

私たちが生み出した技術シリーズ
—高崎研抜粋版—

国立研究開発法人
量子科学技術研究開発機構
量子ビーム科学研究部門

技術シーズ集の発刊にあたり

量子ビーム科学研究部門の研究開発は、これまで日本原子力研究開発機構において原子力利用の一分野として行われてきましたが、2016年4月1日に発足した量子科学技術研究開発機構において、量子ビームテクノロジーの分野を開拓するために再出発することとなりました。

当部門は、高崎量子応用研究所と関西光科学研究所を活動の拠点とし、イオンビーム、ガンマ線、中性子線、レーザー、放射光等の各種量子ビームの発生・制御、これらを用いた高精度の加工や観察に資する先端技術開発、並びに量子ビームの優れた機能を総合的に活用して、環境・エネルギー、物質・材料、医療・バイオ技術等の幅広い分野において、世界を先導する研究開発活動を推進する所存です。

また、基礎的研究成果の産業界への橋渡しに努めるとともに、産学に広く量子ビーム利用の機会を提供することで、量子科学技術が拓くより良い社会の構築に注力してまいります。

今般、量子ビーム科学研究部門の有する技術をご理解いただき、産業界をはじめとする外部の方々にご活用いただきたいと考え、技術シーズ集を作成いたしました。共同研究や技術移転等の活用を通じて、皆様とともに科学技術イノベーションの創出に貢献することができれば、幸甚の至りです。

平成28年6月

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

量子ビーム科学研究部門

<http://www.qubs.qst.go.jp>

目次

物質・材料

1. 半導体等（量子コンピュータ、スピントロニクス等デバイス開発を含む）

- 1- 1: 半導体デバイスのイオン入射破壊効果の評価
- 1- 2: 電子線を活用した高輝度のナノ粒子の形成
- 1- 3: 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 -
- 1- 4: 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 -
- 1- 5: 全反射放射陽電子回折の開発
- 1- 6: スピン偏極陽電子ビーム技術の開発
- 1- 7: プロトンビームライティング（PBW）加工技術の開発

2. 燃料電池等

- 2- 1: 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
- 2- 2: 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
- 2- 3: 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析

3. 触媒等

- 3- 1: 光学式水素検知材料
- 3- 2: バイオディーゼル燃料転換用触媒

物質・材料

4. 資源回収

- 4- 1: 温泉水からのスカンジウムの捕集
- 4- 2: 海水中からの希少金属の捕集

6. 構造材料

- 6- 3: 顕微陽電子消滅技術の開発

目次

医療・バイオ

8. 放射線治療

8- 1: コンプトンカメラを用いて体内の粒子線治療ビームをとらえる

8- 2: 3次元線量分布測定技術の開発

8- 3: 医療用RI製造技術の開発

9. センサー・診断

9- 1: イオンビームの飛跡を利用した ナノワイヤーの形成

9- 2: 抗体の機能解析と分子設計

9- 3: 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・バイオ

11. 再生治療

11- 1: 生体適合性材料の微細加工技術の研究開発

12. 創薬

12- 1: 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

13. 育種

13- 1: 量子ビームによる植物・微生物の育種

14. 加速器

14- 1: 小型イオンマイクロビーム装置

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）

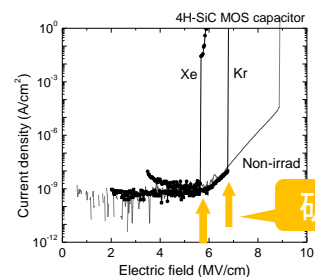
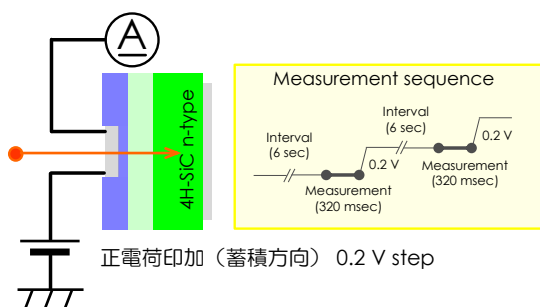
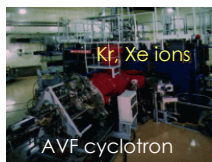
計測技術含む

- ・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

+ デバイスにバイアス電圧印加

発生電荷や電流を計測



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

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.

アウトカムに至る段階

応用段階

担当者

連携希望企業

パワー半導体デバイスメーカー

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「半導体照射効果研究」
大島 武

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



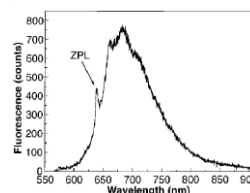
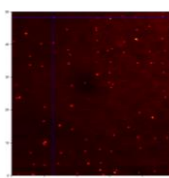
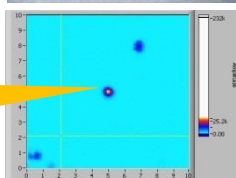
電子線照射及び
熱処理



