

# 茨城大学戦略的研究

「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」

## 茨城大学工学部附属 ライフサポート科学教育研究センター

2016年度

報告書

## 茨城大学戦略的研究「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」

平成 28 年度報告書刊行にあたって

プロジェクト代表 増澤 徹

平成 28 年度より本プロジェクトは茨城大学重点研究から戦略的研究に変更となり、今までの研究成果を本学の教育、研究にフィードバックするプロジェクトとなりました。その一助として 2016 年 9 月 20 日～22 日に水戸ホテルレイクビューにて国際学会 **The 24th Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps** を開催するとともに、茨城大学工学部のご支援のもと茨城大学国際シンポジウム「世界における人工心臓開発の最先端技術」を市民公開講座として 2016 年 9 月 23 日に水戸の常陽文藝ホールで開催させていただきました。国際会議では世界各国 19 カ国からの海外参加者 90 名に日本人参加者 79 名を加え総勢 169 名の研究者が水戸に集いました。企業展示等の参加者を加えると 200 名以上の方々の参加となりました。本プロジェクトの主研究分野である人工心臓や補助循環について 4 件の特別講演、65 件の口頭発表、44 件のポスター発表、1 件のパネルディスカッション、1 件のランチョンセミナー、6 件の **Device Update** 発表がなされ、3 日間に渡って熱い議論が交わされました。茨城大学国際シンポジウムでは米国、中国から 3 名の講演者をお招きして各国の人工心臓、循環補助技術の紹介をしていただくと共に、本学の大学院生 5 名と教員 1 名が研究成果を発表しました。参加者は 56 名でしたが、茨城大学の国際的プレゼンスを高めると共に学生の国際化教育の一助となりました。茨城大学を中心に世界の人工心臓の研究開発に関して情報発信を行う教育研究体制を整える良い機会にもなりました。お世話になった関係諸氏にこの場を借りて御礼申し上げます。

茨城大学から助成を受けている学術推進経費は、茨城大学国際シンポジウム開催費用、博士後期課程学生の学術論文投稿支援、報告書作成費用に使用させていただきました。

平成 28 年度の研究業績は、原著論文 30 編、国際会議論文 12 編、国内外での学会発表 112 件、特許出願 3 件、学会賞等受賞 2 件、著書・解説 6 編、競争的資金獲得 6 件、採択科研費 11 件でした。今後は工学部・理工学研究科の改革に合わせて大学院を対象にライフサポート科学の教育プログラムの構築を行っていく予定です。今後共、皆様のご協力、ご指導を賜りたく、よろしくお願い申し上げます。

「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」

プロジェクト参加教員

1) 生命支援領域

○心機能補助システムの研究開発

増澤徹（機械・教授）、田中伸厚（機械・教授）、松田健一（機械・准教授）、  
木村孝之（電電・准教授）、長山和亮（知能・教授）、長真啓（機械・助教）

○薄膜技術による生体材料表面処理技術の開発

尾関和秀（機械・准教授）、山内智（物質・教授）、久保田俊夫（物質・教授）

2) 生活支援領域

○福祉機器・パワーアシストシステムの開発

近藤良（機械・教授）、清水年美（機械・准教授）、森善一（知能・教授）、  
井上康介（知能・講師）、福岡泰宏（知能・准教授）、芝軒太郎（情報・講師）

○テラヘルツ、レーザ計測、脳波解析等による生体計測技術の開発

辻龍介（メディア・教授）、住谷秀保（知能・助教）

3) 環境創出領域

○最適・快適環境創出のための計測制御技術・評価技術の開発

稲垣照美（機械・教授）、道辻洋平（機械・准教授）、湊淳（応用粒子線・教授）、  
藤田昌史（都市・准教授）、西泰行（機械・准教授）、李艶栄（機械・講師）

## －目次－

### 1. 活動概要

－1－

### 2. 研究報告

1. 「全置換型磁気浮上人工心臓の高度化に関する研究」

－4－

2. 「小児用ダブルステータ型磁気浮上人工心臓の研究開発」

－6－

3. 「磁気浮上カスケード血液ポンプの高度化に関する研究」

－8－

4. 「人工心臓材料表面性状と血液適合性に関する研究」

－10－

5. 「血管壁内力学環境を考慮したコラーゲン微細溝基質による  
配列化細胞培養系の確立」

－12－

### 3. プロジェクト業績

1. 活動実績, 講演会資料等

－15－

2. 業績一覧

－30－

## 1.活動概要

## ライフサポート科学教育研究センター 平成28年度活動計画・実施結果調書

### 1. 研究開発・資金獲得計画

○実施計画(年度当初に、個人の活動以外の、センターとして実施する技術・研究開発に関する活動計画について、計画名・実施概要・実施予定時期・実施体制を記載してください。)

#### 1. 計画名 高機能磁気浮上人工心臓ポンプの開発・2015-2017

##### (1) 実施概要:

高機能磁気浮上型人工心臓の実用化のために、各種磁気浮上モータの設計、特性評価、集積回路技術を用いた小型センサー、DLC 膜の成膜挙動の解析および人工心臓と血管組織結合部の表面形状最適化による生体適合化の要素技術の確立を行う。

##### (2) 実施予定時期: 2016年4月～2017年3月

##### (3) 実施体制(注:外部の人も含む)

- ・ 責任者: 増澤徹
- ・ メンバ: 田中伸厚, 松田健一, 木村孝之, 尾関和秀, 山内智, 久保田俊夫, 長山和亮, 長真啓

##### (4) 資金獲得計画: 申請先の予定(複数可)

- ・ 科研費, JST, AMED などの外部資金へ積極的に申請を予定。

##### (5) 実施における課題: …調整が必要な事項、予算計画など。ない場合は、特になしとする。

実用化のための、磁気浮上モータの小型化・高性能化、生体適合化技術の高度化、動物実験、共同研究企業、臨床実験

#### 2. 計画名 四肢障がい者のための歩行・生活支援システムに関する研究・2015-2017

##### (1) 実施概要:

四肢障がい者のための移動・生活支援の基礎技術確立と試験・評価・再検討、脚支援システム、高機能移乗機器、二関節ロボット、歩行ロボットなどの検討、評価を行う。

##### (2) 実施予定時期: 2016年4月～2017年3月

##### (3) 実施体制(注:外部の人も含む)

- ・ 責任者: 森善一
- ・ メンバ: 近藤良, 清水年美, 井上康介, 福岡泰宏, 辻龍介, 住谷秀保, 芝軒太郎

##### (4) 資金獲得計画: 申請先の予定(複数可)

- ・ 科研費, JST, などの外部資金へ積極的に申請を予定。

##### (5) 実施における課題: …調整が必要な事項、予算計画など。ない場合は、特になしとする。

- ・ 運動機構の高出力軽量化
- ・ 四肢障がい者のための移乗をサポートする機器の開発

#### 3. 計画名 最適・快適環境創出のための計測制御・評価技術の開発・2015-2017

##### (1) 実施概要:

自然流体エネルギー利用機器の実用化に向けて、複雑非定常流れ場の解明に基づく高性能・高信頼性を図る。また、自動車交通の安全性向上、鉄道における安全運行・省メンテナンスの実現を目指した研究を展開する。

##### (2) 実施予定時期: 2016年4月～2017年3月

##### (3) 実施体制(注:外部の人も含む)

- ・ 責任者: 稲垣照美
- ・ メンバ: 道辻洋平, 湊淳, 藤田昌史, 西泰行, 李艶栄

##### (4) 資金獲得計画: 申請先の予定(複数可)

- ・ 科研費, JST, などの外部資金へ積極的に申請を予定。

##### (5) 実施における課題: …調整が必要な事項、予算計画など。ない場合は、特になしとする。

- ・ 自然流体エネルギー利用機器の高性能・高信頼性化
- ・ 自動車交通における信号交差点場面運転支援システムの評価
- ・ 営業線鉄道車両のモニタリングデータの有効活用を目指した技術の構築

○実施結果(中間報告時と年度末に、実施結果を記載してください。)

1. 計画名 高機能磁気浮上人工心臓ポンプの開発

(1) 実施結果: 磁気浮上型人工心臓(小児用人工心臓, 体外循環血液ポンプ, 全人工心臓, 早期補助用人工心臓)の実用化を目指し, 専用磁気浮上モータ(ダブルステータ型, ラジアル型, アクシシャル型, IPM 型, ホモポーラ型)の小型化, 高機能化を行った。有限要素法三次元磁場解析による磁気浮上モータ発生磁気支持力, トルク特性推定, 磁気浮上ポンプ実機を用いた磁気浮上制御性能評価を行い, 開発磁気浮上モータの有効性を示した。センサー技術では, 集積回路技術を用いた小型磁気センサーにおいて, 磁気浮上モータの制御精度を上げるためにセンサー構造の最適化を行い, 1 個の大きさが  $6\mu\text{m}$  角で低周波ノイズを抑制した小型センサーを実現した。生体適合化では, DLC 膜のシミュレーションにおいて, PBII 法を用いた成膜法について3次元での解析を行った。その結果, 装置規模が異なる場合, 成膜挙動が大きく異なることが明らかとなった。また, 人工心臓と血管をスムーズに繋ぐ部位を構築するために, 血管の主要な構成要素のコラーゲンに微細な溝を構成した特殊基質を開発し, 血管平滑筋細胞を効率良く配列・組織化させ, 細胞の収縮機能を向上させることに成功した。

今後さらに連携を進め, 磁気浮上型人工心臓の更なる小型化・磁気支持安定性の高度化, 実用化に向けたセンサーの低ノイズ化, PBII 法を用いた DLC 成膜の最適化のためのシミュレーション技術の構築, 人工心臓配管部と実際の血管との接合部の材料力学的および機能的安定性評価を進める。

(2) 資金獲得の結果: 助成金等 4 件(総額:3430 万円)  
科研費 3 件(基盤(C)1 件, 挑戦的萌芽1件, 若手(B)1 件).  
(詳細は「業績一覧」に記載)

(3) 特筆すべき事項: 原著論文 16 件, 国際会議論文 4 件, 国内学会発表 42 件, 国際学会発表 12 件,  
特許 1 件, 受賞 1 件  
(詳細は「業績一覧」に記載)

2. 計画名 四肢障がい者のための歩行・生活支援システムに関する研究

(1) 実施結果: 四肢障がい者のための移動・生活支援の基礎技術確立と試験・評価・再検討, 脚支援システム, 高機能移乗機器, 二関節ロボット, 歩行ロボットなどの検討, 評価を行った。特に, 高機能移乗機器については, 現在,(株)アグメント と共同で, 製品に向けた検討を行っている。

(2) 資金獲得の結果: 科研費 4 件(基盤(C):4 件).  
(詳細は「業績一覧」に記載)

(3) 特筆すべき事項: 原著論文 3 件, 国際会議論文 6 件, 国内学会発表 17 件, 国際学会発表 1 件,  
解説記事 2 件  
(詳細は「業績一覧」に記載)

3. 計画名 最適・快適環境創出のための計測制御・評価技術の開発

(1) 実施結果: 自然流体エネルギー利用機器の実用化に向けて, 下掛け式クロスフロー水車の性能解析, 集水装置を有する軸流水車の自由表面流れ場における性能特性の評価を行った。また, 自動車交通の安全性向上を実現する運転支援システムに関する研究および鉄道車両の営業線における常時モニタリング技術に関し研究した。

(2) 資金獲得の結果: 助成金等 2 件(総額:320 万円)  
科研費 3 件(基盤(C):1 件, 挑戦的萌芽:1件, 若手(B):1 件).  
(詳細は「業績一覧」に記載)

(3) 特筆すべき事項: 原著論文 9 件, 国際会議論文 2 件, 国内学会発表 34 件, 国際学会発表 6 件,  
解説記事 4 件, 特許 2 件, 受賞 1 件  
(詳細は「業績一覧」に記載)

その他(参考資料, 報告書など)

(注)このページに収まらない場合は, 必要に応じてページを追加する。

## 2. 人材育成

○実施計画(年度当初に、個人の活動以外の、センターとして実施する人材育成に関わる活動計画について、計画名・実施概要・実施予定時期・実施体制を記載してください。)

### 1. 計画名 ライフサポート科学国際シンポジウム(茨城大学国際シンポジウム)

- (1) 実施概要: 本国際シンポジウムは工学部・理工学研究科の研究力・発進力強化の一環として、工学部主催で取り組むもので、本年度は工学部附属ライフサポート科学教育研究センターが中心となって企画・運営する。重点領域研究「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」のテーマ「人工心臓」に関し、著名な海外演者(欧米2名、アジア1名)を招聘し、学生・一般向けの講演を用意する。本学の教員、学生が研究成果を英語発表する。ホテルレイクビュー水戸で増澤が開催する第24回国際ロータリー血液ポンプ学会に合わせて、平成28年9月23日(金)に水戸市内で開設することで、茨城大学の国際的プレゼンスを高めると共に学生の国際化教育の一助とする。
- (2) 実施予定時期: 2016年9月23日
- (3) 実施体制(注:外部の人も含む)
  - ・ 責任者: 増澤徹
  - ・ メンバ: 近藤良, 森善一, 長山和亮, 尾関和秀, 木村孝之, 長 真啓, 芝軒太郎
- (4) 資金獲得計画: 「茨城大学国際シンポジウム予算」として申請中
- (5) 実施における課題: 本年度の学内予算が厳しく、「国際シンポジウム予算」の減額の可能性がある。

### 2. 計画名 サマーカレッジものづくり中核人材育成講座・2016年8月～9月

- (1) 実施概要:
- (2) 実施予定時期: 2016年8月～2016年9月
- (3) 実施体制(注:外部の人も含む)
  - ・ 責任者: 木村孝之
  - ・ メンバ: 松田健一、福岡泰宏、増澤徹、清水年美
- (4) 資金獲得計画: 申請先の予定(必要に応じて記載。複数記載可)
- (5) 実施における課題: 調整が必要な事項など。ない場合は、特になしとする。  
社会連携センターの活動内容が変更になったため、実現可能性が不透明である。

○実施結果(中間報告時と年度末に、実施結果を記載してください。)

### 1. 計画名 ライフサポート科学国際シンポジウム(茨城大学国際シンポジウム)

- (1) 実施結果: 「世界における人工心臓開発の最先端技術」と題して、2016年9月23日に水戸常陽藝文センター7階大ホールにて実施した。海外からオレゴン健康科学大学・Richard Wampler 教授, BiVACOR社CEO・Daniel Timms 博士, 蘇州大学・Chen Chen 教授の3名を招聘し、加えて本センター長・増澤徹教授による基調講演を行った。シンポジウム後半は、教育的観点から本学大学院生らによる最先端の人工心臓技術の英語による研究発表を行った。当日は一般来客者への配慮として同時通訳用のヘッドセットを準備したこともあり、スムーズなシンポジウム運営が成された。
- (2) 資金獲得計画: 工学部主催・茨城大学国際シンポジウム運営費として学内予算を獲得(582,000円)。招聘者謝金, 会場費, シンポジウム準備・運営費として使用。
- (3) 特筆すべき事項: 海外からの招聘講演者の発表を聴講するだけでなく、本学学生の英語での研究発表の場および著名研究者とのディスカッションの場を提供することで、参加学生に対する大きな教育効果があった。

### 2. 計画名 サマーカレッジものづくり中核人材育成講座・2016年8月～9月

社会連携センターの縮小化により、本年度は開講されず。

その他(参考資料、報告書など)

個別の報告書がある場合は、本欄に資料名を記載すると共に、それを添付して提出する。

(注)このページに収まらない場合は、必要に応じてページを追加する。

## 2.研究報告

# 全置換型磁気浮上人工心臓の高度化に関する研究

## Improvement of the total artificial heart with a single maglev motor

國府田 芳彰<sup>1</sup>, 増澤 徹<sup>2</sup>, 長 真啓<sup>2</sup>, Daniel L. Timms<sup>3</sup>

1. 茨城大学大学院, 2. 茨城大学, 3. BiVACOR Inc.

### 1. 緒言

現在, 重症心不全患者に対し補助人工心臓が適用されている。しかし, 左心補助人工心臓装着者の10~20%は右心不全も併発するとの報告があり, 本来の全置換型人工心臓の需要に加え全置換型人工心臓の必要性がさらに高まっている。しかし, 全置換型人工心臓の開発はサイズや左右流量バランス等の課題から滞っている。そこで, 我々は単一の磁気浮上モータで左右心用の二つの遠心ポンプを駆動する小型かつ左右流量バランス制御が可能で低溶血, 低血栓, 高耐久な全置換型磁気浮上人工心臓 IB-Heart (Innovative Bi-ventricular artificial Heart)の開発を行っている。本研究では, 磁気浮上モータ最適化を目指し, 2種の磁気軸受と2種のモータステータの組み合わせを検討した。また本デバイスの課題であった浮上インペラの径方向変位を抑制するために, デバイスへ反発型永久磁石磁気軸受を適用することを検討し, 製作した反発型磁気軸受の性能評価を行った。

### 2. 方法

#### 2.1. IB-Heart の構造

Fig. 1 に IB-Heart の概要図を示す。デバイス中央に設置した磁気浮上モータと左右心用の二つの遠心ポンプから構成する。ステータは左心側が磁気軸受ステータ, 右心側がモータステータであり, それぞれに対面するように浮上用と回転用の二枚のインペラディスクを配置する。それぞれのディスクに羽根を取り付け, ステータ中央を貫く連結ロッドにより接続することで一体型の浮上インペラとする。最大外径78 mm, 全長61 mmと十分小さく, 体内埋め込み可能なサイズである。

Fig. 2 に磁気浮上モータの浮上・回転制御システムの概要図を示す。本システムは磁気浮上モータ, 渦電流変位センサ, ホールセンサ, PIDコントローラ, パワーアンプから成る。浮上インペラの軸方向位置, 及び径方向二軸周りの傾きを渦電流変位センサで, 回転角度・速度をホールセンサで検出する。各センサ出力をもとに PID制御則で制御電流を計算しパワーアンプを介して各コイルに制御電流を流す。IB-Heart では磁気軸受により浮上インペラ軸方向位置及び径方向二軸周り傾きを能動的に制御する。径方向位置は浮上インペラにかかる磁気吸引力により受動的に支持する。

#### 2.2. 磁気浮上モータの最適化

2種類の磁気軸受(小型・低制御力で突極長さ11 mmの物を「11 mm 磁気軸受」, 大型・高制御力で突極長さ16 mmの物を「16 mm 磁気軸受」と呼称する)と2種類のモータステータ(小型・低トルクで外径40 mmの物を「Φ40 モータ」, 大型・高トルクで外径50 mmの物を「Φ50 モータ」と呼称する)を製作し

た。Fig. 3 に各ステータの概要図を示す。各ステータを組み合わせることで最適なステータ組み合わせ決定する。前年度までで11 mm 磁気軸受を用いた組み合わせについては性能測定を終えている。今年度は16 mm 磁気軸受を用いた組み合わせの空气中, ポンプ駆動時の磁気浮上回転性能測定と4組の性能比較を行い, 最適組み合わせを決定した。

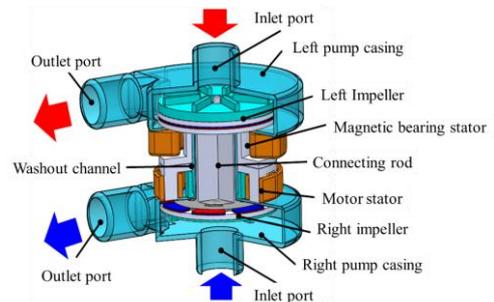


Fig. 1 Structure of IB-Heart

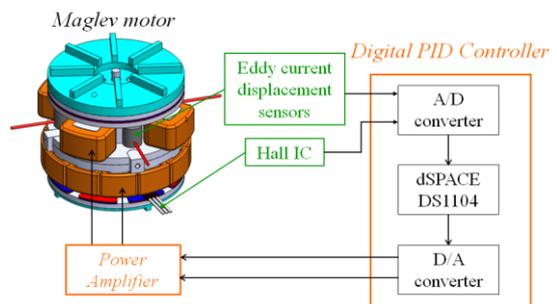


Fig. 2 The control system

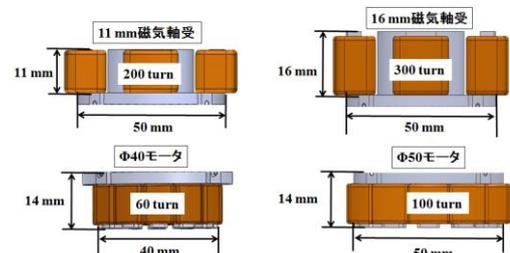


Fig. 3 Outline figures of the stators

#### 2.3. 反発型永久磁石磁気軸受

2.2の結果から, ポンプ駆動時に浮上インペラが受動安定で支持している径方向に変位し, ケーシングに接触することが明らかになった。浮上インペラがケーシングに接近, 接触すると溶血が起こる可能性が高まるため, 浮上インペラの径方向剛性向上が必須となった。そこで反発型永久磁石磁気軸受を用いて浮上インペラ径方向剛性を向上させることを考え, 三次元静磁場解析により高反発力を発生可能な軸受形状を検討, 製作し, デバイ스에組み込んで浮上インペラ三次元姿勢を評価した。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1. 磁気浮上モータの性能評価

Fig. 4 に 16 mm 磁気軸受の磁気吸引力と力係数, Fig. 5 に想定使用条件である 2000 rpm でのポンプ駆動中の磁気浮上回転性能を示す. なお 11 mm 磁気軸受+ $\Phi 50$  モータの組み合わせは空気中での安定性が著しく低かったため除外している. Fig. 3 より間隙 2.0 mm, 励磁電流 0 A において磁気軸受磁気吸引力は 17.0 N, 力係数は 10.7 N/A であった. 11 mm 磁気軸受では同条件で 18.9 N, 7.3 N/A であり, 16 mm 磁気軸受は 11 mm 磁気軸受と同等の磁気吸引力を持ちつつ, 力係数が 47 % 向上した低消費電力な磁気軸受である. Fig. 4 より, 16 mm 磁気軸受を用いた時の磁気浮上回転性能は 2 組とも同程度であり, どちらも許容値以内であったが, 11 mm 磁気軸受+ $\Phi 40$  モータの方がより安定性が高かった. これは, 16 mm 磁気軸受を用いた時は突極増長に伴い連結ロッドが増長し, 浮上インペラにかかる傾きトルクが増加したためと考える. しかしながらどの組み合わせにおいても径方向変位による浮上インペラのケーシングへの接触を確認しており, 径方向剛性の向上が必要であると結論する.

