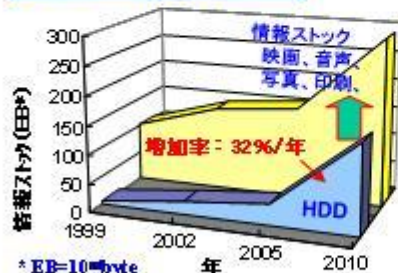
- ①背景：社会生活の本格的なIT化に伴って、要求されるデジタル情報のストック量は増加の一途をたどっており、2010年には300EBに達するとも推定される。
- ②市場ニーズ：大容量性はもとより、低消費電力性も併せ持った経済的で信頼性の高い技術が必要。
- ③技術ニーズ：数テラバイト級の大容量性や数十%の低消費電力化を達成するための基盤要素技術はもとより、デバイスの実用化にあたっては、それらを垂直統合するシステム化・プロセス技術の確立が不可欠。

プロジェクトの規模

①事業費と研究開発期間(目安として)

事業費総額(未定) 研究期間5年

その他関連図表



* EB=10⁹byte
 **How Much Information? 2000 & 2003, UCB, TSR '06 and estimate
 ***IDC2007/03: Produced Digital Information 161EB@2006, 988EB@2010(61%/年)

技術戦略マップ上の位置付け

①ストレージ分野の技術マップにおいて、磁性系ストレージ技術「記録再生方式・技術」「媒体技術」「ヘッド技術」に重要技術として位置付けられている。
 ②その他、ユーザビリティ分野及びコンピュータ分野の技術マップにおいても、重要技術として位置付けられている。

研究内容概略

数テラバイト級の記録容量を達成するためのナノビットレベルの革新的磁性系ストレージ技術開発、ならびに、システム化・プロセス技術の開発を推進し、超低消費電力の小型ハードディスク装置を実現する。

①研究開発課題

- ・スピンを活用した超小型・高感度データ読みヘッドの実現。
- ・高密度化に伴うデータ干渉を防止するナノビット形成技術の確立、記録ヘッドの実現。
- ・熱揺らぎ対策のための高保磁力媒体開発、ならびに、熱アシスト記録技術の確立。

②キーテクノロジー、ブレークスルーポイント

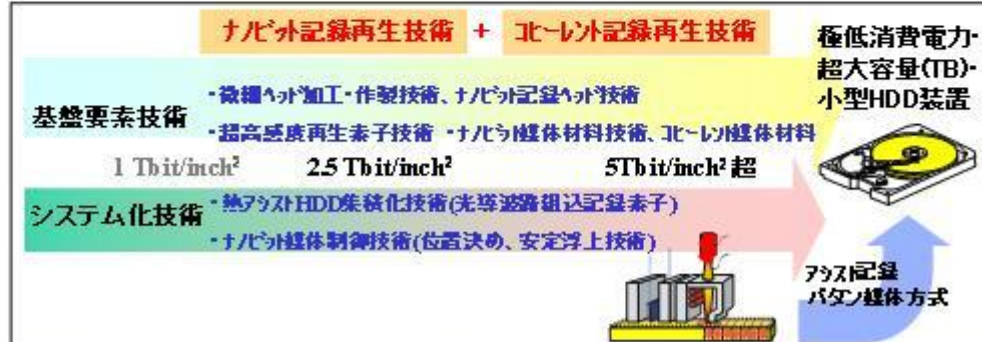
①基盤要素技術

微細ヘッド作製技術、ナノビット記録ヘッド技術、超高感度再生素子技術、ナノビット媒体開発等

②システム化技術

外場アシスト磁性記録技術(光導波路組込記録素子、コヒーレント媒体材料などのシステム化) パターン媒体磁性記録技術(ヘッド・媒体の高精度位置決め技術などの要素技術の統合)等

■超最先端磁性系ストレージ技術開発



2007年9月現在



研究テーマ名 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発(グリーンITプロジェクト)

研究目的

背景、目的、必要性

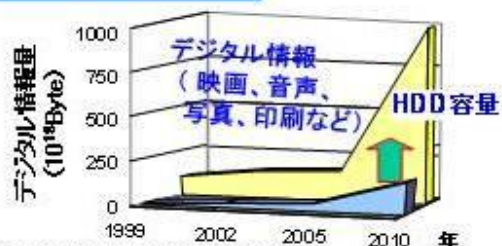
- ・地球温暖化問題の解決に向け、IT機器消費電力削減のための革新技术開発が求められている。
- ・なかでも、データセンターの消費電力削減は世界規模での喫緊の課題であり、データセンターが消費する電力のうち、ハードディスクドライブ(HDD)の占める割合は20%以上と比較的大きいため、HDDの単位情報量あたりの消費電力量の削減は主要な技術開発課題である。
- ・現状のHDDの記録密度を1桁以上向上させる技術、すなわち、数Tbit/inch²級の超高密度化を実現できれば、その電力削減効果は大きい。もちろん、当該技術は民生分野の応用に対しても大きな波及効果をもたらすと期待できる。
- ・したがって、HDDを構成する媒体、ヘッド、アドレッシング技術に関して革新的高度化を図り、それらの統合・集積化に取り組むことによって、5Tbit/inch²の超高密度磁気記録のための要素技術開発を行い、地球温暖化対策へ貢献すること、ならびに、HDD分野における国際的イニシアチブの獲得を目指す。

プロジェクトの規模

〇事業費と研究開発期間 (目安として)

- ①事業費年間9.5億円(未定) ②研究開発期間 5年間

その他関連図表



流通するデジタル情報量の推移 (複数の調査情報を元に作成)

研究内容概略

〇研究開発課題(目的達成のための技術課題)

単位情報量あたりの消費電力量を削減する5Tbit/inch²の超高密度磁気記録実現のため、下記の技術開発に取り組み、2010年代後半の実用化を目指す。

①超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発

5Tbit/inch²の超高密度磁気記録に適合する大きさや磁気特性を有する極微小孤立磁性領域(ナノビット)を超高精度に配列形成させるための微細加工技術、ならびに、材料を開発する。

②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発

5Tbit/inch²の超高密度磁気記録に適合する革新的磁気記録/再生ヘッドの実現のための材料、構造、微細加工技術を開発する。

③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発

5Tbit/inch²の超高密度磁気記録に適合する超高性能磁気ヘッドをナノビット一つ一つに、超高精度、かつ、超高速で同期アクセスさせるための技術を開発する。

④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発

5Tbit/inch²の超高密度磁気記録に適合する個別要素技術の統合・集積化のための技術開発を行い、HDD装置としての性能を検証すると共に、省電力動作を検証する。

〇キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント、オリジナリティ

①超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発

10nm級微細加工技術、高保磁力の新規磁性材料、磁気干渉を抑制する非磁性材料、媒体表面のナノレベル平滑化、媒体表面の付加機能層(表面保護膜、潤滑剤など)等

②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発

強磁場発生素子、エネルギーアシスト機構、高感度・高分解能再生素子、ヘッド加工技術等

③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発

ナノ精度アクチュエータ、超高速サーボ技術、タイミング制御機構、熱・磁気・振動連成解析等

④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発

個別要素技術のシステム化技術、HDD装置としての実用性検証等

技術戦略マップ上の位置付け

- ①情報通信分野のストレージ・メモリ分野の技術マップにおいて、磁性系ストレージ技術「記録再生方式・技術」・「媒体技術」・「ヘッド技術」に重要技術として位置付けられている。
- ②その他、ユーザビリティ分野及びコンピュータ分野の技術マップにおいても、重要技術として位置付けられている。

平成20年2月 現在

「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発（グリーン IT プロジェクト）基本計画
（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成20年2月26日
NEDO技術開発機構
電子・情報技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間
平成20年2月13日～平成20年2月22日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計0件

事前評価書

	作成日	平成20年2月6日
1. 事業名称 (コード番号)	超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 (グリーン IT プロジェクト)	
2. 推進部署名	電子・情報技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 概要：データセンターにおける消費電力増大や市場ニーズの高度化に応えるため、低消費電力・小型・大容量のストレージ技術が求められている。そこで、現状の HDD の記録密度を1桁以上向上させる技術、すなわち、5 Tbit/inch² 級の超高密度ハードディスクドライブの実現に向けた研究開発を行う。具体的には、超高密度ナノビット磁気媒体技術の開発、超高性能磁気ヘッド技術の開発、超高精度ナノアドレッシング技術の開発、ハードディスクドライブシステム化技術の開発を行い、将来的に2.5インチディスク1枚あたりの記録容量が3テラバイト以上、かつ、消費電力が0.3W/テラバイト以下となる超高密度ハードディスクドライブを量産するための基盤技術の確立を目指す。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費（国費分）47.5億円(未定)</p> <p>(3) 事業期間：平成20年度～24年度（5年間）</p>	
4. 評価の検討状況		
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>地球温暖化問題は、世界全体で早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動と地球環境の調和を実現するためには、画期的な技術革新が求められている。IT機器においても、ブロードバンドの普及、機器の高度化・設置台数の急激な増加に伴って消費電力も膨大な量が見込まれ、省エネルギー化が重要な課題となっている。</p> <p>その中でも、データセンターの消費電力削減は世界規模での喫緊の課題と言える。データセンターが消費する電力のうち、ハードディスクドライブ（HDD）の占める割合は20%以上と比較的大きいため、HDDの単位情報量あたりの消費電力量の削減は重要な技術開発課題である。</p> <p>現状の HDD の記録密度を1桁以上向上させる技術、すなわち、数 Tbit/inch² 級の超高密度化を実現できれば、データセンター全体の消費電力を20%以上削減できると期待される。また、情報家電やパーソナルコンピュータ等の分野でも大きな波及効果も期待できる。</p> <p>したがって、HDDを構成する媒体、ヘッド、アドレッシング技術に関して革新的高度化を図り、それらの統合・集積化に取り組むことによって、5 Tbit/inch²の超高密度磁気記録のための要素技術開発を行い、地球温暖化対策へ貢献すること、ならびに、HDD分野における国際的イニシアチブの獲得を目指す。</p>		

<p>(2) 研究開発目標の妥当性</p> <p><目標></p> <p>5 Tbit/inch²の超高密度磁気記録実現に必要な、①超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発、②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発、③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発、④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発を行い、個別要素技術の統合・集積化を通じて、5 Tbit/inch²に向けた HDD 装置としての性能を検証すると共に、単位情報量当たりの消費電力が0.3W/テラバイト以下となる省電力動作を検証する。</p> <p><妥当性></p> <p>データセンターにおける消費電力増大や市場ニーズの高度化に応えるため、低消費電力・小型・大容量のストレージ技術が求められている。また、米国・韓国・シンガポールなどではハードディスクドライブ関連の開発が盛んに進められていることから、我が国もハードディスクドライブの低消費電力化に繋がる高密度記録技術開発に積極的に取り組むことは重要であると考え。しかしながら、5 Tbit/inch²の記録面密度実現にあたっては、媒体・ヘッド・アドレッシング技術など、それぞれの個別要素技術における技術革新が不可欠であるのみならず、それらを統合・連携させるための摺り合わせ技術やシミュレーション技術などの開発も必須である。設定された各技術開発項目は、それらを包含するものであり、また、本プロジェクトが超大容量・小型・省電力動作ハードディスクドライブとして2010年代後半に実用化されれば、大きな電力削減効果が期待される。したがって、上記の目標設定は妥当であると考え。</p>
<p>(3) 研究開発マネジメント</p> <p>公募を実施し、最適な研究開発体制を構築する。また、必要に応じて、外部有識者の意見を求め、その評価結果を踏まえて事業全体について見直しを行い、適切な運営管理に努める。</p>
<p>(4) 研究開発成果</p> <p>低消費電力動作が期待できる小型・超高密度ハードディスクドライブの実現に向けた革新的な技術開発が確立される。2010年代後半に、量産実用化によって社会全体として大きな電力削減効果が期待され、IT 機器における国内電力消費量の抑制につながる。HDD 技術を強化することは産業競争力強化の観点からも重要である。</p>
<p>(5) 実用化・事業化の見通し</p> <p>本プロジェクトで小型・超高密度ハードディスクドライブ装置のための基盤技術の確立とシステム化技術の検討が進み、その後数年間の実用化研究を通じて他の周辺技術も盛り込んだ量産化技術を確立することにより、2010年代後半を目処にディスク1枚あたりテラバイト級の大容量・小型・低消費電力のハードディスクドライブの量産実用化が期待できる。</p>
<p>(6) その他特記事項</p> <p>大きな市場規模をもつストレージ産業分野において、省エネルギーに寄与する革新技術を世界に先駆けて実現し、今後とも国際競争力を維持し、我が国の産業として拡大して行くため、産学官で連携し、知的財産の確保と技術流出の防止を戦略的に行なうことが重要である。</p>
<p>5. 総合評価</p> <p>地球温暖化防止に向けた IT 機器の低消費電力化を目指した本事業の意義と必要性は非常に高く、NEDO の実施する事業として、適切であると判断する。</p>

(注) 事業の全体像がわかる図表を添付すること。

(E) プロジェクト用語集

用語	用語についての説明
アーム・サスペンションフラッタ	HDD内の流れに起因してアクチュエータアームおよびサスペンションに生じる振動
イオン注入法	イオンを固体に打ち込み、固体の特性を変化させる加工方法
イオンミリング	イオンビームを当ててエッチングする方法
インコヒーレントモード反転	単磁区粒子のスピンの非一斉に回転するモデル
エバネッセント光	光が界面で全反射したとき、界面に発生する光。強度は、界面から離れるに従い指数関数的に減衰する。
界面異方性	異なる原子層の界面において生じる磁気異方性
希ガス	周期表で18族の元素であるヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドンの総称
キュリー温度	強磁性状態から常磁性状態へ磁気相転移する温度
極性基	極性を持った官能基(原子団)の総称。本研究では、潤滑剤分子の基本骨格であるPFPE(パーフルオロポリエーテル)鎖の末端に導入(-CH ₂ OH等)され、保護膜に吸着させる機能を有す。
近接場光	光の波長よりも微小な物質構造に光を当てた際に、その物質構造の表面に発生する局在光。スポット径は波長に依存せず、構造物の寸法で決まり、遠くへ伝搬していきことがない。
近接場光発生素子	レーザー光を近接場光に変換する素子。例えば、ナノビーク等。
グライドテスト	媒体表面の突起高さが所定の範囲内にあるか否かを専用ヘッドを用いて検査するプロセス
クラッド	導波路周辺部の屈折率の低い部分
グラニューラ膜	微細な磁性粒子が非磁性の粒界によって分断された構造を有する磁性膜
クロストラック方向	記録トラックの方向に垂直な方向
コア	導波路の中心にある屈折率の高い部分
固着率	磁気ディスクの最外表面に形成される潤滑膜において、下地の保護膜に強く吸着され脱離しにくい潤滑剤分子の割合。一般にはフッ素系溶媒等で洗浄する前の潤滑剤量に対する洗浄後残存した潤滑剤量の比率で表現する。
磁気クラスターサイズ	消磁状態において安定となる磁区状態の平均的な自己相関長
ジブロックコポリマー	ブロック共重合体。2種のポリマーが化学結合(重合)してひとつの分子となったもの
スピンスタード	ディスク、ヘッドを評価するためにスピンドル・キャリッジなどで構成された駆動機構部。(ストレージ用語辞典より抜粋)
静的記録テスト	ピエゾを利用して媒体をスキャンして記録を行う装置
遷移状態	化学反応の過程で原系から生成系に変換するときに通る最もエネルギーの高い状態
ディスクフラッタ	HDD内の流れに起因してディスクに生じる振動
デコード	一定規則に基づいて符号化されたデータを復号し、もとのデータを取り出すこと
テープクリーニング	媒体表面の付着物や微小突起を除去し、ヘッド浮上特性を向上させるために研磨用テープで媒体表面をクリーニングするプロセス

トレリスダイアグラム	トレリス線図 (trellis diagram)。符号の状態間の可能な遷移の全てを示したもの
トレーリングシールド	Trailing shield。垂直記録用書き込みヘッドの流出端側に配置された磁気シールド
ナノビーク	プラズモンを利用した近接場光発生素子。尖った先端に近接場光が発生する。形状がくちばしに似ていることから、ナノビークと呼ばれる。
熱アクチュエータ	梁に発生するジュール熱による熱膨張を利用したアクチュエータ
熱アシスト磁気記録	媒体に熱と磁場を加えてデータを記録する技術。
熱遮断周波数	熱アクチュエータのストロークがDC駆動に比べ3dB小さくなる駆動周波数
ハイブリッド汎関数	2種類の電子密度汎関数を組み合わせたもの
パーシャルレスポンス	Partial Response。再生系の分解能(帯域)不足による波形の鈍りを考慮した再生方式
ピエゾ素子	圧電体に加えられた力を電圧に変換、あるいは電圧を力に変換する、圧電効果を利用した受動素子
非経験的分子軌道法	実験値を用いずに電子状態を計算する方法
ビットアスペクト比	ビット長とトラックピッチとの比
ファイバウォブリング法	先端を球形状に加工した光ファイバーを摺動子として用いる高感度なせん断力測定法
フェリ磁性体	異なる大きさの磁気モーメントが互いに反対方向を向いて存在しているため、その磁気モーメントの差だけ磁化を発生する性質を持った磁性体
フォームファクタ	HDDの外部との物理的なインターフェースを規定した装置仕様
プラズモン共鳴	金属中の電子振動の共鳴状態。
ブリアンブル	サーボ信号の始まりに付加する同期用のパターン
フーリエ変換	実変数の複素または実数値関数を別の同種の関数に写す変換方法
フリー層	磁気ディスクの最外表面に形成される潤滑膜において、下地の保護膜との吸着が弱いもしくは吸着されていない潤滑剤分子によって構成される潤滑層
ベベル角	媒体対向面における主磁極の側面の角度
密度汎関数法	物理量を電子密度の汎関数(関数の関数)から計算する方法
ミリング	(Ion) milling。加速したイオンを対象に照射してエッチングする加工手法
メインポール	主磁極(Main pole)。記録素子の磁気回路を構成する磁極のうち、書き込みに用いる側の磁極。
モードフィールド径	導波路を伝わる光のビーム径
モンテカルロ法	シミュレーションや数値計算を乱数を用いて行なう手法の総称
力場ポテンシャル	原子間の相互作用を表す関数
リーディング側	流入端側。スライダ浮上面のディスク旋回流が入ってくる側の端。
リードソロモン符号	Reed-Solomon Code。誤り訂正符号の一種。付加シンボル数の半分の数のまでの誤り訂正可能。
流入端	Leading edge。スライダ浮上面のディスク旋回流が入ってくる側の端。
レジストパターン	レジストを硬化させて形成したパターン

ABS	浮上面(Air Bearing Surface)。スライダの浮上面(ディスク対向面)を指す。
AEセンサ	Acoustic Emission Sensor。音響的な弾性波を検出するセンサー
AFM	原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopy)。原子間力を利用して表面の形状を測定する手法。
AHE	異常ホール効果(Anomalous Hall Effect)
AP1層、AP2層	Synthetic型スピバルブ膜の固定層のうち、反強磁性膜に近い側をAP1層、遠い側をAP2層と呼称している
ATI	隣接トラック干渉(Adjacent Track Interference)
AWGN	ガウス分布に従うランダムノイズを加算すること。Additive white Gaussian noise
BAR	ビット縦横比(Bit Aspect Ratio)。記録ビットの周方向幅に対する半径方向幅の比
BCJRアルゴリズム	BCJR algorithm。誤り検出訂正の事後確率最大化復号のアルゴリズム。
bottomタイプ	固定層が基板側にあるスピバルブ膜
Box酸化膜	埋め込み酸化膜(Buried Oxide)
BPI	線密度(Bit per Inch)。1インチあたりのビット数
BPM	ビットパターン媒体(Bit Patterned Media)。1ビットの大きさに磁性体を切り取った記録媒体
Bs	飽和磁束密度。磁性材料が飽和したときの磁束密度
B3LYP	ハイブリッド汎関数の一つ。Beckeのエネルギー表式とLee,Yang,Parrらのエネルギー表式を用いていることに由来
CCP	電流狭窄型(Current Confined Path MR)。ナノメートルサイズの微細な孔に電流を通すことで大きなMRが得られる現象
CMP	Chemical mechanical polishing。化学的なエッチング効果も利用して行う機械研磨の技術
[Co/Pd] n多層膜	原子層レベルの極薄Co層とPd層を交互に積層した膜
CPP-GMR	垂直電流型巨大磁気抵抗効果(Current-Perpendicular-to-the-Plane Giant MagnetoResistive)。電流を膜面に垂直に流すタイプのGMR
CVD-CN _x	Chemical Vapor Deposition - hydrogenated Carbon Nitride。化学的気相蒸着により形成した水素含有窒化炭素膜
DCマグネトロンスパッタ	直流マグネトロンスパッタ。直流電圧を2つの電極の間にかけて、ターゲット側に磁石で磁界を作り、プラズマを試料から分離するようにしたスパッタ方式
Deep-RIE加工	深堀反応性イオンエッチング(Deep-Reactive Ion Etching)加工。MEMS等で用いられる微細加工技術の一つ
DLC	ダイヤモンド ライク カーボン(Diamond like carbon)。ダイヤモンド状の構造を有する炭素
DSA	Directed Self Assembling。配列制御された自己組織化現象。自己組織化現象を実用的なパターン形成に利用する手法
DTM	ディスクリートトラック媒体。隣接するトラックの磁気的な影響を減らすため、トラック間に溝を掘り非磁性層を埋め込むなどの加工を施した磁気記録媒体
EB	電子線(描画)(Electron beam)電圧により加速された電子の束、もしくはそれを用いた露光、加工技術
ECC	誤り訂正符号(Error Correcting Code)
EMCP	電磁誘導型結合プラズマ(Electrical Magnetic Coupled Plasma)。気体に高電圧・高周波数の変動磁場によって高温のプラズマを発生させる手法の一つ。

EMR	Extraordinary Magnetoresistive。ホール効果を応用した磁気抵抗効果
EUV	Extreme Ultra-Violet。極端紫外線(を用いた露光技術、対応するレジストなど)
FCA-C	Filtered Cathodic Arc - Carbon。フィルタ付陰極アーク放電法により形成した炭素膜
FD-BPM	Finite Difference-Beam Propagation Method。光導波路内の光導波路状態をシミュレートするための計算手法。
FDTD	Finite-difference time-domain。電磁場解析の一手法。日本語では有限差分時間領域法と呼ばれる
FEM	有限要素法(Finite Element Method)。数値解析手法の一つ。
FEMME	Finite Element Micro MagnEtics(商品名)
FGL	磁界発生層(Field Generation Layer)。STOにおいて、高周波磁界を発生させる部分の磁性層
FMR	強磁性共鳴(Ferro-magnetic resonance)。強磁性スピンの共鳴現象から磁性体の物性を測定する手法
FWHM	半値幅(Full Width Half Maximum)。ピークの半分の高さの位置で定義されるピークの幅
GMR	巨大磁気抵抗効果(Giant Magneto-Resistance)。磁性多層膜の互いに隣接する磁化状態に応じて生じる磁気抵抗効果
Hcr	残留保磁力(Remanent corecivity)
HDI	Head Disk Interface。記録媒体と記録再生ヘッドの隙間
HGA	ヘッドジンバルアセンブリ(Head Ginbal Assembly)。ヘッドスライダおよびサスペンションを組んだ部品
IBE	Ion beam etching。加速したイオンを被エッチング材料に照射して物理的にエッチングを行う技術
IBS-C	Ion Beam Sputtering - Carbon。イオンビームスパタリング法により形成した炭素膜
in-situ	その場測定。試料作成中に外に出さずにそのまま物性値を評価する意。
Kerr効果測定装置	Kerr効果による偏光方向の変化から磁化状態の変化を検出する装置
Ku	一軸磁気異方性エネルギー(Uniaxial magnetic anisotropy energy)
LDV	レーザドップラ振動計(Laser Doppler Vibrometer)。対象物にレーザ光を当てた反射波のドップラ効果を利用した振動測定装置
LES	ラーゼディシミュレーション(Large Eddy Simulation)。乱流解析に広く用いられる計算手法の一つ
LLG方程式	Landau-Lifshitz-Gilbert方程式。マイクロマグネティクスに基づく磁化計算方程式。スピンの運動方程式を確立した人名で、この方程式を基に行う第一原理シミュレーションの名称に使われている
MAMR	マイクロ波アシスト磁気記録(Microwave Assisted Magnetic Recording)。高周波磁界により記録媒体への書き込みをアシストする磁気記録技術
MCS	複合磁極面(Multi charged surface)。複数のテーパ面から構成される垂直記録用の主磁極
MEMS	微小電気機械素子(Micro-Electro-Mechanical Systems)。機械要素部品、センサー、アクチュエータ、電子回路を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料等の上に集積化したデバイス
MFM	磁気力顕微鏡(Magnetic Force Microscopy)。磁気力を利用して試料の磁化分布を測定する手法
MHループ	磁性体に磁界を印加した時の磁化変化をプロットした曲線

MP	垂直記録ヘッド用の主磁極(Main pole)
MR	磁気抵抗効果 (Magneto Resistance)。外から印加される磁界強度に応じて電気抵抗が変化する現象。HDDの再生ヘッドに用いられている
NA	開口径。レンズの半径と焦点距離の比率
NEB法	Nudged Elastic Band法。化学反応における遷移状態を探し出すための手法
NRPES	非同期位置決め誤差信号(Non-Repeatable PES)。位置決め誤差信号の非同期成分
NRRO	非同期振動(Non-Repeatable Run-Out)。トラックフォローイングの位置決め精度。追従ずれ分のうち、ディスクの回転に同期しない成分
OSA	光学表面検査装置 (Optical Surface Analyzer)。媒体表面の微細な構造の違いを可視化する評価装置の一種
PES	位置決め誤差信号(Positioning error signal)。ヘッド位置制御の際の目標位置からのずれ量に相当するもの。
PFPE	パーフルオロポリエーテル (Perfluoropolyether)。-(C _n F _{2n})-O-p-(CF ₂ O) _q -等を基本骨格とする含フッ素化合物
PPMS	Physical Property Measurement System (商品名)
PS-PDMS	polystyrene-polydimethylsiloxane。ポリスチレンとポリジメチルシロキサンブロック共重合体
PS-PEO	polystyrene-polyethyleneoxide。ポリスチレンとポリエチレン酸化物ブロック共重合体
Ra	平均面内粗さ (Average (surface) roughness)。測定範囲で平均した、試料表面の凹凸の大きさ
RA	面抵抗値 (Resistance-Area product)。MR素子の特性を表わす指標のひとつ
RIE	反応性化学エッチング (Reactive ion etching)。プラズマ中のラジカル元素を被エッチング対象表面で反応させることにより化学的エッチングを行う技術
RRO	同期振動(Repeatable Run-Out)
SEM	走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscopy)。電子を試料の表面に当てて反射させることで表面の微細構造を観察する手法。
SFD	Switching Field Distribution。反転磁界ばらつき。BPMの各ドットの反転磁界(保磁力)の分散
SGSモデル	サブグリッドスケール(Sub-Grid Scale)モデル。LES解析において計算グリッドより小さいスケール挙動を表現するモデル
Single pin膜	スピバルブ膜の単層からなる固定層
Skew角	磁気ディスク上にある磁気ヘッドの、磁気ディスク円周方向に対する傾き角のこと。(ストレージ用語辞典より抜粋)
SNR	Signal to Noise Ratio。信号と雑音の比率。信号の品質を表わす尺度
SOG	Spin On Glass。液状のSi含有材料で、塗布した後加熱するとSiO ₂ に変化する材料。半導体の配線埋め込みなどに用いられている
SOI基板	シリコンオンインシュレータ(Silicon on Insulator)基板。半導体センサの量産技術の一つ
sp ²	sp ² 混成軌道。グラファイトを構成する炭素の結合状態
sp ³	sp ³ 混成軌道。ダイヤモンドを構成する炭素の結合状態
sp-CN _x	Reactive sputtering - Carbon Nitride。反応性スパッタリングにより形成した窒化炭素膜
Spin accumulation	スピン注入した電子が拡散して起きるスピン蓄積現象の応用

sp-SiNx	Reactive sputtering - Silicon Nitride。反応性スパッタリングにより形成した窒化珪素膜
SS	サイドシールド (Side Shield)。ヘッドの側面に設けられた磁気シールド。トラック方向の分解のを向上させる
SSC	スポットサイズコンバータ (Spot Size Converter)。スライダ 上面からの光を近接場光発生素子まで縮小して光を伝播する導光路
STEM	走査型透過電子顕微鏡 (Scanning Transmission Electron Microscope)。電子線を絞って対象に照射・走査し、対象を観察する電子顕微鏡
STO	スピントルク発振器 (Spin Torque Oscillator)。MAMRにおいて、高周波磁界をスピン注入に基づいて発生させる素子
STT	スピントルク (Spin Transfer Torque)。電流を流すことで、電子のスピン偏極に依存して物質のスピンにトルクを与える現象
SUL	媒体軟磁性裏打ち層 (Soft underlayer)。主磁極から発生する磁界を媒体の記録層へ導くために垂直記録媒体に設けられた軟磁性層
SyAF層	Synthetic anti-ferromagnetic coupling layer。下記Synthetic固定層を用いたスピバルブ膜のタイプ
Synthetic固定層	反強磁性的に磁気結合した2層の磁性層からなるスピバルブ膜の固定層
TEM	透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope)。加速した電子線を試料に透過して観察する電子顕微鏡
TGA	熱重量測定 (Thermo-Gravimetric Analysis)。試料の温度を一定のプログラムによって変化または保持させながら、試料の質量を温度または時間の関数として測定する方法。
TMR	トンネル磁気抵抗効果 (Tunnel Magneto-Resistance)。トンネルバリア絶縁膜を通じておこるトンネル効果を応用した磁気抵抗効果
Tp	トラックピッチ (Track pitch)。隣接トラック間の間隔
TPI	トラック密度 (Track per Inch)。1インチあたりのトラック数
VCM	ボイスコイルモータ (Voice Coil Motor)。HDDの位置決め用アクチュエータに使用される駆動機構
XPS	X線光電子分光法 (X-ray Photo Spectroscopy)。試料の組成を調べる分析手法のひとつ
1E1A	1-Etching, 1-Ashing。エッチングチャンバー 1台とアッシングチャンバー 1台で構成される設備

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1. 1 NEDOが関与することの意義

1.1.1 政策への適合性

地球温暖化問題は、世界全体で早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動と地球環境の調和を実現するためには、画期的な技術革新が求められる。そのうち特にIT機器が数多く収められているデータセンターの消費電力削減は喫緊の課題であり、中でもハードディスクドライブ（HDD）の単位情報量あたりの消費電力削減は主要な技術開発課題の一つといえる。したがって、データセンター内のHDDの台数削減、および、装置小型化をもたらす超高密度化技術を確立し、IT機器の大幅な省エネルギー化に貢献すると共に、HDD分野における国際イニシアチブの確保を目指す。

放送とインターネットが融合し、あらゆる情報のデジタル化が急速に進展した結果、2006年には161EB(x1018バイト)(2006年に製造された全HDDの総容量49EBの3倍強)ものデジタル情報が生成され、2020年には40ZBにも達すると見積もられている(IDC調査結果)。この巨大なデジタル資産ストックは高速大容量性を有するHDDが主体となる。一方、米国のデータセンターの省エネPJで検討されているように、データ量急増に伴うエネルギー増大が大問題となってきた。このような背景の中、民間・家庭・個人などの各場所や情報利用場面において大容量かつ省エネルギーである環境調和型情報蓄積手段の開発が急務であり、特に高速・高信頼な磁気系ストレージ(HDD)の大容量化・小型化・省電力化は喫緊の課題である。この製品分野においては、HDD関連部品では日本メーカーが依然として大きな競争力とシェアを有しているが、HDD装置では業界再編による寡占化が進行し、米国2社が大きなシェアを占める状況となっている。部品・装置共に日本メーカーの技術的優位性を強固なものとしてシェアを伸ばしていくためにも、本補助による先端技術の確立と強化が必須である。

こうした中、我が国の政府も情報通信分野を重視した研究開発政策を進めている。これまでに政府は、「科学技術創造立国」を国家戦略として打ち立て、科学技術基本法の下で「科学技術基本計画」に基づいて、創造性豊かな人材や、有限な資源を活用し最大限の成果を生み出す仕組みを創り出すことを目指し、総合的な施策を強力に推進してきた。

経済産業省の「新産業創造戦略2005」(平成17年6月)においても、情報通信分野は新産業分野としての情報家電を支える技術であり、今後も大いに推進する必要性が述べられている。また経済産業省の「経済成長戦略大綱」(平成19年6月改定)においても「持続的なITの活用を可能とするため、半導体やIT機器・システムの省エネルギー技術の開発を強化するとともに、省エネ法におけるトップランナー制度の活用等、研究成果の普及に向けた取組を進める」と示されている。このように、情報通信技術に関する政策は多

