

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05956

研究課題名(和文)RAFTエマルショングラフト重合による環境浄化材料の創製研究

研究課題名(英文)Development of environmental purification materials by RAFT emulsion graft polymerization

研究代表者

瀬古 典明 (SEKO, NORIAKI)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部・上席研究員

研究者番号：10354953

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：放射線グラフト重合で作製した吸着材による浄化法を提唱するため、独自に構築した放射線エマルショングラフト重合とリビング重合の一つである可逆的付加開裂連鎖移動(RAFT)重合を融合させ、グラフト高分子側鎖を揃える合成技術を開発した。RAFT剤の添加により導入するグラフト鎖の単分散性を制御できることがわかった。また、グラフト鎖の分子量はグラフト率に対してほとんど依存性がなく、分子量の揃ったグラフト鎖が重合されており、グラフト鎖数は概ね5本であり、グラフト率に対し増加する傾向を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線照射により生成する失活しないラジカルとエマルション粒子(ミセル)により効率良くグラフト重合が進行する特徴に着目し、配置と長さを制御したオーダーメイドの高分子吸着材を開発した。この研究を遂行することにより、新しいグラフト重合法の体系化に必要なデータの蓄積を行うことができたことに加え、有機溶媒を用いない環境に優しいエコプロセスにより高効率な吸着材を合成できることから、廉価に製造する技術開発へと展開することが可能となる。本技術を用いた環境浄化材料が実用化できれば、地球環境の保全に対する大きな貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)： In order to propose a purification method using adsorbent materials prepared by radiation-induced graft polymerization, we developed a new synthetic method for uniform grafted chains by integrating radiation emulsion graft polymerization and reversible addition cleavage chain transfer (RAFT) polymerization. We found that the monodispersibility of the graft chains can be controlled by adding RAFT agents.

The molecular weight of the graft chains was found to be almost independent of the degree of grafting, and the number of graft chains was generally five, which tended to increase with the degree of grafting.

研究分野：機能性材料

キーワード：放射線グラフト重合 エマルション重合 RAFT重合 分子量分布 多分散指数 吸着材 環境浄化材料

1. 研究開始当初の背景

排水等に溶存する有害な金属やイオンを除去する方法に凝集沈殿法やイオン交換樹脂を用いた吸着法がある。凝集沈殿法は、沈殿に伴い大量の廃棄物が発生し、埋め立て処分などの二次的処理を必要とする問題を抱えている。また、吸着法は、一般的に粒子状のイオン交換樹脂が用いられているが、対象元素が限定される上、樹脂表面のイオン交換基(吸着基)のみが機能するため吸着容量が低く、低濃度の溶存イオンの処理は困難である。これに対し、研究代表者は電子線やγ線をを用いた放射線グラフト重合で作製した吸着材による浄化法を提唱し研究を進めてきた。放射線グラフト重合では基材の素材・形状を自由に選択でき、表面に高密度に吸着基を導入することができる。例えば基材として繊維で構成される不織布を選択すると、高密度な吸着基と金属イオンとの接触には水の対流だけで十分な効果が生まれる。したがって、対流に加えて金属イオンの濃度拡散による効果が必要となる粒子状のイオン交換樹脂と比較して、排出規制値の極低濃度でも効率的に吸着処理ができる。さらに、グラフト重合法で吸着材を作製すると、グラフトした高分子側鎖が高密度で絡みあって金属捕集に適した高分子鎖の網目構造が形成される場合がある。この絡み合ったグラフト鎖に放射線橋かけ重合を施すと、高分子鎖間に一定の空隙を作り出した状態で、対象元素に合った吸着サイトを形成することが可能となり、これまでに鉛と銅を完全に分離/回収できる吸着材の開発に成功してきた。

この技術を限られた元素だけではなく、多様な元素に対応できるよう拡張するためには、グラフト鎖により形成される網目(空隙)の大きさを制御する必要がある。そのためには、グラフト重合時に導入されるグラフト鎖の長さやその間隔を、吸着対象となる元素に合わせて精緻にデザインすることが重要である。これが実現できれば、吸着対象とする元素に合致した高分子鎖で作り出すネットワーク構造を有する吸着材を容易に合成できるようになる。

