

塩濃度勾配型ソーラーポンドの蓄熱性能

工学部 バイオ・応用化学科 中村航大, 花本達征 (平野・押谷研究室)

工学部 バイオ・応用化学科 平野博之

- セールスポイント: ① 塩水と清水で蓄熱が可能
 ② 太陽光の蓄熱が可能
 ③ 実験と数値解析で現象を検証

1. 研究目的

現在の日本のエネルギー需要に鑑みるに, 再生可能なエネルギーの果たす役割は非常に大きい. 中でも地球にそそぐ太陽エネルギー量は, 半時間で人類の年間エネルギーに相当するといわれるほど膨大である. 太陽エネルギーは, 太陽電池のように直接仕事として, あるいは太陽熱温水器のように熱として利用される. 本研究では, 省エネルギーにかかわる技術開発を目的とし, 太陽光を熱として蓄熱して利用するソーラーポンドについて, 実験的かつ数値解析的に検討する.

2. 研究内容

ソーラーポンドとは, 気体よりも熱容量の大きな液体に太陽エネルギーを集熱すると同時に, それ自体を蓄熱装置とするものである. 通常のソーラーポンドは内部に塩類の濃度勾配を付与し, 液体の熱対流を抑えることで蓄熱を実現するものである. Fig.1 は, 全量 3000mL の円筒断熱容器に NaCl を用いて底面が 20wt%, 表面が 0wt%となるように直線濃度勾配を付与し, 2017 年 9 月 19 日から 3 日間, 本学 B7 号館西隣にて蓄熱実験を行った 3 日目の容器内部の温度である. 日射の条件はあまりよくなかったが, ポンド内は日を追う毎に温度が上昇し, 蓄熱されていることがわかった. 気温にくらべて下層の温度が最大で約 20℃高くなった.

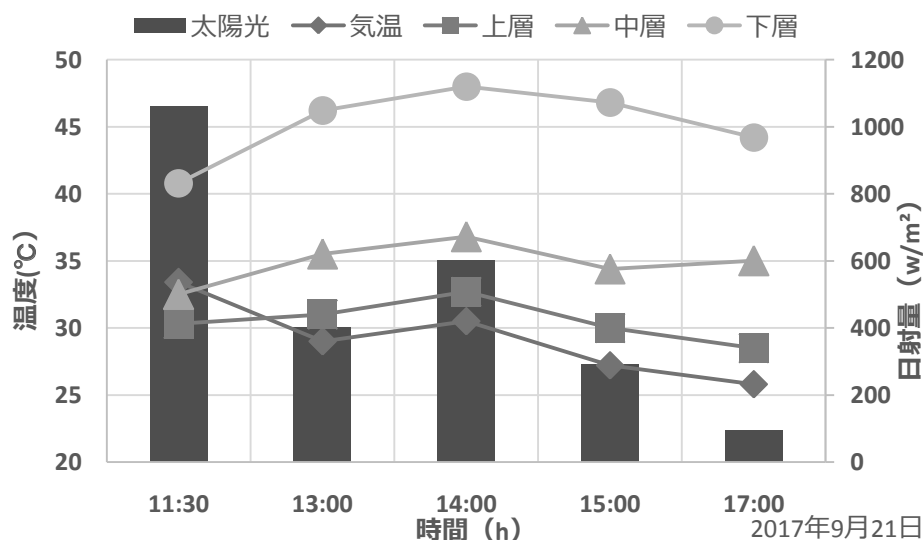


Fig.1 塩濃度勾配型ソーラーポンドによる蓄熱実験結果

3. 応用の可能性

気候, 安価な塩などの条件が整った海外であれば, 塩水温度は 100℃以上となるために発電利用の例がある. しかしながら国内に限っていえば, 実機はほぼ無い. 瀬戸内の恵まれた条件を利用すれば, 工業, 農業, 商業などにおいて低温熱源の有効利用の可能性は充分にある.

膝の伸縮と股関節トルクを用いた3次元2足動歩行機の開発

工学部 機械システム工学科 衣笠哲也, 吉田浩治, 林 良太,
多田智貴, ホジャホイ, 横山優治(衣笠研究室)
サンリツオートメーション(株)

- セールスポイント: ① 受動歩行を水平面への拡張
② 感覚フィードバック制御の導入により適応的な歩行の実現
③ 2足歩行のメカニズムの解明への探究

1. 緒言

緩斜面を下ることによって得られる位置エネルギーを利用することで実現される2足受動歩行は、生物の核となる物理現象であると考えられる。受動歩行は、数学モデルに基づく軌道追従制御による歩行戦略にはない身体形状に合わせて環境へ適応するという興味深い特性を持つ。また、歩容は自然でエネルギー効率も非常に高いことが知られている。本研究室ではこれまでに3次元2足受動歩行機の開発と実験検証を行ってきた。本研究の目的は、我々がこれまでに開発してきた3次元受動歩行機の股関節に新たにモータを導入することで、遊脚が大きくより自然な歩行を実現し、その歩容を解析することである。また、本報告では膝伸縮に「手応え」に基づく自律分散CPG制御を導入し、接地の手応えを利用することで身体の動力学的特性を巧く利用した3次元2足動歩行機について紹介する。

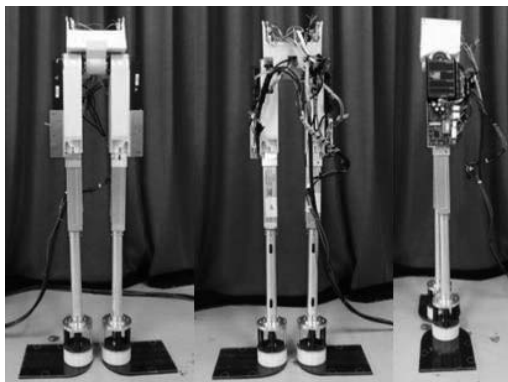


Fig. 1 RW06 正面(左)と背面(中), 側面(右)

2. 3次元2足歩行機 RW06

Fig. 1 に3次元2足歩行機 RW06 を示す。本研究室で開発されてきた受動歩行機は、水平面での歩行を可能としている。足関節のバネ部分にワッシャーを挟むことで、歩行機全体を前傾姿勢とし、水平面において直立状態である場合でも、膝を伸縮させた際、遊脚を前に振り出すことができる。

これまで研究開発されてきた RW05 において歩容は、その場で足踏みをしなげら低速で前進するため、自然であるとは言いがたい。また、歩行する路面の凹凸の角度にも歩容は影響を受

ける。

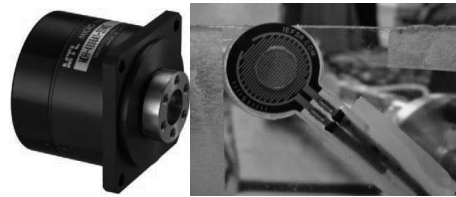


Fig. 2 股関節モータと足裏圧力センサ

そこで、新たに、股関節にモータを、足底には圧力センサ搭載し、そのセンサ情報を基にフィードバック制御を導入した RW06 を開発した。股関節モータにより遊脚を大きく振り出すことで、フィードバック制御をしていない歩行に対し、フィードバック制御を導入した歩行は約 $1.7 [\text{deg}]$ ほどの歩幅角の増加が確認できた。さらに、胴体の姿勢制御も導入することでより安定した歩行を可能にした。

3. 手応え関数

足裏の「手応え」を膝伸縮にフィードバックし、位相を制御する位相振動子へ拡張する((1)(2)式)。つまり、足の接地に対する「手応え」に基づいて左右の膝が自律分散的に位相差を変化させながら伸縮することで歩行が励起されることを期待する。

$$\dot{\zeta}_i = \omega - \sigma N_i \cos \zeta_i \quad (1)$$

$$d_{di} = -A \sin \zeta_i + d_0 \quad (2)$$

4. 結言

本報告では、これまでに研究開発されてきた RW05、また RW05 の持つ問題点の克服が期待できる RW06 の開発について述べた。RW06 では、足底圧力中心軌跡や歩行時の姿勢を計測し、膝の振動にフィードバックすることで、より適応的な歩行を実現させた。また、RW06 において「手応え」に基づく自律分散的な振動子を用いることで身体の動力学的特性を巧く利用した3次元2足動歩行機が実現された。

