

工業高校生を対象としたクレーン教材の開発と授業実践

Lesson Practice for Technical High School Students with Newly Developed Teaching Material Imitating the Crane Equipment

梅野 貴俊

久保 光平

Takatoshi UMENO

Kouhei KUBO

技術教育ユニット

福岡県立小倉工業高等学校

(令和3年9月30日受付, 令和3年12月23日受理)

高校工業科において、機械設計の授業に活用できるクレーン教材を開発した。本教材は工事現場や建設現場で頻用される移動式クレーンを簡易的に模したものであり、巻き上げ荷重は最大で2kgと低いが、机上で動作確認を行うことができる。クレーンの巻き上げ動作を観察し、滑車、モータや歯車など、クレーンを構成する機械要素の役割を理解させるとともに、各機械要素の設計に必要な計算手法を学ぶことを目的とした教材である。本教材の教育効果を明らかにするために、福岡県内の公立工業高校機械科1年生を対象に授業実践を行った。授業では、クレーンの巻き上げ荷重と速度性能を決定し、その性能を満たす各機械要素の設計をグループ活動で行った。この結果、クレーン教材を用いることで、クレーンを構成する各機械要素を分解して観察することができ、生徒の学習意欲の向上が認められた。さらに、各機械要素とその性能評価に関する知識習得においても教育効果が認められた。

1. 緒言

工業高校の就職率は、調査が行われ始めた1960年以降、年々減少傾向にある¹⁾。しかしながら、文部科学省「学校基本統計(学校基本調査報告書)」によると、工業科卒業者の約7割が就職しており、専門学校の中で最も高い就職率となっている²⁾。このような背景より、2018年告示の高等学校学習指導要領工業編に示される産業教育の目標の在り方において「職業に関する各教科においては、専門的な知識・技術の定着を図るとともに、多様な課題に対応できる課題解決能力を育成することが重要である」と示されている³⁾。すなわち、工業科では、学んだ知識や技術の定着だけでなく、それらを実践的に活用する能力を養うことが重要と考えられる。溶接や旋盤などの技能習得は実際に加工機器を扱い、機器の安全な取り扱い方法や加工技術の習得が求められる。しかしながら、機械設計や機械工作など座学が中心となる科目では、学習内容に適した教材が存在しないため、学習内容に対する学生の興味・関心が低く、学んだ知識の活用方法がイメージしづらい。このため、知識を実践的に活用する能力を養うことは極めて難しい。工業高校を対象とした教育研究では、高校生の職業観や実習時の安全性に関する調査研究が多く^{4, 5)}、教材開発に関する研究は中学校技術科と比較すると少ない。また、工業高校を対象として開発された教材は情報教育に関するものが多い^{6, 7)}。一方、機械設計に関連した教材は多数報告されているが、その多くが中学校技術・家庭科技術分野(以下、技術科とする)への応用であり、工業高校への応用は極めて少ない。

そこで本研究では、機械設計の授業に活用できるクレーン教材を開発した。この教材は工事現場や建設現場で用いられる移動式クレーン(トラッククレーン)を模したものである。クレーンに求められる性能(仕事内容)より、モータや歯車など各機械要素に必要な規格を計算し設計する教材である。本教材の教育効果を明らかにするために、福岡県内の公立工業高校機械科1年生を対象に授業実践を行ったので報告する。

2. 方法

2.1 クレーン教材の概要

クレーンは動力によって荷物をつり上げ運搬（移動）することを目的とした機械装置であり、工業分野において必要不可欠な機械装置の一つである。クレーンは用途に合わせて様々な種類が存在し、本教材は身近な工事現場や建設現場で見ることができる移動式クレーンを模している。本教材はブーム、フック、巻き上げ装置（モータ、歯車伝達装置、巻き上げドラム）、アウトリガー、制御装置で構成されている（図1）。モータは出力0.4WのDCモータ（FA-130、マブチモータ社製）、速度伝達比200の歯車伝達装置（山崎教育システム社製）を使用し、ドラムを回転させて荷物の巻き上げ動作を行う。ブームやドラムなどの各機械要素はすべて電動工具を用いて製作した。モータの制御はシングルボードコンピュータであるArduino UNOを使用し、プログラミング言語はArduino IDEである。歯車伝達装置の歯数比を変更することで、速度伝達比や巻き上げに必要なトルクの変更が可能となる。また、プログラミングによりモータの回転速度が変更できる。この教材は極めて単純な構造であるため、インターネット等で入手できる部品のみで、簡単に製作することができる。技術科および工業高校の教員であれば、大きな労力を必要とせずに簡単に製作することが可能である。

