低圧駆動型柔軟アクチュエータを用いた移乗支援型車いすの設計と構築

理工学研究科システム科学専攻　〇田村優貴
情報理工学部情報理工学科　趙　菲菲, 赤木徹也　　研究･社会連携機構工作センター　篠原　隆
工学部知能機械工学科（元）　堂田周治郎

概要：若年層車いす患者の排泄介助における介助者への負担軽減に対し、EVA 樹脂製のエコフラットホースを用いた低圧駆動型アクチュエータを提案し、排泄介助における患者単独での立ち上がり動作時の支援を目的とした試作・改良アクチュエータの基本特性の比較を行った

１．研究目的

若年層の車いす利用者は、身体的・精神的に自立を志向する一方で、排泄に関する課題のために単独での外出や旅行が困難となる事例が多く報告されている。これは、車いす患者の排泄が問題となっており、車いす患者の排泄介助時、介助者は人の力のみで患者の身体を車いすからトイレ便座側に方向転換し患者の着衣を下し便座へ着座させるという方法を取ってきたためである。本発表では、こうした現状を踏まえ、介助時の立ち上がり動作において、臀部と背部に EVA 樹脂製のエコフラットホースを用いた低圧駆動型アクチュエータを設置し、膨張させることで車いす患者の臀部を押し上げ、背部から押し出すことで移乗のアシストすることを目的とし、試作型アクチュエータと改良型アクチュエータの基本特性の比較を行った。Fig. 1 はアクチュエータの外観を示し，Fig. 2 は車いすへの装着イメージ図をしめす。

２．試作・改良アクチュエータの基本特性の比較

まず、本研究で製作したアクチュエータに求められる特性について説明する。日本人の平均体重は約 60 kg であることから、臀部のアクチュエータには垂直方向に体重を支持するため、600 N 以上の発生力が必要となり、体重が負荷された状態において約 200～210 mm の変位を必要とする。また、背部のアクチュエータには体重の 3～5%の荷重が作用するとされている。このことから、約 1.8～3.0 kg の荷重であるため 30N 以上の発生力を必要とし、150～200 mm の変位を有することで前傾姿勢への重心移動を可能にし、立ち上がり動作の支援を行う。これらが臀部と背部それぞれのアクチュエータに求められる性能である。ここからは、アクチュエータの基本特性である発生力および変位について、試作アクチュエータと改良アクチュエータの比較も行った。

Fig.1　試作・改良アクチュエータの外観

Fig.2 車いすへの装着イメージ図

３．応用の可能性

発生力は試作、改良型ともに人の平均体重である60kgを持ち上げるだけの特性を保持していることは確認できたが、変位に関しては移乗における十分な変位を保持できていないため、時計回りおよび反時計回りの改良型アクチュエータを相互に編み込んだ構造を採用し，変位特性の向上を検討する。

神経筋疾患患者に向ける手首リハビリデバイスの予備評価および環境構築

理工学研究科システム科学専攻　○髙須啓太
情報理工学部情報理工学科　趙　菲菲，赤木徹也　　工学部知能機械工学科（元）　堂田周治郎

概要：本研究では，神経筋疾患患者の手関節リハビリテーションおよび筋力トレーニングを目的として，パラレルリンク型SSFAを用いたリハビリテーション支援装置を開発した．本報では，提案機構の有効性および運動特性を検討するため，手首関節角度および表面筋電位（EMG）計測を用いた動作評価実験を実施した．

１．研究目的

少子高齢化の進行により，高齢者の身体機能維持に加えて，筋萎縮性側索硬化症（ALS）などの神経変性疾患により四肢機能が低下した者に対する継続的なリハビリテーション支援が重要となっている．そこで本研究では，従来のリハビリテーション動作の支援を目的とし，垂直方向に剛性を有する6支柱式パラレルリンク型柔軟空気圧アクチュエータ（SSFA）を用いた，手関節リハビリデバイスの開発を行っている．

２．筋電位計測と手首関節角度計測による予備評価実験

本実験では，自動運動条件および他動運動条件において，手首関節角度ならびに表面筋電位を計測し，基礎データの収集を行なった．本研究では、将来的な自動的な手首リハビリテーション支援を目指しており、両条件で得られたデータを比較することで、本装置のリハビリテーション支援への適用可能性を評価した．

実験装置として，前腕部を保持しつつ固定できる構造を有した，高さ調整可能な机型の装置を構築した．Fig.1に装置の外観を示す．装置の天板上にはアクチュエータが固定されており，被験者はアクチュエータ上部に設置した把持ハンドルを握り，ベルトで手を固定する構造とした（Fig.2参照）．自動運動条件では，アクチュエータの駆動中に把持ハンドルが動かないよう被験者が保持することで自動リハビリテーションを想定した条件を再現した．

Fig.1 実験装置外観

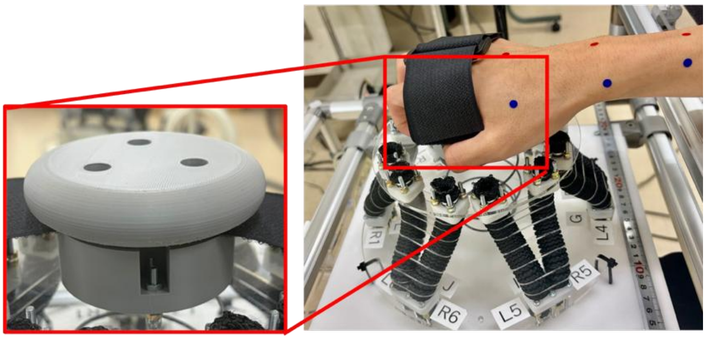


Fig.2 把持ハンドル

３．応用の可能性

本実験で構築した実験環境は今後のリハビリテーション実験の基本的な評価環境として活用可能である．また，実験結果から，自動運動条件と受動運動条件では，手首関節角度と筋活動量の間に異なる傾向が現れることが示唆された．装置に用いるSSFAについては形状解析モデルと力平衡解析モデルがすでに構築されている．今後は解析モデルによる角度推定と実測したアクチュエータ角度を組み合わせることで，手関節における運動状態や筋活動量の推定などの応用が考えられる．

下肢不自由児のための療育支援機器における ArUco マーカーを用いた 18 脚移動ロボットの角度計測

理工学研究科システム科学専攻　○平田俊介
情報理工学部情報理工学科　趙　菲菲，赤木徹也　研究・社会連携機構工作センター　篠原　隆
工学部知能機械工学科（元）　堂田周治郎

概要：下肢不自由児が家庭内で体幹訓練を行える療育支援遊具の構築を目的として,18 脚移動ロボットと連動する VR 環境を開発した.本研究では, ArUco マーカーを用いて筐体の傾斜角度を計測した.

１．研究目的

下肢の運動機能に制限のある児童は,歩行や立位保持が困難であり,継続的なリハビリテーションが必要とされる.しかし, 家庭内での訓練や外部施設を利用する際にも付き添いや補助,移動の負担が伴い, 保護者や支援者に多大な負担がかかる.このような問題点を解決するため,家庭内で安全に使用できる療育支援遊具として柔軟空気圧アクチュエータ(EFPA)を用いた 18 脚移動ロボットを開発し,VR 環境と連動した体幹訓練を行うシステムの構築を進めてきた.本研究では,傾斜角度をビジュアルフィードバック制御するための基礎研究として,ロボット筐体部に OpenCV を用いた ArUco マーカーを搭載し,カメラによる画像認識を行い傾斜角度の計測を行った.

２．療育支援システムの概要および傾斜角度計測方法

まず,VR 環境とロボットを連動させたシステム開発について説明する.ハードウェア部分には四面体型柔軟アクチュエータ(TFA)を脚部分とする 18 脚移動ロボットを用いた.このロボットはマイクロコンピュータ(ESP32-WROOM-32E)および,18 個の電磁弁によって駆動される.次にソフトウェア部分として Meta Platforms, Inc.製ヘッドマウントディスプレイ(HMD)である Meta Quest3 を使用した. Fig.1 に示すように HMD 内に VR 映像が流れると同時に, ロボットがシーケンス動作を行う.

角度計測では,ロボット筐体部に設置した ArUco マーカーを Arducam Technology Co., Ltd.製のカメラ（Arducam ezBOX-Swift）で撮影し,OpenCV および python を用いて作成した角度計測アプリケーションにより,筐体の傾斜角度を算出した.Fig. 2 に示すように,床面に基準用 ArUco マーカー（ID 0）を設置し,ロボット天板に計測用 ArUco マーカー（ID 1）を固定した.

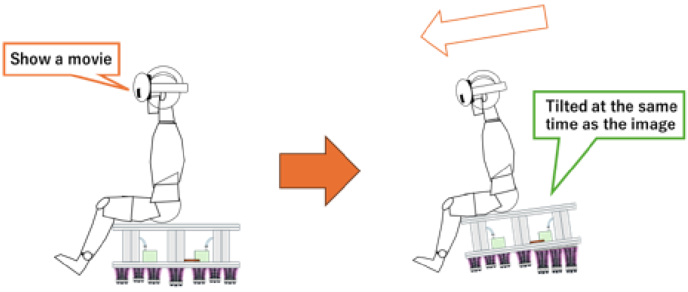


Fig.1 映像に基づくシーケンス制御

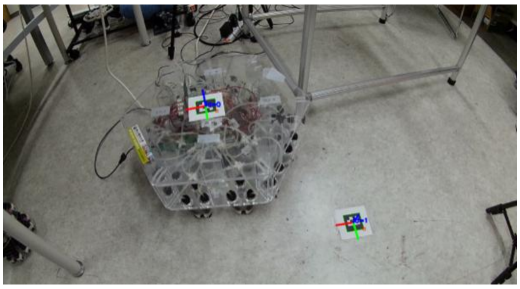


Fig.2 18 脚移動ロボットおよびマーカー配置

３．応用の可能性

今後は,計測した傾斜角度を用いて搭乗者が転倒しそうになった際に逆位置のアクチュエータに給気し,水平状態で停止する安全停止機能と,任意の傾斜角度で停止するビジュアルフィードバック制御の構築を行う予定である.

