

「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)」
中間評価報告書

平成23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23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 村田 成二 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32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。

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. 個別テーマに関する評価結果	1-19
2. 1 超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発	
2. 2 超高性能磁気ヘッド技術の研究開発	
2. 3 超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発	
2. 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. 評点結果	1-41
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

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）」の中間評価報告書であり、第25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）」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第28回研究評価委員（平成23年3月30日）に諮り、確定されたものである。

平成23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)」

中間評価分科会委員名簿

(平成22年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	みうら よしまさ 三浦 義正	信州大学 理事・副学長／信州大学 工学部電気 電子工学科 教授
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
	いちやなぎ ゆうこ 一柳 優子	横浜国立大学 大学院 工学研究院 知的構想の創 生部門 准教授
	おしき みつまさ 押木 満雅	社団法人 日本磁気学会 事務局長
	なかの けんいち 中埜 賢一	NTTアドバンステクノロジー株式会社 顧問
	ほんま たかゆき 本間 敬之	早稲田大学 先進理工学部 教授

敬称略、五十音順

審議経過

● 第1回 分科会（平成22年11月8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構成について
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. 全体を通しての質疑

公開セッション

7. まとめ・講評
8. 今後の予定、その他、閉会

● 第28回研究評価委員会（平成23年3月30日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

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。

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。

2) 今後に対する提言

多くの将来技術があることにより、技術選択肢のメリットもあるが、技術の集中という点では若干の不安がある。ロードマップ論議を詰め、基本技術の開発とそれらの適用順を戦略的に詰める必要がある。

また、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。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

3 兆円を越える大きな世界市場を有する HDD 磁気ストレージ技術はわが国が米国勢に対抗できる研究・開発・製造を一貫して行い得る分野として貴重な分野である。

本技術開発は一企業で推進するには個々の要素技術のリスクが高いことに加え、統合化技術も必要とされる総合技術力が求められる。IT 産業への波及効果の大きい技術であり NEDO が関与することで、開発スピードアップと開発リスク低減の両面から、国家が支援すべき重点分野の一つである。

とくに、急速な情報量の伸びによるストレージ機器の所要電力の省電力化技術

は喫緊のテーマであり、IT 分野におけるグリーンイノベーションに寄与する有効な開発課題であると位置付けられる。

2) 研究開発マネジメントについて

HDD による情報ストレージは、少容量ストレージを除き当分代替技術が予想できる状況に無く、また我が国が国際的にも競争力を持つ技術・産業分野であるため、高密度磁気記録技術の研究開発は戦略的に重要なテーマである。ストレージ技術の面記録密度トレンドを詳細に検討して 2.5 Tb/in^2 と 5 Tb/in^2 の目標記録密度を定量的に設定している点は評価できる。

プロジェクトリーダーのリーダーシップがよく発揮されており、媒体、ヘッド、アドレッシングと効果的なチーム編成になっている。また、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。

一方、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。また、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

3) 研究開発成果について

ヘッド技術開発やナノアドレッシング技術も含めて、 2.5 Tb/in^2 の中間数値目標をクリアしている点は高く評価できる。特に、これまで実用的な展開が困難だった自己組織化を独自手法によって実際にビットパターンディスクや熱アシスト記録ヘッドを試作して記録媒体として使用できる可能性をはっきりさせたことは国際的にも先端的な成果であり高く評価できる

一方、これからは 5 Tb/in^2 技術開発に力点が移るが、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。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。

4) 実用化の見通しについて

今後も HDD の高密度化へのニーズは高まり続けることは確実であり、それを

踏まえた事業化の方向性と、そのために解決していくべき課題のターゲットィングは明確化されていると判断される。HDD 市場の席卷に向けては超 Tb/in² 級 HDD の早期市場投入が必須であり、技術の見通しが立ちつつある 2.5 Tb/in² 級技術の早期製品化適用の意義は大きく大いに期待する。

さらに、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。また、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。

研究評価委員会におけるコメント

第28回研究評価委員会（平成23年3月30日開催）に諮り、了承された。
研究評価委員会から以下のコメントが出された。

- 世界的な事業の競争優位を確立し、維持していくためには、技術（開発・製造）の優位性を確保することは当然であるが、事業戦略における製品展開（製品の進化）の明確化なシナリオが必要である。

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	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	オリンパスビジネスクリエイツ株式会社 事業企画本部 戦略探索部 探索2グループ シニアマネージャー
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	東北大学未来科学技術共同研究センター 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 精密機械工学専攻 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
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学部機械学科 教授・総合技術研究所所長
	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

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、評価委員のコメントを原文のまま、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

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。

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。

〈肯定的意見〉

- 社会ニーズおよび産業活性化の観点から重要な課題に取り組んでいる。長年使用されてきた HDD の構成を根本から変革しようとする挑戦的な開発課題を、わが国の 2 大 HDD 企業を中心とする産学官の協力体制が、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機能している。その結果、世界をリードする成果が出ている。
- 磁気記録媒体の発展は予想をこえるほど目覚しく、その中で日本の技術は重要な役割を果たしているので NEDO のプロジェクトとして取り組む意義は大きい。多くの物理的手法を駆使している点も素晴らしく、目標に向かって技術者が全力で取り組んでいる姿勢が伝わってきた。目標以上の成果については前倒しにして進めるという意欲も大いに評価できる。耳にしていた新しい技術が想像以上に現実性を持ち、推進されていることに感銘を受けた。
- 企業単独で取り組むにはリスクの大きい技術テーマに NEDO の関与により、各社および再委託先ともども積極的に研究開発に取り組んでおり、最先端の成果が創出されている。今後のさらなる技術開発に期待したい。
- デジタル情報量の急激な増加に伴い、情報ストレージ市場はますます競争激化の様相が露わになっている。HDD はその大容量性、低価格性から情報ストレージの基幹となるシステムであり、その技術的、市場的優位性を確保することは我国産業技術の国際的ポジションアップに大きく寄与するものと考えられる。本プロジェクトは媒体・ヘッド・アドレッシング等の各要素技術の一段ジャンプアップを図り、技術動向・市場動向的にも世界最高レベルの記録密度 5 Tb/in² 級 HDD の早期実現をねらったものである。

り、NEDO が牽引する「IT イノベーション」、「エネルギーイノベーション」に果たすべき意義は大きい。各技術共に着実に成果を積みあげ、中間目標を概ね達成しており、十分期待に応え得る成果を上げていると高く評価できる。

- 今後の ICT 技術の中で、世界的競争力を維持している情報ストレージ技術の根幹を握る分野であり、国家的プロジェクトとして研究開発を推進させたい。研究の進捗も所期の計画を上回る勢いであり、今後とも着実な研究推進に努めて頂きたい。
- 情報ストレージ機器の省電力という喫緊の課題に対して、面記録密度 5 Tb/in^2 (ビットサイズで 10 nm 以下) という大変意欲的な目標を設定しており、中間的な成果としても現在の技術レベルからは十分に高い目標である 2.5 Tb/in^2 を実現する技術を開発している。これは十分な成果と評価できる。また、デバイス系やシステム系にも多くの充実した世界的な新規の成果が得られており、総合的な技術開発が重要な高密度磁気記録技術にとって重要なアウトプットを得ている。今後についても、最終目標の 5 Tb/in^2 が、単独の記録方式では難しくビットパターン媒体と熱アシスト記録の併用が必要という記録方式の見通しを明確に示しており今後の成果が期待される。
- 5 Tb/in^2 の HDD 実現に向けた技術の基礎検討として、全体として着実な進展がみられている。特にヘッド関連技術については先駆的なものであり、今後世界をリードする成果として発展していくことが期待される。

〈問題点・改善すべき点〉

- 異方性を大きくするための新しい磁性材料自体の探索は進めているのか、明確な回答が得られなかったように思う。発表論文の数が控えめに感じられたが、積極的に公表したいのか機密としたいのかよくわからない。できれば標準化を迅速に進めた上で、世界へ向けて発信して行って欲しい。
- サブテーマの媒体、ヘッド以外の部分（アドレッシング、システム化）の研究開発の進め方が難しい事は理解するが、更なる研究開発の推進を望みたい。 5 Tb/in^2 への足掛かりとしての中間目標 2.5 Tb/in^2 であり、目標達成と発表された。 2.5 Tb/in^2 から 5 Tb/in^2 は容易に類推できると言わんばかりの発表であるが、どの様に最終目標に続くのか明確にしてほしい。
- 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/in^2 級 HDD への早期成果展開に向けた事業・製造部門との連携強化、並びに最終目標である 5 Tb/in^2 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。
- 媒体形成について、実用化を念頭に置くという観点の現実味が不足している。種々の要素技術等の課題をよく認識・理解した上での真摯な取組が望

まれる。

- しいて課題を挙げれば、事業推進者等が認識しているように、5 Tb/in² 記録に向けた超高密度磁気記録の読み取り素子技術の見通しが良く見えな
いことだろう。昨今のスピントロニクス技術の進歩を精査し、道筋を立て
る必要があるだろう。
- 中間目標までの開発においては各種記録方式の検討が並列的に行われて
いる面がある。今後の展開を考えると、これらの記録方式の絞り込みがさ
らに必要であるように思われ、それに向けて開発項目の順位付けを明確に
することで効率化することが望ましいと考える。
- 実用化の可能性はまだ明確にはなっていない。世界の競争相手もすべて同
じ状態にあるため、本事業の終了までに、競争相手に先駆けて実用化の可
能性を明確にして欲しい。

〈その他の意見〉

- ・ 競合会社が協力して推進するのは非常に難しいと思うが、我が国を支える
要であるので、是非とも認識を同じくし、お互いを磨きあう形で実現して
欲しい。
- ・ タイトルに「グリーン IT プロジェクト」とあるがグリーン部分の主張が
少なかったように思う。
- ・ 投入されたリソースに比較し、論文・特許等が少ない。技術の開示は（海
外）競合者を利する懸念があるとのコメントもあったが、それを避けつつ
本プロジェクトおよび我が国のレベルの高さを示していくような、積極的
な姿勢が望まれる。
- ・ 国内の主要な HDD の開発機関を集めた強力な研究体制が構築されている。
今後、この体制での研究を継続することでの成果が期待される。
- ・ 最終年度には、媒体、ヘッド、位置決めなどの個別要素技術の成果を総合
して、実際に 5 Tb/in² の HDD システムが実現可能であることを、十分な
説得力を持って提示することを期待する。

2) 今後に対する提言

多くの将来技術があることにより、技術選択肢のメリットもあるが、技術の集中という点では若干の不安がある。ロードマップ論議を詰め、基本技術の開発とそれらの適用順を戦略的に詰める必要がある。

また、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。

〈今後に対する提言〉

- ・ 産官学の理想的な開発体制により世界をリードする成果が出ているものの、挑戦度の高い開発課題ゆえに、実用化の可能性は明確ではない。実施者の更なる開発努力は当然であるが、推進者の強力な支援を期待したい。
- ・ 異なる会社が協力して技術を推進するためには、差別化から標準化への時間の短縮が重要になると思われる。差別化部分を互いに尊重し認め合う合意も必要であり、それを経営者にも理解してもらおう努力も求められる。
- ・ 実用化に向けては大容量になった場合の問題点を予想することも大事である。例えばハードディスクがクラッシュした場合の損害を考えると安定性は十分確認して欲しい。バックアップにも時間がかかることも予想される。次々新製品が市場に出た場合の古い機種の方行方なども考慮されたい。
- ・ 本プロジェクトでは、4つのサブテーマで研究開発が進められているが、開発パワー（人、物、金）が媒体、ヘッドに偏重しているのではないかとと思われる。本プロジェクトの出口とする HDD の実用化には、媒体、ヘッド以外のサブテーマの強力な後押しが無ければ到達する事が出来ない。他のサブテーマの強力推進が必要と考える。また、実用化には本プロジェクトに含まれていない、信頼性や信号処理などまだまだ多くの技術開発項目が残されており、新たなプロジェクトを立ち上げるまたは、新たなサブテーマを設定するなどの配慮が必要と考える。
- ・ 多くの将来技術があることは、技術選択肢のメリットもあるが、技術の集中という点では若干の不安がある。ロードマップ論議を詰め、基本技術の開発とそれらの適用順を戦略的に詰める必要がある。その意味では、単なる技術の完成度による評価だけでなく、生産性やコスト、その後の拡張性等、総合的な技術の筋を議論したい。高度な企業戦略にからむ分野であり難しいかもしれないが、これを誤ると損失は大きい。
- ・ 極めて高い面記録密度の目標を設定しており、試行錯誤によるボトムアップによる古い開発手法では効率が悪くプロジェクトの期間内に達成できる成果に限られるおそれがある。その意味で、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。また、成

果を可能な限り広く公開して、生産設備メーカーやデバイス専門メーカーの立ち上げを通じて量産化への加速が期待できればなお良い。

- ・ 将来に向けて多岐の要素技術を高めることはもちろん重要であり大いに期待する所であるが、本プロジェクトは超 Tb/in² 級 HDD の早期実用化と先手市場投入を果たしてこそ目的を完結しうるものであり、製品化への繋ぎとなる各プロセス技術の完成度向上や摺り合わせ技術、また生産技術への落とし込み等について着実な推進を期待したい。
- ・ プロセス技術については、各社が独自に解決すべき「各個問題」レベルと位置付けられているようなところに、本質的に重要な技術課題が多く含まれているような印象を受ける。実用化に向け、このような点を再度検討しながら後半の目標設定を再確認してほしい。

〈その他の意見〉

- ・ 成果報告について、プロジェクトリーダーが全体的な説明を通して行ったのは、プロジェクト全体の一貫した思想を理解する上で有効だった。一方、個別テーマの説明については、実際に研究を担当した若手研究者らが行った方がより具体的な説明も受けられ、また若手のエンカレッジにもなるのではないかという印象を受けた。
- ・ 新しい技術で目標以上に達成が加速されている項目については、是非とも重点的に支援をお願いしたい。また、成果を出している技術者たちへその貢献を還元できるような制度を設けてあげてほしい。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

3兆円を越える大きな世界市場を有する HDD 磁気ストレージ技術はわが国が米国勢に対抗できる研究・開発・製造を一貫して行い得る分野として貴重な分野である。

本技術開発は一企業で推進するには個々の要素技術のリスクが高いことに加え、統合化技術も必要とされる総合技術力が求められる。IT 産業への波及効果の大きい技術であり NEDO が関与することで、開発スピードアップと開発リスク低減の両面から、国家が支援すべき重点分野の一つである。

とくに、急速な情報量の伸びによるストレージ機器の所要電力の省電力化技術は喫緊のテーマであり、IT 分野におけるグリーンイノベーションに寄与する有効な開発課題であると位置付けられる。

〈肯定的意見〉

- IT 技術の重要な側面であるストレージ技術は波及効果の大きい技術であり、これを国の施策として取り組むことには高い意義がある。2つの視点がある。1つは急速な情報量の伸びに合わせて急速に数が増えているストレージ機器による電力消費である。現状では単にデータセンターのシステム規模を大きくすることで対応しており所要電力がうなぎ上りである。ストレージ機器の省電力化は総合的で抜本的な対応が必要である。データセンターの省エネルギーの必要性は米国でも問題となっており高い情報量増加率を勘案すると喫緊の対策を要する。2つ目は、産業的な事業規模が大きく国際的な熾烈な競争状態にある IT 技術の主要技術であることである。現状では我が国のストレージ技術は米国に市場占有率で劣っており、競争力を確保しておかないとこの大きな市場からの撤退のおそれもある。我が国の情報通信インフラの総合的な展開を考えると、ここでコア技術の一つであるストレージ関連技術における国際的な地位の低下は好ましくない。ますますの加速が必要である。
- ものづくりが海外シフトするなかで、HDD 磁気ストレージ技術は、ほぼ我が国とアメリカ企業のみが研究・開発・製造を一貫して行い得る分野として貴重な存在である。この先端ナノストレージ技術は一企業で推進するには個々の要素技術のリスクが高いのみならず、それらを統合する技術も必要となる。先行技術確保に向けてのスピードと大きな開発リスクの両面から、国家が支援すべき産業技術分野の一つであるといえる。
- データセンターの電力消費の急増問題の解決という、世界的な要請の強い課題に応えようとする重要な事業である。3兆円を越える大きな世界市場におけるわが国のシェア確保を狙うものであり、わが国の産業活動の活性化の観点からも重要な事業である。パターンドメディア媒体およびエネル

ギアアシスト磁気記録技術は、これまでの HDD 技術とは連続性のない技術であるため、その開発はきわめて挑戦的な性格を有している。そのため、民間企業の研究開発のみでは実現が困難な開発課題であり、NEDO が関与することは妥当である。

- 日本 HDD ビジネスは米国勢の後塵を拝する状況からの脱却を目指して、日本に残された HDD メーカーの研究開発促進のために NEDO 主導プロジェクトが推進されている事は技術立国を目指す我が国にとって重要な礎となる。
- 試算で示されたように、IT 分野におけるグリーンイノベーション（省エネルギー）に寄与する有効な開発課題であると位置付けられる。
- ①単位情報あたりの消費電力で目標値を設定し、シミュレーション等も取り入れ着実に推進しており余裕を持って実現が可能と見受けられた。②ハードディスクは世界の中でも重要な位置を占めており、日本は注目すべき技術も持っているため、NEDO の関与が必要とされる事業である。また、異なる部門間での協力は情報の共有や公表などの点で困難な場合も多々あるため、NEDO が関与して推進を促す必要がある。③本事業の実施による効果は絶大であり、予算との比較では十分と言える。
- 情報ストレージ分野は国際競争の真只中にあり、技術の革新と優位製品の先手市場投入が必至の情勢にある。情報ストレージにおいて重きを占める HDD もしかりであり、革新的高密度大容量化、低消費電力化の促進等本プロジェクトの果たすべき意義は大きく、「IT イノベーション」、「エネルギーイノベーション」を標榜推進する NEDO の牽引は不可欠である。

〈問題点・改善すべき点〉

- エネルギー消費がどれほど軽減されるかとの主張はなかったように思う。単位情報あたりの消費電力が非常に少ないことは回答されたが、HDD より他の部分の消費電力が大きいとの説明もあった。どれほどの省エネになるのか不明瞭であった。
- 現状では特に認められない。
- ストレージは総合技術であり、デバイスからシステムまで欠けるところのない技術の進歩が必要である。その意味での本事業の取り組みは開発項目がよく吟味され評価できるものであるが、ストレージ産業は各社が統合的にデバイスの内製化を進めている一方で、デバイス専門メーカーがあっても外販デバイスが相当数あるのも事実である。さまざまな事業環境があることを考えると、これらのメーカーを直接本事業に取り込むことが適切とは考えないが、成果がしかるべき時期までに円滑に移転され技術全体の底上げがなされるよう産業化できれば望ましい（ただし、これは、海外メーカーが高性能デバイスを容易に入手して最先端製品の生産に恩恵を受ける

ことになるため、我が国の国際競争力との整合性で問題がある可能性がある)。

- 国際的な競争が激化していることを考えると、これまで投入された予算額が十分かどうか疑問がある。後半の開発においては、必要などころに加速の処置をとって欲しい。

〈その他の意見〉

- ・ 国内の HDD は将来的に 1 社として集約していくのか、またそうなった場合の新たな問題はどうか懸念される。
- ・ 物理の基本もしっかりフォローした上で応用化を実現しているのが非常に理想的で称賛に値する。産学連携の発展にも貢献するであろう。
- ・ 特にビットパターン記録はディスクに微細構造を作り付けるものであるから、高度な装置産業でもある。生産技術に関して、加速化資金の投入などを経て装置メーカーとの連携が必要になると思われる。事業完了後の取り組みとなることも理解できるが、可能であればこの面でのアプローチも具体化するの望ましい。

2) 研究開発マネジメントについて

HDD による情報ストレージは、少容量ストレージを除き当分代替技術が予想できる状況に無く、また我が国が国際的にも競争力を持つ技術・産業分野であるため、高密度磁気記録技術の研究開発は戦略的に重要なテーマである。ストレージ技術の面記録密度トレンドを詳細に検討して 2.5 Tb/in² と 5 Tb/in² の目標記録密度を定量的に設定している点は評価できる。

プロジェクトリーダーのリーダーシップがよく発揮されており、また媒体、ヘッド、アドレッシングと効果的なチーム編成になっている。また、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今後のマネジメントの鍵となる。

一方、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。また、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。

〈肯定的意見〉

- HDD の将来について混沌としたイメージを持つが、将来記録技術に焦点をあて研究開発を鋭意推進している。研究体制やマネジメントについて適切に実施されていると推察される。
- ストレージ技術の面記録密度トレンドを詳細に検討して 2.5 Tb/in² と 5 Tb/in² の目標記録密度を定量的に設定している点は評価できる。同時に、米国の状況を分析してその動向を折り込んだ目標設定でもある。5 Tb/in² の記録密度を 2013 年に設定しそれに向けての産業化のストーリーが策定できている。省電力目標も数十分の一であれば十分にインパクトのある目標設定である。このための技術開発も方式設計に基づいて、ヘッドとディスクのデバイス系へのブレークダウンを含めた統合的なシナリオに沿って行われており、その意味で適切な実用化・事業化への取り組みがなされている。
- HDD が今後、パターンドメディア媒体とエネルギーアシスト磁気記録技術を組み合わせたものに変化していくということは世界的なコンセンサスとなっている。問題は、これらの技術を如何に実証していくかという点にある。本事業は、この観点からよく考慮された開発項目が漏れなく列挙され、かつ各々に明確な達成目標が設定されている。HDD の事業を行っている、わが国の全 2 社が共同して本事業に参画していることを高く評価する。新技術の事業化に真剣な企業間の共同開発のため、その遂行には多くの困難があると思われるが、明確なポリシーを持ったプロジェクトリーダーの指揮のもとに、大学・公的研究機関を含めた有機的で強力な開発チ

ームが構成されているとの印象を受けた。

- 国内ではハードディスクメーカーが2社に淘汰されてしまったが、その中心に位置する2社が協力し、全力で推進することで国内の標準をリードするとともに、国際的な競争力も維持することができる強靱なプロジェクト体制である。目標値は明確であり、やや厳しく設定されているが、各チームが積極的に挑んでいる。プロジェクトリーダーは良く全体を把握しており、また対外的な問題解決にも尽力している。目標達成が早まった項目については前倒しで進めるなど、肯定的な情勢変化への対応も評価できる。
- ターゲットとする HDD システム並びに各要素技術共に技術動向、市場動向、国際競争を見切った戦略的かつ挑戦的な目標設定、課題設定がなされている。本プロジェクトの最終目標である 5 Tb/in² 級 HDD 実現には、多岐に渡る要素技術のジャンプアップ、かつ調和ある成果積み上げが必須であるが、我国 HDD 全メーカーと当該分野の先端研究機関が連携し着実に進められており、十分な研究開発推進力を有している。なお、度重なるプロジェクト推進体制の変更にも関わらず、常に最善の体制を再構築し本プロジェクトを遅滞なく推進してこられたことに敬意を表する。
- プロジェクトリーダーのリーダーシップがよく発揮されており、また媒体、ヘッド、アドレッシングと効果的なチーム編成になっている。
- (1)研究開発目標の妥当性：HDD による情報ストレージは、少容量ストレージを除き当分代替え技術が予想できる状況に無く、また我が国が国際的にも競争力を持つ技術・産業分野であり、高密度磁気記録技術の研究開発は戦略的に重要なテーマである。HDD における磁気記録の開発課題全てを網羅することは難しく、本プログラムでは如何に高密度に記録できるかの課題を解決することに主眼が置かれているように理解される。即ちナノビット媒体の実現とエネルギーアシストに基づく情報記録技術は技術開発ロードマップの幹線であり、妥当な選択といえる。また、ナノビット媒体に磁気ヘッドを高精度にトラッキングさせることは新規な技術課題であり、プロジェクト課題にふさわしい。(2)研究開発計画の妥当性：平成 22 年度までに 2.5 Tb/in²、平成 25 年度までに 5 Tb/in² の磁気記録要素技術の開発計画は、世界の競合記録技術の状況と技術実現性の両面から判断して、予定通り推進して頂くことが望ましい。熱アシスト記録の当初計画からの加速による成果には研究開発のメリハリとしては好感を持てるが、光源の配置や実装など、当初からの大きな技術課題を避けていることに懸念を持った。熱揺らぎに対処して、如何に書くかという磁気記録の最も根幹の技術開発に注力していることは適切であろう。情報を書き込む方式が確立できると情報の読み出しが課題となるが、5 Tb/in² 記録に対応できる高感度・高分解能再生ヘッド技術については明確な技術開発ロードマップを示す必要がある。(3)研究開発実施の事業体制の妥当性：当初のプ

プロジェクト実施体制から1社が途中で撤退したが、その後遺症もなく事業を所期の目標を達成する組織に組み直したことは評価できる。事業実施者は日の丸を背負う HDD 開発製造企業であり、技術開発の分担も妥当とみとめられる。プロジェクトリーダーは磁気記録分野の研究開発において長年の経験と実績を有し、本プロジェクト推進に向けての強い熱意も感じられ、現状においては最適な人選だといえる。目標達成及び効率的実施のためには実施者間、技術者間の適切な分担と密接な連携が鍵となるが、本プロジェクトでは円滑に行われていると認められる。実用化に向けてのシナリオ確定にはまだ技術的要素以外の課題、例えば経済性など詰めるべき素が残されているように思われる。本プロジェクトの後半期における重要な課題であろう。(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：本プロジェクトでは、目標を達成するための複数の要素技術が提案されており、個々の要素技術が確立したとしても、HDD 装置としての実用化はどの技術セットで行われるか現時点では不透明ではあるが、しっかりしたマネジメント体制なのでこれからの成果に期待したい。熱アシスト記録が当初計画より加速され、要素技術の進展は認められるが、熱アシスト記録用媒体と一体の技術であると思われるので、動的な評価を急ぎ、ヘッド実装技術を含め技術の筋を見極めて頂きたい。(5) 情勢変化への対応等：HDD の磁気記録は年率 100%という急速な技術革新の時代もあったが、昨今では 40%程度と落ち着いた状況であった。現状では垂直磁気記録は熱揺らぎと SNR の壁に直面したためか、更に緩やかな高密度化の流れになっているようだ。爆発的に増大する情報のストレージのグリーン化に向けては HDD の更なる高密度化は必須であり、計画通り本プロジェクトを推進していただきたい。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ろう。

〈問題点・改善すべき点〉

- 本研究開発においては大きな課題、問題点は見受けられない。
- 公開資料で説明された実施体制においては、プロジェクトリーダーと各実施者との間を結ぶ線がないため、プロジェクトリーダーの位置づけが明確ではない。実際には、技術開発方針に関してはプロジェクトリーダーにかなりの自由度を付与されているとは思われるが、プロジェクトリーダーの位置づけの明確化が必要。HDD 産業では、日本の部品・製造装置メーカーの存在感が大きい。そのため、100%委託である本事業の成果は、これら部品・製造装置メーカーの技術力向上のためにも活用されることが望ましい。そのための有効な方策は明確ではない。
- 競合2社間の情報共有化、開発ターゲット見直しや研究開発進捗管理など

の本プロジェクトの管理システム（体制）が見えない。この HDD 業界の変遷は素早いため、早急な対応が求められるので。

- 当該分野は先手の攻めが必須かつ有効であり、加速できる所は出来る限り加速することが望ましい。エネルギーアシスト媒体開発については既に加速措置が取られているが、再生ヘッド系等加速が有効かつ必要なものについても極力の促進を図り、時宜を失しないプロジェクトの完遂を期待する。
- 現状では特に認められない。
- プロジェクトの後半の取り組みでの課題ではあるが、出そろった要素技術の絞り込みと加速が重要と思われる。ビットパターン記録や熱アシスト記録などの方式について記録密度の進展に応じたロードマップの明確化があれば開発パワーを集中できて望ましい。また、量産化検討の一環として歩留りの評価が必要と思われる。特に、高密度ほどヘッドディスク系に分解能と厳しい仕様が求められており、技術の成否は反転磁界分散など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。
- 横の連携がやはり難しそうであった。異なる会社同士の関係では会社トップの理解を得ることが重要であろう。情報の共有は開発の推進に非常に効果的であるので、壁を取り除いていく方法を実現してほしい。

〈その他の意見〉

- ・ 実質的に同業 2 社の連携体制であるため競合する部分もあると思うが、両者の思惑の差異などにより本プロジェクトとしての研究が非効率化することのないよう、投入された公的資金が真に有効に活用され、充分社会に還元されるように留意しながら進めてほしい（本件は現状では「問題点」「改善すべき点」というほどではないと判断されるため、留意点として本欄に記した）。
- ・ HDD 事業は米国も進んでいるが、日本の繊細な技術は世界に誇れるレベルであると考えてるので世界をリードしていける潜在力を持っていると思う。能力を生かせるような支援体制も必要と考える。

3) 研究開発成果について

ヘッド技術開発やナノアドレッシング技術も含めて、**2.5 Tb/in²** の中間数値目標をクリアしている点は高く評価できる。特に、これまで実用的な展開が困難だった自己組織化を独自手法によって実際にビットパターンディスクや熱アシスト記録ヘッドを試作して記録媒体として使用できる可能性をはっきりさせたことは国際的にも先端的な成果であり高く評価できる

