

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25288081

研究課題名(和文) 環状オリゴ糖の高度分子認識能を利用したオイル中の有害物質の高効率除去・回収の実現

研究課題名(英文) Highly Efficient Removal and Recovery of Harmful Compounds in Oil Utilizing High Molecular Recognition Ability of Cyclic Oligosaccharides

研究代表者

木田 敏之(Kida, Toshiyuki)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20234297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：絶縁油中に混入した有害なポリ塩化ビフェニル(PCB)を完全に除去、回収でき、さらに繰り返し再利用できる環状オリゴ糖ポリマーの開発に成功した。また、食用油中に含まれる有害なトランス脂肪酸成分を効果的に除去・回収でき、再利用可能な環状オリゴ糖の開発にも成功した。ここで開発した吸着剤をカラム内に充填し、その中に有害物質で汚染されたオイルが通るシステムを組むことで、これまで困難と考えられてきた、オイル中の有害物質の安全かつ効率的な除去・回収が可能となる。

研究成果の概要(英文)：We succeeded in the development of cyclic oligosaccharide-derived polymers by which harmful polychlorobiphenyls (PCBs) contaminated in insulating oil can be completely removed and recovered from the oil. These polymers can be recycled many times for PCB adsorption without any loss in the adsorption ability. Furthermore, we developed cyclic oligosaccharide derivatives which enabled the effective removal and recovery of harmful trans-fatty acids from edible oils. Those adsorbents can be recycled for trans-fatty acids adsorption. By passing the contaminated oils through a column loaded with the cyclic oligosaccharide adsorbents, we can remove and recover the harmful compounds from the oils safely and efficiently.

研究分野：超分子化学

キーワード：環状オリゴ糖 シクロデキストリン ポリ塩化ビフェニル トランス脂肪酸 油 ポリマー 除去 再利用

## 1. 研究開始当初の背景

絶縁油中に混入したポリ塩化ビフェニル (PCB) や食用油中に含まれるトランス脂肪酸など、オイル中に混入した有害物質の除去は、安全・安心で持続可能な社会を形成する為に早急に解決されねばならない課題である。PCB はコンデンサや変圧器中の絶縁液体としてかつては広く用いられていたが、その毒性ならびに環境への高蓄積性が明らかになり、我が国では 1972 年に使用が禁止された。しかし、微量の PCB 混入絶縁油は現在もなお未処理のまま大量に (50 万トン以上) 保管されており、現行の化学処理法や焼却処理法だけでは処理に膨大な時間と費用を要することが問題となっている。さらに保管容器の劣化・腐食や地震等の自然災害による環境中への PCB の漏洩が懸念されており、PCB を全廃できる処理技術の確立が急務となっている。一方、食品として広く利用されている植物油を加工、精製、調理する時に生成するトランス型の脂肪酸 (トランス脂肪酸) がヒトの健康に深刻な影響を及ぼすことが世界規模で問題となっている。トランス脂肪酸は LDL コレステロール (悪玉コレステロール) を増加させ、HDL コレステロール (善玉コレステロール) を減少させる作用があり、多量に摂取し続けた場合には動脈硬化などによる虚血性心疾患のリスクを高めることが知られている。このようなことから、トランス脂肪酸を含む製品の使用を規制する国が増えており、我が国でも、健康に対する意識の高まりとともにトランス脂肪酸低減に取り組む企業が増加している。このような背景の下、本研究者は、オイル中の PCB やトランス脂肪酸などの有害物質を効率的に除去できる吸着剤として、‘シクロデキストリン (CD)’ と呼ばれる、植物由来の環状オリゴ糖に注目した。CD はバケツの底を抜いたような形をしていて、内径 0.5~0.9 nm の空洞になっており、この空洞の形と大きさに適合する分子を取り込む性質 (包接能) がある。

