

# どんなことができるかな？

未来を拓く 科学のタネのご案内 2019



# QSTシーズ集



## 2019年改訂版の発行にあたって

2016年11月に初版となる「私たちが生み出した技術シーズ(QST技術シーズ集)」を発行してから3年が経ちました。この間も、QST(量子科学技術研究開発機構)の研究者・技術者たちは弛まず、それぞれの専門分野で研究や技術開発を進め、新たな研究開発成果を生み出しています。これらの成果を、初版で御紹介したものと合わせてご覧いただくために、改訂版を発行することといたしました。

QST技術シーズ集は、QSTが産み出した研究開発成果の中から、医療・診断・医学、工業、農業、エネルギーなど、様々な産業分野で活用していただくことを念頭に精選し、ポイントをかいつまんで御紹介したもので、QSTがお勧めする知財や技術の概要版カタログです。

私たちは、QSTの研究開発成果が、産業技術への応用、さらには実用化による社会還元へと繋がることを願っています。

ご興味、ご関心をお持ち頂いた知財や技術があれば、QSTの担当部署にご連絡ください。担当者が詳細について説明申し上げます。

私たちは今後も、新しい研究開発成果をタイムリーにご紹介することができるよう、QST技術シーズ集の更新と充実を継続的に進めていく所存です。

この「QST技術シーズ集」を十分にご利用、ご活用下さるよう心からお願い申し上げます。

令和元年(2019年)9月24日



国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
産学連携担当理事

田島保英

## 目的区分について

量子科学技術(装置)で「何をするか」を『みる』・『つくる』・『なおす』の三つに大きく切り分けています。それぞれに振り分けた用語・語句を以下に例示しますので区分イメージのガイドとして下さい。『みる』『つくる』『なおす』区分ガイドイラストマークをつけています。



作る	創る	造る	育てる	創製
創業	製造	生産	産出	回収
生成	反応	架橋	作製	作成
捕集	加工	分離	採取	合成
重合	形成	制御	接合	作出
育種	開発	精製	分離	核融合



見る	観る	視る	診る	検出
検査	分析	解析	同定	試験
定量	定性	診断	判定	監視
調査	測定	観察	検知	評価
観測	分解	解明	比較	知見
精査	変化	特定	探査	実証
測る	調べる	知る	可視化	撮像
イメージング			画像表示	



直す	治す	治療	緩和	病態解明
修理	修復	修正	施術	

## 用途区分(フィールド区分)について

各シーズが採用される想定の代表的フィールドを次の通り四つに大きく切り分けています。

環境と資源・エネルギー

医療とバイオ技術

私たちの生活

未来を拓く・安心を作る(先端技術)

このフィールド区分への切り分けにつきましても、閲覧/検索時のイメージガイドとして下さい。フィールド区分ガイド情報として、4色別のインデックスを配してあります。

## シーズ内容のお問合せについて

各シーズ技術は、出版時での更新情報を掲載しております。  
 それぞれの周辺技術・応用研究につきましては、日々継続発展されております。  
 知的財産権等の制約で開発途上や計画情報の掲載はありません。  
 目的区分ガイド・フィールド区分ガイドで制限制約されることなく、ご検討のフィールドで各シーズを蒔いて大きく育てて頂くための個別のお問い合わせに対応いたします。  
 各シーズページ下部の問い合わせ先 もしくは、下記にお問合せください。

【お問合せ先】 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 本部イノベーションセンター研究推進課  
 電子メール：innov-prom@qst.go.jp 電話番号：043-206-3027

みる

1	結晶成長中のその場観察技術を用いた高効率太陽電池の開発	環境と資源・エネルギー
2	水素貯蔵合金のサイクル劣化にかかわる構造的因子の特定	環境と資源・エネルギー
3	高温高压法を利用した新規水素貯蔵材料の探索	環境と資源・エネルギー
4	光学式水素検知材料	環境と資源・エネルギー
5	次世代白金フリーアルカリ型燃料電池実現に貢献するアニオン伝導高分子電解質膜の開発	環境と資源・エネルギー
6	大気マイクロ粒子線励起ガンマ線放出による軽元素分布分析	環境と資源・エネルギー
7	ロゴスキーコイル及びその製作方法	環境と資源・エネルギー
8	波長の異なるレーザー光を同時測定できるCO <sub>2</sub> レーザーモニターの開発	環境と資源・エネルギー
9	レーザー偏光法を用いた電流密度、電子密度及び電子温度の分布計測	環境と資源・エネルギー
10	高パルスエネルギー・高繰り返し固体レーザー装置の研究開発	環境と資源・エネルギー
11	セラミック式真空中高周波電力密度測定装置	環境と資源・エネルギー
12	ミジンコとイトミミズを含む培養系	環境と資源・エネルギー
13	超微量プルトニウム同位体分析技術	環境と資源・エネルギー
14	イオンビームを活用した室温動作する量子ビットの形成	環境と資源・エネルギー
15	荷電粒子ビームの照射野形成技術	環境と資源・エネルギー
16	放射線治療による皮膚反応の評価と予測システム	医療とバイオ技術
17	3次元線量分布測定技術の開発	医療とバイオ技術
18	陽電子放出核種で標識した化合物の製造技術	医療とバイオ技術
19	医学利用可能な放射性核種の製造技術	医療とバイオ技術
20	医療用RI標識ペプチドの製造技術	医療とバイオ技術
21	加速器中性子利用 <sup>99</sup> Mo/ <sup>99m</sup> Tc等医療用RI国産化に向けた開発	医療とバイオ技術
22	既存のMRI装置に後付けできる頭部専用PET	医療とバイオ技術
23	がんを見ながら治療：開放型PET装置	医療とバイオ技術
24	医用画像を最適な階調で表示可能とするプラットフォーム	医療とバイオ技術
25	子宮頸部腺がんの診断・予後予測マーカー	医療とバイオ技術
26	抗体の機能解析と分子設計	医療とバイオ技術
27	大気マイクロ粒子線励起X線放出による生体内微量元素分布分析	医療とバイオ技術
28	手のひらサイズの非侵襲血糖値センサーの開発	医療とバイオ技術
29	生体イメージングと顕微鏡切片画像の位置合わせマーカー	医療とバイオ技術
30	ワンタッチ動物頭部固定器具	医療とバイオ技術
31	高度な微生物制御を可能とした移動式密閉装置	医療とバイオ技術
32	リファレンス情報を必要としない高感度網羅的遺伝子発現プロファイル法(HICEP法)	医療とバイオ技術
33	異常染色体自動検出装置	医療とバイオ技術
34	創薬標的タンパク質およびサイトカイン受容体複合体の構造解析	医療とバイオ技術
35	バルーンを用いた臓器診断法	医療とバイオ技術
36	レーザー誘起振動波診断を用いたインプラント設置強度の定量評価	医療とバイオ技術
37	認知症の病態解明、診断法、治療法および創薬支援技術の研究開発	医療とバイオ技術
38	エネルギーサブトラクション撮影用グリッド	医療とバイオ技術
39	制動放射線計測による治療ビームイメージング技術の開発	医療とバイオ技術
40	生物試料用マイクロチップ技術とその応用	医療とバイオ技術
41	優れた放射線耐性、準非破壊、リアルタイムの大電流イオンビーム形状分布診断法	私たちの生活
42	放射線モニタリングシステム「ラジプローブ」	私たちの生活
43	食品中の安定ヨウ素濃度の定量技術	私たちの生活
44	過酷環境下溶存元素その場分析	私たちの生活
45	日本の河川水中元素濃度データベース	私たちの生活
46	半導体デバイスのイオン入射破壊効果の評価	私たちの生活
47	結晶成長中のその場観察技術を用いた窒化物半導体の高品質化	私たちの生活
48	電子線を活用した高輝度のナノ粒子の形成	私たちの生活
49	高耐力軟X線多層膜の開発	私たちの生活
50	鋼板内部の応力分布測定	私たちの生活

51	ピンポイント放射光メスバウアー分光法による鋼材の局所分析	私たちの生活
52	顕微陽電子消滅技術の開発	私たちの生活
53	ナノ粒子や材料中のナノ構造の原子配列観察	私たちの生活
54	高エネルギー分解能蛍光検出X線吸収分光による物質の電子状態の観測	私たちの生活
55	放射光X線を用いた表面・界面・薄膜の構造決定	私たちの生活
56	ラザフォード後方散乱による薄膜試料の構造評価	私たちの生活
57	隠された核物質や爆発物等の遠隔・非破壊分析	私たちの生活
58	耐放電性能に優れた抵抗器の開発	私たちの生活
59	荷電粒子放射線計測方法および荷電粒子放射線計測装置	私たちの生活
60	広エネルギー帯域で高効率なテングーX線多層膜鏡の開発	私たちの生活
61	放射光メスバウアー分光による磁性薄膜の局所磁性探査	私たちの生活
62	白色X線を利用した鉄鋼材料の局所応力・ひずみ分布測定	私たちの生活
63	生体適合性材料の微細加工技術の研究開発	未来を拓く・安心を作る〈先端技術〉
64	スピン偏極陽電子ビーム分析	未来を拓く・安心を作る〈先端技術〉
65	共鳴非弾性X線散乱による量子多体系のダイナミクス観測	未来を拓く・安心を作る〈先端技術〉

## つくる

66	室温で効率的な水素酸化を実現する疎水性貴金属触媒	環境と資源・エネルギー
67	イオン伝導体による海水からの革新的リチウム資源回収法	環境と資源・エネルギー
68	バイオディーゼル燃料転換用触媒	環境と資源・エネルギー
69	温泉水からのスカンジウム捕集	環境と資源・エネルギー
70	海水中からの希少金属の捕集	環境と資源・エネルギー
71	ユーグレナによる放射性物質と希土類元素の回収	環境と資源・エネルギー
72	金属粒子製造方法	環境と資源・エネルギー
73	白金/金属酸化物複合電極触媒の作製	環境と資源・エネルギー
74	放射線架橋フッ素系固体高分子電解質とその製造方法	環境と資源・エネルギー
75	熱化学水素製造ISプロセス用カチオン交換膜の開発	環境と資源・エネルギー
76	放射線エマルショングラフト重合と得られるグラフトフィルター	環境と資源・エネルギー
77	2極コネクタの嵌合部構造	環境と資源・エネルギー
78	冷却管ユニットの製造方法、管内整流具、冷却管及び管内整流具の固定構造の開発	環境と資源・エネルギー
79	量子ドット(CdSe)の合成技術	医療とバイオ技術
80	量子ビームによる植物・微生物の育種	私たちの生活
81	イオンビーム育種で害虫防除に役立つ微生物を開発	私たちの生活
82	イオンビーム育種でカドミウムをほとんど吸収しないイネを作出	私たちの生活
83	放射線を利用した植物栽培促進技術	私たちの生活
84	グラフェンのスピンを操る—グラフェンスピントロニクスの開拓—	私たちの生活
85	プロトンビームライティング(PBW)加工技術の開発	私たちの生活
86	軟X線レーザーを用いたナノ構造形成と超微細加工技術	私たちの生活
87	EUV自由電子レーザーの開発と半導体リソグラフィ技術への応用	私たちの生活
88	燃料電池システムのコスト低減を可能とする芳香族炭化水素電解質膜を開発	私たちの生活
89	高温高圧水素と金属の反応	私たちの生活
90	イオンビームによる高分子材料の微細加工技術	私たちの生活
91	小型イオンマイクロビーム装置	私たちの生活
92	屋外で使用可能な200W級 Nd:YAGレーザー	私たちの生活
93	イオンビームの飛跡を利用したナノワイヤーの形成	未来を拓く・安心を作る〈先端技術〉
94	グラフェンの磁気ストレージ・スピンメモリ応用—ネットワーク時代を支える—	未来を拓く・安心を作る〈先端技術〉
95	全反射放射陽電子回折の開発	未来を拓く・安心を作る〈先端技術〉
96	放射光X線を利用した垂直磁化膜の磁気特性の微視的評価	未来を拓く・安心を作る〈先端技術〉

## なおす

97	細胞膜透過性を有する繊維芽細胞増殖因子の開発	医療とバイオ技術
----	------------------------	----------

# 1 結晶成長中のその場観察技術を用いた 高効率太陽電池の開発

SPring-8の放射光を用いて、化合物半導体結晶成長の様子をその場観察し、高効率太陽電池の開発に役立っています。

## シーズの特徴（成果含む）

- 分子線エピタキシー法でIII-V族半導体結晶を成長させながら、高輝度なSPring-8の放射光X線で結晶成長の過程を実時間測定できます。
- 多接合太陽電池から量子ドット系、ナノワイヤ系など、変換効率>30%の超高効率太陽電池への応用が可能です。

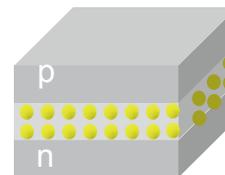
### 多接合太陽電池

格子不整合InGaAs多層膜の成長過程をその場放射光X線回折測定し、転位制御技術を開発しました。これにより、集光型多接合太陽電池における変換効率42.1%の達成につながりました（平成22年度NEDO）。



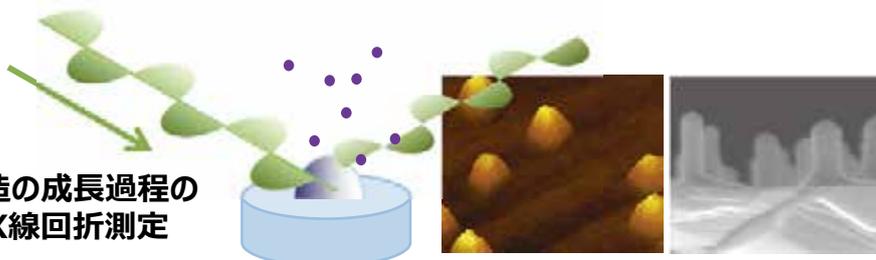
### 量子ドット系・ナノワイヤ系

変換効率50%以上が理論的に予測されている量子ドット系太陽電池の成長制御に向け、GaAs上に自己形成するInAs量子ドットのひずみ・形状をその場測定する技術を開発しました。同様に、GaAs、InAsナノワイヤ成長の測定もおこなっています。



放射光X線

半導体ナノ構造の成長過程の  
その場放射光X線回折測定



- 多層膜構造から量子ドットまでさまざまな系について、放射光X線測定に基づく構造制御技術を開発し、光電変換の超高効率化の達成に寄与しました。

### アウトカム

革新的太陽光発電技術

### 知財等関連情報

- 1) H. Suzuki, T. Sasaki, A. Sai, Y. Ohshita, I. Kamiya, M. Yamaguchi, M. Takahasi and S. Fujikawa, Appl. Phys. Lett. **97**, 041906 (2010).
- 2) M. Takahasi, J. Cryst. Growth **401**, 372 (2014).

### アウトカムに至る段階

基礎

### 連携希望企業

半導体メーカー

### 担当者

量子ビーム科学部門  
関西研(播磨)：コヒーレントX線利用研究Gr  
佐々木 拓生

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 2 水素貯蔵合金のサイクル劣化にかかわる構造的因子の特定

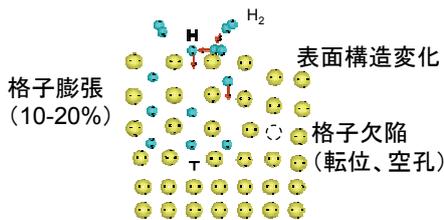
他では実施が困難である水素雰囲気下での放射光その場観察による水素貯蔵合金の原子二体分布関数の観測から、合金の水素吸蔵放出サイクルによる劣化に関する知見を得る。

## シーズの特徴（成果含む）

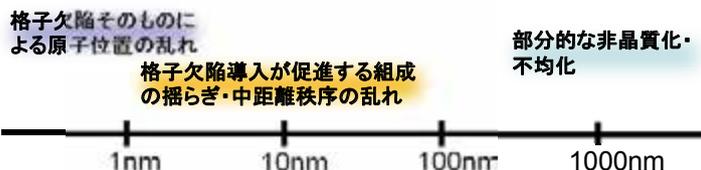
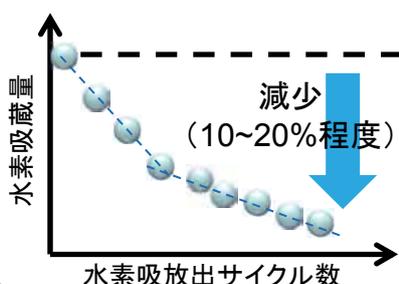
- ・格子欠陥による構造変化のスケールに敏感な原子二体分布関数(Pair Distribution Function; PDF)から水素吸蔵放出による劣化に関する知見を得られます。
- ・高いエネルギーの放射光X線と大型二次元検出器を用いることで、原子二体分布関数を高精度にかつ迅速に取得できます。
- ・水素ガス雰囲気下（10気圧未満）におけるサブ秒程度の時間分解能での反応過程リアルタイム計測が可能です。

## 劣化に関連するナノスケールの構造変化

### 水素吸蔵放出による結晶構造の乱れ、破壊

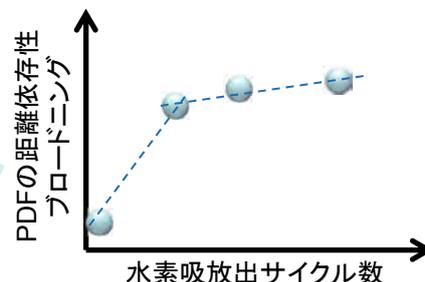


### 水素貯蔵能の減少(劣化)



### 転位密度増加

サイクルによるPDFのブロードニングと水素貯蔵量の減少に良い相関



○水素貯蔵量の減少（劣化）と転位密度との相関を見出すことに成功。劣化メカニズムの解明に道筋。

## アウトカム

水素貯蔵合金

## 知財等関連情報

1) H. Kim et al., J. Phys. Chem. C 117, 26543 (2013).

## アウトカムに至る段階

基礎段階

## 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所放射光科学研究センター  
高圧・応力科学研究グループ  
町田 晃彦

## 連携希望企業

材料メーカー

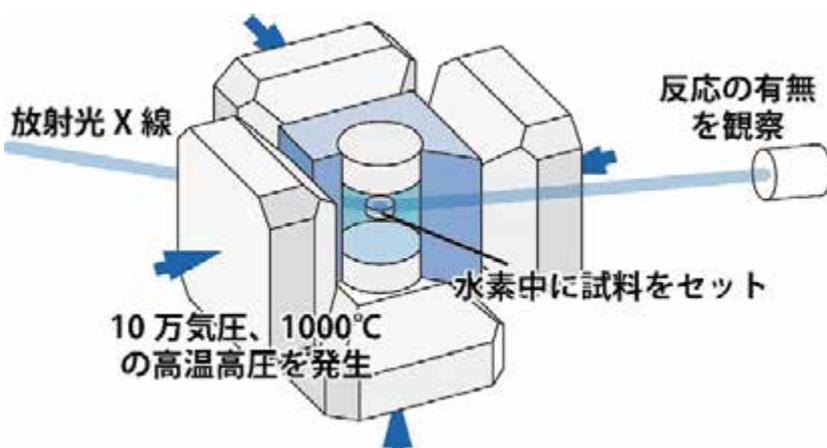
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画室部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 3 高温高压法を利用した 新規水素貯蔵材料の探索

新規水素貯蔵材料の実現に有利な高温高压法による合成  
放射光その場観察技術を利用して、「見ながら」合成条件を探索する。

## シーズの特徴（成果含む）

- 熱力学的に有利な高温高压下で、新規水素貯蔵材料の合成が可能です。
- 放射光その場観察技術を利用すると、密閉された試料容器の中の様子を調べることができます。目的とする反応の進行の有無を「見ながら」合成条件を探索することができます。



## 想定される開発例

理論計算やこれまでの開発結果から.....が合成できれば優れた性能を示す可能性がある。しかし、合成には成功していない。

→本技術で実際に合成できる可能性。

○アルミニウムを主原料とする水素貯蔵合金が合成可能であることを示した初めての成果。軽量安価な水素貯蔵材料の開発に道。

### アウトカム

燃料電池自動車の水素貯蔵システムの小型化・軽量化

### 知財等関連情報

APL Mater, 1, 032113 (2013).  
特願2018-094658

### アウトカムに至る段階

基礎

### 担当者

量子ビーム科学部門  
関西研(播磨)：高圧・応力科学研究Gr  
齋藤 寛之

### 連携希望企業

材料メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

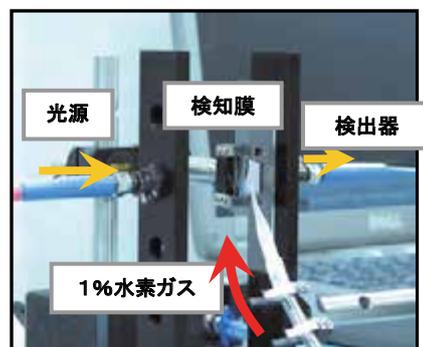
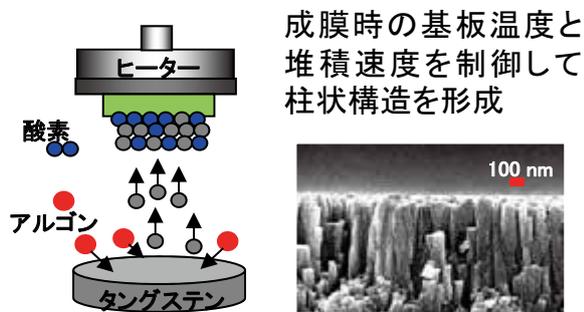
# 4 光学式水素検知材料

結晶方位を制御して形成した柱状構造からなる三酸化タングステン薄膜により、水素ガスに触れると着色する水素検知材料を作製する。

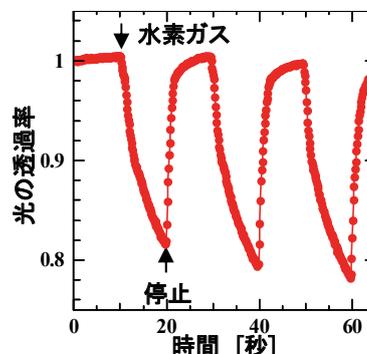
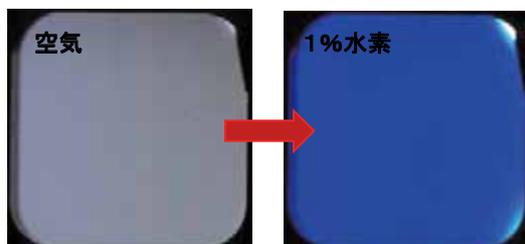
## シーズの特徴（成果含む）

- ・ 爆発下限界濃度以下の水素を室温で光学的に検知できる水素検知材料です。
- ・ 水素検出部には着火源となる電源等を伴わないため、安全に水素検知ができます。
- ・ 光ファイバーと組み合わせることにより、人が立ち入れない環境下でも水素検知が可能です。

### 水素検知材料の形成



### 酸化タングステン膜の水素による着色



○水素ガスに触れると着色する水素検知材料の作製に成功。

### アウトカム

水素センサー、水素供給インフラ、ガス漏洩モニタリング

### アウトカムに至る段階

製品化段階

### 連携希望企業

ガス検知機器メーカー

### 知財等関連情報

- 1) 特許第4590603
- 2) 特許第4644869
- 3) 特許第4717522
- 4) 特許第4775708

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
山本 春也

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

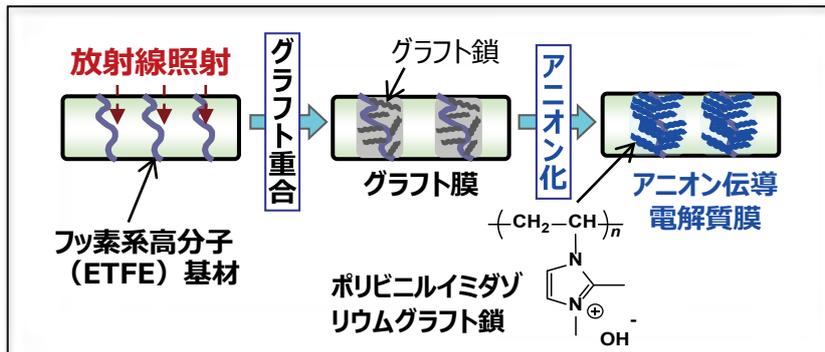
# 5 次世代白金フリーアルカリ型燃料電池実現に 貢献するアニオン伝導高分子電解質膜の開発

白金を使用しない「アルカリ型」燃料電池を実現するため、アルカリ性の条件下で十分な耐久性を持つアニオン伝導高分子電解質膜を開発します。

## シーズの特徴（成果含む）

## 計測技術含む

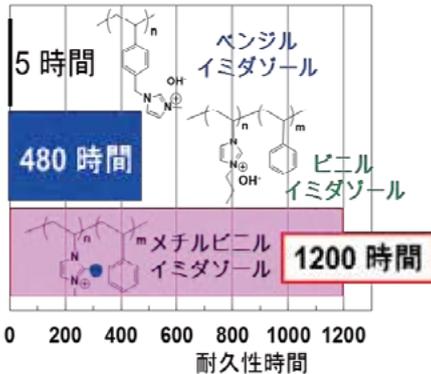
高崎研のCo60線源や電子加速器を用いたグラフト重合により、イオンを通す膜（電解質膜）を作製し、SPring-8やJ-PARC等を活用した膜の詳細な構造・機能解析を経て、耐久性の高い構造を最適化します。



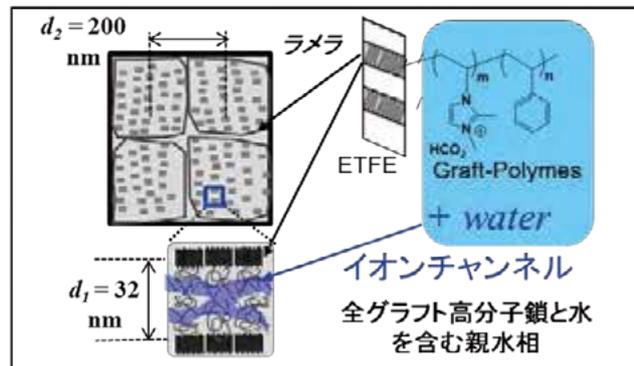
### 放射線グラフト重合法

電子線、γ線、イオンビームを利用すると、ポリエチレン、テフロンや芳香族炭化水素高分子など市販のプラスチック膜に、イオンが流れる機能を新たに加えることができます。

### アルカリ水、80°Cでの耐久性



アルカリ耐性の飛躍的向上に成功  
(目標の導電率を1200時間維持)



SPring-8やJ-PARC等を用いて  
電解質膜の構造・機能の関係を解明

○アルカリ型燃料電池車の第一段階である1000時間以上の耐久性をクリア

## アウトカム

燃料電池自動車  
定置型燃料電池

## アウトカムに至る段階

応用段階、製品化段階

## 連携希望企業

燃料電池メーカー、フィルムメーカー

## 知財等関連情報

- 1) 特許 第5736604号
- 2) 特許 第5959046号
- 3) 特許 第6028312号
- 4) 特許 第6347504号
- 5) 米国特許 US9379402 等

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎研：P「高分子機能材料研究」  
廣木 章博

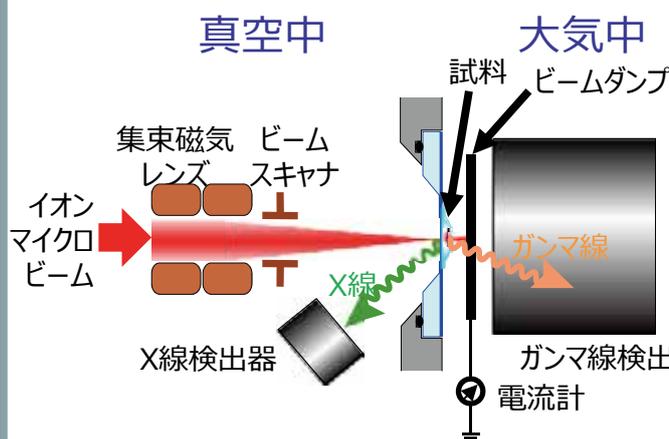
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 6 大気マイクロ粒子線励起ガンマ線放出による軽元素分布分析

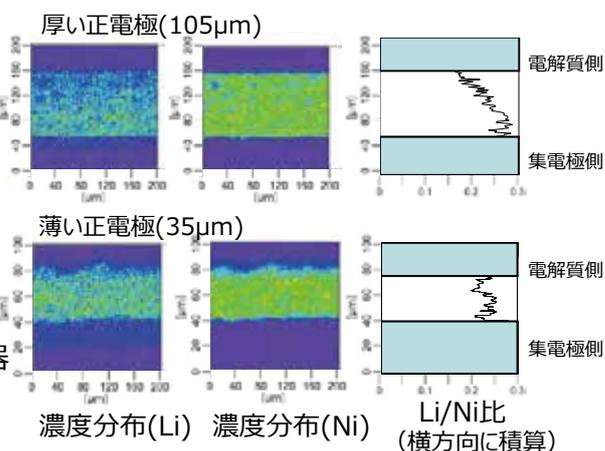
MeV級イオンマイクロビーム照射によって試料中のLi、B、Fなどの軽元素から発生するガンマ線の強度を測定し、軽元素の分布を1 $\mu$ mの高空間分解能で取得できる。

## シーズの特徴（成果含む）

- MeV級イオンマイクロビームを大気中で照射し発生するガンマ線を検出します。
- 1 $\mu$ mの空間分解能で測定できます。
- 試料内部のLi、B、Fなどの軽元素の分布を測定できます。
- 含水試料をそのまま大気中で測定できます。
- 特性X線の同時測定でNa~Uの分布と比較できます。



リチウムイオン電池の正極断面の元素分布測定結果



K. Mima et al., NIMB 290 (2012) 79

○電極の厚さの違いによるリチウムの分布の違いの可視化に成功  
リチウムイオン電池性能向上に向けた研究開発を加速。

### アウトカム

Liイオン電池の高性能化  
F含有歯科材料開発

### 知財等関連情報

- 1) IJPIXE27 (2017) 11-20
- 2) NIMB 348 (2015) 156-159.
- 3) NIMB 290 (2012) 79-84.

### アウトカムに至る段階

基礎段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所  
放射線高度利用施設部ビーム技術開発課  
佐藤 隆博

### 連携希望企業

素材メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

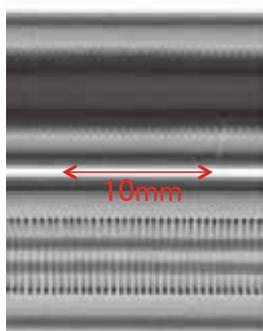
# 7 ログスキーコイル及びその製作方法

超高真空、高温及び放射線環境下で、大型核融合装置に適用可能な長尺ログスキーコイルを開発しました。

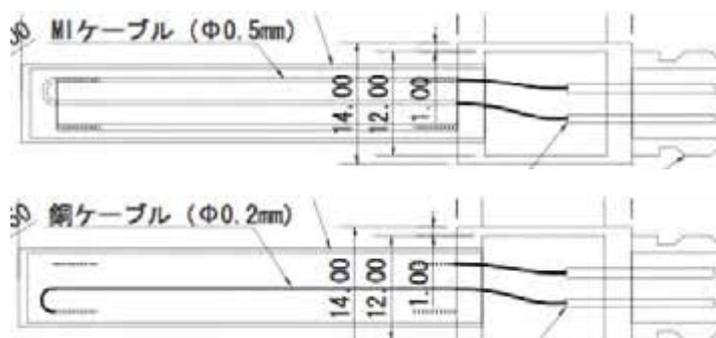
## シーズの特徴（成果含む）

- ・大型の核融合装置に適用可能で、超高真空、耐熱性(200℃～300℃)、かつ耐放射線性が要求される過酷な環境下で電流を計測できます。
- ・これまでの耐熱性、耐放射線性を持つものと比較して、電流変化を高速で計測できます。

X線写真



構造図



- 従来方式のMI(Mineral-insulated)ケーブルを用いないで、シーズヒータ形式のログスキーコイルを開発。
- 最長16m、外径10mmの長尺ログスキーコイルを製作、更に長尺化可能。
- 絶縁皮膜の無い銅線が無機物（酸化マグネシウムMgO）で電気絶縁。
- 芯線が太いため、断線し難い。
- 周波数特性が良い。
- 曲げに強い。

### アウトカム

大電流(メガアンペア)の計測

### アウトカムに至る段階

応用

### 連携希望企業

エネルギー、機械関連企業

### 知財等関連情報

国内特許：登録番号5594802

国際特許：国際出願番号1457087（フランス）

1) Fusion Eng. Des. 96-97 (2015) 985-988

### 担当者

核融合エネルギー部門

那珂核融合研究所トカマクシステム技術開発部

JT-60システム統合グループ

武智 学

本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部(fusion-chizai@qst.go.jp)

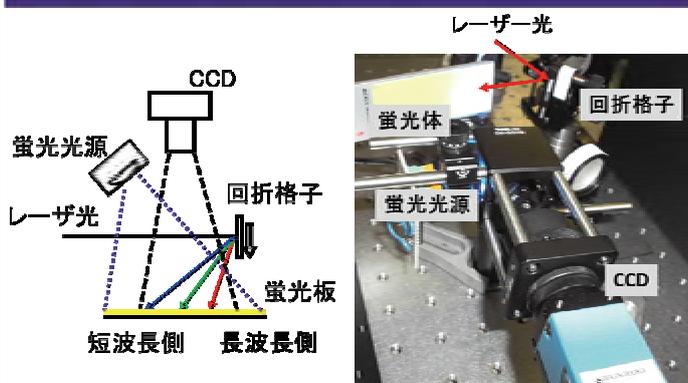
# 8 波長の異なるレーザー光を同時測定できる CO<sub>2</sub>レーザーモニターの開発

回折格子を用いて、CO<sub>2</sub>レーザーなど線スペクトルを持つレーザーのビーム強度分布・光軸測定を、複数波長について同時測定できるレーザーモニターを開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

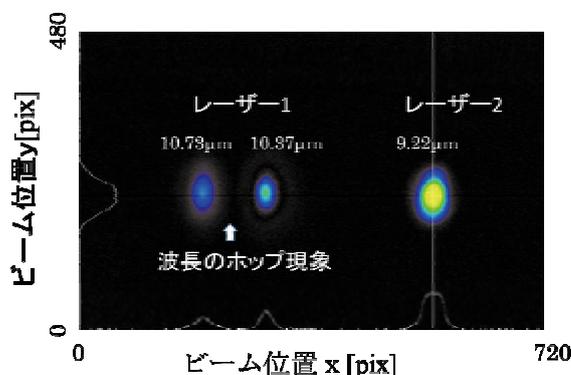
- 複数のレーザーを同時入射しても、波長毎のビーム強度分布を同時に測定できます。
- 一般的な可視光用光学機器を使用するため、中赤外用カメラと比べて、コストパフォーマンスが非常に高い測定装置です。
- ビーム径の大きなレーザーについても、縮小することなく直接測定ができます。

### 測定原理



- 回折格子により分光されたレーザーが蛍光体に入射すると、温度上昇により蛍光が減少し、波長ごとのネガイメージが得られます。
- CCDカメラによりネガイメージを解析することで強度分布が得られます。

### 測定例



- 同軸化した2つのレーザーの強度分布を同時に測定できます。
- レーザーの発振波長の変動を測定することもできます。

**本CO<sub>2</sub>レーザーモニターは2016年にサンインスツルメンツ社により商品化されました。**

☆ビーム強度分布の測定だけでなく、光軸の測定もできますので、CO<sub>2</sub>レーザーの光軸調整の自動制御に応用することもできます。

### アウトカム

- レーザー強度分布測定装置
- レーザー光軸安定化装置
- ビーム品質(M<sup>2</sup>値)測定装置など、各種測定装置

### 知財等関連情報

- 1) 特許第6153123号
- 2) J. Instrum., **11**, C02082 (2016)

### アウトカムに至る段階

実用化段階

### 連携希望企業

レーザー、光学機器、光計測関連企業

### 担当者

核融合エネルギー部門  
那珂核融合研究所先進プラズマ研究部  
先進プラズマ実験グループ  
笹尾 一

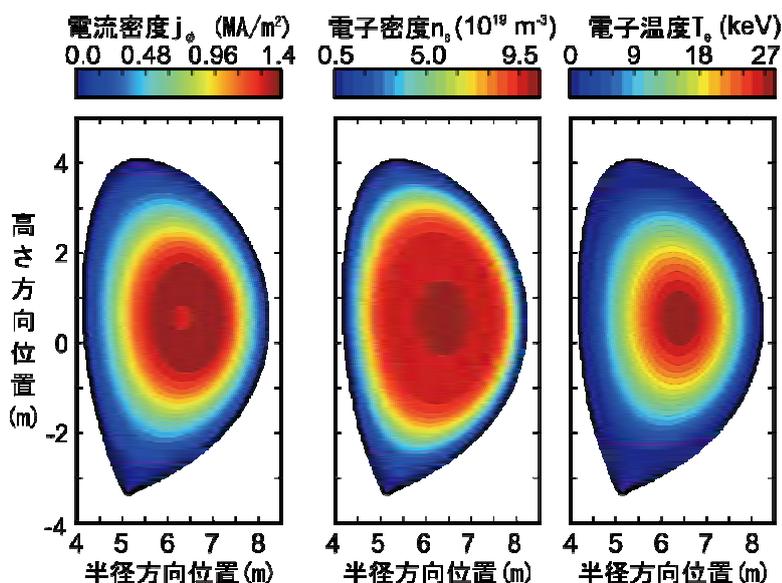
本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

# 9 レーザー偏光法を用いた電流密度、電子密度及び電子温度の分布計測

計測装置の設置に大きな制限がある核融合原型炉において、レーザー偏光法を活用することで、少数の計測装置で複数のプラズマパラメータを監視・制御可能な炉設計を行います。

## シーズの特徴（成果含む）

- 数億度以上となる核燃焼プラズマの場合、レーザー偏光法を用いて電子温度が測定できます。
- 複数の視線を持つレーザー偏光計のデータから、総プラズマ電流、電流分布、電子密度及び電子温度の複数のパラメータを抽出できます。
- レーザー偏光法は時間履歴に依存しないので、原型炉のような定常運転装置への適用が適しています。



国際熱核融合実験炉 ITER相当のプラズマを想定した場合に、15視線を有する偏光計のデータから、電流分布、電子密度及び電子温度の情報を得たシミュレーション結果。電流分布を積分することで総プラズマ電流となる。

### アウトカム

核融合原型炉の計測器

### アウトカムに至る段階

基礎

### 連携希望企業

核融合分野企業

### 知財等関連情報

- 1) Rev. Sci. Instrum. 83, 123507 (2012).
- 2) プラズマ核融合学会誌, 99, 11, 743 (2014).
- 3) 特許第5854381号、算出装置、算出方法、算出プログラム

### 担当者

核融合エネルギー部門  
那珂核融合研究所 ITERプロジェクト部  
計測開発グループ  
今澤 良太

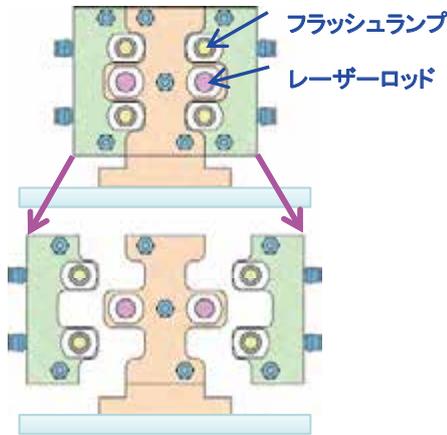
本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

# 10 高パルスエネルギー・高繰り返し固体レーザー装置の研究開発

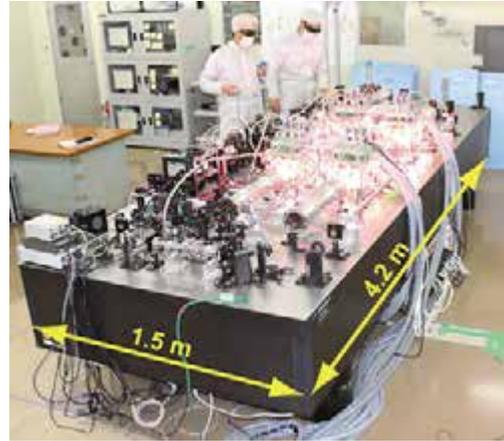
国際熱核融合実験炉 ITERで生成される超高温プラズマの電子温度・密度を計測するために高パルスエネルギー・高繰り返し固体レーザー装置を開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・新開発の高利得フラッシュランプ励起ロッド増幅器により100 Hzの繰り返しで1発あたり数ジュールの高いレーザーエネルギーを得ることができます。
- ・レーザー増幅器はフラッシュランプの交換の際、光軸が変わらない構造になっており、保守が容易です。



光軸を変えずにフラッシュランプが交換可能な構造を有する新開発のレーザー増幅器



ITERプラズマ計測用Nd:YAGレーザー  
(エネルギー 7.66 J, 繰り返し 100 Hz, パルス幅 30 ns)

- ITERのプラズマ計測、量研等で開発が進められているレーザーを用いたトンネル内部の欠陥を高速で検査する装置のレーザー部分に当レーザー増幅器が用いられています。
- レーザー応用計測用光源、レーザー加速粒子線がん治療器用励起光源など高パルスエネルギー・高繰り返しレーザーが必要とされる幅広い分野での応用が期待されます。

## アウトカム

高出力レーザー開発

## アウトカムに至る段階

基礎

## 連携希望企業

レーザー装置及びレーザー応用機器製造企業

## 知財等関連情報

- 1) 日本国特許第5858470号「固体レーザー装置」
- 2) Rev. Sci. Instrum. 83, 10E344 (2012).
- 3) Rev. Sci. Instrum. 77, 10E508 (2006).

