

# 元智大學資訊傳播學系

## 107學年畢業專題製作結案企畫書

作品名稱：INVERTED TINGE（澹）

指導老師：方文聘

組員：1041834 林佩瑩

1042008 邱聖揚

1042043 林佑澤

1042044 周宸宇

1042065 王易和

1043267 杜楚楚

# 目錄

---

一、專題簡介	P.2
-摘要	
-製作動機	
-專題演變	
二、技術說明	P.6
-摘要	
-模組化設計	
-水箱	
-淨水	
-顏料供應與混色	
-模組設計	
-控制與供電系統	
-軟體設計	
三、視覺設計與周邊商品	P.32
-LOGO設計	
-設計風格	
-展場設計	
-周邊商品	
四、粉絲專業經營	P.38
五、結論	P.39
-作品效果	
-成效檢討	
-結論	
六、附錄	P.42
-階段審查老師建議與改進	
-執行流程	
-時程規劃	
-工作分配	
-財務	

## 一、專題簡介

### —摘要

Inverted Tinge “澹” 是一結合資傳系的資訊/電子/設計專業、並以一個透過顏料與水為媒介的“顏料注射矩陣顯示屏”為主的展示藝術裝置計畫。透過我們自行設計、撰寫與製造的軟硬體機構，使用者能在類似小畫家的網頁APP上繪畫，並透過此裝置顯示出來。

“顏料注射矩陣顯示屏”所形成的圖形類似彩色水墨畫，鮮豔的顏料在水中從初始的清晰狀態慢慢地暈開，形成一股稍縱即逝的特別韻味。此裝置高約190公分，寬約150公分，整體外觀設計概念模仿一副嵌入白牆內的油畫。Inverted Tinge 是一個創新且成熟的產品，在展期四天期間，證實了它是一個高妥善率，並且能夠在不同的地方快速組裝並運行的裝置。

該畢製專題在松菸展出期間獲得高度的群眾吸引力，除了一般駐足欣賞的觀眾外，也引起不少業界專業人士的好奇與對談。本計畫的亮點包括：(1) 一個以強化玻璃與樺木自行設計與製造的水箱本體、(2) 模組化的顏料噴射機構設計、(3) 具備在短時間內快速混合不同顏色達上百個的顏料管路系統、(4) 自行開發的伺服馬達與控制系統、(5) 功能齊全的GUI偵錯與主控台、(6) 水循環淨水系統等…。

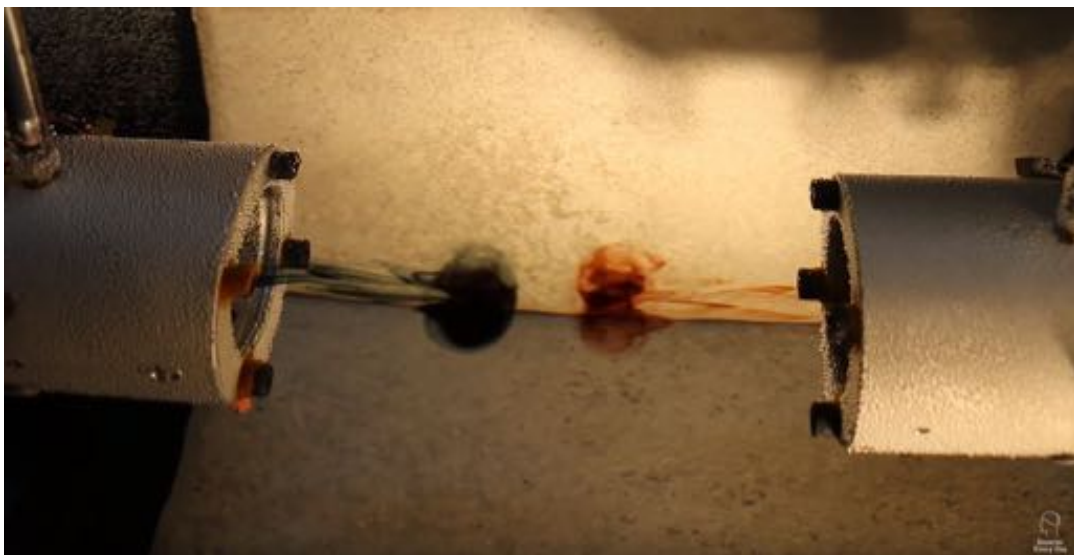
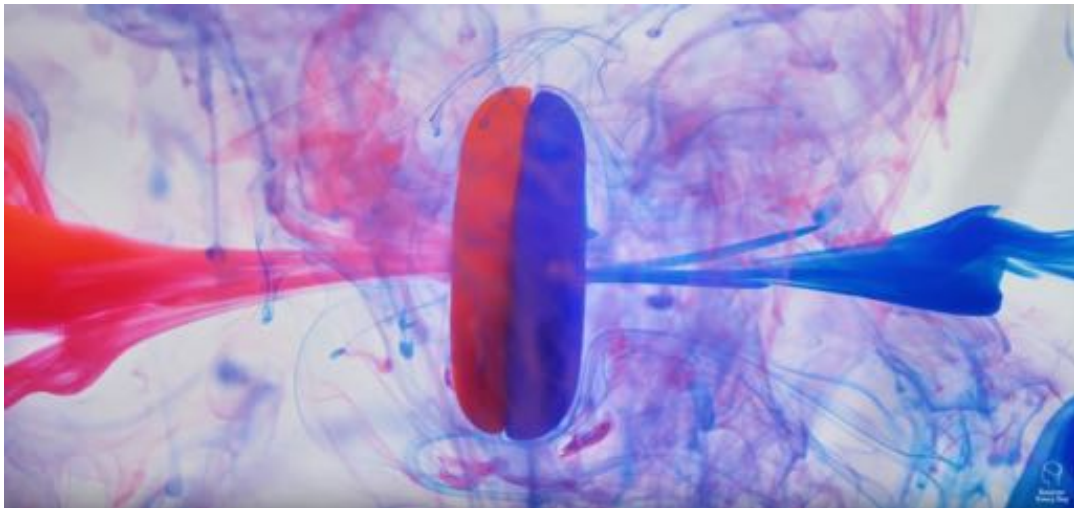
其他計畫緣由、開發歷程、技術細節與周邊產品等資訊，本計畫說明書將詳細說明。



## 一 製作動機

此裝置的靈感來自於Youtube上“Two vortex rings colliding”這部影片，這項實驗計畫在描述他們如何以電控氣缸在液體中射出環形渦流，其中他們加入顏料讓渦流的呈現更加清楚；當下我們認為這是一項既有美感又有技術含量的實驗裝置，能將資傳在設計組與科技組的專長做一個很好的結合。因此，我們以此實驗為出發點，重新發想了一個具有互動性質、設計美感以及專業技術的互動裝置。

我們希望這項裝置具有學術價值以及延續性，因此除了考量裝置本身的設計，成果的美感，我們將更加著重在此裝置的技術層面。



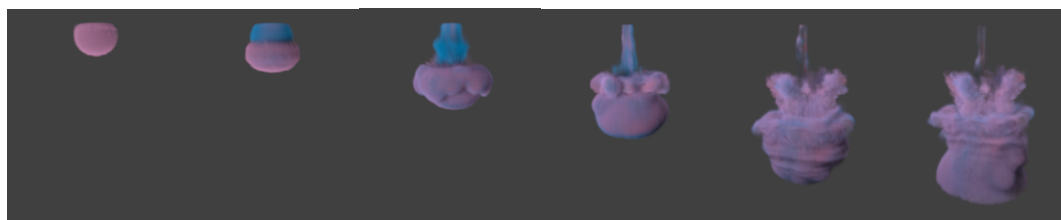
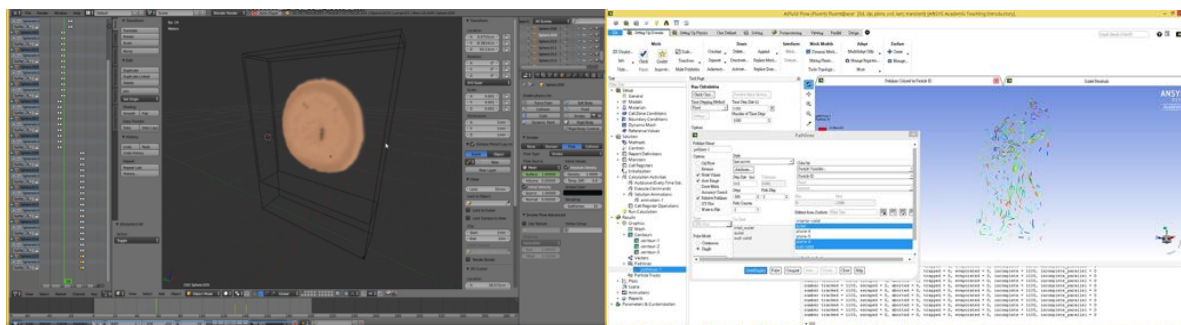
## —提案演變歷程與期待

本計劃原始提案希望在水中作畫成像（如，蒙娜麗莎），並且通過基因演算法或其他電腦演算法控制調整每個噴嘴顏料的量和顏色，甚至控制針筒噴射的時間和力道，使得水中所得成像和原始圖片的相似度盡可能最大化。因此，為了這個目的，在本計劃初期逕行了一系列的實驗和模擬。

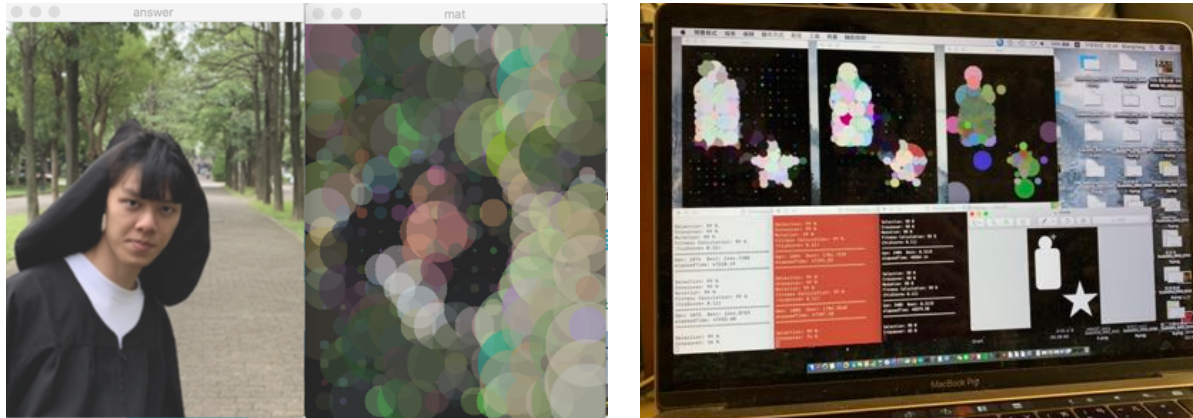
在模擬方面我們最開始的期待為利用軟體進行顏料在水中的模擬測試，期望能在硬體尚未成形前先找出各種可能性，在與導師討論過搜尋完基本資料後，我們一共利用了兩個軟體 ANSYS Fluent的CFD Simulation，本軟體最主要再進行流體力學的模擬以及分析，通常使用在自然對流、熱傳導、多項流、物理導熱..等各項分析與計算，其中多項流為我們主要希望觀察的目標，由於顏料在水中混合後的不確定性高，程式的設定也需要隨時更改，如建置容器的 geometry與mesh、material的viscosity確認、Boundary conditions的設定與最後呈現結果的 Animations results ...等，缺一不可。

另一軟體為Blender，一個開放原始碼的3D電腦圖形軟體，我們主要利用此軟體透過動畫的方式完整模擬顏料在水中的型態變化，Blender一項非常有名的tutorial就是Ink drop的 simulation，與我們的作品有異曲同工之妙，網路上可以看到非常多顏料在水中的模擬，選擇Blender還有許多原因，除了他擁有非常多樣化的動畫工具讓我們可以在軟體上模擬顏料噴射，還有最開始我們組期望利用程式控制顏料時，能有許多已經最佳化尋找出的參數可以讓我們控制，如顏料初速、顏料濃度以及噴射時間...等，Blender都能夠有效的提供我們與程式語言 python接合的API，模擬做起來相對會容易許多。

