

産学共創プラットフォーム 共同研究推進プログラム（OPERA）

終了報告書（公開版）

研究領域名称	世界の知を呼び込む IT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出	
共創コンソーシアム名称	IT・輸送システム産学共創コンソーシアム	
幹事機関	国立大学法人東北大学	
プロジェクト担当組織	産学連携機構	
領域統括	氏名	遠藤 哲郎
	所属機関	国立大学法人東北大学
	部署	国際集積エレクトロニクス研究開発センター
	役職	センター長
コンソーシアム HP	http://www.cies.tohoku.ac.jp/opera/	

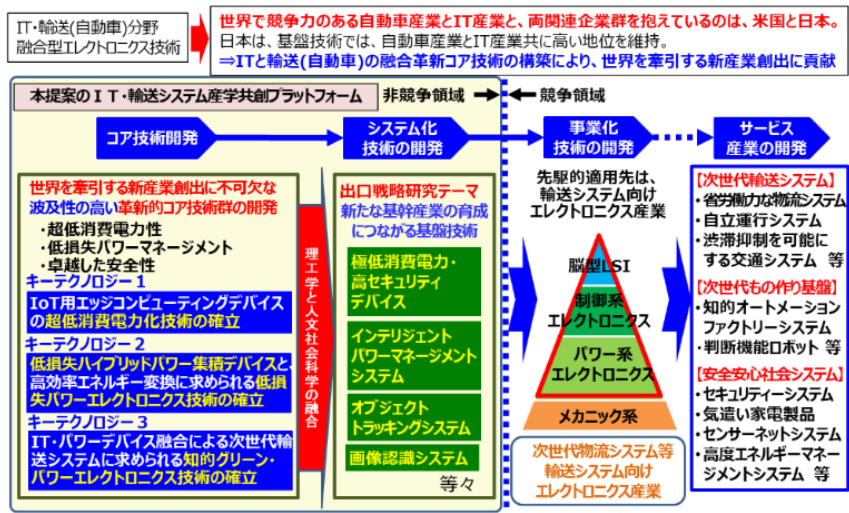
令和4年5月31日

目次

エグゼクティブサマリー	3
1 技術・システム革新シナリオ	5
2 研究領域及びキーテクノロジー	7
3 共創コンソーシアム	12
3.1 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化	12
3.2 共創コンソーシアムにおける知的財産の取り扱いルールの方針	13
3.3 人材育成についての方針	15
3.4 機関連携・協力体制についての方針	17
3.5 参画機関の管理方針	18
4 プロジェクト終了後の継続的な発展に向けた取組について	20
5 研究開発の状況	21
5.1 研究開発課題 1-1 「MTJ素子の高品質化のための新材料、プロセス技術の確立」	23
5.2 研究開発課題 1-2 「新構造スピントロニクス素子による超省電力型新機能デバイスの実現」	27
5.3 研究開発課題 2-1 「超低消費電力化のための回路技術の確立」	31
5.4 研究開発課題 2-2 「スピントロニクス集積回路製造のための高効率、高精度加工プロセスの実現」	33
5.5 研究開発課題 2-3 「スピントロニクス素子の高効率、高精度特性評価手法の確立」	36
5.6 研究開発課題 2-4 「スピントロニクス集積回路の高効率、高精度特性評価手法の確立」	38
5.7 研究開発課題 3-1 「Si(100)基板上における高品質 GaN 結晶の成長技術の確立」	41
5.8 研究開発課題 3-2 「GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路を用いた次世代電装コンポーネント技術の確立」	44
5.9 研究開発課題 4-1 「高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立」	46
5.10 研究開発課題 4-2 「次世代移動体システム用デジタルニューラルネット回路・アーキテクチャ技術の確立」	49
6 非競争領域からの展開（活動実績）	52
7 社会実装に向けたロードマップ	54
8 領域統括によるプロジェクト総括と今後の展望	57
9 特殊用語等の説明	58

エグゼクティブサマリー

【本事業の研究開発目的】
 本事業では、エネルギーや労働力の問題を IT 産業領域での省エネ技術と輸送業・情報通信分野での知的システム技術により解決するために、具体的な解決手段として、3つのキーテクノロジーを特定し、人文・社会学的知見を活用した次世代輸送システムのソリューション確立を目的として、非競争領域での産学共創プラットフォームにおけるオープンイノベーションを通じて持続的成長社会システムの実現を目指した。



【キーテクノロジー1：IoT用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立】

データ保持特性を高め更なる微細化の実現を目指して、4重界面積層MTJを提案・開発し、一桁nm世代のCMOSとの集積化で必要となる400°C熱耐性を有すると共に、車載等の耐環境分野で必要となる150°C環境下でのデータ10年保持を可能とする低消費電力デバイス基盤技術を確立した。

この一桁nm CMOS世代で集積化可能な4重界面積層MTJによる150°Cでのデータ10年保持を可能とする熱安定性の実証結果は、誤動作が許されない過酷環境下（車載・工場・発電等）の電子機器に組込む大容量・低消費電力メモリや高演算性能ロジックの実現に道を切り拓く成果であり、輸送分野のみならず国民生活の利便性向上に関する幅広い分野で貢献が期待できる。また、本事業では300mmプロセス装置を用いてMTJの成膜・エッチングの基盤技術開発を行った。この成果が実装されることで、我が国の製造装置分野の発展に貢献する。事業終了後は国際集積エレクトロニクス研究開発センター（CIES）の300mmプロセスラインを活用し、本事業終了から数年後に競争領域の射程に入る1Xnm以下のMTJ技術構築を展開する。

また、STT-MRAM等の出荷テスト時に必要となる磁気特性、電気的特性とその温度特性を同時評価可能とする評価装置を目指して、300mmウェハ対応で、+125~-40°Cの温度特性が取得でき、広範囲な磁場（150~450mT）を印加可能なメモリテストを世界に先駆けて開発した。

本プロジェクトにて、世界初となる300mmウェハ対応磁場印加テスト装置の試作/チップテスト実証、その結果をフィードバックした試作/チップテスト実証を完了した。MRAMを搭載したロジックチップの出荷が既に世界のメガファブ企業では始まっている。この業界動向を踏まえ、事業終了後は、本事業の研究開発成果をベースに競争領域への展開、すなわち量産対応の高精度・高速MRAMテストシステムの実用化へと展開する。

【キーテクノロジー2：低損失ハイブリッドパワー集積デバイスと高効率エネルギー変換に求められる低損失パワーエレクトロニクスデバイス・パワーモジュール技術の確立】

DC-DCコンバータの超小型化を目指して、GaN on Siデバイスの高精度パラメータ抽出を行い、DC-DCコンバータモジュール技術の開発に繋げ、その結果、磁気部品の飛躍的小型化とAMラジオ周波数帯のノイズフィルター削減を可能とする2MHz高周波駆動に成功した。

事業終了後は、国プロと民間共同研究を活用して、小型・高周波・高パワー密度対応DC-DCコンバータ、高周波対応パワーモジュール、新冷却システム、新樹脂絶縁基板、新セラミック絶縁基板、次世代ゲート回路装置の研究・開発を展開し2025年を目途に事業化へとつなげることを目指す。社会実装の姿としては、研究開発の成果が活用される製品群はEV、ロボット、データセンター用電源、太陽光用パワーコンディショナーなどの社会で膨大に使われる製品群であり、国民生活の利便性の向上に不可欠な技術である。加えて、これらの製品群の市場規模が大きいことから、我が国の産業競争力の強化にも不可欠な技術であり、その価値は非常に高い。

【キーテクノロジー3：IT・パワーデバイス融合による次世代輸送システムに求められる知的グリーン・パワーエレクトロニクス技術の確立】

画像クラスタリング学習の計算効率向上を目指して、画像クラスタリングの新しいアルゴリズムを提案すると共に、集積回路に実装した。55nmCMOS 技術で設計した本開発の画像クラスタリング AI チップは、同一性能下で、従来技術と比べて計算負荷の 88.9%の削減に成功した。

この成果をもとに、事業終了後は国プロと民間共同研究を活用して、本開発のアーキテクチャを用いた CMOS/MTJ 混載 VLSI の SoC 実装へ研究展開し、自動運行と自動監視の応用向けの認識と学習両方を備える超低電力不揮発 Neuromorphic システムを実現する。社会実装としては、次世代輸送システム実現のため、障害物や人間等のセンシング検出と意味理解から、自己学習による精度向上まで、周辺環境を適応性高く認識する高度認知システムの 2024 年の開発完了を目指す。

本事業の成果に基づく超低電力高度学習認識システムは、輸送分野に留まらず、エッジサーバーランス分野、ヘルスケア分野、インダストリー分野等の幅広い分野での社会実装可能であり、脱炭素社会を含む我が国の安全・安心社会の実現に貢献する技術として価値がある。

【非競争領域から競争領域への展開】

本事業の研究開発により、研究開発テーマ 1 において、4 重界面 MTJ を世界に先駆け提案し、反転効率増に加え、熱安定性の向上により、車載スペックの 150℃の耐環境下で、従来技術@125℃に対してデータ保持時間を 100 万倍に延ばせる高信頼 MTJ の開発に成功し、競争領域への展開につき、CIES の 300mm プロセスラインを活用して、数年後に 1Xnm 以下の MTJ 技術構築を展開する。

また、研究開発テーマ 2 において、本事業の研究開発課題 2-3 では、STT-MRAM の信頼性評価（データ保持時間 = 10 年）を 1.7 秒（従来比 2 万倍の高速化）で可能にする新測定システムの実証に成功し、製品化に向けた研究開発を継続し、将来の STT-MRAM の量産に必要な不可欠な出荷テスト装置の製品化を目指している。

さらには、2020 年度は、集積回路の測定・評価装置の第二世代機の測定装置・評価プログラムについて、実機によるシステム評価が可能となるレベルに達し実用化への目処がたった。

【プラットフォーム体制構築】

産学連携・共同による研究開発推進のため、本プラットフォームの整備・継続的な発展に向けて、知財取扱いルール・管理体制、委託費及び民間資金の間接経費の管理ルールを確立した。本事業では、企業とのコンソーシアム協議会による合意を得て、研究開発に必要な民間資金負担を決定しており、参画企業の要望を受けて、2016 年度の事業計画変更により電界放出型電子顕微鏡を 2018 年 2 月に導入するなど有機的連携を図った。RA 制度については、2016 年度に確立した OPERA 版 RA 評価及び給与制度により合計 18 名の RA を雇用され、うち 1 名の RA が、Nature Comm. に報告する成果（2018 年）をあげた。また、CIES Technology Forum などのアウトリーチ活動の成果により複数の参画希望を得て、提案当初 6 社の参画企業が現 30 社までに増加した。

【プロジェクト終了後の継続的な発展に向けた取組】

上述のように本事業のキーテクノロジーに関して開発された技術は社会実装に向けて競争領域へ移行する。また、開発された技術の中で新たに見出された課題については、省エネルギー技術への展開や量子コンピューティング・バイオメディカルなどの異分野応用への展開を見据えて新たなテーマを立てて非競争領域の中での研究を継続していく。また、本事業成果と CIES での産学連携活動が評価され、スピントロニクス AI 関連分野においては日本の半導体戦略に位置付けられている AI チップ次世代コンピューティング事業（NEDO）、パワーエレクトロニクス分野においては同様に日本の半導体戦略に位置付けられている革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業（文部科学省直轄事業）に継承・展開され、今後のさらなる発展を目指していく。

本事業の人材育成の仕組みやノウハウは、学生教育 RA 制度として東北大学では卓越大学院プログラム（人工知能エレクトロニクス）にも活用され、産学による社会にイノベーションをもたらすことができる博士人材（高度な「知のプロフェッショナル」）の育成へ展開されていく。

これらの今後の活動は、本事業で得られた研究・産学連携支援の運用知見・ノウハウを CIES に継承するとともに、本学の本部機構（研究推進・支援、産学連携、事務）と連携することで、URA 等の研究・産学連携支援、産学連携機構等の知財戦略や契約の支援を受けて継続されていく。

1 技術・システム革新シナリオ

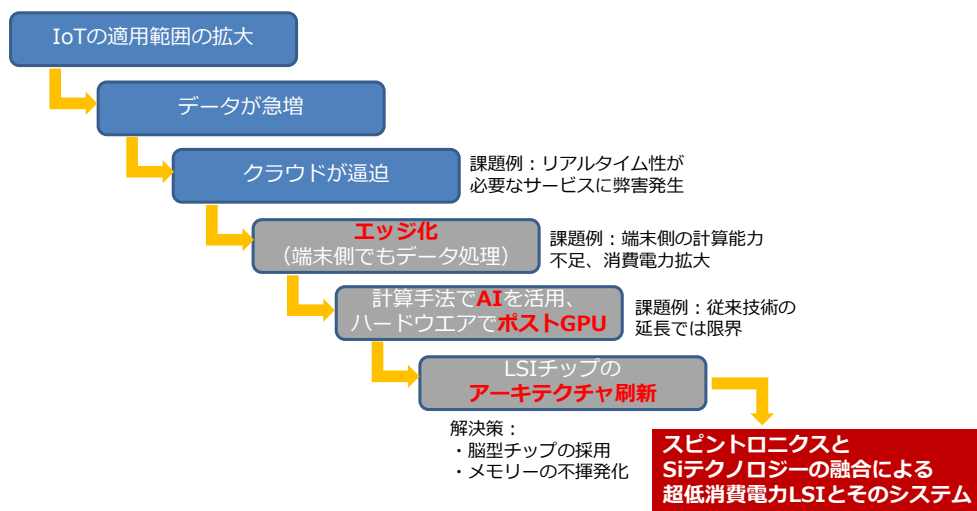
基礎研究から社会実装までのビジョンや経営課題の共有を通じた本格的な産学連携を進めるために、産学官金が連携して将来のニーズを共有し、将来のシーズとなりうる革新技術のターゲットを正確に定め、効率的に革新的な技術を創出することが重要である。

そのため、本事業において、成果の展開を目的とする市場、アプリケーションの動向から本事業で取り組むべき課題を抽出するとともに開発すべき目標及び技術仕様を具体化した。

4つの研究開発テーマ、及び10の研究開発課題の基盤となるデバイス(スピントロニクス素子、及び GaN パワーデバイス)に関する市場・市場調査を行うと共に、本領域が定めた次世代輸送システムに関する技術動向調査を行った。

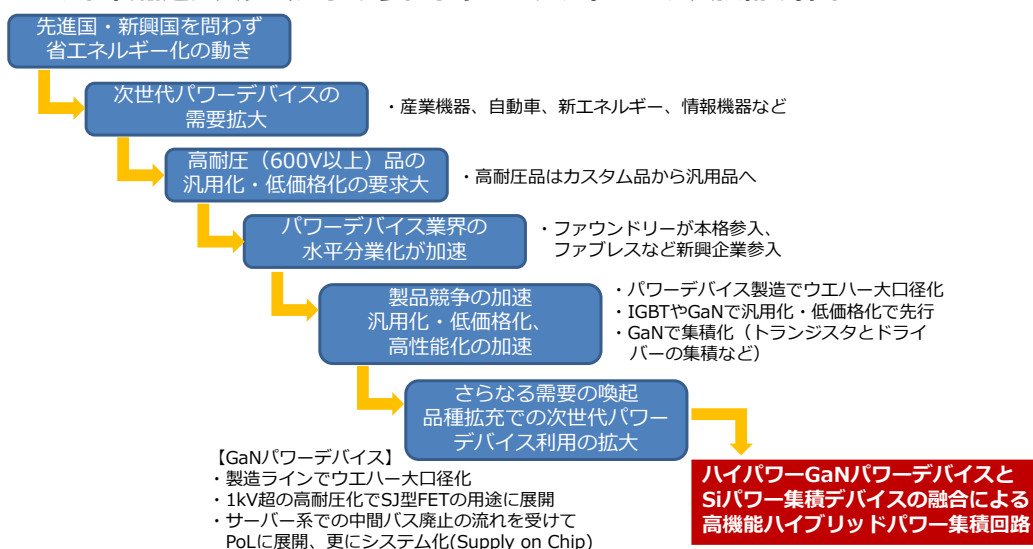
まず、メインターゲットとなるメモリ市場は、現在約10兆円規模であり、このうち約50%が不揮発メモリを占めている。当該市場は拡大傾向にあり、加えて、不揮発メモリの市場に占める割合は拡大が予想されていることを確認した。スピントロニクス素子である次世代磁気メモリ(MRAM)は、不揮発性メモリのみならず、混載マイクロコントローラーユニット(MCU)に大きな有望市場があり、エッジコンピューティングにおいて、スピントロニクスデバイスの革新的な低消費電力化を実現できる不揮発性メモリ機能が大いに発揮される可能性が高いことが調査で明らかとなった。

出口市場からのバックキャストによる 次世代ITシステムに求められるキーテクノロジーの探索



また、パワーデバイス市場は、現在約1兆円規模であり、これも拡大傾向にある。うち SiC 及び GaN 市場はその11%程度であることを確認した。現状の GaN パワーデバイスの現状の市場は電源系が主力であるが、今後、PV 向けインバータ、HEV、電子機器のチャージャーが有力市場となることが予想されており、GaN on Si による大口径化、低価格化の研究開発が主力となっていることも明らかとなった。

出口市場からのバックキャストによる 次世代輸送システムに求められるキーエレクトロニクス技術の探索



スピントロニクス素子、及び GaN パワーデバイス分野において、東北大学の特許出願数は、世界の研究開発機関の中でもトップクラス、大学としては世界第 1 位であることが特許情報分析からも明らかとなり、競争優位に立っていることを確認した。

次世代輸送システムに関する調査では、自動運転分野に関して、Advanced Driving Assistance System (ADAS) が進化すると自動車とインフラ設備の通信 (V2I) が必要となり、通信データ量の急増と共にエッジ側デバイスの高性能化が求められ、当該高性能化を実現可能な MRAM 混載 MCU に代表されるエッジコンピューティングデバイスにとって、成長が見込まれる有力なアプリケーション市場であることを確認した。また、ドローンに関しては、画像認識といった大量のデータ処理を実行する MCU や限られたバッテリーでの駆動環境が求められるパワーデバイスの利用の急増が見込まれる市場であり、OPERA として開発する半導体デバイスの有力なアプリケーション市場となる見通しを得た。

自動運転車とドローンは、「自律性」という意味で共通の性質を有しており、リアルタイム性、低消費電力性といった OPERA が研究開発目標とする半導体デバイスの特性とマッチしており、革新的な半導体デバイスの応用例として両市場のプレーヤーと共同研究開発を進めていくことが極めて重要であることが、今年度の調査で改めて裏付けられたことになり、研究開発領域、及び目指す方向性の正しさを確認した。

さらに、スピントロニクス、パワーデバイスに加えて AI チップを調査項目に追加し、市場調査、技術動向調査、特許調査を実施すると共に、社会ニーズからのバックキャストにより、研究開発目標の具体化を行った。その結果、スピントロニクスにおいては、市場及び技術動向調査よりスピントロニクスデバイスの研究開発ターゲットとなる製品セグメンテーションの抽出を行い、リソースを AI チップに集中することとなった。パワーデバイスに関しては、市場及び技術動向調査に加え、パワー半導体世界シェア 1 位の infineon への聞き取り調査により、製造コストを考慮するとき GaN の基板は Si が唯一の選択肢であり、GaN の特性を生かした高周波動作による小型化、Si 基板による大口径化、低価格化が研究開発の主なターゲットであることを抽出した。自動運転やドローンなどの次世代輸送システムにおける AI チップの調査においては、リアルタイム性、低消費電力性の実現を踏まえた集積回路に要求される演算性能の目標値が抽出され、その目標値が本プロジェクトの目標に一致していることが明確となった。

2 研究領域及びキーテクノロジー

キーテクノロジー1：IoT用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立



世界最小 10nm 垂直磁化磁気トンネル接合 (Perpendicular Magnetic Tunnel Junction: p-MTJ) の形成や最先端の高周波測定などに関するノウハウを活用し、IoT用エッジコンピューティングをより低電力で実現するために、更に書き換え耐性に優れたスピントロニクス素子を開発する。そのために、スピン注入磁化反転型磁気抵抗メモリ (Spin Transfer Torque Magnetic Random Access Memory: STT-MRAM) のデファクトである 2重 CoFeB-MgO 界面 p-MTJ 素子、及び磁壁移動やスピン軌道トルク等を用いた高速高信頼メモリ用途 3 端子スピントロニクス素子の研究開発において蓄積されている提案者等の知見や技術を活用する。また、革新的な材料の導入や磁化反転方式の適用を検討し、高度な自動判断を実現する上で求められる超高集積性能・超低消費電力性能・耐環境性能を達成するための基盤技術を構築する。STT-MRAM 及び不揮発マイコンにおいて消費電力を従来方式に比して 2 桁低減させ、スピントロニクス素子の不揮発性機能を最大限に活かす回路技術、アーキテクチャから、設計ツールまでの集積回路化に必要な全ての基盤技術をベースに、知的認識判断を可能にする LSI を実現する回路・アーキテクチャの開発を行う。

技術的課題としては、判断認識に伴う繰り返し発生するデータの更新に耐えられるデータ書き換え耐性に優れ且つ集積性に優れた不揮発性メモリを開発すること、既存のシリコン集積回路と同程度の高集積化を達成すると共に、デジタル集積回路で高い省エネルギー性能を実現することが課題である。

□ 技術的課題を解決するための研究開発テーマ 1：スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現

・プロジェクト終了時に達成すべき研究目標：

2026 年 (10 年後) に IoT 用エッジコンピューティングデバイスについて下記の性能を達成。
 書き換え回数 10^{16} ；消費電力 1/100 となる基盤デバイス技術

(具体的な研究開発課題)

①研究開発課題 1-1：MTJ 素子の高品質化のための新材料、プロセス技術の確立

②研究開発課題 1-2：新構造スピントロニクス素子による超省電力型新機能デバイスの実現

□ 技術的課題を解決するための研究開発テーマ 2：スピントロニクス不揮発性集積回路によ

る飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現

- ・プロジェクト終了時に達成すべき研究目標

2026年（10年後）にIoT用エッジコンピューティングデバイスについて下記の性能を達成。

書き換え回数 10^{16} ；消費電力 1/100 となる基盤回路技術

磁場印加による影響フリーの測定システム

（具体的な研究開発課題）

- ③研究開発課題 2-1：超低消費電力化のための回路技術の確立
- ④研究開発課題 2-2：スピントロニクス集積回路製造のための高効率、高精度加工プロセスの実現
- ⑤研究開発課題 2-3：スピントロニクス素子の高効率、高精度特性評価手法の確立
- ⑥研究開発課題 2-4：スピントロニクス集積回路の高効率、高精度特性評価手法の確立

キーテクノロジー2：低損失ハイブリッドパワー集積デバイスと高効率エネルギー変換に求められる低損失パワーエレクトロニクスデバイス・パワーモジュール技術の確立



パワーエレクトロニクスは、輸送機器、産業機器、および家電製品等の我々の身近にある電気エネルギーの発生、消費を効果的に行うキーテクノロジーである。そのため、我が国においても、Si、SiC、GaN、ダイヤモンド等による開発ロードマップが提案され、大電力化のためのSiC、高周波および多機能化のGaNを中心とした研究開発が推進されている。しかし、高機能パワーエレクトロニクス分野の研究開発は緒に就いたばかりで、ディスクリート半導体素子やそのマルチチップ化による実装が一部実用化されているものの、機能のインテリジェント化のため各素子を一つのチップ上にハイブリッド集積化した試みは皆無である。

従来の発想とは異なり、本研究テーマでは、CMOSデバイスで使われている単結晶Si(001)基板上に、高品質の単結晶GaNを選択的に積層する革新的なエピ成長技術を開発し、既存のトップレベルのコア技術を融合させたSi-CMOSとの「GaN/Siハイブリッドパワー集積回路」の技術開発を進める。これらの異分野融合研究により、例えば、従来のSi絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（Insulated Gate Bipolar Transistor: IGBT）より低消費電力で、高信

頼性を有する高周波対応の究極の高機能パワー集積回路が実現される。加えて、当該高機能パワー集積回路とエレクトロニックコントロールユニットのインターフェイスであるパワーモジュールを実現することにより、GaN/Si パワーデバイスの優れた特長である高周波、低損失、低コストを最大限に活かすことが可能となる。具体的には、輸送システムで使われるインテリジェント電池パックやエレクトロニックコントロールユニットなどが 1/10 に小型化されフォトカプラや DC-DC 電源など個別部品で構成したパワーデバイスのドライブ回路がワンチップ IC 化できるなど、省スペースで高いエネルギー変換効率とインテリジェントパワーマネジメントが同時に実現可能となるパワーマネジメントシステムの実証を目指す。

技術的課題としては、GaN デバイスのノーマリオン対策を実現し、低コスト化を図ることが GaN デバイスの普及に不可欠である。また、GaN と CMOS の集積化技術において、GaN と CMOS 形成が可能な Si (001) 基板とのヘテロ界面形成をする際、これら異種材料の間に格子不整合や熱膨張係数の違いに基づく応力歪による欠陥やクラック発生等の低減が技術的課題である。

□ 技術的課題を解決するための研究開発テーマ 3 : Si-CMOS を活用した GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路の実現

- ・プロジェクト終了時に達成すべき研究目標 :

2026 年に GaN/Si (100) ハイブリッド技術について下記の性能を達成。波及性の向上 : GaN 選択成長領域 8 インチ

性能インパクト : GaN 表面欠陥密度 < 100 / cm² ; 集積度 3 倍

(具体的な研究開発課題)

- ⑦ 研究開発課題 3-1 : Si (100) 基板上における高品質 GaN 結晶の成長技術の確立
- ⑧ 研究開発課題 3-2 : GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路を用いた次世代電装コンポーネント技術の確立

キーテクノロジー3: IT・パワーデバイス融合による次世代輸送システムに求められる知的グリーン・パワーエレクトロニクス技術の確立

新構造スピントロニクス素子による不揮発性アナログ素子の実現
 (アナログ信号の高效率処理と情報保持ができる新機能素子)

○新規ニューラル素子
 スピントロニクス素子内でのアナログ情報の自動加重と、そのアナログ情報の出力の一体化 arXiv 1507.00888.

○新規ニューロン回路
 スピントロニクス素子と CMOS 回路の Hybrid 化 → 高效率アナログ情報処理と、インターフェイス処理としての A/D 変換の一体化

AWAD 2016

不揮発ニューラルネット回路・アーキテクチャーの実現
 (人間の脳規模まで高集積化を可能にする不揮発性アナログニューロン集積回路・システム)

不揮発 FPGA 不揮発 TCAM

・スピントロニクス素子による不揮発性 FPGA や不揮発性 TCAM の開発
 ・飛躍的な低消費電力性能を実証

人間の脳規模までの集積化への道を切り拓く。
 脳型コンピューティングを実現するハードとソフトを東北から発信

[1] VLSI Symp. 2015
 [2] VLSI Symp. 2013

2026年(10年後)での性能指標

- ・波及性の向上 : 学習時間 1/100 & 消費電力 1/100
- ・性能インパクト : 人間相当の認識判断

東北大学がこれまで培った不揮発性スピントロニクスデバイスに関するコア技術をベースとして、最先端 VLSI 技術とスピントロニクス材料・素子技術を活用する。これにより人間的

情報処理を行う計算処理を実現する LSI をコンパクトに実装し、さらなる低消費電力化、新機能搭載により、各人間的情報処理を行うコンピューティングのアプローチを用いる物流などの輸送システム用脳型 LSI へのアプリケーションへの応用を実現する。

スピン活用による待機電力ゼロにより、極限的な電力消費低減が可能であるため、人間的情報処理を行うコンピューティング機能をクラウドのエッジ（端末）側に搭載（ウェアラブル）できることとなり、人間を代行するような高度な情報処理をオンライン（実時間）で享受できるようになる。この知的グリーン・パワーエレクトロニクス技術を通して「連想・認識等に基づくフレキシブルな判断」機能を担う人間的情報処理を行うコンピューティングの実現に貢献する。特に、この様な既存の工業製品化されているコンピューティングでは実現し得なかった機能・性能を要求する応用分野として、工場内での高度生産設備・物流・交通などでの自立的稼働やリアルタイム認識判断システムなどが想定されている。

加えて、革新的省エネルギーな IoT システムと飛躍的な高効率なエネルギー変換技術が社会の様々な機器に搭載されることで、社会的要請である排出 CO₂ 削減に大きく貢献し、その結果、社会を支えるエネルギー形態は、化石燃料から電気エネルギーへと大きく変革すると試算されている。

技術的課題としては、

歩行者や障害物等の構造等のセンシング及び意味理解が可能な周辺環境を認識する高度認知システムの開発が必要となる。また、スピントロニクス素子と CMOS 回路のハイブリッド化による学習時間の飛躍的短縮（1/100）を実現する大規模集積化技術の開発およびスピントロニクスによる不揮発性機能を最大限活かしたニューロン素子ベースの知的認識判断を可能にする LSI を実現する回路・アーキテクチャの開発が必要となる。

□ 技術的課題を解決するための研究開発テーマ 4：高度自動判断システムとハイブリッドパワー集積回路が生み出す次世代移動体システムの実現

・プロジェクト終了時に達成すべき研究目標：

2026 年（10 年後）にスピントロニクス素子と CMOS 回路のハイブリッド化によりシミュレーションで確認されている学習時間の飛躍的短縮（1/100）を達成。

（具体的な研究開発課題）

⑨研究開発課題 4-1：高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立

⑩研究開発課題 4-2：次世代移動体システム用デジタルニューラルネット回路・アーキテクチャ技術の確立

【研究領域構成図】 幹事機関：東北大学



3 共創コンソーシアム

3.1 産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化

3.1.1 構築した仕組みの概要及び運用状況

民間企業が産学共創プラットフォームに参加する場合には、企業は大学に対して共同研究費として資金を拠出する。この資金は、各参加機関の研究開発等に使用する直接経費と、知財管理等、事務員の人件費等に利用される間接経費に分割される。

直接経費である研究開発費の管理については、東北大学共同研究取扱規程に基づき、研究開発費を明確化し、適切な運用の「見える化」を図る。この基本ルールに加えて、以下のポリシーにて民間資金の管理を行うこととしている。

- 1) 複数の企業からの研究資金が1つの研究課題に入っている場合各研究課題の研究開発会議にて、重複投資の排除等、効率的な予算利用を決定する。
- 2) 複数の研究開発課題の連携活動を行う場合研究開発部門間連絡会議にて、必要となる民間資金の負担割合を決定する。

間接経費の管理については、「競争的資金の間接経費の執行に係る共通指針」(2001年4月20日競争的資金に関する関係する関係府省連絡会申し合わせ、2014年5月29日改定)に基づき、間接経費の使途の透明性を確保する。なお、間接経費については、積算根拠をもとにその使途を提示し参画企業と協議した結果、本産学共創プラットフォームに当初から参画する企業は、間接経費を増額することで合意に至った。

上記基本ルールに加えて、本事業の現状を踏まえて以下のポリシーにて間接経費の管理を行う。

- 1) 本事業の産学共創プラットフォームにアサインされた間接経費に関しては、各研究課題の中で閉じて使用する。
- 2) 増額の10%の間接経費は、当該研究課題の知財関連経費に使用することを基本とする。
- 3) 当初から参画する企業と同様の事業体の企業が参画する場合は、既に参画している企業との公平性の立場から間接経費は直接経費の20%を基本として協議する。
- 4) 当初から参画する企業とは、異業種であるソフトやサービス分野などの企業が参画する場合で、その直接経費が少額である場合については、間接経費での積算根拠に基づく最低必要金額の観点から、間接経費は直接経費の20%をさらに超えて増額してもらうことを基本として協議する。

2017年度は、上記基本ルールに加えて、実施計画に基づき、体制構築を行い、2018年度も同ルールに基づいて運用した。上記ルールは、国際集積エレクトロニクス研究開発センターにおいて既に実績があるため、円滑に運用されている。

東北大学本部において間接経費率の増や戦略的産学連携経費としての活用検討が継続された。2019年4月から、OPERA等の先駆的事業を基に本学で産学連携活動を拡充していくための予算を確保するために、共同研究の間接経費率を10%から20%に全学に拡大した。これを受けてOPERA事業を推進しているCIESは、産学連携の高度化を学内でリードするために、先行して間接経費率30%での契約を一部開始した。その後、全学の間接経費率が直接経費の30%となった。

3.1.2 得られた効果

費用負担の適正化に係る方針を徹底することにより、マーケティング調査に基づき機動的に研究課題を推進するとともに、RA 等人財育成と本部との連携による産学連携事業体制を構築することで共同研究費と本事業の資金を効果的に活用することができた。これらの事業運営の活動は、産学連携担当理事及び研究担当理事の支援も受けながら、2017 年度に本事業の連携ハブとして重要な機能を担う OPERA 支援室を設置などの運営体制の早期の構築に拠るところが大きかった。OPERA 支援室は、本部研究推進機構 URA センター及び産学連携機構より URA の配置を受けて、全学的な連携体制を構築し、産学連携、研究推進、拠点事業のマネジメントをシームレスに展開できた。OPERA 支援室には、首席 URA 2 名（URA センター副センター長）および OPERA 支援室長（正規主任事務職員）、事務補佐員が配置され、事務支援、技術動向とマーケティング調査、広報・出口戦略、大学制度改革、他機関・学内横断的な連携と領域統括のマネジメントを支援することができた。これにより、シナリオが検証され、円滑な研究計画立案と実施、成果のアウトリーチがなされた。加えて、RA 制度の充実、コンソーシアム参画企業数の増加などを支援することができた。

これらのマネジメント体制の構築による効果的な産学連携活動は、OPERA コンソーシアムの参画企業との信頼関係を堅固なものとし、新たな企業の参画に繋がった。

一方、本事業の間接経費の活用方針は、本学の産学連携の活用の指針となり、本学の産学連携担当理事のリーダーシップの共同研究契約における間接経費の向上につながった。加えて、本成果と本学の国際集積エレクトロニクス研究開発センターでの知見を融合させて、本学のオープンイノベーション（O I）戦略機構の立ち上げ・運営に貢献した。

3.1.3 今後の課題、プロジェクト終了後の運用方針

本事業で構築した産学共同研究における費用負担の適正化・管理業務の高度化への取組みとノウハウは、O I 戦略機構を初めとして、本学の種々の産学連携研究開発拠点に継承しさらに発展させていく。たとえば複数の企業との連携による非競争領域での研究開発はオープン型コンソーシアムの基盤として活用していく。さらに、本 OPERA 事業で産学連携事業の高い運用スキルを身に着けた教員はもとより産学連携機構職員・URA 等の職員・OPERA 支援室職員の人的リソースを今後の産学連携事業の中で最大限活用していく。

3.2 共創コンソーシアムにおける知的財産の取り扱いルールの方針

3.2.1 構築した仕組みの概要及び運用状況

本事業は、競争領域の CIES コンソーシアム参画企業等からの社会実装が想定されることから、CIES コンソーシアムと同様の知的財産の取り扱いのポリシーと共通化し、本事業に参画する全企業に適用している。以下に、本事業における知的財産の取り扱いルール等を記載する。

①非競争領域産学共同研究での知財の蓄積・運用制度の改革

本産学共創プラットフォーム内で個別の産学共同研究から創出される知財は、幹事機関となる東北大学が中心となって本産学共創プラットフォーム内で一元的に蓄積・運用する知財 Pool 制度を新設した。この制度の導入により、従来の 1 対 1 型産学共同研究をベースとした個別知財協議制度から脱却している。また、参加者の公平性に配慮して、共同研究費に対する企業負

担に応じて、上記一元運用される特許の利用権利（無償もしくは安価実施）をクラス化する知財 Share 制度を新設した。また、知財戦略を財政的に安定して蓄積・運用するために、予算確保制度を新設した。具体的には、間接経費を、参画企業との協議により、通常の10%から20%に引き上げ、知財の出願・維持費を確保している。この仕組みは、同時に間接経費を知財関連費に使うことを明らかにし、間接経費の明確化にも資する。

さらに、上記制度・財政面の改革に加えて、人的リソースについても Chief Patent Officer (CPO) を設置し、知財戦略の立案と実施体制を整備する。

②プロジェクト実施中と実施後の知財マネジメント

<プロジェクト実施中>

プロジェクト実施期間中に使用する特許技術を大学が背景知財 (Background IP (BIP0)) として企業に無償で提供する。東北大の指揮のもとプロジェクト参加機関全体でプロジェクトを推進し、背景知財周辺のフォアグラウンド知財 (FIP0 (大学), FIP1 (大学企業共有), FIP2 (企業)) を充実させ強力な特許群を構築する。プロジェクト実施期間中に発生した東北大との共同知財 (FIP1) については、知財創出に寄与した大学と機関で権利を保持するが、他のプロジェクト参加機関に無償の通常実施権が許諾されるように配慮する。

<プロジェクト実施後>

東北大の責任においてプロジェクトの成果をさらに発展的に研究開発を行う。プロジェクト後の研究開発において必要となる過去の知財については東北大の管理のもと運用を行う。

東北大が持ち分を有する知財については、引き続き共同研究を行う企業については無償の通常実施権を許諾する。

③知的財産の取り扱いポリシーの統一化

非競争領域における本産学共創プラットフォームにおける知財ポリシーは、競争領域における CIES コンソーシアムの知財ポリシーと統一化するように制度設計している。両者の知財ポリシーが統一化されていることで両者に参画している多くの企業は、本産学共創プラットフォームで創出された知的財産を事業化に至るまでにシームレスに移転することが可能となる。ここで、産学共創プラットフォーム内の知財ポリシーは、以下の内容を含んでいる。

- ・各知財の集積効果を楽しむために、知財は一元蓄積運用する。
- ・参加企業と知財ライセンスの関係を一致させるために知財は研究開発課題毎に一元化する。
- ・研究開発課題間を跨いだ知財の活用を行う場合には、研究開発部門連絡会議にて産学が協議して決定する。

また、大学間の知財ポリシーの統一という課題については、本産学競東北大の CIES 知財ポリシーをベースに産学共創プラットフォーム事業を推進してゆく中で、東北大、山形大学と京都大学が協力して東北大の CIES 知財ポリシーを発展させて、産学共創プラットフォーム (非競争領域) 版知財ポリシーを構築する。

上記取り扱いの方針について、参画企業を個別に訪問の上、意向を聞き取り、協議会にて同意を得ることができた。また、東北大を出願人とする特許は、2021 年度末時点で 99 件が出願中である。各研究開発課題を担当する企業が競争領域で社会実装を行う際の活用が見込まれる他、新たな企業の参画に期待できる。今後も、産業利用可能な新たな研究成果について、企業及び本領域のニーズを見極めて、知財化を進める予定である。

3.2.2 得られた効果

上述の知財の創出および知財の管理・運用に対する仕組みを実際に本 OPERA 事業の中で運用していくことで、現実にはオペレーションできる仕組みとして高度化することができた。具体的には、非競争領域における本産学共創プラットフォームにおける知財ポリシーは、競争領域における CIES コンソーシアムの知財ポリシーと統一化するように制度設計して運用したことにより、本事業の非競争領域のプロジェクトを、シームレスに競争領域に移行することができた。一貫性のある知財ポリシーは、中長期で研究開発戦略と事業戦略を実行する企業にとって信頼性の高い連携に繋がっている。

3.2.3 今後の課題、プロジェクト終了後の運用方針

上記知的財産の取り扱いルールの方針は、非競争領域における本産学共創プラットフォームにおける知財ポリシーは、競争領域における CIES コンソーシアムの知財ポリシーと統一化するように制度設計している。これまでと同様に CIES コンソーシアムに適用されていく。加えて、本 OPERA 事業の取組みを受け、産学連携機構では知的財産に関わる知財戦略立案、知財創出から企業との交渉、契約の体制を強化することができた。今後は、これらの取組みと連携して非競争領域、競争領域の知的財産の取扱い、技術移転を推進する。

3.3 人材育成についての方針

3.3.1 構築した仕組みの概要及び運用状況

本産学共創プラットフォームでは学生若手研究者の育成のために東北大学が現在運営している RA 制度を積極的に活用していく。本産学共同プラットフォームでは、産学共同研究費により RA 経費を確保し、これを財源として、東北大学における電気系の主要機関に配属されている 200 名超の博士課程後期の学生を中心に RA としての経験を積む。RA として参画する際には、コミットメントを有することで、より自発的かつ責任感を持った RA 活動を経験する。

また、IT・輸送システム異分野融合領域において、産学共同を通じて、川上から川下までをカバーする異分野融合型人材育成のため、産学共創プラットフォーム内に人材育成部門を設置し、産学連携で人材育成体制を構築することとする。人材育成リーダーが中心となって、本コンソーシアム参画企業と共同で、産業界や社会に求められる人材像を描き、その理念に基づき、大学院生とポスドク・若手研究者の産学連携研究への参画の促進とコンソーシアム参画企業へのインターンシップを運営方針とする。これにより、異分野に触れることによる、「学問の必要性への理解」と「学問の使い方の習得」の深化や、マネジメント力の育成、国内外への武者修行による異文化を跨ぐ全体俯瞰ができる人材を育成すると共に、将来、本産学共創プラットフォーム推進の中核を担う人材を確保する。その際、産学連携や本事業推進に対する貢献を人事評価の評価項目に加え、モチベーションを高める制度、具体的には、既に CIES が導入している RA 制度を拡充して、産学共同研究の中で産学連携研究員として処遇し、生活費相当額程度の給与支給を基本とする。また、年俸制を導入し、産業界から学への人材流入の障害となっている年収の減少をクリアし、人材交流の促進を図る。これにより、産業界での実務経験豊富な人材を大学が受け入れることによって、大学における産学連携体質の強化と、産学連携による共同研究・実証開発の活性化を促すことにも資する。なお、本コンソーシアムに係る産学共同に関するルールを契約書に盛り込むことにより、秘密保持、知財に関する取扱等を定め、多様なキ

