

# 國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

## 碩士論文

3C 產品握把創新設計法則之探討

A Study of Innovative Design Methodology on Handle  
Mechanism of 3C Products

研究生：謝建德

指導教授：鄭璧瑩 博士

中華民國九十七年六月

3C 產品握把創新設計法則之探討  
A Study of Innovative Design Methodology on  
Handle Mechanism of 3C Products

研究生：謝建德

Student : Te-Chen Hsieh

指導教授：鄭璧瑩 博士

Advisor : Dr.Pi-Ying Cheng

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程



Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
in  
Automation and Precision Engineering  
June 2008  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

## 摘要

近年來3C產品的發展迅速、外觀功能推陳出新的時間也越來越快。然而工業設計師或機構工程師在進行產品設計時，多半還是採取傳統複製或局部修改的程序進行所謂的改良設計，此過程缺乏創新構想，更鮮少考慮到產品人因工程設計。比如以手部操作相關的產品，數位DV、相機、滑鼠、PDA、手機或是一般手工具等，除了考慮產品造型更需要考慮到握持時的穩定性和舒適度。目前的設計軟體功能雖然強大完整，但對於虛擬操作型態方面並沒有給予使用者很完整的資訊。面對消費者對於產品操作穩定度的要求日漸增嚴格時代，在設計的過程中加入產品握持時穩定性的考量有其必要性。

本研究提出了以生物力學分析模擬輔助產品造型人體工學評估創新設計方法並以數位DV的握把為例，說明創新的過程與法則，利用手掌模擬器結合產品握把的開發設計與模擬分析方法，本研究首先探討有關手掌模擬器模擬有關握把設計人體工學評估的實驗模擬分析過程，透過3D軟體SolidWorks 建構手掌模擬器，並將各型產品握把雛型輸入搭配手掌模擬器進行手抓握過程模擬後計算分析每根手指節的受力、速度變化和握持姿勢等，並透過力學模式的分析數據，以本實驗室(CIDM Lab.)訂定的握把穩定度評定準則進行系統化歸納與評估，以縮短開發時間與成本，做有效率的應用達成3C產品握把

最佳化設計的目標，並希冀建立3C產品握把甚至或一般工具握把開發設計分析方法的參考法則。



關鍵字：手部生物力學、3C產品握把、電腦輔助設計、人因工學

## Abstract

In recent years, the speed and quantity of 3C (handheld electronic devices) product development is faster than ever before. For handheld electronic products such as, DV, digital camera, mouse, PDA, cellular phone and hand tool. Industrial and mechanical designer still design product based on convention copy and local modification, that have been using these design ideas, which lacks the element of ergonomics. In addition to excellent product appearance, the principles of a great product design also need to focus on operational comfort and stability. Putting design concept aside, design tool also plays a major role. The current state of the art 3D design software offers plenty of functions ; however, it lacks virtual simulation data for designer to simulate just exactly how his/her design actually feels like. Today, the end user demand product that offers better handheld comfort as well as stability, it is necessary for ID/mechanical designer to design with these focus in mind.

The purpose of this research is to come up with an innovative design methodology of DV handle and assist in ergonomics of product appearance by biomechanical to explain innovation process where the palm simulation mechanical is combined with simulation analysis during the product design phase. This research analysis will also evaluate the result from palm simulation and mechanical simulate ergonomics experiment and the biomechanical of hand to aided design. Using the “Solidworks,” to produce a virtual palm , then enters every kind of handle to simulate the grip of the virtual palm ,calculation of grip force, speed and pose data from every finger and analyze these data by way of dynamics. Then being to induced and estimated by CIDM Lab to set up principles of stability. We not only achieve optimum

design for handheld electronic product of handle ,but also shorten the developing time and development cost Furthermore, the ultimate goal is to make this methodology as one of the design principles for handheld electronic.



**Keywords:** Product of handle for 3C 、CAD/CAE 、 Ergonomics

## 誌謝

就讀碩士班一路走來，可謂是艱辛無比，在這三年一千多個日子裡說長不長說短不短，一晃眼已過。如今能完成碩士學位，回首來時路，首先最感謝的是指導教授 鄭璧瑩博士細心指導，使我在專業領域有許多學理上的收穫與觀念技術上的啟迪，也讓我在做論文的過程中，從使用的模擬軟體訓練與專業知識的加強如人因工程、生物力學等，到研究學問的方法與態度都能在教授的指導下進步與成長。

感謝口試委員傅武雄教授、楊秉祥助理教授百忙之中抽空蒞臨指教，使我的論文更加完整，接著感謝實驗室學長、學弟、與專班同學的幫忙提供資料讓我的論文能順利進行，還有感謝公司同事的鼓勵與支持，因為有你們讓我在工作之餘能有充分時間在研究上，使我無後顧之憂。

最後，謹以本研究獻給我的家人與朋友，更感謝內人許雅茹的鼓勵，在碩士班求學過程中，全力的支持，讓我能順利完成碩士的學業。要感謝的人何其多，筆觸未及之士，請予見諒。

# 目 錄

摘 要.....	i
Abstract.....	iii
誌謝.....	v
目 錄.....	vi
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 文獻回顧.....	3
1.3 研究範圍.....	5
第二章 研究理論架構.....	6
2.1 設計基礎和方法論.....	6
2.1.1 產品設計規範.....	7
2.1.2 設計概念.....	7
2.2 手部生物力學.....	8
2.2.1 手指與手掌結構分析.....	9
2.2.2 手部與握把介面操作探討.....	11
2.3 模擬軟體介紹.....	14
第三章 研究方法.....	17
3.1 研究流程與步驟.....	17
3.2 目標產品選定.....	19
3.3 相關資料庫之建構.....	20
3.3.1 掌上型 DV 資料整理.....	20
3.3.2 手掌模型建構參考資料.....	24
3.3.3 基本握把設計法則.....	32
3.4 手部握持模式力學評估模組.....	34
第四章 手掌模擬器與 DV 的建構.....	38
4.1 手掌 3D 模型建構.....	38
4.2 DV 建構.....	43
第五章 模擬仿真.....	45
5.1 模擬步驟.....	45
第六章 結果與討論.....	53
6.1 手掌模擬器部位說明.....	53
6.2 握把握持間距尺寸之.....	54
6.3 握把斷面之影響.....	58
6.4 握把手指部位具波浪 曲線之影響.....	67

6.5 握把彎曲的角度.....	76
第七章 結論與未來方向.....	79
7.1 研究結論.....	80
7.2 研究建議.....	82
參考文獻.....	84



## 圖目錄

圖 2.1	French 之設計模式圖.....	6
圖 2.2	手指與手掌結構圖.....	9
圖 2.3	手腕關節之活動圖.....	11
圖 2.4	手部運動機能分類圖.....	12
圖 2.5	總合姿勢變化確認研究.....	13
圖 2.6	手部抓握的類型.....	14
圖 2.7	在 SolidWork 裏建立 Part 與 Assy.....	16
圖 2.8	在 CosmosMotion 模擬抓握.....	16
圖 3.1	研究方法流程圖.....	18
圖 3.2	DV 各部說明圖.....	19
圖 3.3	市場現有機種.....	20
圖 3.4	直握式.....	21
圖 3.5	橫握式.....	22
圖 3.6	鏡頭與本體組合種類.....	23
圖 3.7	手掌測量(A)手長(B)手掌長(C)食指長.....	24
圖 3.8	手掌寬度(A)手寬一(B)手寬二.....	25
圖 3.9	手部厚度.....	26
圖 3.10	手指關節彎曲資料.....	26

圖 3.11	手指模型.....	27
圖 3.12	握持的方式圖.....	29
圖 3.13	Palm opposition 圖.....	30
圖 3.14	作用力的位置沿著一個軸.....	30
圖 3.15	手部握合握把之邊界.....	31
圖 3.16	握持不同形狀時手部邊界不變.....	31
圖 3.17	中指的掌骨與尺骨遠端平行.....	32
圖 3.18	撒水器 握把處波浪增加支撐力與摩擦力.....	33
圖 3.19	影響手指節握持力.....	33
圖 3.20	力的曲線圖定義.....	35
圖 3.21	質心速度的曲線圖定義.....	35
圖 4.1	組零件組裝圖示.....	38
圖 4.2	工作視窗圖示.....	39
圖 4.3	(插入)/(零件部)/(新零件)圖示.....	40
圖 4.4	Poser 虛擬手掌.....	40
圖 4.5	手掌繪製.....	41
圖 4.6	草圖建構圖示.....	41
圖 4.7	完成手指節建構.....	42
圖 4.8	完成姆指下方與手掌的肌肉.....	42

圖 4.9	基本長方體.....	43
圖 4.10	波浪形曲線.....	44
圖 4.11	非對稱型形曲線.....	44
圖 5.1	模擬抓握 DV 過程.....	46
圖 5.2	模擬建構流程.....	47
圖 5.3	各種自由度設定.....	48
圖 5.4	各手指關節自由度設定.....	49
圖 5.5	力矩設定圖示.....	50
圖 5.6	3D 碰撞接觸設定.....	50
圖 5.7	模擬時間設定.....	51
圖 6.1	各手指位置命名圖.....	53
圖 6.2	握把寬度.....	54
圖 6.3	以寬度為設計參數模擬情形.....	55
圖 6.4	DV 質心 Y 方向速度變化.....	56
圖 6.5	斷面之形狀圖長方形、橢圓形、非對稱形的.....	58
圖 6.6	DIP 手指受力情況比較.....	59
圖 6.7	PIP 手指受力情況比較.....	60
圖 6.8	MCP 手指受力情況比較.....	61
圖 6.9	手掌受力情況比較.....	62

圖 6.10	DV 握把部截面積變化質心 Y 軸速度.....	63
圖 6.11	左無波浪形狀手指凹槽、右有波浪形狀手指凹槽.....	67
圖 6.12	DIP 手指受力情況比較.....	68
圖 6.13	PIP 手指受力情況比較.....	69
圖 6.14	MCP 手指受力情況比較.....	70
圖 6.15	手掌受力情況比較.....	71
圖 6.16	DV 握把部位有無波浪型狀 Y 軸方向速度.....	72
圖 6.17	握把部位有無波浪形狀握持情況.....	73
圖 6.18	握把彎曲的角度 $\theta$ .....	76
圖 6.19	與鏡頭中心軸夾角 $\alpha$ .....	76
圖 6.20	握把彎曲角度與鏡頭中心軸關係.....	77

## 表目錄

表 3.1	樣式特性說明.....	23
表 3.2	手部長度的尺寸資料.....	25
表 3.3	手部寬度的尺寸資料.....	25
表 3.4	手部厚度的尺寸資料.....	26
表 3.5	手指靜態和動態約束.....	29
表 3.6	力學評估準則.....	36
表 6.1	DIP 力學評估表.....	64
表 6.2	PIP 力學評估表.....	64
表 6.3	MCP 力學評估表.....	65
表 6.4	Palm 力學評估表.....	65
表 6.5	表 6.1~6.4 總和.....	65
表 6.6	DIP 力學評估表.....	73
表 6.7	PIP 力學評估表.....	74
表 6.8	MCP 力學評估表.....	74
表 6.9	Palm 力學評估表.....	74
表 6.10	表 6.6~6.9 總和.....	75
表 6.11	握把彎曲與鏡頭中心軸夾角關係.....	77

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

產品設計的目的在於滿足需求，而一個好的產品設計不僅能符合不同限制條件的需求而且能以較低的成本或較佳的性能增加產品在市場中的競爭力，當在傳統產品設計過程中，工業設計師大多以自己的經驗法則、好惡或個人的設計方式來主導設計的過程與構想的激發，使設計的過程變成一個黑箱作業[1]，沒有考量到消費者感受，而且充其量也只能稱之為「滿足設計 (satisfactory design)」而並非「最佳設計(optimal design)」，因而為了得到更完善的設計除了要滿足需求之外更要進一步考慮其他方式來達成最佳設計。

高效率的社會與文明的演進，降低成本追求利潤是生產者的目標，但隨消費者意識的抬頭，使得生產者必須開始注意到消費者的感受與權益，產品所必須具有的已不再是只包含了單純功能同樣的一件產品其象徵功能與美學功能在越先進發展社會中越顯其重要性在產品設計中主要功能次要功能及美學功能也是依序逐步達成後才能繼續達成更高的層次[2]，這使產品設計的限制與需求更複雜，多變產品設計中外觀造型的好壞與否也愈顯的重要，同樣功能的產品不同的外觀造型可能決定該產品在市場的佔有率。

設計者為了使所設計的產品更趨近於完美，常針對各種設計參數進行最佳化運算：如何使外型柔順及美觀、使用複和材料減輕重量或增加摩擦力及考慮人體工學與生物力學選擇適當尺寸以方便握持等等不一而足。然而設計因素彼此間的關聯往往都是複雜而不明確，無法經由簡單的直覺與分析來解釋，這時候必須透過電腦模擬與運算來輔助設計者選擇決定影響設計的性能或因素來改善產品的某項性能或滿足不同的需求。3C產品握把設計的需求之一便是握持舒適與穩定，若考慮產品握把否握持穩定性與舒適度，必須先找出影響因素並進行最佳化運算處理以發現最理想的設計目標。



如何能讓產品是真的符合使用者的需求，是產品開發的一大關鍵。本研究的目的，在於建立一產品創新的設計方法藉由CAD建構手部模擬器將產品雛形幾何輸入，綜合「**產品設計**」、「**人因工程**」、「**生物力學法**」、「**最佳化法**」等理論，找出產品造型、操作方式與消費者間的感受等關聯，藉由電腦快速運算建立模型的優勢，快速衍生最佳化的產品原型，用來啟發設計師更多產品握把的設計概念。

## 1.2 文獻回顧

近年來產品設計不在只是設計師以主觀的意識，去做出產品而有越來越多國內外相關論文應用結合人因與生物力學工程的分析，創新產品的設計方法，配合電腦模擬出最佳化的幾何形狀。

(1) 陳[3]在「應用遺傳演算法於電腦輔助數位元相機造型設計」一文中以多元尺度法分析各種數位元相機造型的分佈與相似度。並將造型特徵轉化為基因編碼，配合遺傳演算中適者生存的特性，並在遺傳演化的過程中導入操作型態、體積變化、造型變化的評分考量等創新產品的設計方法，讓相機逐漸改良成適合於操作握持的型態。

(2) 林[4]在「掌上型園藝剪握把之人因設計研究」本研究利用手部肌肉之肌電負荷測定握把的壓力分佈與握把斷面與EMG的關係、園藝剪握把及工作任務三者之間的關係，來探討園藝剪握把造形之設計。

(3) W.E.Woodson 和 W.F.Floyd [5]定義;人因工程在求機具與人之間關係合理化，其目的在重視人員之操作動作、速度、及正常化，使人員之作業獲得最高績效與作業時的安全性與舒適性。

(4) A. Chapanis [5]定義:人因工程在研究機器裝備，操作方法，及作業環境等設計方法，以得到符合人員能力與限制的最佳設計。

(5) Anne M.Rennie [6]把產品的評估分為技術的評估與人因工程的評估與消費者之間相互作用，常用來進行產品的人因的方法有下列四種：

使用者測試、專家評估、操作模擬試驗、標準原型產品測試法[7]，本論文研究採用模擬試驗來進行產品人因工程評估。

(6) 楊[8]在「新型木工手鋸握把之設計研究」以人因工程的觀點來改善缺點，提出一個創新型態的手鋸握把之設計概念，以提高手鋸之動態操作的舒適度，期能獲得工作效率的提升，並讓使用者在操作時避免危險，並減少身心的疲勞並實際針對此創新型態之手鋸握把進行握持舒適度的主觀評量，以瞭解不同的握把型態以及握把的彎曲角度，對於使用者在操作手鋸時的舒適度與工作效率之差異，以作為未來創新型態握把設計之參考。

(7) 張[9]在「數位相機產品定位與創新設計研究」以文獻探討、問卷將所有資料加以統整、並針對現有產品分析研究，探討出消費者族群對於產品之偏好與需求，找出產品創新設計發展可行性，建立產品創新設計模式。

(8) 錡[10]在「手工具設計開發與人因評估-以螺絲起子為例」中以應用人因工程學理與方法並考量設計的美感與便利性，對握把造型、重心平衡、直徑、長度、角度與材質等重要因素進行設計，期能改善操作傳統式螺絲起子時的手部活動型態與手部負荷，以降低手部累積性肌肉骨骼傷害之發生率，重新設計出適合國人使用的螺絲起子，並進行試驗來證明其優越性，以減少職業災害與增進工作效率。產，以達

成下列目的：

- (1)增加螺絲起子握持時的舒適性
- (2)增加螺絲起子使用時的靈活性、效率及扭力

### 1.3 研究範圍

探討的是以手部操作為主，係以「手物介面」時的動作為範圍，所分析的對象，只限於手指、手掌、與手腕所構成的狹義的「手部」所施行的動作，而未涵蓋前臂、上臂、與肩膀所構成的廣義的「上肢」所施行的動作；再者，所考量的主要為單手動作，即使在唯有雙手協同運用始能完成作業任務的情況，亦以單手動作的特色為鑑別基準。

所以，在本研究裡，手部動作界定如下：

「手部動作，乃指操控或處置各種實體物件時，手部姿勢的改變歷程；換言之，手部諸元間，為達成操控目的，且肆應對象條件，而產生相對位置或狀態的改變情形。」

## 第二章 研究理論架構

本章主要說明產品設計的設計基楚和方法論，及應用於輔助產品設計的許多方法，我們也將一一說明，如「人因工程」、「生物力學法」、等理論。

### 2.1 設計基楚和方法論

設計行為的核心是由產品機能到產品造形的推理過程設計方法論的重要任務之一是指指出設計過程要怎麼安排以獲取有效和具有信賴度的結論，我們以 French 之設計模式[2]（如圖 2.1）來參考設計。

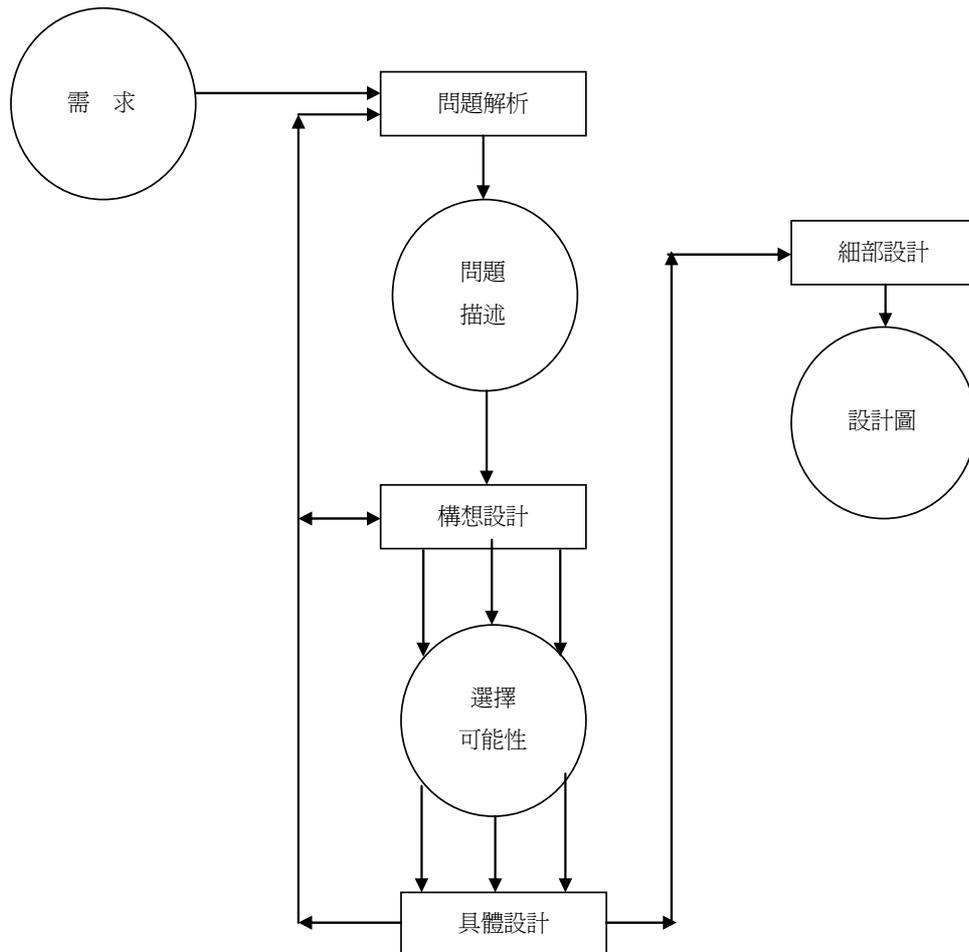


圖 2.1 French 之設計模式

## 2.1.1 產品設計規範

### 1. 確認需求

目標在設計出符合仿生掌上型 DV，其特點為具有誘人符合人因設計外觀與最佳機能。達到使操作者在握持掌上型 DV 時，以最穩定與舒適握持達成拍攝工作，這開發設計案的重點在於握持「舒適」和「穩定」機能，

### 2. 需求對象

設計對象是 18~60 歲手掌無缺陷之人

## 2.1.2 概念設計

### 1. 問題分析



要決定握持「舒適」和「穩定」機能的系統產品需求性必須加以分析，這個設計案的目的是在於減少應力集中於某一處造成拍攝時易抖動與手掌酸痛。

自十九世紀工業革命以來，產品無論在社會需求、心理需求、乃至環境需求上迭有變遷，然而「產品的存在價值是為了滿足需要」，設計要素三大重點「工學、人體工學、美學」[11]以掌上型 DV 為例說明：

- (1). 工學需求: 操作穩定能力：「重量、尺寸、形式、材料選用」
- (2). 人體工學需求: 握持舒適特色：「重量、尺寸、形狀、材質及

反作用力」

(3).美學需求:給人視覺和觸覺上舒服感

## 2.2 手部生物力學

生物固體力學利用材料力學、彈塑性理論、斷裂力學的基本理論和方法，研究生物組織和器官中與之相關的力學問題。在近似分析中，人與動物骨頭的壓縮、拉伸、斷裂的強度理論及其狀態參數都可應用材料力學的標準公式。

人的手就像多用途的工具，能隨時與環境產生互動，也就是設計師想要深入瞭解、模仿的；手的抓握動作可定義為：手施力於物體，並且產生作用。Iberall(1997) [12]對於手部的握持做出下麵三點解釋：

- (一)、所施的力能夠維持物體於穩定狀態。
- (二)、能夠移動、旋轉物體。
- (三)、抓握過程中產生知覺，進而瞭解物體的狀態，並且隨時和環境產生互動。

手部運動的基本條件為運動協調（coordination）和穩定(stability)

而在操作時，手部的相關肌群同時扮演著制動(mobilizing)及穩定

(stability)兩種作用的角色，首先對手部生物力學進行探討，以了解手部的結構及機能。

## 2.2.1 手指與手掌結構分析

人類的手掌主要是由骨骼、血管、神經、韌帶與肌腱等所構成的，是一個多功能、敏感且動作精確的器官。手部的骨骼結構大致包括有、手腕骨、掌骨及指骨等，其骨骼的組成(如圖2.2)[13]。

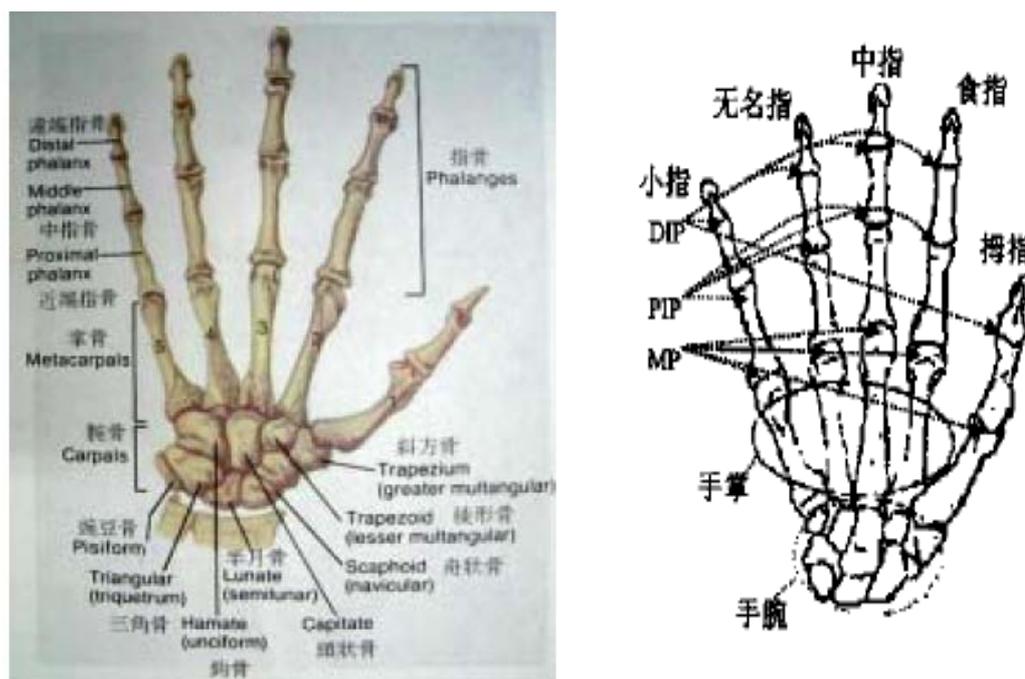


圖 2.2 手指與手掌結構圖(胡明一, 1995)

### (1)手指與手掌結構分析

手指的運動包含側偏、屈曲以及伸展運動，側偏運動僅存在於骨關節的掌指關節，手指的屈曲與伸展運動則存在於掌指關節、近端指間關節與遠端指間關節，其中手指伸展運動作用的肌群有伸指肌以及背側骨間肌、蚓狀肌；而手指屈曲運動作用的肌群有屈指深肌、屈指淺肌以及掌側骨間肌、蚓狀肌，蚓狀肌的作用是在掌指關節處使手指屈

曲，在指間關節處使手指做伸展的動作[14]。

## (2)腕部結構分析

手腕為一個構造相當雜複的關節，其中包括了許多的肌腱、神經與血管，以支援手部的一切活動。腕道是位於手腕的空穴，由許多小骨骼與韌帶所組成，這條管道的一邊是手背骨骼，另一邊則是橫腕韌帶，這條管道就是所謂的腕道(Carpal Tunnel)。通過腕道的組織包括橈動脈、尺動脈與正中神經等一大束脆弱的解剖結構；此外，還包括通過橫腕韌帶外面與腕部豆狀骨內側的尺動脈與尺神經。負責手掌抓握的肌腱與正中神經通過腕道，而負責展開手掌的外展肌腱則行經手腕背部 [15]。腕部是手部功能的關鍵，手部及腕部的運動非常複雜，全身並無其他組織器官能相比擬，腕關節的骨骼與前臂的尺骨與橈骨相互聯結，橈骨聯結於手腕拇指側，而尺骨則聯結於手腕小指側。因手腕關節結構，手掌只能做兩軸的運動。垂直面上為掌屈(Palmar Flexion)與背屈(Doris Flexion)，水平運動平面則為橈偏(Radial deviation)與尺偏(Ulnar deviation)(圖2.3)[16]，背屈的動作角度可達 $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，掌屈的動作則可達 $85^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ，尺偏動作可達 $35^{\circ}\sim 37^{\circ}$ ，橈偏動作則可達 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$  [17]