然而，在中後期不斷的嘗試後發現，不管Blender還是CFD的分析，在此項研究專案中並非扮演最有利且最有效的軟體工具，最後也礙於能力以及硬體設備，無法讓他們各自發揮最大效能與功用，因此在整個專案中成了助力不太大的實驗。



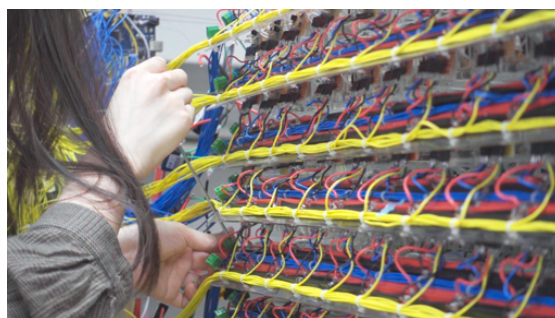
另外，最佳噴射參數尋找主要想透過基因演算法(GA)並透過OpenCV形成彩色圓形圖，大致模擬顏料在水中噴射出來的形狀，並尋找每個噴嘴所應該噴出的顏色與顏料量，來達到接近特定圖片的效果。GA使用Python撰寫，使用BLX-a Crossover與Tournament Selection方法，圖片相似性使用MSE (均方差) 比較。此外，我們亦嘗試過使用類神經網路搭配GA(Neural Evolution, NE)生成圖片至噴射參數轉換模型，但未成功。4/16日審查當天，王老師建議使用向量量化(Vector Quantization,VQ)方法，雖然不了解，但似乎可以達到更好的效果，需要更多研究。



遺憾的是，在多次實際實驗過程中，由於裝置部分零件的參數不可控（如，單向閥），導致顏色的偏差對於影像成像而言過高，因此本計畫中期目標從影像成像改為對於顏色準確度要求較低的“水中小畫家”主題。

## 二、技術說明

### —摘要



本計畫原始提案內容相對抽象與新穎，因此計畫中所使用的軟硬體系統，許多皆為自行設計、開發與製造，以滿足裝置效果需求。六位成員在計畫執行的八個月期間，自初期的發想階段，至最後的製造階段，投注許多心力與勞力，並在有限成本下尋找各個最佳的妥協方案。

以三行說明本裝置的基本運行原理：針筒連接著屬於不同顏色之管線，並透過馬達的控制吸入顏料、射入水中。這樣的針筒-馬達機構稱為“顏料噴射模組”，有144個，當他們同時噴射時，能在水中形成壯觀與獨特的視覺效果。

本裝置設計理念採用模組化設計，我們將單一針筒、馬達、電路與感測器等後援零組件整合至一個我們稱之為“顏料噴射模組”的單元，透過多個單元所組成的12\*12模組矩陣，能夠在水裡形成圖形。模組化設計的優點除了製造單純、複雜度降低外，更有助於減少維修難度；然而，模組在固定時的防水與水密性需要特別的考量與設計。

“顏料噴射模組”主體框架以壓克力板雷射切割製成，框架內包含一直流減速齒輪馬達，透過螺桿將圓周運動轉為線性運動。馬達軸上黏著磁鐵，透過霍爾感測器讀取磁力變化，達到馬達的伺服控制。此外，由電晶體、LED與相關電子電路零件被整合在一小電路板內，亦固定於模組框架上，並透過6-Pin腳連接。由於螺桿與相關零件精度問題，難以校正至無震動，因此馬達固定採用由彈簧與螺絲組成之減振固定法，降低框架承受應力避免損壞。模組內的針筒打上四個小孔並黏上軟管連接頭，方便顏料管線連接。

裝置主體為一個高約100公分、寬約70公分、深約20公分的水箱主體，容量約120公升。該水箱以實松木、強化玻璃製成，並施以防水處理；水箱背面為一經過CNC加工之背板，提供“顏料噴射模組”的固定鎖點。

每次在“顏料注射矩陣顯示屏”噴射圖形之前，水箱內需要盛裝乾淨的清水以達最佳的視覺效果。然而，不斷使用新的自來水不僅不環保，展場環境下也不見得容易取得水源，因此在計畫初期，我們即打算將水過濾循環利用。為此我們進行實驗，並發現使用市售濾心，並搭配凝絮劑如明礬、PAM，能達到出色的過濾與脫色效果。

為滿足使用者能在小畫家APP中自由的選擇筆刷顏色繪畫，並將圖形呈現於水箱中，本裝置的“顏料噴射模組”能自動化的調配顏色。相較常見RGB加色模型，我們使用CMY+W四元減色模型來進行顏料的調配，並透過公式計算在兩種模型間轉換。在設計顏料管路系統時，我們Survey了網路上許多關於“調色機”的作品，發現大部分調色機採用Pump使特定容量的顏色能夠被擠出並進行混合；然而對於我們來說，礙於成本與空間限制，無法為每個“顏料噴射模組”配置獨立Pump，且此作法成本效益不實際。因此，我們最終使用電磁閥+單向閥、並透

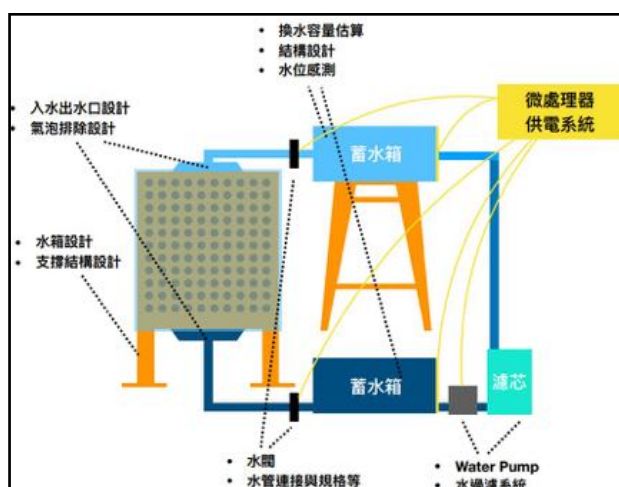
過針筒自身的負壓吸入顏料的“被動式”方式進行調色，此法雖降低顏色精準性，但是其優點為可以在短時間內（小於3分鐘）為所有144個“顏料噴射模組”填充好獨立顏色。

一般來說，馬達的控制包括一關鍵電子零件“H-Bridge”，他的功用在於改變電流方向，達到馬達正反轉功能。然而經過成本與需求的評估，本裝置中的所有144個馬達並無配置獨立H-橋，而是共用一個大功率H-橋。此舉能夠大幅降低成本，並在控制邏輯的配合下批此滿足正反轉需求，依然達到不錯之運行可行性。所有馬達的電源供應是並聯的，每個馬達透過一組背對背Mosfet達到General Switch功能（雙向電流控制）。這144個Switch透過3台Driver (Arduino Mega) 搭配Shift-Register來控制，而144個霍爾感測器電位資料則直接連入Arduino的GPIO。這三台Arduino Mega透過i2c通訊介面連接至一台Arduino Uno，這台Uno作為電腦與Driver之間的統籌/通訊單元，此外，這台Uno也控制用於顏料管路的4個電磁閥。該裝置運行12V與5V兩種電壓，系統有受到經過計算的短路與過載保護。

裝置的功能透過自行撰寫的主控台應用程式與馬達Driver搭配來實踐。此應用程式具備Web-Socket通訊機能，能夠與網頁APP進行連接；它亦有馬達位置設定與校正、故障馬達偵測與排除、顏色設定與比例校正等基本功能。除此之外，顏色填充過程的自動化控制也是由它實踐。該程式透過Python撰寫，使用PyQt函式庫達成GUI介面，並使用websocket\_server函式庫達到網路通訊機能、Python標準threading函式庫進行多工處理。

該裝置所有的硬體包含“顏料注射矩陣顯示屏”本體、電源供應器、蓄水箱、過濾系統與照明燈管(T5 LED/4000K)等被安裝於一寬、高約190、150公分之附輪子角鋼架，該角鋼架以白色水泥漆漆成之塑膠薄版包裝。

其餘技術內容請見次章節詳盡說明。

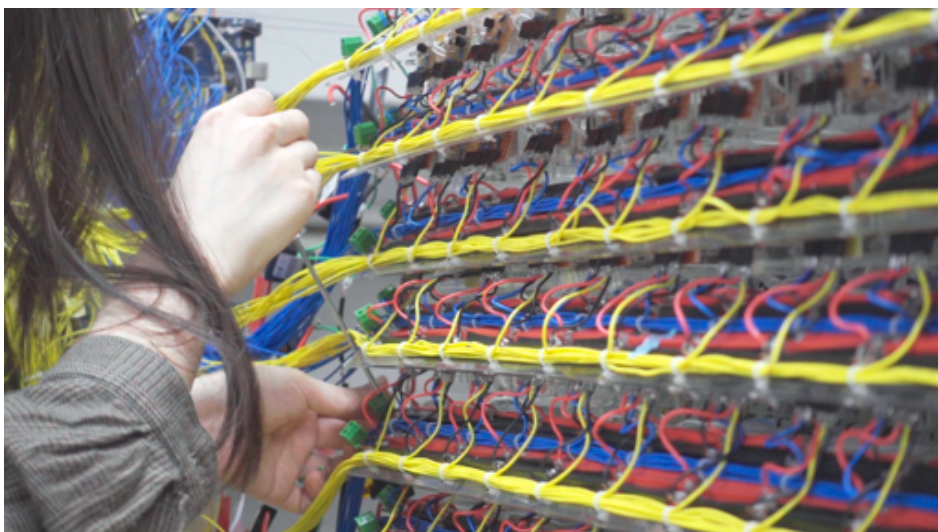




## — 模組化設計

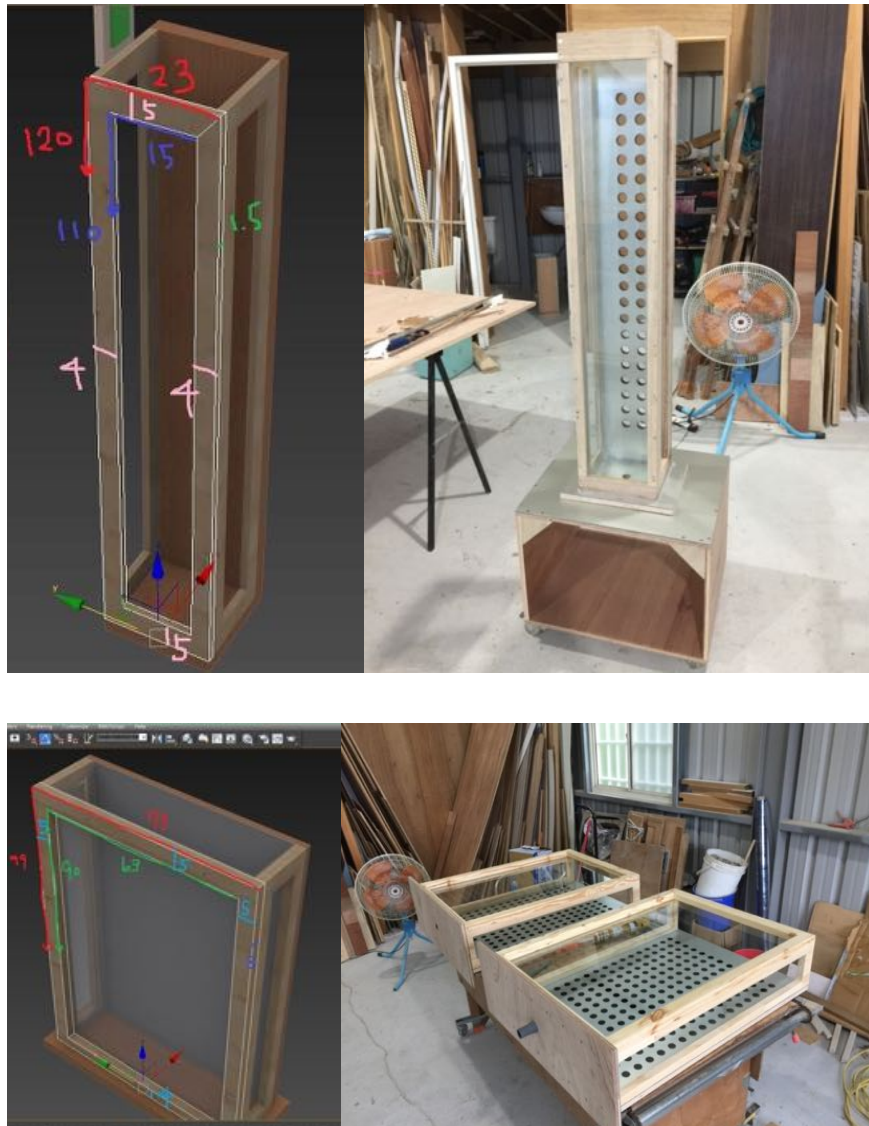
模組是指由數個基礎功能元件組成的特定功能組件，可用來組成具完整功能之系統、裝置或程式。模組通常都會具有相同的製程或邏輯，更改其組成元件可調適其功能或用途。因為我們的裝置由144個獨立的顏色調配系統組成，因此我們將我們吸取噴射顏料的機構模組化。不僅如此，我們還模組化了我們的部分電路，利用排針（座）讓替換更加方便快捷。總而言之，模組化的方式對於我們的裝置有三大好處：

