

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

080112

磁來運轉～磁性齒輪轉動圈數比因素探討

學校名稱： 臺北市大同區太平國民小學

作者：	指導老師：
小六 許智鈞	徐培仁
小六 蔡杰勳	莊雅婷
小六 張碩宸	
小五 連又靚	
小五 李禹劭	

關鍵詞： 磁性齒輪、轉動圈數比、圓心角

## 摘要

本研究主要是以磁力特性與齒輪傳動原理為基礎，再透過資料蒐集、影片觀察與 3D 建模分析，並設計及製作零件可拆式之磁性齒輪，可隨著各種圓心角的變化放置磁鐵和鐵質層進行實驗，依照各種放置物的分布不同，而呈現特定的旋轉比例關係。研究包括同軸性磁性齒輪、徑向式磁性齒輪，又可分為平面式與立體式，同時也研究磁性齒輪應用於生活中的可行性，例如：利薩如曲線等。

設計分析上我們採用 3D 建模分析法，以及實際測量磁場來修正建模理論，加上實作上的考慮，而設計出轉動圈數比較穩定的磁性齒輪。

在實驗上，我們利用強力磁鐵，配合適當的鐵質層，以及找出磁性齒輪的對稱性組合，設計出穩定圈數比的磁性齒輪，對於產品的性質及應用表現非常滿意。

## 壹、前言

### 一、研究動機：

我們會選擇研究「磁性齒輪」，是因為在自然課期末觀看了一系列有關磁鐵的科學影片，其中一部介紹磁性齒輪的影片特別吸引我們。它的轉動方式與我們熟悉的齒輪組相似，但卻是透過磁鐵之間的吸引力與排斥力來傳遞動力，而非實體接觸，讓我們大為驚奇。

我們曾學過齒輪、滑輪等機械裝置，這些系統主要依靠接觸產生摩擦來傳動。但磁性齒輪則屬於「非接觸式」傳動，不僅能減少摩擦與損耗，也能提升機構的安全性與耐用性。經老師說明後，我們進一步了解磁性齒輪在生活中的應用，例如液體攪拌器中可防止外洩，且降低馬達損壞風險。



這些發現激發了我們深入探究的動機，我們希望透過這次研究，分析磁性齒輪的運轉原理，並與傳統齒輪的機械特性進行比較，試著製作出一組磁性齒輪模型，實際體驗磁力在傳動系統中的應用與優勢。

### 二、研究目的：

- (一) 探討不同規格的強力磁鐵在相對距離時的磁場。
- (二) 探討不同的磁鐵分佈、距離差、轉速和相對組合比例，對軸心平行式磁性齒輪組轉動的影響。
- (三) 探討不同的磁鐵磁場、有無鐵質層對同軸徑向式磁性齒輪組轉動的影響。
- (四) 探討不同的磁鐵與鐵質層的分佈和樣式，對同軸軸向式磁性齒輪組轉動的影響。

### 三、文獻回顧

(一) 查詢各種能量傳遞工具，瞭解其操作方式及分析優缺點。

輪軸	滑輪	齒輪	電感耦合器
			
電容耦合器	光電耦合器	磁耦合器(磁性齒輪)	
			

(上方表格中圖片取至於科研市集及本團隊拍攝)

工具名稱	優點	缺點
輪軸	結構相對簡單，高效率，適用的範圍較廣。	容易摩擦損耗承載受到限制，需要支撐結構。
滑輪	可以改變力的方向，可以減少人力，適應性強。	容易摩擦損耗，空間要求較高，限於輕負荷。
齒輪	傳動效能高，可改變速度，承受較大負荷。	複雜性較高，容易產出較大的噪音和振動，維護成本的金額較高。
磁耦合器 (磁性齒輪)	可在惡劣環境中穩定工作，高效率，抗干擾能力強，耐用性強。	耦合器的傳輸距離通常較短，尺寸較大很難攜帶，成本較高。
電容耦合器	成本低，可隨身攜帶，頻率響應範圍寬廣。	低頻信號傳遞不佳，無法處理高功率。
電感耦合器	不受干擾能力強，安全性，可在遠距離或特殊情況下使用，高效能傳輸。	成本較高，電感耦合器的頻率範圍有限。
光電耦合器	傳輸速度較高，體積小，應用範圍廣泛，耐高壓。	信號傳輸距離較短，低效率，溫度和環境敏感性較高。

## （二）磁性齒輪類型整理

類型	描述	圖示				
雙輪軸心位置	垂直式					
	平行式					
	同軸式	<p>主動輪和從動輪的軸心為同軸，兩齒輪的磁極同心排列，內外的磁場相互作用，結構簡單、磁力傳遞高效。依磁通排列方式分成：</p>				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>徑向磁通構形</th><th>軸向磁通構形</th><th>橫向磁通構形</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>磁極沿橫向排列，利用內外齒輪的橫向磁場耦合，解決傳統軸向磁通設計的磁場偏移問題。(圖 A)</td><td>內外(上下)齒輪的磁極在軸向排列，由高透磁率核心和多層永久磁鐵構成，磁力沿軸向傳遞。(圖 B)</td><td>最外圈為鐵環，內外(上下)齒輪由永久磁鐵組成，且磁極徑向排列，利用吸引和排斥作用實現高效的傳遞。(圖 C)</td></tr> </tbody> </table>	徑向磁通構形	軸向磁通構形	橫向磁通構形	磁極沿橫向排列，利用內外齒輪的橫向磁場耦合，解決傳統軸向磁通設計的磁場偏移問題。(圖 A)
徑向磁通構形	軸向磁通構形	橫向磁通構形				
磁極沿橫向排列，利用內外齒輪的橫向磁場耦合，解決傳統軸向磁通設計的磁場偏移問題。(圖 A)	內外(上下)齒輪的磁極在軸向排列，由高透磁率核心和多層永久磁鐵構成，磁力沿軸向傳遞。(圖 B)	最外圈為鐵環，內外(上下)齒輪由永久磁鐵組成，且磁極徑向排列，利用吸引和排斥作用實現高效的傳遞。(圖 C)				
圖 A						
圖 B						
圖 C						

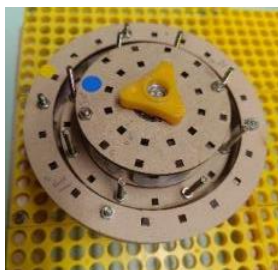













本表圖片來源：李昆哲（2016）。  
創新磁性齒輪機構之設計與分析 p22-26

我們先蒐集的資料，再利用瓦楞紙板與廢 C D 進行初步的試作後，考量我們可取得的資源、技術，軸心平行式、同軸徑向及軸向式磁性齒輪是有辦法做出測量平台實際研究，且因應量測的多元需求，我們希望磁性齒輪希望以零件組裝方式來製成。



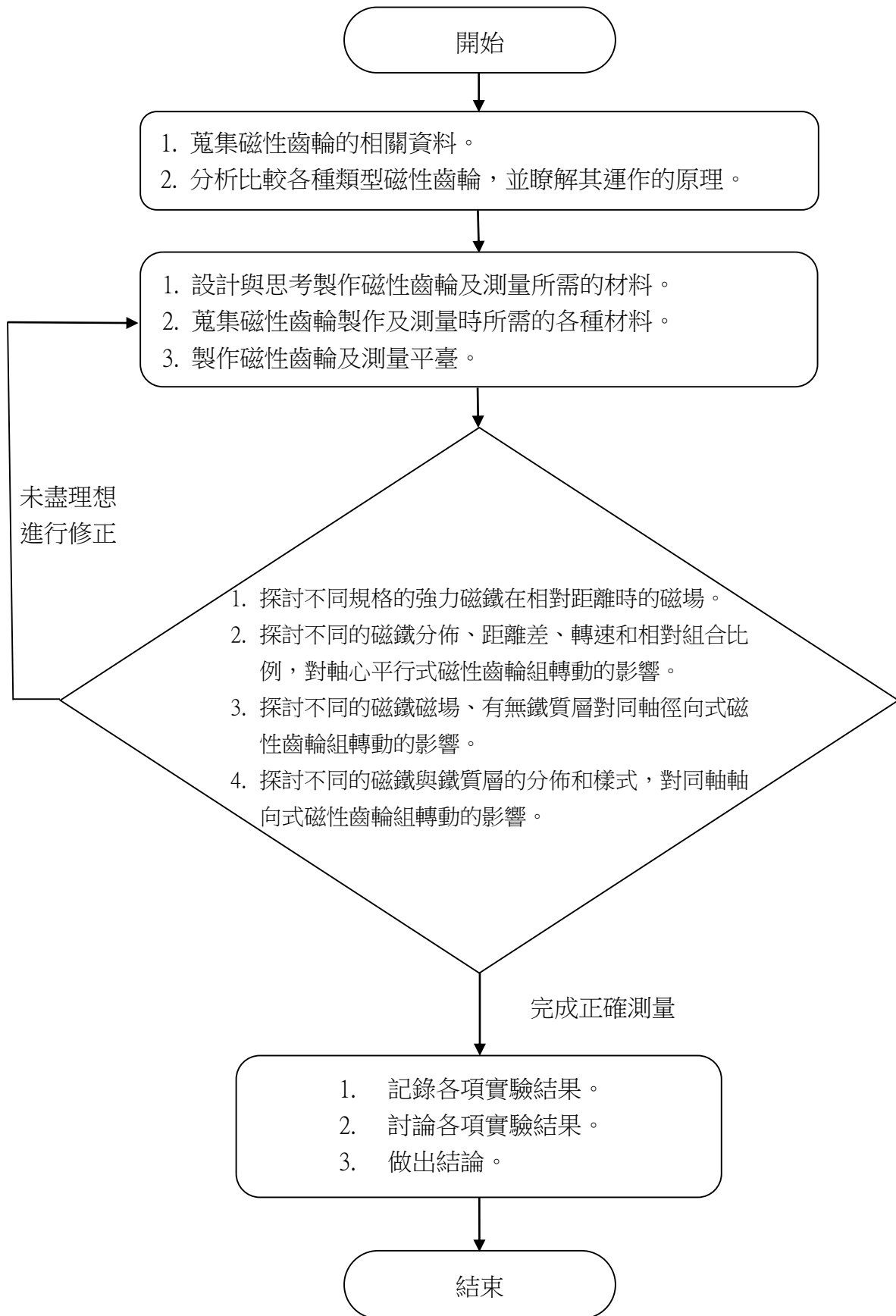
## 貳、研究設備器材

(下方表格中圖片皆為本團隊拍攝)

磁性齒輪組	軸心平行式		同軸徑向式		同軸軸向式	
						
磁性齒輪零件	軸-鋼牙條	智高底板	各種磁性磁鐵基板			
						
	螺絲卡榫	徑向磁鐵卡板	圓形木板墊片	固定夾	軸承	
						
各種鐵質物			各種磁鐵			
機械轉動零件	MG996R 伺服馬達 (360 度轉)及轉軸		micro:bit v2	悟空擴充板	智高長方框	35mm 螺絲
						
其他器材、器具、工具	游標卡尺	Scimage 手機顯微鏡	磁力計	電子秤	彈簧秤	標記物貼紙 /大頭釘
						
	雷射切割機	3D 建模軟體	3M 膠帶	白膠	電鑽架	手工鋼鋸
						

## 參、研究過程或方法

### 一、研究流程圖



## 二、理論基礎

### (一) 釹鐵硼強力磁鐵

釹鐵硼 (NdFeB) 磁鐵具有高磁性儲存能力，屬於硬磁材料，具有良好的磁性保持能力，不易退磁，適合用於磁性齒輪的長期穩定運作。

### (二) 磁化和磁場

磁化：將鐵質層靠近或接觸磁鐵，靠近的一端會產生異名極，遠離的一端產生同名極。

磁場：磁鐵附近磁力作用的範圍，對其他的磁性物質可產生磁感應。

磁力線：由法拉第提出，可以描繪磁場的範圍和磁場強度的大小及方向。

T (tesla) 磁通量密度 (磁通密度)：1 韋伯(Wb)之磁通量 (磁力總量) 均勻而垂直地通過 1 平方公尺面積之磁通密度。

### (三) 力的合成、分解與力矩(轉矩)

力的合成、分解：磁鐵受鐵質層排斥力的合成與分力。

力矩：作用力使物體繞著轉動軸或支點轉動的趨向；也就是作用力使物體產生「轉」、「扭」或「彎」效應的量度，使機械元件轉動的力矩又稱轉矩。

公式：力矩( $\tau$ ) = 力臂( $r$ )  $\times$  作用力( $F$ ) 或 轉矩 = 半徑  $\times$  吸力(或排斥力)

### (四) 利用 Blender 3D 建模軟體進行磁性齒輪的模擬

快速描繪磁場的分布情形，方便進行力矩的觀察與分析(圖 a、b)；但必須利用磁力計驗證磁場的分布，以及實際操作磁性齒輪來做修正(圖 c)。

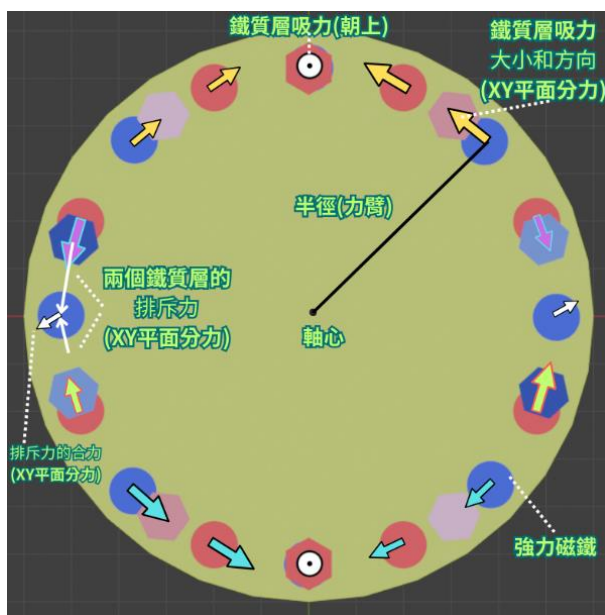


圖 a

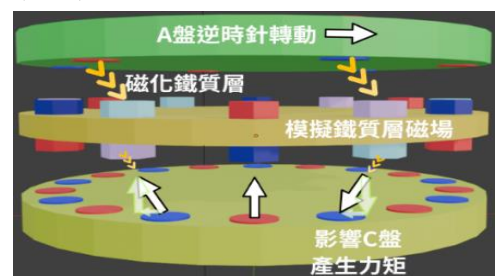


圖 b

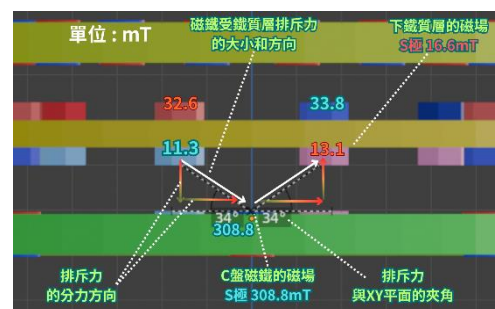


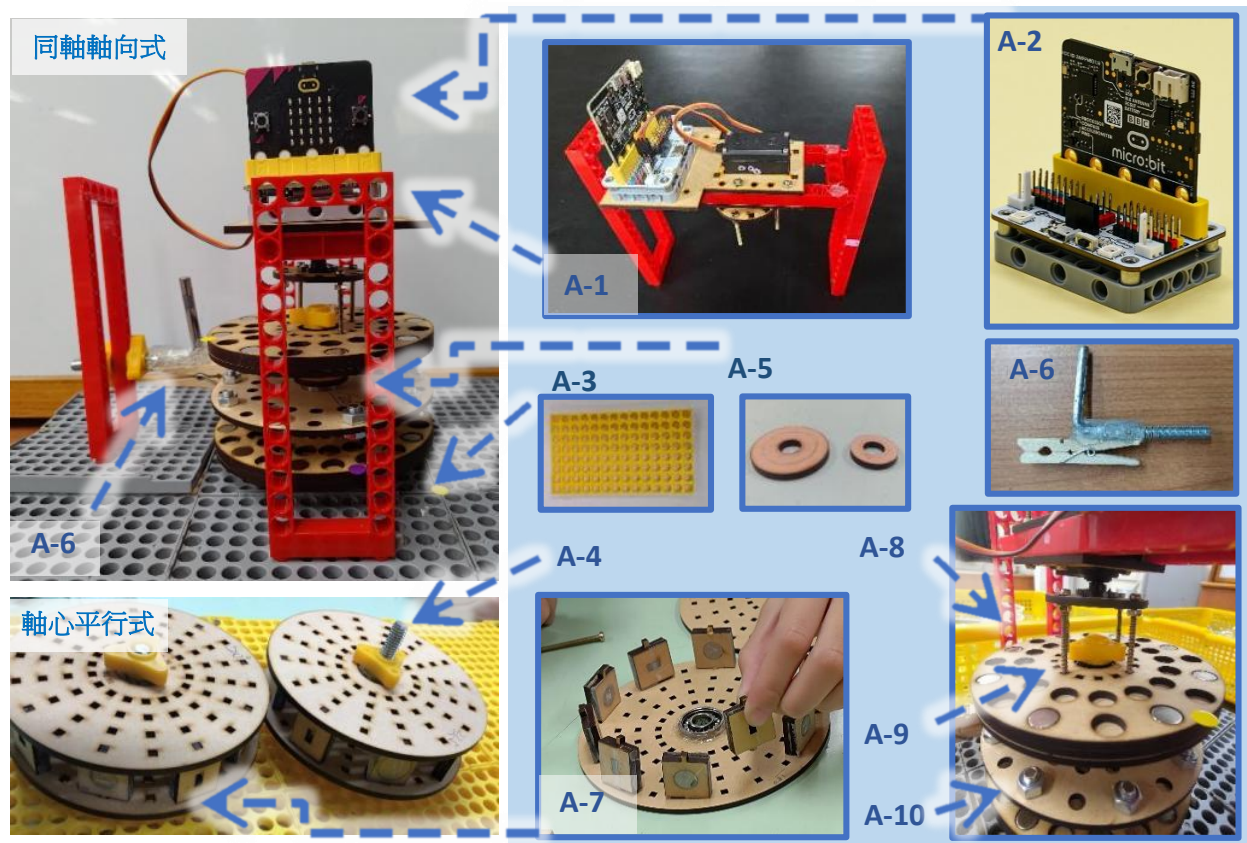
圖 c

(圖 a、b、c 皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製而成)



