

NSK-FAM

研究助成・教育助成 成果報告書

No. 3 6

公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団
2 0 2 3（令和 5）年度（第 1 4 期）助成事業分

2 0 2 6（令和 8）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

このたび公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団 2023（令和5）年度（第14期）助成事業分の「研究助成・教育助成 成果報告書 No. 36」を纏めましたのでお届け致します。

これは、2024（令和6）年4月から2026（令和8）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
様が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
に存じます。

さて、2025（令和7）年度は、研究助成として15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5件、教員個人が行う教育を支援対象とするB助成に1件を採択いた
しました。

これにより、助成事業の累積件数は、公益財団移行前の財団設立時から昨年度
まで、研究助成、交流助成、集会助成、教育助成を合わせて1,020件
（うち研究助成694件、教育助成A助成、B助成含め69件）、助成金額にし
て約1,287百万円（研究助成 約1,080百万円、教育助成 約131百
万円）となりました。

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。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ますので、今後ともご支援、ご鞭撻の程お
願い申し上げます。

2026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. 空気中で動作可能な pm 変位計測制御装置の開発		1
長岡技術科学大学 大学院 機械系 (群馬高等専門学校 機械工学科)	教 授 明 田 川 正 人 助 教 樋 口 雅 人	
2. あらゆる材質の物体を高速三次元計測可能な状態遷移予測とスパース推定による 三次元陰関数表現学習を活用したロボットハンドリングシステム		2
東京理科大学 創域理工学部 機械航空宇宙工学科	准教授 荒 井 翔 悟	
3. ポータブル人工透析を目指したファウリング防止機能を有する小型血液ポンプの開発		3
大分大学 理工学部 理工学科 (大分大学 医学部 先進医療科学科)	教 授 菊 池 武 士 講 師 丹 下 佳 洋	
4. ソフト骨格を内蔵した温度応答性ゲルアクチュエータによるマイクロロボットの開発		4
東京農工大学 工学研究院 先端機械システム部門 (芝浦工業大学 工学部 機械工学課程 先進機械コース)	准教授 倉 科 佑 太 助 教 吉 田 光 輝	
5. 固有振動数成分除去法による位置決め指令設計方法とその輪郭制御への応用		5
名古屋大学 大学院工学研究科 オークマ工作機械工学寄附講座	特任教授 佐 藤 隆 太	
6. 繊維強化プラスチック成形品の繊維配向評価手法の確立と力学特性の予測の研究		6
金沢工業大学 工学部 先進機械システム工学科 (金沢工業大学 高信頼理工学研究センター)	教 授 瀬 戸 雅 宏 教 授 山 部 昌	
7. 直動スライダ用高真空用イオン液体循環ポンプの開発		7
大同大学 工学部 機械工学科 (東京大学 生産技術研究所)	教 授 杉 谷 啓 特任助教 岡 部 貴 雄	
8. SWCNT をテンプレートとする一次元 BNNT ヘテロ構造による DLC 膜の高温トライボロジー特性の向上の研究		8
東京科学大学 総合研究院 未来産業技術研究所 (北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科)	助 教 張 鋭 璽 教 授 長 弘 基	
9. PTZ カメラと機械学習を用いた追従型三次元座標・姿勢計測システムの開発		9
静岡理工科大学 理工学部 機械工学科	教 授 飛 田 和 輝	

研 究 題 目	助成対象者 (共同研究者)	頁
10. 複合磁性材を用いた高温超電導電磁石の可変磁場高速化に向けた基礎評価		10
工学院大学 工学部 電気電子工学科 (信州大学 学術研究院工学系)	准教授 平 山 齊 准教授 佐 藤 光 秀	
11. 6軸精密自走ロボットの開発と機械学習による自動精密作業の実現		11
横浜国立大学 大学院環境情報研究院 機械・材料・海洋系工学専攻 (横浜国立大学 大学院環境情報研究院 機械・材料・海洋系工学専攻)	准教授 淵 脇 大 海 准教授 樋 口 丈 浩	
12. 等方性超精密ダイヤモンド切削のための2軸回転フライカッターの開発		12
東京大学 大学院工学系研究科 精密工学専攻	准教授 細 畠 拓 也	
13. 空圧によって駆動されるクラゲ型水塊輸送装置の流れ構造に関する実験的研究		13
津山工業高等専門学校 総合理工学科機械システム系	教 授 細 谷 和 範	
14. 振動発電を用いたイベントドリブン型センサによる工作機械異常振動検出		14
神戸大学 大学院工学研究科 機械工学専攻	准教授 本 間 浩 章	
15. ロボットマニピレータの作業空間内コンプライアンス測定ユニットの開発		15
東京大学 生産技術研究所	教 授 吉 岡 勇 人	
16. Tribological properties of functionalized carbon nanotube additives in conductive grease		16
マレーシア工科大学 マレーシア日本国際工科院 (マレーシア工科大学 マレーシア日本国際工科院)	上級講師 Shahira Liza Binti Kamis 教 授 福 田 応 夫	

(敬称略・50音順)

目 次

科 目 名	助成対象者	頁
A助成		
1. 北九州工業高等専門学校 生産デザイン工学科	教 授 松 尾 貴 之	17
CAD 演習		
ロボットデザイン		
創造ロボット演習 A, B		
ロボット知能化演習		
プログラミング		
プログラミング応用		
データサイエンス基礎		
データサイエンス I		
2. 一関工業高等専門学校 未来創造工学科	准教授 三 浦 弘 樹	21
機械学習		
実践制御工学		
創成工学実験		
機械総合設計実習		

(敬称略・50 音順 所属機関成果報告時)

空气中で動作可能な pm 変位計測制御装置の開発

明田川正人 長岡技術科学大学 教授

1. 目的

次世代の EUV 半導体露光装置のミラー加工精度は 10pm 程度となっており、pm またはそれ以下の変位計測分解能と運動分解能を持つ変位計測制御システムがいずれ必要である。本研究では、空气中で動作可能な pm 変位計測制御システムを、正弦波位相変調干渉計、圧電素子 (PZT) と平行バネを用いた力学的変位発生装置、外乱を抑止する恒温セルなどを用いて開発することを目的とした。

2. 研究内容

図 1 に示す装置を開発した。装置は、光源部、低熱膨張鋳鉄を用いた力学的変位発生装置 (可動ステージ)、その装置に一体化してある変位計測を行う干渉計、干渉計の出力光を計測する光ディテクタ、その出力をデジタル演算し変位を復調する AD コンバータ付 FPGA、および同期回路 (関数発生器)、力学的変位発生装置 (干渉計) を内包する恒温セルからなる。光源から干渉計への入射光と干渉計から光ディテクタへの出射光は、ファイバを用い、熱源 (光源と光ディテクタ) を恒温セルから離れた。干渉計参照光路には電気光学素子 EOM を配置し、10MHz の位相変調を行う。干渉計測定光路には、可動ステージに台形プリズムを静止部に直角プリズムを配置し 5 パス光路を作った。可動ステージの変位が 5 倍に増幅される。可動ステージの共振周波数を 9kHz 以上とし、振動音響の影響を軽減させた。FPGA の AD コンバータのサンプリングレートは、変調周波数 10MHz と同期した 120MHz とし、文献 1) で提案した復調法を採用した。図 2 に示すように、恒温セルは外側から銅板・断熱材・銅板・断熱材・銅板となる複層構造を採用した。これにより恒温セル内部の温度変動は、実験室の温度変化 (設定室温 $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) に比べて 3 桁ほど小さくなった (およそ $\pm 1.5\text{mK}$)。干渉計の光路は銅ブロックで覆い、空気揺らぎを低減させた。

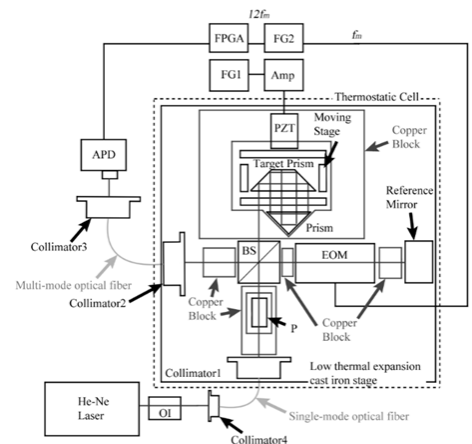


図 1 開発した装置

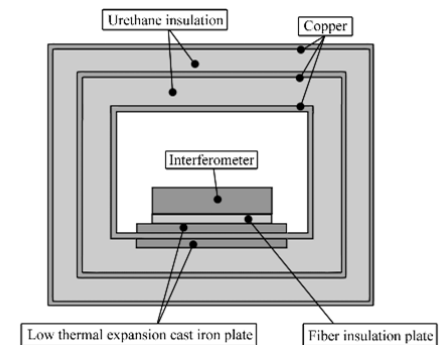


図 2 恒温セルの構造 (断面図)

3. 成果

図 3 が本研究の成果である。可動ステージに 5pm@5Hz の矩形信号を与えたときに得られた干渉信号である。5pm の変位を空气中で生成し計測制御できたことが証明された。

(文献 1) 樋口雅人他, 精密工学会誌, 2024, 90.1: 153-158.

