

NSK-FAM

研究助成・教育助成 成果報告書

No. 3 4

公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団
2021（令和3）年度（第12期）助成事業分

2024（令和6）年8月

公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団
NSK Foundation for the Advancement of Mechatronics

ま え が き

当財団は2010（平成22）年11月公益認定を受け公益財団法人NSKメカトロニクス技術高度化財団と改称し移行いたしました。旧財団法人時代の助成事業を継承してまいり所存でございます。

この方針に基づき、このたび移行後の公益財団法人NSKメカトロニクス技術高度化財団2021（令和3）年度（第12期）助成事業分の「研究助成・教育助成 成果報告書 No. 34」をお届け致します。

これは、2022（令和4）年4月から2024（令和6）年3月の2年間に行われた“メカトロニクス技術の高度化”のための助成研究と技術教育助成の成果であり、研究者の皆様がご報告下さいました「成果の概要」、担当代表教員の皆様のご報告下さいました「教育の概要等」をそのまま掲載したものです。今回の成果をこの分野の技術の発展及び教育の充実のために、ご活用いただければ幸いです。

さて2023（令和5）年度の助成事業のうち研究助成として17件、教育助成として高専のメカトロニクス技術教育へ複数の教員や学科・専攻のチームを支援対象とするA助成には2件を採択し、2017年度から募集を開始した教員個人に対するB助成への採択はありませんでした。

助成事業の累積件数は、公益財団移行前の財団時代から、昨年度まで、研究助成、交流助成、集会助成、教育助成を合わせて970件（うち研究助成664件、教育助成（A助成、B助成含め）56件）、助成金額にして約1,202百万円（研究助成 約1,021百万円、教育助成 約109百万円）となりました。

当財団は今後ともメカトロニクス技術の高度化により社会へ貢献することを目指して、1件でも多く助成が出来るように助成費用の捻出に努め、研究者・教育者の皆様のご期待に応えられるよう最大限努力してまいり所存でございますので、ご支援、ご鞭撻の程お願い申し上げます。

2024年8月

公益財団法人 NSKメカトロニクス技術高度化財団

理事長 内山 俊弘

目 次

研 究 題 目	助成対象者 (共同研究者)	頁
1. サブマイクロ・ナノすきましゅう動における 潤滑油の流れ分布と 摩擦力の同時計測法の提案		1
名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノ機械理工学専攻	助 教 東 直 輝	
2. 偏心偏角カムによる大変位量進行波メカニズムを用いた全方向移動機構の開発		2
大阪大学大学院 基礎工学研究科	特任助教 阿 部 一 樹	
3. 心疾患を早期発見する心エコー検査支援ロボットシステム		3
早稲田大学理工学術院 総合機械工学科	教 授 岩 田 浩 康	
4. 超分子のホスト-ゲスト相互作用を利用した自己修復性・ 超低摩擦特性を兼備した次世代トライボロジーシステムの創製		4
横浜国立大学 環境情報研究院 (東京理科大学 工学部 機械工学科)	助 教 大 久 保 光 教 授 佐々木信也)	
5. 鉄道運動制御におけるラピッドプロトタイピング環境の構築 ～むだ時間、量子化の制約下での先端運動制御～		5
東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻 (東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻)	准教授 大 西 亘 教 授 古 関 隆 章)	
6. ディープラーニングを用いたスマート研削盤の開発 - 加工過程における砥石作業面の劣化状態の可視化 -		6
佐世保工業高等専門学校 電子制御工学科	教 授 坂 口 彰 浩	
7. 機械要素製品に用いられる高硬度鋼のパニシング切削機構に関する研究		7
金沢工業大学 工学部 機械工学科	教 授 坂 本 重 彦	
8. 動作環境の変動に対して頑健な固有モード分離制御型完全差動 FM 磁場センサ		8
東北大学 工学研究科 ロボティクス専攻	准教授 塚 本 貴 城	
9. 微粒子を援用した炭素系硬質薄膜の摩耗促進潤滑油添加剤の 特定を可能とする実験手法の開発		9
名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノ機械理工学専攻	准教授 野 老 山 貴 行	
10. シリコンおよび窒素添加による高耐熱性ダイヤモンドライクカーボンの開発		14
弘前大学 大学院理工学研究科 電子情報工学科	教 授 中 澤 日 出 樹	

研 究 題 目	助成対象者 (共同研究者)	頁
1 1. 高専発 スペースデブリお掃除システムの基礎研究開発		15
阿南工業高等専門学校 創造技術工学科 (豊田工業高等専門学校 機械工学科)	教 授 原野智哉 准教授 田中淑晴)	
1 2. 独立駆動巻線モータと逆相電流重量法による故障時のトルクレベル維持と リップル抑制を共に実現する EPS 用冗長系モータシステムの研究		16
長岡技術科学大学 電気電子情報系	准教授 日高勇氣	
1 3. 汎用ドライバで駆動可能な 3 自由度球面アクチュエータの開発		17
名古屋大学工学研究科 機械システム工学専攻	准教授 部矢 明	
1 4. 粒子画像流速測定法を利用したしゅう動面でのグリース流動評価に関する研究		18
関東学院大学 理工学部 理工学科・機械学系	教 授 宮永宣典	
1 5. 原子間力顕微鏡および中性子線を使った有機系潤滑添加剤の 温度／摩擦に対する膜状態変化の把握		19
京都大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻	特定助教 山下直輝	
1 6. 両方向ローラクラッチの高回転化に関する研究		20
東海大学 工学部 機械システム工学科	准教授 山本 建	

(敬称略・50 音順 所属機関成果報告時)

目 次

科 目 名	助成対象者	頁
A助成		
1. 函館工業高等専門学校 生産システム工学科 生産システム創造実験 I	准教授 鈴木 学	21
2. 旭川工業高等専門学校 システム制御情報工学科 エンジニアリング演習 ものづくり実習 創造工学基礎演習	教 授 中村基訓	24
B助成		
1. 熊本高等専門学校 制御情報システム工学科 シーケンス制御 制御情報システム工学実験 III 制御工学II	教 授 柴里弘毅	28
2. 北九州工業高等専門学校 生産デザイン工学科 メカトロニクス工学 I メカトロニクス工学 II	助 教 鈴木尊丸	30
3. 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 ものづくり演習 制御工学 機械工学実験 II 特別演習	准教授 室巻孝郎	32

(敬称略・50音順 所属機関成果報告時)

サブマイクロ・ナノすきましゅう動における 潤滑油の流れ分布と摩擦力の同時計測法の提案

東 直輝 名古屋大学 助教

1. 目的

表面加工技術の発展によって、機械要素間のすきまがマイクロからサブマイクロ・ナノスケールと狭小化している。一方で、サブマイクロ・ナノスケールの微小なすきまに閉じ込められた流体の特性は、バルクとは異なるため、従来の流体潤滑理論を適用することが困難である。サブマイクロ・ナノすきまに閉じ込められた潤滑油の特有な流体特性のメカニズム解明とミクロスケールの流体潤滑理論の構築には、潤滑油の流れ分布を明らかにすることが必要である。潤滑油の流れ分布測定には、一般に、潤滑油内に蛍光粒子を溶解し、蛍光粒子の流れを蛍光顕微鏡によって追跡することで実現されてきたが、これまでは、蛍光粒子として蛍光分子を塗布したサブマイクロからマイクロメートルの直径の粒子を用いていたために、潤滑油の定量的な流れ分布測定は実現されていなかった。また、流体特性のメカニズム解明と潤滑理論の構築には、固体二面間の潤滑油の流れ分布を測定するとともに、垂直力や摩擦力などの力を計測し、潤滑油の流れ分布と力の相関を明らかにすることが重要である。したがって、サブマイクロ・ナノすきまに閉じ込められた潤滑油において、流れ分布と力の新しい計測システムの構築が必須である。

2. 研究内容

本研究では、サブマイクロ・ナノすきまに適用できるナノメートルサイズの蛍光分子の蛍光追跡を実現できれば、サブマイクロ・ナノすきま内の潤滑油の流れ分布測定を実現できると着想した。そこで、バイオイメージングに用いられる直径がナノメートルサイズの蛍光物質である量子ドットに着目し、量子ドット一粒子の蛍光追跡を用いたサブマイクロ・ナノすきま内の潤滑油の流れ分布の測定法を確立することを目的とした。また、流れ分布と力の相関を明らかにするため、流れ分布とともに垂直力や摩擦力の力を測定可能な計測装置を考案し、実験的に検証を行った。

第一に、量子ドット一粒子を用いたPIV法によるナノすきま内の流れ分布計測の実現を試みた。ピエゾアクチュエータによってすきまを狭小化させた際に中心から放射形状に発生するスクイーズ流れの計測を行い、本手法のサブマイクロ・ナノすきま内の潤滑油の流れ分布の測定への有効性を示した。第二に、平行板バネと分光干渉レーザ変位計を用いた力計測の実現を試みた。検証として、すきまが狭小化されてナノメートルオーダーになった際の垂直力の計測を行い、本計測システムを用いて高感度な力測定が可能であることを示した。本研究で考案・構築した計測システムは、ナノすきまのせん断流れ分布計測と摩擦力の計測にも応用が可能である。本システムを用いてサブマイクロ・ナノすきまに閉じ込められた流れ分布と力を計測できれば、潤滑油の流れと力の相関から、潤滑油の特有な流体特性のメカニズム解明とミクロスケールの流体潤滑理論の構築に貢献できると考えられる。

3. 成果

論文：(1) [N. Azuma et al.](#), Tribology Letters 71, 12 (2023).

国際会議：(2) H. Ozeki, [N. Azuma et al.](#), International Tribology Conference 2023(ITC2023) (2023).

(3) H. Ozeki, K. Miki, [N. Azuma et al.](#), 2022 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2022) (2022).

偏心偏角カムによる大変位量進行波メカニズムを用いた 全方向移動機構の開発

阿部一樹 大阪大学 特任助教

1. 目的

不整地や狭隘空間、砂礫上や泥濘上において優れた踏破・旋回能力を有する全方向移動メカニズムを構築できれば、社会におけるロボットの活動範囲をより広く拡大することができる。本研究では、偏心と偏角を有するカム機構を用いた大変位量の進行波メカニズムによる、全方向移動機構を提案する。また、理論モデルの構築と試作を通し、本提案の有効性を確認する。

2. 研究内容

偏心偏角カムは、カムフォロアに円形状の軌跡を描かせ、接地面を「蹴る」ように駆動する進行波を生み出すことができる(図1, 右)。これを円筒状へ拡張することで、波動方式でありながらも移動性能の高い全方向移動メカニズムを形成することが可能となる(図1, 左)。このような波動方式は外部をひと続きの皮膜で覆うことが可能であるため、防水・防塵性の面で優れるという特徴を持つ。

図2は、カムの偏角量 ϕ [deg]と偏心量 s [mm]のバリエーションによって得られる、カムフォロアの先端の位置変位の軌跡の理論値である。これより、段差乗り越え性能、すなわちカムフォロアの振り上げの高さには偏心量が、そして接地部分の水平方向の移動速度には偏角量が支配的であることが分かる。

原理モデルの試作を通し、全方向移動体へと総合を行った(図3)。開発した波送りユニットを図4の左に示す。1つの偏心偏角カムに対して2つの直交するカムフォロアを統合するという、2自由度の駆動力伝達を可能としたこれまでにない複合構造である。このカムフォロアを断面円形とすることで、図1のコンセプトに対応した全方向波送り機構を実現している。図4の右は、接地面のコマ撮り図である。従来の波送り機構とは異なる接地部の水平方向への大変位に駆動する様子を確認した。

3. 成果

- (1) 偏心偏角カムによる大変位量波送りメカニズムによる全方向移動体のコンセプトを提案した。
- (2) 数値解析による調査により、段差乗り越え性は偏心量が、移動速度は偏角量が支配的であることが明らかとなった。
- (3) 移動体への統合により全方向波送りユニットを試作し、理論通り大変位量の推進の様子を確認した。

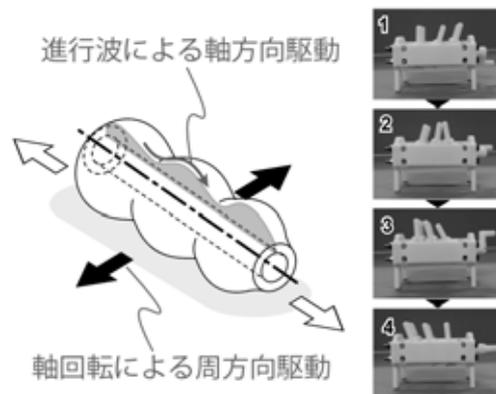


図1, 波送り全方向メカニズムの原理

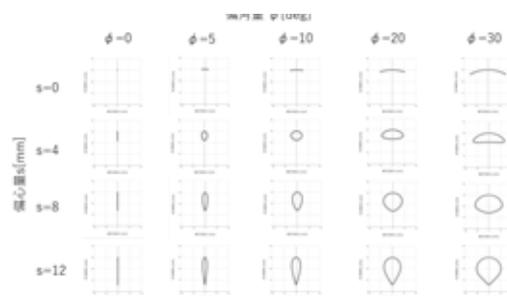


図2, 偏角量と偏心量による軌跡

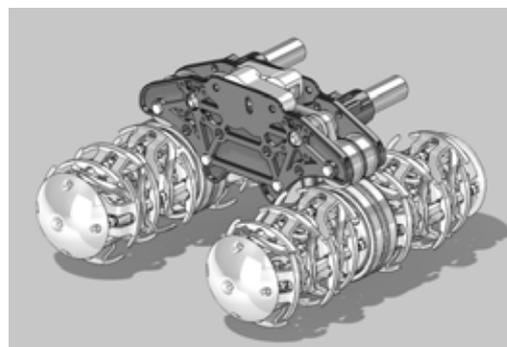


図3, 試作移動体の CAD スケルンモデル



図4, 試作した全方向波送りユニット

心疾患を早期発見する心エコー検査支援ロボットシステム

岩田浩康 早稲田大学理工学術院 教授

1. 目的

現在の日本では、心疾患による死亡率が非常に高く、早期発見が非常に重要である。この現状に対して非侵襲的で高精度な診断が可能な心エコー検査による定期健診が注目されている。しかしながら、心エコー検査は難易度が高く、医師や検査技師には高い技術や経験則が求められるため、医師が不足している。本研究ではこの問題に対して、ロボットによる自動心エコー検査を目指した安全性の高い心エコーロボットとそのロボットによる基本断面自動取得手法を構築し、心疾患の早期発見促進を図る。

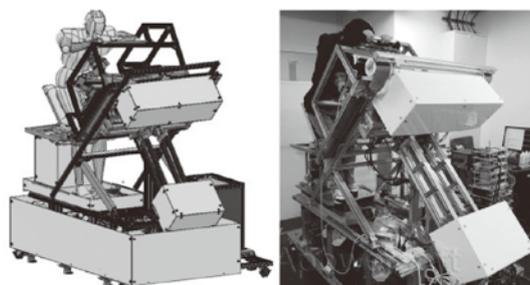


図1 着座式心エコー検査支援ロボット

2. 研究内容

(1) 座位姿勢心エコー検査支援ロボットの開発

従来の検査では鮮明な画像を取得するため左側臥位の姿勢で行われてきた。この姿勢でロボットによる超音波検査を行う場合、ロボットが患者を覆うために、患者が圧迫感を感じてしまう。座位姿勢で検査可能な心エコー検査支援ロボットを開発し、圧迫感のない自動心エコー検査を実現する。

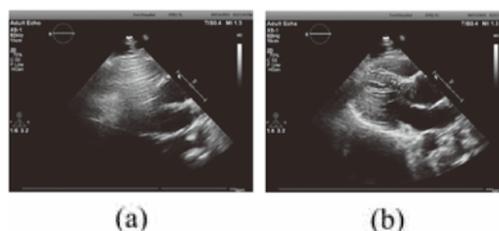


図2 肺の影響とエコー画像(a)影響あり (b)影響なし

(2) 肺・脂肪の影響を考慮した鮮明なエコー画像取得手法の構築

肺・脂肪の影響で画像が不鮮明になる課題がある。鮮明なエコー画像を取得するためには適切な呼吸指示による肺気量の調整やプローブの押付圧の調整による脂肪層の圧縮が重要となる。そこで、適切な肺気量や姿勢、プローブ押付圧を導出し、ロボットによる適切な身体状態への誘導を行う。

