

技術科教育の技能学習管理システム向け木製加工物評価支援機構

福谷遼太^{†1} 安藤明伸^{†2} 安孫子啓^{†2} 高橋秀幸^{†1,†3} 木下哲男^{†1,†3}

概要: 一般的に1校1名の中学校技術科教員は、勤務の多忙化問題に直面しながら、木材加工などを伴う生徒のものづくり学習に関する知識と技能育成を行う必要がある。また、近年の生徒のものづくり経験の乏しさなどから、限られた時間内での生徒の技能上達が難しい現状がある。本研究では、技術科教員と生徒を取り巻く問題を解決するために、技能学習管理システム (Practice Learning Management System: PLMS) の開発を行っている。本稿では、生徒による木製加工物を対象とした PLMS 向け木製加工物評価支援機構を提案し、教育現場における技術科教員の負担軽減を目指す。木製加工物評価支援機構を開発し、実際の教育現場での運用を行った。その結果、技術科教員の作業負担軽減の効果を確認した。

キーワード: 校務支援システム, 成績処理システム, 学習管理, 評価支援, Practice Learning Management System (PLMS), 技術科教育

An Evaluation Support Module for Wooden Works toward the Practice Learning Management System (PLMS) in the Technology Education class

RYOTA FUKUTANI^{†1} AKINOBU ANDO^{†2} HIRAKU ABIKO^{†2}
HIDEYUKI TAKAHASHI^{†1} TETSUO KINOSHITA^{†1}

Abstract: Generally, Japanese school has only one technology teacher. For that technology teachers are facing to a busyness problem on their works. And they have to train about students' knowledge and skills e.g. about wood processing. Moreover, growing students' skills within class hours is difficult because of the lack of recent students' manufacturing experience etc. We have developed the Practice Learning Management System (PLMS) to solve above problems surround technology education teachers and students. This paper proposes an evaluation support module for wooden works toward the PLMS, and we aim to decrease burden of technology education teacher in educational sites. We developed its method and run in actual educational sites. As a result, effect of burden decrease for work of a technology education teacher was confirmed.

Keywords: School Affairs Support System, Score Processing System, Learning Management System (LMS), Practice Learning Management System (PLMS), Technology education

1. はじめに

教育の情報化について、一層の充実が図られている。教育の情報化は、「情報教育 ～子どもたちの情報活用能力の育成～」, 「教科指導における ICT 活用 ～各教科等の目標を達成するための効果的な ICT 機器の活用～」, 「校務の情報化 ～教員の事務負担の軽減と子どもと向き合う時間の確保～」の3つから構成され[1], 教育分野における幅広い課題解決に寄与している。

一方、近年、教員による長時間労働が問題となっており、経済協力開発機構 (OECD) 参加国において、教員の勤務時間が最も長い国は、日本であるという報告がある[2]。こうした教員の長時間労働問題に対して、教職員の在り方と業務改善の方策に関する「学校現場における業務の適正化に向けて」[3]などが公表されている。具体的な改善方策の

一つとして、統合型校務支援システム整備等の校務の情報化推進が示され、今後、クラウド技術などの活用により、校務などの在り方や制度も変化することが予想される。

統合型校務支援システムとは、成績処理、出欠管理、時数等の教務系と、健康診断表、保健室管理等の学籍系、学校事務系などを統合したシステムを指す。このシステムにおける成績処理対象は、筆記テストの採点結果など、定量的な評価観点の情報のみである。しかしながら、教育分野における成績処理の対象には、定性的評価観点が多く存在する。定性的な評価は、明確な基準を持ちにくく点数化が困難であるとともに、教員による主観的な評価によって、評価に大きなばらつきが発生する恐れがある。特に実技教科の場合、技能や作品などを評価する必要があり、国語や数学などの主要5教科と比較して、採点等にかかる質的負担が大きい。

また、児童生徒には未来を進んで切り拓けるような創造性や問題解決能力などの能力を、高水準で有することが期待されている。実技教科の1つである、ものづくり活動を通して生徒の創造性や問題解決能力を育む教科、中学校技

^{†1} 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University
^{†2} 宮城教育大学技術教育講座
Technology Education, Miyagi University of Education
^{†3} 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