レーザー入射により
特有な色の発光

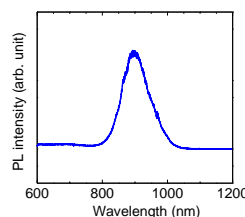


SiCナノ粒子中の
 V_{Si}



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

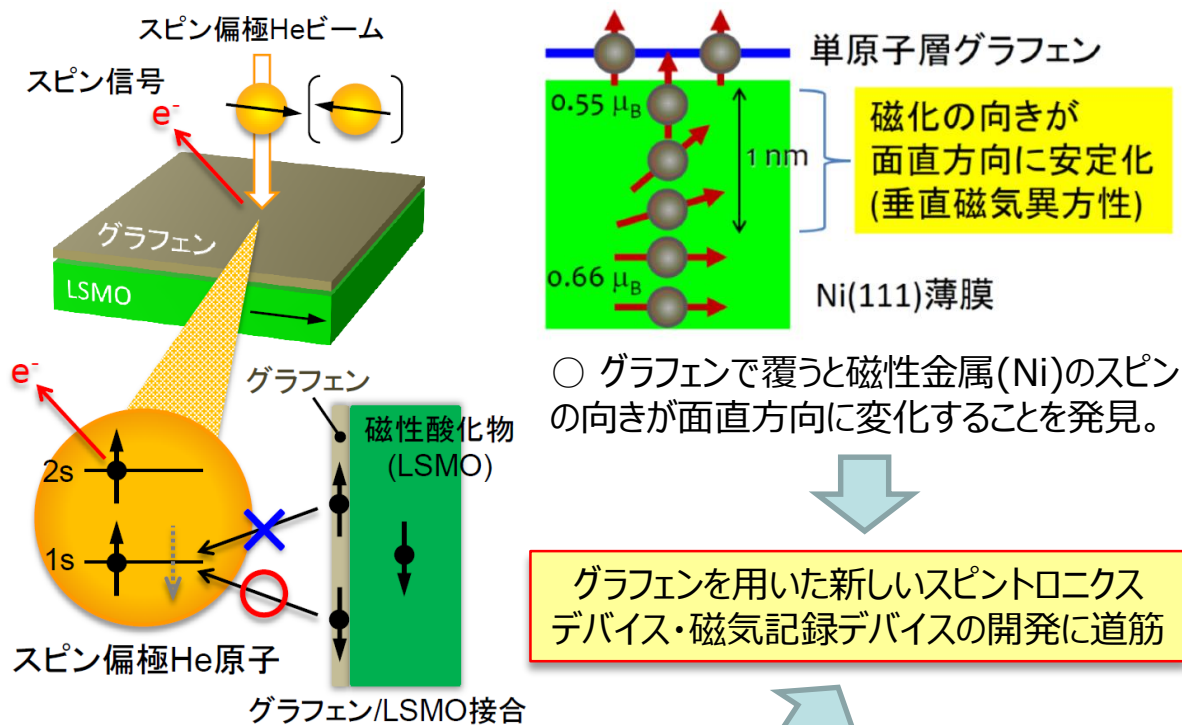
ナノダイヤモンドやSiC作製企業

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「半導体照射効果研究」
大島 武

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

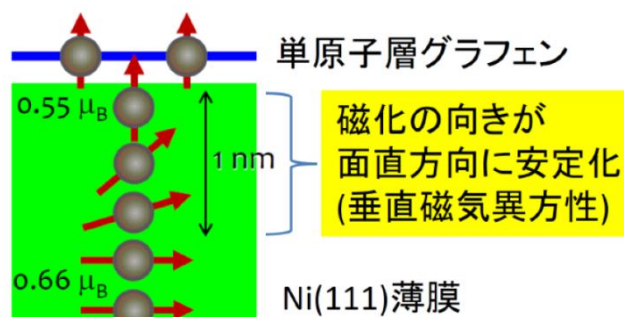
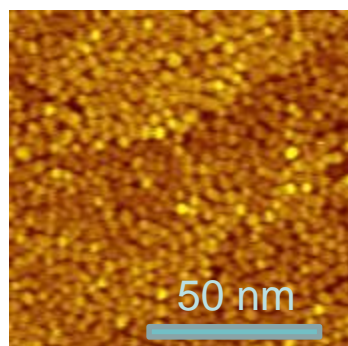
量子ビーム科学研究部門
高崎研(東海)：P「陽電子ナノ物性研究」
境 誠司

グラフェンは厚さが一原子層しかなく磁気の情報蓄える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。

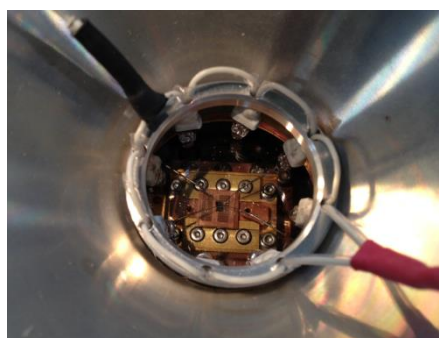
シーズの特徴（成果含む）

計測技術含む

- ・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) 特許5件

アウトカムに至る段階

基礎～応用段階

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研(東海)：P「陽電子ナノ物性研究」
境 誠司

連携希望企業

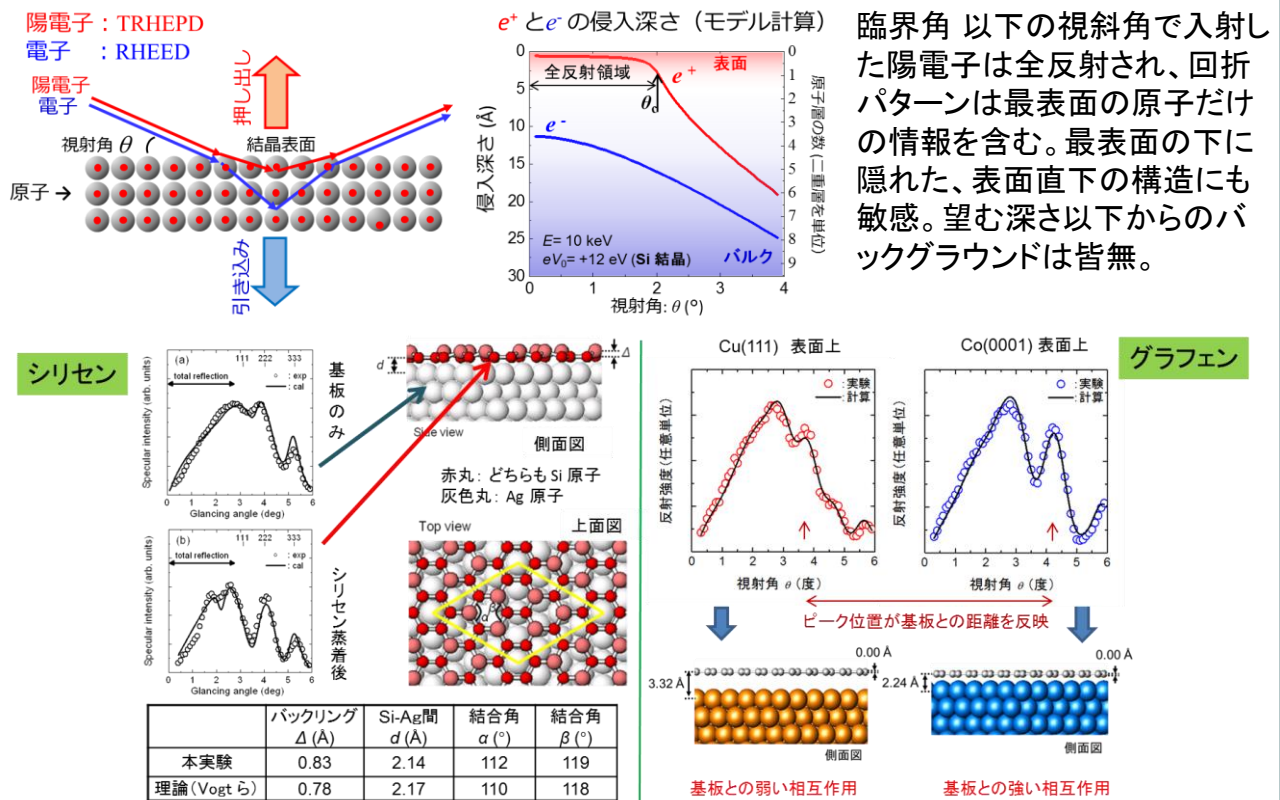
情報技術関連企業

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)

計測技術含む

- 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コンの原子1層からなる“シリセン”と、金属基板上の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
- 金属基板上の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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「陽電子ナノ物性研究」
和田 健

1-6 スピン偏極陽電子ビーム分析

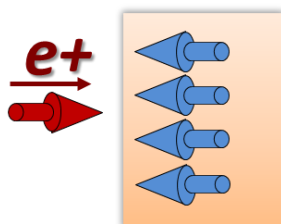
スピン偏極陽電子ビームにより物質内部、薄膜、表面の電子スピン状態を分析する。

シーズの特徴（成果含む）

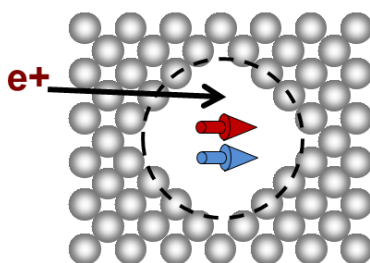
計測技術含む

- ・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、ラッシュバ効果など)の決定ができます。

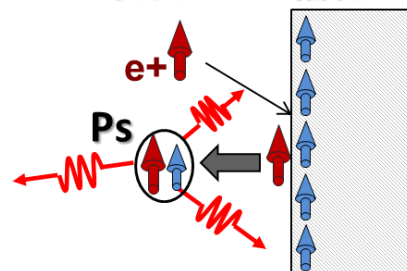
強磁性バンド構造



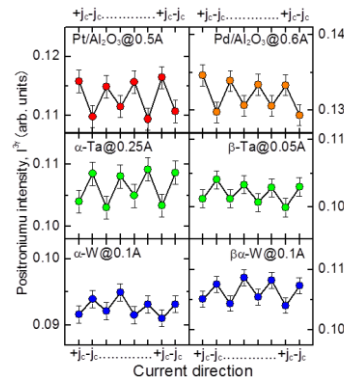
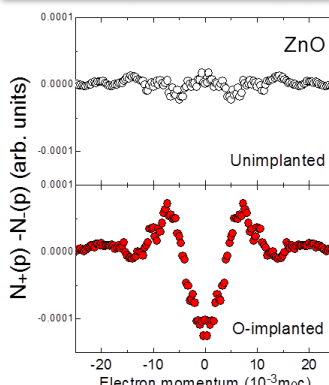
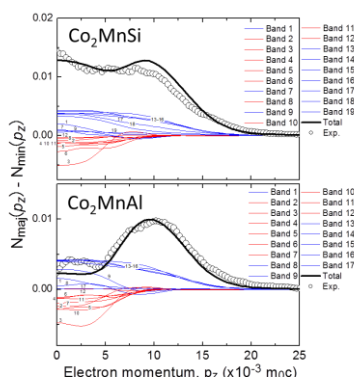
空孔誘起強磁性



