

液中局所pHを可視化する ダイヤモンド量子センサ

東京科学大学 工学院 電気電子系
准教授 荒井 慧悟

2026年6月25日

従来技術とその問題点

従来のpH計測では、主にガラス電極やISFET型センサが用いられてきたが、以下の課題がある。

- 高温・高圧・海中など極限環境での長期安定性が不十分
- 電極の劣化・汚損・ドリフトにより、長期連続計測が困難
- 小型化・多点化・光学的リモート計測への対応に制約あり
- 深海・海底火山・腐食性環境など、アクセス困難な場所での信頼性確保が難しい

そのため、海洋環境・地下環境・化学プロセスなどにおいて、過酷環境でも安定に動作する新しいpH計測技術が求められている。

新技術の特徴・従来技術との比較

本技術は、ダイヤモンド中の量子欠陥であるNVセンターの電荷状態変化を利用して、pHに由来する界面電位・表面電荷の変化を光学的に読み出す新しいpH計測技術である。

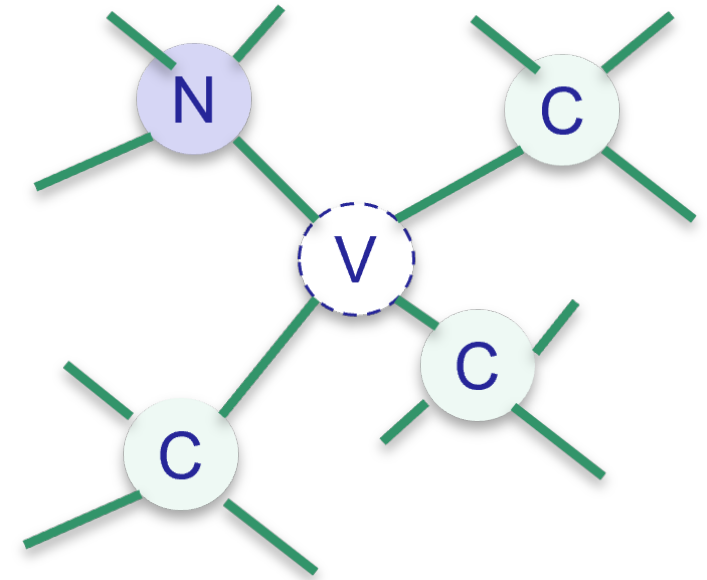
新技術の特徴・従来技術との比較

	従来技術	本技術
検出原理	電極電位・電流測定	NV電荷状態の光学読み出し
耐環境性	高温・高圧・腐食環境で劣化しやすい	ダイヤモンド基板により高い耐環境性が期待
長期安定性	ドリフト・汚損・電極劣化が課題	電極劣化に依存しにくい測定が可能
小型化	配線・電極構造に制約	光学計測により小型・多点化が可能
応用環境	主に通常環境・短期測定	海中・深海・高温環境など過酷環境に展開可能

新技術のしくみ

ダイヤモンド中のNVセンターとその電荷状態

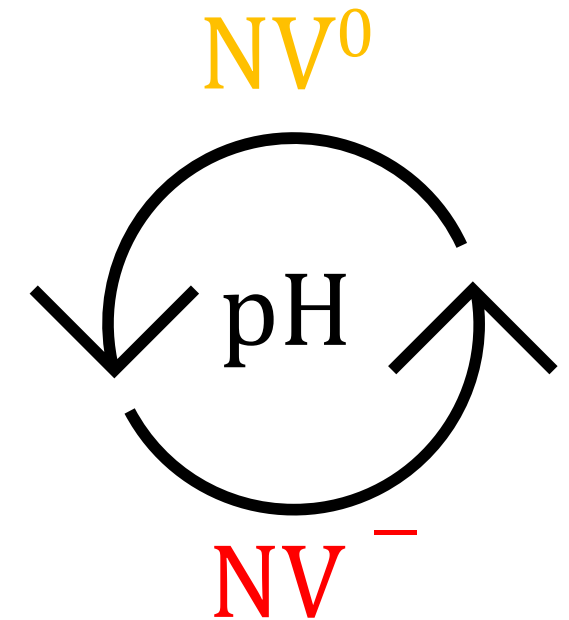
- NVセンターは、ダイヤモンド中の窒素原子と空孔から構成される量子欠陥
- NVセンターは NV⁻, NV⁰等の電荷状態を持つ
- 周囲の電氣的環境に応じて電荷状態が変化



