

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24686093

研究課題名(和文) 近赤外吸収測定による触媒表面に吸着した有機化合物と水分子の迅速な同時解析法の確立

研究課題名(英文) Simultaneous analysis of organic compounds and H<sub>2</sub>O adsorbed on various catalyst surfaces by near infrared spectroscopy

研究代表者

竹内 雅人 (Takeuchi, Masato)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90382233

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,400,000円

研究成果の概要(和文)：近赤外分光法を用いることで、(i)エタノールやtert-ブタノール中で形成される水分子凝集クラスターの水素結合状態がより密な状態にある、(ii)シリカ表面に固定化した各種の有機官能基(NH<sub>2</sub>基、COOH基、SO<sub>3</sub>H基)、表面OH基、吸着水を同時分析でき、H<sub>2</sub>O分子との相互作用は、SiO<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub><<SiO<sub>2</sub><SiO<sub>2</sub>-COOH<SiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>Hの順に強くなる、(iii)サイズや形状の異なるゼオライト細孔内で形成される水およびメタノール凝集クラスターの違い、(iv)ゼオライトのB酸点や表面OH基に吸着したNH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>を同時に分析できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Near Infrared (NIR) spectroscopy revealed that (i) H<sub>2</sub>O clusters formed in alcohol solvents (ethanol or tert-butanol) have rigid hydrogen bond networks as compared to pure liquid H<sub>2</sub>O.; (ii) Hydroxyl, various organic functional (NH<sub>2</sub>, COOH, SO<sub>3</sub>H) groups and H<sub>2</sub>O adsorbed on SiO<sub>2</sub>-based adsorbents could be simultaneously analyzed. The interaction with H<sub>2</sub>O molecules could be summarized to be SiO<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub> (water-repellent) << SiO<sub>2</sub> (hydrophobic) < SiO<sub>2</sub>-COOH (hydrophilic) < SiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>H (hydrophilic).; (iii) Aggregated H<sub>2</sub>O or methanol clusters having large H-bond networks (close to liquid phase) formed within the 3D pore of Y and beta zeolites. In contrast, less H-bonded clusters (close to vapor phase) formed within the cylinder-shaped pore of ZSM-5 and MOR zeolites.; (iv) NH<sub>3</sub> and/or NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adsorbed on Si-OH or H<sup>+</sup> sites of zeolite surfaces could be simultaneously analyzed.

研究分野：光触媒、表面分光

キーワード：近赤外分光法 触媒表面 吸着水 アンモニア吸着 有機物吸着

### 1. 研究開始当初の背景

固体表面の親水性・疎水性を正確に評価することが重要である。しかし、固体表面の親水性・疎水性という物性には明確な定義が存在しない。一例を挙げると、シリカ表面は親水的と認識されるが、水分子は表面水酸基と水素結合で弱く相互作用するのみで、表面科学的には疎水性と解釈されるべきである。このように、分子レベルで評価した固体表面の親水性・疎水性と、マクロレベルの表面物性である表面濡れ性には大きな乖離がある。

この問題に関して、筆者は、近赤外分光法を用いることで、酸化物表面に吸着した水分子凝集クラスター中の水素結合状態を議論できることを報告してきた。その中で、酸化チタンに紫外光を照射すると水に対する濡れ性が向上するのは(一般に、超親水化現象として知られる) (i) 光触媒作用により表面の有機物が酸化分解される、(ii) 吸着水が一部脱離し、水分子クラスター中の水素結合ネットワークが減少する、この両者が同時に起こるためであることを明らかにした。つまり、表面濡れ性を議論するためには、固体表面と水分子の相互作用だけでなく、水と有機分子に対する相互作用を相補的に解明することが重要である。

近年では、チタンインプラントと歯が強固に接着するためには、その表面を紫外光照射により清浄化することが重要で、血液に対する濡れ性向上が主因であることを解明した。また、アルツハイマー病が発症する要因となるタンパク質を血液中から高効率に除去するためには、有機官能基を表面に固定化するより、血液との親和性が高い吸着材を選択する方が望ましいことを明らかにした。このように、医用材料の機能性を議論するためには、表面の有機化合物(または有機官能基)と吸着水を同時に分析する手法を確立することが重要である。

