

「量子拠点の現状、利用環境整備、
産学官連携体制強化の在り方等」
～Q-LEAP Flagshipプロジェクトの観点から～

2023年1月18日

東京工業大学 波多野 睦子

本日の内容

量子センサ拠点の中のQ-LEAP固体量子センサ (ダイヤモンドNVセンタ)研究の観点からのご紹介

1. Q-LEAP 固体量子センサ Flagship体制
2. 固体(ダイヤモンド)量子センサとは
3. 開発状況
 - 3-1. Flagship-A(生体計測)の目標と現状
 - 3-2. Flagship-B(電池・パワーデバイス計測)の目標と現状
 - 3-3. 新規ニーズの掘起し
4. 社会実装に向けた動き
5. スタートアップの動き

1. Q-LEAP 固体量子センサ Flagshipプロジェクト体制



産官学連携実験環境の構築(東工大@大岡山)

- ・企業・国研の若手を中心に集結し、連携活動→企業サイトでプロトタイプの実験開始
- ・共通集積化技術によるエコシステム構築
- ・他の応用展開も検討、量子センサのポテンシャルユーザの開拓
- ・応用とつなぐ、また基礎基盤の要素技術とつなぐ役割

日立【プロト応用】

- ・神経細胞組織計測開発
- ・走査プローブ型顕微鏡

東工大【センサシステム】

- ・高感度・低ノイズ計測技術開発
- ・新規量子計測技術の開発
- ・小型・集積化



量研【プロト応用】【基盤技術】

- ・SiCパワーデバイス計測開発
- ・共焦点顕微鏡

矢崎・デンソー【プロト応用】

- ・電池・運転者モニタプロトモジュール開発
- ・磁場・温度制御評価系

企業のサイトで試験開始

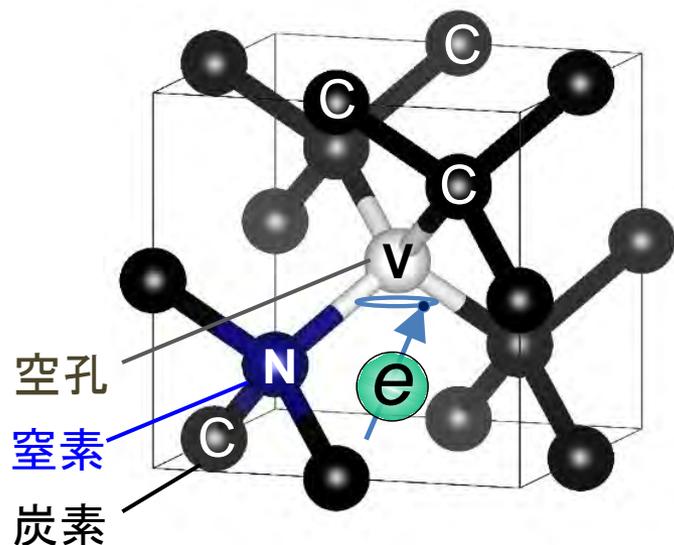
応用展開の検討
量子センサのポテンシャルユーザ

共通集積化
エコシステム

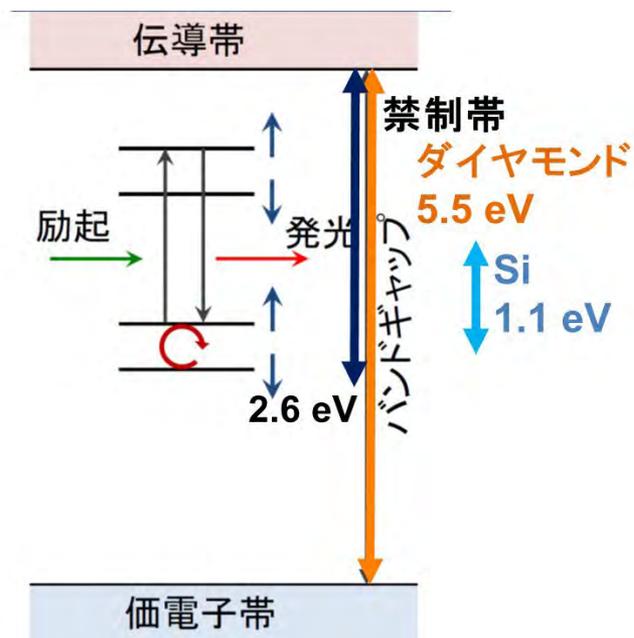
2. 固体(ダイヤモンド)量子センサとは

スピン量子ビット NVセンタ(窒素-空孔複合欠陥)を利用

- 室温を含む広い温度・大気圧下で動作: 固体中電子スピン系で最長 ミリ秒のスピンコヒーレンス時間を有する。
- スピン状態の初期化、操作、検出により
磁場、電場、温度、圧力の高感度センサとして機能。
- 緑色の励起光を照射すると赤色の蛍光を発する。