## 担当者

核融合エネルギー部門  
那珂核融合研究所 I T E Rプロジェクト部  
計測開発グループ  
波多江 仰紀

本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

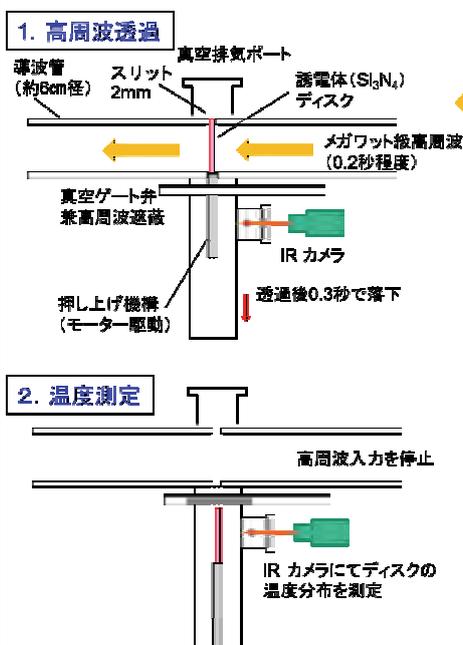
# 11 セラミック式真空中高周波電力密度測定装置

核融合研究などで用いる大電力の高周波加熱装置において、導波管の真空領域に挿入したセラミックの発熱分布を測定して、ミリ波伝送の状態を診断・評価できます。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・高周波がセラミック板を透過するときの発熱分布から電力密度分布を評価。
- ・金属で囲まれた導波管内部では、赤外線による温度分布モニターが困難なので、高周波透過後にセラミック板を素早く引き抜き、導波管外で測定します。
- ・導波管の円形断面における電力密度が、中心にピークを持つ回転対称な分布（ガウス状分布）に近いことが良好な伝送の目安となります。

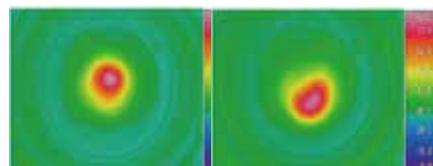
### 装置の仕組み



### 試作機



### 診断結果



良好（ガウス状分布） 不良、要調整

- 運転中の高周波加熱装置を長時間停止させないように、導波管内の真空を破らず測定するための工夫をしました。
- この装置は、核融合研究に貢献するだけでなく、同様の伝送方式をとる高周波利用装置の機器調整や診断への応用が可能です。

### アウトカム

- ・核融合用の高周波加熱装置
- ・商用高周波加熱装置（焼入れ、乾燥）
- ・大電力高周波伝送装置（レーダー等）

### 知財等関連情報

### アウトカムに至る段階

核融合実験炉ITERのサテライト装置（JT-60SA）向けに製品化済

### 連携希望企業

精密機械加工、高周波加熱・通信機器製造企業

### 担当者

核融合エネルギー部門  
那珂核融合研究所 I T E Rプロジェクト部  
R F加熱開発グループ  
平内 慎一

本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

# 12 ミジンコとイトミミズを含む培養系



水を入れた容器にミジンコとイトミミズおよび腐朽有機物質を加えて培養すると長期間両者は世代交代しながら維持される。

## シーズの特徴（成果含む）

水を入れた数リットルの容器にミジンコとイトミミズおよび腐朽有機物質を加えて人工照明下で培養する。

水と腐朽有機物質を入れた容器でミジンコあるいはイトミミズを単独培養すると短期間で死滅するが、両者を一緒に培養した場合は数か月あるいはそれ以上維持することができる。



容器内でイトミミズはミジンコの死骸等を分解しながら水中に各種物質を放出し、ミジンコの餌となる微生物の増殖を促進していると考えられる。

有害因子や有害物質の生物に及ぼす影響を長期間観察する研究手法として期待される。

### アウトカム

各種有害因子の生態系への影響など長期暴露試験技術の開発

### 知財等関連情報

特許第4228074号  
特開2005-137236

### アウトカムに至る段階

基礎

### 担当者

本部  
財務部契約課  
柳澤 啓

### 連携希望企業

生物実験等を主とした研究開発分野の企業

本シーズの問合せ先：本部イノベーションセンター研究推進課 (innov-prom@qst.go.jp)

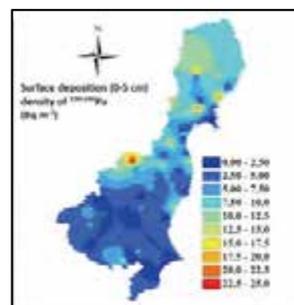
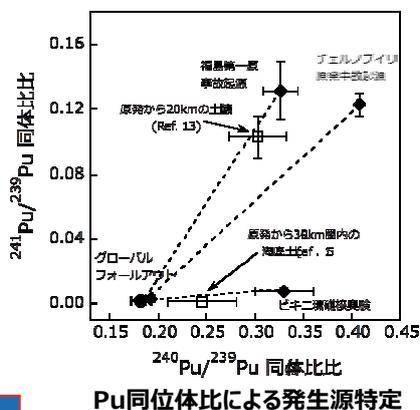
# 13 超微量プルトニウム同位体分析技術

人工放射性核種の中でも特に重要なプルトニウム(Pu)に着目し、高分解能誘導結合プラズマ質量分析法(SF-ICP-MS)によるPu同位体の原子数比( $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ と $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ )を高精度に測定するための最先端技術です。

## シーズの特徴 (成果含む)

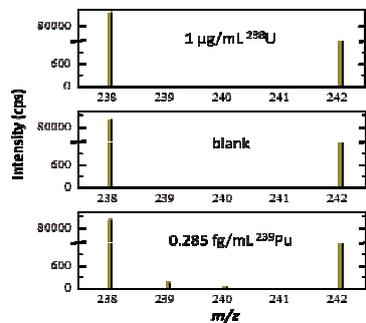
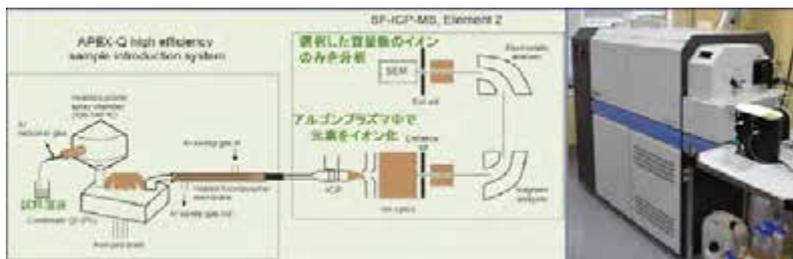
- ・環境・生体試料中の超微量プルトニウム同位体分析は、アルファスペクトロメリーと加速器質量分析法がメインだった。
- ・より高精度、かつ迅速な方法で測定するために、高効率な化学分離法を確立し、高分解能誘導結合プラズマ質量分析法(SF-ICP-MS)で定量する方法を開発。
- ・本法は定量性が高く、 $\text{ag}(10^{-18}\text{g})$ レベル検出限界達成。Pu同位体の原子数比情報は放出源の特定にも使える。

### 環境・生体試料測定例



福島事故前東日本地域土壤中Pu同位体の測定

定量下限:  $5\text{ ag}(10^{-18}\text{g})$



尿試料中超微量Pu迅速分析

○世界で最高感度のプルトニウム同位体質量分析技術開発に成功。  
多様な環境試料測定、放射線防護・環境および地球化学研究に応用可能。

### アウトカム

放射線汚染源特定・内ばく線量推定  
環境および地球化学研究に応用

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

環境・生体試料の分析企業

### 知財等関連情報

- 1) Anal. Chem. 87 (2015) 5511-5515.
- 2) Environ. Sci. Technol. 48 (2014) 534-541.
- 3) Talanta, 69 (2006) 1246-1253.
- 4) Anal. Chim. Acta 2017.doi.10.1016/jaca.2017.10.012

### 担当者

量子医学・医療部門  
高度被ばく医療センター福島再生支援研究部  
鄭 建

本シーズの問合せ先: 量子医学・医療部門研究企画部(nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

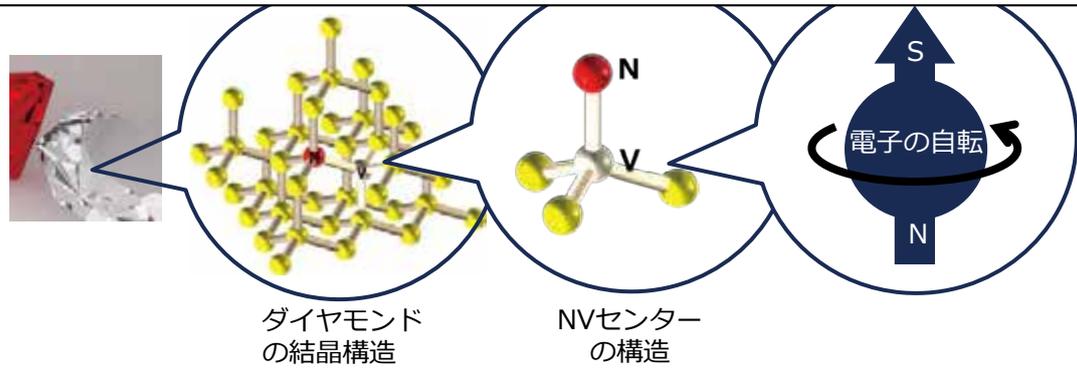
# 14 イオンビームを活用した 室温動作する量子ビットの形成

keV~MeV級のイオンビームをダイヤモンドに照射することによって室温で動作する量子ビットとして知られるダイヤモンドNV(窒素・空孔)センターを作製できます。ダイヤモンドNVセンターは超高感度な量子センサとしても知られています。

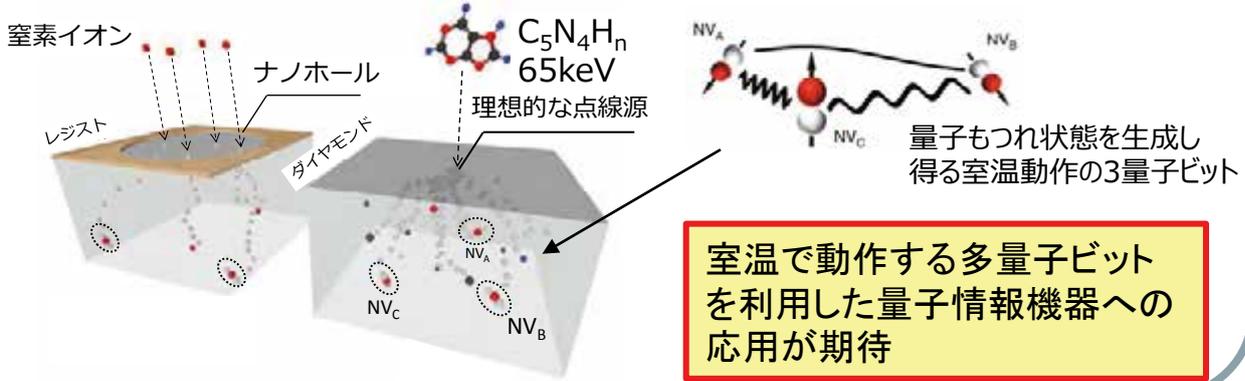
## シーズの特徴 (成果含む)

- ・ダイヤモンドに電子やイオンビームを照射することで、室温動作する量子ビットである結晶欠陥(NVセンター)を導入できます。
- ・イオンビームを使うと極めて少ない数(1つ、2つ、3つ……)のNVセンターを作製できます。

NVセンターは電子スピン(S=1)を持ち、電子スピンを量子ビットとして利用することができます



窒素イオンをナノホール越しに注入すると極めて狭い領域にNVセンターを形成できます(左)  
窒素分子や有機分子イオンを照射するとさらに狭い領域にNVセンターを形成できます(右)



### アウトカム

量子情報技術応用

### 知財等関連情報

- 1) Nature Communications (2019) 10:2664
- 2) 特願2018-155987「ダイヤモンド単結晶およびその製造方法」

### アウトカムに至る段階

基礎段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎研：P「半導体照射効果研究」  
大島 武

### 連携希望企業

量子情報技術関連メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

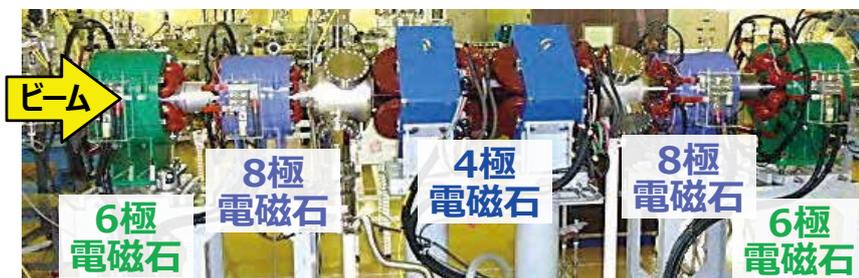
# 15 荷電粒子ビームの照射野形成技術

多重極電磁石を用いて荷電粒子ビームを非線形に集束することにより、多様なビーム照射野を形成する技術を開発。

## シーズの特徴（成果含む）

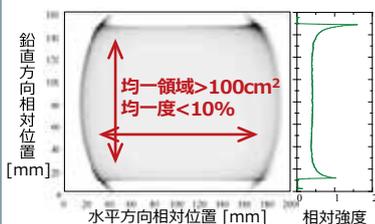
加速器施設においてビーム輸送・形成に広く用いられている4極電磁石に加えて、6極や8極等の多重極電磁石を併用して適切にビームを集束することで、ビームの進行方向に直交する面における強度分布や形を目的に応じて多様に変換。従来は形成困難であった、特異なビーム照射野を非破壊・非走査で形成可能。

### 多重極電磁石の配置例

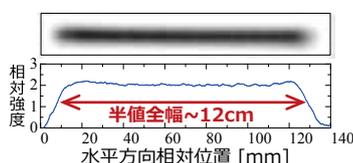


### ビーム強度分布変換の例

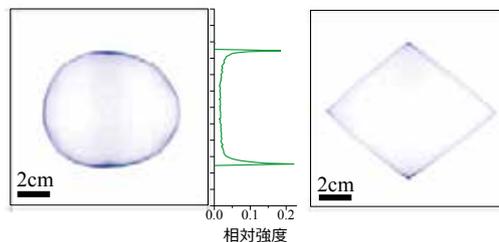
#### 大面積均一化



#### 幅広均一化



#### 中空化



大面積試料のバッチ照射だけでなく、ビームを幅広均一化することで、Roll-to-Roll方式による連続的な均一照射にも適用可能

中心付近の強度に比べて10数倍の高いピークを端部に有し、適用する多重極電磁石の種類や磁場強度に応じて、断面形状を楕円形や四角形等に変更可能

### アウトカム

荷電粒子ビーム照射技術の高度化

### アウトカムに至る段階

基礎～応用

### 連携希望企業

加速器関連企業

### 知財等関連情報

- 1) 特許第6044895号
- 2) 特願2018-207270
- 3) Y. Yuri *et al.*, Prog. Theor. Exp. Phys. **2019** (2019) 053G01.

### 担当者

高崎量子応用研究所放射線高度利用施設部  
ビーム技術開発課  
百合 庸介

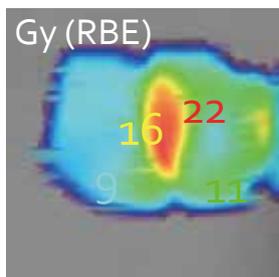
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画室 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 16 放射線治療による皮膚反応の評価と予測システム

放射線治療による皮膚反応の程度を定量的に評価し、また治療を開始する前にあらかじめ反応の程度を予測して画像で示すことを可能とします。

## シーズの特徴（成果含む）

- 特別な機材や撮影条件は不要で、デジタルカメラ等で撮影した写真を利用することができます。
- 放射線治療のみならず皮膚反応（血流量の変化）の程度を定量的に評価することができます。
- 様々な肌の色の方に用いることができます。
- 照射を行う前に予め皮膚反応の程度をシミュレーションすることができます。



炭素線治療計画線量分布

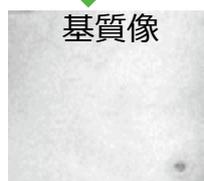
実際の皮膚反応の写真 (1ヶ月後)



## 皮膚反応の事前予測の例



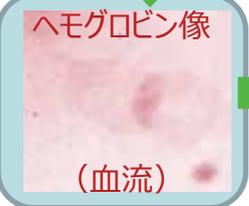
画像ベクトルの変換・分解



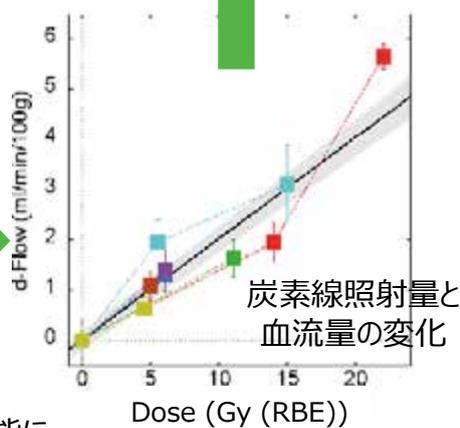
基底像



メラニン像 (肌の色)



ヘモグロビン像 (血流)



- 皮膚反応（血流量）の分布を得ることに成功。線量と対応付けることで放射線治療時の予測も可能に。

### アウトカム

治療計画、画像診断

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

医療機器、製薬、化粧品メーカー

### 知財等関連情報

国内/国際特許出願中 (PCT/JP2015/001692)  
Matsubara et al. Med. Phys. 42 5568 (2015)

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所  
物理工学部粒子線照射効果研究グループ  
松藤 成弘

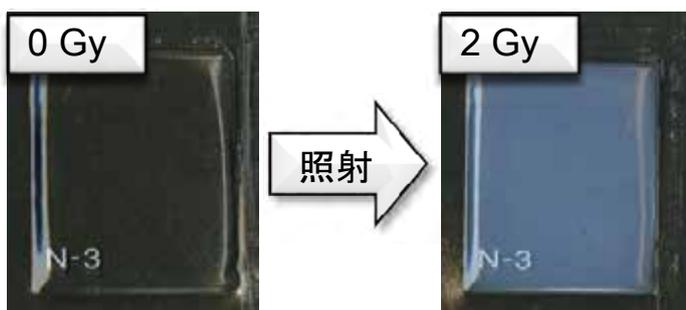
# 17 3次元線量分布測定技術の開発

電子線橋かけにより作製した天然高分子ゲルを母材とした、がん治療線量の3次元分布を計測可能なゲル線量計材料を開発する。

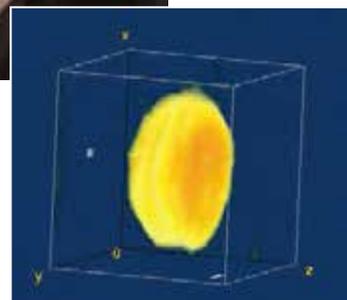
## シーズの特徴（成果含む）

- ・電子線橋かけ技術により透明性の高い生体等価なゲルを作製できます。
- ・照射線量に応じて白濁し、がん治療レベル（1-10 Gy）の線量分布を可視化できます。
- ・X線やγ線、粒子線などに感度があります。
- ・3次元の線量分布を計測できます。

### ゲル線量計への放射線照射



がん治療線量の照射で白濁



実際の治療装置を用いた照射(上)と、得られた3次元線量分布(下)

- 電子線橋かけ技術を駆使した3次元線量分布計測用のゲル線量計材料を創出。
- 放射線がん治療の高精度化や治療効果の向上に貢献。

### アウトカム

放射線がん治療の高精度化、治療効果向上

### 知財等関連情報

Nucl. Instr. Meth., B 365, 583 (2015).  
「ポリマーゲル線量計」特願2013-61789

### アウトカムに至る段階

製品化段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所  
先端機能材料研究部生体適合性材料研究  
田口 光正

### 連携希望企業

材料メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

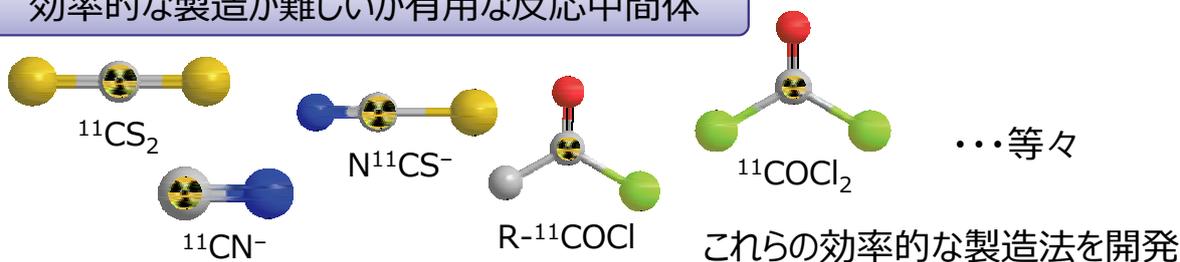
# 18 陽電子放出核種で標識した化合物の製造技術

体の外からリアルタイムにその動きが観察できる陽電子放出核種を様々な化合物に導入するための反応中間体を開発するとともに、その反応中間体の製造と化合物への導入を自動で再現性良く簡便に実施することのできる装置を開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

- 様々な反応中間体を開発/利用して、糖/脂肪酸/アミノ酸/タンパク質などの生体内物質や、医薬品などの様々な化学物質に陽電子放出核種を導入。
- 化合物構造の様々な位置に陽電子放出核種を導入可能。

### 効率的な製造が難しいが有用な反応中間体



### 自動合成ユニット

- 様々な反応中間体を高収率・高純度で製造するための新たな自動合成ユニットを開発/使用することで、安全・簡単・確実に目的の陽電子放出核種を導入した化合物が得られる。

- これまで陽電子放出核種の導入が難しかった放射性標識化合物の製造が可能。
- 世界で報告されている陽電子放出核種で標識したほとんどの化合物の製造が可能。

### アウトカム

(臨床) 疾病診断・薬物動態測定  
(基礎) 医薬品開発・生命科学

### アウトカムに至る段階

基礎—実用化段階

### 連携希望企業

医薬品/機器メーカー

### 知財等関連情報

- 1) J Label Compd Radiopharm. 52, 350 (2009)
- 2) Bioorg Med Chem Lett. 21, 2220 (2011)
- 3) Tetrahedron 71, 1588 (2015)

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所  
先進核医学基盤研究部  
張 明栄

# 19 医学利用可能な放射性核種の製造技術

サイクロトロンから得られるビームを効果的にターゲット物質へ照射できる“垂直照射装置”を開発。照射が難しい物質(固体粉末・顆粒・低融点物質など)を固形化することなく照射可能にすると共に、その場で分離を行えるシステムとした結果、作業時の被ばく・汚染リスク及び自動化コストが著しく低減しました。

## シーズの特徴 (成果含む)



- 垂直照射装置の特徴
- ◇ 難照射物質の容易な照射
- ◇ 分離精製機構の実装
- ◇ 照射時の発熱を利用したターゲット物質の意図的融解
- ◇ 照射空間を密閉構造とし汚染・被ばくのリスクを低減
- ◇ 核医学研究に欠かせない希少核種・イメージング・治療核種の製造に最適

## ● 医学的に利用される主な核種と製造可能核種 (2019/ 5現在)



## アウトカム

高純度・希少RIの実製造(供給・頒布)  
照射・製造技術の提供

## アウトカムに至る段階

基礎—実用化段階

## 連携希望企業

加速器企業・製薬企業

## 知財等関連情報

特許 5158981 (平成24/12/21)  
特許 5246881 (平成25/ 4/19)  
特許 5263853 (平成25/ 5/10)  
特許 6450211 (平成30/12/14) 等

## 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所先進核医学基盤研究部放射性核種製造チーム  
永津 弘太郎

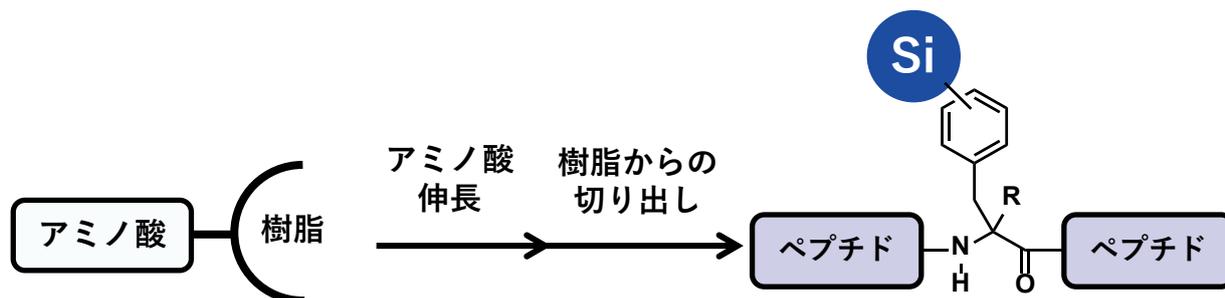
本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部(nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 20 医療用RI標識ペプチドの製造技術

加速器を利用して製造した、診断および治療に有用なRIの標識技術の開発  
特に、有機ケイ素化合物を活用した医療用RI標識ペプチドの製造技術の開発

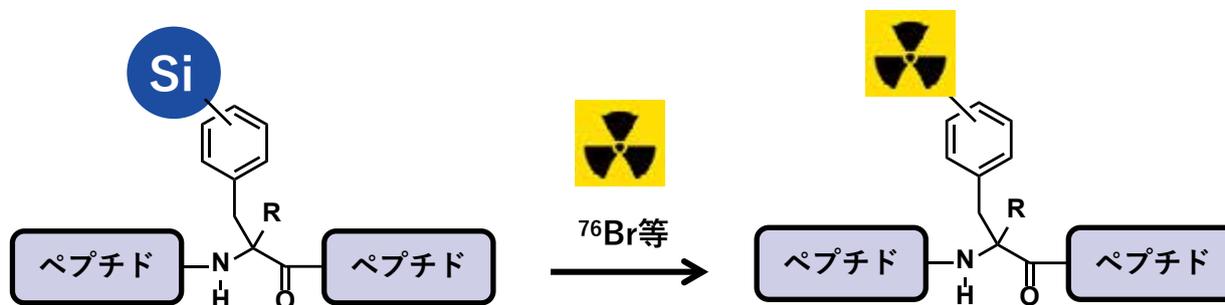
## シーズの特徴（成果含む）

- ・有機ケイ素アミノ酸を用いることで、ペプチド配列中の任意の位置に有機ケイ素基を導入したペプチド化合物合成が可能に。



Keyword : ペプチド、固相合成、導入制御、前駆体

- ・ケイ素との交換反応により、1-stepでRIを導入でき、従来法に比べて**約10倍の収率向上**を実現。



Keyword : RI標識ペプチド、収率向上、診断・治療薬

### アウトカム

精度の高い診断、副作用の少ない治療、個別化医療の実現。

### 知財等関連情報

特開2016-166151  
「ペプチド化合物及びペプチド化合物の製造方法」

### アウトカムに至る段階

基礎段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎研：P「RI医療用研究」  
渡辺 茂樹

### 連携希望企業

加速器、医薬品メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 21 加速器中性子利用<sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc等 医療用RI国産化に向けた開発

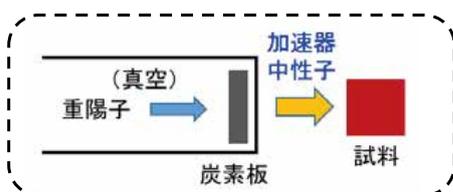
独自方式である加速器中性子を利用した、診断から治療に有用な多様な医療用RIの製造技術開発

## シーズの特徴（成果含む）

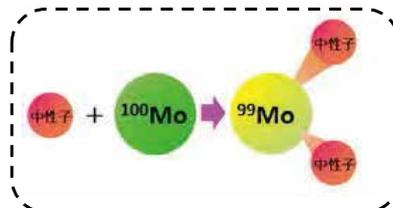
世界の懸案事項である核医学診断用<sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tcの安定供給に向け、わが国独自の方式である加速器中性子による<sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tcの製造・分離に関する基盤技術を確立した。また、加速器中性子を利用した本RI製造法は、がん治療用RIである<sup>67</sup>Cu, <sup>90</sup>Y等の製造にも有用であることを実証し、多様なRIの高品質化・大量製造化に関する研究を進めている。

### 加速器中性子照射

中性子生成用標的の開発



RI製造技術の開発



### 分離精製

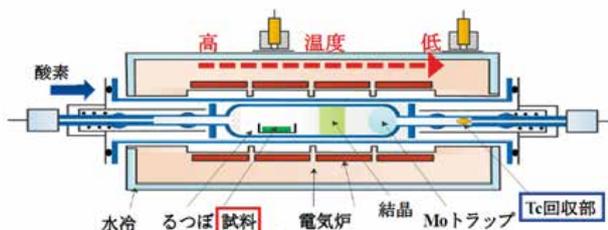
高純度分離・精製技術の開発

<sup>99</sup>Moから<sup>99m</sup>Tcを分離する  
熱分離装置の開発



得られた<sup>99m</sup>Tcの純度が放射性医薬品基準をクリアしていることを確認

—TcとMoの蒸発温度の違いを利用した分離法—



加速器で照射した<sup>99</sup>Moを含む酸化MoO<sub>3</sub>を電気炉に封入して、温度を上げて<sup>99m</sup>Tcを分離抽出

### アウトカム

<sup>99</sup>Mo等医療用RIの国産化

### 知財等関連情報

特許第6467574号「MoO<sub>3</sub>から<sup>99m</sup>Tcを熱分離精製する方法及びその装置」

### アウトカムに至る段階

基礎－応用段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎研(東海)：P「加速器中性子利用RI生成研究」  
橋本 和幸

### 連携希望企業

加速器、医薬品、分析機器メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 22 既存のMRI装置に後付けできる 頭部専用PET

既存のMRI装置に後付けできるPET一体型RFコイルの実現に必要な、PET検出器の高磁場対応化や、PET・MRI間の相互干渉最小化のための要素技術を確立しました。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・PETによるアルツハイマー病の発症前診断の普及を見据え、高性能かつ普及型の新しいPET・MRI同時撮像装置の開発を目指した。
- ・ここ数年欧米で開発が進むPET/MRI一体型装置は、被ばく低減や高い診断能の点で有利とされているが、高い装置コストが普及の妨げとなっている。
- ・そこで、既存のMRI装置にも後付けできるPET一体型MRI用RFコイルを開発。
- ・頭部専用PETとすることで、高い分解能での撮影が可能。
- ・PET・MRI間の相互干渉を最小化する技術を確立。医療機器メーカーとの共同開発が期待される。



図1 概念図

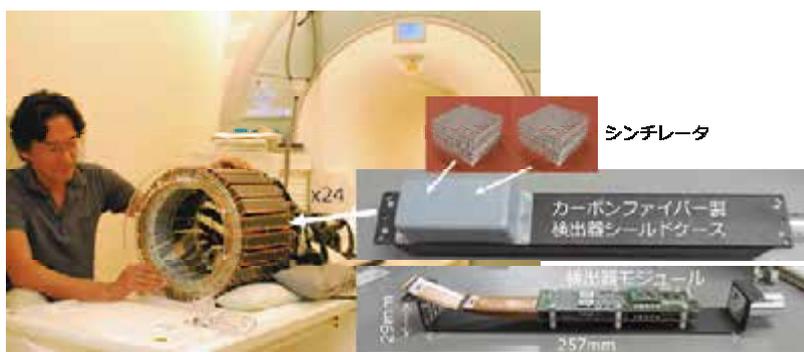


図2 試作装置およびPET検出器モジュール

### 特徴

- ・1.5mmの空間分解能を持つ直径26cm頭部専用PET
- ・3Tの高磁場MRIでPET/MRI同時撮像可能
- ・MRIによるPET性能変動は1%以下

### 応用

- ・認知症早期診断など脳疾患専用のPET/MRI同時検査

## アウトカム

画像診断機器

## アウトカムに至る段階

実用化段階

## 連携希望企業

医療機器メーカー

## 知財等関連情報

- 1) 特許第5713468
- 2) Nishikido et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 756, 6-13, 2014

## 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所先進核医学基盤研究部イメージング物理研究グループ  
山谷 泰賀

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 23 がんを見ながら治療：開放型PET装置

通常円筒型のPET検出器配置を開放型にしても、優れたPET同等性能を保持。患者さんに開放する部分ができることにより、PET画像を見ながらの粒子線治療や外科手術が可能になります。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・放射線がん治療の治療ビームを通すために十分な40cm幅以上の開放空間を有しながら、通常のPETと同等もしくはそれ以上の感度と分解能を保持。
- ・治療ビームの体内飛程のその場検証や、PETガイド化外科治療に応用可能。
- ・強い放射線場でも安定動作する耐放射線設計。
- ・小型で可搬型。

### 市販PET



大型・閉鎖型	形状	小型・開放型
固定	可搬性	可搬
なし	DOI	あり
4mm以上	解像度	3mm以下

### OpenPET

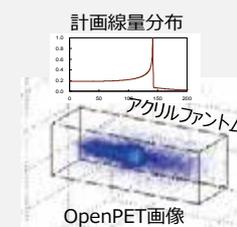


今後予定

- ・ HIMAC臨床試験
- ・ 外科治療等への応用検討



重粒子線がん治療において、治療ビームのその場可視化のコンセプト実証に成功



## アウトカム

医用イメージング

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 連携希望企業

医療機器メーカー

## 知財等関連情報

- 1) 特許第5808024号
- 2) 特許第5339562号
- 3) 特許第4756425号 (ほか取得済特許多数)

## 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所先進核医学基盤研究部イメージング物理研究グループ  
山谷 泰賀

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 24 医用画像を最適な階調で表示可能とするプラットフォーム

タブレット端末など画像調整機構を備えない情報端末において、画像診断時に医用画像を最適な階調で表示させるためのプラットフォームを提供できます。

## シーズの特徴（成果含む）

- 画像調整機構を備えないタブレットなどの情報端末で、画像診断時に医用画像をGSDF(Grayscale Standard Display Function)などで適切に較正された階調で表示するためには、表示アプリが画像調整機構を備える必要がある。
- 本シーズでは医用画像を最適な階調で表示するためのプラットフォームを提供し、本プラットフォーム上で医用画像表示アプリを実行するだけで、個々の表示アプリを対応させる（改造する）ことなく、最適な階調で画像を表示することができる。

