



資料2-5



量子生命拠点における利活用環境整備 産学官連携体制強化

馬場 嘉信

量子科学技術研究開発機構(QST)

量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 研究所長

内閣府・量子技術
実用化推進WG

2023年 1月18日

量子生命拠点

量子生命技術の国際競争力の強化を行うとともに、将来の事業化を見据えた企業連携を構築するなど**産学官連携を加速し、国内外から研究者・技術者を結集し、基礎研究から技術実証、ニーズとシーズのマッチングや知財管理、若手リーダーの育成等を一元的に実施**することを通じ、**量子生命技術の研究開発段階から産業応用までをつなぐハブ**としての役割を果たす。



オープンプラットフォーム

世界に類を見ない「最先端の量子計測」と「動物実験」の一体施設の供用・量子センサ材料提供

オープンイノベーション

企業スペースへの誘致・産学官研究者の交流の場

出口戦略・知財管理

シーズとニーズのマッチング
ベンチャー化支援・協調／競争領域の設定

人材育成

国際感覚豊かな若手リーダー・量子生命ネイティブの育成

東北大・医・量子生命・分子イメージング連携講座 (R4)



千葉大・理工・量子生命科学コース (R5)

東工大・生命理工・量子生命科学分野 (R5)

量子生命科学サマセナー 269名登録

20 国内大学・国研

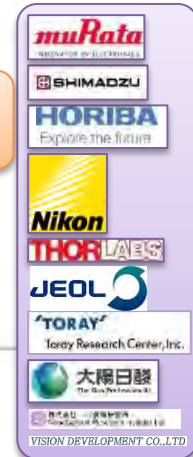
12 海外大学

10 企業



医学・生命科学系

国内外の連携体制



Q-STAR 製薬協(73社) JBA(306社)

生体ナノ量子センサ研究開発産学官連携体制

センサ材料



VISION DEVELOPMENT CO.,LTD

株式会社 ナノ炭素研究所
NanoCarbon Research Institute Ltd.



Q-LEAP
計画的な研究開発 TRL3→6

概念実証研究開発(SIP、未来社会、ムーンショット等)の拡充
TRL7, BRL7
生体ナノ量子センサシステム
社会実装

センサ材料の前臨床研究体制、
安全性評価体制の構築

量子機能創製拠点
Q-LEAP量子固体FS

企業コンソ

Q-STAR、製薬協(73社)、
JBA(306社)、スタートアップとの
連携

医学・創薬ユーザーコンソ

国内外大学・企業・学会 等

基礎研究(CREST,
さきがけ等)の拡充
TRL1~3

センサ材料研究
計測装置開発

医学・創薬応用加速

計測・イメージング装置



医学ユーザーコンソ



量子技術イノベーション拠点・量子生命科学

医学・創薬コンソ・企業コンソとの連携による医学・創薬応用分野・産業ニーズ開拓・
新規参入促進、テストベッド構築(計測・イメージング装置9台共用・名大・北大)
スタートアップ創業支援、大学・企業・学会連携による人材育成

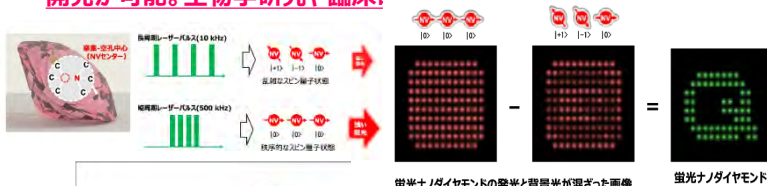
量子診断プラットフォーム

非接触生物皮下温度計測

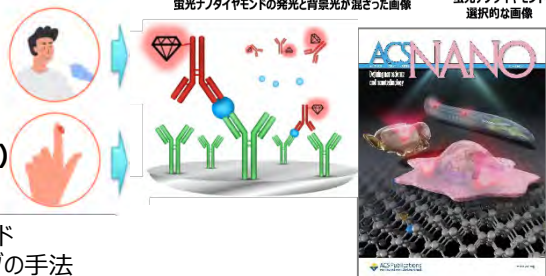
量子操作で蛍光検出効率100倍に成功 —ウイルス感染症の早期・迅速診断への応用に期待—