生活支援ロボットの開発

理工学研究科システム科学専攻　〇氏平聖海
情報理工学部情報理工学科　　藤本真作

概要：超高齢社会における介護人材不足を背景に、空気圧駆動を活用した生活支援ロボットの開発を行った。下半身には倒立振子型の移動機構、上半身には空気圧駆動式４指ハンドを採用し、日本の生活様式に適した柔軟な動作支援の実現を目指す。

1. 研究背景･目的

日本は 2007 年から超高齢社会に突入し、介助・介護士不足が問題となっている。そこで日々の生活を支援するロボットの開発が望まれている。

しかし、多くのロボットはオムニホイールや四脚機構で同一平面上を移動するが、車輪型は段差への対応が難しく、４脚型は日本の生活様式に合わない。

そこで本研究ではよりアクティブな支援が可能な生活支援ロボット（図 1 左参照）の開発を目指す。移動方式としては、平坦面では車輪移動、段差では二脚歩行、静止時には３点支持を可能とするロボットを目指す。

駆動源には、空気圧とバッテリーを用いたハイブリット型を想定している。空気圧駆動を用いる理由は、生活支援のための、ソフトハンド開発及び、段差などの衝撃に対して強い構造（圧縮性・出力重量比）が 必要であると考えたためである。

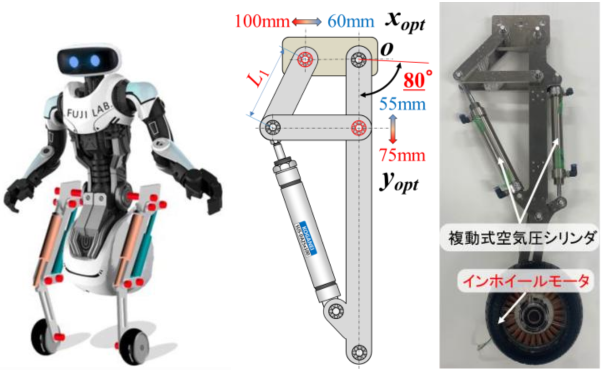


図 1　生活支援ロボットのイメージ図と設計

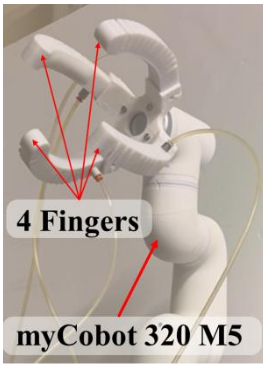


図 2　４指ハンド

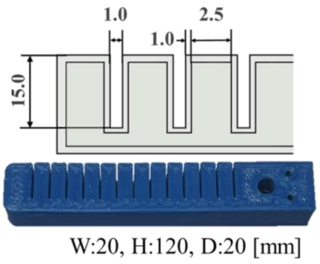


図 3　フィンガの構造

2. 下半身(移動機構)の設計･試作

下半身は大腿部にクランク機構、両関節に空気圧シリンダを取り付け、下腿部にインホイールモータ、股関節・膝関節にポテンショメータを配置した。

設計するクランク機構（図 1 中央参照）の上腿部・可動範囲を 80 deg.以上とし、リンク長 L_1=100～120mm とした。

トルク計算結果から、L_1=120mm のとき最大トルク 34.9Nm を得ることができた。しかしながら、股関節のサイズや重量を考慮すると、x_{opt}=88mm、y_{opt}=65mm と設計した。

この設計に基づいて試作した脚部（図 1 右参照）には複動式空気圧シリンダ（KOGANEI 製、上腿部 SUS-DA-25×100）、下腿部（SUS-DA-20×100）と、直径 150mm・質量 1.5kg のインホイールモータを搭載している。

3. 空気圧駆動式4指ハンドの設計･試作

上半身の腕部には図 2 に示す myCobot 320 M5（6 自由度、可搬質量 1kg）を用いた。その先端に空気圧駆動式４指ハンド（図 3：フィンガの構造）を取り付けた。柔軟物の把持に対応するため、軽量で柔軟な弾性 TPR/TPE 素材を採用し、加圧で湾曲するフィンガを設計した。各フィンガはハンド中心に等間隔配置した。3D プリンタ（TPE、ショア硬度 65A）でフィンガを試作し、薄膜抵抗型曲げセンサ（SF15-100）で湾曲角を計測した。印加圧力 25～100kPa での計測から、圧力増加で発生力が増加し、湾曲角増加で発生力が減少する静特性を確認した。

4. 応用の可能性

倒立振子制御による安定した移動と、フィンガの外力推定による把持力制御を実現することで、安全かつ柔軟な人間支援が可能になると考えられる。また、空気圧アクチュエータの柔軟性を活かすことで、人との接触を伴う介護支援や生活支援だけでなく、リハビリテーション支援や福祉機器への応用も期待される。さらに、段差走破と車輪移動を切り替える移動機構を組み合わせることで、日本の住宅環境に適した生活支援ロボットとしての実用化が期待される。

機械部品のスケッチの 3D モデルへの自動変換法

工学部機械システム工学科　田中雅次，朱 安成，宋 安途
理工学研究科システム科学専攻　〇李 恩澤，趙 月洋
アイコクアルファ株式会社

概要：機械製品・部品等のスケッチを 3D モデルに自動変換する手法を開発している。現在、学習ベースのシステムは存在するが、本手法は、幾何学的にも正確に変換できる点で優れる。

１．研究目的

現在の機械設計では、3DCADでのモデリングが盛んであるが、新しいモノを設計する際は、スケッチを描くことが多い。これを3Dモデルに自動変換出来れば、設計の労力を減少出来る。また、現在のCGやVR等の技術でもこの自動変換は重要であり、人が写真やイラストを見て容易に3D化を想像する行為の自動化は、様々なシーンでの活躍が期待される。このシステムは、現在、生成AIに基づく学習システムとして数多く開発されているが、学習済なモノしか上手く変換できない。本手法は、未学習のモノでも、寸法的にも幾何学的にも正確な形状に変換できる。

２．本手法の概要

図 1(a)に示すような、直方体や円柱、穴のようなスケッチは、誰でも容易に認識できて、また描くのも簡単である。本手法では、これらを Sketch Feature(SF)と呼ぶ。本手法では、与えられたスケッチより SF の検出と抽出を繰り返すことで解を得る。図 1(b)の例題 1 では、図 1(c)のように最初に円柱と穴が検出され、図 1(d)のように抽出される。このとき途切れた 2 線分は、その延長により自動修復される。その後 SF が検出できないので補助線を 2 本描く。この補助線は W-junction(W 字の交点)から描く。その結果、図 1(e),(f)のように 2 個の直方体がそれぞれ検出される。次に抽出した全ての SF を 3D 化して、元のスケッチに合致するように組み立てる。この組立に、人間の知覚を利用すると図 1(g)のように寸法が定まり、図 1(h)のような解が得られる。

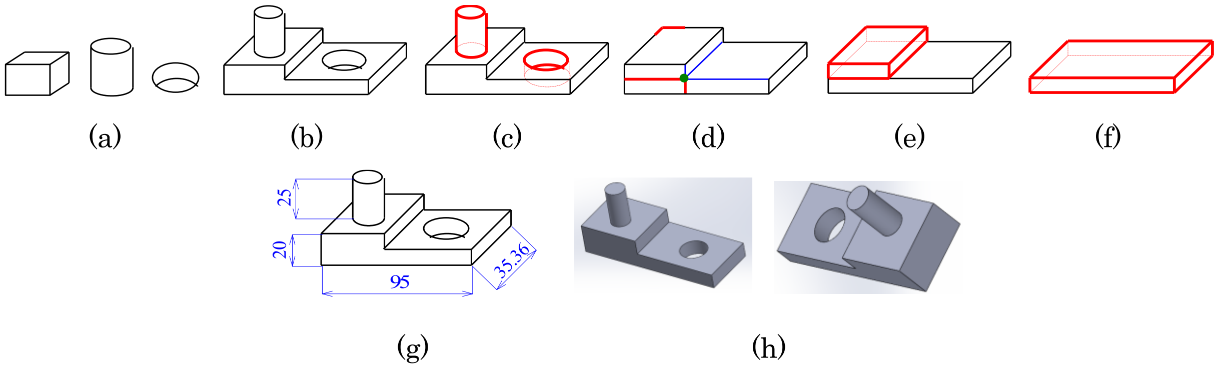


図 1 基本的な 3 個の SF と例題 1

３．応用の可能性

図2は、生成AIに基づく自動変換システムの一つであるTripoでの例題1の実行結果である。純粋な学習システムでは、未学習のモノでも何らかの解答は得られるが、形状の曖昧さや人の知覚に合わない点で課題が多い。本手法では、現在、複雑な形状やイラストのようなSFでも学習システムによる自動検出を進め、機械設計のみならず、より幅広いモノ作りへの応用を進めている。

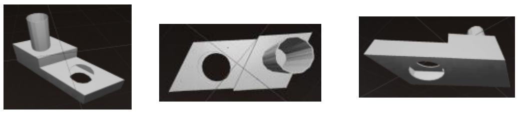


図 2 例題 1 の Tripo での解の外観

DLC 膜のロックウェル密着性評価におけるラマン 5 ピーク分離解析の適用

三菱鉛筆株式会社　梅原啓吾
理工学研究科システム科学専攻　小佐野芳寿
研究・社会連携機構フロンティア理工学研究所　〇中谷達行

概要：Diamond-like Carbon（DLC）膜のロックウェル硬さ試験機を用いた密着性評価において、膜の破壊挙動を数値化し、客観的な定量評価を可能とした。さらに、ロックウェル密着性の解釈においてもラマン 5 ピーク分離による炭素構造解析が有用であることを示した。

