

コンシューマ・システム論文

技術科教育における技能学習管理システムのための 木製加工物評価支援機構の提案

福谷 遼太^{1,a)} 安藤 明伸² 板垣 翔大¹ 高橋 秀幸^{1,3} 木下 哲男^{1,3}

受付日 2016年9月30日, 採録日 2017年2月27日

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、木材加工などをともな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。我々は、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。本論文では、生徒による木製加工物を対象とした PLMS のための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、さらに、実際の教育現場での運用を通して、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, 評価支援, 学習管理, Practice Learning Management System (PLMS), 技術科教育

Evaluation Support Mechanism of Wooden Works for Practice Learning Management System of Technology Education

RYOTA FUKUTANI^{1,a)} AKINOBU ANDO² SHOTA ITAGAKI¹ HIDEYUKI TAKAHASHI^{1,3}
TETSUO KINOSHITA^{1,3}

Received: September 30, 2016, Accepted: February 27, 2017

Abstract: Generally, Japanese junior high school employs only one teacher for technology education. Hence, technology education teachers are facing a massive work burden in their works. Not only educating students about the technologies, but they also need to train the actual skills, e.g. wood processing. However, the assigned time for technology education is limited, and it makes it difficult to teach the necessary skills. To resolve the problems causing the work burden, we have developed the Practice Learning Management Systems (PLMS) for the teachers and students. In order to reduce the burden of technology education teacher, this paper proposes an evaluation support mechanism of wooden works for the PLMS. We have developed the mechanism and evaluated it in an actual educational site. As the result, we have confirmed the effect of reducing the work burden of the technology education teachers.

Keywords: school affairs support system, evaluation support, learning management, practice learning management system (PLMS), technology education

1. はじめに

近年、教育の情報化は、いっそうの充実が図られつつある。情報化の具体的方策は、「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—各教科などの目標を達成するための効果的な ICT 機器の活用」、および、「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への寄与が期待されている。

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University,
Sendai, Miyagi 980-8579, Japan

² 宮城教育大学技術教育講座
Technology Education course, Miyagi University of Educa-
tion, Sendai, Miyagi 980-0845, Japan

³ 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku
University, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

a) fukutani@k.riec.tohoku.ac.jp

一方、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）参加国のなかで、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]。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1つとして、統合型校務支援システム整備などによる校務の情報化推進が示されており、今後、校務などの在り方や制度の変化が予想される。ここで、統合型校務支援システムとは、成績処理、出欠管理、授業時数などの教務系、また、健康診断表、保健室管理などの学籍系、そして、学校事務系という3種類の業務を統合した情報システムを指す。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、定性的な評価観点が多く存在する。しかし、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、教員の主観的な評価や熟練度によって、評価に大きなばらつきが発生する恐れがある。特に実技をとまなう教科の場合、技能や作品などを評価する必要があり、国語や数学などの教科と比較して、採点・評価にかかる質的負担が大きい。

実技をとまなう教科の1つである中学校技術・家庭科〔技術分野〕（以下、技術科とする）は、単に職業教育として技能を磨く実技教科ではなく、基礎的な知識・技能を習得し、さらに、生活するうえで直面する様々な問題に対して、自分なりの新しい解決方法を創造するなど、実際の生活の中で生かすことができる能力と態度を育てる教科である [4]。その一方で、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。すなわち、(1) 技能上達の難しさは、近年、生徒のものづくり経験が乏しくなっていることに起因する。また、(2) 技術科教員の多忙問題は、実技をとまなう教科特有の定性的評価が多いこと、さらに、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で担当する必要があり、授業内外で多忙であることなどに起因する。具体的には、ものづくり学習に必要な材料の準備、ICT 機器などの発展にもなって高度化・複雑化する指導内容の理解、限られた授業時間内で高度かつ複雑な内容を明快に教えるための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、技能の定量的な評価を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の評価は、加工中の身体や工具の“動作”，および、加工後にできあがる本棚、小箱などの作品を含む“加工物”の評価が行われる。動作の評価は、授業中の生徒の動作を観察することによって行われるが、安全指導などと並行し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、教員の指導方法によって、授業内または授業外に実施される。授業内の場合、各生徒の加工物をその場で教員が評価するため、動作と同様に、授業内で多忙な技術科教員には負担が大きい。授業外の場合は、教員が生徒の加工物を学籍番号順などに並べ、順番に評価する。加工物1つを評価するためには、たとえば「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、メモを基に評価を導く、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」といった一連の作業があり、生徒全員分を評価することの負担が大きい。加えて、評価を繰り返すうちに、採点基準に揺らぎが生じる場合があり [5]、評価の過程で評価基準の一貫性を失う恐れや、良い作品を見た後には評価基準が上がるなど、評価の客観性が失われる恐れがある。

本研究では、以上の背景をふまえ、技術科教員の評価作業負担の軽減を目指す。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の定量的な計測や評価に対する支援の欠如、そして、一連の評価作業に要する教員の作業負担の増大という課題が存在する。本論文では、加工物の評価の視点として、“角度”と“表面粗さ”に着目し、それらの定量的評価を可能とするとともに、評価作業の行いやすさを重視して設計された木製加工物評価支援機構を提案し、技術科教員の評価作業負担の軽減を目指す。

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などが、これまで数多く行われてきた。たとえば、技術科教育で扱う技能に関する動作分析では、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、インターネット上の3D 仮想空間“Second Life”上で比較観察可能な教材を開発する研究 [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を開発する研究 [8]、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 [9] などがある。また、インドでは、職業教育・職業訓練における学習者の技能上達を目指して、弓鋸のパイプ切断シミュレーションでの熟練者と初心者の動作や加えた力の比較・評価に関する試み [10] などもある。

このように動作評価支援の試みは数多く行われているが、加工後にできあがる加工物は評価対象となっていない。

2.2 加工物の評価支援に関する研究

加工物の状態計測による評価支援については、たとえば、企業における熟練技術者の技能の伝承において、研磨加工した金属板の光沢度や表面粗さ（面の凹凸）、表面のうねり

を測定することで評価する試み [11] がある。現在、こうした加工物を定量的に計測・分析する機器は、表面粗さ計測機、三次元形状測定機など、計測対象に応じて多様な機器が存在する [12]。しかし、これらは高価かつ大型の専用機器であるため、学校現場への導入は難しい。現在、学校現場における加工物の管理による評価支援については、バーコードとハンディターミナルを活用して生徒の作品を管理するシステム [13]、携帯端末を用いて生徒の作品を管理するシステム [14] などにおいて、教員による作品の評価と記録の支援が試みられている。このような加工物の評価支援に関する既存研究では、計測作業または管理作業といった一部の作業の支援を対象としており、観察、触察、計測、記録などを含めた一連の評価作業を系統的に支援することはできない。