く、国家的な戦略として支援が行われている。

このような位置付けのもと、経済産業省「イノベーションプログラム基本計画」（平成20年4月）が策定されている。このうちITイノベーションプログラムでは、我が国が目指す高度情報通信ネットワーク社会の構築に向けて、情報化の進展に伴うエネルギー消費量の増大、ネットワークを流れるデータ量が大幅に増加する等の課題に考慮したストレージ技術を開発し、実社会への利用を促進することがねらいとなっている。また、エネルギーイノベーションプログラムでは、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する取り組みが行われる。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と略記する）が実施する本プロジェクト（超高密度ナノビット磁気記録技術の開発）は、この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一環として実施するものである。

以上のように、本プロジェクトが目指すストレージ（HDD）技術の開発および省エネ技術の開発は、国の産業技術政策とも合致するものとなっている。

1.1.2 NEDO中期計画における位置付け

NEDOの第2期中期計画¹においては、情報通信分野の目標として、「ストレージ（HDD）については、記録密度の向上及び省電力性の追求のための技術開発等に取り組む。」があげられている。そのためのストレージ（HDD）の開発として、NEDOでは超高密度記録を実現するHDD媒体技術、ヘッド技術、及びこれら技術をインテグレーションしてシステムとして適切に動作させる技術の開発を推進している。

図I-1-1にNEDOにおける電子・材料・ナノテクノロジー一部の取り組みをまとめて示す。ここで示す5つの技術分野（半導体技術、ストレージ・メモリ技術、コンピュータ技術、ネットワーク技術、ユーザビリティ技術）は、経済産業省の「技術戦略マップ」における情報通信分野の区分、およびNEDOの「技術ロードマップ」の区分に対応するものである。NEDOでは、本プロジェクトのストレージ・メモリ技術を一つの大きな分野に位置付け、ストレージの大容量化と低消費電力化に取り組む。

¹ NEDO 中期計画： <http://www.nedo.go.jp/jyuhoukoukai/tsusoku/cyukikeikaku2.pdf>

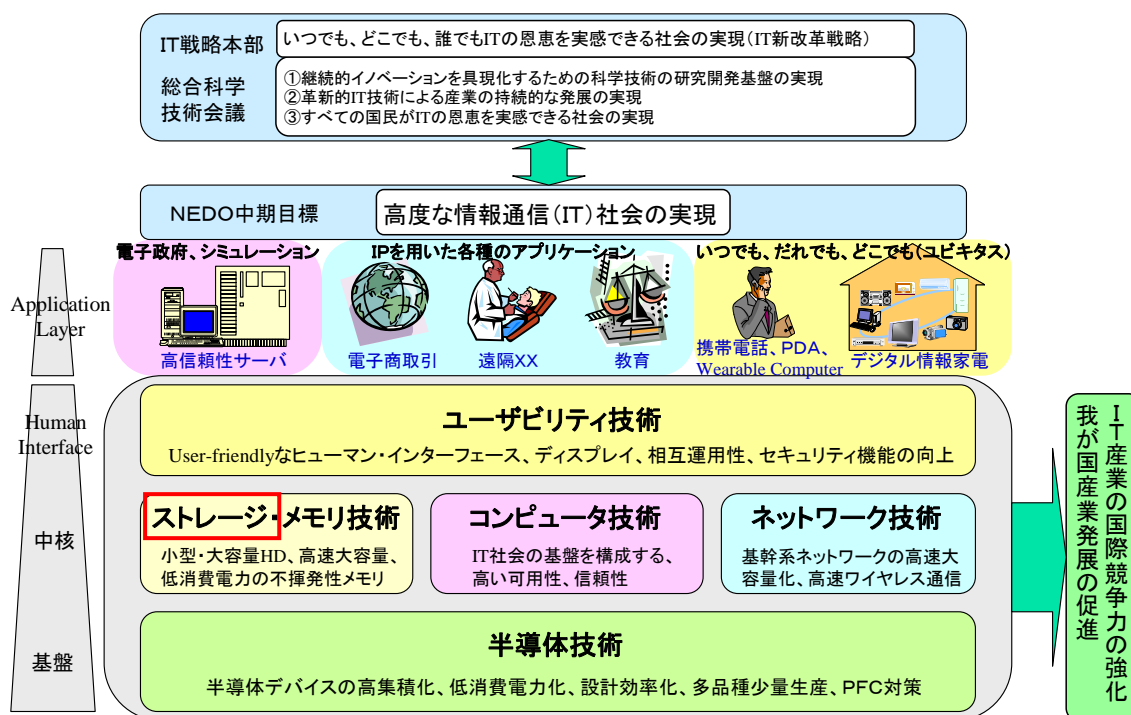


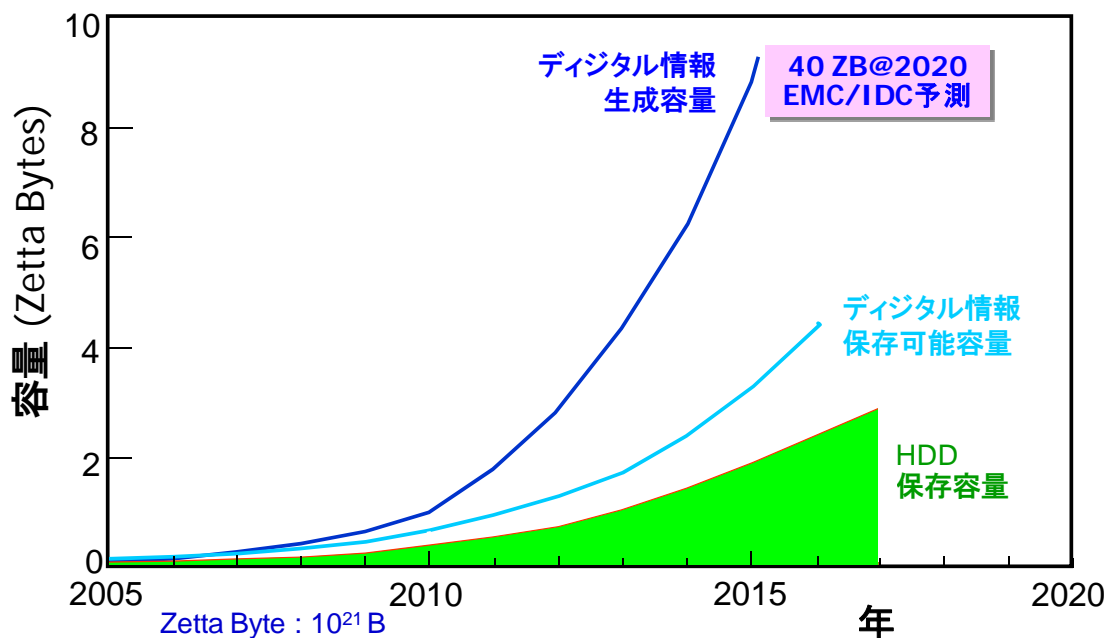
図 I-1-1 NEDOにおける電子・材料・ナノテクノロジー部の取り組み

1.1.3 NEDOが関与する必要性・意義

本プロジェクトは、次の視点からNEDOが関与する必要性・意義がある。

(1) 公益性とCO₂削減効果

HDD技術は、将来の情報通信分野における莫大なデータ量の増加に対応するために必須の技術であり、我が国の情報・エレクトロニクス産業の優位性の確保と情報化社会の推進にとって大きな意義を持つものである。情報通信に必要とされる情報量は莫大な増加を始めており、その莫大な情報をデジタル情報として記憶する記憶装置も莫大な記憶容量が必要になってきている。図I-1-2に2020年までのデジタル情報量生成量と記憶媒体の保存可能量の予測を示す。オリジナルの情報がコピーなどにより5,6倍の情報量として生成されるが、HDD以外のストレージも含め全記憶媒体を利用すれば約半分が保存可能である。その記憶媒体としては近年SSDが市場に出回り始めているが、その記憶容量は膨大な記憶容量の氷山の一角であり、記憶媒体としてはHDDが最も大きなウェイトを占めるため、HDDの消費電力を抑制することは喫緊の課題である。こういった状況のなか、本プロジェクトの成果によってHDDの記録密度を向上して台数を削減し、また小型化による低消費電力化の相乗効果により消費電力削減することでCO₂排出量削減に大きく貢献することが可能であり、国家的な取り組みとも合致するプロジェクトとして、NEDOが関与して取り組む意義がある。



図I-1-2 デジタル情報生成量と記憶媒体の保存可能量およびその記憶媒体の比率
(IDC @IDEMA July' 12, 他を元に作成)

(2) 国際競争力確保

HDD産業は国内1社と米国2社がシェアを分ける国際競争の激しい技術分野である。

米国ではストレージ業界のコンソーシアム (INSIC) が進めるプロジェクトで2015年に10Tb/in²を実現することを目指して来たが、2009年に開発目標を本プロジェクト最終目標の5Tb/in²に近い4Tb/in²に変更し、開発項目も本プロジェクトと同じ熱アシスト方式とビットパターン媒体方式に絞り込まれ、激しい技術開発競争となっている。なお、10Tb/in²はディスクベースの記録技術として様々な方式による実現性の検討を開始する、という定性的目標に切り替えられ、より実用的、製品化を見据えた技術開発を優先する体制に変わってきたことを示唆しており、HDD産業の技術開発競争の激しさを反映している。

更にHDD業界は、再編の激しいことも特徴であり、1990年代当時世界で数十社存在したHDDメーカーが2000年代中盤には世界で10社程度、2013年には国内1社、米国2社にまで淘汰されるという状況になっている。

2.2の実施体制でも示すように、本プロジェクト開始後の度重なる実施体制の変更が業界再編によって余儀なくされており、国際競争力を維持できない場合、国内からHDDメーカーが消滅する危険性も孕んでいる。

このように、HDDは将来の情報化社会に必須の技術でありながら、その開発競争及び

業界再編によるHDDメーカーの淘汰が非常に激しく、我が国がIT産業のプレゼンスを確保しHDDに関して国際競争力を維持発展するためには、残る国内企業間の連携や技術の共通化が重要であり、民間活動のみでは十分でなく、NEDOが関与する意義がある。

1. 2 実施の効果（費用対効果）

1.2.1 市場への効果

本プロジェクトの目的は、HDDの高密度化技術を開発することである。現在のHDDの市場規模及び今後の予想は、図I-1-3の通り2016年まで売上金額で3.5兆円以上、台数で約5.5億台/年の水準を維持すると予想されている。その用途として、データセンターのサーバだけでなく、家庭の消費者にとっても、本プロジェクトの成果によって家庭内コンピュータ、HDDレコーダ、録画機能付きテレビ等HDD使用情報家電製品の消費電力を抑えることができ、電気料金の削減などの恩恵を享受できる。また、国際的なCO₂削減活動にも貢献できるほか、我が国のHDD装置及び関連部品の産業競争力強化にもつながるなどの効果が期待される。

以上のことから、本プロジェクトは、総事業費に対して十分大きな効果が期待できるといえる。

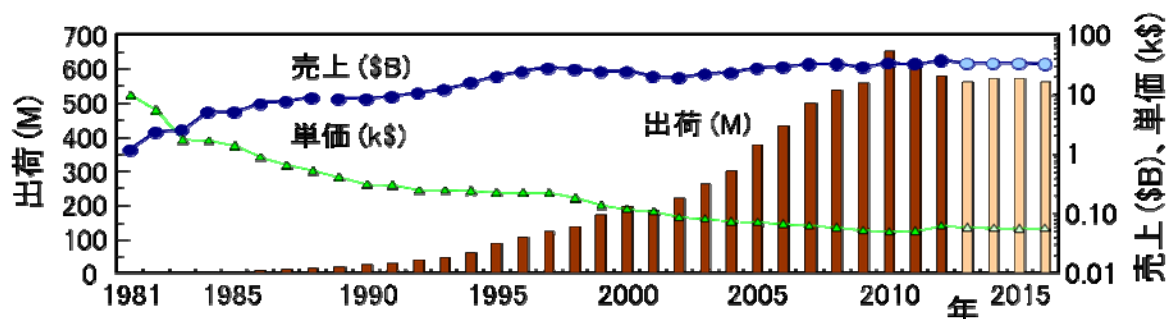


図 I-1-3 HDDの市場規模及び今後の予想
(テクノシステムリサーチ等の市場調査データを元に作成)

1.2.2 省エネ効果

本プロジェクトによる省エネ効果は以下の前提条件で計算することで予想される。

(1) HDDの導入量予測

- PC分野のみならずデジタル情報家電分野においてもHDDが急激に普及し、現状と同じ年率32%のHDDによる情報ストック、HDD必要容量増大を仮定。
- 40%での密度増大が可能であれば、数量増は今後も平均13%/年と仮定。
- 最も厳しいケースとして、1.8” HDDはFLASHに置き換えられると仮定。

(2) 省エネ効果(プロジェクト開始時のHDD技術のままであった場合)

- 1台当たりの使用時間は以下の通りとした。
8時間/日 × 1年(205日使用) × 0.1 = 164時間
(HDDの動作時間を考慮し、係数0.1を乗ずる)

- エネルギー消費量(現状のままの場合)

ディスク径 2.5” : 消費電力2W

3.5” : 消費電力7W

2030年 : 2.5inch (2W×164h×83704百万台) × 2.5(*) = 68637×10⁶ [kWh]

3.5inch (7W×164h×243598百万台) × 2.5(*) = 699126×10⁶ [kWh]

2030年の総消費量 767763×10⁶ [kWh] =18119万[kl]

【注1】 台数予測は、情報ストック量の年次推移(出典元 : How much Information? 2000&2003, University of California, Berkeley, 日立GST推定)から算出。

(3) 省エネ効果(本PJ成果実用化後の場合)

本PJ成果の実用化により高密度化・小型化が進展。3.5型が2.5型に置き換わり、2.5型が11801(百万台)普及する。

2030年 : 2.5inch (2W×164h×11801百万台) × 2.5(*) = 9677×10⁶ [kWh]

2030年の総消費量 9677×10⁶ [kWh] =228.4万[kl]

【注2(*)部分】 : 係数2.5は、現状を1としたときの回転数による消費電力増大割合。

省エネ効果量 = 18119-228.4=17891万kl=1.79億kl

さらに、国内市場台数は上記の10%となるため、国内省エネ効果は 1789万kl と算出。

2. 事業の背景・目的・位置付け

2. 1 事業の背景

2.1.1 社会的背景

地球温暖化問題は、世界全体で早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動と地球環境の調和を実現するためには、画期的な技術革新が必要である。

ブロードバンドの普及、IT機器の高度化と設置台数の急激な増大に伴い、社会で扱う情報量は増大傾向にある。IT機器が消費する電力も膨大な量が見込まれ、省エネルギー化が重要な課題となっている。海外においても、低消費電力化に向けてIT関連企業の垣根を越えたコンソーシアムの動きが活発化しており、IT機器に関する省エネルギー技術の開発は、産業競争力の観点からも重要な要素となっている。

その中でも、データセンターの消費電力削減は世界規模での喫緊の課題である。データセンターが消費する電力のうち、ハードディスクドライブ(HDD)の占める割合は20%以上と大きいため、HDDの単位情報量当たりの消費電力量の削減は主要な技術開発課題である。

2.1.2 技術的背景

HDDの記録密度を数Tb/in²に向上させる超高密度化技術を実現できれば、データセンター内のHDD台数の縮減やHDDの小型化が進み、付随して冷却装置の必要量も低減するため、データセンター全体の消費電力を20%以上削減可能と期待できる。また、情報家電やパーソナルコンピュータ等の分野でも大きな波及効果を期待できる。現在、2.5インチ型以下がHDDの成長分野となっているが、かつてこの市場を独占していた我が国のシェアは年々低下している。このような状況の中で、米国は国家的な支援に基づき高密度記録技術の開発を推進している。さらには、2020年までに1990年比で温室効果ガス排出量を25%削減する我が国の中期目標を達成するために、省エネルギーに関する技術開発の重要性が増大している。このため、HDDを高密度化する技術を開発し、HDD技術を強化することは日本の産業競争力強化の観点からも重要である。

2. 2 事業の目的

本プロジェクトの目的は、「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」の一環として、HDDの記録密度を2007年レベルから一桁以上向上させる技術開発に取り組み、単位情報量当たりの消費電力量を2007年のHDDの数十分の一へと低減させることで、IT機器の大幅な省エネルギー化を達成して地球温暖化対策へと貢献するとともに、HDD分野における日本の国際的イニシアチブの獲得を目指すことである。

2. 3 事業の位置づけ

1.1.2で述べたように、本プロジェクトはNEDOの第2期中期計画²においては、情報通信分野の目標として、「ストレージ（HDD）については、記録密度の向上及び省電力性の追求のための技術開発等に取り組む。」があげられている。そのためのストレージ（HDD）の開発として位置付け、「HDDを構成する媒体、ヘッド、アドレッシング技術に関して革新的高度化を図り、それらを統合・集積化する技術開発に取り組み、平成22年度までに中間目標として2.5Tbit/inch²、平成24年度までに最終目標として5Tbit/inch²対応の個別要素技術を開発し、得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、単位情報当たりの消費電力を0.3W/テラバイト以下に低減可能であることを示す。」ことに取り組む技術開発を推進するものである。

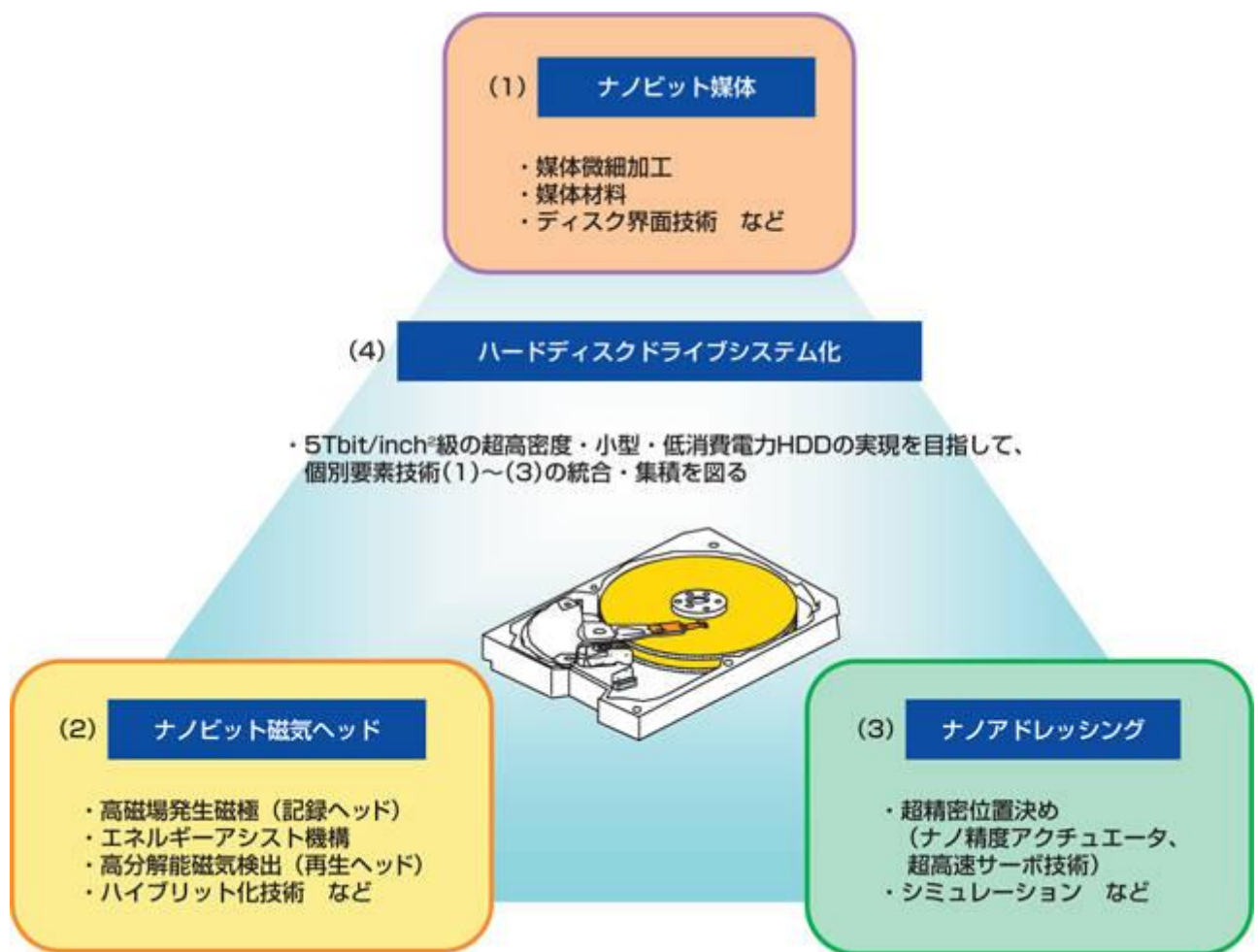
² NEDO 中期計画： <http://www.nedo.go.jp/jyouhoukoukai/tsusoku/cyukikeikaku2.pdf>

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

【全体目標】

本プロジェクトは、「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」の一環として、HDDの記録密度を現状レベルから1桁以上向上させるための技術開発に取り組み、単位情報当たりの消費電力を既存のHDDの数十分の一程度にすることで、IT機器の大幅な省エネルギーを達成して地球温暖化対策へ貢献すること、ならびに、HDD分野における国際的イニシアチブの獲得を目指すことを目的とする。具体的には、HDDを構成する媒体、ヘッド、アドレッシング技術に関して革新的高度化を図り、それらを統合・集積化する技術開発に取り組む。平成22年度までに中間目標として2.5Tbit/inch²、平成24年度までに最終目標として5Tbit/inch²対応の個別要素技術を開発し、得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、単位情報当たりの消費電力を0.3W/テラバイト以下に低減可能であることを示す。開発ターゲットを図示したものが、図II-1-1である。



図II-1-1 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発のターゲット

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

本プロジェクトの研究内容は以下の4つに大別でき、以下にそれぞれの内容を説明する。

- ①超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発
- ②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発
- ③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発
- ④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発

研究開発項目① 「超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

HDDの記録密度の向上は、既存の媒体構造である連続膜あるいは分離トラックなどに基づく技術改良ではその実現は困難であると考えられており、新規媒体構造、それに対応する新規磁性材料など大きな技術革新が必要である。

数 Tbit/inch² の実現のためには磁気記録領域のサイズを一辺 10nm 程度、あるいはそれ以下に微細化が必要だが、磁性体積の微小化に伴って、現行の媒体材料では保磁力が不十分となる問題が発生する。その解決のためには、より高い保磁力を達成する新規磁性材料、ならびに、極微小孤立磁性領域（ナノビット）間の磁氣的干渉を抑制するための非磁性材料を開発した上で、超高密度かつ均一に配列したナノビット構造に加工する技術を確立することが必要である。媒体表面のナノレベルでの平滑化技術や媒体表面に存在する付加機能層（表面保護膜、潤滑剤など）の革新もヘッドの超低浮上安定動作と信頼性の高い媒体-ヘッドインタフェースを保証するために必要である。さらに、付加機能層の材料はアシストエネルギーの照射にも十分な耐性を有することが求められるため、新規材料開発が望まれる。したがって、上記を充足する超高密度ナノビット磁気媒体の技術開発が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

媒体材料、製膜プロセス、加工技術、ならびに、媒体磁気特性、記録再生特性や媒体界面における媒体-ヘッドインタフェースなどに関わる各種シミュレーションを通じて媒体について必要材料特性や構造の仕様を明確化した上で、5Tbit/inch² の記録面密度を実現するための超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発を行う。

(1) ナノビット微細加工技術の研究開発

ナノビットの面積を 100nm² 程度以下とするための媒体微細加工技術及び高精度配置加工技術の開発を行う。あわせて、ナノビットの大面积生成技術の開発を行う。

(2) 単一ナノビット記録性の検証

ナノビット媒体に適応した高保磁力磁気材料の開発を行い、単一ナノビットにおける磁化反転を通じてナノビット媒体における磁気情報の記録可能性を検証する。

(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発

ナノビット媒体に照射されるアシストエネルギーの散逸を適切に制御し、かつ、ナノビット間の磁氣的干渉の防止を可能とする非磁性材料の開発に取り組み、5nm 以下の超低浮上条件でのヘッド安定浮上を達成するための媒体表面平滑化技術、耐エネルギー性と機械的強度に優れた新規保護膜、耐エネルギー性に優れており飛散性の少ない新規潤滑剤、などのディスク界面関連技術について総合的に研究開発を行う。

3. 達成目標

(1) ナノビット微細加工技術の研究開発

シミュレーションを通じて媒体に関わる材料や構造の仕様を明確化した上で、平成22年度までに 2.5 Tbit/inch^2 の面密度に対応するナノビットが面積 200 nm^2 程度、かつ、 $\pm 7\text{nm}$ 以内の位置決め精度にて加工でき、平成23年度までに 5 Tbit/inch^2 の面密度に対応するナノビットが面積 100 nm^2 程度、かつ、 $\pm 5\text{nm}$ 以内の位置決め精度にて円周配列構造をもって加工できることを示す。また、2.5インチ径の媒体面内における少なくとも3トラックで前記特性を確認する。平成24年度までに2.5インチ径の媒体面内における少なくとも30トラックで 2.5 Tbit/inch^2 の面密度に対応するナノビットが面積 200 nm^2 程度、かつ、 $\pm 7\text{nm}$ 以内の位置決め精度にて加工できる事を確認する。

(2) 単一ナノビット記録性の検証

シミュレーションを通じて媒体に関わる材料や構造の仕様を明確化した上で、平成22年度までに 2.5 Tbit/inch^2 の面密度、平成23年度までに 5 Tbit/inch^2 の面密度にそれぞれ対応するナノビットにおいて、磁化反転が制御可能で、かつ、その際に当該ナノビットの周辺ナノビットにおける磁気情報には影響がないことを確認する。

(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発

平成22年度までに 2.5 Tbit/inch^2 に対応する2.5インチ径のナノビット媒体面内の100トラックにおける表面凹凸が $\pm 10\text{nm}$ 以内の範囲となるよう開発を行う。また、アシストエネルギーの散逸を適切に制御し、ナノビット間の磁氣的干渉の抑制を可能とする非磁性材料の開発や新規表面保護剤、新規潤滑剤などの開発にも取り組み、 5 Tbit/inch^2 に対応するナノビット媒体界面の確立に向けて見通しを得る。それらの成果、ならびに、媒体-ヘッドインタフェースに関わるシミュレーション結果などを活用し、平成23年度までに 5 Tbit/inch^2 に対応する2.5インチ径のナノビット媒体における表面凹凸は $\pm 5\text{nm}$ 以内の範囲となるよう開発を行う。また、媒体表面に付加機能層（表面保護膜、潤滑剤など）を付与する場合は、ヘッドの安定低浮上動作と磁気情報の記録/再生を阻害することがないように、当該層が十分薄くかつ均一に作製可能で、さらに、ヘッドの安定低浮上動作やアシストエネルギー照射に対して十分な耐性を有すること。

研究開発項目② 「超高性能磁気ヘッド技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

媒体の革新に伴って、記録/再生ヘッドの革新も求められる。より高い保持力を持つ媒体材料に対する磁気記録は従来の手法では実現困難となるため、ナノビットへの記録の際に、例えば、光もしくはマイクロ波などを磁場と共に瞬間的に照射する等のエネルギーアシスト技術の適用が考えられる。 5 Tbit/inch^2 の面密度に対応した超高性能磁気ヘッドは、高磁場発生磁極、エネルギーアシスト機構、高感度・高分解能磁気検出素子等の技術開発も必要となる。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発

エネルギーアシスト技術等を援用しつつ、ナノビット媒体に対して十分大きな記録磁場を発生し、 5 Tbit/inch^2 の記録面密度で磁気記録を行うことのできる強磁場発生記録ヘッド技術の研究開発を行う。

(2) エネルギーアシスト機構の研究開発

上記の強磁場発生記録ヘッドにエネルギーアシスト機構を搭載するにあたり、磁場とアシストエネルギーの印加される空間的領域、さらに、両者が印加されるタイミングの制御も極めて重要な開発課題となる。その点を踏まえた研究開発を行い、記録面密度 5 Tbit/inch^2 のナ

ノビット媒体に対してエネルギーアシスト型磁気記録を行うことが可能な素子の開発を行う。

(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発

5 Tbit/inch² の記録面密度で磁気情報が記録されたノビット媒体の磁気再生を行うための再生ヘッド実現に向け、ノビットの微弱磁気特性を高分解能、高感度で検出する超高感度磁気抵抗素子の開発を行う。

(4) ヘッド動作の検証

開発する超高性能磁気ヘッドが、5 Tbit/inch² のノビット媒体に対して適用可能であることを検証する。具体的には、高磁場発生磁極、エネルギーアシスト機構、高感度磁気検出素子を搭載する超高性能磁気ヘッドの加工・集積化・制御に関わる技術の開発を踏まえて、超高性能磁気ヘッドの動作を検証する。

3. 達成目標

(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発

記録用素子に関して、平成22年度までに磁場出射口から 5kOe 以上の磁界強度を発生できる素子技術を確認すると共にヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認し、平成24年9月までにエネルギーアシスト機構を併用し、5Tbit/inch² 対応のサイズのノビットに記録可能な磁場強度を発生できることを示す。さらに、6Tbit/inch² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。

(2) エネルギーアシスト機構の研究開発

平成22年度までに強磁場発生記録ヘッドによる印加磁場領域とエネルギーアシスト機構によるエネルギー照射領域を空間的に適切な位置関係に合わせ込むための基本技術を確認する。平成24年9月までに 5 Tbit/inch² に対応する磁気ヘッドにより印加磁場領域とエネルギーアシスト機構によるエネルギー照射領域が空間的に適切な位置関係に合わせ込まれ、その条件下において単一ノビットの磁化反転が可能であり、また、それぞれの照射に際して周辺ノビットにおける記録情報には影響がないことを確認する。さらに、パターンスリミング技術を用いたマイクロ波アシスト素子の微細化により、6Tbit/inch² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。

(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発

平成22年度までに 5 Tbit/inch² の面密度に向けて磁気検出感度、もしくは、S/N 比の達成を見通すことができる再生原理・素子構造について、検討を行い、ヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認し、平成24年9月までに高感度・高分解能の再生ヘッドを作製し、5Tbit/inch² 対応サイズのノビットにおいて磁気情報が再生できることを示す。

(4) ヘッド動作の検証

媒体-ヘッドインタフェースやヘッドの加工、また、ノビットに対する磁気情報の記録/再生に関わるシミュレーションや媒体開発を通じてヘッドに要求される詳細仕様を明確化した上で、平成22年度までに記録ヘッド、再生ヘッドの両方を搭載する1つのスライダ、もしくは、各々を独立に搭載する2つのスライダが、周速 5~20m/s で高速回転する磁気媒体上において浮上量 10nm 以下で安定浮上し、かつ、2.5Tbit/inch² に対応するノビットに対して記録と再生を検証する。平成24年9月までにエネルギーアシスト機構付き記録ヘッド、再生ヘッドの両方を搭載する1つのスライダ、もしくは、各々を独立に搭載する2つのスライダが、周速 5~20m/s で高速回転する磁気媒体上において浮上量 5nm 以下で安定浮上し、かつ、5Tbit/inch² に対応するノビットに対して記録と再生が検証できることを目標とする。

研究開発項目③ 「超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

5 Tbit/inch²の面密度に対応した超高性能ヘッドを面積 100nm²程度以下のナノビット一つ一つに、超高精度、かつ、超高速で同期アクセスさせるためには、適切なスライダに搭載された超高性能ヘッドが周速 5~20m/s で高速回転するナノビット磁気媒体上で数 nm 程度の浮上量にて安定浮上することのみならず、当該条件下において少なくとも 5nm 以内の超精密位置決め精度をもって所望のナノビットにヘッドをアクセスさせることのできる超高精度ナノアドレッシング技術の開発が必須となる。そのためには、デバイスの加工精度が重要であることは言うまでもないが、それに加えて、超高精度な時空間的制御技術が要求されるため、ナノ精度アクチュエータの開発、ならびに、超高速サーボ技術や記録タイミング制御機構の開発も必要となる。

なお、プロジェクト終了後に実用化に向けた研究開発を行うことも念頭に置いて、各要素技術は低消費電力特性、他部品・技術との接続性や信頼性に優れ、かつ、量産可能なものであることが望ましい。また、ナノアドレッシングに関わるシミュレーション技術の発展はナノスケールデバイスの許容製造マージンの高確度予測など将来の実用化に直結するものとしても期待される。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 超精密位置決め技術の確立

5 Tbit/inch²の記録/再生に対応するシステムを実現するため、超高性能ハイブリッド磁気ヘッドを超精密位置決め精度をもって所望の単一ナノビットへ同期アクセスさせることのできるナノアドレッシング技術、すなわち、ナノ精度アクチュエータの開発、ならびに、超高速サーボ技術や記録タイミング制御機構の開発を行う。

(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発

5 Tbit/inch²の記録/再生に対応するシステムを実現するため、ナノメートルオーダーの動的制御技術の確立に向けたナノアドレッシングに関わるシミュレーション開発（位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析、さらに、熱・磁気・振動の連成解析など）も併せて行う。

3. 達成目標

(1) 超精密位置決め技術の確立

平成22年度までに超高密度ナノビット媒体、超高性能磁気ヘッド技術開発の成果進捗も踏まえながら、ナノビットアドレッシングの実用化に向けた開発手段・方向性の明確化を図る。具体的には、シミュレーション解析に基づき、ナノ精度アクチュエータ機構と超高速サーボ技術の開発を進め、それらを統合することにより、平成22年度までに 2.5 Tb/inch²級HDDを模擬した環境において、ナノビット媒体に対し浮上量 7nm 以下で安定浮上するヘッドが、動径方向共に 10nm 以内で動的制御できることを確認する。