2. 研究の目的

水中の金属イオンを高効率に捕捉するためには、金属分離能の高い分子認識/排除型の吸着配位子を主成分とする吸着材が必要である。しかしながら、これらは低分子化合物であることが多く、可溶化して再利用ができず使用環境にも制限があるという問題を抱えている。一方、固体高分子素材で作る吸着材は、可溶化せず、取り扱いが簡便であるという利点がある。本研究では、高分子吸着材の合成手法として、既存高分子素材の特性を保持した状態で異なる機能を付与できる放射線グラフト重合を軸に、高分子側鎖の伸長程度の制御法として活用する可逆的付加開裂連鎖移動(RAFT)重合と、環境に優しい水溶媒でグラフト重合物を合成可能な放射線エマルジョングラフト重合とを融合させるというユニークな手法により、グラフトする高分子鎖長及び高分子鎖間隔を制御した高選択性吸着材を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

これまでに独自に構築した放射線エマルジョングラフト重合と、代表的なリビング重合法であるRAFT重合を融合させ、グラフト高分子側鎖の特性を評価した。

(1) 安定化ミセル形成条件の探索

放射線エマルジョングラフト重合とRAFT重合を融合させた新しい重合法を確立するため、重要な因子となる安定化ミセルを形成可能な条件を探索した。各組成で調整したモノマー溶液中に存在するミセルの径サイズと安定性については動的光散乱法により評価した。

(2) 放射線RAFTエマルジョングラフト重合

(1)で最適化した安定化ミセルを有するモノマー溶液組成でグラフト重合を実施した。モノマーには、汎用性のあるグリシジルメタクリレート(GMA)、アクリロニトリル(AN)、クロロメチルスチレン(CMS)を選択し、界面活性剤には、ドデシル硫酸ナトリウム(SDS)、ポリオキシエチレンソルビタンモノラウレート(Tween20_Tw-20)を用いた。また、RAFT剤は、2-シアノ-2-プロプルベンゾジチオエート(CPBA)、4-シアノ-4-((フェニルカルボノチオイル)チオ)ペンタン酸(CPPA)を用いた。モノマーと界面活性剤との相溶性について、その温度を制御した状態でミセル粒径、粒度分布、及び形状を調べ、そのミセルの形状持続性を評価した。相溶性は、モノマー濃度を固定し、添加物の濃度を変化させて調べ、グラフト重合の反応に必要な最大5時間程度安定

する条件を判断基準とした。

CMS および AN の照射条件（線量率と照射時間）については下表にまとめた。

試料	モノマー	RAFT剤	基材	総吸収線量 (線量率×時間)
A	CMS	なし	なし	10 kGy (10 kGy/h×1 h)
B	CMS	照射前に添加	なし	10 kGy (10 kGy/h×1 h)
C	CMS	照射後に添加	なし	10 kGy (10 kGy/h×1 h)
D	CMS	照射前に添加	あり(同時照射)	10 kGy (10 kGy/h×1 h)
E	CMS	照射前に添加	なし	10 kGy (5 kGy/h×2 h)
F	AN	なし	なし	50 kGy (10 kGy/h×5 h)
G	AN	照射前に添加	あり(同時照射)	50 kGy (10 kGy/h×5 h)

(3) グラフト吸着材の重金属吸着特性

グラフト側鎖をデザインした AN をモノマーとするグラフト重合体に、吸着基としてアミドキシム基を導入した吸着材を合成し、これを用いて溶存するクロムイオンに対する吸着特性を調べた。金属イオン濃度は ICP-MS を用いて定量した。また、吸着材に捕捉された錯形成状態については、放射光 XAFS を用いて観測し考察した。

