

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 203-2 Beam Application, Beam Measurement, Target

📅 Fri. Sep 13, 2024 10:50 AM - 11:55 AM JST | Fri. Sep 13, 2024 1:50 AM - 2:55 AM UTC 🏢 Room A(Recture RoomsA 1FA101)

## [3A04-07] Beam Application 2

Chair: Takashi Kamiyama (Hokkaido Univ.)

10:50 AM - 11:05 AM JST | 1:50 AM - 2:05 AM UTC

[3A04]

Examination of fast neutron imaging with fusion neutron source A-FNS

(2) Detail analyses of fast neutron transmission images

\*Naoya Odaira<sup>1</sup>, Yusuke Tsuchikawa<sup>2</sup>, Daisuke Ito<sup>1</sup>, Yasushi Saito<sup>1</sup>, Takenao Shinohara<sup>2</sup>, Yoshiaki Kiyanagi<sup>3</sup>, Saerom Kwon<sup>4</sup>, Kentaro Ochiai<sup>4</sup>, Satoshi Sato<sup>4</sup> (1. Kyoto Univ., 2. JAEA, 3. Japan Neutron Optics Inc. (J-NOP), 4. QST)

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[3A05]

Quantitative Evaluation of NRF Yield by Using F-LCS beam in UVSOR

\*Hideaki Ohgaki<sup>1</sup>, Heishun Zen<sup>1</sup>, Toshiyuki Shizuma<sup>2</sup>, Takehito Hayakawa<sup>2</sup>, Mohamed Omer<sup>3</sup>, Kai Nishimoto<sup>1</sup> (1. Kyoto University, 2. National Institutes for Quantum Science and Technology, 3. Japan Atomic Energy Agency)

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

[3A06]

Investigation of properties for recovery and utilization of natural underwater resources

\*Kosuke Okamura<sup>1</sup>, Kensuke Umegaki<sup>1</sup>, Naoto Hagura<sup>1</sup>, Haruaki Matsuura<sup>1</sup> (1. TOKYO CITY UNIVERSITY)

11:35 AM - 11:50 AM JST | 2:35 AM - 2:50 AM UTC

[3A07]

Substituent Effects of Radical Cations on Polystyrene Derivatives Studied by Pulse Radiolysis and Quantum Chemical Calculations

\*Kazumasa Okamoto<sup>1</sup>, Yusa Muroya<sup>1</sup>, Takahiro Kozawa<sup>1</sup> (1. Osaka Univ.)

11:50 AM - 11:55 AM JST | 2:50 AM - 2:55 AM UTC

Time reserved for Chair

## 核融合中性子源 A-FNS を用いた高速中性子イメージングの検討

## (2) 高速中性子透過像の詳細な分析

Examination of fast neutron imaging with fusion neutron source A-FNS

## (2) Detailed analyses of fast neutron transmission images

\*大平 直也<sup>1</sup>, 土川 雄介<sup>2</sup>, 伊藤 大介<sup>1</sup>, 齊藤 泰司<sup>1</sup>, 篠原 武尚<sup>2</sup>, 鬼柳 善明<sup>3</sup>, 権 セロム<sup>4</sup>,  
落合 謙太郎<sup>4</sup>, 佐藤 聡<sup>4</sup>

<sup>1</sup>京大, <sup>2</sup>JAEA, <sup>3</sup>日本中性子光学, <sup>4</sup>QST

本研究では、高速中性子を使った実験が可能な J-PARC において、高速中性子用 PP/ZnS および熱外中性子用 <sup>6</sup>LiF/ZnS シンチレータを用いた中性子イメージング実験を実施した。また、実験で得られた透過像と PHITS によるシミュレーションを比較し、実験で得られた透過像の詳細な分析を行った。

**キーワード**：高速中性子イメージング、熱外中性子イメージング、PHITS シミュレーション

## 1. 緒言

現在、核融合中性子源 A-FNS の設計が進められており、A-FNS の多目的利用の候補として中性子イメージングが検討されており、我々は A-FNS で生成される高速中性子を用いた中性子イメージングの実現可能性を検討している。本報告では、実験で得た透過像の分析結果について述べる。

