

研究成果報告書

研 究 題 目		臨床応用を目指した非接触給電型誘電泳動デバイスの開発と最適化	実 施 年 度			
			2020 年度			
代 表 研 究 者	所 属	呉工業高等専門学校				
	氏 名	江口 正徳 印				
1. 研究の目的・背景 生体細胞は、その構造および組成の違いにより、特有の電気的特性を持つことが知られている。申請者はこれまでに、血中白血病細胞の高感度検出装置の開発を目指し、誘電泳動を利用した血液細胞の誘電特性の違いに基づく白血病細胞検出に関する研究を行い、正常白血球と白血病細胞の分離 (Imasato, Eguchi et al. Intelligent Automation and Soft Computing, 2012), 誘電泳動力を測定 (江口ほか, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, 2011) することに成功している。誘電泳動は、交流電界下に存在するマイクロ粒子が、その誘電特性に基づいて移動する現象であり、この現象を発生させるためには外部交流電源からの電界供給が必要である。当該分野においては通常、マイクロ粒子を配置した特殊な電極に導線やコネクタなどを物理的に接続し、交流電界の供給を行っている。しかしながら臨床現場では、コンタミネーション防止の観点から、使い捨ての誘電泳動電極チップが望まれており、大量の検体を検査するためには、交流電源への接続作業の手間の低減化や、複数の検体を同時処理可能なデバイスの開発が必要不可欠である。 一方、2007 年にマサチューセッツ工科大学の研究グループが、非接触給電により 2m 離れた 60W の電球を点灯させたことで注目を集めた。非接触給電は、古くから電気シェーバや電動歯ブラシなどの給電に使用され、金属接点やコネクタなどの物理的接触なしで電力を伝送する技術である。この技術と誘電泳動を融合すれば、検体を給電用ステージ上に置くだけで、複数検体の同時処理が可能となるのではないかと、という着想に至った。そこで本研究では、非接触給電で誘電泳動が発生可能なデバイスの開発を目的とし、溶液中の粒子に生じる誘電泳動力を測定することで給電効率を評価し、高効率化および交流電源周波数の広帯域化を図る。本研究ではまず、受電用電極パッドを有する誘電泳動用電極を設計・試作し、非接触給電により誘電泳動が発生可能であるか否かを明らかにする。また、その際の粒子に生じる誘電泳動力を測定することで給電効率を評価し、受電用電極パッド面積、位置ずれ、電極基板の厚さ、給電周波数に対する給電効率特性を明らかにし、デバイスの最適化および広帯域化を図る。						

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

・提案する非接触給電型デバイスの構造

提案するデバイス（図 1）は、受電用電極パッドを有する誘電泳動用電極（クリークギャップ電極）が形成されたガラス基板を、給電用電極を有する給電ステージ（プリント基板）上に配置した構造である。この構造から、電界結合によりクリークギャップ電極間に非接触で電界が発生する。

・成果および考察

提案するデバイスは、フォトリソグラフィ技術により作製した。デバイスの有用性を明らかにするため、ガラスビーズ（直径 $10\text{ }\mu\text{m}$ ）を蒸留水（0.1 % Tween 20）に分散させたガラスビーズ懸濁液を用いて実験を行った。シリコンゴム製チャンバー内にガラスビーズ懸濁液を滴下し、カバーガラスで封入した。交流信号発生器（NF 社 WF1968）を用いて、給電用電極に 15 Vpp 、周波数 1 MHz の交流電圧を印加し、デジタル顕微鏡（KEYENCE 社 VW-9000）を用いてガラスビーズの挙動を観察した。その結果を図 2 に示す。なお、デバイスの受電