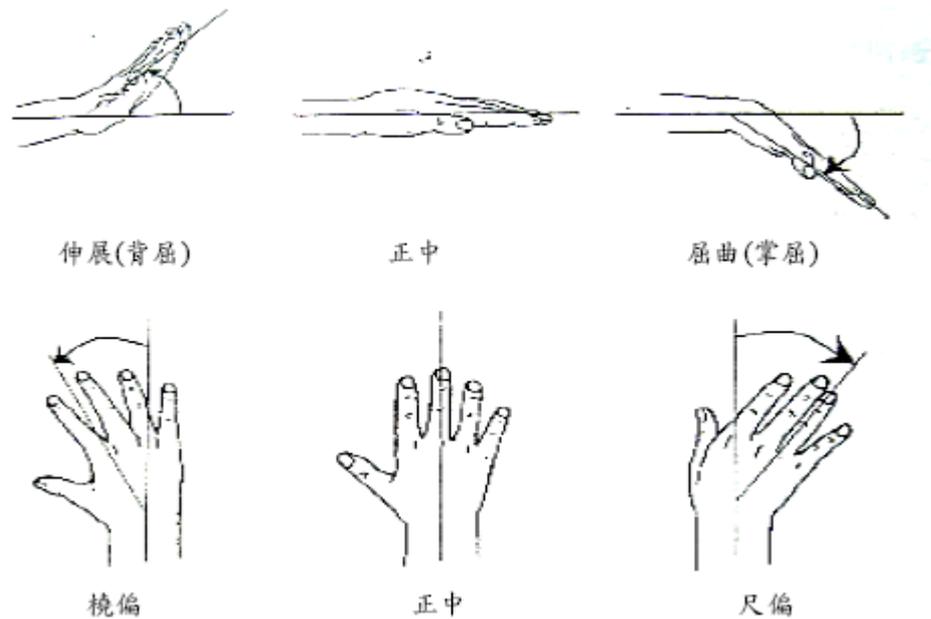


圖 2.3 手腕關節之活動(李開偉,1999)

## 2.2.2 手部與握把介面操作探討

上羽康夫提及(1985) [18] 手部運動機能分類乃根據拇指與其他各指位置上的差異，及運動目的之不同，而區分為五類：

- (1) 觸壓：最基本的運動機能。
- (2) 勾握 (Hook Prehension)：手指屈曲，姆指不參與抓握，  
例如公事包的提攜。
- (3) 精細握持 (Precision Handing)：手的中指關節輕度屈曲，  
以指尖和拇指間握持，這是日常使用最多的運動機能。
- (4) 摘取 (Pinch)：物體主要由拇指和食指或中指指尖挾持。
- (5) 緊握 (Power Grip)：這是最強的握物方式，表示手指在最

強的屈曲位，部與物體的大小及形狀有最大的密合程度，  
應力會集中於掌心。

事實上，此一分類與kroemer(1986) [19] 對「手部與把柄尖之耦合」所作之分類，極為類似：(如圖2.4)

- |              |             |
|--------------|-------------|
| 1. 手指觸摸      | 2. 掌觸       |
| 3. 指腹捏握      | 4. 指尖捏握     |
| 5. 拇指腹捏握或鉗握  | 6. 拇食指側捏或側捏 |
| 7. 三指捏握或書寫握捏 | 8. 拇指尖包覆    |
| 9. 指掌包覆      | 10. 力握      |

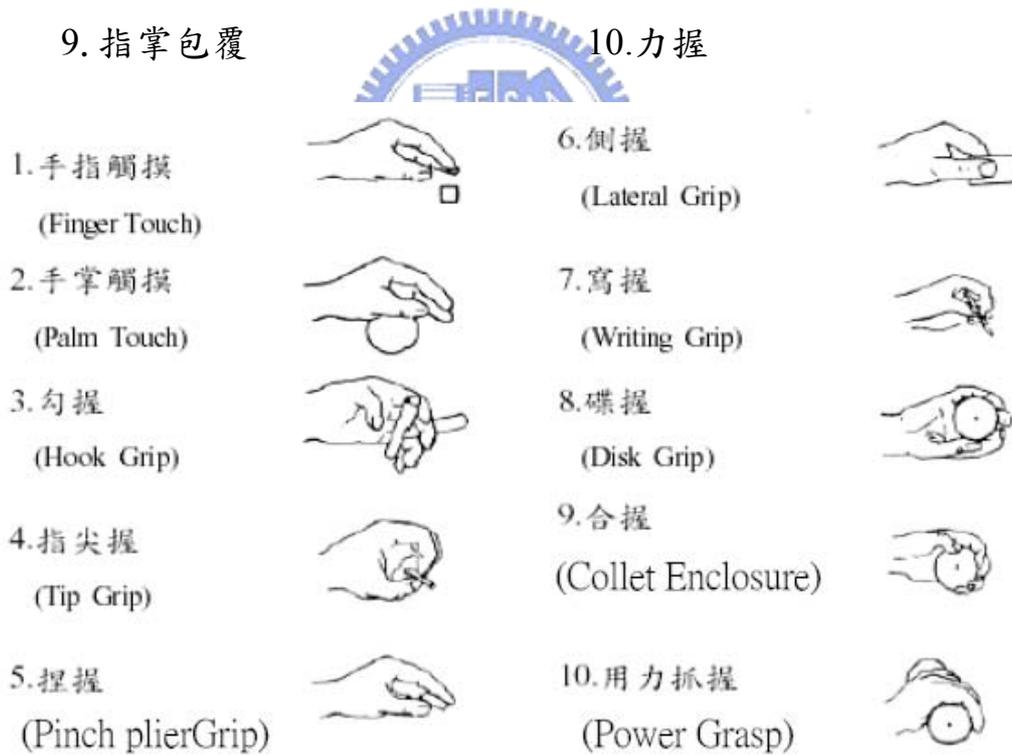


圖 2.4 手部運動機能分類 kroemer(1986)

根據 T. Iberall,1997 [20] 所做的手抓物各種姿勢研究大體上可規劃成  
三大類

1. 掌心抓握(palm opposition)
2. 指端抓握(pad opposition)
3. 側面抓握(side opposition)

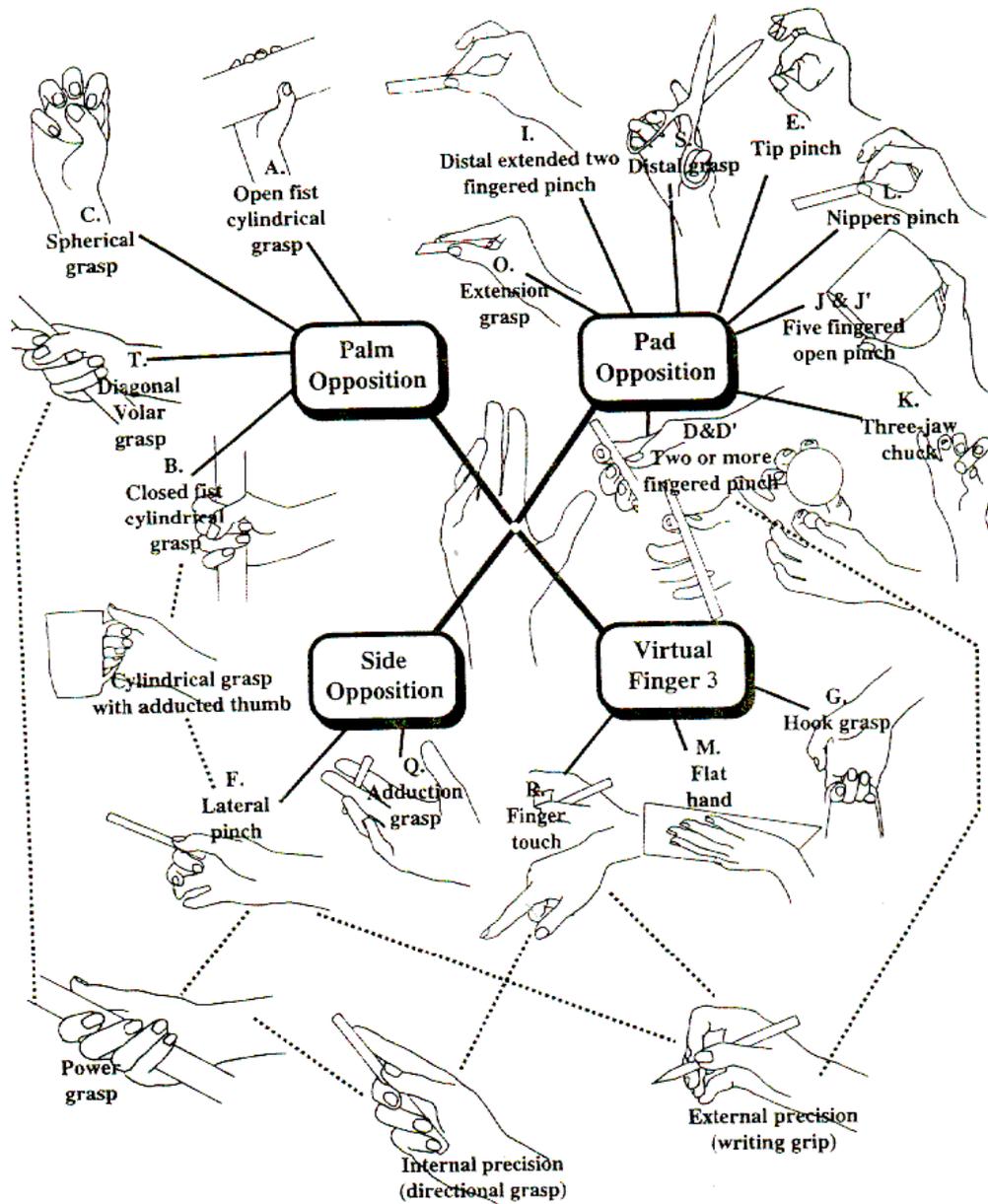


圖 2.5 總合姿勢變化確認研究

Wells(2001) [21]整理分類出六種手部的抓握(如圖2.6)，大致可分為圓握(Cylindrical/Prismatic Grips)、側握(Side Opposition Grips)、指尖握

(Grips with Pulp/Tip Contact)、鉤(Hook)、圍繞(Enclosure)及壓(Press) 等的類型。



圖2.6 手部抓握的類型(Wells, 2001)

## 2.3 模擬軟體介紹

本研究的機構模擬軟體是採用 COSMOS 是SRAC (Structural Research & Analysis Corporation) 推出的一套強大的有限元分析軟體來做手掌模擬器抓握時動作模擬【22】。SRAC 一直致力於有限元CAE 技術的研究和發展。它能夠讓使用者快速地在電腦上建構好產品的虛擬模型，完整地等效模擬出實際機構動作情形。也可以做參數化的設定，

藉由更改設計參數，模擬出不同機構動作情況，並找出最佳的設計，進而縮短了產品開發的時程、減少成本、提升設計品質，能夠克服傳統上依賴機器設備實作出成品所必須消耗的時間與金錢等缺點，也相對地提升了市場的競爭優勢，迅速得到分析結果，從而最大限度地縮短設計週期，降低測試成本，提升產品性量，加大利潤空間。

COSMOS這套運動機構模擬軟體相當強大，主要功能模組有：

COSMOSWorks 、COSMOSDesignSTAR、COSMOSMotion、

COSMOSFlowworks、COSMOSM GeoStar，其中COSMOSWorks、

COSMOSMotion、COSMOSFlowworks 做為標準插件集成在

SolidWorks 中，整個的使用界面完全是Solidworks 的風格，只須簡單的操作，便可進行分析。而在本研究所使用的模組基本上是由在

SolidWorks裏完成3D建立與組裝後如圖2.7，輸入COSMOSMotion中完

成手掌模擬器抓握動作模擬分析如圖2.8，所以本研究模擬在設計參數

的變化大多是外觀形狀的變化，相對的CAD與CAE 的整合是很重要

的，藉由兩者的設計與分析找出符合人因工程產品，可縮短產品開發

的時間與金錢。



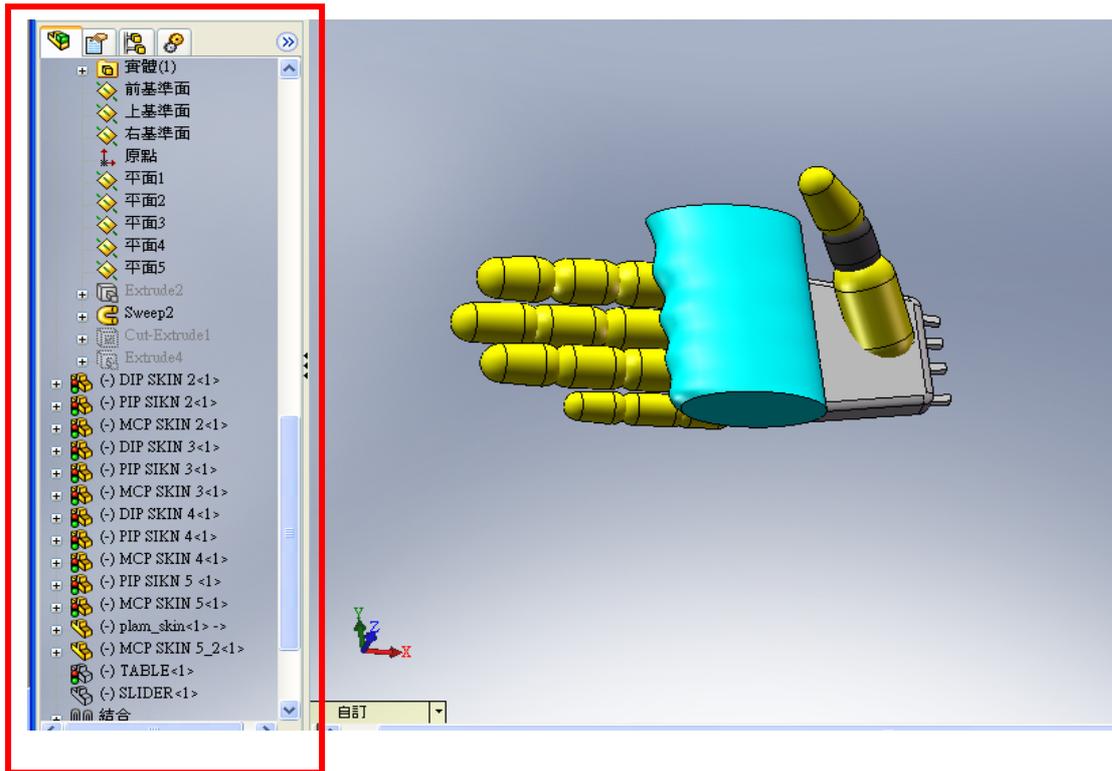


圖 2.7 在 SolidWorks 裏建立 part 與 assy

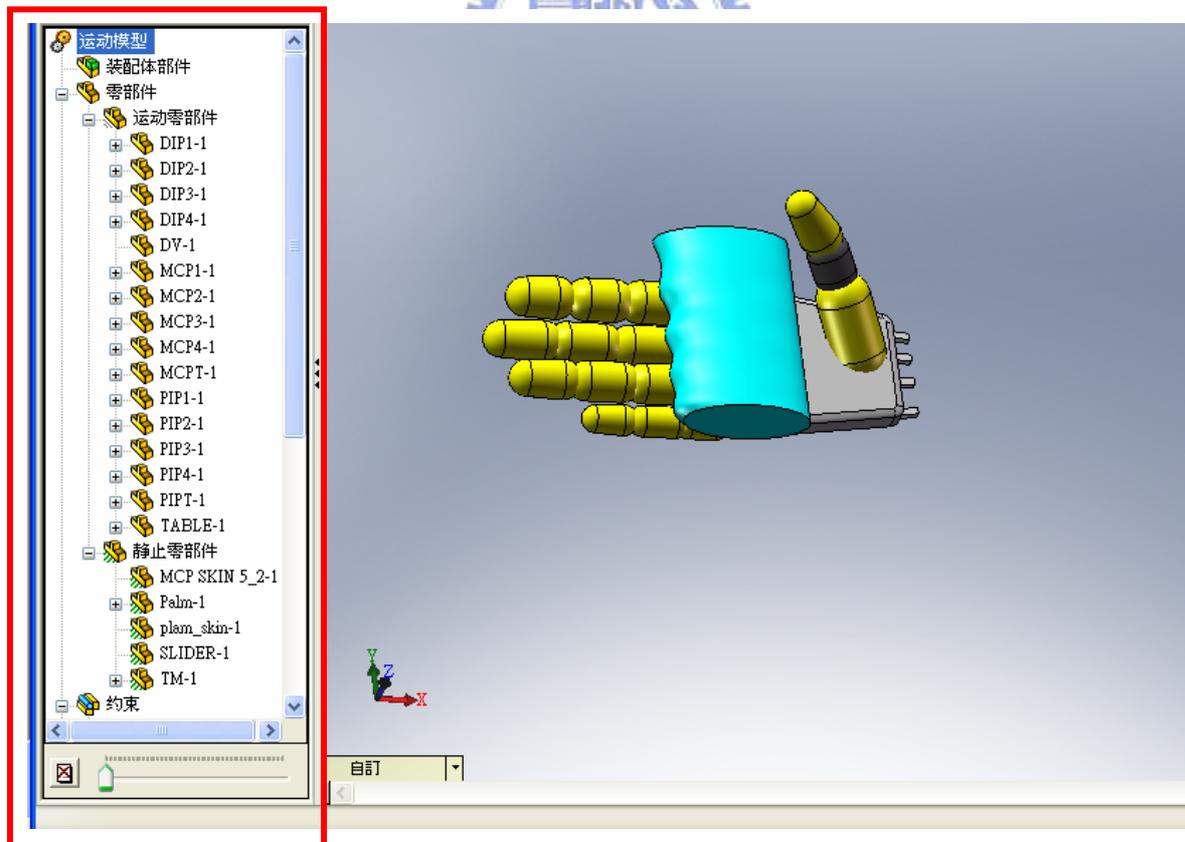


圖 2.8 在 CosmosMotion 模擬

## 第三章 研究方法

產品受到各種新技術及觀念的影響，產品設計所要考慮的因素益形複雜。因此，傳統的設計方法已不符時代需求，漸漸取代的是結合人體工學、生物力學等，符合操作舒適安全有效率以創新設計法配合電腦輔助設計的資訊化系統。而本研方法就是以結合人體計測值產品創新設計法則，建立3D 手掌模擬器並以CAE軟體模擬手姿勢與受力，以協助產品設計者或相關設計者分析修正並加快其設計與成本。

### 3.1 研究流程與步驟

圖 3.1 為本研究握把創新設計與虛擬測試平台研發流程架構圖 [23]，本論文研究的理論與設計架構重心是依循上述圖 3.1 的研究流程與步驟進行握把的創新設計，首先是資料的收集，包括目標產品 DV 選定與相關資料庫的建立，然後是依據人體計測相關資料來建構模擬器，之後將依照基本參數化 DV 握把幾何模型建構，將影響 DV 握把握持穩定的設計因素列出就設計因素參數化後，輸入手掌模擬器內進行動作模擬，並將模擬結果依握把設計法則評估模組來判定是否符合 DV 握把設計原則，若是判斷 NG 則再從新改變影響 DV 握把握持穩定設計因素的參數輸入手掌模擬器內進行動作模擬，如此循環模擬達到符合 DV 握把設計原則 OK 則跳出。

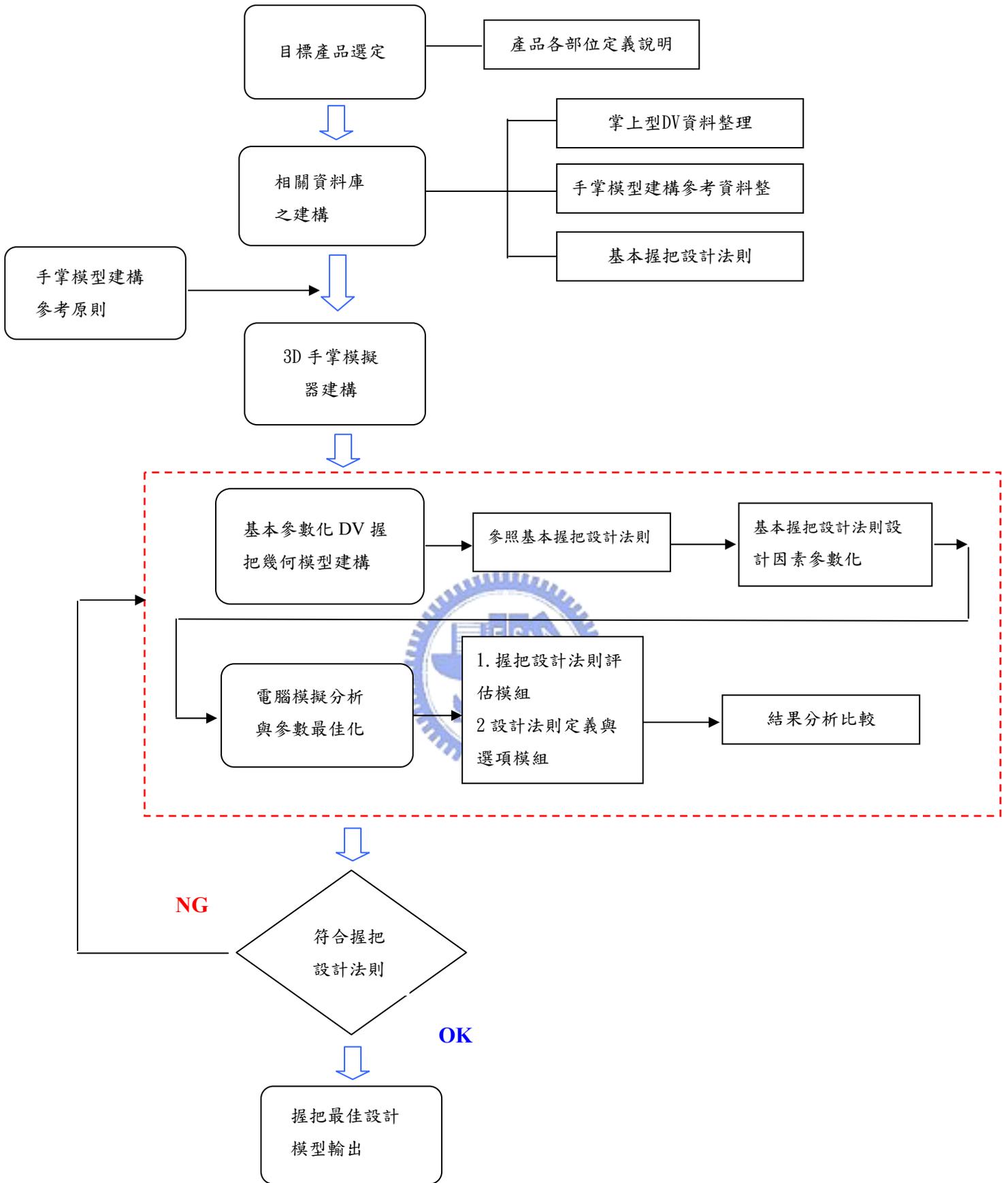


圖3.1 研究方法握把創新設計與模擬測試平台研發流程架構流程圖[鄭璧瑩 CIDM Lab 2007][23]]

### 3.2 目標產品選定-「掌上型DV」

本研究選定數位「掌上型DV」作為研究案例，「掌上型DV」是近年來發展相當快速的消費性電子產品，用於汰換週期逐漸縮短，提高了設計需求量，且主體造型與操作適合進行虛擬手部運動模擬，故選擇掌上型DV作為對象，各部位定義說明如下圖(3.2)所示:

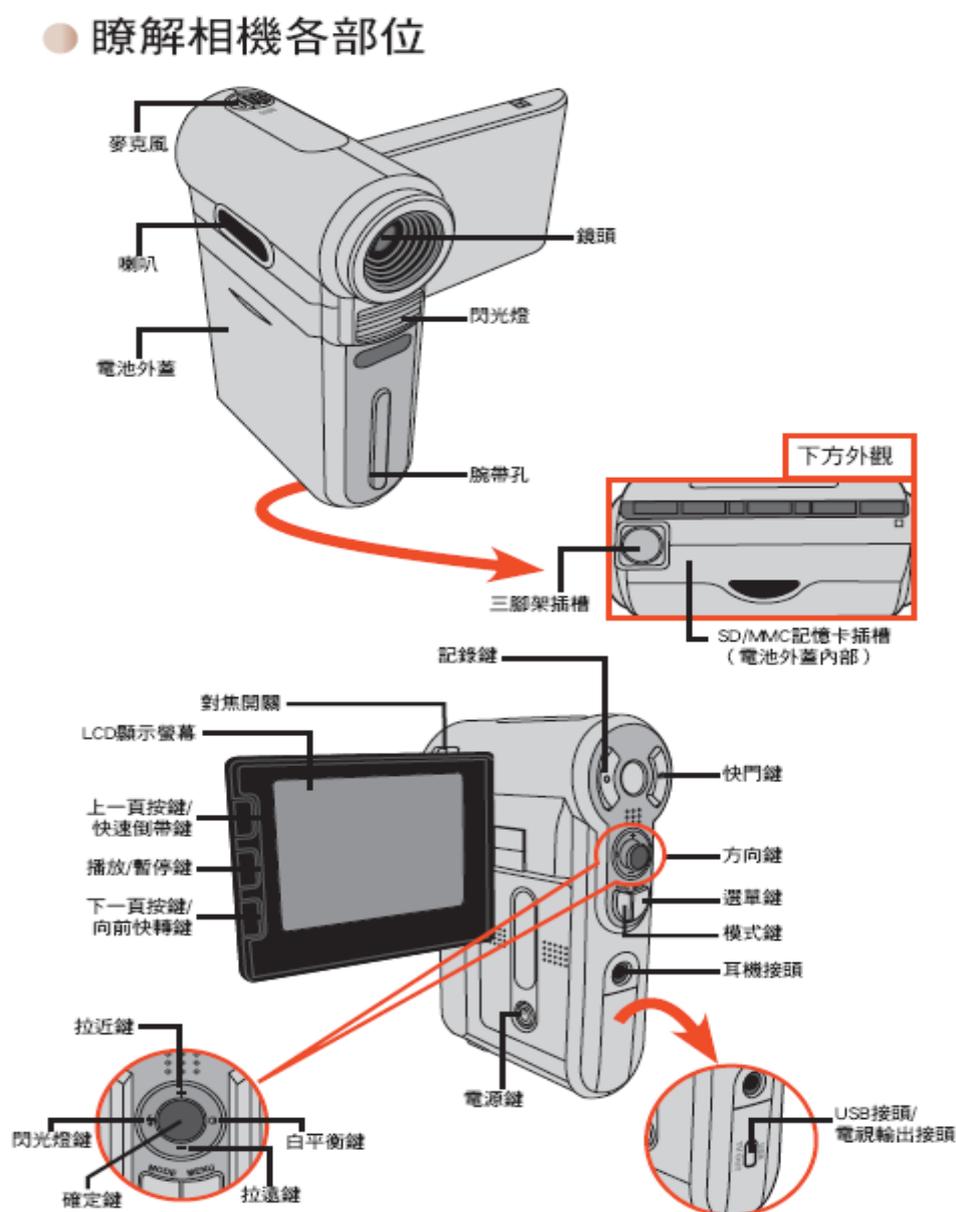


圖3.2 DV各部位說明圖

### 3.3 相關資料庫之建構

建立包括目前現現有掌上型DV主體架構與手握持姿勢之探討、人體手掌計側值、基本握把設計原則歸納等資料庫。

#### 3.3.1 掌上型DV資料整理

##### 1. 市場現有機種整理

掌上型DV數位攝影機是近年發展相當快速的消費性電子產品。目前市面上各大廠(SANYO, CANON, JVC, AIPTEK …等)的產品調查如下(圖3.3)所示。