1. 排列整齊美觀。
2. 容易進行流水線製造：因為每一個模組的組成都是一樣的，所以分工進行流水線製作也變得容易許多。因為成本問題，該裝置的所有模組以及其內部零件均為手工打造。流水線製造既讓每一個製造者的工作更簡單明瞭，也能讓不同製作線同時進行，大大縮短製造時間。
3. 降低維修難度：操作人員可以直觀明瞭的看到每一個模組的運作狀態，一旦發生錯誤可以即時停止裝置進行維修。在維修過程中，因為模組之間相互獨立，大大降低了拆裝的困難度，維修人員只需要把損壞的模組單獨拆下來再安裝新的備用模組，裝置即可重新使用。



## 一水箱製作

我們一共設計了兩款水箱，在第一代長形水箱的設計上，他的出現其實是為了因應我們當時的模組設計，由於模組設計的考量上考慮到了"壓力問題"，也就是水箱中最底層的水壓與最上層水壓的不同，可能導致模組噴射的差異，因此在決定製造最終水箱前，我們設計了長形實驗水箱，此次製作也可說替我們最終水箱打了基底。



水箱整體構造包含：

- 玻璃
  - 兩測普通玻璃、前測強化玻璃
- 骨架
  - 實木松木
- 內容物
  - 塑鋁板、爪丁螺帽、PU排水管
- 尺寸
  - 23\*18\*120、73\*23\*99

水箱製作面臨問題：

- 水箱背板上的960個洞
  - 由於水箱在背板部分需要安裝模組，因此在設計上不管AI平面設計或是3DsMAX建模過程，都必須先考量到模組與模組之間的距離，才能進一步安排背板上開洞的位置與大小。一個模組需要1個大洞及4個小洞，當時預計有 $12*16=192$ 個模組所以我們總共開了192個直徑為2.7公分的圓洞以及 $192*4=768$ 直徑4mm的小洞，也就是整整960個洞在我們的背板上，長形水箱製作上並沒有那麼多洞，因此我們將平面設計圖等比例印出，並在木板上做記號，最後手動進行鑽洞；但在正式水箱製作上由於必須絕對的精準且洞數過多，我們採用了業界常使用的CNC木作切割加工。



- 背板重複上鎖的螺絲
  - 在水箱的背板上每個模組將搭配4個小洞，這些小洞將用來作為模組上鎖螺絲的引洞，但在設計時考量到模組的可拆性，我們必須預防引洞重複上鎖導致擴大滑牙的慘劇，因此我們在背板裡頭手動打進了特殊螺帽"爪丁螺帽"，如此一來模組在背板上重複上鎖再多次，都不怕造成滑牙的情況發生。
- 水箱的整體組裝
  - 水箱整體包含了兩片3分側板、一片3分前版及6分背板，背板強度需較高所以較厚，側板設計為了方便於側邊觀察顏料變化，搭配普通3mm玻璃採開放式設計，前版則用5mm強化玻璃，木頭與玻璃之間利用Silicone黏合，各部位木頭與木頭除了利用木頭專用黏膠，所有接合處皆使用螺絲上鎖固定。另外整體水

箱組裝上最難的地方也就是由於水箱深度過深、寬度過淺，不論組裝順序如何最後都將遇到的問題是，可能底版或背板無法順利打到Silicone必定得犧牲一面可能無法順利上膠的情況下，我們認為底板所承受的水壓更大所以選擇犧牲背板，但同時也在背板組裝過程中利用PU膠會形成橡膠層的特性，多做了補強，這樣即使背板的Silicone無法上的完美也還是有一定的防水功能在，著實解決了不少問題。



#### ● 水箱的防水與隔水

- 水箱由於木頭材質非常怕水，因此在製作上除了最重要的防漏水外，還有水箱本身的木頭要做隔水處理，前側板由於有玻璃在內側完整覆蓋，基本上不擔心遇水，但背板由於要上模組的關係，不可能也用玻璃做內側防水，因此我們想到了本身防水且容易進行加工的另類板材，塑鋁板，與另一種常見的防水板材美耐板有相同特性，但更堅固及更多種類上的選擇。將塑鋁板與安裝好爪丁螺帽的背板做黏合後需再次將同樣的192個洞開在塑鋁板上，此時隔水雖然有了第一層防護，但背板上192個洞仍然會遇水，因此這邊我們利用了一種防水效果極強的PU防水膠，將他分次塗在192個洞內以及外部，重複3次左右後會在木板上形成一層類橡膠防水層，因此192個洞的斷層得以與水做接觸且不會滲進木板裡頭。



## 一淨水

為了使水可以重複利用，該裝置包含水循環系統，使得用過的水可以過濾再利用。這樣做既環保又可以省去不少人力。考慮到我們水中需要被過濾的物質幾乎都是水溶性廣告顏料，我們嘗試了以下四種淨水方法：

1.自製淨水器(脫脂棉+活性炭+細沙石+紗布)：起初沒有考慮到水溶性廣告顏料的微粒非常細小，只知道顏料能夠吸附在活性炭上，但是活性炭吸附過多顏料，脫色效果會大大降低，最後考慮到濾芯可以直接代替脫脂棉與紗布，因此排除這個方法。

優點：材料便宜，效果佳。

缺點：製作費時，過濾速度慢。

2.現成淨水器（pp棉濾芯+活性炭濾芯）：水溶性廣告顏料的微粒極小，容易直接通過濾芯，導致顏料無法直接過濾乾淨，必須重複過濾，才能將顏料水轉為清水。

優點：可直接購買，價格合理。

缺點：需要過濾很多次，費時。

3.明礬+現成淨水器（pp棉濾芯+活性炭濾芯）：考慮到水溶性廣告顏料的微粒非常小，極難被一般淨水器直接過濾，因此我們加入了明礬吸附溶於水中的廣告顏料，形成體積較大的物質，從而大大降低過濾難度。

優點：過濾速度快。

缺點：1.濾芯需要經常更換。

2.需要人工調配加入明礬。

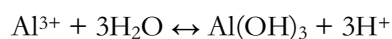
4.明礬+PAM+濾網：明礬為水處理凝結劑，PAM在水處理中作為常見的絮凝劑經常與明礬搭配使用。以上兩者搭配可以快速產生大體積沈澱物，我們則需取上層清水逕行簡單的濾網過濾就可以直接使用。

優點：不需要更換濾芯。

缺點：PAM的施加調配難操作，失敗率高。

綜上所述，為了使過濾時間保持在10分鐘之內，且需要保持整個淨水系統的穩定，我們採用了第三種濾水方式，即先在髒水中加入調配好的明礬水，再將其通過現成的淨水器進行過濾。接下來將會詳細介紹這一種過濾方法的原理和細節：

- 明礬的使用：水質處理中，明礬用作淨水劑。其原理為鋁離子 $Al^{3+}$ 在水中會水解生成氫氧化鋁膠體，吸附水中的懸浮微粒。反應式為：



為了使明礬在髒水裡可以均勻分佈，我們會在事先將明礬加入清水，調配成明礬水再均勻倒入髒水中。



● 淨水器的使用：pp棉+活性炭

pp棉：常用做各種家用淨水設備的一極過濾，對自來水進行預處理，濾除水中泥沙、懸浮物、膠體、有機物、雜質等。在整個濾水系統中負責抵擋住被明礬吸附的大分子顏料。

活性炭：活性炭對許多物質有很強的吸附，主要用於去除水中其他多餘的顏色。



在多次操作使用過程中我們也找到了我們的水循環系統未來需要改進的地方和前進的方向——自動化：

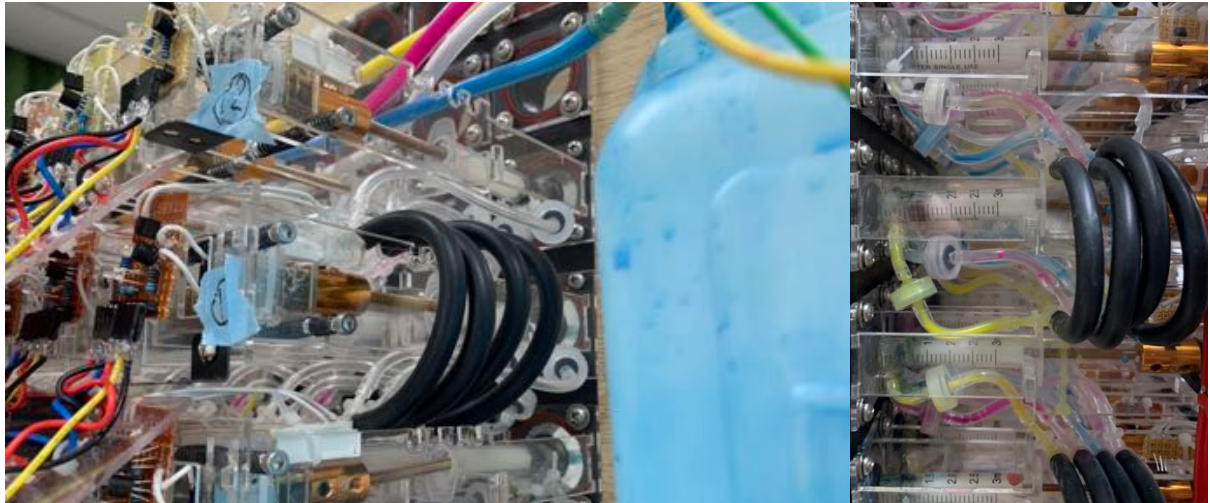
1.水箱內水位偵測，自動停止加水：在裝置水箱內側加入水位偵測器，當水位到達某一高度自動停止加水。這樣做可大大減少在裝置使用時因為要顧水位而需要的人力和因為水溢出而造成機械損壞的風險。

2.使用完畢，自動排水：將裝置的排水閥換成電磁閥等可以直接通過程式控制開關的水閥，真正把水循環自動化。

3.明礬添加的自動化：另外我們實際操作中發現，每一次使用完加入明礬也需要一定人力，為了將整個系統實現最大程度的自動化，我們希望在未來可以使得裝置在排水過程中自動加入明礬，這樣做不僅僅減少了人力，也可以使得整個淨水過程時間縮短。



## 一 顏料供應與混色



該裝置分別將不同比例的廣告顏料通過CMYW四組顏料供給管線吸入針筒內進行調色，而後混合好的顏料由針頭在水箱內噴出。次小節將詳細介紹顏料供應系統的設計（包括顏料供應管線設計和模組中顏料汲取方式）和混色的一些考量和算法：