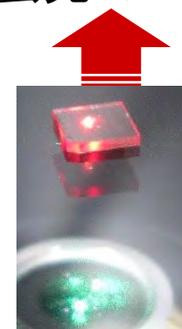


構造



エネルギー準位

蛍光 (637-830 nm)

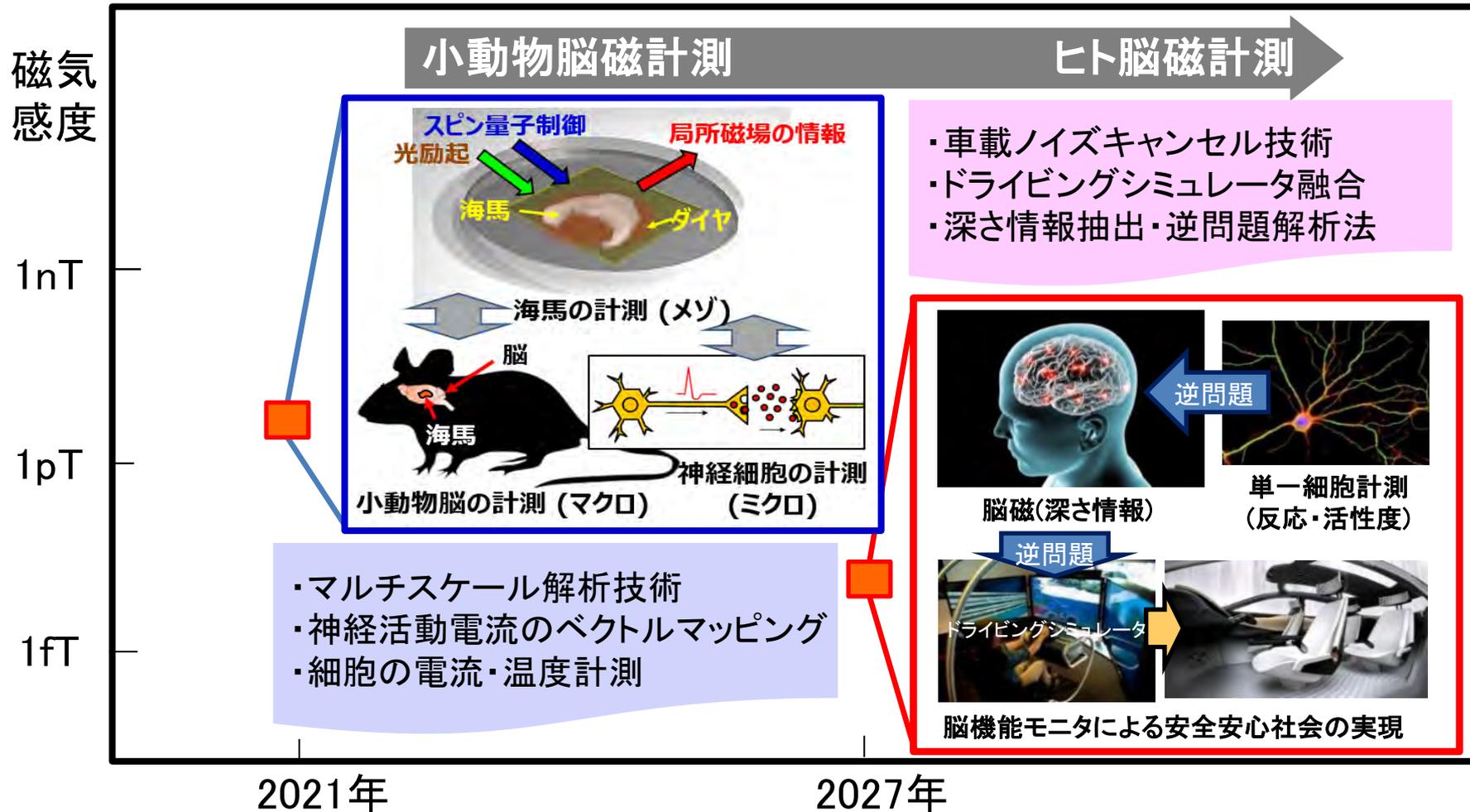


NVセンタを含む
ダイヤモンド

励起光
(532nm)

3-1. Flagship-A (生体計測) の目標

- 2021年に感度 5 pT のセンサ実現、22年に**神経組織と小動物の脳磁**を計測。
- 2025年に感度 100 fT 、27年に感度 10 fT のセンサを実現、**ヒト脳磁**を計測。



高感度化が最重要の課題。応用に応じた空間分解能も必要。

3-1. FS-A の現状

(東大)(QST)(日立)(東工大)

