



スピントロニクス省電力半導体による
ゲームチェンジと、カーボンニュートラルへの貢献

2023年7月15日

国立大学法人東北大学
国際集積エレクトロニクス研究開発センター
工学研究科、電気通信研究所
スピントロニクス融合半導体創出拠点

遠藤 哲郎



人材育成

各機能の一体運営による共鳴場の構築

国際産学共創コンソーシアム

大学の機能拡張と人材育成の高度化

研究

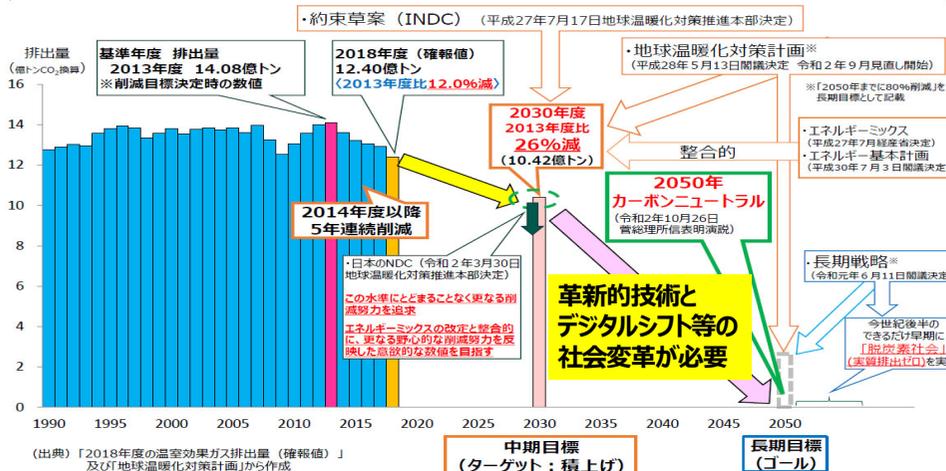
産学共創

< CIESの活動領域：半導体・集積回路・そのシステム >

- ◆カーボンニュートラル実現に大きく貢献
 - ✓CO2削減効果：全産業領域の約21%
- ◆社会変革（デジタルシフト、Society5.0等）を先導
 - ✓IoT、AI、5G/6G、自動運転、セキュリティ等の基盤技術
- ◆経済安全保障に不可欠
 - ✓米中対立等：システム覇権を目指して、半導体・集積回路の輸出入規制

