

茨城大学重点研究

「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

2014年度

報告書

茨城大学重点研究「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 26 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 26 年度は本研究グループに新たに智能システム工学科の長山教授，情報工学科の芝軒助教を迎え，より充実した研究グループ陣容となりました。また，森善一先生と長山先生に工学部附属教育開発センターの副センター長をお願いし，新たな活動も広がりつつあります。新副センター長のもと，プロジェクト推進活動として「生命支援領域」、「生活支援領域」、「環境創出領域」各研究領域幹事による幹事会によりプロジェクト運営を行いました。茨城大学から助成を受けている学術推進経費は、プロジェクト全体の底上げを図るための以下の若手や新分野の研究育成、重点研究講演会の開催費用、報告書作成費用として有効利用させていただきました。

【平成 25 年度の若手・新分野研究題目】

1. 「超小型小児用磁気浮上人工心臓の研究開発」長真啓
2. 「生体信号を利用した人間－機械学習インタフェースの提案と医療福祉応用」
芝軒太郎
3. 「細胞機能操作・診断ツールとしての磁気駆動式 MEMS デバイスの開発」長山和亮

平成 26 年 10 月 8 日に茨城大学工学部附属教育研究センター公開シンポジウムにて、道辻洋平先生、長真啓先生がそれぞれ「鉄道・自動車のモニタリング技術を活用した安全性向上に関する研究」、「5 軸制御磁気浮モータを用いた小児用人工心臓に関する研究」について発表されました。

平成 26 年 11 月 28 日には茨城大学重点研究「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」シンポジウムを開催し，東京大学医学系研究科疾患生命工学センターの牛田多加志教授に「再生医療における 3 要素+1 要素」の講演をお願いし，再生医療に必要な技術要素について興味深いお話を伺いました。

更に今年度は茨城大学のイノベーション研究創出推進プログラム【異分野連携・融合研究】にライフサポート研究グループとして申請し 2 件の研究が採択されました。

平成 26 年度の研究業績は、原著論文 55 編、国際会議発表 28 件、学会発表 132 件、特許成立 5 件、特許出願 4 件、学会賞等受賞 5 件、著書・解説 7 編、競争的資金獲得 7 件、科研費 14 件でした。特に環境創出領域の若手研究者の原著論文数が多く，今後の発展が期待されます。今後とも参加メンバー一同、茨城大学重点研究としてライフサポート科学の更なる発展に貢献していきたいと存じます。

「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・准教授）、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・准教授）、
井上康介（知能・講師）、福岡泰宏（知能・准教授）、芝軒太郎（情報・助教）

○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・講師）、李艶栄（機械・助教）

茨城大学重点研究とは...

下記のように茨城大学重点研究認定制度実施要項の目的に定義されています。

「茨城大学は、研究推進方針において重視している、特色ある重点研究の育成と推進を目指して、優れた研究実績を有する研究グループが実施し、学術的及び社会的に卓越した研究成果の創造を目指す研究プロジェクトを重点研究として認定する。」

－目次－

1. 研究報告

1. 「超小型小児用磁気浮上人工心臓の研究開発」
(長 真啓, 増澤 徹) －1－

2. 「生体信号を利用した人間－機械学習インターフェースの提案と医療福祉応用」
(芝軒 太郎, 森 善一) －7－

3. 「細胞機能操作・診断ツールとしての磁気駆動式MEMSデバイスの開発」
(長山 和亮, 増澤 徹, 長 真啓) －13－

4. 関連発表資料等 －17－

2. プロジェクト業績

1. 活動実績, 講演会資料等 －22－

2. 業績一覧 －33－

1.研究報告

超小型小児用磁気浮上人工心臓の研究開発

Miniature magnetically levitated pediatric ventricular assist device

長真啓, 増澤徹

茨城大学工学部機械工学科

Masahiro Osa, Toru Masuzawa

Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Ibaraki University

1. 緒言

本邦では年間 4500 人以上の小児死亡者のうち約 10 %が循環器系あるいは呼吸器系疾患を死因としている。臓器移植法改正により 15 歳以下の小児も心臓移植を受けられるようになったが、深刻なドナー不足から小児患者の心臓移植は 2012 年に 1 例のみであり、多くの心疾患小児は未来が閉ざされた状態にある。小児心疾患患者にも機械的循環補助が心臓移植に代わる強力な治療手段となり得るが、解剖学的な制限から既存の補助人工心臓は 10 歳以下の体格の小さな小児、乳幼児に適用できない。小児補助循環治療のニーズが高まる一方で、小児用人工心臓には小型、高耐久、優れた血液適合性等、人工心臓の中でも非常に高い要求が課せられているため、その実用化は容易ではない⁽¹⁾。小児用人工心臓実現の鍵を握るのは血液適合性の優れた軸受機構の開発⁽²⁾とその小型化である。本研究では、人工心臓から機械的摺動部を完全に撤廃できる磁気浮上モータを超小型化することで小児用人工心臓開発へ挑戦する。

2. 小児用磁気浮上人工心臓試験機の製作と評価

2.1 5 軸制御磁気浮上モータと小児用人工心臓の

超小型小児用磁気浮上人工心臓を開発するために、新規な 5 軸制御磁気浮上モータを考案し、本磁気浮上モータを用いた小児用磁気浮上人工心臓試験機を設計、製作、評価した。提案するアキシヤルギャップ 5 軸制御磁気浮上モータは永久磁石同期モータを用いるため広いエアギャップを有しながら高い磁気支持力と回転トルクを生成可能である。また、磁気浮上モータにダブルステータ構造を採用することで、高トルク生成と浮上インペラ姿勢の 5 軸制御を実現する。Fig. 1 に 5 軸制御磁気浮上モータの概要を示す。本モータは、同一構造を有する 12 突極の上部ステータ、下部ステータにより浮上インペラを軸方向上下から挟み込む構造を採る。浮上インペラの軸方向両表面にはモータステータと向かい合う

ように軸方向に着磁された 8 極の回転用永久磁石が

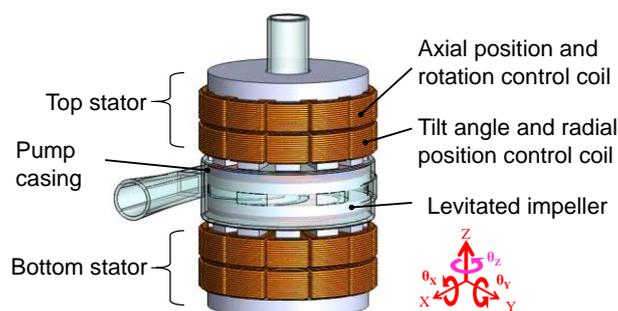


Fig.1 小児用磁気浮上人工心臓の概要

配置されている。浮上インペラの 5 軸を能動的に制御するために、上下モータステータの各突極に 3 相 8 極の磁界を発生させる軸方向位置・回転制御用コイルおよび 2 相 6 極の磁界を発生させる傾き角度・径方向位置制御用コイルをそれぞれ独立に配置している。浮上インペラに配置した永久磁石と制御用コイルが発生する磁気支持・回転用の磁界のみを用いて浮上インペラ姿勢の 5 軸制御と回転をすべて独立に行うため、浮上インペラの支持機構として追加的な能動磁気軸受や永久磁石軸受を必要とせず、磁気浮上モータを小型化することができる。

2.2 磁気浮上制御原理

浮上インペラの軸方向位置、回転制御にはベクトル制御を適用する。アキシヤルギャップモータにベクトル制御を用いることでモータ駆動磁界のみを用いて浮上インペラに軸方向磁気支持力と回転トルクを独立に発生できる⁽³⁾。Fig. 2 に軸方向支持力発生原理の概要を示す。制御磁界の d 軸成分を調節し、浮上インペラに配置した永久磁石が上下のエアギャップ中に発生させる磁界の一方を強め、もう一方を弱めることで、浮上インペラ上下に働く軸方向吸引力に不均衡を生じさせて軸方向支持力を発生させる。同時に、制御磁界の q 軸成分を調節すること

で永久磁石と制御用コイルが発生する磁界に位相差を与えて回転トルクを発生させる。モータ突極の内径、外径を r_1 , r_2 とし、永久磁石の極

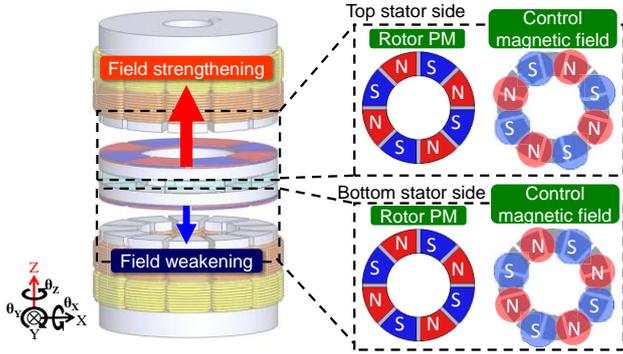


Fig.2 軸方向位置制御原理

対数を M , 回転用永久磁石の磁界 B_p と制御用電磁石の磁界 B_e との位相差を Ψ とするとき、浮上インペラに働く軸方向支持力および回転トルクは次式となる。

$$F = \frac{(r_2^2 - r_1^2)\pi}{\mu_0} B_p B_e \cos M\Psi \quad (1)$$

$$T = \frac{z(r_2^2 - r_1^2)\pi}{\mu_0} B_p B_e \sin M\Psi \quad (2)$$

本式より、軸方向支持力と回転トルクはそれぞれ制御磁界の大きさと位相差を変化させることで調節できる。

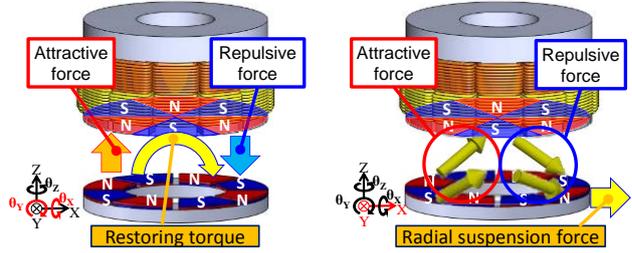
浮上インペラの径方向軸周りの傾き角度と径方向位置制御には $P \pm 2$ 極理論を適用し⁽⁴⁾, 浮上インペラ永久磁石の極数を P とするとき、傾き角度・径方向位置制御用コイルが発生する磁界の極数を $P \pm 2$ 極とする。Fig. 3 に Y 軸回りの傾き復元トルクと X 軸方向の径方向支持力の発生原理を示す。簡単化のために上部ステータと浮上インペラ上面のみを示す。

$P \pm 2$ 極理論に基づく制御磁界は、浮上インペラ永久磁石が発生する磁界をインペラ左半分で強め合い、インペラ右半分では弱めあうように配置される。これにより、Fig. 3 (a) に示すような Y 軸回りの傾き復元トルクが発生する。傾き制御磁界を B_{θ_y} としたとき、浮上インペラに働く傾き復元トルクは次式となる。

$$F = \frac{(r_2^3 - r_1^3)\pi}{6\mu_0} B_p B_{\theta_y} \quad (3)$$

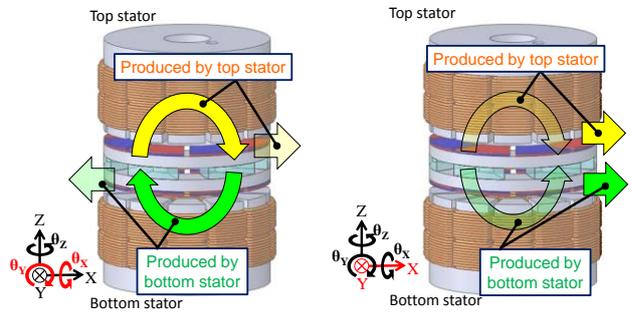
本式より、浮上インペラの回転角度によらず一定の傾き復元トルクを発生できることが分かる。傾き復元トルクの発生と同時に、浮上インペラ永久磁石の磁界と制御磁界の磁極配置により Fig. 3 (b) に示す

吸引力と反発力が発生する。このため、浮上インペラの X 軸方向に径方向支持力が発生する。制御磁界の位相を電気角で 90 deg ずらすことで X 軸周りの傾き復元トルクと Y 軸方向の径方向支持力も同様の方法を用いて発生できる。



(a) 傾き復元トルク (b) 径方向支持力

Fig.3 傾き復元トルクと径方向支持力発生原理



(a) 傾き角度制御 (b) 径方向位置制御

Fig.4 傾き角度および径方向位置の独立制御原理

ダブルステータ構造に $P \pm 2$ 極理論を適用し、上下のモータステータにより傾き復元トルクと径方向力をそれぞれ調節することで浮上インペラの傾き角度 (θ_x , θ_y) と径方向位置 (x , y) を独立に制御する方式を考案した。Fig. 4 に浮上インペラの Y 軸周りの傾き角度と X 軸方向位置の独立制御の概要を示す。上下のモータの性能が等しく、発生する傾き復元トルクと径方向支持力が等しいものとする。上下のモータステータで Y 軸周りの傾き復元トルクを重畳するように発生させると、X 軸方向の径方向支持力は互いに相殺され傾き復元トルクのみを得ることができる (Fig. 4 (a)). 一方、上下のモータステータで Y 軸周りの傾き復元トルクを相殺するように発生させると、重畳された X 軸方向の径方向支持力のみを発生させることができる (Fig. 4 (b)). 浮上インペラの X 軸周りの傾き角度と Y 軸方向位置についても同様の方法を用いて制御できる。

2.3 制御システム

浮上インペラ姿勢の 5 軸フィードバック制御系の概要を Fig. 5 に示す。浮上インペラの X 軸, Y 軸上に 1 つずつ配置した渦電流変位センサ (PU-03A, 株式会社電子応用) を用いて径方向位置 (x , y) を計

測する。モータステータ突極の内側に 90 deg 間隔に配置した 3 つの渦電流変位センサを用いて浮上インペラの軸方向位置 (z) と径方向軸周りの傾き角度 (θ_x , θ_y) を計測する。ステータスロットに配置した 3 つのホール素子 (HG-302C, 旭化成株式会社) を用いて浮上インペラ

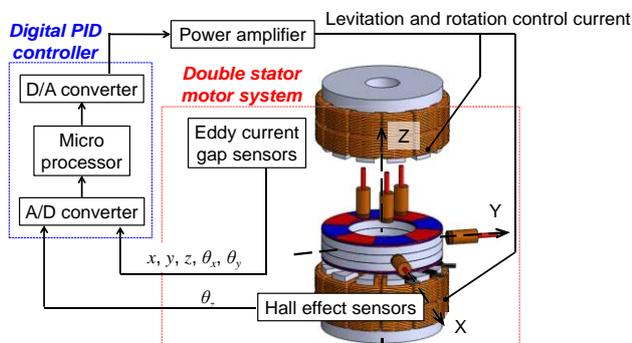


Fig.5 磁気浮上回転制御系の概要

永久磁石が発生する磁束を検出し回転角度 (θ_z) を電気角度で 30 deg ごとに検出する。各センサが出力するアナログ信号をデジタル信号に変換し、高速演算処理を行うために、A/D 変換器、D/A 変換器、マイクロプロセッサを 1 つのボードに内蔵したプロセッサボード ds1104 (dSPACE GmbH, Paderborn) を用いる。浮上インペラ姿勢の計測信号からデジタル PID コントローラを用いて指令制御電流値を決定し、パワーアンプを用いて上下ステータの各制御用コイルへ電流を印加することで 5 軸能動制御と回転制御を行う。

2.4 磁気浮上血液ポンプ

5 軸制御磁気浮上モータと遠心血液ポンプを組み合わせて、Fig. 6 に示す小児用磁気浮上人工心臓を製作した。5 軸制御磁気浮上モータは外径 28 mm、高さ 41 mm である。モータステータのコア材料には電磁軟鉄バルク材 (SUY-1) を使用した。軸方向位置・回転制御用コイルと傾き角度・径方向位置制御用コイルの巻き数を 1 突極あたりそれぞれ 58 巻きとした。浮上インペラに配置した永久磁石には保磁力が 960 kA/m、残留磁束密度が 1.18 T のネオジウム磁石を使用し、厚さを 0.7 mm とした。渦電流変位センサへの干渉を避けるために遠心血液ポンプのケーシングをポリカーボネートで製作し、磁気浮上モータのロータ金属表面が血液と接触して腐食するのを防止するためにエポキシ樹脂を用いて浮上インペラを樹脂成型した。製作した人工心臓の幅は 55 mm×55 mm、高さは 48.6 mm である。ポンプの血液充填量は 5 cc である。

2.5 磁気浮上血液ポンプの性能評価

製作した小児用磁気浮上人工心臓を模擬循環閉回路へ接続して血液ポンプ駆出性能と 5 軸制御磁気浮上モータの磁気支持性能を評価した。ポンプ性能評価用循環回路の写真を Fig. 7 に示す。模擬循環閉回路は磁気浮上人工心臓ポンプ、歪ゲージ式圧力計 (NEC Avio 赤外線テクノロジー株式会社 9E02-P13)、電磁流量計 (プ



Fig.6 製作した小児用磁気浮上人工心臓

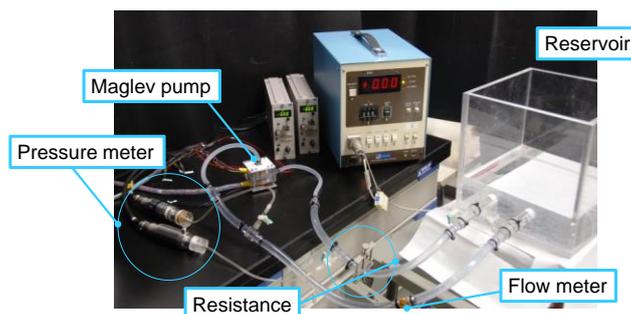


Fig.7 小児用磁気浮上人工心臓評価試験系

ローブ径 12 mm, 日本光電 MFV-2100), 絞り抵抗, リザーバから構成される。圧力計を磁気浮上血液ポンプの流入口と流出口にそれぞれ配置し、測定した二か所の圧力差をポンプ揚程とした。インペラを磁気浮上, 回転させ, 絞り抵抗により回路の抵抗を変化させることでポンプ駆出流量を 0 L/min から抵抗を解放するまで 0.5 L/min ずつ調節し, 磁気浮上ポンプの送出流量と揚程の関係を評価した。浮上インペラの回転数は 2000 rpm から 5000 rpm まで 500 rpm ずつ変化させた。併せて, ポンプ送液中の浮上インペラの軸方向振動振幅, 径方向振動振幅および傾き角度を評価した。

3.結果

製作した小児用磁気浮上人工心臓のポンプ揚程と送出流量の測定結果とポンプ効率を Fig. 8 および Fig. 9 に示す。浮上インペラを回転数 2000 rpm か

ら 5000 rpm まで非接触磁気支持, 回転させることができた. 本人工心臓は, ポンプ揚程 100 mmHg に対して送出流量を 0.1 L/min から 5 L/min まで調節可能であった. また, 浮上インペラ回転数 5000 rpm において, ポンプ最大揚程が 300 mmHg, 最大流量が 6 L/min であった. ポンプ送液中における浮上インペラの軸方向振動振幅を Fig. 10, 径方向振動振幅を Fig. 11, 傾き角度変動を Fig. 12 に示す. 小児用人工心臓の駆動条件で浮上インペラの軸方向振動振幅は 50 μm , 径方向振動振幅は 150 μm 以下でありポンプのクリアランスに対して十分小さ

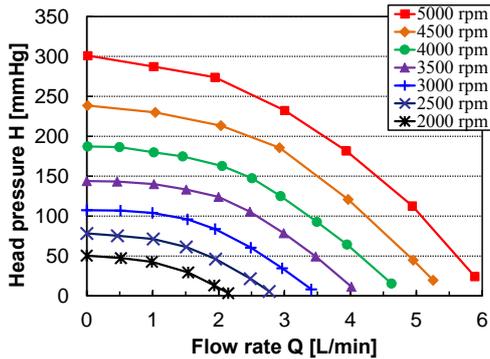


Fig.8 HQ 特性

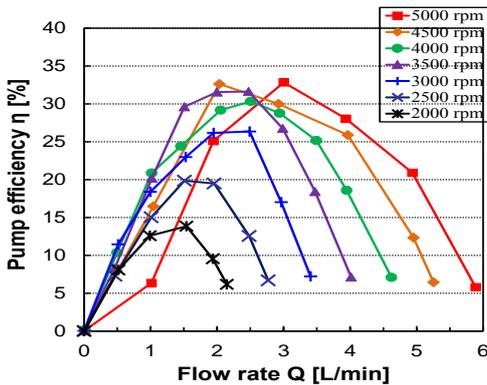


Fig.9 ポンプ効率

かった. また, 浮上インペラの最大傾き角度変動は 1.2 deg 以下でありポンプケーシングとの接触はなかった. 小児用人工心臓の目標送出流量である 0.5 L/min から 2.5 L/min を満たすポンプ回転数 3000 rpm から 4000 rpm, 送出流量 0.5 L/min から 3 L/min における浮上インペラ軸心の位置を Fig. 13 に示す. 浮上インペラは, ポンプ流量が 0.5 L/min のときに右半平面に位置し, ポンプ流量が 3 L/min に増加すると左半平面へ移動した.

4. 考察

乳幼児を含む小児への埋め込みを目指した人工心臓には厳しいサイズ制限と高い耐久性が求められる. また, 患者の成長に合わせて補助流量を調節こ

とで人工心臓動作点の変化に応じてインペラに働く流体力, 負荷トルクが様々に変化する. 提案する 5 軸制御磁気浮上モータは二つのモータステータのみを用いて浮上インペラ姿勢の全自由度を能動制御でき, かつ高トルクを生成できるため, 人工心臓の小型化, 高耐久化と併せて, 変動流体力, 負荷トルクに対応した浮上インペラの非接触磁気支持, 回転を実現できる.

製作した小児用磁気浮上人工心臓ポンプはインペラ回転数 3000 rpm から 4000 rpm の範囲で目標ポンプ性能の揚程 100 mmHg, 流量 0.5 L/min から 2.5 L/min を達成可能であり, 小児用人工心臓として十分な性能を

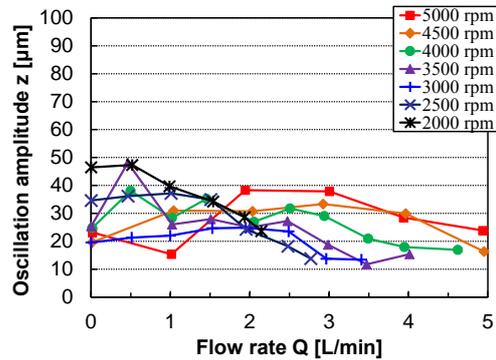


Fig.10 軸方向振動振幅

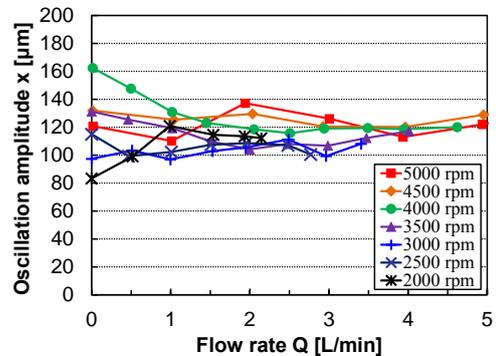


Fig.11 径方向振動振幅

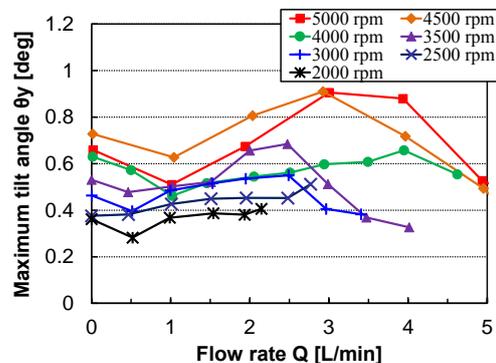


Fig.12 最大傾き角度

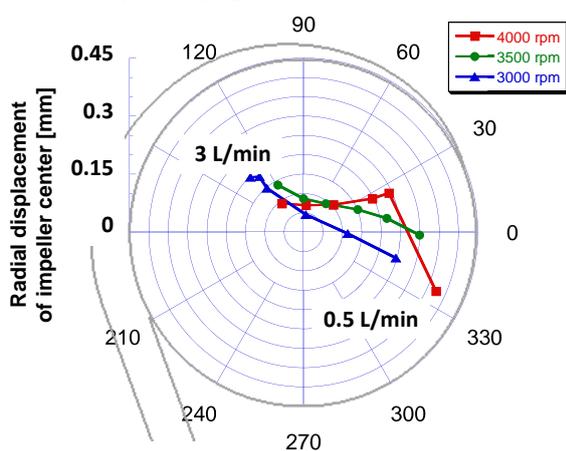


Fig.13 浮上インペラの径方向軸心軌跡

有していた。インペラ回転数を 5000 rpm まで増加させると成人用人工心臓として用いられる揚程 100 mmHg, 流量 5 L/min で駆動可能であり, 乳幼児期の小児から成長期に対応できる。小児用人工心臓送液中における浮上インペラの振動振幅は軸方向に比べて径方向で大きくなった。本点は, 径方向流体力の方が軸方向流体力よりも大きくなること, 磁気浮上モータが発生する径方向支持力が軸方向支持力に対して小さいためであると考えられる。しかし, 径方向振動振幅はポンプのクリアランスに対して十分小さく安定した磁気支持が行えていると考える。浮上インペラ軸心はポンプ送出流量に応じて変動した。これは, ポンプ送出流量に対して径方向流体力が変動するためである。浮上インペラの径方向位置制御において I 制御を行うことで, 流体力変動によらずインペラ軸心を磁気浮上中心位置に調心可能であると考えられる。

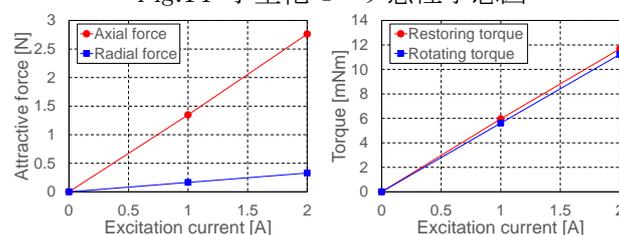
5.提案 5 軸制御磁気浮上モータの小型化設計

これまでに開発した磁気浮上型小児用人工心臓は外径 28 mm, 高さ 41 mm, 体積 25 cc と人工心臓として十分に小型であるが, 体格の小さな小児に埋め込むためには更なるデバイスの小型化が必要である。このため, 理論計算, 有限要素法三次元磁場解析を活用して 5 軸制御磁気浮上モータの幾何学形状の最適化を行い, 磁気浮上モータの更なる小型化設計を行った。理論計算では式 (1) から (3) を用いて磁気浮上モータの初期寸法を決定した。有限要素法三次元磁場解析では, ステータ突極数, 永久磁石の形状と極数, コイル巻き数を決定した。磁気浮上モータを小型化設計するにあたり, 目標性能を①ロータ自重の 3 倍の荷重に対抗できる磁気支持力を発生可能であること, ②使用想定回転数 4000 rpm において必要な回転トルク 2 mNm を片側のステータで発生可能であることとした。