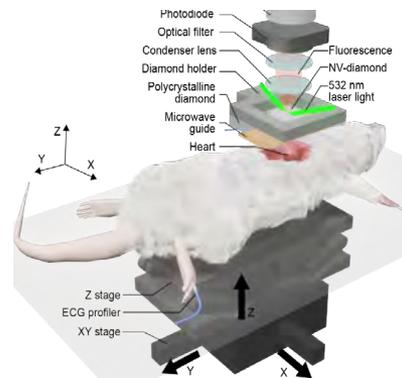
- (1) 高い空間分解能 (mmスケール) を有するラット心磁イメージングを実現。
脳磁計測開始。材料と計測技術のさらなる高性能化を推進中。
 - (2) カイニン酸添加による海馬の応答をメゾサイズのダイヤで検出することに成功。
 - (3) 探針型ダイヤセンサをベースに、卵細胞内の温度計測を実証。
- (2)(3) 脳神経組織のマルチスケールな機能計測へ

ラット生体計測

- ◆ 高感度センサシステム
- ◆ mmスケールの磁場イメージングを実施し、心筋電流の再構成
→脳計測へ展開

海馬スライスイメージング

- ◆ カイニン酸添加による海馬の応答をメゾサイズのダイヤで検出
- ◆ イメージングに発展



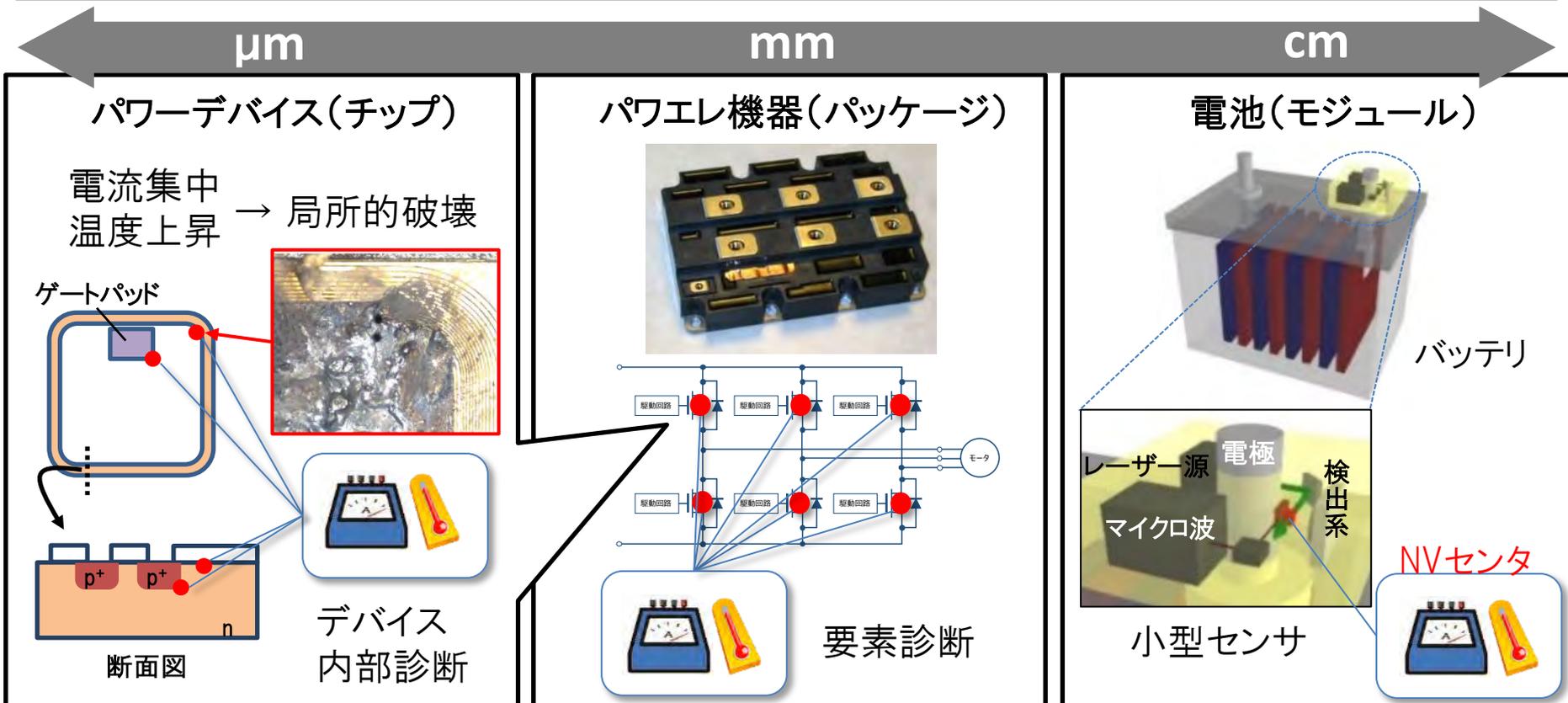
単一細胞計測

- ◆ NVダイヤ探針による低侵襲な細胞内温度・電流・pH計測システム構築
- ◆ 細胞スクリーニングへの応用



3-2. Flagship-B(電池・パワーデバイス計測)の目標

- 2021年に電池やパワーデバイス内部への**量子センサ実装**、22年に電池やパワーデバイス内部の**電流・温度を同時計測**。
- 2025年に出力信号重畳された電流・温度を識別、27年に電池やパワーデバイス内部の電流・温度をダイナミカルに計測する**小型プロトタイプ**を実現。