術・家庭科〔技術分野〕（以下、技術科とする）の重要性が再認識されつつある[4]。しかしながら、技術科には(1)限られた時間内での生徒の技能上達が困難、(2)技術科教員が各校1名で多忙、という問題がある。技能上達の難しさは、近年、生徒のものづくり経験が乏しいことに起因する。また、技術科教員の多忙問題は、実技教科特有の定性的評価が多いこと、一般業務から技術科特有の業務までを技術科教員が単独実施する必要があり、授業内外で多忙であることに起因する。具体的には、ものづくり学習に必要な材料の準備や、ICT 機器などの発展に伴う授業で扱う内容の高度化・複雑化への対応、限られた授業時間内で、高度で複雑な内容を明快化する工夫が必要となるためである。

そこで、技術科教員と生徒を取り巻く問題の解決を目指して、技能を定量的に評価支援するシステムが期待されている。従来、鋸挽きや鉋掛けなどの技能評価作業は、加工中の身体や工具の“動作”と、加工後に出来上がる“加工物”の評価が行われる。動作の評価は、授業中に実施するが、安全指導なども行いながら生徒全員分の動作を十分に観察して評価することは困難である。一方、加工物の評価は、主に授業外に実施される。その作業工程は、1人の生徒の評価をするにあたり、例えば「スコヤをあてる、評価表にメモをする、触って観察する、評価表にメモをする、メモから評価を出す、評価表に評価を記載する、評価を表計算ソフトウェアにまとめる」といった手順を踏むため、生徒全員分を評価するには負担が大きい。加えて、大量の評価を行ううちに、採点基準に揺らぎが生じるという現象も報告されており[5]、評価の過程で評価基準の一貫性を失う恐れがある。

本研究では、以上の背景を踏まえた、技術科教員の評価作業負担軽減の実現を目指す。評価作業負担軽減のためには、学校現場を考慮した加工物評価観点の定量的な計測、評価が困難であることと、一連の評価工程における負担軽減が困難であるという課題が存在する。本研究では、技術科教員の“角度”と“表面粗さ”の定量化が可能な評価しやすさを重視した木製加工物評価支援機構を提案し、評価作業負担軽減の実現を目指す。

2. 関連研究と技術的課題

2.1 動作の評価支援に関する研究

学習者の技能上達のために、モーションキャプチャを用いて身体動作分析を行う研究は、これまで数多く取り組まれてきた。技術科教育で扱う技能に関する動作分析については、半田付けを行う学生の動作をキャプチャし、動作特徴から指導項目を作成する研究[6]、鋸挽きを行う熟練者と初心者の動作をキャプチャし、3Di 仮想空間“Second Life”上で比較観察可能な教材の開発[7]、鉋掛けを行う生徒2名の動作を KINECT センサでキャプチャし、定量的に比較可能な動作分析システムの開発[8]などの試みがある。また、

簡易モーションキャプチャによる手指の動作分析を取り入れた技能学習に関する研究がある[9]。しかし、動作評価を支援する研究の試みは行われているが、それらは加工結果である加工物を評価対象としていない。

2.2 生徒が作成した加工物の評価支援に関する研究

加工物を定量的に計測・分析可能な機器として、角度計測機や表面粗さ計、三次元形状測定機など、多様な機器がある[10]。三次元形状測定機は、多様な立体物に対して、0.1[μm]などの高精度な測定、様々な種類の解析が可能であり、JIS に基づく多数のパラメータとしての数値化や、加工物の状態の明快な可視化を実現する機能を備える。しかし、高価かつ大型な専門機器であるため、学校現場への導入には敷居が高い。さらに、いずれも評価工程の中でも計測作業場面のみを対象としており、一連の評価工程をまとめて支援することができない。

2.3 技術的課題

本研究では、ICT を用いて加工物評価を支援し、技術科教員の評価作業負担軽減の実現を目的とする。技術科教員の評価作業負担を実現するために、以下の2つの技術的課題を解決する必要がある。

(P1) 学校現場を考慮した加工物評価観点の定量的な計測、評価が困難

一般的な加工物を定量的に計測する機器は、高精度のセンサや、多様な分析が可能な高い性能を有する。しかしながら、学校現場への導入および教員による利用を考慮すると、低コストかつ操作が簡単で使いやすことが重要である。

(P2) 一連の評価工程における負担軽減が困難

大量の作品を評価する際には、膨大な時間・手間がかかり負担が大きい。例えば、一つの加工物を評価する際の作業工程では、計測、触察・観察、記載などの様々な作業があり、教員が評価を完了するまでに多くの時間と手間を要する。