#### 3.2. 反発型永久磁石磁気軸受

三次元静磁場解析を用いて設計した, 2.7 N/mm の高反発力を発生可能な反発型永久磁石磁気軸受構造を Fig. 6 に示す. ステータ側永久磁石を径方向着磁で高さを 3.0 mm, 浮上インペラ側永久磁石を軸方向着磁で高さを 6.0 mm とする. 浮上インペラ側永久磁石の磁極に合わせてステータ側永久磁石の着磁方向は, 上部磁石は内側を N 極, 下部磁石は内側を S 極とする. またエッジ効果を考慮してステータ側永久磁石と浮上インペラ側永久磁石が 1.0 mm 重なるように配置した. この磁気軸受をデバイスへ組み込み, ポンプ駆動した時の磁気浮上回転性能を Fig. 7, 8 に示す. 試験中にケーシングが壊れたことで 1500 rpm までしか測定できなかったため, その結果を基に性能評価を行う.

Fig. 6 より測定値は全て許容値以内であり, 非接触で安定した磁気浮上回転を確認した. これより考案, 製作した反発型永久磁石磁気軸受は十分な径方向剛性を持っていると結論する. 今後はポリユート形状をダブルポリユートに変更することでさらに径方向の変位を抑制することができるかと考える.

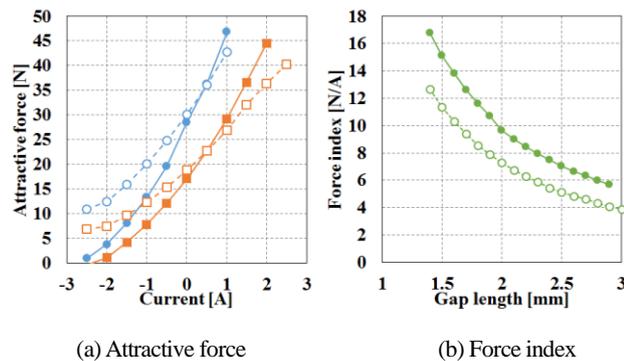
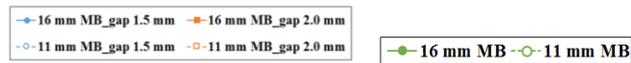


Fig. 4 Attractive force

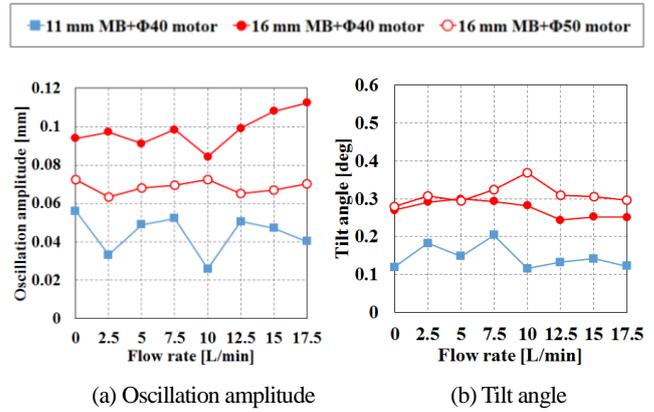


Fig. 5 Maglev performance (2000 rpm)

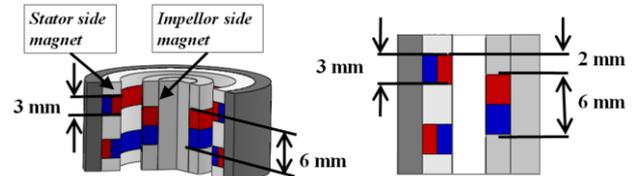


Fig. 6 Passive magnetic bearing

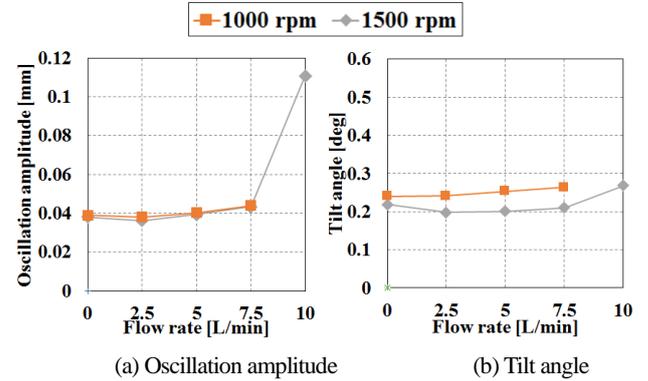


Fig. 7 Maglev performance (passive magnetic bearing)

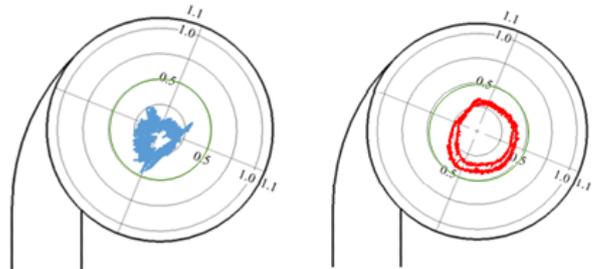


Fig. 8 Radial displacement (1500 rpm, 5 L/min)

### 4. 結言

2 種の磁気軸受と 2 種のモータステータの組み合わせを検討し, IB-Heart 試作機の磁気浮上モータ最適化を行った. 16 mm 磁気軸受を用いた時の軸方向振動振幅, 傾き角度は許容値以内であるが, 11 mm 磁気軸受+ $\Phi 40$  モータの組み合わせが最も安定性が高く, 最適な組み合わせであると考えられる. また径方向剛性向上のために反発型永久磁石磁気軸受を設計, 製作してデバイスに用いたところ径方向変位が抑えられ, 非接触な磁気浮上回転が可能となった.

# 小児用ダブルステータ型磁気浮上人工心臓の研究開発

## Miniaturization of 5-DOF Control Double Stator Maglev Motor for Pediatric Ventricular Assist Device.

齋藤 拓也<sup>1</sup>, 増澤 徹<sup>2</sup>, 長 真啓<sup>2</sup>, 巽 英介<sup>3</sup>

1. 茨城大学大学院, 2. 茨城大学, 3. 国立循環器病研究センター

### 1. 緒言

重症心不全患者への治療方法として、心臓移植が行われている。しかし、近年では、心不全患者の増加に対して、臓器提供者不足という課題がある。課題解決のために心臓移植までの橋渡しとして、補助人工心臓を用いた機械的循環補助が臨床応用されている。しかし、既存の補助人工心臓は成人患者を対象としており、小児患者を対象とした補助人工心臓が存在しない。小児用補助人工心臓には小型かつ高耐久、優れた血液適合性等の高い要求が求められている。これらの小児用人工心臓特有の要求に対して、人工心臓のアクチュエータに磁気浮上モータが注目されている。先行研究では、これまでに外径 28 mm、高さ 42 mm、体積 30 cc の小児用磁気浮上型人工心臓第一試作機が製作され、小児用人工心臓として十分なポンプ性能が確認された。しかし、小児の体内に埋め込むためには更なる小型化が必要である。本研究では、小児の体内に埋め込み可能な小児用人工心臓の実現を目指し、ダブルステータ型磁気浮上モータおよび専用遠心血液ポンプ小型化を行った。

### 2. 実験方法

#### 2-1. 小児用磁気浮上人工心臓第の概要

Fig. 1 に小児用磁気浮上人工心臓の概要を示す。小児用磁気浮上人工心臓は上部ステータ、下部ステータ、浮上インペラ、ポンプケーシングから構成される。浮上インペラを同一形状のモータステータで上下から挟み込むダブルステータ構造とすることで高トルク化を図る。モータステータには軸方向位置( $Z$ )・回転( $\omega z$ )・径方向位置( $X \cdot Y$ )・傾き( $\theta x \cdot \theta y$ )制御用磁界を発生させる集中巻きコイルが巻かれている。浮上インペラの両表面には 4 極の永久磁石を配置している。

#### 2-2. 小児用血液ポンプの小型化

小児に埋め込み可能な人工心臓を製作するために、遠心血液ポンプの再設計を行った。小児用人工心臓ポンプの目標性能として、揚程 100 mmHg に対して、補助流量 1.5 L/min を送出可能であることとした。浮上インペラの外径を 23.6 mm、高さを 11.4 mm、目玉径を 4 mm とした。ポンプのクリアランスは軸方向に  $\pm 0.3$  mm、径方向に  $\pm 0.5$  mm に設計した。また、本ポンプは浮上インペラにかかる径方向流体力を抑制するためにダブルボリュート形状を採用した。設計したポンプの圧流量特性とポンプ送液中に浮上インペラに働く流体力を推定するために数値流体解析を行った。解析条件を Table 1 に示す。本解析では、流入口の圧力を大気圧とし、流出口の流量を 0.5 L/min から 2.5 L/min となるように境界条件を設定した。また、

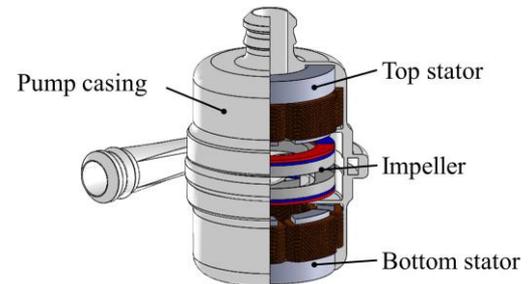


Fig. 1 Pediatric ventricular assist device

Table 1 CFD analysis condition

| Turbulence model         | Shear Stress Transport   |
|--------------------------|--|
| Working fluid            | Water (25 °C)<br>Density $\rho$ : $0.998 \times 10^3$ kg/m <sup>3</sup><br>Viscosity $\mu$ : $0.887 \times 10^{-3}$ Pa · s |
| Pressure of inlet [mmHg] | 0 mmHg (Atmospheric pressure)  |
| Flow rate [L/min]        | 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5<br>(Continuous flow)   |
| Rotating speed [rpm]     | 4000, 4500, 5000   |

模擬循環閉回路で行う実験と比較するために作動流体を水とした。

#### 2-2. 小児用磁気浮上モータの小型化

小児用人工心臓の小型化のために、磁気支持力の理論計算および有限要素法三次元磁場解析を用いて 5 軸制御磁気浮上モータを再設計した。設計条件として、①ロータ自重の 3 倍の荷重を軸方向と径方向で磁気支持可能であること、②片側ステータにおいて必要回転トルク 2.0 mNm 以上発生可能であることとした。製作したモータは、外径を 28 mm から 22 mm、高さを 15.5 mm から 11.3 mm まで小型化した。モータ外径を小さくすると 1 突極当たりの磁路断面積が減少し、定格電流印加時に磁気飽和が生じるため、突極数を 12 本から 6 本に変更した。突極数の変更に伴い、永久磁石極数を 8 極から 4 極へと変更した。製作した磁気浮上モータを用いて、磁気支持力と回転トルクの測定を行った。測定実験ではステータとロータの間隙を 1.5 mm とした。

#### 2-3. 小児用磁気浮上人工心臓第二試作機の性能評価

製作した小児用磁気浮上人工心臓第二試作機を Fig. 2 に示す。流入出口径は 6 mm、幅は 42 × 42 mm、高さ 34 mm である。製作した小児用磁気浮上人工心臓第二試作機を模擬循環閉回路へ接続して、ポンプの駆出性能と 5 軸制御磁気浮上モータの磁気

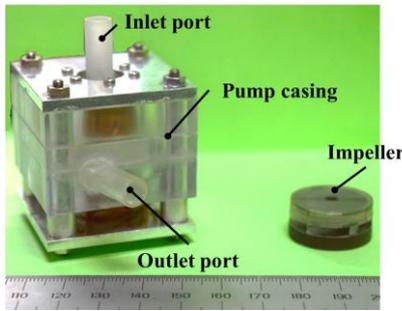


Fig. 2 Miniaturized second prototype pediatric VAD

支持性能を評価した。流量は0.5 L/min 間隔で変化させ、回転数は2000 rpm から5000 rpm まで、500 rpm 間隔で変化させた。

### 3. 結果および考察

#### 3-1. 小児用血液ポンプの数値流体解析結果

設計した遠心血液ポンプの揚程と流量の解析結果を Fig. 3 に示す。浮上インペラの回転数を4000 rpm から5000 rpm へ変化させることでポンプ揚程 100 mmHg に対して、送出流量を0.5 L/min から2.5 L/min まで調節可能であることが推定できた。また、目標性能である揚程 100 mmHg、流量 1.5 L/min のときの流体力は軸方向において0.45 N、径方向において0.06 N、負荷トルクは2.4 mNm と推定できた。

#### 3-2. 5軸制御磁気浮上モータの基礎特性

製作した5軸制御磁気浮上モータのシングルステータは、1 A の励磁電流に対して、軸方向吸引力が1.0 N、回転トルクが4.4 mNm、径方向吸引力が0.16 N、傾き復元トルクが4.7 mNm となった。軸方向吸引力は励磁電流0.3 Aにおいて、径方向吸引力は励磁電流1.7 Aにおいて目標性能①の0.31 N(ロータ質量12 gより算出)を達成した。回転トルクは励磁電流0.4 Aにおいて目標性能②の2.0 mNmを達成した。また本モータはダブルステータのため、発生磁気支持力と回転トルクは2倍となり、推定した流体力および負荷トルクに対して十分大きくなるが示された。

#### 3-2. 小児用磁気浮上人工心臓第二試作機のHQ特性および磁気支持特性

小児用磁気浮上人工心臓第二試作機のポンプ揚程と送出流量の測定結果を Fig. 3 に示す。本人工心臓は回転数4000 rpm から5000 rpm において、ポンプ揚程 100 mmHg に対して流量を0.1 L/min から2.0 L/min まで調節可能であった。小型化した遠心血液ポンプは小児用人工心臓として十分な性能を有していた。ポンプ送液中における浮上インペラの振動振幅と最大傾き角度を Fig. 4 に示す。浮上インペラの最大振動振幅は軸方向において0.08 mm、径方向において0.38 mm 以下でありポンプのクリアランスに対して十分に小さかった。ポンプの揚程、流量が変化しても浮上インペラの振動振幅がポンプのクリアランス以下であることから、磁気浮上モータの発生磁気支持力でポンプ内流体力外乱を抑制できたと考える。一方、最大傾き角度は2.7 deg であり、ポンプケーシングと接触していた。本点はワイドギャップを維持しつつ磁気浮上モータを小型化したことで、発生傾き

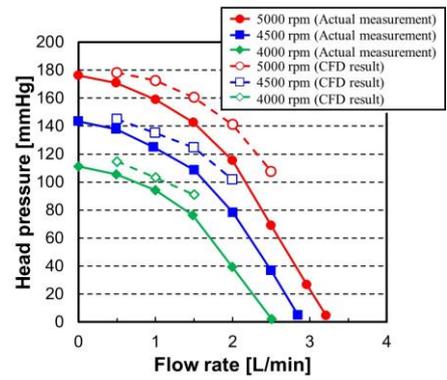


Fig. 3 HQ characteristics

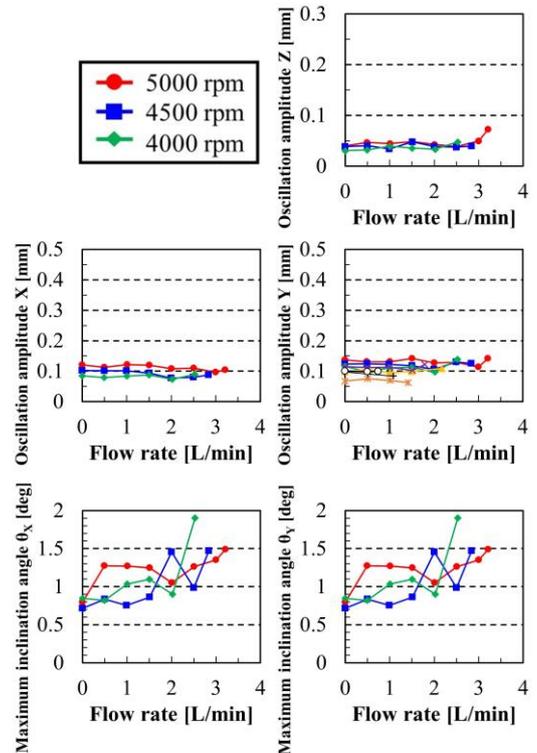


Fig. 4 Oscillation amplitude and maximum inclination angle

復元トルクが不足して浮上インペラ姿勢が不安定になったと考える。本試験機は実験装置の取り回しや製作の簡便さを考慮してアクリル樹脂でポンプケーシングを製作しているため、ケーシング厚さが0.6 mm と厚く、エアギャップ長が広い設計になっている。今後はチタン等の金属製ケーシングを採用して隔壁厚さを減らすことで、モータエアギャップ長を短縮させ、更なる磁気支持性能の向上を図り、浮上インペラの姿勢を安定させる。

### 4. 結言

5軸制御磁気浮上モータと遠心血液ポンプを再設計することで、小児用磁気浮上型人工心臓を体積18 cc まで小型化することに成功した。遠心血液ポンプの評価を行い、乳幼児から小児患者の成長に応じて循環補助可能なポンプ性能を確認した。今後は5軸制御磁気浮上モータの改良を行い、浮上インペラの姿勢を安定させる。

# 磁気浮上カスケード血液ポンプの高度化に関する研究

## Improvement of the magnetic levitated cascade blood pump

渡辺 保昭<sup>1</sup>, 増澤 徹<sup>2</sup>, 村上倫子<sup>1</sup>, 小沼 弘幸<sup>3</sup>, 西村 隆<sup>4</sup>, 許 俊鋭<sup>4,5</sup>