AN のグラフト重合率は以下の式[1]により算出した。

$$\text{グラフト重合率[\%]} = 100[(W_1 - W_0) / W_0] \quad [1]$$

ここで、 W_0 はグラフト重合前の基材の重量、 W_1 はグラフト重合後のグラフト物の重量である。また、AN のグラフト重合物を pH7 に調整したヒドロキシルアミン水溶液中でアミドキシム化を行った際のアミドキシム基密度は以下の式[2]により算出した。

$$\text{アミドキシム基密度 [mol / kg]} = 1000(W_2 - W_1) / (33 / W_2) \quad [2]$$

ここで、 W_1 はグラフト重合後のグラフト物の重量、 W_2 はアミドキシム化後の重合物の重量である。

(4) グラフト鎖の特性評価

RAFT エマルショングラフト重合により合成したグラフト物は、グラフト鎖および基材を各々溶解可能な溶媒を選定し、各々の分子量分布を GPC により調べた。

4. 研究成果

本研究では、放射線 RAFT エマルショングラフト重合により形成したグラフト鎖の性状を把握するため、基材とモノマーが同一反応系に存在する状態で放射線を照射する同時照射法を軸に、モノマー溶液のみへの照射により生成するポリマーと、基材へグラフト重合した際のグラフト鎖とを検討した。具体的な成果を以下に示す。

(1) 安定化ミセル形成条件の探索

モノマーと界面活性剤の相溶性について、グラフト反応時間を最大 5 時間と見積り、その間のミセル安定性を調べた。これまでに確立した放射線エマルショングラフト重合と同様、RAFT エマルショングラフト重合においても、RAFT 剤の存在有無を問わず、グラフト反応効率にはミセルの安定性とミセル径が重要であることがわかった。グラフト重合には基材表面とミセルの接触効率が最もグラフト反応率に影響を与えるため、ミセルを最小化可能な条件を探索した。その結果、GMA のミセル径の最小化には Tw-20 を用いた系で最も効果があり (0.08 μm)、グラフト率も僅か 1 時間の反応で 500% 以上となった。この結果から、従来の有機溶媒を用いる反応系と比較して、吸着材として必要となるグラフト率を、これまでの 5 分の 1 に相当する 40 kGy の線量で合成できる見通しを得た。

(2) 放射線 RAFT エマルショングラフト重合

放射線 RAFT エマルショングラフト重合は、各モノマーだけを照射して得られる重合反応と、基材にモノマーを重合させるグラフト重合反応の2つの手法で検討した。CMS をモノマーとして用いる放射線 RAFT グラフト重合の検討では、RAFT 剤として CPPA を用い、線を 10 kGy 照射した。RAFT 剤の添加量は CMS モノマーに対してモル比で 1/500 (RAFT 剤/CMS) になるよう調製し、40、2 時間反応させた。AN の放射線 RAFT エマルショングラフト重合の検討では、同時照射でグラフト重合を行い、自己重合により生成されるホモポリマーの分子量を調べた。特に、グラフトする AN の側鎖長の特性を評価することで、添加した RAFT 剤である CPBA がグラフト重合率に与える影響を調べた。添加量は AN モノマーのモル比に対して 1/500 (RAFT 剤/AN) で行った。GPC 測定結果を下表に示す。

試料	モノマー種	RAFT 剤	基材	数平均分子量(M_n)	重量平均分子量(M_w)	PDI
A	CMS	なし	なし	7.16×10^4	1.35×10^5	1.88
B	CMS	照射前に添加	なし	1.27×10^4	1.69×10^4	1.33
C	CMS	照射後に添加	なし	5.98×10^3	6.87×10^3	1.15
D	CMS	照射前に添加	あり (同時照射)	9.85×10^3	1.34×10^4	1.36
E	CMS	照射前に添加	なし	2.60×10^3	2.96×10^3	1.14
F	AN	なし	なし	1.50×10^3	1.60×10^3	1.07
G	AN	照射前に添加	あり (同時照射)	1.57×10^3	1.66×10^3	1.06