本研究者は最近、CD の水酸基の一部を *tert*-ブチルジメチルシリル基で化学修飾した化合物が、非極性溶媒やオイル中に溶解した 1,2,4-トリクロロベンゼンや 4-クロロビフェニル等の塩素化芳香族化合物と効果的に包接錯体を形成することを見出し、この包接現象を用いることでオイル中から塩素化芳香族化合物を簡単にほぼ完全に除去できることを明らかにした (*Org. Lett.* 2009, 11, 5282.)。さらに、CD の一級水酸基を適切な連結基で架橋した CD ポリマーを用いることで、絶縁油中の PCB をほぼ完全に吸着除去できることを見出した。また、ここで形成された包接錯体を極性溶媒で洗浄することで、除去した塩素化芳香族化合物を収率良く回収できることも明らかにした。一方、 $\alpha$ -CD 誘導体を吸着剤に用いることで、植物油中のトランス脂肪酸エステルを高選択的に除去

できることも見出した (特願 2009-205977; PCT/JP2010/065235)。これまでオイル中に混入している有機化合物を吸着除去する方法として、活性炭やゼオライトに吸着させる方法が用いられてきたが、これらの吸着剤は再利用困難で、吸着した有機化合物を回収するのに膨大なエネルギーを必要とするという欠点を有している。特に、PCB などの有害物質を除去する場合、有害物質が吸着した使用済み活性炭やゼオライトが二次汚染物となってしまうことが大きな問題となっている。その一方で、本研究者が開発した CD 誘導体を用いれば、吸着した有機化合物は有機溶剤で洗浄するだけで簡単に収率良く回収でき、CD 誘導体も再利用可能となる。オイル中の有害物質に対してさらに効果的な吸着除去能を示す CD 誘導体を開発することで、オイル中に混入した有害物質の迅速かつ省エネルギー的な除去・回収につながると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、オイル中から PCB やトランス脂肪酸などの人体に有害な物質を効率的に除去・回収できる吸着剤の開発を目的としている。本目的達成のために、すでに機能を見出している CD 誘導体の構造をもとに、オイル中の有害物質に対し、より効率的な吸着除去が期待できる種々の CD 誘導体や CD ポリマーを設計・合成し、オイル中の PCB やトランス脂肪酸に対する吸着除去能について評価する。これらの CD 吸着剤と有害物質間で形成された包接錯体の構造ならびに包接錯体形成のメカニズムを解明するとともに、吸着された有害物質を吸着剤から効率的に回収できる最適条件を明らかにし、吸着剤の再利用可能性についても検証する。

## 3. 研究の方法

本研究ではまず、すでに機能を見出している、6 位水酸基をトリアルキシルシリル化したシクロデキストリン (6 位シリル化 CD)、2 位と 6 位水酸基をメチル化したシクロデキストリン (2,6-*O*-ジメチル化 CD)、CD を架橋した CD ポリマーの構造をもとに、種々の CD 誘導体を設計・合成し、絶縁油中のポリ塩化ビフェニル (PCB) や食用油中のトランス脂肪酸に対する吸着能の検討、形成される包接錯体の構造ならびに包接 (吸着) メカニズムを明らかにすることで、オイル中での CD ホスト分子による分子認識現象を理解する。さらに、吸着された PCB ならびにトランス脂肪酸を CD 吸着剤から効率的に回収できる条件を検討し、吸着剤の再利用可能性について検証する。

(1) オイル中のポリ塩化ビフェニル (PCB) を効率的に除去・回収できる CD 吸着剤の開発

① CD ポリマーの設計と合成

本研究者がこれまでに見出した知見 (*Org.*

*Lett.* 2009, 11, 5282; *Org. Lett.* 2011, 13, 4570.)に基づき、CDならびにCD誘導体をジイソシアネートや二塩基酸ジクロライド等の架橋剤で架橋したCDポリマーの設計・合成を行う。