1. 茨城大学大学院, 2. 茨城大学, 3. 茨城工業高等専門学校, 4. 東京都健康長寿医療センター, 5. 東京大学

### 1. 緒言

現在, 重症心不全患者の救済法の一つとして, 補助人工心臓の適用が行われている。これに対し, 将来, 重症心不全に陥る可能性の高い軽~中程度の心不全患者の治療は薬物治療が主となっている。我々は軽~中程度の心不全患者を対象に, 心不全の重症化予防のために早期に補助人工心臓を適用するという補助人工心臓の新しい使用方法を提案している。軽~中程度の心不全患者を対象とするため経済性, 簡便性に優れた補助人工心臓が求められる。そこで, 我々は薄小型の人工心臓を胸部筋層下に埋め込み, 定期的な交換が可能である補助人工心臓の研究開発を行っている。現在までに開発した本デバイスは, 目標性能である揚程 100 mmHg, 流量 2 L/min を回転数 2000 rpm で達成可能であることを確認している。今回, 磁気支持性能向上のため, 新たにモータ, ポンプの改良を行い, 磁気浮上血液ポンプの性能評価を行った。また, 補助人工心臓は体内に埋め込まれた際, 人体の姿勢に応じてポンプに働く重力軸が変化する。本デバイスは径方向位置を能動的に制御し, 軸方向位置を受動安定性で支持しており, インペラの重力が制御軸もしくは受動安定軸に働き, どちらにかかっても安定した磁気浮上回転が可能であることが求められる。そこで, 非制御軸である浮上インペラの軸方向位置をレーザ変位計で測定し, ポンプ設置方向変更試験を行い, インペラの変動を計測したので報告する。

### 2. 方法

#### 2-1. 薄小型磁気浮上補助人工心臓

Fig.1 に本磁気浮上補助人工心臓外観と概略図を示す。本人工心臓は磁気浮上技術を適用することで高耐久, 低溶血, 抗血栓性に優れた人工心臓となっている。性能目標値は軽~中程度の心不全患者の心機能の部分補助することから, 揚程 100 mmHg 時, 流量 2 L/min とした。製作した試作機は, 外径 70 mm, 軸方向厚み 25.5 mm の大きさであり胸部筋層下に十分埋込可能な大きさである。インペラ外周には径方向位置検出のため, 円筒型のセンサターゲットを設けた。浮上中心における浮上インペラの径方向可動範囲は $\pm 250 \mu\text{m}$ , 軸方向可動範囲は $\pm 400 \mu\text{m}$ , 傾きの可動域は $\pm 1.2$  度である。

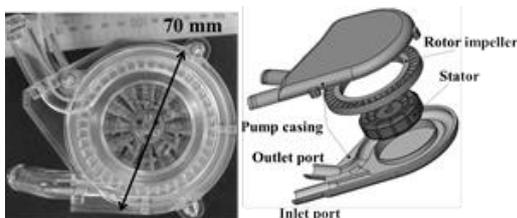


Fig. 1 Maglev cascade pump

#### 2-2. セルフベアリングモータ

血液ポンプの駆動部にはラジアル型セルフベアリングモータを採用した。Fig.2 にセルフベアリングモータの概略を示す。本モータはステータの外側にロータを配置したアウトロータ型の構造とした。ロータには永久磁石 8 極を設置した。ステータは 12 突極とし, 3 相 8 極の回転制御用コイルと 2 相 6 極の磁気浮上制御用コイルを別々に配置することにより, ロータの回転と径方向 2 軸位置の磁気支持を独立に制御する。Fig.3 に本磁気浮上モータの制御軸, 受動安定軸を示す。軸方向位置 (Z) および径方向軸周りの傾き ( $\theta_X$ ,  $\theta_Y$ ) は薄型ロータの永久磁石の磁気吸引力により受動安定で支持している

#### 2-3. カスケードポンプ

本磁気浮上血液ポンプにはカスケードポンプを採用した。カスケードポンプを採用することで, ポンプ流入口, 流出口を同一平面状に配置でき, ポンプを薄型構造に設計することが可能である。また, 流出口と流入口の間に流路仕切り部が構成されており, 流出口から流入口への流体への逆流を防いでいる。本磁気浮上血液ポンプは心臓へ接続しやすくするため, 流入口が心臓方向に 30 度曲がっている構造である。

#### 2-4. モータの性能評価

磁気支持性能向上のため, モータ外径を 30 mm から 35 mm に拡大した。また径方向血液ギャップを確保するため, 0.8 mm から 1.3 mm に広げた。新たに開発した  $\Phi 35$  モータの性能評価のため径方向吸引力測定試験, トルク測定試験を行った。

#### 2-5. ポンプ設置方向変更試験

開発した磁気浮上血液ポンプのポンプ性能評価ならびに重力軸変更時における浮上インペラの変動を計測した。水平に配置しているポンプを縦向きに配置し, 重力が制御軸である X 軸にかかるよう配置した。本実験はロータインペラ回転数を 800 rpm から 2200 rpm まで 200 rpm 刻みで変化させ, 各回転数において絞り抵抗を変化させることで流量を 0 L/min (締切) から最大流量 (開放) まで 1L/min 毎に変化させた。

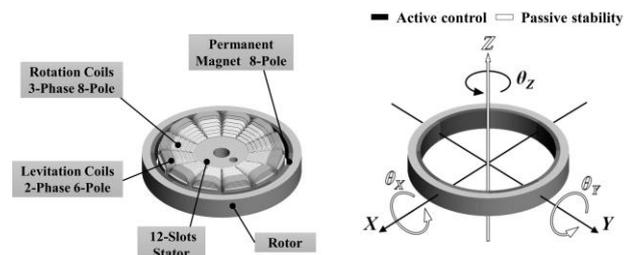


Fig. 2 Radial type Self-bearing motor

Fig. 3 Controlled degree of freedom of the levitated impeller

### 3. 実験結果および考察

Fig.4 に径方向吸引力測定結果を示す。径方向吸引力の最大値は、励磁電流 2.5 A 時 4.9 N であり、径方向制御可能域は  $\pm 0.4$  mm であった。前モータの径方向吸引力の最大値は 4.5 N、径方向制御可能域は  $\pm 0.25$  mm であったため制御域の増加、磁気支持性能の向上を確認した。これはモータ径拡大により磁気浮上コイル巻き数が 38 turn から 47 turn に増加したため吸引力が増加したものと推察する。Fig.5 には各回転数におけるトルクとモータ効率の関係を示す。全ての回転数において 30 mNm のトルクが発生可能であり、最高効率は前モータでは 61%、拡大モータでは 66% であり 5% 向上した。これもモータコイル巻き数が 30 turn から 55 turn に増加したによりモータ効率が上昇したものと推察する。Fig.6 に製作した磁気浮上血液ポンプの HQ 特性を示す。本補助人工心臓の性能目標値である揚程 100 mmHg 時、流量 2 L/min は、回転数 1800 rpm で達成した。新ポンプはポンプ外径が拡大し、流路長が増加したためポンプ性能が向上したと推察する。Fig.7, Fig.8 にポンプ設置方向変更試験時における制御軸である径方向最大振動振幅、非制御軸である軸方向最大振動振幅を示す。ポンプにかかる重力が制御軸、非制御軸どちらの条件においても径方向最大振動振幅は 40  $\mu$ m 以下であり電磁石によって十分に支持されていることがわかる。ケーシングとの径方向クリアランスは  $\pm 250$   $\mu$ m であり非接触での浮上回転を確認した。また、軸方向最大振動振幅は 250  $\mu$ m であった。軸方向クリアランスは  $\pm 400$   $\mu$ m であることから非接触で浮上回転し、永久磁石による受動安定性で支持されていることを確認した。以上から本血液ポンプはポンプ姿勢を変更しても十分に電磁石により支持され非接触での浮上回転が可能であることを確認した。

### 4. 結言

軽～中程度心不全患者を対象とした薄小型磁気浮上補助人工心臓の開発を行うにあたり、磁気支持性能向上のためモータ径を拡大し、解剖学的見地よりポンプを改良した。拡大モータは、磁気吸引力、回転トルク共に前モータに比べ性能が向上した。開発した血液ポンプは、1800rpm において本人工心臓の性能目標値を達成しポンプ性能の向上を確認した。また、ポンプ設置方向変更試験を行い、ポンプにかかる重力軸が制御軸、非制御軸どちらにおいても非接触での浮上回転を実現した。

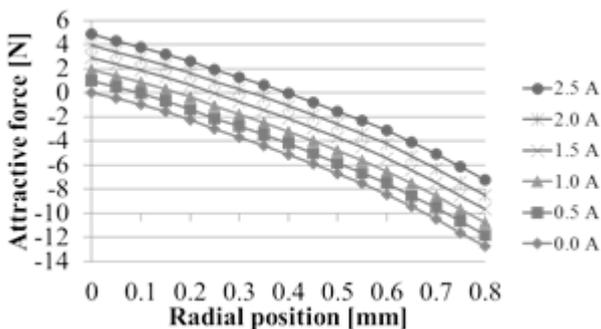


Fig.4 Radial magnetic attractive force

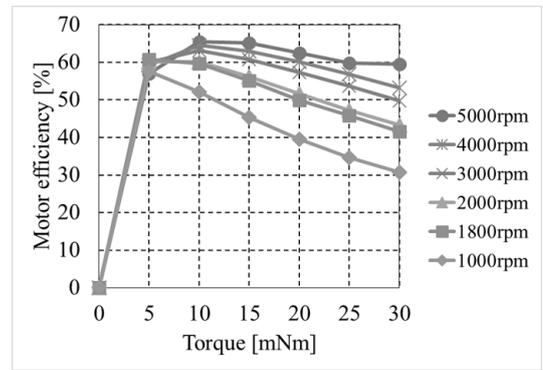


Fig.5 Motor efficiency - torque

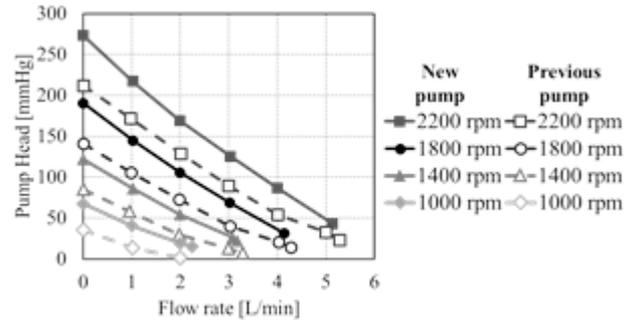
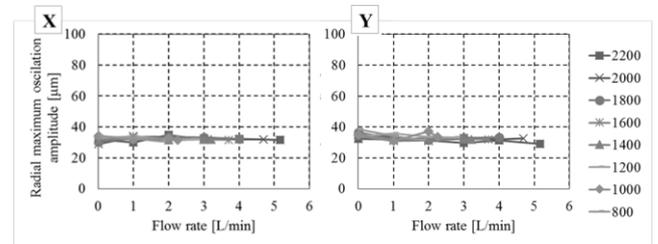
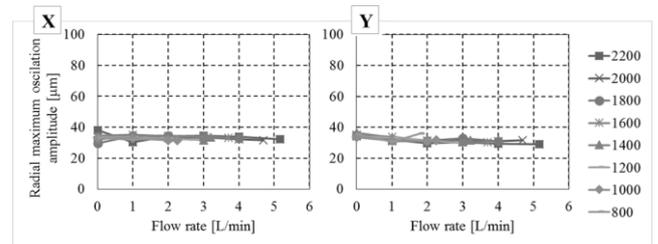


Fig.6 HQ-characteristic

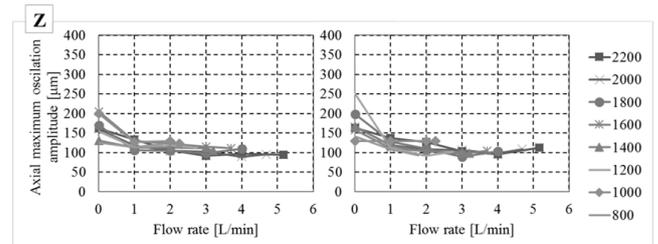


(a) Horizontal setting



(b) Vertical setting

Fig.7 Radial maximum oscillation amplitude



(a) Horizontal setting

(b) Vertical setting

Fig.8 Axial maximum oscillation amplitude

## 人工心臓材料表面性状と血液適合性に関する研究

Relationship between surface condition and blood compatibility of artificial heart material.

中嶋 翔太<sup>1</sup>, 丸山 修<sup>2</sup>, 西田 正浩<sup>2</sup>, 足立 吉数<sup>3</sup>, 長 真啓<sup>3</sup>, 増澤 徹<sup>3</sup>

1. 茨城大学大学院, 2. 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 3. 茨城大学

Shota NAKAJIMA<sup>1</sup>, Osamu MARUYAMA<sup>2</sup>, Masahiro NISHIDA<sup>2</sup>, Yoshikazu ADACHI<sup>3</sup>,

Masahiro OSA<sup>3</sup>, and Toru MASUZAWA<sup>3</sup>

1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 3. Ibaraki University

### 1. 緒言

体内埋め込み型人工心臓や体外循環ポンプには、遠心血液ポンプが広く使用されている。これらの遠心血液ポンプを開発するにあたって、血球破壊（溶血）特性を調べることは重要である。溶血を引き起こす原因として、高せん断応力、発熱および摺動などが挙げられるが、血液接触面の表面粗さも溶血の要因であることがわかっている。特に溶血を引き起こす表面粗さの設定は、遠心血液ポンプを開発する上で血液接触材料表面加工の有益な目標値を示すことができる。これまでの研究により、回転型せん断負荷装置を使用した  $3,750 [s^{-1}]$  における層流せん断流れ場においては、表面粗さの大きさが  $Ra=0.1 [\mu m]$  から  $Ra=0.8 [\mu m]$  に増加すると溶血量は、2倍以上に上昇することがわかっている。この溶血量の増加の原因として、表面粗さに基づく高せん断応力の発生が考えられた。しかし、この高せん断応力は、回転型せん断負荷装置では観測できておらず、また、数値流体力学解析においては、このせん断応力は表面粗さ付近に限定されており、さらに溶血量が2倍以上の増加に対し、せん断応力増加は僅か数%にとどまっていることが報告されている。これらのことから、表面粗さがどのようなメカニズムで溶血を発生させるのか、また表面粗さに基づくせん断応力増加がどの程度関与するのかを詳細に調べる必要がある。そこで本研究では、表面粗さに起因する溶血の原因を調べるため、表面粗さの大きさと形状が溶血量およびせん断応力の増加に与える影響を調べた。

### 2. 実験方法

#### 2-1 試験血液

実験に使用する血液は、3.2% [w/v] クエン酸ナトリウム水溶液（和光純薬工業株式会社，大阪）で抗凝固したウシ屠殺血である。このとき、クエン酸ナトリウムの最終濃度は0.32%とした。ウシ屠殺血は茨城食肉公社にて屠殺直後のウシから入手した。このウシ屠殺血を自己血漿で希釈し、ヘマトクリット値が30%となるように調整し、これを試験血液とした。

#### 2-2 せん断負荷装置

本研究で使用した回転せん断負荷装置は Fig.1 に示す。装置外観は Fig.1(a) に示す通りであり、Fig.1(b) はせん断負荷部の概要図である。本機は株式会社エルクエスト製 Rheologia A-300 のせん断負荷部を改良した、内筒及び外筒からなる二重円筒型のレオメータである。外筒が最大  $600 [rpm]$  で回転することで、内筒と外筒の隙間に充填された血液に血液にせん断応力が負荷される。血液にかかるせん断応力は外筒回転によって内筒に掛かるトルクと比例関係にあるので、トルク値をせん断応力の指標として計測した。人工材料である内筒は

ステンレス製 (SUS316)、外筒は硬質ガラス製である。シリンダー部の内筒と外筒の側面隙間は  $0.45 \text{ mm}$ 、下面隙間  $0.3 \text{ mm}$  である。また、内筒底面には  $1^\circ 25'$  のテーパがかかっており、それを円錐頂点から軸方向に  $0.3 \text{ mm}$  カットされている。

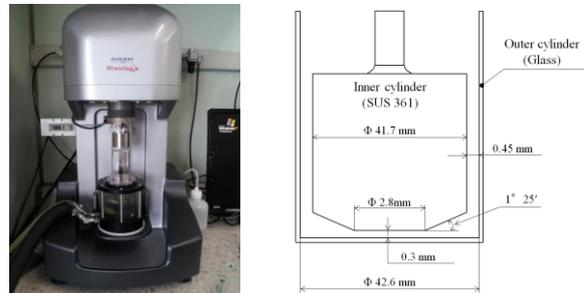


Fig.1(a) Photograph of Rheologia A300 (b) schematic diagram of the shear-loading portion

#### 2-3 使用内筒と実験条件

内筒は表面粗さを付加した加工痕を持つ6種類を用意した。それらを Fig.2、Fig.3 に示す。Fig.2 の内筒は高せん断用内筒であるため、内筒外径が  $42.0 [\text{mm}]$  となっており、その最高せん断速度は外筒回数  $600 [rpm]$  において  $4,320 [s^{-1}]$  である。Fig.2(a) の内筒は無加工内筒であり、その算術表面粗さ  $Ra$  は  $0.15 [\mu m]$  である。Fig.2(b) の内筒は加工内筒で、せん断負荷部である内筒側面にサンドブラスタで  $Ra = 0.89 [\mu m]$  の粗さを負荷している。Fig.2(c) の内筒は加工内筒で、せん断負荷部である内筒側面に、サンドブラスタで  $Ra = 1.13 [\mu m]$  の粗さを負荷している。Fig.3 の内筒は低せん断用内筒であるため、内筒外径が  $41.7 [\text{mm}]$  となっており、その最高せん断速度は外筒回数  $600 [rpm]$  において  $2,880 [s^{-1}]$  である。Fig.3(a) の内筒は無加工内筒である。Fig.3(b) の内筒は横溝加工内筒で、せん断負荷部である内筒側面に対し、その面積の10%を円周方向に溝加工を施してある。Fig.3(c) の内筒は縦溝加工内筒で、せん断負荷部である内筒側面に対し、その面積の10%を垂直方向に溝加工を施してある。Fig.3 の内筒の表面粗さ  $Ra$  は Table.1 にまとめた。

今回の研究では2条件による実験を行った。一つ目は高せん断用内筒を使用して表面粗さの大きさに対する溶血量とトルク値を測定した。血液にかかるせん断速度は  $4,320 [s^{-1}]$ 、暴露時間  $1,800 [\text{sec}]$  とした。二つ目は低せん断用内筒を使用して表面粗さの形状に対する溶血量とトルク値を測定した。血液にかかるせん断速度は  $2,880 [s^{-1}]$ 、暴露時間  $1,800 [\text{sec}]$  とした。

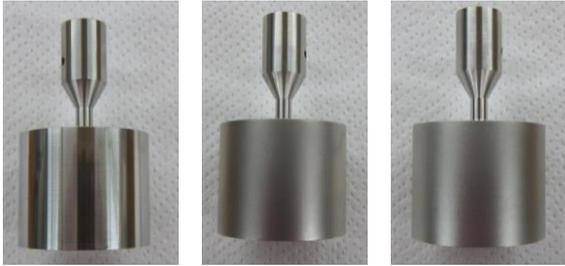


Fig.2 (a) Unprocessed inner cylinder (Ra=0.15[μm]) (b) Processed inner cylinder (Ra=0.89[μm]) (c) Processed inner cylinder (Ra=1.13[μm])



Fig.3 (a) Non-groove inner cylinder (b) Transverse groove inner cylinder (c) Longitudinal groove inner cylinder

Table.1 Inner cylinder surface roughness

|                 |                    | Non-groove inner cylinder | Transverse groove inner cylinder | Longitudinal groove inner cylinder |
|-----------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Groove area     | Circumferential Ra |                           | 1.3 [μm]                         | 5.6 [μm]                           |
|                 | Axial Ra           |                           | 8.8 [μm]                         | 1.7 [μm]                           |
| Non-groove area | Circumferential Ra | 0.41 [μm]                 | 0.07 [μm]                        | 0.039 [μm]                         |
|                 | Axial Ra           | 1.12 [μm]                 | 0.052 [μm]                       | 0.059 [μm]                         |

### 3. 実験結果

#### 3-1 表面粗さの大きさと溶血への影響

高せん断内筒で行った、表面粗さの大きさによる溶血実験の結果を Fig.4 に示す。本実験の試行回数は 5 回である。まず、各内筒の平均溶血量を見ると、Ra=1.13[μm]の加工内筒の溶血量が最も大きく、無加工内筒と比べると、約 3 倍であり、有意に増加した。一方、平均トルク値を見ると、Ra=0.89[μm]の加工内筒のトルク値が減少したが、それ以外では有意差が見られなかった。

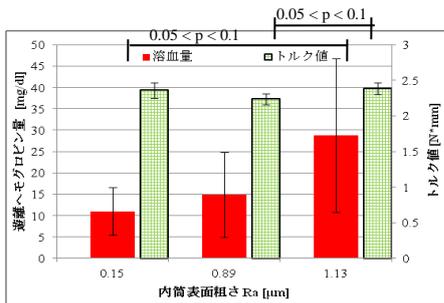


Fig.4 Surface roughness hemolysis experimental result by bovine slaughter blood.

