

【論文】

ドライバ操作時の押圧力測定装置の開発

青木 麟太郎¹・紅林 秀治²¹愛知教育大学大学院・静岡大学大学院教育学研究科共同教科開発学専攻 ²静岡大学大学院教育学領域

要約

本論文では、ドライバ操作時の押圧力をリアルタイムに表示する装置を開発し、中学校技術・家庭（技術分野）での評価試験とモーションキャプチャシステムと併用できるかを確認した。ドライバ操作時の問題点には、ネジを押す力の不足や超過がある。しかし、一般的な教育施設ではドライバ操作時の押す力を定量的に確認する学習が行われていない。そこで、作業者の押圧力をリアルタイムに確認できる装置を開発した。開発した装置ではドライバからネジに向けた力をロードセルで計測し、計測した値をSDカードに保存することができる。PCの画面には、PCに送信された計測値を基に、計測値とグラフをリアルタイムで表示することができる。開発した装置における計測値の精度と、中学生が作業者による押圧力の違いを確認できるかを検証するため、4つの評価試験（1.グラフの特徴確認試験、2.誤差補正方程式の算出試験、3.授業による評価試験、4.手指のモーションキャプチャシステムとの併用試験）を行った。4つの評価試験の結果、一般的な教育施設において、本装置を用いて電動ドライバを操作した時の生徒と教員を比較し、生徒が動作の違いを捉えることができた。本装置と手指のモーションキャプチャシステムをそれぞれPCに接続し、手指動作とドライバからネジに向けた力を計測することもできた。また現状の装置では、グラフと文字の色が同じで目盛りとグラフが重なり見えにくかったり、手で押圧力を確認しにくかったり、手指のモーションキャプチャと併用する時にPCが2台必要だったりすると分かった。

キーワード

ドライバ操作、押圧力、ロードセル、モーションキャプチャ、中学生

I. はじめに

本研究の目的は、ドライバを用いてネジを締める際の、ドライバがネジを押す力（以降、押圧力）をリアルタイムで表示する装置を開発し、開発した装置における計測値の精度と、中学生が作業者による押圧力の違いを確認できるかを明らかにすることである。

ドライバには大別すると手動式ドライバと動力式ドライバの2種類があり、手動式ドライバを小学校段階で扱い、電動ドリル（筆者は動力式ドライバと解釈した）などの簡単な機械を中学校段階で扱うことが日本産業技術教育学会の刊行物に例示されている^{1),2)}。また、教育現場では小学生と中学生が手動式ドライバと動力式ドライバを使用した報告も挙がっている^{3),5)}。しかし、これらの報告書には小学生と中学生が手動式ドライバと動力式ドライバの使用方法を学習し使用したというだけで、作業者がドライバ操作の技能を習得できているかが明らかにされていない。これは手動式ドライバと動力式ドライバ自体が操作しやすい道具であるため、作品製作に必要な操作技能を身につけやすいと言える。しかし、適正な押圧力が判断しにくいと、作業者のドライバ操作技能が自己流となり、操作時に無駄な動きや押圧力を加えたり、押圧力が不足したりすることがある。これは、ネジの締め過ぎ・不足により結合部にヒビが入ったり、ネジの頭が潰れたり、結合部からネジが飛び出したり、結合部に

隙間が出来たり、ネジが緩んだりする原因になる。そのため、手動式と動力式の各ドライバ操作の技能指導として、操作時の動作や押圧力の加え方を指導する必要があると考えた。

手動式ドライバ操作の研究では、有川ら⁶⁾が中学生を対象に、ドライバ操作経験を反復させた結果、ドライバから押圧力などの操作イメージが改善され、技能指導として有効であることを報告している。しかし、中学生が操作イメージの変化によって、実際に、押圧力が変化したか明らかにされていない。また有川ら^{7),8)}は中学生を対象に、手動式ドライバを用い、押圧力やドライバを回す力などを分析した結果、ドライバ操作時における指導上の要点を明らかにし、技能指導を行った。しかし、中学生は作業中に押圧力が適切だったかを確認できていない。筆者ら⁹⁾が開発した手指の動作を計測するモーションキャプチャシステム（以後、簡易手指動作分析システム）を用い、中学生がドライバ操作した手指動作を計測することができたが、押圧力を計測することができず、押圧力がどのくらい加わっていたか明らかにしていない。そのため、手動式ドライバの技能指導では押圧力を確かめ、その結果を作業者にフィードバックし、作業改善を図る取り組みが行われていない。

動力式ドライバ操作の研究^{10),11)}では、松本らが組立工場の作業者を対象にした調査の結果、動力式ドライバの

作業歴がネジ締め作業の技能に与える影響は小さく、ほとんどの作業者における動力式ドライバからの押圧力が大きすぎることを明らかにした。そのため、動力式ドライバからの押圧は、成人の操作者でも獲得しにくい技能のポイントであると言える。志田ら¹²⁾は大学生を対象に、動力式ドライバを用い、押圧力やドライバを回す力を表示しながらドライバ操作を訓練させた結果、押圧力が特に改善されたことを明らかにした。しかし、フットスイッチで動力式ドライバを動かしたり、ネジ締め測定装置が訓練場に固定されたりするため、一般的な教育施設で行うには装置が大掛かりである。手動式と動力式の各ドライバ操作を扱った研究として、野方ら¹³⁾は中学生を対象に、手動式ドライバ、動力式ドライバの順に技能指導した時、ドライバ操作のイメージが改善され、手動式ドライバの技能向上につながることを明らかにした。しかし、中学生は、手動式ドライバと動力式ドライバで押圧力に違いがあるかを定量的に確認できていないので、主観に頼った指導になっている。そのため、一般的な教育施設において、動力式ドライバの技能指導でもドライバからネジに向けて押す力が適切かを定量的に確かめ、その結果を作業者にフィードバックし、作業改善を図る取り組みが行われていない。また手動式ドライバと動力式ドライバの操作の違いがあるかを定量的に確かめる技能指導も行われていない。

そこで、一般的な教育施設において、手動式ドライバと動力式ドライバを用い、作業者の押圧力をリアルタイムで確認できるシステムの開発が必要だと考えた。本論文では、Ⅱ. 装置の開発方針において、開発する装置に求められる機能 6 つを挙げ、開発方針とした。Ⅲ. 装置の概要において、開発方針に従い開発した装置では、黒板に立てかけた状態で押圧力を SD カードに保存するとともに、押圧力を表示することができた。Ⅳ. 評価試験において、開発した装置の評価試験として、計測される押圧力の特徴や理論値との誤差を求め、誤差補正して表示された押圧力から、生徒が動力式ドライバを操作した時の動作の違いを捉えることができるか、装置とモーションキャプチャシステムを併用して計測することができるかを明らかにした。

Ⅱ. 装置の開発方針

本論文では、押圧力の計測からはじまり、保存したデータを基に定量的に分析するまでの流れを実現できる装置の開発を目的とする。この目的を実現するために開発する装置には以下の機能が求められる。