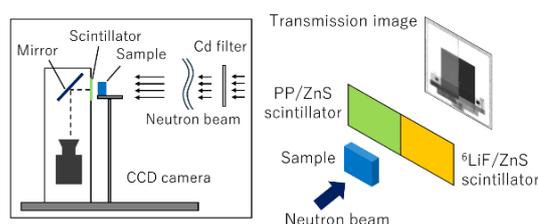


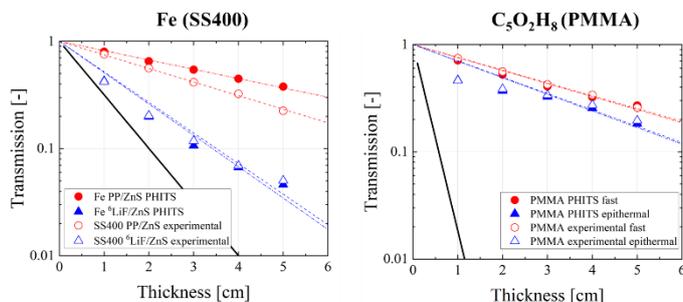
図1 撮影体系の概略図

## 2. J-PARC RADEN を用いた透過像の撮像体系

図1に J-PARC RADEN で用いた透過撮像体系を示す。Cd 板をビームライン上において熱中性子を除去し、図1左図の撮影装置で透過像の撮影を行った。試料には 5 cm × 5 cm × t = 1 ~ 5 cm のブロックを用いており、高速中性子に対する感度が高い PP/ZnS (t = 2.5 mm) と熱外中性子用の <sup>6</sup>LiF/ZnS (t = 0.1 mm) シンチレータ2枚を試料中心に合わせてセットすることによって、同じ試料で異なるエネルギーに対する画像の同時取得を行った(図1右図)。

## 3. 透過率の比較

図2に実験と PHITS シミュレーションで得られた鉄およびアクリルブロック (PMMA) に対する透過率の厚さ依存性を示す。それぞれの点線は実験値および PHITS シミュレーションの結果に対して、指数関数でフィッティングした結果である。<sup>6</sup>LiF/ZnS シンチレータの場合は、いずれも指数関数的な減衰傾向から外れており、入射中性子のエネルギースペクトルが試

図2 <sup>6</sup>LiF/ZnS、PP/ZnS シンチレータによる透過像における水平方向の透過率の比較

料内の散乱により変化したことが主な原因だと考えられる。PP/ZnS シンチレータの場合はいずれも指数関数に沿った透過率の低下がみられることから、定量化も容易だと思われる。ただし鉄の場合は、シミュレーション結果と実験値でみかけの巨視的断面積が異なっているため、別途検討が必要である。

## 4. まとめ

高速中性子および熱外中性子イメージング実験およびを行い、得られた画像を分析した。各透過率の厚さ依存性から、高速中性子イメージングでは比較的厚い試料であっても、定量化が容易だと思われる。

\*Naoya Odaira<sup>1</sup>, Yusuke Tsuchikawa<sup>2</sup>, Daisuke Ito<sup>1</sup>, Yasushi Saito<sup>1</sup>, Takenao Shinohara<sup>2</sup>, Yoshiaki Kiyonagi<sup>3</sup>, Saerom Kwon<sup>4</sup>,  
Kentaro Ochiai<sup>4</sup> and Satoshi Sato<sup>4</sup> <sup>1</sup>Kyoto Univ., <sup>2</sup>JAEA, <sup>3</sup>Japan Neutron Optics, <sup>4</sup>QST

## F-LCS ビームを用いた NRF 収量の定量評価

### Quantitative Evaluation of NRF Yield by Using F-LCS beam in UVSOR

\*大垣 英明<sup>1</sup>, 全 炳俊<sup>1</sup>, 早川 岳人<sup>2</sup>, 静岡 俊行<sup>2</sup>, Mohamed Omer<sup>3</sup>, 西本 海<sup>1</sup>