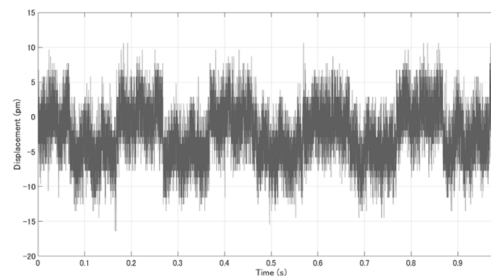


図 3 開発した装置で得られた 5pm の矩形変位の矩形変位

あらゆる材質の物体を高速三次元計測可能な状態遷移予測とスパース推定による 三次元陰関数表現学習を活用したロボットハンドリングシステム

荒井翔悟 東京理科大学 准教授

1. 目的

透明・光沢物体を含む多様な光学特性物体に対し、安価な単眼 RGB カメラのみで把持を実現するロボットピッキングシステムを開発。本研究の提案手法「HEAPGrasp (Hand-Eye Active Perception to Grasp Objects with Diverse Optical Properties)」は、高価 3D カメラに頼らず Shape from Silhouette と能動視覚サーボで低コスト・高汎用化を実現する。

2. 研究内容

提案法 HEAPGrasp は以下の通り動作する。ハンドアイカメラにより撮影された RGB 画像をセグメンテーションし、SfS による 3D 占有格子を構成した後、同結果を用いて能動視覚サーボによる撮影位置姿勢候補算出を行う。撮影位置姿勢候補と把持候補生成モデルからの出力を統合して、次時刻のハンド位置姿勢を決定する。検証試験では、透明・光沢・拡散反射物体 18 種を用い、VGN, GraspNeRF, HEAPGrasp w/o VP, HEAPGrasp (w/ VP) の 4 手法を比較 (表 1 と図 1)。

表 1 提案法を用いた比較検証結果

RESULTS OF THE REAL ROBOT EXPERIMENTS

Method	Scene	Grasp success rate (%)			Trajectory length (m)	Shortest trajectory ratio (%)	Execution time (s)
		Seen	Unseen	Overall			
VGN [6]	Opaque	–	–	88.5 (23/26)	1.95 ± 0.10	340 ± 40	10.06 ± 0.35
	Specular	–	–	72.0 (18/25)	1.97 ± 0.09	343 ± 37	10.00 ± 0.38
	Transparent	–	–	53.8 (14/26)	1.99 ± 0.11	366 ± 30	10.12 ± 0.31
	Mixed	–	–	74.1 (20/27)	1.99 ± 0.13	349 ± 46	10.13 ± 0.38
	Overall	–	–	72.1 (75/104)	1.98 ± 0.11	348 ± 41	10.07 ± 0.36
GraspNeRF [13]	Opaque	–	–	91.7 (22/24)	2.31 ± 0.06	419 ± 48	18.50 ± 0.62
	Specular	–	–	52.2 (12/23)	2.36 ± 0.10	439 ± 33	19.00 ± 0.64
	Transparent	–	–	68.2 (15/22)	2.36 ± 0.11	446 ± 50	19.11 ± 0.99
	Mixed	–	–	73.1 (19/26)	2.30 ± 0.06	433 ± 41	18.79 ± 0.43
	Overall	–	–	71.6 (68/95)	2.33 ± 0.09	432 ± 45	18.80 ± 0.72
HEAPGrasp w/o VP	Opaque	92.9 (13/14)	100.0 (12/12)	96.2 (25/26)	2.03 ± 0.08	315 ± 27	9.98 ± 0.37
	Specular	100.0 (13/13)	100.0 (12/12)	100.0 (25/25)	2.03 ± 0.07	322 ± 25	9.88 ± 0.25
	Transparent	100.0 (13/13)	91.7 (11/12)	96.0 (24/25)	2.03 ± 0.07	332 ± 34	9.85 ± 0.18
	Mixed	100.0 (11/11)	100.0 (14/14)	100.0 (25/25)	2.03 ± 0.08	323 ± 25	9.94 ± 0.34
	Overall	98.0 (50/51)	98.0 (49/50)	98.0 (99/101)	2.03 ± 0.07	323 ± 29	9.91 ± 0.30
HEAPGrasp	Opaque	92.9 (13/14)	92.3 (12/13)	92.6 (25/27)	0.98 ± 0.13	153 ± 32	8.23 ± 1.10
	Specular	100.0 (13/13)	100.0 (12/12)	100.0 (25/25)	0.95 ± 0.11	151 ± 27	7.90 ± 0.81
	Transparent	92.3 (12/13)	100.0 (10/10)	95.7 (22/23)	0.92 ± 0.08	146 ± 23	7.83 ± 0.53
	Mixed	100.0 (11/11)	93.3 (14/15)	96.2 (25/26)	1.01 ± 0.17	159 ± 33	8.07 ± 0.97
	Overall	96.1 (49/51)	96.0 (48/50)	96.0 (97/101)	0.97 ± 0.13	152 ± 29	8.01 ± 0.90



図：提案手法 HEAPGrasp による透明物体ピッキング実行例

3. 成果

- (1) HEAPGrasp は実機把持成功率 96.0%を達成 (VGN 72.1%, GraspNeRF 71.6%を大幅上回る)。
- (2) 能動視覚サーボで経路長 52%短縮 (1.03m), タスク時間 19%短縮 (8.01 秒)。
- (3) 本成果は IEEE Robotics and Automation Letters (RAL 2026) に採択され, 2026 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2026), Vienna, Austria, June 1-5, 2026 にて発表済み。

ポータブル人工透析を目指したファウリング防止機能を有する 小型血液ポンプの開発

菊池武士 大分大学 教授

1. 目的

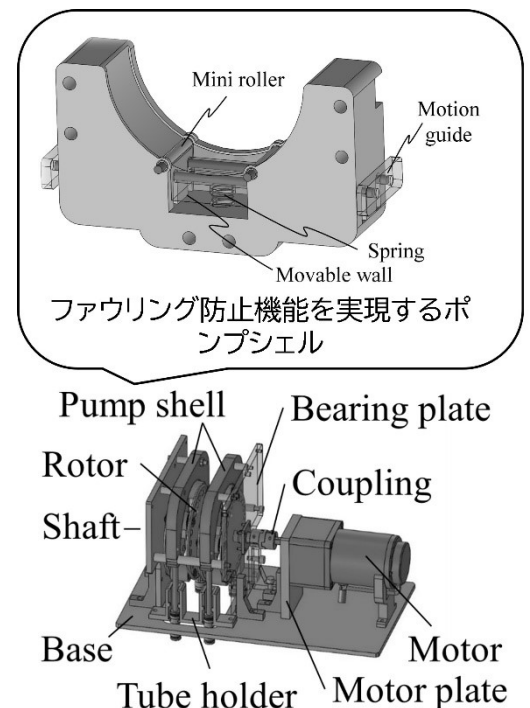
透析患者数は世界中で 200 万人以上と言われている。既存の透析治療は通院や長時間の拘束が必要となり、患者および家族のQOLが低下する。透析システムにおいては血液輸送だけでなく、透析液の入り口と出口の合わせて最低3つのポンプが必要となっており、このことがシステムの大型化につながっている。また、ポータブル人工透析のように小型ポンプで低流量の運転を行う場合、血中たんぱくが中空糸膜に沈着し、目詰まり（ファウリング）が起りやすくなる。そこで本研究ではファウリング防止機能を有する小型の透析用ポンプを開発することを目指す。

2. 研究内容

本研究では、人工透析器内の中空糸表面におけるファウリングを防止する機能を有する人工透析システムを提案し、それを実現するポンプシェルの開発を行った。提案したシステムは、ポータブル人工透析システムへの応用を想定して小型化が可能な構成とした。これを実現するための一つの方策として、透析液入り口に相当するポンプ流速を出口流速に比べて上昇方向に調整可能な変形シェルの提案した。本シェルは、ローラポンプのポンプシェルと容易に置換え可能であり、小型形状記憶合金アクチュエータで稼働するため消費電力も少ない。

3. 成果

- (1) Toshiki Komatsu, Mamiko Matsuo, Takehito Kikuchi, Yoshihiro Tange, Tadashi Tomo, Investigation of the effect of roller pump geometry and speed on pulsation in dialysis tube, Proceedings of The 5th International Conference on Biomedical Engineering, pp. 12-16, 2024 (ポスター賞受賞)
- (2) 小松寿輝, 松尾真心子, 菊池武士, 丹下佳洋, 友雅司, 小型人工透析システムのためのローラポンプにおけるシェルの形状が流量に与える影響の調査, 第 25 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp. 2743-2746, 2024
- (3) Mamiko Matsuo, Takehito Kikuchi, Yoshihiro Tange, Tadashi Tomo, Proposal of deformable pump-shell for compact a B-1 2 a ing hemodialysis system, Proceedings of 31st International Symposium on Artificial Life and Robotics and 11th International Symposium on BioComplexity, pp.281-285, 2026



ソフト骨格を内蔵した温度応答性ゲルアクチュエータによる マイクロロボットの開発

倉科佑太 東京農工大学 准教授

1. 目的

ハイドロゲルは、水を含む高分子ネットワークで構成され、その分子の特性により極めて多様な機能や性質を示す。例えば、温度などの刺激に反応して水の出入により膨張・収縮する機能性ハイドロゲルが開発されている。一方で、粘弾性体であるハイドロゲルは、複雑な形状を保つことが困難で、球状や楕円状など安定した形状で使用されてきた。本研究では、この温度応答性ハイドロゲルに三次元フォトリソグラフィにより製作したマイクロサイズの光架橋樹脂（Off-Stoichiometric-Thiol-Ene : OSTE）を骨格として具備することで、新たなマイクロロボットを製作した。

2. 研究内容

ハイブリッドアクチュエータを製作するために、フォトリソグラフィで製作した格子骨格をアクリル樹脂の型に固定し、プレゲルハイドロゲル溶液を型に流し込み、その後ハイドロゲルを重合させた。これを用いて冷却・加熱実験を実施し、17°C から 40°C の範囲で温度調整した。

格子骨格の機械的特性を調整したアクチュエータを用いて温度による駆動実験をハイブリッドアクチュエータの変形方向は柱の幅の変化によって反転することが実証されました (Fig A). 幅の狭い柱 (200 μm) は、閉じる方向への曲げを促進した (Fig Aa,d). 一方で、広い柱 (400 μm) は開方向への曲げを引き起こした (Fig Ac,d). 中間幅の柱 (300 μm) ではねじれ変形を示した (Fig Ab).

これらの変形方向を理解するため、湾曲した格子骨格内の残留応力を有限要素解析により計算した。実験結果と解析結果から、ハイブリッドアクチュエータの変形方向は、ハイドロゲルの収縮力と格子骨格の残留応力のバランスによって決定されることが示唆された。以上の結果から、ハイドロゲルを用いた新たなアクチュエータの開発に成功した。

3. 成果

(1) H. Kozuki, K. Yoshida, H. Yasuga*, Y. Kurashina*, “Hydrogel-polymer hybrid actuator with soft lattice skeleton for excellent connectivity,” Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 430, 137377, 2025.

(2) ○H. Kozuki, K. Yoshida, H. Yasuga, Y. Kurashina, “Hydrogel-polymer hybrid actuator with tunable deformation behavior by varying lattice skeleton”, The 23rd International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers2025), Orlando, FL, USA, 2025/6/29-7/3.