SANYO



AIPTRK



JVC



SAMSUNG



CANON



DIGILIFE



SONY



PANASONIC



HITACHI



圖3.3 市場現有機種

## 2. 樣式分析

依據現有「掌上型DV」資料，目前樣式可區分成

1. 直握式 (圖3.4) 2. 橫握式 (圖3.5)。





圖3.4 直握式



圖3.5 橫握式

樣式特性說明（表3.1）

本體型式	特性說明
直臥式	此類型體機都比較小型，無須再增加手背環帶幫助握持，但因體積小其他按鍵不易擺放同一區，操作較無法靈活。
橫握式	此類型體機相較大型，須曾加手背環帶幫助握持，其體積面積夠大所以按鍵擺放較一致，操作上較順暢。

直立式又可分鏡頭與本體組合成90°、125°、或可旋轉這3種如圖3.6 所示



圖3.6 鏡頭與本體組合種類

### 3.3.2 手掌模型建構參考資料整

#### 1.人體計測手掌 2D 尺寸探討

設計是在使構想更加具體化，其結果輸出能滿足人類的求，具有形、結構及所應具有的功能。由於本研究重點不在人體計測上，故所建立人因資料庫的計測資料，引用自行政院勞委會「台灣地區勞工人體計測資料庫」[24] 裡的資料詳細完整，故本研究以此為依據。圖(3.7)~圖(4.5)及表(3.2)~表(3.4)的數據將做為後續手部模擬尺寸及動作之來源。

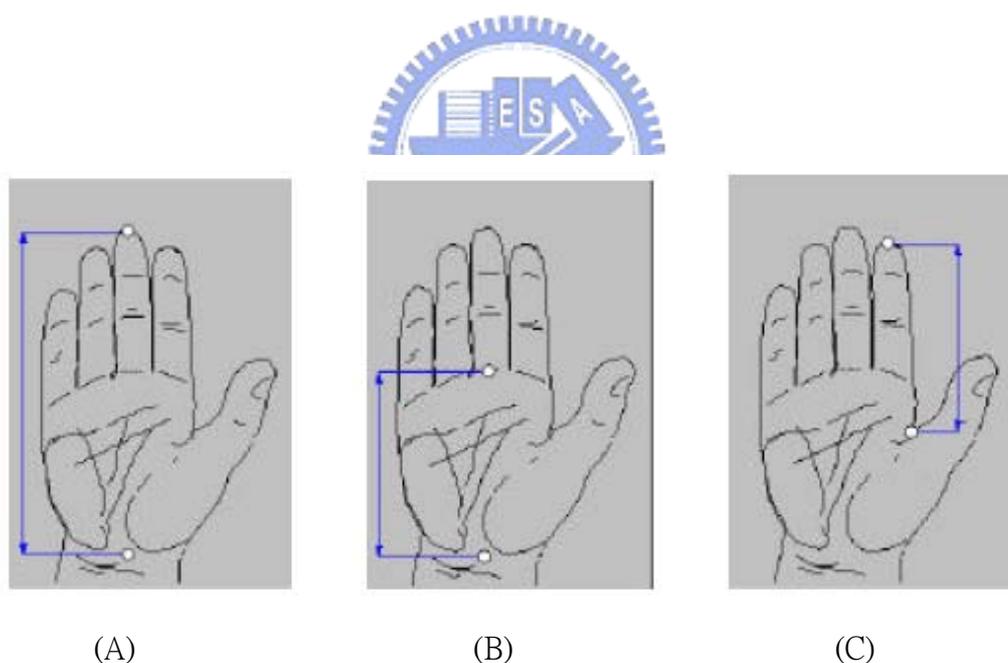


圖3.7 手掌測量 (A)手長 (B)手掌長 (C)食指長 [24]

表3.2 手部長度的尺寸資料 [24]

表3.2

尺寸名稱	性別	年齡	群組	人數	單位	平均數	標準差	5%ile	50%ile	95%ile
手長	男	18-60	勞工	717	(mm)	181.92	13.64	159.48	181.92	204.37
手長	女	18-60	勞工	458	(mm)	167.97	7.87	155.03	167.97	180.91
手長	全部	18-60	勞工	1175	(mm)	176.49	11.73	157.19	176.49	195.78
手掌長	男	18-60	勞工	717	(mm)	105.17	8.17	91.73	105.17	118.60
手掌長	女	18-60	勞工	458	(mm)	96.94	5.18	88.43	96.94	105.46
手掌長	全部	18-60	勞工	1175	(mm)	101.96	7.15	90.20	101.96	113.72
食指長	男	18-60	勞工	717	(mm)	110.78	9.60	95.00	110.78	126.57
食指長	女	18-60	勞工	458	(mm)	101.01	6.31	90.62	101.01	111.39
食指長	全部	18-60	勞工	1175	(mm)	106.97	8.47	93.04	106.97	120.90

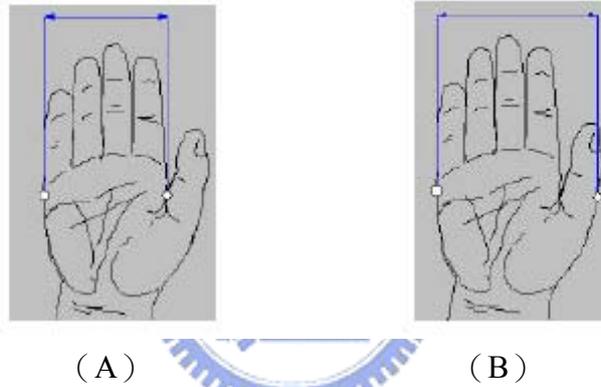


圖3.8 手掌寬度 (A) 手寬一 (B) 手寬二 [24]

表3.3 手部寬度的尺寸資料 [24]

表3.3

尺寸名稱	性別	年齡	群組	人數	單位	平均數	標準差	5%ile	50%ile	95%ile
手寬一	男	18-60	勞工	717	(mm)	85.14	6.95	73.70	85.14	96.57
手寬一	女	18-60	勞工	458	(mm)	75.49	4.58	67.96	75.49	83.03
手寬一	全部	18-60	勞工	1175	(mm)	81.38	6.14	71.28	81.38	91.47
手寬二	男	18-60	勞工	717	(mm)	100.01	7.56	87.59	100.01	112.44
手寬二	女	18-60	勞工	458	(mm)	87.45	4.62	79.84	87.45	95.05
手寬二	全部	18-60	勞工	1175	(mm)	95.12	6.57	84.31	95.12	105.92

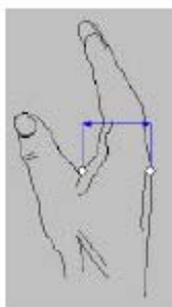


圖3.9 手部厚度 [24]

表 3.4 手部厚度的尺寸資料 [24]

表 3.4

尺寸名稱	性別	年齡	群組	人數	單位	平均數	標準差	5%ile	50%ile	95%ile
手厚	男	18-60	勞工	717	(mm)	34.50	4.24	27.53	34.50	41.46
手厚	女	18-60	勞工	458	(mm)	30.13	3.49	24.39	30.13	35.87
手厚	全部	18-60	勞工	1175	(mm)	32.79	3.96	26.28	32.79	39.31

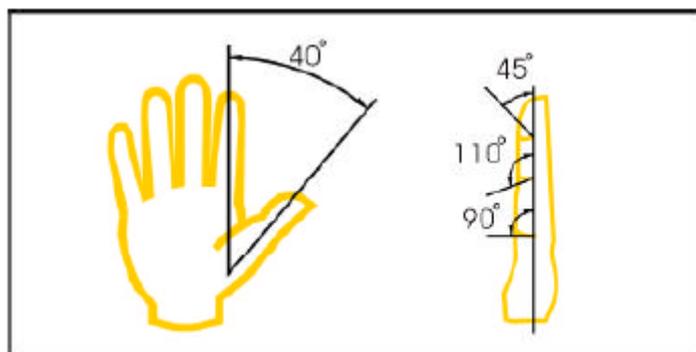


圖3.10 手指關節彎曲資料 [24]

## 2. 手指的三維模型和其約束關係

我們根據解剖學的知識，分析手指的特殊性，並給出相應的靜態約束和動態約束，然後把這些約束用來估計手指的三維運動。

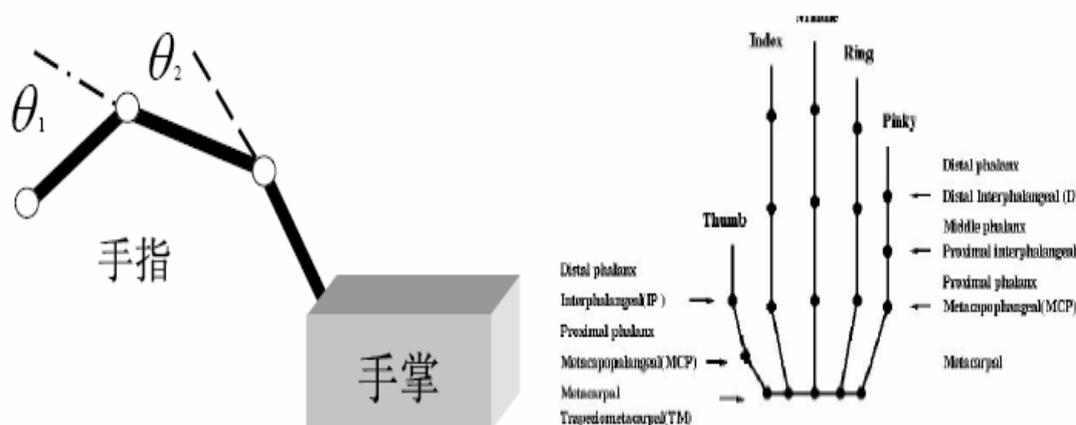


圖 3.11 手指模型 [25]

一般而言，手指可以被看成是棍棒模型[26]。每根手指都由三節組成(拇指除外)，因而有三個關節點，但每個關節點的自由度是不一樣的，圖3.11 (右) 給出了手指的簡單模型。對於所有的指關節，除與手掌相連的關節外，其餘關節都只有一個自由度——伸張和彎曲，因而我們可以認為它們是在同一個平面上運動，即共面約束。進一步地，不同指節間都有相互約束，這種約束可以分為靜態約束和動態約束兩種。

靜態約束是指手指有著一定相對運動範圍，即如果把每一個

手指的第一節（與手掌相連）定義成MCP（見圖3.11左），Y方向表示手指的伸縮，而X方向表示手指的局部拐動，那麼MCP相對手掌的運動範圍可以表示成：在X方向的活動範圍為  $[-15^\circ, 15^\circ]$ ，而在Y方向的活動範圍為  $[0^\circ, 90^\circ]$ 。而動態約束是指某一指節運動時，必定會帶動另外一節運動，如表3.5[27]所示動態約束的最後一項表示各節手指骨之間在X方向的運動約束關係，其他項表示各節手指骨之間在Y方向的運動約束關係（右欄僅對大拇指而言，左欄針對其他各手指，表中相應的符號見圖3.11）。例如每一個手指第二節的運動必定會帶來第三節的運動，而且兩指節的旋轉角之間滿足關係式： $\theta^y_{PIP} = \frac{3}{2}\theta^y_{DIP}$ ，見圖3.11  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的關係式。另外，表中左欄相應的第二項是關於各手指的第一節在X方向運動的動態約束關係。由於我們可以通過三節手指（已知相互間的長度關係）來獲取其三維結構，同時利用上面的角度動態約束來消除它的歧義性，因此，這一項就不再作詳細介紹。各種約束關係如 表3.5 所示[27]，事實上，這裏我們用到了三類手指約束：剛體約束，共面約束，以及在X/Y方向的動態依賴關係的約束。我們可以利用這些約束關係來定義手掌初步運動狀態與模擬握持情形。

靜態約束	
手指	拇指
$0 \leq \theta_{MCP,S}^y \leq 90^\circ$ $-15^\circ \leq \theta_{MCP,S}^x \leq 15^\circ$	
動態約束	
$\theta_{PIP}^y = \frac{3}{2} \theta_{DIP}^y$ $\theta_{MCP}^x = \frac{\theta_{MCP}^y}{90} (\theta_{MCPconverge}^x - \theta_{MCP\div}^x) + \theta_{MCP\div}^x$	$\theta_{TM}^x = \frac{1}{2} \theta_{MCP}^x$ $\theta_{TM}^y = \frac{1}{3} \theta_{MCP}^y$ $\theta_{IP}^y = \theta_{MCP}^y$

表3.5 手指靜態和動態約束[27]

### 3. 手部尺寸與握把造型關係

手為人體中構造相當特殊的部位，可以產生多種的動作，光是握合的方式就有數種，Iberall(1997) [20] 將不同的握姿利用一個簡單的模型(virtual finger)加以分類，virtual finger簡稱VF，它代表一個機能上的單位，在握持的過程最少有兩各力量作用於物體的表面，依據作用力的位置將握持的方式分為三類 (圖3.12)。

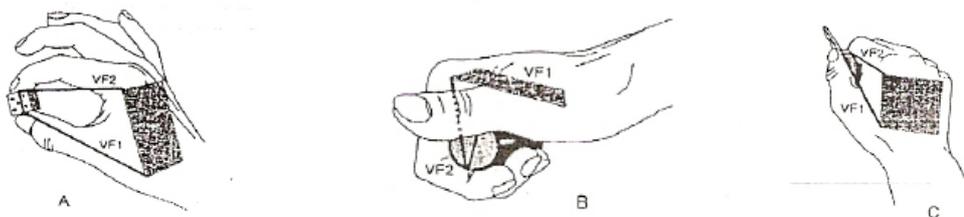


圖3.12 握持的方式

A.手指作用力 (Pad opposition) 、 B.手掌的作用力(palm opposition)  
C.側邊的作用力 (side opposition) 。

由於握持DV 是由手部運動機能的緊握加上知覺機能的操控所完成；類似Iberall(1997) [20]所提出分析概念模型中的 Palm opposition (圖3.13)，這類型施力的特徵是作用力的位置沿著一個軸(圖3.14)，垂直於手掌骨架。

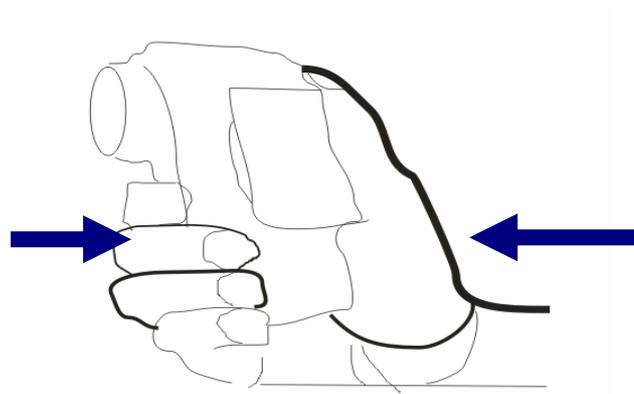


圖3.13 Palm opposition

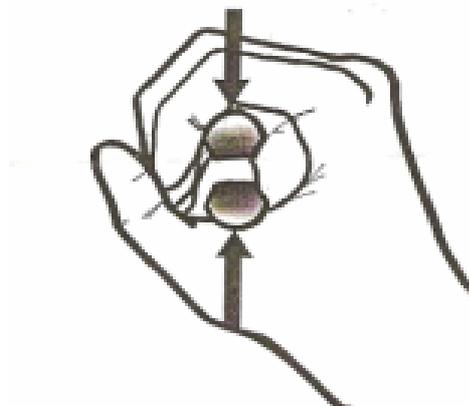


圖3.14 作用力的位置沿著一個軸

手的介面設計主要是指與手接觸相關的介面設計，包括按壓的介面、旋轉的介面、握的介面、捏的介面等。手是操縱各種設備的主要方面，手的介面設計不合理，會導致多種上肢職業病甚至全身性的傷害，因此，在進行手的介面設計時，應該遵守解剖學原則和人機工程學原則。在設計時必須考慮要與操作者身體成比例，手與握把的結合情形，以作為握把設計的考量，使操作者發揮最大效率。

### (1)手與握把之邊界關係

當握合握把時，拇指下方的肌肉會受到壓迫且形成一道防止握把滾動的障礙(圖3.15)。不管握持何種形狀的握把，形成的邊界位置幾乎是不會改變的(圖3.16)，因此可找出手部握合握把時的邊界【28】。



圖3.15 手部握合握把之邊界



圖3.16 握持不同形狀時手部邊界不變

### 3.3.3 基本握把設計法則

根據一些手工具設計的文獻相關研究中，我們可以歸納出一些握把基本設計原則如下：

#### (1) 彎曲手工具，不要彎曲手腕，維持手腕保持正直

Eilis 等人 (2002) 發現相較於手腕伸展/屈曲/不偏等姿勢，手腕在最大屈曲的位置時會讓人覺得最不舒服，免腕部的偏曲造成神經組織與血管受到壓迫改變了手腕肌腱的輪廓，使得肌肉的長度與張力發生變化，進而影響了握力，同時易讓人產生不舒服感Tichauer (1978) 建議保持中指的掌骨與尺骨遠端平行如圖3.17。

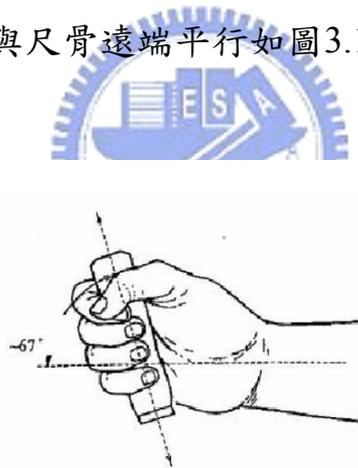


圖3.17 中指的掌骨與尺骨遠端平行

#### (2) 增加手指的支撐力與摩擦力

手指握持部位如果能夠有適當的波浪形狀或曲面可增加接觸面，以便手指能得到適當的支撐力與摩擦力，並使在長期抓握過程中能減少施力而降低肌疲勞或酸痛。

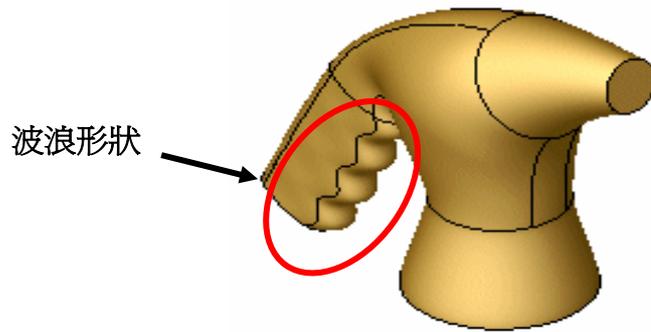


圖3.18 撒水器 握把處波浪增加支撐力與摩擦力

### (3) 最佳握持尺寸的控制

當我們在從事握力施力時，所有手指的關節多呈彎曲狀態，其中大拇指與餘四指的方向相反，然後再將目標物按握在手掌之間，目標物的尺寸會影響我們施力的大小，甚至目標物若太大可能會使我們抓不住目標物，設定良好的握持尺寸，能使手掌發揮最大出力，在抓取物體時，手掌的分工「是由姆指發揮抓握和固定工具的能力，再由四支手指分攤出力與荷重」。



圖3.19 影響手指節握持力

#### (4) 握持斷面應盡柔順平滑適當

形狀應盡量避免尖銳的凸出件、端角、稜線，握持斷面應盡量讓手掌有較多之接觸面積，另一方面最適當抓握軸距也受到所握持物件形狀的影響。例如，Ayoub與Lo Presti(1971)發現，圓形物件之最大握力，因此以圓形或橢圓形較佳。

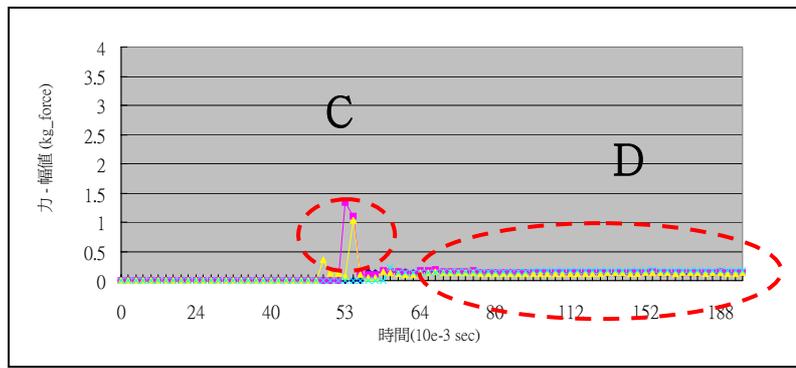
### 3.4 手部握持模式力學評估模組

當手掌模擬器模擬抓握時，每跟手指節都可能會DV碰撞接觸而有受力與速度變化而產生數據，我們可以根據這些數據做出一握把力學評估範例準則如表3.6【23】，來判定握持穩定與滑脫與施力大小。表格裏的力學評估項目是獲得的各式力量或速度的資料，定義則是各型力曲線圖分類說明與DV握持穩定影響閥值，各型力曲線圖分類以圖3.20與3.21來做說明，DV握持穩定程度以實心三角形“▲”來表示影響的密切程度，以的數量來代表影響的程度的大小最高是三顆，而×表是已滑落，不給與評估。

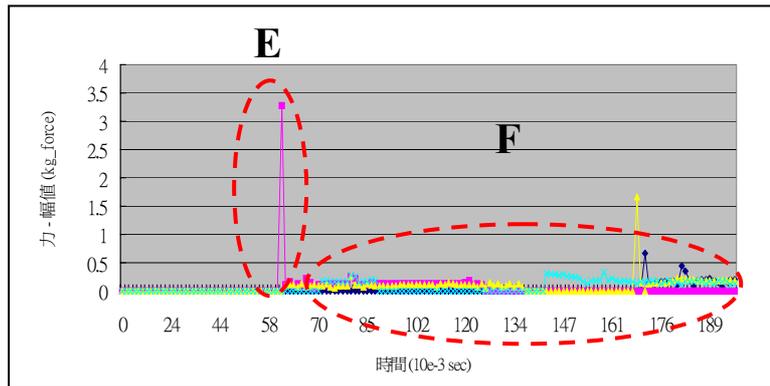
附註：

▲：影響程度最小、▲▲：影響程度中、▲▲▲：影響程度最大

×：表是已滑落

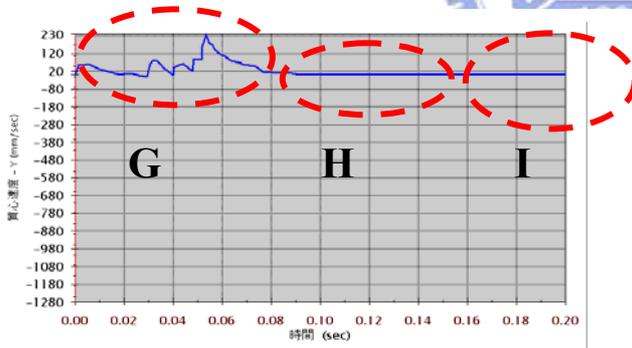


(a)

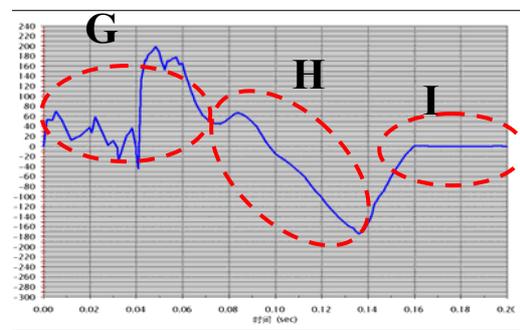


(b)

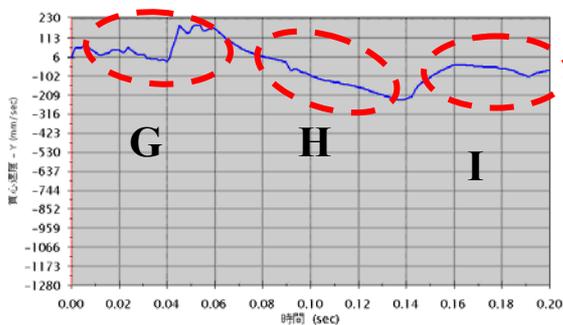
圖3.20 力的曲線圖發生情形說明 a:接觸力小，震盪後出現平整的值，b:接觸力大，震盪後無出現平整的值



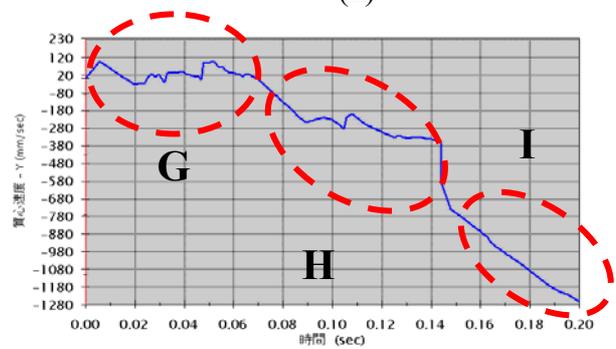
(1)



(2)



(3)



(4)