(3) ビジュアルサーボを用いた基本断面探索手法の構築

心疾患の診断には左室長軸像、左室短軸像、心尖部四腔像の3つの基本断面の自動探索が必要である。各基本断面の取得には検査機器を適切な位置・角度に当てる必要があるが、これらには個人差があり、患者ごとに探索する必要がある。そこで、ロボットで胸部領域を網羅的に探索し、複数のエコー画像に対して機械学習による心臓部位の同定を行うことで、基本断面を取得可能な位置・角度の推定を行う。

3. 成果

(1) 座位姿勢における心エコー検査が可能であるか検証を行った上で、患者に圧迫感を与えず、かつ身体に負荷のかからない着座式心エコー検査ロボット”Orizuru”を開発しました(図1)。

(2) エコー画像における肺・脂肪の影響を指標化し、その指標をもとに呼吸指示・プローブ押付圧の調整を行うことでエコー画像の鮮明化を図るビジュアルサーボ手法を構築しました(図2)。

(3) 深層学習を用いた物体検出モデルによって推定される心臓の僧帽弁を規範とした左室長軸断面探索手法を構築し、標準体型の患者において75%以上の推定精度で左室長軸断面を自動取得可能にした。

超分子のホスト-ゲスト相互作用を利用した自己修復性・超低摩擦特性を兼備した次世代トライボロジーシステムの創製

大久保光 横浜国立大学 助教

[研究成果の要約]

本研究では、超分子材料（ホスト-ゲスト相互作用ゲル）に着眼し、超分子材料の基礎的なトライボロジー特性とその潤滑機構の把握をした。また、超分子材料の潤滑機構の把握のため、摩擦場における種々の因子を把握可能なマルチモーダルオペランド計測システムを構築した。

1. 目的

本研究では、近年、材料科学分野で目覚ましい発展を遂げている「超分子材料（ホスト-ゲスト相互作用ゲル）」に着眼し、そのトライボロジー応用に向けた基礎特性・潤滑機構の把握を目的とする。また、目的の実現のため、摩擦界面における多因子計測を実施可能な装置「マルチモーダルオペランド計測装置」を開発し、種々の超分子材料に適用し、その潤滑機構の把握を目指す。

2. 研究内容 ※自己修復ゲルの自己修復性・トライボロジー特性を中心に簡潔に述べる

本研究では、超分子材料とりわけ自己修復ゲルに着眼し研究を進めた。作製した超分子ゲルとその自己修復能の例を図1に示す。創製した自己修復ゲルは、刃物により切断した場合においても、切断面を接触させることで、即座に切断面は自己修復した。

図2及び図3に創製した自己修復材料のトライボロジー特性及び摩擦場における自己修復能をそれぞれ示す。本研究で創製した自己修復ゲルは、摺動初期において超低摩擦性（摩擦係数：0.01以下）を発現した。また、予め摩擦面中心を切断した状態で摩擦実験を実施した場合、弾性変形に伴うゲルの形状変化により、切断部分が接触する事で、摩擦場にて切断面は自律的に修復した。

3. 成果

- (1) 超分子のホスト-ゲスト相互作用に基づくゲル材料は、適当な摩擦条件において超潤滑特性を発現する。
- (2) 超分子ゲルは、接触・摩擦に伴う弾性変形により、損傷部を自己

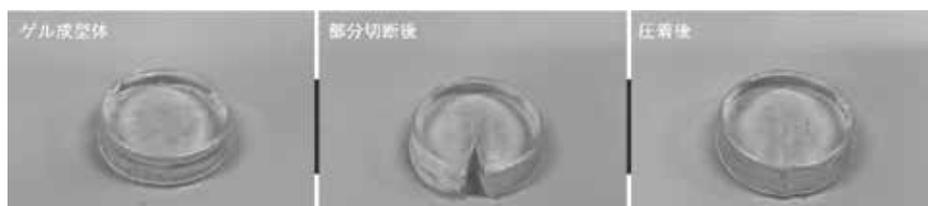


図1 超分子ゲルの自己修復

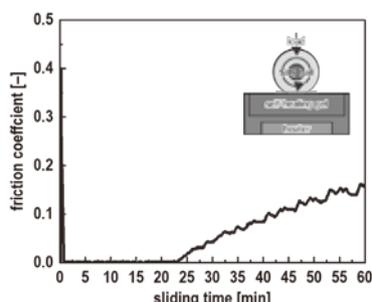


図2 超分子ゲルの超低摩擦性

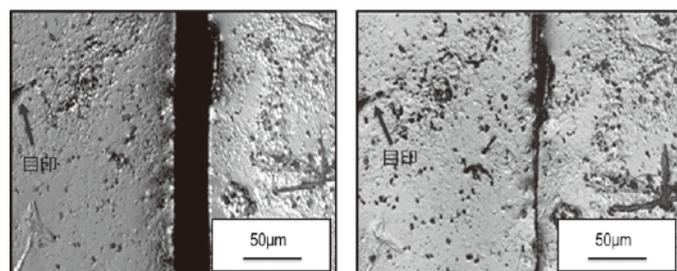


図3 超分子ゲルの摩擦場における自己修復

鉄道運動制御におけるラピッドプロトタイピング環境の構築 ～むだ時間、量子化の制約下での先端運動制御～

大西 亘 東京大学 准教授

1. 目的

将来の労働力人口の減少に備えて、鉄道事業の省人化が求められている。その一環として、列車の自動運転が提案され、一部路線では実用化されている。しかし、自動運転用制御器の調整の難しさや、鉄製車輪と線路の滑りやすさ等の、鉄道車両自体の制御の難しさ等の要因が自動運転の普及を妨げている。

そこで普及を後押しするべく、鉄道車両の制御技術を試験するための環境が求められている。図1に示す本研究で開発した装置は、リニアモータにより実車の輪重に相当する力を変化させ、実車の走行条件による最大粘着力の変動を高速に再現できることを特徴とし、本装置による鉄道車両の走行再現を通して、再粘着制御や自動運転を含む鉄道車両の制御法の評価を行い、将来の鉄道運行を担う制御技術の進歩に貢献することを目的とする。

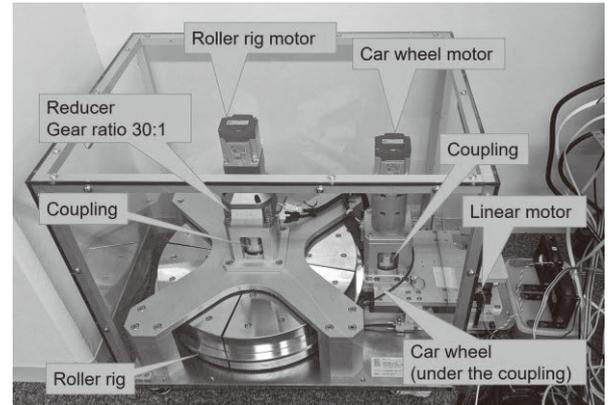


図1 開発した軌条輪装置の外観

2. 研究内容

2.1 実験装置のハードウェア構成

主に、実車の車輪を1/10スケールで模擬する「車輪」・線路を模擬する「軌条輪」・車輪と軌条輪を押し付けあう「リニアモータ」から構成され、鉄製の車輪・軌条輪を接触させながら回転させることで実車の鉄車輪・鉄線路による走行を模擬する。本装置独自の特長として、リニアモータの推力制御を通して、車輪・軌条輪間に発生し実車の推進力に相当する力である「粘着力」の最大値を変動させる機構を有している点が挙げられる。

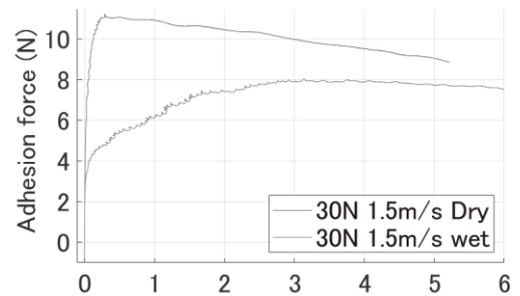


図2 軌条輪乾燥・水濡れの両条件における滑り速度と粘着力の関係の例

2.2 粘着特性の実測

車輪と軌条輪の接線速度差である「滑り速度」と、粘着力の関係の実測結果を図2に示す。実車と同様に i) 滑り速度が小さい条件下では滑り速度上昇と共に粘着力が上昇する ii) ある滑り速度で粘着力がピークに達する iii) 滑り速度をさらに大きくすると粘着力が減少する iv) 軌条輪が水に濡れている場合、乾燥時と比べ最大粘着力は低下し、最大粘着力発生時の滑り速度は上昇する ことを確認した。

3. 成果

- (1) リニアモータにより車輪と軌条輪の押し付け力を高速に変動させ、様々な走行条件を疑似的に模擬できることを特徴とする、新しい構成の軌条輪装置を開発した。
- (2) 軌条輪装置の粘着特性を実測し、実車と同様の特性を持つことを実証した。
- (3) 軌条輪部品が水に濡れた条件下においても、実車と同様に、乾燥条件と比べて粘着力のピークは低下し、粘着力がピークとなる時の滑り速度は上昇する粘着特性を持つことを確認した。

ディープラーニングを用いたスマート研削盤の開発 - 加工過程における砥石作業面の劣化状態の可視化 -

坂口彰浩 佐世保工業高等専門学校 教授

1. 目的

研削加工過程において、砥石作業面に切りくずが付着したり、砥粒先端が摩耗するなど砥石作業面状態の劣化に伴い加工精度や加工能率の低下を引き起こす。これを防ぐためには、砥石作業面状態を適切に維持する必要があるが、今なお、熟練技術者の経験や勘に依存しているのが現状である。このような技術者の多くは高齢であり、優れた技能の消失の危機にさらされており、その定量的評価手法の開発が求められている。そこで、本研究では、ディープラーニングを用いて、砥石作業面状態を定量的に評価する手法を開発し、加工実験ごとの評価結果を比較することで、加工過程における砥石作業面の劣化状態を定量的に評価する。

2. 研究内容

砥石作業面の劣化状態を定量的に評価するためには、砥石作業面の同一箇所を評価する必要がある。

そこで、本研究では、Fig.1 に示すように、研削盤の砥石カバー上部に撮像装置を設置し、砥石作業面の画像を取得できるようにした。なお、砥石軸にはエンコーダを設置し、砥石の回転情報を同時に取得することで、砥石作業面の任意の箇所の画像を取得できる。また、砥石回転情報を用い、低速(30/rpm)で回転している砥石作業面を取得することで、砥石作業面全域の画像を短時間(20 秒程度)で取得できる。取得した画像(#200 のレジ

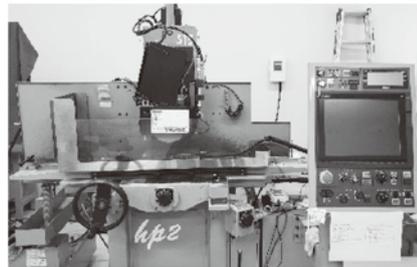


Fig.1 機上計測装置

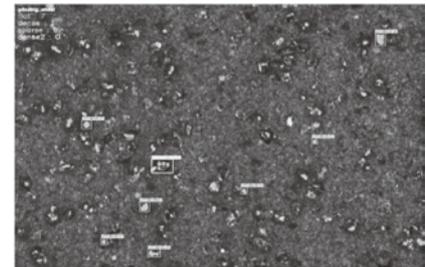


Fig.2 検出結果例

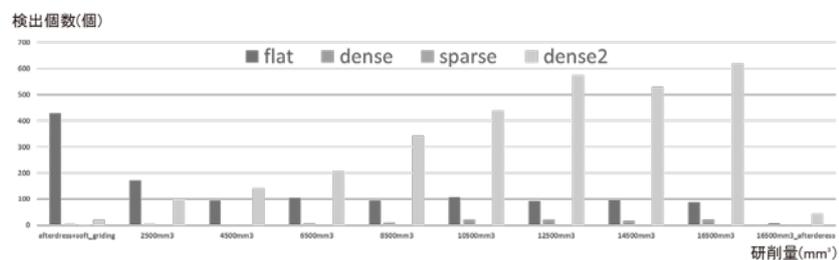


Fig.3 加工過程における特徴領域の変化形態

ポンドダイヤモンド砥石)に対し、先端が大きく平坦化した砥粒(Flat)、複数の砥粒が凝集した領域(dense)、砥粒が疎らな領域(sparse)、大きく平坦化した砥粒が凝集した領域(dense2)をディープラーニングの1つであるYOLOを用いて検出するモデルを構築した。次に、加工実験を繰り返し、その都度取得した砥石表面画像に対し、構築したモデルを用い各検出数を算出した。Fig.2 に検出した砥石作業面の例を、Fig.3 に加工過程における各検出数の変化形態を示す。Fig.3 から、特にdense2が加工に伴って増加していることがわかる。つまり、特にこの領域に注目し、加工精度や熟練技能者の経験とすり合わせることで、経験や勘を定量的に評価できるようになると考えられる。

3. 成果

- (1) 研削盤上で回転している砥石作業面の画像を取得可能となった。
- (2) 砥石作業面に存在する特徴的な領域(任意に設定可)の検出器を作製可能となった。
- (3) 加工過程において、特徴的な領域の変化形態を定量的に評価可能となった。

機械要素製品に用いられる高硬度鋼のバニシング切削機構に関する研究

坂本重彦 金沢工業大学 教授

1. 目的

機械要素部品の材料で多く用いられる高硬度鋼は、焼入れ・焼戻し処理が施され機械的特性や耐摩耗性に優れるが、被削性があまり良くないとされている。焼入れされた高硬度鋼は、部分的に焼入れが入った箇所と生材部を持ち、全く異なる切削メカニズムとなりうる。本研究では、PVD 被膜を施したコーティング超硬工具を使用して、汎用旋盤および超精密旋盤でのミクロンレベルの切込み量が、クロムモリブデン鋼における焼入れの有無に対して、仕上げ面の硬度を実験的に検討する。

2. 研究内容

被削材はクロムモリブデン鋼で、形状は直径 20mm、長さ 50mm の中実丸棒を用いて端面切削を行った。被削材は外周面から高周波焼入れされており、外周から 2mm 幅を焼入れ部、芯部中心から 8mm を生材となる。使用した工具は、超合金の母材に PVD 被膜された市販の普通切削用超硬コーティング工具である。普通切削加工として、汎用旋盤で切削速度 $V=12.5\sim 63\text{m/min}$ 、切込み量 $d=0.05\text{mm}$ 、送り速度 $f=0.05\text{mm/rev}$ で端面切削した。焼入れ部における加工面の硬度は、加工前の 710HV から加工後では 800HV 程度まで図 1 に示すように上がった。切込み量 $d=5\mu\text{m}$ の超精密切削では、最大高さ粗さ $R_z=100\text{nm}$ 前後の仕上げ面を得ることが可能となり、図 2 のように 823HV まで硬度も上がった。

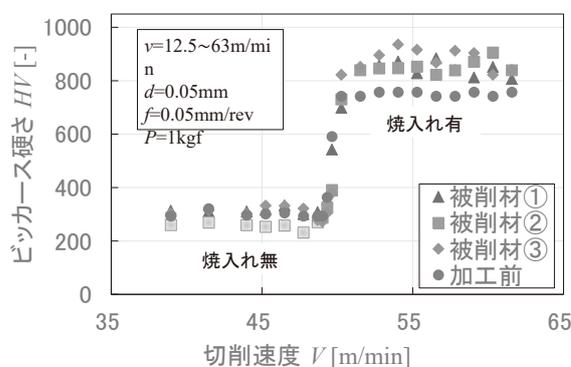
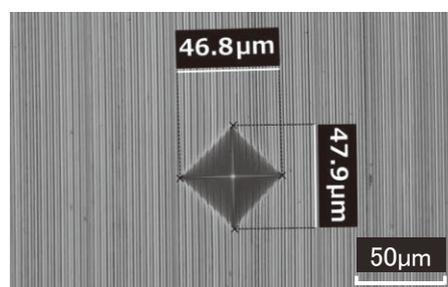


図 1 普通切削加工面のビッカース硬度



823HV, $R_z=127.6\text{nm}$
[$V=26\text{ m/min}$, $d=5\mu\text{m}$, $f=3\mu\text{m}$]
図 2 焼入れ部のビッカース硬度

