

以中小學為主的 3D 列印教學設計及後續成效分析

Incorporating 3D Printing in Lesson Design for K-12 Education: Implementation and Evaluation

劉貞佑¹ 廖文宏¹ 紀明德² 吳怡潔¹

¹國立政治大學 資訊科學系 視覺資訊處理實驗室

E-mail: whliao@gmail.com

²國立政治大學 資訊科學系 電腦圖學實驗室

E-mail: mtchi@cs.nccu.edu.tw

摘要

本研究主要目的為培養孩童從做中學，輔以適當之教學引導，以激發其創意，我們利用 3D 列印之客製化優點，將建模與積層製造等概念導入中小學教學場域，特別是 STEAM(Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics) 課程設計之中。

本研究與國立政治大學附設實驗國民小學進行合作，在課堂上蒐集使用者操作資料並進行分析與探討。課程規劃方面，根據不同難度設計之教案且須能夠成功印出指定功能之模型要求下，教授學童學習以下建模軟體：Qmodel Creator、Tinkercad、123D Design。

操作過程的記錄，則包括使用 Morae 螢幕錄影(screen recording)、軟體操作紀錄(log)、及與學童之面談，以利後續的質性與量化分析研究。藉由此後續分析，我們將探討從建構到列印過程中，有哪些影響學童的學習因素，是否能夠完成課程之要求，及其模型完成度；所得結果將回饋至教學，從而修正課程之內容。

關鍵字：3D 列印、STEAM、中小學、教學設計、使用者操作分析

Abstract

The objective of this research is to stimulate the creativity of K-12 students with a learning-by-doing approach. This is achieved by taking advantages of the characteristics of 3D printing: easy customization and quick prototyping. In particular, we wish to introduce the practice of model creation and additive manufacturing to K-12 classrooms, especially in the lesson design of STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) subjects.

The dataset for implementation and evaluation in this research is gathered from the Affiliated Experimental Elementary School (AEES) of National Cheng-chi University.

Participants' operations for specific 3D modeling software are recorded and analyzed. In all our lesson plans, students are required to create structurally stable and printable 3D models. Three modeling software with different levels of difficulty have been tested, as listed below: Qmodel Creator, Tinkercad, and 123D Design.

The collected data include screen recording (using Morae), software operating log, and interviews with students, which are employed for subsequent qualitative evaluation as well as quantitative analysis. Specifically, we wish to identify the key factors affecting students' learning experience and performance, in terms of the operation sequence and degree of completion of the created models. The results are then feedback improve the lesson design.

Keywords : 3D printing, STEAM, K-12 education, Lesson design, User behavior analysis



壹. 前言

近年來，因 3D 列印技術越來越成熟，價錢趨於平易近人，再加上自造者運動的浪潮，將 3D 列印技術融入教學課程中之課題，已成為全球教學者一致的共識。由於 3D 列印的客製化特性，很適合安排於做中學 (Learning by doing) 的課程，讓學生們從設計、測試、修正、3D 列印出自己的成品，而從中習得該領域知識。利用 3D 快速原型化之特點，則可幫助學生更快速發現設計上的問題與缺陷。

3D 列印整個過程包含掃描建模、模型編修設計、模型切片及最後的列印輸出步驟，但是由於 3D 建模操作較複雜，過去大多將此技術使用在大學專業課程，如醫學 (Mahmoud & Bennett, 2015)，建築 (Cesaretti *et al.*, 2014)，及機器工程 (Gonzalez-Gomez *et al.*, 2012)。而最近開始也有越來越多的小學老師願意學習 3D 相關技術並將 3D 列印課程運用至課程當中 (Irwin *et al.*, 2014)。

本研究目標為將不同複雜程度之 3D 建模軟體，包含 Qmodel Creator, Tinkercad 及 123D Design 引入 K-12 之 STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) 課程並且記錄與分析使用者行為，藉由瞭解學生上課的學習狀態及特徵以修正課程設計。

本論文架構如下，在第二節中會介紹我們之前做過關於 Qmodel Creator 的研究；第三節則會提到關於此論文之研究設計，包含我們合作的對象、合作模式、所取得的資料種類及所使用之分析工具；第四節結果與討論中，則會經過量化及質性分析後對學員表現評估的結果與比較；最後第五節的部分是結論與未來展望。

