

機器人學的數學分數教學設計

A Robot-based Approach to the Instruction of Mathematics in Fraction

游雅婷¹ 黃昭銘²

YU, YA-TING¹ HUANG, CHAO-MING²

¹ 國立政治大學附設實驗國民小學

¹ The Affiliated Experimental Elementary School of National Chengchi University

E-mail: orlandoyunicki@gmail.com

² 宜蘭縣立中山國民小學

² JhongShan Elementary School, Yi-Lan County

E-mail: stanely503@gmail.com

摘要

機器人數學 (Robot-math) 是以機器人學習為基礎為中心的數學教學，國小階段的機器人數學教學設計首要應先以數學為本、工程技能為軸進行教學，然後再幫助學生擴展並遷移 (extend and transfer) 學習到的技能。本文的旨在以數學的分數概念應用在機器人齒輪比設計的過程中，提出具體的教學方法。文中首先回顧當前在機器人數學方面的研究，以及十二年國教課綱中國小階段分數教學的最新規範與架構。接下來，本文討論齒輪比在機器人上的設計緊扣在分數的概念，以作為正式學校課程中的教學設計。作者認為透過操作齒輪比以設計機器人，對小學生既是引人入勝的活動，也是在數學課程架構內評估比例與換算的實用教學。最後，文章討論了在正式學習環境中機器人數學對教學的實際含義，並提出了可能的未來研究方向。

關鍵字： 機器人數學、分數教學、齒輪比、十二年國教

Abstract

Robot-math is a term used to describe mathematics instruction centered on engineering, particularly robotics. This type of instruction seeks first to make the mathematics skills useful for robotics-centered challenges, and then to help students extend (transfer) those skills. The purpose of this article is to present a Robot-math instructional approach in the teaching of fraction concepts during the gear ratio. We first review current research in Robot-math and the framework on the curriculum guidelines of 12-year basic education to teach fraction.

We then discuss the concept behind gear ratio and development as pedagogy in formal learning environments. We argue that designing robots by gear ratio operating is both an engaging activity for elementary school students and that it is useful in the teaching of evaluating simple and compound statements within fraction structures. We conclude with a discussion of practical implications for Robot-math in formal learning environments and propose possible future research directions.

Keyword : Robot-math, fraction, gear ratio, 12-year basic education curriculum

壹、前言

一、研究背景與動機

機器人數學是以機器人設計為中心，在機器人技術範圍內進行數學科的教學。美國國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）定義當代 STEM 教育係以科學、科技、工程和數學等四個學科進行跨領域的環繞（Sanders, 2008），隨著這些學科之間的界線逐漸消失，機器人數學可以將科學、科技、工程和數學進行跨學科集成，向學生突顯出這些不同學科間如何相互促進與融合。

數學為科學之母，更是國小階段學生最先接觸的學習領域。許多研究人員嘗試利用機器人課程來加強學生的數學理解能力（Benitti, 2012），因為數學容易應用在具體且情境化的任務中，讓學生體認到數學與生活息息相關（Highfield, 2010; Mubin, Stevens, Shahid, Al Mahmud, & Dong, 2013）。十二年國民教育新課綱強調「核心素養」為主、學以致用的能力，以「自主行動」、「溝通互動」與「社會參與」三個面向連結學習與生活，達成全人教育之理想。以數學為主軸，跨領域結合自然與科技、資訊課程，是呼應 STEM 教育計畫與臺灣十二年國教新課綱強調素養導向的關鍵轉化。

機器人教育是世界潮流，十二年國教新課綱在國民中學暨普通型高級中等學校階段，已設立了「機器人專題」的選修課程。隨著行動網路、大數據、物聯網、數位化製造技術等資訊科技的快速發展，許多家長與教師已感受到科技領域學習的重要。然而，108 課綱國小階段的機器人教育尚未納入正式課程，只有極少數學校將機器人教學納入正規課堂。學子無法循正規學習，則家長與學子多僅能循社團、營隊或補習班形式進行機器人課程學習；能獲得機器人學習資源的學生，自課餘時間參加相關的機器人競賽，累積學習歷程與檔案。可以預見缺乏家庭支援與資源分配不均的情況下，未來將造成學子學習行為與起點不同，衍生出機器人學習能力與成效的雙峰現象，引發新的社會就業問題。