キャリアパスを確保する仕組みを構築すると共に、支援に取り組む。

以上の積極的な RA 活動を確立するためには、研究開発に専念できる資金提供が必要である。このため、RA の雇用経費については、民間企業からの共同研究費から支弁することを想定するが、学内規定の整備を進め、関係部局及び本部人事部門により給与単価（年額 300 万程度、月額 25 万円程度）とすることを検討した。2016 年度に雇用制度の骨子の取りまとめを行い、2017 年度から OPERA 版リサーチ・アシスタント（RA）雇用制度並びに評価制度を実施した。具体的には、本事業において企業から提供された雇用費は、主に東北大学工学研究科等に所属する学生を雇用するために用いられ、雇用においては、RA としてコミットメントを具体的にもって参画することを求めることとした。そのため、学生毎の評価を実施し、RA 雇用費に反映する仕組みとした。この仕組みのもとで、2021 年度までに、本制度により合計 18 名の RA が雇用された。

3.3.2 得られた効果

IT・輸送システム異分野融合領域における川上から川下までをカバーする異分野融合型人材育成のため、人材育成部門を設置し、産学連携で人材育成体制を構築できた。人材育成リーダーが参画企業・大学職員と協力して、OPERA の RA 学生の人材育成を産学共同研究の中で行った。具体的には、年度毎に RA 学生の成果報告会を参加企業様も質疑に参加する形式で開催することに加えて、3 カ月毎に RA 学生の評価を行い、各 RA 学生の給与単価に反映させることで、RA 学生にプロフェッショナル精神を学んでもらった。具体的には、2021 年度までに本制度により 18 名の RA が雇用された。東北大学が運営している RA 制度と OPERA に参画する民間企業からの共同研究費を活用している。民間企業にも参画してもらって、OPERA 事業での論文・学会発表などの研究成果だけでなく、産学共同研究活動の中で身に着けた知見・心構えや、知財出願など多角的に RA 学生の指導・評価を行い、四半期ごとに RA 雇用費の見直すなどの工夫により、産学連携研究開発活動を通じて近年の在学学生のトップ集団の学生と比較して、より自発的かつ責任感を持った研究開発人材を育成できた。

3.3.3 今後の課題、プロジェクト終了後の運用方針

OPERA 事業で構築した仕組みは、企業においても新たな人材の獲得に有効と考えられ、大学の人材育成と研究推進と社会貢献の役割を遂行する良い方策であると考えられる。今後も CIES コンソーシアムでは参画企業に対して本事業の仕組みを提案していくこととしている。また、本 OPERA 事業における人材育成の仕組みやノウハウは、学生教育 RA 制度として東北大学では卓越大学院プログラム（人工知能エレクトロニクス）にも活用され、産学による社会にイノベーションをもたらすことができる博士人材（高度な「知のプロフェッショナル」）の育成へ展開されていく。

○ 参画学生の状況

- ・ OPERA 全実施期間の参画学生総数： 18 名（博士課程後期学生のみ）
- ・ 進路状況内訳
 - ①進学： 0 名（博士課程後期在学中 7 名）
 - ②就職（アカデミア）： 5 名
 - ③就職（OPERA の参画企業）： 1 名
 - ④就職（その他）： 5 名

3.4 機関連携・協力体制についての方針

3.4.1 構築した仕組みの概要及び運用状況

これまで国際集積エレクトロニクス研究開発センターで立ち上げてきた共通設備は、さらに本産学共創コンソーシアム内に発展させて、東北大学と地域の研究機関と地域企業がそれぞれ保有している設備の高効率な活用を実現していく。これにより、設備・人的リソース等をコンソーシアム内で共有化することが可能となり、その結果、本事業に参画しているメンバーの負担を軽減し、エコな研究開発・事業化システムを構築することとする。

具体的には、コンソーシアムに参加する大学、企業等が保有する多岐にわたる研究設備の中で、共通性の高い研究設備については、共同利用の形態とその運用制度について協議し、共通設備を提供した機関に対するインセンティブの設定と、それを利用した機関に対する受益者負担を明確化することで、共通設備化制度のメリットの最大化を図る。なお、研究設備の共通利用を促進する一方で、多種多様な企業や大学研究者が集積しているコンソーシアムの魅力を損なうことなく、共通設備利用を介した技術流出を徹底的に防止する制度と仕組みを構築する。

さらに、前述した研究開発部門、研究戦略部門等の間接部門の間には、相互に情報共有し、補完し合うための連絡会議という連携体制を設ける。たとえば、研究開発部門連絡会議においては、相互のシナジー効果を得るために、技術情報を共有する（共創場）。大学の貢献が認められる共同 IP（非競争領域）に関して、メンバーで共有することによりオープンイノベーションの環境を整備する。ただし、企業所有の IP は、企業の同意がない限り共有は不可とし、クローズド領域（競争領域）を確保することで企業のニーズに応える体制とする。また、間接部門と研究開発部門を交えた部門間連絡会議においては、部門間にまたがる問題を議論するためのタスクフォース的な役割を果たす会議体を整備する。

3.4.2 得られた効果

設備・人的リソース等をコンソーシアム内で共有化することが可能となり、その結果、本事業に参画しているメンバーの負担を軽減し、エコな研究開発・事業化システムを構築することができた。これにより、本事業の目的が達成され、競争領域に展開できていると考えている。また、本事業では、企業とのコンソーシアム協議会による合意を得て、研究開発に必要な民間資金負担を決定しており、参画企業の要望を受けて、2016年度の事業計画変更により電界放出型電子顕微鏡を2018年2月に導入するなど有機的連携を図ることができた。

また、研究開発部門、研究戦略部門等の間接部門は、研究開発状況や競争領域へ展開する状況、調査事業による技術・産業・社会の情勢を相互に共有し、バックキャストすることで、将来の輸送システムに向けたエレクトロニクス産業に必要なキーテクノロジーの実現に向けて、研究開発計画を検証してより効果的な研究開発を推進することができた。

3.4.3 今後の課題、プロジェクト終了後の運用方針

本事業では、これまで国際集積エレクトロニクス研究開発センターで立ち上げてきた共通設備は、さらに本産学共創コンソーシアム内に発展させた。今後も CIES コンソーシアムの競争領域、また非競争領域でこの運用を継続し、企業や連携機関との連携によるプロジェクトを推進していく。

3.5 参画機関の管理方針

3.5.1 構築した仕組みの概要及び運用状況

本産学共創プラットフォームの魅力は、非競争領域を含む基礎的・先端的基礎開発の段階において活躍してきた実績を有する東北大学等のアカデミアが抱える高度な人材とのコラボレーションを通じて、次世代に花開く研究開発の基礎から参加できる点と、本産学共創プラットフォームのメンバーに参加していることにより利用が認められる IP の存在にある。

そこで、参画機関の新規参入を促すためには、積極的に本産学共創プラットフォームの研究成果を外部に発信し、その活動を理解してもらった広報活動が重要となる。また、新規参入者であっても本産学共創プラットフォームに参加できるように本産学共創プラットフォームは新規参入者に対する門戸を開いたオープン戦略を採用する。この制度は、一見、先行参加者が不利になるようにも思えるが、非競争領域を研究領域とする本産学共創プラットフォームの活動方針から、新規参入者を認めることによって非競争領域の課題を早期に解決することに資するという一面があることを参加する際に丁寧に説明をしていく。特に、大学という研究成果の社会への還元という社会的役割を担った中立性のある機関が関与することで、先行参加者からの理解を求めていきたい。

また、参加した企業にとって、中途脱退は望ましい終了の形ではないが、企業の事業選択に伴って不可避な選択の場合もある。そこで、中途脱退した場合には、これまで認められていた IP の利用の権限等を失うこととする規定を設け、中途脱退する者と継続する参加者との間に不公平感がないようにバランスを考慮した規定を設けることとする。

戦略的な広報活動を目指して、2016 年度に新規参入を促す仕組みの一つとして、ホームページを立ち上げた他、2017 年 3 月 22 日にステーションコンファレンス東京サピアタワー5F にて開催された第 3 回 CIES Technology Forum にて、本事業に着手したことを紹介し、2018 年 3 月に開催された第 4 回 CIES Technology Forum、及び 2019 年 3 月に開催された第 5 回 CIES Technology Forum にて新たな参画企業の参画を提案した。2020 年の第 6 回については、新型コロナウイルス感染拡大防止のため延期した。国内外での新型コロナウイルス問題の鎮静化を見ながら開催時期を検討し、第 6 回と第 7 回を併せて 2022 年 3 月 22 日、23 日に開催した。

また、参画機関に対しては、協議会を開催し、賛同を得て、共同研究費・リソースの提供を得ることができた。

提案時(2016.6)
3大学、6社
東北大学、京都大学、山形大学、
東京エレクトロン、キーサイトテクノロジ、アドバンテスト、
東栄科学産業、ティ・ディー・シー、東北イノベーションキョウカ

サイトビジット時点(2017.7)
3大学、18社 12社が新規参画

領域面談時点(2018.3)
3大学、21社 3社が新規参画

R2年度末(2021.3)
3大学、30社 9社が新規参画

参画企業数：6社⇒30社



2020年12月9日(水)
萩生田光一文部科学大臣が本センターをご視察。
OPERAの説明を受け、
OPERA-RA 学生と対談し、OPERAの体験や成果、
キャリアパスなどについて意見交換を行った。



日刊工業新聞、日経エレクトロニクス、専門誌等のメディア、CIES Technology Forumを通じてCIES、OPERAプロジェクトの広報、プロモーション活動を展開

Interview
特別広告企画
東北大学国際連携エレクトロニクス研究開発センター(CIES) 研究開発センター長 遠藤哲郎氏
世界の半導体産業のトップ企業は今、なぜ東北に集結しているのか
電子産業、ひいては半導体産業が一層成長していくためには、時代を先取りした新たな革新的技術を開発的に創出していくことが欠かせない。東北大学を母体とした国際的な電子産業拠点、国際連携エレクトロニクス研究開発センター(CIES)は、半導体産業のトップ企業を世界中から集め、革新的な技術の確立と実用化に取り組んでいる。CIESを率いるのは、3次元NANDフラッシュメモリー研究の先駆者として知られる遠藤哲郎氏。半導体産業における世界的な競争力向上の動きを踏まえ、本技術開発の将来展望と、その中でのCIES独自の取り組みについて聞いた。

日経エレクトロニクス 2017年3月号

6th & 7th
CIES Technology
Forum VIRTUAL
March 22 (Tue) - 23 (Wed), 2022
成果報告会 March 23 (Wed) DAY2

- ・Nature 2017年11月2日号「insideview」で紹介
- ・日刊工業新聞 2016年11月29日「世界に通用する産業 創る」
<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/408377> (ほか)

3.5.2 得られた効果

JST イノベーション・ジャパンや、セミコンジャパンなどのエレクトロニクス・半導体業界での技術国際展示会、さらには東北大学主催の国際シンポジウム等の様々な機会を活用して、OPERA での活動内容やその研究成果の情報発信を積極的に行うことで、参画機関が当初 6 社から現 30 社へ増加した。加えて、参画機関との研究開発の進捗や成果については、OPERA の内部成果報告会（中間・最終）、調査結果報告会、RA 成果報告会など、コンソーシアム参画企業と密に連携してコミュニケーション密度を高める工夫をしてきた。

JST イノベーション・ジャパンでは、多数の来場を受けると共に、松野文部科学大臣の展示視察にて OPERA 事業のご説明を行った。CIES テクノロジーフォーラムでは、文部科学省様からも局長より来賓の挨拶を賜り、毎年学外から 500 名以上の参加者（内約 60%以上は産業界からの参加者）を受け入れ、幅広い情報発信を行った（累積 3000 人超）。

コンソーシアム内部においては、研究開発課題毎に定期的に打合せを実施するほか、シナリオ検証のための調査事業については関係する研究開発課題の研究者、企業に対して、調査報告会を実施して研究開発課題の方向性の確認等に活用した。

これらの活動を通じて、企業と大学の研究者が将来に向けた研究開発の方向性を理解して一体的に活動を推進することができた。

3.5.3 今後の課題、プロジェクト終了後の運用方針

プロジェクト終了後においては、CIES が引継ぎ、材料／デバイス／プロセスから回路／システムまでの多種多様な国内外企業の呼び込み、多種多様なニーズ・シーズのマッチングの共創場として、非競争領域での研究開発、競争領域での共同研究開発と事業化に向けて CIES コンソーシアムを運営していく。

4 プロジェクト終了後の継続的な発展に向けた取組について

本 OPERA 事業終了後は、本 OPERA 事業で取り組んだキーテクノロジーに関して開発された研究開発成果を競争領域での実用化・事業化へ促進させるために、これまでに参画した企業に加えて新規の企業を取り込み、参画企業と一体となって出口までを包含するエコシステムを構築する。そのプラットフォームにより、本 OPERA 事業で技術は社会実装に向けて競争領域へ移行するとともに、研究開発された技術の中で新たに見出された課題については、室温量子コンピューティングや確率的コンピューティングへの応用、バイオメディカル応用（神経活動センシング、生体情報センシング）などの新たなテーマを立てて非競争領域の中での研究を継続していく、加えて、大学院生等の産学連携事業への参画など非競争領域での教育活動を継続する方針である。

これまでの本 OPERA 事業成果と CIES での産学連携活動が評価され、スピントロニクス AI 関連分野においては日本の半導体戦略に位置付けられている AI チップ次世代コンピューティング事業（NEDO）、パワーエレクトロニクス分野においては同様に日本の半導体戦略に位置付けられている革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業（文部科学省直轄事業）に継承・展開され、今後のさらなる発展を目指していく。

また、本 OPERA 事業における人材育成の仕組みやノウハウは、学生教育 RA 制度として東北大学では卓越大学院プログラム（人工知能エレクトロニクス）で活用され、産学による社会にイノベーションをもたらすことができる博士人材（高度な「知のプロフェッショナル」）の育成へ展開されていく。

これらの今後の活動は、本 OPERA 事業で得られた産学連携支援の運用知見・ノウハウを CIES に継承するとともに、本学の研究推進・支援機構所属、産学連携機構・産学連携部と連携することにより、URA による研究・産学連携の支援、産学連携機構による知財戦略支援や契約の支援を受けて継続されていく。

5 研究開発の状況

○研究開発費（委託研究費及び民間資金）の推移

[単位：千円]

		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
委託研究費	調査推進費*	20,000	20,000	24,800	10,000	20,000	-
	研究開発費	150,000	176,000	150,000	150,000	121,010	48,750
民間資金	共同研究費等(a)	116,738	131,241	155,478	186,659	156,894	89,178
	リソース提供計(b)	196,000	216,000	-	-	-	-
	民間資金総額 (X)=(a)+(b)	312,738	347,241	155,478	186,659	156,894	89,178

*調査推進費はマッチングファンドの対象外

○研究開発課題一覧

研究開発テーマ1：スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現

- ① 研究開発課題 1-1：MTJ素子の高品質化のための新材料、プロセス技術の確立
(東北大学及び民間企業9社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)
- ② 研究開発課題 1-2：新構造スピントロニクス素子による超省電力型新機能デバイスの実現
(東北大学及び民間企業8社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)

研究開発テーマ2：スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現

- ③ 研究開発課題 2-1：超低消費電力化のための回路技術の確立
(東北大学及び民間企業10社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)
- ④ 研究開発課題 2-2：スピントロニクス集積回路製造のための高効率、高精度加工プロセスの実現
(東北大学及び民間企業9社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)
- ⑤ 研究開発課題 2-3：スピントロニクス素子の高効率、高精度特性評価手法の確立
(東北大学及び民間企業9社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)
- ⑥ 研究開発課題 2-4：スピントロニクス集積回路の高効率、高精度特性評価手法の確立
(東北大学及び民間企業10社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)

研究開発テーマ3：Si-CMOSを活用したGaN/Siハイブリッドパワー集積回路の実現

- ⑦ 研究開発課題 3-1：Si(100)基板上における高品質GaN結晶の成長技術の確立
(東北大学、京都大学、山形大学及び民間企業7社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)
- ⑧ 研究開発課題 3-2：GaN/Siハイブリッドパワー集積回路を用いた次世代電装コンポーネント技術の確立
(東北大学及び民間企業10社) (実施期間：2016年11月～2022年3月)

研究開発テーマ 4：高度自動判断システムとハイブリッドパワー集積回路が生み出す次世代移動体システムの実現

- ⑨ 研究開発課題 4-1：高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立
(東北大学及び民間企業 5 社) (実施期間：2016 年 11 月～ 2022 年 3 月)
- ⑩ 研究開発課題 4-2：次世代移動体システム用デジタルニューラルネット回路・アーキテクチャ技術の確立
(東北大学及び民間企業 5 社) (実施期間：2016 年 11 月～ 2022 年 3 月)

5.1 研究開発課題 1-1 「MTJ 素子の高品質化のための新材料、プロセス技術の確立」

キーテクノロジー	IoT 用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立
研究開発テーマ	スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現
課題代表者	池田 正二 東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター 副センター長・教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	民間企業 9 社

5.1.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS 番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 1-1	MS1-1-1	STT-MRAM 素子技術	最先端の1桁 nm の半導体ロジックとの集積化が可能な18nm まで微細化した4重界面 MTJ、2) 温度依存性を抑制した Xnm の形状磁気異方性 MTJ の開発を行い、STT-MRAM 素子のスケーリングと性能向上に目途を付けた。 現時点では界面磁気異方性を利用する2重界面 MTJ が競争領域の研究開発対象となっている。今後は、国際集積エレクトロニクス研究開発センターの300mm プロセス装置で開発してきた成膜・エッチング等のプロセス技術を活用・発展させ、ここ数年の直近の4重界面 MTJ 技術の競争領域での適用、その先の形状磁気異方性や結晶磁気異方性を利用する MTJ 技術の導入により、微細 STT-MRAM の社会実装に展開を図る。以上により目標を達成している。
	MS1-1-2	STT-MRAM 素子技術・信頼性向上のための素子物理の理解の促進	CoFeB/MgO 系 MTJ 材料に関して、これまで難しかった交換スチフネス定数(A_0)、ダンピング定数(α)、スピン移行効率($g(q)$)の定量評価手法を確立した。この評価を基に高性能化に向けた材料設計指針を課題 1-2 と知見を共有し、従来技術の2重界面 MTJ の性能限界を超える X,nm 1Xnm 素子開発を行った。以上により目標を達成している。
	MS1-1-3	広い動作・保持温度範囲を有する高熱安定性 SOT-MRAM 素子技術	本課題と課題 1-2 の連携により得られている STT-MRAM 素子技術を基に、400°C の熱処理耐性と熱安定性を達成するための開発指針を得るとともに、この指針を SOT-MRAM の300mm 試作に展開し目標性能を達成した。
	MS1-1-4	新材料・新概念の低消費電力 MRAM 素子への適用と性能・信頼性の向上	新材料として大きな結晶磁気異方性を有する L_{10} -MnAl の開発を行い、低消費電力、大容量化、高速動作に有利な MTJ 材料として有望であること数値計算等を利用し見出した。以上により目標を達成している。

5.1.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 本事業の目標

(1) 研究開発内容

MTJの更なる高集積化と熱的安定性の実現が課題であった。これには、STT-MRAMのデファクトとなっている、東北大学大野グループが発見した2重CoFeB-MgO界面垂直磁化磁気トンネル接合(p-MTJ)素子、及び磁壁移動やスピン軌道トルク等を用いた高速高信頼メモリ用途3端子スピントロニクス素子の研究開発において、蓄積されている提案者等の知見や技術を総動員し、新材料を探索した。また、液浸ArFリソグラフィーによるマルチパターンニング相当の微細化技術等を導入することによって、更なる微細加工を実現して、MTJの高集積化を図った。

本研究開発課題では、スピントロニクス素子が設計通り加工できているか確認するために、その表面/断面形状をチャージアップ無く高分解能で観察する必要があった。加えて、液浸ArFリソグラフィーによるマルチパターンニング相当の微細化技術を導入した薄膜微細加工の検証についても、極微細なフォトリソのパターンを観察するためには、電子線でのダメージを抑制できる低加速電圧で分解能が高い電子顕微鏡が必要であった。このため、表面/断面形状を従来に比べて高分解能で観察できる電界放出型電子顕微鏡を共通設備として導入する計画変更(2016年度)を行った。導入後(2017年度)、薄膜微細加工の検証を進め、本研究開発の加速化を図った。

(2) 最終成果

① (Co)FeB/MgO材料系の磁気特性と素子特性の詳細評価

従来型の界面磁気異方性を利用したMTJや課題1-2で開発した形状磁気異方性を利用するMTJで用いられる(Co)FeB/MgO材料系の磁気特性とMTJ素子特性を詳細に評価した。素子特性に大きく寄与する一方でこれまで正確な評価が難しかった交換スティフネス定数、ダンピング定数、スピン移行効率の測定手法を確立し、それを用いてMTJ材料・素子の特性を評価した。研究成果は、従来型の界面磁気異方性を用いたMTJの微細化限界を明らかにし、また形状磁気異方性MTJの高性能化に向けた指針を提供するものである。得られた知見は課題1-2と共有し、1Xnm、Xnmサイズの素子の開発へと役立てた。

② L_{10} 規則化MnAl薄膜の形成と結晶構造・磁気特性評価

L_{10} 規則化MnAlは高いスピン分極率、高い結晶磁気異方性、低い飽和磁化、低いダンピング定数などのSTT-MRAMに応用する上で理想的な材料特性を有している。本プロジェクトでは従来困難であった高いスピン分極率、高い結晶磁気異方性、低い飽和磁化、低いダンピング定数などのSTT-MRAMに応用する上で理想的な材料特性を有している、 L_{10} -MnAl薄膜の形成に取り組んだ。その結果、従来は不可能であった20nm以下の L_{10} -MnAl薄膜の形成に成功した。また得られた磁気特性を用いたSTT-MRAM向けMTJに適用した場合計算結果から、MnAl-MTJは十分に低いエラーレートでの書込みが可能であり、十分に低いエラーレートを実現するのに必要な書込み電力はCoFeB/MgO系界面磁気異方性MTJと比べて1素子当たり約1/5、面積は1/8になることが分かった。

③ 形状磁気異方性MTJの優れた高温データ保持特性の実証

高温データ保持特性を評価するために、磁化反転のエネルギー障壁が温度に対してどのように変化するかを明らかにした。結果より、形状磁気異方性MTJのデータ保持特性が温度に鈍感であることが明らかになった。さらに、得られた結果をもとに、MTJ素子の直径、膜厚と各温度で予測されるデータ保持時間の関係を導出し、輸送システム向け、ROM向けのデータ保持特性を実現でき

る素子設計範囲を明らかにした。

④ 1 桁 nm CMOS 世代で集積化可能な 4 重界面積層技術を適用した MTJ の開発

1Xnm 以降での磁氣的安定を向上した新構造参照層を微細加工技術ととみに開発した。その結果、18 nm の接合直径の Quad-MTJ において、(a) 10 年間のデータ保持特性と、(b) 10^{11} 回以上の書込み耐性と、(c) 10 ナノ秒 (ns) の高速書き込み動作、(d) 約 2 割の低消費電力化を実証し、最先端の 1 桁 nm の半導体ロジックのデザインルールに適合させることに世界ではじめて成功した。これは、1 桁 nm ノード以降の最先端半導体集積回路と大容量 STT-MRAM を融合したアプリケーションプロセッサの実現に向け道を拓く成果である。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

従来技術の SRAM、eDRAM、DRAM と比べると、本プロジェクトで取り組んだ STT-MRAM は不揮発性という強みを有する。不揮発性は細粒度でのパワーゲーティングを可能にし、集積回路の動作時電力、待機時電力を低減する上で極めて有効である。加えて微細化（大容量化）容易性という観点でも eFlash、eDRAM、DRAM の限界が顕在化しつつあり、STT-MRAM に優位性がある。また従来の（現在の競争領域で研究がなされている）STT-MRAM で用いられている 2 重 CoFeB/MgO 界面の磁気異方性を用いた MTJ と比べ、本プロジェクトで開発した 4 重界面 MTJ、形状磁気異方性 MTJ や $L1_0$ -MnAl の結晶磁気異方性を用いる MTJ は、大容量化のポテンシャルや高温でのデータ保持特性において優位性を有する。特に、4 重界面 MTJ は最先端の 1 桁 nm の半導体ロジックとの集積化が可能であり、形状磁気異方性 MTJ は上述の通りエネルギー障壁の飽和磁化に対するスケーリング指数が小さく温度に対して鈍感なデータ保持特性を有し、また $L1_0$ -MnAl は大きな結晶磁気異方性により大容量化が可能であることに加え、高速でのスピントルク磁化反転に適している。なお、STT-MRAM 以外に強誘電体、相変化材料、抵抗変化材料を用いた不揮発性メモリの研究がなされているが、微細化容易性、高速動作、CMOS の標準的な電圧での動作などに難があり、実質的には今回開発した STT-MRAM 技術の競合にはなり得ない。

5.1.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

300mm プロセスの標準条件である 400°C 熱処理にて、従来技術と比べて 1 素子の面積 1/8、書込み電力 1/5 を実現する $L1_0$ -MnAl 薄膜形成技術が確立された。これはトンネル障壁への負荷と消費電力の大幅な低減をもたらし、プロジェクト目標の「300mm プロセスで、書き換え回数 10^{16} 、消費電力 1/100」を可能とする材料技術である。加えて、従来材料を用いながら形状磁気異方性などのこれまで利用されていなかった原理を活用して高い性能を実現する新方式 MTJ の高品質化に向けた多くの重要な材料学的知見が得られた。なお、当プロジェクトではこれらの実験は小口径の基板を用いて行われた。また、1 桁 nm CMOS 世代で集積化の可能性を実証した 4 重界面 MTJ の開発では成膜・エッチングの主要技術において 300mm プロセス装置を用い基盤技術開発を行った。今後、本開発の技術と CMOS 技術の融合による集積回路レベルでの実証開発を国際集積エレクトロニクス研究開発センターの 300mm プロセスラインを活用して推進し、数年後に 1Xnm 以下の MTJ 技術を活用した低消費電力半導体技術の基盤構築を展開し、社会実装へと繋げることが出来ると考えている。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

現時点では界面磁気異方性を利用する 2 重界面 MTJ が競争領域の研究開発対象となっている。本プロジェクトでは国際集積エレクトロニクス研究開発センターで成膜・エッチングの主要技術

を 300mm プロセス装置で構築し 4 重界面 MTJ 技術を開発し高い性能を実証しており、この次の数年の競争を優位に進める準備ができています。さらにその先の段階において本プロジェクトで開発した形状磁気異方性や結晶磁気異方性を利用する MTJ 技術も徐々に導入して産業界と連携して技術を発展させていくことで、永くこの優位性を確保する。

5.1.4 その他

当プロジェクトの推進のために、リサーチアシスタント (RA) として博士後期課程学生を 3 名雇用した。3 名の内、1 名は在学中で、あとの 2 名は博士後期課程修了後に学術機関に所属しており、継続して学術誌等に成果を報告しており、次代を担う優秀な若手人材も育成することができた。

5.2 研究開発課題 1-2 「新構造スピントロニクス素子による超省電力型新機能デバイスの実現」

キーテクノロジー	IoT 用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立
研究開発テーマ	スピントロニクス素子の高信頼性及び集積性・省電力性の向上の実現
課題代表者	深見 俊輔 東北大学 電気通信研究所 教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	民間企業 8 社

5.2.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 1-2	MS1-2-1	微細 STT-MRAM 素子技術	形状磁気異方性 MTJ、およびその発展形である形状磁気異方性と静磁気結合を利用した MTJ 素子を開発し、1X nm, Xnm 領域での数 ns 高速磁化反転や 100°C以上の高温での保持など高い特性を確認するなどして、単体 DRAM、混載 DRAM、ラストレベルキャッシュメモリを置き換えるポテンシャルがあることを確認した。これにより目標を上回って達成した。
	MS1-2-2	STT-MRAM 素子技術・信頼性向上のための素子物理の理解の促進	従来、単体素子レベルでの信頼性の高い測定が困難であった熱安定性指数、書込みエラーレート、素子の側壁ダメージなどを評価する手法を確立した。そして確立した手法を用いて、素子の性能、信頼性向上のための重要な物理的機構を明らかにした。これにより目標が達成された。
	MS1-2-3	広い動作・保持温度範囲を有する高熱安定性 SOT-MRAM 素子技術	磁化反転の閾値電流がダンピング定数と独立に決まるといふ SOT 磁化反転特有の性質を解明、利用し、Co/Pt 積層膜において SOT 磁化反転を観測した。20 nm 幅の素子において-50～125°Cの範囲内での SOT 磁化反転動作、120 を上回る熱安定性指数などを実証した。これにより目標が達成された。
	MS1-2-4	新材料・新概念の低消費電力 MRAM 素子への適用と性能・信頼性の向上	課題 1-1 と連携して新材料の開発を進め、L1 ₀ -MnAl 規則合金薄膜の形成に成功した。作製した薄膜の結晶構造、飽和磁化、磁気異方性定数を X 線回折、磁化測定、磁気輸送測定から測定し、9E5 J/m ³ 程度の磁気異方性、0.6 T 程度の飽和磁化などを得、従来材料を上回る書込み性能、信頼性が得られることを確認した。これにより目標が達成された。

5.2.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

先端 CMOS プロセスとの親和性、350~400°Cのプロセス耐熱性、及び高温動作安定性が課題である。これらの改善には、材料開発が本質となる。構成元素の変更、新規元素の添加、積層構造の変更、膜厚の調整等のパラメータを最適化する必要がある。また、結晶性や原子レベルでの平坦性が要求され、動作メカニズムも解明しなければならない。

本研究開発課題では既に関発されている磁気トンネル接合 (MTJ) 素子に対し熱負荷試験を実施し、高温動作安定性を評価し、課題を抽出した。また、研究開発課題 1-1 の進捗により開発された新材料及び新たな薄膜微細加工技術による MTJ 素子についても、順次、熱負荷試験を実施し、高温動作安定性を評価し、課題を抽出した。このため、各試験後の評価、課題抽出のための原子レベルでの分析手法として既設透過型電子顕微鏡 (TEM) での観察を行うにあたり、電界放出型電子顕微鏡による観察結果から TEM 用試料を効率的に選択し研究を加速することが必要であった。このため、表面/断面形状を従来に比べて高分解能で観察可能な電界放出型電子顕微鏡を共通設備として導入する計画変更 (2016 年度) を行った。導入後 (2017 年度)、各パラメータの試験後の評価において活用し、本研究開発の加速化を図った。

(2) 最終成果

① 形状磁気異方性の利用による X nm での読み/書き/保持動作の実現

従来の界面磁気異方性を利用して垂直磁化容易軸を得る MTJ 素子では有効利用されていなかった形状磁気異方性を積極的に利用する構造を開発し、10 nm を下回る直径 (X nm) での読出し、書込み、保持の基本動作を実現した。当研究により、X nm の CMOS 世代まで STT-MRAM のスケールアップを継続するための基本指針が示された。

② 静磁気結合を利用した新構造で X nm での高速書込み動作実現

上述の形状磁気異方性を利用した MTJ の実証の後、更に開発を進め、極微細領域においては交換結合が及ばない距離だけ隔てられた 2 層の強磁性層も静磁気結合によって強く結合して実質的に単層の強磁性層のように振る舞うことを見出した。また、導入した電界放出型電子顕微鏡による観察結果から試料外観を高分解能で把握した後に FIB 加工し TEM 観察を行うことで、物理的素子直径が 1 桁 nm で形成されていることを確認できた。この技術は 100 Gbit 以上の容量を有する STT-MRAM の実現につながるものであり、大容量 DRAM の置き換えを射程に捉える成果と位置付けられる。

③ デバイス特性の発展的評価手法の確立

高性能・高品質 MTJ 素子の開発と並行し、熱安定性や書込みエラーレート、MTJ 素子の側壁ダメージなどを評価する手法の開発にも取り組み、多くの成果を得た。

熱安定性指数については、高温で加速されるランダムテレグラフノイズを測定し、エネルギー障壁と飽和磁化の温度に対するスケールアップ関係から熱安定性指数を定量評価する手法を確立した。

また、エラーレートの計測により、実効的なダンピング定数がエラーレートに支配的に作用するなど、これまで知られていなかった知見を得た。

MTJ 側壁ダメージについては、スピン波共鳴を用いることにより高感度で側壁ダメージの兆候を検出できることを見出した。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

本プロジェクトにおいて置き換えを想定する DRAM は十分な静電容量を確保しながら微細化する技術の開発が、世代が進むにつれて難しくなっており、大容量化の限界が近づいている。本プロジェクト開始前に確立され、現在競争領域での研究開発の主流となっている界面磁気異方性を用いた STT-MRAM は、20 nm をわずかに下回る世代までの微細化が期待されるが、その先の世代には新たな原理の導入が必要である。本プロジェクトで開発した、極微細領域において利用できる形状磁気異方性や静磁気結合を用いた MTJ 素子はこうした要求に応えるものであり、DRAM や界面磁気異方性を利用する従来型の STT-MRAM では到達できない容量を実現しながら、DRAM と同等かそれ以上の高速動作を実現しうるものである。なお、相変化メモリや抵抗変化メモリ、強誘電性メモリなども STT-MRAM と競合する不揮発メモリとして研究開発がなされているが、微細化容易性、高速動作、CMOS の標準的な電圧での動作などに難があり、実質的には今回開発した STT-MRAM 技術の競合にはなり得ない。

5.2.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

「1Xnm 世代の既存の DRAM 互換メインメモリ向け STT-MRAM セル技術の基盤構築」という目標を超えて、Xnm 世代まで有効な MTJ 素子技術が構築された。また「輸送システム向けには 150°C、ROM 向けには 260°C、5 分の高温データ保持」という目標についても課題 1-1 との連携により、飽和磁化とエネルギー障壁の温度に対するスケーリング関係が明らかになり、高温データ保持の各種要件を達成する素子設計範囲が明らかになった。これらの知見をもとに、以下に述べるように競争領域での研究開発へとスムーズに移行し、社会実装へと結びつける。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

現在の競争領域で研究開発がなされている MTJ 素子のサイズは 30~60 nm であり、本プロジェクトの終了から数年後には、本プロジェクトで開発した 1X, X nm 向け技術が競争領域の対象となるものと予測される。本プロジェクトで得た優位性を生かし、国際集積エレクトロニクス研究開発センターの 300mm ウェハラインを活用して本技術を発展させ、引き続き様々な技術階層の企業を呼び込んで共同研究を幅広く展開し、競争領域でも世界の先頭を走る研究開発を進める。

5.2.4 その他

当プロジェクトの推進のために、リサーチアシスタント (RA) として博士後期課程学生を雇用した。最初に雇用した渡部杏太氏は形状磁気異方性 MTJ の基本動作実証に貢献し、筆頭著者として Nature Communications 誌に論文を発表した。当論文は 2021 年 10 月時点で 100 回以上の引用がなされる高被引用文献となっている。また彼はこの成果により、3 年に 1 度開催される磁性物理学分野の最高峰の国際会議である ICM にて 80 件中 1 件程度の割合で授与されるベストポスター賞を在学中に受賞し、また博士課程修了時には工学研究科長賞を、博士課程修了後は RIEC Award 東北大学学生賞を受賞した。2 番目に RA として雇用した五十嵐純太氏は、形状磁気異方性 MTJ の性能向上に取り組み、静磁気結合を利用する構造の実証に貢献した。応用物理学会での講演奨励賞や東北大学総長賞など計 4 件の賞を受賞した。このように当プロジェクトの推進を通し、世界を先導する研究成果を得ると並行して、次代を担う優秀な若手人材も育成することができた。

また課題代表者の深見は当プロジェクトで得られた成果のアウトリーチ活動の一環として、2020 年度東北大学オープンキャンパスにて“模擬授業『スピントロニクス研究の基礎と最前線

～右ねじの法則からエコで賢いコンピュータへ～』”、2021 年度通研公開（電気通信研究所一般公開イベント）にて“公開実験『電気で操るナノの世界のマグネット』”と題したオンラインコンテンツを作成し、YouTube に公開した。前者については公開から約 1 年で 2000 回以上の視聴がなされている。

5.3 研究開発課題 2-1 「超低消費電力化のための回路技術の確立」

キーテクノロジー	IoT 用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立
研究開発テーマ	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
課題代表者	羽生 貴弘 東北大学 電気通信研究所 教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	民間企業 10 社

5.3.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS 番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 2-1	MS2-1-1	基本回路 IP 群の開発	完了。今後、具体的応用事例におけるさらなる回路 IP の追加・改良は引き続き実施する。
	MS2-1-2	最適設計手法の確立	完了。今後、最適化の指向(例えば、省エネルギー化に加え、さらなる高速化や省面積化などの性能向上に対する要請)に応じた、さらなる改良をは引き続き実施する。
	MS2-1-3	自動設計環境の構築	完了。今後、具体的な応用事例へ向けた、さらなる改良は引き続き実施する。

5.3.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

当初は、既存の半導体集積回路の特定の部分を MRAM に置換することにより、既存の半導体集積回路の特性を低消費電力化の視点から改善する研究開発に取り組んだ。たとえば、連想メモリやニューラネットワーク回路等の集積回路に MRAM を効果的に取り組むための研究等がその例である。次に、単に不揮発性という特徴だけではなく、MRAM が備えた他の特徴をも利用できる MRAM の特徴を活かした集積回路の研究開発に取り組んだ。この研究開発は、集積回路として現存しない新しいカテゴリーを創出するチャレンジとなった。

(2) 最終成果

不揮発性をメモリの実現へ利用した MRAM に留まらず、不揮発記憶機能をロジック（演算部）の実現へ積極的に活用することで、新奇な特徴を有する集積回路パラダイムの創出が期待できる。ロジック集積回路の典型例は、FPGA（Field-Programmable Gate Array）である。そこで本研究グループでは、不揮発 FPGA の実現へ向けた研究開発を行い、以下の 3 つの重要な研究成果を挙げた。

① 回路 IP 開発：不揮発 LUT 回路

本研究開発課題では、「1 ビットシフト演算では 1 回だけのデータ書込みしか行わない」という設計思想の下、不揮発 LUT 向きの新しいハードウェア構成を考案した。この提案方式ではシフト演算実行時の書換回数は大幅に低減できた。このようにシフト演算機能を維持しつつ、データ書込み回数を最小限に抑えることができるため、大幅な電力消費の削減が達成される。

② 不揮発 FPGA・自動設計フロー開発

上述したような低消費電力化に寄与する優れた回路構成を考案したとしても、このような機能を FPGA へ内蔵させて FPGA 上にベンチマークプログラム等を実装し、その動作検証ができなければ、折角の高機能性をシステム上で試すことができない。そこで当研究チームでは、FPGA コンフィグレーションデータ (bitstream) を生成するツールフローとして知られている VTR (Verilog-to-Routing) を元に、不揮発 FPGA が取り扱える形に改良を加え、bitstream ファイルの自動生成が行えるツール開発に成功した。

③ 応用展開：省電力 AI ハードの実現

不揮発 FPGA が生きる典型的な応用例として、BCNN (Binarized Convolutional Neural Network) へ適用した。BCNN 演算の大半は畳み込み演算が占めているが、本研究開発では、メモリのアクセス回数の減少を通して非稼働時間が増加するため、パワーゲーティング制御によりメモリの電力消費が抑えられることを可能とした。また、特徴マップ用バッファと重み用バッファは、上述した「書き込み最小化シフト演算機能を有する LUT」で実装することで、データ転送による動的電力を削減することができた。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

BCNN を通常 (SRAM ベース) の FPGA で実現した場合と提案 (不揮発) FPGA で実現した場合を比較したところ、動作時 (active) 電力は SRAM ベースと提案手法では同程度であるが、待機時電力を大幅に低減できるため、総消費エネルギーは 55% の削減 (@45nmCMOS 設計ルール) が達成されている。設計ルールの微細化により、トランジスタ単体の待機電力は大幅に増大するため、上述した効果は、今後益々加速されるものと考えられる。また、システム実装レベルでの評価を表 5.3-2 に示す。この評価では、従来手法 (SRAM ベース) と比較し、提案手法では、パワーゲーティング制御と組み合わせると、原理的に 1/100 程度までの消費エネルギーの削減が可能となる。

上述した結果は、不揮発ロジックで従来型回路 (特に人工知能用ハードウェアとして利用されている BCNN など) を置き換えることで、処理性能を維持したまま、消費エネルギーを大幅に削減できることとなり、IoT 機器などのエッジデバイスへ AI (人工知能) ハードウェアを今後幅広く実装できる道を拓いた研究成果であると言える。

5.3.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

本 OPERA プログラム終了時点において、不揮発 FPGA の回路 IP 群ならびにそれらを有効に活用するための CAD ツール群一式が揃うことが見込まれる。FPGA は産業から研究の幅広い分野で活用される汎用ハードウェアであり、現状では Xilinx 社、Intel 社が市場の大半を占めているが、不揮発 FPGA の低消費電力性を活かすことで、上記市場への新規参入ならびに不揮発 FPGA 特有の新たなアプリケーションへの展開が見込まれる。特に、FPGA をアクセラレータとして搭載した不揮発マイコンは車載をはじめとする種々のエレクトロニクス産業への参入が期待される。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