3. 成果

コーティング超硬工具によるクロムモリブデン鋼の切削において、切削速度が仕上げ面硬さおよび仕上げ面粗さに及ぼす影響を実験的に検討し、以下の結論を得た。

(1) 高周波焼入れされたクロムモリブデン鋼は、切削後に加工硬化が確認された。汎用旋盤および超精密旋盤のいずれにおいても、切込み量 d が $50\mu\text{m}$ および $5\mu\text{m}$ と小さいとき 700HV から 800HV まで硬化していた。

(2) クロムモリブデン鋼で組織が異なる生材と焼入れ部を高精度に加工するためには、刃先がホーニング処理されていない鋭利なコーティング超硬工具が有用であることを確認した。 $5\mu\text{m}$ の切込み量とする超精密切削では、生材および焼入れ部のいずれにおいても良好な鏡面加工を実現できた。

動作環境の変動に対して頑健な固有モード分離制御型完全差動FM磁場センサ

塚本貴城 東北大学 准教授

1. 目的

磁気センサは慣性計測ユニット(IMU)の重要な構成要素であり、ジャイロスコープや加速度センサと共に、姿勢や自己位置推定のために使用される。特にMEMSを用いたものは低価格で小型であるため、今後ますますの使用が想定される。しかしながら従来のMEMS磁気センサでは、感度と帯域幅のトレードオフが避けられないなどの課題があった。本研究では、これらの課題を解決できる新しい原理に基づくMEMS磁気センサの実現を目指した。

2. 研究内容

提案手法ではMEMS振動子の共振周波数の変化を用いて磁気を検出する。X軸とY軸の共振周波数が完全に等しい縮退振動子の2つの固有モードが磁場によって変調される現象を用いる。もしくは、X軸とY軸の共振周波数がわずかにずれた2自由度共振器を用い、X軸(Y軸)の共振周波数をY軸(X軸)の運動に同期させたセンシング電流によって周波数を変調させる。これらの周波数変化から磁場の大きさを測定する。

4質点共振器をベースとした構造を設計・製作し、実験により周波数が変調することを確かめる。また、この構造はジャイロスコープとしても動作可能であることから、磁気と角速度を同時に測定するための方法を検討する。

3. 成果

実験の結果、印加ローレンツ力と周波数変調振幅は線形関係にあり、感度は 7.31×10^8 [Hz/N]であった。また、周波数測定のアラン分散からバイアス不安定性を評価したところ、35 nTと高い安定性が得られた。本研究では、従来課題であった感度と帯域幅のトレードオフを解決できるFM原理に基づくMEMS磁力計の動作を実証することができた。今後は温度特性の評価など、さらなる改良と実用化が期待される。

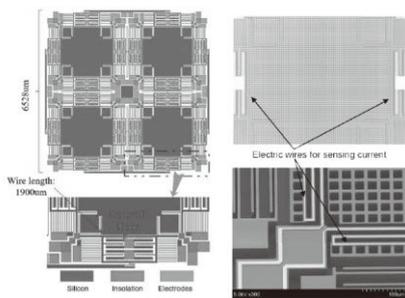


図1 FM磁気センサ用のMEMS振動子。

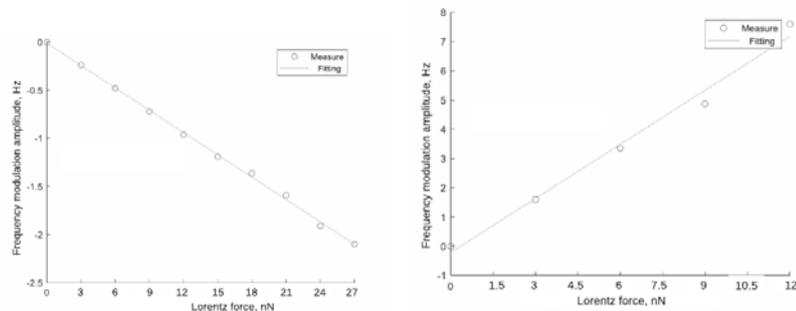


図2 磁場によって生じるローレンツ力と周波数変化の関係。2つの振動モードの周波数が磁場に対して逆応答をすることで、温度等の環境変動の影響を排除可能。

微粒子を援用した炭素系硬質薄膜の摩耗促進潤滑油添加剤の特定を 可能とする実験手法の開発

野老山貴行 名古屋大学 准教授

1. 目的

日本の自動車分野では環境への配慮、排ガスからの有害化学物質の削減、および低エネルギー消費の必要性から、電気自動車やハイブリッド車が顧客にとって最も人気のあるラインアップとなりつつある。発展途上国では、依然として内燃機関を搭載した自動車が製造され続け、エンジンシリンダ内のピストンリングとライナで発生する摩擦力と熱を減少させることは依然として重要な研究対象である。ダイヤモンドライクカーボン (DLC) の摩耗が固体粒子や潤滑油添加剤によって加速されるメカニズムを理解するためのアプローチがいくつかあるが、これらの添加剤の潤滑能力の劣化が摩耗加速自体の理解を妨げてきた。

以前、著者らはモリブデンジチオカルバメート (MoDTC) から供給される分解物質が、水素化アモルファスカーボン (a-C:H) およびシリコン添加水素化アモルファスカーボンの摩耗を室温で加速させる効果を報告した。粉末状の MoDTC が、これらの粒子の硬度に関係なく、三酸化モリブデン (MoO_3) よりも摩耗を加速する能力が高いことを発見した。純 Mo, MoO_3 , MoDTC, および二硫化モリブデン (MoS_2) の中で最も硬度が高い炭化モリブデン (Mo_2C) は、その硬度のため、研磨分野で研磨剤として有用であり、摩耗を促進する主要な役割を果たしている。MoDTC は分解しやすい化合物であり、その物理的および化学的構造が変化する傾向があることが報告されている。以前の研究では、液体の MoDTC の分解から生じる中間生成物が DLC の摩耗を加速することが仮定されており、 MoS_2 や MoO_3 などの Mo 由来の化合物も水素化 DLC にトライボ層を形成し、化学的摩耗を促進することが報告されている。その他の Mo 由来化合物である Mo_2C も、DLC 表面に研磨摩耗を引き起こすことが明らかにされている。

DLC 膜の摩耗に対して、多くの結論や仮定が報告されている。例えば、Al-Jeboori らは、MoDTC を含む完全配合潤滑油で a-C:H に対する摩擦試験を行った際、摩擦試験中に MoO_3 が形成されなかったと報告している。一連の研究から、彼らは MoDTC を含む潤滑油による a-C:H の摩耗メカニズムの一つとして、MoDTC の分解によって MoS_2 が形成され、C-H 結合との反応および共有結合の切断によるものと報告した。Okubo らは、API (American Petroleum Institute) の規格である 0W-20 の完全配合油下で、AISI 52100 ベアリング鋼球に対する a-C:H のその場ラマン観察を報告しました。彼らの結果は、a-C:H と AISI 52100 鋼の間の摩擦下で MoDTC を含む油が分解され、鋼表面にリン酸塩関連の耐摩耗添加剤が厚いトライボ層を形成し、その最上部に MoS_2 が存在していることを示しました。これにより、「摩耗なし」の a-C:H コーティングが生成されました。Okubo らは、「高摩耗」は Mo_2C の形成によるものであると結論づけている。MoDTC の分解に関連する a-C:H の摩耗加速は、摩擦中に形成される主な Mo 材料の種類によって強く影響されると考えられ、Mo 化合物が摩耗を加速することは確かだが、それが MoDTC 自体なのか、または MoDTC の分解から派生した化合物のいずれかであるかはまだ明らかではない。実際のエンジン条件下で摩耗を促進する主要な Mo 由来化合物を特定することは重要であるものの、ラマン分析は表面から数百ナノメートルの情報を含むことから、実際の表面に関する情報は少なく、表面層の深部 (すなわちバルク内部) に関する情報が多く得られるという欠点がある。摩擦試験を経たさまざまな Mo 関連材料を用いた a-C:H 表面の最上層の情報を取得し、比較することができれば、摩擦

の影響を研磨，酸化，化学反応として分類できる．著者らは，室温および境界潤滑下で， Mo_2C 粉末が硬粒子として a-C:H 表面を傷つける研磨効果を持ち， MoO_3 粉末が触媒効果によって摩擦を加速することを報告しました．しかし，これらの粒子が通常の内燃機関の動作温度と考えられる 80°C のポリ α オレフィン基油中で a-C:H の摩擦を促進するかどうかは明らかでない．そこで本研究では， 80°C での摩擦加速効果のメカニズムを明らかにするため，微粒子を用いた摩擦試験を行い，摩擦面の極表面測定のために表面増強ラマン分析 (SERS) を使用して a-C:H の最上層に関する情報を取得する．

2. 研究内容

境界潤滑条件下で，異なる Mo 由来の粉末を使用して 80°C でボールオンディスク摩擦試験を行った．実験装置の概要を図 1 に示す．(a) は正面図，(b) は上面図です．上側の相手材は，直径約 8.0 mm の高炭素クロム軸受鋼 (SUJ2) ボールであり，a-C:H コーティングされたディスクに押し付けた．a-C:H は化学気相成長法 (CVD) を用いてシリコンウェハ [Si (100)] 基板にコーティングされた．a-C:H コーティングは，ベースオイルと 5 種類の異なる粒子の一つを混合したオイルバスに浸され，オイルバスは回転軸に接続されており，回転部分内にヒータと熱電対が装備され温度制御されている． $19.0 \text{ mm}^2/\text{s}$ の粘度を持つベースオイル (PAO) に粒子を分散させて用いた．粉末混合物は 80°C に加熱され，油温が a-C:H の摩擦に与える影響を明らかにした．摩擦試験を開始する前に，各ベースオイルと 5 種類の粒子の混合物を，超音波洗浄機を用いて 1 時間かく拌し，粒子の沈降を抑制した．各試験は 80°C ，1.0 N の荷重下で，最大初期ヘルツ接触圧 455 MPa，速度 0.05 m/s で 10 分間 1500 サイクル実施しました．

a-C:H のコーティング硬度を決定するために，ナノインデンテーション試験 (Elionix, ENT-1100a) を実施し，硬度は約 13.0 GPa であることを確認した．表面粗さを定量化するために，原子間力顕微鏡 (AFM) 測定 (SPM-9700HT) を行った．a-C:H の算術平均表面粗さ Ra は 1.0 nm で，コーティング厚さは約 0.5 μm である．

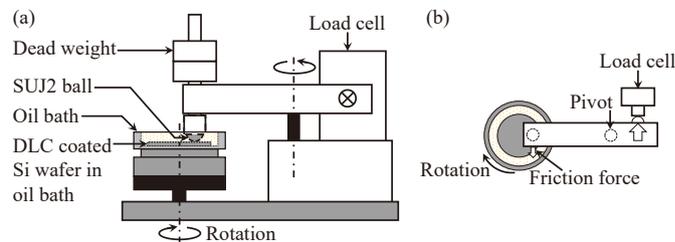


図 1 ボールオンディスク摩擦試験機の模式図 (a) 正面図および(b) 上面図

5 種類の粒子 (MoDTC , MoS_2 , Mo , MoO_3 , Mo_2C) のサイズは 2.0~5.0 μm である．これらをベースオイルに体積比 0.1% で分散させた．図 2(a)–(e) は，粒子の電界放出型走査電子顕微鏡 (FESEM; JEOL, JSM-7000FK) 画像を示す．粒子の硬度は MoDTC (1.0 GPa)， MoS_2 (1.0 GPa)， Mo (1.5 GPa)， MoO_3 (2.5 GPa)， Mo_2C (15 GPa)． MoO_3 粒子は実験的に MoS_2 から合成した．

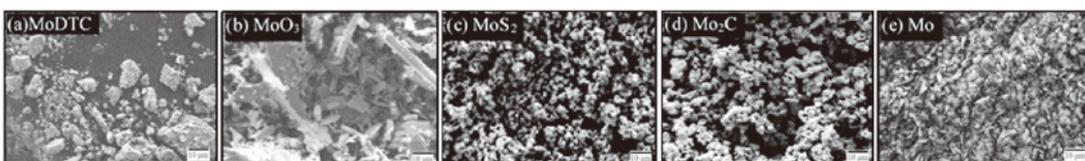


図 2 FESEM で観察された添加剤粒子の画像(a) MoDTC ，(b) MoO_3 ，(c) MoS_2 ，(d) Mo_2C ，及び(e)純 Mo

油の汚れや汚染物質を取り除くため、摩擦試験の前後に各サンプルをベンゼンとアセトンで超音波洗浄機を用いて洗浄した。摩擦痕の形成された a-C:H ディスクを光学顕微鏡と FESEM で観察した。その後、ラマン分光分析装置 (Jasco, NRS1000; プローブ直径約 2 μm) を使用し、532 nm 波長の照射下で分析し、通常のラマンおよび SERS 結果を得るために 800–1800 cm^{-1} の範囲にて、10 mW の出力により測定した。

3. 成果

(1) 摩擦試験後の a-C:H ディスクをレーザ顕微鏡で観察し、得られた断面情報から比摩耗量を計算した結果を図 3 に示す。MoDTC, MoO₃, MoS₂, Mo の摩耗痕は深いスクラッチ痕の無い摩耗状態であったが、Mo₂C の摩耗痕外側には多くのスクラッチ痕が観察された。これは、Mo₂C 粒子が SUJ2 球と a-C:H との間に挟まれ、研磨砥粒のように作用したためと考えられる。図には 80°C での摩耗量と比較するため 23°C のデータもいくつか追加している。Mo に関連する粒子が無い場合、比摩耗量は非常に小さく、約 $3.5 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ である。優れた固体潤滑剤である MoS₂ は最も低い比摩耗量 $w = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ を示した。MoDTC と Mo もほぼ同じ低い比摩耗量を示し、それぞれ約 $7.9 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ および $8.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ であった。これは、おそらく両方の粒子の硬度が 1.0–1.5 GPa 程度と低いことに起因している。低硬度では、高温下でも比摩耗量の化学的または機械的な大幅な増加を引き起こしませんでした。しかし、硬度が低い (2.5 GPa) にもかかわらず MoO₃ の比摩耗量 $25.7 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ は非常に大きく、23°C での比摩耗量 $3.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ に比べると約 8 倍増加していたことが明らかとなった。

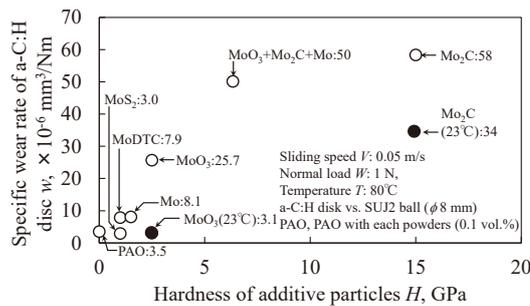


図 8 さまざまな潤滑状況下での a-C:H ディスク比摩耗量。

(2) SERS 解析により、最表面の深さ 2 nm 未満からラマンデータを取得した。通常のラマンデータ (実際には「バルク」データを表す) と摩耗痕の最表面からのデータを比較するため、さまざまな種類の粒子を含む潤滑剤で生成された表面を準備し分析した。a-C:H 膜に含有される水素濃度を算出し、水素濃度と得られた比摩耗量の関係を図 13 に示す。黒いシンボルは表面情報のみを示す SERS 結果であり、図中の白抜きシンボルはバルク測定結果である通常のラマン測定結果である。Mo 関連の粉末の中で唯一 MoS₂ が SERS から水素含有量の減少が確認された (約 20 at.%)。この結果は、MoS₂ 粉末が境界潤滑条件下で膜から水素を引き抜くこと示唆している。MoS₂ を除いて、他の摩擦試験表面は通常のラマンデータと比較して SERS データから高い水素濃度となることが明らかとなった。この結果は、摩擦面に介在する粒子によって炭素原子が化学的に引き抜かれた可能性が示唆されている。

従来報告されているいくつかの摩耗メカニズムは、DLC 膜に水素を含むか否かにかかわらず、DLC 膜が MoO₃ または Mo₂C によって攻撃されることが示唆されている。MoDTC の分解は特に Barros' Bouchet らによって報告されており、MoDTC が最初に MoS₂ に分解され、その後 MoO₃ が生成されると報告されている。MoS₂ は最表面から水素を引き抜く可能性が本研究で明らかになったことから、摩擦試験の初