Supplementary Journal Coverに採用

- ▶ 高感度な蛍光標識剤として注目される**蛍光ナノダイヤモンドの検出効率を、レーザー光による量子操作で大幅に向上**させることに成功。
- ▶ **信号光／背景光比が従来よりも100倍以上高い、超高感度蛍光イメージング技術**の開発は**世界初**。
- ▶ **ウイルス感染症等の早期・迅速診断、認知症やがんなどの早期診断を実現**する「量子診断プラットフォーム」への活用や、**安価で小型な装置の開発が可能**。生物学研究や臨床研究現場への普及が期待される。



新興・再興感染症
(ウイルス・細菌)
認知症・がんなど
(疾患バイオマーカー)



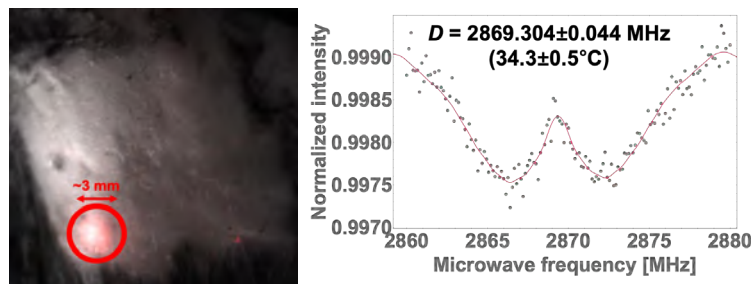
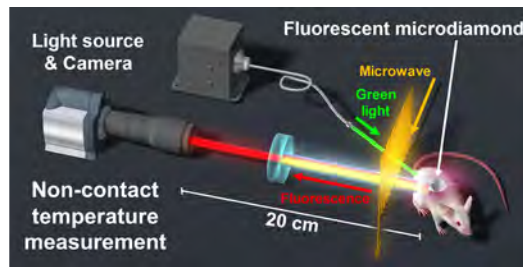
蛍光ナノダイヤモンド
選択的イメージングの手法

レーザー光の照射間隔の制御のみでNVセンターのスピン量子状態を操作し、背景光を排除して蛍光ナノダイヤモンドを選択的に検出する手法を開発。秩序的なスピン量子状態では、乱雑なものと比較して蛍光強度が増強するという、NVセンターの性質を利用。背景光ではこの速さのレーザーパルス周期に依存した蛍光強度変化は起こらない。秩序的と乱雑、双方のスピン量子状態の画像の差分を取ることで、蛍光ナノダイヤモンドによる選択的イメージングが可能となった。

ACS Nano, 2021

20cm離れた位置から小動物個体皮下の微小領域の温度を非接触で計測する技術を開発：Inside Front Coverに採用

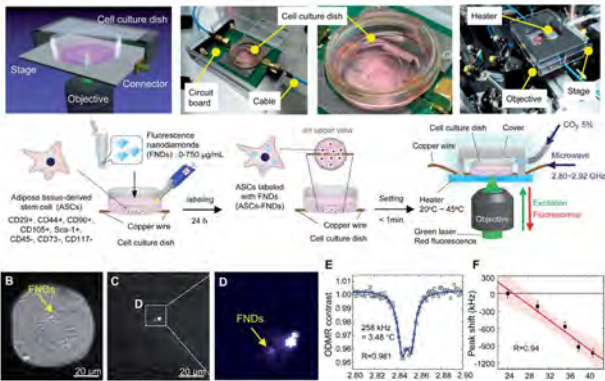
- ▶ 生体内の変化を高空間分解能で捉えることを目的として、**体外から関心のある組織にアクセスし、非接触で体内の微小環境領域の温度計測技術の開発**が求められてきた。
- ▶ 高感度カメラとLED光源、特殊なマイクロ波コイルを用い、**ODMR計測機能を搭載したin vivoイメージャー装置を構築**し、マウス皮下にインプラントしたダイヤモンド粒子をプローブとすることで、**20cm離れた位置から数ミリの微小領域の体内温度計測手法を開発**した。
- ▶ 乳腺や皮下組織等の**比較的浅い組織については体外から全身レベルのマクロ計測が可能**となり、量子センサ計測の実験動物への応用加速が期待される。



