

量子技術イノベーション拠点内外との連携の状況

量子センサ拠点

- Q-LEAP量子計測・センシング技術領域 量子固体Flagship -

東京工業大学工学院電気電子系 教授
(QST)量子ビーム科学部門研究統括

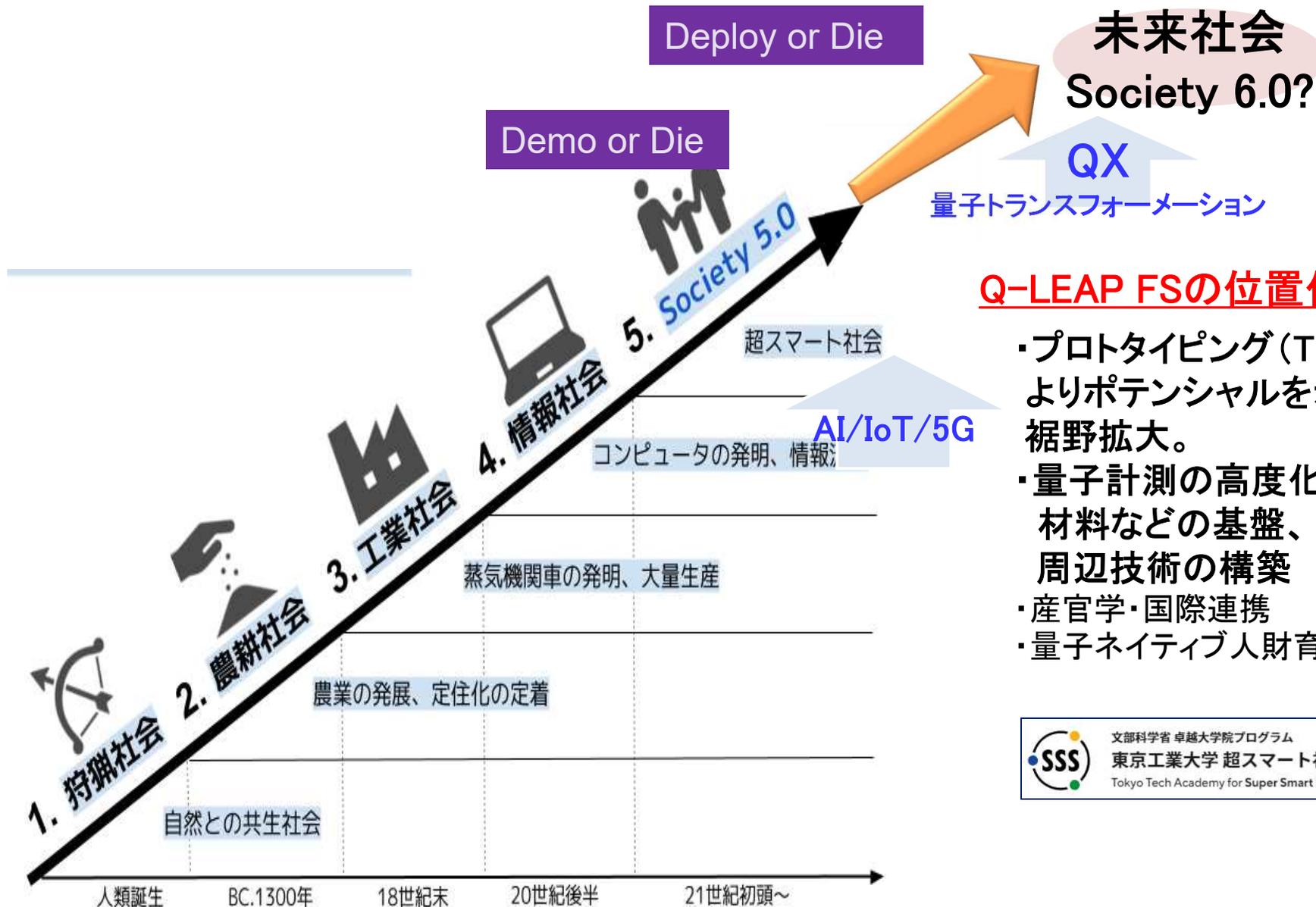
波多野 睦子

Executive Summary

1. Q-LEAP FS 固体量子センサは、超スマート社会を足掛かりに未来社会の主役を狙う
 - ・産官学連携、分野を横断し、プロトタイピング(TRL6)によりポテンシャルを示す。TestBed構築により、裾野拡大
 - ・量子計測の高度化、材料などの基盤、周辺技術の構築
2. 量子ネイティブ人材の育成
 - ・シニアも含めたダイバーシティが重要
3. 量子科学技術に投資されている海外との国際連携
 - ・最先端設備の相補活用
 - ・世界の共通プラットフォーム構築を模索
懸案は先方と連携している企業への対応
 - ・サテライトオフィスの相互設立。教育プログラム(DDも含む)の共有化。
4. 今後は新規参入の企業やアカデミアに対して柔軟に機能する研究エコシステムが必要
 - ・産学間のミスマッチを解消したコンソーシアム形成
 - ・需要側(企業等)、供給側(大学・国研等)の協調領域形成
 - ・TestBed構築、標準化推進
 - ・固体量子センサは量子操作を室温で実体験できるため、量子技術の教育ツールとしても有効で普及可能
 - ・海外はベンチャー企業が急増に対し、
若手・学生などからアイデアを発掘し、スタートアップを起業する機会をつくる