針對上述，本研究從十二年國教新課綱精神出發，結合 STEM 課程動手操作與培養學生解決問題核心素養，以 VEX 機器人為學習任務為主題，透過實際課程規劃與修正設計出有效的素養導向機器人數學課程，以回應當前 108 新課綱轉銜階段教師與學生迫切的需求。

二、研究目的

綜合上述，本研究之研究目的如下：

- （一）分析《分數》學習地圖。
- （二）瞭解機器人數學《分數》單元的設計與發展過程。

貳、文獻探討

一、機器人數學 (robot-math)

與傳統的數學教學相比，機器人數學將數學與科學、科技、工程進行跨領域的集成，使學生不僅理解數值關係、學習推理，更將學習成果透過數學在 STEM 的脈絡中產生。學者認為，進行機器人教學活動時，學生通常會先遇到運動編程 (Movement Programming) 和槓桿方面的數學問題，並在定義明確的機器人課程脈絡中解決問題，從而獲得經驗和信心。然後，學生可以將這個理解的過程和學習再擴展到數學並轉移到科學課程，甚至是日常生活中 (Alfieri, Higashi, Shoop, & Schunn, 2015)。也有學者結合數學課程來幫助學生理解如何操控和移動機器人，例如引導學生透過計算車輪大小和不同軌道寬度，為大小不一的機器人編出一套舞蹈 (Silk, Higashi, Shoop, & Schunn, 2010)。

學生在學校的課程內會學習多種解決問題的策略，但面臨的挑戰是學生究竟能否在現實環境中選擇最合適的解決問題策略。舉例來說，數學中的代數問題可以使用如猜測和檢查的策略來解決，例如：輸入數值來計算和測試出未知數，但若沒有一併考量時間這一面向，則即使解決了數學問題也無法產生最佳效能的機器人編程設計。數學的功能是可以尋找出模式和關係 (Cooper, 2014)，因此，教師通過重新設計機器人學習活動，使數學在活動中的作用能更明確，學生能有目的地使用數學，建立數學概念，並同時應用科學與科技的概念解決真實生活問題。

本研究乃設計以 PBL 問題解決導向為教學策略的數學「分數」單元，以機器人組件為主要學習材料，透過具體的零件觸摸與合成、嘗試，發展機器人數學《分數》單元的設計。

二、十二年國教新課綱素養導向的 STEM 課程設計

隨著社會變遷與時代進步，20 世紀後期接受教育已被視為基本人權之一。國家辦理義務教育的理念，也從原本培養忠誠國民的政治單一角度，擴大到培養國家經濟發展所需人力的經濟角度，促進以學生為本、教育機會均等的社會正義，尊重受教者的學習權，十二年國教學校教育已成為提升國民素質與國家實力的關鍵所在。

為培育國家未來人才，強化中小學課程之連貫與統整，實踐素養導向之課程與教學，是培養具有終身學習力、社會關懷心及國際視野的優質國民所必須。因此，十二年國民基本教育之課程發展，以「自發」、「互動」及「共好」為理念，達成啟發生命潛能、陶養生活知能、促進生涯發展，以及涵育公民責任等四項總體課程目標。其中，國小階段在 STEM 教育中的主要學習領域包含了數學與自然科學兩大領域。

臺灣十二年國教新課綱中，對數學課程的願景已相當強調從數學是一種語言、一種實用的規律科學、也是一種人文素養，課程設計上應提供每位學生有感的學習機會，培養學生正確使用工具的素養。蔡育如（2018）指出教師面對十二年國教，應在課程中使學生能從實際情境經驗中獲取數學思維並運用數學工具，且還能進一步的與他人溝通。鄭章華（2018）強調數學素養導向下，教學應是指出方向或是提出引導性問題，而不是簡單化約為食譜式的教學步驟。因此，與過往偏向數學知識導向的教學相比，教師面對十二年國民教育，可設計出實際情境脈絡下面臨問題時，如何辨識問題與數學的關聯，教導透過數學思維或工具，做出有效判斷，並能與他人溝通的能力。

新課綱的數學教育強調教師需提供學生充分的學習機會，其課程目標包括：

- 一、提供學生適性學習的機會，培育學生探索數學的信心與正向態度。
- 二、培養好奇心及觀察規律、演算、抽象、推論、溝通和數學表述等各項能力。
- 三、培養使用工具，運用於數學程序及解決問題的正確態度。
- 四、培養運用數學思考問題、分析問題和解決問題的能力。
- 五、培養日常生活應用與學習其他領域/科目所需的數學知能。
- 六、培養學生欣賞數學以簡馭繁的精神與結構嚴謹完美的特質。