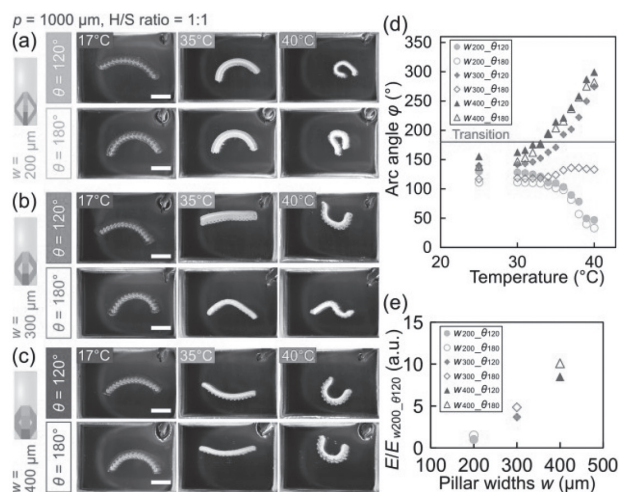


Fig A: Evaluation of deformation behavior of hydrogel-polymer hybrid actuator with varying pillar width of lattice skeleton. (a-c) Macroscopic images and (d) measurement of arc angle ϕ on the hybrid actuator at w = (a) 200, (b) 300, and (c) 400 μm . (e) Evaluation of residual stress of lattice skeleton. Various residual stress E normalized by lowest value $E_{w200_θ120}$. All scale bars = 5 mm.

固有振動数成分除去法による位置決め指令設計方法とその輪郭制御への応用

佐藤隆太 名古屋大学 特任教授

1. 目的

NC 工作機械や産業用ロボットでは、生産性向上のための高速な位置決めが必要とされるが、高速な位置決めを行うと被駆動体の慣性力の影響で残理由振動が生じ、大きな問題となる。本研究の目的は、加減速時間を延ばさずに残留振動を抑制できる位置決め指令設計方法の確立と、その方法の連続位置決め制御（輪郭制御）への適用である。

2. 研究内容

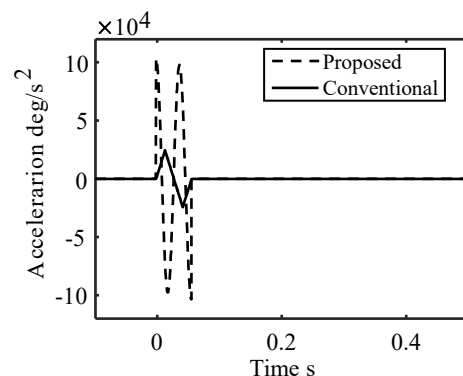
固有振動数成分除去法に基づく位置決め指令設計方法を開発した。この方法では、位置決め指令をフーリエ級数表現し、特定の周波数成分を 0 とする条件と、位置決め指令の初期および終端条件を与えることでフーリエ係数を求め、解析的に位置決め指令を計算する。その際、加減速時間と最大加速度との関係も解析的に求めることで、加速度制約を満たしながら最短時間で位置決めすることを可能とした。

回転軸上に固有振動数 10Hz のはりを設置し、はり先端の加速度を測定した。10 度の角度位置決めを行った場合の結果を図 1 に示す。開発した方法では、同じ加減速時定数にも関わらず振動を抑制できている。輪郭制御の例として、コーナ部の加減速指令設計に適用した結果を図 2 に示す。送り速度は 5000 mm/min としている。同じ加減速時定数の FIR フィルタを適用した場合には軌跡上に大きな振動が生じているのに対し、開発した方法では振動は発生せず、さらに内回り量も小さい。

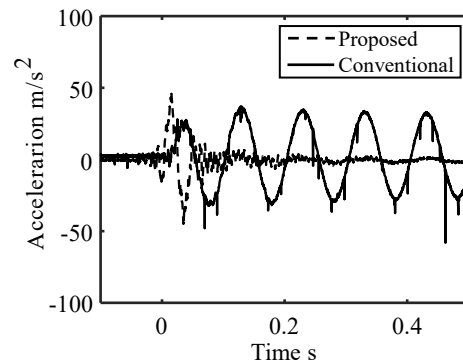
3. 成果

(1) 残留振動を発生させずに最短時間で位置決めするための指令を設計できた。

(2) コーナ部運動に対しても適用し、振動を発生させない指令を設計できた。

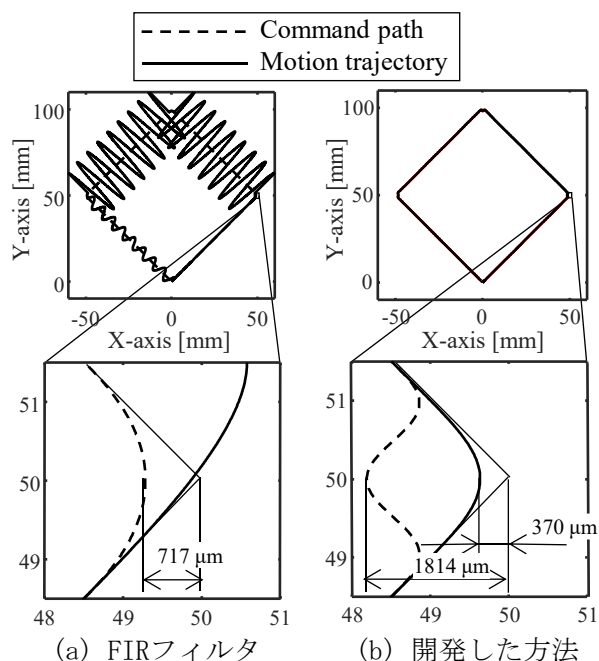


(a) 加速度指令



(b) 残留振動

図1 開発した位置決め指令設計方法の効果



(a) FIRフィルタ

(b) 開発した方法

図2 開発したコーナ部指令設計方法の効果

繊維強化プラスチック成形品の繊維配向評価手法の確立と力学特性の予測の研究

瀬戸雅宏 金沢工業大学 教授

1. 目的

繊維強化射出成形品では、成形中の繊維配向によって機械的特性の異方性やそり変形などの成形不良の原因となる。一方、成形中の繊維配向を制御できれば、成形品の強度、剛性を任意にコントロールすることができる。そのためには、成形中の繊維配向挙動を把握し予測することが重要となることから、本研究では、射出成形中の繊維配向挙動を観察、評価する方法を確立するとともに、繊維配向予測モデルを構築することを目的とした。

2. 研究内容

2.1 射出成形中の繊維配向評価

射出成形中の繊維配向挙動を観察するため、金型の一部に観察用のガラスブロックを埋め込んだ可視化金型を使用した。図1は可視化金型の一部を模式的に表した図である。金型キャビティを挟むようにガラスブロックを配置し、金型奥から光を照射して透過光を高速度カメラで撮影することで、キャビティ内を流れるガラス繊維を観察できる構造である。実験には透明性の高いポリスチレン（PS）を使用し、ガラス繊維0.1wt%含有させて繊維の挙動を観察した。図2は流動中における繊維配向角速度の実験値と従来理論モデルとの差を表したものである。横軸は理論値との差異で1が理論値と実験値が一致していること表しており、縦軸は繊維の量である。また図3は同様に繊維配向予測の改良モデルと実験値の差異を表した図である。従来モデルでは実際の配向角速度との差異は大きいですが、今回樹脂粘度の影響を考慮した新たな配向モデルでは、実験値と比較的によく一致していることがわかる。

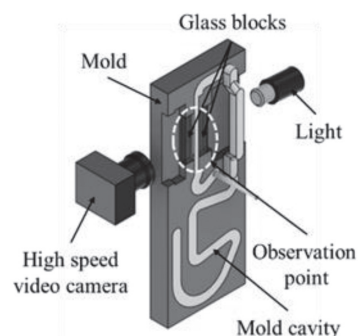


図1 可視化金型の模式図

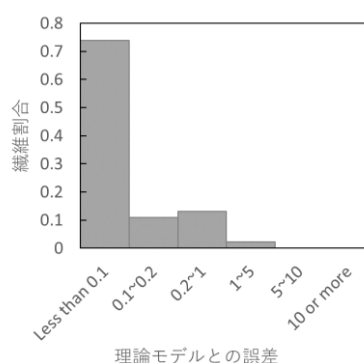


図2 従来モデルの配向角速度予測精度

2.2 機械的特性の予測

射出成形品の繊維配向による物性予測のため、射出成形 CAE による配向計算、均質化法による物性予測、構想解析ソフトウェアを連成させて、成形品の物性値（弾性率）を比較した。その結果、繊維配向モデルの改良により機械的物性の予測精度が向上した。

3. 成果

(1) 従来の配向モデルに樹脂粘度の影響を追加することで繊維配向予測精度が向上した。

(2) 射出成形品の物性予測は、射出成形 CAE における繊維配向予測精度に依存し、繊維配向モデルの変更により機械的物性の予測精度が向上する。

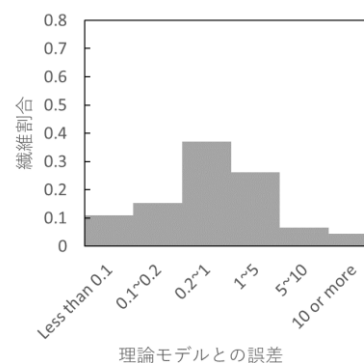


図3 改良モデルの配向角速度予測精度

直動スライダ用高真空用イオン液体循環ポンプの開発

杉谷啓 大同大学 教授
岡部貴雄 東京大学 助教

1. 目的

本研究では、小型化と同時に要求される性能を有する真空内液体循環システムを実現するために、回転軸を円筒形状とすることで外周部と内周部の二面を粘性ポンプ（図 1）とすることを提案した。ここでは提案する真空内液体循環システム用粘性ポンプの基本性能を明らかにし、設計指針を得ることを目的とした。

2. 研究内容

提案する粘性ポンプの設計するにあたり、軸受およびポンプなどのイオン液体が接する部分に使用されるステンレス材料に対する濡れ性について調査を行った。その結果、ステンレス材料に対する利用が想定されるイオン液体の接触角は非常に低く、濡れ性が良好であることが確認できた（図 2）。粘性ポンピングに対する濡れ性の影響はほとんどなく、粘性ポンプ内で壁面スリップを考慮する必要がないことが明らかとなった。次に、無限溝理論を用いた修正レイノルズ方程式を用いた数値計算により粘性ポンプのパラメータスタディを行い、内側ポンプ部の設計指針を明らかにするとともに、二重粘性ポンプの設計を行った。その結果、テーパ角が小さい程最大圧力、最大流量が大きいことが明らかとなった（図 3）。また、重力および遠心力の影響についても検討を行ったが、重力の影響は数%程度であり、遠心力についてもほとんど影響は見られなかった。末広型のテーパを施したスパイラル軸においても遠心力の影響は微かであり、ポンプ内で油膜切れが起きる危険性があることが示唆された。最後に、二重粘性ポンプの流量と圧力を同時に向上させるには、流量が最大となるように内側ポンプ部のスパイラル溝角度を取り、スパイラル溝部の長さを大きくする必要があることも明らかとなった。