一方、これからは **5 Tb/in²** 技術開発に力点が移るが、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。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。

〈肯定的意見〉

- 大変難易度の高い開発課題であるにもかかわらず、中間目標はいずれもクリアされている。自己組織化による高密度化とマイクロ波アシスト磁気記録の斬新なアイデアは米国発であるものの、その実証技術においては米国と互角にまで技術を高めている。ビットパターン媒体を用いたトラックフォローイングにも成功しており、特に、マイクロ波アシスト磁気記録の原理実証に世界で初めて成功したことを高く評価したい。熱アシスト記録技術も着実に開発を進めていることを評価する。
- 成果は目標値をほぼクリアしており、中には目標値を上回るものも見受けられる。最新技術を駆使しており成果は秀逸である。
- サブテーマ個々の技術開発が鋭意行われ、成果が創出されている。
- 媒体・ヘッド・アドレッシング等の各要素技術、並びにそれらを統合したシステム化技術共に中間目標を概ねクリアしており、また項目によっては目標値を超えるレベルにまで進めているものもあり、本プロジェクトは順調に進んでいる。
- 個々の中間目標は達成されていると判断される。
- (1)中間目標の達成度：主要要素技術については概ね目標値をクリアしている。中間目標を達成する技術と最終目標を実現する技術は必ずしも一体（一連）の技術でとは限らないため、表現は難しいが中間目標であってもそこまでの解のあることを実証することは大切であり、他の技術の励みにもなる。(2)成果の意義：成果は **HDD** の代替え技術候補が見えない現在、爆発する情報のストレージ市場のさらなる拡大に貢献し、データセンター等 **IT** のグリーン化に大きく貢献することが期待される。本プロジェクト

の研究成果は、いずれも世界の最高水準にある。GMR等に代表されるスピナノテクノロジーは、MRAM等新たな技術領域を開拓してきた。CPP-GMR技術等新たな応用が期待されるほか、ナノインプリントや自己組織化技術が実用化されるとこれらの周辺技術の新産業が創出されるだろう。超高密度記録に挑戦する本プロジェクトは一企業で挑戦するにはリスクが高いのみならず、限られた研究者リソースでは手に余る時代になった。その意味では研究者の結集もあり、予算に見合った十分な成果が得られていると判断できる。これら超高密度ナノビット磁気記録技術は、他の競合技術、例えば光ディスクとは格段の優位性があり、また、フラッシュメモリ技術と比較しても経済性や容量ニーズへの対応性においても優れている。(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：積極的な知的財産権の出願状況が認められる。本プロジェクトの研究成果等が世界標準(ディファクト)になるか否かは、最終目標実現へのシナリオのまとめ方が鍵を握るであろう。今後の活動が重要になる。(4)成果の普及：多数の論文発表や新聞等での公表が行われていると認められる。研究成果の第一次の受取手はプロジェクト実施者自身とその部品供給者であり、成果の実施や普及に組織的な難点は見受けられない。あえて課題を挙げれば、的確な経営判断が得られるための説明が得られるか否かであり、最終目標へのシナリオのまとめ方に懸る。(5)成果の最終目標の達成可能性：順調に推移しており、最終目標は達成できると思われる。：最終目標に向けての要素技術、即ちアシスト記録方式とビットパターン媒体技術、夫々に中間目標領域での実現可能性が示されており、これらを集積化することによって最終目標が達成される、というシナリオの実現性が高い。

- ヘッド技術開発やナノアドレッシング技術も含めて、2.5 Tb/in²の中間数値目標をクリアしている点は高く評価できる。特に、これまで実用的な展開が困難だった自己組織化を独自手法によって実際にビットパターンディスクや熱アシスト記録ヘッドを試作して記録媒体としての可能性をはっきりさせたことは国際的にも先端的な成果であり高く評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- これからは2.5 Tb/in²技術の足場固めと並んで、5 Tb/in²技術開発に力点に移るが、特に5 Tb/in²についてはその達成内容をどのレベルで実証するかをはっきりさせた目標設定をすることが望ましい。この際に大変高い目標であることはよく理解できることであり、あまり背伸びをしない現実的な目標として成果を早い時点で活用できる着実な開発を進めるようにしていただきたい。
- いずれの開発課題においても、世界的なトップレベルの成果を出してはいるものの、依然として実用化の可能性は明確ではない。世界の競争相手も

同様な状況にあると思われるため、本事業によりぜひブレークスルーを起こして欲しい。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欲しい。

- メンバーの数や技術内容の量にしては論文発表が少なめである。特許との関連で難しい点もあると思うが、早めに出願し積極的に発表して欲しい。
- 個々のテーマをデバイスとして束ねて、またそのデバイスを組み合わせてどの様な HDD となるのかなどの最終イメージの形成が必要。成果をもっと一般に公表する。また、更なる権利化努力が必要。
- 達成目標はクリアされているといえるが、反面、実用化を踏まえると、設定目標値そのものが本当に妥当かどうか、については再検討を要する。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、前者の延長線上で後者も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。
- 最終目標に向けては各要素技術共に一段レベルアップや完成度アップ、実装検証、総合検証等が残されており、ここを正念場として一層のアクセラレーションを期待する。

〈その他の意見〉

- ・ 成果の普及の意味で、国際的な学会発表がプロジェクトの規模に比してやや寂しいと感じる。産業競争力とともに我が国の科学技術先進国としての位置付けから考えると、国際的な学会でのプレゼンスもお願いし、学会発表や論文における成果発表もさらに積極的に行っていただきたい。
- ・ 外国特許を積極的に出願してほしい。

4) 実用化、事業化の見通しについて

今後も HDD の高密度化へのニーズは高まり続けることは確実であり、それを踏まえた事業化の方向性と、そのために解決していくべき課題のターゲットィングは明確化されていると判断される。HDD 市場の席卷に向けては超 Tb/in² 級 HDD の早期市場投入が必須であり、技術の見通しが立ちつつある 2.5 Tb/in² 級技術の早期製品化適用の意義は大きく大いに期待する。

さらに、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。また、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。

〈肯定的意見〉

- ニーズ、市場規模などを考慮した明確なシナリオが作られている。本事業の目標が実現され場合の技術的・経済的・社会的な波及効果は大きい。大学・公的研究機関の人事育成を大きく促進している。本事業は、それに引き続く企業の実用化開発を促進するものである。
- これまでの記録方式から大きく技術内容が変化する開発である、熱アシスト記録やビットパターン媒体についての重要な成果があったことは評価できる。自己組織化によるナノビットの作製法は、実用性をよく考慮した独創性の高い要素技術なので、実用化のために作製手法についてさらに検討を加えて技術内容をより高めていただきたい。また、熱アシスト記録についても具体的なナノビーク型の近接場光発生素子を用いるヘッド構造を開発されたことは高く評価できる。こちらもぜひ完成度を高めていただきたい。
- 産業技術としては実績もあり、市場動向や他の記録材料を考慮した上で HDD が最も有望と結論付けている。日本の HDD 技術開発者が一丸となり、優れた磁気記録技術を確立できれば、世界をリードすることになりその波及効果は絶大である。
- 成果は着実に積みあがっており、実用化の可能性は高い。HDD 市場の席卷に向けては超 Tb/in² 級 HDD の早期市場投入が必須であり、技術の見通しが立ちつつある 2.5 Tb/in² 級技術の早期製品化適用の意義は大きく大いに期待する。
- 今後も HDD の高密度化へのニーズは高まり続けることは確実であり、それを踏まえた事業化の方向性と、そのために解決していくべき課題のターゲットィングは明確化されていると判断される。
- (1)成果の実用化可能性：産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）

にはもう少しデータと時間が必要だと思われる。：実用化に向けての課題は、量産化に向けての設備投資額と生産性についての見通しの2点に集約される。ビットパターン媒体では媒体生産プロセスの大幅な変更と多額の設備投資に踏み切る必要がある。アシスト記録では磁気ヘッドの生産プロセスに大きな修正が入る。熱アシストヘッドでは光源の実装箇所と導波路プロセス等がコスト増の要因となるが媒体程の影響ではないだろう。マイクロ波アシスト記録が磁気ヘッドプロセスとは一番相性が良い。大きな前進がみられたが完成までには今少し時間が要るようだ。(2)事業化までのシナリオ：高密度記録、大容量化のニーズは依然として大きく、技術開発の方向は正しい。：HDD市場は今後とも成長する見通しであり、その為には新技術の導入は必須である。HDD以外の競合技術としてはフラッシュメモリであるが少容量のモバイル機器に限定される。新技術の導入には大きな設備投資が見込まれるが、ビットパターン媒体の導入に依れば年々コスト増のサーボライト工程を除去出来、HDD生産におけるトータルなコスト削減に寄与する可能性がある。今後は、技術開発マネジメントに引き続いて技術経営的なマネジメント力が求められる所以である。(3)波及効果：HDD情報ストレージは今後ともICTの中核技術として重要な産業であり、競争力のあるものづくり技術として世界を牽引できるであろう。その要素技術は最先端ナノテクノロジーであり、またスピン制御技術でもあり先端技術として他のナノテクに広く応用できるものである。

〈問題点・改善すべき点〉

- 実用化を目指す場合の問題点やデメリットの解決方法まで提示できればかなり具体化すると考えられる。
- 実用化については、どの様なHDDを目指すのかの目標が無い。検討し目標設定が必要。事業化にはまだまだすべき研究開発項目の山積と思うがどの様にクリアしてゆくのかシナリオの設定が必要。
- 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。
- 研究レベルで達成されても、その実用化へのハードルは高い。想定されるコストで量産可能とするにはプロセス技術開発に注力する必要がある。もしくは、高コストでも容認されるような、ビジネスモデルそのものの転換が必要であろう。
- ビットパターン媒体について、サーボ情報の読み込みとそれによるトラック追従に成功した次のステップとして、各ビットへの記録再生方式の確立

が挙げられる。ライトリード試験の実施自体は最終的な課題と理解するが、シミュレーションに基づく方式検討を開始することが望ましい。一方、熱アシスト記録については、熱源の信頼性等のヘッド系の量産性の確認をお願いしたい。

- 現時点では、実用化の確からしきは明確ではない。世界の競争相手も同様な状況にあるため、本事業の終了までに、他に先駆けて実用化の確かさを明確として欲しい。

〈その他の意見〉

- ・ 飛躍的に高密度化、低コスト化が進んだ結果、常に技術者が注力し開発した旧機種の評価が下がるのは大変遺憾なことである。
- ・ 古くなった機種を有効活用する方法も1つのプロジェクトとして考えていく価値があるのではないか。
- ・ ものづくり企業が減少する中、これら国家プロジェクトが推進されることは大学における研究推進や人材育成に多大な影響をおよぼす。大学における基礎研究の推進とプロジェクト研究における高度なニーズのマッチングは、相応しいプロジェクトマネジャーの存在下でのみ大きな育成成果をあげるなので、こうした国家プロジェクトの存在は貴重でありかつ重要である。

2. 個別テーマに関する評価結果

2. 1 超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発

1) 成果に関する評価

2.5 Tb/in² のナノビット微細媒体加工技術と媒体界面加工技術は目標値を達成した。特に、記録媒体の作製プロセスを確立し 65 nm² のドットサイズにめどをつけたのは大きな成果である。これらは、HDD の記録密度を革新する重要技術であり、世界最高水準にある。実用化されれば、ナノテクの中核技術となる。また、ナノインプリント技術の成果は広い汎用性がある。現状のグラニューラ媒体技術では熱揺らぎの解決は難しいので、ビットパターン媒体は、他の HDD 競合技術と比較して優位な立場にある。知的財産権等の取得では、電子ビームによるガイドパターン作製と自己組織化の併用、密度高倍化技術が本プロジェクトの鍵であり優位性を確保して欲しい。

一方、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 5 Tb/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。

〈肯定的意見〉

- 世界的にも新規性の高い新たな記録媒体の開発が行われている。ナノビット媒体開発において最も困難な記録媒体の作製プロセスを確立し 65 nm² のドットサイズにめどをつけたのは大きな成果である。また、熱アシスト記録においても、本命視されている FePt 媒体に実際に高密度記録を行ったのは世界的にも先端的な成果であり高く評価できる。
- 中間目標を達成し、世界屈指の技術水準にあるため、順調に開発が進んでいることが伺えた。サーボパターンを同一媒体上に形成してトラックフォローイングを実証したことは高く評価される。
- (1)中間目標の達成度：2.5 Tb/in² のナノビット微細媒体加工技術と媒体界面加工技術は目標値をクリアした。単一ビット磁化反転の動作検証を含めた目標は年度内に達成見込みである。(2)成果の意義：ビット媒体技術は HDD 市場の拡大に必須の技術になると思われるが、中間目標における達成成果は、世界最高水準にある。ナノインプリント技術と自己組織化パターン形成技術が実用化されることは、年間 10 億枚を超える磁気ディスクの生産技術となることを意味し、ナノテクの中核技術として確立されることを意味する。そして、ナノインプリント技術の成果は他への広い汎用性がある。現状のグラニューラ媒体技術では熱揺らぎ問題を解決することが難しい。熱アシスト記録を導入したとしても最終目標の 5 Tb/in² 記録ではビットパターン媒体と熱アシストの組み合わせが必須とみられ、ビットパターン媒体は、他の HDD 競合技術と比較して優位な立場にある。(3)知的

財産権等の取得及び標準化の取組：電子ビームによるガイドパターン作製と自己組織化の併用、密度高倍化技術が本プロジェクトの鍵になると思われる先行技術としての優位を確保して頂きたい。(4)成果の普及：様々な機会に技術の内容は発表されてきたが、磁気ヘッドの位置決め等との組み合わせ評価等は緒に就いたところであり、信号処理、サーボパターン等は装置ユーザー等との精度の高いすり合わせが重要になるだろう。中間成果の状況をみると実用化、普及に向けての見通しは大きく前進したといえる。(5)成果の最終目標の達成可能性：要素技術としては最終目標達成に向け、前進したと評価できる。今後の課題としては、ディスク前面にパターンを形成して評価に耐える品質を確保できることの検証や、生産性確保の技術開発が求められることになる。相応しい代替え技術の見通しが無い現状では、後れを取らないためにも実用化の経営判断に供することができるデータと実績を早期に積むことが大事であろう。

- 目標値はクリアされており、さらに新技術の熱アシスト記録が実験的に確認されているのは予想以上の進展である。近接場素子まで応用が進んでいることにも驚嘆した。ビットパターンでは自己組織化を利用しており効率化と安定性が期待できる。パターンの作製、同定、観察、など順を追って評価、考察が良く行われている。新たな技術領域を開拓すると十分期待できる。
- テラビット級の媒体開発に向けた基礎研究のデモンストレーションとして有効な成果が得られている。予め設定された達成目標はクリアしているといえる。
- 種々のナノビット微細加工技術開発が進められている事は好ましい。
- サーボパターン含有ナノビット媒体作製、密度高倍化プロセス等のナノビット微細加工技術、ナノビット埋め込み平坦化、熱アシスト用保護膜・潤滑剤等のナノビット媒体界面技術等、高難度な目標設定にも関わらず中間目標をほぼ達成する成果が得られている。本技術は HDD の記録密度を革新する重要技術であり国際的注目度も高く、単一ナノビット記録性検証を含め一層のレベルアップ、完成度アップを期待する。

〈問題点・改善すべき点〉

- 個別テーマの中間目標値設定根拠が不明解で最終目標にどの様に到達して行くのかの道筋を明確にしてほしい。種々のナノビット微細加工技術が羅列された。各技術の得失を明確にし、最終目標への到達はどの様に進めて行くのか明示してほしい。記録媒体としてのナノビットへの要求性能は面積、パターン精度のみではないはずである。実際の記録媒体として使う上での要求性能を再検討し、目標自身見直す必要がある。
- 最終目標達成に向けては難度の高い課題も多く、関連諸技術の着実なレベ

ルアップを図ることはもちろん重要であるが、トップを確実にものにするためにも適用技術を重みづけし選択と集中による重点加速化も必要と考える。5 Tb/in² 級媒体実現シナリオの早期具体化と推進を期待する。

- 極微細構造を高精度に大面積に均一形成し、かつ低コストを実現するのは、基礎検討レベルとは大きなギャップがある。狭小面積に Tb/in² のナノビットを形成する検討のみならず、仮にビットサイズは少々大きくても、あるいは少々の欠陥があっても、2.5 inch 全面にビット形成できるかどうか、という観点からの検討も必要であろう。
- 目標設定を含め順調な研究開発状況にあり、大きく改善すべき課題はない。
- 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先ず必要であるが、これが達成された後に取り組むべき課題として、ドットの位置分散がある。これはエラーレートなどの記録性能を支配する重要因子である。現在得られているドット位置分散の標準偏差 2.3 nm は現在のところは優れた値であるが、将来の 5 Tb/in² に向けてはより改善が必要と考えられる。今後の開発目標をよく吟味すべき仕様のようと思われる。
- 単一ナノビットの検証も行われているが、最終目標の容量レベルにおいても、実現できるかどうかはまだ明確でない。
- 記録方法は卓越しているが、異方性の大きい磁性材料自体の開発の進展と方向性が見られない。論文の発表をもっと加速しても良いと思う。

〈その他の意見〉

- ・ 2社で類似の研究を別々に行っているような印象を受ける。再委託先の再検討も含め、全体的に効率よく研究が進展するよう、後半に向けてのすりあわせが必要である。
- ・ 開発課題には取り上げられていないが、電子ビーム露光技術はレジスト技術は重要であり、視野に入れておく必要がある。
- ・ 先日 nanonet のトピックスで本技術の内容を目にした。アトランタでの MMM で発表されたとのこと。世界へ向けた発表は大いに奨励したく、また反響の様子を知りたいものである。

2) 実用化、事業化の見通しに関する評価

実用性の高い自己組織化とナノインプリントに取り組んでいる点は高く評価できる。ビットパターン HDD の方式は確立していない。課題はパターンにおける磁気の動的挙動評価と記録再生システム系技術とのマッチングである。本成果により、半導体の微細化とは異なるが世界最高レベルの微細加工の量産技術になるだろう。ガイドパターンと自己組織化技術による高密度化技術は汎用性もあり、低コストの高密度パターン技術一般に適用できる。本技術が確立すれば、種々の分野への波及効果が期待される。知財の出願等は適切に行われているが、パターンや方式の標準化の取り組みはこれからである。

一方、量産技術として、コスト面で優位性が確保できる見通しはまだたっていない。今後の量産化を考えると、装置メーカーやデバイスメーカーとの連携についても共通的な開発基盤を整える時期にあるのではないかと考える。ただし、デバイスの外販を通じて開発技術の国際的な技術流出があり得るので、設備投資タイミング等、リードタイムの設定を工夫して産業化への上手なタイアップを議論すべきと考える。

〈肯定的意見〉

- HDD の利点である低コスト性の維持は、高性能ビットパターン媒体技術の成否にかかっているが、それに向けて開発が順調に進んでいる。
- ハードディスクの発展に第一線で活躍してきた2社であるので、産業技術としての適用可能性の見通しについては信頼できる。課題は強調されなかったが、各チームで解決方針を明確にしているようで、評価と検証を着実にやっているのでは、成果は必ず得られるものと期待する。
- ナノビット磁気記録に向けた媒体技術成果は着実に積みあがっており、超 Tb/in² 級 HDD 用媒体実用化の可能性は高い。
- 本技術が確立すれば、種々の分野への波及効果が期待される。
- (1)中間目標の達成度：目標とする高密度パターンを形成するための道筋は示し実証した。ただ、磁気記録としての動的評価は緒に就いたところであり、ビットパターン HDD の方式が確立できた状況にはない。課題はパターンにおける磁気の動的挙動評価と記録再生システム系技術とのマッチングであろう。(2)成果の意義：本成果により、ナノインプリント関連機器市場は活性化することが期待される。半導体の微細化とは異なるが世界最高レベルの微細加工の量産技術に位置づけられるだろう。ガイドパターンと自己組織化技術による密度高倍化技術は汎用性もあり、低コストの高密度パターン技術一般に適用できる。この技術は EB 露光の生産性の悪さを回避する技術であり、他の技術と比較して大きな魅力を持つ。HDD は大きな市場であり、国家予算を投入してでも開発するにふさわしい成果をもたらすだろう。(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：知財の出

願等は適切に行われているが、パターンや方式の標準化の取り組みはこれからという状況ではないか。(4)成果の普及：論文の発表や成果の公表については着実に実施している状況である。パターン媒体方式の実用化には装置システムとの連携が不可欠であり、出来るだけ早期に装置サイドとの情報交換を密にする必要がある。(5)成果の最終目標の達成可能性：パターン技術としては最終目標を達成できると思われる。現状のパターン形成技術では、高密度は達成するもののデータ転送速度の高性能化は見込めない。高性能装置を実現するためのパターン形成手法の検討も視野に入れる必要がある。

- 技術開発自体が実用性の高い自己組織化とナノインプリントに基づいて取り組んでいる点が高く評価できる。特に、ビットパターン媒体についての平坦化プロセスの開発とそれによる 10 nm 以下の平滑面を得たことは記録媒体開発の大きな前進として実用面の重要な成果である。

〈問題点・改善すべき点〉

- 技術がようやく出来て来たとの段階であり、記録媒体としての実用化については全く考慮されていないと感ずる。実用化には、製造コストや製造設備をはじめ、業界内での設備投資先の変遷など多くの課題が未検討で残されている。課題を整理し実用化へのシナリオを策定し、それに沿った個々テーマの研究開発を進める事が望まれる。
- 実用化に向けては新プロセス導入等が必須であり、如何に品質安定化・コストダウンを果たすかが重要であり、量産展開を見越したプロセス技術の完成度アップやシェイプアップの早期化・強化を期待する。
- 2.5 inch ディスク全面へのビットパターン形成の見通しが不明である。本プロジェクト全体を通し、実用化の際のプロセス技術として一番の課題になるのは媒体形成と思われるため、十分な検討と真摯な取組が望まれる。
- 特記すべき問題点はない。
- 今後の幅広い量産化を考えると、装置メーカーやデバイスメーカーとの産業化での連携についても、コンセンサスのある技術内容に基づく共通的な開発基盤を整える時期にあるのではないかと考える。ただし、デバイスの外販を通じて開発技術の国際的な技術流出があり得るので、リードタイムの設定など工夫して産業化への上手なタイアップを議論すべきと考える。
- 量産技術としてコスト面で十分な優位性が確保できるかどうかは、まだ明らかでない。
- シミュレーションのみで結果を導出しているものもあるようなので、実際のデータの取得が急がれる。磁性材料に Pt や Pd を使用しているが高価にはならないか。

〈その他の意見〉

- ・ 事業化に成功した場合のディスアドバンテージについて、どのようなことが起こるかも考慮してみる必要がある。

3) 今後に対する提言

現状のパターン形成技術では、データ転送速度の高性能化は見込めない。大容量・高性能 HDD 装置の実現のためのパターン形成手法の検討も必要である。いずれの方式の媒体とも、これまでの記録媒体とは原理的に異なるので、その設計論を確立しておくことが重要である。そのためにも、ナノビットが磁気記録媒体として実用化されるためのシナリオを明確にし、テーマの統合と残されている課題をどの様にクリアして行くのか方向性を示し、最終目標を目指してほしい。

〈今後に対する提言〉

- ・ ビットパターン媒体も熱アシスト記録用記録媒体もこれまでの記録媒体とは原理的な変更があるのでこれまでの設計法は適用できないため、その設計論を確立しておくことが重要と考える。すでに記録媒体としての要求性能について幅広い議論が始まっているが、これを集約して媒体として高密度化に当たって満たすべき仕様を策定して実用的なガイドラインを確立してはどうかと考える。
- ・ 現時点までは順調に開発が進んでいると思われるが、最終目標の達成のために、製造コスト・ばらつきを重視しながら、開発に取り組んでほしい。
- ・ 異なる会社が協力して技術開発を推進するのは困難な点も多いに違いない。個々の詳細な内容についてはなおさらであろう。しかし、引用されている参考文献が米国のものであることを考慮すると、標準化を迅速に進め、日本からリードを進めて欲しい。
- ・ ナノビットが磁気記録媒体として実用化されるためのシナリオを明確にし、3 個別テーマの統合と残されている課題をどの様にクリアして行くのか方向性を示して、最終目標を目指してほしい。
- ・ 超 Tb/in² 級 HDD の市場期待は高く、既にターゲットとされている 1.5 ~ 2.5 Tb/in² 級 HDD への先行適用等、得られた成果が時宜を失せず活かされることを期待する。
- ・ 前項でも記したが、本技術に依ればパターン技術としては最終目標を達成できると思われる。しかし、現状のパターン形成技術では、高密度は達成するもののデータ転送速度の高性能化は見込めない。大容量・高性能容量 HDD 装置を実現するためのパターン形成手法の検討も視野に入れる必要がある。
- ・ ディスク全面へのビットパターン形成技術の確立が必要である。また、個々のビットの形状や配列の最適設計についてもあまり検討がなされていないようだが、シミュレーション等も含めた十分な検討が必要であろう。

〈その他の意見〉

- ・ 新しい磁性材料の開発がどこまで進んでいるのか興味深い。基礎研究にもサポートがあれば新しいブレークスルーもあるかもしれない。

2. 2 超高性能磁気ヘッド技術の研究開発

1) 成果に関する評価

磁気ヘッド分野において、所期の 2.5 Tb/in^2 の中間目標を達成しているが、磁気記録システムとしての動的検証には至っていない。強磁界記録ヘッドの設計技術と形成プロセス技術に道筋をつけたことは評価できる。熱アシスト記録ヘッドでは、近接場光発生素子加工技術開発による 3 Tb/in^2 相当の微小スポット発生と、磁極近傍への近接場光発生素子を集積化できたことは世界最先端の成果であり大きな前進である。マイクロ波アシスト記録方式は、シミュレーションにより素子が実現したもので、今後の研究加速に期待したい。高分解能の再生ヘッドは 2 Tb/in^2 級の狭トラック再生を実証した成果は評価されるが、最終目標達成に向けては新方式の素子を探索評価している段階と理解する。熱アシスト記録やマイクロ波アシストヘッドは、今後とも効果の大きな知財が生み出される可能性が高い。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。

一方、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。

〈肯定的意見〉

- ・近接場光を用いて素子を設計する手法は、重要な最先端の物理の知見を実際の構成要素へ導くという画期的で芸術的ともいえる技術である。光の波長を越える挑戦が素晴らしい。・設定された目標値以上に目を向けられており、意欲的な取り組みが受け取れる。
- 色々な記録技術に応じた記録素子および再生素子の研究が進んでいる事はうれしい。
- 超 Tb/in^2 級面密度に対応する強磁場発生記録ヘッドや熱・マイクロ波アシスト記録等の高難度な技術を大きくレベルアップするなど、中間目標をほぼ達成する成果が得られている。本技術は HDD の記録密度を革新する重要技術であり国際的注目度も高く、まずは各要素技術を統合した 2.5 Tb/in^2 級面密度対応での記録/再生動作検証の早期完遂を期待する。
- 種々の方式について検討しているが、いずれも先駆的な成果として高く評価できる。

(1)中間目標の達成度：磁気ヘッド分野における4つの技術開発項目夫々は所期の 2.5 Tb/in^2 の中間目標を達成しているが、一般的な磁気記録システムとしての動的検証には至っていない。(2)成果の意義：2段テーパ磁極による強磁界記録ヘッドの設計技術と形成プロセス技術に道筋をつけたことは評価に値する。エネルギーアシスト記録ヘッドでは、近接場光発生素子加工技術開発による 3 Tb/in^2 相当の微小スポット発生成功と、磁極近傍への近接場光発生素子を集積化するプロセスを開発出来たこと

は本プロジェクトの大きな前進と言える。マイクロ波アシスト記録方式では GHz 発振が確認されており、シミュレーションの世界から素子実現に大きく踏み出すものであり、今後の研究加速に期待したい。高分解の再生ヘッドは TMR ヘッドの低 RA 化により、2 Tb/in² 級の狭トラック再生を実証した成果は評価されるが、最終目標に繋がる技術の見通しは示されていない。最終目標達成に向けては新方式の素子を探索評価している段階と理解する。(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：熱アシスト記録やマイクロ波アシストヘッドは今後とも効果の大きな知財が生み出される可能性が高く、アイデアの摘出を含めて注力して頂ければ幸いだ。熱アシストヘッドは光源の実装や発生熱の処理など、主要課題として取り上げていない部分が鍵を握る可能性もあるので慎重な検討をお願いしたい。(4)成果の普及：論文等の発表は、適切に行われていると認めるが、一連の技術を普及させる状況にまでは詰められていないのではないかと。(5)成果の最終目標の達成可能性：最終目標に至る高感度ヘッド素子技術は、候補は挙げられているものの実現の道筋は不透明である。