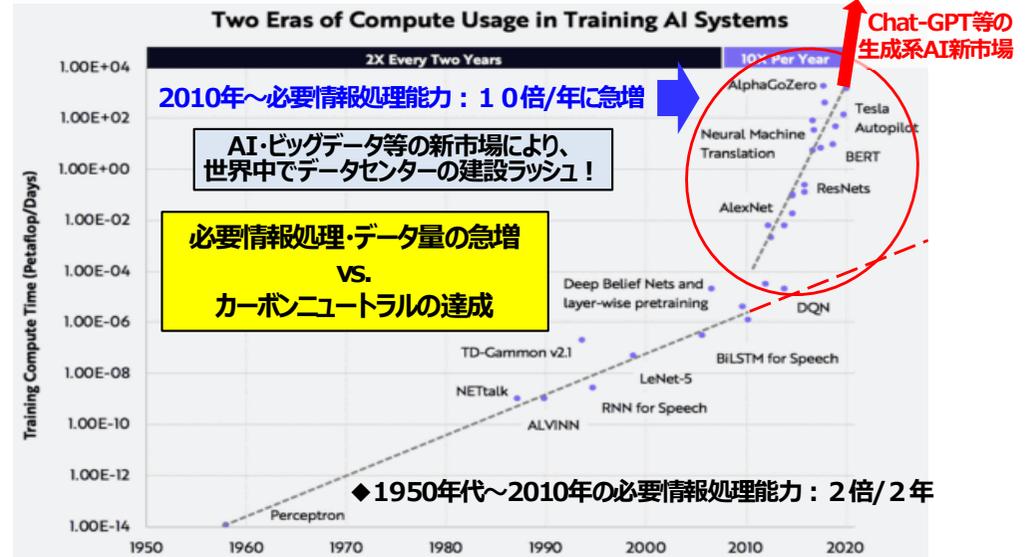
カーボンニュートラル達成における半導体・集積回路の貢献

我が国の温室効果ガス削減の中期目標と長期的に目指す目標



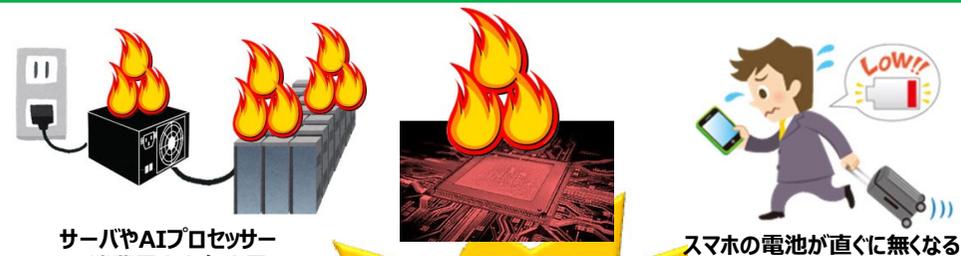
カーボンニュートラルの達成には、
CO2排出抑制貢献比率で20%以上を占める半導体・集積回路の低消費電力化が必要

AI・ビッグデータ等の新市場による必要情報処理・データ量の急増



<https://ark-invest.com/analyst-research/ai-training/>
T. Endoh, "3D integration of memories including heterogeneous integration", VLSI-TSA 2021

社会課題：高度情報化社会とカーボンニュートラルとの両立 新たなゲームチェンジ技術が必要



サーバやAIプロセッサの消費電力も急上昇

スマホの電池が直ぐに無くなる

社会ニーズ

半導体の消費電力を1/100に下げたい！



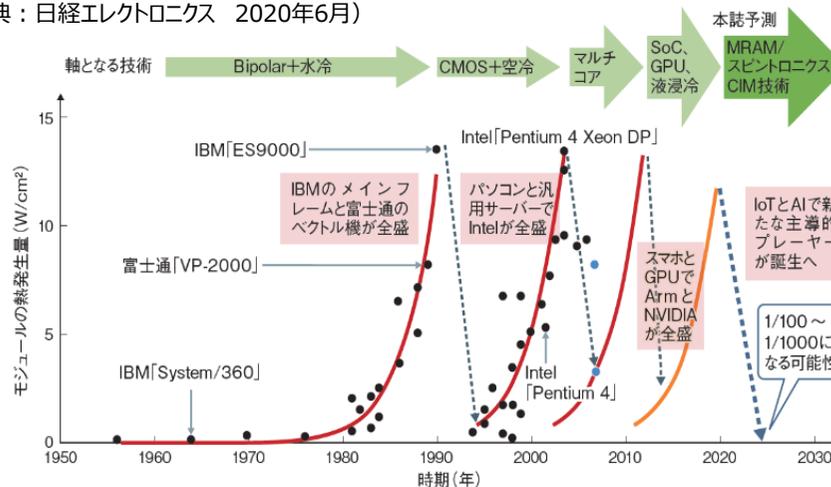
ロボットも直ぐに電池切れ



燃費の低下

半導体・エレクトロニクス市場のゲームチェンジの原動力:省電力化

(出典：日経エレクトロニクス 2020年6月)



技術の限界：システムからの発熱量 > 放熱性能
⇒ 省電力化が、研究フェーズから実用化への原動力

ゲームチェンジ技術である スピントロニクス省電力半導体

大野英男総長
スピントロニクスの世界を代表する研究者



従来の半導体 ⇨ スピントロニクス半導体

記憶情報 = 電子の電荷

→ “1” = 電荷有
→ “0” = 電荷無

記憶情報 = 電子のスピンの向き(スピントロニクス)

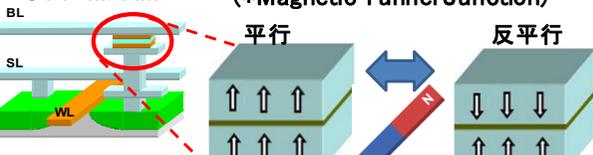
→ “1” = ↑ or “0” = ↓

DRAMの例



電源を切るとデータが消える(揮発性)

STT-MRAM



磁気トンネル接合素子: MTJ*
(*Magnetic Tunnel Junction)