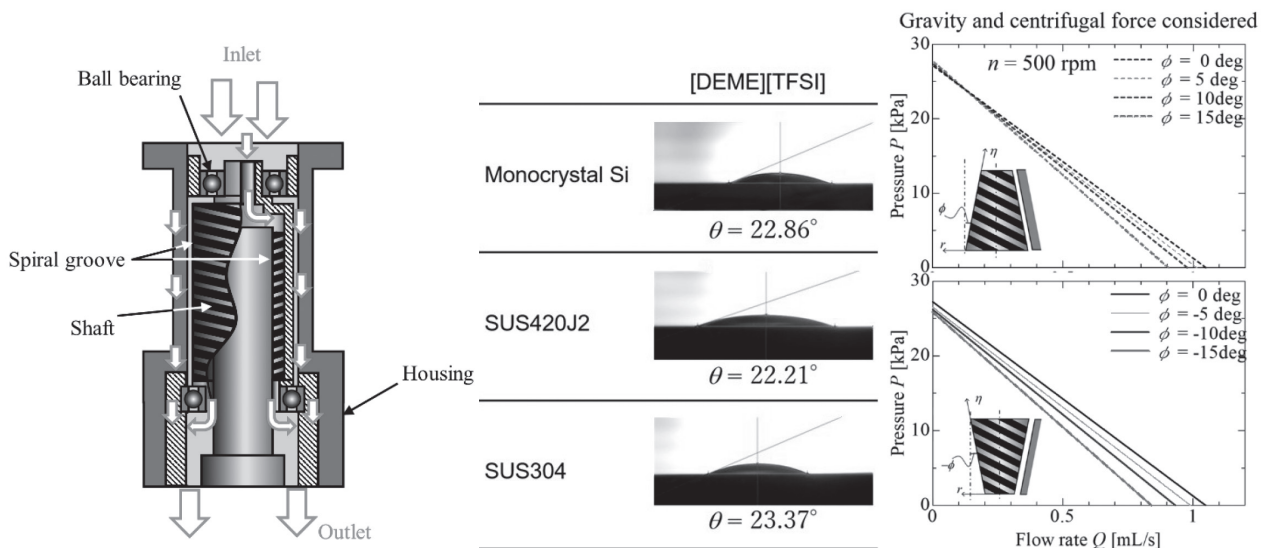


図 1 提案する二重粘性ポンプ

図 2 潤滑用 ILs の接触角

図 3 遠心力を考慮した P-Q 線図

3. 成果

（１）使用を想定している ILs は粘性ポンプに用いられる金属材料（SUS304, SUS420J2）に対して、非常に濡れ性が高いことが明らかとなった。そのため設計計算において、壁面スリップを考慮する必要はない。

（２）粘性ポンプのスパイラル溝付軸をテーパ状としても遠心力の影響はほとんどなく、テーパ角を大きくするほど流量が低下する。また、テーパの向きによってはポンプ内部で油膜切れを起こす恐れがあるため、スパイラル溝付軸は円筒形状が望ましい。

（３）パラメータスタディにより得られた設計指針を踏まえ、二重粘性ポンプの設計を行った。

SWCNT をテンプレートとする一次元 BNNT ヘテロ構造による DLC 膜の高温トライボロジー特性の向上の研究

張鋭璽 東京科学大学総合研究院未来産業技術研究所 助教

1. 目的

ta-C 膜は高硬度・低摩擦性を有する優れた DLC 膜である一方、高温大気中では酸化により特性が低下する課題がある。ta-C 膜の酸化しやすさは、膜中および表面に存在するダングリングボンド数に依存すると考えられる。そこで本研究では、ta-C 膜の最表面修飾に着目し、CVD 法による炭素ナノ構造の形成を試みた。特に、CNT 形成が可能な条件で ACCVD 処理を行い、ta-C 膜の欠陥構造および耐酸化性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 研究内容

未処理の ta-C 膜を基準試料とし、ACCVD 処理が ta-C 膜の構造変化および耐酸化性に及ぼす影響を系統的に評価するため、触媒担持、CVD 処理時の加熱、およびエタノール導入の有無を組み合わせた複数の試験片を作製した。これにより、触媒、熱処理、炭素源導入の各要因が ta-C 膜表面および膜内部の構造に与える影響を分離して検討した。

各試験片について、ラマン分光分析により膜全体の炭素結合構造を評価し、D ピーク、G ピークおよび D2 ピークの変化から、CVD 処理による炭素構造の変化を調べた。さらに、表面増強ラマン分光分析 (SERS) を用いて、通常のラマン測定では検出が困難な極表面近傍の構造変化を詳細に分析した。これにより、ta-C 膜最表面における CNT または CNT 類似の炭素ナノ構造形成の可能性を検討した。

また、電子スピン共鳴法 (ESR) を用いて、各試験片中のダングリングボンド数密度を測定し、CVD 処理による欠陥サイト不活性化の効果を定量的に評価した。さらに、TG-DTA を用いて大気中および窒素雰囲気中で昇温試験を行い、酸化に伴う重量変化および発熱挙動を測定した。これらの結果を総合的に比較することで、CVD 処理により形成された表面炭素構造、ダングリングボンド数密度、および ta-C 膜の耐酸化性との関係を明らかにした。

3. 成果

(1) ラマン分光分析および SERS 測定の結果、Co、Mo ナノ粒子を担持し、エタノールを導入した CVD 処理 ta-C 膜では、D2 ピークが明瞭に確認された。このことから、ta-C 膜の極表面に CNT、あるいは元の ta-C 膜とは異なる炭素ナノ構造が形成された可能性が示された。

(2) ESR 分析の結果、CVD 処理を行った試験片ではダングリングボンド数密度が低下し、特に触媒担持およびエタノール導入を行った試験片において最も低い値を示した。TG-DTA による大気中昇温試験では、CVD 処理 ta-C 膜の重量増加量が未処理 ta-C 膜よりも小さくなり、酸化反応が抑制される傾向が確認された。一方、窒素雰囲気中では顕著な重量変化が認められなかったことから、大気中での重量増加は主に酸化反応に起因すると考えられる。

(3) CVD 処理により形成された結晶性の高い表面炭素構造が、ta-C 膜のダングリングボンドを低減し、欠陥修復および耐酸化性向上に寄与する可能性が示唆された。

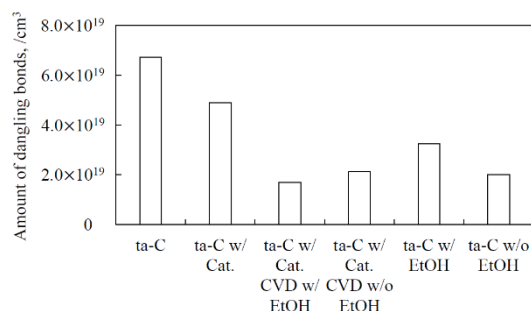


図1 各処理プロセスで作製したサンプルのダングリングボンド数密度を測定し、CVD 処理およびエタノール導入による低減効果を明らかにした。

PTZ カメラと機械学習を用いた追従型三次元座標・姿勢計測システムの開発

飛田和輝 静岡理工科大学 教授

1. 目的

近年、宅配用途をはじめとする自律移動ロボットの実証実験および実用化が国内外で進展しており、今後、移動ロボットの社会実装および商用化はさらに加速すると見込まれる。これに伴い、移動ロボットの製造および出荷段階における性能評価試験や、リスクアセスメントに基づく妥当性評価試験において、自己位置推定誤差に起因する危険事象のリスクを低減することが、これまで以上に重要な課題となっている。そのため、ロボットの移動精度を適切かつ定量的に評価し、安全性を担保するための計測手法の確立が求められている。本研究では、従来広く用いられている光学式モーションキャプチャシステムと比較して、広域計測時における設置性およびコスト面で優位性を有し、かつ、一般的なレーザトラッカでは計測が困難である対象物の姿勢情報を含めた位置・姿勢計測を可能とする新たな計測システムを構築することを目的としている。

2. 研究内容

本研究では、以下の内容について検討および試作・実装を行った。

- ・ 図1に示すような、ジンバルを用いたパン・チルト機構に高倍率ズームレンズ、カメラおよびレーザ距離計を搭載した計測システムを試作した。
- ・ 機械学習を用いて、ランドマークを検出し、追従、計測するプロセスを実装し、対象物の座標算出を実現した。
- ・ ランドマークの形状、色、コントラスト条件について検討・評価実験を実施し、昼夜を問わず安定した検出が可能となる発光型ランドマークを採用した。
- ・ 機械学習を活用し、ランドマークの姿勢（方位角）を推定するアルゴリズムを考案・実装した。



図1 試作システム

(1) ランドマークの位置計測誤差は、計測距離 10 m で最大 30 mm ($\sigma < 0.5$ mm), 30 m で最大 80 mm ($\sigma < 1.0$ mm) であった。これらの誤差は、ジンバルの角度分解能 (0.1°) から見積もられる理論的な位置誤差と同程度であり、本手法の原理的妥当性および高い再現性が確認された。

(2) 機械学習を用いたランドマークの方位角検出手法について一定の有効性を確認したが、再現性に課題が残っており、今後は他手法との併用による精度向上に取り組む。



図2 ランドマーク検出・追従実験例

複合磁性材を用いた高温超電導電磁石の可変磁場高速化に向けた基礎評価

平山 齊 工学院大学 准教授

1. 目的

超電導磁気浮上式リニア鉄道では、車両に搭載する超電導電磁石の発生磁界を走行速度に応じて可変化するすることで、消費電力を低減できる可能性がある。しかし、発生磁界を変化させると超電導導体に変動磁界が作用し、交流損失による発熱が生じるため、発生磁界を安定して短時間で調整することは困難である。本研究の目的は、低鉄損という特徴を有する複合磁性材を超電導体の周囲に配置することにより、超電導導体に作用する磁束分布を制御し、超電導電磁石の可変磁場高速化に向けた基礎技術を確立することである。