圖3.21 質心速度的曲線圖定義

表 3.6 握把力學穩定度評估範例（參考握把評估準則【23】）

力學評估項目	定義	各型力曲線圖分類	評定 DV 握持穩定度	說明
I. ①觀察每根手指節接觸力出現的瞬間最大值(peak)，②觀察接觸力曲線穩態區的分佈狀態		參考圖 3.20·a 圖的 C、D 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲▲▲ (對握持穩定度影響較佳)	① Peak 值低 ②曲線穩定
		參考圖 3.20·a 圖的 D 與 b 圖的 E 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲▲ (握持穩定影響中等)	① Peak 值高 ②曲線穩定
		參考圖 3.20·a 圖的 C 與 b 圖的 F 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲ (握持穩定影響小)	① Peak 值低 ②曲線震盪
II. ①觀察每根手指節反力出現的瞬間最大值(peak)，②觀察接觸力曲線穩態區的分佈狀態		參考圖 3.20·a 圖的 C、D 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲▲▲ (對握持穩定度影響較佳)	① Peak 值低 ②曲線穩定
		參考圖 3.20·a 圖的 D 與 b 圖的 E 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲▲ (握持穩定影響中等)	① Peak 值高 ②曲線穩定
		參考圖 3.20·a 圖的 C 與 b 圖的 F 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲ (握持穩定影響小)	① Peak 值低 ②曲線震盪
III. ①觀察每根手指節力矩出現的瞬間最大值(peak)，②觀察接觸力曲線穩態區的分佈狀態		參考圖 3.20·a 圖的 C、D 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲▲▲ (對握持穩定度影響較佳)	① Peak 值低 ②曲線穩定
		參考圖 3.20·a 圖的 D 與 b 圖的 E 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲▲ (握持穩定影響中等)	① Peak 值高 ②曲線穩定
		參考圖 3.20·a 圖的 C 與 b 圖的 F 組合的評估例(參考圖 3.20 a、b 圖為比較範例)	▲ (握持穩定影響小)	① Peak 值低 ②曲線震盪
IV. 觀察物體質心 Y 軸的速度曲線狀態		參考圖 3.21(1)範例說明，G、H、I 三階段階段評估例	▲▲▲(力平衡，對穩定度影響較佳)	G:震盪、H:穩態、I:穩態
		參考圖 3.21(2)範例說明，G、H、I 三階段階段評估例	▲▲ (握持穩定影響中等)	G:震盪、H:滑脫、I:穩態
		參考圖 3.21(3)範例說明，G、H、I 三階段階段評估例	▲ (握持穩定影響小)	G:震盪、H:滑脫、I:震盪

	參考圖 3.21(4)範例說明， <b>G</b> 、 <b>H</b> 、 <b>I</b> 三階段階段評估例	✕ (滑脫)	<b>G</b> :震盪、 <b>H</b> :滑脫、 <b>I</b> : 滑脫
--	---	--------	--



## 第四章手掌模擬器與 DV 的建構

本章將跟據前一章節的手掌模型建構與基本握把設計法則參考資料，配合以 SolidWorks 軟體構建虛擬的手掌 3D 模擬器與 DV 模型。

### 4.1 手掌3D模型建構

步驟一：開啟SolidWorks 選擇組合件組裝(如圖4.1 所示)。

選取組合件然後按確定就可以開始正式進入組合件之工作視窗。

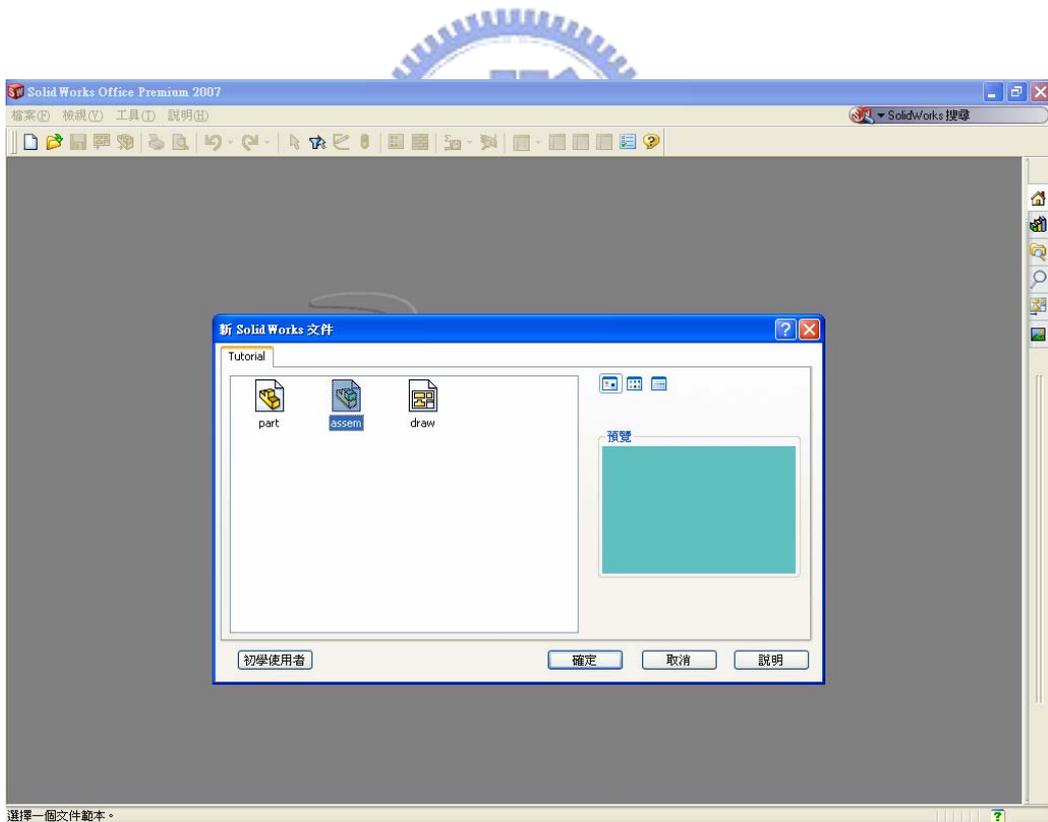


圖4.1 組合件組裝圖示

步驟二：主要工作視窗(如圖4.2 所示)。

工作視窗包含下拉式功能表(Menu)、工具列(Toolbar)、特徵管理員(Feature)、及繪圖區。

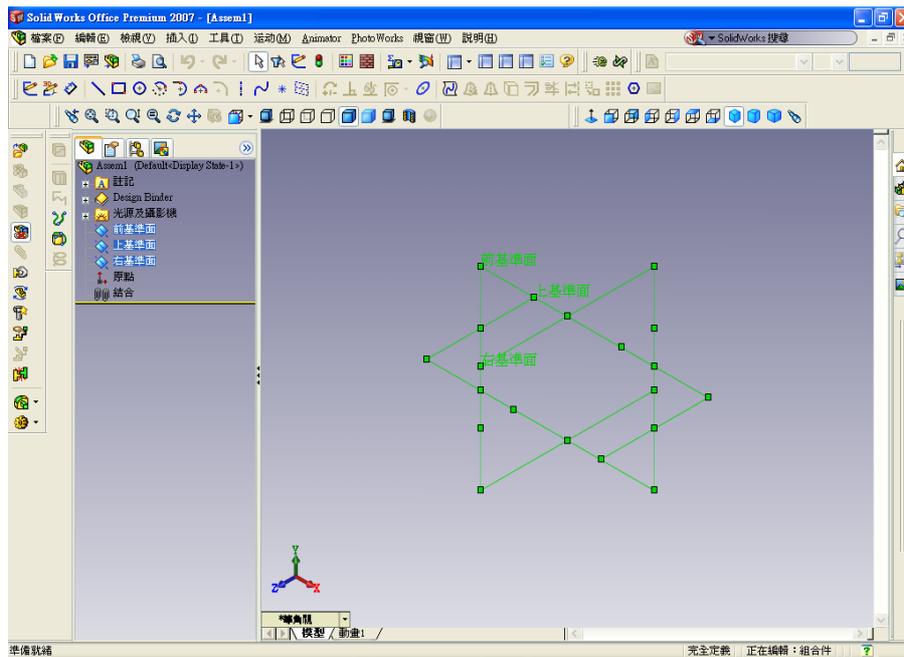


圖4.2 工作視窗圖示

步驟三：點選 (插入)/(零件部)/(新零件) 命令, 以文件明 DIP 保存該文件(如圖4.3 所示)。

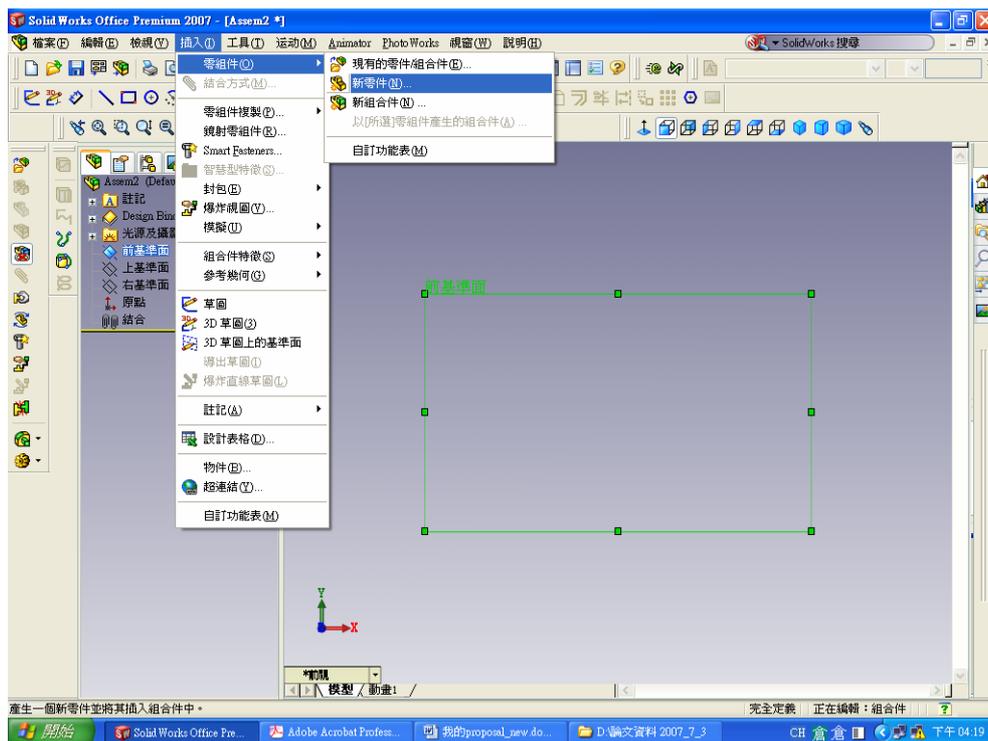


圖 4.3 (插入)/(零件部)/(新零件) 圖示

步驟四：點選 DIP 零件並開啟，在繪圖平面先插入出我們所需之參考圖片(圖 4.4 所示)，此圖片是以 Poser 人體模擬 3D 軟體來產生的手掌【29】

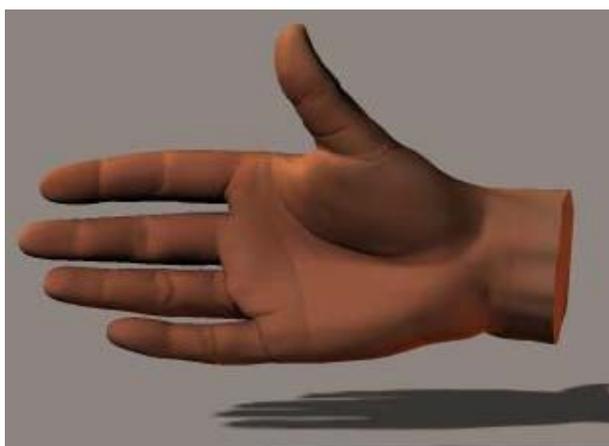


圖4.4 Poser 虛擬手掌

完成後再開起ASSEMBLY 組件，在ASSYEMBLY 組件裡繪製各手指骨格大小的草圖並依據前一章手掌模型建構參考資料裡的「台灣地區

勞工人體計測資料庫」[24]來調整手掌的大小(圖4.5所示)

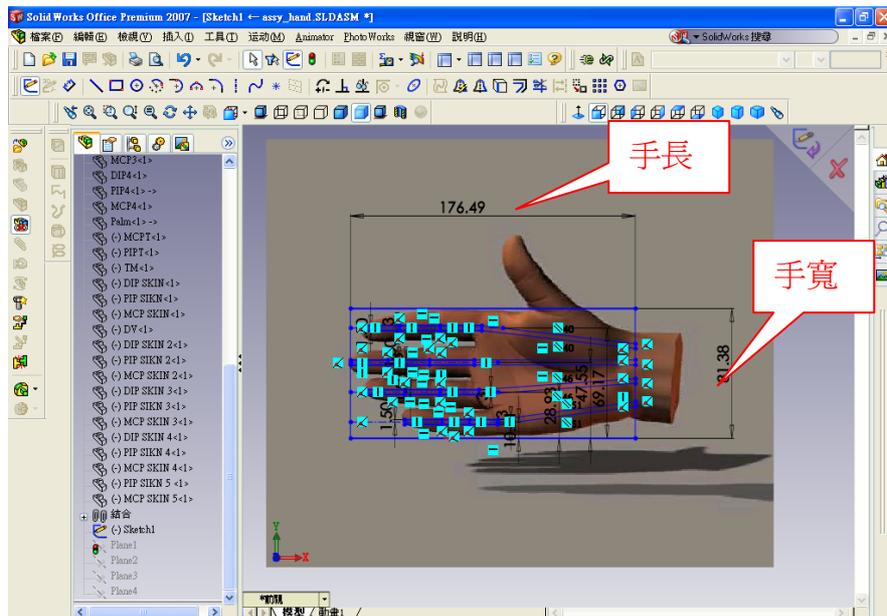


圖4.5 手掌繪製

步驟五：再點選 DIP 零件並開起編輯零件，點選草圖然後參照上一步驟所畫的草圖的尺寸，建構所需圖形 (圖 4.6 所示)

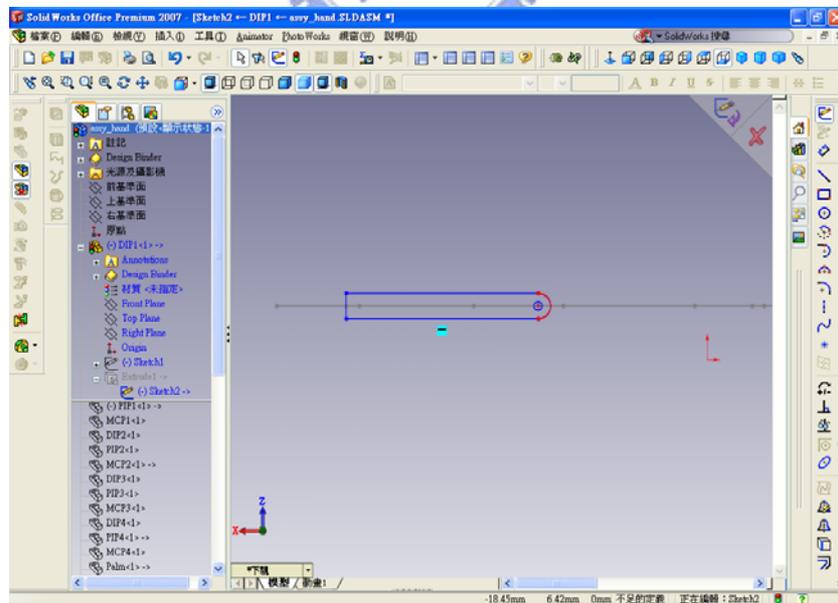


圖4.6 草圖建構圖示

步驟六：重複前述步驟逐步完成食指、中指、無名指、小指、拇指如

圖 4.7 所示

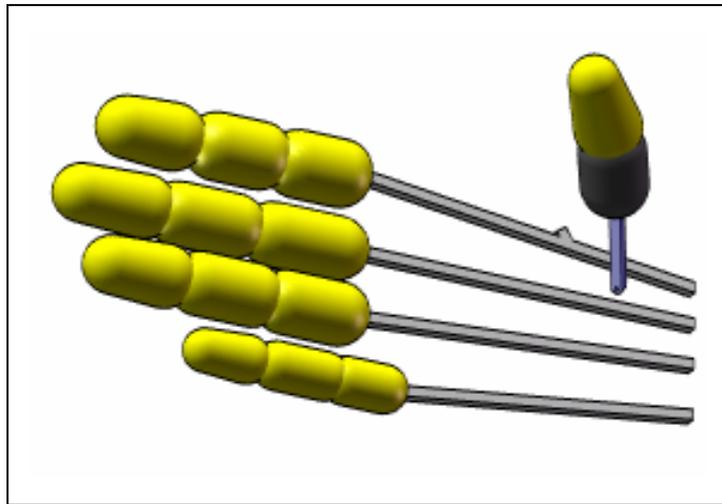


圖 4.7 完成手指節建構

步驟七：依據手掌模型建構參考資料，手掌抓物的邊界條件設定完成  
拇指下方與手掌的肌肉組織圖 4.8 所示

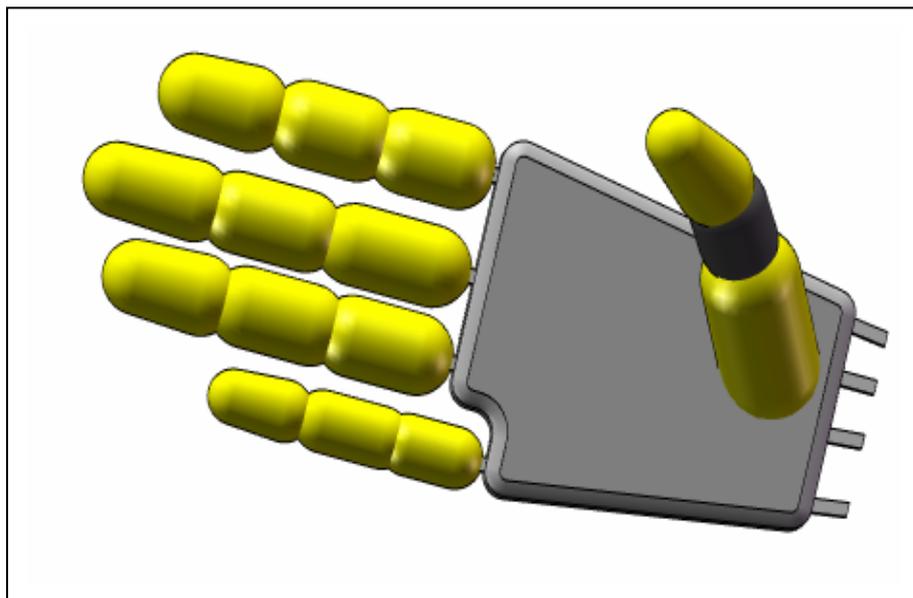


圖 4.8 完成拇指下方與手掌的肌肉

## 4.2 DV 建構

本研究主要在於探討手部握持的區域是否符合人體工學，因此先將目標設定於DV手握持部位，繪製出前後之曲線以及手部握持部的截面構成之導引曲線後，以疊層拉伸方式建立DV手握持部位的形狀

【30】，手握持部位可以經由前後之曲線以及手部握持部的截面構成之導引曲線的改變得得到更符合人體工學需求的形狀，目前的改變從基本的幾何形狀(如圖4.9 所示)到設計出其他曲線的外形(如圖4.10、4.11 所示)

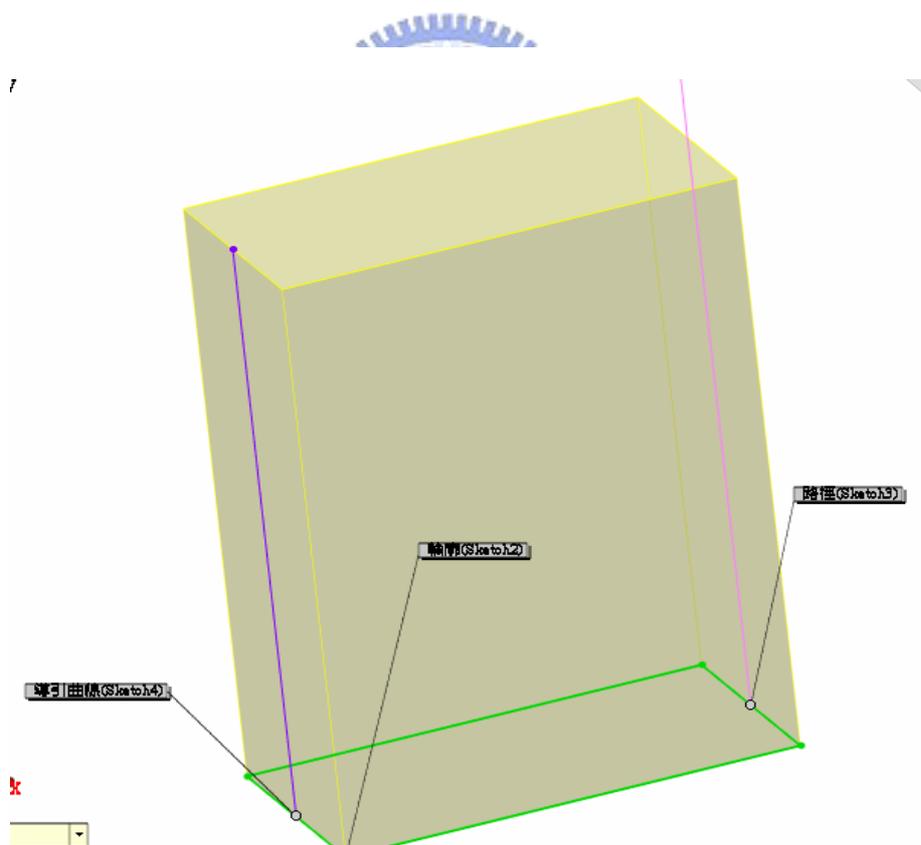


圖4.9 基本長方體

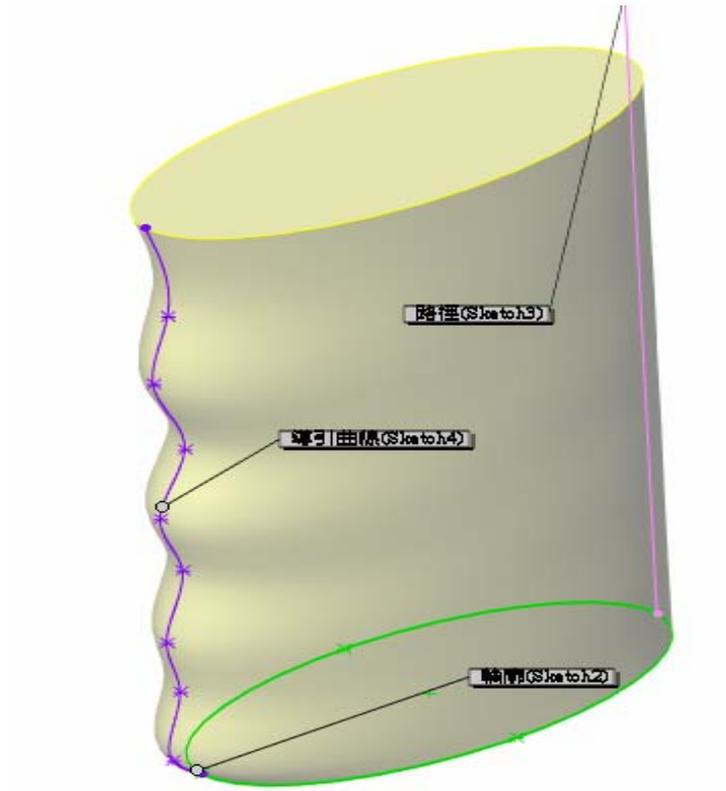


圖4.10 波浪形曲線

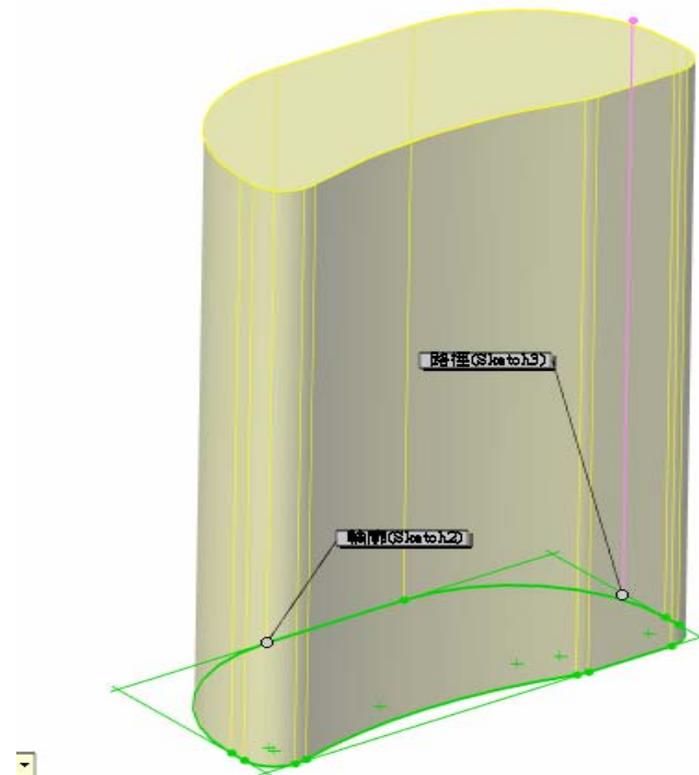


圖4.11 非對稱型形曲線

## 第五章 模擬仿真

從先前的研究分析及相關文獻發現，目前用來探討手部抓握的舒適度與受力情形就是使用Electromyography (EMG) 肌電訊號、主觀量表評估、壓力底片的應用或是利用傳統的”經驗法則”來做設計修改，本節將以創新的方式將第三章的基本握把設計法則主要的幾個握把設計因素參數化來模擬：

1. 握把彎曲的角度
2. 握把握持寬度尺寸的影響
3. 握把手指部位具波浪、曲線狀的影響
4. 握把斷面形狀的影響



輸入手掌模擬器模擬握持動作，藉由模擬分析來做設計修改以達成符合握把設計原則。

### 5.1 模擬步驟

本論文中的模擬假設是以手掌模擬器來握持DV的動作模擬，但為了使模擬接近更實際情形，我們設計將DV放置在一平台上，當手握住DV時平台也慢慢移出(如圖5.1)，然後從模擬所得資料整理分析

