次世代モバイル
インターネット
端末の開発

文部科学省科学技術試験研究
ITプログラム
成果報告書

平成14年度～平成18年度

超小型大容量
ハードディスクの開発

高機能・低消費電力
メモリの開発

東北大学 電気通信研究所

平成19年4月

文部科学省科学技術試験研究
ITプログラム
成果報告書

平成14年度～平成18年度

東北大学電気通信研究所

目　　次

1. 21 世紀を迎えるにあたり　　遠山敦子 元文部科学大臣　1

2. 総括；　IT21 プログラムと IT21 センター
中村慶久 元電気通信研究所所長　2

3. 通研 3 プロジェクトの成果の概要　11

1) 次世代モバイルインターネット端末の開発　12
2) 超小型大容量ハードディスクの開発　20
3) 高機能・超低消費電力メモリの開発　28

4. 最終成果報告会発表資料　33

1) 次世代モバイルインターネット端末の開発　35
2) 超小型大容量ハードディスクの開発　45
3) 高機能・超低消費電力メモリの開発　57

5. 評価結果（抄）　67

6. 資料編 1　（IT プログラムの成果と関連資料）　77

1) 予算推移　79
2) 主な来訪者一覧　80
3) 人事往来　82
4) 人材育成（大学院生・ポスドク等）　86
5) 発表論文数　87
6) 国際会議での発表　88
7) 知的財産権　89
8) 主な発表，記事，表彰等　90

7. 資料編 2　（政府関係施策等）　93

1) e-Japan 戦略（抄）　94
2) e-Japan 重点計画（抄）　96
3) 分野別推進戦略（情報通信分野）　98
4) 科学技術・学術審議会（情報科学技術委員会）　102
5) 平成 14 年度「IT プログラム」の実施機関の選定について　106

21 世紀を迎えるにあたり

電気通信研究所を視察された
遠山敦子文部科学大臣（当時）

「知の世紀」といわれる 21 世紀を迎えるにあたり、わが国の科学技術を発展させるための方策を打ち出した第 2 期科学技術基本計画が策定（2001 年 3 月 30 日閣議決定）されました。同計画が取り上げた重点領域のうち、日本がもっとも得意とする情報通信の分野の中に、「世界最先端 IT 国家実現重点研究開発プロジェクト」いわゆる IT プログラムがあります。このプロジェクトには日本全体で 7 つの課題が選ばれスタートしました。このうちの 3 つの課題を東北大学が獲得していることにまず敬意を表します。

2001 年 4 月に、私は思いがけず小泉内閣の文部科学大臣に就任し、教育・文化・スポーツとともに科学技術行政を担当いたすことになりました。したがって、科学技術基本計画の具体化の角度から、この IT プロジェクトについては、その企画から、各大学に委託を出すに至るまで当事者としてかかわる立場にたち、その成果には大いに期待をしていたところです。プロジェクトの発足時には、東北大学の研究開発の現場も拝見する機会を持ちました。

本プロジェクトの特徴は、従来大学だけで進めていた研究開発を、民間企業との合同で、あるいは省庁間の連携を保ちながら進めてゆくことにあります。これによって基礎的な研究から実用的な開発、場合によっては実用化までを、早期に連結できるようになります。早くも計画企画から成果報告まで 5 年を超える時間が過ぎましたが、目指した目標は今なお時代の要請に合致したものであり、当初の企画が正しかったと思っています。

現代の情報通信の高速化、大容量化の中、本研究開発において、ユビキタス社会の高速ネットワーク、大容量メモリ、低消費電力メモリデバイス、それぞれについて輝かしい成果を得られたと聞いております。今回、本プロジェクトの終了にあたり、当初設定された目標を十分達成されましたことを、心からお慶び申し上げますとともに、これらの成果を元に、さらに高度な技術発展につなげることによってわが国科学技術の発展に寄与されますことを期待申し上げます。

遠山敦子

IT プログラムと IT21 センター

「超小型大容量ハードディスク」プロジェクトリーダ
東北大学電気通信研究所　元所長
名誉教授　中村 慶久

IT プログラムは、我が国が 5 年以内に世界最先端の IT 国家となることを目的に、平成 14 年度に設けられた。その中の『世界最先端 IT 国家実現重点研究開発プロジェクト』6 課題中、「次世代モバイルインターネット端末の開発」、「超小型大容量ハードディスクの開発」、「高機能・超低消費電力メモリの開発」の 3 課題の実施機関として、東北大学電気通信研究所が選ばれ、本年、平成 19 年（2007 年）3 月末をもって、多大の成果を挙げて終了した。先ずここに、このプロジェクトをお引き受けした一人として、文部科学省のご支援と多くの方々のご協力に衷心より御礼申し上げたい。

東北大学電気通信研究所（以後、通研と呼ぶ）に IT21 センターが設置されたことと、通研が IT プログラムの実施機関に選ばれたことが同時期に重なったために、「IT プログラムの実施のために IT21 センターが設置された」と誤解されている向きもある。しかし、IT21 センターは、大学附置研究所の存在意義が問われていた当時の大学改革の嵐の中で、法人化を前に、通研が生き残るために考え出した方策の一つであった。一方、IT プログラムの実施機関に選ばれたことは、その時の社会の動きに伴う幸運が多分にあったとは言え、通研における、それまでの地道な努力と諸先輩の実績がもたらした成果である。

IT21 センター第 1 期の 5 年間が終了したのに当たって、その辺の経緯を知る数少ない証人の一人として、本文を記すことを依頼された。IT21 センターのことや通研がお引き受けした IT プログラムについて、思いつくままに記しておきたいと思うが、何分筆者は、忠実にメモを残すような性分でないので、思い違いがあったらご容赦頂きたい。

1．IT21 センターの設置

平成 6 年（1994 年）6 月 24 日、東北大学電気通信研究所は、それまでの 20 部門、1 研究施設を 3 大部門，1 実験施設に改組・転換して、大学附置の全国共同利用研究所に生まれかわった。電気通信の分野では全国で唯一つの大学附置研究所であり、かつ伝統と実績のある通研が、大学改革の中で今後も存続し続けるために、数年に亘って、全所を挙げて議論した結果である。施設や設備の単なる共同利用ではなく、研究内容主導型の共同研究を行うべきであるとの、通研独自の概念に基づく方針の下で、本研究所教官との共同研究を前提とする共同プロジェクト型研究方式が採られた。

改組と同時に、学外有識者を含む運営協議会や評価委員会が設置され、研究所の運営だけでな

く、産業界との連携のあり方などについてもしばしば議論された。一方、改組後 3 年目を迎えた平成 8 年、研究所の運営に関しても大胆に改革された。中でも、それまで乱立気味であった所内の各種委員会が、総務、予算環境、研究企画調整の三委員会に統合整理され、それぞれを 3 人の教授だけで効率よく運営されることになった。

研究企画調整委員会では、平成 11 年頃から、荒井委員長の下で、「電気通信に関する全国で唯一つの大学附置研究所である通研に、産学連携で研究開発を行う場を設置すべきではないか」との議論がしばしばあった。それを基に、坪内委員長の時、「未来情報通信国際研究センター」構想がまとめられた。これは、通研だけでなく電気情報系学科も含めて、これまで培われてきた研究成果を、5 年位を目途に産学共同で実用化を目指す場をつくろうとするものであった。研究テーマには、未来型ワイヤレス通信技術、超大容量ストレージシステム技術、グローバルネットワーク技術、マルチモーダルバーチャルリアリティ技術、超低消費エネルギー通信技術などが挙げられた。

委員会では、名称を改めて「21 世紀情報通信研究センター（通称 IT21 センター）」とし、平成 12 年 2 月の教授会で、設置目的や開発目標、組織などの概要を説明して、平成 13 年度概算要求に頭出しすることを提案した。同時に、同様の意図ですでに学内に設置されていた「未来科学技術共同研究センター（NICHe）」との違いを、このセンター長も兼ねていた四柳工学研究科長や井口副センター長に説明して了承を頂いた。

平成 12 年 6 月、概算要求上の設置が認められていなくても、所内措置で IT21 センターをスタートさせることが教授会で了承された。翌 7 月に運営委員会が設置され、8 月 2 日の第 1 回運営委員会で坪内教授がセンター長に互選された。とは言え、企業が共同研究に参加し易い形にするには、学内の制度化された組織とすることが望ましい。出来るだけ速やかに概算要求が実施される様、平成 12 年 12 月の教授会に平成 14 年度に向けての本格的な要求案が提案され、了承された。

この案の特徴の一つは、研究開発部のほかに企画開発部をおくことである。真の産学共同実用化センターを実現するためには、大学の保有する先端技術と市場が求める応用技術を十分に把握して、企画の段階から産業界と大学とが共同でプロジェクトを立案し、知的財産の確保を含め、戦略的にプロジェクト化していく必要があると考えたためであった。ここには知的財産マネージメントに関する経験も積んだ専任教官を外部から招くことにした。これらはこれまでの大学にない思い切った試みで、法人化を見据えたものであった。

平成 13 年 4 月、筆者は思い掛けず通研所長に就任したが、その最初の大仕事の一つが平成 14 年度の概算要求で IT21 センターの設置を認めてもらうことであった。大学本部や文部科学省への説明の他、再度、当時新任の中塚工学研究科長にも NICHe との違いを説明して了解を頂くなど、慣れない仕事に冷や汗のかき通しであった。

研究開発部に何をおくかは種々の議論があった。結局、当面準備が整い、産業界からも要望の強い「モバイル」と「ストレージ」の２分野を置くことにし、名称を再度改めて「21 世紀情報通信研究開発センター」とすることで概算要求し、平成 13 年 12 月、平成 14 年度に設置することを認める旨の内示があった。

このようにして、平成 14 年 (2002 年) 4 月 1 日に、正式に IT21 センターが通研の新たな実験施設として誕生した。企画開発部には、科学技術庁の原子力行政分野で実務的にも学術的にも多くの実績を積まれていた松岡氏を、IT21 センターの発足とほぼ同時に教授として迎えることができ

た。このことが、通研における IT プログラムの推進に大きな力になったことは後述する。

建物については、平成 12 年 11 月、青葉山地区に移転した後の情報科学研究科跡を利用できることになり、昭和 5 年（1930 年）に建設された旧 SKK（仙台高等工業学校）の煉瓦づくりの 3 階建て建屋を、平成 13 年度から IT21 センターが使えることになった。この内部を近代的に改修し、その脇にクリーンルーム棟を新設して使用することになったが、これらの改修には、平成 13 年 (2001 年) 12 月に内示のあった補正予算と本学本部からのかなりの援助が当てられた。これには当時の霜山事務部長の大いなる努力があった。

２．IT プログラム実施機関の選定

平成 13 年 4 月、筆者が通研所長に就任したのとほぼ時を同じくして、文部科学省の情報科学技術委員会委員を拝命した。この委員会がそれ以前からあったかどうか、筆者は不明だが、その直前の平成 13 年 3 月 30 日には、第２期科学技術基本計画が閣議決定され、それに基づいた様々の具体的な施策が動き出そうとしていた。その中の重点研究開発分野に「情報通信」があり、それを具体化する施策の中に、平成 13 年 1 月に IT 戦略本部で決定された e-Japan 戦略があった。e-Japan 戦略では 5 年以内に世界最先端の IT 国家になることが目標に定められ、それを実現するために e-Japan 重点計画が策定された。

情報科学技術委員会は、そのための、文部科学省としての具体的施策案を提案するために開催されたと記憶している。実は、筆者が平成 16 年 3 月に東北大学を退官する際、本文を書くようなことがあるとは全く考えずに、当時の会議資料をあらかた処分してしまった。そのため、不確かな記憶に頼って本文を記述せざるを得ないことを、予めお詫びしたい。

大分衰えた記憶をたどれば、それを遡ること 1～2 年ほど前、前任の沢田所長時代に、情報通信分野で東北大学電気通信研究所の今後重要と思われる研究テーマについて文部科学省から問い合わせがあった。所長から各教授に問いかけがあり、その時は筆者もあまり理由を深く詮索せずにテーマを出した。それらをまとめて文部科学省に報告し、幾つかについては詳しい資料を用意して、所長が文部科学省に説明に行かれた様に記憶している。

筆者が出席した情報科学技術委員会では、科学技術基本計画に沿って、情報通信分野で今後重要と思われる研究開発課題やそのための人材育成のあり方などについて、如何に進めるべきかが熱心に議論された。筆者からは、上述した通研で行っている主要研究テーマやすでに概算要求を準備中であった IT21 センターについても説明したように思う。

IT21 センターについては、紹介パンフレットを使って、グローバルネットワーク社会の構築に向けた「ユビキタスネットワーク」の要素技術を研究開発すると説明した。当時、ユビキタスという言葉は未だほとんど使われておらず、これを発案した坪内教授は得意の面持ちであったし、情報科学技術委員会でも、一時、この言葉を委員会案で使う動きもあった。しかしカタカナ語は駄目ということで、結局は取り入れられなかった。

ところで文部科学省では、第 2 期科学技術基本計画に則り、我が国が 21 世紀において真の科学技術創造立国を実現するために、産学官の最適な研究機関によって国家的・社会的課題に対応した研究開発プロジェクトに重点的に取り組むことによって、これまでにない優れた成果を創生しようとする新世紀重点研究創生プラン（RR2002）を、平成 14 年度から実施しようとしていた。ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、防災の重要 5 分野について具体

的プロジェクトが提案されたが、情報通信分野には、IT プログラムとして、(1) 世界最先端 IT 国家実現重点研究開発プロジェクトと (2)「e サイエンス」実現プロジェクト、があった。

情報科学技術委員会では、その中の具体的な研究開発課題について議論し、(1) については、我が国が優位な技術を核とした情報通信技術を研究開発するものとして、①次世代モバイルインターネットの端末の開発、②超小型大容量ハードディスクの開発、③高機能・超低消費電力メモリの開発、④光・電子デバイスの技術の開発、⑤大規模データ解析・提供に必要な超高速光・電気変換技術の開発、⑥戦略的基盤ソフトウェアの開発、の 6 課題を、(2) については、研究開発現場に高速研究情報ネットワーク等の高機能 IT を活用して研究開発スタイルを変革し、新たな研究分野を創出する「e サイエンス」を実現するための研究情報基盤技術を開発・整備・実証するものとして、①スーパーコンピュータネットワークの構築、②スーパーコンピュータネットワーク上でのリアル実験環境の実現、③IT を活用した大規模システムの運用支援システムの構築、の 3 課題を、それぞれ決めた。

いずれも大学等が持つ知見やノウハウ等の研究ポテンシャルを活用して産学官連携体制での実施を基本として行うのが条件とされていた。これら 9 課題について合計 28 件の応募があったそうであるが、書類とヒアリングで審査され、その結果、平成 14 年 5 月 2 日付けで、東北大学電気通信研究所には、(1) について、①、②、③ の実施機関として選定されたことが通知された。「次世代モバイルインターネットの端末の開発（モバイルプロジェクト）」と「超小型大容量ハードディスクの開発（ストレージプロジェクト）」は、IT21 センターの 2 研究開発部で実施することが予定されていたが、「高機能・超低消費電力メモリの開発（スピンメモリプロジェクトと呼ぶ）」については、研究代表者の大野教授が所属している「超高密度・高速知能システム実験施設」内で行うことになった。

このように軌を一にして、IT21 センターの設置と IT プログラムによる研究費の配分とが決まり、正式に IT プロジェクトがスタートした。とは言っても、産学連携の共同研究であり、それぞれのプロジェクトに参加する企業も、産学連携の形も異なるため、事前に、産学連携研究共同実施協定や知的財産規定、秘密保持契約などを結んでおく必要がある。折しも、国立大学の法人化を前に知的財産の取り扱いについての議論が盛んなときであった。こんな時、企画開発部の松岡教授には獅子奮迅、八面六臂の働きをして頂いた。企業と大学のそれぞれのエゴが出勝ちであるこの問題について、双方が納得できる協定案を作成し、署名・捺印できるまでに仕上げてくれた。また、知的財産規定については、坪内センター長の英断により最初のたたき台をモバイルプロジェクトに参加していた三菱電機(株)田井部長が作成されたと聞いており、「産」側の視点でスタートしたことも短期間で効率的な体制を実現できた要因であろう。なお、本学の知財本部には幾分不満もあったようだが、プロジェクトが終わり、何の問題も起こらなかったことを感謝する次第である。

IT21 センターの開所式典は、平成 14 年（2002 年）10 月 11 日に執り行われた。先ず午前 10 時 30 分より、改装になった IT21 センターの建物前で、モバイルとストレージ両プロジェクト関係者による除幕式が行われた。その後、会場を市内のメトロポリタンホテルに移し、13 時より、IT21 センター開所記念と IT プログラムの実施機関に選ばれたことを祝った産学官連携国際シンポジウムが開催され、3 つの IT プロジェクトの目指す方向がそれぞれ紹介された。16 時 30 分からは、文部科学省の関係各位、IT プロジェクトに参加して頂いた企業関係各位、阿部東北大学総長をは

じめ学内関係者多数の列席の下で開所記念式典が行われたが、IT21 センター及び IT プログラムに寄せられる期待の大きさを痛感した。

開所を祝うテープカット

３．ナノ・スピン総合研究棟の建設

IT21センターの開所式典が無事終わり、3 つの IT プログラムが順調に滑り出した平成 14 年の秋、「IT プログラムにかなり大型の補正予算が付くかもしれない」との一報があった。通研を建て替えられるほどの金額で、スタートしたばかりの 3 プロジェクトにとっても喉から手が出るほどであった。

モバイルとストレージの両プロジェクトは、昭和 5 年に建築された煉瓦造りの古い建物を近代的に改修してスタートさせた。しかしスピンメモリプロジェクトがスタートした超高密度・高速知能システム実験施設は、昭和 60 年に建設された当時は最先端のスーパークリーン棟であったが、建物も設備も老朽化したものであった。IT プロジェクトへの期待に応えるには、これらを最先端のものにすることが急務であった。筆者は、金額の大きさや補正予算の性格から考えて、折角のチャンスであるので、まず建物のことを考えるべきであると、事務方に伝えた記憶がある。文部科学省側でも、IT プログラムの担当課である研究振興局情報課の古西情報科学技術研究企画官が通研を以前ご視察された折にクリーンルーム等の実情をよく把握されていたという幸運も重なり、このことを十分承知した上での通研への問い合わせであった様であった。その後金額には変動があったが、関係各位のご努力で、最終的には 72 億円の補正予算を付けて頂いた。これにより現在「ナノ・スピン総合研究棟」になっているナノ・スピン実験棟が新築され、キーになる大型設備が導入できて、それぞれのプロジェクトで期待された通りの成果が挙げられる原動力にもなった。

ナノ・スピン総合研究棟の建設には他のエピソードがある。実は、東北大学の片平キャンパスは、当時県有地であった青葉山ゴルフ場跡地へ移転することが西澤総長時代に決められ、片平キャンパス内での新築や大がかりな改修は出来ないことになっていた。電気通信研究所はほとんどが昭和 30 年代に建てられ、かつ昭和 53 年 6 月の宮城県沖地震で大分痛めつけられて耐震性も怪しい建物であったが、移転までは、実験棟と言えども新築予算が付くわけはないし、予算が付いても建てられない、とあきらめていた。

筆者が所長になって暫くしてから、何かのパーティーで西澤先生と同席し、ご挨拶をする機会があった。そのとき、酒の勢いもあって、思い切って「片平キャンパスを残せないか」を伺ってみた。正確な言葉は覚えていないが、思いがけず西澤先生から、「片平から東北大学が全て引き払って良いとは考えていない」とのご返事を頂いた。むしろ、東北大学が片平から去ることによって、この地区一帯が寂れることを心配されておられ、活用することを望まれているご様子にも覗えた。そこで翌日、このことを当時の北村事務局長に伝えた。それから、片平キャンパスの一部活用が急に評議会で議論されるようになった。それも当初は、金属材料研究所から保存建築物が

多い旧図書館付近までの、片平地区北側の一部だけであったが、降って涌いたような補正予算の話があって、学内はもとより、文部科学省内でも大きな問題になったようである。

筆者も所長会議で上京の折、文部科学省の方に事情を聞かれ、事前に連絡のなかったことを叱責された覚えがある。大学本部や文部科学省には、国の IT プログラムの緊急性に応えるには、これまでの「超高密度・高速知能システム実験施設」内の老朽化したスーパークリーンルームや実験設備に替えて、ナノ・スピン実験棟を片平キャンパスに新設することが急務であると訴え、結局認めて頂いた。法人化を前に事務局長から副総長になられた北村教授や後任の長谷川事務局長のご尽力もあって、全てが万事うまく収まり、現在のナノ・スピン総合研究棟の新築が決まった訳である。

新設されたナノ・スピン総合研究棟

このこともあって、その後、現在通研のある南六軒丁地区を除く片平キャンパスの全てが、大学本部と物質・材料関連分野の研究地区として残されることになった。逆に言うと、筆者が余計なことをしたばっかりに、通研だけが片平地区から追われることになったのかもしれない。もしこのことが後世で問題になったなら、これは筆者の責任である。

４．ストレージプロジェクトの成果

さて、筆者が直接関わったストレージプロジェクトについて少し触れたいと思う。

東北大学に磁気記録の研究センターを創りたいという思いは、早くからあった。日本における磁気記録の研究が永井健三名誉教授によって 1932 年から本学において始められ、交流バイアス法の発明や Fe-Co-Ni メタル粉末塗布テープの発明、減磁界の影響をセルフコンシステントに扱う記録理論の提案、垂直磁化による高密度磁気記録方式の提案等々、理論的な解明の上でも、記録メディアや磁気ヘッド、記録方式などの実際的な提案の上でも、東北大学が、日本のみならず、世界の磁気記録を牽引してきた自負があったからである。

垂直磁気記録を提案して以降、磁気記録における数々の実用的成果が東北大学から生まれていることを知った米国では、1980 年代に入って幾つかの大学に磁気記録研究センターが創られた。さらに産学官で、NSIC (National Storage Industries Consortium) が結成され、そのこともあって 1990 年代に入り、米国の HDD 技術が飛躍的に向上した。

これに危機感を感じた我が国の HDD メーカーも国からの支援を要望したが、1990 年代当時は、半導体や光記録に比べ、ほとんど顧みられない状況にあった。そこで 1995 年、我が国でも産と学とで SRC (Storage Research Consortium) が結成された。そのこともあって、1996 年、NEDO の支援により超先端電子技術開発機構(ASET) において「超高密度磁気記録技術の研究開発と実用化」のプロジェクトが産と学とで 5 年間に亘って進められることになった。これにより、GMR 読み出しヘッドと垂直磁気記録を用いる HDD の両者の開発に大きな成果が得られた。筆者らも垂直磁気

記録 HDD の開発に積極的に関わった。

このような背景もあって、東北大学電気通信研究所内で、産学連携により研究開発を行う場を設置する必要性がしばしば議論された。平成 12 年 (2000 年) 7 月、先ず所内措置で「21 世紀情報通信研究センター」を、さらに平成 14 年 4 月には正式に「21 世紀情報通信研究開発センター」を設置して、その中に「ストレージ分野」の研究開発部をおいて、そこで「世界最先端 IT 国家実現重点研究開発プロジェクト」の中の「超小型大容量ハードディスクの開発」を産学で実施することになった。その経緯は上述した通りである。

言うまでもなく、「超小型大容量ハードディスクの開発」は超高記録密度技術を開発することで、この要望には限界がない。筆者らは、垂直磁化方式がこれからの磁気記録の高密度化を可能にする最も有効な方法であることを 1975 年頃から明らかにし、それを実現する記録メディアや磁気ヘッド、記録再生方式などについて精力的に提案してきた。しかし、本プロジェクトが始まった 2002 年時点でも未だ実用にはなっておらず、HDD としての実用可能性を示すデモンストレーション結果が漸く報告され始めた程度であった。

筆者らは、これまでも実用目前と言われながら頓挫したことを経験しており、これが実用にならなければ、いま以上の高密度化は不可能との信念の下に、垂直磁気記録方式の実用化を確実なものにすることを、IT プロジェクトでの第一の目標に掲げた。さらにこれをベースに、1 Tb/inch^2 以上の超高密度化を可能にする要素技術を開発することとした。

HDD 技術で最先端の記録密度を実験的に示すためには、磁気ディスク、磁気ヘッド、さらにそれらの試験装置の全てについて、すでに実用になっている最先端のもの以上の性能と加工および機構精度が求められる。これら全てを大学で実現することは当然不可能で、企業との密接な連携が不可欠である。企業側の最先端の技術を大学で使わせて頂くには、双方で知財や秘密を厳格に守り、管理する必要がある。これに関しては、前述した様に企画開発部に招聘された松岡教授の力によるところがきわめて大きかった。

産学の両輪で進めることが必須である本ストレージプロジェクトでは、産での最先端技術の進展がプロジェクトにおける最先端の実験結果を左右する。とくに、種々の要素技術をインテグレートして初めて性能を発揮する HDD 技術では、磁気ディスクや磁気ヘッドのどちらかの性能だけが格段に向上しても、その他の技術も良くならなければ、ドライブ全体としての性能が上がらない。例えば、大学で最先端の磁気ディスクを発案・試作しても、最先端の試作磁気ヘッドが使えなければ、最先端の性能を評価・確認できず、成果は半減する。磁気ヘッドには、今や半導体技術を上回るナノテクノロジーが使われており、大学で最先端のものを試作することは不可能である。そのため、ストレージプロジェクトでは企業側と緊密に連携を取って、高密度化を可能にするヘッド構造や材料等を提案するとともに、これらの試作動向を慎重に見極めながら、新しく試作されたヘッドを使って実験・評価を進めた。

本プロジェクトにおける成果の一つは、500 円玉サイズ（1 インチ径）の垂直磁気ディスクを用いた超小型垂直 HDD の試作である。日立 GST や富士電機のご協力を頂いて、2004 年 10 月に記録密度 100 Gb/inch^2、記録容量 7 GB のものを、2005 年 3 月に記録密度 138 Gb/inch^2、記録容量 10 GB のものを、それぞれ試作した。当時としてはこのサイズで世界初の記録密度であり、記録容量であった。これにハイビジョン画像を書き込み、無線インターフェイスを通じて大画面に描かせるユビキタス・パーソナル・サーバー（UPS）も試作した。丁度この頃、垂直磁気記録を用

いる HDD の商品化が次々と発表されたこととともあり、平成 17 年（2005 年）6 月の総合科学技術会議では、これについて「最近の科学技術の動向」の一つとして紹介され、議長の小泉内閣総理大臣には実物もご覧頂いた。

試作した UPS 端末を持つ小泉前総合科学技術会議議長

その後、垂直磁気記録による HDD の製品化が急速に進んで、世界中の全ての HDD メーカーが手懸けるようになった。数年後には全ての HDD が垂直磁気記録になると言われている。この先の高密度化をどう進めるかが、次の課題である。本プロジェクトでは、1 Tb/in^2 以上を可能にする要素技術の開発を進めるともに、直面する 500 Gb/in^2 が実現可能であることを実証することに取り組み、記録メディアや書き込み・読み出し両ヘッドなどについて多くの成果が得られた。これらは、次世代の HDD 技術を牽引するものであると確信できるものである。

５．IT プログラム終了にあたって

常日頃、筆者は、「益々膨張・発展・複雑化し続けるこれからの情報社会では、人も、国も、いずれの分野においても、あらゆる情報を手中に収め、保持し、素早く分析して果敢に行動することが、リーダーになる基盤である」と思っている。モバイルインターネットワーク技術、情報ストレージ技術、高機能・超低消費電力メモリ技術のいずれもが、それを支える基幹技術である。その研究開発を国の支援によって東北大学電気通信研究所で実施できたことは、名誉であると当時に、大きな責任も感じてもいた。今、一定の成果を得て終了したことに安堵の気持ちを抑えきれない。本プロジェクトの成果を継承し、さらに発展させていくことは、我が国の産業だけでなく、科学技術や文化の発展の上でも、さらには我が国の世界的位置づけやリーダシップを高める上にも、必要不可欠である。

この 5 年間、電気通信研究所で担った IT プログラムの 3 プロジェクトに直接携わって下さった方々はもとより、ご支援ご協力を頂いた文部科学省をはじめ多くの方々に、心より御礼申し上げたい。この間の様々なことごとを思い浮かべながら、通研における IT プログラムの最終報告に課せられた筆者の役割を終えたいと思う。ありがとうございました。

通研3プロジェクトの成果の概要

次世代モバイルインターネット端末の開発

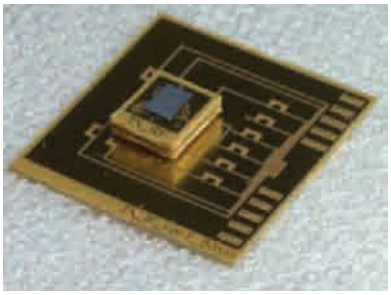
Development of Mobile Internet Terminal for Next Generation

プロジェクトリーダ
坪内　和夫
（東北大学電気通信研究所　教授）

高速無線通信用 LSI 設計技術、60GHz 帯 RF IC 設計技術、高密度多層基板実装技術、を確立し、異種材料統合/三次元システムチップの開発により 5mm 角、厚さ 0.5mm の超小型無線端末を実現する。また、60GHz 帯伝送モデムにより、1Gbps を実現する無線通信技術を確立する。

【1. 研究開発の達成目標】

1. 目標とする性能
   ①100 メガビット毎秒の無線 LAN 装置の開発
   ②1 ギガビット毎秒の無線通信端末の開発
   （プロジェクトスタート時の約 20 倍）
   ③5mm 角のワイヤレスシステムチップの実現
   （世界を先導するレベルでの実用化の道を拓く）



2. 開発すべき要素技術
   ①無線通信用ベースバンド IC の開発
   ②無線通信用 5GHz 帯 IC の開発
   ③無線通信用 60GHz 帯 IC の開発
   ④IC の高密度実装技術の開発
   ⑤無線通信モジュールの三次元実装技術の開発
3. 応用システムとして、MPEG 圧縮ハイビジョン画像伝送デモンストレーション、および非圧縮ハイビジョン画像伝送デモンストレーションを行う。

