

研究成果報告書

研究テーマ (和文)	走査型プローブ顕微鏡による磁鉄鉱表面の触媒機能の解明		
研究テーマ (英文)	Catalytic properties of magnetite surfaces studied by scanning probe microscopy		
研究期間	2018 年 ~ 2020 年	研究機関名 慶應義塾大学	
研究代表者	氏名	(漢字)	清水智子
		(カタカナ)	シミズトモコ
		(英文)	Tomoko Shimizu
	所属機関・職名	慶應義塾大学理工学部・准教授	
共同研究者 (1名をこえる場合は、別紙追加用紙へ)	氏名	(漢字)	クスタンセ オスカル
		(カタカナ)	クスタンセ オスカル
		(英文)	Oscar Custance
	所属機関・職名	物質・材料研究機構先端材料解析研究拠点・グループリーダー	

概要 (600字~800字程度にまとめてください。)

鉄が酸化し黒錆となった状態である磁鉄鉱は、砂鉄としても知られ、人類が最も古くから知る磁性体である。四酸化三鉄 Fe_3O_4 という化学式をもち、 FeO や Fe_2O_3 (赤錆) では発現しないフェリ磁性や低温での金属-絶縁体転移といった物理学的に興味深い現象を示すことから、マグネティクスやスピントロニクス分野での研究が盛んである。化学的にも、一酸化炭素と水蒸気から二酸化炭素と水素を作り出す水性ガスシフト反応等の触媒として用いられることから注目される。バルクに比べ表面物性の理解は進んでいない。本研究では磁鉄鉱結晶表面の構造、欠陥種の特定制および触媒反応で鍵となるガス分子の吸着状態を明らかにすることで、磁鉄鉱の触媒機能の理解を深めることを目的とした。

まず実験に使用する走査型トンネル顕微鏡 (STM) 装置を立ち上げた。表面の清浄化に必要なスパッタイオン銃と加熱ステージを試料準備チャンバーに設置した。 $\text{Fe}_3\text{O}_4(111)$ 単結晶表面の STM 観察を実施したところ先行研究で得られた面とは異なる還元された状態に対応する表面が観測された。異なる加熱条件で得た表面の観察を通して条件を最適化した。最適条件で得られた表面の STM で像は、構造モデルと合致した鉄原子が 6 回対称性をもち配列している様子が現れた。さらに、水分子が解離吸着して表面に存在している様子も観察された。先行研究の理論計算との比較から 2 種のヒドロキシ基であると結論づけた。水性ガスシフト反応の触媒として考えた場合、この表面に水がどのように吸着するかは重要な情報であり、その手がかりが得られたともいえる。

さらに実材料である四酸化三鉄ナノ粒子の構造解析も実施した。ナノ粒子を含む溶液を固体基板に滴下乾燥することで試料としたところ、ナノ粒子が最密充填構造を取るように配列し 1 層膜を作っている様子が観測された。今後、単結晶表面で得られた知見を活かしナノ粒子表面上での触媒反応機構に関わる情報が得られるものと期待される。

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）					
雑誌	論文課題				
	著者名		雑誌名		
	ページ	～	発行年		巻号
雑誌	論文課題				
	著者名		雑誌名		
	ページ	～	発行年		巻号
雑誌	論文課題				
	著者名		雑誌名		
	ページ	～	発行年		巻号
図書	書名				
	著者名				
	出版社		発行年		総ページ
図書	書名				
	著者名				
	出版社		発行年		総ページ

英文抄録（100語～200語程度にまとめてください。）

Magnetite, Fe_3O_4 , is one of the iron oxides that shows unique physical properties such as ferrimagnetism and metal-insulator transition. It is also known as a catalyst for water gas shift reaction. Comparing to the bulk, understanding of its surface properties are not yet matured. In this study, we therefore aim to investigate surface structures, defects, and adsorption of gas molecules to gain better understanding of catalytic properties of magnetite.

The first step of this project was setting up of a scanning tunneling microscope (STM) used for the observation of the surface. We installed an ion gun for sputtering and heating stage for annealing samples. Prepared $\text{Fe}_3\text{O}_4(111)$ surface first showed a different structure from the one observed in the early studies, which indicated reduction of the crystal during annealing. After optimization of the annealing temperature, STM images showed Fe atoms aligned with six-fold symmetry, consistent with the structural model. In addition, two types of hydroxyls dissociated from water molecules were also observed. Nano particles of Fe_3O_4 were also analyzed. One layer of nano particles with closed-packed structure on a solid substrate was formed by drop-drying method. Catalytic reactions on nano particle surfaces will be studied in the future.

共同研究者	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				