

國立勤益科技大學

機械工程系碩士班

碩士論文

形狀記憶合金於動態人造花藝
之研究

**Development of Kinetic Artificial Flower
Ornaments Using Shape Memory Alloy**

研究生：朱瑩馨

指導教授：潘吉祥 博士

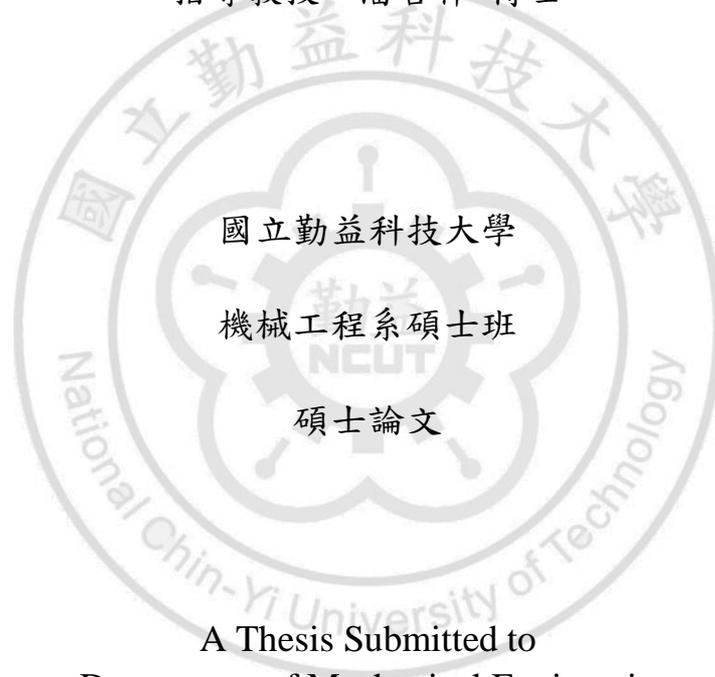
中華民國 九十九 年 七月

形狀記憶合金於動態人造花藝之研究

Development of Kinetic Artificial Flower Ornaments
Using Shape Memory Alloy

研究生：朱瑩馨

指導教授：潘吉祥 博士



國立勤益科技大學

機械工程系碩士班

碩士論文

A Thesis Submitted to
Department of Mechanical Engineering
National Chin-Yi University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science

July 2010
Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十九 年 七 月

形狀記憶合金於動態人造花藝之研究

研究生：朱瑩馨

指導教授：潘吉祥

國立勤益科技大學機械工程系碩士班

摘要

人造花藝品是非常普遍的工藝，也是一般人可享有的裝飾物之一，而其花藝材料可五花八門，且隨創作者有不同的組合，進而產生不同的創意。然而人造花藝的材料均以靜態物件為主，倘若將原先靜態之花藝元件動態化，或能配上一些其他功能的動態元件，在適當的組合及電子感測、機電程式操控下，將可把原先賞心悅目的花藝品，更提升其豐富的創作內涵，增加教育、娛樂及健康身心等的附加效果。因此，本論文乃將原本靜態人造花藝動態化、模組化、可程式控制化及綠能化。成品的構成單元主要為花卉、綠葉、枝幹及蝴蝶等昆蟲作為組合搭配，目標乃讓花朵顯示綻放或向光偏擺彎曲，以及綠葉、枝幹搖曳的動態視覺效果，同時由花中散發出(噴出)花香氣味，產生芬芳的嗅覺感受，而蝴蝶也舞動翅膀，營造賞心悅目且具健康的情境畫面。由於花朵綻放、蝴蝶拍翅、綠葉及枝幹搖曳均須動力來源，以產生微小的動作，設計上為了降低機構的複雜度、大體積及避免噪音產生，破壞了花藝的自然美觀與使用上的便利性，因此本論文摒除使用傳統馬達及其他傳動零組件，改以線狀形狀記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)作為致動機構元件，並以單晶片輸出脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)的訊號與電流作為控制電路。本論文之作品透過多樣化及模組化的花藝元件組

合，輔以感測器及程式化控制，可按使用者需要創作出各式各樣客製化的成品，從開發及應用的角度而言，具高度生活創意，有無窮的市場潛力。未來的效益評估可應用在辦公室科技小物(成人玩具)，服飾時尚配件，以及人造花形機器人。

關鍵字：形狀記憶合金、電熱驅動、致動器元件、人造花藝



Development of Kinetic Artificial Flower Ornaments Using Shape Memory Alloy

Postgraduate: Ying-Sin Jhu

Adviser: Chi-Hsiang Pan

Graduate student Institute of Mechanical Engineering, National Chin-Yi
University of Technology

Abstract

Artificial ornament flowers are very universal technology, most people enjoy one of the ornament, and floriculture material can be multifarious, just follow creator have different combinations, and than produce different ideas. However, artificial ornament flowers material are mainly of static state object, if the original static state flowers components dynamic state or can be coupled with some other function of the dynamic components, the appropriate combination electronic sensors and control program under the electrical and mechanical, upgrade rich creation content, increasing education, entertainment and health body and mind additional effects. Therefore, this thesis is original static state artificial ornament flowers dynamic state, modular, program control and green energy technology. Mainly flower, leave, stem, butterfly and other insect with each other, goal is to display flower bloom and bending to the light deflection, and green leave, branch swaying in the dynamic visual effect, the flower emit floral scent at

the same time, produce fragrant smell feel, and the butterfly wings dancing to create pleasing picture. As flower bloom, butterfly flapping, green leaf and branch swaying have to power source and produce small movements, designed to reduce the complexity of organizations, large volume and to avoid noise generate, destroy the flowers natural beauty and convenience of use. Therefore, this thesis exclude the use of traditional motor and other transmission components, changed to linear shape memory alloy (SMA) as actuators organization component, and to a single-chip output pulse width modulation (PWM) signal with the current as the control circuit. This paper works through diversification and modular combination of flower elements, combined with sensor and programmable controls. Users may need to create variety customized product, from the development and use point of view, have highly creative life and infinite market potential. Future benefit assessment can be applied to office technology of small objects (adult toys), clothing fashion accessories, and artificial flower-shaped robot.

Keywords: Shape Memory Alloy, Electro-thermal Driven, Actuating element,
Flower Ornament

致謝

由衷感謝指導教授 潘吉祥博士多年來在學生學業生涯上細心指導與諄諄教誨，使學生再學業方面與待人處事上獲益匪淺，同時也感謝口試委員 黃國興博士與 吳明勳博士對本論文提出寶貴的指正與建議，使本論文架構更加完整，在此致上真心誠摯的感謝。

另外要感謝在就讀研究所期間的學長、同窗好友及學弟們，因為有你們的陪伴，才能使我的研究生活充實且多彩多姿。

最後，也要感謝一直以來支持我、鼓勵我的家人，使我能順利完成碩士學業與論文研究，我將這份喜悅與你們一同共享，謝謝你們，我愛你們。

中華民國九十九年七月 於勤益



總目錄

摘要.....	III
Abstract.....	V
致謝.....	VII
總目錄.....	VIII
圖目錄.....	XIV
表目錄.....	XX
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機.....	1
1.3 論文架構.....	2
第二章 理論基礎與文獻回顧.....	4
2.1 形狀記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)起源.....	5
2.2 形狀記憶合金製造.....	10
2.3 形狀記憶效應(Shape memory effect, SME).....	11
2.3.1 單向形狀記憶(One Way Shape Memory).....	12
2.3.2 雙向形狀記憶(Two Way Shape Memory).....	12
2.3.3 全向形狀記憶(All-Round Shape Memory).....	13
2.4 擬彈性(Pseudo Elasticity, PE).....	14

第三章 形狀記憶合金起始形狀製作	15
3.1 實驗架構與流程	15
3.2 實驗材料與設備	16
3.3 不同熱處理溫度製作形狀記憶合金之性能分析.....	19
3.4 不同熱處理溫度製作形狀記憶合金之相變態溫度量測.....	23
3.5 利用熱水製作形狀記憶合金起始形狀.....	24
3.6 L形、弧形、直線形和螺旋記憶合金(SMA)之製作方法	25
3.6.1 L形記憶合金製作方法.....	25
3.6.2 弧形記憶合金製作方法	26
3.6.3 直線形記憶合金製作方法	26
3.6.4 螺旋記憶合金製作方法	27
第四章 L形、弧形、直線形和螺旋記憶合金致動元件(shape memory alloy actuating element)設計與製作	28
4.1 L形記憶合金致動元件設計與製作	28
4.2 弧形記憶合金致動元件設計與製作	29
4.3 直線形記憶合金致動元件設計與製作.....	29
4.4 兩條L形記憶合金致動元件設計與製作.....	30
4.5 兩條弧形記憶合金致動元件設計與製作.....	30
4.6 兩條直線形記憶合金致動元件設計與製作.....	31
4.7 螺旋彈簧記憶合金致動元件設計與製作.....	32
4.8 雙向螺旋彈簧記憶合金致動元件設計與製作.....	33
4.9 多方向螺旋記憶合金致動元件設計與製作.....	34

第五章 驅動電路設計與製作	35
5.1 電路設計	35
5.2 脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)基本原理	38
5.2.1 未加入 PWM 及加入 PWM 之分析差異	40
第六章 形狀記憶合金及致動元件實驗結果與討論	41
6.1 量測方法	41
6.1.1 致動時間量測方法	41
6.1.2 表面溫度量測方法	42
6.1.3 回復力量測方法	43
6.1.4 散熱時間量測方法	44
6.1.5 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇量測方法	45
6.2 L 形、弧形、直線形與螺旋形記憶合金之量測結果	46
6.2.1 致動時間之量測	46
6.2.2 表面溫度之量測	47
6.2.3 回復力之量測	48
6.2.4 散熱時間之量測	49
6.2.5 不同長度致動時間之量測	50
6.2.6 不同長度表面溫度之量測	51
6.2.7 不同長度回復力之量測	52
6.2.8 不同長度散熱時間之量測	53
6.2.9 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測	56

6.3 L形、弧形、直線形記憶合金致動元件之量測結果	59
6.3.1 致動角度比較	59
6.3.2 致動時間之量測	60
6.3.3 表面溫度之量測	61
6.3.4 回復力之量測	62
6.3.5 散熱時間之量測	63
6.3.6 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測	64
6.4 兩條 L形、弧形、直線形記憶合金致動元件之量測結果	66
6.4.1 致動角度比較	66
6.4.2 致動時間之量測	68
6.4.3 表面溫度之量測	69
6.4.4 回復力之量測	70
6.4.5 散熱時間之量測	71
6.4.6 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測	72
6.5 螺旋形記憶合金致動元件之量測結果	74
6.5.1 致動時間之量測	74
6.5.2 表面溫度之量測	75
6.5.3 回復力之量測	76
6.5.4 散熱時間之量測	77
6.5.5 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測	78
6.6 雙向螺旋形記憶合金致動元件之量測結果	80
6.6.1 致動角度比較	80

6.6.2 致動時間之量測	81
6.6.3 表面溫度之量測	82
6.6.4 回復力之量測	83
6.6.5 散熱時間之量測	84
第七章 形狀記憶合金電熱模擬分析	85
7.1 有限元素簡介	85
7.2 有限元素基本架構	86
7.3 記憶合金表面溫度模擬分析	89
7.3.1 線狀 SMA 表面溫度模擬分析	90
7.3.2 螺旋 SMA 表面溫度模擬分析	94
第八章 動態人造花藝之研發	98
8.1 簡介	98
8.2 設計構想	99
8.3 致動機構(花朵綻放、蝴蝶拍翅、向日葵向光)設計說明圖	101
8.3.1 花卉機構設計說明圖	101
8.3.2 蝴蝶機構設計說明圖	103
8.4 動態操控說明	105
8.5 動態花藝系統架構爆炸圖及組合圖	110
8.6 動態花藝實體模型照片	113
8.7 應用範圍及目標	115

第九章 結論與未來展望.....	116
9.1 結論.....	116
9.2 未來展望.....	117
參考文獻.....	118
附錄一.....	124
附錄二.....	125
附錄三.....	126



圖目錄

圖 2.1 形狀記憶合金棒與普通金屬棒的比較.....	4
圖 2.2 形狀記憶合金於動物之應用.....	7
圖 2.3 形狀記憶合金於智能花藝之應用.....	9
圖 2.4 線狀記憶合金製作過程.....	10
圖 2.5 形狀記憶效應之晶格機構圖.....	11
圖 2.6 形狀記憶效應圖.....	11
圖 2.7 單向形狀記憶效應圖.....	12
圖 2.8 雙向形狀記憶效應圖.....	12
圖 2.9 Ti-51Ni(%原子)合金呈現出的全向形狀記憶(A)固溶處理並加約束； (B)(C)冷卻時形狀；(D)(E)繼續冷卻時形狀.....	13
圖 2.10 擬彈性效應圖.....	14
圖 3.1 記憶合金實驗流程圖.....	15
圖 3.2 線狀形狀記憶合金 $\phi 0.6\text{mm}$	16
圖 3.3 彈性線 $\phi 0.45\text{mm}$	16
圖 3.4 微拉力計及感應端圖.....	17
圖 3.5 (A)數位式(TES-1313)溫度計 (B)TES-1313 溫度計測溫棒.....	18
圖 3.6 高溫加熱爐.....	19
圖 3.7 待加熱的 SMA 放置高溫加熱爐內.....	19
圖 3.8 不同熱處理溫度 SMA 與致動時間分析.....	20
圖 3.9 不同熱處理溫度 SMA 與表面溫度分析.....	20
圖 3.10 不同熱處理溫度 SMA 與回復力分析.....	21
圖 3.11 不同熱處理溫度 SMA 與散熱時間分析.....	21
圖 3.12 不同熱處理溫度 SMA 與變形量分析.....	22
圖 3.13 (A)麻田散鐵相 (B)沃斯田鐵相.....	23

圖 3.14 (A)利用熱水加熱方式製造記憶合金起始形狀 (B)L 形記憶合金.....	24
圖 3.15 L 形治具.....	25
圖 3.16 L 形記憶合金製作.....	25
圖 3.17 弧形治具.....	26
圖 3.18 弧形記憶合金製作.....	26
圖 3.19 直線狀記憶合金製作.....	26
圖 3.20 螺旋彈簧記憶合金製作.....	27
圖 4.1 L 形記憶合金加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	28
圖 4.2 弧形記憶合金加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	29
圖 4.3 直線記憶合金加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	29
圖 4.4 兩條 L 形記憶合金加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	30
圖 4.5 兩條弧形記憶合金加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	30
圖 4.6 兩條直線記憶合金加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	31
圖 4.7 螺旋彈簧狀 SMA 外側加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	32
圖 4.8 螺旋彈簧狀 SMA 中間加彈性線(A)未通電 (B)通電.....	32
圖 4.9 雙向螺旋彈簧致動器.....	33
圖 4.10 多方向螺旋彈簧致動器.....	34
圖 5.1 PWM 電控電路.....	35
圖 5.2 (A)非開關式電路 (B)開關式電路.....	36
圖 5.3 遙控電路.....	37
圖 5.4 向日葵向光電路.....	37
圖 5.5 PWM 基本動作原理.....	38
圖 5.6 PWM 訊號示意圖.....	39
圖 5.7 PWM 工作週期示意圖.....	39
圖 5.8 未加入 PWM 及加入 PWM 之差異圖.....	40

圖 6.1 致動時間量測方法.....	41
圖 6.2 表面溫度量測方法.....	42
圖 6.3 回復力量量測方法	44
圖 6.4 散熱時間量測方法.....	44
圖 6.5 未加入 PWM、加入 PWM 及 PWM 與風扇散熱量測方法.....	45
圖 6.6 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 致動時間量測	46
圖 6.7 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 表面溫度量測	47
圖 6.8 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 回復力量量測分析.....	48
圖 6.9 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 散熱時間量測分析.....	49
圖 6.10 不同長度致動時間量測分析.....	50
圖 6.11 不同長度表面溫度量測分析.....	51
圖 6.12 不同長度回復力量量測分析.....	52
圖 6.13 不同長度 L 形 SMA 散熱時間量測分析.....	53
圖 6.14 不同長度弧形 SMA 散熱時間量測分析.....	54
圖 6.15 不同長度直線形 SMA 散熱時間量測分析.....	54
圖 6.16 不同長度螺旋 SMA 散熱時間量測分析.....	55
圖 6.17 (L 形)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測	56
圖 6.18 (弧形)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	57
圖 6.19 (直線)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	57
圖 6.20 (螺旋)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	58
圖 6.21 L 形致動元件之致動角度	59
圖 6.22 弧形致動元件之致動角度.....	59
圖 6.23 直線形致動元件之致動角度.....	60
圖 6.24 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之致動時間量測分析.....	60
圖 6.25 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之表面溫度量測分析.....	61

圖 6.26	L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之回復力量測分析.....	62
圖 6.27	L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之散熱時間量測分析.....	63
圖 6.28	(L 形致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	64
圖 6.29	(弧形致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	65
圖 6.30	(直線致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	65
圖 6.31	兩條 L 形致動元件之致動角度.....	67
圖 6.32	兩條弧形致動元件之致動角度.....	67
圖 6.33	兩條直線形致動元件之致動角度.....	67
圖 6.34	兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之致動時間量測分析.....	68
圖 6.35	兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之表面溫度量測分析.....	69
圖 6.36	兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之回復力量測分析.....	70
圖 6.37	兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之散熱時間量測分析.....	71
圖 6.38	(兩條 L 形致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	72
圖 6.39	(兩條弧形致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	73
圖 6.40	(兩條直線致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	73
圖 6.41	彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之致動時間量測分析.....	74
圖 6.42	彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之表面溫度量測分析.....	75
圖 6.43	彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之回復力量測分析.....	76
圖 6.44	彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之散熱時間量測分析.....	77
圖 6.45	(彈性線放置外側)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	78
圖 6.46	(彈性線放置中間)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測.....	79
圖 6.47	雙向螺旋無彈簧致動角度.....	80
圖 6.48	雙向螺旋彈簧致動角度.....	80
圖 6.49	雙向螺旋 SMA 致動元件之致動時間量測分析.....	81
圖 6.50	雙向螺旋 SMA 致動元件之表面溫度量測分析.....	82

圖 6.51 雙向螺旋 SMA 致動元件之回復力量測分析	83
圖 6.52 雙向螺旋 SMA 致動元件之散熱時間量測分析	84
圖 7.1 分析基本架構圖	86
圖 7.2 線狀 SMA 網格模型.....	90
圖 7.3 線狀 SMA-1A-10s 溫度圖.....	90
圖 7.4 線狀 SMA-1.5A-10s 溫度圖.....	91
圖 7.5 線狀 SMA-2A-10s 溫度圖.....	91
圖 7.6 線狀 SMA-2.5A-10s 溫度圖.....	92
圖 7.7 線狀 SMA-3A-10s 溫度圖.....	92
圖 7.8 線狀 SMA 量測與模擬圖.....	93
圖 7.9 螺旋 SMA 網格模型.....	94
圖 7.10 螺旋 SMA-1A-10s 溫度圖.....	94
圖 7.11 螺旋 SMA-1.5A-10s 溫度圖.....	95
圖 7.12 螺旋 SMA-2A-10s 溫度圖.....	95
圖 7.13 螺旋 SMA-2.5A-10s 溫度圖.....	96
圖 7.14 螺旋 SMA-3A-10s 溫度圖.....	96
圖 7.15 螺旋 SMA 量測與模擬圖.....	97
圖 8.1 日本 TOMY 公司的「Flip Flap」光能驅動的小草商品	100
圖 8.2 實體圖	100
圖 8.3 線狀 SMA 花卉致動機構.....	101
圖 8.4 螺旋 SMA 花卉致動機構.....	101
圖 8.5 向日葵致動機構	102
圖 8.6 蝴蝶內部機構	103
圖 8.7 形狀記憶合金致動機構.....	103
圖 8.8 蝴蝶拍翅舞動	104

圖 8.9 (A)線狀 SMA 使花朵綻放 (B)螺旋 SMA 使花朵綻放	106
圖 8.10 花卉噴出花香氣體.....	106
圖 8.11 蝴蝶拍翅舞動	107
圖 8.12 向日葵及光敏電阻擺放位置.....	108
圖 8.13 向日葵作動圖	108
圖 8.14 向日葵朝光彎曲.....	109
圖 8.15 遙控花	109
圖 8.16 花藝盆景組合圖.....	110
圖 8.17 蝴蝶機構爆炸圖.....	111
圖 8.18 蝴蝶爆炸及組合示意圖.....	111
圖 8.19 電控器、電源及花香氣體噴出器.....	111
圖 8.20 向日葵盆景組合圖.....	112
圖 8.21 遙控花組合圖	112
圖 8.22 (A)電腦模擬實體模型 (B)實體照片.....	113
圖 8.23 (A)蝴蝶電腦模擬實體模型 (B)蝴蝶實體照片	113
圖 8.24 (A)向日葵電腦模擬實體模型 (B)向日葵實體照片.....	114
圖 8.25 (A)遙控花電腦模擬實體模型 (B)遙控花實體照片	114
圖 8.26 (A)辦公室科技小物 (B)服飾時尚配件 (C)人造花形機器人 (D)造景花牆.....	115

表目錄

表 2.1 形狀記憶合金的起源與發展史.....	5
表 3.1 鈦 Ti50%-鎳 Ni45%-銅 Cu5%形狀記憶合金的基本特性之特性表.....	17
表 3.2 TES-1313 溫度計測溫棒規格.....	18
表 3.3 熱水致動法之相變態溫度表.....	23
表 6.1 L 形、弧形、直線形 SMA 致動元件之致動角度比較表.....	59
表 6.2 兩條 L 形、弧形、直線形 SMA 致動角度比較表.....	66
表 6.3 雙向螺旋 SMA 致動角度比較表.....	80
表 7.1 單位系統表.....	87
表 7.2 不同熱分析材料性質表.....	89
表 7.3 線狀 SMA 量測與模擬值數據.....	93
表 7.4 螺旋 SMA 量測與模擬值數據.....	97

第一章 緒論

1.1 前言

隨著科技的進步，開發新性能的材料，使很多先進且智慧型的材料被開發出，例如：形狀記憶合金、壓電材料…等，這當中並以形狀記憶合金為實例，如：眼鏡框、微致動器[1-4]、內視鏡、微夾具[5-7]、胸罩…等，形狀記憶合金具有較高的機械性能與人體的相容性好，且體積小、無污染、無噪音以及小的遲滯區間等優點[8]，其藉由溫度控制產生相變化，即麻田散體相與沃斯田鐵相的相變態來驅動，進而使外觀形狀變化，且透過溫度的影響產生出形狀記憶效應(SME) 和擬彈性效應(PE)的物理特性，目前被發現形狀記憶效應與超彈性合金高達數十種[9-11]。

本文將以形狀記憶合金致動元件的設計、製造、量測以及應用為研究目標，發展各式各樣客製化成品及帶來無窮的市場潛力。

1.2 研究動機

因形狀記憶合金應用層面很多，被視為重要機能材料之一。其主要用途可應用在工業、家電、汽車、醫療、玩具與能源…等其他方面之應用，其微型致動器是本篇論文所著重的研究重點，而將形狀記憶合金應用於微型致動器上。

本文中使用的 Ti50%-Ni45%-Cu5% 的線狀記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA) 製作出不同形狀的致動元件，應用在動植物上，使花朵綻放、蝴蝶拍翅、綠葉及枝幹搖曳，並且對形狀記憶合金做深入探討及進行各種實驗得到的相關數據，並搭配單晶片 AT89C51 輸出脈波頻寬調變訊號(Pulse Width Modulation, PWM)作為電流控制[12]，使原先靜態之動植物動態化，大大提升創作內涵及娛樂身心等效果。

1.3 論文架構

整篇論文的架構，共分為六個章節：

第一章 緒論

此章節包含前言介紹，接著是本篇論文的研究動機，最後是本篇論文總架構說明。

第二章 理論基礎與文獻回顧

此章節包含記憶合金起源、製造與記憶合金的原理。

第三章 形狀記憶合金起始形狀製作

此章節包含了實驗架構、實驗流程與實驗材料與設備，接著在不同熱處理溫度下相關性能分析、相變態溫度量測及形狀記憶合金之製作方法。

第四章 形狀記憶合金致動元件設計與製作

此章節包含製作不同設計之致動元件，如 L 形(2L 形)、弧形(2 弧形)、直線形(2 直線形)、螺旋(彈性線放置於外側、中間)致動元件、雙向螺旋及多方向螺旋記憶合金致動元件。

第五章 驅動電路設計與製作

此章節主要是介紹脈波頻寬調變(PWM)基本原理、致動器之電路設計以及有無 PWM 之分析差異。

第六章 形狀記憶合金及致動元件實驗結果與討論

此章節主要是量測出 L 形、弧形、直線形、螺旋記憶合金以及 L 形(2L 形)、弧形(2 弧形)、直線形(2 直線形)、螺旋(彈性線放置於外側、中間)致動元件、雙向螺旋記憶合金致動元件之致動時間、表面溫度、回復力、散熱時間以及有無 PWM 和 PWM 與風扇之性能量測，將所量測出的數值用表和圖呈現出來及做說明。

第七章 形狀記憶合金電熱模擬分析

此章節主要是透過 Solid Works Simulation 做記憶合金位移及表面溫度之分析，並針對記憶合金進行模擬比較分析。

第八章 動態人造花藝之研發

此章節包含設計構想、致動機構說明圖、做動方式、組合圖、實體圖及應用範圍。

第九章 結論與未來展望

此章節主要是討論研究成果與需改進的地方，利於之後研究。

第二章 理論基礎與文獻回顧

形狀記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)，顧名思義，就是一種能夠記憶原本形狀的金屬材料，此種材料在冷卻狀態下(麻田散鐵相)，若將它變形，在加熱至某臨界溫度以上(沃斯田鐵相)，即可以回復到變形前的形狀，實際上它是由於材料內部相變態所造成的，其形狀記憶合金具有形狀記憶效應(Shape memory effect, SME)和擬彈性效應(Pseudo Elasticity, PE)，是頗受注目的力學系機能材料，如果能善加利用其形狀記憶效應(SME)及擬彈性效應(PE)的話，可以將傳統機械的機構及重量等大大的簡化。

具有形狀記憶效應的合金種類繁多，目前具有實用化有鈦 Ti-鎳 Ni 系及銅 Cu 基形狀記憶合金，其中較引人注目的只有銅 Cu 元素添加，根據文獻得知，銅 Cu 元素天家可以提高合金加工性，此點正可以彌補鈦 Ti-鎳 Ni 系加工困難的缺陷，所以潛力不容忽視，也值得大力推展。

材料種類	原始形狀	在室溫下變形	加熱
形狀記憶合金棒			
普通金屬棒			

圖 2.1 形狀記憶合金棒與普通金屬棒的比較[13][40]

2.1 形狀記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)起源

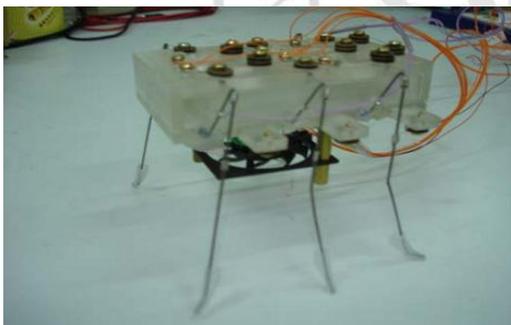
1938 年美國哈佛大學的 Greninger 和麻省理工學院的 Mooradian 發現黃銅(銅、鋅合金)的麻田散體相會隨著溫度的改變，具有形狀記憶效應。1951 年被 L.C.Chang 和 T.A.Read 發現具有獨特的特性，用 X 光觀察到 AuCd 合金中相變的可逆性；兩年後，在 In-Ti 合金中也發現了此種獨特的現象。但卻一直到了 1963 年美國海軍研究所 Buehler 在研究原子比之 Ti-Ni 合金中巨觀形狀變化時，發現到 Ti-Ni 合金也具有形狀記憶效應[14]，才引起材料學界與工業界的重視。隨後陸續也發現 Cu-Al-Ni、Cu-Zn-Al...等合金皆具有這種特性[15]。由於美國在此時期受到專利的保護，因此居於領先地位。日本則僅能默默的進行小規模的研究，直至 1970 年美國專利保護期滿後，日本等國在各方面的應用與開發皆迅速發展。1980 年，由美國 Wayman 等人研究 Ti50%-Ni50%-X-CuX 合金系統之 TEM 的觀察，1990 年日本 Nam 等人對 Ti-Ni-Cu 系列做出廣泛的研究，因此，形狀記憶合金用途種類相當廣泛，被視為極具應用潛力之機能性材料，如：人工關節、微致動器、仿生昆蟲[16-20]、機器人[21-23]...等，利用表 2.1 明顯可以看出形狀記憶合金的歷史。

表 2.1 形狀記憶合金的起源與發展史[24]

年份	地點	發現人	合金種類	發現特性
1951	美國伊利諾大學	L.C. Chang & T.A. Read	Au-Cd 合金	形狀記憶效應 (Shape Memory Effect)
1953	英國	Burkar & Read	In-Tl 合金	擬彈性效應 (Pseudo Elasticity)
1953~1963	一度受世人重視，但由於實用性不大，使得這項研究沉寂一段時間			

1963	美國海軍兵器研究所	W.J. Buehler	Ti-Ni 合金	形狀記憶效應 (Shape Memory Effect)
1963~1980	再度受世人重視，並進行結晶學及材料科學等研究，但由於當時淬取技術及單晶化技術不成熟，使形狀記憶合金沒有被重視			
1980 之後	有關 Ti-Ni 合金各項基本特性幾乎都已達到可理解的階段			

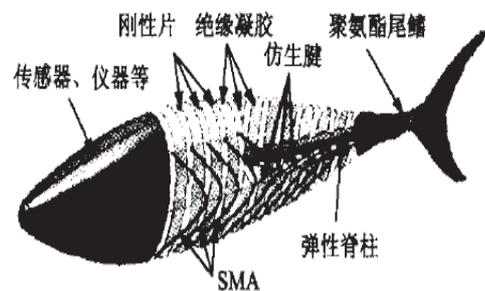
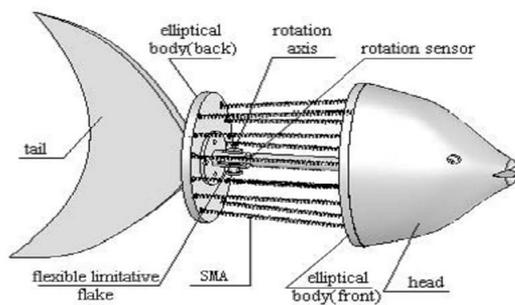
形狀記憶合金至今已開發應用於各種不同種類的致動器上，如家電、生活(眼鏡、胸罩)、車輛、建築、能源、機械及醫療等，也可將記憶合金應用於動物上或植物上，如圖 2.2(a)仿生六足機器人、圖 2.2(b)仿生蛇型機器人、圖 2.2(c)仿生魚機器人、圖 2.2(d)仿生扁蝠機器人，其關節處都是以記憶合金做成，而使用記憶合金能夠對電流產生的熱作出敏感回應，熱驅動使記憶合金產生做動，也讓仿生機器人在視覺上給人栩栩如生的感覺。



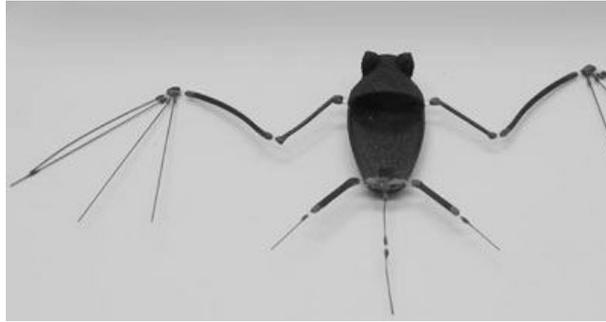
(a) 仿生六足機器人[21]



(b) 仿生蛇型機器人[54]



(c) 仿生魚機器人[55]



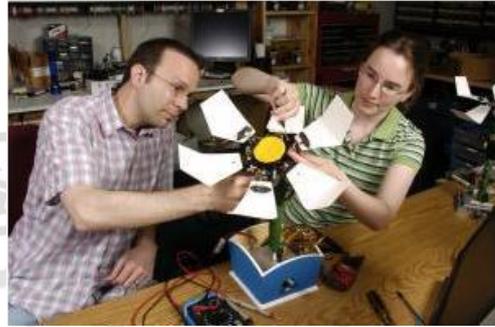
(d)仿生扁蝠機器人[59]

圖 2.2 形狀記憶合金於動物之應用

圖 2.3(a)為 Ti-Ni 記憶合金花，以熱水或熱風為熱源，開放溫度為 $65^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，閉合溫度為室溫。圖 2.3(b)為花形機器人，是將照相機及紅外線感測器安裝在花朵裡的新網際網路控制機器人。圖 2.3(c)為電動花服飾，將 Ti-Ni 形狀記憶合金混合加入紡織品，透過感應溫度或電路控制，能夠不停變化外觀的仿生洋裝，藉由電子自動化的整合，這些服裝成為可被商品化的「功能性」產品。圖 2.3(d)為智能工藝花，花莖以彈性材料為基體，在基體中放入形狀記憶合金絲，形狀記憶合金絲通過導線與電源連接，不同位置的形狀記憶合金絲對應著花莖擺動的不同方向。圖 2.3(e)為熱致開閉人造花，能根據環境溫度改變而自動開閉的人造花，花瓣和葉片是使用軟質材料製成，其開閉是由雙向形狀記憶合金製作骨架構件。



(a)Ti-Ni 記憶合金花



(b)花形機器人



(c)電動花服飾

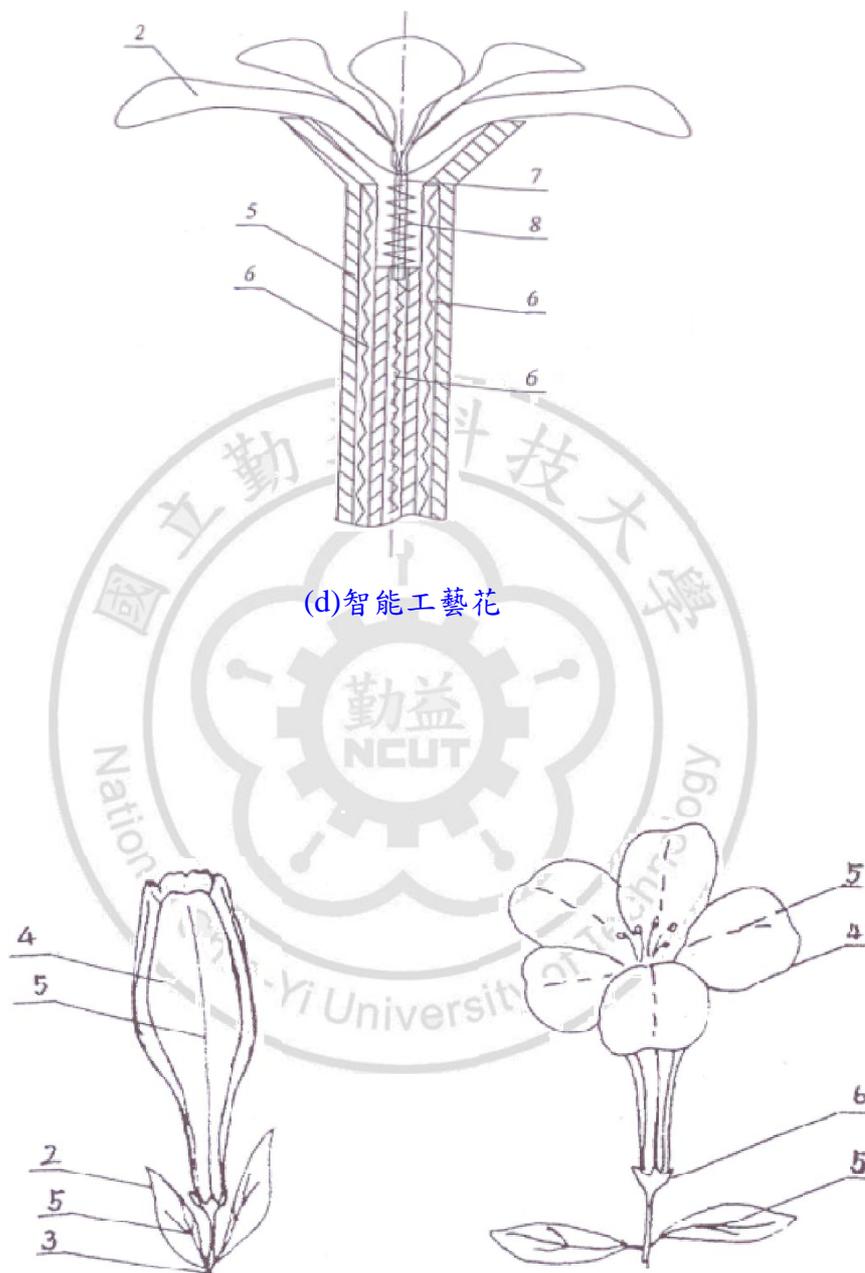


圖 2.3 形狀記憶合金於智能花藝之應用[51-53,56-58]

2.2 形狀記憶合金製造

使用形狀記憶合金最重要的就是他的麻田散相轉換溫度，此一轉換溫度會因晶粒尺寸、外加應力、熱循環次數等因素改變，但以合金成份的改變對麻田散相轉換溫度的影響最大，因此成分的控制包括正確的百分比及均勻的品質將非常重要。

形狀記憶合金種類繁多，特性也不大相同，且影響合金製造的變數很多，如鉗鍋的潔淨度、熱處理溫度、退火的溫度和時間以及合金的比例等等，不同條件搭配所製造出的合金，其特性也不同[25]。