１．研究目的

本研究では、Diamond-like Carbon（DLC）膜の研究開発プロセスの効率化と高精度化をさらに推進することを目的として、ロックウェル硬さ試験機を用いた密着性評価（VDI 3198 準拠）において、圧痕周辺に発生したクラックを画像処理により定量化した。また、ラマンスペクトルの 5 ピーク分離解析を適用し、膜の破壊挙動と炭素構造との相関を検証した。

２．ロックウェル密着性評価の定量化とラマン 5 ピーク分離解析による膜破壊挙動の考察

本研究では、成膜方法として RF-CVD（Radio Frequency Chemical Vapor Deposition）法を用いた。基板には鏡面研磨した真鍮板を用いた。中間層は TMS（tetramethylsilane）を用いて成膜した。DLC 層の成膜では、圧力を 1–5 Pa の間で変化させ、RF 出力を 70 W、CH_4 流量を 5 sccm とした。成膜時間は膜厚が概ね 400 nm になるよう調整した。続いて、ロックウェル硬さ試験機（Mitutoyo, HR-300）を用いて圧痕を形成し、圧痕周囲の画像から独自のプログラムでクラックの本数、総延長、平均長、最大長を自動抽出した。DLC 膜のラマンスペクトルは、レーザーラマン顕微鏡（Bruker, RAMANtouch）を用いて励起波長 532 nm で測定した。得られたラマンスペクトルは N, D, G^-, G^+, D'の 5 ピークに分離し、各バンドの解析パラメータとクラックの幾何学的特徴量との相関を分析した。

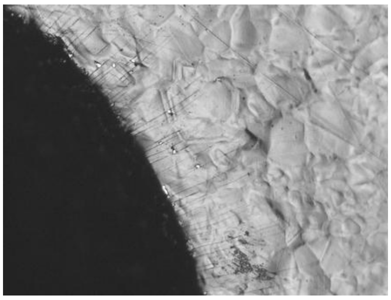


Fig. 1 画像処理に用いた圧痕周辺のクラック形態例

Fig. 1 に画像処理に用いた圧痕周辺のクラック形態例を示す。また、Table 1 にクラック本数と各ラマンパラメータの相関を示す。G^-/G^+バンド面積比および G^+バンド FWHM （Full Width at Half Maximum）とクラック本数は正の相関を示した。一方、D バンド強度とクラック本数は負の相関を示した。これらの結果から、本研究で成膜した DLC 膜では炭素構造中の欠陥状態および歪み状態が、クラック進展挙動に関与することが示唆された。

Table 1 クラック本数とラマンパラメーターの相関係数

Raman Parameters	r
G^-/G^+	0.526
G^+ Band FWHM	0.525
D intensity	-0.560

以上より、DLC 膜のロックウェル密着性評価において、クラック本数が定量評価指標として有効であることが示された。また、ラマン 5 ピーク分離解析が膜の破壊挙動の解釈に有用であることが確認された。

３．応用の可能性

定量化したロックウェル密着性評価とラマンスペクトルの5ピーク分離解析の組合せは、評価の簡便さと精度を併せ持つことから、DLC膜の研究開発への応用が期待される。また、膜設計の最適化プロセスの効率化に寄与すると考えられる。

軸受鋼の転動疲労寿命に及ぼすグリースの影響

工学部機械システム工学科　〇松下太一，原田真之介，闞　正憲
出光 NTG 株式会社

概要：グリース潤滑下での軸受鋼の転動疲労試験を行い，転動疲労寿命に及ぼすグリースの影響を調べた．

１．研究目的

グリースは，転がり軸受を中心に潤滑剤としてよく用いられる．したがって，広範囲の温度環境下で使用でき，潤滑面への付着力が強く，潤滑油に比べてグリースの耐荷重が大きい．そこで本研究では，軸受鋼の転動疲労寿命に及ぼすグリースの性能を検証した．

２．実験方法

本実験で用いた試験片は，直径 60 mm×厚さ 7 mm の高炭素クロム軸受鋼に熱処理を行い，研磨仕上げをしたものである．試験片中心から直径 38.5 mm の位置を 3 個の高炭素クロム軸受鋼製の鋼球が転動する．本実験では，表 1 に示す 3 種類のグリースを使用した．基油 PAO1（動粘度：30.0 mm^2/s）と増ちょう剤のリチウム石けんを混合したグリースを BG とし，基油 PAO1 と増ちょう剤の脂肪族ウレアを混合したグリースを UG-1 とした．そして，UG-1 と同じ基油，同じ増ちょう剤で，増ちょう剤を細かくし，BG と同じ増ちょう剤比率にしたものを UG-2 とした．

試験片表面に 1.735 mL のグリースを塗布した試験片を転動疲労試験機に取り付けた後，試験片上で 3 個の鋼球を転動させ，試験片損傷による異常振動で転動疲労試験機が自動停止するまでの転動疲労寿命 N_f を調べた．

３．試験結果

図 1 に試験面圧 p_{max}=5.4 GPa，5.8 GPa の転動疲労試験で得られた試験片の N_f を示す．3 種類のグリースの中で UG-1 の N_f のばらつきが最も小さく，N_f が長い傾向が見られた．一方，p_{max}=5.8 GPa に比べ，p_{max}=5.4 GPa における UG-2 の N_f のばらつきが大きかった．p_{max}=5.8 GPa においては，3 種類のグリースの中で UG-2 の N_f が最も長くなる傾向がみられた．本研究での範囲内では，転動疲労試験で得られた N_f のばらつきが小さくなかったことから，今後，その他の p_{max} における N_f を調べる必要がある．

４．応用の可能性

試験結果より，グリースが試験片と鋼球間の潤滑剤として機能したと確認できたことから，グリースの応用に繋げられると考える．

表1　グリース

Grease	Base oil	Thickener
BG	PAO1	Lithium soap (Slow cooling)
UG-1	PAO1	Alophatic urea
UG-2	PAO1	Alophatic urea (Strong dispersion)

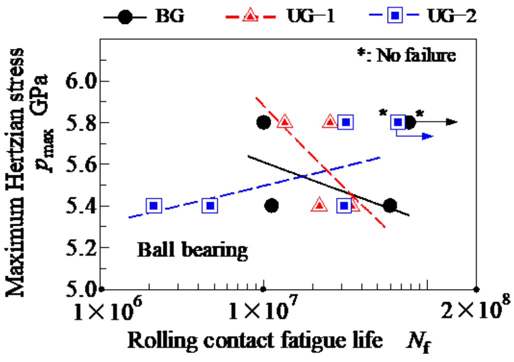


図1　試験片の転動疲労寿命 N_f

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

理工学研究科システム科学専攻　〇松本晃聡
工学部機械システム工学科　須田晴喜，柳樂優海，閤　正憲　　東北大学

概要：気中キャビテーションピーニング装置を用いて，気中キャビテーションピーニングの最適条件を検討する．

１．研究目的

キャビテーションピーニング（以下，CP）は，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．本研究では，被加工材の寸法に制限がない気中 CP 処理装置を用いて，気中 CP の最適条件を検討することを目的とする．

２．実験方法・結果

本研究では，気中 CP による壊食量が大きければ，気中 CP の加工能力が大きいと判断し，気中 CP による壊食状態を確認するために，試験片として，70 mm×70 mm×5 mm の大きさのアルミニウムを用いた．図 1 に本研究で使用した気中 CP 装置の全体図を示す．本研究では，ノズルプレート穴径 d_H=0.8 mm，高速水噴流用ノズル外径 d_{HO}=12 mm，低速水噴流用ノズル内径 d_L=20 mm，高速水噴流の噴射圧力 p_1=5 MPa～35 MPa, 低速水噴流の噴射圧力 p_2=0.06 MPa, CP 処理時間 t=5 min, 試験片表面から気中 CP ノズル先端までの距離 s=5 mm～30 mm で気中 CP 処理を行った．

図 2 に気中 CP 処理を行った試験片について縦軸を p_1，横軸を s で示す．本研究の範囲内で最も深い壊食痕が得られた条件は，p_1=20 MPa，25 MPa，s=20 mm，25 mm となり，理想とする同心円状の壊食痕が見られた．また，s=25 mm，30 mm において，p_1=30 MPa 以上では，気中 CP による壊食が少ないことを確認した．さらに，s=20 mm 以下では，気中 CP による同心円状の壊食痕が三つに分かれており，高速水噴流用ノズル先端を支持する 3 本のねじが低速水噴流を妨げていると考えられる．

３．応用の可能性

本研究の中で最も気中 CP に適している条件は，p_1=20 MPa，25 MPa，s=20 mm，25 mm となり，理想とする同心円状の壊食痕が見られた．また，s=20 mm 以下や，p_1=30 MPa 以上では，気中 CP には不向きであることが得られた．今後は，気中 CP のさらなる最適条件を検討する．