#### 3-2 表面粗さの形状と溶血への影響

低せん断内筒で行った表面粗さの形状による溶血実験の結果を Fig.5 に示す。本実験の試行回数は 9 回である。まず、各内筒の平均溶血量を見ると、無加工内筒による溶血量が最も多く、縦溝加工内筒と比べると、約 1.5 倍であったが有意差は見られなかった。一方、平均トルク値を見ると、縦溝加工内筒が最大であり、無加工内筒と比較すると有意差があった。また、横溝加工内筒と縦溝加工内筒とのトルク値の

間には有意差は無かったが流れに直交する形状の縦溝加工内筒でせん断応力が僅かに増加することが分かった。

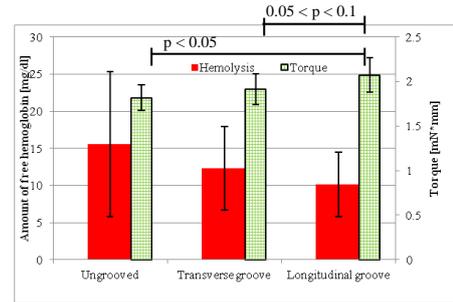


Fig.5 Geometric surface roughness hemolysis experimental result by bovine slaughter blood.

### 4. 考察

#### 4-1 表面粗さによるせん断応力上昇と溶血について

先行研究では、表面粗さによって引き起こされる溶血は、表面粗さに起因するせん断応力の増加量が溶血量増加の原因であると仮説が立てられた。しかしながら、その後の研究で表面粗さに起因するせん断応力の上昇値は極僅かなものであり、表面粗さによる溶血の主とした原因であるものではなかった。また、数値流体解析でも同様に、せん断応力の上昇は極僅かであるとしている。Fig.4 の表面粗さの大きさに基づく実験では、無加工内筒と比べ Ra=1.13[μm]の加工内筒の溶血量は約 3 倍多い結果となった。一方、両内筒間の血液にかかるせん断応力、すなわちトルク値に違いは無かった。このことから、表面粗さ Ra の増加による溶血量の増加に対して、せん断応力の増加は確認できず、表面粗さに起因する溶血量の増加は、せん断負荷部全体のせん断応力上昇によって引き起こされたものではないことが考えられた。

#### 4-2 表面粗さ形状の異方性について

Fig.5 の結果から、無加工内筒の溶血量が最も多かった。これは、無加工内筒の Ra の値が最も溶血へ影響を与えたということである。表面粗さによって引き起こされる溶血には血液接触面の平均 Ra が 0.6~0.8 [μm]の間で溶血量が急増する閾値があることが分かっている。今回の実験で使用した無加工内筒の表面粗さ形状は、内筒側面の円周方向に対して規則的に溝が存在していた。これは内筒製作時の旋盤加工痕と考えられる。そのため、表面粗さを内筒側面に対して垂直方向に計ると Ra=1.12 [μm]、円周方向に計ると Ra=0.41 [μm]であった。従って、表面粗さによって引き起こされる溶血は、異方的表面粗さの影響を受けず、閾値以上の表面粗さが存在することによって引き起こされるということである。つまり、円周方向でも垂直方向でも、Ra=0.8 [μm]以上の表面粗さが存在することが重要ということであり、表面粗さ形状の異方性に対し溶血は影響を受けないということが示唆された。

### 5. 結論

今回の研究結果から、せん断流れ場において、Ra が 0.15[μm]から 1.13[μm]まで増加すると溶血量は増加するが、表面粗さの増加に基づくせん断負荷部内全体のせん断応力増加は確認されなかった。また、表面粗さ形状の異方性については、粗さ溝に直交するせん断流れではわずかにせん断応力が増加したが溶血量には影響を与えず、Ra の大きさおよびその面積が溶血に与える直接的要因であることがわかった。

表面粗さに基づく溶血発生メカニズムに関しては、表面粗さの絶対的数値が重要であることから、今後せん断応力の関与を考慮する必要があるが、赤血球と粗さ表面との直接的相互作用が重要であると考えている。

## 血管壁内力学環境を考慮したコラーゲン微細溝基質による 配列化細胞培養系の確立

Development of smooth muscle cell culture system on the basis of the cell tissue alignment in blood  
vessels walls using a novel micro-grooved collagen substrate

長山和亮, 内田敬一

茨城大学大学院理工学研究科知能システム工学専攻

Kazuaki NAGAYAMA and Keiichi UCHIDA

Micro-Nano Biomechanics Laboratory, Department of Intelligent Systems Engineering, Ibaraki University

### 1. 概要

血管平滑筋細胞は血管中膜に存在し、血管径に沿って配向している、この細胞は力に応答する代表的な細胞であり、高血圧時には肥大して血管壁厚を増大させ、血管内の応力集中を妨げるような反応を見せる。一方で過剰な力に曝されると、細胞の特性に変化が生じ動脈硬化などの病気を引き起こす可能性がある。このような力学環境による血管細胞の機能変化を理解することは、人工臓器と生体を繋ぐ人工組織を構築する上でも重要な観点である。そこで本研究では、力学環境の変化に伴う血管の疾患発生メカニズムの解明を目指すとともに、血管細胞の健全な機能を維持しながら人工的に培養できる系の構築を目指した。具体的には、微細な溝を有するコラーゲン基質を作成するための独自の技術を編みだし、実際の生体組織のように血管平滑筋細胞を配列化させながら培養する技術を確立した。そして、このような配列化細胞組織を構築することで、細胞の収縮機能が向上できるかどうか調べた。

### 2. はじめに

血管や骨などの組織は、生体内に生じる力の変化を感知して組織構造を変化させることが知られている。血管壁を構成している平滑筋細胞は力に応答する代表的な細胞であり、高血圧に曝されると壁厚を増大させ、血管内の応力集中を妨げるような反応を見せる。一方で過剰な力に曝されると、細胞の生化学的・力学的特性に変化が生じ動脈硬化などの疾患発生に繋がるとも考えられている<sup>(1)</sup>。このような力に対する生体応答の原理を理解することは、生体医工学分野の最重要課題の一つとされており、当研究室では、特に血管平滑筋細胞の細胞骨格や核の力学特性や、力や変形に対する細胞応答を詳しく調べてきた。その結果、細胞内に存在するアクチン細胞骨格から、DNA を保存している核へ力が直接伝わっていることを示す結果が得られてきている<sup>(2)</sup>。

しかしこれまでの研究では、主にディッシュ上などの 2

次元平面培養環境で長期培養された血管平滑筋細胞が対象とされてきた。平滑筋細胞がこのような培養環境に曝されると、収縮能が低下し、増殖・運動能の高い合成型細胞へ変化する。一方で、実際の血管組織内の平滑筋細胞は収縮型細胞と呼ばれ、3 次元的に基質に囲まれた状態で存在しており、あまり増殖することなく血管径に沿って配向し、その高い収縮性により血管径を的確に調節している。さらに、血管の拍動により常に引張刺激を受けている。このような力学環境の違いが、細胞内の細胞骨格と核との機械的な結合状態にも影響を与える可能性が考えられる。また、細胞骨格の核の結合の変化が、細胞機能に密接に関係している可能性もあるが、現時点では全く明らかとなっていない。

そこで本研究では、まず、実際の血管組織構造を考慮し、細胞を一様に配向させ、さらに繰返引張ひずみを自由に負荷・調整できる培養系の確立を目指した。そして、この培養系を使用して、細胞内のアクチン細胞骨格と核の繋がりの変化と、血管平滑筋細胞の増殖性・収縮性の変化との関わりを明らかにすることを目的とした。そのため今回は、生体親和性の高いコラーゲンによる微細な溝を作製し、溝に沿って細胞を配向させる培養法を確立し、その際の細胞内のアクチン細胞骨格の分布と核の形態の変化を調査した、加えて収縮型マーカータンパク質である $\alpha$  平滑筋アクチン( $\alpha$ -SMA)の発現量を調査し、コラーゲン微細溝基質上で平滑筋細胞を配向培養させたときの収縮機能の変化を評価した。

### 3. 実験方法

#### 3-1 微細溝を有したコラーゲン基質の創成

幅や高さが 1  $\mu\text{m}$  弱の凹凸に沿って細胞が並ぶという研究報告があるため<sup>(3)</sup>、本実験では生体親和性の高いコラーゲンを用いて、コラーゲン微細溝を以下の手順で作製した(Fig. 1)。シリコンチャンバの弾性膜表面をプラズマエッチング装置(SEDE-GE, メイワフォーシス)で 2 Pa, 5 mA, 2 min の条件で親水化処理した。次に当研究室で作製した手動式の引張機構にシリコン膜をセットし引張ひずみを負荷したまま弾性膜上に

Type 1 コラーゲン溶液を滴下して乾燥させた。その後、シリコン弾性膜への引張りずみを解除することでコラーゲン膜を座屈させ、微細溝を形成した<sup>(4)</sup>。

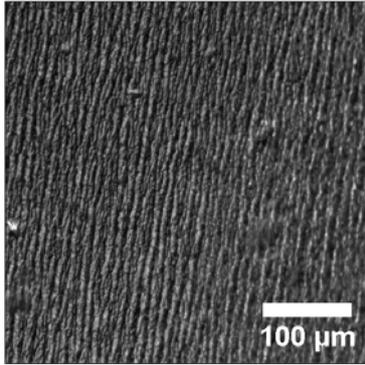


Fig.1 Microscope image of the micro-grooved collagen substrate.

### 3-2 コラーゲン微細溝基質を用いた血管平滑筋細胞の配列化組織の構築

前項でシリコン弾性膜上に作製したコラーゲン微細溝に紫外線を照射して滅菌した。そこに細胞を播種し、静置培養して密集した細胞組織にした。比較として、微細溝の無いコラーゲン基質上に細胞を播種した試料も準備した。

試料細胞に対して、収縮型マーカートンパク質である  $\alpha$ -SMA を一次抗体及び Alexa 488 蛍光標識二次抗体で免疫蛍光染色した。さらに、アクチン細胞骨格及び細胞核を Alexa fluor 546 Phalloidin (Molecular Probes) 及び Hoechst 33342 (Molecular Probes) でそれぞれ蛍光染色して可視化した。そして、倒立顕微鏡 (Olympus, IX71) に取付けた電子増倍型 CCD カメラ (C9100-12, 浜松ホトニクス) を用いて両試料の蛍光画像を撮影した。なお、すべての蛍光画像の撮影において、カメラのゲインや露光時間、ND フィルタの設定を統一した。

取得した細胞の蛍光画像から  $\alpha$ -SMA 及び核内 DNA の輝度、細胞核の投影面積、長軸・短軸、Shape Index (S.I.) を計測した。ここで S.I. は 0 から 1 の範囲の値をとり、1 に近いほど円形に近い形態であることを表し、式(1) で表される。

$$S.I. = \frac{4\pi A}{p^2} \quad (1)$$

なお、A は核の投影面積 ( $\mu\text{m}^2$ )、p は核の周長 ( $\mu\text{m}$ ) である。

さらに、溝の方向を  $90^\circ$  としたときの核の長軸方向を核の配向角として、画像解析ソフトウェア (ImageJ) で計測した。加えて、2 次元高速フーリエ変換ソフトウェア 2DFFT で、取得した蛍光画像からアクチン細胞骨格の角度分布を算出した。このようにして溝に播種した細胞の配向を評価した。

## 4. 結果と考察

平坦なコラーゲン基質に播種した細胞のアクチン細胞骨格はランダムに分布しており細胞全体が押し広げられたような形状をしていたが (Fig. 2-A), コラーゲン微細溝に播種した細胞は細長い形状をしており、溝に沿って配向しているように見える (Fig. 2-D)。血管組織から単離直後の平滑筋細胞は、細長い紡錘形であると確認されていること<sup>(6)</sup> から、今回の培養環境は、比較的体内に近い環境であると考えられる。また、平坦なコラーゲン基質上で培養した細胞では、 $\alpha$ -SMA の発現が部分的にしか見られなかったが (Fig. 2-B), コラーゲン微細溝上で培養した細胞群では細胞群全体に一樣に  $\alpha$ -SMA が分布しているように見えた (Fig. 2-E)。

アクチン細胞骨格の溝に対する配向を解析した結果、平坦なコラーゲン基質上に播種した細胞はランダムに分布していたが、コラーゲン微細溝に播種した細胞は溝方向 ( $80 - 90^\circ$ ) に沿って分布していた (Fig. 3-A)。コラーゲン微細溝上に細胞を高密度で播種すると、細胞が溝を感知し、能動的に構造を変化させて規則正しく並んでいると考えられる。

同様に、細胞核の配向を解析すると、溝に播種した細胞の核も溝に沿って配向する傾向が見られた。しかし、平坦なコラーゲン基質上に播種した細胞の核の向きはランダムであった (Fig. 3-B)。また核の形態を計測すると、溝に播種した細胞では、核の長さは変化しないが、核の幅や面積が減少していた。つまりコラーゲン微細溝に播種した細胞は、平坦なコラーゲン基質に播種した細胞より細長く小さくなることが分かった (Fig. 4)。

さらに、コラーゲン微細溝上で培養した細胞は、収縮型マーカートンパク質である  $\alpha$ -SMA の輝度が上昇した (Fig. 5)。コラーゲン微細溝上で平滑筋細胞を培養することでアクチン細胞骨格の分布が変化し、それに伴い核が細胞側面から圧縮されて細くなると思われる。このような力に依存した核が形態がトリガーとなって、細胞の収縮能が体内に近い状態にまで向上している可能性がある。また、核内 DNA の輝度が減少していることから、DNA 複製が抑制され、細胞の無駄な増殖も抑制されていると考えられる。

以上のことから、アクチン細胞骨格の分布と核の形態は密接に関係しており、血管組織を模擬して細胞を配列・組織化させると、アクチン細胞骨格の分布及び核の形態が変化して体内に近い状態に保たれると言える。長期間の培養により、増殖性の高くなり、収縮性が低下してしまった細胞に対して、このような培養系を活用することで、本来の収縮機能を復帰させることができると考えられる。

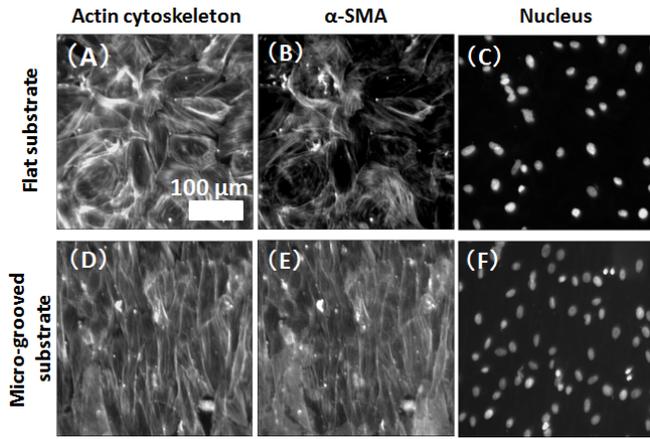


Fig.2 Fluorescent images of the actin filaments (A,D),  $\alpha$ -SMA (B,E) and the nucleus (C,F) of the vascular smooth muscle cells cultured on the flat substrates (A-C) and the micro-grooved collagen substrates (D-F).

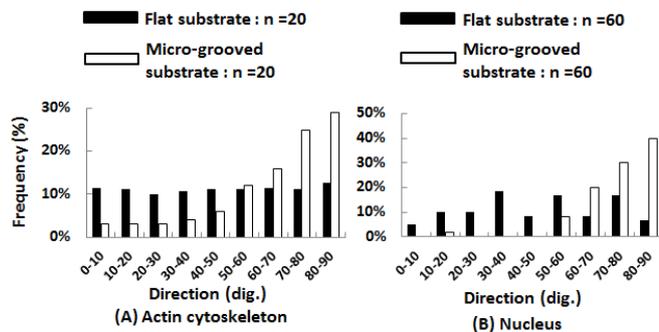


Fig.3 Direction frequency of the actin cytoskeleton (A) and the nucleus (B) of the vascular smooth muscle cells cultured on the flat substrates and the micro-groove substrates.  $90^\circ$  is microgroove direction.

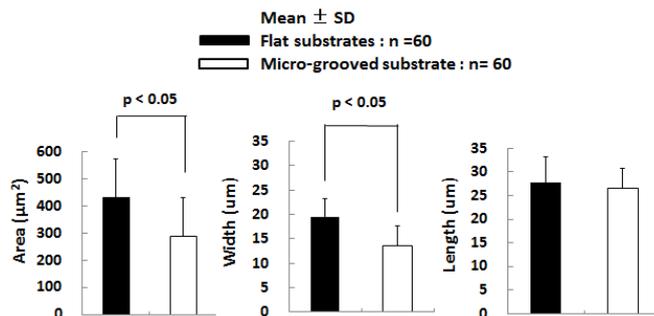


Fig.4 Morphological differences of the nucleus of the vascular smooth muscle cells cultured on flat substrates and the micro-groove substrates.

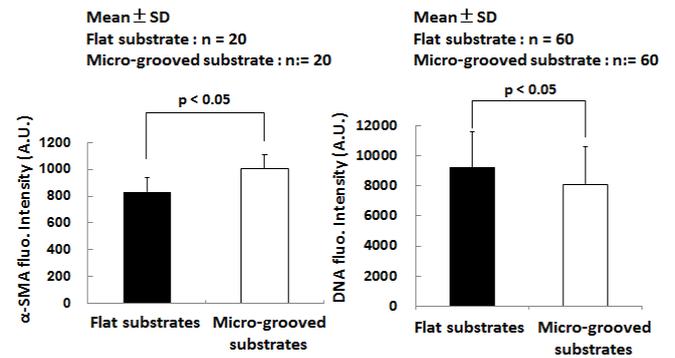


Fig.5 Fluorescence intensity of  $\alpha$ -SMA (A) and the intranuclear DNA (B) of the vascular smooth muscle cells cultured on the flat substrates and the micro-groove substrates.

## 5. 結論

微細な溝を有するコラーゲン基質を簡便に作成する手法を独自開発した。この基質上に血管平滑筋細胞を播種すると、細胞が溝を感知して細長い形状に変化し、それに伴いアクチン細胞骨格の分布及び細胞核の形態が変化した、さらに収縮型マーカータンパク質である  $\alpha$ -SMA の発現が上昇し、核内 DNA の輝度が減少した。このことから平滑筋細胞をコラーゲン微細溝上で培養し配列組織化させることで、細胞の機能が生体内に近い状態に変化する可能性が示唆された。このような培養系は、人工臓器と生体を繋ぐ人工組織を構築する上でも十分に活用できると期待される。

今後は、さらに血管の拍動が平滑筋細胞に与える力学刺激も考慮して、コラーゲン微細溝上で組織的に配向させた細胞に対して、繰返引張ひずみを負荷し、その際の細胞内構造の変化とそれに伴う平滑筋分化マーカーの発現量を調査していく。

**謝辞:**本研究の一部は日本医療開発機構・革新的先端研究開発支援事業 (AMED-CREST), 科研費 (26560207, 16K12865)の援助のもとに行われました。ここに記して謝意を表します。

## 【参考文献】

- 1) Matsumoto T, and Hayashi, K, Journal of Biomechanics Engineering, 116 (3), 278-83, (1994).
- 2) Nagayama K et al, FEBS Letters 585, 3992-3997, (2011).
- 3) Kim HN et al, Biomaterials 33 8782-8792, (2012).
- 4) 島田快, 長山和亮, 第 25 回ライフサポート学会フロンティア講演会講演論文集, 1C5-10, (2016).
- 5) Matsumoto T, Sato M, JSME International Journal Series C 45, 4, pp. 906-912, (2002).
- 6) Nagayama K et al, Journal of Biomechanics 39, 29, 293-301, (2006).