下面是簡要的線狀記憶合金製造流程：

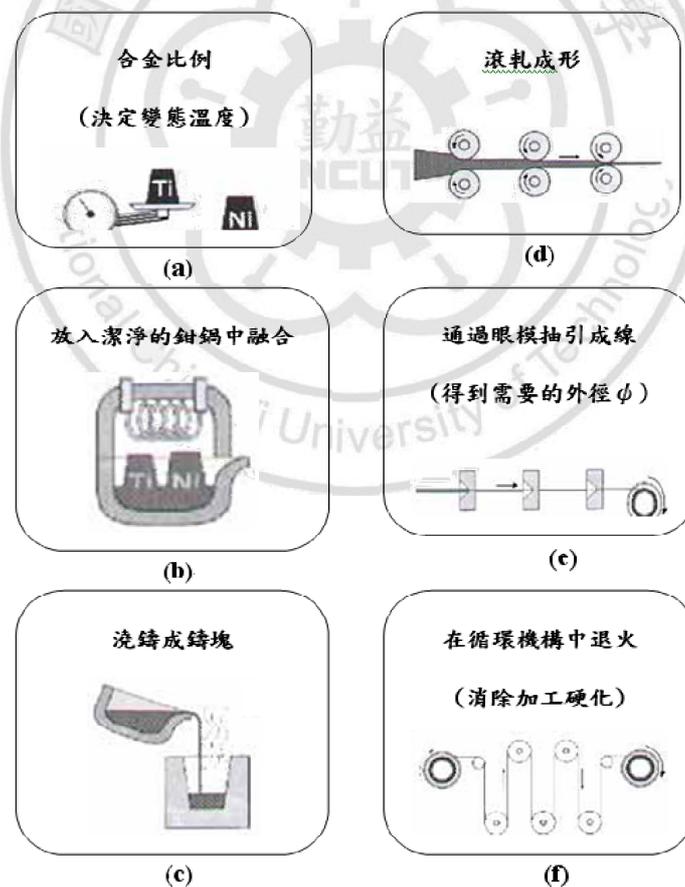


圖 2.4 線狀記憶合金製作過程

2.3 形狀記憶效應(Shape memory effect, SME)

主要是原子晶體結構上的溫度變化：沃斯田鐵相(Austenite)也稱之母相，是指記憶合金在高溫時相的晶格，而麻田散鐵相(Martensitic)則是指記憶合金在低溫相時的晶格，也就是說當形狀記憶合金在低溫麻田散鐵相時，因外部加熱，使形狀記憶合金達到高溫沃斯田鐵相(母相)，即會立刻恢復到其原始形狀，這種藉由外部加熱的方式，使其恢復成原本形狀的特殊現象，稱作形狀記憶效應(Shape memory effect, SME)，如圖 2.5、2.6 所示[26-31,39]。

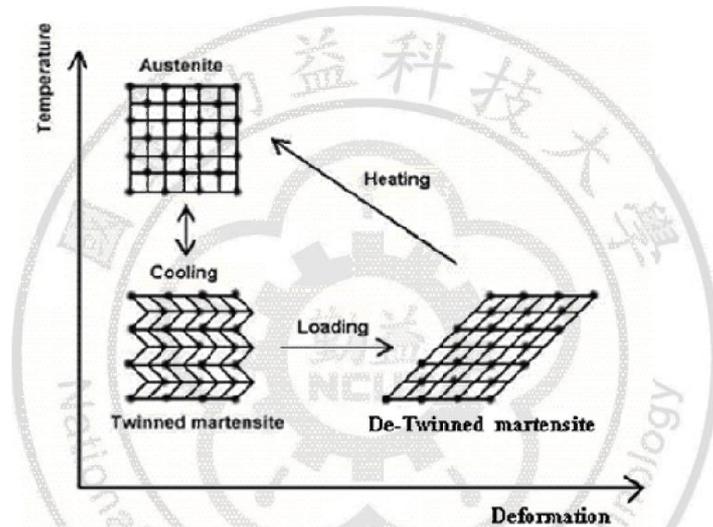


圖 2.5 形狀記憶效應之晶格機構圖

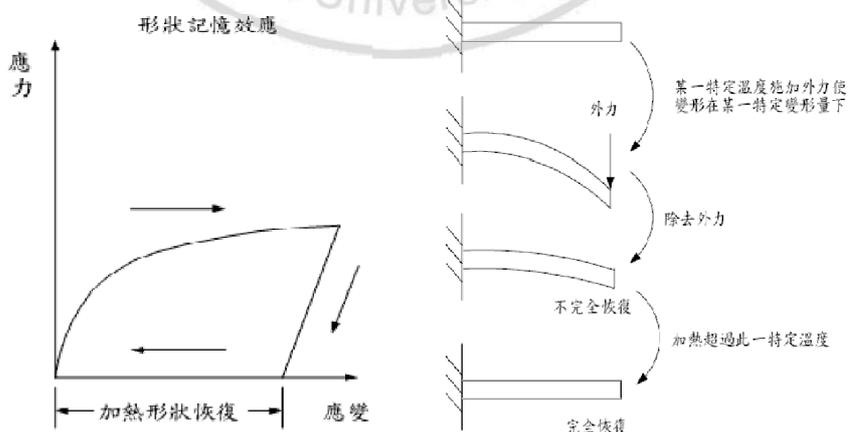


圖 2.6 形狀記憶效應圖

2.3.1 單向形狀記憶(One Way Shape Memory)

一般金屬在某種變形範圍內(彈性變形限度)，外力一但除去時，就可恢復原狀。但如果施加超過彈性變形限度以上的應力，即使除去應力，也無法使其完全恢復原狀。但是形狀記憶合金若在某一特定溫度 A_f 以下使其變形(也需在某一特定變形量下)後，當加熱超過此一特定溫度時，形狀記憶合金會逐漸恢復到原來的形狀，也就是說每一個循環均需先變形之後，再加熱使其形狀恢復，一個溫度的循環只能運作一次，如圖 2.7 所示[27,32-34,39]。

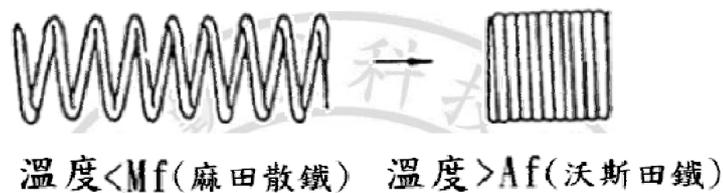


圖 2.7 單向形狀記憶效應圖

2.3.2 雙向形狀記憶(Two Way Shape Memory)

雙向記憶效應是當加熱溫度超過 A_f 時，會自動伸長，當冷卻低於 M_f 時，會自動收縮，經一再的加熱及冷卻循環過程，均能顯現高、低溫相不同形狀的特性，隨加熱或冷卻時的溫度變化，可自發地伸長及收縮，如圖 2.8(a)、(b)所示 [27,34-36,39]。



(a)



(b)

圖 2.8 雙向形狀記憶效應圖

2.3.3 全向形狀記憶(All-Round Shape Memory)

全向形狀記憶是一種反常記憶效應，與雙向記憶效應類似，但全向記憶變形更為明顯更為強烈，將記憶合金在彎曲變形狀態進行時效處理，如圖 2.9(a)所示，當冷卻時，如圖 2.9(b)、(c)所示，若繼續冷卻，形狀會反方向變形，如圖 2.9(d)、(e)所示，若再加熱至 A_f 以上，便又會恢復到圖 2.9(a)中的原樣，需注意的是，當 Ni 含量大於 50.5% 且又經過時效，才具有這種效應[27,35,37-39]。

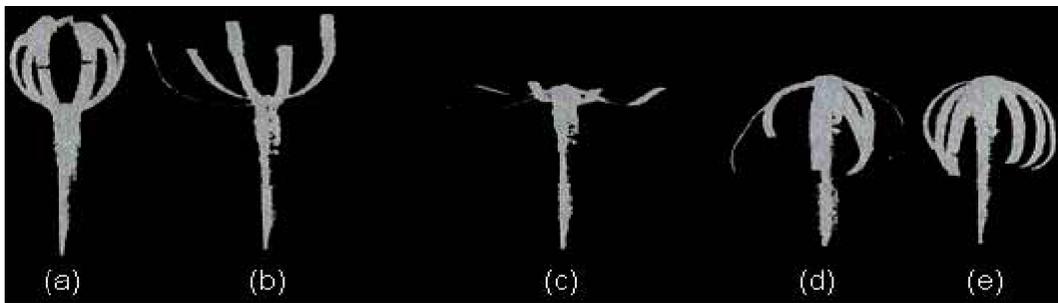


圖 2.9 Ti-51Ni(%原子)合金呈現出的全向形狀記憶

(a)固溶處理並加約束；(b)(c)冷卻時形狀；(d)(e)繼續冷卻時形狀

2.4 擬彈性(Pseudo Elasticity, PE)

擬彈性也是超彈性(Superelasticity)，指材料在某些條件下，具有相當大的彈性應變量，當外力除去後，即會回復至原始形狀。

擬彈性效應(Pseudo Elasticity, PE)與麻田散體相變態(Stress Induced Martensite, SIM)有密切關係，主要是當形狀記憶合金之沃斯田鐵相高於結束溫度以上，低於麻田散鐵相起始溫度以下的溫度範圍內，施加適當的外力(如：拉伸、壓縮、扭曲)，使其產生麻田散鐵相變態，同時變形，當去除外力後，發生逆變態，即可回復至原本形狀，如圖 2.10 所示[27,28,30,32,34,35,39]。

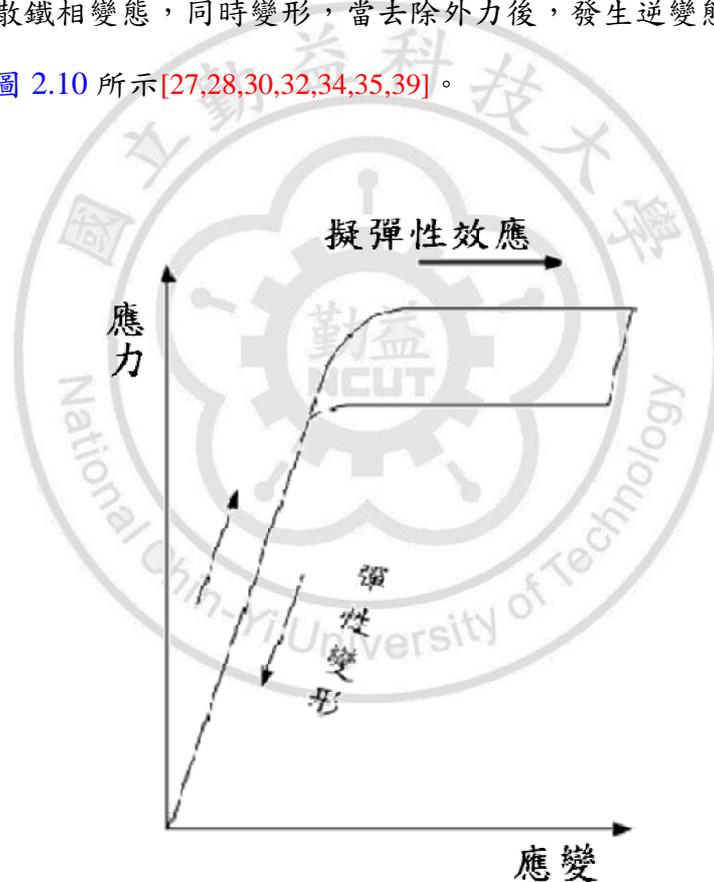


圖 2.10 擬彈性效應圖

第三章 形狀記憶合金起始形狀製作

3.1 實驗架構與流程

此研究最主要是探討形狀記憶合金，所以針對這章節對形狀記憶合金做一連串的實驗。本文所使用的形狀記憶合金為Ti50%-Ni45%-Cu5%的線狀記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)，其線徑為0.6mm，首先針對不同熱處理溫度進行比較以及對形狀記憶合金的致動時間、表面溫度、回復力以及散熱時間去做量測，完成以上基本量測後，再針對L形、弧形、直線形、有彈性體和無彈性體去做量測，最後在以形狀記憶合金的特性去做機構設計，當整體架構完成後，搭配單晶片AT89C51輸出脈波頻寬調變訊號(PWM)做一完整的電流控制。



圖 3.1 記憶合金實驗流程圖

3.2 實驗材料與設備

本實驗利用所購買的線狀記憶合金製作出其他形狀的記憶合金，此形狀記憶合金所使用的材料是鈦Ti50%-鎳Ni45%-銅Cu5%，且出廠時所記憶的形狀是呈直線狀，如圖3.2為線狀和螺旋彈簧記憶合金實體圖，其記憶合金線為單向的，線徑為0.6mm，相變態溫度為50°C，是由旭揚科技股份有限公司所提供，後續也將搭配彈性線，如圖3.3所示，製做微型機構。形狀記憶合金在使用溫度上也有一定的限制，假若溫度太高的話，容易造成材料內部結構發生變化而逐漸衰退。表3.1為鈦Ti50%-鎳Ni45%-銅Cu5%記憶合金相關數據。



圖 3.2 線狀形狀記憶合金 ϕ 0.6mm



圖 3.3 彈性線 ϕ 0.45mm

表3.1 鈦Ti50%-鎳Ni45%-銅Cu5%形狀記憶合金的基本特性之特性表[29]

基本特性	華氏(°F)	攝氏(°C)
開始沃斯田鐵相溫度(A_s)	315K	41.85
結束沃斯田鐵相溫度(A_f)	335K	61.85
開始麻田散鐵相溫度(M_s)	320K	46.85
結束麻田散鐵相溫度(M_f)	296K	22.85
磁滯溫度(Hysteresis)	18K	-255.15
最大變形率	6%	
反覆壽命	10^5	
楊氏係數(E)	40-65 GPa	
熱膨脹係數(α)	10^{-1} K^{-1}	

此儀器為微拉力計，如圖3.4，主要是透過前端所裝置的感應端來感測力的大小，此型的微拉力計提供多種感應端選擇，且本實驗使用微拉力計主要是量測不同形狀記憶合金之回復力。



圖 3.4 微拉力計及感應端圖

此儀器為TES-1313溫度計，如圖3.5(a)、(b)，主要用來量測記憶合的表面溫度，而測溫棒規格有TP-K01、TP-K02、TP-K03三種型號，如表3.2所示。



圖 3.5 (a)數位式(TES-1313)溫度計

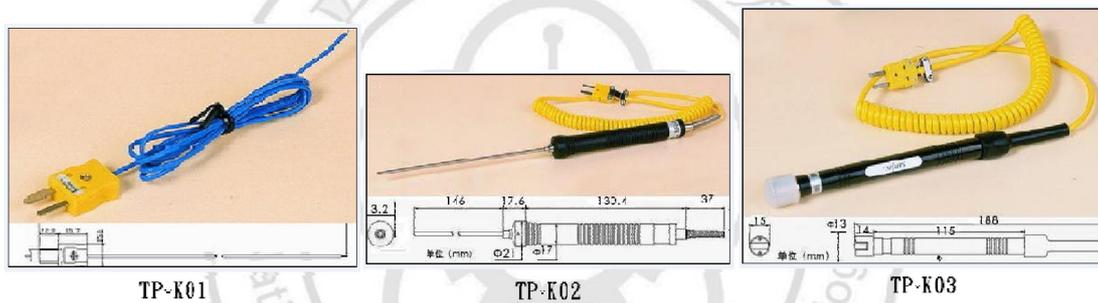


圖 3.5 (b)TES-1313 溫度計測溫棒

表 3.2 TES-1313 溫度計測溫棒規格

型號	TP-K01	TP-K02	TP-K03
溫度範圍	-50°C~200°C -50°F~392°F	-50°C~1000°C -58°F~1832°F	-50°C~750°C -58°F~1385°F
溫度接點種類	露出型	接地型	接地型
尺寸	球狀	φ 3.2×150mm	φ 15×100mm
感溫體	K(CA)NiCr/NiAi合金之熱電偶		
用途	適用於複雜不易 進入的地方測量	適用於液體或半 固體測量	適用於表面溫度 測量

此設備為高溫加熱爐，如圖3.6，主要用來加熱形狀記憶合金，透過爐內的高溫使形狀記憶合金的晶格相，重新排列組合及重新記憶原本的起始形狀。



圖 3.6 高溫加熱爐

3.3 不同熱處理溫度製作形狀記憶合金之性能分析

首先將螺旋記憶合金放置於不同溫度下進行熱處理，量測在不同熱處理溫度下其性能之分析，如圖 3.7 所示。由圖 3.8 可看出在 400°C 時，其致動時間較快；圖 3.9 可看出在 400°C 時，其表面溫度是最低的；圖 3.10 可看出在 400°C 時，其回復力最大；圖 3.11 可看出在 400°C 時，其散熱效果最佳；圖 3.12 可看出其變形量最小的是在 400°C，也就是說熱處理溫度在 400°C 時，較不易產生疲乏，且反覆使用率高。因此，後續之形狀記憶合金製作都將以 400°C 之溫度進行熱處理。



圖 3.7 待加熱的 SMA 放置高溫加熱爐內

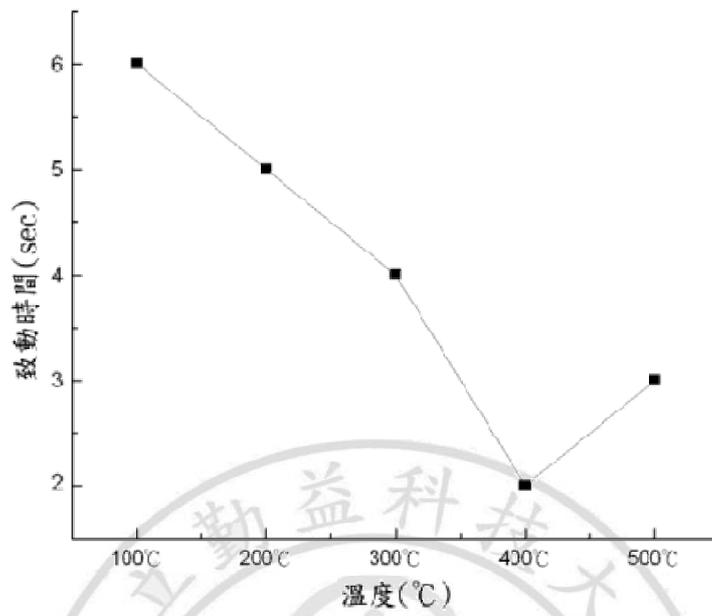


圖 3.8 不同熱處理溫度 SMA 與致動時間分析

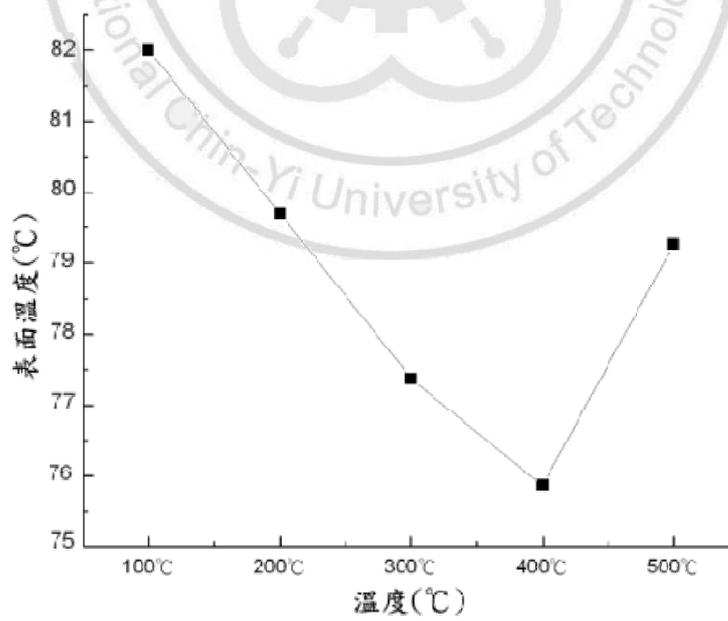


圖 3.9 不同熱處理溫度 SMA 與表面溫度分析

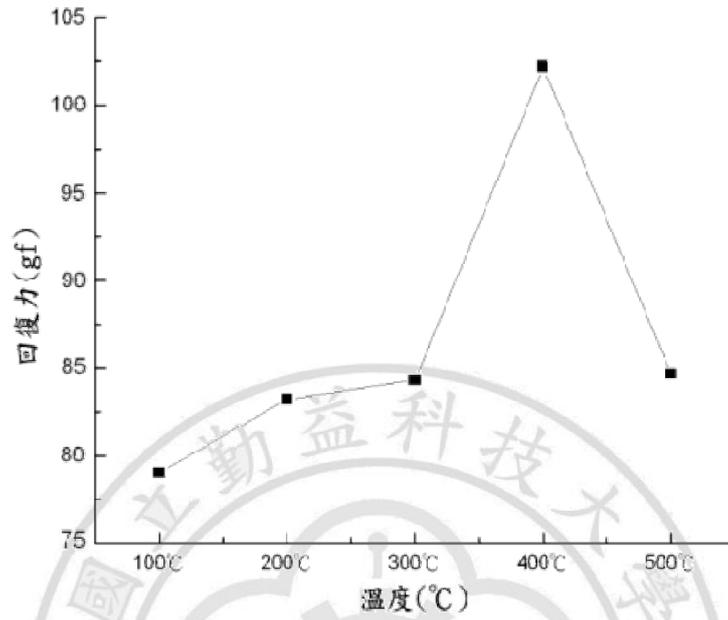


圖 3.10 不同熱處理溫度 SMA 與回復力分析

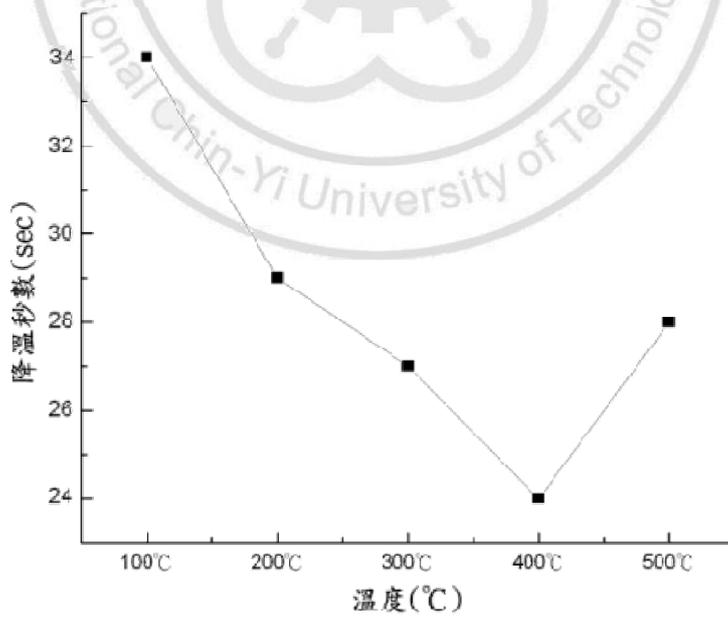


圖 3.11 不同熱處理溫度 SMA 與散熱時間分析

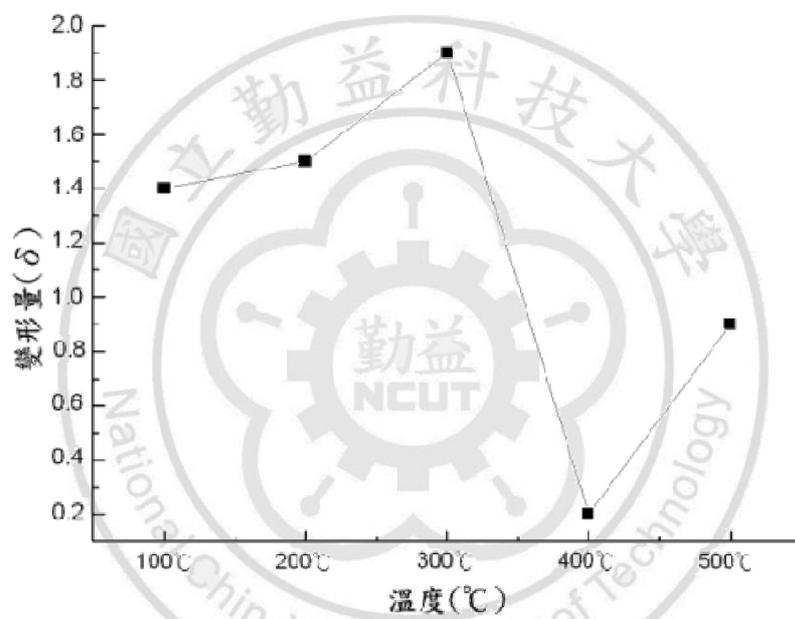


圖 3.12 不同熱處理溫度 SMA 與變形量分析

3.4 不同熱處理溫度製作形狀記憶合金之相變態溫度量測

由表 3.3 得知 100°C、200°C、300°C、400°C 在溫度 50°C 時，即會產生沃斯田鐵相，達到記憶的起始形狀溫度，而 500°C 則是在 60°C，才會達到相變態，如圖 3.13(a)、(b) 所示。

表 3.3 熱水致動法之相變態溫度表

	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
相變態溫度	50°C	50°C	50°C	50°C	60°C

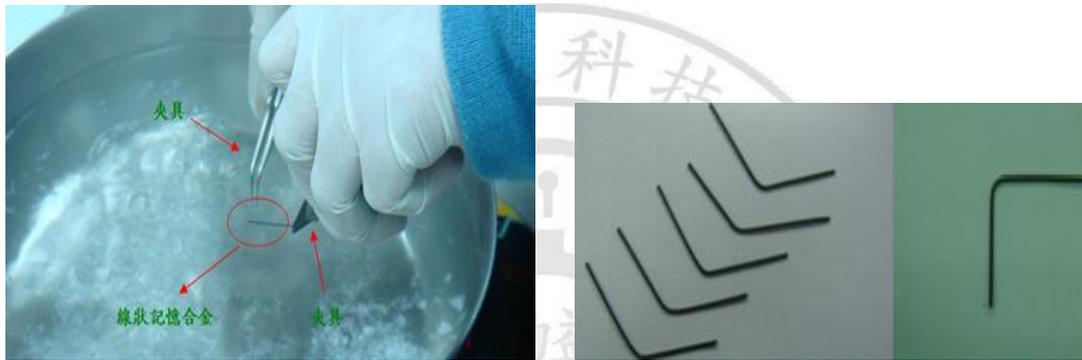


(a) (b)

圖 3.13 (a)麻田散鐵相 (b)沃斯田鐵相

3.5 利用熱水製作形狀記憶合金起始形狀

利用尖嘴鉗夾住線狀記憶合金，放入約一百度的熱水中，在使用夾具將直線狀記憶合金彎成90°，放置於熱水中約10~15秒鐘，藉此改變記憶合金的起始形狀，如圖3.14(a)、(b)所示，而螺旋記憶合金較無法以熱水加熱的方式製作，因螺旋記憶合金使用此方法，較不易恢復成原始形狀。



(a) (b)
圖 3.14 (a)利用熱水加熱方式製造記憶合金起始形狀
(b)L 形記憶合金

3.6 L形、弧形、直線形和螺旋記憶合金(SMA)之製作方法

製作形狀記憶合金元件時，須記憶所定的形狀，為此進行一定的熱處理(形狀記憶處理)，在 350~500°C 保持數分~數小時，以鈦 Ti-鎳 Ni-銅 Cu 來說，於 400°C 加熱保持 15~30 分後，再進行降溫，降至室溫及可將形狀記憶合金取出，然而從實驗得知在 400°C 回復力大，因此，只要增大發生力時，就需將溫度設定在 400°C，經由此過程記憶合金將重新記憶起始形狀。

3.6.1 L形記憶合金製作方法

首先將直線形的記憶合金彎成 90°，固定在治具上，如圖 3.15 所示，之後將形狀記憶合金放入高溫加熱爐內重新熱處理，將原始記憶的直線狀回復成 90° L 形，如圖 3.16 所示。



圖 3.15 L形治具

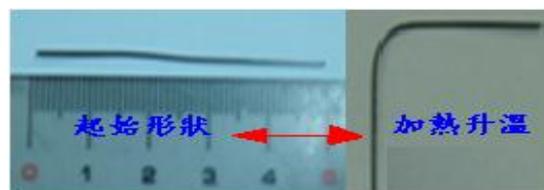


圖 3.16 L形記憶合金製作

3.6.2 弧形記憶合金製作方法

將直線形的記憶合金固定於耐熱的治具上，如圖 3.17 所示，經由熱處理重新記憶起始形狀弧形，如圖 3.18 所示。

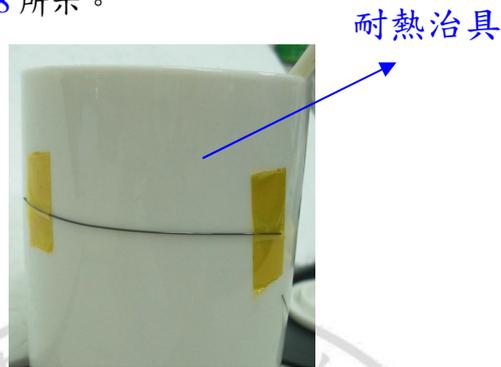


圖 3.17 弧形治具



圖 3.18 弧形記憶合金製作

3.6.3 直線形記憶合金製作方法

因出廠時所記憶的起始形狀是呈直線狀，因此，直線狀無特別治具，所以，直接將直線狀記憶合金放入高溫加熱爐裡，進行熱處理，以致取出時形狀還是呈直線狀，如圖 3.19 所示，主要目的是需將形狀記憶合金熱處理溫度設定一樣，以做後續的各種相關數據。



圖 3.19 直線狀記憶合金製作

3.6.4 螺旋記憶合金製作方法

螺旋彈簧記憶合金主要是將線狀記憶合金捲成彈簧形狀，製作出螺旋彈簧記憶合金，而製作流程是先將形狀記憶合金套用在特製的治具上，放入高溫加熱爐重新熱處理，待一定的加熱溫度持續一段時間，直至室溫後再取出，經由此過程記憶合金就會重新記憶起始形狀，而螺旋彈簧記憶合金也經由此過程被製造出來，如圖 3.20 所示。



圖 3.20 螺旋彈簧記憶合金製作

第四章 L形、弧形、直線形和螺旋記憶合金致動元件(shape memory alloy actuating element)設計與製作

製作多樣性致動元件，主要是因為不同的形狀記憶合金設計，有不同的致動情形，而記憶合金與彈性線或彈性體結合時，主要目的是希望記憶合金致動完時，可有效又快速的回復。因此，製作致動元件有利後續的記憶合金應用。

4.1 L形記憶合金致動元件設計與製作

將熱處理過的L形記憶合金取出，且記憶合金和彈性線長度均為4cm，使用端接頭的方式與彈性線固定在一起，如圖4.1(a)，再經由通電加熱的方式使機構作動，如圖4.1(b)所示。



圖 4.1 L形記憶合金加彈性線 (a)未通電 (b)通電

4.2 弧形記憶合金致動元件設計與製作

將熱處理過的弧形記憶合金取出，且記憶合金和彈性線長度均為4cm，使用端接頭的方式與彈性線固定在一起，如圖4.2(a)，再經由通電加熱的方式使機構作動，如圖4.2(b)所示。



圖 4.2 弧形記憶合金加彈性線 (a)未通電 (b)通電

4.3 直線形記憶合金致動元件設計與製作

將熱處理過的直線記憶合金取出，且記憶合金和彈性線長度均為4cm，使用端接頭的方式與90°彈性線固定在一起，如圖4.3(a)，再經由通電加熱的方式使機構作動，如圖4.3(b)所示。

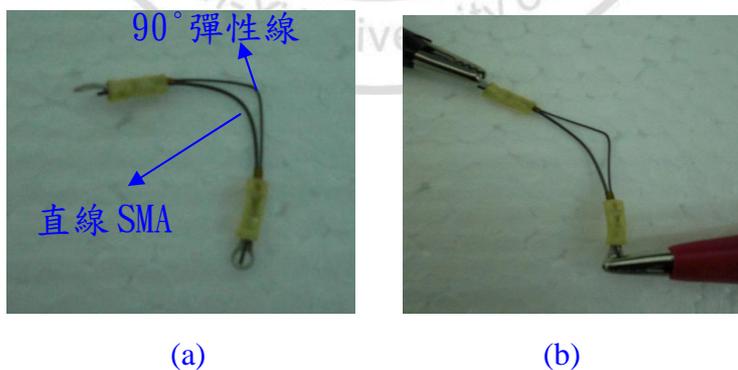


圖 4.3 直線記憶合金加彈性線 (a)未通電 (b)通電

4.4 兩條 L 形記憶合金致動元件設計與製作

將熱處理過的 L 形記憶合金取出，且記憶合金和彈性線長度均為 4 cm，分別使用端接頭與彈性線固定在一起，如圖 4.4(a)，再經由通電加熱的方式使機構作動，如圖 4.4(b)所示。



圖 4.4 兩條 L 形記憶合金加彈性線 (a)未通電 (b)通電

4.5 兩條弧形記憶合金致動元件設計與製作

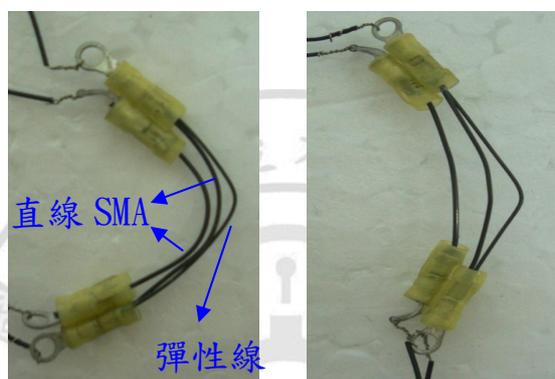
將熱處理過的弧形記憶合金取出，且記憶合金和彈性線長度均為 4 cm，分別使用端接頭與彈性線固定在一起，如圖 4.5(a)，再經由通電加熱的方式使機構作動，如圖 4.5(b)所示。



圖 4.5 兩條弧形記憶合金加彈性線 (a)未通電 (b)通電

4.6 兩條直線形記憶合金致動元件設計與製作

將熱處理過的直線記憶合金取出，且記憶合金和彈性線長度均為 4 cm，分別使用端接頭與彈性線固定在一起，如圖 4.6(a)，再經由通電加熱的方式使機構作動，如圖 4.6(b)所示。本論文將會以兩個致動元件做實驗相對比較。



(a)

(b)

圖 4.6 兩條直線記憶合金加彈性線 (a)未通電 (b)通電

4.7 螺旋彈簧記憶合金致動元件設計與製作

將熱處理過的螺旋記憶合金取出，其螺旋記憶合金長度為5cm，螺距為0.5cm，固定的方式分為兩種，一種是將彈性線放置螺旋記憶合金外側，如圖4.7(a)，其通電加熱後會使螺旋記憶合金作動，如圖4.7(b)；另一種則是將彈性線放置於螺旋記憶合金中間，如圖4.8(a)、(b)所示。



圖 4.7 螺旋彈簧狀 SMA 外側加彈性線 (a)未通電 (b)通電

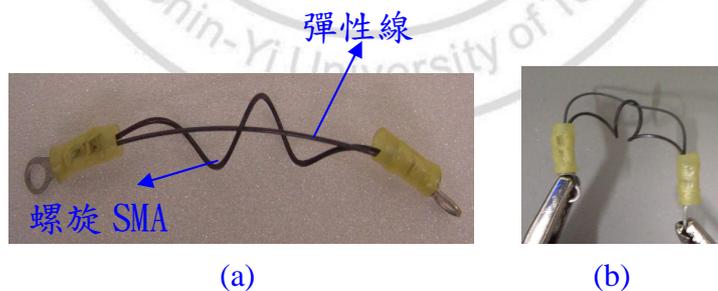


圖 4.8 螺旋彈簧狀 SMA 中間加彈性線 (a)未通電 (b)通電

4.8 雙向螺旋彈簧記憶合金致動元件設計與製作

此機構主要是設計並製作出雙向螺旋彈簧致動器，此機構有兩種類型，第一種是將螺旋彈簧記憶合金與薄的塑膠片兩者做結合，透過螺旋彈簧記憶合金的伸縮，使機構能朝兩方向做彎曲的動作，如圖4.9(a)所示。另一種是將螺旋彈簧記憶合金放置在普通彈簧裡再與薄的塑膠片做結合，主要是透過普通彈簧和塑膠片做回復機構，如圖4.9(b)所示，上述兩種類型都是當機構彎曲後，因本身彈性體的關係，使致動器恢復成原始形狀。

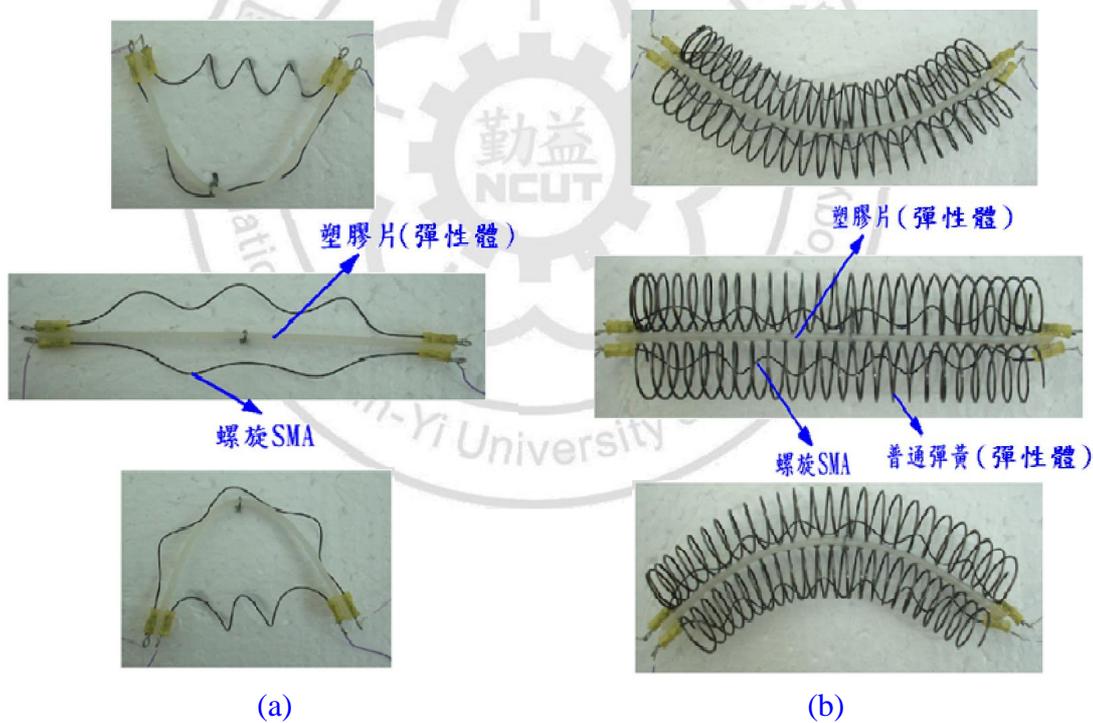


圖 4.9 雙向螺旋彈簧致動器

4.9 多方向螺旋記憶合金致動元件設計與製作

此機構主要是設計並製作出多方向螺旋彈簧致動器，可由兩端底座形狀不同，製做出多種不同方向的致動器。本實驗底座是為三角形，此機構主要是以三條螺旋彈簧記憶合金、普通彈簧、數條彈性線以及兩端底座做結合，且將彈性線放入普通彈簧裡做支撐及當回復機構，當記憶合金彎曲時藉著彈簧及彈性線做回復，以達到多方向彎曲動作，如圖4.10所示。