- 顏料供給系統：系統大致由兩部分組成：顏料供應管線（包括顏料桶到模組前）和模組中針筒吸取噴射顏料的結構。
  - 顏料供應系統【管線】：系統一共有四個顏料桶，分別負責供應CMYW顏料。每個顏料桶都配有三個電磁閥，分別負責供應上中下三組的該顏料。
    - CMYW分批供給：用電磁閥作為顏料閥，其開關決定現在供應的是什麼顏色的顏料。當其中一個顏料閥開啟，剩餘其他顏料閥會關閉，當模組針筒的活塞開始回拉時，顏料閥打開的顏料管路內會產生負壓，這樣顏料桶內的顏料就能被成功吸到它應該要去的針筒內。
    - 防止顏料回流：在每個模組針筒上面的四個顏料管都配有一個單向閥，防止針筒內混好的顏料在噴射的時候被擠壓到顏料供應管道中，確保顏料供應管道顏料的純淨。
    - 管路中斷問題：由於整個系統需要產生負壓來吸取顏料，因此管路密閉性十分重要。為了風散管路中有漏洞的風險，系統採用上中下三組供應，供應系統分別獨立。
    - 顏料回滲污染問題：除了在模組的前端安裝了單向閥，系統的每一排管路的前端也安裝了單向閥，控制顏料回滲範圍。
  - 顏料供應系統【模組】：每個針筒的顏料都由針筒活塞在回拉的時候由分別四根顏料管（CMYW）進入針筒，在針筒活塞推的時候注射到水中。



- 推拉活塞方式：減速馬達正反轉螺桿（螺柱和馬達由聯軸器連接），活塞連接螺柱，藉由螺柱螺桿的結構，達到推拉效果。
- 針筒內活塞位置控制：在聯軸器上安裝上兩顆小磁鐵，通過霍爾感應器，得到螺桿轉動的圈數，從而控制活塞位置。
- 不同顏色的調配：用針筒回拉來決定該顏料用量，不同CMYW的比例能夠調配出不同顏色。

● 混色：

為了研究混色，本計劃製作了一台混色實驗prototype，驗證了“被動式吸取可行性”，相關效果請參閱以下圖片。

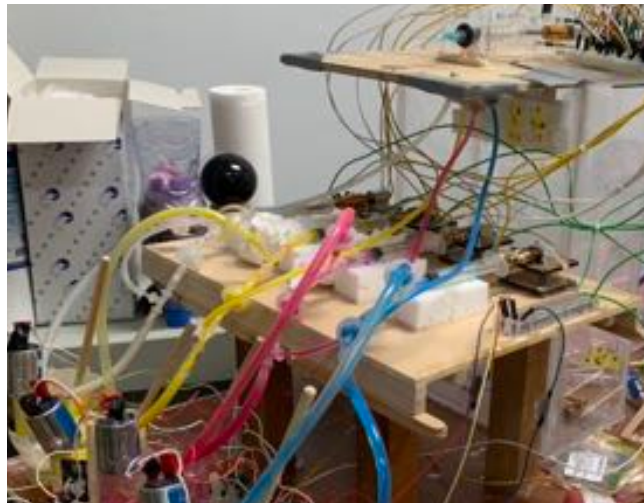
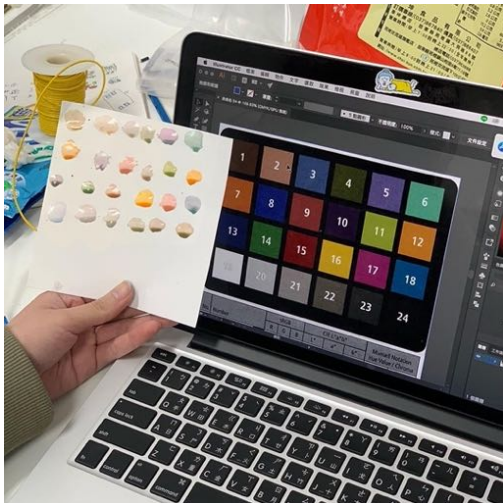
混色的部分我們採用CMYW的混色模式，因為K可以由CMY混合得到，再考慮到成本原因，所以我們未將K放在我們的顏料供給系統中。因為CMY並不能混出白色，所以我們增加W。

C：Cyan = 青色

M：Magenta = 洋紅色

Y：Yellow = 黃色

W：White = 白色



混色算法：

顏色模型簡介：

RGB：三原色光模式（RGB color model），又稱RGB顏色模型或紅綠藍顏色模型，是一種加色模型，將紅（Red）、綠（Green）、藍（Blue）三原色的色光以不同的比例相加，以產生多種多樣的色光。

CMYK：印刷四分色模式（CMYK）是彩色印刷時採用的一種套色模式，利用色料的三原色混色原理，加上黑色油墨，共計四種顏色混合疊加，形成所謂「全彩印刷」。

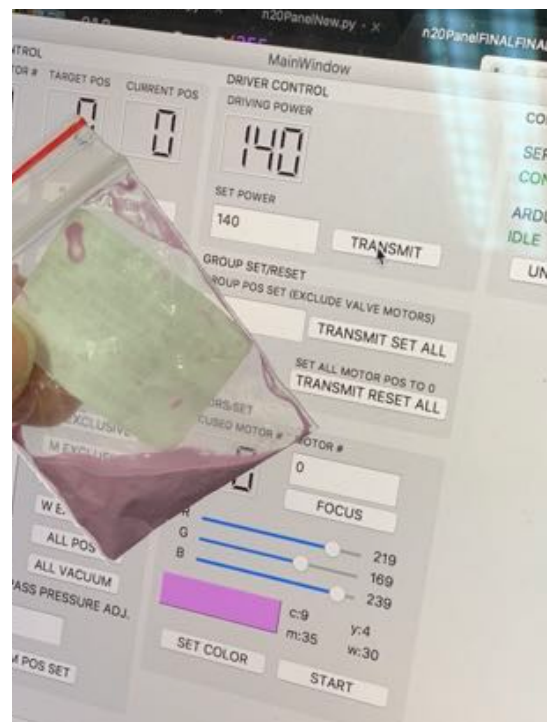
因為我們的電腦所用的都是RGB顏色模型，而該裝置所需要的是印刷常用的CMYK顏色模型，但是正如之前提到的，我們將K換成了W，所以我們調整了顏色模型轉換的算法，以下是我們RGB轉CMYW的算法：

$$[C', M', Y'] = [1 - R, 1 - G, 1 - B] \quad (1)$$

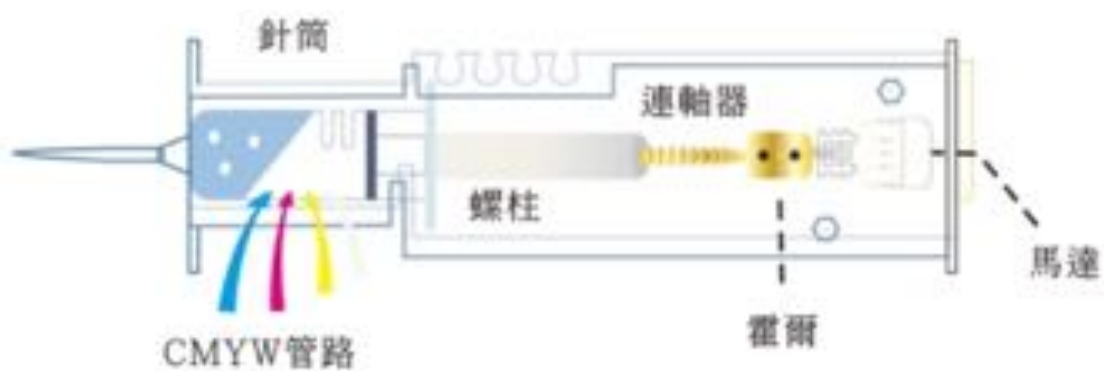
$$K = \min(C', M', Y') \quad (2)$$

$$W = \min(R, G, B) \quad (3)$$

$$[C, M, Y] = [C' + K, M' + K, Y' + K] \quad (4)$$



## 一 模組設計



為了增加裝置的實用性和耐用度，我們考慮到了模組在設計過程中需要注意的幾點：

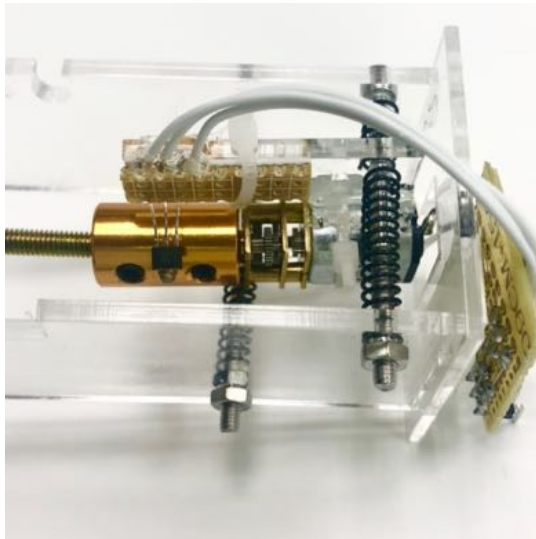
### 【實用性】

- 活塞推拉結構：參照蝸桿傳動原理，利用常見的螺桿和螺柱製作的簡易推拉傳動機構。如下圖所示，馬達和螺桿通過聯軸器連接。當馬達運作時，螺桿會和馬達一起轉動，通過螺柱和螺桿的連動結構，螺柱以及螺柱前端的活塞會前推或後拉。
- 馬達的伺服控制：因為裝置需要較為精確的控制每次吸入的顏料的量，所以裝置需要得到活塞位置的訊息。在這裡該裝置利用霍爾感應器取得馬達旋轉的圈數，經過電腦計算，從而得到活塞位置。
- 模組自行開發芯片的除錯訊號燈：在設計模組後端芯片時，考慮到運作過程中除錯的方便性，加入了兩顆LED除錯燈，可以直觀的看到馬達的通電情況以及霍爾的位置狀態。
- 一個模組本身有許多的壓克力零件，我們一次多人大量組裝模組，怕在組裝的時候發生組裝錯誤，所以在前、後的壓克力板與側面壓克力連接處的部分設有簡易的防呆設計，讓零件與零件之間在只有對的方向與對的零件才能夠組裝得起來可以降低出錯率。



### 【耐用度】

- 馬達震動對模組的影響：在實驗過程中，我們發現馬達運作時產生的震動對模組是具有破壞力的，因此我們參考車用避震器的結構設計了馬達的浮動固定底座。此外，在電路的部分，為了防止震動帶來的電路金屬疲勞，我們在電線的焊接處用熱融膠做簡易的電路保護。也在模組的中間增加了一個插槽，插槽可以插入類似U型的支撐架，他不但可以穩固整個模組中間區域的結構，也能夠用來支撐針筒，讓馬達在運作推動的時候不會劇烈的晃動導致針筒脫離或是移位。



- 模組的防水性：因為整個裝置與水息息相關，我們都知道水和電這樣的組合是十分危險的，因此做好防水措施十分重要。接下來我們將介紹模組的乾濕分離的三個細節：

1. 模組-水箱：我們將模組的前板用螺絲鎖在水箱背板上，中間夾入O-ring，利用O-ring的高性能彈性，有效隔離開水箱會漏出的水和模組。

2. 針筒-模組：和O-ring的性能相似，我們利用橡膠圈隔離水箱的水和針筒。

3. 顏料管-電子零件：我們在模組的側板上有設計供顏料管擺放位置的卡槽，卡槽位置位於沒有電流通過的螺桿的上方。這樣限制了顏料管的分佈區域，讓“漏水”變得可控。另外，也設計了卡槽與後方馬達的高低差，顏料若是漏水也不會流到後方馬達與電路板的區域，會直接在高度差的地方被攔截下來。