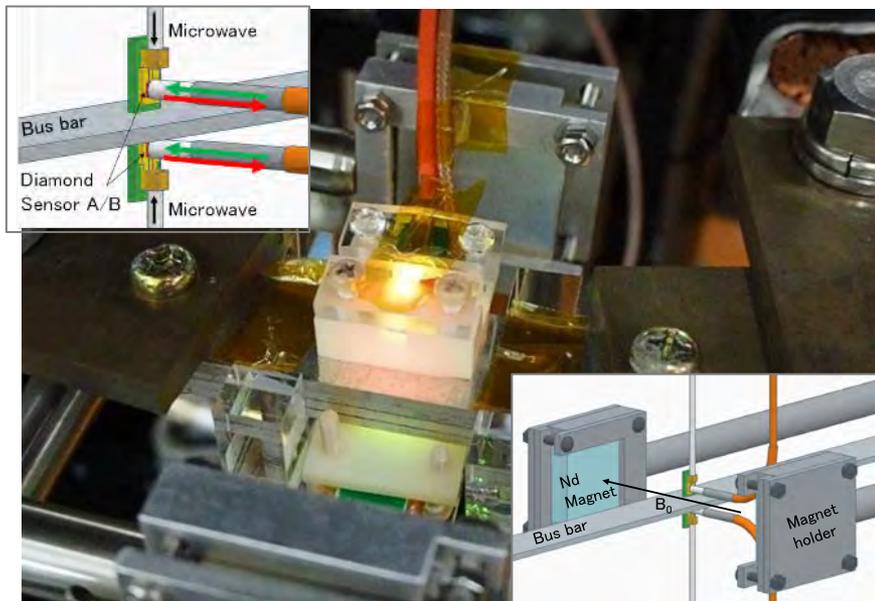


高感度化に加え、スケールに応じた**量子センサ実装**が課題。

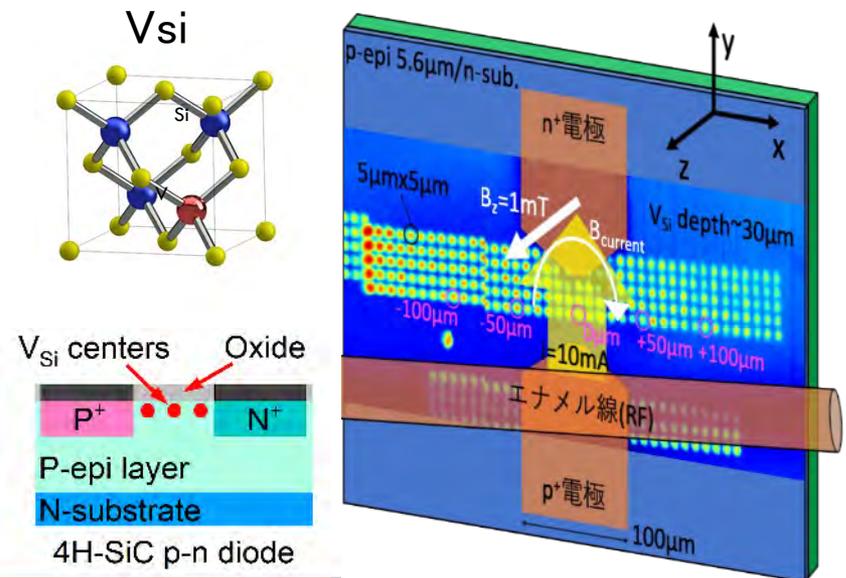
3-2. FS-B の現状

(東工大)(矢崎)(QST)

- (1) EV用電池への実装 (計画より前倒しで実施)。
 - ・センサヘッドの小型モジュール化
 - ・10 mA-±1000 Aの広ダイナミックレンジでの高精度電流計測の実証
 - ・-150°Cから+150°Cの広温度範囲での高精度(数mK)温度計測
 - ・電流・温度(数mK)同時計測の実証
 - ・環境ノイズに対するロバスト性、長期安定性の検証
- (2) SiCパワーデバイス内部への量子センサ(V_{Si})3次元配置実装。
 - ・磁場及び温度それぞれの変化への応答実証