今後の予定として、角振動数、振幅及び足裏圧力に対する重みなどのパラメータを変化させて歩容がどのように変化するのかを解明すると共に路面の変化に対する適応性等の検証を行う。

柔軟全周囲クローラ RT05-COBRA について

工学部 機械システム工学科 衣笠哲也、吉田浩治、林 良太、立石孝之、宮本直輝、
仲川昂希、上田直樹(岡山理科大学)、奥川雅之(愛知工業大学)、栗栖正充(東京電機大学)
サンリツオートメーション(株)

- セールスポイント： ① 災害対応ロボットとして期待されている。
② 外骨格構造を採用しており、非駆動部の露出が軽減されている。
③ 他のロボットより駆動系が少なく、操縦が容易である。

1. 研究目的

災害現場におけるレスキュー活動の支援や、惑星や火山のような極限環境における探索などにロボット技術の活用が期待されている。このような環境は高度な不整地であり、高い走破性が要求される。そこで本研究室では、3次元的な動作が可能な単一のクローラ機構である柔軟全周囲クローラ(Flexible mono Tread Mobile-Track以下FMT)を提案し、これまでに試作RT05 - COBRA (Fig.1)を実現してきた。しかしCOBRAは急傾斜の階段に対しスリップによって登坂できないという問題があった。本報告ではこの問題を解決するためにクローラを改良したRT05-COBRAについて述べる。

2. RT05-COBRA における問題点の改善とその性能について

急傾斜 40° の階段を登坂するためには、階段とクローラ表面との間の摩擦を大きくする、または突起（グラウザ）によってアンカー効果を得ることが考えられる。そこでまず、発泡塩化ビニル樹脂シートをクローラの表面に貼り付け、階段登坂試験を行った。その結果、登坂は成功したが、発泡塩化ビニル樹脂シートの耐久度が低く摩耗するという問題が生じた。そこで、Fig.2 に示すグラウザをクローラの表面に設けた。これにより、グラウザが摩耗や破損をすることなく COBRA は傾斜 40° の階段を登りきることが可能となった。

次に、走行性能をさらに向上させる FMT の姿勢角について考察した。突起が階段踏面に接触するとき(Fig.3)、見かけの摩擦係数(F_1 を N_1 で除した値)は(1)式で得られる。階段の踏面-クローラシュー間の角度 θ_s が(2)式となるととき見かけの摩擦係数が無限大になる。この条件を満たすよう COBRA を制御することでより大きな摩擦力を得ることが期待できる。

$$\varphi = \frac{\sin \theta_s + \mu \cos \theta_s}{\cos \theta_s - \mu \sin \theta_s} \cdots (1), \quad \theta_s = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\mu} \right) \cdots (2)$$



Fig.1 RT05-COBRA



Fig.2 滑り止めとグラウザ

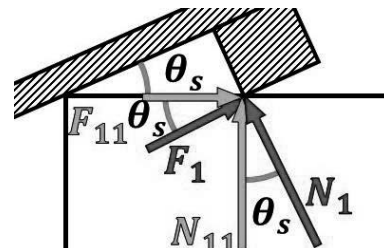


Fig.3 見かけ上の摩擦係数 φ

3. 応用先

被災地や活火山など、人が立ち入れない箇所での調査。高低差のある室内での物品の搬送。
特許 第5259984号「無限軌道装置及びこの無限軌道装置を備えた移動装置若しくはロボット」

機械的受動性を利用した小型多足ロボットの開発とロコモーションの解析

工学部 機械システム工学科 宮本直輝, 衣笠哲也, 吉田浩治, 林 良太
大阪大学 大須賀・杉本研究室, 東北大学 石黒研究室, 小林 CREST

- セールスポイント: ① 多足生物に非常に類似した歩様を示す
② 他の多足ロボットと比較して軽量でシンプルな構造を有する
③ 受動要素により、屋外においても適応的な歩行を行う

1. 研究目的

多足による移動は地面との接点が離散的に分布するため、凹凸面においては車輪移動機構より優位である場合が多い。しかし、多足類などの歩行メカニズムには解明されていない点が多い。本研究の目的は、機械的受動性を積極的に利用することで、軽量かつ単純で、環境への適応性の高い多足類のロボットを実現し、生物の移動というある種の知能を再現し理解することにある。さらに、足の位相変化に対するロコモーションの変化、体幹や足の柔軟性と移動性能の関係などを明らかにする。

2. i-CentiPot と歩容解析

試作した多足ロボット i-CentiPot 壱(Implicit controlled centipede robot 壱号機)を Fig. 1 に示す。i-CentiPot 壱は 16 個の体節と 1 対(左右 1 本ずつ)の足を配置している。各胴体リンクは球面関節で連結されており、その間には天然スポンジゴム製の 3 自由度を持つ受動関節を配置している。全ての足は全身を貫く可撓性シャフトで同期され、可撓性シャフトは 6 つの DC モータに結合している。足は柔軟素材で作製しており障害物に衝突した際に曲がる事が可能である。



Fig.1 i-CentiPot-壱

i-CentiPot 壱の歩容を解析するため、まず足の左右に 180° の位相差(反位相)、前後へ 45° の位相差(Fig2 左)を持たせる。これにより、体幹は進行方向と逆方向へ伝播する波、

Retrograde wave を創発し(Fig.2 上)、足が密になっている部分に密集するように体幹が湾曲することを確認できる。次に、反位相のまま前後へ 45° の位相差(Fig2 右)を持たせると、体幹は進行方向と同方向に伝播する波、Direct wave が創発する。さらに左右の位相を同じとした場合のテストでは振動方向は水平方向から垂直方向へと変化し、Retrograde wave、Direct wave では移動速度に大きな差が見られた。これらの実験により、体幹のうねりは胴体の柔軟性によって創発されるものであり、足の配置によって波の伝播方向、振幅が変化することを示した。

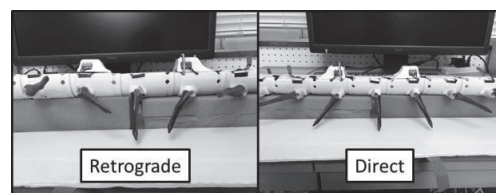


Fig2 足の配置図

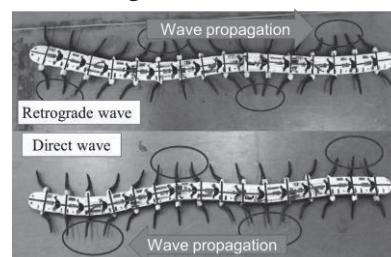


Fig.3 各位相差での胴体のうねりと進行方向

3. 今後の予定

今後は機械的受動性、足の位相および胴体のうねりを詳細に解析する。また、新たな機体構造を持つロボットの開発しその歩容解析を行っていく。またアナログ回路によって実現される自律移動機構を考案し、これを搭載する。

キャビテーションピーニング条件の最適化に関する基礎的研究

工学部 機械システム工学科 關 正憲, 渡部翔万, 中野誠也, 東北大学

セールスポイント: ① 水中での気泡崩壊による衝撃力を利用したピーニング (表面処理)

② 水道水を用いているため, 環境負荷が小さい

③ キャビテーションピーニング後の表面粗さの増加が小さい

1. 研究目的

疲労強度を向上させるための表面処理としてショットピーニングが一般的であるが, 表面粗さが増大するなど欠点もある. 一方, キャビテーションピーニング (以下, CP) は, キャビテーション気泡の崩壊時に生じる衝撃波やマイクロジェットによる衝撃力を用いたピーニングである. そこで本研究では, CP の最適条件の検討を目的とする.

考えられる.

2. 実験方法

Fig.1 のように処理容器内に CP 用ノズル, 試験片を取り付ける. Fig.2 に CP 用ノズルを示す. CP 用ノズルはステンレス鋼製のノズルアダプタ, ノズルプレート, ノズルキャップで構成される. 本研究では CP の最適条件を検討するために, スタンドオフ距離 s を変更して CP を行った. 精密天秤で CP 処理前後の試験片質量を測定し, 質量損失 Δm から壊食量を評価した. 本研究では壊食量が大なるほど加工能力が大と評価する. 試験片は $90\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ の大きさのアルミニウムである. CP 条件は噴射圧力 $p_1=20\text{ MPa}$ または $p_1=35\text{ MPa}$ とし, 処理時間 $t=5\text{ min}$, ノズルキャップの穴径 $D_{NC}=5.6\text{ mm}$, ノズルキャップの穴長さ $L_{NC}=5.6\text{ mm}$, ノズルプレートの穴径 $D_{NP}=1.0\text{ mm}$, ノズルプレートの穴長さ $L_{NP}=1.6\text{ mm}$ とした.

