

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：53101

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22012

研究課題名（和文）徒弟的左官技能継承からの脱却：熟達者の暗黙知に基づくクリーンな科学的継承法の確立

研究課題名（英文）Establishment of a clean scientific method of succession based on the tacit knowledge of skilled plasterers

研究代表者

村上 祐貴（Yuki, Murakami）

長岡工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：70509166

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：塗付けおよび均し時に金ゴテに発生する鉛直力、水平力、モーメントを測定可能な計測金ゴテを独自に制作し、左官動作を測定した。その結果、例えば均し時（横方向）においては、壁面に金ゴテが接触した時の角度を維持したままモーメントを加えて動かすこと等の重要な技能が明らかとなった。また、SAP+純水、PVA、Al2O3を用いた練習材料は、調合比1:0.4:0.4がレオロジー測定の上で最もバランスの取れている練習材料の調合割合であることが分かった。さらに左官職人の均し動作を再現するための自動均し機のプロトタイプを制作した。今後、明らかになった左官動作を試作機に組み込むことを予定している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

各種センサーを用いて形式化された熟達者の技能に基づいて、正しい動作を習得する新たな建設技能継承の可能性を示したことは、スポーツ工学や情報工学を専門とする研究者の参画も予想され、学術的意義は大きい。また、屋内でのクリーンな練習を可能とする吸水性ポリマーを基材とした模擬材料の開発は、練習環境が大きく改善する可能性を秘めている。本研究成果によって徒弟的技能獲得に強い抵抗を示す若者や女性の入職が期待されるとともに今後多くの外国人労働者を受け入れていくことが予想される我が国の建設業や製造業にとって、教育に要する時間を大幅に短縮することができる可能性があり、社会的波及効果は計り知れない。

研究成果の概要（英文）：Plastering actions were measured using an original trowel capable of measuring vertical and horizontal forces and moments acting on the trowel. The results revealed that, for example, during leveling (horizontal), one of the most important skills was to move the trowel horizontally while maintaining the angle between the wall and the trowel. Rheological measurements also showed that a mixing ratio of 1:0.4:0.4 was the most balanced mixing ratio of practice materials using pure water with 1% SAP, PVA, and Al2O3. Furthermore, a prototype of an automatic leveling machine was produced to reproduce the plasterer's leveling motion. We plan to incorporate the revealed plastering behavior into the prototype machine in the future.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：左官 技能可視化 暗黙知

### 1. 研究開始当初の背景

産業界における人手不足が深刻化する中、建設業に従事する技能者の約3分の1は55歳以上であり、他産業と比べて高齢化が著しく進行している。国土交通省や厚生労働省は、建設業の人材確保・育成に多角的に取り組むとしているが、即効的・抜本的な解決策は見受けられない。建設業が持続的成長を果たしていくためには、次世代の技能者として特に若者や女性の入職や定着を促進する必要がある。徒弟的技術継承プロセスを脱却し、きつい、汚い、危険と思われがちな3kイメージを払拭する必要がある。建設業専門工事業種の中でも左官工は最も高齢化が進んでおり、若手入職者の確保・育成が喫緊の課題である。左官工における一連の技能を獲得するには7~10年を要すると言われており、若手入職者が定着しない要因の一つである。

### 2. 研究の目的

左官における一連の技能を獲得するまでに長い年月が必要な主たる要因は、技能継承プロセスが徒弟的であり「見て覚える」ことにある。左官技能のような複雑な運動の集合に対し、初めから動作全体を模倣し、技能を獲得していくことは極めて難しい。

そこで本研究では、各種センサを用いて熟達左官技能者の技能に共通する暗黙知を可視化、吸水性ポリマーを基材としたクリーンな屋内環境下でも練習可能な練習専用模擬材料を開発し、クリーンな環境下で短期間に一連の技能を体系立てて習得できる科学的トレーニング方法の創生に挑戦する。さらに形式知化した左官技能が組み込まれた、左官作業を自動で行うロボット開発を行う。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 動作測定