#### ② オイル中のPCBに対する吸着能の検討

上記①で合成したCDポリマーを用いて、オイル中のポリ塩化ビフェニル(PCB)に対する吸着能について検討する。合成したCDポリマー(吸着剤)をカラムの中に充填し、この中をPCBを含むオイルが通過するシステムを組み、カラム温度、オイル流速等の条件を変化させて、カラム通液後のオイル中のPCB濃度を測定する。さらに、高い吸着除去能を示した吸着剤を用いて、実際に保管されているPCB含有絶縁油中のPCBに対する吸着能を評価する。

#### ③ 吸着したPCBを効率的に回収できる条件の検討と吸着剤の再利用可能性の検証

開発したCDポリマーを用いて、これらに吸着されたPCBを効率的に回収できる条件を検討するとともに、吸着剤の再利用可能性について検証する。PCBが吸着したCD誘導体を種々の溶剤で洗浄し、そこからのPCB回収率を算出する。

#### (2) 食用油中のトランス脂肪酸エステルを効率除去・回収できるCD誘導体の開発

##### ① CD誘導体の設計・合成と食用油中のトランス脂肪酸エステルに対する吸着能の評価

本研究者はこれまで、2,6位の水酸基をメチル化した $\alpha$ -CD(2,6-Oジメチル化 $\alpha$ -CD)が、ヘキサン中のトランス脂肪酸エステルに対応するシス脂肪酸エステルよりも選択的に吸着除去できることを見出している(特願2009-205977; PCT/JP2010/065235)。また、植物油の主成分である炭素数18の長鎖脂肪酸エステルと2,6-Oジメチル化 $\alpha$ -CDの混合溶液から得られた単結晶のX線構造解析の結果から、2,6-Oジメチル $\alpha$ -CDはこれらの長鎖脂肪酸エステルと2:1の包接錯体を形成し、オレイン酸メチル(シス脂肪酸エステル)よりもエライジン酸メチル(トランス脂肪酸エステル)と結晶中でより密な包接錯体を形成することが明らかとなっている。これらの知見をもとに、植物油中のトランス脂肪酸エステル吸着剤として、 $\alpha$ -CDをチャンネル状に配列させた集合体を設計・合成し、植物油中のトランス脂肪酸エステルに対する吸着除去能を評価する。

##### ② 吸着したトランス脂肪酸エステルを効率的に回収できる条件の検討と吸着剤の再利用可能性の検証

トランス脂肪酸エステル吸着後のCD吸着剤からトランス脂肪酸を効率的に回収できる条件を検討する。また、ここで得られたCD吸着剤の再利用可能性について検証する。トランス脂肪酸エステルが吸着したCD誘導体を種々の溶剤で洗浄し、そこからのトランス脂肪酸エステル回収率を算出する。