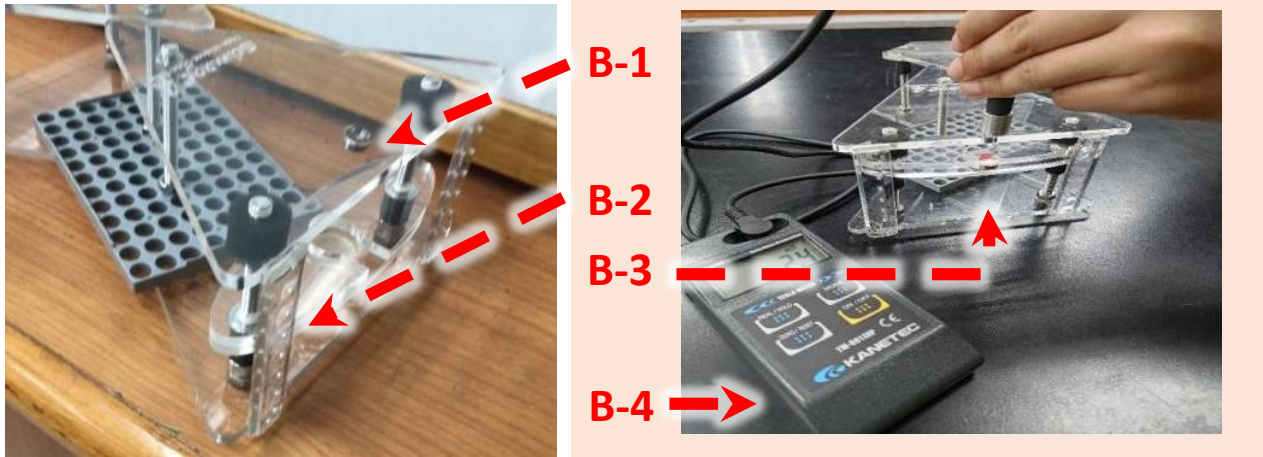
### 三、實驗測量平台構造簡介

(一) 磁性齒輪測量平台：（下方測量平台介紹圖片皆為本團隊拍攝）



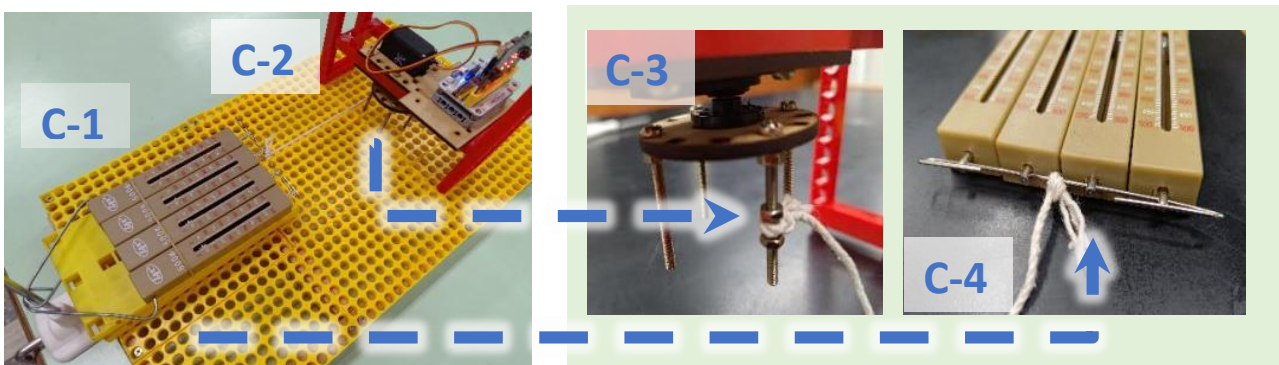
構造名稱		說明	構造名稱		說明
A-1	機械轉動架	放置控制板、伺服馬達提供轉動力，且可配合實驗調整位置。	A-2	micro:bit v2 及 悟空擴充板	控制及調整伺服馬達轉動。
A-3	固定底板	依實驗拼裝需要的齒輪位置。	A-4	齒輪定位鋼牙棒及螺絲	調整及固定實驗齒輪高、低、左、右位置。
A-5	高度調整墊片	可套於鋼牙棒中調整齒輪間的距離或固定齒輪。	A-6	鐵質層固定夾	固定同軸式齒輪鐵質層。
A-7	徑向磁鐵卡板	可依照徑向齒輪實驗需求，擺放不同磁鐵大小、角度及磁極位置。	A-8	軸向磁鐵卡槽	可依照軸向齒輪實驗需求，擺放不同磁鐵大小、角度及磁極位置。
A-9	齒輪轉動施力槽	可放入長螺絲轉動齒輪盤面。	A-10	鐵質層及含鐵物質	於齒輪中擺放含鐵物質因可磁化產生變動的磁場。

(二) 自製磁力測量平台構造說明：(下方測量平台介紹圖片皆為本團隊拍攝)



構造名稱		說明	構造名稱		說明
B-1	磁力計放置區	放置磁力計探測棒，測量不同距離時磁場磁力值。	B-2	距離測量尺	測量平板與磁鐵放置區的距離。
B-3	磁鐵放置台	利用原手機顯微鏡物鏡模組台，放置要測量的磁鐵，台面可上下移動。	B-4	磁力計	測量磁鐵磁場用。

(三) 自製伺服馬達扭力測量說明：(下方測量平台介紹圖片皆為本團隊拍攝)



構造名稱		說明	構造名稱		說明
C-1	彈簧秤放置區	放置並聯的彈簧秤，並利用繩子拉動。	C-2	機械轉動架	放置控制板、伺服馬達提供轉動力。
C-3	馬達扭力拉線	用線連接伺服馬達及彈簧秤，並調整轉速測量。	C-4	彈簧秤並聯橫桿	將數個 500g 的彈簧秤並連起來，且將拉線固定於中間。

四、測量方法：

(一) 磁性齒輪轉動圈數比的定義：

本研究中所稱之磁性齒輪「轉動圈數比」是指，於測量平台上架設已調整的實驗變因之磁性齒輪盤，在其中一個盤面上施加外力使其旋轉(手動或馬達機械轉動)，並觀察其轉動情況，當兩磁性齒輪再度重合於原始起點時的轉動圈數，兩盤轉動的圈數比例，稱為「轉動圈數比」。



## (二) 磁場測量方法：

為了解實驗用的磁鐵在不同距離時會產生的磁場強度，以及齒輪上的磁鐵、導磁後鐵磁層的磁場強度，利用 KANETEC



▲磁力計(照片由本團隊拍攝)



▲磁鐵磁力測量(照片由本團隊拍攝)




TM-801exp 磁力計，分別利用 scimage 手機顯微鏡作為支架，於物鏡台放上強力磁鐵調整要測量的距離；用手持探測棒於磁鐵及鐵磁層上方停留 10 秒，取其測最高值，共測五回。

## 肆、研究結果與討論

### 【實驗 1】測量不同不同規格的強力磁鐵在相對距離時的磁場

#### (一)、研究過程：

1. 蒐集各種強力磁鐵。
2. 隨機選取相同規格的磁鐵，將實驗磁鐵放置自製磁力測量架上，調整施測距離後，利用磁力計量該處磁場大小。

照片			
圓直徑(mm)	5	10	15
厚度(mm)	3	3	3
商家表面磁場值(mT)	360	300	270

▲磁鐵商家資訊及照片(照片由本團隊拍攝)

#### (二)、研究結果：

各種磁鐵在不同距離時磁場大小

圓直徑(mm)	5									
顆數(個)	1					2				
厚度(mm)	3					6				
測量距離(mm)	0	10	15	20		0	10	15	20	
5 次磁力平均 (mT)	282.60	2.68	1.26	0.60		332.80	15.74	1.96	1.46	
標準差(mT)	3.50	0.07	0.08	0.09		8.75	0.21	0.08	0.05	
圓直徑(mm)	10									
顆數(個)	1					2				
厚度(mm)	3					6				
測量距離(mm)	0	10	15	20	25	0	10	15	20	25
5 次磁力平均 (mT)	252.20	9.60	4.94	2.64	1.20	357.20	13.20	9.38	4.20	2.60
標準差(mT)	2.23	0.54	0.33	0.14	0.06	11.20	0.72	0.29	0.21	0.34
圓直徑(mm)	15									
顆數(個)	1					2				
厚度(mm)	3					6				
測量距離(mm)	0	10	15	20	25	0	10	15	20	25
5 次磁力平均 (mT)	207.80	15.74	10.04	6.62	2.88	310.00	27.94	15.54	8.76	6.02
標準差(mT)	5.74	0.21	0.10	0.17	0.12	2.19	0.55	0.29	0.21	0.15

1. 數據顯示當同一磁鐵在不同距離進行測量時，距離越近時磁場越大；距離越遠時磁場越小，此與以前學過的磁極概念一致。
2. 除了表面磁場外，當相同距離時，磁鐵直徑越小磁場越小；磁鐵直徑越大磁場越大。

## 【實驗 2-1】探討不同磁鐵磁場強弱、圓心角對軸心平行式磁性齒輪組轉動的影響

### (一)、研究過程：

1. 將直徑 10mm、15mm 的磁鐵放於徑向磁鐵卡板中並固定。
2. 依所需角度安裝成磁力方向為徑向的磁性齒輪兩組。
3. 將兩組磁性齒輪分別架設於平行的兩軸上，且將其邊緣靠齊（兩磁鐵距離約 14mm），利用手動方式轉動其中一輪，觀察轉動情形 5 回並記錄兩輪的轉動圈數比。

▼平行式磁性齒輪組樣貌

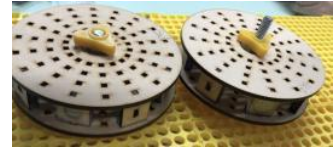
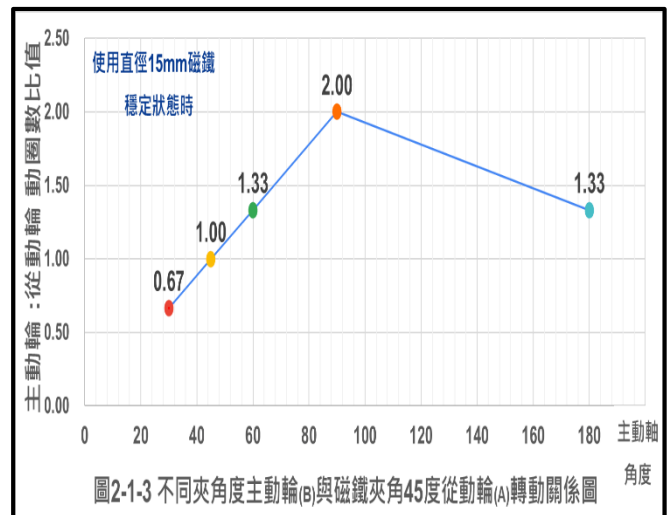
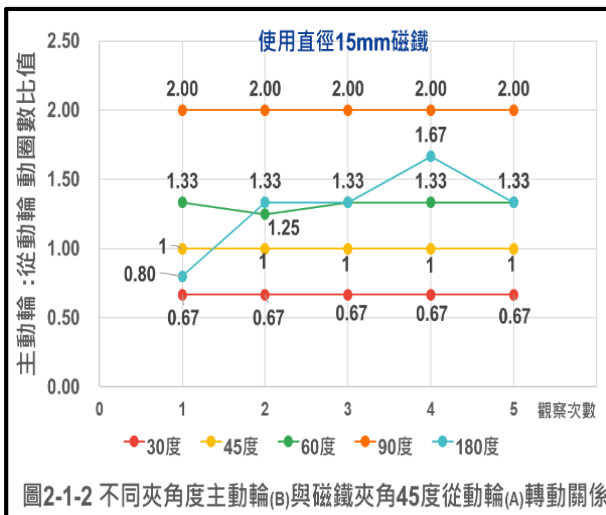


圖 2-1-1 (照片由本團隊拍攝)

### (二)、研究結果：

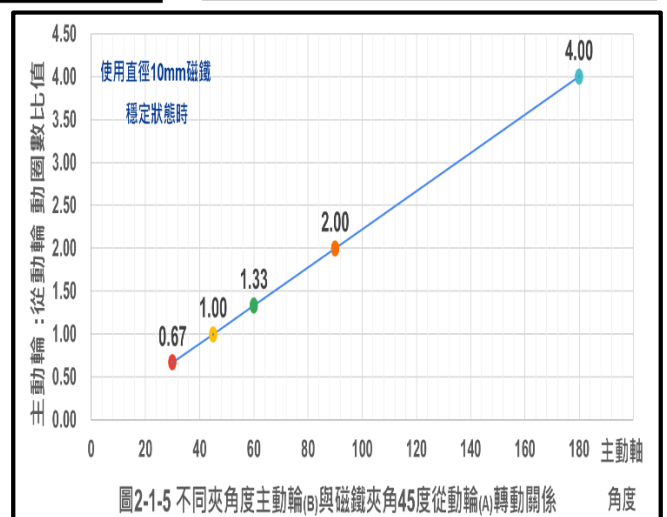
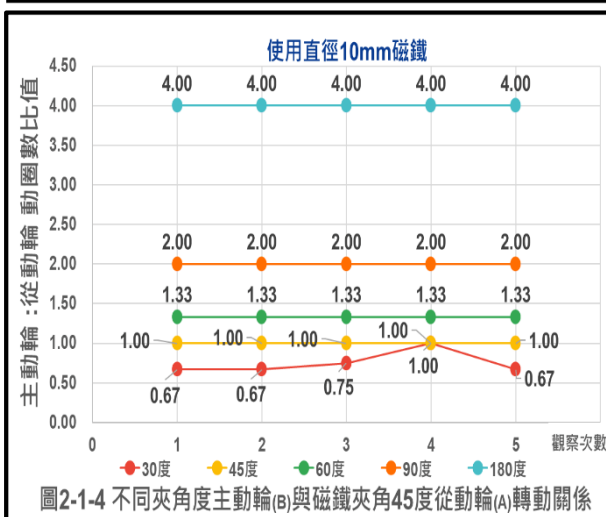
B 輪 (主動軸)	磁鐵大小	15mm				
	排列方式	NS 相間				
	夾角	30 度	45 度	60 度	90 度	180 度
	顆數	12	8	6	4	2

A 輪	磁鐵	15mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	45 度
	顆數	8



B 輪 (主動軸)	磁鐵大小	10mm				
	排列方式	NS 相間				
	夾角	30 度	45 度	60 度	90 度	180 度
	顆數	12	8	6	4	2

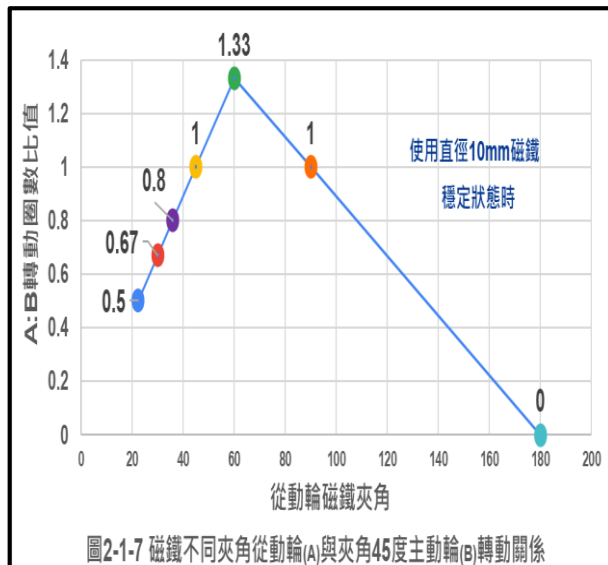
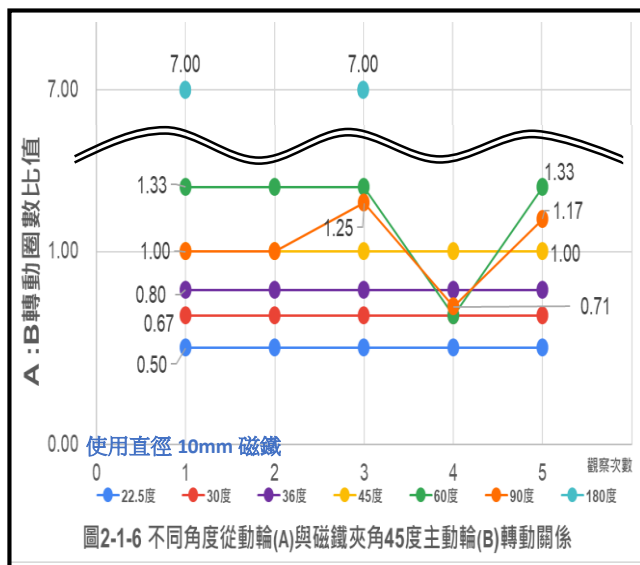
A 輪	磁鐵	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	45 度
	顆數	8



(圖 2-1-2、2-1-3、2-1-4、2-1-5 皆為本團隊整理繪製)