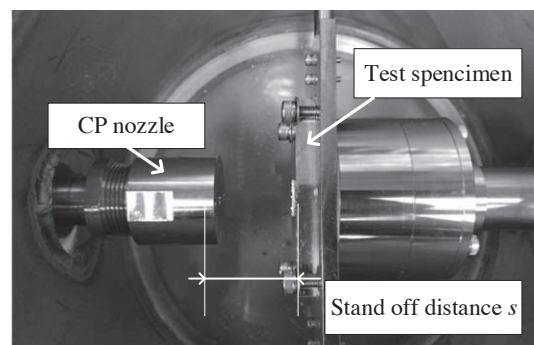


Fig.1 Test specimen and CP nozzle

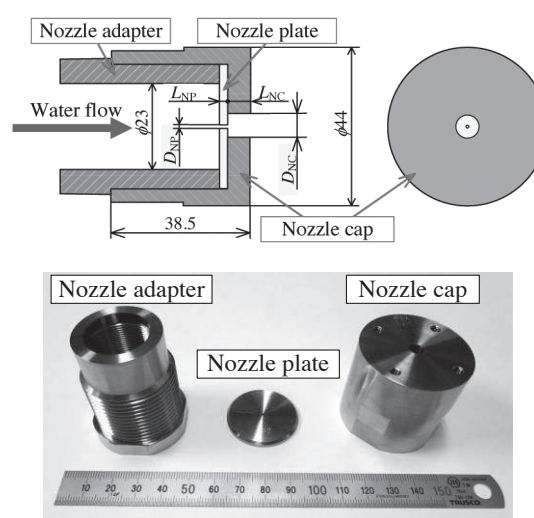


Fig.2 CP nozzle

3. 実験結果

Fig.3 にスタンドオフ距離 s と質量損失 Δm の関係を示す. Fig.3 よりスタンドオフ距離 s を変更することで質量損失 Δm に違いが生じることがわかる. スタンドオフ距離 $s=45\text{ mm}$ で質量損失 Δm が最大となった.

4. 応用の可能性

スタンドオフ距離 s の最適値が存在することを確認し, CP の加工能力増大を見出せると

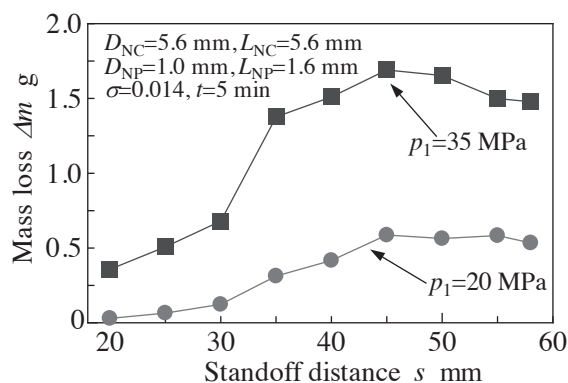


Fig.3 Relation between standoff distance and mass loss

傘歯車による差動機構を用いた減速装置の開発

工学部 機械システム工学科 關 正憲, 三木大輔, 清水一郎

- セールスポイント: ① 4個の傘歯車で構成される差動機構を用いた減速装置を考案した。
 ② 減速比 550 と 780 の減速装置を組み立てた。
 ③ 減速装置が設定の減速比通りに動作することを確認した。

1. 研究目的

減速機は, 減速比に伴い入力回転を減速させ, 出力トルクを増加させることができる. そこで本研究では, 差動機構 (ディファレンシャルギヤ) に着目し, その差動機構を応用した新たな減速装置を考案する. そして, この減速装置の出力性能を検証する.

2. 実験方法

減速装置の基本構成をFig.1に示す. 左上にモータがありモータ軸と直結する入力軸に歯車1と歯車2が固定されている. そして歯車1とかみ合うキャリア歯車Cと歯車2とかみ合う差動歯車Aを設置する. キャリア歯車Cにはディファレンシャルギヤが組み込んであり, 差動機構の2個のデフサイド傘歯車のうち, 1個のデフサイド傘歯車S1の軸に差動歯車Aを固定し, もう1個のデフサイド傘歯車S2には回転出力部となるプーリを取り付ける. Fig.2に減速装置の写真を示す. 実験には減速比 $R_B=550$, 780の減速装置を使用した. 実験方法は減速装置のプーリにワイヤを固定し, モータを回転させてワイヤを引っ張った. そして, そのときのモータの回転速度とプーリによる引張荷重の最大値を測定し, 減速装置の出力性能を検証した.

3. 実験結果

Fig.3は減速装置の回転速度と引張荷重の関係を表したもので, 基本的には比例関係になっている. $R_B=550$ の結果は減速装置の回転速度が大きい場合の引張荷重が下がっているが, この減速装置の構造上, 引張荷重に限界があるものと考えられる. Fig.3に示す実験結果よりモータによる回転入力が減速装置によって約40倍に増幅されて出力されていることが確認

できる. 理論的には780倍または550倍に増幅されるが, 歯車を多用している減速装置の構造上, 動力の損失が大きいと考えられる.

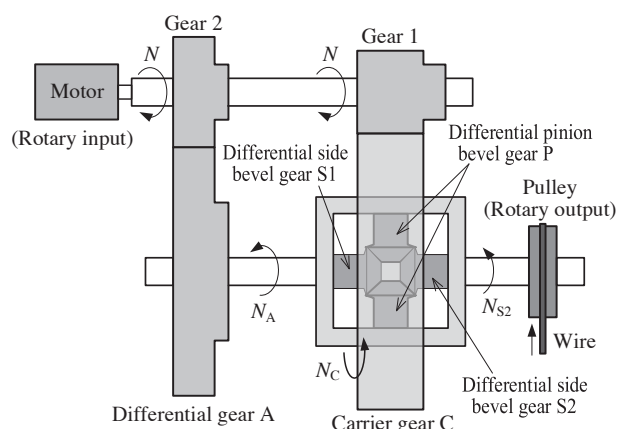


Fig.1 Basic configuration of the reducer

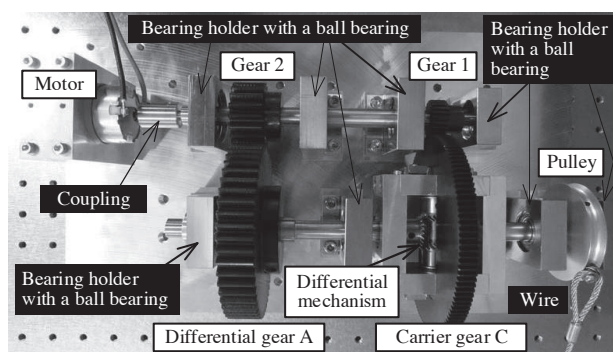


Fig.2 The reducer with a reducing ratio of 780

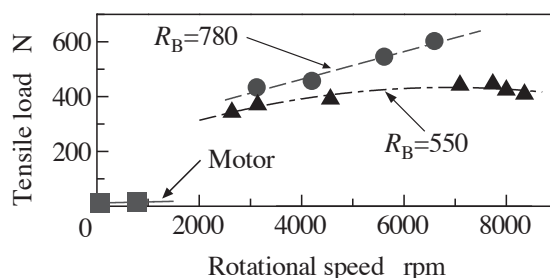


Fig.3 Relation between rotational speed and tensile load

筋電センサを用いたロボットアームの操縦技能獲得に関する研究

工学部 機械システム工学科 林 良太, 衣笠哲也, 吉田浩治
澤田拓弥, 幸田稜平, 佐渡功樹 (林・衣笠・吉田研究室)

- セールスポイント: ① 筋電義手などを扱う際の表面筋電位出力の訓練法を検討している
② 選択的に筋肉を収縮させるための促通刺激を訓練に適用する
③ 段階的に訓練の難易度を上げる訓練システムを提案する