貳. 相關研究

Qmodel Creator (C. C. Hu *et al.*, 2015) 是本研究團隊專為 K-12 學生量身打造，簡化複雜操作的設計，並且實作在跨平台上的應用軟體 (APP)。目前已同時在 Apple 公司的 APP Store 以及 Google 公司的 Play Store 都有上架。操作介面如圖 1 所示。

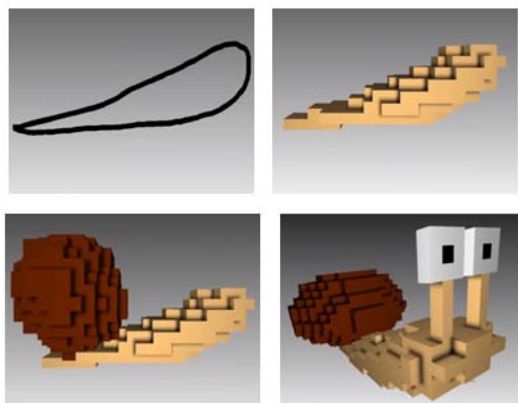


圖 1、Qmodel Creator 操作範例

根據研究資料顯示，蘭嶼國中、小學與三重高中在操作時間上並沒有顯著差異 (Y. C. Wu *et al.*, 2016)。因此對於 K-12 學生而言，Qmodel Creator 是一個學

習曲線較低且易於使用之建模工具。

在本研究中，將更著重在不同層級功能的建模軟體，在各種目標教案上的搭配與應用。同時，我們更關注並追蹤受試學生，在不同教材內容、所使用軟體特性、以及他們各自的能力興趣下，所展現出來的質性與量化特質。以下將詳述本研究的實驗設計與操作。

參. 研究實施與設計

研究對象

本研究與國立政治大學附設實驗國民小學進行合作，在為期一學期的 3D 列印社團課程中（如圖 2 所示），教授小學六年級生 3D 列印相關知識與三種不同的建模軟體；最後於期末利用自己所設計之玩偶及場所進行舞台演出。參與學生共計 15 位，其中八位是女生，七位是男生，年齡約為 11~12 歲。



圖 2、政大實小 3D 社團課程

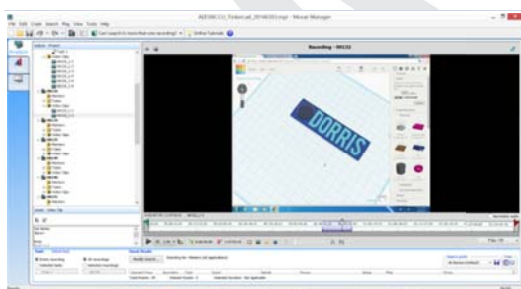


圖 3、Morae 擷取 Tinkercad 軟體畫面

研究工具

（一）Morae 行為紀錄軟體

Morae 是一款能夠幫助開發團隊紀錄使用者行為的軟體（如：螢幕操作、鍵盤及滑鼠軌跡紀錄）。我們利用此軟體記錄學生在 Tinkercad 及 123D Design 上的操作。如圖 3 所示。

(二) 軟體 Log 記錄

在我們自行開發的 Qmodel Creator 直覺化建模軟體裡面(如圖 4 所示)，我們也利用文字記錄將使用者之操作記錄及時間戳記保存下來，以利後續分析研究。



圖 4、Qmodel Creator 軟體之 Log 記錄

(三) 問卷訪談

為了更進一步了解學生的學習狀況及興趣喜好背景，我們也對每個學生做一對一訪談，記錄他們平常使用電腦的習慣、美術天分、及對個別 3D 建模軟體操作後的感受等等，如附錄一所記述。

二. 研究架構

根據前言中提及的本研究目標，我們可以擬定一個概括的研究架構，其相互關係可由圖 5 所描述。

在課程設計上，我們融入三種不同難易度及特色之 3D 建模軟體（如圖 6 所示）：

1. 由本團隊自行開發之 Qmodel Creator，具有直覺式建模之特色；
2. 基於網頁介面之建模軟體 Tinkercad，市場普遍反應該軟體簡單易學；
3. 操作複雜度及調整彈性較高之 123D Design。

在 Qmodel Creator 的部分，我們要求在課程完成後，學生作出的動物模型要能夠成功印出並能順利將其本體與翅膀組合；Tinkercad 的部分，我們則希望學童可以製作出可成功列印之筆筒；123D Design 則要製作出個人化的工具箱