在新課綱針對自然科學領域方面，其學習重點包含科學核心概念、探究能力、科學的態度與本質。在科學核心概念主要針對學生在科學「學習內容」的學習，在探究能力、科學態度與本質則是著重學生的「學習表現」。此外，新課綱對探究能力在於學習表現規劃包含「思考智能」(thinking ability)與「問題解決」(problem solving)。

在九年一貫學習領域中在自然領域中規劃自然與科技學習領域，強調自然與科技的重要性（教育部，1998）。由於科技蓬勃發展，為迎接新的科技時代來臨，在十二年國教課綱中特別將科技領域獨立出來，自成一個科技學習領域其課程目標在協助學生：

- 一、習得科技的基本知識與技能並培養正確的觀念、態度及工作習慣。
- 二、善用科技知能以進行創造、設計、批判、邏輯、運算等思考。
- 三、整合理論與實務以解決問題和滿足需求。
- 四、理解科技產業與職業及其未來發展趨勢。
- 五、啟發科技研究與發展的興趣，進而從事相關生涯試探與準備。
- 六、了解科技及其對個人、社會、環境與文化的互動與影響。

新課綱在科技領域課程核心主要培養學生的科技素養，藉由運用科技工具、材料、資源，培養學生動手、設計思考與創新。雖然科技領域課程主要規劃在國中、高中階段，對於國小階段則列出核心素養具體內涵，其中包含：

科-E-A1 具備正確且安全地使用科技產品的知能與行為習慣。

科-E-A2 具備探索問題的能力，並能透過科技工具的體驗與實踐處理日常生活問題。

科-E-A3 具備運用科技規劃與執行計畫的基本概念，並能應用於日常生活。

科-E-B1 具備科技表達與運算思維的基本素養，並能運用基礎科技與邏輯符號進行人際溝通與概念表達。

科-E-B2 具備使用基本科技與資訊工具的能力，並理解科技、資訊與媒體的基礎概念。

科-E-B3 了解並欣賞科技在藝術創作上的應用。

科-E-C1 認識科技使用的公民責任，並具備科技應用的倫理規範之知能與實踐力。

科-E-C2 具備利用科技與他人互動及合作之能力與態度。

近年來STEM課程成為世界各國培養未來公民的教育理念(Kennedy & Odell, 2014)，STEM課程強調做中學與跨學科整合(Science, Technology, Engineering, Mathematics)的重要性，藉由學習任務的操作與執行提供學習者知識整合、技能練習的實作機會，透過解決問題歷程啟發學習者的創新與創意，提高學習者學習動機、進而達成學習目標與提高學習成效，在歷程中讓學生主動參與完成跨學科、領域的知識統整應用(林坤誼, 2014; 柳棟、吳俊傑、謝作如、沈涓, 2013)。

隨著教育開放，近年來科學、科技、工程與數學(Science, Technology, Engineering, Mathematics, 簡稱STEM)(林坤誼, 2014)的學科整合教育議題受到全球的重視，各國政府希望從STEM教育的推動增加國家競爭力，因此在教育上面培養學生利用科技(Technology)與科學知識(Science)來探究自然世界，透過數學(Mathematics)邏輯的運算與應用來解決所面臨的問題與挑戰，並建立一套工程(Engineering)系統與程序培養學生思考與解決問題的素養與能力(周淑惠, 2017)。

STEM教育強調跨學科整合與應用，著重在學習者主動探究與發現問題，透過學科知識與科技整合進行系統思考來解決問題。透過跨學科整合的STEM課程可以提升學生的學習意願(Roberts et al., 2018; 張玉山 & 楊雅茹, 2014)。

機器人的組裝需要學習者親自動手參與，在組裝的過程需要學習者應用相關的知識，包含數學、科學等學科，透過機器人組裝的歷程提供學習者主動探索、創意思考設計、發現問題與解決問題的學習情境，是推動STEM課程上代表性的教材(姚經政 & 林呈彥, 2016)。