1. 研究目的

今日利用されている筋電義手の多くは、作業療法士の支援の下で表面筋電位出力を随意的に変化させられるように、利用者が訓練に努力を重ねる必要があるものとなっている。そのため、望ましい訓練効果が得られず筋電義手の利用をあきらめてしまう場合がある。従来の訓練装置には、表面筋電図の視覚的フィードバックを取入れたものが存在しているが、訓練効果を向上させるためには、まだ工夫の余地がある。

本研究では、表面筋電位を用いて操縦する 1 リンクロボットアーム (Fig.1) に対して、表面筋電位の発生を促して操縦技能獲得を支援する手法について検討している。

2. ロボットアームの操縦訓練システム

一般的な前腕用筋電義手の操縦手法を模したものと、手関節の屈曲筋または伸展筋に対応した部位から測定される表面筋電位の大きさが、設定した閾値を超えるとときに超えた値に比例する速度の大きさを目標角度を増減させることで、ロボットアームの回転角度を制御するシステムを構築した。

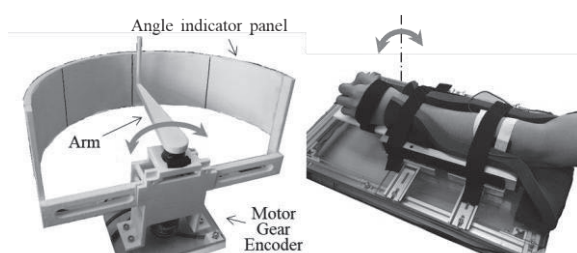


Fig. 1 1 リンクロボットアーム

3. 表面筋電位の発生を促す促通刺激

神経路の強化回復訓練に有効とされている狙った筋への動きと反対方向に力刺激を与える手法の応用を考え、手関節の動きを拘束して筋へ抵抗力を与えることが表面筋電位の発生を促す効果があるか検討した (Fig.2)。

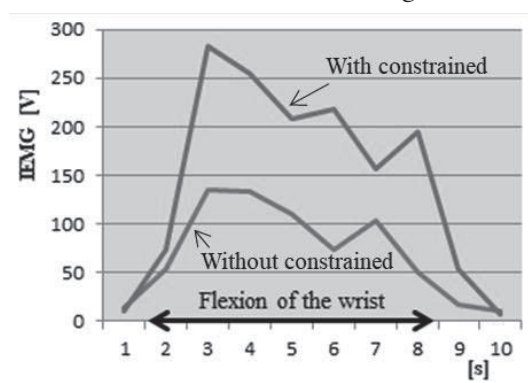


Fig.2 抵抗力がある場合と無い場合の比較

4. 訓練支援システムの今後の展開

随意運動を実現するための適切な筋の分離や、表面筋電位の発生を効果的に促すため、振動刺激などの促通刺激を適用して、訓練システムを工夫していく予定である。また訓練者の負担を軽減するため、訓練開始時から訓練課題の達成を可能にして、課題の難易度を段階的に変化させる手法の検討も行っていく。

5. 応用先

高機能な操縦型ロボットシステムへの応用だけでなく、上肢欠損者を対象とした筋電義手の利用促進、脳卒中片麻痺上肢の運動機能回復訓練への適用が期待される。

本研究は JSPS 科研費 JP17K01491 の助成を受けたものであり、ここに記して謝意を表す。

軽量な可撓性シャフトを用いた探索用小型移動ロボットの試作

工学部 機械システム工学科 林 良太, 衣笠哲也, 吉田浩治, 田子智樹, 天野久徳 (消防研)

- セールスポイント: ① 駆動モータを搭載しないことによる防水・防爆の優位性
 ② 駆動モータを搭載しないことによる小型軽量化の実現性
 ③ 従来と比べて軽量な可撓性シャフトを用いた移動ロボットの試作

1. 研究目的

震災などにより倒壊した建物などの瓦礫内やプラントの複雑な配管内など、狭隘な環境の探索に小型移動ロボットの研究開発が期待されている。本研究では、可撓性シャフトにより回転トルクを伝達して動力源から離れた位置にある探索用小型移動ロボットを駆動する機構を提案して、その実現性と可能性について検討している。

2. 可撓性シャフトで駆動する移動ロボット

移動ロボット本体に電動機などの動力源を搭載しないため、小型軽量化が容易である。また、電動機を搭載するロボットと比べて、引火性の粉塵やガスが充満している環境において優れた防爆性があり、浸水した環境においては駆動系に特別な防水処理を施す必要がないという利点がある。提案する探索用小型移動ロボットの概念図を Fig.1 に示す。

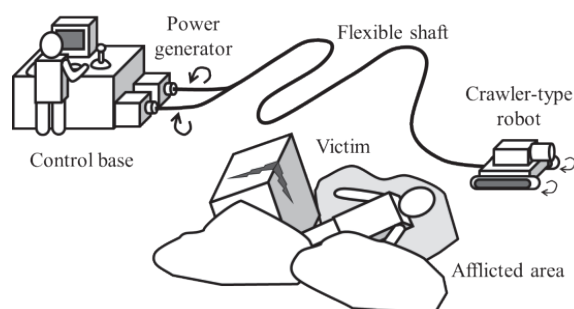


Fig.1 小型移動ロボットによる探索活動

3. 発生する巻き込みの問題

可撓性シャフトは、回転トルクを伝えるワイヤ状のインナーシャフトとそれをアウターチューブで覆う構造をしている。インナーシャフトに一般の単層構造のワイヤを用いると、撓

んだ状態で回転したときに周期的な抵抗力が発生してスムーズな回転を伝えることが出来ない。また、撓んだところに大きな負荷の回転トルクが作用すると、回転トルクが回転する方向には働かずインナーシャフトを巻き込みはじめて、軸方向に強く引き込む力になって作用する現象が生じることがある。

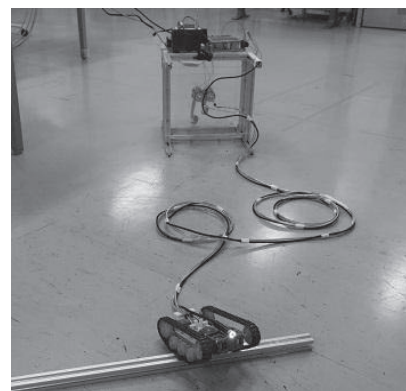


Fig.2 小型移動ロボットの試作機

4. 問題点の解決と改良

インナーシャフトに撓り方向が層ごとに反転している多層構造のワイヤ（朝日インテック製のトルクコイル）を用いることで、周期的な抵抗力の発生を防いでいる。フランジ付ベアリングと留め具を用いて、軸方向にインナーシャフトがずれることを防いでいる。さらに、部品点数を大幅に減らし簡易な構造にした軽量な可撓性シャフトを開発している（Fig.2）。

5. 応用先

災害時の瓦礫内探索だけでなく、施設のメンテナンスを目的とした狭隘空間の調査など、人が直接進入することのできない所での応用が期待される。

トルクユニットマニピュレータの 全状態変数を制御するための軌道生成における条件

工学部 機械システム工学科 吉田浩治, 衣笠哲也, 林 良太, 三坂大輝, 河副雅彦, 大阪大学

- セールスポイント: ① 宇宙用マニピュレータの新しい設計概念
 ② 保守が容易
 ③ 高信頼性

1. 研究目的

トルクユニットマニピュレータ (Torque-unit Manipulator: TUM) は関節内部にモータを組み込まない新しいタイプの宇宙用マニピュレータとして提案されている(図1)。TUMは、関節部が一自由度の回転型非駆動関節で、角リンクにはトルクユニットと呼ばれる駆動装置が任意の位置に取り付けられている。トルクユニットがリンクにトルクを及ぼし、リンクを駆動する。トルクユニットは一例としてモータと円盤で作ることができる。このような構造からTUMには、保守の容易性、冗長アクチュエータ系の可能性、動特性の変更可能性等の利点が生まれる。保守の容易性や冗長アクチュエータ系(一つのリンクに複数のトルクユニットを装着した系)を構成できることは高信頼性を得ることができると考えられる。