### 2. 研究の目的

#### 課題 1: 水/アルコール混合系の近赤外吸収スペクトル測定

NIR 領域では、水の OH 基が  $5300\text{-}5000\text{ cm}^{-1}$ 、アルコールの OH 基が  $5100\text{-}4700\text{ cm}^{-1}$  に観測される点に着目し、水/アルコール混合系の NIR スペクトルを測定し、水中で形成されるアルコール分子クラスター、アルコール中で形成される水分子クラスターを解析した。

#### 課題 2: ゼオライト細孔内で形成される水やアルコール凝集クラスターの水素結合解析

ゼオライトの細孔内で水やアルコール分子が十分な水素結合ネットワークを形成できないと考えられる。また、細孔サイズだけでなく、細孔構造の違いによっても形成される分子クラスターの化学状態が異なると予想される。これらの違いについて近赤外分光法により検証する。

#### 課題 3: 吸着材や触媒表面にグラフトした種々の有機官能基と吸着水の同時分析

酸化物やメソ多孔体の表面に有機官能基を導入した材料が広く用いられる。これら有機官能基と表面の吸着水を近赤外分光法により同時分析する。この知見をもとに、吸着材表面の親水性、疎水性を詳細に検討する。

### 3. 研究の方法

#### 課題 1: 水/アルコール混合系の近赤外吸収スペクトル測定

水/エタノール、水/tert-ブタノール混合系の NIR スペクトルを室温にて測定した。測定には、日本分光の分光光度計(FT/IR-660 Plus、V-670iRM)を用いた。NIR スペクトルは、2枚の  $\text{CaF}_2$  板の間に厚み  $100\text{ }\mu\text{m}$  のテフロンシートをスペーサーとして挟み込み、その隙間に液体試料を入れ、液膜法にて測定した。

#### 課題 2: ゼオライト細孔内で形成される水やアルコール凝集クラスターの水素結合解析

ゼオライト試料として、4種類のゼオライト(ZSM-5、MOR、Y型、 $\beta$ 型)を用い、水、メタノールを一定量吸着させてから、NIR スペクトルを拡散反射法にて測定した。測定には、日本分光の FT-IR 分光光度計(FT/IR-660 Plus、V-670iRM)を用いた。

#### 課題 3: 吸着材や触媒表面にグラフトした種々の有機官能基と吸着水の同時分析

鎖長の異なるアルキル基(C2, C8, C18)をグラフトしたシリカおよびセルロースについて、NIR スペクトルを測定した。また、 $\text{NH}_2$ 、 $\text{COOH}$ 、 $\text{SO}_3\text{H}$  末端を有するシリカについても同様の測定を行った。これにより、吸着材表面に固定化した有機官能基と吸着水の同時分析手法を確立することを目指す。

### 4. 研究成果

#### 1. 水/アルコール混合系の NIR スペクトル

図 1 には、各種アルコールの NIR スペクトルを示す。 $5000\text{ cm}^{-1}$  付近に観測される吸収に着目すると、メタノールでは  $4835\text{ cm}^{-1}$ 、炭素数が多くなるにつれて低波数シフトした。こ

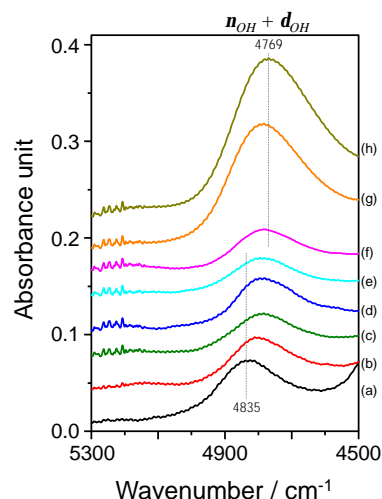


図 1. 各種アルコールの NIR スペクトル.

- (a) methanol, (b) ethanol, (c) 1-propanol,
- (d) 2-propanol, (e) 1-butanol, (f) 2-butanol,
- (g) ethylene glycol, (h) glycerin

の結果は、メタノール分子間の水素結合が最も疎な状態であり、アルコール分子の炭素数が多くなる、また多価アルコールの OH 基が多くなるにつれて、分子間の水素結合が密になることを示している。つまり、沸点が、MeOH (65)、EtOH (78)、2-PrOH (82)、1-PrOH (97)、2-BuOH (99)、1-BuOH (117)、ethylene glycol (197)、glycerin (290)の順に高くなる現象に相当する。