加工物を評価するにあたり、その評価観点は、バリ量、微細な傷、打痕など多岐にわたる。本稿では、生徒の鋸挽きや鉋掛けの技能の良し悪しが大きく反映される“角度”と“表面粗さ”の2つの観点を対象とする。また、利用する ICT は、多様なセンサを有しつつ低コストで、教員にとって身近で扱いやすい携帯端末を利用する。

以上を踏まえ、以下の特徴を有した PLMS 向けの機構を提案し、課題解決を図る。

(S1) “角度”と“表面粗さ”の定量化機構

角度と表面粗さを携帯端末で定量的に計測、評価支援する機構を開発することにより、低コストで客観性、一貫性のある評価支援を実現する。

(S2) “評価しやすさ”を重視した機構

大量の加工物を効率的に評価するための機能を有し、システムとして一元管理可能な、一連の評価工程ごと

に評価可能な機構により、教員にとっての負担軽減を実現する。

3. PLMS 向け木製加工物評価支援機構

3.1 技能の学習管理システム(PLMS)の概要

我々は、生徒の技能上達支援や技術科教員の負担軽減を目指した技能の学習管理システム（Practice Learning Management System: PLMS）の研究開発を推進している[11][12]。定性的な評価観点である“技能”に関するデータ（技能データ）を収集、管理し、PLMS で収集したデータを参考にした教員による個別指導や学習評価、PLMS からのフィードバックに基づいた生徒の技能内省などの支援の実現を目指している。

これまでの PLMS に関する研究開発では、技術科教育において代表的な加工技能である木材の鋸挽きと鉋掛けに焦点を当て、“動作”の評価支援機構について開発を推進してきた。加工中の工具や身体の動作をスマートフォンで計測、分析、フィードバックの提示を行う機能などにより、動作に関する生徒自身へのフィードバックの提示や、評価結果に応じた教員による生徒への個別指導の支援が可能である。

一方、技術科教育における技能の従来の評価は、動作に加え、作品などの“加工物”も対象である。例えば、鉋掛けの切削動作が良くても、木材が上手く切削されたかどうかは、切削後に木材を観察、触察しなければ分からない。つまり、技能を評価するには、“動作”と“加工物”の双方を対象とする必要がある。これまで、動作のみを評価支援対象としていたため、現状の PLMS には、加工物を対象とした定量的な評価支援の仕組みがない。そこで、低コストかつ簡単に扱える PLMS 向け加工物評価支援機構を新たに提案する。また加工物の材質については、先行研究に合わせ、鋸挽きや鉋掛けで加工される木製の加工物を対象とする。

図 1 に、動作と加工物の評価支援を行う PLMS の概要を示す。本提案の PLMS は、動作評価支援機構と加工物評価支援機構から構成され、生徒の技能学習に対し、加工中の工具や身体の動作計測と加工後の加工物の状態計測を行う。それぞれで計測されたデータを目的に合わせて分析・処理し、学習管理データベースに蓄積する。学習管理データベースにアクセスしてデータを整理する学習管理機能により、教員はデータを参考にした学習評価や個別指導に反映することができる。

3.2 加工物評価支援機構の構成

本稿で提案する加工物評価支援機構は、加工後の加工物の状態計測や分析、データ蓄積を行うために、(1)角度計測機能、(2)表面粗さ計測機能、(3)概観評価支援機能から構成される（図 2）。