### 医療用画像管理システム（PACS）



画像調整機構のない  
医用画像表示アプリ

医用画像表示  
プラットフォームを装備

#### アウトカム

医用画像診断、閲覧、読影

#### 知財等関連情報

- 1)特許2013-209143
- 2)PCT/JP2014/000456

#### アウトカムに至る段階

実用化段階

#### 担当者

本部情報基盤部  
奥田 保男

#### 連携希望企業

医療機器メーカー、医療用ソフトハウス

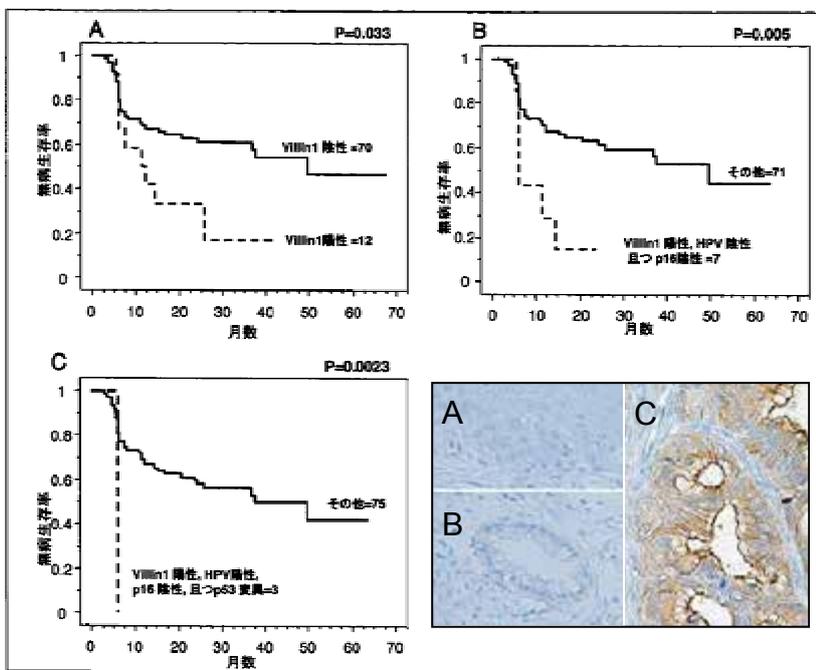
本シーズの問合せ先：本部イノベーションセンター研究推進課 (innov-prom@qst.go.jp)

# 25 子宮頸部腺がんの診断・ 予後予測マーカー

子宮頸がんの網羅的な遺伝子発現解析とゲノム構造の解析から、悪性度が高い子宮頸部腺がんの診断をサポートするバイオマーカーVillin1を同定しました。Villin1染色は予後診断に有効であり、さらにHPV感染、p16<sup>INK4a</sup>発現、p53変異と組み合わせると診断精度が向上します。

## シーズの特徴（成果含む）

- ✓ 2015年のがん統計予測では、子宮がんは女性の全がん罹患数約42万人の7%（3万人）で、5番目に多い。
- ✓ 子宮がんのうち子宮頸がんは、大きく扁平上皮がん、腺がんの2タイプに分類される。
- ✓ 腺がんは増加傾向にあり、一般的に扁平上皮がんより放射線（X線）療法は効きにくい。
- ✓ 腺がんは、細胞診検査で見つけにくく、形態が正常細胞に近い場合もあり、診断が難しい。



### 治療前生検試料の免疫組織化学染色結果と生存率

Villin1染色陽性は予後が悪く (A)、また HPV 感染、p16<sup>INK4a</sup>発現、p53変異の少なくとも1つを組み合わせると予後診断の精度が向上した (B、C)。

### 抗Villin1抗体を用いた子宮頸部の免疫染色

正常組織(A、B)、腺がん(C)。茶褐色部分は、抗Villin1抗体が結合した細胞を示す。

○子宮頸部腺がんは、炭素イオン線治療が効果的であり(Wakatsuki *et al.* Cancer 2014)、Villin1は、炭素イオン線治療適用症例選択マーカーとしても期待。

## アウトカム

医療：子宮頸部腺がん診断マーカー  
子宮頸がん予後予測マーカー

## アウトカムに至る段階

基礎研究段階

## 連携希望企業

医療・バイオ分野企業

## 知財等関連情報

特許第5371017号  
Cancer Biol Ther, 8: 1146-1153, 2009  
Cancer Biol Ther, 12: 1-10, 2011

## 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所重粒子線治療研究部  
今井 高志

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

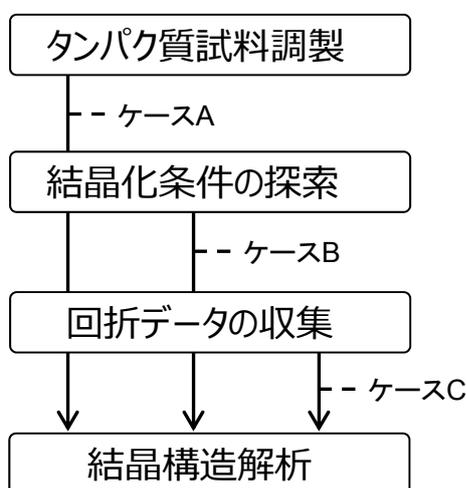
# 26 抗体の機能解析と分子設計

抗体の設計と機能向上を行うために、抗体抗原複合体の結晶構造解析を実施して、抗体と抗原の相互作用に関する立体構造情報を取得する。

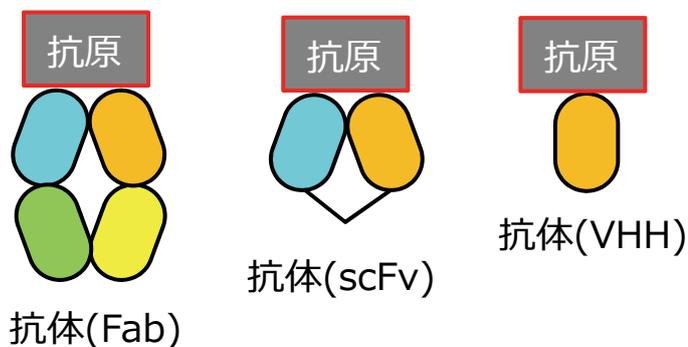
(タンパク質試料作製技術と量子ビームを使った精密構造解析による機能解析技術を活用)

## シーズの特徴 (成果含む)

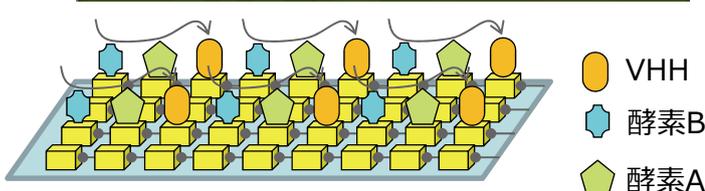
- ・タンパク質の試料調製や結晶構造解析(X線および中性子)で利用している技術を使い、抗原と抗体の複合体の相互作用様式を原子レベルで明らかにします。
- ・抗体の試料調製に関しては、遺伝子組換え実験(Fab以外)や、クロマトグラフィーによる精製も実施します。
- ・また、応用展開の一例として、タンパク質の自己集合能を利用することで複雑な系を構築した(1)反応システム、あるいは(2)感知システムの創製を目指しています。



技術協力として、上のケースAからケースCを想定しています。



### 抗体を使ったセンサーへの応用例(イメージ)



- 抗体の分子認識能の改良に加え、タンパク質分子の組織化にも取り組んでいます。  
-抗体や酵素を組織的に固定したセンサーの開発に向けた基礎研究-

### アウトカム

予防医学の発展  
(ガンの早期発見など)

### 知財等関連情報

Adachi M, et al. Protein Sci.  
23, 1349-1358(2014)  
[タンパク質の自己組織化に関連する研究]

### アウトカムに至る段階

複雑系を備えた新規センサーの創出

### 担当者

量子生命科学領域  
タンパク質機能解析グループ  
安達 基泰

### 連携希望企業

分析試薬、分析機器メーカーなど

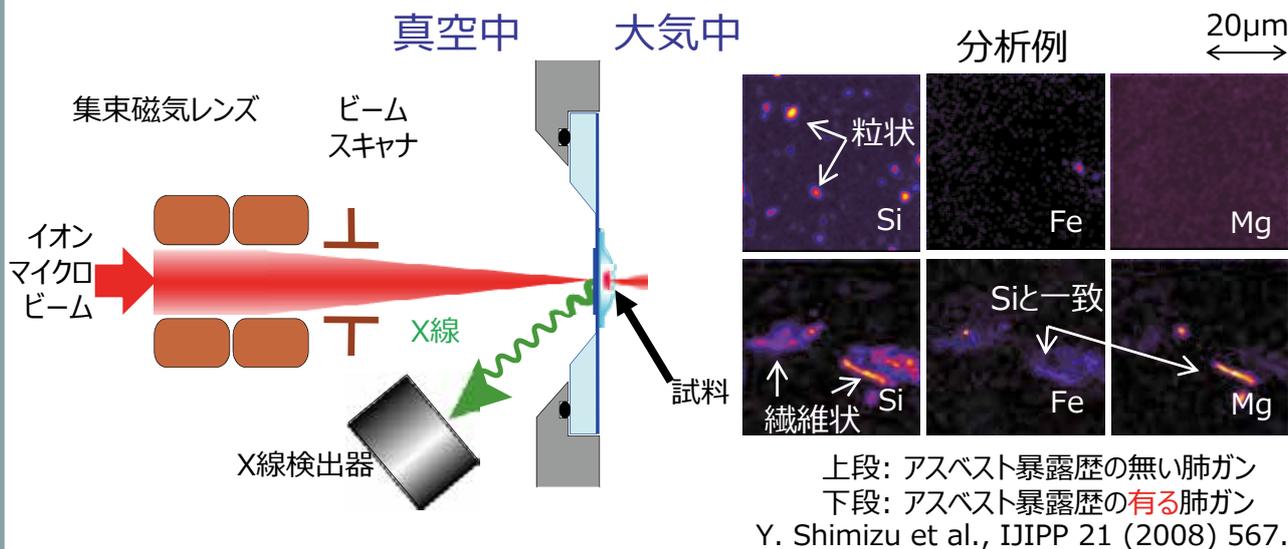
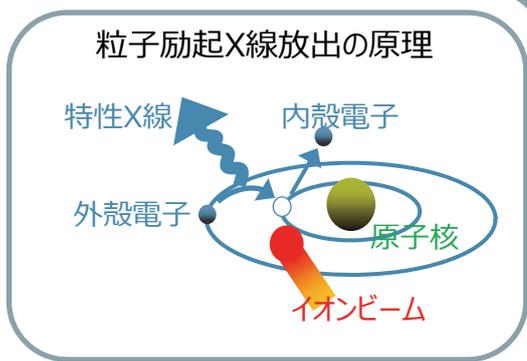
本シーズの問合せ先：量子生命科学領域研究企画部 (igls-kikaku@qst.go.jp)

# 27 大気マイクロ粒子線励起X線放出による生体内微量元素分布分析

イオンマイクロビーム照射により生体試料中の微量元素から発生する特性X線の強度を測定し、大気中に保持した試料の微量元素の分布を1 μmの高空間分解能で得ることができます。

## シーズの特徴（成果含む）

- MeV級イオンマイクロビームを大気中で照射し発生する特性X線を検出します。
- 1 μmの空間分解能で、ppmレベルの濃度まで測定できます。
- Na～Uの多数の元素分布を同時に測定します。
- 含水試料をそのまま大気中で測定できます。



○肺組織中のアスベストの位置・形状の観察、種類・量の推定  
少量の検体で実現。

### アウトカム

じん肺等の確定診断  
創薬、病態解明

### アウトカムに至る段階

基礎段階

### 連携希望企業

医療機関、製薬企業

### 知財等関連情報

- 1) J Clin Biochem Nutr 56 (2015) 74–83.
- 2) J Clin Biochem Nutr 49 (2011) 125–130.
- 3) IJIPP 21 (2008) 567–576.

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線高度利用施設部ビーム技術開発課  
佐藤 隆博

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 28 手のひらサイズの 非侵襲血糖値センサーの開発

先端固体レーザーと光パラメトリック発振技術を融合することにより、手のひらサイズの中赤外レーザーを開発し、国際標準化機構 (ISO) が定める測定精度を満たす非侵襲血糖測定技術を確認した。

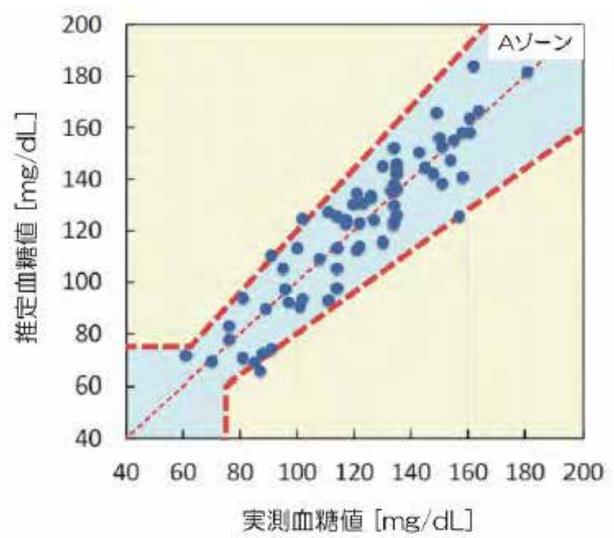
## シーズの特徴 (成果含む)



指先ほどの大きさのマイクロチップレーザーと光パラメトリック発振器を組み合わせることにより初めて小型化と高出力化に成功。



パームトップサイズの非侵襲血糖値センサーの開発に成功。



国際規格であるISO15197をクリアし、全被験者の測定結果が臨床に求められる精度をもつA-ゾーンにおさまった。

- 採血不要のため、痛みを伴わない。また、感染症のリスクが大幅に低減される。
- 年間～20万円必要とされる消耗品が不要のため、患者の経済的負担が軽減されると共に、感染症廃棄物の削減にもつながる。
- 公共施設などに設置することにより、健常者の予防意識を高めて生活習慣病人口の増加を抑制し、ひいては国民医療費の削減も期待できる。

**アウトカム**  
医療・生活習慣病診断

**知財等関連情報**  
特許第6415606

**アウトカムに至る段階**  
応用段階

**担当者**  
量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所量子応用光学連携研究グループ  
山川 考一

**連携希望企業**  
医療機器メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 29 生体イメージングと顕微鏡切片画像の位置合わせマーカー

複数の断層生体イメージング機器や光学顕微鏡を用いた動物実験において、画像を重ね合わせて、マルチスケールで検討することで得られる知見は多いのですが、位置のずれが問題となります。撮像対象の位置・姿勢の目印として使用可能で、かつ安価に製作可能な器具を考案・試作しました。

## シーズの特徴（成果含む）

MRIやCTを始めとする断層撮像機器を用いた動物実験においては、複数の機器で撮像された断層画像の重ね合わせや、切片と断層画像との突き合わせに際し、撮像対象の位置や姿勢を正確に把握する事が求められるが、腫瘍のように目印となる生体上の特徴が一定でない物を対象とする場合、その位置や姿勢の把握は非常に困難であった。

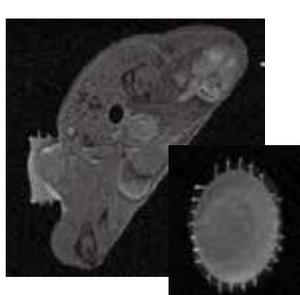
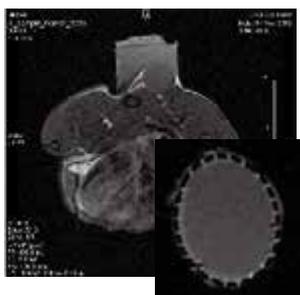
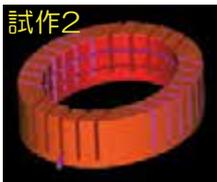
### 撮像中の腫瘍位置を把握するアイデア

腫瘍側面を覆う事ができ、正確なピッチ・高さで切れ込みや凹凸を設けた中空円柱状の樹脂部品を動物の皮膚上に配置し、隙間に速乾性のハイドロゲルを流し込む。固まると腫瘍・ゲル・樹脂部品が一体物となり、位置・姿勢の正確な目印となる。

試作1



試作2



- ▶ 平面形状を楕円形にする事で、3D空間における上下認識を容易にした。
- ▶ スリットにより縦横高さの位置情報を正確に把握。
- ▶ ゲル充填直後は毛細管現象でスリットに効率良く流入。
- ▶ ゲルが固まると腫瘍組織を固定。
- ▶ ゲルは水分を含む為、MRIで見える。樹脂部品は見えない。
- ▶ 切片で用いる為には腫瘍と一緒にカミソリで切断できる程良い硬さの樹脂を検討中。

○マルチモダリティ・マルチスケール実験における位置決め精度が向上した。

### アウトカム

前臨床研究開発

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

実験器具製造販売企業

### 知財等関連情報

特開2014-226226

国際公開番号：WO 2014/188693 A1

### 担当者

量子生命科学領域  
青木 伊知男

本シーズの問合せ先：量子生命科学領域研究企画部 (igls-kikaku@qst.go.jp)

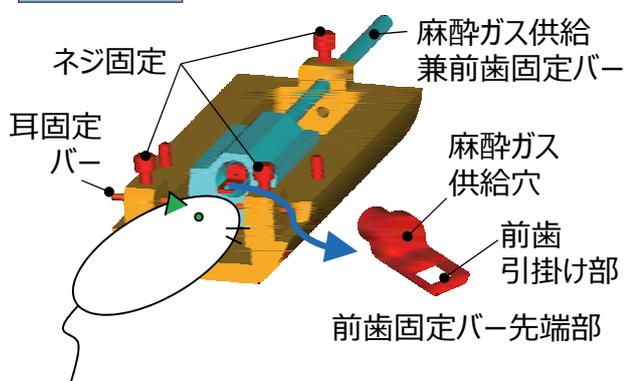
# 30 ワンタッチ動物頭部固定器具

高磁場MRIなど前臨床イメージング装置で利用可能な、麻酔下の動物頭部を安全かつ迅速に固定する器具を新規に考案・試作しました。

## シーズの特徴（成果含む）

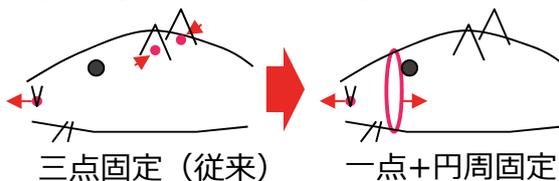
MRI・PET・CTに代表される前臨床生体イメージングにおいて、麻酔下の小動物固定の良否は得られる断層画像の質を大きく左右する重要な要素の一つであるが、従来の固定方法は手間が大きい上に、作業者のスキルによって固定状態にばらつきが起こり易い等の問題があった。

### 従来技術



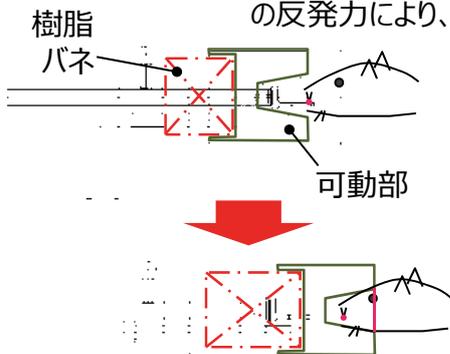
### 省スペースで簡単に固定できるアイデア

従来の頭部固定の常識であった三点固定を、一点+円周固定方式に置換えてみる。動物の固定作業において、最も難しい耳固定を省略する事で、面倒な作業が無くなり、同時に横方向のスペースを大きく節約できる。



### アイデアを形に

左下図のような機構を有する樹脂製部品を設計・試作した。動物を持った手で傾斜穴を持つ可動部を押しながら歯を引掛け手を離すと、樹脂バネの反発力により、傾斜穴が動物の頭蓋骨に対し前方から押付けられる。



固定部



可動部



○動物に優しい撮像・断層画像の画質向上・作業スペースの節約・実験の大幅効率化を実現した。

### アウトカム

前臨床研究開発

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

実験器具・MRI製造販売企業

### 知財等関連情報

特許第5317279号

### 担当者

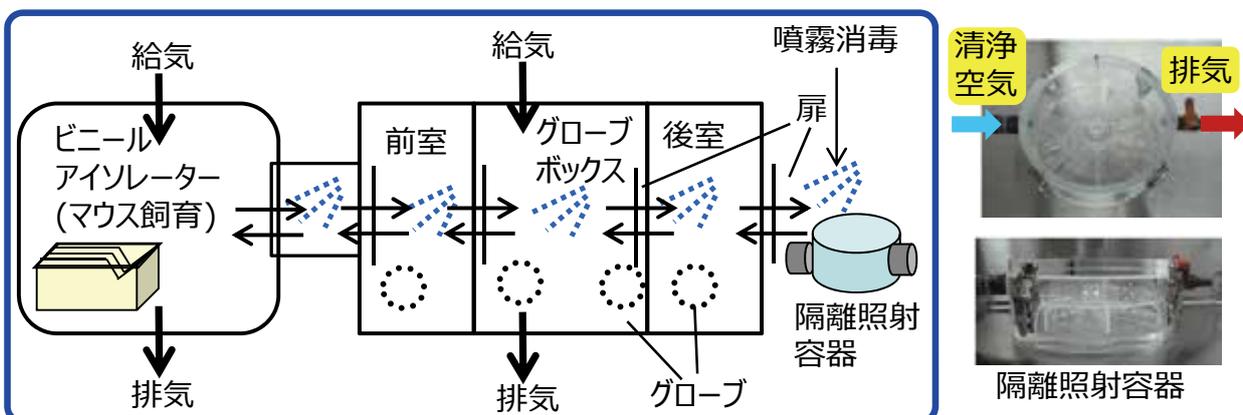
量子生命科学領域  
青木 伊知男

# 31 高度な微生物制御を可能とした移動式密閉装置

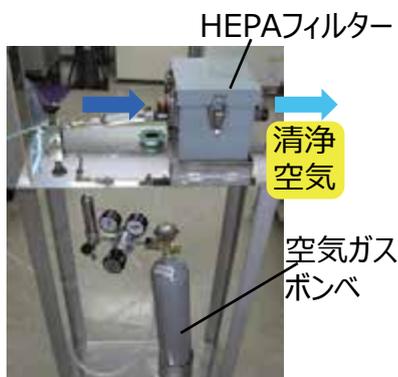
マウスの衛生レベル(保有微生物)を変えずにアイソレーターから搬出し、放射線照射後に衛生レベルを維持してアイソレーターへの再搬入が可能で、生体内微生物の挙動と放射線影響の解析ができます。

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・ビニールアイソレーターで飼育している無菌マウスや特定微生物保有マウスを隔離照射容器に収容し、搬出入接続装置を使って簡便に搬出入をすることができます。
- ・隔離照射容器に清浄空気を供給することで、長時間外部に持ち出すことが可能となります。



搬出入接続装置



清浄空気供給装置

- 動物が保有する細菌（例えば腸内細菌叢）と放射線影響の詳細な解析が可能となり、より効果的な治療薬・機能性補助食品開発に期待。

### アウトカム

医療・生活習慣病の治療・補助薬開発

### アウトカムに至る段階

基礎研究段階

### 連携希望企業

製薬企業・食品企業・飲料企業

### 知財等関連情報

- 1) 特許第5881041号 (隔離容器、搬入出用接続装置、生物隔離管理システム、及び隔離生物への放射線照射方法, 2016/2/12)

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所  
小久保 年章

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 32 リファレンス情報を必要としない高感度網羅的遺伝子発現プロファイル法(HiCEP法)

網羅的遺伝子発現解析法：High coverage expression profiling (HiCEP)法は、細胞や組織間の遺伝子発現(mRNA分子の量)の差を網羅的に測定する方法です。ゲノムや転写産物の情報に依存しないため、全ての生物で実施可能であるとともに、未知転写物の解析も可能です。

## シーズの特徴 (成果含む)

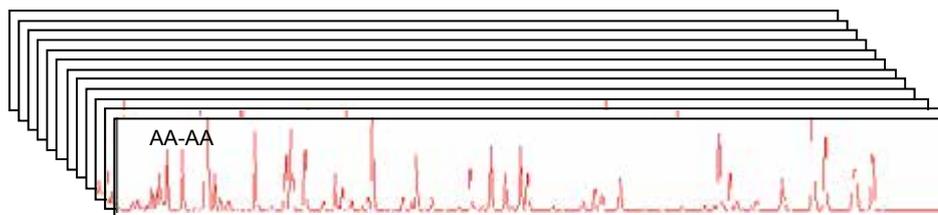


図1：キャピラリー電気泳動による波形データとしてデータを取得

mRNAを2本鎖DNAとした後、制限酵素による切断後両端にアダプターを配したライブラリを作製。512通りのPCRを行い、キャピラリーシーケンサーにより分離することにより、約30000種類(ヒト・マウス)の転写物の測定を可能にした。

再現性が極めて高いため、微小な差が検出可能である。

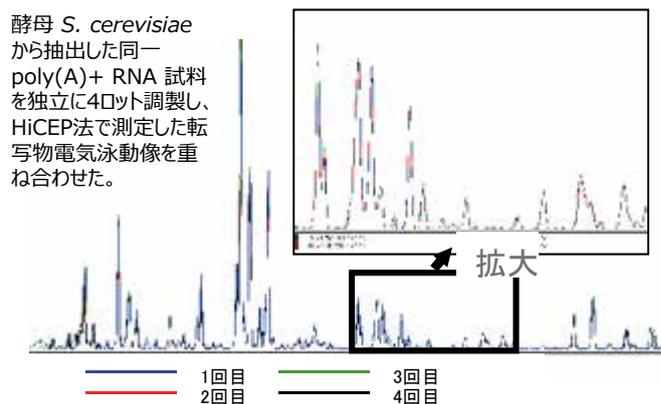


図2：高い再現性を示す

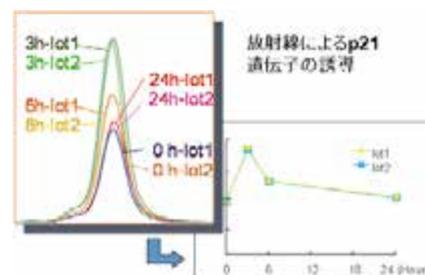


図3：微小な変化を検出できる定量性

○高感度な網羅的遺伝子発現解析法を確立した。  
全ての生物に適用可能なため、環境モニタリング等への応用も期待できる。

### アウトカム

網羅的転写産物の発現解析を必要とする研究テーマで利用される。

### アウトカムに至る段階

・実用化段階(基本特許は実施済)

### 連携希望企業

バイオ関連企業、環境試料分析企業、製薬企業等

### 知財等関連情報

登録番号：4217780  
※本特許は、基本特許の関連特許であり説明内容は基本特許の内容である。

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所放射線障害治療研究部  
安倍 真澄

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部(nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 33 異常染色体自動検出装置

放射線の生物学的線量測定に必要となる染色体を見るために、分裂中の細胞を自動的に検出する装置を、顕微鏡の自動化と画像処理技術によって作りました。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・放射線の計測方法のひとつに、生物学的線量計測法があり、そのための試料としてよく用いられているものに、染色体に見られる二動原体型異常がある。
- ・しかし、線量が低い場合、あるいは被験者が多い場合には多数の細胞を顕微鏡で観察する必要があり、自動化による作業の支援が求められていた。
- ・そこで、放医研では早くからこの装置に着目し、技術開発を進めており、分裂中の細胞を自動的に検出する、今までよりも小型で、安価で計測速度の速い試作機を作成。



染色体が見える分裂中の細胞  
(矢印が二動原体型異常)



試作機



スライドガラス上の分裂中の細胞を画像処理（特許）によって検出

- 染色体の異常を検出する自動解析装置へ向けて前進

### アウトカム

線量測定用染色体自動解析装置の開発

### アウトカムに至る段階

実用化段階

### 連携希望企業

ソフトウェアメーカー、光学機器メーカー、計測機器メーカー、医療機器メーカー

### 知財等関連情報

- 1) 特許第4344862号  
「観察対象の自動検出方法及び装置」
- 2) Health Physics 98 (2010) p.269

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所  
研究企画部重粒子線がん治療普及推進グループ  
古川 章

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部(nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

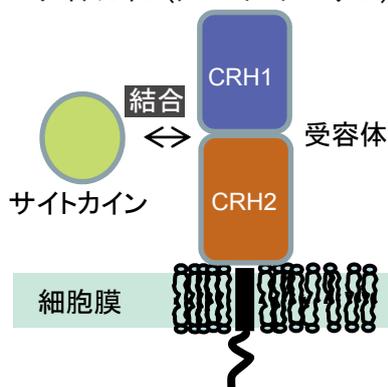
# 34 創薬標的タンパク質および サイトカイン受容体複合体の構造解析

急性放射性症候群や感染症のための治療薬を開発することを最終目的として、創薬標的タンパク質と化合物、あるいは造血に関わるサイトカインとその受容体との間に存在する分子認識機構を解明し、次世代での候補薬の創出を指向した分子設計の基礎的知見を得る。

## シーズの特徴（成果含む）

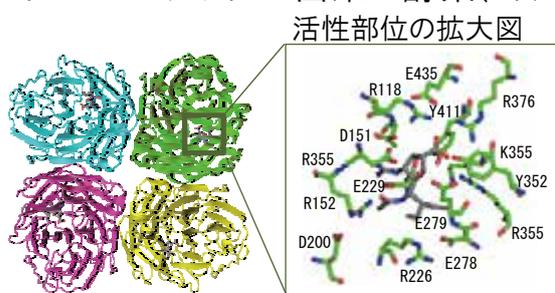
- ・造血系の中で、これまで立体構造解析が実施されていないトロンボポエチンとその受容体との複合体の結晶を作製し、X線結晶構造解析によって、複合体の立体配置と分子間の相互作用様式を原子レベルで明らかにします。
- ・懸念される感染症に着目し、薬剤耐性をテーマとして、X線および中性子を利用して高精度構造解析を行います。
- ・以上の取り組みによって、薬の候補となるような分子を設計するための知見を取得します。

血小板の造血に関わる  
サイトカイン(トロンボポエチン)



受容体の細胞外部分  
の試料調製を実施して  
います。

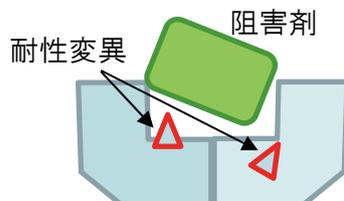
インフルエンザウイルス由来の酵素(ノイラミダゼ)



活性部位の拡大図

薬剤(タミフル  
等)との複合体  
の高精度構造  
解析を目標と  
しています。

エイズウイルス由来の酵素(HIV-1プロテアーゼ)



HIV-1プロテアーゼの薬  
剤耐性機構の解明に向  
けて研究を進めています。

- エイズ治療薬の標的であるプロテアーゼの全原子結晶構造解析に成功しています。  
-次世代において候補薬となるようなシーズの開発に向けた基礎研究-

### アウトカム

感染症克服、急性放射線障害治療薬の  
創出、副作用のリスクを低減

### アウトカムに至る段階

創薬標的タンパク質等の構造解析、  
造血因子によるシグナル伝達機構の解明

### 連携希望企業

製薬企業

### 知財等関連情報

Adachi M, et al. Proc Natl Acad Sci USA.  
106, 4641-4616(2009)  
[HIV-1プロテアーゼの中性子結晶構造解析  
(世界初)]

### 担当者

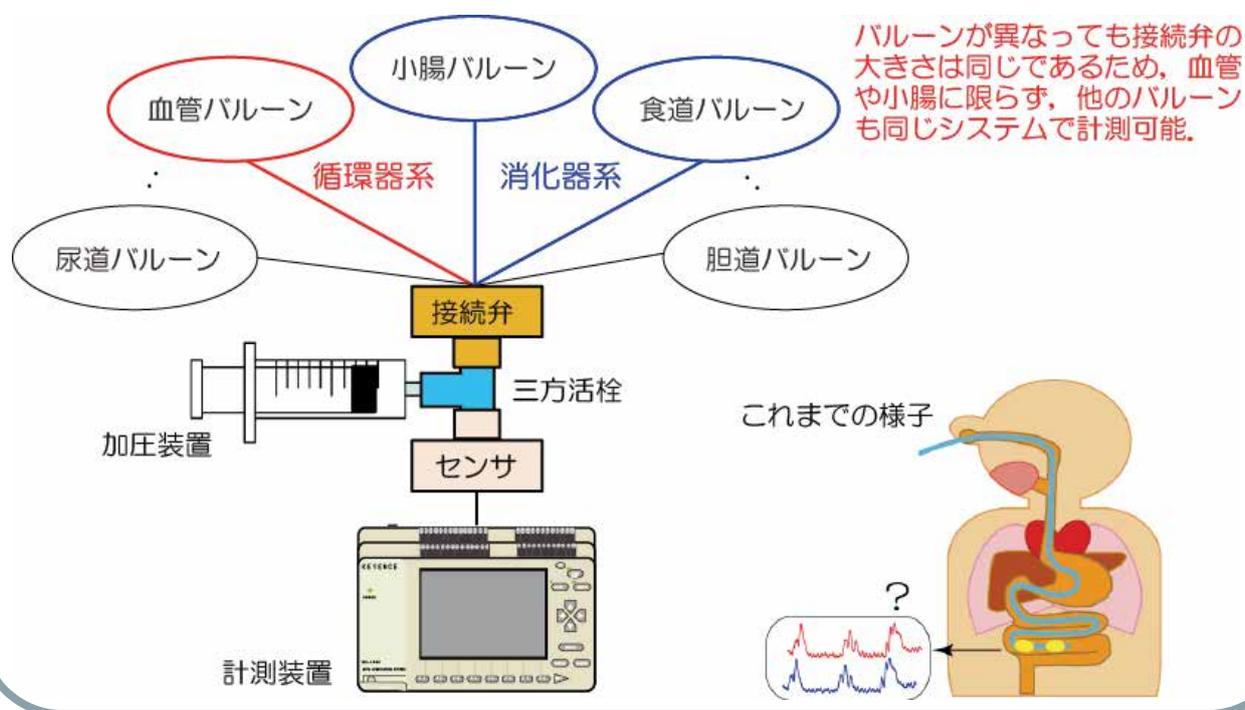
量子生命科学領域  
タンパク質機能解析グループ  
安達 基泰

# 35 バルーンを用いた臓器診断法

医療分野では、治療を行う際に様々な生体情報を必要としますが、本技術は治療で使われるバルーンカテーテルを改良することなく利用し、臓器の運動などの生体情報を計測する技術です。

## シーズの特徴（成果含む）

医療分野では、管腔臓器が狭窄したり閉塞した場合などにバルーンカテーテルが使われますが、体内にカテーテルが挿入されたとしても臓器の状態は不明であり、正確な診断が困難でした。本手法は、バルーンを拡張する接続弁に圧力センサを接続することにより臓器の運動状態を診断できる技術です。本手法の特徴は、全身様々な場所で使われるバルーンカテーテルに対して導入することができる点にあります。



### アウトカム

消化管では薬剤の種類が少ないため新薬の開発などが期待されます

### アウトカムに至る段階

胃・小腸運動計測では臨床試験を実施中

### 連携希望企業

薬剤メーカー  
カテーテル開発製造メーカーなど

### 知財等関連情報

特許第4934847号  
「イレウスチューブ型小腸内圧計測及び小腸内視システム」、平成24年3月2日登録

### 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所光量子科学研究部  
レーザー医療応用研究グループ  
岡 潔

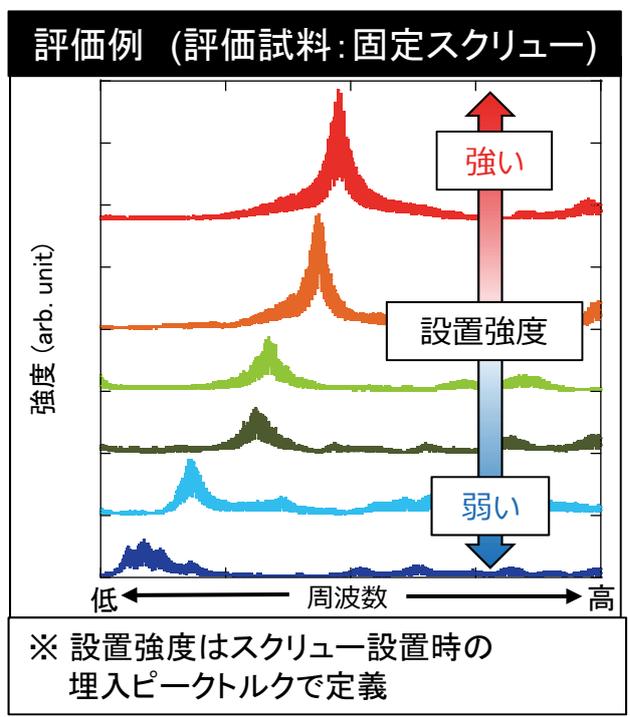
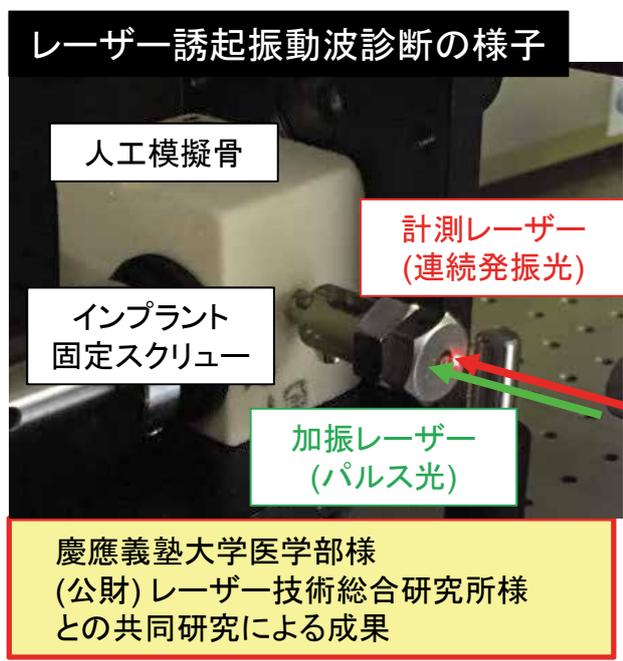
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 36 レーザー誘起振動波診断を用いたインプラント設置強度の定量評価