### 3.プロジェクト業績



市民公開講座 同時通訳付き

# 茨城大学国際シンポジウム (企画 工学部)

Ibaraki University International Symposium - presented by College of Engineering

## ～世界における人工心臓開発の最先端技術～

- Cutting Edge Technology of Artificial Heart -

◆日時：平成28年9月23日(金)13:00～16:00

◆場所：常陽藝文ホール(水戸市三の丸1-5-18常陽郷土会館内)

◇主催：茨城大学工学部附属ライフサポート科学教育研究センター

◇お問い合わせ先：増澤研究室 (0294-38-5250/toru.masuzawa.5250@vc.ibaraki.ac.jp)

♪事前申込・参加費は不要です！どなたでも気軽にご参加下さい♪

### 13:00～15:00…基調講演

・13:00～13:30 Prof. Richard Wampler  
(オレゴン健康科学大学客員教授)

「The new age of artificial hearts(新世代の人工心臓)」



補助人工心臓を植え込んだ少年とWampler教授

・13:30～14:00 Dr. Daniel Timms (BiVACOR社CEO)

「Design Requirements for Rotary Total Artificial Hearts (回転式全置換型人工心臓に求められる機能)」



全置換型人工心臓とTimms博士

・14:00～14:30 Prof. Chen Chen  
(蘇州大学教授・CHINA HEART BIOMEDICAL INC.社長)

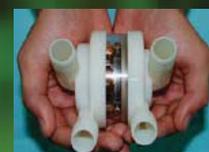
「Development of An Ultra-Compact Fully Magnetically Suspended Ventricular Assist Device (中国で開発中の超小型磁気浮上補助人工心臓)」



中国製補助人工心臓とChen教授

・14:30～15:00 増澤 徹 (茨城大学工学部教授)

「Magnetically Suspended Blood Pump and Artificial Heart Developed at Ibaraki University (茨城大学で開発中の磁気浮上人工心臓)」



日本製全置換型磁気浮上人工心臓と増澤教授

### 15:00～16:00

### …茨城大学大学院生研究発表

茨城大学国際シンポジウム  
(企画：工学部)

Ibaraki University International Symposium  
-presented by College of Engineering

～世界における人工心臓開発の最先端技術～  
-Cutting Edge Technology of Artificial Heart-

平成 28 年 9 月 23 日 (金)

常陽藝文ホール

# Timetable

- 13:00-13:10    *Welcome address*  
Prof. Hisanori Ozaki, Vice President of Ibaraki University  
Prof. Mitsuru Baba, Dean of the college of Engineering, Ibaraki University
- Invited Lecture*
- 13:10-13:40    The new age of artificial hearts,  
                  Prof. Richard Wampler, M.D., Oregon Health Sciences University
- 13:40-14:10    Design Requirements for Rotary Total Artificial Hearts,  
                  Dr. Daniel Timms, Ph.D., BiVACOR
- 14:10-14:20    short break
- 14:20-14:50    Development of An Ultra-Compact Fully Magnetically Suspended  
                  Ventricular Assist Device,  
                  Prof. Chen Chen, Ph.D., Soochow University
- 14:50-15:10    Magnetically Suspended Blood Pump and Artificial Heart Developed at  
                  Ibaraki University,  
                  Prof. Toru Masuzawa, Dr. Eng., Ibaraki University
- 15:10-15:20    short break
- 15:20-16:00    *Research Presentation by Graduate Course Students of Ibaraki University*  
                  Magnetically levitated extracorporeal blood pump driven to synchronize  
                  with heart beat, Ryota Sato,  
                  Maglev ventricular assist device for mild heart disease patients,  
                  Yasuaki Watanabe  
                  Pediatric Ventricular Assist Device with A Double Stator Maglev Motor,  
                  Takuya Saito  
                  Maglev total artificial heart with a single actuator, Yoshiaki Koda  
                  Hydrodynamic effect of the 3D micro-geometrical structures on physical  
                  adhesion phenomena, Akiko Ota-Ishigaki
- 16:00            *Closing address*

## Richard Wampler, M.D.

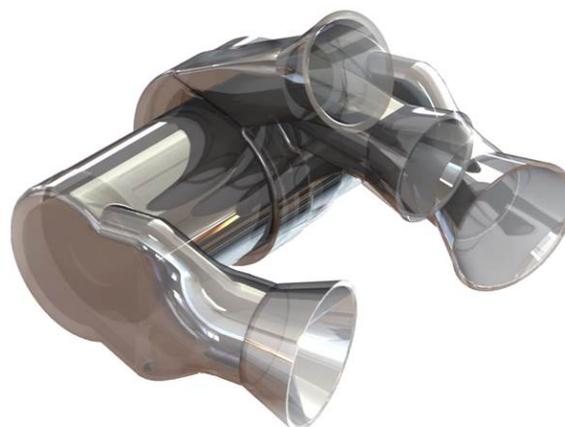
Professor, Oregon Health Sciences University

Dr. Wampler is the inventor of the Hemopump, which revolutionized the field of mechanical circulatory assistance. Following the successful demonstration of the Hemopump, he then co-invented the second generation non-pulsatile Left Ventricular Assist HeartMate II, and invented and was involved in the development of the HVAD. He continues to work on further iterations of heart pumps to make them even smaller and less invasive to implant, so that their benefits might be extended to patients who could not otherwise survive the procedure, and to provide treatment for earlier stage heart failure patients to aid in recovery of heart function. Dr. Wampler is the inventor of the shuttling pump design concept which is the basis for the OregonHeart device. He is a graduate of the University of Indiana School of Medicine and trained as a surgical resident at University of Oregon Health Sciences Center (now Oregon Health & Science University).



## The new age of artificial hearts

Congestive heart failure is a major global health problem with a very high mortality - 50% five year survival. Heart transplantation is a very effective treatment but is available to only a few thousand patients a year. Research for over 60 years has been directed toward the development of a mechanical heart that could take over the work of pumping blood of the failing heart. There are now a number of mechanical hearts and assist devices that are in common usage to treat patients for which a donor heart is not available. The history of critical strides in the development of mechanical hearts will be presented. Also the state of the art of clinical devices will be discussed.



## Daniel Timms, Ph.D.

Chief Executive Officer and Chief Technical Officer, BiVACOR



Doctor Daniel Timms is a Mechanical Engineer with a PhD in cardiovascular engineering and is the founding director and Chief Technology Officer of BiVACOR Inc., a USA based company continuing the development of the BiVACOR rotary artificial heart.

Daniel Timms, PhD, is a graduate of the Queensland University of Technology and was honoured in 2013 as QUT Young Alumnus Dr. Timms completed his postdoctoral training at The Prince Charles Hospital's cardiac transplant center in Brisbane, Australia, and at the Helmholtz Institute in Aachen, Germany, one of Europe's leading cardiovascular device research centers. He has more than 15 years of experience in mechanical circulatory support development.

## Design Requirements for Rotary Total Artificial Hearts

Given the successful implementation of rotary blood pump technology for left ventricular assistance (LVAD), attempts are being made to realize these benefits for total heart replacement (TAH). However additional challenges are presented when replacing the function of the entire heart with this technology.

The natural heart is responsible for maintaining a balanced flow rate to the systemic and pulmonary networks in the face of changing daily activities, whilst also providing the ability to alter total outflow to match physiologic demand. It can achieve this feat via a delicate combination of heart rate and contractility, which induces pulsatile blood flow that influences vascular tone. Although these function are diminished by heart failure, the addition of an LVAD does not require the device to assume any more functions other than to augment blood flow. However, replacement of the heart with a TAH relies on the device to replicate all of these functions.

When using RBP as a TAH, manually manipulating the device speed is the only feature available to alter the performance of the device. Although this approach has been successful used by multiple groups to maintain the circulation of large animals for up to 90 days, there are multiple parameters of the rotary blood pump design that could be used to influence the intrinsic behavior of the device and improve its application. Furthermore, the introduction of automatic speed adjustment to change total outflow, as well as speed modulation to recreate a degree of pulsatility are possible with advanced control algorithms.

This presentation will discuss the scope of the unique challenges faced by a rotary TAH, and offer possible design considerations that may help to alleviate their impact, thus providing further insight into the development of viable total artificial hearts using RBP technology.



## Chen Chen, Ph.D.

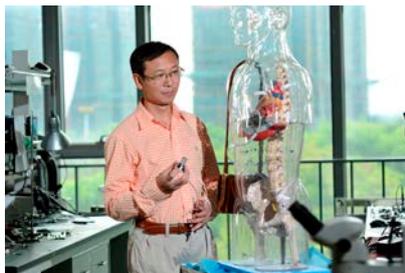
Professor, Artificial Organ Technology Lab, Soochow University, Suzhou, Jiangsu, China



Dr. Chen Chen has 20 years of experience in design and development of ventricular assist devices (VADs). He is currently serving as a Professor and founding director of Artificial Organ Technology Lab in Soochow University, China. He is also the founder and CEO of CH Biomedical, Inc. in China since 2008, which is committed to developing a proprietary leading-edge VAD with full magnetic suspension. He served as the sole principal system engineer for the design of World Heart's Levacor fully magnetically suspended VAD from 1999 to 2007 in the US. He was involved as a postdoctoral fellow in the magnetic bearings and artificial heart program in Ibaraki University, Japan, following one-year's research in the artificial heart field in The University of Tokyo since 1996. Prior to that, he served as Associate/Assistant Professor in Nanjing University of Science and Technology in China after receiving his Ph.D. in cardiovascular biomechanics in 1991.

## Development of An Ultra-Compact Fully Magnetically Suspended Ventricular Assist Device

CH Biomedical, Inc. was established in Suzhou, China in 2008, and is dedicated to development of leading-edge ventricular assist devices (VADs) equipped with full magnetic suspension. The full magnetic suspension applied in VAD has solid potential for greatly improving blood compatibility of the device, but poses tremendous challenges in design optimization to achieve minimized device size with constraints in shock resistance, efficiency, blood flow design, etc. Currently, HeartMate 3 developed by Thoratec (now Abbott) is the only fully magnetically suspended VAD that has entered clinical trial in the US with a significant breakthrough in pump size reduction so that it can be implanted in human chest cavity. CH Biomedical developed a proprietary design concept with novel magnetic suspension, flow path construction, and miniaturized electronics that, with the aid of multidisciplinary design optimization, eventually evolved into a design of ultra-compact fully magnetically suspended VAD, namely CH-VAD. CH-VAD pump is significantly smaller in every dimension than HeartMate 3. Besides, electronic controllers for the motor and magnetic suspension are integrated inside the pump, resulting in greatly reduced number of wires in, as well as size of, the percutaneous cable, as compared with HeartMate 3. This helps in improving infection prevention, system reliability, and electromagnetic compatibility. Blood compatibility of CH-VAD has been evaluated through in-vitro hemolysis testing and animal studies, both yielding promising results. In particular, animal studies suggested that the device caused minimal impact on end-organ functions and the blood-contacting surfaces in the pump were completely free of any adherent emboli. Therefore, CH-VAD has demonstrated very promising blood compatibility due to the potential benefits of full magnetic suspension that has been shown by HeartMate 3 as well. Clinical trials of CH-VAD are to commence in 2017 to further investigate the system performances including expected improvements in blood compatibility.



## Toru Masuzawa, Dr. Eng.

Professor, Department of Mechanical Engineering, College of Engineering,  
Ibaraki University

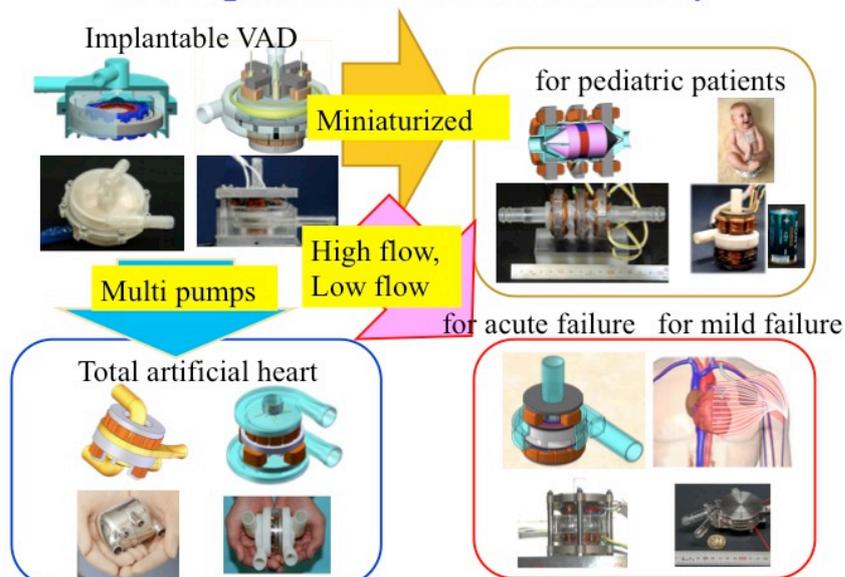


Toru Masuzawa was born in Tokyo, Japan in 1960. From 1987, he was a research assistant of department of precision mechanical engineering at University of Tokyo. From 1990 to 1997, he was a research associate of department of artificial organs at National Cardiovascular Center Research Institute, Osaka, Japan. He moved to Ibaraki University, Hitachi, Japan, in 1998. Right now he is a professor of the Department of Mechanical Engineering. Also, he is the Senator of Ibaraki University, the Vice Dean of the College of Engineering, Ibaraki University, and Director of the Ibaraki University Engineering Education & Research Center for Life Support Science. He is the Secretary General of the Asia-Pacific Society for Artificial Organs, the Vice President of the international federation for artificial organs, the President of the Society of Life Support Engineering, and the Auditor-secretary of the Japanese Society for Artificial Organs. His current research field is mechatronics for medical devices, especially magnetic suspension system for ventricular assist devices and artificial hearts.

## Magnetically Suspended Blood Pump and Artificial Heart Developed at Ibaraki University

Artificial hearts and mechanical circulation support devices have been studied since the middle of the 20th century. Ventricular assist devices with a rotary blood pump are commercially available since the outset of the 21st century. Rotary blood pumps are presently very common as blood pumps for the mechanical circulatory support, but the mechanical bearing mechanism has potential problems at the contacting parts suspected to be a cause of hemolysis and thrombogenicity. The magnetic bearing and self-bearing motor are promising technologies to give long device durability and higher blood compatibility of the blood pumps. Magnetic suspension technologies allow for wider blood gaps between the levitated and rotated impeller and pump casing which eliminates mechanical contact and wear. These features provide better blood compatibility to avoid such issues such as blood trauma and thrombogenicity. Active position control of the levitated impeller provides safer operation of the blood pumps and is a new feature of the devices. I will introduce several types of the magnetically levitated artificial heart and blood pumps developed at Ibaraki University.

### Magnetically levitated blood pumps developed at Ibaraki University



# Research activity of Graduate Course Students of Ibaraki University

## Magnetically levitated extracorporeal blood pump driven to synchronize with heart beat

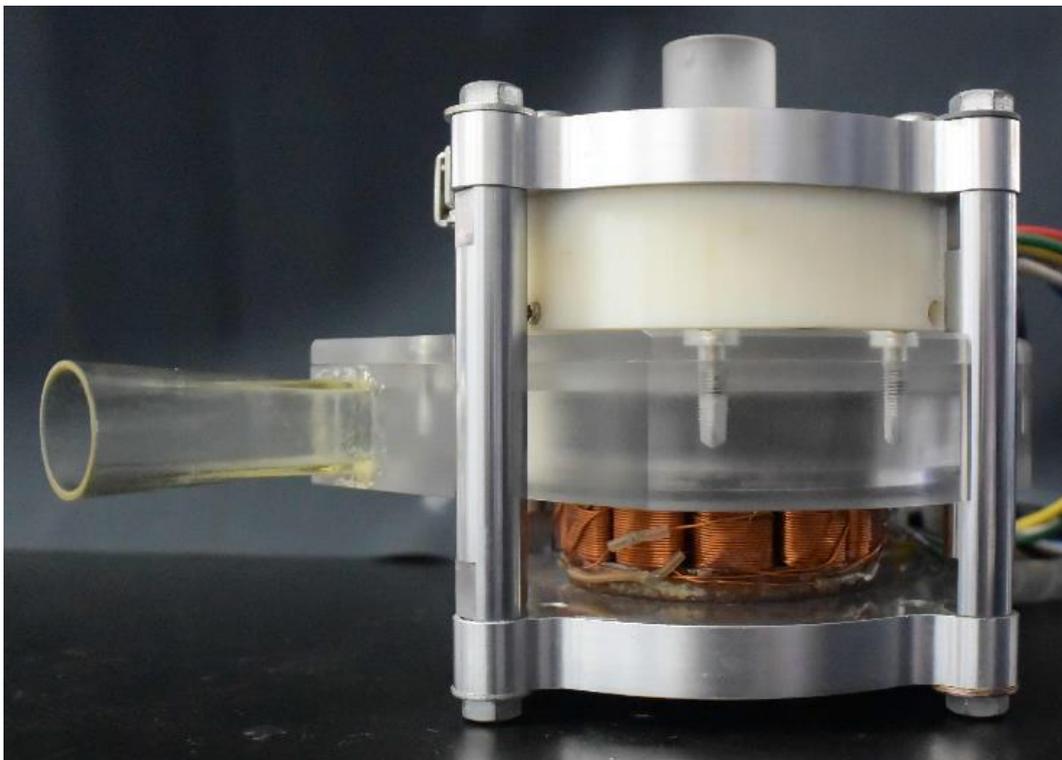
Ryota Sato\*, Toru Masuzawa\*, Masahiro Osa\*, Takashi Nishimura\*\*, Shunei Kyo\*\* \*\*\*,  
Noritsugu Naito\*\*\*\*, Eisuke Tatsumi\*\*\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Ibaraki University, Japan

\*\* Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology, Japan, \*\*\* The University of Tokyo, Japan,

\*\*\*\*National Cerebral and Cardiovascular Center, Japan

A maglev blood pump for the extracorporeal circulation has been developed to recover cardiac function of acute heart failure patients. A rotating speed of the pump is changed synchronizing with heartbeat to increase coronary flow of a natural heart. The axial gap maglev motor is used to construct the maglev pump and a pump case is set between the axial magnetic bearing and axial motor stator. A closed impeller with a diameter of 52 mm is set in the pump case and levitated by the attractive force produced by the magnetic bearing and the motor, the maximum flow rate of the pump is 20 L/min and the maximum head pressure is 300 mmHg. Axial position and tilting of a levitated impeller are regulated by a magnetic bearing, and radial position of it is stabilized passively with a magnetic restoring force produced by an axial gap maglev motor. The levitation stability during pulsatile operation will be reported.