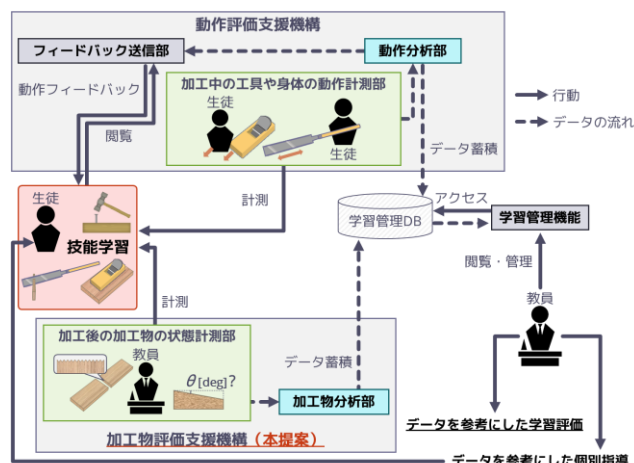


図 1 技能の学習管理システム (PLMS) の概要

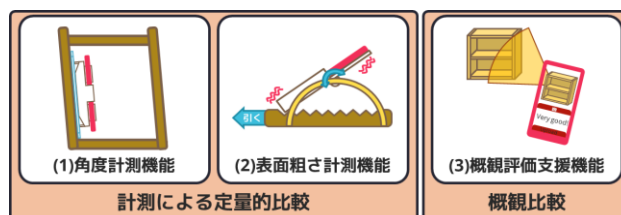


図 2 加工物評価支援機構の構成

(1)角度計測機能、(2)表面粗さ計測機能の2つは、“角度”と“表面粗さ”の定量化機構を実現する機能である。(3)概観評価支援機能は、コメントのメモ書きや概観比較作業を支援する機能である。(1)~(3)の機能について、“評価しやすさ”を重視した機構とすることで、教員にとっての負担軽減を目指す。次に、各機能の詳細について述べる。

3.2.1 角度計測機能

角度計測機能は、教員である評価者が従来行う、スコヤなどを用いた木製加工物の角度検査作業の負担軽減を目指したもので、加工物の角度を定量化し、データ一元管理による角度の定量的比較を可能にする（図 3(1)）。教員による大量の評価を考慮した操作で、効率的な計測・記録を実現する。角度計測用アタッチメントを使用し、より正確な計測を行う。各生徒の加工物の角度を次々に計測、記録し、各生徒の計測データを一元的に確認することで、教員にとっての負担軽減が可能となる。

3.2.2 表面粗さ計測機能

表面粗さ計測機能は、評価者が従来行う、観察や触察による木製加工物表面の凹凸（表面粗さ）検査作業の負担軽減を目指したもので、加工物の表面粗さを定量化し、データ一元管理による角度の定量的比較を可能にする（図 3(2)）。教員による大量の評価を考慮した操作で、効率的な計測・記録を実現する。表面粗さ計測用アタッチメントを使用し、より正確な計測を行う。各生徒の加工物の表面粗さを次々に計測、記録し、各生徒の計測データを一元的に確認することで、教員にとっての負担軽減が可能となる。

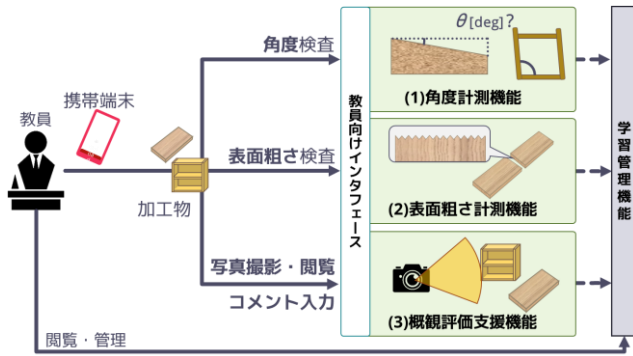


図3 機能の概要

3.2.3 概観評価支援機能

概観評価支援機能は、評価者が従来行う、木製加工物を参照しながら評価表にコメントを記録する作業の負担軽減を目指したもので、加工物の写真撮影およびコメントの挿入と、それらを閲覧することを可能にする(図3(3))。各生徒の加工物の概観を次々に撮影、アップロードし、各生徒の概観のデータを一覧で確認。比較することで、教員にとっての負担軽減が可能である。

4. 設計と実装

4.1 PLMS 向け木製加工物評価支援機構の設計

機能ごとに1つのAndroidアプリケーションとして設計する。効率的な評価を実現するために、評価対象とする生徒の選択方法については、上下スワイプによりクラス変更、左右スワイプにより生徒番号変更可能とする。加えて、評価によって取得するデータについては、各機能からPLMS専用データベースへ蓄積し、ブラウザで表示可能である。

4.2 角度計測機能のプロトタイプ

角度計測機能は、基準面に対する接合面の角度の定量的計測、評価を支援する。3Dプリンタとアクリル板などで作製した専用アタッチメント装着し、背面や底面の形状に依存しない安定した計測を行う(図4)。重力センサで端末の角度を算出する。計測前に角度はキャリブレーションする。重力センサが安定した状態で計測するために、端末が静止してから3秒後に合図の音声を鳴らす。端末の傾きの大きさを水準器として示すことで、評価者による端末の向きと角度の直観的把握を図る。評価者は端末の角度のズレの大