B 輪 (主動輪)	磁鐵	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	45 度
	顆數	8

A 輪	磁鐵大小	10mm						
	排列方式	NS 相間						
	夾角	22.5 度	30 度	36 度	45 度	60 度	90 度	180 度
	顆數	16	12	10	8	6	4	2

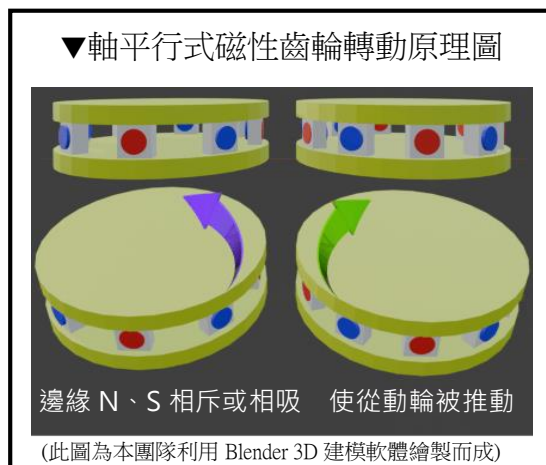
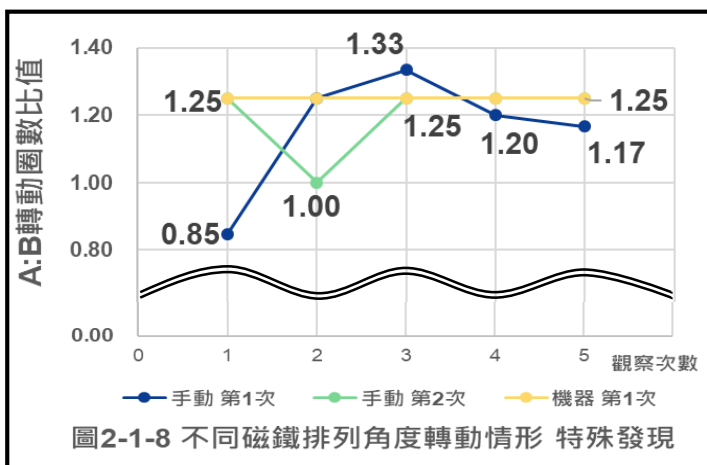


※實驗中發現的特殊情況：

(註圖 2-1-6、2-1-7、2-1-8 皆為本團隊整理繪製)

B 輪 (主動輪)	磁鐵	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	36 度
	顆數	10

A 輪	磁鐵大小	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	45 度
	顆數	8



### (三)、討論：

1. 在相同角度的軸心平行式磁性齒輪組，且 10、15mm 的數據都穩定轉動的情況下，兩者的轉動圈數比相同，若只想要有相同的傳送效能，選用 10mm 磁鐵可較省成本。
2. 用手轉動 15mm 磁鐵製作而成的軸心平行式磁性齒輪組，會發現阻力較大，所以兩輪相吸及相斥的力量也會較大，可嘗試調整兩輪間的距離來改良。
3. 從第 10、11 頁的研究數據中，可以發現軸心平行式磁性齒輪組轉動圈數比會與磁鐵分布圓心角成正比（如 A 輪夾角 36 度，B 輪夾角 45 度，轉動圈數比 4：5）。

4. 當使用磁鐵顆數較少的磁性齒輪作為主動軸時「轉動圈數比」會較穩定，推測應該與顆數較少時所感應的磁力範圍較有限，反之若當作從動軸時就會較不穩定。
5. 實驗中發現手動旋轉時，其轉動圈數比和穩定度會有不太一樣的情況，為求實驗精準減少人為因素的誤差，後續實驗改以馬達機器控制轉動。

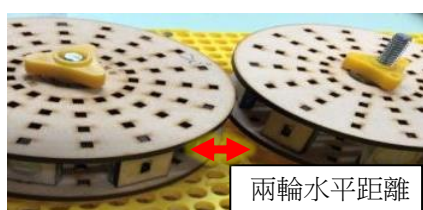
## 【實驗 2-2】探討軸心平行式磁性齒輪組間不同水平、垂直距離轉動的影響

### (一)、研究過程：

1. 製作兩組磁性輪分別架設於平行的兩軸上，先將其邊緣靠齊，並記錄轉動情形 5 回。
2. 逐漸調開兩軸的水平（兩輪垂直）距離，觀察其轉動變化 5 回。

### (二)、研究結果：

不同水平距離實驗記錄：

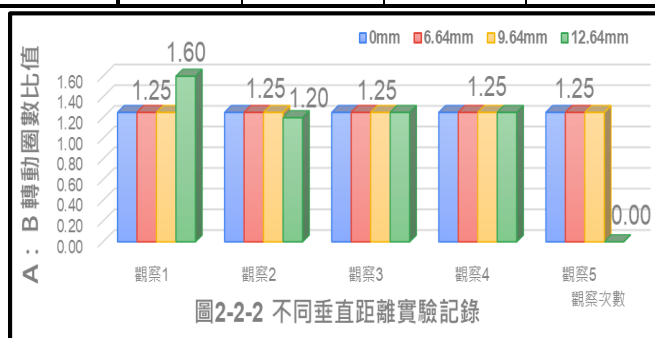
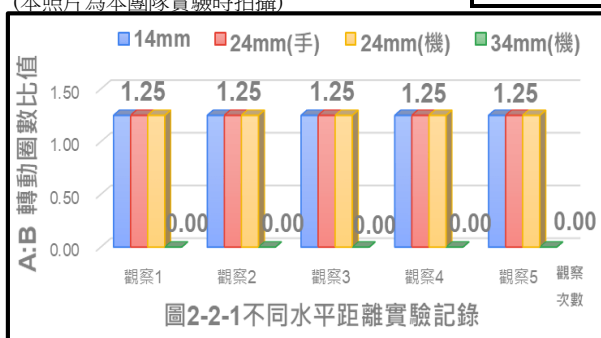


(本照片為本團隊實驗時拍攝)

A 輪 (主動輪)	磁鐵	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	45 度
	顆數	8

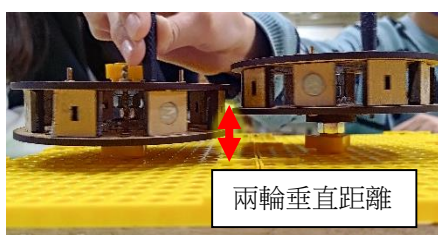
B 輪 (主動輪)	磁鐵	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	36 度
	顆數	10

磁鐵距離遠近	邊緣靠齊	移 1 格(手)	移 1 格(機)	移 2 格(機)
	14mm	24mm	24mm	34mm



(↑圖 2-2-1、2-2-2 皆為本團隊整理繪製)

不同垂直距離實驗記錄：



(本照片為本團隊實驗時拍攝)

A 輪 (主動輪)	磁鐵	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	45 度
	顆數	8

B 輪	磁鐵	10mm
	排列方式	NS 相間
	夾角	36 度
	顆數	10

磁鐵距離高低差	等高	1 顆大螺帽	1 顆大螺帽 +1 木墊片	1 顆大螺帽 +2 木墊片
	0mm	6.64mm	9.64mm	12.64mm

### (三)、討論：

1. 在適當的距離內調整兩軸水平距離、兩輪低高，其轉動紀錄是沒有太大的差別。
2. 因磁鐵磁力大小會因離磁鐵距離遠近而增減(實驗 1 磁力數據)，當兩磁鐵水平距離 24 mm，中間磁場約 1.2mT 時，仍可與兩齒輪邊緣靠齊轉動時相同。
3. 因磁鐵磁力大小會因離磁及距離遠近而增減(實驗 1 磁力數據)，當垂直距離 9.64mm 兩磁鐵圓心距離小於 17mm，中間磁場約 4.94mT 時，仍可與兩齒輪邊緣靠齊轉動時相同。



4. 若想要兩磁性齒輪間，增加水平距離仍可以轉動，推測需要增加齒輪內磁鐵的磁力，如此在較遠距離時才可提供足夠的磁力。

### 【實驗 2-3】探討主動輪在不同轉速對軸心平行式磁性齒輪組間轉動的影響

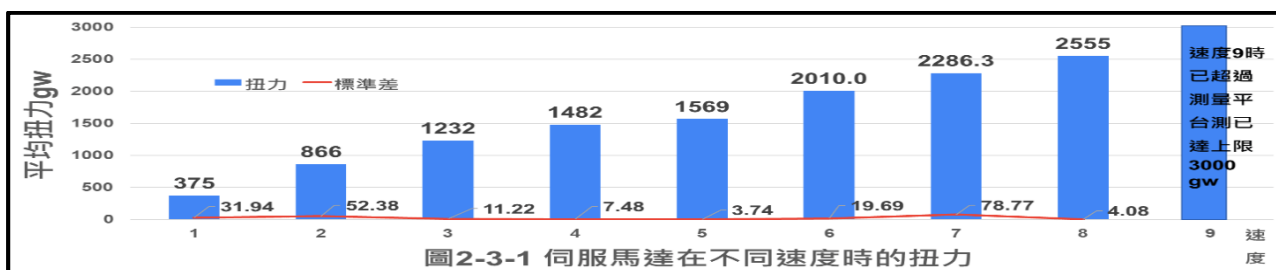
#### (一)、研究過程：

1. 利用 micro:bit v2 板控制可 360 度轉的伺服馬達  
(如附錄一)，轉速由慢至快分 1~9 級。
2. 測量各級數時的扭力大小。
3. 由附錄三中找出兩組因手動轉動快、慢差異甚大的組合，利用馬達調整轉速並進行 5 回轉動。

#### ▼ 伺服馬達資訊 (照片由本團隊拍攝)

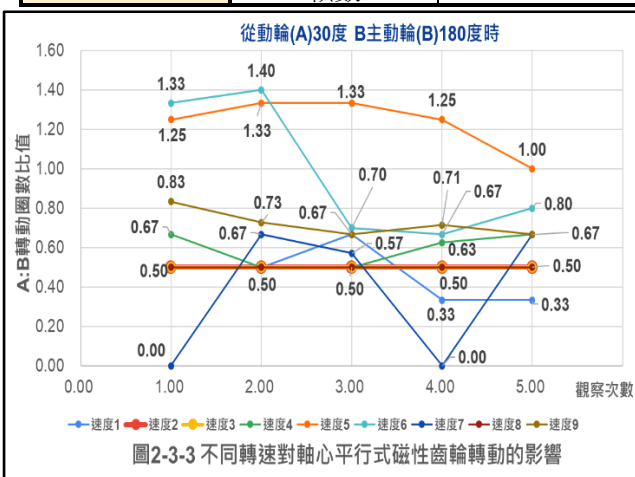
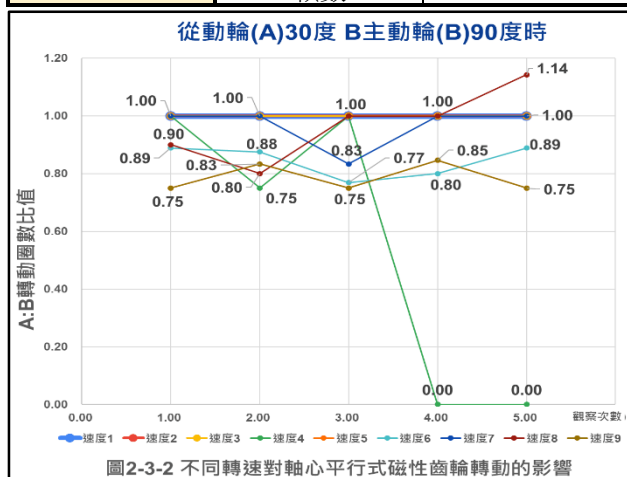
規格	MG996R
馬達圖	
工作扭矩	12KG/cm (金屬齒輪)
重量	55g
使用溫度	0~55°C

#### (二)、研究結果：



A 輪	磁鐵	15mm
	排列方式	NS
	夾角	30 度
B 輪 (主動輪)	顆數	12
	磁鐵	15mm
	排列方式	NS
	夾角	90 度
	顆數	4

A 輪	磁鐵	15mm
	排列方式	NS
	夾角	30 度
B 輪 (主動輪)	顆數	12
	磁鐵	15mm
	排列方式	NS
	夾角	180 度
	顆數	2



#### (三)、討論：

1. 不同轉速會影響磁性齒輪的穩定度及轉動圈數比，且發現轉動時的穩定度（不忽快忽慢）也會影響磁性齒輪的轉動圈數比。
2. 從實驗中發現以速度 3 級最穩定且轉動速率最快，故後續實驗以轉速 3 做為主要轉速。

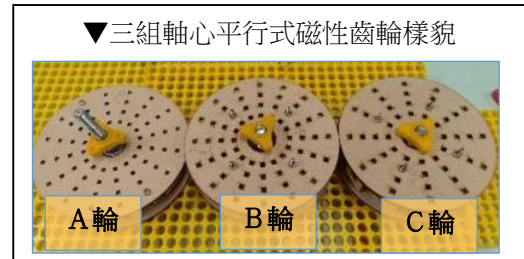
(圖 2-3-1、2-3-2、2-3-3 皆為本團隊整理繪製)



## 【實驗 2-4】探討三組軸心平行式磁性齒輪間轉動的影響

### (一)、研究過程：

選擇轉動較穩定的組合，將三組平行式磁性齒輪邊緣靠齊，磁鐵 NS 相間排列，轉動其中一輪觀察其他兩輪的轉動情形 2 回。



(此照片為本團隊實驗時拍攝)

### (二)、研究結果：

甲組合				
A 輪	磁鐵直徑	10	10	10
	夾角	90 度	45 度	45 度
	磁鐵顆數	4	8	8

B 輪	磁鐵直徑	10	10	10
	夾角	45 度	90 度	22.5 度
	磁鐵顆數	8	4	16

C 輪	磁鐵直徑	10	10	10
	夾角	22.5 度	22.5 度	90 度
	磁鐵顆數	16	16	4

轉動圈數比 A : B

轉動情形紀錄	轉動 A	觀察 1	X	X 左右抖動	$2:1:\frac{1}{12}$ (24:12:1)
		觀察 2	X	X 左右抖動	$2:1:\frac{1}{12}$ (24:12:1)
	轉動 B	觀察 1	$\frac{1}{12}:2:1$ (1:24:12)	1:3:1	X
		觀察 2	$\frac{1}{12}:2:1$ (1:24:12)	1:3:1	X
	轉動 C	觀察 1	不能轉 但微動	X 抖動	$\frac{1}{16}:1:3$ (1:16:48)
		觀察 2	不能轉 但微動	X B 動 60 度	X 抖動

乙組合				
A 輪	磁鐵直徑	15	10	10
	夾角	30 度	22.5 度	22.5 度
	磁鐵顆數	12	16	16

B 輪	磁鐵直徑	10	15	10
	夾角	22.5 度	30 度	45 度
	磁鐵顆數	16	12	8

C 輪	磁鐵直徑	10	10	15
	夾角	45 度	45 度	30 度
	磁鐵顆數	8	8	12

轉動圈數比 A : B

轉動情形紀錄	轉動 A	觀察 1	$4:3:\frac{1}{8}$ (32:24:1)	$2:1:\frac{3}{2}$ (4:2:3)	X 抖動
		觀察 2	$4:3:\frac{1}{8}$ (32:24:1)	$8:4:\frac{13}{2}$ (16:12:13)	X
	轉動 B	觀察 1	$4:4:\frac{1}{8}$ (32:32:1) 前面未重合	3:4:6	$1:2:\frac{4}{3}$ (3:6:4)
		觀察 2	$4:4:\frac{1}{8}$ (32:32:1)	3:4:6	$1:2:\frac{4}{3}$ (3:6:4)
	轉動 C	觀察 1	$\frac{4}{3}:1:2$ (4:3:6)	X	$\frac{5}{4}:3:2$ (5:12:8)
		觀察 2	$\frac{4}{3}:1:2$ (4:3:6)	X	$\frac{3}{2}:3:2$ (3:6:4)

※綠底的轉動圈數比恰為其磁鐵個數的倒數比。  
X：為無法動。

### (三)、討論：

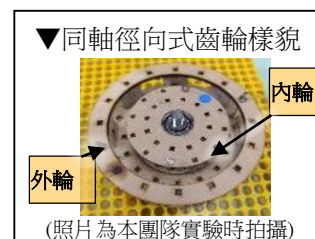
1. 甲組合實驗較無法由 A 輪帶動 C 輪（C 輪帶動 A 輪），推測使用的磁力仍不夠強，產生的扭力不夠，且中間 B 輪轉動時會受另一側的磁鐵影響。
2. 磁鐵分布的圓心角較大當主動輪時，帶動圓心角較小的從動輪較容易成功轉動。
3. 三個磁性齒輪若可轉動，其轉動方向會是「順-逆-順」或「逆-順-逆」旋轉，與一般齒輪運作相同，推測應該與開始轉動時會與邊緣磁鐵相吸，一起被往前帶動。

### 【實驗 3-1】探討不同規格的磁鐵對同軸徑向式磁性齒輪組轉動的影響

#### (一)、研究過程：

1. 製作內、外層 NS 相間排列的徑向磁性齒輪。
2. 用不同大小磁鐵安裝徑向磁性齒輪，並觀察其轉動變化 3 回。

#### (二)、研究結果：



內輪 (主動輪)	磁鐵直徑	10	10	10	10	10	5	10
	夾角/磁鐵顆數	30 度/12 顆	30 度/12 顆	60 度/6 顆	60 度/6 顆	30 度/12 顆	60 度/6 顆	60 度/6 顆
	直徑大小(mm)	90	70	70	70	70	70	70
外輪	磁鐵直徑	10	10	10	10	5	5	5
	夾角/磁鐵顆數	45 度/8 顆	45 度/8 顆	45 度/8 顆	30 度/12 顆	36 度/10 顆	36 度/10 顆	36 度/10 顆
	直徑大小(mm)	120	120	120	120	120	120	120
轉動情形 及 轉動圈數比 內：外	觀察 1	X	X	微動	X	5:1	X	抖動
	觀察 2	X	X	微動	X	5:1	X	抖動
	觀察 3	X 同步	X	微動	X	6:1 之後同步	X	抖動
※內圈直徑 90mm 時吸力強不好轉動，內圈磁鐵擺 30 度時不好安裝。 ※ X：為無法動。								

