

工学実験・実習における効果的な自作動画教材の作成留意点と使用効果 Effectiveness and Attention of Self-Made Training Movie for Engineering Experiment and Practice

三橋 郁

Kaoru Mitsuhashi

There are many problems for teachers and learners. The teachers often provide unstable education quality, and the learners' understanding varies. Then, we recommend the self-made training movies to solve the problem and reduce the teachers' task. In this research, the advantages and the attentions of self-made training movies for engineering experiment and practice are explained, and the effectiveness of movies is investigated.

Keywords: self-made training movie, teacher and learner, viewpoint, character and voice information

1. はじめに

現在の大学等における機械系, 電気系, 化学系, および建築系などの工学実験や実習教育は, 若手の教員や外部の非常勤講師に一任することが多い。理由は様々であるが, 実験や実習は肉体労働の一種であること, 長い講義時間を必要としないため講義が不慣れた教員には適した練習となることなどが考えられる。しかしながら, 指導する教員・受講する学生の双方に様々な問題がある。指導側は, 不安定な教育の質を提供してしまうことが多く, 受講側は, 個人の能力によって学習成果が異なってしまうことが多い。工学実験や実習は, 工学を実践的に理解するためにも必要不可欠な学習であるにもかかわらず^[1], 工学実験・実習が軽視されているようにも思われる^[2]。その一方で, 若手の教員は日夜研究, 研究指導, 論文執筆に追われる日々を過ごしているため, 工学実験・実習に対して準備の手間と時間をかけることが難しいのも現状である^[3]。

近年, アクティブラーニングの導入が盛んになり, 実験や実習にも変化が生まれ始めた。従来の実験や実習は, 指導側の説明時間が圧倒的に長く, 活動時間が限られてしまうか授業時間を超えてしまうことが多かった。そこで, アクティブラーニングの導入にて, 説明時間を大きく削減し, 簡易的な使用方法のみの説明と実験・実習のフィードバックに時間を費やすことにより, 受講側は自ら考えて主体的に活動し, 少ない説明でも十分に理解することができるようになると言われていた^[4]。特に, PBL (Problem Based Learning) 型学習の導入は, 各グループが互いに競いながら, 互いに評価し合える利点を有し, 概ね高評価を得ることができている^[5]。しかしながら,

アクティブラーニングを実現させるには, 幾つかの課題が存在する。第 1 に, 活動内容を受講側に委ねるため, 時間管理が難しいことである。受講者側のモチベーションやチームワークにより, 個人課題, グループ課題共に, 達成到達時間や成果の個人差は大きい。これは対人コミュニケーションの問題にも関連するため, 容易に解決することは難しい。成果の個人差問題を解決する対策は, グループメンバーの定期的な組み換え, 明確な各自の役割分担, チーム間競争の導入等が望ましいが, これらの対策を用いても個人差は残ってしまう。第 2 に, 短い説明時間で受講者側に原理や道具の使い方などを理解させることが難しいことである。口頭のみでの説明やテキスト資料, または Microsoft PowerPoint などのスライド資料での説明のみでは, 理解度にばらつきが生じる。実演による説明方法もあるが, 後述のように実験装置や器具およびテーブルの大きさにより, 見学できる人数が限られ, 指導者や TA (Teaching Assistant) が受講者の質問に随時答える負担を増やしてしまい, 受講者の座席位置によって理解や意欲が異なってしまう事例も出ている^[6]。

これらの問題点を解消するために, 著者は安定した教育の質を確保し, 受講者が容易に理解できる方法を模索してきた結果, PBL 型を含めて^[6]短時間かつ効果的に理解させる最適な手段は, 動画教材による実験・実習説明であるという考えに至った。テキスト資料やスライド資料 (PowerPoint 資料) の文字と静止画・写真のみでは, すべての受講生に一律に理解させることは難しく, 資料の作り方によっては誤解を与えてしまうことが多い。その一方, 動画教材は誤解を回避できる, 時間管理が容易である, 手短な説明で済むことが多い。そこで, 2020 年を中心に, オンデマンドストリーミング授業/実験を提

供し、すべての受講者が等しく理解できるような取り組みもある^{[7]、[8]、[9]}。指導側は自分自身が理解した内容に基づいた動画教材を自ら作ることで受講者の理解を促進させる。しかしながら、これらはすべて独自で取り組まれた一例に過ぎず、個別の事例としては参考になるが、全体的な総括、留意点、および効果等の議論は少ない。

そこで、本研究では、アクティブラーニングを達成させるための工学実験・実習における自作動画教材の作成留意点を説明し、動画教材使用効果を検証する。始めに、指導側の不足と受講側のバラツキを述べ、アクティブラーニング手法の課題点を述べた後、理解しやすい動画教材の作成方法と使用方法を説明する。その後、動画教材の有効性を検証するために、動画教材有無の比較による実験・実習への効果を調べ、各実験・実習における動画教材の利点と欠点を考察する。

2. 工学実験・実習教育の課題と対策

2.1. 指導側の不足と受講側のばらつき

高等教育機関では、指導側の教員にかなりの裁量を与えられているため、同じ内容の実験・実習・演習・講義であっても、受講側の理解度等の成果が大きく異なることが多い。受講側の理解はいくつかの不足やばらつきによって妨げられ、それらは教える指導側と教わる受講生（学生）側の双方にあると推察する。始めに、指導側には以下の5つの不足点があるといえる。

- (1) 時間管理不足：スケジュール管理がない、または乏しいために、終了時間がばらつく。
- (2) 準備不足：設備・環境、進行マニュアル、実験・実習にて使用する装置や器具の数量等が該当する。装置の台数に対する受講生の数が過多である場合が多いため、主体的に参加する受講生が少なくなってしまう状況もありうる。
- (3) 現場経験不足：指導側の裁量や力量に依存して進捗具合・作業配分にばらつきが生じる、その場の状況判断にも対応できない、受講側の反応からフィードバックできない。
- (4) 説明力不足：話が長すぎることで、要点の説明が欠如していること等により指導側の意図が受講生に伝わりにくい口頭説明・資料説明、一部の人しか見えない実演等がある。
- (5) 人的支援不足：TA や共同教員の確保が難しい。