不揮発 FPGA をベースとした共同研究への展開を検討している。

5.4 研究開発課題 2-2 「スピントロニクス集積回路製造のための高効率、高精度加工プロセスの実現」

キーテクノロジー	IoT 用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立
研究開発テーマ	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
課題代表者	永沼 博 東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター 准教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	民間企業 9 社

5.4.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 2-2	MS2-2-1	STT-MRAM 高精度加工技術を実現するための 2 端子素子評価技術	当初計画した全ての目標を達成した。
	MS-2-2-2	STT-MRAM と相補的なスピントロニクスメモリ (SOT-MRAM) 用 3 端子素子作製技術	当初計画した 3 端子素子作製技術だけでなく、次の集積レベルを念頭に高い熱安定性、情報保持特性、書き込み特性を実現し得る材料の発見も達成しており、達成状況は当初以上となった。
	MS2-2-3	STT-MRAM 並びに SOT-MRAM 集積プロセス技術関連	1Xnm 世代において書き込み特性、データ保持特性を両立することに成功しており、さらに微細加工技術としては Xnm 世代まで通用する技術を構築することに成功した。達成状況は当初の想定以上である。

5.4.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

プロセスに伴う、素子特性の劣化を抑制することが課題である。この課題解決のため、エッチングガスの最適化を図り、ダメージレス加工、寸法均一性、プロセス安定性、ばらつき抑制を可能にするプロセス技術を開発した。また、ダメージが導入されても除去もしくは回復させるプロセスも合わせて開発した。更に、MTJ の高性能化のため、不可避に導入される新材料に起因するパーティクル、及びウェハ裏面汚染を除去するプロセスも併せて開発した。量産を視野に入れると、ターンアラウンドタイム (TAT)、メンテナンスコストも考慮したプロセスを開発した。

具体的に、本研究開発課題では、新材料や薄膜微細加工技術を用いた MTJ 素子について、量産を視野に入れてエッチングガス等の最適化検討、ダメージレス加工、寸法均一性、プロセス安定性、ばらつき抑制を可能にするプロセス技術を開発する際、抽出される課題の要因を探索する基礎知見を蓄積した。これには、素子・配線・絶縁層間膜から構成される集積回路の各加工プロセス工程での表面／断面素子観察が必要であり、絶縁層でのチャージアップを抑制し高分解能で観察することが不可欠であったためである。そこで、表面／断面形状を従来に比べて高分解能で観

察するために、電界放出型電子顕微鏡を共通設備として導入する計画変更(2016年度)を行った。導入後(2017年度予定)、加工プロセス工程での表面/断面素子観察に活用し、本研究開発の加速化を図った。

(2) 最終成果

①低ダメージ新規エッチングプロセスの開発

水素、窒素を使わない新規エッチングプロセスにより MgO 障壁および側壁へのダメージを飛躍的に低減させることに成功した。この新規エッチングプロセスによりプロセスの安定性およびばらつき制御を可能にすることができたとともに、MTJ 素子の高性能化に大きく貢献している事実を明確化することができた。

②MTJ 素子用新規測定系の開発

MTJ 素子の書き込み電流の抑制のため、課題 2.3 との協働により、磁気摩擦定数が低下する材料構成用に新規測定系を立ち上げた。その評価結果から、記録層中のスペーサー材料を最適化することにより、従来に比べて 1/3 まで磁気摩擦定数を低下させることに成功した。また、MTJ 素子での磁化反転挙動を調べるための測定系を構築し、書き込み時のスピンドYNAMICS 挙動を明らかにすることに成功した。これらの測定は全て 300mm ウェハに対応しているため、基礎物性の評価を 1X nm 世代の STT-MRAM 応用へ容易に展開することができた。

③熱処理に耐えるデバイスの開発

BEOL の熱処理温度に耐えるため 400°C の耐熱性を十分に確保した参照層の作製に成功した。この高い耐熱性と高効率の書き込み特性により 1 兆回に迫る高い書き換え耐性を実現した。さらに、高い参照層の耐熱性により Write error rate を 10^{-6} まで安定的に書き込むことに成功した。

④高いピンホール角度を有する材料開発

SOT-MRAM 開発のため、 W を β 相とすることにより高いピンホール角度を有する材料開発に成功した。また、400°C の高い耐熱性も示しているため、SRAM 代替として SOT-MRAM は有望であることを示すことに成功した。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

新規エッチングプロセスのためのエッチングガスの選択、新規測定系の構築、および材料の最適化は全て 300mm ウェハで行っており、さらに 300mm プロセスに対応している点において成果に特徴がある。他グループでの成果の多くは研究室レベルの単素子での実験が多く、集積化に適合しない。これら従来技術に比べて本課題は全て 300mm ウェハとそのプロセスに対応しているため優位性がある。特に、新規エッチングプロセスは 1Xnm 世代の微小な STT-MRAM のためには必要不可欠な技術である、1Xnm 世代において書き込み特性とデータ保持特性を両立させていない競合技術に対して大きな優位性がある。

5.4.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

STT-MRAM 製造技術に関しては、本プロジェクトで得た高精度・低ダメージプロセスの設計指針とその評価技術を、次のステップであるハードウェア開発(競争領域)へと展開し、高性能 STT-MRAM の開発を加速する。

SOT-MRAM 製造技術に関しては、本プロジェクトで構築した標準 CMOS プロセスと互換性がある SOT-MRAM 用積層膜作製技術を生かし、SOT-MRAM を混載メモリとして用いたロジック応用への展開検討を開始する。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

SOT-MRAM を 300mm ウェハ集積させた報告はなく、独自性のたかい成果である。この成果の発表以来、世界中の競争的研究グループ、組織から実デバイスへの展開のためのアクセスがあり、今後、共同研究へ展開する可能性は高い。

5.4.4 その他

本課題では、若手研究者の発表の場を設けており、各課題代表者、もしくは共同研究企業様らにより密に議論する場を創出している。その場により若手研究者は個人の研究がどのように社会に取り入れられていくかを直接的に知ることができる貴重な機会となっている。

5.5 研究開発課題 2-3 「スピントロニクス素子の高効率、高精度特性評価手法の確立」

キーテクノロジー	IoT 用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立
研究開発テーマ	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
課題代表者	遠藤 恭 東北大学 大学院工学研究科 准教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	民間企業 9 社

5.5.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS 番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 2-3	MS2-3-1	研究課題 2-2 とのシナジーテーマ	Broadband FMR 計測技術による素子用薄膜の高周波磁気特性評価手法および、ホモダイナミック検波を用いた MTJ 素子の磁気特性評価を構築し、デバイス用材料およびデバイス評価を可能となり、課題目標を達成できた。
	MS2-3-2	熱安定性評価方法	産業界と互換性のあるシステムを用いて自動計測ソフトウェアの開発とその高度化を行うことができ、課題目標を達成できた。
	MS2-3-3	温度印加下想定環境の構築	応用で想定される動作温度範囲での高効率にデバイス特性を測定できることが、産業界からの要請されている。そのため、温度印加に伴う熱膨張でのプローブ位置ずれ補正の機構開発・プログラム作成を行い、300 mm ウェハ対応の高効率自動計測システムを構築し、目標を達成した。

5.5.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

磁場印加状況下での測定・評価方法の研究開発を進めるためには、評価対象となる MRAM チップ、磁場印加手段、測定装置、評価用ソフトウェア等の要素が必要となり、これらを各分野の専門化が持ち寄り統合して 300mm ウェハ対応の測定、評価できる環境を本センターに設置した。本センターにおいては、測定・評価を本センターの教員が中心となって行い、その結果については、関係者で情報を共有し、問題が発生した際に、何が原因となっているのかを総合的に判断できる検討体制を構築した。特に、エラー発生メカニズム解明のためには、本センターの教員が理論的な物理的検討を行い、そのメカニズム解明に取り組んだ。その結果は、関係者で共有することにより、各々の専門家は自分たちの領域にフィードバックをかけることで、各要素技術を向上させた。その結果、測定、評価システム全体の性能を向上させるという正のループにより、より精度の高い測定、評価手法を確立した。

(2) 最終成果

本研究開発課題では、スピントロニクス素子開発のために以下の 3 つの高効率・高精度を有した評価手法を確立した。

①MTJ素子の熱安定性指数の高効率・高精度評価手法の確立

MTJ素子における熱安定性指数の高効率・高精度評価手法の確立では、自動計測ソフトウェアを開発し、そのうえで室温から徐々に温度を上昇させながらdcでのスイッチング電流を測定し、その結果を基に個々の素子での最適温度を自動的に決められるようにソフトウェアを高度化した。加えて、温度印加に伴う熱膨張でのプローブ位置ずれ補正の機構開発・プログラム作成を行い、上記の熱安定性指数評価にも適用できる300mmウェハ対応の高効率自動計測システムを構築した。

②Broadband FMR計測技術による素子用薄膜の高周波磁気特性評価手法の検討

Broadband FMR計測技術による素子用薄膜の高周波磁気特性評価手法の確立では、300mmウェハ対応プローバを用いてMRAM用磁性薄膜の磁化ダイナミクス(50GHzまで)の検証ができ、かつMRAM用磁性材料選択の検討が容易にできるようにした。

③ホモダイン検波を用いたMTJ素子の磁気特性測定系構築

ホモダイン検波を用いたMTJ素子の磁気特性評価の構築では、面直方向から傾いた磁界を印加して、300mmウェハ上に試作した素子における磁気特性の評価が可能となった。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性熱安定性指数評価に関しては、産業界と互換性がある測定システムを用いて自動測定化を行う検討は従来から行われていない。また、デバイス用材料およびデバイスの高周波磁気特性評価に関しては、300mmウェハ対応プローバによる材料評価や300mmウェハ対応プロセスを用いて300mmウェハ上に作製したMTJ素子における高周波磁気特性評価を行われた結果はない。これらの点が、本研究課題成果の特長であり、新規性である。

産業界と互換性がある300mmウェハ対応測定装置を用いたこれまでの豊富な研究開発実績に加えて、産学共同企業と連携して、STT-MRAM用MTJ素子評価ソリューションを開発する等の技術アドバンテージがある(技術シーズ)。課題2-2と連携した300mm対応プロセス装置で作製した素子の評価、課題2-4と連携したメモリアレイでの特性評価との関係についての知見の取得ができるために、プロセス～単体素子評価～メモリアレイ評価に至るまでを一貫して行える(保有技術を利用した有機的な連携)。これらの点において優位性がある。

5.5.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

課題2-2および2-4と有機的に連携して、プロセス～単体素子評価～メモリアレイ評価に至るまでを一貫して行えるようになる。

本研究課題で確立したデバイス用材料およびデバイス開発用計測技術を用いて、MRAMに限らず高周波磁気デバイスの研究開発を行っている企業等で作製された材料やデバイスのデモ測定および評価を実施し、計測技術の更なる高度化を図る。また、開発した計測装置の新規導入が難しい企業等に対する計測および評価サービスおよび技術指導を実施していく。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

産業界と互換性がある300mmウェハ対応測定装置を用いたこれまでの豊富な研究開発実績に加えて、産学共同企業と連携して、STT-MRAM用MTJ素子評価ソリューションを開発する等の国内トップの技術アドバンテージを有することから、更なる未知の競争領域への展開を見込める。

5.6 研究開発課題 2-4 「スピントロニクス集積回路の高効率、高精度特性評価手法の確立」

キーテクノロジー	IoT 用エッジコンピューティングデバイスの超低消費電力化技術の確立
研究開発テーマ	スピントロニクス不揮発性集積回路による飛躍的な低消費電力化および測定技術の実現
課題代表者	小池 洋紀 東北大学 大学院工学研究科 准教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	民間企業 10 社

5.6.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS 番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 2-1	MS2-4-1	第一世代装置	目標磁場印加性能 強度±160mT, 均一度≤5% @50mm 口、磁石-テストヘッド一体型構造で達成。
	MS2-4-2	第二世代装置	2021 年 10 月時点: 300mm ウェハ上に試作した STT-MRAM チップを用いてテストシステム第二世代装置の性能評価を実施中。 2022 年 3 月(プロジェクト終了)時点: 磁石-テストヘッド一体型構造は維持しつつ、目標磁場印加性能(磁場印加と併用の-40~+125°C対応、および測定エリア拡張と温度変化に対応したプローブカード開発)が達成された。

5.6.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

MRAM の測定手法を確立するためには、評価対象となる MRAM アレイが搭載された MRAM チップ、測定装置、評価用ソフトウェア等の要素が必要となり、これらを各分野の専門化が持ち寄り統合して測定、評価できる環境を本センターに設置した。本センターにおいては、測定・評価を本センターの教員が中心となって行い、その結果については、関係者で情報を共有し、問題が発生した際に、何が原因となっているのかを総合的に判断できる検討体制を構築した。特に、エラー発生メカニズム解明のためには、本センターの教員が理論的な物理的検討を行い、そのメカニズム解明に取り組んだ。その結果は、関係者で共有することにより、各々の専門家は自分たちの領域にフィードバックをかけることで、各要素技術を向上させる。その結果、測定、評価システム全体の性能を向上させるという正のループにより、より精度の高い測定、評価手法を確立していくものとした。

本研究に際しては、STT-MRAM チップのテストングにおける以下の課題に特に着目した。

- ・ STT-MRAM 固有の課題への対応、すなわち従来の CMOS 集積回路にはなかった磁性体のテストング
- ・ 不揮発性メモリにおける普遍的課題への対応、すなわちデータ保持/エンデュランス特性など長時間を要するテストング

これらの課題に対応するため、メモリ特性評価を全自動、かつ高速、高精度に行う環境の確立を目指した。具体的には、外部磁場印加を行いつつ、LSI チップレベルテストを行う手法の検討を

通して本研究開発を進めた。

(2) 最終成果

①STT-MRAM テスト環境の構築と 128Mb チップ動作実証

STT-MRAM のテストングに関する研究開発に先立ち、ベースとなる STT-MRAM テスト環境（装置、プログラム）を新規構築した。本テスト環境を用い、CIES にて試作した 128Mb STT-MRAM の高速動作（14ns@1.2V）の実証に成功した。

②磁場印加テストシステム プロトタイプ機の開発

磁場印加テストシステムの実現可能性検証のため、メモリテスト、オートプローバ、電磁石を組み合わせたプロトタイプ機を試作した。

まずは磁石単体の性能を検証するため、磁石-テストヘッド分離型（プローバ-テスト間にはケーブル接続）にて装置試作を行った。その結果、10mm□範囲で 磁場均一度 $\leq 2.5\%$ という集積回路のテスト適用に十分な磁場印加性能を達成した。

③磁石-テストヘッド一体型 磁場印加テストシステムの開発

プロトタイプ機においては電磁石とテストヘッドが別構造であったため、テストヘッドとプローバを接続するケーブルが必要であった。このケーブル長による信号ロスのため、プロトタイプ機では高速テストングに限界が生ずるという問題があった。この問題を解決するため、磁石-テストヘッド一体化の開発検討を行った。一体化時の発熱を抑制する新規水冷機構の開発などによりそれを実現、これによりメモリテストの実使用状態における電磁石との併存が可能となり、本テストシステム実用化に向けた基盤が確立した。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

①STT-MRAM テスト環境の構築と 128Mb チップ動作の実証

【成果の特長】 300mm ウェハ上の STT-MRAM のテスト環境（メモリテスト、STT-MRAM 用測定治具、測定プログラム）を整備した。このテスト環境により、CIES にて試作した 128Mb STT-MRAM の 14ns @1.2V という高速動作を実証した。

【優位性】 STT-MRAM 固有のテスト課題に対する研究を展開するためのベースとなるシステムを世界に先駆け CIES 内に構築することができた。

②磁場印加テストシステム プロトタイプ機の開発

【成果の特長】 300mm ウェハ上に磁場印加しつつテスト実行可能なシステムの構築に向けて、まず実現性検証のためプロトタイプ機を試作した。その結果、10mm□範囲で磁場均一度 $\leq 2.5\%$ という LSI のテストに十分適用可能な性能が確認できた。

【優位性】 従来不可能であった磁場印加テストシステムが構築できた。また、不要検出効率に問題があった従来の磁気記憶機能スクリーニングが外部磁場を強瀬印加することで可能となった。

③磁石-テストヘッド一体型 磁場印加テストシステムの開発

【成果の特長】 磁石-テストヘッド一体型の磁場印加テストシステムを開発した。一体化動作時の発熱を抑制する新規水冷機構などの開発によりこれを実現した。

【優位性】 上記条件下で磁場均一度 $\leq 5\%$ @50mm□, $< 1\%$ @10mm□を達成した。メモリテストの実使用状態における電磁石との併存が可能となるとともに磁場印加範囲も広がり、STT-MRAM テストング実用化への目途が立てられた。

5.6.3 プロジェクト終了後の活動方針

プロジェクト終了後の競争領域での共同研究の展開としては、MRAMに関係するチップメーカーの動向として、現在、TSMC、Samsung Foundries といった主要ファウンドリメーカーがMRAMチップのリスク・マスプロダクションを開始しており、近日中の本格的マスプロダクション化を目指している。

この事業動向を踏まえ、本事業における共同研究先との連携を一層進めつつ、本成果をベースに競争領域への展開（MRAMテスト装置の事業化）を進める。

5.7 研究開発課題 3-1 「Si (100) 基板上における高品質 GaN 結晶の成長技術の確立」

キーテクノロジー	低損失ハイブリッドパワー集積デバイスと高効率エネルギー変換に求められる低損失パワーエレクトロニクスデバイス・パワーモジュール技術の確立
研究開発テーマ	Si-CMOS を活用した GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路の実現
課題代表者	末光 哲也 東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター 教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	京都大学、山形大学及び民間企業 7 社

5.7.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS 番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 3-1	MS3-1-1	選択成長 GaN on Si 基板 形成技術	結晶高品質化に向けて層構造及び界面に注視して理論検討を行った結果、Si (100) 基板上にバッファ層を介して c-GaN を成膜するのに本テーマの層構造コンセプトが最も安定して成膜出来る事を確認した。
	MS3-1-2	バッファ層選択成長	選択成長バッファ層で、全面バッファ層とほぼ同等の転位密度であり、マスクの影響が少ない事を確認した。
	MS3-1-3	GaN 選択エピ成長	バッファ層/Si 上に成長した c-GaN については、下層バッファ層より約一桁高い転位密度であり、更なる成膜条件の最適化が必要である。AFM 分析による表面粗さ評価では、c-GaN の表面粗さは市販レベルの w-GaN テンプレートと比較して約一桁にまで迫るレベルまで到達した。
	MS3-1-4	GaN デバイス試作	Si-CMOS との集積化において不可欠といえる、GaN 素子への Au フリーオーミック電極形成の見通しを得られた。

5.7.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

GaN と CMOS 形成が可能な Si (001) 基板とのヘテロ界面形成において、これら異種材料の間に格子不整合や熱膨張係数の違いに基づく応力歪による欠陥やクラック発生という根本的問題が存在し、この問題の解決なしで当該技術の産業化は成り立たない。

そこで、この問題を解決するためにバッファ層を用いた GaN on Si 結晶性変調技術の採用を検討した。本技術は、非常に高いポテンシャルを持った技術であるが、まだ、物理的解析を含めて、その現象を明らかにすることがなされていないため、そのポテンシャルが引き出されていない。当該技術を成長・発展させるために、結晶成長チームと評価解析チームを発足させ、結晶 Si (001) 基板上に、高品質の単結晶 GaN を選択的に積層する革新的なエピタキシャル成長技術を立

ち上げを図った。

本研究開発課題において、高品質の単結晶 GaN を選択的に積層する革新的なエピタキシャル成長技術の検証には、Si (001) 上に選択的に成長させた高品質な単結晶 GaN の積層構造の解析が不可欠であり、形成プロセス毎に結晶構造を原子レベルで確認、制御することが不可欠であった。この理由により高分解絶縁膜の構造評価が必須であるため、表面／断面形状を従来に比べて分解能の高い電界放出型電子顕微鏡を共通設備として導入し、GaN 結晶薄膜の評価に活用し、本研究開発の加速化を図った。

GaN デバイスのオーミック電極には一般に Ti/Al/X/Au (X: Ti, Ta, Mo 等) スタックが用いられているが、アニール処理時の Au と Al の合金化によって引き起こされる表面荒れによる電極の剥離やボンディングの脆弱性が問題となっていた。さらに、CMOS デバイスと同一 Si 基板上に GaN デバイスを作製する場合、Au フリーなオーミック電極が必須であった。そこで、CMOS デバイスと GaN デバイスを同一基板上に形成するための Au フリーかつ表面平坦性の高い GaN オーミック電極の開発を行った。

(2) 最終成果

①Si (100) 基板上における高品質 GaN 薄膜

本研究開発の要である成膜構造について、第一原理計算により結晶高品質化に向けた層構造及び界面に注視し調査を実施した。これをもとに、バッファ層結晶性の悪化を防止する熱処理強権の明確化及び安定して c-GaN を成膜する手法を確認した。

また、薄膜の結晶品質については、成膜したサンプルについて、断面 TEM 分析と AFM 分析を実施した。断面 TEM による貫通転位密度及び AFM 分析による表面粗さ評価の結果、本研究開発の薄膜の結晶品質は、次のステップの実用化開発フェーズに進めるレベルを達成できた。

②CMOS 互換な Au フリーかつ表面平坦なオーミック電極の開発

本研究開発課題では、Au を含まない Ti/Al/Ti スタックでも 750-850°C アニールでオーミック特性が得られた。さらに、オーミック特性が得られるアニール時間はアニール温度が上がるにつれて短くなる傾向を示した。さらに、Au を含まない Ti/Al/Ti スタックは Au を含む Ti/Al/Ti/Au スタックよりも電極表面の荒れが小さいことが明らかとなり、Ti/Al/Ti スタックは CMOS 互換な Au フリーと表面平坦性を同時に満たすオーミック電極のスタックとして有望であることを示した。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

GaN/Si 技術は GaN の結晶性を重視して、GaN/Si (111) 上に形成されており、普及している Si (100) 上の Si-CMOS 技術を活用することができない。本開発成果として、まず Si (100) 基板上にバッファ層とした c-GaN 成膜の実現を確認した。併せて、Si (100) 基板上に SiO₂ をマスクとしたバッファ層の選択成長が出来、また全面バッファ層と同等の品質であることが確認された。これらにより、Si (100) 基板上に GaN を選択成長させ、Si-CMOS 等と集積化出来る見通しが立ったと考えられる。GaN の電気特性や品質に課題が残るものの、この課題を乗り越えられれば、Si (100) 上に搭載されている Si-CMOS 設計資産が活用できる点で、集積化の際に大きな優位性がある。

GaN 素子と Si-CMOS の集積化にあたっては、プロセス技術の互換性も不可欠である。特に、電極形成においては、GaN 素子の従来技術では Au を用いた電極が一般的であるのに対し、Si-CMOS では Au は制御困難な不純物であるため使用が厳しく制限される。この度の開発では、Ti/Al/Ti という Au フリーの電極によって GaN 素子へのオーミック電極形成の見通しを得られ、GaN 素子と Si-CMOS の集積化におけるプロセス技術上の課題を解決することが出来た。

5.7.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

本事業では、

- ・ Si (100) 基板上へバッファ層を用いた c-GaN 成膜技術の確立
- ・ Si-CMOS との集積化に必要な選択成長基本技術の確立
- ・ 成膜が困難な c-GaN 層の電気特性評価の実施

上記を達成した。残された課題は、AlGaIn/GaN 構造作成と、電気特性である移動度向上には GaN 品質向上が不可欠である。

上記達成後、社会実装に向けて残された課題は

- ・ Si-CMOS との集積化による高機能な GaN パワーモジュール作成
- ・ 大口径化によるコスト削減

となる。まずはトランジスタ特性の改善を図り、Si-CMOS の膨大な回路設計資産、デバイスのプロセス設計資産、Fab 資産等を最大限活用し、早期に高機能な GaN パワーモジュール作成を図る。それに合わせ、成膜装置メーカーに協力を仰ぎ、大口径基板上への GaN 成膜技術開発を進める。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

2022～2023 年度まで GaN デバイスの電気特性評価向上の為に電気特性評価及び結晶評価実施機関との協力を経て、GaN 結晶性と電気特性向上に努める。併せて 2023 年度中に大口径化実証へ向けて、成膜装置メーカーに協力を仰ぎ、社会実装に向けて取り組む予定である。

5.8 研究開発課題 3-2 「GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路を用いた次世代電装コンポーネント技術の確立」

キーテクノロジー	低損失ハイブリッドパワー集積デバイスと高効率エネルギー変換に求められる低損失パワーエレクトロニクスデバイス・パワーモジュール技術の確立
研究開発テーマ	Si-CMOS を活用した GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路の実現
課題代表者	高橋 良和 東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター 教授
実施期間	2016 年 11 月～2022 年 3 月
共同研究機関	民間企業 10 社

5.8.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS番号	マイルストーン内容	達成状況
課題 3-2	MS3-2	【①超小型・高周波最適 GaN/Si パワーモジュール研究・開発】-	
	MS3-2-1	DC-DC コンバータの小型・高性能化	2MHz 実動作を実現した。Si 製現状 DC-DC コンバータに対し体積比で1/10、パワー密度での小型化を達成した。
		【②GaN/Si ハイブリッドパワー集積回路デバイス研究・開発】	
	MS3-2-4	GaN/Si デバイスのハイブリッド化技術	従来比 1/20 の小型インダクタ、熱抵抗低減率で 300%の超低熱抵抗基板開発により、GaN/Si デバイスと各種部品の集積化を可能とした。
	MS3-2-5	長期信頼性確保	GaN/Si デバイスでの長期連続駆動(100時間以上)、各種部品の冷熱試験などを行い、社会実装時に対する十分な信頼性が確保可能なことを検証した。
	MS3-2-6	量産性・コスト 検討・検証	量産性・コストに関してはオペラ参画企業(日立 Astemo、富士電機、日本軽金属など)と十分な検証などを行い、現状大きな課題がないことを確認済。GaN/Si デバイスのコストについても2023 年度には Si-MOSFET 以下が可能なることを連携企業から情報入手済み。

5.8.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

本研究課題においては、ハイブリッドパワー集積回路が有する低コスト化、高信頼性化、低消費電力化、高耐熱化、省スペース化、インテリジェント化というポテンシャルを輸送システムにかかるコンポーネントとして十分に活用する仕組みが不可欠である。この仕組みを具現化するためには、デバイス設計、パワーモジュール/ECU 構造設計・実装組立及びシステム設計の3つのチームを発足させ、機器搭載に向けた広範囲で横断的な実用化展開を図る必要がある。ここで、デバイス設計チームでは、GaN/Si デバイスチップのレイアウトの開発を担当した。また、パワーモジュール/ECU 構造設計・実装組立チームは、パワーモジュール/ECU の構造設計およびチップ実装・組立技術の立ち上げ、実用化を行った。さらに、システム設計チームは、それらデバイスを用いたシステム化の観点から自動車関連企業と密接に連携して実用化開発に取り組んだ。

(2) 最終成果

①GaN/Si 適用 DC-DC コンバータの開発

参画企業と共同で、超小型 DC-DC コンバータの研究開発を行い、下記に示すような成果を得た。

①-1 2MHz 実動作を実現した。

②-2 Si 製現状 DC-DC コンバータに対し体積比で 1/10、パワー密度での小型化を達成した。

②集積化のための 2MHz 対応小型インダクタと超低熱抵抗基板の開発

参画企業と共同で、GaN/Si デバイスやゲート回路、インダクタなどの受動部品の集積化のために重要なインダクタの小型化と放熱性能向上のための超低熱抵抗化の研究開発を行い、下記に示すような成果を得た。

②-1 2MHz 動作に対応した小型インダクタの開発完了し、小型化従来比 1/20 を達成した。

②-2 GaN/Si デバイスの 2MHz 動作での温度上昇を抑制する超低熱抵抗基板(銅インレイ+AlN 絶縁基板)の開発完了し熱抵抗低減率で 300%を達成した。これにより、GaN/Si デバイスと各種部品の集積化を可能とした。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

GaN/Si 適用 DC-DC コンバータの成果として、単位体積あたりのパワー密度は 3000W クラスで従来品に対し 10 倍を達成し、現状の競合技術に対して大きく向上した。これは従来の Si デバイスを使用している限り、一桁の小型化は困難であったものである。また、AM ラジオノイズ帯を越した 2MHz の高周波駆動を実現し、従来の Si-IGBT での 20KHz 限界、SiC-MOSFET での 200KHz 限界に対しノイズフィルターを削減出来、小型化などで大きなアドバンテージを創出した。

また、開発した小型インダクタは 2MHz 動作に対応し、小型化従来比 1/20 を達成しており、超低熱抵抗基板(銅インレイ+AlN 絶縁基板)も熱抵抗低減率で 300%を達成しており、GaN/Si デバイス、ゲート回路、各種受動部品の集積化を可能としたことは競合技術と比較し大きなアドバンテージを達成した。

以上の技術成果により、次世代輸送システムで使われる PHEV, EV, FGV およびそれらの自動運転化等、パワーマネジメントが今以上に重要となる次世代輸送システム分野において軽量化、省スペース化等を通じて輸送システム自身の性能を大幅に改善できるようになることから、優位性の高い成果である。

5.8.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

最終目標を達成し、プロジェクト終了後は社会実装に向けた活動を OPERA 終了後も参画企業と共同研究を継続しながら進める予定である。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

競争領域での共同研究は OPERA 終了後、国プロ(我が国の半導体戦略事業:文部科学省)と民間共同研究を活用して、量産化に向けて行う予定である。

5.9 研究開発課題 4-1 「高度自動不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの確立」

キーテクノロジー	IT・パワーデバイス融合による次世代輸送システムに求められる知的グリーン・パワーエレクトロニクス技術の確立
研究開発テーマ	高度自動判断システムとハイブリッドパワー集積回路が生み出す次世代移動体システムの実現
課題代表者	馬 奕涛 東北大学 電気通信研究所 助教
実施期間	2016年11月～2022年3月
共同研究機関	民間企業6社

5.9.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS番号	マイルストーン内容	達成状況
課題4-1	MS4-1-1	不揮発アナログ素子技術の確立、及び、素子諸特性の物理的理解促進と性能向上	【達成】従来素子では実現困難である、高い学習(書き込)速度、高い書き込み回数と高い動作温度の要求を満たす垂直型 MTJ 不揮発アナログ素子の開発を成功し、不揮発アナログ素子を用いたシナプスの 2ns 学習速度と、 10^{10} 回の高書き込み回数と 100°C までの動作温度適応性を達成した。
	MS4-1-2	不揮発アナログ素子の機能と性能を活かした不揮発ニューロン回路ユニットの開発	【達成】不揮発性アナログ素子に基づいて、素子内での情報保持、情報出力及び情報演算を一体化したシナプス回路の新しいアーキテクチャと2種類の新しいシナプス駆動方式を提案し、それに加えて、1K のシナプスを備える不揮発ニューロン回路ユニットの設計開発に成功した。
	MS4-1-3	スピン素子と CMOS のハイブリッド化による大規模集積化技術の開発	【達成】55nm-CMOS とスピントロニクスのプロセスを融合した 300mm ウェハ集積技術をベースに、不揮発性アナログ素子の開発とか改良を行い、素子の特性バラツキや更なる微細化を含めて、素子自身とその応用集積回路の性能検証と解析を進めている。実際に不揮発性アナログ素子を用いたシナプス回路は、素子特性バラツキに影響されにくい作動対型アーキテクチャを適応されているので、素子自身が 50nm から 30nm へ微細化が進めてもシナプス回路の動作安定性は弱くならず 1.6 倍程度改善されることが SPICE シミュレーションにより検証した。
	MS4-1-4	不揮発ニューロン回路ユニットに基づいた知的認識判断 VLSI アーキテクチャの開発	【達成】不揮発ニューロン回路ユニットに基づいた知的認識判断 VLSI に必要である要素技術として、「高速な電源 ON/OFF 制御による消費電力の削減技術」と「中間演算処理結果の有効に再利用による計算コスト削減技術」を提案し、画像連想認識と画像分類応用における高度自動判断システムに導入し、消費電力(1/100 以上)と計算速度(1/10)の性能優位性を検証した。その要素技術を取り込み、大規

			<p>模な 1M シナプス/1K ニューロンの不揮発ニューロンユニット回路(=1K の不揮発ニューロン回路ユニット実装)の設計開発に成功し、処理速度(150K 倍)、消費電力効率(7.5 倍)、及び、回路複雑度(60 倍)の性能改善を達成した。更なる展開として、物体認識応用における高度自動判断システムに上記要素技術や不揮発ニューロンユニット回路を導入し、性能優位性の検証をした。</p>
--	--	--	--

5.9.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 研究開発内容

従来の自動判断システムにおける高計算コストと高消費電力の課題を対応解決するために、本研究は、スピントロニクスに基づいて、高度自動判断システムに適用する上で必須である高い書換速度、高い書換耐性と十分な動作温度耐性等の諸特性を満たす不揮発性アナログ素子の開発とその回路モデル化を成功した。その上に、新しい不揮発性アナログ素子を用いて、素子内での情報保持、情報出力及び情報演算を一体化して、独創的な大規模なニューロンユニット回路アーキテクチャの開発を完成し、処理速度や消費電力等の飛躍的な性能改善を実現した。それから、不揮発性アナログ素子に基づいた「中間演算処理結果の有効に再利用による計算コスト削減技術」と「高速な電源 ON/OFF 制御による消費電力の削減技術」を活かして、画像連想認識と分類応用における高度自動判断システムにも導入し、性能優位性を検証した。上記研究開発の結果に踏まえて、不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの中核技術を確立した。

(2) 最終成果

従来の自動判断システムにおける高計算コストと高消費電力の課題を対応解決するために、本研究は、まずスピントロニクスに基づいて不揮発性アナログ素子の開発し、高度自動判断システムに適用する上で必須である高い書き換え速度、高い書き換え耐性と十分な動作温度耐性等の諸特性を満たすことを実証し、回路設計とシミュレーション検証のための素子モデルの構築を成功した。その上に、不揮発性アナログ素子を用いて新しい差動対型シナプス回路と 2 種類のシナプス駆動方式を提案し、素子内での情報保持、情報出力及び情報演算を一体化した大規模な 1M シナプス/1K ニューロンの不揮発ニューロンユニット回路の設計開発を成功し、処理速度や消費電力等の飛躍的な性能改善を実現した。そして、不揮発性アナログ素子の特徴に基づいて、高速な電源 ON/OFF 制御をベースにした自律電源管理技術を提案し、画像連想認識において飛躍的な消費電力の性能改善を検証した。それから、中間演算処理結果を有効に再利用することで計算コストが削減する技術を提案し、それに基づく高度自動教師無学習システムのための自動学習精度判断プロセッサアーキテクチャの設計検証を成功した。上記研究開発の結果に踏まえて、不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの中核技術を確立した。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

まず従来素子では実現困難である、高い学習（書き込）速度、高い書き込み回数と高い動作温度の要求を満たす垂直型 MTJ 不揮発アナログ素子の開発を成功し、その実測結果ベースに回路モデルを構築し、学習（書込）速度と、高い書き込み回数と 100°C までの動作温度適応性を確認できた。さらに、不揮発性アナログ素子を用いた不揮発ニューロンユニット回路の開発を完成し、手書数字の画像特徴抽出においてその動作を検証し、開発した不揮発連想メモリシステムは、従来手法より低計算コストの画像テキストを正確に認識できることを確認した。加えて、独創的に

開発した自律電源管理技術を用いることで、我々開発した前世代チップより、消費電力と回路面積の性能優位性が検証できた。また、従来技術に比較して、開発した高度自動学習精度判断プロセッサのデータ分類精度改善が確認できたとともに、計算複雑度を 88.9%削減でき計算負荷を約 10分の1にできるなど性能改善が検証できた。

5.9.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

本事業終了時点で、300mm-wafer 集積した不揮発性アナログ素子技術を開発し、高度自動判断システムに適用する上で必須である諸特性を満たすことを確認し、その不揮発性アナログ素子の特性を再現する回路モデルを構築する。その上に、画像認識、画像分類と物体検出等の画像認知応用にフォーカスして、OPERA 提案設計の不揮発 Neuromorphic アーキテクチャの大規模設計と検証を行う。それから、同じ中核技術を生かして、画像連想認識と分類応用における高度自動判断システムにも導入しその大幅な性能優位性を検証する。上記技術をベースに不揮発性アナログ素子を用いた高度自動判断システムの開発設計技術を確立する。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

上述の結果を礎として、事業終了後には競争領域の資金を申請して、OPERA 提案アーキテクチャを用いた CMOS/MTJ 混載 VLSI の SoC 実装へ研究展開し、自動運行と自動監視の実応用向けの超低電力不揮発 Neuromorphic 学習認識システムを実現することによって、シーズ技術から産業界へ貢献できる中核技術への開発展開を期待している。

5.10 研究開発課題 4-2 「次世代移動体システム用デジタルニューラル ネット回路・アーキテクチャ技術の確立」

キーテクノロジー	IT・パワーデバイス融合による次世代輸送システムに求められる知的グリーン・パワーエレクトロニクス技術の確立
研究開発テーマ	高度自動判断システムとハイブリッドパワー集積回路が生み出す次世代移動体システムの実現
課題代表者	夏井 雅典 東北大学 電気通信研究所 准教授
実施期間	2016年11月～2022年3月
共同研究機関	民間企業6社

5.10.1 マイルストーンと達成状況

課題番号	MS番号	マイルストーン内容	達成状況
課題4-2	MS4-2-1	耐環境性・耐ハッキング性向上のためのアルゴリズム開発	当初目的であったハッキング等に起因するエラーに対する頑健性を達成するアルゴリズムの開発に加え、環境変動に起因するエラーに対する頑健性を付与する回路技術の開発に成功し、目的を十分に達成した。
	MS4-2-2	要求仕様・処理能力達成のための回路・アーキテクチャ開発	不揮発素子活用デジタルニューラルネットワーク回路向け要素技術、および本技術を組み合わせたシステムレベル評価を達成するとともに、その高信頼動作のためのパワーゲーティング技術についても合わせて検討を行い、目的を十分に達成した。

5.10.2 最終目標に対する成果の詳細

(1) 本事業の目標

研究開発内容

既存の工業製品化されているコンピューティングでは実現し得なかった「連想・認識に基づく知的判断」機能を担う人間的情報処理を行うコンピューティングに関する応用として、自動運転車に必要な、大量のデータからのパターン認識を支える人間的情報処理を行うコンピューティングの実現を図った。応用分野として、工場内での高度生産設備・物流・交通などでの自立的稼働やリアルタイム認識判断システムなどが想定されている。

上記課題を解決するには、既存のFPGAやTCAMは、消費電力の観点から、既存のシリコン集積回路の規模まで集積化できない。そこで、申請者らのもつ不揮発FPGA及び不揮発TCAMをベースに、スピントロニクスによる不揮発性機能を最大限活かしたニューロン素子ベースの知的認識判断を可能にするLSIを実現する回路・アーキテクチャの開発を図った。

(2) 最終成果

耐環境性・耐ハッキング性向上のためのアルゴリズム開発

①次世代移動体向け耐ハッキング技術の開発及び性能評価

次世代移動体システムに対する人間的情報処理適用の具体例として、時系列データを対象としたエラー検出・訂正処理技術、ならびに、本技術の応用による車載ネットワーク不正侵入検出技術の実現に向けた検討を行った。その結果、人間的情報処理の活用により、従来手法を超える識別性能を達成可能であることを確認することができた。具体的には、改ざん、挿入、DoSといった攻撃に対して、従来手法では個別の攻撃にしか対応できなかったのに対し、提案手法では統一的に対応可能であり、かつ高い検出精度を実現可能であることを示した。

②次世代移動体システムへの搭載を想定した不揮発ロジック回路の高信頼化技術の開発

不揮発ロジック回路の主要回路ブロックである不揮発フリップフロップについて、回路の性能を維持しつつ、想定される任意の書込エラーに対応可能な異常状態検出機能を組み込むことによる機能高度化に成功した。仕様検討を行った後に、40nm CMOS/MTJ ハイブリッドプロセス技術を用いた設計を行い、従来提案の回路方式と同程度の動作時性能を維持しつつ、生じる任意のエラー状態を検出可能とする機能が実装可能であることを確認した。

要求仕様・処理能力達成のための回路・アーキテクチャ開発

③ニューラルネットワーク向け低消費電力・省面積不揮発ロジック要素回路の開発

不揮発性デジタルニューラルネット回路向け要素回路の設計および高度化を行った。目標とする回路・アーキテクチャを実現する上で必須となる要素回路である XNOR 回路およびビットカウント回路を不揮発ロジックインメモリ回路技術を活用して設計し、それらを組み合わせて構築した不揮発性デジタルニューラルネット回路の評価を行った結果、高い動作安定性を保ちつつ、従来構造に比べエネルギー遅延積 (EDP) を 99.9%、回路面積を 72.2%削減可能であることを確認した。

④不揮発パワーゲーティングの高効率化を目的としたパワーゲーティングスイッチ制御技術

不揮発パワーゲーティングの高効率化を目的としたパワーゲーティングスイッチ制御技術について検討を行い、小規模ロジック回路および大規模システムへ適用した場合を通してその有効性を検証した。段階的にスイッチングさせるという制御方式を用いることにより、スイッチング動作における過大なサージ電流、および、寄生成分による電源電圧の不安定化といった課題を克服可能であるとともに、適用対象の回路の動作状況に応じてパワーゲーティングスイッチの制御方法を変えることにより、4kB STT-MRAM を含む大規模システムにおける与えられた仕様を満たしつつ、突入電流を最大 87.8%、スリープ状態からの復帰時間を最大 80.0%削減可能であることを確認した。