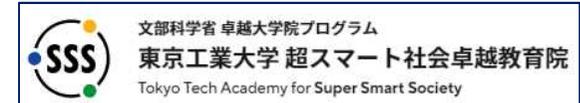
超スマート社会を足掛かりに量子が未来社会の主角を狙う

人類社会発展の軌跡と量子の今後

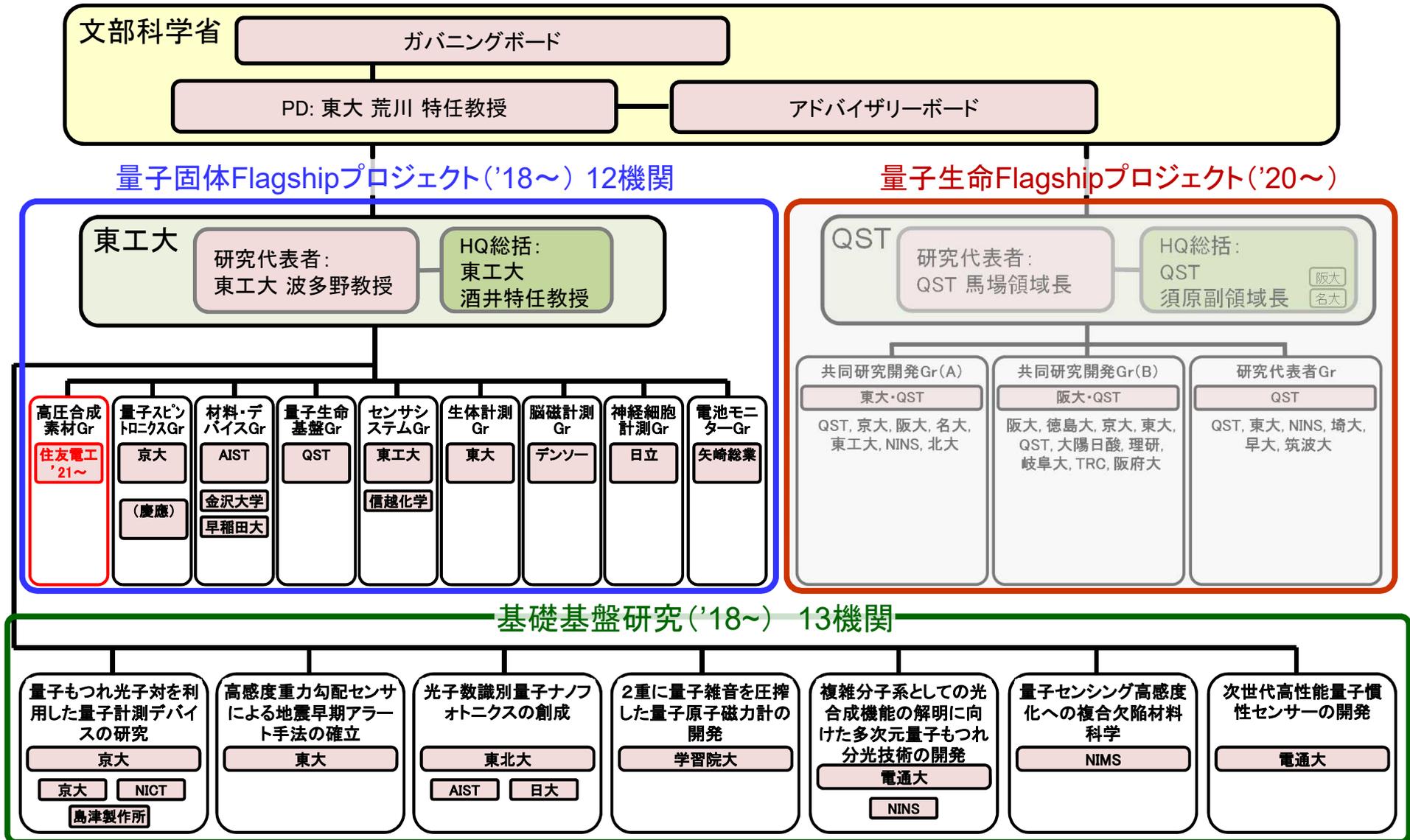


Q-LEAP FSの位置付け

- ・プロトタイピング(TRL6)によりポテンシャルを示す。裾野拡大。
- ・量子計測の高度化、材料などの基盤、周辺技術の構築
- ・産官学・国際連携
- ・量子ネイティブ人財育成



Q-LEAP量子計測・センシング技術領域 運営体制 (R3/4)