めから中期にかけて摩擦後、a-C:H 表面には水素が減少し、次に MoO₃ が炭素原子とトライボケミカル反応を起こすものと考えられる。

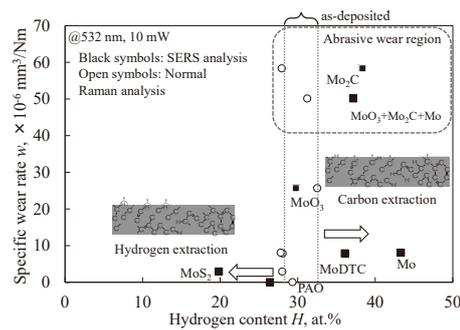


図 13 通常のラマンスペクトル（白抜き）および SERS（黒）を使用して測定された a-C:H 膜の摩擦痕における異なる粒子に対する水素濃度

以上、本研究をまとめると以下の結論が得られた。MoDTC が潤滑油中における化学反応から分解され、生成された中間物質による摩擦促進メカニズムを解明するため、境界潤滑下 80°C 環境において Mo 由来の粒子を含む PAO 潤滑における SUJ2 球と a-C:H 膜の摩擦摩擦特性を明らかにするため、摩擦試験を実施し比摩擦量の測定を行った。a-C:H の摩擦を促進する重要な役割を果たす Mo 由来の化合物を特定するため、MoDTC 粒子、MoS₂、MoO₃、Mo₂C、および Mo の 5 種類を用いた。

1. Mo₂C を含む潤滑剤下での a-C:H 膜の比摩擦量は他の粒子を用いた場合に比べ最も高く、約 $58 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ であった。この値は 23°C (約 $34 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) より高いが、化学的摩擦促進とは考えにくく、Mo₂C による摩擦機構は機械的なアブレシブ摩擦と考えられる。
2. MoO₃ を含む潤滑剤下での a-C:H 膜の比摩擦量は約 $25.7 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ と中程度であるものの、この値は室温における比摩擦量の 8 倍であり、温度上昇は MoO₃ 由来の比摩擦量を大幅に増加させた。粒子の硬度は a-C:H 膜に比べ非常に低いことから、化学的摩擦が促進されたものと推測される。
3. SERS 分析により、最表面から約 2 nm 以下の深さからラマンデータを取得した。その結果、摩擦痕の最表面で水素含有量が大幅に減少したのは MoS₂ を含む摩擦条件のみであった (as-deposited の 30–35 at.% に比べ 20 at.% に減少)。Mo や MoDTC を含む潤滑油中の場合、SERS 測定による最表面の水素含有量は増加していた。摩擦によって a-C:H 膜表面の水素量が増加するとは考えにくいことから、Mo や MoDTC 自体による a-C:H 膜の摩擦は炭素原子の脱離機構を有するものと考えられる。

MoDTC が潤滑油中における化学反応から分解され、生成された中間物質による摩耗促進メカニズムを解明するため、境界潤滑下 80°C 環境において Mo 由来の粒子を含む PAO 潤滑における SUJ2 球と a-C:H 膜の摩擦試験を行った。得られた摩耗体積から比摩耗量の測定を行った。a-C:H の摩耗を促進する重要な役割を果たす Mo 由来の化合物を特定するため、MoDTC 粒子、MoS₂、MoO₃、Mo₂C、および Mo の 5 種類を用いた。また、各粒子による摩耗機構を解明するため SERS 測定を用い、最表面とバルクの比較を行い、a-C:H 膜の水素含有量について明らかにした。その結果、従来から報告されているように Mo₂C は機械的摩耗促進機構であることが明らかとなった。一方、MoS₂ は a-C:H 膜の最表面から水素を脱離させる化学摩耗を促進していることが新たに明らかとなった。

1. 目的

本研究では、MoDTC 由来の中間生成物による a-C:H 膜の摩耗促進機構を明らかにするため、MoDTC 粒子、MoS₂、MoO₃、Mo₂C、および Mo の 5 種類の粒子を混合した潤滑油中における摩擦試験の実施、a-C:H 膜の摩耗量の測定から、粒子混合環境における摩擦試験方法の確立と、摩耗機構解明を行った。

2. 研究内容

5 種類の粒子 (MoDTC, MoS₂, Mo, MoO₃, Mo₂C) のサイズは 2.0~5.0 μm である。これらをベースオイルに体積比 0.1% で分散させた。粒子の硬度は MoDTC (1.0 GPa), MoS₂ (1.0 GPa), Mo (1.5 GPa), MoO₃ (2.5 GPa), Mo₂C (15 GPa)。MoO₃ 粒子は実験的に MoS₂ から合成した。これらの粒子を含む PAO 潤滑油中において a-C:H 膜の摩擦試験を行い、摩耗量測定を行った。その結果、Mo₂C を含む潤滑剤下での a-C:H 膜の比摩耗量は他の粒子を用いた場合に比べ最も高く、約 $58 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ であった。この値は 23°C (約 $34 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) より高いが、化学的摩耗促進とは考えにくく、Mo₂C による摩耗機構は機械的なアブレシブ摩耗と考えられることが明らかとなった。次に、MoO₃ を含む潤滑剤下での a-C:H 膜の比摩耗量は約 $25.7 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ と中程度であるものの、この値は室温における比摩耗量の 8 倍であり、温度上昇は MoO₃ 由来の比摩耗量を大幅に増加させた。粒子の硬度は a-C:H 膜に比べ非常に低いことから、化学的摩耗が促進されたものと推測されることが明らかとなった。最後に SERS 分析により、最表面から約 2 nm 以下の深さからラマンデータを取得した。その結果、摩耗痕の最表面で水素含有量が大幅に減少したのは MoS₂ を含む摩擦条件のみであった (as-deposited の 30-35 at.% に比べ 20 at.% に減少)。Mo や MoDTC を含む潤滑油中の場合、SERS 測定による最表面の水素含有量は増加していた。摩擦によって a-C:H 膜表面の水素量が増加するとは考えにくいことから、Mo や MoDTC 自体による a-C:H 膜の摩耗は炭素原子の脱離機構を有するものと考えられる。

3. 成果

1. 潤滑油中に混合した模擬摩耗粒子や潤滑油添加剤由来物質を用いた摩擦試験を実施可能であり、境界潤滑条件であっても粒子が摩擦面内へ進入し、摩耗機構を変化させることを実証できた。
2. SERS 測定手法の確立により、a-C:H 膜の最表面に存在する水素量とバルクの水素量を比較可能となった。以上の測定手法から、a-C:H 膜の最表面と中間生成物との化学的摩耗機構を明らかにできた。

シリコンおよび窒素添加による高耐熱性ダイヤモンドライクカーボンの開発

中澤日出樹 弘前大学 教授

1. 目的

ダイヤモンドライクカーボン(DLC)は sp^3 結合と sp^2 結合からなる非晶質炭素であり、高耐摩耗性、低摩擦係数などの特徴を有している。本研究では、従来 DLC に比べて機械的特性、摩擦摩耗特性、耐熱性が向上するシリコン(Si)および窒素(N)を共添加した DLC(Si-N-DLC)の研究開発を行う。

2. 研究内容

高周波プラズマ化学気相成長(CVD)法により Si-N-DLC 膜を作製し、 H_2 流量比が Si-N-DLC の耐熱性に与える影響について調べた。主な C 源に CH_4 、Si 源にモノメチルシラン(CH_3SiH_3)、N 源に N_2 、希釈ガスに H_2 および Ar を用いた。Si-N-DLC の成膜時の H_2 流量比 $[H_2/(H_2+Ar)]$ を 0%から 100%まで変化させた。さらに、電気炉を用いて、設定温度 550°C、600°C で大気中において 15 分間加熱処理を行い、加熱前後の Si-N-DLC 膜の摩擦係数および比摩耗量を比較した。また、原料に CO_2 を追加して CO_2 流量比 $[CH_4/(CO_2+CH_4)]$ の Si-N-DLC 膜特性への効果を調べた。このとき希釈ガスには Ar を用いた。

図 1 に 550°C加熱前後の(a)摩擦係数および(b)比摩耗量を示す。550°C 加熱前後では、Si-N-DLC 膜の摩擦係数および比摩耗量は、水素流量比に関わらずほとんど変化しなかった。また、600°C 加熱後、高い水素流量比で比摩耗量が増加した。フーリエ変換赤外吸収分光により、水素流量比の増加に伴い Si-N-DLC 膜中の水素含有量が増加すること

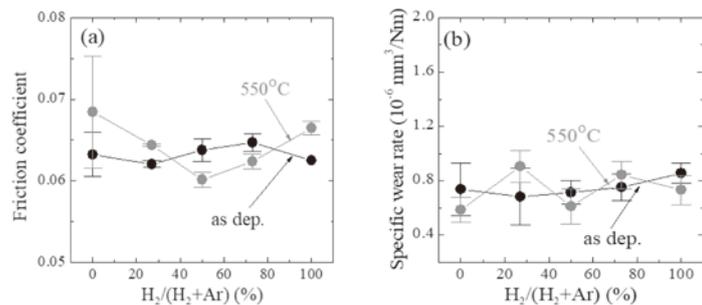


図 1 550°C加熱前後の(a)摩擦係数および(b)比摩耗量

が示唆された。このことから、高い水素流量比で作製した Si-N-DLC からの水素脱離量が大きく、それに伴う膜構造の変化が大きかったことによって比摩耗量が増加したと考えられる。また、各水素流量比で作製した Si-N-DLC 膜表面を光学顕微鏡で観察した結果、加熱後にピットやホールが形成されていることがわかった。これは、酸素エッチングが進行しやすい部分の存在を示唆する。

ラマン分光により、 CO_2 流量比の増加に伴い sp^2 炭素のクラスタ化が促進されることがわかった。 CO_2 流量比によって二乗平均(RMS)表面粗さはほとんど変化せず、全ての膜において 0.16 nm 未満であり平坦性が高かった。また CO_2 流量比の増加に伴って臨界荷重(付着力)が増加したが、これは内部応力の減少に起因する。大気下における摩擦係数は O 添加により減少し、全ての CO_2 流量比において 0.06 未満の低摩擦係数であった。また、比摩耗量が最小となる CO_2 流量比が存在することを見出した。

3. 成果

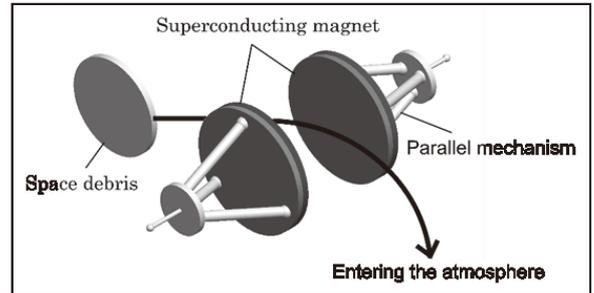
- (1) 大気中 550°C 加熱後、Si-N-DLC 膜の摩擦係数および比摩耗量は、水素流量比に関わらずほとんど変化しなかった。
- (2) 600°C 加熱後、低い水素流量比においては摩擦係数および比摩耗量はほとんど変化しなかった。
- (3) Si-N-DLC への O 添加により大気下において摩擦係数が減少すること、ならびに比摩耗量が最小となる CO_2 流量比が存在することが示唆された。

高専発 スペースデブリお掃除システムの基礎研究開発

原野智哉 阿南工業高等専門学校 教授

1. 目的

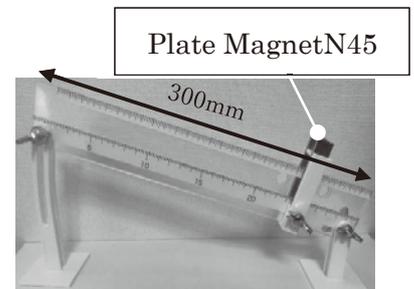
- (1) 磁界中を通過する際に発生する電磁誘導渦電流により伝導体スペースデブリにブレーキを付加し大気圏に帰還させる除去方法について、ブレーキ効果の高いデブリの材料・形状・サイズ・磁石配置をモデル実験および過渡応答磁場解析の両面から検証する。
- (2) 電磁誘導ブレーキ効果の検証について、実用に近い試験環境の構築に用いる模擬デブリの高速射出装置と強磁場発生電源装置の設計開発と性能評価を行う。
- (3) スペースデブリに長時間の磁場を与える磁気歯車を用いた高速・高精度・大ストロークの3軸パラメカの開発を行う。



Space debris electromagnetic induce brake system

2. 研究内容

- (1) スペースデブリを想定した円板と球によるモデル実験と過渡応答磁場解析 デブリ形状を円板と球の2種類と仮定し、速度 1m/s 未満の低速条件下における減速力を測定し、効果的にブレーキが発生する材料・形状・サイズ・磁石配置を検討する。また、JMAG-Designer を用いた速度一定条件下における過渡応答磁場解析を行い磁界から発生する渦電流損失を評価し、実験結果の詳細検討を実施し、高速条件下におけるブレーキ効果を解析から検討を加えた。
- (2) 電源設備および励磁コイルの小型化のため、低電圧源を昇圧回路によって高電圧に昇圧した後、コンデンサに充電しておくことで、必要なタイミングにてパルス大電流を励磁コイルへ放電できる制御回路を開発する。模擬デブリの射出には圧縮空気による加速機構を採用し、射出速度 100m/s の達成を目標とする。
- (3) 円筒型磁気歯車と磁石列板を組み合わせた直動ジョイントを製作し、磁石間での動力伝達特性を調査する。また、同様の直動ジョイントを3個製作し、パラレルメカニズムによる装置を構築する。磁石間は非接触であるため、自重などの影響を受けた状態での位置決め制御の検討を行う。



Velocity variable experimental apparatus

3. 成果

- (1) 実験と解析の結果から、電磁誘導ブレーキの作用は、形状によらず急激な磁束変化を与える必要があり、その効果は速度が大きく、多くの磁界中をデブリに通過させ、磁束変化を多数与えることで大きな効果が得られると考えられた。
- (2) 250 V, 147 J の電力を数 ms のパルス電流として放電することで、励磁コイルに最大 700A の大電流からなる強磁場を発生させることに成功した。また、試作した射出装置ではアルミ球を 150m/s まで加速することに成功した。
- (3) 直動ジョイントの磁石間における非接触動力伝達において、強いヒステリシス特性が確認できた。また、パラメカニズムの位置決め装置を製作し、一定の位置決め制御が可能であることを示唆することができた。

独立駆動巻線モータと逆相電流重畳法による故障時のトルクレベル維持とリップル抑制を共に実現する EPS 用冗長系モータシステムの研究

日高勇気 長岡技術科学大学 准教授

1. 目的

EPS モータにはインバータモジュール故障時でも、高いトルクレベルと低いトルクリップルの両立が必要となる。本研究の目的は、故障時でも高いトルクレベルと低いトルクリップルを両立可能なモータシステムを実現することにある。これまでに、独立駆動巻線と逆相電流重畳法的具体策を着想し、シミュレーション上で実現の見通しを得た。本申請研究では、提案モータの実機検証を遂行し、新冗長系モータの基礎技術を確立する。

2. 研究内容

提案法では、図 1 のように、例えば A 相巻線が故障した場合に、故障していない相(B~E 相)の電流振幅・位相を調整する。具体的には、青矢印で示した成分を、非故障相に重畳する。同成分は、逆相成分を相殺するために重畳され、正相成分(=トルク電流)を損なうことなく、逆相成分が相殺できる。結果、トルク電流が維持され、トルクリップルに寄与する逆相成分を相殺できるため、高いトルクレベルと低いトルクリップルを両立できる。実験で得られた結果を図 2 に示す。従来法 A では、トルクレベルは高いが、トルクリップルが正常時に対して大きく増大している。対して、従来法 B ではトルクリップルは低いが、トルクレベルも同様に低下している。対して、提案法では、従来法 A と同等のトルクレベルと、従来法 B と同等のトルクリップル特性となっている。本結果から、提案法を用いることで、狙いとするトルクレベル維持とトルクリップル抑制が両立できることが、実機検証で示された。今後は、本原理検証をベースに、様々なモータ方式に提案法を展開する予定である。なお、本成果に関連し、国内学会で 3 件の学会発表を行い、これら成果を纏め IEEE ACCESS にジャーナル投稿し、採択決定済である。

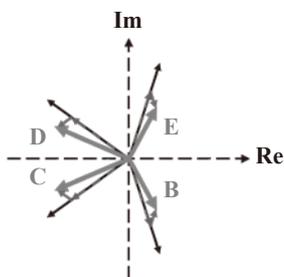


図 1 提案法のイメージ図

	Non-fault	Conventional A	Conventional B	Proposed method
Average torque [Nm]	7.54	5.64	4.86	5.89
Torque level [%]	—	74.8	64.5	78.1
Torque ripple [Nm]	0.17	1.24	0.22	0.18
Ripple rate [%]	2.31	21.91	4.52	3.12

図 2 実験結果

3. 成果

(1) Sota Takahashi, Yuki Hidaka, “Torque Improvement Effect of Reverse-phase Superimposition for Motor Fault-tolerance”, to be published in IEEE ACCESS, 2024.