レーザーパルス照射で生じる試料の振動を、レーザー振動計で計測することにより、高速にインプラント設置強度の定量評価を可能にする

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・レーザー誘起振動波診断は、パルスレーザー (加振レーザー) を照射することで試料を振動させ、誘起された振動をレーザー振動計で計測する診断手法
- ・振動ピーク周波数からインプラントの設置強度を定量評価することが可能
- ・従来難しかった、術中に適応可能な診断技術の開発を推進



- 測定時間は10秒以内と高速、試料にレーザーを照射するだけと簡便
- 固定スクリュー以外のインプラント (人工関節カップなど) にも対応可能

### アウトカム

医工連携  
新規医療機器開発

### アウトカムに至る段階

製品化段階

### 連携希望企業

医療機器メーカー

### 知財等関連情報

“インプラント設置強度評価方法、インプラント設置強度評価装置、およびプログラム”  
PCT/JP2018/033978

### 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所光量子科学研究部X線レーザー研究グループ  
錦野 将元

医療とバイオ技術

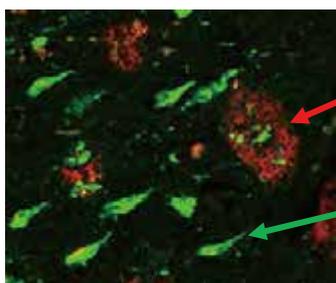
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 37 認知症の病態解明、診断法、治療法 および創薬支援技術の研究開発

タウ蛋白質を可視化するPETイメージング薬剤を活用して、タウ蛋白の蓄積を特徴とする各種認知症の病態解明、診断法・治療法および創薬支援技術を開発する。

## シーズ内容（成果含む）

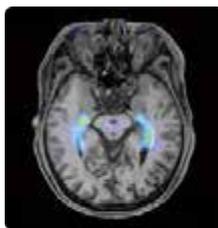
- ・脳内タウ病変に特異的に結合する化合物PBB3（薬剤の標識体： $[^{11}\text{C}]\text{PBB3}$ ）を見出し、アルツハイマー病の脳内のタウ蓄積を明瞭に画像化することに成功。
- ・アルツハイマー病に限らず、非アルツハイマー型認知症のタウ病変にも結合することが判明し、認知症診断に広く応用できることが明らかに。
- ・治療薬を臨床試験で評価する際にも、モデルマウスとヒトで同じPET薬剤が利用できることから、治療薬開発の基礎と臨床を切れ目なくつなぐことが可能に。



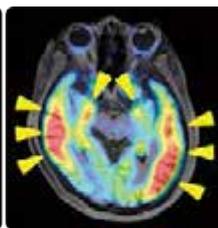
老人斑  
( $\text{A}\beta$ 病変)

神経原線維変化  
(タウ病変)

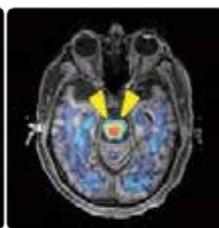
アルツハイマー病の2大病理である老人斑と神経原線維変化 PBB3/PM-PBB3は神経原線維変化（タウ病変）を認識する



健常対照



アルツ  
ハイマー病



進行性  
核上性麻痺

アルツハイマー病および非アルツハイマー型認知症患者  
脳のタウ蓄積 矢頭（黄色）がタウの蓄積部位を示す

- 特許をAPRINOIA Therapeutics Inc.社にライセンス。
- より高性能（高感度、特異度）で汎用性の高い  $[^{18}\text{F}]\text{PM-PBB3}$  を開発。国際共同臨床試験 & 臨床研究を開始、今後拡大予定。

## アウトカム

認知症の  
・病態解明  
・診断法、治療法の開発  
・治療薬の開発

## アウトカムに至る段階

実用化

## 連携希望企業

診断薬、治療薬、医療機器、各企業

## 知財関連情報

1. 特許：JP5422782B, EP2767532B1, AU2012397435, I627166, CN104736524B, HK1208672
2. Maruyama et al. Neuron (2013)

## 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所  
脳機能イメージング研究部  
堀口 隆司

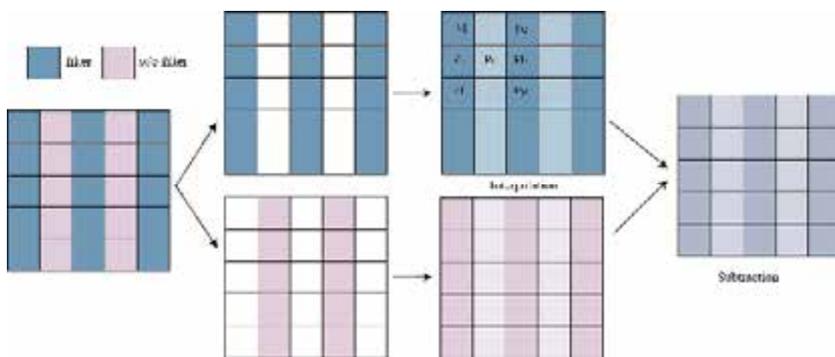
本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 38 エネルギーサブトラクション撮影用グリッド

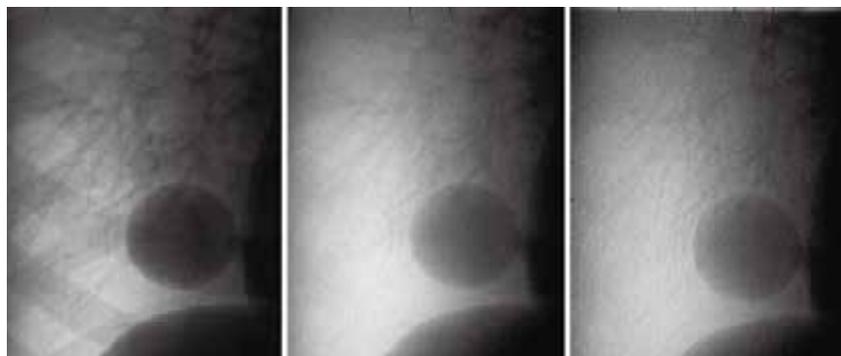
本件グリッドを用いて1回のX線撮影で、エネルギーサブトラクション画像が取得できます。

## シリーズの特徴 (成果含む)

- ・このグリッドは、X線検出器(例えばフラットパネル検出器)の検出素子幅の金属が、交互に配置されています。例として、下図にはライン状の配置を示します。
- ・このグリッドをフラットパネル検出器に取り付けX線撮影を行います。
- ・1回のX線撮影でよいため、呼吸性移動を含む部位でも、臓器のズレがないエネルギーサブトラクション画像が取得できます。
- ・X線透視画像(動画)のエネルギーサブトラクション画像も取得できます。
- ・X線制御の入れ替えなく、既設のX線装置に装着できます。



- ・取得したX線画像から、金属のある画素と無い画素を分けます。歯抜け部分の画素は、周辺の画素値から補間により求めます。これにより、金属ありと無しの画像が、画像全領域で作成できます。
- ・これらの画像を減算する事で、エネルギーサブトラクション画像が作成できます。



グリッド無しで撮影したX線画像

異なる管電圧で撮影した、エネルギーサブトラクション画像

グリッドありで1回撮影で取得したエネルギーサブトラクション画像

- ・人体胸部ファントムを用いて、本方法にてエネルギーサブトラクション画像を作成した。
- ・従来のエネルギーサブトラクション画像と同様に、骨構造を除去できる。

## アウトカム

医療・疾病診断

## 知財等関連情報

特願 2016-213999号

## アウトカムに至る段階

応用段階・製品化段階

## 担当者

量子医学・医療部門  
放射線科学総合研究所  
物理工学部 治療システム開発グループ  
森 慎一郎

## 連携希望企業

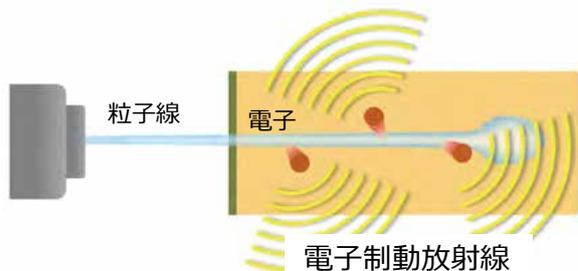
医療機器メーカー、フィルムメーカー

本シリーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 39 制動放射線計測による 治療ビームイメージング技術の開発

制動放射線計測によって粒子線がん治療用の治療ビームをリアルタイムでイメージングする技術を独自開発

## シーズの特徴（成果含む）



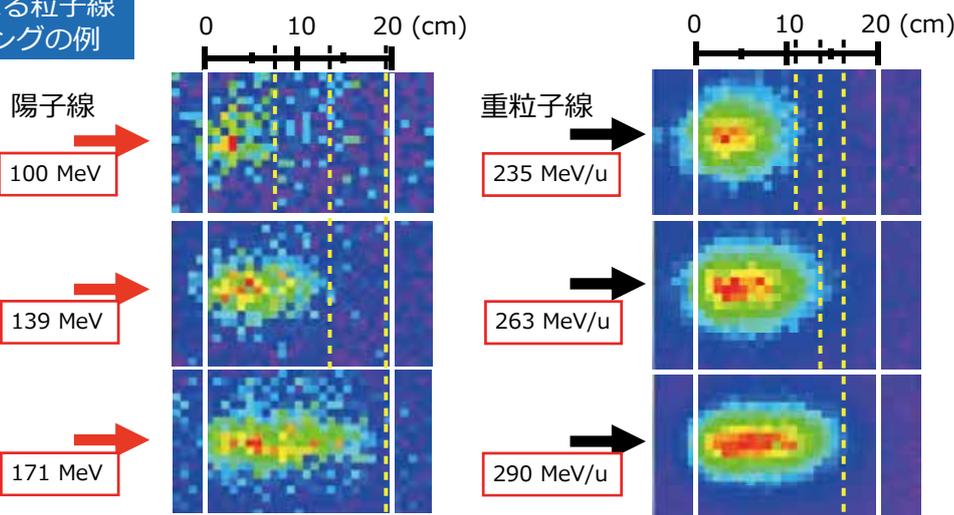
粒子線で弾き飛ばされた電子が  
ビーム入射と同時に 多量の電子制動放射線 を放出

ビーム入射と同時放出の放射線  
により“リアルタイム見える化”

多量に放出される放射線を使用  
微弱な治療ビームも“見える化”

制動放射線のエネルギー情報を  
利用することで減弱補正も可能

### 本手法による粒子線 イメージングの例



陽子線、重粒子線のビーム軌跡をリアルタイムイメージング

### アウトカム

粒子線がん治療ビームの  
リアルタイムイメージングを実現

### アウトカムに至る段階

臨床応用

### 連携希望企業

放射線（X線）計測機器製作企業

### 知財等関連情報

- 1) 特許第5721135号 (US Patent 8909495)
- 2) 特願 2017-215079
- 3) Phys. Med. Biol., 62, 5006-5020 (2017).
- 4) Nucl. Instrum. Meth. A, 833, 199-207 (2016).

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線生物応用研究部  
山口 充孝

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 40 生物試料用マイクロチップ技術とその応用

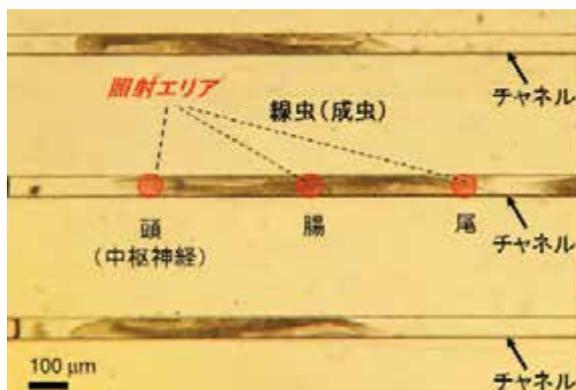
微小動物の動きを麻酔を用いずに抑えることで、生きたままでの長時間の観察や放射線局部照射実験を実現する高い保水性能を有する生物試料用PDMSマイクロチップ。

## シーズの特徴（成果含む）

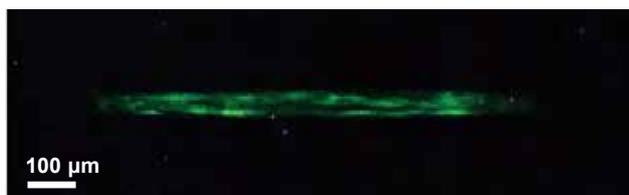
培養細胞や微生物、微小動物などを生きたまま長時間培養または麻酔なしで収容保定するための高い保水性能を有するPDMSマイクロチップ。  
限られたスペースでの各種生物試料の長時間観察などにも広く応用可能。



厚さ300 μmの線虫収容保定用PDMSマイクロチップ（左）。



マイクロチップの直線状のチャンネル（溝）に収容した線虫（成虫）。



マイクロチップのチャンネルに収容した線虫の筋細胞活動のイメージング。PDMSは自家蛍光がなく蛍光観察に好適。

## 応用例



イオンマイクロビーム照射装置（右）を用いた線虫へのマイクロビーム局部照射。マイクロチップの厚さをイオンビームが透過可能な1mm以下としたことで、ヒットしたイオンの正確な検出と照射後の線虫の観察を実現。

## アウトカム

生物試料の長時間ライブイメージング観察用容器

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 連携希望企業

マイクロ流路チップ等微細加工メーカー・医療バイオ実験機器メーカー

## 知財等関連情報

- 1) 特願2018-099452
- 2) 特願2019-045480
- 3) PCT/JP2019/20219
- 4) 意願2019-006625, 意願2019-12322 他
- 5) J. Neurosci. Methods, **306**, 2018, 32-38.
- 6) J. Vis. Exp., **145**, 2019, e59008.
- 7) YouTube QST-Takasaki チャンネル「ワームシート」

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎研：P「マイクロビーム生物研究」  
鈴木 芳代

# 41 優れた放射線耐性、準非破壊、リアルタイムの大電流イオンビーム形状分布診断法

測定が難しい大電流・直流イオンビームの形状分布を、民生用のサーモグラフィックカメラにより得られた温度分布から導出する新たな診断方法を開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

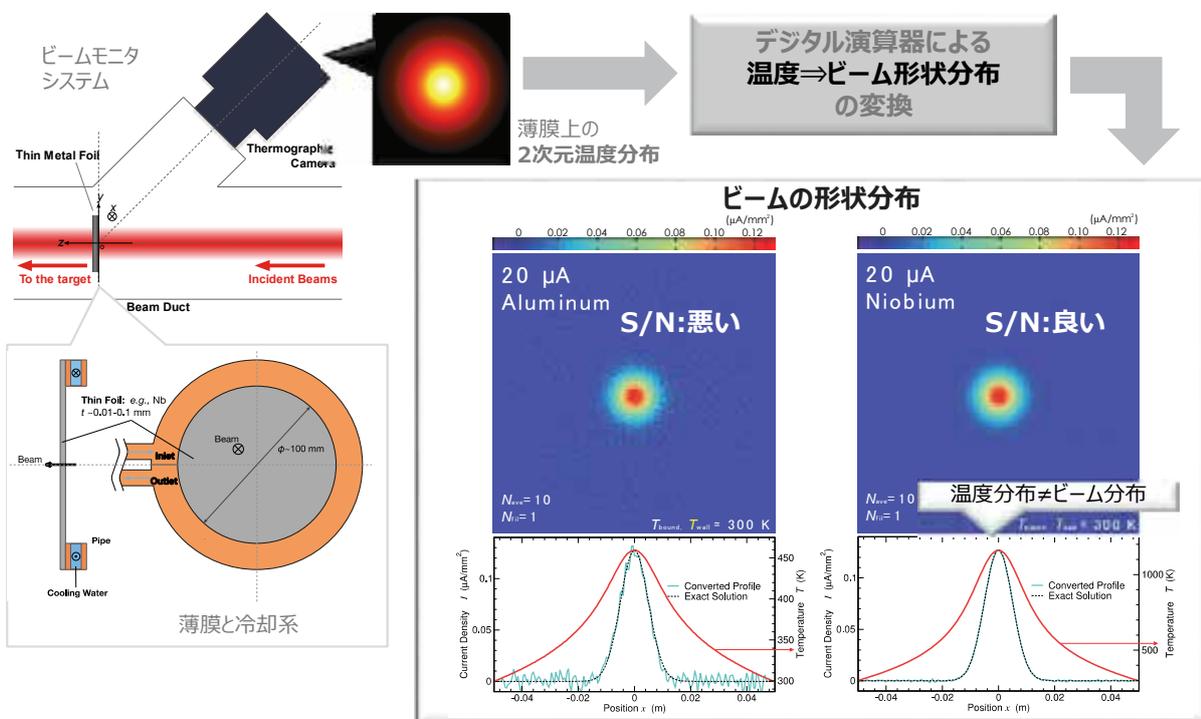
大電流・直流イオンビームの形状分布測定の実況:

- シンチレーションモニタ：蛍光板の熱によるダメージ、CCDの放射線損傷
- ワイヤモニタ：射影のため中空形状の測定ができない、非リアルタイム

⇒ これら欠点を解決する新たなビームモニタの提案:

サーモグラフィックカメラ + 金属薄膜 + 数値演算

- 非冷却型マイクロボロメーター(素子)は中性子線に対する優れた耐性を持つ
- 薄膜上の温度分布 ⇒ ビーム形状分布への変換アルゴリズムを開発



- シミュレーションにより高いS/Nを得られる適切な金属薄膜が判明; **ニオブ**
- 変換法はシンプルな積和演算; デジタル演算機(FPGA, DSP etc.)で演算可能
- 大強度ビームの形状測定が行える準リアルタイム/準非破壊モニタを実現できる

### アウトカム

BNCT照射系、RI生成系開発分野

### アウトカムに至る段階

基礎研究段階

### 連携希望企業

加速器、検出器開発メーカー

### 知財等関連情報

- 1) Ken Katagiri, et al., Rev. Sci. Instrum., 85, 033306-1 (2014).
- 2) 特開2015-75410

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所物理工学部サイクロトロン運転室  
片桐 健

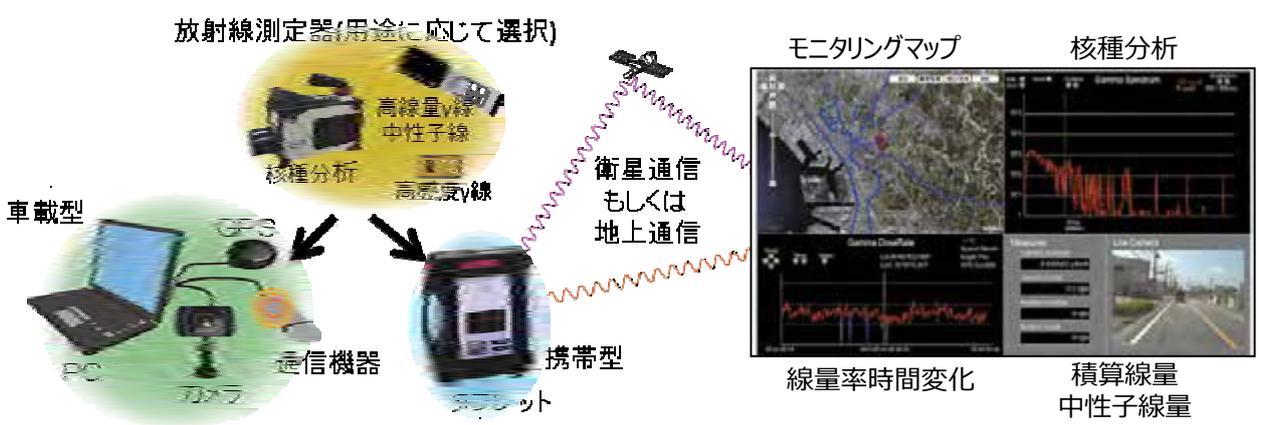
本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部(nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 42 放射線モニタリングシステム 「ラジプローブ」

放射線災害等が起こった時に、放射線測定情報、位置情報、環境映像を劣悪な通信環境下でもリアルタイムに指揮本部へ送信するシステムを開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・派遣者が携帯もしくは車両に搭載することによって、指揮本部がリアルタイムに現地の画像付きで汚染状況などの情報を確認可能となり、派遣者の被ばく線量低減化などの安全確保を補助することが可能に。
- ・指揮本部が情報を把握することで、現地活動の指揮や緊急時の退避指示が可能。
- ・放射線テロ現場の検知活動にも適用。
- ・移動中の放射線測定情報を記録することにより自動的にモニタリングマップを作製。地域や公園等の汚染状況の把握にも有効。



○放射線災害発生時に現地の状況を遠隔地でリアルタイムに確認可能なシステムを開発。

### アウトカム

放射線災害対応、放射線計測

### 知財等関連情報

特許第5850449号

### アウトカムに至る段階

実用化段階（2012年度製品化）

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所管理部工務課  
宮後 法博

### 連携希望企業

災害対策関連企業

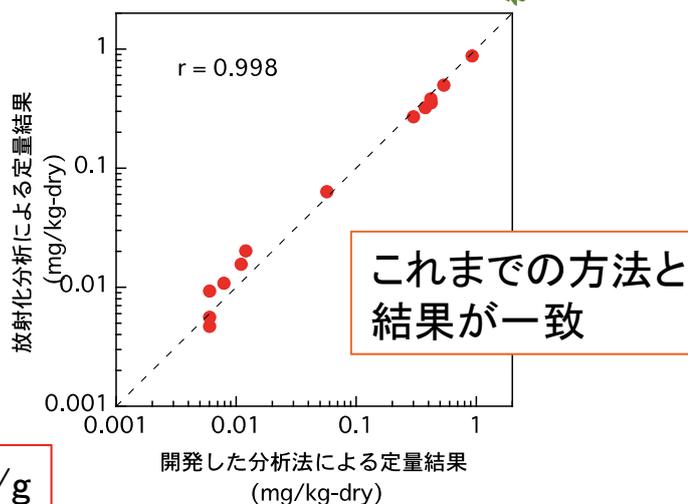
本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 43 食品中の安定ヨウ素濃度の定量技術

人にとって必須元素であるヨウ素が食品中にどれだけ含まれているかを定量するための技術です。

## シーズの特徴(成果含む)

- ・これまでは原子炉を使う放射化分析法が使われておりアクセスしにくかった。
- ・そこで、より安全かつ簡便な方法で測定するために、水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)を用いて食品試料を溶液化し、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)で定量する方法を開発。
- ・本法は定量性が高く、また一度に多くの試料を取り扱える点でも優れている。



ヨウ素の定量下限: 0.001  $\mu\text{g/g}$

○ 動植物試料中に含まれる微量の塩素、臭素およびヨウ素の定量を安全かつ簡便に同時に行うことが可能

### アウトカム

高機能性食品  
動植物試料中の微量ハロゲン測定

### アウトカムに至る段階

実用化段階

### 連携希望企業

食品成分の分析企業

### 知財等関連情報

- 1) Anal. Chim. Acta 570 (2006) 88-92.
- 2) Proc. Radiochim, Acta 1 (2011) 279-283.

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所  
高度被ばく医療センター福島再生支援研究部  
田上 恵子

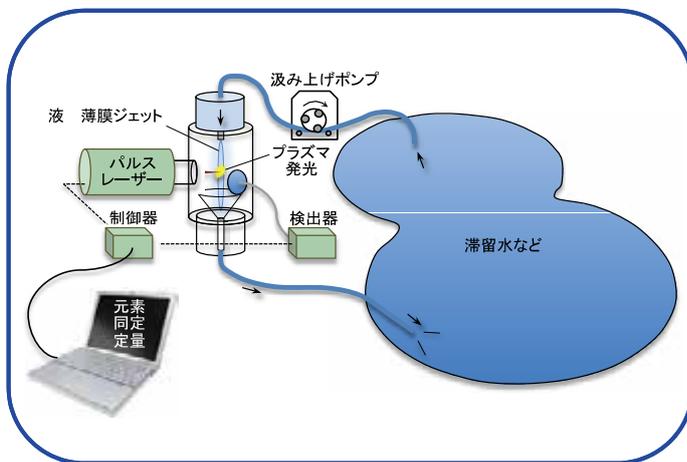
本シーズの問合せ先: 量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 44 過酷環境下溶存元素その場分析

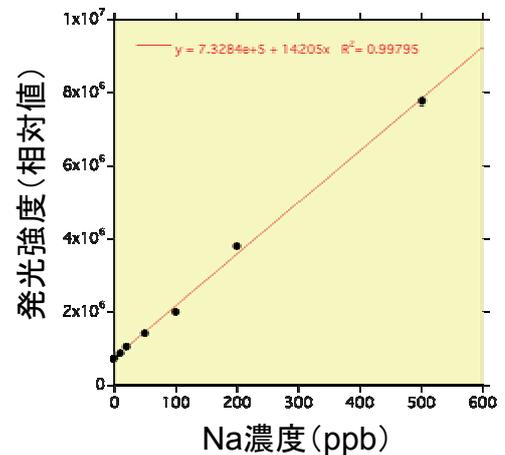
液体を超薄膜ジェットにしてレーザープラズマ発光法と組合せることにより、放射線環境下等でも溶存元素をその場で検知できる技術を提供します。

## シーズの特徴（成果含む）

- ❖ 分析試料を液体ジェット化して数十μm厚の超薄膜にすると、レーザー生成プラズマが増強されて検出感度が飛躍的に向上します。
- ❖ 試料の前処理が不要で水中の複数元素が同時に同定可能です。また、元素によっては濃度1,000 ppmを超える溶液が希釈無しで計測できます。
- ❖ 特にアルカリ金属元素(Na, Rb, Csなど)は高感度で検知できます。



分析技術のイメージ図：例えば、河川や溜池、滞留水などから水を汲み上げて、その場で溶存元素を分析することを想定しています。



Na水溶液の例：直線性の良い検量線が得られます。検出限界値は0.1 ppbと見積もられました。

- アルカリ金属元素はICP発光分光法を凌ぐ検出感度を実現
- 自動化、無人化により高放射線環境にも適用可能

### アウトカム

その場溶存元素同定・定量

### 知財等関連情報

- 1) Optics Express, 22, 24478(2014)
- 2) レーザー研究, 42(12), 892(2014)

### アウトカムに至る段階

基礎～応用段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所東海量子ビーム応用研究センター  
大場 弘則

### 連携希望企業

分析機器メーカー

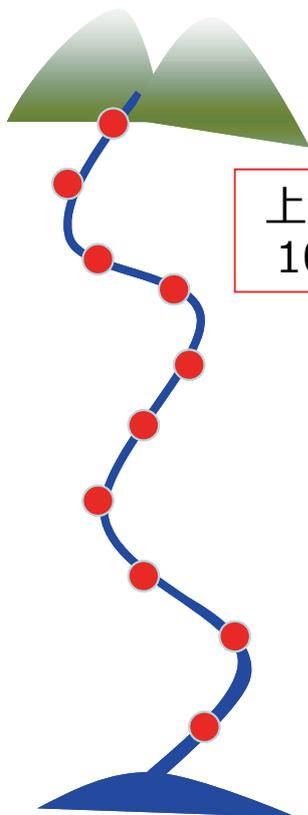
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 45 日本の河川水中元素濃度データベース

我が国の河川水中の元素濃度を主要な45河川について、上流から下流までの10地点で測定し、データベースにしました。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・リチウムからウランまでの56元素、主要イオン、pH等の計64項目について調査した結果をデータベース化。
- ・平均濃度、範囲などの統計量も提供。
- ・ろ過した試料水は、冷蔵保存し、いつでも利用可能。



上流から下流域までの  
10地点の元素データ



○ 河川水中元素濃度データベースを提供可能

### アウトカム

水試料のアーカイブ

### アウトカムに至る段階

実用化段階

### 連携希望企業

環境試料分析企業

### 知財等関連情報

- 1) J. Alloy Compounds 408/412 (2006) 525-528.
- 2) Chemosphere 65 (2006) 2358-2365.

### 担当者

量子医学・医療部門  
高度被ばく医療センター放射線医学総合研究所廃棄物技術開発研究チーム  
田上 恵子

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

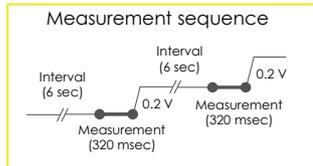
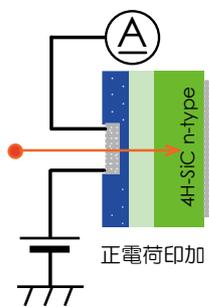
# 46 半導体デバイスのイオン入射破壊効果の評価

パワーデバイスで発生する単一イオン入射による破壊現象を評価するためのイオン照射技術です。

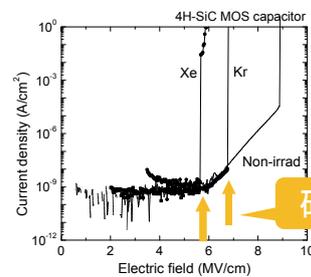
## シーズの特徴（成果含む）

- ・重イオンがパワーデバイスに入射した際に発生する電荷を計測することで、イオン入射破壊（シングルイベント破壊）を評価します。
- ・重イオンの種類やエネルギー（エネルギー付与、イオンの入射深さ）を変化させることで、パワーデバイスのシングルイベント耐性を明らかにできます。

イオンビーム入射 + デバイ스에バイアス電圧印加 → 発生電荷や電流を計測



正電荷印加（蓄積方向）0.2 V step



炭化ケイ素(SiC)金属-酸化膜-半導体(MOS)デバイスの破壊箇所の顕微鏡写真

- ・ マイクロビームを利用すると狙った位置にイオンビーム入射が可能
- ・ デバイスシミュレーションと組み合わせることでメカニズム解明と耐性向上への指針

○ SiC MOSデバイスの破壊メカニズムの解明に成功。様々なパワーデバイスの信頼性（シングルイベント破壊耐性）向上に貢献。

### アウトカム

半導体デバイス診断

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

パワー半導体デバイスメーカー

### 知財等関連情報

- 1) Nucl. Instrum. Meth. B 319 (2014) p.75.
- 2) IEEE Trans. Nucl. Sci. 60 (2013) p.2647.

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
大島 武

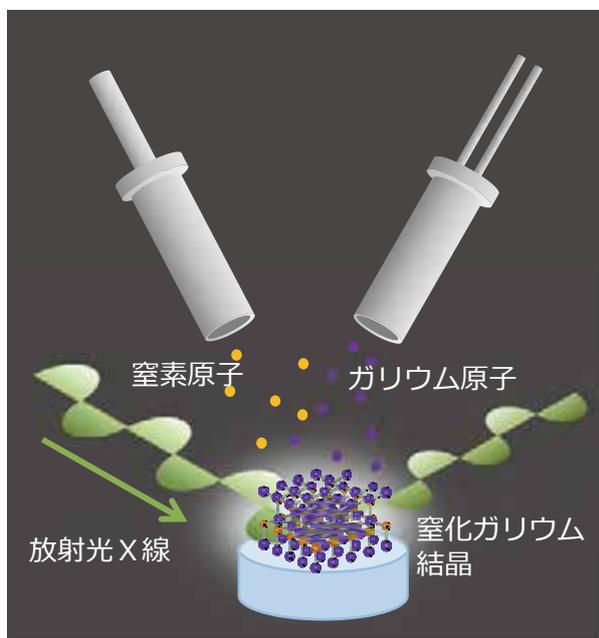
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 47 結晶成長中のその場観察技術を用いた窒化物半導体の高品質化

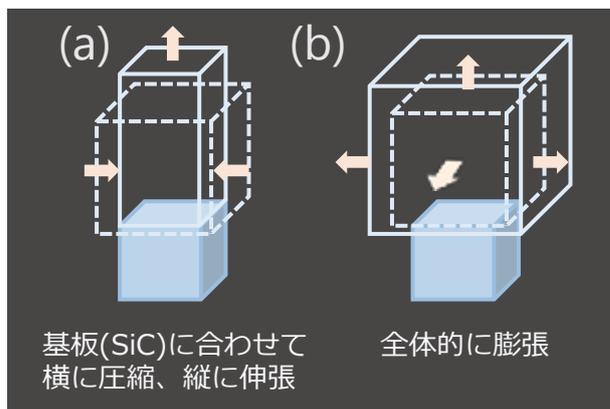
SPring-8の放射光を用いて、窒化物半導体の結晶成長の様子をその場観察し、結晶材料の高品質化や新構造開発に役立っています。

## シーズの特徴（成果含む）

- RFプラズマ窒素源を用いた分子線エピタキシー法で窒化物半導体結晶を成長させながら、高輝度なSPring-8の放射光X線で結晶成長の過程を実時間測定できます。
- 成長膜のひずみや結晶欠陥など、デバイス性能に直結する構造特性を1原子層から調べることが可能です。
- 高品質エピタキシャル結晶成長技術の迅速な開発に役立ちます。



## 窒化ガリウム成長への応用例



多くの薄膜で見られる(a)の変形に対し、厚さ10nm以下のGaNでは、(a)と(b)の2種類の変形が同時に生じていました。

○放射光X線その場測定から、GaN薄膜成長のごく初期における格子ひずみの異常を見出し、それが点欠陥の形成によるものであることを明らかにしました。

### アウトカム

LED・レーザーやパワートランジスタなど電子・光デバイス向けの高品質材料の開発

### アウトカムに至る段階

基礎

### 連携希望企業

半導体メーカー

### 知財等関連情報

- 1) T. Sasaki, F. Ishikawa and M. Takahasi, Appl. Phys. Lett. **108**, 012102 (2016).
- 2) T. Sasaki, F. Ishikawa, T. Yamaguchi and M. Takahasi, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 05FB05 (2016).

### 担当者

量子ビーム科学部門  
 関西光科学研究所  
 放射光科学研究センターコヒーレントX線利用研究グループ  
 佐々木 拓生

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 48 電子線を活用した高輝度のナノ粒子の形成

MeV級の電子線照射によりダイヤモンドや炭化ケイ素(SiC)中に高輝度な発光源(欠陥)を形成する。

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・ダイヤモンドやSiCのナノ粒子に電子線照射をすることで、発光する結晶欠陥を導入します。具体的には、ダイヤモンドの場合は赤色発光を示す窒素-空孔(NV)センター、SiCの場合は近赤外域に発光を持つシリコン空孔( $V_{Si}$ )センターです。
- ・これらの発光欠陥は発光体としてだけでなく、磁場や温度のセンサとしても利用できます。
- ・ダイヤモンドやSiCは材料として安定、無害なので生物・医療研究用に使用できます。

ダイヤモンドやSiCのナノ粒子



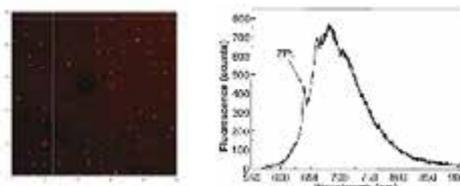
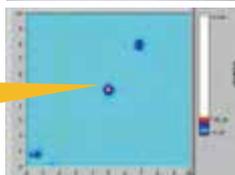
電子線照射及び熱処理



レーザー入射により特有な色の発光

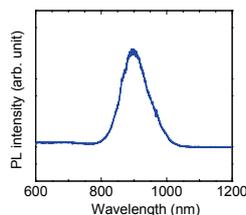


SiCナノ粒子中の $V_{Si}$



ダイヤモンド中のNVセンターの共焦点蛍光顕微鏡写真(左)と発光のスペクトル(右)

- ・ マイクロ波で発光強度を調節できるので、他の発光粒子と区別可能
- ・  $V_{Si}$ からの発光は近赤外領域なので細胞から小動物までの観察可能



SiC中の $V_{Si}$ センターの発光のスペクトル

- 高輝度発光なセンターの形成に成功。生物・医療研究用のトレーサーや、局所的な温度や磁場を計測可能なセンサに応用に期待。

### アウトカム

生物・医療応用

### 知財等関連情報

- 1) Nature Materials 14 (2015) p.164
- 2) PNAS 110 (2013) p.10894.