#### 4. 研究成果

##### (1) オイル中のポリ塩化ビフェニル(PCB)を効率除去・回収できるCD吸着剤の開発

低コストで簡便に合成でき、かつ立体的にかさ高いPCBを含めた、あらゆる種類のPCB吸着除去が可能な吸着剤として、 $\gamma$ -CDを二塩基酸ジクロライドを用いて架橋した $\gamma$ -CDポリマーを設計・合成した。この $\gamma$ -CDポリマーでは、 $\gamma$ -CDの空孔サイズよりも大きなPCB分子に対しては、複数の $\gamma$ -CDユニットが上下左右から取り囲むようにしてPCB分子を包接することが可能となる。 $\gamma$ -CDと種々の二塩基酸ジクロライドをピリジン溶媒中で反応させて得られた $\gamma$ -CDポリマーを用いて、絶縁油中のPCB(濃度100 ppm)に対する吸着能を検討したところ、 $\gamma$ -CDとテレフタル酸ジクロライド(モル比1:8)の反応により得られるテレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーが最も高いPCB吸着能を示すことがわかった。 $\gamma$ -CD空孔内へのPCB分子の包接に加えて、架橋剤の芳香環部位とPCBの芳香環部位との $\pi$ - $\pi$ 相互作用が協同的に働くことで、高いPCB吸着除去能が発現したと考えられる。さらに、種々の温度でテレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーのPCB吸着除去能を調べた結果、吸着温度を80℃以上に設定することですべてのPCBを絶縁油中からほぼ完全に吸着除去できることがわかった。また、このポリマーを用いることで、実際に保管されている微量PCB汚染絶縁油(Kanechlor 500、PCB濃度:10 ppm)からPCBをほぼ完全に除去することができ、汚染絶縁油中に混入している微量PCBの除去に高い効果を発揮することがわかった。PCB吸着後のテレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーをアセトン等の溶剤で洗浄することで、吸着したPCBの80%以上を回収することができた。一方、洗浄後のテレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーを用いて絶縁油中のPCBに対する吸着能を検討したところ、元のテレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーよりも吸着能の低下が認められた。この吸着能の低下は、アセトン洗浄によりテレフタロイル $\gamma$ -CDポリマー中の遊離のカルボキシル基が水和されてポリマーの含水率が増加したためだと考えられる。そこで、これを防ぐために、 $\gamma$ -CDとテレフタル酸ジクロライドの反応後の系中にメタノールを添加して、未反応の酸塩化物(後処理段階でカルボキシル基に変換される)をメチルエステルに変換することを考えた。得られたメチル化テレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーは元のテレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーと同等のPCB吸着能を示すとともに、ここに吸着したPCBはアセトン洗浄によりほぼ100%回収されることがわかった。さらに、アセトン洗浄後のメチル化テレフタロイル $\gamma$ -CDポリマーは、PCB吸着能の低下なく10回以上再利用できることが明らかになった。この様に、オイル中のPCBを効率除去・回収でき、さらに繰り返し再利用可能な吸着剤の開発に成功した。

また、 $\gamma$ -CD の代わりに、2 位と 6 位の水酸基をメチルしたジメチル $\beta$ -CD を用いて 4, 4'-メチレンビスフェニレンイソシアネートや 1,4-フェニレンジイソシアネート等のジイソシアネート類との架橋反応により新規な  $\beta$ -CD ポリマーを設計・合成した。この  $\beta$ -CD ポリマーを吸着剤に用いた時も、80°C 以上の吸着温度で絶縁油中の PCB をほぼ完全に除去することができた。吸着された PCB は、アセトンで洗浄することで収率良く回収でき、より低コストで簡便に合成できる実用的な吸着剤も開発した。

ここで開発した CD ポリマーを大型のカラム内に充填し、その中を PCB 汚染油が通過するシステムを組むことで、大量の PCB 汚染油を環境に負荷を与えずに安全に無害化処理することができる。この処理後の油は、我が国での無害化油の基準値である 0.5 ppm をはるかに下回る PCB 濃度となるため、再利用が可能となる。また、使用後の吸着剤充填カラムを低沸点の溶剤で洗浄し溶剤を留去することで、PCB を少量の高濃縮液として回収することができ、現行の PCB 処理施設で省エネルギー的に無害化処理することが可能となる。吸着剤は次の PCB 汚染油の処理に繰り返し利用できる。さらに、この吸着剤は植物由来のデンプンから生産される化合物であり、PCB 分解処理条件で容易に分解されることから二次汚染物となる危険性はないと考えられる。

