

（第14回）2018年度・研究助成報告

研究題名	表面弾性波による各種粉体輸送に関する運動方程式の究明
研究期間	2018年4月1日～2020年3月31日
研究機関・所属 研究者名	兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 山口 明啓

1. 2018（2019）年度研究成果の概要

粉体の単位操作を実現できれば、マイクロ化学システムを用いた製剤開発や新材料探索のためのコンビナトリアルなシステムを実現できると期待できる。本研究では、表面弾性波を用いた粉体輸送を実現する系と粉体輸送の基本的な運動方程式を導出することを目的として研究を行った。理想的な実験系を創製するために、**Lab-on-a-chip** を形成し、アクチュエーターとして楕歯電極励起表面弾性波を発生させて、圧電体基板上の粉体輸送特性を観察して研究を行った。

本研究では、表面弾性波の駆動周波数による粉体輸送方向制御と粉体輸送に関する特性を評価した。結果として、楕歯電極に印可する電圧の周波数によって粉体輸送を制御できることが分かった。また、粉体輸送に関して定在波が発生し、粉体輸送が定在波に抑制されてしまうことも分かった。

2. 助成期間内での研究成果の概要

粉体輸送を行うためのマイクロ化学システムとして、圧電体基板上に楕歯電極を形成したシステムについて半導体微細加工技術を用いて作製した。本研究では、圧電体基板として、 LiNbO_3 を用いた。表面弾性波は、図1に示す楕歯電極によって励起することができる。図1(a)では液滴についての模式図を示し、図1(b)に粉体に関する模式図を示す。基本的には、液滴等同様に粉体も取り扱いができると考えられるが、粉体では、粉体間相互作用や衝突の影響及び剛体としての振る舞いを考慮する必要がある、例えば摩擦や粒子の並進運動と回転運動を同時に扱う必要がある。本研究では、基本的な運動方程式の導出を行う前に、基盤となるシステムの創製と基本特性について確認するための研究を行った。

まず初めに、 LiNbO_3 単結晶基板4インチウエハーにアルミニウム楕歯電極を形成し、図2に示す実験セットアップにて、表面弾性を励起する。表面弾性波は、基本はとなるレイリーモードの他、高調波励起モードが存在し、粉体輸送特性が変わることが分かった。

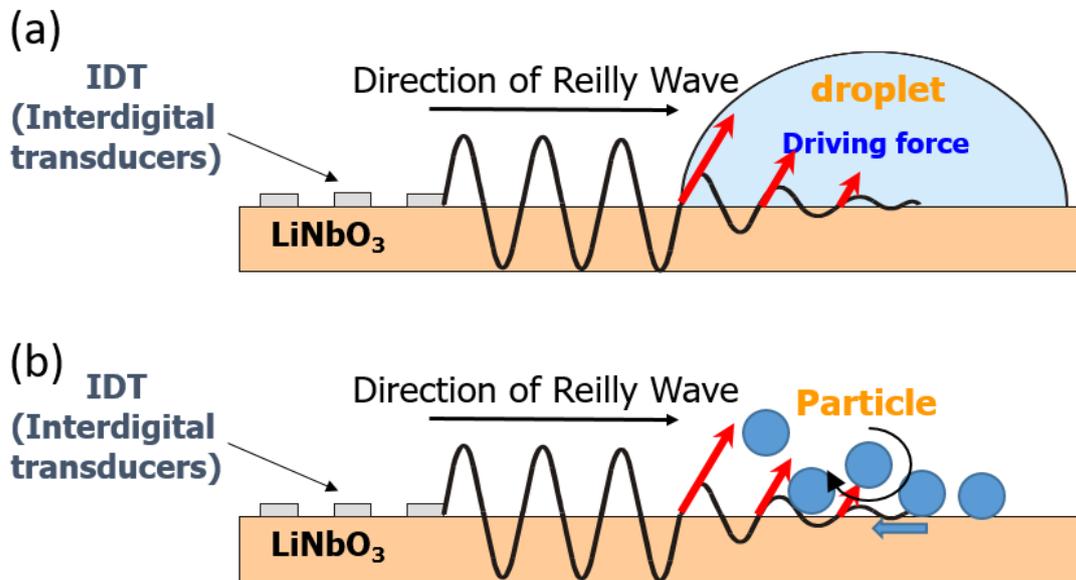


図 1 表面弾性波による(a)液滴(b)粉体輸送に関する模式図及び概念図.