新技術のしくみ

pH液体とダイヤモンドのバンド構造

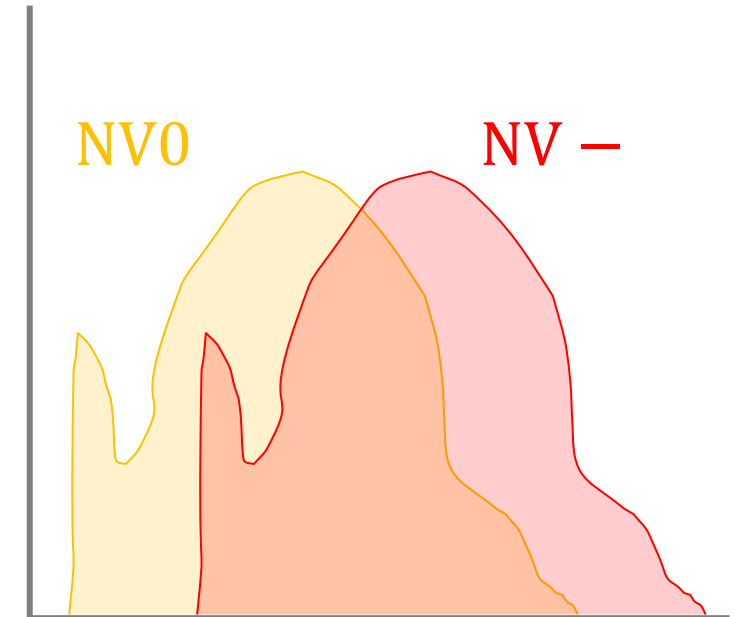
- pH変化により液体中の H^+ 濃度が変化
- 液体-ダイヤ界面の電位が変化
- 界面電位情報がダイヤモンド内部へ伝達
- NV近傍の電子状態に影響を与える



新技術のしくみ

NV電荷の計測を通してpH推測ができる理由

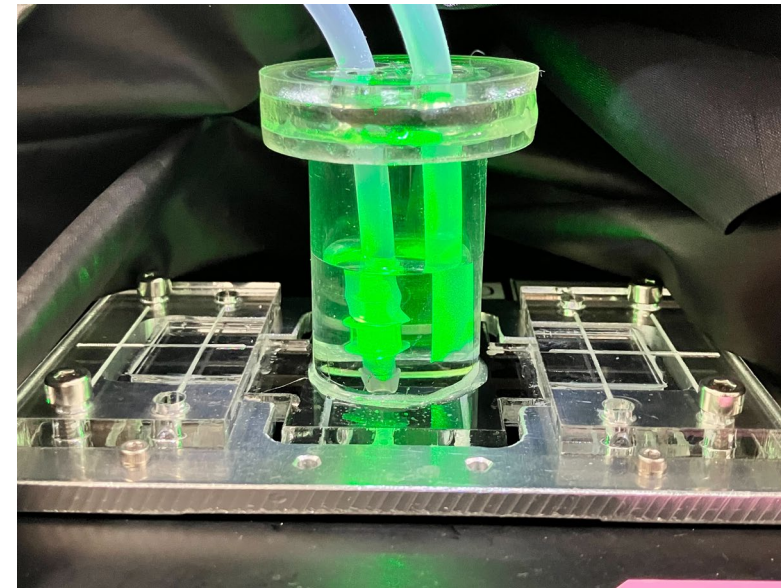
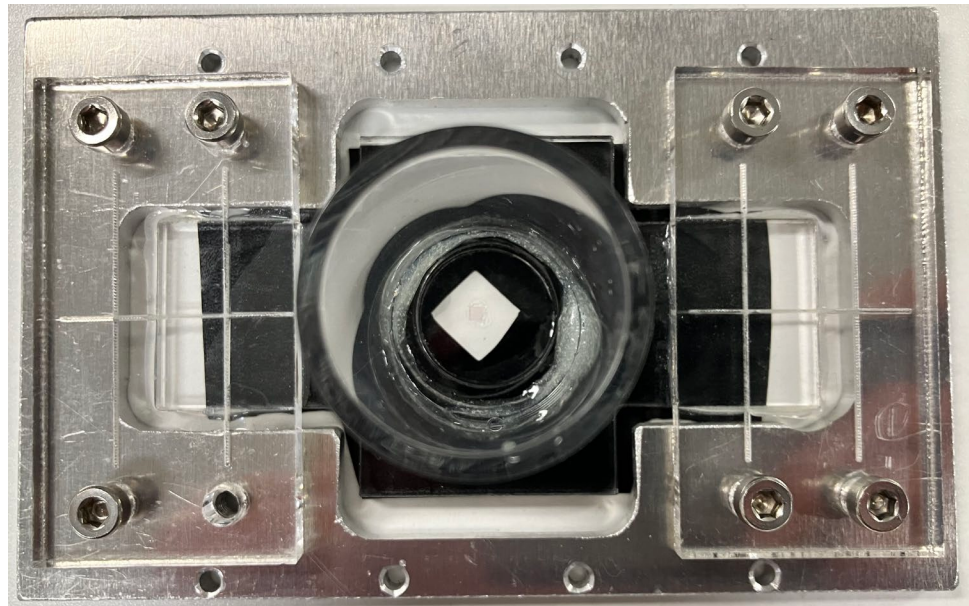
- NV電荷とpHに相関が観測される
- 光学信号から電荷状態比率を計測