### アウトカムに至る段階

基礎段階

### 担当者

### 連携希望企業

ナノダイヤモンドやSiC作製企業

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
大島 武

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 49 EUV光学素子の照射耐性評価 -高耐力EUV多層膜の開発-

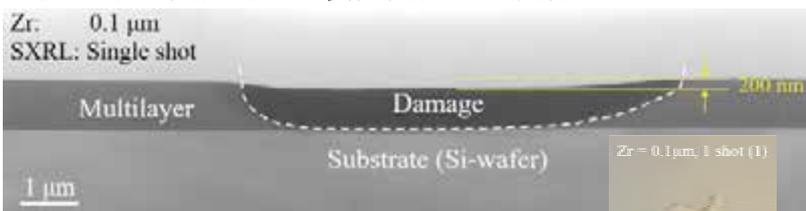
波長13.9nmの軟X線レーザーパルスによる照射試験により、極端紫外線(EUV)光学素子の耐力を計測

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・軟X線レーザー (波長13.9nm、パルス幅7ps) をEUV多層膜光学素子に集光照射することによって損傷構造を生成する。
- ・軟X線レーザーの照射強度を変えることで、照射損傷閾値を定量的に導出。
- ・損傷構造、損傷閾値の比較を通じて高耐性EUV多層膜の開発を強力に推進。

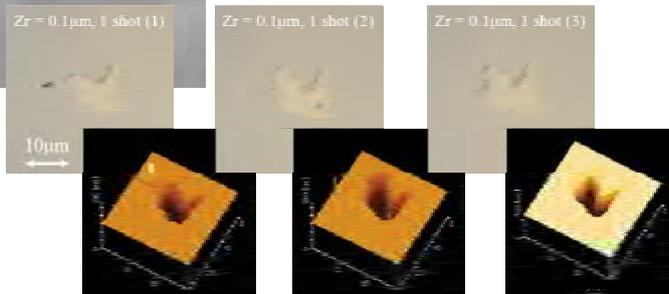
Zr Filter Thickness	0.3 $\mu$ m	0.2 $\mu$ m	0.1 $\mu$ m	No	No	No								
SXRL Shot Numbers	10	1	1	3	5	10	1	1	3	5	10	1	1	3

照射強度を変化させて損傷構造を形成し、入射強度と損傷構造の関係から損傷閾値を導出 (光学素子開発および装置開発への貢献)



NTTアドバンステクノロジー株式会社 (NTT-AT) 様との共同研究による成果

損傷構造の観察 (電子顕微鏡、原子間力顕微鏡) から照射損傷の物理的特性を議論 (基礎研究)



- Mo/Si多層膜よりも高耐力のNb/Si多層膜の開発に貢献 (NTT-ATとの共同研究)。
- EUVリソグラフィー露光装置用多層膜 (波長13.5nm) と同一仕様の試料で照射損傷試験が可能。
- 照射損傷形成の物質依存性などの評価が可能。

### アウトカム

EUVリソグラフィー用光学素子や材料の損傷計測や耐力評価

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

光学機器、分析機器、材料

### 知財等関連情報

- 1) 特許出願中 (特願2015-147484)
- 2) EUV光学素子、X線光源に関する国際会議での発表多数

### 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所  
光量子科学研究部X線レーザー研究グループ  
石野 雅彦

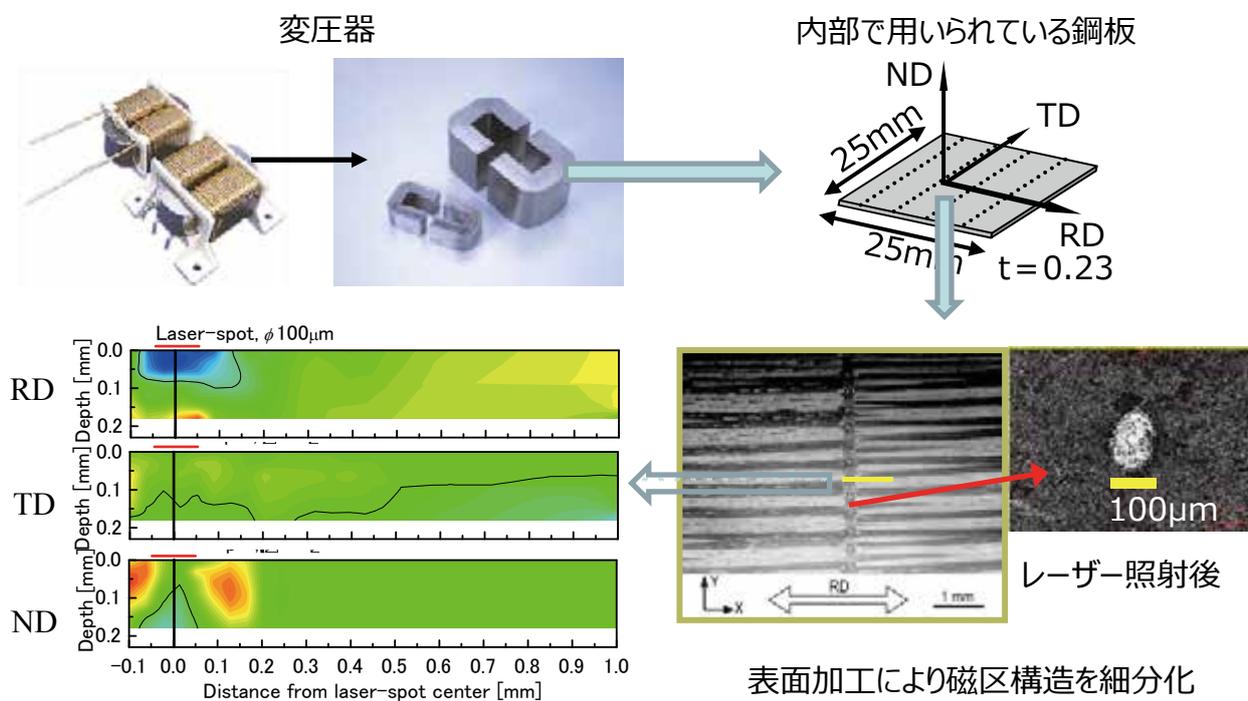
本シーズの問合せ先: 量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 50 鋼板内部の応力分布測定

変圧器の高効率化・省エネルギー化を実現するため、鋼板における応力と磁区細分化メカニズムの関係を解明する。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・高エネルギー放射光x線の材料に対する高い透過力を活かし、非破壊で金属材料内部のひずみ、応力分布計測ができます。
- ・鉄鋼材料であれば最大10mm厚、アルミニウムであれば最大50mm厚の材料中のひずみ、応力が50 $\mu$ m以下の空間分解能で測定できます。
- ・高温中、負荷中など実使用環境を模擬した状態でのひずみ、応力計測ができます。



レーザー加工照射直下の内部応力分布

- 複雑な内部応力分布導出に成功。打ち込んだピーニング（レーザー加工）から内部の磁区構造予測プログラムへ適用

### アウトカム

構造材、モーター部品

### 知財等関連情報

K. Iwata, T. Shobu, et al., Journal of Applied Physics **117**, 17A910 (2015).

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
 関西光科学研究所  
 放射光科学研究センター高圧・応力科学研究グループ  
 城 鮎美

### 連携希望企業

鉄鋼メーカー、自動車メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

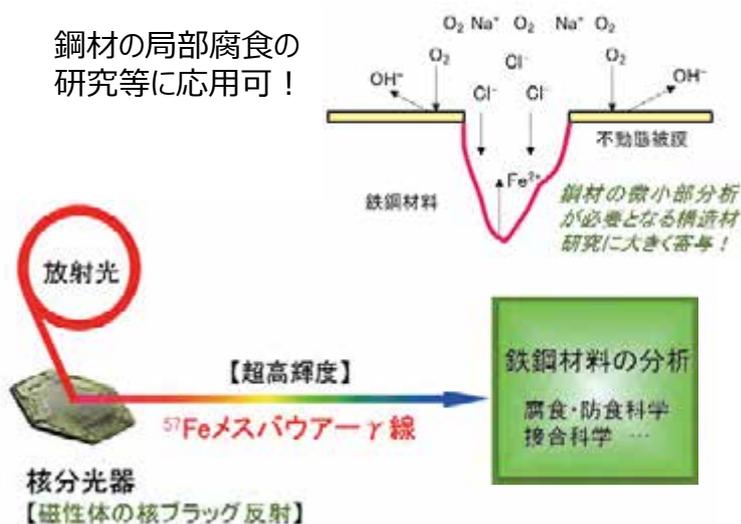
# 51 ピンポイント放射光メスbauer分光法による鋼材の局所分析

微小サイズの放射光を光源に利用する内部転換電子メスbauer分光により、鋼材をピンポイントで非破壊的に分析できる。

## シーズの特徴（成果含む）

- 放射光から生成した微小サイズのメスbauer- $\gamma$ 線で先進鋼材をピンポイントで解析できます。鋼材の表面、腐食部、溶接部 etc
- スペクトルの解析より、生成物の定性・定量分析が可能です。
- 磁場中の測定にも対応できます。

鋼材の局部腐食の研究等に应用可！

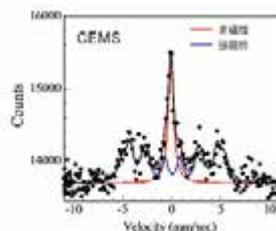


測定例)

Sample was annealed in vacuum with 1hr at 690°C



高速炉・ラッパ管用の溶接材



溶接部で測定された内部転換電子放射光メスbauer分光スペクトル

Mössbauer parameters			
	$H_{\text{eff}}$ (T)	$\delta$ (mm/s)	$\Gamma$ (mm/s)
オーステナイト	-----	0.1	-----
マルテンサイト	30	0.1	0.13
			Rate
			29.8 %
			70.2 %

- 特徴
- 原子核プローブ位置での
    - 電子密度  $\Rightarrow$  原子価に関する局所情報
    - 電場勾配  $\Rightarrow$  結晶対称性に関する局所情報
    - 有効磁場  $\Rightarrow$  磁性に関する局所情報
    - 共鳴選択則  $\Rightarrow$  スピン配向に関する局所情報

- 原子炉構造材に利用される鋼材の溶接部を定量・定性的にメスbauer分析できる。

## アウトカム

工業用鋼材の分析

## 知財等関連情報

T. Mitsui et al.,  
Jpn. J. Appl. Phys., **47** (2008) 7136.

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所  
放射光科学研究センター磁性科学研究グループ  
三井 隆也

## 連携希望企業

鉄鋼メーカー

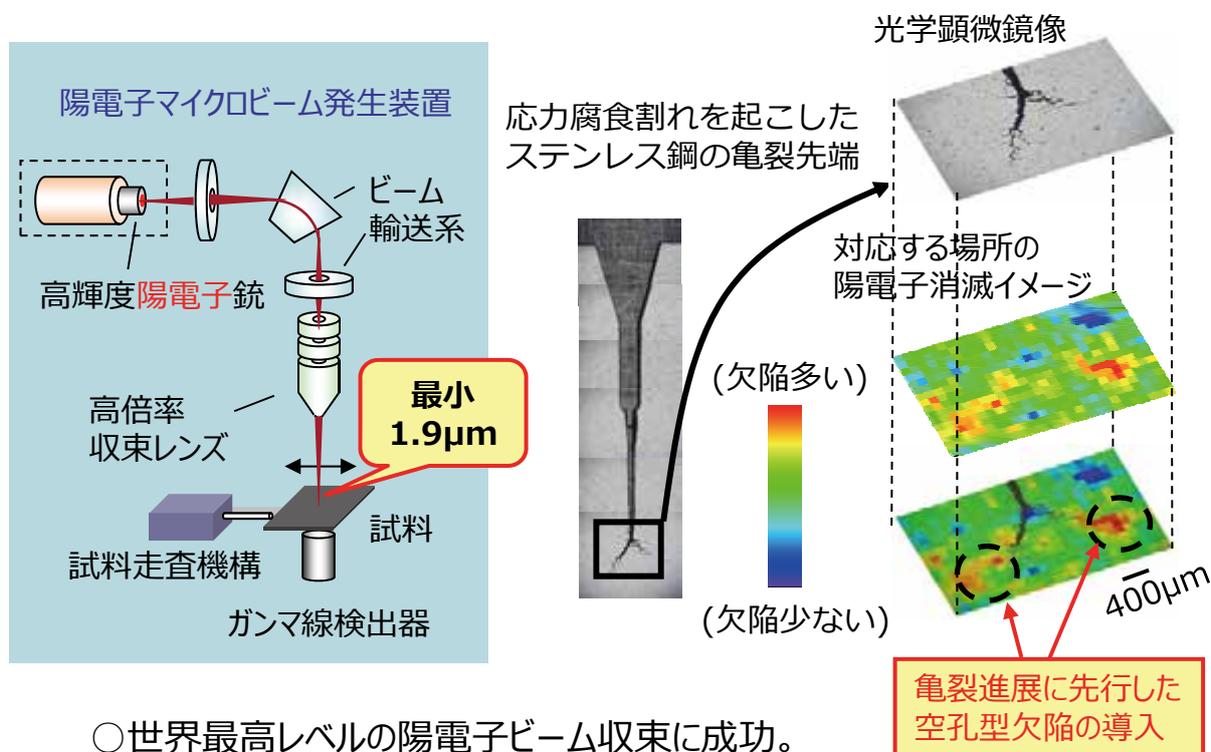
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 52 顕微陽電子消滅技術の開発

高品質な陽電子ビームを発生させ、サブミクロンオーダーに収束した陽電子ビームを形成し、極微小材料や材料局部の陽電子消滅計測や、空孔欠陥の面内分布測定を可能とする顕微技術を開発する。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・陽電子ビームを使うと、材料中の微細な欠陥（空孔）を捉えることができます。
- ・ビームの発生源を工夫することで、最小1.9 $\mu\text{m}$ という、これまでになく細く収束する技術を開発しました。さらに試料面上を走査し、空孔の平面分布が測定できるようになりました。
- ・鉄鋼材料の亀裂の先端部の観測では、亀裂の進展に先行して空孔が導入されている様子を明瞭にとらえることができました。



○世界最高レベルの陽電子ビーム収束に成功。  
構造材料の劣化評価、微小試料の測定に道。

### アウトカム

鉄鋼材料、半導体材料など

### アウトカムに至る段階

基礎段階

### 連携希望企業

分析機器メーカー

### 知財等関連情報

- 1) Appl. Surf. Sci. **255** (2008) 39.
- 2) Phys. Stat. Sol. (c) **4** (2007) 4016.
- 3) 放射線、**36** (2010) 13.

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
前川 雅樹

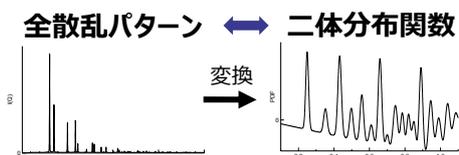
# 53 ナノ粒子や材料中のナノ構造の原子配列観察

ナノ粒子やナノ構造体など通常のX線回折法による結晶構造解析が行えない試料に対して、原子二体分布関数法により原子配列情報を得る。

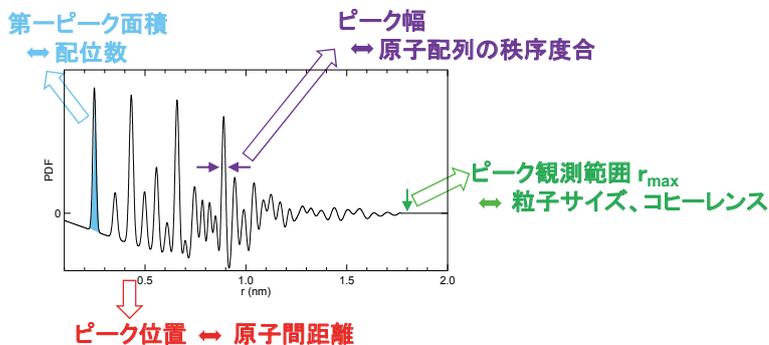
## シーズの特徴（成果含む）

- ・高いエネルギーの放射光X線と大型二次元検出器を用いることで、原子二体分布関数 (Pair Distribution Function; PDF) を高精度にかつ迅速に取得できます。
- ・ナノ粒子、ナノ構造体、アモルファス、ガラス等、結晶構造解析が行えない物質での原子配列情報が得られます。
- ・大型デジタルX線検出器を用いることでサブ秒程度の時間分解能での反応過程リアルタイム計測が可能です。

## 原子二体分布関数



X線全散乱



数ナノメートルまでの原子配列情報が得られます。

ナノレベルで不均一状態にある実用材料（ナノ粒子を含む）を対象に急速に普及しつつある手法です。  
（例えば、酸化触媒や金属担体など）



SPring-8 BL22XU

70 keVのX線を利用し、10 nmまでの原子二体分布関数を取得可能

- 数ナノメートルまでの原子二体分布関数をサブ秒程度の時間分解能で取得することに成功。化学反応によるナノレベルでの構造変化の解明へ。

## アウトカム

触媒  
創薬（ナノ粒子観察手法として）

## 知財等関連情報

## アウトカムに至る段階

基礎段階

## 担当者

## 連携希望企業

創薬メーカー、化学材料メーカー

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所放射光科学研究センター  
高圧・応力科学研究グループ  
町田 晃彦

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 54 高エネルギー分解能蛍光検出X線吸収分光による物質の電子状態の観測

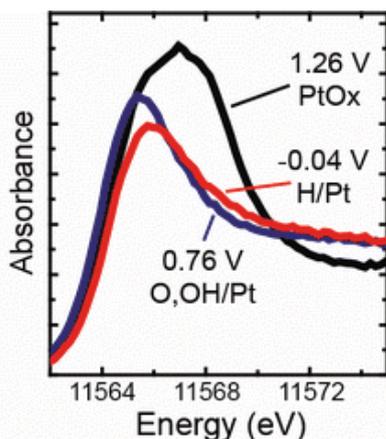
高エネルギー分解能で蛍光X線を検出するX線吸収分光で、通常の方法よりも詳細に電子状態を調べる。

## シーズの特徴（成果含む）

- 通常のX線吸収分光で生じる内殻正孔寿命によるスペクトル幅の広がり回避できます。
- X線吸収スペクトルのエネルギー分解能向上するため、より詳細な電子状態の観測が可能です。
- 適切な蛍光X線を選択することで、スピン状態を分別したX線吸収スペクトルを観測することもできます。

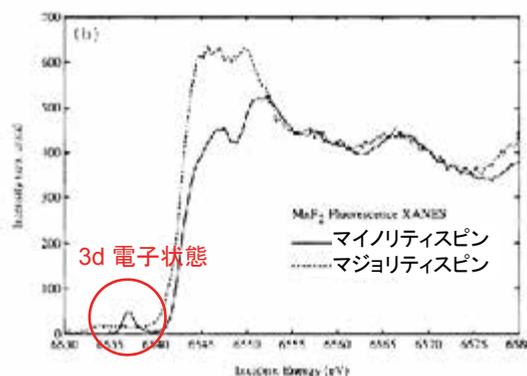
### 【測定例】

電気化学環境下で電位を変えたときの白金微粒子の化学状態、吸着状態を検出



Merte et al., ACS catal. **2**, 2371 (2012)

マンガニウム化合物のスピン状態分別X線吸収分光



Hämäläinen et al., Phys. Rev. B **46**, 14272 (1992)

○触媒や遷移金属酸化物に対して、これら海外での測定例と同様の研究をSPring-8でも行っています。

## アウトカム

触媒、磁性材料など

## アウトカムに至る段階

基礎

## 連携希望企業

材料メーカー

## 知財等関連情報

- 1) Y. Cui, K. Ishii et al., 229th ECS meeting abstract, (2016).
- 2) H. Hayashi, K. Ishii et al., Phys. Rev. B **73**, 134405 (2006).

## 担当者

量子ビーム科学部門  
 関西光科学研究所  
 放射光科学研究センター磁性科学研究グループ  
 石井 賢司

# 55 放射光X線を用いた 表面・界面・薄膜の構造決定

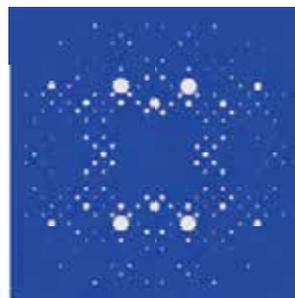
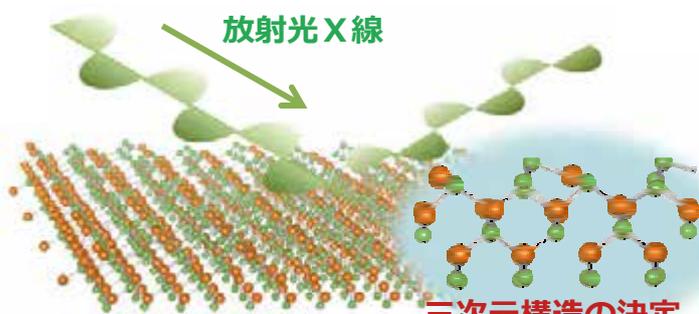
SPring-8の放射光X線を用いて、無機・有機材料の表面・界面・薄膜の三次元構造を1原子層・分子層から精密に決定します。

## シーズの特徴（成果含む）

- 微小角入射X線回折法、基板と薄膜層との干渉を利用するCTR(Crystal Truncation Rod)散乱法などの手法により、薄膜およびその表面・界面の構造を三次元的に決定できます。
- 1原子層、1分子層の厚さの極薄膜から解析可能です。
- 大気中はもちろん、真空中・水溶液中など、各種環境下の試料に対応できます。

## 超高真空中試料の例

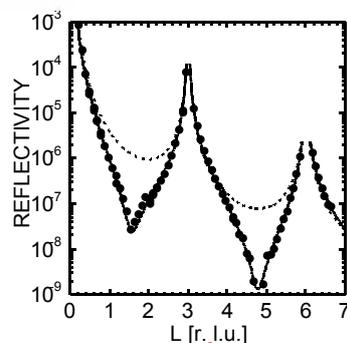
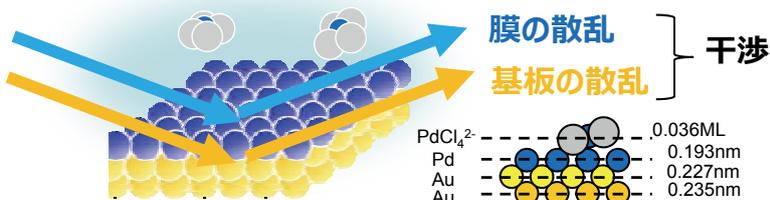
○真空中のGaAs表面に形成される表面超構造の原子配列を解析・決定しました。



三次元構造の決定 微小角入射X線回折パターン

## 溶液中試料の例

○水溶液中で作製された金基板上のパラジウム単原子めっき膜の原子配列を決定しました。



CTR散乱プロファイル

## アウトカム

薄膜構造を使う材料・デバイス

## アウトカムに至る段階

基礎

## 連携希望企業

材料メーカー・素材メーカー

## 知財等関連情報

- 1) 高橋正光、表面技術 **59**, 848 (2008).
- 2) M Takahasi et al., J. Phys.: Condens. Matter **22**, 474002 (2010).
- 3) 高橋正光、表面科学 **33**, 507 (2012).

## 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所放射光科学研究センターコヒーレントX線利用研究グループ  
佐々木 拓生

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 56 ラザフォード後方散乱による薄膜試料の構造評価

ラザフォード後方散乱法は、数MeVに加速した水素(H)、ヘリウム(He)を解析ビームとして試料に入射して、後方に散乱されるH、He粒子のエネルギーを計測することにより、試料の深さ方向の組成の情報を得る。

## シーズの特徴 (成果含む)

- 試料表層の深さ方向 (約 1 μm) の組成分布を非破壊で分析可能です。
- 炭素基板上の白金微粒子など、担持された重元素の定量分析ができます。
- 単結晶膜、エピタキシャル膜では、結晶軸に沿ってイオンビームを入射する (チャネリング条件) で測定することにより、深さ方向の結晶性、界面構造の評価ができます。

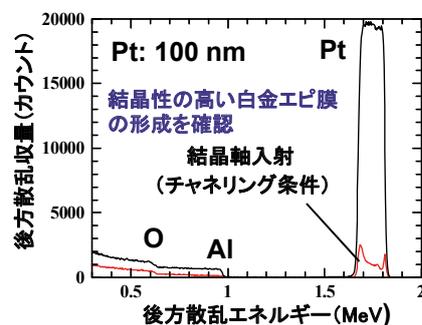
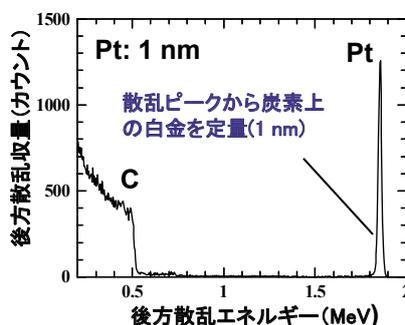
## ラザフォード後方散乱法 (RBS)



対象試料：金属、酸化物など  
深さ分解能：約10 nm

測定例：炭素に担持した白金

測定例：サファイア基板上的の白金膜



○試料表層の組成を定量できる分析法であり、触媒材料、ガスセンサー材料等の機能性材料の開発に役立つ

### アウトカム

結晶性評価  
薄膜材料の構造評価  
品質管理

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

金属・半導体薄膜製造メーカー

### 知財等関連情報

- S. Yamamoto et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 134 (1998) 400-404.
- S. Yamamoto et al., Thin Solid Films 335 (1998) 85-89.
- S. Yamamoto et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 266 (2008) 802-806.

### 担当者

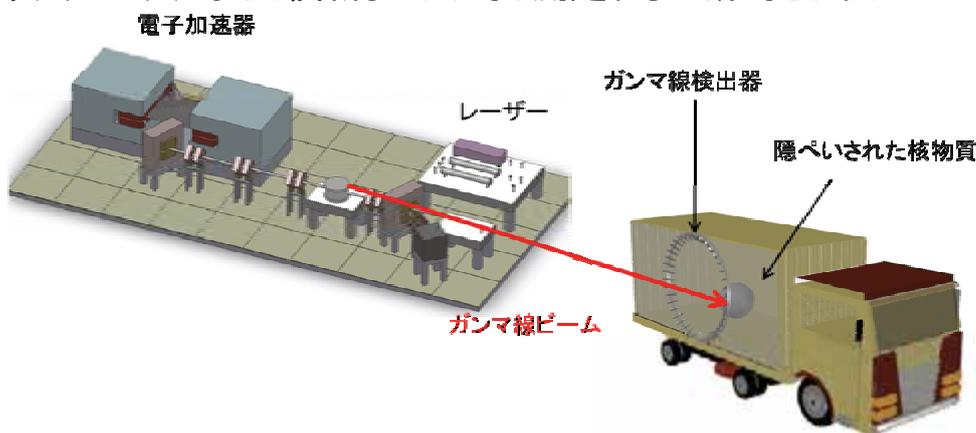
量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
山本 春也

# 57 隠された核物質や爆発物等の 遠隔・非破壊分析

貨物や車両内に隠された核物質の定性や同位体比の測定、爆発物の検知などを遠隔操作により非破壊で行う技術を提供します。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・ガンマ線の持つ強い透過力を用いて金属容器や貨物中に隠された物質の検知ができます。
- ・元素の定性だけでなく、同位体比がわかりますので、核物質の濃縮度の評価も可能です。
- ・トラックやコンテナなどに積載したままでも測定することができます。



### ○過去に行った実験例：

厚さ15mmの鉄箱に隠された鉛の位置と形状を検出。

厚さ4mmの鉛に隠ぺいされた爆薬模擬物質（メラミン）の炭素・窒素比を測定。

### ○安全・安心な生活の実現に貢献。

## アウトカム

核セキュリティ等支援

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 連携希望企業

計測機器メーカー

## 知財等関連情報

- 1) R. Hajima, T. Hayakawa, et al., J. Nucl. Sci. Technol. **45**(5), 441-4 (2008).
- 2) 国際公開番号：W0 2010/101221

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所  
東海量子ビーム応用研究センター「LCSガンマ線研究」  
羽島 良一

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 58 耐放電性能に優れた抵抗器の開発

加速器や電子顕微鏡など、数十万～数百万ボルトの高電圧を使用する装置内で発生する放電に対して、劣化が少なく長時間安定に使用できる高耐久型抵抗器を開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

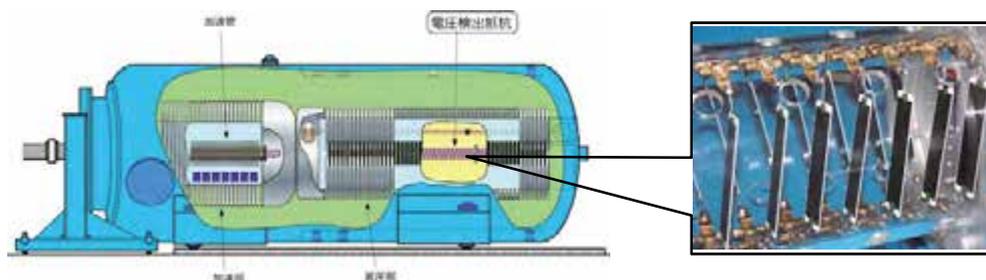
### ◇ 高耐久型抵抗器の特徴

- ジグザク状の無誘導パターンと抵抗経路の抵抗値に傾斜を付けることで、サージ電圧に対する耐久性を向上
- 温度係数（ $\leq 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ）と経時変化（ $1\%/10000\text{hr}$ ）が小さい
- 抵抗値は、 $0.1\sim 1\text{G}\Omega$ の間で調整可能



高耐久型抵抗器(上)と抵抗経路パターン

### ◇ 加速器での使用例



3MVシングルエンド加速器と抵抗ユニット

高崎量子応用研究所の3MVシングルエンド加速器では、この抵抗器が220個取付けられ、加速電圧検出用の分圧抵抗として使用されています。これにより、高い電圧安定度と最高電圧3MV（300万ボルト）での安定した運転が可能となり、さまざまな実験に寄与しています。

## アウトカム

高電圧機器の安定化

## アウトカムに至る段階

実用化

<http://www.jfine.co.jp/news/278>

## 連携希望企業

電気部品メーカー

## 知財等関連情報

特許第4836070号  
（共願：(株)日本ファインケム）

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線高度利用施設管理課  
宇野 定則

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 ([qubs-techoffice@qst.go.jp](mailto:qubs-techoffice@qst.go.jp))

# 59 荷電粒子放射線計測方法および 荷電粒子放射線計測装置

集束イオンビーム照射下で励起される発光を利用した分析装置により、粒子線向けシンチレータ材料等の光機能性材料の放射線耐性を評価。

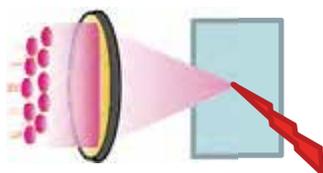
## シーズの特徴（成果含む）

局所的にイオンビームを当てることができるマイクロビーム技術を利用し、発光材料の局所的な発光特性を評価。

- ・ 粒子線向けシンチレータの放射線耐性評価
- ・ 発光材料の局所応答特性評価
- ・ イオンビーム微細加工技術と組み合わせた点発光源の探索

## 集束イオンビーム

放射線照射場での  
発光その場評価

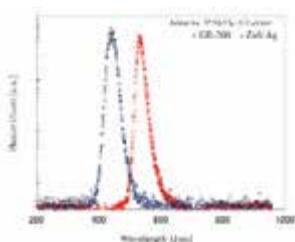


イオン誘起発光 (IBIL)

発光スペクトル・  
イメージング

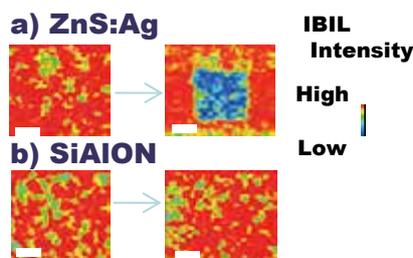
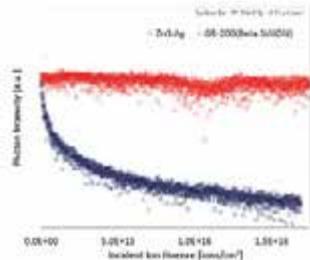
### 発光の評価例

中心波長や発光強度を  
スペクトルで評価



### 耐久性評価例

連続的な照射によりイメージング・スペクトル分析で放  
射線耐性を評価



## アウトカム

放射線計測材料の耐久性評価

## アウトカムに至る段階

基礎評価    応用

## 連携希望企業

放射線計測機器開発  
・利用分野企業

## 知財等関連情報

- 1) 特開2018-141705
- 2) 特願2017-036154
- 3) 国際公開番号WO201738622A1
- 4) Sensors and Materials, **28**, 2016, 837-844.  
NIMB 406, 2017, 124-129.

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線高度利用施設部ビーム技術開発課  
佐藤 隆博

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 60 広エネルギー帯域で高効率な テンドーX線多層膜鏡の開発

テンドーX線(2~4keV領域)に対する反射率を高効率化できる非周期膜構造を持った広エネルギー帯域多層膜鏡の開発とその応用技術

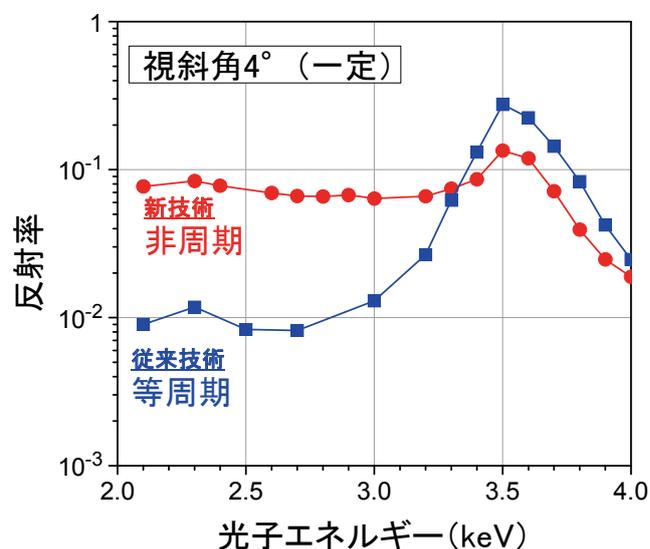
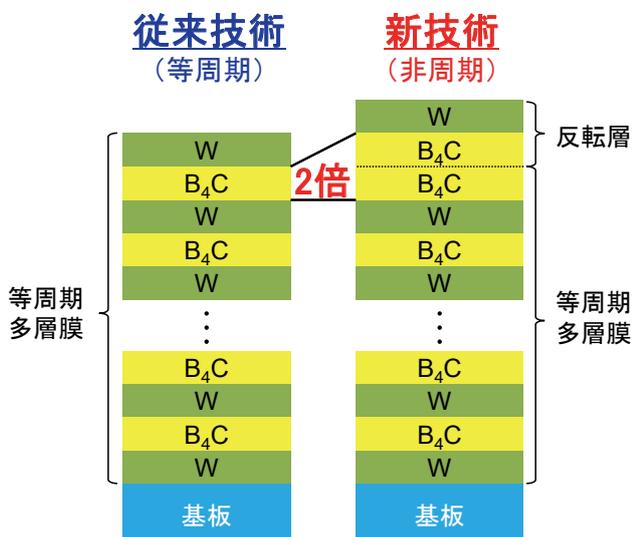
## シーズの特徴 (成果含む)

(課題)

従来技術(等周期多層膜)の場合、反射幅が狭く、一定入射角で使用するような光学デバイスへの応用は困難

(成果)

非周期構造を持たせることで、広エネルギー帯域で一様に高効率化



## テンドーX線において反射率の広帯域化を実証

- 凹面基板や回折格子の反射膜として応用することで、テンドーX線研究のキーデバイスとして貢献

### アウトカム

X線分析技術向上による機能性デバイス材料研究に貢献

### 知財等関連情報

- 1) 特許第5669295号(多層膜光学素子)
- 2) J. Phys. Conf. Ser. 425 (2013) 152008.

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

光学メーカー、分析機器メーカー

### 担当者

量子ビーム科学部門  
次世代放射光施設整備開発センタービームライングループ  
今園 孝志

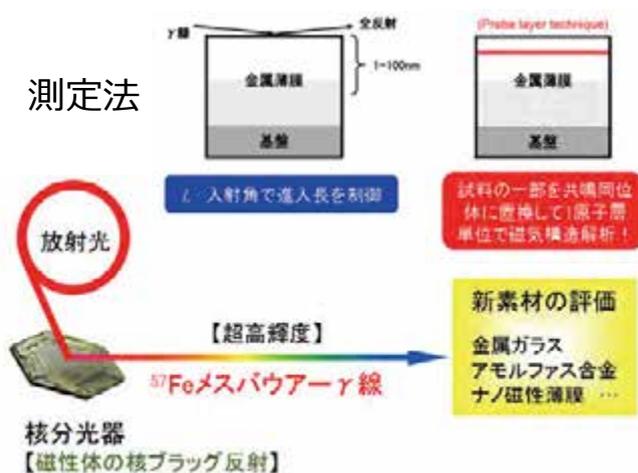
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 61 放射光メスbauer分光による 磁性薄膜の局所磁性探査

スピントロニクス等の磁性薄膜に高輝度放射光メスbauer- $\gamma$ 線を照射して、スペクトルを測定することで、機能発現部の舞台となる表面・界面を局所磁性探査する。

## シーズの特徴 (成果含む)

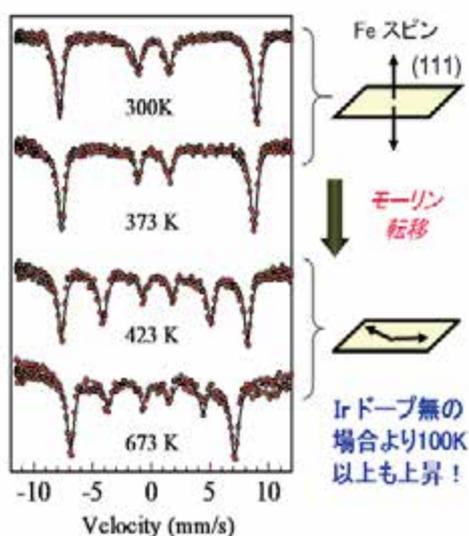
- 放射光メスbauer- $\gamma$ 線で機能磁性薄膜を1原子層単位で局所解析できます。
- 超高真空中で製膜した試料を低温、高温でその場解析できます。
- 電場などの外場印可時の素子の作動状態での磁性を調べることができます。



その場解析が可能!