## 一控制與供電系統

### • 供電/保護系統：

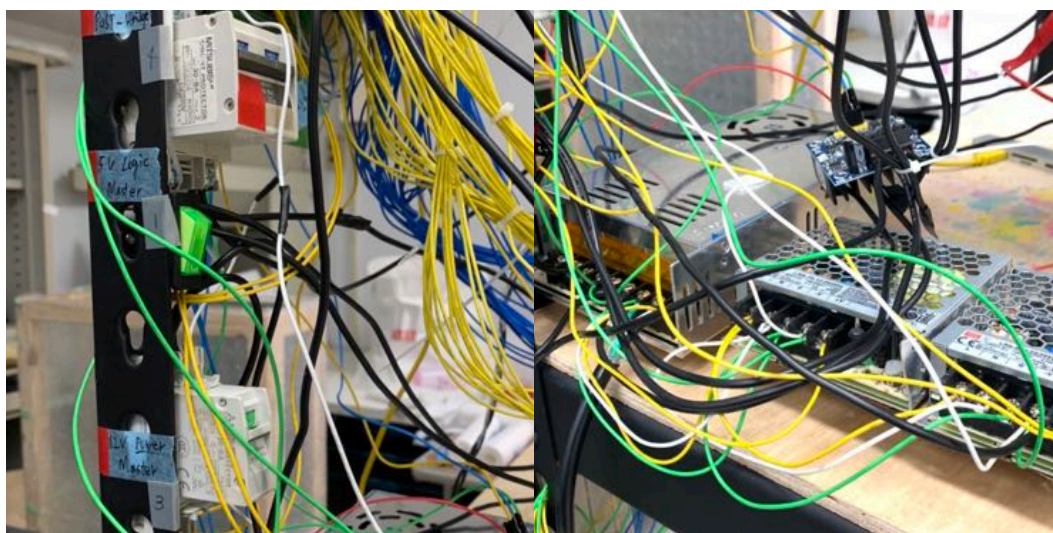
該裝置運行12V與5V兩種電壓，主要有三個迴路：12V馬達迴路、12V Arduino Mega供電迴路、5V邏輯迴路。

12V裝置用電需求主要在於144個減速齒輪馬達(型號: N20/150RPM/12V)，單個用電最高約250mA，總共為36A，與電磁閥單個用電量約為500mA，總共4個約為2A，因此12V用電量估計不超過40A。5V系統主要為霍爾感測器(型號: Honeywell SS41-F，採用open-collector sinking output)，最高輸出為20mA，總共為2.88A，而LED耗電量約為5mA，總計0.72A，因此估計5V用電量不超過4A。

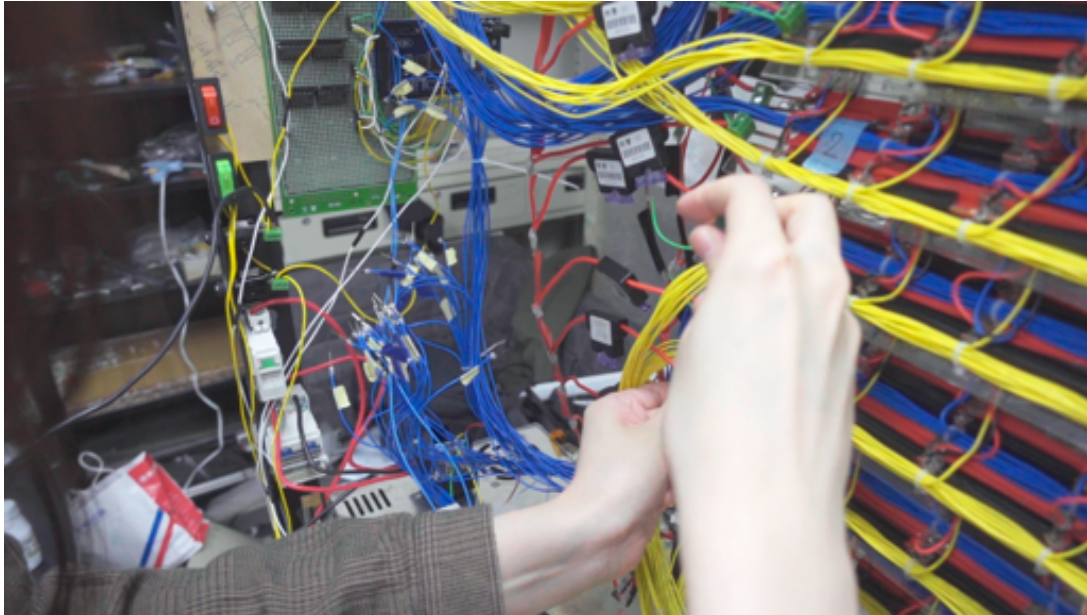


我們使用三台電源供應器，型號分別是J6AA29 (50A/12V)、LRS-75-12(6A/12V)、LRS-35-5(7A/5V)。系統採用的保護措施包括三個Master MCB(Molded case Circuit Breaker)，型號分別為Mitsubishi CP-30BA/30A/1P/M、KUOYUH 98 Series/3A、KUOYUH 98 Series/6A，對應到三台電源供應器。H-橋迴路另外配置一個Mitsubishi CP-30BA/30A/2P/M因應雙向電流。

MCB的挑選其實並非觀察額定電流數，還需視種類與跳脫速度決定。以上2個Mitsubishi的MCB是全電磁式，對於短路跳脫性能比較優秀。而KUOYUH 98 Series是熱動式跳脫，對於短路跳脫則不一定能充分保護。然而相對一般家用交流配電，我們使用的直流電源供應器本身皆帶有一定程度短路保護，加上受物理限制，電源供應器並不能給出超過額定電流量，因此本裝置比較著重於過載保護。



除了總電源保護外，我們亦針對個別區域進行保護。我們以排為單位，為他們配置常見的汽車插片式保險絲，12V與5V皆為3A。對12V(馬達)系統而言，3A的數值能同時起到過載與保護的效用( $0.25 \times 12 = 3$ )；然而，礙於普遍插片式保險絲的電流數值，基於採購方便我們也為5V(邏輯)配置3A數值，此數值僅能為它提供短路保護，對於過載而言，因為3A相較其正常用電量高出許多，則無法進行保護。經評估我們認為過載發生於5V機率不大，因此沒有著重於填補這塊空缺。



## 一馬達控制：

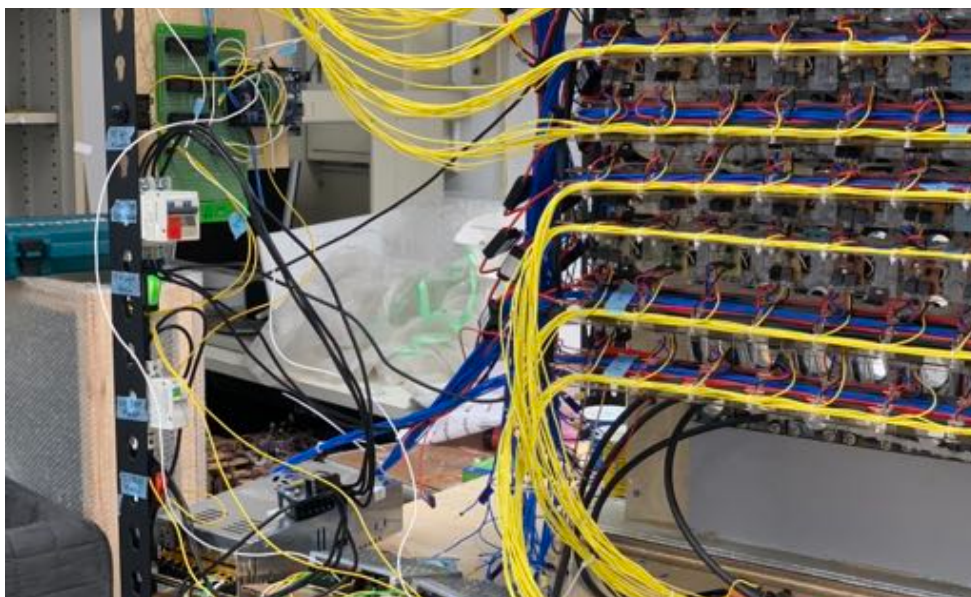
計畫曾考慮使用多種顏料推進動力系統，包括迷你伺服馬達、線性伺服馬達、步進馬達與氣壓缸。然而最終我們購買現成的直流減速齒輪馬達，並自行設計伺服系統。

使用現成迷你伺服馬達(如SG90/MG996等)在相關藝術裝置領域中是常見首選，然而我們沒有採用，原因在於它們僅能提供180度的旋轉範圍，且倘若我們使用連桿系統推進針筒，恐無法提供足夠扭力/行程，機構耐用性也有疑慮；線性伺服馬達在性能與功能上是我們最佳的選擇，然而其單價過高，是不可行的方案；步進馬達在扭力/轉速/體積需求上沒有能夠滿足我們的產品；DIY氣壓缸搭配線性電組滑桿是我們一度採用的方案，然而在我們正式Survey相關零組件時，發現大部分產品都是工業用的高壓系統，對於我們想以針筒與軟管作為汽缸的想法破滅。

我們採用的減速齒輪馬達(型號: N20/150RPM/12V)，它提供相當高的扭力。我們在馬達軸上黏貼了兩個異極磁鐵，以對應Bi-Polar霍爾感測器(Honeywell SS41F)，如此一來精度是半圈，換算成直線運動的針筒容量約是0.0275ml。使用Bi-Polar霍爾感測器而非Uni-Polar的原因在於，我們可以避免馬達方向轉換時所造成的圈數誤差。用於控制馬達的電晶體是一組背對背的Mosfet，以對應雙向電流的控制。BS170是我們所選擇的Mosfet，它是一個爺字輩的Mosfet，相較現代晶片的優異性能，BS170在許多參數上均不出色，如RDS = 5.0。然而在成本/額定電流考量下，加上本裝置並非一個Consumption-Critical的情況下，我們認為它是最好的選擇。

