

## 研究 成 果 報 告 書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		微生物などの水中を遊泳する自走粒子の集団によって引き起こされる乱流			
研究テーマ (欧文) AZ		Active Turbulence Formed by Self-propelled Particles in Water			
研究氏 代 表 名 者	カタカナ CC	姓)ナガイ	名)ケン	研究期間 B	2013 ~ 2015 年
	漢字 CB	永井	健	報告年度 YR	2015 年
	ローマ字 CZ	Nagai	Ken	研究機関名	北陸先端科学技術大学院大学
研究代表者 CD 所属機関・職名		北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科・助教			
<p>概要 EA (600 字～800 字程度にまとめて下さい。)</p> <p>本研究は生物に代表される自走粒子に関する研究である。自走粒子には粒子運動の詳細によらない普遍的な性質があると考えられており、主に数理モデルを用いて盛んに研究されてきた。本研究では自発的に遊泳するゲルと多粒子モデルを用いて粒子形状によって決まる自走粒子の諸性質について調べた。</p> <p>本研究では、ゲルの作成のためにcentrifuge-based droplet shooting device (CDS) を用いた。CDSは濃度構成の異なるいくつかの部位からなるゲルを作成するデバイスである。ゲルの一部を溶解可能な物質にすると様々な形状のゲルを大量に作成できる。</p> <p>当初の計画の光吸収による温度場を用いたゲル運動が困難であったため、過酸化水素水の分解反応及び電場を駆動力として用いた。まず、過酸化水素水の分解反応によるゲルの自発運動を誘起するため、ゲル中に反応触媒である白金の微粒子を封入した。この時にゲルの一部分だけに白金微粒子を封入するとゲル周りに非対称に泡が発生し、ゲルが運動する。この分解反応に駆動されるゲルは公転、自転、直進など形状に応じた運動を起こすことを見出した。次に、電場によってゲルの自発運動を誘起するため、ITOガラス二枚に挟まれた空間にゲルを封入した。ここに1000Hzほどの周波数を持つ交流電場を印加すると、ゲル周りにinduced-charge electro-osmosis(ICEO)による流れ場が生じる。ゲルが真球ではない時、ICEOによる流れ場は前後非対称となる。PLL-PEGによりITOガラスを修飾してゲルのガラスへの吸着を防ぐと、非対称な流れ場によってゲルの自発運動が誘起された。</p> <p>上記のように球形以外のゲル形状を用いると、回転運動を実現できる。回転する非球形粒子が起こす集団運動を明らかにするため、多粒子モデルを用いて回転速度の変化率をパラメータとした集団運動の相図を描いた。その結果、回転速度が長時間維持される時、粒子が渦上に並び、その渦が格子を作ることを見出した。さらに、回転速度の維持時間を短くしていくと渦の格子が不安定になって渦の大きさがランダムに揺らぎ、時間的に常に変化するアクティブフォーム相に転移することを見出した。</p>					
キーワード FA		アクティブマター	集団運動	非線形物理	非平衡物理

(以下は記入しないで下さい。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA								
研究機関番号 AC					シート番号								

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下さい。）										
雑誌	論文標題 <sup>GB</sup>	Self-Propelled Particles with Rotationally Asymmetric Shape								
	著者名 <sup>GA</sup>	K. H. Nagai, M. Hayakawa, M. Takinoue		雑誌名 <sup>GC</sup>	Curr. Phys. Chem.					
	ページ <sup>GF</sup>	73~81		発行年 <sup>GE</sup>	2	0	1	5	巻号 <sup>GD</sup>	5
雑誌	論文標題 <sup>GB</sup>	Collective Motion of Self-Propelled Particles with Memory								
	著者名 <sup>GA</sup>	K. H. Nagai, et al.		雑誌名 <sup>GC</sup>	Phys. Rev. Lett.					
	ページ <sup>GF</sup>	168001		発行年 <sup>GE</sup>	2	0	1	5	巻号 <sup>GD</sup>	114
雑誌	論文標題 <sup>GB</sup>									
	著者名 <sup>GA</sup>			雑誌名 <sup>GC</sup>						
	ページ <sup>GF</sup>	~		発行年 <sup>GE</sup>					巻号 <sup>GD</sup>	
図書	著者名 <sup>HA</sup>									
	書名 <sup>HC</sup>									
	出版者 <sup>HB</sup>			発行年 <sup>HD</sup>					総ページ <sup>HE</sup>	
図書	著者名 <sup>HA</sup>									
	書名 <sup>HC</sup>									
	出版者 <sup>HB</sup>			発行年 <sup>HD</sup>					総ページ <sup>HE</sup>	

#### 欧文概要<sup>EZ</sup>

Using mathematical models, such as Vicsek model, universal properties of self-propelled particles have been found, which are independent of the details of particles' motion. In this study, the shape of particles was focused. Using swimming gels and agent-based models, the properties determined by the shape of particles were investigated.

To make swimming gels, a centrifuge-based droplet shooting device (CDSD) was used. Using the CDSD, small gel particles with multi compartment can be made. When some of the parts of the gels are dissolvable, a large number of gel particles with the same noncircular shape are obtained.

At the start of this study, we planned to use the adsorption of light as the power source of self-propulsion, which was found difficult to gain enough power. Finally, using chemical reaction and electric field, the self-propulsion of the gels was realized. The self-propulsion by chemical reaction was driven by the decomposition of Hydrogen peroxide. When the gel particles had platinum nano particles, which were the catalyst of the reaction, bubbles were produced around the gel in aqueous solution of hydrogen peroxide. Pushed by the bubbles, the gel particles with asymmetric distribution of Pt particles moved. We also realized revolution and rotation caused by noncircular shape. To induce the self-propulsion by electric field, the solution containing the gel particles was sandwiched between two ITO glasses. Through the ITO glasses, the electric field with frequency around 1 kHz was applied to the solution. At the surface of the gels, induced-charge electro-osmotic flow was induced, which was asymmetric around noncircular-shaped gels. To avoid the adherence of the gels, the glasses were coated with PLL-Peg, so that the gel particles swam.

As described above, revolution was realized using noncircular shape. To investigate the collective motion of revolving noncircular self-propelled particles, the dependence of collective motion on the change rate of rotation rate was analyzed with agent-based models. We found that a vortex lattice was formed when rotation rate was kept for a long time. As the keeping time of rotation rate decreased, the collective motion was transformed into the active foam phase, where the size and the position of vortices always fluctuated.