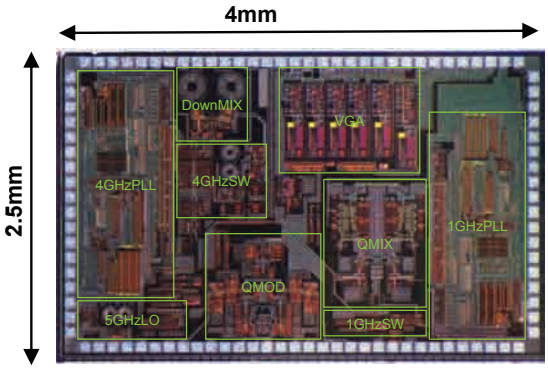
【2. 研究開発の成果】

1. 100 メガビット毎秒の無線 LAN 装置の開発
   324 メガビット毎秒、実効速度 170 メガビット毎秒以上の性能を持つ世界最高速無線 LAN 装置の開発に成功。MPEG 圧縮ハイビジョン伝送システムを構築し、従来の

無線LANでは不可能だったハイビジョン画像伝送デモンストレーションを行った。（平成16年度）

2. モバイルインターネット端末用 5GHz SiGe IC開発

SiGeを用いた5GHz帯送受信ワンチップICを開発した。5GHz帯無線LAN端末の小型化へ応用。本ICを用いた5GHzt帯無線LAN装置で、MPEG圧縮ハイビジョン伝送を確認（平成18年度）

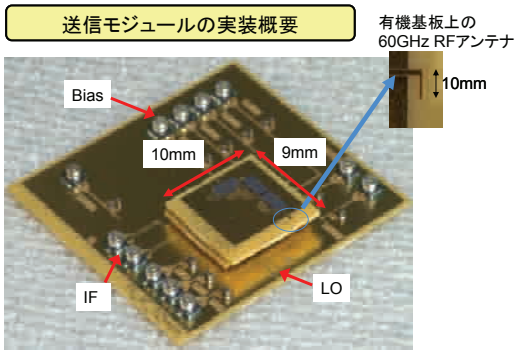


3. モバイルブロードバンド実証実験

2GHz帯を用いたMBWAの都市部における伝搬特性を明らかにした。MBWAシステムを仙台市内3箇所に設置し、ハンドオーバーの実証を行った。また、WLANとMBWAの異種システム間ローミング技術を開発した。（平成18年度）

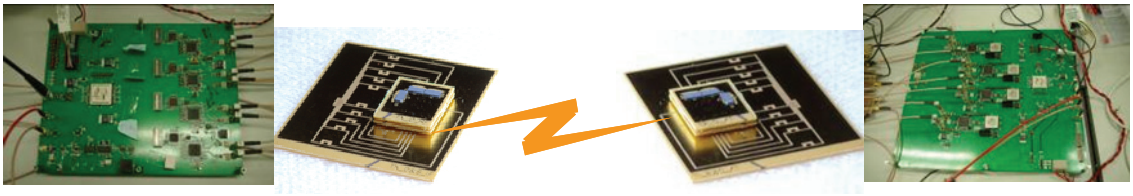
4. 60GHz帯三次元SiP RFモジュールの開発

高密度多層有機樹脂基板を用いた、三次元SiP RFモジュールを実現。ICをフリップチップ実装で高密度に配置し、銅ボールによる接続で三次元化を実現。60GHz帯WPAN端末の小型化へ応用。（平成18年度）

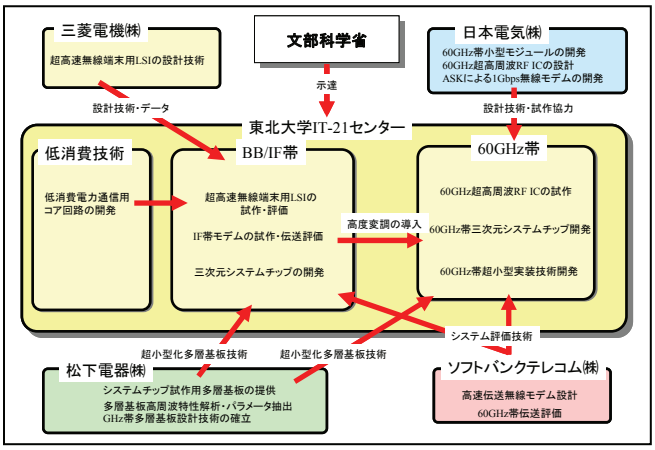


5. 1ギガビット毎秒の無線通信端末の開発（プロジェクトスタート時の約20倍）

1.5ギガビット毎秒の無線装置開発に成功。非圧縮ハイビジョン画像伝送デモンストレーションに成功。遅延のない高精彩画像を伝送可能。（平成18年度）



【3. 研究開発の実施体制】



1. 国内無線通信機メーカー(三菱電機㈱、日本電気㈱、松下電器産業㈱) 及び通信キャリア (ソフトバンクテレコム㈱(旧日本テレコム㈱)) との共同研究を実施。産学連携共同実施協定および知財権規定を締結し、円滑な共同研究の実施、知財権の保護と、研究代表者の強いリーダーシップを確保。
2. プロジェクト参加各機関は、各自の研究開発施設で要素技術開発を行い、その成果を大学へ集約し、無線装置の試作、三次元 SiP システムチップの試作を実行。
3. 各社の代表による運営会議を定期的に開催し、プロジェクト推進方針の決定と各社連携を大学主導で実施。

【4. 研究成果普及への取り組み】

1) 特許権等の出願状況

出願済み 11 件、出願準備中 4 件。

2) 製品化・企業化

5GHz 帯無線 LAN 端末の開発に参画したベンチャー企業が、本開発で蓄積したノウハウにより、ネットワークプロセッサを新規開発 (NEDO)

3) その他

① 総合科学技術会議

2004 年 4 月 28 日 (水) 総合科学技術会議第三回情報通信技術勉強会「情報通信技術の現状と課題」にて、「IT デバイスの技術戦略　ユビキタスネットワークの実現」のタイトルで講演を実施

② 財務省

2004 年 5 月 20 日　財務省主計局勉強会「日本の情報通信技術の今後の国際競争力について」(出席者：財務省杉本次長、石原主計官、文部科学係主査、主計官補佐等) を実施。

③ 自民党若手議員勉強会へのレクチャー

2003. 7. 22 自由民主党若手勉強会　「日本の情報通信技術の今後の国際競争力について」を実施。

④ 見学者へのプロジェクト紹介

プロジェクト期間中に、遠山文部科学大臣、細田、茂木、棚橋、松田の歴代科学技術担当大臣、総合科学技術会議議員、国会議員など、政府関係者、海外大学・大使館など、梅原仙台市長や地域関係者など、100 名以上の多くの見学者が来訪し、プロジェクトの内容を広く紹介してきた。

⑤ プレスリリース（社会への情報発信）

324 メガビット毎秒無線 LAN 端末の試作成功とハイビジョン伝送デモ報道発表１回（2004 年 11 月 WEB ニュース 6 件、新聞 3 件、展示会（マイクロウェーブ展）への出展)、モバイルブロードバンド実証実験報道発表 2 回（2005 年 8 月：英文 WEB5 件、新聞 3 件、WEB ニュース 4 件、2006 年 7 月：WEB ニュース 5 件、新聞 5 件、TV4 件、専門誌 2 件）など、計三回の報道発表により社会への情報発信を実施。

⑥ 標準化活動

IEEE802.11、802.15、802.16、802.20 へ参加し、国際技術動向をリアルタイムで把握するとともに、IEEE802.11n への標準化提案と、IEEE802.15.3c の標準化活動の主導権を握るため NICT と協力してコンソーシアムを結成、日本発標準化技術の確立へ向けて活動中。

【5. 人材育成の状況】

1）人材育成の対象者、育成方法等

プロジェクトには、東北大大学院学生、東京工業大学、高知工科大学、山形大学など、若手研究者の参加を積極的に行っている。東北大学において期間中に、博士取得学生は 5 名、修士取得学生は 20 名にのぼり、人材育成を達成している。

参画企業の若手研究員は、約 25 名携わっており、大学・企業の現場における共同開発・議論を重ね、プロジェクトを推進することで、若手社会人研究者の育成を実現した。また、無線装置開発などにより、開発に携わったベンチャー企業など開発担当者約 30 名に対しても、先端技術に関する開発を担当することで、人材育成を達成した。

さらの、本プロジェクト主催の地域企業の技術者向けセミナーを 5 年間で 6 回（のべ 10 日）開催し、のべ 282 名の参加者に対し、先端設計技術などの講義・実習により技術者育成を成し遂げている。また、各種セミナー・展示会（ESEC、EDS フェアなど）での講演により、多数の技術者への先端技術情報開示を行ってきた。

2）期待できる効果等

本プロジェクトのグループは、歴史的に SS-CDMA 技術の研究開発を行っており、日本における SS-CDMA 技術の祖の一つである。本グループにて、修士・博士を取得した学生は、ワイヤレス LAN のみならず、3G 携帯である W-CDMA の開発など、日本の無線技術開発をリードする立場で活躍している。本プロジェクトの開発に携

わった学生は、世界最先端技術開発をリードする企業への就職し、次世代無線技術開発の重要な役割を果たすと考える。

【6. 学術的成果の情報発信活動状況（研究論文発表，受賞等）】

●論文誌掲載（9 件）
●国際会議発表など（44 件）
●国内研究会・シンポジウム発表など（35 件）
●国内大会発表など（75 件）
●標準化活動における提案・貢献（100 件）
●受賞など

1. 坪内 和夫，平成 15 年度「電波の日」東北総合通信局長表彰，2003 年 6 月 2 日
2. 中瀬 博之，亀田 卓，小熊 博，礒田 陽次，坪内 和夫，松本 仁，藤村 明憲，山中 康弘，藤田 康彦，中野 孝，丸山 修孝，田切 宏和，佐藤 健治，2005 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞「5GHz 帯 324Mbps 高速無線 LAN 端末開発における FPGA･実装設計（2）～超高速 MAC 層処理 FPGA の設計～」，2005 年 1 月 28 日
3. 坪内 和夫，平成 17 年度 電子情報通信学会業績賞「スペクトル拡散通信モデムの開発と実用化」，2006 年 5 月 27 日
4. 竹内 太志，電子情報通信学会 第４回マイクロ波学生研究発表会 優秀賞，2006 年 9 月 5 日
5. 福與 賢，電子情報通信学会学術奨励賞，2007 年 3 月 21 日
6. 坪内 和夫，日本電気，三菱電機，第 5 回産学官連携功労者表彰 文部科学大臣賞「産学連携による次世代モバイルインターネット端末の開発」，2007 年 6 月 16 日

【7. プロジェクトの外部との関係に関連する事項】

1）研究開発課題に対する社会的なニーズ

インターネットのコンシューマへの展開は、2000 年から始まった商用サービスの ADSL 常時接続の普及に伴い飛躍的に増加した。また、IEEE802.11b のチップセットが開発され、2000 年ごろから PCMCIA カードの発売、2002 年にノート PC への標準装備が開始され、無線によるインターネット接続の要求が高まってきた。インターネットでのコンテンツは、電子メールから、静止画像・動画像コンテンツを含んだホームページアクセス、更にはメガビット毎秒の動画ストリーミングへと、大容量化が着々と進行している。

本開発プログラムは、大容量化するインターネットコンテンツを収容するための高速無線アクセスの要求に答えるべく、100 メガビット毎秒、1 ギガビット毎秒の

無線端末の開発を目的として開始された。無線 LAN の標準規格団体である IEEE802.11 委員会では、スループット 100 メガビット毎秒の規格策定のタスクグループ n が 2003 年 9 月に設立、さらに WPAN の標準規格団体である IEEE802.15 では、1 ギガビット毎秒以上の無線システム（現在では、2 ギガビット毎秒に目標を設定）の規格策定のタスクグループ 3c が 2005 年 5 月に設立されており、世の中の要求に基づく標準規格団体の動きに先駆けてプロジェクトを開始していることが明白であり、プロジェクトの先見性を証明する形となっている。さらに、プロジェクト開始後に新たに開始したモバイルブロードバンド実験に関しても、2005 年 9 月の WiMAX の仕様決定、現在策定中の IEEE802.20 の仕様策定に先駆けて実験開始をしており、プロジェクトの先見性を証明している。

2）国内外における類似研究との比較

①研究開発の独創性、優位性

高速無線装置開発：開発当初はもちろん現時点においても、インターネットに接続可能な無線 LAN 装置として、世界最高速（324 メガビット毎秒、実行速度 170 メガビット毎秒以上）。周波数帯域を拡大することによる高速化と MAC におけるフレーム統合技術に独自性あり。

超小型三次元 SiP の開発：高周波アナログ RF まで含めた三次元 SiP 技術に独自性あり。

②国内外の研究開発の現状等

国内外の研究開発の状況

100Mbps 無線 LAN に関しては、国内外のメーカーが 802.11n 対応製品の発売を開始している。60GHz の技術開発は、2006 年から活発になってきており、各社超高速データ通信への応用に向けて開発を推進している。

諸外国との比較

無線 LAN に関して：諸外国（アメリカ、フィンランド、韓国など）に対し、技術的な遅れはないものの、標準化に対する取り組みが弱い。

三次元 SiP に関して：メモリなど、ディジタル回路の三次元構造は、世界で多数行われているものの、RF 三次元 SiP の事例は希少であり、我が国の技術が先行していると思われる。

3）他のプロジェクト等との連携協力

IEEE802.15.3c 標準化活動：

独立行政法人情報通信研究機構新世代ワイヤレス研究センターユビキタスモバイルグループとの協力により、標準化を目的としたコンソーシアムを設立、活動中。本プロジェクトで検討・開発した MAC レイヤの技術標準化を目指している。

4）研究開発成果の有する中長期的な経済的、社会的効果

①中長期的な経済的効果

Seed Planning 社によると、無線 LAN 機器市場はアクセスポイント・端末含めて、2006 年に 245 億円、2007 年に 270 億円、2009 年に 300 億円、2011 年には 318 億円へ拡大すると予測されている。特に、2008 年以降は、IEEE802.11n 対応モデルの登場による拡大を予測している。本プロジェクト開発の 5GHz 帯無線 LAN 装置の機能の一部は、11n にも採用されており、無線 LAN 市場の拡大への貢献を果たしたと言える。

60GHz を用いた無線伝送システムは、IEEE802.15.3c での標準化活動の活発化とともに、WirelessHD コンソーシアムの設立など、商用への活動が盛んになっている。高精細映像コンテンツの伝送には、不可欠な周波数帯であり、ビデオ・DVD・テレビ間の接続のワイヤレス技術として、市場が立ち上がるものと予測される。

MBWA 市場は、モバイル WiMAX、IEEE802.20 と複数の標準規格によるサービスが、2007 年からトライアル、2008 年ごろから商用開始される見込みであり、携帯電話との両輪になりうる巨大市場の創生が予測されている。MBWA 市場予測に関しては ESP 総研の発表があり、2008 年度から 2012 年度までの市場全体の規模推移が、それぞれ 2008 年度 192.4 億円、2009 年度 419.8 億円、2010 年度 909.9 億円、2011 年度 1,251 億円、2012 年度 1,493 億円に推移すると、レポートは算出・予測している。

②中長期的な社会的効果

今やすべてのエレクトロニクス機器は、ネットワーク接続機能を持っていると言っても過言ではなく、特に、コンシューマにおいては、無線インターフェースが主流である。携帯電話においても、無線 LAN とのデュアルモードが存在し、IP ベースの無線システムの重要性は増すばかりである。本プロジェクトの成果は、WLAN、WPAN、MBWA と IP ベースの無線システムに関する研究開発を推進したものであり、今後のユビキタス社会を支えるワイヤレスネットワーク技術の根幹を支える技術開発を達成したと自負している。

超小型大容量ハードディスクの開発

Development of Ultra Small and High Capacity Hard Disk

プロジェクトリーダ
中村　慶久
（東北大学電気通信研究所　教授）

超高密度化（1テラビット毎平方インチ）および超小型化（手のひらサイズのユビキタス・ストレージ）を目指す。東北大学電気通信研究所が提案した垂直磁気記録方式により実現。

【1. 研究開発の達成目標】

1. 目標とする性能

①垂直磁気記録方式による磁気ハードディスク（HDD）の実現

②記録密度1テラビット/inch^{2}の要素技術開発
（プロジェクトスタート時の70倍）

③0.5テラビット/inch^2（500ギガビット/inch^2）の実証
（世界を先導するレベルでの実用化の道を拓く）

2. 開発すべき要素技術

①テラビット分解能記録メディア

②高分解能書き込み用単磁極型磁気ヘッド

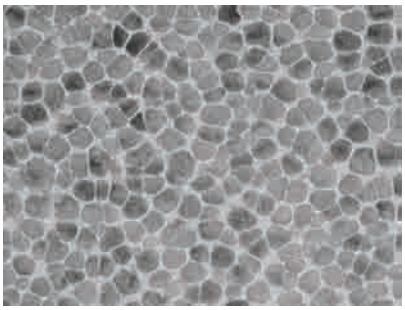
③高分解能超高感度読み出し用スピントロニクス型ヘッド

3. 応用システムとして、無線インターフェースと500円玉サイズディスクの超小型大容量垂直HDDを搭載したユビキタス・ストレージ・システム（UPS）を試作する。

【2. 研究開発の成果】

1．500 Gb/inch^{2}の記録密度達成の実証（垂直磁気記録による実現）

1）合金中最も高い飽和磁束密度を有するFeCo膜の軟磁性化に成功し、これを用いた単磁極ヘッドの高い記録能力を確認（平成14年度）。



開発に成功した$CoPtCr-SiO_2$垂直磁気ﾃﾞｨｽｸ（粒径約8 nm）

2) 垂直磁気ディスクとして世界最高の記録密度を達成

① CoPtCr-SiO_2 記録膜で 146 Gbits/inch^2 を達成（平成 14 年度）

② 160 Gbits/inch^2 の記録密度の実証試験に成功（平成 16 年度）

試作に成功した 10GB 相当の超小型垂直磁気ハードディスクドライブ

3) 垂直磁気記録方式による 500 円玉サイズの超小型 HDD(10GB 相当)の試作成功

① 垂直磁気記録方式の超小型ドライブとして世界初（平成 16 年 10 月）

② 同サイズで世界最高の記録密度（138 Gbits/inch^2, 10GB）を達成（平成 17 年 3 月）

⇒ 垂直磁気 HDD の量産化へ弾み

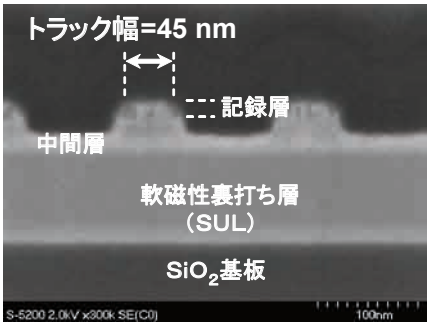
H17 年度より、日立 GST、東芝、富士通等の各社が垂直 HDD の量産を開始。数年内に、HDD は全て垂直記録に置き換えられるとの予測。

4) 新構造媒体として提案したハード/ソフトスタック媒体と、ディスクリートトラック化技術により 500 Gb/inch^2 の見通しを得た

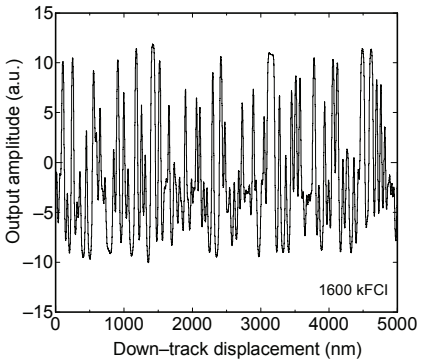
① ディスクリートトラック記録（DTM）を採用時の、500 Gbits/inch^2 の実証に向けた記録再生系の仕様と基礎特性を決定。（平成 17 年度）

① シミュレーションにより、トレーリングシールドなどのヘッド磁極構造の改良・検討を行い、500Gb/inch^2 を達成できる単磁極ヘッドの構造案を得た。（平成 17 年度）

② ハード/ソフトスタック媒体の基礎実験と磁気エネルギー計算から、同媒体が、500 Gbits/inch^2 を超える記録密度ポテンシャルを有することを明確化。（平成 18 年度）



試作したディスクリートトラック媒体の断面電子顕微鏡像



1600 kFCI での記録再生波形

2. 超小型垂直 HDD を用いた応用システム

超小型 HDD を用いたユビキタス・パーソナル・サーバ（UPS）の試作

① 11 Mbps の無線インターフェースと 1 インチドライブを組み込んだバッテリ駆動のユビキタス・パーソナル・サーバを試作（平成 15 年度）

② ハイヴィジョン画像の転送に成功（平成 17 年 3 月）

試作した UPS
（左：平成 17 年度，右平成 18 年度）

3. 1Tb/inch^2 の要素技術開発

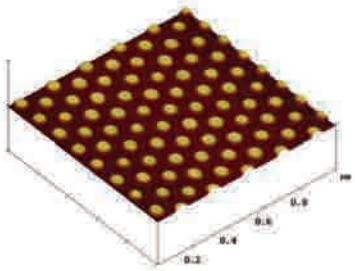
1）記録再生方式の基礎検討と仕様設計

パターン媒体を用いた 1Tb/inch^2 の記録再生系の基本設計を終了。信号再生においては十分な信頼性が得られることをシミュレーションにより確認。要素部品に要求される微細加工精度は現在の半導体等の微細加工技術を超える。

2）テラビット垂直磁気記録媒体

高磁気異方性を有する CoPt/Ru 膜を用いた微細ドットは、安定な単磁区構造と高い熱安定性を有し、且つ、保磁力の値を適切に制御できることが明らかとなり、1Tbits/inch^2 相当の媒体実現に必要な物性条件を満たすことが明らかとなった。

（平成 17 年度）

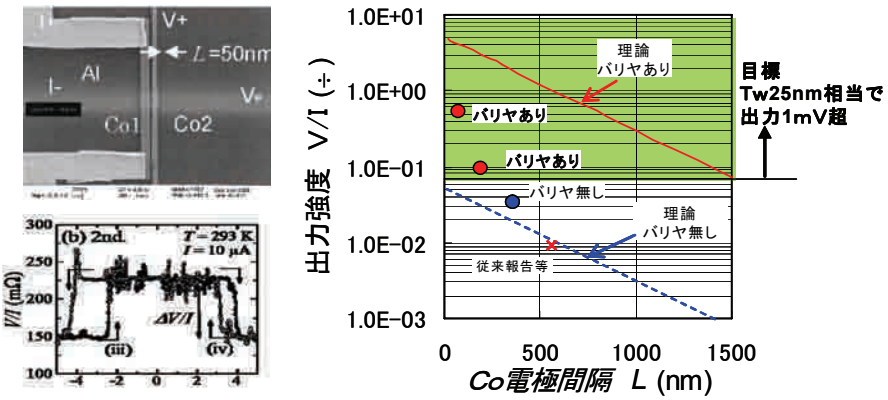


CoPt ドットアレイの AFM 像

3）テラビット用記録・再生ヘッド（高分解能ライタおよび超高感度リーダ技術）

① 微細ドットに書き込むための記録ヘッドの基本構造を提案。（平成 18 年度）

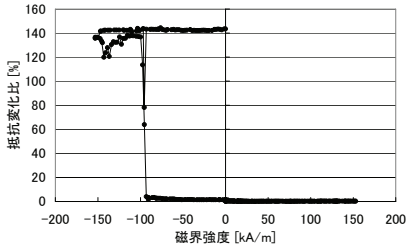
② 超高真空リーダスパッタ装置で形成した高品質な薄膜を用いた実験の結果、次世代超高感度リーダとなるスピン蓄積素子の高出力を確認（平成 17, 18 年度）



スピン蓄積を用いた高感度リーダ基本素子による高出力動作の実証

③　さらに高感度化が期待されるNiFeの微小ポイントコンタクトにおいて100%を超える大きな磁気抵抗効果の実現に成功。

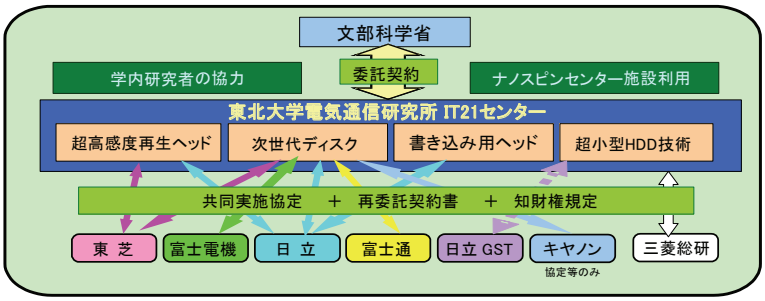
①～③ ⇒ 1Tb/inch^{2}を超える
記録密度に用いる記録・再生ヘッドに見通し。



微小ポイントコンタクトにおける140%に及ぶMR波形

【3. 研究開発の実施体制】

1. 国内のハードディスクドライブのトップ企業である日立、東芝、富士通、富士電機、日立 GST と共同研究を実施。産学連携共同実施協定および知財権規定を締結し、円滑な共同研究の実施、知財権の保護と、研究代表者の強いリーダシップを確保。
2. 各社の研究員を IT21 センターに派遣した集中研方式（平成 18 年度：10 名（産学連携研究員等 2 名を含む）を実施。大学側の基礎研究と企業側の開発技術の融合により垂直磁気記録向け要素技術の効率的開発を促進。企業側の最先端の量産設備による、垂直磁気記録方式のヘッド、ディスクの試作も実施。
3. 各社の代表による推進連絡会議および知財委員会を定期的に開催し、プロジェクトの推進方針の決定と各社の連携を確保。
4. 三菱総研の協力により市場の動向を調査し、関連技術・社会ニーズ等の推移とプロジェクト推進方針の整合性を確保。



研究項目と各企業間の関係を矢印で標記

【4. 研究成果普及への取り組み】

1. 特許権等の出願状況

出願済み 35 件、出願予定 1 件（ｽﾄﾚｰｼﾞﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄの知財委員会の審議が終了）

2. 製品化・企業化

垂直磁気ディスクとして世界最高の記録密度の達成、500 円玉サイズ超小型垂直磁気 HDD の試作等の研究成果により、日本企業の垂直磁気 HDD の量産化に弾み。H17 年度より、日立 GST、東芝、富士通等の各社が垂直 HDD の量産を開始。数年内に、HDD は全て垂直記録に置き換えられるとの予測。

3. その他

1) 総合科学技術会議における成果の紹介

第二期科学技術基本政策の成功例として、総合科学技術会議において、試作した世界初の超小型垂直磁気 HDD の紹介と、同 HDD を用いたユビキタス・パーソナル・サーバ（UPS）のデモンストレーションを行なった。（平成 17 年 6 月）

2) プレスリリース（社会への情報発信）

世界初の 500 円玉サイズ垂直磁気 HDD の試作に関しては、新聞・科学雑誌等に 15 件の記事が掲載され（インタビューだけを含めると＋3 件）、IT プロジェクトの成果を広く公表した。また、垂直磁気ハードディスクの製品化に関連してインタビューを受けた記事も 16 件（製品発表は除く）が新聞・科学雑誌等に掲載されており、社会への情報発信が出来たと考えている。

3) 見学者へのプロジェクト紹介

遠山元文部科学大臣、細田、茂木、棚橋、松田の歴代科学技術担当大臣等の政府・自治体関係者、海外の大学・大使館関係者、産業界の役員等、多くの見学者が来訪し、プロジェクトの内容を広く紹介してきた。

4) 国際会議、国際シンポジウム等の開催

ISSS 国際シンポジウムの開催　：　2003 年 10 月 30、31 日に、通研国際シンポジウム「超高密度スピニックストレージシステム」を開催。IT プロジェクトのそれまでの成果報告、技術開発の状況・課題を議論。参加者は国内外を含め 145 名。

垂直磁気記録国際会議　：　垂直磁気記録方式の実用化を目指した第 7 回垂直磁気記録国際会議（PMRC）を日本学術振興会（磁気記録第 144 委員会。委員長：岩崎俊一東北大学名誉教授）の主催で 2004 年 5 月 31 日～6 月 2 日に開催。IT プロジェクトの主要メンバーが当初より会議の組織委員として活動。欧米からの 75 名を含め約 280 名が参加し、活発な議論を展開。

【5. 人材育成の状況】

1. 人材育成の対象者、育成方法等

1) プロジェクトには、教職員（5 年間の延べ人数 70 人・年）、常駐している企業研究員（43 人・年）の他に、産学連携等研究員（9 人・年）、大学院学生（81 人・年）の、総勢述べ 201 人・年が参加し、個々のテーマ毎に産学連携の研究開発を遂行。

2) 大学院学生 2 人に対し 3 人の教職員・研究員の割合に相当。大学教員だけでなく企業からの研究員も交えた密度の高い人材育成を実現。

3) プロジェクトに関連した研究により、博士 13 名、修士 28 名が学位を修得。進学する者を除きほぼ全てが、磁気記録あるいは関連する技術の企業へ就職。

内　訳		5年間の延べ人数(人・年)	
教職員，企業研究員等	教職員	70	122
	産学連携研究員、非常勤技術職員等	9	
	企業からの派遣研究員	43	
大学院学生	博士課程学生(内、博士学位修得者)	30（13名）	90
	修士課程学生(内、修士学位修得者)	60（28名）	
合　計		212	

2. 期待できる効果等

東北大学電気通信研究所は、磁気記録工学を専門とする日本で唯一の分野を有し、長年にわたりHDD業界へ研究者を輩出してきており、日立、東芝等における垂直磁気HDDの量産化にも大きく貢献している。また、磁性金属材料の研究に強い東北大学からは、HDDの要素部品を作製する企業に多くの修了生が就職・活躍している。今回の研究開発において日本のHDD企業との共同研究開発に従事した学生・企業研究員等が、個々の企業の枠を超えて、これからの日本のストレージ業界を牽引するリーダとなることが期待できる。