- ヘッド開発が重要な熱アシスト記録方式の開発において、特長ある近接場光熱源を搭載したヘッドの基本構造を開発したのは高く評価できる。ヘッド開発にとどまらず実際に記録媒体と組み合わせて記録再生実験を実施しているのは世界最先端の成果である。記録密度の達成自体はこれからであるが、その目標をクリアする素地が整ったといえる。また、もう一方の重要デバイスであるリードヘッドについても TMR 素子の達成目標が明確化されている。
- 熱アシスト記録ヘッドに関しては、設計と作製プロセスの開発が順調に進み、シミュレーションでも期待の持てる結果を得ている。高周波磁界アシスト記録ヘッドに関しては、微細なスピントルク高周波発振素子を用いて、実際に記録媒体上に記録する実験的に世界で始めて成功したことはきわめて高く評価することができる。また、中間評価委員会直後の国際会議において、本プロジェクトの成果として、スピントルクによる高周波発振周波数を 25GHz まで高めることに成功したとの報告があった。実用に必要といわれる 45GHz の実現に道筋を付ける大きな成果であり、本プロジェクトの研究レベルの高さを示すものとして高く評価する。TMR 再生ヘッドに関しては、低 RA 高 MR の実現や、狭トラック用の Single Pin 構造における性能の確保など高いレベルの成果が実現された。

〈問題点・改善すべき点〉

- CPP-GMR 再生ヘッドに関しては、MR 向上の具体的な方策が明確になっていない。
- シミュレーションの結果はサポート情報として、実測値の検証を迅速に進

めてほしい。

- 最終目標に至る高感度ヘッド素子技術は、いくつかの候補技術は挙げられているものの実現の道筋は不透明である。何らかのブレークスルーが必須であり、重要研究課題と位置付けていきたい。
- 記録方式の大きな方向が定まったので、主要仕様についてのブレークダウンがこれからの重要な取り組み課題になる。特に熱アシスト記録は記録機構上のパラメータが多く、記録機構の検討に基づいてヘッド系に求める仕様も多いと予測される。磁界強度のほかにも重要な性能指標を明確化しての進捗が望ましい。リードヘッドについてもシミュレーション等を駆使してより現実性の高い実証が必要と思われる。
- 記録と再生が統合されて初めて磁気ヘッドと言える。各素子の基本性能が確認された状況と推察するが、磁気ヘッドとしてどのような形態となるかそれに至る課題は何かを検討し、各個別テーマ開発の課題、目標として取り入れなければならないと思う。記録技術で3種の技術、再生技術1種であるが、再生技術で、他技術のサーベイが必要。また今後どの様に絞って行くのかシナリオの作成が必要。
- 今後は媒体側の微細構造の「作りこみ」とあわせた、トータルな設計指針を確立していくことが望まれる。
- 最終目標達成に向けては方式選定や詰めの課題も多く、関連諸技術の着実なレベルアップに期待すると共に、5 Tb/in² 級面密度対応ヘッド実現シナリオの早期具体化と推進を期待する。

〈その他の意見〉

- ・ 熱アシスト、マイクロアシストの技術は是非重点的にサポートしてほしい。

2) 実用化、事業化の見通しに関する評価

熱アシスト磁気ヘッドの要素技術とハイブリッド集積化技術は大きく前進し、実用化に道筋をつけた。課題として、光源の実装技術と発生熱の処理が挙げられる。熱アシスト記録は、最終目標の 5 Tb/in^2 に至る過程で直近のグラニュー媒体とビットパターン記録とを組み合わせることができる。微細加工技術として、従来のヘッド製造プロセスの考え方が適用できる部分も多く、その意味では実用化も十分視野に入れられる。

一方、効率的な製作プロセスの議論は必要である。また、熱源として動作するものであるから熱劣化等の信頼性の検討を強化すべきである。 5 Tb/in^2 に対応する性能実現の方策等について最終年度までに明確にする必要がある。実用化に向けて、加工プロセス等が複雑化する中での品質安定化やコストダウンが重要課題である。量産を見越したプロセス技術や各要素技術の統合化・実装化等の早期の強化を期待する。

〈肯定的意見〉

- 近接場光素子、導波路、磁極先端などが整然と配置されており、産業技術としての可能性が明確になっている。ここまでの実現だけでも大いに評価できる。・光強度、磁気記録幅、MR 比などが定量的に考察されており、実用化に向けた課題が明確になっていると言える。
- ナノビット磁気記録に向けたヘッド技術成果は着実に積みあがっており、超 Tb/in^2 級 HDD 用ヘッド実用化の可能性は高い。
- 実用化を考えた場合、微細加工技術として難易度は高いものの、従来のヘッド製造プロセスの考え方が適用できる部分も多く、その意味では実用化も十分視野に入れられると判断される。
- (1)成果の実用化可能性：熱アシスト磁気ヘッドの要素技術とハイブリッド集積化技術は大きく前進し、実用化に道筋をつけてきたように思われる。課題としては、光源の実装技術と発生熱の処理が挙げられよう。(2)事業化までのシナリオ：熱アシスト記録は、直近のグラニュー媒体から実用化するシナリオがあり得、最終の 5 Tb/in^2 記録に至る過程でビットパターン記録と組み合わせることができる。その意味で、熱アシストヘッドはできるだけ早期に導入することが勧められる技術である。高感度素子技術については Post-TMR 技術に確たる候補が絞りこめていない状況と理解されるので、新規技術開発に向けてパワーを結集する必要がある。ただ、いずれの技術の事業化に向けても大きな投資が必要になる事態は少ないのではないかと思われる。(3)波及効果：若し、熱アシストヘッドが早期に実用化できればすぐにでも HDD 装置に搭載できる可能性があり、高密度化のスピードを再加速でき、産業の活性化に貢献できるだろう。
- 熱アシストヘッドは近接場光源による具体的な構造が明らかになってお

り、この記録方式の当初の提案時に散見されたような非現実的なヘッド構造ではない点が優れている。具体的な実用化検討を始めることができる段階に達したと言える。

- 実用化に向けた課題は明確になっており、書き込みヘッドに関しては着実に成果を出している。

〈問題点・改善すべき点〉

- 効率的な作製プロセスなどの作製手法の議論が必要である。また、熱源として動作するものであるから熱劣化等の信頼性の検討はしておくべきである。
- コストがどれくらいかかるものか予想ができない。低コスト化に力を注ぐ代わりに知的財産権でまかなうなどできないか検討してほしい。
- 各技術とも、ようやく出来て来たとの段階であり、磁気ヘッドとしてどの様に最終目標および実用化に結び付けるのか、考慮されていないと感ずる。実用化への展望、課題、シナリオを整理検討し、個別テーマの目標、課題に反映される事を望む。
- 実用化に向けては加工プロセス等が複雑化する中での品質安定化やコストダウンが重要課題であり、量産展開を見越したプロセス技術の完成度アップや各要素技術の統合化・実装化等の早期化・強化を期待する。
- 着実な進展がみられており、特に大きな問題点は認められないが、どの方式に絞り込んでいくのかは常に意識しながら開発を進めるべきである。
- 熱アシスト記録ヘッド・高周波磁界アシスト記録ヘッドの双方とも、中間目標は達成しているものの、実用化の可能性を確信させるまでには至っていない。後期の開発に期待したい。再生ヘッドに関しては、5 Tb/in²に対応する性能実現の方策が明確になっていない。TMRヘッドと CPP-GMRヘッドの位置づけを含めて最終年度までに明確化することが必要。

〈その他の意見〉

- ・ 最先端の物性理論が直接産業技術として有用であることを発信することで、基礎研究分野にも大いに活気を与え、さらなる研究開発を促進すると期待できる。

3) 今後に対する提言

マイクロ波アシストヘッド技術において、STO (Spin Torque Oscillator:スピントルク発振器) 連続発振が可能になったことは、磁気記録に革命を起こす可能性を秘めた技術である。高感度・高分解能再生ヘッドについては、戦略的なロードマップが作成され、開発目標を共有することが望ましい。再生ヘッド関連技術は現在なかなか突破口が見えない。このような状態で踏み込んだ開発を展開するのはリスクであり、国費を投じるプロジェクトで取り組むことの判断も難しいが、わが国のトップレベルの企業が参画する本事業で何らかの基本的な提案がなされれば貢献は大変大きい。

さらに、個別技術が磁気ヘッドとして実用化に繋がるシナリオを明確にし、残されている課題の整理とそれらをクリアする方向性を確認し進めてほしい。

〈今後に対する提言〉

- ・ 特に光照射やマイクロ波を援用する形式では、材料技術そのものからの開発も必要となるため、プロセス技術とあわせて効率よく研究を進められるような体制作りに留意してほしい。
- ・ 高感度・高分解能再生ヘッドについてロードマップが作成され戦略的なストーリーでの開発目標を共有することがあれば望ましい。ただ、再生ヘッド関連技術は現在大変難しい状態でなかなか突破口が見えないと感じている。例えば、素子開発についても TMR か CPP-GMR かさえ研究現場では議論が収束していないと思われる。このような状態で踏み込んだ開発を展開するのは大変リスクであり、国費を投じるプロジェクトで取り組むことが良いかは判断がつかないが、我が国のトップレベルの企業を集約した本事業で何らかの基本的な提案がなされれば技術的な貢献は大変大きいことと考える。例えば、5 Tb/in²あるいはそれ以上の記録密度に対応できるセンサ技術のイノベーションが生まれることがあれば大きなアドバンテージである。具体的な提言にならないで申し訳ないが、何かの高感度再生素子についての開発項目が追加できないものであろうか。
- ・ マイクロ波アシストヘッド技術において、STO 連続発信が可能になったことは喜ばしい。磁気記録に革命を起こす可能性を秘めた技術であり大事に育てて欲しい。
- ・ 熱アシスト記録技術と高周波磁界アシスト記録技術の相対的な位置づけを、最終年度までには明確にすることが必要。
- ・ 記録と読み取りの関係が同等に進んでいるのかはつきりわからないが、エネルギーアシスト技術には是非力を注ぎ、早急に世界一を目指して欲しい。
- ・ 各個別技術が磁気ヘッドとして実用化されるためのシナリオを明確にし、最終目標達成に対して、残されている課題の整理とどの様にそれらをクリアして行くのか方向性を確認し進んでほしい。

- ・ 超 Tb/in² 級 HDD の市場期待は高く、既にターゲットとされている 1.5 ～2.5 Tb/in² 級 HDD への先行適用等、得られた成果が時宜を失せず活かされることを期待する。

〈その他の意見〉

- ・ 高密度化のためのブレークスルー技術は創造性に富んでいて、これからも新しいアイデアが生まれることを期待する。

2. 3 超高精度ナノアドレッシング技術・ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発

1) 成果に関する評価

ナノビットパターン技術を 2.5 Tb/in^2 クラスの HDD に利用できることが示されたことは大きな成果である。微動熱アクチュエータも興味深い技術であり、他の方式に比べ実用化の可能性は高い。ナノビットパターン媒体技術による $1,580 \text{ kTPI}$ (Track per Inch:トラック密度) 相当の位置決め制御は世界最高水準にある。新たな技術開発として微動アクチュエータを用いて高い精度である 4.4 nm の実現し、同様に重要なヘッド浮上量をビットパターン媒体に対して 7 nm を実現していることは評価できる。光・熱・磁気統合シミュレーション技術にも進展があり、 5 Tb/in^2 の性能予測に成功している。

一方、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。また、S/N 劣化やナノドットの分散などの問題点の顕在化が予測されるため、各個別テーマの課題の整理と今後のシナリオを明確にして進めてほしい。

〈肯定的意見〉

- 中間目標は達成されている。シミュレーションのみでなく、トラックフォーローイングの実験により高い精度を確認したことは高く評価される。
- ナノドットアレイでの高精度位置決め技術進展は将来が楽しみである。
- ・目標値への課題と解決策を詳細に提示しており、目標に対して余裕を持って達成している。・既存の技術を継承し、改良している部分も多いので、実績があり市場でも受け入れられ、汎用性はあると思われる。・シミュレーションから丁寧に動作の実証を行い、世界にさきがけてトラック追従方法を実現した点がすばらしい。さらなる開発と評価を進めてほしい。
- 超精密位置決め技術、シミュレーション技術等の超高精度ナノアドレッシング技術、また 2.5 、 5 Tb/in^2 HDD システムの概略仕様策定、光・熱・磁気統合シミュレーション検証等中間目標を概ね達成する成果が得られている。本プロジェクトは国際的注目度、市場期待共に高く、各要素技術を統合した 超 Tb/in^2 級 HDD 総合性能検証の早期可視化を期待する。
- 熱アクチュエータを用いたアドレッシングは基礎技術としての完成度も高く、実用化に向けた今後の進展が期待される。
- (1)中間目標の達成度：DSA (directed self-assembling)技術を位相差サーボ制御用のパターン作製に適用し、トラック追従誤差 4.4 nm 以下を実現したことにより、ナノビットパターン技術を 2.5 Tb/in^2 クラスの HDD に利用できることが示された訳で、大きな前進といえる。微動熱アクチュエータも興味深い技術であり、静電方式、圧電方式等に比べ実用化の可能性

は高いと思われる。風乱は高速 HDD の宿命であるが、ビットパターンによるデータ転送速度の低下を高速回転でカバーするとすると、風乱低下のためにディスクの更なる小径化は避けられないだろう。(2)成果の意義：ナノビットパターン媒体技術が HDD のトラック位置決め制御に利用できることは、従来の HDD 製造過程におけるサーボライト（サーボ信号書き込み）工程を省くことができるので、媒体製造コストの上昇を吸収でき、本技術採用のモチベーションになりうる。今回の 1580kTPI 相当の位置決め制御は世界最高水準にある。位相サーボパターン品質に関しては DSA ではなく直接描画に優位性があるだろう。ナノインプリント技術との整合性や、EB 露光の生産性等、今後考慮しなければならない事項はあると思われるが、実際の狭トラックヘッドによる評価結果をまってみたい。(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組：知財の獲得や管理については適切に行われていると思われる。(4)成果の普及：論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われている。ヘッドや媒体等、開発要素技術の成果を利用してからの実証実験にならざるを得ない分野であるので、個別技術から一歩遅れての成果とならざるを得ない。その分シミュレーションを活用しての技術開発となる。これまでの情報授受には大きな齟齬は見受けられない。(5)成果の最終目標の達成可能性：2.5 Tb/in²相当のトラックング技術が見えてきたことにより、最終目標は達成できるであろう。殆どが、先端ナノテクノロジー領域の製造になるので、精度やばらつき等、解決すべき技術課題は少なくはないが最終目標達成に向け大きく前進したことは認める。

- ハードディスク装置の高い面記録密度が正確なヘッド位置決め技術に支えられていることは地味であるが重要な技術である。ここでは新たな技術開発として微動アクチュエータを用いて高い精度である 4.4 nm の実現し、同様に重要なヘッド浮上量をビットパターン媒体に対して 7 nm を実現していることと並んで評価できる。特にディスクによる風乱を配慮した設計手法を確立したことも今後の開発に重要である。いずれも派手ではないが世界先端技術に並ぶ地道で重要な成果である。同時に、光・熱・磁気統合シミュレーション技術にも明らかな進展があり、実際 5 Tb/in² の性能予測に成功している。今後のデバイスの高度化・複雑化に伴い、これまでの試作と実験に基づく検討だけでは時間がかかり効率的でないおそれがある。大規模なコンピュータシミュレーションによる設計技術がさらに重要になると思われ、その意味でもここでの取り組みは評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 今回、高精度位置決めが達成されたと言っても、従来のグラニューラ媒体の磁性粒がナノドットに置換した結果であり、本来の目標とは遠く離れている。目標と現実の補完にシミュレーションを行っているが、本来の目標

達成とは言い難い。今後 S/N 劣化やナノドットの分散などの問題点の顕在化が予測される。各個別テーマの目標達成までの課題の整理と今後のシナリオを明確にして進めてほしい。システム化については、サブテーマとして何が出来たのか不明。個別サブテーマ技術開発結果に依存するのは理解出来るが、各要素技術統合のミッションは、大変重要と思うが、付け足しの様な感触を得た。

- 磁気記録としての動的評価は緒に就いたところであり、ビットパターン HDD システム方式が全て実証できた状況にはないと理解する。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技術とのマッチングを急ぐ必要がある。
- 評価者はこの技術分野の専門家ではないため適切な指摘かは自信がないが、ヘッドの精密位置決めには振動や衝撃などの外乱抑圧も含めて検討されることが望ましいのではないかと考える。
- 熱アクチュエータを使用した場合の環境温度や振動に対する影響がどの程度が明らかにされたい。
- 5 Tb/in² レベルのアドレッシングやシステム化には多くの解決すべき課題が存在する。そのすべてを本プロジェクトの検討対象とすることはできないが、なぜ今回取り上げられているようなものみに絞り込んだのか？が明確に伝わらなかった。この点も踏まえ、アドレッシングやシステム化全体の課題の俯瞰を踏まえたターゲット設定に留意してほしい。
- 最終目標達成に向けては関連諸技術の一段レベルアップはもちろん、実装検証や総合検証等課題も多いが、5 Tb/in² 級 HDD の早期実現に向け一層の加速推進を期待する。

〈その他の意見〉

- ・ 特にシミュレーション技術は今後の大きな発展が期待される分野である。プロジェクト内に閉じこもらず国内外の学会発表を通じて議論を深め世界をリードする技術確立をお願いしたい。
- ・ 富士通成果を無駄にせず継承しているので効率的に推進することができると考える。
- ・ 昨今、車を運転するたびに過酷な振動の中で信頼性の高い安定度を維持している車載 HDD に感嘆するばかりである。精密さと強靭さを併せ持つ技術は世界に誇れるものである。

2) 実用化、事業化の見通しに関する評価

2.5 Tb/in² 相当のヘッド位置決め制御がナノビット媒体技術で達成できたことで、最終目標達成に向け大きく前進した。狭トラック・高感度ヘッドの開発が間に合うか懸念される。大容量・省電力ディスクは情報社会のニーズにマッチしており、早期に実用化しなければならない。そのためには、媒体、ヘッド、制御方式等を早期に絞り込む必要がある。トラッキングのサーボ制御などは実用化にとって重要な技術である。今後は量産性などの現実的な課題の解決に取り組んでほしい。

〈肯定的意見〉

- HDD システム全体を考慮した検討が行われている。
- 自己組織化を利用したパターンを採用しているので、安定性は期待できると考える。ベンチマークも比較しており適用可能性のあるものを選定している。
- 超 Tb/in² 級 HDD を目指した制御・システム化技術成果は着実に積みあがっており、実用化の可能性は高い。
- 熱アクチュエータについては実用化にも適した方法であり、今後は量産性などより現実的な課題の解決に検討を進めてほしい。
- (1)成果の実用化可能性：2.5 Tb/in²相当のヘッド位置決め制御がナノビット媒体技術で達成できたことにより、最終目標達成に向け大きく前進したといえる。しかしながら、狭トラック、高感度ヘッドの開発が間に合っていないことが懸念事項である。(2)事業化までのシナリオ：大容量、省電力ディスクは情報社会のニーズにマッチしており、かつ我が国において競争力の産業の一つである HDD 事業の拡大のため、早期に研究成果を集積し実用化しなければならない。そのためには、前期の研究成果を踏まえながらも、最終目標実現に向けての技術セット（媒体、ヘッド、制御方式等）を早期に絞り込む必要がある。とはいえ、HDD 技術は常に進展してきた歴史的背景を踏まえると、更に先を見据えた技術をも用意しておかなければならず、本プロジェクトの進め方の難しさもそこにあるのだろう。(3)波及効果：本プロジェクトの成果は目的とする HDD に適用されるだけで十分な経済効果を有し、関連分野の研究者の継続的な育成につながるものである。
- トラッキングのサーボ制御などは実用的な性能検討にとって重要な技術であり、実用化・事業化への直接的な開発項目である。この取り組みで成果があることは実用化には大変心強いものと考えられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 2.5 あるいは 5 Tb/in² 相当の実機モデル検証の早期化を期待する。実用

化・事業化の促進に向け、各要素技術方式^①の重点絞り込み等も有効と考える。

- ドットによるサーボパターン形成は、基礎技術のデモンストレーションとしては十分評価できるが、実用化という観点からは、ナノインプリントで直接作り込む方式に対する優位性が明確でなかった。この点も含め、量産プロセスとしてはどのやり方が現実的に有効なのか、十分に再検討した上で検討を進めてほしい。
- 環境温度や振動に対する安定性について検証を進めてほしい。
- 今後、現状からどの様に最終目標および実用化に結び付けるのか、考慮されていないと感ずる。実用化への展望、課題、シナリオを整理検討し、個別テーマの目標、課題に反映される事を望む。

〈その他の意見〉

- ・ どこか一部分に不具合が生じ誤動作するようになった場合、ユーザーが比較的簡単に修復できるようなサポートがあると良い。

3) 今後に対する提言

将来、競争力のある HDD をどの技術セットで開発するか、技術ロードマップの時間軸を含めた精度を高める必要がある。また、HDD システムは、個別技術の統合とビジネスとして成立する歩留まり設計など多くの課題がある。HDD システムを作るためのサブテーマの役割、装置側から各要素技術への要求を明確にして、最終目標に向けて進むべきである。超 Tb/in² 級 HDD の市場期待は高いので、見通しが立ちつつある 2.5 Tb/in² 級の成果を早急に活かし、実用化に向けて、トータルな設計の最適化を進めてほしい。

〈今後に対する提言〉

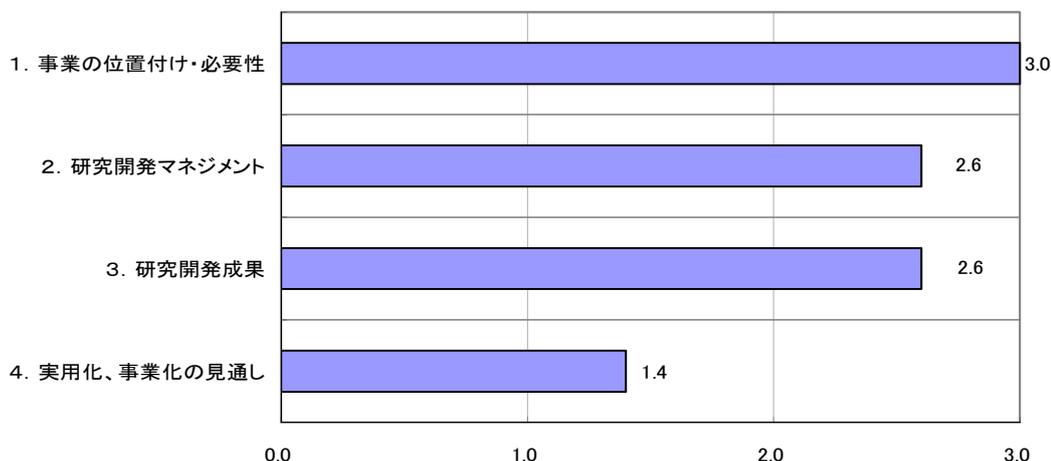
- ・ HDD システム化は、個別技術統合とビジネスとして成立するかの歩留まり設計など多くの課題がある。システム化のイメージすなわち、どの様な HDD とするか、それを作るために、このサブテーマは何をするのか、また装置側から各要素技術への要求などなど、を明確にし、今後の最終目標に進むべき。
- ・ 前項でも記したが、将来、競争力のある HDD をどの技術セットで開発するか、という技術ロードマップの時間軸を含めた精度を高める必要がある。この辺は各企業における事業戦略に係わってくることなので、難しい点もあろうが、かつての IBM が示したような指導性の一端が本プロジェクトの成果として提示されれば幸いである。
- ・ HDD 技術の発展は予想ができないほどめざましく、常により精密な技術を要求されることと思う。日本の繊細な技術を生かして世界をリードして欲しい。確立された技術は実績もあり信頼性も高いが、新たなブレークスルーを考案することにも期待したい。
- ・ 超 Tb/in² 級 HDD の市場期待は高く早期投入が求められている。見通しが立ちつつある 2.5 Tb/in² 級技術等、得られた成果が時宜を失せず活かされ、1.5~2.5 Tb/in² 級 HDD 等に適宜円滑に反映されることを期待する。
- ・ 実用化に向けて、トータルな設計の最適化を進めて欲しい。
- ・ 今後最終的な記録再生性能を確認する際には、エラーレート性能を満たしていることを測定する必要があるように思われるが、その手法に向けた開発計画を立案すべき時期でもあるように思われる。5 Tb/in² というきわめて高い記録密度が目標であるから、たとえば従来のスピンドルとエラーレートテスターを用いるような、単純なアプローチでの評価方法は難しいと思う。現実的な測定手法を用いながらエラーレートに関する十分なデータを集めるにはどのような手法が良いかをよく検討することが必要のように思われる。基礎的な測定とシミュレーションを組み合わせるなど測定手法自体が大きな開発項目になりえると考えられる。

〈その他の意見〉

- 当然進められていることとは思いますが、培われた技術の製品化展開を円滑化するため、製造・事業部門との一層の連携強化、調和推進を強く期待する。
- ハードディスクは世界へも波及効果の大きい重要な技術であり、その先端で開発を進める推進者は羨望の的でもある。今後も誇りを持って開発を推進していただきたいし、今回、評価に関わることができた立場としても誠に光栄である。

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	B	B	B
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	A	A	A	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	B	B	A	B	B
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.4	B	B	B	B	C	C	C	D

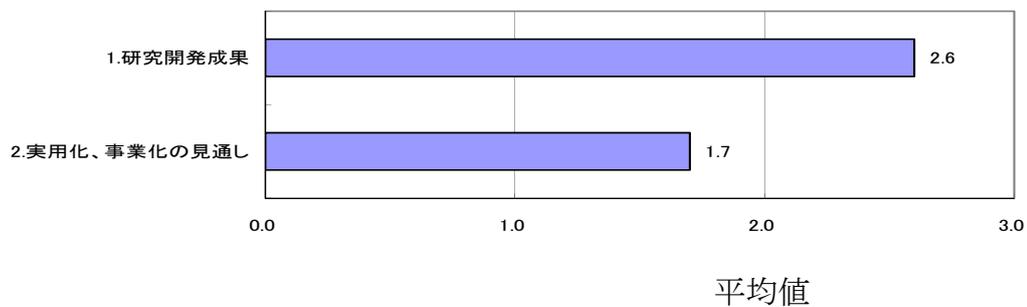
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

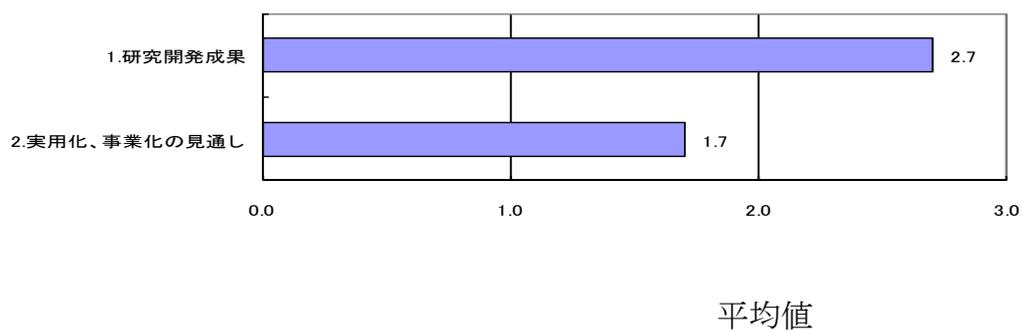
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

3. 2 個別テーマ

3. 2. 1 超高密度ナノビット磁気媒体の研究開発



3. 2. 2 超高性能磁気ヘッド技術の研究開発



3. 2. 3 超高精度ナノアドレッシング技術・ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）						
3. 2. 1 超高密度ナノビット磁気媒体の研究開発								
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	A	B	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	A	A	B	B	B	D	D
3. 2. 2 超高性能磁気ヘッド技術の研究開発								
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	A	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	B	B	B	D
3. 2. 3 超高精度ナノアドレッシング技術・ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発								
1. 研究開発成果について	2.4	A	A	A	A	B	B	C
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	A	A	B	B	B	C	D

（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. 研究開発成果について	2. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確 →A
・よい	→B ・妥当 →B
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり →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」
(中間評価) 第1回分科会資料5-1

「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)

事業原簿

2010. 11. 08

(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-8
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-14
3	情勢変化への対応	・・・・・・・・II-15
III.	研究開発成果について	
1	事業全体の成果	・・・・・・・・III1-1
2	研究開発項目毎の成果	・・・・・・・・III2-1
3	特許、論文、外部発表等の件数	・・・・・・・・III3-1

概要

		作成日	平成22年9月17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						
0. 事業の概要	<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。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、5Tbit/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、将来的にディスク1枚あたりの記録容量が1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>						
I. 事業の位置付け・必要性について	5Tbit/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	<p>、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。</p> <p>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。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H20FY	H21FY	H22FY	H23FY	H24FY	
	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	→						
開発予算 (会計・勘定別に事	会計・勘定	H20FY	H21FY	H22FY	H23FY	H24FY	総額
	一般会計	-	-	-	-	-	-