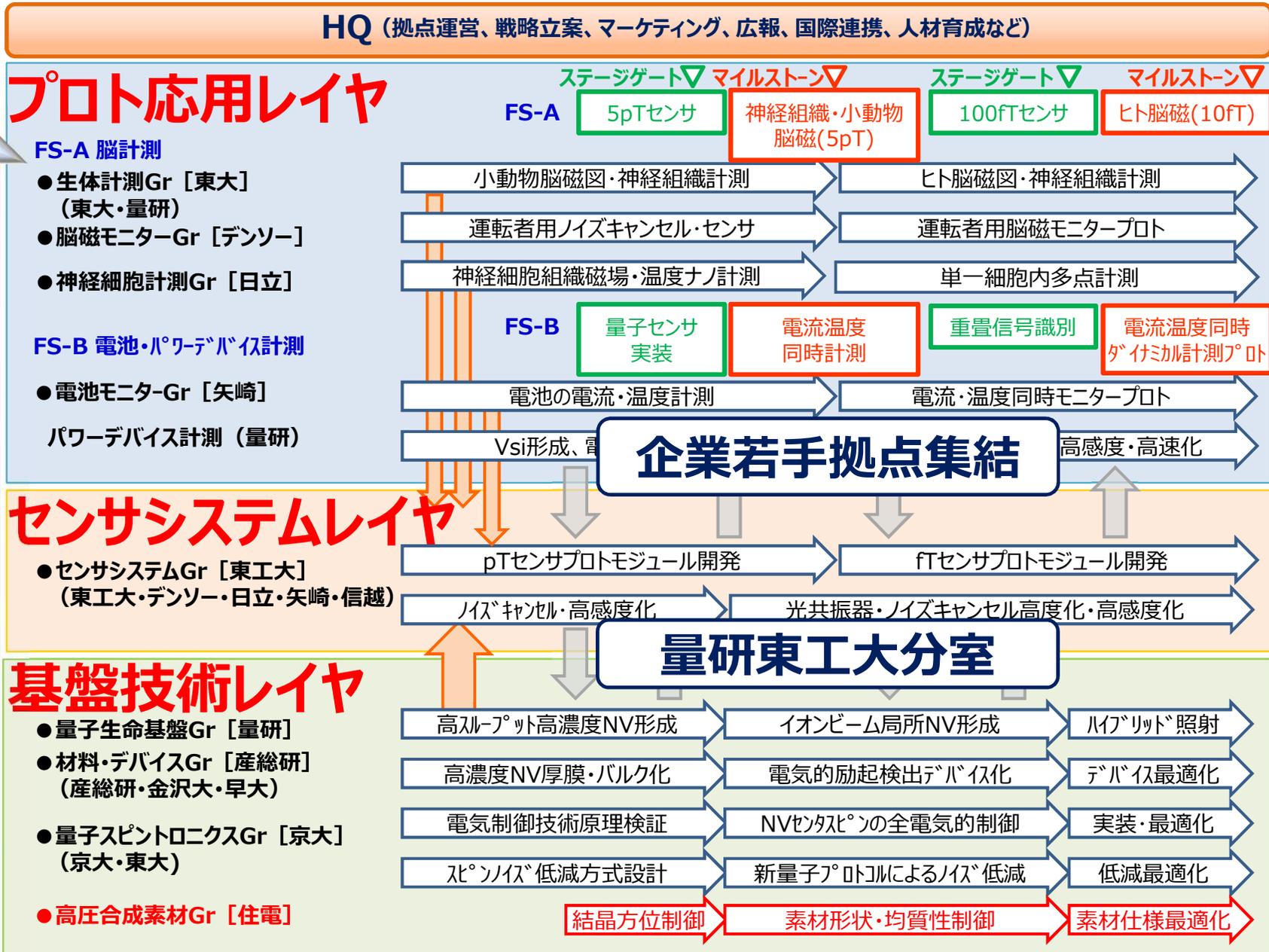


東工大HQは量子固体FSと基礎基盤研究7件(再委託契約合計24件)を担当。
私立大学・地方大学も含む

MEXT Q-LEAP 固体量子センサ Flagshipプロジェクト 基礎物理・物性・材料デバイス・システム・応用の連携研究



レイヤ連携による研究計画

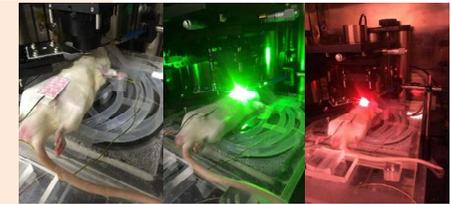


応用・システム・材料・物理・気通貫の連携

研究レイヤ連携
物理—材料—センサシステム—生体計測

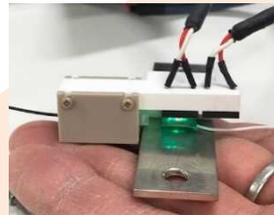
東大

Bio-measurement facilities



東工大

Sensor system



小型モジュール



AIST / QST / NIMS

Sensor material & devices



HPHT



CVD



Device Fab. in CR

京大 / 慶應 / 東大 / AIST

Quantum physics and theory

量子材料の研究開発

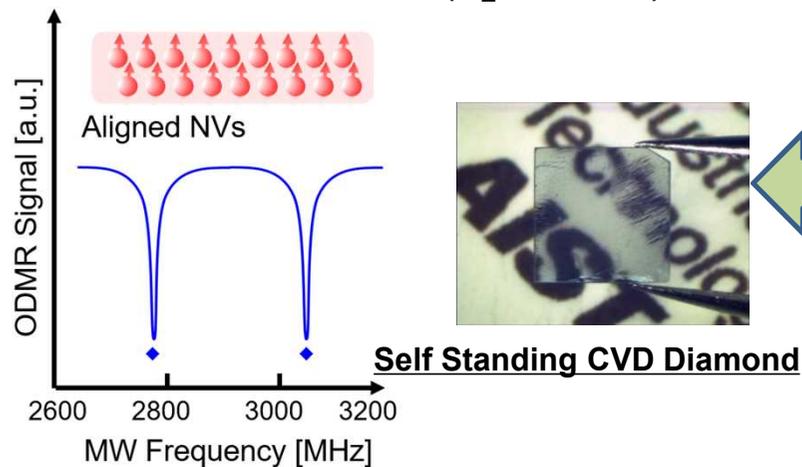
大学 - 国研 - 企業 一気通貫

信越化学, 住友電工 他

AIST

Plasma CVD

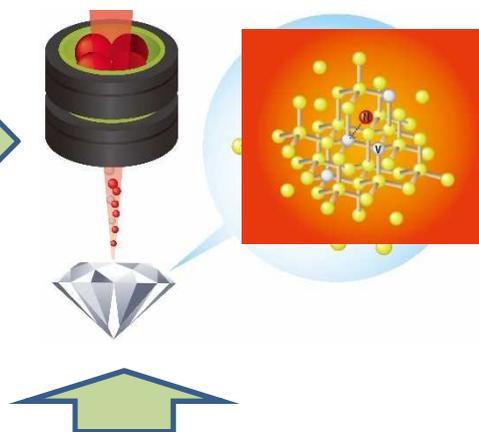
- ◆ Aligned NVs for high sensitivity
- ◆ Ultra-Long Coherent Time in N-type Diamond ($T_2 \sim 2.4$ ms)



QST

EB irradiation at elevated temperature

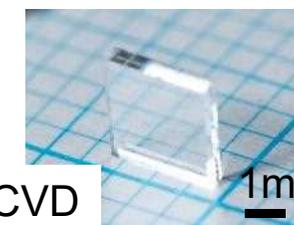
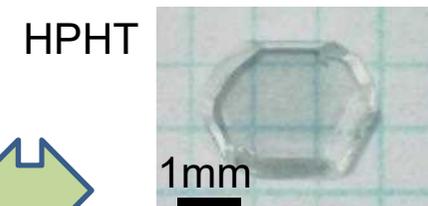
- ◆ High NV generation yield



NIMS

HPHT & Plasma CVD:

- ◆ High controllability of impurity and defects



東工大

- ◆ Aligned NVs for high sensitivity
- ◆ Diamond hetero-epitaxial growth on Si

金沢大

- ◆ High orientation by growth mode control

早大

- ◆ High concentration /w nitrogen radical termination technology

一例として: 固体量子センサ 量子計測の高度化

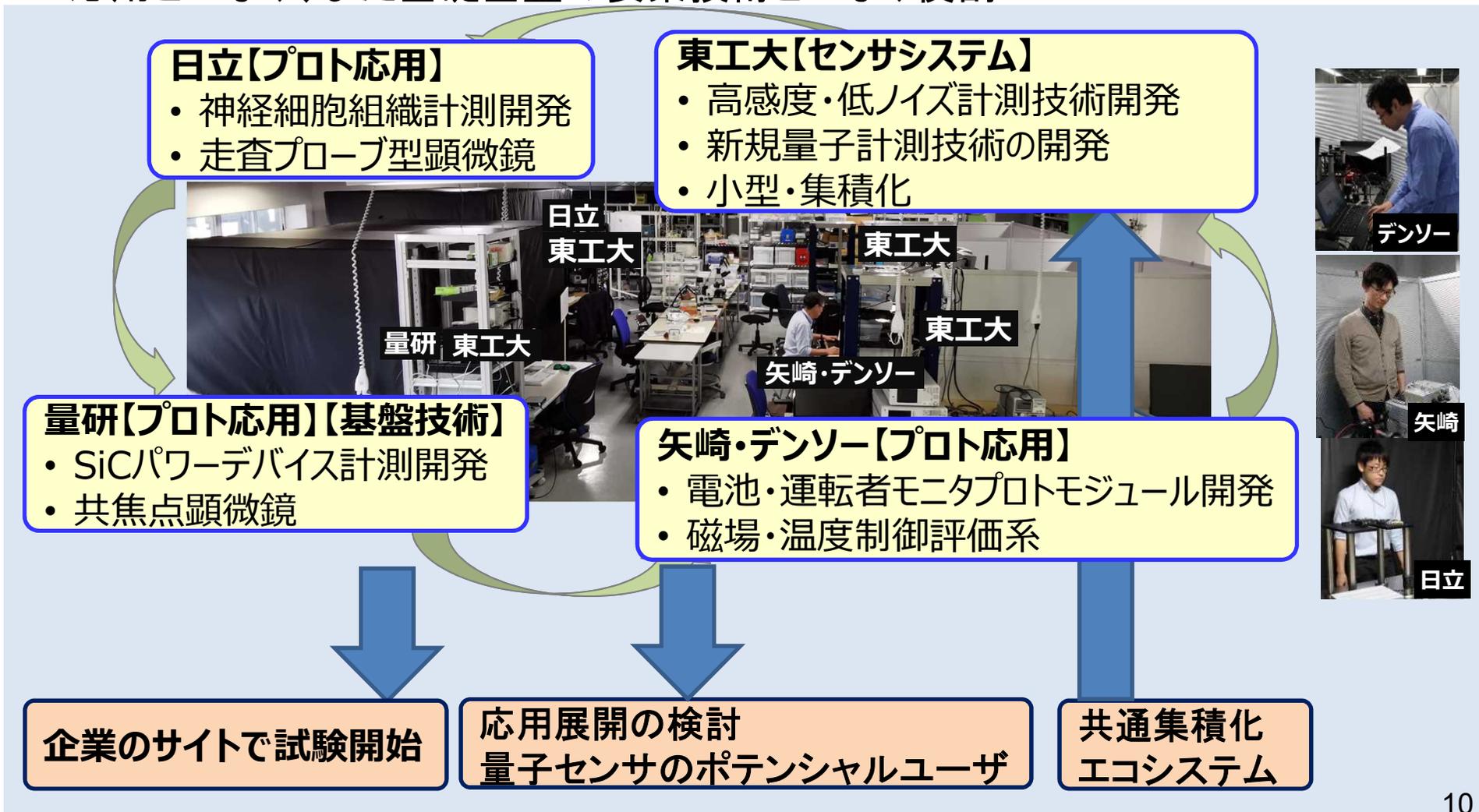
Q-LEAP

		磁場感度	具体的施策
CW	CW-ODMR	$\sim 13 \text{ pT/Hz}^{1/2}$	<ul style="list-style-type: none"> ロックインによる電気ノイズ低減 レーザー強度増加による蛍光上昇
	ラムジー	$\sim 1 \text{ pT/Hz}^{1/2}$	<ul style="list-style-type: none"> レーザー・MWパルス化によるブロードニングの抑制 コントラストの増加
パルス	P1スピンノイズ抑制	$\sim 0.3 \text{ pT/Hz}^{1/2}$ ショットノイズ限界	<ul style="list-style-type: none"> P1スピン操作によるノイズ抑制と$T2^*$の伸長
	量子プロトコル	$\sim 0.02 \text{ pT/Hz}^{1/2}$ スピン射影雑音限界	<ul style="list-style-type: none"> 核スピン等の量子的読み出し法による光子数増加
	ハイゼンベルグスケーリング	TBD ハイゼンベルグ限界	<ul style="list-style-type: none"> スクイズド状態などの量子状態を用いた量子プロトコルの適用