図1に模擬壁の外観と寸法を示す。模擬壁は、900×900mmの板に35×35mmの角材を枠として取り付けた型枠であり、壁面を模している。本実験で使用した計測金ゴテの概要を図2に示す。試験に使用した金ゴテは、持ち手と板の接合部に貼り付けられた3枚のひずみゲージによって、金ゴテに作用するモーメント(±10.5N・m)、仕上げ面に対する鉛直力(±150N)、仕上げ面に対する水平力(±150N)が計測可能である。また、9軸モーションセンサ(最大加速度16G、最大角速度1500dps)をコテ先端から5cmの位置に貼り付け、塗付けおよび均し時のコテの角度を計測した。

被験者は左官歴64年の左官職人1名と左官の経験が無い学生1名の計2名で行った。なお両被験者ともに右利きである。被験者には模擬壁の中央部400×400mmの範囲内へ塗付けと均しを行わせた。被験者は、コテを横に向け、下から上の縦方向の動きでモルタルを塗付けさせた(塗付け)。次に、コテを縦にして、左から右に向かって横方向にコテを動かし、モルタルの表面を均させた(横方向均し)。最後にコテを横にして、下から上に向かって縦方向にコテを動かし均させた(縦方向均し)。それぞれの動きを3回ずつ行い、この時のコテの角度およびコテに生じた作用力を計測した。なお、モルタルは左官職人が適当な粘性と判断した配合を採用し、粉体10kg、水3.144kgである。

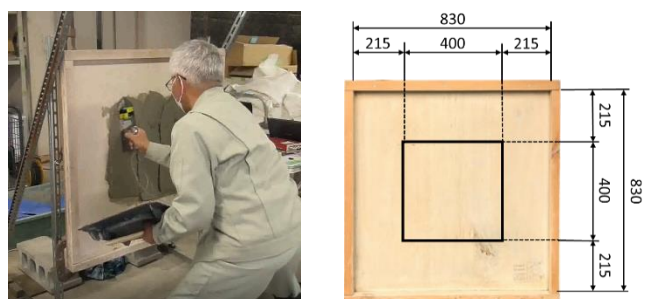


図1 模擬壁の外観と寸法 単位[mm]

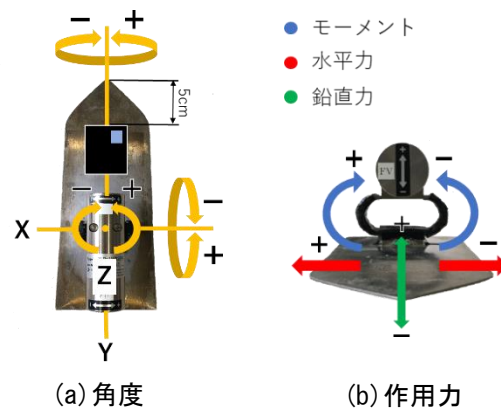


図2 計測金ゴテの概要

#### 3.2 練習材料の開発

##### (1) 作製方法

練習材料には、ポリアクリル酸ナトリウム(高吸水性ポリマー:SAP、分子量約40000)、ポリビニルアルコール(PVA、分子量約74800、けん化度97.0-100.0 mol%)、酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、活性型、中性)、純水(A3相当)を使用した。SAP重量に対して100倍の純水、およびPVAとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を重量比の異なる条件で所定量加え、混ぜて作製した。練習材料の配合割合(重量比)を表1に示す。材料の含水量保持に加え、PVAは相互作用による粘弾性の向上、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は練習材料としての塗り感を向上させる重量増加も目指し、選択した。得られた材料について、粘弾性や相

互作用の違いを評価した。さらに分子量やけん化度の異なる PVA を用いた場合についても検討した。

## (2) レオロジー測定

作製した練習材料と左官モルタルのレオロジー特性を周波数分散試験とひずみ分散試験によって比較した。レオロジー測定には回転式レオメータの ARES-G2 (TA Instrument 社製)、MCR302 および MCR702 (Anton Paar 社製) を用いた。流路には直径 25 mm の平行円板流路を使用し、流路すき間は 1 mm とした。実験は  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  の室内で行った。周波数分散試験は、ひずみ量一定の振動を、周波数をステップ状に変化させながら印加する試験である。周波数分散試験によって、変形速度に対する粘度の変化を評価する。今回はひずみ 0.1% とし、角周波数を 0.1 rad/s から 100 rad/s まで一桁あたり 5 段階で上昇させる条件とした。なお、ひずみ 0.1% はそれぞれの試料において線形粘弾性領域に相当する。また、ひずみ分散試験は、周波数一定の振動を、ひずみ量をステップ状に変化させながら印加する試験である。ひずみ分散試験によって、ひずみ量に対する粘弾性の変化を評価する。今回は周波数 1Hz とし、ひずみを 0.01% から 1000% まで一桁あたり 5 段階で上昇させる条件とした。