2. 研究内容

図 1 に本研究で実施した評価内容を示す。まず、複合磁性材シートを高温超電導線材に適用した場合の磁束密度分布を有限要素法解析により検討し、配置条件が超電導層に作用する磁束密度へ及ぼす影響を評価した。次に、解析結果に基づいて複合磁性材シートを高温超電導線材に適用し、液体窒素温度 77 K において四端子法により電界－電流特性を測定した。

さらに、外部交流磁界下での線材損失評価に向けて、外部磁界印加用マグネットを用いたピックアップコイル法による損失評価装置の主要部を整備し、磁界分布を評価した。また、超電導コイル全体で発生する熱量を評価するため、液体窒素蒸発法による損失測定システムを構築し、評価用銅コイルを用いて測定結果の妥当性を確認した。

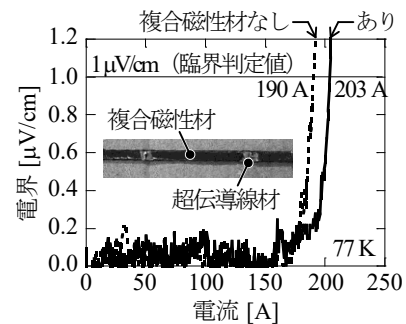
3. 成果

(1) 非磁性層を介して複合磁性材シートを適用することで、超電導層に作用する平均磁束密度が低減することを確認した。

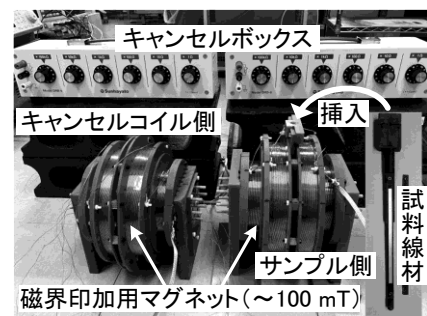
(2) 複合磁性材シートを高温超電導線材に適用することで、77 K における臨界電流が 190 A から 203 A へ向上し、約 7% の増加が得られた。

(3) ピックアップコイル法による線材損失評価に向けて、100 mT 級の外部磁界を印加可能なマグネットを作製し、サンプル線材を配置するための有効測定領域を確認した。

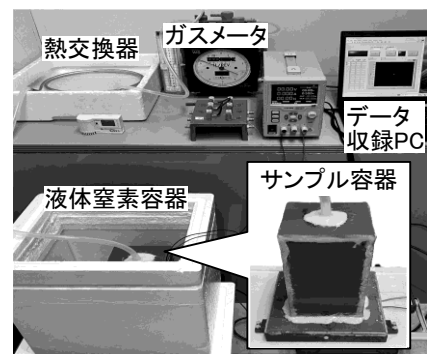
(4) 液体窒素蒸発法による損失測定システムについて、評価用銅コイルを用いた検証により、液体窒素蒸発法による損失測定結果が電気計測結果とほぼ一致することを確認した。



(a) 臨界電流測定結果



(b) ピックアップコイル法損失評価装置の主要部



(c) 液体窒素蒸発法測定装置

図 1 複合磁性材適用線材の評価と損失測定基盤

6 軸精密自走ロボットの開発と機械学習による自動精密作業の実現

刈脇大海 横浜国立大学 准教授

1. 目的

①【6 軸精密自走ロボット】

超小型ロボットアーム 目標：10 x 2 x 2cm³, 100g, Z (±4cm), $\theta_x\theta_y$ (±180°), 分解能: 0.2 μ m, 0.1°

液架橋力グリップ 目標：サイズ: 3 x 3 x 3cm³, 重量: 100g, 1~0.1mm の異種異形物

②【機械学習による自動精密作業】

広域・精密変位計測 目標：範囲: 200x200mm(XY), ±180°(θ), 分解能: 0.1 μ m, 0.3mdeg, 精度: 1 μ m, 1mdeg

微小部品 6 軸自動組立 目標：配置・裏返し・押込・ねじ締め, 力覚計測: 分解能: ±40mN, ±0.4Nmm

2. 研究内容

図1の超小型サイクロイド減速機・ステッピングモータにより, 図2, 表1の3軸マニピュレータを開発した. 図3、図4に示すように液架橋グリップ搭載精密ロボットを開発した. AIによる自動分類の基礎実験に成功した

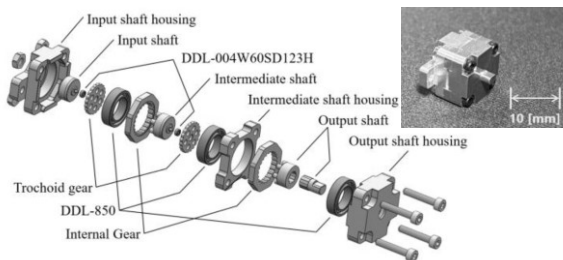


図1 超小型サイクロイド減速機

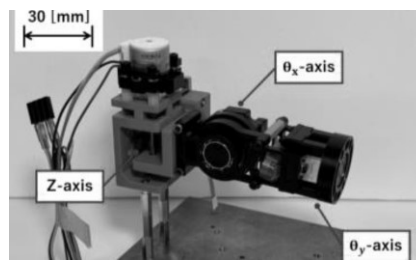


図2 3軸マニピュレータ

表1 3軸マニピュレータ諸元	
寸法 mm, 質量 g	88×37×58, 87
自由度	3 (z, θ_x, θ_y)
位置決め	Z: ±4.77[mm]
範囲	θ_x : ±99[deg]
	θ_y : ±358[deg]
繰り返し	Z: 0.52[μ m]
位置決め	θ_x : 2.4[deg]
精度	θ_y : 1.0[deg]

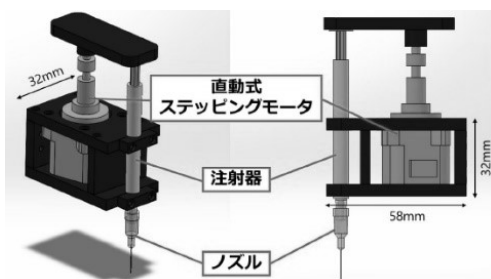


図3 液架橋力グリップ

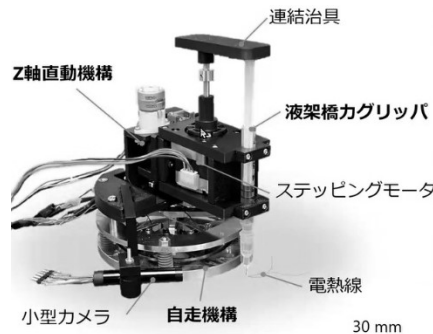


図4 液架橋力グリップ搭載ロボット

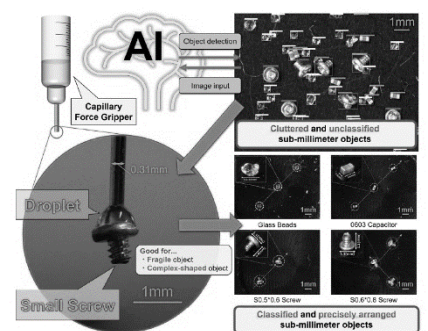


図5 AIによる自動分類

3. 成果

(1) XY θ 小型自走ロボットに搭載できる Z $\theta_x\theta_y$ 3 軸マニピュレータの開発に成功した.

(2) 0.3mm 珪藻骨格・精密ねじ(S ねじ) の機械学習による自動検出ピック & プレースに成功した

(3) 小型精密自走ロボットに搭載できる液架橋グリップの開発に成功した.

・液架橋グリップ (58 x 32 x 70mm, 160g) ノズル径 0.4mm, Z 軸: 範囲 13mm, 分解能 0.5 μ m

(4) 以下の二つの自動制御に成功した (図5)

・0.3mm 珪藻骨格・精密ねじ(S ねじ) の機械学習による自動検出・ピック & プレース・分類

(5) 力覚付ねじ締め機構の原理確認実験に成功した.

(6) 力覚グリップによるドライフラワー, 微小ばね (直径 1mm 以下) の精密把持に成功した

等方性超精密ダイヤモンド切削のための2軸回転フライカッターの開発

細島拓也 東京大学大学院工学系研究科 准教授

1. 目的

超精密ダイヤモンド切削加工は、光学素子金型や科学実験用ミラーなどの高精度光学素子の製造に用いられる重要な加工技術である。しかし、一枚刃工具を一定方向に走査するため、加工面には周期的な切削痕が形成され、表面粗さや光学特性に異方性が生じるという課題がある。本研究では、工具の回転に加えて切削方向を変化させる第2の回転軸を導入した2軸回転型フライカット加工法を提案し、等方的な微細表面性状を有する鏡面を創成するための基礎技術を確立することを目的とした。

2. 研究内容

まず、2軸回転型フライカットにより形成される加工痕を予測するため、材料除去シミュレーションおよび波動光学シミュレーションを行い、加工条件が微細表面性状に及ぼす影響を検討した。次に、既存の5軸超精密加工機を用いて、被加工物に回転・並進の同期運動を与えることにより、提案手法を模擬した加工実験を実施した。さらに、模擬加工で得られた知見を踏まえ、切削方向と切り込み深さの関係を調べる追加実験を行った。並行して、実際に2軸回転型フライカットを行うための実験装置を設計・製作した(図1)。

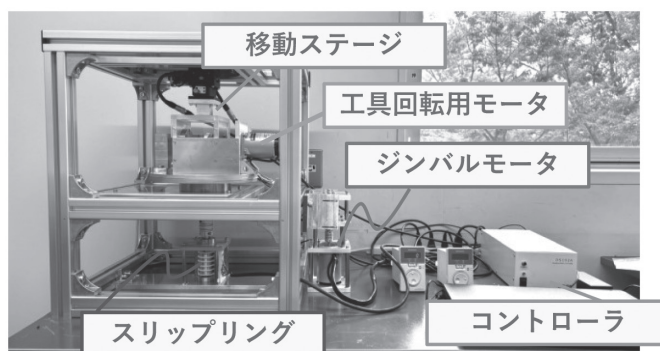


図1 製作した2軸回転型フライカット実験装置

3. 成果

(1) 既存の5軸超精密加工機を用いた模擬加工実験により、切削方向を変化させた場合の表面性状を確認した。その結果、従来の単軸フライカットとは異なる複雑な加工痕が得られ、2軸回転型フライカットにより微細表面性状を変化させられる可能性を確認した。