(3) 成果の特長と従来技術・競合技術に対する優位性

工場内での高度生産設備・物流・交通などでの自立的稼働やリアルタイム認識判断システムなどを IT・パワーデバイスの融合技術により実現するためには、スピントロニクス素子と CMOS 回路のハイブリッド化による高エネルギー効率な大規模集積化技術の開発、およびスピントロニクス素子の不揮発性機能を最大限活かした知的認識判断を高信頼に可能にする LSI の実現に向けた回路・アーキテクチャの開発が要求される。本研究ではスピントロニクス素子の物理を、人間的情報処理を行うコンピューティング応用という切り口から掘り下げ、知的認識判断を可能にする LSI の実現に向けた回路・アーキテクチャ技術を開発する。特に、対象システムの高信頼化に対して知的認識判断アルゴリズムあるいは不揮発回路技術を応用するという視点は本研究独自のものであり、本研究の従来技術に対する新規性・優位性である。本研究の推進により、従来は CMOS 回路技術ベースで進められてきた人間的情報処理を行うコンピューティング分野の可能性は大いに広がり、非ノイマン型情報処理全体の理解が飛躍的に促進されるものと期待される。

5.10.3 プロジェクト終了後の活動方針

(1) プロジェクト終了後の社会実装に向けた活動方針

本課題が推進した要素技術開発、および、これらを基盤とするシステムレベル評価から得られた成果に基づき、具体的応用事例を対象とした性能評価を推進することで、本研究開発課題の次世代移動体システム向け高エネルギー効率 AI ハードウェアの実現に対する効果・優位性が明らかになることが期待される。

(2) 競争領域での共同研究への展開の計画

次世代移動体への AI 実装は複数の企業・研究機関で盛んに開発が進んでいる状況であり、不揮発素子活用の利点（省電力・コンパクト）を最大限活かす回路・システム技術により、本グループの優位性を保ちつつ競争領域に展開できる。

6 非競争領域からの展開（活動実績）

本事業で得られた研究成果や産学連携チームと様々な産学連携活動の運用知見・ノウハウを活用して、スピントロニクス AI 関連分野においては日本の半導体戦略に位置付けられている AI チップ次世代コンピューティング事業（NEDO）、パワーエレクトロニクス分野においては同様に日本の半導体戦略に位置付けられている革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業（文部科学省直轄事業）、学生教育（RA 制度）においては東北大学では卓越大学院プログラムへとそれぞれ継承・展開し、今後のさらなる発展を目指している。

また、本事業を通じて、本事業のコンソーシアム企業とのプロトタイプ製作や実証が進み、競争領域への展開に繋がっている

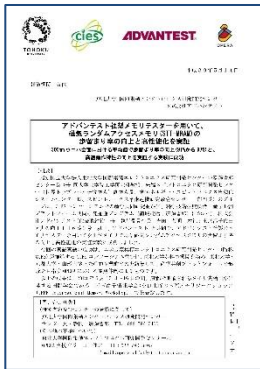
獲得した外部資金

- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 戦略的省エネルギー技術革新プログラム緊急追加公募（2020 年度～2021 年度）
「アフターコロナ時代の感染ハザードマップのための高速人物位置同定 AI マイコンを用いた非接触多人数対応 AI 検温カメラの開発」（パワースピン株式会社、共同研究・委託先：東北大学）
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発／研究開発課題発掘のための先導調査研究（2021 年度～2022 年度：1 年間）
「CMOS/スピントロニクス融合技術を用いたコンピューティング技術」（東北大学、NEC）
- ・文部科学省 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業（2021 年度～2025 年度）
「脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発」（東北大、早稲田大、茨城大）

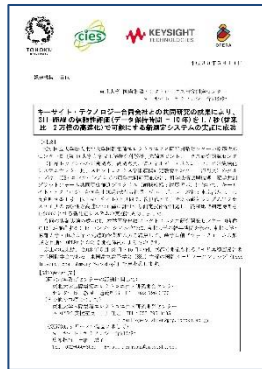
プロトタイプ製作等の例

- ①「アドバンテスト社製メモリテスターを用いて、磁気ランダムアクセスメモリ STT MRAM の歩留まり率の向上と高性能化を実証」2018 年 5 月 14 日
- ②「キーサイト・テクノロジー合同会社との共同研究の成果により、STT MRAM の信頼性評価データ保持時間 10 年 を 1.7 秒 従来比 2 万倍の高速化 で可能にする新測定システムの実証に成功」 2018 年 5 月 14 日
- ③「低ダメージプロセスインテグレーション技術開発による磁気ランダムアクセスメモリ (STT-MRAM) の高性能化と高書き換え耐性の両立に成功」2018 年 12 月 5 日
- ④「アドバンテスト社製メモリ・テスト・システムを用いて、128Mb 密度の STT MRAM の高速動作を実証」2018 年 12 月 5 日

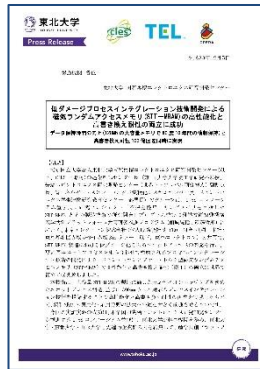
①



②



③



④



プレスリリース URL

- ① <http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/05/press20180514-01-adobantest.html>
- ② <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/05/press20180514-02-keysight.html>
- ③ <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/12/press-20181205-03-IEDM2018.html>
- ④ <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/12/press-20181205-04-IEDM2018-advantest-web.html>

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

項目			実績		備考	
① プロトタイプ			0	件		
② 実用化			0	件		
③ 事業化(製品・サービス等の提供)			0	件		
④ 起業(ベンチャー企業等の設立)			0	件		
⑤ 知的財産権の状況	出願	領域全体	国内	57	件	
			外国	50	件	
		うちパイトール適用	国内	57	件	
			外国	50	件	
	登録	領域全体	国内	1	件	
			外国	3	件	
		うちパイトール適用	国内	1	件	
			外国	3	件	
	ライセンス			0	件	
	ライセンス収入		件数	0	件	
		金額	0	千円		
⑥ 成果の発信	プレス発表(イベント告知は除く)		9	件		
	成果発信イベントの開催		21	件		
	展示会への出展	国内	4	件		
		外国	1	件		
⑦ 掲載・放映	雑誌掲載(WEB含む)		223	件		
	新聞掲載(WEB含む)		33	件		
	テレビ放映		0	件		
⑧ 外部資金の獲得	成果の展開に関連して (全実施期間)	採択	3	件		
		金額	67,500	千円		
	研究開発費として (全実施期間)	採択	0	件		
		金額	0	千円		
⑨ 論文	論文		78	件		
	うち査読論文		76	件		
	その他著作物(総説、書籍など)		3	件		
⑩ 発表	口頭発表		120	件		
	ポスター発表		93	件		
	招待講演		176	件		
	その他		0	件		
⑪ 受賞			24	件		
⑫ 参加者	領域全体		167	人		

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

① プロトタイプ

No	成果名称	発表等時期	担当機関 (企業・大学等)	概要	備考 (関連する研究開発課題番号等)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

② 実用化

No	成果名称	発表等時期	担当企業等	概要	備考 (課題番号等)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

③ 事業化(製品・サービス等の提供)

No	製品・サービス等の名称	発売等時期	担当企業等	概要	備考 (課題番号等)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

④ 起業(ベンチャー企業等の設立)

No	法人名称	設立時期	シーズ	概要	備考 (課題番号等)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑤-1 知的財産権(出願) A特許 | Bその他の知的財産権

A 特許

No	知財の名称	出願番号	ハイ・トール 適用	出願人	国内/外国	備考備考 (関連する研究開発課題番号等)
1	-	-	○	-	国内	非公開
2	-	-	○	-	国内	非公開
3	電力用開閉装置、送配電システム、発電システム、負荷システム、機械式スイッチ、及び電力用開閉装置の制御方法	特願2018-030750	○	東北大学	国内	
4	直流ヒューズ及びこの直流ヒューズを備えた電気設備	特願2018-041587	○	東北大学	国内	
5	-	-	○	-	国内	非公開
6	-	-	○	-	国内	非公開
7	-	-	○	-	国内	非公開
8	-	-	○	-	国内	非公開
9	-	-	○	-	国内	非公開
10	-	-	○	-	国内	非公開
11	電力変換装置、発電システム、負荷システム及び送配電システム	特願2018-066064	○	東北大学	国内	
12	-	-	○	-	国内	非公開
13	-	-	○	-	国内	非公開
14	-	-	○	-	国内	非公開
15	-	-	○	-	国内	非公開
16	-	-	○	-	国内	非公開

17	ルックアップテーブル回路	PCT/JP2018/033139	○	東北大学	外国	
18	-	-	○	-	国内	非公開
19	電力検出装置、電力変換装置、発電システム、電力授受システム、負荷システム及び送配電システム	特願2018-192939	○	東北大学	国内	
20	-	-	○	-	国内	非公開
21	-	-	○	-	外国	非公開
22	-	-	○	-	国内	非公開
23	磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ	PCT/JP2019/5091	○	東北大学	外国	
24	磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ	PCT/JP2019/6150	○	東北大学	外国	
25	-	-	○	-	国内	非公開
26	磁気トンネル接合素子、磁気トンネル接合素子の製造方法、及び、磁気メモリ	PCT/JP2019/9734	○	東北大学	外国	
27	集積回路装置	PCT/JP2019/10003	○	東北大学	外国	
28	電力変換システム、電力変換装置、電力変換方法、発電システム、有効電力授受システム、電力系統、電力授受システム、負荷システム及び送配電システム	PCT/JP2019/12611	○	東北大学	外国	
29	電力変換システム、発電システム、有効電力授受システム及び電力系統	特願2019-65061	○	東北大学	国内	
30	-	-	○	-	国内	非公開

31	ニューラルネットワーク回路装置	PCT/JP2019/14353	○	東北大学	外国	
32	-	-	○	-	国内	非公開
33	磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ	PCT/JP2019/4299	○	東北大学	外国	
34	電力変換装置、発電システム、モータドライブシステム及び電力連系システム	PCT/JP2019/4516	○	東北大学	外国	
35	磁気抵抗効果素子、磁気メモリアレイ、磁気メモリ装置及び磁気抵抗効果素子の書き込み方法	PCT/JP2019/15659	○	東北大学	外国	
36	磁気抵抗効果素子、磁気メモリ装置並びに磁気メモリ装置の書き込み及び読み出し方法	PCT/JP2019/15858	○	東北大学	外国	
37	磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ	特願2019-75644	○	東北大学	国内	
38	磁気メモリ装置	PCT/JP2019/024596	○	東北大学	外国	
39	磁気メモリ素子及びその製造方法、並びに磁気メモリ	特願2019-153233	○	東北大学	国内	
40	磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、及び、該磁気抵抗効果素子の成膜方法	PCT/JP2019/034229	○	東北大学	外国	
41	交流電圧出力システム、電力系統制御システム、電力系統、直流送電システム、発電システム及びバッテリーシステム	PCT/JP2019/037111	○	東北大学	外国	
42	-	-	○	-	国内	非公開
43	-	-	○	-	外国	非公開
44	-	-	○	-	国内	非公開
45	不揮発性論理回路	PCT/JP2019/046590	○	東北大学	外国	
46	-	-	○	-	国内	非公開
47	-	-	○	-	外国	非公開
48	-	-	○	-	外国	非公開
49	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開

50	磁気トンネル接合素子、磁気トンネル接合素子の製造方法、及び、磁気メモリ	特願2020-509823	○	東北大学	国内	
51	電力変換システム、電力変換装置、電力変換方法、発電システム、有効電力授受システム、電力系統、電力授受システム、負荷システム及び送配電システム	特願2020-507965	○	東北大学	国内	
52	電力変換装置、発電システム、モータドライブシステム及び電力連系システム	特願2019-571158	○	東北大学	国内	
53	ニューラルネットワーク回路装置	特願2020-509364	○	東北大学	国内	
54	-	-	○	-	国内	非公開
55	磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ	特願2020-500517	○	東北大学	国内	
56	磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ	特願2020-510360	○	東北大学	国内	
57	集積回路装置	特願2020-509850	○	東北大学	国内	
58	磁気抵抗効果素子、磁気メモリ装置並びに磁気メモリ装置の書き込み及び読み出し方法	特願2020-514123	○	東北大学	国内	
59	磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ	特願2020-510418	○	東北大学	国内	
60	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
61	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
62	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
63	磁気抵抗効果素子、磁気メモリアレイ、磁気メモリ装置及び磁気抵抗効果素子の書き込み方法	特願2020-518206	○	東北大学	国内	
64	-	-	○	-	外国	非公開
65	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
66	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
67	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開

68	-	-	○	-	外国	非公開
69	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
70	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
71	磁気メモリ装置	特願2020-525804	○	東北大学	国内	
72	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
73	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
74	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
75	磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、及び、該磁気抵抗効果素子の成膜方法	特願2020-539646	○	東北大学	国内	
76	-	-	○	-	外国	非公開
77	交流電圧出力システム、電力系統制御システム、電力系統、直流送電システム、発電システム及びバッテリーシステム	特願2020-549162	○	東北大学	国内	
78	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
79	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
80	ルックアップテーブル回路	特願2020-540963	○	東北大学	国内	
81	クラスタリング装置及びクラスタリング方法	特願2020-570278	○	東北大学	国内	
82	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
83	-	-	○	-	国内	非公開
84	-	-	○	-	国内	非公開

85	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
86	-	-	○	-	国内	非公開
87	-	-	○	-	外国	非公開
88	不揮発性論理回路	特願2020-562967	○	東北大学	国内	
89	磁性積層膜及び磁気抵抗効果素子	特願2021-099796	○	東北大学	国内	
90	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
91	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
92	-	-	○	-	国内	非公開
93	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
94	-	-	○	-	国内	非公開
95	-	-	○	-	国内	非公開
96	-	-	○	-	国内	非公開
97	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
98	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
99	-	-	○	-	国内	非公開
100	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
101	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
102	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開
103	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開

104	-	-	○	-	国内	非公開
105	-	-	○	-	国内	非公開
106	-	-	○	-	外国	非公開
107	-	-	○	-	外国	指定国移行、非公開

B その他の知的財産権（実用新案権、意匠権、回路配置利用権、育成者権など）

No	知財の名称	出願番号	ハイ・トール 適用	出願人	国内/外国	備考
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑤-2 知的財産権(登録) A特許 | Bその他の知的財産権

A 特許

No	知財の名称	特許番号	ハイ・ドール 適用	出願人	国内/外国	備考 (関連する研究開発課題番号等)
1	-	-	○	-	外国	非公開
2	直流ヒューズ及びこの直流ヒューズを備えた電気設備	6985742	○	東北大学	国内	
3	-	-	○	-	外国	非公開
4	-	-	○	-	外国	非公開
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						

30						
----	--	--	--	--	--	--

B その他の知的財産権（実用新案権、意匠権、回路配置利用権、育成者権など）

No	知財の名称	登録番号	ハイ・ドール 適用	出願人	国内/外国	備考
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑥ 成果の発信

No	発表年月日	発表タイトル、イベント名など	発表機関	主な対応者	発信形式	備考
1	2017/5/18	学術フォーラム「危機に瀕する学術情報の現状とその将来」	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	日本学術会議講堂、250名
2	2017/7/11-13	SEMICON West2017	東北大学	東北大学	展示会への出展(外国)	
3	2017/9/19-22	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	Sendai International Center(6,000名)
4	2017/10/7-2017/10/8	通研公開2017	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	東北大学電気通信研究所
5	2017/10/31	東北大学 電気・情報 東京フォーラム	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	東北大学電気通信研究所
6	2017/12/13-15	SEMICON JAPAN	東北大学	東北大学	展示会への出展(国内)	
7	2017/12/13-14	15th RIEC International Workshop on Spintronics	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, RIEC Tohoku University
8	2017/12/15-16	6th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, RIEC Tohoku University
9	2018/1/18	産学官金連携フェア2018みやぎ	東北大学	東北大学	展示会への出展(国内)	

10	2018/1/18-19	Tohoku-Harvard Workshop	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	東北大学知の館(96)、秋保温泉ホテル華の湯(25)
11	2018/2/5	ご懇談	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	天皇后両陛下および学識経験者と研究についてのご懇談
12	2018/2/14	磁気トンネル接合素子、未踏の一桁ナノメートル領域で動作実現～超大容量・低消費電力・高性能 不揮発性メモリの実現に道筋～	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20180214_01web.pdf
13	2018/2/18	Tohoku-Purdue Workshop on Novel Spintronics Physics and Materials for Future Information Processing	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	RIEC, Tohoku Univ.(40)
14	2018/2/18-19	Kick-off Symposium for World Leading Research Ce4nters -Materials Science and Spintronics-	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	仙台国際センター(500名)
15	2018/2/21	Tohoku/SG-Spin Workshop on Spintronics	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	RIEC, Tohoku Univ.(120)
16	2018/3/6	第39回市民型講座「スピントロニクス不揮発性素子」	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	一般市民向け講演会において、学際的な科学技術に関する情報を提供する。
17	2018/5/14	アドバンテスト社製メモリテスターを用いて、磁気ランダムアクセスメモリ(STT MRAM)の歩留まり率の向上と高性能化を実証300mm ウェハ全面における平均値で歩留まり率の向上(9.1%から9.7%)と、高速動作特性の向上を実証する実験に成功	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20180514_03_ion_etching.pdf
18	2018/5/14	キーサイト・テクノロジー合同会社との共同開発の成果により、STT-MRAMの信頼性評価(データ保持時間=10年)を1.7秒(従来比2万倍の高速化)で可能にする新測定システムの実証に成功	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/tohokuuniv-press20180514_02_keysight.pdf

19	2018/7/2	Tohoku University Science Summer School(TSSP)	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	東北大学(仙台):22名
20	2018/8/30	スピントロニクスが切り拓く超低消費電力情報処理通信	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	JPタワー&カンファレンス(東京):約160名
21	2018/10/31	メモリ・テスト・システムによる、磁気ランダム・アクセス・メモリ(STT-MRAM)のスイッチング電流測定技術を確立-アドバンテストとの共同研究、STT-MRAMの不良解析と実用化に大きく前進-	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/press/20181031_memory.pdf
22	2018/11/27	CIESセミナー(CIESパワーエレクトロニクスフォーラム)	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	東北大学サイエンスキャンパスホール(仙台):52名
23	2018/12/5	アドバンテスト社製メモリ・テスト・システムを用いて128Mb密度のSTT-MRAMの高速動作を実証	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressing/tohoku_univ_press_2018_1205_04_IEDM2018_advantest_web_01.pdf
24	2018/12/5	低ダメージプロセスインテグレーション技術開発による磁気ランダムアクセスメモリ(STT-MRAM)の高性能化と高書き換え耐性の両立に成功	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressing/tohoku_univ_press_2018_1205_03_IEDM2018_TEL_01.pdf
25	2018/12/12-12/14	SEMICON JAPAN 2018	東北大学	東北大学	展示会への出展(国内)	
26	2019/1/9-1/10	16th RIEC International Workshop on Spintronics	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, RIEC Tohoku University (160)(仙台):113名
27	2019/1/15	Cies Seminar (2nd CIES Power Electronics Forum)	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	Station Conference Tokyo, Sapia Tower 6F(東京):99名

28	2019/1/22	産学官金連携フェア2019みやぎ	東北大学	東北大学	展示会への出展(国内)	
29	2019/3/26	5th CIES Technology Forum (JST OPERAシンポジウム)	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	大手町サンケイプラザ3F(東京): 125名
30	2019/4/12	ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発 ～脳を模した革新的情報処理への応用に期待～	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/04/press-20190415-AdvMater.html
31	2019/6/12	車載スベックの150°Cの耐環境下で、従来技術@125°Cに対してデータ保持時間を100万倍に延ばせる1Xnm世代向け高信頼MTJの開発に成功 ～自動車や社会インフラ等の過酷な環境におけるアプリケーションへの展開を拓く～	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/06/press20190612-02-CIES.html
32	2020/1/15	CIES Seminar (3rd CIES Power Electronics Forum)	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	東京 http://www.cies.tohoku.ac.jp/pef3rd/
33	2020/12/8	世界最小磁気トンネル接合素子の高性能動作を実証 ～超大容量・低消費電力・高性能不揮発性メモリ開発を加速～	東北大学	東北大学	プレス発表	https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/12/press20201208-01-tunnel.html https://www.jst.go.jp/pr/annoucnce/20201207/index.html
34	2021/10/9	電気で操るナノの世界のマグネット	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	Youtube視聴者数: 124名 (2021/11/5時点)
35	2022/3/22-23	6th & 7th CIES Technology Forum	東北大学	東北大学	成果発信イベントの開催	http://www.cies.tohoku.ac.jp/7th_forum/ (延べ566名)

【終了報告】OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑦掲載・放映

No	発表年月日	メディア名 掲載・放映内容の概要	発表機関	主な対応者	形式	備考
1	2017/4/13	メディア:日刊工業新聞 概要:東北大、成果に応じ評価 産学共同研究の博士学生 企業 資金で支援	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含 む)	27面
2	2017/6/1	メディア:日経テクノロジーオン ライン 概要:AI/IoT時代を支える基軸 新デバイスを創出 CIESは社 会実装を見据えた新局面に突 入		東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	http://special.nikkeibp.co.jp/atcl/TEC/17p/050800010/index.html
3	2017/6/1	メディア:日経エレクトロニクス 概要:AI/IoT時代を支える基軸 新デバイスを創出 CIESは社 会実装を見据えた新局面に突 入		東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	6月号 P70,71
4	2017/8/3	メディア:読売新聞夕刊 概要:科学リサーチフロント「電 子の磁力で省エネ」	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含 む)	5面
5	2017/8/24	メディア:読売新聞夕刊 概要:科学リサーチフロント「集 積回路 省エネの切り札」	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含 む)	5面
6	2017/9/1	メディア:日経テクノロジーオン ライン 概要:「新時代を切り開くAIチッ プの本命は？」		東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	http://special.nikkeibp.co.jp/atcl/TEC/17p/080800023/
7	2017/9/1	メディア:日経エレクトロニクス 概要:新時代を切り開くAIチッ プの本命は？		東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	9月号 P50,51
8	2017/9/22	メディア:日刊工業新聞 概要:日本人4年連続なるか ノーベル賞発表迫る	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含 む)	33面

9	2017/9/26	メディア:Newton 概要:トップランナー「電子のスピンでコンピューター革命」電子がもつ磁石の性質を利用する「スピントロニクス」		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	11月号 P130～
10	2017/11/2	メディア:電子デバイス産業新聞 概要:インタビュー記事「MRAMと拠点構築で内閣総理大臣賞」	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	4面(産学官のフューチャープラン)
11	2017/11/2	メディア:Nature Inside View 概要:JOINING FORCES TO CREATE A NEW ERA OF ELECTRONICS		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.nature.com/news/insideview-1.18555
12	2017/12/1	メディア:一般財団法人青葉工学振興会 概要:青葉工学振興会賞及び青葉工学研究奨励賞の受賞者一覧		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.aoba-found.or.jp/about/rule13.html
13	2018/1/1	メディア:IEEE MAGNETICS 概要:2018 MAGNETICS SOCIETY IEEE FELLOW INDUCTEES		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.ieeemagnetics.org/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=78
14	2018/2/16	メディア:OPTRONICS ONLINE 概要:東北大, 最小直径3.8nmまでの磁気トンネル接合素子を開発		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.optronics-media.com/news/20180216/50097/
15	2018/2/16	メディア:fabcross for エンジニア 概要:未踏の一桁ナノメートルサイズでも熱安定性と電流誘起磁化反転を両立——東北大、磁気トンネル接合素子の新方式を提案		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://engineer.fabcross.jp/archieve/180216_tohoku.html
16	2018/2/17	メディア:日経新聞電子版 概要:記憶容量、DRAMの10倍以上へ 東北大が新素子	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXMZ027057540X10C18A2000000/
17	2018/2/19	メディア:日本経済新聞 概要:磁石の性質使う新メモリー 容量DRAMの10倍 東北大、微細な素子開発	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	朝刊9面

18	2018/2/19	メディア:EE Times Japan 概要:磁気トンネル接合素子、 直径3.8nmで動作確認		東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	http://eetimes.jp/e/articles/1802/16/news109.html
19	2018/2/19	メディア:bp-Affairs 概要:超大容量・低消費電力・ 高性能不揮発性メモリの実現 に道筋		東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://bp-affairs.com/news/2018/02/20180219-6678.html

20	2018/2/19	メディア: EurekaAlert! 概要: Unprecedented single-digit-nanometer magnetic tunnel junction demonstrated		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://eurekaalert.org/pub_releases/2018-02/tu-usm021918.php
21	2018/2/20	メディア: ScienceDaily 概要: Unprecedented single-digit-nanometer magnetic tunnel junction demonstrated		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.sciencedaily.com/releases/2018/02/180220143509.htm
22	2018/2/21	メディア: Phys.org 概要: Unprecedented single-digit-nanometer magnetic tunnel junction demonstrated		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://phys.org/news/2018-02-unprecedented-single-digit-nanometer-magnetic-tunnel-junction.html
23	2018/2/23	メディア: ナノテクノロジープラットフォーム 概要: 磁気トンネル接合素子, 未踏の一桁ナノメートル領域で動作実現 ~超大容量・低消費電力・高性能不揮発性メモリの実現に道筋~		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://nanonet.mext.go.jp/topics_ntj/?mode=article&article_no=4203
24	2018/2/26	メディア: グローバルネット 概要: 東北大、最小直径3.8nmの高性能磁気トンネル接合素子を開発		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.globalnet.co.jp/allentry/929-mailnews399-2.html
25	2018/4/4	メディア: semiconportal 概要: MRAMは商品化と10nmの限界を極める研究の2本立て		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.semiconportal.com/archive/editorial/executive/180404-endomram.html
26	2018/5/14	メディア: 日本経済新聞 電子版 概要: 東北大、アドバンテスト社製メモリテスターを用いて磁気ランダムアクセスメモリの歩留まり率の向上と高性能化を実証	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP479526_U8A510C100000/
27	2018/5/15	メディア: 日本の研究.com 概要: アドバンテスト社製メモリテスターを用いて、磁気ランダムアクセスメモリ(STT-MRAM)の歩留まり率の向上と高性能化を実証 300mm ウェハ全面における平均値で歩留まり率の向上(91%から97%)と、高速動作特性の向上を実証する実験に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://researcher.jp/articles/view/70588
28	2018/5/15	メディア: 日本の研究.com 概要: キーサイト・テクノロジー合同会社との共同開発の成果により、STT-MRAMの信頼性評価(データ保持時間=10年)を1.7秒(従来比2万倍の高速化)で可能にする新測定システムの実証に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://researcher.jp/articles/view/70590

29	2018/5/17	メディア:EE Times Japan 概要:STT-MRAM用テスト装置、測定が2万倍高速に		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://eetimes.jp/e/articles/1805/17/news029.html
30	2018/5/18	メディア:ADVANTEST 概要:当社メモリ・テスト・システムを用いたSTT-MRAMの歩留まり率向上と高性能化の実証実験に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.advantest.com/ja/news?articleId=2064508
31	2018/5/18	メディア:BtoBプラットフォーム 業界チャンネル 概要:当社メモリ・テスト・システムを用いたSTT-MRAMの歩留まり率向上と高性能化の実証実験に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://b2b-ch.infomart.co.jp/news/detail.page;JSESSIONID_B2BCH=ca9c7899209d8299530f4c8c49a2?0&I MNEWS1=996355
32	2018/5/18	メディア:日本経済新聞 電子版 概要:アドバンテストと東北大CIES、次世代メモリ「STT-MRAM」の歩留まり率向上と高性能化の実証実験に成功	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP480102_Y8A510C1000000/
33	2018/5/21	メディア:Yahoo!Japanファイナンス 概要:アドバンテスト、次世代メモリの歩留まり率向上と高性能化の実証実験に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.financial.yahoo.co.jp/detail/20180521-00935802-fisf-stocks
34	2018/5/21	メディア:株ライン 概要:アドバンテスト、次世代メモリの歩留まり率向上と高性能化の実証実験に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://kabuline.com/news/topic/290462/
35	2018/5/21	メディア:日本経済新聞 概要:メモリ新技術 容量100万倍以上	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	9面
36	2018/5/22	メディア:bp-Affairs 概要:STT-MRAMの開発効率向上と量産化に寄与		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://bp-affairs.com/news/2018/05/20180522-7305.html
37	2018/5/22	メディア:日本経済新聞 概要:新型メモリ量産後押し アドバンテスト・東北大 良品率を改善	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	4面

38	2018/6/8	メディア:日刊工業新聞電子版 概要:アドバンテスト、STT-MRAM向け検査装置 20年度めど投入	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00476686?isReadConfirmed=true
39	2018/10/11	メディア:日刊工業新聞 概要:「卓越大学院」始動	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00491445
40	2018/10/31	メディア:日刊工業新聞電子版 概要:「卓越大学院」始動 文科省、東大など13大学15件採択	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	29面
41	2018/10/31	メディア:日本経済新聞 電子版 概要:新型メモリ量産後押し アドバンテスト・東北大 良品率を改善	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP494551_R31C18A0000000/
42	2018/10/31	メディア:JPubb 概要:メモリ・テスト・システムによる、磁気ランダム・アクセス・メモリ(STT-MRAM)のスイッチング電流測定技術を確立		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.jpubb.com/press/1891861/
43	2018/10/31	メディア:ADVANTEST 概要:メモリ・テスト・システムによる、磁気ランダム・アクセス・メモリ(STT-MRAM)のスイッチング電流測定技術を確立		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.advantest.com/ja/news?articleId=2726486
44	2018/10/31	メディア:eeNews EUROPE 概要:MRAM switching current measurement developed for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.eenews europe.com/news/mram-switching-current-measurement-developed-memory-test-systems
45	2018/10/31	メディア:eeNews TEST&MEASUREMENT 概要:MRAM switching current measurement developed for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.eenews test.com/news/mram-switching-current-measurement-developed-memory-test-systems
46	2018/10/31	メディア:Electronic Specifier 概要:Duo develop STT-MRAM testing module		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://production.electronicspecifier.com/around-the-industry/duo-develop-stt-mram-testing-module

47	2018/10/31	メディア:Public. 概要:Advantest Develops STT-MRAM Switching Current Measurement for Memory Test Systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.publicnow.com/view/3057D6DB1171E04272FB2F36385E24DE6B51C2E
48	2018/10/31	メディア:MarketScreener 概要:Advantest : Develops STT-MRAM Switching Current Measurement for Memory Test Systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.marketscreener.com/ADVANTEST-CORP-6492081/news/Advantest-Develops-STT-MRAM-Switching-Current-Measurement-for-Memory-Test-Systems-27515614/
49	2018/10/31	メディア:PRESSEBOX 概要:Advantest : Develops STT-MRAM Switching Current Measurement for Memory Test Systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.pressebox.com/inactive/advantest-europe-gmbh/Advantest-Develops-STT-MRAM-Switching-Current-Measurement-for-Memory-Test-Systems/boxid/928938
50	2018/10/31	メディア:日本の研究.com 概要:メモリ・テスト・システムによる、磁気ランダム・アクセス・メモリ(STT-MRAM)のスイッチング電流測定技術を確立 アドバンテストとの共同研究、STT-MRAMの不良解析と実用化に大きく前進		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://researcher.jp/articles/view/74913
51	2018/10/31	メディア:Owler 概要:Advantest : Develops STT-MRAM Switching Current Measurement for Memory Test Systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.owler.com/reports/advantest/advantest---advantest---develops-stt-mram-switching/1540956181527
52	2018/11/1	メディア:化学工業日報 概要:アドバンテストー東北大次世代メモリー測定技術	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	5面
53	2018/11/1	メディア:eeNews EMBEDDED 概要:MRAM switching current measurement developed for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.eenewsembedded.com/news/mram-switching-current-measurement-technique-memory-test
54	2018/11/2	メディア:EurekAlert! 概要:CIES and Advantest Develop STT-MRAM Switching Current Measurement for Memory Test Systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eurekalert.org/multimedia/pub/185698.php

55	2018/11/5	メディア:EE Times Japan 概要:STT-MRAMの不良解析を高精度・高効率で実現		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://eetimes.jp/e/articles/1811/02/news103.html
56	2018/11/5	メディア:TechEyesOnline 概要:STT-MRAMの不良解析を高精度・高効率で実現		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.techeyesonline.com/news/detail/eetimesjapan-201811051030-1/
57	2018/11/5	メディア:Itmedia 概要:STT-MRAMの不良解析を高精度・高効率で実現		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.itmedia.co.jp/author/189811/
58	2018/11/11	メディア:NewsLocker 概要:CIES and Advantest develop STT-MRAM switching current measurement for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.newslocker.com/en-uk/news/science/cies-and-advantest-develop-stt-mram-switching-current-measurement-for-memory-test-systems/view/
59	2018/11/11	メディア:15MINUTE NEWS 概要:CIES and Advantest develop STT-MRAM switching current measurement for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.15minutenews.com/article/155784712/cies-and-advantest-develop-stt-mram-switching-current-measurement-for-memory-test-systems/
60	2018/11/12	メディア:PHARMA JOBS 概要:CIES and Advantest develop STT-MRAM switching current measurement for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://pharmajobs.co/cies-and-advantest-develop-stt-mram-switching-current-measurement-for-memory-test-systems/
61	2018/11/12	メディア:AlphaGalileo 概要:メモリ・テスト・システムによる、磁気ランダム・アクセス・メモリ(STT-MRAM)のスイッチング電流測定技術を確立		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/170682?returnurl=https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/170682
62	2018/11/12	メディア:Bioengineer.org 概要:CIES and Advantest develop STT-MRAM switching current measurement for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://bioengineer.org/cies-and-advantest-develop-stt-mram-switching-current-measurement-for-memory-test-systems/

63	2018/11/12	メディア: Career Biotech 概要: CIES and Advantest develop STT-MRAM switching current measurement for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.careerbiotech.com/2018/11/12/cies-and-advantest-develop-stt-mram-switching-current-measurement-for-memory-test-systems/
64	2018/11/12	メディア: Asia RESEARCH NEWS 概要: CIES and Advantest develop STT-MRAM switching current measurement for memory test systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.researchsea.com/html/article.php/aid/12194/cid/4/research/business/tohoku_university/cies_and_advantest_develop_stt-mram_switching_current_measurement_for_memory_test_systems.html
65	2018/11/15	メディア: All about TEST 概要: Switching Current Measurement for Memory Test Systems		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.all-about-test.eu/41-news/device-test/3481-switching-current-measurement-for-memory-test-systems.html
66	2018/11/15	メディア: AIP Scilight 概要: Room-temperature magnetoresistance achieved in a metallic antiferromagnetic material		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5081049
67	2018/11/21	メディア: 中時電子報 概要: 爱德万研发记忆测试系统STT-MRAM	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.chinatimes.com/cn/realtimenews/20181121001871-260412
68	2018/11/21	メディア: Yahoo!奇摩 概要: 《科技》爱德万研发记忆测试系统STT-MRAM		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://tw.stock.yahoo.com/news/%E7%A7%91%E6%8A%80-%E6%84%9B%E5%BE%B7%E8%90%AC%E7%A0%94%E7%99%BC%E8%A8%98%E6%86%B6%E6%B8%AC%E8%A9%A6%E7%B3%BB%E7%B5%B1stt-mram-042840252.html
69	2018/11/21	メディア: 工商時報 概要: 上市、櫃企業營運快報	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://m.ctee.com.tw/focus/ggce/204305

70	2018/11/22	メディア:Yahoo!奇摩 概要:《科技》愛德萬測試攜日 東北大, STT-MRAM實務應用 獲突破		東北大 東北大	雑誌掲載(WEB含 む)	https://tw.stock.yahoo.com/news/%E7%A7%91%E6%8A%80-%E6%84%9B%E5%BE%B7%E8%90%AC%E6%B8%AC%E8%A9%A6%E6%94%9C%E6%97%A5%E6%9D%B1%E5%8C%97%E5%A4%A7-stt-mram%E5%AF%A6%E5%8B%99%E6%87%89%E7%94%A8%E7%8D%B2%E7%AA%81%E7%A0%B4-014237195.html
71	2018/11/22	メディア:中時電子報 概要:《科技》愛德萬測試攜日 東北大, STT-MRAM實務應用 獲突破	東北大	東北大	新聞掲載(WEB含 む)	https://www.chinatimes.com/cn/realtimenews/20181122001434-260410
72	2018/11/26	メディア:日本の研究.com 概要:反強磁性金属ヘテロ構 造における磁気抵抗効果を室 温で観測		東北大	雑誌掲載(WEB含 む)	https://researcher.jp/articles/view/75517
73	2018/12/5	メディア:日本経済新聞電子版 概要:アドバンテスト、東北大と 「スピン注入型磁気ランダム・ アクセス・メモリ(STT-MRAM)」 の高速動作実証実験に成功	東北大	東北大	新聞掲載(WEB含 む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP497397_V01C18A2000000/
74	2018/12/5	メディア:日本経済新聞電子版 概要:東北大など、磁気ラン ダムアクセスメモリの高性能化と 高書き換え耐性の両立に成功	東北大	東北大	新聞掲載(WEB含 む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP497470_V01C18A2000000/
75	2018/12/5	メディア:日本経済新聞電子版 概要:東北大、100Mb超密度書 き込み速度性能を有するキャ シュアアプリケーション向け 128Mb密度STT-MRAMの開発 に成功	東北大	東北大	新聞掲載(WEB含 む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP497468_V01C18A2000000/
76	2018/12/5	メディア:JPubb 概要:当社メモリ・テスト・シス テムによる128 Mb 密度STT- MRAM の高速動作実証実験に 成功		東北大	雑誌掲載(WEB含 む)	http://www.jpubb.com/press/1927396/

77	2018/12/5	メディア:MarketScreener 概要:Advantest : and Tohoku University CIES Demonstrate High-Speed Operation of 128 Mb Density STT-MRAM Using an Advantest Memory Test System		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.marketscreener.com/ADVANTEST-CORP-6492081/news/Advantest-and-Tohoku-University-CIES-Demonstrate-High-Speed-Operation-of-128-Mb-Density-STT-MRAM-Using-an-Advantest-Memory-Test-System-27708176/?utm_content=20181205&utm_medium=RSS
78	2018/12/5	メディア:Owler 概要:Advantest : and Tohoku University CIES Demonstrate High-Speed Operation of 129 Mb Density STT-MRAM Using an Advantest Memory Test System		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.owler.com/reports/advantest/advantest---and-tohoku-university-cies-/1544005680962
79	2018/12/5	メディア:ADVANTEST 概要:当社メモリ・テスト・システムによる128 Mb 密度STT-MRAM の高速動作実証実験に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.advantest.com/news?articleId=2769186
80	2018/12/5	メディア:Public. 概要:Advantest and Tohoku University CIES Demonstrate High-Speed Operation of 128 Mb Density STT-MRAM Using an Advantest Memory Test System		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.publicnow.com/view/20BA8704F54FD835D657F7CDC15C44E1FC250A9F
81	2018/12/5	メディア:PRESSEBOX 概要:Advantest and Tohoku University CIES Demonstrate High-Speed Operation of 128 Mb Density STT-MRAM Using an Advantest Memory Test System		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.pressebox.de/inaktiv/advantest-europe-gmbh/Advantest-and-Tohoku-University-CIES-Demonstrate-High-Speed-Operation-of-128-Mb-Density-STT-MRAM-Using-an-Advantest-Memory-Test-System/boxid/934059
82	2018/12/5	メディア:Electronic Specifier 概要:Experiment confirms high-speed potential of STT-MRAM		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://production.electronicspecifier.com/inspection-test/experiment-confirms-high-speed-potential-of-stt-mram
83	2018/12/6	メディア:財経新聞 概要:東北大、書込み14ナノ秒の128MビットMRAMを開発 不揮発性メモリが新市場生むか	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.zaikei.co.jp/article/20181206/482065.html

84	2018/12/10	メディア:bp-Affairs 概要:世界最高書き込み速度性能を有するSTT-MRAMの開発に成功		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://bp-affairs.com/news/2018/12/20181210-8506.html
85	2018/12/28	メディア:Asia RESEARCH NEWS 概要:Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.researchsea.com/html/article.php/aid/12302/cid/4/research/business/tohoku_university/researchers_develop_128mb_stt-mram_with_world_s_fastest_write_speed_for_embedded_memory.html
86	2018/12/28	メディア:AlphaGalileo 概要:Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/172594?returnurl=https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/172594
87	2018/12/28	メディア:Power Systems Design 概要:The World's Fastest Write Speed for Embedded Memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.power-systemsdesign.com/articles/the-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/132/13943
88	2018/12/28	メディア:tekk.tv 概要:Forscher entwickeln 128-MBit-STT-MRAM mit der weltweit schnellsten Schreibgeschwindigkeit für eingebettete Speicher		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.tekk.tv/wissen/forscher-entwickeln-128-mbit-stt-mram-mit-der-weltweit-schnellsten-schreibgeschwindigkeit-fuer-eingebettete-speicher/
89	2018/12/28	メディア:TECRITER 概要:Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's quickest write pace for embedded reminiscence - ScienceDaily		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://teccriter.com/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-quickest-write-pace-for-embedded-reminiscence-sciencedaily/
90	2018/12/28	メディア:Scifi Hours 概要:Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://scifihours.com/2018/12/28/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/
91	2018/12/28	メディア:PHYS ORG 概要:Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://phys.org/news/2018-12-128mb-stt-mram-world-fastest-embedded.html