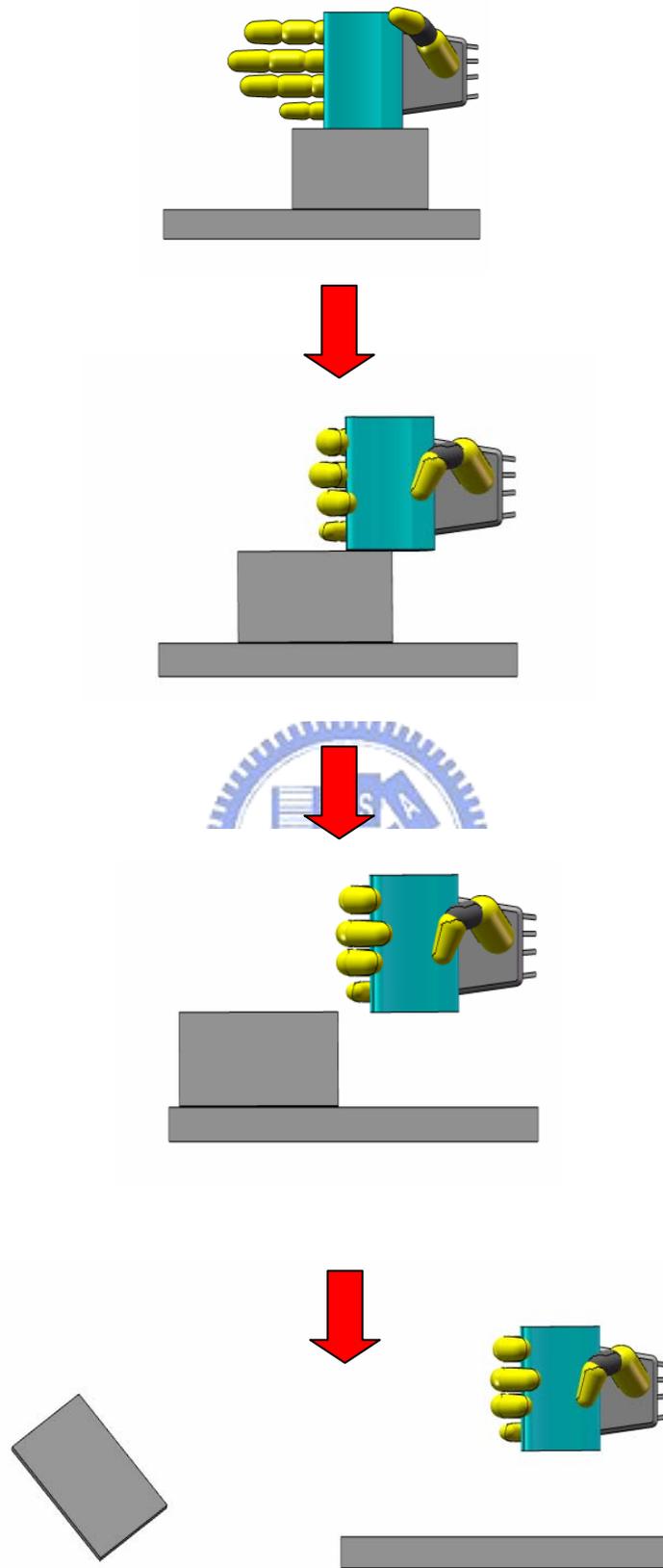


圖5.1 模擬抓握DV過程

首先在SolidWorks完成DV形狀後，轉入COSMOS/Motion 中將限制與動力接頭設定完成並輸入力量及一些行程運動參數上的設定，即可將手指節之動作模擬，達到我們所設定的動作，如下圖所示流程（如圖5.2 所示）。

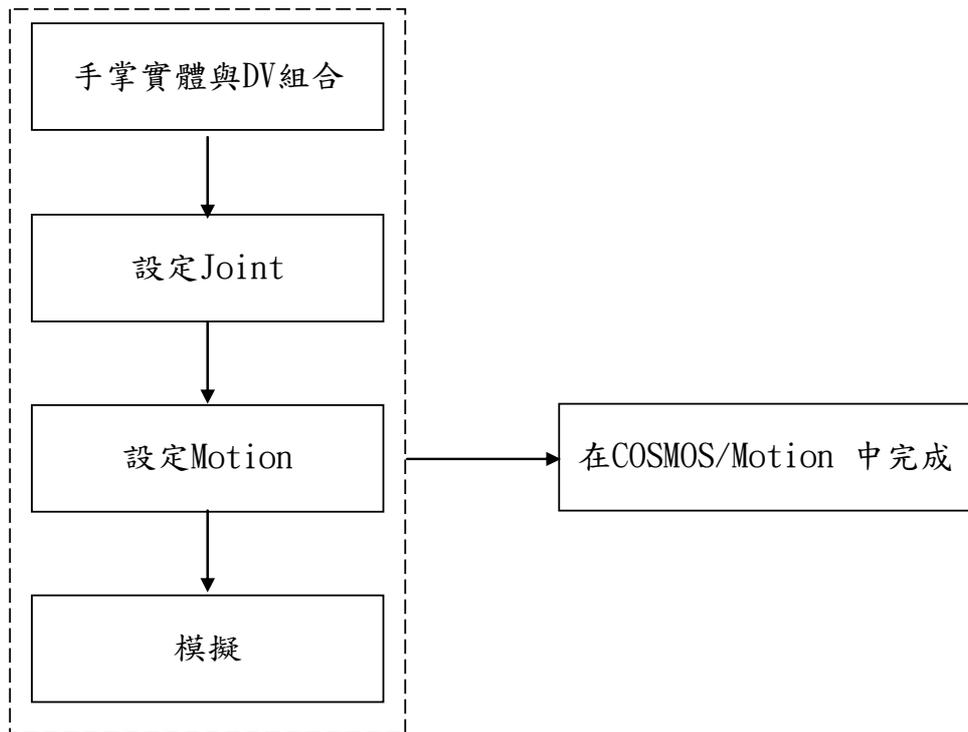
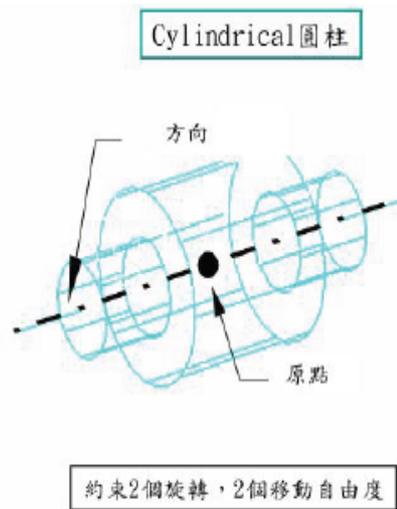
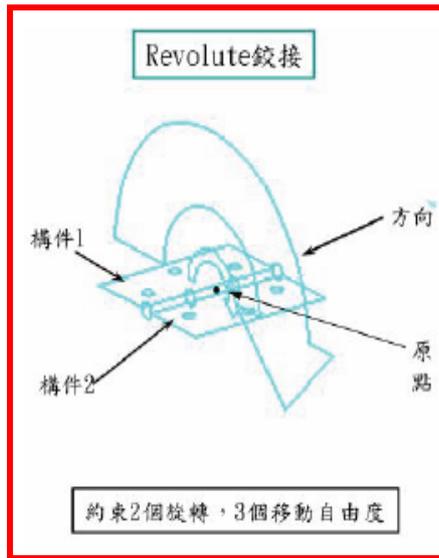
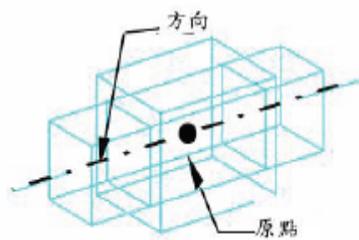


圖 5.2 模擬建構流程

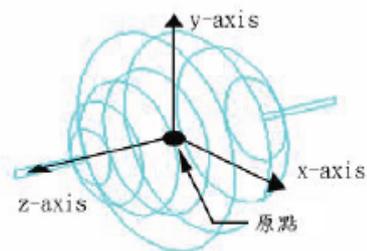
步驟一：設定手掌模擬器各手指節的關節，跟據解剖學各手指關節DOF 我們以選轉接頭(Revolute)為主(如圖 5.3、5.4)。



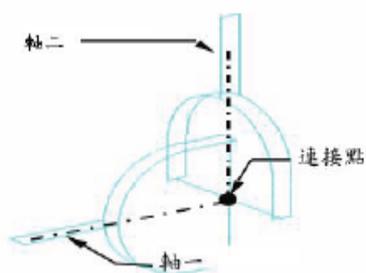
Translational 移動



Spherical 球形



Universal 萬向



Planar 平面

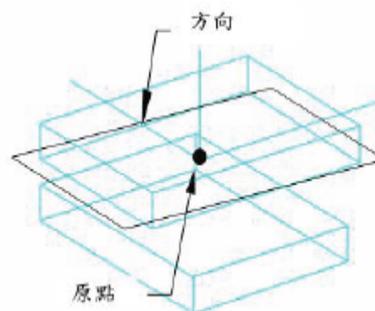


圖5.3 各種自由度設定

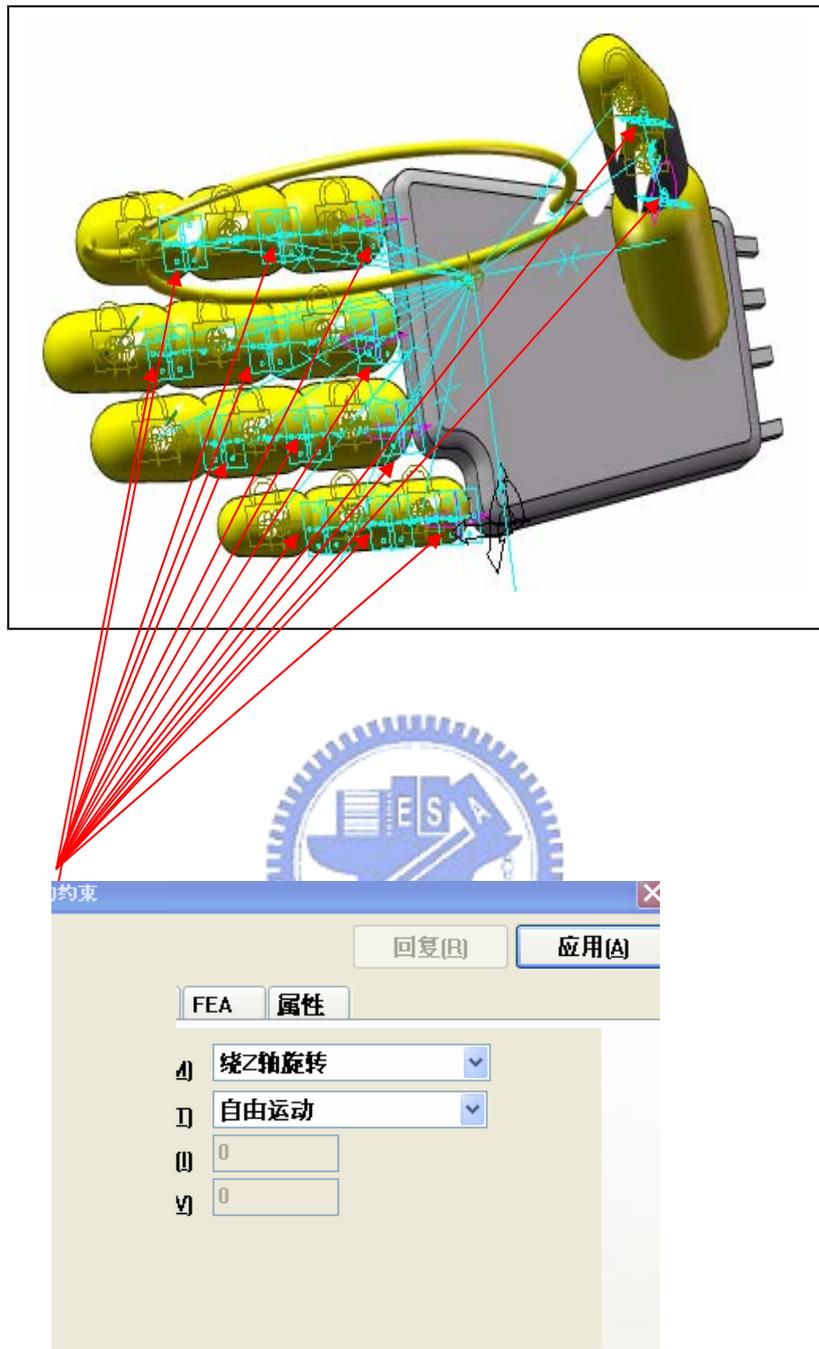


圖5.4 各手指關節自由度設定

步驟二：設定手掌模擬器末端關節的力矩的模擬來模擬手指運動情形，每手指的第一節（與手掌相連）產生一力矩，其值設定以如圖5.5。

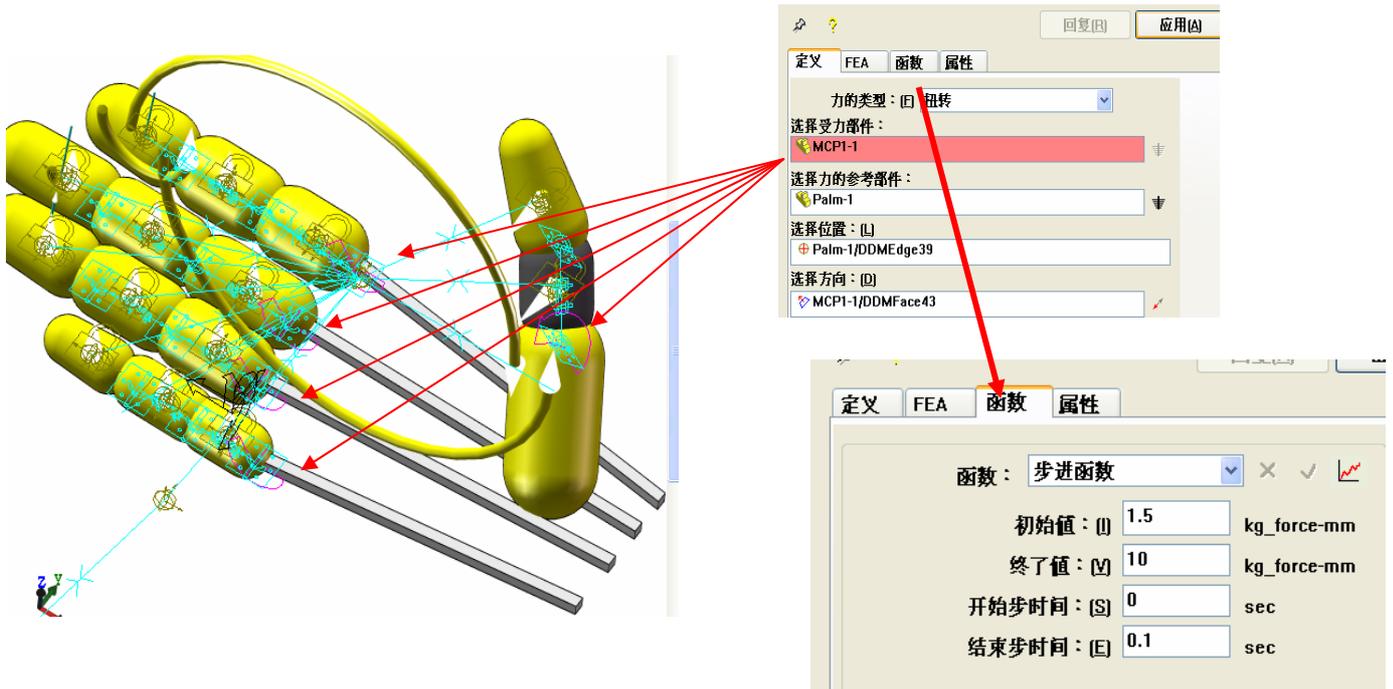


圖5.5 力矩設定圖示

步驟三：3D接觸碰撞設定，手指與DV設定為接觸，及碰撞各項參數設定(如圖5.6)

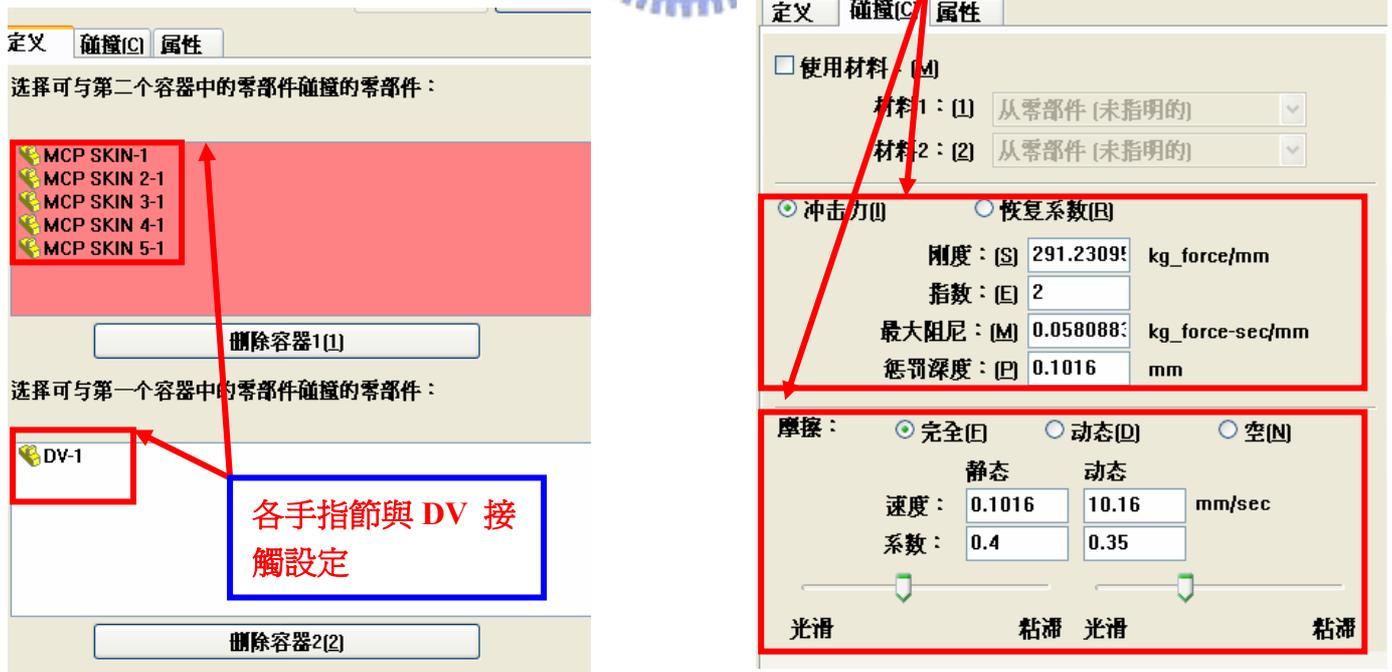


圖5.6 3D碰撞接觸設定

目前碰撞設定參數說明如下：

**剛度:**為碰撞中兩個零件材料的近似剛度，目前設定手指材質為

Rubber，DV 為塑膠

**指數:**指定力變形特徵的指數，一般可以取 1.2~2.2。

**最大阻尼:**接觸邊界的最大阻尼系數

**懲罰深度:**碰撞時接觸邊界的穿透深度

步驟四：

1. 模擬時間設定進行模擬(如圖 5.7 所示)



圖5.7 模擬時間設定

2. 設定完就可進行仿真動作。

3. 仿真完，可以將我們所需要的數據輸出在特徵管理中的結果。



## 第六章 結果與討論

本章節依據研究主體與各種影響握把設計重點假設、經過 SolidWorks 結合CosmosMotion 軟體模擬分析並將結果分析與討論，對照人因工程的參考數據佐證，來比較此創新設計法分析模式的可行性。

### 6.1 手掌模擬器部位說明

模擬手掌各手指位置命名，如下圖 6.1

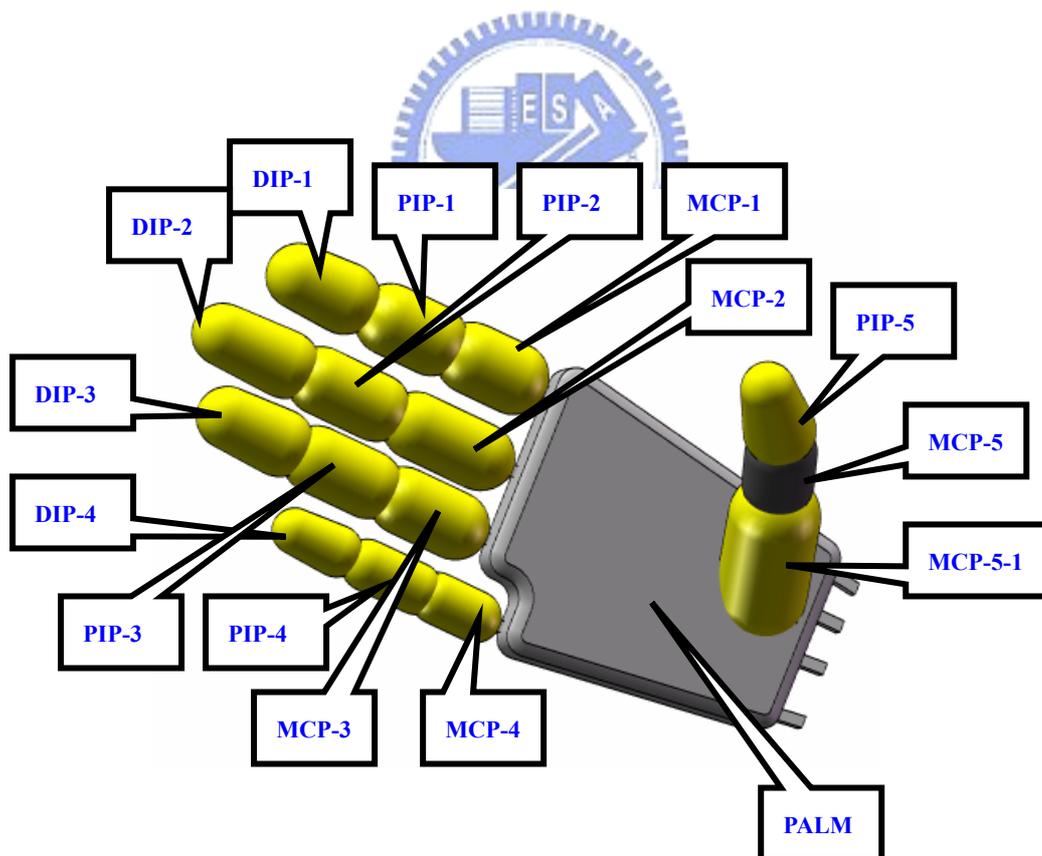


圖 6.1 各手指位置命名圖

## 6.2 握把握持間距尺寸的影響

在抓取物體時，手掌的分工「是由拇指發揮抓握和固定工具的功能，再由四支手指分攤出力與荷重」，因此手柄的抓握部位的抓握力量與握持間距、形狀、厚度有關，為了使模擬簡化我們先固定的厚度，（跟據人因工程學手工工具設計抓取工具的抓握部以25mm~50mm 為宜）

【31】，取目前市面上DV平均厚度為26mm 左右與長方體形狀假設來模擬，而以下列w間距為，45、50、55、60、65、70mm ，模擬如圖

(6.2)

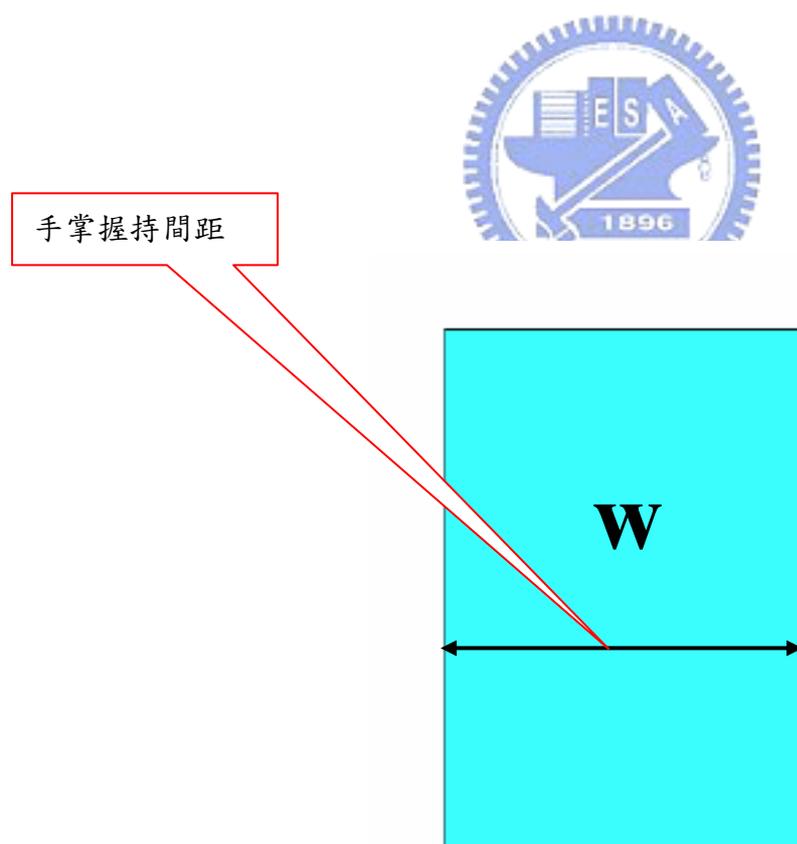
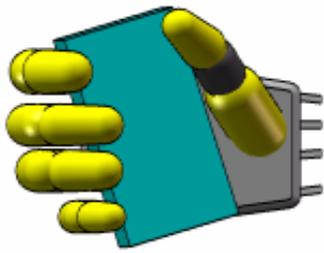
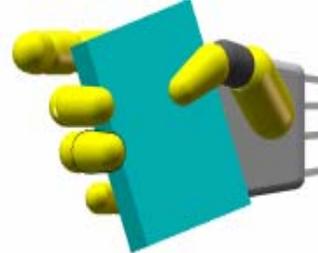