## (2) 食用油中のトランス脂肪酸エステルを効率除去・回収できる CD 誘導体の開発

オイル中のトランス脂肪酸エステルを高効率除去できる CD 誘導体の開発を目的として、まず、非極性溶媒中での CD 誘導体と長鎖脂肪酸エステルとの包接錯体形成について検討した。CD 誘導体には  $\alpha$ -CD の 6 位の水酸基を *tert*-ブチルジメチルシリル化した TBDMS- $\alpha$ -CD ならびに 2 位と 6 位の水酸基をメチル化した 2,6-DiMe- $\alpha$ -CD を、脂肪酸エステルにはエライジン酸メチル (トランス脂肪酸エステル) とオレイン酸メチル (シス脂肪酸エステル) を用いた。溶媒に重ベンゼンを用いて、CD 誘導体と各脂肪酸エステルとの会合定数を NMR 滴定法により求めたところ、TBDMS- $\alpha$ -CD を用いた時は、シス体とトランス体に対する包接能の顕著な差は観測されなかったが、2,6-DiMe- $\alpha$ -CD を用いた時、シス体よりもトランス体に対して高い包接能が観測された。

次に、これらの  $\alpha$ -CD 誘導体を吸着剤に用いて、ヘキササンやシクロヘキササン中でのトランスならびにシス脂肪酸エステルに対する吸着能を検討した。TBDMS- $\alpha$ -CD はトランスならびにシス脂肪酸エステルに対しほぼ同等の吸着能を示したが、2,6-DiMe- $\alpha$ -CD は顕著なトランス選択的吸着能を示した。特に、シクロヘキササン中、40°C の吸着条件下で、シス脂肪酸エステルに対し 9 倍以上のト

ランス脂肪酸エステル選択性を示すことがわかった。また、2,6-DiMe- $\alpha$ -CD の head-to-head 型二量体を吸着剤に用いた時、シスならびにトランス脂肪酸エステルに対する吸着能は大きく増加したが、トランス選択性が消失した。一方、2,6-DiMe- $\alpha$ -CD の head-to-tail 型のチャンネル状集合体を用いた時、高いトランス選択性が得られた。この 2,6-DiMe- $\alpha$ -CD のチャンネル状集合体を用いることで、大豆油中のトランス脂肪酸エステルの選択的除去にも成功した。また、2,6-ジメチル- $\alpha$ -CD に吸着したエライジン酸エステルならびにオレイン酸エステルの回収条件について検討した結果、2,6-ジメチル- $\alpha$ -CD を *n*-ヘキササンで洗浄することで、両脂肪酸エステルを定量的に回収することができることがわかった。洗浄後の 2,6-ジメチル- $\alpha$ -CD は性能の低下なく繰り返し再利用できることも明らかにした。この様に、オイル中のトランス脂肪酸エステルを効率除去・回収でき、さらに繰り返し再利用可能な吸着剤の開発に成功した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

① Shintaro Kawano, Toshiyuki Kida, Mitsuru Akashi, Hirofumi Sato, Motohiro Shizuma, and Daisuke Ono, Preparation of Pickering Emulsions through Interfacial Adsorption by Soft Cyclodextrin Nanogels, *Beilstein J. Org. Chem.*, 2015, 11, 2355–2364, 査読有.  
Doi:10.3762/bjoc.11.257

② Shintaro Kawano, Toshiyuki Kida, Kazuhiro Miyawaki, Yasutoshi Fukuda, Eiichi Kato, Takeshi Nakano, and Mitsuru Akashi, Adsorption Capability of Urethane-crosslinked Heptakis(2,6-di-*O*-methyl)- $\beta$ -cyclodextrin Polymers towards Polychlorobiphenyls in Nonpolar Organic Media *Polym. J.*, 2015, 47, 443-448, 査読有.  
Doi:10.1038/pj.2015.13

③ Toshiyuki Kida, Shin-ichiro Sato, Hiroaki Yoshida, Ayumi Teragaki, and Mitsuru Akashi, 1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-propanol (HFIP) as a novel and effective solvent to facilitate prepare cyclodextrin-assembled materials, *Chem. Commun.*, 2014, 50, 14245-14248, 査読有.  
Doi:10.1039/c4cc06690a

