

平成30年 1月25日 有識者会議資料

**革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）
「無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現」
新たな出口展開加速・推進のための増額のご説明**

**プログラム・マネージャー
佐橋 政司**

「無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現」概要

エレクトロニクスと磁気工学を融合した【スピントロニクス】で実現
ー揮発性エレクトロニクスから不揮発性スピントロニクスへー

現在のITエレクトロニクスは“**揮発性**”が中心
(電源オフで、記憶情報が消失)
待機電力・動作電力ともに大きい



ImPACTが目指す未来
究極の“**不揮発性**”エコIT機器
(オフ時記憶保持、動作時消費力 $\sim 1\text{fJ/bit}$)
モバイルITは無充電で長時間使用
センサーネットワークの電池交換を一掃

目指すもの



充電ストレスからの解放



大規模災害・
長期間停電時にも
緊急情報にアクセス

Fog Computing/
Edge Computing



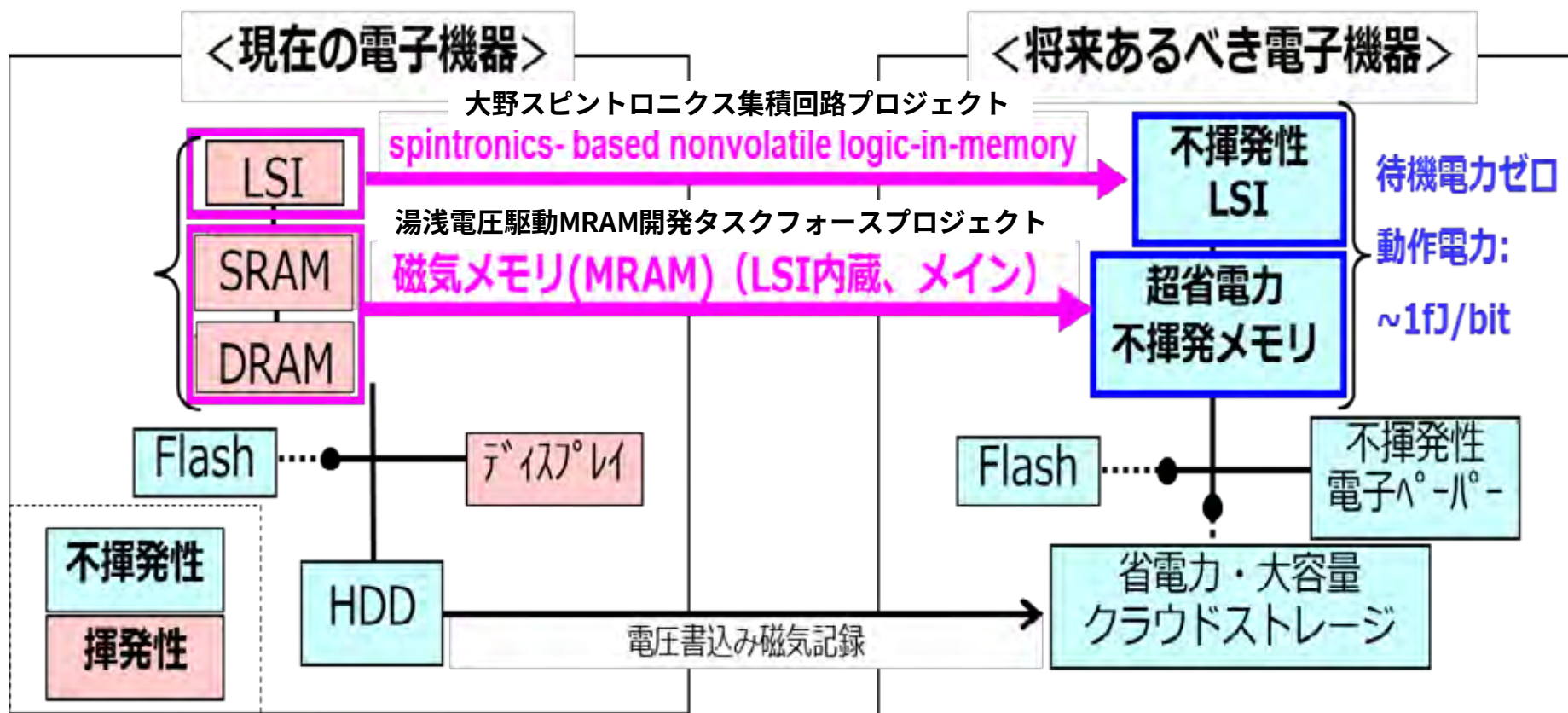
IoT時代を切り開く
無充電で長期間使用
可能なセンサー
ネットワークシステム

充電不要モバイル  分散ITシステム

- ・ 繋ぎっぱなしのコンセントを一掃
- ・ 災害時でもアクセス可能な安全・安心社会
- ・ 非連続イノベーションで電子産業を再興

揮発性エレクトロニクスから不揮発性スピントロニクスへの技術革新に挑戦

H28年度より、大野社会実装分科会(スピントロニクス集積回路プロジェクト)と湯浅先端技術開発分科会(電圧駆動MRAM開発タスクフォースプロジェクト)に特化、早期の社会実装と最先端技術の早期創出を目指す



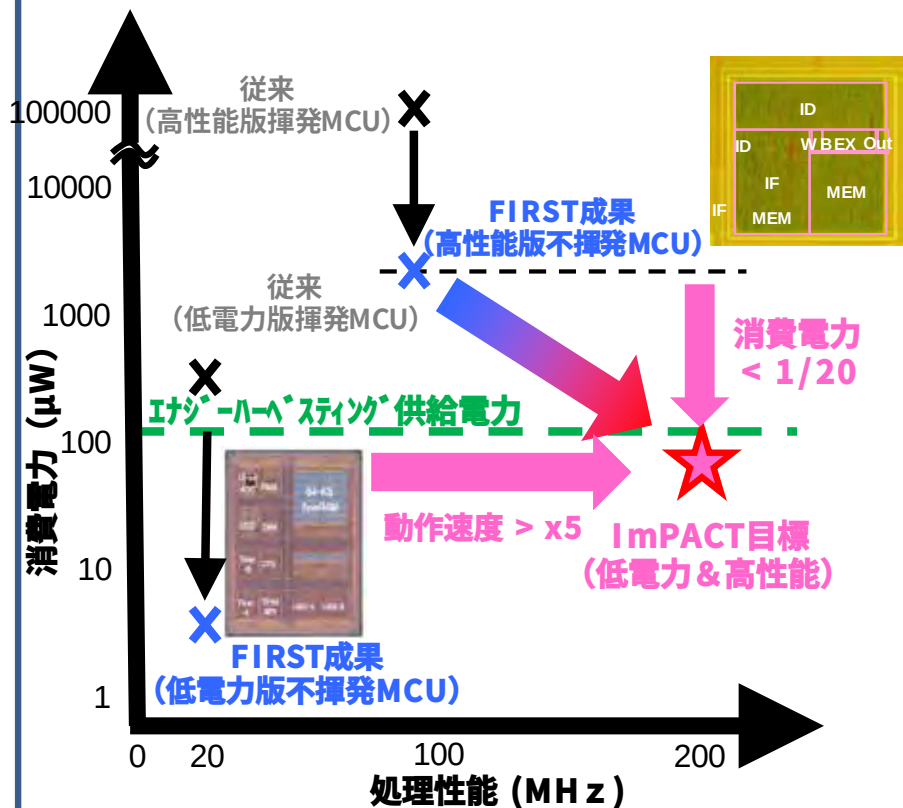
ImPACTで研究開発を推進中の技術開発目標

集積回路からのブレークスルー
=>ロジックインメモリの設計開発
(エナジーハーベスティング駆動不揮発マイコン)

MTJ素子性能(新たな物理原理)からのブレークスルー
=>キャッシュ/メインメモリの不揮発化への挑戦
(究極の超省電力不揮発性メモリの実現)

大野社会実装分科会
スピントロニクス集積回路開発プロジェクト
リーダー：大野英男(東北大)