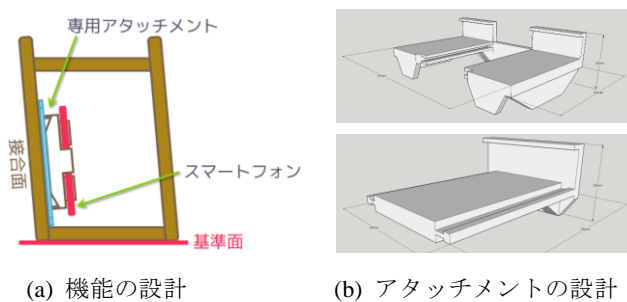


図4 角度計測機能の設計



図5 角度計測機能の動作例

きさ[deg]を閾値とした5段階のランクを設定でき、それぞれの絶対値が $S < A < B < C < D$ となるように閾値を決める。生徒ごとの角度情報やランク付け結果をアプリ内に記録しておき、計測終了後にCSVファイルで一括出力、アップロードする。計測時は両手が塞がれるため、記録は「ラップ」という発声での制御も可能にする。

角度計測機能のアタッチメントに関しては、材料にアタッチメントを装着したスマートフォンあてた際に、計測時の手ブレが生じにくい構造となるよう設計および実装を行った。プロトタイプの実作例を図5に示す。

4.3 表面粗さ計測機能のプロトタイプ

表面粗さ計測機能は、面の凹凸の計測、評価を支援する。3Dプリンタで作製した専用アタッチメント装着し、手ブレによるノイズが入りにくくする(図6)。ジャイロセンサで微小な振動検出し、その最大値、合計値、分散の3つのパラメータを算出する。ジャイロセンサの値をリアルタイムでグラフ描画することで、評価者の直観的把握を図る。生徒ごとの表面粗さ情報をアプリ内に記録しておき、計測終了後にCSVファイルで一括出力、アップロードする。

表面粗さ計測機能のアタッチメントに関しては、木製加工物の切削面をなぞることによって生じる上下の振動を検知し、それ以外の振動を検知しにくい構造となるよう設計および実装を行った。プロトタイプの実作例を図7に示す。

4.4 概観評価支援機能のプロトタイプ

概観評価支援機能は、加工物の写真とそれに対するコメントの挿入、閲覧、比較を支援する。端末のカメラを起動

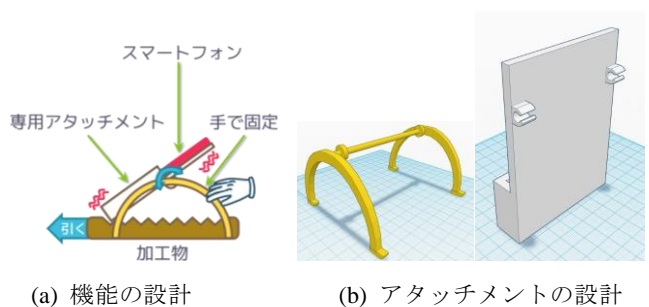


図6 表面粗さ計測機能の設計



図7 表面粗さ計測機能の動作例



(a) 使用例

(b) 動作例

図8 概観評価支援機能の設計と実装

し、写真を撮影し、加工物に対するコメントを入力する(図8)。撮影した写真、入力したコメントをアップロードし、アップロード済みの写真、コメント閲覧、更新を行う。

5. 実験と評価

前章で示した提案機構を評価するための4種類の実験および実験結果に対する評価について報告する。実験1として、角度計測機能の精度検証を目的とし、角度計測機能とアナログとの角度比較を実施する。実験2として、角度計測機能が有する精度の有用性検証を目的とし、学生が製作した金属製ブックエンド20個を対象に、角度計測機能と十分な製作指導経験がある、宮城教育大学技術職員による目視計測との評価比較を実施する。実験3として、表面粗さ

計測機能の精度検証を目的とし、表面粗さ計測機能と3次元測定機との各パラメータ値比較を実施する。実験4として、角度計測機能の有用性検証を目的とし、中学生が製作した加工物に対する角度計測機能と目視計測とのユーザビリティ比較を実施する。

実験にあたって使用器具について示す。

1) 実行環境：全実験において、各機能利用のために、実装した専用アプリケーションをインストールしてあるNexus5 (Android5.1.1, Qualcomm Snapdragon™ 800, 2.26 GHz, 2GB Memory, 69.17×137.84×8.59mm, 130g: Google Inc.)を使用した。また、実験ごとに各機能の専用アタッチメントにNexus5を装着し、実験を実施した。なお、作製したアタッチメントは、5インチのスマートフォンであれば装着可能である。