新技術の実証例

ダイヤモンドによるpH計測の例

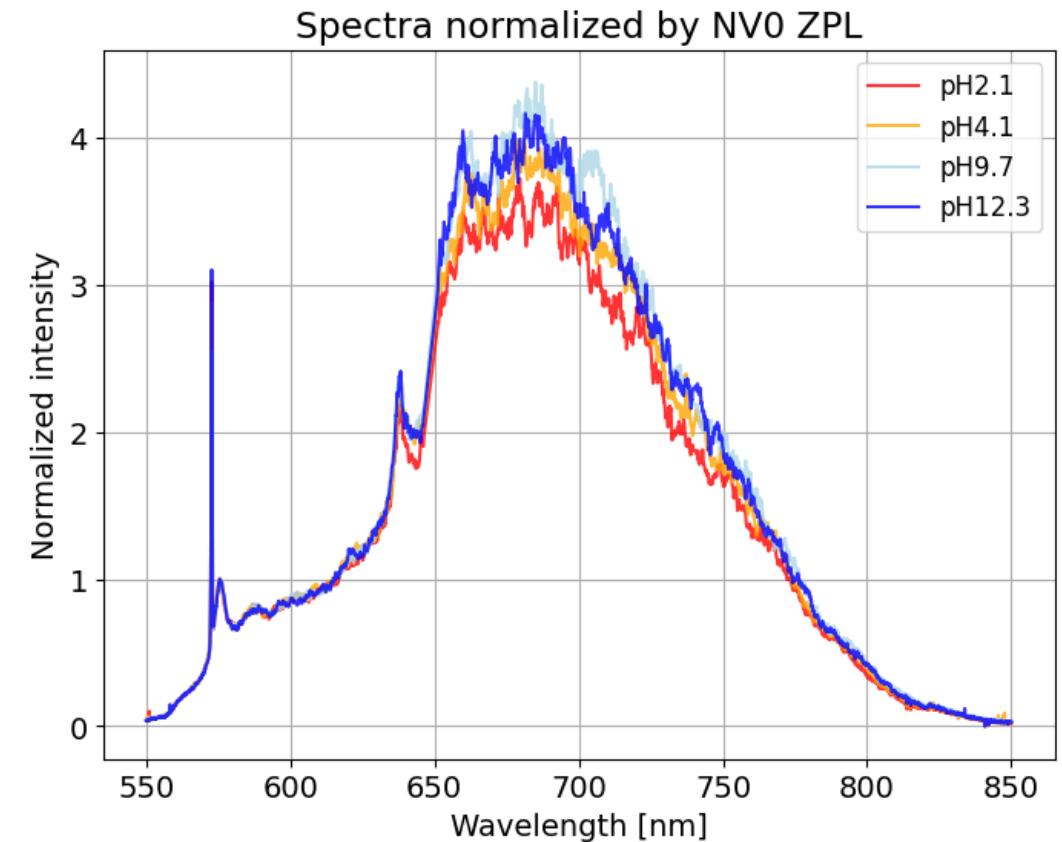
- NVセンターを発光させるために緑光で励起
- NVセンターからの発光はスペクトロメーターで分光