92	2018/12/28	メディア: Brightsurf.com 概要: Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.brightsurf.com/news/article/122818473143/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory.html
93	2018/12/28	メディア: epeak 概要: Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's quickest write pace for embedded reminiscence – ScienceDaily		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://epeak.info/2018/12/28/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-quickest-write-pace-for-embedded-reminiscence-sciencedaily/
94	2018/12/28	メディア: e Science News 概要: Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://esciencenews.com/sources/p/hysorg/2018/12/28/researchers.develop.128mb.stt.mram.with.worlds.fastest.write.speed.embedded.memory
95	2018/12/28	メディア: Programming News Payments & Trade Networks 概要: Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.pnptnetworks.com/2018/12/28/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/
96	2018/12/28	メディア: GoldNotTrash 概要: Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://goldnottrash.com/2018/12/28/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/
97	2018/12/29	メディア: new.qq.com 概要: 新型自旋转移矩磁性随机存储器: 写入速度达14纳秒!		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://new.qq.com/omn/20181229/20181229A06234.html
98	2018/12/29	メディア: scienza3000 概要: Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://scienza3000.it/?p=1572
99	2018/12/29	メディア: uschinaren.com 概要: 日本东北大学开发出写入速度达14纳秒的自旋转移矩磁性随机存储器		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.uschinaren.com/portal.php?mod=view&aid=4850

100	2018/12/29	メディア:LIFE HACK MAG 概要: Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.lifehackmag.com/2018/12/28/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/
101	2018/12/29	メディア: Engineers Forum 概要: Researchers Develop 128Mb STT-MRAM With World's Fastest Write Speed For Embedded Memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://engineersforum.com.ng/2018/12/29/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/
102	2018/12/29	メディア: FREDDYTHEFOX 概要: RESEARCHERS DEVELOP 128MB STT-MRAM WITH WORLD'S FASTEST WRITE SPEED FOR EMBEDDED MEMORY – SCIENCEDAILY		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://freddythefox.net/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory-sciencedaily/
103	2018/12/31	メディア: AZO MATERIALS 概要: STT-MRAM with Fastest Write Speed Developed for Use in Embedded Memory Applications		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.azom.com/news.aspx?newsID=50125
104	2019/1/2	メディア: HPCwire 概要: Researchers Develop 128Mb STT-MRAM with World's Fastest Write Speed for Embedded Memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.hpcwire.com/off-the-wire/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/
105	2019/1/2	メディア: IConnect07 概要: Researchers Develop 128Mb STT-MRAM		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://iconnect007.com/index.php/article/114611/researchers-develop-128mb-stt-mram/114614/?skin=ein
106	2019/1/2	メディア: inovacao tecnologica 概要: STT-MRAM de 128Mb: Memórias spintrônicas a um passo do mercado		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=stt-mram-128mb-memorias-spintronicas-passo-mercado&id=010150190102#.XDWKmlX7Suk
107	2019/1/3	メディア: ntboxmag 概要: 128 MB STT-MRAM: Dünyanın En Hızlı Yazma Hızı		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.ntboxmag.com/2019/01/03/128-mb-stt-mram-dunyanin-en-hizli-yazma-hizi/

108	2019/1/4	メディア:ko.com.ua 概要:Создан самый быстрый чип магниторезистивной памяти		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://ko.com.ua/sozdan_samyj_bystryj_chip_magnitorezistivnoj_pamyati_127326
109	2019/1/4	メディア:50cnet.com 概要:日本东北大学开发出写入速度达14纳秒的自旋转移矩磁性随机存储器		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://test.50cnet.com/show-259-157804.html
110	2019/1/6	メディア:Always Researching 概要:WORLD'S FASTEST STT-MRAM		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.alwaysresearching.com/technology/engineering/20190106/researchers-develop-128mb-stt-mram-with-worlds-fastest-write-speed-for-embedded-memory/
111	2019/1/7	メディア:TRINITY IT es 概要:Researchers develop world's fastest write speed for embedded memory		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.popyard.com/cgi-mod/article.cgi?num=23634
112	2019/1/9	メディア:KALDATA 概要:Нови 128 МВ чипове STT-MRAM памет рекордно бързо време на запис		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.kaldat.com/%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B4%D1%83%D0%B5%D1%80/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8-128-mb-%D1%87%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5-stt-mram-%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82-%D1%81-%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%BD%D0%BE-%D0%B1%D1%8A%D1%80%D0%B7%D0%BE-301291.html
113	2019/1/10	メディア:POP YARD 概要:Researchers develop 128Mb STT-MRAM with world's fastest write speed for embedd		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.popyard.com/cgi-mod/article.cgi?num=23634
114	2019/1/14	メディア:DXnews.com 概要:Researchers design 128 mb STT MRAM		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://dxnews.com/forum/forum/industry-company-news/15031-researchers-design-128-mb-stt-mram

115	2019/1/14	メディア:QRZ.ru 概要:Созданы 128 Мб чипы STT-MRAM памяти, имеющие рекордно быстрое время записи информации		東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.qrz.ru/news/15421.html
116	2019/4/16	日本経済新聞 電子版 概要:東北大、ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP507554_S9A410C1000000/
117	2019/4/17	日本の研究.com 概要:ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発 ~脳を模した革新的情報処理への応用に期待~	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://research-er.jp/articles/view/78929
118	2019/4/17	EurekAlert! 概要:ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発 ~脳を模した革新的情報処理への応用に期待~	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases/ml/2019-04/tu-4041619.php
119	2019/4/17	EurekAlert! 概要:Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases/2019-04/tu-nas041619.php
120	2019/4/17	fabcross エンジニア 概要:ニューロンとシナプスに似た動作を示す新型のスピントロニクス素子を開発——脳を模した新型コンピュータ開発に期待 東北大	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://engineer.fabcross.jp/archeive/190417_tohoku.html
121	2019/4/17	脳科学メディア 概要:ニューロンとシナプスの動作を再現する変幻自在なスピントロニクス素子を開発 ~脳を模した革新的情報処理への応用に期待~	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://japan-brain-science.com/press
122	2019/4/17	ScienceDaily 概要:Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.sciencedaily.com/releases/2019/04/190417102829.htm
123	2019/4/17	innovations report 概要:Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.innovations-report.com/html/reports/energy-engineering/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed.html

124	2019/4/17	PHYS ORG 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://phys.org/news/2019-04-neuron-synapse-mimetic-spintronics-devices.html
125	2019/4/17	nano werk 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news2/newsid=52624.php
126	2019/4/17	Medicine news line 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://medkit.info/2019/04/17/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed/
127	2019/4/17	JUSTBALANCINGHEALTH 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://justbalancinghealth.com/health-news/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed/
128	2019/4/17	The Indian Perspective 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://somsirsa.wordpress.com/2019/04/17/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed/
129	2019/4/17	Healthglu 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.healthglu.com/uncategorized/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed/
130	2019/4/17	7th Space 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://7thspace.com/headlines/804719/neuron_and_synapse_mimetic_spintronics_devices_developed.html
131	2019/4/17	World News Monitors 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed ScienceDaily Apr 17, 2019 at 3:22 PM	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://world-news-monitor.com/technology/2019/04/17/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed/
132	2019/4/17	Stories Flow 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.storiesflow.com/article/39099491901/neuron-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed

133	2019/4/17	Green Wisdom Health 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.greenwisdomhealth.com/health-and-wellness-headlines-for-april-17/
134	2019/4/17	Newstral 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://newstral.com/en/article/en/1124418282/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed
135	2019/4/18	PSYCHOLOGY ROOTS 概要: NEURON AND SYNAPSE-MIMETIC SPINTRONICS DEVICES DEVELOPED	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.psychologyroots.com/neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed/
136	2019/4/18	OPTRONICS ONLINE 概要: 東北大, 脳の神経回路網をスピントロニクス素子で再現	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.optronics-media.com/news/20190418/56848/
137	2019/4/20	Revolution-Green 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://revolution-green.com/neuron-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed/
138	2019/4/23	Innovation Toronto 概要: New spintronics devices behave like neurons and synapses in the human brain	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.innovationtoronto.com/2019/04/new-spintronics-devices-behave-like-neurons-and-synapses-in-the-human-brain/
139	2019/4/23	One News Page 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.onenewspage.com/n/Science/1zkhgt5coa/Neuron-and-synapse-mimetic-spintronics-devices-developed.htm
140	2019/4/23	SPACE DAILY 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://www.spacedaily.com/reports/Neuron_and_synapse_mimetic_spintronics_devices_developed_999.html
141	2019/4/23	Space Media Network 概要: Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	Neuron and synapse-mimetic spintronics devices developed (spacedaily.com)

142	2019/4/26	大学ジャーナル 概要:ニューロンとシナプスの動作を再現する素子を東北大学が開発、脳に似た情報処理実現に期待	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://this.kjii.is/494270492322907233?c=388701204576175201
143	2019/5/10	電子デバイス産業新聞 ウェブサイト 概要:東北大学はスピントロニクスマイコン開発しAIチップで世界最先行	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.sangyo-times.jp/article.aspx?ID=2968
144	2019/6/12	日本経済新聞電子版 概要:東北大、150°Cの耐環境下でデータ保持時間を100万倍に延ばせる1Xnm世代向け高信頼MTJの開発に成功	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP511930_S9A610C1000000/
145	2019/6/14	PHYS ORG 概要:Development of durable MTJ under harsh environment for STT-MRAM at 1Xnm technology node	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://phys.org/news/2019-06-durable-mtj-harsh-environment-stt-mram.html
146	2019/6/14	EurekAlert! 概要:Development of durable MTJ under harsh environment for STT-MRAM at 1Xnm technology node	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases/2019-06/tu-dod061419.php
147	2017/6/14	CDRinfo 概要:Researchers Prove That 1Xnm STT-MRAM Could be Used in Automotives and Harsh Environments	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.cdrinfo.com/d7/content/researchers-prove-1xnm-stt-mram-could-be-used-automotives-and-harsh-environments
148	2019/6/17	EE Times Japan 概要:150°Cでも十分な熱安定性を実現: 東北大学、車載用途に対応可能なMTJ技術を開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://eetimes.jp/ee/articles/1906/17/news035.html
149	2019/6/17	IT media 概要:150°Cでも十分な熱安定性を実現: 東北大学、車載用途に対応可能なMTJ技術を開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.itmedia.co.jp/keywords/tohoku_univ.html
150	2019/6/17	Elektor MAGAZINE 概要:Verbesserte Tunnelstrukturen für STT-MRAM	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.elektormagazine.de/news/verbesserte-tunnelstrukturen-fur-stt-mram

151	2019/6/25	Elektor MAGAZINE 概要: New MJT Structure Makes STT-MRAMs Robust	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.elektormagazine.com/news/new-mjt-structure-makes-stt-mrams-robust
152	2019/7/2	Tech News 概要: Neuron and synapse- mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://technologynews.shafaqna.com/EN/AL/110468
153	2019/7/2	The Latest 概要: Neuron and synapse- mimetic spintronics devices developed	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://thelatest.com/story/developed-neuron-synapse-mimetic-devices-9663186
154	2019/7/11	電子デバイス産業新聞 概要: CIES MTJを高温で動作 自動車などにも適用可	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含 む)	3面
155	2019/8/2	The National Tribune 概要: Accelerating Development of STT-MRAM: Observing Ultrathin MgO Chemical Bonding States	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.nationaltribune.com.au/accelerating-development-of-stt-mram-observing-ultrathin-mgo-chemical-bonding-states/
156	2019/8/5	EurekAlert! 概要: 高輝度放射光(SPring-8) を用いて STTMRAM 用極薄MgOトンネル障壁膜の 化学結合状態の微視的変化の 観測に初めて成功	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases/ml/2019-08/tu-6080519.php
157	2019/8/5	Alpha Galileo 概要: Accelerating Development of STT-MRAM: Observing Ultrathin MgO Chemical Bonding States	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/181556?returnurl=https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/181556
158	2019/8/5	PHYS ORG 概要: Accelerating development of STT-MRAM	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://phys.org/news/2019-08-stt-mram.html
159	2019/8/5	Physics News 概要: Accelerating development of STT-MRAM	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	http://www.physnews.com/nano-physics-news/cluster1915161417/

160	2019/8/5	nano werk 概要: Accelerating development of STT-MRAM: Observing ultrathin MgO chemical bonding states	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news2/newsid=53319.php?utm_source=feedblitz&utm_medium=FeedBlitzRss&utm_campaign=nanowerkemergingtechnologiesnews
161	2019/8/7	Science & Technology Research News 概要: Accelerating Development of STT-MRAM: Observing Ultrathin MgO Chemical Bonding States	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.sciencetechnologyresearchnews.com/accelerating-development-of-stt-mram-observing-ultrathin-mgo-chemical-bonding-states/
162	2020/6/14	日本経済新聞電子版 東北大、STT-MRAMの車載応用を可能にする高速かつ高信頼な微細磁気トンネル接合(MTJ)素子の実証動作に成功	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXL RSP535435_Z00C20A600000/
163	2020/6/15	MIRAGE Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.miragenews.com/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications/
164	2020/6/15	ナウティスニュース 東北大、STT-MRAMの車載応用を可能にする高速かつ高信頼な微細磁気トンネル接合(MTJ)素子の実証動作に成功	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://nowtice.net/news/439313/
165	2020/6/15	Whom tech Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://whomtech.com/2020/06/15/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications/
166	2020/6/15	The National Tribune Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.nationaltribune.com.au/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications/
167	2020/6/16	Yahoo! ニュース バーチャル開催のVLSIシンポジウム、自宅や仕事場で最先端の技術情報を入手	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.yahoo.co.jp/articles/849267e927c61b3b077c5c621592e3c0d5be481b

168	2020/6/16	PC Watch バーチャル開催のVLSIシンポジウム、自宅や仕事場で最先端の技術情報を入手	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/semicon/1259271.html
169	2020/6/16	EurekAlert! STT-MRAMの車載応用を可能にする高速かつ高信頼な微細磁気トンネル接合(MTJ)素子の実証動作に成功	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases_ml/2020-06/tu-u061620.php
170	2020/6/16	日本の研究 [プレスリリース] STT-MRAMの車載応用を可能にする高速かつ高信頼な微細磁気トンネル接合(MTJ)素子の実証動作に成功 ～IoT・AI 分野から車載分野までの STT-MRAM の応用領域拡大に道を拓く～	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://researcher.jp/articles/search?freeword=%E3%82%B9%E3%83%94%E3%83%B3%E3%83%88%E3%83%AD%E3%83%8B%E3%82%AF%E3%82%B9
171	2020/6/16	EurekAlert! Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-06/tu-rhm061620.php
172	2020/6/16	Science Codex Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.sciencedocdex.com/reliable-high-speed-mtj-technology-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications-649782
173	2020/6/16	15minuteneews Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.15minuteneews.com/article/184413185/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications/
174	2020/6/17	Phys.org Reliable, high-speed MTJ technology for 1X nm STT-MRAM and NV-logic has wide applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://phys.org/technology-news/computer-sciences/
175	2020/6/17	TechXplore Reliable, high-speed MTJ technology for 1X nm STT-MRAM and NV-logic has wide applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://techxplore.com/news/2020-06-reliable-high-speed-mtj-technology-1x.html
176	2020/6/17	Roosters news Reliable, high-speed MTJ technology for 1X nm STT-MRAM and NV-logic has wide applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://roosters.news/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-andnv-logic-has-wide-applications/

177	2020/6/17	PC Watch 【VLSI 2020レポート】最先端のCMOS製造技術とメモリ技術が続出	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/event/1259604.html
178	2020/6/17	AlphaGalileo Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/193972?returnurl=https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/193972
179	2020/6/17	Asia research news Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.asiaresearchnews.com/content/reliable-high-speed-mtj-technology-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications
180	2020/6/17	News Break Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.newsbreak.com/news/0PMcOzka/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications
181	2020/6/17	vmvirtualmachine Reliable, High-speed MTJ Technology for 1X nm STT-MRAM and NV-Logic Has Wide Applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://vmvirtualmachine.com/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications-2/
182	2020/6/17	TECHSTREET Reliable, high-speed MTJ technology for 1X nm STT-MRAM and NV-logic has wide applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.thetechnetnow.com/tech/reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications/10528982926230183637/10528982926230183637/
183	2020/6/17	AlphaGalileo STT-MRAMの車載応用を可能にする高速かつ高信頼な微細磁気トンネル接合(MTJ)素子の実証動作に成功	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/193974?returnurl=https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/193974
184	2020/6/19	IDEMA JAPAN(日本HDD協会) 車載対応のデータ保持特性: 東北大学、Quad-MTJで高速動作などを確認	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.idema.gr.jp/_hddnews/hdd_newtech/

185	2020/6/19	EE Times Japan 車載対応のデータ保持特性： 東北大学、Quad-MTJで高速 動作などを確認	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://eetimes.jp/ee/articles/2006/17/news033.html
186	2020/6/19	Yahoo! ニュース 東北大学、Quad-MTJで高速 動作などを確認	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://news.yahoo.co.jp/articles/62f4c36e2bf4bed59900ce7d737aecbe724729bf
187	2020/6/19	Tech Eyes OnLine 東北大学、Quad-MTJ で高速 動作などを確認	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.techeyesonline.com/news/detail/eetimesjapan-202006191030-1/
188	2020/6/19	electropages High-Speed 1x nm STT- MRAM	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.electropages.com/blog/2020/06/high-speed-1x-nm-stt-mram
189	2020/6/19	PHENOMLAB Reliable, high-speed MTJ technology for 1X nm STT- MRAM and NV-logic has wide applications	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://hub.phenomlab.com/d/4183-reliable-high-speed-mtj-technology-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-wide-applications
190	2020/6/21	Forbes IEEE Events Reveal Future Memory And Storage	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.forbes.com/sites/tomcoughlin/2020/06/21/ieee-events-reveal-future-memory-and-storage/#91d62ce32310
191	2020/6/24	News8plus Dependable, high-speed MTJ know-how for 1X nm STT- MRAM and NV-logic has large functions	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://news8plus.com/dependable-high-speed-mtj-know-how-for-1x-nm-stt-mram-and-nv-logic-has-large-functions/
192	2020/6/28	All About Circuits Achieving Magnetic Tunnel Junctions With Record High Speeds for MRAM Peak Efficiency	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.allaboutcircuits.com/news/japans-tohoku-university-announces-a-magnetic-tunnel-junction-with-record-high-speeds-for-mram-efficiency/
193	2020/6/30	日経産業新聞 「電子スピン」メモリー電力1000 分の1	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含 む)	4面

194	2020/7/13	マイナビニュース インメモリコンピューティングに 最適なメモリは？ - VLSIシン ポジウム2020	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://news.mynavi.jp/article/vlsi2020-5/
195	2020/7/16	Yahoo! ニュース インメモリコンピューティングに 最適なメモリは？ - VLSIシン ポジウム2020	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://news.yahoo.co.jp/articles/4f4aec07bae95b437eaae29fe59a29e31a08c964
196	2020/7/31	PROトロン (ガスレビュー社) MRAMの低消費電力化が地球 環境を守る	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	Vol. 7
197	2020/9/9	I-Connect007 2020 IEEE International Electron Devices Meeting To Highlight Innovative Devices for a Better Future	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	http://ein.icconnect007.com/index.php/article/124399/2020-ieee-international-electron-devices-meeting-to-highlight-innovative-devices-for-a-better-future/124402/?skin=ein
198	2020/9/9	PRINTED CIRCUIT DESIGN&FAB 2020 IEEE International Electron Devices Meeting To Highlight Innovative Devices for a Better Future	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://pcdandf.com/pcdesign/index.php/current/14978-2020-ieee-international-electron-devices-meeting-to-highlight-innovative-devices-for-a-better-future
199	2020/9/10	Electronics Weekly 66th IEDM will be held virtually Dec 12-16	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.electronicweek.com/news/business/756078-2020-09/
200	2020/9/10	EP&T IEDM Conference 2020 - Virtual	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.ept.ca/events/iedm-conference-2020-virtual/
201	2020/9/10	semiconductor-digest.com 2020 IEEE IEDM To Highlight Innovative Devices for a Better Future	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.semiconductor-digest.com/2020/09/15/2020-ieee-international-electron-devices-meeting-to-highlight-innovative-devices-for-a-better-future/

202	2020/9/10	Semiwiki.com 2020 IEEE IEDM To Highlight Innovative Devices for a Better Future	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://semiwiki.com/forum/index.php?threads/2020-ieee-international-electron-devices-meeting-to-highlight-innovative-devices-for-a-better-future.12996/
203	2020/9/10	timestech 2020 IEEE IEDM To Highlight Innovative Devices for a Better Future	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://timestech.in/2020-ieee-iedm-to-highlight-innovative-devices-for-a-better-future/
204	2020/9/10	eefocus 2020年IEEE国际电子器件会议, 突出创新器件, 为更美好的未来	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eefocus.com/component/472675
205	2020/11/9	I-Connect007 2020 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) Announces Virtual Events Schedule	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	http://ein.icconnect007.com/index.php/article/125197/2020-ieee-international-electron-devices-meeting-iedm-announces-virtual-events-schedule/125200/?skin=ein
206	2020/11/19	PR Newswire Non-Volatile Memory Market – Growth, Trends, Forecasts (2020 – 2025)	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.prnewswire.com/news-releases/non-volatile-memory-market---growth-trends-forecasts-2020---2025-301176930.html
207	2020/11/20	ReportLinker Non-Volatile Memory Market – Growth, Trends, Forecasts (2020 – 2025)	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.reportlinker.com/p05986864/Non-Volatile-Memory-Market-Growth-Trends-Forecasts.html?utm_source=PRN
208	2020/11/20	cadence IEDM 2020 Preview	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://community.cadence.com/cadence_blogs_8/b/breakfast-bytes/posts/iedm-2020-preview
209	2020/11/20	EP&T IEDM Conference 2020 – Virtual	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.ept.ca/events/iedm-conference-2020-virtual/

210	2020/12/5	PC.Watch オンライン開催のIEDM 2020、 次世代半導体開発の最新成果 を喰らい尽くす	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/semicon/1293214.html
211	2020/12/8	河北新報 大容量メモリー新素子実証	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含 む)	3面
212	2020/12/8	Science Daily The world's smallest high- performance magnetic tunnel junction	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.sciencedaily.com/releases/2020/12/201208111434.htm
213	2020/12/8	Eurek Alert! The world's smallest high- performance magnetic tunnel junction	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-12/tutws120720.php
214	2020/12/8	MIRAGE World's Smallest High- performance Magnetic Tunnel Junction	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.miragenews.com/worlds-smallest-highperformance-magnetic-tunneljunction/
215	2020/12/8	Tech Xplore The world's smallest high- performance magnetic tunnel junction	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://techxplore.com/news/2020-12-world-smallest-highperformance-magnetictunnel.html
216	2020/12/8	Science Codex The world's smallest high- performance magnetic tunnel junction	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://www.sciencedocodex.com/worlds-smallest-highperformance-magnetic-tunneljunction-662745
217	2020/12/8	OPTRONICS 東北大、最小・高性能磁気ト ネル接合素子を開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	http://optronicsmedia.com/news/20201208/70626/
218	2020/12/10	EE Times 直径2.3nmの新構造形状磁気 異方性MTJ素子を開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含 む)	https://eetimes.jp/ee/articles/2012/10/news034.html

219	2020/12/10	IT media 直径2.3nmの新構造形状磁気異方性MTJ素子を開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.itmedia.co.jp/keywords/tohoku_univ.html
220	2020/12/10	Yahoo!Japan ニュース 直径2.3nmの新構造形状磁気異方性MTJ素子を開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.yahoo.co.jp/articles/5362d5e3bb7c35b4542cb05737ac73f7597b8163
221	2020/12/10	Tech Eye 直径 2.3nm の新構造形状磁気異方性 MTJ 素子を開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.techeyesonline.com/news/detail/eetimesjapan-202012101530-1/
222	2020/12/11	Alpha Galileo 世界最小磁気トンネル接合素子の高性能動作を実証 ～超大容量・低消費電力・高性能不揮発性メモリ開発を加速～	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/202276?returnurl=https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/202276
223	2020/12/11	MRAM-Info Researchers develop the world's smallest high-performance MTJ	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.mraminfo.com/researchers-develop-worlds-smallest-high-performance-mtj
224	2021/2/3	マイナビニュース TECH+ IEDM 2020 - テーマは「より良い将来のための革新的デバイス」	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.mynavi.jp/article/20210203-1687131/
225	2021/2/3	BIGLOBEニュース IEDM 2020 - テーマは「より良い将来のための革新的デバイス」	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.biglobe.ne.jp/it/0203/mnn_210203_6586415939.html
226	2021/2/3	ニコニコニュース IEDM 2020 - テーマは「より良い将来のための革新的デバイス」	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.nicovideo.jp/watch/nw8884069?news_ref=search_search

227	2021/3/1	KSU The Sentinel Newspaper Non-Volatile Memory Market to Witness Huge Growth by 2026 ROHM Co. Ltd, STMicroelectronics NV, Maxim Integrated Products Inc., Fujitsu Ltd	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://ksusentinel.com/2021/03/01/non-volatile-memory-market-to-witness-huge-growth-by-2026-rohm-co-ltd-stmicroelectronics-nv-maxim-integrated-products-inc-fujitsu-ltd/
228	2021/6/1	MIRAGE News Better Endurance and Reliable Data Retention: A New STT-MRAM Quad Technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.miragenews.com/better-endurance-and-reliabledata-retention-a-569367/
229	2021/6/1	日本経済新聞 電子版 東北大、10年以上のデータ保持と1兆回に到達する書き換え耐性を有する低消費電力 MRAM技術の開発に成功	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkei.com/article/DGXLRS611460_R00C21A600000/?au=0
230	2021/6/1	Odisha Expo Better Endurance and Reliable Data Retention: A New STT-MRAM Quad Technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://odishaexpo.com/betterendurance-and-reliabledataretention-a-new-stt-mramquad-technology/
231	2021/6/1	The National Tribune Better Endurance and Reliable Data Retention: A New STT-MRAM Quad Technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.nationaltribune.com.au/better-endurance-andreliable-data-retention-a-newstt-mram-quad-technology/
232	2021/6/2	EurekAlert! Better endurance and reliable data retention: A new STT-MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.eurekalert.org/pub_releases/2021-06/tubea060221.php
233	2021/6/2	Science Codex Better endurance and reliable data retention: A new STT-MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.sciencex.com/better-endurance-and-reliabledata-retention-new-stt-mramquad-technology-674630
234	2021/6/2	4 State news Better endurance and reliable data retention: A new STT-MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://4state.news/betterendurance-and-reliabledataretention-a-new-stt-mramquad-technology/

235	2021/6/2	Tech Xplore New magnetic tunnel junction quad tech provides endurance and reliable data retention	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://techxplore.com/news/2021-06-magnetic-tunneljunction-quad-tech.html
236	2021/6/2	マイナビ ニュース 東北大、1桁nm世代のプロセスデザインルールに適合するQuad-MTJを開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.mynavi.jp/article/20210602-1898377/
237	2021/6/2	BIGLOBEニュース 東北大、1桁nm世代のプロセスデザインルールに適合するQuad-MTJを開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.biglobe.ne.jp/it/0602/mnn_210602_3385865231.html
238	2021/6/2	Electrical Daily News Higher endurance and dependable information storage: A brand new STT-MRAM Quad know-how	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://electricaldailynews.com/2021/06/02/higher-enduranceand-dependable-informationstorage-a-brand-new-sttmram-quad-know-how/
239	2021/6/2	The Hack Posts New magnetic tunnel junction quad tech provides endurance and reliable data retention	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://thehackposts.com/news/new-magnetic-tunnel-junctionquad-tech-provides-enduranceand-reliable-data-retention/
240	2021/6/2	The Press Free Meilleure endurance et rétention fiable des données : une nouvelle technologie STT-MRAM Quad	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://thepressfree.com/meilleure-endurance-et-retentionfiable-des-donnees-unenouvelle-technologie-stt-mramquad/
241	2021/6/2	Rakuten Infoseek 東北大、1桁nm世代のプロセスデザインルールに適合するQuad-MTJを開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.infoseek.co.jp/article/mynavi_2246668
242	2021/6/2	ニコニコニュース 東北大、1桁nm世代のプロセスデザインルールに適合するQuad-MTJを開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://news.nicovideo.jp/watch/nw9409901

243	2021/6/2	Mapion ニュース 東北大、1桁nm世代のプロセス デザインルールに適合する Quad-MTJを開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.mapion.co.jp/news/column/cobs2246668-1-all/
244	2021/6/2	News Insidermv Higher endurance and dependable information retention: A brand new STTMRAM Quad expertise	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://newsinsidermv.com/higher-endurance-and-dependableinformation-retention-a-brandnew-stt-mram-quad-expertise/
245	2021/6/2	Tech.Buzz Better endurance and reliable data retention: A new STT- MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.technique.buzz/better-endurance-and-reliabledata-retention-a-new-sttmram-quad-technology
246	2021/6/2	Press News Better endurance and reliable data retention: A new STT- MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://press-news.org/164661-better-endurance-and-reliabledata-retention-a-new-sttmram-quad-technology.html
247	2021/6/2	Forever Lastre Sources Better endurance and reliable data retention: A new STT- MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://foreverlastresources.com/better-endurance-andreliable-data-retention-a-newstt-mram-quad-technology/
248	2021/6/2	Coin Master Freelink Spins Better endurance and reliable data retention: A new STT- MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://coinmasterfreelinkspins.com/better-endurance-andreliable-data-retention-a-newstt-mram-quad-technology/
249	2021/6/2	Goo ブログ 東北大、1桁nm世代のプロセス デザインルールに適合する Quad-MTJを開発	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://goo.to/curation/561183
250	2021/6/2	asia research news Better Endurance and Reliable Data Retention: A New STT- MRAM Quad Technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://www.asiaresearchnews.com/content/better-enduranceand-reliable-data-retentionnew-stt-mram-quad-technology

251	2021/6/2	World News Era Better endurance and reliable data retention: A new STT-MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://worldnewsera.com/news/science/better-enduranceand-reliable-data-retention-anew-stt-mram-quadtechnology/
252	2021/6/2	Uncover Reality BETTER ENDURANCE AND RELIABLE DATA RETENTION: A NEW STT-MRAM QUAD TECHNOLOGY (ENGINEERING)	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://theuncoverreality.in/2021/06/02/better-enduranceand-reliable-data-retention-anew-stt-mram-quadtechnology-engineering/
253	2021/6/2	Press Las Vegas Better endurance and reliable data retention: A new STT-MRAM Quad technology	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://presslasvegasc.com/news/health/better-endurance-andreliable-data-retention-anewstt-mram-quad-technology/
254	2021/6/3	Techilive New Magnetic Tunnel Junction Quad Tech Provides Endurance And Reliable Data Retention	東北大学	東北大学	雑誌掲載(WEB含む)	https://techilive.in/newmagnetic-tunnel-junction-quadtech-provides-endurance-andreliable-data-retention/
255	2021/6/9	日刊工業新聞 STT—MRAM向け記憶素子、書き換え耐性6000億回超 東北大	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00601207
256	2021/12/16	日刊工業新聞 書き込み10ナノ秒以下 磁気トンネル接合素子 オンゲスト ローム世代対応	東北大学	東北大学	新聞掲載(WEB含む)	23面

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑧ 外部資金の獲得

No	配分機関	事業・制度名称	実施期間	新規/ 継続	実施期間内 配分総額[千 円]	配分総額 [千円]	採択機関	資金の使途	備考 (関連する研究開発課題番号等)
1	JSPS	科学研究費補助 金基盤研究(A)	H31.1-R5.3	継続	34,600	34,600	東北大学	成果の展開に 関連して	
2	JSPS	科学研究費補助 金基盤研究(B)	H31.4-R4.3	継続	13,000	13,000	東北大学	成果の展開に 関連して	
3	JSPS	科学研究費補助金 挑戦的研究(開拓)	R3.4-R8.3	新規	19,900	19,900	東北大学	成果の展開に 関連して	
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑨ 論文

No	書誌情報 (書式: 著者名、タイトル、掲載誌名(書籍名)、巻、号、ページ、発行年)	発表機関 (参画機関のみ)	形式(査読の有無)	掲載状況	備考 (関連する研究開発課題番号等)
1	M. Natsui, A. Tamakoshi, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fabrication of an MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory LSI with Content-Aware Write Error Masking Scheme Achieving 92% Storage Capacity and 79% Power Reduction," Japanese Journal of Applied Physics, Vol.56, No.4S, pp.04CN01-1-04CN01-5, 2017/2/16	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
2	D. Suzuki, M. Natsui, A. Mochizuki, S. Ikeda, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a Variation-Resilient Single-Ended Nonvolatile 6-Input Lookup Table Circuit with a Redundant-MTJ-Based Active Load for Smart IoT Applications," IET Electronics Letters, Vol.53, No.7, pp.456-458, 2017/3/30	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
3	S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, Magnetic and transport properties of Sb ₂ Te ₃ doped with high concentration of Cr, Applied Physics Express vol. 10, 103001, 2017/9/5	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
4	B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, Spin-orbit torque induced magnetization switching in Co/Pt multilayers, Applied Physics Letters, vol. 111, 102402, 2017/9/7	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
5	M. Bersweiler, H. Sato, and H. Ohno, Magnetic and Free-Layer Properties of MgO/(Co)FeB/MgO Structures: Dependence on CoFeB Composition, IEEE MAGNETICS LETTERS, vol. 8, 3109003, 2017/10/11	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
6	S. DuttaGupta, T. Kanemura, C. Zhang, A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno, Spin-orbit torques and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in PtMn/[Co/Ni] heterostructures, Applied Physics Letters, vol. 111, 182412, 2017/11/3	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
7	S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, Temperature dependence of ferromagnetic resonance spectra of permalloy on (Bi _{1-x} Sb _x) ₂ Te ₃ , Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, 020302, 2017/12/27	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
8	C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno, Time and spatial evolution of spin-orbit torque-induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO structures with various sizes, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, 04FN02, 2018/2/7	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
9	K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, Shape anisotropy revisited in single-digit nanometer magnetic tunnel junctions, NATURE COMMUNICATIONS, vol. 9, 663, 2018/2/14	東北大学	論文(査読有り)	掲載	

10	M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato, and H. Ohno, Free-layer size dependence of anisotropy field in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions, Applied Physics Express, vol. 11, 043001, 2018/3/9	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
11	E. C. I. Enobio, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno, Evaluation of energy barrier of CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis using retention time measurement, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, 04FN08, 2018/3/13	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
12	D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a magnetic-tunnel-junction-oriented nonvolatile lookup table circuit with write-operation-minimized data shifting," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 57, no. 4S, pp. 04FE09-1~4, 2018/3/9	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
13	K. Itoh and T. Endoh, Loss analysis and optimum design of a highly efficient and compact CMOS DC-DC converter with novel transistor layout using 60 nm multipillar-type vertical body channel MOSFET, Japanese Journal of Applied Physics(JJAP) , Vol. 57, No. 4S, pp. 04FR12(9pages), 2018/3/16	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
14	A. Okada, S. Kanai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, Electric-field effect on the easy cone angle of the easy-cone state in CoFeB/MgO investigated by ferromagnetic resonance, Applied Physics Express, vol. 112, 172402, 2018/4/23	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
15	Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H.Sato, S. Fukami, H. Ohno, Spin-orbit torque in high-resistivity-W/CoFeB/MgO, Applied Physics Letters, vol. 112, 192408, 2018/5/10	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
16	N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, Non-linear variation of domain period under electric field in demagnetized CoFeB/MgO stacks with perpendicular easy axis, Applied Physics Letters, vol. 112, 202402, 2018/5/15	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
17	W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno, Characterization of spin-orbit torque-controlled synapse device for artificial neural network applications, Japanese Journal of Applied Physics, 57, 1002B2, 2018/9/10	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
18	加藤修治、高橋良和、遠藤哲郎, BTB用MMCの短所を克服するStar-Light Converterの提案,電気学会産業応用論文誌 ,Vol.138 No.10 pp.810-816 , 2018/10/1	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
19	深見俊輔、大野英男, 反強磁性金属を用いたスピン軌道トルク磁化反転, 日本磁気学会誌『まぐね』, vol. 13, pp. 223-228, 2018/10/4	東北大学	論文(査読無し)	掲載	

20	S. Fukami and H. Ohno, Perspective: Spintronic synapse for artificial neural network, Journal of Applied Physics, vol. 124, 151904, 2018/10/8	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
21	M. Bersweiler, E. C. I. Enobio, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, An effect of capping-layer material on interfacial anisotropy and thermal stability factor of MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO/capping-layer structure, Applied Physics Letters, vol. 113, 172401, 2018/10/22	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
22	M. Natsui, T. Chiba and T. Hanyu, "Design of MTJ-Based Nonvolatile Logic Gates for Quantized Neural Networks", Microelectronics Journal, Vol.82, pp.13-21, 2018/10/27	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
23	D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, "Circuit Optimization Technique of Nonvolatile Logic-In-Memory Based Lookup Table Circuits Using Magnetic Tunnel Junction Devices," Microelectronics Journal, vol. 83, pp.39-49, 2018/11/15	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
24	S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno, Angle dependent magnetoresistance in heterostructures with antiferromagnetic and non-magnetic metals, Applied Physics Letters, vol. 113, 202404, 2018/11/15	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
25	B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, Scalability and wide temperature range operation of spin-orbit torque switching devices using Co/Pt multilayer nanowires, Applied Physics Letters, vol. 113, 212403, 2018/11/20	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
26	深見俊輔, 大野英男, 限界に迫る極微細高性能磁気トンネル接合素子, パリテイ, vol. 33, no. 12, pp. 60-63, 2018/11/22	東北大学	論文(査読無し)	掲載	
27	Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno, Spin-orbit torque-induced switching of in-plane magnetized elliptic nanodot arrays with various easy-axis directions measured by differential planar Hall resistance, Applied Physics Letters, vol. 114, 012410, 2019/1/11	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
28	S. Moriya, H. Yamamoto, H. Akima, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, and S. Sato, Mean-field analysis of directed modular networks, Chaos, 29, 013142, 2019/1/31	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
29	T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno, Reversal of domain wall chirality with ferromagnet thickness in W/(Co)FeB/MgO systems, Applied Physics Letters, vol. 114, 042405, 2019/1/31	東北大学	論文(査読有り)	掲載	

30	M. Natsui, T. Chiba and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient XNOR Gate Based on MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture for Binary Neural Network Hardware", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.58, No.5B, pp.SBBB01-1-SBBB01-7, 2019/2/4	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
31	D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of a highly reliable, high-speed MTJ-based lookup table circuit using fractured logic-in-memory structure," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 58, no. 5B, pp. SBBB10~1-SBBB10~7, 2019/2/25	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
32	S. Miura, T. V. A. Nguyen, Y. Endo, H. Sato, S. Ikeda, K. Nishioka, H. Honjo, and T. Endoh, Insertion Layer Thickness Dependence of Magnetic and Electrical Properties for Double-CoFeB/MgO-Interface Magnetic Tunnel Junctions, IEEE Transactions on Magnetism, 55, 2019/3/26	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
33	A. Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, Y. Horio and H. Ohno, Artificial neuron and synapse realized in an antiferromagnet/ferromagnet heterostructure using dynamics of spin-orbit torque switching, Advanced Materials, 31, 1900636, 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
34	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda, H. Sato, and T. Endoh, Increase in spin-Hall effect and influence of anomalous Nernst effect on spin-Hall magnetoresistance in β -phase and α -phase $W_{100-x}Ta_x/CoFeB$ systems, Applied Physics Express, 12, 053008 (2019), 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
35	A. Okada, Y. Takeuchi, K. Furuya, C. Zhang, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno, Spin-Pumping-Free Determination of Spin-Orbit Torque Efficiency from Spin-Torque Ferromagnetic Resonance, Physical Review Applied, 12, 014040, 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
36	H. Honjo, S. Ikeda, H. Sato, M. Yasuhira, and T. Endoh, Effect of surface modification treatment of buffer layer on thermal tolerance of synthetic ferrimagnetic reference layer in perpendicular-anisotropy magnetic tunnel junctions, Journal of Applied Physics, vol.126, 113902, 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
37	S. Gupta, F. Matsukura, and H. Ohno, Properties of sputtered full Heusler alloy Cr_2MnSb and its application in a magnetic tunnel junction, Journal of Physics D: Applied Physics, 52, 495002, 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
38	T. Saino, S. Kanai, M. Shinozaki, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, Write-error rate of nanoscale magnetic tunnel junctions in the precessional regime, Applied Physics Letters, 115, 142406, 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
39	深見俊輔、大野英男、スピン軌道トルク素子と脳型情報処理応用, 日本磁気学会誌『まぐね』, 14, 341-347, 2019	東北大学	その他著作物(総説、書籍など)	掲載	