EVへの量子センサ実装。



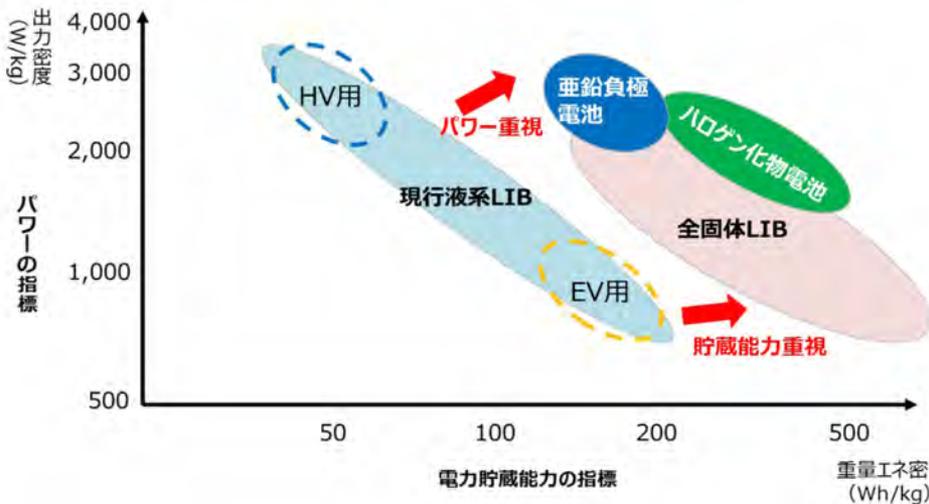
SiCパワーデバイス内部への量子センサ実装。

3-2. 電流センサの広い計測レンジのニーズ

大電力化が進む中で1000 A程度の計測レンジの確保が求められる
 ➤ 微小電流から大電流まで高精度に計測する新たなセンサが必要

① 蓄電池技術の進化

全固体電池により、EVに搭載される電池の大電力(ハイパワー)化、大容量化が進む



出典)「次世代蓄電池・次世代モータの開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装の方向性 2021年7月 経済産業省

② 急速充電規格の動向

急速充電器の大電力化(600 A, 1500 V)

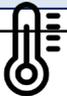


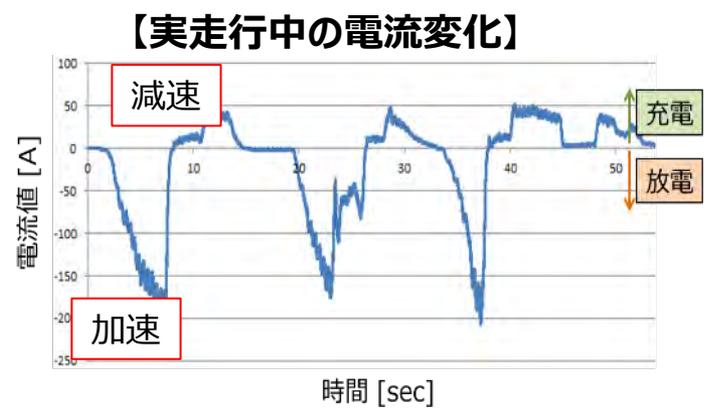
出典)EV/PHEV充電インフラの国別整備実態と普及計画2021 富士経済

3-2. FS-B:EVモニタリングのフィジビリティ検証

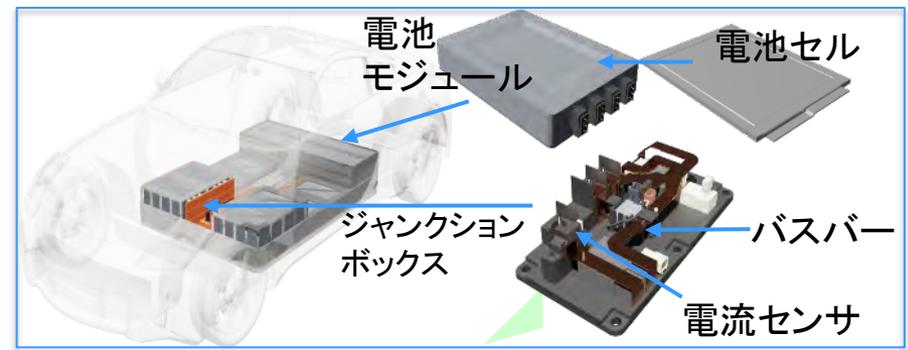
(東工大)(矢崎)

今後の大容量化するEV用電池モニタの要求性能

	電流(磁場) 	温度 
高精度計測	10mA (30 nT $\sqrt{\text{Hz}}$)	1°C
広いダイナミックレンジ	10mA - 1000A (30nT $\sqrt{\text{Hz}}$ - 10 mT)	-40°C ~ 85°C
新機能	電流・温度同時計測	
サイズ	10 × 10 × 10cm	