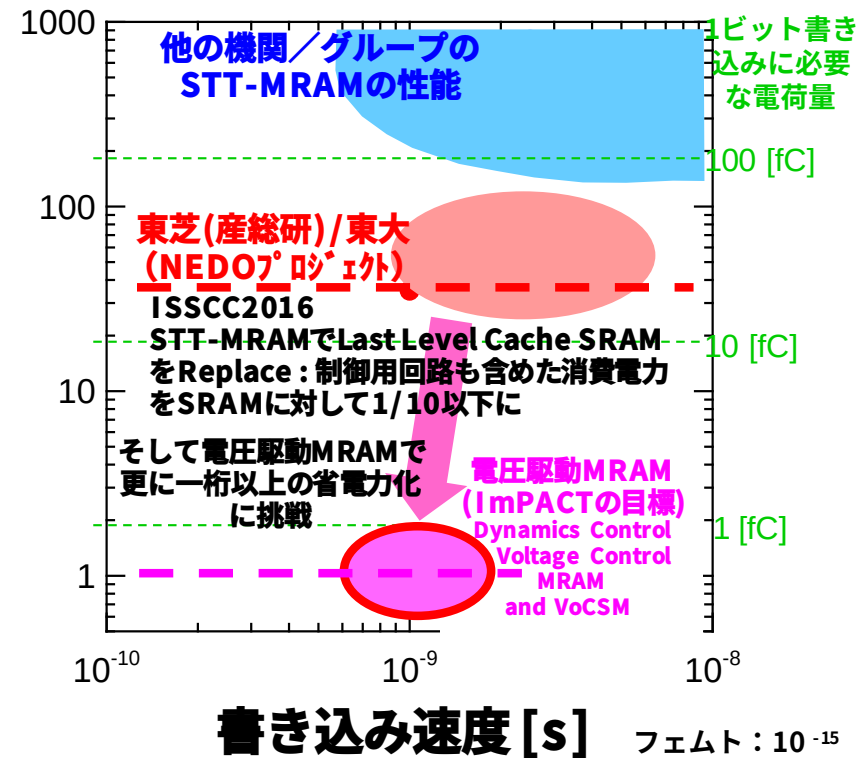
センサーネットワークの電池交換を一掃



湯浅先端技術開発分科会
電圧駆動MRAM開発タスクフォースプロジェクト
リーダー：湯浅新治(産総研)

モバイルITは無充電で長時間使用

1ビット書き込みエネルギー [fJ]



誰も実現していない、夢の磁化反転機構(電圧駆動磁化反転)を使った超省電力かつ高速性に特長を持つ電圧駆動MRAM実現への課題

電圧駆動MRAMの特長：

- ◆ 磁化ダイナミクス(1ns以下)のタイミング制御のため高速Write可能
- ◆ 電圧駆動のため、Write電流が小さい (<1 μ A)
- ◆ **Unipolar型Writeのため、完全Read Disturb Free回路を構成できる**
 - * 現状のエラーレートは $\sim 10^{-6}$ と更に改善の必要はあるが、ダイナミクス制御によるMRAMの成立性は世界に先駆けて確認済み (プレスリリース済み)



実現するための課題①：

高速で読み書き可能な回路設計の確立

- ◆ 書込みに高精度な短パルス制御が必要
- ◆ Writeの初期状態をチェックするためのPre-Readが必要
- ◆ 電圧駆動は「より高抵抗なMTJ素子」を使うため読み取り速度が遅い

解決策：電圧印加手法の確立(Write)、高速ビット判別回路等の導入(Read)、Verifyによるエラーレートの低減

実現するための課題②：

高集積化が可能なデバイス構造・方式の実現

- ◆ 2端子素子では、Read/Writeマージンのため、高集積化に壁
- ◆ 3端子素子は、高集積化ができない

解決策：

書込み方式(シーケンス、セル構造)からのアプローチ

	STT-MRAM	SOT-MRAM	電圧トルクMRAM
書込み速度	~ 10 ns	$< \sim 1$ ns	~ 3 ns
集積度	$\sim 9 F^2$	$12 \sim 18 F^2$	$4 \sim 6 F^2$
消費電力	書込み時 10 $\sim$ 100 fJ/bit 待機時の電力消費なし	書込み時 3 $\sim$ 30 fJ/bit 待機時の電力消費なし	書込み時 1 $\sim$ 10 fJ/bit 待機時の電力消費なし
プログラム開始時の状況	実用開発段階	アイデア段階	磁化反転物理原理確認 (日本発の技術革新の芽)