「いかにハイゼンベルグ限界を実現するか」ハードでブレイクスルーが必要
 「弱測定等の量子特殊測定、エンタングリング・スクイーミング等の高度量子状態、幾何位相・トポロジカル相等の新規自由度」などの高度利用に向けた基礎～応用技術の開発が今後数年～10年で重要になってくると思われる。

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試験開始
- ・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

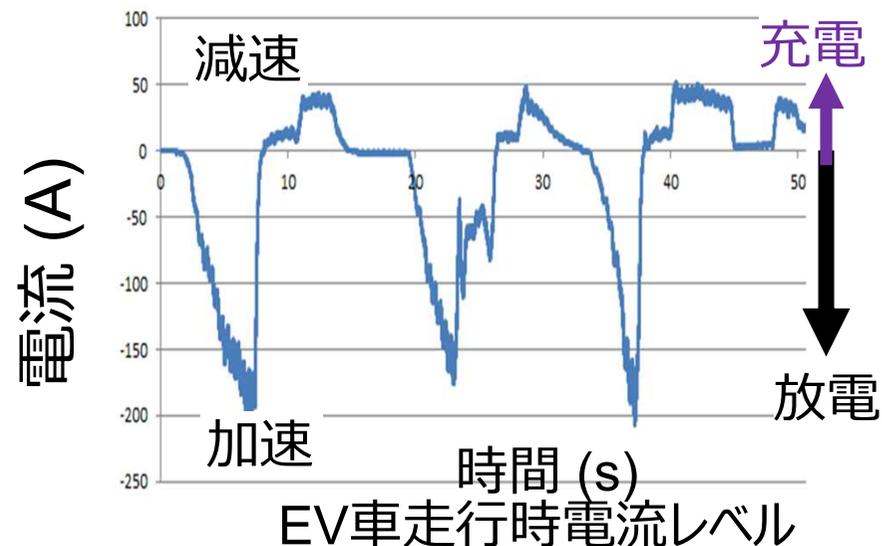


一例として：EV車電池モニタ向け量子センサ

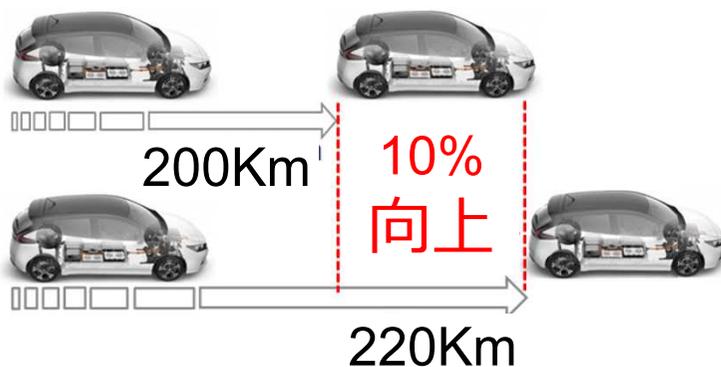
- ・実走行距離向上のための高精度・広ダイナミックレンジ計測
- ・安全性確保のための電流・温度同時計測

要求性能

	電流	温度
精度	<10mA	1°C
ダイナミックレンジ	10mA ~ 1000A	-50°C ~ 100°C
機能	電流・温度同時計測	



1A
精度
10 mA
精度



実走行距離向上

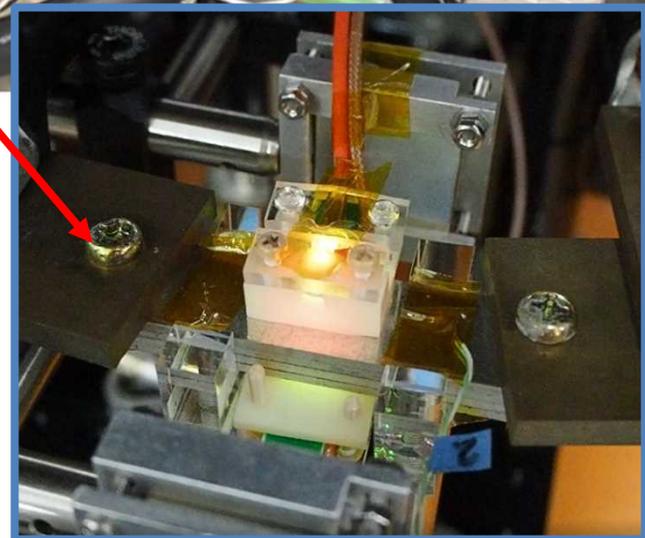
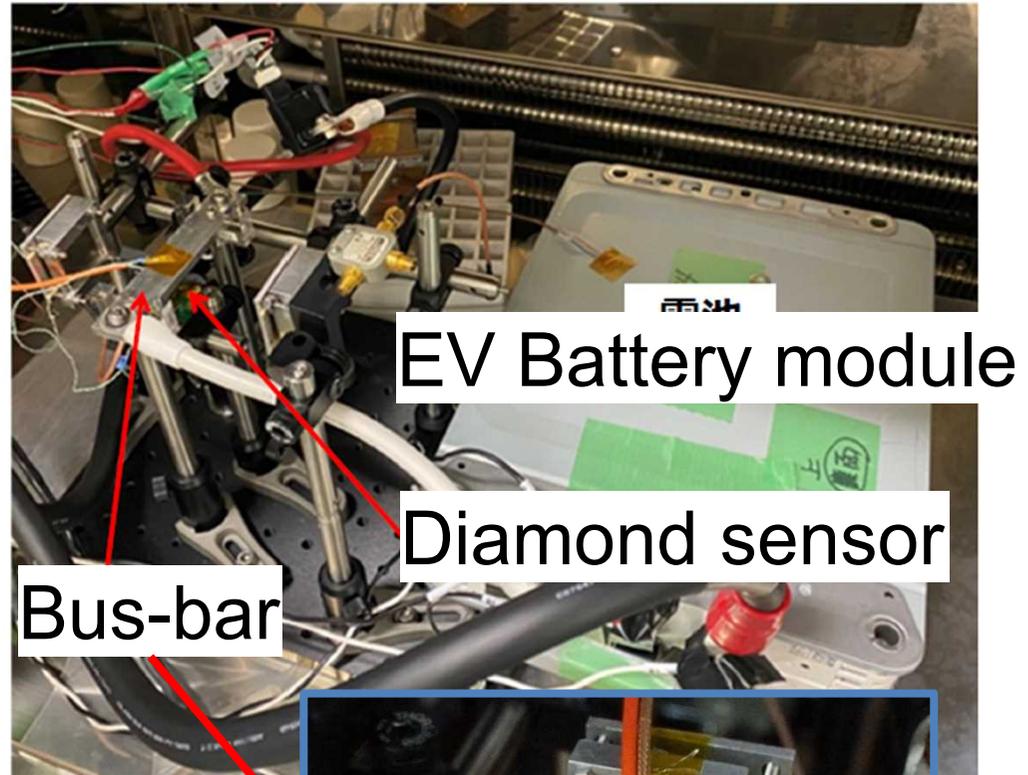


Current and temperature monitoring of bus-bar from the EV battery module @Yazaki corporation