- ①電気自動車の広ダイナミックレンジ電流計測
- ②電池内の電流・温度の一括計測



3-2. FS-B: プレスリリース & 新聞等掲載: EVモニタ

電池の充放電電流を広い電流レンジで高精度に計測するダイヤ量子センサを世界で初めて開発(22/9/6 東工大・矢崎総業)。
⇒読売, 毎日, 日経産業, 日刊工業, IEEE他 多数掲載。

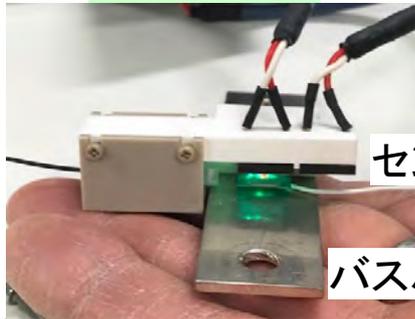
Y. Hatano et al., Sci. Reports, [2022/9/6掲載&プレスリリース](#)

- 電気自動車 (EV) の電池のポテンシャルを引き出し、電費を向上させるためには、小電流から大電流まで広範囲な電流を高精度に計測する技術が求められる。
- 上記に応える $\pm 1,000$ Aの電流計測レンジで10 mAの精度を有するダイヤモンド量子センサを世界で初めて開発。
- EV用電池の充放電電流計測に適用し、WLTC走行モードで想定される電流レンジ・変化パターンを10 mAの精度で計測できることを確認。
- 電池の高信頼制御につながる、電流と温度の同時計測を実現。
- 本技術により、EVの搭載電池容量削減、軽量化による電費向上等が見込まれ、運輸部門のCO₂排出量削減に期待。

3-2.小型化の推進

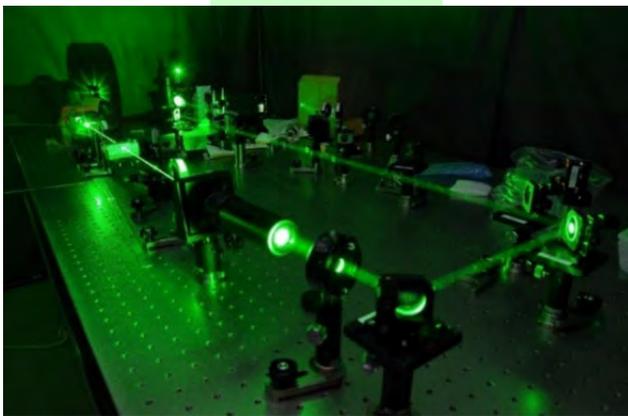
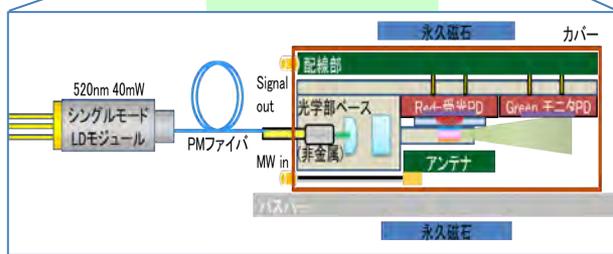
センサヘッド(光学)系