(2) 模擬加工および追加実験の結果、切削方向と切り込み深さの間に相関が見られることが分かった。この現象は、2軸回転型フライカットにおける加工面性状を理解する上で重要な課題であり、今後の実機切削実験に向けて、装置精度、工具アライメント、加工条件の設定とあわせて検討すべき事項として整理した。

(3) 2軸回転型フライカット実験装置を製作し、実機切削実験に向けた基盤を整えた。今後は、製作した2軸回転型フライカット実験装置を用いた切削実験へ展開し、切削方向と切り込み深さの関係を考慮した加工条件の検討を進める。

空圧によって駆動されるクラゲ型水塊移動装置の流れ構造に関する実験的研究

細谷和範 津山工業高等専門学校総合理工学学科機械システム系 教授

1. 目的

湖沼や沿岸域において、漂流する微細なプラスチックごみのように広く分散した水中ごみの回収は容易ではない。従来の水流ポンプを用いた回収装置では、閉塞や異物の巻き込みなどの課題を有する。本研究は、単純な構造でごみの巻き込みに強く、流れ場を利用してごみを捕集する機構として、図1に示すようなクラゲの傘の開閉運動により生じる流れの把握を通じて、タコクラゲの口腕構造を模倣した整流板を持つ、遊泳とごみ捕集が可能な空圧駆動のクラゲ型ロボットを開発することを目的とする。

2. 研究内容

はじめに傘の開閉動作に伴う流れを把握するため、二次元性の強い流れを発生するクラゲ型ロボットを製作した(図2)。水理実験により傘の弾性、駆動周期、整流板設置角の条件に伴う流れを可視化した結果、傘運動によって周囲の流体を内部へ吸引し、下方へ吐出する流れに加えて、傘先端部から放出される渦に伴う下向きの誘起流を確認した。次に、粒子画像流速計測法(PIV)により取得した流速ベクトル場から流量と推力を評価した。さらにラグランジュ粒子モデルおよび固有直交分解(POD)解析により、仮想粒子の輸送過程とロボットの仕様に伴う支配的な流れ構造を抽出した。最後に遊泳可能なクラゲ型ロボットを設計し、水槽内で微細な疑似ごみと大きな疑似ごみの捕集実験を行い、回収性能を評価した。

3. 成果

(1) 誘起流を伴う水塊輸送メカニズムの把握

傘の開閉運動により、周囲の流体を傘内部に引き込み、水塊を下方へ吐出する流れとともに、傘先端から発生する渦に伴う誘起流が下方に向かう流れを形成することが確認された。また、整流板の設置角を 20° に設定することで、逆流抑制の効果を有することが確認された。

(2) 流れ構造の把握と設計パラメータの設定

PIV解析により、駆動周期や傘の弾性が流量および推力に大きく影響することを定量的に把握した。また仮想粒子モデルによって、誘起流により傘内部に取り込まれた粒子数以上の粒子が下方に輸送されることがわかった。またPOD解析により、複雑な流れ構造を把握した。

(3) 遊泳型ロボットによるごみ回収の実証

図2に示す遊泳が可能な空圧駆動のクラゲ型ロボットを設計し、図3のように、水槽内で1時間の回収実験を行ったところ、投入した疑似微細ごみ(粒径 $45\ \mu\text{m}$ のセルロースパウダー3g)のおよそ半数を回収した。一方で、水面に浮遊する1cm角の疑似ごみや底面に沈降する疑似ごみの選択的な回収が今後の課題である。

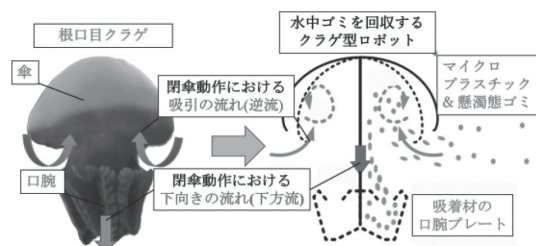


図1 クラゲをモデルとするごみ捕集

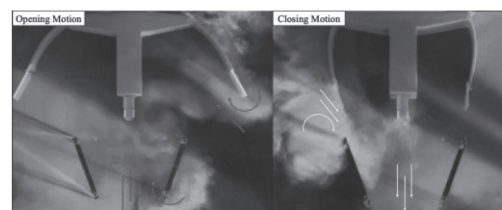


図2 傘の開閉による流れの可視化

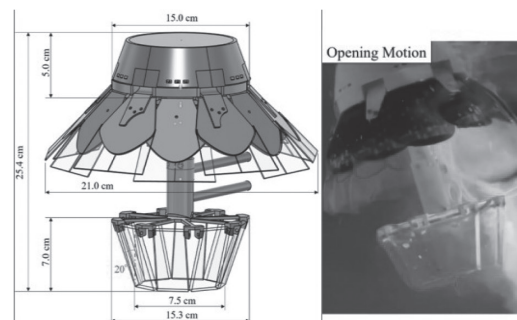


図3 空圧駆動のクラゲ型ロボット

振動発電を用いたイベントドリブン型センサによる工作機械異常振動検出

本間 浩章 神戸大学 准教授

1. 目的

本研究では「振動発電を用いたイベントドリブン型センサによる工作機械異常振動検出」と題し、工作機械の異常時に発生する振動（ビビリ振動など）のみを電力へと変換可能な MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）振動発電素子と、発電時に信号を送信する回路を組み合わせたイベントドリブン型センサを開発する。有線による電力供給や信号線の接続が必要ないため、これを工作機械に取り付け異常振動を自動で検出できれば、生産現場における省人化を可能にするメンテナンスフリー異常検知システムが実現する。助成期間中は、特定振動のみで発電する MEMS 振動発電素子と、発電時に異常信号を出力する回路を試作する。さらに、それらを組み合わせたイベントドリブン型センサを開発し、振動試験により特定振動でのみ異常信号を自動で発報する動作実証までを目的とする。

2. 研究内容

回路シミュレータ SPICE を用い、特定振動でのみ発電する MEMS 振動発電素子と、発電時のみ異常信号を発報する回路を設計した。MEMS 振動発電素子は内部の振動子の共振周波数に一致する周波数で強く発電する特徴がある。実証のため、特定振動として 3000 Hz 付近の微弱振動（ $< 1\text{ G}$ ）、この帯域の振動のみを電力へと変換する発電素子を設計した。異常信号を発報する回路は、小型電池とスイッチ、異常発報用 LED により構成される。振動発電からの出力が閾値を超えたときのみスイッチが ON となり、電池から LED へと電力が供給される。続いて、SOI（Silicon on Insulator）基板を用い MEMS 振動発電素子を試作した。試作は、神戸大学の半導体クリーンルーム施設を利用した。次に、市販の回路部品を組み合わせることで異常信号を発報する回路を試作した。振動発電素子と回路の動作を確認後、2 つを組み合わせイベントドリブン型センサを開発した。実証実験として、振動試験により特定周波数付近の振動を加えた際の動作を検証した。

3. 成果

（１）特定振動（3000 Hz 付近）のみを電力へと変換する MEMS 振動発電素子を実現した。図 1 に試作後の振動発電素子のチップ写真を示す。素子サイズは 10 × 10 mm、厚みは 0.8 mm である。特定振動は振動子の寸法により任意に設定可能である。

（２）発電時のみ起動し信号（LED 点灯）を発報する異常検知回路を実現した。異常時のみ起動するため電力消費は少なく、LED を無線機などに置き換えることで人を介さず遠隔での異常検知も可能となる。

（３）特定振動のみを検知するイベントドリブン型センサを開発し、特定振動発生時のみ異常信号を発報する動作を確認した。今後、任意の異常振動に合わせ振動発電素子を設計することで、メンテナンスフリーの異常振動検知システムになり得る。

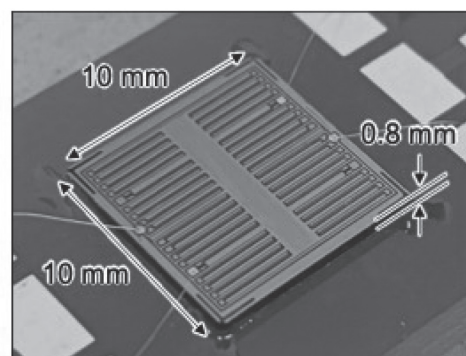


図 1 特定振動のみを電力へと変換する MEMS 振動発電素子のチップ写真

ロボットマニピレータの作業空間内コンプライアンス測定ユニットの開発

吉岡勇人 東京大学 教授

1. 目的

フレキシブル生産システムの実現が急務となっており、産業用ロボットを用いた機械加工が期待されている。一方、産業用ロボットは、工作機械と比較してコンプライアンスが高く、また作業空間内の位置や姿勢でも異なるため、高精度な加工を実現するためには、コンプライアンスの定量的かつ効率的な評価が必要である。一般的なハンマリングによるコンプライアンス測定は安全柵内で実施することが困難である。本研究では、産業用ロボットの任意の手先位置における任意の方向のコンプライアンスを定量的に評価するため、多軸の振動機構を構成することで、任意方向に加振力を印加可能な慣性式の加振器を実現し、産業用ロボットの作業空間内のコンプライアンス評価を行うことを目的とする。

2. 研究内容

本研究では、ロボットの手先に搭載可能な小型加振ユニットを試作した(図1)。ユニットは、ボイスコイルモータ(VCM)および可動質量を平行板ばねで支持した構造をしており、VCM駆動時の反力で加振する慣性式の加振器である。試作したユニットを一自由度の振動系としてモデル化し、ベースへ伝達する力すなわち加振力の周波数応答を求め、実際に力センサを用いた評価実験によりその特性を確認した。

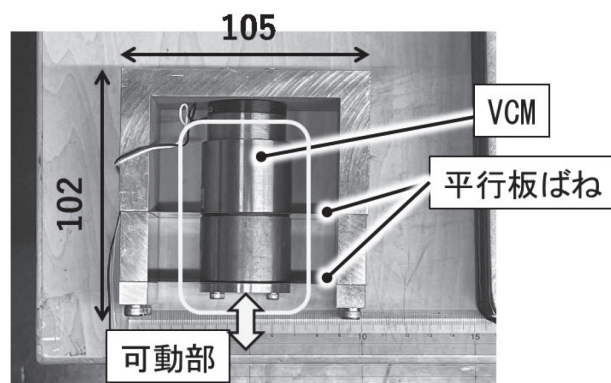


図1 試作した加振ユニット

また試作した加振ユニットを産業ロボットの手に搭載し、コンプライアンス評価実験を行った。評価実験では、VCMへ正弦波状の電流を掃引周波数で供給し、その際のロボット手先部の振動を加速度計で測定することでコンプライアンスを計算した。インパクトハンマを用いた測定と比較を行った結果、図2に示すように一致するコンプライアンスを得ることが可能であることを確認した。