從12年國民教育課程綱要的核心素養與STEM的精神來看，在培養未來公民素養上面都強調：1.系統思考與解決問題(A2)、規劃執行與創新應變(A3)、符號運用與溝通表達(B1)、科技資訊與媒體素養(B2)與人際關係與團隊合作(C2)。換言之，結合STEM課程的推動能夠提供學生合作學習(社會參與)，課程整合與應用(溝通互動)，主動探究與學習(自主行動)，達成新課綱的核心

素養。

綜合上述，STEM 課程對於提高學生學習動機與意願有正向提升，現階段推廣 STEM 課程有向下扎根的趨勢，此外，國內推動數位編程教育正如火如荼展開，加上機器人教材提供結合 STEM 的課程核心與數位編程學習兩大教育議題的優勢，有助於國小推動 STEM 課程發展的契機。

總結而言，美國最初是為了回應產業需求而積極投資 STEM 教育（詹志禹，2017），臺灣為因應未來人才培育需求，適性揚才之教育，修定十二年國民教育課程綱要。針對上述，新課綱強調學生核心素養的養成，除了學科知識學習之外，更強調學生動手操作，發揮創造力、跨領域能力整合與應用，落實學以致用的目標。本次課程嘗試從 12 年新課綱出發，結合 STEM 課程動手操作與培養學生解決問題核心素養。因此，本研究設計《分數》教學單元，將透過 VEX IQ 機器人設計過程，引導國小學生思考與討論，帶給學生跨領域的數學學習經驗。

參、機器人數學中的分數教學----課程目標規劃

一、課程目標

（一）需求分析

機器人學習對國民教育的價值與學習發展

以文獻探討作為國小六年級數學《分數》學習單元的教學設計分析基礎，瞭解新時代機器人數學的教育價值以及臺灣十二年國教的發展目標後，《分數》教學單元將以 VEX IQ 機器人在齒輪選擇與齒輪比的數學概念下，作為教學重點，期能透過機器人設計問題，結合分數概念，達到 STEM 跨領域學習的課程設計需求。

（二）對象分析

機器人數學下的《分數》單元，主要在指導如何利用數學的分數概念選擇 VEX IQ 機器人齒輪。考量學生的先備知識包括熟悉數學比與比值、通分，以及繪圖能力，因此選擇的適用對象為國小六年級學生。

本次參與課程樣本為國小六年級學生共三人，三位學生為同一隊 VEX IQ 隊員，依照目前六年級學生的先備概念在數學科包含分數的四則運算、比值、最大公因數與最小公倍數、分數的約分與通分、座標與圖表繪製。在自然科方面包含槓桿原理、科學探究，有關齒輪比與力矩則是屬於機器人組裝課程內容。

（三）內容分析

本次課程主要是針對國小六年級學生所進行規劃，主要統整的學科包含自然

科與數學科。學生的先備知識在數學科方面包含分數、比值、公因素與公倍數、座標與表格製作。在自然科方面則包含槓桿原理、力矩、齒輪比與壓縮筆以及科學探究能力。課程核心是以自然科概念出發，學生擬定研究計畫與資料收集，透過數學概念進行資料運算，數學符號呈現研究成果，最後驗證驗證研究計畫與評估，如圖 1。