<sup>1</sup>京大,<sup>2</sup>量研,<sup>3</sup>原子力機構

UVSOR の BL1U において、複数の同位体イメージング及びその定量評価委に関する研究を、小径のビームでエネルギー幅を拡大した F-LCS ガンマ線ビームを用いて行っている。<sup>207</sup>Pb 及び <sup>208</sup>Pb の鉛同位体に対して UVSOR の BL1U ビームラインで行っている NRF 収量の定量評価に関する結果を報告する。

**Keywords : Laser Compton Scattering Gamma-ray Beam, UVSOR, NRF**

#### 1. 緒言

我々は核共鳴蛍光散乱(NRF)と UVSOR の BL1U からのレーザーコンプトン (LCS) ガンマ線を用いて、同位体分布の CT イメージを取得する手法 (NRF-CT) を開発し、<sup>208</sup>Pb の 3 次元 NRF-CT イメージの取得に世界で初めて成功した[1]。現在複数の同位体の同時検出と定量評価を目指し、電子ビームを円偏光アンジュレータ磁場により回転させることで、小径のコリメータでもエネルギー幅を拡大させるとともに、エネルギー分布の空間依存性を無くす F-LCS ガンマ線の発生について研究を進めている。現在、F-LCS ガンマ線のエネルギー空間分布が、通常 LCS ガンマ線に比べて一様という事を、NRF 収量の定量評価を行う事で検証する事を目指して実験を開始した[2]。

#### 2. NRF 実験

F-LCS ガンマ線の発生のために、UVSOR の BL1U の円偏光アンジュレータ磁場を  $K=0.2$  で励磁し、 $1.896\ \mu\text{m}$  の波長のファイバーレーザー(出力約 35W, CW)を用いて、最大エネルギー5.54MeV の F-LCS ガンマ線を発生させた。図1のように吸収サンプルとして、直径 8 mm の <sup>206,207,208</sup>Pb 及び天然鉛を配置し、その下流に <sup>206,207,208</sup>Pb の高濃縮ロッドをウィットネスタargetとして置き、そこからの NRF ガンマ線を 2 台の大型の Ge 検出器にて測定した。このデータをもとに定量評価として、NRF ピークの減少度から、天然鉛の存在比を導出した。F-LCS ガンマ線及び LCS ガンマ線を用いた場合の <sup>208</sup>Pb の 5512 keV の NRF ピークの収量を吸収サンプル位置に対してプロットしたものを図2に示す。

#### 3. 結論

F-LCS ガンマ線と LCS ガンマ線を用いた同位体検知の定量的な議論を行うために、UVSOR の BL1U において、天然鉛及び、高濃縮 <sup>206,207,208</sup>Pb の吸収サンプルを用いた NRF 実験を行った。この結果 <sup>208</sup>Pb の 5512 keV の NRF ピークに対して LCS ガンマ線の場合、 $56\pm 5\%$  という結果を得たものの、図2に示すように実験で得られた NRF 収量のばらつきが、測定の統計誤差より大きくなっており、NRF 実験の精度を向上させる事が必要である事がわかった。本会では、PHITS を用いたシミュレーションの結果も含め、実験体系の改善をはかり 2024 年 7 月に行う実験結果も交えて報告を行う。

#### 参考文献

[1] K. Ali et al., Appl. Sci. 2021, 11, 3415. [2] H. Ohgaki et al., 2024 AESJ Annual Meeting

\* Hideaki Ohgaki<sup>1</sup>, Heishun Zen<sup>1</sup>, Takehito Hayakawa<sup>2</sup>, Toshiyuki Shizuma<sup>2</sup>, Mohamed Omer<sup>3</sup>, Kai Nishimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kyoto Univ., <sup>2</sup>QST, <sup>3</sup>JAEA