2.3 角度と表面粗さの評価支援に関する研究

一方、本論文で着目する“角度”と“表面粗さ”を電子的に計測可能な機器として、角度計 [15] や表面粗さ計測機 [16] などがあげられる。加えて、技術科教育に限らず、本論文で着目する角度や表面粗さを定量的に評価することで教育や技能上達などに生かす様々な研究がある。まず、技能上達と表面粗さの評価に関する研究としては、技能伝承のために金属板の表面粗さなどを測定・評価する試み [11] がある。また、教育と角度の定量的な評価支援に関する研究としては、生物系の実験における動作と器具取扱いの関連性を得るために、肩や肘の関節角度を分析する試み [17] がある。さらに、教育と表面粗さの定量的な評価支援に関する研究としては、紙製カードの表面粗さに対する接触式表面粗さ計と大学生の感覚とを比較し、品質工学を体験的に学習させる教育プログラムに関する研究 [18] や、大学生が独自のガラス研磨材を提案するにあたり、ガラスの表面粗さを加工・測定する教育プログラムに関する研究 [19] などがある。

以上で述べた関連研究は、角度または表面粗さを定量的に評価するための専門機器や自作の専用器具が必要である。一方、角度の定量的な評価支援に身近な機器を使用する研究としては、物理の授業に携帯端末、および、無料公開アプリケーションを導入することで、物理の理解を深めるための教育支援に関する試み [20] がある。しかしながら、この研究では、技術科、および、多角的な加工物の測定・評価が対象ではないため、観察、触察、計測、記録などを含めた一連の評価作業を系統的に支援することはできない。また、計測結果を自動的にデータベースに蓄積したり、生徒情報と紐づけて管理したりするような支援は考慮されていない。

さらに、本節で示した角度と表面粗さの定量的な評価支援に関するすべての研究に共通する点として、これらは、主として学習者または機器の利用者の理解向上を目的とするもので、本論文が目指す教員の評価支援を対象とするも

表 1 加工技能に関する加工物の評価観点の例

Table 1 Example of the evaluation viewpoints about processing skill in works evaluation.

観点	評価方法
寸法	切削量による加工物と製作図とのズレに関する差し金を用いた計測
角度	切削角度、接合角度等による切削・接合面の傾きの大きさに関するスコヤを用いた目視計測
表面粗さ	切削のブレ等による加工面の凹凸の観察、触察
割れ、欠け、バリ	切削、釘打ちなどによって加工物の端に生じる割れ、欠け、バリ（突起）の観察、触察
穴、打痕	玄翁の打ち込み失敗等による穴、へこみの観察
傷	切削時に刃が接触したことによる不要な傷の観察、触察
釘の状態	釘の頭部や首部の曲がり等の観察
塗りむら	不均一な塗装によって生じる凹凸の観察

のではない。すなわち、既存研究の枠組みは、教員による角度と表面粗さの評価作業の負担軽減に直接的に寄与するものではなく、特に、技術科教育の評価支援に適用することは困難である。

2.4 技術的課題

上述した現下の状況をふまえて、本研究では、ICTを活用した加工物評価作業の支援により、技術科教員の作業負担の軽減を目指す。具体的には、以下の2つの課題に着目して、これらを解決するための新たな仕組みを提案する。

(P1) 学校現場を考慮した加工物の定量的な計測や評価に対する支援の欠如

加工物を定量的に計測する現状の機器は、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反面、一般に、操作が複雑で専門家が使用する高価な機器である。したがって、学校現場への導入や教員による利用は困難である。学校現場においては、低コストかつ操作が簡単で使いやすいことが重要な要件となる。

(P2) 一連の評価作業に要する教員の作業負担の増大

技術科教員が単独ですべての生徒の加工物を評価することは、膨大な時間と手間を要する作業であり、その負担は大きい。たとえば、1つの加工物を評価する際、計測、触察・観察、特記事項の記載などの様々な作業があり、評価完了までに多くの時間や手間を要する。上述した課題の解決に向けて、学校現場における技術科の具体的な作業に着目して議論を進める。すなわち、加工技能をともなう製作工程（材料取り、部品加工、組立て・接合、仕上げ）において、教員は、表 1 にあげた観点から、加工物の観察・触察により評価が行われる。先行研究 [21], [22], [23] では、技術科における代表的な加工技能である鋸

挽きや鉋掛けの作業に着目して、技能の学習管理システムが提案されている。本論文では、当該システムなどでの利活用に向けて、教員による加工物の評価作業を支援する仕組みを提案する。具体的には、生徒の加工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つの評価観点を定量化の対象として、教員にとって身近で扱いやすく、また低コストで利用できる評価支援機構の実現を目指す。

本論文で提案する支援機構では、教員の評価作業を系統的に支援するために、次の2つの機能を新たに開発する。

(S1) 定量的計測・分析支援機能

角度と表面粗さを定量的に計測・評価する教員の作業を支援する機能を提供するもので、客観性、一貫性のある支援を低コストで提供することを目指す。

(S2) 概観評価・管理支援機能

教員が大量の加工物を簡単かつ効率的に評価できる機能を提供するもので、教員による一連の評価作業の系統的な支援、および、システムの一元的な管理・運用を可能とすることを目指す。

以下、3章では、上述した機能を備えた木製加工物評価支援機構のアーキテクチャを説明する。

3. 木製加工物評価支援機構の提案

3.1 技能の学習管理システム (PLMS) の概要

我々の先行研究において、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) の研究開発を進めてきた [21], [22], [23]。このシステムは、定性的な評価観点である“技能”に関するデータを PLMS が収集、管理し、教員による個別指導や学習評価のための情報提供、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を目指すものである。PLMS では、技術科教育における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検討してきた。その特徴は、加工中の工具や身体の動作を携帯端末 (スマートフォン) で計測、分析し、フィードバックを提示する機能を有する点にある。

一般に、技術科教育における技能の評価では、動作に加え、作品などの“加工物”も対象となる。たとえば、生徒の鉋掛けの切削動作が良くても、鉋身への力の加わり具合の良し悪しについては、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、製作時の“動作”と製作後の“加工物”の双方を対象とする必要がある。そこで、本論文では、PLMS に対して新たに付加すべき仕組みとしての加工物評価支援機構を提案する。なお、材質については、先行研究に合わせて木製加工物を対象とする。図 1 に、提案する木製加工物評価支援を付加した PLMS の全体構成を示す。すなわち、PLMS は、動作評価支援機

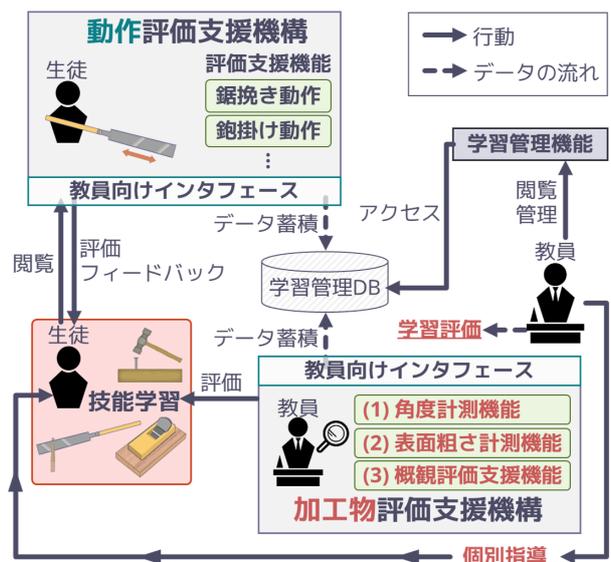


図 1 技能の学習管理システム (PLMS) の概要
 Fig. 1 Overview of the Practice Learning Management System (PLMS).