#### (三)、討論：

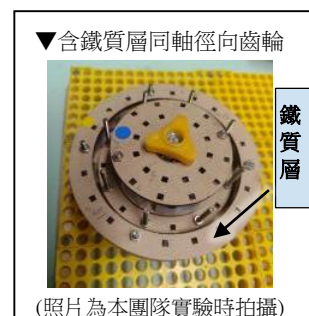
1. 當磁性齒輪內、外輪皆以直徑 10mm 磁鐵安裝時，雖兩磁鐵相距約 17mm，但為環形狀故有多組磁力相互作用（非只邊緣對齊的兩磁鐵），內、外圈會緊緊相吸不易轉動。
2. 當磁性齒輪內以直徑 10mm 磁鐵、外以直徑 5mm 磁鐵安裝，可開始轉動，但穩定性不佳且內、外輪為同步轉動。

### 【實驗 3-2】探討有無鐵質層對同軸徑向式磁齒輪組轉動的差異

#### (一)、研究過程：

在內、外 NS 排列磁鐵層中放入鐵質物件，比較其轉動差異 3 回。

#### (二)、研究結果：



內輪(主動輪)直徑 70mm	磁鐵直徑(mm)	10	10	10
	夾角/磁鐵顆數	60 度/6 顆	60 度/6 顆	90 度/4 顆
中輪（鐵質層）直徑 90mm	夾角/磁鐵顆數	30 度/12 顆	45 度/8 顆	60 度/6 顆
外輪直徑 120mm	磁鐵直徑(mm)	5	5	5
	夾角/磁鐵顆數	36 度/10 顆	36 度/10 顆	45 度/8 顆
轉動情形 及 轉動圈數比 內：外	觀察 1	X	5:3	X
	觀察 2	X	5:3	X
	觀察 3	X	5:3	X
備註				同步一起轉

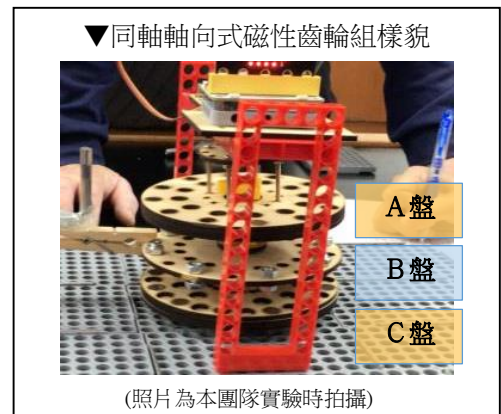
#### (三)、討論：

1. 鐵質層會使同軸徑向式磁性齒輪更穩定，且鐵質層放入的數量會影響其轉動效果。
2. 為求方便操作及多樣性的探討，鐵質層對磁性齒輪之影響，後續實驗改以「同軸型軸向式」磁性齒輪進行探究。

## 【實驗 4-1-1】探討 B 盤中螺絲在不同的圓心角，對同軸軸向式磁性齒輪相對轉動的影響

### (一)、研究過程：

由於圓盤 360 度的因數眾多，我們選擇磁鐵能夠擺放顆數較多的擺放模式，徑向位置訂為磁鐵邊緣距圓周約 2mm，而磁鐵的圓心角分別為 45 度跟 22.5 度，也就是 A 盤 8 顆、C 盤 16 顆，然後改變 B 盤螺絲的圓心角(數量)，來觀察磁性齒輪的轉動情形(5 回)。



固定不轉	磁鐵大小		磁鐵排列方式		B 盤使用材料	層距
B 盤	A 盤	C 盤	A 盤	C 盤	6M 螺絲 10mm	12
	10mm	10mm	NS 等角相間(45 度)	NS 等角相間(22.5 度)	等角相間	± 2mm

### (二)、研究結果：

設置物	A 盤	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8
圓心角(度)	B 盤	120 / 3	90 / 4	72 / 5	60 / 6	45 / 8	40 / 9	36 / 10	30 / 12	24 / 15	22.5 / 16
/ 顆數	C 盤	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16

(下表為上表中，A、C 兩盤夾角(數量)對調之帶動數據；以下實驗均同)

設置物	A 盤	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16
圓心角(度)	B 盤	120 / 3	90 / 4	72 / 5	60 / 6	45 / 8	40 / 9	36 / 10	30 / 12	24 / 15	22.5 / 16
/ 顆數	C 盤	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8	45 / 8

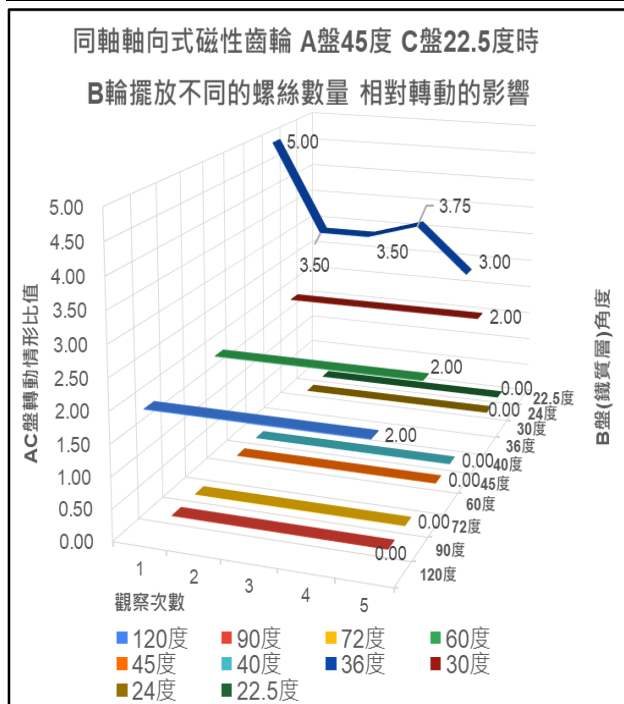


圖 4-1-1 B 盤不同圓心角分布時，A、C 盤轉動圈數比值

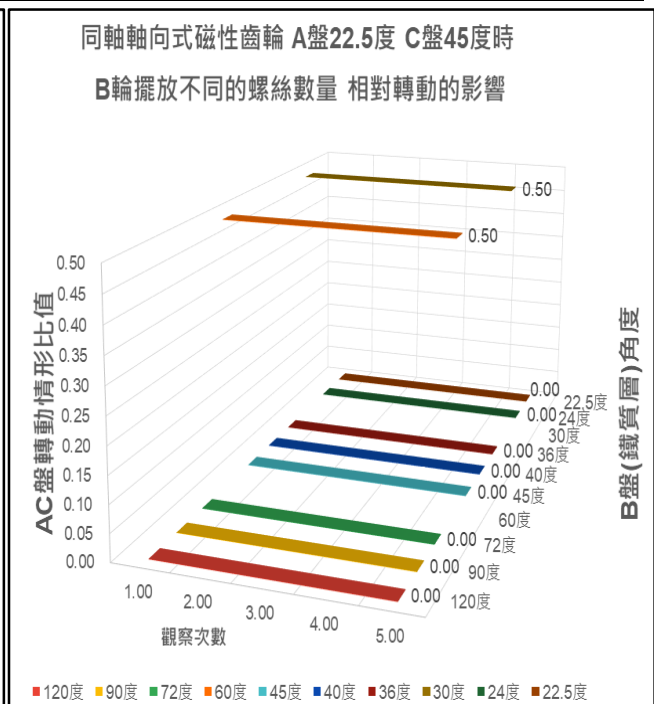


圖 4-1-2 A、C 盤分布對調之轉動圈數比值

(圖 4-1-1、4-1-2 皆為本團隊整理繪製)

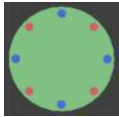
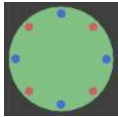
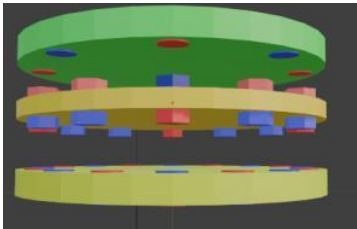
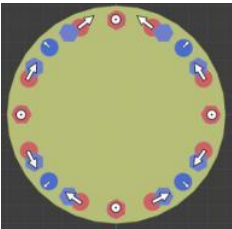
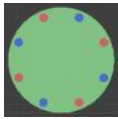
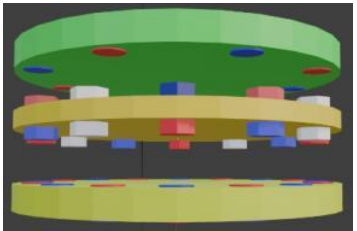
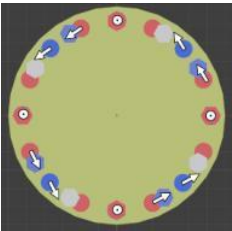
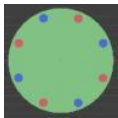
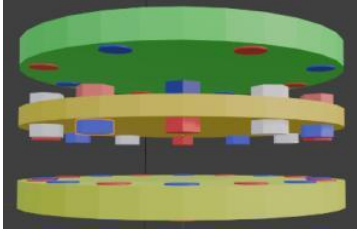
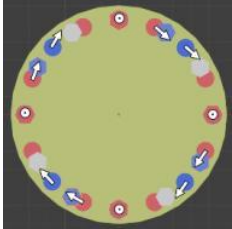
### (三)、討論：

1. 從數據中可知，B 盤螺絲的圓心角為  $60^\circ$  和  $30^\circ$ ，也就是 6 顆和 12 顆時，轉動圈數比呈現穩定的比值，而圓心角為  $120^\circ$  (3 顆) 在相反帶動數據中，因力矩不足呈現無法帶動。
2. 雖然 B 盤螺絲的  $36^\circ$  (10 顆) 有轉動圈數比，但無穩定的比值且在相反帶動數據也呈現無法帶動的情形。
3. 轉動圈數比呈現穩定的比值數據中，B 盤螺絲的圓心角為  $60^\circ$  (6 顆) 和  $30^\circ$  (12 顆)，存在的倍數關係，可看成將圓心角為  $30^\circ$  的磁鐵數量奇偶顆數減少一組，但也會影響力矩。
4. 穩定的比值數據中，圓心角  $120^\circ$  是  $30^\circ$  和  $60^\circ$  的 4 倍和 2 倍，所以此 3 組數據可能存在這某種關係。
5. 我們發現轉動圈數比最穩定時，與放置物的圓心角成正比，而且三盤圓心角的倒數也就是放置物的數量似乎存在的關聯性，且 A、C 兩盤的轉動方向互為反向。因此決定用 3D 建模軟體來模擬磁性齒輪。

### 【實驗 4-1-2】利用 Blender 3D 建模軟體進行磁性齒輪磁場的模擬與轉動的關係



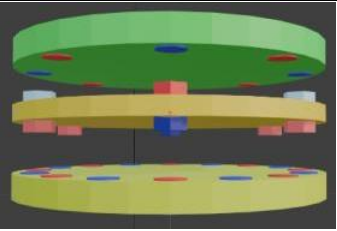
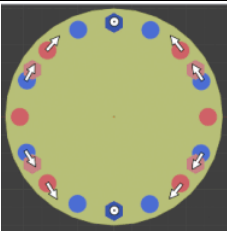
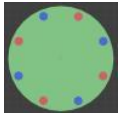
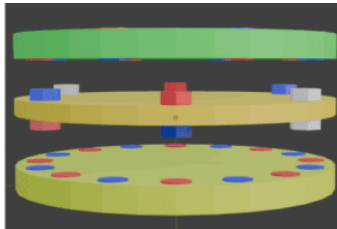
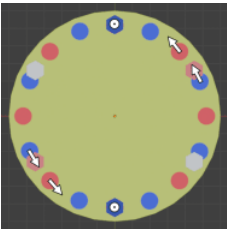
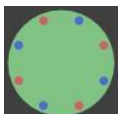
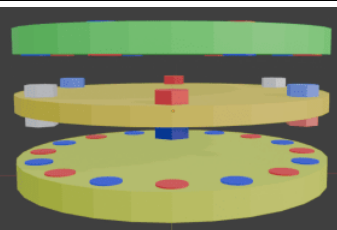
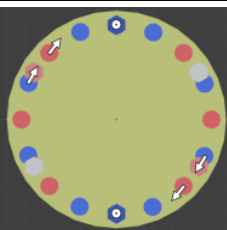
(一)、研究過程：利用 Blender 3D 建模軟體進行磁性齒輪的繪製，並模擬其磁場的分布，進而推測磁性齒輪的轉動情形。

(二)、研究結果：

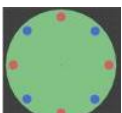
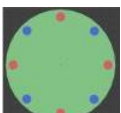
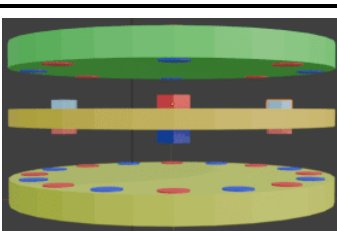
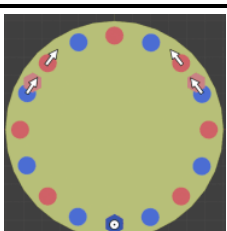
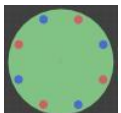
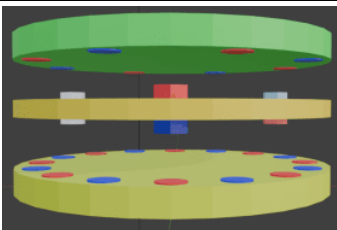
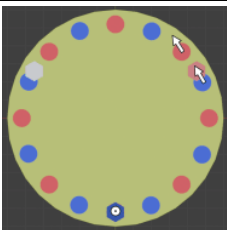
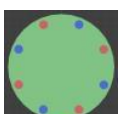
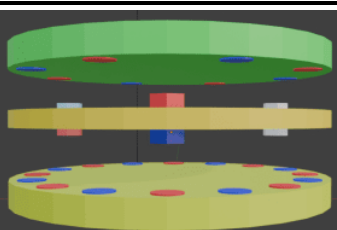
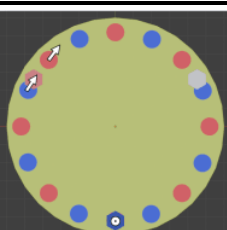
模擬-圓心角 $45^\circ$ - $30^\circ$ - $22.5^\circ$ (8-12-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形				
A 盤初始態	轉動 A 盤	磁場模擬立體圖	C 盤磁鐵受 B 盤下螺絲磁場影響的情形	
 NS 相距 圓心角 $45^\circ$ (8 顆)	 0 度			C 盤 4 顆磁鐵被螺絲吸住 (⊙: 磁力向上) 合力矩=0，不轉動 箭頭: 磁力大小、方向 磁場強度: 紅色 N 極、藍色 S 極，顏色越深數值越大，後面亦同
順時針轉動 $22.5^\circ$				C 盤 4 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩 $\neq 0$ 逆時針轉動
逆時針轉動 $22.5^\circ$				C 盤 4 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩 $\neq 0$ 順時針轉動

(↑本表圖片皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)



模擬-圓心角 45°- 60° -22.5° (8-6-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形				
A 盤初始態	轉動 A 盤	磁場模擬立體圖	C 盤磁鐵受 B 盤下螺絲磁場影響的情形	
				C 盤 2 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩=0 不轉動
NS-相距 90 度 (4 顆)	0 度			
順時針轉動 22.5 度				C 盤 2 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩≠0 逆時針轉動
逆時針轉動 22.5 度				C 盤 2 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩≠0 順時針轉動

(↑本表圖片皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)

模擬-圓心角 45°- 120° -22.5° (8-3-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形				
A 盤初始態	轉動 A 盤	磁場模擬立體圖	C 盤磁鐵受 B 盤下螺絲磁場影響的情形	
				C 盤 1 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩=0 不轉動
NS-相距 90 度 (4 顆)	0 度			
順時針轉動 22.5 度				C 盤 1 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩≠0 逆時針轉動
逆時針轉動 22.5 度				C 盤 1 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩≠0 順時針轉動

(三)、討論：

(↑本表圖片皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)

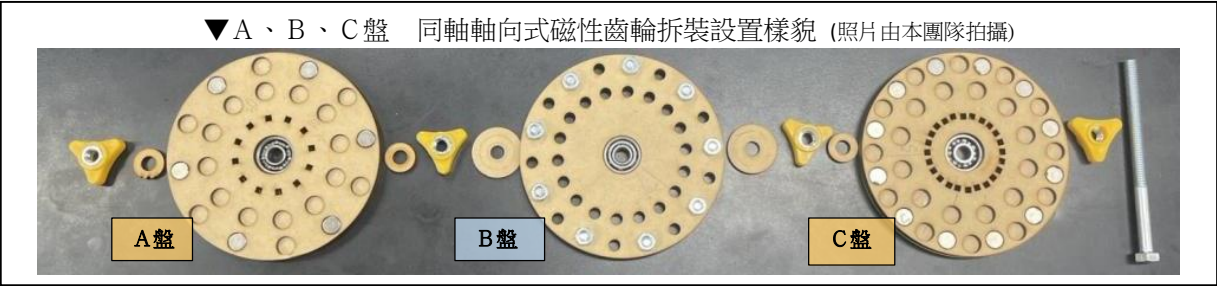
1. 從圖表中可知，三盤中放置物的位置具有對稱情形時，可能會產生轉動平衡或較大的力矩，例如中心線(直徑)對稱則轉動平衡，中心點(圓心)對稱則朝某一方轉動。
2. 因此放置物位置間具有對稱結構的圓心角，是我們之後的研究目標。