応用例)



$\text{Ir-Fe}_2\text{O}_3$ 薄膜(20nm)のスペクトル

- 超低電力駆動磁気メモリ素子の電極部品である $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 薄膜にIr添加するとモーリン転移温度が大幅に上昇することが分かった。

## アウトカム

スピントロニクス材料、高機能磁性材料

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 連携希望企業

電子機器メーカー

## 知財等関連情報

T. Mitsui et al.,  
Phys. Soc. Jpn. **85**, (2016) 063601.  
T. Mitsui et al.,  
J. Synchrotron Rad. **19**, (2012) 198.

## 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所放射光科学研究センター磁性材料研究グループ  
三井 隆也

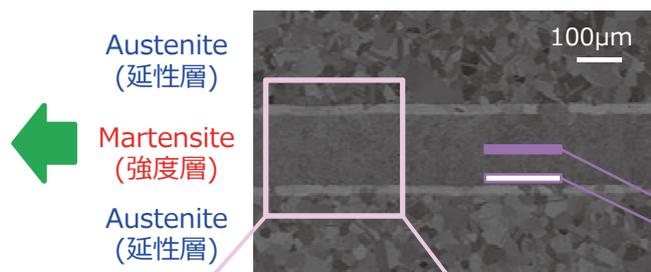
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 62 白色X線を利用した鉄鋼材料の局所応力・ひずみ分布測定

高エネルギーX線の透過力を活かし、鉄鋼材料中の局所応力・ひずみ分布を計測  
材料強度特性を明らかにすることで新規材料開発、疲労破壊現象解明に貢献

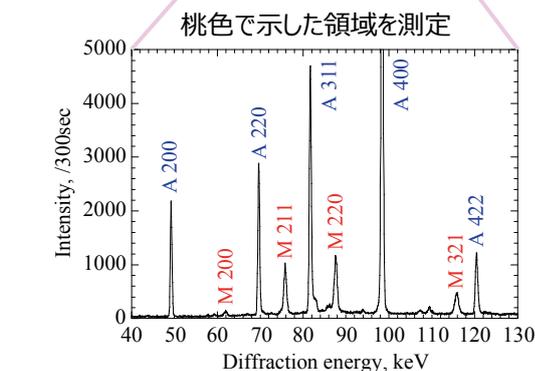
## シーズの特徴 (成果含む)

### 高強度 - 高延性を実現する新規材料“複層鋼板”

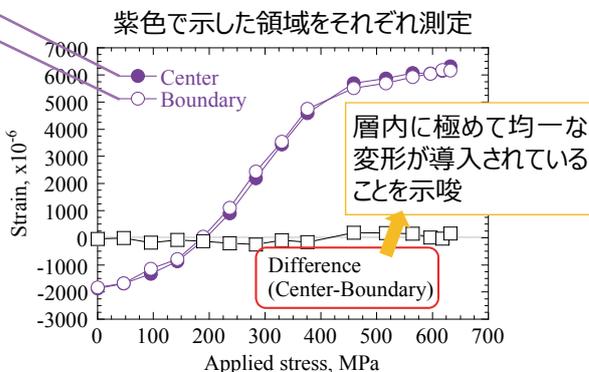


引張  
負荷

● 負荷中など、実使用環境を模  
擬した状態でのひずみ計測が  
可能(高温環境は整備中)



桃色で示した領域を測定



紫色で示した領域をそれぞれ測定

層内に極めて均一な  
変形が導入されてい  
ることを示唆

● 微小領域測定モードでは局所ひずみの差  
を見出すことも可能

● 白色X線を利用したエネルギー分散法により、金属材料内部における複数の回折線を一度に取得可能。複層(複相)材料でも各々の層(相)の結晶方位やひずみの情報を同時に得ることができます。

● 厚い材料の内部を高い空間分解能で計測可能。鉄鋼材料であれば厚さ4mm、アルミニウムであれば厚さ6mmの材料中の弾性ひずみを10μm以下の空間分解能で測定した実績があります。

## アウトカム

構造材、自動車鋼板

## 知財等関連情報

1) 小島真由美、城鮎美、他、材料 66(6), pp. 420-426 (2017).

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所  
放射光科学研究センター高圧・応力科学研究グループ  
城 鮎美

## 連携希望企業

鉄鋼メーカー、自動車メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 63 生体適合性材料の微細加工技術の研究開発

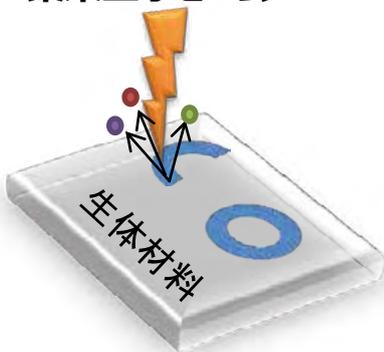
細胞培養用足場材料創製のため、量子ビームを駆使した、生体適合性材料の次元微細構造及び化学特性制御技術を開発する。

## シーズの特徴（成果含む）

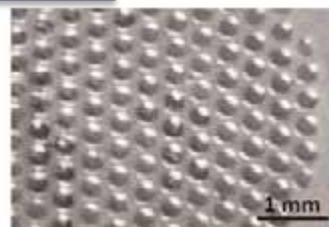
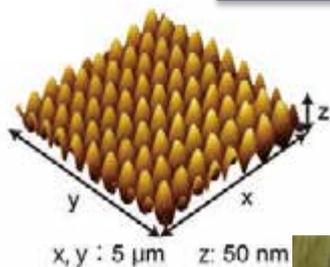
- ・生体適合性を有する高分子材料の精密微細加工ができます。
- ・ナノメートルレベルの微細な形状や化学特性を制御できます。
- ・細胞の接着や増殖に関連する表面化学特性や形状、硬さなどを制御できます。

### 微細加工技術

#### 集束量子ビーム



### 微細加工後の形状例



- 量子ビーム改質とナノインプリント技術を組み合わせて、ポリ乳酸やタンパク質、多糖類など生体適合性材料を母材とした微細加工技術を開発。
- 再生医療や創薬、診断など医療応用に利用可能なバイオデバイスの創製が期待される。

### アウトカム

再生医療や新薬、診断デバイスの開発

### 知財等関連情報

- 1) Appl. Phys. Lett., 103, 163105 (2013).
- 2) Nucl. Intr. Meth. B409, 102-106 (2017).
- 3) Applied Physics Letters 112, 213704 (2018).
- 4) 特開2018-202352.

### アウトカムに至る段階

基礎

### 担当者

量子ビーム科学部門  
田口 光正

### 連携希望企業

バイオ・再生医療分野企業

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

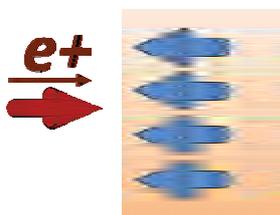
# 64 スピン偏極陽電子ビーム分析

スピン偏極陽電子ビームにより物質内部、薄膜、表面の電子スピン状態を分析する。

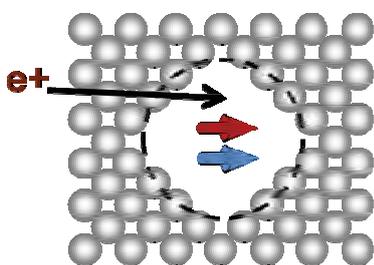
## シーズの特徴 (成果含む)

- ・強磁性バンド構造(ハーフメタルなど)に関する電子運動量分布解析ができます。
- ・原子空孔(酸化物・窒化物半導体など)に付随する磁気モーメントの検出ができます。
- ・金属最表面の電子スピン偏極率(強磁性金属、スピンホール効果、ラシュバ効果など)の決定ができます。

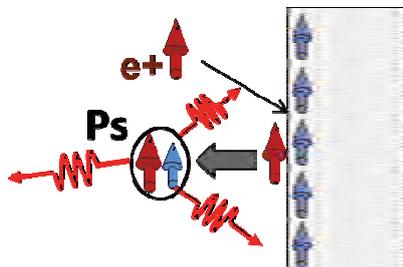
### 強磁性バンド構造



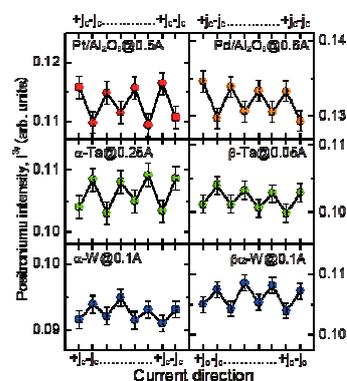
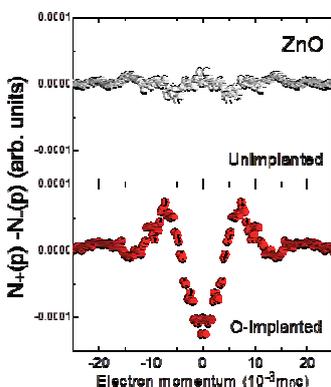
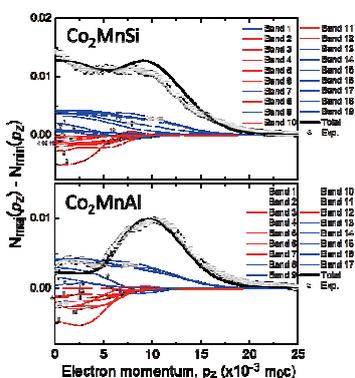
### 空孔誘起強磁性



### 表面スピン偏極



## スピン分析の例



○Co<sub>2</sub>MnSiのハーフメタル性    ○ZnOの原子空孔誘起強磁性    ○重金属表面の電流誘起スピン

## アウトカム

スピントロニクス材料における電子スピン生成メカニズムの解明

## アウトカムに至る段階

基礎段階

## 連携希望企業

材料開発メーカー・加速器メーカー

## 知財等関連情報

- 1) Phys. Rev. B **83** (2011)100406(R).
- 2) 陽電子科学 **4**(2015)9-22.
- 3) Phys. Rev. Lett. **114**(2015)166602-1-5.

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
河裾 厚男

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

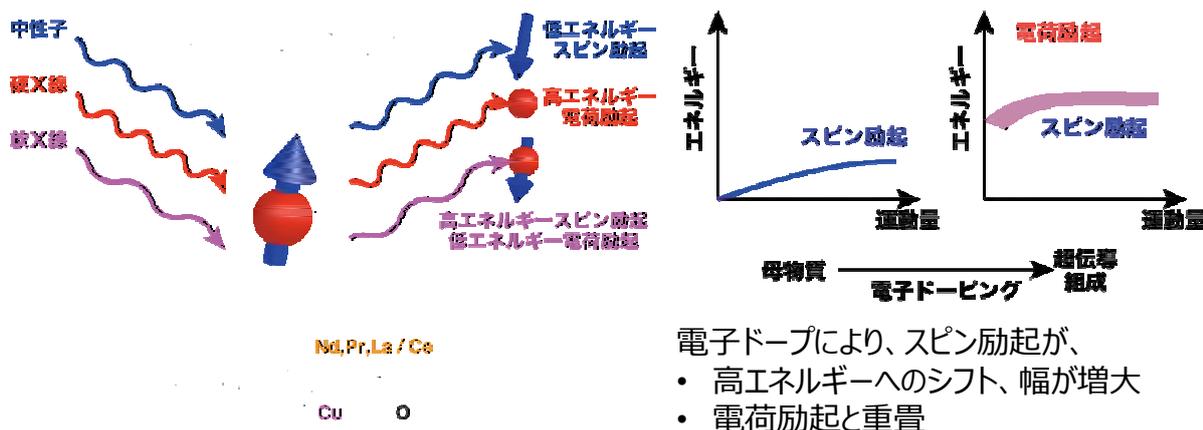
# 65 共鳴非弾性X線散乱による 量子多体系のダイナミクス観測

銅酸化物超伝導体を中心に、多体効果が重要な電子系(量子多体系)の電子ダイナミクスを観測することでその効果を明らかにし、物性の発現機構解明を目指す。

## シーズの特徴 (成果含む)

- 適切な吸収端を利用することで、電荷とスピンのダイナミクス(励起)を選択的に観測することができます。また、従来のスピンダイナミクスの観測手法である中性子非弾性散乱の相補利用も有効です。
- 短波長であるX線特性により、励起のエネルギー・運動量依存性を得ることができます。
- 理論計算と組み合わせることで、電子間クーロン相互作用、スピン間の交換相互作用、結晶場の効果などが明らかにできます。

【研究例】 電子ドープ型銅酸化物超伝導体における電子励起の全体像解明



電子ドープにより、スピン励起が、

- 高エネルギーへのシフト、幅が増大
- 電荷励起と重畳

- 三種の量子ビーム非弾性散乱に役割分担させることで、スピンと電荷の励起のエネルギー・運動量空間における全体像を明らかにすることに世界で初めて成功し、電子ドープ系銅酸化物超伝導体では、反強磁性スピン相関を残しつつ、電子がより動きやすい遍歴的状态にあることがわかりました。

### アウトカム

強相関電子材料、超伝導材料

### アウトカムに至る段階

基礎

### 連携希望企業

材料メーカー

### 知財等関連情報

- 1) K. Ishii et al., Nature Commun. **5**, 3714 (2014).
- 2) 石井賢司, 固体物理 **51**, 79-92 (2016).

### 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所  
放射光科学センター磁性科学研究グループ  
石井 賢司

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 66 室温で効率的な水素酸化を実現する疎水性貴金属触媒



室温・高水蒸気濃度雰囲気下においても広範囲の濃度の水素の酸化等を可能とする非高分子系疎水性白金触媒を開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

### ☆ 「疎水性」と「高温耐性」が両立した画期的な疎水性触媒

無機担体をベースとした疎水性触媒を実現したことで水素酸化等で発生する反応熱による触媒の燃損耗がおきません。耐ハロゲン性を付与することもできます。

### ☆ 「室温」「水蒸気雰囲気下」での優れた水素酸化性能

優れた疎水性能により、供給ガス中や水素が酸化された時に発生する水蒸気による反応阻害を防止できます。

### ☆ 「広範囲の水素濃度」に対応

室温において高濃度水素から放射性トリチウム（三重水素）の極微量濃度まで、優れた水素燃焼を実証しています。

### ☆ トリチウム水の濃縮にも対応

化学交換法によるトリチウム水濃縮システム用触媒にも利用できます



触媒は強力な疎水性により水に沈まず浮く。

### <水素の室温転化率の一例>

条件：  $H_2$ ; 1vol% at 25 °C 16時間連続測定時

結果： **99.6~99.7%** (SV 7500  $h^{-1}$  触媒量 16cc)

**99.8~99.9%** (SV 4800  $h^{-1}$  触媒量 25cc)

その他詳細な性能データについては以下の論文等にて公表しています。

Y. Iwai et al., *Journal of Nuclear Science and Technology*, **48**, 1184-1192 (2011).

## アウトカム

「室温」や「水蒸気雰囲気下」での優れた反応活性を必要とする反応用触媒

「ハロゲンガス雰囲気下」での優れた反応活性を必要とする反応用触媒

トリチウム水濃縮システム用触媒

## アウトカムに至る段階

実用化段階

## 連携希望企業

プラントエンジニアリング会社  
水素関連企業

## 知財等関連情報

- 1) 特許第4807536号, 2) 特許第5780536号,
- 3) 特許第5946072号, 4) PCT/JP2011/050150,
- 5) PCT/JP2015/058787, 6) PCT/JP2015/074606

## 担当者

核融合エネルギー部門  
六ヶ所核融合研究所ブランケット研究開発部  
トリチウム工学研究グループ  
岩井 保則

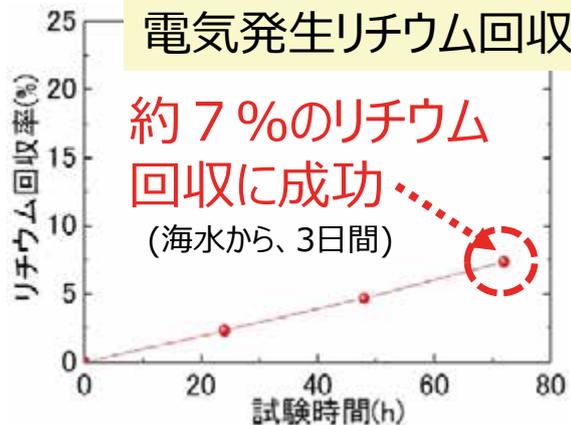
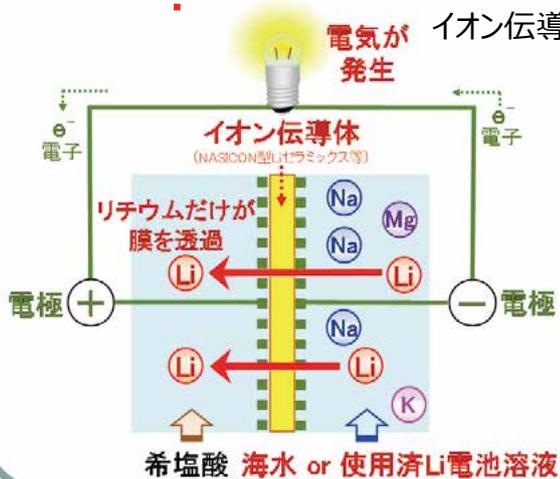
本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

# 67 イオン伝導体による海水からの革新的リチウム資源回収法

セラミックスイオン伝導体をリチウム分離膜として用い、ほぼ無尽蔵のリチウムが含まれる海水等から、リチウムのみを選択的に分離回収する技術を確認しました。特に、リチウム分離過程では電気も発生するため、ゼロ・エミッションな資源回収も見通せる、世界初のリチウム回収技術です。

## シーズの特徴（成果含む）

### 海水 ゼロ・エミッションの可能性を有するリチウム回収技術



### アウトカム

海水レアメタル回収  
リチウムイオン電池リサイクル

### アウトカムに至る段階

実用化試験段階（企業との共同研究）

### 連携希望企業

無機や有機膜及び電池材料の関連企業

### 知財等関連情報

特許6233877 (US特許取得済, KR出願済)、  
特開2017-131863 (US, KR, CL, AU出願済)、  
特開2019-081953 他

### 担当者

核融合エネルギー部門  
六ヶ所核融合研究所ブランケット研究開発部  
増殖機能材料開発グループ  
星野 毅

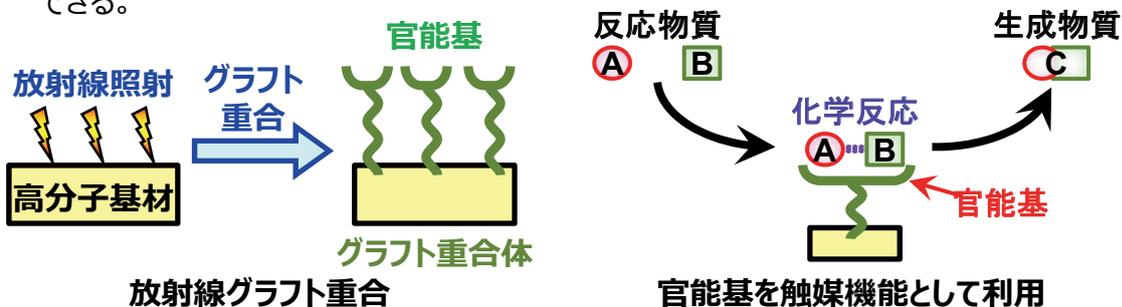
本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

# 68 バイオディーゼル燃料転換用触媒

家庭のゴミとして排出される使用済み食用油をバイオディーゼル燃料(BDF)に転換するためにグラフト触媒を適用すると、従来の溶液触媒法により発生する大量のアルカリ廃液や洗浄廃液を大幅に低減することができる。

## シーズの特徴（成果含む）

- 放射線グラフト重合により触媒機能を発現可能な官能基を繊維状高分子に固定化することで、再利用が可能となり、その都度大量のアルカリ廃液を排出する溶液触媒法に比較して、環境負荷を大幅に低減することができる。
- グラフト触媒の官能基を選定することにより、廃食用油に含まれるトリグリセリドと遊離脂肪酸の全ての油脂成分を効率よく簡単にBDFに変換することができる。
- グラフト触媒は高分子（固体）である利点から、再生処理が容易にでき、繰り返し利用ができる。



使用済み食用油をグラフト触媒に通過（接触）させるだけでバイオディーゼル燃料（BDF）に変換でき、触媒は再生可能。

### アウトカム

環境資源捕集材料・浄化材料  
（フィルター）

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

製油メーカー・NPO法人

### 知財等関連情報

- 1) 特許第5167110「バイオディーゼル製造用触媒とその製造方法並びにバイオディーゼルの製造方法」
- 2) Y.Ueki, et al, "Biodiesel fuel production from waste cooking oil using radiation-grafted fibrous catalyst", Radiat. Phys. Chem., 143, 41-46 (2018)

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部環境資源材料研究  
瀬古 典明

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 69 温泉水からのスカンジウムの捕集

今後のIT産業に欠かせないレアメタルの一種であるスカンジウムを、グラフト捕集材により温泉水などから捕集し、金属資源を確保する。

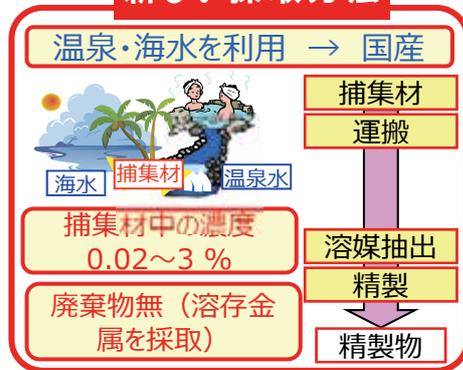
## シーズの特徴（成果含む）

- レアアースの中でスカンジウムは燃料電池の電解質の原料として注目されている元素であるが、その全量を輸入に依存しているのが現状である。
- グラフト捕集材を用いることにより、鉱山からの採掘で発生する鉱滓を産出することなく、容易にスカンジウムを捕集・採取することができる。
- 日本の酸性温泉水にはスカンジウムなどのレアアースメタルが溶存しており、グラフト捕集材で採取することで国産資源として活用できる。

### 従来の採取方法



### 新しい採取方法



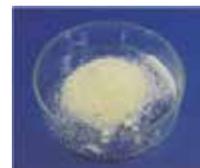
草津温泉



グラフト捕集材



捕集装置



精製したスカンジウム

## →都市鉱山からのレアメタル採取研究に展開

### アウトカム

環境資源捕集材料・浄化材料  
(フィルター)

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

化学・精錬メーカー

### 知財等関連情報

- 1) 特許第4378540「スカンジウムを捕集回収する方法」
- 2) 特許第5057322「固体高分子材料中のスカンジウムを溶出回収する方法」

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部環境資源材料研究  
瀬古 典明

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 70 海水中からの希少金属の捕集

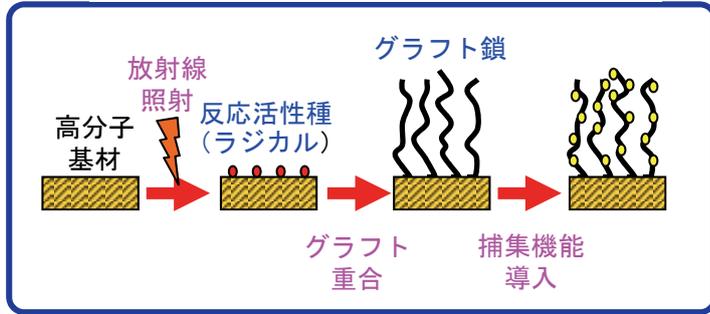


放射線グラフト重合により開発した捕集材により、海水中に低濃度に溶存している種々の有用金属を捕集し、国産のエネルギー資源を確保する。

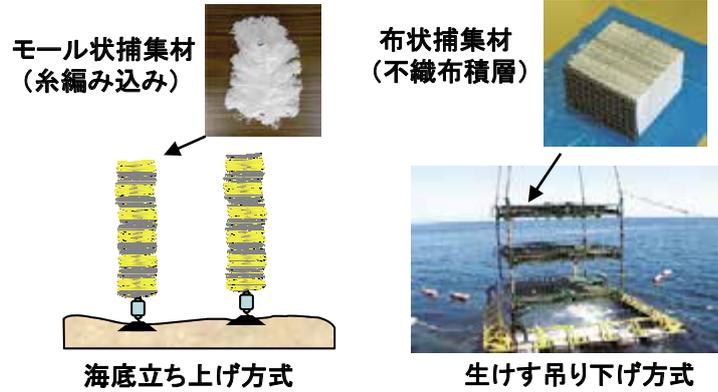
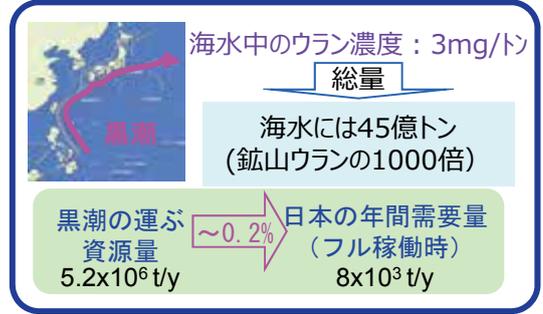
## シーズの特徴（成果含む）

- ・基材に放射線を照射してグラフト重合によりグラフト鎖を結合させ、官能基を導入することにより金属捕集材を作製します。
- ・官能基を変えることにより目的とする金属を効率よく捕集することができます。
- ・海水中で極微量に溶存する希少金属を捕集することができます。
- ・目的に合わせた形状の捕集材を作製・加工できることから、海洋の立地に適応することができる。

### 放射線グラフト重合による捕集材の作製



### 海水中のウラン資源の例



資源に乏しい海に囲まれた島国において、エネルギー資源（希少金属）の確保が可能。  
（排他的経済水域の活用）

## アウトカム

環境資源捕集材料・浄化材料  
（フィルター）

## 知財等関連情報

- 1)特許第4194071「グラフト重合法によるアミドキシム型捕集材の合成方法」
- 2)瀬古典明、玉田正男、須郷高信,“日本で産出しない希少金属を海水から捕集、特に海水ウラン捕集技術について”海洋開発ニュース,31,pp.8-11(2003)

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部環境資源材料研究  
瀬古 典明

## 連携希望企業

原子力・海洋産業メーカー

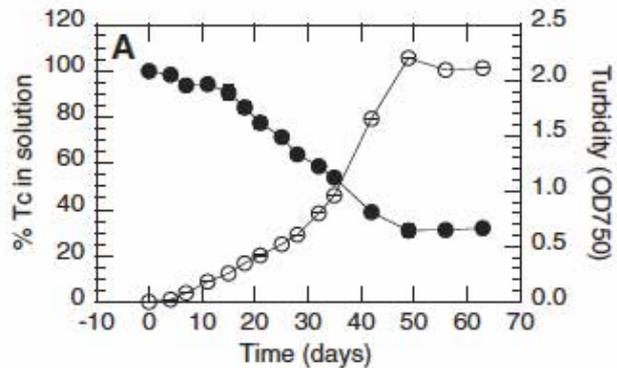
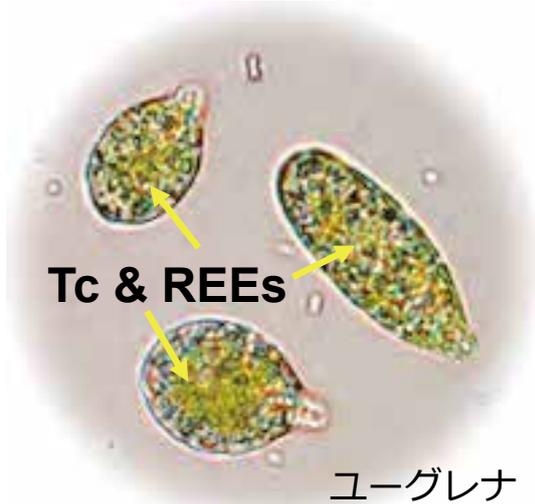
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 71 ユーグレナによる放射性物質と希土類元素の回収

健康食品でおなじみのユーグレナ(和名:ミドリムシ)を培養することで、汚染された溶液中から放射性核種を取り除きます。

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・福島第一原子力発電所の事故において環境中に放出された放射性元素の一つ、テクネチウム (Tc) を溶液中から除くことが可能。
- ・多くの生物が生育限界値となるpH3程度の酸性溶液中でも増殖し、放射性核種を除くことが可能。
- ・光条件下ではレアメタルである希土類元素 (REEs) を効率よく回収できます。
- ・大量培養可能。
- ・ユーグレナは健康食品として利用されるなど、環境に優しく、野外利用も可能。



ユーグレナの増殖 (○) に伴い、pH3.5の酸性溶液中からTc (●) が除かれた。

- **これまで回収が難しいとされていたTcの回収に成功。**
- **光条件下ではREEsも効率的に回収することを発見。**

酸性 (pH3程度) から弱アルカリ (pH8程度) の汚染溶液のバイオレメディエーション、あるいは希少元素回収技術の発展に道

### アウトカム

バイオレメディエーション  
希少元素回収技術

### アウトカムに至る段階

試作検討段階

### 連携希望企業

原子力関連企業、環境関連企業

### 知財等関連情報

特許第4247409号

Ishii, N., Uchida, S. 2006. J. Environ Qual 35:2017.

Ishii, N. et al. 2006. J. Alloys Compounds 408-412: 417.

### 担当者

量子医学・医療部門

高度被ばく医療センター福島再生支援研究部

石井 伸昌

本シーズの問合せ先: 量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

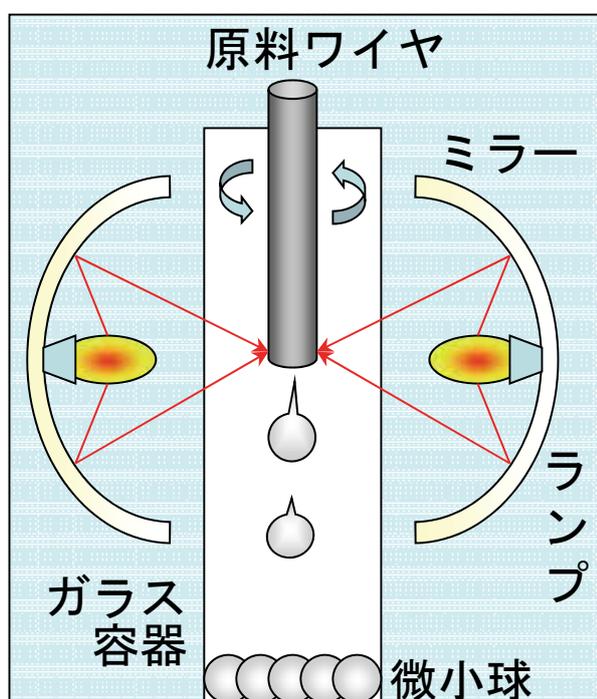
# 72 金属粒子製造方法

金属や合金、特に合成困難な金属間化合物の微小球の製造を可能にする技術です。簡便かつ部材と非接触で造粒できることから、不純物混入も抑制できます。

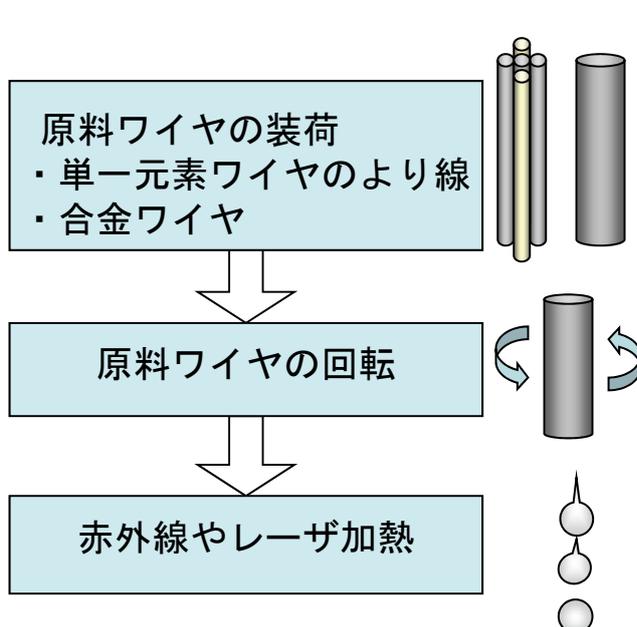
## シーズの特徴（成果含む）

金属や、合金からなるワイヤや棒材を回転させながら、赤外線やレーザーなどによる光加熱によって、溶融、滴下造粒する金属間化合物粒子製造方法で、原料を多種のワイヤにより線状にして用いることによって、均一組成の合金や、金属間化合物を直接合流造粒できます。

### 造粒概略図



### 造粒プロセス



光加熱方式により、原料への熱衝撃を低減できるとともに、部材と非接触で溶融・合成するため、不純物混入も抑制できます。

### アウトカム

- 1 高純度、均質組成微小球の製造
- 2 半導体などの接合ハンダ用微小球の製造
- 3 高機能材微小球製造

### 知財等関連情報

登録番号：5388272号

### アウトカムに至る段階

試作検討段階（金属間化合物球の試作）

### 連携希望企業

原子力関連企業、宇宙機器開発関連企業、  
水素エネルギー材料開発関連企業、  
耐熱材料開発関連企業、医療機器開発関連企業

### 担当者

核融合エネルギー部門  
六ヶ所核融合研究所 ブランケット研究開発部  
増殖機能材料開発グループ  
中道 勝

本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

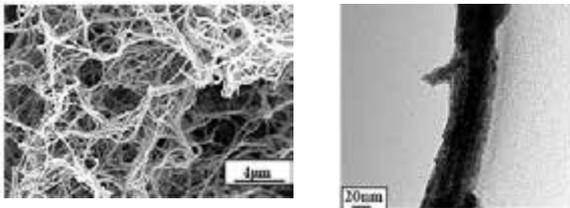
# 73 白金／金属酸化物複合電極触媒の作製

イオンビームあるいは電子線の照射により白金-セリア界面を形成することで、既存の材料と比べてはるかに少ない白金担持量でも高性能を発揮できる複合電極触媒を作製する。

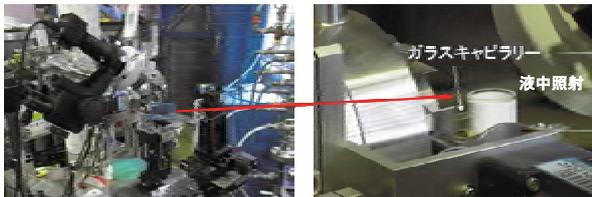
## シーズの特徴（成果含む）

- 塩化白金酸と還元剤を含む水溶液中にセリアナノワイヤ( $\text{CeO}_x$  NW)を分散させ、イオンビームまたは電子線を照射して白金-セリア界面を形成するとともに白金ナノ粒子を $\text{CeO}_x$  NW表面に担持する。
- 市販材料と比べてはるかに少ない白金担持量でも高い酸素還元反応 (ORR) 活性を発現。

### セリアナノワイヤ（物材機構 作製）



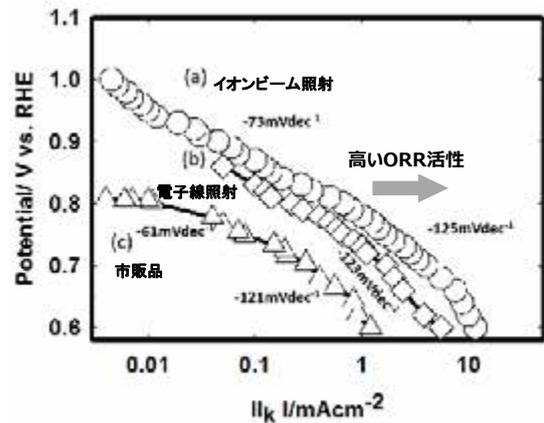
### イオンビーム照射（理研 タンデム加速器）



### 電子線照射（量研・高崎 電子線加速器）



### 回転電極測定によるORR活性



(a) プロトン照射(5 kGy)により作製した0.5wt% Pt- $\text{CeO}_x$  NW/C, (b) 電子線照射(20 kGy)により作製した0.5wt% Pt- $\text{CeO}_x$  NW/C, (c) 20wt% Pt/C (HiSPEC 3000).

### 高活性触媒の実現

→ 白金の使用量低減につながる触媒製造技術

## アウトカム

燃料電池用電極触媒

## 知財等関連情報

- 特開2016-149343
- 放射線と産業, 141, 25-28 (2016).