(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発

平成22年度までに位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析、および、熱・磁気・振動の連成解析などナノアドレッシングに関わる解析を行うシミュレーションツールの開発を進め、媒体、ヘッド技術開発の成果進捗も踏まえながら、ナノビットアドレッシングの実用化に向けた開発手段・方向性の明確化を図る。また、平成24年度までにHDDの動的制御条件を模擬したシミュレーションにおける空間分解能が 2nm 以下で行えることを検証の上、5 Tbit/inch²の面密度に対応したナノビット媒体へのナノアドレッシング技術のためのシミュレーション技術を確立する。

研究開発項目④ 「ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発」

1. 研究開発の必要性

5 Tbit/inch² の記録面密度実現にあたっては、媒体・ヘッド・アドレッシング技術それぞれの革新に基づく高度化が不可欠であるのみならず、それら個別要素技術の到達技術レベルを見極めながら、いかにハードディスクドライブとして機能させるかという問題を解決するための摺り合わせ技術やシミュレーション技術など、個別要素技術を統合するハードディスクシステム化のための技術開発が必須である。したがって、超高密度・小型・低消費電力動作ハードディスクドライブ実現に向け、各部材・部品を統合・集積化するためのシステム化技術については本プロジェクトの主要な課題として位置づけ、個別要素技術の組み上げによる実用性検証を目標達成のための必要条件とする。

2. 研究開発の具体的内容

(1) システム化とHDD性能の検証

本プロジェクトにおける超高密度ナノビット磁気媒体・超高性能ハイブリッドヘッド・超高精度ナノアドレッシング技術は 5 Tbit/inch² の記録密度を持つHDDの実現という観点から見れば独立した開発要素ではなく、相互に影響を及ぼしあうものである。したがって、上述の個別要素技術の設定目標は必要条件ではあるが、十分条件ではなく、個別要素の動作や機能を機動的に連携させる制御技術の確立、および、その連係動作を確認することが求められる。5 Tbit/inch² の記録面密度を有する超大容量・小型・省電力動作ハードディスクドライブの実現に向けたHDDインテグレーション技術の開発を行い、プロジェクトの目標達成を図る。

3. 達成目標

(1) システム化とHDD性能の検証

平成22年度までに、超高密度ナノビット媒体、超高性能磁気ヘッド、超高精度ナノアドレッシング技術の個別要素技術を 2.5 Tbit/inch² レベルで達成すると共に、位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析などを行うシミュレーションを整備し、省電力性・他部品・技術との接続性・信頼性・量産性などの点も考慮して、最終目標に向けた研究開発の手段と方向性を具体的に確認する。それを踏まえ、平成24年度までに 5 Tbit/inch² の磁気記録に対応する超高密度ナノビット媒体と超高性能ハイブリッド磁気ヘッド、超高精度ナノアドレッシング技術、または、それらの組み合わせによって得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、5 Tbit/inch² の磁気記録密度（2.5インチディスク1枚での記憶容量としては3テラバイト以上）、かつ、アクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力が0.3 W/テラバイト以下（現状の3.5インチHDD製品に対して、1/50以下に相当）の実現が図れることを検証する。更に、上記の個別要素技術をベースとしたHDDプロトタイプを試作し、原理動作を検証する。さらに、統合シミュレーションにより6 Tbit/inch² 級記録のフィージビリティを確認する。



研究開発項目の中間目標と最終目標を纏めたものを表II-2-1に示す。また、これらの各研究開発項目の関係をまとめた開発線表を表II-2-2に示す。


表II-2-1 中間目標と最終目標

サブテーマ	個別テーマ	中間目標(平成22年度)	最終目標(平成24年度)
超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発	ナノビット微細加工技術の研究開発	ナノビットの面積を200nm ² 程度、かつ位置精度を±7nm以下で加工する技術を開発する。	5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットの面積を100nm ² 程度、かつ、位置精度を±5nm以下の円周配列構造で加工する技術を開発する。 また、2.5インチ径の媒体面内における少なくとも30トラックで前記特性を確認する。 2.5インチ径の媒体面内における少なくとも30トラックで2.5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットが面積200nm ² 程度、かつ、±7nm以内の位置決め精度にて加工できる事を確認する。
	単一ナノビット記録性の検証	2.5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットにおいて、磁化反転が制御可能で、かつ、その際に当該ナノビットの周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認する。	5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットにおいて、磁化反転が制御可能で、かつ、その際に当該ナノビットの周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認する。
	ナノビット媒体界面技術の研究開発	2.5インチ径のナノビット媒体界面内の100トラックにおける表面凹凸を±10nm以内とする技術を開発する。また、アシストエネルギーの散逸(拡散)を適切に制御し、ナノビット間の磁氣的干渉の防止を可能とする非磁性材料の開発や新規表面保護材、新規潤滑剤などの開発にも取り組み、最終目標達成に向けた見通しを得る。	2.5インチ径のナノビット媒体界面内における表面凹凸を±5nm以下とする技術を開発する。また、媒体表面に付加機能層(表面保護層、潤滑剤など)を付与する場合は、ヘッドの安定低浮上動作と磁気情報の記録/再生を阻害することがないように、当該層が十分薄くかつ均一に作製可能で、さらに、ヘッドの安定低浮上動作やアシストエネルギー照射に対して十分な耐性を有することを達成する。
超高性能磁気ヘッド技術の研究開発	強磁場発生記録ヘッドの研究開発	磁場射出口から5kOe以上の磁場強度を発生できる素子技術を確認するとともに、ヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認する。	エネルギーアシスト機構を併用し、5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットに記録可能な磁場強度を発生できることを示す。さらに、6Tbit/inch ² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。
	エネルギーアシスト機構の研究開発	印加磁場領域とアシストエネルギー照射領域を適切な位置関係に合わせ込むための基本技術を確認する。	印加磁場領域はアシストエネルギー照射領域と適切な位置関係に合わせ込まれており、その条件下において単一ナノビットの磁化反転が可能であり、また、それぞれの照射に際して周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認する。さらに、パターンリング技術を用いたマイクロ波アシスト素子の微細化により、6Tbit/inch ² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。
	高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発	高磁気検出感度、もしくは、高S/N比のための再生原理・素子構造を検討し、ヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認する。	高感度・高分解能の再生ヘッドを作製し、5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットにおいて磁気情報を再生できることを示す。
	ヘッド動作の検証	記録ヘッド、再生ヘッドの両方を搭載する一つのスライダ、もしくは、各々を独立に搭載する二つのスライダが、周速5-20m/sで回転する磁気媒体上で浮上量10nm以下にて安定浮上し、2.5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットに対して記録と再生が可能か検証する。	エネルギーアシスト機構付き記録ヘッド、再生ヘッドの両方を搭載する一つのスライダ、もしくは、各々を独立に搭載する二つのスライダが、周速5-20m/sで回転する磁気媒体上に浮上量5nm以下で安定浮上し、かつ、5Tbit/inch ² の面密度に対応するナノビットに対して記録と再生が可能か検証する。
超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発	超精密位置決め技術の確立	シミュレーション解析に基づき、ナノ精度アクチュエータ機構と超高速サーボ技術の開発を進め、それらの統合により、2.5Tbit/inch ² 級HDDを模擬した環境において、ナノビット媒体に対して浮上量7nm以下で安定浮上するヘッドが、円周方向・動径方向共に10nm以下の精度で動的位置制御可能か確認する。	
	ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発	位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析などの解析、および、熱・磁気・振動の連成解析、のためのシミュレーションの開発を進め、ナノアドレッシング実現に向けた開発手段・方向性を明確にする。	空間分解能が2nm以下の精度でHDDの動的制御条件を模擬したシミュレーションが可能か検証の上で、5Tbit/inch ² の面密度に対応したナノビット媒体へのアドレッシング技術のためのシミュレーション技術を確認する。
ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発	システム化とHDD性能の検証	超高密度ナノビット媒体、超高性能磁気ヘッド、超高精度ナノアドレッシング技術の個別要素技術を2.5Tbit/inch ² レベルで達成するとともに、位置決め、ヘッド浮上、記録/再生、振動解析などのシミュレーションを整備し、省電力性、他部品および技術との接続性、信頼性、量産性などの点も考慮して、最終目標に向けた研究開発の手段と方向性を具体的に確認する。	5Tbit/inch ² の面密度に対応する超高密度ナノビット媒体と超高性能ハイブリッド磁気ヘッド、超高性能ナノアドレッシング技術、または、それらの組み合わせによって得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、5Tbit/inch ² の磁気記録密度(2.5インチディスク一枚の記憶容量で3TB以上)、かつアクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力を0.3W/TB以下(2007年の3.5インチHDD製品に対して、1/50以下に相当)を実現が図れることを検証する。更に、上記の個別要素技術をベースとしたHDDプロトタイプを試作し、原理動作を検証する。さらに、統合シミュレーションにより5Tbit/inch ² 級記録のフィージビリティを確認する。

表 II-2-2 開発線表

開発項目	平成20年度 (2008年度)	平成21年度 (2009年度)	平成22年度 (2010年度)	平成23年度 (2011年度)	平成24年度 (2012年度)
超高密度ナノビット 磁気媒体技術の 研究開発					
超高性能 磁気ヘッド技術の 研究開発					
超高精度ナノ アドレッシング技術 の研究開発					
ハードディスク ドライブシステム化 技術の研究開発					

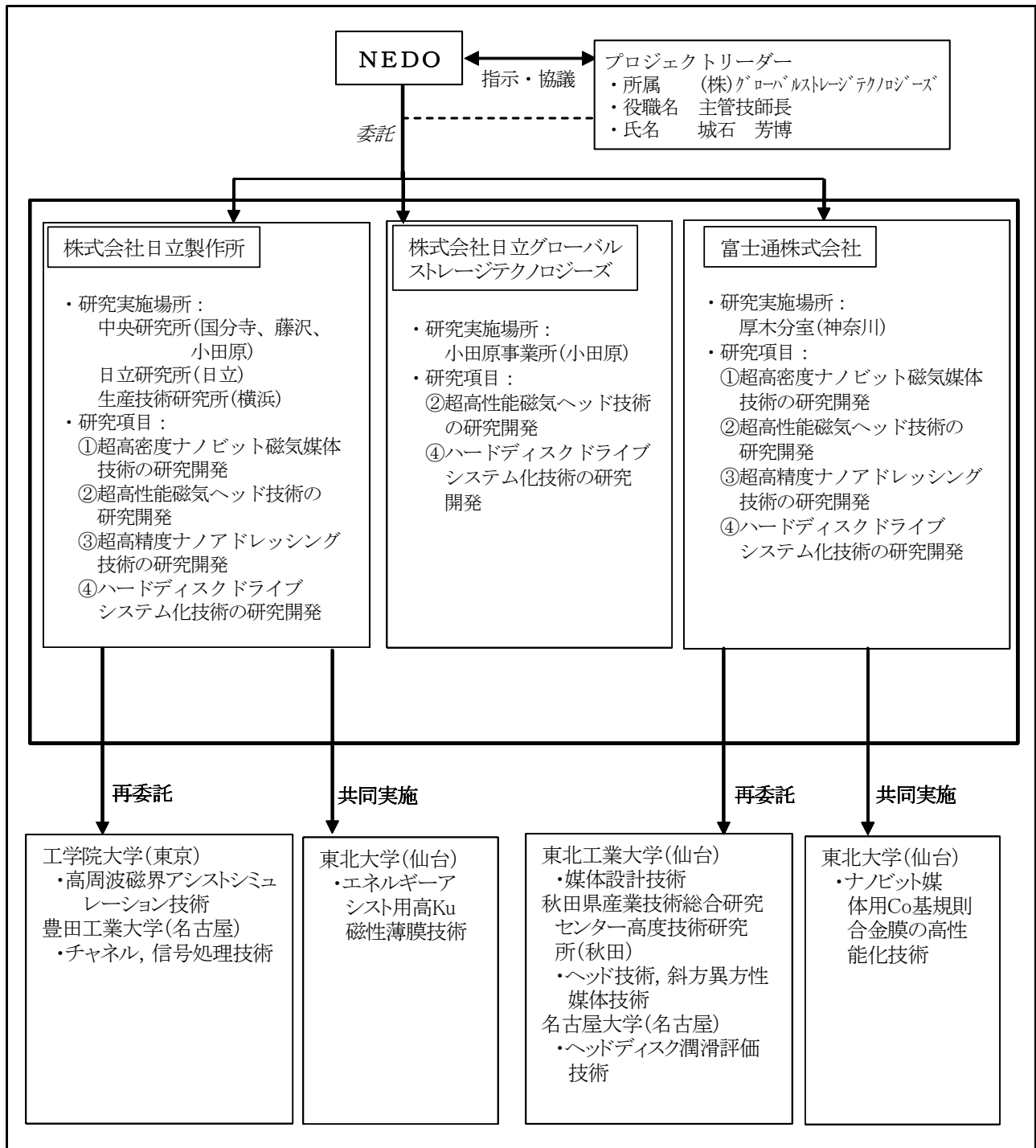
平成23年度までに個別要素技術の開発目標を達成し 、それらの成果に基づき、平成24年度までに要素技術の組合せによるHDDシステム技術の目標を達成する  のが本プロジェクトにおける研究開発の計画である。

一方で、ナノビット磁気媒体技術と磁気ヘッド技術に関しては、最終年度に実用化時の量産化技術や市場性を考慮した記録密度向上など、最終目標の向上を行っている。 

2.2 研究開発の実施体制

2.2.1 実施体制

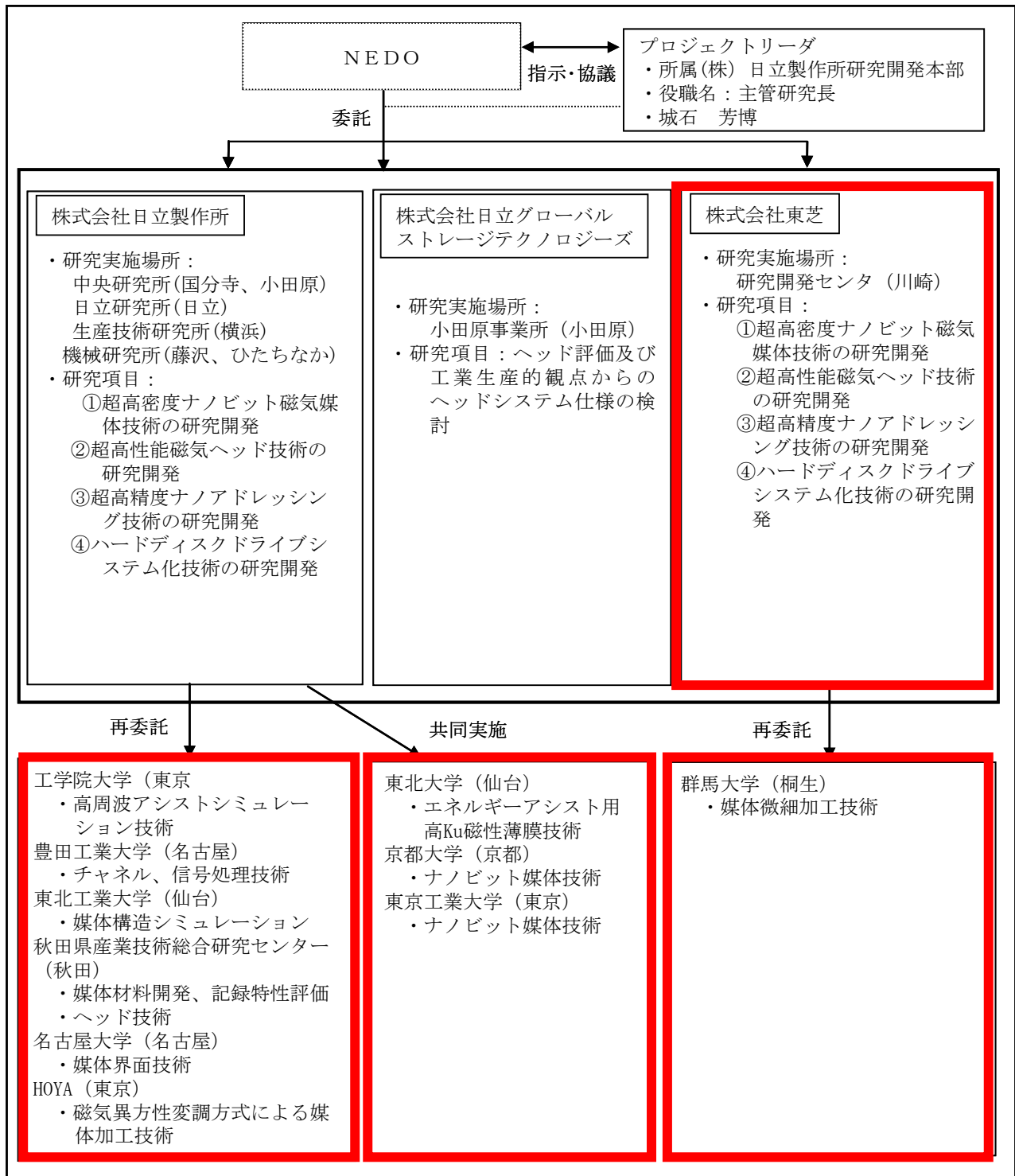
開発プロジェクトの実施者構成と各実施者の研究項目を図II-2-1に示す。プロジェクトリーダー（PL）とNEDOが、プロジェクトの運営について協議、指示を行うことで、開発進捗管理および情報交換が一元的にスムーズに進むように、全体の実施体制を構成している。また、各委託先にはサブリーダーを配置している。



図II-2-1 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成（プロジェクト開始時）

この実施体制でスタートしたが、委託先である（株）富士通のHDD事業撤退、事業売却に伴い、本プロジェクトの推進が極めて困難となったため、再度、公募からやり直して体制を整えた。このよう

な事情の為、この体制は平成20年6月10日～平成21年8月3日までの体制となった。再構築した体制図を図Ⅱ-2-2に示す。大きな変更部分を赤枠で囲った。



図Ⅱ-2-2 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成(再公募実施後)

図Ⅱ-2-2の体制は平成21年8月4日～平成22年3月31日までの体制である。

この実施体制に変更した後に、再委託先であるHOYA(株)のHDD媒体事業の売却が発生し、再委託契約が不可能となった。そこで、HOYA担当の技術開発内容の補填、及び研究開発の効率的な推進のため、再委託先、共同実施先の技術開発を見直し、新たな共同実施先、委託先の追加、及び契約終了を行い再度体制を組み替えた。この体制図を図Ⅱ-2-3に示す。大きな変更部分を赤枠で囲った。

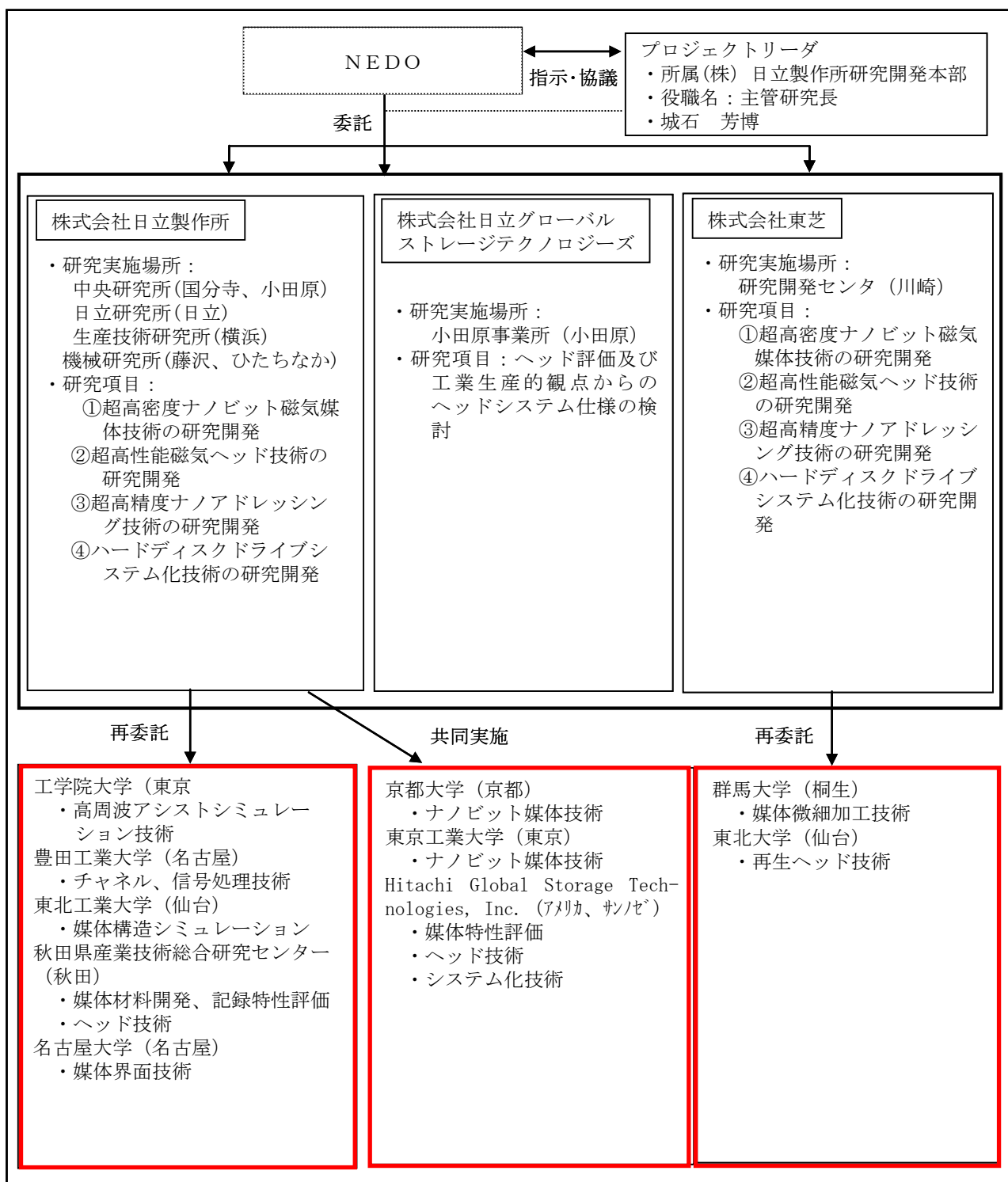
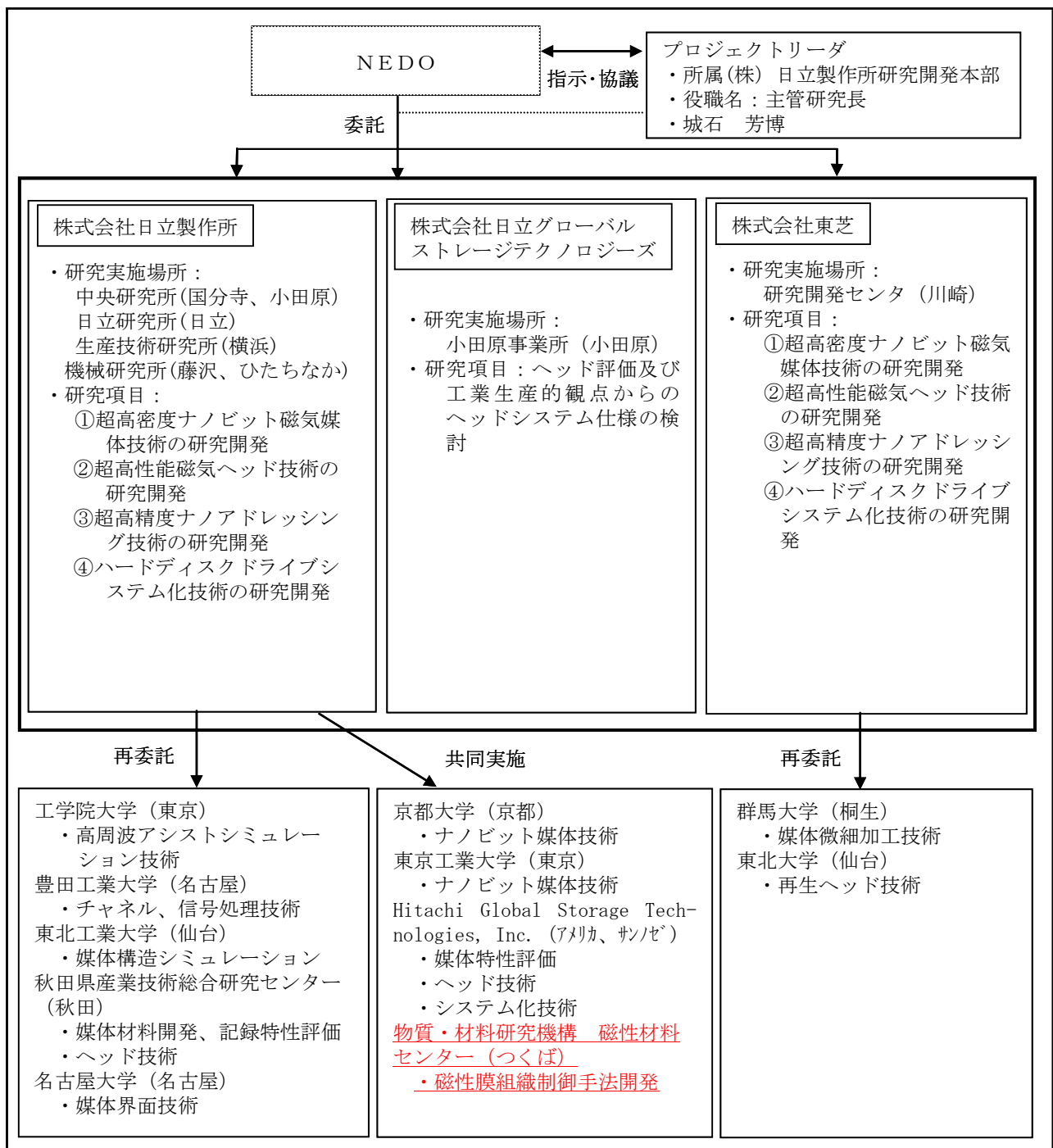


図 II-2-3 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成 (2010. 4. 1 から)

図 II-2-3 の体制は平成22年4月1日～平成22年5月31日の期間継続したが、媒体加工技術としてナノビット媒体の磁性膜とその下地膜の開発を進め、特に同磁性膜の微細構造を制御する方法について検討を進めることで研究開発の促進が図れるとの判断から、更に共同実施先として独立行政法人 物質・材料研究機構を取り入れた体制とした。この体制図を図 II-2-4 に示す。大きな変更部分を赤枠で囲った。



図Ⅱ-2-4 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成 (2010. 6. 1 から)

図Ⅱ-2-4 の体制は平成22年6月1日～平成23年3月31日の期間継続したが、東芝の再委託先の東北大学は、担当していた再生ヘッド技術におけるナノコンタクト部の形成可否の評価について完了し役割を終えたため体制から外れた。また、4月から7月にかけて日立製作所社内の組織変更に伴う研究所再編が行われた。さらに、秋田県産業技術総合研究センターは秋田県産業技術センターに改称された。この体制図を図Ⅱ-2-5に示す。変更部分を赤字（下線付き）及び赤枠で示す。

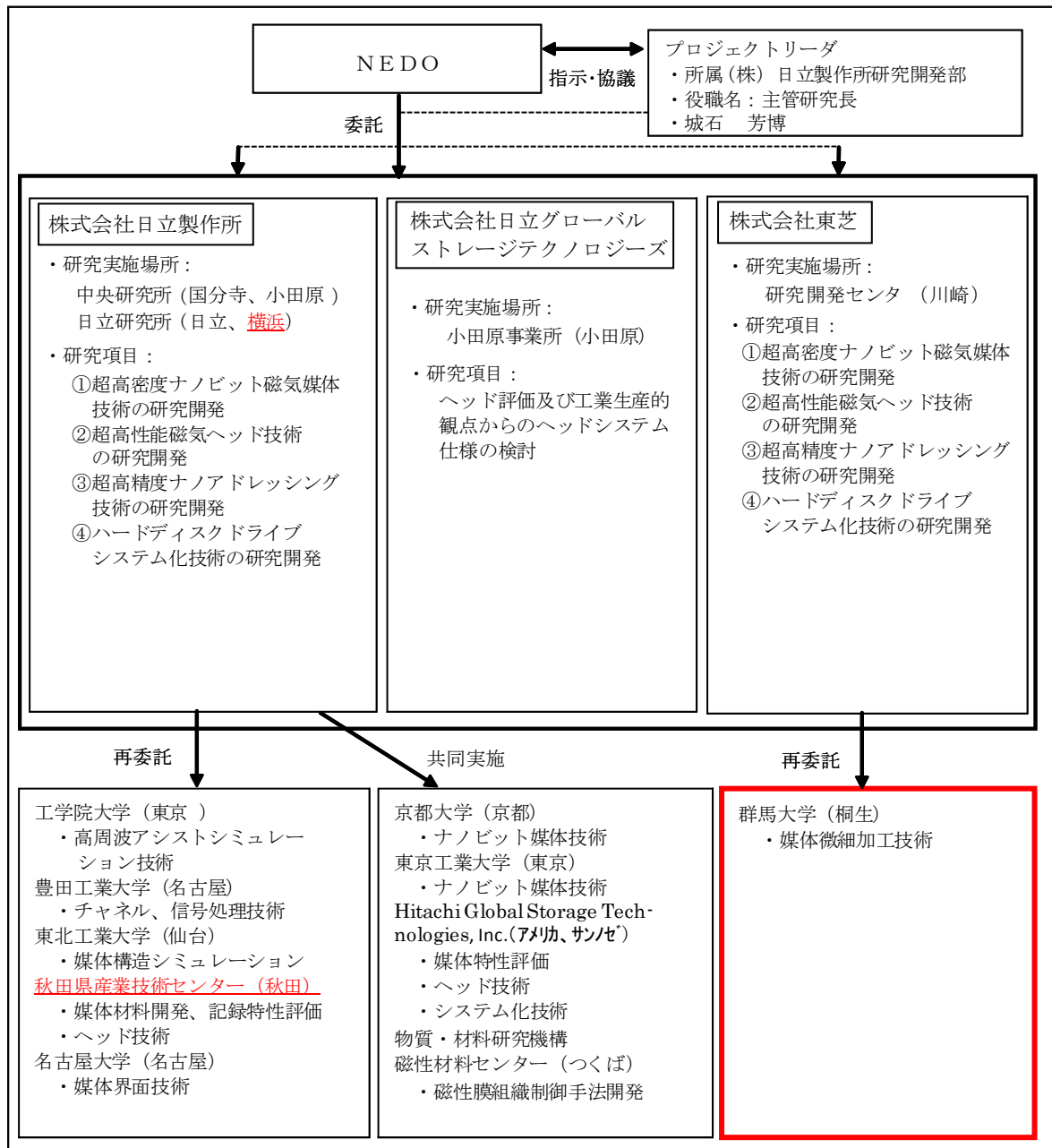


図 II-2-5 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成(2011.4.1から)

図 II-2-5 の体制は平成23年4月1日～平成23年9月30日の期間継続したが、委託先である日立製作所の HDD 事業売却に伴い、体制の再構築(日立グローバルストレージテクノロジーズの離脱、TDK株式会社、昭和電工株式会社の東芝の再委託先への追加)を行った。この体制図を図 II-2-6 に示す。変更部分を赤字(下線付き)及び赤枠で示す。

