

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

大型核能組件內部管路遙控探測機具發展研究

Research on Remote Sensing for Core Components of Large Scale  
Nuclear Power Mechanism

計畫編號：1052001INER028

受委託機關(構)：中原大學電機工程學系

計畫主持人：張政元

聯絡電話：03-2654838

E-mail address：ccy@cycu.edu.tw

協同主持人：黃瓊緯

研究期程：中華民國 105 年 3 月至 105 年 12 月

研究經費：新臺幣 67 萬元

核研所聯絡人員：黃崇豪

報告日期：105 年 11 月 26 日

## 目 錄

目 錄.....	i
中文摘要.....	1
Abstract.....	2
計畫參與人員及所屬單位.....	4
壹、計畫緣起與目的.....	5
貳、研究方法與過程.....	6
一、運動模式.....	6
二、機器蛇系統架構.....	7
(一)機器蛇端.....	7
(二)使用者控制端.....	20
參、主要發現與結論.....	26
一、比較與改善前期計畫.....	26
(一)開發環境之比較與改善.....	26
(二)硬體設計之比較與改善.....	27
二、實驗結果.....	32
(一)管道內部運動實驗.....	32
(二)管道內部樣本採樣實驗.....	37
(三)行走地圖繪製實驗.....	37
三、結論.....	38
肆、參考文獻.....	39

## 中文摘要

蛇的運動方式為無肢運動模式，其身體結構能夠展現出極佳的地形適應能力，成為研究仿生機器蛇的主要因素。仿生機器蛇可以被廣泛的應用於搜救與探勘等場合，當人員與大型機具無法深入探勘內部環境，仿生機器蛇能即時提供此環境內部之重要訊息。本研究針對核能組件內部管路進行管內環境之探勘。由於管路空間狹小與高複雜性之地型環境，我們開發一條具有管內行進運動以及管壁樣本採樣功能之機器蛇。此一機器蛇使用數顆馬達與特定連接組合機構及各式運動規劃模式來完成高穩定性之管內移動。我們所設計之人機介面具有即時影像畫面、動作控制、行走路線地圖繪製等功能，用來進行操控與監控機器蛇於管內內部之探勘。在實驗中我們使用六吋管來模擬核能組件內部管路，成功驗證機器蛇於管道內部運動與管壁樣本採樣之探勘作業的能力。

**關鍵字：**機器蛇、核能管路、管路探勘、管路採樣。

## **Abstract**

The movement pattern of the snake is limbless. Its body structure has excellent terrain adaptability, which becomes a major factor in the study of bionic snake-like robot. Bionic snake-like robots have been widely used in search and rescue situations. When the rescue staffs and large-scale equipment cannot in-depth explore the internal environment, bionic snake-like robots provide an alternative solution to get the critical information in real time within the environment. The objective of this research is to explore the internal environment of the nuclear energy pipeline. Due to the characteristics of narrow space and high complexity in the pipeline environment, we developed a snake-like robot with functions of in-tube traveling motion and pipe wall sampling. The proposed snake-like robot uses several specific motor-driven combination structures with various motion modes to achieve high stability in-tube movement. A user interface is designed to control and monitor the snake-like robot inside the pipeline. The functions of the user interface consist of real-time image feedback, motion control, and walking route map drawing. We use a six-inch tube to simulate the internal environment of the nuclear energy pipeline. The experiments verify that the proposed snake-like robot can successfully move in the

pipeline, explore the pipeline, and collect samples from the tube wall.

**Key words:** snake-like robot, nuclear energy pipeline, pipeline explore, pipeline sampling.

## 計畫參與人員及所屬單位

計畫編號：

1052001INER028

計畫參與人員：

<sup>1</sup>黃崇豪、<sup>1</sup>洪毓翔、<sup>2</sup>黃崇睿、<sup>2</sup>蔡嘉軒、<sup>2</sup> <sup>3</sup>黃瓊緯、<sup>3</sup>張政元、<sup>3</sup>劉  
修璋、<sup>3</sup>陳冠勳、<sup>3</sup>陳誼琮

所屬單位：

<sup>1</sup>行政院原子能委員會 核能研究所

<sup>2</sup>健行科技大學 電子工程系

<sup>3</sup>中原大學 電機工程學系

## 壹、計畫緣起與目的

隨著科技技術的進步，機器人的發展被廣泛的應用於各個領域中，但由於傳統的運動架構平台無法適用於未知的作業環境，因此科學家開始應用自然界的各種生物的運動原理來模仿生物的架構來發展仿生機器人，如：可用於水中探勘的仿生機械魚、可適應各種歧嶇地形，作為緊急物資搬運用的四足步行機器人、可深入各種岩縫，作為救災勘查機器人的仿生機器蛇等。由於本研究是在核能組件內部管路進行探勘作業，因此我們應用生物蛇擁有極佳的地形適應能力，來進行研究管內環境之探勘作業[1]。本研究改善前期計畫[2]執行之優缺點，改善缺點來提升整體系統效能，本期計畫改善包含：1. 伺服馬達之性能與傳輸控制改善 2. 視訊攝影機之影像動態與畫質提升 3. LED 照明燈之可簡易拆裝替換改善 4. 止滑墊貼法改善以提高摩擦力 5. 採用 LabVIEW 圖形化開發平台進行整合人機介面端。由於核能組件內部管路進行探勘作業時，會有訊號遮蔽擾亂問題，因此無法使用感測器回傳內部位置進行定位，因此透過按鍵紀錄的方式，於人機介面中顯示行走地圖繪製之視窗，以便於操作者即時觀察與紀錄管內之路徑及採樣位置，並在機器蛇蛇尾設計樣本採樣機構，應用於管道內部進行物質樣本的採樣及保存。本研究使用塑膠管進行模擬實際核能組件，利用人機介面進行控制機器蛇進行管內移動與管壁採樣樣本之探勘作業。

## 貳、研究方法與過程

### 一、運動模式

在生物蛇的運動中，分成四種基本運動模式來產生移動力，分別為 1.收縮運動 (concertina)、2.蜿蜒式運動 (serpentine)、3.側向運動 (sidewinding)、4.直線運動 (caterpillar)，如圖 2.1 所示[3]。由於考量核能組件內部管路較小與複雜，因此不利於採用平面式正弦曲線運動的走法如蜿蜒式運動與側向運動方式來進行移動，而收縮運動是使用蛇類身體肌肉進行左右兩邊摺疊擠壓進行向前伸展之運動[4]，目前機器蛇由於馬達的限制，因此無法使用收縮式的方式進行移動，而直線運動是將蛇類的身體擠壓成與地面垂直之正弦曲線的方式進行上下運動，來達成向前蠕動的效果。由於考量管道內部之空間與圓形之弧度曲線的管壁，因此本研究採用直線運動模式來進行蛇機機器人之管內行走運動。

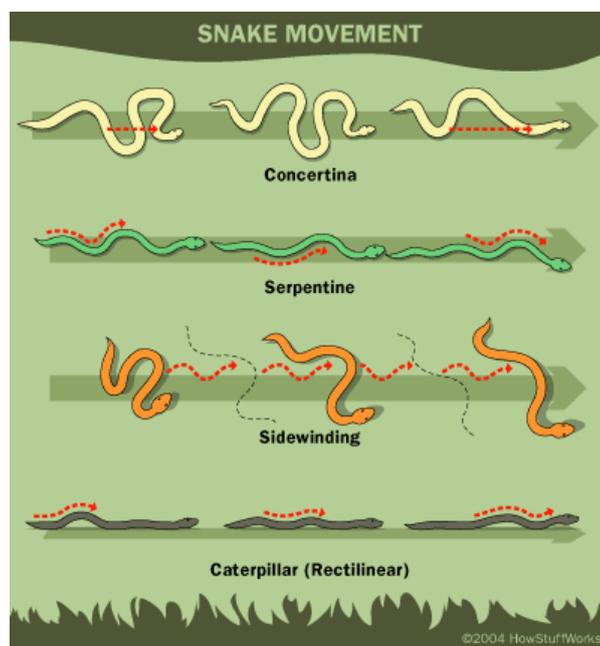


圖 2.1：蛇類之運動模式[5]

## 二、機器蛇系統架構

本研究計畫「大型核能組件內部管路遙控探測機具發展研究」，在機器蛇的系統架構上分成兩大部分來進行探討，分別為機器蛇端與使用者控制端。在使用者端採用 LabVIEW 實驗室虛擬儀器工程平台，進行設計使用者人機介面，使用 TTL 邏輯電壓準位的序列傳輸介面來進行傳輸機器蛇之動作控制的封包資料，系統傳輸控制架構，如圖 2.2 所示。

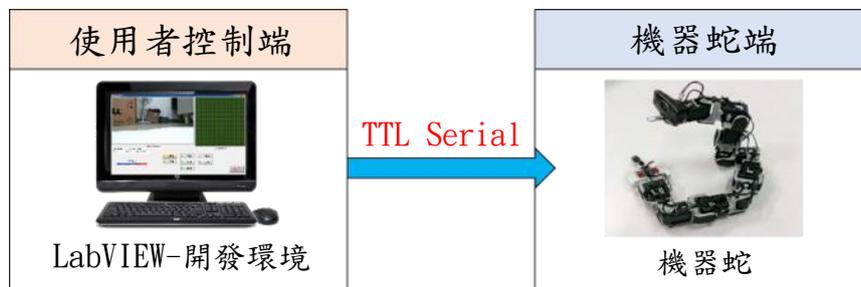


圖 2.2：系統傳輸控制架構

### (一)機器蛇端

機器蛇端之硬體架構，如圖 2.3 所示，是採用十顆 AI 伺服馬達交叉連接組合而成，而每一單體設計成左右與上下雙向之自由度轉向運動結構，透過控制伺服馬達之旋轉角度與轉速來控制機器蛇進行前進、後退、左右轉向與鏡頭轉向等運動模式，並搭配 Arduino Pro Mini 微控制器進行控制兩顆 MG90S 之伺服馬達之轉向運動來控制機器蛇之採樣運動，並將視訊攝影機與 LED 燈裝設於機器蛇頭部，提供管內之照明，並透過 USB 傳輸介面回傳管內之影像。機器蛇端之整體構設計，如圖 2.4 所示。