左官モルタルは、ワンモル#30 と水道水を重量 1 : 0.297 の比率で調合し、作製した。このとき増強剤は添加しておらず、混合バケツへ移したワンモル#30 へ水道水を少量ずつ加えながらハンドミキサーを用いて練り上げた。なお、重量 1 : 0.297 は動作測定を依頼した左官職人がちょうどよい塗り感と判断した比率である。左官モルタルは ARES-G2、練習材料は MCR302 および MCR702 で測定した。なお、校正用試料を用いて 3 種類の回転式レオメータで全く同じ測定を実施した際に、結果が一致することを確認している。

表 1 練習材料の配合 (重量比)

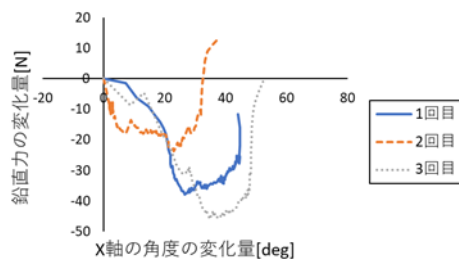
No.	SAP+ 純水	PVA	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	1.0	0.4	0.0
2	1.0	0.3	0.1
3	1.0	0.2	0.2
4	1.0	0.1	0.3
5	1.0	0.0	0.4
6	1.0	0.8	0.0
7	1.0	0.6	0.2
8	1.0	0.4	0.4
9	1.0	0.2	0.6
10	1.0	0.0	0.8

## 4. 研究成果

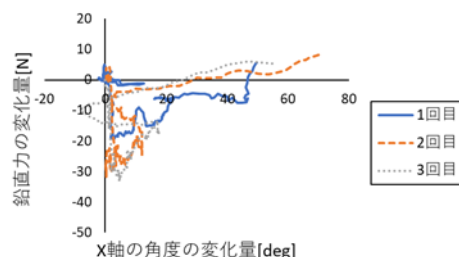
### 4. 1 動作測定

塗付けにおける模擬壁にコテが接触した時点からの X 軸の角度の変化量と鉛直力の変化量の関係を図 3 に示す。まず、左官職人の塗付け時の 3 回の軌跡は左官未経験者と比較してばらつきが少ないことが分かる。塗付けにおいて、左官職人は角度の変化量が正の向きへ増加するにつれて徐々に鉛直力が増加した。その後、鉛直力を約  $\pm 10\text{N}$  以内の範囲で維持しながら角度が増加し、コテが壁面から離れた。一方、左官未経験者は、職人と比較してコテを壁面に接触した直後に鉛直力が最大となり、その後減少していった。このことから、モルタルが壁面に接触した状態から徐々にコテの先端を壁面に押し付けながら鉛直力を加えていくことが、塗付け時の重要な技能の 1 つであると考えられる。

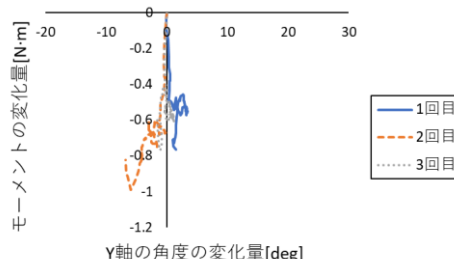
横方向均しにおける模擬壁にコテが接触した時点からの Y 軸の角度の変化量とモーメントの変化量の関係を図 4 に示す。左官職人のモーメントの最大値は未経験者と比較して約  $0.2\text{N} \cdot \text{m}$  高い値を示した。また、Y 軸の角度については、左官職人は 3 回の均しにおいて、 $\pm 5^\circ$  の範囲内で変化している。一方、未経験者は約  $-15^\circ \sim +25^\circ$  の範囲内で変化しており、均し時の角度変化量が大きいことが分かる。このことから、モルタルを塗付けた壁面を横方向に均す際、壁面にコテを接触した時点での角度を維持したまま力を加えて動かすことが均し時の重要な技能の 1