(1)～(3)より、自らマニュアルを作る教員は少ない。従来から、実験・実習は授業設計と情報共有が必要だと言われてきたが、入念に準備しても、満足できる結果を得ることは難しい^[10]。過去の教育手法と現在の教育手法の差は、PC によるスライド資料の使用や web 等のネットワークを用いた手法を導入程度であると思われる。すなわち、従来までの教育手法を継続し続けている限り、上記の5つの問題は解決できないと思われる。

次に、受講側には結果として以下の4つばらつきや問題が生じているといえる。

- (1) 能力のばらつき：学生の学習能力・要領・集中力によって進捗具合が異なり、授業の進行に時間を持て余す学生と追いつけない学生が共存する。
- (2) 意欲のばらつき：好奇心が乏しく、実験に対する意欲、モラル、緊張感が欠如している学生が一部に存在し、グループワークの妨げや孤立が発生してしまう。
- (3) 質問頻度のばらつき：教員の話聞いていない、または、意図を理解できないため、頻繁に指導側に質問する受講者が一部に存在する。一見、受講側に意欲があるような素振りに見えてしまうが、実際には学習能力や好奇心等の意欲が低く、指導側に代行させているだけである。その一方で、理解できない状態を放置し、質問することができず、授業の進行から乖離してしまう受講者も発生している。
- (4) 予習の困難または怠惰：学生は予習をする機会がなく、復習はレポート作成のみであることが多い。テキストを購入していても、事前に熟読する学生は極めて少ない。または、仮に読んだとしても、基礎学力が足りない、または説明不足のために理解できない。

(1)と(2)より、従来から理解が早い受講者と遅い受講者が混在している。能力や意欲が均一になることの方が稀であるともいえる。そのため、指導側は優秀な受講者と能力が劣る受講者とのバランスを取ることに苦勞する。

(3)の学生が多い場合、授業の進捗が大きく遅れしまう、または授業が成立できない状況が発生する。その結果、指導側の立場から、受講者は情熱がない、指示待ちである等の誤解を招く場合が多い^[11]。現在、反転学習等を含む予習教材を事前に用意する対策はあるが^[15]、強制的な宿題としなければ、ほとんどの学生は予習を取り組まない。もしくは、予習していない状態と大差がない場合も起こり得る。

以上より、指導側および受講側の双方に課題が存在している限り、実験・実習の進捗は滞り、低い理解度のまま終了するか、時間延長を要することになる。PBL、反転学習、ネットワーク学習等のシステムを取ることは1つの解決策ではあるが、上記の問題を解決できなければ、形式だけのアクティブラーニングになってしまい、その効果は極めて低く、受講側の学習満足は向上しないと思われる。

2.2. アクティブラーニング実現のための動画の必要性

受講側がアクティブラーニング、すなわち能動的かつ自発的に学習するためには、指導側は様々な準備を用意する必要がある。図1に示すような、ラーニングピラミッドの中で、能動的な学習を達成させるためには、討論、実体験、受講者同士の相互教授を実行させなければならないが^{[6]、[12]}、これらを実行させるための基礎として、『講義』、『読書』、『視聴覚』、および『実演』を見ることが必要不可欠である。しかしながら、実験・実習は時間が限られているため、テキストを説明しながらの『講義』の

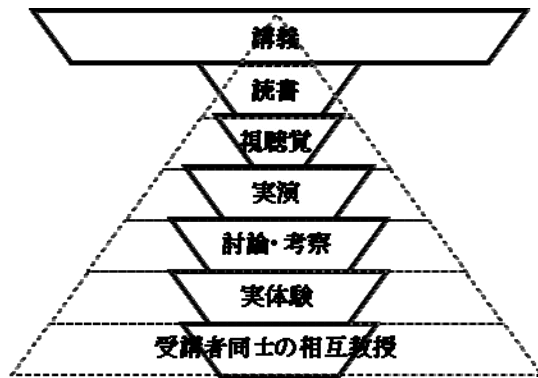


図1 ラーニングピラミッドの理想と現実
(理想は破線, 現実の実線)

みに多くの時間を費やしてしまい、実験・実習が単純な作業で終わってしまっていることも多い。あるいは、1回だけの『実演』を見せるのみの説明も多く、受講者が理解できずに作業に取り掛かり、実験・実習の進捗が悪い状況が発生し、一部の受講者だけで完結してしまっている場合もあり得る。

その一方で、アクティブラーニングを導入した実験や実習では、講義説明時間を大幅に削減し、受講者達が実験方法や実験結果等を独自で考察した後に、討論し合う・教え合うことにより、受講者の理解度を大きく向上させている^{[4], [13], [14]}。今後の実験・実習ではできる限り多く取り入れるべきであるが、大きな懸念も存在する。それは、少ない説明・実演とテキスト資料のみでは、理解できない受講者が多く生じることである。前節にて述べたように、受講者の能力はばらばらであるため、繰り返して説明しなければ理解できない受講者がいる。『討論』や『受講者同士の相互教授』を用いてフォローアップする解決方法もあるが、理解できない受講者が多い場合、能動的学習が実行できず、進捗が停滞する、または理解不足の状態を終了する。すなわち、ラーニングピラミッド内の『講義』～『実演』までの段階を確立できていなければ、『討論・考察』～『受講者同士の相互教授』の効果が表れない可能性が高い。