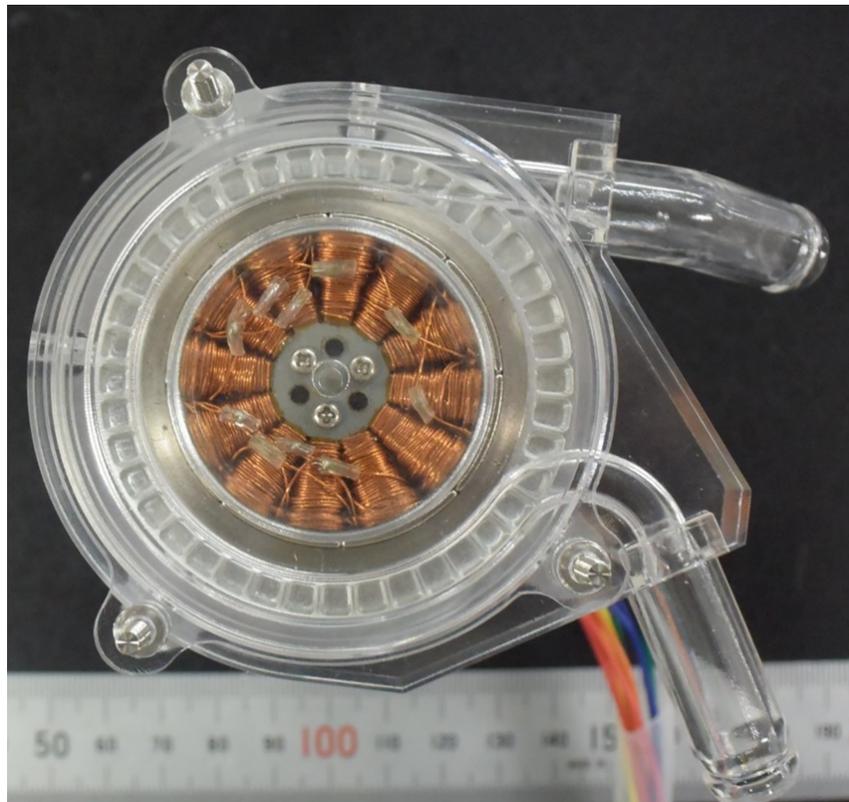


## Maglev ventricular assist device for mild heart disease patients

Yasuaki Watanabe\*, Toru Masuzawa\*, Michiko Murakami\*, Hiroyuki Onuma\*\*,  
Takashi Nishimura\*\*\*, Shunei Kyo\*\*\*\* \*\*\*\*\*  
\* Ibaraki University, Hitachi, Japan  
\*\*Ibaraki National College of Technology, Hitachinaka, Japan  
\*\*\*Tokyo Metropolitan Geriatric Hospital, Tokyo, Japan  
\*\*\*\* The University of Tokyo, Tokyo, Japan

A maglev ventricular assist device for mild heart disease patients has been developed. The device will be implanted under the thorax layer like a pacemaker for minimum invasive and easy implantation. A target pump performance is a flow rate of 2 L/min against a pressure head of 100 mmHg.

The maglev pump consists of a radial gap type self-bearing motor and a cascade pump which has a ring-shaped impeller to make the device thin. To enhance pump and levitation performance, an outer diameter of the motor was enlarged from 30 mm to 35 mm. An outer diameter of the levitated impeller increased from 48 mm to 57 mm. The motor and pump performance will be reported.



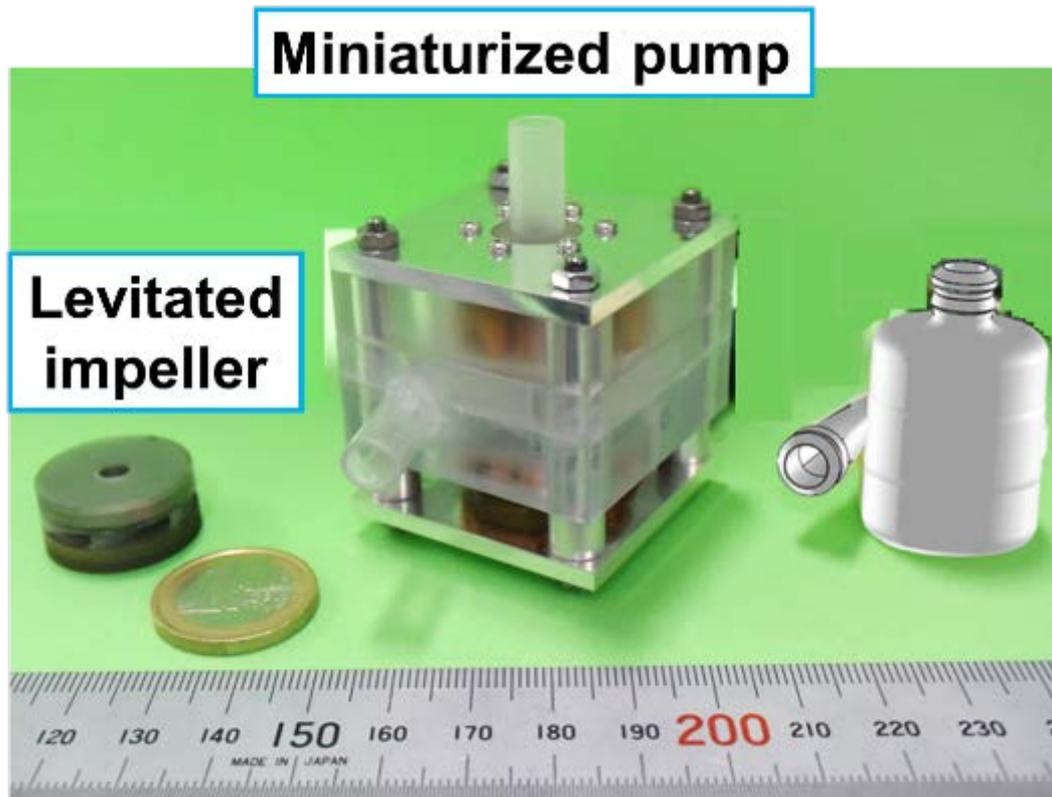
## Pediatric Ventricular Assist Device with A Double Stator Maglev Motor

Takuya Saito\*, Toru Masuzawa\*, Masahiro Osa\*, Eisuke Tatsumi\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Ibaraki University, Japan

\*\*National Cerebral and Cardiovascular Center, Japan

A small size maglev centrifugal blood pump has been developed for pediatric ventricular assist device. The impeller is fully levitated by two identical motors. The prototype maglev pump with a volume of 30 cc demonstrates sufficient pump performance such as flow rates ranging from 0.5 to 5.0 L/min against a pressure head of 100 mmHg with pump speeds from 3000 to 4500 rpm. In this study, further miniaturization of the device has been studied to implant it into the patients under ten years old. A centrifugal pump was redesigned by using a computational fluid dynamics analysis. A designed flow rate range is from 0.5 to 2.5 L/min against a head pressure of 100 mmHg that is suitable for pediatric patients weighing from 10 to 25 kg. A maglev motor was also redesigned to fit the miniaturized pump.



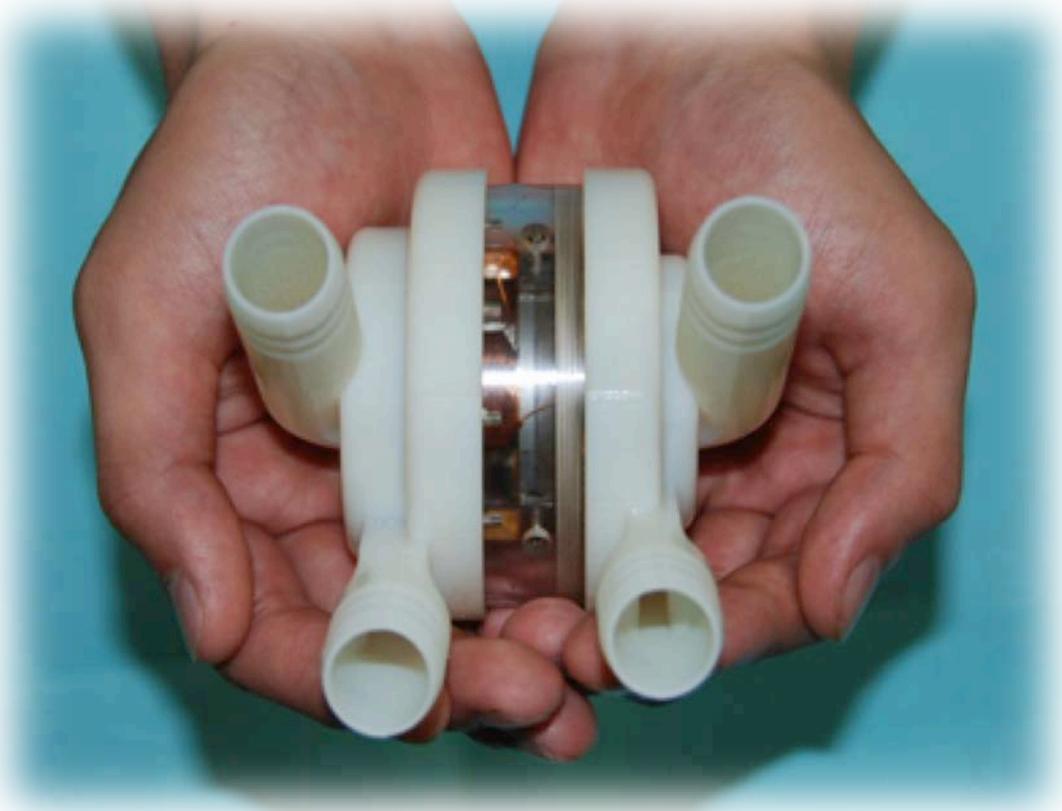
## Maglev total artificial heart with a single actuator

Yoshiaki Koda\*, Toru Masuzawa\*, Masahiro Osa\*, Dr. Daniel L. Timms\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Ibaraki University, Japan

\*\*Member, BiVACOR.Inc, USA

A total artificial heart (TAH) with a single maglev motor for severe heart disease patients has been developed. Proposed TAH's stator has a magnetic bearing and a motor stator set at center of the device. Left and right pump impellers are connected with a shaft through the center hall of the stator core. The impellers are levitated and rotated with the single maglev motor. The axial position and tilting of the levitated impeller are controlled by the magnetic bearing, and the radial position is passively stabilized by the axial direction attractive force exerted on the impeller. Levitating stability and pump performance of the device will be reported.



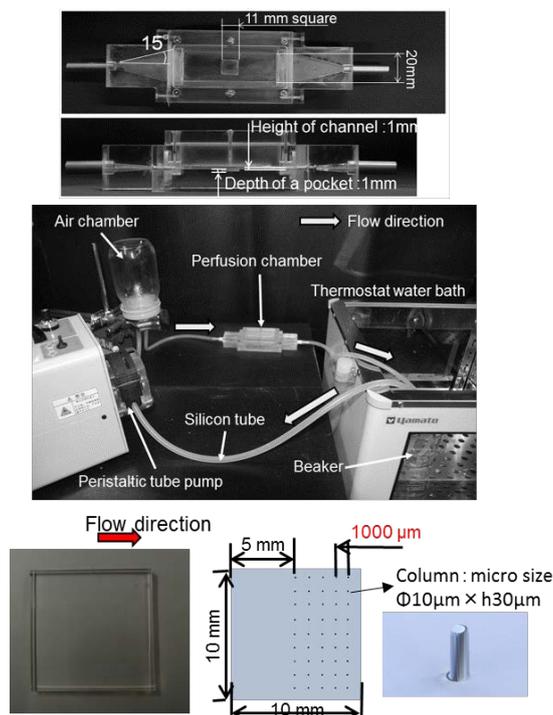
## Hydrodynamic effect of the 3D micro-geometrical structures on physical adhesion phenomena

Akiko Ota-Ishigaki\*, Toru Masuzawa\*, Kazuaki Nagayama\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Ibaraki University, Japan,

\*\* Department of Intelligent Systems Engineering, Ibaraki University, Japan

The relationship between thrombus formation and surface roughness is studied. We assumed that the micro stagnation generated around rough surface is one of cause to enhance thrombus formation. Our assumption is the micro-flow on rough surface, which are aggregation of micro-structures, affects blood components to adhere physically. Micro flow around different sizes of 3-Dimensional micro-geometrical structures and physical adhesion phenomenon affected by the micro-flow is investigated as a basic study. Four kinds of poly-di-methyl-siloxane test pieces with different height and diameter of micro-columns were constructed. Physical adhesion tests using micro-beads were conducted using a perfusion circuit. The shear rate conditions are 0, 250 and 500 S<sup>-1</sup> to investigate the effect of flow around the micro columns on physical adhesion phenomenon. The adhesion experimental results with micro-beads indicated that the averaged adhesion rate around the tall columns is higher than that of short column, and the averaged adhesion rate increases with increasing flow rate in the perfusion circuit. High adhesion rate around tall columns are affected by the micro flow toward bottom surface around the column.





**24th Congress of the  
International Society for Rotary Blood Pumps**

# **ISRBP 2016**

**September 20-22, 2016**

**Hotel Lake View Mito, Japan**



## **Important Dates**

**May 31<sup>st</sup>, 2016**

**Deadline for Abstract Submission**

**June 30<sup>th</sup>, 2016**

**Notification of acceptance**

**August 1<sup>st</sup>, 2016**

**Deadline for Early Bird Registration**

**August 31<sup>st</sup>, 2016**

**Deadline for Pre-Registration**

<http://www.isrbp2016.org/>

## 業績一覧

### 【原著論文】

- 1) Akiko Oota-Ishigaki, Toru Masuzawa and Takayuki Shibata, Effect of Flow around Three-Dimensional Micro-Geometric Structures on Adhesion Phenomena (三次元マイクロ幾何学構造周囲の血栓形成付着現象に対する流体力学的影響), ライフサポート, Accepted 2016/12/20
- 2) Yosuke Suwa, Kwangwoo Nam, Kazuhide Ozeki, Tsuyoshi Kimura, Akio Kishida, Toru Masuzawa, Thermal denaturation behavior of collagen fibrils in wet and dry environment, J Biomed Mater Res Part B 2016:104B:538-545
- 3) Toru Masuzawa, Magnetically suspended motor system applied to artificial hearts and blood pumps, J Systems and Control Engineering 1-9, (2016)
- 4) 下堀拓己, 増澤徹, 西村隆, 許俊鋭, 心拍同期型磁気浮上血液ポンプにおける受動安定軸の浮上安定性評価, 日本 AEM 学会誌 Vol.24 No.3 216-221 (2016)
- 5) 小沼弘幸, 増澤徹, 村上倫子, ラジアル型セルフベアリングモータにおける受動安定性の簡易推定式の検討, 日本 AEM 学会誌 Vol24 No.3 196-203 (2016)
- 6) 近藤良, 鈴木利充, 峯岸祐太, 岡田養二, 松田健一, 片麻痺者のための手動制御脚支援システム Manipuleg の開発, 日本機械学会論文集 Vol.82 No. 838, 1-12, (2016)
- 7) T. Kimura, Y. Sakairi, A. Mori, T. Masuzawa, Suppression method of low-frequency noise for two-dimensional integrated magnetic sensor, Jpn. J. Appl. Phys., to be published in March (2016)
- 8) 尾関和秀, 但野ちなみ, 後藤哲哉, 青木秀希, スパッタリング法により作製されたマグネシウム置換 HA 薄膜の特性と骨形成, バイオインテグレーション学会誌, 6, 21-25, (2016)
- 9) 長山和亮, 福栄智大, 繰返引張ひずみによる核の形態変化と細胞紫外線耐性向上の可能性, 生体医工学, 54 (4), pp.184-191 (2016)
- 10) A. Nagasaka, T. Shinoda, T. Kawaue, M. Suzuki, K. Nagayama, T. Matsumoto, N. Ueno, A. Kawaguchi, T. Miyata, Differences in the Mechanical Properties of the Developing Cerebral Cortical Proliferative Zone between Mice and Front. Cell Dev. Biol., 4, Article139, 1-13, (2016)
- 11) J. Wang, S. Sugita, K. Nagayama, T. Matsumoto, Dynamics of actin filaments of MC3T3-E1 cells during adhesion process to substrate, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 11(1), 15-00637, (2016)
- 12) M. Osa, T. Masuzawa, T. Saito, E. Tatsumi, Miniaturizing 5-DOF fully controlled axial gap maglev motor for pediatric ventricular assist devices, International Journal of AEM., 52, 191-198, (2016)
- 13) Emiko Nogami, Yuri Washimi, Takashi Yamazaki, Toshio Kubota, Tomoko Yajima, Photoinduced double perfluoroalkylation of methylacenes, Tetrahedron Letters, 57(24), 2624-2627(2016)
- 14) N. Ibrahim, S. Aoshima, N. Shiroma, Y. Fukuoka, The Effect of Assistive Anchor-Like Grousers on Wheeled Rover Performance over Unconsolidated Sandy Dune Inclines, Sensors, 16, 9, (2016)
- 15) 芝軒太郎, 中村豪, 渡橋史典, 早志英朗, 栗田雄一, 高木健, 本田雄一郎, 溝部二十四, 陳隆明, 辻敏夫, ”バーチャルハンドを利用した相互学習型筋電義手トレーニングシステム”, 日本ロボット学会誌, 34, 6, 404-410, (2016)
- 16) 谷萩雄一郎, 西泰行, 岡崎貴司, 稲垣照美, 下掛け式クロスフロー水車の羽根車近傍の流れに基づく性能分析, 日本機械学会論文集, 82-841, 1-18, (2016)
- 17) 稲垣照美, 武田直也, 堀邊将人, 李艶栄, 化学工学論文集, 相変化蓄熱媒体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達 - 脂肪酸 -, 42-1, 22-29, (2016)

- 18) Yasuyuki Nishi, Yusuke Yamashita and Terumi Inagaki, Study on the Rotor Design Method for a Small Propeller-Type Wind Turbine, *Journal of Thermal Science*, 25-4, 355-362, (2016)
- 19) Yasuyuki Nishi, Yutaka Kobayashi, Terumi Inagaki and Norio Kikuchi, The Design Method of Axial Flow Runners Focusing on Axial Flow Velocity Uniformization and Its Application to an Ultra-small Axial Flow Hydraulic Turbine, *International Journal of Rotating Machinery*, 2016 Article ID 5390360, 1-13, (2016)
- 20) 丸茂喜高, 中野堯, 中西智浩, 道辻洋平, 路面への情報呈示による信号交差点でのドライバ判断支援システム, *日本機械学会論文集*, 82-843, 1-16, (2016)
- 21) 池田雄, 明石詢子, 町田裕貴, 鈴木準平, 藤田昌史, 汽水湖の環境要因に対するヤマトシジミの抗酸化力応答, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, 72 (2), I\_1351-I\_1356, (2016)
- 22) 遠藤雅実, 鯉淵幸生, 藤田昌史, 飯村晃, 東京湾における貧酸素化時の底質微生物群集が酸素消費に与える影響, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, 72 (2), I\_1297-I\_1302, (2016)
- 23) 朝原大貴, 江口三希子, 佐藤大作, 藤田昌史, 横木裕宗, フナフチ環礁における移流拡散解析と汚濁物質の除去による水質保全対策, *土木学会論文集 G(環境)*, 72 (5), I\_173-I\_178, (2016)
- 24) Mishima, I., Ishiwatari, Y., Kato, K., Fujita, M., Analysis of the chemical form of iron in water pipes using XAFS measurements, *Water Science and Technology: Water Supply*, 16 (4), 1094-1101, (2016)
- 25) Hiroki Fukumoto, Masatoshi Ando, Tomomi Shiota, Hirokazu Izumiya, Toshio Kubota, Efficient Synthesis of Fluorinated Phenanthrene Monomers Using Mallory Reaction and Their Copolymerization, *Macromolecules*, DOI: 10.1021/acs.macromol.6b02151, Publication Date (Web): 2017/1/26
- 26) 村上 倫子, 増澤 徹, 小沼 弘幸, 西村 隆, 許 俊鋭, 薄小型補助人工心臓用磁気浮上カスケードポンプのインペラ浮上特性, ライフサポート, Accepted 2017/2/2
- 27) Yukiho Sakaguchi†, Shigeyuki Yamada†, Tsutomu Konno\*†, Tomohiro Agou‡, and Toshio Kubota‡, Stereochemically Defined Various Multisubstituted Alkenes Bearing a Tetrafluoroethylene (-CF<sub>2</sub>CF<sub>2</sub>-) Fragment, *J. Org. Chem.*, 82 (3), 1618-1631(2017)
- 28) 佐川千秋, 長山和亮, マイクロピラー基板を用いた核の力学的拘束が細胞の紫外線耐性に与える影響, *日本機械学会論文集(印刷中, 早期 Web 公開-論文 ID: 16-00425)*
- 29) T. Yaguchia, Y. Conga, K. Shimoa, T. Kurokawaa, S. Sugitaa, K. Nagayama, H. Masudad, T. Matsumoto, A novel apparatus for the multifaceted evaluation of arterial function through transmural pressure manipulation, *Annals of Biomedical Engineering*, (in press)
- 30) Y. Mori, K. Katsumura and Katsuya Nagase, A Pair of Step-Climbing Units for a Manual Wheelchair User, *Advances in Mechanical Engineering*, (2017) (in press).