1. ドライバで正面から力を加えることができる。
2. 手動式ドライバと動力式ドライバそれぞれで押圧力を計測できる。
3. 押圧力を検出し、押圧力の大きさを取得できる。
4. 取得したデータを時系列に保存できる。
5. 取得したデータを基に、リアルタイムでグラフ表示できる。
6. 簡易手指動作分析システム⁹⁾と開発した装置をそれぞれ用い、手指動作と押圧力を計測できる。

以上 6 つの機能の実現を開発の方針とした。

開発方針 1, 6 の選定理由を説明する。押圧力の大きさは作品に取り付けるネジの位置・向きによって異なる。ドライバからネジに向けて力を加える時、ネジが下向きにある場面ではドライバの重力がネジへと働く。一方、ネジが正面にある場面ではドライバの重量がネジへと働かない。そのため、ネジの向きは正面が下向きより押圧力の必要性が高く、ドライバ操作時、押圧力に気づきやすいと思われる。また、筆者ら⁹⁾が行った中学生と大学生を対象にしたドライバ操作の分析結果により、年齢・片手両手によらず、ドライバの柄を持つ手の手首を素早く回転させるほど、作業時間が短くなると分析した。しかし、ネジの向きが下向きから正面へと変化した時、押圧力をより意識した手指の動作でも同様の特徴となるか明らかにできていない。さらに、有川ら⁷⁾は、中学生を対象に、ネジの向きが下向きでの手動式ドライバ操作を分析した結果、「両手での作業ではドライバの柄を回さない方の手で、柄の下部かドライバ軸を適切に支持することが、熟練者における効率的なネジ締めに関わっていること」、「中学生を対象としたドライバ技能指導を行う際の指導の要点は、脱落を防げる程度の押圧力、ネジを回せる程度の回す力、ネジを締める／緩める瞬間の軸の垂直性である」と示唆している。そのため、ネジの向きが下向きから正面へと変化した時、ドライバ軸の傾きが垂直になるよう調整する手指動作と押圧力との関係性がより重要になると思われる。つまり、生徒に押圧力を意識させ適正な押圧力となるようドライバ操作技能を習得させる時、手指の形が歪になったり、運動負荷が一部の関節にかかる動きに最適化されたりしないよう配慮した指導も重要と考えた。そこで正面からの押圧力を計測できるようにし、手指動作と押圧力との関係も含めたドライバ操作の技能指導を明らかにするため、開発方針 1, 6 を選定した。

開発方針 2 は、ねじに向けた押す力を計測する装置に必要となる。開発方針 3~5 は、手動式ドライバと動力式ドライバによる押圧力の比較や自分と他者の押圧力を比較するといった、定量的な技能学習に必要となる。

そこで、筆者らは開発方針 1~5 に従い、装置の形状、計測保存プログラムと押圧力表示プログラムを作成した。開発方針 6 は、評価試験で確認を行った。

Ⅲ. 装置の概要

装置の形状

開発方針 1 を満たすため、ドライバ操作の押圧力を測定する時、装置を壁に立てかける活用場面を設定した。また、装置の寸法は、一般的な教育施設でも容易に活用できるため、普通教室用機の天板(幅 650mm×奥行き 450mm)¹⁴⁾内に収まるようにした。図 1 に、装置の三面図を示す。図 2 に、装置を黒板に立てかけた様子を示す。

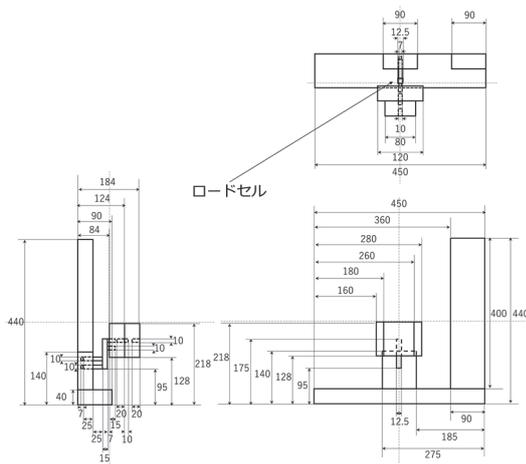


図 1 開発した装置の三面図

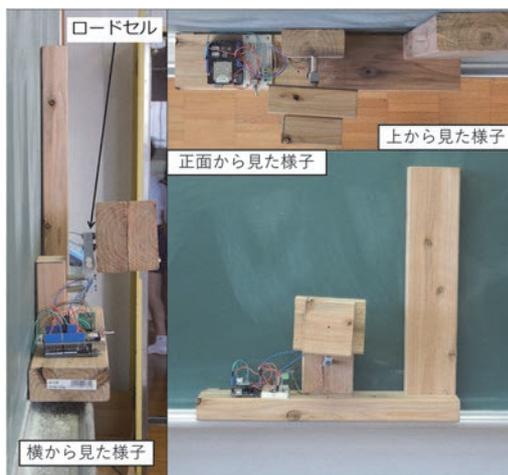


図 2 装置を黒板に立てかけた様子

計測保存プログラム

計測保存プログラムは開発方針 2~4 に該当する。開発方針 2 を可能とするセンサには、重量を測定できるロードセルを用いた。松本ら¹⁴⁾の報告では、動力式ドライバにおける押圧力の最大値が 119.6N であったため、20kg(196N)が最大測定値であるロードセルを選択した。開発方針 3 を可能とするため、Arduino UNO R3を用いた。開発方針 4 を可能とするため、SD カードを用い、Arduino UNO R3に SD カードシールドを装着した。

計測保存プログラムは Arduino IDE¹⁵⁾で作成し、スイ

ッチを押すと計測が始まり、計測したデータを PC に送るとともに、SD カードにも保存される仕組みとなる。また計測値からロードセルに取り付けた角材の重量を除くため、プログラム起動時に重量の初期値を設定する。図 3 に、計測保存プログラムのフローチャートを示す。図 4 に、計測保存プログラムの回路図を示す。

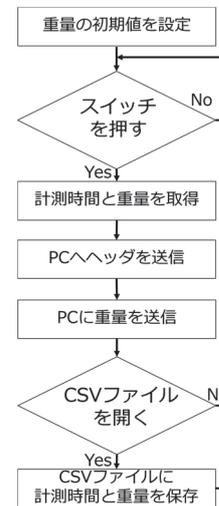


図 3 計測保存プログラムのフローチャート

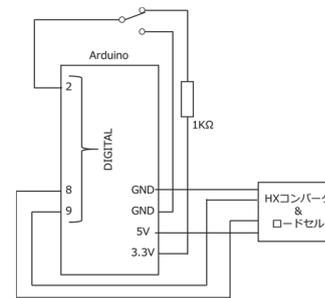


図 4 回路図

押圧力表示プログラム

押圧力表示プログラムは開発方針 5 に該当する。開発方針 5 を可能とするため、Processing¹⁶⁾を用いて作成した。

図 5 に、計測時に画面上に表示されるグラフを示す。図 5 の①では、Arduino から受信された重量を基に算出した押圧力の値がリアルタイムで表示される。数値は青色で表示される。これにより、作業者が操作した感覚を数値で確認することができる。図 5 の②は、画面上における押圧力の目盛りである。目盛りとその数値は黒色で表示され、押圧力が 27N となる目盛りのみ赤色で表示される。これは、有川らの報告⁷⁾により「手先が器用な学生が手動式ドライバ操作した時の押圧力が最大 35N であったこと」、松本らの報告¹⁷⁾により「作業方向によらず、動力式ドライバ操作時の理想的な押圧力を 30N に設定して