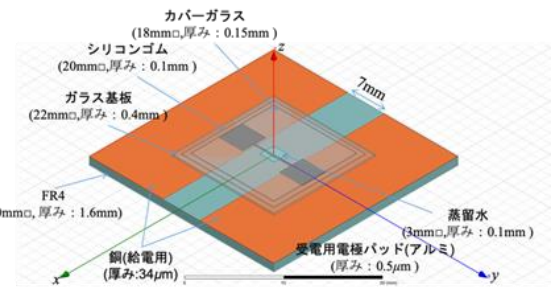


図 1. デバイス構造

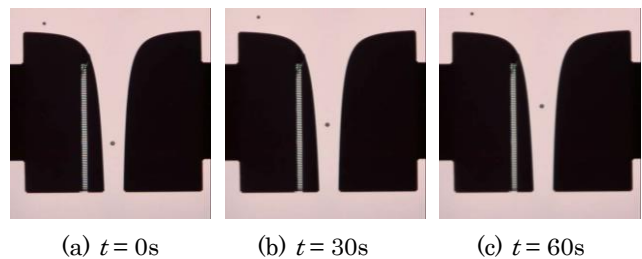


図 2. パッド面積 9 mm^2 時の粒子の挙動

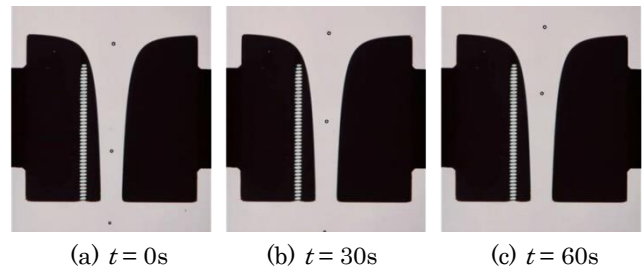


図 3. パッド面積 49 mm^2 時の粒子の挙動

用電極パッドの面積は、 9 mm^2 （ 3 mm 角）である。図 2 より、ガラスビーズは負の誘電泳動を示し、誘電泳動力により電界の弱い方向へ移動し、その平均移動速度は $3.92\text{ }\mu\text{m/s}$ であった。パッド面積を 49 mm^2 （ 7 mm 角）に変化させた時の粒子の挙動を図 3 に示す。図 3 (a)～(c)より、図 2 と同様にガラスビーズは電極中心線上を移動した。その平均移動速度は $5.45\text{ }\mu\text{m/s}$ であり、パッド面積を大きくすると、粒子の移動速度が速くなった。受電用パッド面積を大きくなると、送受電用電極パッド間の容量が増加するので、クリークギャップ電極間に大きな電界が発生する。このことから、受電用電極パッド面積をより大きくした場合、粒子の移動速度は速くなり、高い給電効率を有するデバイスの実現が可能であると考えられる。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

設備備品費については、申請時の計上した装置を別の予算で導入することが出来たことから、予算使途変更をご了承頂き、提案デバイス作製および細胞・マイクロ粒子を使用した実験に必要な装置を購入した。具体的には純水製造装置に付属する漏水検知器，圧力安定弁，細胞およびマイクロ粒子を保存，洗浄するためのクールインキュベータ，遠心機，サンプルミキサを導入した。

消耗品費は，デバイス作製の際に必要なガラス基板や薬品・ガス等，デバイス実験に必要なマイクロ粒子や界面活性剤等を購入し，概ね，計画通りの執行となった。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では，誘電泳動および進行波電気浸透など電気力学的動力を利用したバイオセンシングデバイスの非接触給電に関する開発を行った。ガラスビーズおよび生体細胞を用いた実験によりその有効性を明らかにした。誘電泳動デバイスの給電用電極パッド面積 9 mm^2 の平均移動速度は $3.92\text{ }\mu\text{m/s}$ ， 49 mm^2 の平均移動速度は $5.45\text{ }\mu\text{m/s}$ であり，受電用電極パッド面積により粒子の移動速度が変化することが確認された。今後は，デバイスについて電磁界解析により理論検討を行うとともに，誘電泳動デバイスと進行波電気浸透デバイスを融合することで，血液中から目的細胞（例えば，循環腫瘍細胞などの希少細胞）のみを搬送・収集可能なデバイスを開発し，その非接触給電化を実現することを考えている。

また現在，当研究室で開発している絶縁体ベース誘電泳動デバイスは，単一の生体細胞の誘電特性（誘電率・導電率）をデバイスへの付着をなしに測定可能で，さらに，周波数掃引により高速測定が期待できる。このデバイスに関しても研究で得た知見を応用し，非接触給電化を検討する予定である。

なお，これらのデバイスは，現在共同研究を行っている医療機関で実証実験を行い，実用化を目指す予定である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

- ・中林 龍, 松村 浩太郎, 氷室 貴大, 江口 正徳, ”Creek-gap 型絶縁体を有する絶縁体ベース誘電泳動デバイスの開発,” 2021 年 電子情報通信学会総合大会（オンライン）, 2021 年 3 月 12 日, エレクトロニクス講演論文集 1, p. 72.
- ・堀越 悠斗, 藤井 蒼太, 氷室 貴大, 江口 正徳, 山川 烈, ”電界結合方式を用いた非接触給電型誘電泳動デバイス,” 2021 年電子情報通信学会総合大会（オンライン）, 2021 年 3 月 12 日, エレクトロニクス講演論文集 1, p. 73.
- ・中林 龍, 江口 正徳, “生体細胞の誘電特性測定を目指した絶縁体ベース誘電泳動デバイスの設計,” CHEMINAS43（オンライン）, 2021 年 5 月 18 日, p. 44.