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
山本 春也

## 連携希望企業

燃料電池関連メーカー

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

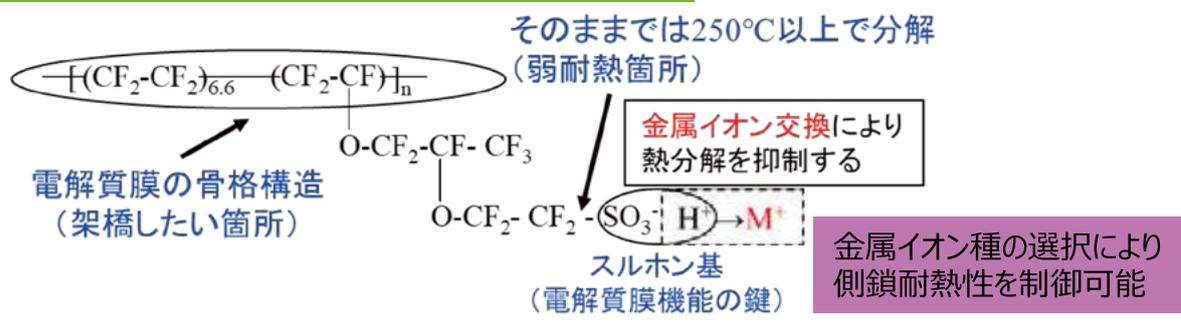
# 74 放射線架橋フッ素系固体高分子電解質とその製造方法

フッ素系固体高分子電解質の機能の鍵である側鎖の熱分解温度をイオン交換法により大幅に向上させた上で、放射線によりフッ素系固体高分子電解質の三次元架橋を可能とする技術です。

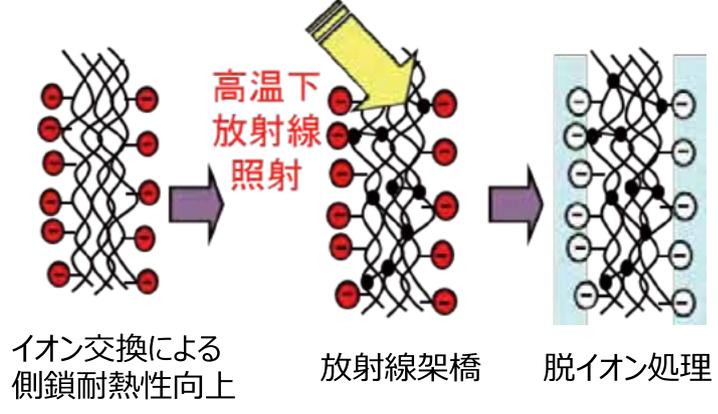
## シーズの特徴 (成果含む)

フッ素系固体高分子膜の放射線架橋実現に向けた問題点であった側鎖の耐熱性の弱さを金属イオン交換法により克服し、フッ素系固体高分子電解質を高温下放射線照射による架橋を実現させました。

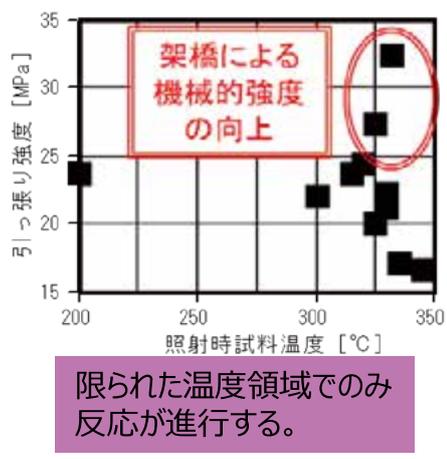
### フッ素系固体高分子電解質膜の構造の一例



### 製造の3プロセス



### 本プロセスの適用例



## アウトカム

放射線により三次元架橋されたフッ素系固体高分子電解質膜  
耐放射線性を有するフッ素系固体高分子電解質膜

## アウトカムに至る段階

試作検討段階

## 連携希望企業

高分子材製造メーカー  
水素関連企業

## 知財等関連情報

特許第5477583号

## 担当者

核融合エネルギー部門  
六ヶ所核融合研究所ブランケット研究開発部  
トリチウム工学研究グループ  
岩井 保則

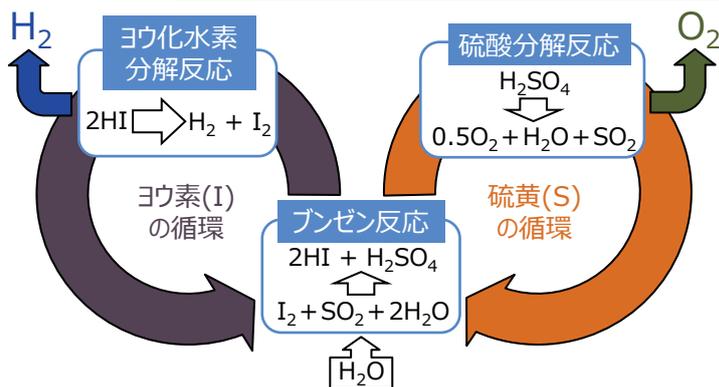
本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

# 75 熱化学水素製造ISプロセス用 カチオン交換膜の開発

次世代水素製造法の一つに、ヨウ素と硫黄の化合物を用いて水を熱分解するISプロセスがあります。その一工程である膜ブンゼン反応の高効率化に不可欠なカチオン交換膜を放射線グラフト法によって開発します。

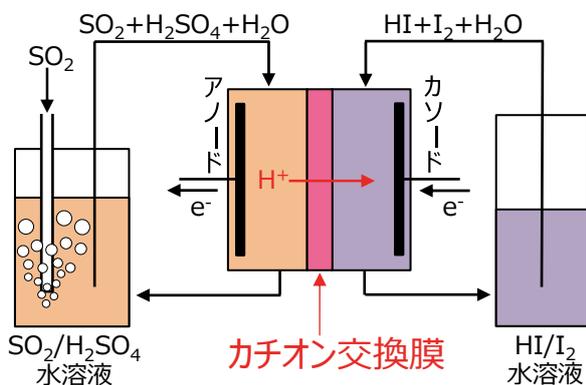
## シーズの特徴（成果含む）

### 熱化学水素製造ISプロセスの原理および特長

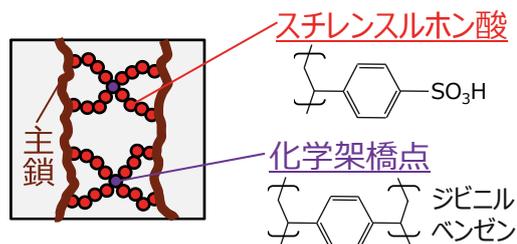


- ・大量の水素を効率的に製造できる
- ・ヨウ化水素および硫酸の分解反応の熱源として太陽光を利用できる

### 膜ブンゼン反応



### 新規カチオン交換膜



必要性能	H <sup>+</sup> 伝導性	水透過抑制能
市販膜	○	×
新規開発膜	○	◎

○ 新規カチオン交換膜を用いることで高効率の膜ブンゼン反応を実現

## アウトカム

水素供給インフラの構築

## アウトカムに至る段階

基礎段階

## 連携希望企業

フィルムメーカー  
水素エネルギー材料開発関連企業

## 知財等関連情報

- 1) 膜, 41, 114-120 (2016).
- 2) 放射線と産業, 141, 4-7 (2016).
- 3) 特開 2017-145297

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所  
八巻 徹也

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 76 放射線エマルジョングラフト重合と 得られるグラフトフィルター

## シーズの特徴（成果含む）

- 新しいグラフト重合の手法としてモノマーを乳化させて反応させるエマルジョングラフト重合技術に適応すると、安価で環境に優しいプロセスで、高性能なフィルターを得ることが出来ます。

### 反応効率の高い新しいグラフト重合反応の研究

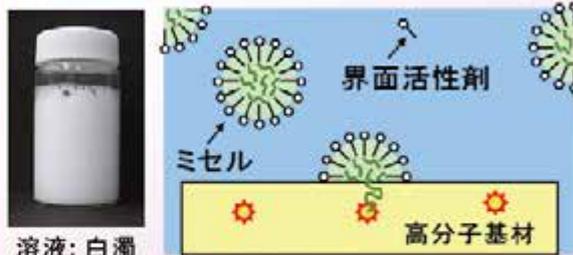
#### 従来の放射線グラフト重合



溶液: 透明

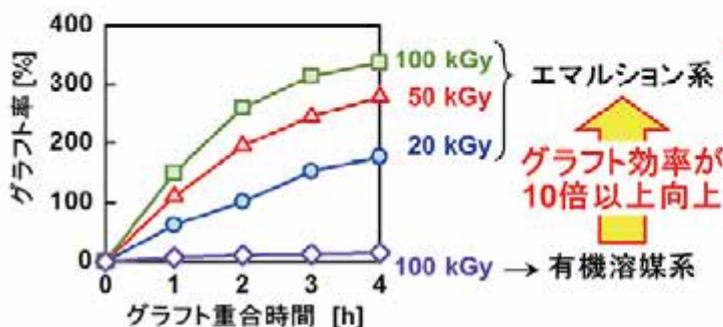
有機溶媒系: モノマーは均一に溶解

#### エマルジョングラフト重合



溶液: 白濁

エマルジョン系: モノマーは均一に分散



エマルジョン系  
グラフト効率が  
10倍以上向上

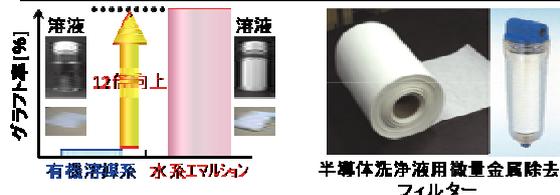
- 照射線量の低減 (4分の1以下)
- 試薬・溶媒の使用量の低減 (10分の1以下)
- 必要とする反応時間の短縮 (3分の1以下)
- 有機廃液がゼロ、または、10分の1以下に低減

コスト・環境負荷の軽減

#### 放射性セシウム用給水器の開発



#### 効率のよい新しいグラフト重合法の開発



## アウトカム

環境資源捕集材料・浄化フィルター

## アウトカムに至る段階

応用・実施段階

## 連携希望企業

化学・精錬メーカー

## 知財等関連情報

- 1) 特許第4670001「エマルジョングラフト重合法とその生成物」
- 2) 特許第5013333「グラフト重合された機能性不織布の製造方法」

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部環境資源材料研究  
瀬古 典明

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

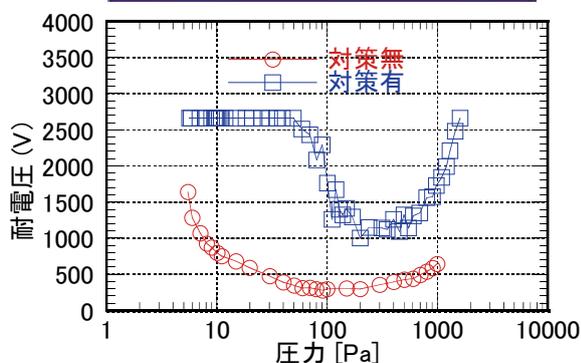
# 77 2極コネクタの嵌合部構造

高温及び放射線環境下の核融合装置内で使用可能であり、かつMIケーブルの接続が容易な高耐電圧のコネクタを開発しました。

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・耐熱性(200℃～300℃)、耐放射線性を求められる過酷な環境下で、かつパッシブな圧力条件付近にて高い耐電圧性(1 kV)を有しています。
- ・MI(Mineral-insulated)ケーブルの接続、取り外しが容易な構造となっています。

### 新構造の耐電圧



### コネクタ部



### 真空容器内の接続箱に使用



- セラミックスリーブの接触部を互い違いにすることで接続性と耐電圧性を両立。
- 装置内でのMIケーブルの加工、ロー付け、接続箱のシール溶接が不要。
- 原子力関連装置、高エネルギー実験装置などへの応用が期待される。

## アウトカム

コネクタ

## アウトカムに至る段階

応用

## 連携希望企業

エネルギー、機械関連企業

## 知財等関連情報

- 1) 国内特許：出願番号2016-023753
- 2) Fusion Eng. Des. 123 (2017) 965-968

## 担当者

核融合エネルギー部門  
 那珂核融合研究所トカマクスシステム技術開発部  
 JT-60システム統合グループ  
 武智 学

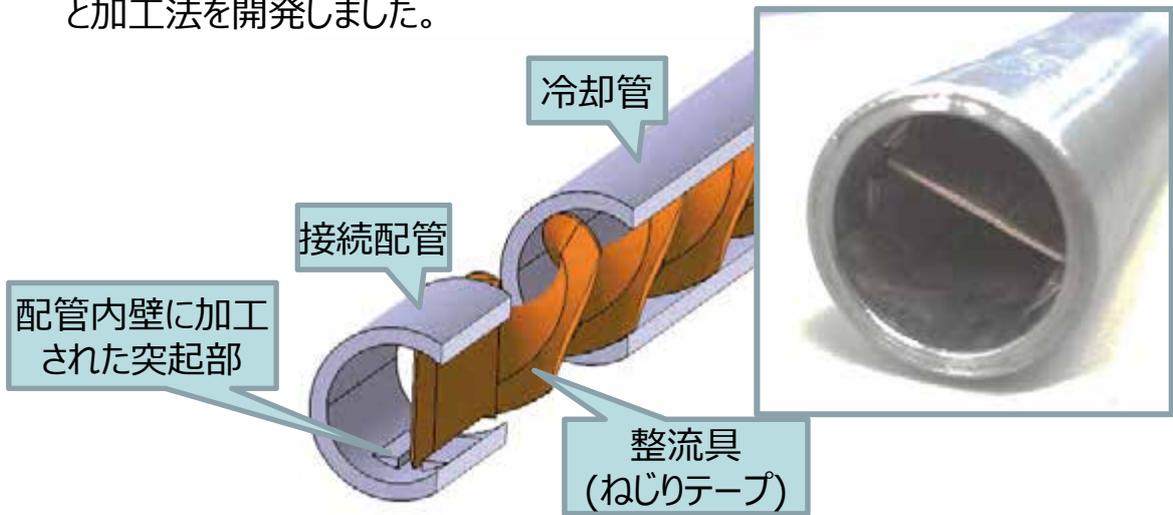
本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 78 冷却管ユニットの製造方法、管内整流具、冷却管及び管内整流具の固定構造の開発

核融合炉ダイバータ用の冷却管ユニットの製造方法を開発しました。

## シーズの特徴（成果含む）

密集配管や機器類が近接状態にある配管など、整流器具の設置エリアの確保ができない狭隘部位において、局部的に配管外径の変化を大きくすることなく、配管内部に溝を有する突起部とそれに対応する整流具を固定できる構造と加工法を開発しました。



核融合炉ダイバータ用の冷却管の構造

- 高熱伝達率が必要で、圧力境界を構成する部位に適用し、冷却管と接続配管を同一外径とすることで突合せ溶接が可能となる構造を開発。
- 接続配管の外径を大きくせずに済むため、密集配管の場合、配管外周からの溶接や非破壊検査が容易。
- 高性能な熱交換器等への応用が期待される。

### アウトカム

高熱を受ける機器の冷却管の高性能化・小型化

### アウトカムに至る段階

応用(機器製作)

### 連携希望企業

核融合機器製作企業  
ボイラー・圧力容器製作企業

### 知財等関連情報

特開2017-90412

### 担当者

核融合エネルギー部門  
那珂核融合研究所 I T E R プロジェクト部  
プラズマ対向機器開発グループ  
鈴木 哲

本シーズの問合せ先：核融合エネルギー部門研究企画部 (fusion-chizai@qst.go.jp)

# 79 量子ドット (CdSe) の合成技術

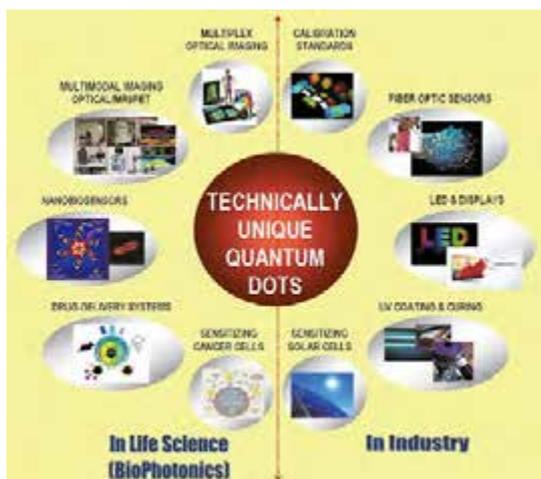
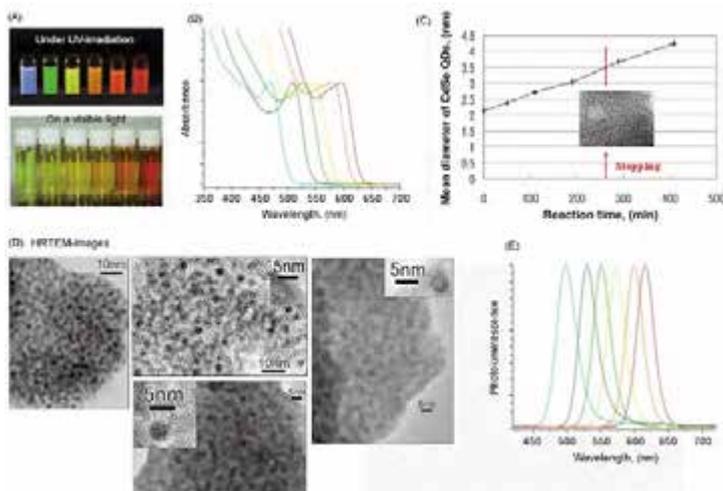
蛍光イメージングにおいて高輝度のナノ粒子マーカーとして利用できる量子ドット。  
目的とするサイズ・スペクトル特性を有する多種類のCdSe量子ドットを、均一かつ高度な再現性で合成できる製造方法を発明しました。

## シーズの特徴 (成果含む)

量子ドットは工業製品に加えて、蛍光イメージングにおけるナノ粒子マーカーとして生体イメージングにも多用されている。緩やかな温度上昇で反応させることにより結晶の成長を制御できるため、サイズが均一となり、蛍光の周波数にばらつきが小さい量子ドットを再現性良く合成できる方法を発明した。収率も高く、反応の際に毒性のあるCd/Se前駆体の添加量を削減できるため環境にもやさしい。

### 従来技術からの飛躍

従来は高温反応により急激に結晶が成長するため、均一な量子ドットを得ることが難しく、蛍光波長のばらつきが大きくなっていた点を、解決。



○マルチカラー量子ドットは、発光ダイオード、光ファイバーセンサーなどの電子工学に加えて、表面を修飾して水に分散させると、がん細胞や病原微生物、移植細胞などを検出・追跡する「量子生体イメージング」マーカーとして、生命科学に応用可能。

### アウトカム

前臨床研究開発

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

創薬、試薬、電子部品など

### 知財等関連情報

特許第5019052号  
CdSe量子ドット及びその製造方法

### 担当者

量子生命科学領域  
青木 伊知男

本シーズの問合せ先：量子生命科学領域研究企画部 (igls-kikaku@qst.go.jp)

# 80 量子ビームによる植物・微生物の育種



高崎量子応用研究所TIARAで加速したイオンビームで突然変異を誘発し、植物の新品種や微生物の新機能株を作出します。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・深度制御種子照射装置を用いて植物や微生物試料にイオンビームを照射します。
- ・イオンビームによる変異の特徴として、1) 変異の誘発率が高い（少ない試料、狭い施設での変異体選抜が可能）、2) 変異の幅が広い（新しい遺伝資源の創成が可能）、3) 変異する箇所が少ない（目的形質のワンポイント改良が可能）ことを明らかにしました。
- ・照射前後の試料の取り扱い、線種・線量の決定、変異体選抜に豊富な経験があります。

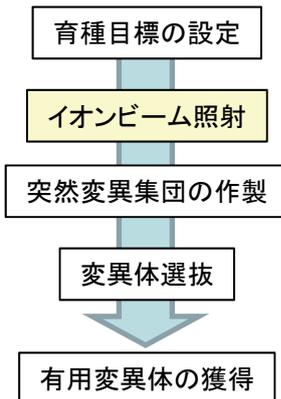


イオンビーム

照射中の試料



深度制御種子照射装置



### 立神(りゅうじん)

- ・芽かき作業が省力化
- ・寒さに強く低温期でも大輪の花



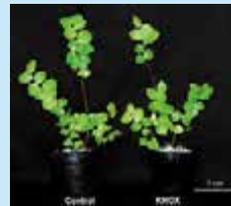
### 新吟醸用清酒酵母

- ・従来酵母にはない甘い香りの新酵母
- ・酒造蔵に頒布



### 高環境浄化能

- オオイタビ(KNOX)
- ・二酸化炭素の吸収能力が既存品種より高い壁面緑化用植物



○これまでに、省力栽培輪ギク、新花色のカーネーションや芳香シクラメン、高環境浄化能を持つ壁面緑化植物、吟醸酒特有の香気成分を高生産する新規清酒酵母など40以上の植物新品種・微生物新機能株を実用化。

## アウトカム

植物新品種、微生物新機能株

## アウトカムに至る段階

製品化段階

## 連携希望企業

バイオ・種苗関連企業

## 知財等関連情報

- 1) キク品種「立神」  
(品種登録 第26326号)
- 2) 長谷純宏 放射線化学, 100, 86-88 (2015)
- 3) 増淵 隆 他 バイオインダストリー, 30, 65-71 (2013)

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線生物応用研究部  
大野 豊

私たちの生活

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 81 イオンビーム育種で害虫防除に役立つ微生物を開発

イオンビームを糸状菌に照射することで、生物農薬の実用化の場面で必要となる殺菌剤や高温への耐性を持った変異体を作出することができました。

## シーズの特徴（成果含む）

ハウス栽培等の場面では、害虫（コナジラミ類、アザミウマ類など）の発生が問題となります。

これらの害虫には、害虫の天敵である特定の糸状菌を農薬（生物農薬）として利用することが期待されています。

### <実用化の課題>

実際のハウス栽培では、**病害対策の殺菌剤による効果の減少**  
**ハウス内の高温による生存率の低下**が問題になっている

微生物に対する  
イオンビーム育種

殺菌剤（ベノミル） 散布時の成長量	野生株	変異株
ボーベリア菌	1	6.5 - 6.6倍
イザリア菌	1	4.5 - 6.5倍

**殺菌剤への  
耐性が向上**

発育上限温度	野生株	変異株
メタリジウム菌	35℃	38℃

**高温でも生育可能**

### アウトカム

農業、バイオ関連

### アウトカムに至る段階

応用段階、製品化段階

### 連携希望企業

農薬メーカー、バイオ・食品関連企業

### 知財等関連情報

Fitriana *et al.*,  
Appl. Entomol. Zool. , 50 (2015) 123 - 129  
Fitriana *et al.*,  
Biocontrol Sci. and Tech. , 24 (2014)  
1052 - 1061

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線生物応用研究部  
大野 豊

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

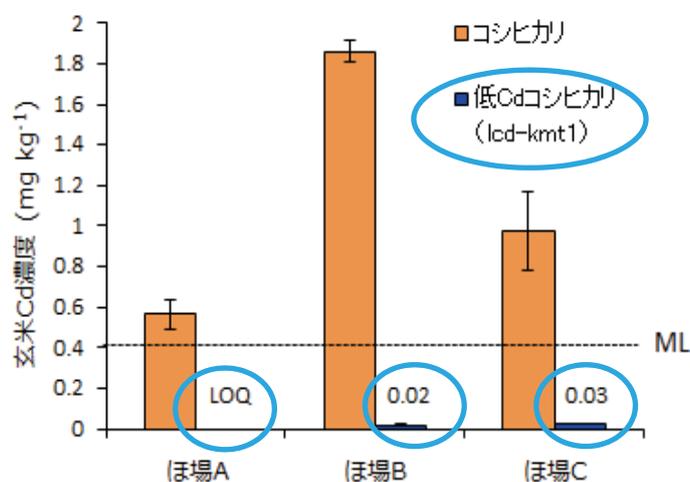
# 82 イオンビーム育種でカドミウムをほとんど吸収しないイネを作出

イオンビームをコシヒカリ種子に照射して突然変異を起こし、植物体内にカドミウムをほとんど吸収しないイネを作出しました。

## シーズの特徴（成果含む）

低カドミウムコシヒカリ変異体 (lcd-kmt1) は玄米中にカドミウムをほとんど含まない

外観、収穫量、味はコシヒカリと変わらない



コシヒカリ 低Cdコシヒカリ

高カドミウム土壌で栽培した時の玄米中のカドミウム (Cd) 濃度

LOQ: 定量限界値 (0.01 mg/kg) 未満  
ML: 食品衛生法で定められた米のカドミウム濃度基準値

### アウトカム

種苗、バイオ関連

### 知財等関連情報

Ishikawa *et al.*,  
PNAS ,109 (2012) 19166 – 19171

### アウトカムに至る段階

製品化段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線生物応用研究部  
大野 豊

### 連携希望企業

種苗メーカー、バイオ・食品関連企業

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 83 放射線を利用した植物栽培促進技術

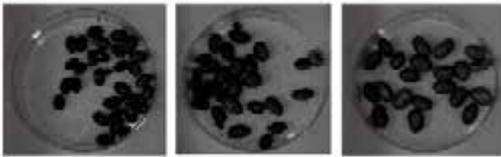
生物には外界からの刺激に反応する反応系が備わっているものがあります。電離放射線についても生物は反応する現象があり、エダマメ苗の栽培において特定線量域の放射線照射はマメの生長収穫を促進することを見出しました。

## シーズの特徴（成果含む）

### エダマメ照射サンプルの外見



対照群 0.06Gy/日 0.2Gy/日



ガンマ線による線量率特異的なマメ生育条件を利用して生産性増加、有用物質探索・生産に活かす



屋内照射での生長調節、物質探索



開花調節など生育研究への発展

### 1. 生長の促進

高線量率でも外見は良好で豆の大きさも大きい（写真）

・エダマメを植え付け後42-43日目ものに照射開始（0.02Gy/日、0.06Gy/日、0.2Gy/日）、土日祝日を除き8時間/日で照射（25日間）し、植え付けから79或いは82日目に収穫したところ線量率によって莢重量が増加した。

・また個体当たりの莢数をみると0.06Gy/日より0.2Gy/日ではむしろ莢数は少なくなる傾向を示すなど線量域に応じて特異的な生物反応が誘起されている。

### 2. 有用成分の増加

照射して得られたエダマメの代謝物を測定するとアスコルビン酸、システインなど抗酸化作用に関連するような有用物質が線量率に応じて増加する場合がみられる。

○今後、屋内照射制御環境下でマメの生育効率化法を  
発展させ、放射線防護にもつながる物質の探索に利用

### アウトカム

有用物質の増産、放射線防護剤探索、植物生長制御研究

### 知財等関連情報

登録番号：特許第5483108号  
名称：γ線を利用したマメ科植物の栽培方法

### アウトカムに至る段階

基礎段階

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所放射線影響研究部  
生活習慣・ストレス影響グループ  
中島 徹夫

### 連携希望企業

食品・医薬品関連企業

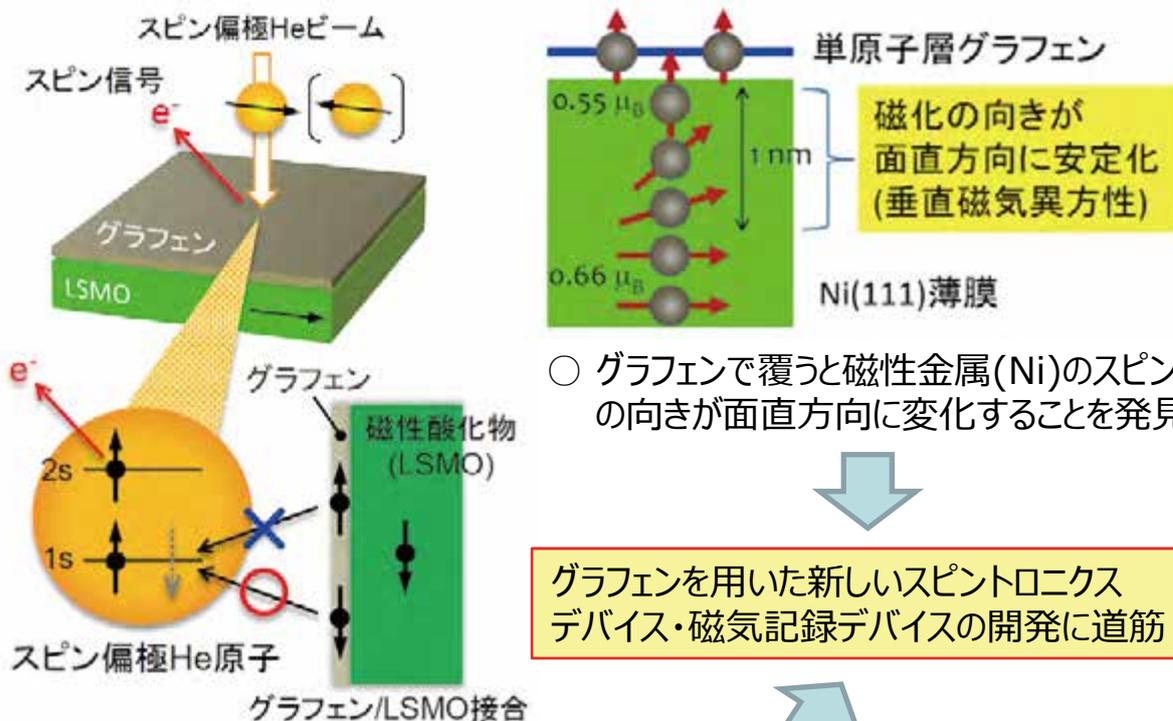
本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部 (nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# 84 グラフェンのスピンを操る — グラフェンスピントロニクスの開拓 —

次世代の量子情報技術のベース材料として注目されているグラフェンの電子スピン制御技術、および、関連する先端機能材料の研究・開発により、グラフェンのスピントロニクスへの応用を開拓する。

## シーズの特徴（成果含む）

- ・異種材料との接合を利用してグラフェンの電子のスピンの向きを制御することができます。
- ・磁性材料とグラフェンの組み合わせにより磁性材料のスピンの向きを制御できます。
- ・グラフェンを使ってスピントロニクスデバイスや磁気記録デバイスを作ることができます。
- ・グラフェンや同関連材料(原子層物質)を様々な異種材料と接合させることができます。
- ・量子ビーム技術を駆使することで極薄材料の電子的・磁氣的性質を知ることができます。



- スピン偏極ヘリウムビームでグラフェンのスピンを検出。
- 磁性酸化物(LSMO)によりグラフェンのスピンの向きが揃うことを発見。

### アウトカム

スピントロニクス・磁気記録デバイス  
エネルギー変換デバイス

### アウトカムに至る段階

基礎～応用段階

### 連携希望企業

情報技術関連企業

### 知財等関連情報

- 1) Entani, Carbon 2013
- 2) Matsumoto, J. Mater. Chem. C 2013
- 3) Ohtomo, Appl. Phys. Lett. 2014
- 4) Haku, Appl. Phys. Express 2015
- 5) Sakai, ACS Nano 2016 (プレス発表)

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
境 誠司

私たちの生活

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 85 プロトンビームライティング (PBW) 加工技術の開発

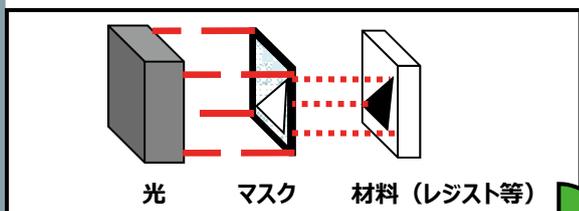
MeV領域のプロトンマイクロビームを目的の形状で レジスト等に照射(直接描画)し、微細加工を行うことで、マイクロメートルレベルの分解能で高アスペクト比の構造体を製作する。

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・低コスト化、加工プロセスの簡略化が可能
- ・プログラム制御で自由度の高い描画が可能

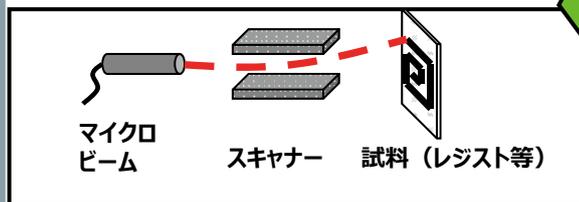
### ○特徴

#### マスクプロセス (従来技術)



※露光の前にマスク製作が必要

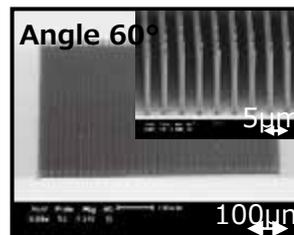
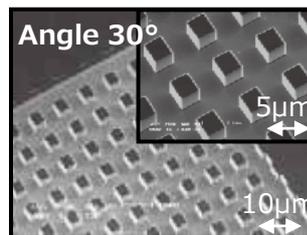
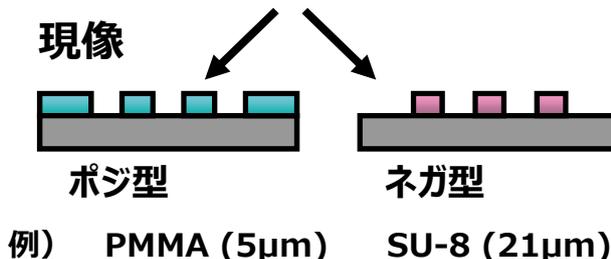
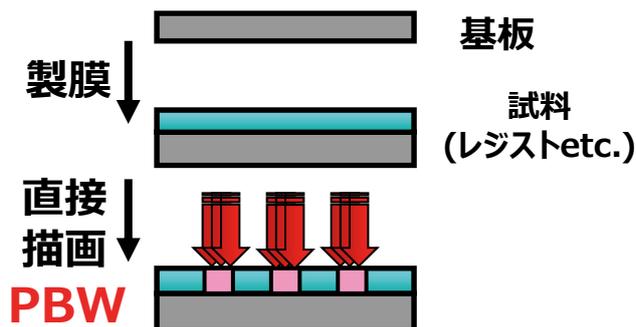
#### 直接描画 (本技術)



※描画データを作るだけで描画が可能

- 誘電泳動デバイスをはじめ様々な2次元又は3次元の微細加工品製作

### ○加工プロセス



### アウトカム

インプリント、センサー

### 知財等関連情報

三次元誘電泳動デバイス

### アウトカムに至る段階

基礎研究

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所放射線高度利用施設部ビーム技術開発課  
石井 保行

### 連携希望企業

微細加工

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

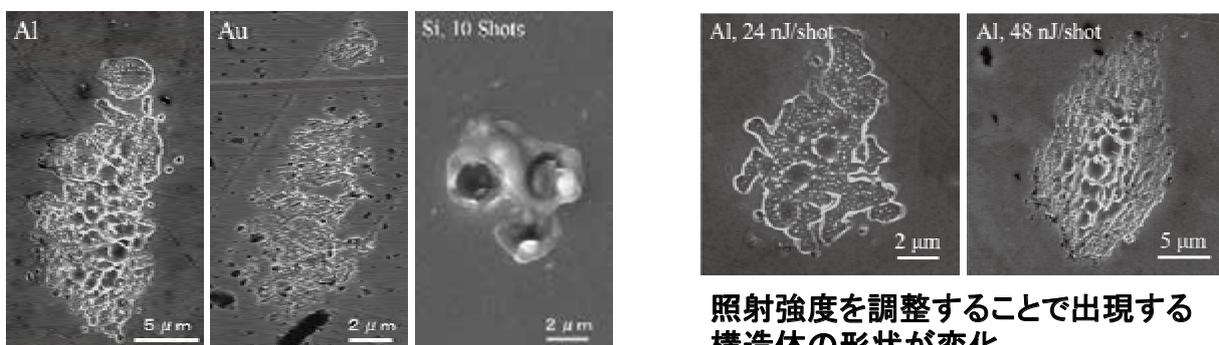
# 86 軟X線レーザーを用いたナノ構造形成と超微細加工技術

波長13.9nmの軟X線レーザーパルスを材料表面に照射することにより、ナノメートルサイズの構造体を形成する。

## シーズの特徴（成果含む）

## 計測技術含む

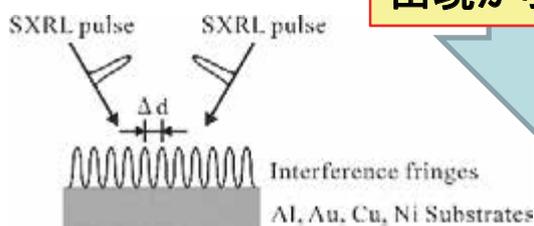
- ・軟X線レーザー（波長13.9nm、パルス幅7ps）を材料表面に集光照射することによってナノメートルサイズの微細な構造体をマイクロメートルの範囲に形成できます。
- ・金属（Al, Au, Cu） 半導体（Si） 絶縁体（LiF, SiO<sub>2</sub>） 高分子（PMMA） 他
- ・軟X線レーザーの照射強度を変えることで、構造体の形状を変化させることができます。
- ・材料（元素）を変えることで、形成される構造体の形状が変わります（物質依存性）。



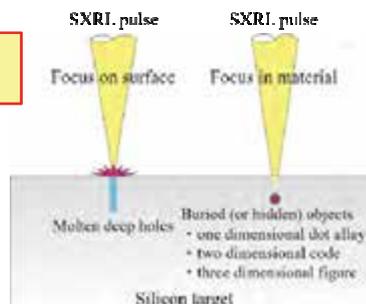
照射強度を調整することで出現する構造体の形状が変化

物質特有の多様な構造体が出現

### 出現から加工へ



材料表面の直接加工（感光材なし）



深さ方向の構造形成（3次元加工）

- ナノメートルサイズの微細構造を試料表面に直接形成することが可能。
- 清浄表面への3次元ナノ加工の可能性。

## アウトカム

高輝度軟X線による超微細加工技術への応用

## アウトカムに至る段階

応用段階

## 連携希望企業

未定

## 知財等関連情報

- 1) J. Appl. Phys. 109, 013504 (2011).
  - 2) Appl. Phys. A 110, 179 (2013).
  - 3) Appl. Phys. A 124, 649 (2018).
  - 4) Appl. Phys. Lett. 113, 151901 (2018).
- 他文献多数

## 担当者

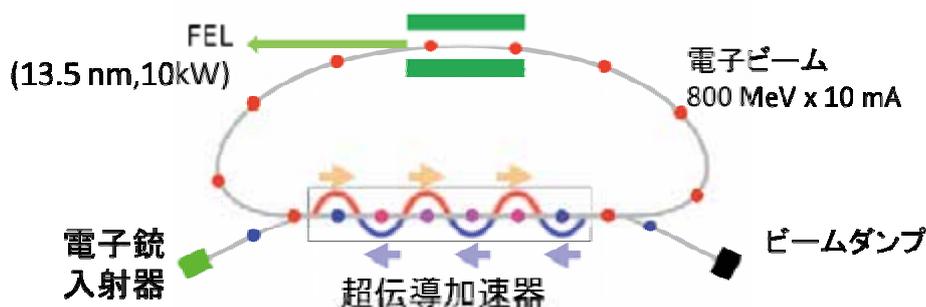
量子ビーム科学部門  
関西研(木津)：X線レーザー研究グループ  
石野 雅彦

# 87 EUV自由電子レーザーの開発と半導体リソグラフィ技術への応用

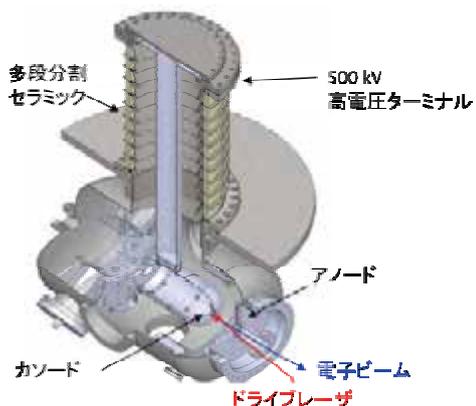
次世代半導体の製造、検査に必要な高出力EUV光源を開発し、高集積半導体作製への応用を目指す。

## シーズの特徴（成果含む）

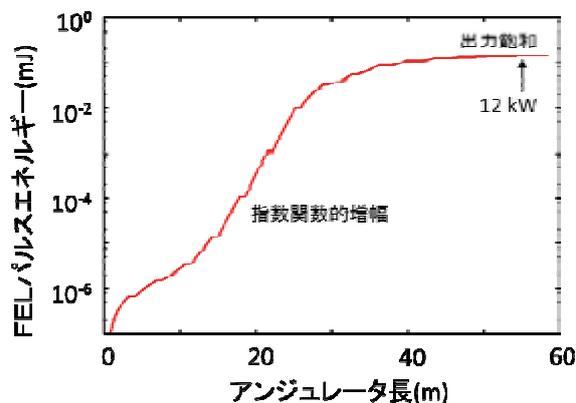
10 kW級EUV光源の概念図



光陰極DC電子銃



FEL発振シミュレーション



○10kW級EUV光源（波長13.5nm）の実現に必要な電子銃、加速器、シミュレーション、自由電子レーザーの技術

### アウトカム

半導体集積度の向上

### アウトカムに至る段階

応用段階

### 連携希望企業

東芝、三菱重工MS、日立、NTT-AT、ギガフォトン他半導体メーカー

### 知財等関連情報

- 1) R. Hajima, Proc. 2014 International Workshop on EUV and Soft X-Ray Sources (Dublin, Nov.3-6, 2014)