40	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda, H. Sato, and T. Endoh, Spin Hall effect investigated by spin Hall magnetoresistance in $Pt_{100-x}Au_x/CoFeB$ systems, AIP Advances, 9, 125312–1/5, 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
41	H. Honjo, T. V. A. Nguyen, M. Yasuhira, M. Niwa, S. Ikeda, H. Sato, and T. Endoh, Effect of capping layer material on thermal tolerance of magnetic tunnel junctions with MgO/CoFeB-based free layer/MgO/capping layers, AIP Advances, vol.9, 125330, 2019	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
42	T. Li, Y. Ma, and T. Endoh, Normalization-Based Validity Index of Adaptive K-Means Clustering for Multi-Solution Application, IEEE Access, 8, 9403–9419, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
43	K. Nishioka, H. Honjo, S. Ikeda, T. Watanabe, S. Miura, H. Inoue, T. Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, and T. Endoh, “Novel Quad-Interface MTJ Technology and Its First Demonstration with High Thermal Stability Factor and Switching Efficiency for STT-MRAM Beyond 2X nm,” IEEE Transactions on Electron Devices, vol.67, 995, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
44	D. Suzuki, and T. Hanyu, Design of a cost-efficient controller for realizing a data-shift-minimized nonvolatile field-programmable gate array, Japanese Journal of Applied Physics, 59, SGGB13 1–7,2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
45	T. Li, Y. Ma, H. Shen, and T. Endoh, FPGA Implementation of Real-time Pedestrian Detection Using Normalization-based Validation of Adaptive Features Clustering, IEEE Transactions on Vehicular Technology, XX, XX. 1–12(Early Access), 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
46	J. Grollier, D. Querlioz, K. Y. Camsari, K. Everschor-Sitte, S. Fukami, and M. D. Stiles, Neuromorphic spintronics, Nature Electronics, Nature Electronics, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
47	Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, and T. Endoh, A free-extendible and ultralow-power nonvolatile multi-core associative coprocessor based on MRAM with inter-core pipeline scheme for large-scale full-adaptive nearest pattern searching, Japanese Journal of Applied Physics, 59, SGGB18, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
48	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda, and T. Endoh, Large spin Hall effect and increase in perpendicular magnetic anisotropy in artificially synthesized amorphous W/Hf multilayer/CoFeB system, Applied Physics Letters, 116, 132401, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
49	羽生 貴弘, 不揮発性ロジックでひらくエッジAIハードウェアの展望, 電子情報通信学会 基礎・境界サイエンス IEICE Fundamental Review, Vol.13, No.4, pp.269–276, 2020	東北大学	その他著作物(総説、書籍など)	掲載	

50	B. Jinnai, K. Watanabe, S. Fukami, and H. Ohno, Scaling magnetic tunnel junction down to single-digit nanometers—Challenges and prospects, Applied Physics Letters, Vol.116, pp.160501, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
51	M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu, Impact of MTJ-based nonvolatile circuit techniques for energy-efficient binary neural network hardware, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.59, pp.050602, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
52	M. Niwa, H. Honjo, L. S. R. Kumara, H. Inoue, S. Ikeda, H. Tajiri, and T. Endoh, Effect of metallic Mg insertion in CoFeB/MgO interface perpendicular magnetic tunnel junction on tunnel magnetoresistance ratio observed by Synchrotron x-ray diffraction, Journal of Vacuum Science & Technology B, Vol.38, pp.033801, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
53	H. Honjo, M. Niwa, K. Nishioka, T. V. A. Nguyen, H. Naganuma, Y. Endo, M. Yasuhira, S. Ikeda, and T. Endoh, Influence of Hard Mask Materials on the Magnetic Properties of Perpendicular MTJs With Double CoFeB/MgO Interface, IEEE Transactions on Magnetism, Vol.56, pp.6703504, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
54	A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno, Neuromorphic computing with antiferromagnetic spintronics, Journal of Applied Physics, Vol.128, pp.010902, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
55	H. Naganuma, H. Sato, S. Ikeda, and T. Endoh, Micromagnetic simulation of the temperature dependence of the switching energy barrier using string method assuming sidewall damages in perpendicular magnetized magnetic tunnel junctions, AIP Advances, Vol.10, pp.075106, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
56	M. Niwa, K. Kimura, T. Naijo, A. Oshurahunov, S. Nagamachi, H. Inoue, H. Honjo, S. Ikeda, and T. Endoh, Structural Analysis of CoFeB/MgO-based Perpendicular MTJs with Junction Size of 20 nm by STEM Tomography, IEEE Transactions on Magnetism, Vol.57, p.4400107, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
57	T. Li, Y. Ma, and T. Endoh, A Systematic Study of Tiny YOLO3 Inference:Toward Compact Brainware Processor With Less Memory and Logic Gate, IEEE Access, Vol. 8, pp.142931–142955, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
58	S. Miura, K. Nishioka, H. Naganuma, T. V. A. Nguyen, H. Honjo, S. Ikeda, T. Watanabe, H. Inoue, M. Niwa, T. Tanigawa, Y. Noguchi, T. Yoshizuka, M. Yasuhira, and T. Endoh, Scalability of Quad Interface p-MTJ for 1X nm STT-MRAM With 10-ns Low Power Write Operation, 10 Years Retention and Endurance > 10 ¹¹ , IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.67, p.5368, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
59	H. Koike, T. Tanigawa, T. Watanabe, T. Nasuno, Y. Noguchi, M. Yasuhira, T. Yoshiduka, Y. Ma, H. Honjo, K. Nishioka, S. Miura, H. Inoue, S. Ikeda, and T. Endoh, 40 nm 1T-1MTJ 128 Mb STT-MRAM with Novel Averaged Reference Voltage Generator Based on Detailed Analysis of Scaled-Down Memory Cell Array Design, IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 57, No.3, 3400909, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	

60	M. Shinozaki, T. Dohi, J. Igarashi, J. Llandro, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno, Probing edge condition of nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions by spin-wave resonance, Applied Physics Letters, 117, 202404, 2020	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
61	田村亮、渡辺直良、佐藤茂行、小池洋紀、池田正二、遠藤哲郎, STT-MRAMテストのための新しい磁場印加メモリ・テスト・システム, Probo, Advantest Technical Report 2020, No.55, pp.18-23, 2020	東北大学	その他著作物(総説、書籍など)	掲載	
62	J. Igarashi, B. Jinnai, V. Desbuis, S. Mangin, S. Fukami, and H. Ohno, Temperature dependence of the energy barrier in X/1X-nm shapeanisotropy magnetic tunnel junctions, Applied Physics Letters, 118, 012409, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
63	H. Honjo, H. Naganuma, T. V. A. Nguyen, H. Inoue, M. Yasuhira, S. Ikeda, and T. Endoh, Effect of surface modification treatment on top pinned MTJ with perpendicular easy axis, AIP Advances, 11, 025211, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
64	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda, and T. Endoh, W thickness dependence of spin Hall effect for (W/Hf)-multilayer electrode/CoFeB/MgO systems with flat and highly (100) oriented MgO layer, AIP Advances, 11, 025007, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
65	M. Natsui, G. Yamagishi, and T. Hanyu, Design of a Highly Reliable Nonvolatile Flip-Flop Incorporating a Common-Mode Write Error Detection Capability, Japanese Journal of Applied Physics, vol.60, pp.SBBB02-1~SBBB02-9 (9pages), 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
66	H. Shen, Y. Ma, and T. Endoh, Highly accurate and efficient cluster validation index engine using global separation and local dispersion architecture for adaptive image clustering systems, AIP Advances, 60, SBBL02, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
67	K. Nishioka, H. Honjo, H. Naganuma, T. V. A. Nguyen, M. Yasuhira, S. Ikeda, and T. Endoh, Enhancement of magnetic coupling and magnetic anisotropy in MTJ with multiple CoFeB/MgO interfaces for high thermal stability, AIP Advances, 11, 025231, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
68	B. Jinnai, J. Igarashi, K. Watanabe, E. C. I. Enobio, S. Fukami, and H. Ohno, Coherent magnetization reversal of a cylindrical nanomagnet in shape-anisotropy magnetic tunnel junctions, Applied Physics Letters, 118, 082404, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	

69	D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, Design of an Energy-Efficient Binarized Convolutional Neural Network Accelerator Using a Nonvolatile Field-Programmable Gate Array with Only-Once-Write Shifting, Japanese Journal of Applied Physics, vol.60, pp.SBBB07-1~SBBB07-9 (9pages), 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
70	高橋 良和, 遠藤 哲郎,最新パワーデバイスとパワーエレクトロニクス実装学会,Vol.24,No.3,p.215-225,2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
71	D. Suzuki and T. Hanyu, Nonvolatile Field-Programmable Gate Array Using a Standard-Cell-Based Design Flow, IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E104-D, no.8, pp. 1111-1120, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
72	T. Li, Y. Ma, K.Yoshikawa, O. Nomura and T. Endoh, Energy-efficient Convolution Module with Flexible Bitadjustment Method and ADC Multiplier Architecture for Industrial IoT, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18,5,3055-3065, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
73	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda and T.Endoh, Antiferromagnetic interlayerexchange coupling and large spinHall effect in multilayer systems with Pt/Ir/Pt and Pt/Ir layers, PHYSICAL REVIEW B, 104,064439, 1/11, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
74	D.Suzuki, T.Oka, A.Tamakoshi, Y.Takako, and T.Hanyu, Design framework for an energy-efficient binary convolutional neural network accelerator based on nonvolatile logic, Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), IEICE, Vol.E12-N,No.4,pp.695-710, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
75	Y.Saito, S.Ikeda, and T.Endoh, Synthetic antiferromagnetic layer based on Pt/Ru/Pt spacer layer with 1.05 nm interlayer exchange oscillation period for spin-orbit torque devices, Applied Physics Letters, 119, 142401(2021),(1-7), 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
76	Y. Takeuchi, E. C. I. Enobio, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno, Temperature dependence of intrinsic critical current in perpendicular easy axis CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions, Applied Physics Letters, 119, 242403, 2021	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
77	Y. Takeuchi, R. Okuda, J. Igarashi, B. Jinnai, T. Saino, S. Ikeda, S. Fukami, and H. Ohno, Nanometer-thin L10-MnAl film with B2-CoAl underlayer for high-speed and high-density STT-MRAM: Structure and magnetic properties, Applied Physics Letters, vol. 120, 052404,2022	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
78	F. Zhong, M. Natsui, and T. Hanyu, Dynamic Activation of Power-Gating-Switch Configuration for Highly Reliable Nonvolatile Large-Scale Integrated Circuits, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 61, No. SC, pp. 1035-1-1035-10, 2022	東北大学	論文(査読有り)	掲載	

79	Y. Saito, S. Ikeda and T. Endoh, Enhancement of current to spin-current conversion and spin torque efficiencies in a synthetic antiferromagnetic layer based on a Pt/Ir/Pt spacer layer, PHYSICAL REVIEW B, 105, 054421-1/11, 2022	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
80	T. V. A. Nguyen, Y. Saito, H. Naganuma, S. Ikeda, T. Endoh, and Y. Endo, Effect of oxygen incorporation on dynamic magnetic properties in Ta-O/Co-Fe-B bilayer films under out-of-plane and in-plane magnetic fields, AIP Advances, 12, 3, 035133, 2022	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
81	D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu, Design of an Active-Load-Localized Single-Ended Nonvolatile Lookup-Table Circuit for Energy-Efficient Binary-Convolutional-Neural-Network Accelerator, Japanese Journal of Applied Physics, vol.61, no.SC, pp.1083-1~1083-10, 2022	東北大学	論文(査読有り)	掲載	
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99					
100					

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑩ 発表

No	発表者	タイトル	学会名等	場所	年月日	発表機関 (参画機関のみ)	発表形式	備考 (関連する研究開発課題番号等)
1	Y. Tabata, D. Suzuki, and T. Hanyu	Design Automation of a Power-Aware Nonvolatile FPGA	25th International Workshop on Post-Binary ULSI Systems	Sapporo, Japan	2016/5/17	東北大学	口頭発表	
2	D. Suzuki and T. Hanyu	Energy-Efficient and Highly-Reliable Nonvolatile FPGA Using Self-Terminated Power-Gating Scheme	IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL 2016)	Sapporo, Japan	2016/5/18	東北大学	口頭発表	
3	D. Suzuki and T. Hanyu	A low-power MTJ-based nonvolatile FPGA using self-terminated logic-in-memory structure	Proceeding of International Conference on Field-Programmable Logic and Applications (FPL)	Lausanne, Switzerland	2016/8/29	東北大学	口頭発表	
4	K. Itoh, M. Muraguchi and T. Endoh	High Accurate and Low Loss Current Sensing Method with Novel Current Path Narrowing Method for DC-DC Converters and its Demonstration	2016 International Telecommunication Energy Conference (INTELEC 2016)	Austin, TX, USA	2016/10/26	東北大学	口頭発表	
5	M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu	Towards Ultra Low-Power and Highly Dependable VLSI Computing Based on MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture	BIT's 6th Annual World Congress of Nano Science & Technology 2016	Singapore	2016/10/26	東北大学	招待講演	
6	T. Endoh	Nonvolatile Brain-Inspired VLSIs Based on CMOS/MTJ Hybrid Technology for Ultralow-Power Performance and Compact Chip	61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials	New Orleans, USA	2016/11/2	東北大学	招待講演	
7	加藤健太郎, 夏井雅典, 羽生貴弘	適切な通信ネットワークのトラフィックを考慮した高機能・低コストエッジプロセッサの構成に関する一考察	第30回多値論理とその応用研究会	石川県, 金沢市	2017/1/8	東北大学	口頭発表	
8	M. Natsui, N. Sugaya, and T. Hanyu	Brain-Inspired Computing for Error-Resilient VLSI System	The 4th International Symposium on Brainware LSI	Sendai, Japan	2017/2/24	東北大学	口頭発表	
9	遠藤 哲郎	IoT/AIチップの革新的集積システム開発プラットフォーム	CRDSシンポジウム「IoT/AI時代に向けたテクノロジー革新—大変革時代の新機軸とは—」	東京	2017/3/7	東北大学	招待講演	

10	T. Endoh	STT-MRAM and its Application for Nonvolatile Brain-Inspired VLSIs	SEMICON CHINA	Shanghai	2017/3/12	東北大学	招待講演	
11	B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno	Switching of Co/Pt multilayer structures by spin-orbit torque	IEEE International Magnetism Conference (Intermag2017)	Dublin, Ireland	2017/4/27	東北大学	口頭発表	
12	須田拓樹, 夏井雅典, 羽生貴弘	時系列特徴を考慮した脳型計算ベース車載ネットワークセキュリティ技術に関する基礎的検討	LSIとシステムのワークショップ 2017	東京	2017/5/15	東北大学	ポスター発表	
13	S. Fukami and H. Ohno,	Spin-orbit torque induced magnetization switching and its applications	Workshop for the Recent Development in the Spintronics	Fukui, Japan	2017/6/3	東北大学	招待講演	
14	B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Switching of Co/Pt multilayer structures by spin-orbit torque	SpinTech, International School and Conference 2017	Fukuoka, Japan	2017/6/5	東北大学	ポスター発表	
15	T. Hanyu	Challenge of Spintronics-Based Nonvolatile VLSI Processor with a Sudden Power-Outage Resilient In-Processor Checkpointing,	2017 Spintronics Workshop on LSI	Kyoto, Japan	2017/6/5	東北大学	招待講演	
16	須田拓樹, 夏井雅典, 羽生貴弘	脳型計算に基づく車載ネットワークの不正侵入検出法	平成29年度電気関係学会東北支部連合大会	弘前	2017/8/24	東北大学	口頭発表	
17	J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Dependence of switching current on out-of-plane field in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis at low temperature	第78回応用物理学会秋季学術講演会	福岡	2017/9/8	東北大学	口頭発表	
18	夏井雅典, 須田拓樹, 羽生貴弘	時系列特徴を用いた脳型計算ベース車載ネットワークセキュリティ技術	第40回多値論理フォーラム	奈良	2017/9/16	東北大学	口頭発表	
19	鈴木大輔, 羽生貴弘	MTJ ベース多機能 Lookup Table 回路の設計	第40回多値論理フォーラム	奈良	2017/9/17	東北大学	口頭発表	

20	S. Fukami, A. Kurenkov, W. A. Borders, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Spin-orbit torque induced switching using antiferromagnets and its application to artificial neural networks	第41回日本磁気学会学術講演会	福岡	2017/9/20	東北大学	招待講演	
21	C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno	Device size dependence of spin-orbit torque induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	Sendai, Japan	2017/9/20	東北大学	口頭発表	
22	K. Itoh and T. Endoh	Highly Efficient and Compact CMOS DC-DC Converter with Novel Transistor Layout of 60 nm Multi-pillar Type Vertical Body Channel MOSFET	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	Sendai, Japan	2017/9/21	東北大学	ポスター発表	
23	T. Saito, T. Endoh	A Study of Validation of an Evaluation Model of Accurate Thermal Stability Factor for MTJs Using Its Thermal Dependency	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	Sendai, Japan	2017/9/21	東北大学	口頭発表	
24	R. Ogasawara and T. Endoh	Sub 1 V 60 nm Vertical Body Channel MOSFET Based 6T SRAM Array with Wide Noise Margin and Excellent Power Delay Product	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	Sendai, Japan	2017/9/22	東北大学	口頭発表	
25	E. C. I. Enobio, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Evaluation of energy barrier of CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis using retention time measurement	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	Sendai, Japan	2017/9/22	東北大学	口頭発表	
26	B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Spin-orbit torque driven magnetization reversal in Co/Pt multilayer	The 3rd ImPACT International Symposium on Spintronics Memory, Circuit and Storage	Sendai, Japan	2017/9/23	東北大学	ポスター発表	
27	H. Ohno	Spintronics Nanodevices for Low-power Integrated Circuits	The 3rd ImPACT International Symposium on Spintronics Memory, Circuit and Storage	Sendai, Japan	2017/9/23	東北大学	招待講演	
28	S. Fukami, C. Zhang, W. A. Borders, A. Kurenkov, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Spin-orbit torque switching for high-speed nonvolatile memory applications	The 3rd ImPACT International Symposium on Spintronics Memory, Circuit and Storage	Sendai, Japan	2017/9/24	東北大学	招待講演	
29	H. Ohno and S. Fukami	Spin-orbit Torque Devices for Digital and Neuromorphic Computing	Junjiro Kanamori Memorial International Symposium; New Horizon of Magnetism	Tokyo, Japan	2017/9/28	東北大学	招待講演	

30	大野英男	スピントロニクス素子研究: 材料からデバイスへ	平成29年度磁性材料研究会	東京	2017/10/12	東北大学	招待講演	
31	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Use of Analog Spintronics Device in Performing Neuro-Morphic Computing Functions	5th Berkeley Symposium on Energy Efficient Electronic Systems & Steep Transistors Workshop	CA, USA	2017/10/19	東北大学	招待講演	
32	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Analog spin-orbit torque devices with antiferromagnet for artificial neural networks	Workshop on Antiferromagnetic Spintronics	Grenoble, France,	2017/10/26	東北大学	招待講演	
33	遠藤 哲郎	国際集積エレクトロニクス研究開発センターが推進する国際オープンイノベーション拠点(CIESコンソーシアム)-産学共同研究から、OPERA・地域連携プロジェクトまで	東北大学 電気・情報 東京フォーラム2017	東京	2017/10/31	東北大学	招待講演	
34	深見俊輔、大野英男	アナログスピンメモリ素子とその人工知能応用	平成29年度 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」	仙台	2017/11/2	東北大学	招待講演	
35	H. Ohno	Spintronics, a Route to Stand-by Power-Free Integrated Circuits(Keynote)	Tohoku University-National Chiao Tung University (NCTU) 2nd Technical Workshop 2017	Sendai, Japan	2017/11/3	東北大学	招待講演	
36	加藤健太郎, 夏井雅典, 羽生貴弘	時系列特徴を用いたチップ内データ転送エラー訂正手法とその可能性	デザインガイア2017	熊本	2017/11/7	東北大学	口頭発表	
37	M. Bersweiler, H. Sato, E. C. I. Enbio, and H. Ohno	Effect of capping layer material on interfacial anisotropy in MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO/capping layer structure	62 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017)	Pittsburgh, U. S. A.	2017/11/7	東北大学	口頭発表	
38	T. Endoh	NV-Working Memory and its Logic Applications with Spintronics and Vertical BC-MOSFET Technology	62 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017)	Pittsburgh, U. S. A.	2017/11/8	東北大学	招待講演	
39	H. Ohno	Spin on Integrated Circuits	62 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017)	Pittsburgh, U. S. A.	2017/11/8	東北大学	招待講演	

40	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, H. Akima, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno	An analog spin-orbit torque device for edge artificial intelligence	62 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017)	Pittsburgh, U. S. A.	2017/11/9	東北大学	招待講演	
41	C. Zhang, S. DuttaGupta, Y. Takahashi, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Magnetization switching by combining spin-orbit torque and spin-transfer torque in three-terminal magnetic tunnel junctions	62 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017)	Pittsburgh, U. S. A.	2017/11/9	東北大学	口頭発表	
42	J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Out-of-plane field dependence of switching current in CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis at low temperature	62 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017)	Pittsburgh, U. S. A.	2017/11/9	東北大学	口頭発表	
43	Y. Takahashi, A. Ohkawara, T. Anekawa, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno	In-plane easy axis angle dependence of spin-orbit torque induced magnetization switching	第36回電子材料シンポジウム (EMS36)	長浜	2017/11/9	東北大学	ポスター発表	
44	T. Saino, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	An effect of junction diameter on write-error rate of CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junction with perpendicular easy axis	第36回電子材料シンポジウム (EMS36)	長浜	2017/11/9	東北大学	ポスター発表	
45	Z. Wang, M. Shinozaki, A. Okada, S. Kanai, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno	Homodyne-detected ferromagnetic resonance in nanoscale magnetic tunnel junction with magnetic field modulation	第36回電子材料シンポジウム (EMS36)	長浜	2017/11/9	東北大学	ポスター発表	
46	S. DuttaGupta, T. Kanemura, A. Kurenkov, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno	Characterization of spin-orbit torque and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in an antiferromagnet/ferromagnet structure	62 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2017)	Pittsburgh, USA	2017/11/10	東北大学	口頭発表	
47	T. Endoh	An Overview of STT-MRAM and CMOS/MTJ Hybrid NV-Logic from NV-MPU/MCU to NV-Brain-Inspired VLSIs	2017 International Workshop on DIELECTRIC THIN FILMS FOR FUTURE ULSI DEVICES:SCIENCE AND TECHNOLOGY (IWDTF)	Nara, Japan	2017/11/20	東北大学	招待講演	
48	H. Ishii, H. Ueno, T. Ueda, and T. Endoh	Drain Current Enhancement Induced by Hole Injection from Gate of 600 V Class Normally-off GaN Gate Injection Transistor under High Temperature Conditions	2017 International Workshop on DIELECTRIC THIN FILMS FOR FUTURE ULSI DEVICES:SCIENCE AND TECHNOLOGY (IWDTF)	Nara, Japan	2017/11/21	東北大学	口頭発表	

49	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	反強磁性/強磁性ヘテロ構造における スピン軌道トルク磁化反転と人工神経回路網応用	応用物理学会スピントロニクス研究会 日本磁気学会スピントロニクス専門研究会 共同主催研究会「反強磁性スピントロニクスの新展開」	東京	2017/11/22	東北大学	招待講演	
50	遠藤哲郎	IoT/AI時代に求められる革新的エレクトロニクス技術 —材料からシステムまでのオープンイノベーション型産学連携—	第17回東北大学多元研 研究発表会	仙台	2017/12/4	東北大学	招待講演	
51	C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, K. Watanabe, A. Kurenkov, M. Bersweiler, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Spin-orbit torque switching of nanoscale devices for high-speed MRAMs	2017 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM)	San Francisco, USA	2017/12/5	東北大学	ポスター発表	
52	T. Endoh	Embedded Nonvolatile Memory with STT-MRAMs and its Application for Nonvolatile Brain-Inspired VLSIs	9th MRAM Global Innovation Forum	San Francisco, USA	2017/12/7	東北大学	招待講演	
53	S. Fukami and H. Ohno	Spin-orbit torque switching for ultralow-power VLSI and AI hardware	9th MRAM Global Innovation Forum	San Francisco, USA	2017/12/7	東北大学	招待講演	
54	W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, A. Kurenkov, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno	15th RIEC International Workshop on Spintronics	An Artificial Neural Network Built with Analogue Spin-Orbit Torque Devices	仙台	2017/12/13	東北大学	招待講演	
55	S. Fukami, C. Zhang, and H. Ohno	Sub-nanosecond field-free spin-orbit torque switching	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/13	東北大学	招待講演	
56	K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	High Performance Single-Digit-Nanometer Perpendicular Magnetic Tunnel Junctions	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	招待講演	
57	B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Spin-orbit torque switching in Co/Pt multilayers for nanoscale MRAM with high thermal stability	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	ポスター発表	

58	C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno	Spin-orbit torque induced magnetization switching in W/CoFeB/MgO structure of various sizes	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	ポスター発表	
59	S. DuttaGupta, T. Kanemura, A. Kurenkov, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno	Antiferromagnet layer thickness dependence of spin-orbit torque and Dzyaloshinskii-Moriya interaction in PtMn/[Co/Ni] structure	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	ポスター発表	
60	J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato and H. Ohno	Magnetic-field-angle dependence of coercivity in nanoscale perpendicular-anisotropy CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	ポスター発表	
61	J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno	Dependence of switching current on out-of-plane field in nano scale perpendicular-anisotropy CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions at low temperature	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	ポスター発表	
62	M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato and H. Ohno	Effect of free layer size on magnetic anisotropy in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	ポスター発表	
63	N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	CoFeB thickness dependence of electric-field effect on domain structures in Ta/CoFeB/MgO,	15th RIEC International Workshop on Spintronics	仙台	2017/12/14	東北大学	ポスター発表	
64	H. Sato, P. Chureemart, F. Matsukura, R. W. Chantrell, H. Ohno, and R. F. L. Evans	Temperature dependence of spontaneous magnetization and magnetic anisotropy in CoFeB/MgO thin films: experiments versus simulations	6th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	仙台	2017/12/16	東北大学	招待講演	
65	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Analog spin-orbit torque (SOT) devices for artificial neural networks	Japan-Korea Spintronics Workshop,	Seoul, Korea	2017/12/19	東北大学	招待講演	
66	H. Ohno	Spintronics for information Processing - from low-power integrated circuits to artificial intelligence	Tsinghua-Tohoku Joint Workshop on Materials and Spintronics Sciences	Beijing, China,	2017/12/21	東北大学	招待講演	
67	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	, アナログスピントロニクスメモリを用いた人工神経回路網	東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会 「新規固体デバイス・回路を用いた脳型コンピューティングに関する研究」	仙台	2017/12/26	東北大学	招待講演	

68	須田拓樹, 夏井雅典, 羽生貴弘	脳型計算に基づく非シグネチャ不正侵入検出手法,	第31回多値論理とその応用研究会	川崎	2018/1/6	東北大学	口頭発表	
69	鈴木大輔, 羽生貴弘	不揮発FPGAを用いた脳型情報処理アクセラレータの構成	第31回多値論理とその応用研究会	川崎	2018/1/6	東北大学	口頭発表	
70	S. Fukami, and H. Ohno	Spin-orbit torque switching in ferromagnetic heterostructures and its application	Reimei/GP-Spin/ICC-IMR International Workshop "New Excitations in Spintronics"	Sendai, Japan	2018/1/11	東北大学	招待講演	
71	大野英男	不揮発スピントロニクス素子と省エネ集積回路	文部科学大臣表彰受賞記念講演会	東京	2018/1/11	東北大学	招待講演	
72	H. Ohno	Spintronics Nanodevice -faster	smaller and more intelligent, Tohoku-Harvard Workshop in Sendai	Sendai, Japan	2018/1/18	東北大学	招待講演	
73	J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno	Investigating the influence on magnetization switching of edge effects in nanoscale CoFeB/MgO perpendicular magnetic tunnel junctions	Tohoku-Harvard Workshop in Sendai	Sendai, Japan	2018/1/18	東北大学	ポスター発表	
74	S. Fukami, C. Zhang, W. A. Borders, A. Kurenkov, S. DuttaGupta, B. Jinnai, H. Sato, and H. Ohno	Spin-orbit torque induced magnetization switching for integrated circuits and neuromorphic computing	Tohoku-Harvard Workshop in Sendai	Sendai, Japan	2018/1/18	東北大学	ポスター発表	
75	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, H. Ohno	Spin-orbit torque devices for artificial neural networks	日本磁気学会第216回研究会／第66回スピントロニクス専門研究会「ニューロモルフィックスピントロニクス」	東京	2018/1/25	東北大学	招待講演	
76	大野英男	超微細スピントロニクス素子とその集積回路、AI応用	第16回ナノテクノロジー総合シンポジウム	東京	2018/2/16	東北大学	招待講演	
77	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta and H. Ohno	Analog spin-orbit torque devices for edge AI hardware	Tohoku-Purdue Workshop on Novel Spintronics Physics and Materials for Future Information Processing	Sendai, Japan	2018/2/18	東北大学	招待講演	

78	T. Endoh	Nonvolatile Brain-inspired VLSIs based on CMOS/MTJ Hybrid Technology	Tohoku-Purdue Workshop on Novel Spintronics Physics and Materials for Future Information Processing	Sendai, Japan	2018/2/18	東北大学	招待講演	
79	H. Ohno	Nano-spintronics Devices for Integrated Circuits and Artificial Intelligence	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/19	東北大学	招待講演	
80	Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno and T. Endoh	High-Density and Ultra-Low-Power Nonvolatile Associative Memory for Fully Data-Adaptive Nearest Neighbor Search in IoT Applications	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
81	S. DuttaGupta, A. Kurenkov, S. Fukami, C. Zhang, and H. Ohno	Thickness Dependence of Spin-orbit Torque and Dzyaloshinskii-Moriya Interaction in an Antiferromagnet/Ferromagnet Heterostructure	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
82	B. Jinnai, C. Zhang, A. Kurenkov, M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Spin-orbit-torque-induced magnetization switching in perpendicularly-magnetized Co/Pt multilayers with high thermal stability	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
83	C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno	Magnetization switching induced by spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO devices with various sizes	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
84	S. Fukami and H. Ohno	Spin-orbit torque induced magnetization switching and its applications	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
85	J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	An effect of out-of-plane external magnetic field on switching current in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junction with perpendicular easy axis	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
86	M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato and .H. Ohno	Free-layer size dependence of magnetic properties in CoFeB/MgO nanoscale magnetic tunnel junctions	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
87	H. Sato, P. Chureemart, F. Matsukura, R. W. Chantrell, H. Ohno, and R. F. L. Evans	Dependence of spontaneous magnetization and magnetic anisotropy in CoFeB/MgO structure on temperature: experiments versus simulations	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	

88	N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Non-linear behavior of electric-field effect on domain period in Ta/CoFeB/MgO	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
89	S. Gupta, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno	Ferromagnetic Resonance Spectra of Permalloy Deposited on (Bi _{1-x} Sb _x) ₂ Te ₃	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers – Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
90	T. Hanyu	Challenge of Spintronic-Device-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture for Internet-of-Things Applications	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers –Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
91	D. Suzuki and T. Hanyu	Energy-Efficient MTJ-Based Nonvolatile FPGA Using Self-Terminated Power-Gating Scheme	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers –Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
92	D. Suzuki and T. Hanyu	Design of a Multi-Functional MTJ-Based FPGA for an Ultra-Low-Power IoT Applications	Kick-off Symposium for World Leading Research Centers –Materials Science and Spintronics-	Sendai, Japan	2018/2/20	東北大学	ポスター発表	
93	T. Hanyu	Challenge of Spintronics-Based Nonvolatile Logic LSI and Its Possibility	Tohoku/SG-Spin Workshop on Spintronics	Sendai, Japan	2018/2/21	東北大学	口頭発表	
94	H. Sato, K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	Development of (Co)FeB/MgO-based magnetic tunnel junctions down to X nm	Tohoku/SG-Spin Workshop on Spintronics	Sendai, Japan	2018/2/21	東北大学	招待講演	
95	S. Fukami	Spintronics Devices for Neuromorphic Computing	Center for Nation-Wide Cooperative Research on ICT FY2017 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects “Compass for Next-Gen ICT” Program	Sendai, Japan	2018/2/22	東北大学	招待講演	
96	M. Natsui, H. Suda, and T. Hanyu	Data-Stream-Aware Computing for Highly Dependable VLSI Systems	The 5th International Symposium on Brainware LSI	Sendai, Japan	2018/2/24	東北大学	口頭発表	
97	D. Suzuki and T. Hanyu	MTJ-Based Nonvolatile FPGA for Brainware LSI Platform	The 5th International Symposium on Brainware LSI	Sendai, Japan	2018/2/24	東北大学	口頭発表	

98	D. Suzuki and T. Hanyu	Design of an MTJ-Based Nonvolatile LUT Circuit with a Data-Update Minimized Shift Operation for an Ultra-Low-Power FPGA	ISFPGA 2018	Monterey, USA	2018/2/27	東北大学	ポスター発表	
99	大野英男	極微細磁気トンネル接合	「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」シンポジウム	東京	2018/3/1	東北大学	招待講演	
100	T. Hanyu, D. Suzuki, N. Onizawa, M. Natsui, T. Endoh, and H. Ohno	Towards New Paradigm Logic LSI Based on Spintronics (スピントロニクスが拓く新しいロジックLSIの展望)	「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」年度末シンポジウム	東京	2018/3/1	東北大学	ポスター発表	
101	B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno	Spin-orbit torque switching and thermal stability of nanoscale Co/Pt multilayers over a wide range of temperature	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/17	東北大学	ポスター発表	
102	M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Sato, and H. Ohno	Free-layer size dependence of magnetic anisotropy in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/17	東北大学	ポスター発表	
103	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	アナログスピンメモリ素子を用いた人工神経回路網	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/18	東北大学	招待講演	
104	T. Saino, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	An influence of domain wall pinning on write-error rate of CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junction with a perpendicular easy axis	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/18	東北大学	口頭発表	
105	遠藤 哲郎	CMOS / MTJハイブリッド技術に基づく不揮発型VLSI	65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/18	東北大学	招待講演	
106	S. DuttaGupta, T. Kanemura, R. Itoh, A. Kurenkov, C. Zhang, S. Fukami and H. Ohno	Dzyaloshinskii-Moriya interaction in an antiferromagnet/ferromagnet heterostructure	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/19	東北大学	口頭発表	
107	R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami and H. Ohno	Extended harmonic Hall measurement of spin-orbit torque efficiencies in antiferromagnet/ferromagnet heterostructures	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/19	東北大学	口頭発表	

108	Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami and H. Ohno	Measurement of spin-orbit torque switching in in-plane nanomagnets using planar Hall geometry	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/19	東北大学	口頭発表	
109	S. DuttaGupta, A. Kurenkov, R. Itoh, C. Zhang, S. Fukami and H. Ohno	Magnetoresistance in a nonmagnet/antiferromagnet metallic heterostructure	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/19	東北大学	口頭発表	
110	A. Okada, S. Kanai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	An effect of electric field on a cone angle at an easy-cone state in CoFeB/MgO stack investigated by ferromagnetic resonance	第65回応用物理学会春季学術講演会	東京	2018/3/19	東北大学	口頭発表	
111	鈴木大輔, 羽生貴弘	MTJ素子を用いた高度演算機能を有する不揮発LUT回路の構成	2018年電子情報通信学会総合大会	東京	2018/3/20	東北大学	口頭発表	
112	H. Ohno	Spintronics Nanoelectronics –Faster, Smarter, and Smaller–	4th CIES Technology Forum	Tokyo, Japan	2018/3/22	東北大学	招待講演	
113	Y.Takahashi	Advanced Power Module Technology – Interface between Power Electronics and Power Devices –	4th CIES Technology Forum	Tokyo, Japan	2018/3/22	東北大学	招待講演	
114	夏井雅典	次世代IoT社会に向けた脳型LSI設計技術	2018年電子情報通信学会総合大会	東京	2018/3/23	東北大学	ポスター発表	
115	B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, H. Ohno	Nanoscale spin-orbit torque devices with Co/Pt multilayers for wide-temperature range applications	INTERMAG2018	Singapore	2018/4/24	東北大学	口頭発表	
116	H. Ohno	Spintronics Nanodevices	INTERMAG2018	Singapore	2018/4/25	東北大学	招待講演	
117	Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, H. Ohno	Harmonic measurement of current induced spin-orbit torques in high-resistivity-W/CoFeB/MgO	INTERMAG2018	Singapore	2018/4/26	東北大学	口頭発表	

118	N. Ichikawa, T. Dohi, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, H. Ohno	Electric-field effect on the exchange stiffness in CoFeB/MgO stacks	INTERMAG2018	Singapore	2018/4/26	東北大学	口頭発表	
119	S. Fukami and H. Ohno	Nonvolatile memory devices with magnetic nanowires controlled by spin-transfer and spin-orbit torques	INTERMAG2018	Singapore	2018/4/27	東北大学	招待講演	
120	K. Watanabe, S. Fukami, H. Sato, H. Ohno, B. Jinnai	X nm Magnetic Tunnel Junctions with Perpendicular Anisotropy	INTERMAG2018	Singapore	2018/4/27	東北大学	口頭発表	
121	M. Shinozaki, J. Igarashi, H. Ohno, H. Sato	Effect of free-layer size on magnetic properties in nanoscale magnetic tunnel junctions	INTERMAG2018	Singapore	2018/4/27	東北大学	口頭発表	
122	深見俊輔, 大野英男	アナログスピントロニクス素子を用いた脳型情報処理	ATI研究会 2018年度第1回スピントロニクス研究会	東京	2018/5/7	東北大学	招待講演	
123	T. Endoh	Impact of nonvolatile brain-inspired VLSIs with CMOS/MTJ hybrid technology	Emerging Technologies 2018	Whistler, Canada	2018/5/9	東北大学	招待講演	
124	鈴木大輔, 岡貴弘, 羽生貴弘	"MTJベース多機能不揮発Lookup Table回路の設計"	電子情報通信学会 リンコンフィギュラブルシステム研究会 (RECONF2018-12)	東京	2018/5/25	東北大学	口頭発表	
125	H. Sato, T. Watanabe, H. Koike, T. Saito, S. Miura, H. Honjo, H. Inoue, S. Ikeda, Y. Noguchi, T. Tanigawa, M. Yasuhira, H. Ohno, S.-Y. Kang, T. Kubo, K. Takatsuki, K. Yamashita, Y. Yagi, R. Tamura, T. Nishimura, K. Murata, and T. Endoh	1T-1MTJ type embedded STT-MRAM with advanced low-damage and short-failure-free RIE technology down to 32 nm ϕ MTJ patterning	International memory workshop	Kyoto, Japan	2018/5/15	東北大学	口頭発表	
126	H. Suda, M. Natsui, and T. Hanyu	Systematic Intrusion Detection Technique for In-Vehicle Network Based on Time-Series Feature Extraction	ISMVL2018	Linz, Austria	2018/5/16	東北大学	口頭発表	

127	鈴木大輔、岡貴弘、羽生貴弘	Potential and challenges of nonvolatile spintronics devices for integrated circuits applications	7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku – York – Kaiserslautern	Kaiserslautern, Germany	2018/5/25	東北大学	口頭発表	
128	S. Fukami and H. Ohno	Potential and challenges of nonvolatile spintronics devices for integrated circuits applications	7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku – York – Kaiserslautern	Kaiserslautern, Germany	2018/5/28	東北大学	招待講演	
129	Y. Takeuchi, C. Zhang, A. Okada, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Extended harmonic Hall measurement of spin-orbit torques in high-resistivity-W/CoFeB/MgO	7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku – York – Kaiserslautern	Kaiserslautern, Germany	2018/5/28	東北大学	ポスター発表	
130	K. Watanabe, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Shape-anisotropy magnetic tunnel junctions	7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku – York – Kaiserslautern	Kaiserslautern, Germany	2018/5/28	東北大学	ポスター発表	
131	J. Igarashi, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, and H. Ohno	Dependence of magnetic anisotropy on free-layer size in nanoscale magnetic tunnel junctions	7th Workshop of the Core-to-Core Project Tohoku – York – Kaiserslautern	Kaiserslautern, Germany	2018/5/28	東北大学	ポスター発表	
132	T. Endoh	STT-MRAM and its Application: NV-Logic from NV-MPU/MCU to NV-AI VLSIs	IEEE International Symposium on Circuits and Systems	Florence, Italy	2018/5/30	東北大学	招待講演	
133	S. Fukami and H. Ohno	Spin-orbit torque switching and its applications – from high-speed memory to artificial neural network –	The 5th International Conference of Asian Union of Magnetism Societies (IcAUMS 2018)	Jeju, Korea	2018/6/5	東北大学	招待講演	
134	T. Endoh	Development of an Innovative IoT & AI chip for future IoT/Automatic Operation system	2018 Conference of Miyagi Prefectural Government	Sendai Sunplaza	2018/6/7	東北大学	招待講演	
135	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Spintronic analog memory for neuromorphic computing	CIMTEC 2018 – 14th International Conference on Modern Materials and Technologies	Perugia, Italy	2018/6/12	東北大学	招待講演	
136	H. Sato, K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Honjo, S. Ikeda, T. Endoh, and H. Ohno	High-performance perpendicular-anisotropy (Co)FeB/MgO-based magnetic tunnel junctions and challenges for their scaling down to single-digit nanometer	2018 Spintronics Workshop on LSI	Honolulu, Hawaii	2018/6/17	東北大学	招待講演	