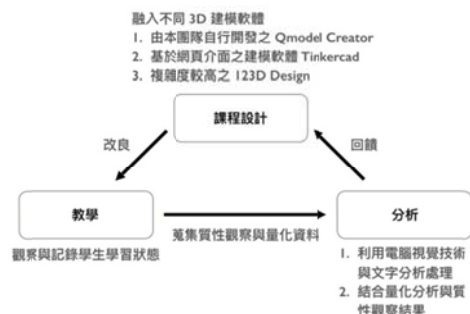
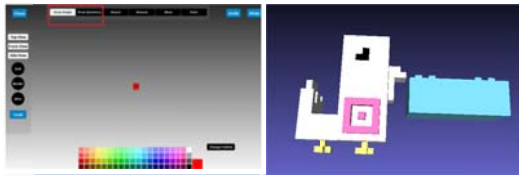


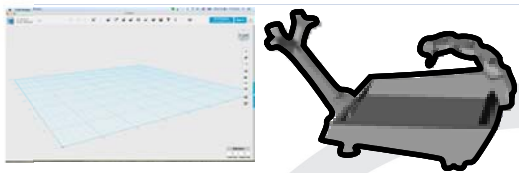
圖 5、研究架構



(a) Qmodel Creator



(b) Tinkercad



(c) 123D Design

圖 6-3D 建模軟體之操作介面與模型範例

在學生操作 3D 建模軟體的過程中，我們利用螢幕錄影 (Morae)、文字操作記錄 (Log) 及旁側觀察記錄學生的學習狀態。根據課堂上蒐集來的資料，我們去做量化及質性分析。並依據分析結果將學生學習狀態做分類，回饋給課程設計，這樣就可以針對學生學習狀況給予適性或補足的教學。以下分別為量化及質化分析作說明：

量化分析

在量化分析方面，我們首先對下資料進行前處理：

- 1) 電腦視覺技術處理螢幕錄影；
- 2) Qmodel Creator 所產生的操作記錄文字檔。

從以上的影像及文字記錄處理結果，我們可以獲得以下的五種評估量化指標，並因此可以在後續達到整合，用以衡量學生的學習狀態：

1. Effective Operating Period (EOP)：有效操作時間。由於我們在觀察中得知，在操作時間以外，學生們也許會想上網查資料，或者因其他原因而不操作。在此我們定義當動作靜止 5 秒以上，則後續不再計入有效操作時間。
2. Trial and Error Period (TEP)：試誤時間。我們由人為決定劃分出此一區間。文字記錄可以用關鍵字快速區分；螢幕錄影則可以先以區間劃分的技術，先切割出關鍵的操作時區，以減輕人為標記的負擔。
3. Implementation Period (IP) 實作時間。此指標和試誤時間的處理方式相同。
4. Mean and STD of Trial and Error Period Step：試誤時間每一步之平均值與標準差。
5. Mean and STD of Implementation Period Step：實作時間每一步之平均值與標準差。

差。

上述所定義之指標間有下述的關係：

$$EOP = TEP + IP + \Delta t$$

其中 Δt 為試誤期與實作期的切換誤差。

至於評估 3D 模型完成度的部分，我們請了五位充分瞭解 3D 建模的研究人員來鑑定。我們請這五位專家們，將模型分為以下三類：

1. 可以成功列印且外觀美麗
2. 可以成功列印但造型普通
3. 不可成功列印或是造型外觀差。

質性分析

在質性分析方面，我們從旁側觀察，記錄在軟體使用上他們常遇到的問題。如 Tinkercad 因為是網頁介面，每次都需要做登入的動作，而學童容易忘記自己的帳密；或匯入現有模型的按鍵設計不夠直覺，容易讓孩童感到疑惑，因此在操作過程中遭遇無法進行下去的困難。

面對面的訪談，我們傾向去探索孩童的學習環境、背景及態度。另外，我們也要求學童用藍色原子筆繪畫出一張有河流、樹跟房子的圖，如圖 7 所示，並請五位專家將手繪圖分為三類，給予 0~2 的評分。

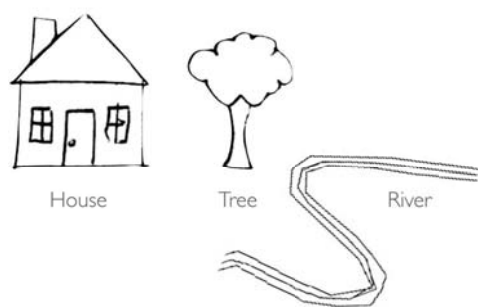


圖 7、手繪圖範例

由問卷結果、一對一面談、以及初略的 2D 美術能力測試，我們可以獲得此學生對於資訊、美感、美術等領域的知識與能力、及其背景資源等等側寫資料，使我們更瞭解這位學生能力與興趣的範圍，並可初步檢視一下這些不同向度的資料，是否有相互呼應的項目，或是其中存有矛盾之處。