#### 【国際会議論文】

- 1) Go Nakamura, Taro Shibanoki, Futoshi Mizobe, Akito Masuda, Yuichiro Honda, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, “A High-fidelity Virtual Training System for Myoelectric Prostheses Using an Immersive HMD”, 10th international Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology (i-CREATE 2016), PP5.2, Thailand, 2016/07/25-28
- 2) Masahiro Osa, Toru Masuzawa, Takuya Saito, Eisuke Tatsumi, Magnetic levitation performance of miniaturized magnetically levitated motor with 5-DOF active control, 15th International symposium on magnetic bearings (Proc. of ISMB15), pp594-601, 2016/8/3-6

- 3) Hiroyuki Onema, Toru Masuzawa, Michiko Murakami, Development of radial type self-bearing motor for small centrifugal blood pump, 15th International symposium on magnetic bearings, 2016/8/3-6
- 4) Satowa Watanabe, Taro Shibanoki and Koji Shimatani, “A Body Sway Mitigation Method Based on Tactile Stimulation”, The SICE Annual Conference 2016 (SICE2016) pp. 518-519, Tsukuba, 2016/9/20-23
- 5) Y. Okada, M. Touno, K. Matsuda, R. Kondo, T. Todaka, Six Pole type Hybrid Magnetic Bearing for Turbo-Machinery, Proc. of The 15th International Symposium on Magnetic Bearings ,1-8, (2016)
- 6) T. Kimura, Y. Sakairi, A. Mori, T. Masuzawa, Analysis and suppression of low-frequency noise for two-dimensional integrated magnetic sensor, International Conference on Solid State Devices and Materials 2017, PS-5-08, (2016)
- 7) A. N. Ibrahim, Y. Fukuoka, S. Aoshima, Development of Wheeled Rover for Traversing Steep Slope of Cohesionless Sand with Stuck Recovery Using Assistive Grousers, Proc. of ROBIO2016, TuA06.1, (2016)
- 8) Junko Shirato, Terumi Inagaki, Satoshi Hozumi, Visualization of Kansei Information Acquired from Natural Colors and Consideration on Comparative Kansei Between Foreign Cultures, Proc. of 9th International Student Conference of Ibaraki University, (2016)
- 9) Kenji Ejiri, Yohei Michitsuji, Yoshihiro Suda and Shihpin Lin, Analysis of the Running Ability of Independently Rotating Wheels, Proc. on Railways2016, (2016)
- 10) Taro Shibanoki, Go Nakamura, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, “A Voice Signal-Based Manipulation Method for the Bio-Remote Environment Control System Based on Candidate Word Discriminations”, Proceedings of the 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2017), pp.464-467, Segaia Convention Center, Miyazaki, Japan, 2017/01/19-22
- 11) Haruna Kokubo, Taro Shibanoki, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, “Obstacle Avoidance Method for Electric Wheelchairs Based on a Multi-Layered Non-Contact Impedance Model”, Proceedings of the 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2017), pp.460-463, Segaia Convention Center, Miyazaki, Japan, 2017/01/19-22
- 12) Go Nakamura, Taro Shibanoki, Yuichiro Honda, Futoshi Mizobe, Akito Masuda, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, “A human reaching movement model for Myoelectric Prosthesis Control”, Proceedings of the 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2017), pp.90-95, Segaia Convention Center, Miyazaki, Japan, 2017/01/19-22

#### 【解説,その他】

- 1) 李艶栄, 染矢聡, 岡本孝司, 稲垣照美, 流体自励振動の流動特性と振動数決定機構に関する研究, 可視化情報, **36-143**, 4-9, 2016/10.
- 2) 竹島由里子, 李艶栄, 「女性研究者による可視化」特集号の企画にあたって, 可視化情報, **36-143**, 3, 2016/10
- 3) 森善一, 車いすで持ち運べる新しい移乗器の開発, 地域ケアリング, Vol.18, No.8, pp.69-71, (2016)
- 4) 稲垣照美, 茨城県北部地域における放射能汚染の地理的動態調査と環境影響評価, 平成27年度茨城大学復興支援プロジェクト調査研究報告書, (2016)
- 5) 藤田昌史, 王峰宇, 太平洋環礁国におけるエネルギー自立的な生活排水処理手法の開発, 用水と廃水, 58 (10), 61-66, (2016)
- 6) 森善一, 木戸眞一郎, パッシブ RFID タグを用いた高齢者のための見守りシステム, (月刊)自動認識, Vol.30, No.2, pp.21-25, (2017)

【学会発表（国内，国際）】

（国内学会）

- 1) 長真啓, 増澤徹, 斎藤拓也, 巽英介, 連続流式小児用磁気浮上補助人工心臓の研究開発, 第 44 回人工心臓と補助循環懇話会学術集会, 2016/3/4
- 2) 飛田悠貴, 道辻洋平, マルチボディ・ダイナミクスによる鉄道車両の転覆限界条件に関する研究, 日本機械学会関東学生会第 55 回学生員卒業研究発表講演会, 2016/03/10
- 3) 福元博基, 泉谷宏一, 久保田俊夫, パーフルオロシクロペンテン骨格を有するフェナントロリン化合物の合成と高分子化(茨城大工), 日本化学会第 96 春季年会, 同志社大学 京田辺キャンパス 2B5-29,2016/3/24~27
- 4) 木下裕陽, 稲垣照美, 李艶栄, 茨城県北部地域における放射能汚染の地理的動態調査と環境影響評価, 日本原子力学会平成 28 年度支部大会, 2016/04/15
- 5) 渡辺保昭, 増澤徹, 村上倫子, 小沼弘幸, 西村隆, 許俊鋭, 薄小型磁気浮上補助人工心臓の実用化に向けた改良, 第 55 回日本生体医工学会大会 2016/4/26-28
- 6) 中嶋翔太, 丸山修, 西田正浩, 足立吉数, 長真啓, 増澤徹, レオメータを使用したせん断流れ場における血液接触面の表面粗さと溶血量の関係, 第 55 回日本生体医工学会大会 2016/4/26-28
- 7) 長山和亮, 佐川千秋, 微細加工基板を用いた細胞核の機械的変形・拘束が細胞機能に与える影響の検討, 第 55 回日本生体医工学会大会, 2016/04/26-28
- 8) 久保田俊夫, 含フッ素高分子化合物 ～合成・構造・機能・応用～フッ素化学の最前線とフッ素化学工業セミナー, 2016/05/12-13
- 9) 松田健一, 藤野允基, 岡田養二, 戸高孝, 近藤良, 6 突極型ハイブリッド磁気軸受の開発と応用, 日本機械学会第 28 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 2016/5/18
- 10) 長真啓, 増澤徹, 斎藤拓也, 巽英介, 小児用人工心臓用 5 軸制御磁気浮上モータのセンサレスモータ制御, 第 28 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム 2016/5/18-20
- 11) 岡崎貴司, 西泰行, 谷萩雄一朗, 稲垣照美, 下掛け式クロスフロー水車の性能解析, 第 75 回ターボ機械協会総会講演会, 2016/05/20
- 12) 佐藤元紀, 西泰行, 塩原大史, 稲垣照美, 菊池伯夫, 集水装置を有する軸流水車の自由表面流れ場における性能特性, 第 75 回ターボ機械協会総会講演会, 2016/05/20
- 13) 飯島友, 武田直也, 堀邊将人, 稲垣照美, 李艶栄, 低位熱エネルギー回収向け多段型相変化蓄熱熱交換システムの開発と熱輸送機構の解明, 第 53 回日本伝熱シンポジウム, 2016/05/24
- 14) 糸賀裕哉, 阿部将史, 稲垣照美, 李艶栄, 鉛直磁場下における磁性流体の熱物性と水平密閉矩形容器内の自然対流熱伝達, 第 53 回日本伝熱シンポジウム, 2016/05/24
- 15) 稲垣照美, 李艶栄, 原田滉士, 等熱流束で加熱された垂直平板上自然対流における乱流域の熱輸送機構に関する研究, 第 53 回日本伝熱シンポジウム, 2016/05/26
- 16) 森善一, 榎田薫, 受動歩行機の円弧足を参考とした足部着用型歩行補助器, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A1-03a3(1)-(4), 2016/6/8-11
- 17) 森善一, 森本開, 轟継来, 自走用車いす使用者のための携帯式段差移動補助機, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A1-03a4(1)-(4), 2016/6/8-11
- 18) 村上太郎, 伊藤孝浩, 森善一, フリー/駆動切替機能を持つ補助機の機構と制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A1-14b3(1)-(3), 2016/6/8-11
- 19) 森善一, 小松瑛莉, 山島信幸, 望月駿, 片麻痺障がい者のための車輪型歩行アシスト機, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2A2-01b2(1)-(3), 2016/6/8-11

- 20) 富澤太, 芝軒太郎, 陳隆明, 辻敏夫, クラス偏 KL 情報量を利用した相互学習型筋電義手訓練システム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集, 2P1-02a4, 2016/6.
- 21) 松田健一, 宮島要, 近藤良, 増澤徹, ワイドギャップに適用可能な磁路制御型磁気軸受, 日本機械学会 [No.16-15] Dynamics and Design Conference, 2016/8/23
- 22) 佐藤遼太, 増澤徹, 長真啓, 西村隆, 許俊鋭, 心臓治療を目的とした磁気浮上型体外循環血液ポンプの研究開発, 第 24 回茨城講演会 2016/8/26
- 23) 小泉綾香, 増澤徹, 長真啓, 尾関和秀, 岸田晶夫, 複合低エネルギー生体組織接合技術における生体組織構造変化の可視化, 第 24 回茨城講演会 2016/8/26
- 24) 向井崇史, 松田健一, 近藤良, 徹, PR 型セルフベアリングモータの基本特性解析, 第 23 回茨城講演会講演, 2016/8/26
- 25) 小野篤広, 野村裕太郎, 尾関和秀, 増澤徹, 放射性物質吸着除去を目的としたゼオライト/HA 複合体の作製と吸着特性評価, 2016 茨城講演会, 2016/8/26
- 26) 内田敬一, 長山和亮, 血管力学環境を考慮した細胞培養系の確立と細胞内での力学刺激伝達メカニズムの考察, 日本機械学会第 24 回茨城講演会, 2016/08/26
- 27) 福栄智大, 長山和亮, 力学刺激が細胞組織の紫外線耐性に与える影響に関する研究, 日本機械学会第 24 回茨城講演会, 2016/08/26
- 28) 佐川千秋, 長山和亮, 微細加工基板を用いた細胞核内の DNA 分布・凝集操作に関する研究(細胞の紫外線耐性向上の可能性), 日本機械学会第 24 回茨城講演会, 2016/08/26
- 29) 山口栄, 白土航平, 上村飛一郎, 近藤良, 北山文矢, 3輪倒立移動ロボットの制御, 日本機械学会 2016 年度茨城講演会予稿集, 2016/8/26
- 30) 安田真, 山本翔太, 森翼, 滝口詠司, 近藤良, 岡田養二, 北山文矢, 装着型脚支援システムの開発(バイラテラル制御を用いた操作レバーの開発), 日本機械学会 2016 年度茨城講演会予稿集, 2016/8/26
- 31) 畔蒜一輝, 木村郁美, 鈴木雄太, 近藤良, 北山文矢, 下肢障害者のための足底代替感覚提示による立位安定化, 日本機械学会 2016 年度茨城講演会予稿集, 2016/8/26
- 32) 木下裕陽, 神村悠斗, 稲垣照美, 李艶栄, 茨城県北部地域における放射能汚染の地理的動態調査と環境影響評価, 2016 年度日本機械学会関東支部茨城講演会, 2016/08/26
- 33) 久保田健太, 稲垣照美, 李艶栄, 翼周りに誘起される流体騒音の数値シミュレーション, 2016 年度日本機械学会関東支部茨城講演会, 2016/08/26
- 34) 國府田芳彰, 増澤徹, 長真啓, Timms Daniel, 全置換型人工心臓用磁気浮上モータの改良, LIFE2016, 2016/9/4-6
- 35) 佐藤恵美, 渡邊季誠, 井上康介, ヤスデの歩行パターン調節に関する実験的および構成論的検討, 2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会, G02, 2016/9/6
- 36) 内藤隼, 木嶋順, 井上康介, 複数運動モードの局在発現に基づくヘビの運動制御, 2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会, G03, 2016/9/6
- 37) 井元貴樹, 井上康介, ヘビ蛇行時の接地力分布と筋駆動との関係性の構成論的調査, 2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会, G04, 2016/9/6
- 38) 長山和亮, 微細加工基質を利用した力学的側面からの細胞機能計測・制御技術の開発, 2016 年度精密工学会秋季大会, 2016/09/7
- 39) 汪正, 加藤雅人, 笹原大樹, 森善一, 自走用車いす使用者による単独操作可能な段差移動補助機, 2016 年度精密工学会秋季大会, P05, 2016/9/7

- 40) 大塚小太郎, 森善一, 様々な路面に対応可能な脚型ロボットの開発-ブレイブボードを用いた平地走行の検討-, 2016年度精密工学会秋季大会, P06, 2016/9/7
- 41) 小野篤広, 野村裕太郎, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, 放射性物質吸着除去を目的としたゼオライト／アパタイト複合体作製と強度・吸着特性の評価, 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム, 2016/9/8
- 42) 長山和亮, 鈴木悠也, 繰返ひずみ場における細胞組織の創傷治癒運動の解析, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016/09/11-14
- 43) 一柳洋輔, 道辻洋平, 谷本益久, 岩本厚, 福島知樹, 矢野健太, 品川大輔, 松本陽, 佐藤安弘, 大野寛之, 長澤研介, PQ モニタリング台車を活用した効率的なデータ分析ツールの開発, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016/09/13
- 44) 石井翔, 道辻洋平, 長澤研介, 品川大輔, 松本陽, 佐藤安弘, 大野寛之, 森 裕貴, 谷本益久, 岩本厚, 福島知樹, 矢野健太, 台上試験と数値解析を活用した台車4輪の摩擦係数差が脱線係数に及ぼす影響の分析, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016/09/13
- 45) 寺井恭一, 大越康晴, 尾関和秀, 佐藤慶介, 平栗健二, DLC プラズマ処理に対する生体適合性の経時変化, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 2016/9/14
- 46) 岡崎貴司, 西泰行, 谷萩雄一郎, 稲垣照美, 下掛け式クロスフロー水車の流量変化時の性能分析, 第76回ターボ機械協会北見講演会, 2016/09/30
- 47) 佐藤元紀, 西泰行, 塩原大史, 稲垣照美, 菊池伯夫, 開水路における軸流水車の性能特性と流れ場, 第76回ターボ機械協会北見講演会, 2016/09/30
- 48) 渡邊聖和, 芝軒太郎, 島谷康司, 耳介への刺激が身体動揺に与える影響, LIFE 2016(第32回ライフサポート学会大会, 第16回日本生活支援工学会大会, 日本機械学会福祉工学シンポジウム2016), pp. 525-526, 2016/9
- 49) 堀邊将人, 稲垣照美, 李艶栄, 飯島友, 相変化蓄熱型熱交換器内の熱輸送機構の解明, 可視化情報学会全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 50) 時田貴成, 稲垣照美, 李艶栄, 磁場作用下における磁性流体の熱物性と矩形容器内の自然対流熱伝達の可視化, 可視化情報学会全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 51) 玉田泰庸, 李艶栄, 曹旭発, 稲垣照美, 染矢聡, 量子ドットを用いた熱流体可視化計測, 可視化情報学会全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 52) 李艶栄, 染矢聡, 稲垣照美, 海底下地下におけるハイドレートバリア層の可視化, 可視化情報学会全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 53) 白土淳子, 稲垣照美, 穂積訓, 自然の色彩から得られる感性情報の可視化と異文化間の比較感性論的考, 可視化情報学会全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 54) 稲葉凱, 西泰行, クローズド形一枚羽根遠心ポンプ内のキャビテーション流れの可視化, 可視化情報全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 55) 鈴尾亮太, 西泰行, 稲垣照美, 流量変化が重力渦式水車の流れ場に及ぼす影響, 可視化情報全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 56) 小堀智之, 西泰行, 小林泰, 稲垣照美, 菊池伯夫, 超小型軸流水車内の異物の挙動の可視化, 可視化情報全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 57) 岡崎貴司, 西泰行, 谷萩雄一郎, 稲垣照美, 流量変化時の下掛け式クロスフロー水車の流れ場, 可視化情報全国講演会(日立2016), 2016/10/08
- 58) 佐藤元紀, 西泰行, 塩原大史, 稲垣照美, 菊池伯夫, 自由表面流れ場における集水装置を有する軸流水車の後流特性, 可視化情報全国講演会(日立2016), 2016/10/08

- 59) 塩原大史, 西泰行, 佐藤元紀, 稲垣照美, 菊池伯夫, 集水装置を有する軸流水車の性能と流れ場に及ぼすつばの影響, 可視化情報全国講演会(日立 2016), 2016/10/08
- 60) 久保田健太, 稲垣照美, 李艶栄, 翼周りに誘起される流体騒音の数値シミュレーション, 可視化情報学会全国講演会(日立 2016), 2016/10/09
- 61) 内田敬一, 長山和亮, 血管壁内細胞配列を考慮したコラーゲン微細溝基質による平滑筋細胞培養系の確立, 第27回バイオフィロンティア講演会, 2016/10/22-23
- 62) 佐川千秋, 長山和亮, 核の力学的拘束・変形による核内 DNA の分布・凝集の変化が細胞紫外線耐性に与える影響, 第27回バイオフィロンティア講演会, 2016/10/22-23
- 63) 福栄智大, 長山和亮, 繰返引張りひずみによる細胞内の構造変化と細胞紫外線耐性向上の可能性, 第27回バイオフィロンティア講演会, 2016/10/22-23
- 64) 長真啓, 増澤徹, 斎藤拓也, 巽英介, 小児用人工心臓用小型アキシアルギャップセルフベアリングモータの高性能化, 第59回自動制御連合講演会, 2016/11/10
- 65) Terumi INAGAKI, Geographic Survey and Environmental Assessment of Radioactive Contamination in North Area of Ibaraki Prefecture, Ibaraki Univ.-IRSN joint symposium for environmental radioactivity studies on the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, 2016/11/10
- 66) 寺井恭一, 佐藤慶介, 大越康晴, 尾関和秀\*, 平栗健二, 高周波プラズマ CVD 法による粉体状炭素の基礎物性評価, 第30回ダイヤモンドシンポジウム, 2016/11/16
- 67) 増澤徹, 磁気浮上型全人工心臓の課題, 第54回日本人工臓器学会大会 2016/11/23-25
- 68) 長真啓, 増澤徹, 斎藤拓也, 巽英介, 超小型5軸制御磁気浮上モータを用いた乳幼児・小児用補助人工心臓の研究開発, 第54回人工臓器学会大会, 2016/11/24
- 69) 國府田芳彰, 増澤徹, 長真啓, Daniel L Timms, 全置換型磁気浮上人工心臓のための反発型磁気軸受の検討, 第25回 MAGDA コンファレンス in 桐生 2016/11/24-25
- 70) 斎藤拓也, 増澤徹, 長真啓, 巽英介, 超小型磁気浮上式小児用人工心臓の開発, 第25回 MAGDA コンファレンス in 桐生 2016/11/24-25
- 71) 渡辺保昭, 増澤徹, 村上倫子, 小沼弘幸, 西村隆, 許俊鋭, 薄小型補助人工心臓のための径方向2軸制御型磁気浮上カスケードポンプの開発, 第25回 MAGDA コンファレンス in 桐生 2016/11/24-25
- 72) K. Nagayama, Control of vascular smooth muscle cell differentiation using a novel micro-grooved collagen substrate, 第54回日本生物物理学会大会, 2016/11/25-27
- 73) 木下直樹, 川嶋克明, 尾倉侑也, 早志英朗, 曾智, 芝軒太郎, 森裕紀, 島谷康司, 栗田雄一, 辻敏夫, 新生児 General Movements 評価支援システムの精度検証, 日本発達神経科学学会第5回学術集会, p.57, 2016/11.
- 74) 志賀亮介, 道辻洋平, 須田義大, 江尻賢治, 林世彬, 牧島信吾, 走行安定性と急曲線通過性能を両立する傾斜軸 EEF 台車のパラメータ設計, 日本機械学会交通・物流部門大会 (TRANSLOG2016), 2016/12/02
- 75) 稲垣照美, 堀邊将人, 飯島友, 坂本飛鳥, 波入拓, 李艶栄, 多段型相変化蓄熱熱交換システムと蓄熱材の熱特性に関する考察, 第6回潜熱工学シンポジウム, 2016/12/08
- 76) 道辻洋平, 石井翔, 長澤研介, 松本陽, 佐藤安弘, 大野寛之, 緒方正剛, 谷本益久, 岩本 厚, 品川大輔, 台車4輪の摩擦係数差異が脱線係数におよぼす影響の分析～軌条輪台車試験装置とMBD解析の比較による分析～, 第23回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2016), 2016/12/14
- 77) 齊藤遼, 木村孝之, 部分露光が可能なCMOSイメージセンサの設計と画素配列の改良に関する検討, 平成28年度 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2016/12/17
- 78) 星信芳, 木村孝之, 耐放射線性を有したしきい値変動に強いチョップパ型コンパレータの設計及び特性評価, 平成28年度 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2016/12/17