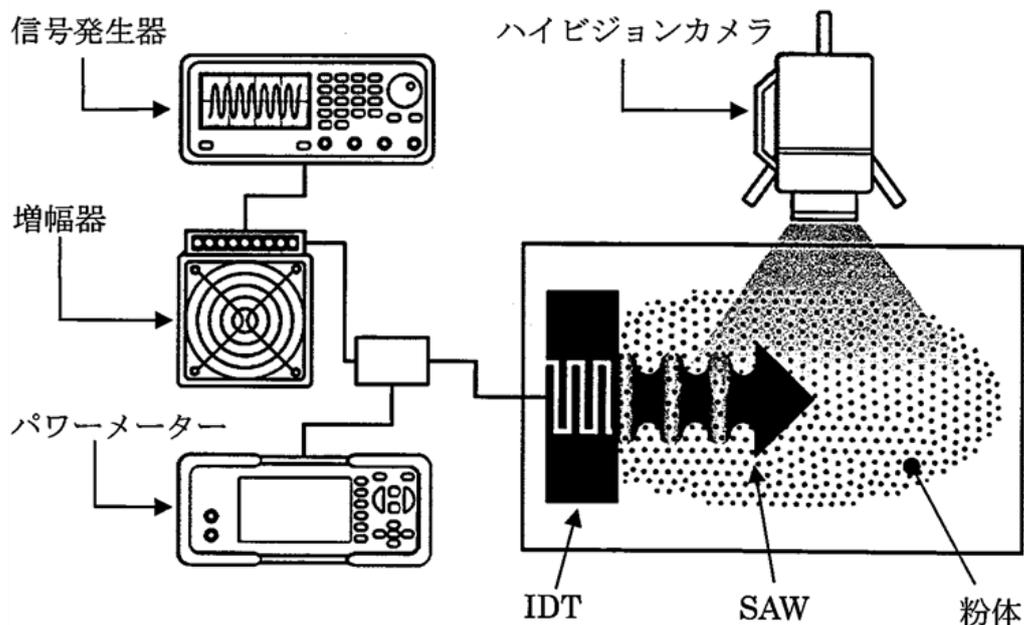


図 2 表面弾性波による粉体輸送実験セットアップ.

輸送特性実験では、レイリー波モードでの励起による輸送では、楕歯電極方向に粉体輸送が起きるので、今回は高調波励起モードを用いて、その輸送特性について調べた。図 3 に粉体を LiNbO_3 面上において、図 2 の実験セットアップにて観察した結果の一部を示す。