本教材は、機械設計の単元「機械に働く力」と「機械と設計」の授業に活用する。モータ、滑車や歯車などの機械要素の働きを理解するとともに、機械の仕事、動力、軸の回転数やトルクを計算し、機械要素の正しい選定ができることを目的とした教材である。

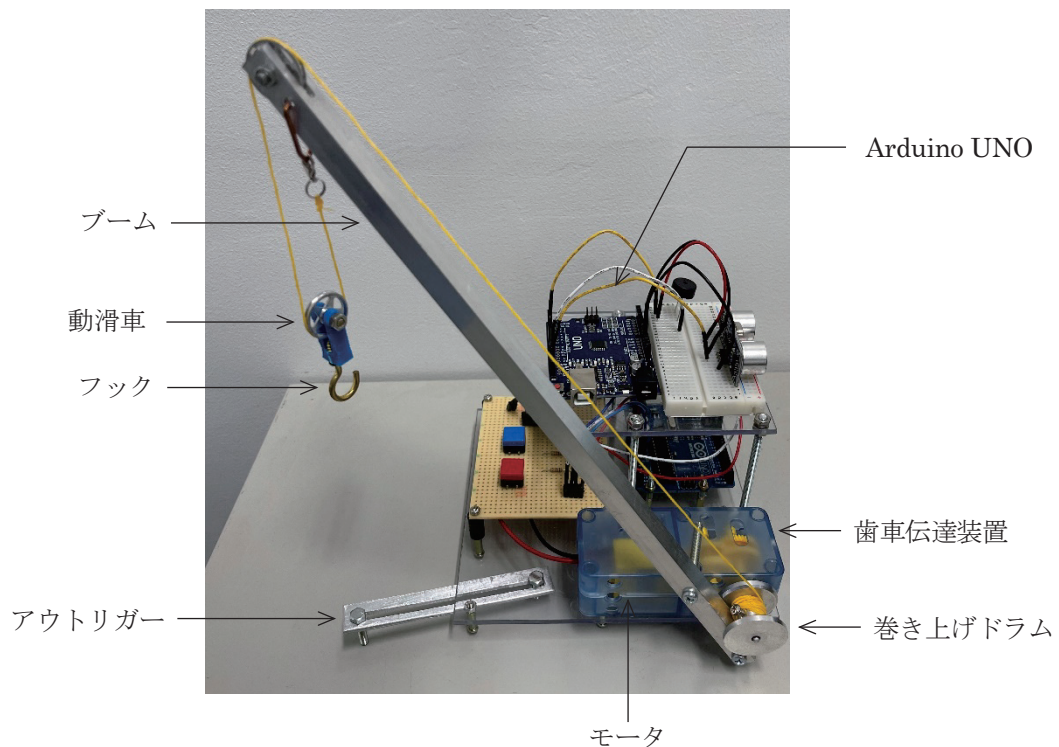


図1 クレーン教材の概要

2.2 被験者

被験者は、福岡県内の公立工業高等学校1年生38名（男子36名、女子2名）を対象とした。これら被験者は、初めて機械設計を学習するため、軸の周速度やモーメントなど、機械設計において重要かつ基礎的な単位の理解度は浅い。