次に、水/エタノール混合系の NIR スペクトルを図 2 に示す。水のみでは 5186  $\text{cm}^{-1}$ 、エタノールのみでは 4805  $\text{cm}^{-1}$  にブロードな吸収が観測された。それぞれ  $\text{H}_2\text{O}$ 、エタノールの ( $\nu_{\text{OH}} + \delta_{\text{OH}}$ ) 結合音に帰属できる。EtOH の割合が低いとき、4805  $\text{cm}^{-1}$  の吸収は、 $\text{H}_2\text{O}$  のブロードな吸収に隠れてしまうが、EtOH が 40 % 以上するとき、 $\text{H}_2\text{O}$  と EtOH の OH 基を判別することができる。興味深いことに、EtOH の分率が大きくなると、 $\text{H}_2\text{O}$  の吸収が 5163  $\text{cm}^{-1}$  に低波数シフトした。一般に、エタノールは水と任意に混合するため  $\text{H}_2\text{O}$  と EtOH は分子レベルで混和すると考えられる。しかし、 $\text{H}_2\text{O}$  分子間に EtOH が割り込む形で水素結合ネットワークを形成すると、 $\text{H}_2\text{O}$  分子間の水素結合は疎になり、NIR 吸収は高波数シフトするはずである。しかし、実際には、 $\text{H}_2\text{O}$ /EtOH 混合系の NIR 吸収は低波数シフトし、 $\text{H}_2\text{O}$  分子間の水素結合ネットワークは密になるという結果が得られた。この結果は、EtOH 中で複数個の  $\text{H}_2\text{O}$  分子がクラスターを形成していることを示唆している。

次に、水/tert-ブタノール混合系の NIR スペクトルを図 3 に示す。5186  $\text{cm}^{-1}$ 、4794  $\text{cm}^{-1}$  の

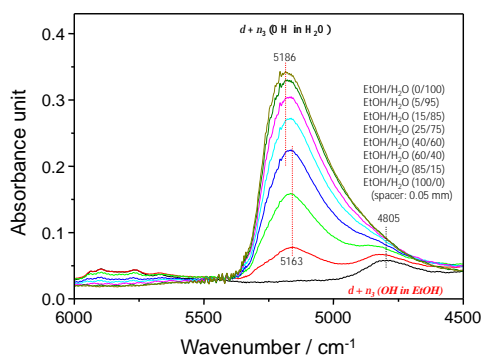


図 2 .  $\text{H}_2\text{O}$ /EtOH 混合系の NIR スペクトル .

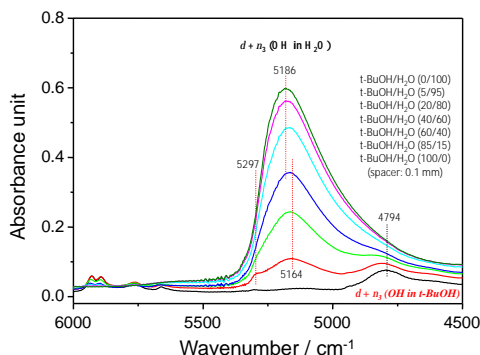


図 3 .  $\text{H}_2\text{O}$ /tert-BuOH 混合系の NIR スペクトル .

吸収は、それぞれ  $\text{H}_2\text{O}$ 、tert-ブタノールの ( $\nu_{\text{OH}} + \delta_{\text{OH}}$ ) 結合音に帰属でき、概ねの傾向は、水/エタノール混合系の場合と同じであった。ところが、tert-BuOH の分率が 60 % より高くなったとき、5297  $\text{cm}^{-1}$  に vapor phase の  $\text{H}_2\text{O}$  分子に相当する吸収が観測された。この結果は、tert-BuOH 中で水素結合を形成していない  $\text{H}_2\text{O}$  が存在することを示唆している。

