

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	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/inch ² 級の超高密度ハードディスクドライブの実現に向けた研究開発を行う。具体的には、超高密度ナノビット磁気媒体技術の開発、超高性能磁気ヘッド技術の開発、超高精度ナノアドレッシング技術の開発、ハードディスクドライブシステム化技術の開発を行い、将来的にディスク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。						
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いう問題を解決するための摺り合わせ技術やシミュレーション技術など、個別要素技術を統合するハードディスクシステム化のための技術開発が必須である。したがって、超高密度・小型・低消費電力動作ハードディスクドライブ実現に向け、各部材・部品を統合・集積化するためのシステム化技術については本プロジェクトの主要な課題として位置づけ、個別要素技術の組み上げによる実用性検証を目標達成のための必要条件とする。

2. 研究開発の具体的内容

(1) システム化と HDD 性能の検証

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

3. 達成目標

(1) システム化と HDD 性能の検証

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

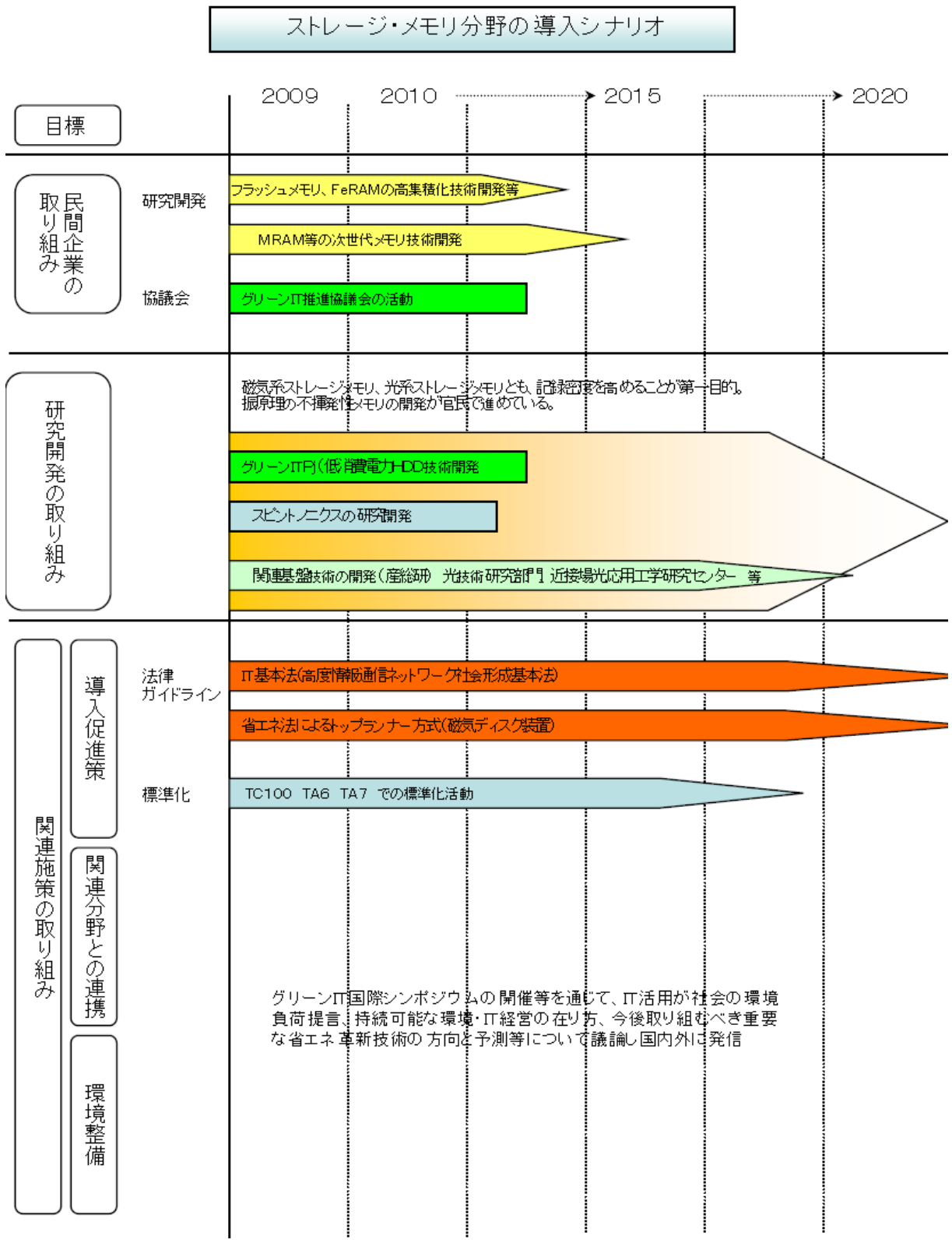


図 ストレージ・メモリ分野の導入シナリオ

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

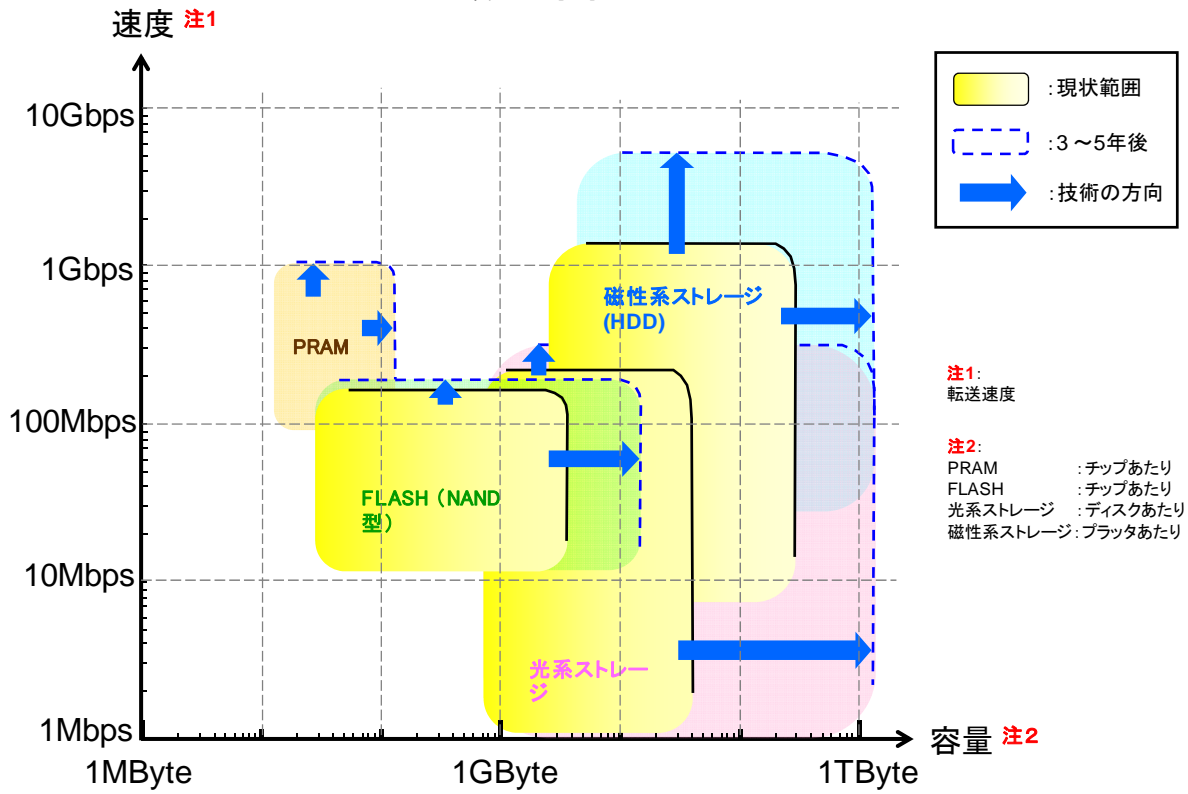
項目	開発技術	分類
ReRAM	大容量化技術	●
	材料技術	●
	機構解明	●
PMC-RAM (原子スイッチ、ナノブリッジメモリ等)	書き換え回数増大化技術	●
	低消費電力化技術	●
カード型ホログラムメモリ	導波路型(材料、構造、記録方式)	●
	体積記録型(材料、構造、記録方式)	●
MEMSプローブメモリ	トポ記録方式	●
	強誘電/強磁性方式	●
磁壁移動固体メモリ	スピントロニクス技術	●
	高集積化技術	●
有機メモリ	材料技術	●
分子メモリ	大容量化技術、低消費電力化技術	● ●
ナノチューブメモリ	微細プロセス技術	● ●

