

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

第76回 東北大学 電気通信研究所 (2024.3.1)

12:05 – 12:10(5分) : 「研究所の概要」 所長 羽生 貴弘

12:10 – 12:25(15分) : 若手研究者からのプレゼン

①「スピントロニクスの新概念エレクトロニクス応用」

計算システム基盤研究部門スピントロニクス研究室 准教授 金井 駿

②「ヒューマン・ワークスペース・インタラクションに関する研究」

人間・生体情報システム研究部門インタラクティブコンテンツ研究室 助教 藤田 和之

12:25 – 12:45(20分) : 質疑応答



TOHOKU
UNIVERSITY

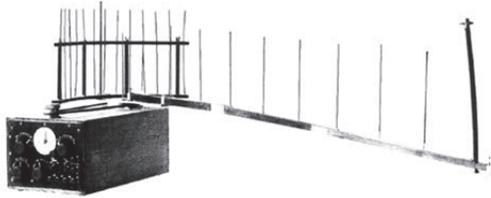


RIEC

電気通信研究所の概要



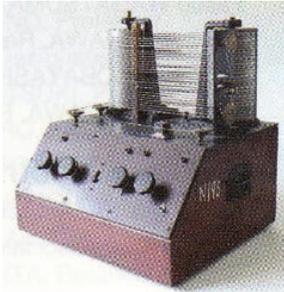
電気通信研究所 所長 羽生 貴弘



八木・宇田アンテナ (1929)



分割陽極マグネトロン (1927)



交流バイアス磁気記録 (1937)



垂直磁気記録ハードディスク
のプロトタイプ(2005)

- 1950 光通信の三大要素
- 1950 静電誘導トランジスタ
- 1958 パラメトロン式計算機SENAC-1
- 1958 合金粉末テープ
- 1975 すだれ電極SAWフィルター
- 1977 垂直磁気記録

- 1935 電気通信研究所設置
- 1994 全国共同利用型研究所
- 2010 共同利用・共同研究拠点

文化勲章



西澤潤一先生 (1989)
名誉教授



岩崎俊一先生(2013)
特別名誉教授

文化功労者



舛岡富士雄先生 (2013)
名誉教授

基本理念と使命

基本理念と使命

電気通信研究所は、高密度及び高次情報通信に関するこれまでの研究成果を基盤とし、そこで培われてきた独創性と附置研究所としての機動性を活かして、人間と機械の調和あるインターフェイスまでをも包括した**人間性豊かなコミュニケーションを実現**する総合的科学技术の学理と応用の研究を、この分野の研究中枢として牽引し続けます。

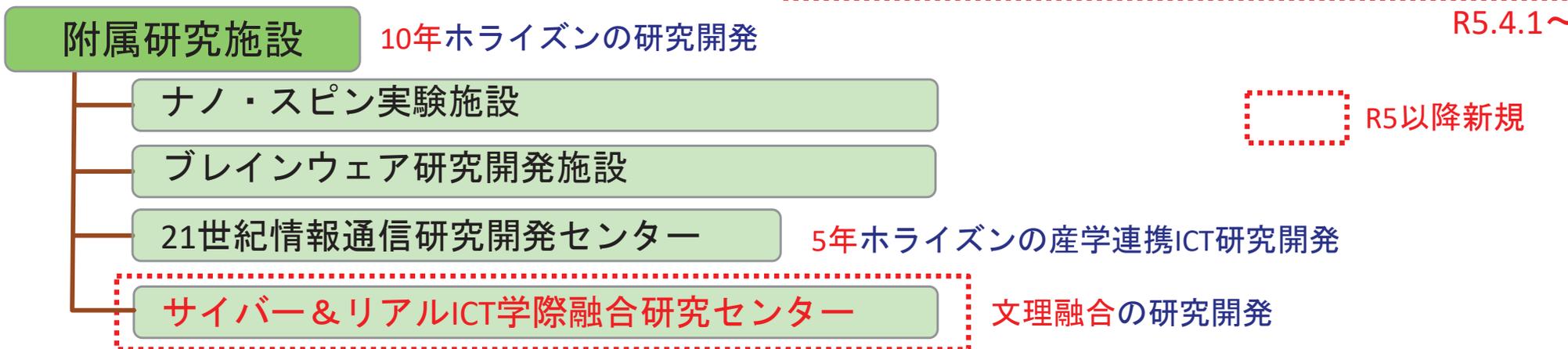
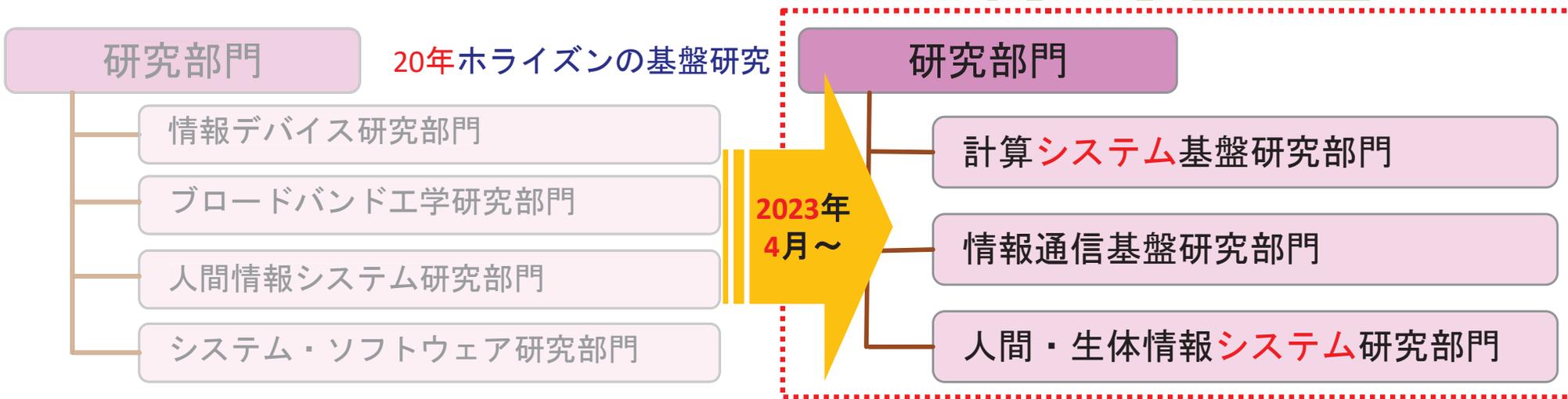
基幹 **3** 部門、 **2** 研究施設、 **2** 産学連携センター
材料デバイスから、システム、ソフトウェア、人間情報まで

将来に向けた新領域の開拓

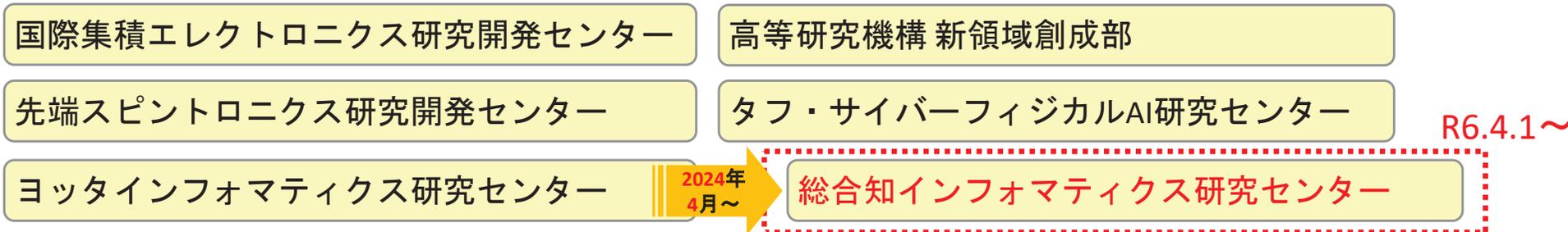
ハード・ソフト融合、**文理**融合研究の推進

組織改組 (2023年4月～)