表面スピン偏極



スピン分析の例



○Co₂MnSi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. **B83** (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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「陽電子ナノ物性研究」
河裾厚男

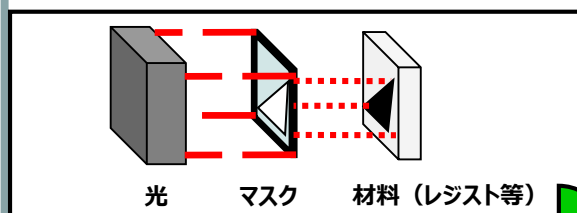
MeV領域のプロトンマイクロビームを目的の形状でレジスト等に照射（直接描画）し、微細加工を行うことで、マイクロメートルレベルの分解能で高アスペクト比の構造体を製作する。

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

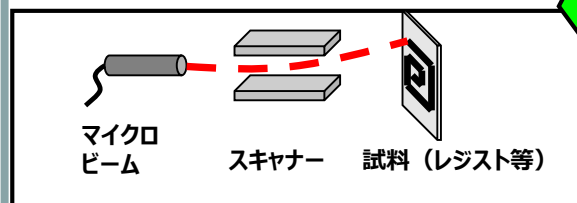
○特徴

マスクプロセス（従来技術）



※露光の前にマスク製作が必要

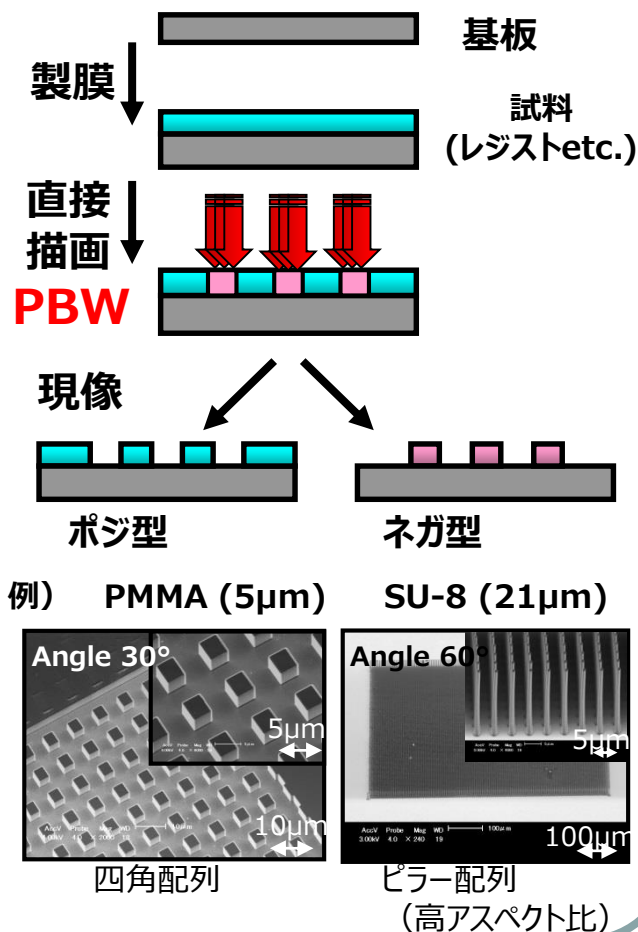
直接描画（本技術）



※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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：ビーム技術開発課
石井保行

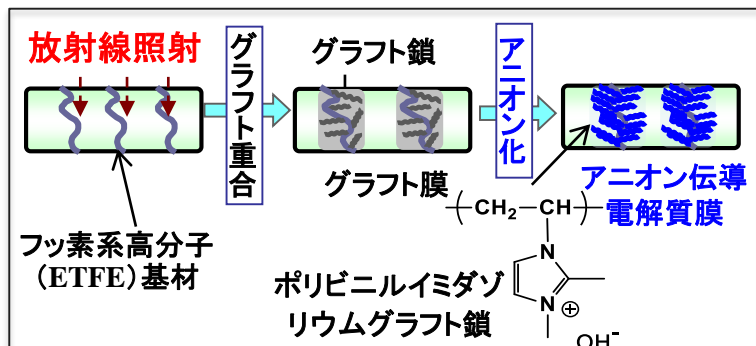
連携希望企業

微細加工

本格普及において最大の課題である白金を使用しない「アルカリ型」燃料電池を実現するため、アルカリ性の条件で十分な耐久性を持つようなイオンを通す膜（電解質膜）を開発します。

シーズの特徴（成果含む）

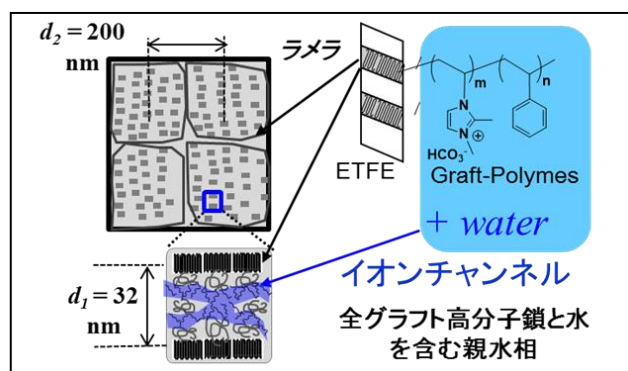
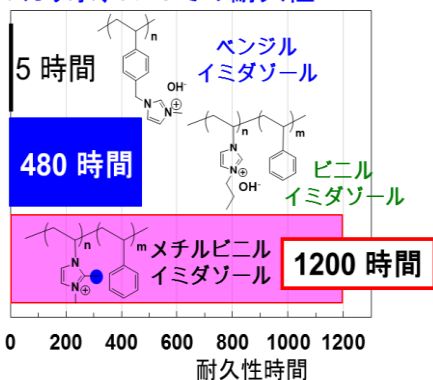
高崎Co-60線源や電子加速器を用いたグラフト重合により、新材料膜を作製し、SPring-8やJ-PARC等により、膜の詳細な構造・機能解析を経て、耐久性の高い構造を最適化します。



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が新たに加えられます。

アルカリ水、80°Cでの耐久性



新材料膜は、アルカリ耐性が飛躍的に向上。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
目標の導電率を1200時間維持。

○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 出願番号 2012-049960
- 3) 特許 出願番号 2012-192620
- 4) 特許 出願番号 2013-269281
- 5) 米国特許 出願番号13/288190

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「高分子機能材料研究」
前川康成

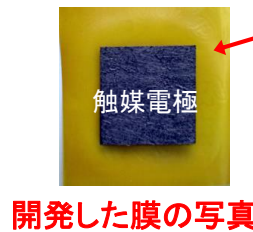
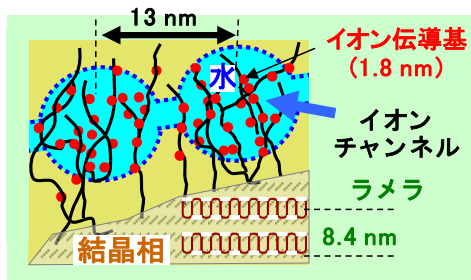
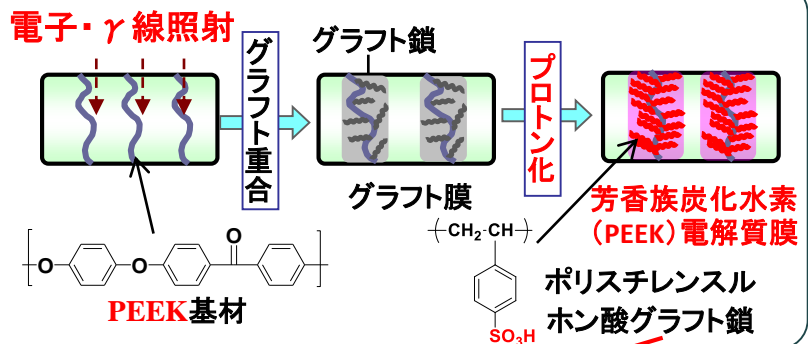
プロトン (H⁺) の動きを保つために行われる水の添加を少なくしても(低加湿化)、高い導電性を保つ膜を開発します。これにより、燃料電池システムにおける水分量をコントロールする補器を省略しコスト低減が可能となります。