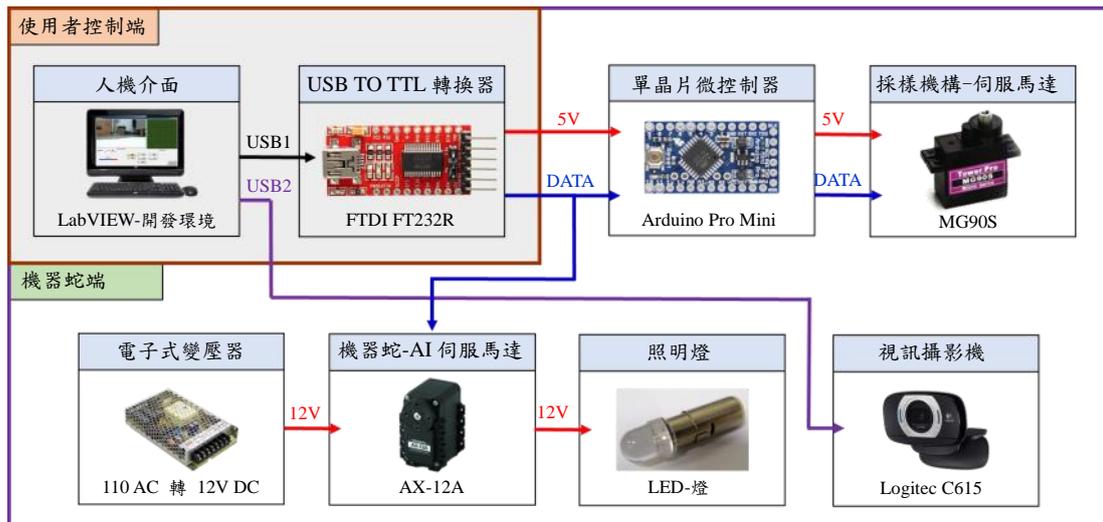


圖 2.3：機器蛇端之硬體架構圖



圖 2.4：機器蛇端之整體機構設計圖

## 1. 硬體架構各別說明

### (1) USB TO TTL 轉換器

在使用者控制端與機器蛇端進行溝通連接上，本研究使用 USB TO TTL FTDI FT232R 轉換器來作為序列傳輸介面，如 2.5 圖所示，使用 TX 發送腳位進行傳送封包資料，分別對機器蛇端之十顆 AI 伺服馬達與 Arduino Pro Mini 下達指令來完成機器蛇端之動作的控制。

USB TO TTL 轉換器的 5V 電源是由電腦的 USB 接口所提供，其規格如表 2.1 所示。

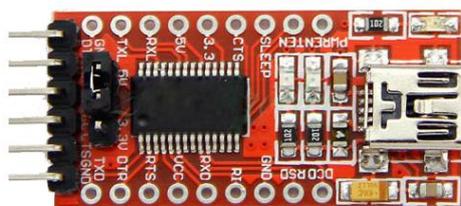


圖 2.5：USB TO TTL FTDI FT232R 轉換器[6]

表 2.1：USB TO TTL FTDI FT232R 轉換器之規格表[6]

Model	FTDI FT232R
Operating voltage	5V
Single Supply Operation	3.3V、5.25V
Communication Format	USB
Ports	DTR、RX、TX VCC(5V、3.3V)、CTS、GND
Data transfer rates	300 baud to 1 Megabaud (RS232)
Operating temperature	-40°C to 85°C

## (2) 單晶片微控制器

在採樣機構設計上，我們採用尺寸較小之 Arduino Pro Mini 單晶片微控制器，如 2.6 圖所示，來控制兩顆 MG90S 伺服馬達之旋轉以達成採樣運動，藉由操控人機介面之採樣選項時，透過 TTL 序列傳輸將控制資料傳輸至 Arduino Pro Mini 單晶片微控制器來觸發伺

服馬達之運動，微控制器核心為 ATmega328 晶片，工作時脈 16MHZ，使用兩支數位輸出腳位來進行控制伺服馬達之運動，其規格如表 2.2 所示。

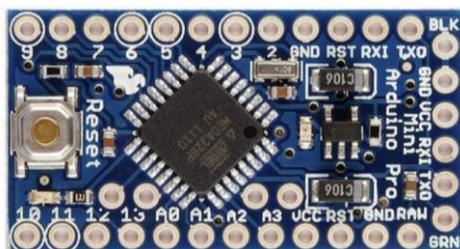


圖 2.6：Arduino Pro Mini 單晶片微控制器[7]

表 2.2：Arduino Pro Mini 單晶片微控制器之規格表[7]

Model	Arduino Pro Mini
Microcontroller	ATmega328
Board Power Supply	5 - 12 V (5V model)
Circuit Operating Voltage	3.3V or 5V
Ports	Digital I/O Pins 14 PWM Pins 6 UART 1 SPI 1 I2C 1 Analog Input Pins 6
Clock Speed	16 MHz (5V versions)
Size	18x33(mm)

### (3) 採樣機構-伺服馬達

在採樣機構之伺服馬達選用上，我們採用由輝盛科技有限公司所生產之型號為 MG90S 伺服馬達，如圖 2.7 所示，由於此馬達體積較小且容易更換舵盤，可方便機器蛇進行更換採樣刷頭，使用 Arduino Pro Mini 單晶片微控制器給予 PWM 訊號來控制其旋轉角度與速度，旋轉角度為  $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ，齒輪採用全金屬齒輪，可增加耐用度及使用壽命，其規格如表 2.3 所示。



圖 2.7：MG90S 伺服馬達[8]

表 2.3：MG90S 伺服馬達之規格表[8]

Model	MG90S
Operating voltage	4.8V~ 6.6V
Stall torque	1.8kg/cm (4.8V) 2.2kg/cm (6.6V)
Operating speed	0.10sec/60degree (4.8V) 0.08sec/60degree (6.0V)
Temperature range	$0^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$
Weight	13.4g
Size	22.8×12.2×28.5(mm)

#### (4) 電子式變壓器

在電源方面我們選用 AC110V-220V DC12V 10A 電子式變壓器，如圖 2.8 所示，輸出電壓為 12V，最大額定電流為 10A，提供給機器蛇端之十顆 AI 伺服馬達與照明燈使用，其規格如表 2.4 所示。



圖 2.8：AC110V-220V DC12V 10A 電子式變壓器[9]

表 2.4：AC110V-220V DC12V 10A 電子式變壓器之規格表[9]

Model	12V10A Power Supply
Input voltage	110VAC/220VAC
DC Output voltage	12V
Rated current	10A
rated power	120W
Operating temperature	-10°C to 50°C
Size	20×9.7×4.2(cm)

## (5) 機器蛇-AI 伺服馬達

本研究在機器蛇端之伺服馬達選用上，我們採用由採智科技股份有限公司所生產之型號為 DYNAMIXEL AX-12A AI 智慧直流伺服馬達，如圖 2.9 所示，此馬達在通訊協議上使用半雙工非同步串口通訊，連接上採菊鍊串連架構連接[10]，可讓機器蛇端減少複雜之馬達電路配線，如圖 2.10 所示，以增加機器蛇運動時之可活動性，在扭矩與旋轉角度範圍上提供 15.3 kg·cm 的扭矩及 0°~300°的旋轉角度[11]，使機器蛇於管路內部運動時，具有更佳動力上之表現。於人機介面進行動作的操控，透過 TTL 序列傳輸方式來進行伺服馬達其旋轉角度與轉速之控制，來完成各種機器蛇之運動模式上的控制，其規格如表 2.5 所示



圖 2.9：AX-12A AI 智慧直流伺服馬達[12]

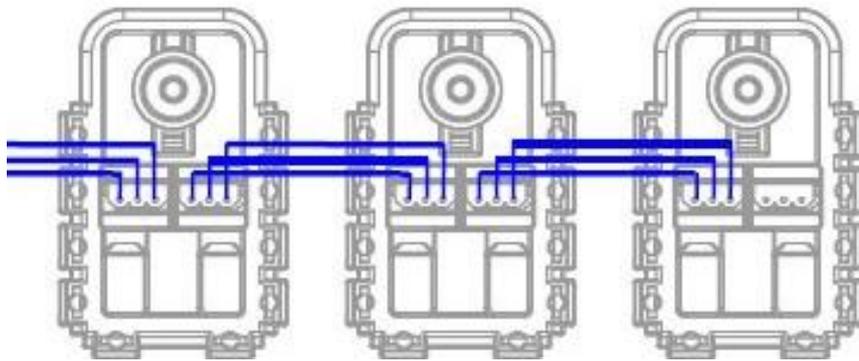


圖 2.10：採菊花鍊串連架構圖[13]

表 2.5：AX-12A AI 智慧直流伺服馬達之規格表[10]