在下一節，我們將結合量化與質化的分析結果，並就結果進行討論。

肆. 結果與討論

我們將 3D 建模軟體融入課程設計並且觀察使用者行為，以評估學生學習狀態。藉由結合量化與質性分析，我們可以找出影響學生學習效率與動機之主要因素，作為改進與修正課程設計之依據。

量化分析結果

根據使用者操作模式，我們可以將使用者大致分成以下四類：

Novice with Little Interest：試誤時間每一步平均值大，且實作時間每一步平均值大

Novice with Caution：試誤時間每一步平均值小，但實作時間每一步平均值大

Beginner：試誤時間每一步平均值大，但實作時間每一步平均值小

Advanced：試誤時間每一步平均值小，且實作時間每一步平均值小

表 1、編號 00142 學童的整合資料

Mean of TEP Steps #2<#1	True
Mean of IP Steps #2<#1	True
Model Evaluation Improved	True
Preferred Modeling Software	Qmodel Creator
Hand Drawing	2.00

以編號 00142 的學童為例(見表 1)，我們將其分類為 Advanced User，因第二次試誤時間每一步平均值為 1.002 秒比第一次 1.388 秒短，而第二次實作時間每一步平均值 1.032 秒比第一次 1.077 秒短。

圖 8 則展示此學童在兩次實作 Qmodel Creator 的作品。我們觀察到其模型評估的部分完成度及美觀度是有進步的；同時根據訪談內容，我們也可以看到此學童比較有興趣的軟體是 Qmodel Creator，在手繪的部分也是拿到滿分。另外我們利用雙尾 T-檢定做驗證(如表 2 所示)表示為顯著，結果顯示學童在試誤時間及實作時間的每一步平均值，第二次與第一次的比較確實有明顯加速。

表 2、編號 00142 學童在第一次與第二次操作速度的雙尾 T-檢定

TEP	
F-Test	5.86E-11
T-Test (2-tails)	0.0026
IP	
F-Test	0.0036
T-Test (2-tails)	0.013

First lesson (#1)

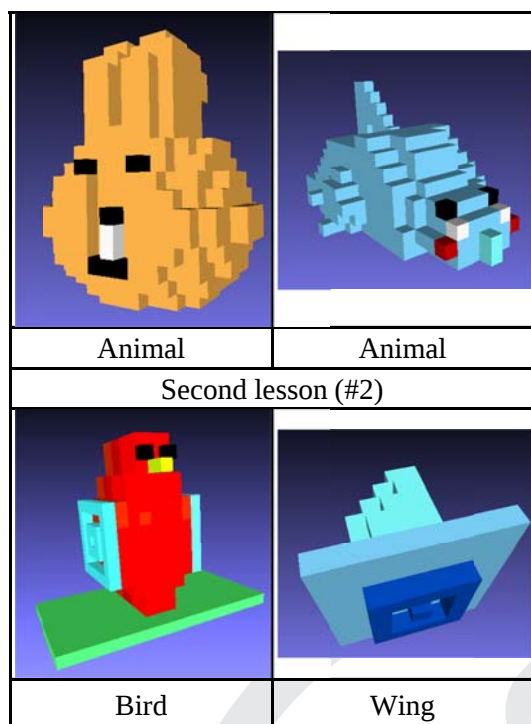


圖 8、編號 00142 學童的作品

而以 編號 00141 的學童為例，我們將其分類為 Novice with little interest。如表 3 及表 4 資料所示，雖然第二次實作時間每一步平均值為 1.227 秒比第一次 1.37 秒小，但是第二次試誤時間每一步平均值為 1.561 秒卻比第一次 1.326 大。我們深入去探究，發現這位學童在平均試誤時間值變慢，但同時整體試誤操作時間卻很短，我們可以推論他在試誤時間操作得很不專心，有一筆沒一筆地在操作，所以模型評估分數兩次皆不佳(如圖 9 所示)，而這個結果也跟訪談內容相符，顯示該學童對 Tinkercad 比較有興趣。