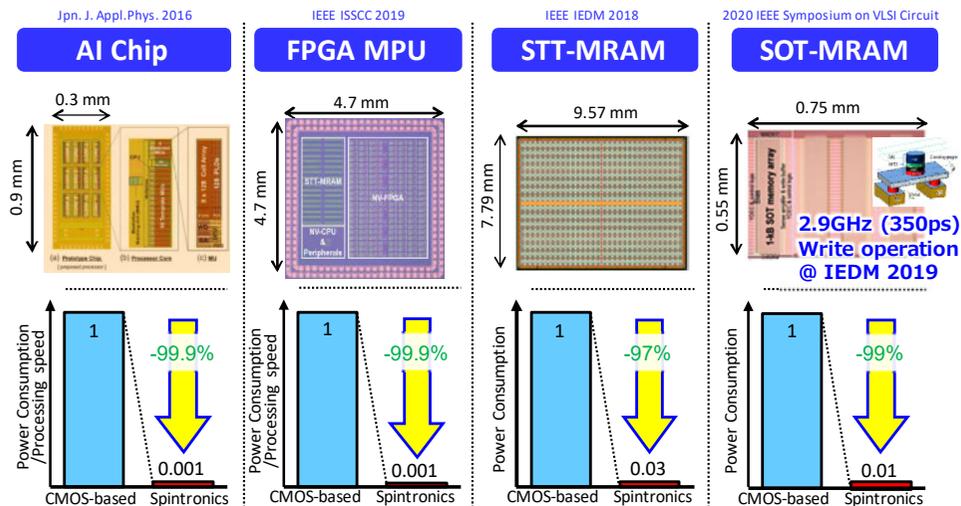
電源を切ってもデータ保持(磁石の向き: N極・S極は保持)

低消費電力化・大容量化の限界

新動作原理のスピントロニクス半導体による省電力プロセッサ・メモリを実現

◆スピントロニクス/CMOS融合技術のコンセプト:
論理演算・情報制御はCMOSが担い、データの記憶をスピントロニクスが担う。

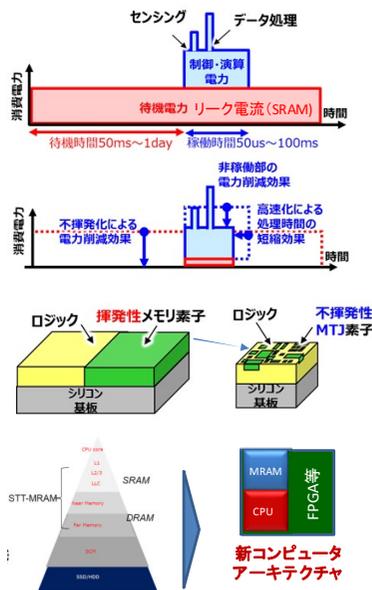
スピントロニクス省電力半導体技術による メモリからロジックLSIの低消費電力化の実証@ 東北大学



ロジックLSIの消費電力を1/100にできる技術は、スピントロニクス半導体技術のみ
⇒消費電力が実用化の壁となっているAIプロセッサやIoTデバイス分野における
圧倒的な差別化技術