2) 計測対象：実験1における計測対象は、アナログの0, 45, 90[deg]である。0[deg]は、水準器を使用して水平にした定盤の上である。45, 90[deg]は、水平な定盤の上に置いたVブロックの斜面と垂直面である。実験2における計測対象は、学生が製作した金属製ブックエンド20個の垂直面である。提案機構は木製の加工物を対象としているが、精度の有用性を検証する実験2では単純な構造の物が適していると捉え、金属製のブックエンドとした。金属製ブックエンドは、実験1と同様に水平な定盤の上に置いて実験を実施した。実験3における計測対象は、木製の試験片14個(100×10×10mm, スギ)で、全て切削条件が異なる(表1)。実験4における計測対象は、実際に中学生が製作した木製作品(本棚または小箱)20個である(図9)。

3) 従来計測方法との比較のための使用工具：実験1, 2, 4では、比較対象として従来の計測方法で計測するために、スコヤを使用した。実験4では、従来の一連の評価方法を実施するために、メモ、ペン、評価表を使用した。また、計測にかかった時間を計るために、ストップウォッチを使用した。

4) 表面粗さを正確に計測するための使用機器：実験3で計測する表面粗さは、角度と異なり、身近な機器だけで計測することができない。正確に計測するために、3次元測定機VR-3200(ワンショット3D測定マクロスコープ[13], 表示分解能0.1μm: キーエンス社)を使用した(図10)。

表1 試験片の切削条件

切削面		木口	木端	
鉋	鉋身刃先の状態	通常	大きく出ている	8通り (2 ³ 通り)
	鉋を握る力の強さ	通常	弱い	
	切削方向	縦挽き	横挽き	6通り
鋸	切削のブレの大きさ	小さい	通常 大きい	(2×3通り)



図9 計測対象の本棚（左）と小箱（右）の例

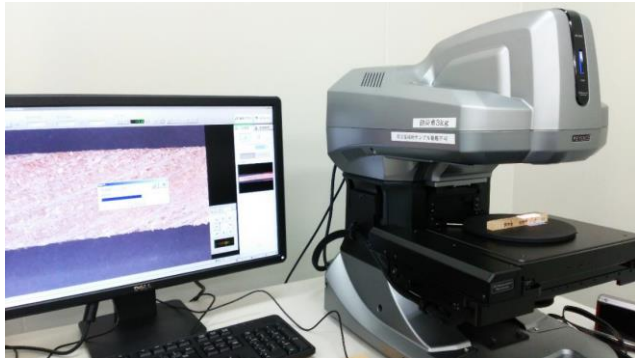


図10 VR-3200 による測定の様子

5.1 実験1：角度計測機能の精度検証

角度計測機能の精度検証の実験結果を表2に示す。本実験では、アナログの0, 45, 90[deg]の面に対して角度計測機能が示す角度について、それぞれ5回ずつ検証した。アナログの0, 45, 90[deg]の面に対し、角度計測機能が示した角度の平均値は、それぞれ0.18[deg] ($SD = 0.11$), 44.22[deg] ($SD = 0.11$), 90.16[deg] ($SD = 0.17$)となった。よって、中学生による加工物を対象とする本研究の機能として、十分な精度があると言える。

5.2 実験2：角度計測機能が有する精度の有用性検証

角度計測機能が有する精度の有用性検証の実験結果を表3に示す。実験は、宮城教育大学にて、宮城教育大学技術職員により、金属製ブックエンドの垂直面に対して、宮城教育大学技術職員が角度計測機能と従来の目視計測とで評価（S, A, B, C, Dにランク付け）を行った。技術職員による感覚評価（従来計測方法）と角度計測機能が示したランク（提案計測方法）の計測結果を数値化（S, A, B, C, Dから5, 4, 3, 2, 1に置換）し、それらの間で、Spearmanの順位相関係数を求めたところ、2種類の計測方法の間に高い正の相関が認められた ($r = 0.856, p < 0.001, n = 20$)。

実験結果より、角度計測機能による評価が、十分な製作指導経験者による評価と高い正の相関があり、角度計測機能の精度の実用における十分な有用性が示唆された。

5.3 実験3：表面粗さ計測機能の精度検証

表面粗さ計測機能の精度検証実験として、宮城県産業技術総合センターの3次元測定機との比較を行った。試験片の形状に関する3次元測定機で計測したデータと、表面粗さ計測機能で計測したデータの相関分析を行う。粗さに関するパラメータとして、3次元測定機で約20種類、表面粗