いたこと」を踏まえ、30Nを超えないよう技能指導しやすくするために設けた。図5の③では、時間経過による押圧力の変化をグラフ化している。押圧力グラフは時間とともに左から右にずれていく。また、回路内のスイッチを切ると、グラフが止まるようになっている。これにより、作業者が変わるたびにスイッチを切り替えても、画面上でグラフを比較することができる。また、図5の①、③は、計測した押圧力の理想値と実測値との間に誤差があるため、後述する試験2の結果を基に、誤差を補正した押圧力が表示される。

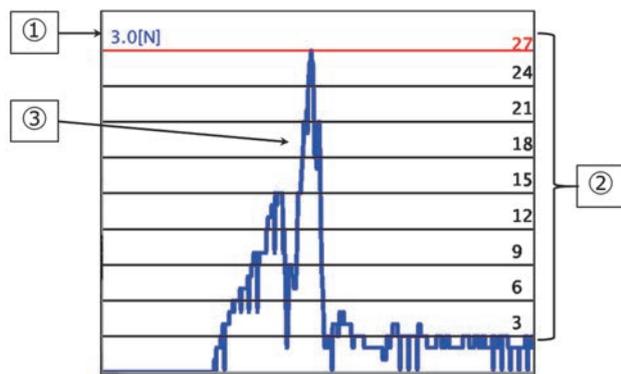


図5 計測時に画面上に表示されるグラフ

IV. 評価試験

開発した装置の計測値の精度と実用性を検証するため、4種類の評価試験を行った。1種類目の評価試験（以後、試験1）は、目標値の押圧力へと変化していく時、その変化がグラフの特徴として表れることを確かめる目的で行った。2種類目の評価試験（以後、試験2）は、計測時に画面上に表示される数値が理論値により近似するため、押圧力の誤差を補正する近似直線の方程式を求める目的で行った。3種類目の評価試験（以後、試験3）は、動力式ドライバを操作した時の動作の違いを捉えることができたか確かめる目的で行った。4種類目の評価試験（以後、試験4）は、開発方針6を確かめる目的で行った。

試験1の概要と結果

試験1では、目標値の押圧力を121Nに設定し、時間とともに押圧力が変化していく時、値の変化がグラフの特徴として表れるかを確認した。図6に試験1の様子を示す。

試験1の実験方法は、まずタイマーとスイッチを押す。計測部分に計測開始から5秒で重り5.4kg、10秒で重り2.4kg、15秒で重り2.4kg、20秒で重り2.2kgの順に重ねていく。計測開始から25秒立った時、スイッチを押して計測を終了した。この工程を10回行った。

図7に、10回の計測値と理論値の変化をグラフ化した

ものを示す。図7より、重りを置く度に、計測値が変化し、理論値のグラフと同じ特徴が表れた。また、押圧力が大きくなるにつれ、実測値と理論値との間の誤差も大きくなることもわかった。

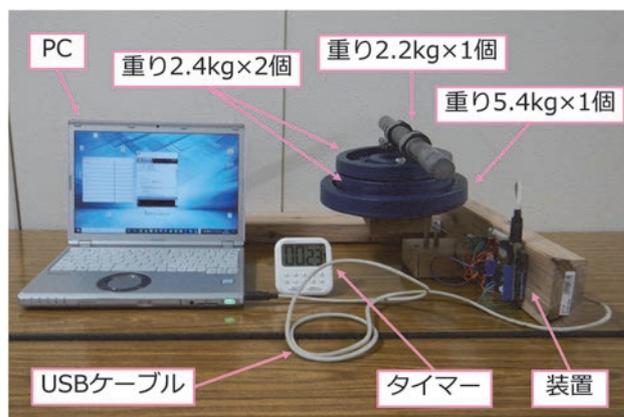


図6 試験1の様子

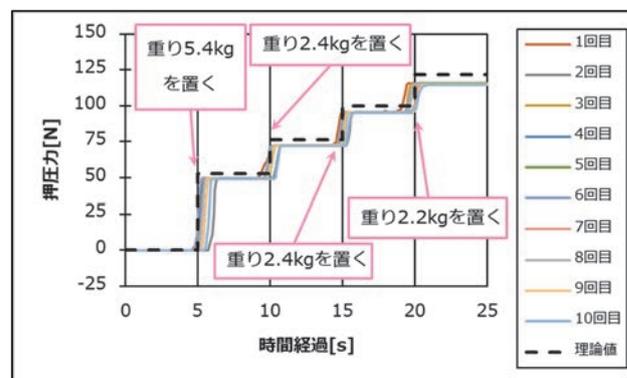


図7 試験1の結果

試験2の概要と結果

試験2では、計測時に画面上に表示される数値が理論値により近似するため、押圧力の誤差を補正する近似直線の方程式を求めた。図8に試験2の様子を示す。

試験2の実験方法は、まずタイマーとスイッチを押す。計測部分に計測開始から5秒で重りを置き、10秒経過した時、スイッチを押して計測を終了した。この工程を10回行った。重りはペットボトルの容器18gと5円玉約3.75gを用い、300g, 600g, 901g, 1201g, 1499g, 1799g, 2099g, 2399g, 2699gの重量で行った。

図9に、押圧力の理論値に対し、10回の計測結果を平均し算出した実測値との誤差をグラフ化したものを示す。図9より、押圧力の理論値が大きくなるにつれ、理論値と実測値との誤差が大きくなるとわかった。これは図7と同様の結果である。計測結果から、押圧力の誤差を補正するための一次関数の方程式は $y=0.0642x-0.0192$ となった。



図8 試験2の様子

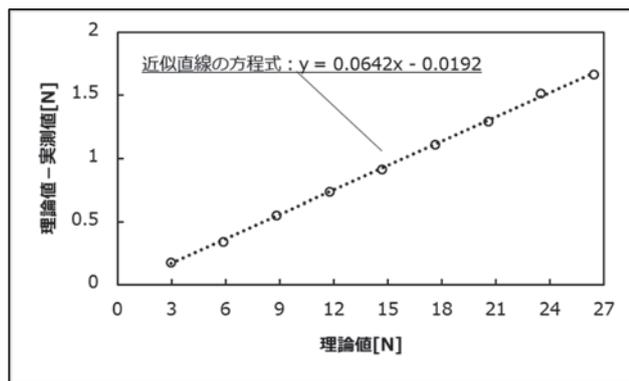


図9 試験2の結果

試験3の概要

試験3では開発した装置を用いた授業において、中学生を対象に、動力式ドライバを操作した時の生徒と教員を比較した結果、生徒が動作の違いを捉えることができるかを確認した。尚、授業では生徒が理解しやすいするため、「動力式ドライバ」を「電動ドライバ」と説明した。