④ Shintaro Kawano, Toshiyuki Kida, Kazuhiro Miyawaki, Yuki Noguchi, Eiichi

Kato, Takeshi Nakano, and Mitsuru Akashi, Cyclodextrin Polymers as Highly Effective Adsorbents for Removal and Recovery of Polychlorobiphenyls (PCBs) Contaminants in Insulating Oil, *Environ. Sci. Technol.*, 2014, 48, 8094-8100, 査読有.  
Doi: 10.1021/es501243v

他 8 件

[学会発表] (計 6 4 件)

- ① 伊藤清悟, 木田敏之, 新規なかご型シクロデキストリンの合成と包接能の検討, 日本化学会第 96 春季年会, 2016/3/24-27, 同志社大学 京田辺キャンパス (京都) .
- ② Toshiyuki Kida, Chizuru Kogame, Mitsuru Akashi, Molecular Recognition by 6-*O*-Modified  $\beta$ -Cyclodextrin Dimers in Organic Solvents, Joint Conference of 8th Asian Cyclodextrin Conference and 32nd Cyclodextrin Symposium, 2015/05/14-16, くまもと県民交流会館 (熊本) .
- ③ 三橋由季, 木田敏之, 明石 満,  $\alpha$ -シクロデキストリンのキラリ認識能を利用したオルガノゲルの創製, 日本化学会第 95 春季年会, 2015/3/26-29, 日本大学 (千葉) .
- ④ 小亀千鶴, 木田敏之, 明石 満, 有機溶媒中でのシクロデキストリン (CD) による分子認識: CD 二量化の効果, 第 63 回高分子討論会, 2014/9/24-26, 長崎大学 (長崎) .
- ⑤ 小亀千鶴, 木田敏之, 明石 満, 有機溶媒中でのシクロデキストリン二量体による分子認識, 第 31 回シクロデキストリンシンポジウム, 2014/9/11-12, 島根県民会館 (出雲) .
- ⑥ 小亀千鶴, 木田敏之, 明石 満, 有機溶媒中でのシクロデキストリン二量体による包接錯体形成, 日本油化学会第 53 回年会, 2014/9/9-11, ロイトン札幌 (札幌) .
- ⑦ Chizuru Kogame, Toshiyuki Kida, Mitsuru Akashi, Molecular Recognition by Cyclodextrin Dimers in Nonpolar Solvents, 17th International Cyclodextrin Symposium, 2014/5/29-31, Saarbrücken (Germany).
- ⑧ Toshiyuki Kida, Takuya Iwamoto, Haruyasu Asahara, Tomoaki Hinoue, Mitsuru Akashi, Chiral Recognition by

Cyclodextrin Derivatives in Nonpolar Solvents, 17th International Cyclodextrin Symposium, 2014/5/29-31, Saarbrücken (Germany).

- ⑨ 小亀千鶴, 木田敏之, 藤原知子, 明石 満, 環状オリゴ乳酸による分子認識, 第 63 回高分子学会年次大会, 2014/5/28-30, 名古屋国際会議場 (名古屋) .
- ⑩ 小亀千鶴, 木田敏之, 明石 満, 有機溶媒中でのシクロデキストリン二量体によるキラリ認識, 日本化学会第 94 春季年会, 2014/3/27-30, 名古屋大学 (名古屋) .
- ⑪ 小亀千鶴, 樋上友亮, 木田敏之, 明石 満, 非極性溶媒中で形成される $\beta$ -シクロデキストリン誘導体—ゲスト包接錯体の構造解析, 第 30 回シクロデキストリンシンポジウム, 2013/9/12-13, 熊本県民交流館パレア (熊本) .
- ⑫ 濱田充代, 樋上友亮, 木田敏之, 明石 満, 非極性場での $\alpha$ -シクロデキストリン誘導体による脂肪酸エステル包接挙動の解析, 第 62 回高分子討論会, 2013/9/11-13, 金沢大学 (金沢) .
- ⑬ 小亀千鶴, 木田敏之, 明石 満, 有機溶媒中でのシクロデキストリン二量体による分子認識, 第 62 回高分子討論会, 2013/9/11-13, 金沢大学 (金沢) .
- ⑭ 木田敏之, 岩本 拓也, 小亀千鶴, 浅原時泰, 樋上友亮, 明石 満, シクロデキストリン超分子カプセルによる非極性溶媒中での分子認識とその利用, 第 62 回高分子討論会, 2013/9/11-13, 金沢大学 (金沢) .
- ⑮ 濱田充代, 木田敏之, 明石 満, 非極性場溶媒中のトランス脂肪酸エステルの選択的分離を可能とする $\alpha$ -シクロデキストリン誘導体, 第 62 回高分子年次大会, 2013/5/29-31, 京都国際会館 (京都) .