凡例

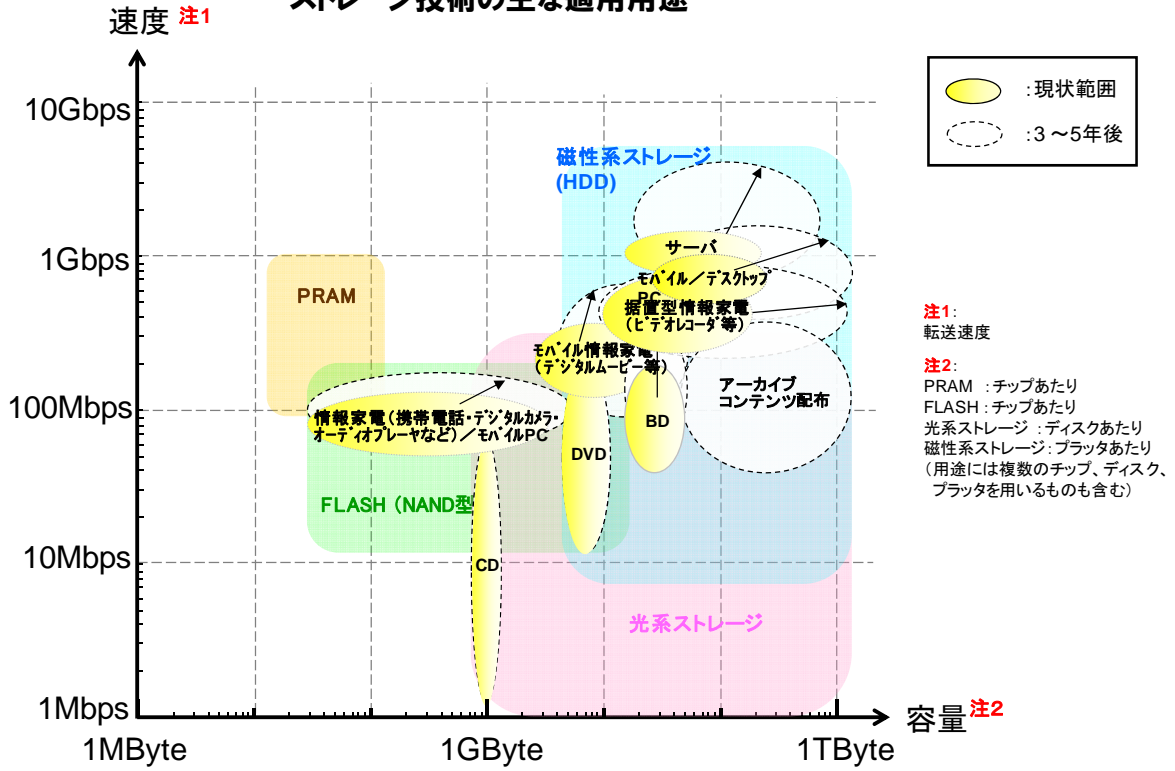
主たる性能分類

- ・大容量化技術 ●
- ・高速化技術 ●
- ・省電力化技術 ●

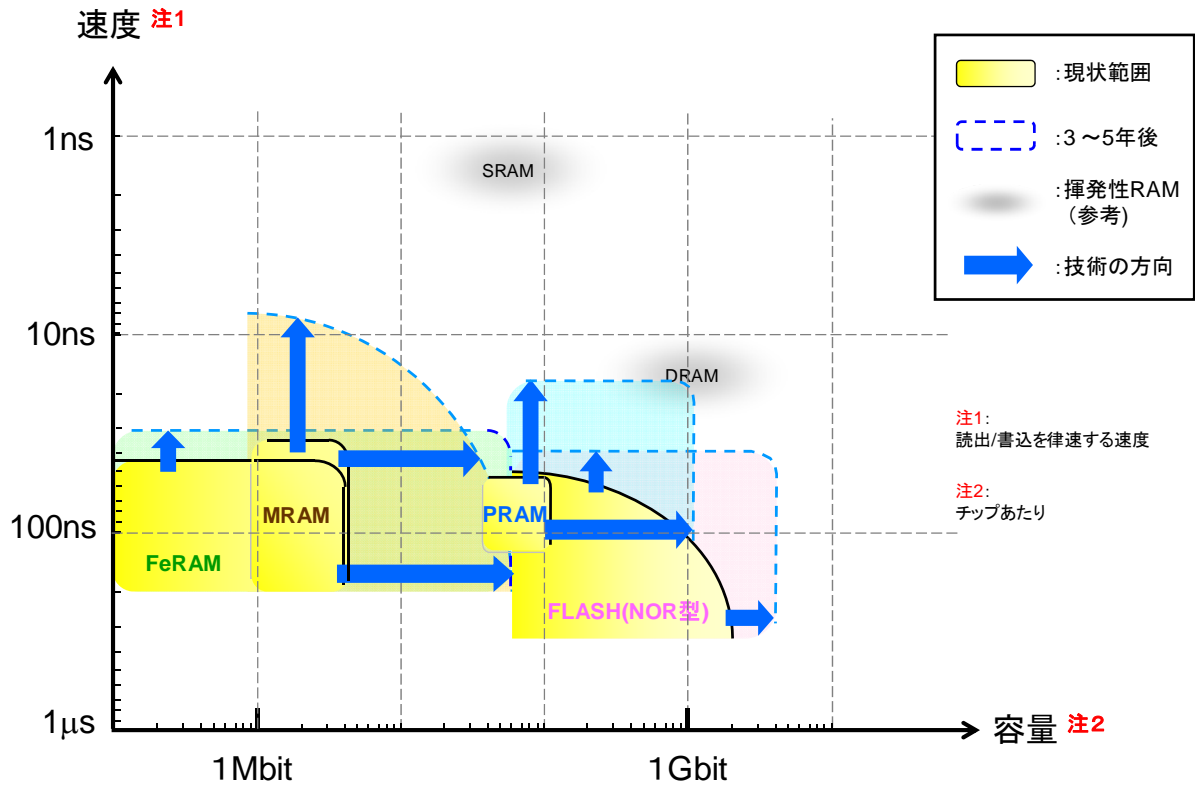
ストレージ技術の位置づけ



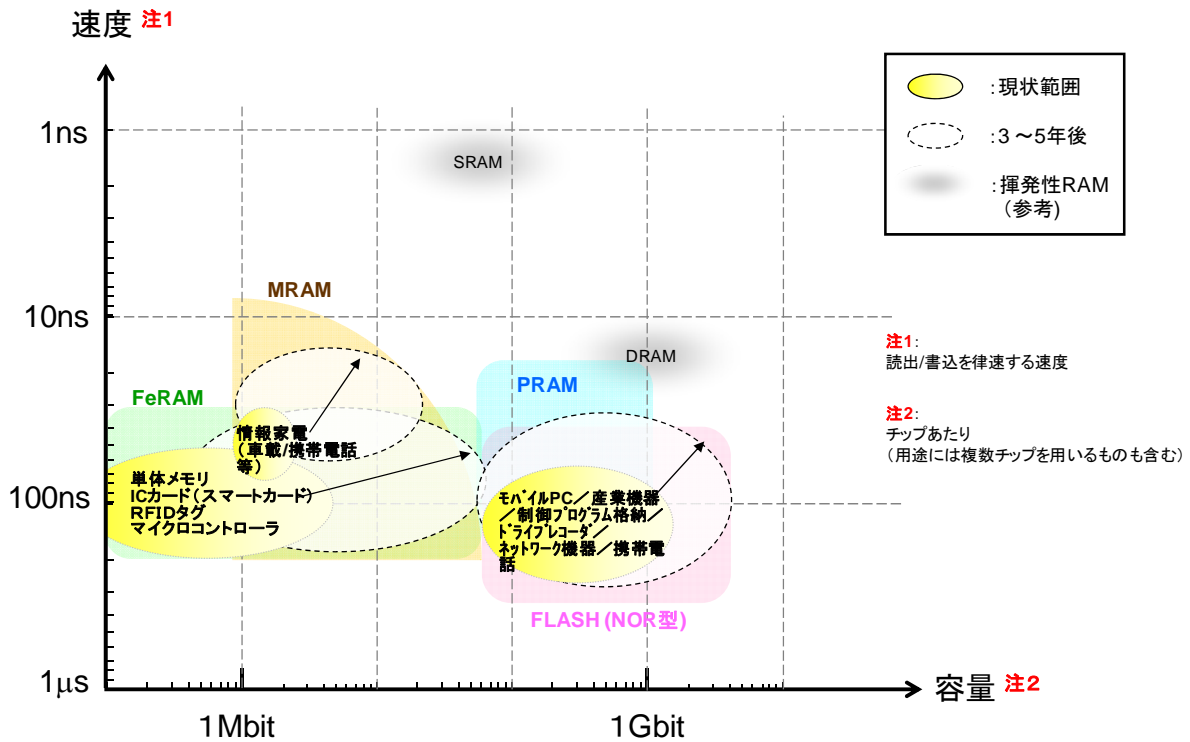
ストレージ技術の主な適用用途



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

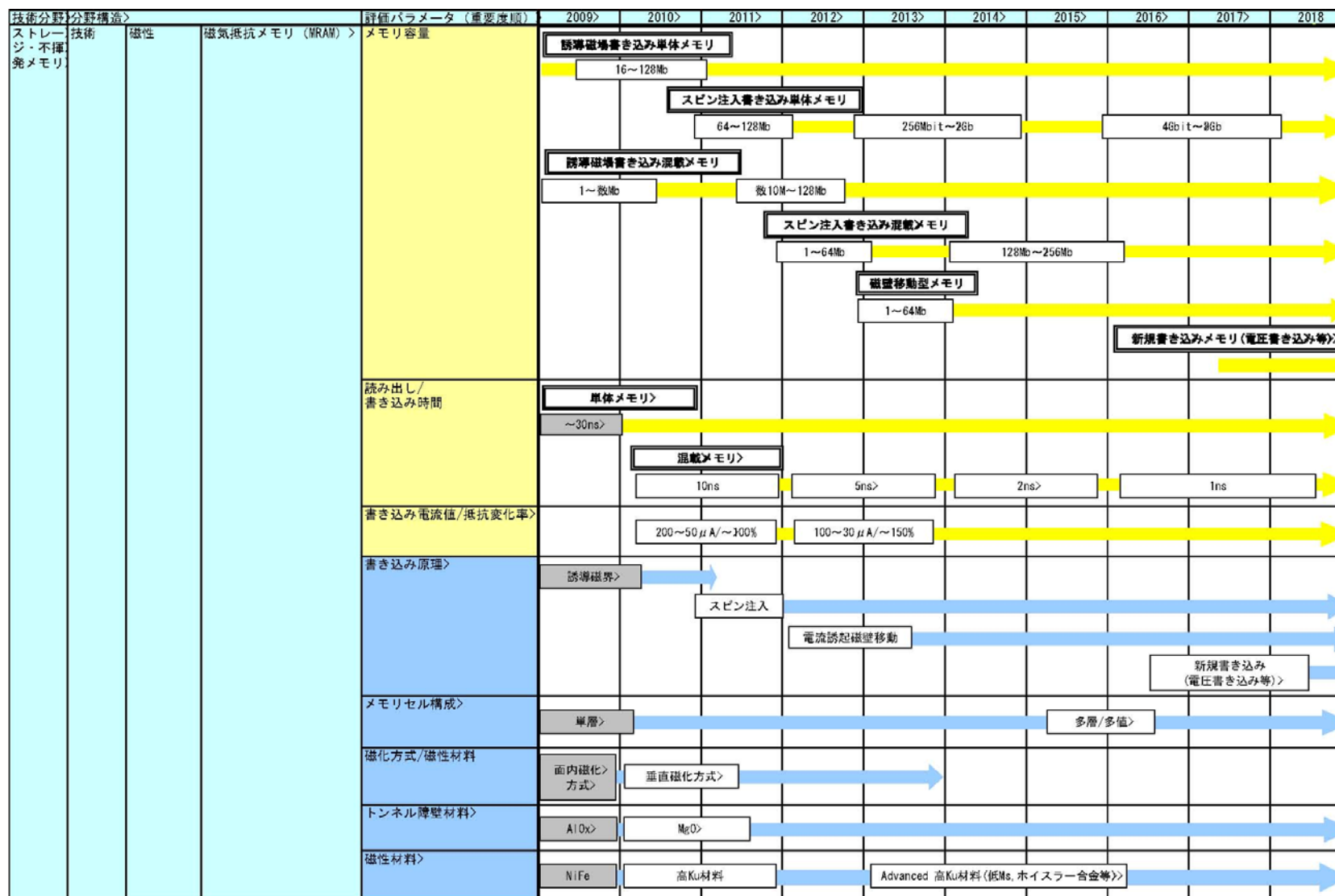
技術分野	分野構造	評価パラメータ (重要度順)	2009>	2010>	2011>	2012>	2013>	2014>	2015>	2016>	2017>	2018>	
ストレージ・不揮発メモリ	ワークメモリの用途 (高速動作)	システム・イン・メモリ	アクセス速度	100~10ns					5~2ns				
		メイン・メモリ	記録容量 アクセス速度	512Mb 50ns				2Gb 50ns			4Gb		
	エンタープライズ・ストレージ	高速読み出し速度 (IOPS)	高速低消費電力SSD (SLC) 2.5インチ	256GB	512GB	1TB	2TB	4TB					
				30K 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					
			ビット単価 耐衝撃性	中容量HDD	1.8" HDD容量400GB 消費電力 耐衝撃性		1.8" HDD容量1.6TB 消費電力 耐衝撃性						
		リムーバブル・ストレージ	記録容量 転送速度	磁気テープ	圧縮時: 1.6TB 転送速度: >				圧縮時: 6.4TB 転送速度: >			圧縮時: 12.8TB 転送速度: >	
	容量 転送速度			アーカイブ用HDD	500GB		1TB		3TB				
	記録容量 転送速度		アーカイブ用光ディスク (WORM/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 メディア単価		コンテンツ配布用光ディスク (ROM)			容量>400GB/Cartridge 転送速度>288Mbps		2020年 容量>1TB/Cartridge 転送速度>1Gbps					