チップ化



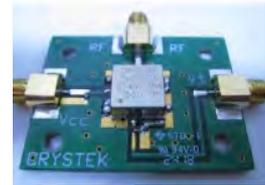
センサヘッド

バスバー



制御系

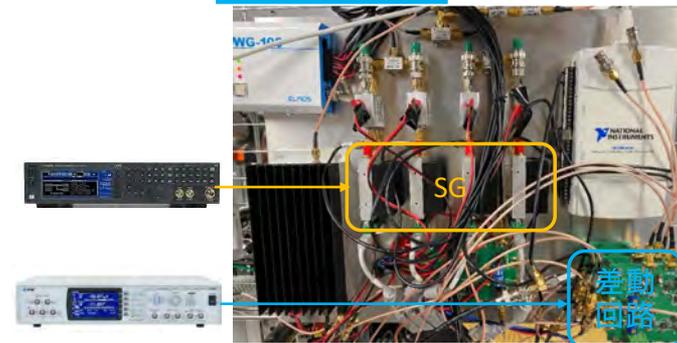
チップ化



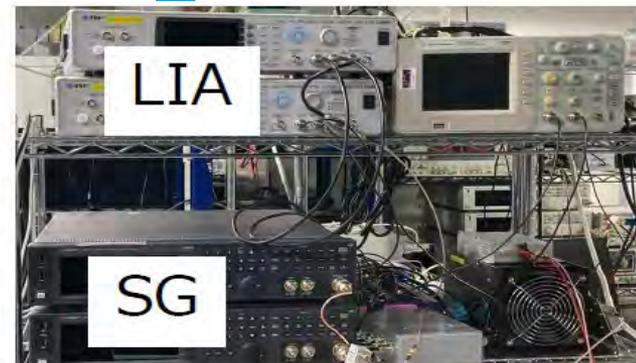
VCO



FPGA

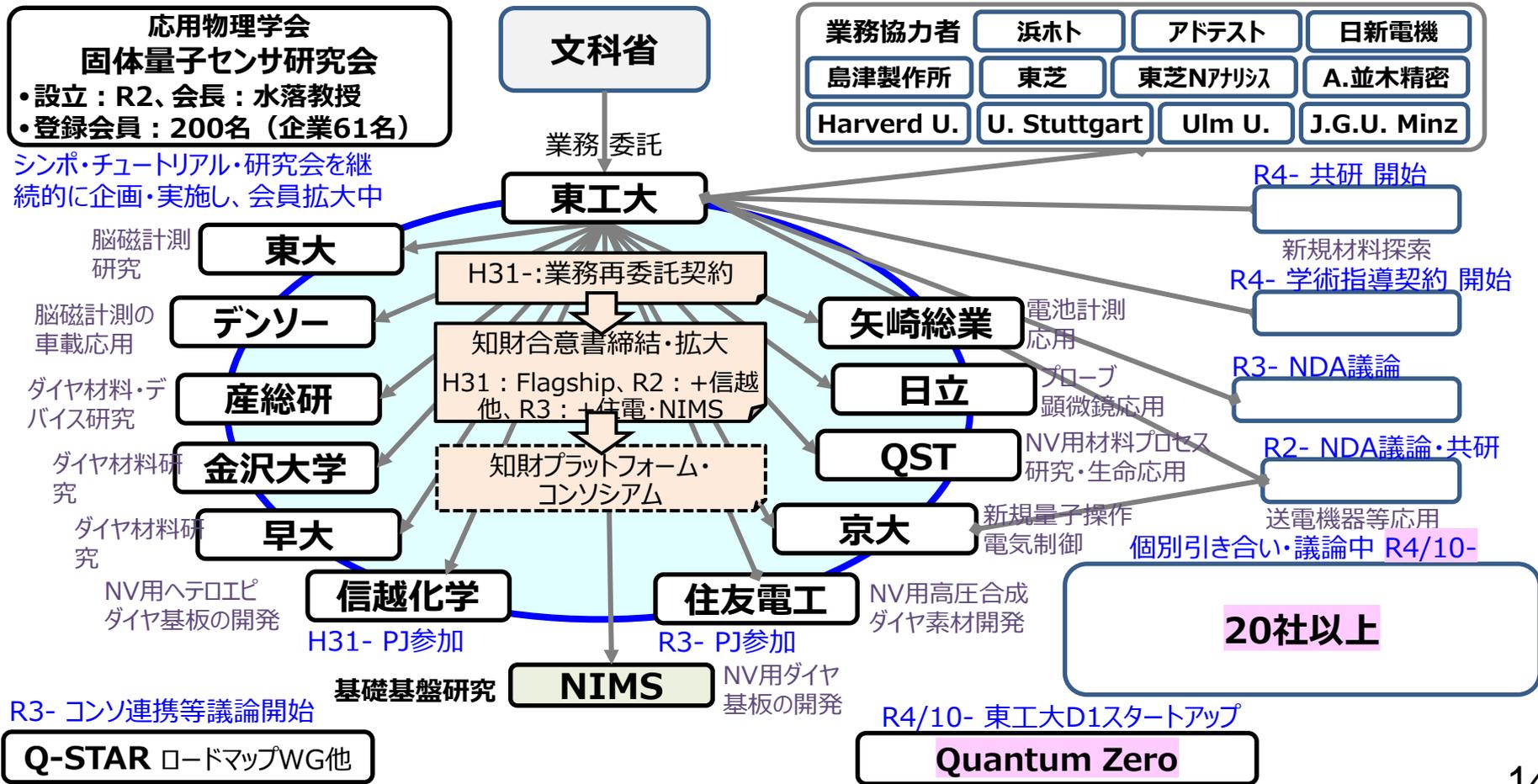


制御系のボード化 (40x30cm)