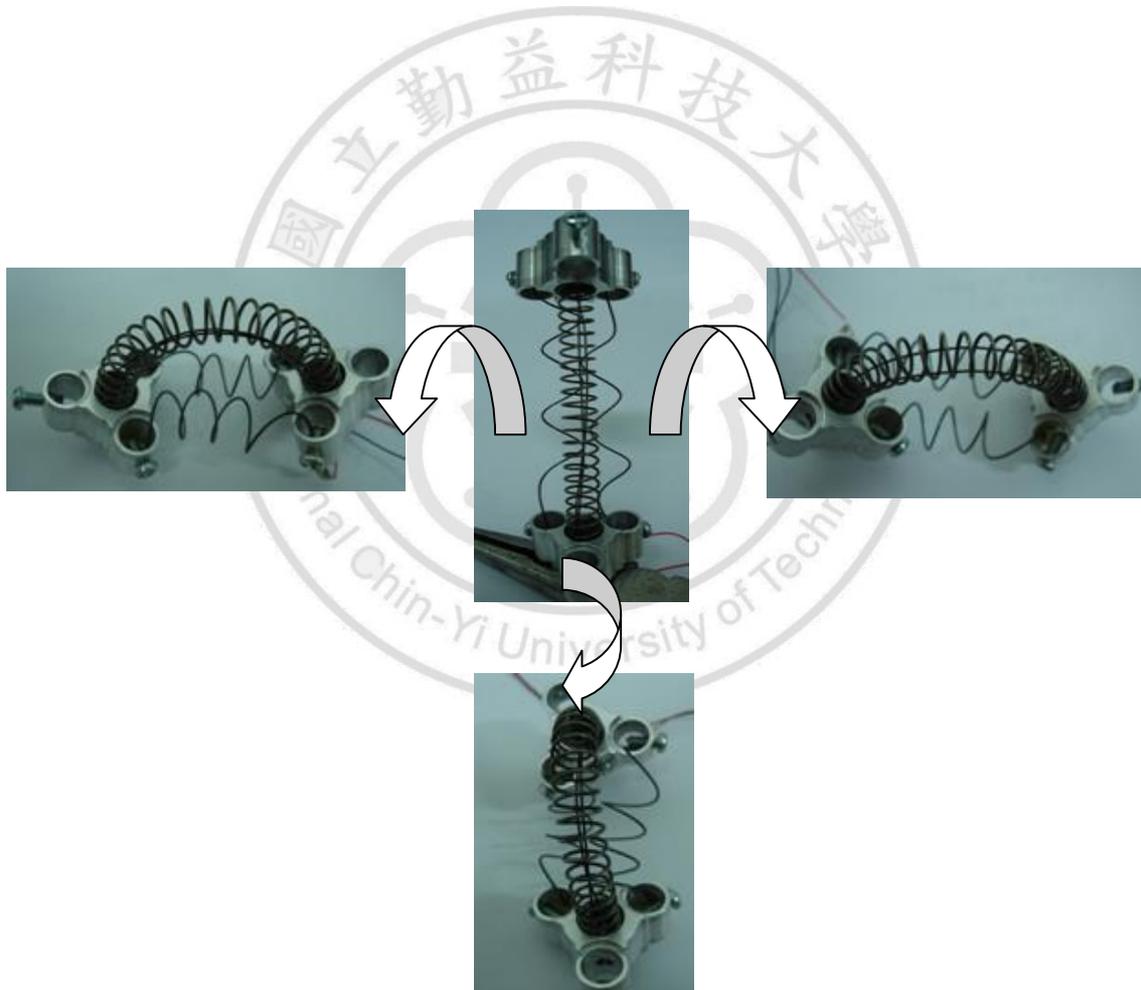


圖 4.10 多方向螺旋彈簧致動器

第五章 驅動電路設計與製作

由於目前是使用電源供應器來測試記憶合金，但考慮到之後要套用於微型機構上，所以必須設計電路來替代電源供應器，如圖 5.1 所示。本實驗電路板設計是參考單晶片控制書某部份的電路圖去做改良，因此，致動器電控系統部分選用單晶片 AT89C51 寫入脈波頻寬調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 訊號，給予記憶合金有間斷性的供電效果，使記憶合金能作動，且也可有效降低記憶合金高溫的需求。

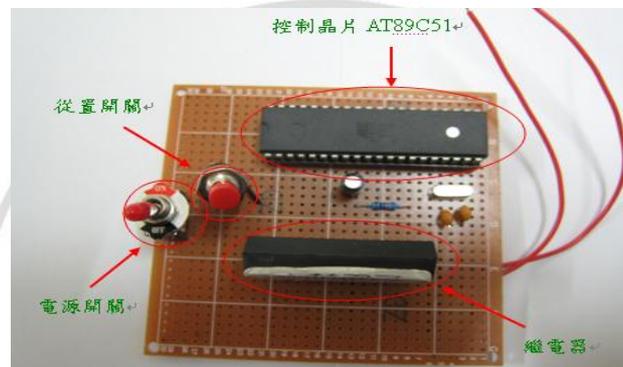
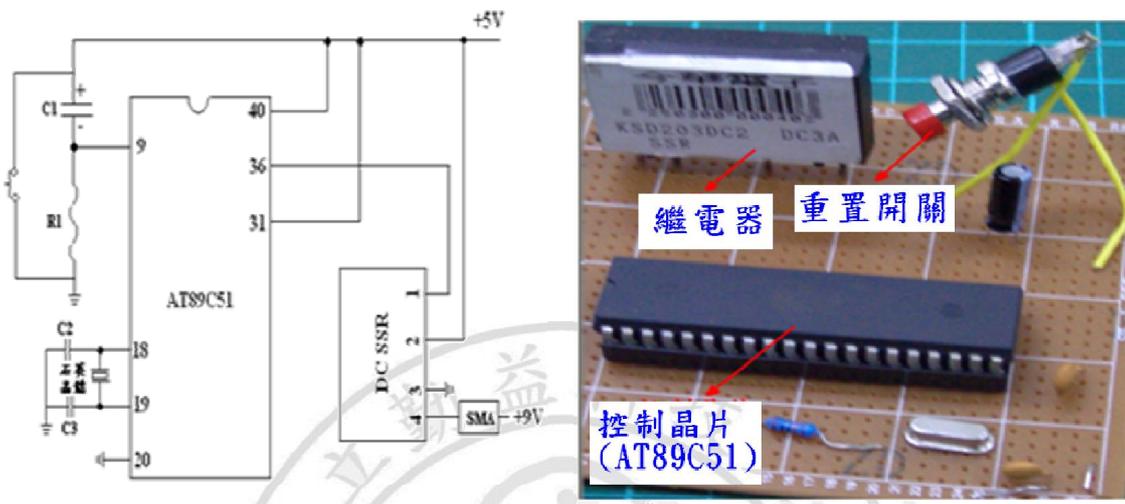


圖 5.1 PWM 電控電路

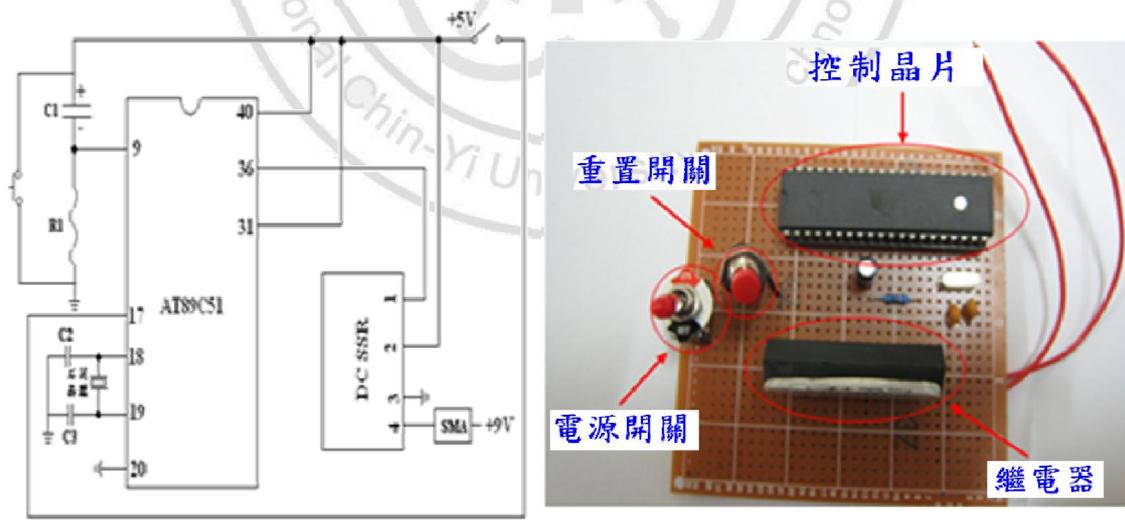
5.1 電路設計

目前實驗測試記憶合金的方式是採用通電加熱的方式，所以選用了 AT89C51 單晶片，做為本實驗的控制器核心，利用脈波頻寬調變(PWM)訊號，將形狀記憶合金的溫度控制在一定的溫度範圍內。

本論文的電控系統設計有四種類型，第一種類型是非開關式，當電池電源啟動時，即會開始啟動所設定的程式，如圖 5.2(a)所示，第二種類型是開關式，當電池電源啟動時，因總開關未啟動，以致記憶合金無法做動，因此，當總開關一啟動，單晶片 AT89C51 收到訊號後，即會開始啟動所設定的程式，使記憶合金開始進行做動及散熱的動作，如圖 5.2(b)所示，第三種類型是遙控開關，發射端開啟，接收端收到訊號，即會啟動所設定的程式，如圖 5.3 所示，第四種類型是趨光性電路，當光敏電阻感應到光線，即會啟動程式，使記憶合金作動，如圖 5.4 所示。



(a)



(b)

圖 5.2 (a)非開關式電路 (b)開關式電路

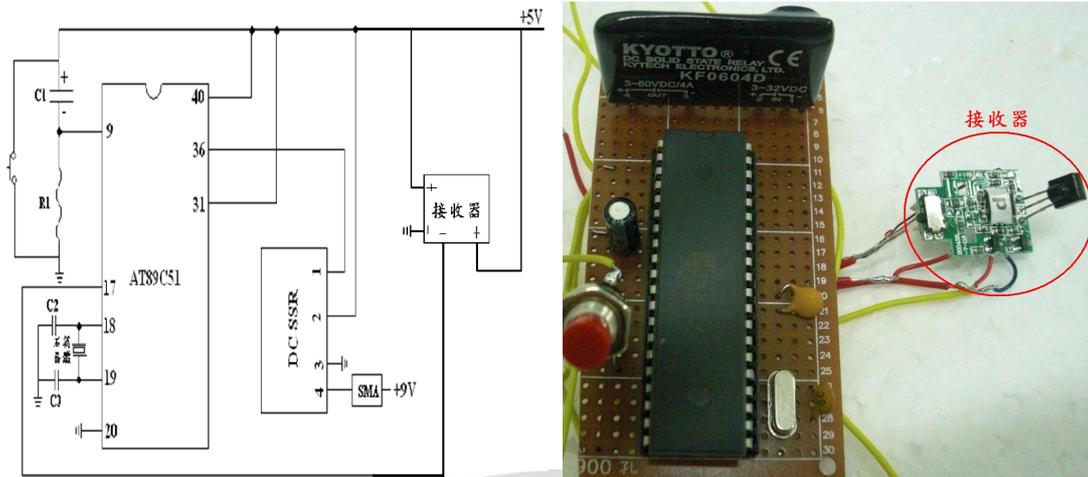


圖 5.3 遙控電路

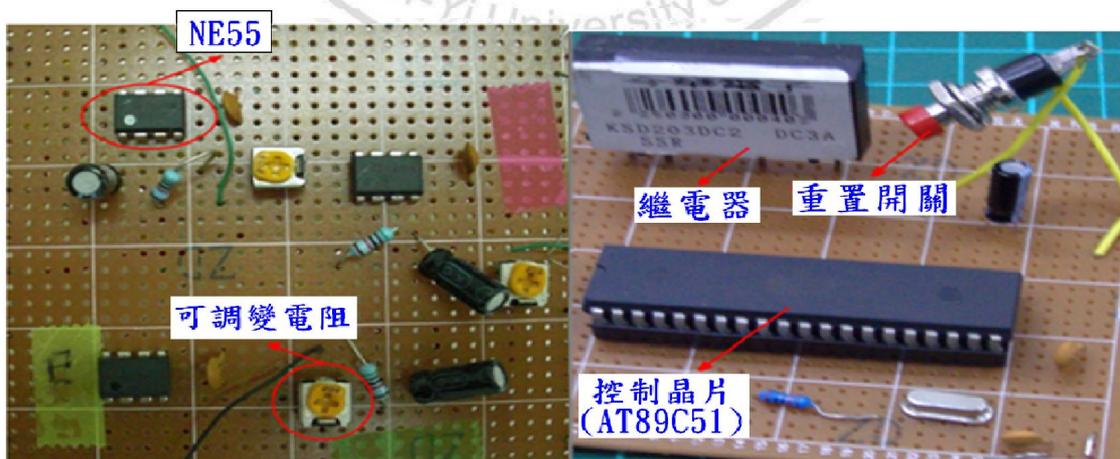
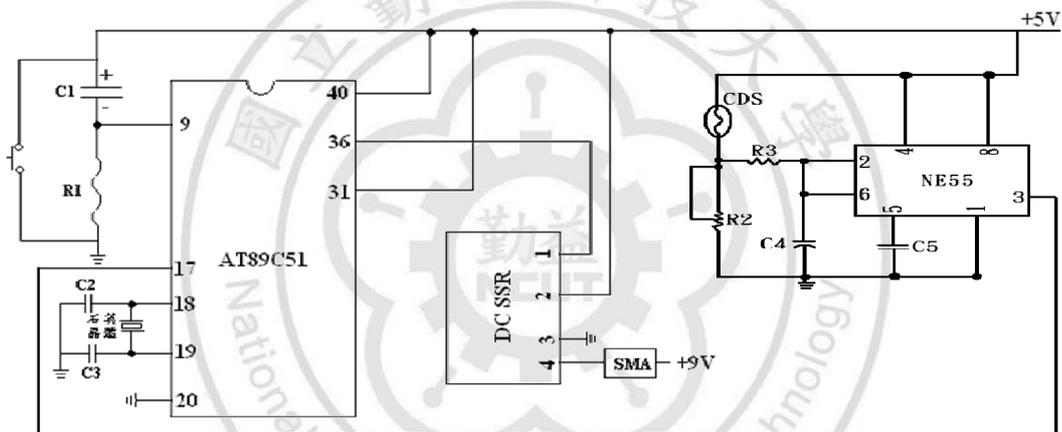


圖 5.4 向日葵向光電路

5.2 脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)基本原理

脈衝寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)電路除了可以監控功率電路的輸出狀態之外，同時還提供功率元件控制信號，因此廣泛應用在高功率電路，且PWM是將輸入的原始信號 V_{in} (弦波)和另一個比原始信號還要高頻的固定信號 V_m 做調變，而產生輸出PWM方波形(V_d)，動作原理如圖5.5所示。

脈波寬度調變是一種調變或改變某個方波的簡單方法。其基本形式上，方波工作周期 (duty cycle) 是根據輸入信號的變化而變化。

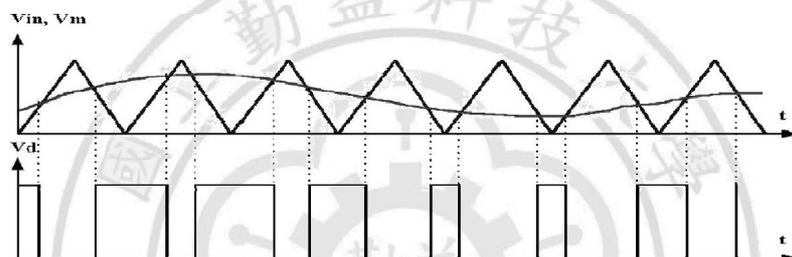


圖 5.5 PWM 基本動作原理

PWM常用於直流馬達的控制、電源變換器之穩壓控制、甚至是直流轉換交流弦波控制等。圖5.6中高電位的部份是「動作(active)」時間，或叫做「工作週期(Duty Cycle)」，低電位的部份是「停止(stop)」時間，兩者時間和即為一週期。由圖中可看出PWM訊號是一種間斷性的訊號控制，透過控制器輸出高電位與低電位的電流訊號來控制記憶合金的做動，當高電位脈波較短時，輸出電流時間短，相反地當高電位脈波較長時，則通電時間長，利用此週期性的ON-OFF輸出脈波電流訊號，控制記憶合金作動順序及降低記憶合金溫度[42-45]。

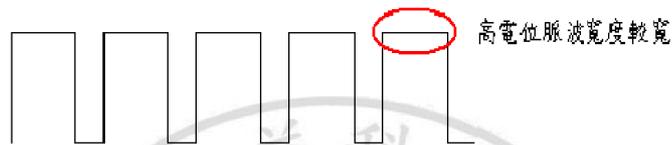
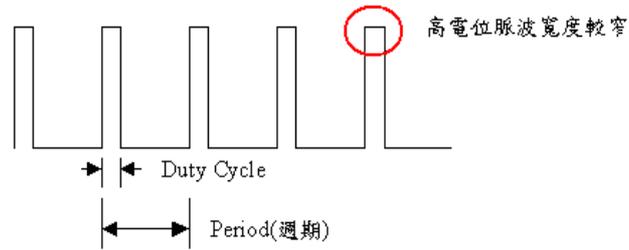
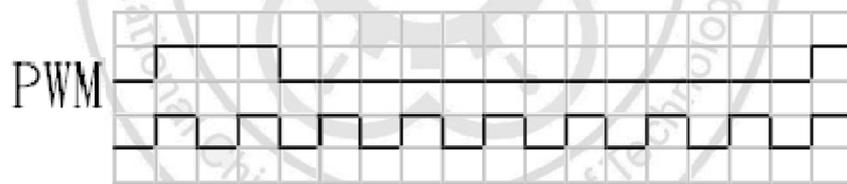
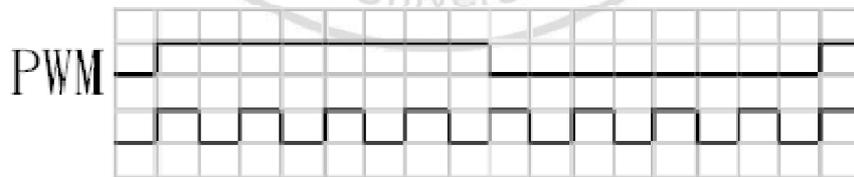


圖 5.6 PWM 訊號示意圖

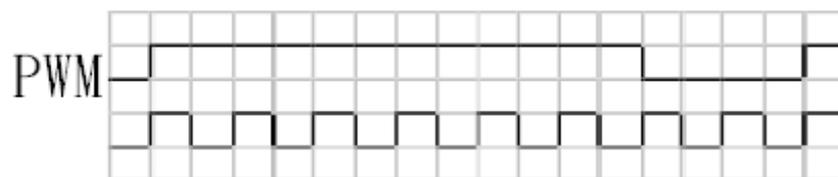
脈波寬度調變器(PWM)產生一個在高電位與低電位間重複交替的輸出訊號，藉由指定所需週期(period)與工作週期(duty cycle)來控制高電位與低電位的时间長短。工作週期是訊號處於高電位的时间佔整個訊號週期的百分比，如圖 5.7 所示。



(a) 25% duty cycle



(b) 50% duty cycle



(c) 75% duty cycle

圖 5.7 PWM 工作週期示意圖

5.2.1 未加入 PWM 及加入 PWM 之分析差異

以線狀記憶合金為例，由圖 5.8 得知，未加入 PWM 時，記憶合金溫度會呈現高溫狀態，但若加入 PWM 時，明顯記憶合金溫度降低許多。因此，量測出來的結果可證實加入 PWM 可有效降低記憶合金的溫度，達到降溫的效果。

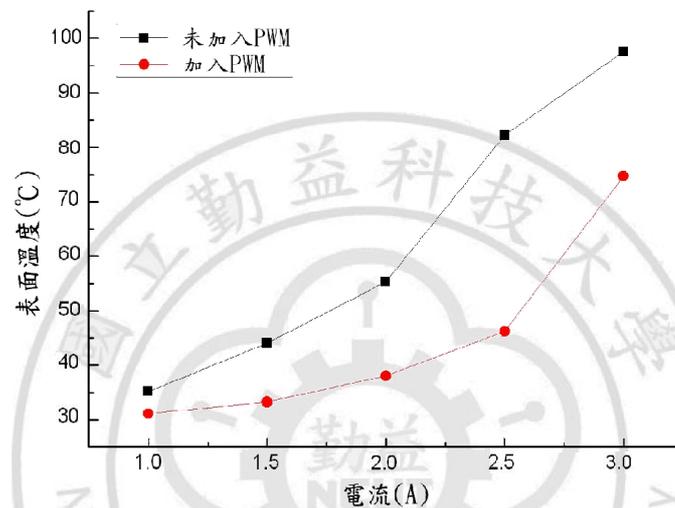


圖 5.8 未加入 PWM 及加入 PWM 之差異圖

第六章 形狀記憶合金及致動元件實驗結果與討論

經由製程及實驗，本論文之記憶合金在 400°C 進行記憶熱處理後，其性能最佳，因此，本文之所有不同形狀之記憶合金致動元件都以此溫度進行熱處理，之後，針對不同形狀記憶合金元件的致動電流、致動時間、表面溫度、回復力和散熱時間進行探討。

6.1 量測方法

6.1.1 致動時間量測方法

此實驗是利用通電加熱的方式來量測記憶合金的致動情況，因記憶合金的相變態過程，主要因素是取決於溫度，所以，實驗中透過致動電流(1A、1.5A、2A、2.5A、3A)大小，來量測記憶合金的致動時間，其量測方法是將記憶合金通電加熱，使記憶合金因熱而回復至原始形狀，其回復時所需的時間，即為致動時間，如圖 6.1 所示。



(a)未通電

(b)通電後

圖 6.1 致動時間量測方法

6.1.2 表面溫度量測方法

此實驗是利用通電加熱的方式來量測記憶合金的表面溫度情況，因記憶合金透過溫度影響而產生相變態，所以，實驗透過致動電流(1A、1.5A、2A、2.5A、3A)大小，量測在不同致動電流下，記憶合金的表面溫度值，其量測方法是將記憶合金通電加熱後，使用 TES-1313 溫度計，量測記憶合金中間的溫度值，並且記錄下來，以利後續致動元件設計，如圖 6.2 所示。

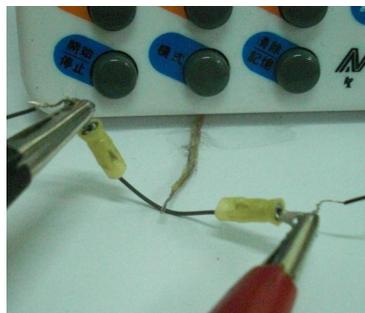


圖 6.2 表面溫度量測方法

6.1.3 回復力量測方法

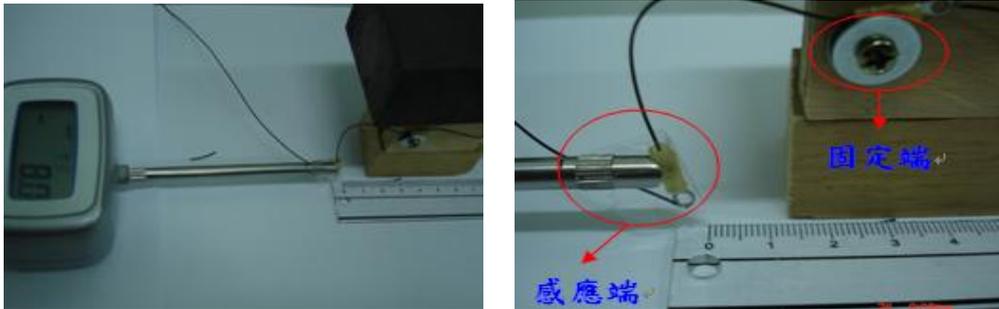
此實驗是利用通電加熱的方式來量測記憶合金的回復力情況，本實驗主要是將記憶合金透過外力給予變形，再利用加熱方式給予溫度，使記憶合金因溫度產生相變態而回復至原始形狀，所產生的力微回復力。L形、弧形及螺旋記憶合金的回復力量測是將記憶合金一端固定，另一端與微拉力計的感應端接觸，即可量測記憶合金回復時的力量，如圖 6.3(a)、(b)所示，而直線形記憶合金的回復力量測是先將直線形記憶合金彎成 90° ，經通電加熱後回復成原始形狀直線狀，量測其回復時所產生的力，如圖 6.3(c)所示。



(a) L形 SMA 回復力量測



(b) 螺旋形 SMA 回復力量測



(c) 直線形 SMA 回復力量測
圖 6.3 回復力量測方法

6.1.4 散熱時間量測方法

此實驗是利用通電加熱與斷電的方式來量測記憶合金的散熱時間，因記憶合金通予致動電流越大，表面溫度就會越高溫，所以，記憶合金的散熱問題很重要。散熱量測是將記憶合金通電加熱至 80°C ，即開始斷電進行自然散熱，量測在不同溫度時所需的時間，如圖 6.4 所示。

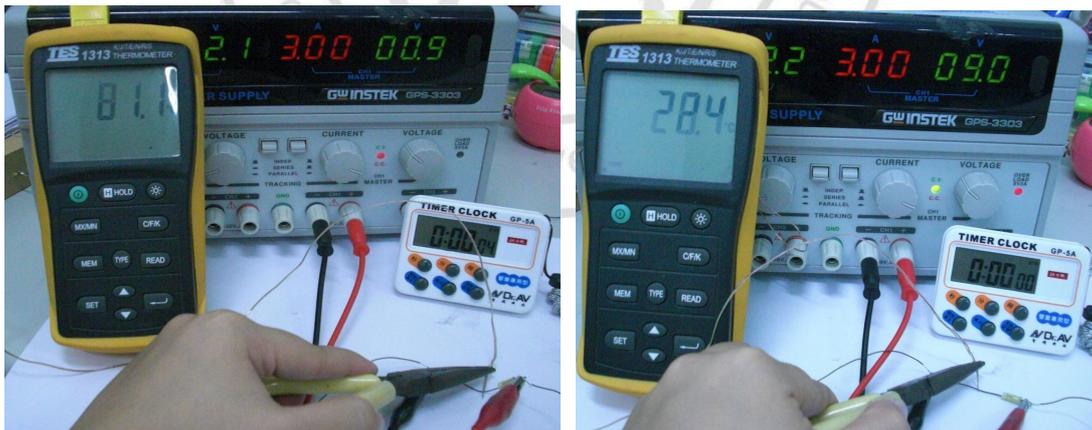


圖 6.4 散熱時間量測方法

6.1.5 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇量測方法

此實驗是量測未加入 PWM、加入 PWM 及 PWM 與風扇散熱之比較，主要是量測散熱速度的快慢，使記憶合金在短時間內達到相變態以回復至原始形狀，也可在短時間內，不會產生高溫，以達到有效控制記憶合金散熱的問題，如圖 6.5 所示。



圖 6.5 未加入 PWM、加入 PWM 及 PWM 與風扇散熱量測方法

6.2 L形、弧形、直線形與螺旋形記憶合金之量測結果

6.2.1 致動時間之量測

長度均為 4 cm 之 L 形、弧形記憶合金彎成直線狀而將直線記憶合金彎成 90°，之後通予 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 的致動電流。我們形狀記憶合金通電後會由麻田散鐵相至沃斯田鐵相，其相變態過程所需的時間定為致動時間。由圖 6.6 得知，當致動電流低於 1.5A 時，其致動時間會很長，主要是因為記憶合金內部溫度無法達到相變態溫度，以致無法恢復原始形狀，故需使用 1.5A 以上，致動效果才明顯，因此，當電流越大，其致動時間就會越快；當電流越小，其致動時間就會越慢。以 L 形、弧形及直線形三種不同形狀記憶合金去做比較，可看出直線形的記憶合金，致動效果較佳。同樣長度為 4cm 之螺旋形狀記憶合金，通予 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 的致動電流，情況同上。

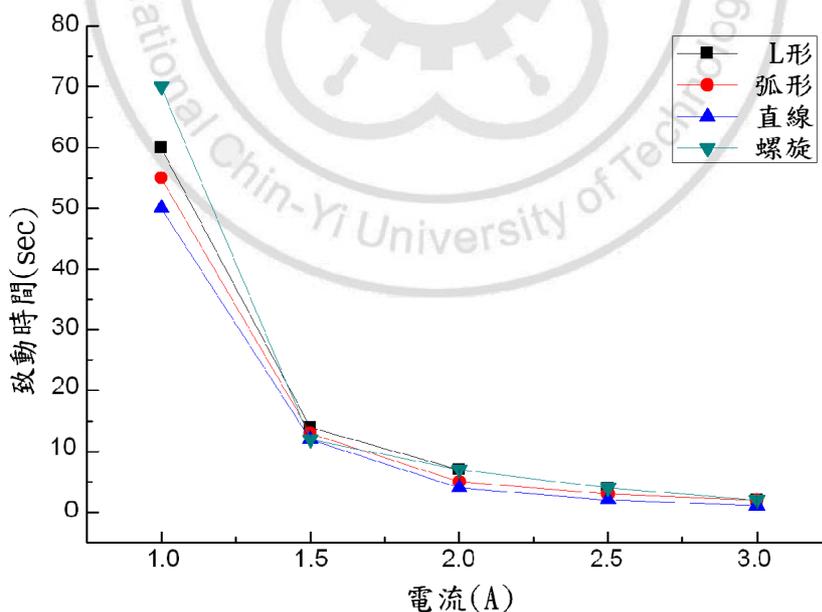


圖 6.6 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 致動時間量測

6.2.2 表面溫度之量測

長度均為 4 cm 之 L 形、弧形、直線形及螺旋形狀記憶合金，通予 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 電流，利用 TES-1313 溫度計，量測形狀記憶合金表面溫度，由圖 6.7 可驗證 $P(\text{功率})=I^2 \times R$ 之公式，隨著致動電流越大，表面溫度就會越高溫；相反的致動電流越小，表面溫度就會越低。由於四種形狀之長度相同，基本上表面溫度是幾乎一樣的，有點誤差可能是量測位置稍有影響。

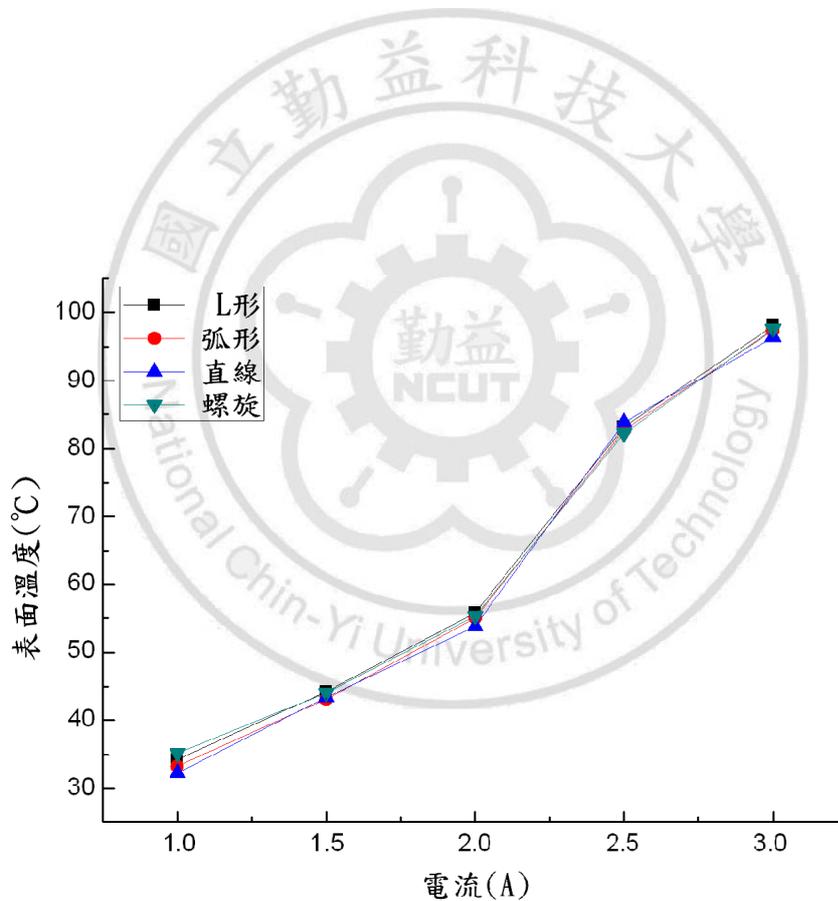


圖 6.7 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 表面溫度量測

6.2.3 回復力之量測

此實驗是將電流固定通予 3A，且將長度為 4 cm 的 L 形、弧形、直線形及螺旋記憶合金進行回復力量測，由圖 6.8 可看出螺旋的回復力 > 直線的回復力 > 弧形的回復力 > L 形的回復力，因此，螺旋記憶合金回復力比線狀記憶合金佳，也由圖可知，回復力大，變形量大；回復力小，變形量也小。

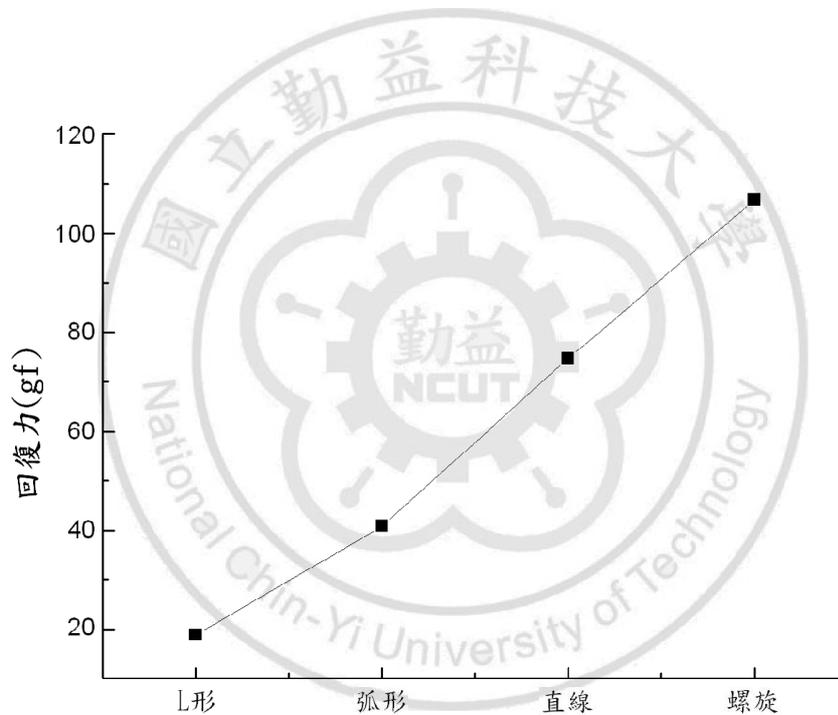


圖 6.8 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 回復力量測分析

6.2.4 散熱時間之量測

此實驗是將電流固定通予 3A，其長度均為 4 cm，當加熱至 80°C 後，開始進行散熱量測，分別量測從 80°C 降溫至 70°C、60°C、50°C、40°C 及 30°C 的時間，由圖 6.9 可看出 L 形、弧形及直線形散熱時間有差異，可能原因是因為外在環境的影響，導致散熱時有稍許的誤差，且 40°C 要降至 30°C 室溫時，時間較長，是因為在自然情況下熱量會從溫度高的地方流動到溫度低的地方，所以由圖可知當記憶合金表面溫度越接近室溫，散熱速度就會越慢，而螺旋記憶合金其散熱速度較線狀記憶合金慢，可能原因是螺旋記憶合金的螺距小，溫度高，影響了散熱的速度，以致散熱時間較慢，且螺旋記憶合金與線狀記憶合金的趨勢大致一樣，越接近室溫，散熱時間也會越長。

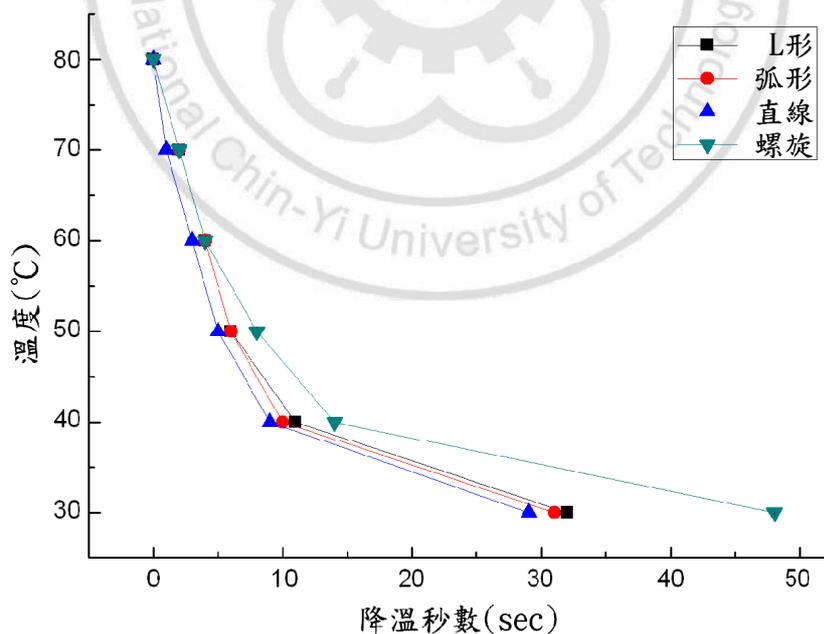


圖 6.9 L 形、弧形、直線形及螺旋 SMA 散熱時間量測分析

6.2.5 不同長度致動時間之量測

此實驗是量測 L 形、弧形、直線形及螺旋記憶合金的致動時間，其長度分別為 4cm、6cm、8cm，之後通予 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 的致動電流，因為此實驗主要是通予致動電流給不同長度的記憶合金，比較其致動時間之快慢，所以，本實驗將擷取致動電流 2A 放大來看，由圖 6.10 得知，當長度越短，其致動時間越快；當長度越長，其致動時間則越慢。