シーズの特徴 (成果含む)

高崎Co-60線源や電子加速器を用いたグラフト重合により、新材料膜を作製。SPring-8やJ-PARC等により、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

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が新たに加えられます。



新材料膜で、低加湿下でも現在実用に使われる材料(Nafion 212)と同等出力で、膜の破断強度(耐久性)向上に成功しました。

中性子/X線小角散乱の複合利用で、燃料電池膜の構造/電池特性との関連性を明確化

- 世界に先駆けて芳香族炭化水素高分子膜への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しました。
- 放射線グラフト重合で作製した芳香族炭化水素 (PEEK) 電解質膜で、世界最高性能の出力密度を達成しました。

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) 英国特許番号 GB2454140
- 4) 米国特許 出願番号 12/310,287 等

担当者

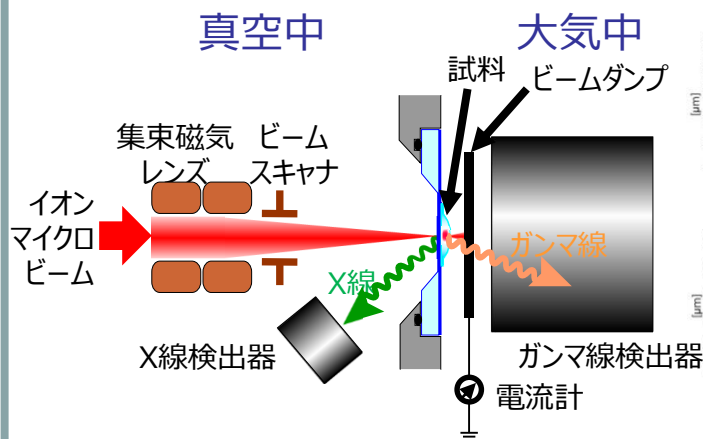
量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「高分子機能材料研究」
前川康成

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 μm の高空間分解能で得る。

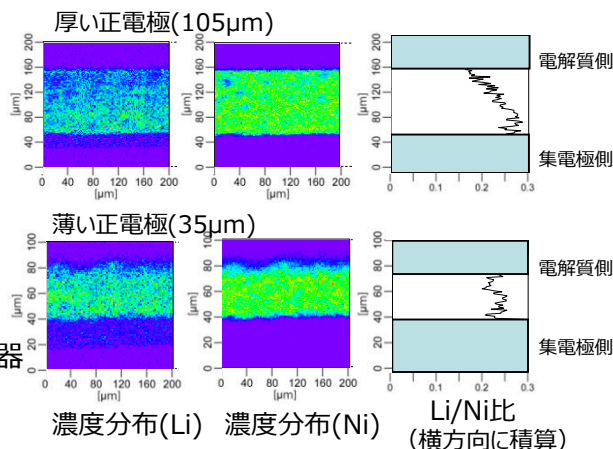
シーズの特徴（成果含む）

計測技術含む

- 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 μm 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に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) NIMB 371 (2016) 298-302.
- 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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：ビーム技術開発課
佐藤隆博

連携希望企業

素材メーカー

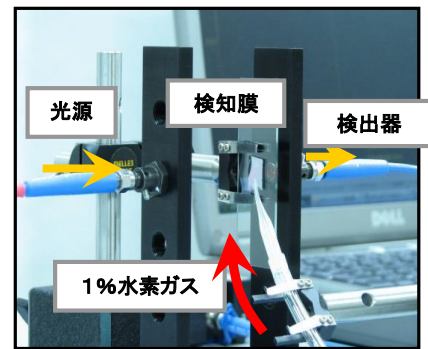
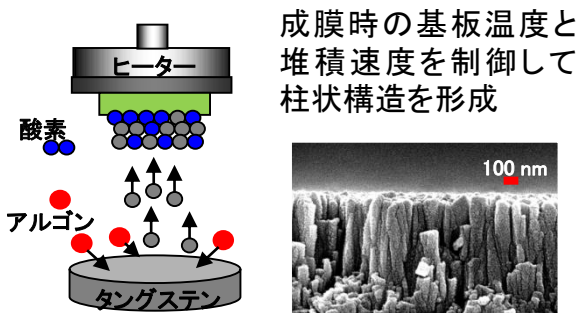
3- 1 光学式水素検知材料

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。

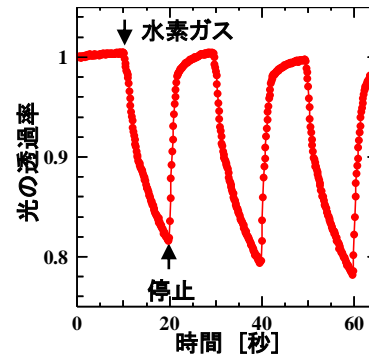
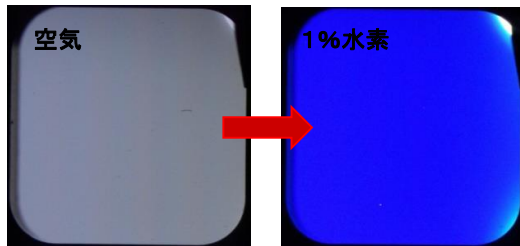
シーズの特徴（成果含む）

- 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

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

アウトカムに至る段階

製品化段階

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「先進触媒研究」
山本春也

連携希望企業

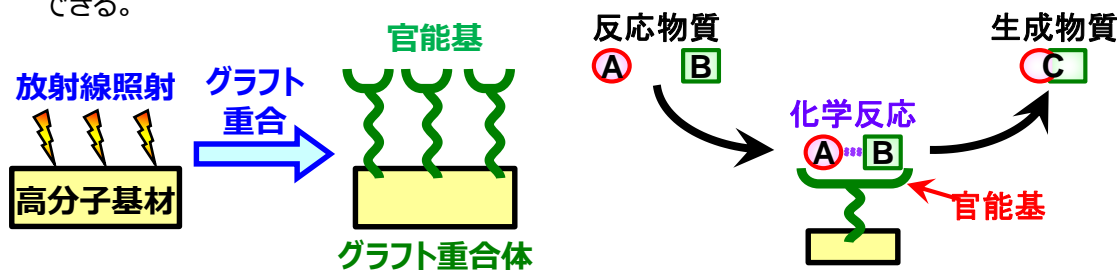
ガス検知機器メーカー

3-2 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材料を適用すると、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。