理論計算, 磁場解析をもとにステータ突極 6 極, ロータ永久磁石極数 4 極, 各突極のコイル巻き数 72 巻き磁気浮上モータを設計した。設計した磁気浮上モータの外径は 22 mm, 高さ 34 mm, 体積は 12 cc である (ロータ質量は 11 g と算出)。ステータ材料は SUY-1, 永久磁石はネオジム磁石とした。設計



Fig.14 小型化モータ感性予想図



(a) 発生磁気支持力

(b) 発生トルク

Fig.13 小型化モータの磁気支持回転性能推定結果

した磁気浮上モータの完成予想図を Fig.13 に示す。設計した磁気浮上モータの単位励磁電流あたりの発生磁気支持力は軸方向に 1.3 N/A, 径方向に 0.16 N/A であり目標性能①の 0.31 を満足した (Fig.14(a))。発生回転トルクは 5.6 mNm/A であり目標性能②を満足した (Fig.14(b))。

6.結論

二つのモータステータのみで浮上インペラ姿勢の 5 軸制御が可能な磁気浮上モータと小型遠心血液ポンプからなる小児用磁気浮上人工心臓を提案, 設計, 製作した。模擬循環閉回路を用いた磁気浮上血液ポンプ性能評価を行い, 乳幼児から成人患者まで循環補助可能なポンプ性能を確認した。ポンプ送液時の浮上インペラの振動振幅, 傾き角度は小さく, 製作した 5 軸制御磁気浮上モータは十分な磁気支持, 回転性能を示した。

体格の小さな小児の体内に埋め込み可能な人工心臓を実現するために, 磁気浮上モータの更なる小型化設計を行った。その結果, 小児用人工心臓に適用するのに十分な磁気支持回転性能を満足しながら, 既開発磁気浮上モータの 50 %までモータ体積を小型化することができた。今後, 製作した磁気浮上モータを用いて磁気浮上回転性能評価, 本モータに適用する血液ポンプの設計, 製作を行っていく。

【参考文献】

- 1) 小野稔, 補助人工心臓の現状と展望, 小児内科, vol.42, No.5, pp.784-788, 2010.
- 2) Daniel L. Timms, Nobuyuki Kurita, Nicholas Greatrex, Toru Masuzawa, BiVACOR A Magnetically Levitated Biventricular Artificial Heart, Proc. of MAGDA conference in Pacific Asia, pp.482-487, 2011.
- 3) Masahiro Osa, Toru Masuzawa, Eisuke Tatsumi, Miniaturized axial gap maglev motor with vector control for pediatric artificial heart, Journal of JSAEM, Vol. 20, No. 2, pp. 397-403, 2012.
- 4) Masahiro Osa, Toru Masuzawa, Eisuke Tatsumi, 5-DOF control double stator motor for paediatric ventricular assist device, Proceedings of ISMB13, paper41, 2012

生体信号を利用した人間－機械学習インタフェースの提案と医療福祉応用

An Interactive Human-Machine Interface based on Biological Signals
for Medical and Welfare Support

芝軒 太郎
工学部情報工学科

SHIBANOKI, Taro

Department of Computer and Information Sciences, College of Engineering

1. 概要

本研究プロジェクトでは、肢体不自由者個々の状態を学習し、各個人に適したインタフェースを構築可能な新たなシステムを提案する。

肢体不自由者の生活支援を目的として注目されている生体生理情報を利用したインタフェースにおいては、使用者それぞれの特徴に合わせてシステムを構築するとともに、使用者自身がシステム使用に慣れるための訓練を行う必要がある。

本年度は肢体不自由者個々の状態に適した新たなインタフェースの構築を目指し、

- 1: 環境制御装置: Bio-remote の音声操作方式
- 2: クラス偏 Kullback-Leibler (KL) 情報量に基づく筋電義手訓練システム

を提案した。

2. はじめに

近年、肢体不自由者の生活支援を目的として、人体から計測できる生体生理情報を利用したインタフェースが注目されている。例えば事故や病気などで腕を失われた上肢切断者の方に処方される筋電義手や首から下を動かすことが困難な頸髄損傷患者の方が利用する環境制御装置などがある。これらは筋の動きに伴って発生する筋電位や音声・呼気などの生体生理情報をその入力手段として利用する。しかしながら、生体信号を利用したインタフェースにおいては、①信号計測のためのセンサを適切に配置し、②計測した信号から被験者の動作意図を抽出、③その意図に応じて機器を正確に制御しなければならない。また、生体信号を利用したインタフェースにおいては、使用者がその使用方法を学習する必要があり、熟練には長期間を有する(例えば筋電義手の処方においては、通常数週間～数か月程度の入院・訓練が必要となる)。

著者は、これまでに情報選択のための新たな情報量: 偏 Kullback-Leibler (KL) 情報量を提案し、使用者

に適したセンサ位置、識別対象動作を選定可能な方法を構築するとともに、筋電義手や環境制御装置などの制御法について検討してきた。本報告書では、使用者個々の特性に適した新たなマン・マシン・インタフェースとして、環境制御装置: Bio-remote の音声操作方式とクラス偏 KL 情報量を利用した筋電義手訓練システムについて紹介する。

以下、3. で音声操作型環境制御装置: Bio-remote、4. でクラス偏 KL 情報量に基づく筋電義手訓練システムについて述べる。

3. 環境制御装置: Bio-remote の音声操作方式

3.1. 序論

日本国内における肢体不自由者数は、平成 26 年調査において推計で 393 万 7 千人となっており、そのうち在宅の肢体不自由者の人口は 386 万 4 千人と全体の約 98% を占めている [1]。超高齢化社会である我が国においては肢体不自由者の数は今後更に増加していくと予想される。

肢体不自由者の中でも特に重度肢体不自由者は、体を自由に動かすことが出来ず、家電製品などの身の回りの機器を操作することが困難である。肢体不自由者の生活を補助することを目的として、従来、環境制御装置 (environmental control system: ECS) の研究・開発がさまざま行われてきた [2]–[5]。著者の所属する研究グループにおいても、辻らは生体信号をはじめとする多種多様な入力手段を有する環境制御装置: Bio-remote を提案している [5]。しかしながら、生体生理情報の計測に用いるセンサ着脱に時間や手間がかかり使用者の負担となる問題や、身体動作を伴う操作では長時間の使用が困難であるといった問題があった。そこで、本研究では音声信号を用いた環境制御装置の操作方式について検討する。

音声操作型 ECS の開発は数多く行われており、計測した音声信号に対して、使用者ごとに事前の音声登録を必要としない不特定話者モデルを用いて音声認識

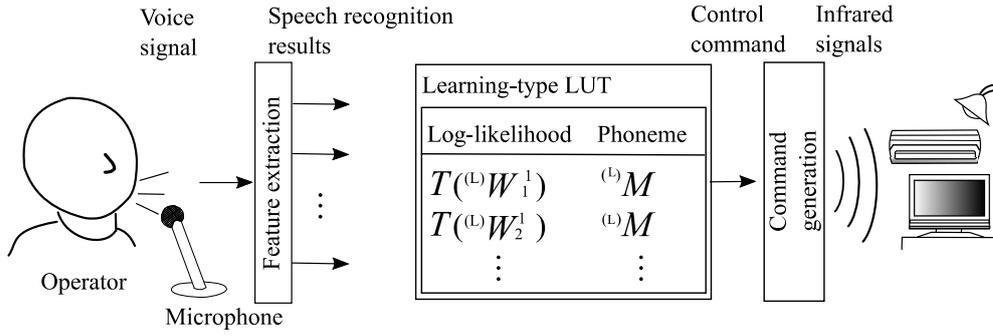


Fig.1 Overview of the proposed system

を行い、認識結果に応じた機器制御などを実現している。しかしながら、不特定話者モデルを用いた音声認識では構音障害者などの不明瞭な発話に対する精度は低く、精度向上のためには大量の音声データを用いて話者個々の特徴に合わせたモデルを個々に作成する必要がある。

これに対し著者の所属する研究グループにおいて、これまでに Bio-remote の音声操作方式について検討してきた [6]。この方法は、学習型 look-up table を用い、誤認識の候補を学習することで不明瞭な発話による誤認識を修正可能である。ただし、同音異義語が得られた際に学習によっては識別が困難になる問題があった。そこで各単語の音素列と尤度に注目し、曖昧な単語による誤認識を修正することで識別精度の向上を図る。

3.2. 音声操作型環境制御装置: Bio-remote

Fig. 1 に提案システムの構成を示す。提案システムは計測・特徴抽出部、操作意図識別部、機器制御部から構成される。

3.2.1. 音声信号計測・特徴抽出部 [6]

マイクを用いて計測した音声をA/D変換 (サンプリング周波数: f_s [Hz]) した信号を $E(t)$ とする。 $E(t)$ に対してメル周波数ケプストラム係数ベクトルを抽出し、その低次元成分を変換したものを特徴ベクトル \mathbf{X} と定義する。

次に、 \mathbf{X} を算出した時点で、ある単語列 \mathbf{W} が出現する確率 $P(\mathbf{W})$ を言語モデルを用いて求める。ここでは、 N -gram モデルにより、次式に示すように直前の $N-1$ (N は正数) 単語にだけ依存すると考えることで近似的に推定する。

$$P(\mathbf{W}) = \prod_{k=1}^{K+1} P(w_k | w_{k-N+1} w_{k-N+2} \cdots w_{k-1}) \quad (1)$$

ここで w_k ($k \leq 0$) と w_{K+1} は文頭と文末に対応する記号である。

また、単語列 \mathbf{W} から特徴ベクトル \mathbf{X} が生起する確率 $P(\mathbf{X}|\mathbf{W})$ を音響モデルを用いて求める。 $P(\mathbf{X}|\mathbf{W})$ は

単語列 \mathbf{W} を音素列 $\mathbf{M} = \{m_1, m_2, \dots, m_J\}$ (m_j : 音素, J : 音素数) に展開し、音素Hidden-Markov Model を \mathbf{X} とマッチングすることで次式に従い算出する。

$$P(\mathbf{X}|\mathbf{W}) = \prod_{j=1}^J P(\mathbf{X}|m_j) \quad (2)$$

そして、求めた $P(\mathbf{W})$ および $P(\mathbf{X}|\mathbf{W})$ を用いて事後確率 $P(\mathbf{W}|\mathbf{X}) = P(\mathbf{W}) P(\mathbf{X}|\mathbf{W})$ を算出し、 $P(\mathbf{W}|\mathbf{X})$ が最も高かった \mathbf{W} から上位 H 個の単語列 \mathbf{W}_h を認識結果として抽出する。

3.2.2. 操作意図識別部

操作意図識別部では学習型 look-up table (LUT) を参照することで機器の制御コマンドを決定する。学習型 LUT は抽出した認識結果と制御コマンドの対応関係を学習し、抽出結果に応じた機器の制御コマンドを選択することができる。

あらかじめ機器制御に用いる単語列を使用者に発話させ、誤認識を含む得られた抽出結果を LUT に学習させる。学習では、あらかじめ使用者に機器制御に用いる C 種類の単語列を発話させ、その際に得られた H 個の抽出結果のうち対数尤度上位 V 個 ($V \leq H$) の単語列の音素列 \mathbf{M}_v と対数尤度 $T(\mathbf{W}_v)$ を対応するクラスに学習させる。このとき、あるクラスの学習において学習する音素列が重複した場合は対数尤度の平均値を学習させる。

そして、学習後の LUT に新たな抽出結果を入力することで機器の制御コマンドを決定する。識別の際は、新たに得られた抽出結果のうち、対数尤度上位 U 個 ($U \leq H$) の抽出結果を用いる。まず、新たに入力された抽出結果の単語列の音素列 ${}^{(D)}\mathbf{M}_u$ と学習型 LUT の各識別対象クラスの音素列 ${}^{(L)}\mathbf{M}_c$ が一致するか比較する ($c = 1, 2, \dots, C$)。そして一致した単語列の学習データにおける対数尤度と新たに入力された抽出結果における対数尤度の差を求め、その差が最も小さい (類似度が最も高い) クラス c を識別結果とする。これにより、不明瞭な発話など、正しい単語列が抽出困難な場合や、共通する音素を持

つ同音異義語が抽出された場合においても意図した制御コマンドの選択が可能となる。

3.2.3. 家電機器制御部

機器制御部では、操作意図識別部で得られた識別結果をもとにBio-remote (BR) を用いて家電機器の制御を行う。提案システムでは、各識別対象クラスを制御コマンドに割り当てることで識別結果に応じた制御命令を生成する。BR は赤外線リモコンに対する学習機能を備えており、赤外線信号の記録・再生が可能である。そのため、選択した制御コマンドを赤外線信号として送信することで任意の機器を制御可能である。

3.3. 実験

3.3.1. 方法

被験者は健常成人男性 3 名(A-C: 24.3 ± 1.2 歳)とし、音声信号の計測を行った。このとき、不明瞭な発話を想定し、舌先を上顎中切歯の舌側に接触させた状態で発話させた。音声信号の計測には指向性マイク (AudioTechnica, AT-9942) およびアンプ (ONKYO, SE-U33GXV) を使用し、発話の記録と特徴抽出には大語彙連続音声認識エンジン Julius を用いた。実験では、Tab. 1 に示す 7 種類の単語列を 50 試行発話させ、10 試行のデータを学習型 LUT 作成用、40 試行を識別精度検証用データとして用いた。実験で使用したパラメータは、サンプリング周波数: $f_s = 16,000$ [Hz], 言語モデル: $N = 3$, 音声認識時に出力する単語候補数: $H = 10$, LUT の学習に使用する単語候補数: $V = 10$, 識別に使用する単語候補数: $U = 5$ である。

また、被験者 A を対象に実生活を想定して家電機器制御を行なわせた。

3.3.2. 結果と考察

Fig. 2 に学習型 LUT の作成および識別に用いるデータセットをランダムに 10 回変更して識別を行なった際の識別率を示す。図は各クラスの平均識別率および全クラスの平均値を表しており、比較として Julius 単体の結果を併せて示している。結果より、Julius のみを用いた場合は識別が困難であるのに対し、提案法では 90 [%] 以上の精度で識別できている。異分散 t 検定の結果、有意水準 0.1 [%] で有意差が得られたことから、提案する学習型 LUT を用いた識別法により、識別精度を大幅に向上できることが示された。

一方、被験者 A を対象に実施した環境制御装置制御では、就寝前に DVD を見て、オーディオを流しながら眠りにつく場面を想定して機器を操作させた。被験者は、(1) 照明を点灯し、(2) テレビの電源を入れた後、(3) DVD を再生した。その後、(4) DVD を停止、(5) テレビの電源を消した後、(6) オーディオを再生しながら、就寝のために (7) 照明を落とした。1 試行に要した時

Tab.1 Relationships between discrimination classes and control commands

Class number	Speech words	Control command
C ₁	<i>shoumei</i>	Light
C ₂	<i>terebi</i>	TV
C ₃	<i>o-dhio</i>	Audio
C ₄	<i>onn</i>	ON
C ₅	<i>ofu</i>	OFF
C ₆	<i>saisei</i>	Play
C ₇	<i>teishi</i>	Stop

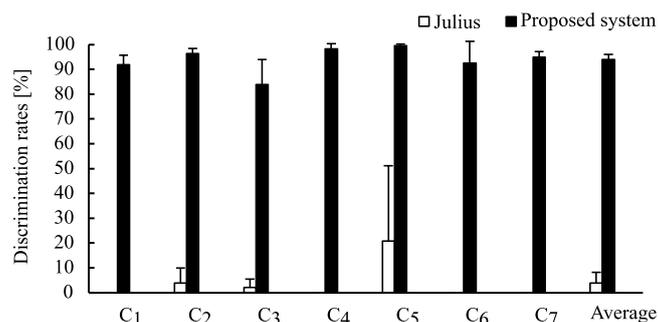


Fig.2 Discrimination rates for each class

間は約 25 [s]であり、提案システムを用いて不明瞭な発話においてもさまざまな家電機器を随機的に制御できることを示した。

3.4. 結論

本研究では、環境制御装置:Bio-remote の新たな音声操作方式を提案した。3 名の被験者を対象に不明瞭な発話を想定して発話を行なった際の識別率を検証した結果、7 種類の単語を Julius 単体での結果と比較して高い精度で識別できることを示した。また、被験者 1 名を対象に提案システムを用いた家電機器操作を行い、随機的な家電機器制御が可能であることを明らかにした。

今後は更なる識別精度向上を目指し、オンライン学習などの新たなアルゴリズムについて検討するとともに、操作者が上手く発話できるようになるための訓練システムを構築する。

4. 偏 KL 情報量に基づく筋電義手訓練システム

4.1. 序論

事故や病気などによって上肢を切断した人々の多くは、失われた機能を代行するための何らかの義手を利用している。中でも筋電義手は、動作や力などの有益な情報を含む筋電位信号を制御に用いており、OttoBock 社の MyoBock をはじめとしてさまざまな研究開発が行われてきた [7], [8]。しかしながら、使用者の

ほとんどは初めから意図した筋電位信号を発生させることは困難であり、数多くの動作を筋電義手で実現し、自由自在に操作できるためには通常、長期間の訓練が必要である。

実際の筋電義手処方においては、専門の医師・療法士のもと筋電位を発生させるためのトレーニングが行われた後、実際に筋電義手を装着して物体を把持するなどの操作トレーニングが行われる [9]。従来、筋電義手の操作訓練を補助するためのシステムがさまざま提案されており、筋電位信号の発生・制御を目的としたものや、仮想空間内で物体の把持・解放訓練が行えるシステムなどがある [10], [11]。しかしながらこれらのシステムでは、作業療法士などの専門家があらかじめ適切な電極位置や義手制御に用いる動作のイメージを適切に選択する必要があった。ただし、熟練した作業療法士においても被験者ごとに適切な電極位置や動作を選定することは困難であり、処方に長期間を要する場合がある。

これに対し、生体信号の計測位置と識別に適した動作(識別対象のクラス)の選定に関する試みがさまざま検討されており、生体信号の計測位置の選択法では、あらかじめ貼付したセンサからいくつかのセンサをランダムに選択し、パターン識別を繰り返して適切なセンサ位置を特定する方法などがある [12]。また、Kitaらや重藤らは識別が容易な動作を抽出し、被験者の能力に合わせた訓練が可能なシステムを提案している [13], [14]。しかしながら、被験者ごとに適した電極位置を発見するためにはできるだけ多くの電極を評価に用いる必要がある。また、義手の制御において選定した電極や動作を用いてパターン識別を行なう際には識別器を新たに構築しなければならず、識別器によっては精度良い識別が行なえる保証はない。さらに、これまでの研究では被験者に適切な電極位置と動作を同時に選定して訓練が行えるシステムについては検討されていなかった。

そこで著者らは、これまでに各入力次元が識別に与える影響度を測る指標として偏 Kullback-Leibler (KL) 情報量を定義し、筋電位計測のための電極選定法を提案するとともに、これを応用して識別に適した動作を選定可能な方法論を提案している [15], [16]。本研究プロジェクトでは偏 KL 情報量を利用した筋電義手訓練システムを提案し、多自由度義手のための効果的な訓練を実現可能とする。

4.2. 偏 KL 情報量に基づく筋電義手訓練システム

提案する相互学習型トレーニングシステムは筋電位信号処理部、動作パターン選定部、動作パターン再現部から構成される。

4.2.1. 筋電位信号処理部 [14]-[16]

L 対の電極から計測した筋電位信号をサンプリング周波数 f_s [Hz] で A/D 変換し、チャンネル毎に全波整流した

後、2 次のバターズローパスフィルタ(カットオフ周波数 f_c [Hz])により平滑化処理を施す。その後、全チャンネルの和が1となるように正規化したものを、動作パターンベクトル(以下、動作パターン)として動作パターン識別の入力に用いる。また、全チャンネルの平均値を筋力情報 $FEMG(t)$ と定義し、 $FEMG(t)$ があらかじめ設定した閾値 F_{th} を超えた場合に動作発生、 F_{th} を下回った場合は動作停止と判定する。

4.2.2. 動作パターン選定部

提案するシステムでは、重藤らのシステム [14] を参考に、あらかじめ被験者に実施させた多数の動作の中から被験者に適した動作を選定する。動作の選定には、偏 KL 情報量に基づくクラス選定法 [16] を利用する。以下に詳細なアルゴリズムを示す。

1. 目標とする動作パターンベクトル(以下、目標パターン)の集合を $T = \{t_j | j = 1, 2, \dots, M_{max}\}$ と定義する。 M_{max} は電極 L 対における最大動作数を表す。
2. 使用者に一定時間自由に動作を行うよう指示する。このとき、サンプリング毎に筋力情報ベクトル $\mathbf{b}(t) = [b_1(t), b_2(t), \dots, b_L(t)]$ を求め、各チャンネルの収縮状態を計算する。ここで $b_l(t)$ は各チャンネルの筋力情報が閾値を下回る場合に 0、閾値以上の場合に 1 となる変数である。サンプリング時刻毎に $\mathbf{b}(t) = t_j$ となる j を求め、その数 N をカウントする。全サンプリング終了後、あらかじめ設定した閾値 C_{th} と N_j を比較し、 $C_{th} \leq N$ となる t_j を動作パターンベクトル \mathbf{g}_j と判定し保存する。
3. 一定時間中に取得されなかった動作パターンに対して動作を行うようシステムが使用者に指示し、同様にサンプリング毎にその数をカウントする。このとき、 C_{th} 以上の場合は \mathbf{g}_j に追加保存する。以上により保存された動作パターン数を M_1 とする。
4. つぎに、著者らが提案するクラス選定法 [16] に基づき、識別が容易な動作パターンを選定する。まず、動作パターン \mathbf{g}_j における各動作を R ($R=P+Q$) 回行うようシステムが被験者に指示し、被験者はその動作を再現する。このとき得られる動作パターンベクトル $(p)\mathbf{x}_m$ および $(q)\mathbf{y}_m$ をそれぞれ動作 m に対する学習および検証用データとする ($m = 1, 2, \dots, M_1, p = 1, 2, \dots, P, q = 1, 2, \dots, Q$)。ただし、 P および Q はそれぞれ選定に用いる学習および検証データ数を表す。
5. $(p)\mathbf{x}_m$ および $(q)\mathbf{y}_m$ をもとに、クラス選定法 [16] に基づいて識別困難な動作を順に削除する。ここで、選定後の $(p)\mathbf{x}_m$ および $(q)\mathbf{y}_m$ を識別した際の全動作の平均識別率 D が $D_{th} \leq D$ ならば選定を終了し、このとき得られた動作パターン数を M_2 とす

る。

4.2.3. 動作パターン再現部

ここでは、動作選定部で得られた動作パターンを被験者が再現可能かを評価・訓練する。

1. $k = 1$ として初期化し、動作パターン選定部で得られた動作 k ($k = 1, 2, \dots, M_2$) を順に再現するように指示する。このとき、被験者には選定に用いた学習データの各チャンネルの平均値をレーダーチャートとして提示し、その目標値に一致するように筋電位信号を制御させる。そして、被験者が発生する各チャンネルの筋電位信号と目標値との誤差に基づき再現性を評価し、再現に成功した動作数を M_3 とする。
2. $M_3 = M_{max}$ であれば訓練を終了する。このとき、訓練者は被験者の状態に合わせて M_{max} を調整し、訓練を終了することができる。 $M_3 = M_2$ ($< M_{max}$) の場合は動作パターン選定部の 3 に戻り、動作パターンの増加を試みる。 $M_3 < M_2$ の場合は、動作パターン選定部の 5 の方法に基づき動作を削減し、再度再現性の評価を行う。

以上のように、動作パターンの取得・選定と再現を繰り返し行うことで被験者が随意的に制御可能な動作パターン数を増加する。また、訓練時に偏 KL 情報量に基づく電極選定法 [15] により電極数を削減することで、より少数の電極で多数の動作パターンを制御できる可能性がある。

4.3. 実験

4.3.1. 方法

被験者は筋電制御経験のある健常な男子大学生 1 名とし、提案システムを用いた訓練実験を行った。実験では、あらかじめ 4 対の電極を ch1: 橈側手根伸筋, ch2: 尺側手根伸筋, ch3: 橈側手根屈筋, ch4: 上腕二頭筋付近の体表面に貼付し、4.2. に示すアルゴリズムに従って訓練を実施した。Fig. 4 に実験風景を示す。実験に用いたパラメータは、サンプリング周波数 $f_s = 1,000$ [Hz], カットオフ周波数 $f_c = 1$ [Hz], 訓練における動作数の最大値 $M_{max} = 15$, 選定に用いるデータ数 $P = 2$, $Q = 1$ であり、その他のパラメータは文献 [14] を参考に試行錯誤的に決定した。動作パターン再現部においてすべての動作を再現できた場合を 1 試行とし、計 5 試行を行った。筋電位信号の計測にはマルチテレメータ (WEB-7000, 日本光電製) を用いた。

4.3.2. 結果と考察

Fig. 4 に訓練実験の結果を示す。Fig. 4 (a) は各試行において、動作パターン再現部で再現に成功した動作パターン数を示す。結果より、訓練開始時には再現