(2) 高橋颯汰, 日高勇気, 栢山盛幸, 有田秀哲, “トルクレベル維持とリップル抑制を両立する逆相電流重畳法の負荷による影響の検討と基礎実機検証” 電気学会 モータドライブ/回転機/自動車合同研究会, 2023.

(3) 高橋颯汰, 日高勇気, 栢山盛幸, 有田秀哲, “モータ巻線故障時のトルク性能を改善する対称座標法に基づいた耐故障電流制御” 電気学会 モータドライブ/回転機合同研究会, 2023.

(4) 高橋颯汰, 日高勇気, 栢山盛幸, 有田秀哲, “モータ巻線故障時のトルクリップル抑制を実現するための電気回路構成の基礎検討” 電気学会 全国大会, 2024.

汎用ドライバで駆動可能な3自由度球面アクチュエータの開発

部矢 明 名古屋大学 准教授

1. 目的

本研究では、1台で3自由度回転可能な3自由度球面アクチュエータの少相駆動トポロジを提案し、1個のモータを駆動する汎用ドライバ1つだけでの3自由度回転制御の実現を目的とする。また、提案理論により生まれた新構造アクチュエータの実機性能評価を行う。

2. 研究内容

本研究で提案する制御相数少相化のための4相駆動トポロジを図1に示す。空間的に対称に配置された4コイルを中性点で接続し、電氣的に結合された状態とする。隣り合う磁石は交互に ± 45 度の傾きを付けており、これによりコイル励磁時に4つのトルクベクトルが生まれる。電流の方向・大きさを調整してそれらを合成することで3自由度回転を行う。回転子に働くトルクは x, y, z 軸まわりで表現される一方、コイルへの入力である電流は4相電流座標系上で表現される(図2)。この2つの座標系の座標変換を成立させることで、4相による3自由度回転が実現できる。そこで各コイル通電時に発生するトルクベクトルの直交座標系上への射影から新しい座標変換行列を導き、これを用いた円軌道追従制御を実施した。図3に示す制御結果より、提案理論通りに制御できることを確認した。提案アクチュエータは4相ハーフブリッジ回路1つにより駆動可能であり、簡素な構造・駆動回路により動作できる。また、製作した試作機の外観を図4に示す。実機検証においても、提案原理によって駆動可能であることを確認した。

3. 成果

- (1) 4相ハーフブリッジ回路1つのみで駆動可能な3自由度球面アクチュエータの構造・駆動原理を提案した。
- (2) 4相電流座標系と3軸トルク座標系の座標変換行列を導出し、姿勢制御系に組み込むことで提案法により3自由度回転可能であることを示した。
- (3) 試作機を製作し、トルク特性を実測するとともに、周波数特性を測定し、動作性能を評価した。

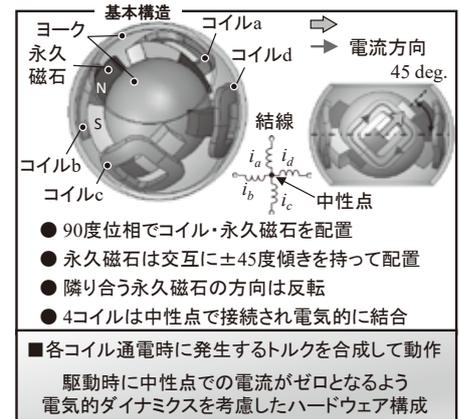


図1 4相駆動トポロジ

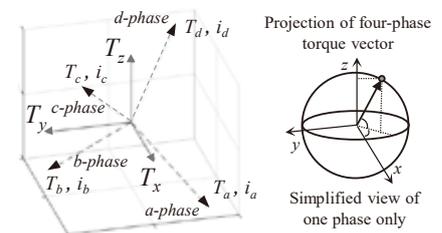
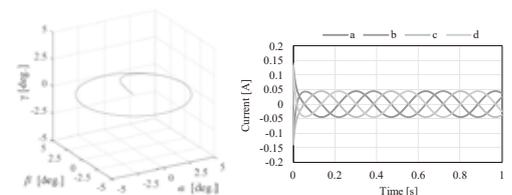


図2 4相座標系と3軸トルク座標系



(a) 軌道 (b) 電流波形
図3 円軌道追従制御結果

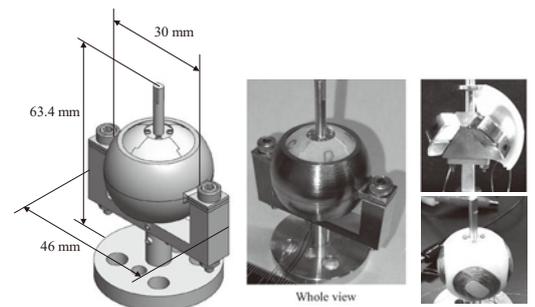


図3 試作機

粒子画像流速測定法を利用したしゅう動面での グリース流動評価に関する研究

宮永宜典 関東学院大学 教授

1. 目的

本研究では、転がり接触部を想定した EHL 領域近傍でのグリースの流動状態を、粒子画像流速測定（以下 PIV）法を用いて明らかにし、増ちょう剤種の違いによる影響を明らかにすることを目的としている。

2. 研究内容

2. 1 開発した実験装置および実験方法の概要

本装置はボールオンディスク型である。サファイアガラスでできたディスクに SUJ2 でできたボールを押し付け、またそれらをそれぞれに取り付けたモータを回転させて、純転がり接触を再現した。ガラスディスクは直径 105 mm、厚さ 12 mm であり、ボールは直径 22 mm である。ボールの下部にはばねがあり、その弾性力によりボールをディスクに押し当てた。ディスクとボールの接触部を撮影中心とし、ハイスピードカメラで真上から、ガラスを通して EHL 領域近傍のグリース流動を撮影した。グリースにはトレーサ粒子を混ぜるとともに、それらの粒子を励起させるためのグリーンレーザを照射した。

ディスクとボールの間でのすべり率は零とした。撮影した画像を用いて PIV 解析した。ちょう度がほぼ等しい数タイプのグリースを実験に使用した。

2. 2 実験結果

本実験で使用した 2 タイプのグリース（脂環式ウレア（C6）、脂肪族ウレア（C8）：ちょう度、増ちょう剤量は同じ）で見られた流動性の特徴をまとめる。脂環式ウレアは EHL 領域の両端にサイドバンドと呼ばれる厚いグリース層が形成され、そこからグリースが供給されるとともに、常にボールにグリースがまとわりつくような流れが見られた。一方、脂肪族ウレアは、サイドバンドが徐々に EHL 領域から離れ、ついには EHL 領域の周囲には非常に薄いグリース層が見られるのみになった。このことから、上記で記載したグリースを比べると、かくはん抵抗が小さな脂肪族ウレア（C8）の方が軸受などで低トルクとなることが予想された。引き続き、軸受トルクとの関連も調査を続ける予定である。

3. 成果

本研究では、軸受などでみられる転がり接触部、その場でのグリース流動を明らかにし、グリース種での違いを相対的に評価する手法を開発することができた。今後はこの手法を応用し、軸受トルクなどのより実践的な問題に取り組む予定である。

原子間力顕微鏡および中性子線を使った有機系潤滑添加剤の 温度／摩擦に対する膜状態変化の把握

山下直輝 京都大学 特定助教

1. 目的

有機系の潤滑添加剤が金属表面に形成する「吸着分子膜」が「金属石鹸膜」へと変化していく過程での温度や摩擦、時間の影響を調査し、それぞれの膜状態とトライボロジー特性を関連づけることによって、実際の摩擦場における添加剤の摩擦低減メカニズムの解明を目的とする。

2. 研究内容

トライボロジー分野における一般的な研究では、「吸着分子膜」と「金属石鹸膜」のそれぞれの特性を切り分けた摩擦測定はなされておらず、摩擦試験を長時間実施した後の安定した摩擦係数で添加剤の性能が評価される。それに加え、摩擦面に生成される膜状態の分析は摩擦試験終了後に行われるのが主流となっており、摩擦中の膜の状態変化にまで評価が及んでいないのが実状である。これに対して、本研究では、潤滑油中での in-situ 分析に拘り、中性子反射率法によって得た潤滑油／金属界面のマイクロ構造と、原子間力顕微鏡 (AFM) によって得たナノトライボロジー特性の直接的な関連を評価した。中性子反射率測定 (NR) による分析において、試験片に温度や摩擦を与えた場合の膜構造の変化についても評価した。

3. 成果

(1) AFM による脂肪酸金属石けん膜の可視化

スパッタ成膜装置を使って用意した銅基板上にヘキサデカン+ステアリン酸 (2.5mM) の潤滑油を滴下して、1日以上放置した基板の観察を行った。その結果、XPS による分析で金属銅のシグナルが検出されず適度に酸化している基板の場合、図1に示すような厚い金属石鹸膜が形成されていることを確認した。金属石鹸膜は、高面圧での摩擦によって容易に表面から除去されるが、低い摩擦を示すことを確認した。

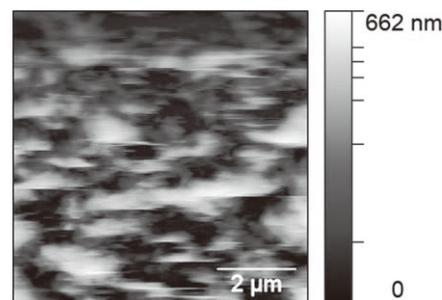


図1 ステアリン酸金属石鹸膜

(2) NR による Cu 表面の腐食の可視化

イオンビームスパッタ成膜装置を使って用意した銅基板をヘキサデカン+重水素化ステアリン酸または通常 (軽水素) のステアリン酸 (2.5mM) の潤滑油に浸漬して分析を行った。各試料に対し、加熱 (25, 40, 60, 80, 100°C) 後に冷却し、常温で測定するサイクルを繰り返した。通常のスチアリン酸は銅表面の腐食を評価し、重水素化ステアリン酸は金属石鹸膜の厚さを評価する目的で添加した。得られた反射率プロファイルを図2に示す。100°Cでの加熱時には、80°Cまでには見られなかった大きなプロファイルの変動がみられ、銅がナノレベルで腐食して金属石鹸膜が成長した可能性を示した。

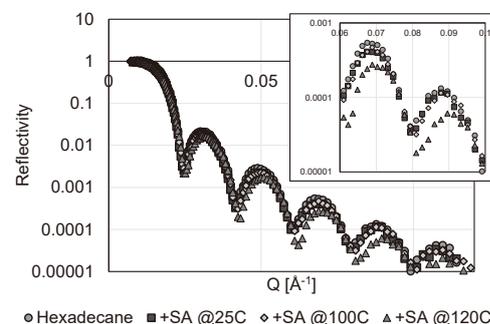


図2 反射率プロファイル

両方向ローラクラッチの高回転化に関する研究

山本 建 東海大学 准教授

1. 目的

ローラクラッチは摩擦クラッチとかみ合いクラッチの長所を併せ持つが、高回転条件ではローラに働く遠心力により、切断状態にもかかわらず締結してしまう問題がある。この課題を解決すべく改良型クラッチを設計製作し、動作の確認を行った。

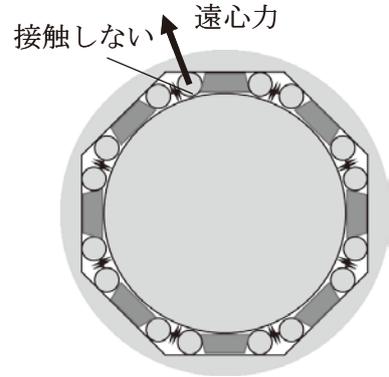


図1. 外輪カム

2. 研究内容

従来の内輪カムとは逆に、外輪内周に多角形のカム面を形成し、内輪外周は円筒形状とする（図1）。遠心力はローラを外輪に押付ける方向に働くため、内輪と接触して意図せぬ締結を起こさない。

外輪カムの試作機を製作して実験を行い、15000rpmまでにおいて切断が維持できることを確認した。しかしながら高回転かつ低トルクにおいて動力を伝達できないことが判明した。ローラに働く遠心力 F_c 、カム角度 α 、ローラ数 n に対しバネ荷重

$F_s > F_c \sin 2\alpha \cos \pi/n$ が必要であり、これより求めた必要なバネ荷重と伝達可能回転数

（図2）が実験と一致することを確認した。この式を用いて検討を行ったところ、目標の20000rpmでの伝達は難しい。

内輪カムの保持器とスリーブを、ローラを抱え込んで遠心力が働いても外輪と接触しづらい形状（図3）に変更したところ、切断を維持できる回転数が、従来の5000rpmから11000rpmに向上した。外輪カムは内輪カムに比較すると内径を多角形に加工するため高コストとなり、ローラ数が少なくなるためトルク容量も小さくなる。

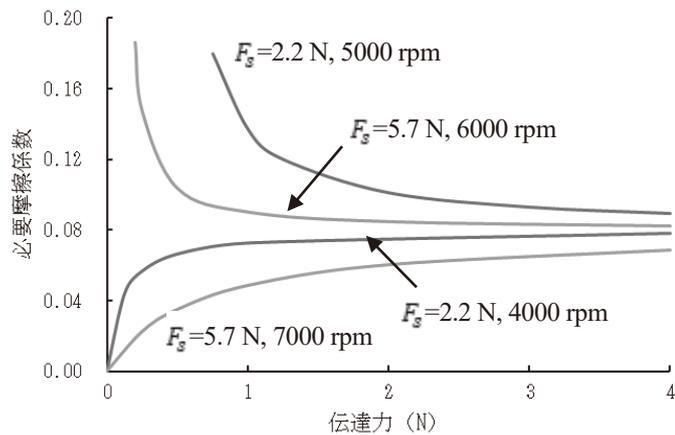


図2. トルクゼロ付近での必要摩擦係数

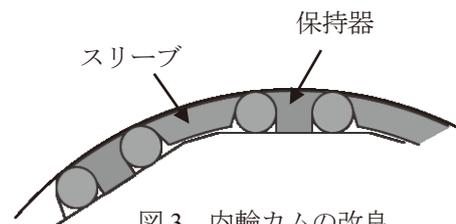


図3. 内輪カムの改良

3. 成果

- (1) 外輪カムは切断維持回転数が向上したが、締結維持回転数は低下した
- (2) 伝達に必要な初期圧バネ荷重を算出する式を作成し、実験と一致することを確認した
- (3) 内輪カムは許容回転数、コスト、トルク容量すべて外輪カムよりも優れる