2.3 授業実践

授業計画は50分×12回である。全12回の授業計画を表1に示す。最初の授業において、機械装置の一

つであるクレーンについて、用途や機能について説明するとともに、移動式クレーンを模した教材を紹介した。次に、このクレーンのフックに1 kgのおもりを取り付け、巻き上げ速度10 mm/sで動作することを観察した後、このクレーンと同じ性能を有するために必要な各機械要素を設計することを伝えた。すなわち、生徒が行う学習内容としては「1 kgの荷物を10 mm/sの速度で巻上げる性能を持つクレーン」の各機械要素の設定値を計算で導くことである。

はじめに、クレーンの機械設計を行うにあたり、性能を決定する各機械要素を明らかにし、その設定に必要な知識について、4～5名のグループで考察させた。次に、授業計画（表1）に沿って、クレーンの各機械要素の設計を行い、導出された設定値とクレーン教材の設定値との比較を行った。なお、本授業では、歯車伝達装置の速度伝達比を200、ドラム直径を11 mmに固定した。

教材の教育効果を明らかにするため、事前・事後アンケートを実施した。アンケート内容は本単元で習得すべき6項目（①周速度、②モーメント・トルク、③動力（出力）、④速度伝達比・減速機構、⑤安全率、⑥滑車）の理解度とものづくりに対する興味・関心であり、5件法で回答させた（表2）。

表1 授業内容

次	授業内容
1	クレーンの用途や機能の説明と移動式クレーンを模した教材紹介 ※ 事前アンケート実施
2	クレーンの性能と各機械要素の確認
3	動滑車の原理とおもりの巻き上げに必要なクレーンワイヤーの張力[N]の計算
4	おもりの巻き上げに必要なドラムトルク[N・m]の計算とモータの静止トルク[N・m]との比較
5	歯車伝達装置の必要性確認とおもりの巻き上げ速度[m/s]に必要なドラム回転数[rpm]の算出
6	歯車の設定と速度伝達比の計算
7	入力軸の回転速度[rpm]の算出とモータの選定
8	モータに必要な負荷トルク[N・m]とモータの定格トルク[N・m]の比較
9	モータの動力[W]と安全率の計算
10	出力軸の曲げモーメントの計算
11	出力軸のねじりモーメントの計算
12	まとめ ※ 事後アンケート実施

表2 事前・事後アンケートの内容

設問	内容
Q1	「周速度」を理解しているか
Q2	「モーメント・トルク」を理解しているか
Q3	「動力（出力）」を理解しているか
Q4	「速度伝達比・減速機構」を理解しているか
Q5	「安全率」を理解しているか
Q6	「滑車」を理解しているか
Q7	ものづくりに関する興味・関心はあるか

3. 結果と考察

クレーンの性能を決定する各機械要素とその設定に必要な知識について、各グループで考察しまとめた結果を表3に示す。1 kgの荷物を10 mm/sの速度で巻上げる性能を持つクレーンの設計には、モータの性能、ドラムの回転数とその設定に必要な歯車の選定、出力軸の直径の4つの設定項目が挙げられた。本授業では、ブームやアウトリガーの構造や強度など、材料強度に関する設計は考慮しないよう伝えていた。このため、ブームやアウトリガーに関する強度設計は挙げられなかった。しかしながら、軸の強度設計が挙げられていた。これは、クレーンの説明において、回転を伝える軸や軸受け強度の重要性について説明しており、このため軸直径の設定を挙げたと考えられる。

表3 性能を決定する機械要素と必要な知識

	クレーン性能を決定する各機械要素	機械要素設計に必要な知識
A	モータに必要な性能	力, 仕事, 出力
B	ドラム回転数の設定	周速度, 回転数, 滑車
C	ドラム回転数に必要な歯車の設定	減速比, 歯車の種類, 慣性モーメント
D	出力軸の直径の設定	曲げモーメント, ねじりモーメント

生徒によって作成されたクレーン性能を決定する各機械要素の各項目A～Dにおいて、それぞれの項目に必要な機械設計を説明し計算を行った。はじめに、ロープにかかる負荷[N]、ドラム回転数[rpm]とトルク[N・m]を算出し、使用するモータの規格と比較することで、モータ軸に直接ロープを取り付け巻き上げることが不可能であることを理解させることができた。また、ドラム回転数[rpm]の計算では、周速度[m/min]と巻き上げ速度[m/s]が同じであることを計算により確認させることができた。