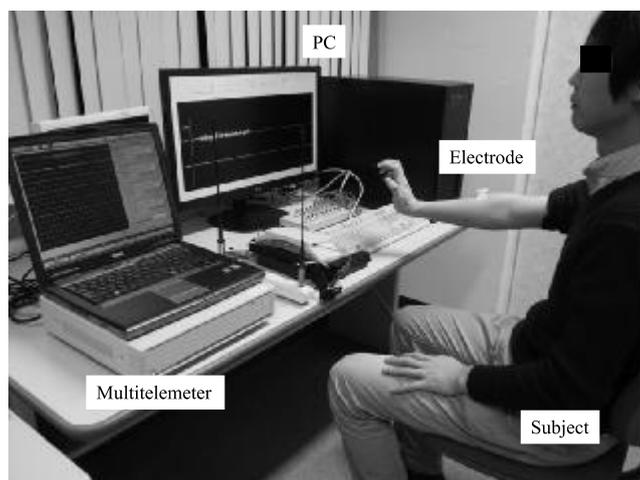
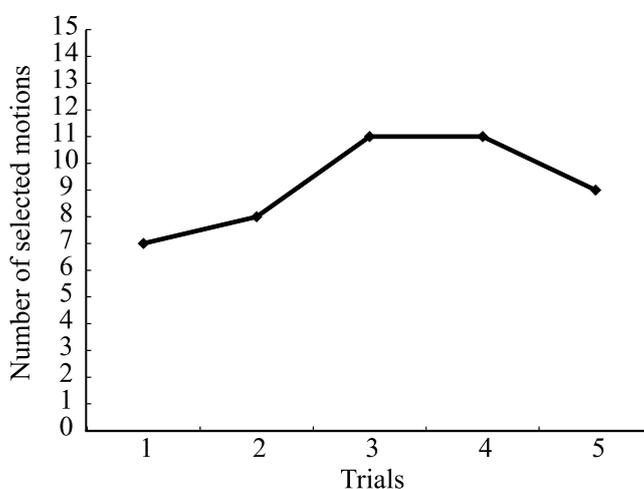
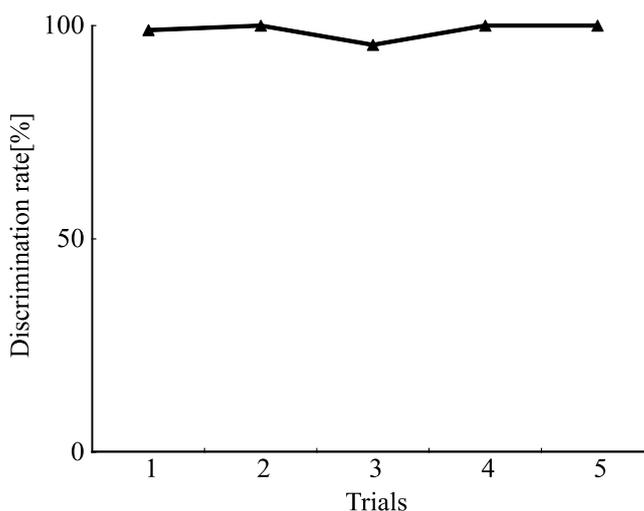


Fig.3 An example of experimental scene



(a) Number of selected motions



(a) Discrimination rate

Fig.4 Experimental results

に成功した動作数が 7 動作であったのに対し、訓練終了時(5 試行目)には 9 動作となった。また、(b) は再現

に成功した動作の平均識別率を示している。結果では訓練を通して識別率が安定していることがわかる。以上の結果より、多少の動作数の増減は見られるものの、提案システムを用いた訓練により高い精度で識別可能な動作パターン数を増加できる可能性を示した。

4.4. 結論

本研究では、偏 KL 情報量に基づく筋電義手訓練システムを提案した。筋電制御経験者を対象に訓練実験を実施した結果、高い精度で識別可能な動作パターンを増加できる可能性を示した。

今後は被験者を増加し、電極選定を導入した新たな訓練システムについて検討するとともに、仮想空間での作業訓練システムと統合することで、一貫した訓練が可能なシステムを開発する予定である。

5. おわりに

本報告書では、肢体不自由者個々に合わせたインタフェースの実現を目指し、構音障害者のための音声操作型環境制御装置: Bio-remote の操作方式、上肢切断者が利用する筋電義手操作のための新たな訓練システムについて紹介した。

今後は、使用者およびシステムの学習状態を管理し、適切な訓練や制御法を自動的に調節可能な新たなインタフェース: 共創インタフェースの構築を目指す。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費助成事業(課題番号: 26330226 および 26462242)の補助によるものであり、感謝の意を示します。また、各課題の関係の皆様にごここにあらためて謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 内閣府, "平成 26 年版障害者白書"
<http://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h26haku-sho/zenbun/index-w.html>
- 2) 株式会社アクセスインターナショナル, "みてら"
<http://www.accessint.ne.jp/communi/computer/MCR-ECS-TYPE3SC.html>.
- 3) アモレ株式会社, "テレビトコール"
<https://sv40.wadax.ne.jp/amor-co-jp/651.html>.
- 4) Ashley Craig, Perez Moses, Yvonne Tran, Pail McIsac, Les Kirkup, "The Effectiveness of a

Hands-Free Environmental Control System for the Profoundly Disabled", Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol.83, No.10, pp.1455-1458, 2002

- 5) 辻, 島, 船曳, 下森, 柴, 福田, 大塚, "シェイプセンサを利用した環境制御装置の新しい操作方式", ライフサポート, ol.18, No.4, 2006
- 6) 森本, 杉江, 芝軒, 島, 栗田, 辻, "音声信号を利用した環境制御装置 Bio-Remote の操作方式", 第 45 回日本人間工学会中国・四国支部大会講演論文集, pp. 152-153, 2012
- 7) OttoBock web page: <http://www.ottobock.com/>
- 8) RSL STEEPER web page: <http://rslsteeper.com/>
- 9) 陳, 中村, 中川, "筋電義手訓練マニュアル", 株式会社全日本病院出版会, pp.28-41, 2006
- 10) Ali Ameri, Ernest N.Kamavuako, Erik J.Scheme, Kevin B.Englehart, Philip A.Parker, "Real-time, simultaneous myoelectric control using visual target-based training paradigm" Biomedical Signal Processing and Control, Vol. 13, pp. 8-14, 2014
- 11) Markus Hauschild, Rahman Davoodi, and Gerald E.Loeb, "A Virtual Reality Environment for Designing and Fitting Neural Prosthetic Limbs", IEEE Transactions on, Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol.15, No.1, pp. 9-15, 2007
- 12) 永田, 安藤, 山田, 曲谷, "チャンネル選択にモンテカルロ法を用いた多チャンネル EMG による手の動作認識", 生体医工学, Vol. 44, No. 1, pp.138-147, 2006
- 13) Kaori Kita, Ryuji Kato and Hirokazu Yokoi, "Self-organized clustering approach for motion discrimination using EMG signal", Proceedings of the 31st IEEE/EMBS Annual International Conference, pp. 5044-5047, 2009
- 14) 重藤, 島, 辻, 大塚, 陳, "筋電義手制御のための相互学習型トレーニングシステム", 第 25 回日本ロボット学会学術講演会・講演論文集 (CR-ROM), 3J37, 2007
- 15) Taro Shibanoki, Keisuke Shima, Toshio Tsuji, Akira Otsuka and Takaaki Chin, "A Quasi-Optimal Channel Selection Method for Bioelectric Signal Classification Using a Partial KL Information Measure", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 60, No. 3, pp. 853-861, 2013
- 16) 芝軒, 島, 高木, 栗田, 大塚, 陳, 辻, "偏 KL 情報量に基づくクラス選択法の提案と EMG 識別のための動作選定問題への応用", 計測自動制御学会論文集, Vol. 48, No. 9, pp.580-588, 2012

細胞機能操作・診断ツールとしての磁気駆動式 MEMS デバイスの開発

Development of Novel Magnetic-Driven MEMS Devices for Operating and Analyzing Cell Functions

長山 和亮⁽¹⁾, 長 真啓⁽²⁾, 増澤 徹⁽²⁾

1) 茨城大学工学部 知能システム工学科

2) 茨城大学工学部 機械工学科

Kazuaki NAGAYAMA¹⁾, Masahiro OSA²⁾, Toru MASUZAWA³⁾

1) Department of Intelligent Systems Engineering, Ibaraki University

2) Department of Mechanical Engineering, Ibaraki University

1. 概要

近年の医学・創薬の分野では、生体を形作っている「細胞」を用いた研究が精力的に行われている。最近では、各種ホルモンなどの生化学的要因だけでなく、生体内で生じている力や変形といった力学的刺激が、器官や組織を形成する細胞の様々な機能に大きく作用していることが明らかとなってきた。このため、力学的な刺激を加えた際の細胞応答を的確に評価したり、腫瘍細胞などが運動する際の力や基質との接着力を簡便かつ精密に解析できるツールが求められ始めている。

本プロジェクトでは、細胞機能操作・診断ツールとして、磁性体を埋め込んだ微細な MEMS デバイスを開発し、その性能を評価すると共に、実際に細胞を用いた細胞操作と細胞機能評価について報告する。

2. はじめに

超高齢化社会に突入し、「健康」「長寿」への関心が高まる中、医学・創薬の分野、特に難病発症メカニズムの解明や癌疾患に対する新薬の安全性評価、培養細胞から再生組織を作り出す再生医工学などでは、細胞を用いた研究が精力的に行われている。最近では、生体内で生じている力や変形といった力学的刺激が基質を介して細胞に伝わり、細胞の様々な機能に大きく影響して、細胞のコラーゲン産生能を向上させたり⁽¹⁾、多分化能を持つ幹細胞の分化にも大きな影響を与えること⁽²⁾などが明らかとなってきた。このため、力や変形に対する細胞応答や、細胞が発生する力・基質との接着力を簡便かつ精密に解析できる手法が求められている。

そこで本研究では、近年、発達の著しい微細加工技術を応用し、磁性体を埋め込んだ直径 3 μ m 程の微細な柱が立ち並んだ弾性マイクロピラー基板を開発を目指

した。このピラー基板上で細胞を培養すると、個々のピラーの変形量から、細胞の接着部位で生じる力の分布を正確に計測でき、さらに、外部から磁場を加えるとピラー自由に変形できるので、細胞の特定の接着部位に力学的な刺激を加えることができる。この技術を応用すれば、試薬投与時などの細胞の運動性や接着性の変化などを的確に評価したり、力や変形に対する細胞応答を解析・評価することができると考えられる。

3. 磁気駆動式マイクロピラーデバイスの開発

3-1. デバイス作製手法の確立と基本性能評価

磁気駆動式ピラーの鑄型は Tanら⁽³⁾によるフォトリソグラフィ法に準じて作製した。ピラーに埋め込む磁性粒子として平均粒径 1.5 μ m の鉄粉 (HQ, BASF) を使用した。市販の PDMS (Sylgard 184, Dow-Corning) に対し鉄粉を調合して鉄粉含有 PDMS を作製した。この鉄粉含有 PDMS を鑄型に注ぎ、鉄粉を鑄型の孔の奥底に沈ませた。その後、熱硬化させ、鑄型から PDMS を剥離し、鉄粉を埋め込んだピラー基板を作製した。ピラーの寸法は、直径 3 μ m、あるいは 4 μ m とし、高さ 9 μ m とし設計した。これは、nN オーダーの細胞張力を十分な精度で測定するためである。また、隣り合うピラー間の中心間距離は 9 μ m とした。

代表例として、生物顕微鏡ステージ上に直径 3 μ m の磁気駆動式マイクロピラーデバイスを設置した状態で、磁場印加前と (Fig. 1A) と 0.3 T の磁場を印加した時の画像 (Fig. 1B) を示す。ネオジム磁石をピラー基板に近づけ磁場を印加すると、ほぼ全てのピラーが右側にたわんだ。このピラー先端にかかる力をピラーのたわみ量から求めたところ (Fig. 1C)、直径 3 μ m では 70 nN、直径 4 μ m では 170 nN ほどの力が作用すると見積もられた。これは、比較的大きな力を発揮する血管平滑筋細胞が全体で発生する張力⁽⁴⁾と同等の力であり、細胞に十分に大きな力を負荷することができるレベルと

なった。一方、現時点では より大きな力を負荷できる直径 $4\ \mu\text{m}$ のピラーにて、力のばらつきが大きくなる傾向が見られている。これは、各ピラー内に埋め込まれる鉄粉量に差があることが要因と考えられる。より均一に磁性体を埋め込むために、微細なナノ磁性体粒子などを使用するなど、次年度以降、改善していく必要がある。

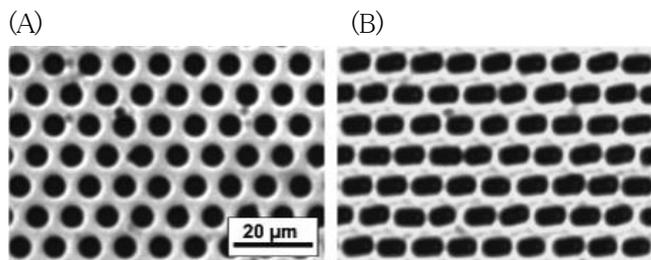


Fig. 1 Typical images of magnetic micropillars before (A) and after (B) application of a magnetic field, and their driving force distribution under the magnetic field of 0.3 T (C).

3-2. 磁性体埋め込み領域のパターニング

前節で確立した磁気駆動式マイクロピラーデバイスに対して、所望の領域のみに鉄粉を埋め込む手法を検討した。予め、鋳型をマスキングしながら、鉄粉を含んだ PDMS 溶液を所望の位置のみに注入して硬化させる。引き続き、鉄粉を含まない PDMS 溶液を鋳型に流し込み、熱処理して作製した。

埋め込んだピラーを片側領域だけ、あるいは 1 列だけ (Fig. 2) に限定して作製し、外部磁場で動かせることを確認した。今後、マスクの形状を工夫することで、様々なパターンに配列させた磁気駆動式ピラーを作製することができるという。

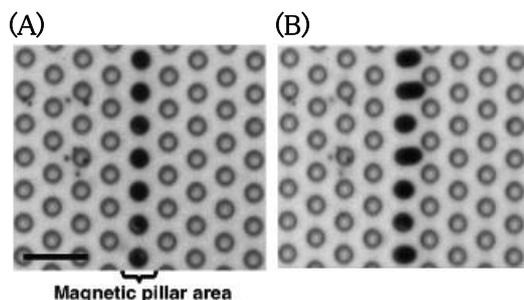


Fig. 2 Typical images of magnetic micropillars whose location was controlled in a single row of the array on the substrate (A). Magnetic pillars containing iron particles look black, while regular ones look transparent. Note that only the pillars containing iron particles bent under the magnetic field of 0.3 T (B). Bar = 20 μm.

4. 細胞の接着部位への力の負荷と張力応答評価

ここでは、前述の方法で作製した「通常ピラー領域と磁気駆動式ピラー領域の 2 つの領域を持つピラー基板」を用いて、実際に細胞の焦点接着部位に力学刺激を加えた例を示す。試料はブタ大動脈より単離後、培養した血管平滑筋細胞である。細胞とピラーとの接着性を高めるために、ピラー先端面に細胞接着タンパク質のフィブロネクチン (50 μg/ml) をコートした。そして、細胞をマイクロピラー上に播種し、細胞が十分に広がっていることを確認して実験に用いた。通常ピラー領域と磁気駆動式ピラー領域の両領域をまたぐようにして広がった細胞を対象として、2.1 節と同様にネオジム磁石を試料の両側から近づけて最大 0.3 T の磁場を印加した。すなわち、細胞の左側半分の領域に対し、磁気駆動式ピラーを左側から右側に向かって倒すように変形させて 10 分間保持した (Fig. 4)。この時の細胞接着部位のピラーの様子を CCD カメラで撮影した。そして 2.1 節と同様に、画像解析ソフトウェアでピラーのたわみの変化を計測し、細胞接着部位の力の変化を求めた。

0.3 T の磁場を負荷すると、細胞の左側半分領域で磁気駆動式ピラーが右方向へたわみ (Fig. 3)、個々の接着部位が変形する様子が確認できた。このとき、鉄粉が埋め込まれていない通常のピラーに接着している部位 (Fig. 3, Pillar 1-3) の張力変化を計測した (Fig. 4)。いずれの接着部位でも数 10 nN の張力を発生していたが、磁気駆動式ピラーを変形させて、細胞に圧縮を加えている間は、張力が上昇し、その後、細かく変動しているように見えた。そこで、張力変化の移動平均を求め、実測張力値との差の二乗平均平方根を算出し、張力変動量として定量的に評価したところ、細胞の接着部位圧縮刺激を加えた後、細胞の張力変動量が有意に増加することが分かった。このような力学刺激を加える前後での細胞の面積変化を調べたところ、現状では、刺激解除後に仮足を伸ばして広がる細胞と、収縮する細胞の 2 群が観察されている。

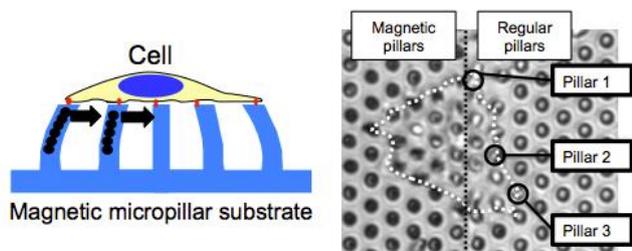


Fig. 3 An example of an aortic smooth muscle cell on the magnetic micropillar substrate under mechanical stimulation to its adhesion points.

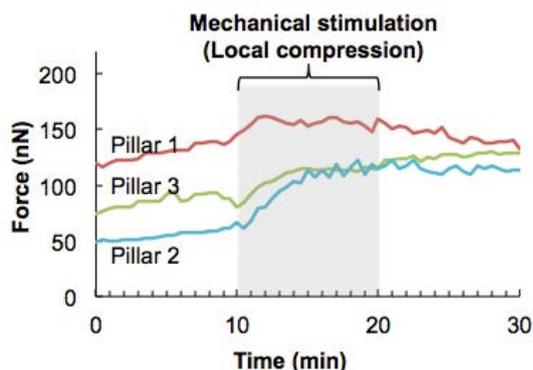


Fig. 4 Time course changes of the cellular traction forces at the adhesion points of the cell shown in Fig. 3.

細胞の焦点接着斑には、細胞骨格の一つであるアクチンフィラメントと、モータータンパク質であるミオシンタンパク質から主に構成される収縮線維（ストレスファイバ）が連結して、張力を発生していることが知られている^(3, 5)。今回は、細胞の左側の接着部位に対して、細胞を圧縮する方向に変形を加えて保持したと考えられるが、この場合、接着部位に連結していたストレスファイバが、やや緩んだ状態になると考えられる。細胞内のストレスファイバは力の変化によって構造を変化させること⁽⁶⁾が知られている。また最近では、細胞は外部から変形が加わると自身の張力を一定に保とうとするような力学的ホメオスタシスを見せるという現象が報告され始めている^(7, 8)。これらを考慮すると、今回観察された比較的大きな張力変動は、ストレスファイバが急激に緩められている間に、細胞全体としての張力を一定に保つように構造を変化させていることを表しているのかもしれない。

以上のように、本技術を用いることで、細胞の接着部位に力学刺激を加えながら、細胞の張力応答を精密に調査が可能であることが確認できた。また、この他、マイクロピラー基板の底まで細胞を落としこんだ状態で培養することで、細胞内の核にも変形を加えることができることも確認している。これによって、核の内部のDNAの分布様態や遺伝子の転写にも影響を与えることができる可能性がある。

5. 結論

微細加工技術を応用して、高さが9 μm で直径3 μm および4 μm の微細な柱が立ち並んだ弾性マイクロピラー基板に磁性体を埋め込んで磁気駆動できるMEMSデバイスを開発した。このデバイスを用いて、細胞に十分な大きさの力学的刺激を加えつつ、細胞の接着部位で生じる張力の変化など、細胞応答を正確に計測・評価できることが確認された。

6. おわりに

本プロジェクトでは、細胞機能操作・診断ツールとして、磁性体を埋め込んだ微細な磁気駆動式MEMSデバイスの開発に成功し、実際に細胞応答の評価・解析に適用できることを確認できた。今後、外部磁場制御による駆動性能の安定化を目指すとともに、細胞運搬ツールとしての応用も含めて展開していく。

【参考文献】

- 1) Arai K, Nagashima Y, Takemoto T, Nishiyama T, Mechanical strain increases expression of type XII collagen in murine osteoblastic MC3T3-E1 cells, *Cell Struct Funct* 33(2):203-10, 2008.
- 2) Engler AJ, Sen S, Sweeney HL, Discher DE, Matrix elasticity directs stem cell lineage specification, *Cell*. 126(4):677-89, 2006.
- 3) Tan JL, Tien J, Pirone DM, Gray DS, Bhadriraju K, Chen CS, Cells lying on a bed of microneedles: an approach to isolate mechanical force, *Proc Natl Acad Sci U S A*. 100(4):1484-9, 2003.
- 4) Nagayama K, Adachi A, Matsumoto T, Heterogeneous Response of Traction Force at Focal Adhesions of Vascular Smooth Muscle Cells Subjected to Macroscopic Stretch on a Micropillar Substrate, *J Biomech* 44-15, 2699-705, 2010.
- 5) Nagayama K, Yahiro Y, Matsumoto T, Stress fibers stabilize the position of intranuclear DNA through mechanical connection with the nucleus in vascular smooth muscle cells, *FEBS Letters* 585-24, 3992-97, 2011.
- 6) Hayakawa K, Tatsumi H, Sokabe M: Actin stress fibers transmit and focus force to activate mechanosensitive channels. *J Cell Sci*. 121(Pt 4): 496-503, 2008.
- 7) Nagayama K, Adachi A, Matsumoto T, Dynamic Changes of Traction Force at Focal Adhesions during Macroscopic Cell Stretching Using an Elastic Micropillar Substrate: Tensional

homeostasis of aortic smooth muscle cells, Journal of Biomechanical Science and Engineering 7, 130-140, 2012.

- 8) Webster KD, Ng WP, Fletcher DA, Tensional homeostasis in single fibroblasts, Biophys J. 107(1):146-55, 2014.

関連発表資料等

小児用磁気浮上人工心臓の小型化に関する研究

Miniaturization of Magnetically Levitated Pediatric Ventricular Assist Device

11T1033N 斎藤 拓也

指導教員：増澤 徹 教授

1. 緒言

重症心不全患者の心臓移植までの橋渡しとして補助人工心臓が適用されている。しかし、小児に適用可能な補助人工心臓には、高い血液適合性、年オーダーの機械的耐久性および小型、低充填量等の人工心臓の中でも高い性能が要求され、その開発が遅れている。磁気浮上モータは、機械的摺動部が撤廃でき、高耐久、高い血液適合性を有しているため、小児の人工心臓に適していると考えられる。著者らは、これまでに外径 28 mm、高さ 42 mm、体積 26 cc の 5 軸制御磁気浮上モータを用いた小児用人工心臓の試験機を製作し、提案 5 軸制御原理の有効性と小児用人工心臓の十分なポンプ性能を確認した。製作した試験機は人工心臓として十分小型であるが、体格の小さな小児に埋め込むには更なる小型化が必要である。本稿では、体内埋め込み可能な小児用人工心臓実現を目指して、5 軸制御磁気浮上モータの小型化設計を行ったので報告する。

2. 方法

2.1 5 軸制御型磁気浮上モータの概要

Fig.1 に提案する 5 軸制御磁気浮上モータの構成を示す。本モータは、6 突極からなる上部ステータ、下部ステータ、4 極の永久磁石を軸方向表面に配置した浮上ロータで構成される。浮上ロータを軸方向上下から同一構造の磁気ステータで挟み込むダブルステータ型を採用することで、2 倍の回転トルクを発生することができる。上部ステータ、下部ステータの各突極には、浮上ロータ姿勢の 5 軸 (X , Y , Z , θ_x , θ_y) 全てと回転 (θ_z) を能動制御するための集中巻きコイルが巻かれている。軸方向位置 (Z)・回転 (θ_z) 制御用の 4 極の磁界と径方向位置 (X , Y)・傾き角度 (θ_x , θ_y) 制御用の 2 極の磁界を重畳させた制御磁界を発生させることで浮上ロータ姿勢の 5 軸制御と回転制御をすべて独立して行う。

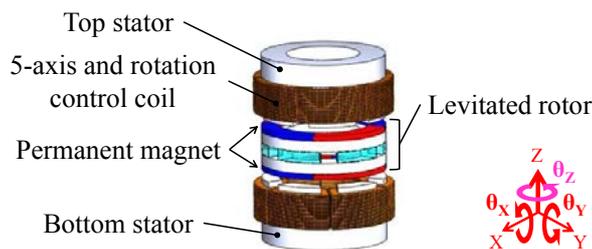


Fig.1 Structure of magnetically levitated motor

2.2 5 軸制御型磁気浮上モータの小型化

小児用人工心臓に用いる磁気浮上モータの目標性能を①ロータ自重の 3 倍の荷重を軸方向、径方向で支持可能であること、②使用想定回転数 4000 rpm において、揚程 100 mmHg、流量 1.5 L/min を達成可能な回転トルクは、片側ステータで 2.0 mNm を発生可能であることとした。理論計算を行い、外径 22 mm、高さ 34 mm、体積 13 cc の磁気浮上モータの有限要素法三次元磁場解析モデルを作成し、励磁電流の変化に対する軸方向吸引力、回転トルク、径方向吸引力、傾き復元トルクの変化を推定した。設計サイズから 1 突極あたりのコイル巻き数を 72 巻きとした。ロータ永久磁石にはネオジウム磁

石を採用した。解析の簡単化のために片側のステータのみのモデルを作成して解析を行った。

3. 結果・考察

Fig.2 に解析結果を示す。単位励磁電流当たりの軸方向吸引力は 1.3 N/A、回転トルクは 5.6 mNm/A、径方向吸引力は 0.16 N/A、傾き復元トルクは 6.0 mNm/A となり、励磁電流に対し線形に比例して発生することを確認した。軸方向吸引力は励磁電流 0.5 A、径方向吸引力は励磁電流 2.0 A にて目標性能①の 0.31 N (ロータ質量 11 g より算出) を達成した。径方向吸引力は軸方向吸引力に比べ低い値となったが、浮上ロータの径方向位置は能動的磁気支持力と永久磁石による復元力 (0.05 N/mm) により安定化されるため、十分に浮上ロータを磁気支持可能と考える。また、回転トルクは励磁電流 0.5 A において目標性能②の 2.0 mNm 以上を達成した。

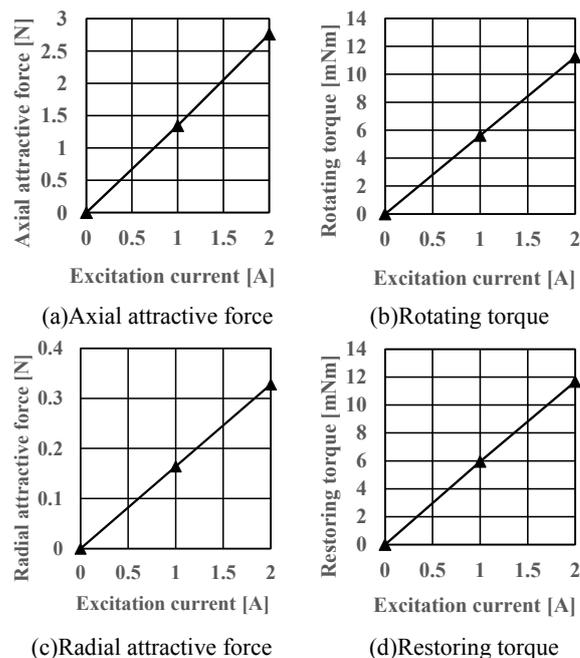


Fig.2 Analysis result

4. 結言

体内埋め込み可能な小児用磁気浮上人工心臓のために、有限要素法三次元磁場解析を用いてアキシヤル型 5 軸制御磁気浮上モータの小型化設計を行った。既開発試験機の 50% の体積まで、5 軸制御磁気浮上モータを小型化することが出来た。また、設計した外径 22 mm、高さ 34 mm の 5 軸制御磁気浮上モータは小児用人工心臓に適用するに十分な磁気支持・回転性能を発揮した。今後は磁気浮上モータを製作し、性能評価を行っていく。