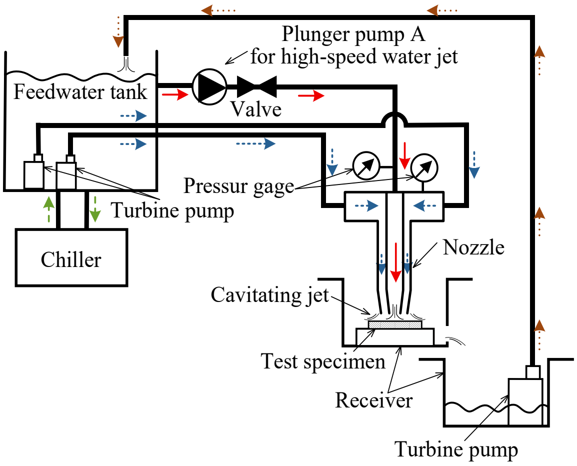


図1　気中CP装置の全体図

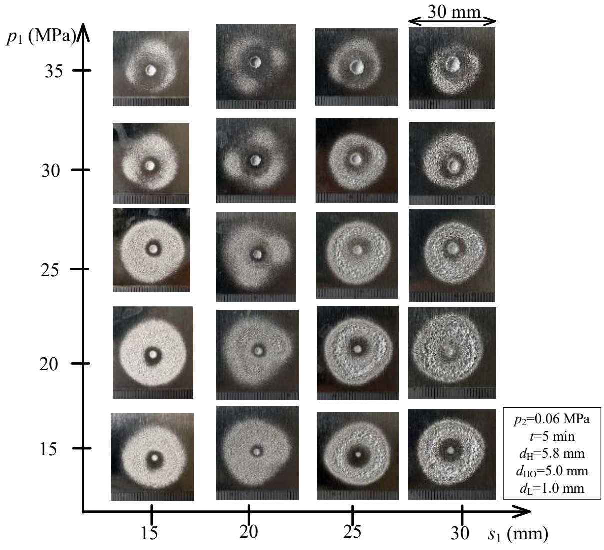


図2　気中CP処理された試験片

プラスチック歯車対と鋼歯車対における歯面間減衰比の測定

工学部機械システム工学科　○神原脩汰，中元秀俊，關　正憲

概要：プラスチック歯車対および鋼歯車対の振動加速度測定を行い，歯面間減衰比を求める．

１．研究目的

鋼歯車対の歯面間減衰比ζ_gはζ_g=0.07となっているが，プラスチック歯車対のζ_gはこれまで求められていない．歯のかみ合いにおける運動方程式を立てるにあたり，ζ_gが必要になる．そこで本研究では，プラスチック歯車対と鋼歯車対の振動加速度a_vを測定し，a_vの波形からζ_gを算出することを目的とする．

２．実験方法

試験歯車として，モジュール 2 mm，基準円直径 48 mm，歯幅 8 mm，歯数 24 の MC ナイロン製平歯車 P，機械構造用炭素鋼製平歯車 S を使用した．まず，a_v を測定するための圧電式加速度ピックアップを締付トルク T_m=200 N·mm で駆動側試験歯車に取り付けた．マルチ入力データロガーはサンプリング周波数をf_s=50 kHz（サンプリング時間Δt=20 μs）とし，各試験歯車の駆動側試験歯車の回転速度（n_1=600 min^{-1}，800 min^{-1}，1000 min^{-1}）と駆動側試験歯車の負荷トルク（T_1=1.0 N·m, 1.5 N·m，2.0 N·m）を変えて，a_v の波形を記録した．

３．実験結果

図 1 に鋼歯車対における S の a_v を測定した結果を示す．圧電式加速度ピックアップに最も近い歯がかみ合った瞬間に a_v の振幅が大きくなっている．時間 t_n における n 番目の振幅を a_n，同様に n+1，・・，n+m 番目の振幅を a_{n+1}，・・・，a_{n+m} とすると，対数減衰率δは式(1)で定義される．そして求めたδを用いて，式(2)よりζ_g を算出する．

$$\delta = ln\frac{a_n}{a_{n+1}} = ln\frac{a_{n+1}}{a_{n+2}} = \cdot\cdot\cdot = ln\frac{a_{n+m-1}}{a_{n+m}} \qquad (1)$$

$$\zeta_g = \frac{\delta}{2\pi} \qquad (2)$$

図 2 に n_1=800 min^{-1} におけるζ_g を示す．S のζ_g は 0.07 程度であり，P のζ_g はそれより小さくなる傾向がみられた．また，正側の T_1=1.5 N·m において S と P のζ_g のばらつきが小さくなった．

４．応用の可能性

鋼歯車対のζ_g は 0.07 に近い値が求められ，プラスチック歯車対においても，ばらつきがあるものの，今後，ζ_g が求められそうである．

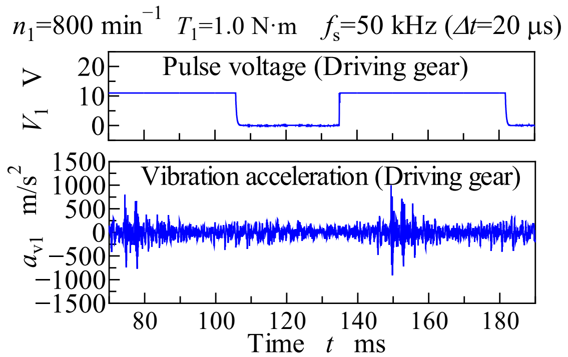


図 1　鋼歯車 S の振動加速度 a_v の波形

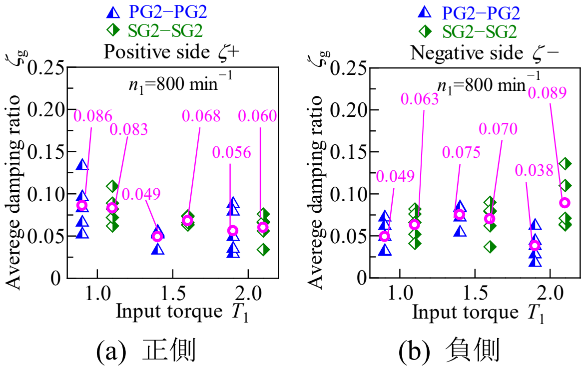


図 2　歯面間減衰比ζ_g（n_1=800 min^{-1}）

アームの回転運動を利用した２軸加振機の可能性

理工学研究科システム科学専攻　〇小島　淳
工学部機械システム工学科　林　良太，武藤和希，吉田浩治

概要：アームの回転運動を利用した 2 次元平面上で振動が可能な 2 軸加振機について検討している。振動フィーダなどの装置において 2 軸加振機の応用可能性の調査を目的に、物体の搬送を実現するための試作機の改良と挙動の解析、搬送の手法の検討を行った。

１．研究目的

振動を活用した運搬、撹拌を行う装置は食品加工業をはじめ広く活用されている。1 軸での加振機を用いた装置が一般的であり 2 軸の加振機を用いることは少ない。本研究では、アームの回転運動を利用した 2 次元平面上で振動が可能な 2 軸加振機について検討している。そこで、2 次元平面上で運動する質量中心によって引き起こされる振動現象を解析し、2 軸で振動する加振機の振動フィーダとしての応用可能性について考察する。

２．実験機と制御による実験

本研究で用いる実験機を Fig.1 に示す。実験機は筐体、アーム、モータ、ばね、アームホルダから構成されている。アームホルダには機軸に対称な位置にそれぞれ 2 つのアームとモータが搭載されている。筐体は床面上に固定している。筐体には、機軸(X 軸)方向とそれに垂直な Y 軸方向にそれぞれスライドガイドとばねを取り付けている。アームホルダは、ばねに挟まれたリニアブッシュを介して、筐体内の 2 次元平面上を任意の方向に振動する。

また、実験機のアームホルダ上部にテーブルを取り付け、テーブル上部の搬送物に振動を加えることが可能な構造にした。テーブルを取り付けた実験機のアームホルダを Fig.2 に示す。しかし、実験機の振動は一様の周期的なものであると、搬送物を任意の方向へ運ぶことは難しい。そこで、繊毛を用いた方向制御の方法を検討する。角度のついた繊毛を脚部に持つ物体に振動を加えると、繊毛の反力により特定方向への動きが制限されるが、180°反対側の抵抗の少ない方向には容易に移動ができるため、直線の振動を受けて前進し続けることが可能になる。実験として繊毛を脚部に取り付けた搬送物をテーブル上部に設置し振動を加えたところ、搬送物が想定した通りに狙った方向への移動行うことが確認できた。

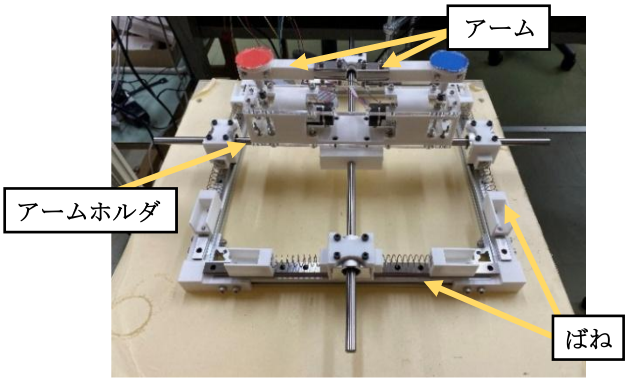


Fig. 1 試作した実験装置

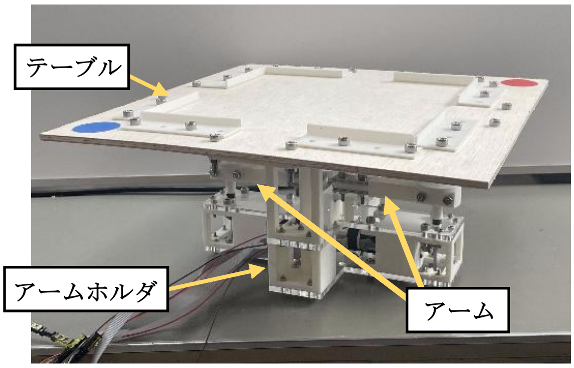


Fig. 2 テーブルを取り付けたアームホルダ

３．応用の可能性

搬送物の進行方向を制限することで、提案する加振機は一方向の振動フィーダとして運用可能であると考えられる。加えて、搬送物自体を回転させて振動方向を調整可能となれば、2 軸加振機として、応用の範囲が広がると考えられる。また、振動フィーダとしての応用のほか、平面内を円形の軌道を取ることで工業材料の撹拌・混合の作業も可能になると考えられる。

熱可塑性 CFRP／A5182 接着重ね合わせ継手の曲げ特性および破壊挙動の評価

理工学研究科システム科学専攻　〇入野誠太郎
工学部機械システム工学科　中井賢治

概要：熱可塑性 CFRP と A5182 からなる接着重ね合わせ継手を対象に，静的および衝撃 3 点曲げ試験を行った．負荷方向，負荷速度および接着剤種類が継手の曲げ特性と破壊挙動に及ぼす影響を検討した．