業費の実績額を記載) (単位:百万円)	特別会計 (高度化)	755 (実績)	1,012 (実績)	805 (予定)			
	総予算額	755	1,767	2,572 (予定)			
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)	日立製作所、日立グローバルストレージーズ、株式会社東芝、株式会社富士通、ほか					
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					
	中間評価以降	平成22年度11月 中間評価実施 平成25年度 事後評価実施予定					
III. 研究開発成果について	平成22年度に中間目標を達成見込み。以下に研究開発項目ごとの成果をまとめる。						
	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) 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65nm ² (目標200nm ²)とするための媒体微細加工技術を開発し及び位置分散(σ2.3nm)で高精度配置加工技術を開発した。						
	(2) 単一ナノビット記録性の検証 磁気的反転径とナノビット径の一致を実験的に確認した。隣接ビット記録の兆候がないことを0.8Tb/in ² で確認。またシミュレーションで5Tb/in ² の単一ビット反転を確認した。						
	(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発 ナノビット平坦化プロセスを開発し、表面凹凸が10nm以下であることを確認した。						
	研究項目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 実用的ヘッド媒体裏打ち層距離・プロセスで磁界強度≧5kOe 達成可能なヘッド設計完。						
(2) エネルギーアシスト機構の研究開発 ヘッドアシスト間距離を20nm以下に制御可能な、2.5Tb/in ² 対応アシスト機構集積ヘッド作製プロセスを確立した。							
(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発 低抵抗(RA~0.3Ωμm ²)、高出力(MR比40~50%)のTMRの達成可能性を実験的に示し、≦20nm幅の低ダメージ微細加工試作によるヘッドで狭トラック再生を確認した。							
(4) ヘッド動作の検証 2.5Tb/in ² 対応ナノビットへの記録と再生が可能な環境を整備した。							
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) 超精密位置決め技術の確立 2.5Tb/in ² 級位置決め技術:浮上量7nm以下、位置決め精度4.4nm以下を達成した。							
(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発 流体起因振動シミュレーションを開発。2.5Tb/in ² 向け流体振動低減機構を提案した。							
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) システム化とHDD性能の検証 2.5Tb/in ² 、5Tb/in ² HDDシステムの概略仕様を策定し、2.5Tb/in ² 級ヘッド、媒体などの個別要素の仕様に基づいた光・熱・磁気統合シミュレーションにより、上記仕様を確認した。							
投稿論文		「査読付き」22件、その他107件					
特許		「出願済」27件(うち国際出願4件)、延べ31件					
その他の外部発表 (プレス発表等)		2件、新聞発表6件					
IV. 実用化、事業化の見通しについて	日本で生き残ったHDD製造企業3社の集まりで実行しているプロジェクトであり、計画終了後は必ず実用化を行う。中間目標の2.5Tb/inch ² 程度でも、製品化を進め、本PJ成果は確実に実用化、製品化に利用される。						

V. 基本計画に関する 事項	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を変更。）

(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・情報技術開発部

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、単位情報あ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 0.3W/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 技術開発機構」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、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を選定し、密接な関係を維持し、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 技術開発機構は、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 技術開発機構は、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 技術開発機構、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 25 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。

(2) 基本計画の変更

NEDO 技術開発機構は、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 号ハに基づき実施する。

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。

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、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。

(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 24 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。

(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 24 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 2.5Tbit/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、5Tbit/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 5Tbit/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 年度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。

(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 年度までに 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。

(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 年度までに高感度・高分解能の再生ヘッドを作製し、5Tbit/inch² 対応サイズのナ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、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、2.5Tbit/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 年度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 に対応するナ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。さらに、平成 24 年度までに、5Tbit/inch² 級 HDD を模擬した環境において、ナノビット媒体上で安定浮上するヘッドが動径方向に 5nm 以内で動的 position 制御できることを確認する。また、円周方向におけるナノビットの加工精度ムラ（位置ズレ）を補正する手段について見通しを得る。

（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言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)の実現を図れることを検証する。

(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術開発事業（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-ⅱ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-ⅱ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-ⅱ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-ⅱ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-ⅱ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-ⅳ参照）
- (2) 燃料電池先端科学研究（運営費交付金）（4-Ⅲ-ⅳ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-ⅳ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-ⅳ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-ⅳ参照）
- (6) 燃料電池システム等実証研究（4-Ⅲ-ⅳ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-ⅳ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/>

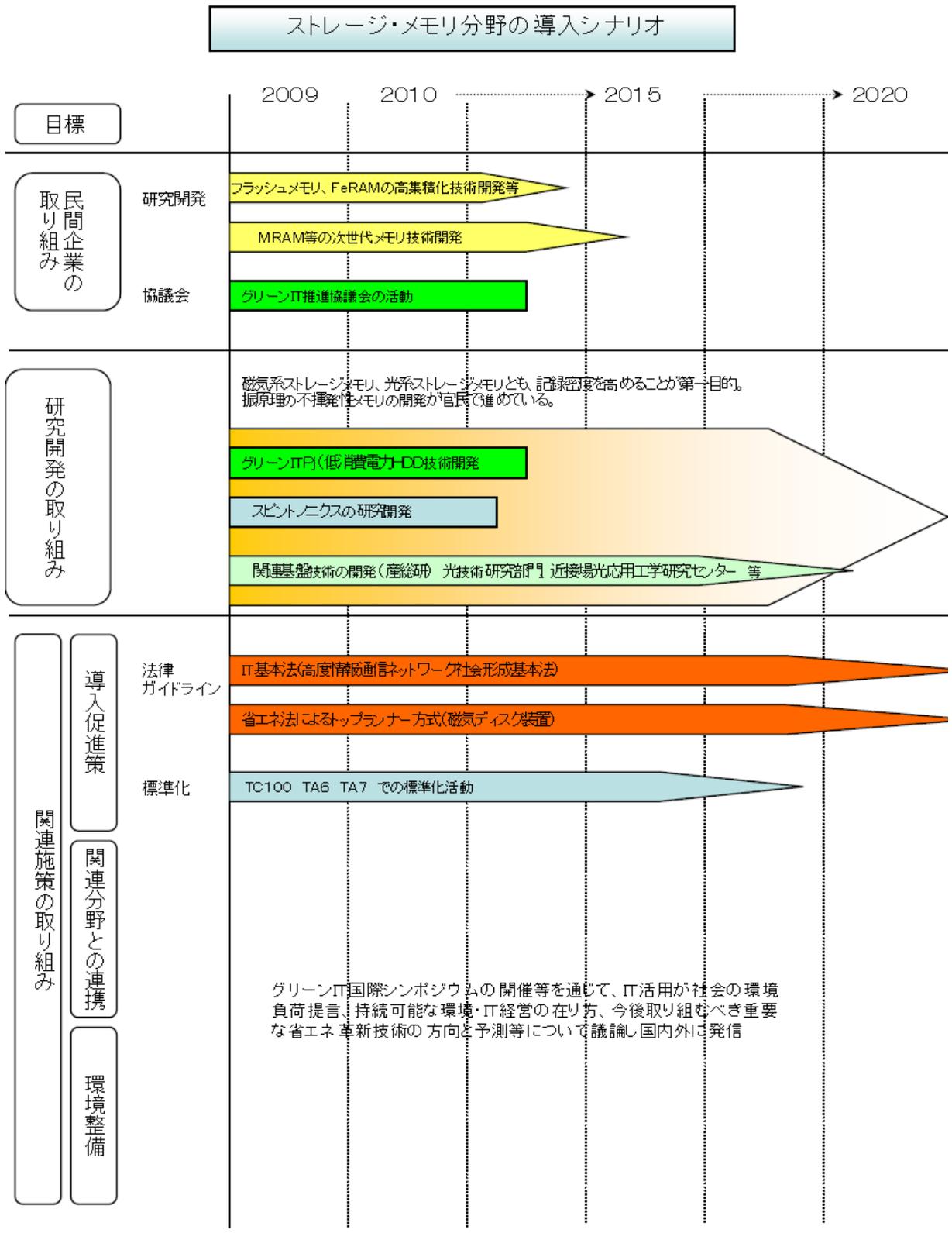


図 ストレージ・メモリ分野の導入シナリオ

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

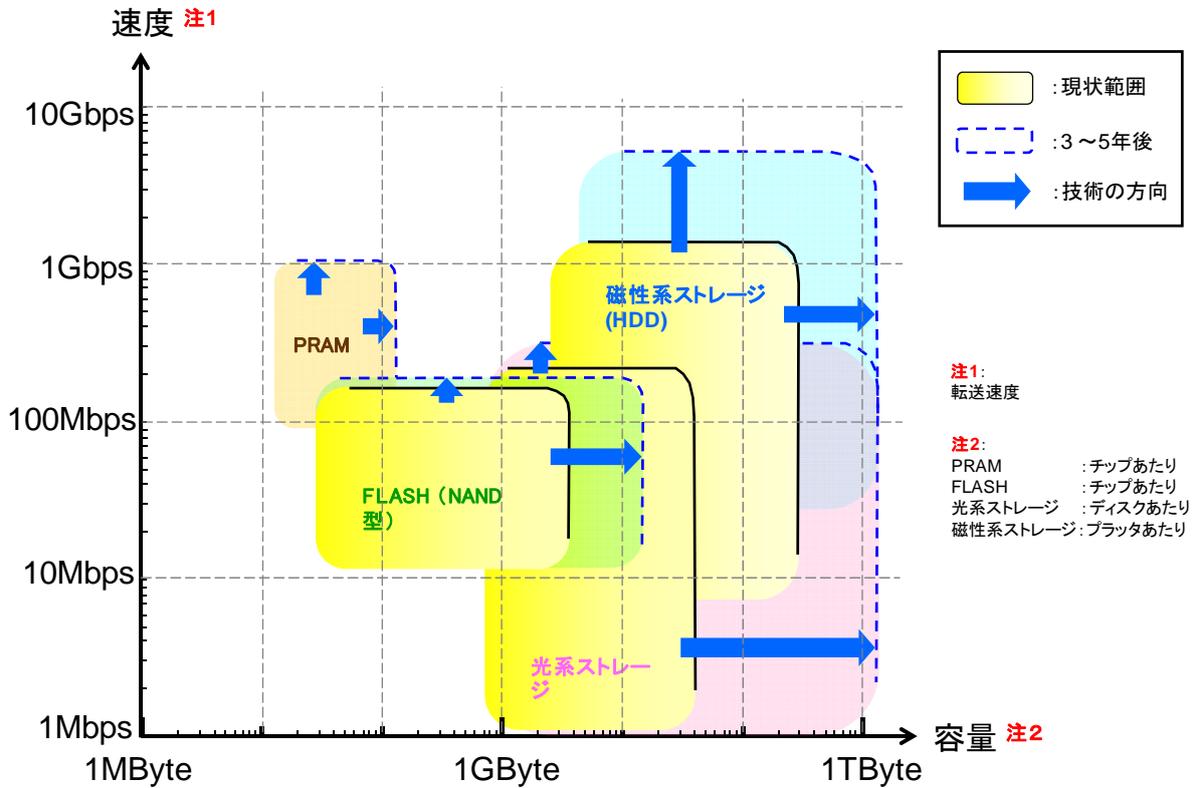
項目	開発技術	分類
ReRAM	大容量化技術	●
	材料技術	●
	機構解明	●
PMC-RAM (原子スイッチ、ナノブリッジメモリ等)	書き換え回数増大化技術	●
	低消費電力化技術	●
カード型ホログラムメモリ	導波路型(材料、構造、記録方式)	●
	体積記録型(材料、構造、記録方式)	●
MEMSプローブメモリ	トポ記録方式	●
	強誘電/強磁性方式	●
磁壁移動固体メモリ	スピントロニクス技術	●
	高集積化技術	●
有機メモリ	材料技術	●
分子メモリ	大容量化技術、低消費電力化技術	● ●
ナノチューブメモリ	微細プロセス技術	● ●

凡例

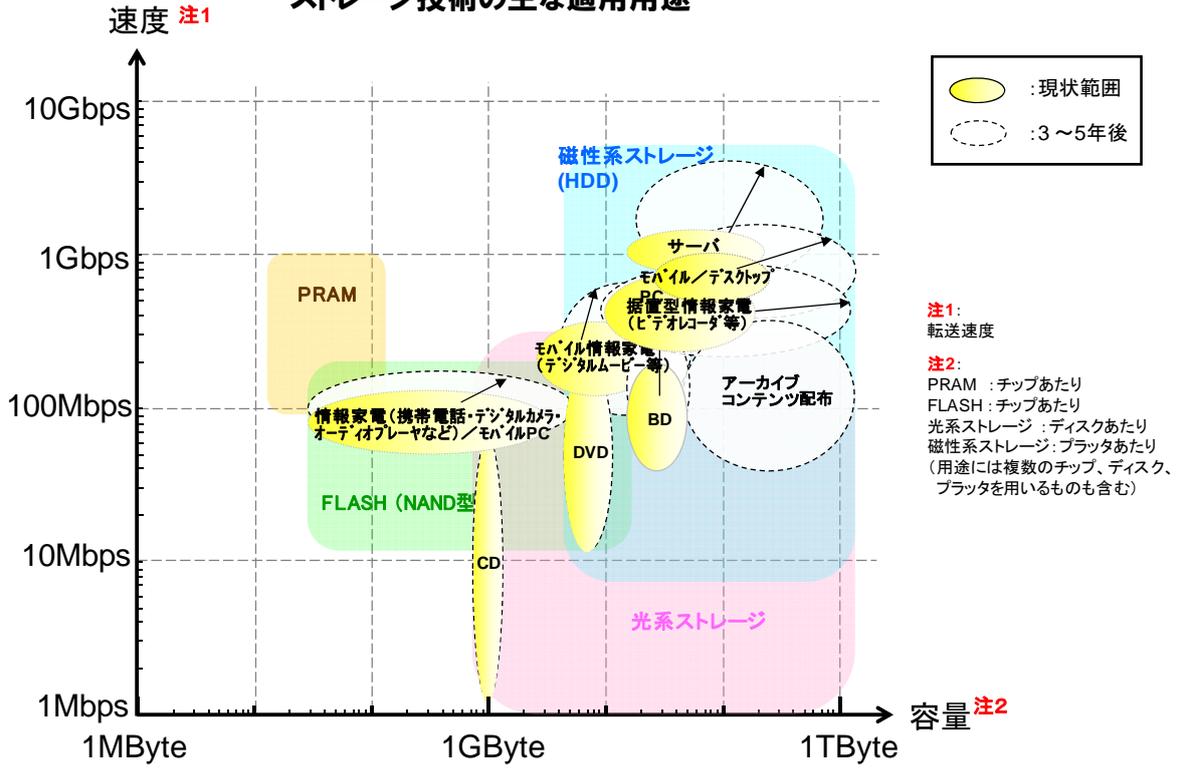
主たる性能分類

- ・大容量化技術 ●
- ・高速化技術 ●
- ・省電力化技術 ●

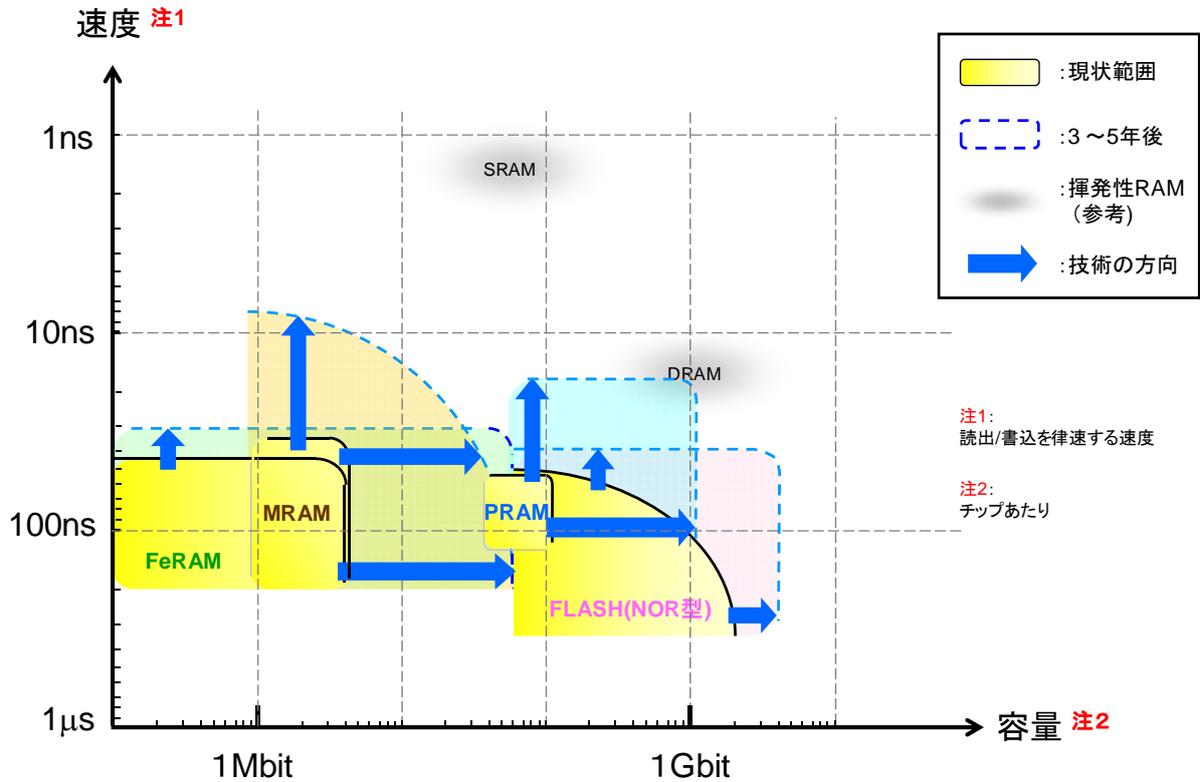
ストレージ技術の位置づけ



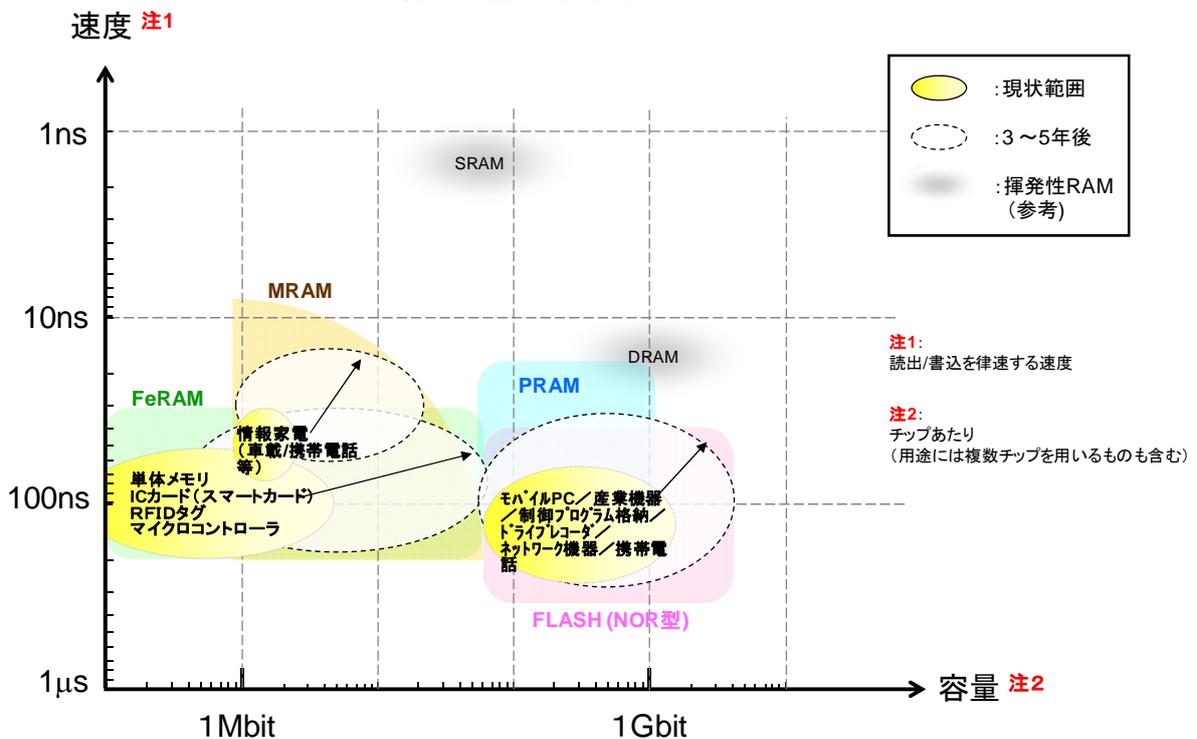
ストレージ技術の主な適用用途



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

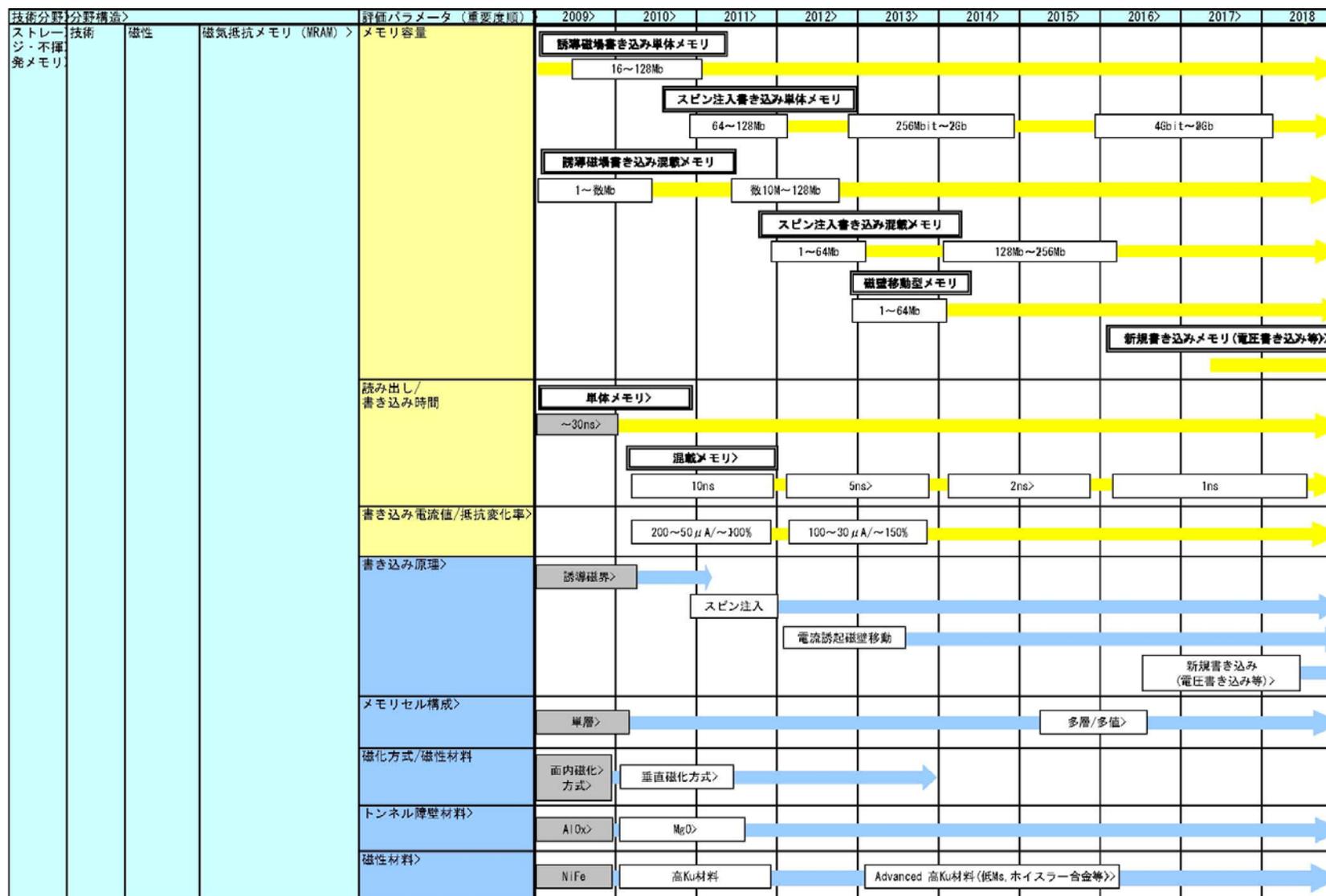
技術分野	分野構造	評価パラメータ (重要度順)	2009>	2010>	2011>	2012>	2013>	2014>	2015>	2016>	2017>	2018>
ストレージ・不揮発メモリ	ワークメモリの用途 (高速動作)	システム・イン・メモリ	アクセス速度	100~10ns				5~2ns				
		メイン・メモリ	記録容量 アクセス速度	512Mb 50ns				2Gb 50ns			4Gb	
	エンタープライズ・ストレージ	高速読み出し速度 (IOPS)	高速低消費電力SSD (SLC) 2.5インチ	256GB	512GB	1TB	2TB	4TB				
			30K IOPS		60K IOPS		120K IOPS					
		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			
		読み出し200MB/s		読み出し300MB/s		読み出し400MB/s						
	モバイル・ストレージ	ビット単価	中容量SSD (MLC)	128GB	256GB	512GB	1TB	2TB				
			中容量HDD	1.8" HDD容量400GB		1.8" HDD容量1.6TB						
		消費電力 耐衝撃性		消費電力 耐衝撃性		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: >	
			アーカイブ用HDD	500GB		1TB		3TB				
		容量 転送速度	アーカイブ用光ディスク (WORM/RM)			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	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				
記録容量 転送速度 メディア単価												

(C) 技術戦略マップー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キャッシュ	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			
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 ⁷ 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~50ns	5~2ns>										
		メモリセル構成	1T1C>	→										
			6T4C>	→										
	強誘電体材料	強誘電体材料	PZT, SBT>	→										
				>BiO、ポリマーほか										
		光記録	光ディスク	記録容量	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		2光子吸収 (20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>	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						
			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		スピントラップ書き込み	
		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										
		固体電解質メモリ> ナノギャップスイッチ> ナノワイヤメモリ> 有機分子&カーボンメモリ> MEMSメモリ>	動作電圧 データ保持時間 ON/OFF抵抗 (電流) 比 動作速度>								導電フィラメント制御方式		
											ナノスケール原子移動制御方式		
											ナノワイヤ自己整合配列方式		
										Siコンパチブルプロセス			
										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。

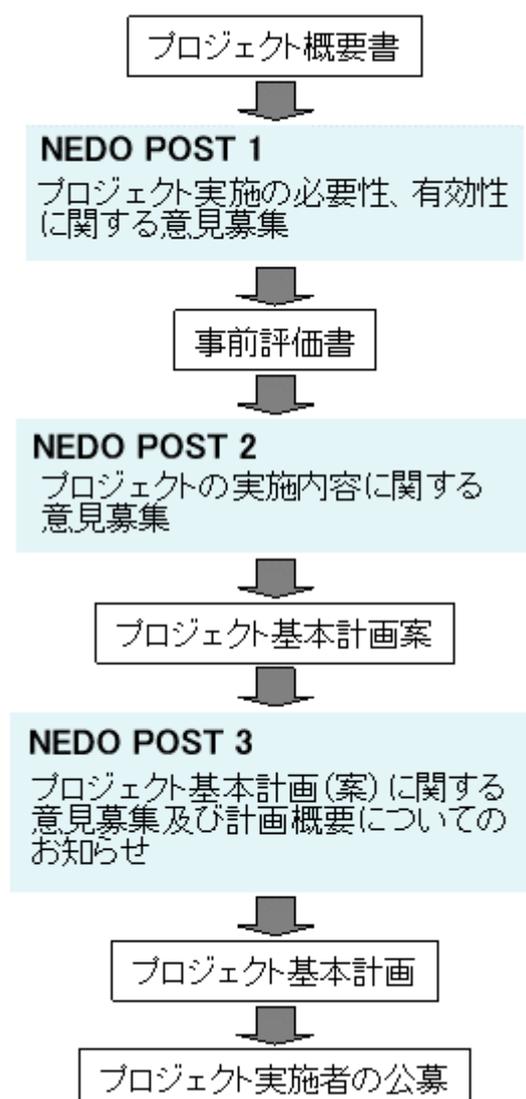
<NEDO POST2>

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>

The screenshot shows the top navigation bar of the NEDO website. On the left is the NEDO logo (技術開発機構). On the right, there is a search bar labeled 'サイト内検索' and a '検索GO' button. Below the search bar are links for 'ホーム', 'サイトマップ', and 'English'. A breadcrumb trail reads 'You are here > HOME > 表示中のページ'. The main heading is 'NEDO POST' in large orange letters. Below it is the title '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 ='. A central text box contains the main announcement: '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。' A link '>> NEDOPOSTについて' is located at the bottom right of the text box. Below the text box are three sections: 1. '検討中のプロジェクトと募集のご意見について' with a sub-paragraph about project details and a link to PDFs. 2. 'ご意見の投稿方法' with instructions on email submission and a note that anonymous submissions are not accepted. 3. '投稿要領' with a list of four requirements: (1) Use project names (abbreviations are okay). (2) Separate emails for multiple projects. (3) Write in Japanese. (4) Provide contact info: [1] Name, [2] Affiliation, [3] Contact info, [4] Opinion (limited to the project).