Model	AX-12A Servo motor
Operating voltage	9~12V(Recommended Voltage 11.1V)
Stall Torque	15.3 kg·cm 212 oz·in
Size	32x 50x 40(mm)
Resolution	0.29°(=300°/1024)
Module Limit	254 valid addresses
Com Speed	7343bps ~ 1Mbps
Operating Angle	300° or Continuous Turn
No-load Speed	59 RPM 0.169sec/60°
Protocol	TTL Half Duplex Async Serial
Weight	55g
Operating temperature	-5°C ~ 70°C

## (6) 照明燈

在機器蛇頭部進行裝設 LED 照明燈，如圖 2.11 所示，作為管內之照明，經由管內照明測試實驗比較，如表 2.6 所示，由此表可得知由於高亮度之照明燈易造成過亮與管壁看不清等情形，因此我們選用普通亮度之照明燈進行管道內部照明，並安裝燈座，方便進行更換照明燈。



圖 2.11：照明燈

表 2.6：管內照明測試實驗比較表

燈 情況	普通 LED 照明燈	高亮度 LED 照明燈
直線 照明 情況		
轉彎 照明 情況		

## (7) 視訊攝影機

本研究選用 Logitech C615 視訊攝影機，如圖 2.12 所示，讓使用者可透過人機介面進行觀察管道內部之環境與閃避障礙物等，我們將視訊攝影機裝設於機器蛇頭部，透過 USB 傳輸介面回傳管內之影像畫面，電源是由電腦的 USB 接口所提供，其規格如表 2.7 所示。



圖 2.12：Logitech C615 視訊攝影機[14]

表 2.7：Logitech C615 視訊攝影機之規格表[14]

Model	Logitech C615 視訊攝影機
Operating voltage	5V
Video capture	Full HD 1080p (1920 x 1080 pixels)
Photo capture	8 Megapixel (3264 x 2448 )
Communication Format	USB
View Angles	74°
Focus	Auto Focus

## 2. 身體結構設計

在機器蛇之身體結構設計上，共使用十顆 AI 伺服馬達串連而成，共使用五組單體設計成左右與上下各 300 度之兩個自由度之轉向運動，整個機器蛇體之身體結構具有十個自由度，每個單體是由兩顆 AI 伺服馬達與兩個 U 型的塑膠框架交叉垂直連接組合而成，如圖 2.13 所示。並於機器蛇之頭部安裝高畫質之視訊攝影機與 LED 照明燈，如圖 2.14 所示，來提高回傳管內更清晰之動態影像品質，以作為判斷輔助，視訊攝影機使用羅技公司所生產，型號為 C615、最大視訊分辨率 1920\*1080、自動對焦式鏡頭[15]。



圖 2.13：一個單體之兩個自由度



圖 2.14：視訊攝影機與 LED 照明燈

### 3.運動能力與平衡之設計

由於連結機器蛇之馬達框架組是採用塑膠材質，因此在進行管內行進運動時，由於磨擦力過低易導致打滑，導致無法進行移動，因此我們選用磨擦力較強之止滑墊黏貼於機器蛇的底部來提高行進之磨擦力，如圖 2.15 所示，並黏貼於左右兩側來避免轉彎時與管壁發生碰撞，如圖 2.16 所示，並於底部裝設平衡支柱以提高平衡性與磨擦力，如圖 2.17 所示。

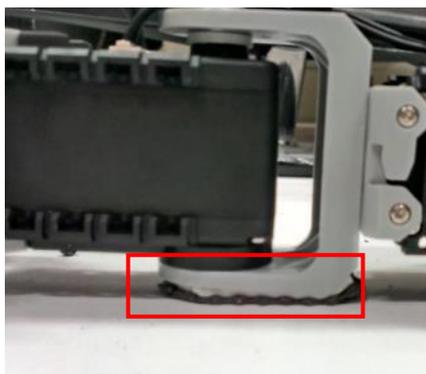


圖 2.15：貼於底部

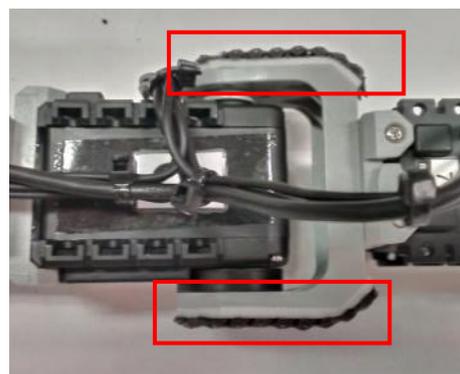


圖 2.16：貼於左右邊



圖 2.17：裝設平衡支柱

#### 4.採樣機構設計

在機器蛇之採樣機構設計上，支架與樣本保存盒均採用 SpaceClaim 2015 3D 建模軟體設計，材料上採用 PLA 熱塑性塑料透過 3D 列印機反覆進行堆疊作業來印製立體物件。在硬體架構上，我們採用微型 Arduino pro mini 微控制器開發板來控制伺服馬達進行採樣控制，伺服馬達其型號為 MG90S 金屬齒輪伺服機，傳輸方式為 PWM、重量為 13.6g、尺寸為 22.8mm x 12.2mm x 28.5mm、扭力與速度為 2.0kg(4.8v)、0.11s(4.8v)、旋轉角度  $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 度[16]。當使用者點選人機介面之採樣選項時，將指令傳輸至 Arduino pro mini 微控制器來進行控制兩顆 MG90S 伺服馬達之旋轉角度與轉速以控制採樣刷頭之 120 度之旋轉運動，如圖 2.18 所示，以達成刷取管內底部之採樣樣本，並設計可快拆式設計之樣本保存盒，可防護刷取之樣本遭受汙染，並透過卡榫設計可快速的替換採樣刷頭，如圖 2.19 所示。由於考量機器蛇之平衡與空間設計，我們將採樣機構固定於機器蛇之蛇尾，採樣機構設計如圖 2.20 所示，實體圖如圖 2.21 所示。



圖 2.18：採樣機構運動角度

圖 2.19：可快拆式設計

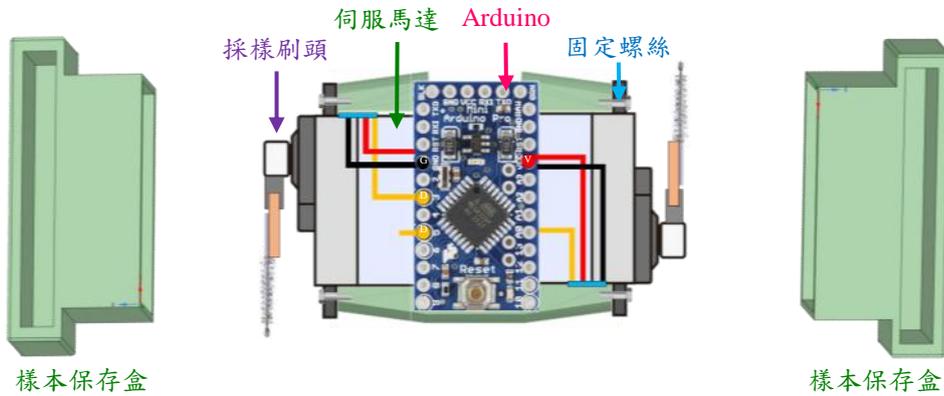


圖 2.20：採樣機構設計圖

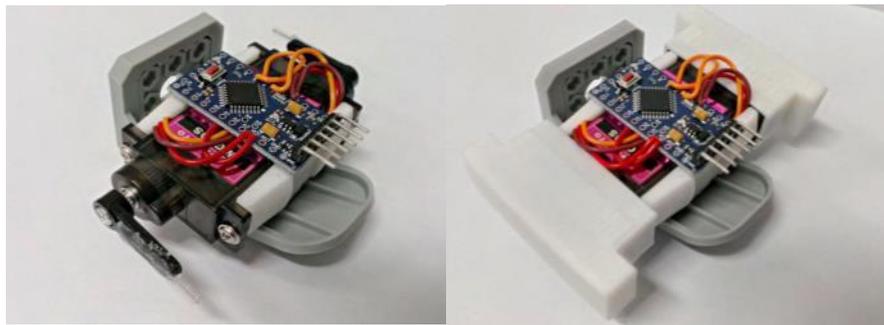


圖 2.21：採樣機構實體圖

## (二)使用者控制端

在機器蛇之使用者控制端，使用 LabVIEW 2015 圖形化程式設計進行開發使用者人機介面，使用者可點人機介面上之選項，對機器蛇下達各功能之設定與控制，傳輸上使用 USB to TTL 邏輯電壓準位的序列傳輸介面，將指令封包資料傳輸至 AI 伺服馬達與 Arduino

pro mini 微控制器上執行動作，另外將視訊攝影機之畫面透過 USB 回傳至人機介面，以方便使用者進行管道內部之觀察與判別行走方向，人機介面之架構圖，如 2.22 所示，在機器蛇之人機介面控制上包含:初始化設定、即時影像顯示、動作模式控制選項、樣本採樣控制、行走地圖繪製等，如圖 2.23 所示。