表 3、編號 00141 學童的整合資料

Mean of TEP Steps #2<#1	False
Mean of IP Steps #2<#1	True
Model Evaluation Improved	False
Preferred Modeling Software	Tinkercad
Hand Drawing	0

表 4、編號 00141 學童在第一次與第二次操作速度的雙尾 T-檢定

TEP	
F-Test	7.12E-01
T-Test (2-tails)	0.4975
IP	

F-Test	0.0126
T-Test (2-tails)	0.121

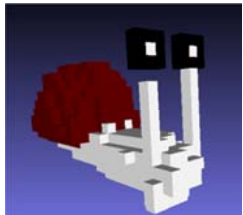
First lesson (#1)	
	
Animal	Animal
Second lesson (#2)	
	
Bird	Wing

圖 9、編號 00141 學童的作品

質性分析結果

不同的使用者在面對不同建模軟體時遇到的問題有所不同，但是我們大致上歸類出我們教授的三種建模軟體常遇到的問題，如表 5 所示。

表 5、使用 3D 建模軟體常見問題

Tinkercad	帳號登入問題 匯入模型之操作不夠直覺
123D Design	需要較高的硬體設備 對於小學生來講操作較繁瑣複雜
Qmodel Creator	清除畫面易誤觸 只能產生方形物件 不可匯入模型

在授課結束後，我們也詢問了學童關於建模軟體功能的問題：

1. 什麼樣的建模軟體功能是你認為一定要有的？
2. Tinkercad 具有什麼建模軟體功能？
3. Qmodel Creator 具有什麼建模軟體功能？

依圖 10 顯示，我們可以發現 Tinkercad 較滿足孩童心目中理想的建模功能，而 Qmodel Creator 可以藉由此表比較，在未來版本中加強較缺乏之功能，例如：缺乏匯入現有模型或基本幾何模型之功能。

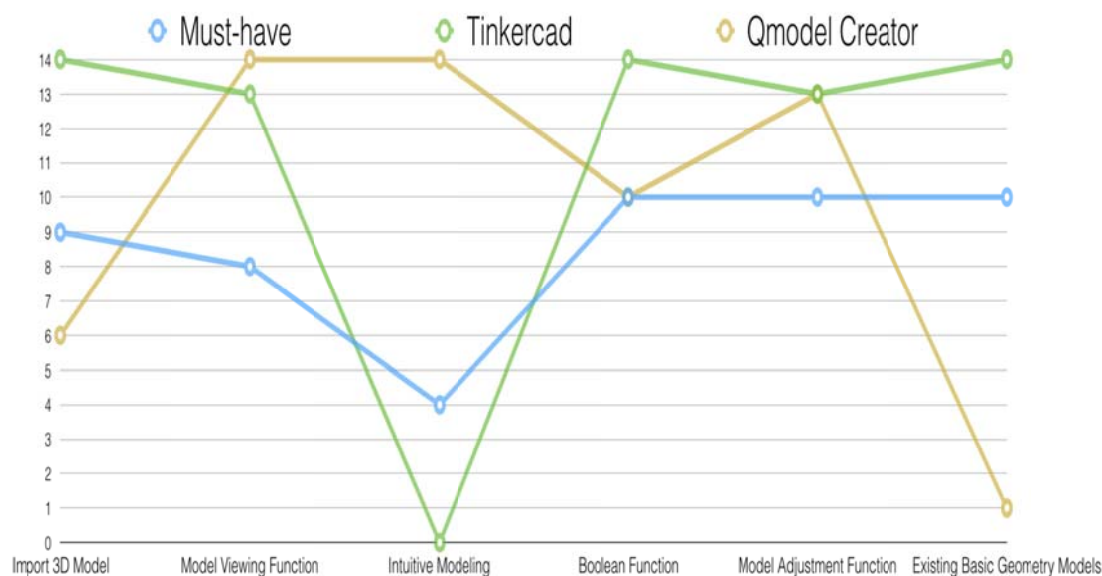


圖 10、建模軟體功能

圖 11 則顯示了學童在授課後較偏好的軟體，三種軟體我們都各教授了至少兩次課。目前有 9 位學童較偏好 Tinkercad，認為其具有易操作使用且功能齊全之特性；而 2 位學童較喜好 123D Design，認為其提供了較彈性的設計功能；剩下的四位小朋友則喜歡操作直覺的 Qmodel Creator，而且根據旁側觀察，這四位學童對於其喜好的軟體黏著性較強。