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

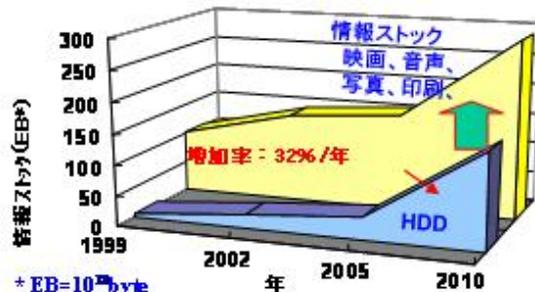
- ①背景: 社会生活の本格的なIT化に伴って、要求されるデジタル情報のストック量は増加の一途をたどっており、2010年には300 EBに達するとも推定される。
- ②市場ニーズ: 大容量性はもとより、低消費電力性も併せ持った経済的で信頼性の高い技術が必要。
- ③技術ニーズ: 数テラバイト級の大容量性や数十%の低消費電力化を達成するための基盤要素技術はもとより、デバイスの実用化にあたっては、それらを垂直統合するシステム化・プロセス技術の確立が不可欠。

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=10⁶byte

*: 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、ナノディスクコート媒体、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。

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。
- 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。

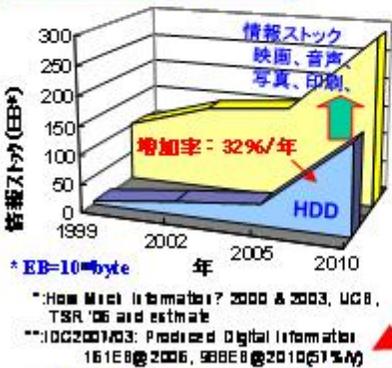
プロジェクトの規模

- 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

○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

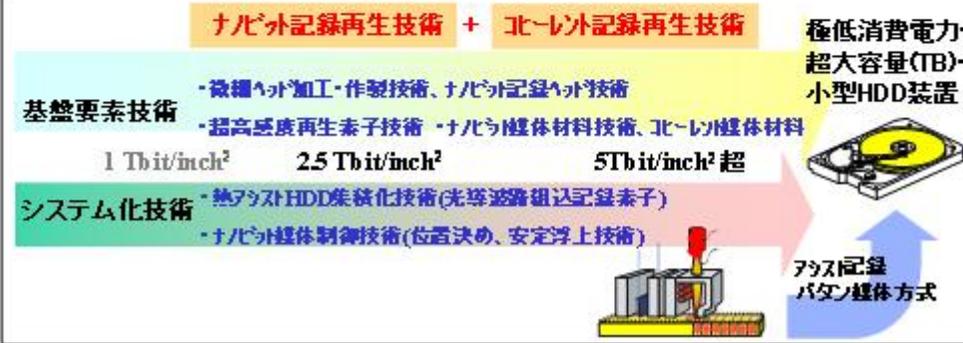
その他関連図表



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。

■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

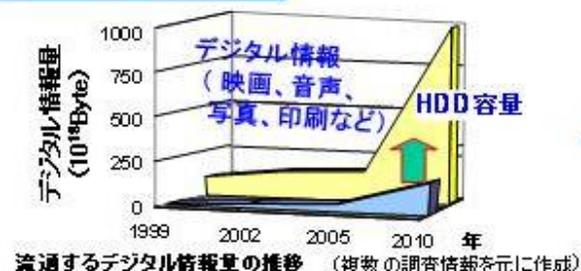
- ・地球温暖化問題の解決に向け、IT機器消費電力削減のための革新技术開発が求められている。
- ・なかでも、データセンターの消費電力削減は世界規模での喫緊の課題であり、データセンターが消費する電力のうち、ハードディスクドライブ(HDD)の占める割合は20%以上と比較的大きいため、HDDの単位情報量あたりの消費電力量の削減は主要な技術開発課題である。
- ・現状のHDDの記録密度を1桁以上向上させる技術、すなわち、数Tbit/inch²級の超高密度化を実現できれば、その電力削減効果は大きい。もちろん、当該技術は民生分野の応用に対しても大きな波及効果をもたらすと期待できる。
- ・したがって、HDD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

○事業費と研究開発期間 (目安として)

- 事業費年間9.5億円(未定) ◎研究開発期間 5年間

その他関連図表



研究内容概略

○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。

○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、5Tbit/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、将来的にディスク1枚あたりの記録容量が1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、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。</p>		

(2) 研究開発目標の妥当性

<目標>

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0.3 W/テラバイト以下となる省電力動作を検証する。

<妥当性>

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られる。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られる。

(3) 研究開発マネジメント

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。

(4) 研究開発成果

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。

(5) 実用化・事業化の見通し

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。

(6) その他特記事項

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。

5. 総合評価

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。

(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つの電極の間に向け、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	ラーゼエ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ンバルブ膜のタイプ
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ンバルブ膜の固定層
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、2010 年には 988EB 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、部品含め日本の有する情報産業や製造産業のお陰で現在優位であるが、韓国等の追い上げが急で今後この優位性をさらに強固なものにするものとして、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・情報技術開発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/jyouhoukoukai/tsusoku/cyukikeikaku2.pdf>

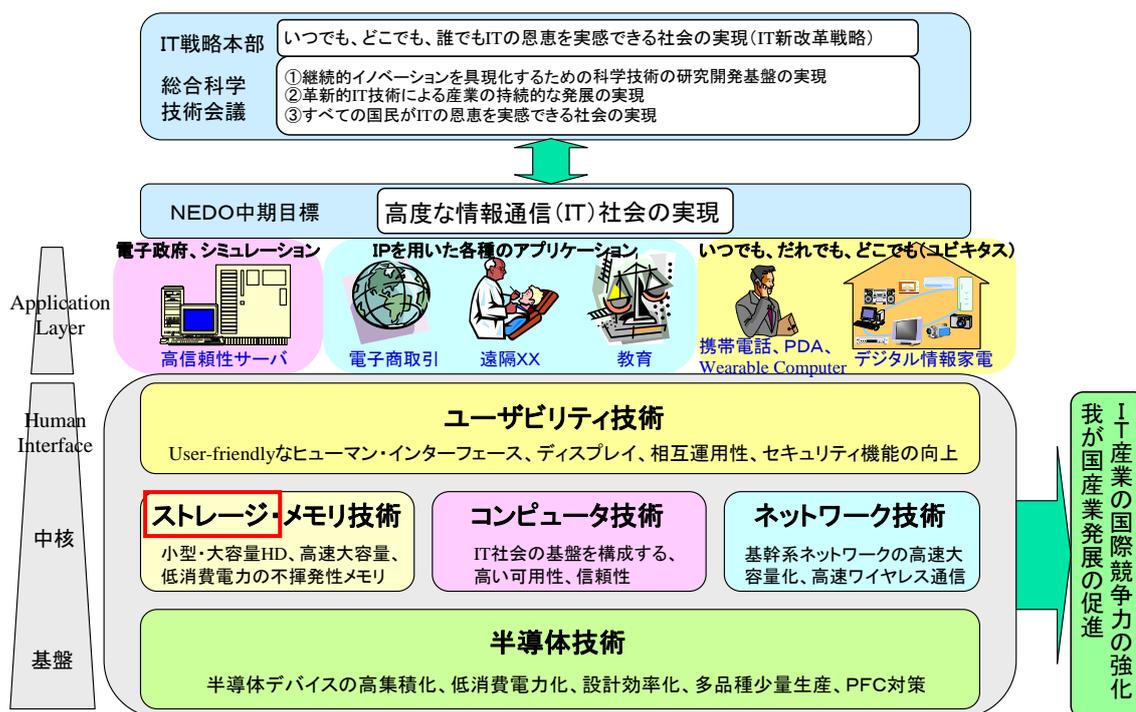


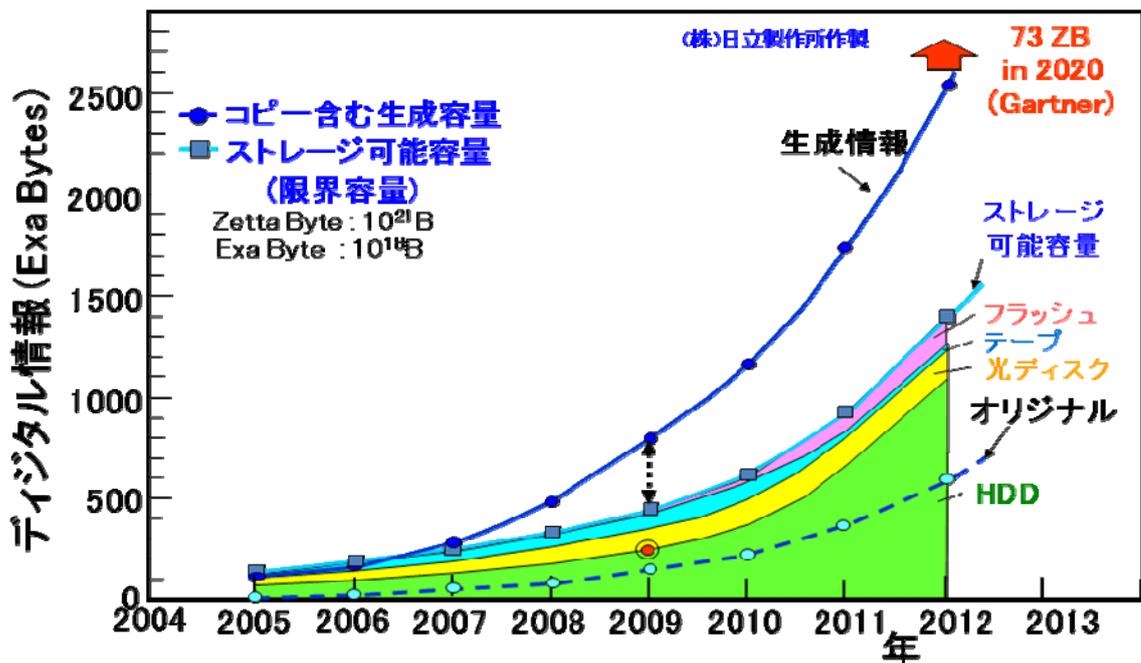
図 I-1-1 NEDOにおける電子・情報技術開発部の取り組み

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2012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およびその記憶媒体の比率を示す。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' 09, 他を元に(株)日立製作所作成)

(2) 国際競争力確保

HDD産業はアメリカが世界全体の約60%、日本が約30%、韓国が約10%の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。

また、韓国勢は参入から数年で、その資金力を背景にシェアを10%弱まで伸ばしており脅威である。

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、2010年には国内2社、海外3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。プロジェクトの事業期間は5年間、事業規模は約67.6億円の計画で開始された。

現在のHDDの市場規模及び今後の予想は、図I-1-3の通り2015年には4兆円以上へ伸びる。台数にして約9億台/年まで需要が増大し、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。

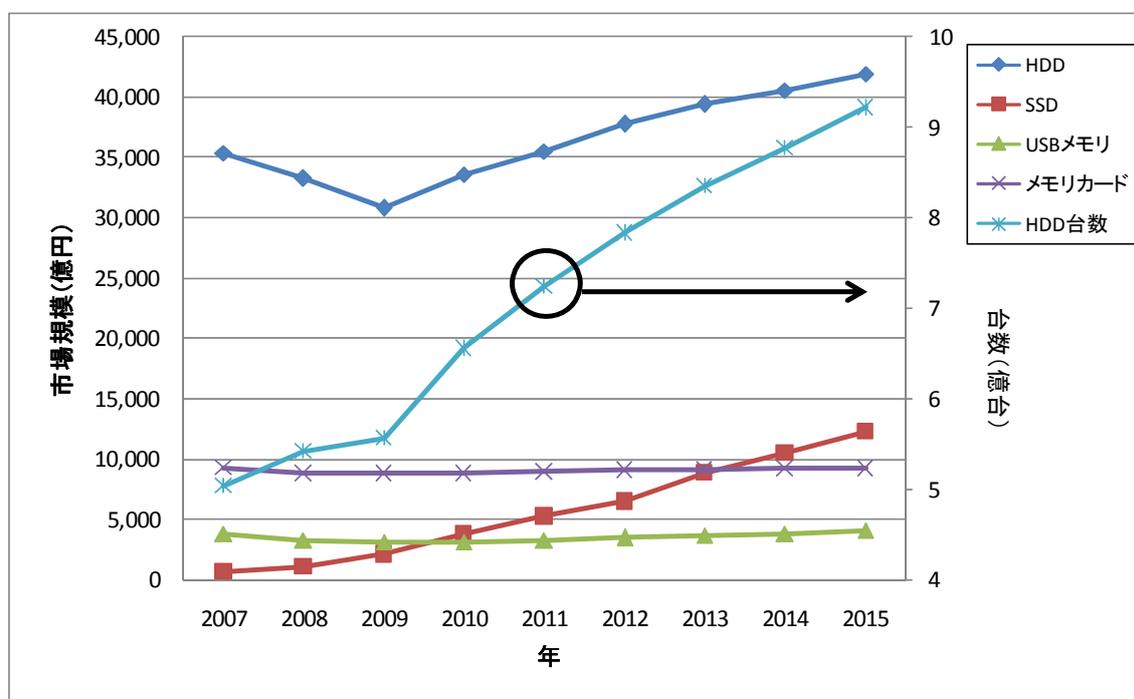


図 I-1-3 HDDの市場規模及び今後の予想（富士キメラ2010ストレージ関連市場総調査）

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) ハードディスクの導入量見込み

- 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(現状のままの場合)

- 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。

・省エネ効果(本PJ適用後の場合)

本PJ成果適用により高密度化・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

一方、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。

さらに、プロジェクト成功率 10%を乗じて、179万kl/年となる。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

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・韓国・シンガポールなど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。

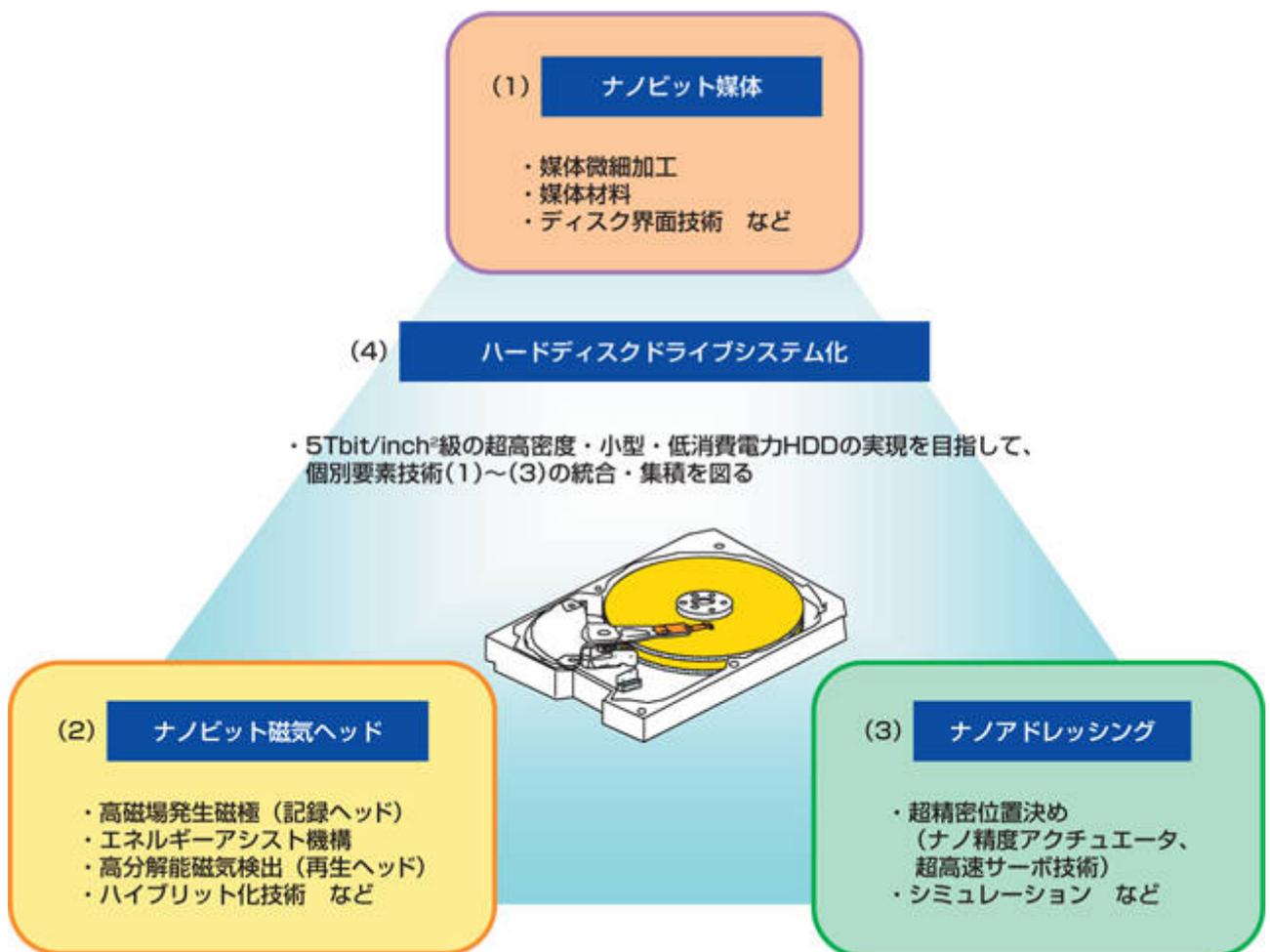


図 II-1-1 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発のターゲット

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。

(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 24 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。

(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 24 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 2.5Tbit/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、5Tbit/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 24 年度までに 5Tbit/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/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

(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。また、次世代高速光ネットワークに対応可能なトラヒック計測・分析技術の研究開発を行う。トラヒック管理の面からネットワーク機器の効率的利用を実現し、省エネルギーに貢献する。

(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 年度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。

(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 年度までに 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。

(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 年度までに高感度・高分解能の再生ヘッドを作製し、5Tbit/inch² 対応サイズのナ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、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、2.5Tbit/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 年度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 に対応するナ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 以内で動的位置制御できることを確認する。さらに、平成 24 年度までに、5Tbit/inch² 級 HDD を模擬した環境において、ナノビット媒体上で安定浮上するヘッドが動径方向に 5nm 以内で動的位置制御できることを確認する。また、円周方向におけるナノビットの加工精度ムラ（位置ズレ）を補正する手段について見通しを得る。

(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 の動的位置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言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) の実現を図れることを検証する。

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。	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3トラックで前記特性を確認する。
	単一ナノビット記録性の検証	2.5Tbits/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。	5Tbits/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開発するとともに、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、5Tbits/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。
	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開発する。	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。
	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、5Tbits/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、2.5Tbits/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、5Tbits/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、2.5Tbits/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以下の精度で動的な位置制御が可能か確認する。	5Tbits/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安定浮上するヘッドが、動径方向に5nm以下の精度で動的な位置制御が可能か確認する。また、円周方向におけるナノビットの加工精度ムラ(位置ズレ)を補正する手段について見通しを得る。
	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の動的な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、5Tbits/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開発する。
「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2.5Tbits/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。	5Tbits/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、5Tbits/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)を実現できることを検証する。

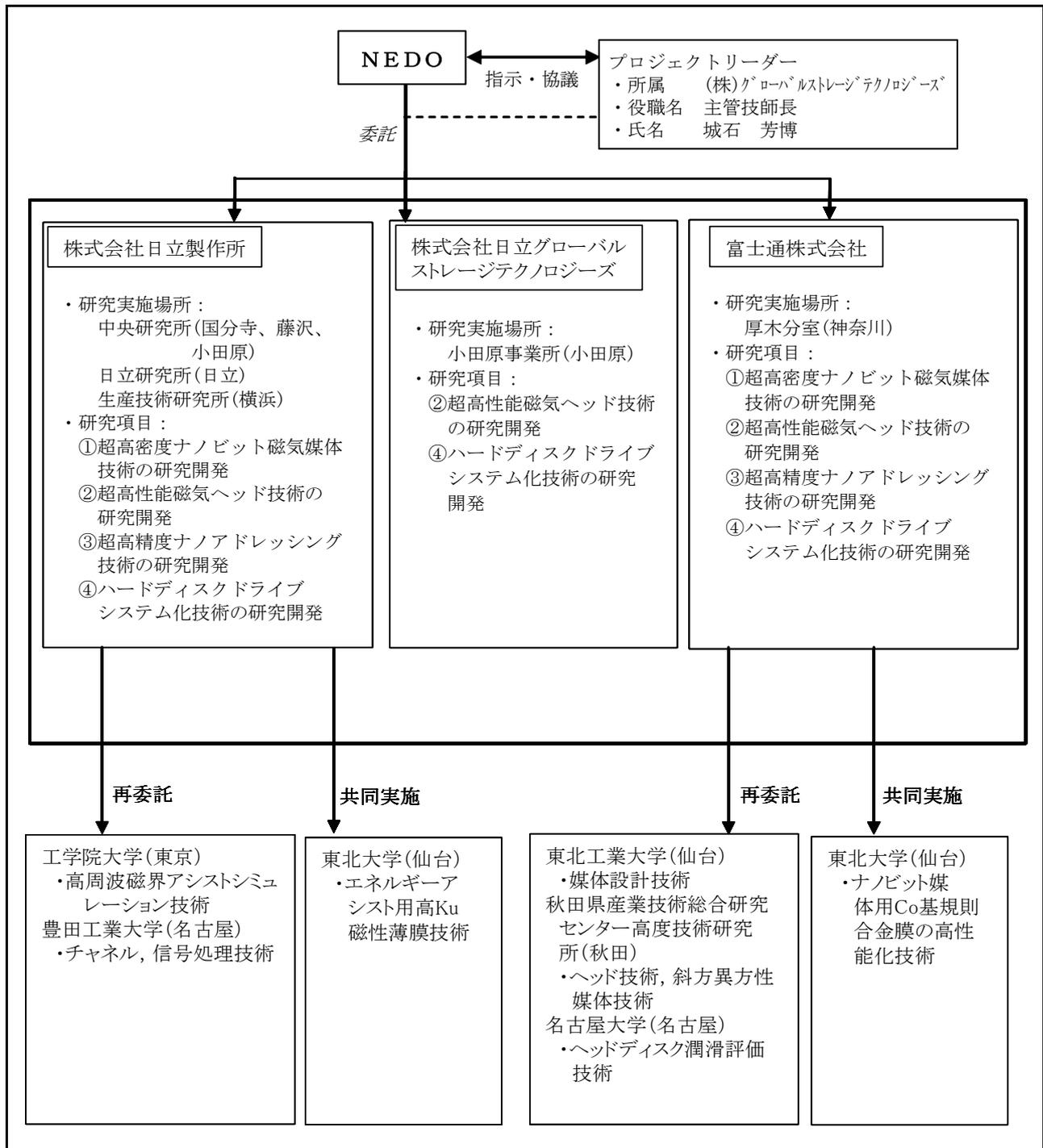
表Ⅱ-2-2 開発線表

開発項目	20年度	21年度	22年度	23年度	24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	-----▶	-----▶	-----▶	-----▶	-----▶

2. 2 研究開発の実施体制

2.2.1 実施体制

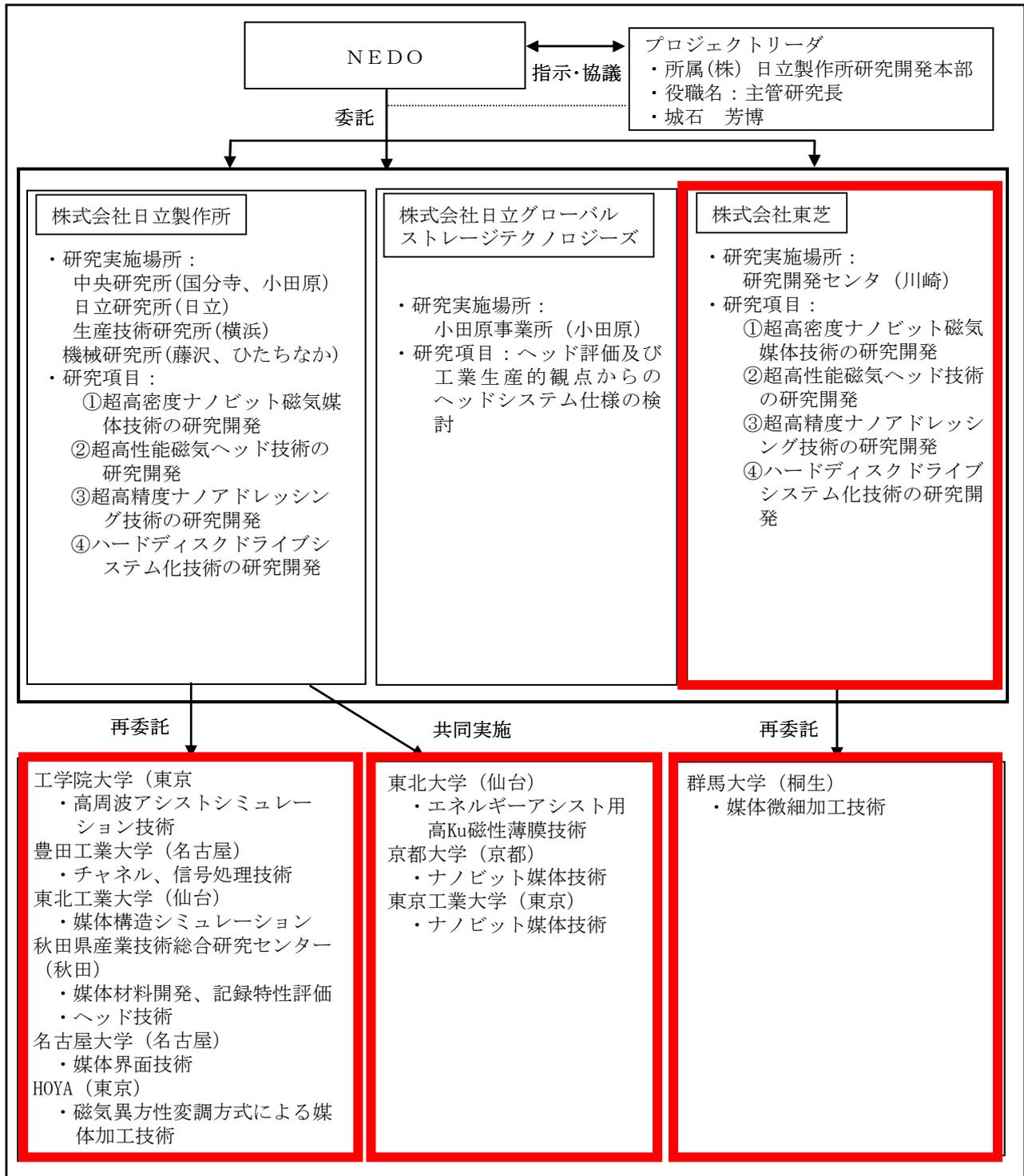
開発プロジェクトの実施者構成と各実施者の研究項目を図II-2-1に示す。プロジェクトリーダー（PL）とNEDOが、プロジェクトの運営について協議、指示を行うことで、開発進捗管理および情報交換が一元的にスムーズに進むように、全体の実施体制を構成している。また、各委託先にはサブリーダーを配置している。



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

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。

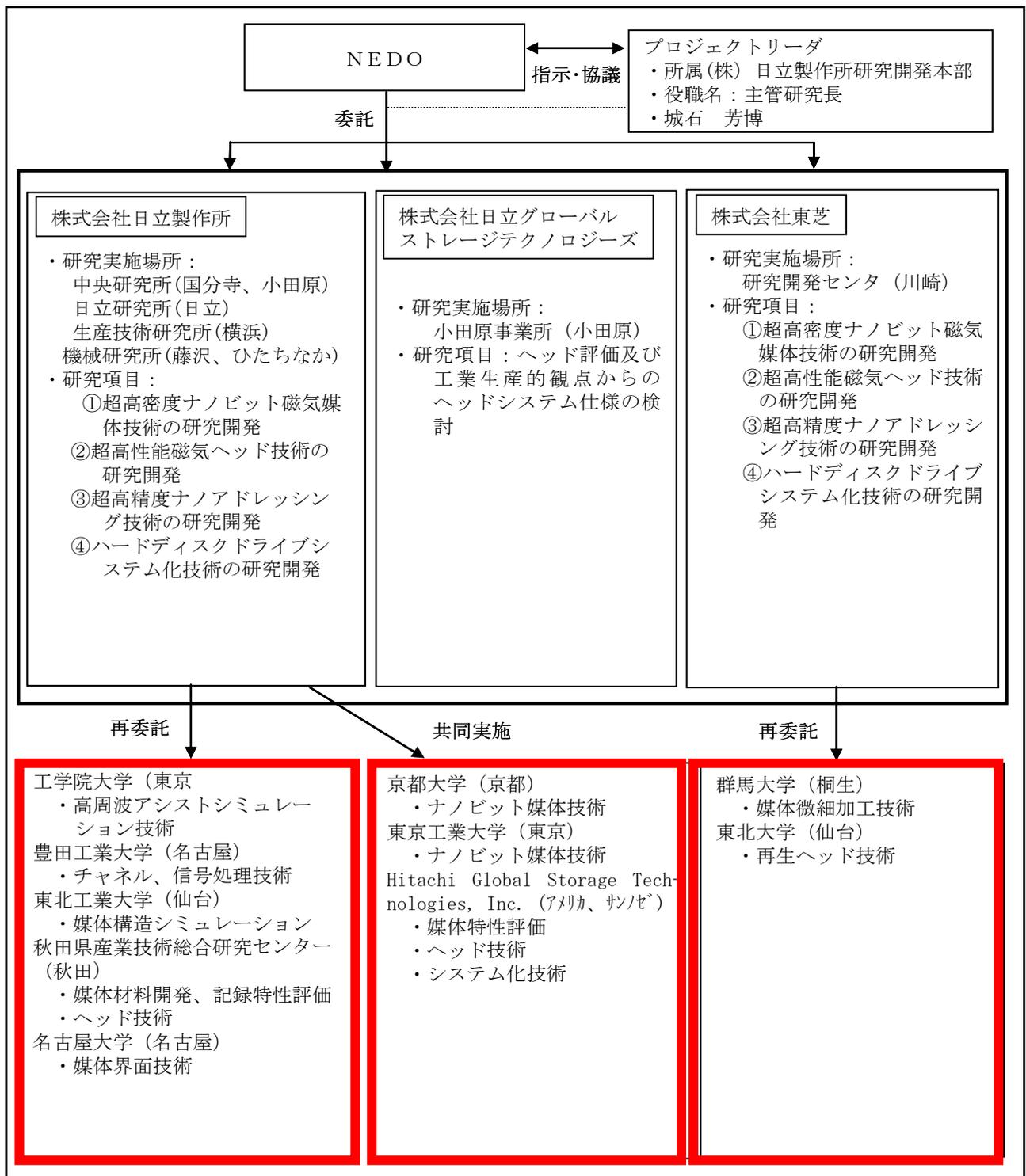


図 II-2-3 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成(体制組み換え後)

