

茨城大学工学部機械システム工学科

茨城大学工学部機械システム工学科

長 真啓

Masahiro OSA



1. はじめに

茨城大学は、水戸キャンパス（人文学部、教育学部、理学部）、日立キャンパス（工学部）、阿見キャンパス（農学部）で構成され、茨城県内に3つのキャンパスをもつ国立大学である。著者は、茨城大学工学部在学時の2008年から入門した増澤 徹教授の研究室で人工心臓用非接触軸受機構（磁気浮上モータ）の研究開発について学び、2014年に博士（工学）の学位を取得した。学位取得後の同年に茨城大学工学部機械工学科（現機械システム工学科）に赴任し、増澤教授のもとで研究室運営をスタートさせた。

私の初めて獲得した研究費は、日本人工臓器学会により萌芽研究を支援するGrant-MERAであり、この経験が体内植込み型の磁気浮上式小児用補助人工心臓の研究開発を進める起点となっている。本助成を通して得た成果は、日本医療研究開発機構（AMED）の未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業「革新的医療機器創出支援プロジェクト」（2019年度）をはじめ、医療分野研究成果展開事業（先端計測分析技術・機器開発プログラム）（2020～2022年度）、難治性疾患実用化研究事業（2023～2025年度）に繋がり、国立循環器病研究センター研究所人工臓器部のご協力を得て、大学発デバイスの実用化を目指した機器開発と、その生体内評価の貴重な経験をさせていただいている。その間、講師昇任をきっかけに著者自身の研究室が設立され、現在も増澤教授、北山文矢講師とともに医用メカトロニクスを主軸として、電磁アクチュエータの研究開発、特に小児用の磁気浮上型補助人工心臓に力を入れている。

■ 著者連絡先

茨城大学大学院理工学研究科機械システム工学専攻
（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1）
E-mail. masahiro.osa.630@vc.ibaraki.ac.jp

2. 研究施設

茨城大学には医学系の学部・学科、動物実験施設が創設されていないこともあり、工学部における医療機器の研究開発を行う研究室は珍しい。この環境にありながら、茨城大学工学部での磁気浮上型血液ポンプの研究開発は、岡田養二名誉教授と増澤教授により開始されてから20年以上の歴史をもつ。また、磁気浮上アクチュエータ、血液ポンプについては、機器の適用対象に応じた形状・機能を考慮して、設計、製作、評価の一連を自機関ですべて行うという伝統が続いている。国内外でも新しい人工心臓の開発研究が少なくなってきた昨今、これらの継続した技術の蓄積は、世界でも高い水準の人工心臓研究を行うことができる茨城大学の特色であると感じている。

当施設での磁気浮上型人工心臓の研究開発の一例として、磁気浮上モータの開発について触れる。連続流式人工心臓では、血液ポンプ内で羽根車（インペラ）を支持するために軸受が必要である。人工心臓に接触式軸受を使うと、血液中に浸潤されている軸受部分での接触摩擦や発熱により、溶血や血栓が起こることが課題となる。これに対して当施設では、血液ポンプの軸受機構に磁気浮上技術を応用することで機械的接触部分を完全に撤廃し、血液に優しい安心・安全な人工心臓の実現を目指している。体内植込み型人工心臓の用途では、磁気浮上モータの小型化が特に重要である。しかし、磁気回路を構成する永久磁石や電磁石を配置するスペースが限られるため、インペラ非接触支持性能の劣化、入力電力増加による機器発熱を避けることはきわめて困難である。

そのため当施設では、有限要素法による磁場解析や数値流体力学解析について蓄えたノウハウを駆使して、血液ポンプの要求性能を満足しつつ、小型ながら安定した磁気浮

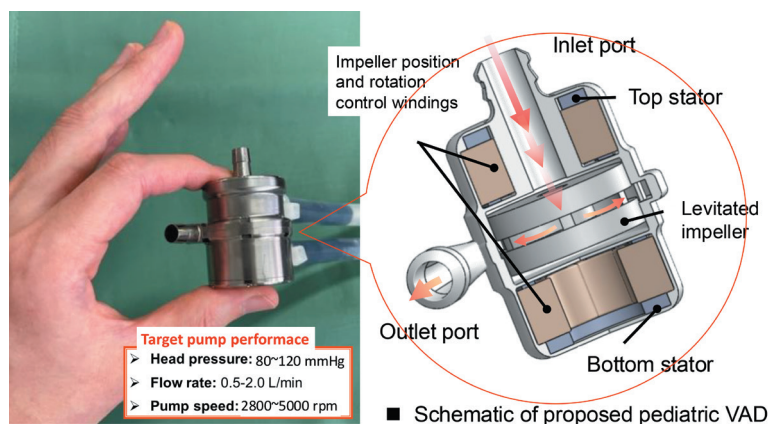


図1 開発する磁気浮上型小児用補助人工心臓

上系をいかに効率よく構築できるかを追及している。

3. 研究内容

当施設で主な研究対象としている小児用補助循環デバイスの現状として、小児心不全治療に用いることができる機器は体外設置型拍動流式の補助人工心臓EXCOR® Pediatricに限られる。渡航移植または成人用機器への橋渡しのためには、病床での年オーダーの待機期間が必要となることから深刻な医療逼迫を招いている。在宅治療による救命数の拡大、患者のQOL (quality of life) 向上のためには、体内植込み型の連続流式補助人工心臓の開発が望まれる。

当施設では、遠心血液ポンプを用いた小型な連続流式補助人工心臓を開発している。この研究では、インペラを回転させるためのモータに、磁気軸受(磁気浮上)の機能を追加したセルフベアリングモータ方式を採用している。図1に示すような、同一構造の2つのモータだけでインペラを非接触支持し、回転させることが可能なため、小型ながら安定した磁気浮上性能が得られる。本モータの寸法は、外径が22 mm、高さが34 mmである。最近では、機器植込みの慢性動物試験を実施することを目指し、図2に示すような、チタンハウジング製の血液ポンプを用いた小児用人工心臓試験機を製作している。また、解剖学的適合性を考慮した機器形状の精選を進めている。実験室での性能評価において、開発する補助人工心臓の回転数が3,700~4,600 rpm時に、60~100 mmHgの揚程に対して、流量0.5~2.0 l/minの範囲で調節可能であることが示されており、小児の循環補助に十分なポンプ特性を有することが実証できている。現在は、動物試験に向けたポンプの植込み方法、動物実験モデルの構築、生体内評価を始めている。

小児用補助人工心臓は小市場規模の医療機器であり、経済的效果が得られない希少疾病用医療機器(オーファンデ



図2 機器植込みでの慢性動物試験を目指した補助人工心臓試験機の開発

バイス)に位置づけられているため、企業参画や実用化研究が困難である。一方で、小児の救命の意義は大きく、オーファンデバイスの実用化のための新しい研究開発体制の構築が重要である。この現状に対して、増澤教授が日本の人工臓器研究者から構成される「特定非営利活動(NPO)法人オーファンデバイス研究開発」を2023年に設立し、当施設も2024年度よりAMED「医療機器等における先進的研究開発・開発体制強靱化事業(基盤技術開発プロジェクト)」への参画を通して、「ALL JAPANで挑む革新的植込型小児用補助人工心臓の開発」をともに進めている。今後も当施設での研究活動の社会実装を目指して技術追求を進め、人の命を救える技術創成へ取り組みたいと考えている。

本稿の著者には規定されたCOIはない。