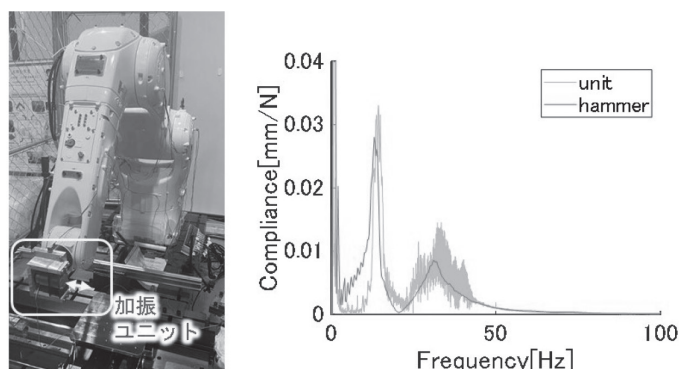


図2 コンプライアンス評価実験

3. 成果

- (1) ロボットの先端に設置可能な慣性力を用いたコンパクトな加振ユニットを試作し、ロボット手先への搭載を可能とした。
- (2) 加振ユニットの振動モデルを定式化し、加振力の周波数応答を求めた。
- (3) ロボット先端に加振ユニットを搭載しコンプライアンス測定実験を行った結果、ハンマリングに基づいた評価と同様の結果が得られることを確認した。

Tribological properties of functionalized carbon nanotube additives in conductive grease

Dr Shahira Liza Binti Kamis, Prof Dr Kanao Fukuda, Universiti Teknologi Malaysia

1. 目的

Conductive lubricating grease with both excellent tribological and electrical properties is required for electric vehicle (EV) drivetrain components. However, conventional conductive additives such as Ag and Cu particles suffer from problems including high cost and oxidation. In this study, functionalized multi-walled carbon nanotubes (F-MWCNTs) were investigated as conductive additives for lithium-based grease. The objective of this research was to clarify the influence of acid treatment and ultrasonication duration on the dispersion stability, electrical conductivity, and tribological performance of conductive grease.

2. 研究内容

MWCNTs were functionalized using sulfuric acid and nitric acid mixed-acid treatment under different ultrasonication durations of 15 min, 1 h, 2 h, and 4 h. The functionalized MWCNTs were incorporated into lithium-based grease to prepare conductive grease formulations. FTIR, Raman spectroscopy, zeta potential measurement, and FE-SEM observation were conducted to evaluate the functionalization and dispersion behavior of the nanotubes. Tribological performance was evaluated using a ball-on-disc tribotest, while electrical conductivity measurements were performed to investigate conductive network formation within the grease matrix.

3. 成果

(1) FTIR and Raman analyses confirmed successful functionalization of MWCNTs after acid treatment. The ID/IG ratio increased from 0.88 to 1.62 with increasing ultrasonication duration.

(2) The 1 h and 2 h ultrasonication samples showed the highest dispersion stability with zeta potential values of approximately -26 mV. The 1 h sample remained stable after 30 days.

(3) Grease containing 1 h functionalized MWCNTs showed the best tribological performance with a stable coefficient of friction of 0.15-0.20 and wear scar diameter of 704.40 μm .

(4) The 1 h functionalized MWCNT grease exhibited the highest electrical conductivity of $1.24 \times 10^{-8} \text{ S/m}$.

(5) The study demonstrated the potential of functionalized MWCNTs as conductive grease additives for EV applications.

4. 発表論文

Daswarman, N.N., Liza, S., Fukuda, K., et al., "Effect of ultrasonication time on the dispersion stability and morphology of functionalized MWCNTs for conductive lubricating grease," *Diamond and Related Materials*, Vol. 161, 113033, 2026

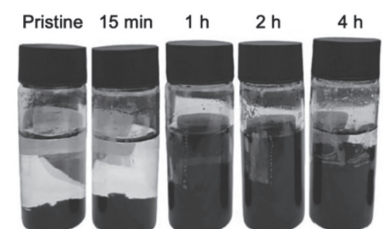


Fig. 1 Dispersion stability of functionalized MWCNT aqueous suspensions after 30 days of sonication treatment

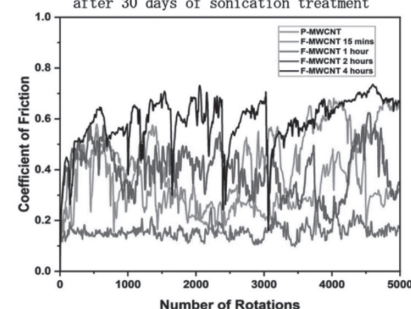


Fig. 2 Friction coefficient of grease with different MWCNT functionalization conditions

申請者・担当代表教員	ふりがな	まつお たかゆき		印		
	氏 名	松尾 貴之			役職	教授・ロボット工学
	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 知能ロボットシステムコース				
	ホームページ URL	https://www.kct.ac.jp				
	同上所在地	〒802-0985 北九州市小倉南区志井 5-20-1			電話番号	093-964-7257
					連絡先FAX	093-964-7298

この報告書を北九州工業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 片山 佳樹

校長印

科目名	CAD 演習, ロボットデザイン, 創造ロボット演習 A, B, ロボット知能化演習 プログラミング, プログラミング応用, データサイエンス基礎, データサイエンス I
-----	--

1. 教育概要 (フォント明朝 10.5pt で記入して下さい)

本校の旧カリキュラムにおいては、「ロボット 1 台を作り上げることでできるエンジニアの育成」を行っており、ロボットを設計・製作するために必要な知識を 3 年次から習得し、5 年時にチームでロボットを作り上げるというカリキュラムを展開してきた。2015 年度に貴財団の教育助成の A 助成に採択をいただき「ロボット 1 台を作り上げることができる技術者」の育成について成果を上げてきた。しかし、近年、ロボットなどエンジニアリングの分野で「デジタル・トランスフォーメーション (DX)」の重要性が叫ばれるようになってきおり、コンピュータ上で機械を創造し、シミュレーションを行うことでできるデジタルエンジニアリングの能力が求められている。そのため、現在は 5 学科制を 1 学科制として、1 年生から 2 年生前期までを共通教育、2 年生後期以降専門 5 コースに分かれて専門教育を行っており、申請者らが所属する知能ロボットシステムコース は「ロボット 1 台を自分で作り上げることができる技術者の育成」という教育目標のもとで従来のプログラミング・設計製図に関する教育をデータサイエンス教育・デジタルエンジニアリング教育へ深化させる取り組みを行なっている。今回の申請はデジタル空間でのメカトロニクス技術教育を活発化しメカトロニクスと AI の融合教育を行うためのものである。

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（フォント明朝 10.5pt）

[工作実習・CAD 演習]

対象学年・クラス：第2学年 知能ロボットシステムコース

必修 or 選択：必修 人数：クラス定員 40 名

コマ数：工作実習（90 分 x 2 コマ）、CAD 演習（90 分 x 1 コマ）

教職員体制：工作実習の複数テーマのうち、CAD・3D プリンタに関する演習テーマでは教員 1 名で担当し、10 名程度のグループで 2 週行う。CAD 演習についてはクラス全員を教員 1 名で担当する。

教育の目的：CAD のモデリング・アセンブリおよび 3D プリンタによる出力方法の基礎的習得を目的とする。

[ロボットデザイン I・II]

対象学年・クラス：第3学年 知能ロボットシステムコース

必修 or 選択：必修 人数：クラス定員 40 名 コマ数：90 分 x 2 コマ

教職員体制：教員 1 名で指導する。

教育の目的：2 年次の工作実習・CAD 演習で習得した CAD の基礎知識を元に「デジタルエンジニアリング教育」へ発展させる演習を行うことを目的とする。

[創造ロボット演習 A・B]

対象学年・クラス：第4学年・第5学年 知能ロボットシステムコース

必修 or 選択：必修 人数：クラス定員 40 名 コマ数：90 分 x 2 コマ

教職員体制：教員 2 名で指導する。

教育の目的：2 年次の工作実習・CAD 演習、3 年次のロボットデザイン I・II で培ったデジタルエンジニアリングの基礎を元にロボットを設計・開発し具現化することを目的とする。創造ロボット演習 A では特にチームでロボット設計を行い、創造ロボット演習 B では加工・組み立て・プログラミングを行う。

[データサイエンス I]

対象学年・クラス：第5学年 知能ロボットシステムコース

必修 or 選択：必修 人数：クラス定員 40 名 コマ数：90 分 x 2 コマ

教職員体制：教員 1 名で指導する。

教育の目的：4 年までに培った C 言語および Python のプログラミング技術をもとに AI プログラミングを行うことを目的とする。

[ロボット知能化演習]

対象学年・クラス：第5学年 知能ロボットシステムコース

必修 or 選択：必修 人数：クラス定員 40 名 コマ数：90 分 x 2 コマ

教職員体制：教員 2 名で指導する。

教育の目的：デジタルエンジニアリングと AI プログラミングの融合として、知能化したロボットをコンピュータ上で動作させシミュレーションすることを目的とする。

3. 実施した授業の達成度、教育の効果と今後の課題（フォント明朝 10.5pt）

[工作実習・CAD 演習]

3DCAD を用いた機械部品のモデリング手法およびアセンブリ手法の習得を図った。単なるモデリング演習に留まらず、3D プリンタによる造形を行うことで、設計データと実物の整合性や積層造形特有の制約などを実感を伴って学ばせることができた。



図 1 モデリングの様子

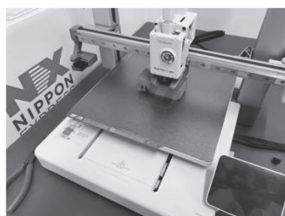


図 2 3D プリンタによる出力



図 3 出力されたモデル

[ロボットデザイン I・II]