開発した装置を授業で活用する条件には、(1)動かない物に装置を立てかけること、(2)PC画面に表示されたグラフの特徴を全員が確認できること、(3)作業者による押圧力の違いを比較することが挙げられる。条件(1)~(3)を満たすため、(1)開発した装置を黒板に立てかけ、(2)グラフとその特徴を黒板に書き出し、(3)作業者ごとに黒板へ書き写す活動を授業に取り入れた。

授業では中学校技術・家庭(技術分野)の学習内容「C エネルギー変換の技術」において、中学校第2学年2クラス50人を対象に、「動力式ドライバの学習」(45分)を行った。この授業の目標は動力式ドライバを安全に操作できるようになることである。授業ではノート型PC(OS: windows10)を1台、開発した装置と接続し、事前に開発した装置を黒板に立てかけ、開発した装置とつながったPCを教卓に置いた。押圧力の違いに気づきやすくするため、事前にネジの長さと同じ長さの下穴を開け、ネジを5mm挿入した。ドライバの先端は(+),2、ネジには(+),1を

使い、緩い状態でもネジに向けて垂直となるようドライバを押すことができるかを確認した。動力式ドライバには、家庭でもインターネット注文して入手でき、グリップのスイッチでドライバ軸の回る速度を調整できるコード式の動力式ドライバ2種類(RYOBIのCDD-1020とマキタのMDF001)を用いた。表2に開発した装置を活用した授業展開を示す。図10に、開発した装置を活用した、表2の②の授業の様子を示す。図11に、生徒と教員がそれぞれ動力式ドライバを実演する様子(表2の②)を示す。図12に、1人が動力式ドライバを操作する際、他の生徒が廃材を固定する様子(表2の③)を示す。

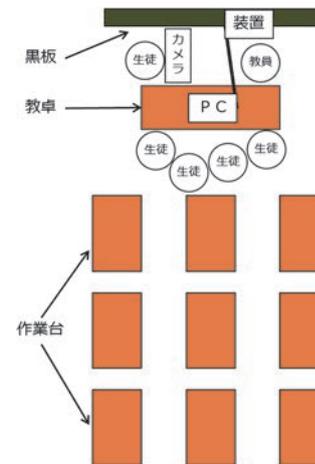


図10 開発した装置とPCの配置

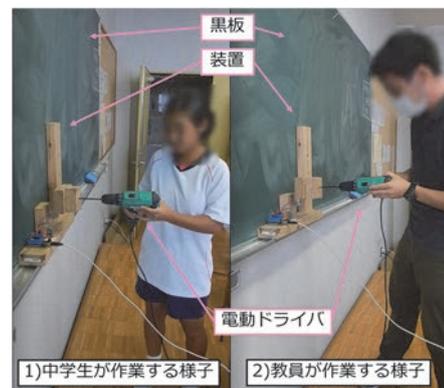


図11 表2の②の様子



図12 表2の③の様子

表2 開発した装置を活用した授業展開

①～⑤：学習活動 ●：教員の問いかけ	・：支援及び留意点 ◎：装置を活用	形態・時間
<p>事前に装置を黒板に立てかける（条件(1)）。 ネジ（直径 3mm，長さ 20mm，ビット(+2)）を締める角材にネジの長さと同じ下穴を開け，ネジを 5mm 挿入した。 動力式ドライバの先端に(+1)のビットを取り付ける。 2～4 人の各作業台に動力式ドライバを 1 台ずつ置いておく。</p>		
<p>①動力式ドライバの使い方を知ろう。 ●回る速さをスイッチで調整できるね。 ●電動ドライバと手動式ドライバも操作時の要点は同じだね。 操作時の要点：ネジに向けて押すこと。斜めにならないように柄を回すこと。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 配布プリントの操作時の注意事項を確認させる。 操作時の注意事項：髪をまきこまないようにしよう。回す時はドライバの軸を持たない。ドライバの先やネジが手を巻き込まないようにしよう。 教員が口頭で説明した動力式ドライバの使い方のうち，必要だと思う内容を配布プリントに書かせる。 	<p>一斉 5分</p>
<p>②生徒と教員の押圧力を計測し，グラフを黒板に書き，違いを比較しよう。 ●生徒が締める時，どういうグラフの形になったかな。 ●縦軸にある力の大きさはどうか。 ●力の大きさの最大値はいくつかな。 ●生徒と教員でグラフの形が違うかな。 ●力の大きさで違うはあるかな。 ●カメラで撮影していて気付いたことはあるかな。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 装置でネジに向けて押す力を比較することを説明する。 生徒 1 名に生徒と教員が動力式ドライバを操作する様子を横からカメラで撮影させる。 事前に手動式ドライバを操作した際，作業時間が他の人に比べ長かった生徒⁹⁾を選び，ネジを締めさせる。 ◎装置についてネジを動力式ドライバで締めさせる。 ◎生徒がネジを締める際，PC 画面に表示されるグラフを確認させる。 ◎生徒 1 名に PC の画面で表示されたグラフの特徴を黒板に書かせる（条件(2)）。 ・使用した角材とネジを 5mm 挿入した角材と交換する。 ◎教員がネジを締める際，PC 画面に表示されるグラフを確認させる。 ◎生徒 1 名に PC の画面で表示されたグラフの特徴を黒板に書かせる（条件(3)）。 ・撮影していた生徒に生徒と教員の違いを説明させる。（授業では生徒が動作の違いを説明できなかった。） ・黒板のグラフを使い，「ドライバの先端がネジから脱輪しない程度の力で押す必要があること」を説明する。 ・これまでの説明で必要だと思う内容を配布プリントに書かせる。 	<p>一斉 10分</p>
<p>③実際に動力式ドライバを操作しよう。 ●ドライバを回すと木も回るね。 ●ネジを最初挿入するのが難しいね。 ●ネジを緩める時も押す力が必要だね。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 作業台ごとに協力して，3, 4 本の廃材をネジで締め，三角形か四角形を作らせる。 1 人ずつ動力式ドライバを使い，2 本以上の廃材をネジで締めさせる。 三角形か四角形を作ることができた後，1 人ずつ動力式ドライバを使い，2 本以上の廃材をネジで緩めさせる。 	<p>小集団 15分</p>
<p>④意見をまとめ，発表しよう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 配布プリントの質問項目「電動ドライバーを使う時，大事だと思うことを 1 つだけ書こう。」を書かせる。 2, 3 人の生徒に書いた内容を発表させる。 	<p>一斉 10分</p>
<p>⑤アンケートを書こう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 配布されたアンケートの質問を回答させる。 アンケートを作業台ごとに集めさせる。 	<p>個人 5分</p>

試験 3 の結果と考察

アンケートは 5 つの質問からなり，質問項目が次の通りである。

- 質問 1 授業以外で，電動ドライバーを使ったことがありますか
- 質問 2 装置が，どんなものかわかりましたか
- 質問 3 装置では，動きの違いがわかりましたか。
- 質問 4 電動ドライバーを使った感想を教えてください。
- 質問 5 装置について気付いたことを教えてください。