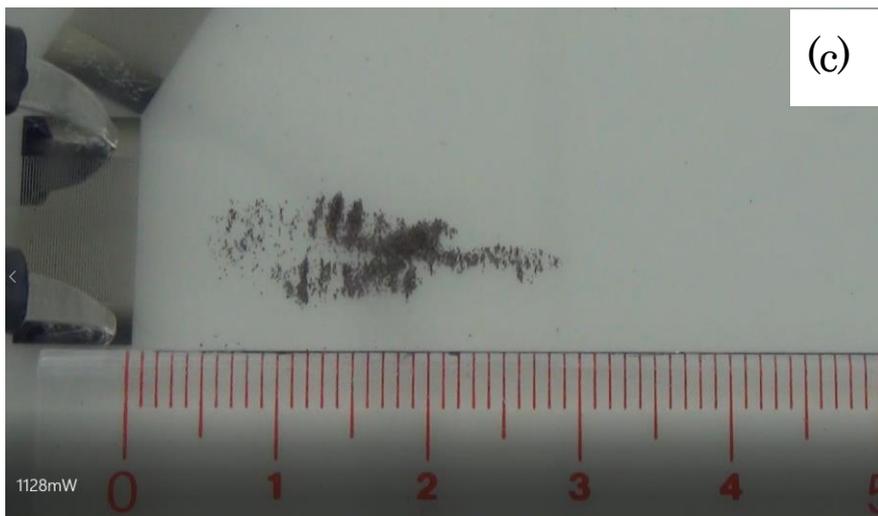
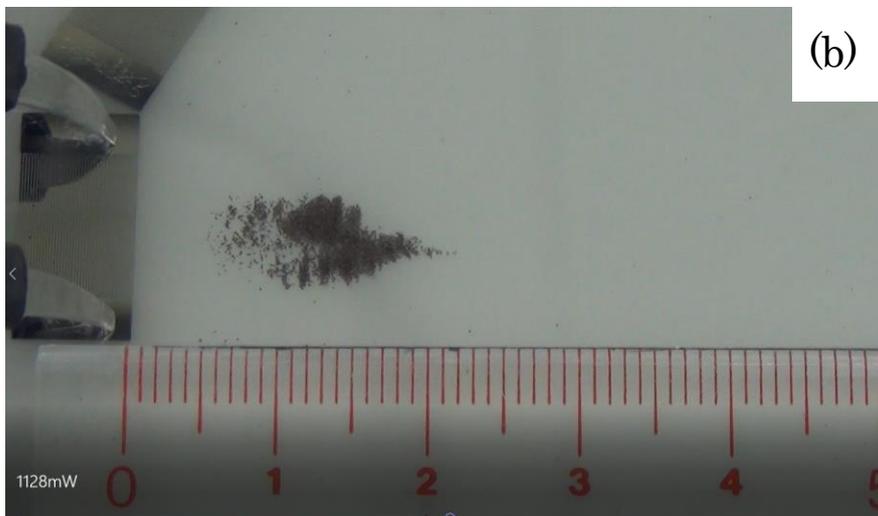
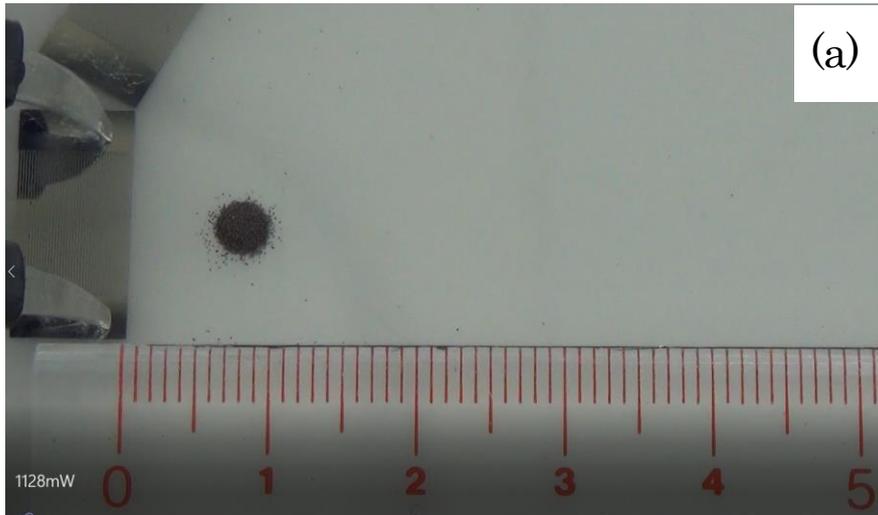


図3 Power 1128mW を印加したときの粉体輸送時刻 $t=(a)0, (b) 8, (c) 23$ sec 時観察結果.

図3の結果から、粉体が櫛歯電極から遠ざかるように移動していることが良くわかる。ひとまず、先頭の粉体に着目して、その平均移動速度を観察結果から導出したのが図4の結果である。LiNbO₃単結晶基板では、結晶方位によって表面弾性波の伝播速度が変化する。そこで、図4では、櫛歯電極をLiNbO₃の結晶方位に合わせて取り付けて、その結晶方位による粉体輸送特性についても調べた結果をまとめて示した。その結果、入力電力に比例して粉体輸送速度が増大することが分かった。また、結晶方位によって、粉体輸送に関する平均速度も変化する。結晶方位がX軸方向の時、最大の平均輸送速度を示すことが分かった。