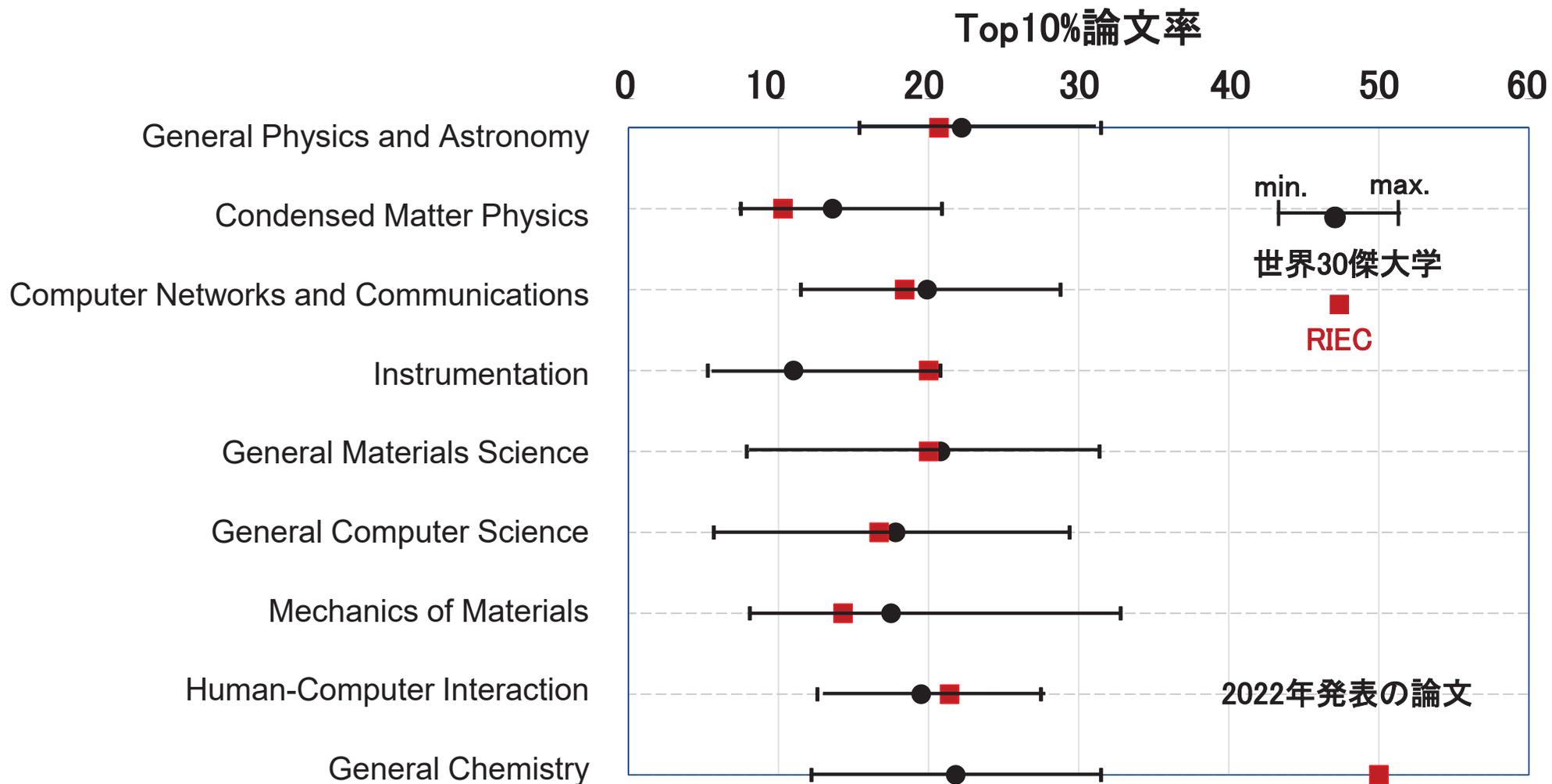
4 研究部門 + 3 施設/センター → 3 研究部門 + 4 施設/センター



◆ 関連の学内組織等 (通研構成員が立上げを主導)



研究力：世界での位置付け (世界30傑大学との比較)

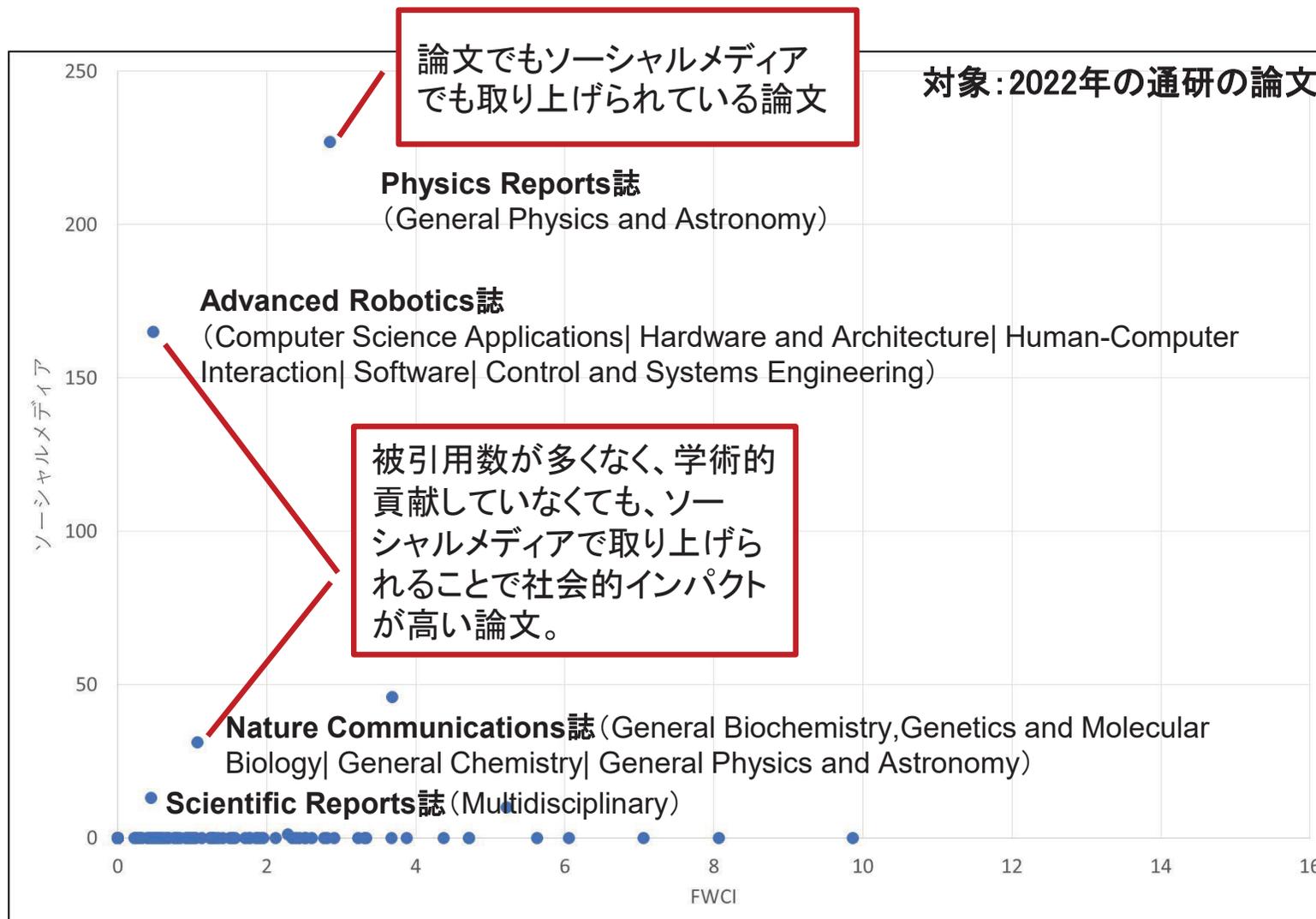


データベース更新日: 令和5年11月6日

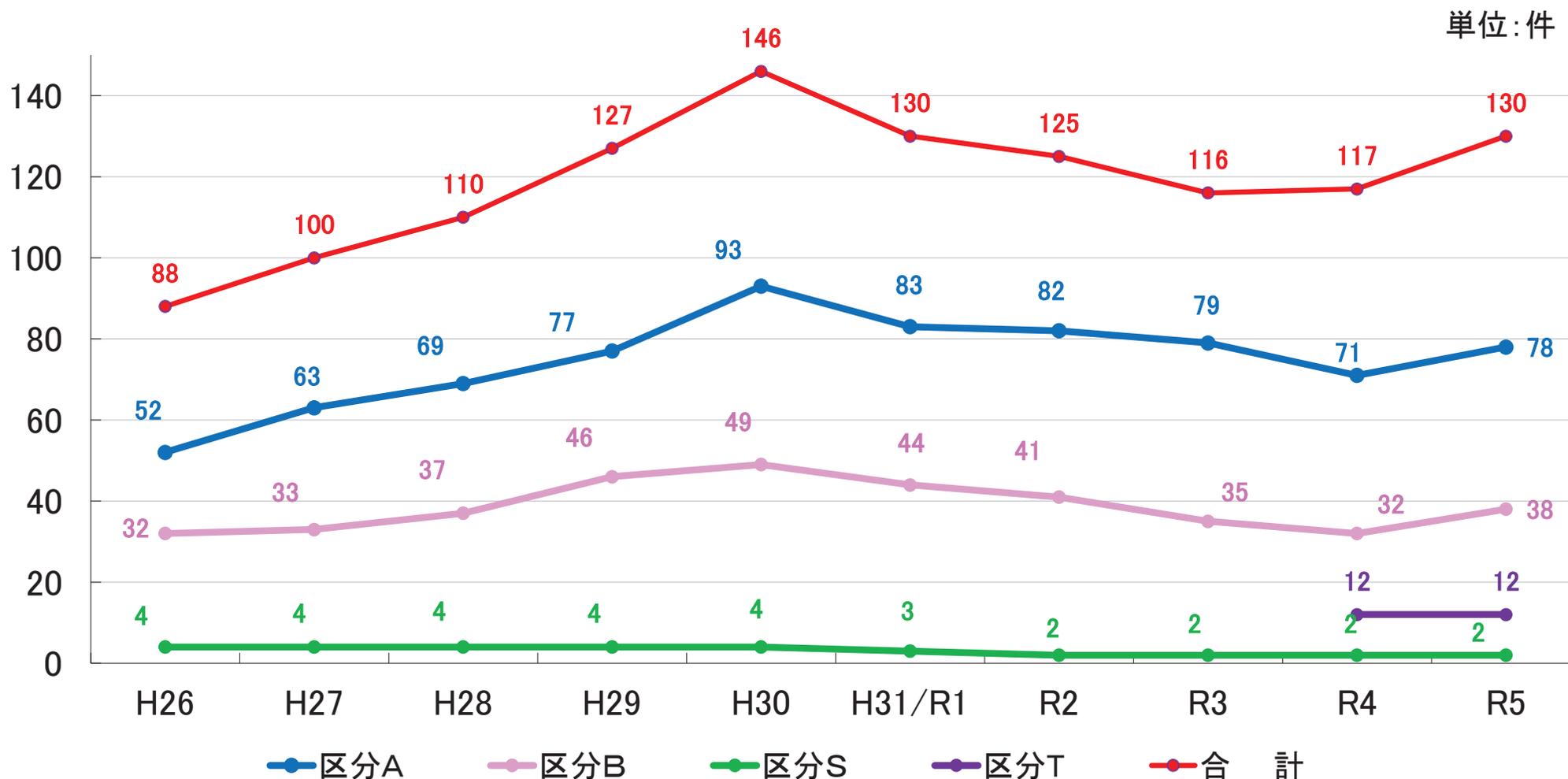
研究力：多様な指標による評価

<オルトメトリクス>

論文ダウンロード数、論文管理ツールの登録数、ソーシャルメディア書き込み数等を用いるインターネットを活用した仕組みであり、研究成果のインパクトを計量化する研究評価指標



共同プロジェクト研究 (件数)



区分A: 先端研究推進、区分B: 研究会による研究展開、区分S: 国内外組織との連携研究、区分T: 学内連携研究

共同プロジェクト研究 (他機関・他部局との連携)

他機関・他部局の研究者からの提案に基づく研究課題(遂行中の代表例を抜粋)

(R4以前)