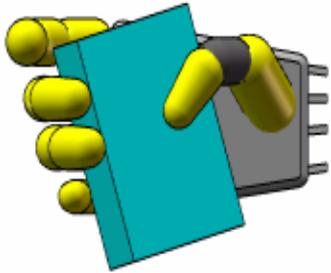
圖6.2 握把寬度



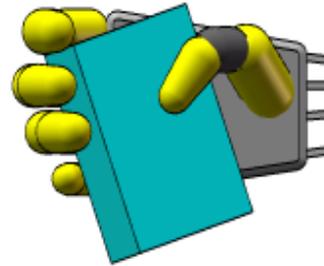
45mm



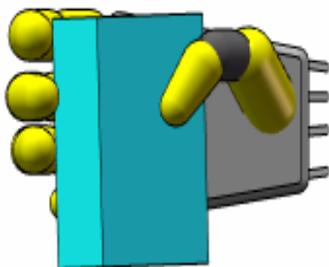
50mm



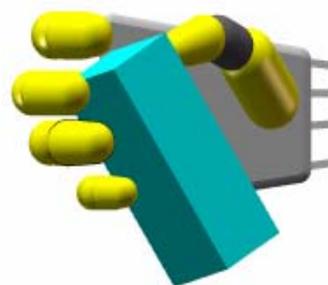
55mm



60mm

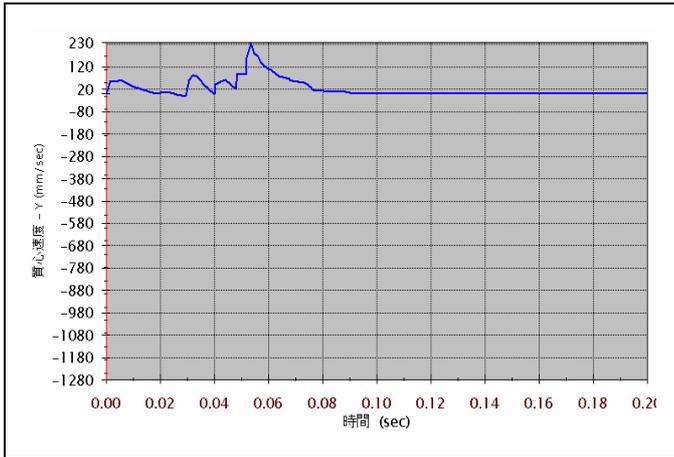


65mm

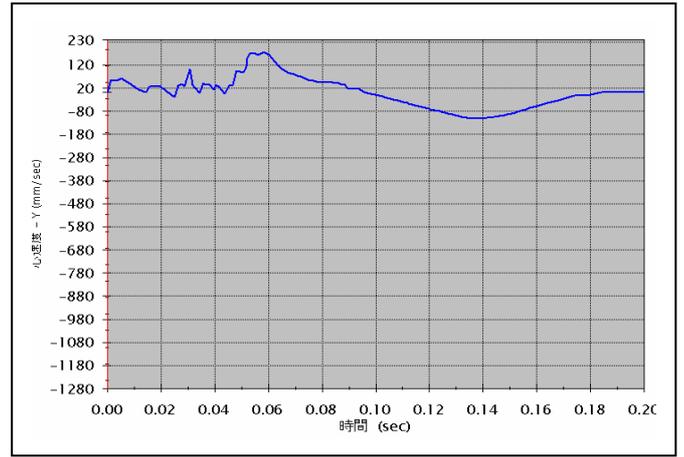


70mm

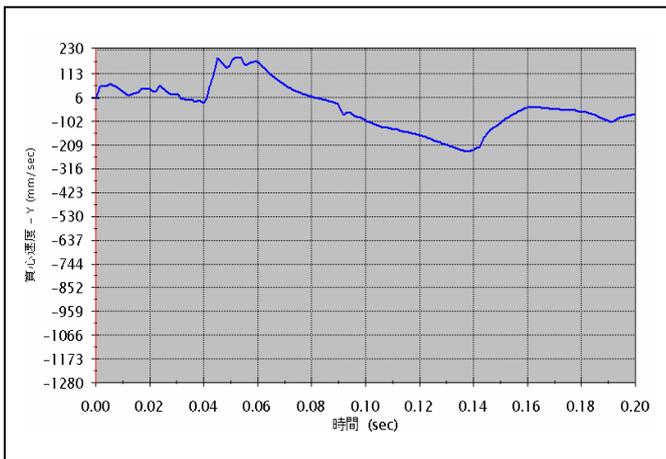
圖6.3 以寬度為設計參數模擬情形



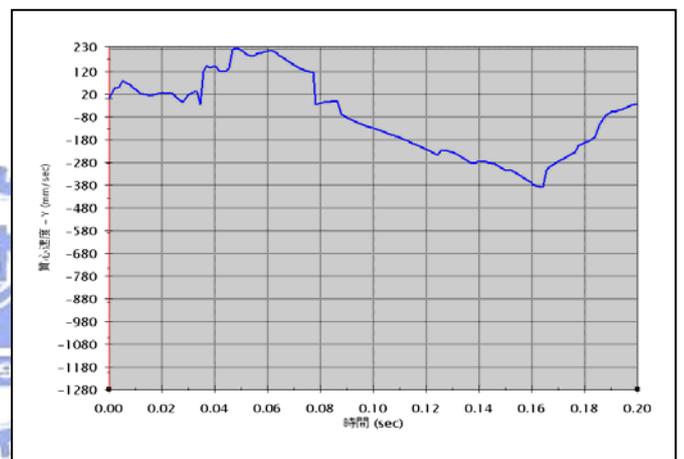
45mm



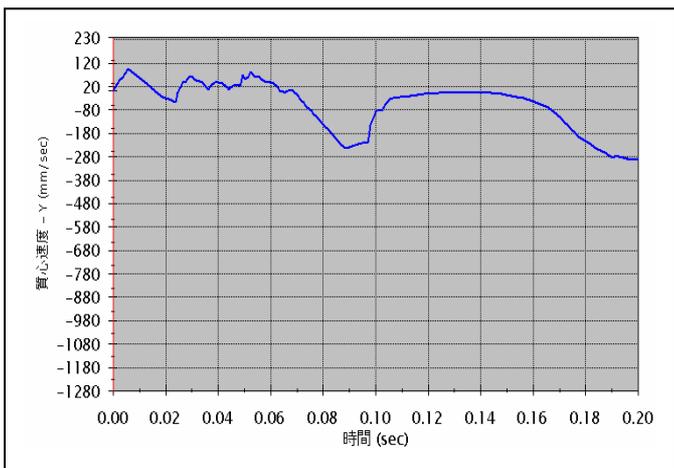
50mm



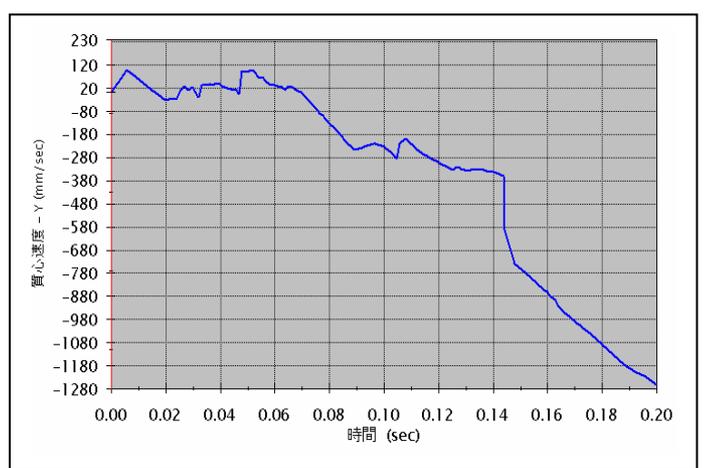
55mm



60mm



65mm



70mm

圖6.4 DV 質心Y方向速度變化

從圖表6.3、6.4 分析抓物速度結果比較發現，當W值 $\leq 50\text{mm}$ 時，物體滑落速度從一開始的小幅度起伏到後面呈現水平，以達穩定的受力平衡不再容易滑脫，而當W值 $\geq 50\text{mm}$ 時，物體速度從一開始的小幅度起伏到後面變化幅度越大，且往下滑速度加快，握持物體成不穩定狀態，當W值 $\geq 65\text{mm}$ 從圖6.3來看已無法握住物體呈脫落情形。此節的分析結論與附註1比較也獲得定性方面一致的驗證。

### 附註1

人因工程參考數據：

1. 菲參(S.Pheasant)與史貫佛(J.G.Scriver)等氏的數據指出，45mm~55mm之間的間距會產生最大握力【8】。
2. 蔡登傳、宋同正，產品設計的人因工程裏最大握力與握柄距離實驗，其結論發現兩握柄間距為37mm~64mm時，可使握力發揮至90%以上【11】。
3. 石裕川，王茂駿等數據指出當握把間距約在38mm~50.8mm時男女性皆會產生較大握力【4】。
4. 許勝雄，一般手工具物理特徵的設計指南，握柄握距，最佳握距在50~60mm，不宜超過130mm【32】。

### 6.3 握把斷面形狀的影響

手掌是一個非對稱且複雜的曲面，因此抓握部位是否與手掌面符合亦很重要，抓握部位表面的形狀、構造會影響手掌抓握的舒適與施力的穩定度，所以我們提出三種型狀假設，從對稱長方體、對稱橢圓體與非對稱體等斷面形狀(如圖6.5)模擬。並以手掌各手指受力情況來比較分析哪一種斷面最能保持施力穩定不易脫離。

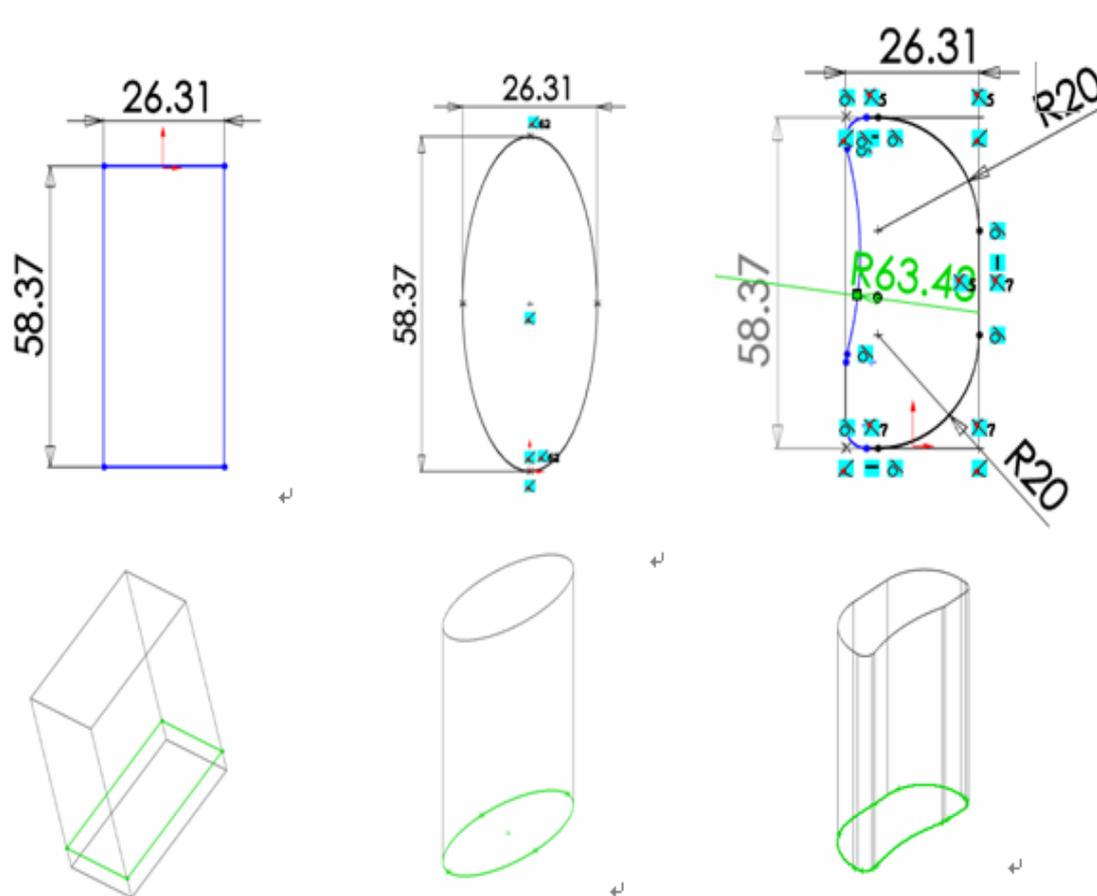


圖6.5 斷面之形狀圖長方形、橢圓形、非對稱形的(手指充份握持)

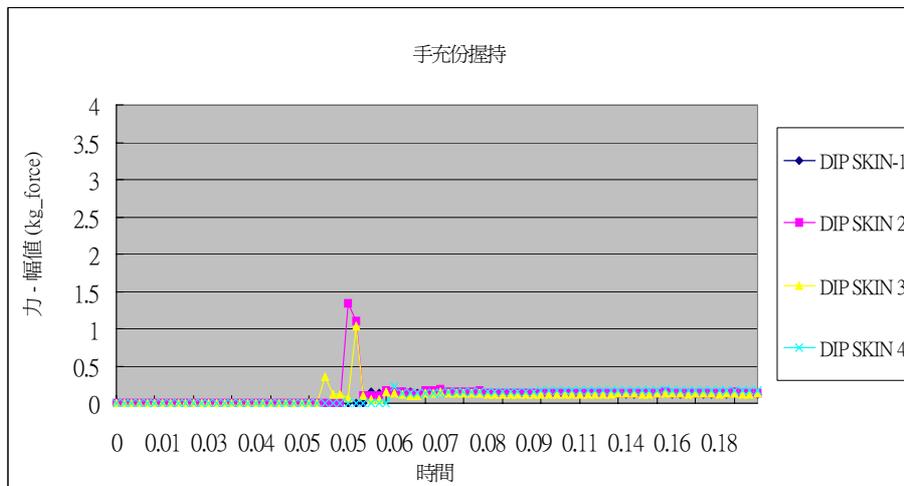
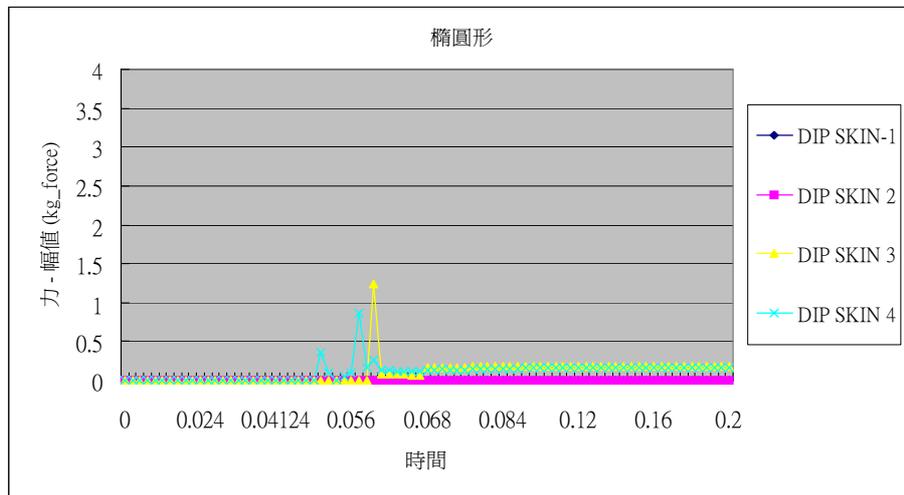
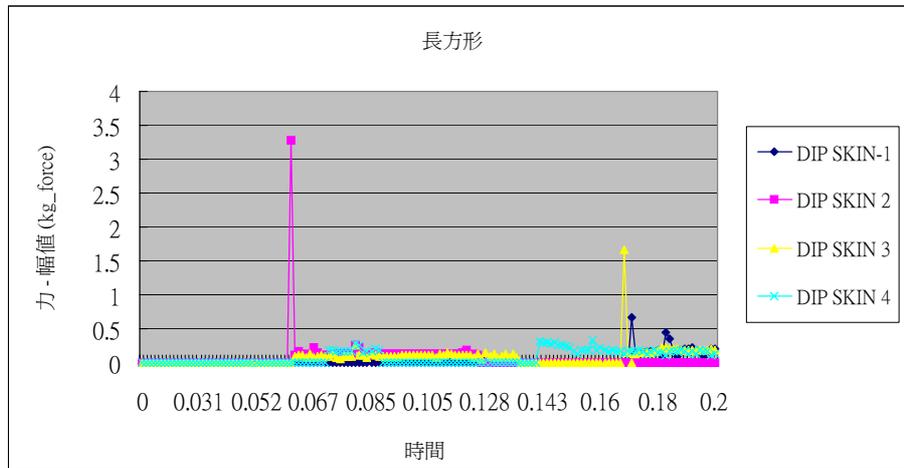
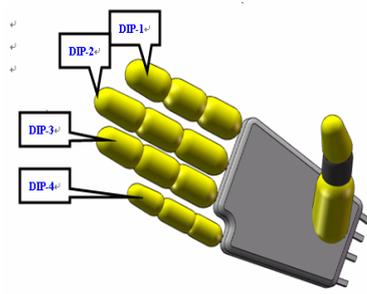


圖6.6 DIP 手指受力情況比較

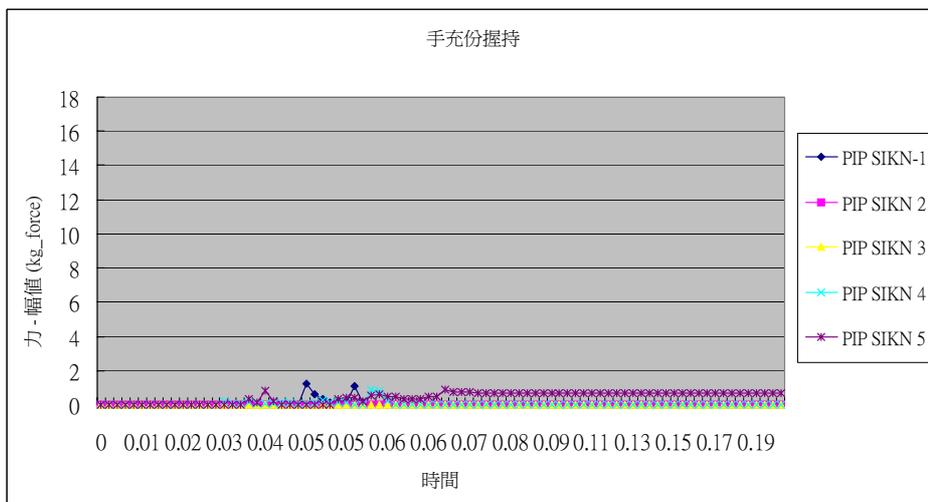
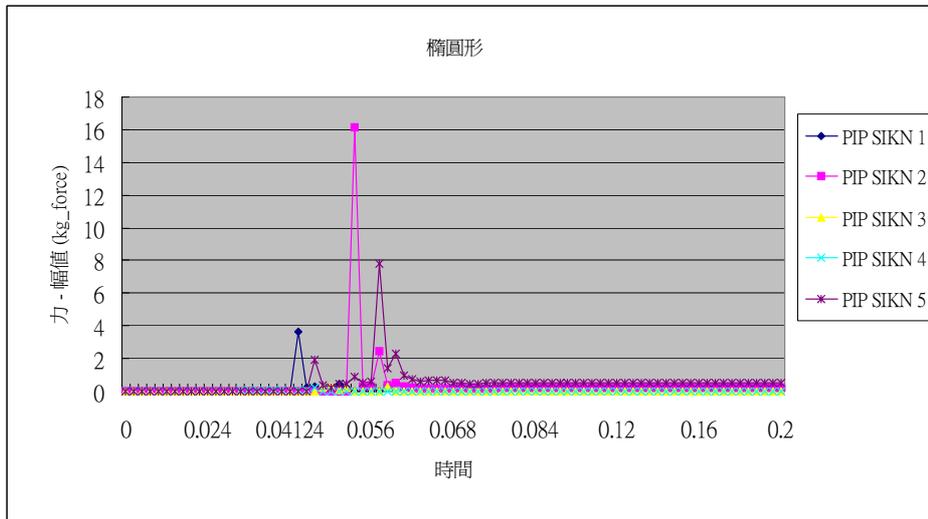
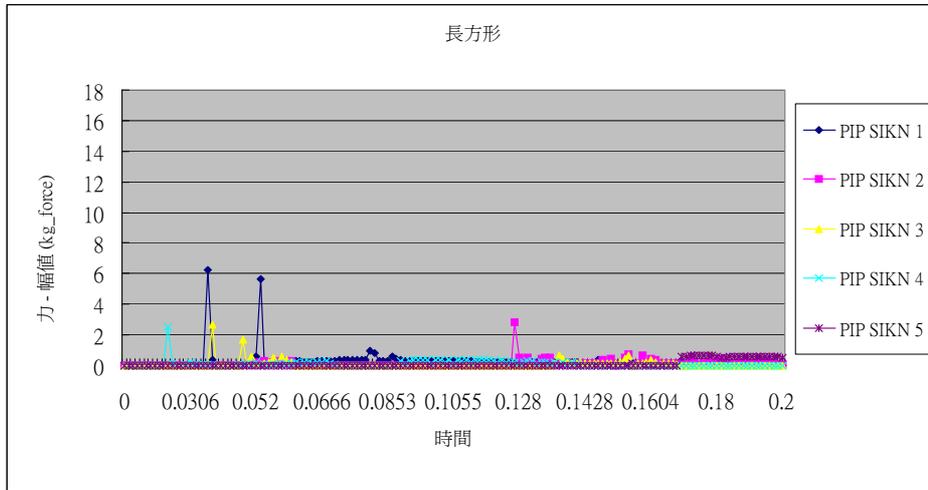
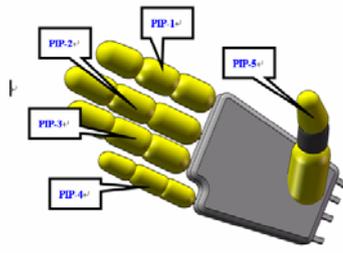


圖6.7 PIP 手指受力情況比較

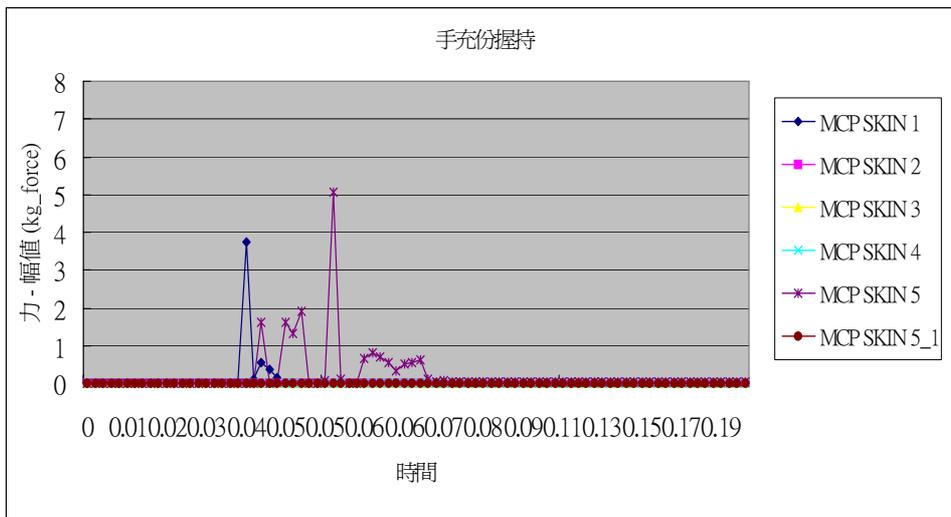
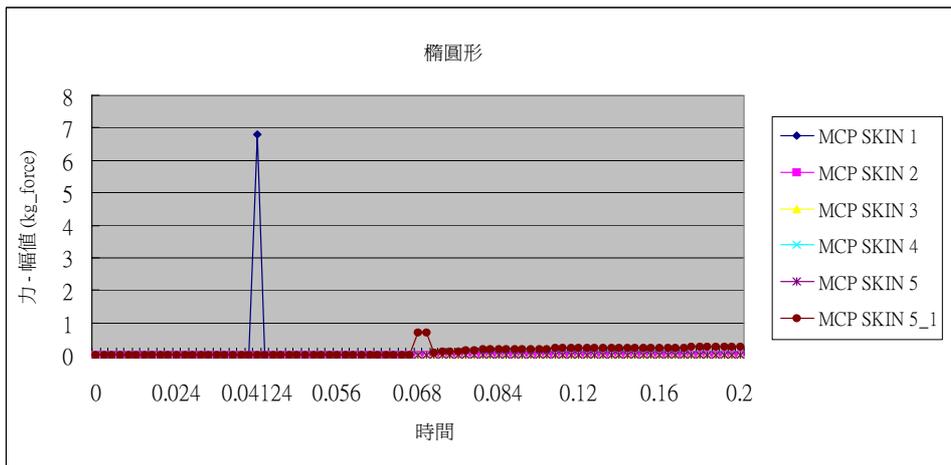
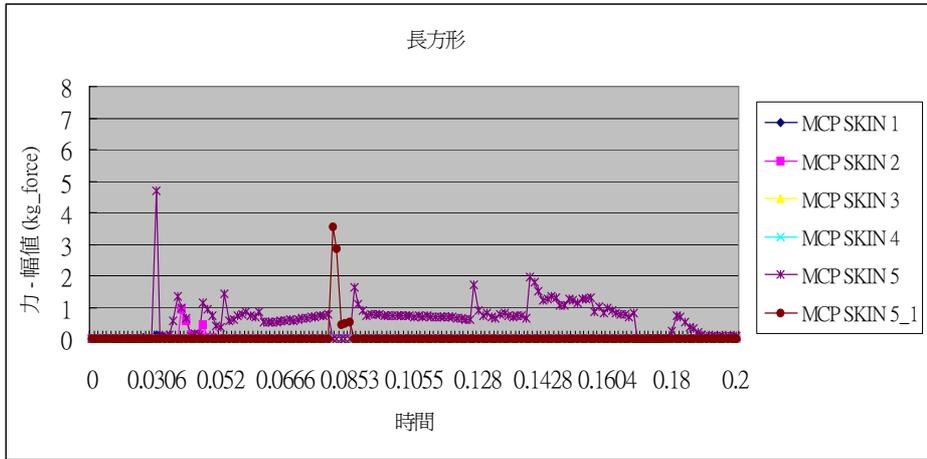
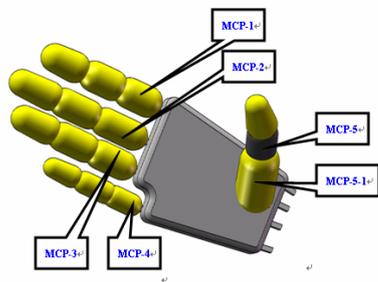