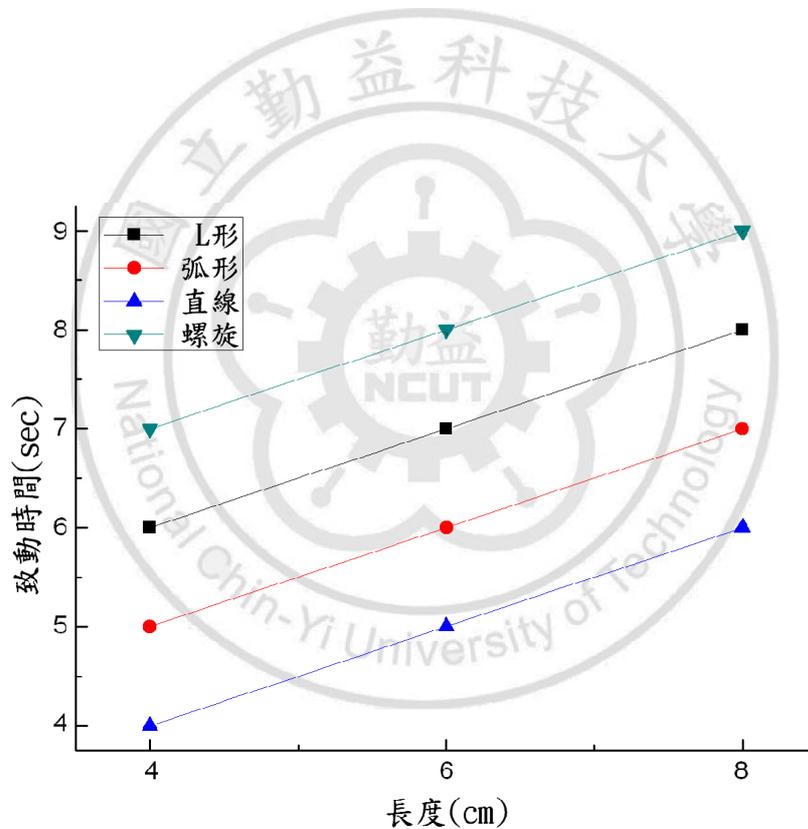


圖 6.10 不同長度致動時間量測分析

6.2.6 不同長度表面溫度之量測

此實驗是量測 L 形、弧形、直線形及螺旋記憶合金的表面溫度，其長度分別為 4cm、6cm、8cm，之後通予 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 的致動電流，而本實驗是擷取致動電流 2A 放大來看，由圖 6.11 得知，當長度越短，表面溫度就越低；當長度越長，表面溫度就越高。若螺旋記憶合金間距越小、長度越長以及致動電流越大，其表面溫度就越高，反之，若間距越大、長度越短以及致動電流越小，則表面溫度越低，因此，有效控制溫度是實驗的目標之一。

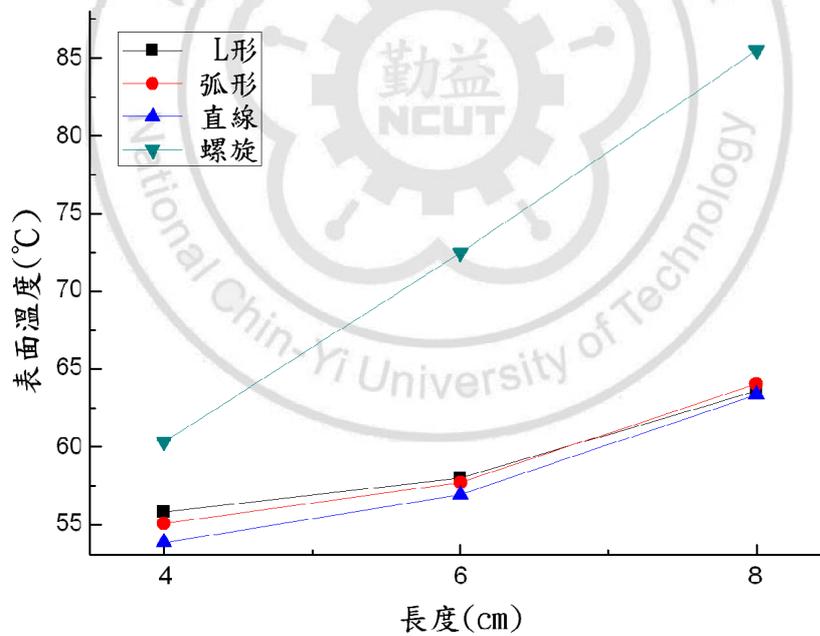


圖 6.11 不同長度表面溫度量測分析

6.2.7 不同長度回復力之量測

此實驗對象分別長度為 4cm、6cm、8cm 的 L 形、弧形、直線形及螺旋記憶合金，且電流固定通予 3A，由圖 6.12 得知，變形量越大，所需的力量就越大。因此，當長度越長，變形量越大，回復力就越大；當長度越短，變形量越小，則回復力也越小，而由圖的數據中顯示，螺旋記憶合金回復力比線狀記憶合金佳。

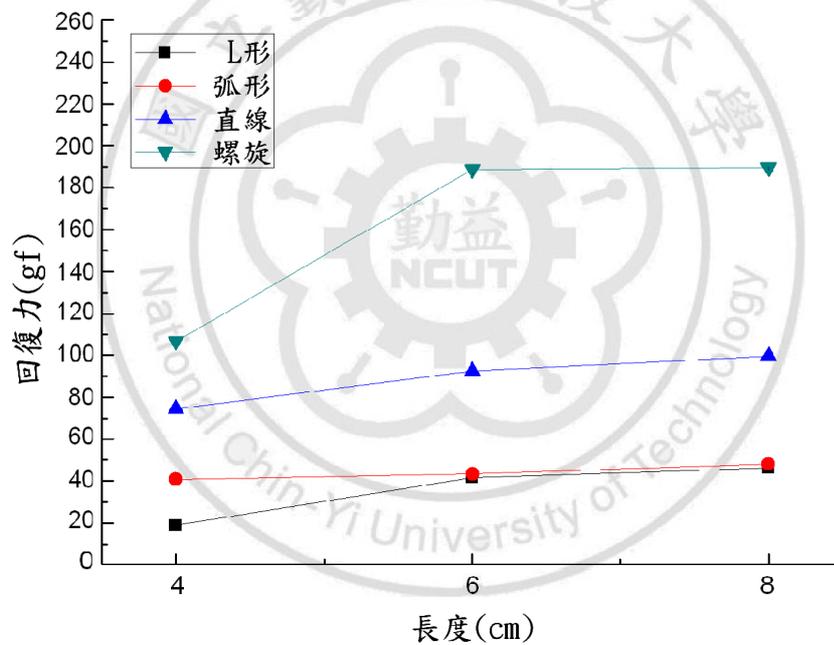


圖 6.12 不同長度回復力量測分析

6.2.8 不同長度散熱時間之量測

此實驗是量測 L 形、弧形、直線形及螺旋記憶合金的散熱時間，其長度分別為 4cm、6cm、8cm，之後通予 3A 的電流，當溫度達到 80°C 時，即開始進行散熱量測，由圖 6.13、6.14、6.15、6.16 得知，散熱至 30°C 室溫時，時間較長，且長度越短，散熱越快；長度越長，散熱越慢。

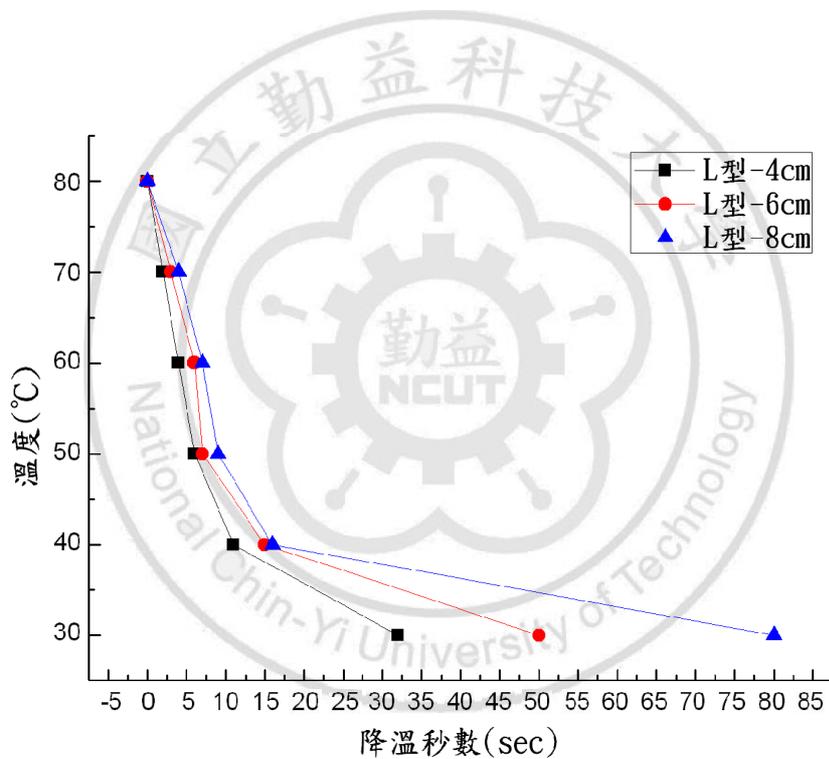


圖 6.13 不同長度 L 形 SMA 散熱時間量測分析

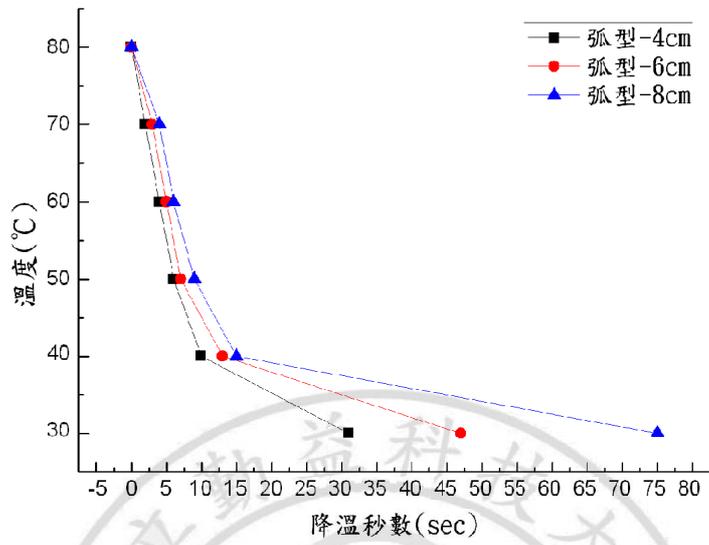


圖 6.14 不同長度弧形 SMA 散熱時間量測分析

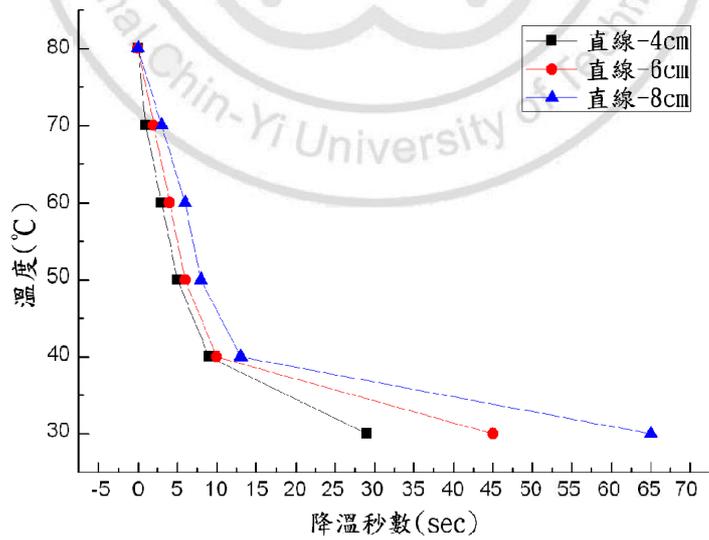


圖 6.15 不同長度直線形 SMA 散熱時間量測分析

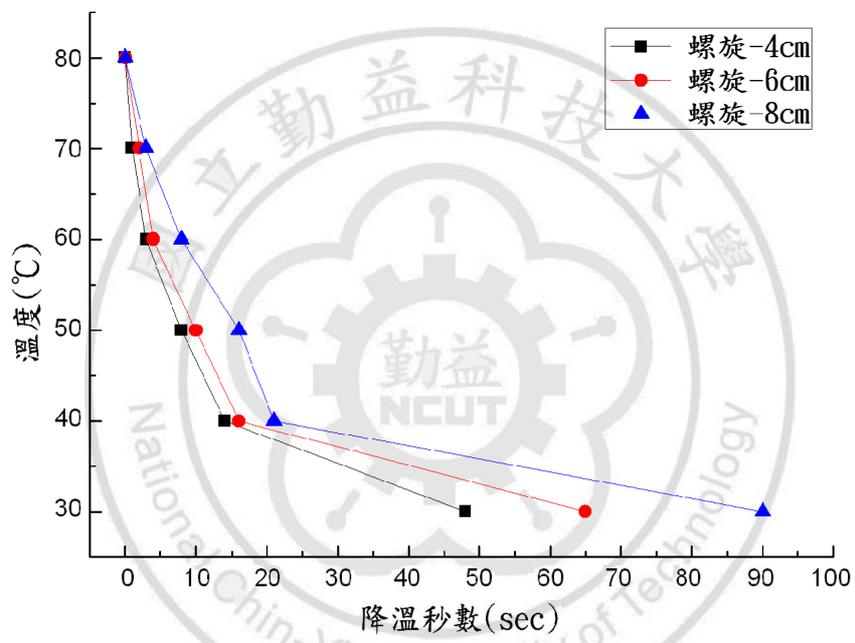


圖 6.16 不同長度螺旋 SMA 散熱時間量測分析

6.2.9 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

此實驗是量測未加入 PWM 及加入 PWM 和 PWM 與風扇的表面溫度變化，因記憶合金會隨著致動電流越大，表面溫度就會越高，所以，使用脈衝寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)可有效降低記憶合金的溫度，若 PWM 與風扇同時進行時，表面溫度又會降低許多，因此，降低記憶合金溫度是本實驗研究的目標之一。如圖 6.17、6.18、6.19、6.20 所示，未加入 PWM 時，記憶合金較容易產生高溫，若加入 PWM 時，因透過控制器輸出高電位與低電位的電流訊號來控制記憶合金的做動，且利用 ON-OFF 輸出脈波電流訊號以及考量 PWM 工作週期(duty cycle)，控制記憶合金作動順序及可降低記憶合金溫度，因此，加入 PWM 明顯可以降低記憶合金溫度，而 PWM 與風扇同時進行時，降溫效果更好。

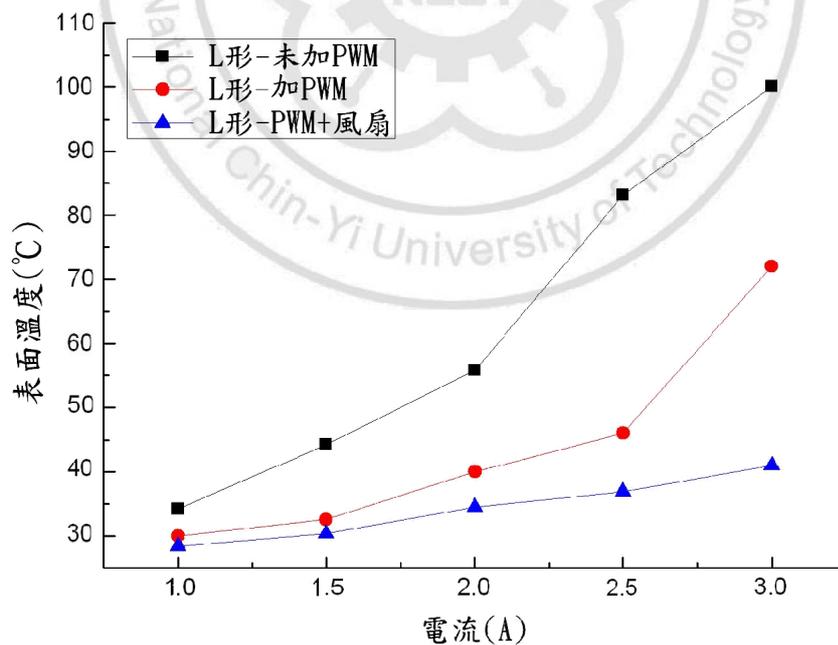


圖 6.17 (L 形)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

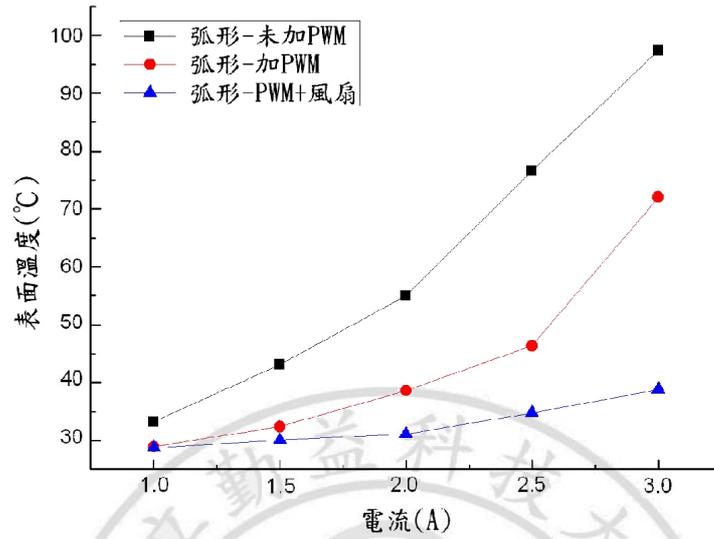


圖 6.18 (弧形)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

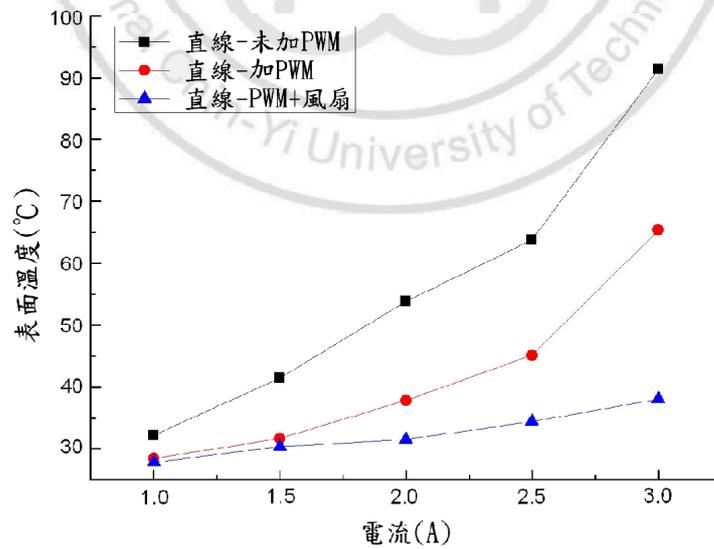


圖 6.19 (直線)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

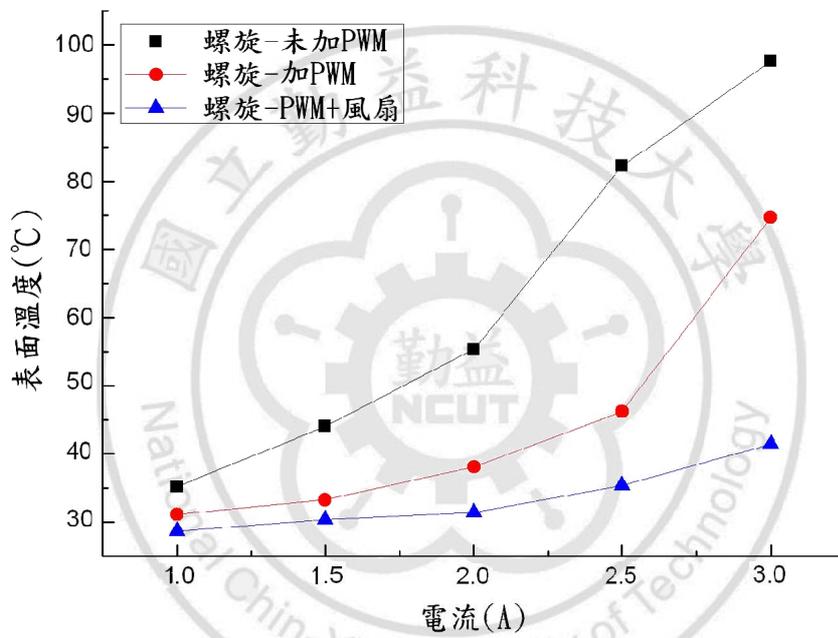


圖 6.20 (螺旋)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

6.3 L形、弧形、直線形記憶合金致動元件之量測結果

6.3.1 致動角度比較

因實驗數據量測出熱處理溫度在 400°C 是最佳的，所以將記憶合金設計出不同形狀，如 L 形、弧形及直線形記憶合金或結合彈性線與記憶合金致動元件去做比較，如表 6.1 所示，記憶合金與彈性體長度均為 4 cm，且由表可看出當直線形記憶合金與 90° 的彈性體固定在一起，其致動角度最大，如圖 6.21、6.22、6.23 所示，其致動角度經多次量測後，誤差值為 ±1°。

表 6.1 L 形、弧形、直線形 SMA 致動元件之致動角度比較表

SMA 起始形狀	L 形	弧形	直線形
致動角度	20°	22°	30°

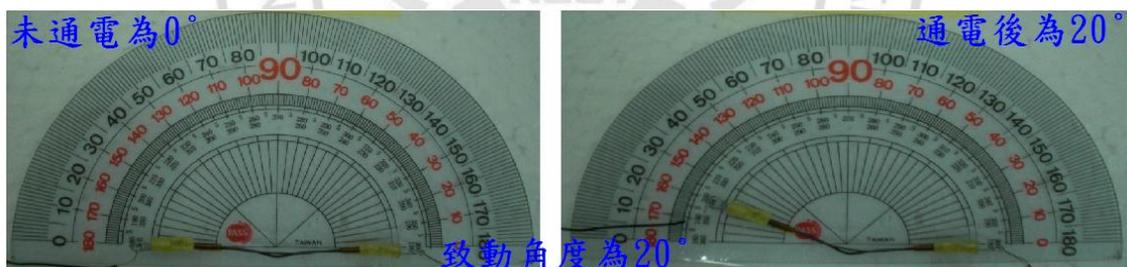


圖 6.21 L 形致動元件之致動角度

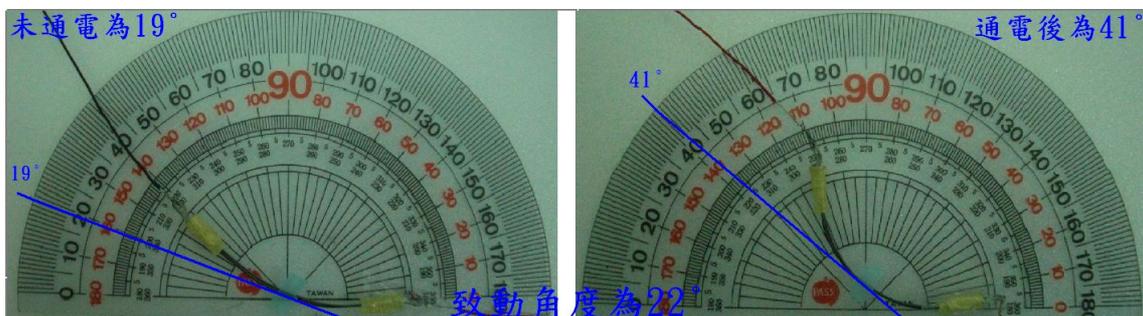


圖 6.22 弧形致動元件之致動角度

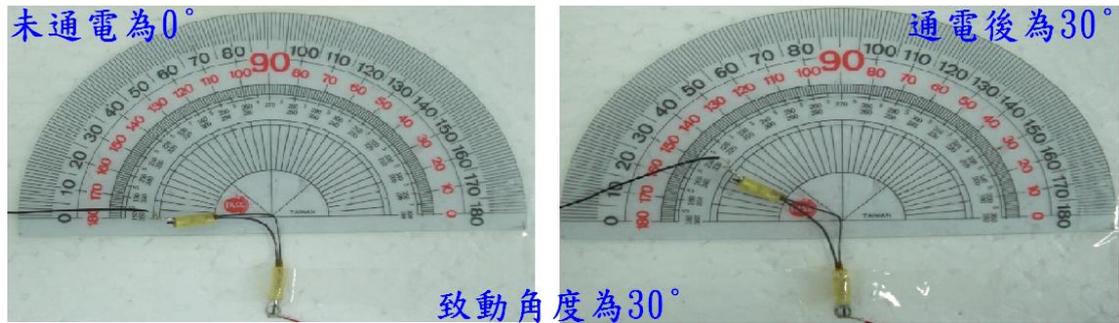


圖 6.23 直線形致動元件之致動角度

6.3.2 致動時間之量測

此實驗是量測 L 形、弧形及直線形致動元件之致動時間，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端利用端接頭固定，量測在 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 不同的致動電流下，不同形狀記憶合金的致動時間，由圖 6.24 得知，直線形的致動元件致動時間最佳，因致動時間最快，接著才是弧形及 L 形，由圖中顯示，當致動電流低於 1.5A 時，因內部溫度無法達到相變態溫度，故無法恢復原始形狀，因此，L 形、弧形及直線形的致動元件都是在電流為 1.5A 以上，致動效果最明顯，且致動電流越大，致動時間就越快；致動電流越小，致動時間就越慢。

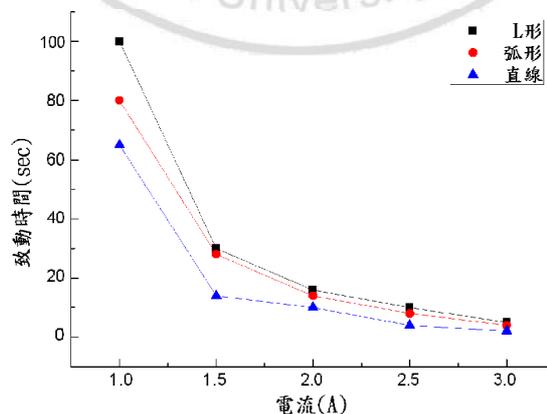


圖 6.24 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之致動時間量測分析

6.3.3 表面溫度之量測

此實驗是量測 L 形、弧形及直線形致動元件之表面溫度，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端利用端接頭固定，利用 TES-1313 溫度計量測 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 不同的致動電流下，不同形狀記憶合金的表面溫度，而 L 形、弧形及直線形的致動元件表面溫度量測出來值幾乎相同，但還是有稍許的誤差，可能是因為外在環境所導致，所以，由圖 6.25 顯示出，在不同的致動電流下，表面溫度的變化，當致動電流越大，加熱時間越久，表面溫度就越高；當致動電流越小，表面溫度就越低，因此，致動電流大小、加熱時間與溫度變化大小成正比。

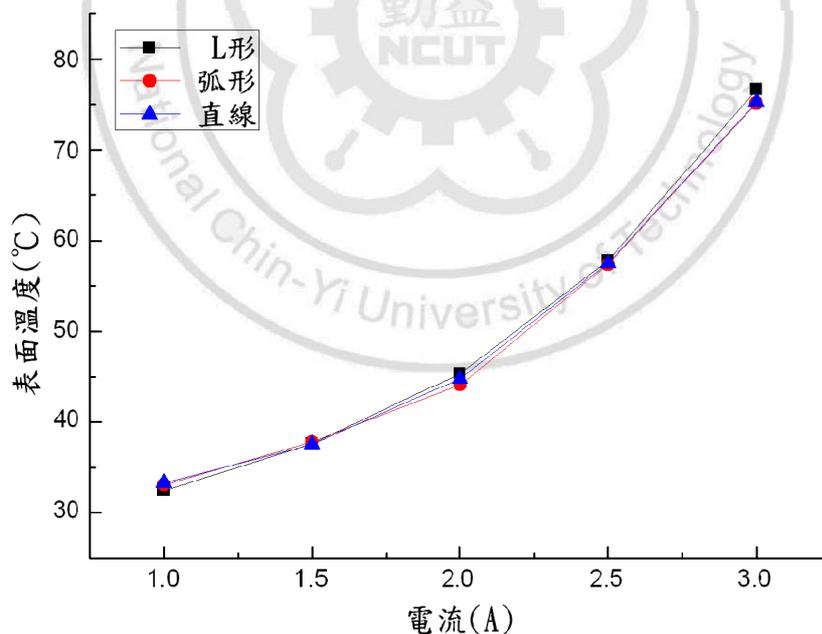


圖 6.25 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之表面溫度量測分析

6.3.4 回復力之量測

此實驗是量測 L 形、弧形及直線形致動元件之回復力，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端利用端接頭固定，量測時需將一端固定住，另一端接微拉力計做回復力量測，由圖 6.26 得知，直線形致動元件的回復力 > 弧形致動元件的回復力 > L 形致動元件的回復力，所以，可知變形量越大，回復力就越大；反之，變形量越小，回復力就越小。

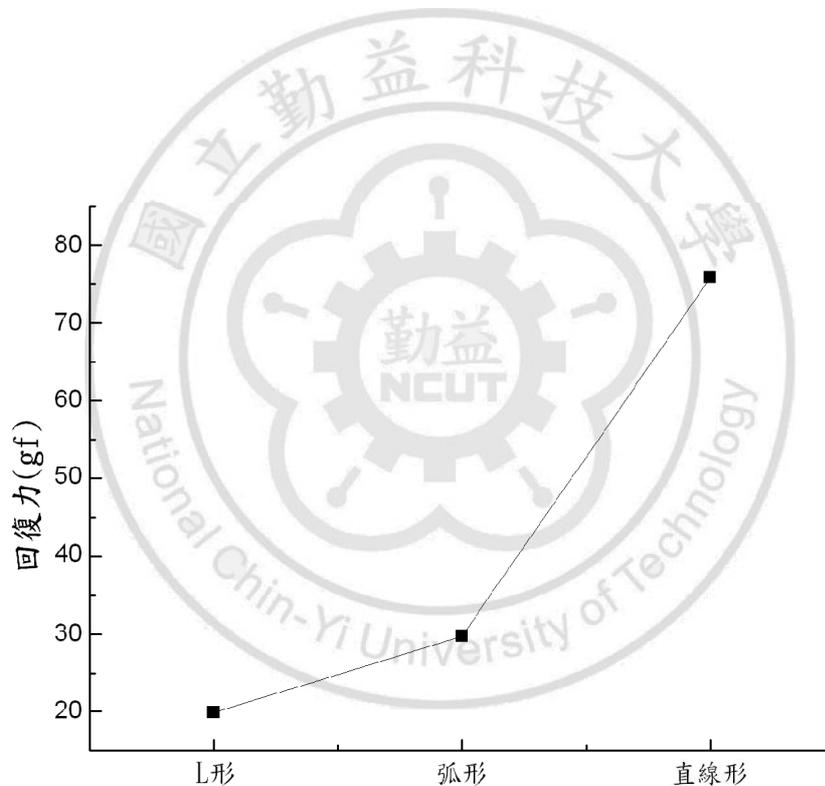


圖 6.26 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之回復力量測分析

6.3.5 散熱時間之量測

此實驗是量測 L 形、弧形及直線形致動元件之散熱時間，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端利用端接頭固定，且將記憶合金通電加熱至 80°C 之後，開始進行散熱量測，量測溫度在 70°C、60°C、50°C、40°C、30°C 時的降溫時間，由圖 6.27 得知，溫度差越高，單位空氣流量所帶走的熱較多，因此，越接近室溫，散熱時間就越慢。

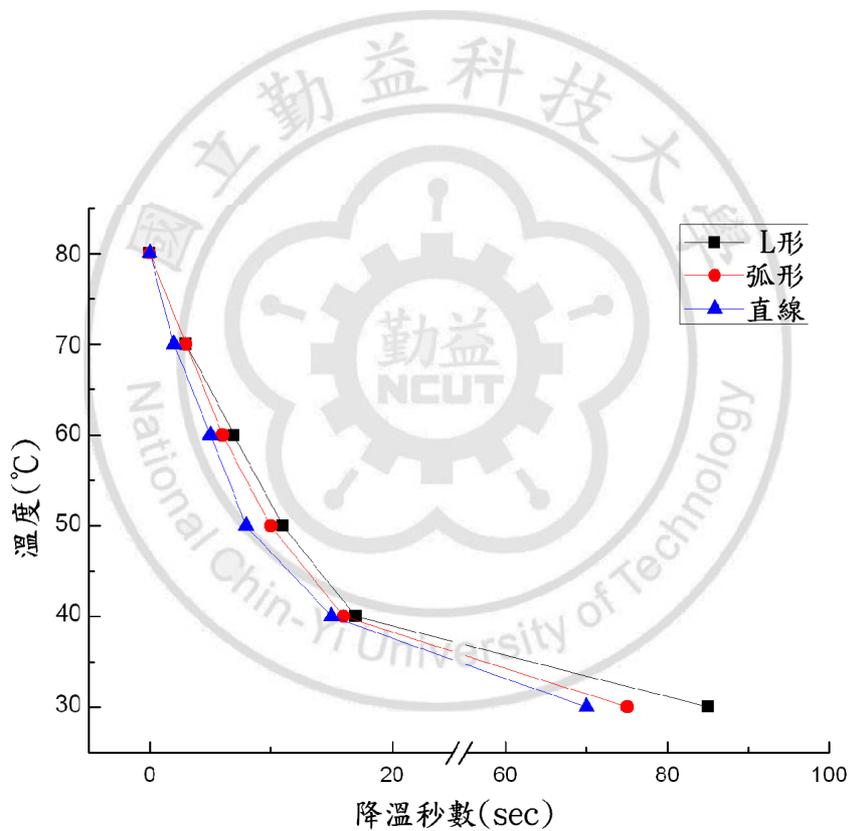


圖 6.27 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之散熱時間量測分析

6.3.6 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

此實驗是量測未加入 PWM 及加入 PWM 和 PWM 與風扇的表面溫度變化，因記憶合金通予大電流時，表面溫度會呈現高溫，所以，本論文使用脈衝寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 來降低記憶合金的表面溫，藉由連續的開啟時間 (on-time) 和關閉時間 (off-time) 達到輸出脈波電流訊號控制，因此，由圖 6.28、6.29、6.30 可知，加入 PWM 時溫度明顯比未加入 PWM 低，且 PWM 與風扇同時進行時，散熱效果更為明顯。