【6. 学術的成果の情報発信活動状況（研究論文発表，受賞等）】

1. 学術雑誌掲載論文（査読論文）

国際学会論文103件、国内学会論文41件の、合計144件の論文として成果を公表（採択済みを含む)。

2. 国際会議での発表

1）合計149件の国際会議において成果を公表。内20件は招待講演。

2）2003年には、国際シンポジウム（International Symposium on Ultra-High Density Spinic Storage Systems, Sendai, October 30-31, 2003.）を開催し、プロジェクトの成果を公表。

3. 受賞

第4回産学官連携推進会議 平成17年度産学官連携功労者表彰 経済産業大臣賞（中村慶久）他、全21件を受賞。この他、日立製作所と東芝が、垂直磁気HDDの実用化に関連して、大河内記念生産賞など3件を受賞。

【7. プロジェクトの外部との関係に関連する事項】

1. 研究開発課題に対する社会的なニーズ

次世代の動画系サービスへの変化、ホームサーバ等のデジタル家電サービスの普及、地上波デジタル放送開始に伴う情報の高品質化、セキュリティ・健康・医療・教育関連等のネット家電サービスの市場の拡大により、記録/保存/蓄積するデータ管理量が急激に増大。小型且つ大容量（高密度）の磁気ハードディスクの急速な需要の高まりと、大容量を扱うサーバ用ハードディスクの一層の大容量化・高速化への要求が高まっている。

2. 国内外における類似研究との比較

1）研究開発の独創性、優位性

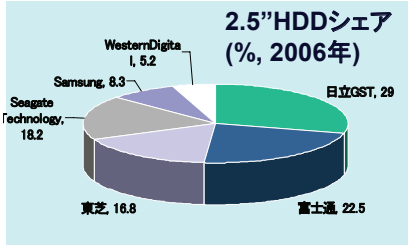
次世代の HDD の基本技術となる垂直磁気記録は、東北大学電気通信研究所が提案した日本発イノベーション技術である。本研究所におけるこれまでの研究開発の蓄積と、日本の大手ドライブメーカとの共同研究開発により、垂直記録方式を用いた HDD の高密度化研究を効率的に遂行できたと考えている。

2）国内外の研究開発の現状等

① ハードディスク市場は、日・米（Seagate、Maxtor 等）・韓（Samsung）のメーカが競合し、開発競争が繰り広げられている。

② 米では産学連携が盛んで、複数の大学に磁気記録研究センター等を設置（UCSD, UC Berkeley, U. Alabama, U. Minnesota, Carnegie Mellon U., Stanford U., 他）。

③ 2.5 インチサイズ以下の小型ハードディスクは、世界市場の 73%以上（2006 年見込数量）が日本製品で占められているが、Seagate を始めとする米国企業が小型市場に参入し、ハイエンドの開発競争では日米が肩を並べている。本プロジェクトで得られた 1Tbits/inch^2 の要素技術の目を、さらなる研究開発により継続的に発展させ、日本が国際的に優位に立つ革新的 IT 技術のさらなる発展によりイノベーションを具現化させることで、ハードディスクの世界市場における日本の優位性を維持することが必要。



「2007年ストレージ関連市場総調査」富士キメラ総研

3. 他のプロジェクト等との連携協力

無線インターフェースを搭載したユビキタス・ストレージ・システムの通信速度の高速化にあたっては、モバイルプロジェクトとの連携協定を予定していたが、費用帯効果と本プロジェクトにおける研究開発の優先度を鑑み、取り止めとした。

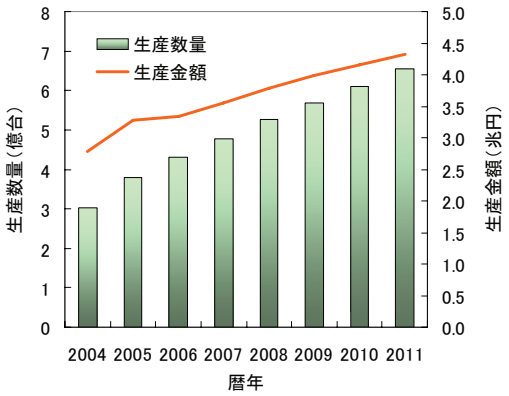
4. 研究開発成果の有する中長期的な経済的、社会的効果

1) 中長期的な経済的効果

① 本プロジェクトが目標の一つとしていた垂直磁気記録を用いたHDDの製品化が始まっており、本プロジェクトの成果は、垂直磁気 HDD の製品化に大きく弾みをつけた。数年以内に全ての HDD が垂直磁気記録に置き換わる見込み。

② 2006 年の HDD 世界市場は約 4 億 3,000 万台（約 3.3 兆円）の見通し（2005 年に比べ、数量で 13.1%増、金額で 1.8%増。富士キメラ総研調べ。）。これから数年間は、ハードディスクドライブの情報家電向け新市場の参入により、年率 10%を超える延び率の予測。

③ 2011 年（H23 年）の世界市場は、約 6.5 億台（4.3 兆円）を越えると予測される。この内、2.5”以下の小型 HDD は、数量・金額とも急激に増加し、H23 年（2011 年）には、総生産数の 46%（金額で 1.6 兆円）を超える見込み。



「2007年ストレージ関連市場総調査」富士キメラ総研

④ 世界トップを走り続けるための長期的研究開発課題として、リスクの大きい将来技術のための研究開発投資を国が継続的に行ない、世界市場における日本製品のシェア拡大を図ることで大きな経済的波及効果を生み出し、ユビキタス社会における情報通信関連技術の飛躍の原動力となるものと期待される。

2) 中長期的な社会的効果

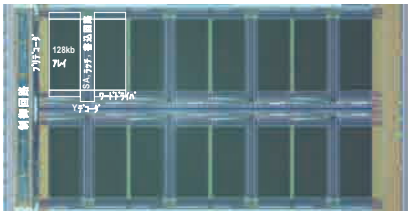
情報通信ネットワークが国民生活に欠かせない社会インフラとして定着し情報爆発の時代を迎えた今日、記録/保存/蓄積するデータ管理量が急激に増大しており、個人や社会生活において誰もが最先端のＩＴの恩恵を受けられるような大容量のストレージの実現が不可欠である。

モバイル系小型 HDD と、大容量を扱うサーバ用 HDD の一層の大容量化・高速化により、次世代動画系サービス、ホームサーバ等のデジタル家電サービス、地上波デジタル放送開始に伴う高品位画像化、セキュリティ・健康・医療・教育関連等のネット家電サービスの市場の拡大等により、利用者・生活者重視の視点から真の高度情報化社会を具現化することが期待される。

高機能・超低消費電力メモリの開発

Development of Universal Low-Power Spin Memory

プロジェクトリーダ
大野　英男
（東北大学電気通信研究所　教授）



本プロジェクトで開発された２Mb 不揮発性スピン注入 RAM

【プロジェクトの研究背景】

DRAM，SRAM，フラッシュメモリを置換する高速・高密度・低消費電力不揮発性メモリは，ユニバーサルメモリと呼ばれ，これからのモバイル・省資源時代の情報通信技術を左右する基幹的キーテクノロジーです．電子のスピンを用いて記憶を行うスピンメモリ（磁気ランダムアクセスメモリ：Magnetic Random Access Memory，MRAM）は，不揮発であり高速にかつ事実上無限回の書き換えが可能であるため，不揮発性メモリ技術の中で，ユニバーサルメモリの候補として大きな期待が寄せられています．

このように期待の大きいスピンメモリですが，マイクロワット級の超低消費電力と10ns程度の高速性やギガビット級の高い集積度を併せ持つメモリを実現するためには，克服すべき重要な技術課題が存在します．

本プロジェクトは，次世代の高速，高密度と超低消費電力を併せ持つ不揮発性のスピンメモリを実現するために，これらの課題に解を与えて産業化への道をつけると共に，さらに次世代，次次世代のメモリを担う基盤技術を創成・確立して，継続的なイノベーションを可能とすることを目的としました．プロジェクトは，産学連携の舞台となった平成１６年度竣工の東北大学電気通信研究所「ナノ・スピン総合研究棟」を主たる拠点として，平成１４－１８年度の５年間にわたって進められました．

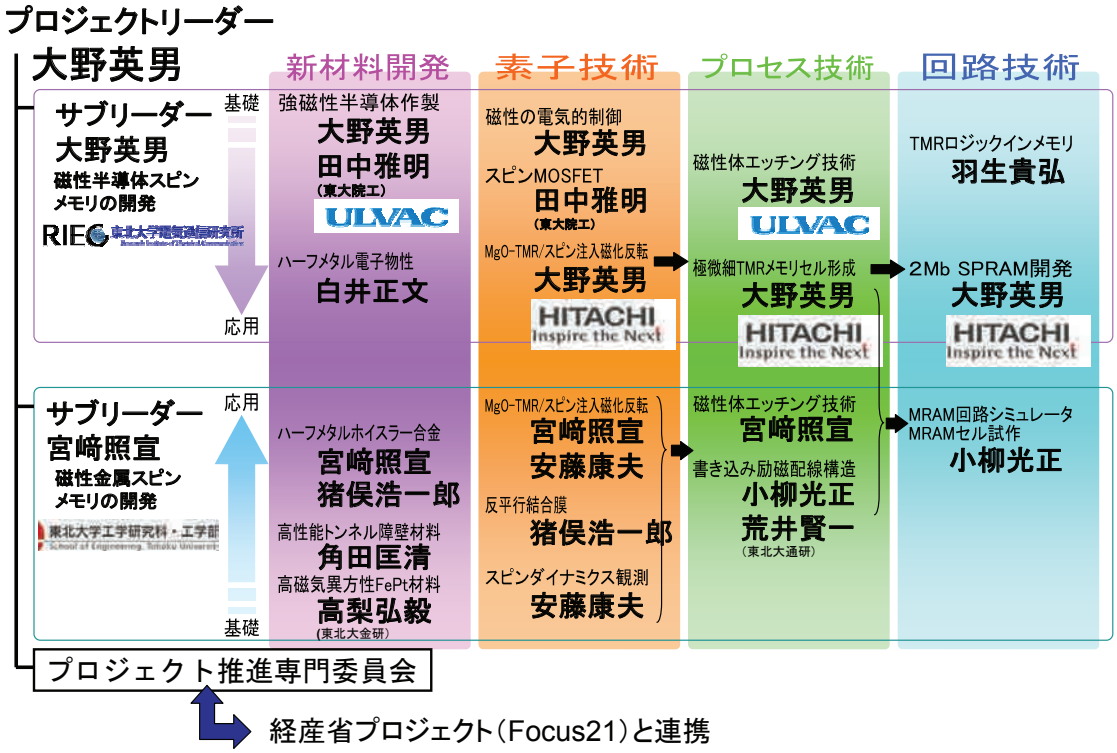
【プロジェクトの達成目標】

本プロジェクトでは、高速（10 ナノ秒程度）、高密度（ギガビット級）で低消費電力（マイクロワット級）の「高機能・超低消費電力スピンメモリ基盤技術」を確立するとともに、継続的なイノベーションを実現するため、以下の目標を掲げて研究を実施しました。

1. 高速・高密度化に不可欠な高出力(目標 200mV)のスピン材料・素子の開発
2. 低消費電力(電流値 0.5mA 以下)の書き込み技術
3. ギガビット級スピンメモリプロセス・テストチップ（集積回路）・回路技術
4. 次世代スピンデバイス基盤技術

【実施体制】

東北大学電気通信研究所附属超高密度・高速知能システム実験施設（平成 16 年 4 月よりナノ・スピン実験施設に移行）を拠点とする集中研方式で、・新材料開発、・素子技術、・プロセス技術、・回路・シミュレーション技術の 4 つの研究項目を設定し、「磁性半導体スピンメモリの開発」と「磁性金属スピンメモリの開発」の２つのサブグループで実施しました。産業界からは、新材料創製・プロセス技術で実績のある製造装置メーカーのアルバック㈱と、スピンデバイス開発トップの㈱日立製作所が参画し、共同に研究を実施しました。大学側の研究担当者数は教員が 17 名（教授・助教授）です。

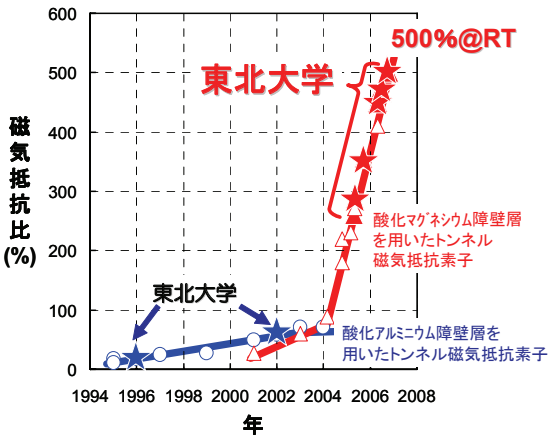


【本プロジェクトの主要成果】

●高機能・超低消費電力スピンメモリ基盤技術

- コバルト鉄ボロン(CoFeB)強磁性金属膜と酸化マグネシウム(MgO)を障壁層とする磁気トンネル接合（MTJ）素子を作製し、世界最高のトンネル磁気抵抗(TMR)比(室温で 500%)を実現しました。これは出力が 630 mV に相当し、目標とする出力 200 mV を大幅に上回る値です。
- CoFeB と MgO 障壁層を用いた MTJ 素子で、世界で最も低い反転電流密度($1x10^6$ A/cm^2 以下)でのスピン注入磁化反転を実証しました。
- データ保持時間 10 年以上の熱耐性を確保し、かつ低い反転電流密度($3.6x10^6$A/cm^2)を有する反平行結合膜を開発しました。これにより、目標とするマイクロワット級の書き込み電力（書き込み電流 0.5mA 以下）を達成しました。

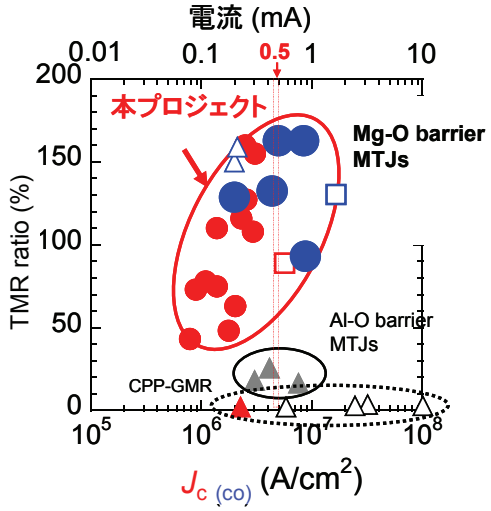
- MgO 障壁層 MTJ 素子をメモリセルに用いた世界最大規模の 2 メガビットの SPRAM チップを試作しました。この SPRAM においてスピン注入磁化反転方式に適したメモリ回路技術(双方向電流切り替え回路技術、 読出し時の誤書込み防止回路技術)を新たに開発し、1.8V の電源電圧で書込み時間 100 ナノ秒、読出し時間 40 ナノ秒でのメモリセル動作を確認しました。また、SPRAM 回路シミュレータを開発し、**本プロジェクトで開発した MTJ 素子により目標値を達成することを検証しました。**



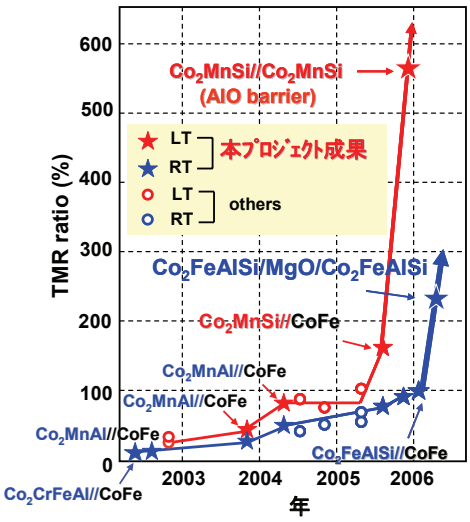
本プロジェクトで開発された Al_2O_3 障壁および MgO 障壁トンネル磁気抵抗素子の室温磁気抵抗比の開発推移

●次世代スピンデバイス基盤技術

- 現在利用されている磁性金属より高いスピン分極率を有し、高出力のスピンデバイスを可能にする高品質ホイスラー合金を開発し、これを用いた MTJ 素子で世界最大の TMR 比を得ました。
- 世界最高のキュリー温度(250K、-23℃)の強磁性半導体の作製に成功しました。また、半導体集積回路でもっとも利用されているシリコンベースの強磁性半導体の創成に世界で初めて成功しました。
- 強磁性半導体(In,Mn)As チャネルを持つ電界効果トランジスタを用いて、微弱な外部磁場中での電気的磁化反転(電界アシスト磁化反転)が可能であることを実証しました。
- MTJ 素子と MOS トランジスタを組み合わせることで、記憶機能と演算機能がコンパクトに一体化した回路が実現することを示し、従来の回路に比して演算速度、チップ面積、電力消費が大幅に改善されることをシミュレーションにより示しました。



スピン注入磁化反転の観測された磁気抵抗素子の TMR 比と閾値反転電流の関係.



本プロジェクトで開発されたホイスラー合金を用いた磁気抵抗素子の磁気抵抗比の推移

【人材育成】

本プロジェクトにおける５年間の研究開発に、若手研究員（ポスドク）16 名、博士課程大学院生 20 名、修士課程大学院生 83 名が参加しました。また、東北大学の研究拠点に、参画企業から 3 名の若手研究員を受入れて研究開発を遂行しました。

本プロジェクトに密接に関わる研究テーマを行った修士および博士課程の学生の多くは、スピンメモリの製品化に高い感心を示し、国内の企業に就職した後もこの分野の第一線で活躍しています。特に、本プロジェクトの研究開発において中心的な役割を果たしたポスドクは、プロジェクト終了により富士通，東芝などに採用され、引き続きスピンメモリ開発に直接従事しております。彼らは今後、我が国の国際競争力の強化に大きく貢献すると期待されます。

【製品化・企業化】

- 本プロジェクトで開発した技術の多くは、東北大学と㈱日立製作所が共同で開発した SPRAM チップに適用されました。また、本プロジェクトの成果をもとにして素子の改良を進めていくことにより、製品化に結びつける予定です。
- 東北大学と㈱アルバックが共同で開発したカソード技術は、㈱アルバックで製品化されました。またエッチング技術に関しては、さらに特性の改良を進め、製品化に結びつける予定です。
- 本プロジェクトの成果として出願された要素技術に関する特許は、スピンメモリ用の材料、作製技術、素子技術など多用にわたっており、スピンメモリの実用にあたって重要なものは大学独自の技術として権利化する予定です。

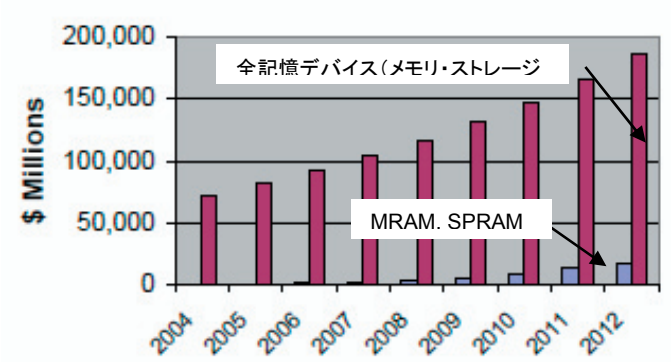
【成果の社会への発信】

- 年 1 回、公開の研究成果報告会を開催し、内外から関係者を招待して本プロジェクトの研究成果を発表しました。
- 本プロジェクトの研究成果を発表した学術論文の被引用回数は、例えば J. Hayakawa et.al.，JJAP 44，L587（2005)が論文発表から 1 年半で 31 件に達しているのをはじめ，いずれもの論文も多く引用されています。これは、本プロジェクトの研究成果が国内外の研究機関に注目されていることを示しています。

【本研究開発成果の中長期的な経済的、社会的効果】

- 今日の情報化社会には不可欠な電子機器のほとんどに揮発性メモリが使われています。たとえば、パーソナルコンピュータに使われている揮発性メモリ DRAM をスピンメモリに置き換えるだけでも約 50%の節電が見込めるなど、本研究開発による省エネ経済効果の影響は絶大なものであるといえます。

- 大容量・不揮発メモリとして、スピンメモリは従来の HDD（ハードディスク）を置き換える可能性を持っています。これにより、28 兆円の半導体デバイス産業と 18 兆円の磁気記録産業を融合した産業分野が出現すると期待されます。



不揮発性スピンメモリ（MRAM, SPRAM）の市場予測
(NanoMarkets Research Report 2005年1月)

- 不揮発性メモリに演算機能を付与したプロセッサを実現できれば、大幅な速度の向上と消費電力の低減が可能になります。その結果として、パーソナルコンピュータをはじめとするあらゆる電子機器に変革がもたらされ、経済的、産業的な効果は非常に大きいと予想されます。
- 次世代スピンデバイス基盤技術として、半導体におけるスピンの直接制御技術の開発、あるいは完全スピン分極状態の実現により、新たな産業分野への展開が可能となり、IT 国家実現への展望が開けると期待しています。

最終成果報告会
発表資料
（平成19年3月19日）

RIEC

文部科学省ITプログラム

「次世代モバイルインターネット端末の開発」

平成19年3月19日（月）

東北大学電気通信研究所
プロジェクトリーダー　坪内和夫

1/18

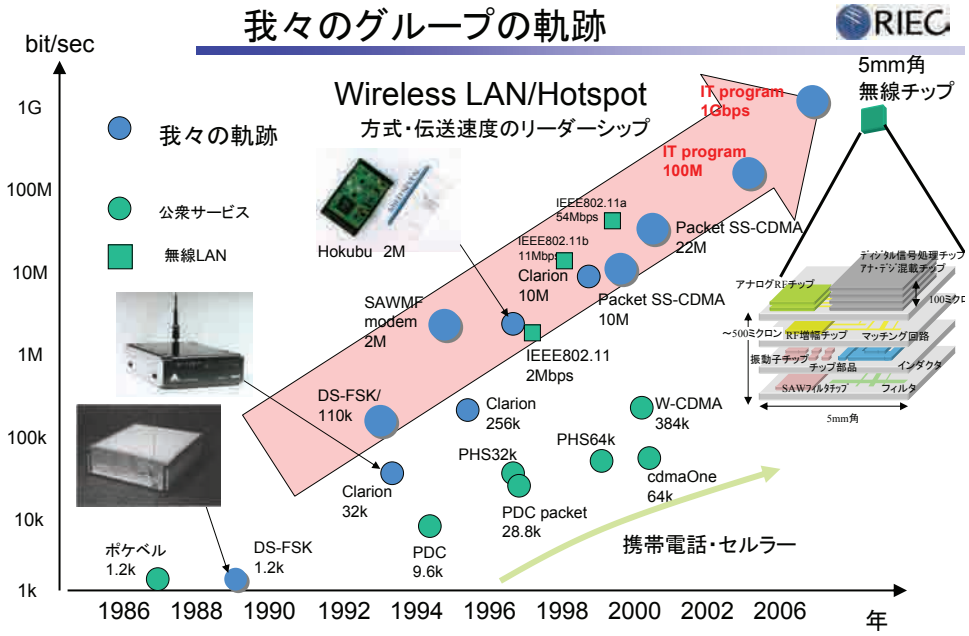
OUTLINE

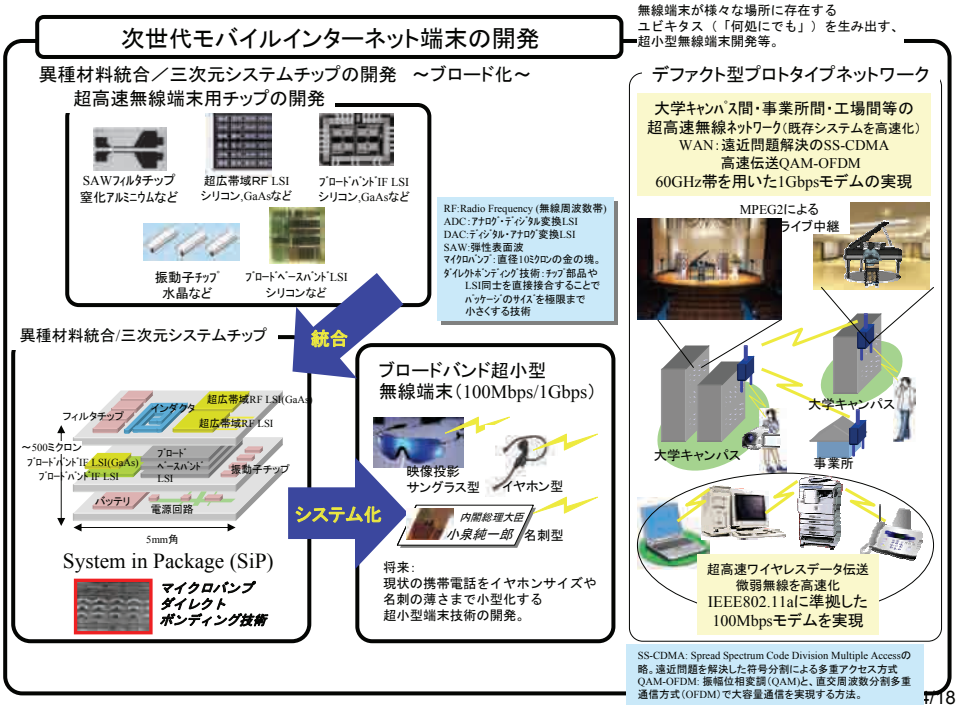
- プロジェクトまでの歴史
  - スペクトル拡散通信による無線LAN（WLAN）端末開発
    - IEEE802.11bへの標準化提案
- プロジェクト当初のターゲット
  - 100メガビット毎秒WLAN端末の開発
  - 1ギガビット毎秒の無線通信システムの実現
  - 5mm角三次元システムチップ技術の確立
- プロジェクトターゲットの標準化への展開
  - モバイルブロードバンド無線システム（MBWA）, WLAN, WPANの融合へ
    - 100メガビット毎秒のWLANの高速装置開発
    - OFDMAによるMBWAの実証実験
    - 1ギガビット毎秒のWPAN応用へ
- プロジェクトの成果　　IEEE標準化
  - 324メガビット毎秒のWLAN装置を実現　→　802.11n提案
  - OFDMAを用いたアクセス実験とハンドオーバ技術開発　→　802.20貢献
  - 1.5ギガビット毎秒の無線伝送装置を実現　→　802.15.3c提案
  - 10mm角、5mm角システムチップの実現

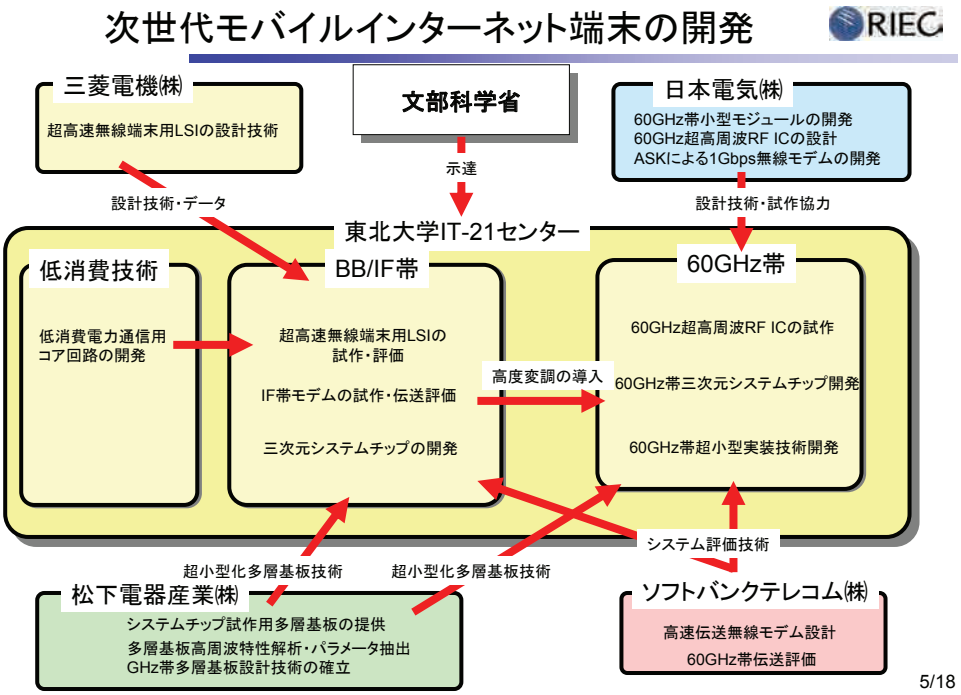
→ ミリ波産業技術の確立、大幅なコストダウン

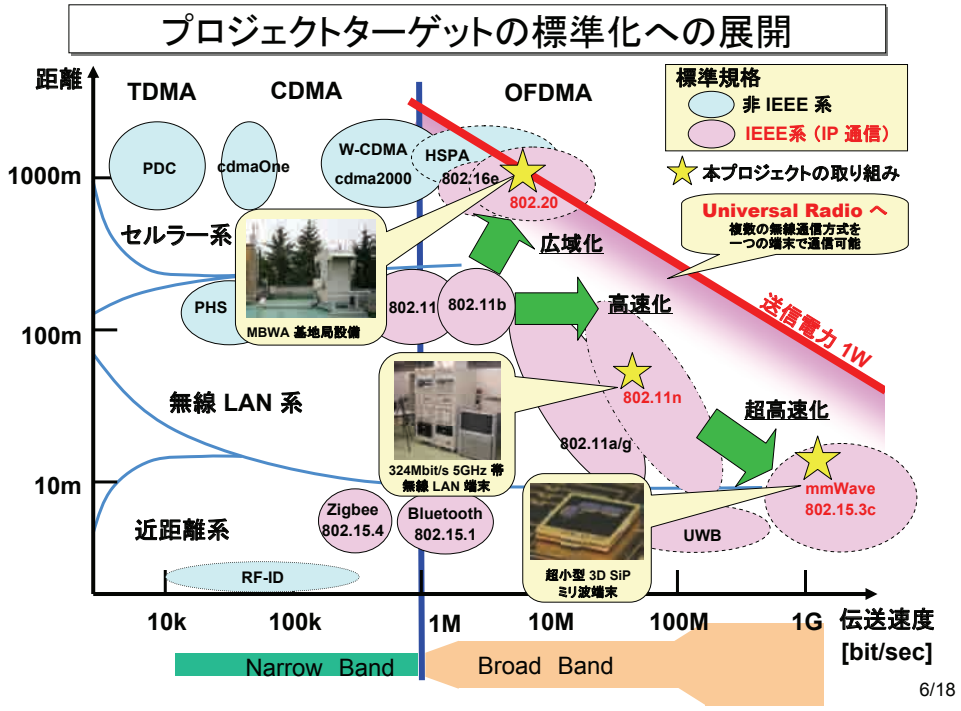
MBWA : Mobile Broadband Wireless Access　WLAN : Wireless Local Area Network
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access　WPAN : Wireless Personal Area Network