次に、歯車伝達装置の歯車対より速度伝達比の算出を行った。得られた速度伝達比より入力軸の回転数[rpm]とトルク[N・m]を算出し、クレーンの性能に必要なモータの規格を導出することができた。回転数とトルクの計算を通して、歯車伝達装置が行う役割として、単に回転運動を伝達するのではなく、歯数の変化により、回転速度と回転トルクが反比例の関係となることを理解させることができた。さらに、入出力軸のトルクと回転数の関係より、歯車や軸受け摩擦による損失を無視した場合、歯車伝達装置の有無に関係なく、モータが行う仕事はすべて同じであることを説明し、仕事の本質について理解を促すことができた。

次に、動作中の負荷トルク[N・m]と回転数[rpm]より、モータに必要な動力[W]を算出した。この数値と実際に使用したモータの出力[W]より、安全率を算出することで、モータの安全な使用環境についても理解させることができた。ここで、モータの規格(性能)がクレーン性能に及ぼす影響について、規格の異なる2つのモータを用いて巻き上げ実験を行い考察させた。クレーン教材の巻き上げ性能を超える2 kgのおもりを吊り下げ、おもりを巻き上げることができないことを確認し、その後、1.5[W]の高出力モータ(トルクチューン2モータ, タミヤ社製)で同じ実験を行った。高出力モータで2 kgのおもりの巻き上げができるかを計算により明らかにした後、実際に教材を使用して巻き上げができることを確認した。この追加実験により、機械要素設計における動力性能の重要性について再確認させることができた。

最後に、出力軸の相当曲げモーメントと相当ねじりモーメントを算出し軸径を求めた。計算が複雑となるが、算出に必要な公式を説明し、すべてのグループで正答を導くことができた。出力軸をノギスで測定し、計算により導出された軸径と教材の軸径を比較し、必要な強度を満たしていることを確認した。

事前・事後アンケートの結果をそれぞれ図2, 3に示す。本単元において習得すべき6項目(Q1～Q6)の全ての項目において理解度が向上していることが明らかになった。特に「安全率」において理解度が高いことが認められた。また、ものづくりに関する興味・関心においても肯定的な意見が向上していることが認められた。

機械設計の授業は講義形式であり、教科書に沿って授業を進める。授業では機械要素に関する様々な計算を行うが、これら計算内容が機械のどの性能に影響しているかをイメージさせることは極めて難しい。また、各機械要素の役割を教科書に掲載された図のみで理解させることも困難と考えられる。このため、学習

内容に対する生徒の苦手意識が大きくなると予想される。本教材は、工業現場で知名度の高いクレーン装置を簡素化し、実際に動作させて観察するだけでなく、分解することも可能である。機械分解は、各機械要素の接続についても学ぶことができ、機械要素設計の知識がより広まると考えられる。

本授業では、移動式クレーンの性能項目において重要なクレーン機体の安定性や構造部品の強度を扱っておらず、モータや歯車伝達装置などの可動部を中心に学習している。機械設計では重心位置や材料強度も重要な学習内容であり、今後これら内容を取り入れた授業を展開する予定である。