申請者・担当教員	ふりがな	すずき まなぶ	印		
	氏名	鈴木 学		役職	准教授
	所属機関、学科	函館工業高等専門学校		生産システム工学科	
	ホームページ URL	http://www.hakodate-ct.ac.jp			
	同上所在地	〒042-8501 北海道函館市戸倉町 14 番 1 号	電話番号	0138-59-6407	連絡先 FAX
この報告書を 高等専門学校として承認いたします。					
高等専門学校 校長		阿 部 恵		校長印	
科目名	生産システム創造実験 I				
<p>1. 教育概要</p> <p>平成 25 年 4 月、函館高専は全国高専に先駆けて高度化再編を行い、従来の機械工学科、電気電子工学科及び情報工学科をひとつの学科にまとめ、生産システム工学科（定員 120 名）をスタートさせた。生産システム工学科では、ものづくり、エネルギー、エレクトロニクス、情報技術の分野の発展に対して、分野共通の能力や分野横断的な能力を駆使して貢献できる人材の育成を目指している。そのため、第 2 学年から 3 コース（機械コース、電気電子コース及び情報コース）に分け、所属コースの専門性に軸足を置いた教育に加え、生産システム工学に共通する専門性を習得するための学科共通教育を行っている。</p> <p>その中で「生産システム創造実験 I」は生産システム工学科 3 年機械・電気電子・情報コースの学生約 120 人を対象とし、FA システム開発に必要な機械要素、各種センサ入力に基づく自動制御を理解すると共に、3 コース 2 名ずつの 6 名が混在した班で実験を行うことで、専門性の違う技術者との議論やコミュニケーションを通してのプロジェクトの能力の育成をおこなってきている。前回の助成によって教育キットや方法は確立できたが、本助成によって今後の技術者に必要となる持続可能な共生社会実現のための AT(支援技術：アシスティブテクノロジー)の知識享受を追加し座学後の応用として、AT を含んだ「白黒ブロック仕分けロボット製作」の開発演習を班ごとに行いその後製作物の発表を行うことで、実践的なメカトロニクス技術の習得だけでなく課題解決能力、チームによる共同開発に必要なスキルの向上、そして多様な在り方の相互認識し対応できる AT の概念(AT マインド)を理解し習得することを目標としている。</p>					

2. 教育の目的、実施した対象とする学年、クラス（混合 or 単独学科かなど）、学生人数、必修か選択か、コマ数と教職員の体制

1) 教育の目的

「生産システム創造実験 I」の教育目的は、メカトロニクス技術の基礎を理解し、簡単なロボット開発へ適用できる能力を身に付けることである。具体的な到達目標は以下のとおりであり、3 コースの学生全員がそれぞれの専門性を発揮しながら、バランスよくメカトロニクス技術の基礎を習得すると共に、各専門技術者の役割を理解することを目指している。

- ① リンクやカム等の基本的な機構の構造と機能、トランジスタ等の電子回路によるアクチュエータの制御法、各種センサの原理と利用法及び PIC による入出力制御法など、メカトロニクス技術の基礎を習得する。
- ② 設定された課題を解決するロボットの製作演習により、開発プロセスを理解し、チームによる共同開発に必要な汎用的スキル(議論、目標設定、計画、役割分担、製作、成果のまとめ、発表)を習得する。
- ③ チームで課題解決に取り組むことで、協調性、責任感、リーダーの役割を理解する。
- ④ 安全性とコストに配慮した機器開発を行うための基礎的能力を習得する。

2) 実施した授業の対象

実施した授業は、生産システム工学科第3学年の学生120名(機械コース、電気電子コース及び情報コースの3コース、それぞれ定員40人)を対象とした必修科目である。2単位の後期開講科目で、授業総時間は週4単位時間(実時間で45分×4単位時間=180分)×15回で計60単位時間、実時間で45時間となる。教職員の指導体制としては、教員は3コースの専門教員が各2名の計6名が担当し、ものづくり実践の支援として、技術教育支援センターの技術職員7人(機械系5人、電気電子系1人、情報系1人)が指導にあたっている。また放課後などの追加の製作時間を設けないものとした。

3. 実施した授業の達成度、教育の効果と今後の課題

授業前半の基礎演習では、班ごとに他コースの基礎的な技術を学ぶ。その後コースごとに応用演習課題(図1)を達成するロボットのベースとなる教職員が製作した「手本の白黒仕分けロボット」(図)の実際に使用する部品や要素を製作する。その後、班全体で集まり持ち寄った部品を組み合わせ調整することで「手本の白黒仕分けロボット」を製作する。

授業後半の応用演習ではATに関する座学を行った後に班ごとにベースの「白黒仕分けロボット」をどのように改良するかを話し合い、実際にロボットの製作を行っていく。

以下に授業の流れを示す

- ①共通基礎演習：3D-CADの機械要素についてのアセンブリ演習、各種センサを用いたモータの制御演習、PICマイコンを用いたプログラミング演習
- ②コース別基礎演習：手本ロボットの各要素製作

機械コース：

ボディのアセンブリとレーザ加工によるステンレス材部品の設計製作

電気電子コース：

ブレッドボードを用いたモータ駆動回路及びセンサ用回路の製作

情報コース：PICマイコンへのモータ及びセンサ駆動用プログラムの実装

- ③基礎演習まとめ：②で製作した各要素を組み合わせ調整、手本ロボットの完成。完成した班から④のアイデア出しへ進む。

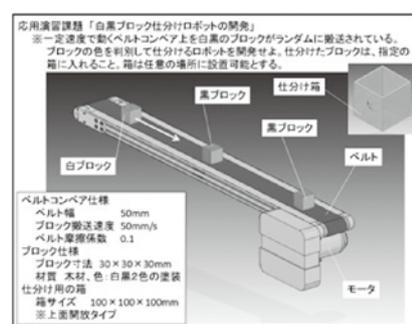


図1 応用演習課題



図2 手本白黒仕分けロボット

3. つづき

④応用演習：手本ロボットをベースに班ごとにアイデアを練り、ロボットを改良し製作する。製作時に使用する部品は過去の助成で整備したロボット開発キット(図3)に加え、加工済みのロボット用部品 **Tetrix**、ソレノイドや小型サーボモータなどのアクチュエータ、ブザーや7セグメントなどのインジゲータ用部品、ディスプレイ付き小型マイコンの **M5Stack** などを追加した。

⑤まとめ：ロボットの仕様書と発表用の製作ロボットアピール資料(図4)の提出。学生全員の前で無線 web カメラで録画中継しながら実際にロボットを稼働させ仕分けの様子や機能を示す発表会(図5)を実施。ロボットが動かない場合は理由などを説明する。

以上の演習により、メカトロニクス技術の基礎を全ての学生が学びつつ、全ての班が製作したロボットを披露することができた。また、応用ロボット製作ではコースごとに加点する採点基準を明記し、他コースの成果によらず点数が決まるように仕掛けをした。その結果、コースごとの目標とチーム内でのアイデアをまとめ、より発展したロボットを製作した班も現れる一方、チャレンジを行って最終的にうまく動かなかった班も現れたが、動かない理由を考えることで次につながる経験になったと考える。さらに発表会を録画しアーカイブ化することで次年度の学生の手本にすることができた。今後は応用演習での各コースの採点基準の調整、主要部品の拡張が課題であると考えます。

また、「ロボットを完成させる」という最低限の評価目標が手本ロボットの完成によって達成できているため、改良ロボットは必ずしも動く必要はなく、そのためロボット完成させるために授業外時間を使用し教職員が立ち会うことも廃止し、その結果、限られた授業時間内でロボットを製作するという納期への意識も向けられるようになった。



図3 ロボット開発キット (一部)

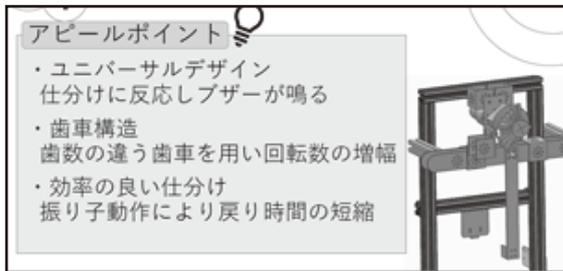


図4 学生が製作したロボットアピール資料

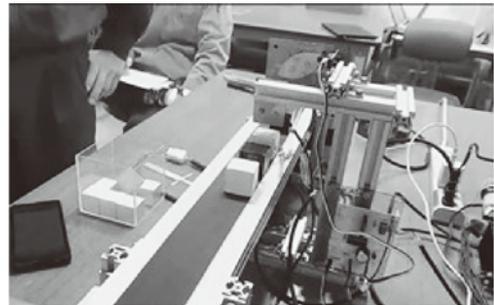


図5 発表会の様子

4. 使用した教育機材の問題点と予定と相違した場合(有れば)その理由(フォント明朝 10.5pt)

今回の助成によって過去に教材として開発し導入されていた「ロボット開発キット」に新たな拡張部品を追加することで「AT マインド」を意識したロボット製作を行い、同一テーマで2年間授業を実践した。また、過去8年間行われてきた実験をベースに、共通とコース別演習を行い、各班で手本となるロボットを製作し、その後拡張を行うという手法に変更した。その結果、授業後半の応用演習前に『自分たちで製作したロボットが動く』という成功体験と実際に動くロボットを前にしてより創意工夫をしようとする意欲向上につながったと感じる。また情報コース学生のプログラム製作を補助するためブレットボードを電源化するユニットを製作し全ての班に提供した。拡張部品によってブザーや7セグメント LED などを活用し、ユニバーサルデザインを意識したと説明する学生もおり AT 機器開発に必要な AT マインドの育成には貢献できたと考えます。

問題点として、まず今回は加工時間の短縮のため既に穴があけられた **Tetrix** というロボット組立用部品も使用したが、ネジ等の規格がインチで設計されているため、使い勝手も悪く日本製のモータと **Tetrix** 歯車の接続も難しかった。今後はこれらを補間する部品の製作が必要であると考えます。

次に予定と相違した点として、テーマとなる「白黒ブロック仕分けロボット製作」に AT を加えることが難しく、学生は製作したロボットにインジゲータを取り付け AT を導入したというところに留まってしまった。各種センサやブザーの使用、画面表示ができる M5stack も購入し活用を促したが、うまく使用できた班はなかった。M5stack の活用法についての座学で示すと共に、今後は AT を追加しやすいようなロボット製作テーマへの変更が必要であると考えられる。

申請者・担当代表教員	ふりがな	なかむら もとのり	印		
	氏名	中村 基訓		役職	教授
	所属機関、学科	旭川工業高等専門学校 システム制御情報工学科			
	ホームページ URL	https://www.asahikawa-nct.ac.jp/			
	同上所在地	〒071-8142 北海道旭川市春光台2条2丁目1番6号	電話番号	0166-55-8032	
		連絡先FAX	0166-55-8032		
この報告書を旭川工業高等専門学校として承認いたします。					
旭川工業高等専門学校					
校長					
五十嵐 敏文					
<div style="border: 1px dashed black; width: 100px; height: 40px; display: inline-block;"></div> 校長印					
科目名	エンジニアリング演習, ものづくり実習, 創造工学基礎演習				
<p>1. 教育概要</p> <p>現在、我が国は人工知能(AI), Internet of Things (IoT)及び無人ロボット等の最先端テクノロジーを積極的に活用し、人々の生活の利便性を飛躍的に向上させる Society 5.0 の実現を目指している。この実現のために、AI×IoT×メカトロニクス融合技術が不可欠であり、この知識を有する人材の育成が喫緊の課題である。一方、本校システム制御情報工学科では、メカトロニクス技術を応用した実践的なPBL型実験科目である「創造工学」を第4学年で展開してきた。2015年第6期の本助成を受け、実験環境を大幅に拡充した本科目は、第1～4学年で得た知識・スキルを活用し、グループ活動による自律走行ロボットの開発を通じて、学生が大きく成長できる集大成となる本学科の代表的な科目となっている。本科目を中心として Society 5.0 に対応する人材育成へと発展させるには、低学年におけるハードウェア制御科目の充実とAI技術など情報科目との有機的な連携が必須である。</p> <p>そのために、本学科では実験・実習系科目を大幅に見直した新カリキュラムを今年度から導入した。特に低学年では、「エンジニアリング演習」(第1学年後期)、「ものづくり実習」(第2学年通年)「創造工学基礎演習」(第3学年通年)の演習・実習科目を拡充した。本申請で導入したタブレット端末等を活用し、ミニロボットの制御実験、ハードウェア制御のコンテンツを第1学年に配置した。これによりIoT応用の敷居を下げ、低学年で簡便にシステム構築を経験・体験できる科目および環境を整備した。第3学年の創造工学基礎演習では、低学年で展開している情報系科目の「情報処理」、「アルゴリズムとデータ構造」等と連携し、本申請で導入したロボットアームおよびウェブカメラを用いた機械学習とそれを用いたマシンビジョンによるアーム制御のコンテンツを拡充した。機械・電気系科目のみならず情報系科目と連携したAI×IoT×メカトロニクススキルの育成が可能となった。</p>					

2. 教育の目的、実施した対象とする学年、クラス（混合 or 単独学科かなど）、学生人数、必修か選択か、コマ数と教職員の体制

【教育の目的】

これまで旧カリキュラムで主として学んできたメカトロニクス技術に加え、以下の実習・演習科目を通して、AI や IoT に関する基礎知識やベースとなるスキルを身につけさせる。身につけた技術をもとに第 4 学年で展開している「創造工学」へとスムーズに接続し、与えられた課題に対して創造的なアイデアを創出し、融合分野において AI×IoT×メカトロニクス技術を活用できる人材を育成する。

【エンジニアリング演習】

- ・ 対象学年・クラス：第 1 学年 システム制御情報工学科
- ・ 必修 or 選択：必修
- ・ 人数：クラス定員 40 名
- ・ 総授業時間・単位数：30 時間・1 単位
- ・ 教職員体制：教員 3 名が担当する。学生は 6～8 グループに分け、基本的にはグループ単位で活動する。グループによる協働活動の基礎を学びつつ、与えられた課題の解決に取り組む。具体的には学生らは、「COZMO」というプログラム可能なミニロボットを用いた他学科の学生向けプログラミング授業の作成、および「M5GO IoT スターターキット」というマイコン開発モジュールキットを用いた課題解決のためのシステム構築に取り組む。

【ものづくり実習】

- ・ 対象学年・クラス：第 2 学年 システム制御情報工学科
- ・ 必修 or 選択：必修
- ・ 人数：クラス定員 40 名
- ・ 総授業時間・単位数：120 時間・4 単位
- ・ 教職員体制：教員 2 名＋技術創造部 5 名が担当する。学生を 8 人程度のグループに分け、それぞれのテーマ別に要素技術を学ぶ。当初導入を予定していた IoT 応用は上述の「エンジニアリング演習」に組み込んだことから、本科目には大きな変更を加えず、実習工場を活用した機械加工技術であるレーザ加工機、フライス盤、旋盤などを用いた加工スキルの育成を主とすることとした。また、論理回路構築や電気・電子回路構築などの電気分野は、メカトロニクス分野で必須であることから、実習内容の一部を見直し、軽微な変更を加えることとした。

【創造工学基礎演習】

- ・ 対象学年・クラス：第 3 学年 システム制御情報工学科
- ・ 必修 or 選択：必修
- ・ 人数：クラス定員 40 名
- ・ 総授業時間・単位数：120 時間・4 単位
- ・ 教職員体制：教員 2 名＋技術創造部 5 名が担当する。学生を 8 人程度のグループに分け、それぞれのテーマ別に要素技術を学ぶ。2023 年度の新カリキュラムから「プログラミングによるロボットアーム制御および機械学習による画像認識を用いたロボットアーム制御」、および「3D プリントング」という二つの新テーマを導入した。このほか本校実習工場を活用した機械加工である NC 旋盤による加工実習、電子回路基板設計・製作、モデリングマシンを用いた加工、PLC によるシーケンス制御などのテーマを取り扱い、本科目を実施した。