【實驗 4-2-1】探討放置物位置間具有對稱結構時，對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響

(一)、研究過程：

- 1.從上個實驗數據呈現的狀況和推論，因此本次實驗我們將利用三盤放置物具有對稱性並固定 B 盤來進行實驗，記錄數據和觀察其相對的轉動圈數比。
- 2.此實驗我們是按放置物圓心角逐漸減少(數量逐漸增加)，配合對稱性，來設計 A 盤和 C 盤放置物的位置來從事實驗 5 回。



固定不轉	磁鐵大小		磁鐵排列方式		B 盤使用材料	層距
B 盤	A 盤	C 盤	A 盤	C 盤	6M 螺絲 10mm	12
	10mm	10mm	NS 等角相間	NS 等角相間	等角相間	± 2mm

(二)、研究結果：

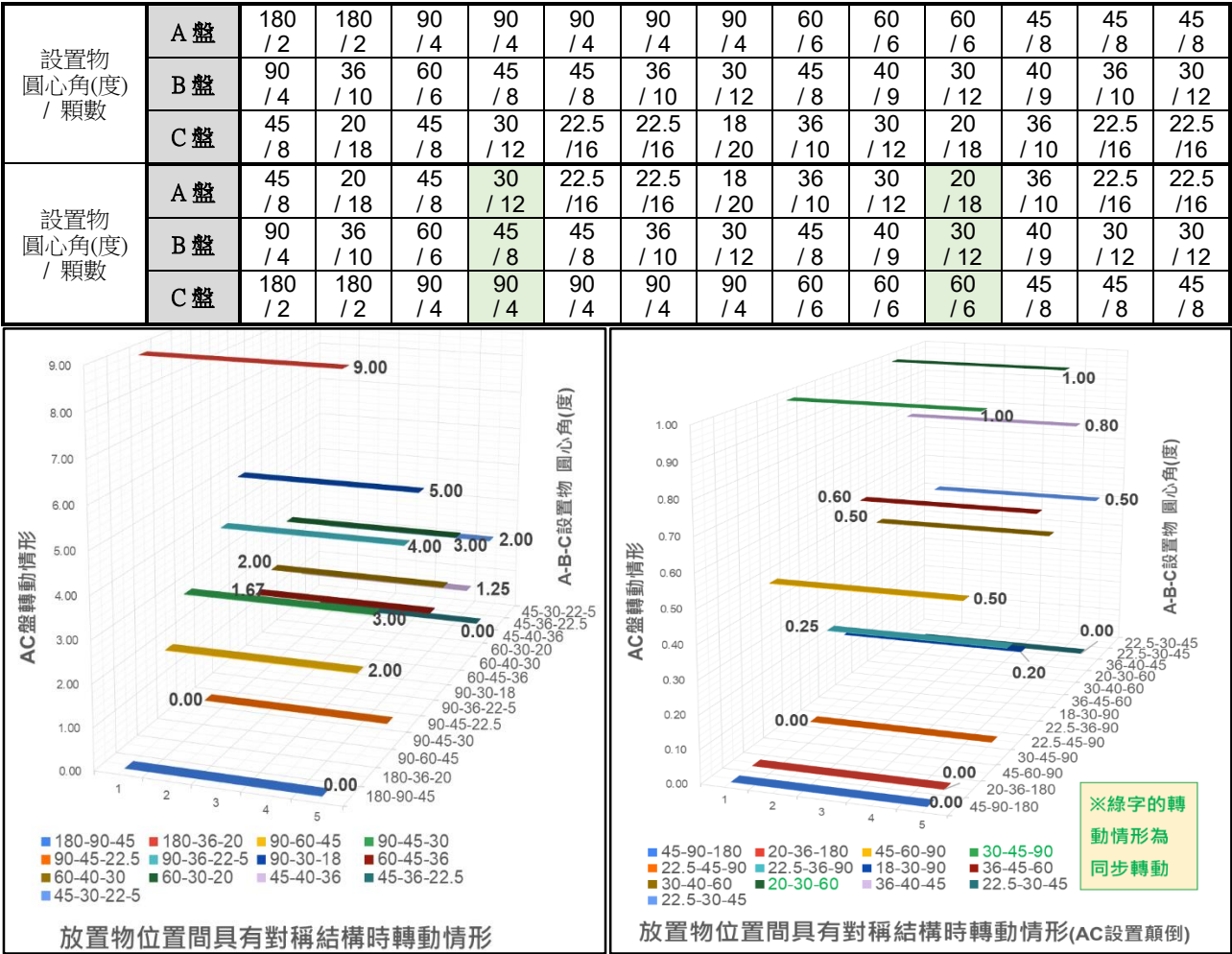


圖 4-2-1 (本團隊整理繪製)

圖 4-2-2 (本團隊整理繪製)

### (三)、討論：

1. 從數據可知，除了 A、C 盤同步轉動的數據外，具有穩定的轉動圈數比時，會和放置物的圓心角比呈現正比關係，而 A、C 兩盤的數量之間似乎有某種數列的關係。
2. 圓心角 180 度的磁鐵盤帶動圓心角 20 度的磁鐵盤時，轉動圈數比遵守正比規律；但由圓心角 20 度的磁鐵盤帶動圓心角 180 度的磁鐵盤時，A 盤無法帶動 C 盤旋轉。我們可嘗試調整盤與盤的間距，或加強 C 盤中的磁力或改用直徑大且磁力強的磁鐵。
3. 同步轉動的數據是值得深究的，實驗時明顯觀察到 A、B、C 三盤在平面 0-90-180-270 度的位置，均有放置物，也就是 C 盤的四顆磁鐵有很大的機率透過 B 盤的鐵質層而被 A 盤相對位置的磁鐵所吸住，導致 A、C 兩盤同步轉動；但若一開始轉動時，C 盤和 A 盤有反向轉動的情形，就會遵守轉動圈數比和 A、C 兩盤圓心角成正比的規律。

### 【實驗 4-2-2】利用磁力計的數據配合 3D 建模軟體來驗證磁性齒輪的轉動情形

(一)、研究過程：我們使用磁力計測量磁性齒輪中放置物的磁場大小，並配合 3D 模擬軟體來確認磁性齒輪的磁場分布及驗證轉動情形。

(二)、研究結果：(詳細數據見數據本)(↓本表圖片皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)

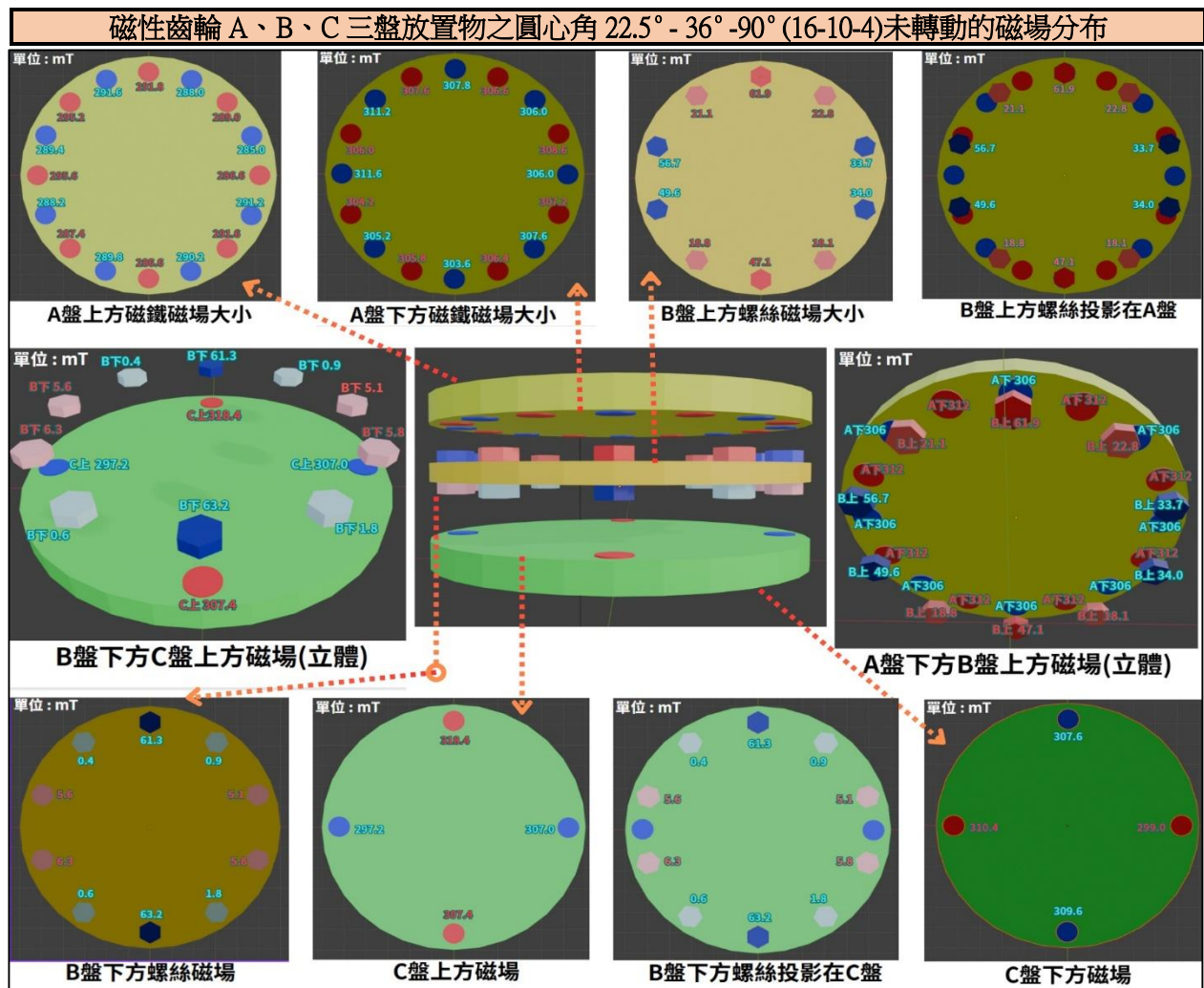
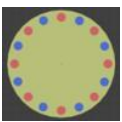
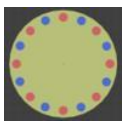
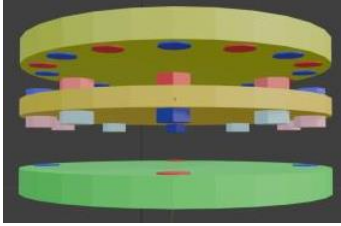
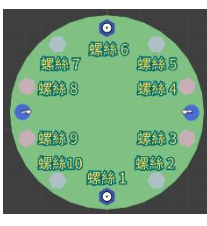
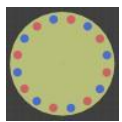
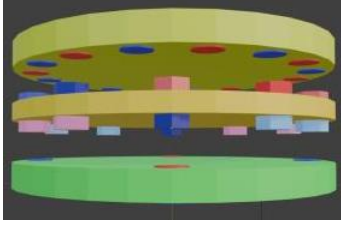
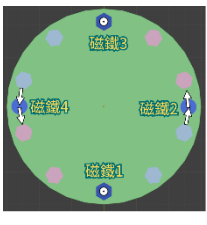
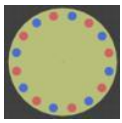
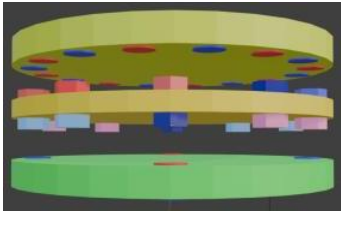
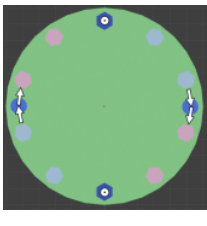


圖 4-2-3 A、B、C 三盤放置物之顆數 16-10-4 時未轉動之磁場分布

(三)、討論：

- 1. 鐵質層的磁性受上下兩盤磁鐵的相對位置影響，而呈現不同的數據。這也正是磁性齒輪轉動的原因。
- 2. 從數據分析中，可知 A 盤和 C 盤反向轉動的原因，大部分都是因磁性齒輪整體的磁場呈現線對稱的轉動平衡，變化為點對稱的磁場而產生力矩，進而產生轉動現象。
- 3. 下列圖表中的數據也呈現如此的結果。

模擬-圓心角 22.5°- 36° -90° (16-10-4) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形				
A 盤初始態	轉動 A 盤	磁場模擬立體圖	C 盤磁鐵受 B 盤下螺絲磁場影響的情形	
				C 盤磁鐵 1、3 被螺絲 1 和 6 吸住 (圖 4-2-4) 螺絲 3、4 造成磁鐵 2 之力矩約為 0 (圖 4-2-5) 故轉動平衡， <b>不轉動</b> (線對稱)
NS-相距 20 度 (16 顆)	0 度			
順時針轉動 11.25 度				同理 C 盤 2 顆磁鐵被螺絲吸住 螺絲 3、4 造成成磁鐵 2 之力矩 ≠ 0 逆時針 (圖 4-2-6) 同理磁鐵 4 力矩 ≠ 0 逆時針 故合力矩 ≠ 0 <b>逆時針轉動</b>
逆時針轉動 11.25 度				同理 C 盤 2 顆磁鐵被螺絲吸住 螺絲 3、4 造成成磁鐵 2 之力矩 ≠ 0 順時針 (圖 4-2-7) 同理磁鐵 4 力矩 ≠ 0 順時針 故合力矩 ≠ 0 <b>順時針轉動</b>

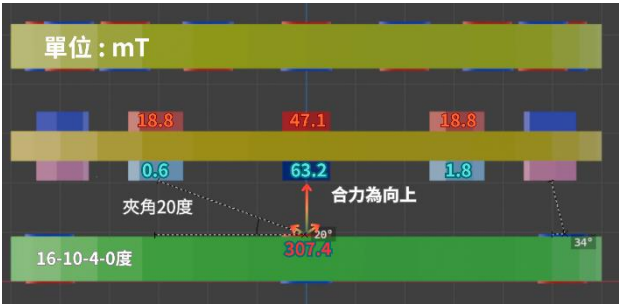


圖 4-2-4 未轉動時 C 盤磁鐵 1 之磁場分布

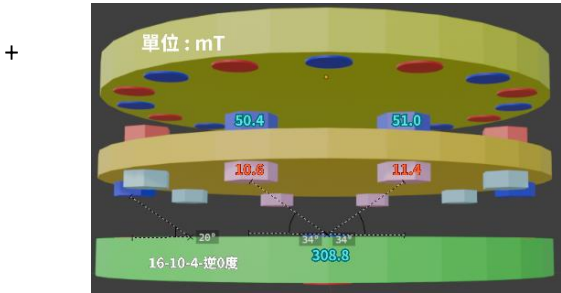


圖 4-2-5 未轉動時 C 盤磁鐵 2 之磁場分布

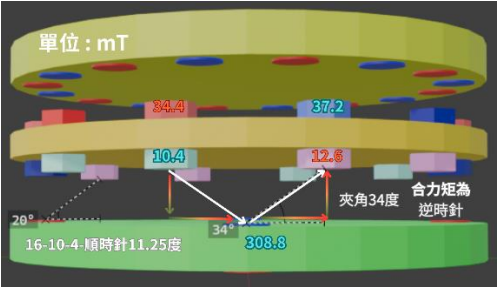


圖 4-2-6 順轉 11.25 度時 C 盤磁鐵 2 之磁場分布

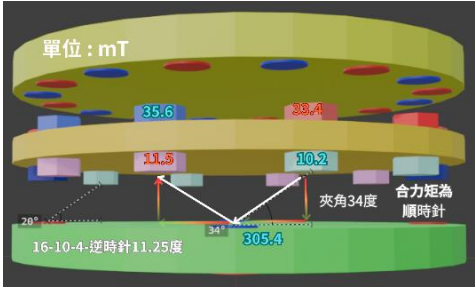


圖 4-2-7 逆轉 11.25 度時 C 盤磁鐵 2 之磁場分布

(上方表格內圖片及圖 4-2-4、4-2-5、4-2-6、4-2-7 皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)



模擬-圓心角 $90^{\circ}$ - $36^{\circ}$ - $22.5^{\circ}$ (4-10-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形				
A 盤初始態	轉動 A 盤	磁場模擬立體圖	C 盤磁鐵受 B 盤下螺絲磁場影響的情形	
				C 盤磁鐵 1、9 被螺絲 1 和 6 吸住 力矩呈現線對稱 故合力矩=0 不轉動
NS-相距 $90^{\circ}$ 度 (4 顆)	0 度			
順時針轉動 11.25 度				C 盤磁鐵 1、9 被螺絲 1 和 6 吸住，上、下框力矩都線對稱(圖 4-2-8) (圖 4-2-9) 只剩中間部分的小力矩(圖 4-2-10)，合力矩 $\neq 0$ 但很小 逆時針小轉動
逆時針轉動 11.25 度				同理： C 盤磁鐵 1、9 被螺絲 1 和 6 吸住，上、下框力矩都線對稱只剩中間部分的小力矩，合力矩 $\neq 0$ 但很小 順時針小轉動
順時針轉動 22.5 度				C 盤磁鐵 1、9 被螺絲 1 和 6 吸住，上、下框各顏色的力矩都線對稱，但逆時針力矩都大於順時針力矩 故合力矩 $\neq 0$ 逆時針轉動
逆時針轉動 22.5 度				C 盤磁鐵 1、9 被螺絲 1 和 6 吸住，上、下框各顏色的力矩都線對稱，但順時針力矩都大於逆時針力矩 故合力矩 $\neq 0$ 順時針轉動