圖6.8 MCP 手指受力情況比較

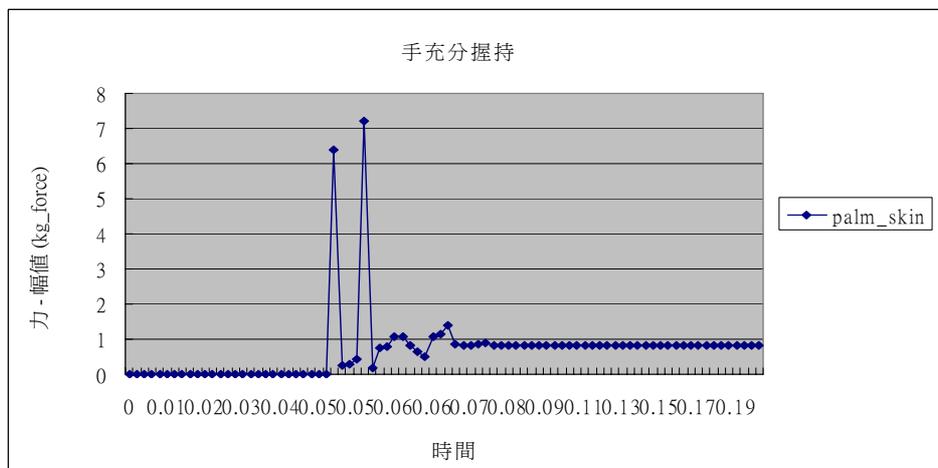
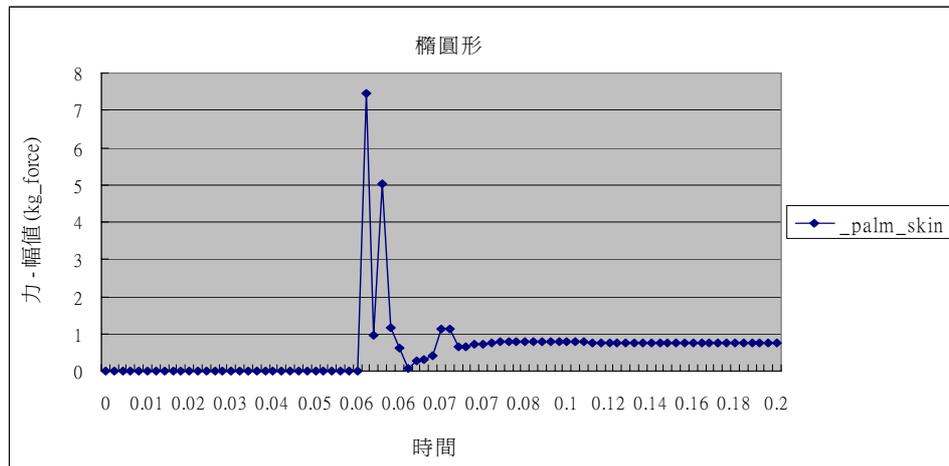
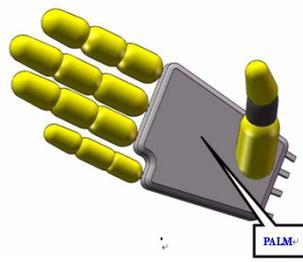
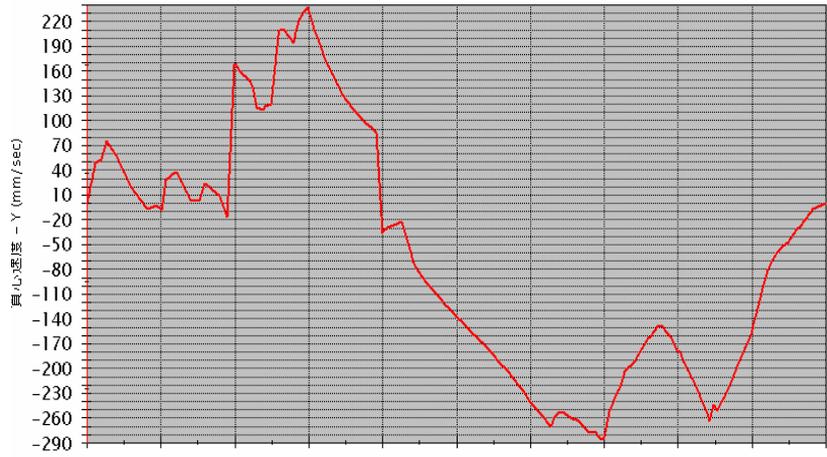
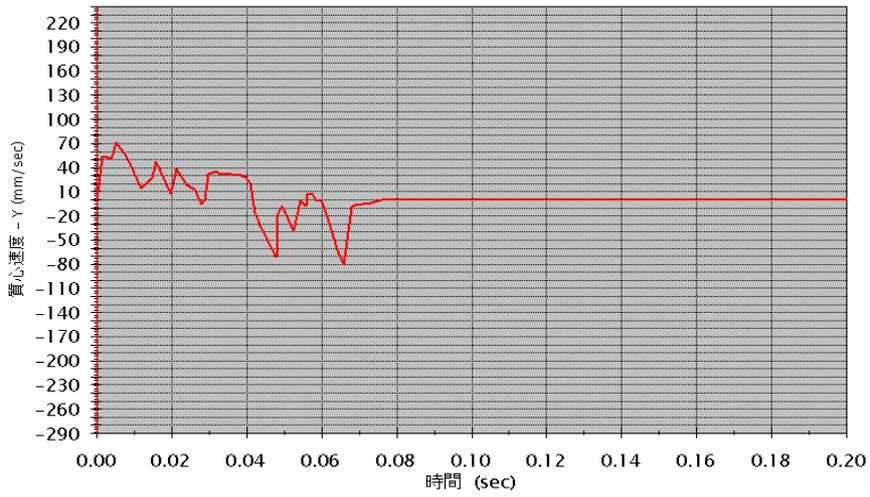


圖6.9 手掌受力情況比較

長方形



橢圓形



手充分握持式

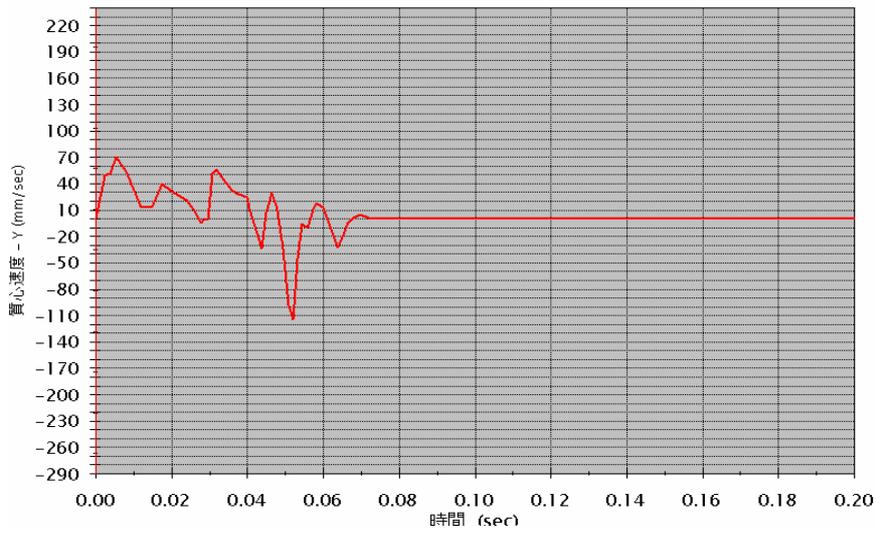


圖6.10 DV 握把部截面積變化質心Y軸速度

從模擬獲得數據曲線圖6.6、6.7、6.8、6.9、6.10 我們去對照力學評估模組選擇圖表3.4的II項、IV項，去分析平分比較手掌各手指施力情況與穩定度。

表6.1 DIP 力學評估表(採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	長方形	對稱橢圓形	手掌充分握持
力學評估第II項 (DIP)		▲▲▲	▲▲
力學評估第IV項 (DIP)	▲	▲▲▲	▲▲▲
總和	1	6	5

表6.2 PIP 力學評估表(採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	長方形	對稱橢圓形	手掌充分握持
力學評估第II項 (PIP)		▲▲	▲▲▲
力學評估第IV項 (PIP)	▲	▲▲▲	▲▲▲
總和	1	5	6

表6.3 MCP 力學評估表(採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	長方形	對稱橢圓形	手掌充分握持
力學評估第II項 (MCP)	▲	▲▲	▲▲▲
力學評估第IV項 (MCP)	▲	▲▲▲	▲▲▲
總和	2	5	6

表6.4 Palm 力學評估表(採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	長方形	對稱橢圓形	手掌充分握持
力學評估第II項 (Palm)	▲	▲▲	▲▲▲
力學評估第IV項 (Palm)	▲	▲▲▲	▲▲▲
總和	2	5	6

表6.5 表6.1~6.4 總和

樣式	長方形	對稱橢圓形	手掌充分握持
總和	6	21	23

經過力學評估表 6.1~6.4 的評估我們可以得到，總分為長方體 6、橢圓形 21、手充分握持 23，所以握柄的截面積為手掌充分握持得到較高評分，但以橢圓和手掌充分握持兩者相差並不遠來看，只要截面積趨近手掌曲線弧度來做都可得較佳效果。此節的分析結論與附註 2 比較也獲得定性方面一致的驗證。

## 附註2

人因工程參考數據：

1. 林鴻昌的掌上型園藝剪握把之人因設計因素之一握把斷面積形狀  
分析：將握把截面積做成對稱曲面和非對稱曲面【33】
2. 勞工安全衛生研究季刊，非動力手工具人因設計指引之編訂【34】
  - I. 握把的造型應以曲線的形式為佳理由是人手中無一處是由直線所構成
  - II. 握把的曲線，必須配倒持力握時的手部輪廓
3. 楊墩義的新型木工手鋸握把設計，設計原則之一，外觀形狀則依照手掌握持舒適度需求以弧形配合【8】

#### 6.4 握把手指部位具波浪、曲線狀的影響

把手亦具波浪、曲線狀，不僅配合手指的形狀，而且還可增加支撐力和摩擦力，以避免手指施力時易滑手，我們將以未增加波浪型狀的手指小凹槽與增加波浪型狀手指小凹槽如圖6.10 來做模擬比較。

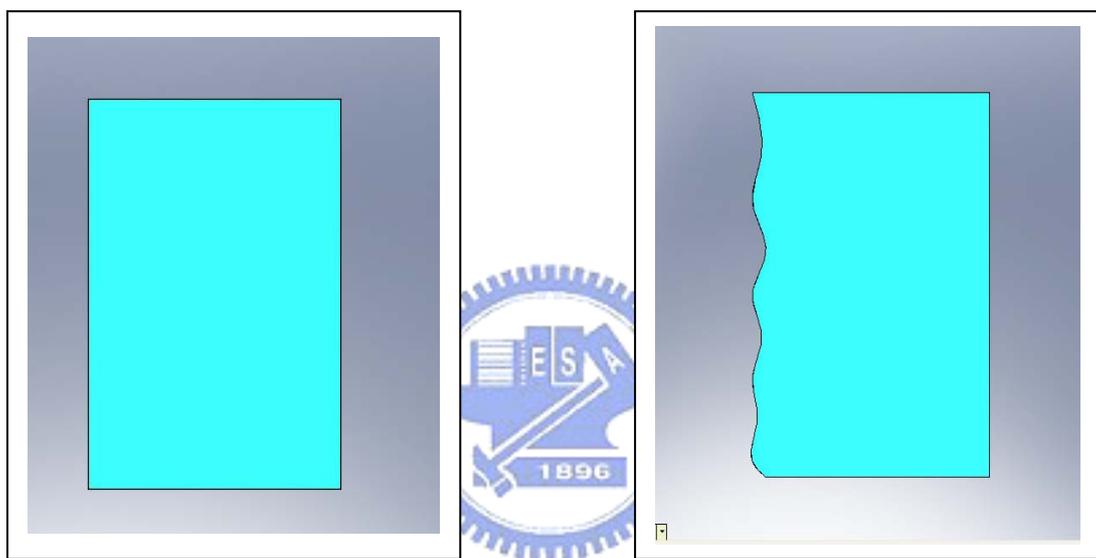


圖 6.11 左無波浪形狀手指凹槽、右有波浪形狀手指凹槽

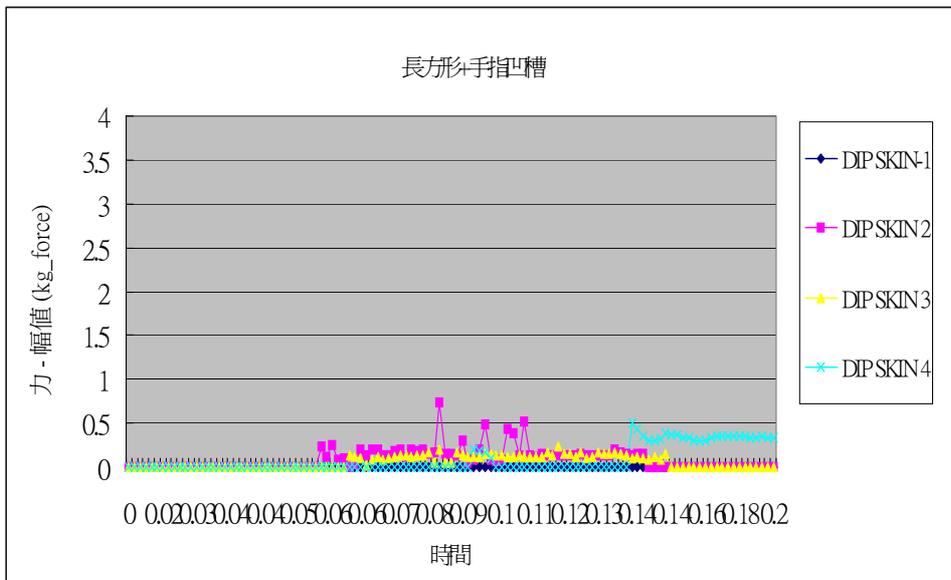
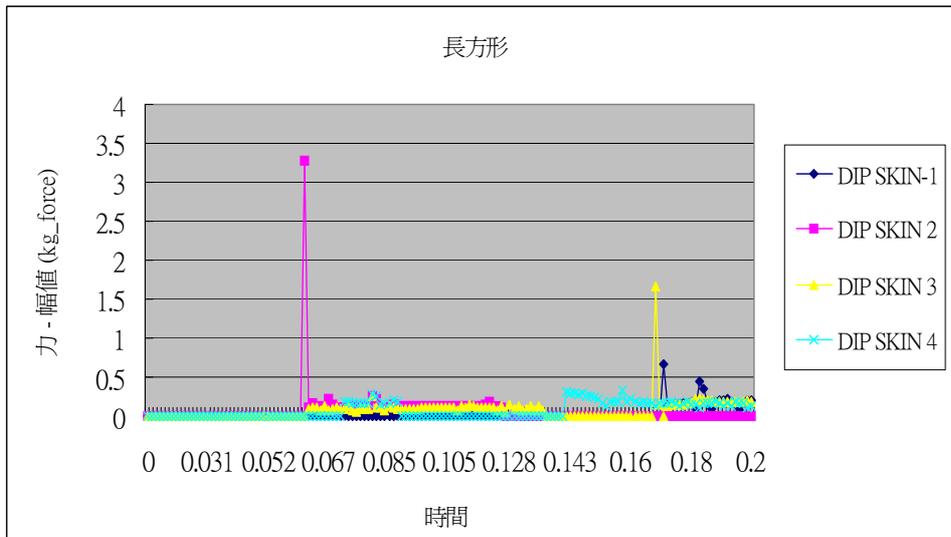
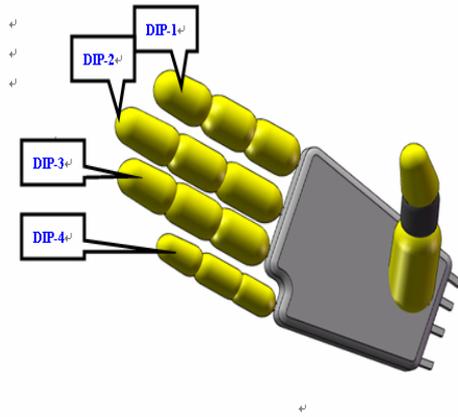


圖 6.12 DIP 手指受力情況比較

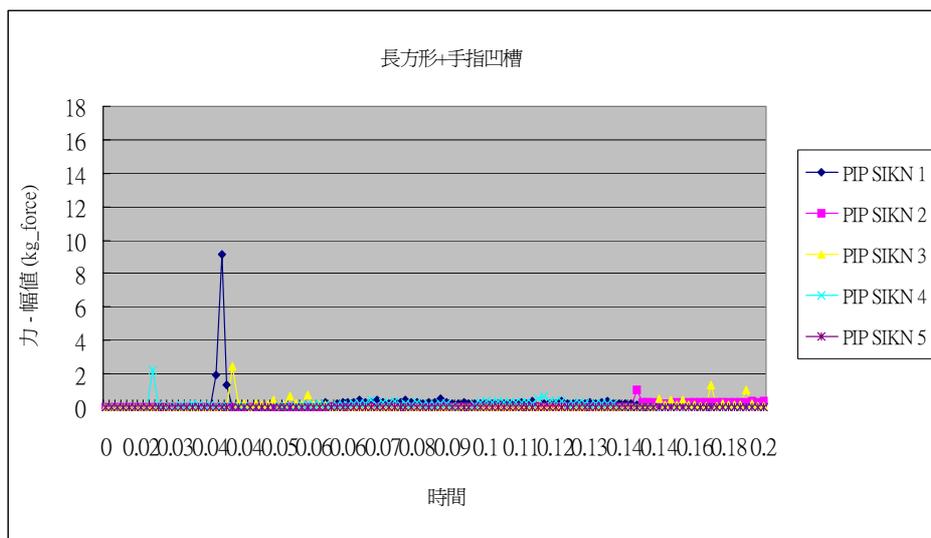
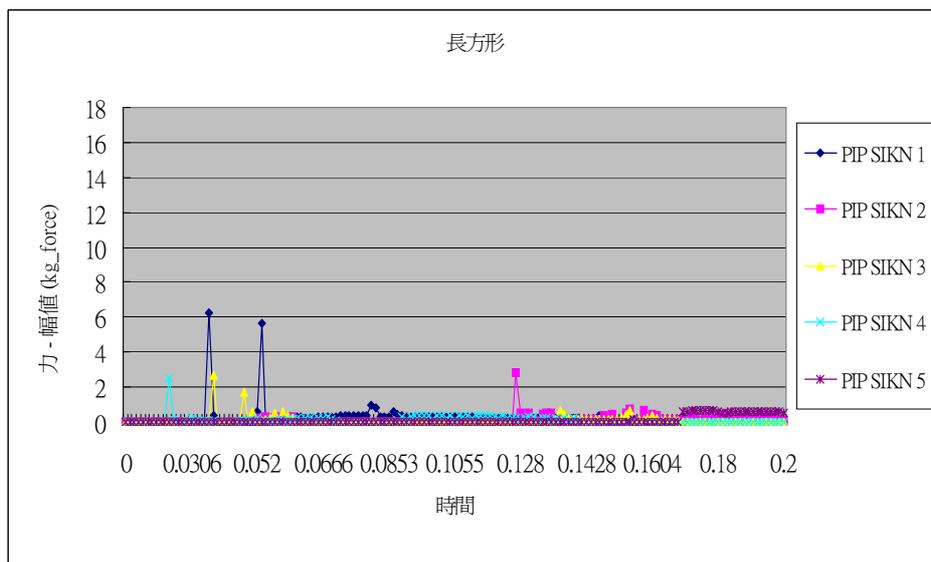
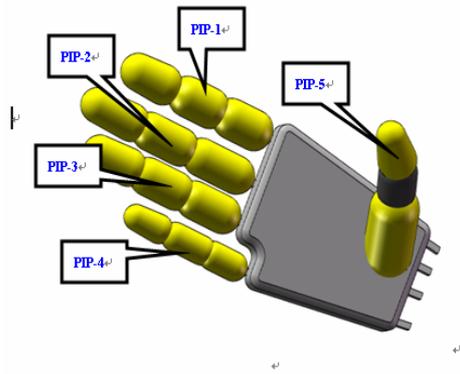


圖 6.13 PIP 手指受力情況比較

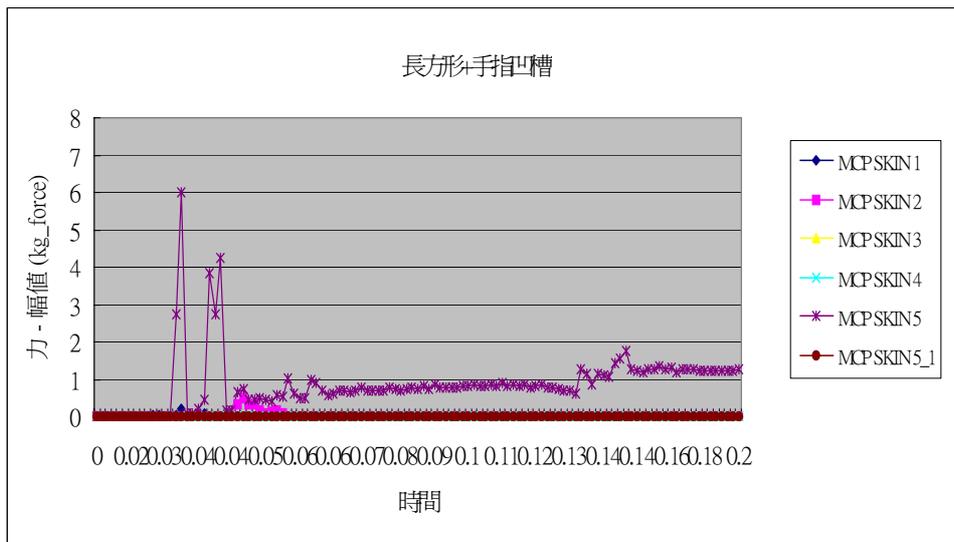
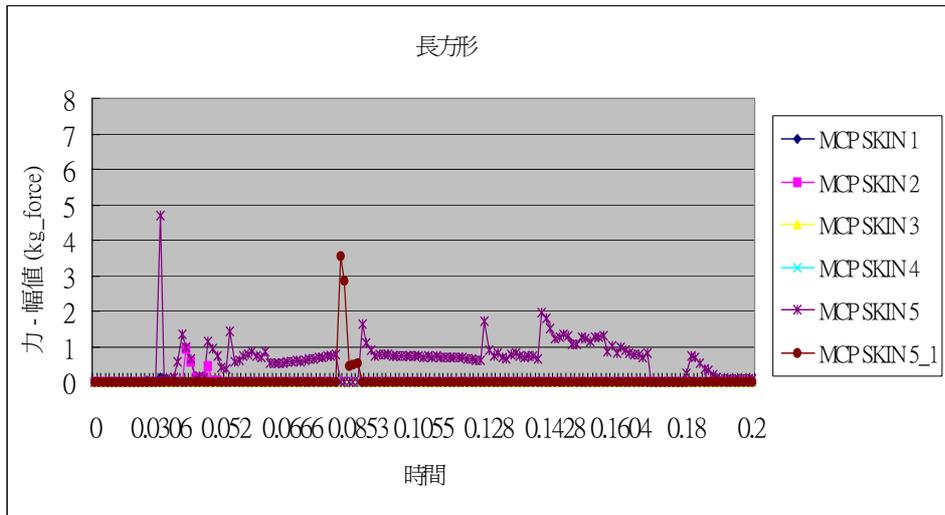
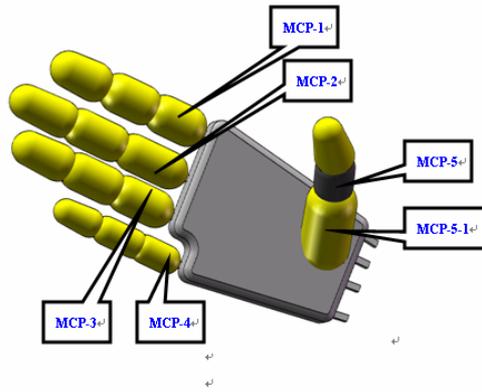