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所東海量子ビーム応用研究センター  
羽島 良一

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 88 燃料電池システムのコスト低減を可能とする 芳香族炭化水素電解質膜の開発

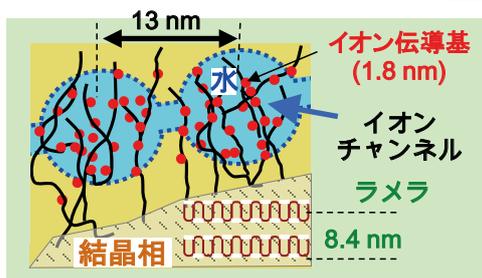
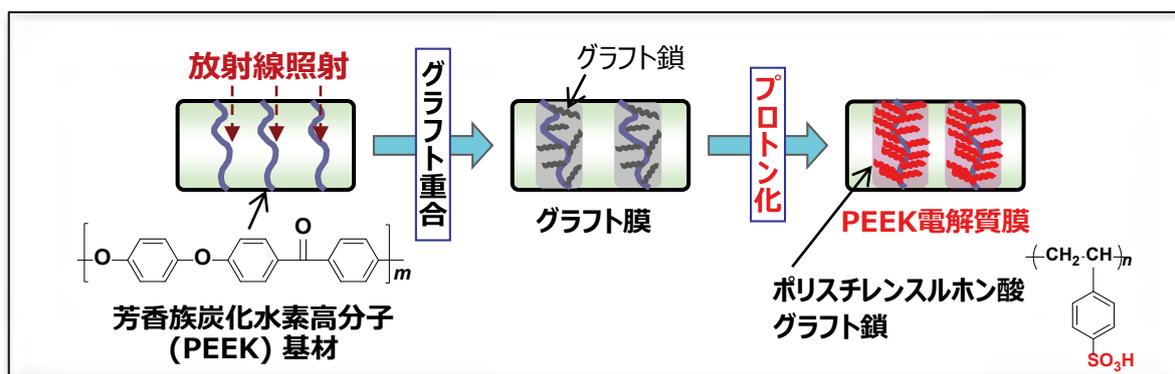


プロトン(H<sup>+</sup>)の動きを保つために添加される水の量が少ない条件下(低加湿下)でも、高い導電性を保つプロトン伝導高分子電解質膜を開発します。燃料電池システムからの水分量調節器の省略により、コスト低減が可能となります。

## シーズの特徴 (成果含む)

## 計測技術含む

高崎研のCo60線源や電子加速器を用いたグラフト重合により、イオンを通す膜(電解質膜)を作製し、SPring-8やJ-PARC等を活用した膜の詳細な構造・機能解析を経て、耐久性の高い構造を最適化します。



中性子・X線小角散乱の複合利用で、電解質膜の構造/電池特性の関連性を明確化

低加湿下でも市販の膜材料 (Nafion®) と同等の出力、且つ破断強度 (耐久性) 向上を実現

- 世界に先駆けて、芳香族炭化水素高分子 (PEEK) 膜への放射線グラフト重合に成功し、プロトン伝導高分子電解質膜を開発
- 作製した PEEK 電解質膜で、世界最高性能の出力密度を達成

## アウトカム

燃料電池自動車  
定置型燃料電池

## アウトカムに至る段階

応用段階、製品化段階

## 連携希望企業

燃料電池メーカー、フィルムメーカー

## 知財等関連情報

- 1) 特許 第5545609号
- 2) 特許 第5004178号
- 3) 英国特許 GB2454140
- 4) 米国特許 US9382367 等

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎研：P「高分子機能材料研究」  
廣木 章博

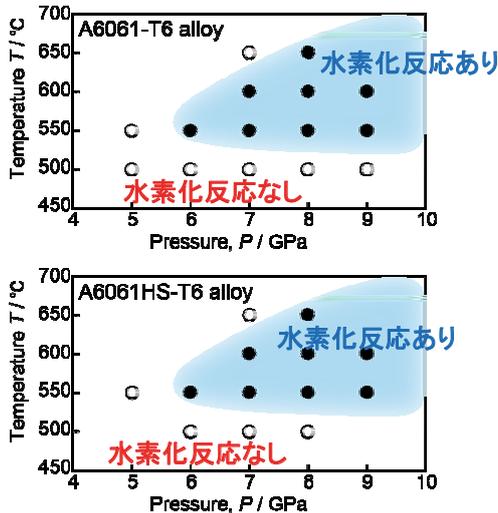
シーズ全般の問い合わせ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 89 高温高压水素と金属の反応

極端環境下で生じる可能性がある現象を実現  
 微量な水素が引き起こす現象を高水素密度状態で再現

## シーズの特徴（成果含む）

- 10万気圧, 1000℃までの高温高压水素と金属を反応させることが可能です。
- 極端環境下でのみ進行する反応を実現することができます。
- 放射光その場X線回折技術を利用し、高温高压下での水素と金属の反応の様子を観察することが可能です。



## 想定される開発例

極端環境下で生じる可能性のある現象を実現。  
 → 発生温度圧力条件の上限の決定

微量な水素が引き起こす現象を高水素密度状態で再現。  
 → 発現機構の解明

○ 高压水素貯蔵用の複合容器技術基準で規定されたA6061合金の水素化温度圧力条件を決定。実用上で想定される温度圧力条件下では水素化物は生成しないことを実験的に示した。

### アウトカム

耐水素脆化材料の開発  
 水素配管・水素容器材料の高度化

### 知財等関連情報

日本金属学会誌 第76巻 第2号 (2012) 139.

### アウトカムに至る段階

基礎

### 担当者

量子ビーム科学部門  
 関西光科学研究センター-高压・応力科学研究グループ  
 齋藤 寛之

### 連携希望企業

材料メーカー

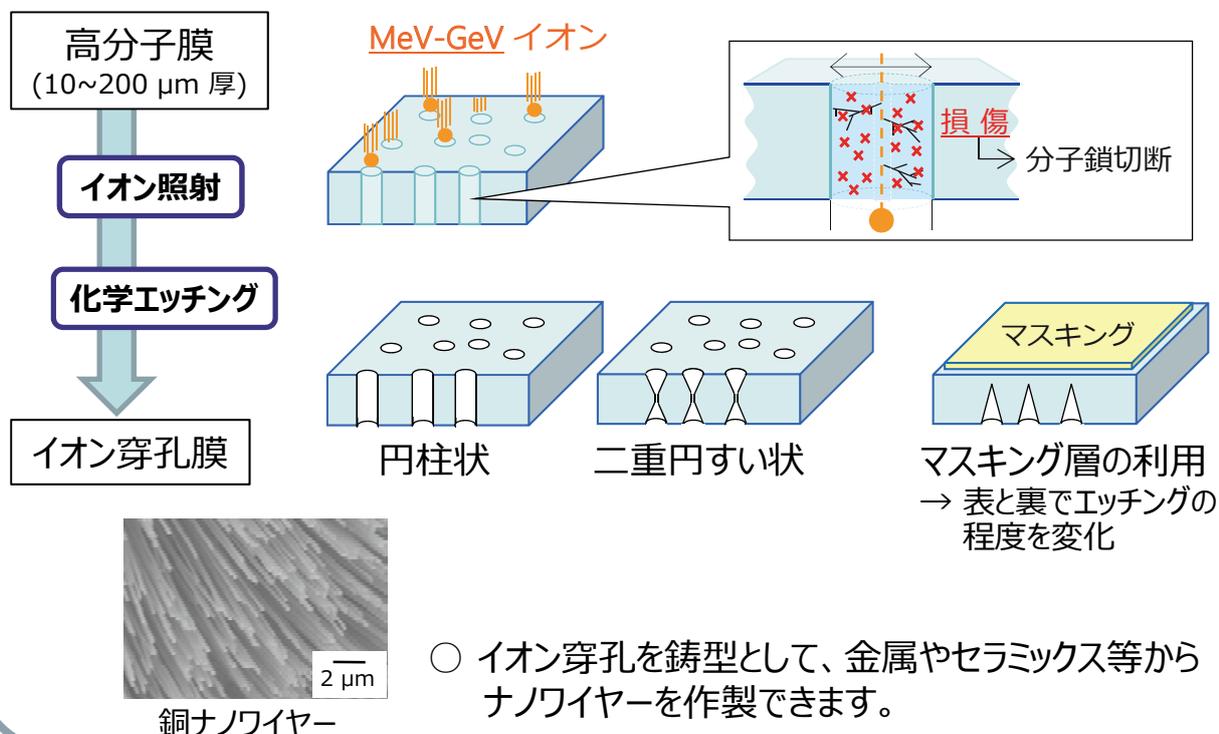
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 90 イオンビームによる高分子材料の微細加工技術

イオンビームの個々の粒子がその軌跡に沿って高分子を分解する反応を利用して、寸法(長さと直径)と形状をナノスケールで制御したナノ穿孔を形成する。

## シーズの特徴 (成果含む)

- 種々の高分子材料に対して、貫通 または 非貫通 のナノ穿孔を作製できます。ポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート、ポリイミド、ポリフッ化ビニリデン、ポリパラフェニレンテレフタルアミド、etc.
- 照射イオンのエネルギーとエッチング条件を変化させることで、穿孔の長さや直径を制御でき、円柱状や二重円すい状の穿孔も作製可能です。



### アウトカム

ナノ構造体形成用の鋳型、触媒担体、フィルター等

### アウトカムに至る段階

試作検討段階  
高分子の薄膜があれば試作可能

### 連携希望企業

化学素材メーカー

### 知財等関連情報

- 1) 特開2016-65140.
- 2) Nucl. Instrum. Meth. B, 260, 693 (2007).
- 3) J. Membr. Sci., 327, 182 (2009).

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
八巻 徹也

本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

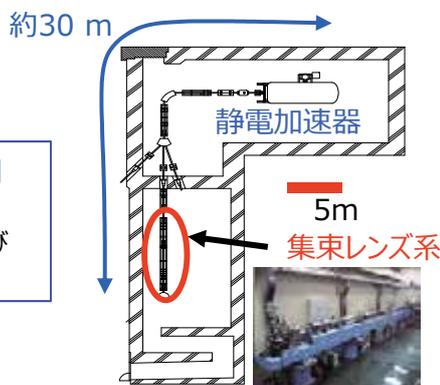
# 91 小型イオンマイクロビーム装置

従来技術では30m程度の大型装置でしか形成できなかった数100keV~数MeVのイオンマイクロビームを2m×2m程度の小型装置で形成する。

## シーズの特徴（成果含む）

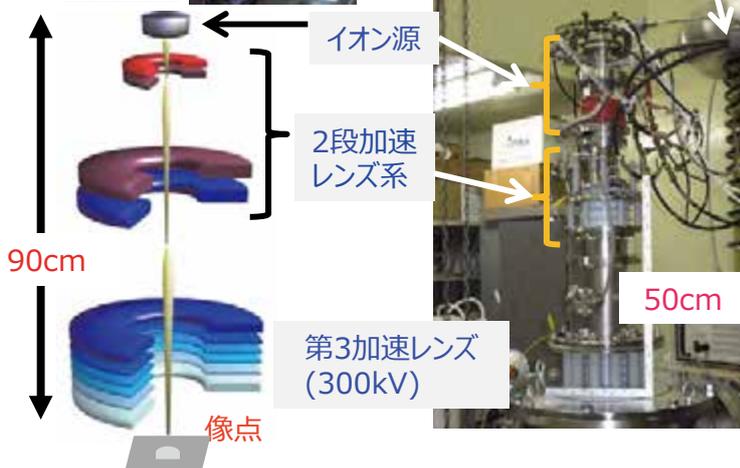
### 従来のイオンマイクロビーム技術

(加速器、ビームライン及び集束レンズが必要)

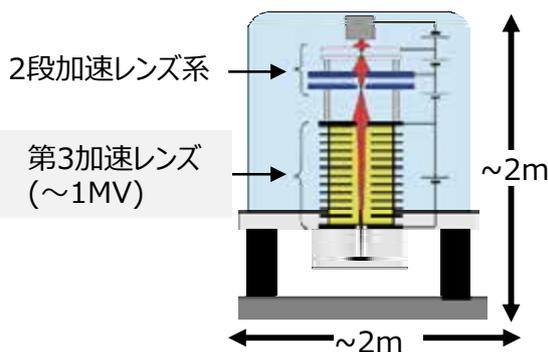


例) 高崎量子応用研究所 軽イオンマイクロビーム装置

小型イオンマイクロビーム装置：プロトタイプ、  
~300keVで実現  
(3段加速レンズで大幅に小型化)



MeV小型イオンマイクロビーム装置の概念図  
(1MeVを目標)



### アウトカム

微細加工・分析装置の開発

### アウトカムに至る段階

基礎

### 連携希望企業

微細加工・分析機器分野の企業

### 知財等関連情報

- 1) 特許 第4665117号
- 2) 特許 第5971631号

### 担当者

量子科学部門  
高崎量子応用研究所放射線高度利用施設部ビーム技術開発課  
石井 保行

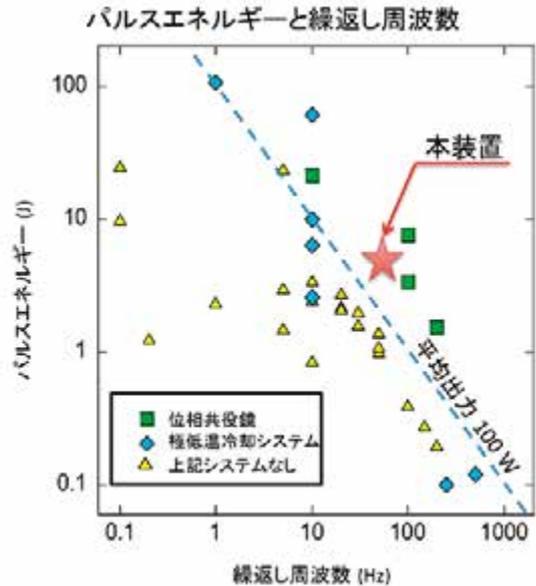
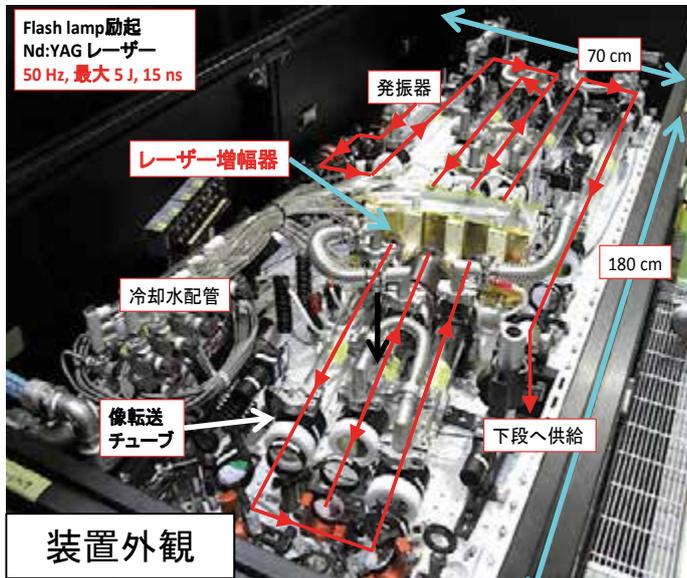
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 92 屋外で使用可能な 200 W級 Nd:YAGレーザー

「小型の固体レーザー増幅器の開発」と「像転送光学系の導入」により、世界最高クラスのレーザー出力(4J/pulse以上 @50Hz)と屋外でも使用可能な汎用性を両立したNd:YAGレーザーを実現しました。

## シーズの特徴（成果含む）

一般に高エネルギー&高繰り返しレーザーでは、熱影響による波面歪み(性能低下)を防ぐために、特殊な位相制御装置や冷却装置が必要です。本装置では、「複数の媒質を内蔵する小型増幅器」を開発すると共に「増幅媒質の前後に像転送光学系を導入」することで、シンプルな構成による「長距離伝搬」、「波面の歪みの補正」を可能とし、屋外でも使用可能な小型レーザーを実現しました。



- レーザーの出力は50 Hz動作時において4 J/pulse以上。
- フラッシュランプ励起の採用による低コスト化。
- 屋外でもレーザーの使用を可能とする専用筐体に収納。
- パルス幅が短く (< 15 ns)、熱影響の小さい加工や表面改質（ピーニング）が可能。
- レーザー打音装置（NHK サイエンスゼロ等で紹介）の光源として採用。

## アウトカム

レーザー加工・表面改質用光源検査  
機器用光源

## 知財等関連情報

“レーザー増幅装置” 特願2017-207554

## アウトカムに至る段階

製品化に向けた試験段階

## 担当者

量子ビーム科学部門  
関西光科学研究所X線レーザー研究グループ  
長谷川 登

## 連携希望企業

光学機器メーカー

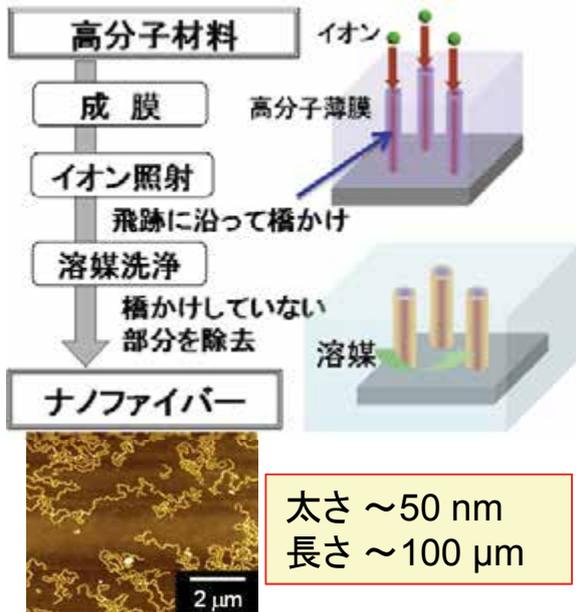
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部(qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 93 イオンビームの飛跡を利用した ナノワイヤーの形成

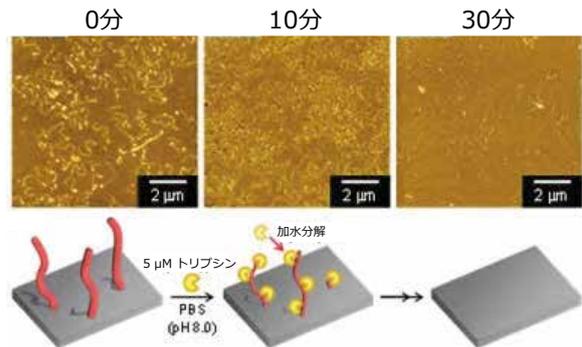
イオンビームの個々の粒子が、その飛跡に沿って高分子材料中で引き起こす化学反応を利用して、長さや太さをnmレベルで自由に制御した高分子ナノワイヤーを形成する。

## シーズの特徴（成果含む）

- 放射線で橋かけする様々な高分子材料からナノワイヤーを作製できます。  
ポリスチレン、ポリカルボシラン、ポリビニルアルコール、アルブミン、ポリアクリン、チオフェン、可溶性フラーレン(PCBM)、etc
- 長さ・太さ・本数を独立して任意に制御できます。
- 異なる種類の高分子材料を積層した薄膜を用いると、積層した順に高分子材料をつなぎあわせたナノワイヤーを作ることができます。



## タンパク質の薄膜への応用例



タンパク質ナノワイヤーが酵素によって分解されていく様子

- タンパク質ナノワイヤーの形成に成功。酵素を固定したタンパク質ナノワイヤーによる疾病診断用素子の応用へ
- フラーレンナノワイヤーの形成に成功。有機色素増感太陽電池を高効率化

### アウトカム

医療・疾病診断、ドラッグキャリア、触媒材料、有機色素増感太陽電池、等

### アウトカムに至る段階

試作検討段階  
高分子の薄膜があれば試作可能

### 連携希望企業

化学素材メーカー・医療機器メーカー

### 知財等関連情報

- 1) 特許第4701369号
- 2) 特許第4999081号
- 3) 特許第5419001号
- 4) Nature Communications 4718(2014)
- 5) Nature Scientific Reports, 2, 600 1-600 6 (2012)

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所  
八巻 徹也

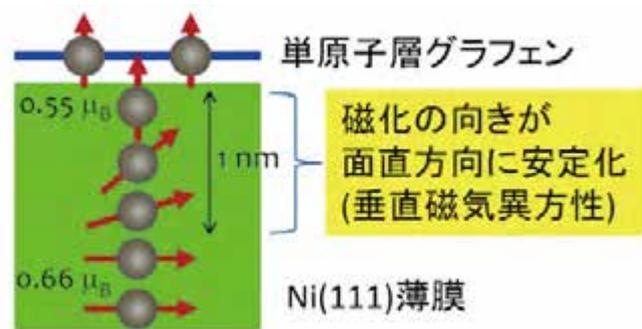
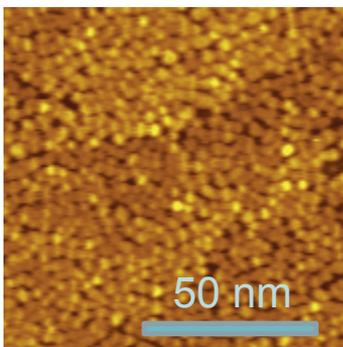
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 94 グラフェンの磁気ストレージ・スピンメモリ応用 - ネットワーク時代を支える -

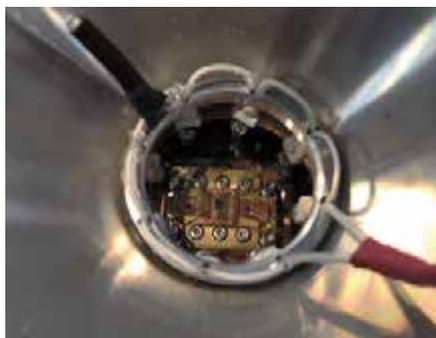
グラフェンは厚さが一原子層しかなく磁気の情報蓄えの性質もありませんが、縁の下の力持ちとして磁気ストレージの高密度化やスピンメモリの開発に役立ちます。

## シーズの特徴 (成果含む)

- ・磁性材料にグラフェンを組み合わせることで磁性材料の磁気的特性を制御することができます。
- ・グラフェンと磁性金属の接合が示す垂直磁気異方性は、ハードディスクの大容量化やスピンメモリ(MRAM)の開発に用いることができます。
- ・厚さが一原子層のグラフェンで覆うことで金属薄膜の劣化(酸化等)を避けることができます。



- グラフェンの上にサイズが揃ったナノ粒子 (磁性材料等)を並べることができます。
- グラフェンを使って磁性材料のスピンを情報の記録に適した方向に変えられます。



民間企業等と磁気ストレージ・スピンメモリデバイスの共同研究・開発を行っています

- グラフェンを用いた各種素子の作製や評価を行っています。

### アウトカム

スピントロニクス・磁気記録デバイス  
エネルギー変換デバイス

### 知財等関連情報

- 1) Matsumoto, J. Mater. Chem. C 2013
- 2) 特願2014-238394, 特願2015-143983, 他3件

### アウトカムに至る段階

基礎～応用段階

### 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
境 誠司

### 連携希望企業

情報技術関連企業

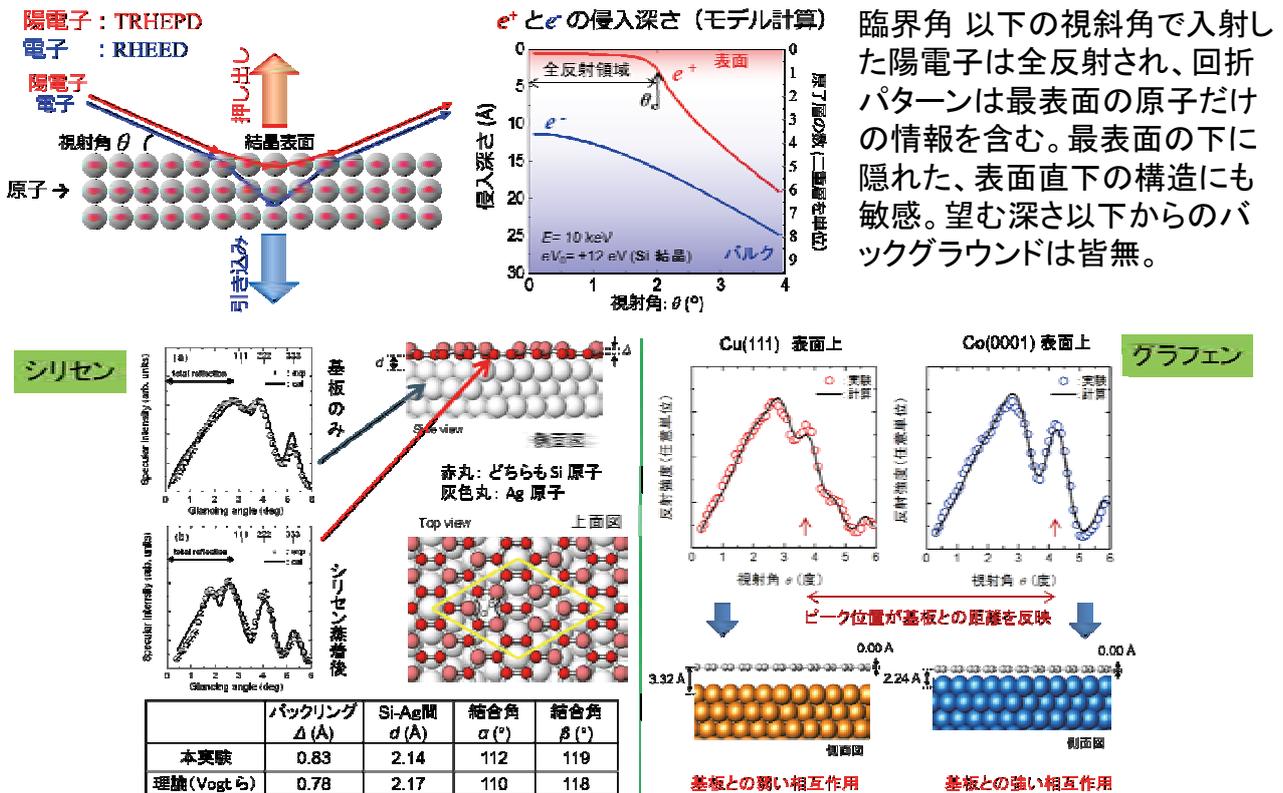
本シーズの問合せ先：量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 95 全反射放射陽電子回折の開発

全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) が物質表面原子層及び表面直下の原子層の構造解析にとって理想的な量子ビームであることを示し、他の量子ビームでは測定が困難な基盤上のシリセンとグラフェンの構造を確定した。

## シーズの特徴 (成果含む)

- TRHEPDは物質最表面及び表面直下の理想的な構造解析手法であることを示し、銀単結晶表面上に形成したシリセンの原子1層からなる“シリセン”と、金属基板上的グラフェンと基盤との界面構造の解明をすることでその表面超高感度性を実証しました。



- 銀単結晶上のシリセンの凹凸構造(バックリング構造)を実験的に初めて確認
- 金属基板上的グラフェンと基盤との界面構造の解明に成功

## アウトカム

次世代電子デバイス、触媒、ナノテクノロジー開発

## アウトカムに至る段階

計測技術開発が完了

## 連携希望企業

電子デバイス、触媒メーカー

## 知財等関連情報

- 1) Appl. Phys. Express, 7, 056601 (2014).
- 2) Phys. Rev. B 88, 205413 (2013).
- 3) Carbon, 103, 7085 (2016).

## 担当者

量子ビーム科学部門  
高崎量子応用研究所先端機能材料研究部  
和田 健

本シーズの問合せ先: 量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 96 放射光X線を利用した垂直磁化膜の磁気特性の微視的評価



(ナノレベル局所磁性)

磁気コンプトン散乱や軟X線MCDによる磁化曲線の測定から元素選択的、スピン・軌道選択的磁化曲線を得て、磁気特性の起源を調べる。

## シーズの特徴 (成果含む)

希土類-遷移金属アモルファス垂直磁化膜について、磁化曲線への寄与をスピン・軌道および元素分離して評価。

### 高密度磁気記録材料

ミクロな磁化反転機構の解明が高性能化の鍵

### 磁気コンプトン散乱

電子のスピン状態を測定。スピン選択ヒステリシス測定が可能。マクロな磁化測定と組み合わせによる解析で、磁化曲線をスピン成分と軌道成分に分離が可能。

### 波及効果

従来観測できなかったミクロな磁気特性に着目することにより、次世代スピエレトロニクスデバイスの開発に指針

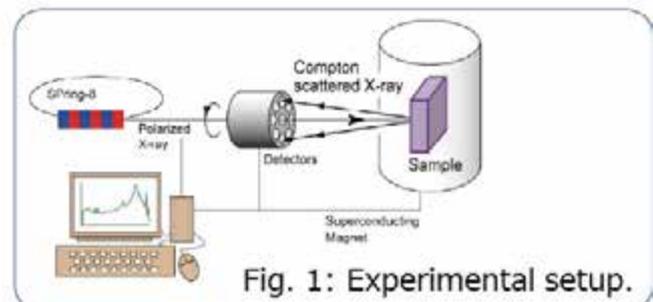


Fig. 1: Experimental setup.

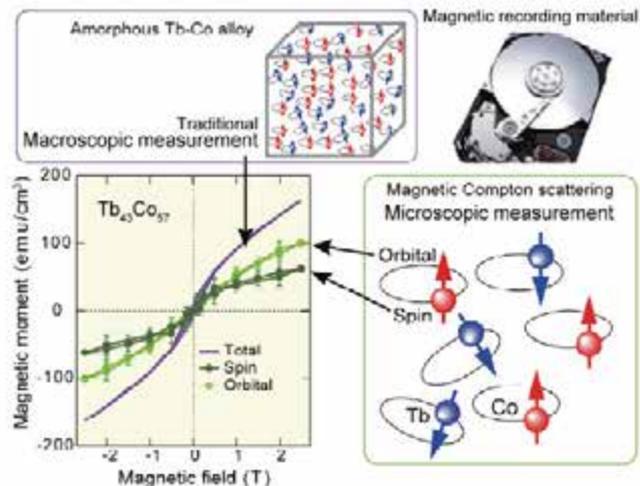


Fig. 2: Magnetic hysteresis loops of amorphous  $Tb_{43}Co_{57}$  film.

## アウトカム

物質・材料: 高密度磁気記録媒体 (ハードディスク等)の開発

## アウトカムに至る段階

基礎

## 連携希望企業

電子機器メーカー

## 知財等関連情報

- 1) *Applied Physics Express* 4 (2011) 083002., 日刊工業新聞等、掲載
- 2) 磁気コンプトン散乱を用いた垂直磁化膜の磁化過程の研究, 安居院あかね、櫻井浩, 放射光 2016年 No.2, pp.64-73.

## 担当者

量子ビーム科学部門  
次世代放射光施設整備開発センター  
安居院 あかね

未来を拓く・安心を作る(先端技術)

本シーズの問合せ先: 量子ビーム科学部門研究企画部 (qubs-techoffice@qst.go.jp)

# 97 細胞膜透過性を有する 繊維芽細胞増殖因子の開発

本発明は、細胞膜透過性の線維芽細胞増殖因子に関するもので、線維芽細胞増殖因子(以下、FGFと略称する)に細胞膜透過ペプチド(以下、CPPと略称する)を融合したキメラタンパクを創製し、その医薬用途又は細胞培養用途を目指しています。

## シーズの特徴 (成果含む)

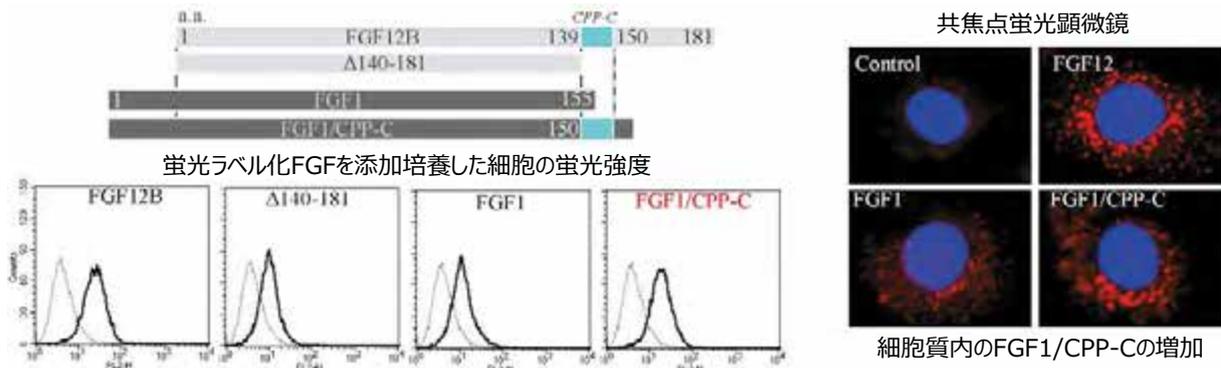


図1：細胞膜透過性のFGF1/CPP-C融合蛋白質の創製

FGF11サブファミリー(FGF11~14)由来のCPPは、他のFGFと融合させることで、それらの細胞膜透過性を高め、FGFが本来有する細胞内シグナリングを活性化させる。

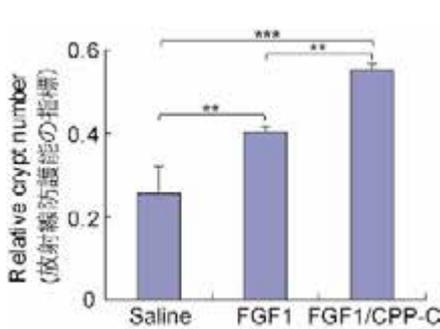


図2：高い放射線防護能

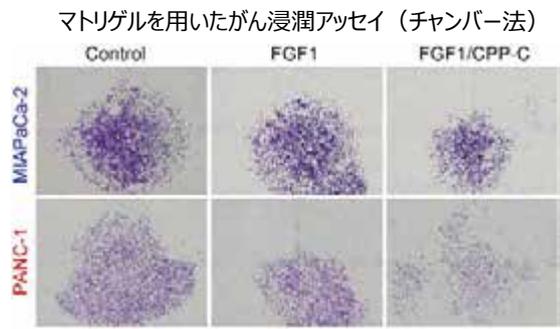


図3：がん細胞の転移能抑制効果  
2種類の隣がん細胞の浸潤が、FGF1/CPP-Cを添加することで低下した

○細胞膜透過性のFGF1/CPP-C融合蛋白質を創製した。  
放射線障害治療薬として、放射線がん治療への応用も期待できる。

### アウトカム

再生医療や新薬の開発

### アウトカムに至る段階

基礎

### 連携希望企業

バイオ関連企業、製薬企業等

### 知財等関連情報

特許登録：5818977号、6183757号  
J Biol Chem, 286, 25823 (2011)  
Int J Radiat Oncol Biol Phys, 88, 377 (2014)  
Clin Transl Radiat Oncol, 14, 8 (2019)

### 担当者

量子医学・医療部門  
放射線医学総合研究所組織再生治療研究グループ  
中山 文明

本シーズの問合せ先：量子医学・医療部門研究企画部(nirs-kikaku-u@qst.go.jp)

# QST知財マップのご紹介

下記のURLにて、QSTシーズの用途を掲載中です

<https://www.qst.go.jp/Portals/0/chizai-map/index.html>



QST 知財マップ

検索

でいますぐ!

スマホ向け  
QRコードは



国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
National Institute for Quantum and Radiological Science and Technology



4枚の地図の気になる部分にカーソルを合わせてください。

そのエリアのバルーンがいくつか浮き出ます。

各バルーンのクリックで詳しいデータを表示!

## QST未来基金ご寄附お願い致します

QSTは、がんや認知症などの診断や治療、放射線防護や被ばく医療など健康長寿・安全社会に貢献するいのちを支える研究、更に、量子ビームや高強度レーザーなどを利用した光・量子科学など暮らしを支える研究、エネルギー研究など、量子科学技術に基づく研究開発により、「調和ある多様性の創造」を推進し、平和で心豊かな社会の発展に貢献することを理念としております。

「QST未来基金」はこれらの理念に基づく研究開発の更なる発展のために、皆様からのご支援を活用させていただき取組です。人類の未来を開く活動にご理解とご賛同をいただき、QST未来基金へのご支援を賜りますよう、謹んでお願い申し上げます。

### 量子科学技術による 「調和ある多様性の創造」 平和で心豊かな社会

#### ● **がん死ゼロ健康長寿社会：**

量子メスや標的アイソトープ治療  
次世代量子イメージング診断技術の開発  
認知症 診断・治療

#### ● **「地上に太陽を」：**

環境に優しく安全なエネルギー源  
核融合研究開発

#### ● **新しい機能材料の開発：**

スピントランジスタなど  
次世代情報デバイスの研究開発

#### ● **科学する心を育む：**

「科学する心」を育む  
「きつづ光科学館ふおとん」



QST 寄附	検索
量研 寄附	検索

### ご寄附のお申込・お問合せ先

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1  
量子科学技術研究開発機構 イノベーションセンター研究推進課 「QST未来基金」係  
TEL：043-206-3023 FAX：043-206-4061 E-mail：kifu@qst.go.jp  
URL：https://www.qst.go.jp/site/about-qst/1311.html

### シーズ全般の問い合わせ先

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構  
本部イノベーションセンター 研究推進課

電話番号：043-206-3027

電子メール：innov-prom@qst.go.jp

2019.10.15刷

本技術シーズ集の無断複製、転載をお断りいたします。



国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構

National Institutes For Quantum and Radiological Science and Technology



ミックス

責任ある木質資源を  
使用した紙

FSC® C023138