CMS の系においては、予め RAFT 剤を添加したモノマー溶液に線照射をした試料 B のポリマーは、単分散性を示すとともに、RAFT 剤を添加しない系の試料 A よりも平均分子量及び分子量の多分散度 (PDI) が低いことがわかった。これは RAFT 剤が重合禁止剤として作用するため、重合率 (量) に制約が生じたためだと思われる。また、照射後に重合開始剤として RAFT 剤を添加した試料 C の条件では、試料 B よりもさらに低い平均分子量および PDI の単分散なポリマーを重合できることが分かった。つまり、RAFT 剤は重合禁止剤として作用するものの、放射線照射により触媒機能が失活してしまうため、照射後に添加して重合する方が良いとの方針が得られた。また、モノマー溶液に基材を予め浸漬し、モノマーと基材を同時に照射してグラフト重合を行う同時照射法により得られた試料 D の平均分子量および PDI は、溶液の組成や照射条件が同じ試料 B とほぼ同じ値であった。これにより、ホモ重合およびグラフト重合のいずれにおいても、RAFT 剤を用いることで単分散性のポリマーが得られることがわかった。

AN の系においては、試料 F と G の PDI の結果が示すように、RAFT 剤の有無、グラフト重合の有無にかかわらず均一な AN ポリマーを得られる結果であった。これは、AN が疎水性モノマーであり、重合速度が遅くなることから、基材中の多量のラジカルを起点とする AN の放射線グラフト重合が進行するよりも、照射により生成したラジカルが RAFT 剤により失活する速度が速く、結果として AN グラフト鎖末端の RAFT 剤の成長ラジカルがグラフト重合反応を支配し、グラフト鎖の伸長量に影響を与えていると考えられた。そのため、グラフト鎖の材料設計においては、反応性の低いモノマーを適応することで、より容易に制御できる指針を得ることができた。

上述のように、RAFT 剤は重合禁止剤としても作用するため、RAFT 剤を添加することでグラフト重合速度を抑え、分子量 1,000 以下の低分子量のポリマーが得ることができる。そのため、グラフト鎖長を短く導入する、または導入するグラフト鎖 (官能基密度) を基材表面に高密度に導入する材料設計の場合は AN/CPBA の系で合成できる指針が得られた。

(3) グラフト吸着材の重金属吸着特性

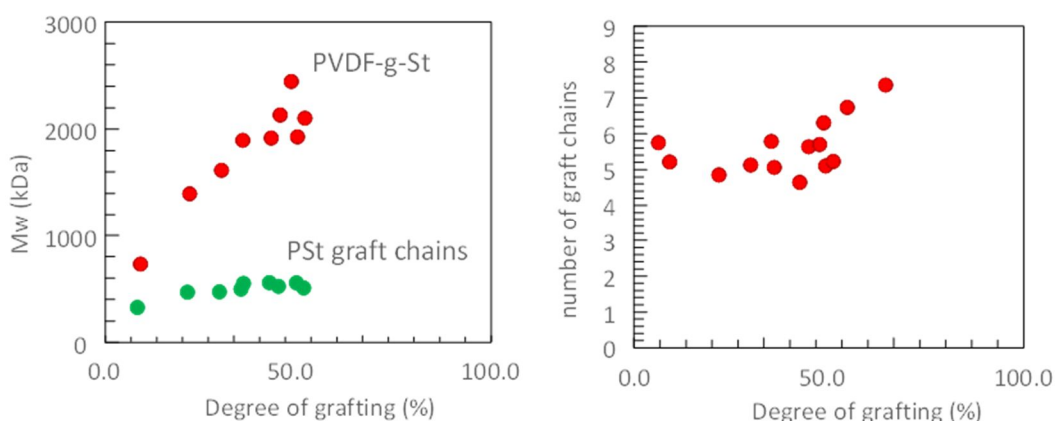
本成果の産業化を視野に入れ、グラフト鎖中のシアノ基をアミドキシム基に変換し、水中に溶存するクロムイオンを除去する吸着材として評価した。アミドキシム型の吸着材は、酸性と中性において三価及び六価クロムをそれぞれ吸着濃縮する。特に、酸性条件下で六価クロムを吸着させると、アミドキシム基により捕捉されたクロムが還元する。一般的に高密度の低分子吸着基にクロムを接触させると還元反応が起こるが、高分子材料のような吸着基が希薄な場合、還元作用はほとんど見られない。これは、ICP やイオンクロマトグラフィー、エネルギー分散型 X 線分析において、価数を特定できない事実と一致する。還元反応の評価については、六価クロムに起因するプリエッジピークの観測が可能な放射光 XAFS により解析した。予め六価クロムを吸着させ