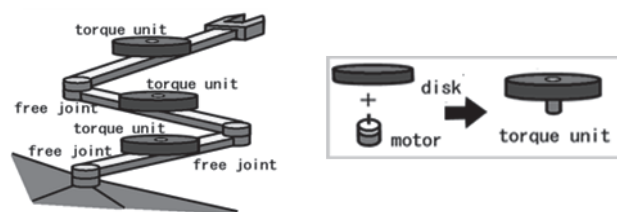


図1 トルクユニットマニピュレータ

TUMは通常のマニピュレータの制御則によって、リンクの姿勢が制御できることは示されている。しかしリンクが所望の姿勢に至った時、トルクユニット内の円盤に角速度が残留する場合がある。これがTUMの位置制御における問題点である。これまでの研究で、この問題は適切なリンクの運動軌道を生成することで解決が可能であることが知られている。そして目標軌道として正弦波による軌道を与えるこ

とでこの問題を解決した。本研究では、円盤の残留角速度が0[rad/s]になるためのリンクの運動軌道が満たすべき条件を示す。そして3自由度TUMに対し新たに時間の多項式を用いて条件を満足する軌道を生成し、シミュレーションによって検証を行う。

2. 円盤の残留角速度を 0[rad/s]にするための運動軌道

リンクが目標姿勢に至った時、リンクが静止状態にあり、円盤*i* + 1が残留角速度 $\dot{\phi}_{i+1}$ を持っているとする。このとき、リンクを運動させて、再び目標姿勢に戻り円盤の残留角速度を任意の一定値にするようなリンクの運動軌道 $\theta_i(t)$ を生成する。 $\theta_i(t)$ が次の条件を満たすとき円盤*i* + 1の残留角速度は0[rad/s]となる。

$$\begin{cases} \theta_i(0) = \theta_i(T) \\ \int_0^T \dot{\theta}_i^2 dt = \frac{-I_{di+1}(\dot{\phi}_{di+1}(T) - \dot{\phi}_{i+1}(0))}{l_i R_{i+1} \sin \theta_{i+1}} \\ \dot{\theta}_i(T) = 0 \end{cases}$$

ここで、 T は制御時間、 I_{di+1} , l_i , R_{i+1} はリンクや円盤の物理量によって決定される量である。

また、時間の多項式を用い条件を満足するように運動軌道を生成し、3自由度TUMを対象としてシミュレーションを行うことで検証を行っている。

3. 応用先

トルクユニット単体では、宇宙ステーションなど宇宙構造物における駆動装置、巨大構造物の制震制御などに応用の可能性がある。

走行車両の軸重値推定法の小型実験機を用いた精度検証

工学部 機械システム工学科 吉田浩治、衣笠哲也、林 良太、今倉恭平
(株)創発システム研究所 福田謙吾

- セールスポイント： ① 軸重計によって過積載車両を効率よく検知できる
② 過積載車両を検知、排除することで道路交通上の安全性が高められる
③ 過積載車両を検知、排除することで道路や橋梁の保守費を削減できる

1. 研究目的

過積載車両とは、規定の積載重量を超える荷物を積んだ車両を示す。この過積載車両は、制動力の低下による重大事故の誘発、路面や高架施設への悪影響など、様々な問題を引き起こす。現在、過積載かどうか判別する装置の 1 つとして軸重計と呼ばれる装置がある。軸重計検出部の構造を Fig.1 に示す。軸重計の検出部は載荷板と複数個のロードセルから構成されている。載荷板の長さは、2 軸が同時に載らないようにタイヤの直径とほぼ同じ寸法で設計されている (Fig.1)。軸重計検出部から得られる信号 (荷重信号と呼ぶ) は、タイヤが載荷板に乗り込むと同時に立上がり、立ち退くと同時に 0 に戻る。タイヤが完全に載荷板上にあるときの信号の部分の有効部と呼ぶ。近年は ETC の普及に伴い、より高速な走行車両への対応が必要になってきた。しかし、車速が速くなると、載荷板を通過する時間が短くなり、検出部から得られる荷重信号も短くなる。また、車体振動の影響を大きく受けてしまうなど、軸重計固有の問題により、精度よい軸重値を得ることは難しい。

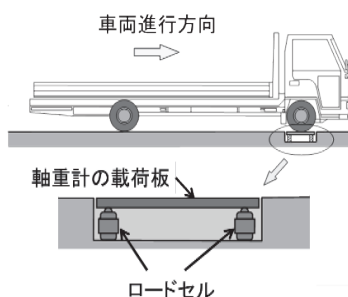


Fig.1 軸重計検出部の構造

本研究課題は、小型計測車両と小型軸重計を開発し、様々な走行状態での車体振動と軸重計からの出力信号との相関を研究し、高速走行車両に対する軸重値推定法を改善し確立することを目的としている。

2. 小型実験機

実機を用いて実験を行うには、広い敷地と多数の人員・機材が必要となるため容易ではない。そこで容易に実験が行えるように、小型の計測車両と軸重計を開発した。新しく製作した軸重計と小型計測車両を Fig.2、Fig.3 に示す。これらの製作した実験機を使用しデータを取得し精度検証を行なっている。

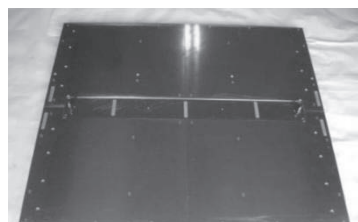


Fig.2 軸重計と走行レーンの一部

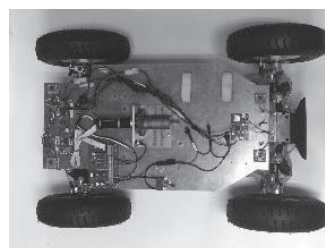


Fig.3 小型計測車両

3. 応用の可能性

走行車両の高精度軸重値推定法の研究は、主に信号処理法の研究である。この結果は、組合せ秤やオートチェッカー、さらにレーダー/ソナー信号解析への応用が考えられる。

振動粉体層の数値シミュレーション

工学部 機械システム工学科 桑木賢也
 工学研究科 システム科学専攻 博士課程 小金篤人
 工学部 バイオ・応用化学科 平野博之
 九州工業大学 工学部 馬渡佳秀
 イギリス バーミンガム大学

セールスポイント： ① 粉体の数値シミュレーション
 ② PEPT(陽電子放出粒子追跡法)による粒子運動の三次元可視化実験

1. 研究目的

粉体を用いる様々な工業プロセスにおいて、粉体のコントロールのため粉体に振動を与えることがある。このとき粉体層に流れが生じることがある。しかし粉体層は光を透過しないため、粉体層内の詳細な粒子の流動を直接観察することはできない。そこで本研究では、DEM(Discrete Element Method: 離散要素法)に基づく数値シミュレーションを用いて解析を行っている。さらに粉体運動可視化手法の一つである PEPT(Positron Emission Particle Tracking: 陽電子崩壊粒子追跡法)を用いた粉体層内の流動の可視化も行っている。

2. PEPT の原理

PEPT はバーミンガム大学で開発された粉体層内の可視化手法であり、放射性同位体元素 ^{18}F を吸着させたトレーサ粒子から発する γ 線を利用してトレーサ粒子の位置を測定する。Fig. 1 に示すようにトレーサ粒子から放出される γ 線を粉体容器の両脇に設置した検出器で検出する。 γ 線はトレーサ粒子から同時に2方向 180° の角度で放出される。そのため γ 線の検出位置から交点を求めればトレーサ粒子の座標を算出することができる。 γ 線は粉体層を透過するばかりでなく、ステンレス等の容器も透過するため、そのような容器内の粉体挙動にも有効である。