そこで、指導側は説明時間や繰り返し説明を削減させ、受講側は少ない説明でも理解できるようにするために、『視聴覚』の1つである動画教材の導入が必要不可欠であると考えられる。動画教材を用いることにより、ラーニングピラミッド内の『視聴覚』および『実演』の箇所を充実させることができ、少ない講義時間でも受講側は理解できる。すなわち、『講義』、『読書』、『視聴覚』、および『実演』を見ることの一連の学習に対して、読む、見る、聞く、考える等の感覚と思考を多角的に活用でき、なおかつ受講側は飽きることなく受講できる。さらに、ラーニングピラミッド下部の『討論・考察』、『実体験』、および『受講者同士の相互教授』にも連結できる効果も期待できる。

3. 理解しやすい動画教材

前章にて、工学実験・実習におけるアクティブラーニング実現のための動画教材の重要性を述べたが、動画教材の良し悪しや、効果的な動画教材作成の説明は不十分であった。本章では、動画教材作成方法を説明する。

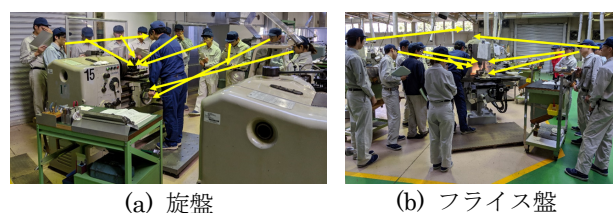
現在はPCとプロジェクターを用いてPowerPointスライド内外に動画教材を組み込む授業が多い。2020年に発生したコロナ禍により、講義用の動画教材や双方向のオンライン授業が爆発的に増加したが^{[8], [9]}、現在においても、実験・実習用の動画教材は十分とはいえない。受講側が指導側の意図を正しく理解できれば良いが、他者の映像や撮影のみの映像の場合、主張したい要旨が異なってしまうこと、見て欲しい箇所を見逃してしまうことが十分にあり得る。指導者の講義映像を予め撮影し、uploadした講義映像を反転授業に利用する方法も導入され始めているが^[15]、この方法は予め受講者全員が講義映像を見て予習をしなければならないことが最も大きな欠点である。予め映像を見ていない受講者、見聞きしても理解できていない受講者によって、受講側の理解度や意欲のバラツキが拡大してしまう。さらに、講義時間が長い映像の場合、受講者が飽きてしまう、または理解できない状態で授業に参加する可能性もありうる。

そこで、受講者側が理解できるための動画教材を4つに分類した。理解できる動画教材の要因は、視点の定点化、説明の付加、時間の適正化、機会の創出である。以下に、4つの概要と詳細を説明する。

- (1) 視点の定点化: 画像範囲は作業目線、および身体全体の動作を映せること
- (2) 説明の付加: 音声付き文字情報と矢印をつけること
- (3) 時間の適正化: 動画映像時間は1回あたり3分を目安にすること
- (4) 機会の創出: いつでもどこでも受講者が予習、復習、実験実習中に動画教材を見えること

3.1. 視点の定点化

撮影方法における視点の選択は最も効果が出やすい重要な要因の1つである。実験・実習で指導者が説明するとき、受講者は必ずしも指導者が望む場所を見てくれるとは限らず、見るることができない場合もあり得る。図2に示すように、旋盤やフライス盤の実演指導を一例にすると、指導者が機械で実演しても、見るべき箇所がわか



(a) 旋盤 (b) フライス盤

図2 作業視点の不均一
(黄色線は受講者の視線を表す)

らないことや、指導者の動作を見ることができる受講者は限られてしまうことが多い。前方1, 2列目の受講者は見ることができるであろうが、3列目より後方の受講者は、細かい動きまでは見えない⁴⁾。実験・実習では、指導者の動きを見て真似ることが重要であるにも関わらず、実演が見えないことは実演の効果を無意味にしてしまう。この対策としては、受講者人数を減らすこと、広い空間を確保すること等があるが、現実的には早急に対処できないことが多い。その一方、動画教材を使うことにより、受講者人数に関係なく、すべての受講者が同じ視点と視野を共有することができる。

受講者が見るべき視点は2つある。1つは作業視点、もう1つは動作や環境等の全体的な空間である。作業視点は、指導者の動作体験を事前に受講者と共有できることである。必須の作業を瞬時に“見える化”できることが重要である。実演でも指導者が頭部の側にwebカメラを装着させて、実際の作業様子を見てもらう実例が数多く出ているが、頭部が揺れることにより揺れた映像が配信され、視聴側が気分を悪くする、作業内容を理解できない等の欠点が存在する。その一方、作業視点だけでは身体を適格に動作することはできないこともある。そこで、全体的な空間視点が重要となる。外側から見た身体動作を見せることにより、受講者に作業イメージを増幅させ、作業イメージに沿った動作をできるようになる。

3.2. 説明の付加

動画教材は動く映像のみでなく、説明の付加も重要である。テキスト資料と口頭説明のみでは、掲載できる図は限られてしまうため、実際の作業手順を理解するのは難しく、自己確認することや振り返りができない。その結果、説明直後に受講側の初動が著しく遅く、TA等の手助けを必要としながら、本質や目的を全く理解できない状態で実験・実習を終了してしまう可能性もある。そこで、動画教材の映像とともに、文字情報と音声の説明を加えると理解しやすくなる。説明側・指導側の意図を正しく伝え、視聴側・受講側が誤解しないように理解を促進する効果がある。文字のイメージと実物のイメージが連結し、少ない説明でも一様に理解ができると思われる。図3に、文字情報付き映像比較を示す。動画の繰り返しの視聴と文字情報と実物情報の組み合わせにより、受講者が理解できるようになる。さらに、矢印を付加することにより、操作すべき箇所を明確に示すことができ、受講者の理解の促進に貢献できる。