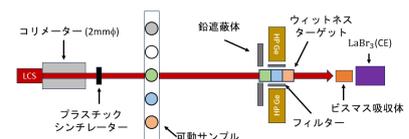


図1 UVSOR での 1 次元イメージング実験の配置図

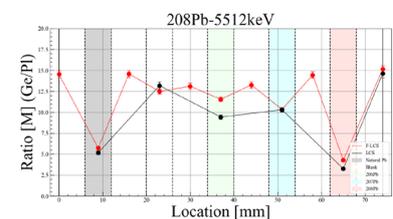


図2 <sup>208</sup>Pb の NRF レベル (5512 keV) を用いた 1 次元イメージ (赤線 : F-LCS ガンマ線、黒線 : LCS ガンマ線)

## 天然水中資源の回収・利用のための性状調査

Investigation of properties for recovery and utilization of natural underwater resources

\*岡村 功祐<sup>1</sup>, 梅垣 堅介<sup>1</sup>, 羽倉 尚人<sup>1</sup>, 松浦 治明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京都市大学

抄録 地下水、河川水、海水といった天然水にはウラン(U)、バナジウムなどの有用希少金属が極微量ながら溶存しており、それら金属元素の回収方法を検討するために、性状調査を実施した。蒸発乾固させた粉末試料の定性・定量評価と構造解析の結果、カルシウム(Ca)、ストロンチウム(Sr)、バリウム(Ba)の含有と共に、Uの存在を確認し、また、その化学形態は炭酸塩で、Baの含有量はCaに比べて5万分の1であった。

**キーワード:** 天然水、 $\gamma$ 線スペクトロメトリー、蛍光X線分析、EXAFS、天然ウラン

### 1. 緒言

日本国内におけるエネルギーの安定供給や維持のためには、天然資源からの回収が有力な解決法であり、天然水の中で地下水には多くの希少金属が溶け込んでいる可能性がある。天然水を濃縮して得られた固化物を調査することで、極少量の有用な元素の有無やその化学形態、濃度のデータを取得し、資源化に向けた基礎的な知見を得ることを本研究の目的とした。濃縮操作により得られた固化物を対象とし、蛍光X線分析(XRF)や $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる非破壊による定性分析を試み、さらに、その化学状態と濃度を推定するためにX線吸収微細構造(XAFS)測定を行った。

### 2. 実験方法

天然水をホットスターラーで加熱し、10Lごとに底に集まった固化物を回収し、その固化物をIRランプで水分がなくなるまで乾燥させた。ゲルマニウム半導体検出器を用いた $\gamma$ 線スペクトロメトリーやXRFを用いて、固化物を測定した。また極微量含有するバリウムの定量のため、バリウムの1000、100、10ppmの溶液を作製し、炭酸カルシウム1(g)とを振とうし、乾固した。乾燥体をペレットと粉末状態にそれぞれ加工し、高エネルギー加速器研究機構、PF、BL-27BにおいてXAFSスペクトルを蛍光法または透過法により、ペレットはSr-K端、粉末はBa-L3端を測定した。

### 3. 結果と考察

天然水の固化物のXRFによれば、Ca、Srは検出できたが、Baはその検出限界(1000ppm)以下であった。そのため蛍光法XAFSを行ったところ、非常にS/Nが悪いもののBa-L3吸収端を確認することができた。図1にはCaに対してBaを意図的に20~60ppm含有させた試料と天然水試料のX線吸収スペクトルを示す。天然水試料の蛍光X線強度から天然水固化物のBa含有量は20~30ppmと推察できる。Srの含有量に関しては、XRFとXAFSによるクロスチェックにより決定し、Ca:Sr:Ba=50000:80:1と推定することができた。ウランの化学的形態についても炭酸塩が主成分であることが予想されるため、今後はその濃縮、回収方法を検討する一助とするため、共存するアルカリ金属成分の同定として、XRFおよびPIGEの併用を検討している。

