

# 国際共同研究事業 令和2（2020）年度実施報告書

令和3年4月30日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]

学校法人 芝浦工業大学 工学部機械機能工学科

[職・氏名]

教授 前田 真吾

1. プログラム名 スイスとの国際共同研究プログラム（JRP）

2. 研究課題名

(和文) やわらかい ElectroHydroDynamics

(英文) Stretchable ElectroHydroDynamics

3. 共同研究実施期間（全採用期間）

令和 2 年 1 月 1 日 ～ 令和 4 年 12 月 31 日（ 3 年 0 ヶ月）

4. 研究参加者（代表者を含む）

(1) 日本側参加者 12 名

(2) 相手国側参加者 3 名

5. 主要な物品明細書（一品又は一組若しくは一式の価格が 50 万円以上のものを購入した場合は記載）

物品名	仕様 型・性能等	数量	単価(円)	金額(円)	設置研究機関名	備考
なし						

※本事業の委託費と他の経費とを合算使用する際は、合算使用した旨を備考欄に記載した上で、金額は本事業の委託費で負担した額のみ記載してください。

※再委託先/共同実施先における支出である場合は、備考欄にその旨を記載してください。

7. 渡航実施状況

(1) 当該年度に相手国又は相手国以外の国を訪問した日本側参加者（委託費から支出した出張のみ記載。相手国以外の国における用務先には下線を付すこと。）

氏名	旅行期間*	用 務 (用務先・用務内容)
計 0 名 (延べ人数)		

\* 旅行期間の欄の記入例：「6 月 10～19 日」（旅行開始日～旅行終了日）

(2) 当該年度に受入れた相手国側参加者

氏名	旅行期間*	用 務 (用務先・用務内容)
計 0 名 (延べ人数)		

\* 旅行期間の欄の記入例：「6 月 10～19 日」（旅行開始日～旅行終了日）

## 8. 研究実施状況

※当該年度実施計画書の「5. 本年度実施計画の概要」の内容と対応させつつ、当該年度の研究の実施状況を簡潔に記載してください。再委託又は共同実施を行った場合は、それぞれの研究の実施状況がわかるように記載してください。

※年度途中で当初計画を変更した場合にはその内容及び理由も記載してください。特に、各費目の増減が研究経費の 50%（この額が 300 万円を超えない場合は 300 万円）に相当する額を超えた場合は、変更理由と費目の内訳を変更しても研究の遂行に支障がなかった理由を記載してください。

本年度は理論と実験の両面から研究を進めた。主に研究の進捗報告は ZOOM を活用し、実験結果の共有と理論モデルに関する議論を行っている。必要に応じて作成したデバイスを輸送したりすることで、制限された条件で研究を進めている。理論研究として EHD の出力やパワー密度を最大化するためのモデルを構築した。ポンプの性能を評価する指標の一つに水力がある。水力はポンプによって排出される流体が単位時間あたりになす仕事であり、ポンプの出口における流量 $Q$ と圧力 $p$ を用いて $P = Q \times p$ で与えられる。EHD ポンプでは電極の形や配置などの幾何学的パラメータに依存して $Q$ や $p$ が変化するため、それらの依存性や $P$ を最大化するパラメータの値を知ることは重要であると考えた。また、ポンプの小型化の観点からは、 $P$ をポンプの大きさを割った水力密度 $\bar{P}$ も注目すべき量である。本プロジェクトではくし形電極を用いた EHD ポンプについて、 $P, \bar{P}$ を最大化する幾何学的パラメータの値の推定を行った。まず、ポンプ内部でポアズイユ流れを仮定することで $Q$ を $p$ およびその最大値 $p_0$ の関数として記述することに成功した。これにより、 $P, \bar{P}$ の最大化の問題は $p, p_0$ の幾何学的パラメータへの依存性の問題に帰着された。続けて、くし形電極による EHD の圧力を、2 つの平行な電極板間で発生する圧力で近似することにより、 $p, p_0$ の表式を求めた。以上の結果を合わせて、 $P, \bar{P}$ の幾何学的パラメータへの依存性を表す式の導出に成功した。