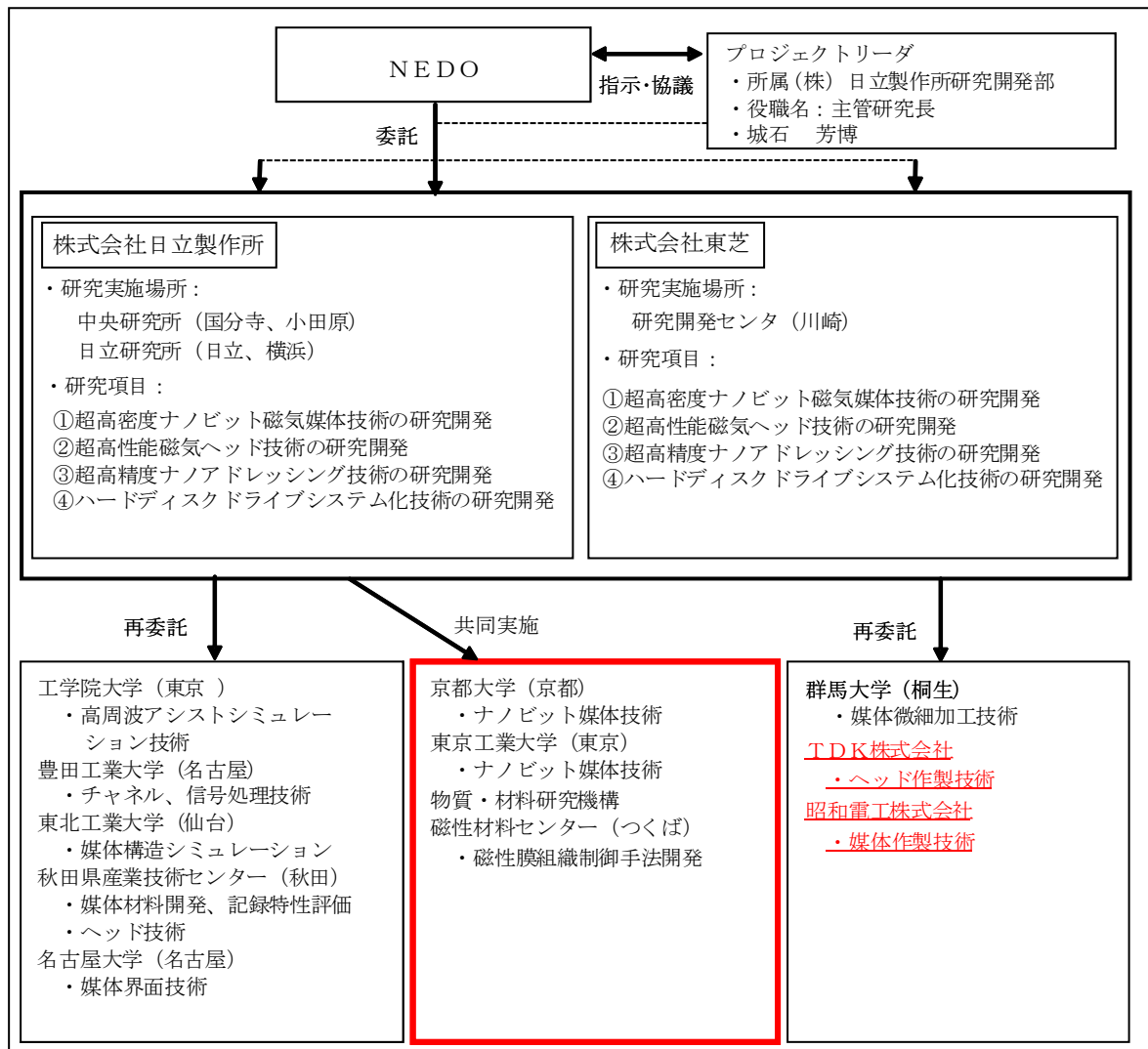
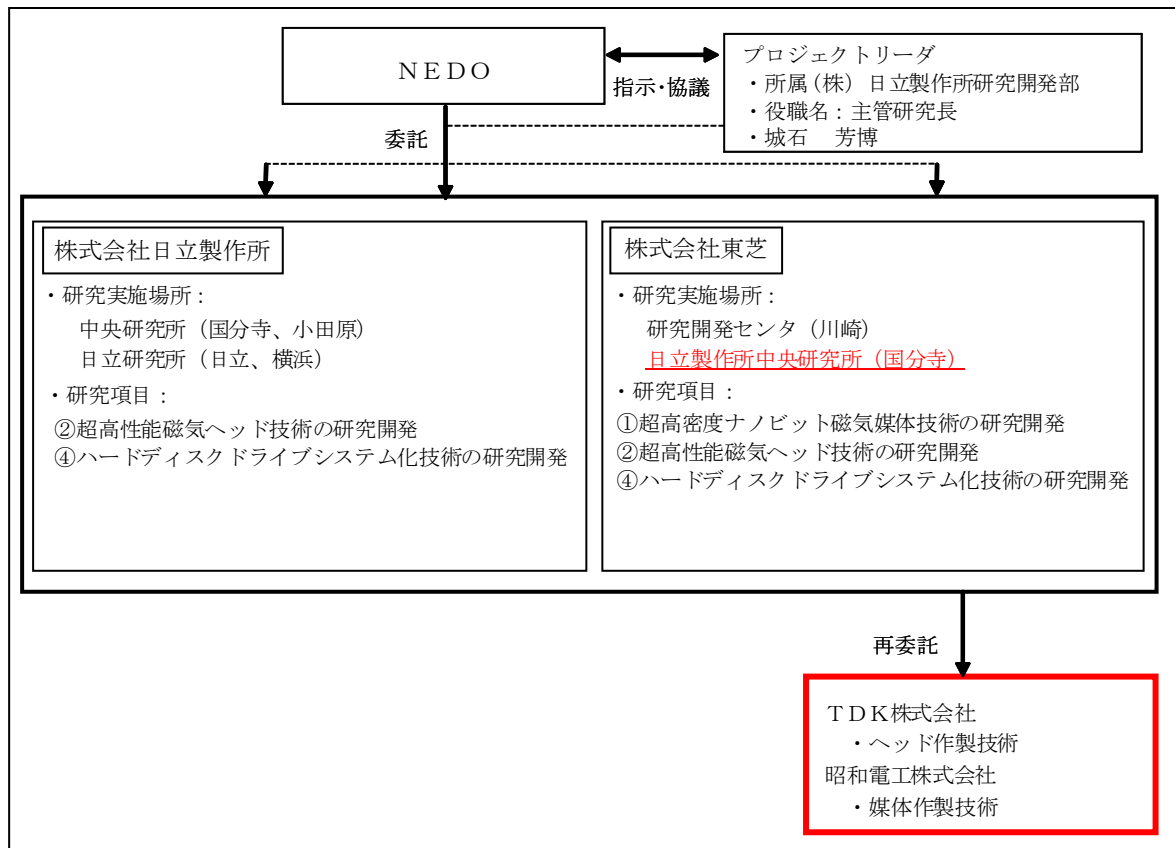


図 II-2-6 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成 (2011. 10. 1 から)

図 II-2-6 の体制は平成23年10月1日～平成24年3月31日の期間継続したが、プロジェクトの最終年度(平成24年度)は要素技術をインテグレーションしたHDDシステム化技術に注力するためメーカーだけの体制とし、各要素技術を担当していた大学及び研究機関は離脱した。この体制図を図 II-2-7 に示す



図Ⅱ-2-7 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成（2012. 4. 1 から終了まで）

2.2.2. 委託先におけるテーマ別研究体制

（1）主要な開発テーマと研究員数を表Ⅱ-2-3 に示す。

表Ⅱ-2-3 開発データ毎の研究員数

No.	開発テーマ	開発委託先	参加メンバ
1	ハードディスクドライブシステム化技術	株式会社 日立製作所 株式会社 日立 GST	22 名 (H24 年度) 1 名 (H20 年度)
2	超高性能磁気ヘッド技術	株式会社 日立製作所 株式会社 日立 GST	35 名 (H22 年度) 3 名 (H20 年度)
3	超高密度ナノビット磁気媒体技術	株式会社 日立製作所	30 名 (H21 年度)
4	超高精度ナノアドレッシング技術	株式会社 日立製作所	8 名 (H21 年度)
5	磁気ヘッド技術	株式会社 東芝	5 名 (H24 年度)
6	自己組織化技術	株式会社 東芝	4 名 (H24 年度)
7	磁気媒体加工技術	株式会社 東芝	10 名 (H22 年度)

注：参加メンバ数は各開発テーマにて従事人数が最大となった年度

2. 3 研究の運営管理

図Ⅱ-2-7の実施体制において研究開発の運営管理は次のようになっている。

本プロジェクトに関するNEDOとの契約は、(株)日立製作所、(株)東芝が個別に締結している。
(平成23年10月以降)

本研究開発の成果を実用化と新規事業創造に早期に結びつけるためには、研究開発終了後の企業による実用化努力のみならず、研究開発途上でも実用化可能な途中段階での密度によるHDDプロダクトとして速やかに実用化を図ると同時に、本研究開発の成果に係わる知的所有権実施に関するルール作り、市場創造戦略の策定等を関係機関が一体となって推進する必要がある。

このような観点から、NEDOは春と秋の年2回実施者と定例ヒアリングを開催し、研究開発内容の進捗状況確認を行うと共に、課題の共有や開発計画の見直し、加速資金の必要性などを議論する場を設けている。またこの定例ヒアリングや実施者間で行われる技術委員会で出た課題の解決に向けて個別ヒアリングを随時開催している。

さらに、本研究開発を効率的に実施するため、(株)日立製作所は工学院大学、豊田工業大学、東北工業大学、秋田県産業技術総合研究センター、名古屋大学及びHOYA(株)と、(株)東芝は群馬大学、東北大学、TDK(株)及び昭和電工(株)との間で再委託契約を締結して各機関の優位技術を取り込み、且つ、(株)日立製作所は京都大学、東京工業大学及びHitachi Global Storage Technologies, Inc.と「共同研究契約」を締結し有機的に研究を実施している。

NEDOと実施者間、実施者内の情報交換としての会議や打合せ状況を図Ⅱ-2-8に示す。

定例ヒアリング (於NEDO)	項目	内容
	出席者	電子・材料・ナノテクノロジー部、実施者メンバー、経済産業省
	開催頻度	年2回(春、秋) [H23年度秋は技術推進委員会にて代替]
	内容	研究開発進捗・計画確認、実用化に向けた取組の確認、他
個別ヒアリング (於NEDOまたは 実施者施設)	項目	内容
	出席者	電子・材料・ナノテクノロジー部、実施者メンバー
	開催頻度	不定期(年数回)
	内容	研究開発進捗確認、開発計画見直し、加速資金申請等の議論 各社個別の事業化取組状況確認、
開発現場での ヒアリング (於実施者施設)	項目	内容
	出席者	電子・材料・ナノテクノロジー部、実施者メンバー(個々企業ごと)
	開催頻度	年1~2回
	内容	設備・実験環境の確認、実証実験の確認、他

図Ⅱ-2-8 NEDO・実施者間の研究開発マネージメント

次に研究総括責任者であるプロジェクトリーダーの役割について以下に詳述する。

1. 組織関係

- (1) 再委託、共同実施による技術開発推進への影響を判断し、研究体制等の組織構成を決定。
- (2) 研究体の研究サブリーダー等の選任と解任。

2. 予算関係

- (1) 各事業年度における予算配分の調整及び決定。

3. 研究計画・管理関係

- (1) 年間計画の策定や研究進捗状況の管理及び総合調整を行う。
- (2) 年度毎のプロジェクト推進目標を策定し、これを管理/フォローアップを実施。

4. 研究成果関係

- (1) 特許、論文、学会発表、標準化寄与文書、新聞発表、展示会出展等のプロジェクト成果の計画策定と実績の管理実施。

5. その他

- (1) プロジェクト活動の啓蒙・啓発事業として、ワークショップやシンポジウム等の企画立案と実施。
- (2) 経済産業省、NEDO、大学等の各種関係会議やヒアリング等への対応及び総括。

2. 4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメント

本プロジェクトでは、記録密度 5 Tbit/inch² のHDDを実現するための要素技術の研究開発を行っており、実施者は日本を代表するHDD関連メーカー2社（日立製作所、東芝）である。業界で最高の技術水準を有する両社としても実用化時期が5年以上先と想定される技術に取り組むのはリスクが高く、単独で取り組むのは困難である。従って、両社がNEDOプロジェクトの中で得意とする技術分野を分担して、各要素技術の挑戦的な目標を達成してフィージビリティを証明することは、実用化・事業化に向けて各社が独自に本格的な開発に移る上でも極めて重要である。

プロジェクト内では協力・協調して技術目標の達成に取り組む一方で、プロジェクト終了後の事業化では両社一体で事業化するのではなく、競合社としてシェア・利益を争う立場にある。そのため、NEDOから実施者へのヒアリングでは研究開発進捗の他に、各社独自の事業化取組状況を随時確認し、各要素技術をどのようなタイミングで実用化する見込みであるか、そのために必要な施策などについて議論を重ねてきた。

プロジェクトの最終年度頃には達成された研究開発成果は、競合の海外技術とのベンチマークでも全て技術的に先行しており、本プロジェクトの成果は国際的に注目されるに至った。そのため、プロジェクト終了後の事業化の観点からすると、競合社に技術戦略についての知見を与える材料とならないように、最終年度での成果報告会は開催しない判断を下した。

今後HDDの記憶容量が増大していくにつれて、プロジェクトの成果が要素技術の単位で徐々に実用化されていくことが予想されている。NEDOとしては、プロジェクトに参画した各社が実用化・事業化で先行し、シェア拡大や売上げ・利益増に繋げるよう意識したマネジメントを心がけている。

2.4.1. 事業化に向けた知財マネジメントについて

前記のように、本プロジェクトの実施者は日本を代表するHDD関連メーカーである日立製作所、東芝である。プロジェクト終了後には、技術的成果をもとに早急に実用化に向けた開発に移行し、信頼性、量産性、コスト等の諸課題を解決し、競合の海外メーカーより可能な限り先行して製品を市場に投入して、先行者利益の獲得やシェア拡大により周辺部品も含めた産業競争力の強化を主導することが期待される。従って、本プロジェクトの成果として取得した特許は、早急な事業化を促進する観点より、バイドール方に基づく知財取扱ルールにのっとり実施者（日立製作所、東芝）に譲渡する管理を行っている。（委託業務約款 31 条）また、各社で取得した特許は、原則的にはプロジェクトの共同実施者を含む国内企業で活用できることを条件としている。

その考え方に基づき、東芝は、各要素技術の特許を保有した上で、部品メーカー（昭和電工、TDK）と連携し、共同で実用化・事業化に向けた開発する体制を構築した。日立製作所は日立グローバルストレージテクノロジーズ（以下、HGST）売却後も特許は自身が日立製作所自身が保有することにより、国内優先でHDDの生産・調達を可能とするプランを策定させた。

3. 情勢変化への対応

本プロジェクトで開発するHDDの業界は事業統合や売却といった事業再編の激しい業界であり、本プロジェクトも開始時の体制は、日立製作所、HGST、富士通であった。しかし、富士通がHDD事業から撤退、事業の分割売却を行い、本プロジェクトの継続が不可能となった。そこで、再度、始めから本プロジェクトの公募をやり直している。この再公募、事前審査の結果により、富士通のHDD事業の一部を買収した東芝が新たに加わった体制とした。更に、再委託先であるHOYAも2010年4月にHDD磁気媒体事業を売却したため再委託契約が不可能となったため、その技術を補う技術力を持つ、物質・材料研究機構を共同実施先に加えた。さらに、2011年3月に日立製作所がHDD装置事業（HGST）を米国WD社に売却するという発表を行ったため、それに対応したHGSTのプロジェクトからの離脱でプロジェクト内から失われる磁気記録媒体や磁気ヘッドの製造部門を補充するために、TDK及び昭和電工を新たに再委託先として加えた。このように、情勢変化に伴う技術開発への影響を最小限に留め、最終技術目標レベル、達成時期に不利益が生じない対応を行っている。

また、関連する海外の国家プロジェクトの動向、技術動向を逐次調査し、技術開発競争で後れを取らないよう、研究開発の加速を推進している。研究予算の推移を表II-3-1に示す。

表Ⅱ-3-1 予算推移と加速資金の内訳 (単位：百万円)

項目	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	合計
実績 (特別会計)	755	1,012	883	950	480	4,080
加速			①②③	④		

上記加速欄の番号が下記件名に対応

加速件名	金額	目的(効果)
① エネルギーアシスト媒体開発の加速	195	熱アシスト 2.5Tb/in ² の磁気ヘッドに対応した熱アシスト媒体、ナノビット媒体におけるプロセス開発加速 (<u>熱アシスト記録対応の媒体プロセス開発を前倒し達成システム技術にて 2.5 Tb/in² の記録の実現性を示した</u>)
② ナノビット媒体プロセス技術開発の加速	212	2.5 Tb/in ² 対応高精度ナノビット加工技術、及びイオン注入法によるビット孤立化技術開発加速 (<u>ナノビット媒体の全面配列制御や精密加工技術の向上実用化時に量産を可能とする基本技術を実証した。</u>)
③ 記録再生ヘッド技術の開発の加速	390	エネルギーアシスト記録用素子開発の強化、及び設備導入による再生ヘッド用素子開発期間の短縮 (<u>記録再生ヘッドの技術目標を前倒し達成、HDDシステム化開発への早期移行により実用性を検証した。</u>)
④ ナノビット媒体加工技術開発及び記録ヘッドの技術開発の加速	200	ナノビット媒体の大面積形成技術の目標向上、エネルギーアシスト記録技術の目標向上 (5 Tb/in ² →6 Tb/in ²) (<u>媒体量産化に向けた基本技術とプロトドライブでの原理動作を確認。製品寿命が長い記録容量である 6 Tb/in² 級HDDの実現性を示した。</u>)

4. 中間評価への対応

平成22年11月に実施された中間評価の結果、評価のポイント、指摘事項とその対応を表Ⅱ-4-1、Ⅱ-4-2に示す。

表Ⅱ-4-1 中間評価の結果

評価項目	① 事業の位置付け・必要性	② 研究開発マネジメント	③ 研究開発成果	④ 実用化・事業化の見通し
評点	3.0	2.6	2.6	1.4
総合点・判定	4.0 (優良)			

総合点=③+④、判定:総合点 3.0 以上が合格、4.0 以上が優良

表Ⅱ-4-2 評価のポイント、指摘事項とその対応

評価のポイント
<p>本プロジェクトは、数々のブレークスルー技術を導入することによって発展してきた HDD の記録技術を、さらに根本から変革しようとする挑戦的な研究開発事業であり、わが国の 2 大 HDD 企業を含む産学官の協力体制とプロジェクトリーダーの明確な指導のもとに有機的かつ有効に取り組んでいる。面記録密度 5 Tb/in² という意欲的な目標を設定しており、中間的な成果としても十分に高い目標である 2.5 Tb/in² を実現するための技術を開発している。その結果、世界をリードする成果を得ている。</p> <p>熾烈な競争に打勝つ上で優位製品の先手市場投入が重要であり、超 Tb/in² 級 HDD への早期成果展開に向けたロードマップの明確化と事業・製造部門との連携強化、並びに最終目標である 5 Tb/in² 級 HDD 実現に向けた未達課題検証と高度化の一層の加速に期待する。</p>

表 II-4-2 評価のポイント、指摘事項とその対応（その2）

主な指摘事項	反映(対応方針)
<p>量産化検討の一環として歩留りの評価が必要であろう。特に、高密度ほどヘッドディスク系に厳しい仕様が求められており、技術の成否はデバイスの歩留りに直結するおそれがある。この部分を改善することが望ましい。</p>	<p>各要素技術の信頼性評価は研究計画に織り込み済みである。具体的な歩留まりはノウハウ事項となるため各社の責任によるが、日立・東芝両社の技術連絡会議で歩留まりに関連した議論を行った報告を受ける等、念頭においたマネジメントを実施した。</p>
<p>競合2社間の情報共有化の促進と、進捗状況に応じた開発ターゲット見直しなど、本プロジェクトの管理システム(体制)をより明確にすることが望まれる。</p>	<p>2社と PL の間で 1回/月～隔月のリーダー・サブリーダー会議を行っているが、さらに、担当者レベルも含めた技術連絡会議を開催し、両社の情報・技術の共有化を促進させた。</p>
<p>計画の揺らぎは認められていないが、技術セットの絞り込みプロセスが行えるかどうかは今後のマネジメントの鍵となる。</p>	<p>技術セットの絞り込みについては、本プロジェクト期間中で行うことは現在の技術戦略からみると優位技術の切り捨てとなるリスクが伴う為、PJ 終了後に各社がその企業戦略において取捨選択することを基本とするが、事業面をも考慮した技術戦略の検討結果を適宜反映して、見直しも行うことを念頭にマネジメントを行った。</p>
<p>これからは 5 Tb/in² 技術開発に力点に移るが、その達成内容の実証方法、例えば、SEM レベルの狭小エリアへのナノビット形成と 2.5 inch ディスク両面への全面形成では全く異なるプロセスの考え方が必要となるため、技術の単純な延長線上で実現可能であろうという論法は成り立たない。実用化に向け、達成目標とする項目およびその到達目標レベルの再検討をしてほしい。</p>	<p>平成 22 年 11 月に媒体全面へのナノビットの形成のため EB 描画ガイド作製、イオン注入方式に対してを加速資金を注入し、ナノビット媒体の最終目標年度の1年前倒しを達成した上で、平成 24 年 3 月にナノビット媒体の大面積形成技術の加速資金を注入し、実用化に向けた量産技術の基礎確認を行った。</p>
<p>ビットパターン媒体において高い分解能でのビット形成が必要であるが、ドットの位置分散が課題としてある。これは、将来の 5Tb/in² に向けて、より改善が必要である。極微細構造を高精度に大面積に均一形成し、かつ低コストの実現が依然として大きな検討課題として残る。</p>	
<p>再生ヘッドに関しては、中間目標はクリアしているものの、実用化に結びつく飛躍的な進歩が得られているわけではない。実用化には、Read/Write の両方のヘッド技術が必要なため、加速方法を検討してほしい。</p>	<p>ナノコンタクト再生ヘッド技術として、高感度な MR 膜の構造及び高分解能なヘッド素子構造を考案し、平成 23 年度 2 月にマイクロ波アシスト記録ヘッド技術と併せて加速資金を注入した。これによりヘッド要素技術の最終目標である 5Tb/in² の再生・記録がともに可能であることを前倒しで確認できた。</p>
<p>記録と再生が統合されて初めて磁気ヘッドと言える。磁気ヘッドとしての課題を検討し、今後どの様に絞って行くのかシナリオの作成が必要である。</p>	
<p>高感度ヘッド素子技術の実現の道筋は不透明であり、技術の普及にまで詰められていない。</p>	
<p>実用化にはまだまだすべき研究開発項目が多く、それらをどの様にクリアしてゆくのかシナリオの設定が必要と考える。</p>	<p>技術戦略に則り、個別技術の未達課題であるマイクロ波アシスト記録、高感度再生ヘッド技術に対し加速資金を注入した。実用化に必須の未達課題の抽出についても日常のプロジェクトマネジメントで留意し、技術面だけでなく事業面をも考慮した開発ロードマップの明確化させた。</p>

表 II-4-2 評価のポイント、指摘事項とその対応 (その3)

主な指摘事項	反映(対応方針)
<p>実用化に向けては各要素技術の完成度を上げることはもちろんであるが、デモ&製品化への移行を短期化することが重要であり、特に新プロセスの適用が必須な本プロジェクトにおいては諸成果の製造部門への円滑な移行と生産技術検討・環境整備が重要であり、一層の連携・協調強化を強く期待する。</p>	<p>既にプロセス装置等は量産装置と同等仕様品を導入するなど実用化へのスムーズな移行を考慮したプロジェクト推進を行っているが、一層の実用化促進に向け事業面をも考慮した技術戦略を検討し、各社に提示させた。</p>
<p>シミュレーションを駆使した磁気記録理論を踏まえた設計論の確立とそれによる信頼性の高い定量的な研究開発シナリオがさらに充実しておればさらに望ましい。</p>	<p>シミュレーションによる材料開発、記録特性評価、熱信頼性評価等を大学への再委託を含めて実施しており、その結果を随時設計へフィードバックしている。実施計画にも明示し、最終目標の達成に大きく寄与した。</p>
<p>ビットパターン HDD システムの方式全体を通しての実証ができてはいない。とくに、パターン媒体における磁気の動的挙動評価において記録再生システム系とのマッチングを急ぐ必要がある。</p>	<p>HDDシステム化技術の研究開発の目標となっており、最終年度までに目標を達成している。さらに、基本計画を見直し、ナノビット媒体へのプロトドライブ試作と原理動作の検証まで行った。</p>

5. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び産業技術政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部の専門家及び有識者による研究開発の中間評価を平成22年度に実施した。また、事後評価を平成25年度に実施する。

Ⅲ. 研究開発成果

1. 事業全体の成果

(1) 要約

本プロジェクトでは、HDDを構成する媒体、ヘッド、アドレッシング技術に関して革新的高度化を図り、それらを統合・集積化する技術開発に取り組んだ。本プロジェクトの最終目標は、平成24年度末までに5 Tb/in²（～6 Tb/in²：フィージビリティ確認）対応の個別要素技術を開発し、得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、単位情報当たりの消費電力を0.3 W/テラバイト以下に低減可能であることを示すことである。

上記最終目標の達成に向け、株式会社日立製作所は、平成20年度から24年度において、超高性能磁気ヘッド技術の研究開発、及びハードディスクドライブシステム化技術の研究開発を行った。また、平成20年度から23年度において、超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発及び超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発を行った。富士通株式会社では、平成20年度において超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発、及び超高性能磁気ヘッド技術の研究開発を、また株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズでは、平成20年度から23年度上半期において、超高性能磁気ヘッド技術の研究開発、及びハードディスクドライブシステム化技術の研究開発を行った。株式会社東芝は、平成21年度から24年度において、超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発、超高性能磁気ヘッド技術の研究開発及びハードディスクドライブシステム化技術の研究開発を行った。また、平成21年度から23年度において、ナノアドレッシング技術の検討を進めた。一部検討は、大学、公的機関、企業などへの再委託/共同実施により実施した。各技術の概念図を図Ⅲ1-1に示す。図には、企業中心に次期高密度化技術として開発を進めている瓦記録の概要も示した。

〔課題オーナー〕青：本プロジェクト外、黒：企業

方式	(a) ビットパターン媒体記録	(b) 熱アシスト記録	(c) マイクロ波アシスト記録	(d) 瓦記録/2次元再生
		2.5 Tb/in ² 東芝主担当	2.5 Tb/in ² 日立・日立GST主担当	
	5 Tb/in ² ：ビットパターン記録 & エネルギアシスト記録（共同）			
	整列した孤立粒子に1ビットずつ記録	高熱安定性媒体にエネルギーを加えて反転促進 近接場光エネルギーアシスト	高周波（マイクロ波）磁界アシスト	瓦状に重ね書きして狭トラック化
基本概念	<p>主磁極 再生素子 1ビット＝1ドット ビットパターン媒体</p>	<p>レーザー 再生素子 コイル 媒体 近接場素子 加熱 冷却 記録 ヘッド磁界 温度 T (K)</p>	<p>高周波磁界発生素子 媒体 高周波磁界 記録磁界 磁化 M H_{ac} H_{write} 共鳴反転</p>	<p>瓦書き磁極 再生素子 媒体 ・瓦記録 順次走査 ヘッド移動 ・2次元再生</p>
主要技術	1.超平滑・整列パターン媒体 2.パターン位置同期記録技術 3.ナノアドレッシング技術	1.近接場素子・効率光学系 2.熱アシストヘッドインテグレーション 3.高k _u 耐熱媒体(保護潤滑)	1.低分散・低ダンピング媒体 2.マイクロ波発振微小素子 3.R/Wインテグレーション	1.上位システムとの連携 2.ガーベージコレクション時性能劣化対策、パフォーマンス確保
主要課題	1.記録機構、2.高分解能・高感度ヘッド・素子、3.超微細結晶粒媒体・材料・磁気物性、4.高度信号処理、5.高信頼化			
	1.パターン化設備巨額投資 2.新規プロセス導入による媒体生産工場拡張	1.レーザー供給確保 2.光学系付加コスト低減	1.フィージビリティ早期確認	1.メモリ付加コスト低減 2.TDMR、他方式との組み合わせ等による拡張性確保
事業	1.耐熱基板生産投資			
	1.早期フィージビリティ確認・方式選定、2.デファクト化と優位化の推進、3.量産設備・技術開発および投資			

図Ⅲ1-1 革新的高密度技術候補と本プロジェクトで検討した技術（赤枠）

研究開発項目①「超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発」の「(1) ナノビット微細加工技術の研究開発」では、2.5 Tb/in²(17 nm ピッチ)の CoPt ビットパターン媒体および 5 Tb/in²(12 nm ピッチ)の FePt ビットパターン媒体を作製・評価した。後者においてナノビットの配置精度±4.5 nm および円周方向の無欠陥(SEM 10 万倍視野内)配列を確認した。これらの知見を基に、2.5 インチ径の媒体面内の 30トラック以上において、面密度 2.5 Tb/in²相当のナノビット(面積 200 nm²程度)が±6.7 nm の位置決め精度にて配列された、プロトドライブに搭載するナノビット媒体を作製した。また、自己組織化によるガイドパターン密度 9 倍化プロセスにより 6 Tb/in²相当の円周状配列ナノビットパターンを作製し、再委託先の HOYA で磁気異方性変調方式、日立製作所で磁気モーメント変調方式によるイオン注入技術を検討し、イオン注入技術が 5 Tb/in²級ナノビット微細加工に適用可能である見通しを得た。

「(2) 単一ナノビット記録性の検証」では、ダイナミック磁気特性評価とシミュレーションにより、試作したナノビット媒体のばらつきおよび磁化反転性能を評価し、5 Tb/in²級媒体において磁化反転が制御可能で、周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認した。磁性膜としては、2.5 Tb/in²向け媒体仕様($K_u \geq 2.2 \times 10^7$ erg/cc)を満たす L1₀型 FePtAg-C 規則合金グラニューラー媒体を開発した。また、ビットパターン媒体(Bit Patterned Media: BPM)対応 L1₀型 FePt 系規則合金連続膜を開発し、イオン注入技術によるナノビットパターン化の実現可能性を確認した。再委託先の東北工業大学及び秋田県産業技術センター(AIT)で傾斜異方性ナノビット媒体によるアシスト記録を検討し、5 Tb/in²級単一ナノビット記録の可能性を得た。

「(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発」では、新規開発の FCAC 保護膜、Starfish 型潤滑膜の組合せで、ナノビット媒体(BPM)仕様である 1.6 nm の総膜厚でも、5 Tb/in²級熱アシスト記録の実現に必要な信頼性(耐熱性、ヘッド浮上性)を確保できることを確認した。再委託先の名古屋大学では、ナノビット媒体界面評価技術として、MEMS を用いた局所部の摩擦特性計測法やナノ潤滑膜のせん断特性を定量的に計測するファイバーウォブリング法を開発した。また、ドライプロセスによる埋め込みを選定し、2.5 Tb/in²媒体で浮上量 7 nm のヘッド浮上確認、および 5 Tb/in²媒体で表面凹凸±5 nm 以下を確認した。

研究開発項目②「超高性能磁気ヘッド技術の研究開発」の「(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発」では、アシスト機構を組み込む記録ヘッド集積技術を構築した。再委託先の AIT では強磁場発生記録ヘッド磁極を設計し、5 Tb/in²級熱アシスト記録に適した非対称型多面テーパ磁極形成技術を構築した。

「(2) エネルギーアシスト機構の研究開発」では、高効率光導入機構及び近接場素子を集積した熱アシストヘッド内蔵スライダ、及びレーザ光源を内蔵スライダに搭載した熱アシスト集積ヘッドを試作した。また、パターンスリミング技術を用いたマイクロ波アシスト記録(MAMR)用微小スピントルク発振素子(Spin Torque Oscillator; STO)形成技術を構築し、6 Tb/in²級アシスト記録を可能とする 15 nm 級素子で発振を確認した。再委託先の工学院大学では、主磁極と STO との磁氣的相互作用を考慮する統合シミュレーターを開発し、STO を安定発振できることを検証した。

「(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発」では、高感度 TMR 素子で RA : 0.3 $\Omega \mu\text{m}^2$, MR 比 : 60~70 % を実現し、2.5 Tb/in²級の高分解能再生を可能とする 20 nm 以下の狭小トラック幅で規格化 MR 比 0.9 以上の低ダメージ加工が可能であることを確認した。また、新規ナノコンタクト MR センサーを試作し、2.5 Tb/in²の感度スペック(抵抗変化率 35 %、面抵抗 0.15 $\Omega \mu\text{m}^2$)を検証した。さらに信号処理の工夫で 5 Tb/in²が可能であることをシミュレーションにより検証した。極薄 3 層構成センサーヘッドを試作し、5 Tb/in²の再生分解能を確認した。

「(4) ヘッド動作の検証」では、熱アシスト集積ヘッドを用いて 5 Tb/in² 対応媒体への熱アシスト記録動作を確認した。また MAMR 集積ヘッドで記録を行い、試作ヘッド搭載スライダで浮上量 5 nm 以下での安定浮上動作を確認した。さらに、シミュレーション設計に基づき、極薄 3 層構成のヘッドを試作、周速 5~20 m/s での 5 nm 以下の浮上量と 5 Tb/in² の再生分解能を確認した。

研究開発項目③「超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発」の「(1) 超精密位置決め技術の確立」では、小型、高剛性熱駆動 MEMS アクチュエータを設計・試作・評価し、超精密位置決め目標性能を確認した。また、位相差サーボパターンを具備した 2.5 Tb/in² (17 nm ピッチ) の CoPt ビットパターン媒体においてトラックフォロー精度 4.4 nm を確認した。

「(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発」では、5 Tb/in² 向け位置決め制御系仕様及び流体振動低減目標を策定し、開発したシミュレーション及びアームサスペンション風乱の実測評価により、目標のナノアドレッシング仕様の実現可能性を確認した。

研究開発項目④「ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発」の「(1) システム化と HDD 性能の検証」では、再委託先の豊田工業大学で、隣接トラック間干渉の影響を除去する手法 (ITIC) を開発し、5 Tb/in² 級 HDD を可能とする信号処理方式を実現した。媒体/ヘッド/アドレッシング/信号処理などのナノビット個別要素技術の仕様に基づき 2.5, 5 Tb/in² HDD システムの概略仕様をシミュレーションにより策定・検証し、BPM へのアシスト記録により 6-8 Tb/in² 級 HDD の実現可能性を確認した。また、ナノビット媒体の設計・試作、記録再生評価、アドレッシング性能評価を統合して行い、各要素技術の 2.5 Tb/in² および 5 Tb/in² に向けた方向性を各フェーズで明確化した。ナノビット媒体、ナノアドレッシング技術の個別要素技術をベースとした HDD プロトドライブを試作し、原理動作を検証した。