(C) 技術戦略マップー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	NAND MONOSセル	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	SSD 新アーキテクチャ 新ファイルシス	ナノドット	ナノチューブ	
	磁性	ハードディスク (HDD)	記録密度		600Gb/in ²		1.2Tb/in ²		2.4Tb/in ²		4.8Tb/in ²		8.0Tb/in ²
	記録再生方式・技術		垂直磁気記録	分離トラック垂直磁気記録, 2次元垂直記録再生方式				パターン媒体垂直記録再生方式			エネルギー(熱, マイクロ波等)アシストパターン媒体垂直記録再生方式		
		媒体技術		グラニューラー垂直媒体 粒径: 5-7nm Ku: 5-7*10 ⁸ erg/cm ³		改良型グラニューラー垂直媒体 粒径: 3-5nm, 低分散 Ku: >10 ⁹ erg/cm ³			磁気結合型垂直媒体 (多結晶, 単結晶, 非晶質) 微細パターン精度: 2nm		熱磁気特性制御型 ナノ垂直媒体 (ヘッド磁界/補助エネルギー感応型)		
		ヘッド技術		高Bs記録ヘッド		高Bs 2次元垂直記録型			磁気/補助エネルギー(光/マイクロ波, 等)ハイブリッド型記録ヘッド 記録トラック幅: 17nm				
				再生ヘッド (TMRヘッド, CPP-GMRヘッド) トラック幅: 50-30nm, >					スピントロニクス応用再生ヘッド (スピン蓄積MR, パリステックMR, スピントランジスタ)				

ロードマップ抜粋 3



(C) 技術戦略マップ-9

ロードマップ抜粋 4

技術分野	分野構造	評価パラメータ (重要度順)	2009>	2010>	2011>	2012>	2013>	2014>	2015>	2016>	2017>	2018		
ストレージ・不揮発メモリ	強誘電体	強誘電体メモリ (FeRAM) > メモリ容量	4Mb~32Mb	64~512Mb		1~2Gb		4~8Gb						
			混載 1Mb~数Mb	混載>数10Mb~数100Mb		混載>数100Mb~1Gb		混載>数Gb						
		読み出し/書き込み時間	120ns~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>						
				転送速度	144Mbps>	1~2Gbps>		6Gbps>						
			三次元記録化技術	体積ホログラム (角度多重、>コリニア)>	体積ホログラム	体積ホログラム	2光子吸収 (20層)>	2光子吸収 (120層)	多層/多数枚 (20層)>	多層/多数枚 (SIL)				
ビットサイズ縮小化技術	多層化2層>	NA 0.85 405nm	SIL/2層>	超解像	短波長 (UV)	SIL/4層>								
高転送速度化技術	ホログラム (2次元アレイ)>	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				
			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							
			書き込み速度							書き込み速度 <10ns				
		磁壁移動メモリ>	記録密度							~1Tb/in ²	~2Tb/in ²	~5Tb/in ²		
			アクセス速度>							~200 ns	~100 ns			
			書き込み方式>							誘導磁界書き込み>or 電流誘起磁壁移動書き込み		スピン注入書き込み		
		固体電解質メモリ> 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。

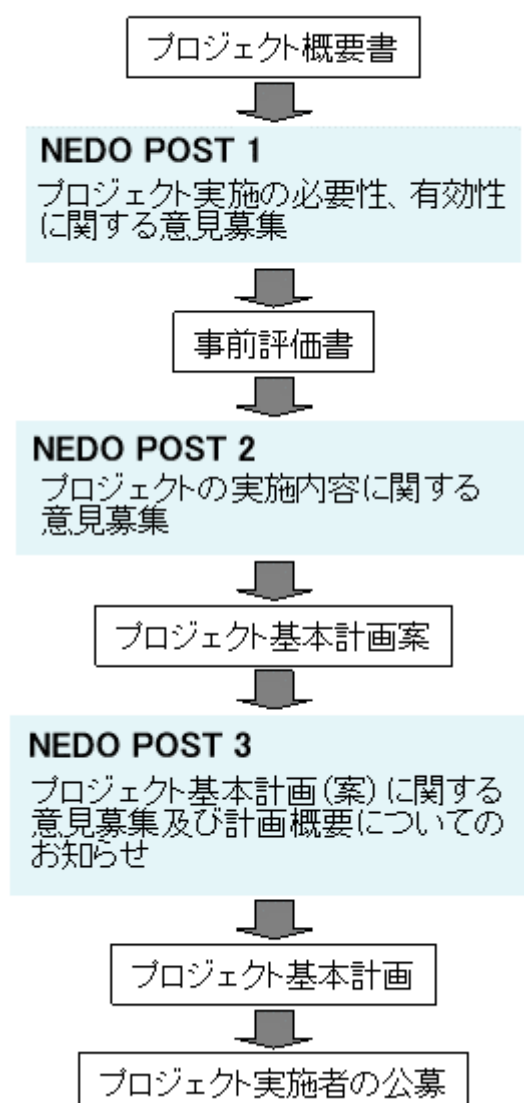
<NEDO POST2>

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>

(NEDOPOSTの案内)



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お願いいたします。

[>> NEDOPOST1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のでご留意下さい。また、匿名の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II (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

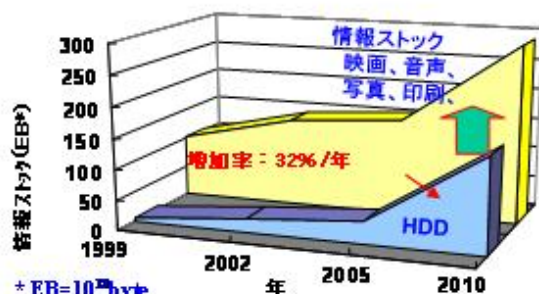
- ①背景: 社会生活の本格的なIT化に伴って、要求されるデジタル情報のストック量は増加の一途をたどっており、2010年には300 EBに達するとも推定される。
- ②市場ニーズ: 大容量性はもとより、低消費電力性も併せ持った経済的で信頼性の高い技術が必要。
- ③技術ニーズ: 数テラバイト級の大容量性や数十%の低消費電力化を達成するための基盤要素技術はもとより、デバイスの実用化にあたっては、それらを垂直統合するシステム化・プロセス技術の確立が不可欠。

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=10¹⁸byte

*: 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、ナノディスクリット媒体、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。

○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

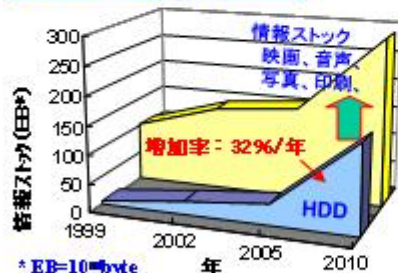
外場アシスト磁性記録技術(光導波路組込記録素子、コヒーレント媒体材料などのシステム化)パターン媒体磁性記録技術(ヘッド・媒体の高精度位置決め技術などの要素技術の統合) 等

プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間(目安として)