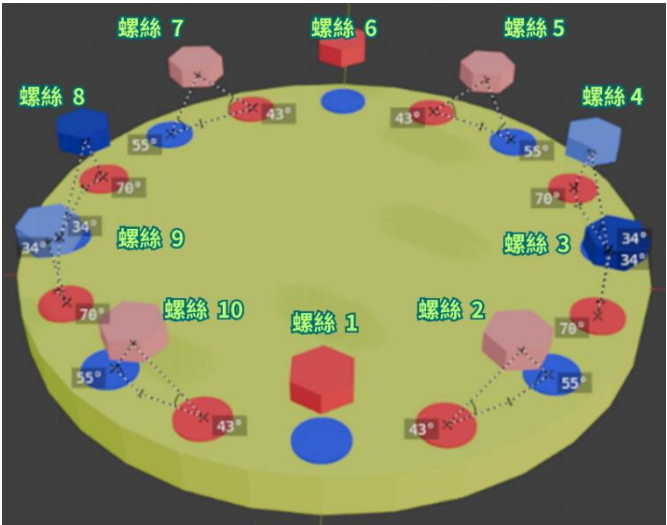


圖 4-2-8 順轉 11.25 度時 C 盤磁鐵與 B 盤螺絲間的相對夾角

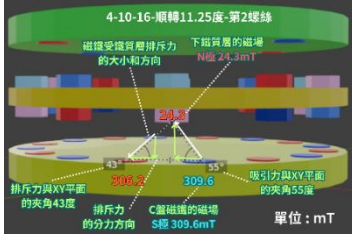


圖 4-2-9 順轉 11.25 度時 C 盤磁鐵 2 和 3 之磁場分布

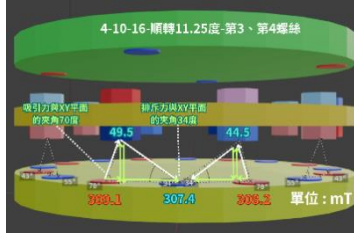
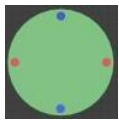
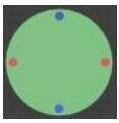
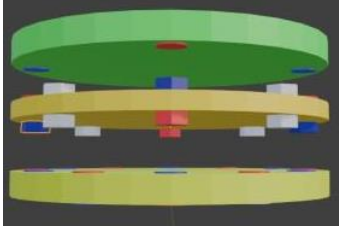
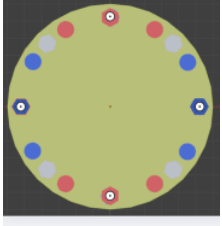
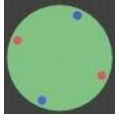
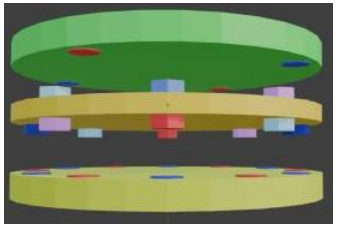
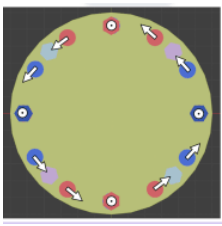
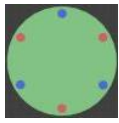
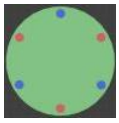
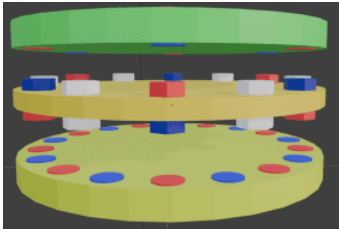
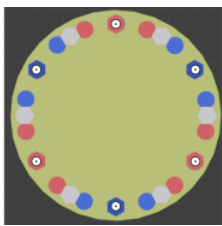
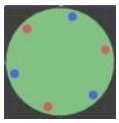
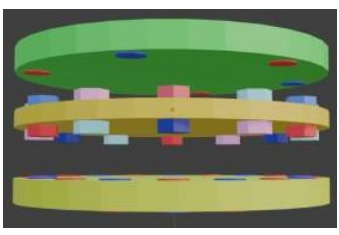
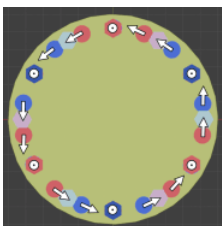


圖 4-2-10 順轉 11.25 度時 C 盤磁鐵 4 和 5 之磁場分布

(上方表格內圖片及圖 4-2-8、4-2-9、4-2-10 皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)

模擬-圓心角 90°- 45° -30° (4-8-12) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形				
A 盤初始態	轉動 A 盤	磁場模擬立體圖	C 盤磁鐵受 B 盤下螺絲磁場影響的情形	
				C 盤 4 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩=0 (線對稱) 不轉動
NS-相距 90 度 (4 顆)	0 度			
順時針轉動 22.5 度				C 盤 4 顆磁鐵被螺絲吸住，其他螺絲線對稱，合力矩≠0，但其他螺絲磁場小，力矩則小，須先克服顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動，不然只能與 A 盤同向同步轉動
同理，逆時針轉動 22.5 度亦同，須先克服 4 顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動，不然只能與 A 盤同步轉動				

(↑表格內圖片皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)

模擬-圓心角 60°- 30° -20° (6-12-18) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形				
A 盤初始態	轉動 A 盤	磁場模擬立體圖	C 盤磁鐵受 B 盤下螺絲磁場影響的轉動情形	
				C 盤 6 顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩=0 (線對稱) 不轉動
NS-相距 60 度 (6 顆)	0 度			
順時針轉動 15 度				C 盤 6 顆磁鐵被螺絲吸住，其他螺絲合力矩≠0 但螺絲磁場小，同 4-8-12 須先克服顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動，不然與 A 盤同向同步轉動
同理，逆時針轉動 15 度亦同，須先克服 6 顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動。				

(↑表格內圖片皆為本團隊利用 Blender 3D 建模軟體繪製及整理而成)



### 【實驗 4-2-3】探討固定 C 盤對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響

#### (一)、研究過程：

同上實驗過程，將固定 B 盤改為『固定 C 盤』來進行實驗，並觀察其相對的旋轉比例關係 5 回，並觀察其相對的轉動圈數比。

固定不轉	磁鐵大小		磁鐵排列方式		B 盤使用材料	層距
C 盤	A 盤	C 盤	A 盤	C 盤	6M 螺絲 10mm	12
	10mm	10mm	NS 等角相間	NS 等角相間	等角相間	± 2mm

#### (二)、研究結果：

設置物 圓心角(度) / 顆數	A 盤	60 / 6	90/4	22.5 / 8	設置物 顆數	A 盤	36/10	22.5/16	22.5/16
	B 盤	45/ 8	36/10	30/12		B 盤	45 / 8	36/10	30/12
	C 盤	36/10	22.5/16	22.5/16		C 盤	60 / 6	90/4	22.5 / 8
AB 盤轉動情形 1		8:3	5:1	3:1	AB 盤轉動情形 1		8:5	5:4	3:2
AB 盤轉動情形 2		8:3	5:1	3:1	AB 盤轉動情形 2		8:5	5:4	3:2
AB 盤轉動情形 3		8:3	5:1	3:1	AB 盤轉動情形 3		8:5	5:4	3:2
AB 盤轉動情形 4		8:3	5:1	3:1	AB 盤轉動情形 4		8:5	5:4	3:2
AB 盤轉動情形 5		8:3	5:1	3:1	AB 盤轉動情形 5		8:5	5:4	3:2

#### (三)、討論：

1. 將三盤數量 6-8-(固定 10 不轉)和(固定 6 不轉)-8-10 的數據中，旋轉量比例 8：3 和 5：8 進行連比，可得三盤旋轉量比為 40：15：24；也就是若固定 B 盤不轉，則可得 A 盤和第 C 盤的旋轉量比為 5：3 與實驗 4-2-1 的結果相同。

2. 同理將三盤數量 4-10-(固定 16 不轉)和(固定 4 不轉)-10-

16 的數據進行連比，可得三盤旋轉量比為 20：4：5；也就是若固定 B 盤不轉，則可得 A 盤和第 C 盤的旋轉量比為  $20：5 = 4：1$ ，也與實驗 4-2-1 的結果相同。

3. 同理三盤數量 8-12-16 進行連比，可得三盤旋轉量比為 6：2：3；也就是若固定 B 盤不轉，則可得 A 盤和 C 盤的旋轉量比為  $6：3 = 2：1$ ，還是與實驗 4-2-1 的結果相同。

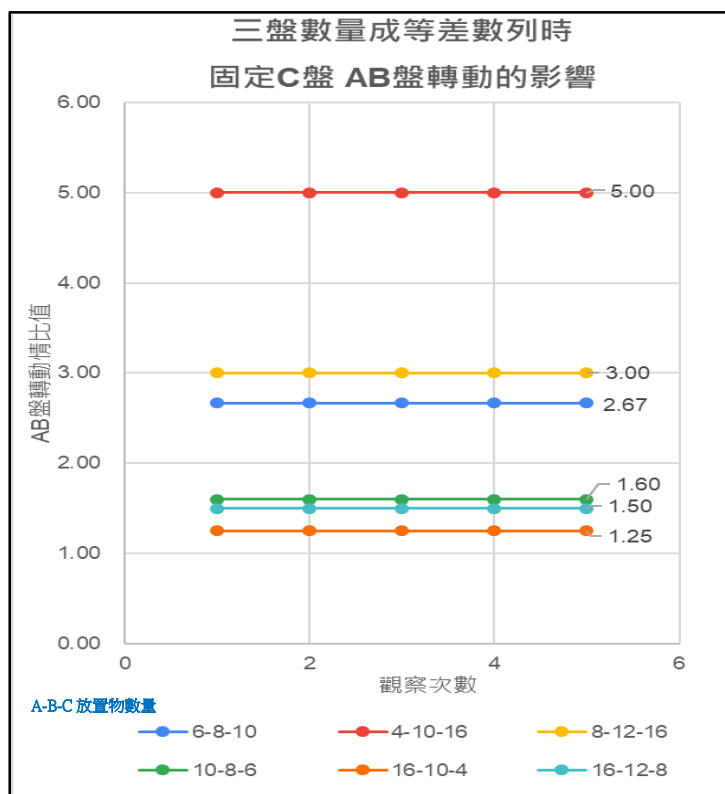


圖 4-2-11 固定 C 盤時 AB 盤的轉動圈數比值(本團隊整理繪製)

#### 【實驗 4-2-4】探討 B 盤(鐵質層)中，長短或不同材質對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響

##### (一)、研究過程：

從以上幾個實驗數據呈現的狀況可知，磁鐵的大小和磁盤的距離都會有所影響，因此本次實驗我們將改變 6M 螺絲長短或採用不同材質來進行實驗，並觀察其相對的旋轉比例關係 5 回。

甲組設定：

固定不轉	磁鐵大小		磁鐵排列方式		B 盤排列方式	層距
B 盤	A 盤	C 盤	A 盤	C 盤	等角相間	12 ± 2mm
	10mm	10mm	NS 等角相間	NS 等角相間	30 度 / 12 顆	
			45 度 / 8 顆	22.5 度 / 16 顆		

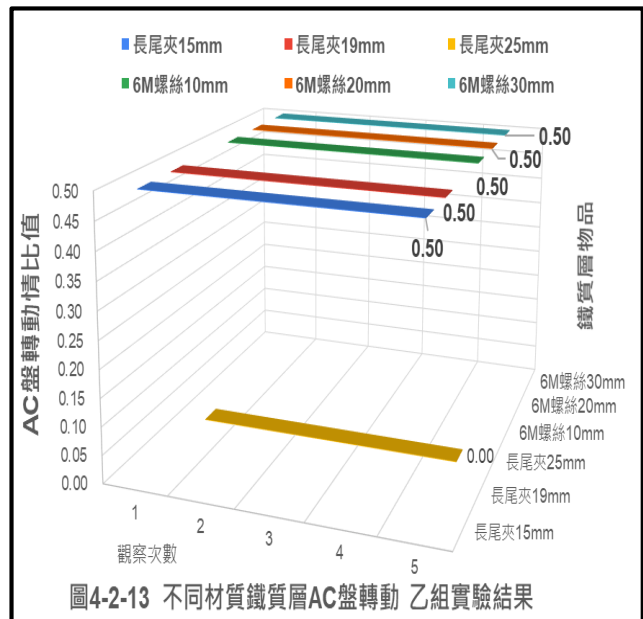
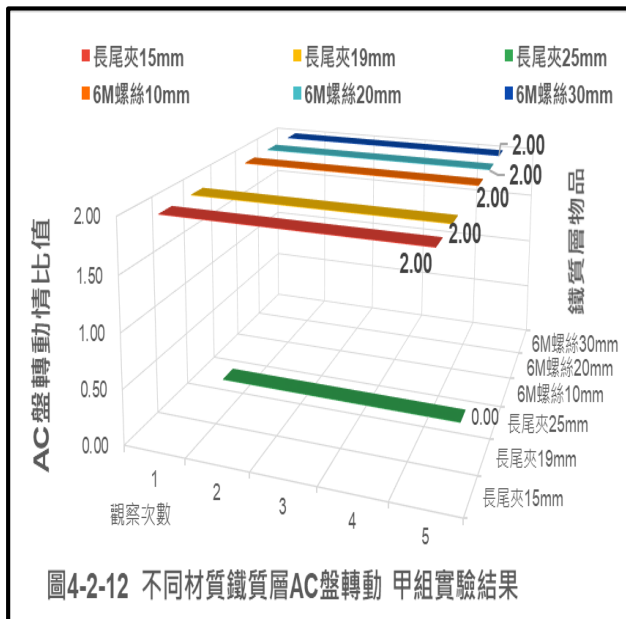
乙組設定：

固定不轉	磁鐵大小		磁鐵排列方式		B 盤排列方式	層距
B 盤	A 盤	C 盤	A 盤	C 盤	等角相間	12 ± 2mm
	10mm	10mm	NS 等角相間	NS 等角相間	45 度 / 8 顆	
			22.5 度 / 16 顆	45 度 / 8 顆		

B 層鐵質層物件	長尾夾	長尾夾	長尾夾	6M 螺絲	6M 螺絲	6M 螺絲
樣式	15mm	19mm	25mm	10mm	20mm	30mm

##### (二)、研究結果：

(↓圖 4-2-12、4-2-13 皆為本團隊整理繪製)



##### (三)、討論：

從實驗的數據可知，長尾夾也可替代螺絲造成穩定的轉動圈數比，但過大的長尾夾數量會受到限制，因其大小會因為使用數量過多而造成過密(間隔縫隙太小)，是必須考量的因素，若長尾夾數量與寬度匹配不適當，就會造成不穩定，甚至於不會旋轉。

### 【實驗 4-3】探討不同規格的磁鐵對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響

#### (一)、研究過程：

針對實驗 4-1-2 討論的第 2、第 3 和第 4 點，因此本實驗我們將磁鐵數量少的 C 盤中的磁鐵改成直徑 15mm 來進行實驗，並觀察其相對的旋轉比例關係 5 回。

#### (二)、研究結果：

固定不轉	磁鐵大小		磁鐵排列方式		B 盤使用材料	層距	※
B 盤	A 盤	C 盤	A 盤	C 盤	6M 螺絲 10mm	12	磁鐵排列同向 (NN、SS)
	15mm	10mm	NS 等角相間	NS 等角相間	等角相間	± 2mm	

設置物 圓心角(度) / 顆數	A 盤	90 / 4	90 / 4	18 / 20	45 / 8	90 / 4	(※) 90 / 4
	B 盤	45 / 8	36 / 10	36 / 10	30 / 12	30 / 12	30 / 12
	C 盤	30 / 12	22.5 / 16	20 / 18	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16

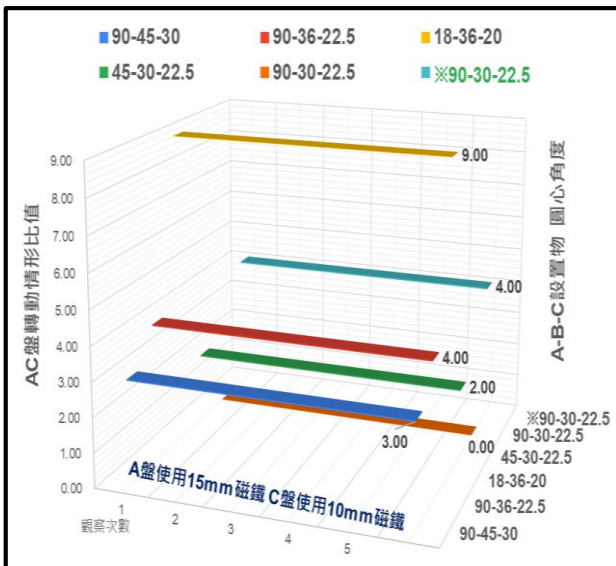


圖 4-3-1 不同規格的磁鐵對 AC 盤轉動情況(A 磁鐵 15mm)