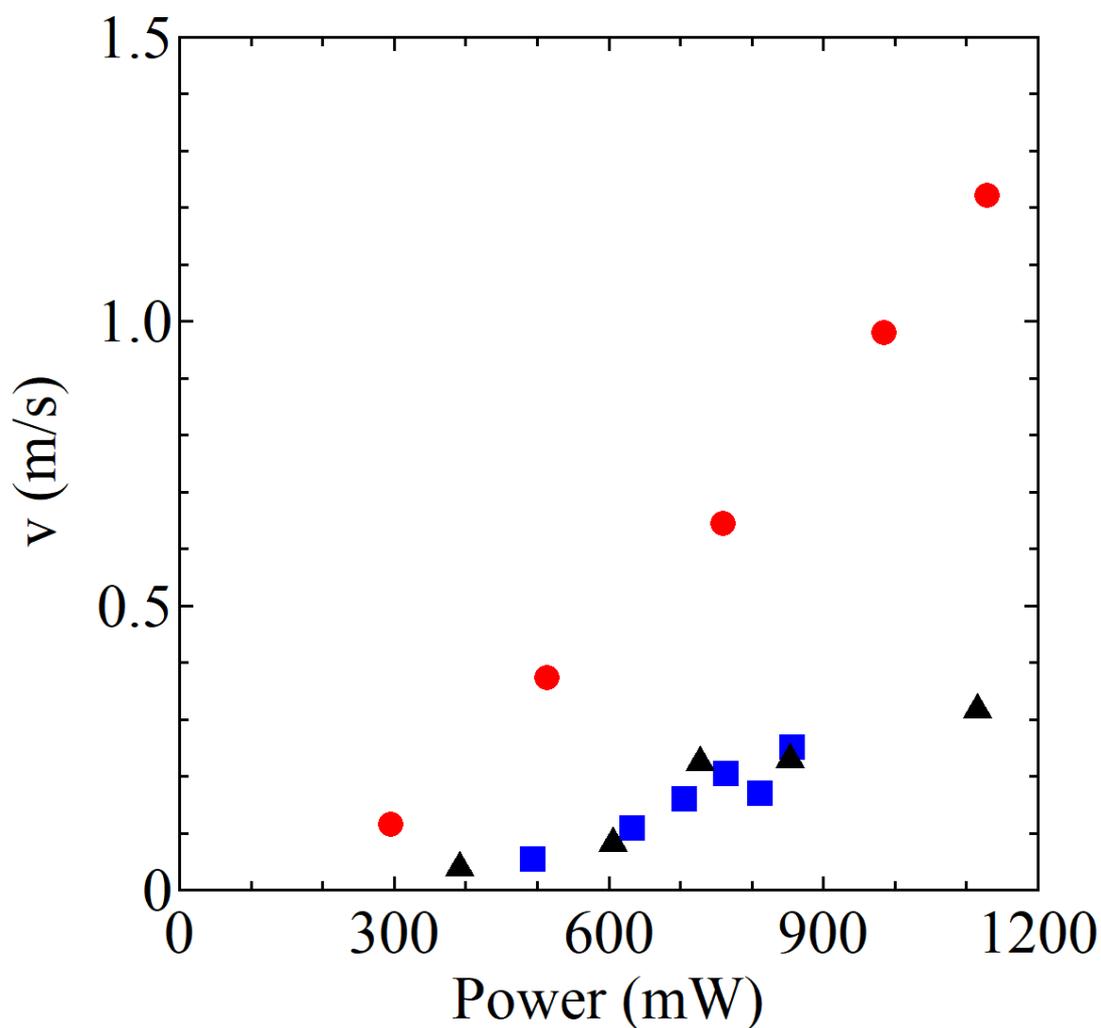


図3 粉体平均移動速度の入力パワー依存性. X軸からの角度: ●0度, ▲30度, ■60度.

ここで、粉体輸送に関する基本的な運動特性について明らかにすることを考慮して、粉体1つに着目してその動的挙動を観察する実験セットアップを構築して実験を行った。具体的には、カメラのところを顕微鏡に変えて、粉体を拡大して、その

動的挙動を調べるといふものである。実際に、実験を行ったが、粉体が思ったように動作しないことが分かった。そこで、図3の結果を再度見直すと、周期的なパターンが時間経過とともに発生していることが分かる。さらに、動画を注意深くみると、先頭を走る粉体について、粉体が入れ替わりながら移動していることが分かった。すなわち、表面弾性波による粉体輸送において、定在波が励起していることが分かる。さらに、定在波の生成によって、たまたま、その定在波の局所構造に捕獲された粉体では、並進運動が停止してしまうことも分かった。

まず、この定在波の原因について考察を行ったところ、基板の端面からによる表面弾性波の反射によるものと推察される。この反射を抑制するためには、端面での表面弾性波のインピーダンス整合あるいは減衰機構を整備する必要があると考えられる。現在、その定在波抑制機構について、理論モデルからのアプローチと実験セットアップを構築している。この定在波抑制機構が完成したときに、粉体一つの輸送が可能となり、基本的な運動を記述する方程式の提案ができると考えられる。

結論：圧電体基板を用いた粉体輸送特性を直接観察法によって系統的に調べた。その結果、圧電基板の結晶方位に依存した輸送特性を明らかにした他、基本モード以外の高調波励起モードでの輸送も可能であることが分かった。また、基板端面からの表面弾性波の反射による定在波が生成することで、粉体の輸送が停止し、定在波に捕獲されてしまうことも分かった。粉体輸送において、粉体の移動順位が入れ替わりながら移動していくことも分かった。このため、定在波抑制機構の創製を行う必要があることが明らかとなり、現在、その機構創製に向けて準備を行っている。

3. 研究発表

特になし。

現在までのデータで発表予定であるが、新機構の導入などによる準備段階である。現在、学術論文に投稿するために準備中である。