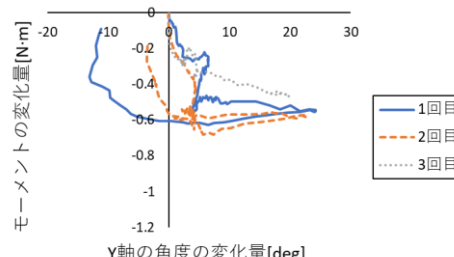
(a) 左官職人



(b) 左官未経験者



(a) 左官職人



(b) 左官未経験者

図 3 塗付け時の X 軸角度と鉛直力の変化

図 4 横方向均し時の Y 軸角度とモーメント

つであると考えられる。新型コロナウイルス感染拡大の影響で熟達者の左官動作のデータ取得が限定的となり、自己組織化マップ (SOM) を用いた解析を行うまでには至らなかったが、上記のような重要な左官動作を抽出することができた。

#### 4. 2 練習材料の開発

まず、SAP 重量に対する吸水率を 100 倍とし、(SAP+純水) : (PVA+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 1 : 0.4 で作製した 5 種類の練習材料 (表 1 No.1~5) のレオロジー特性を図 5 に示す。図 5(a) の縦軸は複素粘度、横軸は角周波数である。図 5(a) より、左官モルタルと練習材料はシアニング性 (せん断速度が速くなるにつれてせん断粘度が低下する現象であり、速い変形が加わるほど流れやすくなることを意味する) を示し、その傾きがおよそ一致していることが分かる。PVA の混合割合が多い練習材料ほど複素粘度が大きくなる傾向を示し、左官モルタルの値に近づく。したがって、複素粘度を一致させるためには PVA の混合割合を増やせばよいといえる。また、図 5(b) の縦軸は損失正接 (=損失弾性率/貯蔵弾性率。粘弾性を評価する一つの指標であり、1 を超えると粘性的、下回ると弾性的な性質が優位といえる)、横軸はひずみ量である。図 5(b) より、ひずみがおよそ 1%以下の領域では損失正接が一定であり、弾性的な性質を示すことがわかる。1%を越えると、ひずみの増加に伴い粘性的な性質が優位となることが分かる。これは非常に小さい変形、例えば重力下の状態では固体的な性質が優位なので元の形状を保とうとするが、大きな変形が加わると形が崩れて流れ出す様子意味する。左官モルタルを塗り広げる工程は大きなひずみがかかる条件であるので、ひずみ 100%以上の領域に着目してみると、練習材料 No.3 および No.4 が左官モルタルの値とおよそ一致していることがわかる。したがって、PVA と同量もしくはそれ以上の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を混合させることにより、高ひずみ領域における損失正接を一致させることができるかと判断した。

次に、練習材料に含まれる PVA と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の量を増やし、さらに左官モルタルの複素粘度および損失正接に近づけることを考える。SAP 重量に対する吸水率を 100 倍とし、(SAP+純水) : (PVA+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 1 : 0.8 で作製した 5 種類の練習材料 (表 1 No.6~10) のレオロジー特性を図 6 に示す。図 6(a) より、(SAP+純水) : (PVA+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を 1 : 0.4 から 1 : 0.8 とすることで、複素粘度がおよそ 10 倍大きくなり、左官モルタルの値に近づいた。複素粘度は PVA のみを混ぜた練習材料 No.6 が最も近い値を示した。しかし図 6(b) を見ると、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を混ぜていない練習材料 No.6 は左官モルタルの損失正接と異なる振る舞いを示していることもわかった。一方、左官モルタルの損失正接に最も近いといえるのは、図 6(b) より練習材料 No.10 であるが、ハンドテス