## 2 . 有機官能基をグラフトした吸着材の NIR スペクトル

アルキル基をグラフトしたシリカ系吸着材の NIR スペクトルを図 4 に示す。アルキル基のない  $\text{SiO}_2(\text{a})$  では、 $\text{H}_2\text{O}$  の ( $\nu_{\text{asym}} + \delta$ ) 結合音が 5300 - 5000  $\text{cm}^{-1}$  (5274  $\text{cm}^{-1}$  が自由水、5128  $\text{cm}^{-1}$  が水素結合水)、 $\text{SiO}_2$  表面の OH 基が 4700 - 4200  $\text{cm}^{-1}$  (4537  $\text{cm}^{-1}$  が孤立 OH 基、4417  $\text{cm}^{-1}$  が水素結合した OH 基) に観測された。これに対し、アルキル基をグラフトした  $\text{SiO}_2(\text{b-d})$  では、吸着水にもとづく吸収が大きく減少するのに加え、表面 OH 基にもとづく吸収も減少した。また、5800  $\text{cm}^{-1}$  付近の吸収は  $\text{CH}_3$  基、 $\text{CH}_2$  基の 2 倍音に帰属できるが、 $\text{SiO}_2\text{-C2}$  では  $\text{CH}_3$  基と  $\text{CH}_2$  基がほぼ同じ強度で観測され、アルキル基が長くなると主に  $\text{CH}_2$  基が観測された。これらの測定結果から、(i) 元々疎水的なシリカ表面にアルキル基を導入すると、より疎水的になり吸着水が大きく減少する、(ii) 表面 OH 基を介してアルキル基がグラフトされていることがわかった。

また、アルキル基をグラフトしたセルロース系吸着材についても同様の測定を行った。シリカ系吸着材と異なり、親水性の高いセルロース表面にアルキル基をグラフトしても、吸着水は 2~3 割減少しただけであった。このように、吸着材表面の有機官能基と吸着水量の相関関係について明らかにした。

次に、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{NH}_2$  末端を有する  $\text{SiO}_2$  の NIR スペクトルを図 5、 $\text{COOH}$  および  $\text{SO}_3\text{H}$  末端を有する  $\text{SiO}_2$  の NIR スペクトルを図 6 に示す。 $\text{SiO}_2\text{-NH}_2$  では、表面 OH 基 (4432  $\text{cm}^{-1}$ ) と吸着水 (5200  $\text{cm}^{-1}$ ) が減少するのに加え、 $\text{NH}_2$  基 (4953  $\text{cm}^{-1}$ 、6519  $\text{cm}^{-1}$ )、 $\text{CH}_2$  基 (4365  $\text{cm}^{-1}$ 、4296  $\text{cm}^{-1}$ 、5821  $\text{cm}^{-1}$ 、5660  $\text{cm}^{-1}$ ) に由

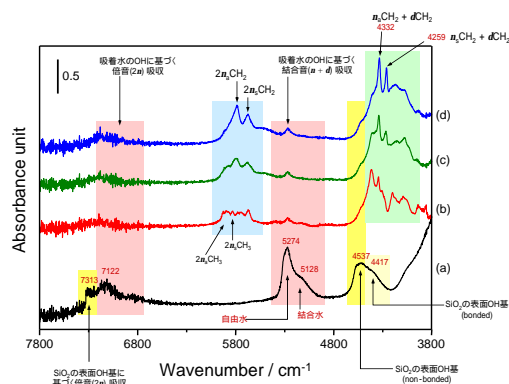


図 4 . アルキル基をグラフトした  $\text{SiO}_2$  系吸着材の NIR スペクトル .

(a)  $\text{SiO}_2$ , (b)  $\text{SiO}_2\text{-C2}$ , (c)  $\text{SiO}_2\text{-C8}$ , (d)  $\text{SiO}_2\text{-C18}$

来する吸収が観察できた。実際、OH 基を介して(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> 基が導入されており、CH<sub>2</sub> 基の疎水性が強調され吸着水がほとんど残存していないと考えられる。

一方、COOH および SO<sub>3</sub>H 末端も(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> 基を介して導入されているにも関わらず、吸着水に基づく吸収(5259 cm<sup>-1</sup> に自由水、5120 cm<sup>-1</sup> に水素結合水)が観測された。特に、SiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>H において、水素結合水が大きく観測されたことから、SO<sub>3</sub>H 基が H<sub>2</sub>O の強吸着サイトとして働いていると考えられる。