- 「インフォデミックを克服するソーシャル情報基盤技術」
JST-CREST 研究代表者:越前 功 教授 (NII) R2-R7
- 「二次元ホウ素未踏マテリアルの創製と機能開拓」
JST-CREST 研究代表者:松田 巖 教授 (東大) R3-R7
- 「マルチセルラ神経ダイナミクスのデータ解析基盤と情報処理モデル」
科学研究費助成事業 学術変革領域研究(B) 研究代表者:香取 勇一 教授(はこだて未来大) R3~R5
- 「Slow-to-Fast地震現象の詳細把握へ向けたマルチスケール観測技術の開発」
科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A) 研究代表者:新谷 昌人 教授(東大) R3-R7
- 「スマート社会基盤素子に向けた最軽量原子層材料の開発」
科学研究費助成事業 基盤研究(S) 研究代表者:松田 巖 教授 (東大) R3-R7
- 「プラズママイクロミストによるウイルス等の空中浮遊物質の不活化についての研究開発」
JST-ASTEP 研究代表者:金子 俊郎 教授 (東北大・工) R3-R5

(R4以降)

- 「薄膜メモデバイスとスパイクング計算を用いるニューロモーフィックシステム」
JST-SICORP 研究代表者:木村 睦 教授(龍谷大学) R4-R6
- 「アファンタジアの包括的理解に向けた認知・神経科学的検討」
科学研究費助成事業 基盤研究(B) 研究代表者:高橋 純一 准教授(福島大) R4~R6
- 「プラズマ気液界面反応の時空間ダイナミクス解明が拓く革新的活性種制御合成技術」
科学研究費助成事業 基盤研究(S) 研究代表者:金子 俊郎 教授 (東北大・工) R4-R8
- 「トンネル磁気抵抗効果の新展開:軌道対称性効果の解明と新規量子デバイスの創出」
科学研究費助成事業 基盤研究(S) 研究代表者:三谷 誠司 教授(NIMS) R4-R8



2024/3/1 12:10-12:25

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング
第76回 東北大学 電気通信研究所 (オンライン)

人間性豊かなコミュニケーション実現に向けた研究

スピントロニクスの新概念エレクトロニクス応用



TOHOKU
UNIVERSITY

東北大学 電気通信研究所
金井 駿



RIEC
Research Institute of Electrical Communication

研究・経歴

略歴

- 平成元年 仙台市生まれ
- 平成19年 東北大学 工学部 入学
- 平成22年 " 卒業
- 平成23年 東北大学大学院 工学研究科 修士課程 修了
- 平成26年 " 博士課程 修了
- " 東北大学 電気通信研究所 助教
- 令和4年 東北大学 電気通信研究所 准教授

研究：スピントロニクスの新概念エレクトロニクス応用

- 省エネルギーな次世代メモリ
 - 不揮発性磁気抵抗ランダムアクセスメモリ
- 省エネルギーな次世代コンピューティング
 - スピントロニクス脳型コンピューティング
 - スピントロニクス確率論的コンピューティング
 - 固体スピン中心量子ビット

海外派遣 (いずれも東北大に在籍中)



IBM ワトソン研究所 平成24年

- 文部科学省 卓越した大学院拠点形成支援事業
「情報エレクトロニクスシステム教育研究拠点」
(代表：安達文幸名誉教授) スーパーインターンシップ



シカゴ大学・アルゴンヌ研究所 平成29～30年

- 文部科学省 研究大学強化促進事業 海外派遣事業
- 丸文財団 交流研究助成
- 電気通信研究所 若手教員海外派遣プログラム



主な国際交流派遣研究



シカゴ大学・アルゴンヌ研究所 平成30年～

- 固体中スピン中心を用いた量子ビットに関する研究
(JSTさきがけ/学術振興会国際共同研究強化(B)など)



ヨーテボリ大学 平成30年～

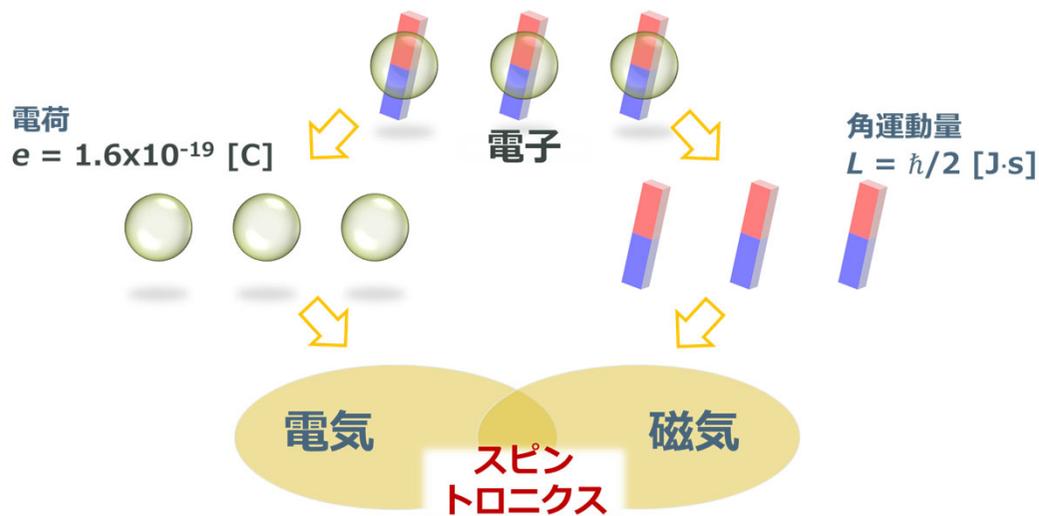
- スピントロニクス脳型コンピューティング等の研究
(学術振興会 海外連携研究など)



カリフォルニア大学サンタバーバラ校 平成31年～

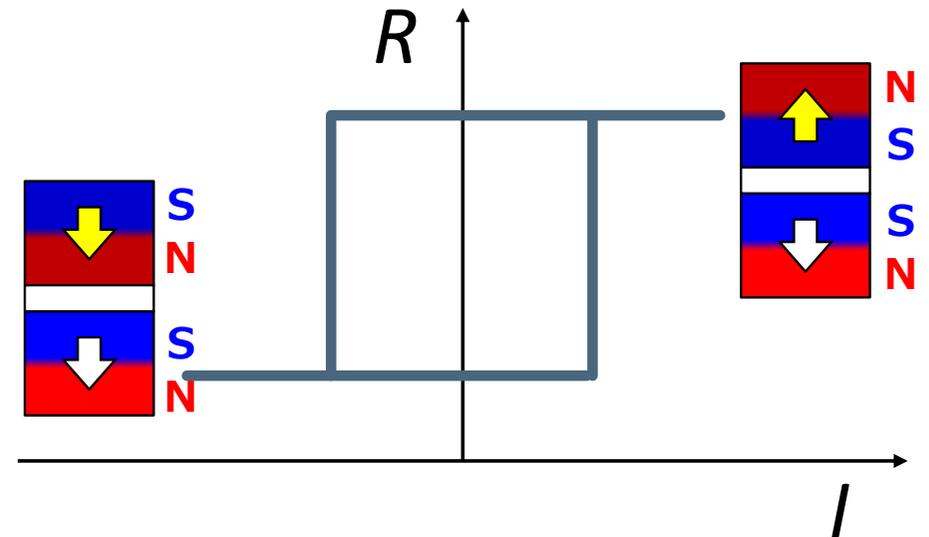
- スピントロニクス確率コンピューティング
(JST ASPIRE (代表：深見俊輔教授)/さきがけなど)

スピントロニクスとは？



電氣的性質(電荷)と磁氣的性質(スピン)の同時利用
→新現象・新機能性材料・高性能素子

代表的なデバイス/ハードウェア



MTJ(磁気トンネル接合) /
不揮発性MRAM(磁気抵抗ランダムアクセスメモリ)

更に省エネなMRAMの実現に向けて

◆ 消費エネルギー

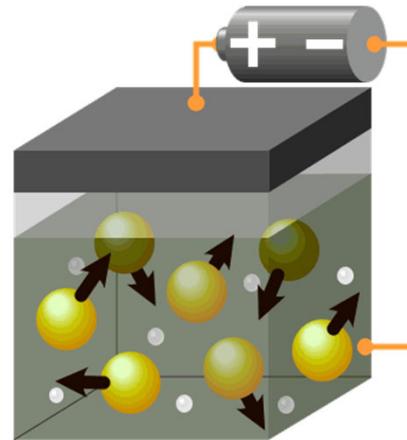
素子	MOS	MRAM	
動作方式	電界	電流	電界
書き込みエネルギー	<1 fJ	<90 fJ	<1 fJ
不揮発性 (情報保持エネルギー)	X	O	O

不揮発性MRAMは
情報保持電力不要⇒省エネ

◆ 磁性半導体

(In,Mn)As (5 nm)

(Ga,Mn)As (4 nm)



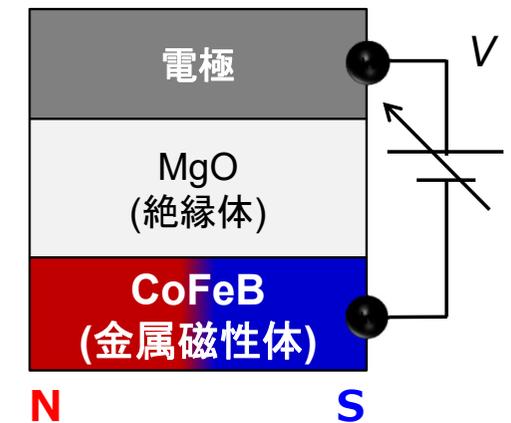
H. Ohno *et al.*, Nature **408**, 944 (2000).