5. 参考文献

- 1) 長真啓, 増澤徹, 大森直樹, 巽英介, 小児用磁気浮上人工心臓のインペラ浮上安定性. 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 論文集 2014 年; No.726

2C26

細胞の機能調整に関わる核と細胞骨格の相互作用

Nuclear-cytoskeletal interactions involved in the regulation of cell functions

正 ○長山 和亮 (茨城大)

Kazuaki NAGAYAMA, Department of Intelligent Systems Engineering, Ibaraki University
4-12-1 Nakanarusawa-cho, Hitachi, Ibaraki, Japan

Key words : Cell biomechanics, Mechanobiology, Mechanotransduction, Smooth muscle cell, Laser nano-dissection

1. 緒言

細胞は力学環境の変化に応じて，増殖性や運動性，物質産生などの機能を調整し，分化の方向までも変化させる⁽¹⁾。このような細胞の力学応答機構の解明を目指した，細胞バイオメカニクス・メカノバイオロジーの研究が精力的に進められている。最近では，細胞内の核と細胞骨格を繋ぐ核膜タンパク質の存在が指摘され⁽²⁾，細胞に加わる力が細胞骨格を介し，細胞の機能調整の主体となる核にも直接伝わっている可能性が考えられ始めている⁽³⁾。

筆者は，特に血管平滑筋細胞を対象とし，収縮性の細胞骨格であるアクチンストレスファイバ (以降 SF) と核の間に作用する力学的・生化学的な相互作用に注目してきている。これまでに，細胞内の個々の SF をレーザーで切断し，SF の張力を解放しながら核の挙動を詳細観察できる実験系を確立した。この系を用いて解析を進めた結果，特に，核周辺に分布する SF が核と強固に結合しており，これらの結合が核内の DNA の凝集状態にも影響を与えるなどの知見を得てきた⁽⁴⁾。

ところで，筆者が対象としている血管平滑筋細胞は，正常な血管壁内では収縮要素に富んだ「収縮型」の細胞であるが，動脈硬化病変部位や，静的培養環境下などでは収縮性が低下し，「合成型」と呼ばれる物質合成に富んだ性質に形質転換することが知られている。平滑筋細胞の形質転換は可逆的であり，合成型となった細胞でも，増殖因子を抑えた無血清の環境下で培養を続けると収縮性が回復することが報告されている⁽⁵⁾。こうした細胞の形質転換の過程において，細胞骨格と核との間の力学的・生化学的な相互作用に何らかの変化が生じている可能性があるが，詳細は明らかとなっていない。

そこで今回は，血管平滑筋細胞を無血清環境で培養することで収縮型への形質転換を促進させた際に，核の形態，核の周辺の SF を始めとした細胞骨格の分布様態，ならびに SF の張力と核との結合状態が，どのように変化するのか調べた内容を報告する。

2. 実験方法

2.1 血管平滑筋細胞の培養

試料として，ブタ大動脈由来血管平滑筋細胞 (CAP35405, 東洋紡) を 10% ウシ胎児血清 (FBS, CELLect Gold) と抗生物質を含む DMEM 培地 (和光) を用い，CO₂ インキュベータ内で，37°C，湿度約 100%，5%-CO₂，95%-air の環境下で培養した。細胞がサブコンフルエントに達した時点で，1:4 の比率で継代した。試験には継代数 6~8 の細胞を用いた。

2.2 収縮型平滑筋細胞への形質転換操作

直径 35 mm のガラスボトムディッシュ (GD-400, Bio-Bik) のガラス面をソフトプラズマエッチング装置 (SEDE-GE, メイワフォーシス) でプラズマ処理 (5 mA, 2 min) して親水化した。細胞接着を促すために 0.1% の type I コラーゲン溶液 (Native collagen I-AC, Koken) を滴下し乾燥させてコートした。そして 2.1 節の細胞を 30 cells/mm² の密度で播種し，上記の血清を含む培地中で 48 時間培養したものを control 群とした。引き続き，

Sakamoto⁽⁵⁾ らの方法を参考に，無血清培地で培養することで，平滑筋細胞の収縮性を向上させた試料を準備し，control 群との比較に用いた。すなわち，無血清の DMEM 培地にインスリン，トランスフェリン，亜セレン酸ナトリウムを含む培養サプリメント (ITS-X Supplement (x100), Invitrogen) を 1% 添加して細胞の増殖を鎮静化させる培地 (Quiescent Medium: QM) を準備し，この培地中で平滑筋細胞を 7 日間培養して，収縮型への形質転換を促した (QM 群)。

2.3 共焦点顕微鏡観察

前節で準備した細胞試料を 10% 中性緩衝ホルマリン溶液で固定後，0.5% Triton X 溶液で膜透過処理した。その後，平滑筋マーカーの 1 つである α -smooth muscle actin (α -SMA) を免疫蛍光染色した。また，Alexa fluor 標識 Phalloidin と Hoechst33342 を用いて，それぞれ，F-actin と核内 DNA を蛍光標識して可視化した。高輝度 LED 光源 (Light Engine, オプトライン) と共焦点システム (CSU-X1, 横河電機) を組み込んだ倒立顕微鏡を使用し，撮影条件を統一して染色後の細胞を詳しく観察した。

2.4 核に接する SF のレーザー切断

SF の張力ならびに SF と核の結合状態を考察するために，これまで構築した短パルスレーザー (波長 355 nm, パルス幅 400 ps) による細胞骨格切断システム⁽⁴⁾ を利用し，核膜に接触している 1 本の SF を切断して，その収縮挙動を観察した。

2.1 節の細胞に対して，GFP-actin 導入試薬 (CellLight™ Actin-GFP BacMam 2.0, Invitrogen) を培地に加えて 16 時間以上静置培養し，GFP-actin を発現させ SF を可視化した。その後，2.2 節の手順でガラスボトムディッシュに細胞を播種して培養し，control 群と QM 群を準備した。実験の直前に 10000 倍に希釈した Hoechst33342 を培地に入れて 5 分以上処理し，核内 DNA を可視化した。核上に分布する SF と核膜との結合が比較的強いという報告⁽⁶⁾ に従い，核上を通過している SF を対象とし，核の領域から 10 μ m 程離れた部分に 100 倍油浸対物レンズ (NA=1.4) で絞ったレーザー光を照射して切断した。切断後の SF の収縮挙動と核の様子を電子増倍型 CCD カメラ (C9100-12, 浜松ホトニクス) で撮影した。なお，実験はステージヒータでディッシュ内の培地を 37°C に保温し，5% CO₂ 95% Air の混合ガスを供給しながら行った。

3. 結果および考察

免疫蛍光染色した細胞を撮影したところ，control 群に比べて，QM 群では α -SMA が細胞全体にはっきり分布していた (Fig. 1A, B)。実際に細胞内での α -SMA の平均蛍光強度を比較してみると control 群に比べて，QM 群での輝度が 2 倍程高かった (Fig. 1C)。また，血管平滑筋収縮を誘導するセロトニン (10⁻⁵M) 投与し，細胞の収縮を確認したところ，control 群と比較し QM 群は顕著な収縮反応を見せた (データ未掲載)。これまでの報告と同様に，培養血管平滑筋細胞を無血清環境に曝すことで，収縮型への形質転換が促進されたと考えられる。

次に，このような収縮型への形質転換が，細胞内の SF と核

との相互作用にどのような影響を与えるのかに注目した。QM 群では、細胞面積が 10% 程増加したが、核の面積は逆に 20% 以上減少した (Table 1)。核上では発達した SF が観察され、SF が核膜に押しこまれ、SF に沿って核内の DNA が直線状に集積している細胞が多く見られた (Fig. 2B, arrowheads)。実際にそのような細胞割合を算出してみると、control 群に比べ QM 群では 2 倍程増加していた (Fig. 2C)。基板上に培養された血管平滑筋細胞では、核膜に顕著に押し込まれたように見える SF は、大きな張力を発揮しながら核の表面を圧縮し、核との結合力も他の SF に比べて大きいと見積もられており⁷⁾、核の配置を安定化させる働きが示唆されている⁶⁾。このことから、より顕著に核に押し込まれていた QM 群の SF の張力が、control 群に比べて大きいことが予想された。そこで、control 群と QM 群の両群にて、核膜を顕著に押し込んでいるように見える SF を選択し、レーザーで切断して、その収縮挙動を確認した。現時点では数例ではあるが、QM 群の SF を切断した場合、control 群の SF に比べ予想に反し収縮量が減少するといった結果が得られた (Fig. 3)。

収縮型への形質転換が促された QM 群の平滑筋細胞では、核が縮小化し、核に接する SF が核膜に顕著に押し込まれ、そのような凹み部では核内の DNA が凝集していた。DNA の凝集は、遺伝子の転写の抑制に関わると考えられていることから⁸⁾、核の周辺の SF に沿って核膜に凹みが生じることが、核内での転写機構に何らかの影響を与えている可能性が考えられる。一方で Fig. 3 の結果から、核膜の凹み部分に位置する SF の初期張力は、予想に反し control 群よりも低下している可能性がある。核膜には、弾性に富んだラミンの裏打ち構造⁹⁾が存在するが、力学環境の変化によって核膜が元の形に戻らず、リモデリングする可能性も指摘されている¹⁰⁾。このことから、QM 群の核表面に顕著に見られた SF に沿った凹みは、核周囲の SF の張力で生じる弾性変形というよりも、物理的拘束で生じた核膜のリモデリングの結果である可能性が高い。特に QM 群では、核周辺に SF だけでなく、中間径フィラメントの 1 つであるビメンチンも発達しており、ビメンチンが SF に沿って分布している様子も観察されている (データ未掲載)。中間径フィラメントは、アクチン細胞骨格と同様にリンカータンパク質を介して核膜と結合しているとされ³⁾、さらに、細胞骨格同士にもリンカータンパク質を介した相互作用が生じていることが報告されている¹¹⁾。これらのことから、本研究での平滑筋細胞の収縮型への形質転換の過程において、複数種の細胞骨格と核との相互作用を介して核内外を拘束することで、核内 DNA の凝集を促すといった機構が存在するのかもしれない。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、茨城大学工学部機械工学科 増澤徹先生のご厚意により細胞培養設備を使用させて頂きました。本研究の一部は科研費 (24680051, 25111711, 26560207) 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) Engler AJ et al, *Cell* 126 (4): 677-89, 2006.
- 2) King M et al, *Cell* 134: 427-38, 2008.
- 3) Wang N et al, *Nat Rev Mol Cell Biol* 10: 75-82, 2009.
- 4) Nagayama K et al, *FEBS Lett* 585 (24): 3992-7, 2011.
- 5) Sakamoto N et al, *Ann Biomed Eng* 39(11), 2750-8, 2011.
- 6) Nagayama K et al, *Cell Mol Bioeng* 6(4): 473-81, 2013.
- 7) Nagayama K et al, *J Biomech* 47(6), 1422-9, 2014.
- 8) Trojer P and Reinberg D, *Mol Cell* 28 (1): 1-13, 2007.
- 9) Dahl KN et al, *J Cell Sci* 117, 4779-86, 2004.
- 10) Deguchi S et al, *J Biomech* 8(9):1751-9, 2005.
- 11) Wiche G et al, *Exp Cell Res* 314, 3570-80, 2008.

Table 1 Estimated projected cell area and nuclear area of aortic smooth muscle cells cultured in the serum-containing medium (control) and in the serum-free quiescent medium (QM).

	Cell area (μm^2)	Nuclear area (μm^2)
Control (85 cells)	3420 \pm 1330 \square	228 \pm 84 \square
QM (91 cells)	3810 \pm 1480	179 \pm 45

Values are means \pm SD. *P < 0.05.

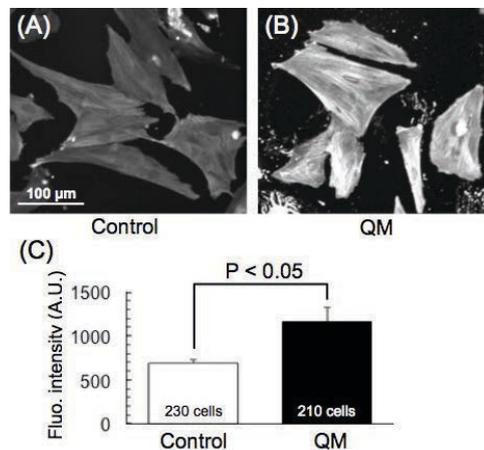


Fig. 1 Examples of fluorescence images of α -SMA in aortic smooth muscle cells cultured in the serum-containing medium (A: control) and in the serum-free quiescent medium (B: QM). The average fluorescent intensity of α -SMA in the both groups of the cells was analyzed with the confocal microscopy (C).

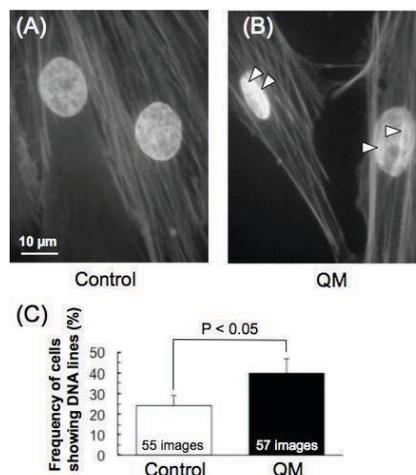


Fig. 2 Examples of fluorescence images of F-actin and intranuclear DNA in aortic smooth muscle cells cultured in the serum-containing medium (A: control) and in the serum-free quiescent medium (B: QM). The frequency of cells showing the DNA line was calculated and compared between control and QM groups (C). In panel (C), over 200 cells were analyzed for each condition.

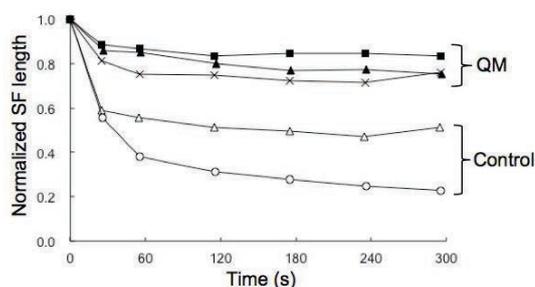


Fig. 3 Changes in the length of dissected SFs. The length of the dissected SF was normalized with its initial length.

磁性体を用いた細胞への力学刺激負荷に関する研究

A study of mechanical stimulation to the cells using magnetic materials

発表者：伊藤 奎昌 指導教員：長山 和亮

1 緒言

我々の体を構成する細胞の中には核が存在し、遺伝情報を保存・調整しながら、細胞の機能を制御している。しかし、細胞核内の遺伝情報だけでは、生体組織が有する骨や筋肉といった様々な構造や機能を表現することは難しいと考えられており、近年の研究では、遺伝子だけでなく、生体内で細胞に加わる力や変形が、細胞の機能に大きな影響を与えることが分かってきている。

特に最近では、細胞核の周囲の力学環境の変化が細胞機能に影響すると考えられ始めている。例えば、血管の伸び縮みを制御する平滑筋細胞は、正常な血管組織中に比べ、動脈硬化の病変部位や人工的な細胞培養環境では、核の形状や増殖性などに大きな違いが表れる。また、細胞を細長い形に制御して核を変形させることにより、核の弾性率や細胞の増殖性が変化するという報告もある^[1]。このように、核の形の変化や、核に加わる力が細胞機能に深く関わっている可能性があるが、核への力がどのように細胞機能に影響を及ぼすのか依然としてほとんどわかっていない。

これまで当研究室では、微細加工技術で作製した直径 $3\mu\text{m}$ の微細円柱（マイクロピラー）が立ち並んだ基板上で細胞を培養して核を変形させ、細胞の機能変化を調べてきた。そして、核表面に凹凸ができることで、血管平滑筋細胞の増殖が顕著に抑えられることを見出した^[2]。しかし、これらの研究では、細胞や細胞核を基板表面の形状に沿って受動的に変形させただけであり、核に対して動的な力や変形を負荷した際にどのような影響が生じるのか全く明らかとなっていない。

そこで本研究では、細胞や細胞核に対して力の大きさや方向を制御しながら力学刺激を加える技術の開発を目指した。すなわち、微細な磁性粒子を直接細胞表面に付着させたり、磁性体を埋め込んだ微細加工物を外部磁場で動かしたりすることにより、細胞や細胞核に変形を加える手法を検討した。

2 実験方法

2-1 培養細胞の準備

試料にはブタ血管平滑筋細胞 (PASM) (CAP35405, 東洋紡) を用いた。10% のウシ胎児血清 (JRH Bioscience) 及び抗生物質 (100 unit/ml penicillin, 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ streptomycin, Sigma) を含む DMEM 培地 (Dulbecco's Modified Eagle's medium, Wako) を用い、 37°C 、湿度 100%、5% CO_2 -95% Air の環境を保つインキュベータ内で細胞を継代培養した。実験には継代数 9 の細胞を用いた。

2-2 磁性ビーズによる細胞への力学刺激負荷系の検討

2-2-1 磁性ビーズと磁気ピンセットシステム

本研究では、まず、磁性ビーズを細胞表面に付着させ、外部磁場で磁性ビーズを動かして変形を加えることができるかどうか検討した。磁性ビーズは、磁性シリカ粒子 (39-01-153, 50mg/ml, コアフロント) を使用した。これはシリカ内にマグネタイトが一様に分布している複合体であり、直径 $1.5\mu\text{m}$ の球状で、アミノ基 (NH_2 -) による表面修飾が施されている。これらを細胞に付着させ、外部磁場を印加して駆動させる。

外部磁場を調整するために、磁気ピンセットを作製した (図 1)。これは、直方体形状のネオジム永久磁石 (長さ \times 幅 \times 高さ = $50 \times 10 \times 10\text{ mm}$ 、表面磁束密度 540 mT) を 3 次元マニピュレータに設置し、その先端にはパーマロイ製の針を取り付け、針の先端に磁束を集中させたものである。磁性ビーズに加わる力は、磁気ピンセット先端との距離を調整して制御する方式とした。

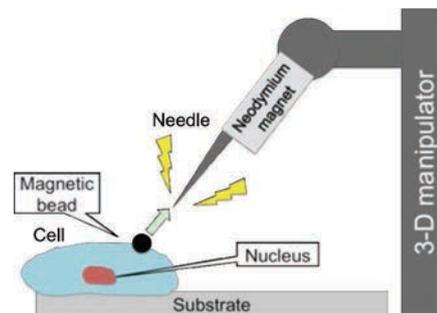


図 1. 磁気ピンセットシステム概要

2-2-2 磁性ビーズにかかる磁力の測定と計算

磁性ビーズに加わる力を見積もるために、下記の手順で粘性溶液中の磁性ビーズの速度から粘性抵抗力を計算した。すなわち、粘度標準溶液 ($1000\text{ mPa} \cdot \text{s}$; 25°C) を満たしたディッシュ中に磁性ビーズを分散させ、顕微鏡ステージ上に設置し、3次元マニピュレータで磁気ピンセットの先端を溶液中の進入させた。ビーズが磁気ピンセットに吸い寄せられる様子を一定時間間隔で連続撮影し、画像解析ソフト Image J を用いて、ビーズ塊の直径と速度、ビーズと磁気ピンセットとの距離を計測した。そして、式 (1) のストークスの式を用いて、ビーズにかかる粘性抵抗力 F を求めた。

$$F = 6\pi\eta Rv \quad (1)$$

なお、 η は流体の粘度、 R はビーズの半径、 v は速度を表す。個々のビーズの直径の規格値は $1.5\mu\text{m}$ であるが、実際には複数のビーズが付着して塊となる場合があった。この場合、ビーズ塊を球体と仮定し、画像からその直径を求めて粘性抵抗力 F を計算した。

2-2-3 細胞へのビーズの付着と磁場印加時の変形量計測

細胞表面に磁性ビーズを付着させて磁場を加え、細胞を変形させた内容を述べる。予め、細胞接着タンパク質であるフィブロネクチンをコートしたガラスボトムディッシュ (D111400, 松浪硝子工業) に PASM を播種し 5 日間培養した。2-2 節の磁性ビーズ入りの原液を培養液で 1000 倍に希釈してディッシュに加え、細胞表面へと付着させた。ビーズが付着したことを確認後、顕微鏡ステージ上で磁気ピンセットを標的となる細胞へ近づけて磁場を印加した。ビーズの動きと細胞の変形の様子を撮影し、ビーズの変位を求めた。

2-3 磁性マイクロピラーによる細胞への力学刺激負荷系の検討

細胞に対して動的な力学刺激負荷を加えるための別の手法として、これまでに当研究室で開発された、鉄粉を埋め込んだ微細円柱 (磁気マイクロピラー)^[3]を採用した。本研究では、ピラーの直径 $4\mu\text{m}$ 、中心間距離 $9\mu\text{m}$ 、高さ $9\mu\text{m}$ として以下の手順で作製した。

2-3-1 磁性マイクロピラーの作製

1. 微細鉄粉と 100% エタノールをディッシュ上で攪拌し、よく混ぜ合わせる。
2. シリコンラバー (PDMS) 製の鋳型 (微細加工業者に試作依頼) に、手順 2 で作製した鉄粉含有のエタノールを滴下してエタノールが蒸発するまで静置する。
3. シリコンエラストマ (Sylgard 184, Dow-corning) と PDMS 硬化剤 (Sylgard 184, Dow-corning) を重量比 10 : 1 で混ぜ合わせる。
4. 鉄粉が入った鋳型に PDMS を流し込み、定温乾燥機 (ONW-300S, アズワン) で 80°C の温度で 2h 処理し、硬化させる。

5. 硬化した PDMS を鋳型からピンセットで剥離し、磁性ピラーを得る。

2-3-2 磁性ピラーの駆動と細胞への力学刺激負荷

作製した磁性ピラーが並ぶ基板表面に、細胞接着タンパク質であるフィブロネクチンをコートした。そして、PASM (継代数 10) を播種し、個々のピラーの間に細胞を落とし込んだ状態で、インキュベータにて 2 日間培養した。その後、細胞試料を、プレートヒータが組み込まれた顕微鏡ステージ上に設置し、37℃に保温した。前述の磁性ピンセットをピラー基板に近づけて、ピラーに磁場を印加し、ピラーを変形させた。ピラーが動く前後の様子を撮影し、ピラーの先端の変位を画像解析ソフトで解析した。

3 結果および考察

まず、2-2-2 節から得られた、磁性ビーズの直径とビーズに加わる粘性抵抗との関係を図 2 に示す。磁性ピンセット先端との距離が (A) 約 20 μm 、(B) 約 40 μm 、(C) 約 100 μm となる群に分け、ビーズの直径とビーズに加わる粘性抵抗のデータを指数近似した。磁性ビーズの直径が大きくなるほど、指数関数的に粘性抵抗が大きくなった。また、磁性ピンセットとの距離が最も近い (A) 群ほど、磁性ビーズ直径の増加に伴い急激に力が増す傾向が得られたが、ビーズ直径が 1~3 μm の範囲では (A) 群での力の値が (B) 群より低く近似された。これは、ビーズ塊の直径の計測誤差などの影響と考えられる。

次に、実際に細胞表面に付着した磁性ビーズに磁場を加え細胞を変形させた例を図 3 に示す。細胞の右側面に付着した磁性ビーズが、磁性ピンセットを近づける前後で、ピンセットに近づくように動くことが確認できた。また、同時に細胞が引張られている様子が確認できた。磁性ピンセット先端方向に動いたビーズのみに限定して変位を解析したところ、細胞表面の変形が $4.1 \pm 2.0 \mu\text{m}$ ($n=11$) となった。このとき、磁性ビーズと磁性ピンセット先端との距離は $48.8 \pm 24.7 \mu\text{m}$ ($n=21$) であった。そこで、磁性ビーズと磁性ピンセット先端との距離が比較的類似している図 2 の (B) 群のデータを適用して、細胞表面に加わる力をおおよそ見積もると細胞に加わる力は 200~400 pN 程度であると推測された。これらの力と細胞の変形との関係は、磁性ビーズを用いた過去の研究報告^[4]と、ほぼ一致する結果となった。本手法で十分に細胞や核に力学刺激を加えることができると考えられる。

次に磁性ピラーに磁場を印加した際のピラーに加わる力と磁性ピンセットの距離との関係を図 4 に示す。ピラーに加わる力を計算するために、ピラーのバネ定数として過去の計測値 (26 nN/ μm ^[5]) を用い、これにピラー先端の変位を乗じた。ピラーとピンセットの距離が離れるにつれ指数関数的にピラーに加わる力が小さくなる。ピラーとピンセットの距離が 0~40 μm の範囲ではピラーに加わる力のばらつきが大きい、これはピラーごとに含まれる鉄粉量が正確に均一ではないためと考えられる。磁性ピラー間に挟まった PASM に対して、磁性ピンセットを近づけて磁場を印加した様子を図 5 に示す。ピラー先端がピンセット方向に変形したが、細胞に大きな形状の変化は見られなかった。ピラーの先端が大きく動いても、ピラーの根元に近いほど変位が小さいため、ピラーの根本付近の細胞部分には大きな変形が加わらない可能性がある。しかし、現状では細胞の変形を詳細に計測できていないので、今後、蛍光顕微鏡や共焦点顕微鏡などを活用し、細胞や核の 3 次元的な変形を細かく計測する必要がある。本研究では磁性ビーズを利用した細胞への力の負荷に成功した。しかし、現時点では細胞の任意の部分へビーズを付着させることができていないため、マイクロインジェクション技術などを利用してビーズを細胞質あるいは細胞核へ直接付着させる方法を検討する必要がある。また、磁性ピラーに関しては、作製と駆動は成功したが、細胞や核が変形しているかどうか十分に確認できなかった。今後、より詳細に観察するとともに、細胞の長さや厚みなどを考慮して、より変形を加えやすい形状のピラーを設計する必要があると考えられる。

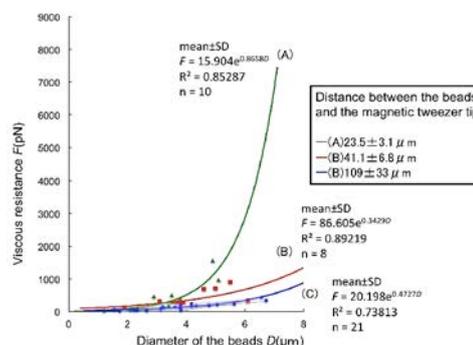


図 2. 磁性ビーズに加わる力の距離ごとの計測結果

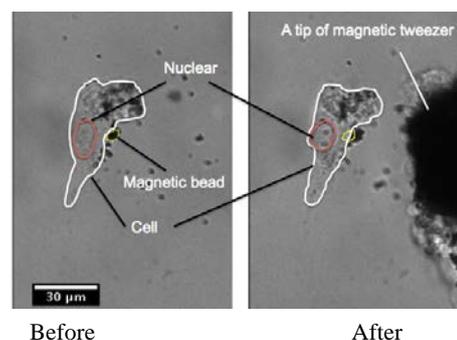


図 3. 細胞に付着させた磁性ビーズに対する磁場印加の前後の様子

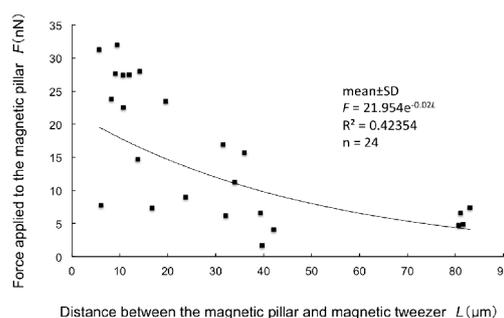


図 4. 磁性ピラーに加わる力と磁性ピンセットとの距離の関係

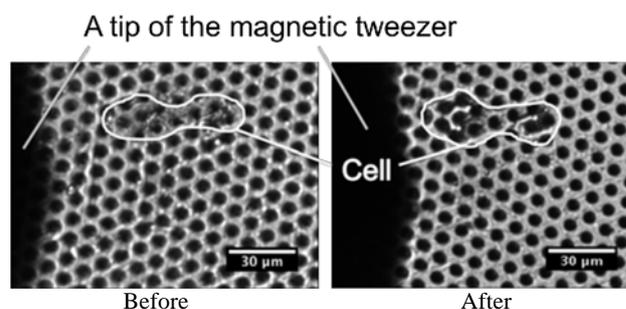


図 5. 磁性ピラー基板中の細胞に磁場を印加した前後の様子

謝辞

本研究遂行において茨城大学工学部 機械工学科 増澤徹先生のご厚意により細胞培養設備を使用させて頂きました。また、知能システム工学科 周立波先生が所有するガラス加工装置を使用させて頂きました。本研究の一部は科研費 (26560207) の援助で行われました。

参考文献

- [1] Versaev et al., *Nat Commun*, 671, doi:10.1038/ncomms1668, 2012.
- [2] Nagayama K et al, Mechanical trapping of the nucleus on micropillared surfaces inhibits the proliferation of vascular smooth muscle cells but not cervical cancer cells, *J Biomech* (accepted).
- [3] Nagayama K et al, Development of a Novel Magnetic-Driven Micropillar Substrate for Mechanical Stimulation at Individual Focal Adhesions of Cells, *ASME 2012 Summer Bioeng Conf*, SBC2012-80213, 683-684, 2012.
- [4] Tanase M et al, Magnetic tweezers in cell biology, *Methods Cell Biol*, 83:473-93, 2007.
- [5] 井上卓哉, 細胞焦点接着斑力学刺激のための磁気駆動式マイクロピラーの開発とそれを用いた細胞力学応答解析, 名古屋工業大学機械工学専攻修士論文, 2012.