これらの知見をもとに、SiO<sub>2</sub> および有機官能基をグラフトした SiO<sub>2</sub> の表面の親疎水性について考察した。SiO<sub>2</sub> 表面の OH 基は H<sub>2</sub>O と弱く相互作用するため、疎水的な表面特性を示す。この表面に(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> 基をグラフトすると、NH<sub>2</sub> 基と H<sub>2</sub>O の相互作用が弱いことに加え、(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub> 基の疎水性が強調され、撥水的な表面特性を示す。一方、酸性の官能基である COOH 基や SO<sub>3</sub>H 基は H<sub>2</sub>O の強吸着サイトとして機能するため、もとの SiO<sub>2</sub> 表面よりも親水的な表面特性を示す。したがって、H<sub>2</sub>O 分子との相互作用は、SiO<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub> << SiO<sub>2</sub> < SiO<sub>2</sub>-COOH < SiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>H の順に強くなると解釈できる。

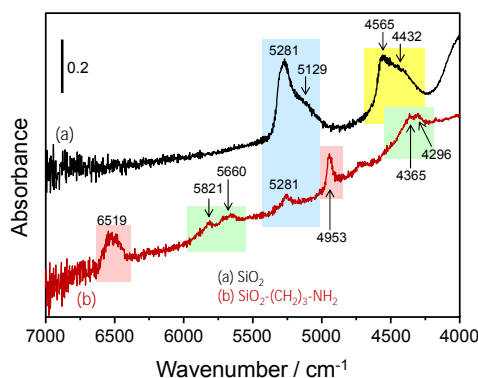


図5. SiO<sub>2</sub> および NH<sub>2</sub> 基をグラフトした SiO<sub>2</sub> の NIR スペクトル.

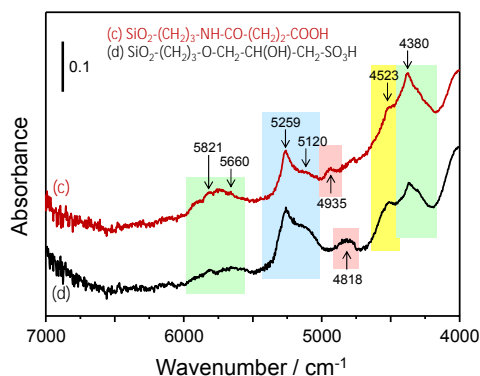


図6. COOH 基および SO<sub>3</sub>H 基をグラフトした SiO<sub>2</sub> の NIR スペクトル.

### 3. ゼオライト細孔内で形成された H<sub>2</sub>O/メタノール凝集クラスターの NIR スペクトル

ゼオライト細孔は約 4~8 Å であるのに対し、水分子が約 3 Å、水素結合距離が約 2 Å であることを考慮すると、ゼオライトの細孔

内にはせいぜい数個の水分子しか入らない。そこで、4 種類のゼオライト(ZSM-5、MOR、Y 型、β型) 細孔内で形成される、水、メタノール凝集クラスターの NIR スペクトルを測定した。

図7には、H/MOR(7.0 Å×6.5 Å、1次元)、H/ZSM-5(5.6 Å×5.3 Å、3次元)に吸着した H<sub>2</sub>O の NIR スペクトルを示す。Brønsted 酸点に基づく吸収は、H/ZSM-5 では 4645 cm<sup>-1</sup>、H/MOR では 4636 cm<sup>-1</sup> に観測された。また、4550 cm<sup>-1</sup> 付近の吸収は孤立 OH 基、4350 cm<sup>-1</sup> 付近の吸収は水素結合 OH 基に帰属できる。このゼオライトに H<sub>2</sub>O を少量ずつ吸着させると、SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比が比較的小さく親水的な表面であるにも関わらず、ほとんど水素結合をもたない H<sub>2</sub>O が 5255 cm<sup>-1</sup> に観測された。MOR は一次元すなわちシリンダー状の細孔をもつ。また、ZSM-5 の細孔は三次元であるが、シリンダー状の細孔が細い枝で連結した構造をもつ。このシリンダー状の細孔内で、H<sub>2</sub>O 分子は直線方向にのみ相互作用をしていると解釈できる。

次に、H/Y(7.4 Å×7.4 Å、3次元)、H/β(7.6 Å×6.4 Å、3次元)に吸着した H<sub>2</sub>O の NIR スペクトルを図8に示す。450 で前処理した H/Y、H/β(a, a')では、Brønsted 酸点に基づく吸収がほとんど観測されなかった。H/ZSM-5、H/MOR の場合と同様、吸着初期は 5255 cm<sup>-1</sup> にほとんど水素結合をもたない H<sub>2</sub>O が観測されたが、吸着量が増えるにつれて、液相の H<sub>2</sub>O に相当するブロードな吸収が 5000 cm<sup>-1</sup>