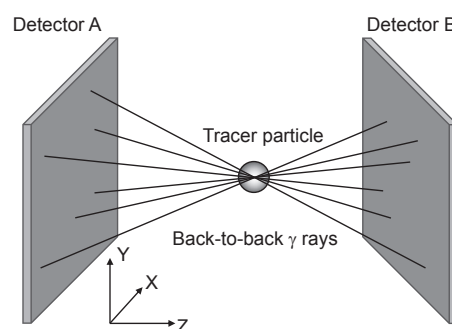


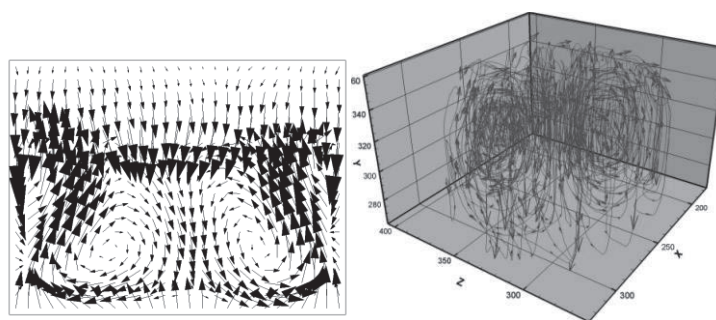
Fig.1 PEPT の測定原理

3. 解析結果

Fig.2 に解析結果を示す。PEPT による粉体層内流動の可視化結果に見られる大きな渦構造がシミュレーションでも観察できる。

4. 応用の可能性

本研究は振動粉体層内の内部流動の可視化という観点から、シミュレーションと可視化を併用して解析を行



(a) シミュレーション結果 (b) PEPT による粒子軌跡

Fig.2 解析結果

っている。本解析手法は振動粉体層に限らず、各種粉体工業プロセスに幅広く応用できる手法である。粉体の内部流動を可視化できることは、様々なトラブル要因の解明や新規プロセスの開発に大いに役立つと考えられる。

固体表面付近のガス流の2次元流速分布計測

工学部 機械システム工学科 近藤千尋, 宮本惇平, 前 雄也, 和田龍一 (近藤研究室)

- セールスポイント: ① ガス流速計測用途の粒径数 μm の安価な無機蛍光微粒子
 ② 機械部品などの固体表面付近の2次元断面の瞬時・平均流速分布計測
 ③ 流動計測システムの提供(流動計測は本学にて実施)など

1. 研究目的

内燃機関の熱効率向上に関して、図1に示すようなシリンダ内壁や点火プラグ電極近傍等における流れの把握が重要となっている。これらの瞬時流速を計測する方法の一つとして、粒子画像流速測定法がある。この手法では、流体中に微粒子を混入し、それらの動きから流体の2次元流速分布を測定する。しかし、レーザなどの光源を微粒子に照射し、その像をカメラで取得するため、上記のような固体表面付近の流速を測定しようとすると、迷光により粒子像が埋没し、流動計測が困難となる。そこで本研究では、この問題を解決する方法を検討している。



(a) エンジンシリンダ (b) 点火プラグ
 図1 流速計測の対象例とレーザ照射時の迷光

2. 蛍光微粒子を用いた流速分布計測

本研究では、蛍光微粒子を用いる方法を検討している。この粒子は、照射光に対してそれとは異なる波長の光（蛍光）を発し、蛍光のみを透過する光学フィルタを用いれば、固体表面からの迷光を除去しつつ、得られた粒子群像の動きから流速分布計測ができる。従来蛍光微粒子は提案されているが、その多くはプラスチック製で、燃焼場では溶けて固体表面に付着・汚れとなるなど用いるのが難しい。そこで、本報では筒内流動計測で実績のある無機微粒子から比較的安価に蛍光微粒子を作製することを試みた。ここでは、真球状 SiO_2 微粒子を、蛍光色素を溶解したエタノール溶液を用いて染色し、蛍光微粒子を作製した。この粒子の粒径は、

使用した SiO_2 微粒子と同じ $3\text{--}5\mu\text{m}$ である。図2に、蛍光微粒子を空気噴流(円管ノズル、内径 3.6mm)中に混入させ計測した、噴流中心軸上の瞬時2次元流速分布を示す。図より、本粒子を用いても噴流境界が乱れて発達する様子が確認できる。また、図3に、透明アクリル板(厚さ 5mm)に空気噴流を衝突させた際の様子を示す。図より、光学フィルタを介すると、アクリル板壁面近傍の迷光が除去され、壁より約 1mm 付近まで粒子群像(蛍光光)が確認でき、これらの動きより、流速計測ができる。

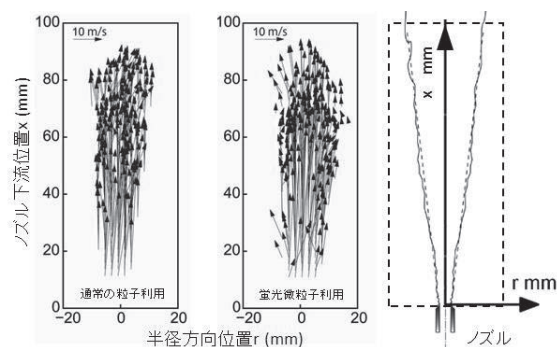


図2 自由噴流の瞬時流速分布



(a) 光学フィルタ有 (b) 光学フィルタ無

図3 壁面衝突噴流中に混入した蛍光微粒子の像

3. 応用先

本研究で作製した蛍光微粒子を用いることで、固体表面付近の瞬時の流速分布を計測できる。粒子は使用量によるが、蛍光微粒子としては安価(使用した微粒子の約1.1倍)であり、また燃焼などの高温環境にさらされても、溶損などなく再利用可能であるなど、幅広い対象での、固体表面付近の流体流速計測に利用できる。

空気圧駆動配管検査ロボットの配管保持機構の改良

工学部 知能機械工学科 赤木徹也, 中川兼吾, 堂田周治郎, 小林 亘, 楠瀬系知, 山崎聖也

- セールスポイント: ① 簡単な動作で、複雑な配管内をスムーズに走行できる。
 ② 空気圧駆動であり、漏電の心配がない。
 ③ 水分のある環境でも動作できる。

1. 研究目的

近年、日本では耐久年数を越えた水道管が多く存在し、配管の検査が急務である。そのため配管検査ロボットは複雑な配管内を自由に移動する能力が必要である。そこで本研究室では、配管形状に合わせてロボット自身が形状を変え、水分を含む配管内でも移動可能な空気圧駆動配管検査ロボットの開発を行っている。

2. 配管保持機構の構造

Fig.1 に配管検査ロボットを示す。ロボットは、カメラ付き方向転換ユニット、2つの配管保持機構、柔軟空気圧シリンダを用いたスライド機構から構成され、保持機構とスライド機構により尺取虫のように配管内を移動できる。

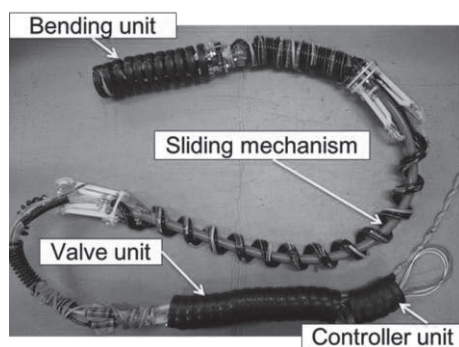


Fig. 1 配管検査ロボットの構造

従来の保持機構は、空気圧シリンダで駆動する傘形状の開閉爪を使用しており、管路のコーナ部分で、引っかかりを生じていた。そこで、コーナでの引っかかりを防ぐため、柔軟性を有する保持機構を試作した。Fig.2に試作した保持機構を示す。機構は4組の空気圧駆動式バルーンを円周状に配置し、各バルーンは破裂を防ぐためネットで覆っている。さらに保持力を増すため、シリコーン製カバーで覆っている。

試作した保持機構のサイズは外径77.5mm、長さ136mm、質量0.084kgと軽量である。Fig. 3に試作保持機構の動作原理を示す。各バルーンに空気圧を印加すると、バルーンが周方向に膨張し、配管を保持する。また、排気時は、バルーンの弾性力により収縮する。実験では供給圧300kPa時の最大外径は110mmである。従来の爪を使った保持機構に比べ、長手方向の剛体部分が少なく、柔軟な構造を有している。