2.プロジェクト業績

活動実績

- 2014/9/14 三領域代表 幹事会
- 2014/8/6 三領域代表 幹事会
- 2014/10/22 三領域代表 幹事会
- 2014/10/08 茨城大学工学部附属教育研究センター公開シンポジウム
茨城大学工学部機械工学科 道辻洋平准教授
「鉄道・自動車のモニタリング技術を活用した安全性向上に関する研究」
茨城大学工学部機械工学科 長真啓助教
「5 軸制御磁気浮モータを用いた小児用人工心臓に関する研究」
(参加人数 61 名)
- 2014/11/28 茨城大学重点研究「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」シンポジウム
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講演会
第 22 回茨城ライフサポートコンソーシアム(ILiS)講演会
HMS ライフサポート講演会
東京大学医学系研究科疾患生命工学センター 牛田多加志教授
「再生医療における 3 要素+1 要素」
(参加人数 40 名)
- 2014/12/17 三領域代表 幹事会

平成 26 年度若手・新分野研究奨励として以下の 3 研究を採択

1. 「超小型小児用磁気浮上人工心臓の研究開発」長真啓
2. 「生体信号を利用した人間-機械学習インタフェースの提案と医療福祉応用」芝軒太郎
3. 「細胞機能操作・診断ツールとしての磁気駆動式 MEMS デバイスの開発」長山和亮

ライフサポート科学教育研究センター講演会
第22回 茨城ライフサポートコンソーシアム(ILiS)講演会
HMSライフサポート講演会

「再生医療における3要素+1要素」

東京大学 医学系研究科 疾患生命工学センター 教授

牛田 多加志 先生

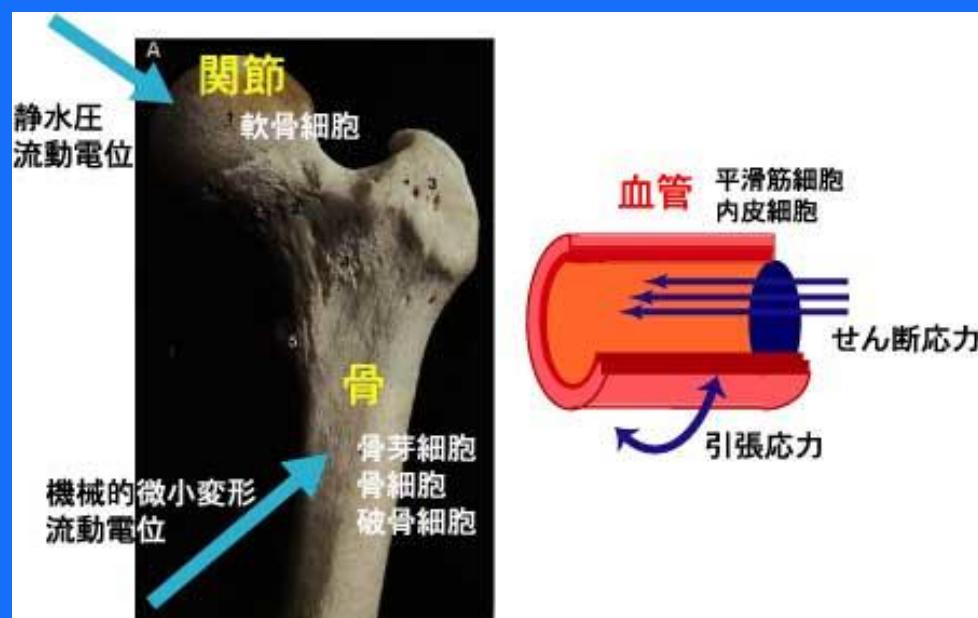
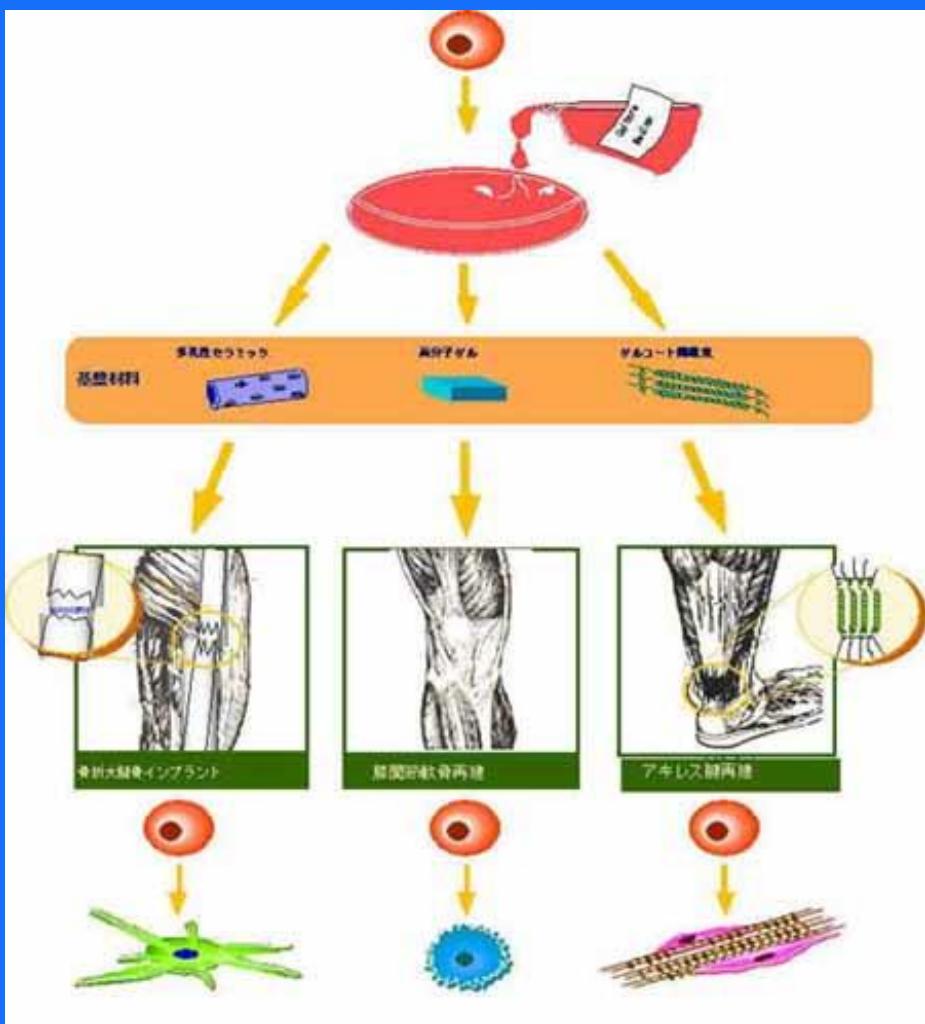
日時: 11/28(金) 午後 3時30分～5時

場所: 茨城大学工学部 小平記念ホール

近年では、細胞を培養して臓器や組織を再生し、移植臓器の代わりに使う再生医療が注目されてきています。

細胞組織の機能を人工的にコントロールするため、最近では、細胞増殖因子やサイトカインといった生化学因子だけでなく、細胞に加わる「物理的刺激」の重要性が分かってきました。

今回は、東京大学の牛田先生をお呼びしまして、再生医療における「物理的刺激」の重要性を分かりやすく解説していただきます。



細胞の分化制御による骨、軟骨、腱の再生

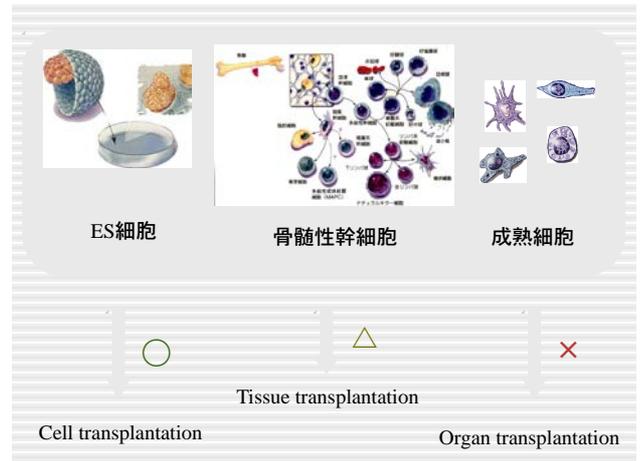
骨や血管に加わる様々な「物理的刺激」

※教職員、学生ともに参加自由です。

再生医療における3要素+1要素

東京大学大学院医学系研究科

牛田多加志



3 major elements for tissue engineering

1. Cell sources
2. 3 dimensional scaffolds
3. Culture systems
 - Biochemical environment
 - Physical environment

細胞ソース

だから?

1. 自家細胞 (autologous)
2. 同種細胞 (allogeneic)
3. 異種細胞 (heterologous)

1. 自家細胞 (autologous)

メリット

- ・拒絶反応なし
- ・ウイルス等の問題なし

デメリット

- ・採取部位が限られている
- ・細胞のアクティビティが低い場合が多い

2. 同種細胞 (allogeneic)

メリット

- ・細胞のアクティビティが高い
- ・感染性のチェックが可能

デメリット

- ・拒絶反応あり
- ・ケースによっては倫理的問題が起こる

3. 異種細胞 (heterologous)

メリット

- ・採取する部位が限定されない
- ・細胞のアクティビティが高い

デメリット

- ・拒絶反応がある
(遺伝子改変ブタ)
- ・未知ウィルスの危険性

細胞ソース

どこから?

1. ES細胞
2. 骨髄性幹細胞
3. 体性幹細胞
4. 成熟細胞

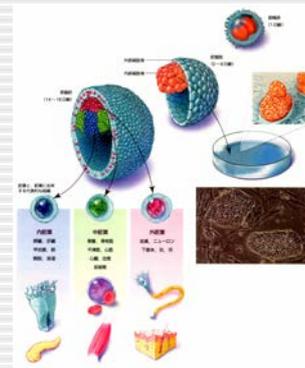
1. ES細胞

ES細胞 (Embryonic Stem Cell) = 胚性幹細胞

幹細胞 ・自己複製能
・分化能

ES細胞 ・自己複製能
・全能性

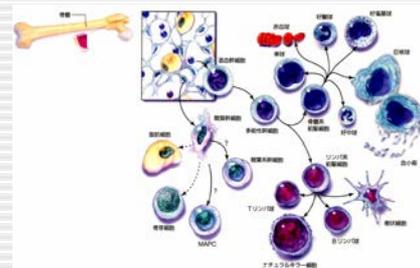
- ・他家(同種)細胞
(クローン胚の場合は自家)
- ・受精卵に係わる倫理的問題



胚性幹細胞の分化

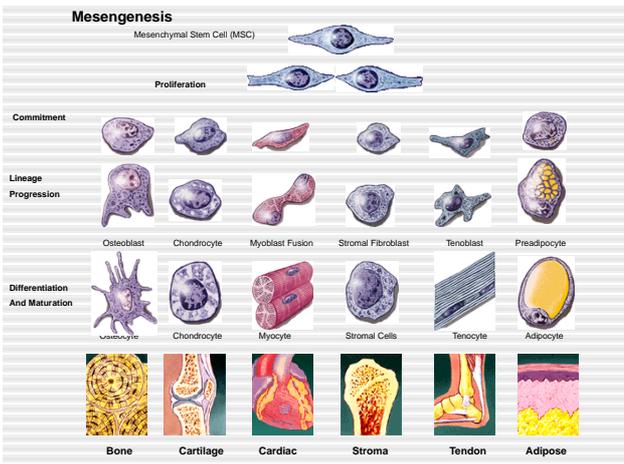
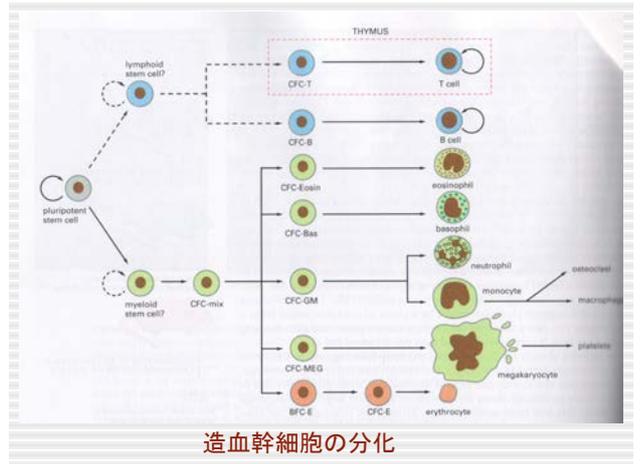
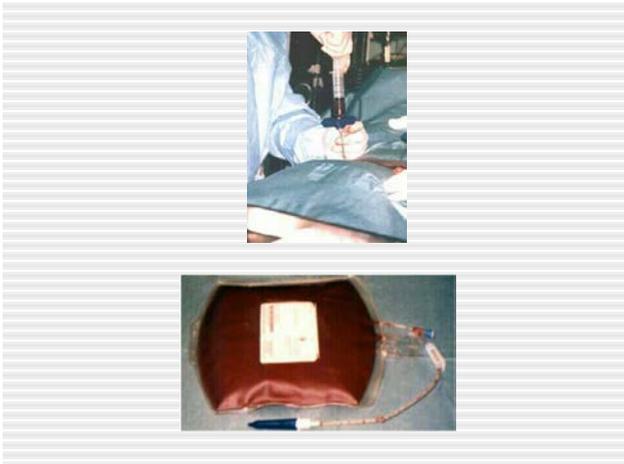
骨髄由来幹細胞

1. 血球幹細胞 (Hematopoietic Stem Cell)
2. 骨髄性幹細胞 (Mesenchymal Stem Cell)



骨髄細胞の分化

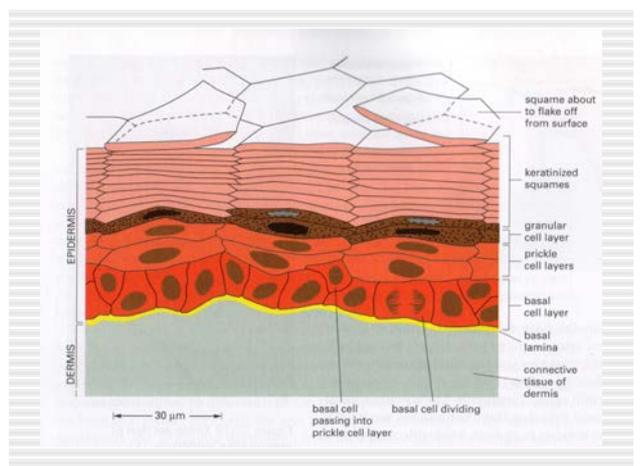
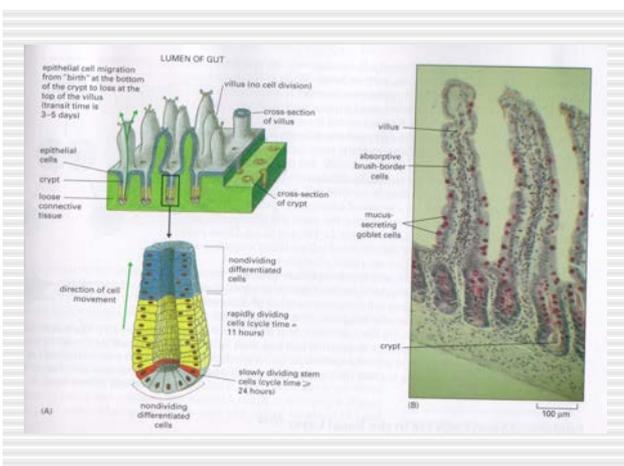
造血幹細胞
間葉系幹細胞

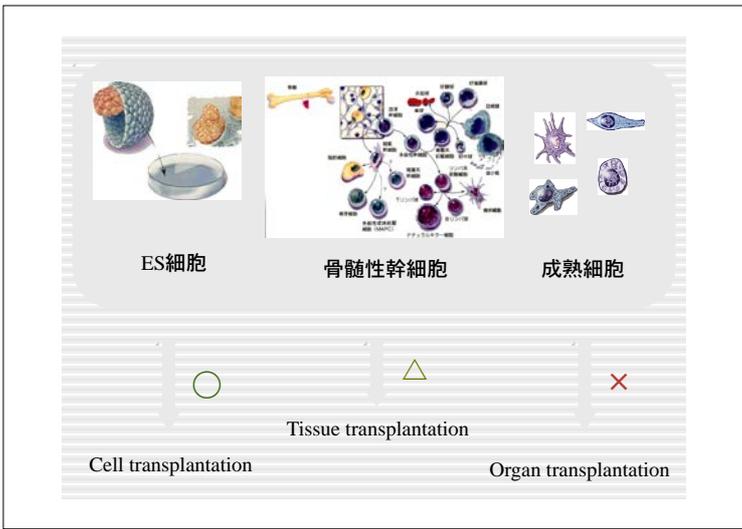


3. 体性幹細胞 (Somatic Stem Cell)

組織中にあり,組織特異的な幹細胞

- 1) 神経幹細胞
- 2) 表皮幹細胞
- 3) 肝臓幹細胞
- 4) 小腸上皮幹細胞
- 5) 毛根幹細胞





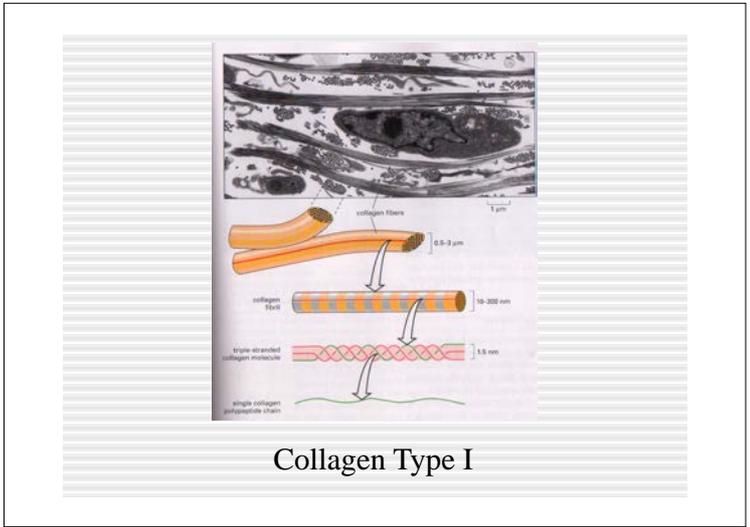
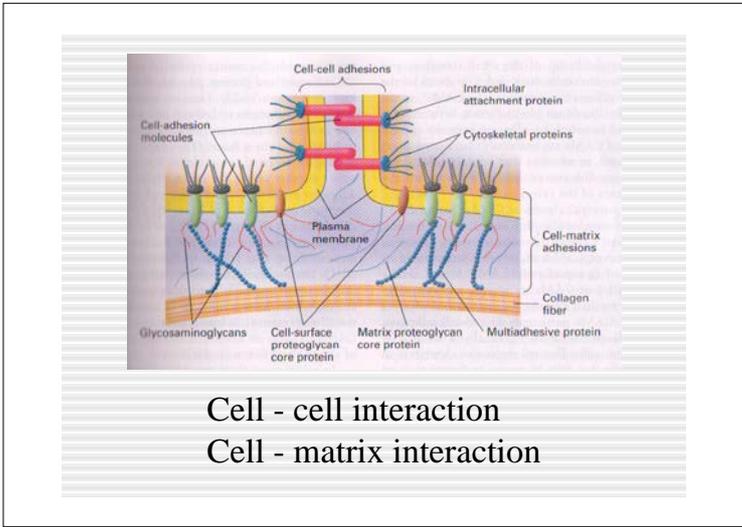
Biomaterial

Collagen, Hyaluronan, Laminin, Elastin

Biodegradable polymer

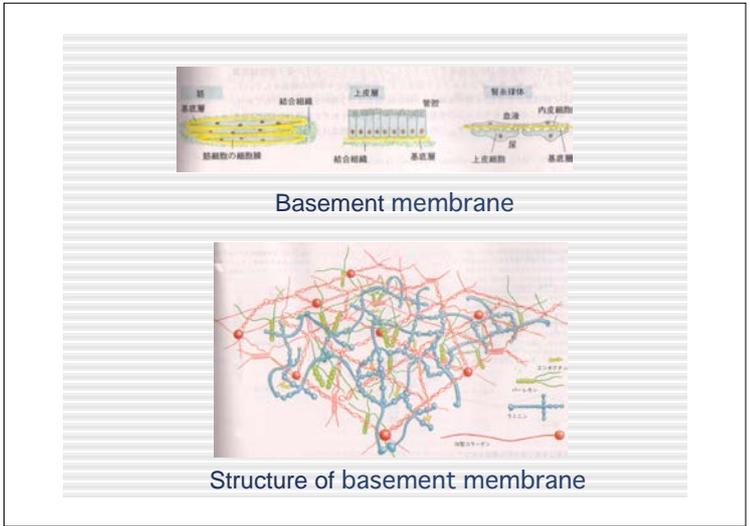
PLLA, PGA, PLGA

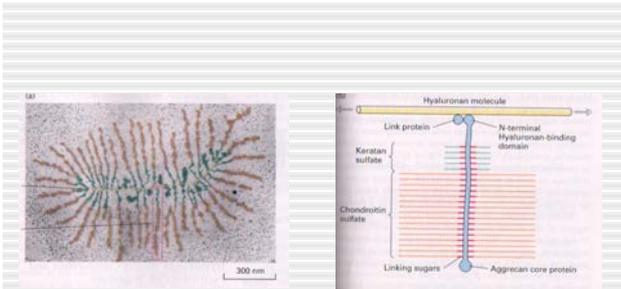
Biopolymers Used in the Field of Tissue Engineering



Type	Molecular Formula	Polymerized Form	Tissue Distribution
FIBRIL-FORMING (FIBRILLAR)	I $[\alpha 1(I)]_2[\alpha 2(I)]$	fibril	bone, skin, tendon, ligaments, cornea, internal organs (accounts for 90% of body collagen)
	II $[\alpha 1(II)]_2$	fibril	cartilage, intervertebral disc, notochord, vitreous humor of the eye
	III $[\alpha 1(III)]_2$	fibril	skin, blood vessels, internal organs
	V $[\alpha 1(V)]_2[\alpha 2(V)]$	fibril (with type I)	as for type I
	XI $\alpha 1(XI)\alpha 2(XI)\alpha 3(XI)$	fibril (with type II)	as for type II
FIBRIL-ASSOCIATED	IX $\alpha 1(IX)\alpha 2(IX)\alpha 3(IX)$ with type II fibrils	lateral association	cartilage
	XII $[\alpha 1(XII)]_2$ with some type I fibrils	lateral association	tendon, ligaments, some other tissues
NETWORK-FORMING	IV $[\alpha 1(IV)]_2[\alpha 2(IV)]$	sheetlike network	basal laminae
	VII $[\alpha 1(VII)]_1$	anchoring fibrils	beneath stratified squamous epithelia

Types of Collagens





Proteoglycan

Structure of proteoglycan

Biodegradable polymer

- PLLA (Polylactic acid) **year**
- PLGA (Polylactic-acid-polyglycolic-acid-copolymer)
month
- PGA (polyglycolic acid) **week**