キャリア誘起強磁性
電界で半導体中のキャリア
濃度制御⇒磁性の電界制御

◆ MRAM向け材料

CoFeB/MgO

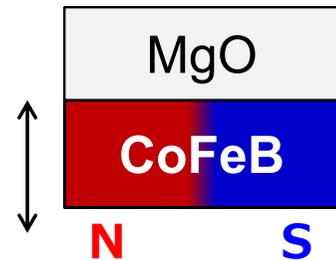
素子を横から見た図



金属磁性体:
キャリア濃度が大きい
⇒薄膜化(~1 nm)が必要

MRAM向け材料(CoFeB/MgO)の磁性の電界効果

材料を横から見た図

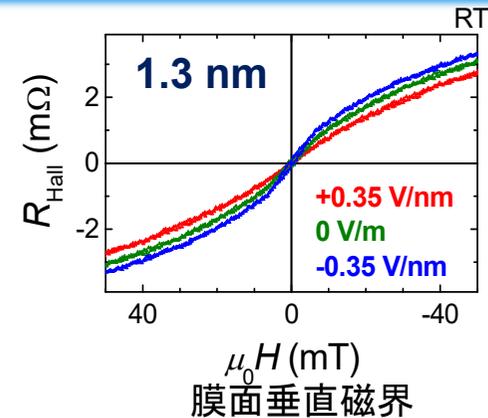


薄膜化

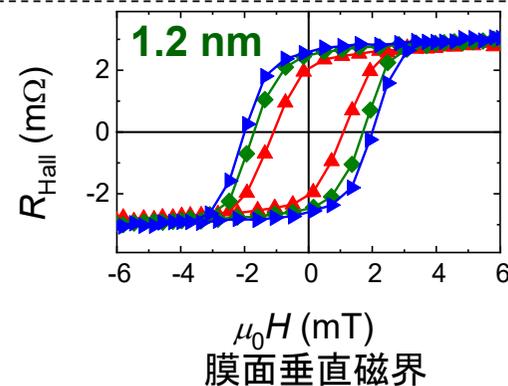
< ~1.3 nm



垂直磁化に比例



垂直磁化に比例



発見1 CoFeB/MgOの垂直磁化容易を実現

発見2 CoFeB/MgOの磁性の電界効果の観測

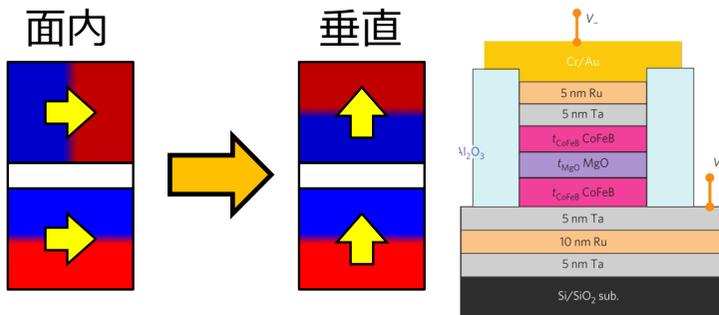
M. Endo, [S. Kanai et al.](#), Appl. Phys. Lett. **96**, 212503 (2010). 【Top1%高被引用論文】

発見1の発展例：垂直STT-MRAMの実用化

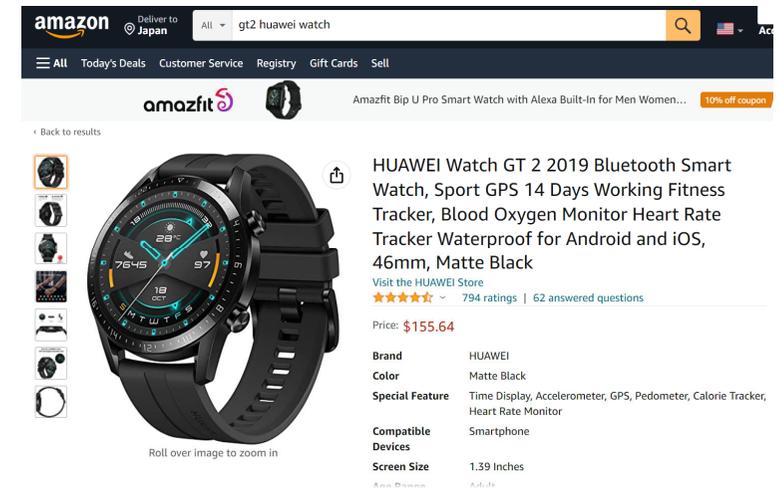
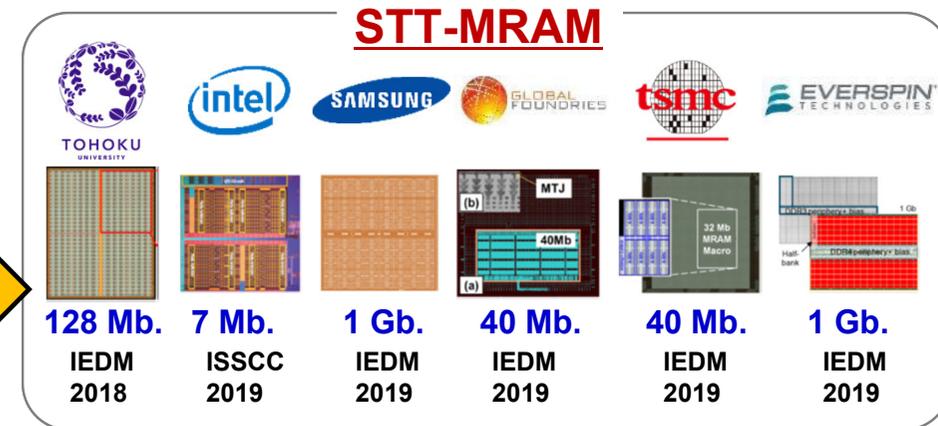
◆直径40 nmのCoFeB/MgO/CoFeB MTJ

- 垂直磁化容易：以下の性能を同時に満たす
 - 高TMR比 >100%
 - 低書き込み電流 ~ 49 μA
 - 高熱安定性 ~10年の情報保持

標準構造



高性能・低消費電力・高集積次世代メモリの基本構造
 S. Ikeda, ..., [S. Kanai et al.](#), Nature Mater. **9**, 721 (2010). 【3,721回引用, Top0.1%】

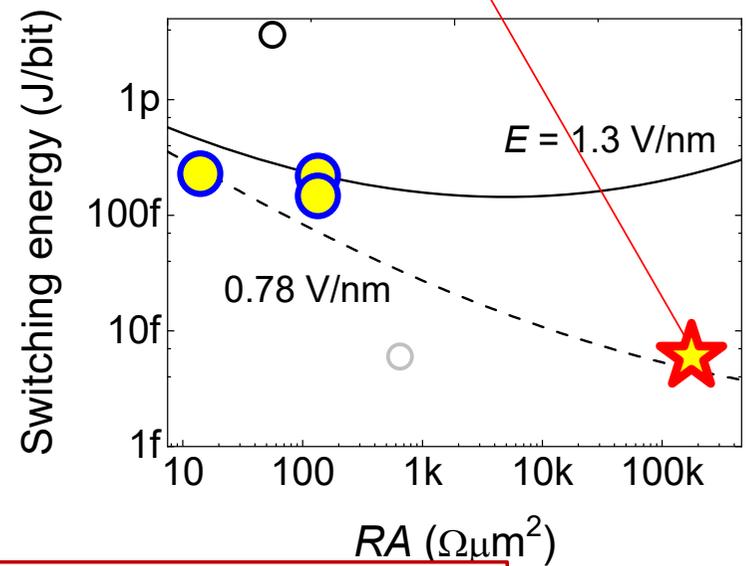
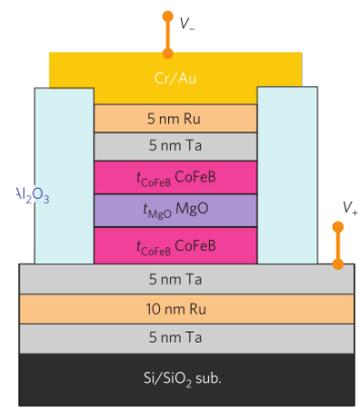
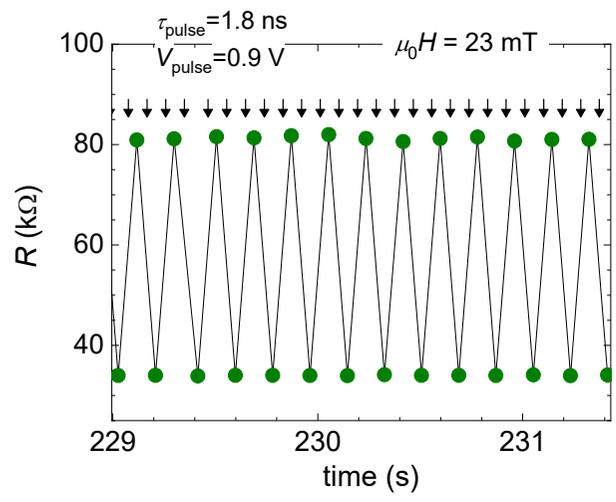


スマートウォッチ等に搭載

発見2の発展例：世界最小電力量での磁性体メモリの書き換え

産業応用向け(スパッタリング成膜)
 高性能垂直MTJで初めて
 電界方式による磁化反転を達成
 S. Kanai et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 022403 (2012). 【Top1%】

磁気メモリとして世界最小エネルギー：
 6.3 fJでの磁化書き換えの実現
 S. Kanai et al., Appl. Phys. Lett. **108**, 192406 (2016). 【Top10%】