１．研究目的

近年，自動車や航空機等の輸送機器の分野では，軽量化と高強度化を両立するため，CFRPと金属を組み合わせたマルチマテリアル構造の適用が進められている．その実現には，異材接着継手の機械的特性を明らかにすることが重要である．本研究では，熱可塑性CFRP（CF/PP）とアルミニウム合金A5182の接着重ね合わせ継手を対象に，静的および衝撃3点曲げ試験を実施し，継手の曲げ特性や破壊挙動に及ぼす負荷方向と負荷速度の影響を調べることを目的とする．

２．3 点曲げ負荷における接着継手の特性評価

本研究では，熱可塑性 CFRP（CF/PP）とアルミニウム合金 A5182 を接着した重ね合わせ継手を対象に，静的 3 点曲げ試験およびホプキンソン棒を用いた衝撃 3 点曲げ試験を実施した．接着剤にはアクリル系およびエポキシ系を用い，アルミニウム側または CF/PP 側から荷重を負荷し，負荷方向および負荷速度が曲げ特性に及ぼす影響を評価した．Figs. 1, 2 に，最大曲げ荷重および破壊時たわみのたわみ速度依存性を示す．アクリル系接着継手では，静的条件において負荷方向によらず最大曲げ荷重はたわみ速度の増加とともに増加し，特に Al 側負荷でその傾向が顕著であった．一方，エポキシ系接着継手では，静的条件における最大曲げ荷重の速度依存性は小さかった．また，両接着継手とも静的条件では Al 側負荷の方が CF/PP 側負荷より最大曲げ荷重および破壊時たわみが大きく，より高い曲げ性能を示した．衝撃条件では最大曲げ荷重が増加する一方，破壊時たわみは低下し，負荷方向による差は小さくなる傾向が認められた．以上より，負荷方向，負荷速度，接着剤種類が接着継手の曲げ特性および破壊挙動に大きく影響することを確認した．

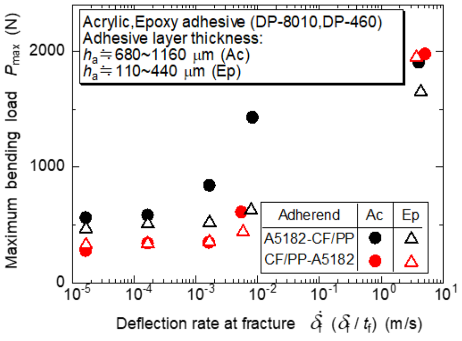


Fig. 1 最大曲げ荷重のたわみ速度依存性

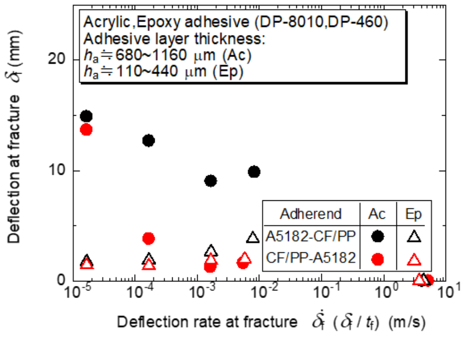


Fig. 2 破壊時たわみのたわみ速度依存性

３．応用の可能性

本研究で得られた知見は，熱可塑性CFRPとアルミニウム合金からなる異材接着継手の曲げ特性を理解する上で有用であり，マルチマテリアル構造の設計・評価技術の高度化に貢献することが期待される．また，接着継手の信頼性向上や適用範囲の拡大に資する基礎データとして活用が期待される．

接着接合したピン・カラー異材継手の衝撃せん断特性の評価

理工学研究科システム科学専攻　〇石井弘倫
工学部機械システム工学科　中井賢治

概要：PP（ポリプロピレン）と Al（アルミニウム合金）の接着継手の圧縮せん断特性（せん断強度，破断時の変形量）に及ぼす変形速度，接着層厚さ，接着剤種類の影響を調べ，どの接着剤においてもせん断強度は正の変形速度依存性を示すことが明らかとなった．

１．研究目的

近年，自動車や航空機などの軽量化や高強度化の手段として，金属材料と樹脂材料を組み合わせるマルチマテリアル化が注目されている．本研究の目的は，ポリプロピレン（以下，PPと略す）とアルミ合金の接着継手のせん断特性（せん断強度と破壊時の変形量）を，ピン・カラー試験片を用いて評価し，それに及ぼす変形速度，接着層厚さ，接着剤種類の影響を調べることである．

２．試験方法及び試験結果

供試材として，PP 丸棒材とアルミ合金 6061-T6 丸棒材を使用し，両者を 2 液混合型エポキシ（3M Japan, Scotch-weld^{TM} DP-460），ウレタン（同社，DP-6310），アクリル（同社，DP-8010）系接着剤を用いて接合することで試験片を準備した．インストロン社製万能試験機（モデル 5500R）を使用して，試験片に対してクロスヘッド速度 1, 10, 100 mm/min にて圧縮せん断試験を，標準型ホプキンソン棒装置を使用して衝撃圧縮せん断試験を行なった．試験により得られたせん断強度の変形速度依存性を，Fig. 1 に示す．変形速度が大きくなるにつれてせん断強度は増加しており，その増加率はアクリル，ウレタン，エポキシの順に影響が大きい．また，せん断強度に及ぼす接着層厚さの影響を，Fig. 2 に示す．アクリル接着剤において接着層厚さが大きいほど，静的負荷下ではせん断強度はわずかに増加し，衝撃負荷下ではわずかに減少している．また，ウレタンとエポキシ接着剤において，静的及び衝撃負荷下ともにせん断強度に及ぼす接着層厚さの影響はほとんど認められない．

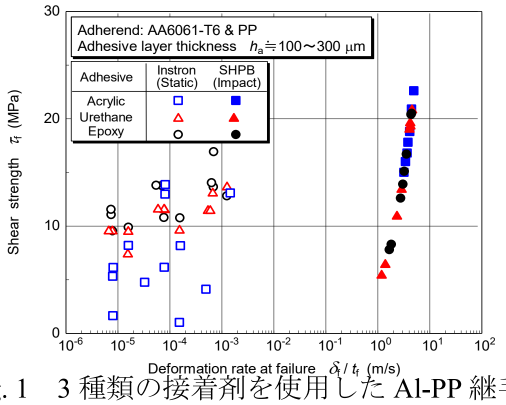


Fig. 1　3 種類の接着剤を使用した Al-PP 継手のせん断強度に及ぼす変形速度の影響

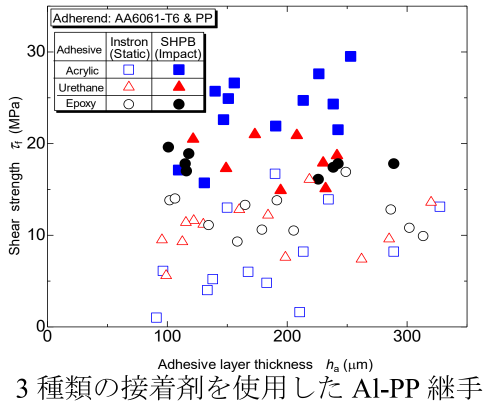


Fig. 2　3 種類の接着剤を使用した Al-PP 継手のせん断強度に及ぼす接着層厚さの影響

３．応用の可能性

異材接着継手の機械的特性の変形速度依存性を精密に評価することで，接着構造物の軽量化及び耐衝撃性に対する信頼性の評価やマルチマテリアル車体構造の耐衝撃安全設計に役立てることができ，温暖化ガス排出量削減を達成することが可能となる．

ハイスピードカメラを用いた多足類の歩容解析

工学部機械システム学科　吉田浩治，林　良太
理工学研究科システム科学専攻　〇塩谷真那斗　西山智也
近畿大学

概要：オオゲジの歩行メカニズム解明を目的として，ハイスピードカメラとサーボスフィアを用いた詳細な歩容解析を行った。その結果，推進期・振戻期・停留期からなる進行波歩容であること，および，尾側から頭側にかけて停留期が増加するという特徴が明らかになった。

１．研究目的

ゲジなどの多足類は高い移動能力を有し，その移動メカニズムの解明は不整地に高い適応性を持つ移動体の開発につながる。しかし，多足類の歩容には神経系や形態学的特徴が複雑に関与しており，特にゲジ目の歩容に関する知見は限られている。そこで本研究では，オオゲジを対象として詳細な歩容解析を行い，その歩行メカニズムの解明を目的とした。

２．歩容解析

オオゲジの歩容観察には，ハイスピードカメラおよびサーボスフィアと言う装置を用いた。Fig 1 に観察対象のオオゲジおよび解析に用いた脚先端と脚付け根の座標点を示す。サーボスフィアを用いることで対象を画角内に保持した状態で長時間の撮影を可能とした。撮影映像の各フレームから脚先端および脚付け根の座標を抽出し，左右脚の付け根位置から体節中点を算出した。さらに最小二乗法により体軸を推定し，体軸に対する脚の振れ角を算出した。第 1 体節および第 14, 15 体節の脚は振動が小さいため解析対象から除外し，第 2～13 体節について振れ角の時間変化を解析した。結果，オオゲジの脚運動は頭側から尾側へ脚を振る推進期，尾側から頭側へ脚を振り戻す振戻期，および振れ角がほぼ一定となる停留期の 3 動作から構成されることが確認された。また各脚の運動開始時刻には体節間で位相差が存在し，尾側から頭側へ順次伝播する進行波歩容を形成していることが示された。Fig 2 に推進期を青色，振戻期を赤色，停留期を緑色にハッチングした右脚の歩容チャートを示す。尾側の脚では停留期がほとんど確認されない一方，頭側へ向かうにつれて停留期が増加し振戻期が減少する傾向が確認された。特に前方脚では停留期が長く維持されることから，周囲環境の探索や後方脚との位相調整に寄与している可能性が考えられる。以上より，オオゲジは体節ごとに異なる運動パターンを有しながら，各脚の位相関係を調整することで安定した進行波歩容を実現していることが示唆された。