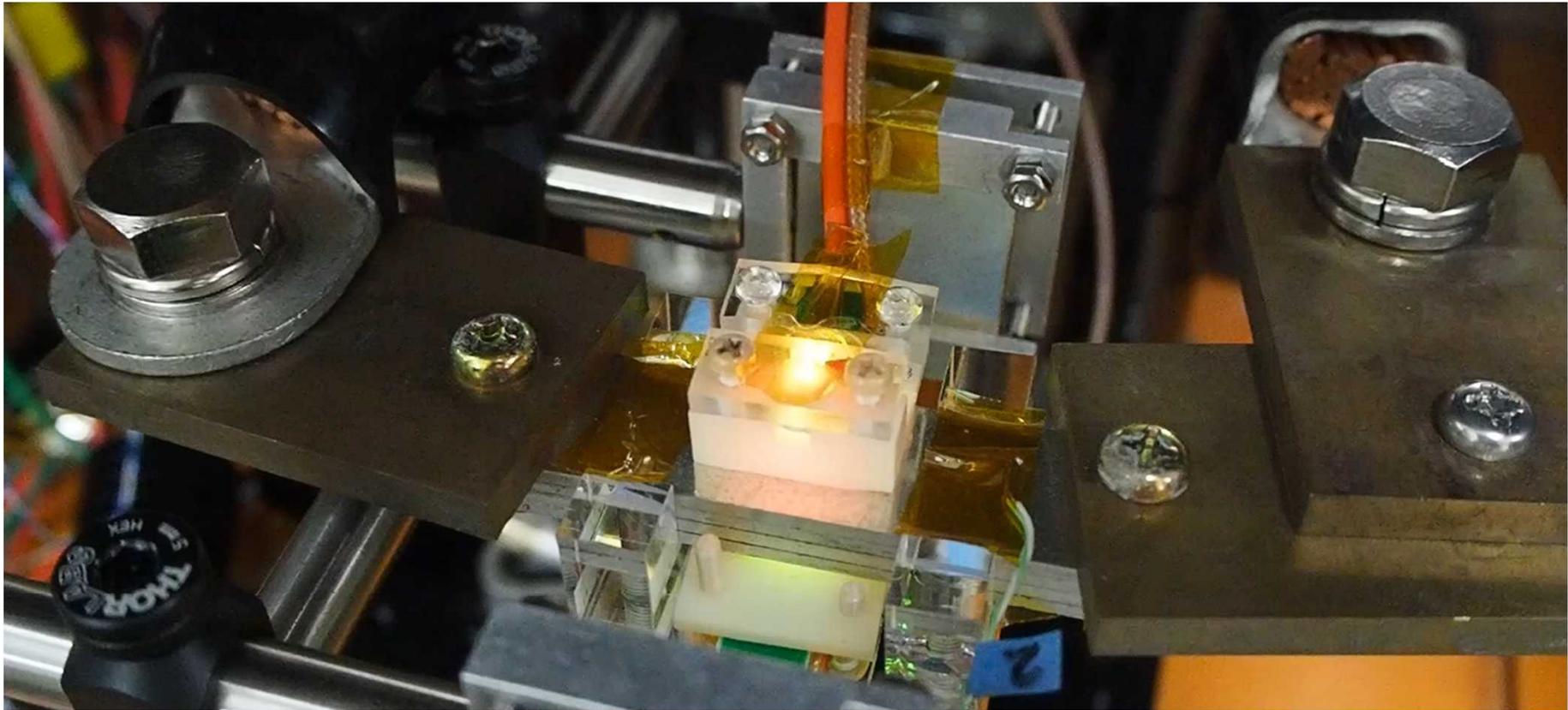
EV battery charge / discharge tester



± 1000 A current measurement setup
 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ temperature range



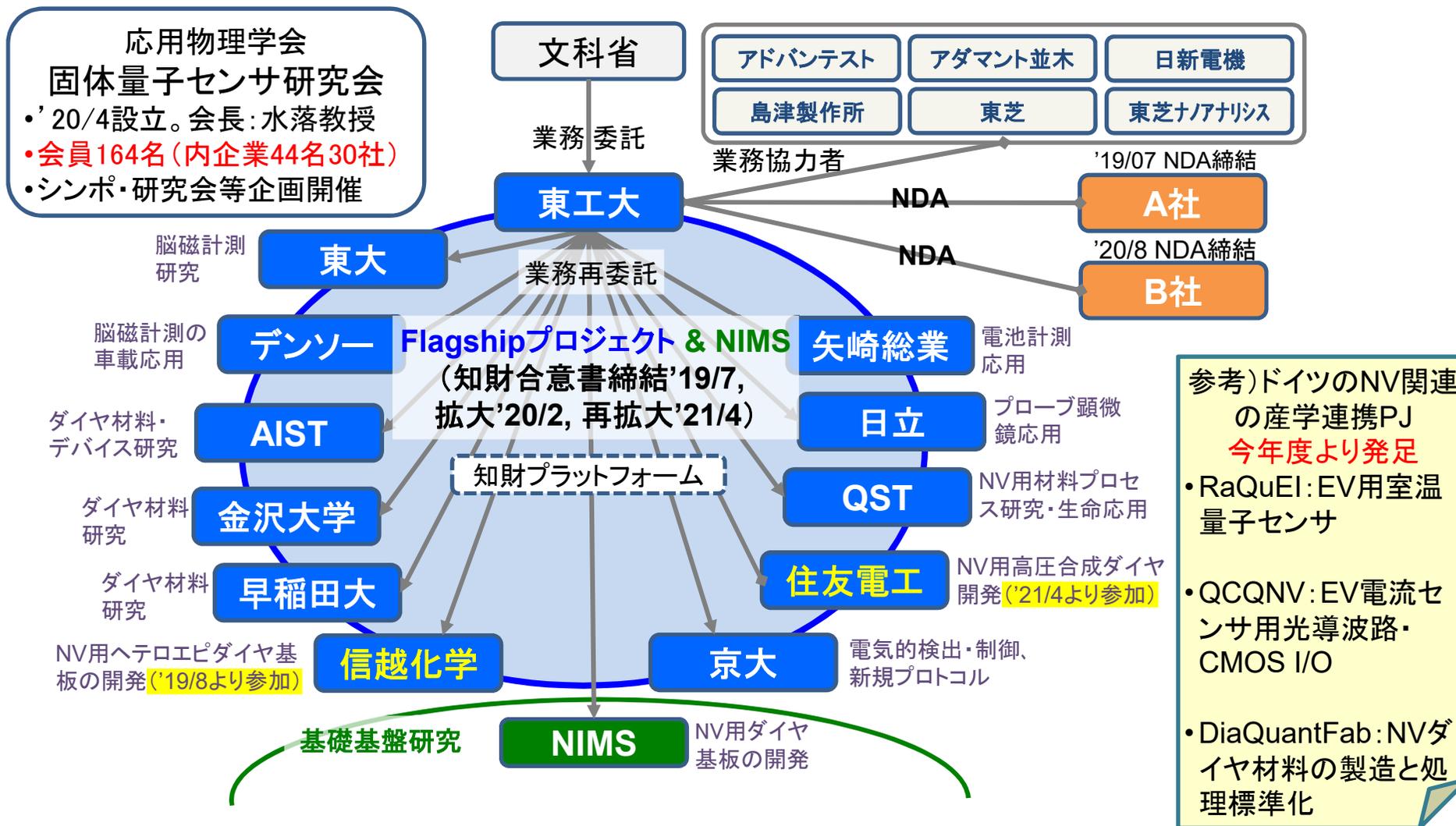
Current and temperature monitoring of bus-bar from the EV battery module @Yazaki corporation