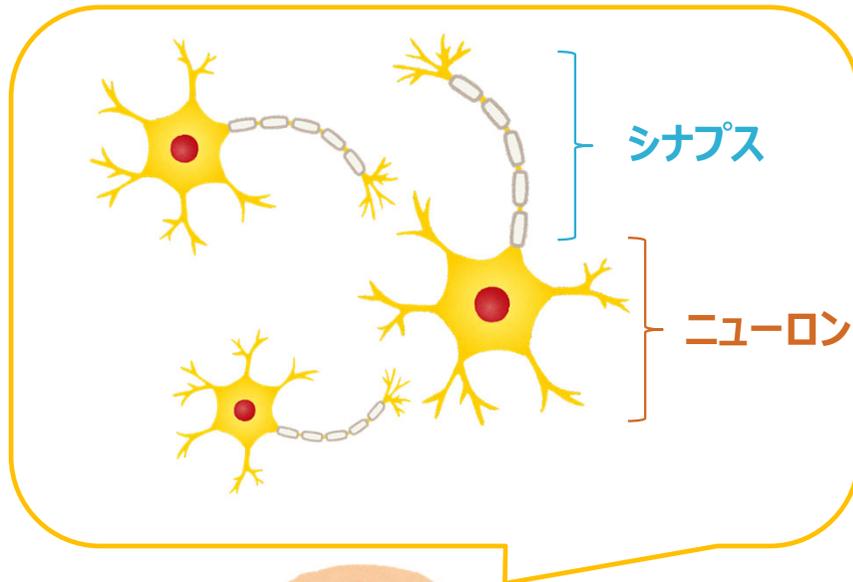


展望：半導体メモリ並の消費電力を持つMRAMの開発へ
 様々なスピン素子の制御手法としての応用

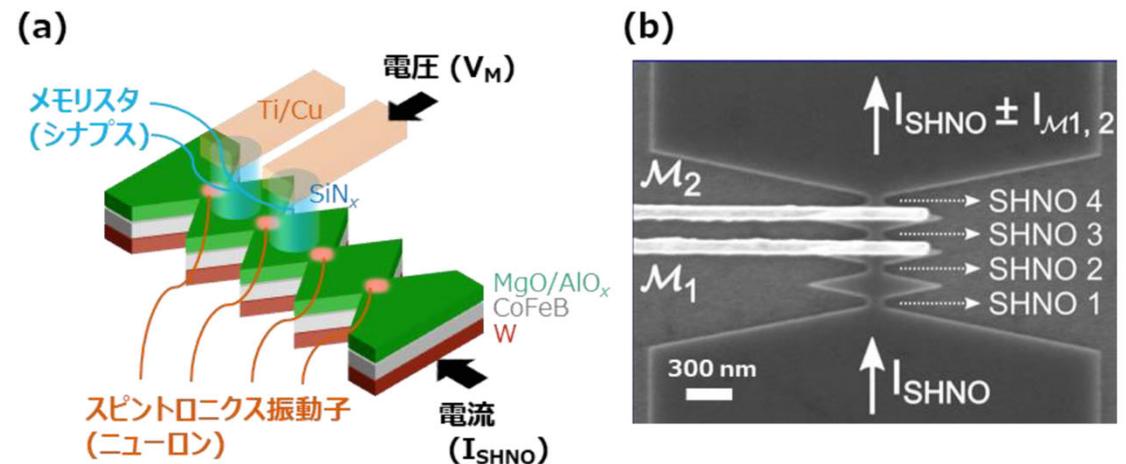
発見2の発展例：脳型コンピューティング素子の制御

 ヨーテボリ大学との共同研究
(電気通信研究所 共同プロジェクト研究から発展)

◆ニューロンとシナプス



◆スピントロニクス脳型コンピューティング素子



スピントロニクス脳型コンピューティング素子の 電界による制御

H. Fulara, ... [S. Kanai et al.](#), Nature Commun. **11**, 4006 (2020). 【Top10%】
M. Zahedinejad, ... [S. Kanai et al.](#), Nature Mater. **21**, 81 (2021). 【Top1%】

新概念コンピューティングに対する最近の社会的ニーズ・動向

◆ Society5.0

自動運転、エッジAI、ロボット

- 限られた消費電力・限られた規模での学習・最適化
- ムーアの法則(演算能力が2倍/1.5年の速度で増大)の限界
2010年以降は **>10倍/1.5年**

◆ 決定論的コンピューティング

- 消費電力・規模が大きい(250 kW@AlphaGo(CPU/GPU))
- 小規模でも困難な最適化問題が存在

学習や最適化問題に適したハードウェアが必要

◆ 非ノイマン型コンピューティングハードウェア

- ・ アナログコンピューティング
- ・ **脳型コンピューティング** + スピントロニクス
- ・ **確率論的コンピューティング** + スピントロニクス
- ・ **量子コンピューティング** + スピントロニクス



Human ~ 20 W **Alpha go**

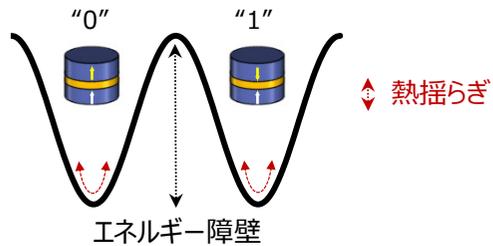
CPU/GPU > 250,000 W
CPU/TPU ~ 1,000 W



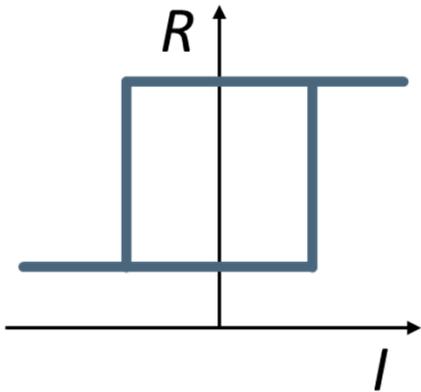
スピントロニクス確率論的コンピューティング

不揮発性

MRAM

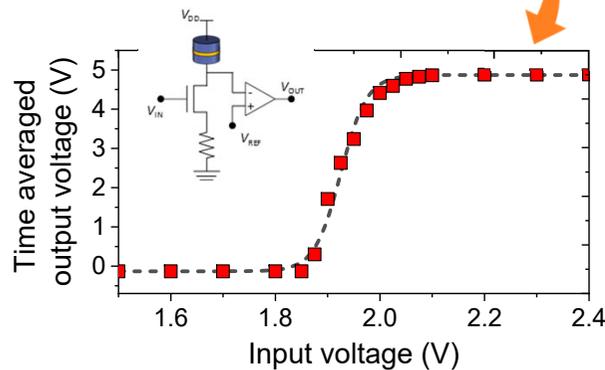
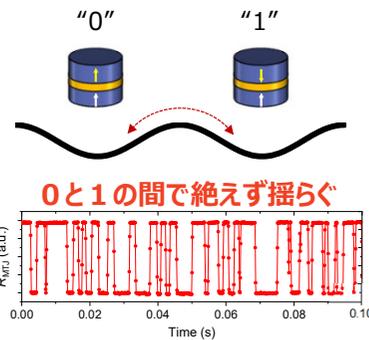


0と1を安定に保持



確率性

p-bit
(Probabilistic bit)



2 cm

Stochastic MTJ, NMOS, R_{source}, Comparator

V_{IN}, Ground, V_{REF}, V_{OUT}

35 = 5 × 7 (4 p-bits)

945 = 63 × 15 (8 p-bits)

DAC, Micro-controller

確率動作スピン素子を用いた確率ビット(疑似量子ビット)からなる確率的ニューラルネットワークに量子アニーリングのアルゴリズムを適用し、因数分解を実証

量子アニーリングマシンと同等な機能の室温での実現が期待

W. A. Borders *et al.*, Nature **573**, 390 (2019).

スピントロニクスp-bitハードウェアの実証例

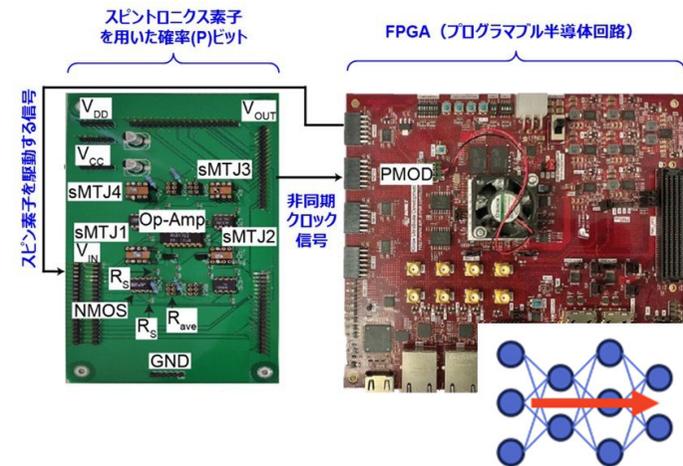
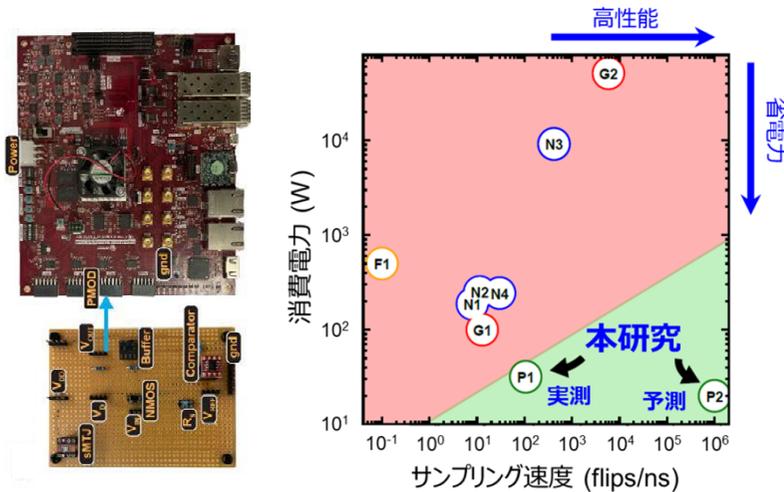
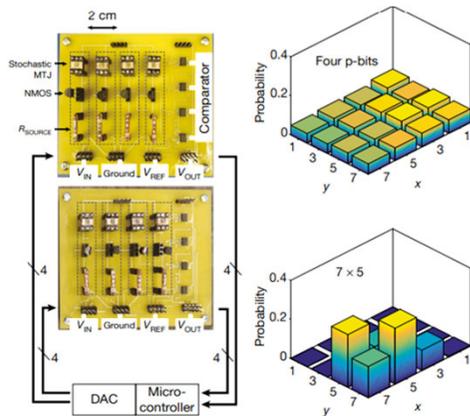


UCSBとの共同研究

◆ スピントロニクスp-bit
+ マイクロコントローラ
→ 最適化計算

◆ プログラムブル半導体
+ スピントロニクスp-bit
→ 決定論と比較して高速・省エネ

◆ プログラムブル半導体
+ スピントロニクスp-bit
→ AI処理向けニューラルネットワーク



W. A. Borders *et al.*, Nature (2019).

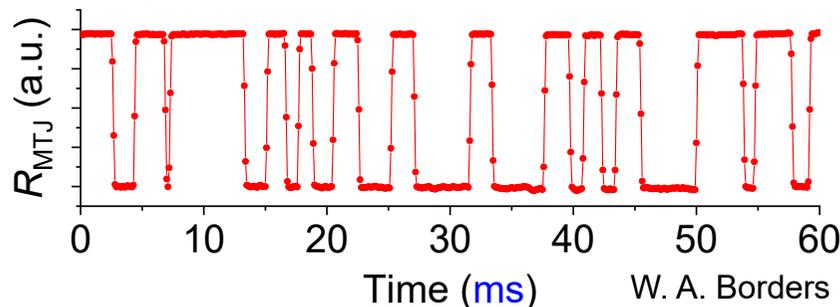
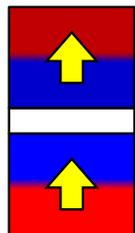
A. Grimaldi, K. Kobayashi, S. Kanai, *et al.*, IEEE IEDM (2022).
(一部が修士学生の長期渡米による成果)