4. 社会実装に向けた動き

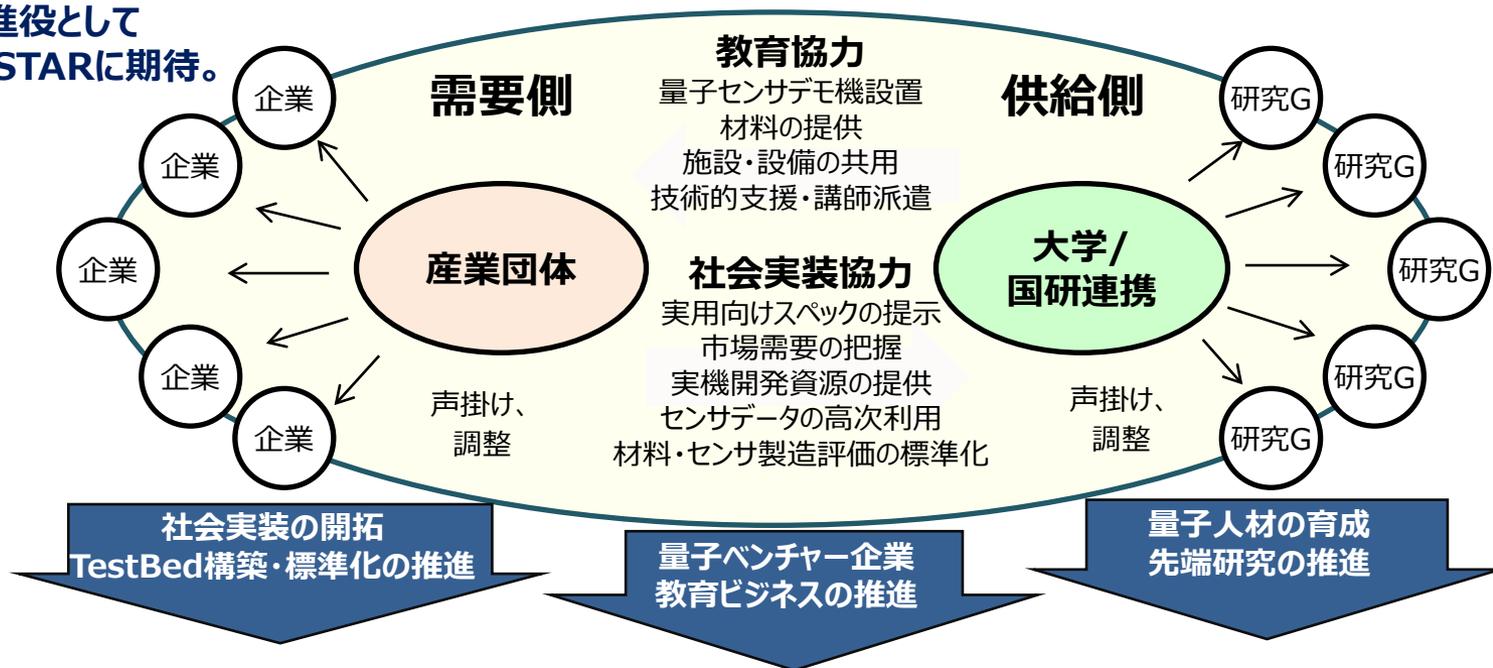
- プレス・新聞掲載等により、さらに新規引き合い。
- 固体量子センサ研究会・関連学会連携により、PJ外への発信・顧客掘起しを推進。
- R4/4より学術指導契約・共同研究等連携を拡大。
- 東工大学生の量子センサ スタートアップ起業(R4/10)を支援。



4. 社会実装に向けた動き(構想)

- 産業界では量子(センシング)技術への関心と取り組みへの強いニーズが存在。
- 他方、多くの企業にとって量子技術は着手段階。手ほどこからの連携が求められている。
- NVは量子操作を室温で体験でき、センシングに限らず量子技術の教育手段として有効。
- 企業の量子人材育成、材料・センサシステム等のTestBed構築、スタートアップ育成、標準化等を推進する協調的な枠組みが求められる。

推進役として
Q-STARに期待。



量子イノベ拠点に加え、地方大学を含めたPJメンバーを中心に、教育コンテンツの分担、研究エコシステムを構築。

量子技術の社会実装加速に向けた研究エコシステム

5. スタートアップの動き

固体量子センサは世界も未だスタートアップ止まり。
日本は産業界、スタートアップ、計測標準も含めたコンソで
グローバルな市場を獲得するチャンス。

Q-LEAP

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
バイオ・医療	 QDTI (11-50)	 NVISION (51-200)					 waiyam		
走査型顕微鏡		 nami (11-50)		 ZABRE (2-10)		 CIQTEK (501-1000)			
計測機器				 QUANTUM MACHINES (51-200)					
教育機器		 CIQTEK (501-1000)							 Quantum Zero
コンピュータ					 QUANTUM BRILLIANCE (11-50)		 SaxonQ (2-10)		

(カッコ内は人数)

まとめ(提言)

- 産業界では量子(センシング)技術への関心と取り組みへの強いニーズが存在し、増加傾向にある。
- 他方、多くの企業にとって量子技術は着手段階。手ほどきからの連携が求められている。
- しかし、大学ですべての要求に対応することは困難である。
- Q-LEAPでは、大学中心の研究から社会実装へとフェーズが変わりつつあり、国研等の大学と産業界を結ぶ機関へシフトすべき時期が来ている。
- 企業の量子人材育成、材料・センサシステム等のTestBed構築、スタートアップ育成、標準化等を推進する協調的な枠組みが求められる。