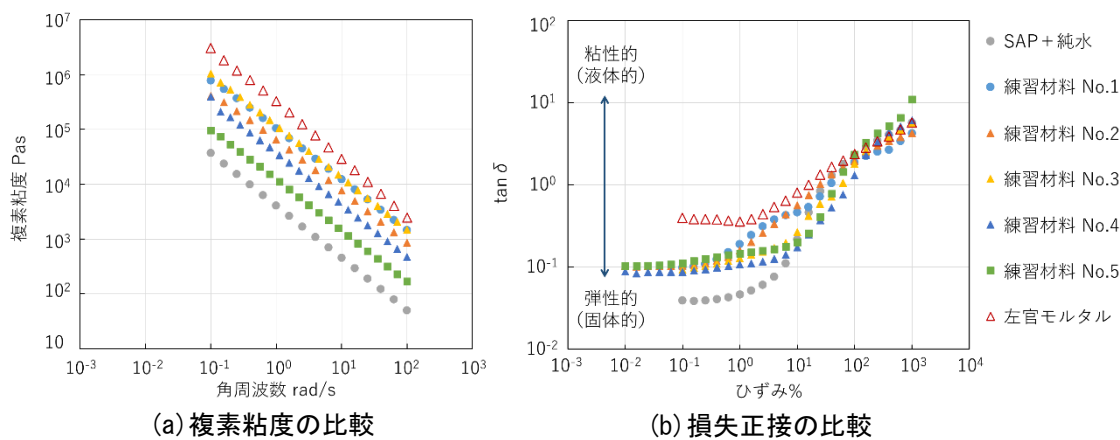


図 5 練習材料 (表 1 No. 1-5) のレオロジー特性評価

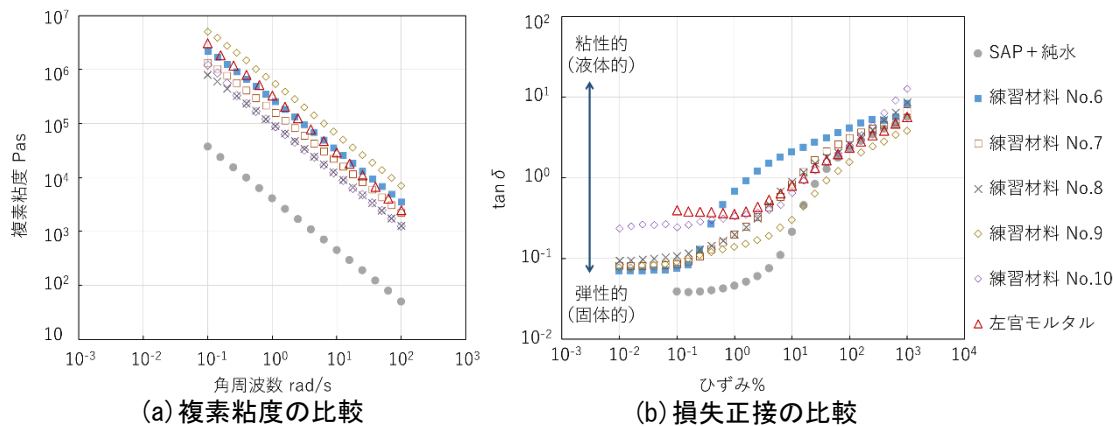


図 6 練習材料 (表 1 No. 6-10) のレオロジー特性評価



トによる評価ではパサパサとした粉っぽさがあり、左官モルタルの質感と異なるものであった。そのため本研究では、複素粘度および損失正接が左官モルタルとおよそ一致しており、ハンドテストによる評価も良好であったことから、練習材料 No.8 の配合が最も適していると判断した。

練習材料の作製において、SAP は吸水により粘性が見られるが、PVA 添加後はさらに粘性が向上することが確認された。図 7 に示すフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) による構造解析の結果から、SAP に PVA を添加することで  $3400\text{ cm}^{-1}$  付近にみられる分子間水素結合のピークの幅広い高波数シフトが確認され、PVA のヒドロキシ基 (OH 基) による水素結合が関与していることが考えられる。また、可溶性ポリアクリル酸 (分子量 5000) と OH 基を有する多価アルコールとの相互作用について、ゲル浸透クロマトグラフによる解析を試みたところ、相互作用に基づく検出ピークの違いが確認された。さらに、高評価となった練習材料 No.8

(SAP+純水 : PVA :  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1 : 0.4 : 0.4$ 、PVA は分子量約 74800、けん化度 97.0-100.0 mol% を使用) について、分子量およびけん化度の異なる PVA (分子量約 22000、けん化度 86.0-90.0 mol%) を用いた場合について検討したところ、図 8 に示したように練習材料の状態が大きく変化したことを確認した。PVA の分子量やけん化度が下がったことで純水に対する溶解性にも違いが現れ、PVA の状態が変化したことが要因であると考えられる。配合比や吸水量の違いに加え、選択する PVA の分子量やけん化度の違いで目的とする練習材料の粘弾性等も自在に変化させることが可能であることから、種々の目的に応じた新材料として期待される。今後、新型コロナウイルスの感染状況をみながら、県内の職業訓練校に協力を仰ぎ、開発した練習材料の効果検証を実施する予定である。