新技術の実証例

ダイヤモンドによるpH計測の例

- 異なるpHに対しNVセンターからの発光スペクトルも変化
- NV電荷状態を定量することで、pH変化も検出可能



想定される用途

従来センサでは困難な高温・高圧・海中・腐食環境における長期モニタリング用途を主要ターゲット

① 海洋・環境モニタリング

- 海洋酸性化の長期観測
- 海底火山周辺の化学環境変化計測
- 海中CO₂漏洩監視
- 沿岸・養殖環境における水質モニタリング

② エネルギー・インフラ分野

- 地熱・地下環境における化学状態監視
- 配管・プラント内部の腐食・劣化監視
- CCS（CO₂回収・貯留）関連モニタリング

想定される用途

従来センサでは困難な高温・高圧・海中・腐食環境における長期モニタリング用途を主要ターゲット

③ 化学・プロセス分野

- 化学プロセスのin situ pH計測
- 高温・高圧環境下での反応モニタリング
- 電気化学デバイス・電池界面の解析

④ バイオ・医療分野

- 微小空間での局所pH計測
- Lab-on-a-chipへの組み込み
- 生体界面・細胞周辺環境計測

実用化に向けた課題

- ① 感度・ダイナミックレンジの最適化
 - pH変化に対する応答特性の高精度化
 - 海水中のイオン強度や電気化学ノイズの影響評価

- ② 長期安定性・耐環境性の検証
 - 高温・高圧・海中環境下での長期動作評価
 - 表面修飾・界面特性の安定化

実用化に向けた課題

③ 小型化・システム統合

- 光学系・電子回路・センサ部の小型化
- 低消費電力化・ポータブル化

④ 実環境でのフィールド実証

- 海洋・高温環境における実証試験
- 長期モニタリング性能の検証

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	pH変化がダイヤモンド表面電位・界面電荷を介してNV電荷状態へ伝達される原理を構築・電荷状態制御モデルを設計	特許出願・知財化
現在	ナノダイヤモンドにてpH応答を実証・電圧応答、表面修飾依存性、ロックイン検出を確認	基礎研究推進・特許出願、産学連携開始
1年後	感度、ダイナミックレンジ、ノイズ耐性を定量評価・ポータブルセンサとしての水槽環境実証	デモンストレーション実施・共同研究企業とのPoC開始

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
2年後	海中環境での長期安定性・耐環境性評価・浅海環境における連続計測実証	実環境データ取得・試作システムの提供
3-5年後	高温・高圧・海中環境での性能向上・小型化、低消費電力化、システム統合	製品化に向けた共同開発・海洋・環境・インフラ用途への展開

大学側

原理・量子センシング・知財



企業側

パッケージ・装置化・実環境実証

企業への期待

本技術は量子センシング・ダイヤモンド材料・電気化学を融合した新規pH計測技術であり、社会実装に向けて以下のような連携を期待しています。

- センサシステム・筐体の開発
 - － 海中・高温・高圧環境で動作可能なパッケージング、耐環境設計
- 計測機器・電子回路の開発
 - － 小型化、低消費電力化、制御・信号処理系の統合
- フィールド実証
 - － 海洋・環境・化学プロセス等の実環境での評価・実証試験

企業への期待

本技術は量子センシング・ダイヤモンド材料・電気化学を融合した新規pH計測技術であり、社会実装に向けて以下のような連携を期待しています。

- 用途探索・事業化検討
 - 海洋モニタリング、水質管理、インフラ監視など新規応用の共同検討
- 共同研究・技術移転
 - PoC（概念実証）から社会実装・製品化までを見据えた連携

企業への貢献、PRポイント

- 基礎原理から実証まで一貫した技術開発
 - － 量子・材料・デバイス・システムまでを統合し、単なる原理提案にとどまらず実証まで推進可能
- 極限環境向けセンシング技術
 - － 高温・高圧・海中・化学環境など、従来技術では困難な環境でのセンシング技術開発が可能
- 量子技術と既存産業技術の融合
 - － ダイヤモンド、電気化学、MEMS、海洋システムなど既存技術との組み合わせによる新規用途創出

企業への貢献、PRポイント

- 特許・知財化を見据えた共同研究推進
 - － 基礎研究だけでなく、知財戦略や社会実装を意識した共同研究経験あり
- 国内外ネットワークを活用した技術展開
 - － 大学・研究機関・企業との国際連携体制を活用し、多角的な研究開発を推進可能

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : p H センサ
- 出願番号 : 特願2026-001000
- 出願人 : 国立大学法人 東京科学大学
- 発明者 : 藤原 正澄、荒井 慧悟

産学連携の経歴

- 2022年-2024年 A社と共同研究実施
- 2023年 東京工業大学Gap Fundに採択
- 2024年 JST K Program事業に採択
- 2025年 東京科学大学Gap Fundに採択

お問い合わせ先

東京科学大学 (Science Tokyo)
産学共創機構技術プロモーション室

T E L 03-5734-3817

e-mail consult@cim.isct.ac.jp