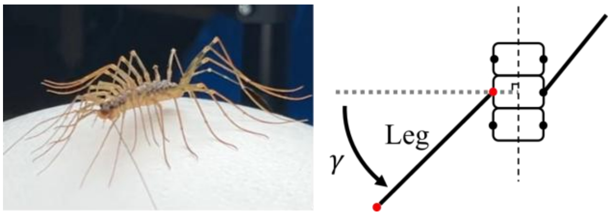


Fig 1　観察対象および脚の振れ角γの定義

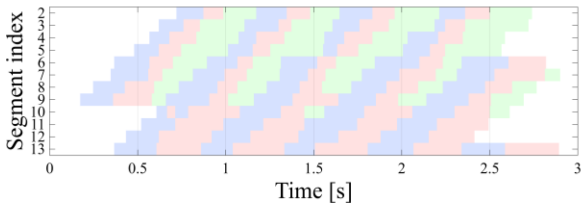


Fig 2　右脚の歩容チャート（第 2～13 体節）

３．応用の可能性

オオゲジの歩容メカニズムの解明を目的として歩容観察および定量評価を行った。結果，推進期・振戻期・停留期から構成される進行波歩容を確認し，頭側ほど停留期が増加することを明らかにした。これらの知見は，不整地に高い適応性を持つ移動体の開発や研究に寄与すると期待される。今後の課題は解析個体数および観察時間を増やし，歩容特性を詳細に評価することである。

変形機構と水平歩容能力を有する柔軟空気圧はしご昇降ロボット

理工学研究科システム科学専攻　〇猿田拓士
情報理工学部情報理工学科 赤木徹也，趙　菲菲，横田雅司
研究・社会連携機構工作センター 篠原　隆

概要：橋梁や煙突,建物に設置された老朽化した梯子などインフラ設備を検査するロボットの開発が望まれている.本報告では伸長型柔軟空気圧アクチュエータを用いた検査ロボットのはしご昇降と蛸の動作を参考にした水平歩容動作について述べる.

１．研究目的

地震が多発する日本において，橋梁や煙突，トンネルなどの老朽化したインフラは崩壊の危険性が高い．特に，老朽化した建造物検査では、建物に設置されたはしごなどは風雨にさらされるため安全性が確保されていないものが多く，人の検査が危険な場合もある．これらの危険な建物に向け整地を移動しはしごを登り，検査者の危険を防ぐことのできる検査ロボットの開発が必要である．そこで，本報告では，水平歩容に加え変形機構を用いたはしご昇降実験ついて述べる．

２．変形機構を有するはしご昇降ロボット

ロボット（図１左参照）は，対向面幅118 mmの正六角形を半分にした厚さ12.5 mmの骨格フレーム2個，蝶番機能を有する接合部，4本の腕/脚兼用ロボットアーム，および4本の伸長型柔軟空気圧アクチュエータ（EFPA）を並列拘束配置した展開用アーム（自然長225 mm）から構成される．EFPAは，ゴムチューブを蛇腹状のスリーブで覆った伸長型のソフトアクチュエータであり，蛇腹同士を拘束することで曲げ剛性と特定の動作を実現できる．4本のロボットアームも同様に，蛇腹を用いて4本のEFPAを途中で膨らみを持つ花瓶状に拘束することで，曲げ剛性を向上させている．

図1右に，試作ロボットのはしご昇降実験の様子を示す．筐体内に配置した展開用アームを加圧すると，左右のフレームが接合部を中心に押し広げられ，2本のアームが並列配置となるように変形する．これにより，2本のアームを用いたはしご昇降が可能となる．上昇動作では，図1右に示すように，2本の柔軟なアーム先端の爪をはしごの踏み桟に引っ掛け，その状態でアームを収縮させることでロボット本体を引き上げる．一方，下降動作では，前方の2本のアーム先端の爪を下側の踏み桟に引っ掛け，アームの伸長と収縮を繰り返すことで下降を行うことができる．

図 1. 試作ロボットとはしご昇降実験

３．応用の可能性

応用可能な産業分野としては，プラント設備のはしごとその壁面の調査が可能である．また，水中でも使用できるアクチュエータでさら使い捨て可能なほど安価であるため，放射能汚染が懸念される原子炉内など，使い捨てを前提としたでの極限環境での調査も可能である．

純チタン製バルーン拡張型冠動脈ステントの最適設計

理工学研究科システム科学専攻　〇芳賀匠海
工学部機械システム工学科　清水一郎，時岡明輝
（株）日本医療機器技研

概要：生体適合性に優れるが力学的性質に劣る純チタンを素材としたバルーン拡張型冠動脈ステント開発を最終目的に、３次元弾塑性有限要素法を用いて、ステントに求められる機能を最大限に発現可能な形状設計指針の確立を目指す。

１．研究目的

人体に為害性のある元素を含まない純チタンは、その高い生体適合性から、整形外科や歯科、循環器外科・内科などで多くの医療機器に使用されている。しかしながら純チタンは、従来のステントプラットフォーム素材である各種合金系と比較して力学的性質に劣るため、我々の知る限り純チタン製ステントは上市されていない。閉塞した血管を拡張して血流を確保するための医療機器であるバルーン拡張型冠動脈ステントには、血管が戻ろうとする力に抵抗して拡張状態を保持するための血管支持力と、バルーンへのクリンプに続く拡張時に損傷が生じない塑性変形能が求められる。そこで本研究では、純チタンの力学的性質を考慮した３次元弾塑性有限要素法解析を実施し、細部形状を種々に変化させた結果から、損傷することなく従来のステント素材に匹敵する血管支持力を発現可能な最適形状について検討した。

２．解析方法

対象とするステントは、冠動脈への適用を前提に、初期外径 1.8 mm、クリンプ時外径 1.08 mm、公称外径 3.0 mm、肉厚 100 μm と設定した。このステントに対して、図１に示すステント展開図における対称性を考慮し、半単位セルを解析モデル化した。この解析モデルにおいて、セル高さ *H* と半セル幅 *W* を固定し、直線部ストラット幅 *ws*、曲線部ストラット幅 *wr*、曲線部外半径 *ro*、曲線部内半径 *ri*、の４つを設計パラメータに選択した。これらのパラメータを、クリンプと拡張が可能な設定範囲内で種々に変化させた複数の解析モデルを作成し、純チタンの力学的性質に基づく３次元弾塑性有限要素法解析を実施した。解析では、クリンプから拡張、その後に血管から反力を受ける過程を模擬し、ASTM F3067-14 に準拠した血管支持剛性と半径方向強度を評価した。同時に、延性破壊基準も評価し、拡張時に損傷が生じないことを確認した。なお、解析結果は、当日のポスターにて公表する。

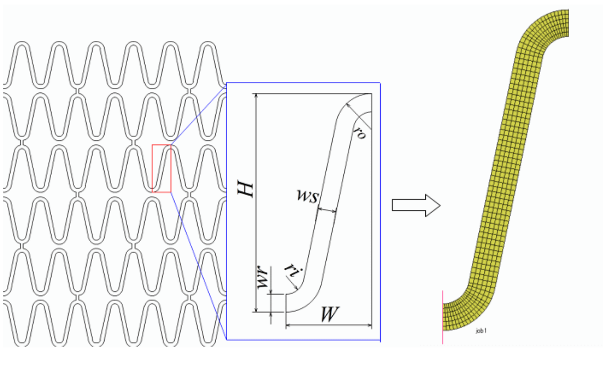


図１　純チタン製ステントモデル

３．応用の可能性

医療機器に限らず、特定の材料が有する特徴から、力学的性質に劣るとしてもその材料を用いたいケースは多い。本研究は、解析的手法に基づき、構造により力学的性質を補完するアプローチの一例に位置づけられる。

海洋波によって引き起こされる海洋混合のメカニズム解明

工学部機械システム工学科　　岩野耕治
理工学研究科システム科学専攻　○柴田芳和

概要：海洋波の存在によって海表面下の乱流混合が促進されるメカニズムを解明することを目的に，水槽実験を実施する．

１．研究目的

本研究の目的は、海洋波が海面下の乱流混合に与える影響を解明し、混合層モデルの精度向上に貢献することである。これにより、海洋と大気の相互作用をより正確に再現し、台風や線状降水帯の予測精度向上につなげることを目指す。特に機械的に生成された水面波が乱流のエネルギー散逸率に及ぼす影響を室内実験で高精度に計測し、そのメカニズムを明らかにする。また、砕波による気泡の巻き込みが乱流を強化または抑制する仕組みを、室内実験と数値計算を組み合わせて解明することを目指す。

２．水槽実験

本研究では、岡山理科大学内に設置した小型の回流水槽（図１）を使用する。図に示すように、水槽の端から造波装置により水面波を生成する。一方、回流ポンプにより水を循環させ、水槽の一部に乱流生成格子を設置し、水流中に乱流をあらかじめ生成しておく。この乱流の状態が水面波によってどのような影響を受けるかを、水面波や乱流の諸特性を変化させながら計測することにより、非砕波混合の特性を明らかにする。実験では熱膜流速計と PIV を用いてエネルギー散逸率を測定する（図２）。水面波の有無によるエネルギー散逸率を比較し、波が乱流混合に及ぼす影響を定量的に評価する。図 3 に本装置で測定された乱流の速度変動スペクトルを示す。図より、水面波が存在する場合の方が乱流強度が増加しており、水面下でのエネルギー散逸が活発になっていることがわかる。これとは別に、水面波が崩壊する際に水中に巻き込まれた気泡による乱流変調の影響も実験と数値計算（CFD）用いて調査し、水面波と水面下の乱流の関係を包括的に理解する実験を実施している。

