| 助成番号　210106 | | | | ５－２ |
|---|---|---|---|---|

研 究 成 果 報 告 書

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 研究テーマ（和文） | 溶液中での原子・分子操作技術の開発 | | | |
| 研究テーマ（英文） | Development of direct atom/molecule manipulation technique in liquid | | | |
| 研究期間 | 2021年 ～ 2024年 | | 研究機関名　滋賀県立大学 | |
| 研究代表者 | 氏名 | （漢字） | 小林 成貴 | |
| | | （カタカナ） | コバヤシ　ナリタカ | |
| | | （英文） | Naritaka Kobayashi | |
| | 所属機関・職名 | | 滋賀県立大学工学部・准教授 | |
| 共同研究者<br>（計　０　名）<br>＊２名をこえる場合は、【別紙追加用紙】（P3）に３人目以降を追記してください。 | 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 | | | |


概要 （600 字～800 字程度にまとめてください。）

本研究の目的は，原子間力顕微鏡（AFM）を用いて，溶液環境下にある基板表面の原子や分子を直接操作する方法を開発することである．これが実現すれば，実用的な環境場で特異な機能を発現するナノ材料の創製が期待できる．本研究課題では，液中原子・分子操作の検証に適した AFM と表面を用意し，力学的水平操作の条件を検討することを目指した．その結果概要を以下に示す．

(1)高精度で探針の位置決めが可能な AFM の作製：探針の位置ずれの原因となる熱ドリフトを抑制するため，AFM 本体を熱膨張係数の低いスーパーインバーで作り替えた．その AFM 本体を恒温槽内に設置し，環境温度を一定に保つことで，熱ドリフトを抑制した．また，探針を狙った原子や分子の上に移動させるために，自作の AFM 制御ソフトに探針を 3 次元的に自由に動かせる機能を追加した．これらにより，原子・分子操作機能を有する自作の液中 AFM が完成した．

(2)原子・分子操作に適した表面の構築：原子・分子操作の検証に向けて，操作対象となる原子や分子の熱拡散が起こりづらい表面系を模索した．液中高分解能 AFM の標準試料のひとつであるカルサイト表面の原子空孔の利用を試みたが，原子空孔の発見頻度が非常に低いため，検証には不適であると判断した．次に，ナノ空孔を有する 2 次元ネットワーク構造をつくり，そのナノ空孔に補足させたゲスト分子を操作することを考えた．1,3,5-トリス(4-カルボキシフェニル)ベンゼン（BTB）分子は，分子間の水素結合により honeycomb 構造を有する 2 次元ネットワークを形成する．この空孔にコロネン分子を捕捉できるか AFM でさらに観察した．その結果，一部の空孔がふさがっている様子が確認された．また補足されたコロネンは熱拡散しないことも確認された．以上のことから，コロネンを捕捉させた BTB の 2 次元ネットワーク構造が水平分子操作に適していると判断した．今後，開発した AFM と表面系で原子・分子操作を試みる．

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 | なし | | | | |
| | 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 | なし | | | | |
| | 著者名 | | | | | |
| | 出版社 | | 発行年 | | 総ﾍﾟｰｼﾞ | |
| 図書 | 書名 | | | | | |
| | 著者名 | | | | | |
| | 出版社 | | 発行年 | | 総ﾍﾟｰｼﾞ | |

英文抄録（100 語～200 語程度にまとめてください。）
The purpose of this study is to develop a method to manipulate individual atoms and molecules on a surface in aqueous solution by atomic force microscopy (AFM). This leads to creating nanomaterials having specific functions in a practical environment. In this project, we prepared an AFM and a surface suitable for the verification of atom/molecule manipulation in liquid, and aimed to investigate the conditions for lateral manipulation. The results are summarized below.
(1) Fabrication of an AFM capable of high-precision tip positioning: To suppress thermal drift, which causes tip misalignment, the AFM head was reconstructed using a low thermal expansion material (super invar). The reconstructed AFM head was installed in an incubator to maintain an ambient temperature to suppress thermal drift. In addition, to move the tip over the targeted atoms and molecules, a function that allows the tip to move freely in three dimensional directions was added to our home-built AFM controller. Thus, we have prepared an AFM for atom/molecule manipulation.
(2) Construction of a surface suitable for atom/molecule manipulation: To verify atom/molecule manipulation, we sought a surface that can suppress thermal diffusion of atoms and molecules. First, we considered to use atomic vacancies in a calcite surface, which is one of the standard samples for high-resolution AFM imaging in liquid. However, the frequency of finding the vacancies was low. Then, we considered to use a two-dimensional (2D) network structure with vacancies which can capture manipulating guest molecules. 1,3,5-tris(4-carboxyphenyl)benzene (BTB) molecule forms a honeycomb-like 2D network structure by intermolecular hydrogen bonds. We observed by AFM whether coronene molecules could be captured in the honeycomb vacancies, and confirmed that some of the vacancies were occupied by coronene. The captured coronene molecules stayed without diffusion. We thus concluded that coronene molecules captured in the 2D network structure of BTB is suitable for verification. We will attempt atom/molecule manipulation using the developed AFM and surface system.