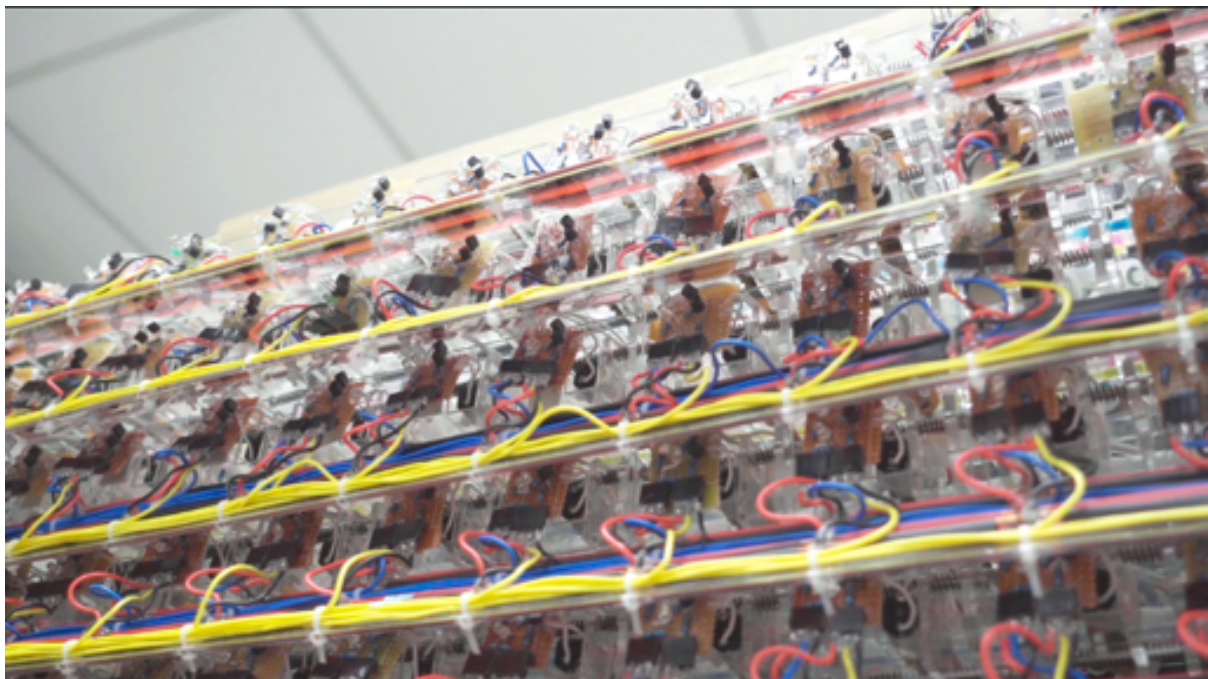
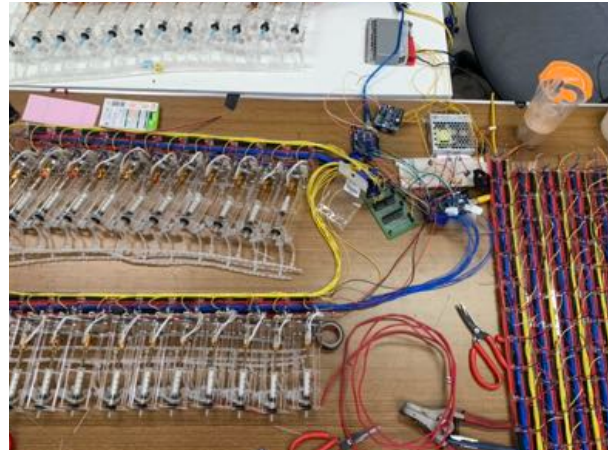
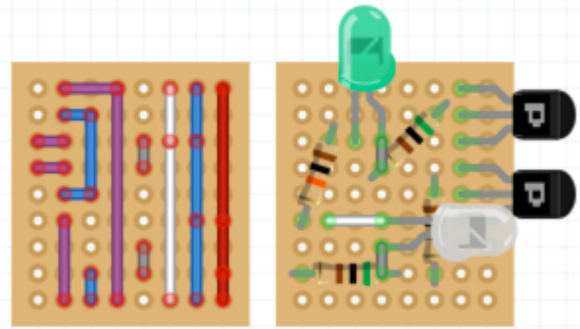
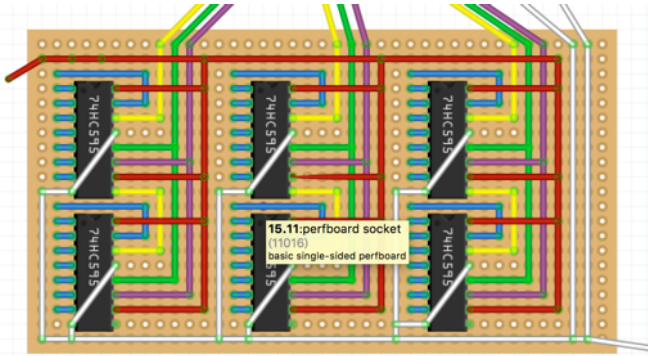
一台Driver (Arduino Mega)負責48個馬達的控制，它以80HZ的refreshing rate透過GPIO讀取霍爾感測器電位，並透過三組2個Daisy-Chain的74HC595位移暫存器輸出電壓控制電晶體。Driver讀取霍爾感測器就如同計步器一般，累算現在馬達的相對圈數位置，並透過比較馬達目標圈數與實際圈數達到伺服控制。

Master H-Bridge如何決定該送什麼方向的電流？作為統籌與通訊單元的Arduino Uno首先會以10HZ的refreshing rate調查三台Driver的正反轉需求，並且當電流方向改變時，會事先告知所有Driver，而Driver再依照各個馬達目標圈數與實際圈數的比較，調整個別電晶體的啓閉。Driver並沒有進行PID或類似控制，由於經評估馬達機構存在一定阻力與恆定負載，實驗發現只有在最高電壓(12V)情況下，才會可能發生約半圈的over-shooting(相當於0.0275ml)，且本應用不需轉速控制，因此在運算/系統複雜成本也能同時降低下，採用這樣的方案。對於over-shooting所造成的潛在oscillation，我們的解決方案為每當H-Bridge改變其電流方向時，前250ms會先稍降低其輸出電壓，將修正over-shooting的現象控制在一次為限。





電路板的設計我們使用Fritzing，下左圖是搭配單個Driver的位移暫存器板；右圖是配置在每個模組上的電路板，此電路板容納一組背對背Mosfet、兩個LED狀態顯示燈(霍爾/Mosfet)、與用於霍爾open-collector的pull-up與LED限流電阻。它有6-pin聯外，這包括12V正/負、5V正/Ground與霍爾/Mosfet訊號。原先計劃將此電路板送PCB印刷廠製造，然而礙於時程規劃關係，最後成員們耗費大量勞力手工鉗製約200個此模組，成員們的鉗接技巧大大提升。



電腦與統籌/通訊單元Arduino Uno之間以UART介面通訊，Arduino Uno與三台Driver之間透過i2c介面通訊。相關的自定義通訊格式請見軟體章節。電機電子領域對於資傳系的成員來說，實在並非強項，礙於時間，相信知識與實務上無法充分了解與吸收，我們相當歡迎老師/本科生與業界專業人士不吝賜教。

## 一軟體設計

馬達Driver所負責僅為馬達的伺服控制，而其他自動化功能如顏料混合填充、電磁閥控制與網頁APP連線等所需功能，要透過另一支應用程式達成。本計畫一共有四支程式，分別為馬達Driver、統籌/通訊單元(Unio)、電腦主控台與網頁APP，他們之間的自定義通訊格式與對應功能說明如下：

電腦主控台對統籌/通訊單元 (UART)：

<PXXXYY>：

設定馬達目標位置。XXX、YY為欲設定之三位數馬達編號與二位數目標位置。

<MXXXYY>：

馬達實際位置之覆寫，用於個別馬達校正。XXX、YY為欲設定之三位數馬達編號與二位數複寫位置。

<DDDXXX>：

H-Bridge輸出電壓設定。XXX為欲設定之電壓值(0-255)。

<VVVVVXY>：

電磁閥on/off設定。X、Y為on/off(1/0)與個位數電磁閥編號。

<ONNXXX>：

取消馬達排除，用於取消標記故障馬達。XXX為欲取消排除之三位數馬達編號。

<OFFXXX>：

排除馬達(使馬達被忽略)，用於標記故障馬達，避免Driver無限等待該馬達到達目標位置。XXX為欲排除之三位數馬達編號。

<CAAAAA>：

校正模式，此模式下H-bridge將送出最高電壓，並暫停Driver讀取馬達圈數，且所有馬達之電晶體會被開啟，此模式用於將所有馬達移至最前端相同空轉位置。

<ACCCC>：

停止校正模式，恢復Driver讀取馬達圈數。

<RPPXXX>：

要求取得特定編號之馬達實際位置。XXX為三位數馬達編號。

統籌/通訊單元將回傳<PXXXYY>。XXX、YY為三位數馬達編號與兩位數馬達實際位置。

<OKXXXX>：

要求取得閒置狀態。

倘若所有馬達實際位置皆位於目標位置，統籌/通訊單元將回傳<IDLEEE>。

### 統籌/通訊單元對Driver (i2c) :

註：三位數馬達編號(0-144)將變為二位數編號(0-48)，由於144個馬達分散由三台Driver控制。統籌/通訊單元自動地將資訊傳送到三台Driver中負責對應的那台。

<TXXYY> :

設定馬達目標位置。XX、YY為欲設定之二位數馬達編號與二位數目標位置。

<MXXYY> :

馬達實際位置之覆寫，用於個別馬達校正。XX、YY為欲設定之二位數馬達編號與二位數複寫位置。

<ONXX> :

取消馬達排除(使馬達可操控)，用於取箱標記故障馬達。XX為欲取消排除之二位數馬達編號。

<OFXX> :

排除馬達(使馬達被忽略)，用於標記故障馬達，避免系統無限等待該馬達到達目標位置。XX為欲排除之二位數馬達編號。

<CAXX> :

校正模式，此模式下H-bridge將送出最高電壓，並暫停Driver讀取馬達圈數，且所有馬達之電晶體會被開啟，此模式用於將所有馬達移至最前端相同空轉位置。

<ACXX> :

停止校正模式，恢復該Driver讀取馬達圈數。

<RPXX> :

要求取得該Driver特定編號之馬達實際位置。XX為二位數馬達編號。

Driver將回傳<PXXYY>。XX、YY為二位數馬達編號與二位數馬達實際位置。

<ANY> :

要求取得該Driver正反轉需求。

該Driver將回傳<XY>。X、Y為正轉與反轉，1表示仍有需求，0表示無需求。

舉例：<10> 表示該Driver有馬達實際位置小於目標位置，有正轉需求；該Driver沒有馬達實際位置大於目標位置，沒有反轉需求。<00> 表示該Driver沒有正/反轉需求，所有馬達皆在目標位置。

<DX> :

告知Driver當下H-Bridge電流方向。X為0或1。

網頁APP對電腦主控台 (Web-Socket) :

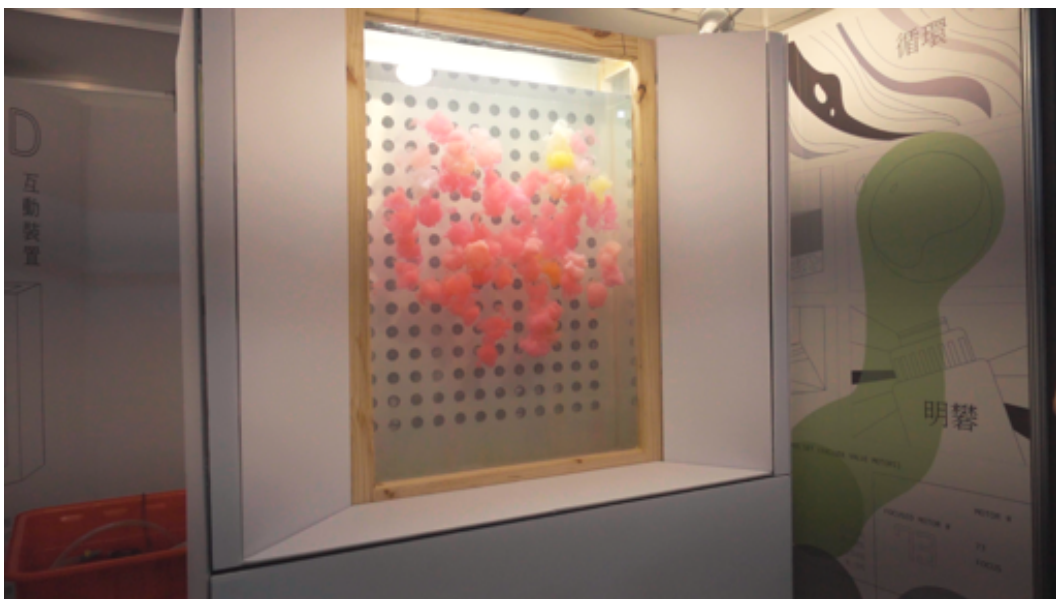
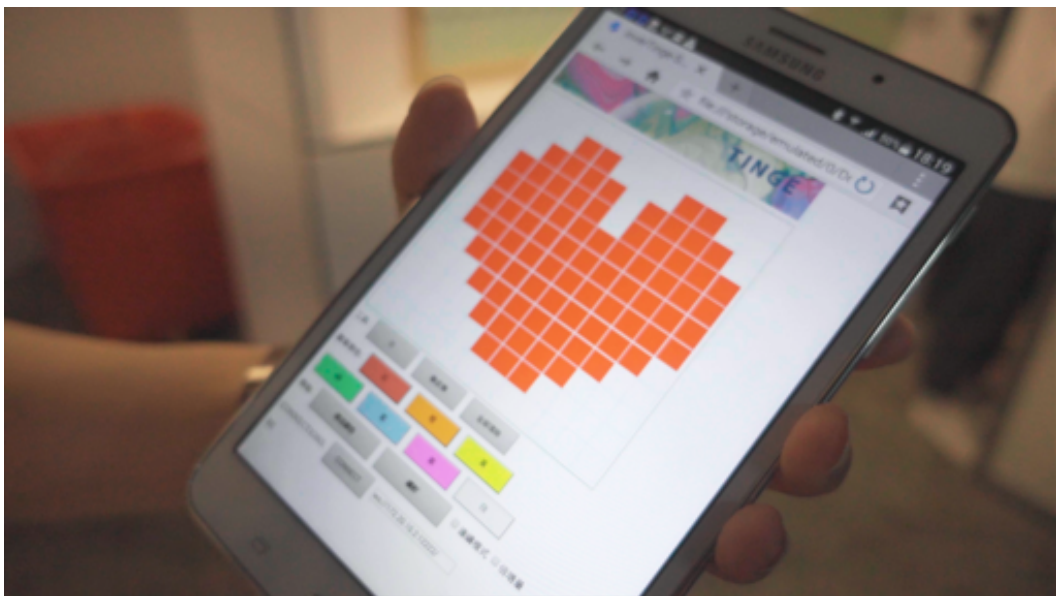
<XXXXXX.....> :