再生医療、がん科学、脳神経科学、免疫科学への応用

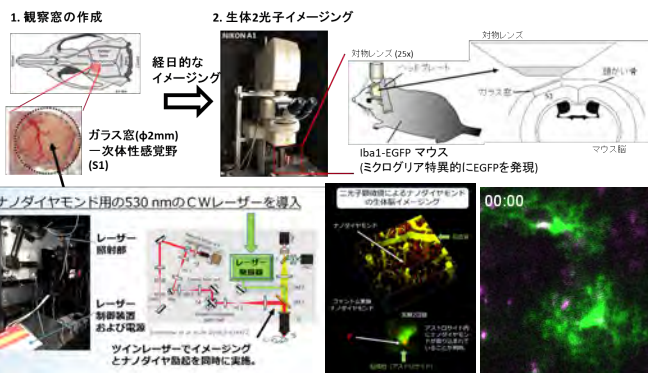


培養細胞用プロトタイプ計測システムの開発<再生医療>



温度の違いが幹細胞の再生機能発現に大きく影響をすることを明らかにした。

生体用プロトタイプ計測システムの開発②<脳神経科学>



マウス脳内のグリア細胞内外でのNDの安全性評価とイメージングに成功した。

湯川先生
QST・名大



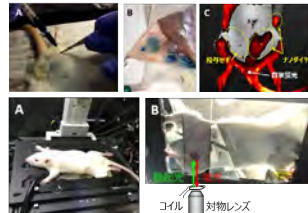
上田先生
東大医



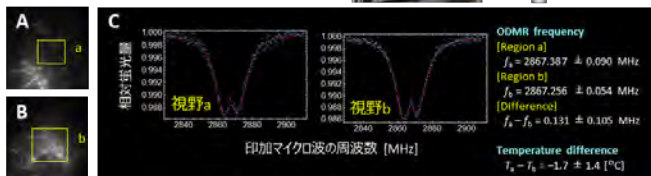
鍋倉先生
生理研

生体用プロトタイプ計測システムの開発①<がん科学>

乳がんモデルラット
乳管内投与



・ND由来の光検出磁気共鳴(ODMR)観察のための体温維持装置の開発
・生きたラットの乳管内におけるNDのODMR計測。



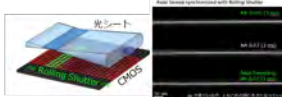
ラット生体内(乳管内)で初めて、NVセンターのODMRスペクトル計測に成功した。

生体用プロトタイプ計測システムの開発③<免疫学>

高速3次元光シート顕微鏡 実験的自己免疫性脳脊髄炎 (EAE)