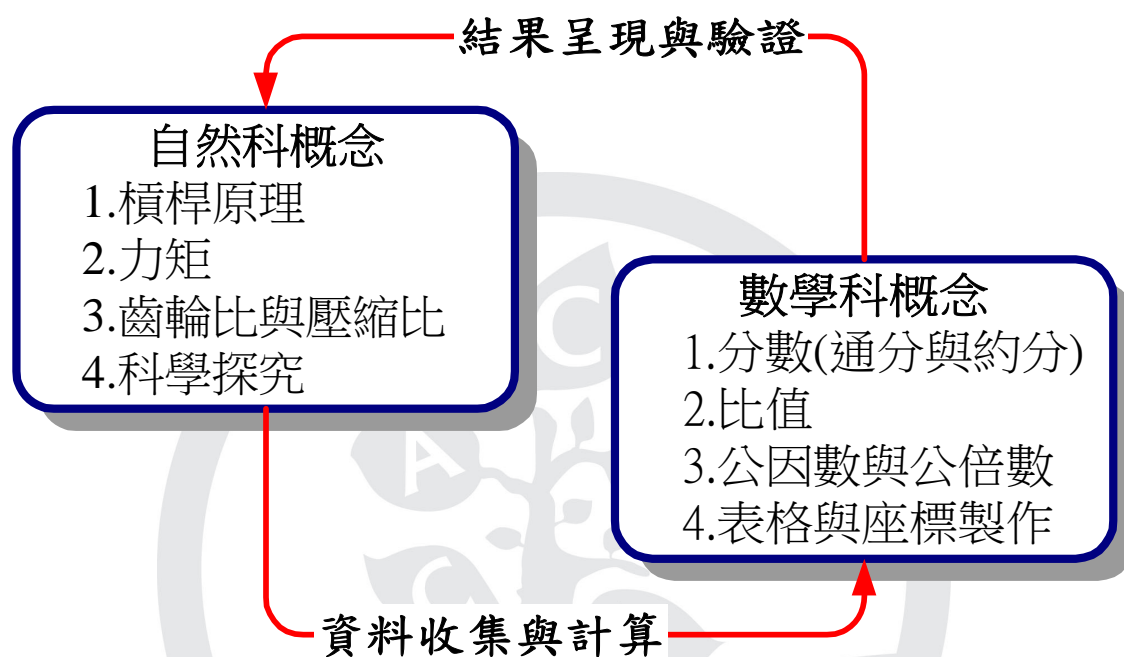


圖 1、課程架核心構圖

此外，跨領域的教學，包括應用工具進行繪圖與工程筆記上，以選擇出最佳機器人的齒輪組合，增加學生解決問題能力的信心與成功經驗。

(四) 教材分析

本次課程的教材主要是利用學校推動數位編程 (coding) 與機器人課程所使用的 VEX IQ 機器人為本次課程教材，本校長期推動機器人教育其中包含樂高 (LEGO)、慧魚積木 (Fischertechnik)，近年來由於教育部強調數位編程能力，學校陸續依照不同年段規劃出適合的機器人課程，其中低年級從智高機器人出發，到中年級的慧魚積木一直向上延伸高年級的 VEX IQ 機器人。

VEX IQ 機器人主要每一年都有不同的競賽主題，教師可以利用競賽主題所需要設計的機器人設計課程，本次競賽主題就是 Squared Away，針對今年的競賽主題學生需要設計機器人需要有抬昇機構將比賽物件。抬昇機構的設計牽涉到槓桿原理與力矩，動力的改變則牽涉到齒輪組設計，比賽由於有時間限制，因此齒

輪組設計上除了考慮到力矩的大小，還關係到齒輪轉動速度（時間）。

本次的教材主要是利用 VEX IQ 機器人零件中不同尺寸的齒輪進行設計（包含最小的 12 齒、24 齒、36 齒、48 齒與最大 60 齒），學生必須要從自己所設計的機器人中發現問題，然後進行齒輪比（Gear Ratio）與齒輪壓縮比（Gear Reducation）進行資料收集，將比值進行通分或是約分將齒輪比與齒輪壓縮比換算成整數，然後將齒輪比設定為座標 X 值，齒輪壓縮比設為 Y 值，利用座標的方式呈現在方格紙，然後進行評估，最後選擇最佳齒輪組結構。

二、課程設計

（一）目標策略

本研究期望小學生透過操作過 VEX IQ 齒輪比後，能提升比與比值、通分、繪圖與選擇最佳機器人齒輪組合的概念與信心。教學目標是利用明確的學習任務出發（機器人競賽主題），引導學生主動發現問題（抬昇機構設計），然後換取學生先備知識（槓桿原理），然後導入力矩、齒輪比與齒輪壓縮比概念，啟發學生發現問題與探究主題，然後擬定研究計畫，透過分數等數學概念進行資料收集與運算，並將數據透過數學方式呈現，最後評估最佳解決策略並運用在機器人設計組裝之中。