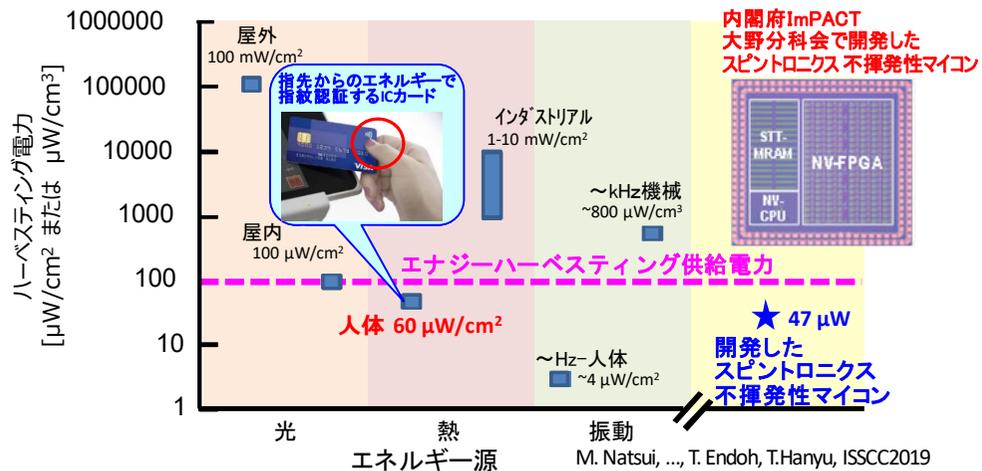
スピントロニクス省電力半導体技術の優位性と価値

- 不揮発性**
(データ保持に電力不要) **1/100~1/1,000**
- 低消費電力**
(稼働時のみ電力消費)
■ Google Tensor に比べ1/1,000 実現
■ 47μW マイコン 試作
- 小面積**
(低コスト) **1/5 ~ 1/10**
- 高速動作**
(性能向上) **100万倍**
VS. NANDメモリ



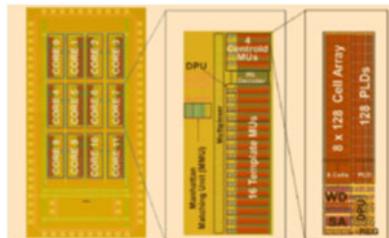
エナジーハーベ스팅で駆動する IoTマイコンの開発に成功@東北大学

指先からの体温やモータの排熱など、その場にあるエナジーハーベスト電力で稼働する軽いAIハード(ICカード, ICタグシステム, センサーノード等)への道を拓く。
⇒電源インフラ(電力供給, 電源ライン)に強い制限を有するフィジカル空間に大きな市場。



消費電力を1/2000に削減できる 画像認識向けAIプロセッサの開発に成功@東北大学

スピントロニクスによる新AI半導体技術で革新的なAIチップの開発に成功
⇒既存のAIチップと比較して、同一演算性能で3桁の低消費電力化を実現



| | |
|------------------------|--------------------------|
| プロセス | 90nm-CMOS/70nm-MTJ |
| コアサイズ | 0.3mm x 0.9mm |
| 周波数 | 20 MHz |
| 供給電圧 | 0.9 V |
| 平均動作電力 | 600 μW (30μW/MHz) |
| スループット (cycles/vector) | 16 |



T. Endoh MMM2016, T. Endoh SEMICON China2017@ Tohoku Univ.
テンソル・プロセッシング・ユニット(TPU) 1/2000 @Google

- ◆ プロセス: 28 nm CMOS
- ◆ 周波数: 700 MHz
- ◆ 動作電力: 28~40W **(40~57mW/MHz)**

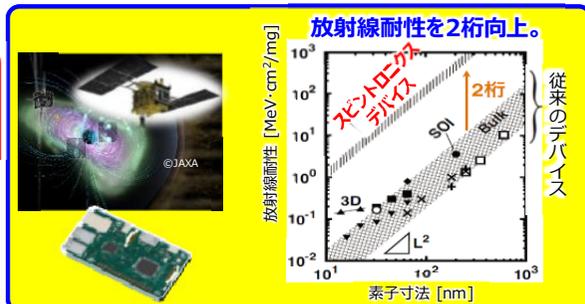
宇宙空間等の耐環境空間へのIT技術の拡張を可能にするスピントロニクス省電力半導体技術@東北大学 & JAXA



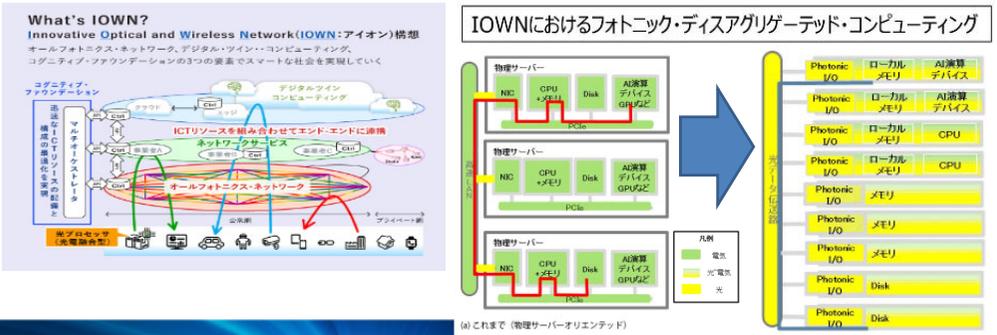
スピントロニクス半導体による超省電力耐環境システム

既存の半導体技術の課題

- 1 低消費電力性能を改善 ⇒ 2~3桁の低消費電力化 @同一性能
- 2 高温下での誤作動を改善 ⇒ 1000万年@150°C (従来: 10年@85°C)
- 3 放射線環境下での誤作動 ⇒ 2桁向上