Biomaterial

Merit

- good biocompatibility
- having cell adhesion sites

Demerit

- difficult for forming
- weak mechanical properties

Biodegradable polymer

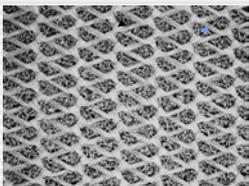
Merit

- easy for forming
- enough mechanical properties

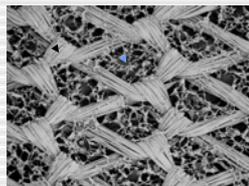
Demerit

- hydrophobic
- no cell adhesion site

- PLGA mesh
- Collagen sponge



PLGA-collagen mesh at original magnification × 20



PLGA-collagen mesh at original magnification × 60

SEM photomicrographs of PLGA knitted mesh & its composite with collagen

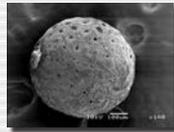
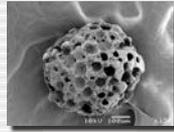
Calcium Phosphates

Ca/P		formula	
0.5	Calcium diphosphate	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	MCPM
		$\alpha, \beta, \gamma - \text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	MTCP
	Calcium monophosphate	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	DCPD
1.0		CaHPO_4	DCP
		$\alpha, \beta, \gamma - \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	$\alpha, \beta, \gamma - \text{CPP}$
1.34	Octa-calcium phosphate	$\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	OCP
1.5	TriCaicium Phosphate	$\alpha, \beta, \gamma - \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$\alpha, \beta, \gamma - \text{TCP}$
1.67	Hydroxyapatite	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	HA β , HA
2.0	Tetra-calciumphosphate	$\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$	TTCP

Hydroxyapatite



Apatite products



Apatite beads

Biochemical environment

- Culture medium
 - ion Na, K, Ca, Mg
 - amino acid
 - vitamin

•PH buffer

Carbonate buffer

physiological unstable



Phosphate buffer

Non-physiological stable



Growth factors

- basic Fibroblast Growth Factor (bFGF)
- Epidermal Growth Factor (EGF)
- Hepatocyte Growth Factor (HGF)
- Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF)
- Nerve Growth Factor (NGF)
- Transforming Growth factor (TGF-!)
 - Bone Morphogenic Protein (BMP)

Hydrostatic pressure
Streaming potential



blood vessel



endothelial cell
smooth muscle cell

Shear stress
Mechanical deformation (stretching)

Mechanical micro-deformation
Streaming potential

in vivo Regulation of Cellular Functions by Physical Factors

Effects of Mechanical Stress on Cultured Cells and Its Adaptation to Tissue Engineering



in vitro Reconstruction of Living Tissues



knee joint



Lateral femoral groove stained with S-O

3 major diseases of articular cartilage

- sport injuries
- osteoarthritis (OA)
- rheumatoid arthritis (RA)

Articular cartilage

Type II collagen
(Type I collagen fibrous cartilage)

- no blood vessel
- no nerve
- low regeneration activity



Normal

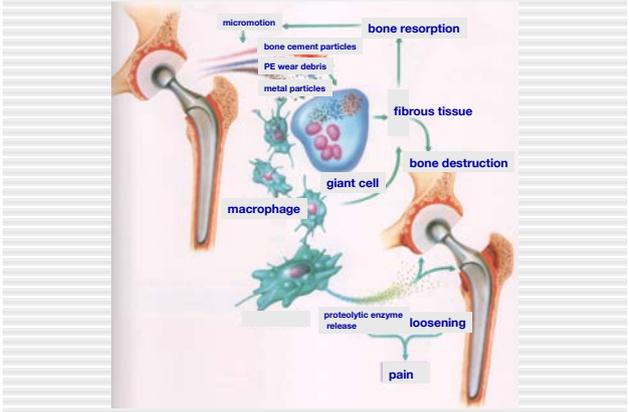


Osteoarthritis



Artificial joint

Articular cartilage replacement



Problems caused by artificial joint replacement

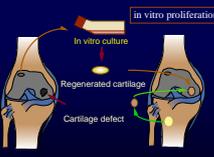


Genzyme system

Clinical application of autologous chondrocyte implantation



Clinical application of autologous chondrocyte implantation



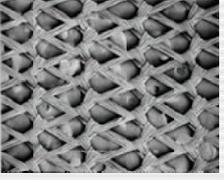
Tissue engineered therapy for cartilage defect

Cell Transplantation

Regenerated Tissue Transplantation

SEM Photomicrographs

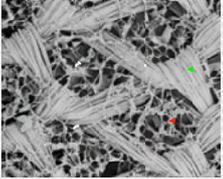
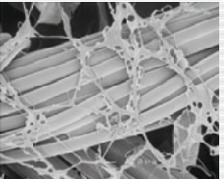
Poly(lactin 910) (PLGA) kitted mesh



PLGA-collagen hybrid mesh



Hybridization



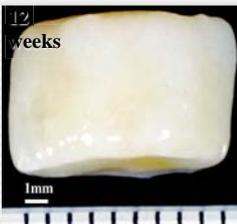
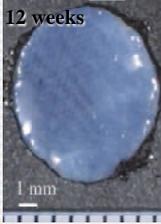
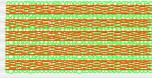
- PLGA
- Collagen microspunges

Gross Appearance

Single Sheet

Laminated (5-sheet)

Rolled

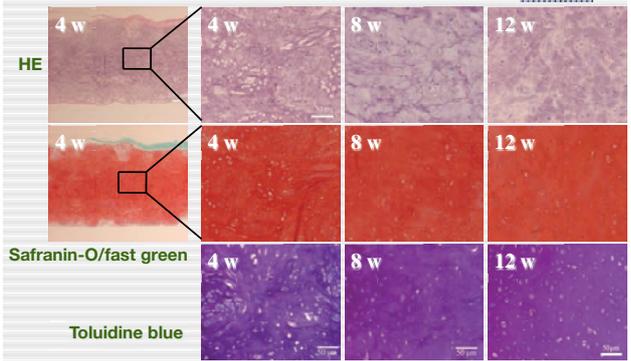


Thickness: 200 μ m

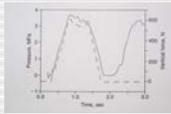
1 mm

8 mm

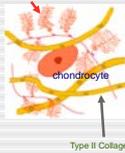
Histological Results of 5-Sheet Implant



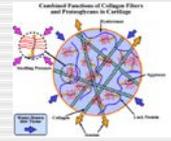
Hydrostatic pressure loading to chondrocytes by weight or moving



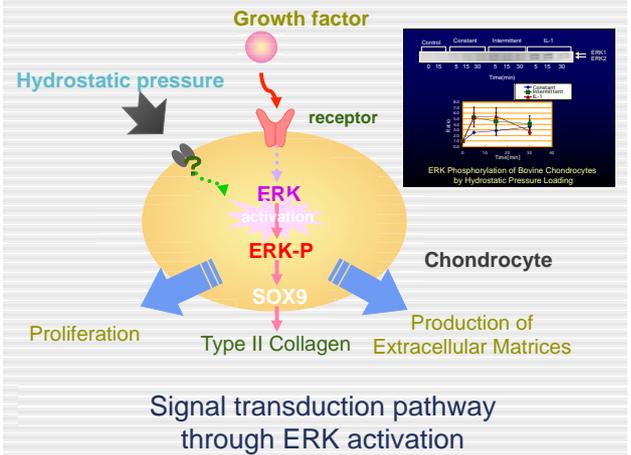
1985, Hodge et al Direct measurement of loaded stress to hip joint



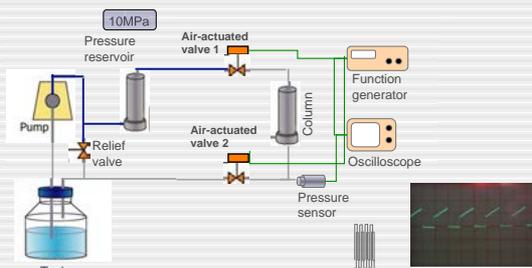
Type II Collagen



Hardingham, Glycoforum. 1998 Cartilage model with collagen, proteoglycans & water

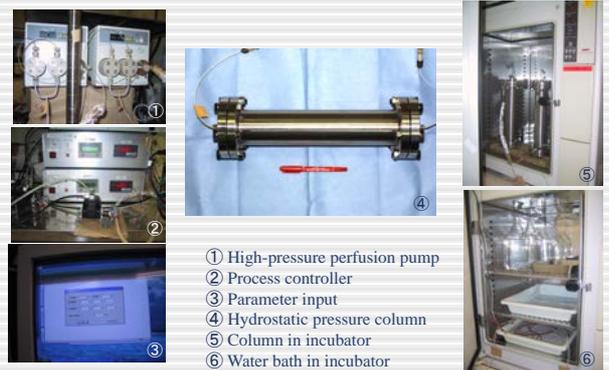


Schematic diagram of intermittent hydrostatic pressure loading system



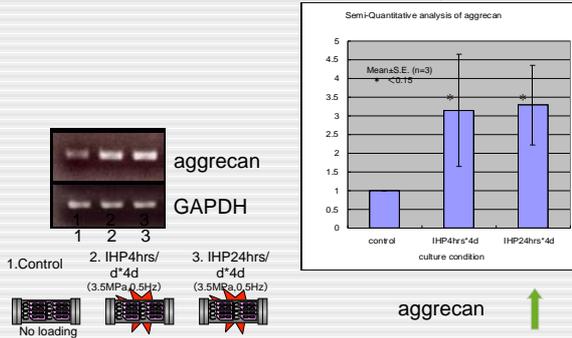
Up to 0.5Hz, 10MPa

Intermittent Hydrostatic Pressure Loading System



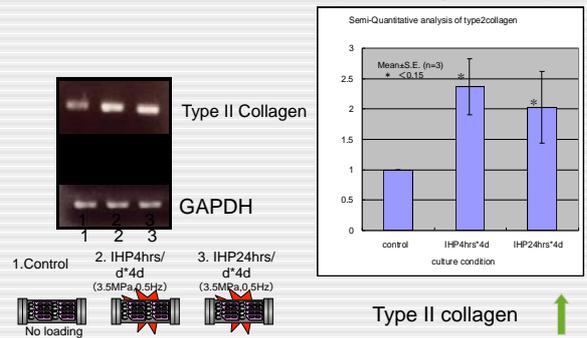
Aggrecan gene expression (RT-PCR)

Semi-quantitative analysis of gene expression (n=3)
(IHP=Intermittent Hydrostatic Pressure)



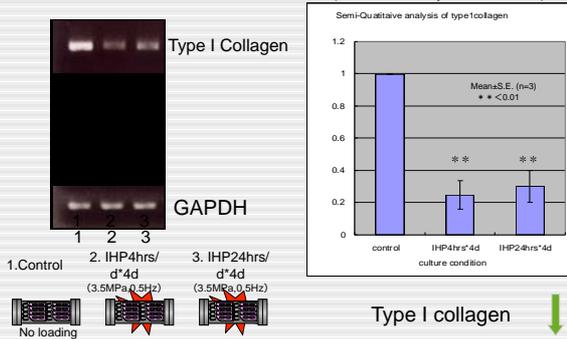
Type II collagen gene expression (RT-PCR)

Semi-quantitative analysis of gene expression (n=3)
(IHP=Intermittent Hydrostatic Pressure)

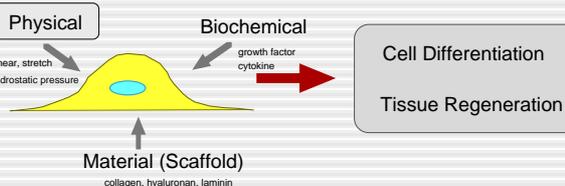
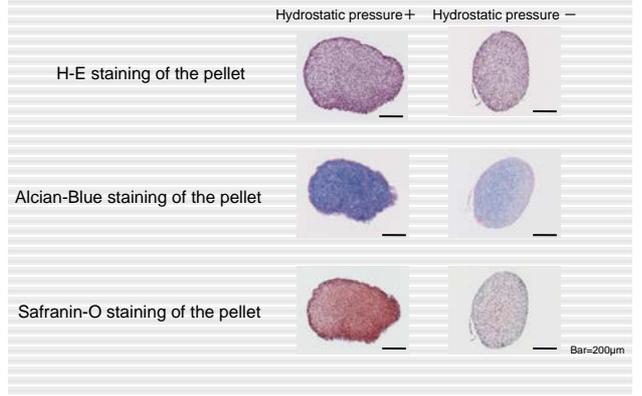


Type I collagen gene expression (RT-PCR)

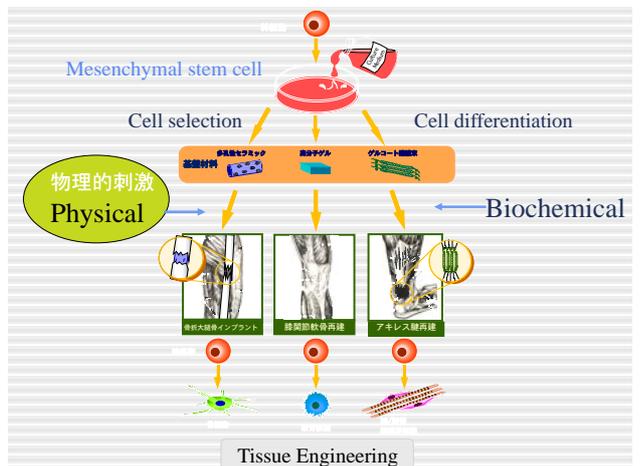
Semi-quantitative analysis of gene expression (n=3)
(IHP=Intermittent Hydrostatic Pressure)



Effect of Hydrostatic Pressure Loading On Matrices Production in Chondrocyte Pellets



3 Essential Factors
for in vitro Tissue Regeneration



業績一覧

【原著論文】

- 1) 但野ちなみ, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, 炭酸またはマグネシウム含有ハイドロキシアパタイト薄膜の作製, バイオインテグレーション学会誌, **4**, 79-84, (2014)
- 2) K. Ozeki, T. Goto, H. Aoki and T. Masuzawa, Fabrication of hydroxyapatite thin films on zirconia using a sputtering technique, *Bio-Med. Mat. Eng.*, **24**, 1793-1802, (2014)
- 3) K. Ozeki, T. Goto, H. Aoki and T. Masuzawa, Characterization of Sr-substituted hydroxyapatite thin film by sputtering technique from mixture targets of hydroxyapatite and strontium apatite, *Bio-Med. Mat. Eng.*, **24**, 1447-1456, (2014)
- 4) D. Sakurai, J. Chiba, T. Ino, N. Kakusho, N. Kaneko, R. Katayama, M. Kitaguchi, K. Mishima, S. Muto, K. Ozeki, Y. Seki, H. M Shimizu, S. Yamashita, T. Yoshioka and D. Nishimura, Development of a new neutron mirror made of deuterated Diamond-like carbon, *Journal of Physics: Conference Series*, **528**, 012010, (2014)
- 5) Y. Fukuoka and J. Akama, Dynamic bipedal walking of a dinosaur-like robot with an extant vertebrate's nervous system, *Robotica* **32**(6), 851-865, (2014)
- 6) S. Yamauchi, S. Saiki, K. Ishibashi, A. Nakagawa and S. Hatakeyama, Low Pressure Chemical Vapor Deposition of Nb and F Co-Doped TiO₂ Layer, *J. Crystal. Process and Technology*, **4**, 79-88, (2014)
- 7) S. Yamauchi, K. Ishibashi and S. Hatakeyama, Low Pressure Chemical Vapor Deposition of TiO₂ layer in Hydrogen-Ambient, *J. Crystal. Process and Technology*, **4**, 185-192, (2014)
- 8) M. Fujita, Y. Ishiwatari, I. Mishima, N. Utsuno and K. Kato, Effect of ageing of pipe and lining materials on elemental composition of suspended particles in a water distribution system, *Water Resources Management*, **28**, 1645-1653, (2014)
- 9) 見島伊織, 吉田征史, 藤田昌史, 実下水処理施設における硝化プロセスのN₂O生成ポテンシャルの解析, 水環境学会誌, **37**(6), 219-227, (2014)
- 10) 明石詢子, 石渡恭之, 藤田昌史, 水道管における懸濁態元素と細菌の挙動, 土木学会論文集 G(環境), **70**(7), 33-38, (2014)
- 11) 王峰宇, 石渡恭之, 藤田昌史, ツバル国海岸の重金属汚染の評価と既設のSeptic Tankの活用を想定した除去手法の検討, 土木学会論文集 G(環境), **70**(7), 509-515, (2014)
- 12) A. Matsumoto, Y. Sato, H. Ohno, M. Shimizu, J. Kurihara, T. Saitou, Y. Michitsuji, R. Matsui, M. Tanimoto and M. Mizuno, Actual states of wheel/rail contact forces and friction on sharp curves - Continuous monitoring from in-service trains and numerical simulations, *Wear* **314**, 189-197, (2014)
- 13) Y. Nishi, T. Inagaki, Y. Li, R. Omiya and J. Fukutomi, Study on an Undershot Cross-Flow Water Turbine, *Journal of Thermal Science*, **23-3**, 239-245, (2014)
- 14) Y. Nishi, T. Inagaki, K. Okubo and N. Kikuchi, Study on an Axial Flow Hydraulic Turbine with Collection Device, *International Journal of Rotating Machinery* 2014, 308058, 1-11, (2014)
- 15) Y. Li, S. Someya, K. Okamoto, T. Inagaki and Y. Nishi, Study on flow-induced acoustic resonance in symmetrically located side-branches using dynamic PIV technique, *Journal of Fluid Science and Technology*, **9-2**, 1-12, (2014)
- 16) Y. Li, Y. Nishi, T. Inagaki and K. Hatano, Study on the Flow Field of an Undershot Cross-flow Water Turbine, *Applied Mechanics and Materials*, **620**, 285-291, (2014)
- 17) Y. Nishi and J. Fukutomi, Effect of Blade Outlet Angle on Unsteady Hydrodynamic Force of Closed-Type Centrifugal Pump with Single Blade, *International Journal of Rotating Machinery* 2014, 838627, 1-16, (2014)

- 18) Y. Nishi, T. Inagaki, Y. Li, R. Omiya and K. Hatano, The Flow Field of Undershot Cross-Flow Water Turbines Based on PIV Measurements and Numerical Analysis, *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, **7-4**, 174-182, (2014)
- 19) Y. Li, S. Someya, K. Okamoto, T. Inagaki and Y. Nishi, Study on flow-induced acoustic resonance in symmetrically located side-branches using dynamic PIV technique, *Journal of Fluid Science and Technology*, **9(2)**, Paper No. 14-00112, (2014)
- 20) Y. Li, Y. Nishi, T. Inagaki and K. Hatano, Study on the flow field of an undershot cross-flow water turbine, *Applied Mechanics and Materials*, **620**, 285-291, (2014)
- 21) Y. Li, T. Inagaki, H. Saito and M. Abe, Thermo-physical properties of magnetic fluid and its natural convection heat transfer in a horizontal enclosed rectangular container, *Applied Mechanics and Materials*, **620**, 461-467, (2014)
- 22) Y. Li, T. Inagaki and H. Kashiwa, Thermo-physical properties of phase change materials and those natural convection heat transfer in a horizontal enclosed rectangular container, *Applied Mechanics and Materials*, **620**, 468-471, (2014)
- 23) Y. Nishi, T. Inagaki, Y. Li, R. Omiya and J. Fukutomi, Study on an undershot cross-flow water turbine, *Journal of Thermal Science*, **23(3)**, 239-245, (2014)
- 24) 稲垣照美, 一色俊洋, 李艶栄, 水平矩形容器内に充填した相変化蓄熱物質の凝固・冷却機構に関する研究-酢酸ナトリウム 3 水和物の現象論的考察-, *化学工学論文集*, **40(5)**, 410-419, (2014)
- 25) 西泰行, 稲垣照美, 大久保薫, 平間壮, 菊池伯夫, 集水装置を有する軸流水車の性能に及ぼす羽根枚数の影響, *ターボ機械協会*, **42(2)**, 107-117, (2014)
- 26) Y. Nishi, T. Inagaki, K. Okubo and N. Kikuchi, Study on an axial flow hydraulic turbine with collection device, *International Journal of Rotating Machinery*, 308058, (2014)
- 27) Y. Nishi, T. Inagaki, Y. Li, R. Omiya and K. Hatano, The flow field of undershot cross-flow water turbines based on PIV measurements and numerical analysis, *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, **7(4)**, 174-182, (2014)
- 28) 松田健一, 平根龍也, 近藤良, 増澤徹, アウターロータ型 5 軸制御セルフベアリングモータに関する研究, *日本 AEM 学会誌*, Vol.22, No.3, 386-392, (2014)
- 29) S. Yamada, S. Iwama, K. Kinoshita, T. Yamazaki, T. Kubota and T. Yajima, Facile synthetic protocols for perfluoroalkyl-substituted diazapentaphenes, *Tetrahedron* 2014, **70(38)**, 6749-6756
- 30) 早志英朗, 島圭介, 芝軒太郎, 栗田雄一, 辻敏夫, 系列判別成分分析に基づく次元圧縮型リカレント確率ニューラルネット, *計測自動制御学会論文集*, **50(4)**, 356-365, (2014)
- 31) 中島翔太, 右田涼, 早志英朗, 芝軒太郎, 島圭介, 島谷康司, 中塚幹也, 竹内章人, 中村信, 栗田雄一, 辻敏夫, 新生児の自発運動評価を目的とした General Movements 診断支援システム, *計測自動制御学会論文集* **50(9)**, 684-692, (2014)
- 32) 長真啓, 増澤徹, 大森直樹, 巽英介, 小児用人工心臓のための小型 5 軸制御セルフベアリングモータ, *日本 AEM 学会誌*, **22**, 96-101, (2014)
- 33) 森善一, 勝村薫, 永瀬勝也, 自走用車椅子使用者のための段差移動補助機の開発, *日本機械学会論文集*, **80-820**, 1-13, (2014)
- 34) Y. Mori and S. Kido, Monitoring System for Elderly People Using Passive RFID Tags, *Journal of Robotics and Mechatronics*, **26-5**, 649-655, (2014)
- 35) 湊淳, 鈴木慎吾, 村上雄太郎, 伊多波正徳, 小澤哲, 形態素解析を用いた事故・リスクに関する記述の分析, *日本感性工学会論文誌*, **13**, 341-346, (2014)

- 36) Kushantha Lakesh S.H.P., Dahanayaka D.D.G.L., Anne Nisha G., N. Warnajith, H. Tonooka, A. Minato and S. Ozawa, Development of inexpensive multi-parameter sensors based network system for water environment monitoring, *International Journal of Environmental Sciences*, Vol.5, No.2, (2014)
- 37) D. Bandara, N. Warnajith, A. Minato and S. Ozawa, Comparing and Analyzing several Brahmi inscriptions using photographic data, *Sri Lankan Journal of Ancient Heritage*, Sri Lanka, (2014)
- 38) M. Ogino, T. Ohashi, H. Yoshida, D. Nagayama, T. Kubota, A. Morikawa and K. Ono, Preparation of Nanopatterned Polyimide by Imprinting and Curing Phenylethynyl- terminated Imide Oligomer, *Journal of Photopolymer Science and Technology* 2014, **27**, 155-160, (2014)
- 39) K. Nagayama, S. Yamazaki, Y. Yahiro and T. Matsumoto, Estimation of the mechanical connection between apical stress fibers and the nucleus in vascular smooth muscle cells cultured on a substrate, *Journal of Biomechanics* **47**, 1422-1429, (2014)
- 40) 小沼弘幸, 増澤徹, 12突極ラジアル型セルフベアリングモータの磁気支持特性の推定, *日本 AEM 学会誌*, **22**(2), 88-95, (2014)
- 41) 右田涼, 島谷康司, 芝軒太郎, 栗田雄一, 島圭介, 辻敏夫, 動画像解析に基づく乳幼児行動マーカーレスモニタリングシステム, *発育発達研究*, **2014**(65), 1-7, (2014)
- 42) S. Yamauchi, K. Ishibashi and S. Hatakeyama, Low resistive TiO₂ deposition by LPCVD using TTIP and NbF₅ in Hydrogen-Ambient, *J. Crystal. Process and Technology*, **5**, 15-23, (2015)
- 43) S. Yamauchi, K. Ishibashi and S. Hatakeyama, Drastic Resistivity Reduction of CVD-TiO₂ Layers by Post-Wet-Treatment in HCl Solution, *J. Crystal. Process and Technology*, **5**, 24-30, (2015)
- 44) K. Ozeki, D. Sekiba, A. Uedono, K. Hirakuri and T. Masuzawa, Effect of incorporation of deuterium on vacancy-type defects of a-C:H films prepared by plasma CVD, *Applied Surface Science*, **330**, 142-147, (2015)
- 45) Y. Fukuoka, Y. Habu and T. Fukui, A simple rule for quadrupedal gait generation determined by leg loading feedback: a modeling study, *Scientific Reports*, (accepted)
- 46) K. Nagayama, S. Saito and T. Matsumoto, Multiphasic stress relaxation response of freshly isolated and cultured vascular smooth muscle cells measured by quasi-in situ tensile test, *Bio-Medical Materials and Engineering*, (accepted)
- 47) Y. Li, S. Someya, K. Okamoto, T. Inagaki and Y. Nishi, Visualization study of flow-excited acoustic resonance in closed tandem side branches using high time-resolved particle image velocimetry, *Journal of Mechanical Science and Technology*, (掲載決定)
- 48) 大森直樹, 増澤徹, 長真啓, 巽英介, 小児用補助人工心臓のための小型磁気浮上モータの第一試作, *日本 AEM 学会誌*, **23**, (掲載決定)
- 49) 稲垣照美, 柏拓貴, 李艶栄, 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-硫酸ナトリウム 10 水和物-, *化学工学論文集*, (掲載決定)
- 50) 鈴木慎太郎, 稲垣照美, 李艶栄, 原田滉士, 井澤幸貴, 山内紀子, カーボンナノチューブ分散流体の熱物性と自然対流熱伝達, *化学工学論文集*, (掲載決定)
- 51) 増澤徹, 服部圭介, 林照剛, 木村剛, 岸田晶夫, 磁気ビーズを用いた磁気励振細胞刺激システム, *日本 AEM 学会誌*, **23**(1), (掲載決定)
- 52) 山田悠, 増澤徹, Daniel L Timms, 全置換型磁気浮上人工心臓と流量バランス制御, *日本 AEM 学会誌*, **23**(1), (掲載決定)
- 53) T. Inagaki, Y. Li and Y. Nishi, Analysis of aerodynamic sound noise generated by a large-scaled wind turbine and its physiological evaluation, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, DOI 10.1007/s13762-014-0581-4, (in press)

- 54) Y. Li, S. Someya, K. Okamoto, T. Inagaki and Y. Nishi, Visualization study of flow-excited acoustic resonance in closed tandem side branches using high time-resolved particle image velocimetry, *Journal of Mechanical Science and Technology*, (in press)
- 55) 長山和亮, 弾性マイクロピラー基板を用いた細胞張力の定量解析と細胞内の核に加わる力の推定, *日本機械学会論文集*, (掲載決定)