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図 II-2-4 の体制に至っている。(2010/8 現在)

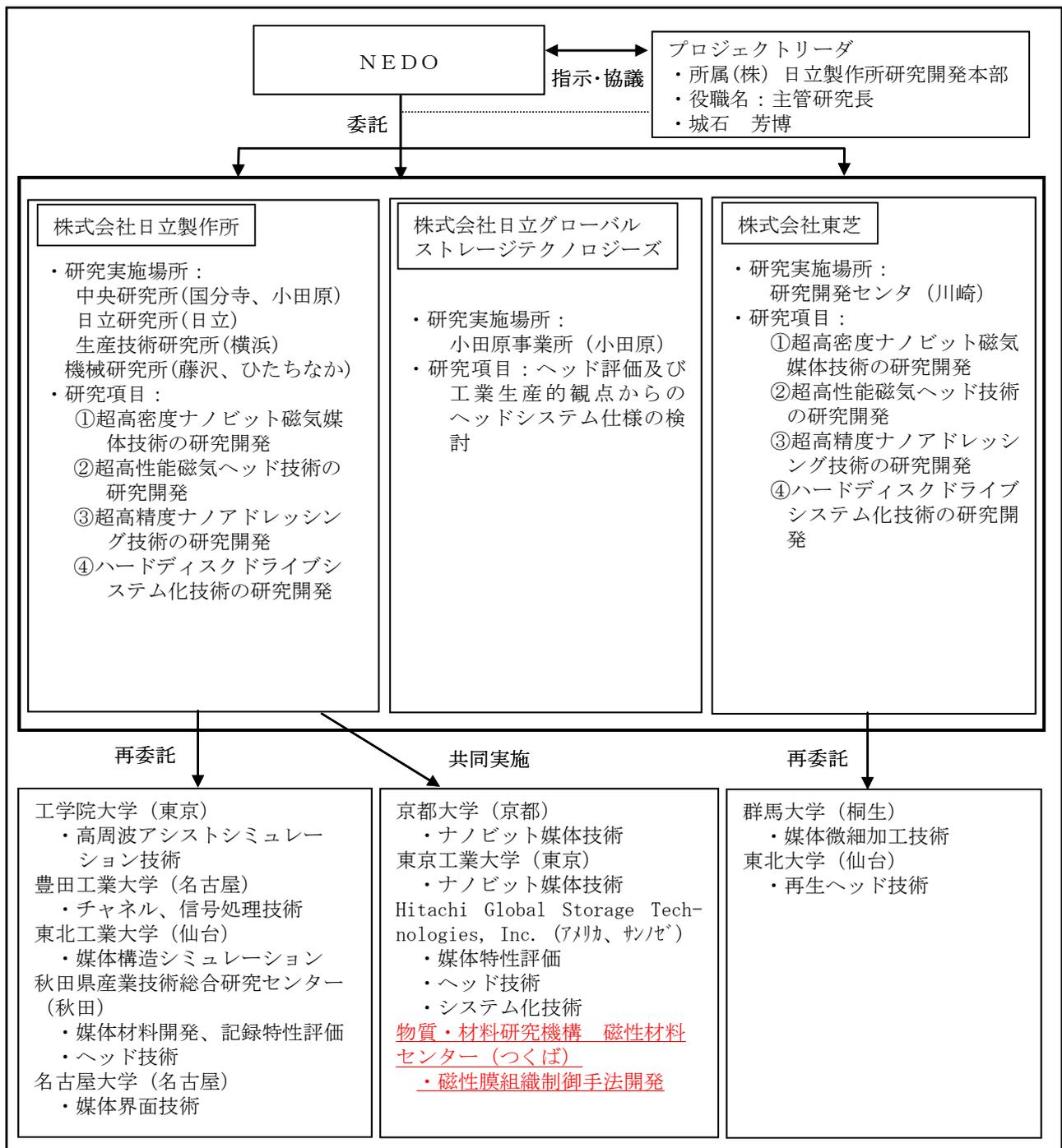


図 II-2-4 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成 (2010. 6. 1 から)

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-2-5に示す。

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	7名
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 3名
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	22名
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	3名
5	磁気媒体技術	株式会社 東芝	3名
6	磁気ヘッド技術	株式会社 東芝	4名
7	自己組織化技術	株式会社 東芝	2名
8	磁気媒体加工技術	株式会社 東芝	6名

2. 3 研究開発の運営管理

図Ⅱ-2-2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)日立グローバルストレージテクノロジーズ、(株)東芝が個別に締結している。

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に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)東芝は群馬大学及び東北大学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-2-4に示す。

研究開発の進捗確認・計画の見直し等(NEDO－実施者間)

1. 定例ヒアリング

- ・主 催 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部
- ・出 席 者：NEDO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)
- ・議事内容：研究開発内容の進捗状況確認

2. 個別ヒアリング

- ・主 催 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部
- ・出 席 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部、実施者メンバー
- ・場 所：NEDOまたは実施者施設
- ・開催頻度：不定期(年数回)
- ・議事内容：①研究開発状況報告、実験環境の確認
②開発計画、体制の見直し、加速資金申請等の議論

3. 開発現場でのヒアリング

- ・主 催 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部
- ・出 席 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部、実施者メンバー
- ・開催頻度：年1～2回
- ・議事内容：研究開発状況報告、購入設備・実験環境、実証実験の確認

図Ⅱ-2-4 NEDO・実施者間の研究開発マネジメント

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。

3. 情勢変化への対応

- 1) 本プロジェクトで開発する HDD 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、(株)日立製作所、(株)日立グローバルストレージテクノロジーズ、(株)富士通であった。しかし、(株)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、(株)富士通の HDD 事業の一部を買収した(株)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 (株)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るといった、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-2-6 に示す。

表 II-2-6 予算推移と加速資金の内訳

	H20 年度 (2008)	H21 年度 (2009)	H22 年度 (2010)	H23 年度 (2011)	H24 年度 (2012)	合計
計画時予算 (百万円)						
実績(百万円)	755	1012	805 加速(195) 含	—	—	
加速内容			エネルギー アシスト媒 体開発の加 速			

H22 年度の「エネルギーアシスト媒体開発の加速」によって、24年度までに達成予定のエネルギーアシスト媒体に関する技術開発項目の一部を23年度までに1年前倒しで達成することで、技術開発競争で世界にリードすることを目指す。

4. 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、事後評価を平成 25 年度に実施する。なお、評価の時期は、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に応じて前倒しする等、適宜見直しするものとする。

Ⅲ. 研究開発成果

1. 事業全体の成果

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	中間目標	成果	達成度
①（１）ナノビット微細加工技術の研究開発	2.5 Tb/in 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、±7nm以内の位置決め精度にて加工できることを示す。	径9 nm (65 nm ²)、ピッチ17 nm、ビット位置分散±7 nm以内のナノビットとサーボパターンを同一媒体上に作製した。	目標達成
①（２）単一ナノビット記録性の検証	2.5 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。	5 Tb/in ² 級ナノビットに熱アシスト記録を適用し、単一ビット反転可能であることをシミュレーションにて確認した。また、磁気的反転径とナノビット径の一致を実験的に確認、スピンスタンドにて、0.8 Tb/in ² 条件にて隣接ビットへの記録の兆候がないことを確認した。	目標達成の見込み (H23.3)
①（３）ナノビット媒体界面技術の研究開発	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±10 nm以内とする技術を開発する。アシストエネルギーの散逸を適切に制御し、ナノビット間の磁気的干渉防止を可能とする非磁性材料や新規表面保護材、新規潤滑剤などの開発に取り組み、最終目標達成に向けた見通しを得る。	カーボンをドライ製膜方式で埋め込み平坦化するプロセスをナノビット媒体に適用し、表面凹凸が10 nm以下であることを確認した。	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	中間目標	成果	達成度
②（１）強磁場発生記録ヘッドの研究開発	発生できる素子技術を確立するとともに、ヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認する。	・実用的な記録ヘッド主磁極一媒体軟磁性裏打ち層間距離，プロセスで磁界強度≥5 kOe達成可能なヘッド設計を完了した。	目標達成

②（２）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。	ヘッド磁極－近接場素子間距離20 nmで、2.5Tb/in ² 対応のアシスト機構集積ヘッド作製プロセスを確認した【新聞発表】。	目標達成
②（３）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。	素子構造検討により、RA～0.3 Ω μm ² 、MR比 40～50 %のTMRの達成可能性を実験的に示し、低ダメージ微細加工試作によるヘッドで狭トラック再生を確認した。	目標達成
②（４）ヘッド動作の検証	周速5-20 m/sで回転する磁気媒体上で浮上量10 nm以下にて安定浮上し、2.5 Tb/in ² 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。	・5-20 m/sで回転する磁気媒体上で浮上量≤10 nmの評価系を構築、2.5 Tb/in ² 対応ナノビットへの記録と再生が可能な環境を整備した。	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	中間目標	成果	達成度
③（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て浮上量7 nm以下で安定浮上するヘッドが、円周方向・動径方向共に10 nm以下の精度で動的な位置制御可能か確認する。	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した。また、世界で初めて、ナノビット媒体を実装したプロトドライブでトラックフォローイングを行い位置決め精度4.4 nm以下を確認した。	目標達成
③（２）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。	位置決め制御系仕様及び外乱モデルを策定し、流体起因振動シミュレーションを開発した。ディスク、アームサスペンションフラッタ解析を行い、2.5 Tb/in ² 向け流体振動低減機構を提案した。	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	中間目標	成果	達成度
④（１）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2.5 Tb/in 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。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2.5 Tb/in², 5 Tb/in²HDDシステムの概略仕様を策定し、2.5 Tb/in²級ヘッド、媒体などの個別要素の仕様に基づいた光・熱・磁気統合シミュレーションを世界で初めて構築、これにより、世界で初めて2.5 Tb/in²の熱アシスト記録のフィージビリティを確認、さらに5 Tb/in²の上記仕様を確認した。 	目標達成

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

(1) ナノビット微細加工技術の研究開発

【富士通株式会社、株式会社東芝、株式会社日立製作所】

【再委託：群馬大学，HOYA】

【共同実施：京都大学，東京工業大学，Hitachi GST, Inc.】

- ・パターン媒体において、径9nm(65nm²)、ピッチ17nm、ビット位置分散(σ 2.3nm)のナノビットとサーボパターンを同一媒体上に作製した。
- ・自己組織化技術において、強偏斥系高分子ブロック共重合体のケミカルレジストレーションによるパターン密度高倍化プロセス(9倍化)を検討し、3.3Tb/in²相当の規則パターンを $3\sigma=5.7$ nmの精度で作製した。
- ・イオン注入法によるビット孤立化技術を検討した。磁気モーメント変調方式を用いて作製したパターン(サーボ信号)が従来型媒体と同等以上の品質を有しており、イオン注入が高密度パターンの作製に適用可能であることを確認した。また、磁気異方性変調方式を用いて作製したビットパターン(90 nm×90 nm)では、データ領域がイオン注入によって形成された軟磁性領域からの影響なく別個に磁化反転しており、データ領域と軟磁性領域が磁氣的に分離されていることを確認した。

(2) 単一ナノビット記録性の検証

【富士通株式会社、株式会社東芝、株式会社日立製作所】

【再委託：東北工業大学，秋田県産業技術総合研究センター】

【共同実施：東北大学，Hitachi GST, Inc.，物質・材料研究機構】

- ・2.5Tb/in²級ビットパターン媒体において、磁気特性ダイナミック評価装置で評価した磁氣的な反転半径と、電子顕微鏡で観測されたナノビット半径が概ね一致していることを確認した。
- ・0.8Tb/in²級ビットパターン媒体にスピンスタンドで記録を行い、磁気力顕微鏡で観察した結果、隣接ビットに記録された磁区が結合してできる大きな磁区やチェッカーフラッグ状の磁区が見えないことを確認した。
- ・磁気異方性軸傾斜を60度とした2.5 Tb/in²級弱傾斜媒体モデルで、記録シフトマージンを持ったシステムの可能性を得た。また磁気異方性軸傾斜を30度とし、さらにドット間での交換結合導入により、4 Tb/in²システムの可能性を得た。
- ・電子線描画と低エネルギーイオンミリングによりCo-Ptドットアレーの作製技術を構築した。また、SPring-8の高輝度X線を用いたmicro-XMCDによるドットアレーの磁気特性評価法の確立、及び異常ホール効果を用いた高感度磁化曲線測定技術の開発を行った。
- ・[Co/Pd]_n多層膜媒体にてキュリー温度 $\sim 300^{\circ}\text{C}$ 、保磁力 $\geq 10\text{kOe}$ を同時に実現し、ホウ素および酸素添加量の最適化によりグラニューラ構造を得た。磁性粒子の孤立性を高め、磁気相関長を小さくすることによって、熱アシスト記録特性が改善することを確認した。L10 FePt規則合金作製にて加熱プロセス(ポストアニール法、プレヒート法)を導入し、結晶配向性の確保、化学規則化温度の低減、およびグラニューラ構造の形成等を実現できる見通しを得た。

(3) ナノビット媒体界面技術の研究開発

【富士通株式会社、株式会社東芝、株式会社日立製作所】

【再委託：名古屋大学】

- ・カーボンをドライ製膜方式で埋め込み平坦化するプロセスをナノビット媒体に適用し、表面凹凸が10nm以下であることを確認した。
- ・薄膜化と高信頼性を両立する熱アシスト記録対応保護膜材料として、FCAC (Filtered Cathodic Arc - Carbon)が450℃加熱による膜厚及び膜質の劣化がなく、耐熱性が高いことを確認した。また、熱アシスト磁気記録用潤滑剤の選定と局所加熱/接触摺動による潤滑膜厚の減少メカニズムについて検討し、分子シミュレーションによる潤滑/保護膜界面の耐熱性を評価した。また、磁氣的クリアランスの狭小化に対応しナノビット媒体界面評価技術の確立を目的に、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ウォブリング法を開発した。ナノビット媒体の微細加工プロセスやエネルギーアシスト記録に用いる新規磁性材料に対応するため、各種の処理が可能な表面改質設備を立案し、導入と立上げを行った。

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

【富士通株式会社、株式会社日立製作所】

【再委託：秋田県産業技術総合研究センター】

- ・2.5Tb/in²級の狭い主磁極幅の強磁場発生記録ヘッドを作製するプロセスとしてダマシン法を選択し、主磁極膜を埋め込むためのアルミナトレンチ形成用のエッチング設備の選定および導入を行った。アルミナトレンチの形状制御技術を確認し、記録磁極のみならず、熱アシスト用近接場発光素子形成にも適用できることを確認した。
- ・MCS 磁極構造を基礎とした強磁場発生ヘッドについてシミュレーション検討を行い、主磁極-媒体裏打ち層間距離の依存性を明らかにし、磁極構造の最適設計により従来検討の距離15 nm から 20 nm に拡大できる可能性を確認した。また、水平型 MCS 磁極ヘッドについて試作要素プロセスの検討を進めヘッド試作を行うと共に、より簡便な外部磁界励磁方式ヘッドを新たに提案し、記録性能評価を行った。

(2) エネルギーアシスト機構の研究開発

【株式会社日立製作所、株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ】

【再委託：工学院大学】

【共同実施：Hitachi GST, Inc.】

- ・2.5Tb/in²級の熱アシスト磁気記録を実現するために、ナノビークと磁気ヘッドを集積化した記録ヘッドの設計を行った。さらに、ナノビークと磁気ヘッドを集積化するための基本プロセスの開発を行い、2.5Tb/in²の記録密度に対応したヘッド（ヘッド-アシスト間距離20nm）を作製した。
- ・マイクロ波アシスト記録において2.5~3Tb/in²用スピントルク発振器を実現するために、垂直異方性多層膜を用いた固定層および高バルク散乱磁性膜 FGL を開発した。さらに、30~40 nm 級のプロセスを適用し作製した発振器においてスピントルクによる発振を確認した。
- ・シミュレーションを用いて、スピントルク発振器の発振特性を検討し、負の大きな磁気異方性をもつ材料を用いることで ≥ 20 GHz の高周波磁界が安定発生することがわかった。

(3) 高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発

【株式会社日立製作所、株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ、株式会社東芝】

【再委託：東北大学】

- ・将来再生ヘッドとして期待されるセンサ原理の候補のフィージビリティを検討し、CPP-GMRセンサ及びTMRセンサが有望であるとの結論を得、必要サイズ及びS/Nの具体的目標値を明確にした。
- ・素子構造検討により、 $RA \sim 0.3 \Omega \mu m^2$ 、MR比 40～50%のTMRの達成可能性を実験的に示し、低ダメージ微細加工試作によるヘッドで狭トラック再生を確認した。また、高分解能狭再生磁気ギャップを実現するために有効な、極薄膜センサ構造として single pin 膜において、通常構造膜と同等のTMR特性が得られることを示した。
- ・シミュレーションを用いて狭ギャップ長を有する極薄3層構成再生素子を検討した。2.5Tb/in²記録密度では高感度且つ低ノイズが両立し、高S/Nが可能であることがわかった。

(4) ヘッド動作の検証

【富士通株式会社、株式会社日立製作所、株式会社東芝、株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ】

【共同実施：Hitachi GST, Inc.】

- ・ヘッド、磁気記録媒体のリードライト特性検証のため、「動特性評価設備」を導入すると共に、実験環境の整備を推進した。5-20m/s 磁気媒体上で浮上量 $\leq 10nm$ の評価系を構築、2.5Tb/in²対応ナノビットへの記録と再生が可能な環境を整備した。
- ・導波路とナノビークを形成した記録ヘッドおよび CoB/Pd 媒体を用いて記録テストを行った。静的記録装置を用いて記録を行った結果、トラック幅 70nm 以下の磁化パターンの記録が確認された。また、近接場光素子として c-aperture を用いた動的記録実験（スピンスタンドを用いた実験）を行い、トラック幅 125nm の記録を確認した。
- ・ナノビット媒体に対応した、記録・再生磁界強度や分布などを勘案して、主に LLG シミュレーションによりヘッド仕様の妥当性を検証した。ナノビット媒体を用いることにより、シールド間隔（再生ギャップ長）が $\sim 13.5nm$ 、フリー層のトラック幅が 10.5～12.3nm、面積抵抗が $\sim 0.1 \Omega \mu m^2$ あるいはそれ以下、MR比が40%以上の5Tb/in²級センサの0次スペックを見積もった。

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

【富士通株式会社、株式会社東芝、株式会社日立製作所】

- ・ナノビット媒体で、浮上量7nm以下でヘッドが安定に浮上することを確認した。
- ・ナノビット媒体を実装したプロトドライブでトラックフォローイングを行い、位置決め精度4.4nm以下を確認した。
- ・微動アクチュエータとして、HGA(Head Gimbals Assemblies)上でスライダを搭載して位置決めを行う方式を選定し、小型・高剛性・低コスト化が可能な熱駆動式の微動アクチュエータを設計

した。また、設計した微動アクチュエータを試作し、再現性良く加工ができることを確認した。

(2) ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発

【株式会社日立製作所】

- ・位相差サーボ方式とローパスフィルタ採用でナノアドレッシング実現見通しを得た。
- ・流体構造連成振動シミュレーションにより流体起因振動の低減見積もりを行った。サーボ制御帯域とトラックピッチのトレンドから、2.5Tb/in²級HDDのサーボ制御帯域を4kHzと定め、流体起因振動の2.5型2枚ディスク機に対して-50%低減が必要との見積もりを得た。ディスクフラッタおよびアーム・サスペンションフラッタに関して流体構造連成シミュレーションを行い、2.5型1枚ディスク機をベースにした流体起因振動低減HDDにて-53%低減できることを示した。

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) システム化とHDD性能の検証

【株式会社日立製作所、株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ、富士通株式会社、株式会社東芝】

【再委託：豊田工業大学】

【共同実施：Hitachi GST, Inc.】

- ・2.5Tb/in²、5Tb/in²HDDシステムの概略仕様を策定し、2.5Tb/in²級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の仕様に基づいた光・熱・磁気統合シミュレーションにより、上記仕様を確認した。
- ・2.5Tb/in²ナノビット媒体試作、浮上性能評価、再生信号評価を行い、動特性評価によりナノアドレッシング性能を見積もった。この結果と2.5~5Tb/in²の再生ヘッド仕様検討結果から、2.5Tb/in²システムが構築可能であることを示した。ナノビット媒体とナノアドレッシングの開発方向性としては、ドットサイズのばらつきを低減することが重要であることを明確化した。
- ・隣接トラック間の信号干渉 (ITI: Inter-track interference) を低減するため、隣接トラック信号の尤度比を再利用する手法を提案し誤り率の改善効果を検討した。トラックシフト量が20%程度であればITIの影響をほぼ除去できることを示した。さらに、検討した範囲で、全ての誤りがLDPC符号あるいはリードソロモン符号の訂正範囲になることを確認した。

Ⅲ3. 特許、論文、外部発表等の件数

	特許出願			論文		学会発表 (内、招待講演)	その他外部発表 (プレス発表 ³⁾ 等)
	国内	外国 ¹⁾	PCT 出願 ²⁾	査読 あり	その他		
H20年度	3	0	0	3	0	11(3)	0件(他、新聞掲載1件)
H21年度	12	0	1	8	5	60(12)	1件(他、新聞掲載2件)
H22年度	12	2	1	11	13	36(10)	2件(他、新聞掲載3件)

1) 国内出願済特許のうち外国出願した特許数

2) PCT (Patent Cooperation Treaty) :特許協力条約

3) 新聞発表は H22 年 9 月 27 日現在の件数

巻末の添付資料に詳細内容についてのリストを記載した。

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

(中間評価)

(H20年度～24年度 5年間)

4. プロジェクトの概要説明 (公開)

NEDO技術開発機構
電子・材料・ナノテクノロジー部

2010年11月8日

4. プロジェクトの概要説明

発表内容

4-1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発のマネジメント」

(1) 事業の位置づけ・必要性

- ・事業の社会的背景
- ・事業の必要性
- ・事業の目的
- ・政策上の位置づけ
- ・NEDO中期目標、NEDO事業としての位置づけ
- ・NEDOが関与する意義
- ・事業の費用対効果

(2) 研究開発のマネジメント

- ・事業の目標
- ・事業の計画内容
- ・研究開発の実施体制
- ・研究の運営管理
- ・情勢変化への対応

4-2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」

(1) 研究開発成果

- ・研究開発成果および達成度について
- ・知的財産権の取得及び成果の普及

(2) 実用化、事業化の見通し

- ・実用化に向けた体制
- ・事業化までのシナリオ
- ・波及効果

4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

4. プロジェクトの概要説明

4-1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発のマネジメント」

(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「実用化の見通し」

(1)研究開発成果

(2)実用化、事業化の見通し

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

II-1-(2)事業目的としての妥当性

社会的背景

IT機器でのエネルギー(電力)消費の増加

◆2025年には全消費電力量の2割の予測

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

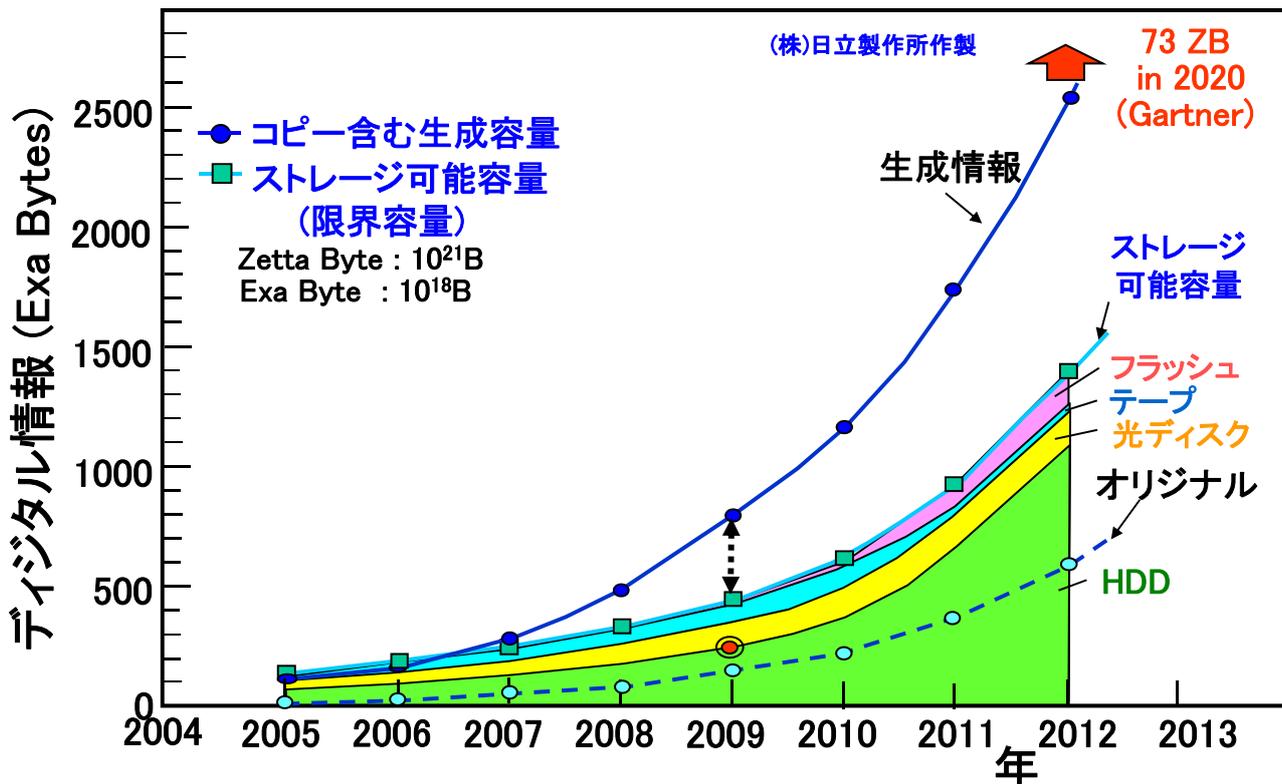
HDDの単位情報量当たりの消費電力量の削減の必要性

II-1-(2)事業目的としての妥当性

デジタル情報保存量の増大

- ◆個人利用の広がり(FTTxの普及、Web2.0など)
- ◆高精細動画通信(動画ネット配信、デジタル放送)
- ◆クラウドコンピューティングによるデータセンタ利用