課題克服のための電圧駆動MRAM開発アプローチ(取り組みスキーム)

回路設計からのアプローチ

(ダイナミクス制御 VC-MRAM)

コンセプト：

磁気異方性の電圧効果と磁化の歳差運動制御により磁化反転を実現、電圧ダイナミクス制御型のMRAM (電圧トルクMRAM)を開発する

電圧ダイナミクス制御を回路設計からブレークスルー
高速性をどこまで活かせるかに挑戦

電圧トルクMRAM開発

界面磁気異方性のユニポーラ制御
と磁化ダイナミクス(歳差運動)のタイミング制御

新規高速書込み・
読出し回路設計開発

2016/10/31の
集中レビュー会時

IEDM2016, プレスリリース

成立性の実験検証

電圧パルス形状、
パルス幅とWERの関係、
高VCMA化の検討

高性能化・
インテグレーション

高速・大容量メモリ
(ラストレベルキャッシュ狙い)

書込み方式からのアプローチ

(Voltage Control Spintronics Memory: VoCSM)

コンセプト：

磁気異方性の電圧効果とスピンホール効果を巧みに組み合わせたデバイスアーキテクチャと新規書込み方式により3端子デバイスの欠点を克服、高密度化・大容量化への道筋を示す

書込み方式からのブレークスルー
で高集積化に道筋
超省電力・大容量メモリに挑戦

電圧印加選択書込み方式の開発
(新規書込み方式コンセプトの検証・開発)