質問 1 は「①学校で使った ②家で使った ③使ったことがない ④その他」の 4 択の選択式で行った。質問 2, 3 は「①とてもわかった ②わかった ③どちらともいえない ④あまりわからない ⑤全くわからない」の 5 段階尺度による選択式で行い，①, ②を肯定的回答，④, ⑤を否定的回答とした。質問 4, 5 は自由記述式で行った。なお，アンケート配布時に「装置と電動ドライバーは同じか」と質問されたため，装置が開発した装置を指すと説明した。

質問 1 の回答結果から、対象の生徒 50 人中、学校で使った生徒が 4 人(8%)、家で使った生徒が 20 人(40%)、使ったことがない生徒が 21 人(42%)、その他を選択した生徒が 5 人(10%)となり、家や学校などで動力式ドライバを使った生徒が 29 人いるとわかった。

質問 2, 3 の回答結果を表 3 に示す。表 3 より、大半の生徒は本装置がどんなものかわかり、装置を用い、生徒と教員の動きに違いがあると理解することができた。

表 3 質問 2, 3 の回答結果

回答	質問 2	質問 3
①とてもわかった	17 人(34%)	19 人(38%)
②わかった	30 人(60%)	28 人(56%)
③どちらともいえない	2 人(4%)	2 人(4%)
④あまりわからない	0 人(0.0%)	0 人(0.0%)
⑤全くわからない	0 人(0.0%)	0 人(0.0%)

表 4 に、質問 5 において装置の問題点を指摘した回答結果を示す。表 4 の回答結果について、授業者として開発した装置を活用した経験から、回答の主旨を説明していく。表 4 の No.1(問題点 1)は、作業者ごとにグラフを描画した方がわかりやすいと解釈できる。表 4 の No.2(問題点 2)は、グラフや文字の色を変更する方がわかりやすく、グラフと文字の色が同じだと重なった時に文字が消えてしまいわかりにくいと解釈できる。表 4 の No.3(問題点 3)は、右側にある目盛りがグラフと重なってしまい、分りにくいと解釈できる。表 4 の No.4(問題点 4)は、上下の変化を表示するのがわかりやすい一方、作業時の押圧力がすべて表示されるため、特徴を抽出しにくく、目標値の意図が読み取りにくかったと解釈できる。そのため、今後、問題点 1~4 を解決できるよう装置の改良を行えば、授業での本装置が活用しやすくなると思われる。

表 4 質問 5 の回答結果

No	回答
1	グラフが 1 回 1 回やったごとに別のグラフに変わってないのがわかりづらい
2	強さの違いはわかりやすいのですが、青が見えにくかったので蛍光色のほうが良いと思いました。
3	メモリをもう少し分かりやすくしてほしいけれど、しっかり分かった。
4	グラフが少し見えにくかったけど上下に動いているのは見やすい。

2 クラスをそれぞれ A クラスと B クラスとする。表 2 の②で実演した A クラスの生徒 (以後、生徒 A) と教員の押圧力をグラフ化したものを、図 13 に示す。図 13 より、生徒 A と教員のドライバ操作時間が変わらないが、生徒 A が教員に比べ、押圧力が小さいとわかる。そのため、授業では押圧力の違いを説明することができたが、

ネジを締める箇所にはネジの長さ分の下穴を開けていたため、小さい押圧力でも操作できると言える。つまり、生徒に計測時間でも違いが示せるよう、下穴の開け方を工夫する必要がある。

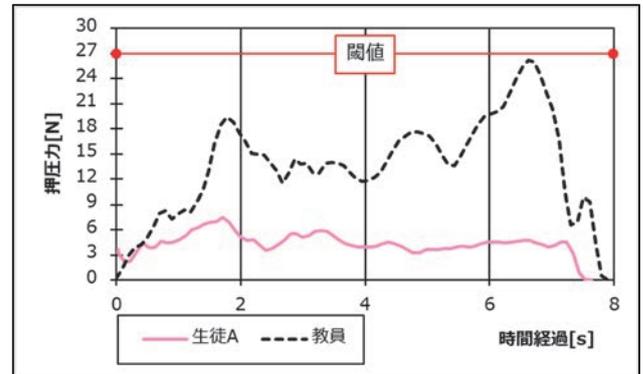


図 13 生徒 A と教員の押圧力

表 2 の②で実演した B クラスの生徒 (以後、生徒 B) は授業後、再度動力式ドライバ操作を行った。図 14 に、生徒 B が学習前と学習後における動力式ドライバ操作時の押圧力をグラフ化したものを示す。図 14 より、ネジを締める時間が短くなり、全体的に押圧力が大きくなったとわかる。また生徒 B のアンケートでは、質問 1 で「家で使った」、質問 4 で「家のより大きくて少し扱いづらかった」と回答している。そのため、生徒 B の押圧力が大きくなった理由の一つには学習前後で、家の動力式ドライバのように授業の動力式ドライバを用いることに慣れたためと考えられる。

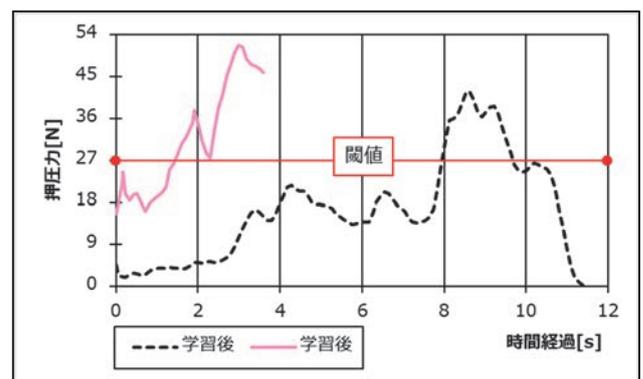


図 14 生徒 B の学習前と後：押圧力の場合

学習の前後における生徒 B の変化をネジの様子から考察した。図 15 に、生徒 B が学習前と学習後における動力式ドライバ操作時のネジ接合部を正面と側面からみた様子を示す。図 15 より、学習の前後で 3 つの変化が生じたとわかる。1 つ目の変化は、学習の前後で、動力式ドライバ操作時のドライバの先端がずれて、木材を傷つけた跡がなくなった点である。これは、生徒 B が計測開始前

にドライバの先端がネジ穴に入るよう動力式ドライバを保持できるようになったためである。そのため、学習後の生徒 B が、授業の動力式ドライバを横向きに操作するのに慣れたとも考えられる。2つ目の変化は、学習の前後で、ネジ穴が広がった点である。つまり、学習後の生徒 B が動力式ドライバの先端がネジ穴を固定できるだけの押圧力を加えることができていなかったと考えられる。これは、図 14 の結果を踏まえると、学習後の計測時、ドライバ軸の傾きが斜めになっていたため、ドライバの先端がネジ穴を固定する押圧力に無駄な力を加えていたのではないかと推測できる。3つ目の変化は、学習の前後で、ネジの締め不足が生じ、ネジが浮いている点である。これは、学習後の生徒 B が学習前に比べ、ネジを締める押圧力を加えることができていないためだと考えられ、2つ目の変化と図 14 を基に推測した結果にもつながる結果である。