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、製作時の工具や身体の動作計測と製作後の加工物の状態計測を支援する。計測・収集したデータを分析・処理し、学習管理データベースに蓄積する。教員は、学習管理機能を通して、動作、および、加工物に関するデータを参考にした学習評価や生徒への個別指導、動作に関する生徒自身へのフィードバックの提示などの支援が可能となる。

3.2 加工物評価支援機構の構成

本論文で提案する加工物評価支援機構では、製作後の加工物の状態計測と分析、および、得られたデータの集積・管理を支援する3種類の機能を持つ。すなわち、(1) 角度計測機能、(2) 表面粗さ計測機能、および、(3) 概観評価支援機能である (図 2)。教員による携帯端末を用いた加工物の評価時に、各機能は、データベースから生徒情報 (学年、クラス、番号、氏名) を参照し、携帯端末上に教員が評価する生徒情報 (評価対象) を表示する。また、各機能で得られた各生徒の評価に関する情報 (評価情報) を Web サーバ上のデータベースにアップロードする。アップロードされた評価情報は、教員がブラウザで専用 Web ページにアクセスすることで、教員による一元管理が可能である。評価情報の詳細を示すために、Web サーバ上のデータベースの ER 図を図 3 に示す。データベースの各テーブルは、生徒 1 人 1 人の学習者 ID で紐づけられており、評価を実施すると、評価時の日時情報に加え、各機能に応じたデータ (数値とテキスト) が格納される。ここで、(1) と (2) は、前章で述べた (S1) 定量的計測・分析支援機能に相当するもので、それぞれ“角度”と“表面粗さ”に関する定量的な計測・分析の作業を支援する。また、(3) は、同じく (S2) 概観評価・管理支援機能に相当し、生徒の加工物に対するコ

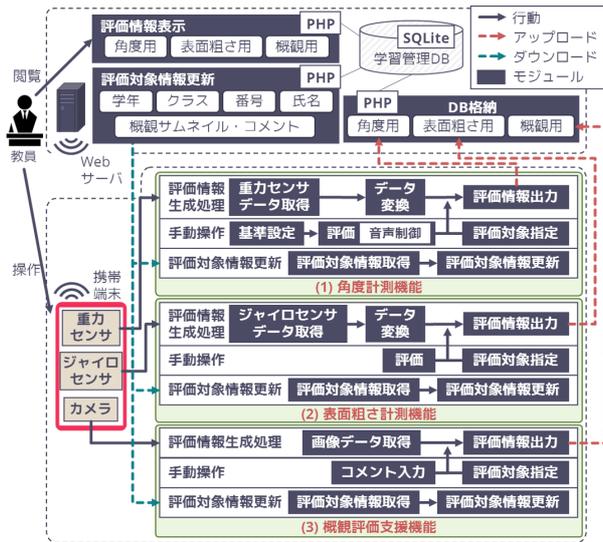


図 2 加工物評価支援機構のシステム構成

Fig. 2 System architecture of the evaluation support mechanism of wooden works.

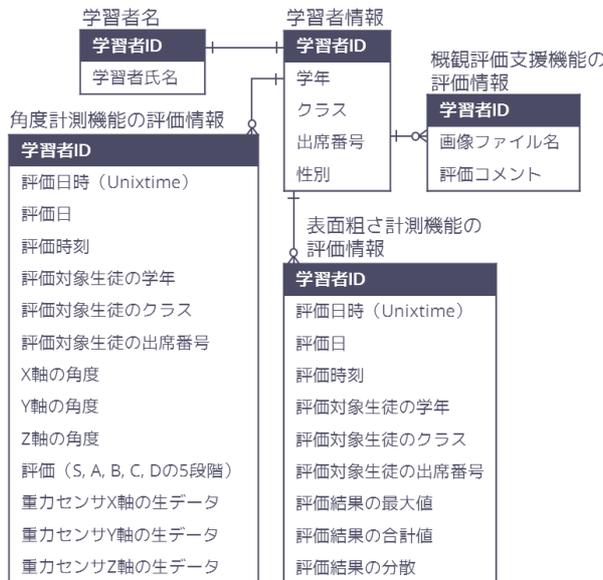


図 3 データベース ER 図

Fig. 3 ER-model of database.

メントのメモ書きや概観比較作業などの概観評価・管理を支援する。

3.2.1 角度計測機能

角度計測機能は、教員がスコヤなどを用いた加工物の角度検査作業の負担軽減を図るもので、加工物（面）の角度の定量化により、定量的評価を可能とする。

図 2(1)のように、本機能では、携帯端末から得られる重力センサのデータから、角度へデータ変換を行うことで加工物の角度を定量化する。教員による評価基準設定（S, A, B, C, D の 5 段階）を基に角度データを評価し、評価情報を出力する。なお、重力センサのデータから角度データへの変換を行うデータ変換モジュールでは、角度 θ [deg]

を求めるために、重力センサの値 Z [m/s²], 重力加速度 g (標準重力加速度: 9.807) [m/s²], 円周率 π を用いて、次の式 (1) により、算出する。

$$\theta = a \cos \left(\frac{Z}{g} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

本機能により、教員が単独で全生徒分の加工物評価を行う際の効率的な計測作業、および、各生徒の計測データを一元的に確認・管理するための記録・閲覧などの作業を支援する。本機能の設計では、携帯端末の形状による影響を防ぐための角度計測用アタッチメントを開発し、より正確な角度計測を目指す。

3.2.2 表面粗さ計測機能

表面粗さ計測機能は、教員の観察や触察によって確認していた加工物の表面粗さの検査作業の負担軽減を図るもので、加工物の表面をなぞったときの振動を利用して表面粗さを定量化することにより、その定量的比較を可能とする。