Fig.1 水槽の概略図

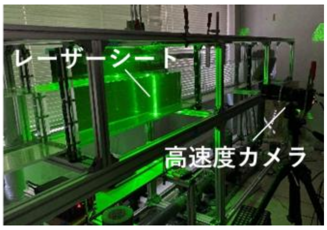


Fig.2 PIV計測システム

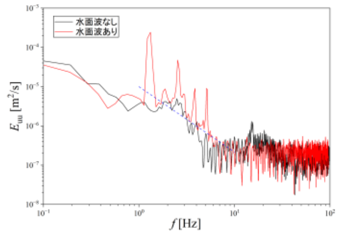


Fig.3 乱流速度変動のエネルギースペクトル

３．応用の可能性

本研究の成果は、海洋物理学、流体工学、気象学などの分野において広範な波及効果をもたらす。特に、波と混合の関係を適切にモデル化することで、台風や線状降水帯の予測精度向上につながるため、人々の安全な生活へと貢献が可能である。

ガス流の温度・流速の瞬時面分布同時計測法の開発

工学部機械システム工学科　近藤千尋，難波和希
理工学研究科システム科学専攻　○菅野勇希

概要：複数の蛍光色素を内包した無機蛍光微粒子を作製するとともに、それを用いたガス温度とガス流速の瞬時 2 次元空間分布の同時計測手法の開発を行っている。

１．研究目的

内燃機関の熱効率向上に関して、点火初期における安定な着火が必要で、そのために点火栓付近を含むガス流速やガス温度分布の把握が重要となる。本研究では、粒子画像流速測定法の改良により、構造物付近のガス流速計測に加え、ガス温度を同時に捉えることを試みている。

２．蛍光微粒子を用いたガス流速・ガス温度の同時計測

本計測手法の要となる蛍光微粒子は、多孔質・真球状・中空の無機微粒子(粒径2.8 μm)を蛍光色素で染色することで、比較的安価・容易・多量に作製でき、低付着性、高耐熱性の特徴がある。

図1に、壁付近も含むガス流の流速計測の原理を示す。粒子群に単波長のレーザ光を照射した際に放つ蛍光光のみを、光学フィルタを通して捉え、固体表面からの迷光を除去しつつ粒子群像を検出する。微小時間差で連写撮影し、その粒子群の移動量からその場のガス流速を計測する。

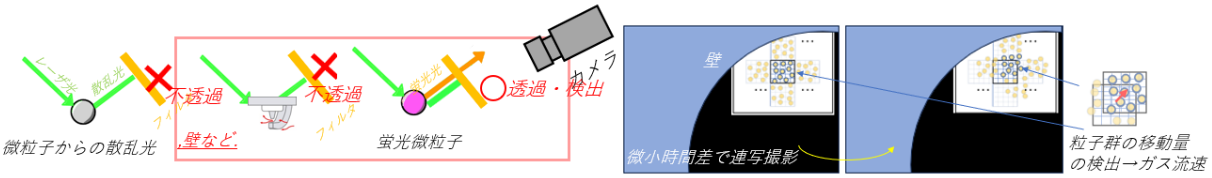


Fig. 1 蛍光粒子群像を用いた壁付近を含むガス流速計測の原理(左)および蛍光像移動量の検出(右)

図2に、ガス温度計測の原理を示す。異なる波長の蛍光を発する色素2種を蛍光微粒子に内包させ、それらの蛍光光強度の温度依存の違いを利用する。2色の蛍光像は図右に示す光学系により1台のカメラの左右の画像として同時に捉える。一方は、ガス流速分布計測の画像と共通である。

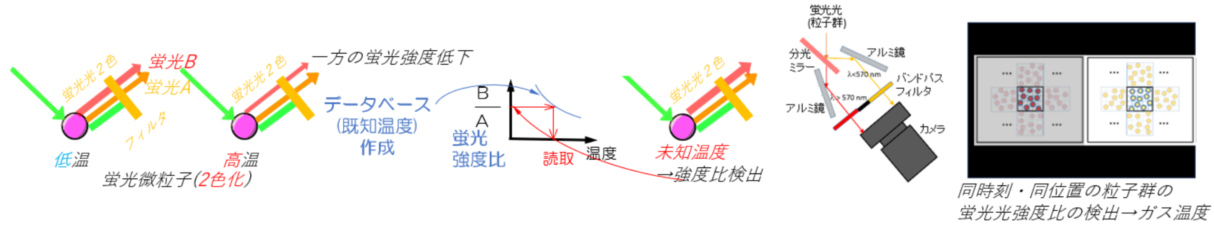


Fig. 2 蛍光粒子群像を用いたガス温度計測の原理(左)および蛍光像取得光学系・2 色強度比の検出(右)

微粒子の粒径が微小のため、数 10 m/s のガス流追従性は良好で、粒子と雰囲気の平衡による熱時定数は粒径のばらつきを考慮しても極細熱電対(粒径 13 μm)より十分低い。

３．応用の可能性

筐体内のガス流動･温度分布も、レーザ入射・蛍光取得用にアクリル部を設けると計測できる。

謝辞：本研究は、JSPS科研費基盤(C)(22K03973)の助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

デジタルバルブユニットの制御性能とエネルギー効率

情報理工学部情報理工学科　○高橋智紀，安並天音，小林　亘
理工学研究科システム科学専攻（了）　宋　羽浩

概要：Digital Valve Unit の流量制御において、差分進化アルゴリズムを組み合わせたモデル予測制御を適用し、HILS シミュレーションを行った。結果として、計算時間 70ms、平均絶対誤差 0.16mm と高い制御性能を維持したまま演算量を削減することを実現した。

１．研究目的

現在、流体制御においては比例制御弁やサーボ弁などが主に用いられている。しかしながら、高価であることや、絞りによる圧力損失が大きいことが課題となっている。そこで本研究では、安価で、開閉動作のみを行う圧力損失の小さいOn/Off弁を並列配置したDigital Valve Unit (DVU)を対象とする。DVUは弁の数が増加すると入力の組み合わせが増加し、リアルタイム性が損なわれる課題を有している。そこで、最適化手法として差分進化(DE)アルゴリズムを適用したモデル予測制御(MPC)を提案し、制御性能を維持したままサンプリング時間内に計算を終える手法に関してHILS (Hardware in the loop Simulation)を用いたシミュレーションにより検証する。

２．提案制御手法の概要

DE は、突然変異、交叉、選択を繰り返す進化的アルゴリズムであり、方向性を持った探索を行うため、収束速度が速く、局所解に陥りにくいという特長を有している。また、MPC はモデルに基づいて将来の挙動を予測し、最適な制御入力を決定する制御手法である。しかし、DVU のような離散値入力型システムでは予測区間全ての予測出力を計算する必要があり、計算量が膨大になってしまう。そこで本研究ではこの最適化に DE を適用することで高い制御性能を維持したまま、演算量を低減することが期待される。

３．提案手法の HILS シミュレーション

提案手法の有効性を検証するため、水圧シリンダを対象とし、シリンダの変位制御系に適用した結果について述べる。Fig.1に実験装置を示す。なお、HILSでは制御器が実機(ESP32)であり、制御対象の数学モデルはシステム同定により導出した離散時間1次遅れ系で表される。

Fig.2に提案制御手法を用いた際の結果を示す。平均誤差0. 16mmとなっており、計算時間は70msという結果が得られた。この結果から、高い制御性能を維持したまま演算量を削減できることが示され、提案制御手法の有効性が確認された。

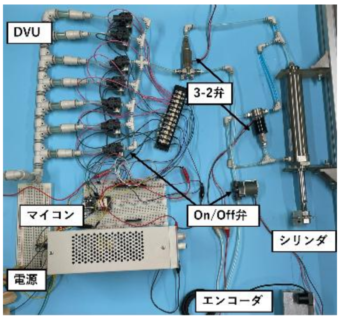


Fig 1　実験装置の構成

４．応用の可能性

本研究で提案する制御手法は、On/Off制御を用いる離散値入力型システムであれば適用可能である。主な適用場所としては、建設機械や航空機などの油圧駆動を用いるシステムではエネルギーの効率化を達成できると考えられる。また、ヒーターやボイラーなどの温度制御やタンク液面の水位制御でも適用可能であり、適用可能範囲は広いといえる。

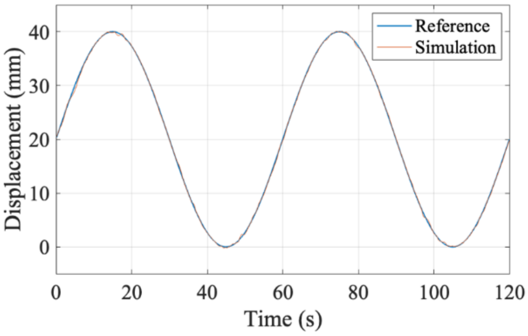


Fig 2　シミュレーション結果

自律分散型の群ロボットを用いた協調搬送アルゴリズムの検証

理工学研究科システム科学専攻，〇高田康平
情報理工学部情報理工学科　小林　亘，李　天鎬
理工学研究科システム科学専攻（了）　谷渕誠一郎

概要：搬送物のサイズや形状に制限されない協調搬送システムとして、可視光によって情報を共有する群ロボットを用いて､各ロボットに作用する荷重を考慮した協調搬送アルゴリズム提案し、シミュレーションによって有効性を検証する。