2/18


我々のグループの軌跡
RIEC
bit/sec
1G
100M
10M
1M
100k
10k
1k
我々の軌跡
公衆サービス
無線LAN
Wireless LAN/Hotspot
方式・伝送速度のリーダーシップ
IT program 1Gbps
IT program 100M
5mm角
無線チップ
Hokubu 2M
IEEE802.11a 54Mbps
IEEE802.11b 11Mbps
Packet SS-CDMA 22M
Clarion 10M
Packet SS-CDMA 10M
SAWMF modem 2M
IEEE802.11 2Mbps
DS-FSK/ 110k
Clarion 256k
W-CDMA 384k
PHS64k
PHS32k
cdmaOne 64k
Clarion 32k
PDC packet 28.8k
PDC 9.6k
ポケベル 1.2k
DS-FSK 1.2k
携帯電話・セルラー
1986 1988 1990 1992 1994 1996 1998 2000 2002 2006
年
ITプログラム：無線LANの発展の主導権を獲得
3/18


次世代モバイルインターネット端末の開発
無線端末が様々な場所に存在する
ユビキタス（「何処にでも」）を生み出す、
超小型無線端末開発等。
異種材料統合／三次元システムチップの開発　～ブロード化～
超高速無線端末用チップの開発
SAWフィルタチップ 窒化アルミニウムなど
超広帯域RF LSI シリコン,GaAsなど
ブロードバンドIF LSI シリコン,GaAsなど
振動子チップ 水晶など
ブロードベースバンドLSI シリコンなど
RF:Radio Frequency (無線周波数帯)
ADC:アナログ・ディジタル変換LSI
DAC:ディジタル・アナログ変換LSI
SAW:弾性表面波
マイクロバンプ：直径10μのの金の塊。
ダイレクトボンディング技術：チップ部品やLSI同士を直接接合することでパッケージのサイズを極限まで小さくする技術
統合
異種材料統合/三次元システムチップ
フィルタチップ
インダクタ
超広帯域RF LSI(GaAs)
超広帯域RF LSI
～500ミクロン
ブロードバンドIF LSI(GaAs)
ブロードバンドIF LSI
ブロードベースバンドLSI
振動子チップ
バッテリ
電源回路
5mm角
System in Package (SiP)
マイクロバンプ
ダイレクト
ボンディング技術
システム化
ブロードバンド超小型
無線端末（100Mbps/1Gbps）
映像投影
サングラス型
イヤホン型
内閣総理大臣
小泉純一郎
名刺型
将来：
現状の携帯電話をイヤホンサイズや名刺の薄さまで小型化する超小型端末技術の開発。
デファクト型プロトタイプネットワーク
大学キャンパス間・事業所間・工場間等の
超高速無線ネットワーク（既存システムを高速化）
WAN：遠近問題解決のSS-CDMA
高速伝送QAM-OFDM
60GHz帯を用いた1Gbpsモデムの実現
MPEG2による
ライブ中継
大学キャンパス
大学キャンパス
事業所
超高速ワイヤレスデータ伝送
微弱無線を高速化
IEEE802.11aに準拠した
100Mbpsモデムを実現
SS-CDMA: Spread Spectrum Code Division Multiple Accessの略。遠近問題を解決した符号分割による多重アクセス方式
QAM-OFDM: 振幅位相変調（QAM）と、直交周波数分割多重通信方式（OFDM）で大容量通信を実現する方法。
4/18


次世代モバイルインターネット端末の開発
RIEC
三菱電機㈱
超高速無線端末用LSIの設計技術
文部科学省
示達
日本電気㈱
60GHz帯小型モジュールの開発
60GHz超高周波RF ICの設計
ASKによる1Gbps無線モデムの開発
設計技術・データ
設計技術・試作協力
東北大学IT-21センター
低消費技術
低消費電力通信用
コア回路の開発
BB/IF帯
超高速無線端末用LSIの
試作・評価
IF帯モデムの試作・伝送評価
三次元システムチップの開発
高度変調の導入
60GHz帯
60GHz超高周波RF ICの試作
60GHz帯三次元システムチップ開発
60GHz帯超小型実装技術開発
システム評価技術
超小型化多層基板技術
超小型化多層基板技術
松下電器産業㈱
システムチップ試作用多層基板の提供
多層基板高周波特性解析・パラメータ抽出
GHz帯多層基板設計技術の確立
ソフトバンクテレコム㈱
高速伝送無線モデム設計
60GHz帯伝送評価
5/18


プロジェクトターゲットの標準化への展開
距離
TDMA
CDMA
OFDMA
標準規格
非 IEEE 系
IEEE系（IP 通信）
本プロジェクトの取り組み
1000m
100m
10m
PDC
cdmaOne
W-CDMA
cdma2000
HSPA
802.16e
802.20
Universal Radio へ
複数の無線通信方式を
一つの端末で通信可能
セルラー系
広域化
PHS
MBWA 基地局設備
802.11
802.11b
高速化
送信電力 1W
無線 LAN 系
802.11n
超高速化
802.11a/g
324Mbit/s 5GHz 帯
無線 LAN 端末
mmWave
802.15.3c
近距離系
Zigbee
802.15.4
Bluetooth
802.15.1
UWB
超小型 3D SiP
ミリ波端末
RF-ID
10k
100k
1M
10M
100M
1G
伝送速度
[bit/sec]
Narrow Band
Broad Band
6/18

世界標準化を目指す次世代モバイルインターネット端末の開発の成果

世界最高速 324Mbit/s 5GHz 帯無線 LAN 端末

➢世界最高速 324Mbit/s（実効通信速度 170Mbit/s 以上）の無線 LAN 端末を開発
・複数チャネルを使用することで無線伝送を大容量化 (Band Expansion)
・時々刻々変化する電波伝搬環境の状況に応じて，使用するチャネル数やデータ量を最適化する伝送制御機能 (Link Adaptation)
・IEEE802.11 のデータフレームを複数個束ねて伝送することによる MAC の高効率化 (Frame Aggregation)
➢無線 LAN の標準化団体 IEEE 802.11n に方式提案
➢2004 年 11 月に報道発表
➢三菱電機 (株) との共同研究・開発

324Mbit/s 5GHz 帯無線 LAN 端末

日本初の広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス（MBWA）開発実験

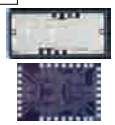
➢オール IP による常時接続型移動通信ネットワーク（次世代ネットワーク ITS など）の実現
・自動車移動中でも音声・動画像通信が切断しないシームレスハンドオーバの実証実験
・無線 LAN と MBWA との異種ネットワーク間シームレスローミングの実証実験
➢2006 年 8 月に仙台市中心部にてドライビングデモを一般公開（報道発表）
（市街地での日本初の移動通信 MBWA 実験の実施，市街地に 3 基地局を設置）
➢MBWA の標準化団体 IEEE 802.20 の活動に参加
➢ソフトバンクテレコム (株)・宮城県との共同研究・開発

MBWA 端末
(PCMCIA type-II)

MBWA 基地局設備（東北大学）

世界最先端ハイビジョン非圧縮伝送超小型 3D SiP ミリ波無線端末

➢低コスト・異種材料チップ三次元システムインパッケージ (3D SiP) による 10mm 角サイズ 60GHz 帯超高速無線通信端末の開発
・日本電気 (株) との 60GHz 帯超高周波 RF IC の研究開発
・松下電器産業 (株) ALIVH 基板を用いた低コスト 3D SiP のための高周波実装技術開発
・銅ボール接続・スタッドバンプボンディング接続の超高周波信号伝送技術の研究開発
➢無線 PAN (personal area network) の標準化団体 IEEE 802.15.3c に方式提案
➢日本電気 (株)・松下電器産業 (株)・NICT との共同研究・開発

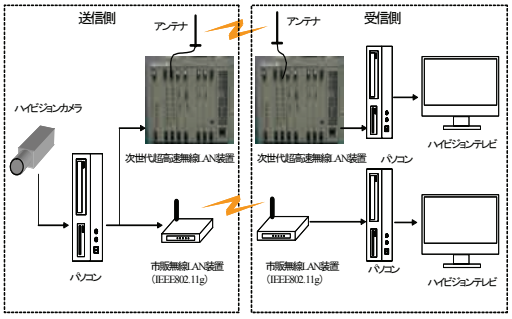

60GHz 帯 RF IC

超高周波 RF IC を
多層樹脂基板上に実装した
超小型3D SiP ミリ波無線端末

8/18

世界最高速324メガビット毎秒 5GHz無線LAN

ハイビジョン画像伝送デモ



共同開発
東北大
三菱電機
中日電子
ネットクリアス

開発した無線LAN装置
中心周波数　：5,530 MHz
バンド幅　　：　120MHz
データ通信速度：　最高324メガビット毎秒

開発した次世代超高速無線LAN装置による画像

市販の無線LAN装置(IEEE802.11g)による画像

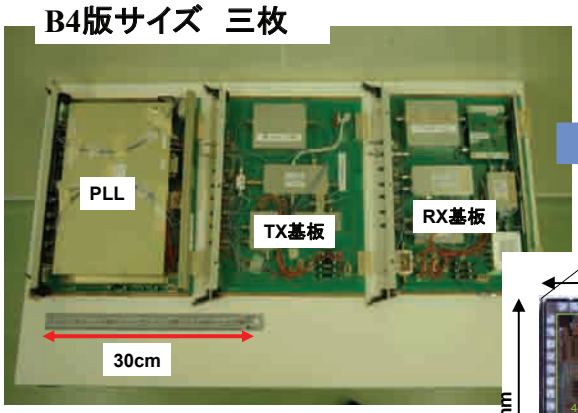
■特徴

- 複数チャネルを使用することで無線伝送を大容量化（Band Expansion）
- 時々刻々変化する電波の状況に応じて使用するチャネル数やデータ量を最適化する伝送制御機能（Link Adaptation）
- IEEE802.11のデータフレームを複数個束ねて伝送することによるMACの高効率化(Frame Aggregation)

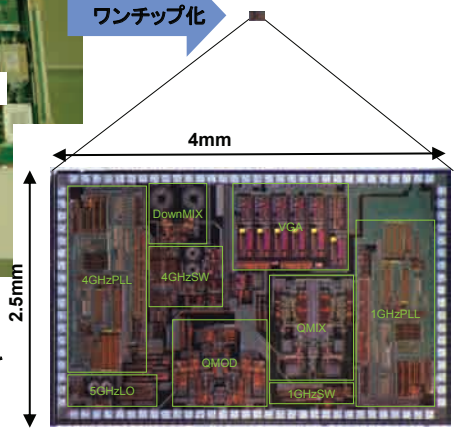
8/18

モバイルインターネット端末用 5GHz SiGe IC開発

B4版サイズ　三枚



ワンチップ化

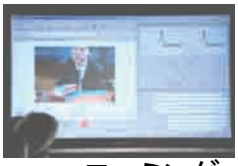


送信ブロック、受信ブロック、PLLブロックを
ワンチップ化し、小型化を実現

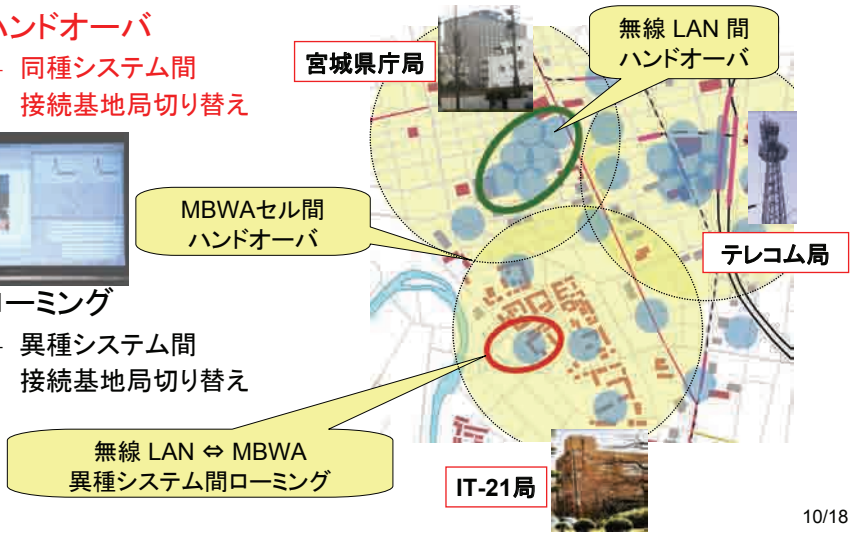
広域モバイルネットワーク実証実験

広域モバイルブロードバンド無線アクセス（MBWA）と
ホットスポット (無線 LAN) のシームレスな環境を実現

- ハンドオーバ
  - 同種システム間
    接続基地局切り替え



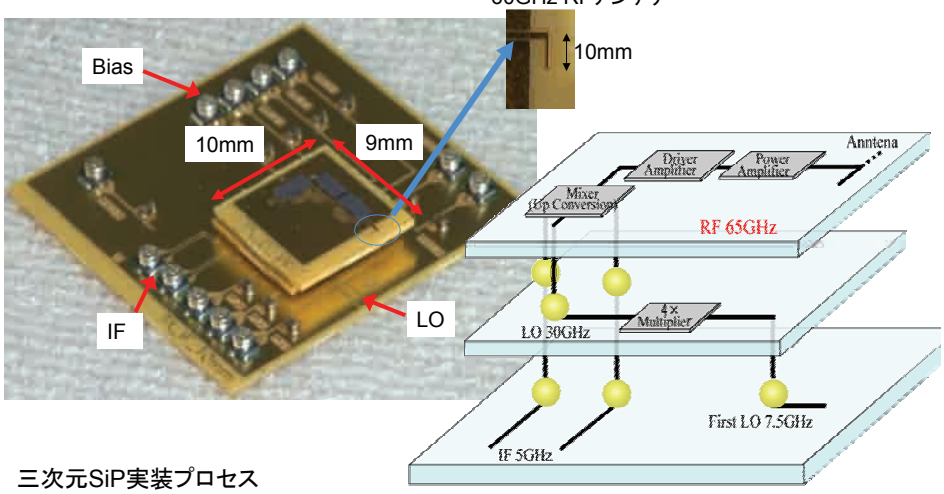
- ローミング
  - 異種システム間
    接続基地局切り替え



10/18

60GHz帯三次元SiP（System-in-Package）RFモジュール

送信モジュールの実装概要



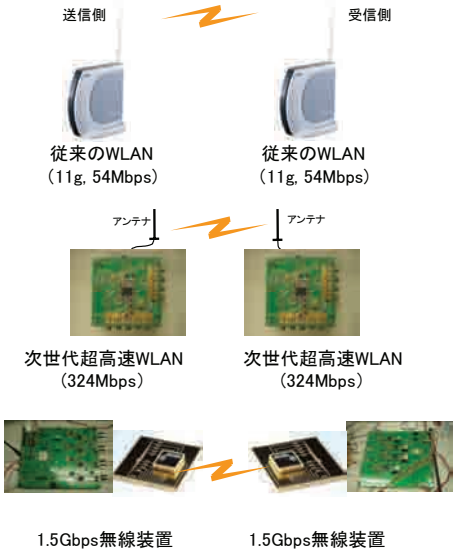
三次元SiP実装プロセス
1. 各層のICをSBB技術により多層樹脂基板上に実装
2. 各層を銅ボール接続技術により積層

SBB: Stud Bump Bonding

11/18

1.5ギガビット毎秒 60GHz無線装置開発

非圧縮ハイビジョン画像伝送デモ（WLANとの比較）



エラーによる雑音あり

市販の無線LAN装置(IEEE802.11g, 54Mbps)による画像

エラーによる雑音なし
MPEG圧縮による
遅延大

開発した次世代超高速無線LAN装置(324Mbps)による画像

エラーによる雑音なし
圧縮による遅延無し

開発した1.5Gbps超高速無線装置による画像

ビデオ画像によるデモンストレーション

12/18

ま と め

RIEC

- 324メガビット毎秒5GHz帯無線LAN装置の試作に成功。 → IEEE802.11n標準化提案

- 広域ブロードバンドアクセスシステムの実証実験を実施。ハンドオーバー・ローミングの技術開発に成功。 → IEEE802.20標準へ貢献

- 1.5ギガビット毎秒の無線装置開発に成功。
  → IEEE802.15.3c標準化獲得へ

13/18

展　　望

すべてのワイヤレスシステムを融合する
Wireless-NGN（Universal Radio）へと展開

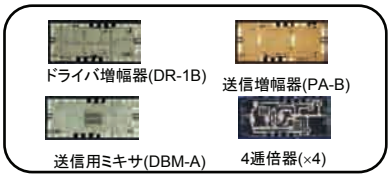
14/18

付録

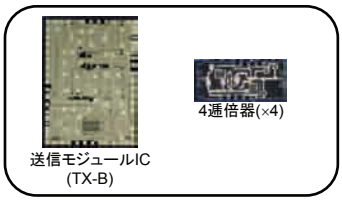
15/18

60GHz帯RF ICの開発

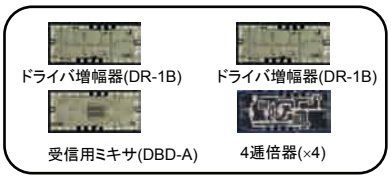
10mm角送信SiP用チップセット



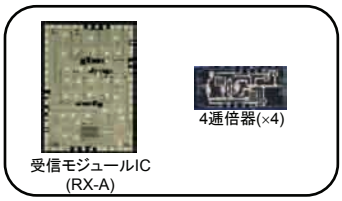
5mm角送信SiP用チップセット



10mm角受信SiP用チップセット



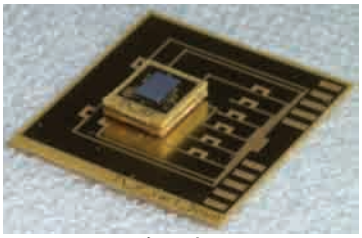
5mm角受信SiP用チップセット



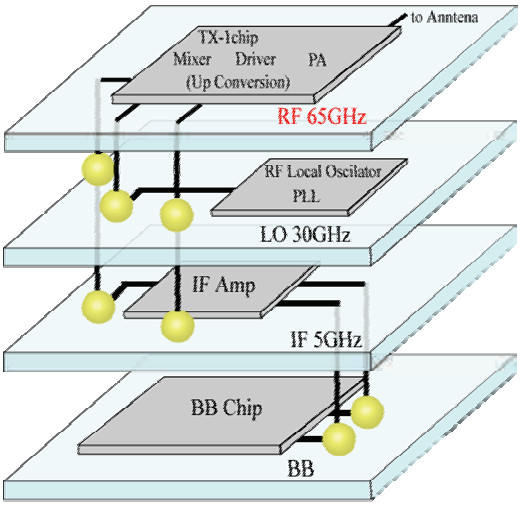
GaAsを用いた60GHz帯ICを多数試作
三次元SiP用チップセットを選定

16/18

5mm角　60GHz帯三次元SiP RFモジュール



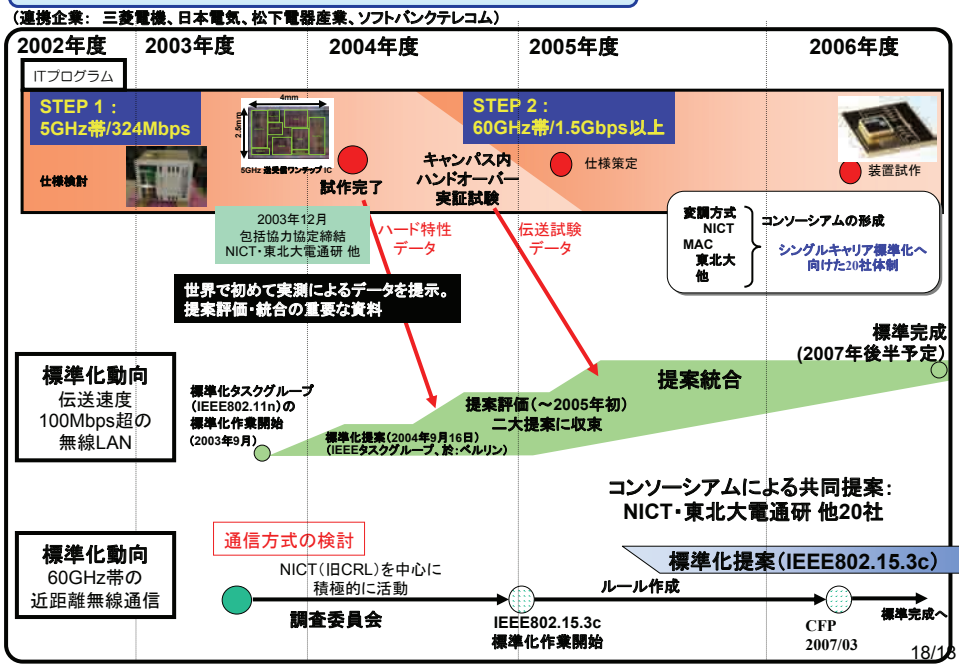
5mm角で実現した
三次元実装SiP
60GHz送信モジュール



アンテナ・RF・IF・発振器・ディジタルベースバンドまで
5mm角へ三次元実装し、三次元システムチップを構成

17/18

プロジェクトにおける標準化への取り組み



18/18

1

ITプロジェクト事後成果報告会　平成19年3月19日

超小型大容量ハードディスクの開発

プロジェクトリーダー：　中村　慶久

東北大学電気通信研究所
二十一世紀情報通信研究開発センター

TOHOKU University　*Yoshihisa Nakamura*

2

研究開発の達成目標

1. 目標とする性能

① 垂直磁気記録によるHDDの実現
② 記録密度0.5テラビット/inch^{2}の実証
（世界を先導するレベルでの実用化の道を拓く）
③ 記録密度1 テラビット/inch^2 の要素技術開発
（プロジェクトスタート時の70倍）

2. 要素技術の開発

① テラビット分解能記録メディア
② 高分解能書き込み用単磁極型磁気ヘッド
③ 高分解能超高感度読み出し用スピントロニクス型ヘッド

3. 応用システムの開発

500円玉サイズディスクの小型大容量垂直HDD
＋ 無線インタフェース → ユビキタス・ストレージ・システム（UPS）

TOHOKU University　*Yoshihisa Nakamura*

3

研究開発の達成目標

1テラビット/inch²が開く世界

500円玉サイズHDD

映像約15時間

新聞230年分

超大容量HDDレコーダ

・LP（long play）モードで
4500時間（185日分）
・ハイビジョン動画で
500時間（20日分）

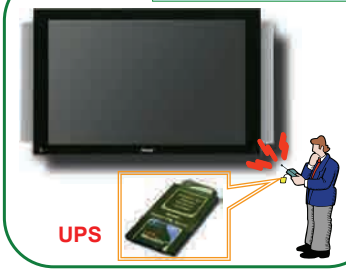
要素技術

テラビット分解能
記録メディア

高分解能単磁極型
ヘッド

スピントロニクス型
再生ヘッド

応用システム



Since 1935 RIEC TOHOKU University

Yoshihisa Nakamura

4

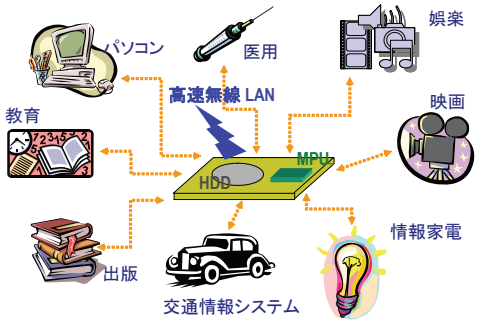
超小型大容量HDDができたら

面記録密度 [Giga-bit/in²]	記録容量 [Giga-Byte]	新聞[1] [年]	広辞苑[3] [冊]	高精細動画[4] [時間（分）]	ハイビジョン[4] [時間（分）]
15	1	3.4	33	0.22（13）	0.1（6）
60	4	13.7	133	0.88（53）	0.4（24）
100	6.7	22.9	3333	1.48（89）	0.68（40）
138	**10**	**34.2**	**4997**	**2.22(133)**	**1.01 (60)**
500	33.4	114.2	16666	7.41（445）	3.37（202）
1000	**66.7**	**228.4**	**33333**	**14.82（889）**	**6.74（404）**

＊1）12字×82行×10段×40頁，～0.8 Mega-byte/日
＊2）23字×50行×4段×3000頁，～30 Mega-byte/冊
＊3）10 Mega-bit/sec
＊4）22 Mega-bit/sec

2.5インチディスク
（1 Tbits/inch2, 400 Gbyte）
↓
ディジタルハイビジョン動画
（22 Mbps）×40時間（1.7日分）

手のひらサイズの
ユビキタス・ストレージ

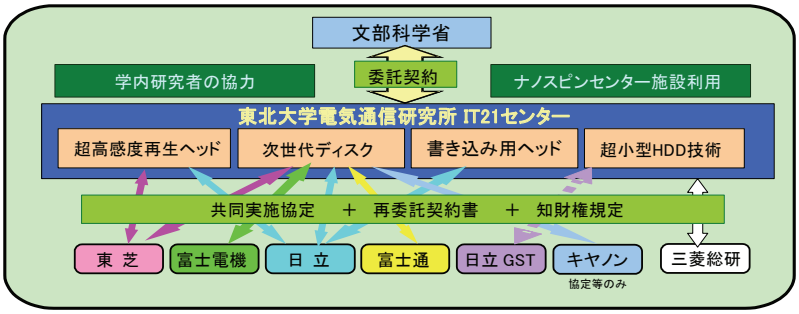


Since 1935 RIEC TOHOKU University

Yoshihisa Nakamura

5

研究開発実施体制



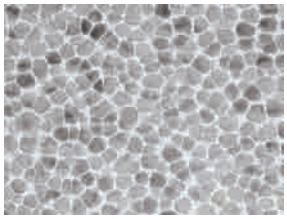
① 日立、東芝、富士通、富士電機、日立GSTとの共同研究と，三菱総研の支援
② 産学連携共同実施協定および知財権規定の締結による円滑な共同研究の実施と知財権の保護。
③ 各社の研究員をIT21センターに派遣した集中研方式
④ 企業側の最先端の量産設備を利用した最先端ヘッド等の試作

Since 1935 RIEC TOHOKU University　　*Yoshihisa Nakamura*

6

研究開発の成果：世界最高の記録密度達成

1. 合金中最も高い飽和磁束密度を有するFeCo膜の軟磁性化に成功し、これを用いた単磁極ヘッドヘッドの高い記録能力を確認（平成14年度）。



CoPtCr-SiO_2膜の
透過電子顕微鏡写真

2. 垂直磁気ディスクとして世界最高の記録密度を達成

① CoPtCr-SiO_2垂直磁気ディスクの開発により 146 Gbits/inch^{2}を達成（平成14年度）
② 160 Gbits/inch^{2}の記録密度の実証試験に成功（平成16年度）

高精度記録再生装置

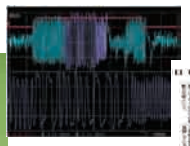
Since 1935 RIEC TOHOKU University　　*Yoshihisa Nakamura*

7

研究開発の成果：超小型垂直磁気HDDの試作

3. 垂直磁気記録方式による500円玉サイズの超小型HDD（10GB相当）の試作成功
   ① 垂直磁気記録方式の超小型ドライブとして世界初（平成16年10月，7GB相当）
   ② 同サイズで世界最高の記録密度（138 Gbits/inch^2, 10GB相当）を達成（平成17年3月）

試作に成功した10GB相当の超小型垂直HDD



垂直磁気記録プロトドライブのサーボ系信号波形

TOHOKU University　　Yoshihisa Nakamura

8

研究開発の成果：小型HDDを用いたUPSの試作

4. ユビキタス・パーソナル・サーバ（UPS）の試作
   ① 11 Mbpsの無線インターフェースと1インチドライブを組み込だバッテリ駆動ユビキタス・ストレージを試作 （平成15年度）
   ② 10GB垂直1インチドライブの試作と15Mbpsハイビジョン画像の転送 （平成17年3月）
   ③ 大容量化と20Mbpsハイビジョン画像の伝送 （平成19年3月）

試作した UPS（平成15年度）

ハイビジョン画像の伝送に成功した2次試作品（平成17年3月）

大容量化した3次試作品と20Mbpsハイビジョン画像の伝送（平成19年3月）

TOHOKU University　　Yoshihisa Nakamura

9

研究開発の成果：UPS開発の経緯

	平成15年度	平成16年度	平成18年度
使用HDDとその記録容量	長手市販HDD （1": 1GB）	垂直試作HDD （1": 10GB）	垂直量産HDD （2.5": 160GB x2）
開発の狙い	・超小型HDDの映像応用の開拓 ・バッテリ駆動のユビキタス用途	・試作垂直HDDの搭載 ・高速802.11g無線インタフェース採用	・2台のHDDを用いたRAIDによる高速化
転送速度	3.3 Mbps	15 Mbps	20 Mbps
記録時間（20Mbps換算）	0.1時間	1.1時間	35.5時間