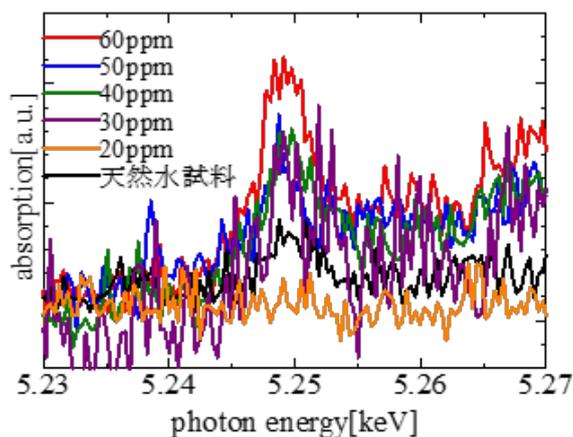


図1. Ba近傍のX線吸収スペクトル

\*Kosuke Okamura<sup>1</sup>, Kensuke Umegaki<sup>1</sup>, Naoto Hagura<sup>1</sup> and Haruaki Matsuura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo city Univ.,

# パルスラジオリシスと量子化学計算によるポリスチレン誘導体のラジカルカチオンの置換基効果に関する研究

Substituent Effects of Radical Cations on Polystyrene Derivatives Investigated

by Pulse Radiolysis and Quantum Chemical Calculations

\*岡本 一将, 室屋 裕佐, 古澤 孝弘

大阪大学

放射線化学初期過程で生成する高分子のラジカルカチオン種の置換基効果の詳細は、これまで十分明らかにされていない。そこで、パルスラジオリシス法と量子化学計算を用いて、ポリスチレン誘導体のラジカルカチオンのダイナミクスについて、置換基効果を調べた。

**キーワード:** パルスラジオリシス, ポリスチレン, ラジカルカチオン, 放射線化学, 電子線, 量子化学計算

## 1. 緒言

ポリスチレンは、汎用高分子の一つであり、放射線化学初期過程をはじめとする放射線応答性は古くから調べられ、その応用として、耐放射線材料や半導体製造用リソグラフィにおける EUV や電子線露光用フォトリソ材料にも、その分子組成が用いられている。しかし、ポリスチレン誘導体の放射線化学初期過程は、主として電子線パルスラジオリシス法で調べられてきたものの[1]、その置換基依存性は低分子系とは違い、系統的に調べられている状況とはいえない。また、初期過程で生成するラジカルカチオンのダイナミクスの解明は、レジスト材料設計に対しても重要な指針を与えることができる。そこで本研究では、電子線パルスラジオリシス法と量子化学計算を用いて、ポリスチレンのラジカルカチオン種のベンゼン環のパラ位の置換基依存性について検討を行った。

## 2. 実験・計算

阪大産研量子ビーム科学研究施設 26 MeV L-バンドライナックからの電子線でサンプルを照射し、Xe フラッシュランプ光を同期して照射させ、分光させた分析光の強度の時間変化をオシロスコープで追跡することで、ナノ秒パルスラジオリシス実験を行った。サンプルには、1,2-ジクロロエタンに種々のパラ位置換ポリスチレン誘導体を溶解した Ar 飽和溶液を用いた。また、2,4 (*m*)-ジフェニルペンタンまたはスチレン誘導体をそれぞれダイマーとモノマーモデルとして密度汎関数法 (DFT 法) に基づく量子化学計算を行った。

## 3. 結果・考察

パルスラジオリシス法により、それぞれの溶液で可視域 (400–600 nm) と近赤外域 (> 1000 nm) に吸収ピークが観察された。前者は、複数のスチレンユニットに正電荷が非局在化した分子内マルチマーラジカルカチオンの局所励起 (LE) バンド、またはモノマーカチオンとアニオン間の対イオン/電荷共鳴 (CT) 錯体と、後者はマルチマーラジカルカチオンの電荷共鳴 (CR) バンドとして帰属される。結果として特に、メトキシ (OCH<sub>3</sub>) 置換、ヨウ素置換ポリスチレンにおいて、それぞれラジカルカチオンの長寿命化と遅いコンフォメーション緩和が見られた。さらに、パルスラジオリシスの結果と合わせて、量子化学計算によりそれぞれの誘導体モデルの置換基の電子供与性、サイズによる置換基効果について、ラジカルカチオンに関する検討を行った。

## 参考文献

[1] 岡本ら, 2022 年・2024 年日本原子力学会春の大会など

\*Kazumasa Okamoto, Yusa Muroya, and Takahiro Kozawa

Osaka Univ.