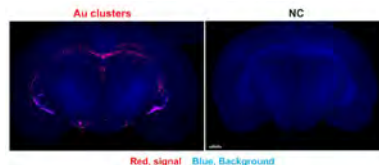


高解像イメージング技術「Axial sweeping」



Kevin M. D., et al., Biophys J. 2015 Jun 16; 108(12): 2807

高速3次元光シート顕微鏡の開発とマウス脊髄全体をイメージングに成功した。



近藤先生
東工大生命

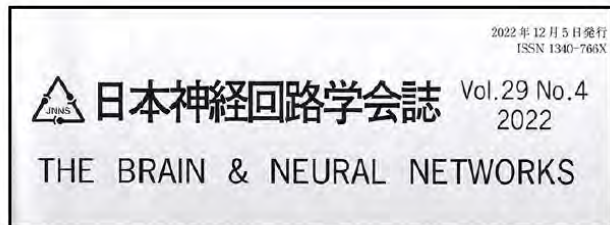


夏目先生
名大医



村上先生
北大医

今すぐ使える量子計算 → 神経科学研究・神経データ解析への布石



日本神経回路学会誌
Vol. 29 No. 4 2022年12月

目次

巻頭言

今すぐ使える量子計算！？
..... 田中 宗, 後藤 隼人, 間島 慶, 林 浩平, 御手洗光祐 163

解説

アニメーリングマシンによるブラックボックス最適化
..... 田中 宗, 山下 将司, 関 優也 164

イジングマシン—量子計算にインスパイアされた組合せ最適化計算機—
..... 後藤 隼人 174

量子インスパイアドアルゴリズムによる機械学習の高速化
..... 間島 慶, 小出 (間島) 真子 186

畳み込みニューラルネットワークに隠れたテンソルネットワークを探索する
..... 林 浩平 193

量子特徴量と量子ニューラルネットワーク 御手洗光祐 202

日本神経回路学会誌 Vol. 29, No. 4 (2022), 163

巻頭言

今すぐ使える量子計算！？

慶應義塾大学 田 中 宗
株式会社東芝 後藤 隼人
量子科学技術研究開発機構 間島 慶
Preferred Networks 林 浩平
大阪大学 御手洗 光 祐

深層学習は神経科学研究・神経データ解析の至るところで使われ、今では欠かせないツールとなった。果たして量子コンピュータもいずれそうなるのだろうか？ その答えを今結論することは難しい。Google や IBM のロードマップにおいても、誤り耐性万量子コンピュータ（いわゆる人類の目標としている量子コンピュータ）の登場は2030年以降とされている。神経科学研究・神経データ解析に量子コンピュータを用い、その有用性を享受できるとしても、まだしばらく待たなくてはならない。それでは、昨今の量子コンピュータ開発の盛り上がりは基礎研究で閉じたものであり、今すぐ使えるものはないのだろうか。

現在の量子コンピュータ研究の状況は第一次、第二次 AI ブームと似た状況にあると言われている。そのため、AI 分野発展の歴史・経緯を教訓とし、この盛り上がりを一過性のものとして終わらせないために、いわゆる「冬の時代」を迎えないために、今あるリソースを転用し、活用していく試みがとられている。今回の特集では、その試みを「今すぐ使える量子計算」と題し、解説を行った。

上述の試みは大きく以下の3つに大別することができる。

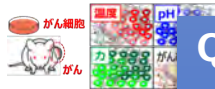
- 1) 組合せ最適化問題に特化した専用機（量子イジングマシン、擬似量子イジングマシン）を用いるアプローチ
- 2) 量子コンピュータ・量子アルゴリズムを研究する過程で生まれた効率的な計算方法を用いるアプローチ
- 3) 小規模の量子コンピュータであっても、古典コンピュータと組み合わせて活用していく量子-古典ハイブリッドアプローチ

本特集の田中、後藤の解説が1)に、間島、林の解説が2)に、御手洗の解説が3)にそれぞれ対応する。量子コンピュータに関する書籍・記事は多くが誤り耐性万量子コンピュータについてのものであり、本特集のようなテーマについてはこれまでほとんどなかったもの・体系的なものはない。そのため、他に類のない、ユニークな特集になったことだけは間違いない。本特集が量子コンピュータと、神経科学研究・神経データ解析という異分野同士を結び初めての接点となれば幸いである。



生体ナノ量子センサ利活用促進テストベッド整備

がん科学



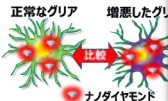
夏目敦至 (名大・医)