成果全体を俯瞰する全体概要図を図 III 1-2 に示す。また次節に、各研究項目に対する最終目標と成果及び目標達成度を表にしてまとめる。

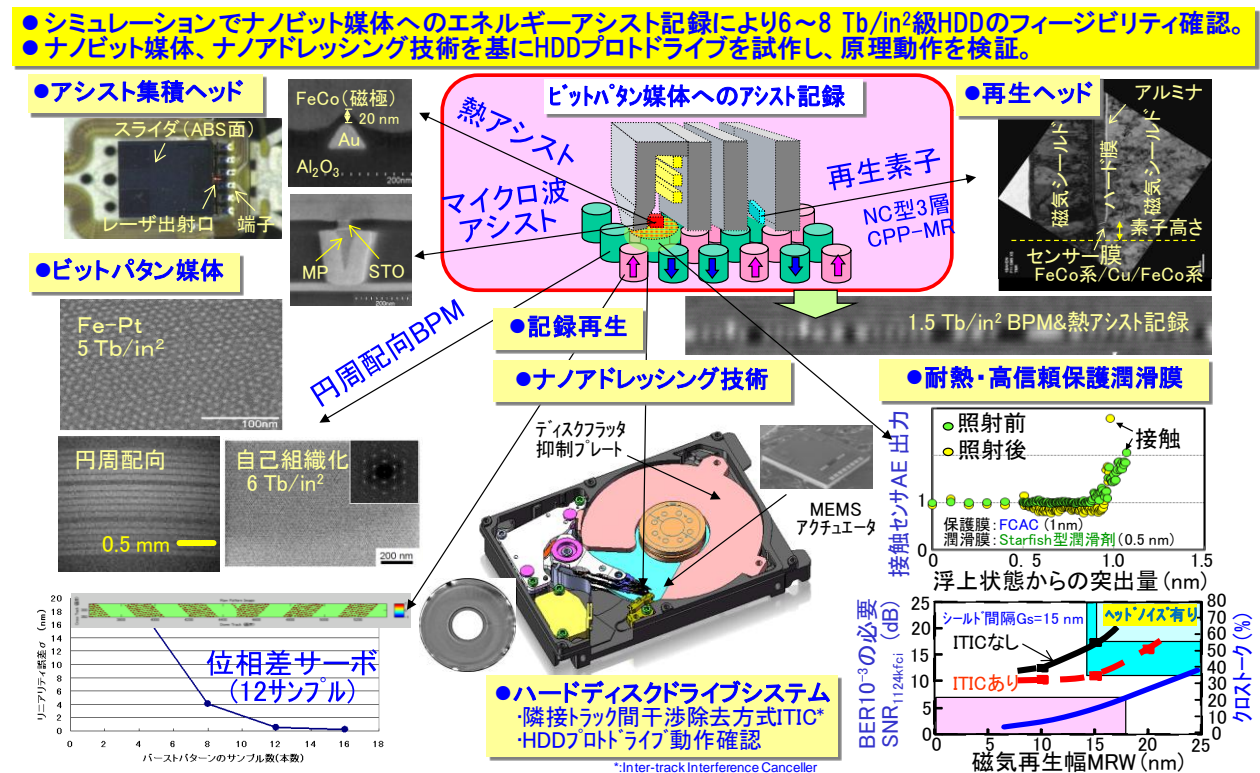


図 III 1-2 研究開発成果の概要を示す図

2. 研究開発項目毎の成果

①超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
(1) ナノビット微細加工技術の研究開発	5 Tb/in ² の面密度に対応するナノビットを面積100 nm ² 程度、かつ、位置精度を±5 nm以下の円周配列構造で加工する技術を開発する。また2.5インチ径の媒体面内における少なくとも3トラックで前記特性を確認する。	面積100 nm ² 程度(12 nmピッチ、直径6 nmドット(28.3 nm ²))、かつ、位置精度を±4.5 nmの円周配列構造でナノビットを加工する技術を開発。また2.5インチ径の媒体面内における3トラック以上で前記特性を確認。	目標大幅達成
	2.5インチ径の媒体面内の30トラック以上において、面密度2.5 Tb/in ² 相当のナノビット(面積200 nm ² 程度)が±7 nm以内の位置決め精度にて配列された、プロトドライブに搭載するナノビット媒体を作製する。	2.5インチ径の媒体面内の30トラック以上において、面密度2.5 Tb/in ² 相当のナノビット(面積200 nm ² 程度)の配置の位置決め精度が3σで6.7 nm以内で加工できることを確認、プロトドライブで原理動作を検証。	目標大幅達成
(2) 単一ナノビット記録性の検証	5 Tb/in ² の面密度に対応するナノビットにおいて、磁化反転が制御可能で、かつ、その際に当該ナノビットの周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認する。	磁気特性ダイナミック評価装置を用いて、試作した5 Tb/in ² 級ナノビット媒体の磁気特性評価・解析を行い、磁化反転が制御可能であることを確認。媒体計算装置を用いたシミュレーションで各ビットが磁化反転する際の周辺ビットに与える影響を見積もり、周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認。	目標達成
(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発	2.5インチ径のナノビット媒体界面内における表面凹凸を±5 nm以下とする技術を開発する。また、媒体表面に付加機能層(表面保護層、潤滑剤など)を付与する場合は、ヘッドの安定低浮上動作と磁気情報の記録/再生を阻害することがないように、当該層が十分薄くかつ均一に作製可能で、さらに、ヘッドの安定低浮上動作やアシストエネルギー照射に対して十分な耐性を有することを達成する。	5 Tb/in ² 級ナノビット媒体に対し、カーボンをドライ埋め込み成膜方式で平坦化するプロセスを検討し、2.5インチ径のナノビット媒体界面内における表面凹凸が±5 nm以下であることを確認。 また、5 Tb/in ² 熱アシスト磁気記録を実現するために必要な媒体界面技術である、媒体保護層(保護膜+潤滑膜厚) ≤1.6 nmでの信頼性(耐熱性、ヘッド浮上性)確保に成功。	目標達成

②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発	マイクロ波アシスト機構を併用し、5 Tb/in ² の面密度に対応するナノビットに記録可能な磁場強度を発生できることを示す。さらに、6 Tb/in ² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。	マイクロ波アシスト機構を併用した強磁場発生記録ヘッドにより、5 Tb/in ² の面密度に対応するナノビットに記録可能な磁場強度を発生できることを確認。および、6 Tb/in ² 記録実現に向けたフィージビリティを確認。	目標 大幅 達成
(2) エネルギーアシスト機構の研究開発	印加磁場領域はアシストエネルギー照射領域と適切な位置関係に合わせ込まれており、その条件下において5 Tb/in ² の面密度に対応する単一ナノビットの磁化反転が可能であり、また、それぞれの照射に際して周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認する。さらに、パターンスリミング技術を用いたマイクロ波アシスト素子の微細化により、6 Tb/in ² 記録実現に向けたフィージビリティを確認する。	統合シミュレーションにより、アシストエネルギーで面密度5 Tb/in ² に対応する単一ナノビット磁化反転が可能であり、また、それぞれの照射に際して周辺ナノビットにおける磁気情報に影響がないことを確認。該設計に基づき、レーザ光源、レーザ光高効率導入機構、位置関係を調整して近接場素子を集積した熱アシスト集積ヘッドを試作。さらにパターンスリミング技術を用いた15 nm級スピントルク発振素子により、6 Tb/in ² 記録実現に向けたフィージビリティを確認。	目標 大幅 達成
(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発	高感度・高分解能の再生ヘッドを作製し、5 Tb/in ² の面密度に対応するナノビットにおいて磁気情報を再生できることを示す。	新規ナノコンタクトMRセンサーを試作し、抵抗変化率35 %、面抵抗0.15 Ω μm ² から5 Tb/in ² が可能であることをシミュレーションで検証。また極薄3層構成の再生ヘッドを試作し、5 Tb/in ² の磁気情報の再生分解能を確認。	目標 達成
(4) ヘッド動作の検証	マイクロ波アシスト機構付き記録ヘッド、再生ヘッドの両方を搭載する一つのスライダ、もしくは、各々を独立に搭載する二つのスライダが、周速5~20 m/sで回転する磁気媒体上に浮上量5 nm以下で安定浮上し、かつ、5 Tb/in ² の面密度に対応するナノビットに対して記録と再生ができることを示す。	熱アシスト集積ヘッドが周速5~20 m/sにおいて5 nm以下で安定浮上し、面密度5 Tb/in ² 対応媒体へ熱アシスト記録が可能であることを確認、マイクロ波アシスト機構付き記録ヘッドでも記録動作を確認。さらにナノコンタクトMR型極薄3層構成の再生ヘッドを試作し、5 nm以下の安定浮上性と5 Tb/in ² の再生分解能を確認。	目標 達成

③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
(1) 超精密位置決め技術の確立	2.5 Tb/in ² 級HDDを模擬した環境において、ナノビット媒体に対し浮上量 7 nm以下で安定浮上するヘッドが、動径方向に10 nm 以内で動的位置制御できることを確認する。	ナノビット媒体において、浮上量7 nm以下でヘッドが安定に浮上することを確認。また、位相差サーボパターンを具備した2.5 Tb/in ² のCoPtビットパターン媒体を評価し、位置決め精度4.4 nm以下を確認。	目標大幅達成
(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発	空間分解能が 2 nm 以下の精度でHDD の動的位置制御条件を模擬したシミュレーションが可能か検証の上で、5 Tb/in ² の面密度に対応したナノビット媒体へのアドレッシング技術のためのシミュレーション技術を確立する。	5 Tb/in ² の面密度に対応したナノビット媒体へのアドレッシング技術のためのシミュレーション技術として、位置決め制御系仕様及び外乱モデルを策定、流体起因振動シミュレーションを開発。ディスク、アームサスペンションフラッタ解析を行い、5 Tb/in ² 向け流体振動低減機構を提案。	目標達成

④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
(1) システム化とHDD性能の検証	5 Tb/in ² の面密度に対応する超高密度ナノビット媒体と超高性能ハイブリッド磁気ヘッド、超高性能ナノアドレッシング技術、または、それらの組み合わせによって得られる各性能値をもとにインテグレーション技術として、2.5 Tb/in ² HDDプロトタイプ駆動実証を行い、5 Tb/in ² の磁気記録密度(2.5インチディスク一枚の記憶容量で3 TB以上)、かつアクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力を0.3 W/TB以下(2007年の3.5インチHDD製品に対して、1/50以下に相当)を実現できることを検証する。さらに、統合シミュレーションにより6 Tb/in ² 級記録のフィージビリティを確認する。	媒体/ヘッド/アドレッシング/信号処理(隣接トラック間干渉除去:ITIC)などのナノビット個別要素技術の仕様に基づき、2.5 Tb/in ² 、及び5 Tb/in ² HDDシステムの概略仕様をシミュレーションにより策定・検証し、ナノビット媒体へのエネルギーアシスト記録により6~8 Tb/in ² 級HDDのフィージビリティを確認。さらに、ナノビット媒体、ナノアドレッシング技術の個別要素技術を基にHDDプロトドライブを試作し、原理動作を検証。これらにより、5 Tb/in ² の磁気記録密度(2.5インチディスク一枚の記憶容量で3 TB以上)、かつアクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力を0.3 W/TB以下の目標を実現できることを検証。	目標大幅達成

3. 特許、論文、外部発表等の件数

	特許出願	論文	研究発表	その他外部発表 (プレス発表等)
H20年度	3	2	11	0件(他、新聞掲載1件)
H21年度	13	13	60	2件(新聞掲載1件、他新聞掲載2件)
H22年度	36	43	77	4件(新聞掲載8件、他新聞掲載3件)
H23年度	56	31	69	1件(新聞掲載1件、他1件)
H24年度	40	19	56	1件(新聞掲載1件、他1件)
合計	148	108	273	8件(新聞掲載11件、他9件)

IV. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

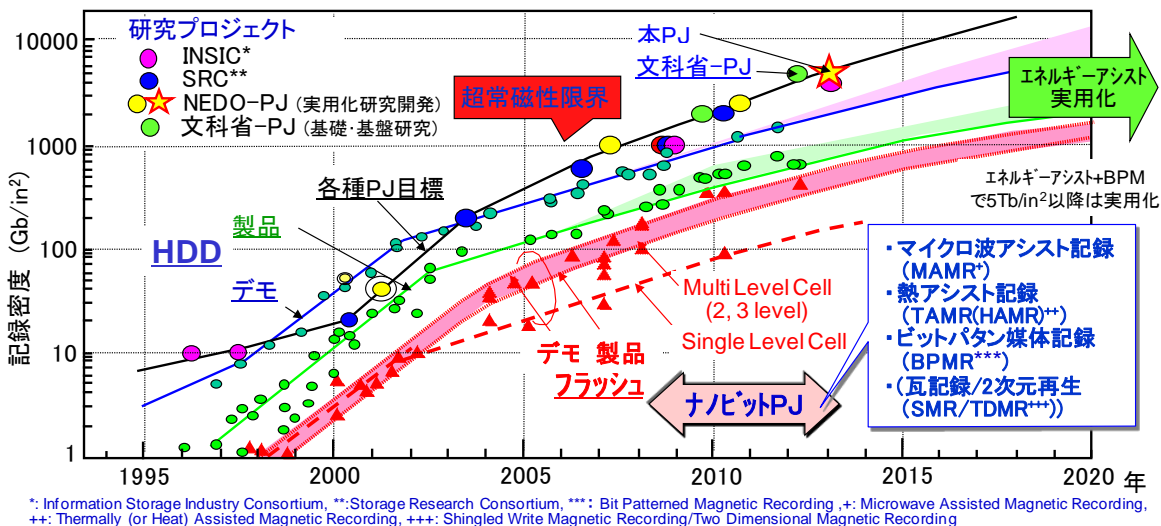
本プロジェクトにおいて、前章で詳細に説明したように、革新記録方式に関しビットパターン媒体記録(BPMR)、熱アシスト記録(TAMR)、マイクロ波アシスト記録(MAMR)方式を、また再生方式に関して、ナノコンタクト材料による新センサ技術の研究開発を実施し、図Ⅲ1-2 にその全貌を纏めた成果を得た。実用的な革新記録方式としては、図Ⅲ1-1 に示した 4 大方式が現時点で全てであり、製品化に向けた必要開発期間も考慮すれば、本プロジェクトで研究開発を実施した BPMR、TAMR、MAMR 方式以外の高密度記録方式はあり得ない*)。

国内外の研究機関などによる発表成果、特許出願状況などをベースにしたベンチマークの結果から、本成果は革新的高密度化技術に関して世界をリードしているといえる。本成果の実用化・事業化に際しては、半導体メモリなど競合技術とのベンチマークによる事業的な視点での検討も必須である。本節では、本技術が本格的に実用化・事業化されると考えられる 2017~2021 年頃のストレージ関連競合技術の状況について分析を行い、本技術の実用化・事業化の確からしさ、見通しについて検討する。

(1) 実用化・事業化の確からしさ

まずストレージ容量に関する需要であるが、現在、年率 50 %もの勢いでデジタルデータが生成されているビッグデータ時代の最中にあり、低消費電力の不揮発性ストレージに関する需要は極めて大きいといえる。

この膨大な需要に対し、現在主流となっている不揮発性ストレージであるフラッシュメモリおよび HDD の記録密度の年次推移を図Ⅳ-1 に示す。HDD は、多値化(MLC: Multi-level Cell)技術導入によりその容量の伸びが著しい NAND 型フラッシュメモリに比べても、記録密度が高く、ビッグデータ時代のストレージとして最も高いポテンシャルを有するといえる。



図Ⅳ-1 HDD および NAND フラッシュメモリの記録密度の推移

*)再生時に 2 次元的信号処理を行う TDMR(Two Dimensional Magnetic Recording)方式も検討されているが、本研究開発では熱揺らぎ問題を克服できる革新的記録技術開発に特化している。

次に、その実用化・事業化に向けて事業上最も大きな隘路となりえる必要投資の規模に関して検討する。

半導体ストレージは投資効率が HDD に比べて低く、例えば 2012 年にその全生産能力を MCL(2-bit)のフラッシュメモリに振り向けたとしてもその総容量は高々30 EB と HDD の 13 分の 1 であり、さらに売り上げ規模も 320 B\$から 38 B\$と一桁程度も激減してしまう。このことから、全 HDD がフラッシュメモリに置き換えられることは投資効率、ビジネスの観点でありえないとされる。これに対しこれまで HDD 業界では年間数 B\$の投資で大容量化を実現してきており、これからもこのペースであれば十分投資、事業継続が可能な状況にあるといえる。

以上から、年率 50 %程度もの勢いで増大する情報量を蓄積できるのは、記録密度、既投資が大きく、生産可能な総ストレージ容量が圧倒的に大きな HDD しかなく、需要、技術、投資のいずれの観点でも HDD 革新技術の実用化・事業化を妨げる隘路は他の競合技術に比べ最も少なく、実用化・事業化の確からしきは極めて高い。これらのことから、今後の実用化・事業化に向けた最大の課題は、量産技術および周辺技術の早期確立であるといえる。

(2) 実用化・事業化までのシナリオ

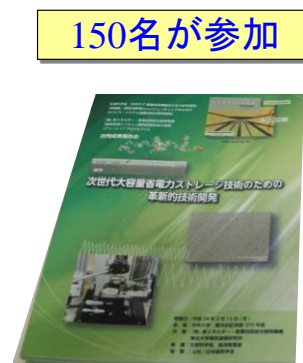
HDD には高い信頼性が要求されるため、HDD 関連革新技術に関する周辺技術の育成には物理現象に関する深い理解(基礎基盤)と、ある程度の期間のフィールド試験が必要である。本革新技術はその革新性の高さに比べ、技術完成度が高まり実用化・事業化を迎えるまでの研究開発期間、いわば技術の熟成性期間は、垂直磁気記録に比べまだ十分とはいえない。例えばマイクロ波アシスト記録技術に関し、マイクロ波帯の高周波磁界を磁気記録媒体に印加して媒体磁化の歳差運動を励起し、スイッチング磁界を下げながら磁気異方性の大きな垂直磁気記録媒体に磁気記録を行うという基本概念は 1994 年に提案されていた¹⁾。しかし本方式がより詳細に検討されるようになった^{2), 3), 4)}のは、直流電源に駆動されてスピン注入層から注入されるスピンのスピントルクによって、高周波磁界発生層のスピンを高速回転して高周波磁界を発生する、スピントロニクス技術を応用した実用的な微小構造のスピントルク型高周波発振素子が提案⁵⁾されてからである。さらに本方式が実用技術の一つとして実業界で認知されるようになったのは、本プロジェクトが発足し、その記録再生効果が 2010 年に世界で初めて確認されてからに過ぎない⁶⁾。

このため HDD、部品メーカーのみならず、材料、設備メーカーも、どの方式、プロセスに注力するのか、リソース投入、選択と集中に関して厳しい困難な選択を迫られている状況にある。例えば、熱アシスト記録とビットパターン媒体との組み合わせが記録密度の観点で最もポテンシャルが高いが、周辺技術の難度、必要投資は、マイクロ波アシスト技術が最も低く、ビットパターン媒体技術が最も高い。一方、企業主体の開発による瓦記録(SMR)方式が実用化・事業化されようとしており、この技術との相性も革新技術の実用化・事業化に多大の影響を及ぼす。本プロジェクトでは、図IV-2に示すように文部科学省プロジェクトとの合同成果報告会や学会活動などを通じ、日本の産学、HDD 関連メーカーとの連携を強化し、All Japan として本プロジェクト成果を効果的に活用すべく、成果の共有、普及活動に注力してきており、ロードマップの共有化、周辺技術の立ち上げを図ってきた。

これらの活動により、本プロジェクトで研究開発した新材料、新プロセス、新装置技術などの最先端技術で先行適用可能なものは、2017 年前後に、HGST、TDK、SDK、東芝などにより適宜適用される可能性が高くなってきている。今後本シナリオに則り、パイロットラインの構築、量産対

応投資などにより、フィールドでの信頼性評価・確保、量産化技術・生産設備の開発、歩留り向上技術の開発、部品点数・プロセス工数の低減、CT短縮などのコストダウン関連技術の開発、システム・プロセス完成度の向上などを図ると共に、関連企業との連携により、周辺LSI(信号処理LSI、SoC、記録再生プリアンプなど)、高精度位置決め機構の開発など、周辺技術・部品の強化、拡充が望まれる。

開催日：平成24年3月12日(月)
 会場：中央大学 駿河台記念館370号室
 共催：NEDO、
 東北大学電気通信研究所
 「高機能・超低消費電力コンピューティング
 のためのデバイス・システム基盤技術の
 研究開発」
 後援：文部科学省、経済産業省
 協賛：(社)日本磁気学会



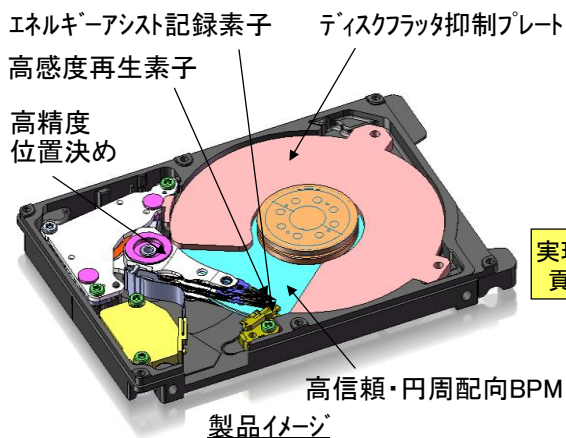
図IV-2 文部科学省プロジェクトとの合同成果発表会による情報発信

2. 波及効果

(1) 当該分野、および上位システム分野への波及効果

本プロジェクトで開発した6 Tb/in²級技術が実用化・事業化できれば、3.5”媒体一枚で10 TBもの記憶容量を有するHDDが実現できる。1 TBなど切りの良い容量のHDD製品の寿命は長いので、本技術による製品の利益率、投資効率は極めて高いと考えられる。従って本技術の実用化・事業化により、日本の得意分野であるHDD関連部品、材料、設備などの周辺ビジネスにおいても、その優位化、投資効率、競争力の向上を図ることができ、HDD関連産業の持続的発展、さらにそれを支える研究開発の一層の活性化が期待される。

また省エネ効率の高い、本技術による超大容量ストレージが供給されれば、ストレージシステムの大規模化、省エネ化が可能となり、図IV-3⁷⁾に示すように、ビッグデータを駆使したインテリジェントな持続的社会的実現に向け大きく前進できる。



2.5" HDD (10 TB/2枚)、3.5" HDD (10 TB/枚)



(株)東芝 株主通信2012年増刊号より転載

図IV-3 本プロジェクト成果のイメージと社会貢献

(2) 人材育成

本プロジェクトにおいては、日立、東芝の研究開発部門が主体となり、事業部門との連携を密に最先端の研究開発を実施、既に15件の新聞・雑誌等への掲載、273件の学会発表を行い、世界の最先端の研究開発をリード、OJTでの人材育成を図ってきた。さらに本プロジェクトやSRC活動を通じ、品質・歩留りなどにおいても優位化に繋がる基礎基盤技術に関して、学術レベルの高い社外研究機関に適切な再委託を行なうと共に、関係幹部のご了解、ご指導を頂き、本開発以外のNEDOプロジェクトや文科省プロジェクトなどとの連携も積極推進し、挑戦的な研究開発を強力に推進し、わが国のグローバル人材の育成に大きく貢献してきた。

これらの世界トップレベルの人材を核に、今後本プロジェクトの成果が早期実用化・事業化され、日本の産業競争力の優位化、持続的発展、さらには安心・安全な高度情報化社会の早期実現につながることを期待される。

参考文献

- 1) 矢島祐介、高橋由夫：特開平 7-244801(出願日 1994.3.7)
- 2) J-G. Zhu, X. Zhu, and Y. Tang: *IEEE Trans. Magn*, Vol.44, no.1, pp125-131 (2008)
- 3) M. Igarashi, Y. Suzuki, H. Miyamoto, Y. Maruyama, and Y. Shiroishi: *J. Appl. Phys.* Vol. 105, pp07B902 (2009)
- 4) M. Igarashi, Y. Suzuki, H. Miyamoto, and Y. Shiroishi: *IEEE Trans. Magn*, Vol.45, no.7, pp2125 (2009)
- 5) Xiaochun Zhu and Jian-Gang Zhu: US 7616412 B2 (Filed 2006. Jul.21)
- 6) NEDO、日立合同新聞発表：日経プレスリリース、Asahi.com(2010.11.05)など。対応する学会発表は、55th MMM Conference DF-10(2010.11.16)。最近では東芝および TDK (K. Yamada, Y. Tomoda, G. Koizumi, H. Iwasaki, M. Takagishi, K. Koi1, Wenyu Chen, Mike Zhang, Qi Hu, Min Li, Joe Smyth, and A. Takeo) が *TMRC 2013* の招待講演 "E1" STO Oscillation and Its AC Field in MAMR Heads"(2013.08.22)で、MAMR ヘッド試作、MAMR の記録特性改善効果に関する評価結果を発表し、注目を集めている。
- 7) *CEATEC 2012* NEDO 展示資料

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・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。

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 (事後評価)

(2008年度～2012年度 5年間)

4. プロジェクトの概要説明 (公開) 事業の位置付け・必要性／研究開発マネジメント

NEDO

電子・材料・ナノテクノロジー部

2013年11月27日

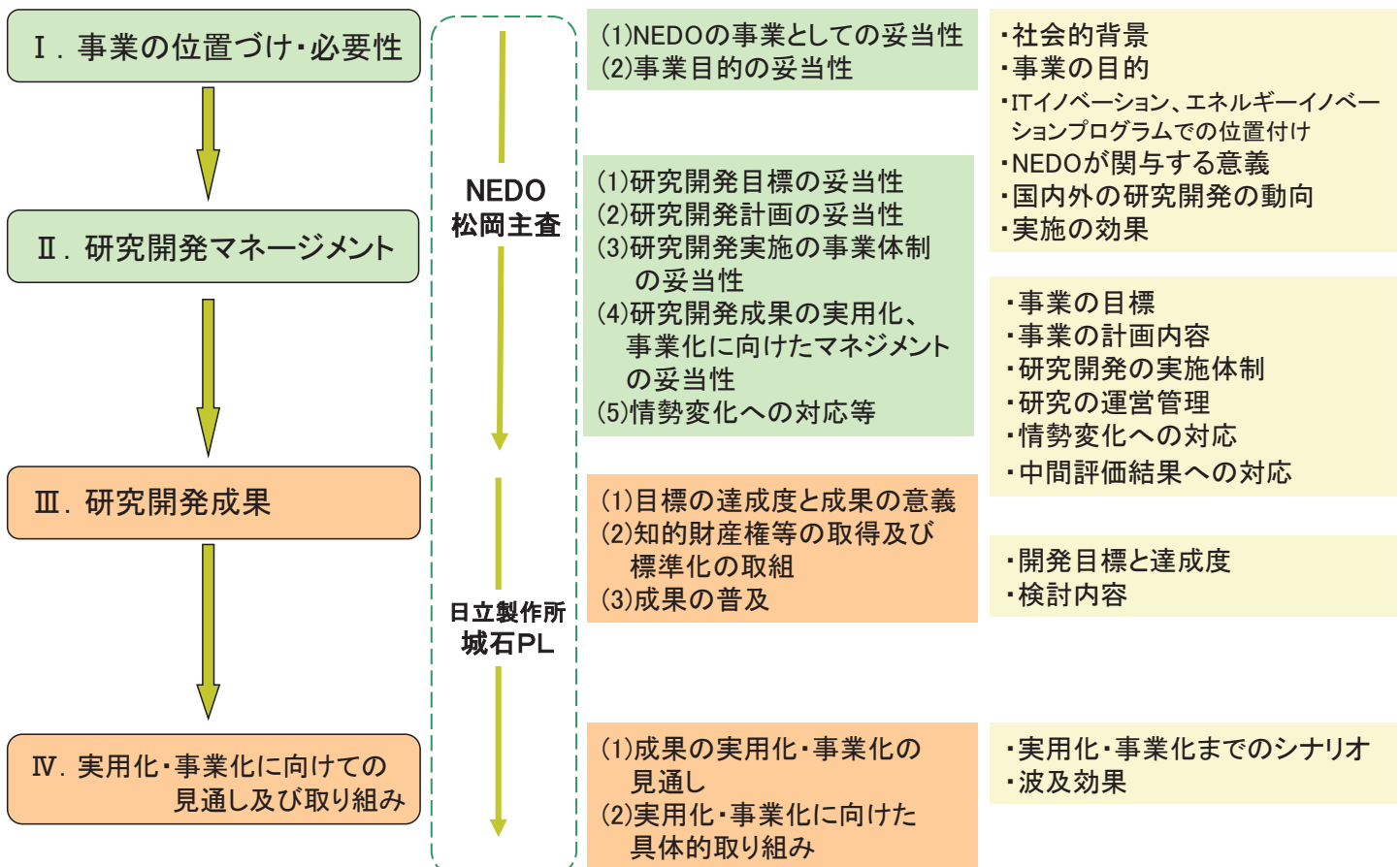
超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 事後評価第1回分科会 (平成25年 11月27日)

1/24

4. プロジェクトの概要説明

発表内容

公開



超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 事後評価第1回分科会 (平成25年 11月27日)

2/24

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」

(1)事業の位置付け・必要性

(2)研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み」

(1)研究開発成果

(2)実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

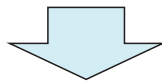
4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