図 2(2)のように、本機能では、携帯端末から得られるジャイロセンサのデータから、加工物の表面粗さへデータ変換を行うことで加工物の表面粗さを定量化し、評価情報を出力する。なお、ジャイロセンサのデータから表面粗さのパラメータへの変換を行う変換モジュールでは、計測時間内に 10 ミリ秒ごとに取得した携帯端末のジャイロセンサ X 軸の生データ (± 0.1 [deg/s] 程度) から、表面粗さのパラメータとして扱う振動の最大値, 分散, 合計値を算出している。また、振動の最大値, 分散, 合計値は、携帯端末の上下振動の大きさに着目しているため、ジャイロセンサの値を絶対値として算出している。

そして、角度計測機能と同様に、教員による効率的な計測・記録を支援するとともに、表面粗さ計測用アタッチメントを開発し、より正確な表面粗さ計測を目指す。

3.2.3 概観評価支援機能

概観評価支援機能は、教員による木製加工物の概観（割れ, 欠け, バリ, 穴, 打痕, 傷, 釘の状態, 塗りむらなど）の観察や比較, 加工物に関するコメントの記録における負担軽減を図るもので、主に、加工物の写真撮影, および, コメントの挿入, 閲覧などの作業を支援する機能である。

図 2(3)のように、本機能では、教員が携帯端末のカメラを用いて撮影する加工物の概観写真の画像データを、教員が入力する加工物の概観に関するコメントとともに評価情報として Web サーバにアップロードする。なお、本機能が、学年, クラスなどの生徒情報とあわせて、撮影済みの加工物の概観写真のサムネイル画像, および, 入力済みのコメントを Web サーバから参照することで、教員は、本機能からサムネイル画像, および, 入力済みコメントを閲覧できる。

教員が各生徒の加工物の概観を、本機能を通して撮影, アップロードすることで、教員は全生徒の加工物を手元の携帯端末で参照しながら比較することが可能となり、教室

に加工物を並べて比較するといった作業負担が軽減される。

4. 設計と実装

4.1 木製加工物評価支援機構の基本設計

3章で提案した各機能をそれぞれ Android アプリケーションとして設計・実装する。各機能は、教員が授業内外でも円滑に利用ができるよう、評価対象のクラスと生徒選択のためのスワイプ機能を有するインタフェースを付与する。また、各機能によって取得されるデータは、各機能から学習管理データベースに集積し、ブラウザ経由での閲覧を可能とする。

4.2 角度計測機能の設計と試作

加工物の基準面に対する接合面の角度を計測するためには、携帯端末の背面や底面の形状に依存せず、また、手ブレが生じにくい計測を行う必要がある。そこで、3D プリンタ (ABS 樹脂) とアクリル板で作製する携帯端末向け角度計測用アタッチメントを携帯端末に装着して計測を行う (図 4(a))。このような構造設計により、図 4(b) のようにアクリル板のみが加工物に接触することとなり、携帯端末の背面・底面の形状に依存しない計測を可能とする。

一方、角度算出は、携帯端末に内蔵される重力センサを用いて行う。計測時には、重力センサの振幅の微小期間が3秒間継続した場合、音声により計測可能の合図を教員に送る。教員は重力センサが安定しているかどうかを検査した後、計測と評価を行う。また、携帯端末の画面には、水準器をイメージした計測表示を提示し、教員が、計測箇所の傾きの大きさや向きなどを直観的に把握できるようにする。さらに、多様な製作題材の評価を可能とするために、教員による評価基準設定機能を付与する。本機能により、設定した評価基準に応じて、加工物の角度のズレの大きさ [deg] が自動的に評価される。評価基準は、S, A, B, C, D の5段階とし、Sは角度のズレが最も小さく、Dは角度のズレが最も大きくなる。なお、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とする。加えて、計測後の角度情報や評価結果をアプリ内に保存し、適宜、CSV ファイルに出力し、学習管理データベースへの

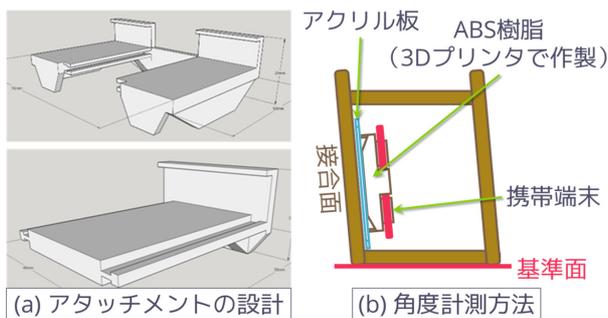


図 4 角度計測機能の設計

Fig. 4 Design of the angle measurement function.

アップロードを可能とする。

実装したプロトタイプとアタッチメントの装着状態を図 5(a) に示す。また、図 5(b) は、計測中の表示例であり、角度に加えて5段階の評価結果が画面右側に示される。また、画面上部に一度記録した評価情報が表示される。こうした設計により、いったん、教員が評価、記録を行った加工物の評価情報を利用して、評価基準の再設定や計測が正しく行われているかどうかを確認できるようにする。なお、角度計測時の注意点として、背面のアクリル板を加工物にあてる際、加工物に対して強い力でアクリル板を押しつけると、加工物の接合部が緩い場合には、アクリル板を押しつけた力で角度が変化し、正確な角度が計測できない可能性がある。よって、加工物にアクリル板を軽く添える形で使用する。

角度計測機能、および、表面粗さ計測機能のアタッチメント試作には、3D プリンタ UP Plus2 (3D-001) [24] を用いた。本機能の測定精度は、3D プリンタによる造形寸法誤差の影響を受けるため、印刷条件は、最高精度である“質: Fine (高精度)”, “積層ピッチ: 0.15 [mm] (最小)”で印刷を行い、寸法誤差が可能な限り小さくなるようにした。

4.3 表面粗さ計測機能の設計と試作

表面をなぞったときの上下振動のみを検知することによって面の凹凸の粗さを計測するために、3D プリンタ (ABS 樹脂) を用いて作製される携帯端末向けアタッチメントを導入する (図 6(a))。本アタッチメントは、①手で固定する部品、②回転可能な木材表面に接触する部品で構



図 5 角度計測機能の動作例

Fig. 5 Prototype of the angle measurement function.

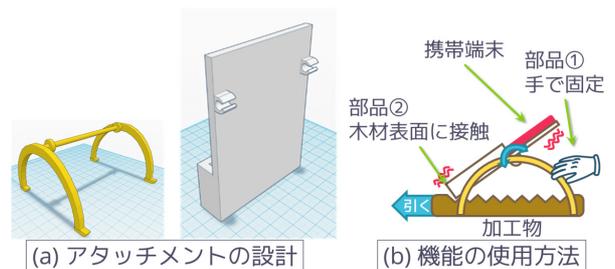


図 6 表面粗さ計測機能の設計

Fig. 6 Design of the surface roughness measurement function.