再生医学



湯川 博 (名大・未来社) /QST量子生

脳神経科学



鍋倉淳一 (NINS・生理研)

QST

- ODMR(広視野倒立多目的)
- ODMR(広視野倒立多目的)
- ODMR(広視野正立動物用)
- ODMR(広視野・共焦点ハイブリッド倒立多検体計測)
- ODMR(*in vivo*イメージング)
- ODMR(1光子・2光子ハイブリッド・マウス脳イメージング)
- ODMR(広視野倒立1細胞/1分子計測)
- ODMR(広視野・共焦点ハイブリッド倒立ナノNMR)
- ODMR(共焦点倒立量子ナノ材料評価)

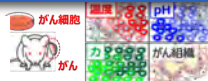
名古屋大学

- ODMR(共焦点)
- ODMR(共焦点・多光子)

北海道大学

- ODMR(広視野)
- ODMR(ライトシート)

名古屋大学
臨床試料用ODMR
スペクトル計測顕微鏡



近藤科江 (東工大・生命理工)

免疫学

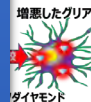
国外 (アメリカ)

生物学



(テキサス大
医学センター
ST量子生命)

科学



今岡達彦 (QST・量子生命) 田桑弘之 (QST・量子生命)

量子技術による超高感度MRI/NMR研究開発産学官連携体制

超偏極長寿命分子



量子機能創製拠点
Q-LEAP量子固体FS

室温超偏極技術



基礎研究(CREST、
さきがけ等)の拡充
TRL1~3

新規長寿命分子研究
室温超偏極技術開発
医学・創薬応用加速



超偏極装置開発

国内外大学・企業 等

超高感度MRI/NMR開発

国内外大学・企業 等

概念実証研究開発(SIP、未来
社会、ムーンショット等)の拡充

TRL7, BRL7

量子技術による超高感度
MRI/NMR 社会実装

臨床実用化に向けた
超偏極分子学会基準の構築

装置開発企業コンソ

Q-STAR、製薬協(73社)、
JBA(306社)、スタートアップと
の連携

医学・創薬ユーザーコンソ

国内外大学・企業・学会 等

医学・創薬ユーザーコンソ



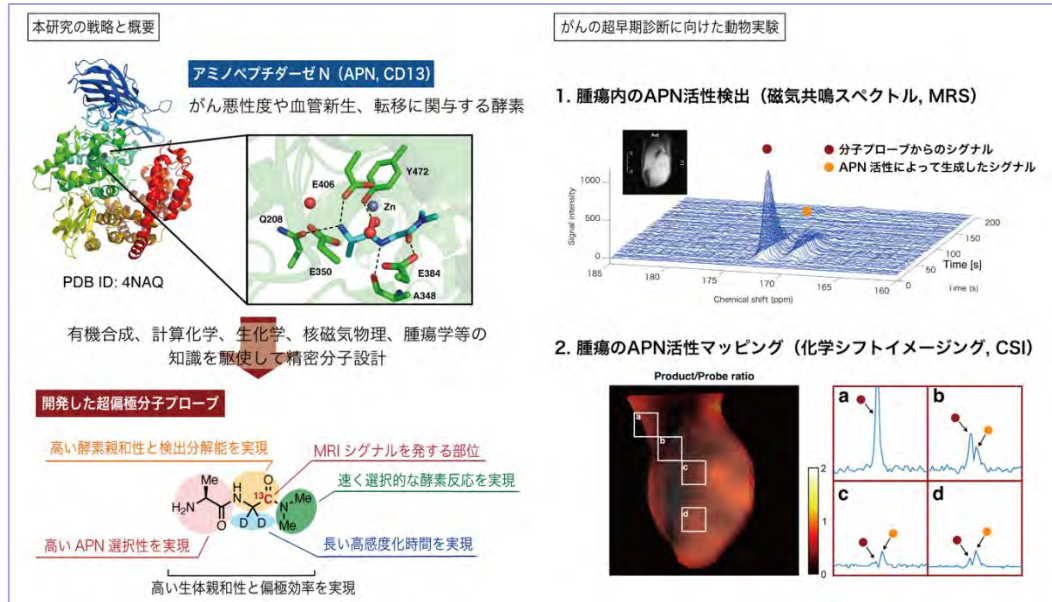
量子技術イノベーション拠点・量子生命科学

医学・創薬コンソ・企業コンソとの連携による医学・創薬応用分野・産業ニーズ開拓・
新規参入促進、テストベッド構築(超偏極MRI/NMR : QST, 岐阜大)
スタートアップ創業支援、大学・企業・学会連携による人材育成

超偏極MRI分子プローブのユースケース開拓 がん悪性度に関する酵素活性の生体内リアルタイム計測

精密分子設計による高感度MRI分子プローブの開発 — 早期診断に向けたがん関連酵素活性の生体内リアルタイム計測 — (東京大学主体、共同)