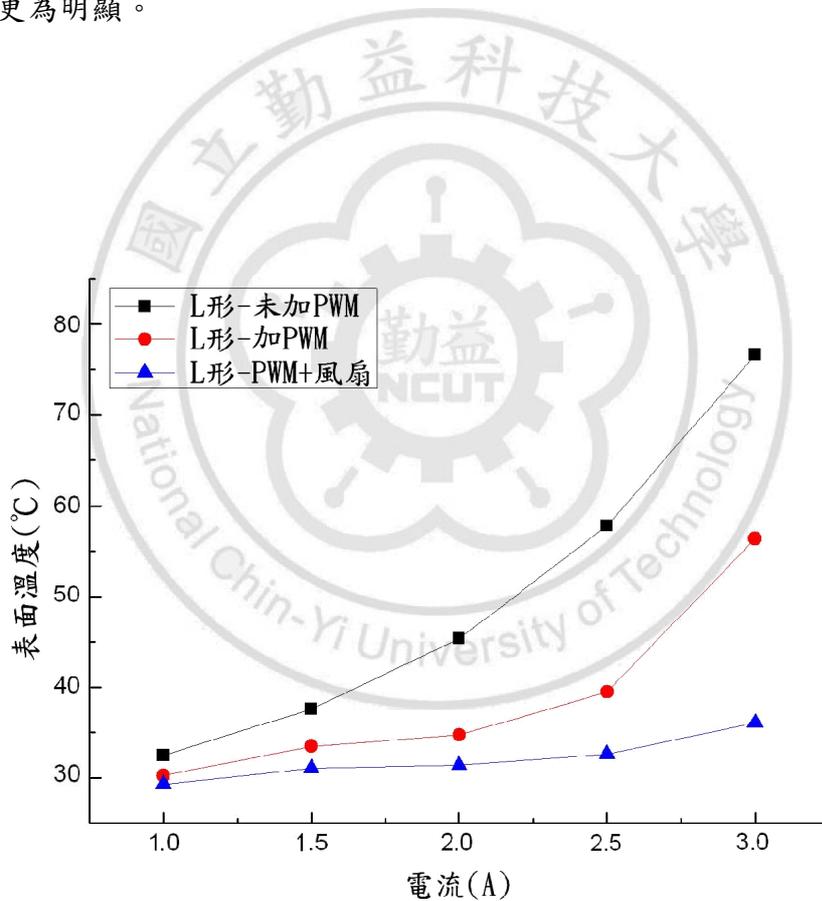


圖 6.28 (L 形致動元件) 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

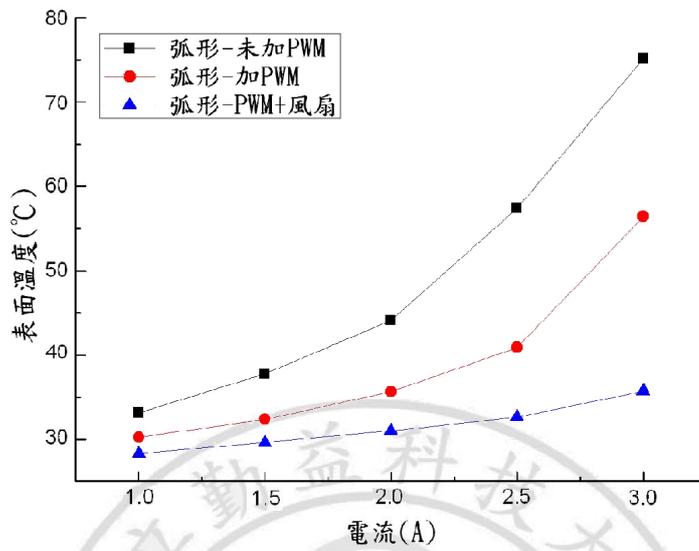


圖 6.29 (弧形致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

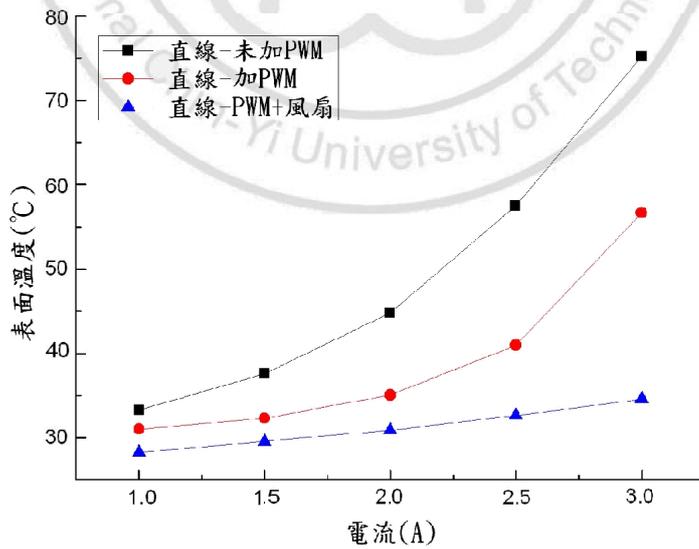


圖 6.30 (直線致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

6.4 兩條 L 形、弧形、直線形記憶合金致動元件之量測結果

6.4.1 致動角度比較

此實驗是量測兩條記憶合金與彈性線做結合時，不同致動元件之致動角度比較，記憶合金長度及彈性線均為 4 cm，通以 3A 的電流，其致動角度是以固定一點做切線，量測未通電時的切線角度及通電後的切線角度，其切線間的夾角為致動角度()，由表 6.2 可知，用兩條直線形記憶合金致動，致動角度大，如圖 6.31、6.32、6.33 所示，且 6.3.1 與 6.4.1 比較，一條 L 形、弧形及直線形記憶合金致動元件，其致動角度較兩條 L 形、弧形及直線形差，因兩條記憶合金比一條記憶合金做動時更有力。

表 6.2 兩條 L 形、弧形、直線形 SMA 致動角度比較表

SMA 起始形狀	兩條 L 形	兩條弧形	兩條直線形
致動角度	23°	33°	55°

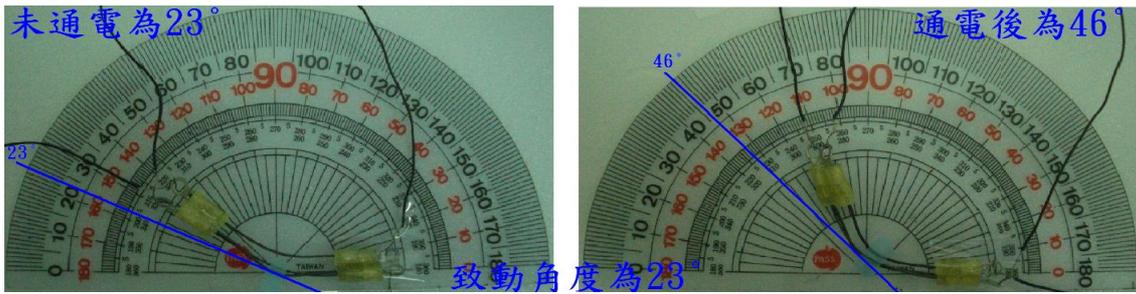


圖 6.31 兩條 L 形致動元件之致動角度

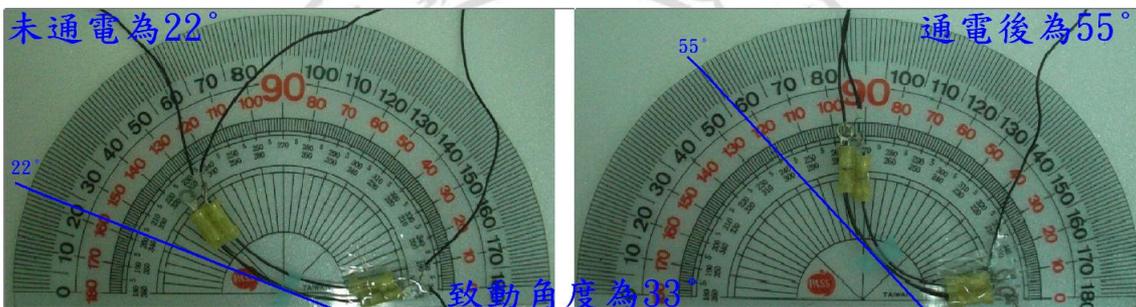


圖 6.32 兩條弧形致動元件之致動角度

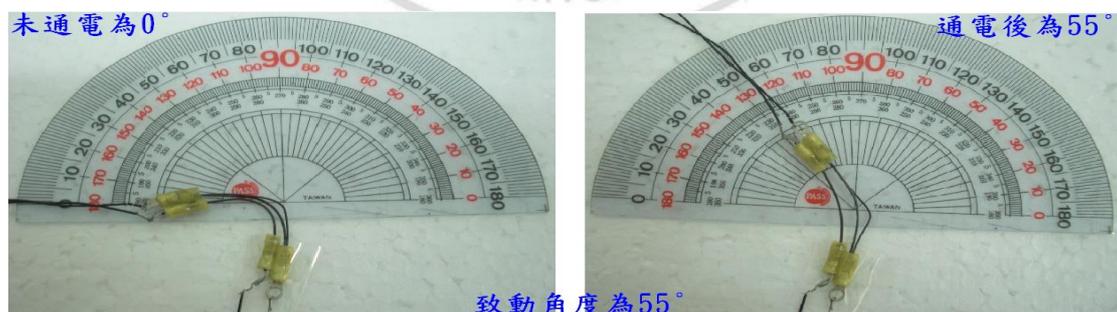


圖 6.33 兩條直線形致動元件之致動角度

6.4.2 致動時間之量測

此實驗是量測兩條(L形、弧形、直線形)致動元件之致動時間，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端使用端接頭做固定，量測電流在 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 時的致動時間，由圖 6.34 得知，兩條直線形致動元件的致動時間最快，致動電流越大，致動時間越快；致動電流越小，致動時間就越慢，但若電流過大時，容易使記憶合金產生過熱，使其失去記憶功能，若電流過小時，記憶合金不能完全回復變形，由圖顯示電流在 1.5A 以前致動不明顯，但在 1.5A 以後，致動效果就較為明顯。

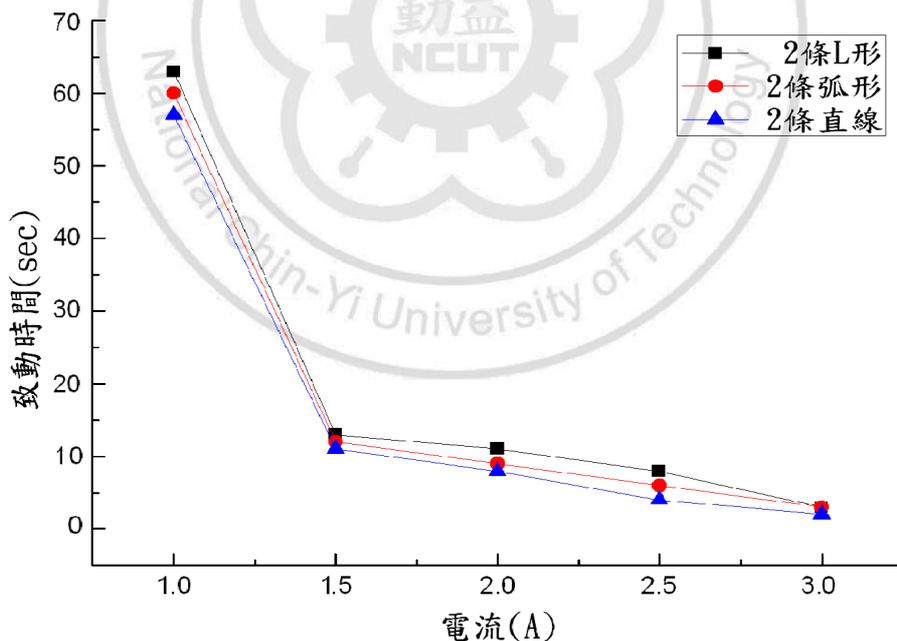


圖 6.34 兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之致動時間量測分析

6.4.3 表面溫度之量測

此實驗是量測兩條(L形、弧形、直線形)致動元件之表面溫度，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端使用端接頭做固定，量測電流在 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 時的表面溫度，因記憶合金會經由加熱而產生改變，即溫度和記憶合金之間存在關係，由圖 6.35 得知，其致動元件的表面溫度值幾乎相同，且圖中趨勢為致動電流越大，表面溫度就越高；致動電流越小，表面溫度就越低，是因為當通過的熱量越多，溫度就越高。

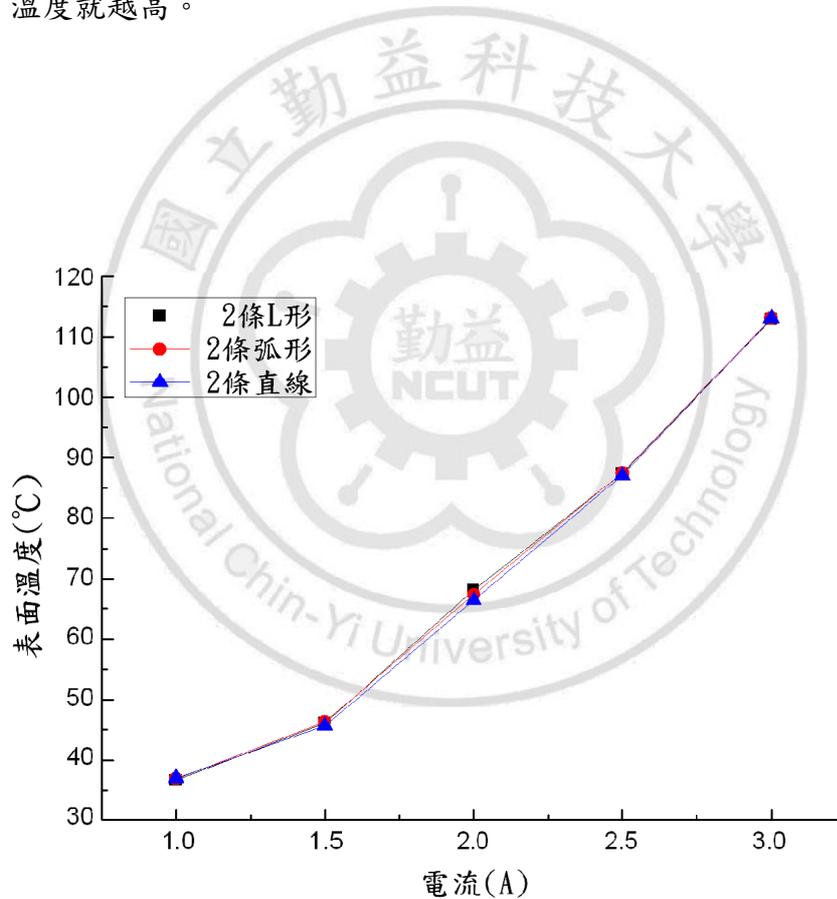


圖 6.35 兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之表面溫度量測分析

6.4.4 回復力之量測

此實驗是量測兩條(L形、弧形、直線形)致動元件之回復力，回復力主要是量測回復時的力量，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端使用端接頭做固定，由圖 6.36 得知，兩條直線記憶合金致動元件的回復力 > 兩條弧形記憶合金致動元件的回復力 > 兩條 L 形記憶合金致動元件的回復力，因此，兩條直線形記憶合金致動元件之回復力佳，且由圖可知回復力越大，變形量越大；回復力越小，變形量就越小。

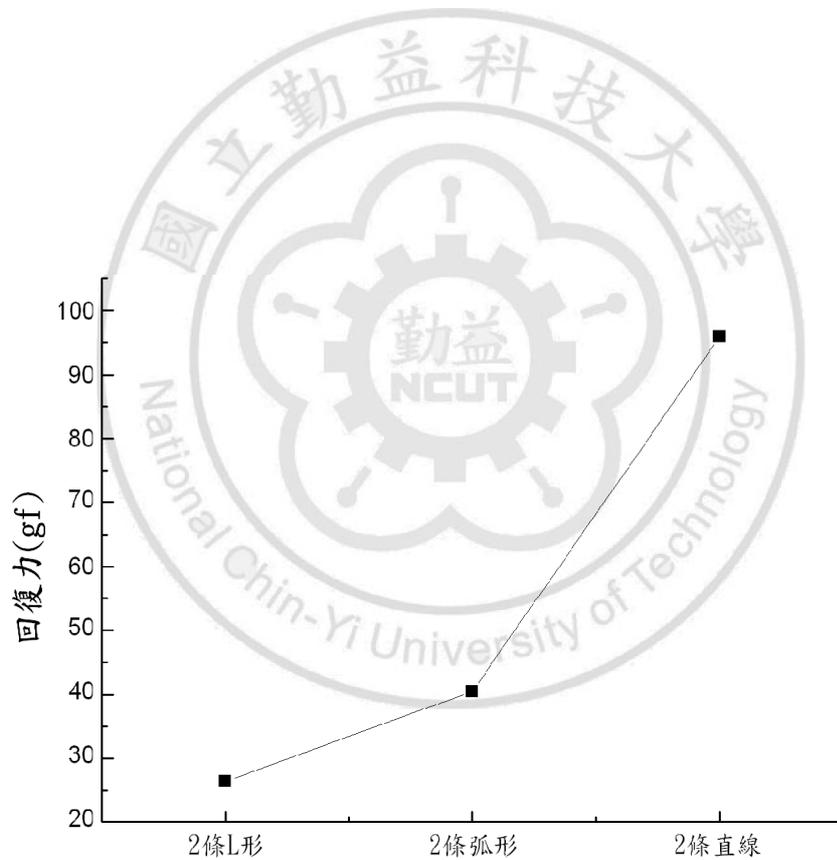


圖 6.36 兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之回復力量測分析

6.4.5 散熱時間之量測

此實驗是量測兩條(L形、弧形、直線形)致動元件之散熱時間，其記憶合金及彈性線均為 4 cm，兩端使用端接頭做固定，且將記憶合金通電加熱至 80°C，開始進行散熱量測，分析隨著溫度的下降，時間呈現何種變化，以利記錄記憶合金致動元件的散熱時間，由圖 6.37 得知，兩條直線記憶合金致動元件，散熱時間較久，其原因可能是兩條記憶合金結合，溫度提高及彈性線與記憶合金較緊密，以致熱較不容易散出，導致散熱較久。

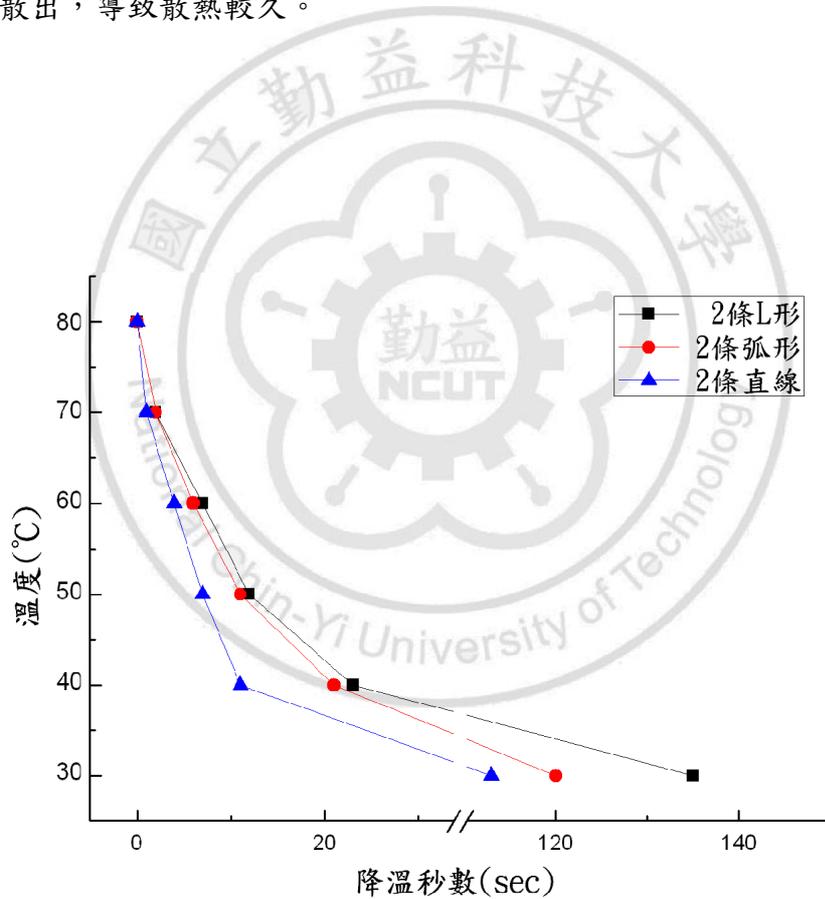


圖 6.37 兩條 L 形、弧形及直線形 SMA 致動元件之散熱時間量測分析

6.4.6 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

此實驗是量測未加入 PWM 及加入 PWM 和 PWM 與風扇的表面溫度變化，因記憶合金加熱會產生高溫，所以，冷卻系統對記憶合金極為重要，且冷卻系統也可縮短記憶合金致動時間，因此，實驗以加入 PWM 的方式和 PWM 與風扇的方式量測其表面溫度，由圖 6.38、6.39、6.40 可以很明顯得知，使用 PWM 在加裝風扇確實會對致動時間及表面溫度有很大的影響。

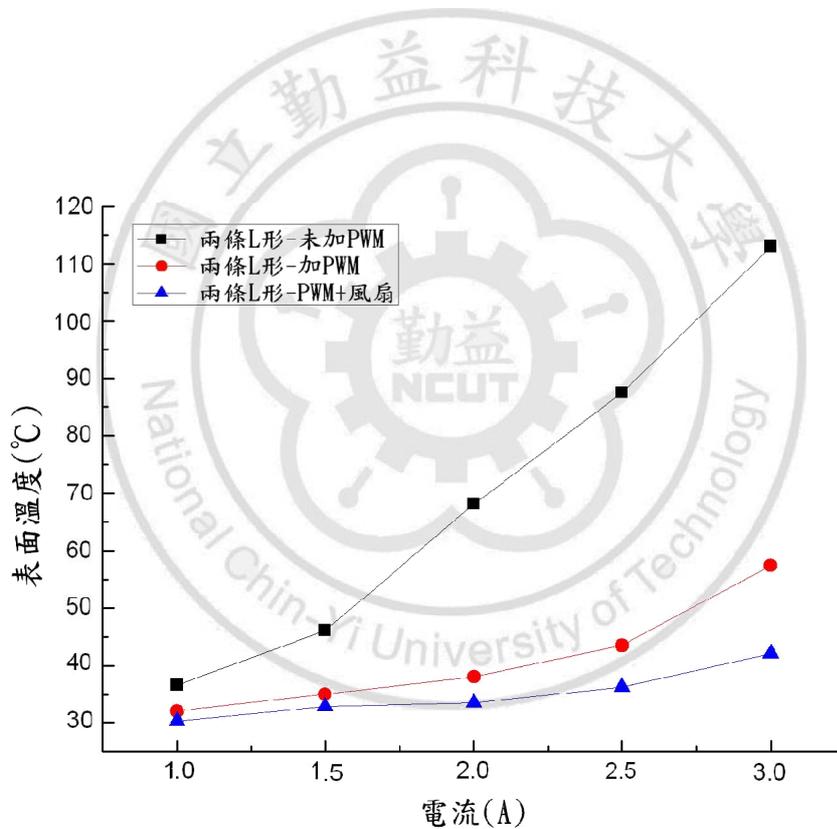


圖 6.38 (兩條 L 形致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

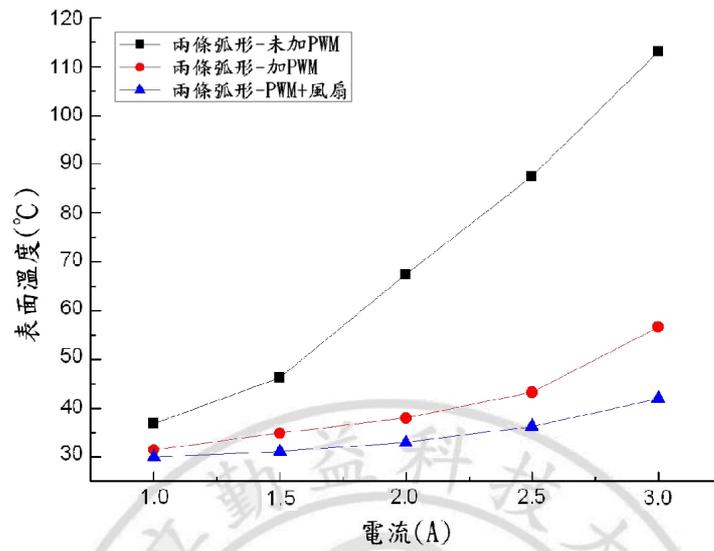


圖 6.39 (兩條弧形致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

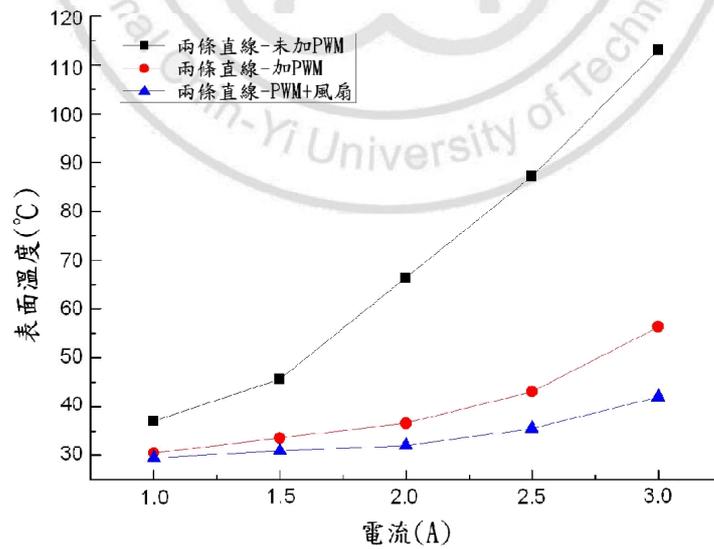


圖 6.40 (兩條直線致動元件)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

6.5 螺旋形記憶合金致動元件之量測結果

6.5.1 致動時間之量測

此實驗是將彈性線放置於螺旋記憶合金的外側及中間位置，其螺旋記憶合金及彈性線長度均為 6cm，且電流通予 1.5A、2A、2.5A、3A，主要量測其致動時間，由圖 6.41 得知，致動電流越大，致動時間就越快；致動電流越小，致動時間就越慢，因此，致動電流對記憶合金回復變形速度影響很大，且圖中可看出電流在 2A 時，致動效果較明顯，若致動電流低於 2A 時，記憶合金內部溫度無法達到相變態溫度，所以，致動時間較長，且由下圖可看出彈性線放置外側比彈性線放置中間好，且致動速度也較快，但也因與彈性線做結合，所以致動上會比沒加彈性線慢。

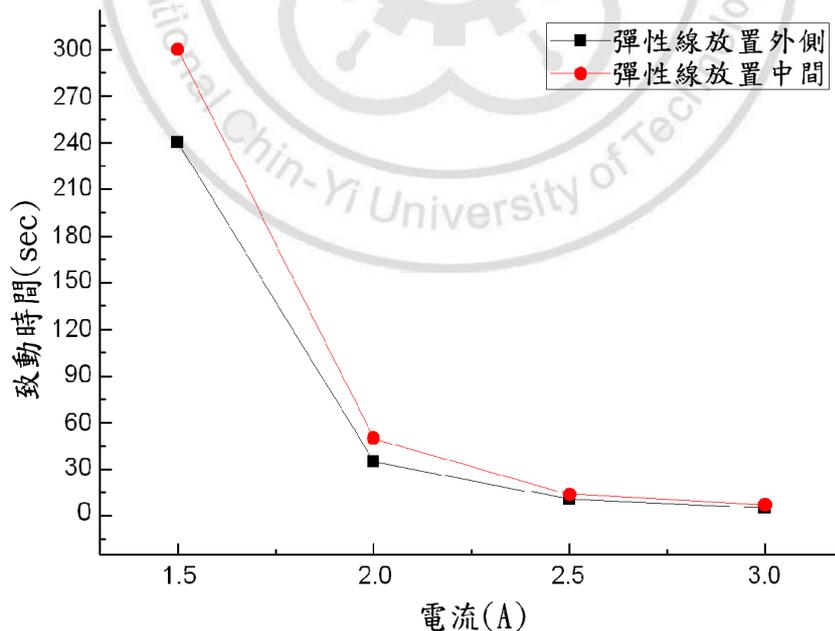


圖 6.41 彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之致動時間量測分析

6.5.2 表面溫度之量測

此實驗是將彈性線放置於螺旋記憶合金的外側及中間位置，其螺旋記憶合金及彈性線長度均為 6cm，且電流通予 1.5A、2A、2.5A、3A，主要量測其表面溫度，由圖 6.42 得知，致動電流越大，表面溫度就越高；致動電流越小，表面溫度越低，所以圖中彈性線放置外側比彈性線放置中間好，因彈性線放置外側，螺旋記憶合金空氣流通範圍較大，所以較不易產生高溫，但彈性線放置中間，螺旋記憶合金空氣流通範圍較小，所以熱不易散去，以至於溫度會較高，且彈性線放置中間，隨著電流越大，彈性線也容易在螺旋記憶合金中間造成扭曲變形，因此，彈性線放置於外側較佳。

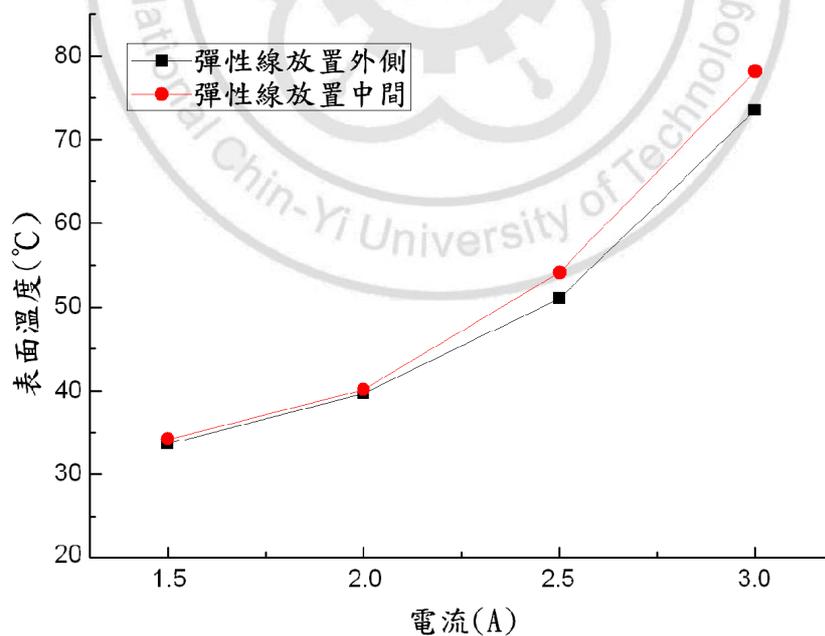


圖 6.42 彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之表面溫度量測分析

6.5.3 回復力之量測

此實驗是將彈性線放置於螺旋記憶合金的外側及中間位置量測其回復力，且螺旋記憶合金及彈性線長度均為 6cm，且電流固定通予 3A，主要量測其回復力，由圖 6.43 得知，彈性線放置外側比彈性線放置中間好，因彈性線放置於螺旋記憶合金中間，使回復時彈性線會侷限於螺旋記憶合金內，以致回復效果不佳，若彈性線放置於外側，當通電致動結束時，會借著外側的彈性線做回復的動作，且做動時會較為順暢。

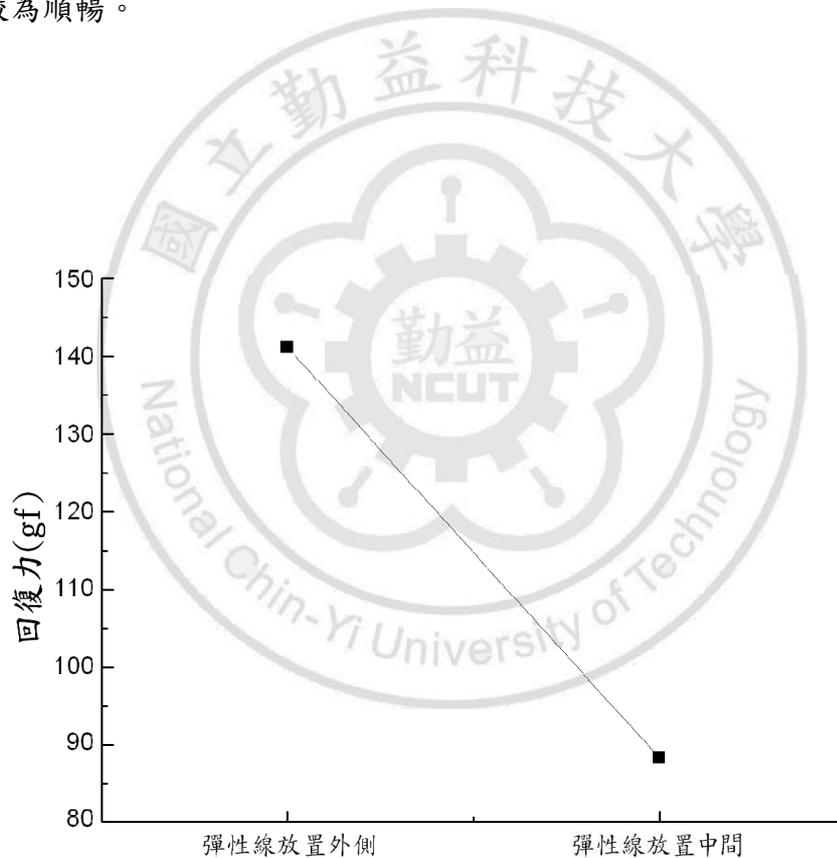


圖 6.43 彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之回復力量測分析

6.5.4 散熱時間之量測

此實驗是將彈性線放置於螺旋記憶合金的外側及中間位置，其螺旋記憶合金及彈性線長度均為 6cm，且致動電流固定通予 3A，主要量測其散熱時間，由圖 6.44 得知，彈性線放置外側比彈性線放置中間好，因彈性線若放置於中間，氣流循環會較差，以導致散熱困難，且也無法達到順暢的做動，而將彈性線放置於外側，氣流循環較佳，以致散熱效果好。

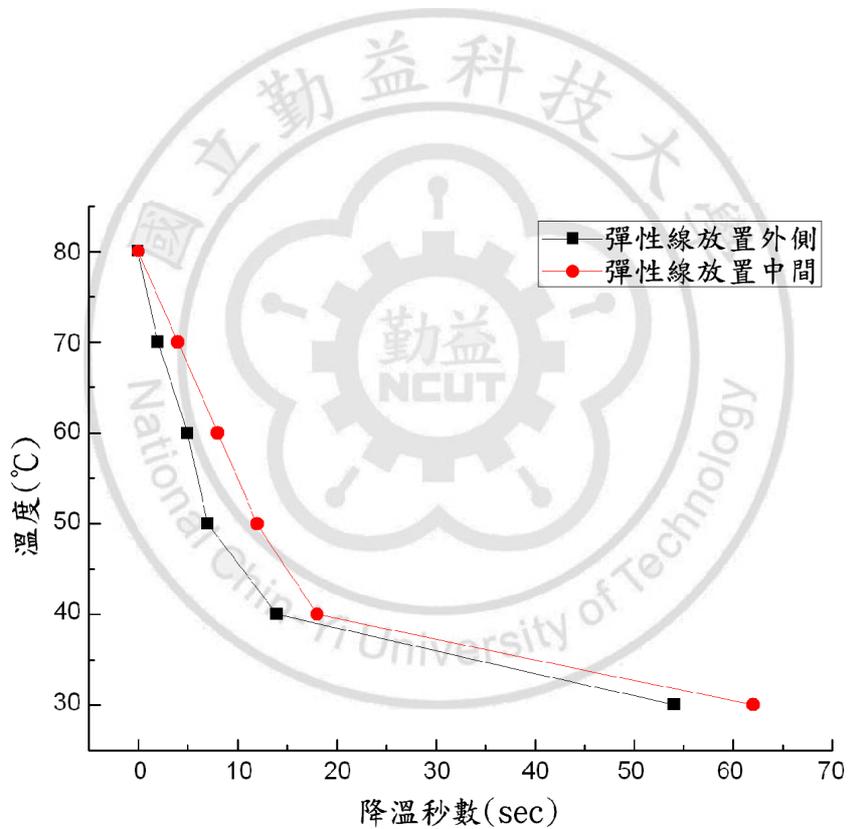


圖 6.44 彈性線結合螺旋 SMA 致動元件之散熱時間量測分析

6.5.5 未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

此實驗是量測未加入 PWM 及加入 PWM 和 PWM 與風扇的表面溫度變化，由圖 6.45、6.46 可知，未加 PWM 時，記憶合金表面溫度高，加入 PWM 後，溫度由 70 幾度降至 40 幾度，若 PWM 與風扇同時進行時，可利用風扇帶動空氣，即可有效快速帶走熱能，因此，PWM 加裝風扇確實可以使記憶合金致動時間縮短。

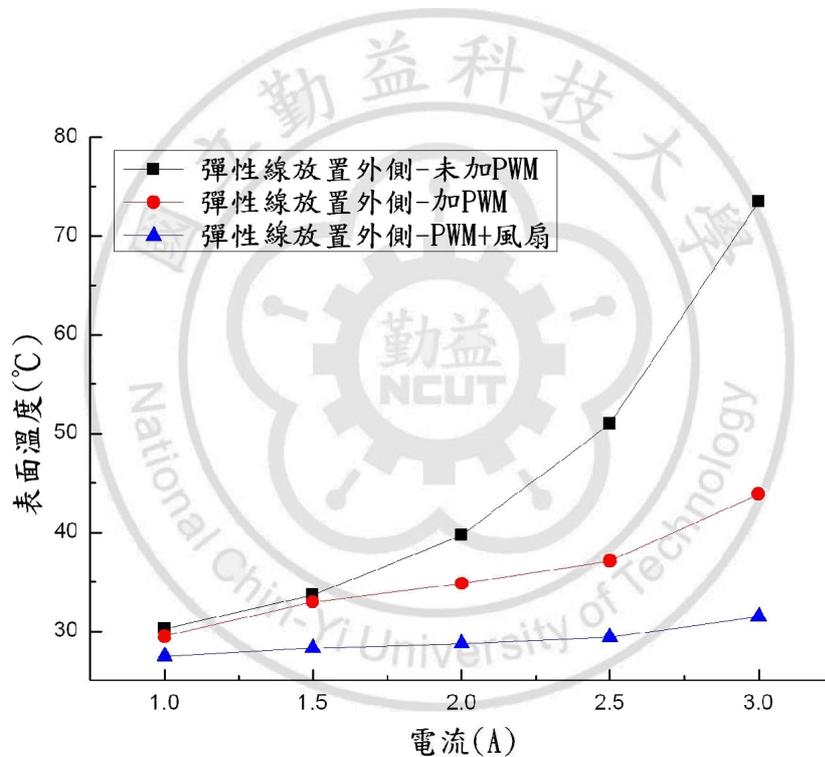


圖 6.45 (彈性線放置外側)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

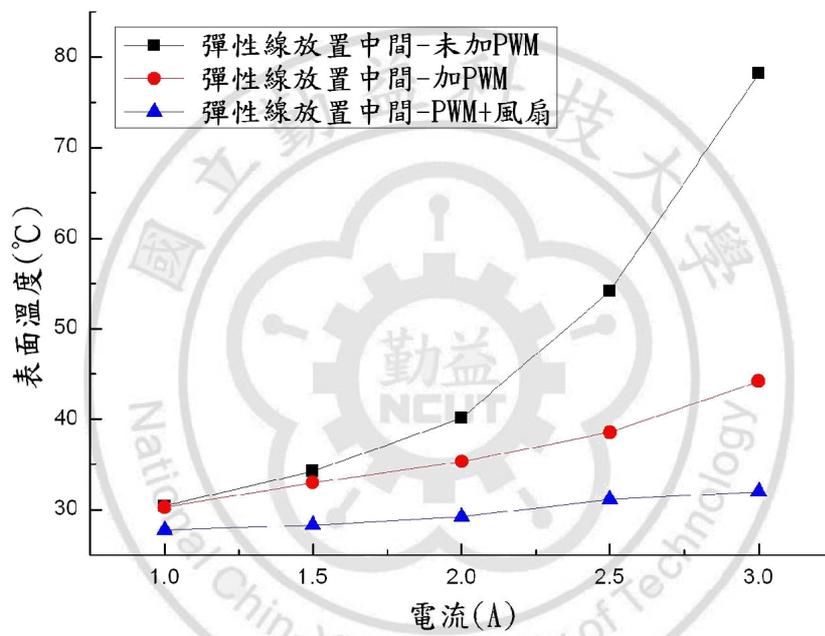


圖 6.46 (彈性線放置中間)未加 PWM、加入 PWM 及 PWM 加風扇之量測

6.6 雙向螺旋形記憶合金致動元件之量測結果

6.6.1 致動角度比較

此實驗是量測雙向螺旋的致動角度，其長度均為 10 公分，由表 6.3 的數據中可知雙向螺旋無彈簧的致動角度較大，原因可能是無彈簧致動角度沒有受到拘束，以至致動角度大，如圖 6.47、6.48 所示。