Diamond sensor on the bus-bar of EV battery module

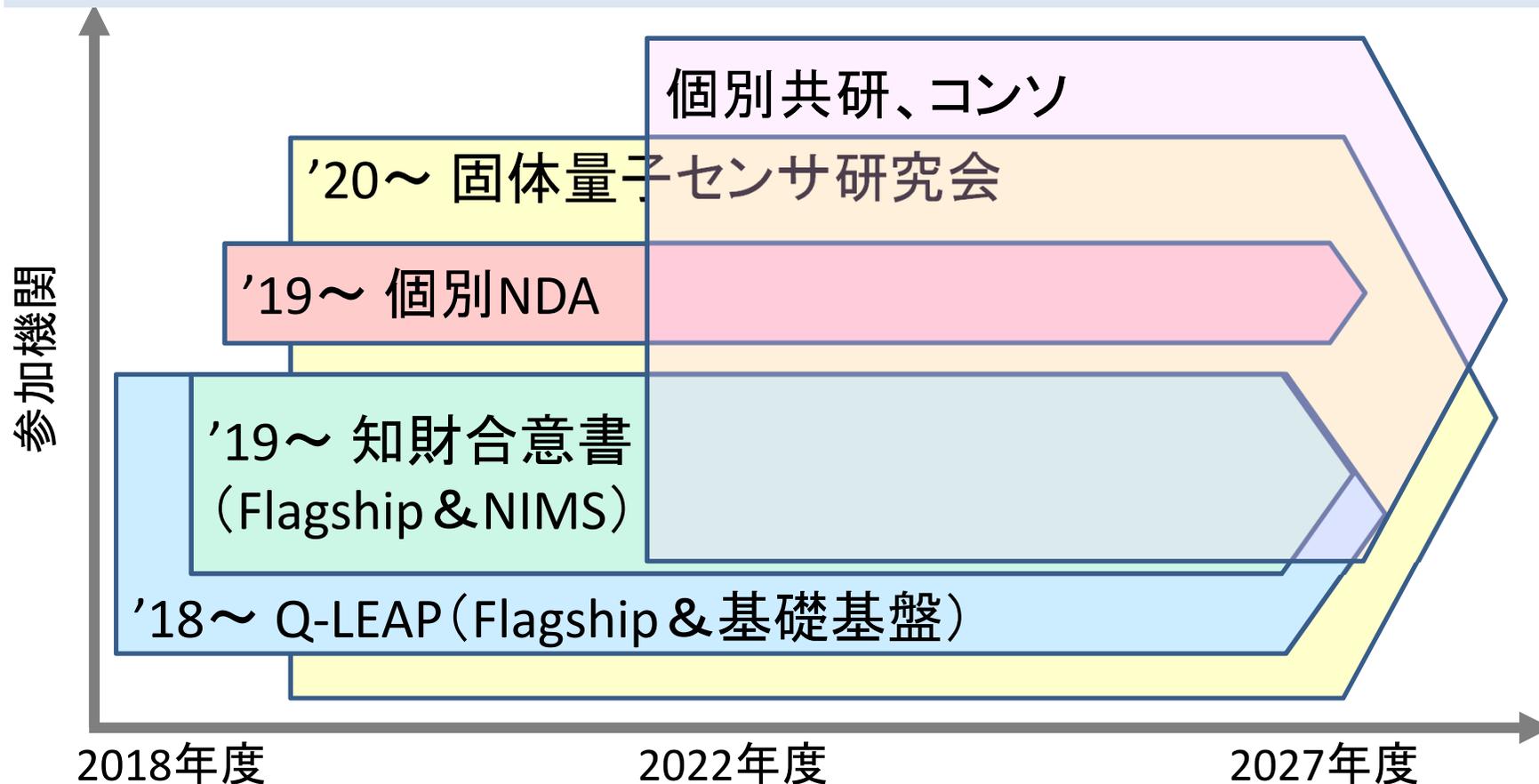
量子固体センサ社会実装に向けた取り組み 産学連携推進状況

- PJ参加者間の知財合意書締結により、知財活用ルールを共有。
- PJ外企業NDA・共研、固体量子センサ研究会設立等により、新規連携を推進



量子固体センサ社会実装に向けた取り組み

1. PJ参加機関間の知財活用に関する合意形成(知財合意書)
2. PJ外機関との個別議論による連携拡大(個別NDA)
3. PJ研究成果発信と産学官交流の推進・拡大(固体量子センサ研究会)
4. 産業出口を見据えたPJ研究成果の共同開発(個別共研)、提供(コンソ)



個別共研・コンソ取り組みは、PJ目標遂行・研究リソースとのミスマッチに課題あり

企業からの引き合い状況(R3現在)

センサ応用、**センサデータ・情報の高度活用**、材料供給側から引き合い。

No.	ターゲット/狙い	PJ参加	PJ研究協力者	個別引合い	研究会登録
1	車載バッテリー電流・温度センサ	1			1
2	車載脳磁モニター	1			1
3	NVプローブ生体応用	1			1
4	NV用ヘテロエピダイヤ基板	1			
5	NV用高圧ダイヤ材料	1			1
6	電力インフラモニター		1		1
7	医用計測応用		1		
8	生体応用		1		
9	NV用ヘテロエピダイヤ基板		1		
10	量子センサ・NVダイヤ		1		1
11	健康・医療応用			1	
12	ダイヤ精密加工			1	1
13	HMI・医用計測			1	1
14	磁気プローブイメージング			1	1
15	二次電池故障モニター			1	1
16	工場・プロセス機器等モニター			1	
17	工場・プロセス機器等モニター			1	1
18	車載バッテリー電流センサ			1	
19	工場・プロセス機器等モニター			1	
20	HMI、車載バッテリーモニター			1	
21	装置モニター・成膜評価			1	
22	量子センサ関連化成品			1	
23	NV用ダイヤ材料				1
24	固体量子センサの産業応用				1
25	固体量子センサ動向				1
26	固体量子センサ動向				1
27	ダイヤ成膜装置				1