N. Singh, H. Kaneko, S. Kanai, *et al.*, IEEE IEDM (2023).
(一部が修士学生の渡米による成果)

展望: 大規模化・さらなる多機能化に向けた高性能素子研究

展望：大規模化に向けた取り組みの一例(p-bitの100万倍高速化)¹²

垂直磁化容易素子(実験結果)



100万倍
高速化

現代統計力学に基づいた高速素子の設計指針

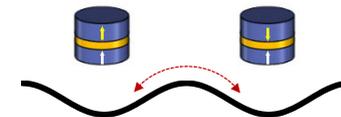
✓ 経験則の定式化+設計指針の解明

[S. Kanai *et al.*, Phys. Rev. B **103**, 094423 \(2021\).【Top10%】](#)

p-bit
(Probabilistic bit)

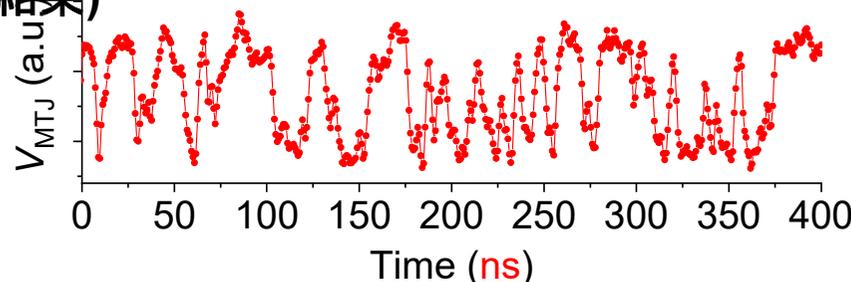
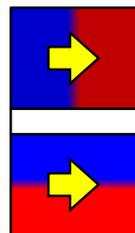
"0"

"1"



0と1の間で絶えず揺らぐ

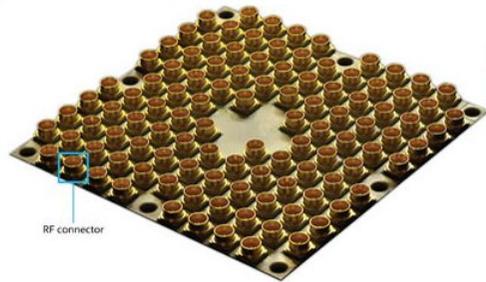
面内磁化容易素子(実験結果)



量子情報研究

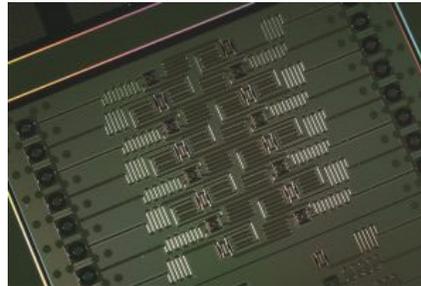
◆ 量子ビット研究と製品化

Intel: 49 bit (2018)



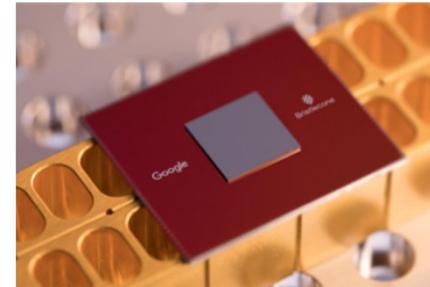
<https://newsroom.intel.com/>

IBM: 50 bit (2017)



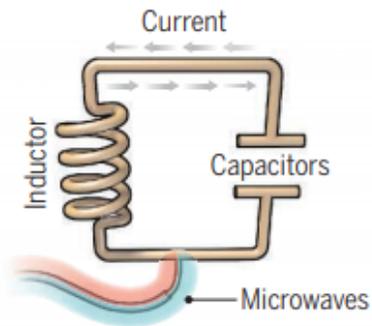
<https://www.research.ibm.com/ibm-q/>

Google: 72 bit (2018)

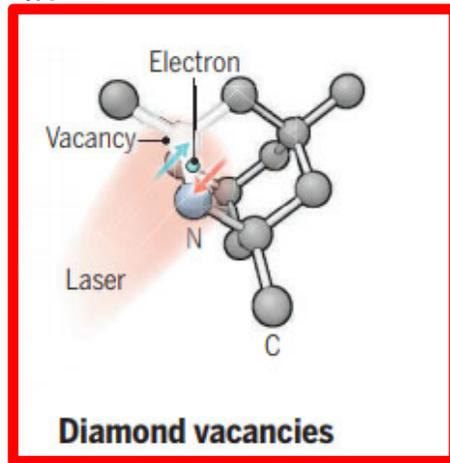


<https://ai.googleblog.com/>

◆ 量子情報処理向け材料・構造

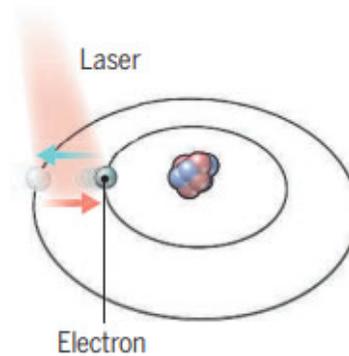


Superconducting loops

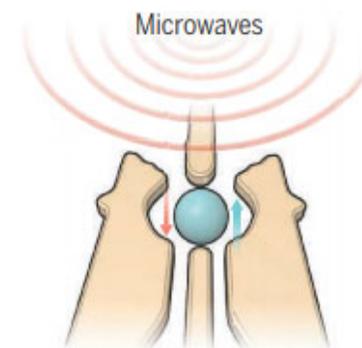


Diamond vacancies

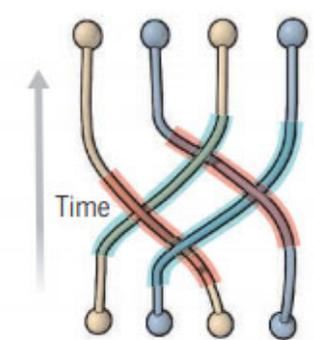
スピンの量子情報を担う



Trapped ions



Silicon quantum dots

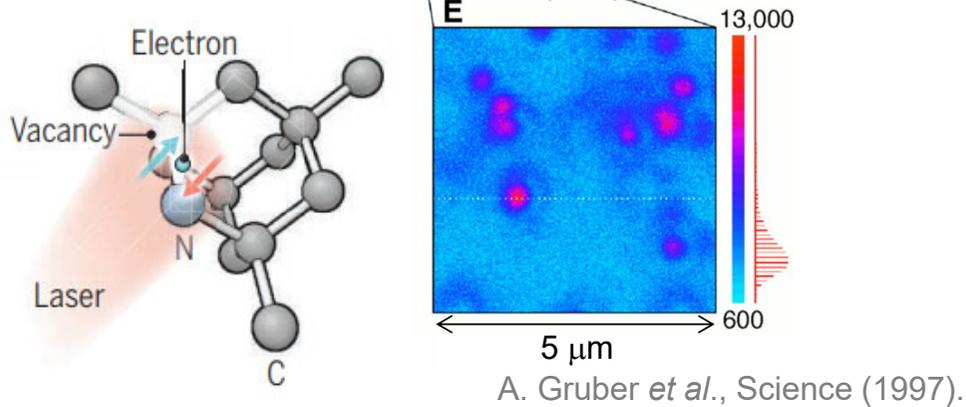


Topological qubits

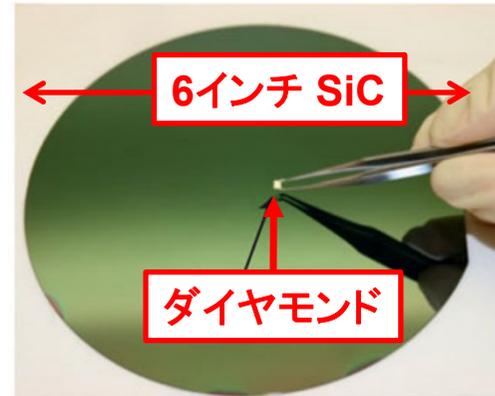
G. Popkin Science (2016).