表 6.3 雙向螺旋 SMA 致動角度比較表

	雙向螺旋(無彈簧)	雙向螺旋(彈簧)
致動角度	68°	40°

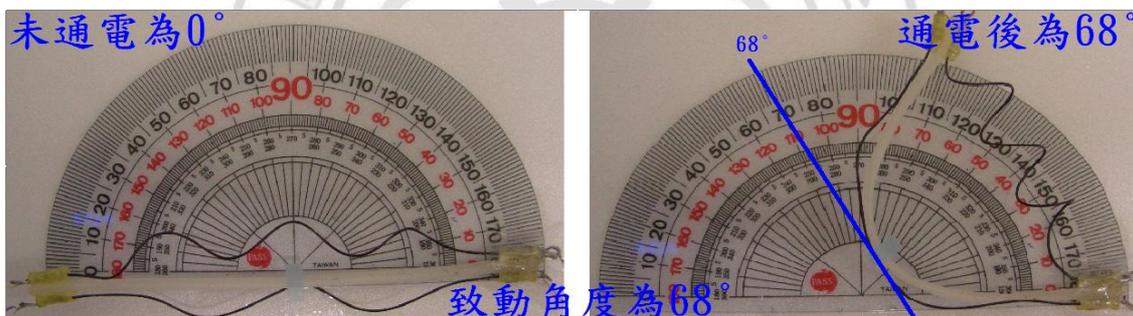


圖 6.47 雙向螺旋無彈簧致動角度

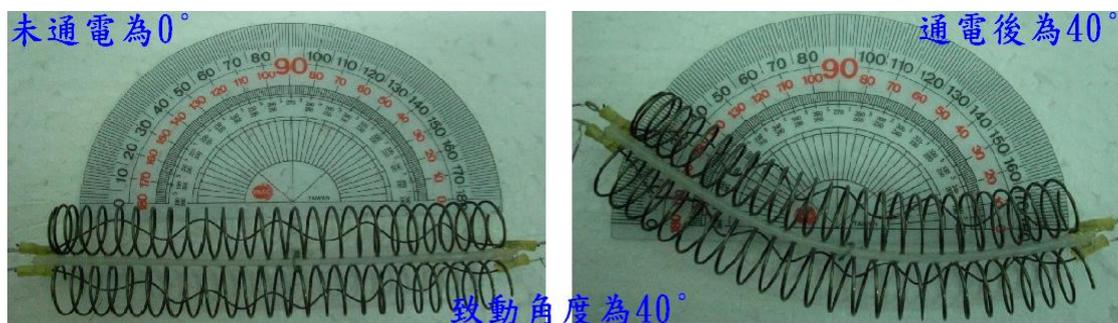


圖 6.48 雙向螺旋彈簧致動角度

6.6.2 致動時間之量測

此實驗是量測雙向螺旋致動元件之致動時間，由圖 6.49 得知，當致動電流通予 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 時，其致動時間由圖可知，雙向螺旋無彈簧致動時間較快，且實驗中發現電流在 1.5A 時，致動元件才會做動，而電流小於 1.5A 時，致動元件幾乎無法做動，原因是因為電流在 1.5A 以下，還未達到相變態，以至無法做動明顯，而由圖的數據也顯示出，隨著致動電流越大，其致動時間越快；致動電流越小，其致動時間就越慢。

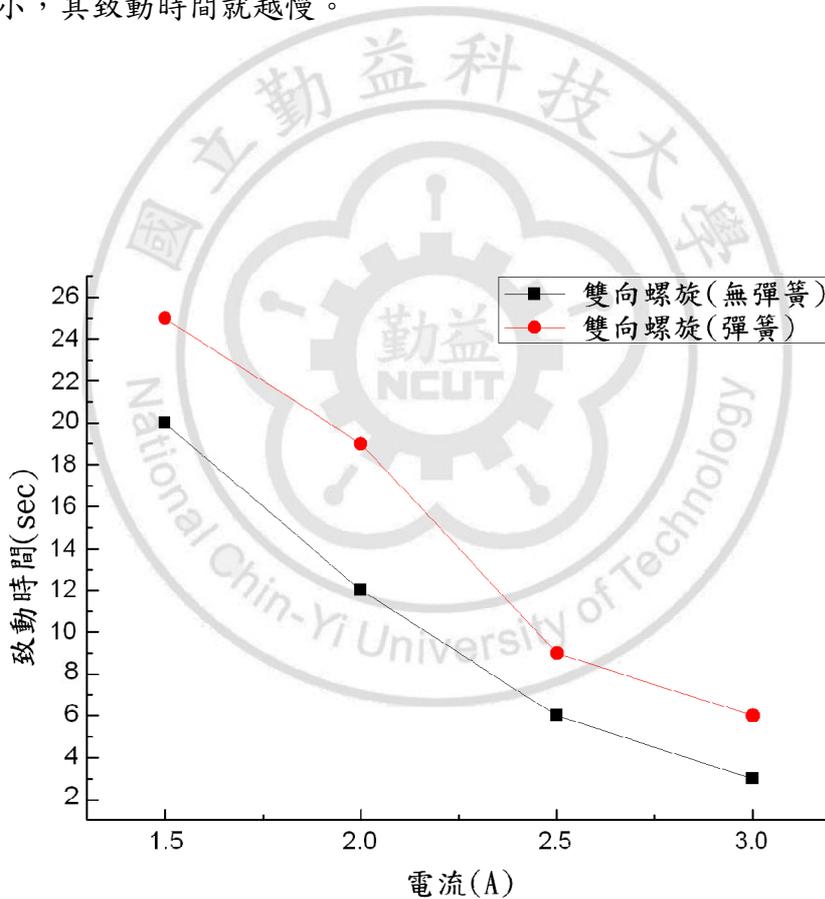


圖 6.49 雙向螺旋 SMA 致動元件之致動時間量測分析

6.6.3 表面溫度之量測

此實驗是量測雙向螺旋致動元件之表面溫度，由圖 6.50 得知，當致動電流通予 1A、1.5A、2A、2.5A、3A 時，其表面溫度由圖可知，雙向螺旋無彈簧表面溫度低，而雙向螺旋彈簧表面溫度較高，可能原因是因加熱時記憶合金會產生高溫，且螺旋記憶合金是放置於彈簧內，以至於溫度都局限在彈簧內，熱能不易散出，所以，表面溫度就會高，而從圖中顯示出當致動電流越大，溫度就會越高；當致動電流越小，溫度也會越低。

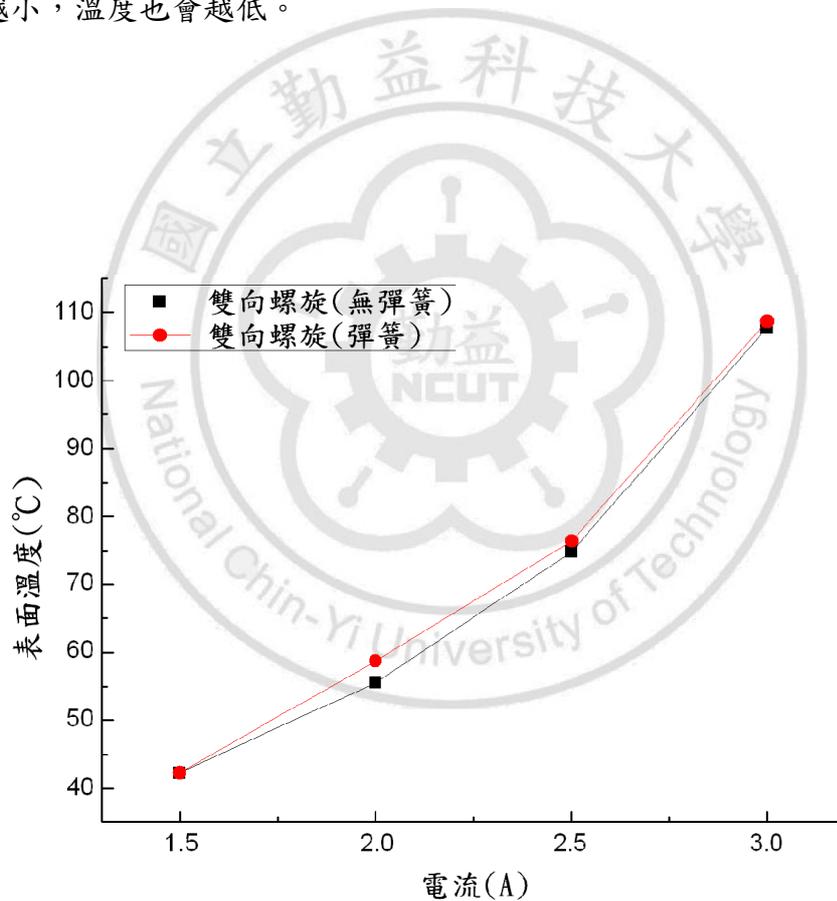


圖 6.50 雙向螺旋 SMA 致動元件之表面溫度量測分析

6.6.4 回復力之量測

此實驗是量測雙向螺旋致動元件之回復力，由圖 6.51 得知，雙向螺旋無彈簧其回復力較雙向螺旋彈簧大，原因是當通予致動電流時，雙向螺旋無彈簧無受到拘束，以致於回復變形力大，而雙向螺旋彈簧因本身彈簧的關係，以致於螺旋記憶合金在通電加熱伸縮時，會因為彈簧剛性的問題，回復力受到拘束，而使回復力變小。

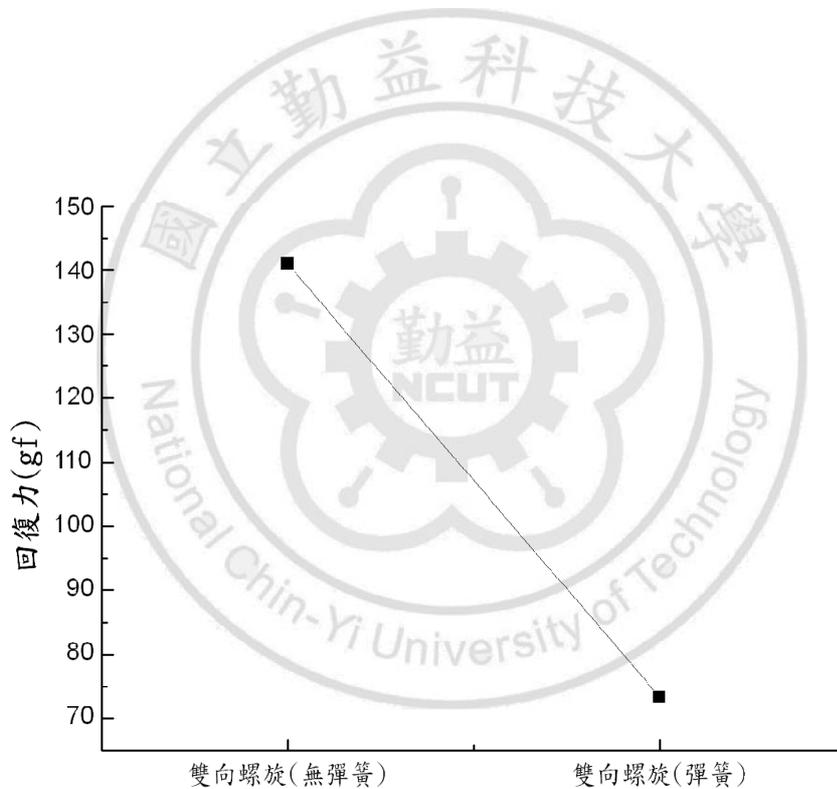


圖 6.51 雙向螺旋 SMA 致動元件之回復力量測分析

6.6.5 散熱時間之量測

此實驗是量測雙向螺旋的散熱時間，將記憶合金通電加熱至 80°C 後，開始進行散熱，由圖 6.52 得知，雙向螺旋無彈簧其散熱速度較雙向螺旋彈簧散熱速度快，因雙向螺旋無彈簧其螺旋記憶合金對流循環較佳，所以，散熱速度快，而雙向螺旋彈簧因為有彈簧的包覆，其對流循環不順，以致散熱速度慢，且越接近室溫就越明顯。

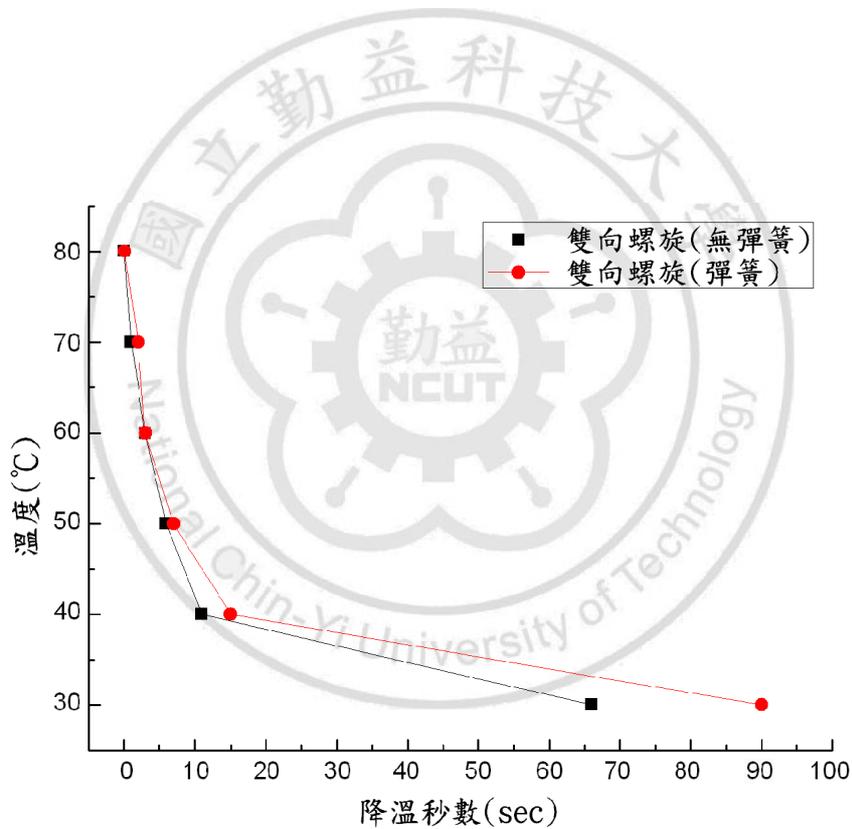


圖 6.52 雙向螺旋 SMA 致動元件之散熱時間量測分析

第七章 形狀記憶合金電熱模擬分析

7.1 有限元素簡介

有限元素法是一個計算數值的方法，可以用來求解包含應力分析、熱傳及流體流動等工程問題。可是在很多實際的環境下，很難獲得正確的邊界和初始條件，並且微分方程式也會過於複雜，要處理這些問題，只能求得近似解，且將所要分析的結構做細部分割(mesh)，而後分別對每一分割後的元素找出其個別運動方程式，最後再整合所有元素進行整體結構特性求解。故有限元素系統是由節點及元素所組合而成，以取代原有工程系統，即將一個連續體系統分割離散成一個有限元素系統，並藉由有限元素系統轉化成一數學模式，經由數學模式進而求得有限元素系統的解答，因此，若分割的元素越多，所求得解就越精確，但所花之時間就相對越多 [10][41]。

本文使用 Solid Works Simulation 做記憶合金表面溫度之分析，一開始先用 Solid Works 繪製出實體，在使用 Solid Works Simulation 做實體分析。表面溫度之分析是以實際有的參數，輸入分析軟體裡，計算出表面溫度值，之後，在與實際量測出的溫度做比較。因記憶合金可由溫度的改變，產生材料內部相變化，因此，可以使用分析軟體模擬在不同致動電流下，隨時間變化之溫度情形及模擬在不同致動電流下，隨時間、溫度上升的趨勢，以利後續搭配脈波頻寬調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 訊號時，能更有效更準確的控制記憶合金作動順序及降低記憶合金高溫現象。

7.2 有限元素基本架構

分析程序概略分為六個步驟：

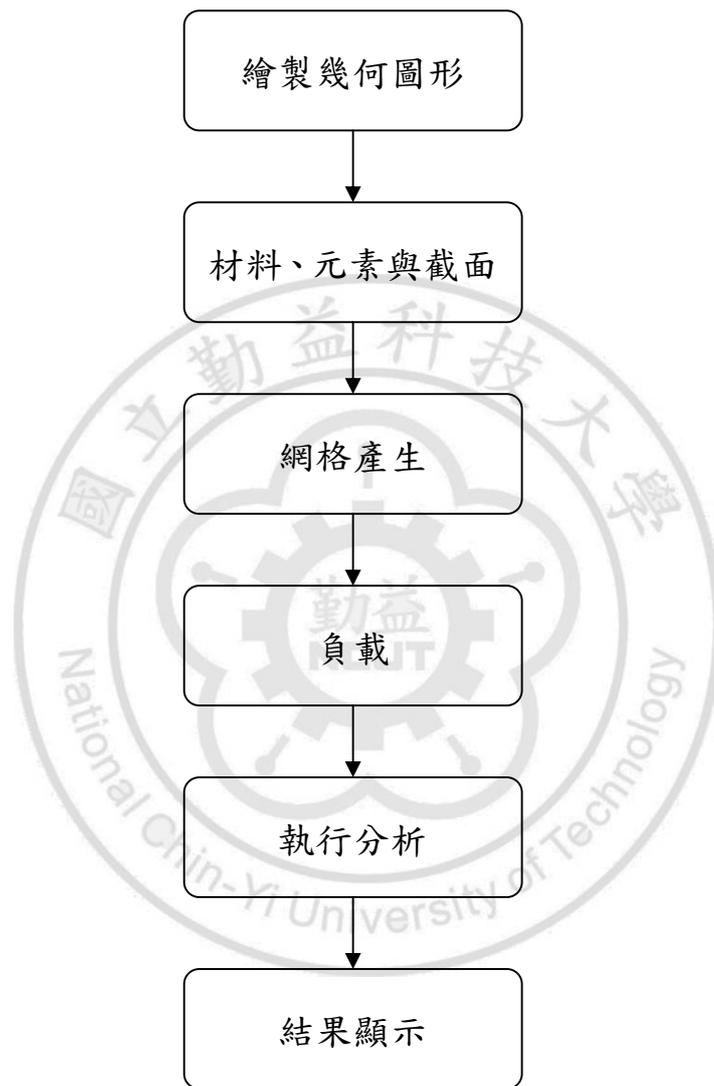


圖 7.1 分析基本架構圖

(一) 繪製幾何圖形(Geometry)

幾何圖形可由軟體繪出，也可經由 CAD 系統，用 STEP、IGES、SAT 和 STL 格式輸入，一個結構體的外形，首先必須定義清楚且正確，才能夠進行分析。

(二) 網格(Mesh)

結構體外形定義完畢後，分成小網格以做後續分析計算。一般來說，網格分的越細，所計算的結果誤差越小，但時間相對越長。網格化以三個步驟進行之：(1) 估算幾何(2)處理邊界(3)建立網格，且任何一個步驟都可能出現網格化問題。

(三) 材料、元素定義(PropSets)

(1) 元素群(EGroup)

是定義元素模型，元素群包括 0-D 的質點(MASS)及空隙(GAP)等元素、1-D 的樑(BEAM)及柱(COLUMN)等元素、2-D 的板(PLATE)及殼(SHELL)等元素、3-D 的四面體(TETRA)及六面體(SOLID)等元素。

(2) 材料性質(MProp)

依材料類型而定，如蒲松比、比熱、熱傳導係數…等。數值可用三種單位系統輸入：SI、公制單位(Metric)與英制單位(English)，如下表：

表 7.1 單位系統表

	國際單位(SI)	公制單位(MKS)	英制單位(IPS)
質量	kg	kg	Ib
長度	m	cm	in

時間	s	s	s
力量	N	Kgf	lb
質量密度	kg/m ³	kg/cm ³	lb/in ³
溫度	K	°C	°F

(四) 負載(Loads)

負載可包含集中力、分布力(Distributed Load)...等，多重負載狀況可以分別定義，並於後處理程序中以各種比例組合輸出結果。在不同的學科中，負載含意有所差別，通常在結構分析過程中，載荷是力或位移，在熱溫度分析過程中，載荷是溫度，而電磁場分析過程中，載荷是指結構所受的電場和磁場作用。

(五) 分析(Analysis)

在進入分析這一步驟，須將模型定義完成，進行分析以前各步驟，稱為前處理(Pre-Processing)；包括前述四部份。分析以後各步驟，稱為後處理(Post-Processing)，包括應力、應變、位移及熱分析資料。

(六) 結果(Results)

此一步驟包括全部後處理的功能，能透過繪製曲線或列表查看，且所有分析結果皆可用動態方式顯示出來。

7.3 記憶合金表面溫度模擬分析

形狀記憶合金是由「溫度」來改變內部結構，因此，「溫度」是記憶合金重要的一環。

此節主要是以記憶合金表面溫度進行模擬量測，以模擬出的數值與實際量測值做比較，驗證兩者量測出的數值是否雷同，且藉由分析得知在不同致動電流下達到記憶合金相變態所需的時間，基本上誤差值為±5%內算是可接受範圍。此節是以 4cm 線狀記憶合金及螺旋記憶合金做致動時間 10sec 時，表面溫度變化之熱分析。首先需設定初始溫度、材料性質(表 7.2)及 $P(\text{功率})=I(\text{電流})\times V(\text{電壓})$ 之公式等相關條件，主要目的是以暫態熱分析模擬隨時間變化之溫度情形及驗證模擬的正確性。

表 7.2 不同熱分析材料性質表[46][47]

材料性質	定義	熱分析類型
熱傳導率	熱傳導率是材料以傳導方式傳遞熱能的效率	穩態與暫態皆可
比熱	材料的單位質量之溫度升高 1 度所需的熱量	僅適用於暫態分析
質量密度	因比熱是每單位質量的熱	僅適用於暫態分析

7.3.1 線狀 SMA 表面溫度模擬分析

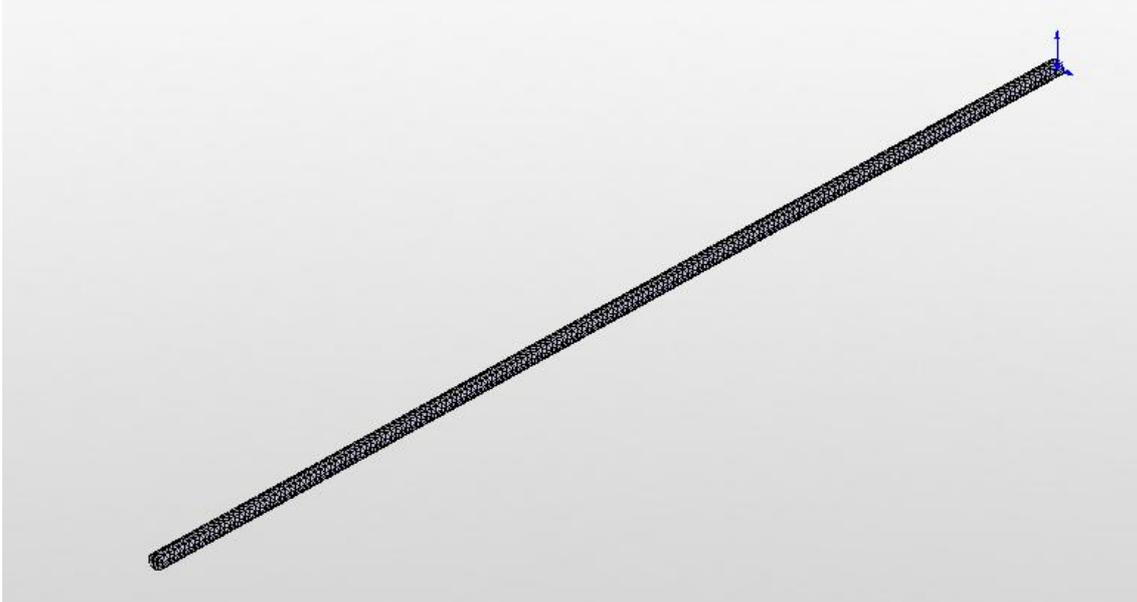


圖 7.2 線狀 SMA 網格模型

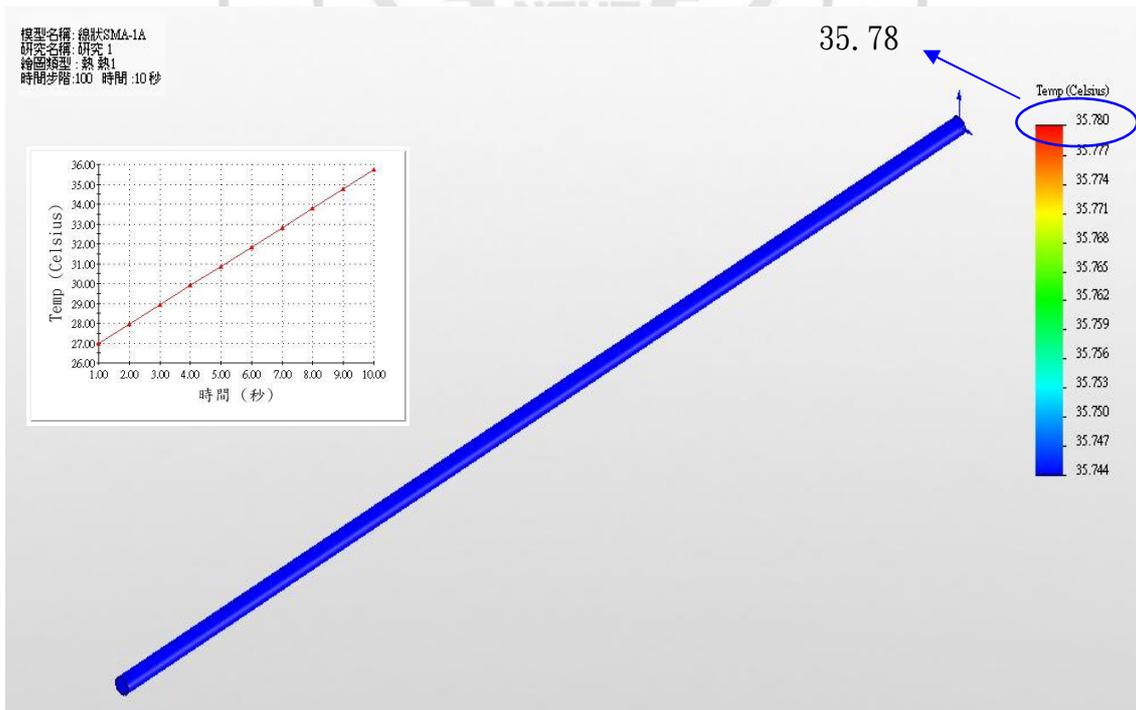


圖 7.3 線狀 SMA-1A-10s 溫度圖

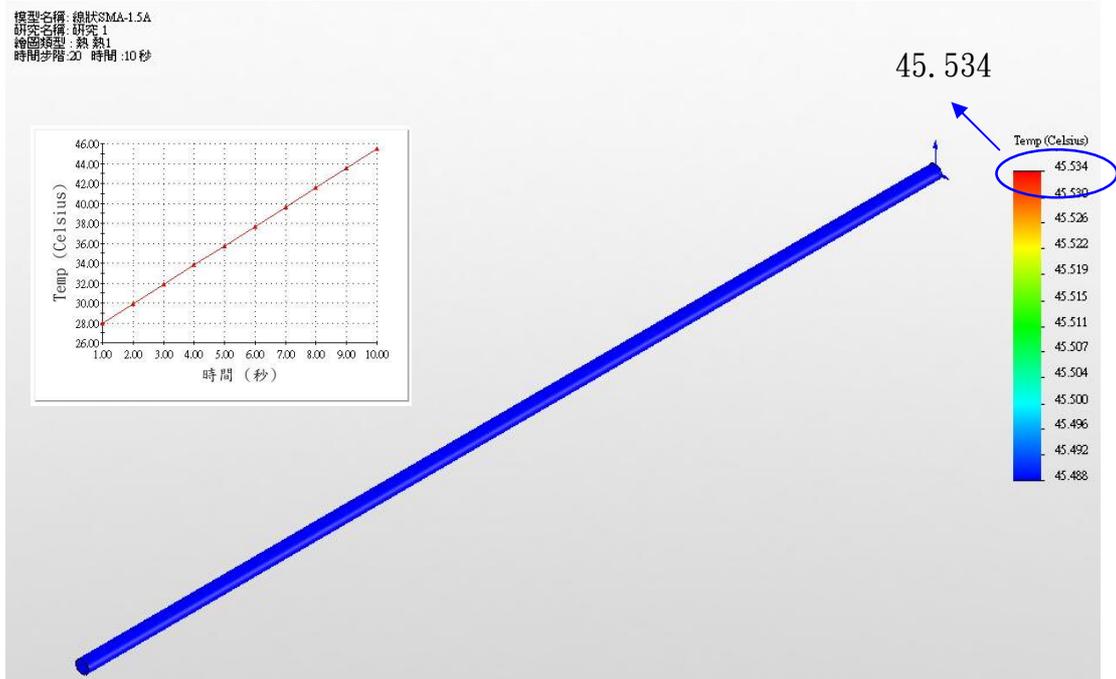


圖 7.4 線狀 SMA-1.5A-10s 溫度圖

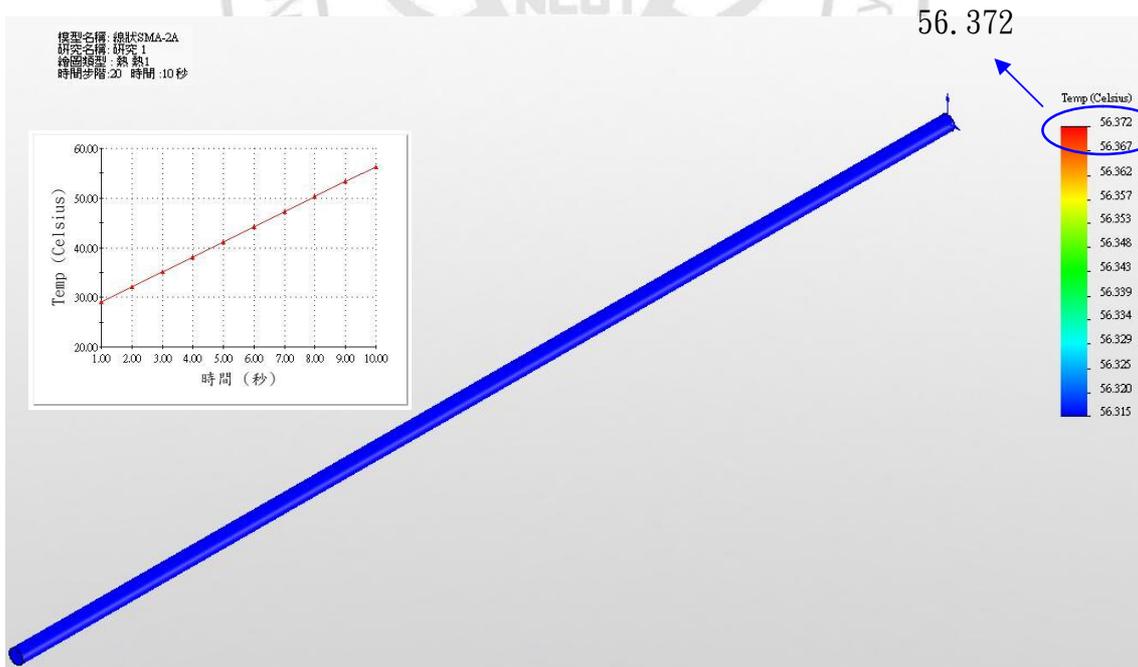


圖 7.5 線狀 SMA-2A-10s 溫度圖

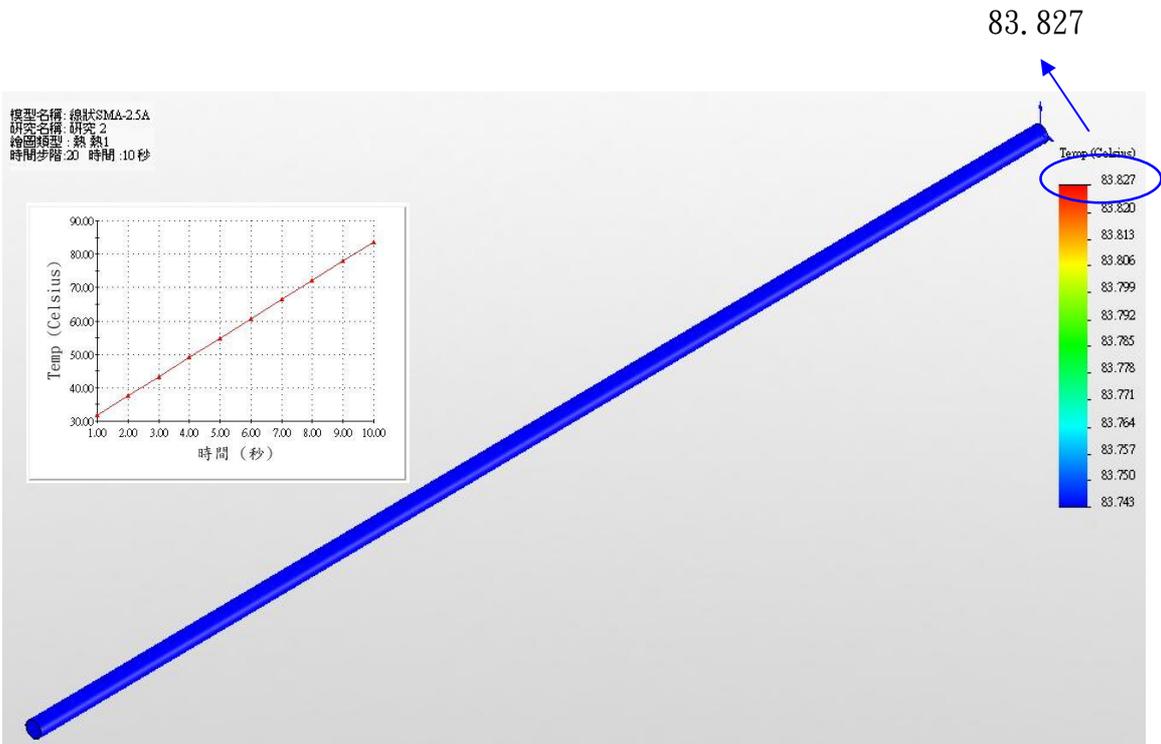


圖 7.6 線狀 SMA-2.5A-10s 溫度圖

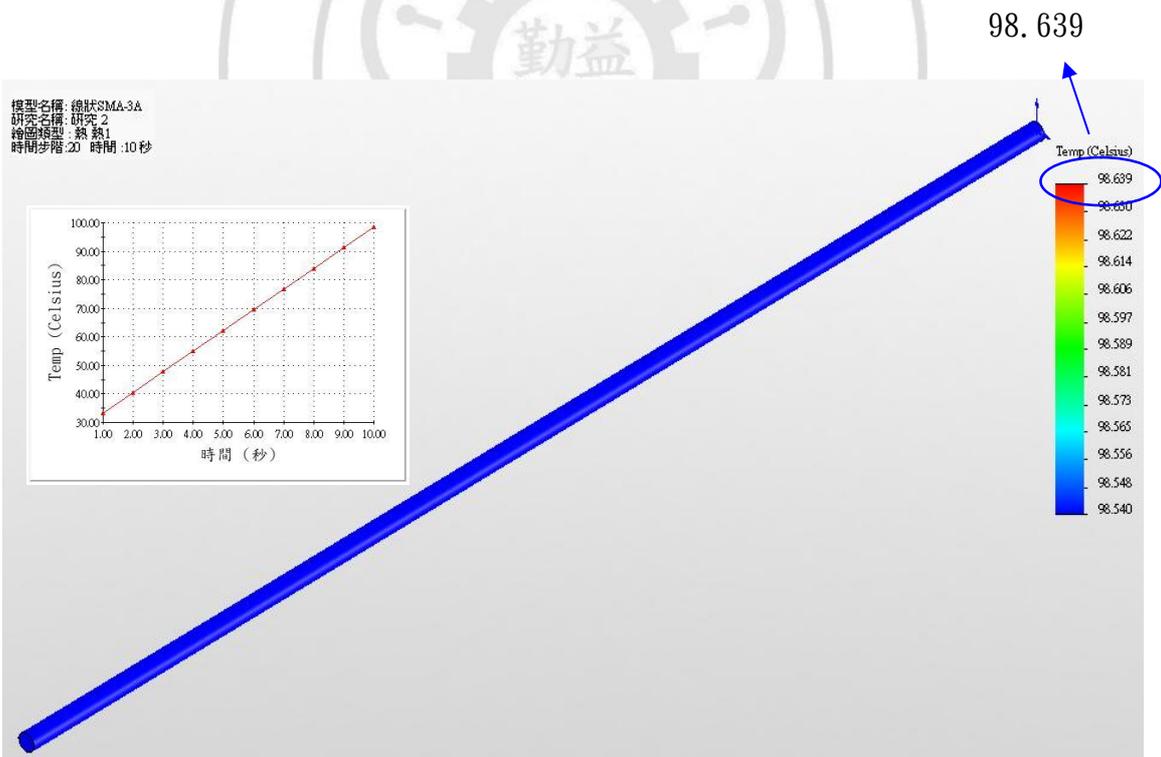


圖 7.7 線狀 SMA-3A-10s 溫度圖

表 7.3 線狀 SMA 量測與模擬值數據

	1A	1.5A	2A	2.5A	3A
量測值	34.233	44.233	55.8	83.133	98.067
模擬值	35.78	45.534	56.372	83.827	98.639