たアミドキシム型吸着材の測定では、プリエッジピークは観測されず、三価クロムに起因するピークが得られた。これは吸着材内で三価クロムに還元されていることを示している。これにより、本吸着材の利用により、有害な六価クロムを吸着除去するだけでなく、三価クロムに還元することで無害化にできる可能性を示すことができた。また、この還元について放射光 XAFS を用いて in-situ のカラム吸着試験を進めた結果、六価から三価への還元が 14 分以内という短時間で進行していることを突き止めた。さらに、この高分子のグラフト吸着材中で還元性が認められたという事実はグラフト吸着材表面に高密度に吸着基が存在していることを意味しており、発案した放射線 RAFT エマルジョングラフト重合の特徴を実証できたことになる。

吸着基の導入量を増加させる場合、グラフト側鎖の分子量を増大させる必要があり、反応性の高いモノマーを選定することが重要である。ここで、上述の AN/RAFT グラフト重合の反応現象から考察すると、反応性の高いモノマーを利用する場合、または RAFT 剤を添加する系においては、照射によるラジカル付与量を低減させ、グラフト鎖の末端に位置する RAFT 剤を反応起点とすることで、その反応を制御可能なことを示唆している。この結果を受け、高分子量、つまりグラフト鎖を長鎖型にする検討を進めた。長鎖型の候補として、GMA をモノマーとするグラフト重合物を RAFT 剤の添加しない系で合成した後、GMA 末端のエポキシ基に N-メチル D グルカミン (NMG) を導入して吸着材を作製した。NMG はオキシニウムイオンに対して選択性がある代表的な官能基であるため、ヒ素を対象にしてグラフト鎖の挙動を追跡した。放射光 XAFS を用いた in-situ 吸着試験において、NMG 吸着材を充填したセル中に中性の As() 溶液を通液し、吸着材中に捕捉された As の結合状態を観察した。その結果、時間の経過とともに、As() に起因する新たな吸収端が出現し、ピークが高エネルギー側へシフトしていく傾向が見られた。これは低分子量の側鎖では観察できなかった結果であり、長鎖型側鎖の効果であることが示唆された。