3.3. 時間の適正化

適切な視点、丁寧な説明があったとしても、すべての受講者が全員完全に理解してくれるとは限らない。説明時間の適切性が欠落すると、受講者は話を聞かず、映像を見なくなる、または視聴しても何も考えないようになる。講義・説明は、受講側の理解有無に関わらず、進行できてしまうため、長時間の説明をしている自分自身に陶酔してしまう指導者をよく見かける。指導側が受講側

の理解度をその場で確認することは少なく、試験やレポートで確認するか、確認自体を怠り、受講側の自己責任に押し付けてしまうことが多い。動画教材を長時間放映したとき、映像途中で集中力が切れ、眠ってしまうことがある。人間の集中力の最大時間は15分が限度といわれており、15分以上の長時間の説明や視聴では、集中力が低下してしまう。さらに、演習や実験・実習では、受講側の実施時間を確保する必要があり、実験・実習方法の説明はできる限り手短かに理解できるようにするべきである。そこで、動画教材の視聴時間は原則3分、長時間でも5~6分以内でまとめることができると、受講者の集中

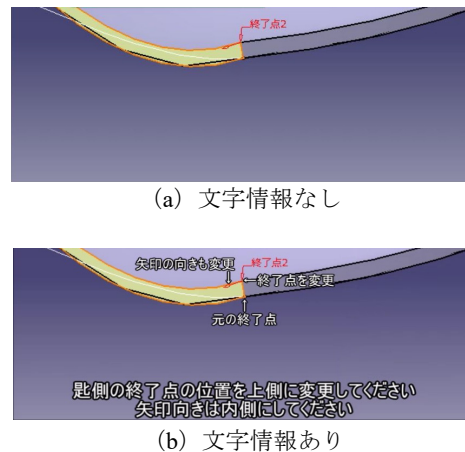


図3 3次元CAD操作における文字情報説明の付加

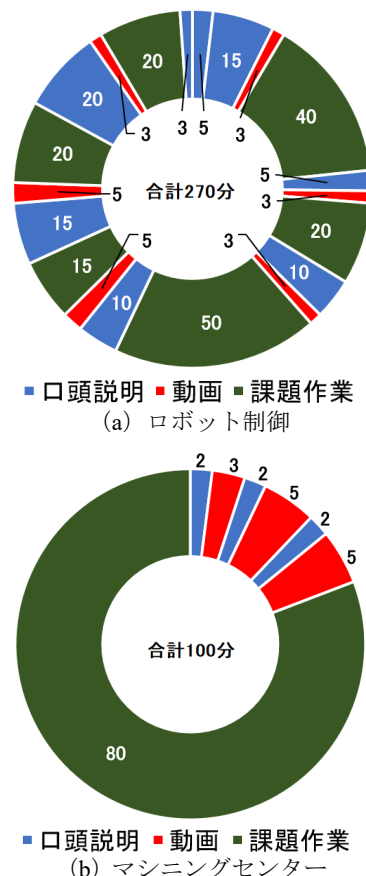


図4 授業のタイムスケジュール (分単位)

力が途切れることなく、多くの受講者が理解してくれるようになる。

指導側は PC とプロジェクターを用いて動画教材を使用すると予想できるが、動画教材の放映前後に簡単な概要を説明する方が理解度は増大する。講義説明の時間配分と手順において、概要説明を 10 分以内、動画教材を 5 分以内、実行（設定時間）の手順で進行すると、受講側が理解しやすく、すぐに実験・実習を実行し、設定時間以内に終了できる。図 4 に示す授業の一例のように口頭説明、動画視聴、課題作業（実験）の手順を細切れに繰り返す方法が効果的である。図 4(a)のロボット制御の実験では、口頭説明 10～15 分の後、3 分前後の動画を視聴し、その後 20～50 分の課題作業を繰り返す。図 4(b)のマシニングセンター操作の実習では、3 つの作業を受講者が同時に持ち回りで実施するため、課題作業の前に、すべての口頭説明と動画視聴を実施し、その後、受講者は課題作業に取り組む。ただし、いずれの課題作業中も動画教材を自由に閲覧することができる。

3.4. 機会の創出

どんなに優れた動画教材であっても、1 度のみの視聴で完全に理解してもらえないとは限らない。受講者がその場で聞き逃してしまった場合、体調不良や気分が最初から集中ができない場合、もしくは要領が悪くて指導側の意図がつかめない場合等の要因により、動画教材の効果を無駄にしてしまうこともあり得るからである。そこで、動画教材は劣化することなく、繰り返し使うことができる特性を活かし、予め e ラーニングプラットフォーム（Learning Management System など）や独自の web ページ上に動画教材を upload しておき、予習用、復習用、または授業時間中の繰り返し学習用教材として提供することが望ましい。動画教材を繰り返し視聴することにより、見落としていた要点の発見や自己分析としての再確認として有効利用することができる。実際に動画教材を最も活用する場面は、実験・実習中の説明時であるが、実験レポートの執筆時では振り返りと共に動画教材活用で実験内容や実験方法を明確に説明することができ、実験レポートの記述にも貢献できる。

4. 動画教材作成方法と使用方法

理解しやすい適切な動画教材を作るためには、自ら撮影し、自ら編集し、自ら動画教材を用いて説明することが最も効果的である。複数の指導者で作成してもよいが、撮影・編集・動画説明の各工程にて、作成者の意図が異なるように注意を払う必要がある。特に、動画教材をアウトソーシングする場合は、指導側の意図と撮影・編集者の意図が異なることが多く、理解が難しい動画教材ができてしまう危険が生じる。本章では、前章の 4 つの要点に基づいた理解しやすい動画教材の作成方法と使用方法を説明する。