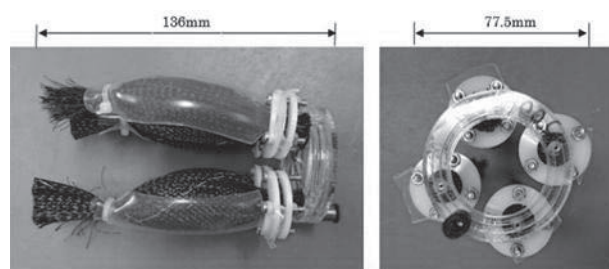


Fig. 2 試作配管保持機構の構造

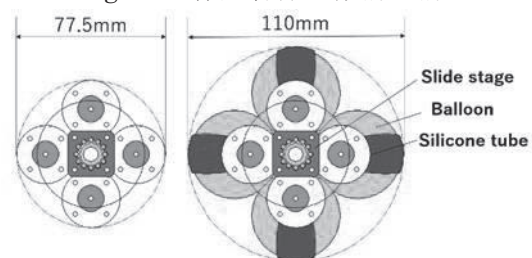


Fig. 3 配管保持機構の動作原理

3. 結果

柔軟なバルーンを用いた配管保持機構を提案・試作し、特性実験を行った結果、最大52.6Nの保持力を有することを確認した。またこの保持機構を有する配管検査ロボットを試作、管路の走破実験を行った。その結果、ロボットはコーナをスムーズに走行することを確認した。今後、複数のコーナやT字管を有する配管内での走行テストを行う予定である。

解析シミュレーションネット OKAYAMA の解析技術と活動

岡山理科大学 工学部 電気電子システム学科 矢城陽一朗

機械システム工学科 桑木賢也, 清水一郎, 近藤千尋

岡山大学 藤井正浩, 柳瀬眞一郎, 大宮祐也, 永田靖典

岡山県立大学 佐藤洋一郎, 尾崎公一, 福田忠生

解析シミュレーションネット OKAYAMA

- セールスポイント: ① コンピュータシミュレーションや解析技術を積極的に活用
② 地域におけるものづくり技術の高度化に貢献
③ シミュレーションを自社の生産活動に生かすことを目指す

1. 設立の目的

平成 18 年 (2006 年) に設立された「解析シミュレーションネット OKAYAMA」は、コンピュータシミュレーションや解析技術を研究戦略として積極的に活用し、地域におけるものづくり技術の高度化に貢献しようとする大学や企業等の研究者と、計算シミュレーションを自社の生産活動に生かすことを目指す利用者の集まりである。(図 1)

2. 組織

◆運営委員会 会長: 藤井正浩、副会長: 福田忠生、庶務: 大宮祐也、広報: 矢城陽一朗、ホームページ: 永山則之(岡山県工業技術センター)、コーディネータ: 藤原貴典(岡山大学)、大西将史(岡山県工業技術センター)、雄谷芳郎(岡山県立大学) 小林東夫(就実大学)

◆研究グループ (1) 材料・加工・設計・振動解析、(2) 流体熱力学解析、(3) 画像解析等、(4) 分子解析

3. グループの主な研究テーマとキーワード

(1) 材料・加工・設計・振動解析 ①テーマ: 表面改質機械要素のトライボロジー、滑り・転がり接触機械要素の面圧疲労評価・解析 ②キーワード: トライボロジー評価解析、接触応力解析、接触温度解析

(2) 流体熱力学解析 ①粉体に関わる環境・エネルギープラント内の熱や流れの解析、数値シミュレーションや各種可視化実験装置を使用 ②自然対流、離散要素法、付着、粉体、凝集、気泡

(3) 画像解析等 ①組込みシステムの高速化・低消費電力化、画像認識の高信頼化・高速化 ②回路解析、大規模デジタル回路、画像処理

(4) 分子解析 ①タンパク質ーリガンド相互作用計算による医薬品開発 ②インシリコ創薬、計算生命科学

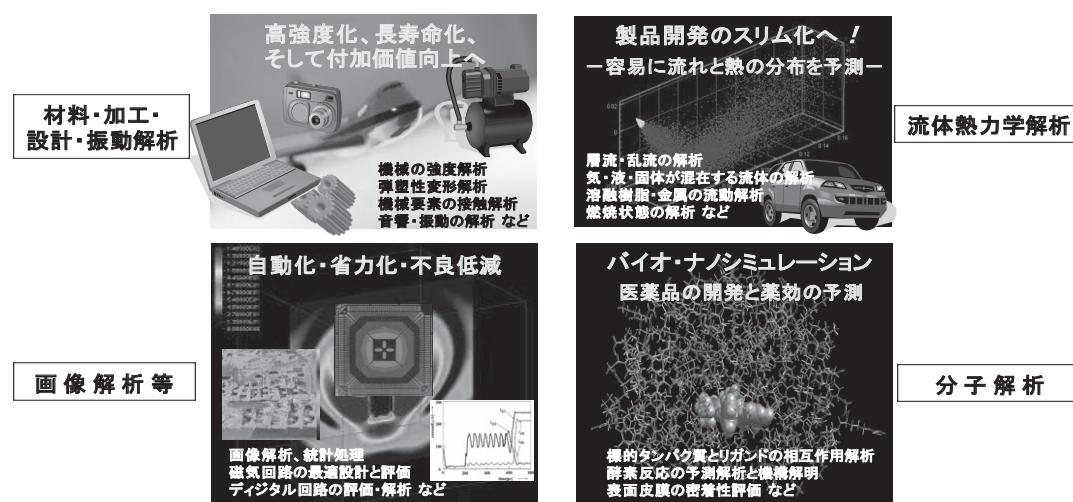


図 1 解析シミュレーションネット OKAYAMA の研究グループ

振動流動層を用いた粒状混合物の乾式比重分離技術

工学研究科 応用化学専攻 押谷 潤, 横内貴正, 須郷 涼, 平野博之, 太洋マシナリー (株)

- セールスポイント: ① 同じ大きさの粒でも密度の大小により分離可能
 ② 従来の湿式分離技術と違い水を使わない
 ③ 流動層に振動を加えることで分離精度がアップ

1. 研究目的

粒状混合物の一般的な分離技術として、水中での物の浮き沈みを利用した湿式比重分離技術が知られているが、廃液処理や分離後の乾燥工程が必要、分離装置からの液漏れによる作業環境の劣悪化など多数の問題を抱えている。特に、水資源不足地域・寒冷地では、代替として水を用いない乾式比重分離技術が求められてきた。

以上の社会的背景のもと、これまでに著者らは、粉体の下から風を送り込んで流動化させ、水に似た状態とした流動層の中での物の浮き沈みに注目し、乾式比重分離技術を開発した。しかし、同技術はサイズが 10mm 以下の粒状混合物の分離が困難という決定的な問題を抱えていた。そのような中、流動層に“振動”を加えることで、これまでは不可能であった密度差が小さな粒状混合物を上と下に分離可能であることを最近見出した。現在、Fig.1 に示すような円筒型振動流動層で基礎的検討を行いながら、粒状廃棄物リサイクルに向けた新たな分離技術の開発を行っている。

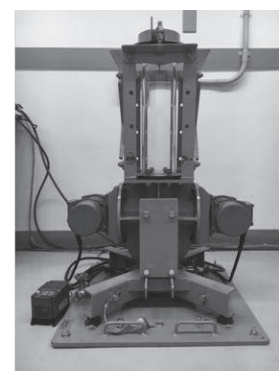


Fig.1 円筒型振動流動層

2. 振動流動層型乾式分離技術

サイズが 10mm 以下の粒状混合物を下からの風により流動化させると、Fig.2 に示すように、密度の小さな粉体が上に、大きな粉体が下にそれぞれ移動する“密度偏析現象”が生じ、密度差の大きい鉄粉とガラス粉のような粒状混合物を分離することができる。しかし、密度差の小さいアルミナとシリカのような粒状混合物の分離は下からの風のみでは分離できないことが課題であった。そこで、送風に“振動”を加えたところ、密度差の小さい場合でも、ある程度分離が可能であることを見出した。また、周波数や振幅を変化させることで、分離効率が増減することも明らかにしている。