他 4 9 件

[図書] (計 7 件)

- ① 木田 敏之 他、シーエムシー出版、高分子ステレオコンプレックス積層膜からなるナノカプセル、「DDS キャリア作製プロトコル集」(監修: 丸山一雄)、2015
- ② 木田 敏之 他、エヌ・ティー・エス、シクロデキストリンによる環境浄化—汚染油中の有害物質を除去・回収できるシクロデキストリン材料—、「糖鎖の新機能開発・応用ハンドブック」(監修: 秋吉一成)、2015

③ 木田 敏之 他、エヌ・ティー・エス、放射性物質に汚染された土壌の浄化・減容化システム「放射性物質対策技術—除去、モニタリング、装置・システム開発」、2014、293

④ 木田 敏之 他、技術情報協会、高分子ステレオコンプレックス多層薄膜からなるナノカプセルの作製と一次元融合挙動、「マイクロ/ナノカプセルの調製、徐放性制御と応用事例、2014、106

⑤ 木田 敏之、大阪大学出版会、ドーナツ型オリゴ糖の穴を用いて分子を捕まえる、「ドーナツを穴だけ残して食べる方法」、2014、145

⑥ 木田 敏之 他、技術情報協会、シクロデキストリンから誘導される高分子オイルゲルを用いた PCB 濃縮技術の開発、「ゲルの安定化と機能性付与・次世代への応用開発」、2013、536

⑦ 木田 敏之 他、シーエムシー出版、シクロデキストリンマイクロ構造体の形態制御と機能評価、「シクロデキストリンの科学と技術」(監修：寺尾啓二、池田 幸)、2013、79

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 8 件)

名称：シクロデキストリンポリマーの製造方法

発明者：明石 満、木田敏之、加藤栄一、宮脇和博

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2015-126171 号

出願年月日：2015 年 6 月 24 日

国内外の別：国内

名称：ハロゲン化芳香族化合物の吸着処理方法

発明者：明石 満、木田敏之、加藤栄一、宮脇和博、福田泰教

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2015-051642 号

出願年月日：2015 年 3 月 16 日

国内外の別：国内

名称：媒体に含有されるハロゲン化芳香族化合物の選択固着方法

発明者：明石 満、木田敏之、加藤栄一、上宇宿俊郎、友田英幸

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2014-094951 号

出願年月日：2014 年 5 月 2 日

国内外の別：国内

名称：媒体に含有されるハロゲン化芳香族化合物の低温選択固着方法

発明者：明石 満、木田敏之、加藤栄一、宮脇和博

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2014-063252 号

出願年月日：2014 年 3 月 26 日

国内外の別：国内

他 4 件

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

○アウトリーチ活動

大阪大学×大阪ガス「アカデミックッキング」での講演

標題：油とつきあう化学の力～毒を除去する不思議なドーナツ?!

実施日：平成 26 年 11 月 25 日

場所：大阪ガスクッキングスクール千里

対象者：一般の方々

参加者数：24 名

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木田 敏之 (KIDA, Toshiyuki)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20234297

(2) 研究分担者

中野 武 (NAKANO, Takashi)

大阪大学・環境安全研究管理センター・招へい教授

研究者番号：00446791

明石 満 (AKASHI, Mitsuru)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20145460