「手巻き扇風機」や「ロボットアーム」等の製作を通じ、部品設計からアセンブリまでの一貫したデジタル設計能力を養成した。また、アニメーション機能を活用し、機構動作を視覚的に検証する手法を習得させ。最終課題では橋梁の設計と SolidWorks Simulation による応力解析を実施し、座学で進める材料力学と並行して取り組むことで、理論値を視覚的な応力分布として体感させ、解析に基づいた設計の有用性を理解させる教育的成果を得た。

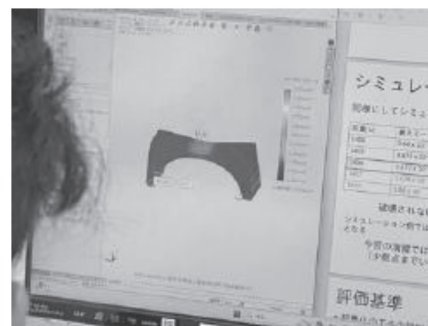


図 4 応力解析の様子

[創造ロボット演習 A・B]

4 年後期の「創造ロボット演習 A」では、構想から設計までの全工程に 3DCAD を導入した。各メンバーが分担してモデリング・アセンブリを行う「チームによるデジタルエンジニアリング」を実践し、仮想空間での動作確認までを実現した。続く 5 年前期の「創造ロボット演習 B」では、実機を製作し、マイコンのプログラミングを動作検証を行った。動作検証はトーナメント方式のコンテスト形式で行った。学生が主体的に取り組む演習を構築できた。

[データサイエンス I]

画像処理プログラミングの学習を経て、最終課題として自動運転をテーマとした画像認識コンテストを開催した。対象物の分類精度を競うプロセスを通じ、AI の実践的な実装能力を養う体系的な演習となった。学生が自発的に試行錯誤する姿が見られた一方で、基礎知識の定着度には個人差も見受けられた。今後は、基礎演習と応用課題であるコンテストをより有機的に連携させ、全学生が着実にステップアップできる教育プログラムへと発展させていきたい。

[ロボット知能化演習]

ロボット開発の集大成として、ロボットの知能化に関する演習を実施した。本演習では、ROS2 を用いたプログラミング手法を習得し、ロボットシミュレータ上での迷路探索や画像処理（顔認識、物体追跡など）の実装に取り組んだ。今後の課題として、シミュレーション上での開発に留まらず、実機動作への展開を含めた演習を計画している。これにより、実世界と仮想空間を連動させる「デジタルツイン」の基礎的な学習へと発展させていきたい。

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）

3D プリンタについては、当初 AnkerMake M5C の導入を検討していたが、選定時に当該機種が生産終了となっていたため、代替案として Bambu Lab A1 を採用した。Bambu Lab A1 は、当初の想定機種と同等以上の性能を維持しつつ、より導入コストを抑えることが可能であった。その結果、当初予定の 2 台から 3 台へと導入台数を増やすことができ、演習環境の拡充により、学生の待ち時間を減らし演習をよりスムーズに進行させるという副次的な効果を得られた。

ロボット知能化演習では、データサイエンス I で修得した AI プログラミングの知見を ROS2 上のシミュレータへ実装する計画であったが、今回は迷路探索等の基礎的なアルゴリズムの実装に留めた。これは、データサイエンス I の学習内容をロボット制御の実践的な演習へと最適化する調整に時間を要したためである。今回の結果をふまえ、今後はデータサイエンス I の担当教員と密に連携を図り、より高度な AI 実装を組み込んだ教育プログラムへと発展させていく予定である。

申請者・担当代表教員	ふりがな	みうら ひろき		印		
	氏 名	三浦 弘樹			役職	准教授
	所属機関、学科	一関工業高等専門学校 未来創造工学科				
	ホームページ URL	https://www.ichinoseki.ac.jp/				
	同上所在地	〒021-8511 岩手県一関市萩荘字高梨			電話番号	0191-24-2700
				連絡先FAX	0191-24-2146	
この報告書を 一関工業 高等専門学校として承認いたします。 一関工業高等専門学校 校長 小林 淳哉 校長印						
科目名	機械学習, 実践制御工学, 創成工学実験, 機械総合設計実習					
1. 教育概要 (フォント明朝 10.5pt で記入して下さい) 近年のメカトロニクスは機械と電気の融合のみならず高度に発展した情報技術分野の重要性が益々高まっている。本校ではこのような様々な時代の変化と産業界からの要望に柔軟に対応できるよう、平成 29 年度、旧 4 学科を 1 学科 4 系とする未来創造工学科に改組し、新たに「情報・ソフトウェア系」を設置した。 本申請では、未来創造工学科で新たに設置された系横断分野である「知能・システム」分野の科目を中心に、機械・電気・情報の 3 つの系の学生共同でロボットシステムを用いた実機演習に取り組むことで、知能システムとしての基礎をつくることを目的としている。また、A I とロボットをつなげる体系的なカリキュラムとすることで現代のメカトロニクス教育として再構築も目指した。						

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（フォント明朝 10.5pt）

- ・機械学習（混合，選択，40 名，90 分×15 週，教員 2 名）
機械学習の基礎，および実機への実装までを学ぶ
- ・アドバンスロボティクス（旧実践制御工学）（混合，選択，40 名，90 分×15 週，教員 2 名）
ROS について，その概要の学習とシステム実装方法を学ぶ
- ・機械総合設計実習（単独，必修，40 名，180 分×15 週，教職員 4 名）
ロボットを用いた生産自動化に関するテーマに取り組む
- ・創成工学実験（単独，必修，40 名，90 分×30 週，教職員 4 名）
組み込み技術やロボットを用いた製作プロセスを学び，課題製作に取り組む

3. 実施した授業の達成度、教育の効果と今後の課題（フォント明朝 10.5pt）

機械学習：担当教員の変更と内容見直しもあり，準備のみで終了してしまった．2026 年度はさらに担当教員が変更になったが，もう一度内容を確認し実施に向けて進めている．

アドバンスロボティクス：新しい教材として移動ロボットを導入し，ハードウェアの制御にも取り組めるようにした．導入したロボット **TurtleBot3Burger** はそのままの状態でも ROS で制御は可能だが，図 1 のように RGBD カメラを追加し，3D 環境認識を行えるような機能を学生が実装した．

創成工学実験：アドバンスロボティクスと同様に一部で **TurtleBot3** を使用した．図 2 のようにスマホで ROS を動かして，スマホで指示した地図上をロボットが移動するアプリを学生が作った．

機械総合設計実習：dobot magician を使用して，食材の前処理システムを題材にロボット S I 演習に取り組んだ．図 3 は学生グループの提案システムである．

全体としては概ね目的は達成している．今後はこれらの科目間の教育的接続を見据えて体系的なカリキュラムを構築していくことが課題である．

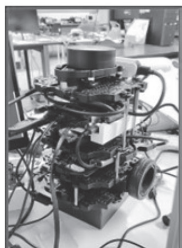


図 1

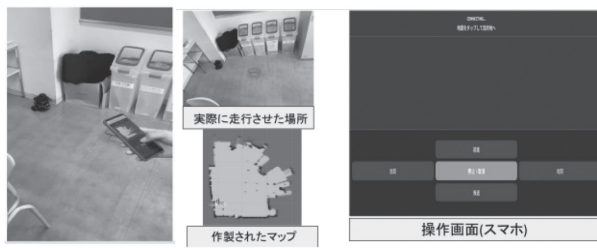


図 2

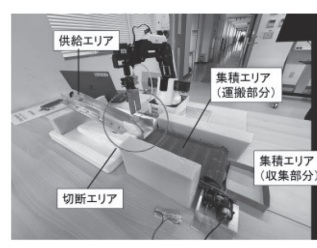


図 3

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）

Jetson Nano Mouse は教材としては全ての機能が揃っている。しかしながら、購入段階になって Jetson Nano が生産終了となり、同時に Jetson Nano Mouse も在庫限りでの販売終了となった。当初の計画台数は購入できたが、追加補充やサポートなど、継続して使用していくことが困難になってしまった。現在あるもので繋ぎながら、対応を探っていく必要がある

Turtlebot3 は Linux ベースのシステムということもあり、そのあたりの慣れに時間を要してしまった。これについては今後 Linux に触れる機会を増やすことが必要である。

dobot magician は簡単に使用できるロボットアームとしては非常に便利であるが、単価が当初よりも上がってきている。

全体として、ロボット教材によっては、購入したロボットだけではなく、周辺機器の購入も別途必要となった。これに関しては検討段階での確認不足であった。

一方、系（旧学科）によってはロボットに苦手意識を持つ学生もいた。メカトロニクス技術としてハードとソフト、そこに A I を加えて実装まで取り組むには、学生によってはかなりハードルが高くなっていることがあった。

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
専務理事	東 山 聖 一
理 事	荒 牧 宏 敏
理 事	進 士 忠 彦
理 事	杉 村 丈 一
理 事	樋 口 俊 郎
理 事	北 條 春 夫
理 事	若 林 利 明

日本精工株式会社 名誉顧問
当財団事務局長
元日本精工株式会社 専務
東京科学大学未来産業技術研究所教授
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
東京大学名誉教授
東京工業大学名誉教授
香川大学名誉教授

監 事

監 事	満 江 直 樹
監 事	望 月 明 美

元日本精工株式会社 専務
株式会社ツムラ社外取締役
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	加 藤 総 一 郎
評 議 員	黒 河 周 平
評 議 員	澤 江 義 則
評 議 員	下 条 誠
評 議 員	中 川 聡 子
評 議 員	長 竹 和 夫
評 議 員	野 波 健 蔵
評 議 員	羽 根 一 博
評 議 員	松 原 正 英
評 議 員	水 野 毅

元当財団専務理事
九州大学教授
九州大学教授
電気通信大学名誉教授
東京都市大学名誉教授
元株式会社 AD Tech 社長
千葉大学名誉教授
東北大学未来科学技術共同研究センター特任教授
元日本精工株式会社 専務
埼玉大学名誉教授

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
2025年	3月	樋口俊郎理事(東京大学名誉教授) 審査委員長就任

助成実績

	1988年度～ 2020年度年計	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	合計
研究開発助成(件)	613	16	18	17	15	15	694
教育助成(件)*1	48	5	1	2	7	6	69
技術交流助成(件)	133	—	—	—	—	—	133
集会助成(件)	104	6	3	4	3	4	124
助成金額合計(千円)	1,081,120	41,157	39,705	40,973	40,923	43,000	1,286,878

*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. 36

公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団 2023 (令和5)年度(第14期)助成事業分
2026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 東 山 聖 一

印刷：株式会社 TPS