成され、計測時は部品②のみが振動する (図 6 (b)). また、携帯端末に内蔵されるジャイロセンサにより振動を検出し、その最大値と分散、および、合計値を算出することにより、表面粗さを計測する。角度計測機能と同様に、評価結果の一時保存、計測終了後の CSV ファイルへの一括出力、学習管理データベースへのアップロードが可能である。

図 7 (a) に実装したプロトタイプとアタッチメントの装着状態、また、図 7 (b) に動作例を示す。本例では、教員が加工物の表面粗さ計測を行った際の計測結果がグラフ表示されている。また、画面下部には、記録した評価情報が表示され、評価・記録した結果が確認できる。なお、本機能の使用方法として、アタッチメントを片手で固定し、加工物をもう片方の手で引くことで計測するが、計測時は、加工物を引く速度が速すぎると、加工物表面の凹凸を十分にぞろることができない場合がある。よって、具体的な加工物を引く速度は、30 [mm/s] 程度を推奨する。

4.4 概観評価支援機能の設計と試作

概観評価支援機能は、携帯端末のみで各生徒の加工物を比較し、相対評価を可能とするもので、加工物に対する写真撮影、および、加工物に対する評価時のコメント挿入、各生徒の加工物閲覧を支援する機能を持つ (図 8 (a)). 写



図 7 表面粗さ計測機能の動作例

Fig. 7 Prototype of the surface roughness measurement function.



図 8 概観評価支援機能の設計と実装

Fig. 8 Design and implementation of the overview evaluation function.

真撮影、および、コメント挿入後に、学習管理データベースにデータをアップロードできるようにする。また、アップロード済みの写真とコメントがある場合、加工物どうしをスワイプ操作により比較できるようにし、パーソナルコンピュータのブラウザでも一覧表示ができるようにする。図 8 (b) は、教員がスワイプ操作で加工物を閲覧する際の動作例である。加工物とその生徒情報、および、教員が記録したコメントが表示される。

5. 実験と評価

提案機構を評価するため、次の 4 種類の実験を行った。

[実験 1] 角度計測機能の精度の検証を行う。角度計測機能とスコヤを用いたアナログ計測とを比較・評価する。

[実験 2] 角度計測機能が有する精度の有用性の検証を行う。学生が製作した金属製ブックエンド 20 個を対象として、角度計測機能と製作指導の経験が豊富な宮城教育大学技術職員による目視計測との評価・比較を行う。

[実験 3] 表面粗さ計測機能の精度の検証を行う。表面粗さ計測機能と 3 次元測定機との各パラメータ値による比較を行う。計測対象は、木製の試験片 14 個 (100×10×10 mm, スギ) で、すべて切削条件が異なる (表 2)。

[実験 4] 角度計測機能の有用性の検証を行う。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による評価負担の比較を行う。計測対象は、実際に中学生が製作した木製作品 20 個であり、題材は本棚 (図 9 (a)) と小箱 (図 9 (b)) である。

また、実験環境は以下のとおりである。

使用機器、および、工具：

表 2 試験片の切削条件

Table 2 Cutting condition of test pieces.

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)
	通常	弱い	
	通常	弱い	
鉋 切削のブレ の大きさ	縦挽き	横挽き	6 通り (2×3)



図 9 実験 4 における計測対象の例

Fig. 9 Example of measured works in the Expt. 4.

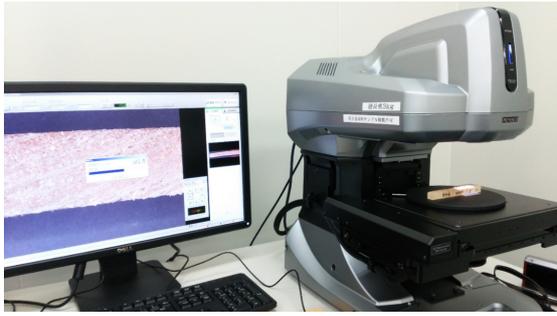


図 10 VR-3200 による測定の様子
Fig. 10 State of the measurement by VR-3200.

携帯端末は、Nexus 5 (Google Inc., Android 5.1.1) を使用した。提案機構の実験では、各機能の専用アタッチメントに Nexus 5 を装着した。なお、本研究で開発した各アタッチメントは、5 インチ前後の Android スマートフォンであれば問題なく使用できる。また、サーバ端末と授業者によるブラウザ閲覧端末を兼ねるタブレット PC として、Surface Pro2 (Microsoft Corp., Windows8.1, Core i5 4300U 2.50 GHz, 8 GB memory, 256 GB storage) を使用した。そして、Web サーバの環境構築には XAMPP を、データベースには SQLite を用いて環境を構築した。

一方、実験 1、実験 2、実験 4 では、従来方法としてスコヤを使用した。実験 3 で計測する表面粗さは、角度と異なり、身近な機器だけでは計測することができない。そこで、正確な計測を行うために、3 次元測定機 VR-3200 (ワンショット 3D 測定マクロスコープ [25], 表示分解能 0.1 μm : キーエンス社) を使用し、宮城県産業技術総合センターにおいて計測を行った (図 10)。また、被験者には、4.2 節、および、4.3 節で述べた計測時の注意点を事前に説明し、被験者が各機能の操作に慣れたうえで実験を行った。

5.1 実験 1 : 角度計測機能の精度検証

計測対象は、アナログの 0, 45, 90 [deg] である。0 [deg] は、水準器を使用し水平にした定盤上の値である。また、45, および、90 [deg] は、水平な定盤上に置いた V ブロックの斜面と垂直面である。

実験結果を表 3 に示す。アナログの 0, 45, 90 [deg] の面に対して、本機能を用いてそれぞれ 5 回ずつ実験を行った。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、および、標準偏差 (SD) 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。これらは微小な誤差であることから、中学生による加工物を対象とする本研究の機能として、十分な精度を有することが確認された。

5.2 実験 2 : 角度計測機能が有する精度の有用性検証

提案機構は、木製の加工物を対象としているが、精度の有用性の検証では、単純な形状でできた加工物が適してい

表 3 実験 1 における角度計測機能の精度検証

Table 3 Accuracy of the angle measurement function in the Expt. 1.

アナログの 計測角度[deg]	角度計測機能が示した角度[deg]	
	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 4 実験 2 における角度誤差の評価基準 (90 [deg] に対する誤差)

Table 4 Evaluation standard of the angular error (for 90 [deg] angles) in the Expt. 2.