4.1. 撮影方法

始めに、指導側自ら動画撮影をする。ビデオカメラはスマートフォン、デジタルビデオカメラ等を複数台用意してもよいが、三脚を使ってカメラを固定することが最も良い。手持ちで撮影すると手ブレで画像が揺れてしまい動画教材の内容に集中できないためである。ビデオカメラを用いた撮影は、少なくとも作業者視点箇所および身体動作全体を撮ることが望ましい。撮影時間は動画編集時に調整するため、できる限り多くの動画を撮影しておくことを推奨する。複数の映像シーンを撮影しておく、後の動画編集時に最適な映像を選ぶことができる。作業者視点や身体動作の撮影方向を決定することは、実験・実習内容によって異なり、最適な方向を決めることは難しいためである。現在は自撮り棒を取り付けた撮影方法もあり、色々と試すことが望ましい。

4.2. 動画の編集方法

次に、撮影した動画素材を編集する。動画編集ソフトウェアは有料版と無料版共にあるが、有料の市販編集ソフトは数多く存在するので、紹介は割愛する。無料版では、Microsoft Windows OS であればビデオエディター、Windows ムービーメーカー等の簡易的なソフトウェアや AviUtil 等の高度な編集ソフトウェアがあり、Mac OS では iMovie のソフトウェアが存在する。編集方法の言及は各ソフトウェアによって異なるため具体的な編集方法は避けるが、理解できる動画教材を作るための要点は、映像時間を 3 分前後でまとめること、文字情報と音声を追加することである。文字情報は動画編集ソフトウェアの機能に追加されていることが多いが、音声は別のソフトウェアを使うことが多い。無料版の音声作成のソフトウェアとしては、softalk やゆっくりムービーメーカーを用いて、説明場面に音声を挿入させる。有料版であれば、さらに人間の音声に近づくが、文字情報があればおおよそ理解できるため、無料の電子音声でも十分である。画像の解像度は、高解像度であれば細かく見ることができるが、その代わり動画ファイルの容量が大きくなり過ぎてしまい、スマートフォン等での視聴が困難になることや、PowerPoint などのプレゼンテーションアプリケーションに組み込み難いこともある。そこで、解像度は 854×480 または 800×600 程度に留めた方がよい。解像度が 854×480 で 5 分以内の動画であれば、100MB 程度の容量となり、upload やプレゼンテーション資料に埋め込むにも使い勝手が良くなる。使用する動画教材のファイル形式は、mp4 形式が最も汎用性が高く、ファイル容量も少ない。PowerPoint との融和性を考慮すると wmv 形式でも良いが、ファイル容量が大きくなってしまふ。画像の鮮明さでは avi 形式が最も良いが、wmv 形式よりもファイル容量が大きい。ただし、受講者に鮮明な画像を見せる必要がある場合には有効である。

4.3. 動画教材の使用方法

動画教材の作成後、動画教材ファイルを web サイト上

に upload する。動画教材の upload 方法は web サイトによって異なるため、詳細な説明は割愛する。現在の大学教育では、e ラーニングプラットフォームを構築しているところが多いため、安全かつ容易に活用できる。これにより、予習用の教材として提示することができ、進捗が遅い受講者や、欠席により補習を要する受講者に対して有効な手段となる。さらには、復習用として動画教材の視聴を奨めることも可能である。動画教材の活用は、実験・実習中の説明時が主体となる。動画教材を流す最中は、文字情報と音声だけでも良いが、注意を強調したいときは、映像を止めて口頭で説明すると強調されて印象に残りやすい。動画映像終了後、受講側が実験・実習作業を実行中も繰り返し動画教材の映像を随時流しておくことにより、作業手順がわからないとき等に受講者が自主的に映像を見ることができ、指導側への同じ内容や繰り返しの質問が大幅に削減され、受講側が理解しながら順調に実験・実習が進行できる。

5. 動画教材の効果

前章までに、アクティブラーニング教育方法への活用のために、理解できる動画教材の要点、作成方法、および使用方法を説明した。しかしながら、動画教材の効果は述べていない。そこで、動画教材の提示方法による理解の程度の違いを調べた。提示方法は音声と文字情報の有無、および視点の種類である。その後、動画教材有無の比較による実験・実習への理解度の違いを調べた。比較する実験・実習は、ロボット制御実験、旋盤加工実習、および CAD/CAM 実習である。ただし、比較する実験・実習の指導者が異なることにより、指導者の個人差が含まれること（動画教材有りは著者、動画教材なしは別教員）を前提条件とする。指導者が異なってしまった理由は、著者の実験・実習はできる限り迅速に動画教材を導入したく、動画教材なしの授業と比較できなかったためである。

5.1. 動画の編集の効果

第 2 章および第 3 章にて、動画教材には文字情報と音声によって理解が促進されること、視点の提示によって理解度が異なることを述べた。これらを実証するために、被験者に動画を閲覧させ、5 段階の理解度にて評価させた。評価方法は SD 法 (Semantic Differential Method) を元に^[16]、被験者は文字情報と音声有無の映像では、43 名、20~50 歳の男女、視点の提示の映像では、10 名、20 歳台男子学生である。文字情報と音声有無の被験者には、文字情報・音声なしの動画教材、音声のみの動画教材、文字情報のみの動画教材、および文字情報・音声付きの動画教材を見せた後、5 段階に評価させた。動画教材内容は図 3 に示すような 3 次元 CAD 操作であり、すべて同一である。視点の提示の被験者には、作業視点のみの動画教材、身体動作のみの動画教材、および作業視点と身体動作の組み合わせ動画教材である。組み合わせ動画

は、作業視点と身体動作動画は同期している。動画教材内容は図 5 に示すような旋盤加工作業であり、すべて同一である。

図 6 に、動画教材の提示方法による理解度の違いを示す。棒グラフは平均、Error bar は標準誤差である。図 6(a)は文字情報と音声有無による評価である。図 6(a)より、文字情報と音声の組み合わせの動画教材への理解度が最も高かった。音声と文字情報で比較した結果、文字情報の理解度が高いが、音声の説明も一定の理解があることがわかった。図 6(b)は視点の種類である。図 6(b)より、作業視点と身体動作の組み合わせの動画教材への理解度が最も高かった。作業視点と身体動作動画を比較すると、作業視点の方が理解しやすい。これは、身体全体動作がレバーを上下させているのみで、タイミング等がわからないためである。