### 4. 3 自動化

ロボット外観を図 9 に示す。ロボットは主に、左官職人の均し動作を再現するための機構 (均し機構) と、仕上げ前のコンクリート上を自由に移動するための 4 輪キャタピラ (移動機構) によって構成される。現場での実験の際は、後述する移動機構に付着したコンクリートを洗浄することが想定できるため、シャーシには直方体の防水ケースを使用し、内部に電子回路類を格納する。制御構成の変更にも柔軟に対応できるよう、シャーシの大きさには拡張性を持たせている。

均し機構は 1 つの DC モーターと 3 つのサーボモーターから構成される。これらのアクチュエータによりコテの体勢を制御することが可能となる。軸周りの角度、Y 軸周りの角度、Z 軸方向の変位の 3 つのパラメータをサーボモーターにより表現することを目標としている。

X 軸、Y 軸周りの回転動作は、サーボモーターにより、X 軸方向の動作は DC モーターとラック&ピニオン機構により、Z 軸方向の動作は平行リンク機構とサーボモーターにより実現している。特に X 軸方向は、両端の検知のためリミットスイッチを搭載し、制御ミスによる破損を防いでいる。機構は主にアルミ合金 (板・丸棒) とポリカーボネート板を組み合わせて制作した。今後、4.1 節で明らかになった左官動作を試作機に組み込むことを予定している。

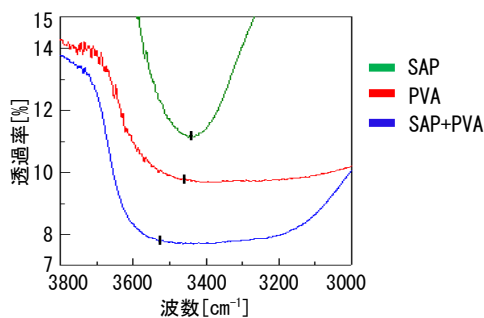
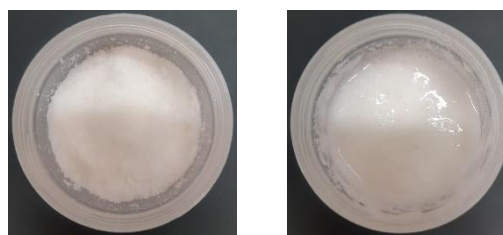


図 7 FT-IR による練習材料の構造評価



(a) 分子量約 74800 (b) 分子量約 22000

図 8 PVA の分子量の違いによる練習材料の変化 (SAP+純水 : PVA :  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1 : 0.4 : 0.4$ )

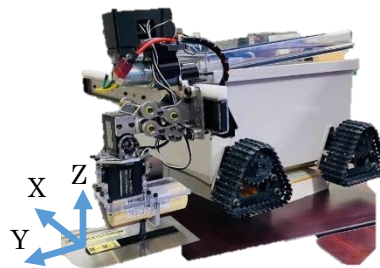


図 9 試作機の外観

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 島田康司、苅田暁光、陽田修、村上祐貴、上村健二、高橋章、池田富士雄、宮田真理、杉原幸信、正木守
2. 発表標題 左官工の床仕上げ技能の可視化
3. 学会等名 土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 苅田暁光、村上祐貴、陽田修1、上村健二、宮田真理、池田富士雄、島田康司、杉原幸信、正木守
2. 発表標題 コテの壁塗りにおけるコテ動作の可視化
3. 学会等名 土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	杉原 幸信  (Sugihara Yukinobu)  (00824335)	長岡技術科学大学・工学研究科・助教    (13102)	
研究分担者	池田 富士雄  (Ikeda Fujio)  (30353337)	長岡工業高等専門学校・機械工学科・教授    (53101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宮田 真理  (Miyata Mari)  (50804697)	長岡工業高等専門学校・物質工学科・准教授    (53101)	
研究分担者	外山 茂浩  (Toyama Shigehiro)  (60342507)	長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・教授    (53101)	
研究分担者	上村 健二  (KAMIMURA Kenji)  (80708090)	長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授    (53101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関