S	A	B	C	D
±0.5[deg] 以内	±1.0[deg] 以内	±2.0[deg] 以内	±3.0[deg] 以内	±3.0[deg]より 大きい/小さい

ると判断し、宮城教育大学の学生が製作した金属製ブックエンドの垂直面を計測対象として実験を行った。すなわち、20 個のブックエンドを水平な定盤の上に置き、ブックエンドの垂直面に対して、角度計測機能、および、宮城教育大学の技術職員が通常行っている目視計測とで評価 (S, A, B, C, D に順位付け) し、その結果を比較した。また、本実験における角度誤差の評価基準 (表 4) の設定方法として、まず、技術職員の目視計測で S, A, B, C, D に選別した作品の中からそれぞれ任意に選択し、提案機構を用いて選択した作品の角度計測を行う。次に、得られた各角度誤差の計測結果を本実験時の評価基準として設定した。なお、技術職員は、製作指導に関する豊富な経験を有している。

実験結果を表 5 に示す。ここで、作品番号とは、各作品を識別するために付与される任意の番号である。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評価 (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 の順位相関係数を算出した。その結果、2 種類の計測方法の間に高い正の相関が認められた (相関係数 $r = .856$, 有意水準 $p < .001$, サンプル数 $n = 20$)。本結果より、角度計測機能が実用に耐える十分な精度を有することが確認された。

5.3 実験 3 : 表面粗さ計測機能の精度検証

試験片の形状に関して、本提案の表面粗さ計測機能、および、3 次元測定機によりそれぞれ計測した結果を表 6 と表 7 に示す。粗さに関するパラメータを、表面粗さ計測機

表 5 実験 2 における金属製ブックエンドの計測評価

Table 5 Evaluation of metallic bookends in the Expt. 2.

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

表 6 実験 3 における本機と 3 次元測定機の計測結果

Table 6 Result of measurement device based on proposed method and 3D measuring machine in the Expt. 3.

試験片番号	表面粗さ計測機能	3次元測定機		
	分散	Ra	Rc	Rq
1	0	11.44	35.78	14.19
2	0.02	13.62	55.06	16.84
3	0.08	31.92	134.09	42.18
4	0.71	70.2	240.67	86.65
5	0.11	16.35	81.19	20.62
6	0.63	16.59	67.6	20.56
7	3.48	88.84	426.57	115.8
8	5.93	65.59	321.62	83.3
9	2.14	72.11	欠損値	80.27
10	1.59	73.63	394.33	96.84
11	2.09	137.37	903.88	168.21
12	0.75	69.44	289.73	86.1
13	0.51	40.32	151.26	51.1
14	1.85	40.38	219.45	49.47

表 7 高い正の相関が認められたパラメータ

Table 7 Parameters with high positive correlation.

粗さのパラメータ	記号	相関関係
算術平均粗さ	Ra	$r=.815, p<.001, n=14$
平均高さ	Rc	$r=.885, p<.001, n=13$
二乗平均平方根高さ	Rq	$r=.754, p<.002, n=14$

能で 3 種類、また、3 次元測定機で約 20 種類取得し、それぞれの間で相関分析を行い、双方の順位相関係数を算出した。なお、本実験における表面粗さ計測機能の計測時間は 3 秒に設定した。

表 6 に、表面粗さ計測機能、および、3 次元測定機で得られた結果を示す。Ra, Rc, Rq は、線粗さ（加工物表面

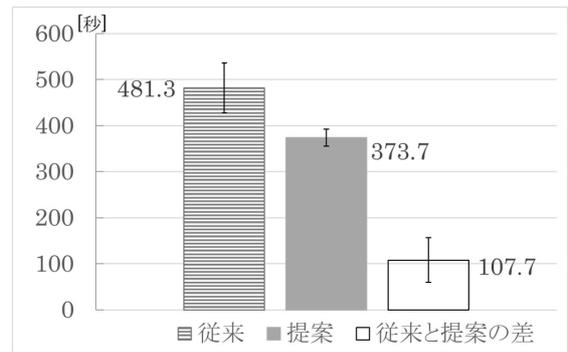


図 11 実験 4 における計測時間と時間差（平均）

Fig. 11 Measurement time (mean) in the Expt. 4.

を直線でなぞったときの高さ方向の凹凸)を評価するパラメータである。Ra (算術平均粗さ)は、基準長さにおける絶対値の平均値、Rc (平均高さ)は、基準長さにおける高さの平均値、また、Rq (二乗平均平方根高さ)は、基準長さにおける二乗平均の平方根である。表面粗さ計測機能、および、3 次元測定機の計測値との間の Spearman の順位相関係数の算出結果において、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 Ra との間で高い正の相関が認められた ($r = .815, p < .001, n = 14$)。さらに、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 (表 7)。これらの結果から、表面粗さ計測機能は、中学生による加工物を対象とする場合、実用上十分な精度を有し、評価支援機能として有用であることを確認した。

5.4 実験 4：中学校における角度計測機能の有用性検証

本提案による角度計測機能を用いた評価方法と、教員が普段行っている評価方法 (スコヤと紙とペンを使用した評価)との比較実験により、角度計測機能の有用性を検証した。本実験は、現職中学校教員 1 名と技術科教員免許を有する大学院生 2 名を被験者として、仙台市内の中学校の木工室で行った。教員が授業後に各生徒の加工物を評価する場面を想定し、角度計測における一連の評価を、計 20 個の側板 2 枚の直角部分で計測し、評価に要した時間の計測、および、評価負担に関するアンケートを行った。

実験結果を図 11、および、表 8 に示す。被験者は 3 名である。従来の計測方法での計測時間の平均値が 481.3 [秒] ($SD = 54.2$)、提案計測方法での計測時間の平均値が 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。

本実験の結果から、提案機能を使用することで、簡便に評価が行えることが確認された。なお、評価実験における従来計測方法の時間計測範囲は、評価表への記録までであった。しかし、実際の教育現場では、この後に、表計算ソフトウェアへのデータ入力などの作業が必要となるが、提案計測方法によれば、表計算ソフトウェアで利用可能な

表 8 実験 4 における計測方法での計測時間と時間差

Table 8 Measurement time depends on the methods in the Expt. 4.