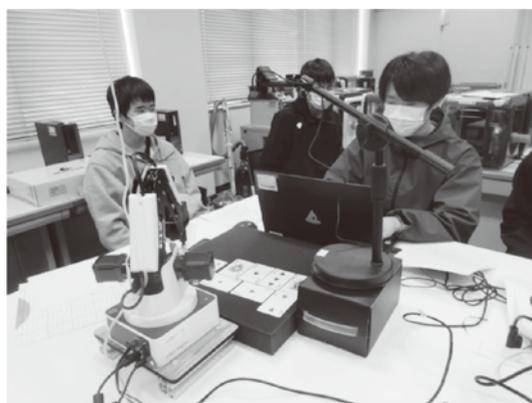
3. 実施した授業の達成度、教育の効果と今後の課題

本項目では、本申請により大きな変更を加えた「エンジニアリング演習」と「創造工学基礎演習」の2科目で新たに展開したテーマについての詳細を以下に述べる。

まず、第1学年で展開した「エンジニアリング演習」では、他学科の学生のためのプログラミングに関する授業の設計および授業の実施を行うこととした。教材として「COZMO」というプログラムで制御ができるトイロボットを採用した。COZMOは本申請で導入したiPadからwifi接続し、専用のアプリを介すことでプログラミングができ、ロボットを任意に動かすことができる。クローラを用いた移動に加え、アームを用いてキューブを運ぶなど、様々な動作を実現することができる。プログラムの構築環境は、Scratchに似たグラフィカルなインターフェースであり、コマンドブロックを連結させるだけで比較的容易に作成できることから、プログラムの素養のない他学科の学生でも取り組みやすい教材となっている。各チームでは、チームごとに授業の到達目標を設定し、それを受けてロボットにどのような動作をさせるかについて検討を進める。つまり、どのようなプログラム要素を盛り込んだ動作にすれば、他学科の学生にプログラミングで制御することについて学んでもらえるかという観点でグループ議論を進め、最終的に練習問題という形に落とし込む。このような授業案を4~5週間かけて完成させ、実際に他学科の学生に授業を実施してもらう。本番では、10名のメンバーのうち、2名の全体説明を担当し、残りの8名がサポートメンバーとなって進める。他学科からの受講生は約30名程度である。授業の最後には受講者アンケートを実施し、授業を担当した学生自らが集計・分析し、それらのデータをもとに自分たちが実施した授業の振り返りをしてもらった。アンケート結果から、学生自身が体験した教材を用いて、他学科の学生に対して教える経験を通して、本テーマである「ハードウェアをプログラミングで制御する」スキルが身についたといえる（ちなみに全受講学生が単位を修得している）。



第3学年で展開した「創造工学基礎演習」では、本申請により「DoBot Magician」という教育用のロボットアーム教材を採用し、webカメラを外付けする形で、機械学習と組み合わせることができる環境を整えた。さらに機械学習の計算が可能なラップトップPCも導入した。申請当初は他のロボットキットを利用する予定であったが、教材についての調査を進める中で、外付けのウェブカメラを用いた制御が可能で、画像認識による応用範囲が広い本教材を採用することとした。全4週の実習のうち、前半の2週間で専用アプリを用いたロボットアームのプログラミングによる制御に取り組んだ。アプリではグラフィカルインターフェースによるプログラムが可能なほか、Pythonコードでのプログラム構築も可能となっている。学生らは両方のモードを用いて、アームを制御して実験用ブロックを移動させたり積み重ねたプログラムを作成した。後半の2週間では、深層学習を利用し、webカメラでワークを認識し、判別して特定のワークを取り上げ、移動させるプログラムを体験した。特に画像データの取得から学習までのプロセスを体験できるような構成にしてあり、その後のアームを制御する部分については、サンプルプログラムを渡し、一部分のみを変更すれば使えるように工夫し、アーム制御のプログラム作成に時間がかかりすぎないように配慮した。座学科目である機械系の「ロボティクス」や情報系の「人工知能概論」がともに4年次開講ということもあり、AIや機械学習の知識も必要ということから、本科目の中でも講義ベースの教材を準備し、必要最低限の知識を得られるよう工夫した。さらに、画像認識の対象となるワークには、学生が持参したカード類を使うなどして学生の興味を引くとともに、機械学習のパラメータをある程度自由に変更させ、その影響についても考察させた。レポートやアンケートの結果から、学生の満足度も高く、これまでよりもAIや機械学習に対する敷居が下がり、様々な分野に応用できることを体感できていた。



4. 使用した教育機材の問題点と予定と相違した場合（有れば）その理由

【使用した教育機材の問題点】

「エンジニアリング演習」で利用したミニロボット“COZMO”は、アメリカ製で日本の玩具メーカーが販売していたが、すでに販売停止となっており、故障などの際の代替機の確保が困難になることが予想される。すでに数台についてはバッテリーの不良などが出てきており、メーカーでの修理はできない状況のため、パーツを購入して修理対応している。現在はまだ Amazon などに在庫がある状況であり、現時点で演習に用いるのに十分な台数を確保できている。講義後半の教材である IoT システム構築に利用している“M5GO IoT スターターキット”では、M5stack というマイコン開発モジュールにいくつかのセンサ類が付属しているキット製品である。こちらに関しては使用できるセンサ類も豊富にあり、学生はハードウェアの接続についてはほとんど何も考えることなく、システム構築に利用できるため、使い勝手が非常に良い。特筆すべき問題点はない。

「創造工学基礎演習」で用いている DoBot Magician というロボットアームは、教育用教材とはいえ、1 台の価格が比較的高く、故障した際の代替機の確保が容易ではないという問題がある。さらに、アームを制御する際に、Z 方向に対して誤った値を入力して実行すると、アームが床面に接触してしまい、アームの破損につながる点が最も大きな問題点である。Z 方向への入力ミスはある確率でおこるものとして、アーム自体を数 cm かさ上げして設置できる専用の台座を自作し、さらにウレタンフォームのマットを敷くことで、アームの破損対策を施した形で実験を進めてきた。このような対策により、現在までにアームの床面への衝突事故はなく、それによるアームの故障も出てきていない。

【予定と相違した場合】

前述した通り申請時においては、「創造工学基礎演習」で利用する教材として、カメラを備えた自律走行ロボット“pixy2”を想定していた。本申請の採択が決まり、実際に具体的な導入を検討を進めた結果、pixy2 では応用の幅が限られていることが明らかになり、より汎用性の高い教材を探すことにした。その中で、DoBot Magician が候補として挙がり、本校の他のプロジェクトでの使用実績もあったことから、pixy2 から切り替えることとした。DoBot Magician は Pixy2 よりもかなり高額であることから、ミニロボットや M5stack の台数を調整するとともに、学内予算での整備を進め、本予算で DoBot Magician を 3 台購入した。ロボットアーム教材の不足分も別の学内予算を確保し、充当することで整備した。また、機械学習を実験内容に組み込むことになったことから、購入予定であったノート PC についてスペックの高いものに変更した。結果として、Python コードで比較的容易にプログラムが組める DoBot Magician を使い、外付けのカメラを用いて画像を学習させ、それらを組み合わせるワークを画像判別しながらアーム制御が体験できるコンテンツを開発することができた。

申請者・担当教員	ふりがな	しばさと こうき	印		
	氏名	柴里 弘毅		役職	教授
	所属機関、学科	熊本高等専門学校 制御情報システム工学科			
	ホームページ URL	https://kumamoto-nct.ac.jp/			
	同上所在地	〒861-1102 熊本県合志市須屋 2659-2	電話番号	096-242-6159 (直通)	
		連絡先FAX	096-242-5503 (代表)		

この報告書を 熊本高等専門学校として承認いたします。

熊本高等専門学校

校長 高松 洋

校長印

科目名	
-----	--

1. 教育の概要

1.1 メカトロニクス関連教育科目名（座学）とその概要

申請者が担当する「シーケンス制御」において、学生が講義と学生実験とを区別することなくシームレスに学習を行うことで知識の定着を図るアクティブラーニングを導入した。これまで「シーケンス制御」の講義では、PLCを中心にラダー回路の学習を行ってきた。実践的技術者の育成を目標にファクトリーオートメーション（産業用ロボット）についても説明を補足しているが、実機を用いての学習には至っていない。本申請により、ロボット実機を試行的に導入し、自ら能動的に学習する力を引き出すアクティブラーニングを行った。導入したロボット（myCobot280）は教育用のため小型ではあるが6軸を有しており、産業用ロボットで求められる軌道のティーチングやPythonによるプログラミングが可能である。エンドエフェクタの交換も可能なため、作業に応じて適切なグリッパーを用いた実験も可能である。ロボットのシーケンス動作を実機により体験できるように高度化を図り、机上のシミュレーションだけでは気づけない「ロボット実動作における問題点」を試行錯誤的に学べるようにした。さらにロボットの動作にはAIによる画像処理を用いることで、最先端のAIをシーケンス制御に組み込む手法について学ぶ機会を提供した。

その他のメカトロニクス関連教育科目として、現代制御論を学ぶ「制御工学Ⅱ」なども担当している。

1.2 実験・実習科目名、担当テーマ名とその概要

申請者の担当する「制御情報システム工学実験Ⅲ」では古典制御理論と現代制御理論の基礎に関する知識の定着を目的としている。本申請に関連したシーケンス制御に関する実験については別途学生実験とはせず、座学「シーケンス制御」内で実施することで、アクティブラーニングによる教育効果を狙っている。

2. 教育の詳細

2.1 教育科目（座学）の教育効果詳細

科目名、目的、内容、対象学年、クラスの構成（学科単独か学科混合か、学生数など）、必修か選択か、などに加えて教育の効果、今後の課題等を記述してください。

申請者の担当する「シーケンス制御」は、制御情報システム工学科3年生を対象として、2単位の通年の必修科目として設けられている。学科単独での開講科目で、学生数は1クラスの定員（約40名）である。シラバスに記載されている本科目の到達目標は次の通りである。

1. 自動制御の基礎を理解し、リレーシーケンス制御について説明できる。
2. シーケンス図やラダー図の基本的なルールを理解し、シーケンス制御回路の動作を説明できる。PLCの基礎を理解し、PLCシーケンス制御の基礎回路を作成できる。
3. PLCやロボットなどの実機を使って基礎的な配線やプログラムを正しく作成することができる。

今回は、シーケンス制御の理解を第一として、PLCラダー図の理解と、実機で配線する力の修得を目標とした。同時に、Pythonによるロボット制御プログラムの作成や、AIによる学習による物体識別実験を行った。そのために、学生自らが能動的に学習することで学びの効果を引き出すアクティブラーニング化を進められるよう、6軸動作が可能なロボット実機を試行的に導入した。教育助成申請時と比べ、急激な物価上昇と円安が進んだため、導入を予定していたロボットをNiryo NEDからElephant Robotics社のmyCobot280へと変更している。myCobot280は6自由度を有しており、実験は全く支障なく行うことができた。なお、この変更により、1台から2台へと導入台数が増加する副次的な効果も得られた。

ロボットをAIで駆動させる実験は学生にとって初めての体験で、強い関心を持って実験に取り組む姿が確認された。また、USBカメラで認識した物体をロボットが把持するには、ロボット座標系への変換が必要なため、適切に行われないと「物体が正しく認識されているにもかかわらず把持を仕損じる」といった体験をさせることができた。



図1 実験の様子

2.2 実験・実習科目の教育効果詳細

科目名、テーマ名、目的、内容、対象学年、クラスの構成（学科単独か学科混合か、学生数など）、必修か選択か、などに加えて教育の効果、今後の課題等について記述してください。

申請者の担当する「制御情報システム工学実験 III」は、制御情報システム工学科5年生を対象として、4単位の通年の必修科目として設けられている。学科単独での開講科目で、学生数は1クラスの定員（約40名）である。実験テーマを複数の教員で担当しており、申請者は実験テーマ「制御系CAD(1)」と「制御系CAD(2)」を担当している。古典制御理論と現代制御理論の基礎に関する知識の定着を目的としている。主な実験内容は次の通りである。

1. 伝達関数および状態方程式の基本を理解し説明できる。Scilabを用いて1次遅れ系、2次遅れ系の時間応答シミュレーションを行うことができる。
2. PID制御パラメータの特性を理解し説明できる。PID制御をシミュレーションすることができ、適切なチューニングを行うことができる。

シーケンス制御に関する実験については、能動的な学習とするために令和3年の新カリキュラムから授業時間内に実施するアクティブラーニングを進めている。

申請者・担当教員	ふりがな	すずき たかまる	印		
	氏名	鈴木 尊丸		役職	助教・制御分野
	所属機関、学科	北九州工業高等専門学校 生産デザイン工学科 機械創造システムコース			
	ホームページURL	https://www.ket.ac.jp			
	同上所在地	〒802-0985 福岡県北九州市小倉南区志井 5-20-1	電話番号	093-964-7262	
		連絡先FAX	093-964-7262		

この報告書を 高等専門学校として承認いたします。

北九州工業高等専門学校

校長

鶴見 智

校長印

科目名 メカトロニクス工学Ⅰ，メカトロニクス工学Ⅱ

1. 教育の概要

1.1 メカトロニクス関連教育科目名（座学）とその概要

【メカトロニクス関連教育科目名】メカトロニクス工学Ⅰ（前期1単位）

【概要】機械創造システムコース5年生の前期のみの半期科目としての「メカトロニクス工学（前期2単位）」の授業が、2022年度から「メカトロニクス工学Ⅰ（前期1単位）」「メカトロニクス工学Ⅱ（後期1単位）」に科目変更された。これは、機械創造システムコースが養成する人物像として「機械工学をベースに、実践的な機械技術、幅広い工学分野に関する知識・技術を身に付け、様々な技術が融合した高度な生産システム（電気、情報、制御）に対応できる技術者」としており、高度な生産システムへの対応スキルをより一層向上させるのがねらいである。前期の「メカトロニクス工学Ⅰ」の座学では、メカトロニクスの構成要素として必要不可欠である各種センサやアクチュエータや制御方法について幅広い知識を習得する。

1.2 実験・実習科目名、担当テーマ名とその概要

【実験・実習科目名】メカトロニクス工学Ⅱ（後期1単位）

【概要】機械創造システムコース5年生の後期の「メカトロニクス工学Ⅱ」では、前期で習得した各種センサやアクチュエータや制御方法の知識を活用して、実際に装置（直交3軸搬送ロボット）を制御するための実践力を養い、高度な生産システムに対応できる技術者の育成を目指す。具体的には、直交3軸搬送ロボットを動かすためのタイムチャート作成やそれを具現化するためのモータをはじめとするロボット構成要素の選定、シーケンス制御させるためのラダー図の作成をおこなう。

2. 教育の詳細

2.1 教育科目（座学）の教育効果詳細

科目名、目的、内容、対象学年、クラスの構成（学科単独か学科混合か、学生数など）、必修か選択か、などに加えて教育の効果、今後の課題等を記述してください。

【科目名】 メカトロニクス工学Ⅰ（前期1単位）

【目的】 メカトロニクスの構成要素として必要不可欠である各種センサやアクチュエータや制御方法について幅広い知識を習得することを目的とする。

【内容】 メカトロニクスの構成要素（機械・電気電子・情報）を学び全体像を把握した後、センサやセンサの信号処理について習得する。あわせて、モータやシリンダなどのアクチュエータの構造や特性、その駆動力を伝達する機械伝達機構、制御方法について習得する。

【対象学年】 機械創造システムコース5年

【クラスの構成（学科単独か学科混合か、学生数など）】 本コース単独の41名

【必修か選択か】 必修

【教育の効果】 学生は各種センサやアクチュエータ、制御方法など、幅広く知識を習得できた。

【今後の課題】 多くの内容を盛り込み学生の負担が大きかったため、今後も内容の精査をしていく。

2.2 実験・実習科目の教育効果詳細

科目名、テーマ名、目的、内容、対象学年、クラスの構成（学科単独か学科混合か、学生数など）、必修か選択か、などに加えて教育の効果、今後の課題等について記述してください。

【科目名】 メカトロニクス工学Ⅱ（後期1単位）

【目的】 前期で習得した各種センサやアクチュエータや制御方法の知識を活用して、実際に直交3軸搬送ロボットを制御する実践力を養い、高度な生産システムに対応できる技術者育成を目的とする。

【内容】 X・Y軸がボールねじ駆動、Z軸がエアシリンダ駆動方式になっており、シリンダの先端に吸引機構を具備した直交3軸搬送ロボット（図1）を対象として、ワークをピック&プレイス動作させるために必要な実践的な設計スキルを習得する。具体的には、まずは直交3軸搬送ロボットを動かすためのタイムチャート作成、次に目的の動きを実現させることができるかを確認するためのモータトルクやシリンダ内圧や真空パッドの吸引圧の計算、そしてシーケンス制御させるためのラダー図の作成方法について習得する。最後に、学生自身が作成したラダー図を直交3軸搬送ロボットに転送し、動作テストを実施することで、学生自らの成果を実感できるようにする。