5.2. 実験・実習での効果

ロボット制御実験は、マイクロコントローラの Arduino と LEGO mindstorm NXT のプログラミング、回路設計と

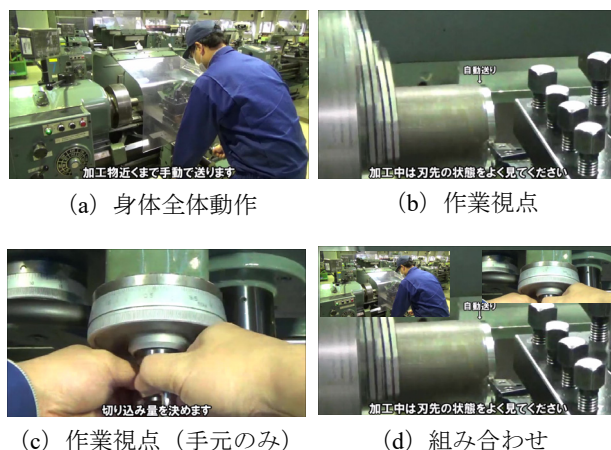


図 5 身体全体動作と作業視点

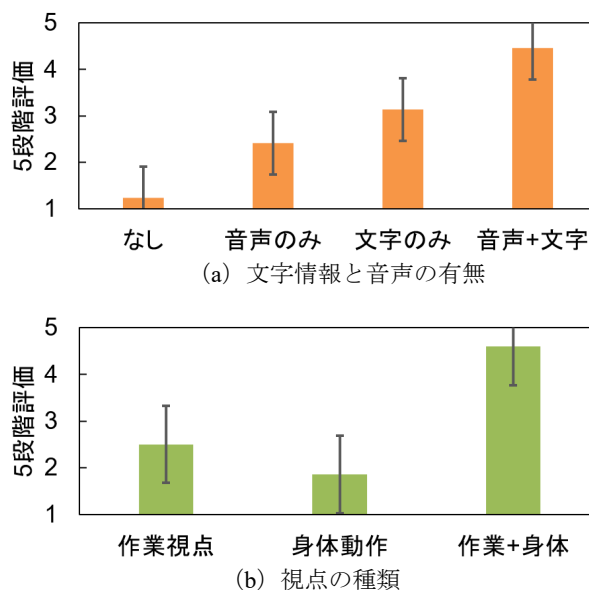


図 6 動画教材の提示方法による理解度

LEGO ブロックによるロボット機構の組立と競技する実験である。実験時間は 3 限分 (90 分×3) である。実験作業は 4~6 名を 1 グループとし、課題が達成した後に、次の作業に移行することができる。グループ数は 12~20 である。動画ありの実験は Arudino および NXT の回路設計方法の説明に動画教材を活用した。動画なしの実験は回路図とスライド資料のみである。比較対象の実験の作業内容はほぼ同じである。図 7(a)に、各週における実験作業数を示す。図 7(a)より、第 1~3 週までは、1 週分の作業数が多いことがわかる。これは、口頭での説明を減らし、繰り返し動画教材を見ることができたためである。動画教材活用時では、動画教材なしのときより、2 週間早く終了してしまったため、自由課題を独自に設定し、進捗状況に応じて各自の課題を取り組ませることができた。

旋盤加工実習は、特定の形状を切削加工するために、旋盤の基本的な操作を習得する実習である。1 人 1 台の工作機械を使用し、指導側が加工方法を説明・実演した後に、受講側が一斉に旋盤加工を始める。受講者数は 12~15 名であり、受講側が全員作業を終了した時点で、次の作業に進むことができる。比較対象の実習内容は同じである。旋盤加工操作方法の説明に動画教材を活用した。動画教材なしの実習は指導側が実演を見せるのみであり、動画教材ありの場合は実演しない。図 7(b)に、各週における実習作業数を示す。図 7(b)より、動画教材活用時は第 4 週目以降が著しい結果となり、2 週間早く終わる結果となった。これは、動画教材を繰り返し見ることができることにより、見逃したときの混乱を回避し、受講者の段取りと初期行動が徐々に早くなり、遅れている受講者が減ったことが原因であった。

CAD/CAM 実習は、3 次元 CAD ソフトウェアを用いて曲面サーフェスを作成し、CAM ではアルミ合金材を MC (マシニングセンター) で加工する実習である。CAD は個別課題であるが、CAM を用いた MC 加工は 3 名 1 グループ作業である。CAD, CAM/MC 加工のそれぞれの課題を提出する。動画教材活用の有無に関わらず、実習時間は合計 30 限分 (2 限×15 週) と同じである。図 8 に CAD/CAM 実習における各作業の割合を示す。図 8 より、CAD や CAM の作業時間が削減され、MC 加工課題のグループ作業に時間を割り当てることができるようになった。これは、CAD や CAM の作成方法をすべて動画化したことにより、説明・実演時間を削減したためである。CAD/CAM の課題提出は動画活用あり・なしでの差はなかったが、MC 加工課題の題材を考える時間を得られたことにより、能動的 (アクティブ) な実習スタイルを構築することができた。