計測方法	平均[秒]	標準偏差[秒]
従来型の評価	481.3	54.2
本機能を用いた評価	373.7	18.9
従来と提案の差	107.7	48.5

CSV ファイル形式のデータとして保持されるため、さらなる効果が期待される。

一方、提案機能に関して、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は、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よいため、テンポが良く、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。

こうしたアンケート結果から、提案計測方法による負担軽減の効果、および、定量的評価によって評価基準のぶれが生じないという特徴を確認することができた。

5.5 総合評価

前述した実験 1 の結果から、角度計測機能に関して、中学生による加工物を対象とする評価支援機能として十分な精度を有することを検証した。次に、実験 2 における従来の感覚評価との比較によって、実用に耐える評価支援機能を有することを検証した。また、実験 3 における 3 次元測定機との比較により、中学生による加工物を対象とした表面粗さ計測に対して十分な精度を有することを検証した。さらに、実験 4 における実際の木製加工物を用いた評価実験により、教員が評価作業に費やす時間が短縮されるとともに、従来の技術科教員の目視計測による評価とほぼ同様の評価が行えることを確認した。これらの結果から、本論文で提案した機構は、2 章で議論した現下の技術科教育に係る 2 つの課題を解決する手段として有用であるといえる。

さらに、学校現場における教員の負担軽減という観点では、提案機構を用いた実験とその結果から、従来、加工物評価において教員が担当してきた作業の一部を系統的に支援することが可能となり、作業負担の軽減が期待されることが検証された。この点に関するさらなる考察として、提案機構による角度と表面粗さの評価支援による加工物評価に要する時間、および、工程数の効率化に関する有用性について述べる。



図 12 各評価観点の木材例

Fig. 12 Example of measurement objects for each evaluation viewpoint.

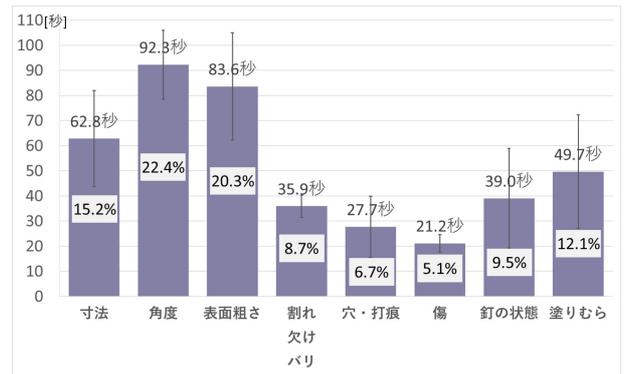


図 13 各評価観点における計測時間

Fig. 13 Measurement time depends on each evaluation viewpoint.

まず、提案機構導入による時間の効率化に関する有用性を示すために、1. 従来の評価方法による加工物の一連の評価に要する時間のうち、角度と表面粗さの評価に要する時間の割合の検証、2. 提案機構を導入した場合の角度と表面粗さの評価に要する時間の検証を通して、提案機構における効率化の有用性について評価を行った。

1. 従来の評価方法による加工物の一連の評価に要する時間のうち、角度と表面粗さの評価に要する時間の割合の検証では、表 1 の 8 つの評価観点「寸法、角度、表面粗さ、割れ・欠け・バリ、穴・打痕、傷、釘の状態、塗りむら」を、1 つの作品製作時の加工技能に関する加工物の全評価観点と見なし、各評価観点の評価に要する計測時間の測定を実施した。そして、測定した計測時間から、加工物評価全体の計測時間に占める角度と表面粗さの計測時間の割合を示した。本実験の被験者は、5.4 節の実験を実施した 3 名で、評価対象として、1 つの評価観点につき評価 5 回分の加工物または加工箇所（計 40 回分）を用意した。なお、評価に要する時間のみを測定するために、評価対象の加工物は、単純構造で評価する箇所が明確な木材（図 12）とした。

各評価観点において、被験者 3 名が 5 回の評価に要した時間の 1 名あたりの平均計測時間と割合を図 13 に示す。図 13 より、加工物評価全体の計測時間に対する角度、および、表面粗さの評価に要した計測時間の割合は、角度が約 22.4%、表面粗さが約 20.3% となった。よって、角度と表面粗さが、加工技能に関する加工物の評価全体の約 43.7% を

表 9 評価作業の手順における工程数の比較

Table 9 Comparison of the number of step on the each evaluation work.

評価作業の手順	従来	提案機構	
角度計測作業	(1) 角度計測	要	要
	(2) 評価表に角度情報記載	要	不要
	(3) 角度の評価導出, 記載	要	不要
	(4) (1)~(3)を全生徒分行い, 表計算ソフトへ角度情報入力	要	不要
表面粗さ触察・計測作業	(5) 表面粗さ触察・計測	要	要
	(6) 評価表に表面粗さ情報記載	要	不要
	(7) 表面粗さ情報の評価導出, 記載	要	不要
	(8) (5)~(7)を全生徒分行い, 表計算ソフトへ表面粗さ情報入力	要	不要
概観評価作業	(9) 概観の観察	要	要
	(10) 評価表に概観観察結果記載	要	不要
	(11) (9)と(10)を全生徒分行い, 表計算ソフトへ概観観察結果入力	要	不要

占め, 全体の大きな割合を占めていることを確認した。

さらに, 2. 角度と表面粗さの計測時間における提案機構の効率化の検証に関して述べる。まず, 図 13 より, 従来の方法により 1 個の加工物の計測に要した時間は, 角度は 18.5 [秒], 表面粗さは 16.7 [秒] である。一方, 提案機構を用いた方法により 1 個の加工物の計測に要する時間は, ともに最大 10 秒程度である。ここで, 実験 4 を実施した中学校の 1 学年の生徒数は約 400 名であるため, 全員分の加工物の角度と表面粗さに要する計測時間は,

- 従来方法による角度と表面粗さの評価に要する時間:
 $(18.5 [秒] + 16.7 [秒]) \times 400 [人分] = 14080 [秒]$, すなわち, 約 3.91 [時間] (3 時間 55 分)
- 提案機構による角度と表面粗さの評価に要する時間:
 $(10 [秒] + 10 [秒]) \times 400 [人分] = 8000 [秒]$, すなわち, 約 2.22 [時間] (2 時間 13 分)

であった。したがって, 本実験により, 1 学年全員分の評価に要する時間は, 提案機構を導入することで, 1 時間 42 分程度短縮可能となることが分かった。

次に, 教員が授業時間外に評価作業を行う場合を想定し, 教員が実施する典型的な評価工程の手順に沿って, 従来の方法と提案機構による方法で要請される工程内容を比較した。表 9 はその結果で, 加工物が番号順に整理してある状態から, 表計算ソフトに入力するまでの 11 種類の工程について, 教員に作業が要請される場合は「要」, 提案機構による自動化が可能な場合は「不要」とした。その結果, 従来

必要とされる評価工程計 11 種類のうち, 提案機構の導入により 8 種類 (72.7%) について工程削減が可能となることから, 提案機構の導入により, 現状の技術科教員が負っている作業負担の軽減が期待できる。以上より, 時間, および, 評価作業工程数の観点から, 効率化の可能性に関する有用性を示した。

6. おわりに

本論文では, 技術科教育において作製される木製加工物の“角度”と“表面粗さ”に着目して定量的評価を行う系統的方法, および, “使いやすさ”や“導入のしやすさ”を重視した作業支援環境に関する検討に基づいて, 木製加工物評価支援機構を新たに提案した。さらに, 本機構を試作し, 実際の加工物を使用した評価実験を行うことにより, 教育現場における技術科教員の評価作業の系統的な支援が可能となり, 教員の負担軽減が期待できることを検証した。今後, 提案機構のマニュアル整備などを進めるとともに, 本機構を組み込んだ技能の学習管理システムの構築に向けて研究を継続していく予定である。