【対象学年】 機械創造システムコース5年

【クラスの構成（学科単独か学科混合か、学生数など）】
本コース単独の41名

【必修か選択か】 必修

【教育の効果】 学生自身が作成したラダー図により実際に直交3軸搬送ロボットが動いた際には学生から感嘆の声が上がったため、反応は非常に良かった。

【今後の課題】 ラダー図作成が間に合わない学生が一部いたため、引き続き内容の精査が必要だと考える。

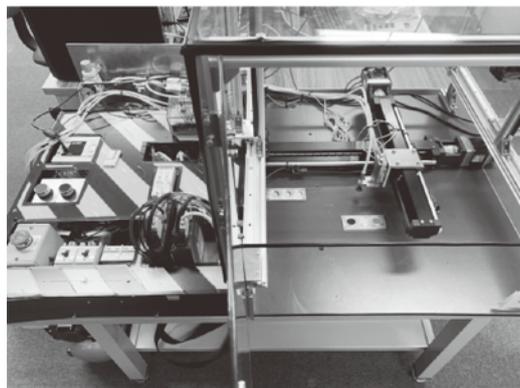


図1 今回開発した直交3軸搬送ロボット

申請者・担当教員	ふりがな	むろまき たかお	印		
	氏名	室巻 孝郎		役職	准教授
	所属機関、学科	舞鶴工業高等専門学校 機械工学科			
	ホームページ URL	http://www.maizuru-ct.ac.jp/			
	同上所在地	〒625-8511 京都府舞鶴市字白屋 234 番地	電話番号	0773-62-5600	連絡先FAX

この報告書を 舞鶴工業 高等専門学校として承認いたします。

舞鶴工業高等専門学校

校長

林 康裕

校長印

科目名 ものづくり演習，制御工学，機械工学実験Ⅱ，特別演習

1. 教育の概要

1.1 メカトロニクス関連教育科目名（座学）とその概要

● ものづくり演習

3DCAD の習得、Arduino によるプログラミング学習、およびオープンキャンパスの展示物や公開講座の体験キットなど、地域の小中学生が楽しめるメカトロ作品の設計製作を行う。デジタルファブリケーションに多くの学生に取り組んでもらうため、3D プリンタを増設し、各班 1 台利用できる環境整備を整えた。

● 制御工学

通年科目であり、古典制御（伝達関数、システムの安定性、周波数応答など）について学ぶ。機械工学実験Ⅱの制御工学に関するテーマへと内容がつながるように、PID 制御の演習を拡充した。

1.2 実験・実習科目名、担当テーマ名とその概要

● 機械工学実験Ⅱ

5つのテーマをローテーションして学ぶ。その内の1テーマである「制御工学演習」を申請者が担当しており、「レゴマインドストーム NXT」を使用してライントレースカーの製作に取り組む。指定された2つのコースを走行することでフィードバック制御について学習する。

● 特別演習

専攻科全学生が協働する形でメカトロニクスシステムの設計開発に取り組む。レゴ®エデュケーション SPIKE を新たに導入し、舞鶴高専主催の公開講座に参加した小中学生が体験できるアトラクションを開発する。

2. 教育の詳細

2.1 教育科目（座学）の教育効果詳細

● ものづくり演習（機械工学科 3 年, 学科単独 40 名, 必修）

[目的] 前半：3DCAD, 3D プリンタ, マイコンの扱いを通してデジタルファブ리케이션を実践する。
後半：グループワークを通してメカトロニクスシステムなどを設計製作する力を身につける。

[内容] 前半：3DCAD (Inventor または SolidWorks), 3D プリンタ, マイコン (Arduino) 学習

後半：地域企業が提示する課題を解決する装置の考案, 公開講座の体験キットやオープンキャンパスに展示するメカトロ装置の設計製作, コンテストへの応募作品の製作の中からテーマを選択

[教育効果] 前半の取り組みでは, 3DCAD, 3D プリンタ, マイコン (Arduino) を活用する力が身につく。後半の取り組みでは, グループワークを通して課題に対する設計製作の一連のプロセスを実践することができる。3DCAD の取り組みに関し, 2023 年および 2024 年の日本設計工学会誌表紙デザインコンテストで入賞した作品を図 1, 2 に示す。3D プリンタに関する取り組みに関し, 第 20 回全国高等専門学校デザインコンペティション プレデザコン部門で入賞した作品を図 3 に示す。後半の取り組みに関し, オープンキャンパス展示用に製作された作品例を図 4, 5 に示す。

[今後の課題] 3D プリンタの故障が多いため, 故障率を減らす改善が必要である。

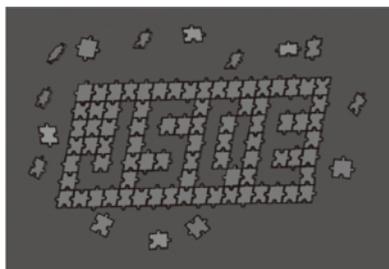


図 1 2023 年入賞作品

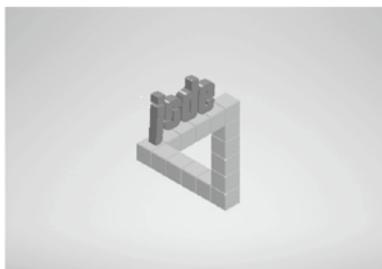


図 2 2024 年入賞作品



図 3 プレデザコン入賞作品

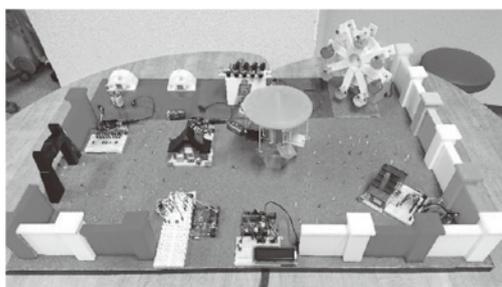


図 4 2022 年度展示用作品

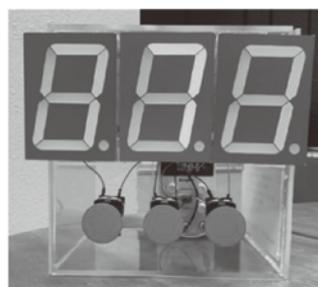


図 5 2023 年度展示用作品

● 制御工学（機械工学科 4 年, 学科単独 40 名, 必修）

[目的] 古典制御（伝達関数, 動的システムの応答, システムの安定性, 周波数応答など）について学習する。

[内容] システムの数学モデル, 伝達関数表現, 動的システム（1次遅れ系・2次遅れ系）の応答, 極と安定性, PID 制御, ボード線図と周波数伝達関数

[教育効果] 古典制御に関する知識が身につく。また, 5 年の機械工学実験で取り組むラインレースカー製作で重要となるフィードバック制御について学習できる。

[今後の課題] 演習の効果を高めるために, MATLAB を利用した数値シミュレーションの導入が必要である。

2.2 実験・実習科目の教育効果詳細

● 機械工学実験Ⅱ（機械工学科5年，学科単独40名，必修）

担当テーマ名：制御工学演習

[目的] ライトレースカーを題材とし，目的を決めて制御するとはどういうことかについて学ぶ。

[内容] レゴマインドストーム NXT 用いたライトレースカーの製作（指定された A・B のコース（図 6，7）を走行するライトレースカーを各自が製作する）

[教育効果] ライトレースカーを実際に製作することを通して，制御工学の授業で学習した内容を理解できる。学生の作品例を図 8 に示す。

[今後の課題] レゴマインドストーム NXT はサポートが終了しているため，数年以内に SPIKE プライムなどへの移行が必要となる。

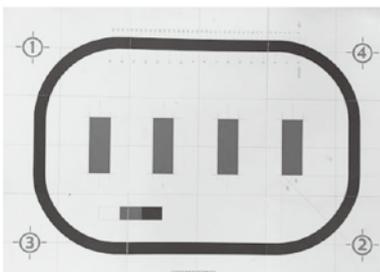


図 6 コース A

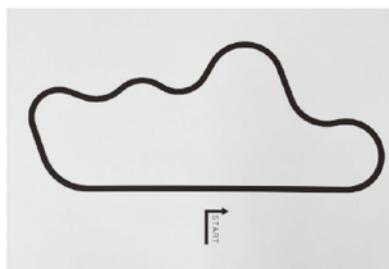


図 7 コース B

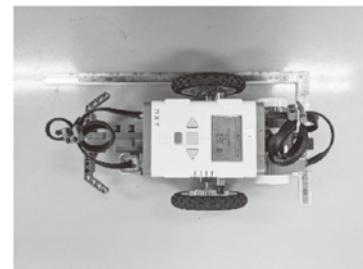


図 8 作品例

● 特別演習（専攻科2年，混合16名，必修）

[目的] 小中学生を対象としたロボットシステムの開発を実践し，グループでメカトロシステムを開発する力を身につける。

[内容] レゴ®エデュケーション SPIKE を用いた体験型アトラクションの設計開発

[教育効果] 体験型アトラクションの設計開発を通してメカトロニクス技術および IoT 関連技術について学ぶことができる。また，公開講座を通して地域貢献活動につながる。本取組の詳細については参考文献[1]に記載している。2022年12月および2023年12月に実施した公開講座の様子を図9，10に示す。

[今後の課題] ロボット製作，アプリ製作，フィールド製作を分業することが多いため，全員がメカトロニクス技術および IoT 技術を用いた開発に携わるわけではない点について改善が必要である。



図 9 2022年12月の様子

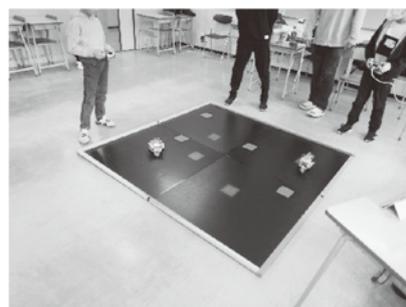


図 10 2023年12月の様子

参考文献

[1] 室巻孝郎，毛利聡，2022年度レゴ SPIKE プライムを用いた体験授業，舞鶴工業高等専門学校紀要，第58号，55-58（2023. 3）

財団設立趣意とその後の経緯

グローバル化する国際経済環境の中で、我が国産業がひきつづき発展をとげるには、産業技術の一層の進歩に大きな役割が期待されます。この期待に応え得る技術の中で、機械の運動に関する技術と運動の電子制御に関する技術をシステム統合して一体化するメカトロニクス技術は、今日までとりわけめざましい発展をとげ、さらに未来の技術革新に果たす役割への期待は広がりつつあります。

これまで、機械工学と電子工学の技術融合により開花したメカトロニクスの産業技術は、これからの発展に向けて機械、軸受などの機械要素、センサ、アクチュエータ、運動制御、ロボット化など、多くの未解決の課題があります。その解決には、より高度な知的機能、マイクロ～ナノ・メートルへの微細化と極超精密化、超苛酷な使用条件、カーボンニュートラルをはじめとする地球環境対応やエネルギー革命など、今迄とは異なる次元への技術革新が求められます。それには、機械および電子制御のみならず、トライボロジー、素材、光学、情報、AI、ロボットなど、多分野にわたる知見を採り入れた産業技術の開発が必要不可欠です。さらに技術開発の段階においても、基盤になる科学と技術の研究・開発とともに、多分野の学際領域についての高専、大学、研究機関等における研究と産業における技術開発とを融合させつつ、基礎にまで立ち戻った研究が強く求められます。

私共は以上のような認識に立ち、メカトロニクス技術の一層の飛躍、発展を実現するため、メカトロニクス技術の高度化に関する研究・開発、技術交流、国際研究集会への助成などにより機械を基盤とする産業技術の高度化を図り、我が国産業の発展と国民生活の向上に寄与する目的で、1988年「財団法人メカトロニクス技術高度化財団」を設立しました。

2010年には公益財団法人に移行するのを機に、その名称を「公益財団法人NSKメカトロニクス技術高度化財団」と変更しました。これにより私共は出捐企業である日本精工株式会社およびそのグループ会社と一体となってメカトロニクス技術の高度化を図るための助成事業の取り組みを強化し充実させるとともに、2012年にはメカトロニクス技術教育の助成事業を開始し、2017年には教員個人が行う教育も支援対象としました。2018年には財団設立30周年を迎えることができました。今後とも我が国のメカトロニクス技術分野の人材の増加とレベルの向上を目指してまいります。

財団設立日	1988年4月30日
公益財団法人移行日	2010年11月1日
行政庁	内閣府

事業内容

- (1) メカトロニクス技術の高度化に関する研究開発への助成
- (2) メカトロニクス技術の高度化に関する技術教育への助成
- (3) メカトロニクス技術の高度化に関する技術交流への助成
- (4) メカトロニクス技術の高度化に関する講演会、研究会等の開催及び助成
- (5) メカトロニクス技術の高度化に関する情報の収集及び提供
- (6) 上記に掲げるもののほか、本財団の目的を達成するために必要な事業

理事

理事長	内山俊弘	日本精工株式会社 相談役
専務理事	加藤総一郎	当財団事務局長
理事	荒牧宏敏	元日本精工株式会社 専務
理事	進士忠彦	東京工業大学未来産業技術研究所教授
理事	杉村丈一	九州大学名誉教授 水素材料先端科学研究センター特任教授
理事	樋口俊郎	東京大学名誉教授
理事	北條春夫	東京工業大学名誉教授
理事	若林利明	香川大学名誉教授

監事

監事	満江直樹	元日本精工株式会社 専務
監事	望月明美	(株)ツムラ社外取締役 旭化成株式会社 社外監査役 SBI ホールディングス(株)非常勤監査役 公認会計士

評議員

評議員	黒河周平	九州大学教授
評議員	澤江義則	九州大学教授
評議員	下条誠	電気通信大学名誉教授
評議員	田中裕久	横浜国立大学名誉教授
評議員	長竹和夫	元株式会社 AD Tech 社長
評議員	野波健蔵	千葉大学名誉教授
評議員	羽根一博	東北大学未来科学技術共同研究センター特任教授
評議員	松原正英	元日本精工株式会社 専務
評議員	村上保夫	元当財団専務理事
評議員	山川宏	早稲田大学名誉教授

沿 革

1988年	4月	財団設立、基本財産3億円、理事長 長谷川正男(日本精工(株)取締役会長) 審査委員長 石原智男(東京大学名誉教授、(財)日本自動車研究所副理事長)
1990年	2月	荒田俊雄(日本精工(株)取締役社長) 理事長就任
	9月	事務所を東京都千代田区丸の内から東京都品川区大崎に移転
1991年	3月	佐田登志夫理事(東京大学名誉教授、理科学研究所副理事長) 審査委員長就任
	3月	日本精工株式会社2億円寄附 基本財産5億円に
	6月	エヌエスケー・ワーナー株式会社1億円寄附 基本財産6億円に
	12月	エヌエスケー・トリントン株式会社5千万円寄附 基本財産6.5億円に
1992年	6月	エヌエスケー・トリントン株式会社5千万円寄附 基本財産7億円に
1999年	3月	土屋喜一理事(早稲田大学教授) 審査委員長就任
2002年	7月	関谷哲夫(日本精工(株)取締役会長) 理事長就任
2007年	3月	染谷常雄理事(東京大学名誉教授) 審査委員長就任
2009年	7月	朝香聖一(日本精工(株)取締役会長) 理事長就任
2010年	11月	公益認定により公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団と改称し移行
2012年	4月	高等専門学校におけるメカトロニクス技術教育への助成事業を開始
2017年	3月	下河邊明理事(東京工業大学名誉教授) 審査委員長就任
	4月	高等専門学校におけるメカトロニクス関連教育を担当する教員個人への支援を開始
2018年	11月	財団設立30周年記念式典開催
2021年	7月	北條春夫理事(東京工業大学名誉教授) 審査委員長就任
2023年	2月	内山俊弘(日本精工(株)取締役会長) 理事長就任

助成実績

	1988年度～ 2018年度年計	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	合計
研究開発助成(件)	585	13	15	16	18	17	664
教育助成(件)*1	34	7	7	5	1	2	56
技術交流助成(件)	133	—	—	—	—	—	133
集会助成(件)	98	2	4	6	3	4	117
助成金額合計(千円)	1,000,361	37,579	43,180	41,157	39,705	40,730	1,202,712

*1 教育助成は2012年度から開始

研究助成・教育助成 成果報告書 No. 34

公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団 2021 (令和3)年度(第12期)助成事業分

2024年8月1日発行

公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団

NSK-FAM (NSK Foundation for the Advancement of Mechatronics)

〒141-0032 東京都品川区大崎1丁目6番3号(日精ビルディング)

電話：03-5496-5746、FAX：03-5496-5748、ホームページ：<http://www.nskfam.or.jp/>

編集発行人：事務局長 加藤 総一郎

印刷：株式会社 TPS