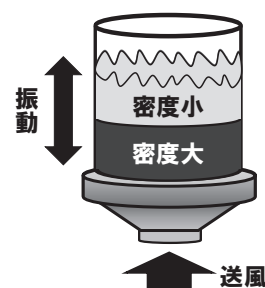


Fig.2 流動層内での密度偏析現象と振動付加による分離促進

3. 応用先

この振動流動層型乾式分離技術は、ものづくり現場で生じる粒状廃棄物の中から有価物を取り出すために利用でき、さらに近年、不法投棄が問題となっている建設廃棄物残渣や災害時に大量発生する災害廃棄物残渣の適正処理にも利用が期待できる。また、オーストラリアなどの地球温暖化による水不足地域では、従来の湿式比重分離技術による石炭や鉄鉱石の高品位化が困難な状況になりつつあり、代替としての本技術の利用といった海外展開も考えられる。今後の課題として、1つ目は高効率の分離を可能とするための風速や層高、振動の諸条件などの最適化が挙げられる。2つ目は、振動流動層の壁効果の有無に関連した装置のスケールアップ、並びに連続分離装置の開発である。

特許出願 「特許 2016-145803 乾式分離装置」

減圧下における側面冷却加熱による閉空間内の自然対流

工学部 バイオ・応用化学科 熊本翔乃, 山本萌絵 (平野・押谷研究室)

工学部 バイオ・応用化学科 平野博之

工学部 機械システム工学科 桑木賢也

タツモ株式会社

セールスポイント: ① 伝熱抑制あるいは蓄熱の分野への応用が可能

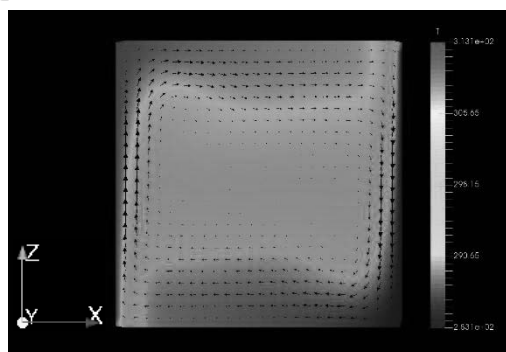
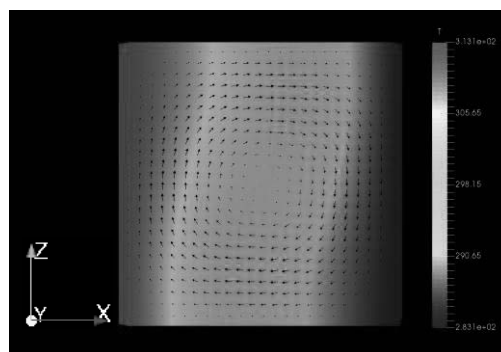
② 実験と数値解析で現象を検証

1. 研究目的

流体中で外力場に直角な面内で、温度あるいは濃度の違いによって生じた密度の不均一が浮力の差となる。この不均一を無くすように流れが発生し持続するものが自然対流である。自然対流における熱伝導特性は、無次元数であるレイリー数 (Ra) によって整理できる。 Ra を小さくすることで、流体の熱伝導特性は熱伝導状態に近づき、伝熱抑制される。本研究では蓄熱などに応用可能な伝熱抑制を取り上げ、流動様相について実験的かつ数値解析的に検討する。マクロな視点では、液体あるいは気体を問わず Ra を小さくするには、系の体積や温度差を小さくすればよいが実験を行うには限界がある。そこで本研究では、気体分子運動論に着目し、気体として空気を用いて減圧して Ra を小さくする。減圧系を扱うことで、本研究で得られた知見は蓄熱のみならず、各種工業装置にも関連した熱流動解析へも応用可能となる。

2. 研究内容

実験にあたっては、1 辺が 50 mm の立方体の対向する鉛直側面を恒温循環槽により加熱および冷却し、トレーサとしてタバコの煙を用い、真空ポンプにより減圧し Ra を小さくし、スリット光を用いて空気の流れを可視化した。計算にあたっては、オープンソースコードの OpenFOAM を用い、ソルバーには buoyantPimpleFoam を用い、密度は理想気体の状態方程式を用いて与えた。Figs.1,2 には Ra が大きい場合と小さい場合の計算結果を記した。Fig.2 では伝熱抑制されていることがわかる。実験および数値解析の結果、容器内を減圧していくと、 Ra の伝熱および対流は抑制され、伝導状態に漸近していくこと、容器内部には 2 つのトーラス構造が存在することを確認できた。

Fig.1 $Ra=3.56 \times 10^3$ $\Delta T=30$ K, 100000 Pa, 100 s, Y=25 mmFig.2 $Ra=8.90 \times 10^2$ $\Delta T=30$ K, 5000 Pa, 100 s, Y=25 mm

3. 応用の可能性

本研究は、伝熱抑制ということからすると蓄熱装置などの分野、減圧系を扱うということからすると、半導体製造工程に関わる各種工業装置の設計などに関連しており、それぞれの分野への応用が可能である。

壁面に凹凸を有するマイクロ流路内における流動様相

工学部 バイオ・応用化学科 西山真由, 平井貴大 (平野・押谷研究室)

工学部 バイオ・応用化学科 平野博之, 押谷 潤

工学部 生命医療工学科 木原朝彦

株式会社 化繊ノズル製作所

- セールスポイント: ① マイクロ化学チップへの組み込みが可能
 ② 化学反応や化学工学的単位操作などへの応用が可能
 ③ 実験と数値解析で現象を検証

1. 研究目的

代表径 1 mm 以下の空間で化学反応を行えるマイクロ化学チップは, 従来の大型プラントよりも高効率に, 抽出などの単位操作や有機合成などの化学反応を行うことができる場合が多く, 注目されている. マイクロ化学チップは現在このほかにも, 環境分析や DNA 解析などにも利用されている. 本研究では, 水相と有機相, 気相と水相など, 相互に (ほとんど) 溶解しない二相の流体をマイクロ流路内で合流させて生じる交直流 (各々の相が交互に現れる流れ) を取り上げる. 交直流においては, 各々のセグメントを短くすることで両相の界面積が増大することなどから, 反応や抽出などの各種効率の大幅な向上が期待される. 本研究では, 化学工業装置の小型化などを目的とし, 交直流の流動特性について実験的かつ数値解析的に検討する.

2. 研究内容

実験的手法として, 水相に青色ポリスチレンマトリックス粒子を分散させ, これと有機相 (cyclohexane) を Fig.1 に示す壁面に凹凸を有する厚さ 0.3 mm のステンレス流路により合流させた. 流路内で生じる交直流について PIV 解析 (粒子画像流速計: Particle Image Velocimetry) 計測を行った. 数値解析的手法として, オープンソースコードとして広く用いられている OpenFOAM を用いて解析を行った. 具体的には, stl ファイルをもとに, snappyHexMesh を用いて, Fig.2 に流路に対応した格子を作成し, ソルバーとして multiphase interFoam を用いて, 交直流の計算を行った. 計算後の結果については ParaView を用いて可視化した. 流入速度が流動様相に与える影響などについて実験的かつ数値解析的に検討し, 壁面に凹凸を設けることで相の内部に渦が生じることを確認できた.

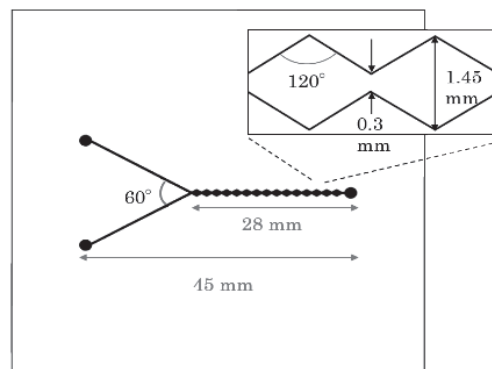


Fig.1 実験で用いた流路の概略図

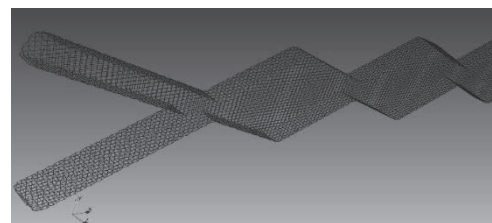


Fig.2 計算で用いた格子図

3. 応用の可能性

マイクロ化学チップはすでに化学合成, 化学工学的な単位操作, DNA 解析などにおいて利用されている. 本研究では各種化学工業装置の小型化に適用したいと考えている.

本研究に関連する, マイクロ化学チップに関わる取得特許を以下に示す.

【特許第 4931065 号】「衝突型マイクロミキサー」

【特許第 5504526 号】「マイクロリアクターを用いてスラグ流を形成する方法」