4-1 (1)事業の位置付け・必要性

I-(2)事業目的としての妥当性

社会的背景

データセンターの消費電力削減は世界規模での喫緊の課題
データセンターの消費電力の20%以上をHDDが占める

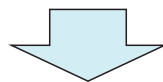


HDDの単位情報量当たりの消費電力量の削減の必要性

事業の目的

データセンタのHDD台数縮減と電力消費量の削減のために

- 記録密度を一桁以上向上
- 単位情報量当たりの消費電力量を数十分の一へ低減



地球温暖化対策へと貢献

HDD分野における国際的イニシアチブ獲得

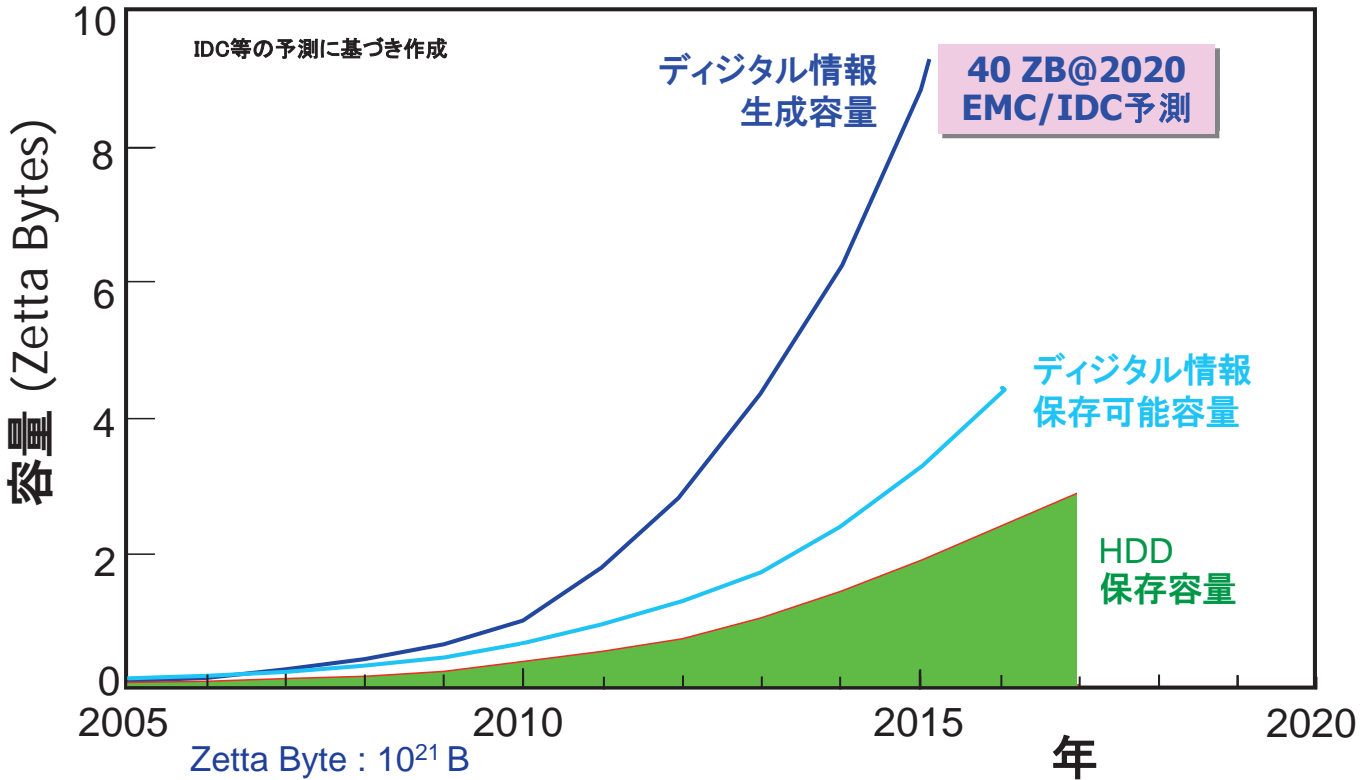
「ITイノベーションプログラム」、「エネルギーイノベーションプログラム」の一環

●デジタル情報生成の増大

- ・人口急増とネットワーク接続可能端末の多様化・浸透
- ・ネットワーク広帯域化と高精細映像配信の浸透

●ZB級ストレージが必須

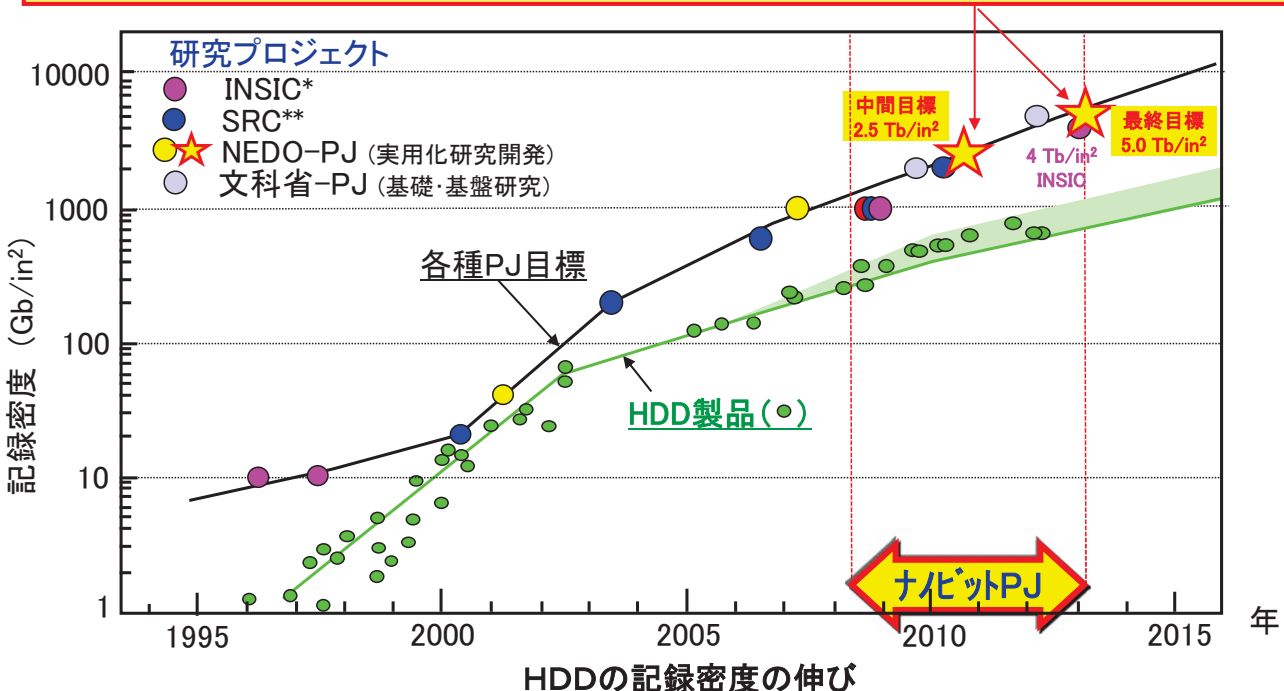
- 主役はHDD



激しい国際競争

ナビットPJ(事業実施年度:2008年度~2012年度)

2010年度までに2.5 Tb/in²、2012年度までに5 Tb/in²対応の個別要素技術を開発
INSIC(米国:目標 4 Tb/in²)を上回る国際競争力を確保する。



*: Information Storage Industry Consortium, ※ INSICの4 Tb/in²目標は2009年に設定 **:Storage Research Consortium

I-(1)NEDOの事業としての妥当性

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

産業技術
政策

第3期科学技術
基本計画(H18)

新産業創造戦略
2005(H17)

■情報通信分野は、研究開発の重点推進4分野(ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテク・材料)の1つに位置づけられている。

■情報通信分野は、重点的に育成する戦略7分野の1つに位置づけられている。

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

目的: 高度情報通信ネットワーク社会の構築に向け、経済成長戦略大綱、IT新改革戦略、科学技術基本計画及び技術戦略マップ等に基づき、情報化の進展に伴うエネルギー消費量の増大等の課題にも考慮しつつ、その基盤となる情報通信機器・デバイス等の情報通信技術を開発し、実社会への利用を促進する。

II. 省エネ革新 [i] 情報ネットワークシステムの徹底的省エネの実現

グリーンITプロジェクト「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発」

エネルギーイノベーションプログラム

目的: 資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。(中略) 以下に5つの政策の柱毎に目的を示す。

- I. 総合エネルギー効率の向上
- II. 運輸部門の燃料多様化
- III. 新エネルギー等の開発・導入促進
- IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保
- V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

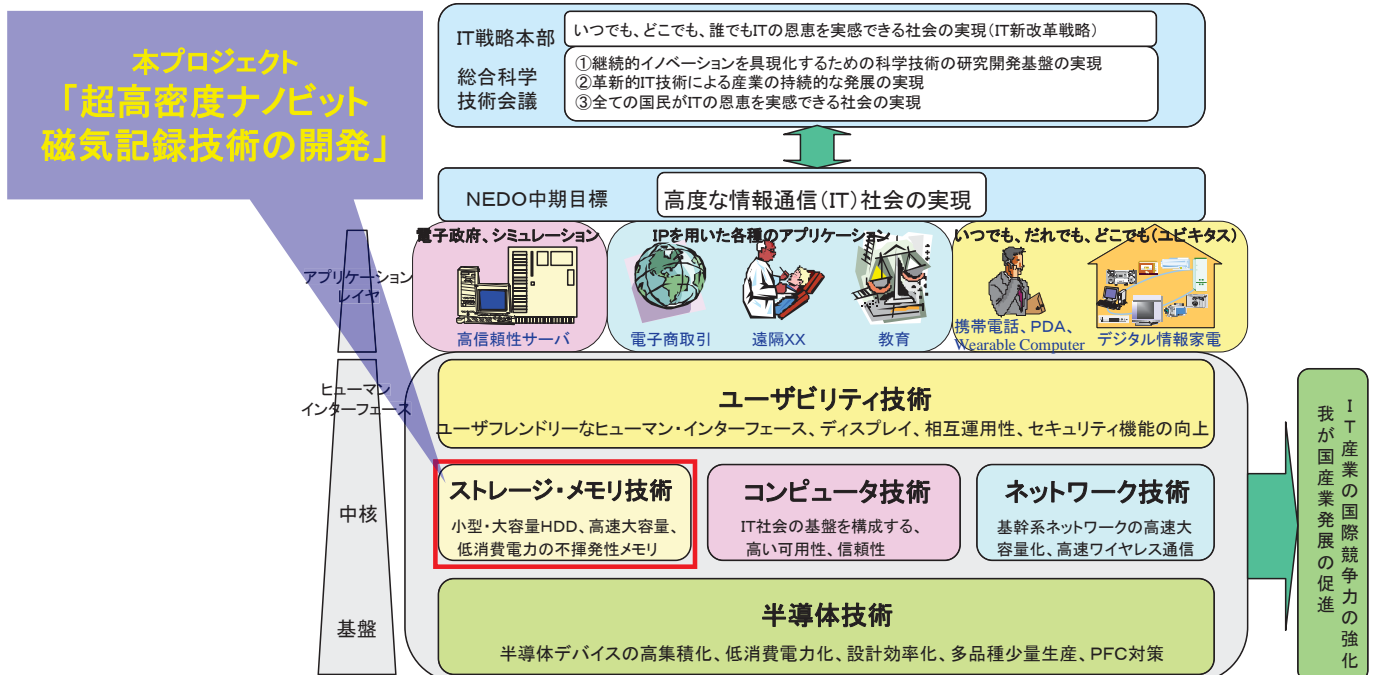
4-I. 総合エネルギー効率の向上 [iv] 省エネ型情報生活空間創生技術

グリーンITプロジェクト「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発」

I-(1)NEDOの事業としての妥当性

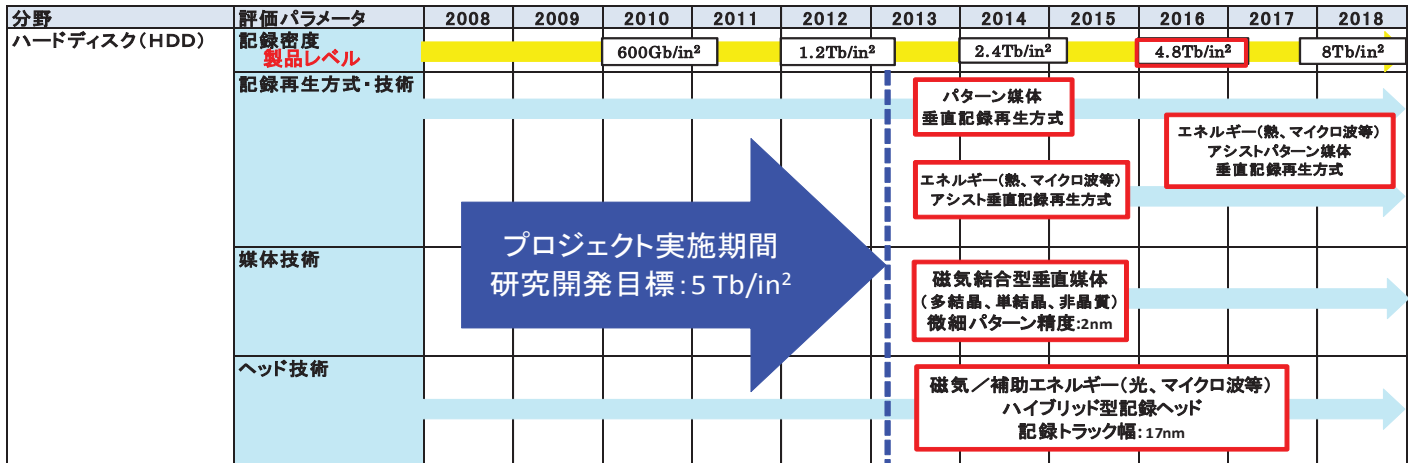
NEDO 第2期中期目標 <情報通信分野> (2008年~2012年)

- 誰もが自由な情報の発信・共有を通じて、個々の能力を創造的かつ最大限に発揮することが可能となる高度な情報通信(IT)社会を実現
- 我が国経済の牽引役としての産業発展を促進



NEDOにおける情報通信分野の取り組み

ストレージ関連技術のNEDOロードマップ (プロジェクト開始:2008年時点)



- 本PJはNEDOロードマップに沿った開発である。(赤囲い技術の実用化に向けた研究開発)
- **製品レベル**では2016年以降に記録密度約5 Tb/in²のHDDが実用化する想定して、プロジェクト終了時(2013年)に**研究開発レベル**で記録密度5 Tb/in²を達成することを目標とする。

※ただし、2013年現在の製品レベルの記録密度の伸びは上記予測より鈍化(0.7 Tb/in²)。

CO₂排出量削減という国家的な取り組み、情報通信技術の公共性、民間企業だけの開発の困難性、技術的英知結集の必要性からNEDOプロジェクトとして取り組むことが必要

◆ IT機器の省エネ化によるCO₂削減には、国家的な取り組みが必要

HDDの記録密度を向上して台数を削減し、また小型化による低消費電力化の相乗効果により消費電力削減することでCO₂排出量削減すること、地球温暖化対策として非常に重要であり、公益性のある取り組みである。

◆ 我が国のエレクトロニクス産業を支える技術の国際競争力確保

HDD技術は、将来の情報通信分野における莫大なデータ量の増加に対応するために必須の技術であり、我が国の情報・エレクトロニクス産業の優位性の確保と情報化社会の推進にとって大きな意義を持つ。

◆ 個々の民間企業では、技術開発は困難

HDDは将来の情報化社会に必須の技術でありながら、その開発競争及び業界再編によるHDDメーカーの淘汰が非常に激しく、我が国がIT産業のプレゼンスを確保しHDDに関して国際競争力を維持発展するためには、残る国内企業間の連携や技術の共通化が重要であり、民間活動のみではリスクが高い。



NEDOが関与すべき事業

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発

PJ成果による国内省エネルギー効果(2030年)

1790万kl/年(2030年)

【算出方法】

$$\frac{2030年のHDD情報保存量(WW:予測)}{\text{各技術によるHDD記録容量}} = \text{各技術で情報保管に必要なHDDの換算台数}$$

$$HDD消費電力 \times \text{稼働率} \times \text{換算台数} = \text{エネルギー消費量}$$

HDDの記憶容量の技術水準	HDD種別	換算台数(百万台)	エネルギー消費量[kWh]		省エネルギー効果(WW)(原油換算)
PJ開始時のHDD技術のままであった場合	2.5inch	83,704	68,637 × 10 ⁶	767,763 × 10 ⁶	
	3.5inch	243,598	699,126 × 10 ⁶		
本PJ成果実用化後	2.5inch	11,801	9,677 × 10 ⁶		1.79億kl

$$\{\text{エネルギー消費量(PJ開始時技術)} - \text{エネルギー消費量(PJ技術実用化)}\} \times \text{電力vs原油換算係数} = \text{省エネルギー効果(WW)}$$

$$\text{省エネルギー効果(WW)} \times 10\%(\text{国内市場比}) = 1790万kl/年$$

国内省エネルギー効果(2030年)

【参考】

HDD消費電力: 7W@3.5inch 2W@2.5inch (変化無し)

1台当たりの使用時間 8時間/日 × 1年(205日使用) × 0.1 = 164時間(HDDの動作時間を考慮し、係数0.1を乗ずる)

電力 vs 原油換算係数: 1 [kWh] = 2.36 × 10⁻⁴ [kl]

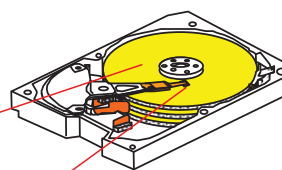
台数予測は、情報保存量の年次推移(出典元: How much Information? 2000&2003, University of California, Berkeley, 日立GST推定)から算出。全HDDが2.5inchとなる前提とした。WWは世界全体を意味する

プロジェクト事業費の委託費総額 40.8億円 (実績)

市場規模

HDD市場規模(世界) 3.6兆円 (2012年)

日本企業のシェア (2012年) 媒体 35.8%、ヘッド 38.2%、HDD 13.5% ※HGSTの日本法人は含まず



市場の効果

記録密度5 Tb/in²製品が実用化される2020年頃まで市場(売上)規模は現在と同等と予想されている。(※TSR社レポート等より)

世界全体でのシェアを5%拡大出来れば、HDDだけで約1800億円(1.9 B\$)の売り上げ増。

本成果の実用化によりHDDの技術及び価格競争力を確保することで、シェアを維持・拡大すれば、HDDを構成する媒体・ヘッドなど国内のHDD関連部品企業も含め十分な費用対効果が見込める。

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」

(1)事業の位置付け・必要性

(2)研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み」

(1)研究開発成果

(2)実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

4-1 (2)研究開発マネジメント

事業の目標

Ⅱ-(1)研究開発目標の妥当性

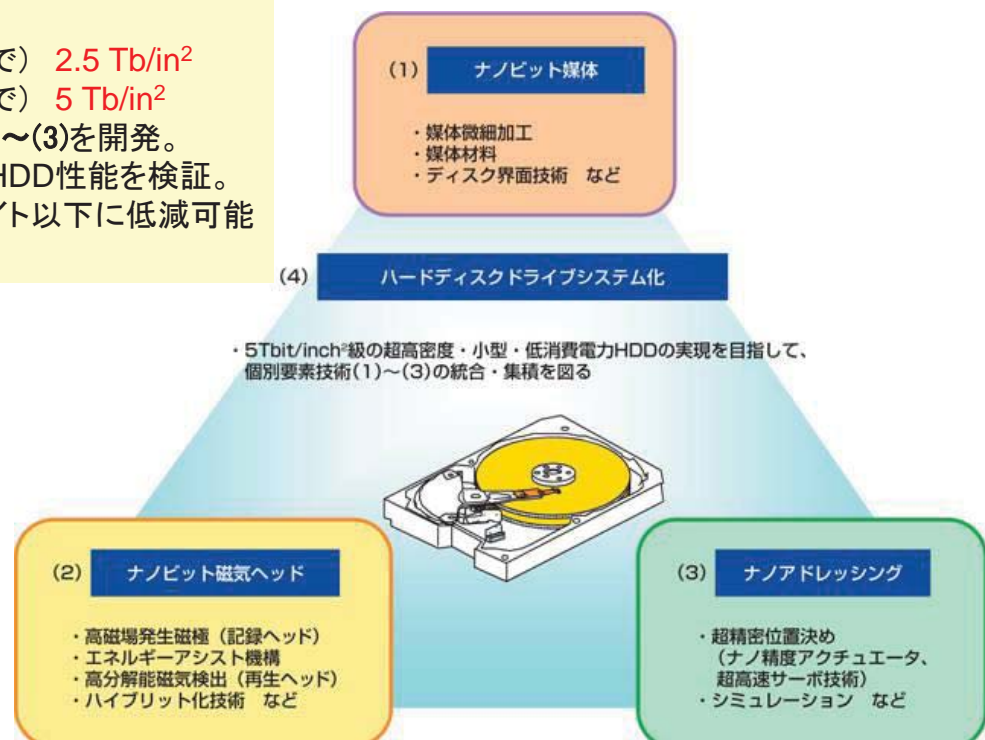
超高密度ナノビット磁気記録技術の開発

HDDの記録密度を1桁向上させるための
基盤技術を確立する

中間目標(2010年度まで) **2.5 Tb/in²**

最終目標(2012年度まで) **5 Tb/in²**

- ・対応の個別要素技術(1)~(3)を開発。
- ・(4)で各性能値をもとにHDD性能を検証。
- ・消費電力0.3 W/テラバイト以下に低減可能であることを示す。



研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標(抜粋)	目標設定の根拠
①超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発	面密度5 Tb/in ² のナノビットが位置決め精度±5nm以下で配列し、かつ磁化反転制御可能であることを確認。	5 Tb/in ² を実現するためには、孤立ビットに記録するナノビット磁気媒体の採用が必須であり、そのビット単位での記録が確実にできることを実証する必要がある。
②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発	エネルギーアシスト記録ヘッド、および高感度・高分解能再生ヘッドにより、面密度5 Tb/in ² のナノビットに磁気情報を記録再生が可能であることを確認。	高い保磁力を持つ媒体材料に対する磁気記録は従来の手法では実現困難。5 Tb/in ² の超高性能磁気ヘッドの実現には、エネルギーアシスト機構、高感度・高分解能磁気検出素子等の技術開発が必要となる。
③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発	浮上量7nm以下で安定浮上するヘッドが、円周方向・動径方向共に10nm以下の精度で動的位置制御可能であることを確認。	面密度5 Tb/in ² の精度にてヘッドを制御するためには、超高精度な位置制御技術が要求される。
④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発	5 Tb/in ² の記録密度とアクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力が0.3 W/テラバイト以下の実現可能性を示す	ハードディスクドライブとして機能させるためには、個別要素技術を統合したハードディスクシステム化のための技術開発が必須である。

ナノビットPJのマネジメント上で重要なポイントは以下の2点である。

① 中間評価における指摘への対応

2010年の中間評価においては、目標・成果の先進性は高い評価だったが、要素技術、システム化技術とも、まだ実用化の可能性が明確になっていないとの指摘をいただいた。

これを受け、各要素技術が実用化のために達成すべき目標の追加を行い、計画の見直しと加速により要素技術の目標を前倒し達成し、最終年度はBPM方式でのHDD動作検証をはじめとするシステム化の目標を達成することで実現性を実証した。

さらに、量産性を視野に入れた目標追加や、市場における製品寿命を見据えた目標の向上など、国内メーカーが早期に実用化できることを優先したマネジメントを行った。

② 業界再編に対応した実施体制の変更

プロジェクト実施期間中にHDD業界は大規模な再編に見舞われ、2009年の富士通、2011年の日立製作所(HGST)と委託先におけるHDD事業の売却が相次いで発生。

委託先のプロジェクト離脱に伴う研究開発テーマ・成果の継承にあたり目標達成だけでなく、実用化・事業化に向かう上での最適な体制変更を行った。

予算

(百万円)

項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	合計
実績 (特別会計)	755	1,012	883	950	480	4,080

研究開発スケジュール

中間評価

事後評価

開発項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	マネジメント上のポイント
① 超高密度 ナノビット 磁気媒体技術			★ 2	★ 4		加速による目標達成前倒し (2012年度→2011年度) 大面積形成技術の追加
② 超高性能 磁気ヘッド 技術			★ 3			加速による目標達成前倒し (2012年度→2011年度) 加速により記録密度目標向上 →製品寿命が長いHDD容量へ
③ 超高精度 ナノアドレッシング 技術						媒体・ヘッドの目標達成に 合わせた進捗管理
④ ハードディスク ドライブシステム化 技術			目標 2.5Tb/in ²		目標 5 Tb/in ²	要素技術の目標達成前倒しにより、 最終年度はリソースをシステム化 技術に注力し目標達成。ナノビット 媒体プロトドライブ試作、動作実証。

※開発成果促進財源の投入
を以降“加速”と表記する

加速★ (各要素技術の目標達成を1年前倒し
システム化目標・プロトドライブ動作実証)

加速★ (実用化時の量産化技術や市場性がターゲット)

中間評価(2010年11月実施)の結果

①事業の位置付け・ 必要性	②研究開発 マネジメント	③研究開発成果	④実用化・事業化 の見通し
3.0	2.6	2.6	1.4

NEDO内評価基準(③と④の合計点)

4.0(優良レベル)

評価のポイント(抜粋)

- ・面密度5 Tb/in²という意欲的な目標を設定し、世界をリードする成果を得ている。
- ・HDD高密度化へのニーズを踏まえた事業化の方向性、課題のターゲティングは明確である。
- ・早期成果展開に向けた**技術戦略の明確化**と事業・製造部門との連携強化を期待する。
- ・ナノビット媒体の実用化に向け、**ディスクの全面への形成の実現**につながる達成目標レベルを再検討してほしい。
- ・再生ヘッドは実用化に結びつく飛躍的進歩が得られていない。実用化には**Read/Writeの両方のヘッド技術が必要**なため、加速方法を検討してほしい。

中間評価の反映

- ・各要素技術の事業化を想定する時期を念頭に**目標の達成時期を前倒し**し、それを受けての基本計画修正と加速を実施した。さらに、事業性も考慮した**目標向上★**も行った。
- ・ナノビットのディスク全面形成のための**高精度加工技術★2**、及び**大面積形成技術の向上★4**を目的とした加速実施と計画変更により、実用化時の製造プロセス技術を確認。
- ・高感度再生ヘッド技術(Read)とエネルギーアシスト記録(Write)を併せた**加速★3**を実施し、最終目標である5 Tb/in²の再生・記録がともにも可能であることを前倒しで確認。

予算実績

中間評価

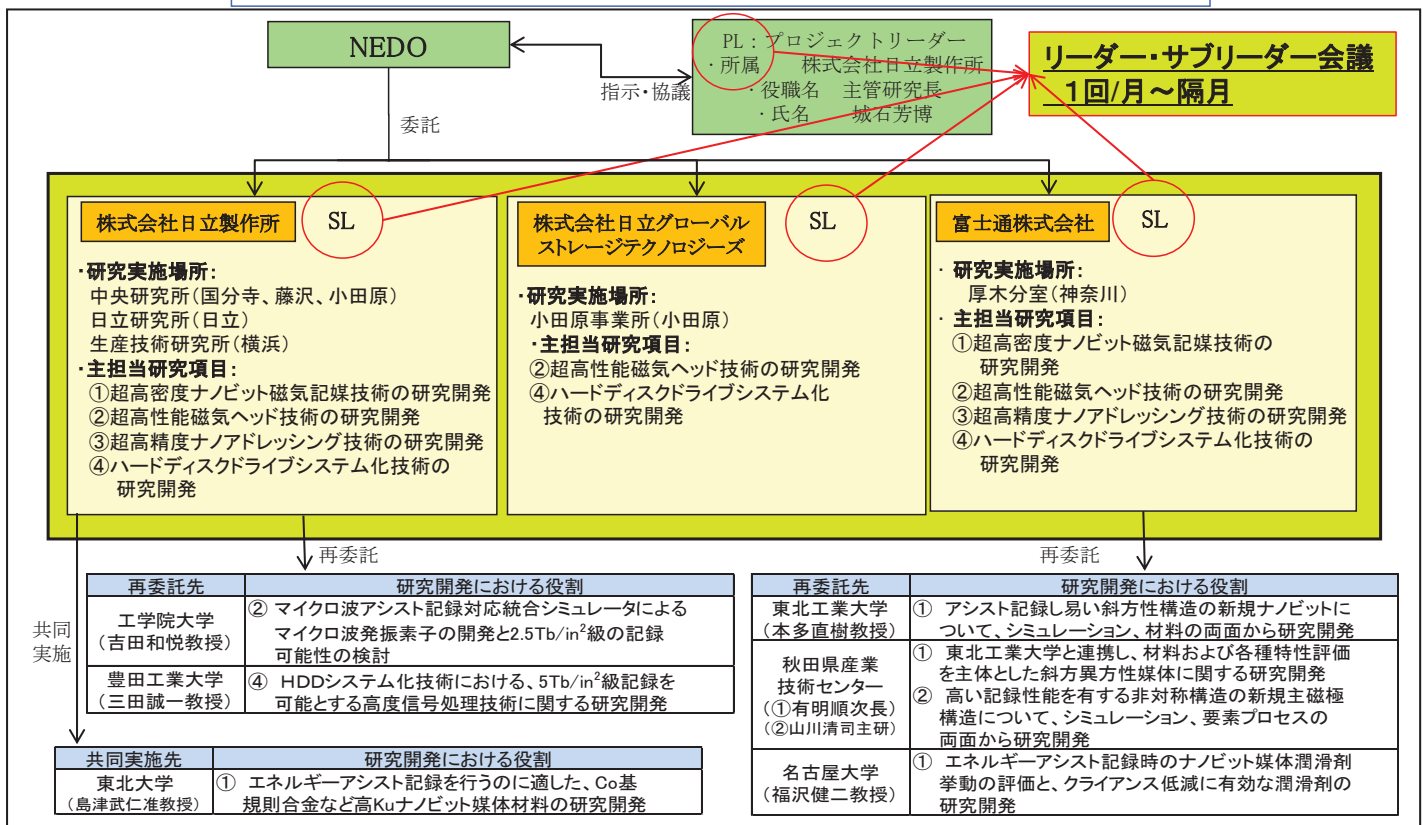
(百万円)

項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	合計
実績(特別会計)	755	1,012	883	950	480	4,080



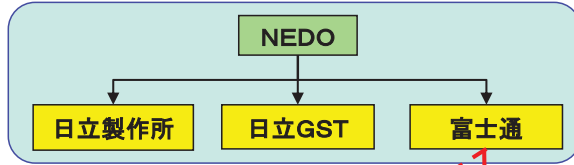
加速件名	金額 (百万円)	主な実施内容(効果)
1 エネルギーアシスト媒体開発の加速 ナノビット媒体の記録技術との統合加速	195	熱アシスト2.5Tb/in ² の磁気ヘッドに対応した熱アシスト媒体、ナノビット媒体におけるプロセス開発加速 (熱アシスト記録対応の媒体プロセス開発を前倒し達成システム技術にて2.5Tb/in²の記録の実現性を示した。)
2 中間評価反映 ナノビット媒体プロセス技術開発の加速 ナノビット媒体の量産化技術の必要性	212	2.5 Tb/in ² 対応高精度ナノビット加工技術、及びイオン注入法によるビット孤立化技術開発加速 (ナノビット媒体の全面配列制御や精密加工技術の向上実用化時に量産を可能とする基本技術を実証した。)
3 中間評価反映 記録再生ヘッド技術の開発の加速 早期目標達成によるシステム化と実用性の証明	390	エネルギーアシスト記録用素子開発の強化、及び設備導入による再生ヘッド用素子開発期間の短縮 (記録再生ヘッドの技術目標を前倒し達成、HDDシステム化開発への早期移行により実用性を検証した。)
4 中間評価反映 ナノビット媒体加工技術開発及び記録ヘッドの技術開発の加速 量産性・市場性を視野に入れた目標の向上	200	ナノビット媒体の大面積形成技術の目標向上、エネルギーアシスト記録技術の目標向上(5 Tb/in ² →6 Tb/in ²) (媒体量産化に向けた基本技術とプロトドライブでの原理動作を確認。製品寿命が長い記録容量である6 Tb/in²級HDDの実現性を示した。)

研究開発の実施体制(2008年6月開始時)

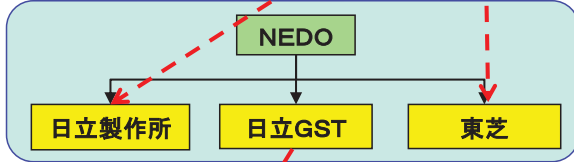


HDD業界再編に伴う研究開発実施体制の変更

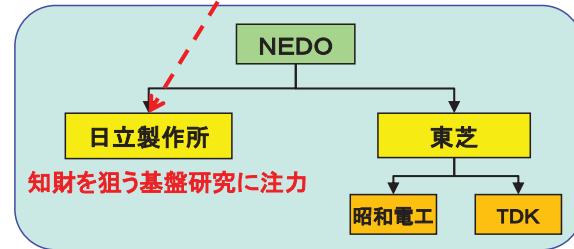
2008年度
(H20年度)



2009年度



2011年度

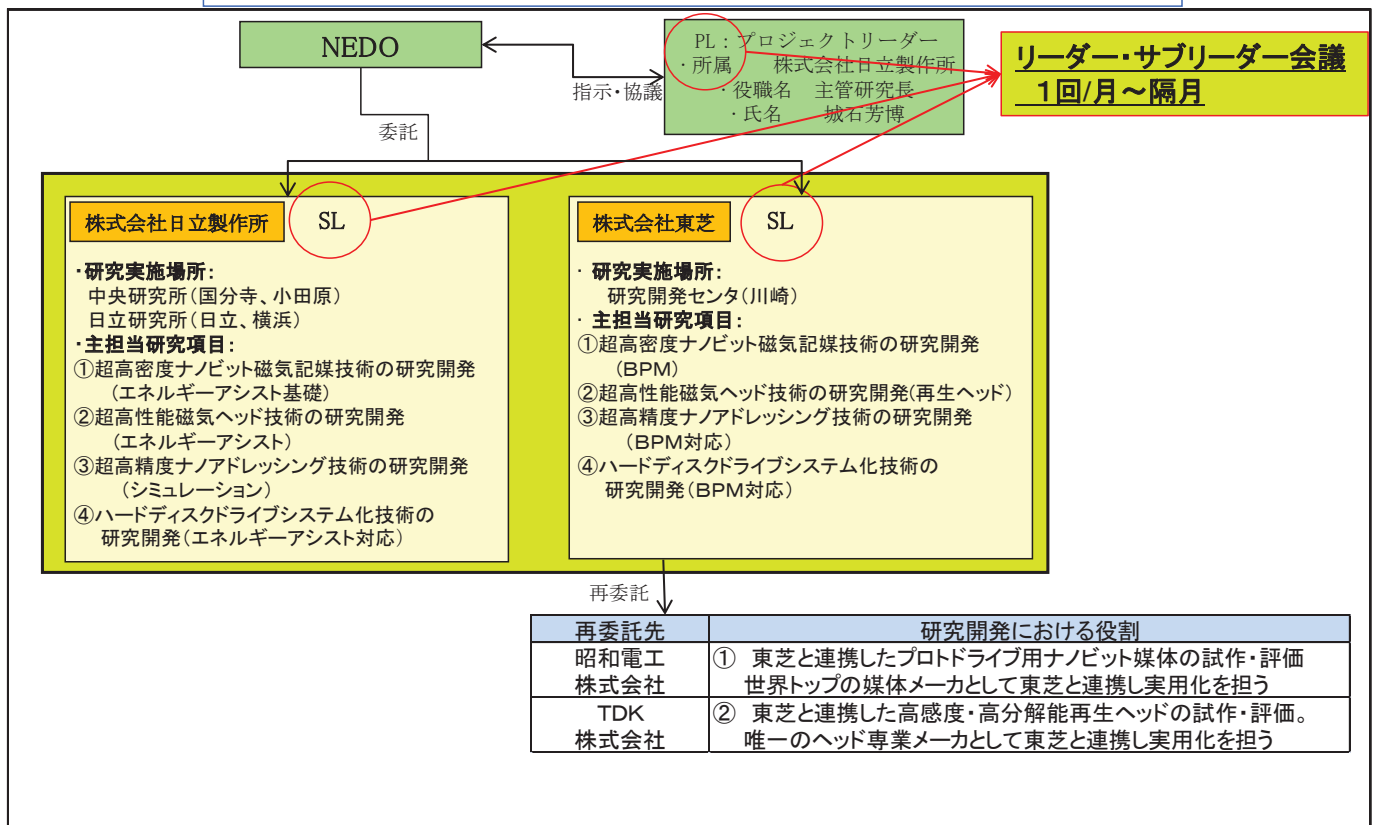


事業化に向けた体制構築

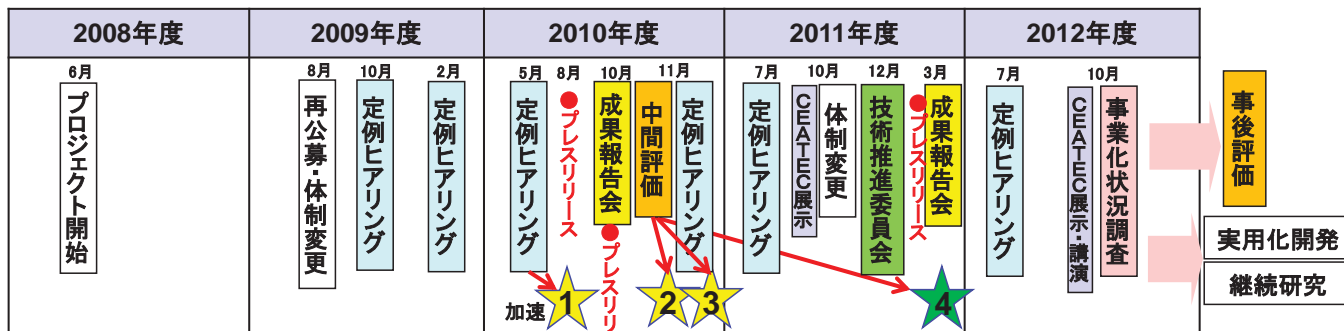
- ・富士通から東芝へのHDD事業売却の発表(2009年2月)に伴い、再公募を実施して8月に実施体制を変更。
- ・富士通が担当していた①ナノビット媒体技術の開発と成果は東芝・日立製作所が、②強磁界ヘッド技術の開発と成果は日立製作所が引き継いだ。