事業費総額(未定) 研究期間5年

その他関連図表



* EB=10⁹byte

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

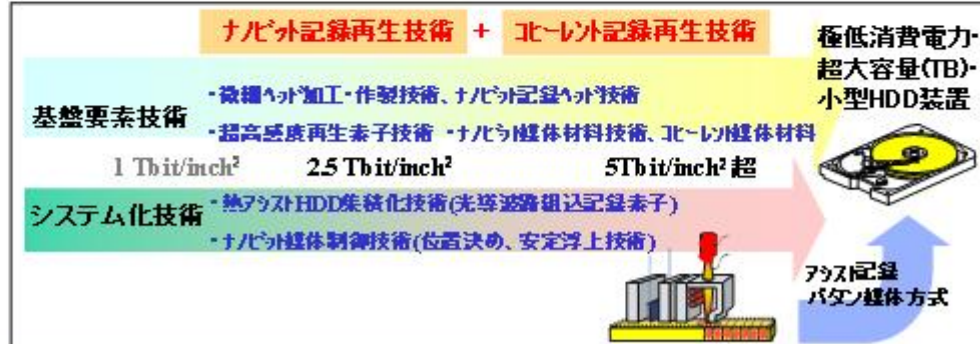
***IDC2007/03: Produced Digital Information 161EB@2006, 988EB@2010(61%/年)

技術戦略マップ上の位置付け

①ストレージ分野の技術マップにおいて、磁性系ストレージ技術「記録再生方式・技術」「媒体技術」「ヘッド技術」に重要技術として位置付けられている。

②その他、ユーザビリティ分野及びコンピュータ分野の技術マップにおいても、重要技術として位置付けられている。

■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

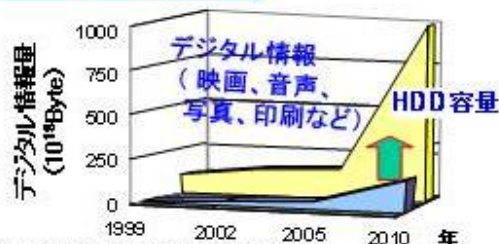
- ・地球温暖化問題の解決に向け、IT機器消費電力削減のための革新技术開発が求められている。
- ・なかでも、データセンターの消費電力削減は世界規模での喫緊の課題であり、データセンターが消費する電力のうち、ハードディスクドライブ(HDD)の占める割合は20%以上と比較的大きいため、HDDの単位情報量あたりの消費電力量の削減は主要な技術開発課題である。
- ・現状のHDDの記録密度を1桁以上向上させる技術、すなわち、数Tbit/inch²級の超高密度化を実現できれば、その電力削減効果は大きい。もちろん、当該技術は民生分野の応用に対しても大きな波及効果をもたらすと期待できる。
- ・したがって、HDD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



流通するデジタル情報量の推移 (複数の調査情報を元に作成)

研究内容概略

○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

	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">作成日</td> <td>平成20年2月6日</td> </tr> </table>	作成日	平成20年2月6日
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