固体中のスピン中心を用いた量子ビット

◆ 代表: **ダイヤモンド窒素—空孔(NV) 中心**



◆ **SiC(炭化シリコン)の空孔—空孔(VV)中心**

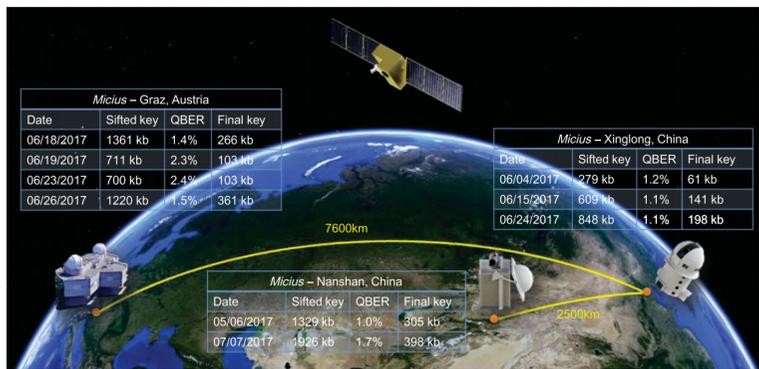


W. F. Koehl *et al.*, Nature (2011).

- 大口径ウェハが入手可能
- ドーピングが容易



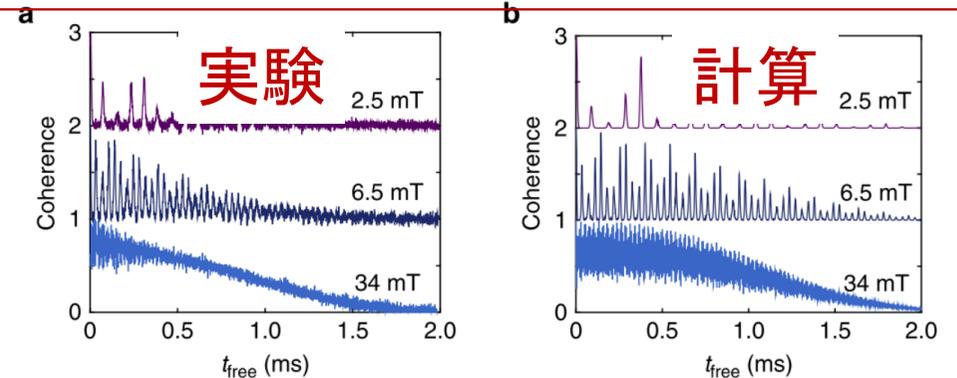
量子センシング・通信・計算



S. K. Liao *et al.*, Nature (2017).

◆ 新しい材料の探索: T_2 (量子位相緩和時間)が重要

- ☺ 近年 T_2 は大規模計算により予測可能となった
- ☹ 計算時間: 最大数日/材料 → 材料探索に応用できない



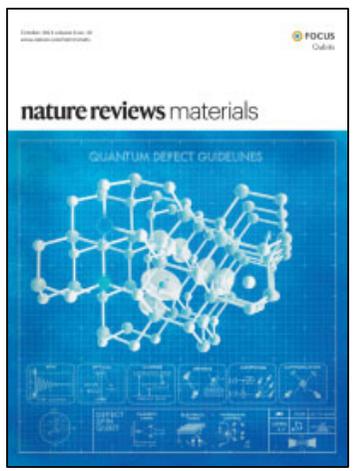
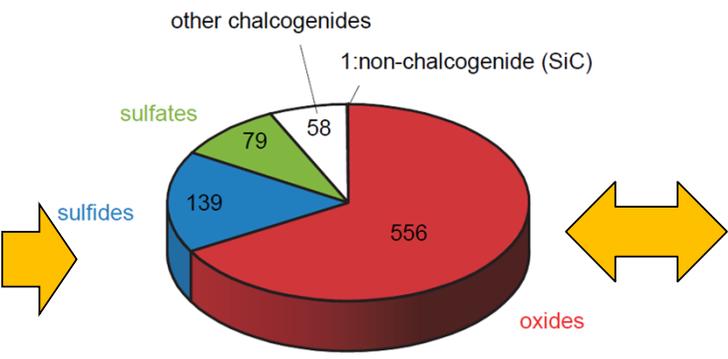
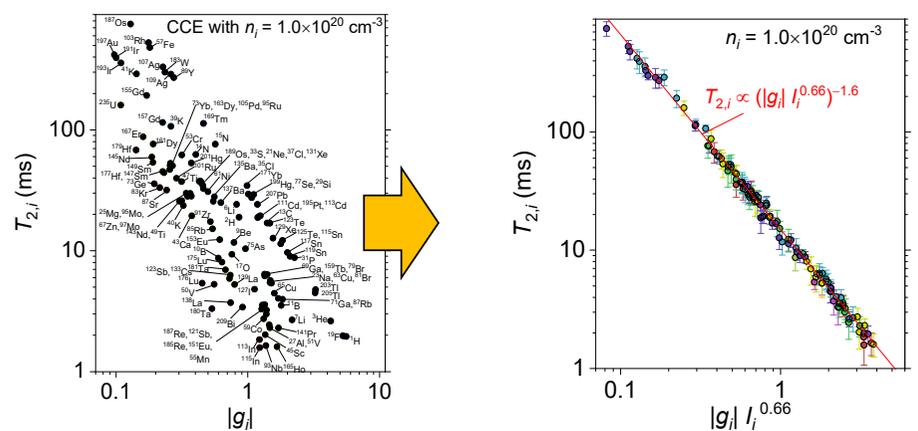
新たな固体中量子ビットの探索


シカゴ大との共同研究 15
 (電気通信研究所 若手教員海外派遣プログラム/
 文部科学省 研究大学強化促進事業から発展)

◆ T_2 の代数解の発見

- 全核スピんに適用可能・瞬時に T_2 を予測可能
- 12,000を超える材料の T_2 予測

◆ 固体中量子ビット探索のガイドライン



量子情報研究に適合する可能性が高い
 未実証材料が多数存在することを示唆
 (スピントロニクス関連材料も)
 S. Kanai, et al., PNAS 119, e2121808119 (2022). 【Top1%】

固体中量子ビット探索の
 新しいガイドライン
 G. Wolfowicz, ... S. Kanai et al., Nature
 Reviews Materials 6, 906 (2021).
 【Top1%】
 (Impact Factor : 76.7(医学系を除き最高))

展望 : 理論予測した材料の実験実証

ヒューマン・ワークスペース・ インタラクションに関する研究

Research on Human-Workspace Interaction

東北大学 電気通信研究所

インタラクティブコンテンツ研究室（北村・高嶋研）

助教・プロミネントリサーチフェロー

藤田和之

2024年3月1日

文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

自己紹介

藤田 和之 Kazuyuki FUJITA

略歴

- 2010-2013 **大阪大学**
大学院情報科学研究科 情報システム工学専攻 博士後期課程
(日本学術振興会 特別研究員 DC1)
- 2013-2018 **株式会社イトーキ**
オフィス空間の知能化に関する研究・事業企画
- 2018-現在 **東北大学**
電気通信研究所 助教
(2023年よりプロミネントリサーチフェロー)

研究分野

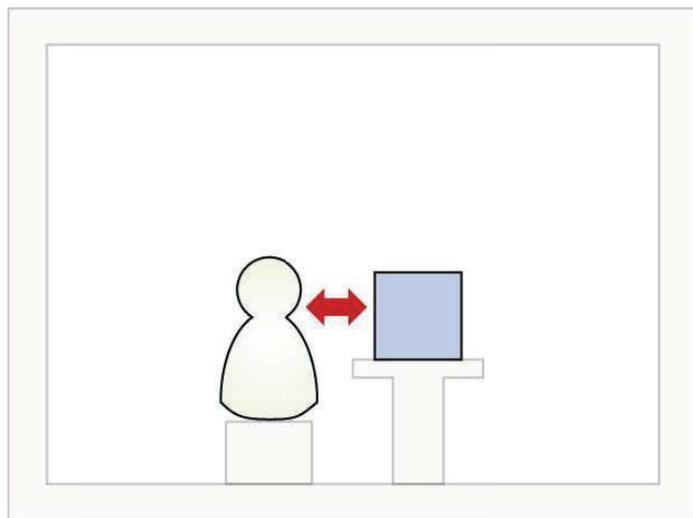
- Human-Computer Interaction
- Virtual Reality

研究概要 (1/2)

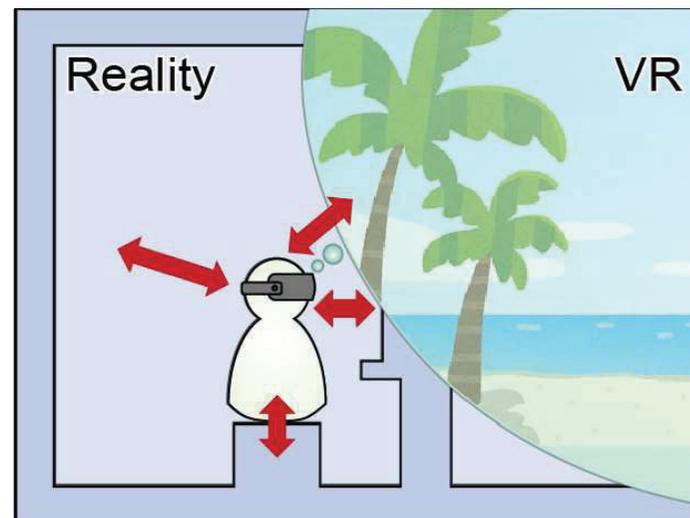
Human-Workspace Interaction (HWI)* – 賢い空間をつくる研究

* 藤田が提唱 [共同プロジェクト研究 Fujita et al., Quality and User Experience, 2023]

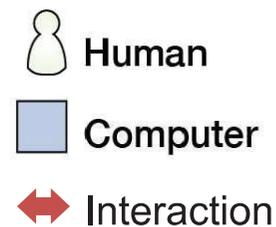
- 空間 (バーチャル・フィジカル空間) を**智能化・インタラクティブ化する**
- 空間 (全体またはその構成要素) が**人に働きかけることで**
人の活動を支援することを旨とする