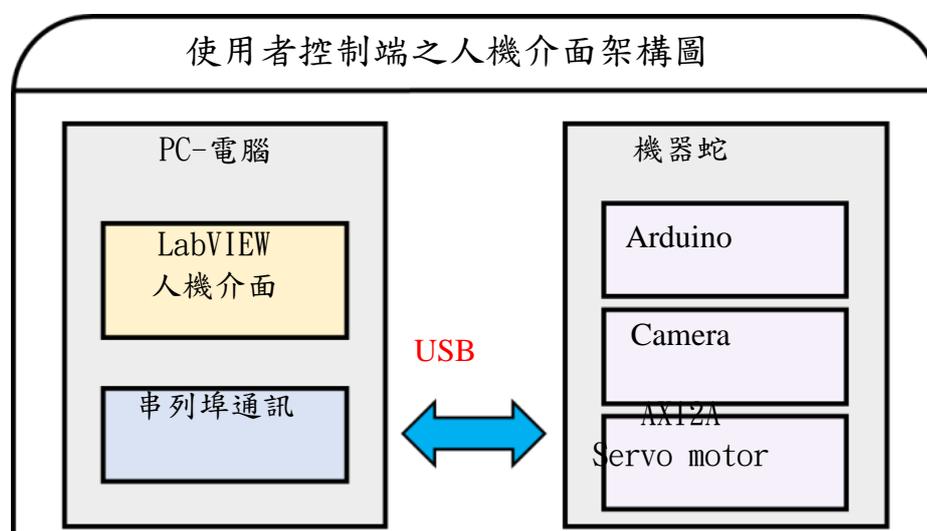


圖 2.22：人機介面架構



圖 2.23：機器蛇之人機介面

### 1.初始化設定介面設計

在進行執行本系統時，須設定初始化序列埠之通訊 Serial port 設定，須設定機器蛇之鏡頭選擇、ComPort、鮑率等初始設定，進行通訊連接，如圖 2.24 所示。

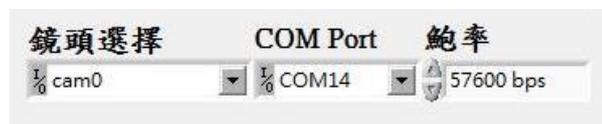


圖 2.24：初始化設定畫面

### 2.即時影像顯示介面設計

由於機器蛇於核能組件內部管路進行探勘作業時，外界無法得知管內資訊，因此於機器蛇頭部的伺服馬達上安裝攝影鏡頭與 LED 照明燈，進行即時拍攝影像回傳至電腦的人機介面，提供使用者從外部得知管內資訊，進行控制機器蛇執行動作模式控制與閃避管內之障礙物，如圖 2.25 所示。

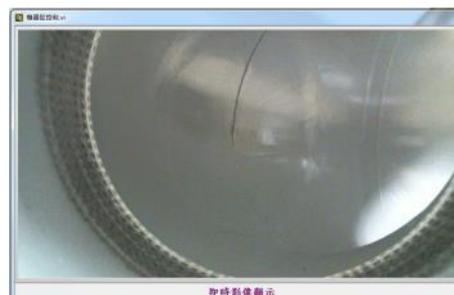


圖 2.25：即時影像顯示畫面

### 3.動作模式控制選項介面設計

在機器蛇之動作模式控制選項上，在人機介面中設計了：前進、伸直、後退、左轉、右轉等按鍵選項，如圖 2.26 所示，提供使用者透過即時影像顯示畫面，來觀看核能組件內部管路之情形，來給予不同的控制選項，使機器蛇執行各種運動模式。在每個行進運動的按鍵選項中，皆有撰寫每一周期內一連串之十顆伺服馬達其旋轉角度與轉速設定，來形成一連串之運動模式。並設計鏡頭左右轉向的滑桿選項，將滑桿設定成第一顆 AI 伺服馬達之旋轉角度，透過滑桿的方式來進行控制鏡頭之左右各 150 度的轉向運動的設計，如圖 2.27 所示。我們透過人機介面經由 USB to TTL 傳送介面，將封包傳送至 AI 伺服馬達與 Arduino pro mini 微控制器進行動作模式控制。



圖 2.26：動作模式控制選項介面

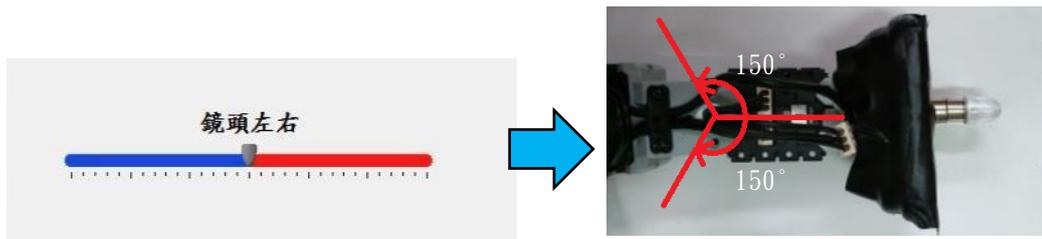


圖 2.27：鏡頭左右控制介面

#### 4. 樣本採樣控制介面設計

本研究之機器蛇最主要應用於核能組件內部管路進行探勘與管壁樣本採樣作業，於人機介面設計採樣的按鍵選項。另外在採樣的按鍵選項中傳送控制指令，使預先在 Arduino pro mini 微控制器燒入伺服馬達運動之程式觸發動作，當點擊選項時會啟動採樣機構之伺服馬達，使採樣刷頭進行 120 度刷取管內底部以達成採樣樣本之作業。由於採樣機構共採樣 2 次，會於第一次採樣後顯示:還可採樣一次，於第二次採樣後顯示:還可採樣 0 次，之後進行採樣均會顯示:採樣已滿，以避免重複採樣，如圖 2.28 所示。



圖 2.28：樣本採樣控制之提醒畫面順序

## 5.行走地圖繪製介面設計

由於機器蛇於核能組件內部管路進行探勘作業時，會有訊號遮蔽擾亂的問題，因此無法使用感測器回傳內部位置進行定位，因此透過點選動作模式控制選項，如：前進、後退、左轉、右轉、採集等選項，使用顏色標註的方式來記錄每一次使用者所點選之選項，來進行行走路線地圖繪製，如圖 2.29 所示，圖中紅色點表示：目前位置、藍色點表示：行走路徑、綠色點表示：採集位置，畫面中藍色點一格為機器蛇所行走一周期之連續運動。

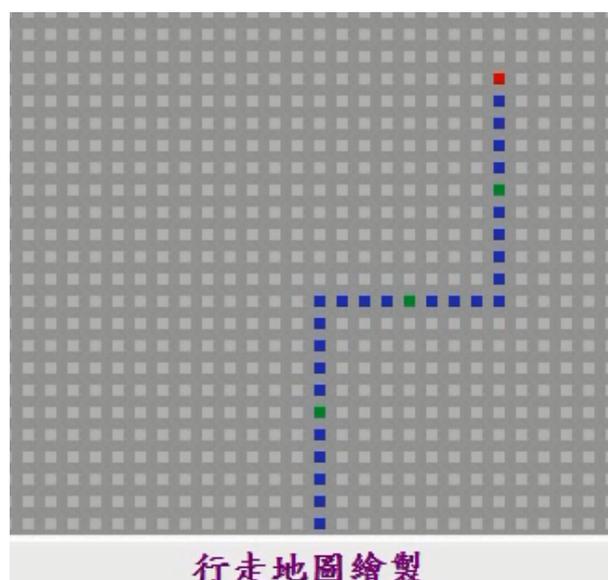


圖 2.29：行走地圖繪製畫面

## 參、主要發現與結論

### 一、比較與改善前期計畫

本研究計畫分析與改善前期計畫[2]之優缺點，將前期計畫採用各式之開發環境，改善成單一之開發環境進行設計人機介面，方便使用者進行監看以控制蛇型機器蛇，在硬體機構設計上改善馬達控制方式，並改善與提升視訊攝影機與照明燈裝設，並改善止滑墊之貼法以提高磨擦力，提升機器蛇之整體系統效能。

#### (一)開發環境之比較與改善

本期研究採用 NI LabVIEW 2015 系統設計軟體，使用圖形化開發環境進行設計使用者控制端之人機介面，使用者可以透過人機介面來控制機器蛇。前期計畫在人機介面端採用 Visual Basic 2013 來做為開發環境[2]，但在進行環境偵測與設定上需開啟其他控制視窗較為不易控制，且 LabVIEW 相較於 Visual Basic 更佳適合應用於自動化控制，因此本期計畫均使用 LabVIEW 單一之開發環境進行設計人機介面，前期計畫之人機介面端，如圖 3.1 所示，本期計畫之人機介面端，如圖 3.2 所示。

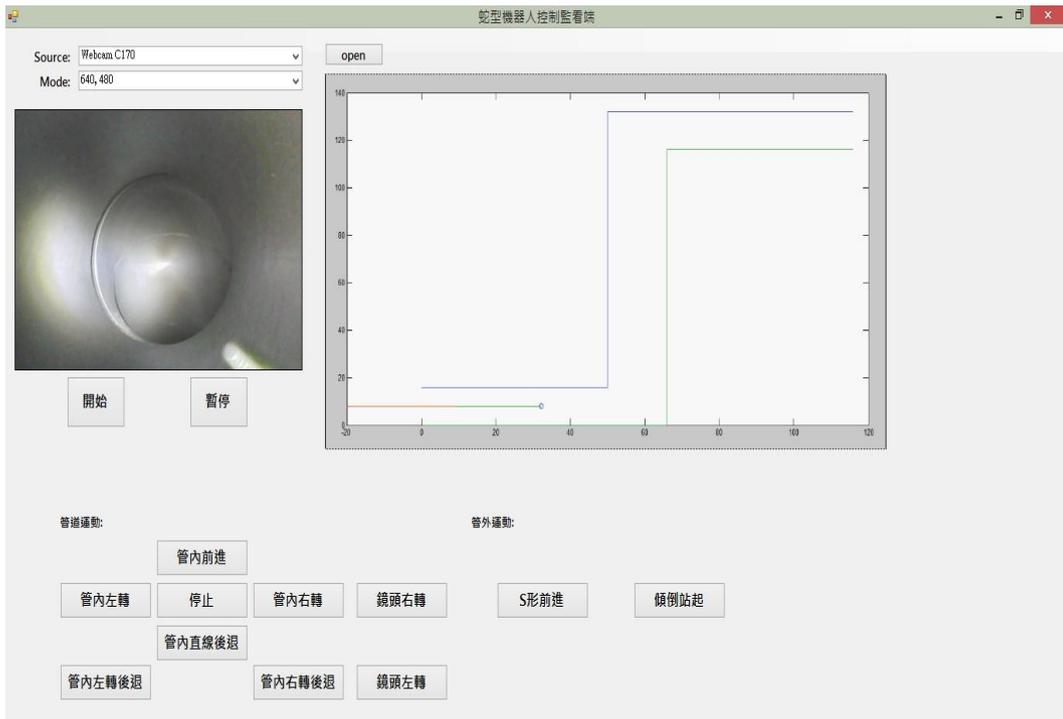


圖 3.1：前期計畫之人機介面端設計[2]