設定馬達目標位置，用於將顏料噴射出去。此字串長度144，位置分別對應到144個馬達。X的值可以是1和2，1代表設定目標位置為40(僅噴射半管針筒)，2代表設定目標位置為0(整管)。

<CO(string),(string),(string),(string).....> :

設定顏色，關鍵詞CO。該字串由逗點分割成144區塊，對應到144個馬達編號。區塊內是由英文所撰寫的顏色名字，如：BLUE, PURPLE...。

註：網頁APP原先欲提拱調色盤予使用者自由配色，然而考量展場時程規劃與使用難易度，僅提供幾個固定顏色給使用者選擇。

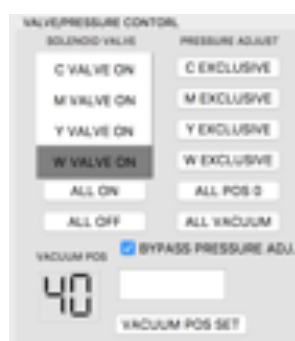


上述定義之通訊格式建構完整的系統功能基礎。四支程式中，Driver與統籌/通訊單元使用C語言於Arduino IDE撰寫，使用標準<Wire.h>函式庫進行i2c通訊。電腦主控台程式以Python撰寫，使用PyQt函式庫達成GUI介面、標準Serial函式庫進行UART通訊，並使用websocket\_server函式庫達到網路通訊機能、Python標準threading函式庫進行多工處理。網頁APP使用Javascript轉寫並運行於瀏覽器，該APP是本機檔案，預先載入至手機當中。網頁APP使用標準DOM Event “touchmove” 偵測手指觸控，並獲取手指於螢幕上的座標位置。

本裝置功能核心主要以電腦主控台實踐，以下將著重於該應用程式之功能與亮點：



馬達位置設定與校正：該區顯示目前關注馬達之目標位置與實際位置，並且能傳送新的目標位置。OFFSET按鈕提供以一個解析度為單位的微調校正，LiveTrack功能提供即時持續的位置監測。



電磁閥控制與壓力平衡調整：該區顯示目前開啟之電磁閥，並配有用於機器初始設定與針筒清潔所需之全開與全關選項。此區亦具備調整管線壓力之設定，能夠提升個別管線的負壓，以提升顏色精準度。（註：由於時間與功能成熟度因素，壓力平衡功能並未搭載與實際展場裝置）



H橋動力設定：此區能傳送H橋動力數值。



群組設定/歸零：此區能一次設定所有馬達至特定位置，常用於開關機時。



顏色設定與填充：該區能夠設定特定模組的欲調配顏色，並且依照顏色校正比例計算正確的CMY+W值，顏料自動化填充的開始/暫停也是從此下達。



通訊/狀態顯示欄：此處即時顯示跟統籌/通訊單元之間的連接狀態、Driver閒置狀態與電腦所在之IP位置。此外，介面將在Driver忙碌時暫時鎖定，Unlock Protect按鈕解除介面鎖定，讓操作者有完全的控制自由。（註：原先擔心Driver在運行時，同時進行通訊將影響程式伺服控制，然而後來發現i2c介面在標準模式下通訊速度頗高快，不易造成Block情形，因此後續介面鎖定功能預設關閉）



顏色校正區：此區可以調整CMY顏色之間預設比例。

手動輸入區：此區能手動輸入指令。校正模式是在這裡下達。



馬達除錯/排除/關注區：該區能夠一覽所有馬達的實際位置與設定之顏色，提供方便快速的異常馬達尋找與使用者所繪之圖形顯示。倘若發現有故障馬達的情形，能快速將其標記起來，告知Driver忽略此一馬達以避免它持續等待。Focus按鈕在按下時，馬達位置設定/校正區與顏色設定/填充區會將關注編號自動設定為該編號，能快速地進一步設定與檢查。Focus按鈕顏色表達該馬達的狀態：紅色為馬達位置尚未正確、綠色為馬達位置正確、黃色為該馬達位置尚未正確但以被標記忽略。排除標記資訊會即時地儲存成.npy檔，程式重新啟動時自動載入。

使用者在網頁APP繪畫完成後，由工作人員啟動顏料自動化填充程序，填充程序完成後，使用者即可按下神聖的“噴射”按鈕，享受他的畫作於水中成像。



### 三、視覺設計

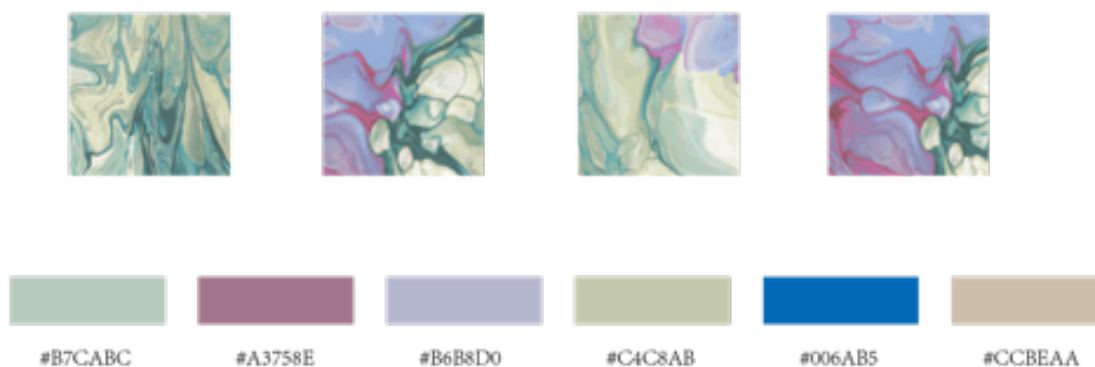
---

#### —LOGO設計



以代表水元素的水滴加上顏色的流動為概念結合而成的LOGO設計

#### —設計風格



以扁平化大面積的鋪色為主，作為設計的主要底紋，多個顏色的碰撞在水中交匯融合，順著水流曲折蜿蜒，形成無需人工合成的自然美麗圖案，再以簡單的字型設計為輔，達到強烈色彩衝擊的視覺效果。