另外，也期《機器人數學》教學設計能成為 12 年國教新課綱下的數學教材。

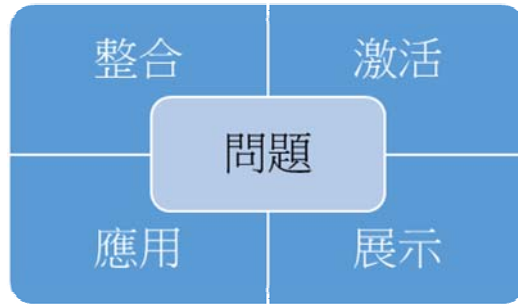
（二）設計策略

機器人數學《分數》單元要做為數學課堂上的教學單元，在設計上應符合教學設計原則，好讓國小學生清楚而明白地運用 VEX IQ 機器人設計與組件，同時發展分數概念。

當代著名教育科技與設計理論學者 Merrill（2002）提出「首要教學原理」的特徵，認為課程學習的效果取決於採納首要原理的直接比例，包括有效教學的四個階段：

1. 激活已有經驗；
2. 展示知識技能；
3. 應用知識技能；
4. 將知識技能整合到實際生活中。

圖二為首要教學原理四個階段，而在首要教學原理之首，教學應以問題為中心，其他四項原理是對應有效教學的四個階段。本研究應用首要教學原理，進行課程單元設計。



圖二 首要教學原理概念架構四階段

1.以問題為中心 (problem-centered)

當學生組裝機器人時，必須解決實際遇到的齒輪挑選問題時，學習才能夠得到促進。因此，教師必須向學生交代任務 (show task)，向學習者交代在完成學習活動後能夠做什麼或學會解決一些甚麼問題時，學習才能得到促進。

本單元問題:由於 VEX IQ 每一年都有不同的主題，由於每場比賽的時間都為一分鐘，因此在有限的時間下完成更多任務就是設計機器人重要的考量要素之一，所以「如何縮短結構操作的時間」便是問題的中心，以本次隊伍的問題為例，由於該隊的抬昇結構雖然成效不差但是操作過於緩慢嚴重影響任務完成，因此如何改進該抬昇結構就是該隊所面臨的核心問題之一。

2.激活階段 (activation)

當齒輪比的相關舊經驗被激活時，學習才能得到促進。教師引導學生依據相關的原有經驗，進行回憶、聯想、描述或應用知識，將其作為新知識的基礎。

本單元的先備知識: 分數乘除以整數。學生已學過用分數表示整數相除的結果，包括分數乘以整數、分數除以整數兩項能力。這個抬昇結構是由齒輪組來帶動整個結構，在基礎結構課程教學學生已經認識了基本齒輪比與齒輪壓縮比的概念，藉由喚起舊經驗引導學生進行批判性思考、擬訂計畫與評估。

3.展示階段 (demonstration)

當教師的教學展示，可以論證出學習的內容並與學習者的目標一致時，學習才能得到促進。例如，老師提供某概念的正面和反面例子，或展示此概念的邏輯，也可以直接提出解決問題的過程方式，或者直接操作示範。這四種方式都是具體提供展示的有效方式。

本單元的展示:學生依照以不同的齒輪數完成不同大小的齒輪組，然後依照先前的齒輪比與齒輪壓縮比概念進行數學運算，透過分數的通分、約分，利用公因數與公倍數概念算出不同齒輪組的齒輪比與齒輪壓縮比的整數比。在引導學生利用座標的關係標示不同組合在方格紙上的座標，然後進行評估最佳的齒輪組合。

4.應用階段 (application)

學生必須能夠真正運用所學到的知識或技能來解決面臨的問題時，學習才能得到促進。Gagne (1982) 指出，教學應引導學生展現學習並提供回饋，Gardner (1999) 強調教師應提供許多種機會讓學生展現學習，Van Merriënboer (1997) 強調教師的積極介入在完實際任務或解決問題中的重要價值。幾乎研究學習理論與教學的學者都指出，有關記憶類的問題對學習的幫助微乎其微，而在真實情境中實際操作的方式對學習展現了重要的價值。

本單元應用:在應用階段方面透過簡單的實驗可以驗證在方格紙上的評估結果，在展示階段我們鼓勵學生進行原來齒輪組進行模擬賽計時，然後將評估後最佳齒輪組合應用在原本的機器人結構中然後進行模擬賽計時，透過實驗的方式讓學生應用與驗證計畫的結果。

5.整合階段 (integration)

當學生受到鼓勵將數學所學到的分數計算計能融會貫通，並遷移到以不同齒輪組裝機器人後，應用機器人到日常生活的時候，學習才能夠得到促進。尤其教師可以鼓勵或以小組討論、作業反思等方式，引導學生思考如何利用不同齒輪組裝出的機器人，並實際創造、設計發明出不同功能的機器人，提升生活品質。