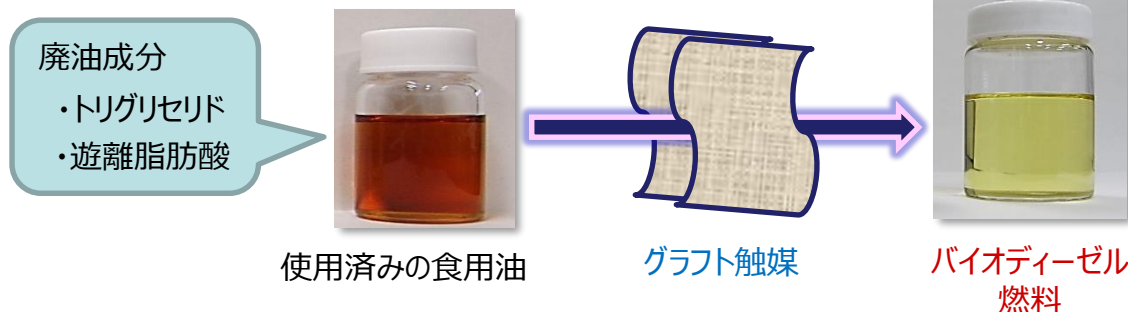
シーズの特徴（成果含む）

- 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溶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。



放射線グラフト重合

官能基を触媒機能として利用



使用済み食料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, etc, "Optimization of grafted fibrous polymer as a solid basic catalyst for biodiesel fuel production", Intern.J.Org.chem,4,pp.91-105(2014)

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「環境資源材料研究」
瀬古典明

4- 1 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。



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

○グラフト捕集材により温泉水中からスカンジウムを捕集・回収することで、国産のレアース資源を確保することが可能。

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

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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「環境資源材料研究」
瀬古典明

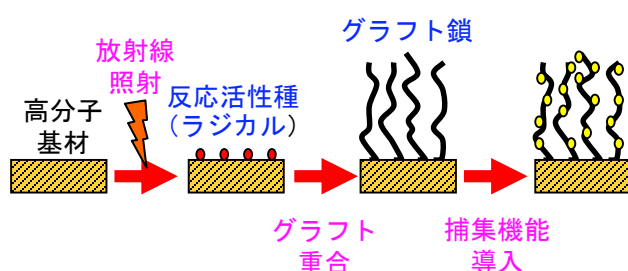
4-2 海水中からの希少金属の捕集

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。

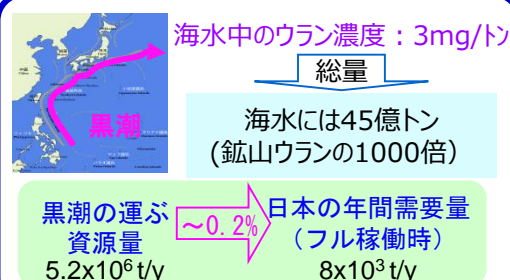
シーズの特徴（成果含む）

- ・基材に放射線を照射してグラフト重合で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

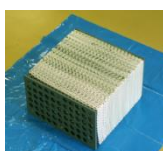
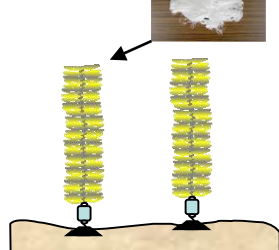


海水中のウラン資源の例

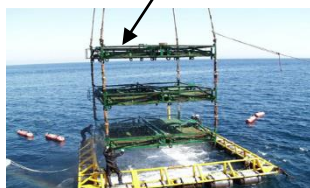


モール状捕集材
(糸編み込み)

布状捕集材
(不織布積層)



海底立ち上げ方式



生けす吊り下げ方式

海水中に極微量で存在する金属の捕集に成功！



写真左から、ウラン（イエローケーキ）、バナジウム、ニッケル・コバルト酸化物

○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)

アウトカムに至る段階

応用段階

連携希望企業

原子力・海洋産業メーカー

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)

担当者

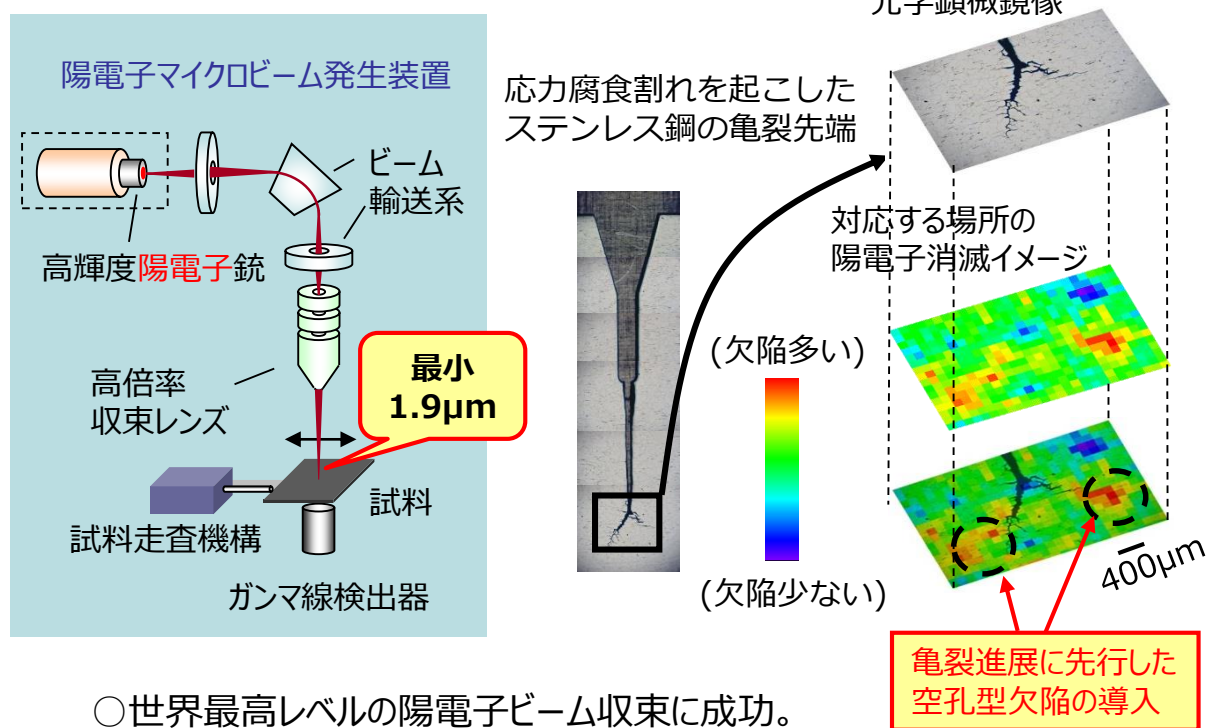
量子ビーム科学研究部門
高崎研：「環境資源材料研究」
瀬古典明

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）

計測技術含む

- ・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 μm 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

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.