謝辞 実験にご協力いただいた皆様に, 心より感謝する。また, 機能の開発や実験の実施にあたり, 教育現場目線での多くの有益なコメントをいただいた仙台市立広瀬中学校技術科担当の太田あゆみ教諭に深謝する。

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] 国立教育政策研究所: OECD 国際教員指導環境調査 (TALIS), 入手先 (<http://www.nier.go.jp/kenkyukikaku/talis/>) (参照 2016-09-25).
- [3] 文部科学省: 学校現場における業務の適正化に向けて, 入手先 (http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/uneishien/detail/1372315.htm) (参照 2016-09-25).
- [4] 文部科学省: 中学校学習指導要領解説 技術・家庭科編, pp.11-15 (July 2008).
- [5] Joseph, K.: 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 (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, No.2, pp.185-188 (Aug. 2014).
- [10] Nagarajan, A., Deepu, S., Rahul, E.S., Ranjith, R., Jose, J., Unnikrishnan, R. and Bhavani, Rao R.: Design and evaluation of a Hapticsimulator for vocational skill Training and Assessment, *Proc. 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2013)*, pp.6108-6113 (Nov. 2013).

- [11] 五十嵐晃, 大野 宏, 中部 昇, 丸山英樹, 中川昌幸, 今泉祥子, 松本好勝, 石井啓貴: 新潟の匠の技を継承し発展させるための計測と制御に関する調査研究, 工業技術研究報告書, No.13, pp.24-26 (Jan. 2009).
- [12] 測定機の種類と特徴—測定器ナビ—キーエンス, 入手先 <http://www.keyence.co.jp/microscope/special/imagemeasure/sokuteiki/type/> (参照 2016-09-25).
- [13] 田村俊之, 小室一比古: ハンディーターミナルを活用した評価記録システム, 日本教育工学論文誌, Vol.29, No.4, pp.617-625 (Dec. 2005).
- [14] 佐藤智巳, 安藤明伸, 安孫子啓: 評価情報入力機器としての携帯情報端末の利用可能性, 日本産業技術教育学会全国大会講演要旨集, Vol.49, p.109 (Aug. 2006).
- [15] デジタル曲げ角度計 DPM-2 板金曲げ角度をリアルタイム測定—東栄工業株式会社 シートメタルツール・測定工具・プレス金型, 入手先 <http://www.toei-kk.co.jp/dpm2s.html> (参照 2016-12-18).
- [16] XM シリーズ ハンディプローブ三次元測定機 カタログ 製品カタログ キーエンス—イプロス製造業, 入手先 <https://www.ipros.jp/catalog/detail/318883/> (参照 2016-12-18).
- [17] 比嘉 優, 神里志穂子, 野口健太郎, 池松真也, 鈴木龍司: 型に着目した実験における腕の角度解析の検討, 第7回情報科学技術フォーラム (FIT2008), Vol.7, No.3, pp.571-572 (Aug. 2008).
- [18] 上原一剛, 小幡文雄, 矢野 宏: 学校における品質工学の集中講義とその成績評価 (1)—SN 比の教授方法, 品質工学, Vol.21, No.6, pp.51-58 (Dec. 2013).
- [19] 村田順二: 機械工学導入教育における精密研磨技術を題材とした創造的教育プログラム, 工学教育 (JSEE), Vol.63, No.6, pp.58-63 (Nov. 2015).
- [20] Oprea, M. and Miron, C.: Mobile Phones in the Modern Teaching of Physics, *Trans. Romanian Reports in Physics*, Vol.66, No.4, pp.1236-1252 (Jan. 2014).
- [21] Ando, A., Takaku, T., Itagaki, S., Torii, T., Takeno, H. and Davis, D.: Development of a Skill Learning System using Sensors in a Smart Phone for Vocational Education, *Proc. 5th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2013)*, pp.683-687 (Oct. 2013).
- [22] Itagaki, S., Ando, A., Takaku, T., Takeno, H. and Torii, T.: Development of a Skill Practice Management System (PMS) for Learning Japanese Traditional Craft Tools by Using Smartphones, *Proc. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications (EDMEDIA2014)*, pp.1001-1009 (July 2014).
- [23] Fukutani, R., Ando, A., Itagaki, S. and Abiko, H.: Developing Simple Tools for Measuring and Evaluating Students' Works with a Smartphone, *Proc. HCI International 2015 Posters' Extended Abstracts (HCII2015)*, Part II, pp.235-240 (Aug. 2015).
- [24] UP Plus2 3D プリンター—3D プリンター UP BOX+, UP Plus2, UP mini2 日本正式代理店, 入手先 <http://www.pp3dp.jp/3d001.html> (参照 2016-12-25).
- [25] 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, 入手先 http://www.keyence.co.jp/microscope/3d-measurement/vr_3000/vr_3200/ (参照 2016-09-25).



福谷 遼太 (学生会員)

2016年宮城教育大学大学院教育学研究科修了。現在、東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程。修士(教育学)。教育支援システム, 技術教育, エージェント応用システム等の研究に興味を持つ。



安藤 明伸 (正会員)

宮城教育大学技術教育講座准教授。中学校技術科教員を経て現職。中教審情報ワーキング委員等。教育工学的な技術および情報教育の研究に従事。技術・家庭科技術分野教科書等執筆, 教育工学会, 日本産業技術教育学会等

所属。



板垣 翔大 (学生会員)

2013年宮城教育大学卒業。2015年宮城教育大学大学院修士課程修了。修士(教育学)。現在、東北大学大学院情報科学研究科後期博士課程。技術教育, 教育学等の研究に従事。日本産業技術教育学会, 日本教育工学会等各学生

会員。



高橋 秀幸 (正会員)

2008年東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年東北大学電気通信研究所産学官連携研究員。2011年より同助教。博士(情報科学)。ユビキタスコンピューティング, エージェント指向コンピューティング, 災害支援システムの研究に従事。電子情報通信学会会員。



木下 哲男 (正会員)

1979年東北大学大学院修士課程修了。同年沖電気工業(株)入社。知識情報処理技術の研究開発に従事。1996年東北大学電気通信研究所助教授、現在、同教授。知識工学, エージェント工学, エージェント応用システム等の

研究開発に従事。情報処理学会 1989年度研究賞, 1996年度論文賞, 電子情報通信学会 2001年度業績賞等受賞。工学博士。電子情報通信学会, 人工知能学会, IEEE, ACM, AAAI 各会員。本会フェロー。