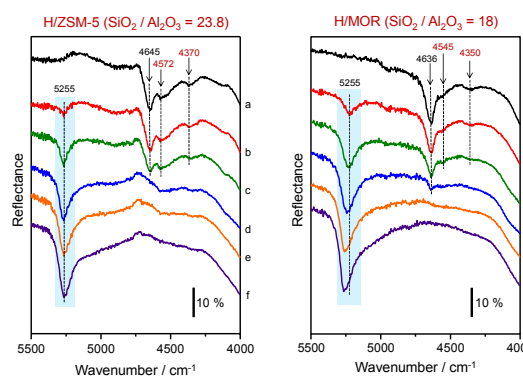


図7. H/ZSM-5 および H/MOR に吸着した H<sub>2</sub>O の NIR スペクトル.

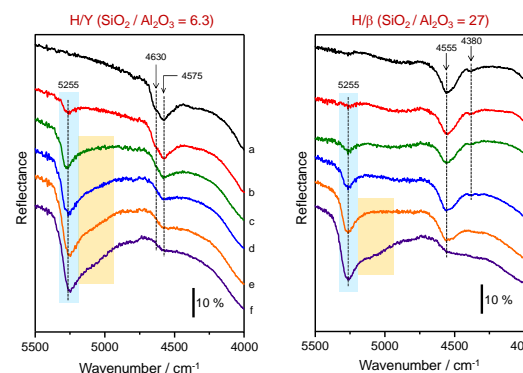


図8. H/Y および H/βに吸着した H<sub>2</sub>O の NIR スペクトル.



付近に観測された。Y やβゼオライトの細孔サイズと H<sub>2</sub>O 分子の大きさを考慮すると、一つの細孔に入る H<sub>2</sub>O 分子は数個にすぎない。しかし、隣り合った細孔内の H<sub>2</sub>O 分子クラスターが互いに相互作用できるため、比較的大きな水素結合ネットワークが形成されたと解釈できる。

これら4種類のゼオライト(ZSM-5、MOR、Y型、β型)に吸着したメタノールのNIRスペクトルを図9に示す。いずれも飽和吸着量のメタノールを吸着させてから測定したスペクトルを示している。H/ZSM-5とH/MORでは4945 cm<sup>-1</sup>に、H/YとH/βでは4856 cm<sup>-1</sup>にメタノール分子の(ν<sub>OH</sub> + δ<sub>OH</sub>)結合音に基づく吸収が観測された。4945 cm<sup>-1</sup>の吸収はvapor phaseのメタノールに近いことから、シリンダー状の細孔内で水素結合をほとんどもたないメタノール分子が存在すると考えられる。一方、4856 cm<sup>-1</sup>の吸収はliquid phaseのメタノールに近く、Yやβゼオライトの比較的大きな細孔内で形成されたメタノール凝集クラスターと考えられる。

このように、近赤外分光を用いることで、サイズや構造の異なるゼオライト細孔内で形成された水およびメタノール凝集クラスターの水素結合状態を明らかにすることができた。

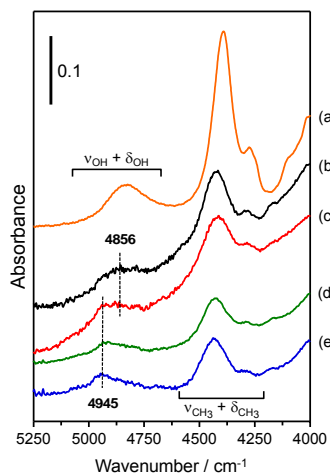


図9. 各種ゼオライト(b-e)に吸着したメタノールのNIRスペクトル。  
(a) MeOH (liquid phase), (b) H/Y, (c) H/β,  
(d) H/ZSM-5, (e) H/MOR

#### 4. ゼオライトの酸点に吸着した NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub> のNIRスペクトル

ゼオライトに吸着した NH<sub>3</sub>、Brønsted 酸点で生成した NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の同時分析を試みた。まず、(a) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ZSM-5 を大気中で測定、(b) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ZSM-5 を450 で前処理した後、H<sub>2</sub>O を吸着させて測定、(c) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ZSM-5 を450 で前処理した後、NH<sub>3</sub> を吸着させて測定したNIRスペクトルを図10に示す。(a)では、5200 cm<sup>-1</sup>付近に H<sub>2</sub>O、4800 cm<sup>-1</sup>付近に NH<sub>4</sub><sup>+</sup>に基づく吸収が観測された。(b)では、450 の前処理で NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ZSM-5 が H<sup>+</sup>型に変換されるた