6. 考察

前章にて、一部の実験・実習に対する動画教材の効果を述べた。受講者の理解度を調べるためには、筆記試験等にて実証させることが最も効果的であるが、実験や実

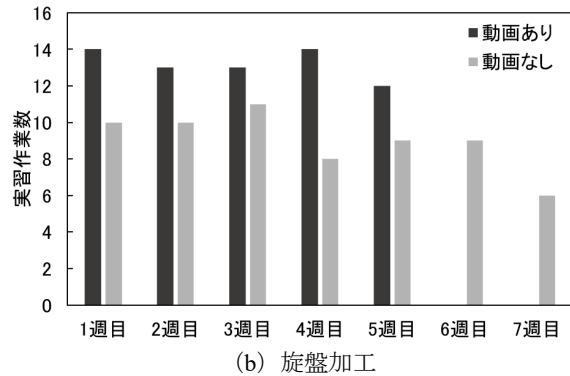
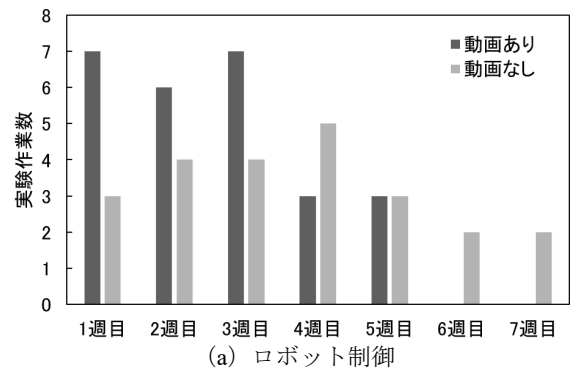


図 7 実験・実習の作業数

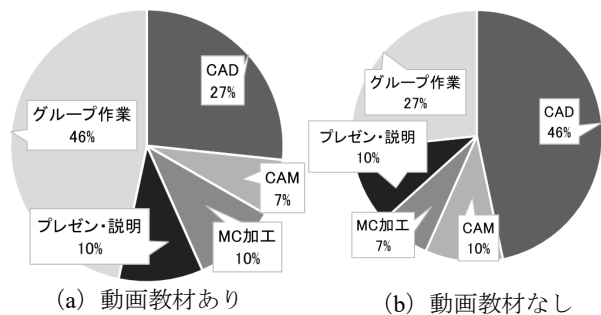


図 8 CAD/CAM 実習の作業割合

習では、レポート提出や実習態度の評価が多く、教員の主観的评价が入ってしまう。そのため、前章の評価は最も客観的である授業時間数や割合のみで評価した。本章では、授業時間数以外での効果も説明し、動画教材の利点と欠点を最後に述べる。

表 1 に、著者が動画教材を活用した実験および実習への効果を示す。表 1 (a) は各作業を理解して達成するための平均作業時間や平均得点である。表 1 (a) より、ロボット制御の実験では、動画なしの実験では平均 75% のグループ数がロボット製作を完成したのに対し、動画ありの実験では平均 93% のグループ数がロボット製作を完成していた。旋盤加工実習では、説明後の 1 課題当たりの平均作業時間は動画なしが 25 分 (10~45 分のばらつき) に対し、動画ありが平均 15 分 (10~30 分のばらつき) であった。説明時間を短縮できただけでなく、平均作業時間も大きく短縮することができた。3D CAD の演習では、動画なし/実演のみの場合、全課題達成までの総作業時間平均が 1200 分に対し、動画あり/実演なしの

場合、全課題達成までの総作業時間平均は 700 分であった。その一方、プログラミング演習では、クラス平均得点（約 30 名）が他のクラスと大差がなかった。

表 1 (b) は著者が自作動画教材を用いた実験・実習の一覧結果である。シャルピー衝撃試験の試験片は高額であり、実験にて動画教材を用いることにより、試験片材料費を節約できただけでなく、手順（段取り）のイメージが付きやすく、受講者の素早い初期行動を得られる結果となった。さらに、二次元切削加工、旋盤加工、マシニングセンターでは、実演では少人数しか見えない加工の様子を多人数でも見る事ができた。これにより、加工すべき作業を素早く理解できるようになり、非常識なケアレスミスを防ぐこともできるようになった。マイコンや回路製作（ロボット制御）、3次元 CAD/CAM、旋盤加工では、多くのコマンドや部品、スイッチ等があるため、初見では混乱をして何もできなくなってしまうことがあった。そこで、動画教材を用いることにより、自ら実行すべき作業を理解することができるようになり、実験・実習の進行が早くなった。

しかしながら、動画教材の活用は、利点だけでなく欠点も存在する。表 2 に動画教材活用による指導側と受講側の利点・欠点の一覧を示す。表 2 より、指導側は実演・説明・事前準備の負担を削減できる。その一方、動画教材を作ることの負荷・時間とプロジェクターや web 上への upload 等の映像設備設置の準備負担を強いられる欠点が挙げられる。受講側は、予習・復習・実践時にいつでも見ることができる、複雑かつ多数の段取りや部品があっても作業イメージが明確になる、多人数でも等しく見ることができる、および TA や教員の付き添いがなくとも自主的に作業ができる等の利点がある。その一方、動画教材によっては誤解を招く危険がある、長時間映像は飽きてしまって理解できなくなる、プログラミングのキーボード入力等の単純作業には効果が低いことが欠点となる。今後は、上記の欠点を補える動画教材の作成方法や使用方法を模索していく予定である。

7. まとめ

本研究では、指導側が自作する工学実験・実習の動画教材の作成留意点を説明し、動画教材使用効果を検証した。始めに、指導側には、時間管理不足、準備不足、現場経験不足、説明力不足、人的支援不足等の原因により、受講側には、能力のばらつき、意欲のばらつき、質問頻度のばらつき、予習の困難または怠惰が発生し、能動的な学習を大きく阻害していることを述べた。そこで、指導側および受講側の双方の課題を解決するために、ラーニングピラミッドの 1 層である『視聴覚』資料の動画教材が必要であることを提案した。ただし、動画教材の作成方法と使用方法によっては、課題を解決できずに受講者の理解不足のまま終了する場合もあり得る。受講側に理解できる動画教材の作成方法と使用方法とは、視点の指定、説明の付加、時間の適正化、機会の創出の要因が