表2 角度計測機能が示した角度[deg]

アナログの計測角度	角度計測機能が示した角度 平均	標準偏差
0	0.18 (+0.18)	0.11
45	44.22 (- 0.78)	0.11
90	90.16 (+0.16)	0.17

※ 括弧書きの中の数値は、アナログの角度とのズレを示す

表3 技術職員による金属製ブックエンドの計測評価

作品番号	従来	提案	作品番号	従来	提案
1	D	D	11	A	A
2	S	S	12	C	A
3	S	S	13	B	A
4	A	S	14	B	A
5	A	S	15	B	A
6	A	S	16	A	S
7	A	A	17	A	S
8	A	S	18	D	D
9	D	C	19	C	A
10	B	B	20	C	A

さ計測機能で3種類取得し、それぞれの間で相関分析を行う。表面粗さ計測機能の計測時間は3秒と定める。

表面粗さ計測機能で取得したデータと3次元測定機で測定・解析する各種パラメータとの間の相関分析の結果、表面粗さ計測機能で取得した分散と3次元測定機で取得した算術平均粗さ Ra との間で高い正の相関が認められた ($r = 0.815, p < 0.001, n = 14$) ほか、双方で取得した複数のパラメータの間に、高い正の相関が認められた。この精度は、中学生による加工物を対象とする表面粗さ計測機能として、実現十分な精度があると言える。

5.4 実験4：中学校における角度計測機能の有用性検証

仙台市内 H 中学校の木工室にて、現職中学校教員1名と大学院生2名を被験者とした実験を行った。角度計測機能

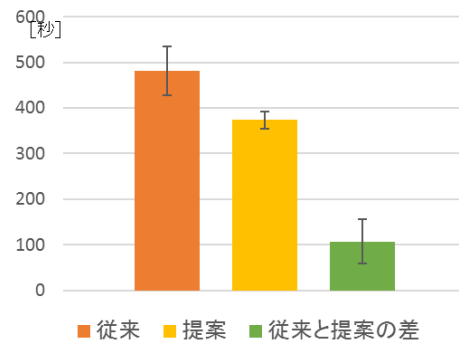


図11 従来計測方法と提案計測方法での計測時間と時間差（平均）

表 4 従来計測方法と提案計測方法での計測時間と時間差 [秒]

計測方法	平均	標準偏差
従来	481.3	54.2
提案	373.7	18.9
従来と提案の差	107.7	48.5

を使用した“提案計測方法”，スコヤと紙とペンを使用した“従来計測方法”の2種類で一連の評価を実施する。実際に中学生が製作した本棚または小箱計20個の側板2枚の直角部分に対して実施し，2種類の方法それぞれで評価にかかった時間を評価した。

被験者3名の平均計測時間[秒]およびその差を，図11および表4に示す。従来計測方法での計測時間の平均が481.3[秒] ($SD=54.2$)，提案計測方法での計測時間の平均が373.7[秒] ($SD=18.9$)となり，提案計測方法の方が107.7[秒] ($SD=48.5$)短い結果となった。

自由記述のアンケートを実施した結果，現職技術科教員からも，提案計測方法の優れている点として，次のような意見が得られた。

- 角度計測と記録にかかる手間が減った。一様の操作を繰り返すだけで良いため，テンポがよく，ストレスがない，精神的に楽である
- 詳細な計測情報（角度や時間など）がデジタルデータとして保存されることにメリットを感じた
- あらかじめ数値で評価基準を指定するため，評価者の中で基準がぶれない
- 自動で記録されるため，計測だけの時間で済む

本実験の結果について，図14および表4より，計測時間の短縮効果を確認した。評価実験における従来計測方法の計測時間範囲は，評価表への記録までであったが，この後，表計算ソフトウェアへのデータ入力が必要がある。提案計測方法では，表計算ソフトウェアで開けるCSVファイルとしてデータとして保持するため，一層時間差が開く可能性が考えられる。また，アンケートの結果より，提案計測方法の負担軽減効果および定量的評価への肯定的意見を確認した。