圖 3.2：本期計畫之人機介面端設計

## (二)硬體設計之比較與改善

本研究於機器蛇端之硬體設計改善，主要包含以下項目 1.伺服馬達之性能提升與連接架構改善 2.視訊攝影機之影像畫質提升改善 3.LED 照明燈之可簡易拆裝替換改善 4.止滑墊之提高磨擦力貼法改善等項目，來提升整體機器蛇之系統效能。

### 1.伺服馬達之改善

本研究在機器蛇端之伺服馬達選用 DYNAMIXEL AX-12A AI 智慧直流伺服馬達，相較於前期計畫所採用 KONDO KRS-788HV 傳統型伺服馬達，AX12A 伺服馬達在速度反饋、旋轉角度、失速轉距等效能上都更佳的優越於前期之伺服馬達，比較規格如表 3.1 所示，並 AX12A 伺服馬達每顆都有單獨之 ID，且採用 TTL 多點匯流排進行封包通訊控制，透過菊鍊架構連接，可讓機器蛇端減少複雜之馬達電路配線，使因此本研究機器蛇採用 AX-12A 伺服馬達。

表 3.1：伺服馬達之比較表

	本期計畫	前期計畫
馬達型號	AX-12A	KRS-788HV
伺服馬達		
工作電壓	9-12V	9-12V
控制方式	TTL	TTL

旋轉角度	0°~300°	0°~180°
失速轉距	1.5N.m	0.98N.m
材質	外觀:工程塑材 齒輪:塑膠+金屬齒(前段)	外觀:工程塑材 齒輪:塑膠+金屬齒(中段)
尺寸	32 x 50 x 40(mm)	41 x 21 x 35(mm)
重量	54.6g	47.5g

### (1)馬達連接控制比較

AX-12A 伺服馬達使用 TTL 多點匯流排進行封包通訊控制，使用菊鍊架構連接方式，可串連進行資料傳輸，控制連接容易，相較於 KRS-788HV 伺服馬達需採用並連的方式連接至馬達控制板在進行 PWM 傳輸控制，造成電路複雜、不易連結控制，馬達連接電路比較，如圖 3.3 所示。

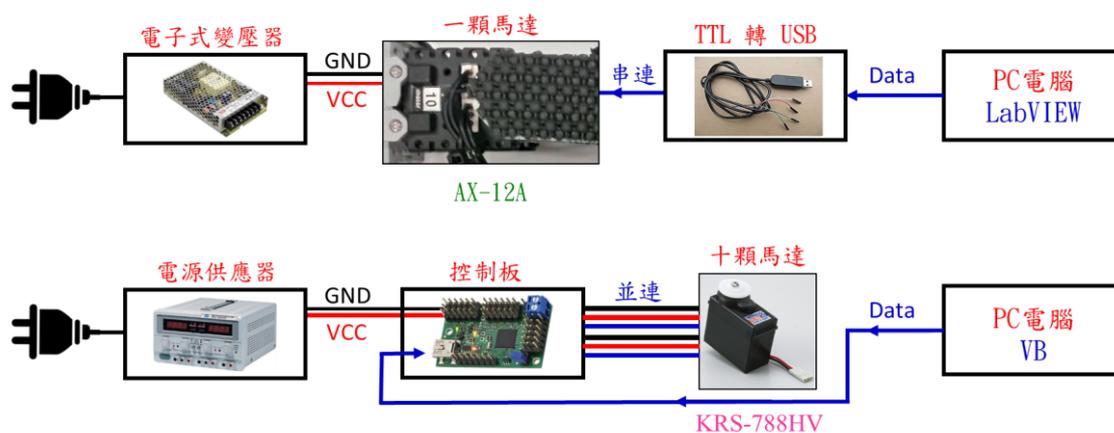


圖 3.3：馬達連接控制比較圖

### (2)實際連接電路比較

AX-12A 伺服馬達採用串連式接法，在連接線路上容易，機器蛇串連式連接電路，如圖 3.4 所示，尾端傳輸線，如圖 3.5 所示，KRS-788HV 伺服馬達採用並連式接法，在連接線路上電路較複雜，

機器蛇並連式連接電路，如圖 3.6 所示，尾端傳輸線，如圖 3.7 所示。

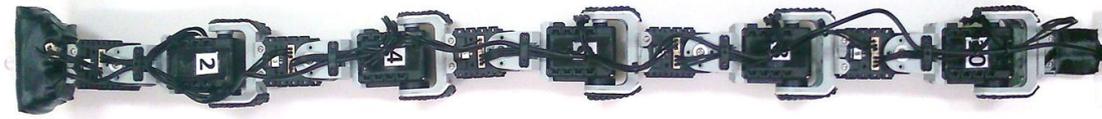


圖 3.4：串連式之機器蛇連接電路



圖 3.5：串連式之尾端傳輸線



圖 3.6：並連式之機器蛇連接電路[2]



圖 3.7：並連式之尾端傳輸線[2]

## 2.視訊攝影機之改善

機器蛇行動時易造成畫面晃動，導致回傳之動態影像不清晰，因此本期計畫採用 Logitech C615 視訊攝影機來提高回傳時之更清晰的動態影像品質，相較於前期之 Logitech C170 在最大視頻解析度與對焦模式都更佳的優越，視訊攝影機之比較規格如表 3.2 所示。

表 3.2：視訊攝影機之比較規格如表

	本期計畫	前期計畫
型號	Logitech C615	Logitech C170
視訊攝影機		
工作電壓	5V	5V
最大視頻解析度	1920 x 1080 pixels	640 x 480 pixels
最大照片拍攝解析度	800 萬畫素	500 萬畫素
對焦模式	自動對焦式鏡頭	固定焦距式鏡頭

## 3.照明燈之改善

在機器蛇頭部安裝 12V-LED 照明燈，提供管道內部照明，在 LED 照明燈上我們安裝可簡易拆裝替換之燈座，並將焊接點藏於內部來避免短路發生，相較於前期採用固定式的更佳容易進行更換照明燈，本期照明燈裝設設計，如圖 3.8 所示，前期照明燈裝設設計，如圖 3.9 所示。

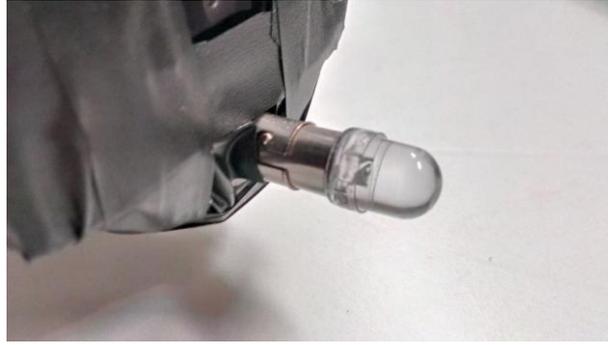


圖 3.8：本期照明燈裝設設計



圖 3.9：前期照明燈裝設設計[2]

#### 4.止滑墊之貼法改善

本研究在機器蛇之底部黏上止滑墊來提高磨擦力以產生更大之行進動能，在左右旁黏上止滑墊來避免轉彎時與管壁發生碰撞之防護，如圖 3.10 所示，相較於前期採用網綁的方式，如圖 3.11 所示，更能夠準確提升磨擦點且不易造成滑動。

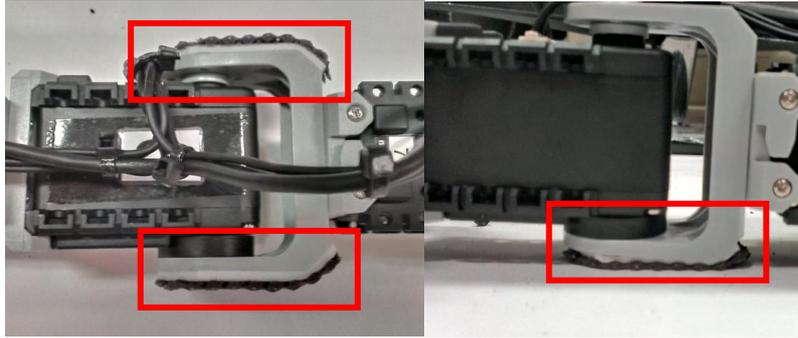


圖 3.10：本期止滑墊之貼法



圖 3.11：前期止滑墊之網綁方式[2]