Since 1935 RIEC TOHOKU University

Yoshihisa Nakamura

10

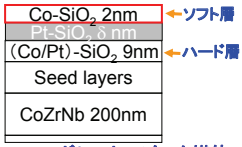
研究開発の成果：500 Gb/inch^{2}の実証

5. 新構造のハード／ソフト・スタック媒体を提案し、ディスクリート・トラック技術と組み合わせて500 Gb/inch^{2}の見通しを得た。

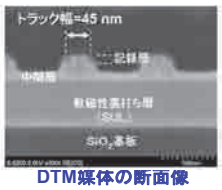
① 500 Gb/inch^{2}実証に向けた記録再生系の仕様と基礎特性を決定。（平成17年度）

② シミュレーションにより、トレーリングシールドなどのヘッド磁極構造の改良・検討を行い、500 Gb/inch^{2}を達成できる単磁極ヘッドの構造案を得た。（平成17年度）

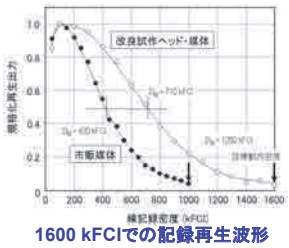
③ ハード/ソフトスタック媒体のエネルギー計算と基礎実験から、500 Gb/inch^{2}を超える記録密度ポテンシャルを有することを明確化。（平成18年度）



ハード/ソフト・スタック媒体



DTM媒体の断面像



1600 kFCIでの記録再生波形

Since 1935 RIEC TOHOKU University

Yoshihisa Nakamura

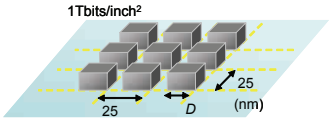
11

研究開発の成果：1Tb/inch^{2}の要素技術開発(1)

6. 記録再生方式の基礎検討と仕様設計

① パターン媒体を用いた1Tb/inch^{2}の記録再生系の基本設計を終了

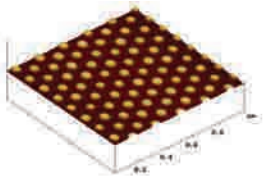
② 信号再生では十分な信頼性が得られることをシミュレーションにより確認



1Tb/inch^{2}相当のドット配置

7. テラビット垂直磁気記録媒体

CoPt/Ru膜を用いた微細ドットは，1Tb/inch^{2}の媒体実現に必要な物性条件を満たすことが明らかとなった（平成17年度）



CoPtドットアレイのAFM像

⇒ 要素部品に要求される微細加工精度は現在の半導体等の微細加工技術を超える。

12

研究開発の成果：1Tb/inch^{2}の要素技術開発(2)

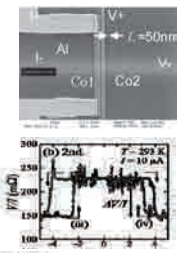
8. テラビット用記録・再生ヘッド

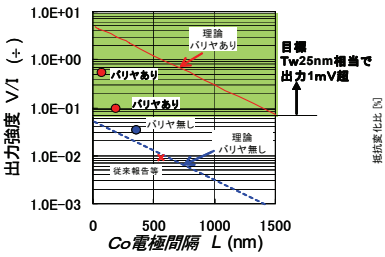
① 微細ドットに書き込むための記録ヘッドの基本構造を提案。

② 次世代の超高感度リーダとなるスピン蓄積素子の高出力を確認。（平成17，18年度）

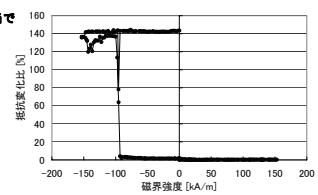
③ さらに高感度化が期待されるNiFeの微小ポイントコンタクトにおいて100%を超える大きな磁気抵抗効果の実現に成功（平成18年度）

⇒ 1Tb/inch^{2}を超える記録密度に用いる記録・再生ヘッドに見通し！





スピン蓄積を用いた高感度リーダ基本素子による高出力動作の実証



微小ポイントコンタクトにおける140%に及ぶMR波形の一例

13

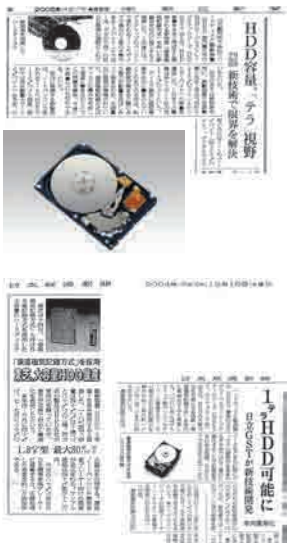
研究成果普及への取り組み (1)

① 特許権等の出願状況

- 出願済み35件、出願予定1件（ストレージプロジェクト内の知財委員会の審議が終了）

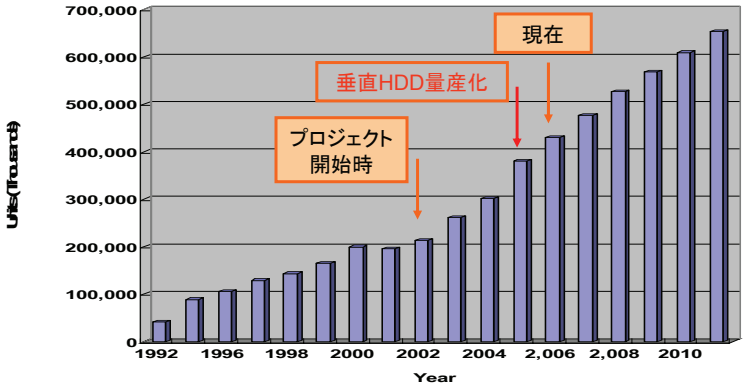
② 製品化・企業化

- 垂直磁気ディスクとして世界最高の記録密度の達成、超小型垂直磁気HDDの試作等の研究成果により、日本企業の垂直磁気HDDの量産化に弾み。
- H17年度より、日立GST、東芝、富士通等の各社が垂直HDDの量産を開始。数年内に、HDDは全て垂直磁気記録に置き換えられるとの予測。



14

HDDの出荷量と総額



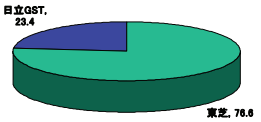
1) 本プロジェクトの成果は垂直磁気HDDの製品化に大きく弾み！
2) 2006年のHDD世界市場は約4億3,000万台（約3.3兆円）。2011年（H23年）には約6.5億台（4.3兆円）を越えると予測。

「2007年ストレージ関連市場総調査」富士キメラ総研

15

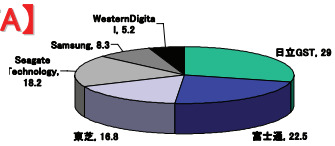
小型HDD単体の市場規模　(2006)

【1.8”】



メーカー	生産数量		PMR動向
	(1000台)	シェア(%)	
東芝	19,000	76.6	2005年に業界初のPMR製品を量産化
日立GST	5,800	23.4	今後すべて移行予定(時期未定)
合計	24,800	100.0	

【2.5”ATA】



メーカー	生産数量		PMR動向
	(1000台)	シェア(%)	
日立GST	33,300	29.0	2007年的までにすべてPMR
富士通	25,800	22.5	量産出荷開始
東芝	19,300	16.8	100GB/枚で量産開始
Seagate	20,900	18.2	今後、すべてPMR
その他	15,500	13.5	
合　計	114,800	100.0	

3) 2.5”以下の小型HDDは、2006年(H18年)の世界市場の73%以上が日本製品。

4) 小型HDDの総生産数に対する割合は、2011年(H23年)には46%(金額で1.6兆円)を超える見込み。

「2007年ストレージ関連市場総調査」富士キメラ総研

16

研究成果普及への取り組み (2)

③ 見学者へのプロジェクト紹介

- 遠山元文部科学大臣、細田、茂木、棚橋、松田の歴代科学技術担当大臣、自治体関係者、海外の大学・大使館関係者、産業界の役員等々、多くの方々が視察ないし見学に来訪。

④ 総合科学技術会議における成果の紹介

- 第二期科学技術基本政策の成功例として、試作した超小型垂直HDDの紹介と、同HDDを用いたユビキタス・パーソナル・サーバ(UPS)を、総合科学技術会議においてデモンストレーション。
(2005年6月16日)

試作した超小型垂直HDDと小泉前首相

17

垂直磁気記録HDDの量産化に弾み！

⑤ 新聞、科学雑誌への掲載

- 世界初の超小型垂直磁気HDDの試作に関しては、新聞・科学雑誌等に15件の記事が掲載
- 垂直磁気ハードディスクの製品化に関連してインタビューを受けた記事は16件（製品発表は除く）

18

研究成果普及への取り組み (3)

1. 国際会議等

(1)国際シンポジウム「超高密度スピニックストレージシステム」
（2003年10月30, 31日、仙台　参加者　145名）

(2)垂直磁気記録国際会議の開催
（2004年5月31日～6月2日、仙台、参加者　280名）

2. 学術的成果の情報発信

(1) 国際学会論文103件、国内学会論文41件 → 合計144件

(2) 国際会議における発表：149件（内20件は招待講演）

3. 受賞等

(1) 中村慶久：第4回産学官連携推進会議
平成17年度産学官連携功労者表彰 経済産業大臣賞、他13件

(2) 日立製作所と東芝の垂直磁気HDDの実用化に関連して、大河内記念生産賞など3件

19

人材育成

1. 人材育成の対象者、育成方法等

(1) 延べ201(人年)、内、大学院学生は81(人年)が、個々のテーマ毎に産学連携の研究開発を遂行。

(2) 大学院学生2人に対し教職員・研究員3人の割合で、密度の高い人材育成を実現。

(3) 博士13名、修士28名が学位を修得。進学する者を除きほぼ全てが、磁気記録あるいは関連する技術の企業へ就職。

2. 期待できる効果等

(1) 東北大学電気通信研究所は、磁気記録工学を専門とする日本で唯一の分野を有し、長年にわたりHDD業界へ研究者を輩出。また、磁性金属材料の研究に強い東北大学からは、HDDの要素部品メーカに多くの修了生が就職・活躍している。

(2) 今回の研究開発に従事した学生・企業研究員等が、これからの日本のストレージ業界を牽引するリーダとなるものと期待。

Since 1935 RIEC TOHOKU University *Yoshihisa Nakamura*

20

中間評価指摘事項への対応 (1)

1. 連携している企業にリーダシップを発揮することで、業界のトレンドに迎合せずに、記録密度1テラビット／平方インチでの実証という当初目標の達成を目指して欲しい。

垂直磁気HDDの量産化も開始され、500Gbits/inch^{2}の見通しを得ることもできた。また、超高感度リーダ技術を始めとする基礎研究において1Tbits/inch^{2}のための要素技術開発の成果が得られたことなど、産学連携による実用化を目指したプロジェクトの目標は達成できたと考えている。

2. 学術的成果の論文発表の点では、特に大きなものがまだ見えないので、今後に期待する。

査読付き学術論文144件、国際会議での発表149件（内20件は招待講演）が得られ、学術的な上でも一定の成果を挙げることが出来たと考えている。

Since 1935 RIEC TOHOKU University *Yoshihisa Nakamura*

21

中間評価指摘事項への対応 (2)

3. 成果の製品化には期待をするものの、従来方式とのコスト比較に関する見通しが提供されると経済効果について納得を得やすい。

本プロジェクトの目標の一つである垂直磁気記録方式を用いたHDDの量産化が始まり、数年後には全てのHDDが垂直磁気記録に置き換わる見通しであり、従来方式と比較した生産上の費用対効果は克服されていると考えられる。

4. 産業界においてはこの分野の人材は不足していることから、他の大学との連携強化等の方策により、人材育成の更なる努力を期待したい。

学内の他部局との共同研究により、5年間で延べ81(人・年)の大学院学生が研究開発に従事。内41名が大学院を修了し、企業等に就職。愛媛大学の研究グループとも共同研究を実施し、人材育成の上でも一定の成果を挙げることが出来た。

Since 1935 RIEC TOHOKU University *Yoshihisa Nakamura*

22

中長期的な社会的効果

- 情報通信ネットワークが国民生活に欠かせない社会インフラとして隅々に行き渡り、利用者・生活者重視の視点から真の高度情報化社会を具現化することが期待される。たとえば・・・
  - 動画やデジタル家電サービス等の大容量情報の普及
  - 地上波デジタルやスーパーハイビジョン等超高品位画像
  - セキュリティ・健康・医療・教育等のネットワーク市場の拡大
- 記録/保存/蓄積するデータストレージ量がますます増大しており、個人が普通の社会生活において最先端のITの恩恵を受けるためには、多様な大容量ストレージ技術の実現が必須。
- モバイル系小型HDDから大容量サーバ用HDDまで、幅広い応用における情報ストレージ技術の一層の大容量化・高速化が求められている。

Since 1935 RIEC TOHOKU University *Yoshihisa Nakamura*

23

最　後　に

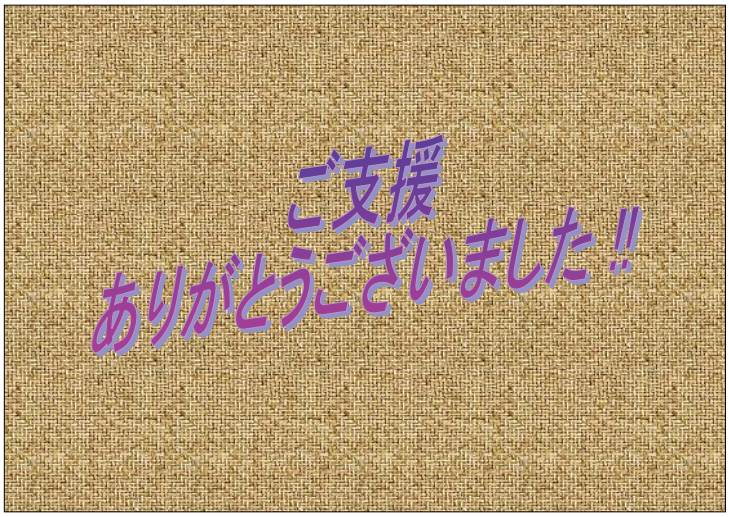
- 本プロジェクトで得られた1Tbits/inch^{2}の要素技術の芽を、継続的な研究開発によりハードディスクと情報ストレージ技術を大きく発展させ、次世代大容量情報通信技術を実現する原動力とする。
- 長期的研究開発課題として、超微細加工等のリスクの大きい将来技術のための研究開発投資を国が継続的に行ない、切れ目のないイノベーションを持続させることで、世界市場における日本製品の競争力を確保。
- 国際的なシェア拡大による大きな経済的波及効果を生み出して、日本の国際的な優位性を維持。

Since 1935 RIEC TOHOKU University　　*Yoshihisa Nakamura*

24

ITプロジェクト事後成果報告会

平成19年3月19日



Since 1935 RIEC TOHOKU University　　*Yoshihisa Nakamura*

文部科学省　世界最先端 IT 国家実現
重点研究開発プロジェクト
「高機能・超低消費電力メモリの開発」

プロジェクト成果の概要

プロジェクトリーダー
東北大学電気通信研究所
大野英男

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

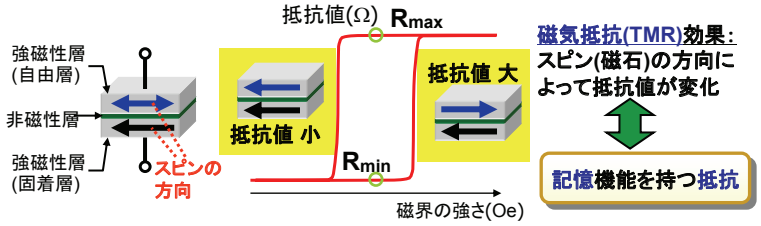
発表内容

1. 本プロジェクトの目的・目標
2. 本プロジェクトの研究開発と成果
   - I　高機能・超低消費電力スピンメモリ基盤技術
   - II　次世代スピンデバイス基盤技術
3. まとめと今後の展望

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

スピンメモリの特徴：ユニバーサルメモリ

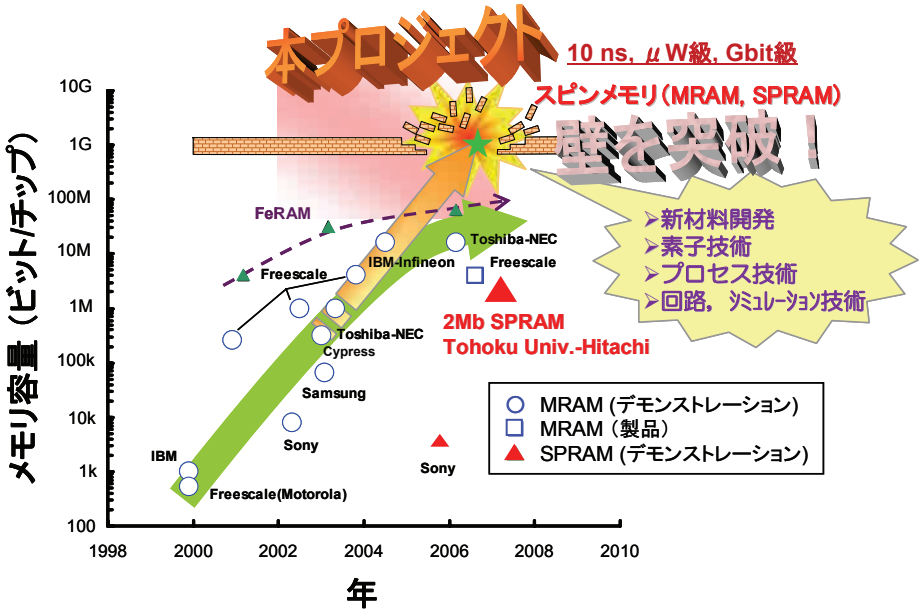
トンネル磁気抵抗(Tunnel Magneto-Resistive：TMR)素子



- 不揮発（磁化方向により情報を蓄積）
- 書き換え耐性が無限大
- 高速書き込み、読み出し
- セル構造が単純で、大容量化に適する
- リフレッシュ動作不要（低消費電力）
- CMOS混載が容易

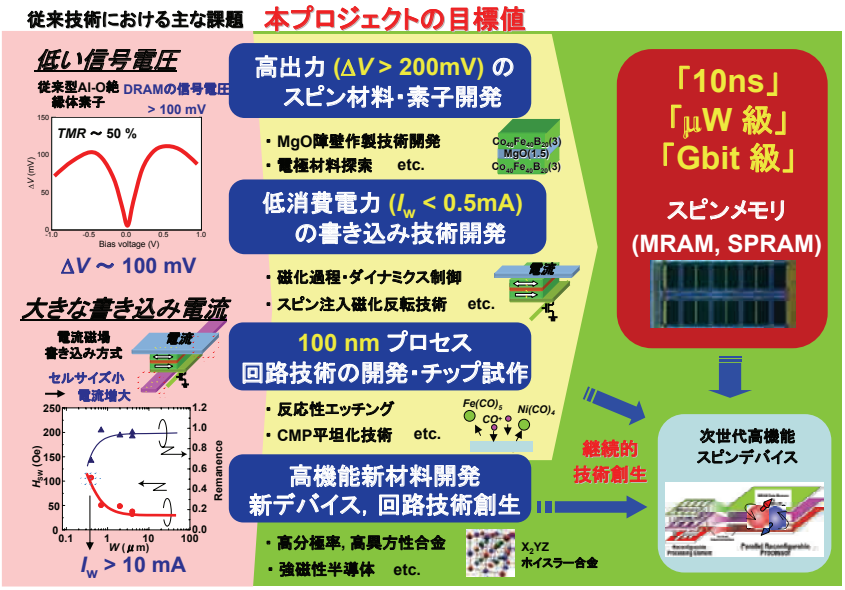
高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

本プロジェクトの開発目標



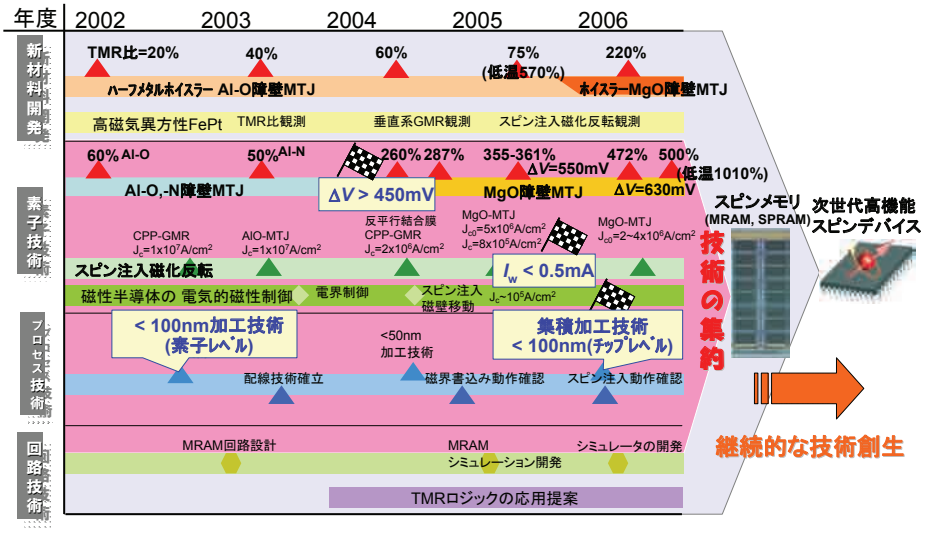
高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

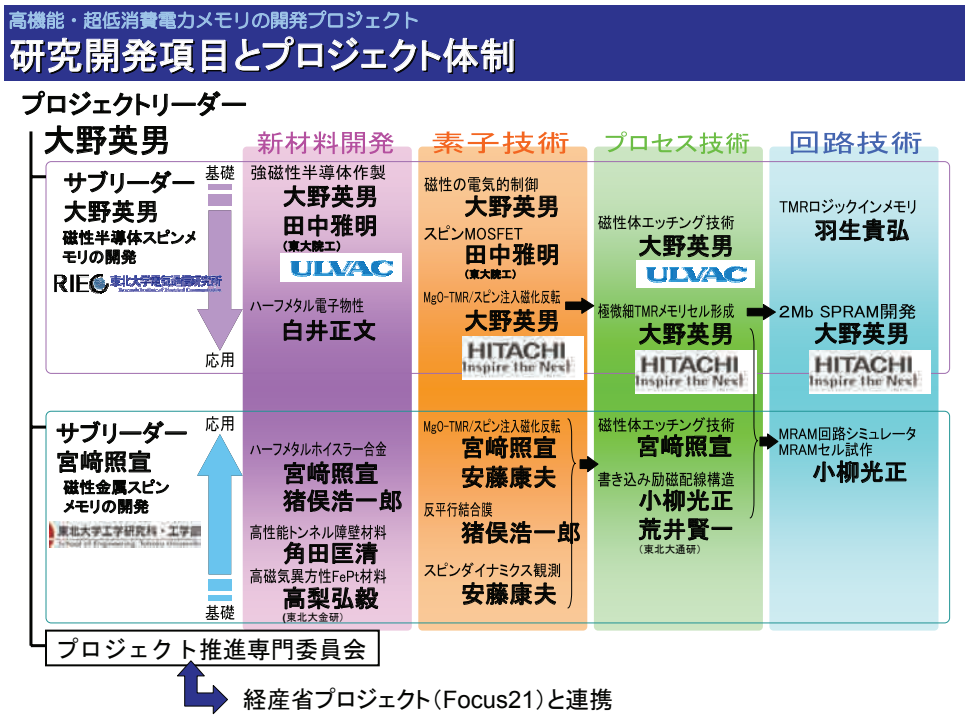
研究開発の達成目標



高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

研究・開発経緯



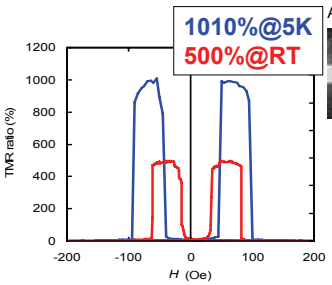


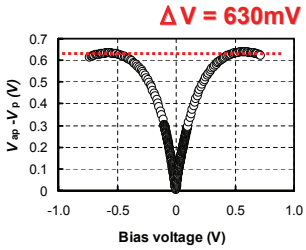
本プロジェクトの研究開発と成果I

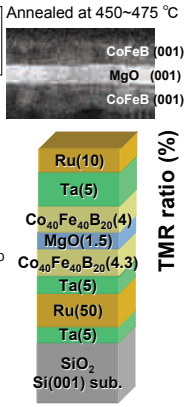
高機能・超低消費電力スピンメモリ基盤技術の確立

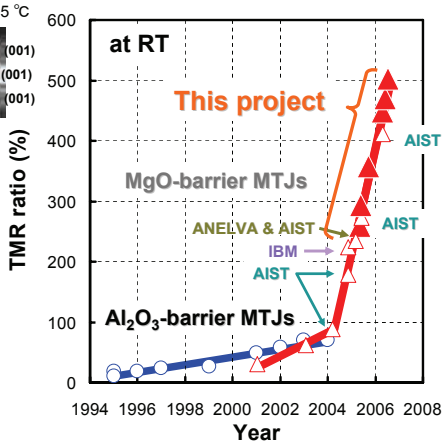
高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

MgO障壁層を用いた高出力TMR素子の開発









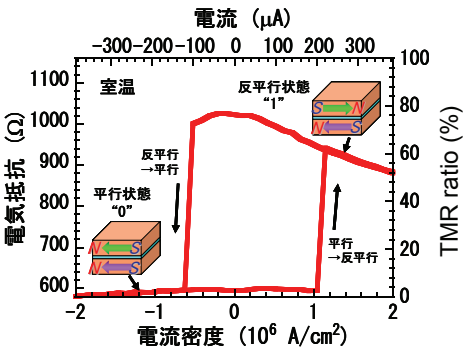
Japanese Journal of Applied Physics 2005
Applied Physics Letters 2006

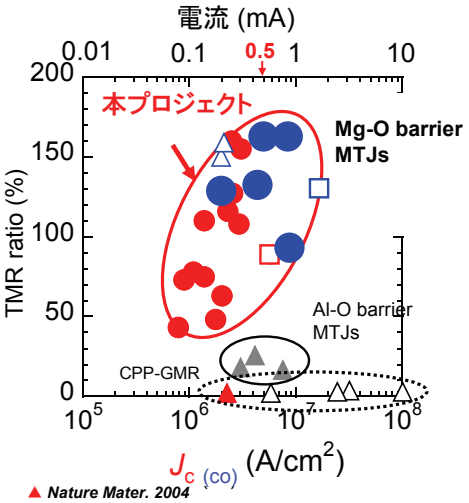
室温500%(低温1010%)の世界最高のTMR比を実現.