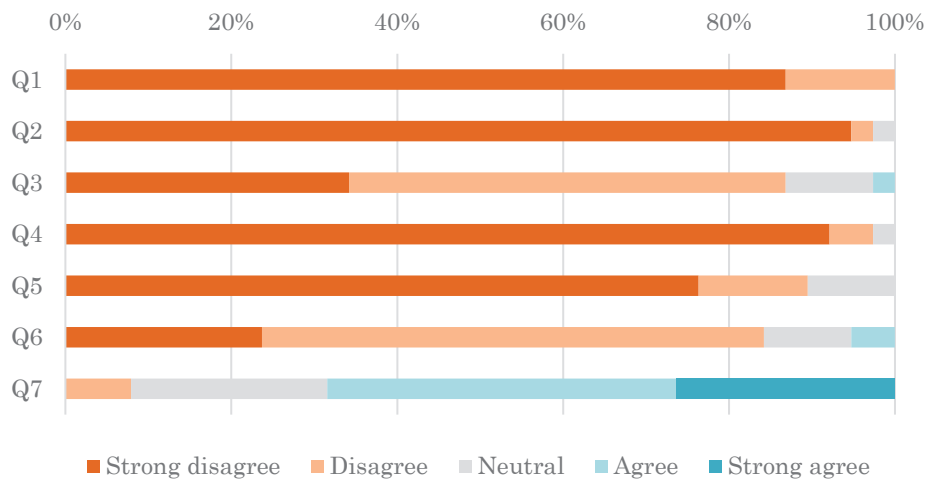


図2 事前アンケートの結果

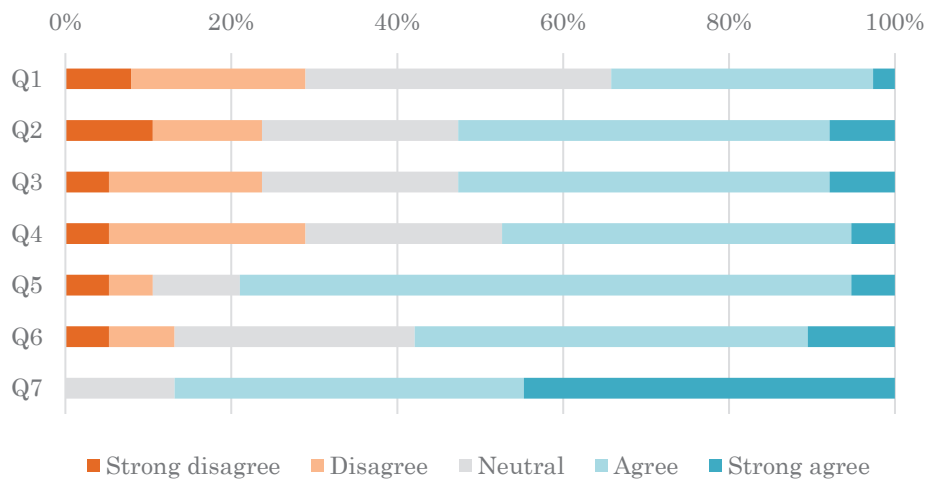


図3 事後アンケートの結果

4. 結言

本研究では、工業現場や建築現場で頻用され知名度の高い移動式クレーンの機構を模したクレーン教材を開発した。工業高校1年生を対象とした授業実践を通して、クレーン教材の教育効果を検証した。この結果、教材を用いることで、生徒の学習意欲が向上し、機械要素に関する様々な計算値が、機械のどの性能に影響しているかをイメージさせることが可能であった。また、クレーンを構成する各機械要素設計に必要な知識の習得において教育効果が認められた。

<謝辞> 本研究成果の一部は、福岡教育大学教育総合研究所研究プロジェクト助成事業によるものである。に記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 厚生労働省：労働経済の分析（平成 23 年版），第 2 章第 2 節，学卒者の職業選択：120，2011.
- 2) 文部科学省：高等学校卒業者の学科別進路状況，
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/shinkou/genjyo/021203.htm（2021 年 9 月 30 日確認済み）.
- 3) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説工業編（平成 20 年 7 月告示）.
- 4) 島田和典，中尾翔太郎：機械系工業実習における安全意識の検討，日本産業技術教育学会九州支部論文集，第 23 巻：37-44，2015.
- 5) 日高義浩，永野雄作，塚本光夫：工業高校生に必要な安全教育に関する調査研究，日本産業技術教育学会九州支部論文集，第 23 巻：113-118，2015.
- 6) 馬場徹朗，谷野勝敏，羽田野修一：C 言語を用いた PIC マイコンによる制御実習，日本産業技術教育学会九州支部論文集，第 19 巻：117-123，2011.
- 7) Takeshi Shimoto, Chika Miyamoto, Takatoshi Umeno : Development of the Biological Information Measurement System for STEM Education and High School/University Articulation, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31-4, 594-602, 2019.