5.5 評価

実験1より，アナログの0, 45, 90[deg]の面に対して角度計測機能が示した角度の平均値は，それぞれ0.18[deg] ($SD=0.11$)，44.22[deg] ($SD=0.11$)，90.16[deg] ($SD=0.17$)であり，中学生による加工物を評価する上での角度計測機能の十分な精度を確認した。実験2より，3次元測定機で取得した算術平均粗さと表面粗さ計測機能で取得した分散との間で高い正の相関が認められ ($r=.815, p<.001, n=14$)，中学生による加工物を評価する上での表面粗さ計測機能の十分な精度を確認した。実験3より，技術職員による従来の感覚評価と角度計測機能が示した評価結果の間に高い正

の相関が認められ ($r=.856, p<.001, n=20$)，角度計測機能の精度は，十分に有用性があることを確認した。実験4より，中学生が製作した木製加工物の計40か所に対し，角度計測機能と従来計測方法でそれぞれ評価した結果，提案計測方法の方が107.7[秒] ($SD=48.5$)短く，アンケートからも負担軽減効果を確認した。加えて，実験4のアンケートにおいて，提案計測方法の優れている点として「一様の操作を繰り返すだけでいいため，テンポがよく，ストレスがない，精神的に楽である」等といった意見が挙げられ，技術的課題であった(P1)学校現場を考慮した加工物評価観点の定量的な計測，評価が困難，(P2)一連の評価工程における負担軽減が困難，を解決した。

6. おわりに

本稿では，“角度”と“表面粗さ”の定量化，“評価しやすさ”を重視した，技術科教育のPLMS向け木製加工物評価支援機構を提案し，教育現場における技術科教員の負担軽減を目指した。木製加工物評価支援機構を開発し，実際の教育現場での運用を行った結果，技術科教員の作業負担軽減の効果を確認した。今後の展望は，本稿の提案機構の応用として，各生徒が製作段階で利用できる生徒向け加工物評価支援を行うことである。

参考文献

- [1] 文部科学省，“教育の情報化に関する手引，”開隆堂出版株式会社，p.2, Oct. 2010.
- [2] OECD 国際教員指導環境調査 (TALIS)，
<http://www.nier.go.jp/kenkyukikaku/talis/>
- [3] 学校現場における業務の適正化に向けて，
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/uneishien/detail/1372315.htm
- [4] 文部科学省，“中学校学習指導要領解説 技術・家庭科編，”p.15, July 2008.
- [5] K. Joseph, “The failure of a decision support system: inconsistency in test grading by teachers, Teaching and Teacher Education,” Vol.18, pp.1023-1033, Nov. 2002.
- [6] 神里志穂子，比嘉優，野口健太郎，“動作特徴に基づいた技能指導項目の検証，”情報科学技術フォーラム講演論文集，Vol. 19, No.3, pp.785-786, Sep. 2011.
- [7] 安藤明伸，住川泰希，“モーションキャプチャと仮想空間を利用した鋸引き動作観察教材の開発と機能評価，”日本教育工学会論文誌，Vol.36, No.2, pp.103-110, Oct. 2012.
- [8] 紅林秀治，小林健太，兼宗進，“KINECT センサーを用いた簡易動作分析システムの開発，”情報処理学会研究報告，Vol.2013-CE-118, No.20, pp.1-7, Feb. 2013.
- [9] 青木麟太郎，大村基将，紅林秀治，“簡易モーションキャプチャを取り入れた技能学習の提案，”情報教育シンポジウム2014 論文集，Vol.2014, No. 2, pp.185-188, Aug. 2014.
- [10] 測定機の種類と特徴 | 測定器ナビ | キーエンス，
http://www.keyence.co.jp/microscope/special/imageasure/sokut_eiki/type/
- [11] A. Ando, T. Takaku, S. Itagaki, T. Torii, H. Takeno, D. Davis, “Development of a Skill Learning System using Sensors in a Smart Phone for Vocational Education,” Proc. of the 5th International Conference on Computer Supported Education. CSEU, pp.683-687, Oct. 2013.
- [12] S. Itagaki, A. Ando, T. Takaku, H. Takeno, T. Torii, “Development

of a Skill Practice Management System (PMS) for Learning Japanese Traditional Craft Tools by Using Smartphones,” Proc. of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, Vol. 2014, pp.1001-1009, July 2014.

[13] VR-3200 電動XYステージ付きスタンダードヘッド | キーエンス,
http://www.keyence.co.jp/microscope/3d_measurement/vr_3000/vr_3200/