## 二、實驗結果

本研究在實驗結果中將展示機器蛇於管道內部之行進運動、管壁採樣、行走地圖繪製等實際情形。在電源上使用電子式變壓器與 USB 進行供應機器蛇，實驗場地採用管徑較小之 6 吋管與最嚴苛之 90 度彎管所連接組合而成，如圖 3.12 所示，來模擬實際核能組件內部管路，其分別由 5 個部分所組成，包含：兩個 50 公分之透明直管、兩個 90 度彎管、一個 100 公分透明直管。另外我們採用透明的管子來方便實驗觀察機器蛇於管道內部之位置與情況。

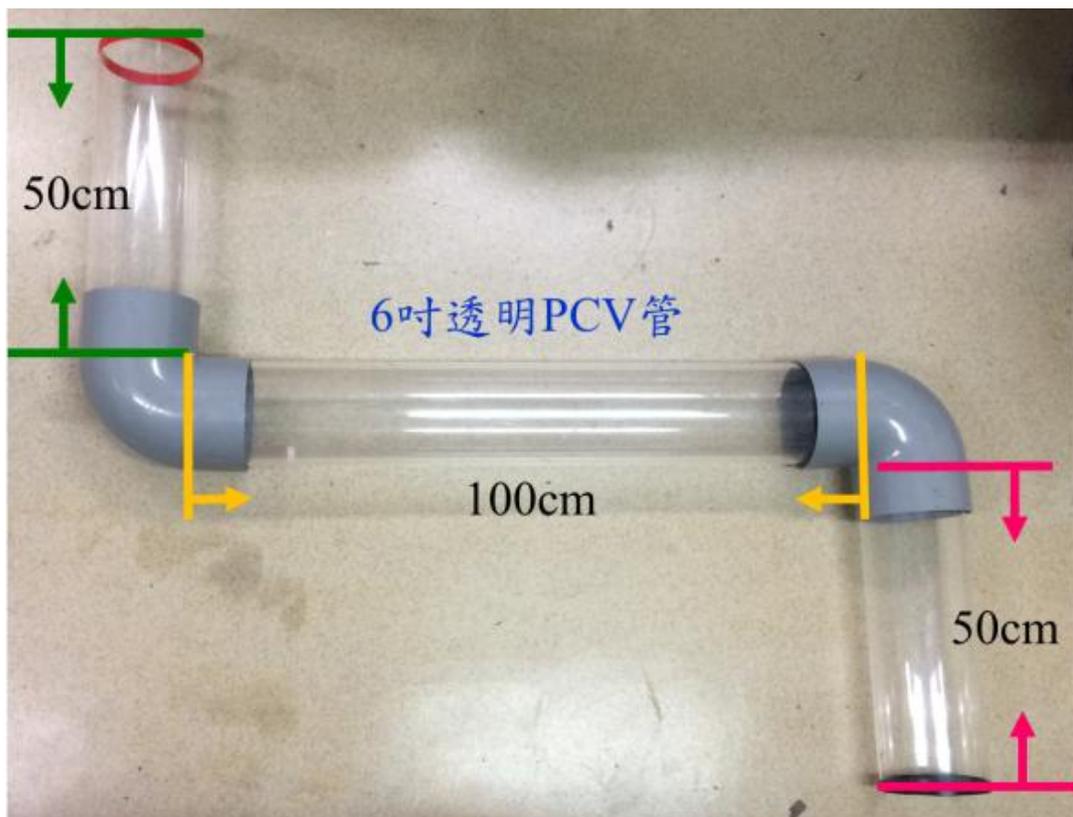


圖 3.12：實驗場地

### (一)管道內部運動實驗

我們將機器蛇放至於實驗場地的管內，由人機介面進行動作模式控制，來進行直線前進、直線後退、垂直右轉、垂直左轉等運動實驗。

#### 1.直線前進運動

圖 3.13 為機器蛇於管內進行每 2 秒直線前進運動之成果圖，a 為 0 秒，b 為 2 秒，c 為 4 秒，d 為 6 秒，e 為 8 秒，f 為 10 秒，g 為 12 秒，h 為 14 秒。直線前進運動速度大約為 1.42cm/s。

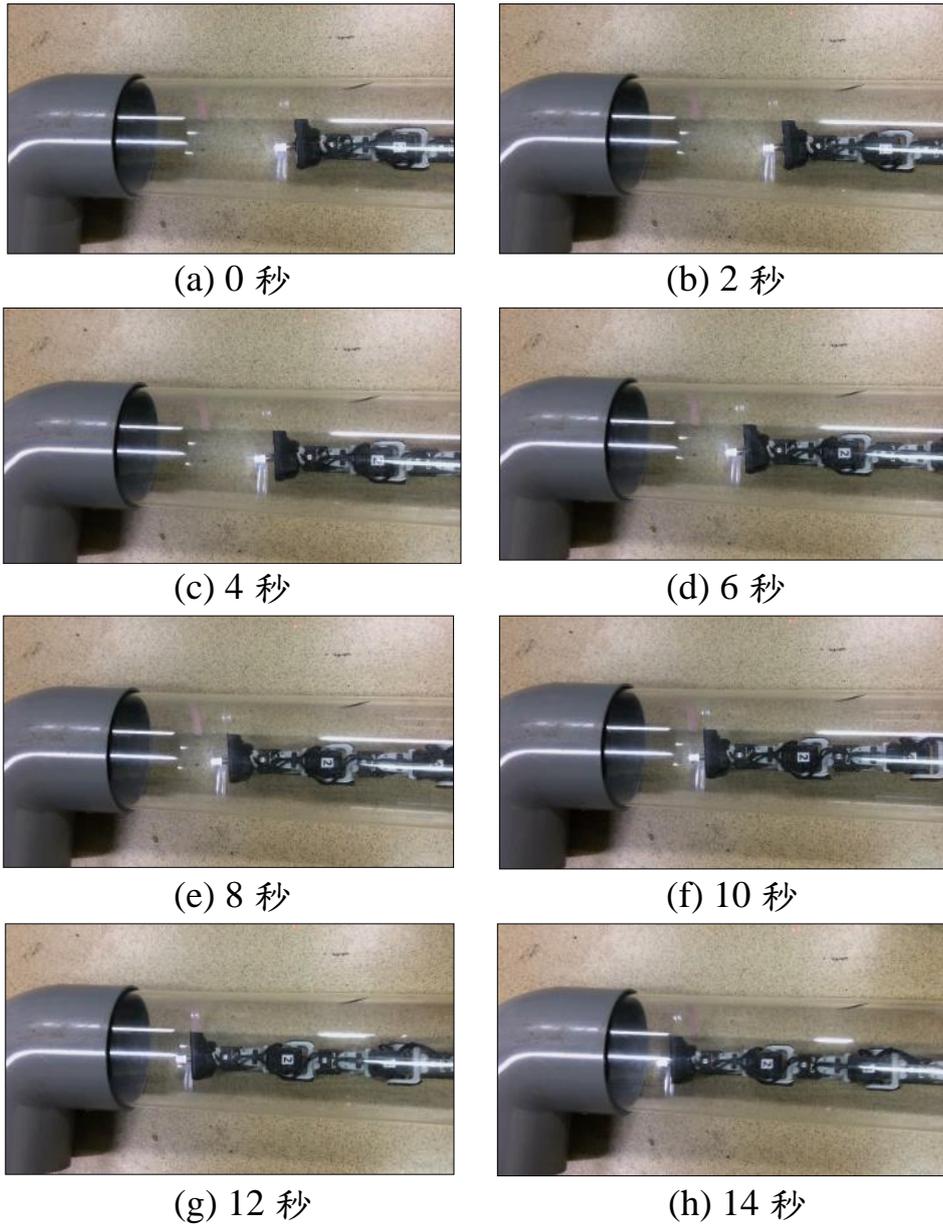


圖 3.13：直線前進運動: (a~h)

## 2.直線後退運動

圖 3.14 為機器蛇於管內進行每 2 秒直線後退運動之成果圖，a 為 0 秒，b 為 2 秒，c 為 4 秒，d 為 6 秒，e 為 8 秒，f 為 10 秒，g 為 12 秒，h 為 14 秒。直線後退運動速度大約為 2.2cm/s。