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

低電力書き込み:スピン注入磁化反転

高密度化・低消費電力化を可能にするデータ書き込み(磁化反転)





▲ *Nature Mater. 2004*
●, ● *Japanese Journal of Applied Physics 2005, 2006*

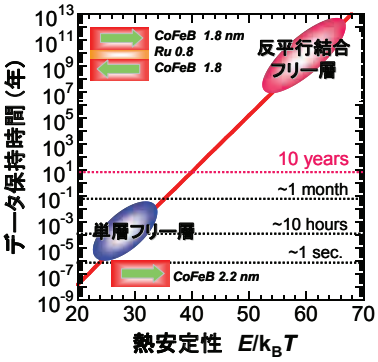
単層フリー層で●J_c<1x10^{6}A/cm^2 (● J_{c0}~2x10^{6}A/cm^2)のスピン注入磁化反転を観測(世界最小の閾値電流密度)

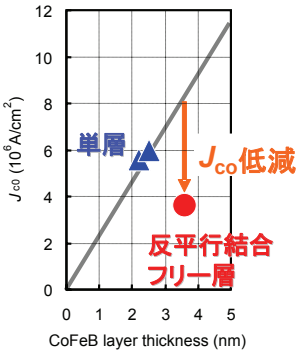
高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

熱安定性と閾値電流密度の最適化

素子の微細化⇒○閾値電流低下
×熱安定性

フリー層に反平行結合膜を適用⇒熱安定性の向上と電流密度の低減





データ保持時間10年以上（E/k_BT~65@100x100nm^2）でJ_{c0}=3.6x10^{6}A/cm^2
⇒世界最小の電流密度

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

プロジェクトの目標値達成度

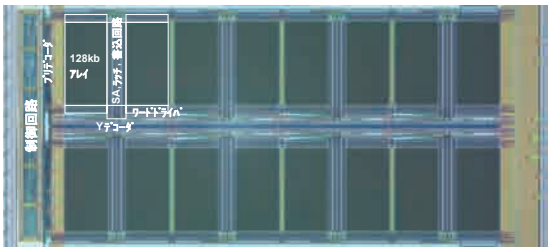
シミュレーション結果: ・セルサイズ 14F^2 @F=45nm ⇒高密度（Gbit級）
・書き込み速度 <5ns
・読み出し速度 <6ns
⇒高速（<10ns）
・書き込み電力 216μW/bit @ F=45nm ⇒低消費電力（μW級）

	SPRAM (J_{c0}=3.6x10^{6}A/cm^2)		DRAM		SRAM		磁場書込 MRAM	
½ ピッチ(F)	90nm	45nm	90nm	45nm	90nm	45nm	90nm	45nm
セル面積(F^2) (チップ容量 bit)	38	14	8 (1G)	6 (4G)	92	107	27	22
読出速度(ns)	<6.0	<6.0	8-10	8-10	2.0	1.2	<6.0	<6.0
書込速度(ns)	<5.0	<5.0	8-10	8-10	2.0	1.2	<2.5	<2.5
読出電力(μW)	59	50	<20	<20	<40	<20	66	55
書込電力(μW)	1037	216	<30	<20	<50	<30	~10^5	~10^5
	(TMR素子面積A=3F^2)		(ITRS2006)		(ITRS2006)		(シミュレーション)	

10ns、Gbit級、μW級の不揮発ユニバーサルメモリ基盤技術

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

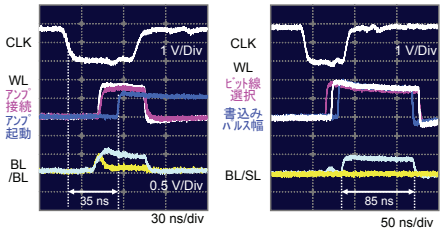
2Mb SPRAMの回路設計・試作と動作検証



断面

Process	0.2 μm CMOS
Power Supply	1.8 V
Memory Cell size	1.6 μm x 1.6 μm (0.4 μm rule)
Chip Module size	5.32 mm x 2.50 mm

TMR素子:
J_{c0}:3.6x10^{6}A/cm^2、書込電流300μA
熱安定性:E/k_BT>40



読出し　書込み

- ◆ビット毎に電流の向きを選択できる双方向電流書き込み回路を開発
- ◆書き込み時間100ns、読み出し時間40nsの動作検証

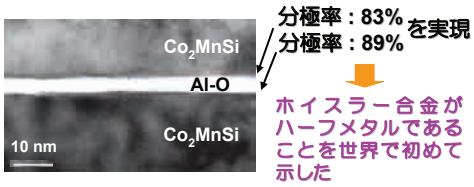
本プロジェクトの研究開発と成果II

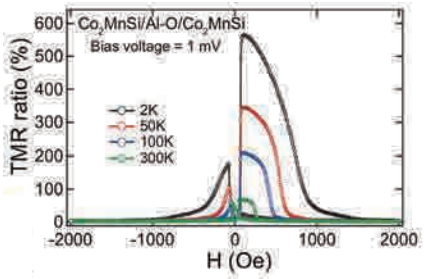
継続的なイノベーションを可能にする次世代スピンデバイス基盤技術

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

次世代スピントロニクス基盤技術：高分極率ホイスラー合金

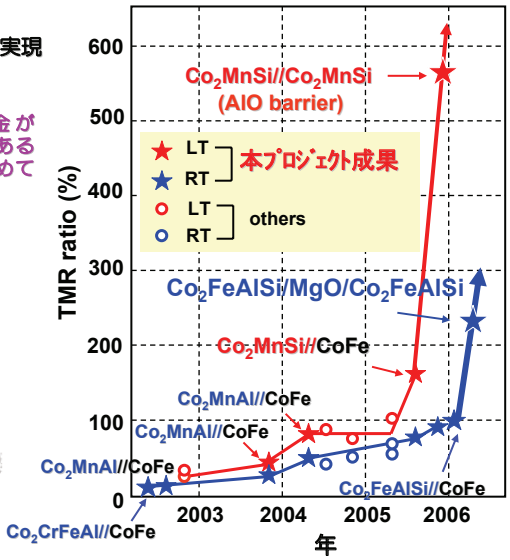
ホイスラー合金を用いたトンネル接合で世界最高の磁気抵抗比を得ることに成功





Applied Physics Letter 2006

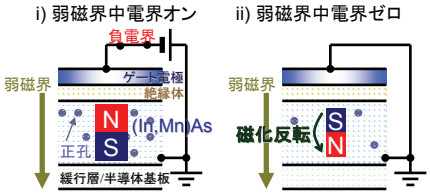
ホイスラー合金を用いたトンネル接合の磁気抵抗比の推移

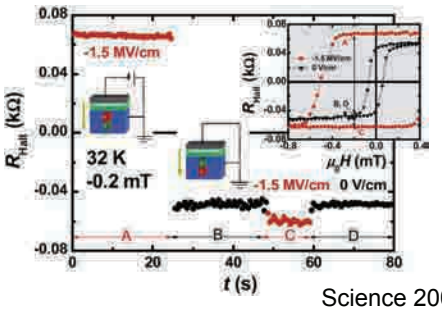


高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

強磁性半導体による新しい磁性制御技術

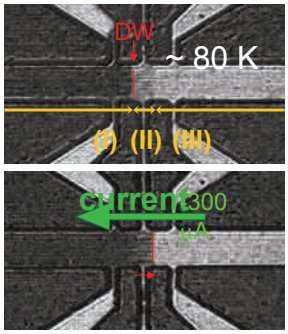
電界アシスト磁化反転

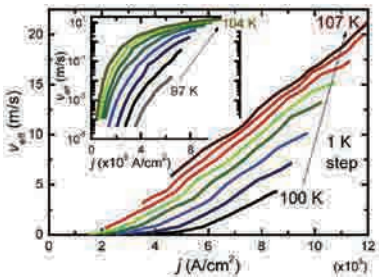




Science 2003年

電流誘起磁壁移動



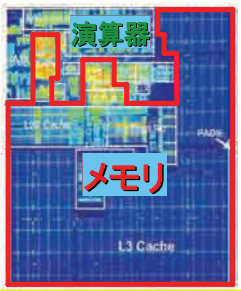


Nature 2004年、Phys. Rev. Lett. 2006年

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

TMRロジックベース高性能演算回路の提案

今日のシリコンCMOSプロセッサ
（米国インテル社イタニウムプロセッサ）



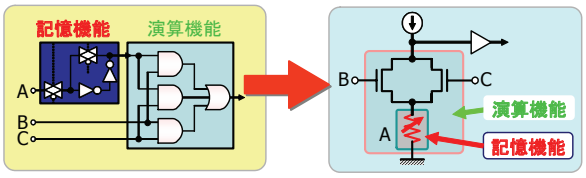
演算器とメモリが分離

遅延が大

面積が大

消費電力が大

TMR素子を活用し記憶機能を論理回路内にコンパクトに一体化



全加算器の実現例(0.18μm CMOS)

	CMOS実現	提案回路 (TMR比50%)	提案回路(future) (TMR比1000%)	
動的消費電力	15μW	15μW	15μW	
トランジスタ数	40	→ 24	24	(60%)
遅延時間	317ps	→ 164ps	→ 115ps	(52%→36%)
静的消費電力	55nW	→ 0.084nW	0.084nW	(0.15%)

さらに動的再構成回路へ

速度・消費電力の技術の壁 ⇒ 集積回路分野における日本発の技術革新により打破!!

高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト

成果のまとめ

- 高出力MgO障壁TMR素子
- 低電流スピン注入磁化反転書き込み
- ｷﾞｶﾞﾋﾞｯﾄ級ｽﾋﾟﾝﾒﾓﾘ回路設計
- 2Mb SPRAMチップ試作・動作検証
- シミュレーション

10ns、Gbit級、μW級の不揮発性ユニバーサルメモリを実現する基盤技術

- 高分極材料創生/磁性半導体による磁化制御
- スピンロジック演算回路の提案

スピンメモリの高性能化
継続的なイノベーション

不揮発性メモリ ・不揮発性ロジックへ

全ての機能を半導体基板上に集積した、不揮発性メモリ・ロジックを実現し、あらゆる電子機器をノーマリオフにする

評価結果（抄）

「ＩＴプログラム」事後評価報告　平成１９年６月１２日
科学技術・学術審議会　研究計画・評価分科会　情報科学技術委員会

はじめに

ＩＴプログラムは、「e-Japan 重点計画」を推進するため、国が重点的に取り組むべき研究開発を実施し、得られた成果を実用化及び企業化につなげることを目指し、平成１４年度より開始された研究開発プロジェクト群である。

平成１３年３月に閣議決定された第２期の「科学技術基本計画」において、情報通信分野は、ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料、環境と並び、特に重点を置くべき分野とされた。

一方、平成１３年１月には、高度情報通信ネットワーク社会形成基本法が制定され、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部が設置されるとともに、我が国が５年以内（平成１７年まで）に世界最先端のＩＴ国家となることを目標とした「e-Japan 戦略」が決定され、平成１３年３月には、そのアクションプランとなる「e-Japan 重点計画」が決定された。

「e-Japan 重点計画」においては、情報通信分野は技術が発展の原動力となる分野であるとの認識の下、横断的な課題として研究開発の推進が重要で、重点的に研究開発を進めていくべき分野として、ネットワーク高度化技術、高度コンピューティング技術、ヒューマンインターフェース技術、更にはこれらの技術を支える共通基盤となるデバイス技術、ソフトウェア技術等の高度情報通信ネットワーク社会の実現に必要な基盤技術の開発が挙げられている。

本プロジェクトは、これを受け我が国が優位な技術（モバイル、光、デバイス技術等）を核とした情報通信技術の研究開発を行う『世界最先端ＩＴ国家実現重点研究開発プロジェクト』（６研究開発課題）、及び、研究開発現場に超高速研究情報ネットワーク等の高機能ＩＴを活用することにより、研究開発スタイルを変革し、新たな研究分野（融合研究領域等）を創出する研究情報基盤技術の開発・整備・実証を行う『「ｅサイエンス」実現プロジェクト』（３研究開発課題）の合計９研究開発課題を設定し、実施機関を公募して実施した。

また、本プロジェクトは、開始より３年度目を迎えた平成１６年に情報科学技術委員会において中間評価を実施し、研究開発成果の普及から事業化までを展望した体制を産学の連携により構築するなど、今度の産学官連携プロジェクトにおいて参考になるものと評価できるとされた。

本報告は、本プロジェクトが平成１８年度をもって当初の予定である５年度計画を完了したことから、「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成１７年９月文部科学大臣決定）等に基づいて、中間評価以降も継続して５年間実施した５研究開発課題について、中間評価以降（平成１６～１８年度）の活動を中心に行った事後評価の結果として、今後の研究開発の推進及び研究成果の普及活動に反映していくためのものである。

事後評価結果

１．　全体に対する評価

本プロジェクトが開始された平成１４年の時点で、我が国が優位な技術を対象とし、基盤技術の確立のみならず実用可能な技術にまで発展させることや、明確な目標値を定め、ブレークスルーを要する技術開発を目指すなど、極めて意欲的かつ先進的な目標を立て、研究開発を推進してきた。

当初予定である５年間のプロジェクトが終了した現在、すべての研究開発課題において全研究項目の目標を達成するとともに、ほとんどの研究開発課題において世界トップレベルかつインパクトの高い成果を挙げるなど、目標以上の成果を挙げている。これは、学術的成果としても高く評価できるものである。さらに、世界をリードする極めて高い成果を挙げ、多数の賞を受賞した研究開発課題や、成果の製品化や標準化の目処を立てるなど、成果を広く実用化させるための基礎を確立した研究開発課題もあった。

特に、成果の普及への取り組みとして、一部の研究開発課題においては、大学発ベンチャー企業を設立し、成果の実用化を加速させる仕組みを構築したことや、本プロジェクトの成果を活用した製品の量産化へ弾みをつけたことは、非常に高く評価できる。

実施体制においても、中核機関である大学の産学連携組織に研究者を集める集中研方式の採用や、参画している機関の得意分野を活用し、研究代表者がリーダーシップを十分に発揮しやすくしたことなど、効率的な実施体制を構築してきた。

また、ＩＴプログラムの各研究開発課題の実施にあたっては、研究開発に参画する大学を中心として、これまで多数の人材を育成してきた。加えて、産学連携体制の下、企業に在籍する研究者の育成にも貢献してきた。

今後は、本プロジェクトの最終的な目標である成果の実用化・企業化を確固たるものとするため、対象分野における日本の優位性を確保しつつ、製品化に向けた研究開発に注力し、成果が企業等により安価かつ安定的に供給され、ひいては情報通信技術を活用した社会及び生活の実現に資することを期待する。

２．　全体に対する評価

(1) 世界最先端 IT 国家実現重点研究開発プロジェクト

①光・電子デバイス技術の開発

（省略）

②次世代モバイルインターネット端末の開発

ユビキタスネットワーク社会に不可欠な、超小型・超高速なモバイル機器の要素技術開発という、明確かつ妥当な目標の下、参画する機関の得意分野を活かした実施体制を構築し、当初の目標を達成しただけでなく、成果の標準化の目処をつけ、成果を広く普及させるための基礎を確立したことは高く評価できる。また、無線ＬＡＮに関する技術は今後もますます重要性を増すと考えられ、社会的ニーズは極めて高く、中長期的な経済的、社会的効果は極めて大きい。今後は、成果について広く広報活動を行うとともに、迅速に標準化あるいはデファクトスタンダードを獲得し、さらに参画企業においては、成果のモバイル機器開発への活用に努め、モバイル機器が安価かつ安定的に供給されることを期待する。

Ｉ．研究開発プロジェクトの検討

ア　研究開発の達成目標

開発すべき要素技術は明確である。また、超小型・超高速なモバイル機器は、高度情報通信ネットワーク社会に不可欠であり、新たな産業の創出に貢献するという意味でも、妥当な目標であったと判断できる。

イ　研究開発の成果

60GHz 帯高周波信号を含む三次元システムチップ構築技術の確立等、無線通信に必要な学術的成果を挙げ、伝送速度 1.5Gbits/s の無線装置開発に成功するなど、目標は達成されている。また、標準化の目処をつけ、成果を広く実用化させるための基礎を確立した。

ウ　研究開発の実施体制

参画している機関の得意分野を活用し、各機関の役割を明確にしており、効率的な実施体制を構築してきた。

エ　研究成果普及への取り組み

成果を広く普及するための標準化を直接見据えた取り組みは評価できる。また、特許の出願も行っている。

（参考）特許出願数：１１件

オ　人材育成の状況

大学・企業間の人材の流動性や育成しようとする分野の明確性は不十分であるものの、博士、修士取得学生の輩出だけでなく、地域企業技術者向けの技術セミナーを開催してきており、適切な人材育成が行われてきた。

カ　学術的成果の情報発信活動状況

論文発表を行う等、今後は成果について広く広報活動を行うことが必要である。

（参考）学術論文数：９件

キ　中間評価指摘事項への対応

中間評価では目標達成を危ぶむ意見もあったが、すべて達成できており、適切な対応がなされた。

Ⅱ．研究開発プロジェクトの外部との関係に関連する事項

ア　研究開発課題に対する社会的なニーズ

無線ＬＡＮに関する技術は今後も家電を含め、ますます重要性を増すと考えられ、社会的ニーズは極めて高い。

イ　国内外における類似研究との比較

競争する企業が多く、競争の激しい分野であるが、無線ＬＡＮ用の通信において世界最高の伝送速度を達成したことなど、先導的な成果が得られた。一方で、この分野のどの技術の競争が特に激しく、それらに対する優位性をどう保つかは不明確であった。

ウ　他のプロジェクト等との連携協力

独立行政法人情報通信研究機構と協力してコンソーシアムを結成し、２０社と標準化を推進する体制を整えるなど、適切な連携協力体制が構築されてきた。

エ　研究開発成果の有する中長期的な経済的、社会的効果

無線ＬＡＮに関する技術への需要は今後ますます高まっていくものと考えられ、中長期的な経済的、社会的効果は非常に大きい。

③超小型大容量ハードディスクの開発

日本発の技術である垂直磁気記録方式によるハードディスクの超高密度化という、先進的かつ適切な目標の下、中核機関である大学の産学連携組織に研究者を集める集中研方式により効率的な実施体制を構築し、記録密度 500Gbits/inch^2 実現の可能性を実証するなど、世界をリードする成果が得られたことは、非常に高く評価できる。また、本プロジェクトの成果は、実用化段階における資金不足の時期である「死の谷」を乗り越えた、我が国を代表する技術である。今後は、この分野は、国民生活に欠かせない社会インフラとしてさらなる高密度化・大容量化が求められるので、フラッシュメモリ等の競合技術の動向も視野に入れ、日本の優位性を確保しつつ、継続的な研究開発を期待する。

Ｉ．研究開発プロジェクトの検討

ア　研究開発の達成目標

中間評価において目標の一部変更はあったものの、日本発の技術である垂直磁気記録方式を用いて、超高記録密度を達成することを目標としており、目標設定は先進的かつ適切であったと判断できる。

イ　研究開発の成果

新たな構造のディスク媒体の提案等、学術的に重要な成果を挙げ、記録密度 500Gbits/inch^2 実現の可能性を実証するとともに、５００円玉サイズの超小型ドライブの試作に世界で初めて成功するなど、インパクトの高い成果を挙げた。また、本プロジェクトの成果が垂直磁気記録方式によるハードディスクドライブの量産化へ弾みをつけるなど、目標以上の成果を挙げた。

ウ　研究開発の実施体制

東北大学電気通信研究所に設置された産学連携組織であるＩＴ２１センターに研究者を集める集中研方式を採用し、産学の技術を融合した効率的な実施体制を構築してきた。

エ　研究成果普及への取り組み

国際シンポジウムの開催を行うなど、積極的な普及への取り組みが図られてきた。また、特許の出願も行っている。

（参考）特許出願数：３５件

オ　人材育成の状況

多くの大学院生と若手企業研究員の育成を行ってきた。特に大学院修了生の多くがハードディスクドライブ関連職に就いており、磁気記録の研究機関は大

学では少ない中、貴重な人材を産業界へ向けて送り出していることは評価できる。

カ　学術的成果の情報発信活動状況

学術論文の発表、国際会議の主催、多くの要人来訪への対応のほか、新聞・雑誌にも多く取り上げられるなど、情報発信がなされた。

（参考）学術論文数：１４４件

キ　中間評価指摘事項への対応

従来方式と比較したコスト見通しが未だ不明ではあるものの、その他の指摘事項に対しては明確な対応がなされた。

Ⅱ．研究開発プロジェクトの外部との関係に関連する事項

ア　研究開発課題に対する社会的なニーズ

情報爆発の時代、ホームサーバの普及や家電の情報ネットワーク化など、記憶媒体の小型化・大容量化に対するニーズは極めて高い。

イ　国内外における類似研究との比較

国際的に競争の厳しい中、垂直磁気記録方式という日本発の技術で世界をリードする成果が得られた。特に、小型ハードディスクドライブにおいては、大きな優位性を示している。

ウ　他のプロジェクト等との連携協力

無線インターフェースを搭載したユビキタス・ストレージ・システムの通信速度の高速化にあたっては、ＩＴプログラム「次世代モバイルインターネット端末の開発」との連携協力を予定していたが、費用対効果と優先度に鑑み、取り止めとしたことは妥当であったと判断できる。

エ　研究開発成果の有する中長期的な経済的、社会的効果

家電、特にＡＶ機器の発達に伴い、中長期的にそれらの機器向けの大容量ハードディスクドライブの需要はますます増大すると考えられ、本プロジェクトの成果は経済的、社会的に大きな効果を有する。

④高機能・超低消費電力メモリの開発

ユビキタスネットワーク社会においてニーズの高い不揮発性メモリについて、ブレークスルーを要する技術開発を目指すという、極めて先進的な目標の下、中核機関である大学における集中研方式により効率的な実施体制を整え、すべての要素技術において世界をリードする極めて高い成果を挙げ、社会的知名度の高い多数の賞を受賞していることは、非常に高く評価できる。また、不揮発かつ低消費電力であるスピンメモリの実現は、情報機器の利用者の立場から大きなニーズがあり、さらに経済、社会の両面に対して極めて大きな効果を有する。今後は、スピンメモリの製品化に向けた研究開発に注力するとともに、日本発のこの技術が情報技術にブレークスルーをもたらし、この分野における日本の優位性の保持につながることを期待する。

Ⅰ．研究開発プロジェクトの検討

ア　研究開発の達成目標

高度情報通信ネットワーク社会においてニーズの高い不揮発性メモリについて、明確な目標値を定め、ブレークスルーを要する技術開発を目標としており、達成目標は極めて先進的であったと判断できる。

イ　研究開発の成果

材料開発、素子技術等、すべての要素技術において学術的に世界をリードする極めて高い成果を挙げ、多数の賞を受賞するなど、目標以上の成果を挙げた。

ウ　研究開発の実施体制

東北大における集中研方式により、産学連携体制も含めて、プロジェクト推進に関して効率的な実施体制を構築してきた。

エ　研究成果普及への取り組み

スピンメモリの実用化に向け、研究成果の普及に積極的に取り組んできた。また、特許の出願も行っている。

（参考）特許出願数：１８件（出願手続き中も含む）

オ　人材育成の状況

多数の大学院生と若手研究者の育成を行ってきた。また、大学院修了生の多くが関連分野に就職していることも評価できる。

カ　学術的成果の情報発信活動状況

高水準の学術誌への学術論文の発表や報道発表等、情報発信がなされた。

（参考）学術論文数：１４５件

キ　中間評価指摘事項への対応

中間評価指摘事項に対し、おおむね適切な対応がなされたと評価できる。

Ⅱ．研究開発プロジェクトの外部との関係に関連する事項

ア　研究開発課題に対する社会的なニーズ

不揮発性メモリの開発は、利用者の立場に立った使い勝手の観点から、大きな社会的ニーズを有している。また、低消費電力メモリに対する社会的ニーズ、社会的意義は共に高い。

イ　国内外における類似研究との比較

材料開発、素子技術等多くの面で、国内外の類似研究を大きくリードする成果を挙げた。

ウ　他のプロジェクト等との連携協力

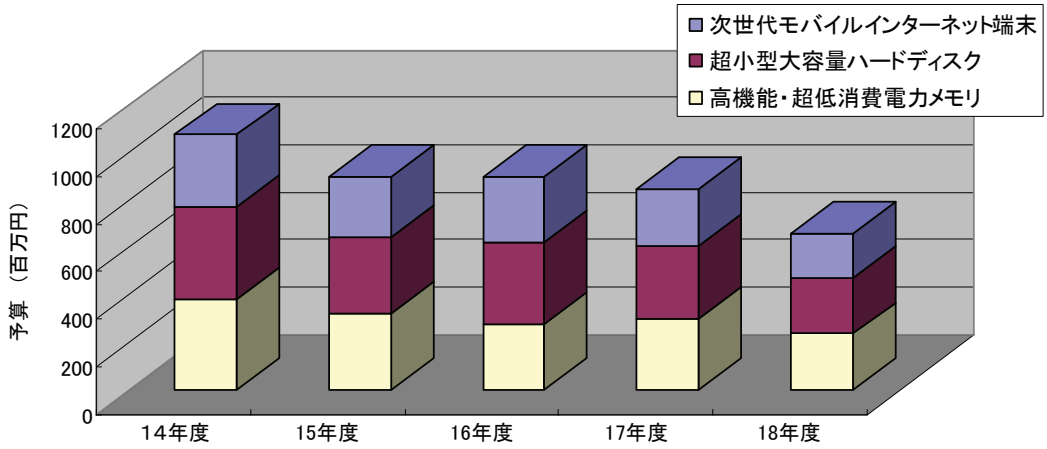
経済産業省「スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト」と積極的な情報交換及び相互の成果の反映を行っており、適切な連携協力が行われてきた。

エ　研究開発成果の有する中長期的な経済的、社会的効果

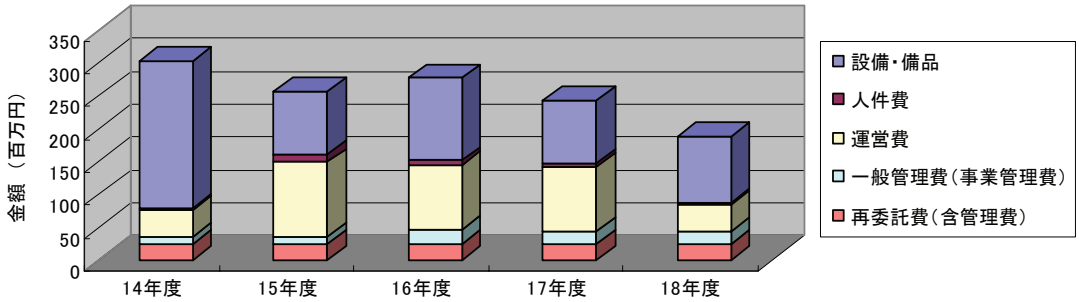
情報機器の電源を切っても記録を失わない不揮発性メモリの実現は、情報技術分野の新たな発展に向けて、極めて高い中長期的な効果を、経済、社会の両面で有している。また、現状の情報機器に使用されているメモリをすべてスピンメモリに置き換えるだけでも、約５０％もの省エネ効果が見込まれるとされており、その経済効果は非常に大きい。

資料編 1
（ITプログラムの成果と関連資料）

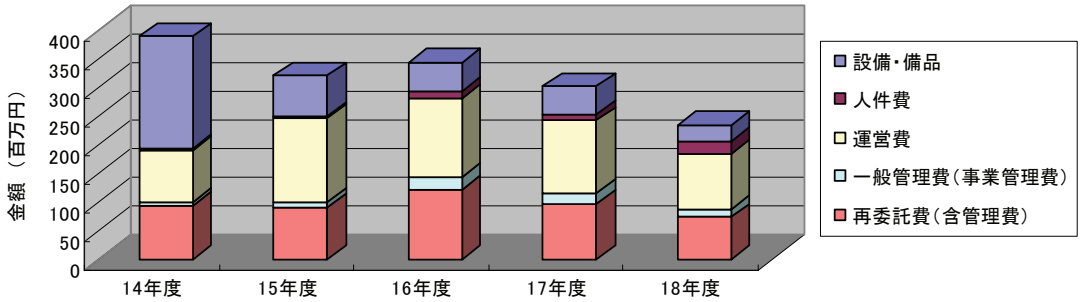
1．予算推移



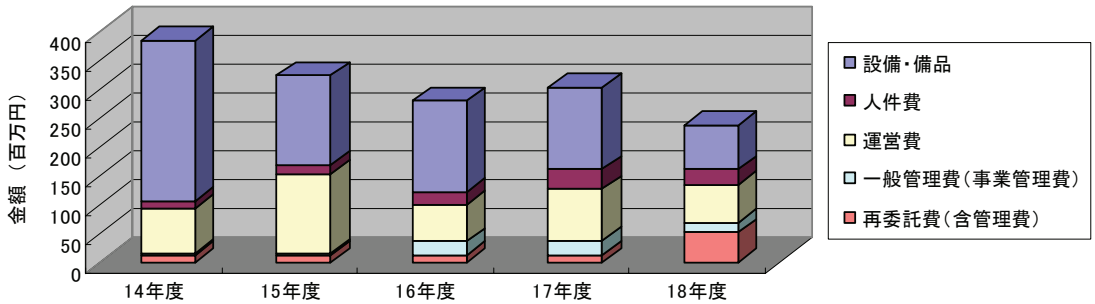
・ 次世代モバイルインターネット端末の開発



・ 超小型大容量ハードディスクの開発



・ 高機能・超低消費電力メモリの開発



2. 主な来訪者一覧 （敬称略）

政府関係

来訪者氏名	職名	来訪月日
遠山敦子	文部科学大臣	平成 14 年 1 月 26 日
坂田東一	文部科学省大臣官房審議官（研究振興局担当）	平成 14 年 9 月 20 日
山元孝二	文部科学省科学技術学術政策局長	平成 14 年 11 月 6 日
上原哲	内閣府大臣官房審議官（科学技術政策担当）	平成 15 年 3 月 5 日
細田博之 阿部博之 大山昌伸	内閣府特命担当大臣（科学技術政策担当） 内閣府総合科学技術会議議員 内閣府総合科学技術会議議員	平成 15 年 4 月 7 日
瀬山賢治	文部科学省大臣官房審議官	平成 15 年 9 月 26 日
大山昌伸	内閣府総合科学技術会議議員	平成 15 年 9 月 26 日
田村憲久	文部科学省大臣政務官	平成 16 年 4 月 19 日
有本建男	文部科学省科学技術学術政策局長	平成 16 年 7 月 8 日
茂木敏充	内閣府特命担当大臣（科学技術政策担当）	平成 16 年 8 月 25 日
柘植綾夫	内閣府総合科学技術会議議員	平成 17 年 3 月 11 日
尾身幸次	衆議院議員	平成 17 年 4 月 1 日
棚橋泰文	内閣府特命担当大臣（科学技術政策担当）	平成 17 年 6 月 6 日
松田岩夫 阿部博之 薬師寺泰蔵	内閣府特命担当大臣（科学技術政策担当） 内閣府総合科学技術会議議員 内閣府総合科学技術会議議員	平成 18 年 7 月 29 日
結城章夫	文部科学省文部科学事務次官	平成 18 年 8 月 30 日

地域関係

来訪者氏名	職名	来訪月日
羽田祐一 高橋賢一	みやぎ工業会会長 宮城県産業技術総合センター所長	平成 16 年 12 月 14 日
梅原克彦	仙台市長	平成 18 年 6 月 30 日

国際関係

来訪者氏名	職名	来訪月日
王生洪	中国復旦大学・校長	平成 14 年 6 月 12 日
Michael Norton	駐日英国大使館科学技術参事官	平成 14 年 7 月 4 日
潘雲鶴	浙江大学校長	平成 14 年 10 月 30 日
Mark Gibson	英国貿易産業省局長	平成 15 年 1 月 24 日
鐘乗林	中国北京師範大学学長（中国教育交際交流協会副会長）	平成 16 年 7 月 20 日
Kevin K. Maher	駐日米国大使館環境・科学技術担当公使	平成 16 年 9 月 2 日
Pierrick Fillon-Ashida Serge Hagege Rob Stroeks Felix Moesner Vladimir Pirogov	駐日欧州委員会代表部科学技術部課長 フランス大使館アタッシェ オランダ大使館プロジェクトオフィサー スイス大使館科学技術アタッシェ ウクライナ大使館参事官 （科学技術アタシェミーティング）	平成 16 年 10 月 25 日
楊徳新	大連交通大学学長	平成 16 年 12 月 15 日
Winfried Killisch	ドレスデン工科大学副学長	平成 17 年 6 月 1 日
Steve Sones	アラスカ大学学長	平成 17 年 7 月 12 日
周玉	ハルビン工業大学副校長	平成 17 年 12 月 20 日