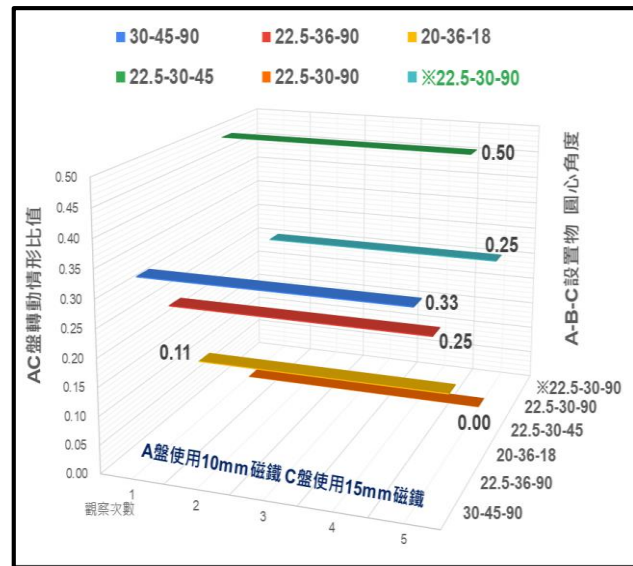


圖 4-3-2 不同規格的磁鐵對 AC 盤轉動情況(A 磁鐵 10mm)

(↑ 圖 4-2-12、4-2-13 皆為本團隊整理繪製 ↑)

固定不轉	磁鐵大小		磁鐵排列方式		B 盤使用材料	層距	※
B 盤	A 盤	C 盤	A 盤	C 盤	6M 螺絲 10mm	12 ± 2mm	磁鐵排列同向
	10mm	15mm	NS 等角相間	NS 等角相間	等角相間		

設置物 圓心角(度) / 顆數	A 盤	30 / 12	22.5 / 16	20 / 18	22.5 / 16	22.5 / 16	22.5 / 16
	B 盤	45 / 8	36 / 10	36 / 10	30 / 12	30 / 12	30 / 12
	C 盤	90 / 4	90 / 4	18 / 20	45 / 8	90 / 4	(※) 90 / 4

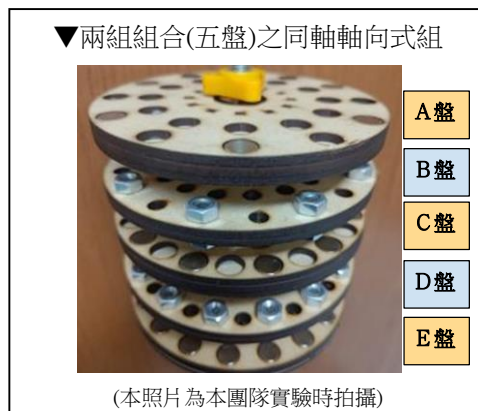
#### (三)、討論：

1. 從實驗數據可觀察到與之前實驗的結果相同，磁性齒輪的 A 盤和 C 盤的轉動圈數比會和磁鐵的圓心角呈現正比關係。
2. 也再次驗證我們在實驗 4-1-2 的推論是正確的，當磁鐵的數量較少時，改用直徑較大磁場也較強的磁鐵，會比較容易傳動。

## 【實驗 4-4】探討兩組同軸軸向式磁性齒輪組合(五盤)時的轉動情形

### (一)、研究過程：

受制於磁鐵的數量的限制，所以我們採用直徑 10mm 的磁鐵來做同軸軸向式磁性齒輪的組合，也就是五層的磁性齒輪，我們利用之前三盤呈現穩定比值的數據中之兩組來進行組合，且固定 B、D 盤來從事實驗，並觀察其相對的旋轉比例關係 5 回。



固定 不轉	磁鐵大小			磁鐵排列方式			B、D 盤 使用材料	層距
B、D 盤	A 盤	C 盤	E 盤	A 盤	C 盤	E 盤	6M 螺絲 10mm	12
	10mm	10mm	10mm	NS 等角相間	NS 等角相間	NS 等角相間	等角相間	± 2mm

### (二)、研究結果：

設置物 圓心角(度) / 顆數	A 盤	90 / 4	60 / 6	45 / 8
	B 盤	60 / 6	40 / 9	30 / 12
	C 盤	45 / 8	30 / 12	22.5 / 16
	D 盤	22.5 / 16	24 / 15	36 / 10
	E 盤	15 / 24	20 / 18	90 / 4
ACE 盤轉動情形 1		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE 盤轉動情形 2		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE 盤轉動情形 3		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE 盤轉動情形 4		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE 盤轉動情形 5		6:3:1	6:3:2	2:1:4

設置物 圓心角(度) / 顆數	A 盤	15 / 24	20 / 18	90 / 4
	B 盤	22.5 / 16	24 / 15	36 / 10
	C 盤	45 / 8	30 / 12	22.5 / 16
	D 盤	60 / 6	40 / 9	30 / 12
	E 盤	90 / 4	60 / 6	45 / 8
ACE 盤轉動情形 1		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE 盤轉動情形 2		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE 盤轉動情形 3		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE 盤轉動情形 4		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE 盤轉動情形 5		1:3:6	2:3:6	4:1:2

### (三)、討論：

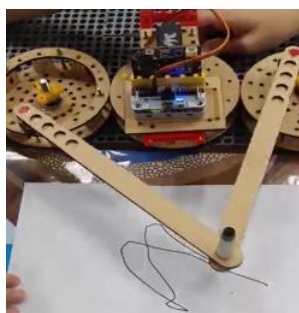
1. 觀察數據可知，均遵守我們之前的結果，也就是轉動圈數比會和磁鐵的圓心角呈現正比關係。
2. 本實驗如同之前的推論，在多顆磁鐵盤帶動少顆磁鐵盤時，由於多層傳動的因素，扭力傳到中間層時，因為中間層同時受上下兩層的影響，整體傳動扭力要加大才能使旋轉順暢，也建議若底層磁鐵數量較少時，可改用直徑較大且磁力也較強的磁鐵。
3. 所以在本實驗中，第一層輸出的扭力，要比實驗 4 中 ABC 三層組合時的輸出的扭力來得大，才能有效推動。



## 伍、結論

- 1、 同一磁鐵在不同距離進行測量時，距離越近時磁場越強；距離越遠時磁場越弱。
  - 2、 軸心平行式磁性齒輪：
    - (1) 轉動圈數比會與磁鐵的圓心角呈現正比關係。
    - (2) 軸心平行式磁性齒輪組在一定的磁力下，水平間移動時，中間磁場約  $1.2\text{mT}$ ；垂直移動時，中間磁場約  $4.94\text{mT}$ ，仍可與兩輪邊緣靠齊時的轉動情形相同。
    - (3) 不同轉速會影響磁性齒輪的穩定度及轉動圈數比，實驗中發現以速度 3 級最穩定。
    - (4) 若希望軸心平行式三個磁性齒輪可轉動，需以較大的圓心角分布當主動軸較容易成功，且運作時轉動方向會與一般齒輪一樣是「順-逆-順」或「逆-順-逆」旋轉。
  - 3、 同軸徑向式磁性齒輪：
    - (1) 多組磁力相互作用，雖兩磁鐵相距約  $17\text{mm}$ ，但其中一層需選用較小的直徑  $5\text{mm}$  磁鐵，其磁場約只有  $1.30\text{mT}$  才不會牢牢吸住。
    - (2) 在同軸軸向式磁性齒輪中，當三盤放置物之間成對稱關係時，磁性齒輪 A 盤和 C 盤的轉動圈數比，較有可能會和磁鐵的圓心角呈現正比關係。
  - 4、 對於同軸軸向式磁性齒輪 B 盤（鐵質層）放置物質之選擇，螺絲與螺帽的組合是很好的選擇，具有容易獲得、樣式眾多，且容易操作和穩定性好等優點，但不宜過長，以螺距  $20\text{mm}$  最佳；長尾夾雖然操作也方便，產生的扭力在操作時明顯略小，轉動易不穩定。
  - 5、 軸心平行式及同軸式磁性齒輪，當主動輪（盤）的磁鐵數量遠大於從動輪（盤）盤磁鐵數量的時候，轉動情形易不穩定，也就是兩盤的轉動圈數比例越大時，數量較少的從動輪（盤）必須增強磁力，或縮短與中間盤（鐵質層）的距離，穩定度才能獲得改善。
- 在應用及創新方面：
    - 1、 可製作磁力轉動風扇、隱藏式的磁性螺絲。
    - 2、 利用此繪製利薩如 (Lissajous) 圖形，進行 STEAM 各面向的學習。
    - 3、 傳統齒輪在長時間運行中可能會因為磨損而導致性能下降，而磁性齒輪組由於無接觸傳動，可減少磨損，提高耐用性，還能顯著降低維護成本、並提供更精確的控制。
    - 4、 它們在航空、船運、機械領域的應用具有巨大的潛力，並且在無接觸傳動、環境適應性和高效能等方面相較於傳統齒輪系統具有明顯優勢。

▼利薩如(Lissajous)圖形繪製機



(本照片為本團隊實驗時拍攝)

▼磁力轉動風扇示意圖



(本圖為本團隊繪製)

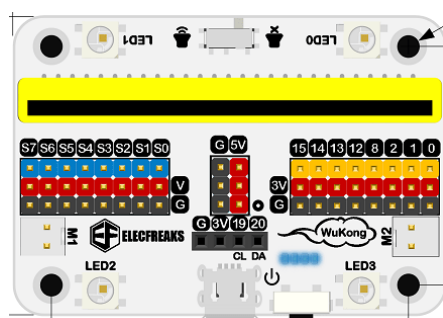
## 陸、參考資料及其他

- 一、李昆哲（2016）。創新磁性齒輪機構之設計與分析（未出版之 博士論文），國立雲林科技大學，雲林縣。
- 二、佑來了(2023)。【Fun 科學】無電力、無接觸竟能造成特殊轉動關係(Magnetic Gear)  
【youtube 影音資料】。取自：<https://www.youtube.com/watch?v=INaFP1hsfwM>
- 三、鄭永銘(民 2023 年 06 月 13 日)。淺談磁性齒輪【跟著鄭大師玩科學網站文字資料】取自：<https://masters.tw/323814/magnetic-gear>
- 四、Fowles, G. R. & Cassiday, G. L. (1993) Analytical Mechanics (5th Edition). Saunders College Publishing Harcourt Brance College Publishers.
- 五、奧斯丁國際 <https://www.oursteam.com.tw/view-product.php?id=122>

### 附錄一 micro:bit 伺服馬達控制 程序積木 （↓圖片為本團隊於 micro:bit 編擬後截圖）

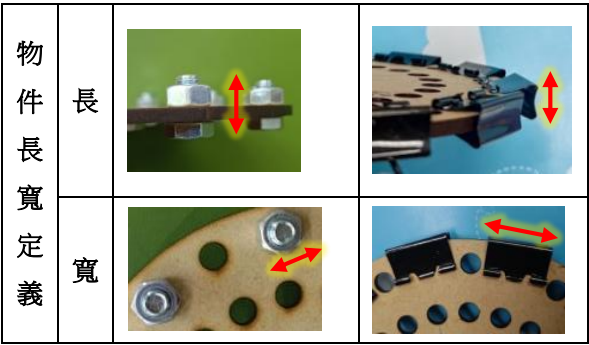


### 悟空擴充板版面



（圖片來源：奧斯丁國際）

# 附錄二 鐵質層資料



(↑本表照片皆為本團隊實驗時拍攝)

	6M 螺絲 10mm		6M 螺絲 20mm		6M 螺絲 30mm		9M 螺絲		15mm 長尾夾	19mm 長尾夾	25mm 長尾夾
重量平均 (g)	4.19		5.91		7.52		25.10		3.73	2.45	8.26
長平均(mm)	10.80		24.05		33.82		49.17		10.26	8.74	14.98
寬平均(mm)	螺頭 9.82	螺紋 5.73	螺頭 9.86	螺紋 5.69	螺頭 9.87	螺紋 5.59	螺頭 13.83	螺紋 8.36	24.95	18.88	32.04

	小螺帽	中螺帽	大螺帽	小螺帽	中螺帽	大螺帽	6 M 10 mm	6 M 20 mm	6 M 30 mm	9 M	15 mm 長尾夾	19 mm 長尾夾	25 mm 長尾夾
重量平均(g)	2.15	32.67	5.57										
長平均(mm)	4.84	5.64	6.64										
寬平均(mm)	9.83	11.83	13.78										

(↑照片為本團隊拍攝)

# 附錄三 軸心平行式磁性齒輪 其他數據

A 輪	磁鐵	15mm	
	排列方式	NS 相間	
	夾角	30 度	
	顆數	12	

B 輪 (主動軸)	磁鐵大小	15mm							
	排列方式	NS 相間							
	夾角	30 度	45 度	60 度	90 度	90 度 (2 轉)	180 度	180 度 (快)	180 度 (慢)
	顆數	12	8	6	4	4	2	2	2

轉動情形紀錄 轉動圈數比 A : B

轉圈觀察 圖示	觀察 1	◎1:1	△3 : 2	◎1:2	▼1:2	△1:1	◎1:4	△1:2	△2:3
◎：非常順 △：順 ▼：還好 X：不順	觀察 2	◎1:1	△3 : 2	◎1:2	▼1:2	△1:1	◎1:4	△1:2	△2:3
	觀察 3	◎1:1	△3 : 2	◎1:2	▼1:2	△3:4	◎1:4	△1:2	△2:2 (非 1:1)
	觀察 4	◎1:1	△3 : 2	◎1:2	▼1:2	△3:2	◎1:4	△1:2	△3:3 (非 1:1)
	觀察 5	◎1:1	△3 : 2	◎1:2	▼1:2	△3:2	◎1:4	△1:2	△5:9
備註/手轉動感覺		尚可	有阻力	尚可	尚可	尚可	很穩定	尚可	尚可

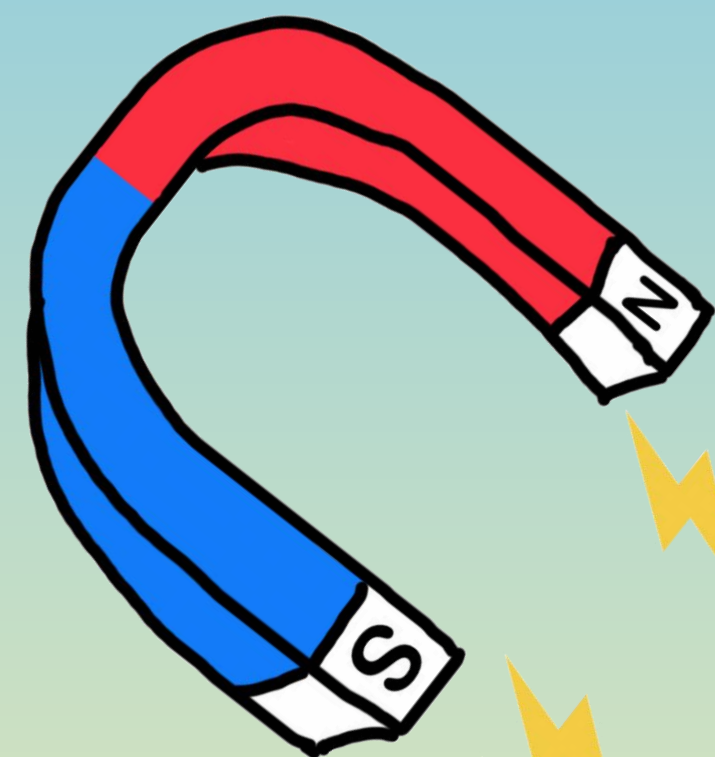
全文完

## 【評語】 080112

此作品研究磁性齒輪。以磁性特性與齒輪傳動原理，設計及製造磁性齒輪。利用 3D 建模分析法，設計出穩定的磁性齒輪。文獻回顧有詳細介紹磁性齒輪的類型及理論基礎。實驗上，利用強力磁鐵，鐵質層，找出磁性齒輪的對稱組合。詳盡的說明實驗內容及結果。作品頗具有實用價值！