【国際会議発表】

- 1) K. Nagayama, Y. Yahiro, S. Yamazaki and T. Matsumoto, Mechanical interaction between actin stress fibers and the nucleus: Direct force transmission from the whole-cell level to the nucleus, *Proc. of 7th World Congress of Biomechanics (WBC2014)*, C31, (2014)
- 2) T. Kimura, K. Uno and T. Masuzawa, Studies on Response Speed and Sensitivity of Two-Dimensional Integrated Magnetic Sensor, *International Conference on Solid State Devices and Materials 2014 (SSDM2014)*, (2014)
- 3) A. Najmuddin, Y. Fukuoka and S. Aoshima, Development of Rover Designed to Climb Steep Slope of Uncompacted Loose Sand, *Proc. of the 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, (2014)
- 4) Y. Li, Y. Nishi, T. Inagaki and K. Hatano, Visualization study on the flow field of an undershot cross-flow water turbine using PIV technique, *Proceedings of the 16th International Symposium on Flow Visualization*, (2014)
- 5) Y. Nishi, T. Inagaki, Y. Li, R. Omiya and K. Hatano, Research on the Flow Field of Undershot Cross-Flow Water Turbines Using Experiments and Numerical Analysis, *Proceedings of the 27th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, (2014)
- 6) Y. Li, T. Sato, H. Saito and T. Inagaki, Thermo-physical properties of magnetic fluid and its natural convection heat transfer in a horizontal enclosed rectangular container without magnetic field, *Proc. of 16th International Symposium on Flow Visualization*, (2014)
- 7) Y. Li, Y. Nishi, T. Inagaki and K. Hatano, Visualization study on the flow field of an undershot cross-flow water turbine using PIV technique, *Proc. of 16th International Symposium on Flow Visualization*, (2014)
- 8) Y. Li, S. Suzuki, T. Inagaki and N. Yamauchi, Carbon-nanotube nanofluid thermophysical properties and heat transfer by natural convection, *Proc. of The 14th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications, Journal of Physics: Conference Series*, **557**, 012051, (2014)
- 9) G. Nakamura, T. Shibanoki, K. Shima, Y. Kurita, Y. Honda, T. Chin and T. Tsuji, Development of a Virtual Training System for Myoelectric Prostheses, *Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting 2014 in conjunction with The Second Meeting of the International Society for Restorative Neurology (APOS2014 & ISRN)*, Taipei International Convention Center in Taipei, Taiwan, (2014)
- 10) M. Osa, T. Masuzawa, N. Omori and E. Tatsumi, Radial Position Active Control of Double Stator Axial Gap Self-bearing Motor for Paediatric VAD, *Proceedings of 14th International Symposium on Magnetic Bearings*, 187-192, (2014)
- 11) Y. Kumahara and Y. Mori, Portable Robot Inspiring Walking in Elderly People, *Proc. of the Second International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2014)*, 145-148, (2014)
- 12) Nalin Warnajith, S.H.P.K. Lakesh, A. Minato and S. Ozawa, Inexpensive sensor network solution for environment monitoring, *The International Symposium on ICT for Environmental Sustainability*, University of Kelaniya, Sri Lanka, (2014)
- 13) D. Bandara, N. Warnajith, A. Minato and S. Ozawa, Novel Approach for Analyzing Brahmi Scripts, *The International Symposium on ICT for Environmental Sustainability*, University of Kelaniya, Sri Lanka, (2014)

- 14) Y. Okada, H. Suzuki, K. Matsuda, R. Kondo and M. Enokizono, Development of Highly Efficient Magnetic Bearing and Application to Ultra-Low Temperature Fluid Pump, Proc. of The 12th International Symposium on Magnetic Bearings (ISMB12), 180-185, (2014)
- 15) H. Fukumoto, T. Hosoya and T. Kubota, Synthesis and Structures of Ferrocene Complexes Containing Perfluorocyclopentene Unit, International Conference on Fluorine Chemistry 2014 Tokyo, P-60, (2014)
- 16) S. Iwashita, H. Fukumoto and T. Kubota, Preparation and Structure of Fluorine-Containing Polycyclic Aromatic Compounds, International Conference on Fluorine Chemistry 2014 Tokyo, (2014)
- 17) T. Kubota, Preparation of Fluorine-containing Polycyclic Aromatic Compounds, The 5th China-Japan-Korea Joint Seminar of Fluorine Chemistry, (2014)
- 18) K. Nagayama, S. Yamazaki, Y. Yahiro and T. Matsumoto, Analysis of the Cytoskeleton-Nucleus Mechanotransduction Pathway: Direct Force Transmission from the Actin Stress Fibers to the Nucleus, Proc. of The 4th Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics, 16, (2014)
- 19) K. Nagayama, M. Iwata, Y. Hamaji and T. Matsumoto, Changes in the mechanical environment of nucleus during the phenotypic changes of vascular smooth muscle cells, Proc. of International Symposium on Mechanobiology 2014 (ISMB2014), 128, (2014)
- 20) K. Ejiri, Y. Michitsuji, Y. Suda, S. Lin, Running Performance Analysis of Steering Bogie using Independently Rotating Wheels with Oblique Axle, The 7th Asian Conference on Multibody Dynamics, (2014)
- 21) T. Masuzawa, Pediatric VAD with Five Degrees of Freedom Control MAGLEV Motor, 41st Annual European Society for Artificial Organs (ESAO) Congress, (2014)
- 22) T. Masuzawa, Magnetically suspended artificial heart, Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics 2014, (2014)
- 23) T. Masuzawa, Magnetically suspended motor system for artificial hearts and blood pumps, 14th International Symposium on Magnetic Bearings, 421-425, (2014)
- 24) N. Kurita, D. Timm, N. Greatrex, M. Kleinheyder and T. Masuzawa, Optimization design of magnetically suspended system for the BiVACOR total artificial heart, 14th International Symposium on Magnetic Bearings, 437-440, (2014)
- 25) M. Murakami, T. Masuzawa, S. Yoshida, H. Onuma, T. Nishimura and S. Kyo, Thin Maglev Ventricular Assist Device with radial Type Self-bearing Motor, 14th International Symposium on Magnetic Bearings, 168-173, (2014)
- 26) H. Onuma and T. Masuzawa, Evaluation of Magnetic Suspension Characteristics and Levitation Performance of a Centrifugal Blood Pump Using Radial Type Self-Bearing Motor, 14th International Symposium on Magnetic Bearings, 174-179, (2014)
- 27) A. Ota-Ishigaki, T. Masuzawa, T. Shibata, T. Kawashima and O. Maruyama, The relationship between the thrombogenicity and the generated flow around 3-dimensional micro geometrical structures on the bio-material -Investigation of micro flow-, The 10th International Student Conference at Ibaraki University, D01, (2014)
- 28) W. Kurosaki and T. Masuzawa, Cardiovascular circulation simulator to evaluate ventricular assist effect, The 10th International Student Conference at Ibaraki University, F02, (2014)

【著書】

- 1) Toshio Tsuji, Taro Shibasaki, Keisuke Shima, EMG-based control of a multi-joint robot for operating a glovebox, Handbook of Research on Advancements in Robotics and Mechatronics, Edited by Maki K. Habib, Chapter 3, IGI Global, (2014)

- 2) T. Matsumoto, S. Sugita and K. Nagayama, Elastin and Collagen Fibers, Chapter 6.4 Tensile Properties of Smooth Muscle Cells, Vascular Engineering (K. Tanishita and K. Yamamoto, eds), Springer, (in press)

【解説,その他】

- 1) 長山和亮, 細胞骨格・核のメカトランスダクションとその解析技法:アクチンストレスファイバーから核への力の伝達, 細胞工学 **33**(9), 922-927, (2014)
- 2) 長山和亮, アクチンストレスファイバーによる細胞の形・構造・力の再現, 科学研究費・新学術領域研究「動く細胞と場のクロストークによる秩序の生成」2015 ニュースレター, 10-11, (2015)
- 3) 増澤徹, 退院できる補助人工心臓, 日本機械学会誌, Vol. 118, No.1155, (2015)
- 4) 長山和亮, 細胞の力学応答に関わる細胞骨格と核のインタラクション〜アクチンストレスファイバーと核の力学的結合〜, 養賢堂「機械の研究」, (印刷中)
- 5) 稲垣照美, 松村邦仁, 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, 平成 25 年度茨城大学復興支援プロジェクト調査報告書, 85-92, (2014)
- 6) 稲垣照美, 五島裕, 遠藤進, 樫村英紀, 小川悟, 西康行, 李艶栄, ホタルとペーパークラフト風車による地域環境形成のための啓蒙活動と教育教材の開発, 平成 25 年度茨城大学社会連携事業会支援事業戦略的地域連携プロジェクト報告書, 48-51, (2014)

【学会発表】

- 1) 辻龍介, アラゴスポットを利用した球形直径の測定システム, 茨城県産学官合同成果発表会, 2014/2/13
- 2) 但野ちなみ, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, 炭酸またはマグネシウム含有ハイドロキシアパタイト薄膜の作製, バイオインテグレーション学会第4回学術大会, 2014/2/23
- 3) 山田悠, 増澤徹, 全置換型磁気浮上人工心臓と流量バランス制御の研究, 第 23 回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集, 56, 2014/2/28-3/1
- 4) 下堀拓己, 増澤徹, 山口聡史, 西村隆, 許俊鋭, 磁気浮上型心臓治療用血液ポンプのインペラの浮上安定性の検討, 第 23 回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集, **83**, 2014/2/28-3/1
- 5) 荒昌幸, 増澤徹, 尾関和秀, 岸田晶夫, 樋上哲哉, 複合低エネルギー生体組織接合技術を利用した冠動脈バイパス手術支援デバイスの開発, 第 23 回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集, **100**, 2014/2/28-3/1
- 6) 長真啓, 増澤徹, 大森直樹, 巽英介, 小児・乳児用人工心臓のための 5 軸制御磁気浮上モータ, 第 23 回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集, **130**, 2014/2/28-3/1
- 7) 長真啓, 増澤徹, 大森直樹, 巽英介, 乳幼児, 小児に適用可能な磁気浮上補助人工心臓の開発, 第 42 回人工心臓と補助循環懇話会学術集会プログラム・抄録集, **48**, 2014/3/7-8
- 8) 山田悠, 増澤徹, ティムズダニエル, 左右心流量バランス機能を有した全置換型磁気浮上人工心臓, 第 42 回人工心臓と補助循環懇話会学術集会プログラム・抄録集, **91**, 2014/3/7-8
- 9) 村上倫子, 増澤徹, 小沼弘幸, 西村隆, 許俊鋭, 薄型補助人工心臓の開発, 第 42 回人工心臓と補助循環懇話会学術集会プログラム・抄録集, **93**, 2014/3/7-8
- 10) 箕輪純承, 増澤徹, 黒崎亘, 新しい循環治療方法の評価を目指した循環系シミュレータの研究開発, 関東学生会第 53 回学生員卒業研究発表講演会, 1618, 2014/3/14
- 11) 秦野健太郎, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 福富純一郎, 下掛け式クロスフロー水車の性能に及ぼす羽根枚数の影響, 日本機械学会関東支部第 20 期総会・講演会, 2014/3/15
- 12) 大和田恵理, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, ゼオライトおよびHAを用いたSrおよびCsの吸着に関する基礎的検討, 日本セラミックス協会2014年年会, 2014/3/17

- 13) 白土淳子, 稲垣照美, 李艶栄, 自然の色彩と人の感性に関する研究, 第9回日本感性工学会春季大会, 2014/3/23
- 14) K. Shiba, Y. Ohgoe, K. Hirakuri, J. Mizuno, S. Shoji, K. Ozeki, K. Sato, H. Naoki and A. Alanazi, Hemocompatibility of DLC coating for blood analysis devices, International Conference on Electronics Packaging (ICEP2014), Toyama, Japan, 2014/4/24-25
- 15) 大和田詠里, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, ケイ酸塩およびHAのナノ粒子を用いたSrおよびCs吸着, 第8回ナノ・バイオメディカル学会大会, 2014/5/2
- 16) K. Nagayama, M. Iwata, Y. Hamaji and T. Matsumoto, Changes in the mechanical environment of nucleus during the phenotypic changes of vascular smooth muscle cells, International Symposium on Mechanobiology 2014 (ISMB2014), Okayama, Japan, 2014/5/20-23
- 17) 武田直也, 李艶栄, 稲垣照美, 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, 第51回日本伝熱シンポジウム, 2014/5/21
- 18) 大森直樹, 増澤徹, 長真啓, 巽英介, 小児用人工心臓のための小型磁気浮上モータの開発, 第26回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, 2014/5/21-23
- 19) 増澤徹, 服部圭介, 林照剛, 木村剛, 岸田晶夫, 磁気ビーズを用いた磁気励振細胞刺激システム, 第26回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, 395-400, 2014/5/21-23
- 20) 山田悠, 増澤徹, Daniel L Timms, 全置換型磁気浮上人工心臓と流量バランス制御, 第26回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, 401-406, 2014/5/21-23
- 21) 増澤徹, 山口聡史, 下堀拓己, 西村隆, 許俊鋭, 回転数周期的変動時の磁気浮上型血液ポンプの浮上安定性と溶血性能の検討, 第26回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, 407-412, 2014/5/21-23
- 22) 松田健一, 宮嶋要, 岡田養二, 近藤良, エネルギー消費を抑えた超ワイドギャップ磁気軸受の提案, 第26回「電磁力関連のダイナミクス」講演会講演論文集, 256-257, 2014/5/22
- 23) 岡田養二, 松田健一, 近藤良, 歩行補助用高トルク扁平モータの計算例, 第26回「電磁力関連のダイナミクス」講演会講演論文集, 307-310, 2014/5/22
- 24) 李艶栄, 阿部将史, 斎藤光, 稲垣照美, 磁場下における磁性流体の自然対流熱伝達, 第51回日本伝熱シンポジウム, 2014/5/23
- 25) 稲垣照美, 鈴木慎太郎, 井澤幸貴, 原田滉士, 李艶栄, 山内紀子, カーボンナノチューブ分散流体の熱物性と自然対流熱伝達, 第51回日本伝熱シンポジウム, 2014/5/23
- 26) 山島信幸, 森善一, 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2014, 2014/5/25
- 27) 雪下剛仁, 森善一, 松川直人, 大内元, 立位・不整地移動を可能にする高機能電動車いす, ロボティクス・メカトロニクス講演会2014, 2014/5/25
- 28) 渡橋史典, 芝軒太郎, 栗田雄一, 島谷康司, 長谷川正哉, 大塚彰, 中村豪, 本田雄一郎, 陳隆明, 辻敏夫, バーチャルリアリティを利用した相互学習型筋電義手トレーニングシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014, 2014/5/25-29
- 29) 中村豪, 本田雄一郎, 芝軒太郎, 陳隆明, 辻敏夫, OpenRTMを利用した環境制御装置「バイオリモート」のモジュール化, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014, 2014/5/25-29
- 30) 多田晴菜, 新井健司, 日比野麻衣, 大越康晴, 平塚傑工, 尾関和秀, 中森秀樹, 森山匠, Nataliya Nabatova-Gabain, 櫻井正行, 佐藤慶介, Ali Alanazi, 斉藤秀俊, 平栗健二, 深田直樹, 福井康裕, 異なる装置で作製したDLC膜の生体適合性, 第35回日本生体医工学会大, 2014/6/24

- 31) 矢口俊之, 長山和亮, 塚原弘政, 益田博之, 松本健郎, 経壁圧操作によるヒト上腕動脈の圧-径関係とステイフネスの非侵襲計測, 第53回日本生体医工学会大会, 2014/6/24-26
- 32) 増澤徹, Daniel L Timms, シングル磁気浮上モータを使用した全置換型人工心臓, 第53回日本生体医工学会大会, 第52巻特別号プログラム・抄録集, 92, 2014/6/24-26
- 33) 増澤徹, 村上倫子, 循環補助デバイスのための渦流(カスケード)ポンプ, 第53回日本生体医工学会大会, 第52巻特別号プログラム・抄録集, 95, 2014/6/24-26
- 34) S. Sugita, T. Shirono, K. Nagayama and T. Matsumoto, Dorsal-ventral difference in aortic stiffness: Correlation with collagen fibers and its effects on smooth muscle cells, The 7th World Congress of Biomechanics, Boston, MA, USA, 2014/7/6-11
- 35) T. Yaguchi, K. Nagayama, H. Tsukahara, H. Masuda and T. Matsumoto, Non-invasive measurement of pressure-diameter relationship and smooth muscle contractility of human brachial arteries through transmural pressure manipulation, 7th World Congress of Biomechanics, Boston, MA, USA, 2014/7/6-11
- 36) K. Nagayama, Y. Yahiro, S. Yamazaki and T. Matsumoto, Mechanical interaction between actin stress fibers and the nucleus: Direct force transmission from the whole-cell level to the nucleus, The 7th World Congress of Biomechanics (WBC2014), Boston, MA, USA, 2014/7/6-11
- 37) T. Matsumoto, Y. Uno, S. Iijima, S. Nakamura, H. Yokota and K. Nagayama, Mechanical Analysis of Aortic Walls Considering Heterogeneity at a Cellular Level, The 7th World Congress of Biomechanics (WBC2014), Boston, MA, USA, 2014/7/6-11
- 38) S. Ooshima, K. Ozeki and M. Kikuchi, Fabrication of Scaffold for Osteochondral Regeneration by Lamination of Hydroxyapatite/Collagen Nanocomposite and Collagen Sponges, The 15th IUMRS-International Conference in Asia, Fukuoka, Japan, 2014/8/26
- 39) 長真啓, 増澤徹, 大森直樹, 巽英介, 小児用磁気浮上人工心臓のインペラ浮上安定性, Dynamics and Design Conference 2014, 2014/8/27
- 40) H. Tada, Y. Mabuchi, M. Hibino, Y. Ohgoe, M. Hiratsuka, K. Ozeki, H. Nakamori, T. Moriyama, N. Nabatova-Gabain, M. Sakurai, A. Alanazi, H. Saitoh, K. Hirakuri, N. Fukata, and Y. Fukui, Optical investigation of DLC film property for cell adhesion, The 15th IUMRS-International Conference in Asia, Fukuoka, Japan, 2014/8/28
- 41) 江尻賢治, 道辻洋平, 須田義大, 林世彬, 曲線通過性能と走行安定性を両立する独立回転輪軸の提案, 日本機械学会D&D2014, 2014/8/29
- 42) K. Nagayama, S. Yamazaki, Y. Yahiro and T. Matsumoto, Analysis of the Cytoskeleton-Nucleus Mechanotransduction Pathway: Direct Force Transmission from the Actin Stress Fibers to the Nucleus, The 4th Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics Shima, Japan, 2014/9/1-4
- 43) T. Matsumoto, Y. Uno, S. Iijima, S. Sugita and K. Nagayama, On heterogeneity of the mechanical environment in the aortic wall: Relation between waviness of elastic lamina and protein expression, The 4th Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics Shima, Japan, 2014/9/1-4
- 44) T. Yaguchi, S. Sugita, K. Nagayama, H. Tsukahara, H. Masuda and T. Matsumoto, Non-invasive measurement of pressure-diameter relationship of human brachial artery through transmural pressure manipulation: Toward rupture risk estimation of aortic aneurysms, The 4th Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics, Shima, Japan, 2014/9/1-4
- 45) 森善一, 熊原友里, 高齢者に散歩を促す携帯型ロボットTechTechの開発, 第16回日本感性工学会大会, 2014/9/4

- 46) 但野ちなみ, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, スパッタリング法によるマグネシウム置換HA薄膜の作製とマグネシウム置換量の評価, 日本機械学会2014年度茨城講演会, 2014/9/5
- 47) 大和田詠里, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, ケイ酸塩またはHA粉末を用いた放射性物質吸着とケイ酸塩/HA複合体作製方法の検討, 日本機械学会2014年度茨城講演会, 2014/9/5
- 48) 秦野健太郎, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 谷萩雄一郎, 下掛け式クロスフロー水車の性能と流れ場に及ぼす羽根枚数の影響, 日本機械学会2014年度茨城講演会, 2014/9/5
- 49) 平間壮, 大久保薫, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 菊池伯夫, 集水装置を有する軸流水車の非定常流れ解析, 日本機械学会2014年度茨城講演会, 2014/9/5
- 50) 篠原智哉, 稲垣照美, 李艶栄, 真嶋想, LESとLIF法による鉛直密閉矩形容器内自然対流の熱流動と伝熱特性の解明, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会, 2014/9/5
- 51) 阿部将史, 斎藤光, 李艶栄, 稲垣照美, 磁場下における磁性流体の熱物性と水平矩形容器内における対流熱伝達, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会, 2014/9/5
- 52) 原田滉士, 李艶栄, 稲垣照美, 等熱流束加熱された垂直平板に沿って発達する遷移および乱流自然対流の熱輸送機構, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会, 2014/9/5
- 53) 安嶋魁, 田中伸厚, 鈴木健司, 國府田有輝, 自由液面上の浮体式多自由度波力発電装置の挙動解明(1)粒子法を用いた数値解析的研究, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会, 2014/9/5
- 54) 鈴木健司, 田中伸厚, 安嶋魁, 勝田聖矢, 自由液面上の浮体式多自由度波力発電装置の挙動解明(2)小型水槽を用いた実験的研究, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会, 2014/9/5
- 55) ト部直樹, 田中伸厚, 砂川勝利, 異なる体系で生成される渦輪の等価性に関する研究, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会, 2014/9/5
- 56) 渡邊司, 脇田亮介, 近藤良, 岡田養二, マニュアル駆動に基づく装着型脚支援システムに関する研究, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会講演論文集, p.69-70, 2014/9/5
- 57) 喜古陵, 小林大晃, 中田真幸, 近藤良, 平行リンク機構を用いた二脚走行ロボットの開発, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会講演論文集, 43-44, 2014/9/5
- 58) 安蒜正志, 栗山智成, 星野順紀, 谷口修平, 近藤良, ワイヤ駆動一脚ホッピングロボットの開発, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会講演論文集, 41-42, 2014/9/5
- 59) 長山和亮, 井上卓也, 松本健郎, 細胞の力学応答解析ツールとしての磁気駆動式マイクロピラー基板の開発, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会, 2014/9/5
- 60) 江尻賢治, 道辻洋平, 須田義大, 林世彬, 数値解析による新型独立回転輪軸の走行性能検証, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会講演論文集, 2014/9/5
- 61) 豊田裕史, 田代翔子, 橋本一生, 柴建次, 岸田晶夫, 木村剛, 尾関和秀, 増澤徹, 生体組織融着技術におけるステントの加熱手法の基礎的検討, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会講演論文集, No.140-2, 7-8, 2014/9/5
- 62) 荒昌幸, 増澤徹, 長真啓, 尾関和秀, 岸田晶夫, 樋上哲哉, 複合低エネルギー生体組織接合技術を利用した冠動脈バイパス手術支援デバイスの研究開発, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会講演論文集, No.140-2, 5-6, 2014/9/5
- 63) 下堀拓己, 増澤徹, 長真啓, 西村隆, 許俊鋭, 急性心不全のための心拍同期型磁気浮上ポンプの研究開発, 第 22 回茨城講演会講演論文集, No.140-2, 63-64, 2014/9/5
- 64) 箕輪純承, 増澤徹, 黒崎亘, 長真啓, 冠循環模擬機構を有する循環系シミュレータの開発, 日本機械学会 2014 年度茨城講演会講演論文集, No.140-2, 65-66, 2014/9/5
- 65) 王軍鋒, 長山和亮, 松本健郎, 基板接着に伴う細胞内焦点接着斑の形態変化の観察, 日本機械学会 2014 年度年次大会, 2014/9/7-10

- 66) 岩田高広, 道辻洋平, 対向右折車を考慮した信号切り替わり場面におけるリスク評価指標, 日本機械学会 2014 年度年次大会, 2014/9/9
- 67) 大島翔, 芦田輝明, 尾関和秀, 菊池正紀, 軟骨下骨・軟骨再生のためのハイドロキシアパタイト/コラーゲン骨類似ナノ複合体・コラーゲン積層材料の製作と評価, 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム, 2014/9/10
- 68) 但野ちなみ, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, スパッタリング法及び水熱処理によるマグネシウム置換HA薄膜の作製と物性評価, 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム, 2014/9/10
- 69) 大和田詠里, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, ケイ酸塩/HA複合体の作製およびSrまたはCsの吸着特性の評価, 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム, 2014/9/10
- 70) 尾関和秀, 秦美治, 藤森達也, FEMを用いた歯科インプラントの疲労破壊寿命の検討, 第44回公益社団法人日本口腔インプラント学会学術大会, 2014/9/14
- 71) 多田晴菜, 馬淵康史, 日比野麻衣, 大越康晴, 平塚傑工, 尾関和秀, 中森秀樹, 森山匠, Nataliya Nabatova-Gabain, 櫻井正行, 佐藤慶介, Ali Alanazi, 斉藤秀俊, 平栗健二, 深田直樹, 福井康裕, DLC膜の生体特性に関する評価, 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 2014/9/17-20
- 72) 山内智, 石橋和洋, 富田啓輔, 今井洋, CVD-TiO₂薄膜の電導モデル, 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 2014/9/19
- 73) 矢口俊之, 長山和亮, 杉田修啓, 塚原弘政, 益田博之, 松本健郎, 経壁圧操作によるヒト上腕動脈の平滑筋機能と圧-径関係の計測, LIFE 2014 (生活生命支援医療福祉工学系連合大会 2014), 2014/9/24-26
- 74) 諏訪陽祐, 増澤徹, 長真啓, 尾関和秀, 岸田晶夫, 樋上哲哉, 複合低エネルギー生体組織接合における生体組織含水率と接合強度の関係, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, CD OS5-1, 2014/9/24-26
- 75) 吉田翔一, 増澤徹, 村上倫子, 長真啓, 小沼弘幸, 西村隆, 許俊鋭, 薄小型補助人工心臓磁気浮上インペラの非制御軸挙動, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, CD OS6-2, 2014/9/24-26
- 76) 長山和亮, 岩田 誠, 松本健郎, アクチン細胞骨格と核との力学的結合が血管平滑筋細胞の分化に与える影響, 日本生物物理学会第 52 回年会, 2014/9/25-27
- 77) M. Osa, T. Masuzawa, N. Omori and E. Tatsumi, A Magnetically Levitated Rotary Centrifugal Pump For Pediatric Ventricular Assist Device, International Society for Rotary Blood Pump 2014, 2014/9/26
- 78) 矢口俊之, 狩野雅史, 杉田修啓, 長山和亮, 益田博之, 松本健郎, 心電図同期チョップ圧負荷によるヒト上腕動脈平滑筋運動能の評価, 日本機械学会第 25 回バイオフィロンティア講演会, 2014/10/3-4
- 79) 村上史哲, 黒川翔太郎, 小平亜侑, 宮城明日香, 杉田修啓, 長山和亮, 上野直人, 松本健郎, アプリカツメガエル新鮮胚の断面高さ・かたさ分布の瞬時計測法の開発, 日本機械学会第 25 回バイオフィロンティア講演会, 2014/10/3-4
- 80) 増澤徹, Daniel L Timms, Shaun Gregory, 全置換型磁気浮上人工心臓:BiVACORとIBHeart, 日本定常流ポンプ研究会 2014 プログラム・講演抄録集, 7, 2014/10/17
- 81) 増澤徹, 村上倫子, 吉田翔一, 長真啓, 小沼弘幸, 許俊鋭, 西村隆, 柴建次, 重症化予防のための薄小型磁気浮上補助人工心臓, 第 52 回日本人工臓器学会大会予稿集, S-70, 2014/10/17-19
- 82) 黒崎亘, 増澤徹, 箕輪純承, 冠循環模擬を付加した循環系シミュレータの性能評価, 第 52 回日本人工臓器学会大会予稿集, S-109, 2014/10/17-19
- 83) 中島翔太, 右田涼, 早志英朗, 曾智, 芝軒太郎, 島圭介, 島谷康司, 中塚幹也, 竹内章人, 中村信, 栗田雄一, 辻敏夫, 新生児の自発運動評価を目的とした General Movements 診断支援システム, 日本発達神経科学会第 3 回大会, 2014/10/18-19
- 84) 右田涼, 島谷康司, 曾智, 芝軒太郎, 栗田雄一, 島圭介, 辻敏夫, 動画像解析に基づく乳幼児行動マーカーレスモニタリングシステム, 日本発達神経科学会第 3 回大会, 2014/10/18-19