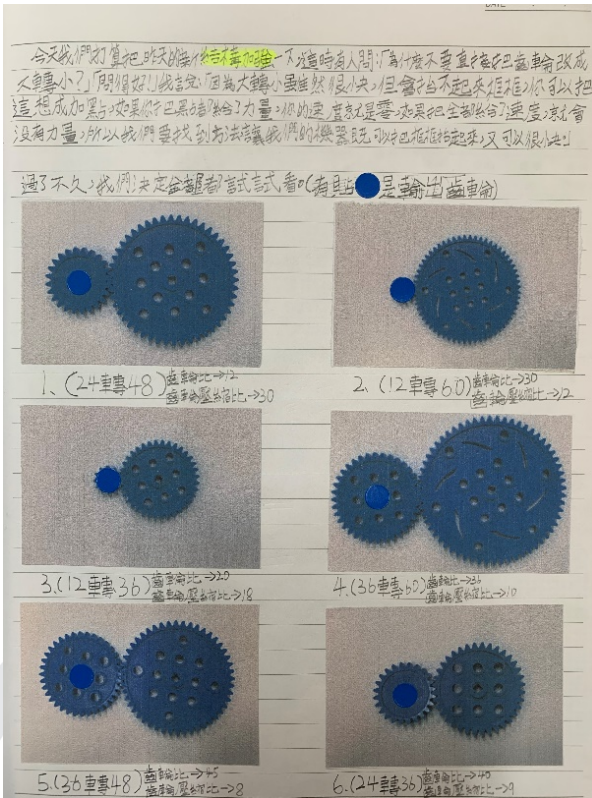
本單元應用:由於齒輪比與齒輪壓縮比的計畫讓學生對於應用在機器人結構設計上有進一步的認識，我們在課程當中還可以引導學生如何將現有的機器人進行調整，例如增加移動速度、或是增加連桿能夠抬昇的重量大小。

本文採用首要教學原理進行機器人數學「分數」單元教學設計，示範教師如何讓學生有機會反思、辨析和分享學生學的知識，如此才能使學習成為袋地走的素養能力。學生依照自己的多元智能、教師進行差異化教學，幫助學生調整新知識，正式學生能超越具體教學情境並將新知識計能融入生活世界之需。符應十二年國教新課綱所強調「核心素養」，關注學習與生活的結合，透過實踐力行而彰顯學習者的全人發展。

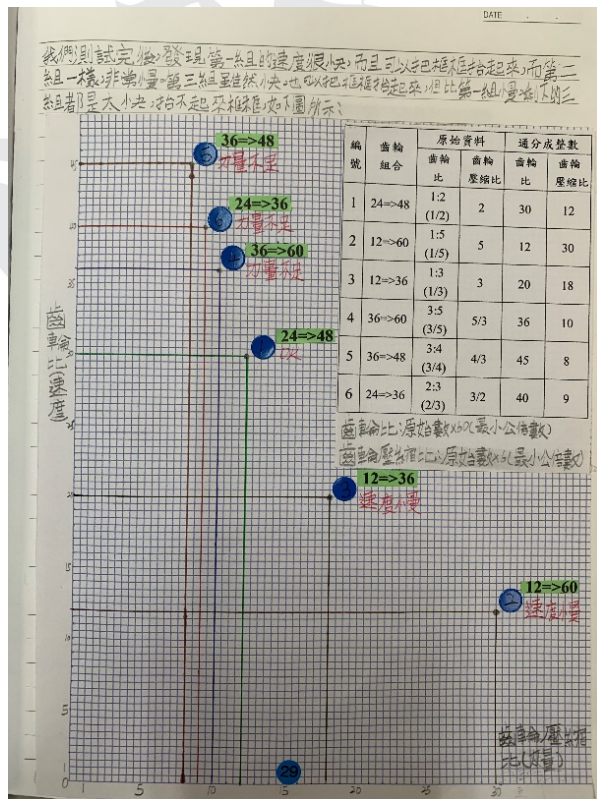
三、發展

本次機器人數學《分數》單元的學習主要是結合 VEX IQ 機器人的工程筆記來進行，學生需要記錄所面臨的問題，針對問題提出評估計畫與結構設計 (圖三所示)，圖二中呈現學生依照想法於實際的齒輪進行六組不同齒輪組的規劃，然後記錄不同齒輪組的齒輪比與齒輪壓縮比。