「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

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>

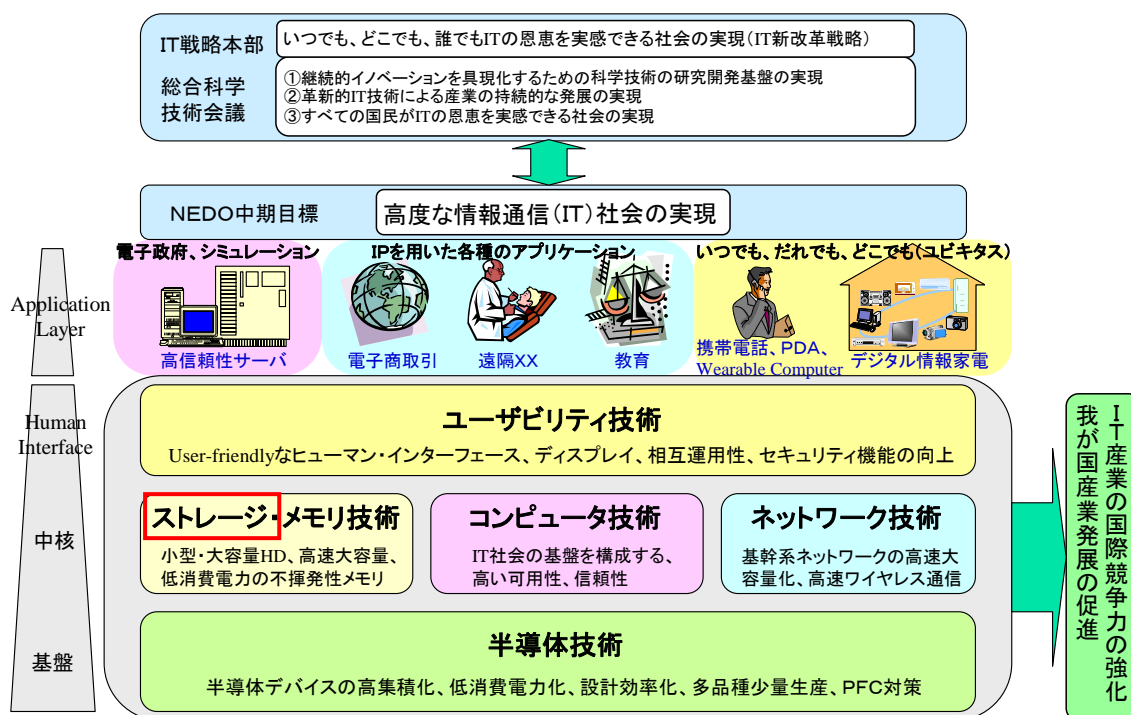


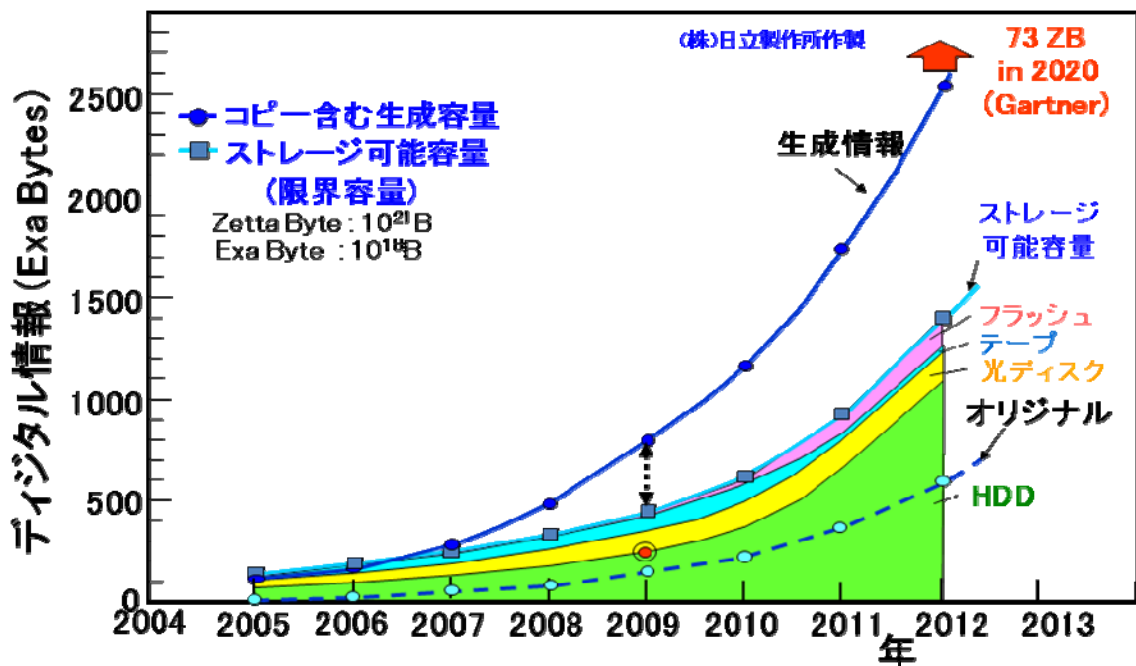
図 I-1-1 NEDOにおける電子・情報技術開発部の取り組み

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。

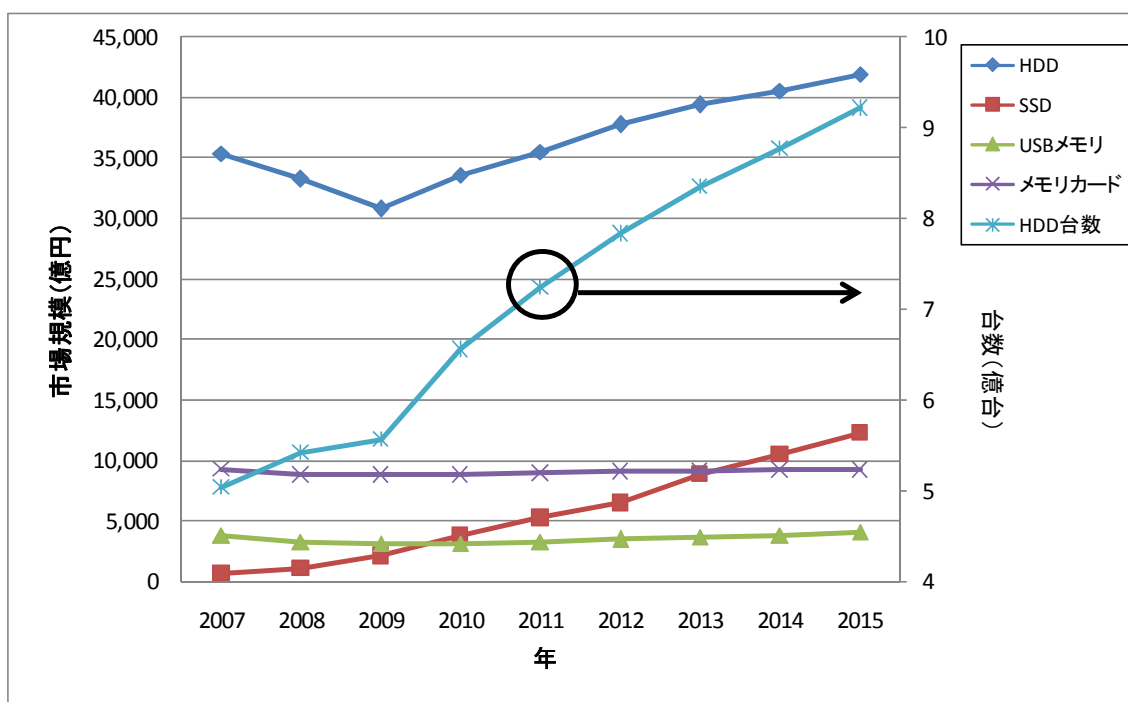


図 I-1-3 HDDの市場規模及び今後の予想（富士キメラ2010ストレージ関連市場総調査）

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。

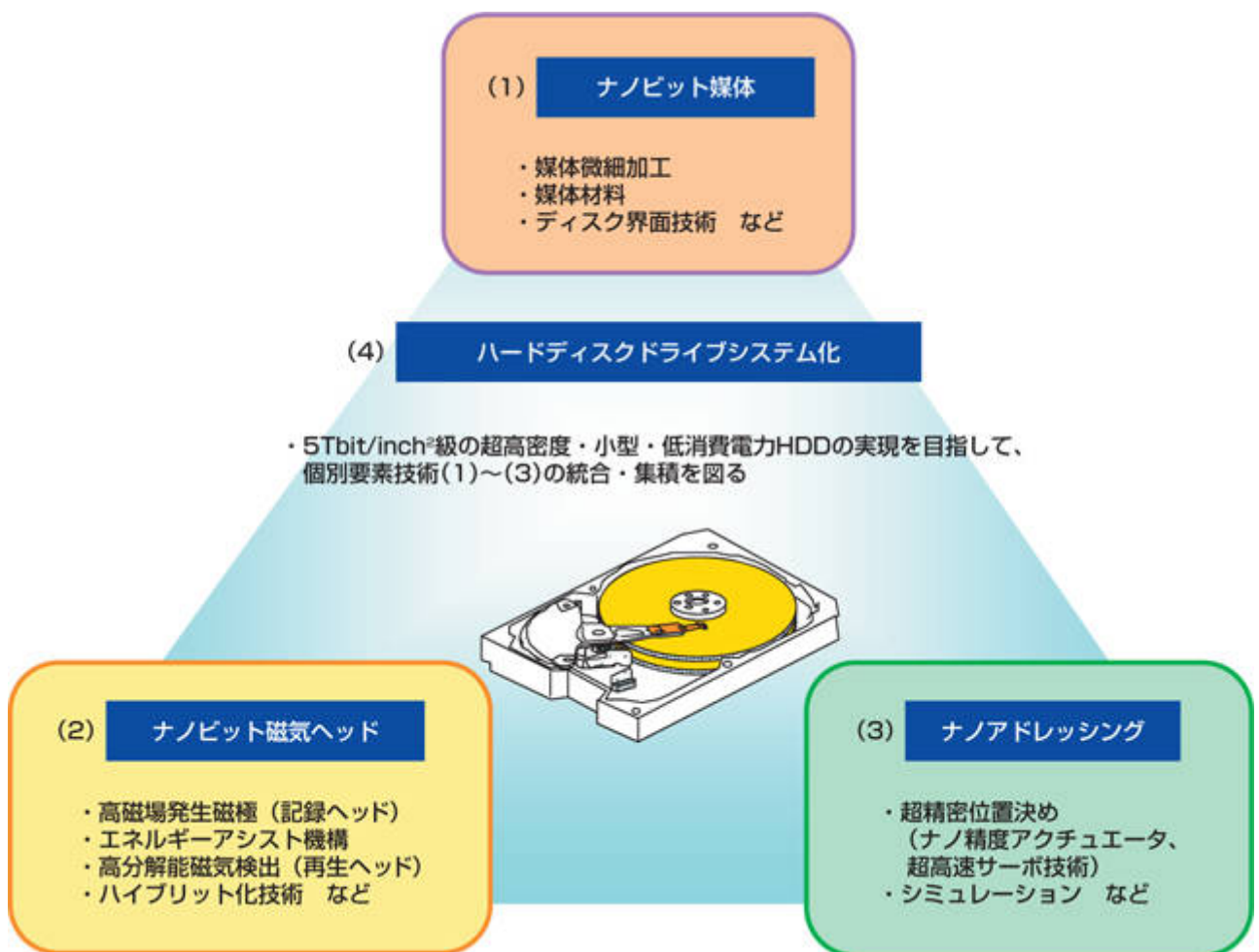


図 II-1-1 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発のターゲット