- ・日立製作所がHDD事業(日立GST)をWD(米)へ売却を発表(2011年3月)これを受けて10月に実施体制を変更。
- ・日立GSTはプロジェクトから脱退し、その開発と成果は日立製作所が引き継いだ。
- ・東芝では製造を行っていないHDD部品(ナノビット媒体、磁気ヘッド)の国内事業を強化するため、昭和電工(磁気媒体)、TDK(磁気ヘッド)を東芝の再委託先として加えた。

研究開発の実施体制(2012年4月以降)



II-(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



定例ヒアリング

研究開発の進捗と計画、競合技術や最新市場の動向、および実用化・事業化の見通しについての定例確認。実施項目や目標が適切であるかを議論し計画の見直しを行った。

技術推進委員会

研究開発の進捗、成果、事業化状況に関して外部委員の評価を求め、その指摘を実用化に向けた活動に反映させた。

- 委員長 中村 慶久 岩手県立大 学長
- 委員 中川 茂樹 東京工業大 教授
- 委員 三浦 健司 東北大 助教
- 委員 馬籠 敏夫 TSR株式会社

事業化状況調査

各社個別対応で、実用化・事業化見通しに関する報告資料の提出を求め、プロジェクト終了後の実用化・事業化に向けた取り組みと課題を整理させ、実用化に向けた活動を加速した。

合同成果報告会

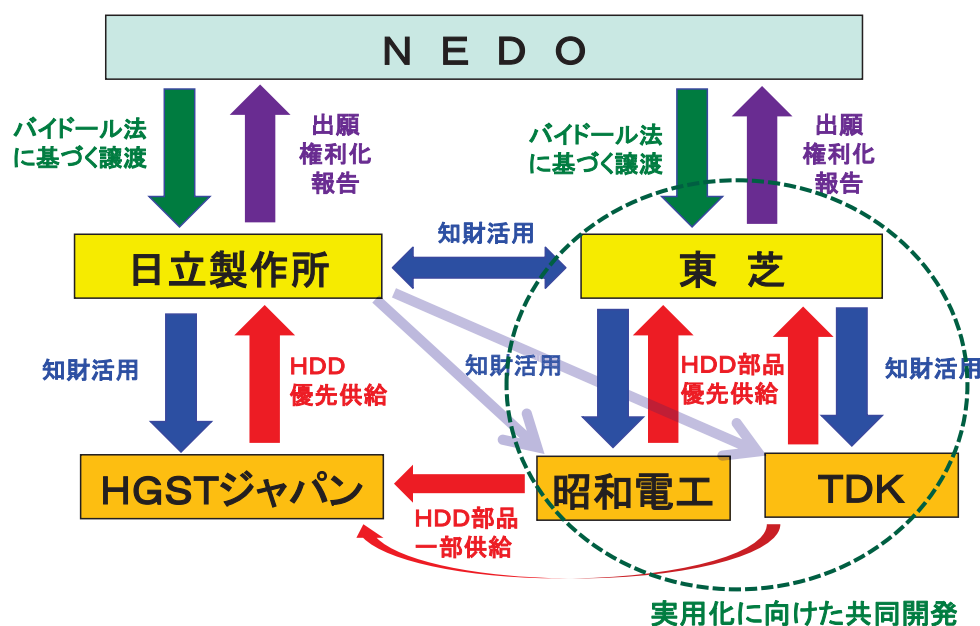
基礎・基盤研究を担う文科省PJ「高機能・超低消費電力コンピューティングのためのデバイス・システム基盤技術の研究開発」との合同成果報告会を2回実施。同時に成果のプレスリリースも行ない、波及効果強化・成果の普及に努めた。

CEATEC展示

CEATEC展示を2回実施、成果の普及に努めた。

II-(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

知財マネジメント と 事業化における知財活用



- 事業化を促進する観点からバイドール法に基づく知財取扱ルールにのっとり、知財を実施者に譲渡する管理を実施。(委託業務約款31条)
- 日立製作所、東芝が取得した知財は全て保持し、事業化に活用するプランを策定。
- 各社が取得した知財は、原則的にはプロジェクトの共同実施者を含む国内企業で活用できることを条件としている。

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 (事後評価)

(2008年度～2012年度 5年間)

4. プロジェクトの概要説明 (公開)

研究開発成果／実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

NEDO技術開発機構
電子・材料・ナノテクノロジー部

2013年11月27日

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」

(1) 事業の位置付け・必要性

(2) 研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み」

(1) 研究開発成果

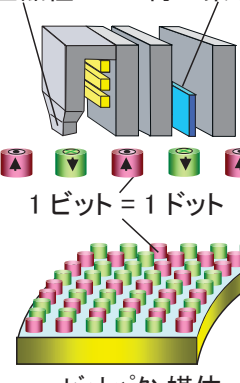
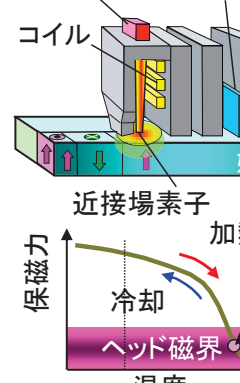
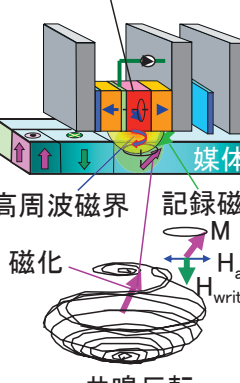
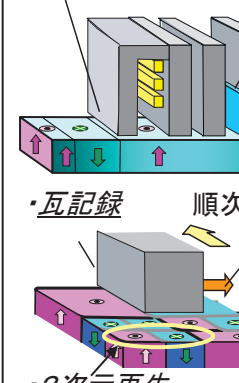
(2) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

4大高密度化方式の研究開発課題と分担

● 2.5 Tb/in²: ビットパターン記録(富士通→東芝主導) or エネルギアシスト記録(日立主導)
 ● 5 Tb/in²: ビットパターン記録 & エネルギアシスト記録 (共同) (課題オーナー) 青:本プロジェクト、黒:企業

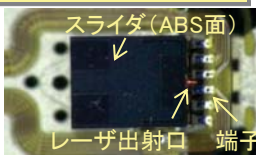
方式	(a) ビットパターン媒体記録 2.5 Tb/in ² 東芝主担当 5 Tb/in ² : ビットパターン記録 & エネルギアシスト記録 (共同)	(b) 熱アシスト記録 2.5 Tb/in ² 日立・日立GST主担当	(c) マイクロ波アシスト記録	(d) 瓦記録/2次元再生 企業独自開発
基本概念	整列した孤立粒子に1ビットずつ記録  主磁極 再生素子 1ビット=1ドット ビットパターン媒体	高熱安定性媒体にエネルギーを加えて反転促進 近接場光エネルギアシスト  レーザ 再生素子 コイル 媒体 近接場素子 加熱 冷却 記録 ヘッド磁界 温度 T(K)	高周波(マイクロ波)磁界アシスト  高周波磁界発生素子 媒体 高周波磁界 記録磁界 磁化 M H _{ac} H _{write} 共振反転	瓦状に重ね書きして狭トラック化  瓦書き磁極 再生素子 媒体 ・瓦記録 順次走査 ・2次元再生 ヘッド移動
主要技術	1.超平滑・整列パターン媒体 2.パターン位置同期記録技術 3.ナノアドレッシング技術 1.記録機構、2.高分解能・高感度ヘッド・素子、3.超微細結晶粒媒体・材料・磁気物性、4.高度信号処理、5.高信頼化	1.近接場素子・効率光学系 2.熱アシストヘッド・インテグレーション 3.高Ku耐熱媒体(保護潤滑) 1.耐熱基板生産投資	1.低分散・低ダンピング媒体 2.マイクロ波発振微小素子 3.R/Wインテグレーション 1.フィージビリティ早期確認	1.上位システムとの連携 2.カーベージコレクション時性能劣化対策、パフォーマンス確保
事業	1.パターン化設備巨額投資 2.新規プロセス導入による媒体生産工場拡張 1.早期フィージビリティ確認・方式選定、2.デファクト化と優位化の推進、3.量産設備・技術開発および投資			1.メモリ付加コスト低減 2.TDMR、他方式との組合せ等による拡張性確保

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

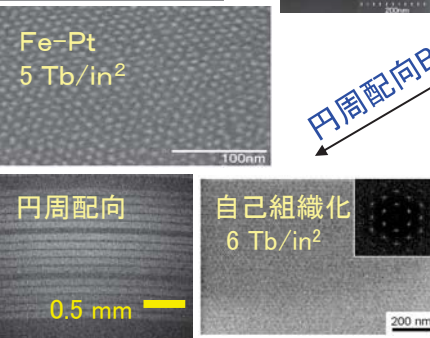
成果の代表例と意義

● シミュレーションでナノビット媒体へのエネルギーアシスト記録により6~8 Tb/in²級HDDのフィージビリティ確認。
 ● ナノビット媒体、ナノアドレッシング技術を基にHDDプロトドライブを試作し、原理動作を検証。

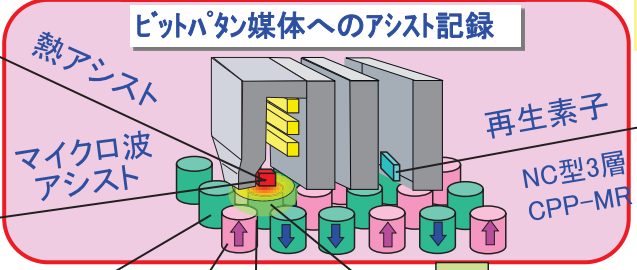
●アシスト集積ヘッド



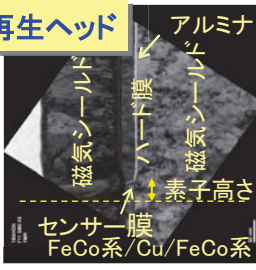
●ビットパターン媒体



●ビットパターン媒体へのアシスト記録

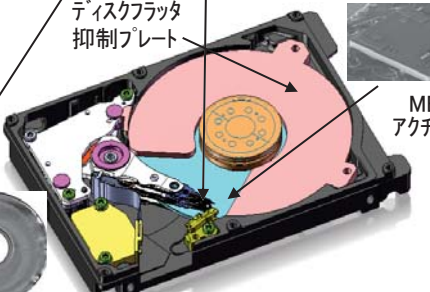


●再生ヘッド

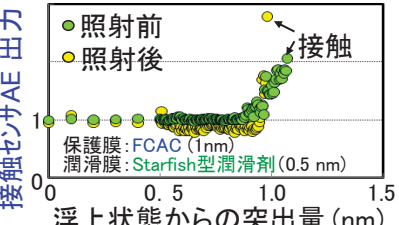


●記録再生

●ナノアドレッシング技術



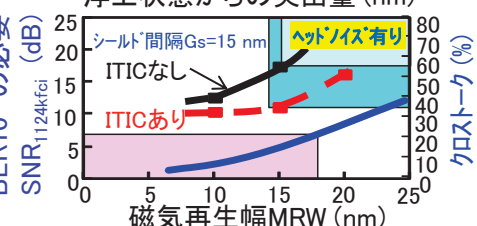
●耐熱・高信頼保護潤滑膜



●ハードディスクドライブシステム

- 隣接トラック間干渉除去方式ITIC*
- HDDプロトドライブ動作確認

*Inter-track Interference Canceller



成果の代表例と意義

公開

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

- 媒体/ヘッド/アドレッシング/信号処理などのナビット個別要素技術の仕様に基づき、2.5 Tb/in²、及び5 Tb/in²HDDシステムの概略仕様をシミュレーションにより策定、検証。
- 5 Tb/in²の磁気記録密度(2.5インチディスク一枚の記憶容量で3 TB以上)、かつアクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力0.3 W/TB 以下が実現可能なことを検証。
- 2.5 Tb/in²級はビットパタン記録もしくはエネルギーアシスト記録、5 Tb/in²級はその組合せで実現可能な事を検証、文部科学省との合同プロジェクトなどで情報発信(新聞発表含む)、開発の方向付けを実施。

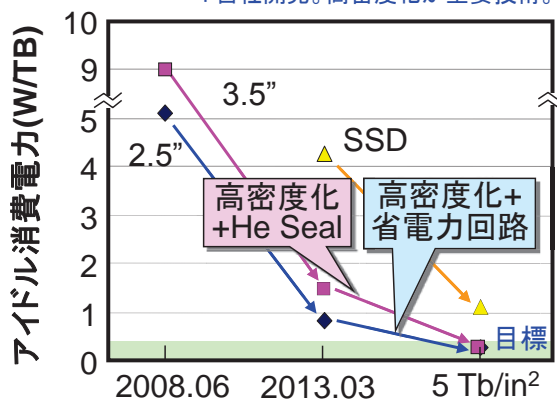
表. 2.5, 5 Tb/in²マクロスペック概要

目標面密度	2.5 Tb/in ²		5 Tb/in ²
	アシスト記録	ビットパタン記録	アシスト記録+ビットパタン
記録方式	アシスト記録	ビットパタン記録	アシスト記録+ビットパタン
ビット面積	258 nm ²	←	129 nm ²
トラックピッチ	25.4~32.0 nm	16.0~22.7 nm	11.3~16.0 nm
ビットアスペクト比	2.5~4.0	1.0~2.0	1.0~2.0
再生ヘッド幅(幾何)	20 ~ 30 nm	15 ~ 20 nm	10~15 nm**
アシスト方式	熱/高周波磁界(TAMR/MAMR)	---	熱/高周波磁界(TAMR/MAMR)
アシストスポット径	20~30 nm	---	10~20 nm
グレイン径/ドット径	~ 5 nm	8~11 nm	5~7 nm
磁気異方性(Ku)	> 1.4~1.7 MJ/m ³	> 0.4~0.5 MJ/m ³	> 1.7~3.4 MJ/m ³
媒体材料径候補	規則化合物等	CoCrPt系等	規則化合物等
記録磁界	> ~5 kOe	> ~5 kOe	> 5 kOe

**：磁気トラック幅18 nm、ギャップ長18 nm

5 Tb/in²技術を開発することにより、プロジェクト発足当初の記録密度250 Gb/in²の20倍の高密度化を図り、2.5型HDDにおいては省電力回路方式*と、3.5型HDDにおいてはHeシール方式*とを併せ、アクティブアイドル時の消費電力として0.3 W/TBを実現可能なことを検証。

*：自社開発。高密度化が主要技術。



成果と目標達成度

公開

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

■ 日立担当 ■ 東芝担当 ◎ 大幅達成 ○ 達成

サブテーマ	個別テーマ	最終成果(2012年度)	達成度	今後の課題
① 超高密度ナビット磁気媒体技術の研究開発	(1) ナビット微細加工技術の研究開発	6 Tb/in ² 自己組織化技術開発。FePt 5 Tb/in ² FePtナビット試作媒体においてビット配置精度±4.5 nm、円周方向無欠陥配列(SEM 10万倍視野)確認。これらの知見を基にプロトHDD用媒体試作。2.5"媒体面内における少なくとも30トラックで、2.5 Tb/in ² 相当のナビット(面積~200 nm ²)への位置決め精度が3σで6.7 nm以内であることを確認。	◎	量産化 信頼性・歩留り向上
	(2) 単一ナビット記録性の検証	6~8 Tb/in ² の面密度に対応するナビット媒体において、磁化反転制御可能、かつ、周辺ナビットの磁気情報に影響がなく、単一磁化反転が可能であることを確認。	◎	
	(3) ナビット媒体界面技術の研究開発	5 Tb/in ² 級ナビット媒体に対し、保護膜平坦化により2.5"径媒体における表面凹凸≤±5 nmを確認し、さらに新規開発のFCAC保護膜、Starfish型潤滑膜の組合せで、5 Tb/in ² 熱アシスト記録に必要な保護・潤滑膜厚≤1.6 nmでの信頼性を確保。	○	
② 超高性能磁気ヘッド技術の研究開発	(1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発	マイクロ波アシスト機構搭載強磁場発生ヘッドで6~8 Tb/in ² ナビット媒体に記録可能な磁場を発生可能なことを確認、アシスト機構を組込む記録ヘッド集積技術を構築。	◎	
	(2) エネルギーアシスト機構の研究開発	アシストエネルギーで5 Tb/in ² に対応する単一ナビット磁化反転が可能で、かつ各々の照射に際して周辺ナビットにおける磁気情報に影響がないことをシミュレーションで確認し、さらに近接場素子搭載熱アシスト集積ヘッドを試作。また15 nm級スピントルク発振素子による6 Tb/in ² マイクロ波アシスト記録の実現可能性も確認。	◎	

成果と目標達成度

公開

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

■ 日立担当 ■ 東芝担当 ◎ 大幅達成 ○ 達成

サブテーマ	個別テーマ	最終成果(2012年度)	達成度	今後の課題
②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発	(3)高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発	新規ナノコンタクトMRセンサーを試作し、抵抗変化率35%、面抵抗0.15 Ω μ m ² の値から5 Tb/in ² が信号処理の工夫で可能であることをシミュレーションで検証。また極薄3層構成ヘッドを試作し、5 Tb/in ² の再生分解能を確認。	○	信頼性・歩留り向上 量産化
	(4)ヘッド動作の検証	熱アシスト集積ヘッドが 5~20 m/sにおいて5 nm以下で安定浮上し、5 Tb/in ² 対応媒体への熱アシスト記録動作を確認し、またマイクロ波アシスト機構付き記録ヘッドでもその記録動作を確認。さらにナノコンタクトMR型極薄3層再生ヘッドを試作し、5 nm以下の安定浮上性と5 Tb/in ² の再生分解能を確認。	○	
③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発	(1)超精密位置決め技術の確立	ナノビット媒体において上記ヘッドが7 nm以下で安定浮上することを確認するとともに、世界で初めてナノビット媒体実装プロトHDDでトラックフォローイングを行い、位置決め精度4.4 nm以下を確認。	◎	周辺技術・部品 量産化
	(2)ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発	5 Tb/in ² 向け位置決め制御系仕様及び流体振動低減目標を策定し、開発したシミュレーション及びアームサスペンション風乱の実測評価により、目標のナノアドレッシング仕様の実現可能性を確認。	○	
④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発	(3)システム化とHDD性能の検証	上記の個別要素技術仕様に基づき、2.5、5 Tb/in ² HDDシステムの概略仕様をシミュレーションにより策定・検証し、ナノビット媒体へのエネルギーアシスト記録による6~8 Tb/in ² 級HDDの実現可能性を確認。さらにナノビット媒体搭載HDDプロトドライブを試作し原理動作を検証。これらにより、5 Tb/in ² (2.5" ディスク一枚で3 TB以上)、かつアクティブアイドル時の消費電力0.3 W/TB以下を実現できることを検証。	◎	

成果の普及および他技術との比較

公開

Ⅲ-(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

成果	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	合計(件)
特許出願	3	13	36	56	40	148
論文	2	13	43	31	19	108
研究発表・講演	11	60	77	69	56	273
受賞実績	0	0	1	1	0	2
新聞*・雑誌等掲載	1	3	11	2	2	19
展示会・発表会出展	0	2	4	1	1**	8

* 日経 2010.8.16、日経2010.9.21
日経夕刊 2008.6.30、日経夕刊 2009.8.25、
日経産業 2009.9.3、日経産業 2010.2.2、日経産業2010.4.8、
電波新聞 2010.8.26、日経 2011.8.29、化学工業日報朝刊 2013.5.28、など

**日本のHDD技術関連の主要企業、大学のキーメンバが集うSRC#技術報告会において、NEDO-PJ成果に関する特別講演を実施し、広く普及に努めた。
#: Storage Research Consortium (1995-)、産学連携組織、
<http://www.srcjp.gr.jp/index.htm>

比較項目	次世代技術	本プロジェクトのHDD技術		ビットパターン媒体技術	SSD技術
		アシスト記録技術	熱アシスト		
技術の優位性#		A	AA	AA	-
必要投資の大きさ		中	小	大	膨大
対象市場		・ビッグデータ対応ストレージ			・モバイルストレージ ・超高速ストレージ

#対Seagate技術ベンチマーク(各種発表、特許、など) AA:非常に優位、A:優位

開催日： 2012年3月12日(月)
 会場： 中央大学 駿河台記念館
 共催： NEDO
 東北大学電気通信研究所
 「高機能・超低消費電力コンピューティングのための
 デバイス・システム基盤技術の研究開発」
 後援： 文部科学省、経済産業省
 協賛： (社)日本磁気学会



150名が参加



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」

(1) 事業の位置付け・必要性

(2) 研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み」

(1) 研究開発成果

(2) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

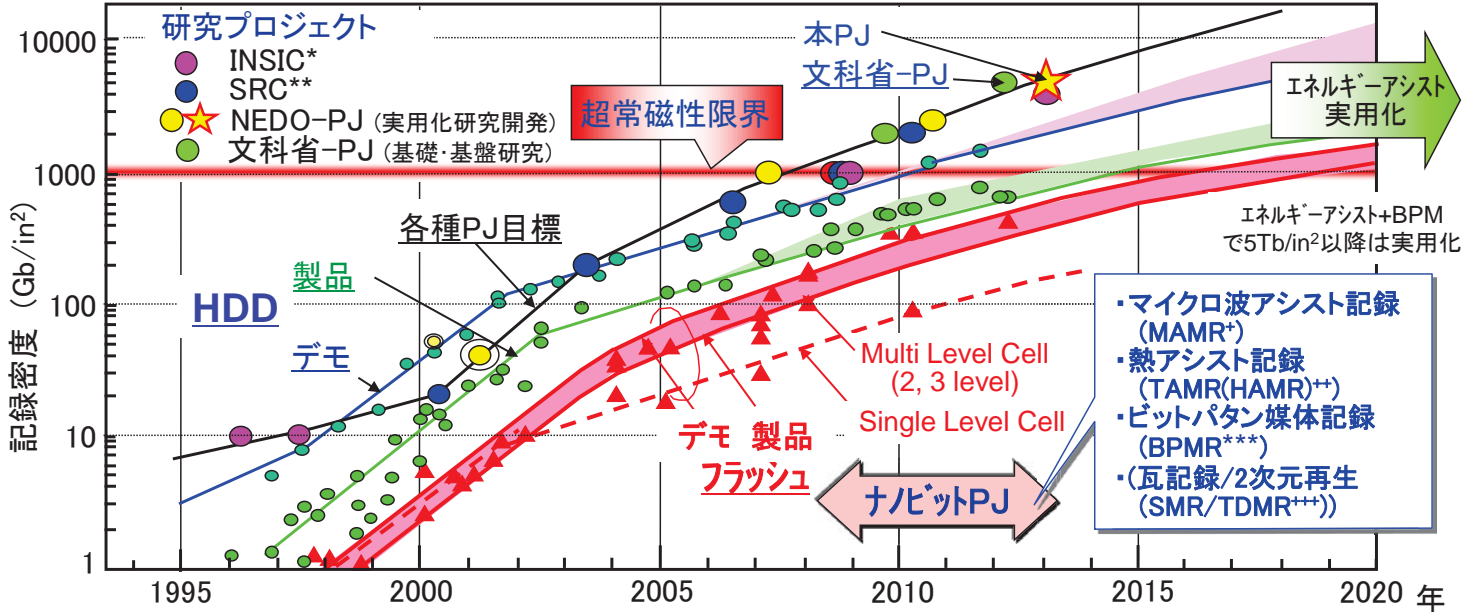
本プロジェクトの目標、達成度と実用化・事業化のイメージ

(1) 目標と達成度

2010年度までに2.5 Tb/in²、2012年度までに5 Tb/in²対応の個別要素技術を開発し、単位情報当りの消費電力0.3 W/TB以下が実現可能なことを検証する事で、地球温暖化対策へ貢献すると共に、磁気記録分野における国際的イニシアチブの獲得をめざす。
⇒大幅達成

(2) 実用化・事業化のイメージ

本プロジェクト開発技術が高密度化に必須。2 Tb/in²弱から世界に先駆けてHDD製品化(～2017年)。5 Tb/in²級HDDは、エネルギーアシスト記録とビットパターン媒体の組合せにより2020年頃の製品化を見込む。



*: Information Storage Industry Consortium, **: Storage Research Consortium, ***: Bit Patterned Magnetic Recording, +: Microwave Assisted Magnetic Recording, ++: Thermally (or Heat) Assisted Magnetic Recording, +++: Shingled Write Magnetic Recording/Two Dimensional Magnetic Recording

技術動向、本プロジェクトの先進性と、実用化・事業化見通し

- (1) HDD関係のIEEE国際会議TMRC 2013で、HDD業界関係者による実用化時期アンケートで、マイクロ波アシスト、熱アシスト記録は2017年、ビットパターン媒体は2019年に実用化されるとの見通しが示された。
- (2) 以上から本プロジェクトの目標、成果は適切かつ先進的で、実用化・事業化は確実と考えられる。

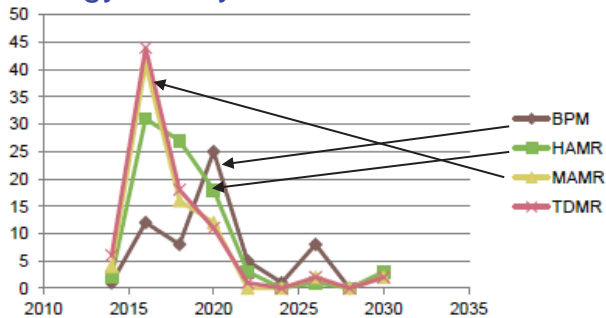
HDD novel technology survey

<http://www.tmrc2013.riec.tohoku.ac.jp/>

Overall N=134

	BPM	HAMR	MAMR	TDMR
Yes will ship	48%	66%	61%	65%
No will not ship	40%	29%	28%	23%
Don't know	12%	5%	10%	12%
Date shipment	2019.9	2017.9	2017.1	2017.1
sigma	3.5	3.2	3.0	3.1

本プロジェクト(記録) 再生方式



Academia N=29

	BPM	HAMR	MAMR	TDMR
Yes	55%	76%	59%	62%
No	34%	14%	31%	24%
Don't know	10%	10%	10%	14%
Date	2018.7	2016.2	2018.1	2016.3
sigma	2.7	1.9	2.8	2.0

Japan N=74

	BPM	HAMR	MAMR	TDMR
Yes	36%	58%	54%	57%
No	49%	35%	34%	28%
Don't know	15%	7%	12%	15%
Date	2019.6	2018.3	2018.0	2017.5
sigma	4.3	3.6	4.0	3.2

Industry N=95

	BPM	HAMR	MAMR	TDMR
Yes	44%	62%	62%	65%
No	43%	34%	31%	24%
Don't know	13%	4%	7%	11%
Date	2020.5	2018.6	2016.9	2017.5
sigma	3.7	3.4	3.2	3.3

US N=40

	BPM	HAMR	MAMR	TDMR
Yes	80%	93%	85%	93%
No	13%	8%	8%	5%
Don't know	8%	0%	8%	3%
Date	2020.1	2017.1	2016.2	2016.3
sigma	3.1	1.8	1.3	2.0

プロジェクト終了時の、早期実用化・事業化の課題と対応策

公開

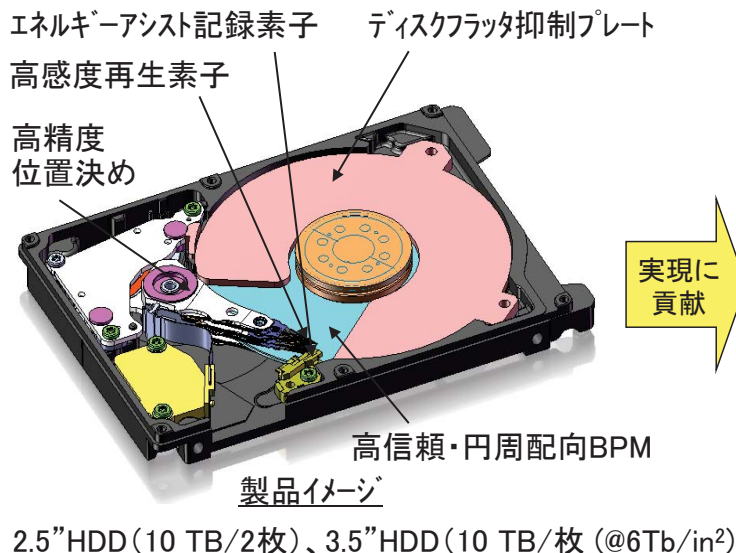
● マイクロ波アシスト記録技術はシステム完成度の向上、熱アシスト記録技術はフィールド信頼性の確保、ビットパタン媒体技術は量産設備・技術、周辺回路開発などが早期実用化・事業化に向けた課題。

方式	(a) ビットパタン媒体記録 2.5 Tb/in ² 東芝主担当 6 Tb/in ² : ビットパタン記録 & エネルギアシスト記録 (共同)	(b) 熱アシスト記録 2.5 Tb/in ² 日立・日立GST主担当	(c) マイクロ波アシスト記録	(d) 瓦記録/2次元再生
基本概念	<p>整列した孤立粒子に1ビットずつ記録</p> <p>主磁極 再生素子</p> <p>1ビット = 1ドット</p> <p>ビットパタン媒体</p>	<p>高熱安定性媒体にエネルギーを加えて反転促進</p> <p>近接場光エネルギーアシスト</p> <p>レーザ コイル 再生素子</p> <p>媒体</p> <p>近接場素子 加熱</p> <p>冷却 記録</p> <p>ヘッド磁界 温度 T (K)</p>	<p>高周波(マイクロ波)磁界アシスト</p> <p>高周波磁界発生素子</p> <p>媒体</p> <p>高周波磁界 記録磁界</p> <p>磁化 M</p> <p>共鳴反転</p> <p>H_{ac} H_{write}</p>	<p>瓦状に重ね書きして狭トラック化</p> <p>瓦書き磁極 再生素子</p> <p>媒体</p> <p>・瓦記録 順次走査</p> <p>・2次元再生</p> <p>ヘッド移動</p>
技術	<p>1.量産設備・プロセス開発</p> <p>2.高精度制御周辺LSI化</p>	<p>1.フィールド信頼性確保</p> <p>1.低温形成媒体材料・プロセス開発、2.耐熱基板開発</p>	<p>1.システム完成度向上</p>	<p>1.メモリ付加コスト低減</p> <p>2.パフォーマンス安定性確保</p>
事業	<p>1.パタン化量産設備開発</p> <p>2.新規プロセス導入による媒体生産工場拡張</p>	<p>1. HGA組み立て設備投資</p> <p>2. レーザ供給確保</p> <p>1.耐熱基板生産投資</p>	<p>1.設備増強投資</p>	<p>1.市場性見極め</p>
	1.方式見極め、デファクト化と優位化、2.プロト・量産設備投資			1.標準化

社会への具体的な貢献

公開

- (1) 5 Tb/in²級技術をコア技術として、情報爆発、ビッグデータ時代を支える大容量ストレージを実現することで、スマートコミュニティ実現に貢献する。(例)2.5”HDD:10 TB/2枚、3.5”HDD:10 TB/枚
- (2) 単位情報当たりの消費電力を現状の1/10である0.3 W/TB以下に低減し、データセンタなどの低消費電力化、地球温暖化防止に貢献し、持続可能社会に実現に寄与する。
- (3) 再生ヘッドなど、スピントロニクス応用技術の早期実用化・事業化を図り、国際的イニシアチブ獲得、日本の部品産業界の一層の競争力強化、活性化に貢献する。