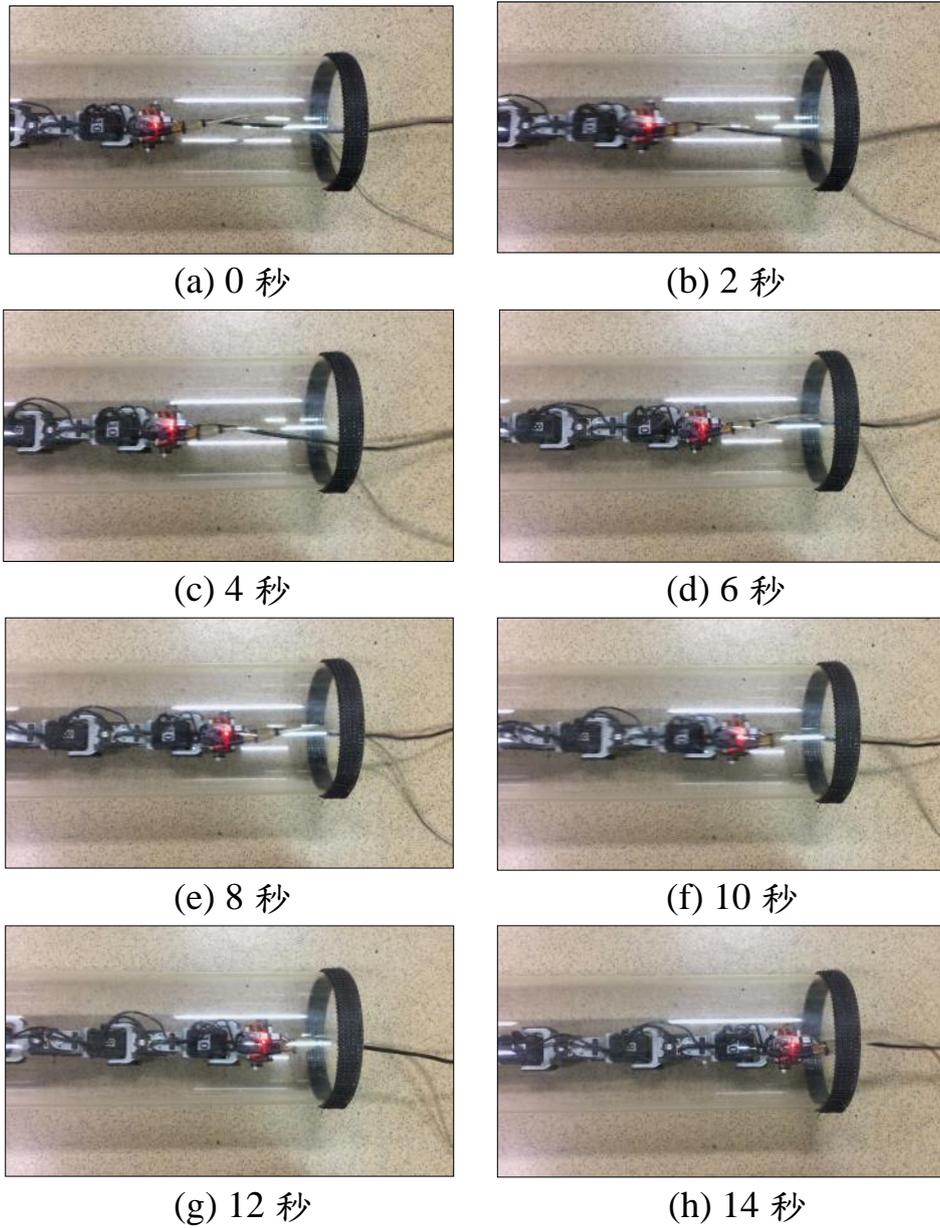


圖 3.14：直線後退運動:(a~h)

### 3.垂直右轉運動

圖 3.15 為機器蛇於管內進行每 2 秒垂直右轉運動之成果圖，a 為 0 秒，b 為 2 秒，c 為 4 秒，d 為 6 秒，e 為 8 秒，f 為 10 秒，g 為 12 秒，h 為 14 秒。垂直右轉運動速度大約為 3.57cm/s。

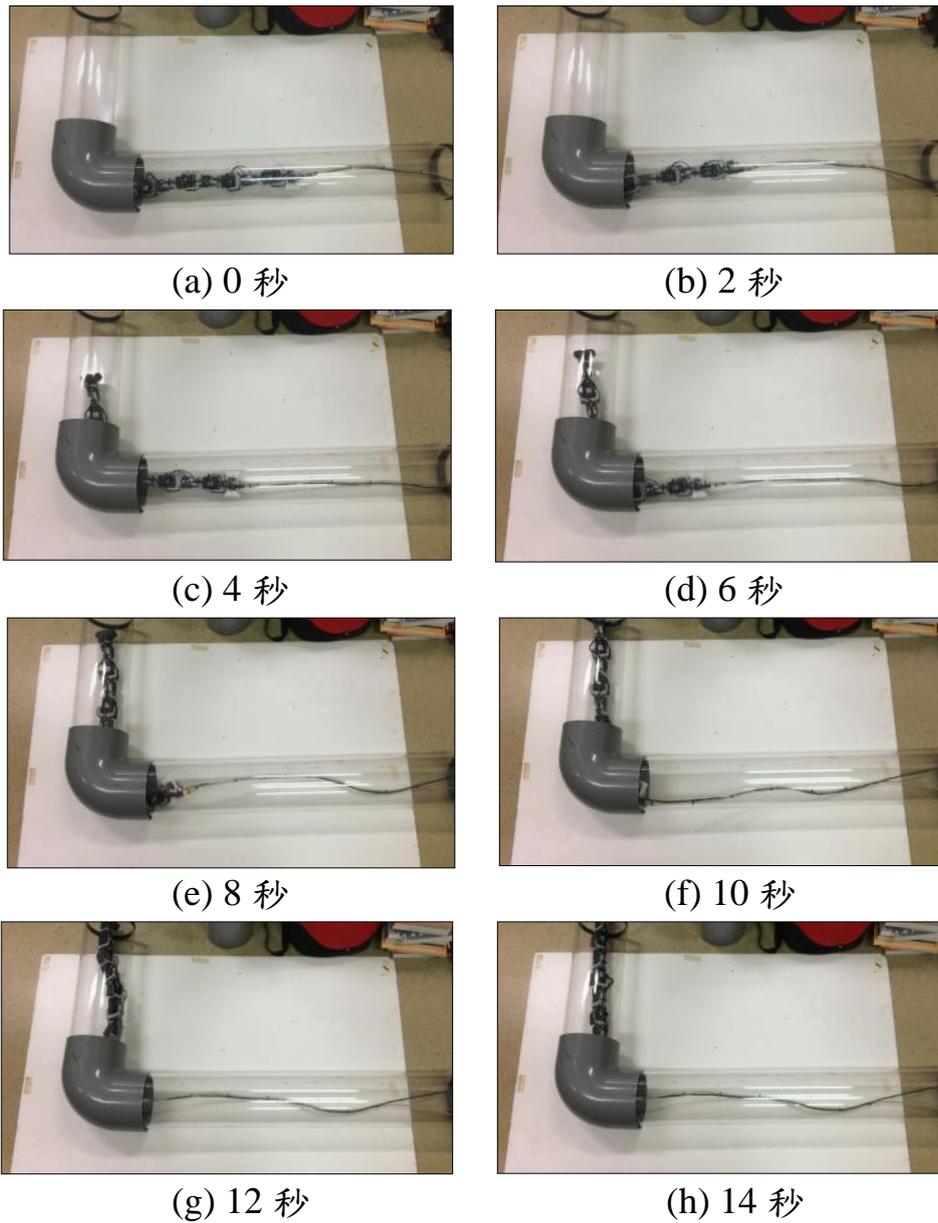


圖 3.15：垂直右轉運動: (a~h)

#### 4.垂直左轉運動

圖 3.16 為機器蛇於管內進行每 2 秒垂直左轉運動之成果圖，a 為 0 秒，b 為 2 秒，c 為 4 秒，d 為 6 秒，e 為 8 秒，f 為 10 秒，g 為 12 秒，h 為 14 秒。垂直左轉運動速度大約為 3.57cm/s。

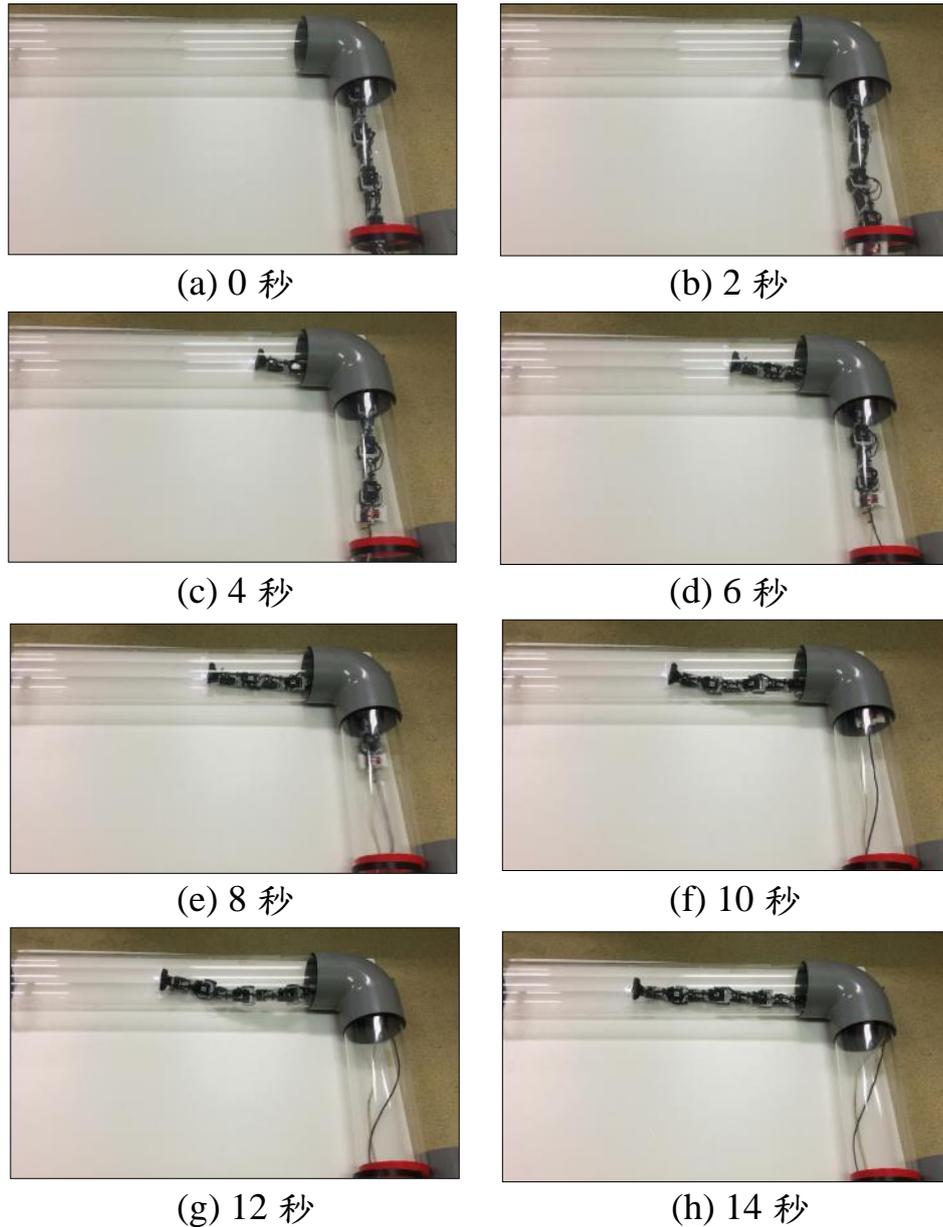


圖 3.16:垂直左轉運動:(a~h)