- ▶ がん関連酵素である**アミノペプチダーゼN**の生体内活性を検出する**高感度MRI分子プローブの開発に世界で初めて成功**
- ▶ 開発した分子プローブを用いて**生体内アミノペプチダーゼN活性の検出および腫瘍内マッピング (生体内酵素活性の可視化) に成功**
- ▶ 超核偏極MRIを用いた**次世代分子イメージング・診断技術への応用に期待**



がんの血管新生や転移、悪性度などに密接にかかわるアミノペプチダーゼ超核偏極MRI分子プローブN (APN) に対して動的核偏極を実施し、**超核偏極MRI分子プローブを作製、生体内活性をMRIを用いて検出する技術を開発。**

開発した分子プローブは、**56.7秒もの偏極寿命を達成、実際にがん移植モデルマウスにおけるAPN活性の検出および腫瘍内マッピング (= 生体内でのAPN活性の可視化) に成功。** 加えて、APN阻害剤を投与した際の酵素活性低下を検出することにも成功。

また、**ヒト血清中でも機能することが確認されたことから、臨床応用の可能性も拓け、超核偏極分子プローブを用いたMRIにより、その活性を計測することで、がんの早期発見や治療効果の迅速な評価が可能になることに期待。**

3/31 日経電子版に掲載

超偏極分子プローブの創製と応用計測・画像化に成功し、**病態診断・早期治療効果判定への貢献に期待**

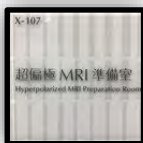
Saito et al., *Sci Adv*, 2022 [IF 14.136]

超偏極MRI/NMR利活用促進テストベッド整備



量子生命棟

QST量子生命科学研究所 1階 超偏極実験エリア (オープンラボ)



準備室



卓上 NMR



9.4T NMR



量子技術による超高感度MRI/NMR産学官連携体制強化と臨床基準構築

DNP研究会

動的核偏極(Dynamic Nuclear Polarization, DNP)は、外部からの制御によって核スピンの偏極率を向上させる技術を指し、より狭義には試料に少量ドープした分子の電子スピンのマイクロ波やサブミリ波を照射して核スピンへと偏極率を転写する技術を指します。最近では、NMR・MRI実装への期待からマテリアル、化学、生物学、医学、医療への応用が盛んに検討されるようになってきました。

本研究会では、DNPを研究する様々な分野の研究者と、関連技術を開発する企業の技術者、そして、DNPによる応用を目指すより広い分野の研究者・技術者が一堂に会し、これからのDNPの応用や社会実装の開拓を目指した世界的潮流・問題意識の共有と、分野の枠を超えた議論・交流を行います。

日時：2022年7月12日(火曜日)