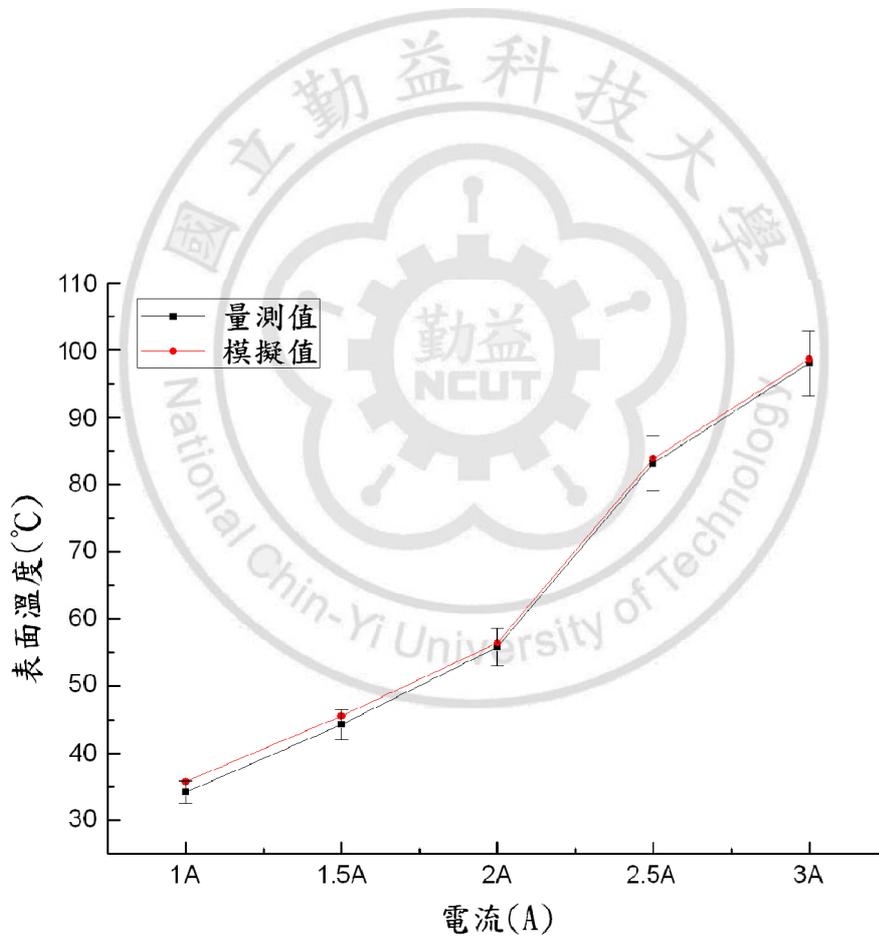


圖 7.8 線狀 SMA 量測與模擬圖

7.3.2 螺旋 SMA 表面溫度模擬分析

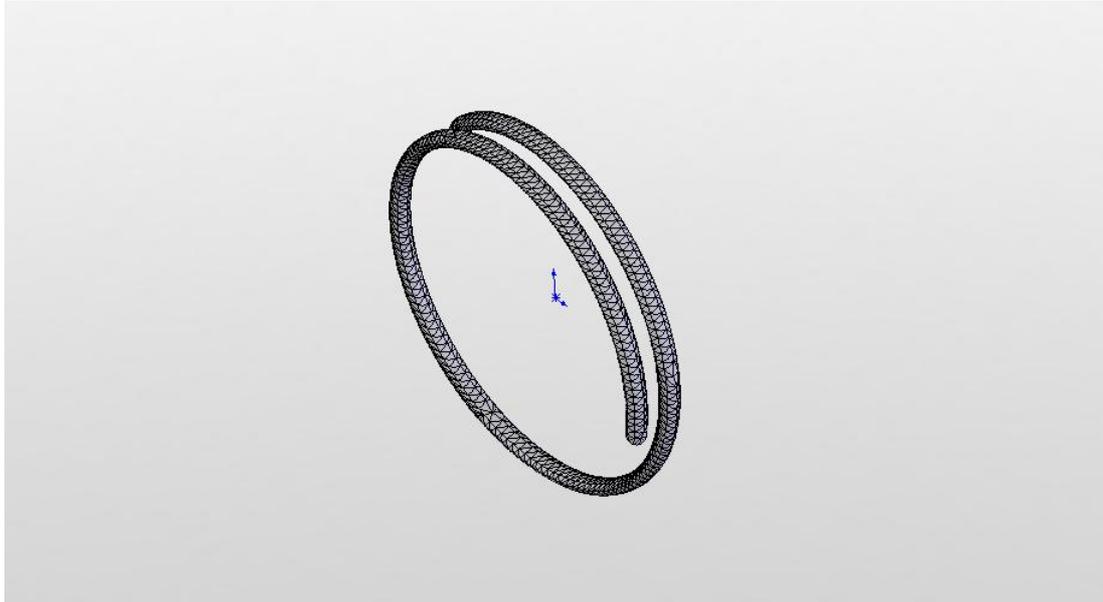


圖 7.9 螺旋 SMA 網格模型

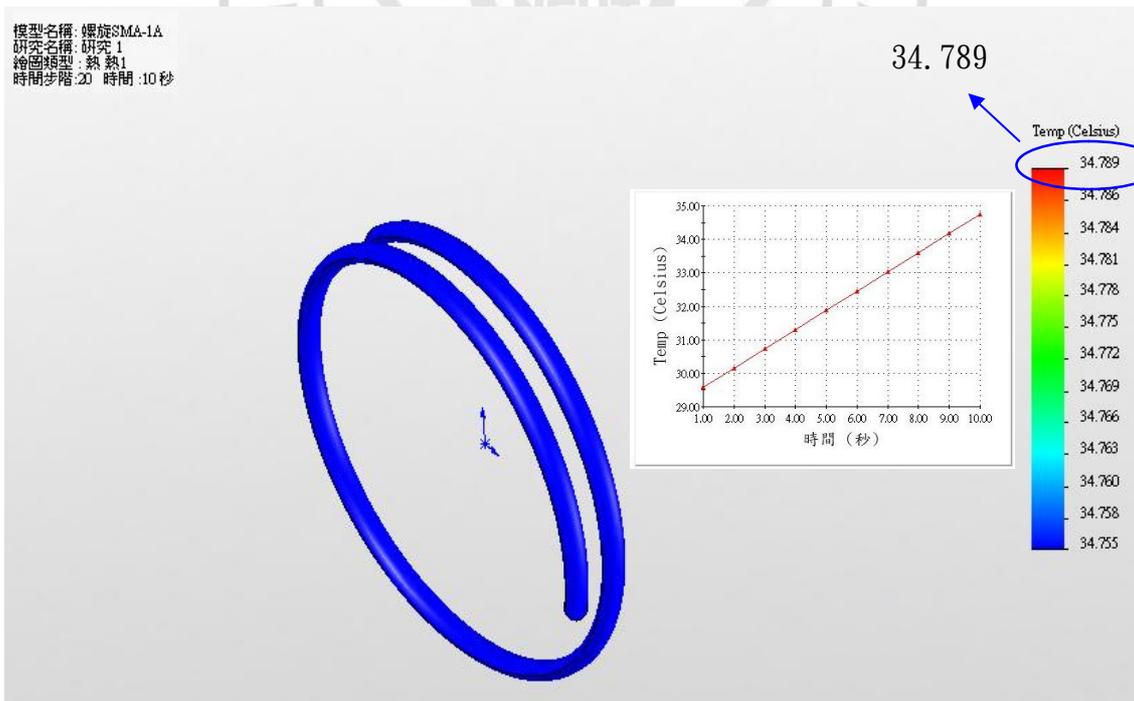


圖 7.10 螺旋 SMA-1A-10s 溫度圖

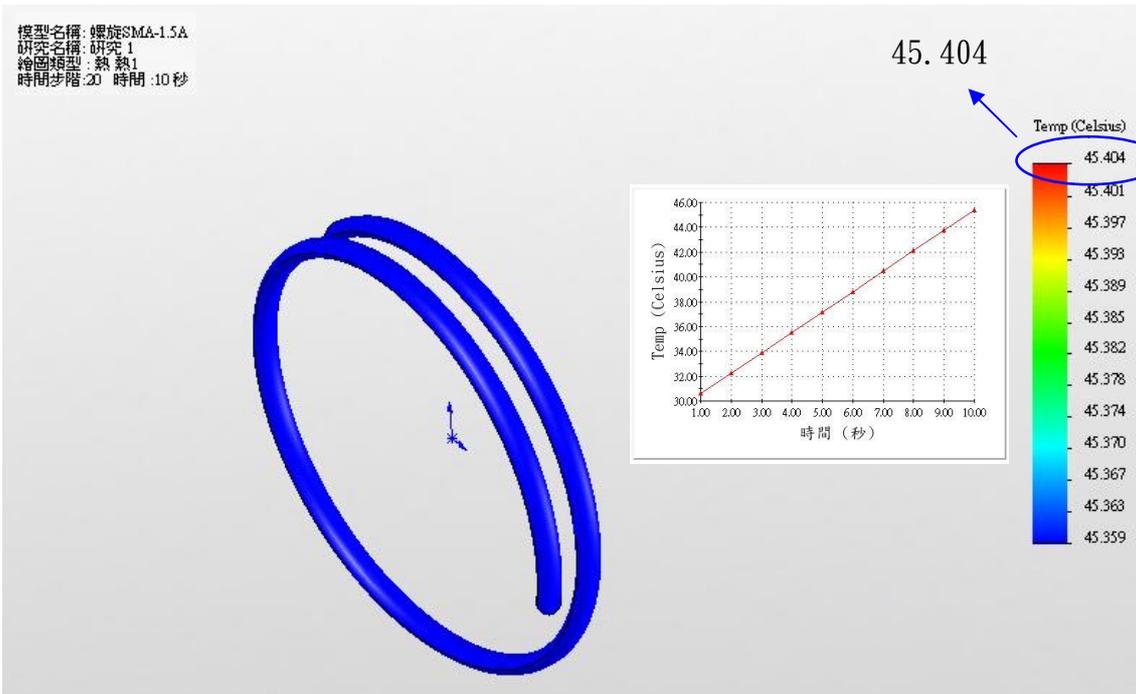


圖 7.11 螺旋 SMA-1.5A-10s 溫度圖

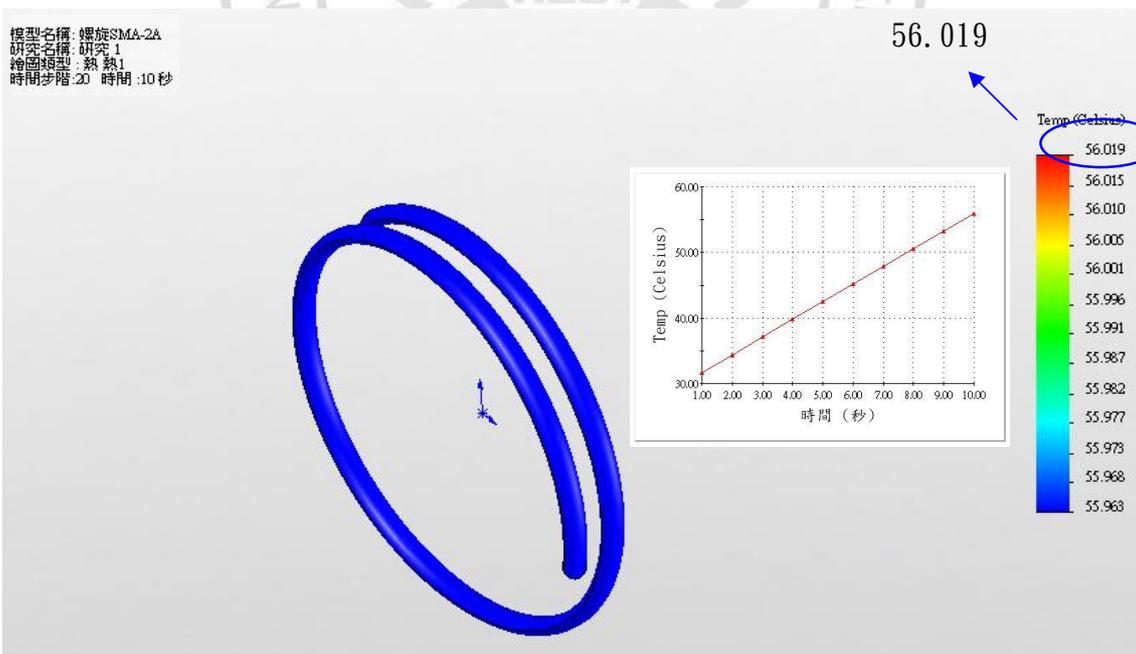


圖 7.12 螺旋 SMA-2A-10s 溫度圖

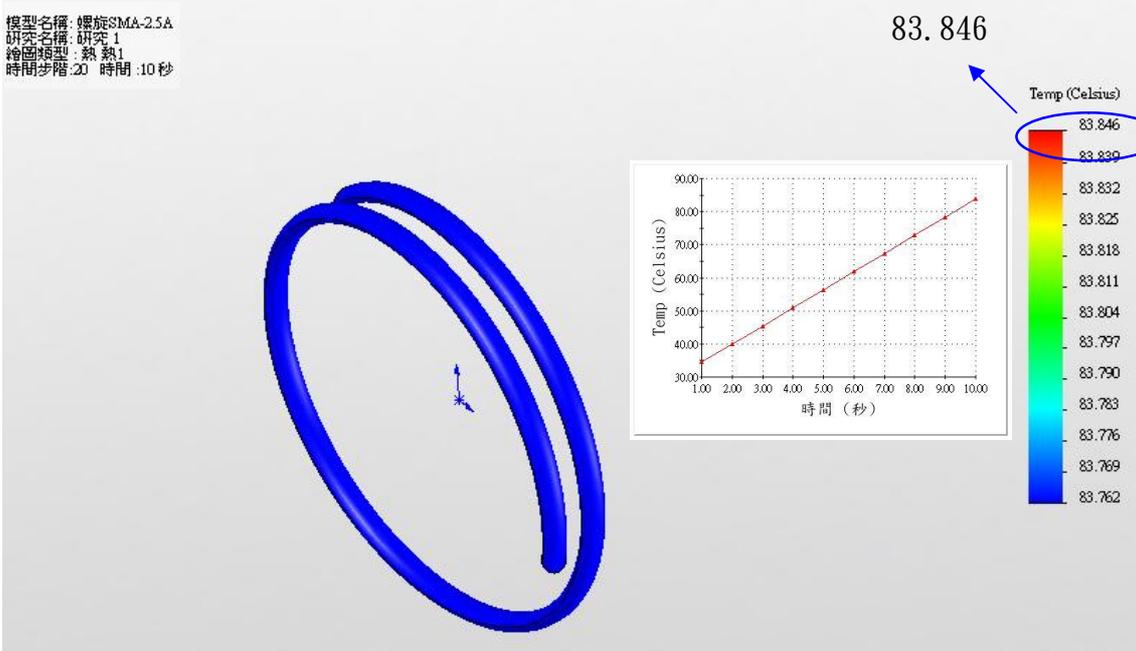


圖 7.13 螺旋 SMA-2.5A-10s 溫度圖

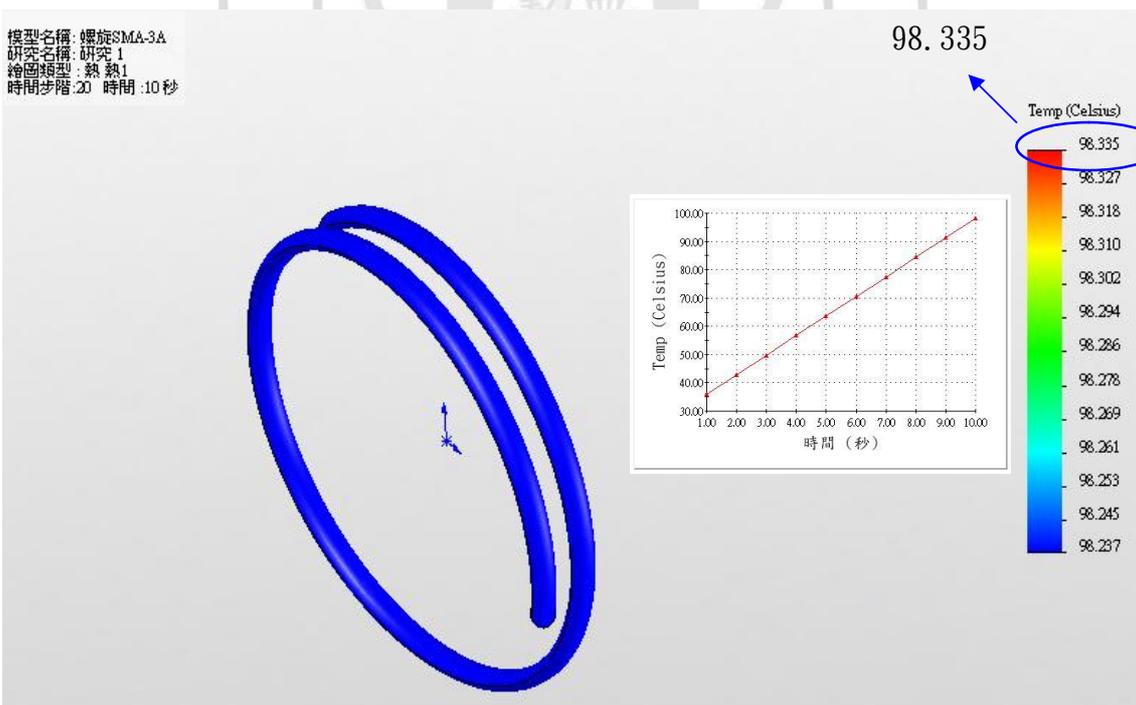


圖 7.14 螺旋 SMA-3A-10s 溫度圖

表 7.4 螺旋 SMA 量測與模擬值數據

	1A	1.5A	2A	2.5A	3A
量測值	35.133	44.033	55.3	82.2	97.567
模擬值	34.789	45.404	56.019	83.846	98.335

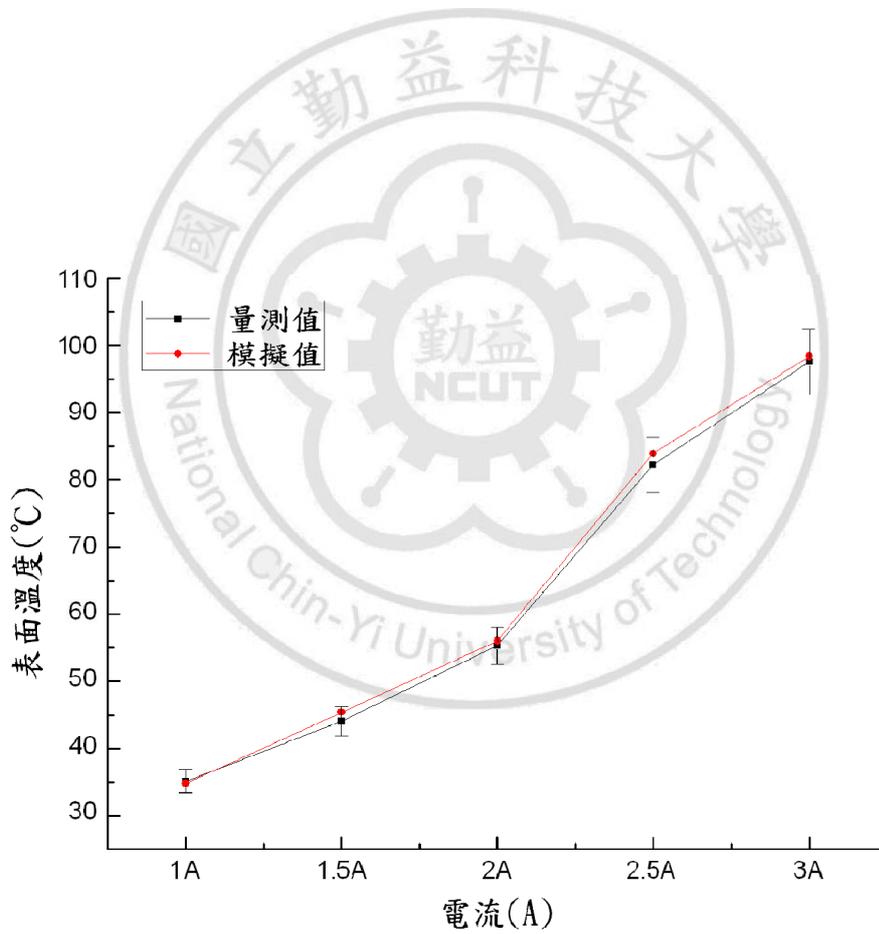


圖 7.15 螺旋 SMA 量測與模擬圖

第八章 動態人造花藝之研發

8.1 簡介

開發動機乃希望將原本靜態人造花藝“動態化”，除了保有花藝之藝術功用外，並兼具娛樂及健康等效益，其將原本靜態人造花藝“動態化”、“模組化”及“可程式化控制”，在保有花藝原本之藝術功用下，也能充分展現實用及生活創意目標。構成單元有盆景花卉、綠葉、蝴蝶及LED小燈，其目標乃讓花朵呈現動態綻放及向日葵向光彎曲的視覺效果，同時由花中散發出(噴出)花香氣味，產生芬芳的嗅覺感受，此時蝴蝶也舞動翅膀，營造賞心悅目的情境畫面。由於花朵綻放、蝴蝶拍翅、向日葵向光均須動力來源以產生微小的動作，設計上為了避免機構的複雜度及噪音產生，破壞花藝的自然與美觀，因此以形狀記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)作為驅動的方式，大大降低機構的複雜度，成功減少使用馬達及其他零組件的噪音。此外，也可結合光能(太陽能板)發電的應用(黏貼在綠葉上)，提供整盆花藝所需的能量(電能)來源，借由類似綠葉光合作用的功能，彷彿將大自然生態的場景在身邊展示。

除了可應用於花藝、園藝、裝飾、禮品、玩具、仿生或仿真工藝品外，其預期效益除了藉由靜動態展示的呈現，達到賞心悅目、愉悅身心的效果，更能透過模組化、程式控制化及多樣化的花藝元件組合，可讓使用者自行創作出各式各樣個體化的成品，從益智的角度而言，亦可成為桌上型花藝教學實習平台，寓教於樂。

8.2 設計構想

是以普遍簡單之盆景花卉、綠葉、蝴蝶及 LED 小燈來製作，讓花朵顯示動態綻放及向日葵向光彎曲的視覺效果，同時由花中散發出(噴出)花香氣味，產生芬芳的嗅覺感受，營造賞心悅目的情境畫面。

最初的設計靈感是因芭比娃娃效應瘋迷了全球 50 年，樂高組合遊戲玩具亦帶給孩童青少年甚至成年人無比的樂趣，其市場營利更是無可言喻，探究其原因固然有多種，但模組化及高擴充性，加上可益智創作出各式各樣的客體化成品，是這兩種產品共同的特質。因此當在開發本作品-動態人造花藝之初，便將此一特質納入開發規劃之中。此外，這幾年仿生機器人之開發如雨後春筍不斷地出現，使原本生硬無生命的機器物品，具有互動性及親和性，這股熱潮也延伸成為本成品設計製造的思考方向。前陣子團購網推出日本 TOMY 公司的「Flip Flap」光能驅動的小草商品(圖 8.1)[48]，廣受好評！Flip Flap 的造型是盆小小的盆景，兩片葉子從裝在小花盆中的「土壤」裡，向左右分別伸出，葉片厚而渾圓，造型十分簡單，以太陽能驅動，只要光源充足，讓造型可愛討喜的葉片不斷輕輕地上下擺動，充滿了悠閒與自在的恬靜情趣，是日本近年來所謂的「療傷系」玩具，可說是居家或辦公室桌面擺設的優質裝飾。人造花藝品是非常普遍的工藝，也是一般人可享有的裝飾物之一，而其花藝材料可謂五花八門，能隨創作者有不同的組合，進而產生不同的創意。然而人造花藝的材料均以靜態物件為主，倘若將原先靜態之花藝元件動態化，或與配上一些其他功能的動態元件相互搭配，在適當的組合及電子感測、機電程式操控下，可將原先賞心悅目的花藝品，更提升其豐富的創作內涵，增加教育、娛樂及健康身心等的附加效果。因此，如圖 8.2 所示，將原本靜態人造花藝動態化、模組化、可程式控制化及綠能化。構成單元主要為花卉、綠

葉、枝幹及蝴蝶等昆蟲相互組合搭配，目標乃讓花朵顯示綻放或向光偏擺彎曲，以及綠葉、枝幹搖曳的動態視覺效果，同時由花中散發出(噴出)花香氣味，產生芬芳的嗅覺感受，而蝴蝶也舞動翅膀，營造賞心悅目且具健康的情境畫面。此外，結合光能(太陽能)發電的應用，模擬綠葉光合作用的功能，提供動態花藝所需的能量(電能)補充，商品的能源得以自給自足，使商品兼具藝術、娛樂、教育、環保及健康等效益，可應用於園藝、裝飾、擺飾、禮品、玩具、仿生或仿真工藝品，將達到「綠“動”花藝、健康起飛、美化人生」的生活理念。



圖 8.1 日本 TOMY 公司的「Flip Flap」光能驅動的小草商品



圖 8.2 實體圖

8.3 致動機構(花朵綻放、蝴蝶拍翅、向日葵向光)設計說明圖

8.3.1 花卉機構設計說明圖

首先設計機構及形狀記憶合金致動方式，在使用 Solid Works 繪圖軟體呈現致動設計結構圖，接著到花店購買人造花，再將形狀記憶合金套用在花卉的花瓣上或是取代花卉的莖，使花卉能栩栩如生的感覺，而原先構想是使用線狀記憶合金固定於花卉上，使花朵綻放，但散熱回復時卻無法完整回復，使花卉綻放時不夠完美，如圖 8.3 所示，因此，將線狀致動元件改製作成螺旋致動元件，使花卉回復時可達到閉合綻放的效果，如圖 8.4 所示，兩者花蕊心均會噴出迷人的香氣，而向日葵向光是搭配光敏電阻，利用光的強弱來控制彎曲的效果，之後再搭配單晶片 AT89C51 輸出脈波頻寬調變訊號做電流控制，套用模組化程式對此動態花藝做完整的動態展示，如圖 8.5 所示。

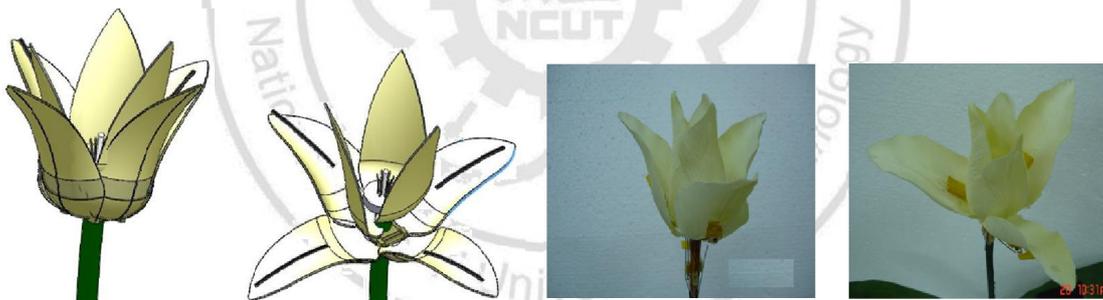


圖 8.3 線狀 SMA 花卉致動機構

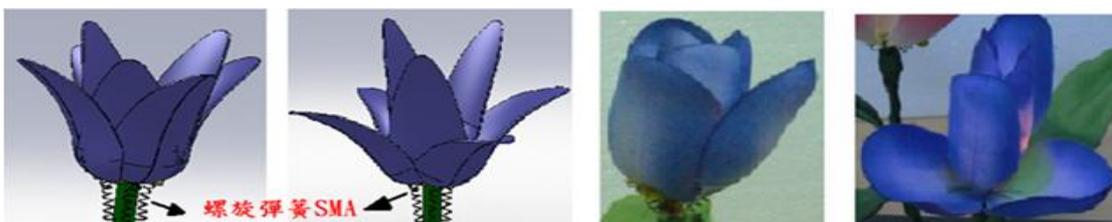


圖 8.4 螺旋 SMA 花卉致動機構

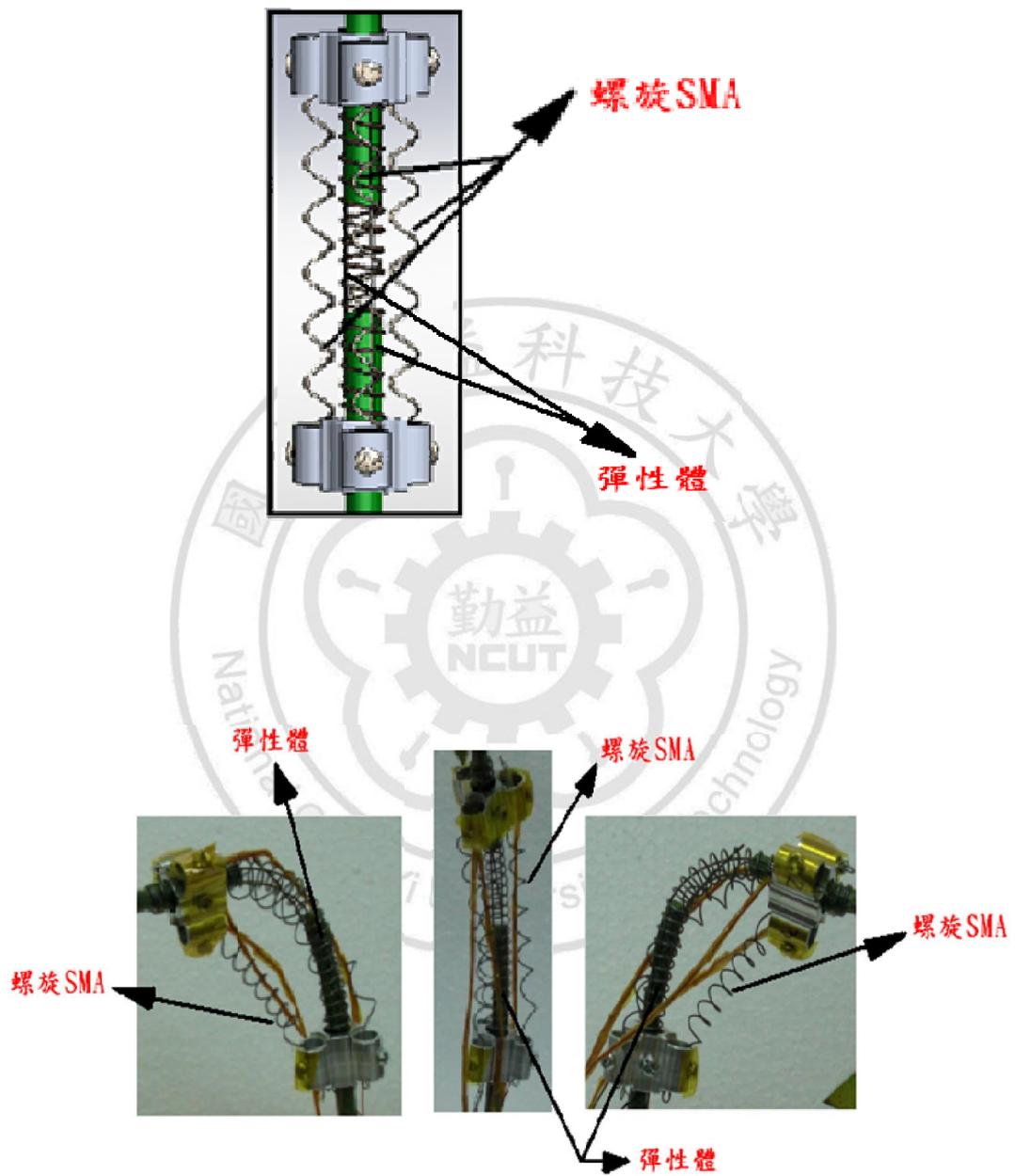


圖 8.5 向日葵致動機構

8.3.2 蝴蝶機構設計說明圖

主要設計出的機構能使蝴蝶翅膀上下擺動，翅膀舞動是因螺旋記憶合金拉動，使蝴蝶翅膀產生微小的動作，而翅膀閉合時，是靠身體內部彈性海綿做回復機構，設計上考慮以簡易的致動方式來建構，避免機構的複雜度，且由圖 8.6 可知蝴蝶內部的機構，主要是使用支點固定法，類似槓桿原理的致動方式，以電熱驅動法，使形狀記憶合金產生變形量和作動行程，讓蝴蝶翅膀能上下做擺動，如圖 8.7、8.8 所示。

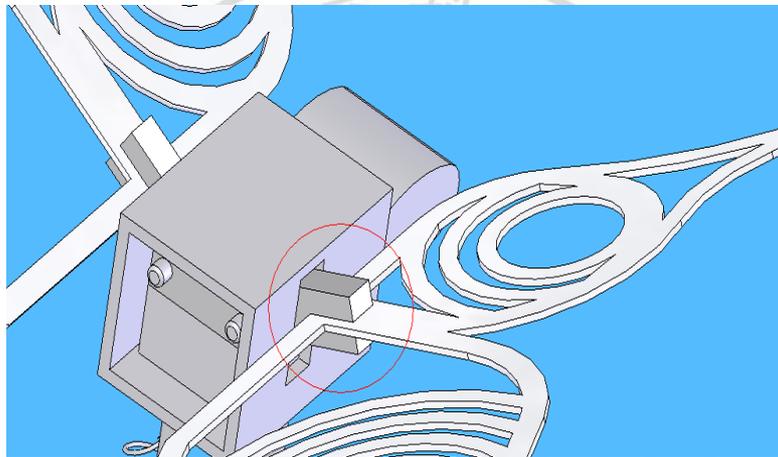


圖 8.6 蝴蝶內部機構

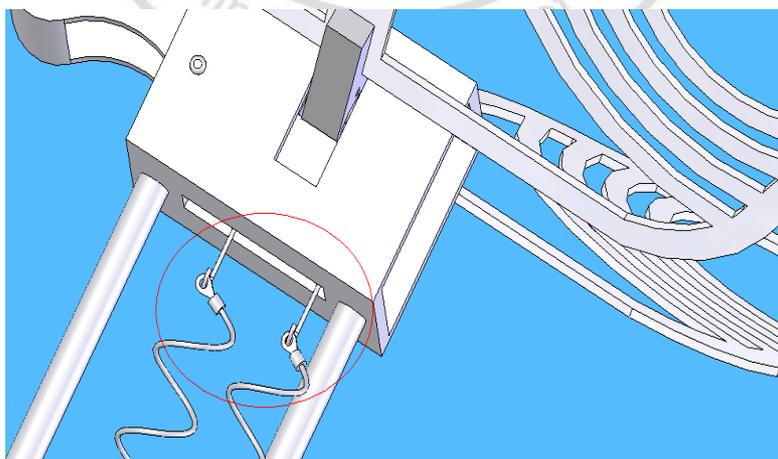


圖 8.7 形狀記憶合金致動機構

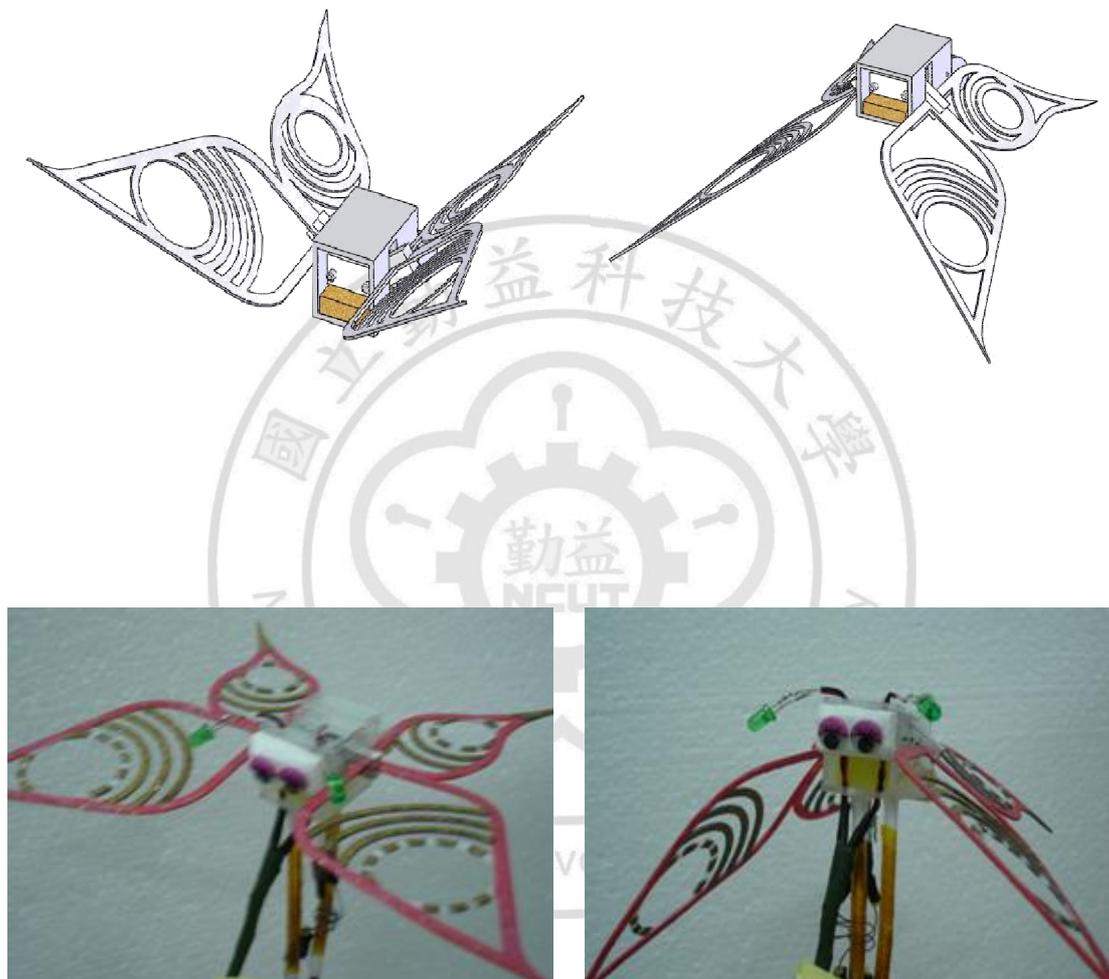


圖 8.8 蝴蝶拍翅舞動

8.4 動態操控說明

除可靜態陳列展示，亦可透過下列操控流程，進行動態展示，由於可程式化，因此動態展示流程是可變換，以下為動態操控說明：

作動一 動態人造花藝之舉例說明：

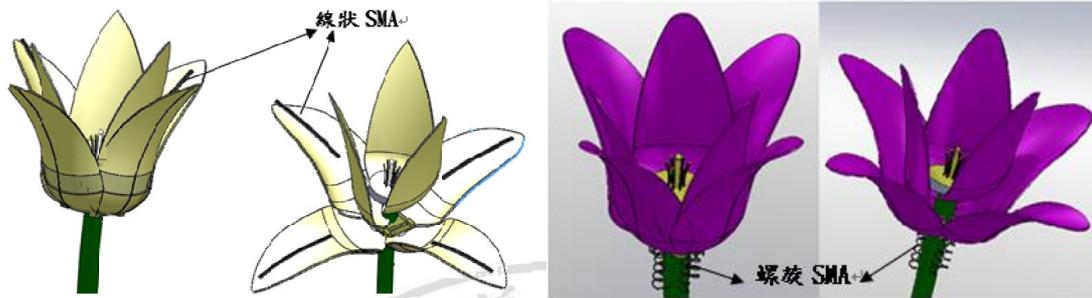
啟動總電源 (ON)，花朵開始綻放(LED 燈亮)，如圖 8.9 所示；待些許時間後，從花卉中噴出花香氣體(同時具有加速冷卻 SMA 作用)，如圖 8.10 所示；之後蝴蝶自動拍翅舞動，如圖 8.11 所示；待些許時間後，花朵逐漸閉合，蝴蝶亦靜止休憩。在綠葉的部分則只要在有光源(白天)下，透過葉片上的太陽能電板將產生電能(仿若光合作用產生綠能)，對蓄電池充電(埋在在花盆土壤內)，提供源源不斷的電力來源。