アウトカムに至る段階

基礎段階

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：「陽電子ナノ物性研究」
前川雅樹

連携希望企業

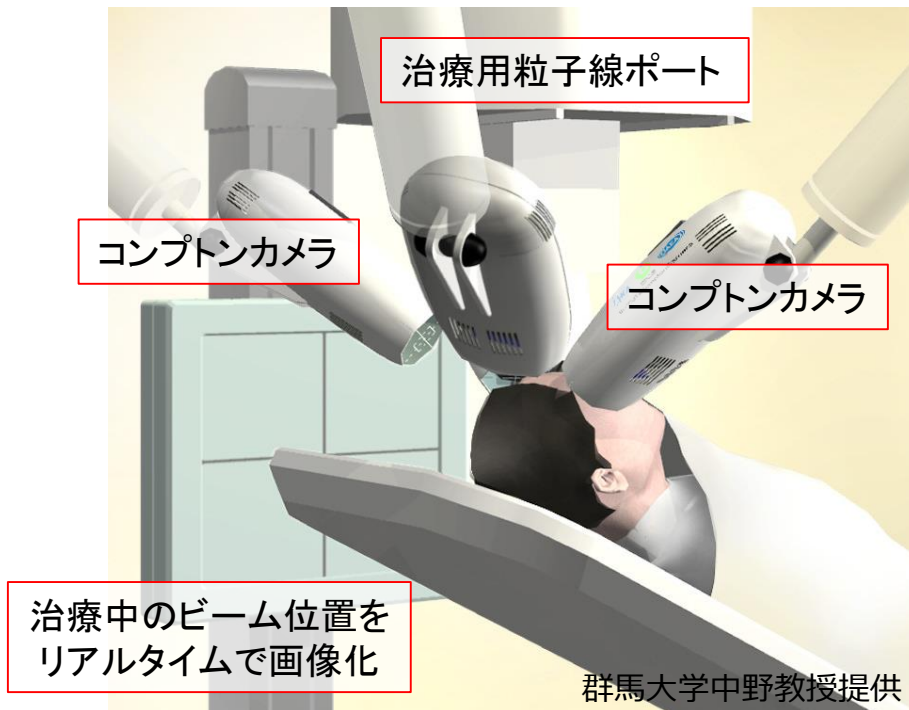
分析機器メーカー

粒子線治療で用いられているイオンビームが、体内でどこまで到達しているのかをリアルタイムでとらえることを可能にする。

シーズの特徴（成果含む）

計測技術含む

- ・体内の治療ビームを放射線検出で画像化する技術は重要なテーマです。
- ・当研究プロジェクトではリアルタイムで画像化するため“明るい”放射線のみを計測するアイデアと、それを実現できるカメラの開発を行いました。



- 高い感度が期待できるエネルギー領域（制動輻射領域）の放射線検出で、体内治療ビームの到達位置を効率よく推定できることを初めて実証。これを実現できるコンプトンカメラのソフトウェアを開発した。

アウトカム

より安全・安心な
粒子線治療技術の確立

知財等関連情報

特許第5233029号
特許第5721135号
US patent number 8742360
US patent number 8909495

アウトカムに至る段階

基礎研究段階

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「RIイメージング研究」
河地有木

連携希望企業

放射線計測機器開発メーカー

8-2 3次元線量分布測定技術の開発

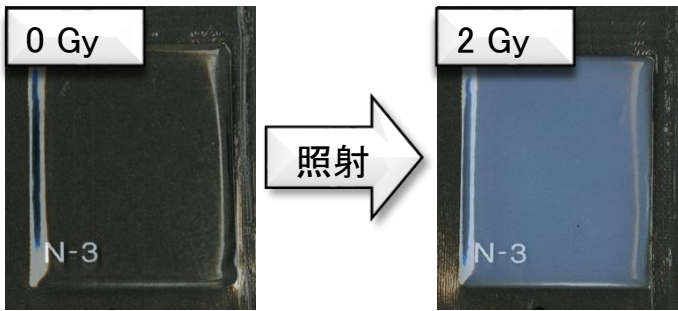
電子線橋かけにより作製した天然高分子ゲルを母材とした、がん治療線量の3次元分布を計測可能なゲル線量計材料を開発する。

シーズの特徴（成果含む）

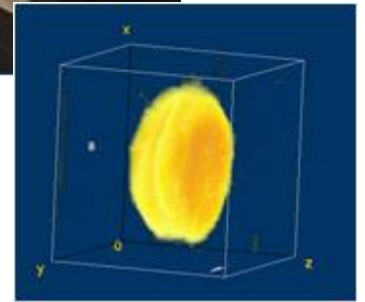
計測技術含む

- ・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

- 1) Nucl. Instr. Meth., B 365, 583 (2015).
- 2) 「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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「生体適合性材料研究」
田口光正

連携企業

(株)柴田合成

加速器を利用した、診断から治療に有用な多様なRIの製造技術の開発、特に、ターゲットの照射およびターゲットからの超微量物質の高純度分離・精製技術の開発。

シーズの特徴（成果含む）

照射

安全・効率的な照射技術の開発

・照射装置、ターゲット冷却装置、RI搬送装置等の開発

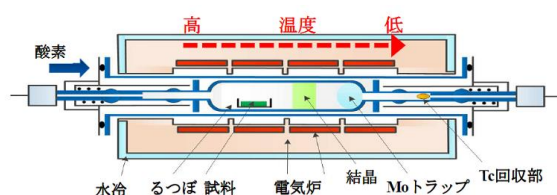
分離・精製

高純度分離・精製技術の開発

→ **自動化・遠隔操作化**

・熱分離装置の開発
Mo-99/Tc-99m, Br-76等

・カラム分離装置の開発
Cu-64, Cu-67等



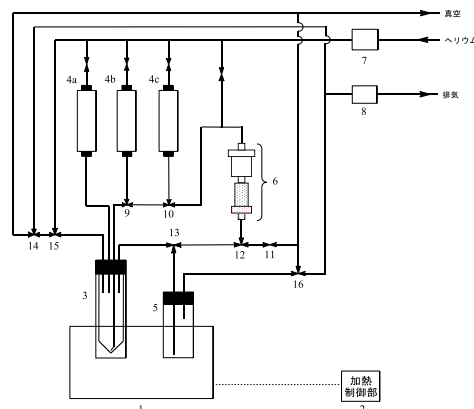
薬剤化

優れた標識技術の開発

・Br-76標識前駆体等の開発

医療(診断・治療)用RI

- Cu-64、Mo-99/Tc-99m、Cu-67の製造技術を開発。がん診断用Br-76標識前駆体を開発。得られたTc-99m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。



特許第4877863号「キレート交換樹脂を用いた放射性銅の分離方法」特許公報、図2引用

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。Mo-99の国産化

アウトカムに至る段階

基礎段階

連携希望企業

加速器、医薬品、分析機器メーカー

知財等関連情報

特許第4877863号「キレート交換樹脂を用いた放射性銅の分離方法」及びその実施許諾契約締結、特願2014-264756「MoO₃から^{99m}Tcを熱分離精製する方法及びその装置」

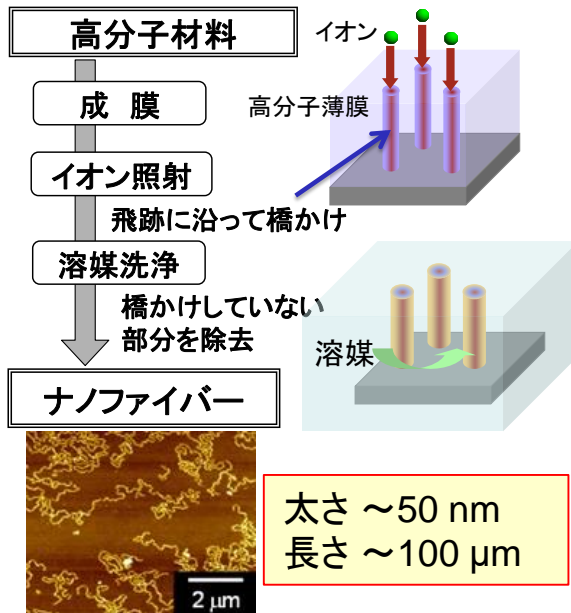
担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「RI医療用研究」
石岡典子・橋本和幸

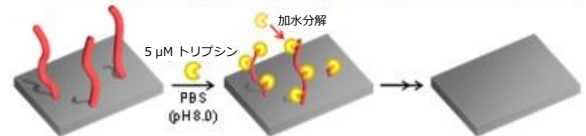
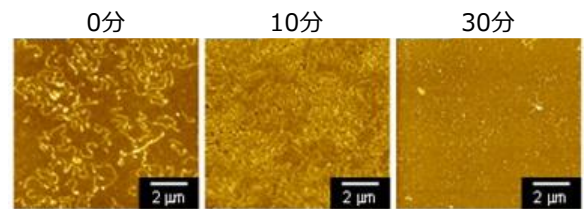
イオンビームの個々の粒子が、その飛跡に沿って高分子材料中で引き起こす化学反応を利用して、長さや太さをnmレベルで自由に制御した高分子ナノワイヤーを形成する。

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、ポリアニリン、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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「先進触媒研究」
八巻徹也