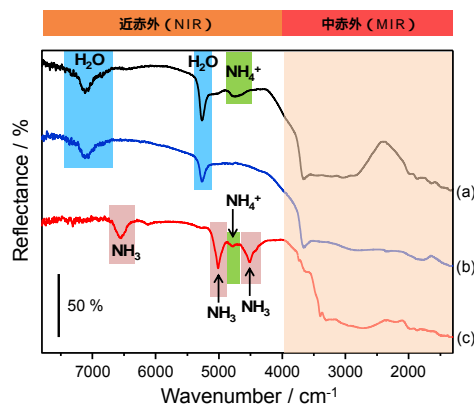


図10. 各種ゼオライトのNIRスペクトル。  
(a) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ZSM-5 を大気中で測定、(b) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ZSM-5 を450 で前処理した後、H<sub>2</sub>O を吸着させて測定、(c) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/ZSM-5 を450 で前処理した後、NH<sub>3</sub> を吸着させて測定

め、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の吸収が消失し、H<sub>2</sub>Oの吸収のみが5200 cm<sup>-1</sup>付近に観測された。(c)では、H<sup>+</sup>上への NH<sub>3</sub> 吸着で生成した NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の吸収に加え、NH<sub>3</sub>の吸収が5000と4600 cm<sup>-1</sup>付近に観測された。このように、近赤外分光を用いることで、ゼオライトのBrønsted 酸点や表面OH基に吸着した NH<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>を同時に分析することが可能であることを明らかにした。

#### 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1件)

(1) M. Takeuchi, T. Tsukamoto, A. Kondo, M. Matsuoka, "Investigation of NH<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> adsorbed on ZSM-5 zeolites by near and middle infrared spectroscopy", *Catalysis Science & Technology*, (2015) 5, 4587-4593. [査読あり]  
DOI: 10.1039/c5cy00753d

〔学会発表〕(計21件)

(1) M. Takeuchi, G. Martra, S. Coluccia, M. Anpo (Invited), "Near infrared spectroscopy for water clusters adsorbed on various oxide surfaces", The 3rd OPU-TKU International Joint-symposium, 2015年11月19日, Osaka, Japan

(2) 塚本竜也, 松岡雅也, 竹内雅人, "近赤外吸収測定によるCu交換ZSM-5に吸着したアンモニア種の解析とそれに及ぼす吸着水の影響", 第25回キャラクタリゼーション講習会, 2015年11月13日, 名古屋工業大学(愛知県名古屋市)

(3) 山尾勇拓, 松岡雅也, 竹内雅人, "近赤外分光測定によるゼオライト細孔内で形成された水およびメタノール分子クラスターの解析", 第8回触媒表面化学研究発表会, 2015年10月13日, 関西大学(大阪府吹田市)

(4) 塚本竜也, 松岡雅也, 竹内雅人, "近赤外分光法による2価カチオン交換ZSM-5の酸性

質評価", 第 8 回触媒表面化学研究発表会, 2015年10月13日, 関西大学(大阪府吹田市)

(5) 塚本竜也, 松岡雅也, 竹内雅人, "Cu および Mn イオン交換 ZSM-5 に吸着した NH<sub>3</sub> の近赤外吸収測定", 第 116 回触媒討論会, 2015年9月17日, 三重大学(三重県津市)

(6) 山尾勇拓, 松岡雅也, 竹内雅人, "ゼオライト細孔内で形成された水およびメタノール分子クラスターの近赤外分光測定", 第 116 回触媒討論会, 2015年9月17日, 三重大学(三重県津市)

(7) 塚本竜也, 近藤篤史, 松岡雅也, 竹内雅人, "ZSM-5 ゼオライトの酸点に吸着したアンモニウムイオン, アンモニア分子の近赤外吸収測定", 第 115 回触媒討論会, 2015年3月23日, 成蹊大学(東京都武蔵野市)

(8) M. Takeuchi (Invited), H. Aita, T. Ogawa, M. Anpo, "Relationship between the osseointegration of titanium dental implant with bone and the surface wettability under UV light irradiation", OPU-FZU Joint International Symposium, 2014年12月5日, Osaka, Japan