超省電力・大容量化のための
新規一括書込みコンセプトの検証

高性能化・エラーレート検証

IEDM2016, プレスリリース

高速化(高エンデュランス化)の検討、
高VCMA化の検討、特性バラつき評価

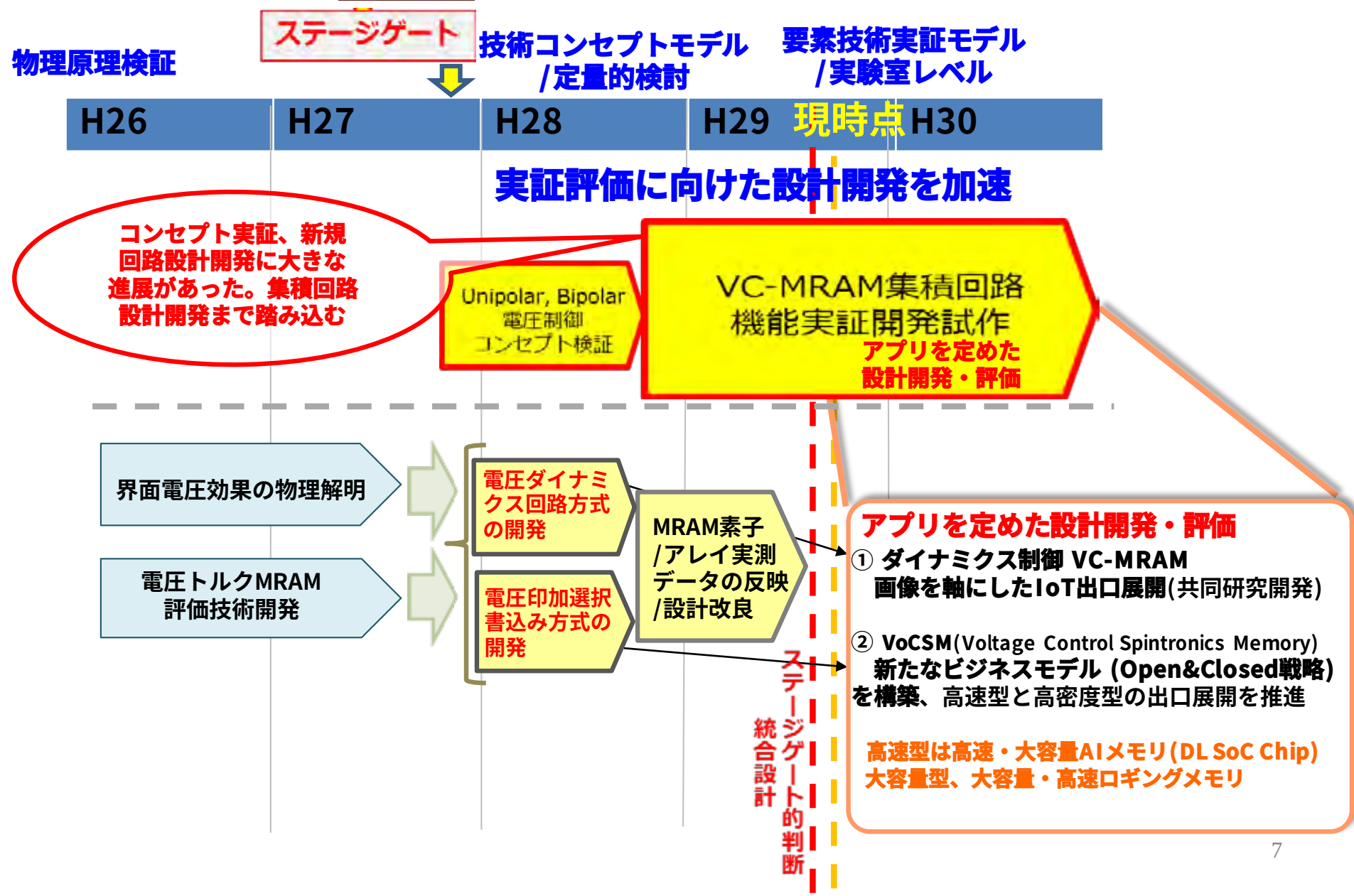
微細化検証・
インテグレーション

(2017/10/31現時点)

統合検証・設計開発完

超省電力・大容量メモリ
(ストレージ/メモリ狙い)

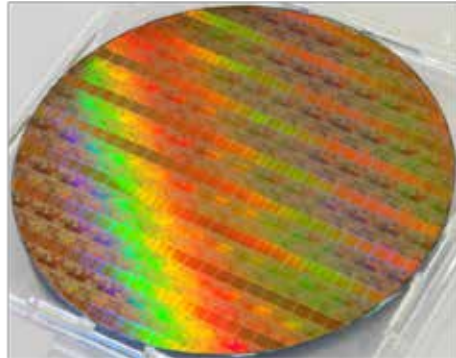
研究開発ロードマップ(改定：平成29年2月16日推進会議) に出口展開を見据えて新たに項目を追加見直し



画像IoTへの展開とVoCSM Open&Closed 戦略等 出口展開としての応用分野開拓・加速

出口展開としての新たな応用分野開拓の ための共同研究の加速・推進 —書き込みエラー率の抑制—

産総研スピントロニクス研究センターおよびTIA-SCRの設備を活用することで、300 mmのCMOSウェーハ上への3次元積層のプロセスデモと共同研究開発の加速・推進



増額総額：
141百万円

① 10nm級MTJ素子製造技術の開発
(先端CMOS基板上への単結晶MTJの貼り合わせ実証と特性検証デモンストレーション)
産総研

② 実用化に向けての電圧駆動MRAM書き込みエラー率評価加速のための増強
産総研 (専用計測器の確保)