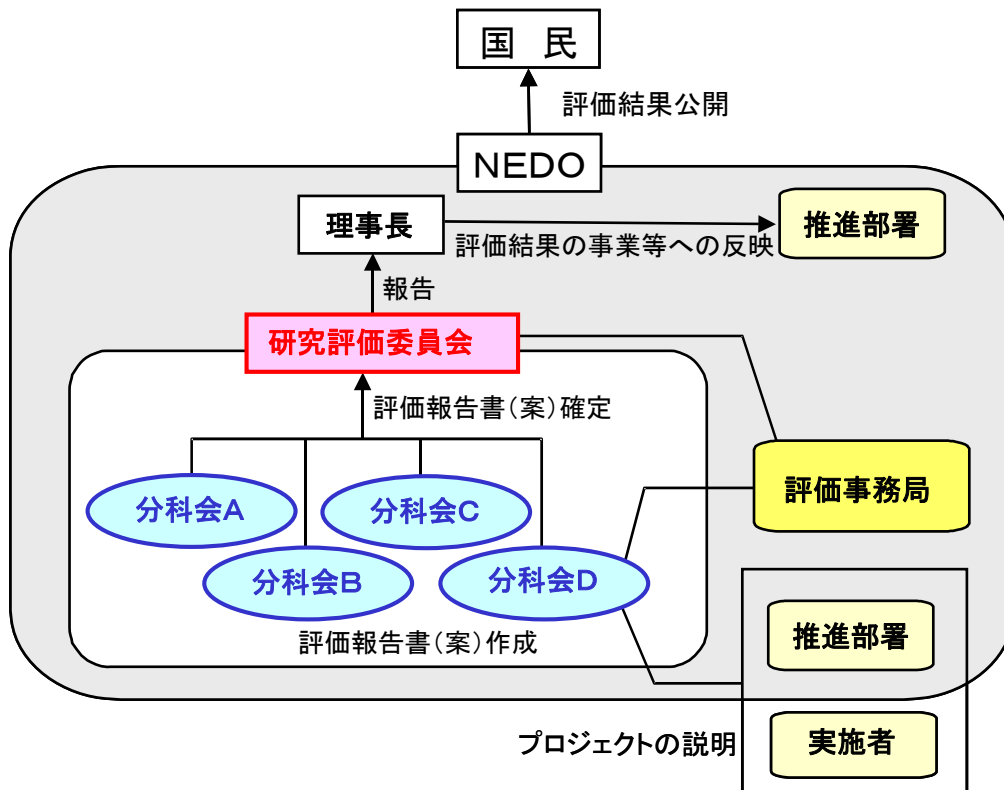


参考資料 1 評価の実施方法

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

独立行政法人新エネルギー・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
- ジャーナリスト

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、分科会委員名簿にある7名を選任した。

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

3. 評価対象

平成20年度に開始された「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発(グリーンITプロジェクト)」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

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研究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、研究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、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

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可能性があるか。
- ・ 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。

標準的評価項目・評価基準

平成25年5月16日

NEDO

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。
- ・ 研究管理法人を經由する場合、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。
- ・ 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。

参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

参考資料 3 分科会議事録

研究評価委員会
「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発」(事後評価) 分科会
議事録

日 時：平成25年11月27日(水) 10:00~16:10

場 所：大手町サンスカイルーム(朝日生命ビル) D室

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 逢坂 哲彌 早稲田大学 理工学術院 教授/ナノ理工学術院機構 機構長
分科会長代理 村岡 裕明 東北大学 電気通信研究所 ブロードバンド工学研究部門
情報ストレージシステム研究室 大規模ストレージシステム研究分野 教授
委員 安藤 功兒 独立行政法人産業技術総合研究所 フェロー
委員 押木 満雅 公益社団法人 日本磁気学会 事務局 事務局長
委員 金井 靖 新潟工科大学 工学部 情報電子工学科 教授
委員 二本 正昭 中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科 教授
委員 宮下 英一 NHK 放送技術研究所 新機能デバイス研究部 主任研究員

<推進者>

岡田 武 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 部長
関根 久 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 統括研究員
金里 雅敏 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 主任研究員
松岡 隆一 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 主査
井谷 司 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 主査
山崎 光浩 NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 主査

<実施者>

城石 芳博 日立製作所 研究開発グループ 主管研究員
工藤 真 日立製作所 中央研究所 先端ストレージ研究部 部長
牛山 純子 日立製作所 中央研究所 先端ストレージ研究部 主任研究員
山口 伸也 日立製作所 研究開発グループ 技術統括センタオープンイノベーション推進部 主任技師
喜々津 哲 東芝 研究開発センター 研究主幹
岩崎 仁志 東芝 研究開発センター 参事
中山 俊夫 東芝 研究開発センター 参事

<企画調整>

中谷 充良 NEDO 総務企画部 課長代理

<事務局>

竹下 満 NEDO 評価部 部長
保坂 尚子 NEDO 評価部 主幹
柳川 裕彦 NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法及び評価報告書の構成
4. プロジェクトの概要説明
 - (1)「事業の位置付け・必要性及び研究開発マネジメント」について
 - (2)「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けての見通し及び取組み」について

(非公開セッション)

5. プロジェクトの詳細説明
 - 5.1 研究開発成果について
 - 5.2 実用化・事業化に向けての見通し及び取組み
6. 実用化・事業化に向けての見通し及び取組みについて
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
 - ・開会宣言（事務局）
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1-1、1-2に基づき事務局より説明。
 - ・逢坂分科会長挨拶
 - ・出席者（委員、推進者、実施者、事務局）の紹介（事務局、推進者）
 - ・配布資料確認（事務局）
2. 分科会の公開について

事務局より資料 2-1 及び 2-2 に基づき説明し、議題 5.「プロジェクトの詳細説明」～議題 7.「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. 評価の実施方法及び評価報告書の構成

評価の手順を事務局より資料 3-1～3-5 に基づき説明し、了承された。

また、評価報告書の構成を事務局より資料 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
 - (1)事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
推進者より資料5-2に基づき説明が行われた。
 - (2)研究開発成果及び実用化・事業化に向けての見通し及び取組みについて
実施者より資料5-3に基づき説明が行われた。

[逢坂分科会長] ありがとうございます。ただいまのお二方のご説明に関してご意見、ご質問等がありましたらお受けしたいと思います。また技術の詳細につきましては、後ほど非公開の議題5で議論いたしますので、ここでは事業の位置付け・必要性、マネジメント、また、ただいまのプレゼンに対してのご意見をお願いできればと思っています。よろしくお願いいたします。

[柳川(事務局)] なお実施者の皆様にはお願いですが、大変恐縮ですが、右手前方で速記者が記録を取ります都合上、メインテーブルの前列以外の方は、ご発言の際に最初にご所属とお名前をお願いいたします。よろしくお願いいたします。

[逢坂分科会長] それではご意見等をいただければ。

[二本委員] 目標の確認をさせてください。面記録密度、最終的には 5Tb/in^2 (テラビット/平方インチ) という目標と、それから省エネ目標がありますけれども、これは一つの物事を側面から見たことであって、実質的には同じと考えてよろしいですか。たとえば面記録密度が 20 倍増大すると、同じドライブで回しているとトータルのエネルギー消費は同じですが、記録容量は 20 倍になりますので、20 分の 1 と大ざっぱに計算できます。たとえば 3.5 インチを 2.5 インチに縮小すると、ディスクの回転により発生する空気抵抗が減るので、その分でたぶんエネルギーの目標は入ってくることになります。だから我々としては、エネルギーに関する事項をあまり考慮する必要はなくて、面記録密度を中心に検討評価すれば良いかという観点の質問です。

[城石(実施者)] 基本的にはご指摘のとおりです。ただ、ただ単に記録密度だけではなく、たとえば回転を制御する、実際の回路を適宜オン/オフさせて、装置として消費電力を削減することも企業の自助努力として目標に入れてあります。5~10%ぐらいがそういった企業努力、あとは先ほどの記録密度でということで行っています。もう 1 点は、たとえば今回 3.5 インチ装置に関して、かなり記録密度だけではない部分が入っています。それは企業が開発したヘリウムガスをシールドするという技術があり、それによって 40%ぐらい消費電力が下がることを確認しました。したがって、それと合わせることで、実は 3.5 インチでもテラバイト当たり 0.3W が実現できており、そこは企業努力で行うということで本プロジェクトは進めていました。

[安藤委員] いまのことに関連して、最初に説明された 4 ページで、1 桁以上、数十分の 1 という数値と、あとで 5Tb/in^2 というのが出ていて、あと 0.3W と、その間の関係がよくわからなかったのですが、この 1 桁以上、数十分の 1 というのは、あとで出された 5Tb/in^2 という数字と 0.3W で、もう保証されている、だからそちらで考えれば良いということでしょうか。

[城石(実施者)] どこの時点から何分の一かというのは非常に難しいので、目標としては 5Tb/in^2 で 0.3W/テラバイトが最終目標です。どこの時点の装置を基準にするかというイメージがわかりやすいので、ここではある時点からすると何十分の 1 ということで表現させていただきました。

[安藤委員] わかりました。どうもありがとうございます。

[押木委員] 次の 5 ページに容量が増大しているグラフがあったと思います。これは世の中一般によく出ている図ですが、この HDD (Hard Disk Drive: ハードディスク装置) の保存容量の増加のグラフは、本プロジェクトが実施されたときに、この予測ラインに乗るといったことなのですか、それとも予測ラインの上に行くということなのですか。

[松岡(推進者)] このグラフ自体は、IDC (International Data Corporation: IT 関連の市場調査会社) 等の予測に基づいた保存容量の予測で、本プロジェクトの成果がこの予測の中に載っているという性格のものではありません。

[押木委員] であれば、本プロジェクトの実施が見込まれたときに、保存容量の割合が増える等の予測はできないのですか。

[城石(実施者)] この緑で書いた HDD の保存可能容量をいまの技術で、特別な投資もしないで基本的実現するようなところにあります。

[押木委員] ということは、NEDO の投資がなくても従来の線の上のままで、この保存容量が維持、増加していくという方向であれば、NEDO の投資は何の意味があるのでしょうか。

[城石 (実施者)] 私が申しましたのは、技術開発ではなくて、こちらの容量は、NEDO で別に保証できているわけではなくて、企業が年間だいたい 10 億ドルを投資することで実現しています。それをたとえば新しい技術を入れた場合は、100 億ドル投資しなくてはいけないということに、もしもなつたとすると、その技術は将来性がないわけです。私どもとしては、従来の企業の量産技術、10 億ドルの投資で、このトレンドができて、さらに 0.3W/TB(テラバイト)の消費電力が実現できることを担保するために、この研究をしております。

[押木委員] この線を実現するために、このプロジェクトをやっておられるという認識ですか。

[城石 (実施者)] 結果としてこれが保証できます。

[押木委員] それと、もう一つ残念なのは、NEDO はエネルギーの関係ですが、エネルギーがこのように増加していくのにこのプロジェクトをやっていくことによって、これだけ減少することができる、たとえば原発を減らすことができる等に本来の NEDO の目的があるのではないのでしょうか。そういうトレンドのグラフはできないものですか。

[城石 (実施者)] これは実施者の私が言うのも変ですが、実は最近の記録密度の伸びは、非常に小さくなっています。たとえば現実には 10%ぐらいになっています。そのままでは、市場としてこれだけの容量が必要になっていますので、そのためには企業としては膨大な投資をせざるをえない。あるいは台数を増やすことで、消費電力としてはものすごく増えてしまいます。

そこで、記録密度のいままでの技術トレンドをきちんと維持することによって、この市場トレンドを守りながら、消費電力的には非常に増えないようにするということは、その効果がものすごく大きくて、原発約 7.3 基分も節約できるというのが私の理解で、非常にいいプロジェクトであると思います。

[押木委員] 先ほどから 2 人の先生方が質問されているのもそこだと思のです。だから NEDO として、そういう目標をきっちり明示されるのがいいのではないかと思います。

[松岡 (推進者)] 一応、HDD の記録密度の向上によるエネルギー消費量の削減効果については、一つの試算の例を示しています。

[押木委員] あともう一つ、城石 PL の説明の中で、熱アシスト記録、マイクロ波アシスト記録は、2017 年の実用化時期、ビットパターンは 2019 年の実用化時期と IEEE で言われているとおっしゃいましたが、これはやはりこのプロジェクトの成果がここで反映されるというイメージですか。

[城石 (実施者)] そのように考えています。

[押木委員] ではこのプロジェクトに入っていない方はやらないということですか。

[城石 (実施者)] いや、そこは成果の波及と、もう一つは適宜このプロジェクトのメンバーとしてちゃんと実働して成果を得た人たちがいる程度それを享受することも含めて、バランスを取りながら、たぶん進めていくことになると思います。

[押木委員] 最初に NEDO の説明の中で、実用化・事業化に向けての見通しおよび取り組みということで、企業の売上げに貢献することを言うを書いてありましたが、これは何年先でも貢献すればいいのですか。

[松岡 (推進者)] 要素技術にもよりますが、早いものでは 2 年後、3 年後からはこのプロジェクトの成果が実用化されていきます。そのタイミングからは各技術間競争力として HGST ジャパン、東芝のシェア拡大に徐々に寄与して、2020 年には、たとえば 5Tb/in² が実用化されたころには、大きな寄与となっていくことを期待しています。

[城石 (実施者)] HDD 業界はご存じのように、場合によっては 1 社で年間に 20 億ドルぐらいもうかるような事業をいまやっていて、そこはかなり貢献しますので、税制の面でも寄与できると考えており

ます。

[逢坂分科会長] ほかにどうですか。

[村岡分科会長代理] 城石 PL にお伺いしたいのですが、6 ページの成果と目標達成について、◎と○が
ついてます。6Tb/in²、8Tb/in² という大変力強い成果というか、磁気記録をやっている者にとっては
はととても頼もしい成果が得られていると思います。これがナノテクとして見たときに、媒体の構造と
して当然何ナノメートルのどういうものをつくったということ踏まえて、おそらくこの記録密度の
推定をされたのではないかと思います。具体的にはどれぐらいのものが自己組織化技術、あるいは
エッチング技術によってできて、6Tb/in²、8Tb/in² というお話なのか教えていただけたらと思いま
す。

[城石 (実施者)] 記録密度を実現する技術として、たとえば媒体の技術とヘッドでご説明させていただきます
と、マイクロ波 (アシスト法) で 6Tb/in² を実現するためには 15nm 程度の素子が発振することを確
認する必要があります。私どもとしては、そのために 15nm の素子をつくって発振を評価して、それ
が 2Tb/in² くらいの素子の発振状態と同じであることを確認して、そのプロセスも込みで一応要素と
しては行くだろうとヘッドとしては見えています。

ただ媒体としては、こちらにあるように、たとえば自己組織化自身は 10Tb/in² ぐらいのものができ
るのですが、実際はかなり整列度が高いというものは、いまのところ 6Tb/in² くらいです。したがっ
て、そういったものを使いますと、実はパターンニングされる磁性の結晶の粒界の状態、あるいはその
ダメージなどまだ解決しなくてはいけない問題があるのですが、一番肝となる技術に関しては、ある
程度見通しができたということで、シミュレーションも含めてうまく熱の設計をすれば、熱アシスト
記録含め、6Tb/in² は行きそうだという目途が得られたと考えています。

[村岡分科会長代理] ドットサイズとしては、5nm とか 6nm ぐらいのところまで追い込んでいると。

[城石 (実施者)] その整列度がどこまでかということを厳密にはやらなくてはいけないのですが、それを
ちょっと外して考えると、5nm ぐらいはある程度できそうだと考えています。

[村岡分科会長代理] ありがとうございます。人為的につくられた材料で、ここまで追い込む材料、ナノ
テク技術は、やはり最先端だと思います。こういう成果はとても重要で、今後磁気記録だけにとどま
らず、ナノテク全体を引っ張って行く技術を開発なさっているのではないかと思います。ぜひよろ
しく願いたいします。

[城石 (実施者)] ありがとうございます。そこは、実は再委託で、今回も先生方のご指導をたくさん賜っ
ており、ある意味で私どもの成果というよりは、日本全体の大学の先生方も含めた成果と思ってお
りますので、ぜひまたご指導のほど、よろしく願いたいします。

[二本委員] 非常に高い技術目標を掲げて研究推進されていますので、多大な困難が伴いますし、周辺か
ら見ると批判することはいくらかもあるのです。そういう中で将来の可能性を掲げて、このプロジェ
クトの担当者以外の方も巻き込んで、皆が賛同するような非常に大きな流れをつくることは、非常
に重要であると私は考えます。

NEDO の担当者の方にお聞き致します。PJ 担当者は開発技術内容や意義を分かっておられますが、
そうでない一般の産業界、大学あるいは公的研究所の方々には PJ で開発されている技術の重要性な
どが分かりにくいと思います。このような問題に対し、通常はプロジェクト成果情報を学会等を通じ
て発信することが必要と思いますが、この点に関してどのような手を打たれたのか具体的にコメント
頂ければと思います。

[松岡 (推進者)] 私のセクションでも簡単にご紹介しましたが、たとえば 9 ページの文科省プロジェク
トの合同成果報告会には、このプロジェクトの外の学会の関係者、あるいは参加していない企業の関
係者も含めて、このプロジェクトの成果をご説明した上で、普及活動を行っています。さらにほかにも
CEATEC (アジア最大の映像・情報・通信に関する国際展示会) など一般に対してもこのプロジ

エクトの成果を知らしめて、広く普及するような活動も NEDO として行ってきました。

[二本委員] 私も昔、NEDO のプロジェクトに関与させていただいたことがあるのですが、そのとき、NEDO は学会発表を通じて積極的に情報発信せよと、もちろん必要な知的財産権を押さえた上でという条件がついていましたが、そういうことは推奨されていました。今回は外から見て、そのときに比べ、そういう動きが見えなかったように思います。CEATEC、報告会等はあるのですが、NEDO は方針を変えられたのですか。

[松岡 (推進者)] そういった成果の報告は、実施者を中心に十分に行われたと思いますが、最近の成果の報告については少なくなっているのではないかとご評価でしょうか。確かにプロジェクトを進めていくに当たり、フェーズがあって、このプロジェクトの成果からの実用化、実現可能性が大きくなってくると、どうしてもこの技術の成果についても海外からベンチマークされる機会が実は大きくなってきます。

たとえば先ほどの成果報告会も最終年度にも実施を検討したのですが、そういった海外のメーカ等から、このプロジェクトはかなり高い成果を達成していることで注目されています。ベンチマークの対象にすることによって、「このプロジェクトの動きを見て自分たちも研究開発を」という競争を利することになってしまうのではないかと。そういったこともあって、最終年度に近いタイミングでは、成果の報告については少し抑え気味になった面は確かにあると思います。

[城石 (実施者)] いま松岡主査が矢面に立って説明をしてくださいましたが、実は実施者側からも NEDO をお願いしております。あとでご報告させていただきますが、たとえば合同発表会で成果を報告したときに、それが翌日、他の国の言語になって、インターネットで全世界に配布されたこともありました。

何のためにこのプロジェクトをやっているか、あるいはどうやったらわれわれが一生懸命努力している成果が報いられるように活用できるかということを考えてときに、どこまでオープンにして、どこまでオープンにしないかということは大変悩みました。その線引きを、今回 NEDO をお願いして、できるだけ公表はするけれども、ある部分に関しては公表しないようお願いしたいということで、今回のバランスになったと考えています。これはどちらかと言うと、実施者側からもかなりお願いしたと考えています。

[逢坂分科会長] なかなか難しい問題です。ほかにいかがですか。

[安藤委員] いまのものに関連するのですが、NEDO プロは、昔は日本の企業がやって、それを応援して、日本の企業が実用化するという話になっていますが、このプロジェクトも実際はかなりそうではなくなってきたところが現状で、それは仕方がない。私のやっている MRAM (Magneto resistive Random Access Memory : 磁気抵抗メモリ)もずいぶんいろいろな複雑な状況になってきています。そういうときに、ここにある実用化・事業化に向けての評価を、どういう考えでやったらいいのか。たとえば特許が売ればいい、あるいはこれを支える製造装置メーカがある、それはもちろん最終製品をつくるのが日本にあれば一番いいのですが、そのあたりは NEDO として、どう整理して評価してほしいのか。

[松岡 (推進者)] たとえば日立の場合はウェスタン・デジタルに事業を売却したこともありました。その上で知財マネジメントでもそうですが、バイドール法で日立製作所、東芝に研究開発成果という知財は譲渡します。基本的に取得した知財については、たとえば日立の場合は HGST ジャパンがウェスタン・デジタルの子会社ですが、実際ウェスタン・デジタルとは技術的に完全に融合されていなくて、独立して国内で活動していますので、そこを成果の出口として国内に還元するようなビジネスプランをつくってくださいとお願いしています。あるいは東芝も、たとえば知財の活用は国内企業と協調してできるだけ国内に裨益するかたちで成果を実用化してくださいと、成果についてはそういった考え方で。できるだけ国内の雇用や納税等に貢献できるような仕組みをきちんと構築するように NEDO

としては各実施者に要望しています。

[安藤委員] ここには今日グラフが出ませんでした、配布資料の中で東芝の中に日立が入ってやっておられるような体制図がありましたが、あれはどういう話ですか。

[松岡 (推進者)] 東芝と日立は、実際別の企業ですが、かなり連携してやっています。日立の研究所の中に東芝の分室みたいなものを設けているという認識です。

[安藤委員] 公開資料の事業原簿Ⅱ-10です。

[城石 (実施者)] 私どもの前の NEDO の光のプロジェクトで、EB (電子ビーム) の機械等が中央研究所にあり、それを東芝に使っていただいているという、その実施場所になります。他社が会社の中に入る、そこで仕事をする、本来は難しいのですが、そこに NEDO の装置があること、このプロジェクトでやっているということで、それを使って全体を加速するために、そういう体制をあえて取ったという意味です。

[安藤委員] わかりました。

[金井委員] 城石 PL の資料の 8 ページ目、私は非常にたくさんの公開資料があると思うのですが、たとえばこういった大きなお仕事をなさるのに、聞いていいのかわかりませんが、だいたいどれぐらいの人員がかかわったか、専任の方も、そうでない方もいらっしゃると思いますが。

[城石 (実施者)] 登録メンバーですが、たとえばヘッドですと 40~50 名です。媒体では 30 名ぐらい、装置関係では十数名ぐらいのメンバーを登録させていただいております。もちろんそれだけではこの仕事はできませんので、その周辺で登録させていただいていないメンバーでできる仕事を担当できるものもかかわっておりますので、かなりのメンバーになります。もちろん再委託で先生方にも相当お世話になっております。そういった数も入れると、全体で 200 名規模になるかもしれません。ある意味で総力戦のようなイメージです。

[松岡 (推進者)] いまのご質問について、事業原簿のⅡ-15 に、テーマごとの研究員数のピークの時点でのこの委託事業としての人数を記載していますので、そちらもご参照ください。

(非公開セッション)

5. プロジェクトの詳細説明

省略

6. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ (講評)

(宮下委員) 今回の国プロが発足した時点は、垂直磁気記録が実用化されて、密度がどんどん上がってきて、これから先を考えたときに密度の限界のところがもうすぐ来る。そういうときちょうど国プロが始まり、タイミングとしては非常によかった。一方、HDD そのものが数年前までは右肩上がり、市場がどんどん拡大基調でしたが、突然ペースが落ちた。新しい市場を開拓していくことも一つ必要性があるのではないかと感じています。一例として、映像、クラウドストレージ用途では大容量化のニーズがこれからも続いていくものと認識し

ている。また、研究成果を学会レベルで見ても、重要な成果が出ており大きく評価できる。

(二本委員) このような先物の技術は、おそらくこのプロジェクトがスタートしたとき、プロジェクトリーダーは別として、担当者から見たら、できるわけがないというのがたぶん本音だろうと思います。できるわけがないという状況が5年経つてくると、意外とできるじゃないかというところまで来る。これがたぶん国プロの一つの意義であろうと思います。今回量産の少し手前、ものができて何とか技術的に行けそうかどうかという、その感触を確認したという点では、熱アシスト、マイクロ波アシスト、ヘッド技術、位置決め技術等々を含めて、いずれも感触データはたぶん出たのではないかと私は思っています。NEDOへの注文みたいなことを少し言わせていただきますと、やはり日本の技術、テクノロジー技術で将来を切り開いていくことが基本だと思います。そういう意味では、HDD関係のナノテク技術は、非常にいい目標であり、いろいろな方を見たときに、知力を結集しやすい一つのターゲットになってきたのではないかと思います。

日本人は農耕民族的で、コツコツと努力して技術をレベルアップする能力には非常に長けている。一方、欧米には狩猟民族的にコツコツと積み上げた技術を活用してうまい商売をするケースがあります。狩猟民族のほうが圧倒的に効率はいいかもしれません。しかしながら、農耕民族が狩猟民族に転換することはなかなかできにくいように思いますし、農耕民族的なアプローチは絶対必要だと思います。大学の学生達は、かつては半導体、HDDにあこがれと言いますか、大学を卒業したらぜひそういう会社に入って、自分も技術開発陣に加わって活躍したいというのが多かったのですが、最近はその勢いに陰りが出ている。われわれが長年かけてずっと緻密に困難を克服しながら技術を築き上げるという良い体質、やり方を、将来にわたっても何らかのかたちでキープしていただくために、リーダーシップを発揮していただく国プロが大きな仕掛けになると思いますので、ぜひそういうことも考慮いただければと思います。

(金井委員) 個人的には、MAMR (Micro-wave-Assisted Magnetic Recording : マイクロ波アシスト記録) の進展が非常にありましたという話を聞くことができうれしく、また自分で発表する段階になるとあまりしゃべられなくてちょっと怖いという気がしました。2008年からこのプロジェクトはスタートして、当時のことを思い出していますが、Intermag (IEEE International Magnetism Conference : 国際磁気会議) がマドリッドで開かれた年だったと思います。そのときには、たぶんBPMの発表がかなり多くて、私の記憶が正しければ、まずBPM (Bit-Patterned Media : ビットパターン媒体) が出てくるのではないかと思います。MAMRに関しては、まだほとんど研究発表がなかった。HAMR (Heat-Assisted Magnetic Recording : 熱アシスト記録) に関しては、多少あったかもしれません。それが5年間のうちにこういったプロジェクトを通じて、今後がかなりはっきりしたということで、私は大変すばらしい成果だったと思っています。

(押木委員) 中間評価のときも出席させていただいて、中間評価のときには、はっきり言ってこれからどうなるのかな、大丈夫かなと心配しましたが、いろいろな部分があつてきて、大きく進展したという印象を受けました。一つ心配なのは、これから実用化に結びつけていく段階で、たとえば現実のものと、シミュレーションのものと突き合わせて、このような小さいものができるのだという類推をしている。そういうものが本当にできるかどうかという保証はどこにもない。そのあたりをどう見極めて、実用化に結びつけていくのか、大変重要な気がします。世界の中で仲間づくりをやっていくと歩調を合わせるかたちで、世の中が動いていかないといけないのではないかと。そういう意味で私は日本磁気学会におりますので、磁気学会の研究の場や研究会、講演会などをうまく利用させていただいて、仲間づくりを進めていただければ、実用化がより近くなってくると思われまます。

(安藤委員) 中間評価に出させていただきましたが、それから見て実にすごく進んだことに驚きました。特にマイクロ波アシストに関しては、海外の企業が非常にネガティブに動いてきた中で、日本の企業などの皆さんがこのように大々的に出してくれていることは、非常に重要で、そ

の中でこのプロジェクトは大きな役割をしたのだと私は思っています。当初は空中分解するのではないかとみんなが思っていたプロジェクトなので、それができたのは、城石 PL が持っておられるネットワーク、お人柄が非常に大きな役割をされたのではないかと思います。

(村岡分科会長代理) いまの磁気記録にとって、あるいはストレージにとって大事な 5Tb/in^2 、まさにぴったりの目標で、それを少し上回るところに成果を出していただいて、大変ありがとうございます。委員の皆様がおっしゃっていましたが、とても進んで終わられたという印象だと思われます。今日のご発表を聞いていて、いや、いまは飽和し始めたかもしれないけれども、次はこっちに行くのだと明快に MAMR、HAMR、エネルギーアシストと BPM、個人的に私は BPM が好きですが、それは別にして、次のテクノロジーを実験付きできちんと示していただいて、しかも最後に動画デモンストレーション付きというのが、いかにも日本の名だたる研究チームがオールジャパン体制でおやりになった国プロだなど思われました。アジアのキャッチアップを受けていないことが磁気記録、ストレージの産業としての非常に特徴的なところかと私は思うのですが、アメリカとけんかするのではなくて、うまくウィン・ウィンの関係を学術的にも産業的にも保ちながら進めていただけたらと思っています。

(逢坂分科会長) このプロジェクトは機を得て、非常にすばらしい成果が出て、次の産業、あるいは技術を指し示すポイントをきちっと部類分けしていると高く評価できるものだと思います。特にスタートしたころに垂直磁気記録に変わって、次はどうなるのだろうかという混沌とした要素がずいぶんありました。その中で日本が果たした役割を大きくまとめて、次の方向性をきちんと出して、これが大きな産業に持っていけるという方向性が位置付けられていたのではないかと実感させていただきました。いろいろな意味で産業展開ができる基礎技術を本当にトップで持っているということを感じます。一つ心配なのは、二本委員がおっしゃっていたように農耕民族が狩猟民族に凌駕されるというイメージがありました。産業化に向けてそれをまた逆転しつつ、協調できるようなストラテジーをちょうど出す時期でもあるので、そういう意味ではぜひとも国のご指導とともに、リーダーの目の色が違うので、またおもしろく展開できればと期待しています。

講評の後、実施者、推進者から以下のようなコメントがあった。

【城石 (実施者)】 今日審査評価委員の先生方から過分なお言葉をいただきました。プロジェクトを起こしたときを思い起こしますと、先ほど二本委員が言われたように、私どもで本当にこんなことができるのかと思ったことをチャレンジングに行いました。幅広くテーマを設定して、それを国のほうで認めていただいて挑戦できたということが、いまになって思うと非常にありがたい。しかもこのプロジェクトは、何回も加速資金をいただいています。そのおかげで非常に成果がたくさん出せたのではないかと非常にありがたく思っています。成果の質としても、先ほど温かいお言葉をいただきましたように非常にレベルの高いものができたと思っています。

【岡田 (推進者)】 NEDO は研究支援機関で、一応国のお金でやっていますので、プリコンペティティブということで、実用化の企業による見通しがつくところまではご支援できるのですが、最後の製品化していただくところのラスト 1 マイルは、企業の自力でやっていただくことが前提になっています。NEDO としても当然プロジェクトの期間は終わりますが、仲間づくり等も含めて、フォローアップはやっていかないといけないですし、次のストレージの新しい技術動向や新しい芽もたぶん出てきていると思います。そういったところもこの評価を通じていただければ、次のプロジェクトができると思っています。

9. 今後の予定

10. 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 プロジェクトの概要説明資料(公開)
事業の位置付け・必要性/研究開発マネジメント
- 資料 5-3 プロジェクトの概要説明資料(公開)
研究開発成果/実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み
- 資料 6-1 事業原簿 (非公開)
- 資料 6-2-1~3 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
各研究開発テーマの詳細
- 資料 6-3 プロジェクトの詳細説明資料 (非公開)
実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み
- 資料 7 今後の予定

以上

参考資料4

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価における主な今後の提言	今後の取り組み方針
<p>○周辺技術の開発状況、競合企業の開発戦略などを踏まえながら、本プロジェクトの成果を実用化に結びつけるための企業における柔軟な実用化戦略が必要である。</p> <p>○今後世界的規模の産業展開を見据えた進め方も必要になる時期にきている。量産体制の確立に向けての効率的な投資のために引き続き、産学官連携体制によるしっかりした公的なサポートが望ましい。</p> <p>○本プロジェクトの成果をうまく育成・発展させることで、この分野での我が国の国際的なイニシアチブを取り戻していくことが重要である。日本がストレージ技術において、世界を先導していくためのシナリオとして、ストレージシステム全体を俯瞰し、他のメディアについても必要なタイミングでナショナルプロジェクトを計画的に実施していただくことを期待する。本プロジェクトに次ぐ、将来の技術リードビ</p>	<p>○プロジェクト成果である世界トップレベルの要素技術について、プロジェクト参画企業は、技術的な難易度や資源の投入について順序を付けた上で、実用化を検討している。競合メーカーのベンチマークも含めたHDD業界全体の技術導入スケジュールを意識してよく戦略が練られており、技術的・経済的課題の解決への道筋も明確である。</p> <p>○プロジェクトにて進めた研究開発の一部について、継続研究を実施している等、引き続き産学官連携体制におけるサポートを行っている。</p> <p>○新しいストレージ技術を今後も模索し、世界に先駆けて日本で実用化を目指すプロジェクトをNEDOとして検討を継続していく。</p>

一クルとなり得る新プロジェクトも NEDO 主体で検討頂きたい。	
----------------------------------	--

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・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。

平成26年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 保坂 尚子

担当 柳川 裕彦

* 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