全ての情報の内、保存可能なものは半分程度

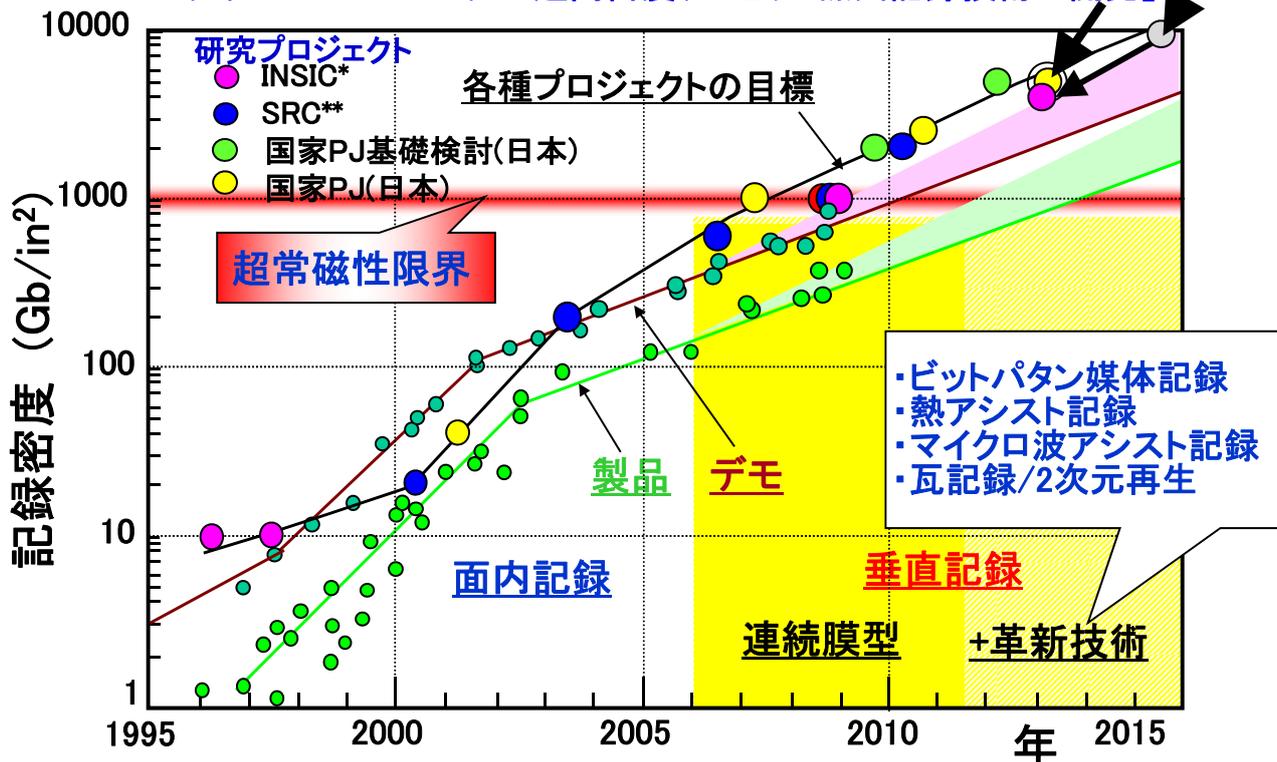


II-1-(2)事業目的としての妥当性

激しい国際競争

INSIC(米国)は目標を4Tb/in²に下方修正

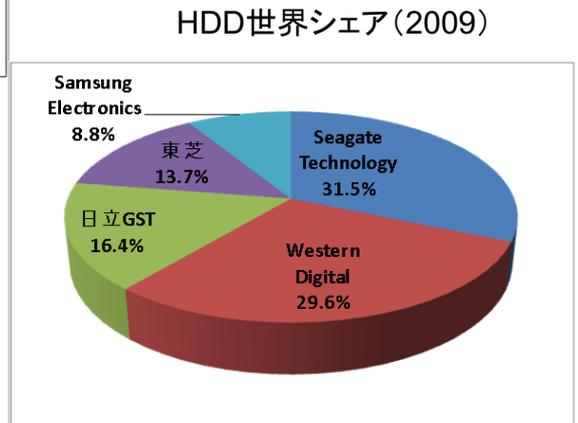
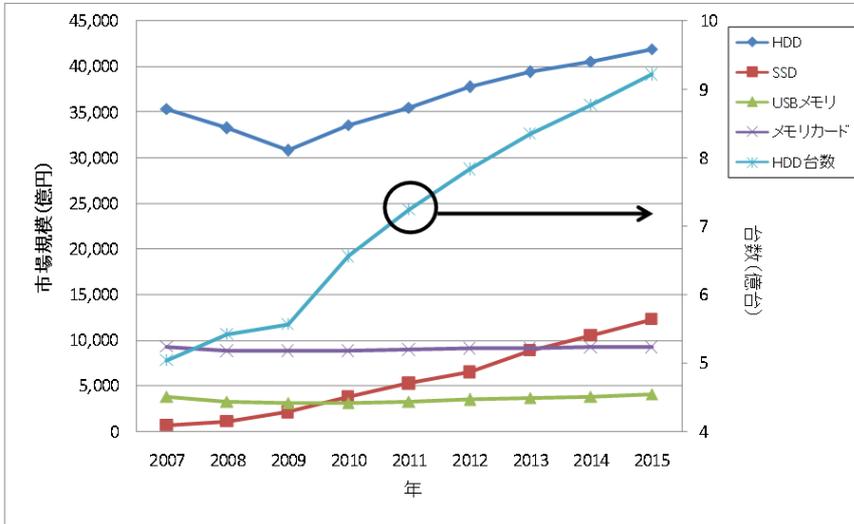
グリーンITプロジェクト「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発」



*: Information Storage Industry Consortium, **: Storage Research Consortium

HDD市場の動向

- ◆HDD市場規模が大きく、シェア拡大による産業競争力強化
- ◆業界再編によるメーカー淘汰



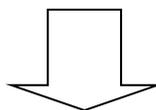
過去数十社存在したHDDメーカーは世界で5社に淘汰された

出展: 富士キメラ 2010ストレージ関連市場総調査

事業の目的

2007年レベルのHDDに比較して

- 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

Ⅱ-1-(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)	■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。
	新産業創造戦略2005(H17)	■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

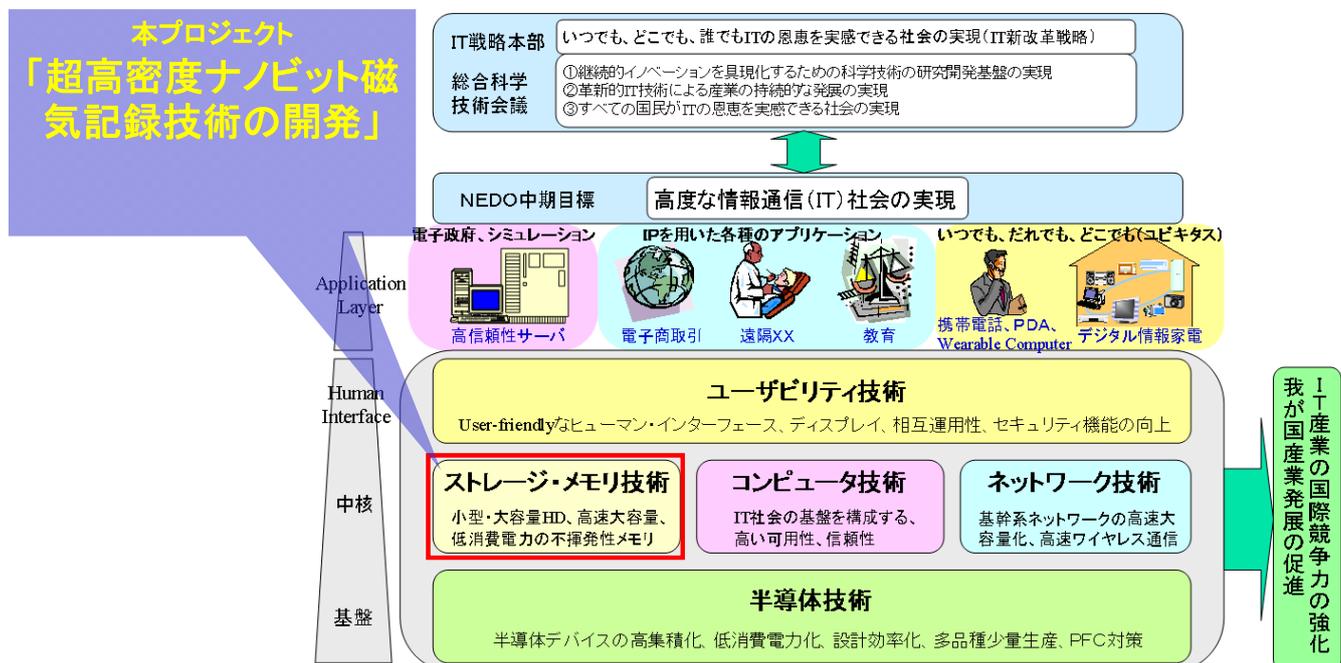
4-I. 総合エネルギー効率の向上 [iv] 省エネ型情報生活空間創生技術

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」

Ⅱ-1-(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>

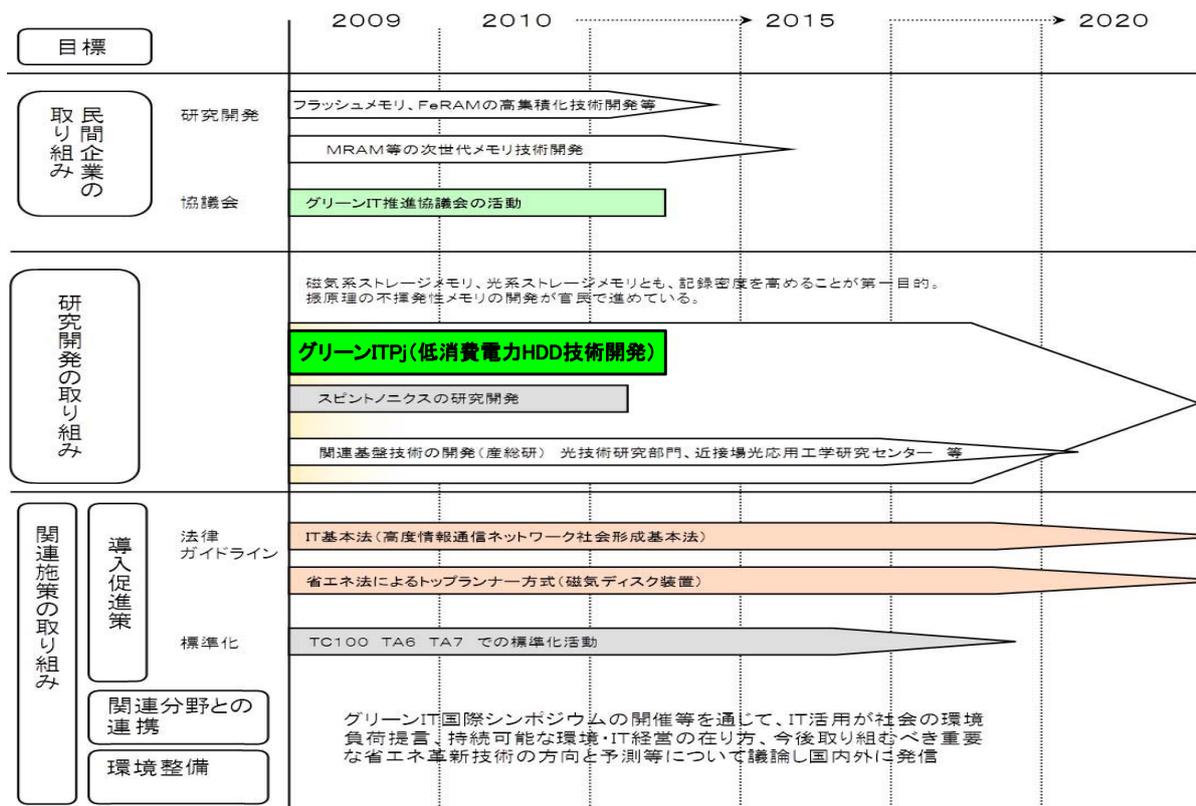
- 誰もが自由な情報の発信・共有を通じて、個々の能力を創造的かつ最大限に発揮することが可能となる高度な情報通信(IT)社会を実現
- 我が国経済の牽引役としての産業発展を促進



NEDOにおける情報通信分野の取り組み

ストレージ技術への取り組み

ストレージ・メモリ分野の導入シナリオ



ストレージ技術への取り組み(ロードマップ)



本PJはロードマップに沿った開発である。(赤囲いの技術を本PJで開発)

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

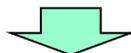
HDDの記録密度を向上して台数を削減し、また小型化による低消費電力化の相乗効果により消費電力削減することでCO₂排出量削減すること、地球温暖化対策として非常に重要であり、公益性のある取り組みである。

◆ 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

超高密度ナビット磁気記録技術の開発

省エネルギー効果(2030年)

179万kl/年(2030年)

電力 vs 原油換算レート: 1 [kWh]=2.36 × 10⁻⁴ [kl]

	HDD種別	台数 (百万台)	エネルギー 消費量 [kWh]	総エネルギー消費量 [kWh]	省エネルギー効果(原油換算)
2007年のHDD技術 のままであった場合	2.5inch	83704	68637 × 10 ⁶	767763 × 10 ⁶	
	3.5inch	243598	699126 × 10 ⁶		
本PJ適用後の場合	2.5inch	11801	9677 × 10 ⁶	9677 × 10 ⁶	1.79億kl

国内市場台数10%、プロジェクト成功率 10%を乗じて**179万kl/年**

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)

HDD消費電力: 7W@3.5inch 2W@2.5inch

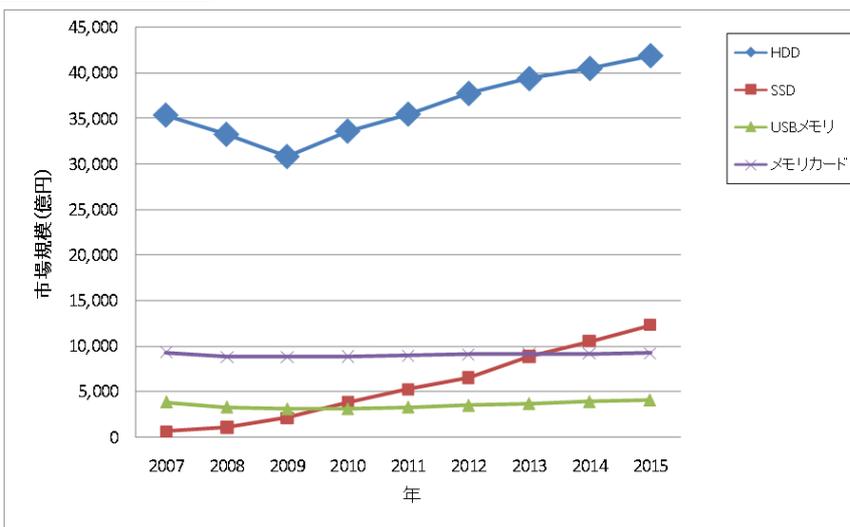
台数予測は、情報ストック量の年次推移(出典元: How much Information? 2000&2003, University of California, Berkeley, 日立GST 推定)から算出。

プロジェクト事業費の委託費総額 50億円 (予定)

市場の効果

HDD市場規模(WW) ~3兆3000億円@2010年
 日本のシェア(30%@2009年) ~1兆円@2010年

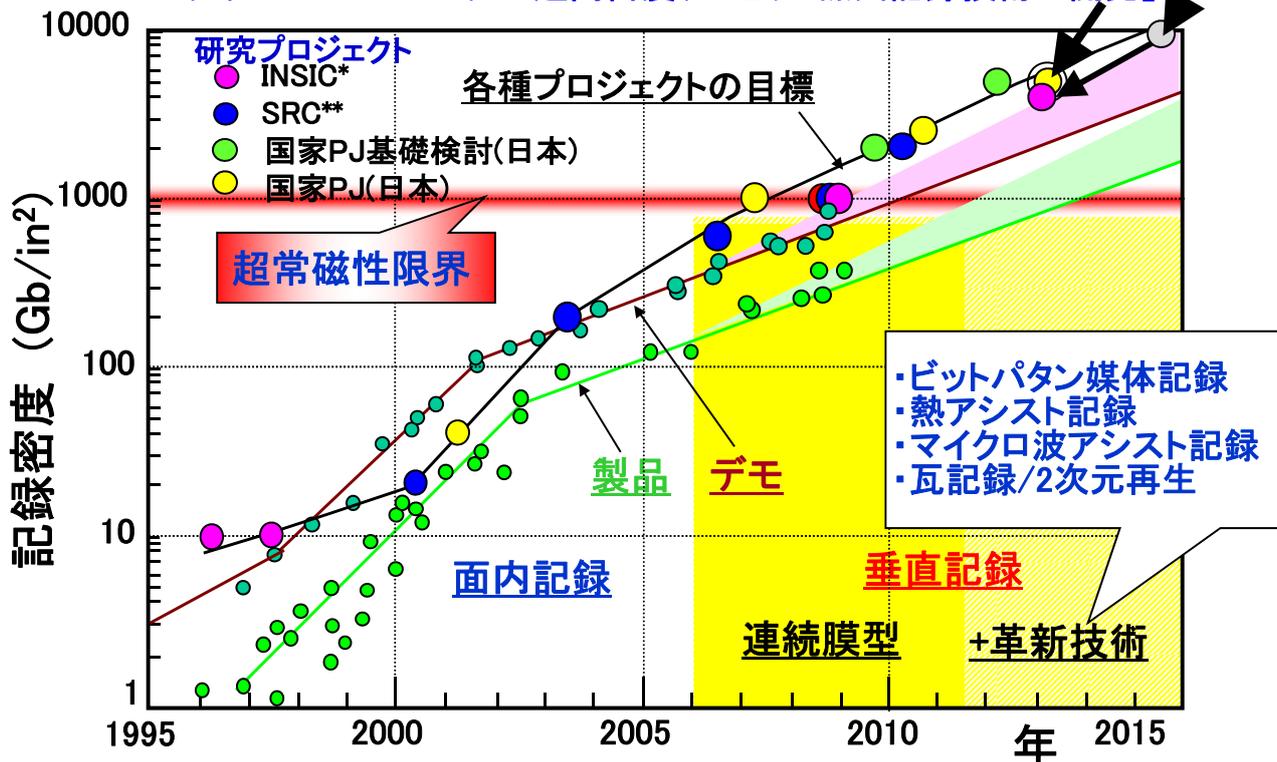
シェアを10%拡大出来れば3000億円の売り上げ増。
 今後、**市場規模拡大は確実**であり、さらなる効果が期待でき、十分な費用対効果があるといえる。



研究開発の世界比較

INSIC(米国)は目標を4Tb/in²に下方修正

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」



*: Information Storage Industry Consortium, **: Storage Research Consortium

4. プロジェクトの概要説明

4-1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発のマネジメント」

(1)事業の位置づけ・必要性

(2)研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」

(1)研究開発成果

(2)実用化、事業化の見通し

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

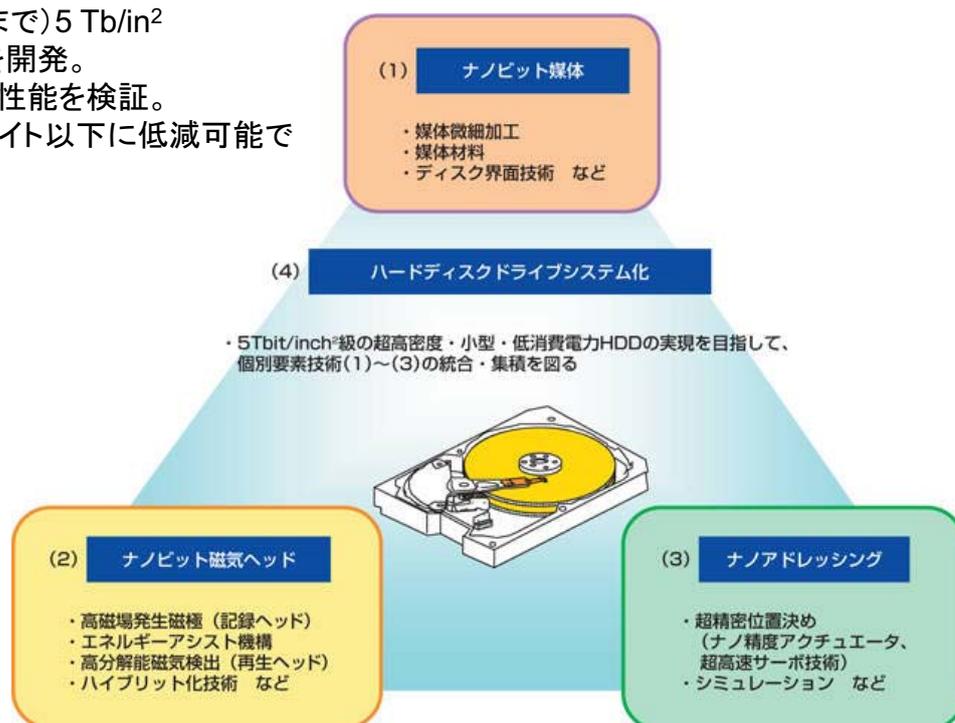
事業の目標

II-2-(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

中間目標 (平成22年度まで) 2.5 Tb/in²最終目標 (平成24年度まで) 5 Tb/in²

- ・対応の個別要素技術を開発。
- ・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。



II-2-(1)研究開発目標の妥当性

サブテーマ	個別テーマ	中間目標(平成22年度)	根拠
① 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200 nm ² 程度、かつ 位置精度±7 nm以下 の加工技術開発。	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。
	単一ナノビット記録性の検証	2.5 Tb/in ² の面密度に対応ナノビットにおいて、磁化反転制御可能、かつ、周辺ナノビットの磁気情報に影響がないことを確認。	
	ナノビット媒体界面技術の研究開発	表面凹凸±10 nm以内 とする技術開発。	
② 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 5 kOe以上の磁場強度発生 できる素子技術を確立。	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。5 Tb/in 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。
	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立する。	
	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。ヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認。	
	ヘッド動作の検証	浮上量10 nm以下 にて安定浮上し、2.5Tb/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可能か検証。	
③ 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	浮上量7 nm以下 で安定浮上するヘッドが、 円周方向・動径方向共に10 nm以下の精度で動的 position 制御可能 か確認する。	デバイスの加工精度に加えて、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が必要。
	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。	
④ 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 2.5 Tb/in²レベルで達成 。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。	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。

II-2-(1)研究開発目標の妥当性

研究開発のスケジュール

中間評価

事後評価

開発項目	20年度	21年度	22年度	23年度	24年度	最終目標値
超高密度ナノビット磁気媒体技術の研究開発	[進捗線]					表面凹凸を±5 nm以下 一部は加速により1年前倒し達成
超高性能磁気ヘッド技術の研究開発	[進捗線]					浮上量5 nm以下で安定浮上、5Tbits/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。
超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発	[進捗線]					動径方向に5 nm以下の精度で動的 position 制御可能か確認。
ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発	[進捗線]					5Tbits/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)を実現できることを検証。

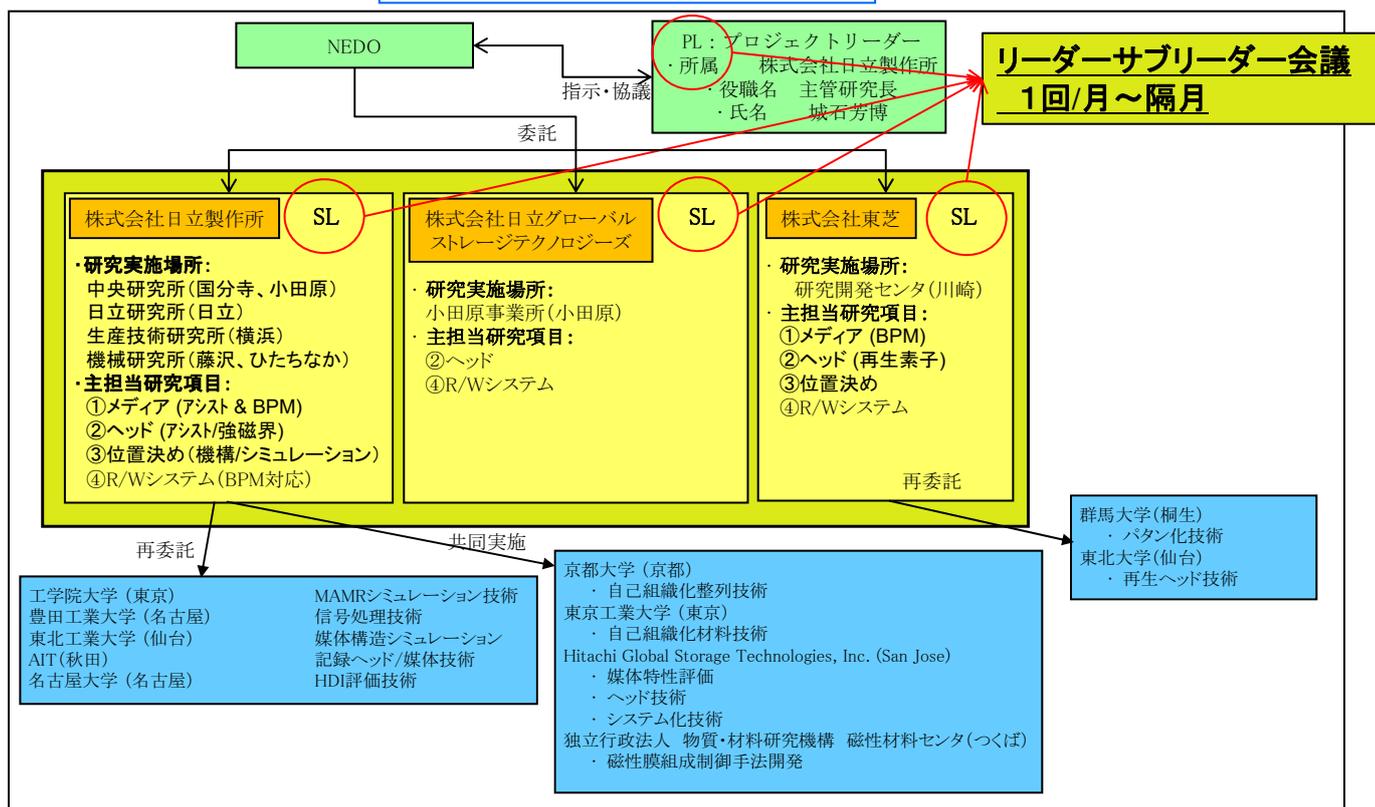
II-2-(1)研究開発目標の妥当性

開発予算

	H20年度 (2008)	H21年度 (2009)	H22年度 (2010)	H23年度 (2011)	H24年度 (2012)	合計
計画時予算 (百万円)						
実績(百万円)	755	1012	805 加速 (195) 含	-	-	
加速内容			エネ ル ギ ー ア シ ス ト 媒 体 開 発 の 加 速			

II-2-(1)研究開発目標の妥当性

研究開発の実施体制



研究開発の進捗確認・計画の見直し等 (NEDO－実施者間)

1. 定例ヒアリング

- ・主 催 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部
- ・出 席 者：NEDO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)
- ・議事内容：研究開発内容の進捗状況確認

2. 個別ヒアリング

- ・主 催 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部
- ・出 席 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部、実施者メンバー
- ・場 所：NEDOまたは実施者施設
- ・開催頻度：不定期(年数回)
- ・議事内容：①研究開発状況報告、実験環境の確認
②開発計画、体制の見直し、加速資金申請等の議論

3. 開発現場でのヒアリング

- ・主 催 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部
- ・出 席 者：NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部、実施者メンバー
- ・開催頻度：年1～2回
- ・議事内容：研究開発状況報告、購入設備・実験環境、実証実験の確認

予算実績

	H20年度 (2008)	H21年度 (2009)	H22年度 (2010)	H23年度 (2011)	H24年度 (2012)	合計
計画時予算 (百万円)						
実績(百万円)	755	1012	805 加速 (195) 含	—	—	
加速内容			エネルギー アシスト媒 体開発の 加速			

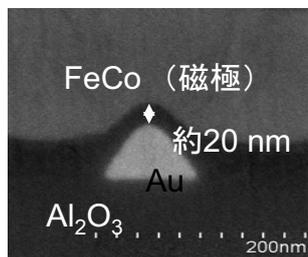
加速財源等の投入実績

件名	金額 (百万円)	目的
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 (前倒し:最終目標H24年度→H23年度)