137	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Neuromorphic computing with analogue spin-orbit torque devices	Workshop on Spintronics and Nanomagnetism for Neuromorphic Computing	Leeds, UK	2018/6/27	東北大学	招待講演	
138	大野英男	スピントロニクス素子:基礎研究から集積回路まで	ImPACT佐橋プログラム 公開成果報告会	東京	2018/6/29	東北大学	招待講演	
139	五十嵐純太, J. Llandro, 佐藤英夫, 大野英男	垂直磁化容易軸を有するナノスケール CoFeB/MgO磁気トンネル接合の保磁力の磁界印加角度依存性	ImPACT佐橋プログラム 公開成果報告会	東京	2018/6/29	東北大学	口頭発表	
140	張超亮, 深見俊輔, S. DuttaGupta, 佐藤英夫, 大野英男	非磁性重金属/強磁性金属/酸化物ヘテロ構造におけるスピン軌道トルク磁化反転の時間・空間的発展様式	ImPACT佐橋プログラム 公開成果報告会	東京	2018/6/29	東北大学	ポスター発表	
141	陣内佛霖, 張超亮, A. Kurenkov, M. Bersweiler, 佐藤英夫, 深見俊輔, 大野英男	高い熱安定性を有する Co/Pt積層膜細線におけるスピン軌道トルク磁化反転	ImPACT佐橋プログラム 公開成果報告会	東京	2018/6/29	東北大学	ポスター発表	
142	S. DuttaGupta, A. Kurenkov, 張超亮, 深見俊輔, 大野英男	反強磁性/強磁性ヘテロ構造におけるスピン軌道トルクとジャロシンスキー・守谷相互作用の反強磁性層膜厚依存性	ImPACT佐橋プログラム 公開成果報告会	東京	2018/6/29	東北大学	ポスター発表	
143	T. Endoh	Impact of CMOS/MTJ Hybrid NV-Logic & 3D Vertical Memory for Innovative IoT/AI Systems	NGL Workshop 2018	Tokyo	2018/7/5	東北大学	招待講演	
144	佐藤英夫, 篠崎基矢, 五十嵐純太, J. Llandro, 渡辺俊成, 小池洋紀, 齋藤節, 三浦真彦, 本庄弘明, 井上博文, 池田正二, 野口靖夫, 谷川高穂, 安平光雄, 大野英男, 康松潤, 久保卓也, 高槻浩一, 山下幸司, 八木靖司, 田村亮, 西村拓郎, 村田耕, 遠藤哲郎	垂直CoFeB/MgO磁気トンネル接合ならびにそれを用いたメモリの特性と加工プロセス	第68回スピンエレクトロニクス専門研究会	京都	2018/7/6	東北大学	招待講演	

145	Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami and H. Ohno	Spin-orbit torque induced switching of in-plane nanomagnet arrays evaluated through differential planar Hall effect	The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018)	San Francisco, USA	2018/7/16	東北大学	ポスター発表	
146	Y. Takeuchi, K. Furuya, Y. Takahashi, C. Zhang, A. Okada, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami and H. Ohno	Spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO heterostructures – Wide-range W resistivity dependence	The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018)	San Francisco, USA	2018/7/16	東北大学	ポスター発表	
147	K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno,	Magnetization reversal mechanism of shape-anisotropy magnetic tunnel junctions	The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018)	San Francisco, CA, USA	2018/7/16	東北大学	ポスター発表	
148	R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami and H. Ohno	Spin-orbit torque of PtMn/CoFeB evaluated by extended harmonic Hall measurement	The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018)	San Francisco, USA,	2018/7/16	東北大学	ポスター発表	
149	S. Fukami	Neuromorphic computing by artificial neural network with analog spin-orbit torque device	The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018)	San Francisco, USA,	2018/7/17	東北大学	招待講演	
150	A. Kurenkov, M. Baumgartner, G. Sala, G. Krishnaswamy, F. Maccherozzi, S. Fukami, P. Gambardella and H. Ohno	Observation of domains during spin-orbit torque induced memristive switching in antiferromagnet/ferromagnet heterostructures	The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018)	San Francisco, USA	2018/7/18	東北大学	口頭発表	
151	S. DuttaGupta, A. Kurenkov, R. Itoh, A. Okada, S. Fukami, and H. Ohno	Angular dependence of magnetoresistance in asymmetric and symmetric nonmagnet/antiferromagnet metallic heterostructures	The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018)	San Francisco, USA	2018/7/20	東北大学	口頭発表	
152	S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno	Angular dependence of magnetoresistance in nonmagnet/antiferromagnet bilayer structure	Tohoku-Tsinghua Joint Workshop on Materials and Spintronics Sciences	Sendai, Japan	2018/7/26	東北大学	招待講演	
153	S. Fukami, C. Zhang, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, B. Jinnai, and H. Ohno	SPIN-ORBIT TORQUE INDUCED MAGNETIZATION SWITCHING FOR HIGH-SPEED NONVOLATILE MEMORIES	23rd International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2018)	Santa Cruz CA, USA,	2018/7/27	東北大学	招待講演	

154	遠藤 哲郎	IoT/AI 時代に求められる革新的エレクトロニクス技術	第3回極限ナノ造形・構造物性研究会・公開講演会	東京	2018/7/30	東北大学	招待講演	
155	H. Ohno	Opening – from PASPS-1 to PASPS-10	10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS10)	Linz, Austria	2018/8/6	東北大学	招待講演	
156	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Neuromorphic computing with analog spin orbit torque device	10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS10)	Linz, Austria	2018/8/7	東北大学	招待講演	
157	J. Igarashi, J. Llandro, M. Shinozaki, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Influence on magnetization switching of edge effects in nano-scale perpendicular-anisotropy CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions	10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS10)	Linz, Austria	2018/8/8	東北大学	ポスター発表	
158	K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	Magnetic tunnel junction scaling into the single-digit nanometer regime	10th International School and Conference on Physics and Applications of Spin Phenomena in Solids (PASPS10)	Linz, Austria	2018/8/9	東北大学	口頭発表	
159	W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno	Antiferromagnet/Ferromagnet Based Spin-Orbit Torque Devices for Hopfield Network Applications	Explorative Workshop: Spintronic Perspectives on Neuromorphic Computing	Jülich, Germany	2018/8/13	東北大学	招待講演	
160	T. Hanyu, T. Endoh, D. Suzuki, M. Natsui, and H. Ohno	Impact of an MTJ-based logic LSI and its possibility	NVMSA2018	函館	2018/8/29	東北大学	招待講演	
161	T. Endoh, T. Hanyu, H. Sato, S. Ikeda, H. Koike, M. Natsui, H. Ohno	"An Overview of STT-MRAM and CMOS/MTJ Hybrid NV-Logic such as NV-MPU/MCU"	IEEE Non-Volatile Memory Systems and Applications Symposium (NVMSA)	函館	2018/8/29	東北大学	招待講演	
162	S. DuttaGupta, A. Kurenkov, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno	Angle dependent magnetoresistance in nonmagnet/antiferromagnet metallic heterostructures	9th Joint European Magnetic Symposia (JEMS2018)	Mainz, Germany	2018/9/6	東北大学	口頭発表	
163	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Analog spintronics device for artificial neural networks	The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2018)	Tarragona, Spain	2018/9/6	東北大学	招待講演	

164	岡貴弘、 鈴木大輔、 羽生貴弘	書き込み回数最小化に基づく省エネルギー不揮発 Lookup Table回路の構成	平成30年度電気関係学会東北支部連合大会	盛岡	2018/9/6	東北大学	口頭発表	
165	千葉智貴、夏井 雅典、羽生貴弘	不揮発量子化ニューラルネットワーク構成に基づく小型・超低消費電力 XNOR 回路の構成	平成30年度電気関係学会東北支部大会	盛岡	2018/9/6	東北大学	口頭発表	
166	遠藤哲郎	CMOS/MTJ Hybrid AIチップのインパクトと、真空プロセスへの期待	真空フォーラム2018	横浜	2018/9/7	東北大学	招待講演	
167	T. Endoh, and Y. Ma	Ultralow-Power and Compact Nonvolatile Brain-Inspired VLSIS Based on CMOS/MTJ Hybrid Technology	SSDM2018	Tokyo	2018/9/11	東北大学	招待講演	
168	W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno	Analog spin-orbit torque switching for neuromorphic application	第42回日本磁気学会学術講演会	東京	2018/9/12	東北大学	招待講演	
169	M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu	MTJ-Based Nonvolatile Logic Gate for Binarized Convolutional Neural Networks and Its Impact	SSDM2018	Tokyo	2018/9/12	東北大学	口頭発表	
170	T. Hanyu	Prospects of Nonvolatile Logic LSI Using MTJ/MOS-Hybrid Circuitry and Its Application	SSDM2018	Tokyo	2018/9/12	東北大学	招待講演	
171	D. Suzuki, and T. Hanyu	A High-Read-Margin MTJ-Based Fracturable Lookup Table Circuit Using a Series-NMOS-Resistance-Reduced Logic-In-Memory Structure	SSDM2018	Tokyo	2018/9/12	東北大学	口頭発表	
172	加藤修治、高橋 良和、遠藤哲郎	BTB用MMCの欠点を克服するStar-Light-Converterの系統電圧低下時の挙動とその応用展開	2018年電気学会電力・エネルギー部門大会	徳島	2018/9/13	東北大学	口頭発表	
173	C. Zhang, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, S. Fukaim, and H. Ohno	Magnetization switching combining spin-orbit torque and spin-transfer torque	第79回応用物理学会秋季学術講演会	名古屋	2018/9/20	東北大学	口頭発表	

174	大野英男	スピントロニクスと産学連携	第46回日本放射線技術学会秋季学術大会	仙台	2018/10/4	東北大学	招待講演	
175	深見俊輔、大野英男	反強磁性/強磁性積層構造におけるスピン軌道トルク磁化反転	第1回ナノスピン研究会「放射光を用いたナノスピン材料科学の新展開」	仙台	2018/10/5	東北大学	招待講演	
176	C. Zhang, Y. Takeuchi, S. Fukami, and H. Ohno	Spin-orbit torque switching in nanoscale devices – physics and material engineering	KITS Workshop 2018	Beijing, China	2018/10/8	東北大学	招待講演	
177	T. Endoh	Ultra-Low Power Brain-Inspired Processors and Neuromorphic Processors using MTJ based Memories	SPICE Workshop “Spintronics meets Neuromorphics”	Mainz, German,	2018/10/8	東北大学	招待講演	
178	T. Funatsu, J. Igarashi, K. Watanabe, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	Magnetic coupling of perpendicular easy axis FeB layers thorough MgO	第37回電子材料シンポジウム The 37th Electronic Materials Symposium	滋賀	2018/10/10	東北大学	ポスター発表	
179	Z. Wang, M. Shinozaki, A. Okada, M. Bersweiler, S. Kanai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Homodyne-detected ferromagnetic resonance in nanoscale MgO/FeB/MgO magnetic tunnel junction	第37回電子材料シンポジウム The 37th Electronic Materials Symposium	滋賀	2018/10/10	東北大学	ポスター発表	
180	K. Furuya, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, C. Zhang, A. Okada, B. Jinnai, S. Fukami and H. Ohno	Enhancement of spin-orbit torque efficiency in W/CoFeB/MgO by engineering W resistivity	第37回電子材料シンポジウム The 37th Electronic Materials Symposium	滋賀	2018/10/10	東北大学	ポスター発表	
181	T. Koga, K. Watanabe, W. A. Borders, S. Fukami and H. Ohno	Stack structure dependence of magnetic properties of granular films for spintronics device applications	第37回電子材料シンポジウム The 37th Electronic Materials Symposium	滋賀	2018/10/10	東北大学	ポスター発表	
182	K. Miyasaka, T. Saino, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno	Evaluation of write-error rate of spin-orbit torque induced magnetization switching	第37回電子材料シンポジウム The 37th Electronic Materials Symposium	滋賀	2018/10/10	東北大学	ポスター発表	
183	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, C. Zhang, S. DuttaGupta, and H. Ohno	Associative memory operation using analog spin-orbit torque device	SPICE Workshop – Spintronics meets Neuromorphics	Mainz, Germany	2018/10/10	東北大学	招待講演	

184	陣内佛霖、張超亮、A. Kurenkov、M. Bersweiler、佐藤英夫、深見俊輔、大野英男	Spin-orbit torque switching in perpendicular-magnetized Co/Pt multilayers	NIMS学術シンポジウム 磁性材料イノベーション	東京	2018/10/15	東北大学	ポスター発表	
185	高橋佑、竹内祐太郎、張超亮、陣内佛霖、深見俊輔、大野英男	Spin-orbit torque switching in in-plane nanomagnets characterized by planar Hall effect	NIMS学術シンポジウム 磁性材料イノベーション	東京	2018/10/15	東北大学	ポスター発表	
186	M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu	MTJ-Based Nonvolatile Ternary Logic Gate for Quantized Convolutional Neural Networks	S3S Conference	San Francisco, USA	2018/10/15	東北大学	口頭発表	
187	遠藤哲郎	賢くなる産業用ロボットを実現する低消費電力AIチップ	Japan Robot Week 2018	東京	2018/10/18	東北大学	招待講演	
188	T. Endoh	Impact of STT-MRAM and MTJ/CMOS Hybrid NV-Logic - from NV-MPU to NV-AI Chip -	NVMTS2018	Sendai	2018/10/22	東北大学	招待講演	
189	R. Tamura, I. Mori, N. Watanabe, H. Koike, and T. Endoh	Accurate error bit mode analysis of STT-MRAM chip with a novel current measurement module implemented to gigabit class memory test system	NVMTS2018	Sendai	2018/10/22	東北大学	招待講演	
190	T. Hanyu	Design of an MTJ-Based Nonvolatile Logic LSI and Its Application	NVMTS2018	Sendai	2018/10/22	東北大学	招待講演	
191	H. Ohno	Spintronics Nanodevices	ACSIN-14 & ICSPM26	仙台	2018/10/24	東北大学	招待講演	
192	深見俊輔、大野英男	アナログスピン軌道トルク素子を用いた人工神経回路網	東京大学CSRN主催ワークショップ「スピン、ニューロモルフィック・コンピューティング」	東京	2018/10/27	東北大学	招待講演	
193	遠藤哲郎	CMOS/MTJ Hybrid AIチップのインパクト	CSRN-Tokyo Workshop 2018	東京	2018/10/27	東北大学	招待講演	

194	深見俊輔、大野英男	一桁ナノメートル磁気トンネル接合	電気通信研究所共同プロジェクト研究会「電荷とスピンの制御に基づく精密物性科学の構築とデバイス応用」	仙台	2018/11/1	東北大学	招待講演	
195	T. Hanyu	Challenge of an MTJ-Based Non-Volatile Logic LSI for Internet-of-Things Application	Workshop on Next Generation Computing System	香港	2018/12/1	東北大学	招待講演	
196	H. Sato, H. Honjo, T. Watanabe, M. Niwa, H. Koike, S. Miura, T. Saito, H. Inoue, T. Nasuno, T. Tanigawa, Y. Noguchi, T. Yoshiduka, M. Yasuhira, S. Ikeda, S.-Y. Kang, T. Kubo, K. Yamashita, Y. Yagi, R. Tamura, and T. Endoh	14ns write speed 128Mb density Embedded STT-MRAM with endurance >1010 and 10yrs retention@85°C using novel low damage MTJ integration process	2018 IEEE International Electron Devices Meeting	San Francisco, USA	2018/12/5	東北大学	口頭発表	
197	羽生貴弘	ポストCMOS回路技術が拓くAIハードウェアの挑戦	デザインガイア2018 -VLSI設計の新しい大地-	広島	2018/12/5	東北大学	招待講演	
198	D. Suzuki, and T. Hanyu	Recent Trends in MTJ-Based Nonvolatile FPGA	CSRN-OSAKA Annual Workshop 2018	大阪	2018/12/13	東北大学	ポスター発表	
199	深見俊輔、大野英男	アナログスピントロニクス素子を用いた脳型情報処理	応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会「量子エレクトロニクスによる未来型情報処理」	長野	2018/12/15	東北大学	招待講演	
200	B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Wide-temperature spin-orbit torque switching operation in high-thermal-stability Co/Pt-multilayer nanowire device	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
201	T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Ferromagnet thickness dependence of effective Dzyaloshinskii-Moriya field in W/(Co)FeB/MgO systems	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	

202	R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami and H. Ohno	Antiferromagnet layer thickness dependence of spin-orbit torque in PtMn/CoFeB structures	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
203	J. Igarashi, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Effects of free layer size on magnetic properties and current induced magnetization switching in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
204	Y. Takahashi, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	Spin-orbit torque-induced switching of in-plane magnetized elliptic nanodots detected using planar Hall effect	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
205	C. Zhang, S. Fukami, S. DuttaGupta, H. Sato, and H. Ohno	Time and spatial evolution of spin-orbit torque-induced switching in W/CoFeB/MgO	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
206	K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	Magnetization Reversal of a 1X/X nm Perpendicular Shape-Anisotropy MTJ	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
207	W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno	Analogue Spin-Orbit Torque Devices for Artificial Neural Network Applications	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
208	S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami and H. Ohno	Angular dependence of longitudinal and transverse magnetoresistance in antiferromagnet/nonmagnetic metallic heterostructures	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	ポスター発表	
209	S. Fukami, and H. Ohno	Spin-Orbit Torque Switching in Nanoscale Devices: Material and Device Engineering	16th RIEC International Workshop on Spintronics & 8th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Sendai	2019/1/10	東北大学	招待講演	
210	千葉智貴, 夏井雅典, 羽生貴弘	MTJベースばらつき補正機能を用いた2値化ニューラルネットワーク向け低消費電力・省面積bitcount回路の構成	第32回多値論理とその応用研究会	東京	2019/1/13	東北大学	口頭発表	

211	Y. Takahashi	Advanced power module technology for WBG devices	Cies Seminar (2nd CIES Power Electronics Forum)	Tokyo	2019/1/15	東北大学	招待講演	
212	T. Suemitsu	GaN power device technology	Cies Seminar (2nd CIES Power Electronics Forum)	Tokyo	2019/1/15	東北大学	招待講演	
213	S. Kato	Our R&D about Power Electronics for Power grids	Cies Seminar (2nd CIES Power Electronics Forum)	Tokyo	2019/1/15	東北大学	招待講演	
214	K. Furuya, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	Relationship between spin-orbit torque switching efficiency and W resistivity in W/CoFeB/MgO	2019 Joint MMM-Intermag Conference	Washington, DC, USA	2019/1/17	東北大学	口頭発表	
215	C. Zhang, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, S. Fukami, and H. Ohno	Sub-ns and low-power magnetization switching by combination of spin-orbit torque and spin-transfer torque	2019 Joint MMM-Intermag Conference	Washington, DC, USA	2019/1/17	東北大学	口頭発表	
216	T. Dohi, S. DuttaGupta, Y. Takeuchi, S. Fukami, and H. Ohno	Sign reversal of Dzyaloshinskii-Moriya effective field with ferromagnetic layer thickness in W/(Co)FeB/MgO heterostructures	2019 Joint MMM-Intermag Conference	Washington, DC, USA	2019/1/17	東北大学	口頭発表	
217	S. Miura, T. V. A. Nguyen, Y. Endo, H. Sato, S. Ikeda, K. Nishioka, H. Honjo, and T. Endoh	Insertion Layer Thickness Dependence of Magnetic and Electrical Properties for Double-CoFeB/MgO-Interface Magnetic Tunnel Junctions	2019 Joint MMM-Intermag Conference	Washington DC, USA	2019/1/17	東北大学	口頭発表	
218	J. Igarashi, S. Kanai, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Asymmetric distortion of astroid curve with current bias in nanoscale magnetic tunnel junction	2019 Joint MMM-Intermag Conference	Washington, DC, USA	2019/1/18	東北大学	口頭発表	
219	M. Shinozaki, T. Dohi, J. Igarashi, J. Llandro, S. Kanai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	Edge state of nanoscale magnetic tunnel junctions proved by spin-wave resonance	2019 Joint MMM-Intermag Conference	Washington, DC, USA	2019/1/18	東北大学	口頭発表	
220	H. Sato, and T. Endoh	Demonstration of high-speed switching, high thermal stability, and high endurance in 128Mb-density STT-MRAM by development of integration process	シリコン材料・デバイス研究会	東京	2019/1/29	東北大学	招待講演	

221	深見俊輔、大野英男	不揮発性スピントロニクス素子技術ー大容量化、高速化、多機能化に向けた取り組みー	日本学術振興会「先端ナノデバイス・材料テクノロジー第151委員会」平成30年度第6回研究会	東京	2019/2/1	東北大学	招待講演	
222	H. Sato, and T. Endoh	Development of Integration process for 128Mb-density embedded STT-MRAM with both high thermal stability factor and endurance	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/16	東北大学	招待講演	
223	D. Suzuki, and T. Hanyu	Challenge of Logic-Circuit Techniques for MTJ-Based Nonvolatile FPGAs	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/16	東北大学	ポスター発表	
224	S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno	Spin Hall Magnetoresistance in antiferromagnet/non-magnet metallic heterostructures	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/16	東北大学	ポスター発表	
225	A. Kurenkov, M. Baumgartner, G. Sala, G. Krishnaswamy, F. Maccherozzi, S. Fukami, P. Gambardella, and H. Ohno	Observation of domains during spin-orbit torque induced memristive switching in antiferromagnet/ferromagnet heterostructures	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/16	東北大学	ポスター発表	
226	B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Magnetization switching induced by spin-orbit torques in Co/Pt multilayer nanowire device over a wide range of temperatures	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/16	東北大学	ポスター発表	
227	C. Zhang, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, S. Fukami, and H. Ohno	Sub-ns switching by combining SOT and STT in MTJ devices	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/16	東北大学	ポスター発表	
228	M. Shinozaki, J. Igarashi, J. Llandro*, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Size Dependence of the Influence of Edge Effects in Nanoscale Perpendicular-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/17	東北大学	招待講演	
229	K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	1X and X nm Perpendicular-easy-axis Magnetic Tunnel Junctions utilizing Shape Anisotropy	The 2nd Symposium for World Leading Research Centers	Sendai	2019/2/17	東北大学	招待講演	
230	高橋佑、竹内祐太郎、張超亮、陣内佛霖、深見俊輔、大野英男	プレーナーホール効果を用いた面内スピン軌道トルク素子の特性評価	第2回スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワークシンポジウム	仙台	2019/2/20	東北大学	招待講演	

231	T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Sign change of effective Dyaloshinskii-Moriya field with varying ferromagnet thickness in W/(Co)FeB/MgO systems	2nd Tohoku/SG-SPIN Workshop in Spintronics	Singapore	2019/2/22	東北大学	ポスター発表	
232	Y. Takeuchi, K. Furuya, Y. Takahashi, B. Jinnai, C. Zhang, S. Fukami, and H. Ohno	Engineering of spin-orbit torques in W/CoFeB/MgO heterostructures for efficient control of magnetization	2nd Tohoku/SG-SPIN Workshop in Spintronics	Singapore	2019/2/22	東北大学	ポスター発表	
233	S. Fukami, and H. Ohno	Spin orbitronics for high-speed memory and artificial neural network	2nd Tohoku/SG-SPIN Workshop in Spintronics	Singapore	2019/2/22	東北大学	招待講演	
234	遠藤哲郎	次世代を拓くIT・輸送システム融合型エレクトロニクス	第10回先端科学技術戦略早期討論会	東京	2019/2/27	東北大学	招待講演	
235	S. Fukami	Spintronic Devices for Neural Networks	APS March Meeting 2019	Boston, USA	2019/3/6	東北大学	招待講演	
236	K. Furuya, Y. Takeuchi, C. Zhang, B. Jinnai, Y. Takahashi, S. Fukami, and H. Ohno	Enhancement of spin-orbit torque in W/CoFeB/MgO by controlling W resistivity	第66回応用物理学会春季学術講演会	東京	2019/3/9	東北大学	ポスター発表	
237	T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Ferromagnetic layer thickness dependent domain wall chirality and sign of effective Dzyaloshinskii-Moriya field in W/(Co)FeB/MgO systems	第66回応用物理学会春季学術講演会	東京	2019/3/10	東北大学	口頭発表	
238	R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Temperature dependence of spin-orbit torques in an antiferromagnet/ferromagnet heterostructure	第66回応用物理学会春季学術講演会	東京	2019/3/11	東北大学	口頭発表	
239	A. Kurenkov, M. Baumgartner, G. Sala, G. Krishnaswamy, F. Maccherozzi, S. Fukami, P. Gambardella, and H. Ohno	Observation of memristive domain patterns during spin-orbit torque switching in antiferromagnet/ferromagnet heterostructures	第66回応用物理学会春季学術講演会	東京	2019/3/11	東北大学	口頭発表	

240	A. Okada, Y. Takeuchi, K. Furuya, C. Zhang, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Determination of spin-orbit torque by spin-torque ferromagnetic resonance free from spin-pumping	第66回応用物理学会春季学術講演会	東京	2019/3/11	東北大学	口頭発表	
241	M. Shinozaki, T. Dohi, J. Igarashi, J. Llandro, S. Kanai, S. Fukami, H. Sato, and H. Ohno	Edge state of nanoscale magnetic tunnel junctions investigated by spin-wave resonance	第66回応用物理学会春季学術講演会	東京	2019/3/12	東北大学	口頭発表	
242	H. Ohno	Spintronics Nanodevices	City University Distinguished Lecture Series	Hong Kong	2019/3/15	東北大学	招待講演	
243	鈴木大輔、羽生貴弘	MTJ素子を用いた不揮発Logic-In-MemoryベースFracturable LUT回路の構成	電子情報通信学会 総合大会	東京	2019/3/19	東北大学	口頭発表	
244	遠藤哲郎	シリコンとスピントロニクスの融合技術が切り拓く革新的AIシステム	人工知能エレクトロニクス(AIE)卓越大学院プログラムキックオフシンポジウム	仙台	2019/3/22	東北大学	招待講演	
245	H. Sato, H. Horjo, T. Watanabe, M. Niwa, H. Koike, S. Miura, T. Saito, H. Inoue, T. Nasuno, T. Tanigawa, Y. Noguchi, T. Yoshiduka, M. Yasuhira, S. Ikeda, S.-Y. Kang, T. Kubo, K. Yamashita, R. Tamura, and T. Endoh	High-performance and high-endurance 128Mb-density STT-MRAM by an integration process development	5th CIES Technology Forum / Day 3 JST OPERA Symposium	東京	2019/3/24	東北大学	招待講演	
246	遠藤哲郎	世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出	5th CIES Technology Forum / Day 2	東京	2019/3/25	東北大学	口頭発表	
247	深見俊輔	スピントロニクス素子開発(形状磁気異方性MTJ)	5th CIES Technology Forum / Day 3 JST OPERA Symposium	東京	2019/3/26	東北大学	口頭発表	
248	高橋良和	GaN on Si デバイス適用/パワーエレクトロニクス技術	5th CIES Technology Forum / Day 3 JST OPERA Symposium	東京	2019/3/26	東北大学	口頭発表	

249	夏井雅典	Basic Technology for Intelligent Transport System	5th CIES Technology Forum / Day 3 JST OPERA Symposium	東京	2019/3/26	東北大学	口頭発表	
250	佐藤英夫、田村亮、渡辺直良、佐藤茂行、内海良一、小磯直也、高橋将友、清藤英博	スピントロニクス集積回路の測定技術の研究開発	5th CIES Technology Forum / Day 3 JST OPERA Symposium	東京	2019/3/26	東北大学	口頭発表	
251	高橋良和、遠藤哲郎	Advanced Power Module Technology for high power, high frequency WBG devices	ICEP(International Conference on Electronics Packaging) 2019	Niigata	2019/4/19	東北大学	招待講演	
252	S. Fukami and H. Ohno	Artificial neural network using analog/binary spintronic devices	"Bits&Brains": Brain-inspired materials and architectures for low energy information technology, a KNAW-Radboud University - symposium	Amsterdam, Netherlands	2019/4/18	東北大学	招待講演	
253	Y. Takahashi, and T. Endoh	Advanced Power Packaging Technology for High Power, High Frequency WBG Devices	2019 International Conference on Electronics Packaging	朱鷺メッセ、新潟市	2019/4/19	東北大学	招待講演	
254	H. Sato, H. Horjo, T. Watanabe, M. Niwa, H. Koike, S. Miura, T. Saito, H. Inoue, T. Nasuno, T. Tanigawa, Y. Noguchi, T. Yoshiduka, M. Yasuhira, S. Ikeda, S.-Y. Kang, T. Kubo, K. Yamashita, R. Tamura, T. Nishimura, K. Murata, and T. Endoh	A demonstration of high-performance STT-MRAM by development of unit process and integration process	電子情報通信学会 集積回路研究会 (ICD)	機械振興会館、東京	2019/4/23	東北大学	招待講演	
255	田村亮	Accurate error bit mode analysis of STT-MRAM chip with a novel current measurement module implemented to gigabit class memory test system	電子情報通信学会 集積回路研究会 (ICD)	機械振興会館、東京	2019/4/23	アドバンテスト	口頭発表	
256	守谷哲、山本英明、袁之雄、脇村桂、平野愛弓、久保田繁、佐藤茂雄	モジュール構造型神経回路モデルにおける機能的複雑性の解析	LSIとシステムのワークショップ 2019	東京大学、東京	2019/5/14	東北大学	ポスター発表	

257	T. Hanyu	Challenge of nonvolatile logic LSI for IoT applications	NII Shonan-Meeting 2019	Kanagawa, Japan	2019/5/16	東北大学	口頭発表	
258	T. Chiba, M. Natsui, and T. Hanyu	Design of a Current-Mode Linear-Sum-Based Bitcounting Circuit with an MTJ-Based Compensator for Binarized Neural Networks	ISMVL2019	Fredericton, Canada	2019/5/21	東北大学	口頭発表	
259	T. Endoh	Ultra-Low Power Brain-Inspired Processors and Neuromorphic Processors With CMOS/MTJ Hybrid Technology	2019 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW)	Rihga Royal Hotel Kyoto, Kyoto, Japan	2019/6/9	東北大学	招待講演	
260	H. Sato, H. Horjo, T. Watanabe, M. Niwa, H. Koike, S. Miura, T. Saito, H. Inoue, T. Nasuno, T. Tanigawa, Y. Noguchi, T. Yoshiduka, M. Yasuhira, S. Ikeda, S.-Y. Kang, T. Kubo, K. Yamashita, R. Tamura, and T. Endoh	128Mb STT-MRAM with high performance and high endurance by an integration process development	2019 Spintronics workshop on LSI	Rihga Royal Hotel Kyoto, Kyoto, Japan	2019/6/9	東北大学	招待講演	
261	羽生貴弘	ポストCMOS回路技術が拓く脳型LSIの挑戦	磁気学会 第6回岩崎コンファレンス	東京	2019/6/10	東北大学	招待講演	
262	K. Nishioka, H. Horjo, S. Ikeda, T. Watanabe, S. Miura, H. Inoue, T. Tanigawa, Y. Noguchi, M. Yasuhira, H. Sato, and T. Endoh	Novel Quad-Interface MTJ-Technology and Its First Demonstration with High Thermal Stability Factor and Switching Efficiency for STT-MRAM beyond 2X nm	2019 Symposia on VLSI Technology	Kyoto, Japan	2019/6/12	東北大学	口頭発表	
263	A. Kurenkov, S. DuttaGupta, C. Zhang, S. Fukami, Y. Horio, and H. Ohno	Antiferromagnet/ferromagnet heterostructures for artificial neurons and synapses	York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on "New-Concept Spintronics Devices"	University of York, UK	2019/6/12	東北大学	ポスター発表	
264	H. Ohno	Spintronics Nanodevice - From integrated circuit application to mimicking brain function -	York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on "New-Concept Spintronics Devices"	University of York, UK	2019/6/12	東北大学	招待講演	

265	J. Igarashi, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Size Dependence of the Influence of Edge Effects in Nanoscale Perpendicular-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions	York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on "New-Concept Spintronics Devices"	University of York, UK	2019/6/13	東北大学	口頭発表	
266	S. DuttaGupta, R. Itoh, A. Kurenkov, S. Fukami, and H. Ohno	Spin Hall Magnetoresistance in antiferromagnet/nonmagnetic metallic structures	York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on "New-Concept Spintronics Devices"	University of York, UK	2019/6/14	東北大学	口頭発表	
267	C. Zhang, Y. Takeuchi, Y. Takahashi, S. Fukami, and H. Ohno	Efficient control of magnetization utilizing spin-orbit torque and spin-transfer torque	York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on "New-Concept Spintronics Devices"	University of York, UK	2019/6/14	東北大学	口頭発表	
268	H. Ohno	Why we need spintronics for the era of AI and IoT?	5th WORLD MATERIALS FORUM	Nancy, France	2019/6/14	東北大学	招待講演	
269	H. Ohno	Spintronics Nanodevice - From Ultimate Scaling to Mimicking Brain Function -	10th International Symposium on Metallic Multilayers (MML 2019)	Madrid, Spain	2019/6/19	東北大学	招待講演	
270	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda, H. Sato, and T. Endoh	Spin-Hall effect in β -phase and α -phase W100-xTax/CoFeB systems	10th International Symposium on Metallic Multilayers (MML 2019)	Madrid, Spain	2019/6/19	東北大学	口頭発表	
271	T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Chirality transition in Dzyaloshinskii-Moriya interaction and domain wall with varying ferromagnet thickness in heavy-metal/ferromagnet heterostructures	Tenth International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SpintechX)	Chicago, IL, USA	2019/6/25	東北大学	ポスター発表	
272	H. Ohno	Spin on Integrated Circuits: Moving Science to Technology	Tenth International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SpintechX)	Chicago, IL, USA	2019/6/26	東北大学	招待講演	
273	T. Endoh	Nonvolatile Brain-Inspired VLSIs Based on CMOS/MTJ Hybrid Technology for Ultralow-Power Performance and Compact Chip	INFOS2019	Cambridge, UK	2019/7/2	東北大学	招待講演	
274	鈴木大輔	FPGAの不揮発化とその展望	第1回ブレインウェア工学研究会	Tohoku University, Sendai, Japan	2019/7/2	東北大学	口頭発表	

275	H. Sato, H. Honjo, T. Watanabe, M. Niwa, H. Koike, S. Miura, T. Saito, H. Inoue, T. Nasuno, T. Tanigawa, Y. Noguchi, T. Yoshiduka, M. Yasuhira, S. Ikeda, S.-Y. Kang, T. Kubo, K. Yamashita, R. Tamura, and T. Endoh	High-performance and high-endurance STT-MRAM by a novel integration process	2019 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (2019AWAD)	Hanwha Resorts Haeundae Busan, Korea	2019/7/2	東北大学	招待講演	
276	ADVANTEST, 東北大学CIES	Future Non-volatile Memory production level engineering solution	SEMICON WEST	San Francisco, US	2019/07/09-11	ADVANTEST, 東北大学	ポスター発表	
277	S. Moriya, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, and S. Sato	Quantitative Analysis of Dynamical Complexity in Cultured Neuronal Network Models for Reservoir Computing Applications	International Joint Conference on Neural Networks 2019	InterContinental Budapest, Budapest, Hungary	2019/7/17	東北大学	口頭発表	
278	T. Endoh	Embedded MRAM and NV-Logic for IoT and AI Applications	MRAM Developer Day 2019	Santa Clara Convention Center, California, USA	2019/8/5	東北大学	招待講演	
279	山岸源征、夏井雅典、羽生貴弘	非相補抵抗状態検出機能を有する高信頼MTJベース不揮発性フリップフロップの構成	2019年度電気関係学会東北支部連合大会	秋田大学、秋田市	2019/8/23	東北大学	口頭発表	
280	M. Natsui	Nonvolatile Logic LSI Design Technology and Its Application to AI Hardware	2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019) Short Courses	Nagoya University, Nagoya, Japan	2019/9/2	東北大学	招待講演	
281	D. Suzuki, and T. Hanyu	Design of an Energy-Efficient Controller for Realizing a Data-Shift-Minimized Nonvolatile FPGA	2019 International Conference on Solid-State Devices and Materials (SSDM 2019)	Nagoya University, Nagoya, Japan	2019/9/4	東北大学	口頭発表	
282	Y. Ma, S. Miura, H. Honjo, S. Ikeda, and T. Endoh	An Ultra-Low-Power STT-MRAM-Based Multi-Core Associative Coprocessor with Inter-Core Pipeline Scheme for Large-Scale Full-Adaptive Nearest Pattern Search	2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2019)	Nagoya University, Nagoya, Japan	2019/9/4	東北大学	口頭発表	

283	S. Fukami	Spin-orbit torque and neural network	2019 International Conference on Solid-State Devices and Materials (SSDM 2019)	Nagoya University, Nagoya, Japan	2019/9/5	東北大学	招待講演	
284	H. Ohno	Why We Need Spintronics in the Era of IoT and AI	Purdue-Tohoku Spintronics Workshop II	Purdue University, IN, USA	2019/9/11	東北大学	招待講演	
285	S. Fukami, and H. Ohno	Spin-orbit torque switching for spiking neural networks	Purdue-Tohoku Spintronics Workshop II	Purdue University, IN, USA	2019/9/11	東北大学	招待講演	
286	W. A. Borders, S. Fukami, and H. Ohno	Demonstration of associative memory using spin-orbit torque artificial synapse	Purdue-Tohoku Spintronics Workshop II	Purdue University, IN, USA	2019/9/11	東北大学	ポスター発表	
287	T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Dzyaloshinskii-Moriya interaction and domain wall chirality in W/(Co)FeB/MgO systems	Purdue-Tohoku Spintronics Workshop II	Purdue University, IN, USA	2019/9/11	東北大学	ポスター発表	
288	S. Fukami	Spin-orbit torque in nonmagnet/ferromagnet systems	Workshop Spintronic Tohoku-Mainz Lorraine 2019	Lorraine University, Nancy, France	2019/9/17	東北大学	招待講演	
289	T. Endoh	Ultra-Low Power Brain-Inspired Processors and Neuromorphic Processors with CMOS/MTJ Hybrid technology for Edge AI Systems	Tohoku-Lorraine Conference 2019	Lorraine University, Nancy, France	2019/9/18	東北大学	招待講演	
290	J. Igarashi, S. Kanai, M. Shinozaki, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Magnetic-field angle dependence of coercivity with and without bias current in nanoscale magnetic tunnel junctions	Workshop Spintronic Tohoku-Mainz Lorraine 2019	Lorraine University, Nancy, France	2019/9/19	東北大学	口頭発表	
291	H. Ohno	Magnetic Tunnel Junction: Scaling and beyond	Workshop Spintronic Tohoku-Mainz Lorraine 2019	Lorraine University, Nancy, France	2019/9/20	東北大学	招待講演	
292	深見俊輔	スピントロニクス素子を用いた人工ニューラルネットワーク	第80回応用物理学会秋季学術講演会	北海道大学、札幌市	2019/9/20	東北大学	招待講演	

293	W. A. Borders, H. Akima, S. Fukami, S. Moriya, S. Kurihara, Y. Horio, S. Sato, and H. Ohno	Analogue Spin-Orbit Torque Device for Artificial-Neural-Network-Based Associative Memory Operation	第80回応用物理学会秋季学術講演会	北海道大学、札幌市	2019/9/20	東北大学	招待講演	
294	V. Zoysa, R. Itoh, Y. Takeuchi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Composition dependence of spin-orbit torque in Pt1-xMnx/CoFeB heterostructures	第80回応用物理学会秋季学術講演会	北海道大学、札幌市	2019/9/20	東北大学	口頭発表	
295	S. Fukami, W. A. Borders, A. Kurenkov, and H. Ohno	Artificial Neural Networks with Spintronics	第43回 日本磁気学会学術講演会	京都大学、京都市	2019/9/27	東北大学	招待講演	
296	S. Fukami, and H. Ohno	Neuromorphic Computing with Spintronics	SPICE Workshop on Antiferromagnetic Spintronics: from topology to neuromorphic computing	Mainz, Germany	2019/10/9	東北大学	招待講演	
297	R. Okuda, T. Saino, Y. Takeuchi, B. Jinnai, S. Ikeda, S. Fukami, and H. Ohno	Structure and magnetic properties of sputter-deposited L10-MnAl thin films for high-density STT-MRAM	The 38th Electronic Materials Symposium	THE KASHIHARA、橿原市	2019/10/9	東北大学	ポスター発表	
298	T. Endoh	Impact of STT-MRAM and CMOS/MTJ Hybrid NV-Logic from NV-MCU to NV- Brain-Inspired AI Processors	ADMETA Plus 2019	Tokyo, Japan	2019/10/10	東北大学	招待講演	
299	M. Natsui, and T. Hanyu	MTJ-Based Nonvolatile Ternary Logic Gate for Quantized Convolutional Neural Networks	IEEE SOI-3D-Subthreshold Microelectronics Technology Unified Conference	San Jose, USA	2019/10/14	東北大学	口頭発表	
300	深見俊輔、大野英男	スピントロニクス素子を用いた新概念コンピューティング	リザーブコンピューティングワークショップ～基礎から最前線まで～	JST東京本部、東京	2019/10/24	東北大学	招待講演	
301	R. Tamura, N. Watanabe, S. Sato, H. Koike, H. Sato, S. Ikeda, and T. Endoh	A novel memory test system with an electromagnet for STT-MRAM testing	Non-Volatile Memory Technology Symposium 2019 (NVMTS 2019)	Washington Duke Inn, Durham, North Carolina, USA	2019/10/28	東北大学	ポスター発表	
302	T. Endoh	Society 5.0を実現する革新的省エネルギー半導体デバイス&システム技術～スピントロニクス技術が切り拓く革新的IoT・AI / 自動運行システム～	東北大学 Innovators' Conference	International Affairs Center, Sendai, Japan	2019/10/30	東北大学	招待講演	