3. 人事往来

次世代モバイルインターネット端末の開発

	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
電気通信研究所	坪内和夫	坪内和夫	坪内和夫	坪内和夫	坪内和夫
	礒田陽次	礒田陽次	礒田陽次	高木　直	高木　直
	松岡　浩	松岡　浩	種市百器	種市百器	古西　真
	徳光永輔	徳光永輔	中瀬博之	中瀬博之	中瀬博之
	中瀬博之	中瀬博之	亀田　卓	亀田　卓	亀田　卓
	亀田　卓	亀田　卓	中山英太	中山英太	中山英太
	熊谷慎也	熊谷慎也	毛利日登美	毛利日登美	竹下小百合
	中山英太	中山英太		竹下小百合	
	氏家紘子	氏家紘子			
		毛利日登美			
流体科学研究所	寒川誠二	寒川誠二	寒川誠二		
宮城県産業技術総合センター	小熊　博	小熊　博	小熊　博	小熊　博	小熊　博
高知工科大学	岩田　誠	岩田　誠	岩田　誠	岩田　誠	岩田　誠
山形大学	横山道央	横山道央	横山道央	横山道央	横山道央
三菱電機㈱	村上圭司	村上圭司	村上圭司	石津文雄	石津文雄
	石津文雄	石津文雄	石津文雄	礒田陽次	礒田陽次
	藤村明憲	藤村明憲	藤村明憲	藤村明憲	藤村明憲
	末松憲治	末松憲治	永井幸政	永井幸政	永井幸政
	中島健介	中島健介	末松憲治	末松憲治	上田博民
		平井博昭	中島健介	中島健介	
		永井幸政	下沢充弘	下沢充弘	
		落合麻里	上田博民	上田博民	
			金沢学志	金沢学志	
			武内良祐	武内良祐	
			上杉美喜夫	上杉美喜夫	
			小出純	小出純	
日本電気㈱	小川正毅	嶋脇秀徳	嶋脇秀徳	嶋脇秀徳	嶋脇秀徳
	葛原正明	大畑惠一	大畑惠一	大畑惠一	丸橋建一
	嶋脇秀徳	丸橋建一	丸橋建一	丸橋建一	濱田康宏
	大畑惠一	森本卓夫	濱田康宏	濱田康宏	折橋直行
	丸橋建一	濱田康宏			
	伊東正治				
松下電器産業㈱	別所芳宏	別所芳宏	別所芳宏	小川立夫	小川立夫
	冨田芳宏	冨田芳宏	小川立夫	冨田芳宏	小掠哲義
	中桐康司	中桐康司	冨田芳宏	小掠哲義	
	越智正三	越智正三	留河　悟		
	留河　悟	留河　悟	小掠哲義		
	小掠哲義	平山久美子			
		小掠哲義			
ソフトバンクテレコム㈱	弓削哲也	中野　豊	中野　豊	弓削哲也	弓削哲也
	山崎吉晴	山崎吉晴	山崎吉晴	山崎吉晴	山崎吉晴
	片山武彦	片山武彦	片山武彦	片山武彦	片山武彦
		黒嶋健仕	浅野安良	浅野安良	浅野安良
		中里浩二	末田康一	末田康一	竹内公二
			高橋隆則	竹内公二	室井紀美子
			斎藤秋良	宗片吉晴	
			白石　直	小林弘尚	
			中里浩二		

超小型大容量ハードディスクの開発

	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
電気通信研究所	中村慶久(推)	中村慶久(推)	中村慶久(推)	中村慶久(推)	中村慶久(推)
	青井　基(推)	青井　基(推)	青井　基(推)	青井　基(推)	青井　基(推)
	村岡裕明(推)	村岡裕明(推)	村岡裕明(推)	村岡裕明(推)	村岡裕明(推)
	松岡　浩(推)	松岡　浩(推)	種市百器(推)	種市百器(推)	古西　真(推)
	山川清志	山川清志	鈴木良夫	鈴木良夫	鈴木良夫
	島津武仁(推)	島津武仁(推)	山川清志	山川清志	山川清志
	山田　洋	S. Greaves	島津武仁(推)	島津武仁(推)	島津武仁(推)
	斉藤秀俊	山田　洋	S. Greaves	S. Greaves	S. Greaves
	A.Goodman(雇)	三浦健司	山田　洋	山田　洋	山田　洋
	渡辺　功	斉藤秀俊	三浦健司	三浦健司	三浦健司
	茨木加奈(事)	A.Goodman(雇)	夏　衛星(雇)	渡辺　功(雇)	渡辺　功(雇)
	粕谷祥子(事)	片田裕之(雇)	渡辺　功(雇)	寒河江克巳	寒河江克巳
		渡辺　功	寒河江克巳	菊池弘之(雇)	菊池弘之(雇)
		茨木加奈(事)	佐藤安由美(事)	佐藤安由美(事)	佐藤安由美(事)
		粕谷祥子(事)	粕谷祥子(事)	粕谷祥子(事)	粕谷祥子(事)
			西條恵美(事)	西條恵美(事)	西條恵美(事)
多元物質科学研究所	北上　修	北上　修	北上　修	北上　修	北上　修
	岡本　聡	岡本　聡	岡本　聡	岡本　聡	岡本　聡
				菊池伸明	菊池伸明
大学院工学研究科	高橋　研	高橋　研	高橋　研	高橋　研	高橋　研
	斉藤　伸	斉藤　伸	小川智之	小川智之	小川智之
日立	高野公史(推)	高野公史(推)	田河育也(推)	田河育也(推)	田河育也(推)
	鈴木良夫	鈴木良夫	川戸良昭	川戸良昭	川戸良昭
	伊藤顕知	伊藤顕知	土屋裕子	土屋裕子	土山龍司
	川戸良昭	川戸良昭	土山龍司	土山龍司	高橋宏昌
	土屋裕子	土屋裕子	高橋宏昌	高橋宏昌	山田将貴
	徳山幹夫	土山龍司		山田将貴	
	土山龍司	高橋宏昌		池亀　弘	
東芝	内藤勝之(推)	内藤勝之(推)	内藤勝之(推)	内藤勝之(推)	内藤勝之(推)
	中村志保	中村志保	大沢裕一	大沢裕一	大沢裕一
	大沢裕一	大沢裕一	上口裕三	上口裕三	上口裕三
	上口裕三	上口裕三	櫻井正敏	木村香里	木村香里
	櫻井正敏	櫻井正敏			
富士通	押木満雅(推)	押木満雅(推)	押木満雅(推)	田中厚志(推)	田中厚志(推)
	竹下弘人	竹下弘人	竹下弘人	尾崎一幸	尾崎一幸
	江口　伸	江口　伸	戸田順三	飯田弘一	飯田弘一
富士電機		斉藤　明(推)	佐藤公紀(推)	佐藤公紀(推)	佐藤公紀(推)
		及川忠明	及川忠明	渡辺貞幸	渡辺貞幸
日立 GST			金田徳也(推)	中馬　顕(推)	中馬　顕(推)
			鈴木　良		
			黒木賢二		
キヤノン				田　透　(推)	田　透　(推)
三菱総研	荘司弘樹(推)	荘司弘樹(推)	亀井信一(推)	亀井信一(推)	亀井信一(推)
合計	32	37	38	40	38

(推)：推進連絡会議委員，　(雇)：委託費による雇用職員（ポスドク等），　(事)：事務補佐員

高機能・超低消費電力メモリの開発

・研究参加者

	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
東北大学電気通信研究所	大野英男	大野英男	大野英男	大野英男	大野英男
	松倉文礼	松倉文礼	松倉文礼	松倉文礼	松倉文礼
	大野裕三	大野裕三	大野裕三	大野裕三	大野裕三
	荒井賢一	池田正二(雇)	池田正二(雇)	池田正二(雇)	池田正二
	石山和志	白井正文	白井正文	白井正文	白井正文
	篭耕司(雇)	陳鵬(雇)	羽生貴弘	羽生貴弘	羽生貴弘
	陳鵬(雇)	許懐哲(雇)	許懐哲(雇)	許懐哲(雇)	許懐哲(雇)
	井硲薫(事)	江間有紀子(事)		李永珉(雇)	李永珉(雇)
	江間有紀子(事)	井上明子(事)			
	井上明子(事)				
東北大学大学院工学研究科	宮﨑照宣	宮﨑照宣	宮﨑照宣	宮﨑照宣	宮﨑照宣
	安藤康夫	安藤康夫	安藤康夫	安藤康夫	安藤康夫
	久保田均	大兼幹彦(雇)	大兼幹彦(雇)	大兼幹彦	大兼幹彦
	猪俣浩一郎	猪俣浩一郎	猪俣浩一郎	大坊忠臣(雇)	大坊忠臣(雇)
	手束展規	手束展規	手束展規	安成眞(雇)	安成眞(雇)
	小柳光正	小柳光正	小柳光正	猪俣浩一郎(1)	猪俣浩一郎(1)
	栗野浩之	栗野浩之	角田匡清	手束展規	手束展規
	角田匡清	角田匡清		小柳光正	小柳光正
				田中徹	田中徹
				角田匡清	角田匡清
金属材料研究所	高梨弘毅	高梨弘毅	高梨弘毅	高梨弘毅	高梨弘毅
	三谷誠司	三谷誠司	三谷誠司	三谷誠司	三谷誠司
東京大学	田中雅明	田中雅明	田中雅明	田中雅明	田中雅明
	菅原聡	菅原聡	菅原聡	菅原聡	菅原聡(2)
			大矢忍	大矢忍	大矢忍
日立製作所	早川純	早川純	早川純	早川純	早川純
アルバック	園田早紀	園田早紀	小野一修	小野一修	小野一修
合計	25	22	21	25	25

(雇) ：委託費による雇用職員（ポスドク等），(事)：事務補佐員， (1) 物質・材料研究機構，(2)東京工業大学

・プロジェクト推進専門委員会

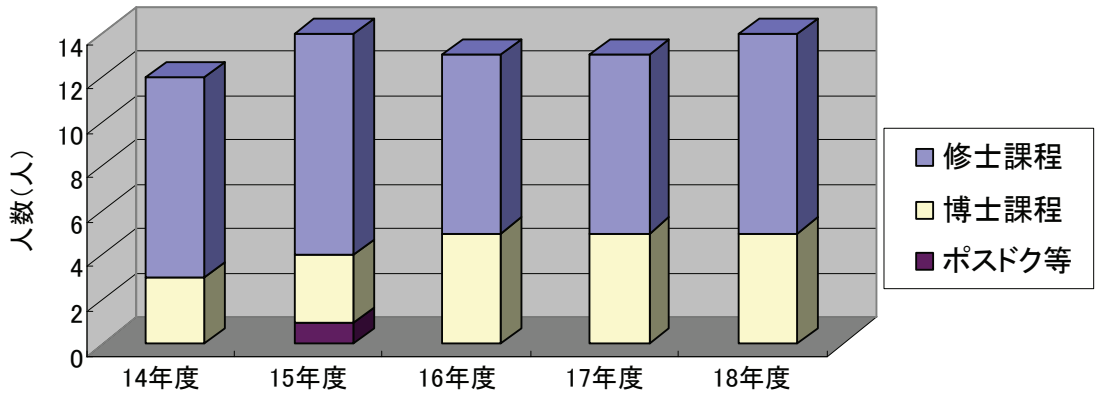
大野英男（東北大学電気通信研究所） プロジェクトリーダ，サブテーマリーダ
宮﨑照宣（東北大学大学院工学研究科）サブテーマリーダ
安藤功兒（産総研）
伊藤清男（日立製作所）
田原修一（NEC）
與田博明（東芝）

電気通信研究所 事務部

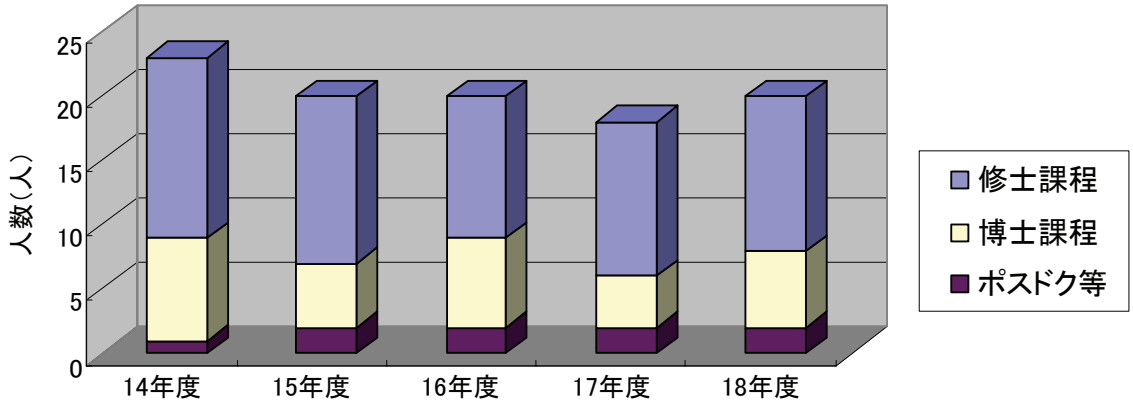
		平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度
事務部長		猿橋春夫	新田正人	新田正人	新田正人	新田正人
総務課	総務課長	二階堂　功	二階堂　功	二階堂　功	阿部竹廣	阿部竹廣
	庶務係長	森　美知子	手代木雅子	手代木雅子	手代木雅子	手代木雅子
	一般職員	小野寺洋幸	小野寺洋幸	小野寺洋幸	相澤拓也	相澤拓也
	技術専門職員					師岡ケイ子
	事務補佐員	青山美弥子	青山美弥子	青山美弥子	青山美弥子	青山美弥子
		寺島弘美	寺島弘美	寺島弘美	寺島弘美	寺島弘美
		小熊絵美	小熊絵美	伊藤智恵	伊藤智恵	伊藤智恵
		長谷川恵	樋渡理枝	樋渡理枝	樋渡理枝	小熊絵美
			佐藤安由美	小熊絵美	小熊絵美	
	技術補佐員	平間美香				
	研究協力係長	加茂敬一	菅澤　修	菅澤　修	菅澤　修	松浦幸夫
	一般職員	長里千恵	長里千恵	小野寺陵子	小野寺陵子	菅原公美子
	事務補佐員	長澤左絵子	大比良由紀絵	大比良由紀絵	大比良由紀絵	大比良由紀絵
			平間美香	高屋敷　梢	石原幸子	樋渡理枝
	図書係長	湯本智子	湯本智子	湯本智子	村上康子	村上康子
	一般職員	早坂幸子	早坂幸子			
	技術補佐員			阿部早織	阿部早織	早坂幸子
経理課	経理課長	大橋一郎	畠山正博	畠山正博	門脇　豊	門脇　豊
	経理係長	永澤和衛	加藤卓也	加藤卓也	加藤卓也	石垣　忠
	一般職員	加藤卓也	千葉幸男	千葉幸男	清野　彰	清野　彰
		土門由佳	土門由佳	鈴木智子	鈴木智子	鈴木智子
	事務補佐員	小島紫津子	小島紫津子	小島紫津子	小島紫津子	小島紫津子
		沓澤倫子	沓澤倫子	沓澤倫子	沓澤倫子	沓澤倫子
			鈴木ひとみ	佐藤智子	佐藤智子	佐藤智子
	用度係長	佐藤貞志	永澤和衛	和田喜一	和田喜一	和田喜一
	一般職員	佐藤博昭	佐藤博昭	佐藤博昭	今野　透	今野　透
		島津英樹	島津英樹	島津英樹	谷村　俊	谷村　俊
	技術専門職員	阿部良勝	阿部良勝	阿部良勝	阿部良勝	阿部良勝
	事務補佐員	川北久美子	川北久美子	川北久美子	川北久美子	川北久美子
		角田郁子	角田郁子	角田郁子	角田郁子	角田郁子
		白鳥千亜紀	白鳥千亜紀	斎藤太一	斎藤太一	菅澤　修
			斎藤太一			
	技術補佐員	高橋栄治	高橋栄治	高橋栄治	三島　妙	三島　妙
	IT21センター事務室					
	室長	達下隆一	達下隆一	達下隆一	佐藤貞志	佐藤貞志
	事務補佐員	菊池範子	菊池範子	江間有紀子	村田利江	村田利江
		江間有紀子	江間有紀子	村田利江	白鳥千亜紀	白鳥千亜紀
			渡部由美子	白鳥千亜紀	伊藤智栄子	伊藤智栄子
合計		30	34	33	33	33

４．人材育成（大学院生・ポスドク等）

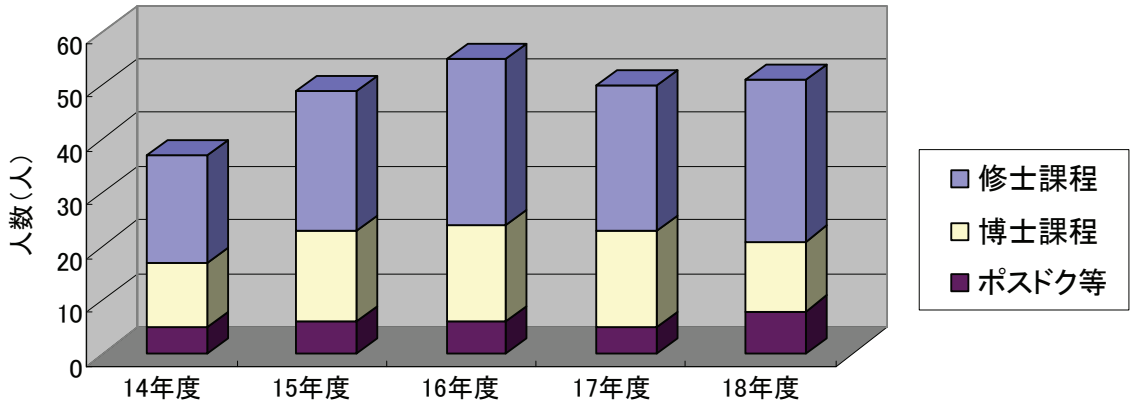
（１）次世代モバイルインターネット端末の開発



（２）超小型大容量ハードディスクの開発

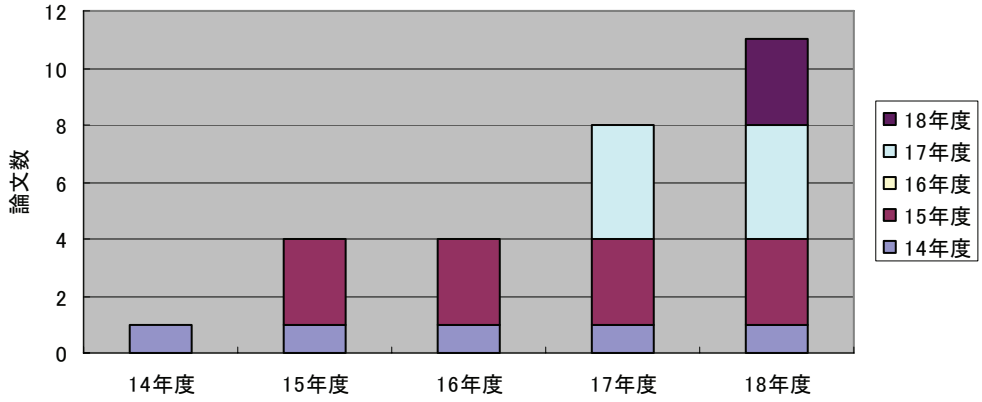


（３）高機能・超低消費電力メモリの開発

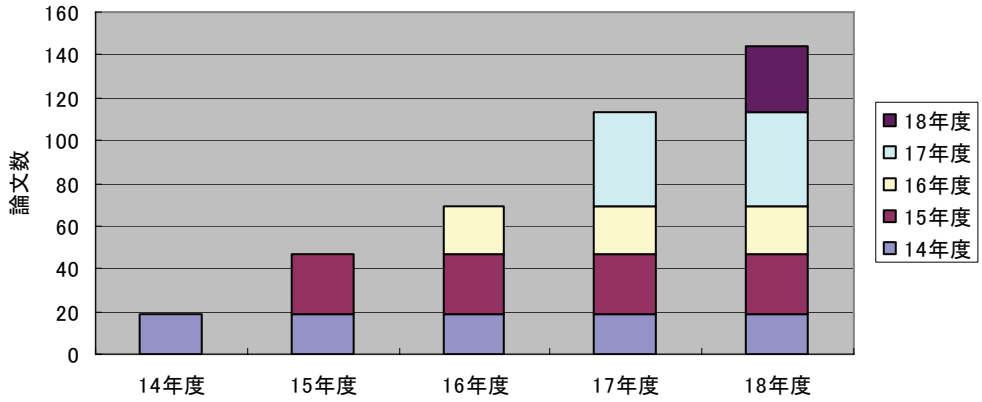


５．発表論文数

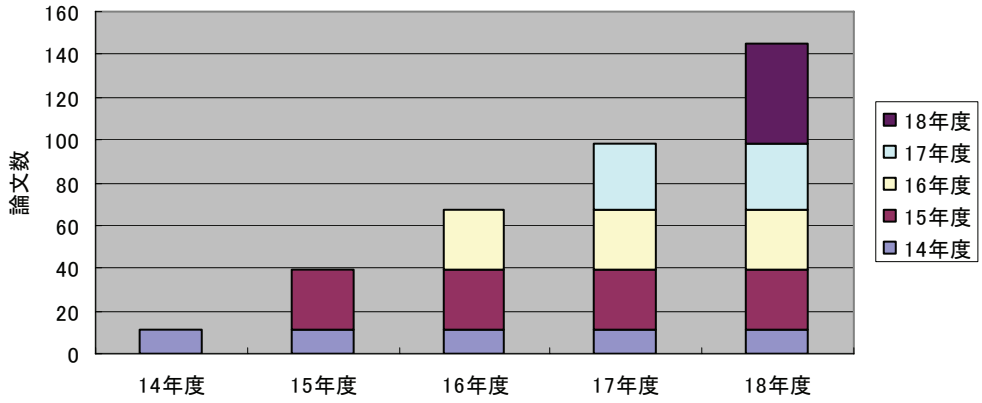
（１）次世代モバイルインターネット端末の開発



（２）超小型大容量ハードディスクの開発

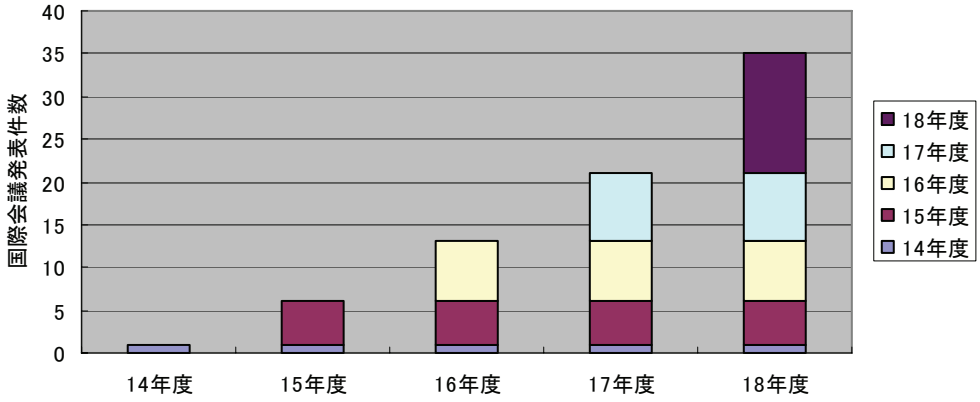


（３）高機能・超低消費電力メモリの開発

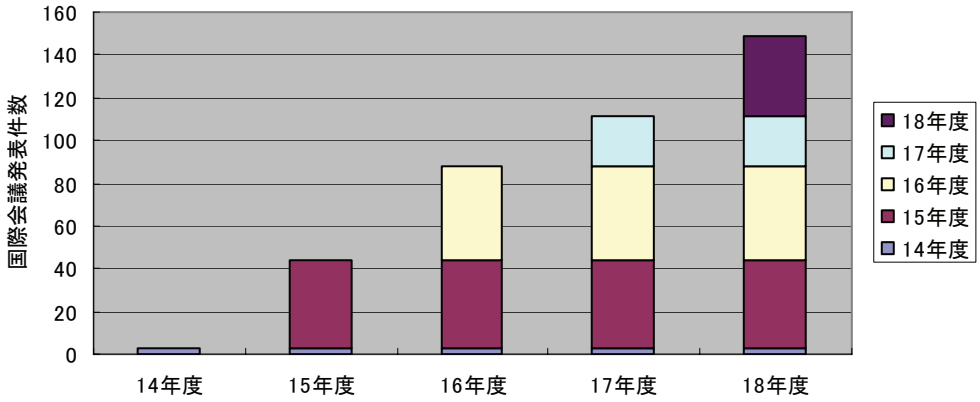


６．国際会議での発表

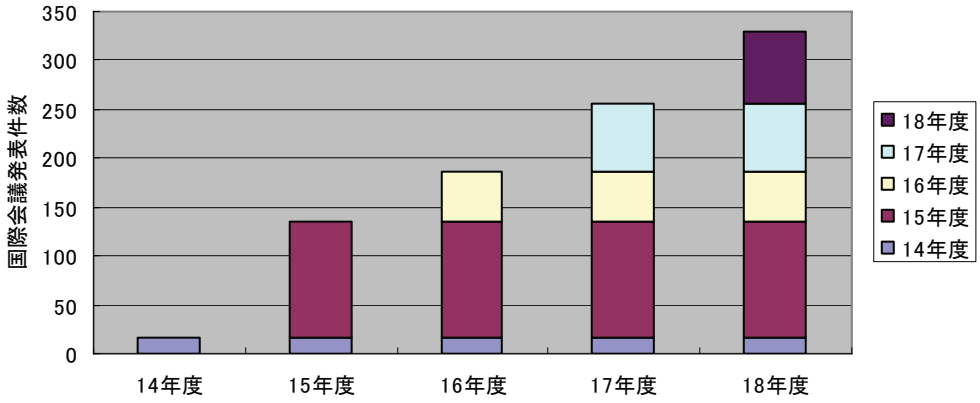
（１）次世代モバイルインターネット端末の開発



（２）超小型大容量ハードディスクの開発



（３）高機能・超低消費電力メモリの開発



7．知的財産権

プロジェクト名	大学，企業の単独出願	大学と企業の共同出願	合計
次世代モバイルインターネット端末の開発	0	11	11
超小型大容量ハードディスクの開発	31	4	35
高機能・超低消費電力メモリの開発	0	15	15

8．主要な発表、記事、表彰等

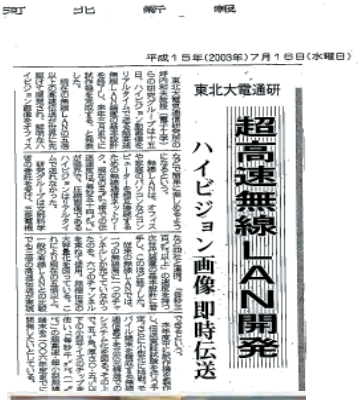
（1）次世代モバイルインターネット端末の開発

プレスリリース（新聞・科学雑誌等への掲載）

- 324 メガビット毎秒無線 LAN 装置の開発に成功（平成 16 年 11 月）
- 広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス開発実験の実施（平成 18 年 8 月）　他

プレスリリースの件数：4 件

日刊工業



日経

NHK

受賞，等

- 2005 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞（平成 17 年 1 月 28 日）
- 平成 17 年度 電子情報通信学会業績賞 （平成 18 年 5 月 27 日）
- 第 5 回産学官連携功労者表彰　文部科学大臣賞
  「産学連携による次世代モバイルインターネット端末の開発」（平成 19 年 6 月 16 日）

他　計 6 件

第5回産学官連携功労者表彰 文部科学大臣賞

池坊保子文部科学副大臣より
賞状を授与される坪内教授

記念撮影（左から3人目が坪内教授，
4人目が池坊保子文部科学副大臣）

（2）超小型大容量ハードディスクの開発

日経産業新聞　2005年(平成17年)6月15日(水曜日)

小型大容量HDD試作
東北大・日立など

日刊工業新聞　7年6月15日　水曜日

大作 北試 東が
1チップで10ギガバイトのHDD
日立など6社と産学連携

東京新聞　平成17年(2005年)6月15日(水曜日)

携帯電話で映画観賞も!?
500円玉大の10ギガHDD

垂直磁気記録方式を活用
小型HDD試作に成功
1チップで10ギガバイトの記録容量

東北大電通研が試作した小型で大容量の垂直磁気ハードディスク装置

プレスリリース（新聞・科学雑誌等への掲載）

世界初 500 円玉サイズ垂直磁気 HDD の試作:　15 件
要素技術開発:　3 件
垂直磁気ハードディスクの製品化関連　16 件

受賞，等

第 4 回産学官連携推進会議　平成 17 年度産学官連携功労者表彰　経済産業大臣賞（中村慶久）他、全 21 件を受賞。
この他、日立製作所と東芝が、垂直磁気 HDD の実用化に関連して、大河内記念生産賞など3件を受賞。

（３）高機能・超低消費電力メモリの開発

プレスリリース（新聞・科学雑誌等への掲載）

- 半導体における電気的磁化反転に世界で初めて成功（平成 16 年 4 月）
- 室温で世界最高の磁気抵抗比 287%をもつ TMR 素子の開発に成功（平成 17 年 4 月）
- 高出力 TMR 素子における室温世界最高クラスの低電流電気的磁化反転に成功（平成 17 年 9 月）
- スピン注入磁化反転方式を用いた２メガビット MRAM チップの試作に成功（平成 19 年 2 月）　他

新聞・テレビ報道，科学雑誌等への掲載件数：92 件

2003年(平成15年)7月11日(金曜日)

電気で磁気情報書き込み

東北大 大野教授ら 超大容量メモリーに道

大野英男教授

平成17年9月21日(水) 13面

日経産業新聞

MRAM大容量に

日立・東北大 記憶素子部を改良

日刊工業 (平成19年2月14日 水)(28)

試作した2メガビット不揮発性RAMチップ

スピン注入磁化反転方式

不揮発性RAM試作

日立と東北大 高速・省電化に道

受賞，等

- 国際純粋応用物理学連合 Magnetism Prize
  （平成 15 年，大野英男）
  『新しい強磁性半導体の開発』の研究業績に対して
- 日本応用磁気学会賞（平成 15 年，宮崎照宣）
  『トンネル磁気抵抗素子の研究』の研究業績に対して
- 日本学士院賞（平成 17 年，大野英男）
  『半導体ナノ構造による電子の量子制御と強磁性の研究』の研究業績に対して
- 欧州物理学賞（平成 17 年，大野英男）
  『磁気と電気の性質をあわせもつ磁性半導体材料の開発と理論研究』の研究業績に対して
- 文部科学大臣賞（平成 18 年，宮崎照宣）
  『強磁性トンネル接合における巨大磁気抵抗効果に関する研究』の研究業績に対して