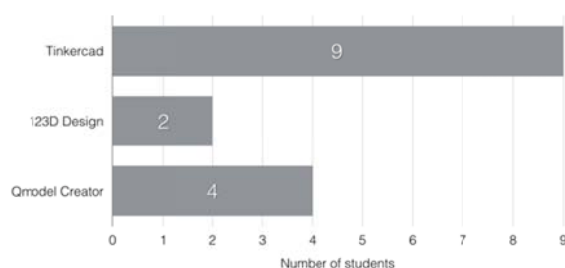


圖 11、偏好之建模軟體

在旁側觀察中，我們也發現以下幾點值得注意的現象：

使用平板上的 Qmodel Creator 讓學生比使用個人電腦上面的 Tinkercad 更專心。我們推測，也許是因為比較少有機會開啟 Facebook 等其他社群遊戲網站或閒聊。

在可以自由選擇自己喜歡的建模軟體情況下，挑選 Qmodel Creator 的小朋友比較傾向將方塊一塊塊疊起，也就是大量使用傳統式 3D 增加、刪除、及著色等功能；而傾向不使用直覺式繪圖功能。同樣的現象在我們先前的研究中 (Y. C. Wu et al., 2016) 也有觀察到，其中部分使用者在實作階段減少直覺式建模的操作比例。

第二次上課時，下載/匯入現有模型的次數有明顯下降的趨勢，部分學生在操作過程明顯順暢很多。

伍. 結論與未來展望

由於此實驗持續時間較長，我們可以藉此達到追蹤學生們的學習情況，並進行分析及回饋教案的過程。然而，我們也清楚，樣本侷限在國小六年級，且數量尚有不足。在未來，我們會納入更多研究對象，以達到研究數據的嚴謹性。

參考文獻

- Cesaretti, G., Dini, E., De Kestelier, X., Colla, V., & Pambaguian, L. (2014). Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. *Acta Astronautica*, 93, 430-450.
- Gonzalez-Gomez, J., Valero-Gomez, A., Prieto-Moreno, A., & Abderrahim, M. (2012). A new open source 3d-printable mobile robotic platform for education. In *Advances in autonomous mini robots* (pp. 49-62). Springer Berlin Heidelberg.
- Hu, C. C., Wei, T. H., Chen, Y. S., Wu, Y. C., & Chi, M. T. (2015, November). Intuitive 3D cubic style modeling system. In *SIGGRAPH Asia 2015*
- Irwin, J. L., Pearce, J. M., Anzalone, G., & Oppliger, D. E. (2014, June). The RepRap 3-D printer revolution in STEM education. In *121st ASEE Annual Conference & Exposition. Posters* (p. 27). ACM.
- Mahmoud, A., & Bennett, M. (2015). Introducing 3-dimensional printing of a human anatomic pathology specimen: potential benefits for undergraduate and postgraduate education and anatomic pathology practice. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 139(8), 1048-1051.
- Y. C. Wu., W. H. Liao., M. T. Chi., & T. Y. Li (2016). Analysis of 3D Modeling Software Usage Patterns for K-12 Student. Proceeding of MCCSIS 2016.

附錄一

訪談內容

編號	性別	幾歲開始使用電腦	喜歡電腦	喜歡的建模軟體	喜歡的教學方式	喜歡打電動	喜歡美術	繪畫天份(自評)
00139	男	5	Yes	Tinkercad	Topic	Yes	Yes	So-so
00140	女	8	So-So	Tinkercad	Topic	So-So	So-So	No
00141	男	6	Yes	Tinkercad	Free	Yes	No	No
00142	女	7	Yes	QModel	Free-Style	Yes	Yes	So-so
00143	男	4	Yes	QModel	Free-Style	Yes	No	No
00144	女	10	So-So	Tinkercad	Topic	No	So-So	So-so
00145	女	8	Yes	Tinkercad	Topic	No	Yes	So-so
00129	男	7	Yes	Tinkercad	Free-Style	Yes	Yes	So-so
00130	女	5	Yes	Tinkercad	Free-Style	So-So	Yes	Yes
00131	男	7	So-So	123D	Free-Style	So-So	Yes	No
00132	女	8	Yes	QModel	Free-Style	Yes	Yes	No
00133	男	6	Yes	123D	Free-Style	Yes	Yes	So-so
00134	女	7	Yes	Tinkercad	Topic	No	Yes	No
00135	男	8	Yes	QModel	Topic	So-So	So-So	No
00136	女	8	So-So	Tinkercad	Topic	No	Yes	So-so