## 一 展場設計



中間放置互動裝置，輸出六塊展板在左右兩側，插座位於裝置後方。



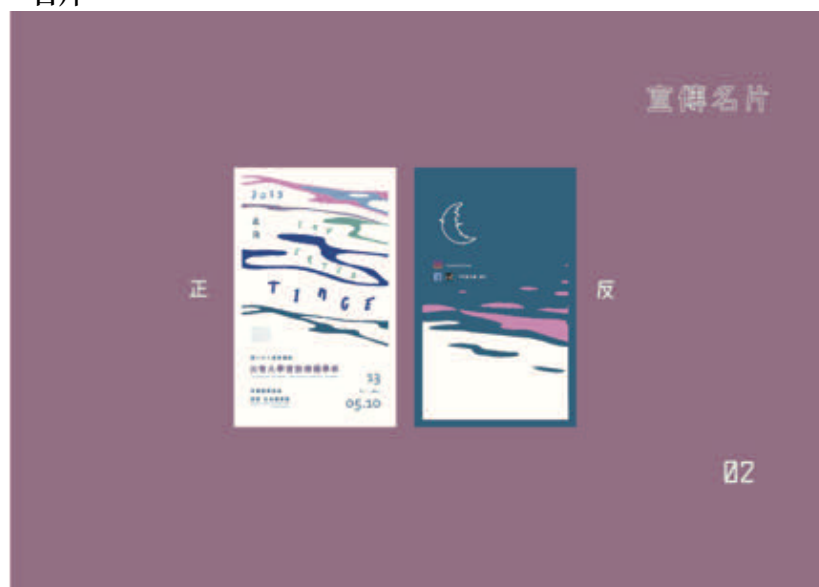


## 一周邊

### 1.宣傳海報



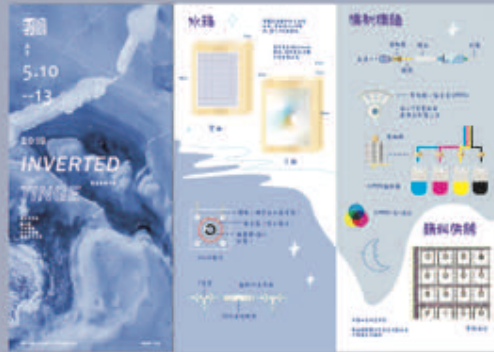
### 2.名片



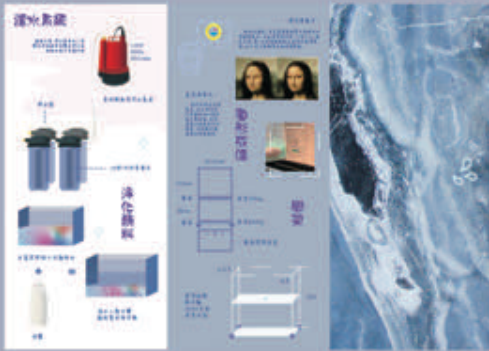
### 3.DM手冊

## DM 準備

03



## DM 準備



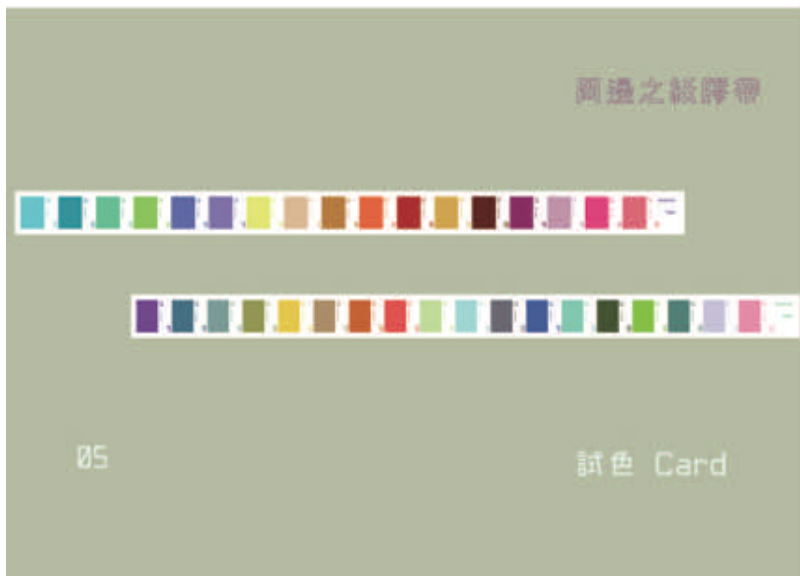
## 4.明信片

### 獨透之明信片

04



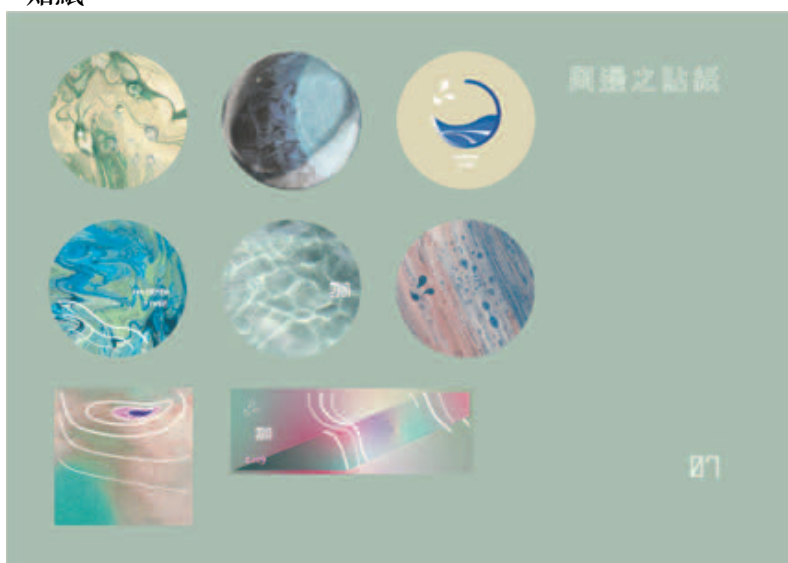
## 5.紙膠帶



### 6.鑰匙圈



### 7.貼紙



## 8.染色DIY書籤



## 四、粉絲專業經營

- Facebook：[半夜有感 - Inverted Tinge] 第22屆元智資傳畢業製作  
Likes：213人/ Follower：212人



- Instagram：inverted\_tinge  
粉絲人數：76



## 五、結論

---

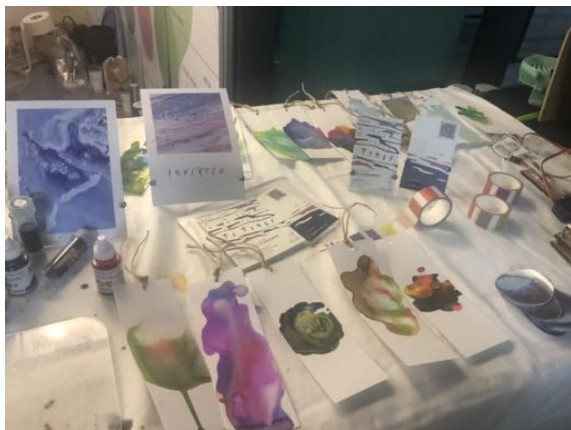
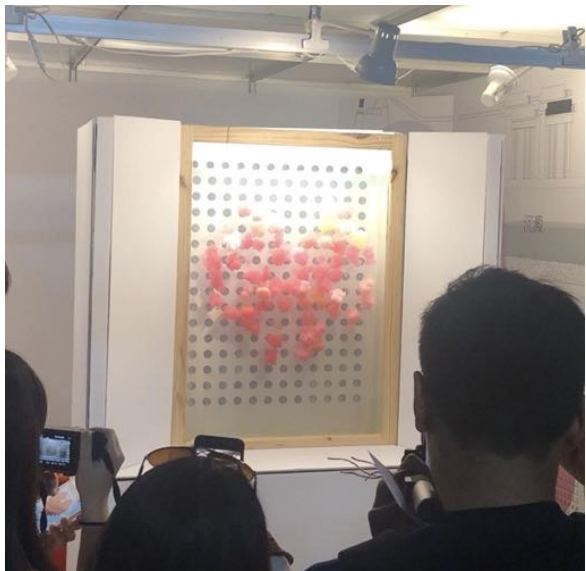
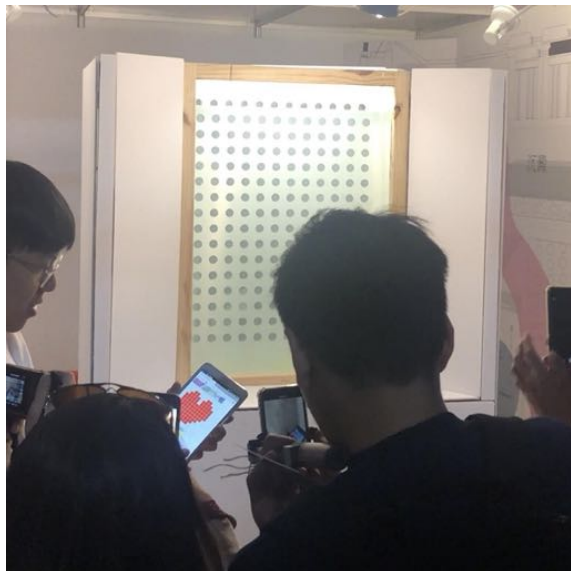
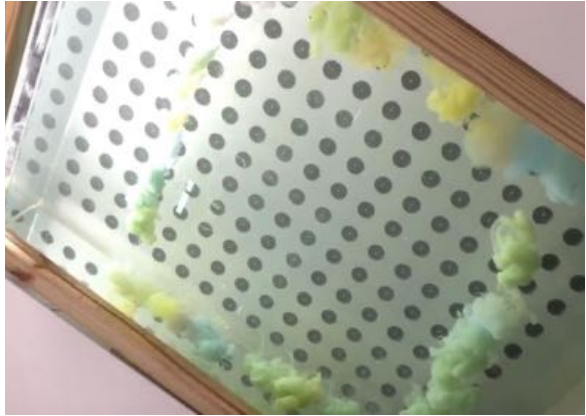
### 一作品效果

作品於展出期間採用預定場次的規劃，一天進行約10場的噴射。一般來說我們發現當群眾經過本裝置時，大部分完全不清楚它是什麼，但經過簡單解說後，群眾的好奇度大大提升，並且都願意在進行噴射表演時回到展間觀賞。我們第二天開始透過電視播放作品影片時，發現願意停下腳步留意的人數提升許多。我們有時邀請觀眾到裝置後方欣賞機構，無一不在臉上寫下驚嘆表情，我們也很感恩有許多家長和業界人士們願意給我們許多寶貴技術性與應用意見。

此外，周邊商品在展出期間相當熱門，獲得高度的好評，特別是自行DIY渲染的書籤紙。







## —成效檢討

在這次的畢業製作當中，我們遇到了許多困難，包括了進度評估錯誤、零件的品質參差導致色差和漏水等問題，影響效果。

- 進度落後問題：裝置製作繁瑣的程度超出我們預想，特別是在模組製作流水線階段。原先規劃進度僅包含了單純的製作時間，而沒有把長時間手工製作所需要的正常休息時間算入其中，因此手工製作使得計劃成員身心俱疲，更嚴重壓縮縮到其他如軟體、演算法以及互動體驗設計的進度和完整性部份。
- 零組件採購問題：該裝置的製造所需材料眾多繁雜，需多零件在台灣不易購得，雖然大陸購物網站上能買到價格優惠的替代零件，但由於寄送時間與退換貨的不便，許多零部件只能待收貨後才能實際測試可用性，更無法控制品質參差不齊的問題。為此，在製作過程中需要加入多重的測試環節，以確保安裝上去的模組是性能優異的。

本計劃初期構想讓使用者上傳照片，並在水中成像，後因進度與顏色精準度問題改為“水中小畫家”。雖然顏色準度不理想，但是通過平板讓使用者即時在水中作畫的互動體驗受到群中不錯的迴響。

## —結論

甘迺迪總統在1962年一場關於登陸月球的演說裡說道：「我們選擇在這十年內登陸月球並完成其他的事，不是因為他們很簡單，而是因為他們很艱難，…因為我們願意接受這項挑戰，我們不願延期，一心戰勝這次挑戰。」甘迺迪總統的這句話十分鼓勵當初的我們。我們認為，與其做簡單的事情，與其只是拿張文憑，我們何不做一些具有挑戰性，具有一些創意的事情？

此次計畫歷經許多挫折與多次計畫更改，但十分恩典的，最終仍有良好之結果呈現，並證實這是一個可行之裝置藝術提案。我們認為該裝置具有十分的原創性與潛力，並期望它在未來能有更好、更完整的發揮與延伸。

成員們在這段製作期間獲得許多寶貴技術實務上經驗，更理解到專案管理的重要性。我們特別感謝資傳系師長們所給的寶貴指教與建議，也對於指導教授方文聘在一旁的持續支持感到分外恩典。我們期望在未來能看見更多學弟妹願意投身於類似計畫中，將年輕的創意與熱情在大學的最後一年做完美的發揮與實踐。

特別感謝：宸宇父親協助製造與運載水箱、所有成員家長們8個月以來的支持與鼓勵



## 六、附錄

### —建議與改進

#### ● 審查委員建議

澹	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 無法看到完整的 Demo 無法預測未來在展場上是否可以真的展示出來。</li><li>2. 裝置很棒也很花心思，但是沒辦法運作。</li><li>3. 確實未完成計畫內容，應該可以有雛型展示較好。</li><li>4. 作品未完成、進度緩慢，應設定停損點或縮小版本。</li><li>5. 作品模型質感佳，但現場未展示成功，亦無其他展示成功之影片，難以評估未來成功的可能性。</li><li>6. 完成度 0，也無法確定調整方向。</li><li>7. 原企劃很有挑戰，但說明影片看起來是很炫的裝置，卻沒有目的、方法、結果，一頭霧水。周邊商品無特色多餘。能個人體驗嗎？印出來體驗畫作是不是比鑰匙圈更好</li></ol>
---	---

- 改進：由於在4/16階段審查裝置硬體雖然完成，但因調教問題無法展示實際效果。經由諸位審查委員們的建議，我們重新調整進度規劃與方向，並設置停損點。此外，我們針對「建議7」中提到的“個人體驗”，在我們的校外展中增加了“社群網路打卡，體驗印染書籤”的活動，既讓體驗者體驗了不同顏色之間混合作畫的效果，也透過體驗者的分享打卡提升了網路曝光度。

### —執行流程



## —時程規劃

9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
構想	創作概念	期中提案	材料購買	Proto-type完成	製作裝置	測試	穩定度測試
創作動機	3D建模	模組設計	行銷設計	模組組裝	程式撰寫	硬體組裝	程式撰寫
預期效果	材料購買	管路測試	期末提案	顏料供應	行銷設計	展場策劃	展場佈置

## —工作分配

邱聖揚	周宸宇	林佑澤	林佩瑩	王易和	杜楚楚
軟硬體系統設計開發、硬體機構組裝	CFD、BLENDER 模擬、裝置 3D 建模、水箱製作、硬體機構組裝	展場規劃、硬體機構組裝、材料購買	模組設計、雷射切割設計與規劃、硬體機構組裝、材料購買	模組設計、軟體程式撰寫、硬體機構組裝、材料購買	行銷設計規劃、展板設計、硬體機構組裝、材料購買

## —財務

類別	項目	數量	總額 (TWD)
硬體機構	水箱製作		1,0000
	壓克力板		6,874
	針筒		1,467
	密迪板	1	90
	角鋼		4,500
	螺絲螺帽		3,286
	黏著劑		759

	螺桿螺柱		468
	彈簧	30	1,606
	O RING		540
色彩傳輸	顏料		1,722
	漏斗		80
過濾系統	過濾器		951
	沉水馬達	1	1,180
	明礬、PAM		580
	水桶		2,658
管線系統	水管		1,953
	變徑接頭	30	12,328
	單向閥		994
	電磁閥		1,125
馬達	聯軸器	202	2,643
	減速馬達	220	10,816
電子材料	開關	5	185
	H橋		2,287
	Mosfet		304
	位移暫存器		1,055

	霍爾感應器		1,106
	排插		262
	電阻	100	515
	洞洞板		240
	LED燈		460
	各種電線		1,627
	電源供應器	1	480
	保險絲		419
	焊接工具		560
	各種電子零件		9,331
周邊商品	吊飾環		55
	明信片	9	45
	名片	100	4,053
	貼紙		908
	紙膠帶	50	5,066
	海報	1	350
	樹脂		700

雜費	脫脂棉	1	62
	細沙石頭 活性炭		350
	各種漆		829
	刷子		42
	各種膠帶		429
	衛生紙	1	189
	橡皮筋	1	45
	熱熔膠槍、條	1、9	565
	各種五金工具		710
	雜費		13,611
總額			120,460
個人負擔			20,077