- 79) 坂入悠介, 森章弘, 木村孝之, 増澤徹, 集積化磁気センサにおけるゲート及びドレイン電圧制御による CDS 実現に関する研究, 平成28年度 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2016/12/17
- 80) 宮崎正彦, 長谷川基輝, 木村孝之, 暗電流抑制のための GatedPD 構造を有する耐放射線性 CMOS イメージセンサにおける暗電流の評価, 平成28年度 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2016/12/17
- 81) 渡邊隆夫, 今川宏伸, 木村孝之, 増澤徹, サブピクセルレベルでの画像相関位置検出の精度向上のためのフィルタ処理に関する研究, 平成28年度 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2016/12/17
- 82) 安田真, 近藤良, 岡田養二, 北山文矢, バイラテラル制御を用いた装着型脚支援システム, 第17回システムインテグレーション部門講演会(SI2016), 2016/12/17
- 83) 石川悠子, 湊淳, LED を用いた水色計による湖沼の汚染計測, 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2016/12/17
- 84) NGUYEN NGOC TIN, 出村美咲, 湊淳, 移動型 CO<sub>2</sub> 計測装置の開発, 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2016/12/17
- 85) 菅野亮太, 芝軒太郎, 中村豪, 陳隆明, 辻敏夫, 誤認識を利用した代用発声システム, 第 17 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2016), pp. 2105-2106, 2016/12.
- 86) 北嶋和心, 田中伸厚, 斉藤史弥, 粒子法による CFD とヘッドマウントディスプレイを用いた津波仮想体験システムの開発, 日本機械学会第 21 回動力エネルギー技術シンポジウム, A117(2016)
- 87) 清水良真(茨城大), 青山拓真, 西村建, 田中伸厚, 水素の成層崩壊に関する数値解析的研究, 日本機械学会第 21 回動力エネルギー技術シンポジウム, B135 (2016)
- 88) 斉藤史弥, 田中伸厚, 北嶋 和心, CFD と Head Mounted Display を用いた可搬型津波仮想体感システムの開発, 可視化情報全国講演会, A105(2016)
- 89) 小泉綾香, 増澤徹, 國府田芳彰, 長真啓, 磁気浮上血液ポンプのマグネットカップリング機構の設計, 第 29 回バイオエンジニアリング講演会 2017/1/19-20
- 90) 長山和亮, 核の変形が細胞の生理機能に及ぼす影響, 日本機械学会第 29 回バイオエンジニアリング講演会, 2017/01/20
- 91) 池田雄, 鈴木準平, 藤田昌史, 汽水性二枚貝ヤマトシジミの都市下水に対する抗酸化応答と細胞損傷の関係, 第 51 回日本水環境学会年会, 2017/03.
- 92) 増子沙也香, 鈴木準平, 藤田昌史, 汽水性二枚貝ヤマトシジミの炭素収支に基づく成長余力評価手法の確立, 第 51 回日本水環境学会年会, 2017/03.
- 93) 松原弘和, 王峰宇, 藤田昌史, 気体透過膜を導入した二槽式微生物燃料電池による有機物・窒素の同時除去手法の検討, 第 51 回日本水環境学会年会, 2017/03.

(国際学会)

- 1) Toru Masuzawa, The effect of 3-dimentional micro-geometrical structures of bio-material surface on flow and adhesion phase in thrombus cascade, ASAIO 62<sup>nd</sup> Annual Conference , 2016/6/15-18
- 2) K. Nagayama, A Study For The Effects Of The Mechanical Trapping Of The Nucleus On Cellular Events Using A Micropillar Substrate, The 2016 Summer Biomechanics, Bioengineering and Biotransport Conference (SB3C2016), 2016/06/29-07/02
- 3) Y. Okada, M. Touno, K. Matsuda, R. Kondo, T. Todaka, Six Pole type Hybrid Magnetic Bearing for Turbo-Machinery, 15th International Symposium on Magnetic Bearings, 2016/08/06

- 4) Toru Masuzawa, Effect of pulsatile operation on a maglev centrifugal blood pump, 2016 Annual Conference of the Asia-Pacific Society for Artificial Organs, 06, 2016/ 8/27
- 5) Wang, F., Fujita, M., Phosphorus removal method using wasted clam shells: Optimization of  $\text{Ca}^{2+}$  dissociation and  $\text{PO}_4^{3-}$  deposition, Water and Environment Technology Conference 2016 (WET2016), 2016/8.
- 6) Takuya Saito, Toru Masuzawa, Masahiro Osa, Eisuke Tatsumi, Miniaturization of pediatric ventricular assist device with a double stator maglev motor, 24<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps 2016/ 9/20-22
- 7) Yasuaki Watanabe, Toru Masuzawa, Michiko Murakami, Hiroyuki Onuma, Takashi Nishimura, Shunei Kyo, Performance enhancement of maglev ventricular assist device for mild heart disease patients, 24<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, 2016/9/20-22
- 8) Masahiro Osa, Toru Masuzawa, Takuya Saito, Eisuke Tatsumi, Improvement in a next generation maglev centrifugal pediatric VAD, 24<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, 2016/9/20-22
- 9) Ryota Sato, Toru Masuzawa, Masahiro Osa, Takashi Nishimura, Shunei Kyo, Noritsugu Naito, Eisuke Tatsumi, Magnetically levitated blood pump for extracorporeal circulation driven to synchronize with heart beat, 24<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, 2016/9/20-22
- 10) Yoshiaki Koda, Toru Masuzawa, Masahiro Osa, Daniel Lee Timms, Maglev motor optimization for single rotating actuator total artificial heart, 24<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, 2016/9/20-22
- 11) Akiko Oota, Toru Masuzawa, Kazuaki Nagayama, The investigation of hydrodynamic effect of the 3D micro-geometrical structures on physical adhesion phenomena of thrombus foamation, 24<sup>th</sup> Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, 2016/9/20-22
- 12) Y. Murayama, K. Terai, Y. Ohgoe, M. Hiratsuka, K. Ozeki, H. Nakamori, T. Moriyama, N. Nabatova-Gabain, Y. Wasai, M. Sakurai, K. Satoh and K. Hirakuri, Correlation between optical properties and biocompatibility of DLC films, BIT's 6<sup>th</sup> Annual World Congress of Nano Science & Technology, 2016/10/26
- 13) Kyoichi Terai, Yasuharu Ohgoe, Kazuhide Ozeki, Keisuke Sato and Kenji Hirakuri, Preparation of powdery state of amorphous carbon by HF-PECVD, BIT's 6<sup>th</sup> Annual World Congress of Nano Science & Technology, 2016/10/26
- 14) K. Nagayama, C. Sagawa, The biomechanical effects of the deformation and trapping of the nucleus on cellular functions, The 16th International Conference on Biomedical Engineering (ICBME2016), 2016/12/9
- 15) Ikeda, Y., Fujita, M., Oxidative stress responses of *Corbicula japonica* to environmental factors in brackish lakes, The 12th International Student Conference at Ibaraki University, 114, 2016/12.
- 16) Mashiko, S., Fujita, M., Development of a simple method for assessment of scope for growth of *Corbicula japonica*, The 12th International Student Conference at Ibaraki University, 116, 2016/12.
- 17) Bui, T.H., Fujita, M., Development of wastewater pipe system with novel functions: wastewater treatment and electric energy generation, The 12th International Student Conference at Ibaraki University, 131, 2016/12.
- 18) Machida, H., Fujita, M., Response of total antioxidant capacity of *Corbicula japonica* exposed to municipal wastewater, The 12th International Student Conference at Ibaraki University, 130, 2016/12.
- 19) Matsubara, H., Fujita, M., Simultaneous removal of carbon and nitrogen from phenol wastewater in a microbial fuel cell reactor with submerged oxygen permeable membrane module, The 12th International Student Conference at Ibaraki University, 129, 2016/12.

#### 【受賞等】

- 1) 受賞者:長真啓 若手研究者賞(基礎)1位, 第44回人工心臓と補助循環懇話会学術集会, 2016/3/4
- 2) 受賞者名: Junko Shirato, Terumi Inagaki, Satoshi Hozumi, 受賞名: EST POSTER AWARD at ISCIU12, 授与者: ISCIU12, 受賞日: 2016/12/26

#### 【特許】

- 1) 発明者: 尾関和秀, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「ハイドロキシアパタイトコーティング材及びその製造方法」, 出願番号: 特願 2016-163523
- 2) 発明者: 道辻洋平, 大竹正俊, 交通信号制御装置, 特許第 5999617 号, 2016/09/09
- 3) 発明者: 藤田昌史, 横木裕宗, 桑原祐史, 佐藤大作, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「海水を利用した下排水処理方法」, 特許第 5999598 号

#### 【新聞報道等】

- 1) 藤田昌史, 「涸沼の保全, 活用探る」, 茨城新聞, 掲載日: 2016/10/20
- 2) 藤田昌史, 「下水道への関心高めて」, 茨城新聞, 掲載日: 2016/12/6

#### 【競争的資金獲得】

1. 申請した競争的資金等の外部資金
- 1) 野口遵研究助成, 「世界最小の5軸制御磁気浮上モータを用いた完全磁気浮上型小児用人工心臓の研究開発」, 2,200千円, 2017年度, 研究代表者: 長真啓
- 2) 武田科学振興財団研究助成, 「世界初・世界最小の完全磁気浮上型連続流式小児用人工心臓の研究開発」, 2,000千円, 2017年度, 研究代表者: 長真啓
- 3) NSKメカトロニクス高度化財団研究助成, 「5軸制御磁気浮上モータの力学特性を応用した世界初・世界最小小児用人工心臓のための磁気浮上モータの超小型化」, 2,000千円, 2017年度, 研究代表者: 長真啓
- 4) 津川モータ研究財団研究助成, 「次世代型小児用人工心臓のための世界最小5軸制御アキシヤルギャップ磁気浮上モータの研究開発」, 1,000千円, 2017年度, 研究代表者: 長真啓
- 5) 第47回(平成28年度)三菱財団自然科学研究助成, 「核の力学場に立脚したDNA損傷の防御機構の解明とその制御」, 9,000千円, 2016年度, 研究代表者: 長山和亮
- 6) 第48回(平成28年度)内藤記念科学奨励金・研究助成, 「細胞核の力学場に立脚した細胞放射線耐性制御技術の開発」, 3,000千円, 2016年度~2017年度, 研究代表者: 長山和亮
- 7) 平成28年 マッチングプランナープログラム「企業ニーズ解決試験」, 「建築物のヘルスマonitoringのための傾斜計測技術の開発」, 1700千円, 2016年度, 研究代表者: 湊 淳
- 8) 平成28年 公益財団法人津川モーター研究財団, 「人工心臓のための小型ホモポーラ・ハイブリッド型磁気浮上モータの研究開発」, 1,000千円, 2016年度, 研究代表者: 増澤徹

## 2.申請した科学研究費補助金

- 1) 文部科学省 平成 29 年度 新学術領域研究(研究領域提案型),「振動で身体を操る:触覚刺激を利用した身体動揺制御支援システムの開発」, 9,000 千円, 2017 年度~2018 年度, 研究代表者:芝軒太郎
- 2) 文部科学省 平成 29 年度 新学術領域研究(公募),「細胞骨格~核膜~クロマチンの“力学的繋がり”に基づく細胞機能の秩序形成」, 6,000 千円, 2017 年度~2018 年度, 研究代表者:長山和亮
- 3) 文部科学省 平成 29 年度 基盤研究(B),「核の力学場に立脚した細胞の放射線耐性調整機構の解明」, 20,000 千円, 2017 年度~2019 年度, 研究代表者:長山和亮
- 4) 文部科学省 平成 29 年度 基盤研究(B),「単一磁気浮上モータを用いた完全置換型連続流人工心臓の研究開発」, 19,999 千円, 2017 年度~2020 年度, 研究代表者:増澤徹
- 5) 文部科学省 平成 29 年度 基盤研究(B),「オクタフルオロシクロペンテンを用いる新規含フッ素ポリマー・ポリオール合成」, 18,193 千円, 2017 年度~2019 年度, 研究代表者:久保田俊夫
- 6) 文部科学省 平成 29 年度 基盤研究(C),「高齢者に散歩を促す携帯型ロボットの開発」, 4,980 千円, 2017 年度~2019 年度, 研究代表者:森 善一
- 7) 文部科学省 平成 29 年度 基盤研究(C),「走行安定性と曲線通過性能を両立する傾斜軸自己操舵台車の車両編成解析」, 4,550 千円, 2017 年度~2018 年度, 研究代表者:道辻 洋平
- 8) 文部科学省 平成 29 年度 基盤研究(C),「防災のための傾斜計測計における気泡の動的特性に関する研究」, 3,670 千円, 2017 年度~2020 年度, 研究代表者:湊 淳
- 9) 文部科学省 平成 28 年度 基盤研究(C),「両心補助人工心臓用ホモポーラ・コンシクエント統合型 5 軸制御セルフベアリングモータ」, 2,810 千円, 2016 年度~2018 年度, 研究代表者:松田健一
- 10) 文部科学省 平成 29 年度 挑戦的研究(萌芽),「新規含フッ素モノマー・合成ブロックへの変換を指向する代替フロン溶剤の資源化処理」, 18,193 千円, 2017 年度~2018 年度, 研究代表者:久保田俊夫
- 11) 文部科学省 平成 29 年度 挑戦的研究(萌芽),「多足類の適応歩行メカニズム理解のための生工融合研究」, 2,440 千円, 2017 年度~2018 年度, 研究代表者:井上康介
- 12) 文部科学省 平成 28 年度 挑戦的研究(萌芽),「細胞の“構造と力の記憶”メカニズムを探る」, 5,000 千円, 2016 年度~2017 年度, 研究代表者:長山和亮
- 13) 文部科学省 平成 29 年度 若手研究(B),「双腕協調タスクモデルに基づく 5 指駆動型筋電動義手の提案と義手処方支援」, 5,000 千円, 2017 年度~2019 年度, 研究代表者:芝軒太郎
- 14) 文部科学省 平成 29 年度 若手研究(B),「開水路における集水装置付き軸流水車の自由表面を有する流れ場と集水増速機構の解明」, 4,864 千円, 2017 年度~2018 年度, 研究代表者:西 泰行
- 15) 文部科学省 平成 29 年度 若手研究(B),「視覚・触覚複合情報伝達方式による効率的周囲状況伝達インタフェースの開発と検証」, 3,653 千円, 2019 年度~2023 年度, 研究代表者:住谷秀保

## 3.採択された競争的資金等の外部資金

- 1) 津川モータ研究財団研究助成,「次世代型小児用人工心臓のための世界最小 5 軸制御アキシシャルギャップ磁気浮上モータの研究開発」, 500 千円, 2017 年度, 研究代表者:長真啓
- 2) 国立研究開発法人日本医療研究開発機構の「革新的先端研究開発支援事業(AMED-CREST:ユニットタイプ)」,「血管疾患発生機構の解明に向けた組織・細胞・核のメカトランスダクションの統合解析技術の開発」, 30,300 千円(分担金), 2016 年度, 研究分担者:長山和亮, 研究代表者:松本健郎(名古屋工業大学)
- 3) 第 48 回(平成 28 年度)内藤記念科学奨励金・研究助成,「細胞核の力学場に立脚した細胞放射線耐性制御技術の開発」, 3,000 千円, 2016 年度~2017 年度, 研究代表者:長山和亮

- 4) 平成 28 年 マッチングプランナープログラム「企業ニーズ解決試験」, 「建築物のヘルスマonitoringのための傾斜計測技術の開発」, 1700 千円, 2016 年度, 研究代表者: 湊 淳
- 5) 公益財団法人鉄鋼環境基金 2016 年度研究助成金, 創エネ型の有機物・窒素同時除去フェノール系排水処理手法の開発, 1,500 千円, 2016 年度, 研究代表者: 藤田昌史
- 6) 平成 28 年度 公益財団法人津川モーター研究財団助成金, 「人工心臓のための超小型ホモポーラ・ハイブリッド型磁気浮上モータの研究開発」, 500 千円, 2016 年度, 研究代表者: 増澤徹

#### 4.採択された科学研究費補助金

- 1) 文部科学省 平成 28 年度 基盤研究(C), 「シミュレーションとロボットを用いた4足動物の移動パターン生成原理の追究と評価」, 4,810 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 福岡泰宏
- 2) 文部科学省 平成 28 年度 基盤研究(C), 「低位熱エネルギー回収向け多段型相変化蓄熱熱交換システムの開発と熱輸送機構の解明」, 4,680 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 稲垣照美
- 3) 文部科学省 平成 28 年度 基盤研究(C), 「両心補助人工心臓用ホモポーラ・コンシクエント統合型 5 軸制御セルフベアリングモータ」, 2,810 千円, 2016 年度～2018 年度, 研究代表者: 松田健一
- 4) 文部科学省 平成 26 年度 基盤研究(C), 「一般トイレ利用可能・車いすに常備できる折りたたみ移乗器の開発」, 4,940 千円, 2014 年度～2016 年度, 研究代表者: 森 善一
- 5) 文部科学省 平成 26 年度 基盤研究(C), 「筋シナジーモデルに基づく 5 指駆動型電動義手制御法の提案と筋電義手処方支援」, H26～H28, 研究分担者: 芝軒太郎
- 6) 文部科学省 平成 26 年度 基盤研究(C), 「誤認識を利用した音声操作型環境制御装置: Bio-remote の提案と障害者支援」, H26～H28, 研究代表者: 芝軒太郎
- 7) 文部科学省 平成 28 年度 挑戦的萌芽研究, 「細胞の“構造と力の記憶”メカニズムを探る」, 3,000 千円, 2016 年度～2017 年度, 研究代表者: 長山和亮
- 8) 文部科学省 平成 27 年度 挑戦的萌芽研究, 「複合低エネルギー生体組織接合のコラーゲン構造変化可視化と冠動脈血管吻合への適用」, 総額直接経費 2,800 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 増澤 徹
- 9) 文部科学省 平成 27 年度 挑戦的萌芽研究, 「中部太平洋環礁のためのエネルギー自立型生活排水処理手法の開発」, 2,730 千円, 2015 年度～2016 年度, 研究代表者: 藤田昌史
- 10) 文部科学省 平成 28 年度 若手(B), 「磁気浮上・流体機械システム融合による小児用人工心臓用磁気浮上モータの超小型化」, 4,980 千円, 2016 年度～2019 年度, 研究代表者: 長真啓
- 11) 文部科学省 平成 28 年度 若手研究(B), 「Research and development of a new quantitative flow visualization technique for micro-scale flow field based on quantum dots」, 4,290 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 李艶栄

茨城大学戦略的研究

「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」

茨城大学工学部附属ライフサポート科学教育研究センター

2016年度報告書

発行日 平成29年3月

発行者 茨城大学 工学部 機械工学科  
教授 増澤 徹  
〒316-8511 日立市中成沢町4-12-1  
Tel: 0294-38-5250 Fax: 0294-38-5047

※禁無断転載

茨城大学工学部附属教育研究センター

<http://www.eng.ibaraki.ac.jp/research/centers/index.html>

ライフサポート科学教育研究センター

<http://www.eng.ibaraki.ac.jp/research/centers/life/index.html>