(9) M. Takeuchi, M. Anpo, "Investigation on the hydrogen bond networks of the H<sub>2</sub>O clusters adsorbed on various oxide surfaces by NIR spectroscopy", The 7th International Symposium on Surface Science, 2014年11月6日, Shimane, Japan

(10) T. Tsukamoto, A. Kondo, Y. Horiuchi, M. Matsuoka, M. Takeuchi, "NIR measurements of the NH<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> species adsorbed on the acid sites of zeolite surface", The 7th International Symposium on Surface Science, 2014年11月6日, Shimane, Japan

(11) 竹内雅人(招待講演)"触媒表面に吸着した水、アンモニア分子の近赤外吸収スペクトル測定: シリカ表面は本当に親水性!?", 第 24 回キャラクタリゼーション講習会, 2014年10月24日, 香川大学(香川県高松市)

(12) 竹内雅人, G. Martra, S. Coluccia, 安保正一, "近赤外吸収分光法による多孔質材料のメソおよびミクロ細孔内で形成される水分子凝集クラスターの解析", 第 112 回触媒討論会, 2013年9月19日, 秋田大学(秋田県秋田市)

(13) M. Takeuchi, A. Kondo, Y. Horiuchi, M. Matsuoka, "Investigation on the adsorption states of ammonium species on zeolite surface by using near-infrared spectroscopy", XIth European Congress on Catalysis, 2013年9月4日, Lyon, France

(14) M. Takeuchi, M. Anpo, "Investigation on the relationship between hydrophilic/hydrophobic properties and wettability of oxide surfaces by NIR spectroscopy", 16th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, 2013年6月3日, la Grande-Motte, France

(15) M. Takeuchi, G. Martra, S. Coluccia, M. Anpo, "Evaluation of the adsorption states of H<sub>2</sub>O clusters on various oxide surfaces by NIR spectroscopy", International Symposium on

Advanced Mesostructured Catalysts and Photocatalysts, 2013年5月25日, Osaka, Japan

(16) 竹内雅人, 近藤篤史, 堀内悠, 松岡雅也, "近赤外吸収分光法によるゼオライト表面のアンモニウム着種と水酸基同時測定", 第 111 回触媒討論会, 2013年3月25日, 関西大学(大阪府吹田市)

(17) 近藤篤史, 堀内悠, 竹内雅人, 松岡雅也, "ゼオライト表面の酸点に吸着した NH<sub>3</sub> 種および表面水酸基の近赤外吸収の帰属", 第 28 回近赤外フォーラム, 2013年3月8日, 沖縄県男女共同参画センター(沖縄県那覇市)

(18) 近藤篤史, 堀内悠, 竹内雅人, 松岡雅也, "近赤外分光法を用いた種々のゼオライト表面における NH<sub>3</sub> 吸着種の解析", 第 22 回キャラクタリゼーション講習会, 2012年10月12日, 大阪大学(大阪府豊中市)

(19) 竹内雅人, 山側裕昌, 川口和紀, 北口暢哉, 安保正一, "近赤外分光法による血中タンパク質除去用吸着材の表面にグラフトした有機官能基と吸着水の同時解析", 第 110 回触媒討論会, 2012年9月25日, 九州大学(福岡県福岡市)

(20) M. Takeuchi (Invited), G. Martra, S. Coluccia, M. Anpo, "Investigation on the hydrogen bond networks in water clusters adsorbed on oxide surfaces by using near infrared spectroscopy", OPU-KIST-ECUST Joint Symposium, 2012年9月10日, Osaka, Japan

(21) M. Takeuchi, G. Martra, S. Coluccia, M. Anpo, "Investigation on the mechanism for high wettable property of TiO<sub>2</sub> photocatalyst surface by NIR spectroscopy", 8th International Symposium on Advancing the Chemical Sciences, 2012年7月20日, Toronto, Canada

【図書】(計1件)

(1) 竹内雅人(分担執筆), 触媒学会編, 触媒技術の動向と展望 2015([3-7]キャラクタリゼーション近赤外分光法による触媒および吸着材の表面分析), 触媒学会編, 2015, 611(71-78).

【産業財産権】

○出願状況(計0件)  
○取得状況(計0件)

【その他】

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹内 雅人(TAKEUCHI MASATO)  
大阪府立大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 90382233