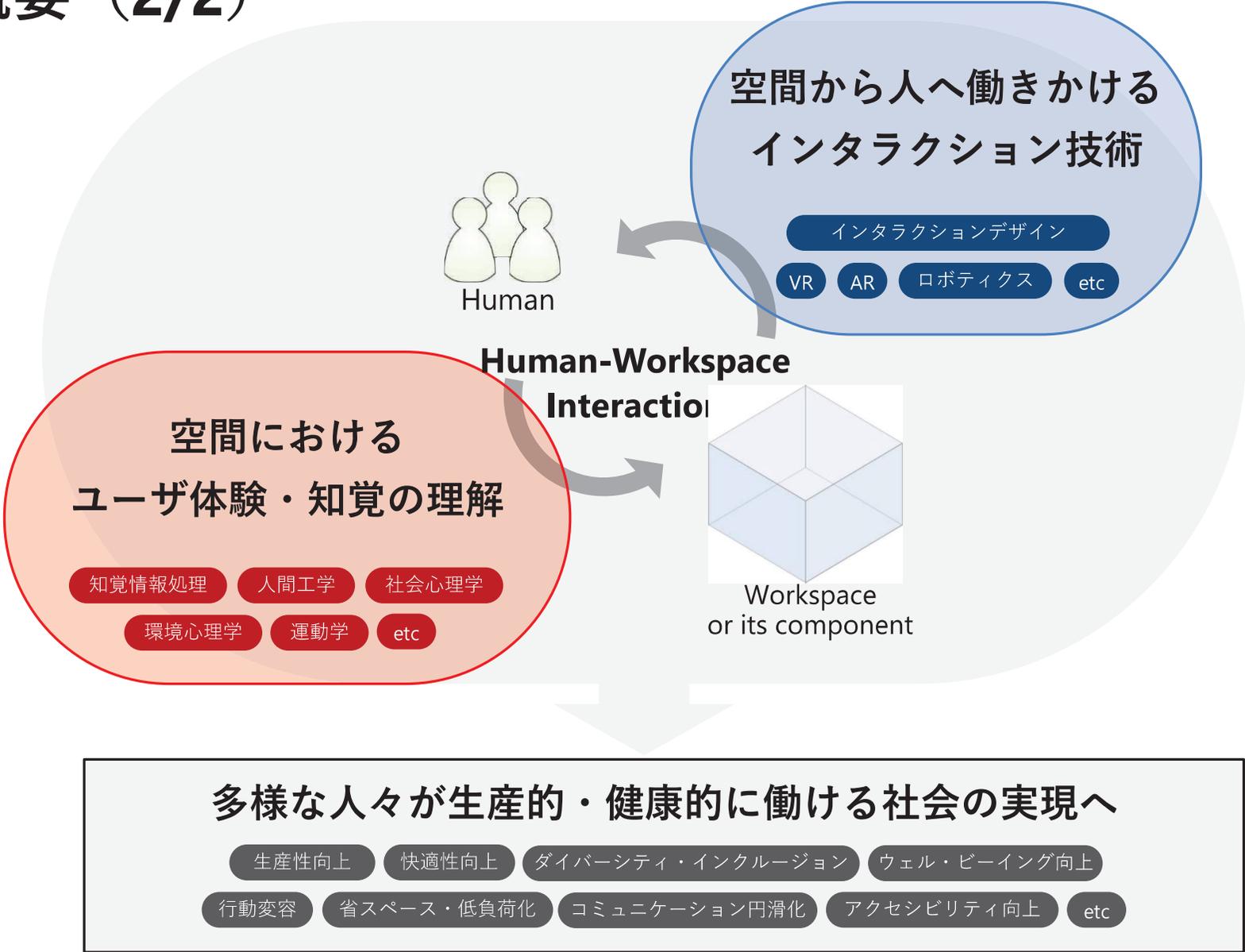
従来のHuman-Computer Interaction



Human-Workspace Interaction



研究概要 (2/2)



研究① 知的作業空間の知能化に関する研究

オフィス什器（家具）の知能化による 作業効率向上やウェルビーイングを目指す研究

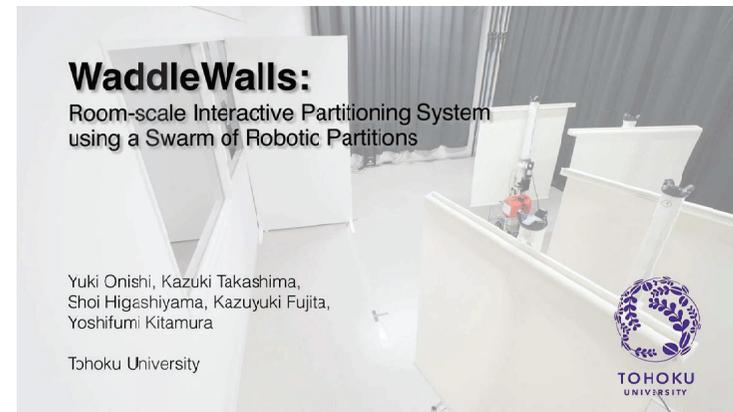
科研費 基盤C 21K11974 代表, 挑戦的研究(萌芽) 20K21799 分担



椅子座面の前傾による姿勢誘導手法

TiltChair [Fujita et al., ACM CHI 2021]

- 座面角度の変化がユーザ体験に与える影響を調査
→ デスクワークを邪魔せず座りすぎを防ぐための座面動作の設計ガイドラインを提示



共同プロジェクト研究

視覚的開放性を制御可能なロボットパーティション

WaddleWalls [Onishi et al., ACM UIST 2022]

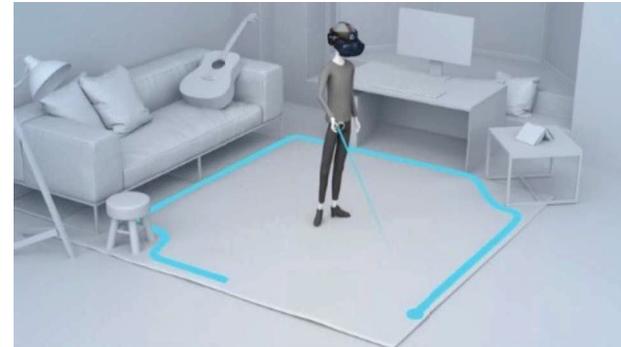
- 複数ロボットの制御アルゴリズムと 直接指示ユーザインタフェースを設計・実装
- ユーザ・空間デザイナーの両観点の評価により有用性を実証

研究② ルームスケールVRの実現に向けた研究 (1/2)

研究背景と目的



ROOM SCALE VR IS BRILLIANT! - Space Pirate Arena DX Oculus Quest 2
https://youtu.be/_UzHwpo0MJU?si=kq3DjMo6YsXcCg4w



通常は「プレイエリア」を体験前に設定する必要あり

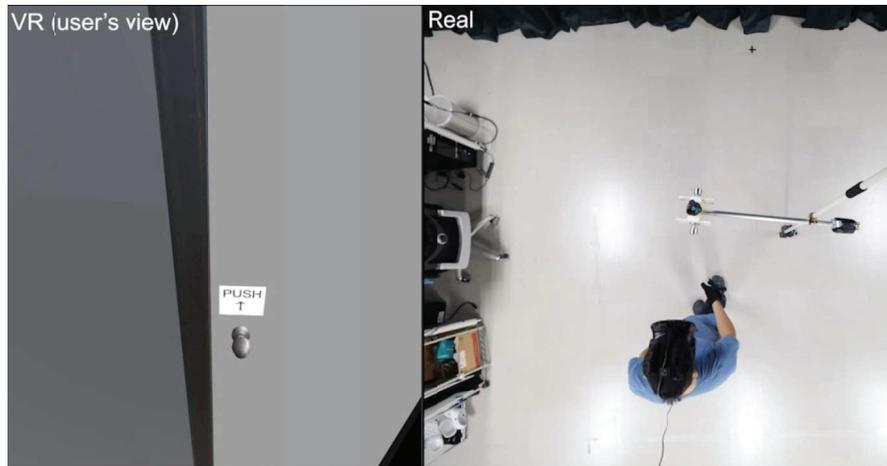
ルームスケールVRとは...実際の歩行によるバーチャル空間の探索体験

- 高い没入感のユーザ体験が得られる
期待される応用：職業トレーニング，建築・都市計画，バーチャル観光， etc.
- 物理空間の大きさや形状に制約を受ける
 - 一般家庭・オフィスでの利用は難しい
 - 平坦な床での利用に限定される

研究② ルームスケールVRの実現に向けた研究 (2/2)

人の移動量・進行方向に関する知覚をだますこと（リダイレクション技術）で
物理空間の制約に縛られない自由なルームスケールVRを実現

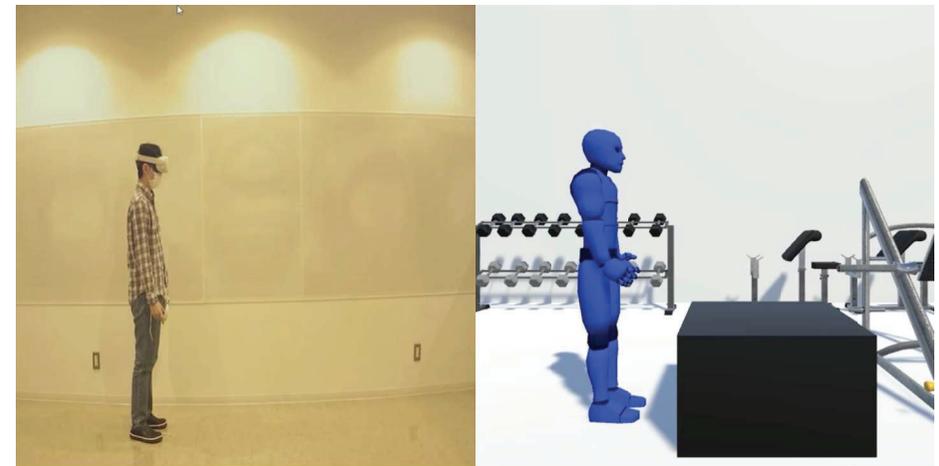
科研費 国際共同研究強化B 19KK0258 代表（  との共同研究）



VR開扉動作時のリダイレクション手法

RedirectedDoors [Hoshikawa et al, IEEE VR 2022] **Honorable Mention Award**
RedirectedDoors+ [Hoshikawa et al, TVCG, to appear]

- 開扉動作中の視覚操作・触覚提示によりユーザの進行方向をだます手法
- ユーザに知覚されずに平均54.7度リダイレクション可能



VRでの段差への飛び乗り感覚提示手法

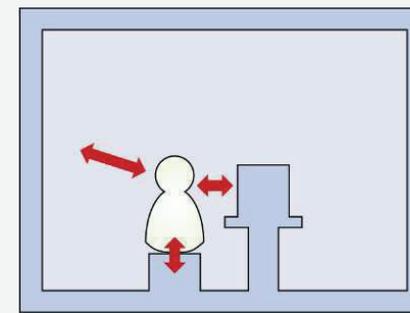
Redirected Jump [Hayashi et al, IEEE VR 2019]
PseudoJumpOn [Ogawa et al, IEEE VR 2022]

- 2つの視覚操作手法（ゲイン操作手法・ピークずらし手法）を設計・実装
- 0.2-0.8mへの跳び乗り動作に対して概ね高いリアリティ・自然さを実現

まとめと今後の展望

Human-Workspace Interaction (HWI) – 賢い空間をつくる研究

- 空間をコンピュータ化する
- 空間 (全体またはその構成要素) が人に働きかけることで
人の活動を支援することを目指す



研究取り組み事例

- 研究① 作業空間の知能化・アクチュエーションによる作業支援
- 研究② リダイレクション技術によるルームスケールVRの体験拡張

今後の展望

- 多様化する働き方を受容するインタラクション技術の確立
e.g., バーチャリティやデバイスの混在する参加者間での空間共有
- 作業空間の多面的な計測技術・評価指標の確立と実証