開催形式：ハイブリッド開催

会場：大阪大学南部陽一郎ホール

参加者：約150名 参加企業：30社

講演者：小畠隆行(QST) 杉木俊彦(阪大) 高橋大樹(JEOL RESONANCE) 立石健一郎(理研) 香川晃徳(阪大) 宮西孝一郎(阪大) 根来誠(阪大) 高草木洋一(QST) 高堂裕平

(QST) 楊井伸浩(九大) 森田靖(愛工大) 寺内勉(大陽日酸) 犬飼宗弘(徳大) 山東信介(東大)



臨床基準の策定に向けた活動 GE ヘルスケアの Manager 招聘とコンセンサスマーティングの実施



9 月ミニシンポジウム@QST 2022 年 6 月～ ISMRM

September 5th, 2022
9:30~12:40
OnLine
Free

Dr. Arnaud Comment and QST researchers will talk about hyperpolarization research in the world, aiming to promote high-sensitivity MRI/NMR projects through face-to-face discussions.

Dr. Arnaud COMMENT
Senior Researcher, GE Healthcare
Dr. Arnaud Comment, PhD, is a Senior Researcher at GE Healthcare, where he is currently leading the Hyperpolarized MRI research team. He has been working in the field of hyperpolarized MRI for over 10 years. He is also a member of the International Society for Magnetic Resonance (ISMRM) and the International Society for Dynamic Nuclear Polarization (DNP).

Program

9:30 - 9:35 Opening Remarks
Tetsuya SUZARA (QST)

9:35 - 10:00 Talk 1
Makoto NEGORO (QST/OSAKA Univ.)
Hyperpolarized MRI: why? How? What?
Triplet Dynamic Nuclear Polarization

10:00 - 10:25 Talk 2
Shinsuke SANDO (Univ. TOKYO)
Advanced Design of Practical Hyperpolarized Molecular Probes

10:25 - 10:45 Talk 3
Ryuji IGARASHI (QST)
Surface modification and biological applications of nanosized quantum sensors for quantum life science

10:45 - 10:50 Coffee Break

11:00 - 11:25 Talk 4
Yusaku TAKAKUSUGI (QST)
Hyperpolarized MRI Facility in the Institute for Quantum Life Sciences, QST

11:25 - 11:50 Talk 5
Takayuki OKATA (QST)
Clinical MRI Study using ^{13}C labeled water

11:50 - 12:20 Break

12:20 - 12:35 Special Talk
Arnaud COMMENT (GE)
Enabling real-time metabolic imaging by hyperpolarized ^{13}C magnetic resonance

12:35 - 12:40 Closing Remarks
Hiroshi YUKAWA (QST)

Information
Pre-registration not required.
Please access the meeting address

Meeting Address
Microsoft Teams Meeting

Contact
Yusaku Takakusugi (QST)
yusaku.takakusugi@qst.go.jp

Hyperpolarization Mini Symposium

- ◆ 国内の超偏極MRのエキスパートによる講演
- ◆ 超偏極臨床スタディの海外動向についての情報収集
- ◆ 臨床研究立ち上げに向けた有意義な議論を実施

Consensus Methods Recommendations for Hyperpolarized ^{13}C MRI

Statement of Purpose The goal of this consensus building effort is to provide recommendations and best practices for how to execute hyperpolarized ^{13}C MRI studies. The initial focus is on human studies with $[1-^{13}\text{C}]$ pyruvate, but we expect many of the recommendations provided will be applicable to animal studies and other agents. It will be written for researchers who are currently performing clinical hyperpolarized MRI studies or planning to perform these studies. We will provide recommendations and best practices in the areas of: (1) MRI setup and calibration, (2) hyperpolarized agent preparation, (3) acquisition methods, (4) data & analysis methods. This work will also provide results from the consensus group's evaluation of these recommendations and highlight the most important areas where additional work is required to build or improve consensus.