圖 6.14 MCP 手指受力情況比較

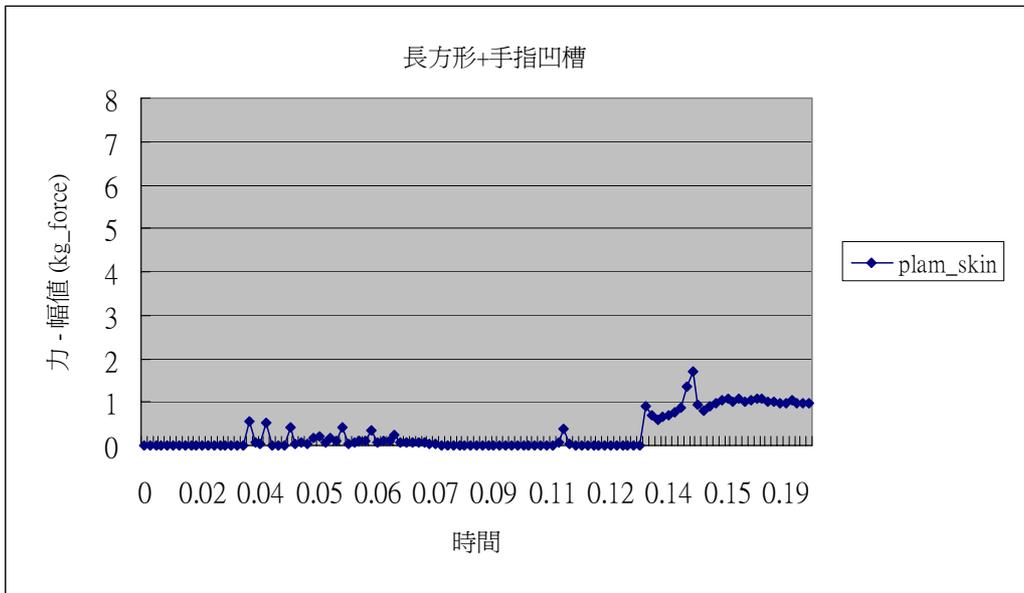
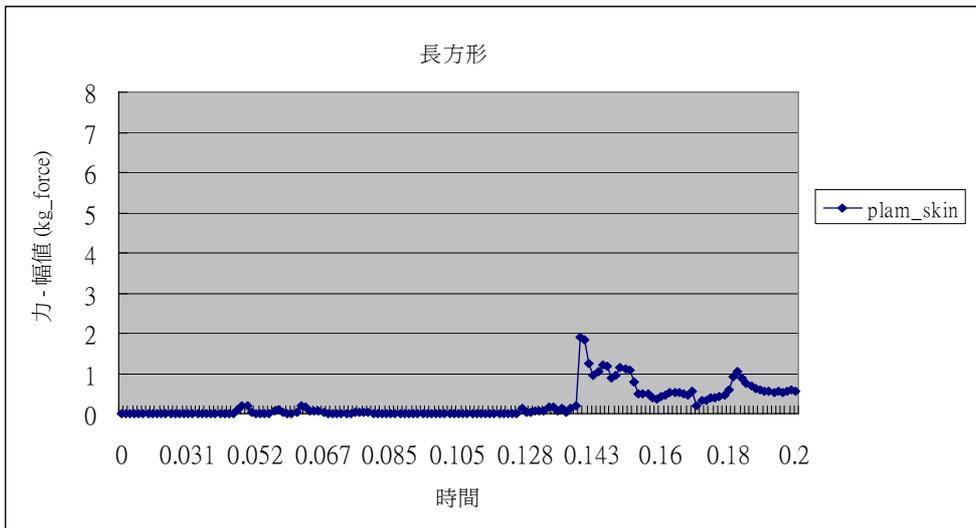
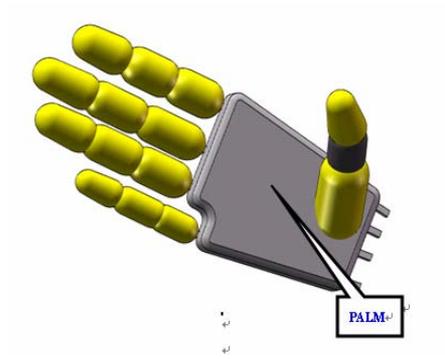
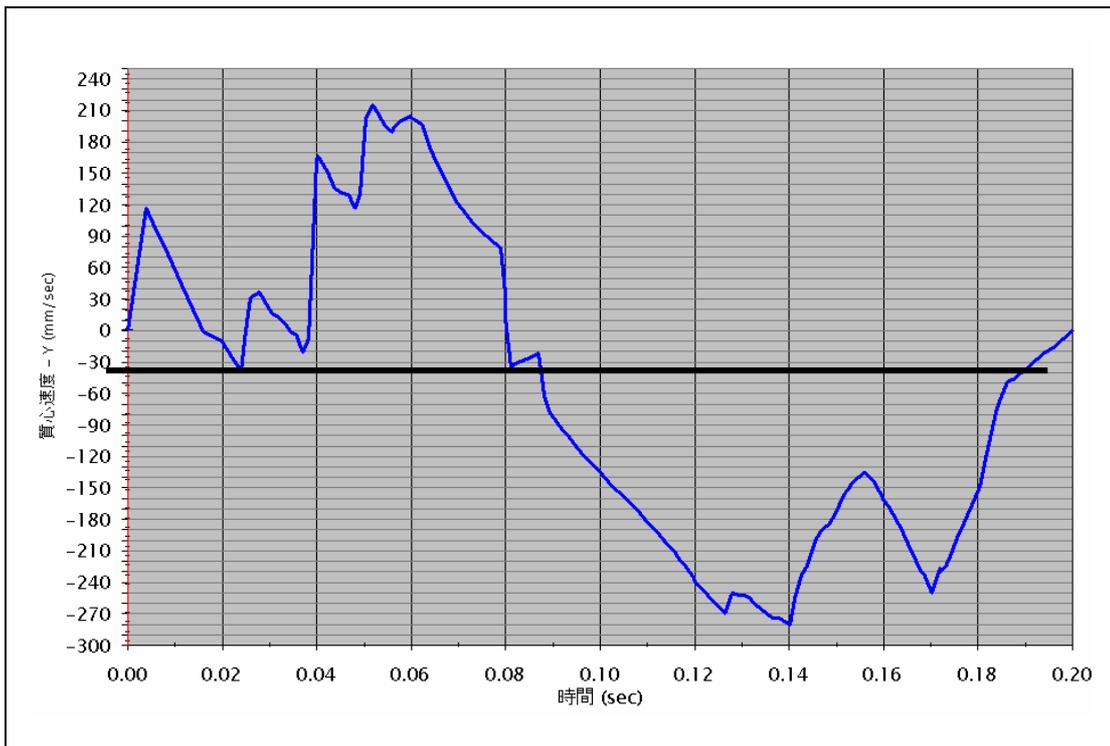
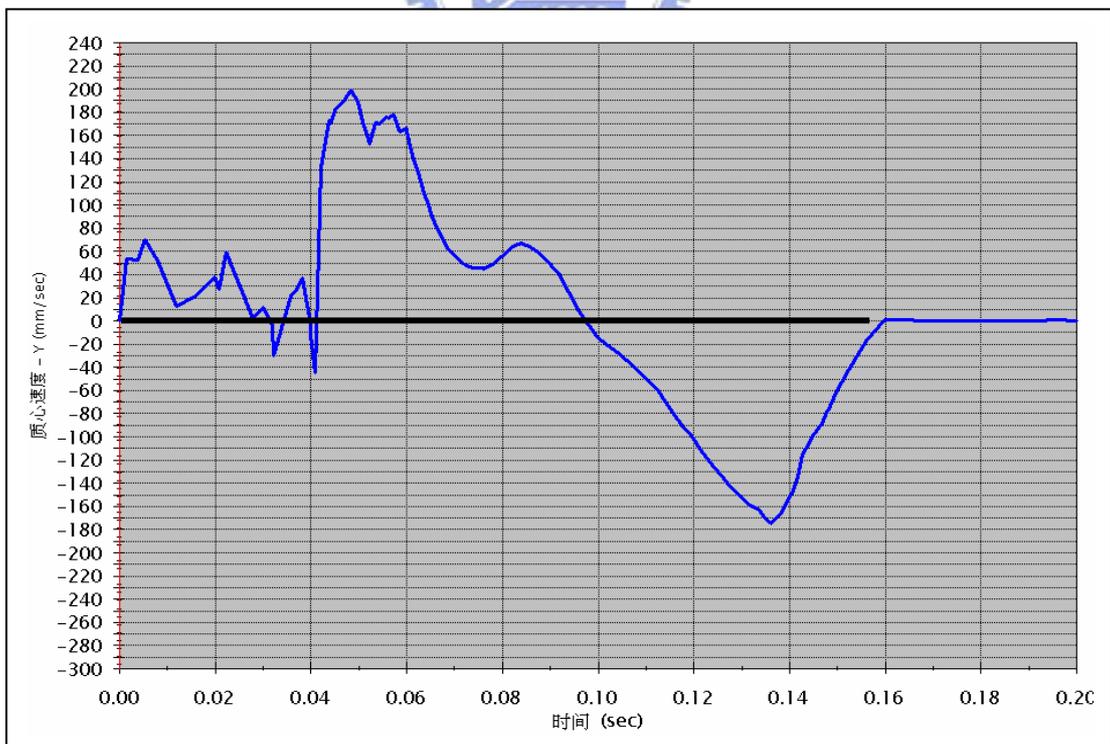


圖 6.15 手掌受力情況

握把部位無波浪型狀



握把部位有波浪型狀



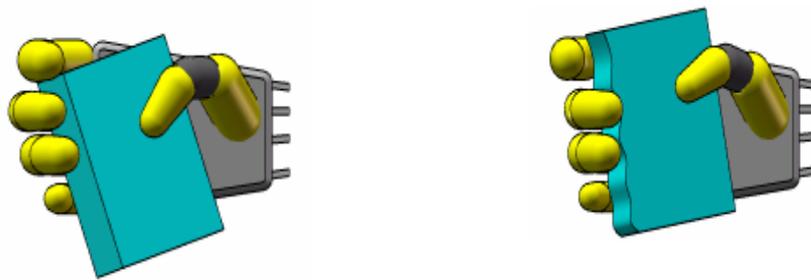


圖 6.17 握把部位有無波浪形狀握持情況

由模擬結果 圖 6.11~6.14 我們去對照力學評估模組選擇圖表 3.4 的 II 項、IV 項，去分析平分比較手掌各手指施力情況與穩定度，



表6.6 DIP 力學評估表(採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	無波浪	有波浪
力學評估第II項 (DIP)		▲
力學評估第IV項 (DIP)	▲	▲▲
總和	1	3

表6.7 PIP (採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	無波浪	有波浪
力學評估第II項 (PIP)	▲	
力學評估第IV項 (PIP)	▲	▲▲
總和	2	2

表6.8 MCP 力學評估表(採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	無波浪	有波浪
力學評估第II項 (MCP)	▲	
力學評估第IV項 (MCP)	▲	▲▲
總和	2	2

表6.9 Palm 力學評估表(採用反力值為觀測參數)

樣式 力學評估參考項目	無波浪	有波浪
力學評估第II項 (Palm)		▲
力學評估第IV項 (Palm)	▲	▲▲
總和	1	4

表6.10 表6.6~6.9總和

樣式	無波浪	有波浪
總和	6	11

經過力學準則表 6.5~6.8 的評估我們可以得到，無波浪總分為 6、有波浪 11 所以兩者有差異，比較圖 6.16 Y 軸方向速度，確可以發現具有波浪形狀與無波浪形狀的握把兩者在剛開始速度的變化相較不遠但在越往後面者有波浪形狀握把達力的平衡呈現一條水平穩定握持，而無波浪形狀的握把則因未達力的平衡而呈現將滑脫落，因此增加波浪形狀設計可以增加支撐力與摩擦力、避免手指施力時易滑脫。此節的分析結論與附註 3 比較也獲得定性方面一致的驗證。

### 附註3

人因工程參考數據：

1. 李開偉實用人因工程學手工具設計原則：把手具波浪、曲線狀、不僅配合手指的形狀，而且還可以增加支撐力與摩擦力，以避免手指施力時滑脫【11】
2. Kroemer, K.H.E.,and H.B. Kroemer and K.E.Kroemer-Elbert 人因工程，設計符合手指形狀、曲線狀或凸點增加摩擦力防止滑脫【35】

## 6.5 握把偏轉的角度

為了手抓取姿勢以最自然姿態為準則而減少產生手腕彎曲的動作、我們以  $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$  間隔  $5^{\circ}$  的手把部偏轉變化為設計參數  $\theta$  角來模擬。

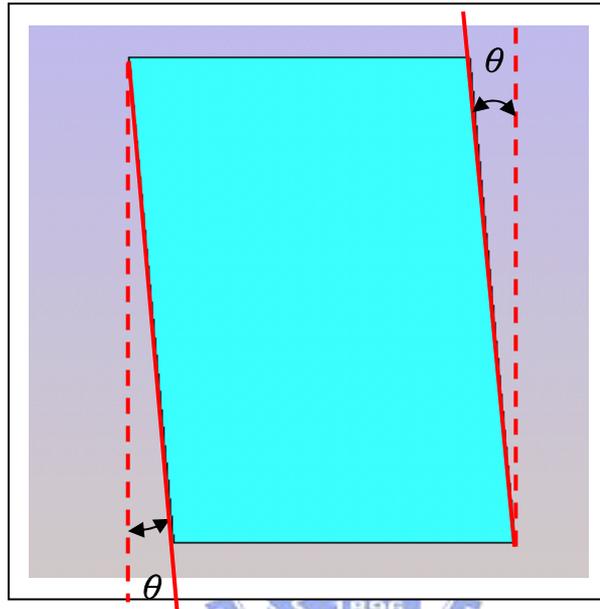


圖 6.18 握把偏轉的角度  $\theta$

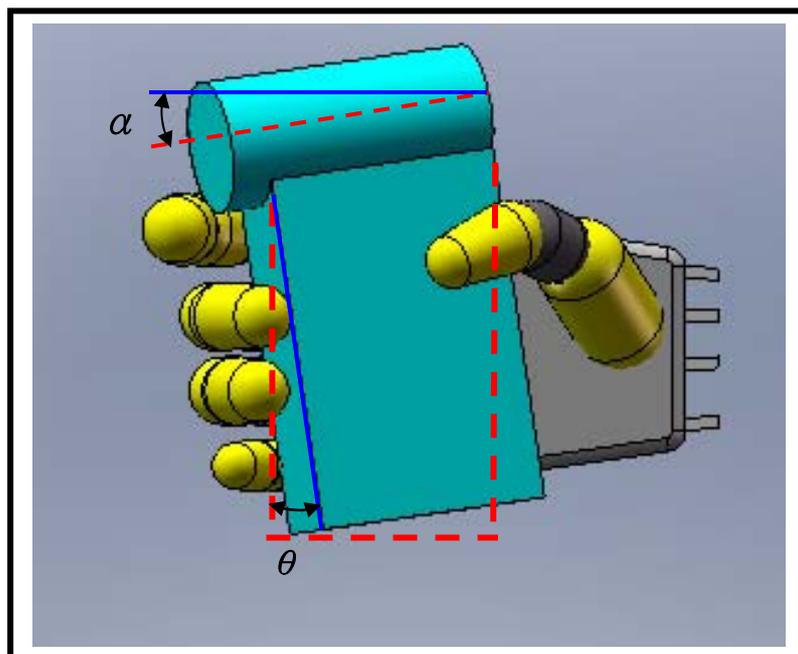


圖 6.19 水平與鏡頭中軸夾角  $\alpha$

表 6.11 握把偏轉，水平與鏡頭中心軸夾角關係

握把偏轉角度 $\theta$	水平與鏡頭中心軸夾角 $\alpha$
0°	23.79°
5°	23.46°
10°	11.65°
15°	11.20°
25°	7.78°
30°	2.83°

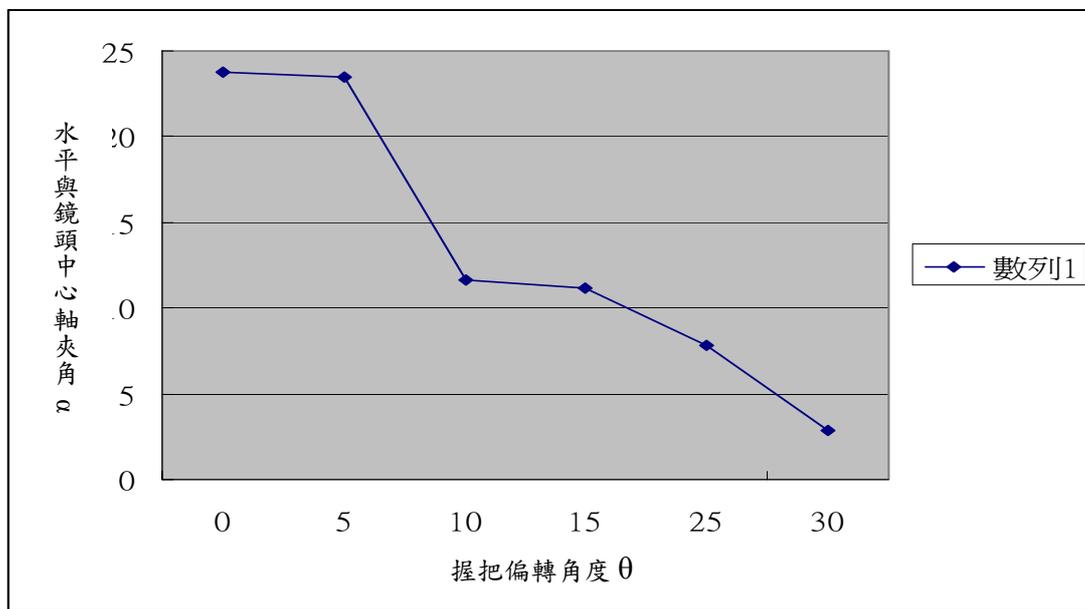


圖 6.20 握把偏轉角度，水平與鏡頭中心軸關係

從圖 6.20 的的曲線圖來分析，當握把的  $\theta$  角度變化從 0°~30°，水平與鏡頭中心軸夾角  $\alpha$  會隨著  $\theta$  角變大而減少，所以當設計參數  $\theta$  趨近於 30° 時  $\alpha$  角為最佳角度，故握把彎曲可以使手抓取姿勢為最自然姿態。

此節的分析結論與附註4比較也獲得定性方面一致的驗證。

#### 附註4

人因工程參考數據：

1. 修馬克林(R.W. Schuenmarklin)和馬拉斯(W. S. Marras)，兩氏曾經研討過手柄變曲的角度對水平與垂直的的鎚擊任務的效應，鐵鎚手柄的彎曲角度分別為  $0^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$  他們發現使用變曲角度為  $40^{\circ}$  的鐵鎚時，手腕的屈曲程度最低，使用直柄  $0^{\circ}$  的屈曲成度最高。【36】
2. 班奈特(J. Bennett)、密爾斯(S. Mills)、與依曼紐(J. Emanuel) 三氏將所謂『變曲握把而非彎曲手部』運用在所有手工具與它運動器材上，將手柄部份的曲度變曲為  $19^{\circ} \pm 5^{\circ}$  【33】
3. 許水丕的人因工程手工具與手介面器物的設計原原則是把手彎曲，而不是要求手腕彎曲，便能容許手腕與前臂採取較自然的直線來操作 【37】

## 第七章 結論與未來方向

本文是以 3C 產品握把的創新設計法之探討為研究主題，前面章節提出了產品開發流程，人因工程，手部生物力學，電腦模擬等，目的都在輔助本創新設計法的 3C 產品握柄設計能夠更符合操作舒適與握持穩定。

有關於利用人因工程輔助產品設計的研究，目前與本研究最有密切關聯要說是手工具的握把，以往的設計法則大多是大同小異，都是以人體量測法與結合主觀的調查樣品統計，並將所得的資料再去分析判斷，這是傳統的輔助產品的設計法，但因每種產品用途不同而有所差異，所以每次設計必須重新再做相同的事然後取得資料分析，這在時間與成本的耗費將會很大，若能以本研究新創新法來輔助握把的設計，將能符合經濟效益，達成快速分析與人因資料獲取與低成本的需求。

經由第六章的 DV 握把模擬分析結果，使用模擬器模擬手掌操作 DV 握把時可能影響抓持穩定與舒適的原因如握距寬度、握把的截面積、手指握處的波浪與曲線與握把的彎曲將會影響握持的姿勢與舒適性與穩定性，因此為了獲得有效且快速低成本的设计依據，深入探討握把形狀與手掌模擬器相互作用模擬出來的姿勢與數據分析，將是重要且必須的課題，本章總結第六章的研究發現，提供給後續與本產品

性質相關的設計師參考，並建議未來後續可行的研究方向。

## 7.1 研究結論

在本研究節中，根據行政院勞委會「台灣地區勞工人體計測資料庫」提供 18~60 歲男女全部勞工人體手掌計測值配合創新手法方式做出握持 DV 握把模擬實驗結果分析比較中，歸納出以下幾點結論：

### 1. DV 握持部位設計原則建立

目前影響 DV 握把設計握持穩定之影響有下列幾項設計因素的參考準則：

- (1) **DV 的寬度以 45~55 mm 寬度來設計：**人體手掌的大小大小不一，所以 DV 設計的寬度將影響抓握的穩定，從前章節結果我們發現當 DV 寬度參數設計值在 **45~50 mm** 的握距時可以得到較穩定的握持，而比較不易滑脫。
- (2) **握把部位的截面形以配合人體握持部位曲線來設計：**人體的掌型是屬與非對稱且是曲線形狀，手中無一處是由直線所構成，所以 DV 握持部位的形狀越是能接近手充份握持的形狀越能以平穩的施力去抓握，從模擬分析中，三種形狀變化設計去模擬結果發現越能符合手掌不規則曲線的充分握持式握把設計，握持的效果則越平穩。
- (3) **握把手指部位加上波浪或曲線的設計：**目前在一些工具的握

把上我們都有看到有跟手指類似的波浪設計，這可增加手指與抓物之間的支撐力和摩擦力可防止滑脫，所以在手指握持處設計波浪。

- (4)握把方向與鏡頭軸向增加一斜度角來設計：為了讓手抓取姿勢以最自然姿態為準，將握把與鏡頭軸向不再只固定為 $90^\circ$ 而建議再增加一斜角度讓手腕在不彎轉較舒適情況，使鏡頭對準目標，以減少彎腕症，目前以 $10^\circ\sim 30^\circ$ 的彎曲角度所獲得的效果最明顯



2. 目前產品開發的週期都越來越短，如何在短時間內完成完成任務，運用本研究所發展的創新法則來替代傳統的設計法模擬人因工程的實驗與評估，少開發時間與降低成本。

3. 增加分析範例力學資料與數據的完整性。

由此創新研究法我們可以從模擬器的模擬獲致力學的資料，增加力學分析，使得分析更完整。

4. 增加新握把與較佳設計的範例分析的效率

目前可以從現今市場新的 DV 或其他有關手部操作的新產品，將它們輸入此模擬器作動作模擬取得所需資料 DATA，也可以從目前市場上反應較佳的產品輸入此模擬器模擬取得資料分析去驗證。

5. 來研究所建立握把虛擬實驗 CAE 平台系統，可直接與 3D CAD，CAM(模具設計)等系統整合，加上分析的評估策略與分析數據的整理，可大幅減少傳統經驗與實驗的成本需求、並明顯提高創新產品設計的效率。
6. 有效率提供更多握把造型的評估資訊與改善意見。
7. 手掌的尺寸雖然因種族與性別而有所不同，但以量產的觀念來設計或製造相關握把時，求取適合成人族群中，大多數使用者所能適用的握把尺寸，是能夠達到的目標。

## 7.2 研究建議



跟據本研究的架構與成果，可題出幾點建議與後續研就方向：

1. 目前本研究的手掌模器的構造仍然有許多改進的空間以目前自由度尚須增加，所以所能做的動作還是有限，無法像目前真實的手掌靈活操作，故手掌模擬器可以再確認並修正，重新再模擬比較。
2. 目前的考慮設計的產品都是以 3C 的 DV 為依據，可以再進一步以擴展到如螺絲起子、手鋸、園藝剪等需要手部操作的用具與工具來做模擬修正。
3. 建立完整的各年齡層、男女性別、種族地區性等不同手部機構模型設計。

4. 建立與整理較完整的握把設計用參考準則與數據資料庫提供 DV  
或相關產業設計的查閱與參考。
5. 提供更多有效類型的握把造型的設計範例。
6. 進行實際測試以驗證創新握把設計的成效。



## 參考資料

- [1] Jones, J.C., Design Methods, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- [2] N.F.M. Roozenburg, J. Eekels, 產品設計/設計基礎和方法論/，張建成譯，六合出版社，臺北市，民國八十四年。
- [3] 陳奕仲，「應用遺傳演算法於電腦輔助數位元相機造型設計」，國立成功大學碩士論文，民國九十三年。
- [4] 林鴻昌，「掌上型園藝剪握把之人因設計研究」，大同大學碩士論文，民國八十九年。
- [5] W.E.Woodson,W.F.Floyd “**Vision-based Hand Modeling and Gesture Recognition for Human Computer Interaction**”, Master's Thesis, Univ. Of Illinois at Urbane-Champaign, 1994.
- [6] Rennie, A.M., (1981), “**The application of ergonomics to consumer product evaluation**”, Applied Ergonomics, pp.164-171。
- [7] 賴新喜，系統人體工學於產品設計決策程序之理論分析與應用，正業書局，台北，民國七十四年。
- [8] 楊墩義，「新型木工手鋸握把之設計研究」，大同大學碩士論文，民國九十年。
- [9] 張邵彬，「數位相機產品定位與創新設計研究」，大同大學碩士論文，民國九十三年。
- [10] 錡信堯，「具設計開發與人因評估-以螺絲起子為例」，清華大學碩士論文，民國九十二年。
- [11] 李開偉，實用人因工程學，滄海書局，臺北，民國七十五年
- [12] Iberall ,T, “**Human Prehension and Dexterous Robot Hands**”, The international journal of Robotics Research , Vol.16, No.3 , 1997 pp285-299。
- [13] 胡明一、陳懿慧、謝慧瑛、孫穆乾，人體解剖學，藝軒圖書，1995。
- [14] 黃証柳，「滑鼠之人因工程與績效評估」，台灣科技大學碩士論文，1998。

- [15] 黃翠華，「姿勢、握持物體重量對握力之影響」，中華大學碩士論文，民國八十八年。
- [16] J. Emanuel, S. Mill & J. Bennett, “**In search of a better handle, Proceedings of the Human Factor and Industrial Design in Consumer Products**”, Tuft University, Medford, mass, 1980。
- [17] Nordin M., Frankle V.H., basic Biomechanics of the Musculoskeletal System, 1980.
- [18] 許勝雄、謝光遠、楊文鐸：「手部動作分類研究」。工業工程學刊，第十三卷第二期，民國八十五年。
- [19] Kroemer, K.H.E., “**Coupling the hand with the handle: An improved notation of touch, grip, and grasp**”, Human Factors, 28(3), 337-339, 1986。
- [20] Iberall, T, “**Human Prehension and Dexterous Robot Hands**”, The international journal of Robotics Research, Vol.16, No.3, pp285-299, 1997。
- [21] Wells, R. and Greig, M., “**Characterizing human hand prehensile strength by force and moment wrench**”, Ergonomics, 44(15), 1392-1402, 2001。
- [22] 張蒲賽，郭學琴，SolidWorks及COSMOSMotion 機械仿真設計，清華大學出版社，北京，民國九十六年。
- [23] 鄭璧瑩，「結合人因工學創新設計法則與虛擬測試平台架構備忘錄」國立交通大學機械系CIDM Lab，民國九十六年
- [24] <http://www.iosh.gov.tw/ergodata.htm>
- [25] 梁成一，高百均，陳映州，吳國銓：「電視遊樂器控制手把舒適度一探討」，工業設計，第二十八卷第二期，民國八十九年。
- [26] J. Lee and T.L. Kuni, “**Model-based Analysis of Hand Posture**”, IEEE Computer Graphics and Applications. Pages 77-86, Sept. 1995.
- [27]. W.E. Woodson, W.F. Floyd “**Vision-based Hand Modeling and Gesture Recognition for Human Computer Interaction**”, Master's Thesis, Univ. Of Illinois at Urbane-Champaign, 1994.

- [28] 錡信堯，「手工具設計開發與人因評估-以螺絲起子為例」，清華大學碩士論文，民國九十二年。
- [29] 林芳輝，Poser 6數位動畫模特兒，金禾出版社。
- [30] 陳志堅，林志哲，余振華，SolidWorks 2006 由基礎到實務，高立出版社，臺北，民國八十九年。
- [31] 徐勝雄、彭遊，人因工程，滄海書局，臺北 民國七十五年
- [32] 許勝雄，「非動力手工具人因介面安全衛生指引」，勞工衛生研究，第三章工具特徵。
- [33] J. Emanuel, S. Mill & J.Bennett, **In seach of a batter handle, Proceedings of the Human Factor and Industrial Design in Consumer Products**, Tuft University.Medford,mass , 1980 。
- [34] 許勝雄，「應用人因工程於冷凍肉品處理用刀具改良設計之評估研究」，勞工安全衛生研究季刊，第七卷第一期，民國八十八年三月
- [35] Kroemer, K.H.E.,and H.B. Kroemer and K.E.Kroemer-Elbert , “**Ergonomic**” , P393-394 (1994).
- [36] R.W. Schuenmarklin & W.S.Marrcs , 1987 , **Measurement of hand wrist position by a wrist monitor** , Proc.10<sup>th</sup> International Conference on product Research, Univ.of Cincinnati,Ohio
- [37] 許水丕，彭游，許勝雄，麥格羅.希爾，人因工程:工程與設計之人性因素(上冊)，台北市，民國八十七年。
- [38] Buchholz, B, Frederick, “**An investigation of human palmar skin friction and effects of materials, pinch force and moisture**”, Ergonomics,31(3), pp317-325 , 1988
- [39] William H Cushman Rochester 著，產品設計的人因工程，蔡登傳，宋同正譯，六合出版社，P297，1996