II-2-(4)情勢変化への対応

世界初2.5Tb/in²の磁気記録用熱アシスト記録素子作製技術 & 熱・光・磁気記録統合シミュレータを開発。

国際競争力優位性を確立する。



試作した2.5Tb/in²対応熱アシスト機構集積記録素子

世界初2.5Tb/in²の記録素子開発(対応する記録媒体は未開発) → 媒体開発を加速

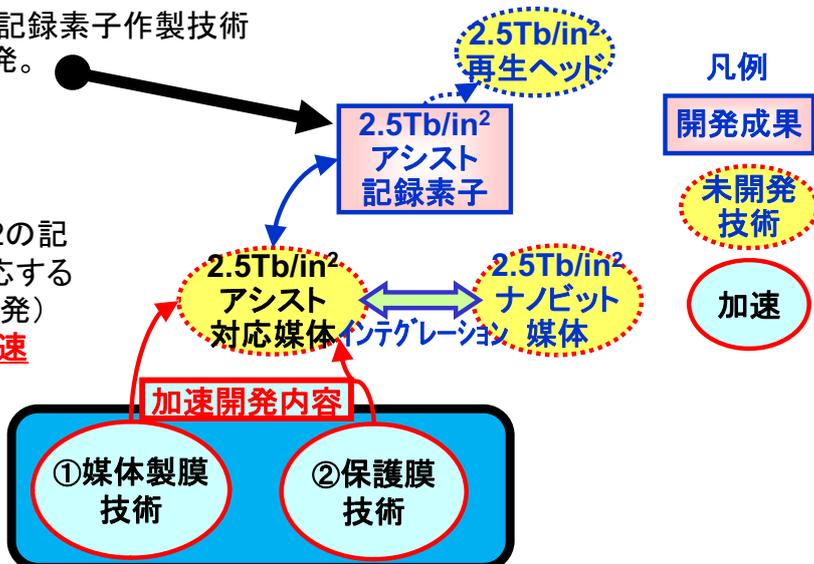
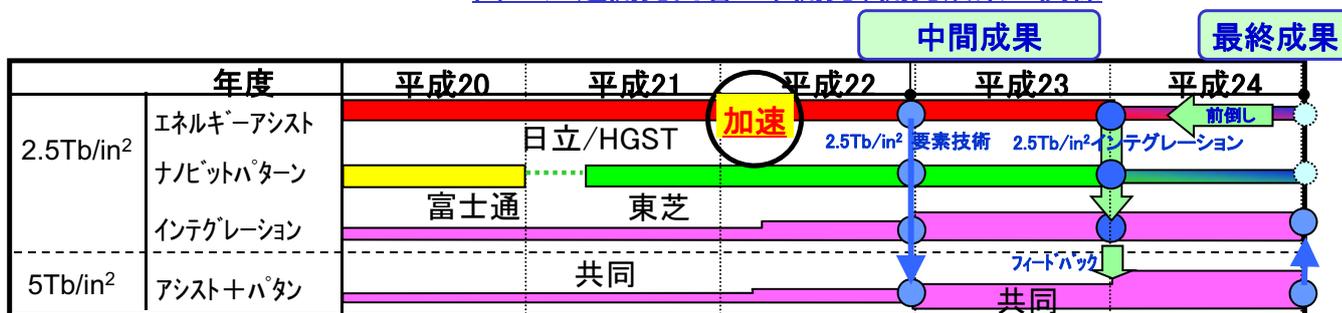


図2. 加速開発内容と未開発、開発成果の関係

全体計画



4-2 研究開発成果 及び 実用化の見通し

4. プロジェクトの概要説明

4-1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発のマネジメント」

(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「実用化の見通し」

(1)研究開発成果

(2)実用化、事業化の見通し

4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

- 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:NEDO-PJ、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
		2.5 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)			
	整理した孤立粒子に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 ・瓦書き 順次走査 ヘッド移動 ・2次元再生</p>
主要課題	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、	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.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 4.高度信号処理、5.高信頼化
経営	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. レーザ供給確保 2. 光学系付加コスト低減	1.フィジビリティ早期確認	1.メモリ付加コスト低減 2.(TDMR、他方式との組合せ等による)拡張性確保

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 中間評価第1回分科会 (平成22年 11月8日)

II-2-(3)成果の意義、(5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 2.5 Tb/in²アシスト記録システム仕様の検証
- ・ <20 nmφの極微小光スポット生成可能な近接場光素子を磁極先端部に一体形成したプロトヘッド試作
- ・ 隣接トラックへの影響を考慮した記録システムの検証
- アシスト+パターン記録による5 Tb/in²の可能性確認

- 17nmピッチ、9nm径磁性体ドットBPM加工実証(2.5 Td/in²)
- ビットパターン位相差サーボ方式でトラックフォローイング実証

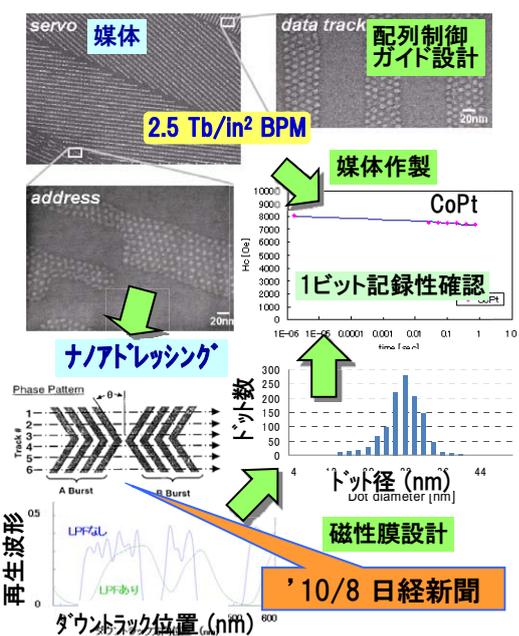
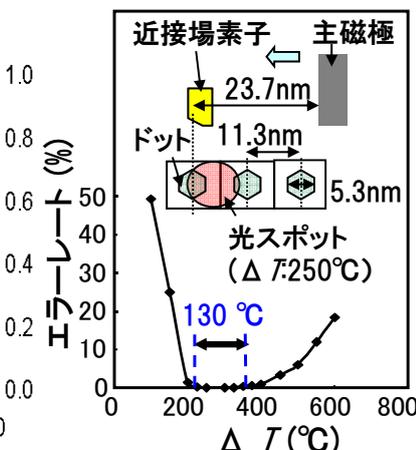
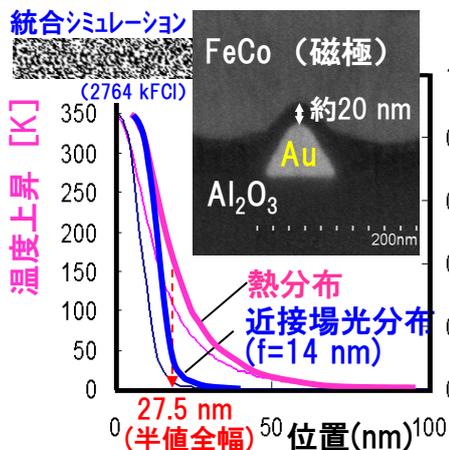


表. 2.5~5 Tb/in²向け目標仕様例

記録密度	2.5 Tb/in ²	5 Tb/in ²
記録方式	アシスト	アシスト+パターン
熱スポット径	27.5 nm	10 nm
グレイン径	4.5 nm	5.3 nm
磁気異方性Ku	1.2 MJ/m ³	1.66 MJ/m ³

'10/5PMRC発表

'10/2 日経産業新聞

図. 位相差サーボ/LPF/特性制御BPM

II-2-(1)中間目標の達成度

サブテーマ	個別テーマ	中間目標(平成22年度)	達成度(H22/11)
①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200 nm ² 程度、かつ 位置精度±7 nm以下 の加工技術開発。	◎ 目標達成
	単一ナノビット記録性の検証	2.5 Tb/in ² の面密度に対応ナノビットにおいて、磁化反転制御可能、かつ、周辺ナノビットの磁気情報に影響がないことを確認。	○ H22年度中に達成見込み
	ナノビット媒体界面技術の研究開発	表面凹凸±10 nm以内 とする技術開発。	◎ 目標達成
②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 5 kOe以上の磁場強度発生 できる素子技術を確立。	◎ 目標達成
	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立する。	◎ 目標達成
	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。ヘッド作製に向けた手段と方向性を具体的に確認。	◎ 目標達成
	ヘッド動作の検証	浮上量10 nm以下 にて安定浮上し、2.5Tb/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可能か検証。	◎ 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	超精密位置決め技術の確立	浮上量7 nm以下 で安定浮上するヘッドが、 円周方向・動径方向共に10 nm以下の精度で動的 position 制御可能 か確認する。	◎ 目標達成
	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。	◎ 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	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 2.5 Tb/in²レベルで達成 。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。	◎ 目標達成

事業原簿 III1-1

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 中間評価第1回分科会(平成22年 11月8日)

29/38

II-2-(3)知的財産権等の取得、(4)成果の普及

(3)知的財産権、成果の普及

	H20 (2008)	H21 (2009)	H22* (2010)	計
特許出願(うち括弧内成立特許)	3(0)	14(1)	14(0)	31(1)件
論文(査読付き)	3	8	11	22件
研究発表・講演	11	60	36	107件
受賞実績	0	0	0	0件
新聞**・雑誌等への掲載	1	3	4	8件
展示会・発表会への出展	0	0	1	1件

*: 平成22年度9月27日現在

**: 日立より発表

東芝より発表

その他

日経産業 2010.2.2

日経 2010.8.16

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2010.4.8、
電波新聞 2010.8.26、日経2010.9.21

4. プロジェクトの概要説明

4-1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発のマネジメント」

(1)事業の位置づけ・必要性

(2)研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」

(1)研究開発成果

(2)実用化、事業化の見通し

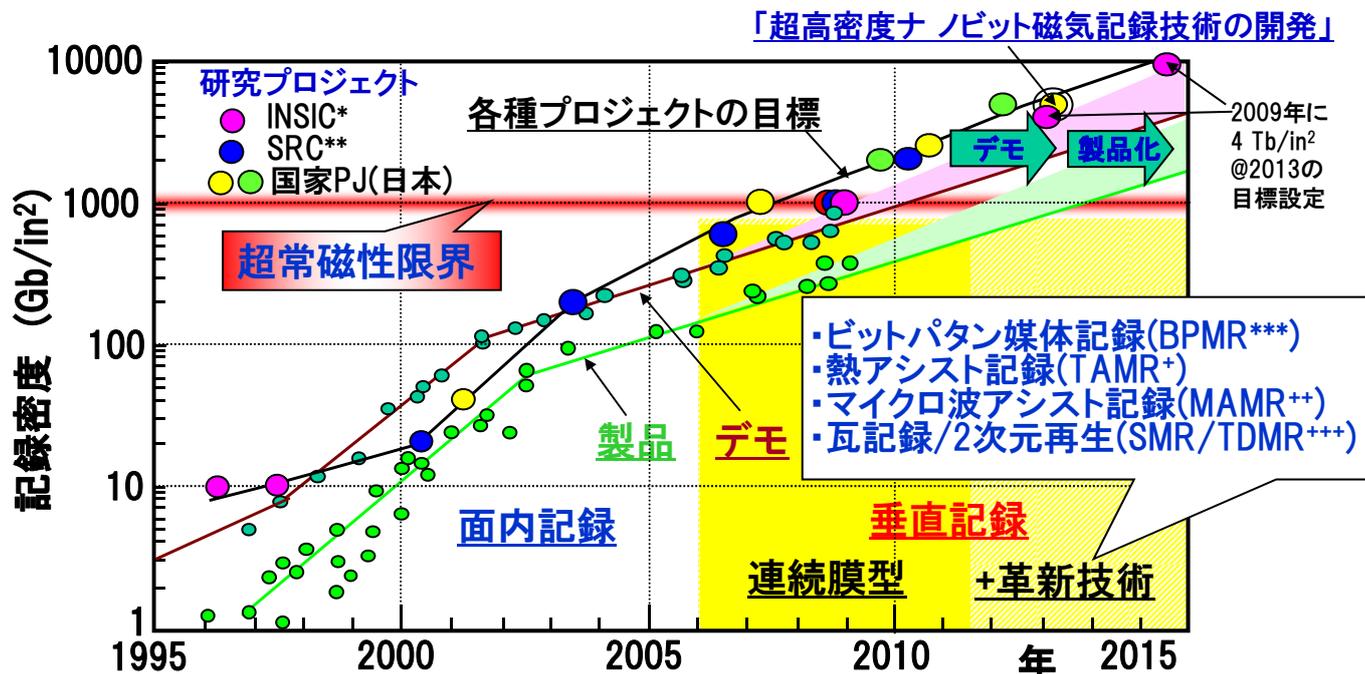
4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

4-2 (1)研究開発成果

事業の計画内容

II-4-(1)成果の実用化可能性

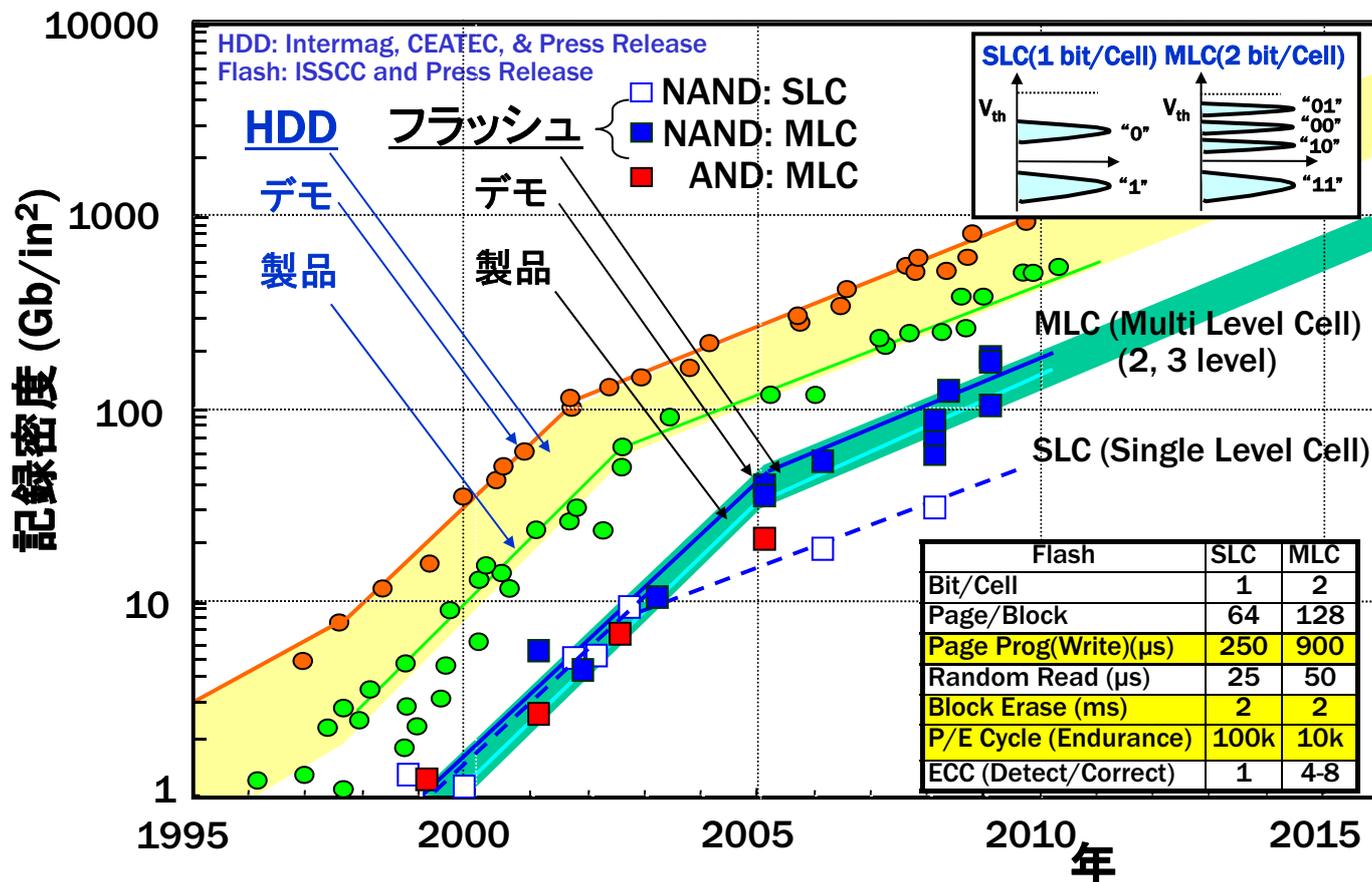
1. 「ITイノベーションプログラム」および「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として、現状からHDDの記録密度を1桁以上向上、単位情報当りの消費電力を数十分の一程度にすることで地球温暖化対策へ貢献すると共に、HDD分野における国際的イニシアチブの獲得を目指す。
2. 媒体、ヘッド、アドレッシング技術の革新的高度化、統合・集積化を図り、平成22年度までに2.5 Tb/in²、平成24年度までに5 Tb/in²対応の個別要素技術を開発し、得られる各性能値をもとにHDD性能を検証し、単位情報当たりの消費電力が0.3 W/TB以下に低減可能であることを示す。

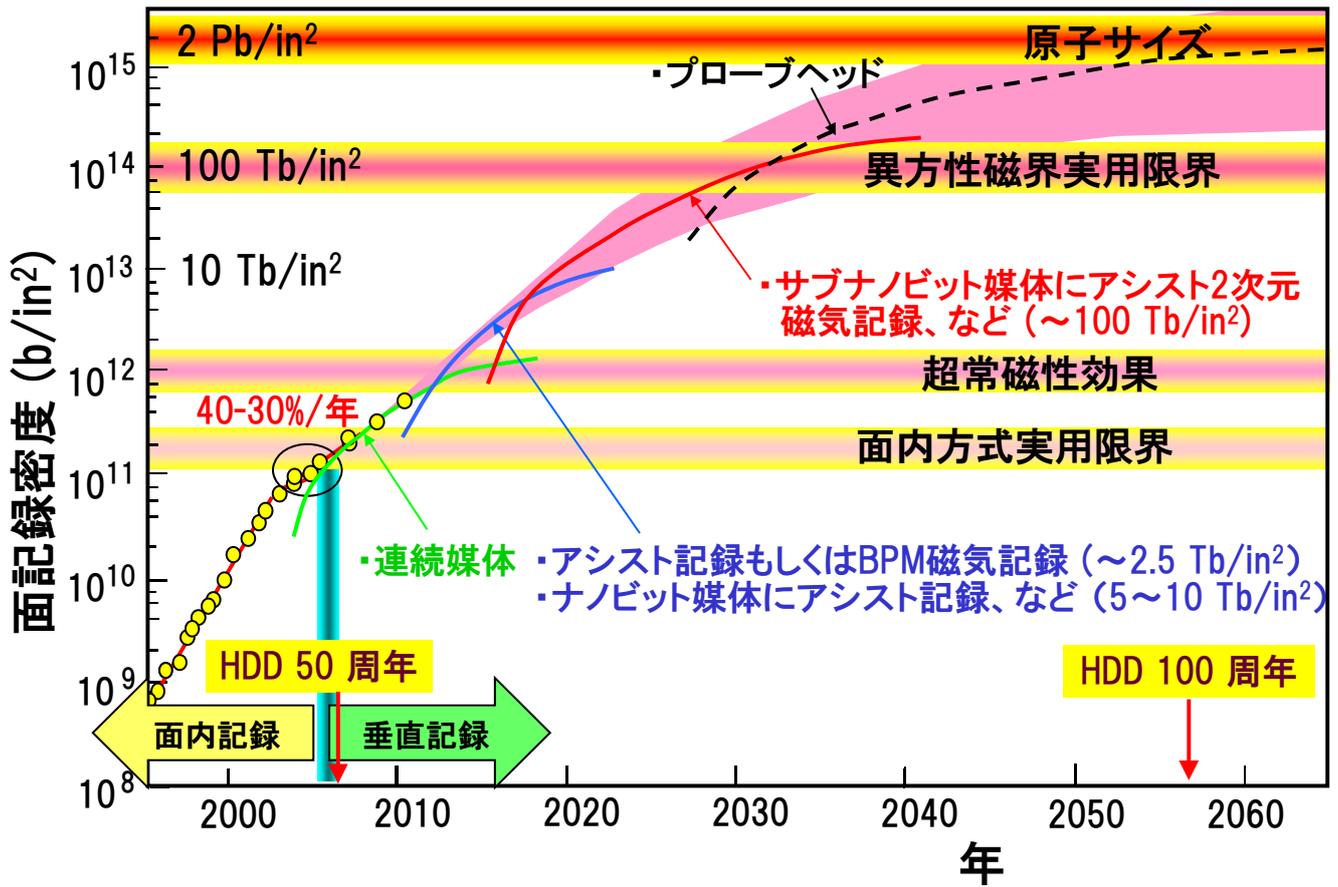


*: Information Storage Industry Consortium, **: Storage Research Consortium, ***: Bit Patterned Magnetic Recording, +: Thermal Assisted Magnetic Recording, ++: Microwave Assisted magnetic recording, +: Shingled Write Magnetic Recording/Two Dimensional Magnetic Recording

- HDDでは、記録時の周波数を高くすることでビット長を短く出来るので、リソグラフィだけでそのビットサイズが決定されるフラッシュメモリなどの固体メモリに比べ、原理的に1桁程度の高密度化が可能。そのためHDDのビットコストは固体メモリに比べ1桁程度安く、デジタルユニバース時代の超大容量ストレージは当面HDDしかありえない。
- HDD高密度化の課題である超常磁性限界は本PJによる革新技術でのみ克服可能で、実用化確実。

	HDD	固体メモリ
特徴		
Bit Cell Area	$1.8F \times 1.8F / \text{BAR}$ BAR = 6: $0.5F^2$ BAR = 3: $1F^2$ BAR = 1: $3F^2$	DRAM (1T/1C): $8F^2 \rightarrow 6F^2$ NAND Flash (1T/0C): $4F^2$ MRAM (1T/1R): $30F^2$
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・超常磁性実用限界による高密度化対策 ・パフォーマンス、省エネ対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・微細化リソグラフィの実用限界対策 ・書き換え時などの信頼性低下対策





- 2.5 Tb/in²: ビットパタン記録(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: ビットパタン記録 & エネルギアシスト記録 (共同)

(課題オーナー) 青:NEDO-PJ、黒:企業

方式	(a) ビットパタン媒体記録 2.5 Tb/in ² 東芝主担当 5 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 企業独自開発
基本概念	<p>整理した孤立粒子に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 再生素子</p> <p>コイル</p> <p>近接場素子</p> <p>加熱</p> <p>冷却</p> <p>記録</p> <p>ヘッド磁界</p> <p>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>高周波磁界</p> <p>記録磁界</p> <p>磁化</p> <p>共振反転</p> <p>M</p> <p>H_{ac}</p> <p>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>・瓦書き</p> <p>順次走査</p> <p>ヘッド移動</p> <p>・2次元再生</p>
主要課題と対応策	<p>技術</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.超平滑・整列パタン媒体 2.パタン位置同期記録技術 3.ナノドレッシング技術 <p>経営</p> <ol style="list-style-type: none"> 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、 	<p>技術</p> <ol style="list-style-type: none"> 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) <p>経営</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.レーザ供給確保 2.光学系付加コスト低減 	<p>技術</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 <p>経営</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.フージビリティ早期確認 	<p>技術</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 <p>経営</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.高度信号処理、5.高信頼化
<p>1.1.早期フージビリティ確認・方式選定、2.標準化と優位化の推進、3.量産設備・技術開発および投資</p>				

- コンピュータの超高速化、大規模化が可能になり、スーパーコンピュータによるシミュレーションは、複雑現象の予測や、実験が危険であったり、巨大な費用、時間が掛かり事実上不可能な場合にも適用可能となりつつある。シミュレーションにはその用途毎に超大容量・グリーンHDDが必須。
- 録画TV、HDDレコーダ、カーナビ、カムコーダなど情報家電分野でHDDがストレージ基幹部品に。

世界最速スーパーコンピュータ*

	Rmax	ファイル(HDD)
2004 (日本)地球シミュレータ	36 TFLOPS,	250 TB
2009 (米)Roadrunner	1105 TFLOPFS,	2000 TB

*TOP500 List - June 2009 (1-100), <http://www.top500.org/list/2009/06/100>

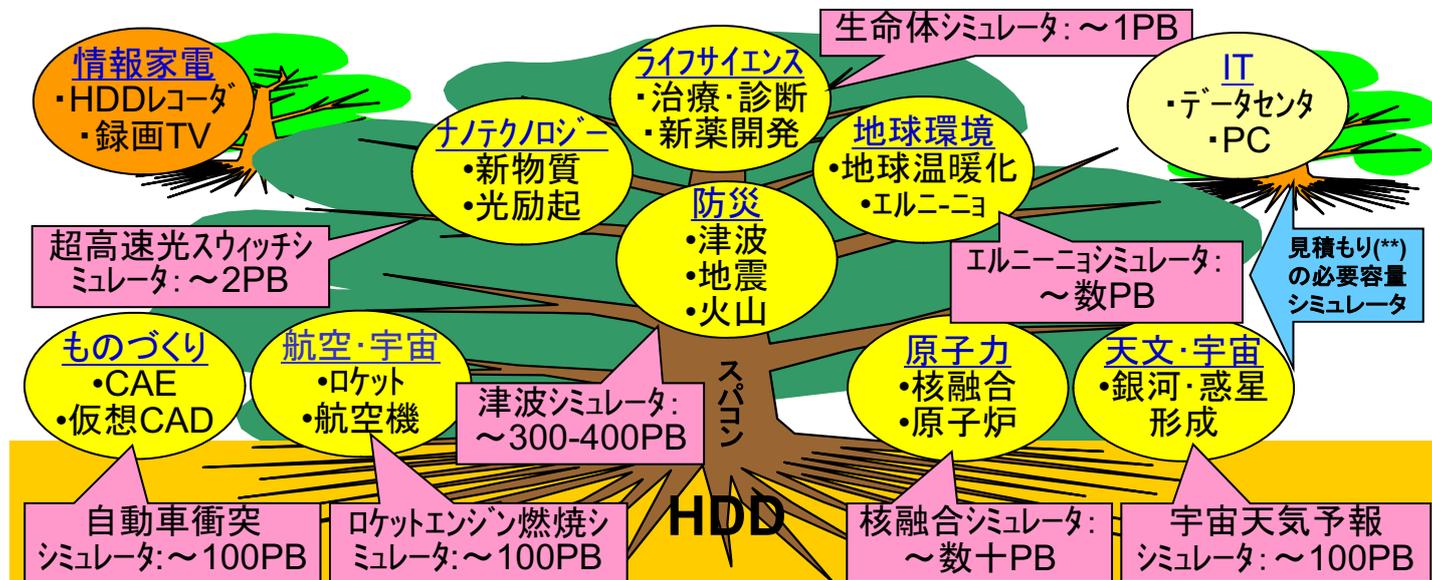
**科学技術・学術審議会 計算科学技術推進ワーキンググループ, 2005.8

次世代スーパーコンピュータの開発と利用, 理化学研究所, 2010.6

日立見積もり, 2010.6

PB=1000TB

=1000,000GB



4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

4. プロジェクトの概要説明

4-1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発のマネジメント」

(1)事業の位置づけ・必要性

(2)研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」

(1)研究開発成果

(2)実用化、事業化の見通し

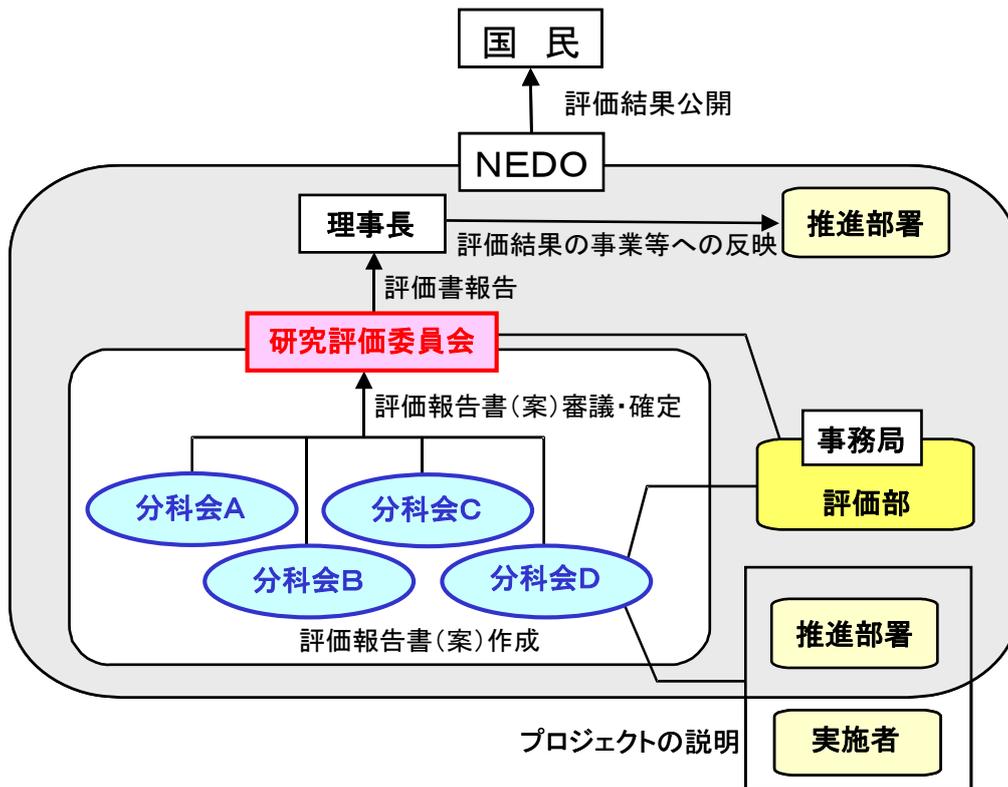
4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

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）」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・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。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(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（各個別研究テーマ毎の配分を含む）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。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 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。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 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。

- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。
- (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、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、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・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
 - ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 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、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(4) 成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）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。

(5) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 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、事業化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

- ・ 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。

(2) 事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

【中間評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1・・・、2・・・、3・・・、4・・・が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)・・・、(2)・・・が標準的評価基準、それぞれの基準中の・・・が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの中間評価における標準的な評価の視点であり、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等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

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。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。

- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(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（各個別研究テーマ毎の配分を含む）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

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 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。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 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。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(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、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、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・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 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、また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。

(4) 成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）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。

(5) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 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、事業化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

- ・ 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。

- ・ 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。

(2) 事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

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23年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 寺門 守

担当 土橋 誠

*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/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