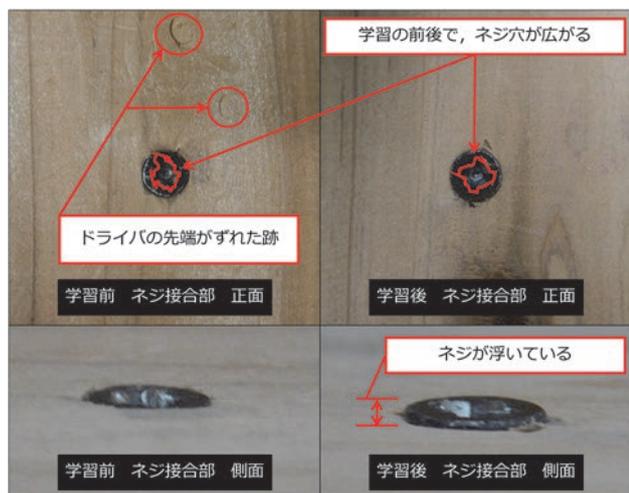


図 15 生徒 B の学習前と後：ネジ接合部の場合

試験 4 の概要と結果

試験 4 では開発した装置を用い、押圧力を計測する時、簡易手指動作分析システム⁹⁾を用い、大学生を対象に、手指の動作を計測することができるか確かめた。大学生のみを対象にしたのは、簡易手指動作分析システムを用い、手指動作の計測デバイスである Leap Motion を手指の上に設置した計測環境で、下向きのネジをドライバ操作する大学生と中学生の手指動作を計測することができた⁹⁾ためである。つまり、大学生で横向きのネジをドライバ操作する手指動作を計測できれば、中学生も計測できると判断した。

試験 4 の実験方法では、2 台のノート型 PC (OS : windows8.1, windows10) を用意し、それぞれの PC に Leap Motion と装置を USB ケーブルで接続し、計測を行った。計測時、右手で手動式ドライバの柄を回す、左手で

手動式ドライバの軸を固定する持ち方であった。図 16 に試験 4 の様子を示す。

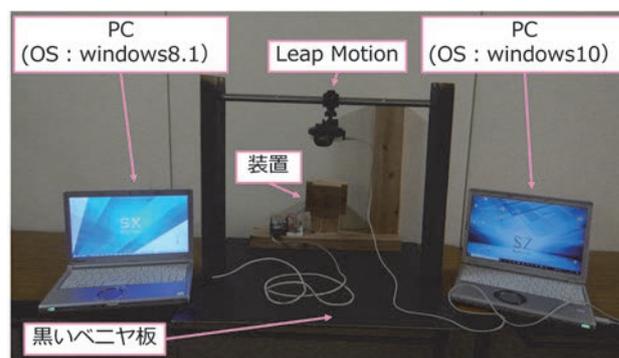


図 16 試験 4 の様子

図 17 に、左右で同じ親指の関節部位における左右方向の位置座標と押圧力をグラフ化したものを示す。図 17 より、右手と押圧力が左手に比べ規則的に変動しているとわかる。これは右手で手動式ドライバを回すのに合わせ押圧力も変化し、左手で手動式ドライバの軸を固定している特徴を捉えることができていると考えられる。そのため、簡易手指動作分析システム⁹⁾と開発した装置をそれぞれ用い、手指の動作と押圧力を計測することができたと言える。

また図 17 の写真より、右手の親指指先がドライバの柄を上から押さえる位置、左手の親指指先がドライバの軸を上から押さえる位置にある持ち方をしているとわかる。そのため、左手親指指先と右手親指指先との位置関係は、ドライバ軸の傾きを検討する目安になると考えた。そこで、最大押圧力が 20N 未満であった試験 4 の大学生では左右の親指指先における位置関係がどうなるかを確認した。

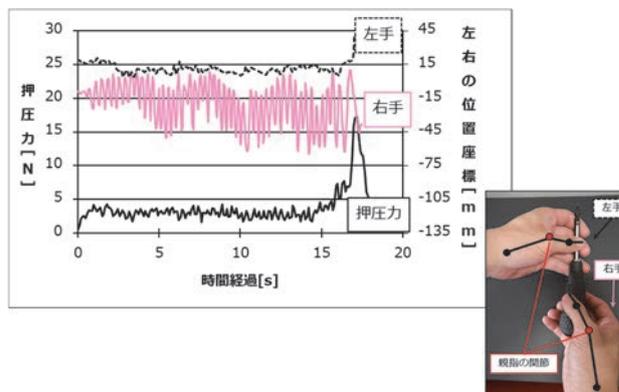


図 17 試験 4 の結果：押圧力と左右の位置座標との関係

図 18 に、左手親指指先を原点とした、右手親指指先の位置座標を算出し、上と正面から見た右手親指指先の分布をプロットしたものを示す。尚、左手親指指先の位置

座標における標準偏差は左右方向で 3mm, 上下方向で 6mm, 前後方向で 9mm であった。図 18 の上から見た様子より, 右手の親指指先が左手の親指指先に対し 11° ほど平均してずれているとわかる。図 18 の正面から見た様子より, 右の親指指先の分布が, 理想とするドライバの柄の位置の内側より外側(左上)に集中しているとわかる。そのため, 試験 4 の大学生が行った持ち方では, 右手の親指指先が左手の親指指先に対し 11° ほどの角度であり, ドライバの軸ずれが小さければ, 20N 未満の最大押圧力でネジを締めることができたと考えられる。

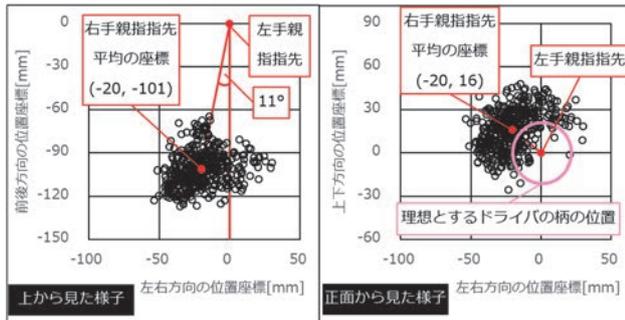


図 18 試験 4 の結果：左右における位置座標の関係

VI. おわりに

ドライバ操作時の押圧力を計測し, 画面上でリアルタイムに表示する装置の開発を行った。中学校技術・家庭(技術分野)の授業では, 中学生が開発した装置を用いた動作の違いを理解することができた。開発した装置と簡易手指動作分析システム⁹⁾をそれぞれ PC に接続し, 手指動作と押圧力を計測することができた。また開発した装置では, グラフと文字の色が同じで目盛りとグラフが重なり見えにくく, 手指のモーションキャプチャと併用する時に PC が 2 台必要となる利用のしにくさがあると分かった。