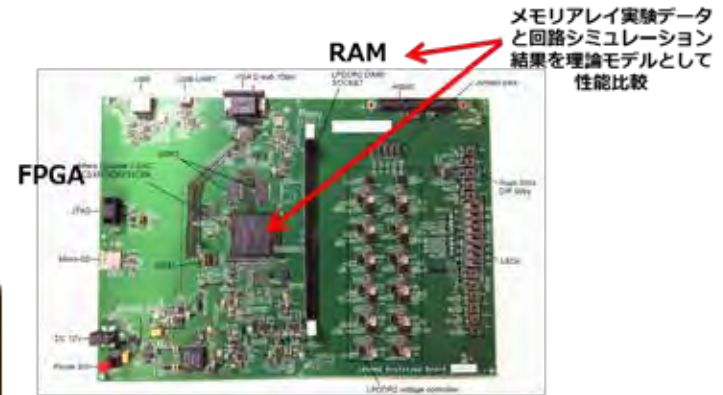
実素子における書き込みパルスの正確な理解と精密な制御が重要



③ 計算科学支援による電圧効果バラツキの原因解明と書き込みエラー率低減磁化ダイナミクス制御設計
東北大、金沢大、産総研、NIMS

④ 実用化に向けての材料開発の加速
(概念実証から機能実証に向けて、特にMR比と電圧効果の増大)
NIMS

応用分野開拓の加速 —デバイス開発とアプリケーションデモ—

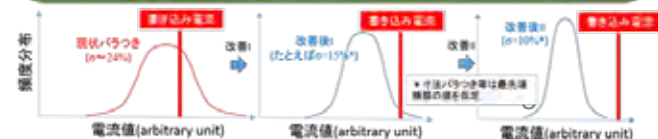


FPGAテストボードの例

FPGA上に種々のメモリコントローラのロジック回路を実装。RAMをVoCSMに見立てて（メモリモデルをシミュレーションでアドオン）、VoCSM用新型メモリコントローラを効果的に開発。さらに、アプリケーションをデモできるソフトとハードを開発。

⑤ 電圧駆動MRAM用メモリコントローラの開発
東芝

⑥ 電圧駆動MRAMの実用化に向けての電圧効果等特性バラツキの要因究明と原因解明、バラツキ低減の加速
($\sigma = 25\%$ を $\sigma < 10\%$ に)
東芝、産総研、NIMS



湯浅先端技術開発分科会/電圧駆動MRAM開発タスクフォースプロジェクト 研究開発成果の実用化・社会実装展開シナリオ

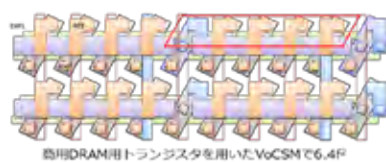
ImPACT期間中に、社会実装に向けての要素技術・基礎技術固めを完了するとともに、実用化・社会実装展開シナリオの具現化へと踏み出す

新概念メモリ：VoCSMの出口展開ビジネスモデル(ImPACT)

— Open&Closed戦略 —

VoCSM: Voltage Control Spintronics Memory

AI時代の(不揮発)メモリ：VoCSM
高速、超低消費電力、かつバンド幅が大きな
Working Memoryの具現化



商用DRAM用トランジスタを用いたVoCSMで6.4F

High-Speed VoCSM Alliance

オープンイノベーションによる
VoCSM共通基盤技術
開発の促進
Technology Based Consortium

高密度版 (記憶装置)

Dense VoCSM Advantage 有

参加研究開発機関の事業ドメインに直結：
DRAM代替、SCM事業または新たなStandalone Memory事業



画像IoTへの出口展開

共同研究

ダイナミクス制御 VC-MRAM

東芝メモリ

東芝
研究開発センター

産業技術
総合研究所

物質・材料
研究機構

大阪
大学

東北
大学

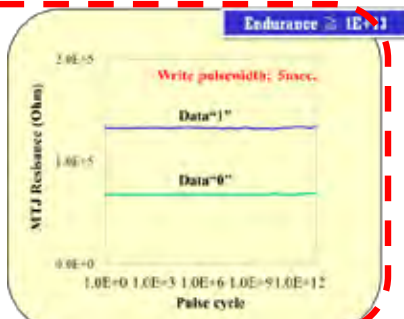
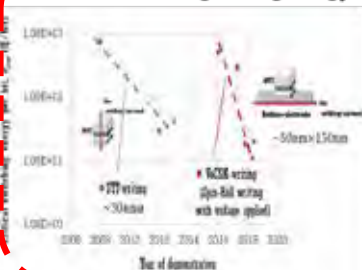
高輝度光科学
研究センター

金沢
大学

三重
大学

京都工芸
繊維大学

Succeeded in reducing writing energy





革新的研究開発推進プログラム

ImPACT

Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program