(4) グラフト鎖の特性評価

グラフト鎖の特性評価では、グラフト重合後のグラフト鎖と基材を分離して各々の分子量を調べた。検討では、最初に基材のフッ素樹脂 (PVDF_ポリフッ化ビニリデン) とグラフト鎖とを個別に溶解可能な条件を確立した。下図左には、PVDF 基材にスチレン (St) をグラフト重合した重合物 (PVDF-g-St) と、St グラフト鎖 (PSt) の分子量を示す。PVDF-g-St の分子量はグラフト率の増加とともに直線的に増加するのに対し、PSt の分子量はグラフト率に対してほとんど依存性がなく一定の値を示した。これは分子量の揃ったグラフト鎖が重合されていることを示している。また、この結果からグラフト鎖数を算出したところ、概ね 5 本であり、この本数は、グラフト率 (図中表記 : Degree of grafting) の増加に対し増えていく傾向を示すことがわかった (下図右)。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hayashi Natsuki, Matsumura Daiju, Hoshina Hiroyuki, Ueki Yuji, Tsuji Takuya, Chen Jinhua, Seko Noriaki	4. 巻 277
2. 論文標題 Chromium(VI) adsorption reduction using a fibrous amidoxime-grafted adsorbent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 119536 ~ 119536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2021.119536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Barba Bin Jeremiah D., Penaloza David P., Seko Noriaki, Madrid Jordan F.	4. 巻 7
2. 論文標題 RAFT-Mediated Radiation Grafting on Natural Fibers in Aqueous Emulsion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 materials proceedings	6. 最初と最後の頁 4-1~4-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/IOCP2021-11243	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Hamada Takashi, Hoshina Hiroyuki, Seko Noriaki	4. 巻 4
2. 論文標題 Poly(vinyl diglycolic acid ester)-Grafted Polyethylene/Polypropylene Fiber Adsorbent for Selective Recovery of Samarium	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 1846 ~ 1854
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.1c01731	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Omichi, Y. Ueki, N. Seko, Y. Maekawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Development of a Simplified Radiation-Induced Emulsion Graft Polymerization Method and Its Application to the Fabrication of a Heavy Metal Adsorbent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 1373-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym11081373	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuji Ueki, Noriaki Seko	4. 巻 5(6)
2. 論文標題 Synthesis of Fibrous Metal Adsorbent with a Piperazinyl-Dithiocarbamate Group by Radiation-Induced Grafting and Its Performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 2947-2956
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b03799	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Natsuki, Chen Jinhua, Seko Noriaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Nitrogen-Containing Fabric Adsorbents Prepared by Radiation Grafting for Removal of Chromium from Wastewater	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 744-1 ~ 744-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym10070744	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Seko Noriaki, Hoshina Hiroyuki, Kasai Noboru, Shibata Takuya, Saiki Seiichi, Ueki Yuji	4. 巻 143
2. 論文標題 Development of a water purifier for radioactive cesium removal from contaminated natural water by radiation-induced graft polymerization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 33 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2017.09.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件(うち招待講演 4件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 瀬古典明
2. 発表標題 量子ビームを活用した材料創製と評価
3. 学会等名 日本原子力学会2022春の年会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬古 典明、保科 宏行、笠井 昇、植木 悠二、榎本一之、鈴木 伸郎、河地 有木
2. 発表標題 セシウム捕集材を用いた管理型水処理システムの開発
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬古典明
2. 発表標題 量子ビームを活用した機能性高分子材料の開発
3. 学会等名 第三回産学官連携交流会 (第115回複合材料懇話会) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Noriaki SEKO
2. 発表標題 Current Status of Quantum Beam Applications for Polymer Processing
3. 学会等名 Innovation in Polymer Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noriaki Seko, Hiroyuki Hoshina, Haruyo Amada, Natsuki Hayashi and Yuji Ueki
2. 発表標題 Metal ion adsorption by radiation grafted adsorbents
3. 学会等名 OKINAWA COLLODS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noriaki Seko, Hiroyuki Hoshina, Yuji Ueki, Seiichi Saiki, Masaaki Omichi, Jinhua Chen, Masanori Nakano
2. 発表標題 Adsorption Performance of Fibrous Adsorbents by Radiation Emulsion Graft Polymerization
3. 学会等名 The 10th International Membrane Science & Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林菜月、瀬古典明、陳進華、松村大樹、辻卓也、齋藤寛之
2. 発表標題 In-situ XAFS analysis on reduction of adsorbed hexavalent chromium in radiation grafted adsorbent
3. 学会等名 The 7th Asia Pacific Symposium on Radiation Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬古典明、林菜月、陳進華、松村大樹、辻卓也、齋藤寛之
2. 発表標題 Adsorption performance of trivalent and hexavalent chromium in aqueous solution by electron beam grafted adsorbents
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陳進華、林菜月、植木悠二、保科宏行、笠井昇、瀬古典明
2. 発表標題 GPC Analysis of Radiation-Grafted PVDF and Its Polystyrene Graft Chains
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬古典明, Vu Thanh Quang, 林菜月, 植木悠二, 陳進華
2. 発表標題 Effect of alcohol on radiation emulsion grafting of GMA onto PE nonwoven fabrics
3. 学会等名 The 15th Pacific Polymer Conference (PPC-15) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 陳進華、瀬古典明
2. 発表標題 「RAFT polymerization in simultaneous radiation grafting of chloromethylstyrene onto ETFE films」
3. 学会等名 The 15th Pacific Polymer Conference (PPC-15) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 ジチオカルバミン酸基を有する金属吸着材とその製造方法及び金属抽出方法	発明者 植木悠二、瀬古典明	権利者 量子科学技術研究開発機構
産業財産権の種類、番号 特許、7220894	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	植木 悠二 (UEKI Yuji) (50446415)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部・兼任 (82502)	
研究分担者	保科 宏行 (HOSHINA Hiroyuki) (60446416)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部・主幹研究員 (82502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------