9-2 抗体の機能解析と分子設計

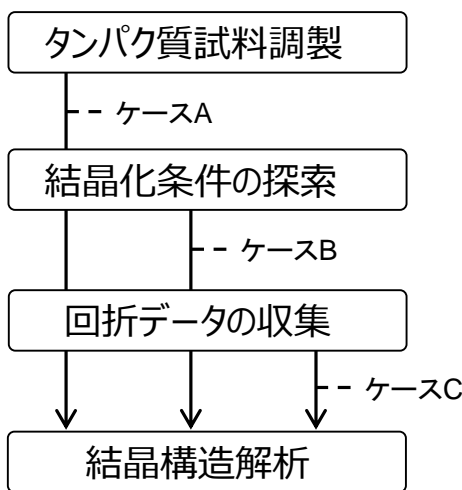
抗体の設計と機能向上を行うために、抗体抗原複合体の結晶構造解析を実施して、抗体と抗原の相互作用に関する立体構造情報を取得する。

(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)

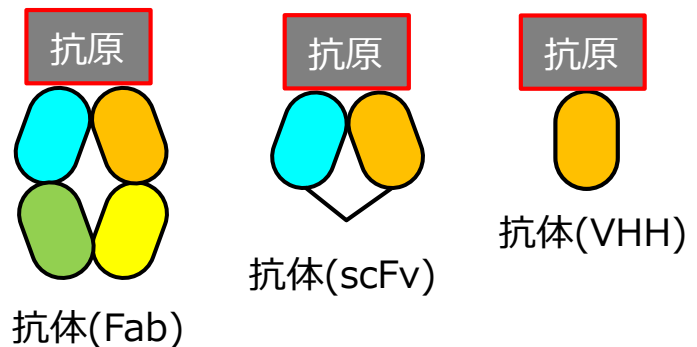
シーズの特徴 (成果含む)

計測技術含む

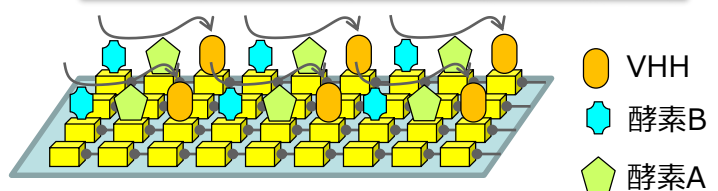
- ・タンパク質の試料調製や結晶構造解析(X線および中性子)で利用している技術を使い、抗原と抗体の複合体の相互作用様式を原子レベルで明らかにします。
- ・抗体の試料調製に関しては、遺伝子組換え実験(Fab以外)や、クロマトグラフィーによる精製も実施します。
- ・また、応用展開の一例として、タンパク質の自己集合能を利用することで複雑な系を構築した(1)反応システム、あるいは(2)感知システムの創製を目指しています。



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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「生物分子機能解析研究」
安達基泰

連携希望企業

分析試薬、分析機器メーカーなど

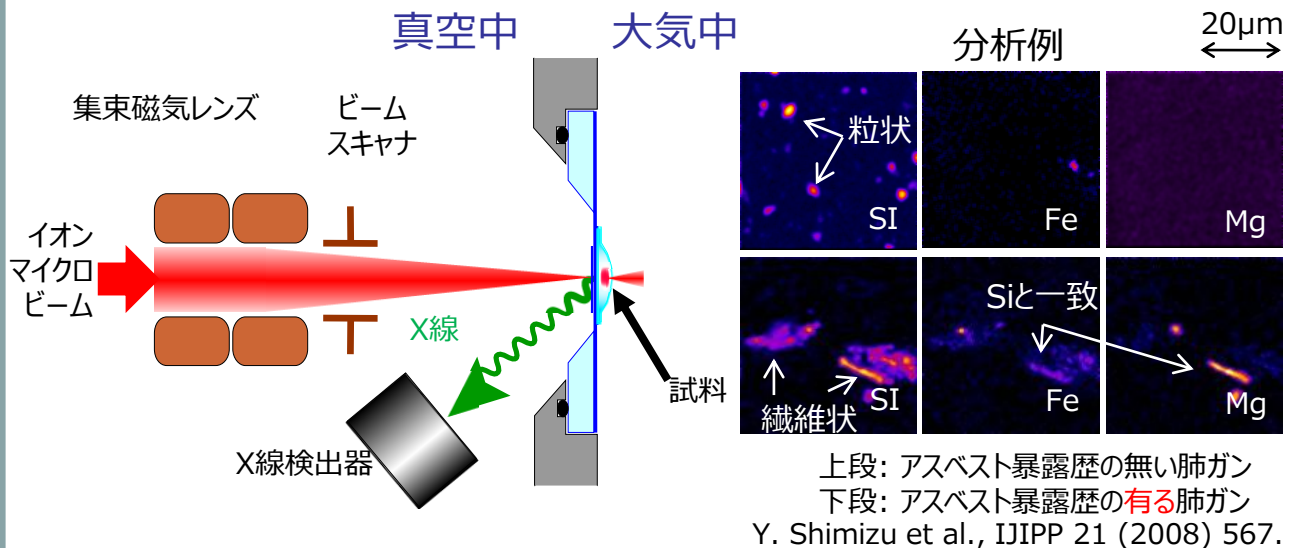
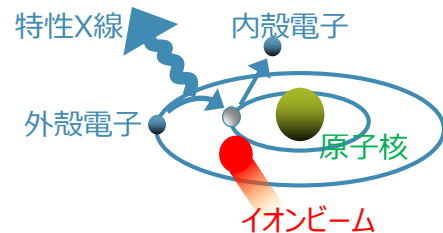
イオンマイクロビーム照射により生体試料中の微量元素から発生する特性X線の強度を測定し、大気中に保持した試料の微量元素の分布を1 μm の高空間分解能で得ることができます。

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。

計測技術含む

粒子励起X線放出の原理



○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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：ビーム技術開発課
佐藤隆博

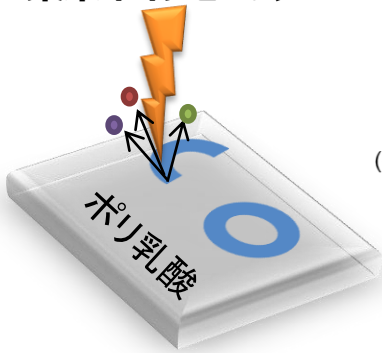
細胞培養用足場材料創製のため、量子ビームを駆使した、生体適合性ゲル材料の3次元微細構造及び化学特性制御技術を開発する。

シーズの特徴（成果含む）

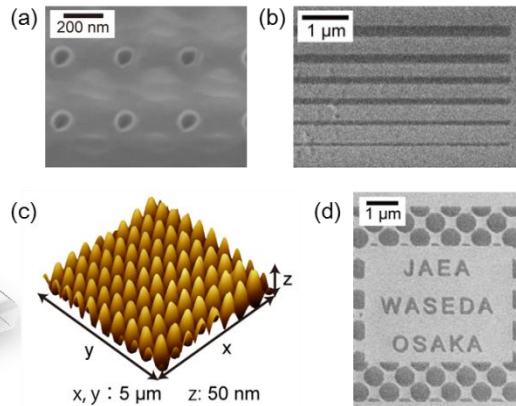
- ・生体適合性と生分解性を持つポリ乳酸など天然高分子材料の精密微細加工ができます。
- ・ナノメートルレベルの微細な形状や化学特性を制御できます。
- ・細胞の接着性や増殖性に関連するゲルの固さや、表面及び内部形状を制御できます。

微細加工技術

集束イオンビーム



微細加工後の形状例



細胞培養



シャーレ上とは異なる形態を示す、ゲル上で培養した細胞

- 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、ポリ乳酸やゼラチンなど生体適合性材料を母材とした微細加工技術を開発。
- 再生医療やバイオ研究に利用可能な細胞培養用足場材料の創製が期待される。

アウトカム

再生医療や新薬の開発

知財等関連情報

- 1) Appl. Phys. Lett., 103, 163105 (2013).
- 2) Radiat. Phys. Chem., 103 126 (2014).