他　計 23 件

欧州物理学賞受賞式（スイス・ボルン）：大野英男教授は，Tomasz Dietl 教授（ポーランド科学アカデミー），David Awschalom 教授（米カリフォルニア大サンタバーバラ校）と共に受賞．

資料編 2
（政府関係施策等）

1. e－Japan戦略（抄）

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT 戦略本部），平成 13 年 1 月

【e-Japan 戦略の趣旨】

我が国は、21 世紀を迎え、すべての国民が情報通信技術（IT）を積極的に活用し、かつその恩恵を最大限に享受できる知識創発型社会の実現に向けて、既存の制度、慣行、権益にしばられず、早急に革命的かつ現実的な対応を行わなければならない。超高速インターネット網の整備とインターネット常時接続の早期実現、電子商取引ルールの整備、電子政府の実現、新時代に向けた人材育成等を通じて、市場原理に基づき民間が最大限に活力を発揮できる環境を整備し、我が国が 5 年以内に世界最先端の IT 国家となることを目指す。

【e-Japan 戦略が目指す社会像】

- 教育：地理的、身体的、経済的制約等に関わらず、誰もが、必要とする最高水準の教育を受けることができる。
- 芸術・科学：あらゆる美術作品、文学作品、科学技術を地理的な制限なく、どこにいても鑑賞、利用できる。また、人々がデジタル・コンテンツ を容易に作成し、流通させることができる。
- 医療・介護：在宅患者の緊急時対応を含め、ネットワークを通じて、安全に情報交換ができ、遠隔地であっても質の高い医療・介護サービスを受けることができる。
- 就労：交通手段に依存することなく、ネットワークを通じて職場とつながることにより、各人が年齢や性別に関わりなく希望する仕事をしつつ、生活の場を選択することが可能となる。
- 産業：企業規模にかかわらず、IT を駆使して、自由に世界中の顧客と商取引を行うことができる。競争の促進と知的財産権の保護とのバランスが、国際的な整合性をもって保たれる。
- 環境：テレワーク等による交通量の抑制、経済活動のネットワーク化による、資源・エネルギーの消費抑制等により、環境への負荷を総合的に軽減していくことが可能になる。
- 生活：いつどこにいても、様々な情報機器を通じて最新の映画を鑑賞し、人気のテレビゲームを楽しみ、離れた家族や友人と、音声のみならず映像を通じた質の高いコミュニケーションを図ることができる。
- 移動・交通：高度な道路交通システム（ITS）の導入により、目的地に最適な交通手段で、最短の時間で行くことができ、渋滞や事故の少ない、安全で快適な移動が可能となる。

- 社会参加：ネットワークを通じて、国民自らの積極的な情報発信、社会形成への参画が可能となる。また、障害者や高齢者の社会参加が容易になり、各人がボランティアや社会貢献活動にも容易に参加することができる。
- 行政：自宅や職場にいながら、政府に関する情報が即座に手に入り、ワンストップサービスで住所・戸籍、税の申告・納付などの行政サービスを受けることができる。

2. e－Japan重点計画（抄）

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT 戦略本部），平成 13 年 3 月

【e-Japan 重点計画の重点政策分野】

本重点計画は、「e-Japan 戦略」を具体化し、高度情報通信ネットワーク社会の形成のために政府が迅速かつ重点的に実施すべき施策の全容を明らかにするためのものである。今後 IT 戦略本部を中心とした内閣のリーダーシップの下に本計画を確実に実施し、その達成状況を継続的に調査すると共に、必要に応じて新たな施策を重点計画に加えることにより、世界最先端の IT 社会への転換を迅速に推進する。

1. 世界最高水準の高度情報通信ネットワークの形成
2. 教育及び学習の振興並びに人材の育成
3. 電子商取引等の促進
4. 行政の情報化及び公共分野における情報通信技術の活用の推進
5. 高度情報通信ネットワークの安全性及び信頼性の確保

【e-Japan 重点計画の横断的課題】

(1) 研究開発の推進

1. **基本的考え方（省略）**
2. **研究開発の推進方策（省略）**
3. **重点分野**

情報通信分野において、今後政府として重点的に研究開発を進めていくべき分野としては、以下を指摘できる。

高度情報通信ネットワーク社会の実現に必要な基盤技術としては、ネットワーク高度化技術、高度コンピューティング技術、ヒューマンインターフェース技術、更にはこれらの技術を支える共通基盤となるデバイス技術、ソフトウェア技術等が存在することから、これらの基盤技術の開発に重点をおくことが必要である。

このうち、情報バリアフリー対策を含むデジタル・ディバイド是正のための研究開発や、公共分野の情報化に資する研究開発等、市場原理のみでは戦略的・効果的に開発し得ないものについては、国が率先する形で研究開発を推進することが必要である。

なお、情報通信分野においては、研究開発の成果が直接新規事業の創出に結びつきやすいことから、民間企業を中心として、特に新規産業の創出の促進に

つながり得る技術開発を強化していくことが必要であり、国は、提案公募制度の充実など、そのための呼び水的な措置を講ずるべきである。

4. IT21（情報通信技術 21 世紀計画）の推進

ミレニアム・プロジェクト（新しい千年紀プロジェクト）の一つである IT21（情報通信技術 21 世紀計画）に掲げられている、2005 年度までに全ての国民がインターネットを自由自在に活用して情報の入手等を安全・迅速・簡単に行える環境を創造するという目標の達成は、e-Japan 戦略の目標達成のために不可欠であることから、研究開発を進めるに当たっては、IT21 の着実な推進に特に留意することが必要である。

IT21 は二つの研究開発分野から構成されているが、インターネット分野については、世界最高水準の高度情報通信ネットワークの形成に必要な研究開発の推進が重要である[註*]。そして、コンピューティング分野については、「キーボードといった特定のインターフェイスに縛られることなく、安心して、誰もが、高度な情報処理とネットワーク接続を簡単に行える新世代コンピューティングの実現」という IT21 での目標達成のため、以下の分野における研究開発を進めることが重要である。

ア）ソフトウェア（人に優しく快適な情報化を実現するコア・ソフトウェア技術）

i）人に優しいマン・マシン・インターフェース、超並列・高速処理の実現等に資するコア・ソフトウェア技術

ii）コンテンツ市場創造形のソフトウェア・コンテンツ技術

イ）ハードウェア（高速・大容量のコンピュータの実現）

i）計算処理能力を飛躍的に向上させるデバイス技術

ii）大容量の記憶装置を実現する材料・加工技術

[註*] 重点計画の重点政策分野の一つである「世界最高水準の高度情報通信ネットワークの形成」の具体的施策に，インターネット網の整備に関わる「研究開発の推進」の項目として次のように記載されている．

「現在のインターネットの 1 万倍の処理速度と 3 万倍の接続規模を有し、利用者を目的の情報に安全かつ的確に導くスーパーインターネットの実現に向けて、情報通信分野について、世界最高水準の技術力を保持し、また、これを維持するため、伝送速度の高速化、インターネット基盤技術の高度化、移動通信技術の高度化という観点から戦略的に研究開発を推進していく。研究開発に当たっては、技術の実用的な有効性を検証するためのテストベッド等の整備を推進する。」

e-Japan 重点計画の横断的課題のこの他の課題である，(2)デジタル・ディバイドの是正，(3)社会経済構造の変化に伴う新たな課題への対応，(3)国際的な協調及び貢献の推進，については省略

３．分野別推進戦略（情報通信分野）

総合科学技術会議 重点分野推進戦略専門調査会，平成 13 年 9 月

1. 情報通信分野の現状（省略）

(1) 情報通信分野の動向とそれを取り巻く環境
(2) 当該分野の技術改革における課題
(3) 当該分野における施策の現状

2. 重点領域

(1) 重点化の考え方

国際的水準の質の高い基礎研究を一層重視すると同時に，以下のように研究開発の重点化を図ることにより，科学技術基本計画の示す「知の創造と活用」，「国際競争力の持続的発展」，「安心・安全で快適な生活」の実現に貢献する．

我が国においては，米国と比べても情報通信産業への依存度が高いことから，研究開発とその成果の実用化を推進することにより，情報通信産業における「国際競争力」を強化する必要がある．一方，「企業における情報通信利用は，極めて重要な成長の原動力」となるなど，最新の情報通信技術が最初に実用化され社会に普及した国において，いち早くその恩恵を享受することが可能となる．したがって，我が国が「世界最先端の IT 国家」となるには，情報通信分野における最新の研究開発成果を世界に先駆けて実用化し社会・経済に取り入れていくことが重要である．このため，研究成果の実用化による社会・経済への迅速な還元が可能な領域の研究開発を進める．なお，情報通信システムは，すべての国民，組織が利用できる「安心・安全で快適」なものでなければ，利用も進まず，問題が生じた場合の影響も大きくなることに留意する必要がある．

短期的な視点だけでなく，長期的にわが国の「国際競争力」を高めていくとともに，「知の創造と活用」を促進するためには，様々な技術の壁を越えるためのブレークスルーを目指した基礎的な研究開発を進める必要がある．さらに，情報通信は，様々な研究開発分野と融合して拡大し，またそれら広範な研究開発の基礎となるものであるため，他分野との融合領域の研究開発，広範な研究開発の基礎となる情報通信システムの開発・整備も重要である．

これらの点を考慮し，①ネットワークがすみずみまで行き渡った社会の実現に向けて，研究成果の社会・産業への迅速な還元が可能な領域，②次世代のブレークスルーをもたらし将来の新しい産業の種となる次世代情報通信技術及び情報通信と他の分野の融合領域，並びに，③広範な研究開発の基盤として研究開発の情報化のための基盤技術の研究開発を促進する．

① ネットワークがすみずみまで行き渡った社会に向けた研究開発領域

低落傾向にある情報通信分野の国際競争力を強化し経済の活性化を図るとともに，安心・安全で快適な生活を実現するためには，産学官連携と柔軟で制約の少ない研究開発体制の下，ネットワークがすみずみまで行き渡った社会に向けて市場が要求するシステムの提供を念頭におきながら，我が国が優位性を持つ技術を核に研究開発を進めることが重要である．これにより，世界に先駆けて高速・高信頼な情報通信システムを構築し，新しい市場を創造することによって，技術・産業競争力におけるわが国のリーダーシップを確立することが期待される．ただしこの際，日本の独自性に閉じ篭ること無く，国際的な標準化の確立も目指しながら世界の市場に受け入れられるように展開していくことが必要である．

当面の国際競争力確保の鍵は，超高速モバイルインターネットシステムを中心とする高速ネットワーク技術とこれを支えるデバイスなどの基盤的技術である．また，安心・安全で快適な生活の実現のためには，人命，財産，プライバシー等に関する重要な情報を取扱う経済・社会活動のインフラとして十分な安全性・信頼性などを確立することが不可欠であり，デジタルデバイド解消のために，民間のインセンティブの働き難い高齢者・障害者を含めた利便性向上，コンテンツ創生（制作・流通）の環境整備などが重要である．

② 次世代のブレークスルーをもたらし将来の新しい産業の種となる領域（省略）

③ 広範な研究開発分野の基盤技術（研究開発の情報化）等（省略）

(2) 重点領域

具体的な重点領域は以下の通りとする．

① 「高速・高信頼情報通信システム」技術

ネットワークがすみずみまで行き渡った社会の実現に向けて，産業競争力強化を図るとともに質の高い生活を実現するため，日本が優位な技術（モバイル，光，デバイス技術）を核に，産学官の強力な連携の下で世界に先行して，ハード技術とコンテンツを含むソフト技術を一体とした「高速・高信頼情報通信システム」を構築することにより，研究成果の社会・経済への迅速な還元を目指す．

このため，以下の研究開発を推進する．

(ア) 超高速モバイルインターネットシステムを実現する技術

家庭，オフィス，移動時など，どこでもいつでも大量の情報を無線及び光ネットワークを介して高品質に変換・活用でき，高度インターネットを支える超高速モバイルインターネットシステムを実現する技術

(イ) 高機能・低消費電力デバイス技術

高性能な携帯情報端末，高速のネットワーク等を実現する高機能・低消費電力デバイス技術（半導体プロセス技術，システム LSI 技術，平面ディス

プレイ技術等を含む）

（注）半導体・デバイス技術は，これまで我が国情報通信産業の競争力の重要な源泉の一つとなってきた．このため，次世代の情報通信産業を支える先端的な半導体プロセス技術や，高機能で低消費電力のデバイス・超 LSI 等の研究開発を進める．

（ウ）利便性，安全性（セキュリティ），信頼性，システムの拡張性・継続性の確立，ソフトウェアの信頼性・生産性及びコンテンツ制作・流通支援のための技術の向上を図る．また，分散して存在するコンピューティングパワー，ソフトウェア，コンテンツなど，場所，時間等の条件によって変化する資源を，ネットワークを通じて柔軟かつ安全に活用できる技術の開発を行う．

今後の 5 年間において，ア．及びイ．については，世界のリーダーシップを確立し，ウ．については世界最先端の水準を目指す．

なお，この領域においては，最終的にシステムを構築できることが重要であり，その目標に向けて産学官のそれぞれの力が最も効果的に発揮され，かつ，それらが有機的に連携し全体として最大の効果を生むよう，産学官が十分に議論しながら柔軟で最適な分担体制を構築する必要がある．

② 次世代情報通信技術等（省略）

③ 広範な研究開発分野のための基盤技術（研究開発の情報化）等　（省略）

④ 人材育成・確保（省略）

3. 重点領域における研究開発の目標

各重点領域における今後 5 年間の主な技術目標を，以下に記す．

1）ネットワークがすみずみまで行き渡った社会に向けた研究開発領域（5 年後）

○ 超高速モバイルインターネットシステム技術の例

・ 無線アクセス；（低速移動時）数百 Mbps 級（実用レベル）
（高速移動時）数十 Mbps 級（実用レベル）
100 Mbps 級（デモレベル）
ソフトウエア無線による複数の周波数帯，方式への対応

・ 光通信（注）；（１芯当り）10Tbps（実用レベル），1Pbps 級（基礎技術）
（光ルータ）10Tbps 級（実用レベル），数百 Tbps 級（基礎技術）
（注）優先アクセス系で 1Gbps 級（事業所），30～100Mbps 級（家庭）を想定

・ 次世代インターネット； IPv6 による超大規模な接続（ノード）と高品質リアルタイム伝送（実用レベル）

○ 高機能・低消費電力デバイス技術の例

・ 小型軽量化（SoC）；１チップで TV 符号化，音声認識・合成機能付システムの実現

・ 高速化（SoC，注）；１GHz 級（実用レベル），3GHz 級（実験レベル）

・ 低消費電力化等（注）；高機能なモバイル端末で１週間充電不要
（注）窒化膜ゲート・バランスド CMOS の場合

○ 利便性，安全性・信頼性向上技術等の例　（省略）

2）次世代のブレークスルーをもたらす研究開発領域

(1) 次世代情報通信技術（10 年後以降の実現に向けた基礎的技術）

○ 意味理解技術等の次世代ヒューマンインターフェース（省略）

○ 量子工学技術を用いた情報通信（省略）

(2) 融合領域（5 年後）（省略）

3）研究開発の基盤技術（5 年後）

○ 科学技術データベース（省略）

○ スーパーコンピュータネットワーク（省略）

4. 研究開発の推進方策の基本的事項

(1) 研究開発の役割分担と産学官連携の推進等

重点領域の研究開発にあたって，国は，この分野が多様性と技術革新の速さといった特性を持つことから，研究開発計画を変更する必要性が生じた場合に柔軟に対応できる体制としつつ，市場原理のみでは戦略的・効果的に達成し得ない基礎的先導的な領域の研究開発に重点を置く．ここで，研究成果の社会・産業へのスピードある還元を図るため，研究開発においては常に実用化を強く意識し，マッチングファンド，大学等の受託研究収入や企業の寄附金に対する税制措置など産学官の連携を強力に推進する体制の整備，共同研究等の窓口や支援体制の整備，研究者が研究成果を事業化することに十分なインセンティブを働く環境の整備を行うとともに，我が国独自の基礎研究の成果等を応用に繋げるための橋渡しとなる研究開発を産学官の強力な連携の下に，以下の体制で推進する．

（途中略）．

① 「高速・高信頼情報通信システム」

研究開発成果の利用者となるべき民間の研究開発能力を十分に活用しつつ，産学官の密接な連携により推進する．特に，5 年程度で実用化可能なものについては，民間の主導的な研究開発を尊重しつつ，国は産学の強力な連携の下に基礎から応用への橋渡しの研究開発を早急に実施する．

② 次世代情報通信技術（省略）

③ 融合領域（省略）

④ 研究開発基盤（省略）

(2) 研究成果の実用化促進（省略）

(3) 研究者の交流促進・流動化，人材育成等（省略）

(4) 知的財産権の扱い（省略）

(5) 情報通信技術が社会に与える影響等の研究（省略）

(6) IT 戦略本部との連携，国際連携の強化（省略）

4．科学技術・学術審議会（情報科学技術委員会）

文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 情報科学技術委員会
（平成 14 年 6 月）

1. はじめに（省略）

2. 情報科学技術の推進に関する基本的考え方（省略）

3. 重点領域

総合科学技術会議の「分野別推進戦略」等の総合的な戦略，及び，第 2 章で述べた視点，考え方を踏まえ，また，科学技術・学術審議会等における各政策テーマからのニーズ（産学連携，人材育成等）を反映し，文部科学省として重点的に研究開発を進めるべき領域ごとに，技術概要と要素技術，当面の推進方策をまとめる．併せて，現時点で実施機関が定まっている研究開発については，当面の推進方策の欄に実施機関を明記する．

情報科学技術分野では，デバイス．ハードウェアからシステム，ソフトウェア技術に至るまで，また基礎基盤的な研究から他分野を含む多様な分野での応用を目指した研究開発までと，その研究開発領域は多岐にわたる．以下では，現状で重要と考えられる領域を網羅するように務めたが，例えばライフサイエンス，ナノテクノロジー・材料分野を中心に融合分野との重要性が高まる等，今後の動向に留意し，最新の情勢にあうよう不断の見通しが不可欠であることを付記する．

3.1 ネットワークがすみずみまで行き渡った社会に向けた研究開発領域

3.1.1 モバイル・ネットワーク環境を構築するハードウェア技術

(1) 高速モバイルインターネットシステム

【技術概要・要素技術】

高速な情報通信を実現する光通信技術（フォトニックネットワーク），移動中の場合を含めてどこでも情報通信を可能とする無線・移動体通信，その他次世代インターネットの中心技術である IPv6，アドホックネットワーク等よりなる，高速モバイルインターネットを実現する技術．

【当面の推進方策】

・ 無線通信素子を三次元構造でシステム化した超高速・超小型無線端末に係わる技術開発（IT プログラム「次世代モバイルインターネット端末の開発」を東北大学電気通信研究所において実施）

(2) 高機能・低消費電力デバイス

【技術概要・要素技術】

高速・高信頼情報通信システム社会を支える，ハードディスク，メモリ等のデバイスを低消費電力で高機能・高性能化する技術，及びそれらデバイスを組み合わせて高性能携帯情報端末を実現する技術.

【当面の推進方策】

- 超高密度・超高速磁気ハードディスクに関わる技術開発（IT プログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」を東北大学電気通信研究所において実施）
- 高機能情報ストレージシステムに関わる技術開発
- スピントロニクス技術を利用した高機能・超低消費電力メモリに関わる技術開発（IT プログラム「高機能・超低消費電力メモリの開発」を東北大学電気通信研究所において実施）
- 無線通信素子を三次元構造でシステム化した超高速・超小型無線端末に関わる技術開発（IT プログラム「次世代モバイルインターネット端末の開発」を東北大学電気通信研究所において実施）（再掲）
- 平面ディスプレイ用の高速・低消費電力映像表示デバイスに関わる技術開発

(3) システム LSI

【技術概要・要素技術】

多様な機能を持つ情報システムを一つの LSI に組み込む技術，システム LSI 自動設計技術（高位レベル設計，レイアウト設計），複雑化する設計の加速化のために既設計回路モジュールを再利用することで設計効率を上げる設計芸術，通信・映像・モバイル・AV・PC の各分野の LSI 設計，再構成可能デバイスを用いた設計等に関わる技術.

【当面の推進方策】

- 無線通信素子を三次元構造でシステム化した超高速・超小型無線端末に関わる技術開発（IT プログラム「次世代モバイルインターネット端末の開発」を東北大学電気通信研究所において実施）（再掲）
- 次世代モバイルインターネット端末や情報端末，ブロードバンドネットワークで必要となる多機能・高速・低消費電力システム LSI の開発と，高信頼度・低コストで従来比 1/10 程度の短期間でシステム LSI を開発できる設計環境の技術開発

3.1.2 信頼できるシステムと安全な社会生活を実現するソフトウエア技術（省略）

3.1.3 見やすく使いやすいコンテンス生成・検索・流通技術（省略）

3.1.4 モバイル・ネットワーク社会を実現する人間中心の技術（省略）

3.2 次世代のブレークスルーをもたらし将来の新しい産業の種となる領域

(1) 量子工学技術等次世代情報通信技術

【技術概要・要素技術】

量子レベルでの制御技術により新しい原理に基づくコンピュータを実現する量子コンピュータ，その他の次世代デバイスに代表される，次世代の情報通信技術．量子工学技術，次世代デバイス，ネットワークコンピューティング，高度放送システムに関わる技術．

【当面の推進方策】

- 量子効果，分子機能，並列処理等に基づく新たな高速大容量コンピューティング技術の技術開発（科学技術振興事業団の戦略的創造研究推進事業で実施）
- フォトニックデバイスの要素技術となる情報デバイス材料形成技術，及び光電子物性制御技術を利用した低チャープ・量子ドット光源及び単一光子発生・処理用光電子素子に関わる技術開発（IT プログラム「光・電子デバイス技術の開発」を東京大学生産技術研究所において実施）
- １テラヘルツ以上の光を創出する超高速光・電気変換デバイス技術に関わる技術開発（IT プログラム「超高速光・電気変換技術の開発」を国立天文台において実施）
- スピントロニクス技術を利用した高機能・超低消費電力メモリに関わる技術開発（IT プログラム「高機能・超低消費電力メモリの開発」を東北大学電気通信研究所において実施）（再掲）
- 上記の他，光技術，スピントロニクス技術を活用した次世代の高機能デバイスに関わる技術開発

(2) ナノ技術

【技術概要・要素技術】

情報機器のデバイス実現のためのナノ材料（カーボンナノチューブ等）とナノ加工・計測・評価に関わる技術，及びナノ技術を支援する構造・物性解明のためのシミュレーションに代表される情報科学技術．

【当面の推進方策】

- ナノデバイス材料に関わる技術開発（物資・材料研究機構，理化学研究所，大学等において実施）
- グリッドコンピューティング技術により高い計算処理能力を実現することにより，ナノ現象・加工等のシミュレーション等の融合領域に関わる技術開発
- 上記の他，3.1 の「(2) 高機能・低消費電力デバイス」，3.2 の「(1) 量子工学技術等次世代情報通信技術」等の一部で，ナノ現象・加工等融合領域に

関わる技術開発

(3) バイオインフォマティクス関連技術（省略）
(4) 他分野との連携の下で行う高度な情報通信技術（省略）

3.3 広範な研究開発分野の基盤技術（研究開発の情報化）等　（省略）

3.4 人材養成・確保　（省略）

５．平成１４年度「IT プログラム」の実施機関の選定について

文部科学省 研究振興局 情報課，平成１４年５月２日

文部科学省では、「ライフサイエンス」、「情報通信」、「環境」、「ナノテクノロジー・材料」、「防災」の５分野において、あらかじめ課題等を設定して、研究開発を実施する機関を公募により選定する委託事業を平成１４年度から実施することとしております。このたび、情報通信分野における「IT プログラム」の実施機関が内定しましたので御案内いたします。

■　IT プログラムの目的

IT プログラムは、IT 戦略本部が決定した、我が国が５年以内に世界最先端の IT 国家となることを目的に掲げる「e-Japan 戦略」及びそのアクション・プランとなる「e-Japan 重点計画」を推進するため、総合科学技術会議が定めた資源配分方針を踏まえ、５年以内に一定の成果が見込まれる実用化指向の中規模プロジェクトを実施し、得られた成果の実用化、企業化を目指すものです。

■　研究開発実施機関

公募の結果、９課題合計で２８件の応募があり、書類審査・面接審査等の結果、各研究開発課題の実施機関を以下の通り内定しました。

Ⅰ．世界最先端ＩＴ国家実現重点研究開発プロジェクト

研究開発課題名	実施機関名	研究代表者氏名
次世代モバイルインターネット端末の開発	東北大学　電気通信研究所	坪内　和夫
超小型大容量ハードディスクの開発	東北大学　電気通信研究所	中村　慶久
高機能・超低消費電力メモリの開発	東北大学　電気通信研究所	大野　英男
光・電子デバイス技術の開発	東京大学　生産技術研究所	荒川　泰彦
大規模データ解析・提供に必要な超高速光・電気変換技術の開発	国立天文台	石黒　正人
戦略的基盤ソフトウェアの開発	東京大学　生産技術研究所	小林　敏雄

Ⅱ．「ｅサイエンス」実現プロジェクト

研究開発課題名	実施機関名	研究代表者氏名
スーパーコンピュータネットワークの構築	大阪大学　サイバーメディアセンター	下條　真司
スーパーコンピュータネットワーク上でのリアル実験環境の実現	北陸先端科学技術大学院大学	松澤　照男
IT を活用した大規模システムの運用支援システムの構築	株式会社ギャラクシーエクスプレス	北村　幸雄

今後、各機関との契約締結後、研究開発が開始されます。

（以下，省略）

５（参考）．ＩＴプログラム研究開発課題（募集要項より抜粋）

研究開発課題

「e-Japan 戦略」の達成に向けて、５年以内に一定の成果が見込まれる実用化指向の以下の９つの研究開発課題について、大学等がもつ知見・ノウハウ等の研究ポテンシャルを活用した産学官連携体制での実施を基本として、研究開発の実施機関を募集します。

（１）世界最先端ＩＴ国家実現重点研究開発プロジェクト(*1)

①　次世代モバイルインターネット端末の開発

モバイル端末を構成する無線通信素子を三次元構造でシステム化し、５ミリ角、厚さ０．５ミリ以下のサイズにパッケージ化したシステムチップを用い、１ギガビット毎秒以上の通信速度をもつ超高速・超小型無線端末の開発。

②　超小型大容量ハードディスクの開発

１テラビット毎平方インチ以上の記録密度、１ギガヘルツ以上の動作速度及び２ギガビット毎秒以上のデータ転送速度をもつ超高密度・超高速磁気ハードディスクの開発。

③　高機能・超低消費電力メモリの開発

半導体と磁性体の性能を兼ね備えるスピントロニクス技術を利用した、１０ナノ秒程度の高速処理、ギガビット級の記憶容量及びマイクロワット級の消費電力をもつ超高速・超低消費電力大容量不揮発性メモリの開発。

④　光・電子デバイス技術の開発

次世代のフォトニックデバイスの要素技術となる情報デバイス材料形成技術及び光電子物性制御技術を利用した、４０ギガビット毎秒以上の通信速度をもつ低チャープ・量子ドット光源及び単一光子発生・処理用光電子素子の技術基盤の確立。

⑤　大規模データ解析・提供に必要な超高速光・電気変換技術の開発

大規模データ解析時の光・電気変換を超高速に処理するため、フォトミキシング技術を利用した、１テラヘルツ以上の光を創出する超高速光・電気変換デバイスの開発。

⑥　戦略的基盤ソフトウェアの開発

科学技術基本計画の重点４分野全体をカバーし、重点４分野の研究の推進、国際競争力の強化に大きく貢献し、研究開発終了後数年以内に国際的な標準となることが期待できる科学技術計算用の大規模ソフトウェアの開発。

(*1) 我が国が優位な技術（モバイル、光、デバイス技術等）を核とした、情報通信技術の研究開発。

（２）「ｅサイエンス」実現プロジェクト(*2)

⑦　スーパーコンピュータネットワークの構築

ネットワーク上に、統合化・標準化されたデータを中心に共有化を行うデータグリッド、高速・高度な計算機資源やアプリケーションを中心に共有化を行うコンピューティンググリッド等、異なるグリッド環境を連携して一体運用を可能とする基盤技術の開発・整備・実証。

⑧　スーパーコンピュータネットワーク上でのリアル実験環境の実現

スパコンネット上で、三次元高精度立体画像等による没入感を伴うバーチャルリアリティ技術、遠隔地の実験設備・計測設備との連携による遠隔実験技術及び大規模データの表示・格納・検索技術の開発・整備・実証。

⑨　ITを活用した大規模システムの運用支援システムの構築

大規模システムの安全性・信頼性を高め、低コスト化を実現するため、ロケット打ち上げ運用を題材として、開発段階の試験結果等の様々な情報を知識化したデータベース、システムに発生した不具合の原因を迅速に特定するアルゴリズム、遠隔地にて協働作業できる高速ネットワークを備えた運用支援システムの開発。

(*2) 研究開発現場に高速研究情報ネットワーク等の高機能ITを活用することにより、研究開発スタイルを変革し、新たな研究分野（融合研究領域等）を創出する「ｅサイエンス」の実現に向けた、研究情報基盤技術の開発・整備・実証等。

編集　東北大学電気通信研究所

二十一世紀情報通信研究開発センター
企画開発部 教授　古西　真
事務室　　室長　新田正人
企画開発部 秘書　鏡谷真知子

3プロジェクト担当
准教授　中瀬博之
准教授　大野裕三
准教授　島津武仁

文部科学省科学技術試験研究ITプログラム(平成14年度～平成18年度)成果報告書

平成19年4月

東北大学 電気通信研究所