作動二 向日葵盆景之舉例說明：

啟動總電源 (ON)，用光源照射向日葵，光敏電阻受光，啟動枝幹彎曲，使向日葵向光彎曲，待些許時間後向日葵慢慢恢復筆直，如圖 8.12、8.13、8.14 所示。

作動三 遙控花卉之舉例說明：

將啟動發射與接收電源(ON)，花朵開始綻放，待些許時間後，從花卉中噴出花香氣體(同時具有加速冷卻 SMA 作用)，待些許時間後，花朵逐漸閉合，因此，花朵可以藉由遙控之方式使花卉綻放及閉合，如圖 8.15 所示。



(a) (b)
圖 8.9 (a)線狀 SMA 使花朵綻放 (b)螺旋 SMA 使花朵綻放

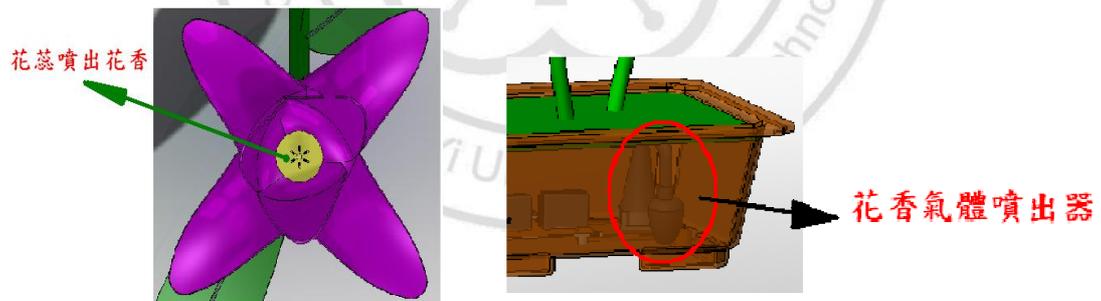


圖 8.10 花卉噴出花香氣體

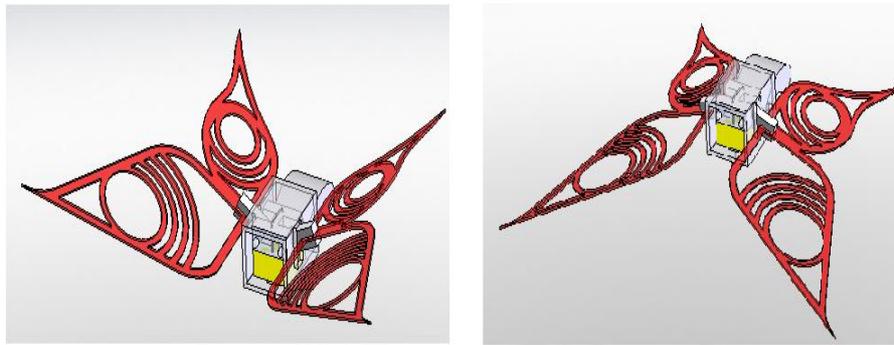


圖 8.11 蝴蝶拍翅舞動

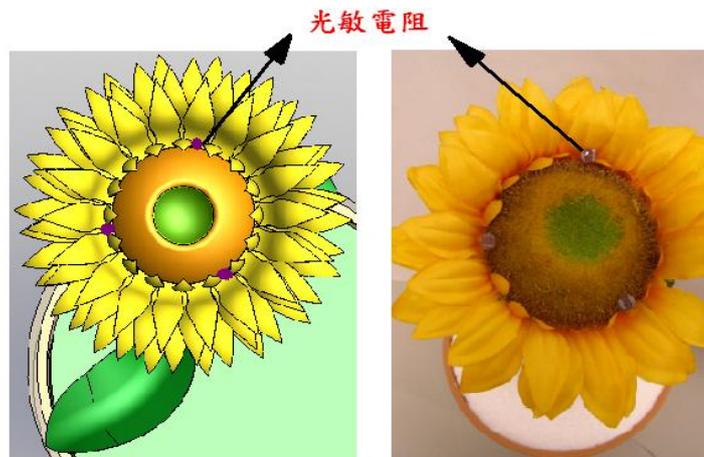


圖 8.12 向日葵及光敏電阻擺放位置



圖 8.13 向日葵作動圖



圖 8.14 向日葵朝光彎曲

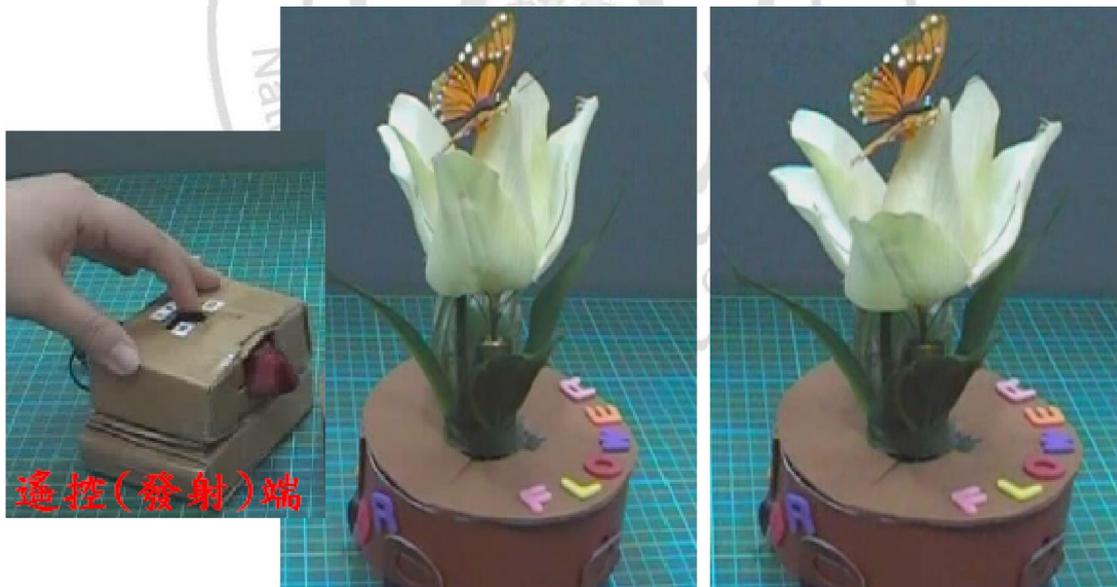


圖 8.15 遙控花

8.5 動態花藝系統架構爆炸圖及組合圖

第一類型：

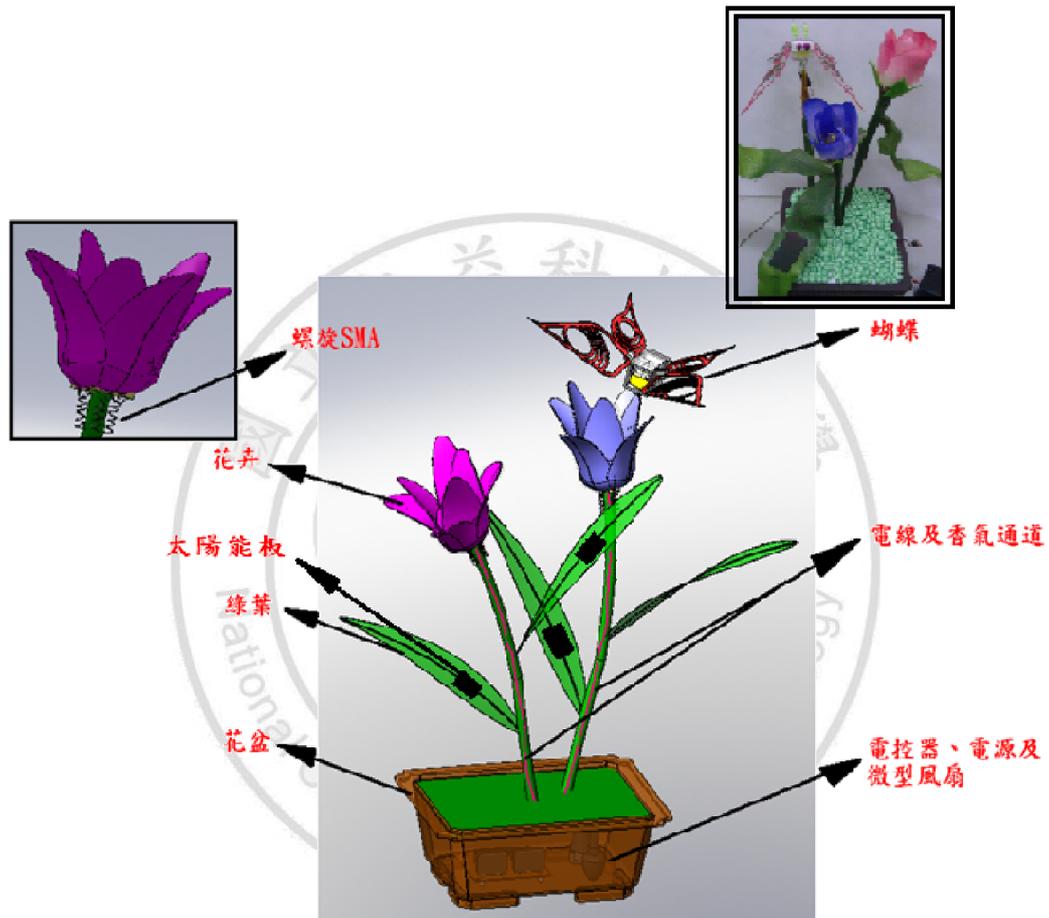


圖 8.16 花藝盆景組合圖

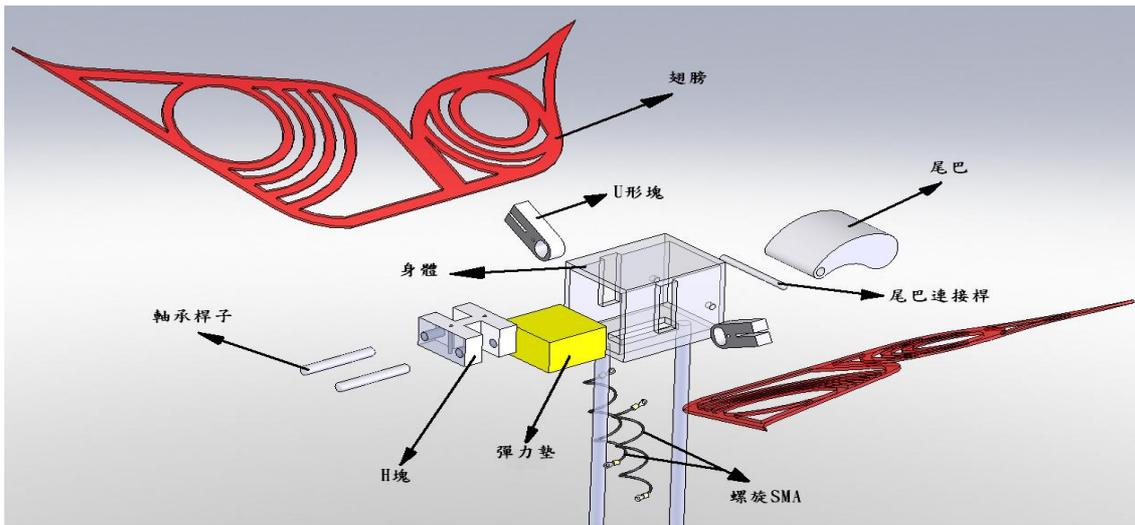


圖 8.17 蝴蝶機構爆炸圖

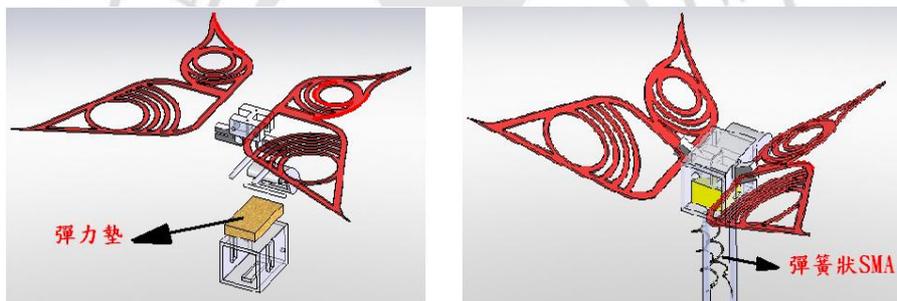


圖 8.18 蝴蝶爆炸及組合示意圖

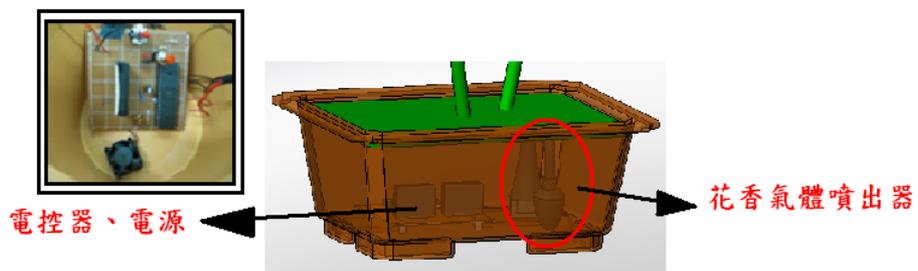


圖 8.19 電控器、電源及花香氣體噴出器

第二類型：

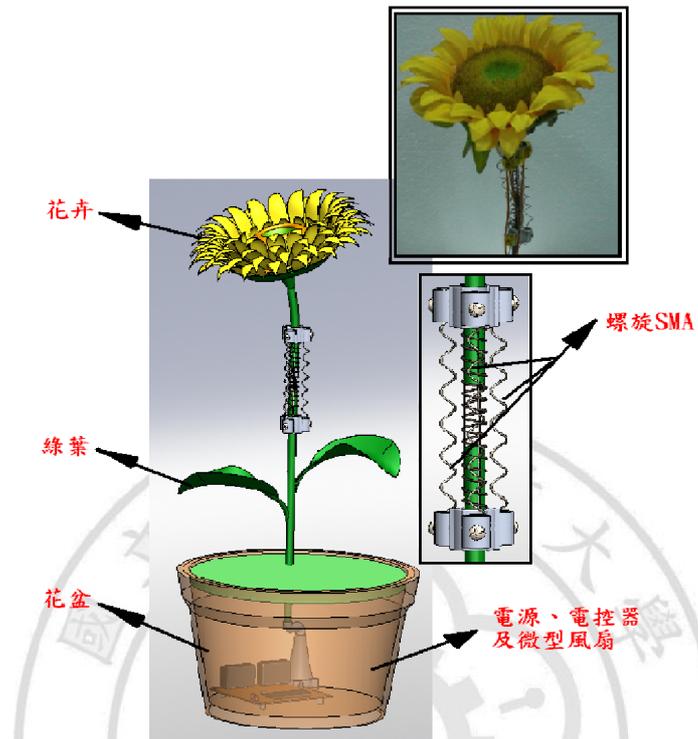


圖 8.20 向日葵盆景組合圖

第三類型：

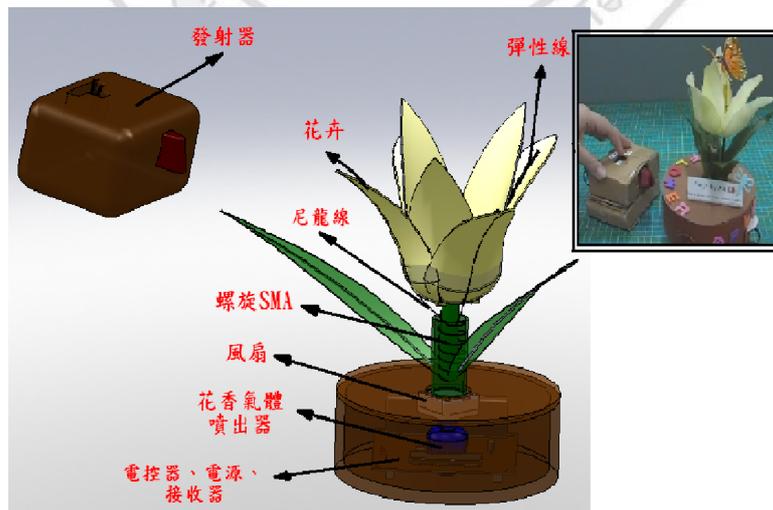


圖 8.21 遙控花組合圖

8.6 動態花藝實體模型照片

第一類型：



(a)

(b)

圖 8.22 (a)電腦模擬實體模型 (b)實體照片



(a)

(b)

圖 8.23(a)蝴蝶電腦模擬實體模型 (b)蝴蝶實體照片

第二類型：

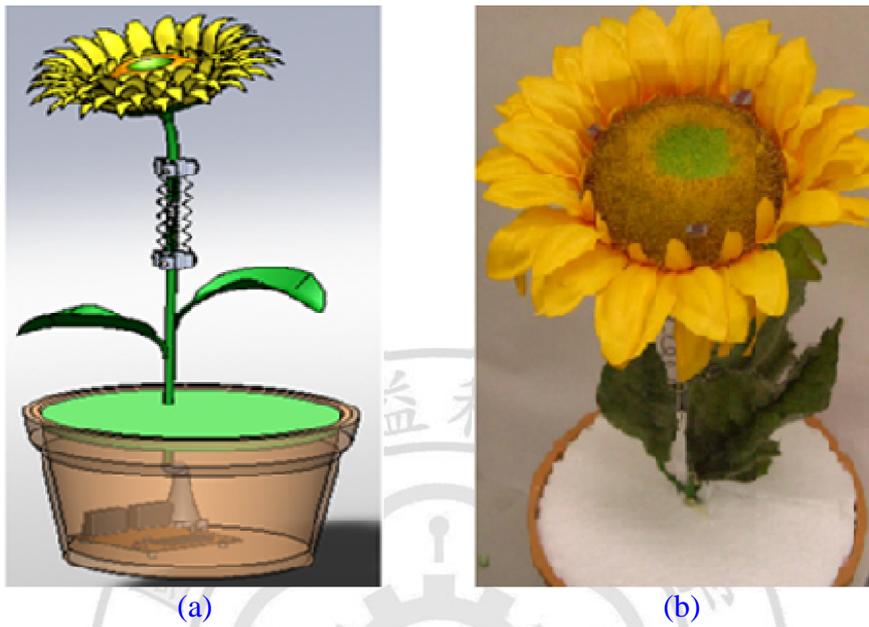


圖 8.24 (a) 向日葵電腦模擬實體模型 (b) 向日葵實體照片

第三類型：



圖 8.25 (a) 遙控花電腦模擬實體模型 (b) 遙控花實體照片

8.7 應用範圍及目標

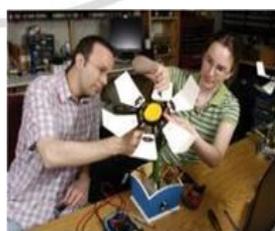
構成單元主要為花卉、綠葉、枝幹及蝴蝶等昆蟲相互組合搭配，主要是讓花朵顯示綻放或向光偏擺彎曲，以及綠葉、枝幹搖曳的動態視覺效果，同時由花中散發出(噴出)花香氣味，產生芬芳的嗅覺感受，而蝴蝶也舞動翅膀，營造賞心悅目且具健康的情境畫面。此外，也可結合光能(太陽能)發電的應用，模擬綠葉光合作用的功能，提供動態花藝所需的能量(電能)補充，商品的能源得以自給自足，使商品兼具藝術、娛樂、教育、環保及健康等效益，除了可應用於花藝、園藝、裝飾、禮品、玩具、仿生或仿真工藝品外，藉由靜動態展示的呈現，可達到賞心悅目、愉悅身心，同時可藉由芳香氣體的噴出，具有芳香療法的功效，對於心情可有調適的作用。此外，透過模組化及多樣化的花藝元件組合，仿如樂高組合遊戲玩具般，可讓使用者創作出各式各樣個體化的成品，目標市場可應用在辦公室科技小物(成人玩具)，如圖 8.26(a)所示 [49][50]，服飾時尚配件，如圖 8.26(b)所示 [51]，人造花形機器人，如圖 8.26(c)所示 [52][53]，造景花牆，如圖 8.26(d)所示，而從益智的角度而言，亦可成為桌上型花藝教學實習平台，寓教於樂，以達到設計理念「綠“動”花藝、健康起飛、美麗人生」。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 8.26(a) 辦公室科技小物 (b) 服飾時尚配件 (c) 人造花形機器人
(d) 造景花牆

第九章 結論與未來展望

9.1 結論

經深入了解形狀記憶合金(SMA)之後，發現記憶合金的發展與應用極為廣泛，本論文針對記憶合金文獻、記憶合金原理、致動元件機構設計、模擬分析與實際實驗測試，完成了賞心悅目且具教育、娛樂及健康身心之記憶合金應用，以下是依據前述幾個章節的討論，歸納出下列幾點結論：

1. 探討記憶合金歷年發展、應用及從中探討吸取到有用的知識，得以作為本論文設計及應用之後續規劃。
2. 針對不同熱處理溫度、不同形狀記憶合金及不同形狀記憶合金致動元件，做致動角度、致動電流、致動時間、表面溫度、回復力和散熱時間等相關探討，從實驗中得知熱處理 400°C 時，其致動時間快、表面溫度低、回復力大、散熱佳，因此，將以 400°C 熱處理作為後續記憶合金之研究。
3. 設計出不同形狀記憶合金及記憶合金致動元件。由實驗數據中得知致動電流需在 1.5A 以上，致動效果才明顯，因此，長度越短(散熱快)，電流越大，致動時間就會越快，表面溫度就會越高溫，回復力大，變形量也大，反之，長度越長(散熱慢)，電流越小，致動時間就會越慢，表面溫度就會越低，回復力小，變形量也小，且溫度差越高，單位空氣流量所帶走的熱較多，所以，記憶合金表面溫度越接近室溫，散熱速度就會越慢。
4. 由散熱量測數據圖中得知未加入 PWM 時，記憶合金較容易產生高溫，因此，搭配 ON-OFF 輸出脈波電流訊號及考量 PWM 工作週期，可明顯有效控制記憶合金作動順序及降低記憶合金溫度，而 PWM 與風扇同時進行時，降溫效果又會更明顯。

5. 以 Solid Works Simulation 做記憶合金表面溫度之分析，做為實際量測值之驗證，其誤差值為 $\pm 5\%$ 內都算是可接受範圍。模擬之主要目的是分析線狀記憶合金及螺旋記憶合金，在不同致動電流下，隨時間變化之溫度情形及在不同致動電流下，相變態溫度的時間，以利後續搭配 PWM，做有效正確的作動順序及達到記憶合金無高溫現象。
6. 將記憶合金致動元件應用於花藝類、昆蟲類等仿真工藝品。

9.2 未來展望

形狀記憶合金結構簡單、無噪音等優點，且具有「溫度」和「力」的功能。今後對形狀記憶合金發展與應用還有許多進步的空間，因記憶合金會產生高溫現象，若要致動元件可快速回復需進行散熱的設計，因此，散熱部分除了微型風扇外，也可搭配液態氮或其他更佳的散熱元件來進行散熱，使散熱速度更快，作動更順暢，機構更完美。目前實驗有製作一條 SMA 致動元件及兩條 SMA 致動元件，相互做比較，可知兩條 SMA 致動元件較一條 SMA 致動元件佳，未來也可以製作三條 SMA 致動元件去做比較，探討是否三條 SMA 致動元件效果更好。最後也可研製新型高能量密度能源，使形狀記憶合金驅動時有充足的能源或是搭配感測器做完整的回授控制系統，朝微型化和智能化邁進。

參考文獻

1. Dominiek Reynaerts, Hendrik Van Brussel , “Design aspects of shape memory actuators” , Mechatronics , 8 , pp.635-656,1998
2. Ramiro Velazquez, Edwige Pissaloux, Moustapha Hafez , Jerome Szewczyk, “A Low-Cost Highly-Portable Tactile Display Baesd on Shape Memory Alloy Micro-Actuators” , IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems Giardini Naxos, Italy, 18-20 July 2005
3. 謝雲忠, “鎳鈦形狀記憶合金致動器的特性分析”, 國立台灣大學機械工程學系, 碩士論文, 台北, 1991
4. 王冠鈞, “以形狀記憶合金製作擺動式致動器及其控制之研究”, 大同大學機械工程, 碩士論文, 台北, 2004
5. M. Kohl , E. Just , W. Pfleging , S. Miyazaki , “SMA microgripper with integrated antagonism” ,Sensors and Actuators ,83, pp.208–213, 2000
6. M. Kohl , B. Krevet , E. Just , “SMA microgripper system” , Sensors and Actuators ,A97-98,pp.646–652,2002
7. 張景堯, “形狀記憶合金驅動高分子微夾持系統之發展”, 國立成功大學機械工程學系, 碩士論文, 台南, 2003
8. Young Pyo Lee, Byungkyu Kim, Moon Gu Lee, Jong-Oh Park, “Locomotive Mechanism Design and Fabrication of Biomimetic Micro Robot Using Shape Memory Alloy” ,IEEE,Korea,2004

9. 楊鎮嘉, “六足仿生機器人嵌入式控制器之研發”, 國立台灣大學機械工程學系, 碩士論文, 台北, 2005
10. 蔡豐銘, “形狀記憶合金之有限元素分析”, 國立雲林科技大學機械工程系, 碩士論文, 雲林, 2004
11. 陳尚義, “形狀記憶合金應用於微型致動器之研究”, 國立勤益科技大學精密機械與製造科技系, 碩士論文, 台中, 2008
12. N Ma, G Song, “Control of shape memory alloy actuator using pulse width modulation” Smart Materials and Structures Laboratory, Department of Mechanical Engineering University of Houston, USA, September 2003
13. 蘇明德, “形狀記憶合金”, 科學發展, 433 期, 頁 65~67, 2009
14. 顧鴻壽, “形狀記憶合金講習會”, 工業技術研究院工業材料研究所, 台北, 1988
15. C.M.Wayman, “Some applications of shape memory alloys” J.Metals,32(1980)129
16. Fred Delcomyn, Mark E. Nelson, “Architecture for a biomimetic hexapod robot” , Robotics and Autonomous Systems,pp.5-15,2002
17. Clark, J. E., Cham, J. G., Bailey, S. A., Froehlich, E. M., Nahata, P. K., Full, R. J. , Cutkosky, M. R., “Biomimetic Design and Fabrication of a Hexapedal Running Robot” , International Conference on Robotics and Automation, ICRA2001, Seoul, Korea, pp.21-26,2001
18. R. J. Bachmann, D. A., kingsley, R. D. Quinn, R. E. Ritzmann, “A cockroach robot with artificial muscles” , 5th international conference co climbing and walking robots,pp.659-666,2002

19. H.-J Weidemann, F. Pfeiffer, J. Eltze, "The Six-Legged TUM Walking Robot" ,
Proc. of the 1994 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems,
München, Germany, pp.1026 - 1033,Sept.12 - 16,1994
20. Robert T. Schroer, Matthew J. Boggess, Richard J. Bachmann, Roger D. Quinn,
Roy E. Ritzmann, "Comparing Cockroach and Whegs Robot Body Motions" , Case
Western Reserve University, Cleveland, Ohio, USA
21. 許凱棋, "微型仿生機器人動態特性分析與運動控制", 國立台灣大學機械工
程學系, 碩士論文, 台北, 2005
22. 陳依婷, "感測器融合技術在六足機器人之應用", 國立台灣大學機械工程學
系, 碩士論文, 台北, 2006
23. 蘇國璋、簡仁德、賴宏仁、陳榮欽、顧鴻壽, "形狀記憶合金應用集", 財
團法人工業技術研究院工業材料研究所
24. L.McDonald Schetky, "Shape Memory Alloys" , IEEE Potentials,pp.68-76,
Nov.1979
25. Roger G. Gilbertson , "MUSCLE WIRES" , Mondo-tronics Inc., 1992
26. Jong-Moon Choi, Hyung-Min Son, and Yun-Jung Lee, " Design of Biomimetic
Robot-eye System with Single Vari-focal Lens and Winding-Type SMA Actuator,
International Conference on Control" , Automation and Systems 2008 Oct.14-17,
2008 in COEX, Seoul, Korea
27. 李芝媛、吳錫侃 , "淺談形狀記憶合金" , 科儀新知, 第十六卷, 第六期,
1995

28. 巫坤保, “形狀記憶合金在復合挫屈的應用”, 國立雲林科技大學機械工程系, 碩士論文, 雲林, 2003
29. 舟久保熙康, “形狀記憶合金”, 復漢出版社, 台南, 1984
30. 胡友文, “形狀記憶合金力學特性之研究”, 大同大學機械工程研究所, 碩士論文, 台北, 2006
31. 賴宏仁, “形狀記憶合金在工程上之應用”, 財團法人工業技術研究院工業材料研究所演講稿, 台北, 1999
32. 許柏彥, “鈦鎳銅合金薄膜成長及特性之研究”, 國立成功大學材料科學及工程學系, 碩士論文, 台南, 2006
33. 陳旺志, “聰敏扣件之設計方法研究”, 國立成功大學機械工程學系, 碩士論文, 台南, 2006
34. 楊大智、吳錫侃、游正峰, “智能材料與智能系統”, 新文京出版社, 台北, 2004
35. 吳錫侃, “鈦鎳形狀記憶合金變態時熱膨脹係數及電阻變化之研究”, 國立台灣大學材料科學與工程學研究所, 碩士論文, 台北, 2001
36. 石家興, “鈦鎳合金雙向形狀記憶效應機制之研究”, 國立清華大學材料科學工程研究所, 碩士論文, 新竹, 2001
37. T. Honma, Proc, Guklin Symp. of Shape Memory Alloys, SMA 86 Guilin, China, (1986) 709
38. Wataru Makishi, Tadao Matunaga and Yoichi Haga, “Active Bending Electric Endoscope Using Shape Memory Alloy Coil Actuators”, Japan, 2007
39. 賴耿陽, “形狀記憶合金”, 復漢出版社, 台南, 1999

40. 鈴木雄一, “形狀記憶合金的研究動向及其應用”, 染化雜誌, 第 130 期, 頁 40~46, 1995
41. 謝忠祐、蔡國銘、游裕傑、紀昭與、陳明義、林佩儒, “Solid Works 工程分析”, 基峰資訊股份有限公司, 2009
42. 高家聲, “智慧型電腦散熱風扇控制”, 淡江大學電機工程學系, 碩士論文, 台北, 2008
43. 蔡朝洋, “單晶片控制實習”, 全華科技圖書有限公司, 2006
44. 陳明熒, “單晶片 8051 實作入門”, 文魁資訊股份有限公司, 2008
45. 王盈斌, “形狀記憶合金微型致動器之設計製造與應用”, 國立勤益科技大學機械工程系, 碩士論文, 台中, 2009
46. 實威科技股份有限公司, “COSMOS Works 電腦輔助工程分析-入門篇”, 全華圖書股份有限公司, 2008
47. 實威科技股份有限公司, “COSMOS Works 電腦輔助工程分析-進階篇”, 全華圖書股份有限公司, 2007
48. http://www.zoids.com.tw/product/3/flipflap_726043.htm
49. <http://blog.yam.com/lomtpt/article/23230200>
50. <http://chinese.engadget.com/2005/07/06/idog-sega-into-china/>
51. <http://www.gzespace.com/gzenew/index.php?pg=oricalco&lang=en>
52. <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/04/070425103027.htm>
53. Hao Lei Huang, Suk-Ho Park, Jong-Oh Park, “Shape Memory Alloy based Flower Robot”, 39th International Symposium on Robotics, Seoul, Korea , October 15~17, 2008

54. C.Y. Liu, W. H. Liao, "A Snake Robot Using Shape Memory Alloys" ,
Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and
Biomimetics , China, August 22~26, 2004
55. Yonghua ZHANG, Shangrong LI, Ji MA, Jie YANG, "Development of an
Underwater Oscillatory Propulsion System Using Shape Memory Alloy" ,
Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics &
Automation Niagara Falls, Canada, July 2005
56. http://en.wikipedia.org/wiki/Flower_robot
57. 李亞東、李亞軍、薛青、王蘇華, 中華人民共和國專利局, 1992年9月
58. 楊岩、黃隸磊、陳行、林昌華, 中華人民共和國國家知識產權局, 2009年3月
59. <http://www.robotsapience.com/modules/news/article.php?storyid=280>



附錄一

2009 第三屆全國大專學生

暨第七屆國立虎尾科技大學創新設計實作競賽

主題：健康與環保（期望創作出符合：實用、藝術、娛樂等具創意之物品）

比賽名稱：綠『動』花藝、健康起飛

地點：國立虎尾科技大學

時間：98 年 05 月 26 日(二)



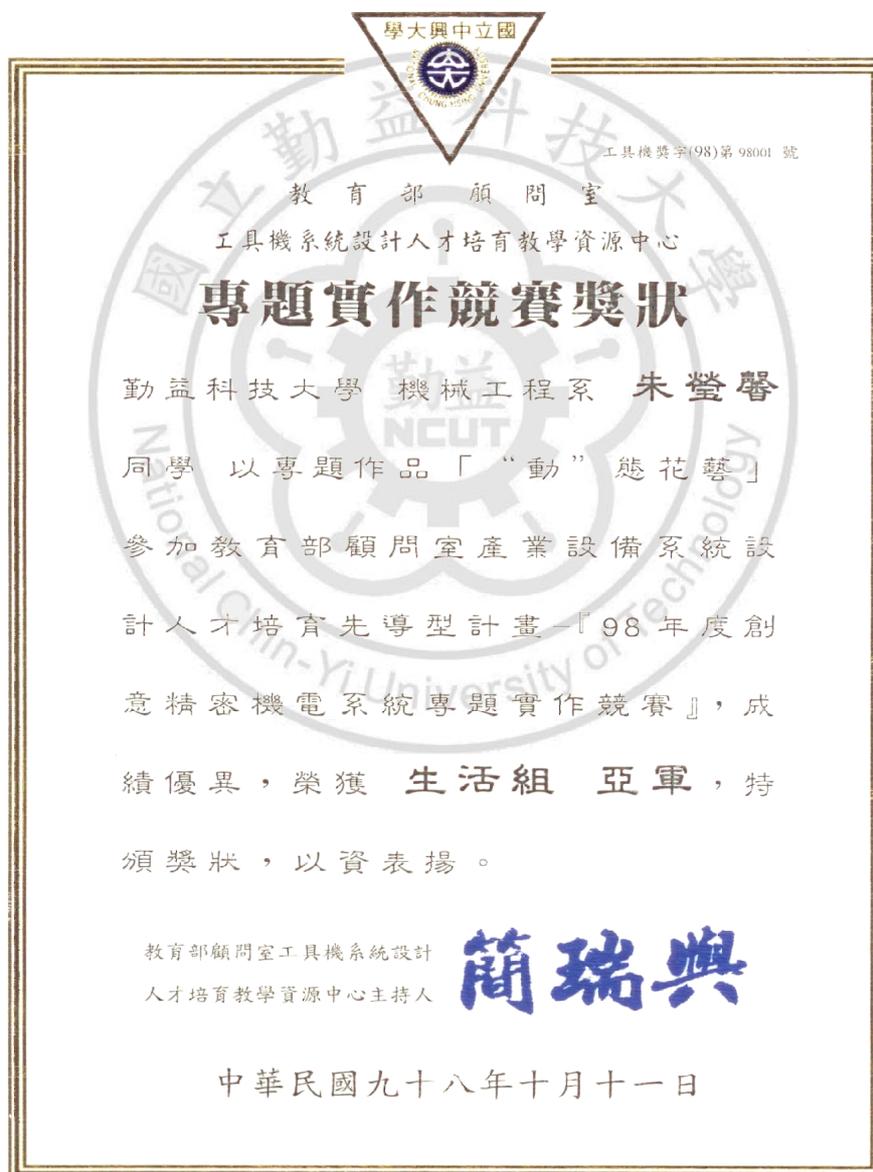
附錄二

98 年度「創意精密機電系統」專題實作競賽-生活中之創意機電系統

比賽名稱：“動”態花藝

地點：台中市國立自然科學博物館

時間：98 年 10 月 10-11 日（星期六/星期日）



附錄三

全國性技職院校師生創業競賽辦法-(北中南)區競賽

比賽名稱：「綠」「動」人造花藝

(Green & Kinetic Artificial Ornament Flowers)

地點：國立勤益科技大學/國立臺灣科技大學

時間：99 年 3 月 24 日(三)/ 99 年 4 月 27 日(二)