現在, 開発した装置と簡易手指動作分析システム⁹⁾を PC1 台で起動できるよう改良を行っている。これは簡易手指動作分析システム⁹⁾が Processing で作成したため, 十分可能である。今後, 開発した装置を用い, 中学生を対象に押圧力と手指動作との関係を明らかにしていきたい。

授業者として開発した装置を活用した経験から, 作業者が装置を用いて押圧力をリアルタイムに確認する際, 「問題点 5: 作業者が押圧力を確認しながら作業を行うことができない」, 「問題点 6: 表示されるグラフにおける目標値がわかりにくい」といった問題点が考えられる。

問題点 5 に関しては, 作業者が押圧力を加えた時, その押圧力の値を確認できなければ, どの押圧力が最適だったかを判断するのが難しいと思われる。また, 試験 3 の活用方法では, 開発した装置を壁に立てかけ, PC が作業する向きと反対にあり, PC の画面も自分に向いていない

ので, 押圧力を確認しにくい。

問題点 6 に関しては, 30N を超えないよう 27N に赤い線を設けたが, 表 4 の問題点 4 にある回答結果から, 技能学習時, 目標値の押圧力以外も表示すると適切な押圧力がわかりにくくなると思われる。また, 試験 3 の活用方法では, 押圧力の確認に PC が必要となるため, 量産化して各作業台で活用するのにも不向きである。

問題点 5 の解決策として, 装置に 7 セグメント LED 表示器を搭載し, 作業者がドライバ操作時に目標値を確認できるように改良する必要がある。

問題点 6 の解決策として, 目標値を 25N から 35N と設定し, 7 セグメント LED 表示器に表示される押圧力がその範囲にある時だけ表示されるよう改良する必要がある。これは道用¹⁸⁾が, 手で測定装置を押す力を目標値まで押す技能習得のため, 練習時にリアルタイムに押す力を表示する方法を 4 種類試した結果, 目標値の押す力となる時だけを表示する方法が最も練習効果があると明らかにしたため, 有効な表示方法と判断した。また押圧力の目標値を 25N から 35N の範囲とした時, グラフの表示方法にも取り入れると, 問題点 4 の解決にもつながると思われるので, 改良案として取り入れる必要がある。

また, 装置でリアルタイムに表示される押圧力を確認しながら作業するのが難しい生徒も考えられる。そのため, 今後, 計測したデータを基にグラフを再現できる機能を本装置に追加し, 押圧力を計測した後の「振り返り」の場面でも活用できるよう改良する必要がある。

現状の装置はロードセル, Arduino および PC があれば力を計測し, リアルタイムで出力することができるため, ロードセルを固定する器具により様々な力を計測できる。そのため, 開発した装置を用いた中学校技術・家庭(技術分野)の授業では, 動力式ドライバの練習時に画面で押圧力を確認し, 押圧力を調整する技能学習だけでなく, 計測したい力に合わせ, 器具を設計・製作したりプログラムを修正したりする学習場面も期待できる。また, 開発した装置は押圧力を可視化できるため, 他教科の授業に応用することも考えられる。小学校体育の授業¹⁹⁾では, 小学 1,2 年生が行う力試しの運動遊びで, 人を押す力を測定する活用場面が期待できる。中学校理科の授業²⁰⁾や高等学校物理の授業²¹⁾では, 圧力をリアルタイムに確認する実験での活用が期待できる。今後, 教科によらず, 開発した装置の教育的活用についても明らかにしていきたい。

尚, 本論文を読んで実践しようとする読者を考え, 現状の装置における計測保存プログラムと押圧力表示プログラムをそれぞれ図 19, 20 に示す。

```

#include <SD.h>
#define DAT 8
#define CLK 9
#define PIN_SDSCS 4 //SD のチップ・セレクト CS(SS)のポ
ート番号
File file; //SD ファイルの定義
float offset=0; //ロードセルの初期値定義
void setup() {
  Serial.begin(9600); //通信速度を 9600bps に設定
  pinMode(CLK, OUTPUT); //CLK(9)を出力に設定
  pinMode(DAT, INPUT); //DAT(8)を入力に設定
  pinMode(2,INPUT); //2 番ピンを入力に設定
  offset = Read(); //初期値の設定
  while(SD.begin(PIN_SDSCS)==false){ //SD メモリカード
の開始
    delay(1000); //失敗時は 1 秒ごとに繰り返し実施
  }
}
void loop() {
  if(digitalRead(2) ==LOW){ //スイッチが押されていれば
    float data; //荷重の定義(float)
    int Change; //荷重の定義(int)
    unsigned long time=millis(); //起動からの時間[ms]定義
    data = Read(); //荷重の設定
    Change =(int)-data/5;
    Serial.write('H'); //開始合図 (ヘッダ) を送信
    Serial.write(-Change/100); //data を送信
    Serial.write(-Change%100); //data を送信
    file=SD.open("TEST.CSV",FILE_WRITE); //書きこみ
ファイルのオープン
    if(file == true){ //オープンが成功した場合
      //Serial.println("g");
      file.print(time); //ファイルに書き込み
      file.print(",");
      file.println(-data,2);
      file.close();
    }
    else{ //オープンが失敗した場合
    }
  }
  else{ //スイッチが押されていないならば
    delay(100); //失敗時は 0.1 秒遅延
  }
}
float Read(void){
  float volt; //電圧値の定義
  float gram; //荷重の定義
  long data=0; //読みだした 24 ビット用データ定義
  while(digitalRead(DAT)!=0); //DAT が 0 でない時繰り返
す
  for(char i=0;i<24;i++){
    digitalWrite(CLK,1);
    delayMicroseconds(1);
    digitalWrite(CLK,0);
    delayMicroseconds(1);
    data = (data<<1)|(digitalRead(DAT));
  }
  digitalWrite(CLK,1); //gain=128, PGA の増幅度
  delayMicroseconds(1);
  digitalWrite(CLK,0);
  delayMicroseconds(1);
  data = data^0x800000;
  volt =data*(4.2987/16777216.0/128);
  gram=volt/(0.001*4.2987/20000.0);
  return gram+offset; //荷重から初期値引き戻す
}