実験研究として、高出力やわかりやすい EHD ポンプの最適化とそれを動源としてソフトロボットの開発や応用などを検討した。EHD ソフトポンプの電極構造で、PP（ポリプロピレン）シートを基板とカバーに、VHB 両面テープを流路とし、10 対平板銅電極を平行に配置した。なお、対称な電極が配置されているため、スイッチング構造がある配線により EHD の流れの方向を制御することができる。このポンプの欠点として流れが弱く、低圧力という点が挙げられる。典型的な値として、このポンプは 10kV の高電圧の入力で 1914Pa の圧力を発生する。そこで、高出力 EHD ポンプを開発するために電極形状と電極対の間隔について研究を行い、最適化した後三角電極を提案した。性能評価について、新たなポンプが 10kV で 3810Pa の圧力に達成した。また、最適化して発現した流体を使用して EHD ポンプをソフトアクチュエータの構造に合わせて内部に搭載し、流体駆動システムを提案した。この流体駆動システムはバルーンアクチュエータ、ファン、ローリングアクチュエータ、クローラロボットなどへの応用が考えられる。今後、伸縮性がある EHD 基板、カバーと電極の材料の開発を目指す。やわらかい EHD ポンプを実現するために、新しい伸縮電極の作製手法として、カーボンナノチューブ(CNT)をエラストマー上に直接塗布する方法を提案した。EPFL の研究グループと共同で 2019 年度に Nature 誌に発表した stretchable EHD においてカーボンブラックと PDMS の混合体を電極に使った場合、20 分程度しか機能しなかったが、新しい CNT 電極は 1 時間以上機能した。さらなる最適化も可能であり、今後は EPFL の研究グループと共同で、詳細なメカニズムの解明と出力の最大化や最適化について理論と実験を通じて進める予定である。

9. 研究発表（当該年度の研究成果）

【雑誌論文】 計（ 2 ）件      うち査読付論文 計（2）件

通番	共著の有無*1	論文名、著者名等*2
1	無	T. Sato, S. Sakuma, M. Hijikuro, S. Maeda, M. Anyoji and Y. Yamanishi, "Design of electrohydrodynamic devices with consideration of electrostatic energy", Cyborg and Bionic Systems, vol.2021, Article ID:5158282, 8 pages, 2021.
2	無	Y. Seki, Y. Kuwajima, H. Shigemune, Y. Yamada, S. Maeda, "Optimization of the Electrode Arrangement and Reliable Fabrication of Flexible EHD Pumps", Journal of Robotics and Mechatronics, vol.32, p.939-946, 2020.
3		

【学会発表】 計（ 1 ）件      うち招待講演 計（1）件

通番	共著の有無*1	標題、発表者名等*2
1	○	V. Cacucciolo and S. Maeda, "A stretchable pump for the next generation of soft robots", The IEEE International conference on Robotics and Automation(ICRA) WorkShop, 31st May, 2020.
2		

【図書】 計（ 0 ）件

通番	共著の有無*1	題名、著者名等*2
1	無	

\*1 相手国側参加者との共著（共同発表）がある場合は○、相手国側参加者との共著であり謝辞等に事業名を明記している場合は◎と記入。

\*2 当該発表等を同定するに十分な情報を記載すること。例えば学術論文の場合は、論文名、著者名、掲載誌名、巻号や頁等、発表年（西暦）、学会発表の場合は標題、発表者名、学会等名、発表年（西暦）、著書の場合はその書誌情報、など（順番は入れ替わってもよい）。相手国側参加者との共著となる場合は、著者名が複数であっても省略せず、その氏名を記入し下線を付すこと。

\*3 足りない場合は適宜行を追加すること。