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。

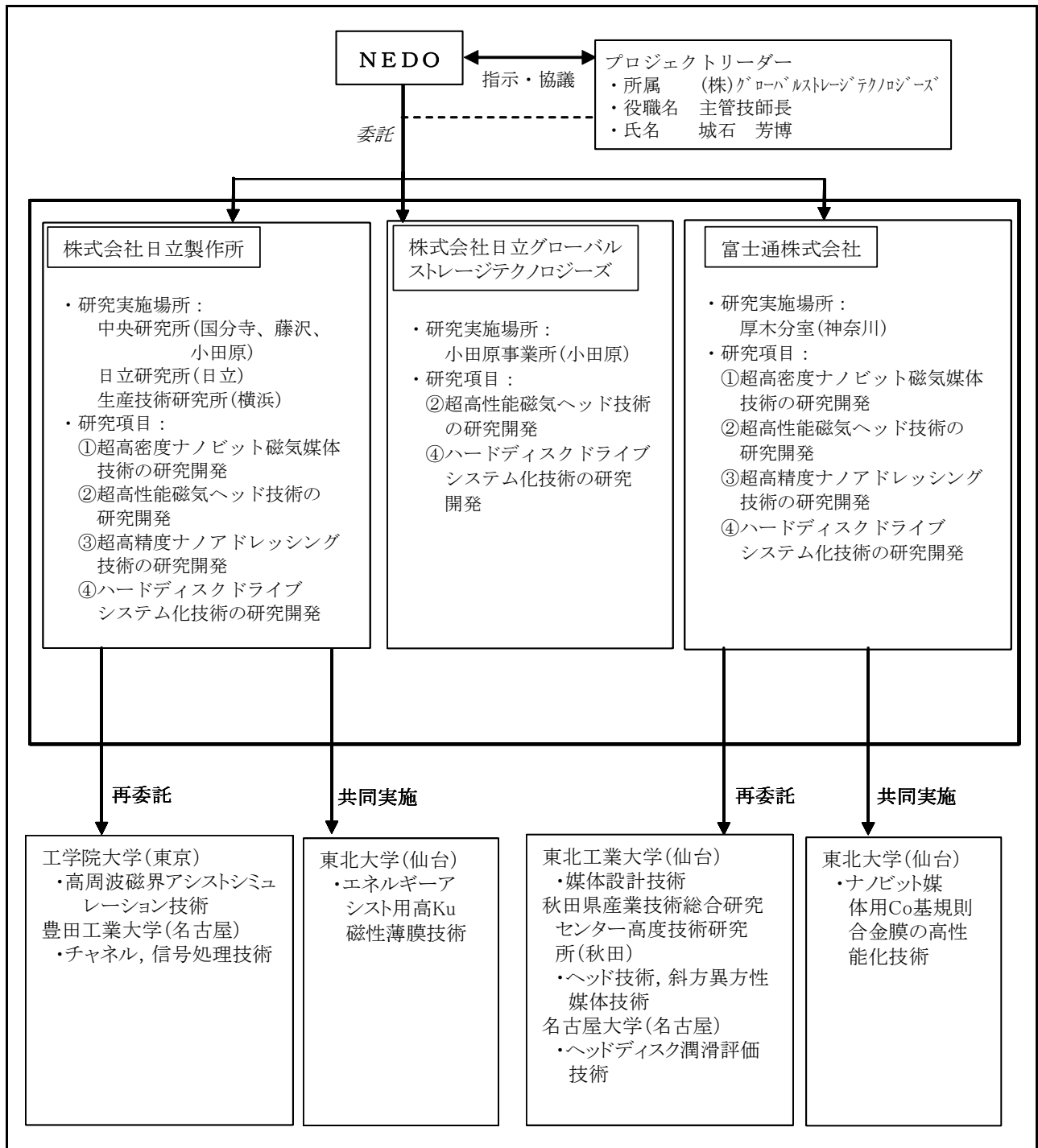
表Ⅱ-2-2 開発線表

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

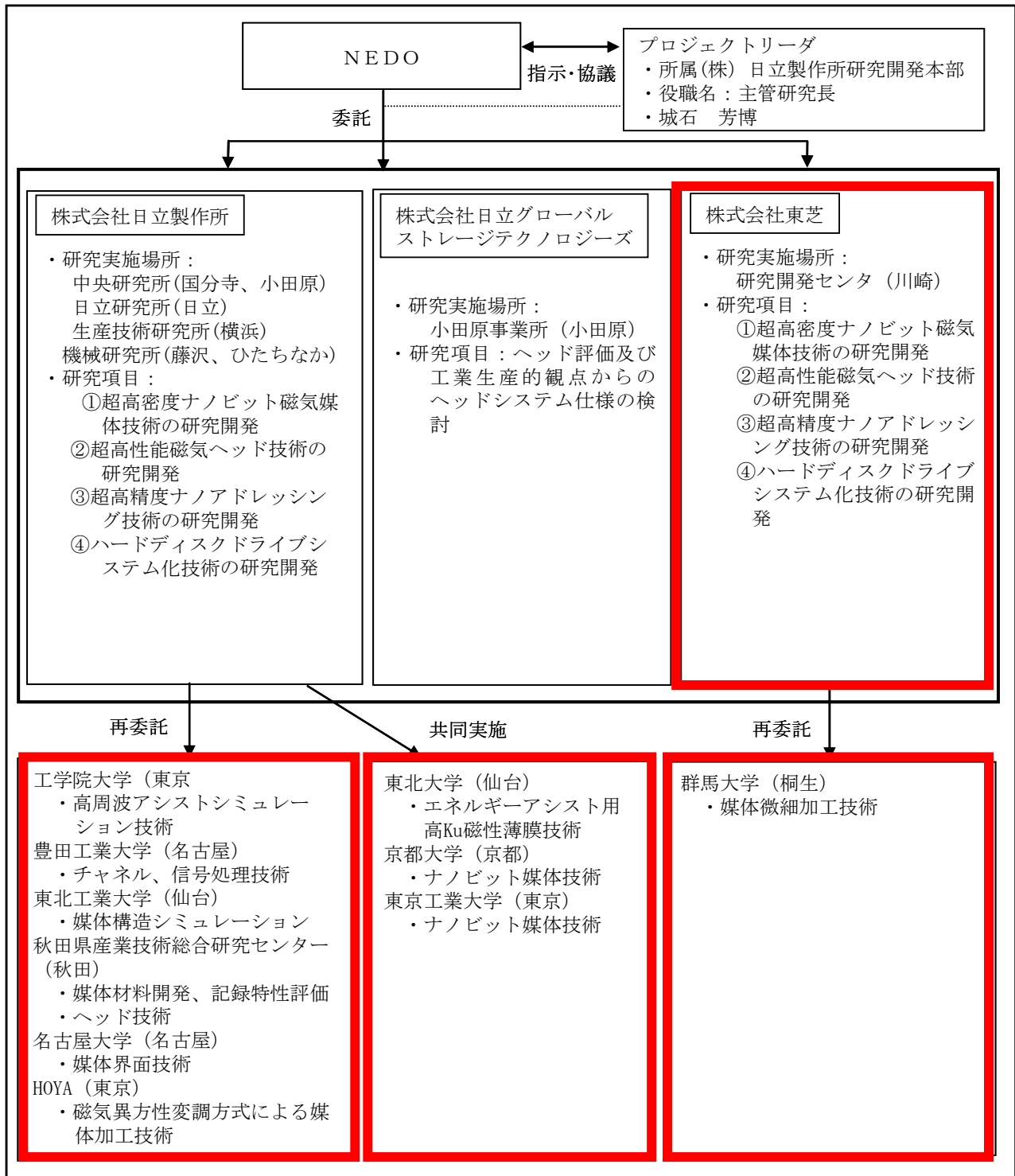
開発プロジェクトの実施者構成と各実施者の研究項目を図II-2-1に示す。プロジェクトリーダー（PL）とNEDOが、プロジェクトの運営について協議、指示を行うことで、開発進捗管理および情報交換が一元的にスムーズに進むように、全体の実施体制を構成している。また、各委託先にはサブリーダーを配置している。



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 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成(再公募実施後)