經過數學分數計算學生將所得到的齒輪比與齒輪壓縮比的整數轉換成座標，並標示在方格紙上，然後針對不同組合進行評估分析 (力量不足或速度慢)，然後決定最佳齒輪組 (圖四所示)。



圖三、工程筆記不同齒輪組規劃



圖四、齒輪比與齒輪壓縮比座標圖

肆、結語

為回應產業界與當前教育趨勢的需求，許多教育人員與產業界人士已同時呼籲國家發展跨學科的 STEM 課程，臺灣當前的十二年國教核心素養理念也與此若合符節。STEM 教學過程重視實際演練，而教學過程中，持續改良課堂實作內容是 STEM 教育理念中最獨特，也是最基本的部分性（Bybee 著，游雅婷審議，2019）。因此，本研究以首要教學原理進行機器人數學中的課程設計，將自科學與科技概念融入數學課程中，並發展一套有效的數學「分數」單元，期望學生能夠在跨學科、可具體操作教材（機器人組件）的課程學習後，獲得數學素養。

目前本研究仍處於開發階段，計畫在近期內於結合臺北市與宜蘭市國小進行教學實驗，並於分析階段，探討數學機器人課程教學策略對學習成效的影響。若研究結果有正向影響，可計劃增加單元課程應用於國民小學數學課程中，並提出機器人數學之教學設計範本供後續相關研究參考。

參考文獻

中文部分

林坤誼（2014）。STEM 科技整合教育培養整合理論與實務的科技人才。**科技與人力教育季刊**，1，1。

周淑惠（2017）。STEM 教育自幼開始-幼兒園主題探索課程中的經驗。**臺灣教育評論月刊**，6，169-176。

姚經政、林呈彥（2016）。Stem 教育應用於機器人教學-以 6e 教學模式結合差異化教學。**科技與人力教育季刊**，3，53-75。

柳棟、吳俊傑、謝作如、沈涓（2013）。STEM、STEAM 與可能的實踐路線。**中小學信息技術教育**，6，39-41。

張玉山、楊雅茹（2014）。STEM 教學設計之探討：以液壓手臂單元為例。**科技與人力教育季刊**，1，2-14。

教育部（1998）。國民教育階段九年一貫課程總綱綱要。台北：教育部。

教育部（2014）。十二年國民基本教育課程綱要總綱。台北：教育部。

游雅婷審譯，原著者：Bybee, R. W. (2019)。STEM 教育關鍵 120 分鐘。新北市：碩亞數碼科技。

詹志禹（2017）。實驗創新與十二年國民基本教育。**課程與教學**，20（4），1-23。

英文部分

Alfieri, L., Higashi, R., Shoop, R., & Schunn, C. D. (2015). Case studies of a robot-based game to shape interests and hone proportional reasoning skills. *International Journal of STEM Education*, 2 (1), 4.

- Gagné, R. M. (1982) . Developments in learning psychology: Implications for instructional design; and effects of computer technology on instructional design and development. *Educational Technology*, 22 (6) , 11-15.
- Gardner, H. (1999) . *The disciplined mind: What all students should understand*. New York: Simon & Schuster.
- Highfield, K. (2010) . Robotic toys as a catalyst for mathematical problem solving. *Australian Primary Mathematics Classroom*, 15 (2) , 22-27.
- Kennedy, T. J., & Odell, M. R. L. (2014) . Engaging students in stem education. *Science Education International*, 25, 246-258.
- Merrill, M. D. (2002) . First principles of instruction. *Educational technology research and development*, 50 (3) , 43-59.
- Mubin, O., Stevens, C. J., Shahid, S., Al Mahmud, A., & Dong, J. J. (2013) . A Review of the applicability of robots in education. *Technology for Education and Learning*, 1, 1-7.
- Roberts, T., Jackson, C., Mohr-Schroeder, M. J., Bush, S. B., Maiorca, C., Cavalcanti, M., et al. (2018) . Students' perceptions of stem learning after participating in a summner informal learning experience. *International Journal of STEM Education*, 5, 1-14.
- Sanders, M. (2009) . STEM, STEM education, STEM mania. *Technology Teacher*, 68 (4) , 20–26.
- Van Merriënboer, J. J. G. (1997) . *Training complex cognitive skills*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.