## (二)管道內部樣本採樣實驗

將機器蛇放至於實驗場地的管內來進行管道內部樣本採樣實驗，由人機介面進行左右各一次之採樣控制，並將採樣後的樣本進行回收查看是否有採樣成功。進行左邊採樣，如圖 3.17 所示，進行右邊採樣，如圖 3.18 所示，回收採樣刷頭查看樣本結果，如圖 3.19 所示。

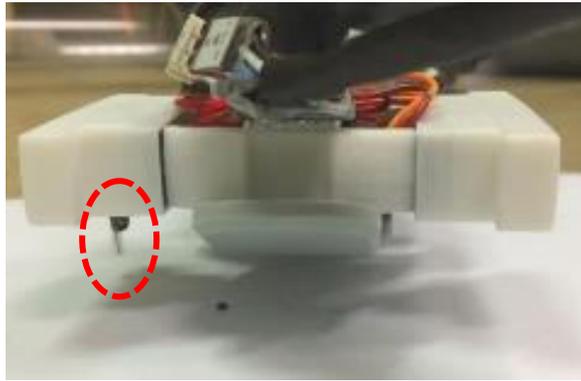


圖 3.17：左邊採樣

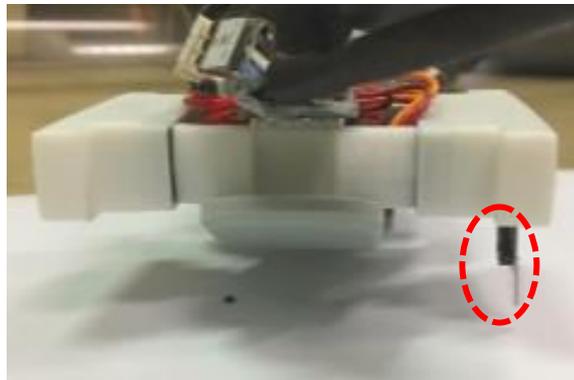


圖 3.18：右邊採樣



圖 3.19：採樣刷頭

### (三)行走地圖繪製實驗

在行走地圖繪製上，由於本研究是採用紀錄每一次點擊動作模式的按鍵來進行定位的，在運動時為了避免誤差，我們將行走次數與距離估算好，來達到地圖每一點為相同的距離，為了要證明行走地圖之準確性，我們將管路連結成ㄟ字型，讓機器蛇放至於實驗場地的管內進行管內移動，來實際測試行走地圖繪製之準確性。如圖 3.20 為ㄟ字型之行走地圖繪製。

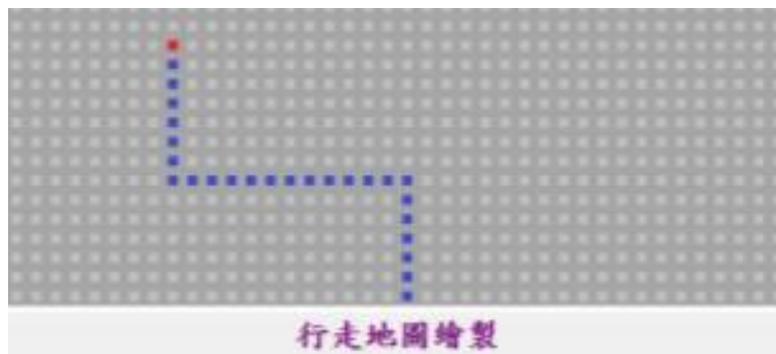
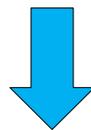


圖 3.20：ㄟ字型行走之地圖繪製

### 三、結論

本研究成功實現使用人機介面進行控制機器蛇於管道內部進行探勘作業之目標。我們分析檢討前期計畫所執行之優缺點，並改善缺點提升系統整體效能，分析各種運動模式使機器蛇能夠於複雜管道內部進行高穩定性之移動能力，並設計樣本採樣機構進行管壁樣本採樣及保存，並於人機介面中顯示行走地圖繪製之視窗，以便於操作者即時觀察與紀錄管內之路徑及採樣位置，我們將以上功能整合呈現於單一之人機介面，提供操作者方便進行監看以控制機器蛇。最後，我們以實驗來進行分析及測試，就運動能力來探討，本研究之機器蛇在移動流暢性與適應地形能力相較於真實蛇類在身體結構之處仍然有許多無法突破之處，但在仿生蛇研究領域內，本研究之機器蛇已具備有管道內部探勘及採樣作業之能力。

機器蛇於實際核能組件金屬管壁行走時的移動誤差、採樣機構可靠度等議題，則適宜作為未來研究方向。

## 肆、參考文獻

- [1] 蔡清池，當 AI 遇到 I-Robot 智慧型機器人-第十一章-P53，3C 科技與生活教材，國立中興大學電機工程學系。
- [2] 吳宥儒，機器人管道內部運動、採樣與介面設計，中原大學電機工程學系研究所學位論文，民國 105 年。
- [3] 洪博謙，蛇型機器人運動模式規劃與分析，中原大學電機工程學系研究所學位論文，民國 105 年。
- [4] 維基百科，蛇行(2016 年 10 月 15 日)，風琴式行走。民 105 年 11 月 2 日，取自：  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%9B%87%E8%A1%8C#.E8.9C.BF.E8.9C.92.E5.BC.8F>
- [5] HOWSTUFFWORKS ANIMALS,How Snakes Work,Snake Movement,Retrieved November 2,2016,from  
<http://animals.howstuffworks.com/snakes/snake3.htm>
- [6] ARDUINO ESP8266 Bring IOT to Arduino，Getting Started，USB TO TTL FTDI FT232R 轉換器。民 105 年 12 月 26 日，圖片與規格取自：  
<http://www.arduinesp.com/getting-started>
- [7] Arduino – Home，Arduino Pro Mini 單晶片微控制器。民 105 年 12 月 26 日，圖片與規格取自：  
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMini>
- [8] 輝盛 TowerPro - 德源科技，MG90S 伺服馬達。民 105 年 12 月 26 日，圖片與規格取自：  
[http://blueskymodel.com/product\\_info.php?products\\_id=6387](http://blueskymodel.com/product_info.php?products_id=6387)
- [9] 露天拍賣-DIY 狂人，AC110V-220V DC12V 10A 電子式變壓器。民 105 年 12 月 26 日，圖片與規格取自：  
<http://goods.ruten.com.tw/item/show?21403183718266>

- [10]邁克兄弟科技股份有限公司，Dynamixel - 產品介紹 AX-12，民 105 年 12 月 24 日，取自：  
[http://www.smartrobot.com.tw/product\\_d.php?lang=tw&tb=1&id=42&cid=21](http://www.smartrobot.com.tw/product_d.php?lang=tw&tb=1&id=42&cid=21)
- [11]採智科技股份有限公司，DYNAMIXEL AX-12A AI 智慧直流伺服馬達。民 105 年 12 月 24 日，取自：  
[http://www.smartrobot.com.tw/product\\_d.php?lang=tw&tb=1&id=42&cid=21](http://www.smartrobot.com.tw/product_d.php?lang=tw&tb=1&id=42&cid=21)
- [12]trossenrobotics，Dynamixel AX-12A Robot Actuator，AX-12A AI 智慧直流伺服馬達。民 105 年 12 月 26 日，圖片取自：  
<http://www.trossenrobotics.com/dynamixel-ax-12-robot-actuator.aspx>
- [13]德源科技，Dynamixel 伺服電機，採菊鍊串連架構圖，民 105 年 12 月 26 日，圖片取自：  
[http://twarm.com/commerce/product\\_info.php?cPath=156\\_183&products\\_id=8440](http://twarm.com/commerce/product_info.php?cPath=156_183&products_id=8440)
- [14]Logitech，HD 網路攝影機，Logitech C615 視訊攝影機圖，民 105 年 12 月 26 日，圖片與規格取自：  
<http://www.logitech.com/zh-tw/product/hd-webcam-c615>
- [15]Logitech HD-C615，硬體規格，民 105 年 11 月 8 日，取自：  
<http://www.logitech.com/zh-tw/product/hd-webcam-c615>
- [16]Micro Servo Motor MG90S - Tower Pro – datasheet-PDF，民 105 年 11 月 6 日，取自：  
<https://engineering.tamu.edu/media/4247823/ds-servo-mg90s.pdf>
- [17]曾吉弘，LabVIEW for Arduino：控制與應用的完美結合，馥林文化出版社，2013。
- [18]葉倍宏，LabVIEW 圖形化程式設計，松崗出版社，2013。