- 85) 芝軒太郎, 島谷康司, 島圭介, 辻敏夫, マーカーレス運動解析システムに基づく新生児運動の経時的変化, 日本発達神経科学会第3回大会, 2014/10/18-19
- 86) 長真啓, 増澤徹, 大森直樹, 巽英介, 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開発, 第52回日本人工臓器学会大会, 2014/10/19
- 87) 秦野健太郎, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 近江谷亮太, PIV計測と数値解析による下掛け式クロスフロー水車の流れ場, 第92期日本機械学会流体工学部門講演会, 2014/10/25
- 88) 平間壮, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 菊池伯夫, 集水装置を有する軸流水車に関する実験的研究, 第92期日本機械学会流体工学部門講演会, 2014/10/25
- 89) 福島惇, 岡崎義光, 尾関和秀, 電気化学的交流インピーダンス法を用いた生体用金属材料の耐食性評価, 第58回日本学術会議材料工学連合講演会, 2014/10/27
- 90) 岩下翔伍, 福元博基, 久保田俊夫, オクタフルオロシクロペンテンを用いる含フッ素多環芳香族化合物の合成, 第37回フッ素化学討論会, 2014/10/30
- 91) 安藤正敏, 塩田知美, 福元博基, 久保田俊夫, 含フッ素フェナントレン骨格をもつポリマーの合成, 第37回フッ素化学討論会, 2014/10/30
- 92) 泉谷宏一, 福元博基, 久保田俊夫, 光 Scholl 反応を利用した含フッ素フェナントロリン誘導体の合成と構造, 第37回フッ素化学討論会, 2014/10/30
- 93) 杉田修啓, 松川瞬, 長山和亮, 松本健郎, 大動脈瘤の破裂予測:生理圧範囲の変形挙動から破裂圧力を予測できるか?, 日本脈管学会第55回日本脈管学会総会, 2014/10/30-11/1
- 94) S. Ooshima, K. Ozeki and M. Kikuchi, Fabrication of Scaffold for Osteochondral Regeneration by Lamination of Hydroxyapatite/Collagen Nanocomposite and Collagen Sponges, Bioceramics 26, Barcelona, Spain, 2014/11/7
- 95) 山下裕介, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 小型プロペラ形風車の設計法に関する研究, 第24回環境工学総合シンポジウム2014, 2014/11/18
- 96) 平間壮, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 菊池伯夫, 集水装置を有する軸流水車の自由表面流れ解析, 第24回環境工学総合シンポジウム2014, 2014/11/18
- 97) 三瓶一真, 尾関和秀, 大越康晴, 平栗健二, 増澤徹, 数値シミュレーションを用いた管内壁へのDLCコーティングの検討, 第28回ダイヤモンドシンポジウム, 2014/11/20
- 98) 尾関和秀, 上殿明良, 関場大一郎, 平栗健二, 増澤徹, 重水素化DLC膜構造中の欠陥評価に関する研究, 第28回ダイヤモンドシンポジウム, 2014/11/20
- 99) 多田晴菜, 馬淵康史, 日比野麻衣, 大越康晴, 平塚傑工, 尾関和秀, 中森秀樹, 森山匠, Nataliya Nabatova-Gabain, 櫻井正行, 佐藤慶介, Ali Alanazi, 斉藤秀俊, 平栗健二, 深田直樹, 福井康裕, DLC膜の光学特性による細胞親和性評価, 第28回ダイヤモンドシンポジウム, 2014/11/20
- 100) 柴圭祐, 大越康晴, 平塚傑工, 尾関和秀, 平栗健二, 佐藤慶介, 筒型電極を用いた高周波プラズマCVD法によるDLC膜の密着性向上, 第28回ダイヤモンドシンポジウム, 2014/11/20
- 101) 今川宏伸, 木村孝之, 増澤徹, ハードウェア記述言語によって構築される磁気センサを用いた位置検出システムの高速度化, 平成26年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2014/11/22
- 102) 佐藤隆司, 木村孝之, 部分露光可能なCMOSイメージセンサにおける出力偏りの信号処理による補正, 平成26年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2014/11/22
- 103) 森章弘, 木村孝之, 増澤徹, 集積化磁気センサの出力電圧に発生するドリフトに関する研究, 平成26年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2014/11/22
- 104) 相田悠介, 辻龍介, レーザー核融合におけるレーザー照射位置の計測法の検討, 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2014/11/22

- 105) 富田啓輔, 山内智, 多結晶 CVD-TiO₂ 薄膜のキャリア伝導モデルの提案, 平成 26 年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2014/11/22
- 106) 大島翔, 芦田輝明, 尾関和秀, 菊池正紀, 軟骨下骨・軟骨再生のためのハイドロキシアパタイト/コラーゲン骨類似ナノ複合体・コラーゲン積層材料の作製と生物学的安全性の評価, 第22回顎顔面バイオメカニクス学会大会, 2014/11/22
- 107) 鈴木健太, 辻龍介, アラゴスポットによる鋼球直径計測法の基礎研究, 電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2014/11/22
- 108) 中野堯, 小林浩之, 丸茂喜高, 道辻洋平, 信号交差点におけるドライバの判断支援システム, 日本機械学会第23回交通・物流部門大会講演論文集, 2014/12/1
- 109) 畑中智大, 道辻洋平, 松本陽, 佐藤安弘, 大野寛之, 岩本厚, 福島知樹, 矢野健太, 水野将明, 谷本益久, 長澤研介, 軌道の変位状態が車輪・レール接触力に及ぼす影響, 日本機械学会第23回交通・物流部門大会講演論文集, 2014/12/3
- 110) 加藤正寛, 松田健一, 岡田養二, 近藤良, 増澤徹, ホモポーラ型ハイブリット5軸制御セルフベアリングモータの開発, 第23回MAGDAコンファレンス講演論文集, 119-122, 2014/12/4
- 111) 松田健一, 宮嶋要, 近藤良, 磁気軸受の新しい制御方法の提案, 第23回MAGDAコンファレンス講演論文集, 137-140, 2014/12/4
- 112) K. Shiba, Y. Ohgoe, M. Hiratsuka, K. Ozeki, K. Hirakuri and K. Sato, Method of DLC film deposition to metal material, Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings & Interfaces 2014, Kohala coast, Hawaii, 2014/12/7-11
- 113) 大森直樹, 増澤徹, 長真啓, 巽英介, 磁気浮上型心臓治療用血液ポンプへのセンサレスモータ制御の適用, 第23回MAGDAコンファレンス in 高松, 2014/12/4
- 114) 大島翔, 芦田輝明, 尾関和秀, 菊池正紀, 軟骨下骨・軟骨再生のためのハイドロキシアパタイト/コラーゲン骨類似ナノ複合体・コラーゲン積層材料での環流培養実験と評価, 第23回アパタイト研究会, 2014/12/10
- 115) 但野ちなみ, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, スパッタリング法によるマグネシウム置換HA薄膜の物性評価, 第23回アパタイト研究会, 2014/12/10
- 116) 大和田詠里, 尾関和秀, 増澤徹, 青木秀希, ハイドロキシアパタイトおよびゼオライト粉末を用いたCsまたはSrの吸着に関する研究, 第23回アパタイト研究会, 2014/12/10
- 117) 堀邊将人, 稲垣照美, 李艶栄, 武田直也, 相変化蓄熱物質(脂肪酸)の熱物性, 第4回潜熱工学シンポジウム, 2014/12/12
- 118) 尾倉侑也, 中島翔太, 右田涼, 早志英朗, 曾智, 芝軒太郎, 島谷康司, 竹内章人, 村信, 奥村彰久, 栗田雄一, 辻敏夫, てんかん発作診断支援のための乳幼児モニタリングシステム, 平成26年度日本人間工学会中国・四国支部, 関西支部合同大会講演論文集, 170-171, 2014/12/13
- 119) 長澤研介, 谷本益久, 道辻洋平, 松本陽, 佐藤安弘, 大野寛之, 岩本厚, 福島知樹, 矢野健太, 水野将明, 台車4輪の潤滑の違いが曲線旋回性能に与える影響, 第21回鉄道技術連合シンポジウム, 2014/12/18
- 120) 明石詢子, 石渡恭之, 藤田昌史, 水道管における懸濁態元素と細菌の挙動, 第51回環境工学研究フォーラム, 70(7), 33-38, 2014/12/20-22
- 121) 王峰宇, 石渡恭之, 藤田昌史, ツバル国海岸の重金属汚染の評価と既設のSeptic Tankの活用を想定した除去手法の検討, 第51回環境工学研究フォーラム, 70(7), 509-515, 2014/12/20-22
- 122) 長山和亮, 細胞の機能調整に関わる核と細胞骨格の相互作用, 日本機械学会第27回バイオエンジニアリング講演会, 2015/1/9-10
- 123) 河口磨紀, 矢口俊之, 杉田修啓, 長山和亮, 安達栄治郎, 松本健郎, 家兔総頸動脈におけるリアルタイムFMD計測法の確立と血管圧平の影響の解析, 日本機械学会第27回バイオエンジニアリング講演会, 2015/1/9-10

- 124) 佐藤恵美, 田村俊洋, 井上康介, ヤスデの歩行パターン調節の実験的調査, 計測自動制御学会第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 2015/1/22-23
- 125) 奥野慧, 木嶋順, 井上康介, ヘビ蛇行時の横滑りに対する接地圧力分布制御の影響の調査, 計測自動制御学会 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 2015/1/22-23
- 126) 辻龍介, レーザー核融合炉における燃料ターゲットのインジェクションおよびトラッキングの技術開発, 核融合科学研究所双方向型共同研究(レーザー)シンポジウム 2014, 2015/3/11
- 127) 王峰宇, 藤田昌史, 海水を利用した生物学的排水処理における発電能力の検討, 第 48 回日本水環境学会年会, 2015/3/17-19
- 128) 明石詢子, 池田雄, 鈴木準平, 藤田昌史, 浮遊物質がヤマトシジミの抗酸化力に及ぼす影響, 第 48 回日本水環境学会年会, 2015/3/17-19
- 129) 池田雄, 明石詢子, 鈴木準平, 藤田昌史, ヤマトシジミの生息環境と抗酸化力の関係, 第 48 回日本水環境学会年会, 2015/3/17-19
- 130) 松原弘和, 藤田昌史, 新田見匡, 浸漬したガス透過膜による酸素供給性能と硝化能力の評価, 第48回日本水環境学会年会, 2015/3/17-19
- 131) 尾崎成憲, 西泰行, クローズド形一枚羽根遠心ポンプの異物通過性に関する研究, 日本機械学会関東支部第 21 期総会講演会, 2015/3/21
- 132) 小林泰, 西泰行, 稲垣照美, 李艶栄, 菊池伯夫, 超小型軸流水車の設計と性能に関する研究, 日本機械学会 関東支部第21期総会講演会, 2015/3/21

【受賞等】

- 1) 受賞者名: 長真啓, 受賞名: Asia Pacific ISRBP Young Investigator Award, 授与者: 第 22 回国際ロータリー血液ポンプ学会 2014(ISRBP2014), 受賞日: 2014/9/26
- 2) 受賞者名: 長真啓, 受賞名: JSAO Grant, 授与者: 第 52 回日本人工臓器学会, 受賞日: 2014/10/17
- 3) 受賞者名: 芝軒太郎, 受賞名: 計測自動制御学会論文賞, 授与者: 計測自動制御学会, 受賞日: 2014/9/11
- 4) 受賞者名: 諏訪陽祐, 受賞名: バリアフリーシステム開発財団奨励賞, 授与者: 第 30 回ライフサポート学会大会, 受賞日: 2014/9/24
- 5) 受賞者名: 江尻賢治, 受賞名: 優秀講演者表彰, 授与者: 日本機械学会茨城ブロック, 受賞日: 2014/11/1

【特許】

- 1) 発明者: 山家智之, 白石泰之, 福長一義, 磯山隆, 増澤徹, 岡本英治, 出願人: 国立大学法人東北大学, 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「遠心型の補助人工心臓を用いた体内発電装置」, 特許番号: 特許 5509436
- 2) 発明者: 増澤徹, 尾関和秀, 岸田晶夫, 加藤綾子, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 国立大学法人東京医科歯科大学, 発明の名称: 「生体組織と人工物の接着装置, ステン」, 特許番号: 特許 5543435
- 3) 発明者: 森善一, 坏規之, 鶴岡寛之, 中田明彦, 鳥毛谷雅彦, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 津田駒工業株式会社, 発明の名称: 「介助用移乗器」, 特許番号: 特許 5588271
- 4) 発明者: 増澤徹, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「アキシヤル型磁気浮上モータおよびアキシヤル型磁気浮上モータを備えたアキシヤル型磁気浮上遠心ポンプ」, 特許番号: 特許 5590520
- 5) 発明者: 尾関和秀, 増澤徹, 岸田晶夫, 加藤綾子, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「生体組織接着用柔軟性金属箔テープ及びその接着方法」, 特許番号: 特許 5636857
- 6) 発明者: 増澤徹, 黒崎亘, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「陰圧発生防止機構及びその陰圧発生防止機構を備えた容積ポンプ」, 出願番号: 特願 2014-159157

- 7) 発明者: 松田健一, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「磁気軸受」, 出願番号: 特願 2014-105356
- 8) 発明者: 福元博基, 久保田俊夫ほか, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「新規な含窒素複素環化合物、それよりなる電子輸送材料及びそれを含む有機発光素子と太陽電池」, 出願番号: 特願2014-190677
- 9) 発明者: 福元博基, 久保田俊夫ほか, 出願人: 国立大学法人茨城大学, 発明の名称: 「縮合多環芳香族骨格を有するポリマー及びそれを用いた発光素子及び電極」, 出願番号: 特願2014-219812

【競争的資金獲得】

1. 申請した競争的資金等の外部資金

- 1) 平成 26 年度 公益財団法人住友財団 2014 年度基礎科学研究助成, 「世界最小のダブルステータ型 5 軸制御磁気浮上モータを用いた乳幼児, 小児用人工心臓の研究開発」, 2,000 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 2) 2014 年度 基礎科学研究助成, 「細胞核の力学環境操作による細胞機能制御技術の確立」, 2,000 千円, 2014 年度, 研究代表者: 長山和亮(長山)
- 3) 平成 26 年度 第 2 回独立行政法人科学技術振興機構研究成果最適展開支援事業(A-STEP)【フィージビリティスタディ(探索タイプ)】, 「PEEK インプラントへのアパタイト薄膜作製技術の開発」, 1,700 千円, 2014 年度～2015 年度(尾関)
- 4) 平成 26 年度 第 2 回独立行政法人科学技術振興機構研究成果最適展開支援事業(A-STEP)【フィージビリティスタディ(探索タイプ)】, 「乳児から成長期に対応した小児用磁気浮上人工心臓の開発」, 1,700 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 5) 平成 26 年度 第 2 回独立行政法人科学技術振興機構研究成果最適展開支援事業(A-STEP)【フィージビリティスタディ(探索タイプ)】, 「冠動脈バイパス手術支援用血管吻合デバイスの研究開発」, 1,700 千円, 2014 年度
- 6) 平成 26 年度 公益財団法人マツダ財団第 30 回マツダ研究助成, 「心不全重症化防止のための薄小型磁気浮上補助人工心臓の研究開発」, 1,200 千円, 2014 年度～2015 年
- 7) 平成 26 年度 公益財団法人マツダ財団第 30 回マツダ研究助成, 「世界最小を目指した小児用人工心臓のための超小型ダブルステータ 5 軸制御磁気浮上モータの研究開発」, 1,200 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 8) 平成 26 年度 公益財団法人カシオ科学振興財団第 32 回研究助成, 「世界最小の 5 軸制御磁気浮上モータを用いた小児用人工心臓の研究開発」, 1,000 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 9) 平成 26 年度 パワーアカデミー研究助成「萌芽研究」, 「超小型, ワイドギャップ 5 軸制御磁気浮上モータを用いた小児用補助人工心臓の研究開発」, 1,000 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 10) 平成 26 年度 2015 年度稲盛財団研究助成, 「超小型 5 軸制御磁気浮上モータを用いた小児用磁気浮上人工心臓の研究開発」, 1,000 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 11) 平成 26 年度 日本人工臓器学会 Grant, 「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」, 500 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)

2. 申請した科学研究費補助金

- 1) 文部科学省 平成 27 年度 新学術領域研究(研究領域提案型), 「電磁力による非接触支持完全性の科学(機械融合からの非接触支持完全性への展開)」, 187,900 千円, 2015 年度～2019 年度(増澤)
- 2) 文部科学省 平成 27 年度 新学術領域「脳内身体表現の変容機構の理解と制御」(略称「身体性システム」)公募研究, 「空気圧人工筋駆動型上肢ロボットを用いた上肢筋シナジー適応メカニズムの構成論的理解」, 3,000 千円, 2015 年度～2016 年度, 研究代表者: 井上康介(井上)

- 3) 文部科学省 平成 27 年度 基盤研究(S), 「完全置換型連続流磁気浮上人工心臓システムとその病態生理に関する研究」, 198,880 千円, 2015 年度～2019 年度(増澤)
- 4) 文部科学省 平成 27 年度 基盤研究(A), 「完全置換型連続流磁気浮上人工心臓とその病態生理に関する研究」, 49,850 千円, 2015 年度～2019 年度(増澤)
- 5) 文部科学省 平成 27 年度 基盤研究(B), 「細胞内構成要素の力学的協調・秩序に基づく疾患進行・創傷治癒メカニズムの理解」, 20,000 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 長山和亮(長山)
- 6) 文部科学省 平成 27 年度 基盤研究(B), 「ひも状生物の巧みなロコモーションから解き明かす運動制御の通底原理」, 20,000 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 加納剛史(東北大学)(井上)
- 7) 文部科学省 平成 27 年度 基盤研究(B), 「糖結晶を用いたテラヘルツ波発振デバイスの研究」, 13,980 千円, 2015 年度～2018 年度, 研究代表者: 今井洋(山内)
- 8) 文部科学省 平成 27 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」, 5,000 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 稲垣照美(稲垣)
- 9) 文部科学省 平成 27 年度 基盤研究(C), 「CVD 法による低抵抗酸化チタン薄膜形成とキャリア伝導モデルの構築」, 4,970 千円, 2015 年度～2018 年度, 研究代表者: 山内智(山内)
- 10) 平成 27 年度 基盤研究(C), 「アパタイト/ゼオライト複合多孔体及び複合薄膜による放射性物質除去に関する研究」, 4,943 千円, 2015 年度～2017 年度(尾関)
- 11) 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(森)
- 12) 平成 27 年度 基盤研究(C), 「多足類の適応的歩行メカニズムの構成論的理解」, 2,910 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 井上康介(井上)
- 13) 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」, 4,980 千円, 2015 年度～2017 年度(増澤)
- 14) 文部科学省 平成 26 年度 若手研究スタート支援, 「世界最小を目指した小児用人工心臓用 5 軸制御磁気浮上モータの超小型化に関する研究」, 2,990 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 15) 文部科学省 平成 27 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」, 5,000 千円, 2015 年度～2017 年度, 研究代表者: 李艶栄(李)
- 16) 文部科学省 平成 27 年度 若手研究(B), 「流水エネルギーを活用した集水装置付き軸流水車の性能と自由表面を有する流れ場の解明」, 4,294 千円, 2015 年度～2016 年度, 研究代表者: 西泰行(西)
- 17) 文部科学省 日本学術振興会特別研究員 DC2 村上倫子, 「磁気浮上モータの受動安定性の解明と薄型補助人工心臓への応用」, 1,100 千円, 2014 年度(増澤)

3.採択された競争的資金等の外部資金

- 1) 平成 26 年 独立行政法人科学技術振興機構研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)ハイリスク挑戦タイプ(復興促進型), 「既設管路や開水路の超低落差を利用した可搬型の超小型軸流水車の開発」, 9,745 千円, 2014 年度, 研究代表者: 西泰行(西)
- 2) 環境省 平成 26 年度 環境配慮型 CCS 導入検討事業委託業務, 「ハイドレート層の浸透率に関する試験及び調査」, 3,484 千円, 2014 年度, 研究代表者: 李艶栄(李)
- 3) 公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団メカトロニクス技術高度化「研究助成」(2013 年度事業分), 「世界初・世界最小の連続流ポンプ全置換型磁気浮上人工心臓の研究開発」, 1,990 千円, 2014 年度～2015 年度(増澤)

- 4) 平成 26 年度 第 2 回独立行政法人科学技術振興機構研究成果最適展開支援事業 (A-STEP)【フィージビリティスタディ(探索タイプ)】、「乳児から成長期に対応した小児用磁気浮上人工心臓の開発」, 1,700 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 5) 平成 26 年度 公益財団法人マツダ財団第 30 回マツダ研究助成,「世界最小を目指した小児用人工心臓のための超小型ダブルステータ 5 軸制御磁気浮上モータの研究開発」, 1,200 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 6) 平成 26 年度 公益財団法人カシオ科学振興財団第 32 回研究助成,「世界最小の 5 軸制御磁気浮上モータを用いた小児用人工心臓の研究開発」, 1,000 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)
- 7) 平成 26 年度 日本人工臓器学会 Grant,「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」, 500 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)

4.採択された学内の競争的資金

- 1) イノベーション研究推進プログラム異分野連携・融合研究,「生体組織の力学的な秩序形成に基づいた疾患進行・創傷治癒メカニズムの解明」, 1,000 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長山和亮(長山)
- 2) イノベーション研究推進プログラム異分野連携・融合研究,「全置換型磁気浮上連続流人工心臓システムの研究開発」, 1,000 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 増澤徹(増澤)
- 3) イノベーション研究推進プログラム萌芽的研究,「細胞機能操作・診断ツールとしての MEMS アクチュエータデバイスの技術展開」, 500 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長山和亮(長山)
- 4) イノベーション研究推進プログラム萌芽的研究,「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」, 500 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 増澤徹(増澤)

5.採択された科学研究費補助金

- 1) 文部科学省 平成 26 年度 新学術領域研究(公募),「細胞運動の秩序を担う細胞接着斑・細胞骨格・核の力学的協調作用の解析」, 3,500 千円, 2013 年度～2014 年度(継続), 研究代表者: 長山和亮(長山)
- 2) 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(森)
- 3) 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」, 4,940 千円, 2014 年度～2016 年度, 研究分担者: 芝軒太郎(芝軒)
- 4) 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」, 4,680 千円, 2014 年度～2016 年度, 研究代表者: 芝軒太郎(芝軒)
- 5) 文部科学省 平成 25 年度 基盤研究(C),「両心補助人工心臓用小型・高性能 5 軸制御セルフベアリングモータに関する研究」, 4,290 千円, 2013 年度～2015 年度(継続), 研究代表者: 松田健一(松田)
- 6) 文部科学省 平成 26 年度 基盤研究(C),「アラゴスポットによる飛行中燃料球の位置計測とレーザー照射模擬システムの開発」, 3,380 千円, 2012 年度～2014 年度(継続), 研究代表者: 辻龍介(辻)
- 7) 日本学術振興会 平成 26 年度 基盤研究(C),「海水を利用した生物学的排水処理手法の開発」, 1,820 千円, 2012 年度～2014 年度(継続)(山内)
- 8) 文部科学省 平成 24 年度 挑戦的萌芽研究,「糖結晶 THz エミッターの開発」, 4,030 千円, 2012 年度～2014 年度(継続), 研究代表者: 山内智(山内)
- 9) 文部科学省 平成 26 年度 挑戦的萌芽研究,「細胞核内外の力学環境操作による細胞機能制御の試み」, 1,500 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長山和亮(長山)
- 10) 文部科学省 平成 26 年度 若手研究スタート支援,「世界最小を目指した小児用人工心臓用 5 軸制御磁気浮上

モータの超小型化に関する研究」, 2,730 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 長真啓(長)

- 11) 文部科学省 平成 26 年度 若手研究(A), 「細胞の力学応答機構解明のための細胞骨格～核膜～DNAの力学的相互作用の解析」, 2,900 千円, 2012 年度～2015 年度(継続), 研究代表者: 長山和亮(長山)
- 12) 文部科学省 平成 26 年度 若手研究(B), 「シミュレーションとロボットを用いた四足動物の移動パターン生成原理の究明」, 4,290 千円, 2013 年度～2014 年度(継続), 研究代表者: 福岡泰宏(福岡)
- 13) 文部科学省 平成 26 年度 若手研究(B), 「走行安定性と曲線通過性能を両立する傾斜軸独立回転車輪台車の運動性能」, 3,910 千円, 2014 年度～2015 年度, 研究代表者: 道辻洋平(道辻)
- 14) 文部科学省 日本学術振興会特別研究員 DC2 村上倫子, 「磁気浮上モータの受動安定性の解明と薄型補助人工心臓への応用」, 1,100 千円, 2014 年度(増澤)

茨城大学重点研究

「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

2014年度報告書

発行日 平成27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

茨城大学重点研究

<http://www.ibaraki.ac.jp/generalinfo/acivity/researching/juuten/>

茨城大学工学部附属教育研究センター

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