アウトカムに至る段階

基礎

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「生体適合性材料研究」
田口光正

連携希望企業

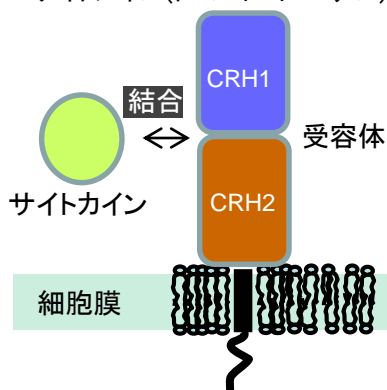
バイオ・再生医療分野企業

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。

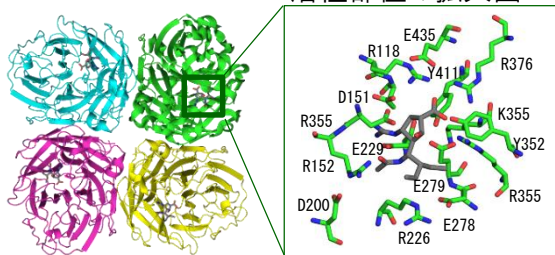
血小板の造血に関わる
サイトカイン(トロンボポエチン)



受容体の細胞外部分
の試料調製を実施して
います。

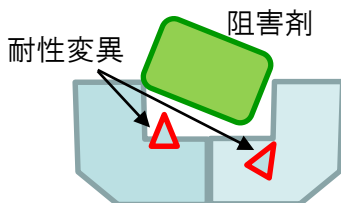
インフルエンザウイルス由来の酵素(ノイラミニダーゼ)

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)]

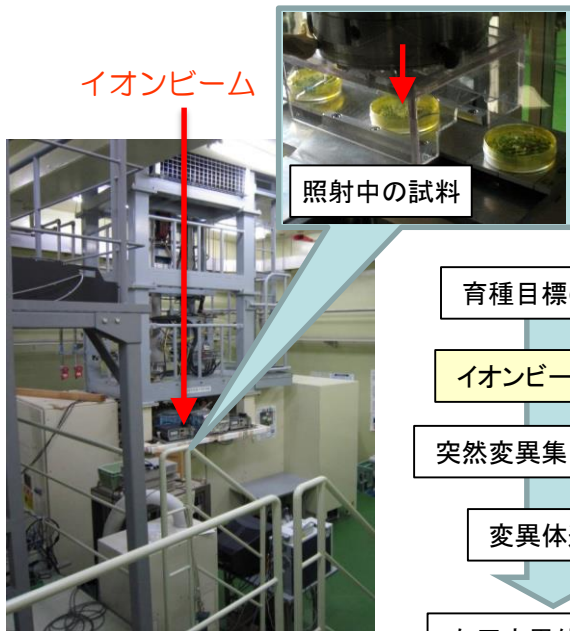
担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研(東海)：P「生物分子機能解析研究」
安達基泰

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。



深度制御種子照射装置

新神(アラジン)

- ・芽かき作業が2割省力化
- ・栽培しやすい切り花用のキク



新吟醸用清酒酵母

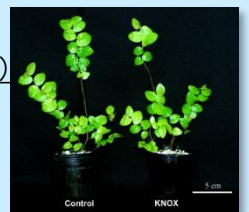
- ・従来酵母にはない甘い香りの新酵母
- ・酒造蔵に頒布



高環境浄化能

オオイタビ(KNOX)

- ・二酸化窒素の吸収能力が既存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30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「新神」（品種登録第14118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

量子ビーム科学研究部門
高崎研：P「イオンビーム変異誘発研究」
大野 豊

14- 1 小型イオンマイクロビーム装置

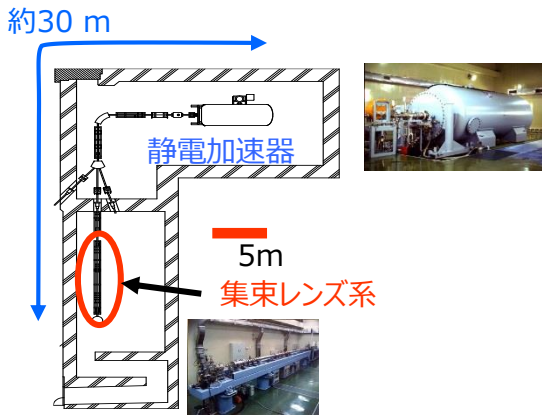
これまで30m程度の大型の装置でしか形成できなかった数100keV～数MeVのイオンマイクロビームを3m×3m×2m程度の小型の装置で形成する。

シーズの特徴（成果含む）

計測技術含む

- ・従来技術では、イオンマイクロビームの形成に、加速器、ビームライン及び集束レンズ系が必要であった。
- ・3段加速レンズを使用することで、大幅に小型化したイオンマイクロビーム装置を開発できる。

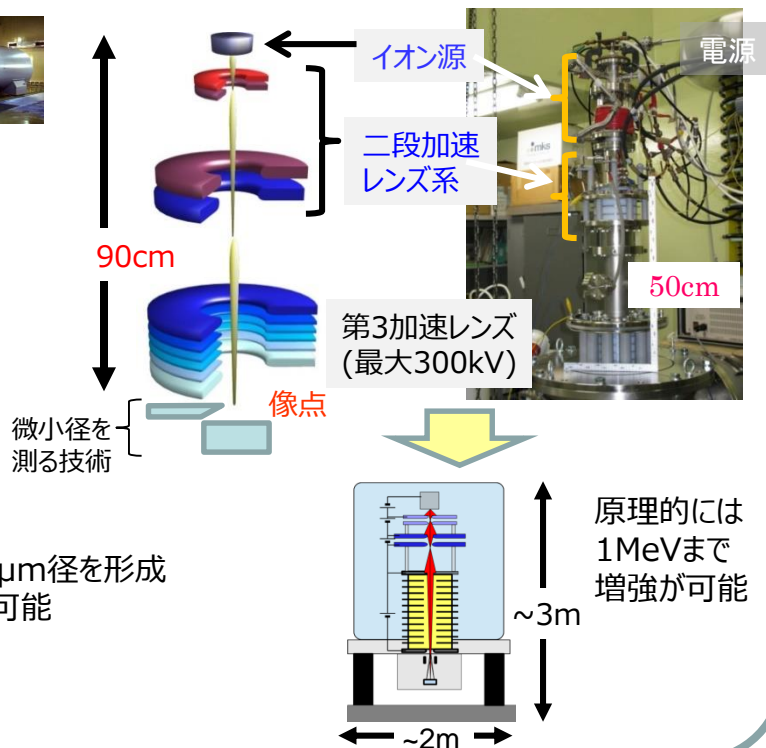
従来のイオンマイクロビーム技術



例) 高崎量子応用研究所
軽イオンマイクロビーム装置

- ・150keVの水素イオンビームにより5 μ m径を形成
- ・設計上ではサブミクロン径の形成が可能

プロトタイプ的小型イオンマイクロビーム装置 (最大300keV)



アウトカム

微量元素分析装置、微細加工装置

知財等関連情報

- 1) 小型高エネルギー集束イオンビーム装置、6502
- 2) 高電位勾配型単一ギャップ加速管、13797
- 3) 微少ビーム径を評価する方法、6047

アウトカムに至る段階

基礎段階

担当者

量子ビーム科学研究部門
高崎研：ビーム技術開発課
石井保行

連携希望企業

加速器関連企業、分析装置関連企業

本技術シーズ集の無断複製、転載をお断りいたします。

本シーズの問い合わせ先
量子ビーム科学研究部門 研究企画室
電話番号：027-346-9446
電子メール：qubs-techoffice@qst.go.jp