産学間のミスマッチを解消し、社会実装を目指す研究エコシステムを構築

背景・課題

量子センシングをまずは基礎から学びたいという企業ニーズを国プロの枠組みでは満たせておらず、産学間にミスマッチが存在

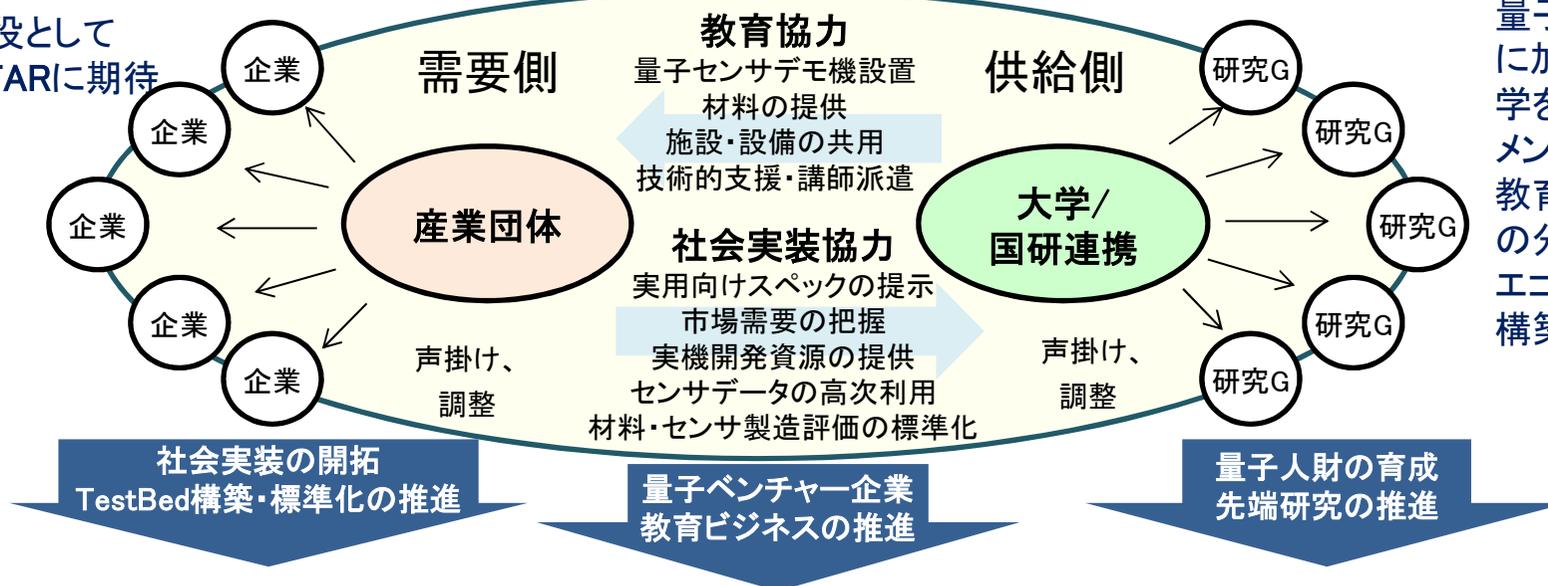
- 産業界では量子(センシング)技術への関心と取り組みへの強いニーズが存在。
- しかし、企業の多くはこれから量子技術に着手するという段階にあり、手ほどもからの連携が求められている。
- 実態が国プロである拠点としては、その目標遂行が最優先であり、直接成果に結びつきにくい新規参入企業への個別対応は難しい。(特にQ-LEAPは、多数機関の資金管理を含むPJ運営・管理など研究外の負担も多く、リソースに課題)

提案内容

需要側(企業等)、供給側(大学・国研等)の協調領域として、コンソーシアム的な形でミスマッチを解消する取り組みが望まれる

- ダイヤNVは量子操作を室温で実体験できるため、量子技術の教育機器・手段として有効。普及のバリアも低い。
- これら機器の開発は知能集約的な教育事業の生産性をあげ、企業への量子技術導入の機会を広げる量子教育機器ビジネス(教育ソフトウェア・デモ機器販売/リース等)につながる可能性もある。
- 若手・学生から新たなビジネスアイデアを発掘し、スタートアップ起業の機会を作る。量子人財の拡充にもつながる。
- 日本に強みのある量子材料を核にセンサモジュール等のTestBed構築・標準化推進等により、国際競争力も強化。
- 総力戦をもって全国津々浦々に柔軟に機能する研究エコシステムを構築。

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

量子ネイティブ人財の育成と拡充

ダイバーシティ・インクルージョン促進

分野や組織を横断した人財の流動性→人とアイデアを囲い込まない

施策例

- ・参画企業へのキャリアパス
- ・参画企業から社会人博士、派遣研究員
- ・クロスアポイントメントの促進
- ・海外先端大学からの移籍(MIT/ハーバード)
- ・量子プロジェクト関連の人財流動:

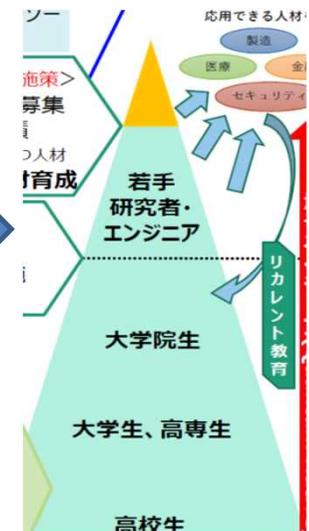
First, CREST, SIP, Q-LEAP, Moon shot
などで投資されている資産や人財の有効活用

- ・学会を通じた人財リソースの共有化
- ・シニア人財の活躍

経験知が重要な高度アナログ技術 →裾野拡大のターゲットの一つ

- ・高専出身者の活躍 (研究室の3割)
- ・卒業生との共同研究

シニアの活用



課題

量子人財育成は時間が掛かり、博士進学が必須。

「科学技術イノベーション創出に向けた大学フェローシップ創設事業」スタート
課題はキャリアパス、インセンティブ、就活方法と時期。

知の自律的共有システムの構築

- ・企業メンバや工学部学生には量子の障壁が高い(東工大電気電子系は選択科目)
→基礎講座、輪講、装置や部品の使い方、プログラミング、安全教育など
知的資産を蓄積(現在3200本)。リアルタイムで更新
 - * 特にコロナ禍で有効
- ・エンジニアからのアプローチと同時進行することでモチベーション向上

The screenshot displays the esa.io website interface. On the left is a dark sidebar with a list of navigation links and their respective article counts: README (426), 物性計測チーム (412), 実験マニュアル・基礎理論 (322), パルクNVチーム (94), Users (88), CVDチーム (56), デバイスチーム (52), 全体ロジ (29), 発表資料 (13), 雑記 (9), 重要情報 (5), 2021 (1), Templates (8), and (no category) (57). The main content area shows a README page for 'esa.io' with the following text: 'esa.io とは 🐛 esa.io とは、「情報を育てる」という視点で作られた、自律的なチームのためのドキュメント共有サービスです。' followed by two bullet points: 'esa.ioの使い方' and 'チームへの招待方法'. Below this is a section titled 'このページ (README.md) について' with three bullet points explaining the README structure and editing permissions. Further down, there is a section for '波多野・岩崎研 esa (dia-pe-titech) の運用方針' and a date '2021年4月'. At the bottom, a note states: '研究室で esa を使い始めて約1年、これまでに1364本の記事が投稿されている[2021年4月5日現在]'. On the right side of the page, there is a '最近更新された記事' (Recently updated articles) sidebar listing several articles with their titles, authors, and update times.

知の自律的共有システムの構築

輪講の例 「量子測定と量子制御」 沙川、上田著 サイエンス社

#561 実験マニュアル・基礎理論 / 参考図書・論文紹介 /

[輪講] 量子測定と量子制御 沙川・上田著

★ Star 0 | Watch 3 | Comments 0

Created by keigoarai
2020-06-02 21:39

Updated by keigoarai
2020-06-10 18:47
Update post. (diff)

本稿では、量子測定と量子制御の追計算などを随時追加していく。

テキスト

「量子測定と量子制御」 沙川・上田著、サイエンス社

輪講案内

日時：毎週火曜 15:30-17:00
場所：Zoom
<https://us02web.zoom.us/j/81901340681?pwd=L1NMUE96UExpaVZKcGcwU111d2k5QT09>
教科書：「量子測定と量子制御」 沙川・上田

第1章 量子論の基本概念

参考：#579: 実験マニュアル・基礎理論/参考図書・論文紹介/量子測定と量子制御第1章 輪講 メモ

1.1 量子状態と物理量

<https://dia-pe-titech.esa.io/posts/561>
<https://dia-pe-titech.esa.io/posts?q=%E4%B8%8A%E7%94%B0>