303	T. Endoh	Society 5.0を支えるMRAMベースAIアプリケーションプロセッサの最前線	NEDIA 第6回 電子デバイスフォーラム京都(2019)	Kyoto, Japan	2019/10/31	東北大学	招待講演	
304	T. Endoh	Ultra-Low Power Brain-Inspired Processors and Neuromorphic Processors with CMOS/MTJ Hybrid Technology for Edge AI Systems	IEEE CPMT Symposium Japan 2019	Kyoto University, Kyoto, Japan	2019/11/19	東北大学	招待講演	
305	T. Endoh	STT-MRAM and CMOS/MTJ Hybrid AI processors for Low Power Edge System	8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI)	Tohoku University, Sendai, Japan	2019/11/27	東北大学	招待講演	
306	遠藤哲郎	Society 5.0を支える圧倒的低消費電力を実現するMRAMベース AIアプリケーションプロセッサのインパクト	トランジスタ・メモリアル・カンファレンス2019	富士ソフトアキバプラザ、東京	2019/11/27	東北大学	招待講演	
307	高橋良和、遠藤哲郎	高パワー密度、高周波WBG デバイスに向けたパワーモジュール技術の研究	電気学会研究会電子デバイス/半導体電力変換合同研究会	東北大学、仙台市	2019/11/28	東北大学	招待講演	
308	土田健祐、成田克	GaN-HEMTオーミック電極表面の平坦化に関する検討	応用物理学会東北支部 第74回学術講演会	日本大学工学部、郡山市	2019/12/2	山形大学	口頭発表	
309	S. Moriya, H. Yamamoto, Z. Chen, K. Wakimura, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, S. Sato	Time-series information processing in cultured neuronal network models	The 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications	Berjaya Times Square Hotel Kuala Lumpur, Malaysia	2019/12/3	東北大学	口頭発表	
310	M. Shinozaki, J. Igarashi, J. Llandro, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Ferromagnetic resonance and current induced magnetization switching in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions	17th RIEC International Workshop on Spintronics and 10th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Tohoku University, Sendai, Japan	2019/12/5	東北大学	ポスター発表	
311	C. Zhang, Y. Takeuchi, S. Fukami, and H. Ohno	Magnetization reversal via the combination of spin-orbit torque and spin-transfer torque in sub-ns region	17th RIEC International Workshop on Spintronics and 10th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Tohoku University, Sendai, Japan	2019/12/5	東北大学	ポスター発表	
312	S. DuttaGupta, R. Itoh, S. Fukami, and H. Ohno	Antiferromagnet layer thickness dependence of spin-Hall magnetoresistance in PtMn/Pt metallic heterostructures	17th RIEC International Workshop on Spintronics and 10th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Tohoku University, Sendai, Japan	2019/12/5	東北大学	ポスター発表	

313	K. Furuya, Y. Takeuchi, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	Large spin orbit torque in W/CoFeB/MgO with high W resistivity	17th RIEC International Workshop on Spintronics and 10th JSPS Core-to-Core Workshop on "New-Concept Spintronic Devices"	Tohoku University, Sendai, Japan	2019/12/5	東北大学	ポスター発表	
314	篠崎基矢、土肥昂亮、五十嵐純太、J. Llandro、金井駿、深見俊輔、佐藤英夫、大野英男	Edge condition of nanoscale magnetic tunnel junctions proved by spin-wave resonance	PASPS-24 第24回半導体におけるスピン工学の基礎と応用	東北大学、仙台市	2019/12/17	東北大学	ポスター発表	
315	羽生貴弘	デバイス技術・回路技術・アーキテクチャ技術の融合による新しい設計パラダイム	三菱電機(株)情報技術総合研究所	情報技術総合研究所、鎌倉市	2019/12/24	東北大学	招待講演	
316	羽生貴弘	脳型コンピューティングの基礎	第3回ARLセミナー	那須塩原市	2019/12/26	東北大学	招待講演	
317	S. Katoh	Introduction of current research	CIES Seminar (3rd CIES Power Electronics Forum)	Station Conference Tokyo, Sapia Tower	2020/1/15	東北大学	招待講演	
318	T. Suemitsu	GaN power device technology	CIES Seminar (3rd CIES Power Electronics Forum)	Station Conference Tokyo, Sapia Tower	2020/1/15	東北大学	招待講演	
319	Y. Takahashi	Power Module Technology for WBG devices (GaN-on-Si,SiC)	CIES Seminar (3rd CIES Power Electronics Forum)	Station Conference Tokyo, Sapia Tower	2020/1/15	東北大学	招待講演	
320	H. Shen, and T. Endoh	A Novel Cluster Validity Index using Global Separation and Local Dispersion for High Accuracy Image Classification	The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics	International Affairs Center, Sendai, Japan	2020/2/10	東北大学	ポスター発表	
321	遠藤哲郎	省エネ社会を拓く革新的半導体技術と岩手への期待」～地域と世界を繋げるオープンイノベーション型産学官金連携～	令和元年度第2回「北上川バレープロジェクトシンポジウム」	岩手大学、盛岡市	2020/2/10	東北大学	招待講演	
322	T. Saino, S. Kanai, M. Shinozaki, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	Write-error rate of nanoscale magnetic tunnel junctions in the precessional regime	The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics	International Affairs Center, Sendai, Japan	2020/2/10	東北大学	ポスター発表	

323	G. Yamagishi, M. Natsui, and T. Hanyu	Design of a Resilient Nonvolatile Flip-Flop with Common-Mode Write Error Detection	The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics	International Affairs Center, Sendai, Japan	2020/2/10	東北大学	ポスター発表	
324	A. Kurenkov, S. Fukami, Y. Horio, and H. Ohno	Spintronics for uniform artificial synapse and neuron	The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	Tohoku University, Sendai, Japan	2020/2/13		口頭発表	
325	M. Natsui, T. Chiba, and T. Hanyu	Impact of nonvolatile logic design techniques for spintronics-based edge AI computing	The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	Tohoku University, Sendai, Japan	2020/2/13	東北大学	口頭発表	
326	T. Endoh	Nonvolatile Logic and Smart Nonvolatile Processors with CMOS/MTJ Hybrid Technology for IoT and AI (AIoT) Edge System	2020 International Solid-State Circuits Conference Forum	Marriott Marquis Hotel, San Francisco, CA USA	2020/2/16	東北大学	口頭発表	
327	J. Igarashi, K. Watanabe, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	Thermal stability of 1X/X nm magnetic tunnel junctions with interfacial or shape anisotropy at high temperature	第67回応用物理学会春季学術講演会	上智大学、東京	公知: 2020/2/28 (発表予定日3/13)	東北大学	口頭発表	
328	K. Furuya, Y. Takeuchi, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	Low-current spin-orbit torque switching of W/CoFeB/MgO nanodots by tuning W resistivity	第67回応用物理学会春季学術講演会	上智大学、東京	公知: 2020/2/28 (発表予定日3/14)	東北大学	口頭発表	
329	T. Dohi, S. DuttaGupta, S. Fukami, and H. Ohno	Current-induced motion of synthetic antiferromagnetic skyrmion bubble	第67回応用物理学会春季学術講演会	上智大学、東京	公知: 2020/2/28 (発表予定日3/14)	東北大学	ポスター発表	
330	永沼 博、佐藤 英夫、池田 正二、遠藤 哲郎	Estimation of switching energy barrier by String method assuming side-wall damage in perpendicular magnetized magnetic tunnel junctions	第67回応用物理学会春季学術講演会	上智大学、東京	公知: 2020/2/28 (発表予定日3/14)	東北大学	ポスター発表	
331	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda and T. Endoh	Large spin Hall effect and enhancement of perpendicular magnetic anisotropy in artificially synthesized W/Hf multilayers/CoFeB system	The International Magnetism Conference 2020 (INTERMAG 2020)	Montreal, Canada (Canceled)	2020/4/25 (Abstract publicized)	東北大学	口頭発表	
332	M. Niwa, K. Kimura, T. Najjou, A. Oshurahunov, S. Nagamachi, H. Inoue, H. Honjo, S. Ikeda and T. Endoh	Structural analysis of CoFeB/MgO-based perpendicular MTJs with junction size of less than 20 nm by STEM tomography	The International Magnetism Conference 2020 (INTERMAG 2020)	Montreal, Canada (Canceled)	2020/4/25 (Abstract publicized)	東北大学	招待講演	

333	H. Honjo, M. Niwa, K. Nishioka, T. Nguyen, M. Yasuhira, S. Ikeda and T. Endoh	Influence of hard mask material on magnetic properties of perpendicular MTJs with double CoFeB/MgO interface	The International Magnetism Conference 2020 (INTERMAG 2020)	Montreal, Canada (Canceled)	2020/4/25 (Abstract publicized)	東北大学	口頭発表	
334	T. Endoh, H. Honjo, K. Nishioka, and S. Ikeda	Recent progresses in STT-MRAM and SOT-MRAM for next generation MRAM	2020 Symposia on VLSI Technology and Circuits, TMFS.1	Online	2020/6/14-19	東北大学	招待講演	
335	H. Ohno	(Plenary) Spintronics Device-Scaling to Single Digit nm and More	78th Device Research Conference (DRC)	Online	2020/6/22	東北大学	招待講演	
336	H. Koike, T. Tanigawa, T. Watanabe, T. Nasuno, Y. Noguchi, M. Yasuhira, T. Yoshiduka, Y. Ma, H. Honjo, K. Nishioka, S. Miura, H. Inoue, S. Ikeda, and T. Endoh	Review of STT-MRAM circuit design strategies, and a 40-nm 1T-1MTJ 128Mb STT-MRAM design practice	The 31st Magnetic Recording Conference (TMRC2020)	Online	2020/8/17	東北大学	招待講演	
337	T. Endoh	Recent progresses in STT-MRAMs and Nonvolatile Brain-Inspired Processors Based on CMOS/MTJ Hybrid Technology for Ultralow-Power IoT/AI Systems	The 31st Magnetic Recording Conference (TMRC2020)	Online	2020/8/18	東北大学	招待講演	
338	深見俊輔	スピントロニクスによる不揮発性メモリと新概念コンピューティング	強制的秩序とその操作に関わる研究グループ 第11回 夏の学校	Online	2020/9/7	東北大学	招待講演	
339	遠藤哲郎	スピントロニクスが切り拓く革新的AIプロセッサ	第81回応用物理学会秋季学術講演会	Online	2020/9/9	東北大学	招待講演	
340	J. Igarashi, B. Jinnai, V. Desbuis, S. Mangin, S. Fukami, H. Ohno	Energy barrier of X/1X-nm shape-anisotropy magnetic tunnel junctions at high temperature	第81回応用物理学会秋季学術講演会	Online	2020/9/10	東北大学	口頭発表	
341	R. Tamura, N. Watanabe, S. Sato, H. Koike, S. Ikeda, T. Endoh	STT-MRAM memory test system with an electromagnet	The 15th D2T Symposium, The University of Tokyo	Online	2020/9/17	東北大学	招待講演	

342	H. Ohno	Spintronics Nanodevice – How small can we make it and what else can we use it for	On-line SPICE-SPIN+X Seminars	Online	2020/9/23	東北大学	招待講演	
343	Y. Takako, D. Suzuki, M. Natsui and T. Hanyu	Systematic Design Flow for Realizing MTJ-Based Nonvolatile FPGAs	2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2020)	Online	2020/9/30	東北大学	口頭発表	
344	G. Yamagishi, M. Natsui and T. Hanyu	Design of a Magnetic-Tunnel-Junction-Based Nonvolatile Flip-Flop with Common-Mode Write Error Detection	2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2020)	Online	2020/9/30	東北大学	口頭発表	
345	H. Shen, Y. Ma and T. Endoh	A High Accuracy Cluster Validation Index Processor using Novel Global Separation and Local Dispersion based Architecture for High Efficiency Machine Learning	2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), L-10-01	Online	2020/9/30	東北大学	口頭発表	
346	T. Hanyu	Challenge of Nonvolatile Logic LSI for Edge AI Applications	The University of Aizu Research Cluster Forum	Online (The University of Aizu)	2020/10/24	東北大学	招待講演	
347	羽生貴弘	不揮発性ロジックが拓く脳型コンピューティング LSIの挑戦	第7回電子デバイスフォーラム京都	Hybrid (京都)	2020/10/30	東北大学	招待講演	
348	S. Fukami	Spin-orbit torque-induced magnetization switching for high-speed embedded memory	6th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment (ENGE 2020)	Jedu, Korea + Online	2020/11/3	東北大学	招待講演	
349	T. Hanyu	Impact of a nonvolatile multiple-valued circuit technique for energy-efficient binarized neural-network hardware	The 6th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment (ENGE2020)	Jedu, Korea + Online	2020/11/4	東北大学	招待講演	
350	J. Igarashi, B. Jinnai, V. Desbuis, S. Mangin, S. Fukami, and H. Ohno	Variation of energy barrier with temperature in X/1X-nm shape-anisotropy magnetic tunnel junctions	65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020)	Online	2020/11/6	東北大学	口頭発表	
351	Y. Saito, N. Tezuka, S. Ikeda and T. Endoh	Flat and Highly (100) Texture of MgO Tunnel Barrier and W/Hf Thickness Ratio Dependence in MgO/CoFeB/(W/Hf)-Multilayer Large Spin Hall Effect Electrode System	65th annual Magnetism & Magnetic Materials Conference (MMM2020)	Online	2020/11/6	東北大学	ポスター発表	

352	T. Oka, D. Suzuki, and T. Hanyu	Challenge of Energy-Efficient Edge-AI Hardware Using Spintronics-Based Nonvolatile Logic	2020 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2020)	Online	2020/11/16	東北大学	口頭発表	
353	鐘方岑, 夏井雅典, 羽生貴弘	不揮発ロジックLSIのパワーゲーティングスイッチ制御技術に関する一検討	電子情報通信学会 技術報告(デザインガイア 2020)	Online	2020/11/17	東北大学	口頭発表	
354	鈴木 大輔, 羽生 貴弘	不揮発 FPGAベース Binarized-Convolutional Neural Networkアクセラレータのための LUTシフト機能の検討	第30回日本神経回路学会全国大会 (JNNS2020)	Online	2020/12/4	東北大学	招待講演	
355	T. Endoh	STT and SOT MRAM technologies and its applications from IoT to AI System	66th International Electron Devices Meeting (IEDM)	Online	2020/12/5	東北大学	招待講演	
356	B. Jinnai, J. Igarashi, K. Watanabe, T. Funatsu, H. Sato, S. Fukami, and H. Ohno	High-Performance Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions down to 2.3 nm	IEEE International Electron Devices Meeting 2020	Online	2020/12/16	東北大学	口頭発表	
357	F. Zhong, M. Natsui, and T. Hanyu	Power-Gating Switch-Control Technique for Nonvolatile Logic LSI	The 4th International Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics	Online	2021/2/24	東北大学	ポスター発表	
358	J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, S. Fukami, and H. Ohno	Ultra-Small Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions: Physics and Device Engineering	The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics	Online	2021/2/25	東北大学	招待講演	
359	H. Shen, Y. Ma, and T. Endoh	A High Accuracy Cluster Validation Index Processor using Novel Global Separation and Local Dispersion based Architecture for Low-Power MTJ/CMOS Hybrid Machine Learning System	The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics	Online	2021/2/25	東北大学	招待講演	
360	J. Igarashi, B. Jinnai, S. Fukami, and H. Ohno	Shape-anisotropy magnetic tunnel junctions with multilayered ferromagnets	Tohoku-Lorraine Joint Conference 2021 "Spintronic"	Online	2021/3/3	東北大学	口頭発表	
361	J. Igarashi, B. Jinnai, V. Desbuis, S. Mangin, S. Fukami, H. Ohno	Physics and stack engineering of ultra-small magnetic tunnel junctions using shape anisotropy	第68回応用物理学会春季学術講演会	Online	2021/3/17	東北大学	招待講演	

362	三浦 貞彦	Scalability of Quad Interface p-MTJ for 1X nm STT-MRAM with 10ns Low Power Write Operation, 10 years Retention and Endurance > 10 ¹¹	電子情報通信学会 集積回路研究会	Online	2021/4/13	東北大学	招待講演	
363	B. Jinnai, J. Igarashi, S. Fukami and H. Ohno	Ultra-Small Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions Below 10 nm – Material, Device Engineering, and Performance (invited)	IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG) 2021, CG-01	Online	2021/4/26-30	東北大学	招待講演	
364	J. Igarashi, B. Jinnai, K. Watanabe, S. Fukami and H. Ohno	Crossover of Magnetization Reversal Mode With Thickness and Diameter in Shape-Anisotropy Magnetic Tunnel Junctions	IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG) 2021, CG-02	Online	2021/4/26-30	東北大学	口頭発表	
365	T. Endoh	Advanced MTJ and SOT Technology for AI and Automobile applications	IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG) 2021, CG-07	Online	2021/4/26-30	東北大学	招待講演	
366	羽生貴弘	不揮発ロジックが拓くエッジAI/ハードウェア・パラダイムの展望	LSIとシステムのワークショップ 2021	Online	2021/5/10	東北大学	招待講演	
367	H. Naganuma, S. Miura, H. Horjo, K. Nishioka, T. Watanabe, T. Nasuno, H. Inoue, T. V. A. Nguyen, Y. Endo, Y. Noguchi, M. Yasuhira, S. Ikeda, and T. Endoh	Advanced 18 nm Quad-MTJ technology overcomes dilemma of Retention and Endurance under Scaling beyond 2X nm	2021 Symposium on VLSI Technology, T12-4	Online	2021/6/18	東北大学	口頭発表	
368	T. Endoh	Recent progresses in STT-MRAMs, SOT-MRAMs for lowpower AI/IoT Processors	The 32nd Magnetic Recording Conference (TMRC 2021)	Online	2021/8/17	東北大学	招待講演	
369	坂本 佳介, 夏井 雅典, 羽生 貴弘	パワーゲティング機能付き不揮発RISC-V CPUの基礎検討	電気関係学会東北支部連合大会	Online	2021/8/26	東北大学	口頭発表	
370	T. Endoh	STT-MRAM and MTJ/CMOS hybrid NV-application processor for IoT and AI era	Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2021)	Online	2021/8/26	東北大学	招待講演	

371	F. Zhong, M. Natsui, and T. Hanyu	Dynamic Power-Gating-Switch Control Technique and Its Application to an Energy-Efficient Embedded STT-MRAM	2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2021)	Online	2021/9/7	東北大学	口頭発表	
372	D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu	A Memory-Access-Minimized BCNN Accelerator Using Nonvolatile FPGA with Only-Once-Write Shifting	2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2021)	Online	2021/9/7	東北大学	口頭発表	
373	T. Endoh	Ultra Low Power AI Processor Based on CMOS/MTJ Hybrid Technology	Global Summit and Expo on Magnetism and Magnetic Materials 2021 (GSEMMM 2021)	Online	2021/9/20	東北大学	招待講演	
374	中野 泰誠, 成田 克	Al GaN /Ga N HEMT上への表面平坦なTi/Al/Tiオーミック電極 形成	第82回応用物理学会秋季学術講演会	Online	2021/9/23	山形大学	ポスター発表	
375	Y. Ma, T. Li and T.Endoh	High-accuracy and High-power-efficiency Intelligent Processing Circuit Engines for Adaptive Learning and Recognition on AI Processor Systems	The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science	Online	2021/10/26	東北大学	ポスター発表	
376	H. Koike, T. Tanigawa, T. Watanabe, T. Nasuno, Y. Noguchi, M. Yasuhira, T. Yoshiduka, Y. Ma, H. Horjo, K. Nishioka, S. Miura, H. Inoue, S. Ikeda and T.Endoh	Review of STT-MRAM Circuit Technologies, and a Design Study of 40-nm 1T-1MTJ 128Mb STT-MRAM	The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science	Online	2021/10/27	東北大学	招待講演	
377	遠藤 哲郎	CMOS/MTJ Hybridプロセッサ・メモリによる高演算性能と低消費電力のジレンマの解決	電子機器トータルソリューション展2021	東京	2021/10/29	東北大学	招待講演	
378	T. Hanyu	Challenge of MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Circuits and Their Applications	2021 IEEE/ACM International Symposium on Nanoscale Architectures (NANOARCH 2021)	Online	2021/11/10	東北大学	招待講演	
379	鐘方岑, 夏井雅典, 羽生貴弘	動作環境適応型/パワーゲーティングスイッチ制御技術とその不揮発ロジック LSI への応用	IEICE デザインガイア2021	Online	2021/12/2	東北大学	口頭発表	

380	T. Hanyu	Challenge of MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Circuits and Their Applications	Joint Seminar of BRAIN INSPIRED COMPUTING, PHYSICS, ARCHITECTURE S, MATERIALS AND APPLICATIONS (BICPAMA)	Online	2021/12/8	東北大学	招待講演	
381	B. Jinnai, J. Igarashi, T. Shinoda, K.Watanabe,S. Fukami, and H. Ohno	Fast Switching Down to 3.5 ns in Sub-5-nm Magnetic Tunnel Junctions Achieved by Engineering Relaxation Time	IEEE IEDM	San Francisco + Online	2021/12/13	東北大学	口頭発表	
382	D. Suzuki, T. Oka, and T. Hanyu	A Memory-Access-Minimized BCNN Accelerator Using Nonvolatile FPGA with Only-Once-Write Shifting	IEEE 14th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC2021)	Online	2022/12/20	東北大学	口頭発表	
383	Y. Saito, S. Ikeda, and T. Endoh	Co/Pt/NS/Pt/Co (NS= Ru, Ir) synthetic antiferromagnetic layers for spin-orbit torque switching originating from the spin-Hall effect	2022 Joint MMM-Intermag Conference	New Orleans (Hybrid)	2022/1/10-14	東北大学	口頭発表	
384	T. Hanyu	Prospects of MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Circuits and Their Applications to AI Hardware	The 3rd International Symposium on AI Electronics	webによる virtual 開催	2022/2/15	東北大学	招待講演	
385	T. Oka, D. Suzuki, and T. Hanyu	Design of an Energy-Efficient Binarized CNN Accelerator Using an Appropriate Schedule of Intra-Data Life Time	The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	webによる virtual 開催	2022/2/19	東北大学	口頭発表	
386	鈴木大輔, 夏井雅典, 羽生貴弘	スピントロニクス素子ベース不揮発FPGA: 超低消費電力再構成可能ハードウェアプラットフォームへの挑戦	電子情報通信学会総大会2022	webによる virtual 開催	2022/3/18	東北大学	口頭発表	
387	鐘方岑, 夏井雅典, 羽生貴弘	不揮発LSI向け可変パワーゲーティングスイッチ構造とその動的制御に関する研究	ICD学生・若手研究会	Online	2022/3/19	東北大学	口頭発表	
388	Y. Takahashi	Integrated power electronics technology applying wide-bandgap devices	6th & 7th CIES Technology Forum	Online	2022/3/22	東北大学	招待講演	
389	遠藤哲郎	世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出 /World-leading open innovation platform of fusion technologies bridged IT and transportation system areas	6th & 7th CIES Technology Forum	Online	2022/3/23	東北大学	口頭発表	

(終了報告) OPERA 活動実績一覧【幹事機関:東北大学】

領域名: 世界の知を呼び込むIT・輸送システム融合型エレクトロニクス技術の創出

⑪ 受賞

No	受賞名	主催(表彰団体名)	受賞者氏名	受賞者所属機関	受賞年月	備考 (関連する研究開発課題番号等)
1	平成29年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(科学技術賞 開発部門)	文部科学省	大野英男	東北大学	2017.4	
2	2017 IEEE International Magnetics Conference, Best Poster Award	IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG2017)	M. Bersweiler, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno	東北大学	2017.4	
3	第42回(2017年春季)応用物理学会講演奨励賞	公益社団法人応用物理学会	W. A. Borders	東北大学	2017.5	
4	応用物理学会第7回英語講演奨励賞	公益社団法人応用物理学会	W. A. Borders	東北大学	2017.7	
5	Best Poster Award	The 3rd ImPACT Internatinal Symposium on Spintronic Memory, Circuit and Storage	C. Zhang, S. Fukami, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno	東北大学	2017.9	
6	第11回青葉工学振興会賞	一般財団法人青葉工学振興会	深見俊輔	東北大学	2017.12	
7	IEEE Fellow	IEEE	H. Ohno	東北大学	2018.1	
8	Young Researcher Award	Asian Union of Magnetics Societies	S. Fukami	東北大学	2018.6	
9	Best Poster Award	ICM2018(The 21st International Conference on Magnetism)	K. Watanabe	東北大学	2018.7	
10	優秀研究賞	日本磁気学会	深見俊輔	東北大学	2018.9	
11	Best Poster Award	2nd Symposium for World Leading Research Centers -Materials Science and Spintronics	A. Kurenkov	東北大学	2019.2	
12	東北大学工学研究科長賞	東北大学工学部・工学研究科	渡部杏太	東北大学	2019.3	
13	田中貴金属記念財団「貴金属に関わる研究助成金」ゴールド賞	田中貴金属記念財団	深見俊輔	東北大学	2019.3	
14	講演奨励賞	第46回(2019年春季)応用物理学会	土肥 昂堯	東北大学	2019.5	
15	RIEC Award 東北大学学生賞	一般財団法人電気通信工学振興会	渡部 杏太	東北大学(平成31年3月博士課程修了)	2019.11	

16	Best Poster Award	The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics	沈 暉	東北大学	2020.2	
17	東北大学工学研究科長賞	東北大学工学部・工学研究科	土肥 昂堯	東北大学	2020.3	
18	フロンティア材料研究所学術賞	東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所	永沼 博	東北大学	2020.7	
19	応用物理学会英語講演奨励賞	応用物理学会	五十嵐純太	東北大学	2020.11	
20	総長賞	東北大学	五十嵐純太	東北大学	2021.3	
21	第49回(2020年秋季)応用物理学会講演奨励賞	応用物理学会	五十嵐純太	東北大学	2021.3	
22	Best Poster Award	The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics	五十嵐純太	東北大学	2021.3	
23	2021年電気関係学会東北支部連合大会電子情報通信学会東北支部学生優秀論文賞	電気関係学会東北支部連合大会	坂本 佳介	東北大学	2021.12	
24	井上研究奨励賞	公益財団法人井上科学振興財団	渡部 杏太	東北大学	2022.2	
25						
26						
27						
28						
29						
30						

7 社会実装に向けたロードマップ

(1) パワーエレクトロニクス技術 ～グリーン・パワーエレクトロニクスの実現～

事業終了後は、東北大学・国際集積エレクトロニクス研究開発センター（地域オープンイノベーション拠点（国際展開型）に経産省より認定）内に産学連携コンソーシアムを構築し、早い段階から協力企業との連携を開始する。採択された国プロ（我が国の半導体戦略事業：文部科学省）と民間共同研究を活用して、本事業の成果をベースに、小型・高周波・高パワー密度対応 DC-DC コンバータ、高周波対応パワーモジュール、新冷却システム、新樹脂絶縁基板、新セラミック絶縁基板、次世代ゲート回路装置の研究・開発を展開し 2025 年からの次世代パワーエレクトロニクス技術である、スマートパワーモジュール、集積化パワーユニット、次世代インバータ制御の事業化研究開始へとつなげる。社会実装の姿としては、研究開発の成果が活かされる製品群は EV、ロボット、データセンター用電源、太陽光用 PCS（パワーコンディショナー）などの社会で膨大に使われる製品群であり、脱炭素社会実現に大きく貢献する。加えて脱炭素社会の実現を含む国民生活の視点に留まらず、これらの製品群の市場規模が大きいことから、我が国の産業競争力の強化にも不可欠な技術であり、その価値は非常に高い。これにより、我が国のパワーエレクトロニクス分野でのプレゼンスが高まることとなる。

(2) スピントロニクス技術 ～エッジコンピューティングデバイスの進化～

事業終了後は、非競争領域の展開として、我が国の半導体戦略を踏まえた、スピンを用いた低消費電力・新機能デバイスの開発を進める。特に、不揮発性記憶素子と演算素子の機能を兼ね備えた IoT 向けのエナジーハーベスティングデバイスの開発（2025 年目標）、さらにいまだに決定的なデバイスが確定していない、人工知能に適したニューロモルフィックデバイス（2027 年目標）、およびそれらを可能にするスピントロニクス材料の開発を目指す。また、電子スピン、電荷、光を融合させた量子情報処理デバイス（例えば疑似量子アニーリングデバイス（2030 年目標））の研究を進め、グリーン・デジタルコンピューティングの基盤となる技術を創成する。これらの研究の推進では、設計、製造、物理学、材料・デバイス、評価・分析、システムの各分野間の連携を密にとりつつ、社会実装に向けた開発拠点を構築する。

東北大学は、この分野で世界をリードする優れた研究グループが存在し、国内外の研究機関とのネットワークを有しており、国際的共同研究の中心拠点としての機能を整備してイノベーションを目指す。

(3) AI チップ技術～CMOS 技術との融合によるグリーン・デジタルコンピューティングの実現～

今後の AI チップでは、大量のデータを扱うエッジコンピューティングにおいて、それらを高速に演算処理する必要がある。しかし、既存の CMOS 技術では、情報の記憶を担うメモリ素子が揮発性であるため、常時、電源を供給している必要があり、また、入出力配線の複雑化しており、消費電力及び動作速度の面でエッジコンピューティングとして大きな課題を抱えている。

本事業終了後は、出口としての IoT ソリューション創出を念頭においた競争領域において、既存の CMOS 技術の抱えている課題を解決するため、本事業の成果である不揮発性を特徴とするスピントロニクスデバイスを、我が国の半導体戦略事業や国際産学連携プロジェクトにて、本開発の技術を CMOS 技術と融合させ集積回路レベルでの実証開発を、国際集積エレクトロニクス研究開発センターの 300mm プロセスラインを活用して推進し、数年後に 1Xnm 以下の MTJ 技術構築を展開する。

また、さらに、CMOS/スピントロニクス融合技術の設計を容易化する IP/PDK 設計ツール等の施系環境を開発することにより、CMOS/スピントロニクス融合技術を幅広く活用可能とする普及促進のための開発基盤の構築も実現する。

さらに製造及び評価分析装置に関しては、大手ファウンドリが MRAM チップ生産開始をアナウンスしており、この動向に対応すべく競争領域における展開を加速させる。

(4) 研究開発成果を実用化・事業化へと繋げるための競争⇔非競争領域ブリッジ機能

本事業終了後は、当該プロジェクトの研究開発成果を競争領域での実用化・事業化へを促進させるために、参画企業及びさらに企業を取り込み、参加企業群と一体となって AI チップから出口までを包含するエコシステムを構築する。このためには、各社が保有する要素技術を企業間の垣根を越えて統合する必要がある。加えて、各事業分野内から各事業分野間に至る川上から川下の様々な企業等が連携し、新しい技術バリューチェーンを創出しながら本エコシステムを構築する必要がある。その中心に中立的機関である東北大学がキーストーンとなりトータルエコシステムを構築する。この枠組みを当該技術分野におけるオープンコンソーシアムを形成し、国内企業への技術普及促進、技術支援、人材供給等に努める。

また、パワーエレクトロニクスにおいても、事業終了後は、国プロ（我が国の半導体戦略事業：文部科学省）を活用して、非競争領域を展開するとともに、共同研究を活用することにより競争領域への展開も図る。

上記の活動においては、各協力企業の事業推進者や最先端技術者を踏まえてのアドバイザーボードを立ち上げ、日々の研究開発に関するアドバイスをうけるとともに、プロジェクト終了後の事業化に繋げる。加えて、上述のように東北大学・国際集積エレクトロニクス研究開発センター内に産学連携コンソーシアムの構築を準備し、研究成果の実用化に向けた活動を行う。

(5) 今後の展望

①国民生活への波及効果

グリーン・デジタルコンピューティングの中核技術である、革新的スピントロニクス/CMOS 融合技術がもたらす破壊的とも言うべき 1/100~1/1,000 に及ぶ消費電力削減効果及び新 AI・IoT 半導体技術の実現により、小型・超省電力かつ高性能なエッジ領域のデバイスが登場することとなり、従来できなかったエッジ領域での AI 処理が初めて実現される。また、グリーン・パワーエレクトロニクスの中核技術であり、パワーエレクトロニクスの集積化およびソフト面での AI 化による集積化パワーエレクトロニクスの実現により、EV、ロボット、データセンター用電源、太陽光用 PCS（パワーコンディショナー）など小中容量電力を扱う広く社会で膨大に使われる製品群の省エネ化が実現され、加えて、大容量分野である、再生可能エネルギー拡大のキーテクノロジーであるグリッドフォーミング（電力系統を形成する）機能付加の研究開発も進むことになり、CO2 排出量削減に対し貢献する。

これにより、モノや人が自律的かつリアルタイムでドライブされる世界が構築されることになり、様々な領域において、自律化、快適化、生産性の向上が促進され、国民生活の利便性が大幅に向上する。また、エッジコンピューティングの実現により、クラウドとの通信データ量の削減が実現し、通信に係る電力の低減及びクラウドでの情報処理量の削減により、エッジ領域のみならず、クラウドコンピューティング低消費電力化が図られる。本活動を力強く推進することにより、カーボンニュートラルや SDGs のみならず経済安全保障分野等にも貢献する。

②産業社会への波及効果

また、産業面においても、本技術は自動車・交通の輸送システム分野に止まらず、ヘルスケア分野、シティ分野、インダストリー分野をはじめ、ホーム分野にも社会実装可能なものであり、カーボンニュートラルなど我が国が目指す産業社会の革新に大きく貢献するものである。我が国にとって、重要なIT産業や自動車関連産業などの産業競争力を高める波及効果もある。

このように、東北大学・国際集積エレクトロニクス研究開発センターを中心とするコンソーシアム形成により、整備されたグリーン・デジタルコンピューティング及びグリーン・パワーエレクトロニクスの研究開発環境は、わが国にとって非常に重要であるIT産業から次世代輸送システム産業、パワーエレクトロニクス産業の国際的な競争力強化につながり、そして、国を挙げて推進しているカーボンニュートラルの実現に対して幅広い分野で貢献できるものである。

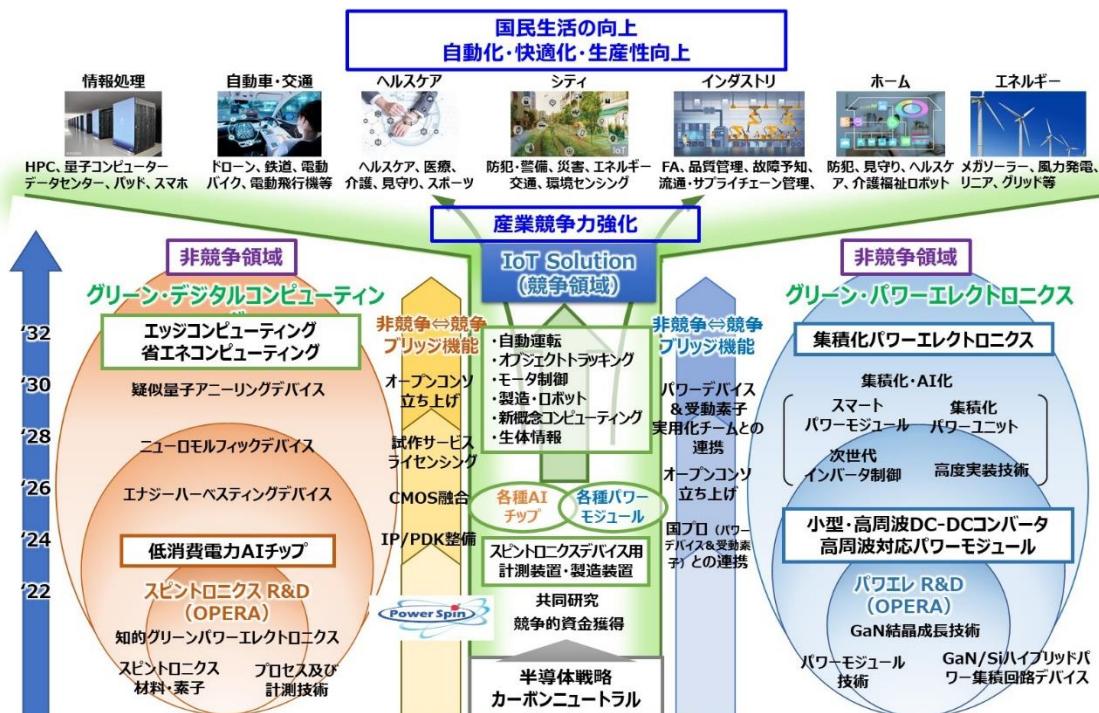


図 7-3 事業後の研究成果の展開のロードマップ ～グリーン・デジタルコンピューティングとグリーン・パワーエレクトロニクスの融合～

8 領域統括によるプロジェクト総括と今後の展望

文部科学省として、アカデミアがやるべき非競争領域の研究から、学生支援（RA）までをアカデミアだけでなく、産学連携で行うという新しい試みのプロジェクトであったため、プロジェクト推進の中で東北大学京都大学山形大学との協議や参加企業との連携のやり方に関する議論を通じて、今後の大学における高度な産学連携の在り方について有益な知見・ノウハウが蓄積できて感謝している。この知見やノウハウは、このプロジェクトに留まらず全学的にも新しいスタイルの大学運営が求められている中で貴重な資産であると考えている。

具体的には、東北大学のケースにおいては、OI 戦略機構として結実し、これらの高度な産学連携運営のノウハウを活かして医療・ライフ分野から材料、エレクトロニクス分野へと幅広く展開するに至っている。

加えて、3 機関（東北大学、京都大学、山形大学）6 社（東京エレクトロン株式会社、キーサイト・テクノロジー・インターナショナル合同会社、株式会社アドバンテスト、株式会社東栄科学産業、株式会社ティ・ディ・シー、東北イノベーションキャピタル株式会社）で始まった本事業であるが、毎年の成果と社会に向けた情報発信を通じて、最終的には 30 社へとプロジェクトが拡大でき、今後の産学連携活動に向けた大きなチーム編成ができたことも大きな成果と考えている。

さらに、最終年度においては、コロナ禍という世界的なパンデミックの中で本プロジェクトの遂行が危ぶまれたが文部科学省ならびに評価委員の先生方のご配慮もあり 1 年の延長をしていたいただいたお蔭で当初の計画が全て実施できたことについても、改めて御礼申し上げたい。

9 特殊用語等の説明

用語	説明
スピントロニクス	電子が持つ電荷とスピンの両方を利用するエレクトロニクス分野。スピントロニクスから生まれた造語。
STT-MRAM	スピン注入磁化反転 (spin transfer torque : STT) と呼ぶデータ書き換え技術を用いた磁気抵抗変化型メモリ (MRAM)。
SOT-MRAM	スピン軌道トルク (spin orbit torque : SOT) と呼ぶデータ書き換え技術を用いた磁気抵抗変化型メモリ (MRAM)。
磁気異方性	磁性体結晶において測定の方角によって磁気的性質が違っているとき磁気異方性があるという。特に強磁性体の自発磁化においては、向きやすい方向を磁化容易軸という。
垂直磁化型磁気トンネル接合	磁石の性質を持つ強磁性薄膜 2 枚で絶縁体膜を挟んだ「強磁性層/絶縁層/強磁性層」の構造を基本としてスピントロニクス素子。2 枚の強磁性層の電子スピン状態の相対的な向き膜表面に垂直方向にあり、平行な場合には抵抗が低くなり、反平行な場合には抵抗が高くなるトンネル磁気抵抗効果を示す。
ワーキングメモリ	コンピュータが処理するデータを一時的に保存するための記憶装置。
FPGA	FPGA (英: field-programmable gate array) は、製造後に購入者や設計者がフィールド (現場) で論理回路の構成をプログラムできるゲート (論理回路) を集積したデバイスです。
パワーゲーティング	パワーゲーティングは、集積回路内の使用していない非動作部の電力供給を停止することでリーク電流の削減を図る技術です。
磁気ダンピング	磁化の歳差運動における磁気摩擦を意味します。記録では、磁化方向 (N 極と S 極の向き) により情報を記録しますが、その際、磁気的摩擦の低減が情報書き換え (磁化方向反転) に必要な電力の低減につながります。
FMR	強磁性共鳴 (Ferromagnetic resonance : FMR) とは、強磁性材料の磁化を検査する分光学的手法である。

ホモダイナ検波	高周波信号と同じ周波数の局部発振信号をミックスして、直接 低周波信号を取り出す受信方式。高周波信号の振幅位相情報を正確に測定することができる。
エピタキシャル成長	不純物や欠陥のない結晶層を作るために、半導体の単結晶の基板の上に、新しく単結晶の薄膜を成長させる技術。
バッファ層	エピタキシャル成長において、基板結晶と格子定数がことなる（ミスフィット）結晶を成長させる場合、基板結晶とエピタキシャル結晶層の間にバッファ層と呼ばれる中間層を導入して、ミスフィット転位を入りにくくする工夫がなされることもある。
オーミック電極	電流の方向と電圧の大きさによらず、抵抗値が一定の電極。GaN 等の禁制帯幅が広い場合、金属電極との間に高いショットキー障壁を生じてしまい、低抵抗なオーミック電極の形成が難しい。
パワーデバイス	電力制御用の半導体デバイス。既存の Si デバイスでは、その材料物性から変換効率の限界が近づいているため、この Si を凌駕する材料物性を持つ GaN での高効率駆動技術が有望視されている。
パワーモジュール	複数個のパワー半導体を組合わせて 1 パッケージ化した製品。電子機器の小型化や製造時の生産性改善に貢献する。
プロセス TEG (Test Element Group)	半導体デバイスの製造工程に利用されるプロセスパラメータの最適化を行うためのテストパターンであり、パターン形状、配線、コンタクトなどの評価に用いる。
SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis, スパイス)	電子回路シミュレータであり、電子回路の設計や評価において広く利用されるようになっている。
アーキテクチャ	情報システムの基本設計や設計思想、およびその設計思想に基づいて構築されたシステムの構造などのこと
人工知能 (AI)	人が実現するさまざまな知覚や知性等の「知的活動」を人工的にコンピュータプログラムとして実現すること
ニューロン回路	生物の神経細胞を模倣した電子回路。
ニューラルネットワーク	脳の神経回路の一部を模した数理モデルで、AI (人工知能) を支える、技術。