スピントロニクス省電力半導体（メモリ・プロセッサ）による NTT IOWN構想・グリーンデータセンターへの貢献



**スピントロニクス半導体による、
新しい光電融合システムを支える**

- ◆ 省電力高速不揮発メモリ
- ◆ 省電力プロセッサ・アクセラレータなどへの貢献



スピントロニクス省電力半導体を活用した製品事例

MRAMがついに表舞台！！



Arm: Cortex-M33ベースのIoT端末向けテストチップに、今後はMRAMを用いることを発表@サンプルチップ 名:「Musca-S1」

ソニー&Huawei: ソニー:GNSS向けSoC『CXD5605』に採用 Huawei:スマートウォッチ「GT2」に搭載

Ambiq Micro: 「Apollo4」と「Apollo4 Blue」を発表 MRAM採用により、動作時消費電流を半減

文部科学省「次世代X-nics半導体創生拠点形成事業」 スピントロニクス融合半導体創出拠点 (拠点長: 遠藤 哲郎)

- ◆ 我が国が先導してきた集積回路の省電力化のゲームチェンジ技術であるスピントロニクスを中核に据え、新材料・素子の研究開発とその特性を引き出す回路・アーキテクチャ・集積化技術の研究開発を推進し、CMOS半導体の発展を加速させる動く省電力半導体チップに向けたプロトタイプ検証までを、連携・協力機関と共に総合的に展開する。
- ◆ スピントロニクス融合半導体研究の展開の中で、光・ニューロ・ロボティクスとエレクトロニクスの融合領域や、医療・宇宙・情報セキュリティ等の新応用を開拓して新学理と情報社会の変革まで先導し、我が国の半導体に係る研究開発力の向上に寄与する。
- ◆ 本拠地に若手研究者や学生も積極的かつ戦略的に参画させて、実践力と俯瞰力を持った人材を育成する。



スピントロニクス省電力半導体開発拠点

★設計・材料・デバイス・チップ実証・システム化までを一貫して開発 ★開発実証による世界を先導する省電力技術の創出





Power Spin パワースピン(株) 東北大学発ベンチャー

革新的技術で、消費電力と演算性能のジレンマを解決していきます。



仙台本社@東北大学キャンパス内 横浜事業所@クイーンズスクエア横浜A棟

最近のパワースピン(株)の報道事例

東北大発新興の半導体設計

パワースピン、横浜に拠点

26年度メド社員4倍 車・家電向け受注拡大

日経新聞 2022年1月31日

仙台に半導体再興の芽

STARTUP 地域と育つ

東北大学

日経産業新聞 2022年10月31日

メタバース・エッジコンピューティングの実現 省電力半導体(プロセッサ、メモリ、パワエレ等)がキーテクノロジー

出典：第一生命経済研究所

出典：NTT

出典：エレクトロニクス

出典：トヨタ自動車

ゲームチェンジ技術である スピントロニクス省電力半導体が切り拓く未来

カーボンニュートラル(省電力化)と高度情報化社会(AI、ビッグデータ、DX、耐環境等)のジレンマを解決!

クラウド・データセンター 社会インフラシステム エッジ端末

自動運行システム メタバース・AI 耐環境(宇宙・成層圏)次世代通信システム

出典：NTT

出典：NEC

出典：エレクトロニクス

出典：トヨタ自動車

出典：第一生命経済研究所

出典：NTT

産と学の力&理工学と社会科学の力を結集し、
革新的コア技術群と高度人材を創出してまいります。

そして、学術の発展と高度人材育成を産業界による本格的な研究開発につなげ、
我が国の産業競争力強化とイノベーション創出に貢献して参ります。

今後とも、高所大所より、ご支援・ご指導のほど、よろしくお願いいたします。