表 1 動画教材使用時の実験・実習への効果

(a) 達成指標（達成率，得点，達成時間）

	動画あり	動画なし
ロボット制御（マイコン，回路制作）	93%	75%
プログラミング（JAVA）	74%	72%
旋盤加工	15 分	25 分
3D CAD/CAM	700 分	1200 分

(b) 総括

種類	内容	備考（独自の効果等）
実験	シャルピー衝撃試験	破壊材料の削減（材料 1 個 1000 円）
実験	二次元切削加工	切削箇所がよく見える
実験	鋼材の金属組織	複数の流れ作業を TA 補助なしで円滑に実行
演習	プログラミング（Java）	キーボード入力だけでは理解の効果は低い
実験	マイコン，回路製作	電子部品種類別や取扱方法を即理解
実習	マシニングセンター	多くのコマンドやボタンの混乱を回避
実習	旋盤加工	切削箇所がよく見える
実習	3D CAD/CAM	コマンドやボタンの混乱を回避

表 2 動画教材の利点と欠点

	利点	欠点
指導側	<ul style="list-style-type: none"> ・口頭説明を削減 ・少人数で運営可能（1 オペ可能） ・準備負担が 1 度で済む ・実演負担がなくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ・動画作成/編集/修正時間が膨大 ・映像設備設置の負担
受講側	<ul style="list-style-type: none"> ・予習・実践・復習（フィードバック）が可能 ・受講者が見慣れない作業の動作をイメージできる ・受講者多数でも同時に共通に閲覧可能 ・複雑・多数のコマンドや作業に適している ・動画を見ながら作業→自主性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・主張意図と異なる可能性（誤解） ・長時間映像は退屈になる ・プログラミング等の単純作業への効果が低い

重要である。

その後、動画教材の有効性を検証するために、動画教材の提示方法の違いによる理解度の差を調べた。その結果、文字情報および音声は理解を促進することがわかった。視点は作業視点と身体全体動作の組み合わせが最も理解しやすいことがわかった。さらに、動画教材の有無の比較による実験・実習への効果を調べた。その結果、動画教材を活用することにより、実験・実習作業が早く進行し、動画非活用時より 2 週分以上早く終了することができた。最後に、各実験・実習における動画教材の利点と欠点を考察した結果、受講側は、予習・復習・実践時にいつでも自主的に動画教材を活用することにより理解が深まる利点がある一方、動画教材によっては効果が低い、または逆効果を得てしまう危険があることがわかった。今後は、上記の欠点を補える動画教材の作成方法や使用方法を模索していく予定である。

参考文献

- [1] 西村浩隆，加藤徹也. "科学教育における「工学設計の過程」を導入したものづくりに関する研究—中学校理科教員対象のアンケート調査の結果分析—." 日本科学教育学会研究会研究報告 30.3, (2015), pp.71-76,
- [2] 鬼塚史朗, "理科教育における実験の意義 (近畿支部特集)." 物理教育 46.5 (1998): pp.255-257
- [3] 武田邦彦，中島江梨香, "工学教育における実験・実習の今日的意味と新しい概念" 工学教育, 59.1 (2011): pp.1_40-1_47.

- [4] Norikatsu Fujita, Yuuji Yamanaka, Hirotaka Shimizu, Ribun Onodera, "An Active Learning Project with Deliberate Practice in Vocational Training for Environmental Energy Engineers", *The Journal of Information and Systems in Education*, 2018, 17, 1, pp.7-16.
- [5] 小沢一仁, 大島武, 森本倫代"大学における授業のあり方を考える-「講演型授業」,「参加型授業」,「教育方法・技術の習得を目指す技術習得型授業」の実践を通して." *東京工芸大学工学部紀要* 31.2 (2008): p76-89.
- [6] Wood, Edward J. "Problem-based learning: Exploiting knowledge of how people learn to promote effective learning." *Bioscience education* 3.1 (2004): pp.192-194.
- [7] 杉江修治, 関田一彦, 安永悟, "大学授業を活性化する方法", Vol. 125, 玉川大学出版部, (2004).
- [8] 河合豊明. "オンライン授業の取り組み." *新地理* 68.2 (2020): pp.13-16.
- [9] 秋山秀典, 寺本明美, 小菌和剛. "ストーリーミング技術を用いたオンライン授業の教育効果." *電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌)* 126.8 (2006): pp.782-788.
- [10] 小谷善行, 阿刀田央一, 中森真理雄, 高橋延匡, "情報工学系学科における実験・演習の一設計例". *情報処理学会論文誌*, 22(5), pp.402-410, (1981)
- [11] 徳永良邦, 長藤友建, 竹田美和, 八田一郎, 大熊繁, 澤木宣彦, "企業人の指導による創造性育成工学実験の試み", *工学教育*, 48(1), pp.45-50, (2000)
- [12] Garavan, Thomas. "The learning organization: a review and evaluation." *The learning organization* 4.1 (1997): pp.18-29.
- [13] Meyers, Chet, and Thomas B. Jones. *Promoting Active Learning. Strategies for the College Classroom*. Jossey-Bass Inc., Publishers, 350 Sansome Street, San Francisco, CA 94104, (1993)
- [14] Bonwell, Charles C., and James A. Eison. *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom*. 1991 ASHE-ERIC Higher Education Reports. ERIC Clearinghouse on Higher Education, The George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington, DC 20036-1183, 1991.
- [15] 重田勝介. "反転授業 ICT による教育改革の進展." *情報管理* 56.10 (2014): pp.677-684.
- [16] Hsu, Shang H., Ming C. Chuang, and Chien C. Chang. "A semantic differential study of designers' and users' product form perception." *International journal of industrial ergonomics* 25.4 (2000): pp.375-391.

(原稿受付 2021/04/01, 受理 2021/06/30)

*三橋郁, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:k-mitsuhashi@uitec.ac.jp
Kaoru Mitsuhashi, Faculty of Human Resources Development,
Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035.