```

図 19 計測保存プログラム

```

import processing.serial.*;
Serial port;
float[] data;
void setup(){
  size(600,500);
  port =new Serial(this,"COM3",9600); //通信ポートと速度
の設定
  background(255); //背景を灰色
  strokeWeight(2); //線の太さを 2pt
  fill(0,0,255); //文字の色を青
  textSize(24); //文字の大きさを 24pt
  port.clear(); //受信データをクリア
  port.write('H'); //Arduino に返信要求を送る
  data = new float [width];
}
void draw(){
  int Power;
  if(port.available() > 1){
    Power = port.read(); //力を読み込む
    if(Power =='H'){
      int Power1 =port.read();
      int Power2 =port.read();
      int Power3=((Power1*100+Power2)*5);
      int Power4=Power3;
      float(Power4);
      float Power5=(Power4*9.8/1000);
      float Power6=Power5+(0.0642*Power5-0.0192);
      background(255);
      text(nfc(Power6,1)+"[N]",10,40);
      for (int i=0; i<data.length-1; i++) {
        data[i] = data[i+1];
      }
      data[data.length-1] = Power6;
    }
  }
  // グラフの描画
  stroke(0,0,255); //線の色を青
  strokeWeight(5); //線の太さを 5pt
  for (int i=0; i<data.length-1; i++) {
    line(i, convToGraphPoint(data[i]),
      i+1, convToGraphPoint(data[i+1]));
  }
  stroke(0); //線の色を黒
  fill(0); //文字の色を黒
  strokeWeight(2); //線の太さを 2pt
  for(int i=0; i<8; i++){
    line(0,100+i*50,600,100+i*50);
    text(24-i*3,570,100+i*50-10);
  }
  fill(255,0,0); //文字の色を赤
  stroke(255,0,0); //線の色を赤
  line(0,50,600,50);
  text(27,570,50);
  fill(0,0,255); //文字の色を青
}
float convToGraphPoint(float value) {
  return (500.0 - value*50/3);
}

```

図 20 押圧力表示プログラム

Ⅷ. 参考文献

- 1) 日本産業技術教育学会：21 世紀の技術教育－技術教育の理念と社会的役割は何かそのための教育課程の構造はどうあるべきか－，日本産業技術教育学会誌，第 41 巻，第 3 号，別冊，pp.1-10 (1999)
- 2) 日本産業技術教育学会：21 世紀の技術教育(改訂)，日本産業技術教育学会誌，第 54 巻，第 4 号，別刷，pp.1-7 (2012)

- 3) 勝本敦洋, 川崎康隆, 住谷淳, その他 4 名: 技術的な視点から造形作品に改良を加える題材の開発と実践: 小学校図画工作科と中学校技術科との連携に向けて, 北海道教育大学紀要, 教科科学編, 第 67 巻, 第 2 号, pp.157-166 (2017)
 - 4) 岩手県立総合教育センター科学産業教育室: 技術・家庭科における生活を工夫する力を高める教材の開発に関する研究, 平成 18 年度 (第 50 回) 岩手県教育研究発表会発表資料, http://www1.iwateed.jp/db/db1/ken_data/center/h18_ken/h18_08a3.pdf (2020 年 6 月 23 日確認)
 - 5) 西野雄一郎・横山俊祐: 中学生の DIY による余裕教室のリノベーションの評価, 日本建築学会技術報告集, 第 25 巻, 第 59 号, pp.303-308 (2019)
 - 6) 有川誠・野方健治: ドライバー操作におけるメンタルモデルと操作体験との関連, 日本産業技術教育学会誌, 第 54 巻, 第 1 号, pp.11-20 (2012)
 - 7) 有川誠・野方健治: 技能測定ドライバーシステムの開発と中学生の巧緻性評価, 日本産業技術教育学会誌, 第 61 巻, 第 2 号, pp.105-113 (2019)
 - 8) 有川誠・野方健治: 中学生に対するドライバー技能指導の要点の評価, 日本産業技術教育学会第 62 回全国大会要旨集, p.18 (2019)
 - 9) 青木麟太郎・紅林秀治: 簡易手指動作分析システムを用いたドライバ操作技能の分析, 日本産業技術教育学会第 63 回全国大会要旨集, p.191 (2020)
 - 10) 松本俊之・志田敬介・金沢孝: タッピングねじ締め作業における作業性評価方法の考案, 日本人間工学会誌, 第 36 巻, 第 4 号, pp.181-190 (2000)
 - 11) 松本俊之・道用大介・市来寄治・その他 1 名: タッピングねじ締め作業における押圧力に関する基礎研究, 日本人間工学会誌, 第 38 巻, 第 3 号, pp.143-151 (2002)
 - 12) 志田敬介・松本俊之・金沢孝: タッピングねじ締め作業の訓練システムの開発, 人間工学, 第 37 巻, 第 1 号, pp. 1-10(2001)
 - 13) 野方健治・有川誠: ドライバー操作のメンタルモデル改善による技能指導法の開発, 日本産業技術教育学会誌, 第 57 巻, 第 2 号, pp.103-112 (2015)
 - 14) 文部科学省: 木材を活用した学校用家具の事例集, 第 2 章 調査研究結果 (2), https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/shuppan/06051207/003.htm (2020 年 9 月 15 日確認)
 - 15) 牧野浩二: たのしくできる Arduino 電子制御 Processing でパソコンと連携, 東京電機大学出版局 (2015)
 - 16) 赤間世紀: Processing GUI プログラミング, 工学社 (2013)
 - 17) 松本俊之・志田敬介・金沢孝: タッピングねじ締め作業における作業方向と作業位置が作業効率に及ぼす影響, 日本経営工学会論文誌, 第 52 巻, 第 6 号, pp.332-343 (2002)
 - 18) 道用大介: 押圧力制御訓練における視覚フィードバックに関する基礎研究, 人間工学, 第 42 巻, 第 4 号, pp.227-233 (2006)
 - 19) 文部科学省: 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 体育編—平成 29 年 7 月, 東洋館出版社 (2018)
 - 20) 文部科学省: 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編—平成 29 年 7 月, 学校図書 (2018)
 - 21) 文部科学省: 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説 理科編 理数編—平成 30 年 7 月, 実教出版 (2019)
- 【連絡先 青木 麟太郎
E-mail : tamagawa.tech.rin@gmail.com】

Development of a Simple System Recorded and Displayed Pushing-Power during Screwdriver Operation

Rintaro AOKI¹, Shuji KUREBAYASHI²

¹Cooperative Doctoral Course in Subject Development in the Graduate School of Education,
Aichi University of Education of Education & Shizuoka University

²Academic Institute College of Education, Shizuoka University

ABSTRACT

We had a problem that we were not good enough to be able to push the best power during screwdriver operation. However, we hadn't taught how to push the best power during screwdriver operation in a junior high school. Therefore, we developed a simple system recorded and displayed the pushing-power during screwdriver operation. Our system measures the pushing-power during screwdriver operation with a load cell and records the changes on an SD card. Moreover, it graphically displays the displacement of the pushing-power during screwdriver operation. We defined 4 types of the tests (1. Test of graph's point, 2. Test of determining adjusted an equation, 3. Test of Using the system in a junior high school, 4. Test of Using the system and a motion-capture system at the same time), and measure the achievement level of the system. We had students compare the pushing-powers of students and a teacher during screwdriver operation as they were learning how to electric screwdriver and found that it was easy for students to understand the difference in the pushing-power between students and teachers. We explored the use of the system to use a motion-capture system at the same time, as a result, when the developed system recorded the pushing-power during screwdriver operation on an SD card, the motion-capture system input 3D position of the fingertips and joints into a computer. We found that it was difficult for students to visualize the same color of graph and font and the overlap between scale and graph, to check the pushing-power during screwdriver operation, and to require 2 PCs for the use of the motion-capture system at the same time.

Keywords

Screwdriver, Pushing-power, Load cell, motion-capture, Junior high school students