- 量子測定と量子制御 (沙川・上田本) 8章ノート #量子測定理論
- 量子測定と量子制御 (沙川・上田本) 1章ノート #量子測定理論
- 量子測定と量子制御 (沙川・上田本) 2章ノート #量子測定理論
- 量子測定と量子制御 (沙川・上田本) 4章ノート #量子測定理論
- 量子測定と量子制御 (沙川・上田本) 付録Aノート #量子測定理論
- 量子測定と量子制御 第1章 輪講 メモ
- 量子力学独学時につまずきやすいポイント #量子力学

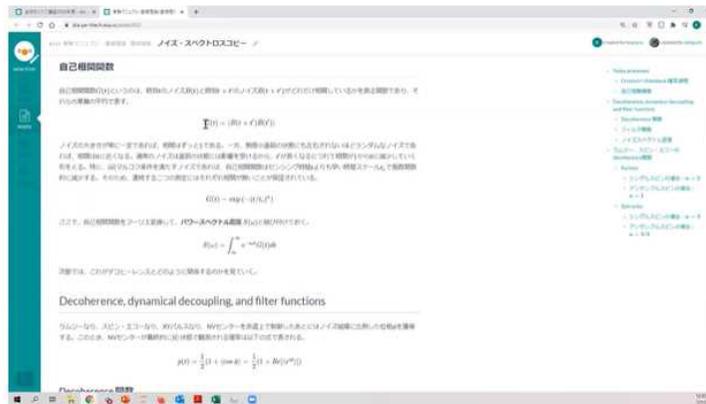
知の自律的共有システムの構築

・動画 セミナー

ノイズ・スペクトロスコピー

★ Star 2 Watch Comments 5

ラムジーやスピン・エコー、CPMG/XYなどのパルスシーケンスは、時間軸でどのような形をしているか議論されることが多いだろう。本投稿では、これらのシーケンスが周波数空間において持つ意味を、スピン浴のノイズスペクトルおよびNVスピンのデコヒーレンスとの関係とともに統合的に解説する。本稿は、Degen, et al., "Quantum sensing," Chap VIIおよびBauch 博士論文 Chap 2.4の構成を参考にしている。



Noise processes

NVセンターを取り巻く環境には、様々な種類のスピン（C13核スピンやP1電子スピン）が存在する。これらのスピンは、NVセンターのデコヒーレンスを引き起こす。この章では、NVセンターとこれらスピンの相互作用を見ていく。

NVセンターが感じる環境中の各スピンが作る磁場の合計を $B(t)$ とする。この磁場は、半古典ガウシアンノイズやガウシアンスピンボソン浴などの単純なノイズモデルで記述できる。このときNVスピンと環境スピン浴の相互作用は、以下の半古典のハミルトニアンで得られる

$$H_{NV-bath} = S_z B(t)$$

装置・コア技術のオープン利用を促進

学生や若手、企業の参入障壁を下げ、エコシステムを構築。
 課題：・運用は教員と学生が担っており、継続性が担保されていない。
 ・メンテナンス・修理費の確保。
 ・量子操作やプログラミングを理解する高度技術職員が必要。
 ・海外との相互共有も検討すべき。オープン・クローズド戦略は慎重に要検討。

文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 「微細加工プラットフォームコンソーシアム」での固体量子センサのオープン利用の促進

機器画像	設備名称	仕様	ナノプラットフォーム支援事業での 利用料金	自主事業での 利用料金
	共焦点ラマン顕微鏡	WiTec alpha300R、532 nm レーザー、グレーティング 600 g/mmおよび1800 g/mm（ブレイズ波長 500 nm）、空間分解能 350 nm（XY方向）および900 nm（Z方向）、対物レンズ 10倍・20倍・50倍・100倍、XYZ自動ステージによるラインスキャン・2次元マッピング・3次元マッピング	1,100円/1時間	29,000円/1時間
	マイクロ波プラズマCVD装置	最大6 kWのマイクロ波パワーでダイヤモンド薄膜を合成できます。50 mmφのサンプルホルダーを有しています。窒素を添加することで、現在注目されている量子センサである窒素-空孔（NV）センサを作ることも可能です。	2,900円/回	38,000円/回
	クライオ共焦点顕微鏡	温度 3.4~350 K（試料温度は3.4 Kよりも上昇）のクライオスタットを備えています。アバランシェフォトダイオードと高感度分光器による微弱な光の検出が可能です。単一光子放出を確認するHanbury-Brown Twiss干渉計測も実施できます。	1,000円/1時間	48,400円/1時間
	ICP-RIE	ダイヤモンドやシリコン、SiO2などを高密度プラズマでエッチングする装置です。また、屈折率差がある材料であれば、終点検知も可能です。最大4インチ、2インチ以下なら不定形基板の取り扱いができます。ガス種：CHF3, O2, CF4	¥7,300/1エッチング	¥51,100/1エッチング

国際協力の推進

- ・学生、若手研究者の長期滞在も含む相互交流（コロナ禍のため延期）
→キャリアパス発展に期待、特任教授としても雇用
- ・先方の最先端設備の活用 世界の共通プラットフォーム構築を模索
- ・今後は双方にサテライトオフィスの整備し、研究者派遣による国際的なネットワークの強化が必要。教育プログラム（DDも含む）の共有化も有効。
課題： Q-LEAPテーマの扱い、先方と連携している企業への対応
海外はベンチャー企業が急増。日本はこれから。



(例)ドイツとの連携

JSPS 二国間交流 - ドイツ学術交流(DAAD) 相互事業実施中

今年度よりスタートしたドイツのNV関連の産学連携PJの例



RaQuEI

プロジェクト期間 2021年6月1日 - 05/31/2024

電気自動車用の室温量子センサー

量子センサー、計測学、イメージングにおけるアプリケーション関連の研究

OCQNV

プロジェクト期間 2021年9月1日 - 2023年8月31日

NVセンターを備えた量子センサー用の光導波路とCMOSインターフェース

QUANTUMTECHNOLOGIES-大学や研究機関での研究活動の促進

Stuttgart大学 Center for Applied Quantum Technology 今年10月スタート

物理とエンジニアの協働、特に量子センサ向けの応用量子技術を開発。

磁場、振動、電磁放射などによる環境の影響を排除。鉄筋の代替にガラス繊維を使う徹底ぶり。

DiaQuantFab

プロジェクト期間 2019年5月15日 - 2022年5月14日

量子効果に基づく高精度電流計の実現のためのダイヤモンドのNVカラーセンターの例を使用した量子材料の製造と処理の標準化

量子技術の主要コンポーネント

Executive Summary

1. Q-LEAP FS 固体量子センサは、超スマート社会を足掛かりに未来社会の主役を狙う
 - ・産官学連携、分野を横断し、プロトタイピング(TRL6)によりポテンシャルを示す。TestBed構築により、裾野拡大
 - ・量子計測の高度化、材料などの基盤、周辺技術の構築
2. 量子ネイティブ人材の育成
 - ・シニアも含めたダイバーシティが重要
3. 量子科学技術に投資されている海外との国際連携
 - ・最先端設備の相補活用
 - ・世界の共通プラットフォーム構築を模索
懸案は先方と連携している企業への対応
 - ・サテライトオフィスの相互設立。教育プログラム(DDも含む)の共有化。
4. 今後は新規参入の企業やアカデミアに対して柔軟に機能する研究エコシステムが必要
 - ・産学間のミスマッチを解消したコンソーシアム形成
 - ・需要側(企業等)、供給側(大学・国研等)の協調領域形成
 - ・TestBed構築、標準化推進
 - ・固体量子センサは量子操作を室温で実体験できるため、量子技術の教育ツールとしても有効で普及可能
 - ・海外はベンチャー企業が急増に対し、
若手・学生などからアイデアを発掘し、スタートアップを起業する機会をつくる