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

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

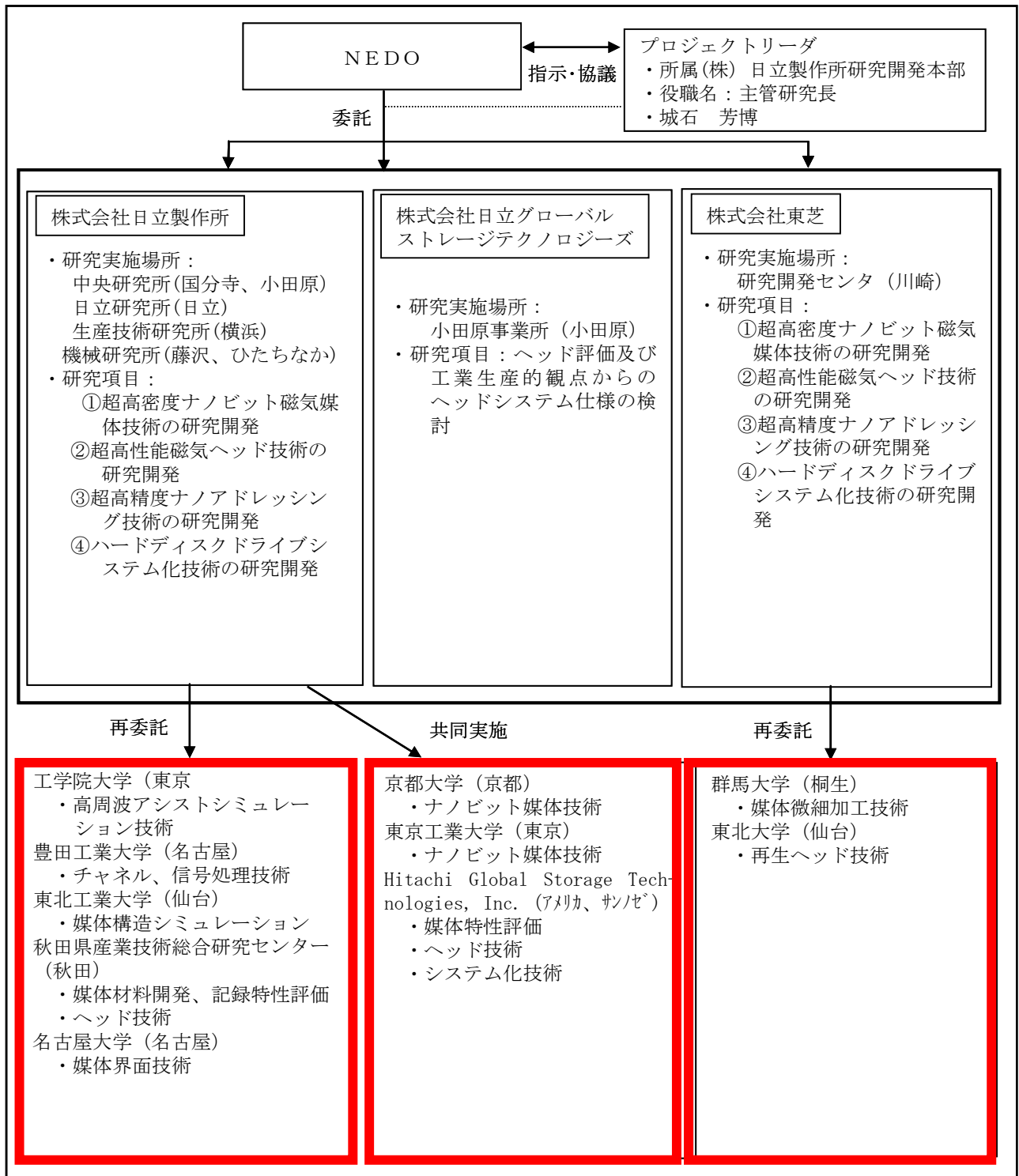


図 II-2-3 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成 (体制組み換え後)

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)

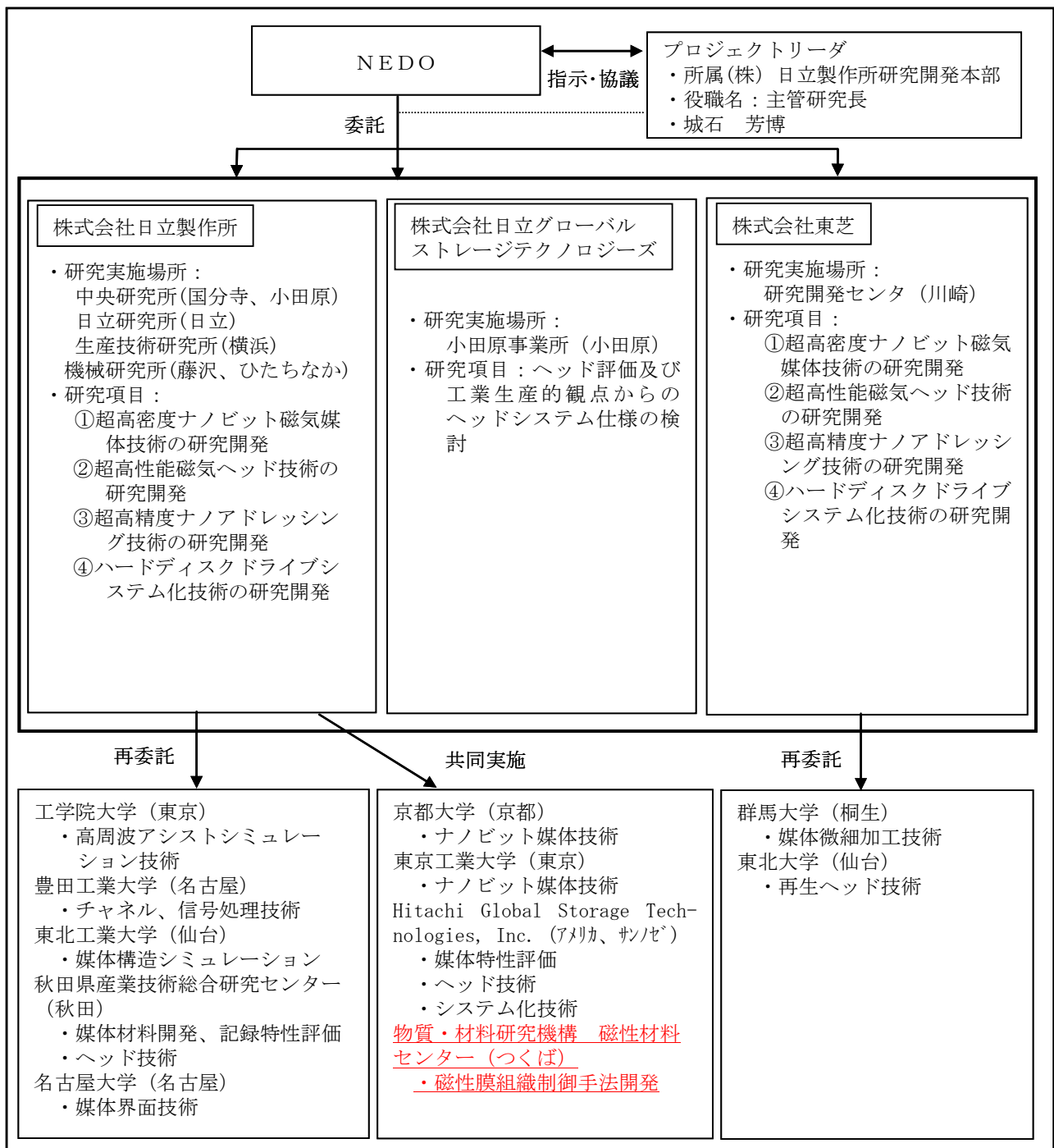


図 II-2-4 超高密度ナノビット磁気記録技術の開発の実施構成 (2010. 6. 1 から)

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行なっている。

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。