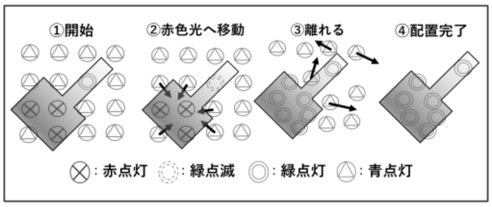
１．研究目的

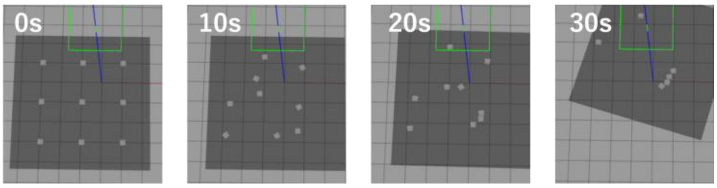
近年、物流業界では、複数体のロボットを用いて物を搬送する協調搬送システムが注目されている。これまでの研究では、重さが均等な搬送物に対して、搬送物の下に均一にロボットを配置することで搬送が可能であることが示されている一方で、偏心形状の搬送物に対しては荷重バランスが崩れ、安定した搬送が困難になる可能性が指摘されている。また、現在導入されている協調搬送システムは自動倉庫といった通信設備が整った環境が前提であり、応用性が低いという課題がある。そこで本研究では、無線での通信が困難な極限環境（水中や放射線環境など）への応用を想定し、ロボット自身にかかる荷重情報と、近傍ロボットの発光色によって自律分散的に適切な配置へと遷移する協調搬送アルゴリズムを提案する。

２．協調搬送アルゴリズム

対象とするロボットは赤、青、緑の 3 種類の光源、カラーセンサ、力センサおよびリフト機構を搭載した差動二輪駆動型ロボットである。提案アルゴリズムの概要を Fig.2 に示す。初期配置されたロボット群の上に搬送物を設置し、アルゴリズムを開始する。各ロボットは計測した荷重に基づき、過負荷を「赤」、不足状態を「青」、適正状態を「緑」として自身の LED を点灯する。「青」のロボットは「赤」のロボットの方向へと移動し、荷重の分散を試みる。「緑」のロボットは「赤」のロボットが消滅するまで待機する。赤の消滅後、「青」のロボットは搬送の妨げにならないように離脱し、緑のみで搬送を開始する。搬送は、全員が同じ方角に前進し、赤が現れると再び配置アルゴリズムを行う。

本手法の有効性を検証するため、ROS2およびGazeboを用いたシミュレーションを行った。検証には、全長281mm、全幅306mm、全高141mmのロボットを9台使用し、搬送物は全長6.5m、全幅6.5m、全高0.5m、荷重45kgの物を使用した。また、ロボットの行動切替の閾値を1.5kg～8.5kgに設定した。Fig.3はシミュレーションの結果であり、ロボット群が荷重の集中している方向へと自律的に移動して不可を分散し、安定した搬送が行えることを確認した。





３．応用の可能性

本アルゴリズムは、通信環境の設備が不要な可視光通信を使用しているため、水中や放射線環境などの、安定した無線通信が困難な環境における搬送作業を自動化するシステムとして応用できる可能性を秘めている。

除草作業ロボットに関する制御システムの開発

理工学研究科システム科学専攻　〇松本龍馬，梶家　龍
情報理工学部情報理工学科　横田雅司
オカネツ工業株式会社

概要：本研究室では、農作業の省力化を目的とした除草作業ロボットの研究を進めている。本発表では、その一環として、実用化の課題となる「斜面作業時の横滑り抑制」および「刈刃の停止抑制」に焦点を当て、その制御手法や実験結果について報告する。

１．研究目的

日本では、少子高齢化により基幹的農業従事者が減少している。それに伴い労働力が不足し、農業生産基盤を脅かしている。農林水産省では、農地バンクを設け、農地の集約し再分配を促進している。除草作業ロボットは、集約後に再分配された広大な土地の管理を省力化する手法として注目されている。農業従事者の負担軽減に向けた除草作業ロボットの自律化において、傾斜面での横滑りや刈刃の負荷によるエンジン停止の回避は重要な課題である。

本研究では、これらのトラブルを抑制する制御システムを開発し、その有用性を検証した。

２．開発した除草作業ロボットの制御システム

- 横滑り抑制制御システム

傾斜面や泥濘道などの過酷な動的環境による振動や路面摩擦の変化などの外乱から横滑りを生じる。そこで、本機内に横滑りを抑制する新たな横滑り抑制制御システムを構築している。横滑り抑制制御システムの研究を進めるため、大型クローラロボットを開発した(Fig.1)。遠隔操作用コントローラから車体速度と進行方向を指定すると、MPU に接続された各種センサを用いてフィートバックを行いながら斜面による横滑りを抑制する。本機に構築した横滑り抑制制御の有効性を確認するために傾斜角 50 の斜面で検証実験を行った。無制御時と比較して提案した横滑り抑制制御時は無制御時と比較して滑落量を約 89%低減できていることを確認した。実験結果から従来の制御方法と比べて大幅に横滑りを抑制していることが示され、本制御システムの有効性を確認した。

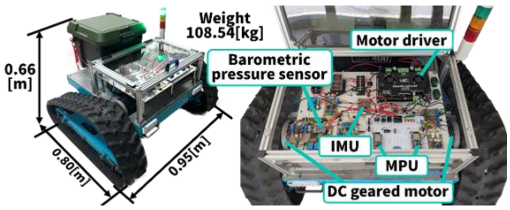


Fig. 1 大型クローラロボット

- 刈刃負荷推定システム

除草ロボットは危険な環境に立ち入ることなく効率的な草刈り作業を可能にする(Fig.2)。しかし、この方式は雑草の密度が高い場所で、刈刃が雑草を完全に粉砕しきれず巻き込み、エンジンに　過大な負荷がかかることで停止してしまうという課題を抱えている。我々は、除草作業中の刈刃の負荷力を推定し、エンジンの停止を抑制する制御システムに関する研究を進めている。

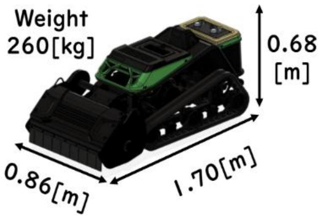


Fig. 2 大型クローラロボット

３．応用の可能性

農業の高齢化に伴い、安全性の高い除草作業ロボットが注目されている。農林水産省の主要政策「みどりの食料システム戦略」にも認定された成長市場である。本研究の横滑り抑制制御システム等の技術は、ロボット分野にとどまらず幅広い分野への応用が期待される。

謝辞

本研究は、オカネツ工業株式会社との共同研究および公益財団法人中国地域創造研究センター2026 年度新価値共同研究プロジェクトの研究助成を受けて実施されています。

酪農作業の負担軽減を目的としたパワーアシスト技術に関する基礎研究

理工学研究科システム科学専攻　○清水拓斗，石畑慎之介
情報理工学部情報理工学科　横田雅司
獣医学部獣医学科　井上陽一，久枝啓一

概要：本研究室では、大型動物の分娩介助における負担軽減を目指し、免荷型アシストスーツおよび助産支援用ウィンチシステムを開発している。本報では、開発した免荷型アシストスーツの性能および検証実験の結果について報告する。

１．研究目的

近年日本は深刻な高齢社会に直面しており、国民全体の約30%が高齢者となっている。この影響は酪農業界でも同様である。酪農作業において酪農家や獣医師への負担が大きい業務の1つに分娩介助が挙げられる。通常、牛は自然分娩を行うが、分娩開始から一定時間が経過しても産出されない場合は難産介助が必要となる。しかし牛の難産介助は母牛の膣から40[kg]にもなる子牛を母牛と子牛の両方の安全を確保しながら慎重に長時間かけて行うため、身体的かつ精神的にも負担が大きい作業である。**本研究では、酪農作業の分娩介助に着目し、大型動物向けの電動式助産器具を備えた免荷型アシストスーツを開発する。本稿では、開発したパワードスーツの機構概要を述べるとともに、実施した筋電センサを用いた検証実験について報告する。**

２．開発した助産支援用免荷型パワードスーツの概要と検証実験

開発した助産支援用免荷型パワードスーツを Fig. 1 に示す。本装置は、子牛を引き出す長時間の作業を電動式助産器具であるウィンチが補助することで負担を軽減する。本体重量をフレーム介して地面へ逃す「免荷構造」を採用している点が最大の特徴であり、下半身のアシストを担う「レッグパーツ」、上半身を保持する「バックパーツ」、ウィンチ制御機構を内蔵した「腰部ユニット」の 3 部位で構成されている。本スーツの検証実験では、未装着、ガススプリングのみ、ガススプリングと空気圧シリンダ併用の 3 パターンの支援方法を対象に、2 種類の動作による比較評価を行った。その結果、未装着時と比較してスーツ装着時には筋活動量が約 20%軽減され、本スーツの有用性が確認された。

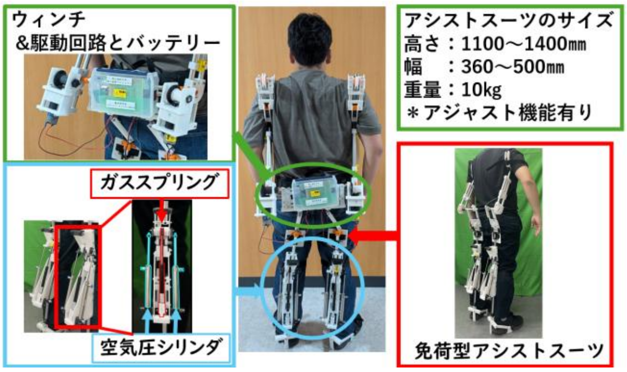


Fig. 1 助産支援用免荷型パワードスーツ

３．応用の可能性

本システムの開発を進める上で支援時の身体負担メカニズムを解明し、新たな制御や支援方法の最適化を行うことは、福祉機器産業の発展に貢献できる。また、このアシスト装置の技術などは酪農分野やリハビリテーション分野のみならず、多岐の分野に応用されることが期待できる。

- 特許「発明名称：アシスト装置」特願：2021-165534
- 特許「発明名称：家畜用分娩支援装置及び家畜分娩方法」特願：2024-214360

謝辞

本研究は、2025 年度岡山理科大学プロジェクト研究推進事業（いきものQOL の新次元：獣医療工学が創る地域発スマートアニマルヘルスケアの実証）の研究助成を受けて実施されました。