将来のマルチサイト臨床研究の実現に向け、超偏極MRIの各要素におけるコンセンサス情報の整理・収集が、海外のグループを中心に開始
⇒国内での超偏極MR立ち上げに向け、meeting参加による情報収集を実施中。

SpinAligner ユーザー会議 (第1回~)

Polarizer Status

- Liquid polarization = $60 \pm 9\%$
- > 300 build-up done (SA5 + SA7)
- Multiple issues in SA5 installation (replacing probe, installing the He gas three-way switch, multiple leak checks, etc.)
- SA 7 up and running right away!
- Uninterruptible Power Supply (UPS) needed in the US; one for the polarizer and one for the compressor (expensive)
- Bad experience with semi-transparent valves

量子生命科学研究所 スピンの窓
～磁場下の電子と原子核の舞台～

13:30 題目説明 (高草木)	11/24 (水) 13 時半より
13:35 QST 報告	QST 千葉地区 研修会 2 期 会費なし
14:05 QST 報告	15-20 名
14:35 入場	質疑応答のみで 15 分 30 分/人
14:55 QST 報告	-ESR ~ OMR (技術開発、基礎・応用)
	-トリプレット DNP、化測 NMR (技術開発、基礎・応用)
	-ナノダイヤモンド・イナク表面修飾等
15:20 日本レドックス 共研 説明 開発部長	DNP 関連講座のご紹介
15:35 QST 量子生命 高草木 洋一	量子生命様のご紹介

— 休題 — 量子生命様・医国産学ご案内

〈06月編〉

16:45 高知大	津田 正史 先生	天然物化学、超偏極 MRI/HyperSense 研究
17:15 QST 量子生命	高堂 裕平 先生	代謝イメージング、磁気共鳴
17:45 QST 量子生命	藤原 正史 先生	代謝イメージング、がん診断、臨床応用
18:00 まとめと今後		
18:10 終了		

今後の課題

- 技術開発・事業化支援
 - ✓ 産業界の技術開発・事業化の強化・加速、多くの企業の参画・投資喚起を図るための方策、複数企業の連携エコシステム（水平分業・垂直統合等）はどのようなものがあるか。
 - ✓ 量子計測・センシングの主要拠点である量子センシング拠点、量子生命拠点、量子マテリアルの主要拠点である量子機能創製拠点、量子マテリアル拠点について、産業界から期待される取組強化・役割分担・連携の在り方かどうか。

- 産業界との連携強化による連携エコシステム構築
- 臨床応用に向けた学会基準等構築のための産学官連携コンソーシアム構築
- Q-STARや他既存コンソーシアムとの整理

- 量子計測・センシングの利用環境提供
 - ✓ ユーザに対して量子計測・センシングを活用できる利用環境、情報提供等の在り方はどのようなものがあるか。（ハードウェアの利用も伴うものが多いことから、技術支援・利用支援も重要になることに留意）
- ユーザ産業の拡大・振興
 - ✓ 様々なユーザ産業の発掘・拡大、産業振興に向けた方策はどうあるべきか。魅力的なユースケースづくりの在り方かどうか。ユーザ産業の利用をサポートする取組はどうあるべきか。

- テストベッドについてハードウェアの整備・高度化に加えて、ソフトウェアの整備が重要
- 量子計測技術の開発・高度化できるプロフェッショナル人材による支援と企業等の利活用促進
- 企業、医学・生命科学等のニーズを理解するサポート人材による支援とユースケース開拓
- 量子計測可能なタンパク質等の生命分子の合成・精製体制構築と支援人材
- 臨床応用のためのテストベッド構築と他の共用事業等との連携
- リスキング人材育成体制構築とリスキング人材による利活用促進・ユースケース開拓

量子生命拠点

ご静聴ありがとうございました。

量子生命科学研究所 ホームページ
<https://www.qst.go.jp/site/iqls/>



Q-LEAP Flagshipプロジェクト 量子生命 ホームページ
<https://www.qst.go.jp/site/q-leap/>