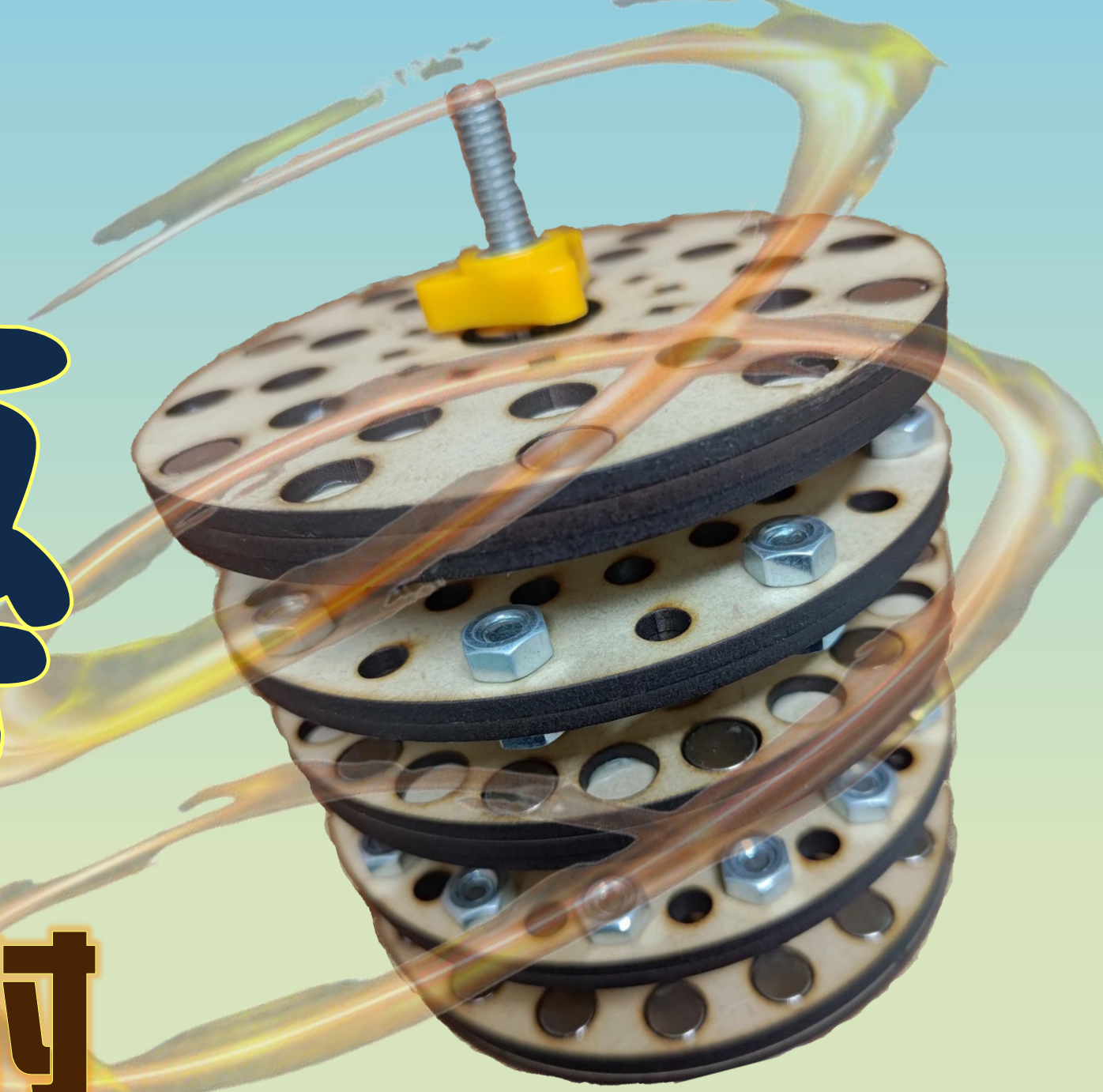


作品海報



# 磁來運轉

～磁性齒輪轉動圈數比因素探討



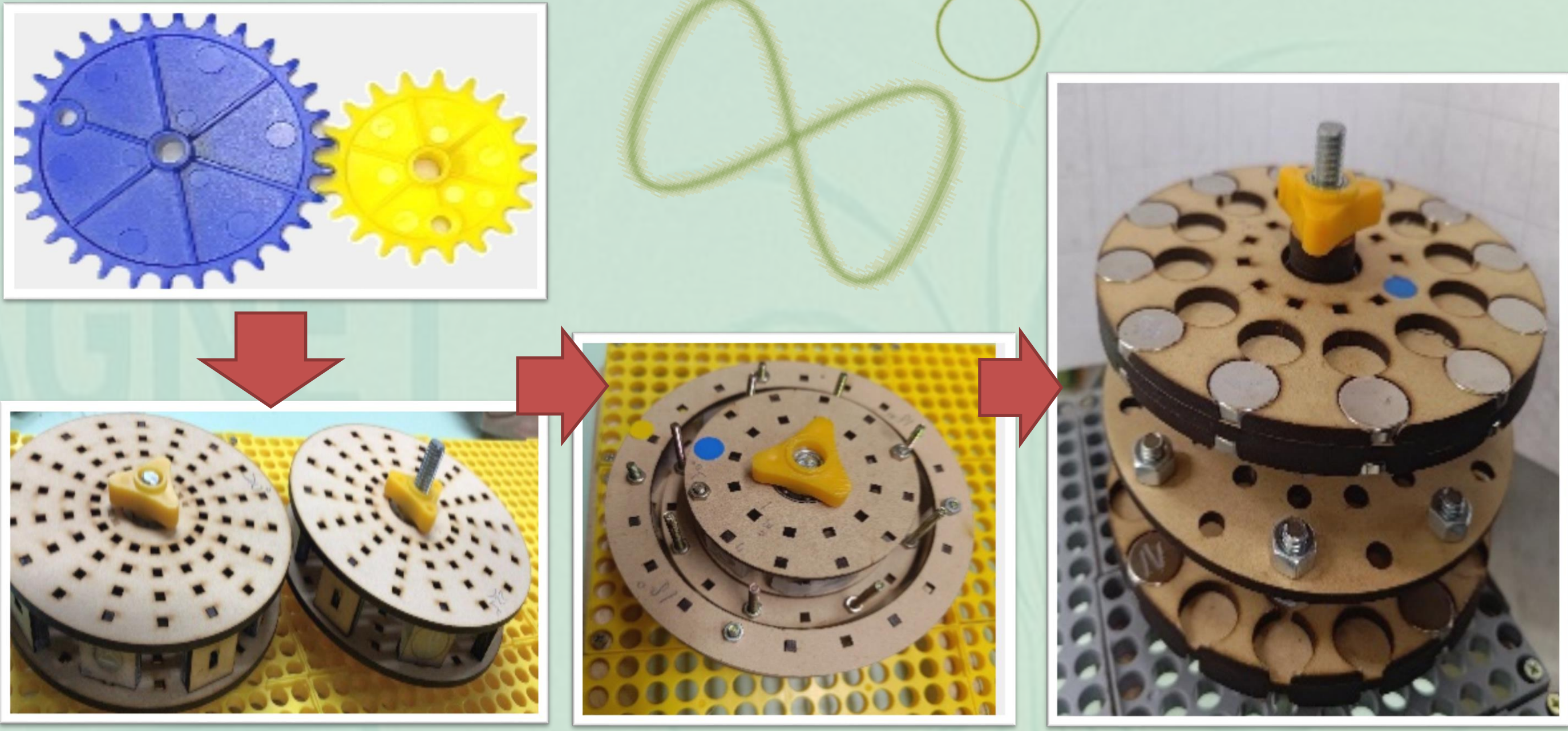


前言

一、研究摘要：

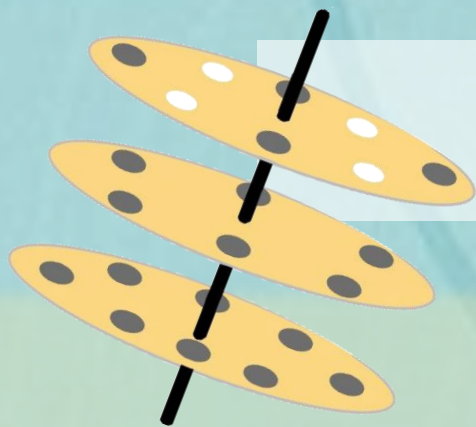
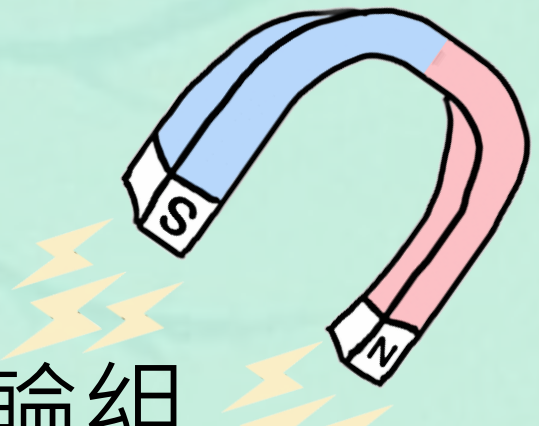
本研究以磁場特性與齒輪傳動原理為基礎，透過資料蒐集、影片觀察與3D建模，設計可調整圓心角與磁鐵分布的可拆式磁性齒輪，探討其旋轉比例。研究涵蓋同軸式、徑向式、平面與立體磁性齒輪，並探索生活應用如利薩如曲線等。

設計上結合3D建模與磁場測量修正理論，實作上運用強力磁鐵與適當鐵質層，搭配對稱組合，成功製作出轉動圈數比穩定的磁性齒輪。



二、研究目的：

- 一、探討不同規格的強力磁鐵在相對距離時的磁場。
- 二、探討不同的磁鐵分佈、距離差、轉速和相對組合比例，對軸心平行式磁性齒輪組轉動的影響。
- 三、探討不同的磁鐵磁場、有無鐵質層對同軸徑向式磁性齒輪組轉動的影響。
- 四、探討不同的磁鐵與鐵質層的分佈和樣式，對同軸軸向式磁性齒輪組轉動的影響。



• 理論基礎

(一)釹鐵硼強力磁鐵

釹鐵硼（NdFeB）磁鐵具有高磁性儲存能力，屬於硬磁材料，具有良好的磁性保持力，不易退磁，適合用於磁性齒輪的長期穩定運作。

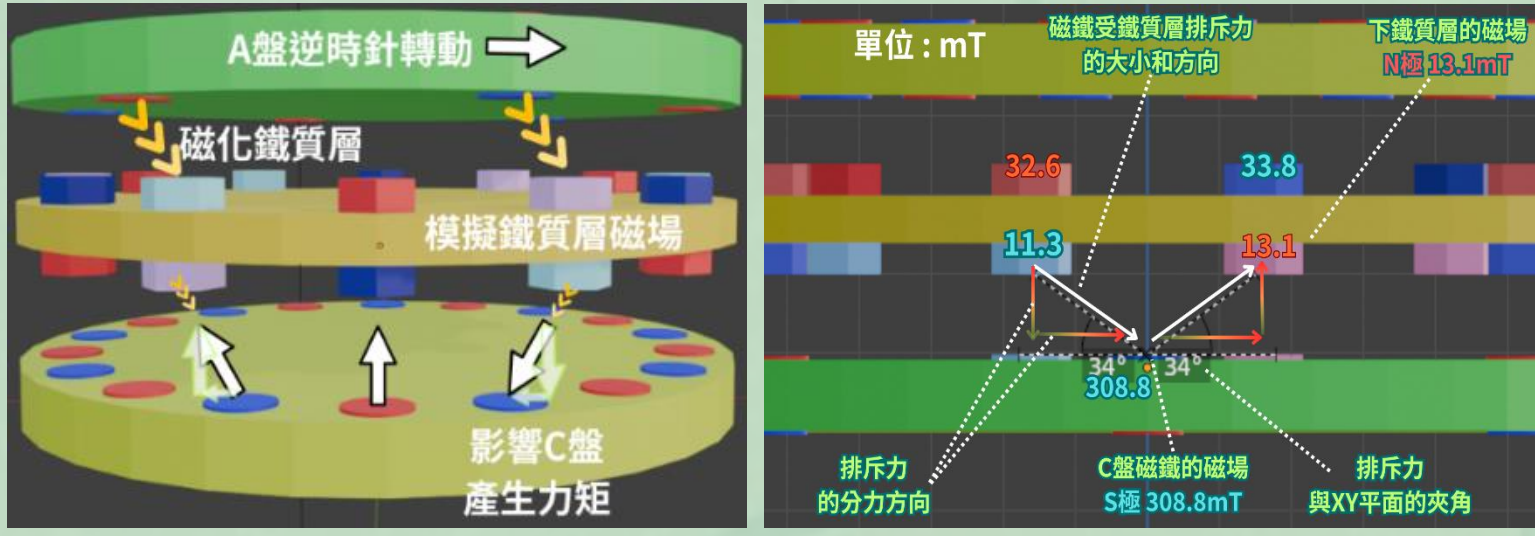
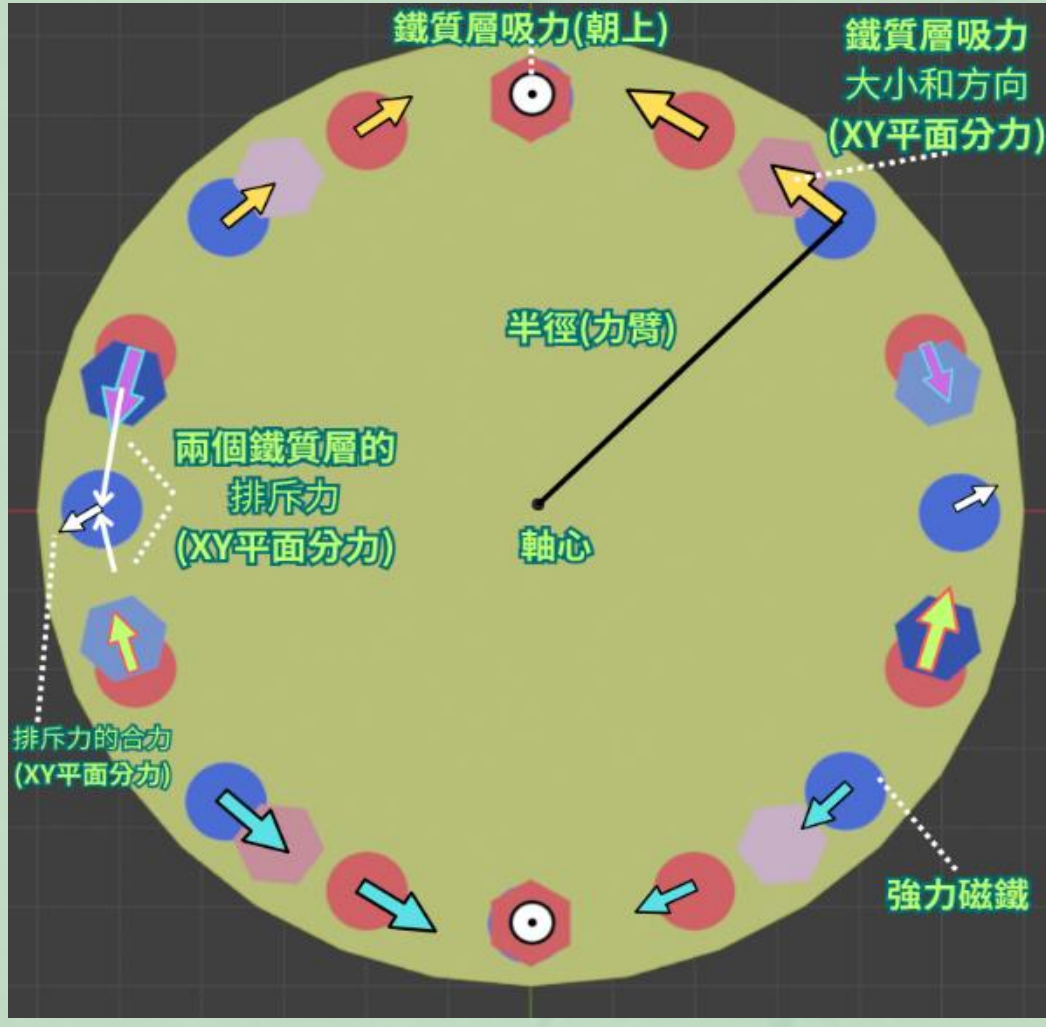
(二)磁化和磁場

磁化	將鐵質層靠近或接觸磁鐵，靠近的一端會產生異名極，遠離的一端產生同名極。
磁場	磁鐵附近磁力作用的範圍，對其他的磁性物質可產生磁感應。
磁力線	由法拉第提出，可以描繪磁場的範圍和磁場強度的大小及方向。
T (tesla) 磁通量密度 (磁通密度)	1韋伯(Wb)之磁通量（磁力總量）均勻而垂直地通過1平方公尺面積之磁通密度。

(三)力的合成、分解與力矩(轉矩)

力矩(τ) = 力臂(r) × 作用力(F)  
或  
轉矩 = 半徑 × 吸力(或排斥力)

(四)利用Blender 3D建模軟體進行磁性齒輪的模擬



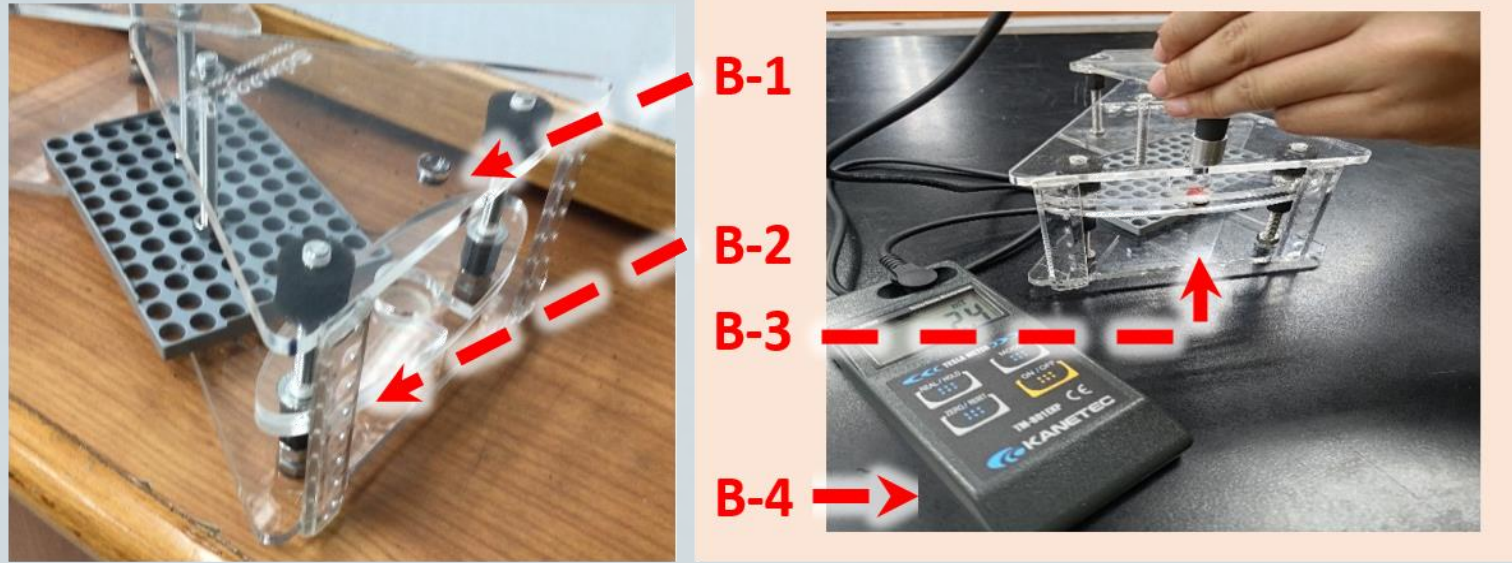
研究過程或方法

• 磁性齒輪測量平台構造簡介：



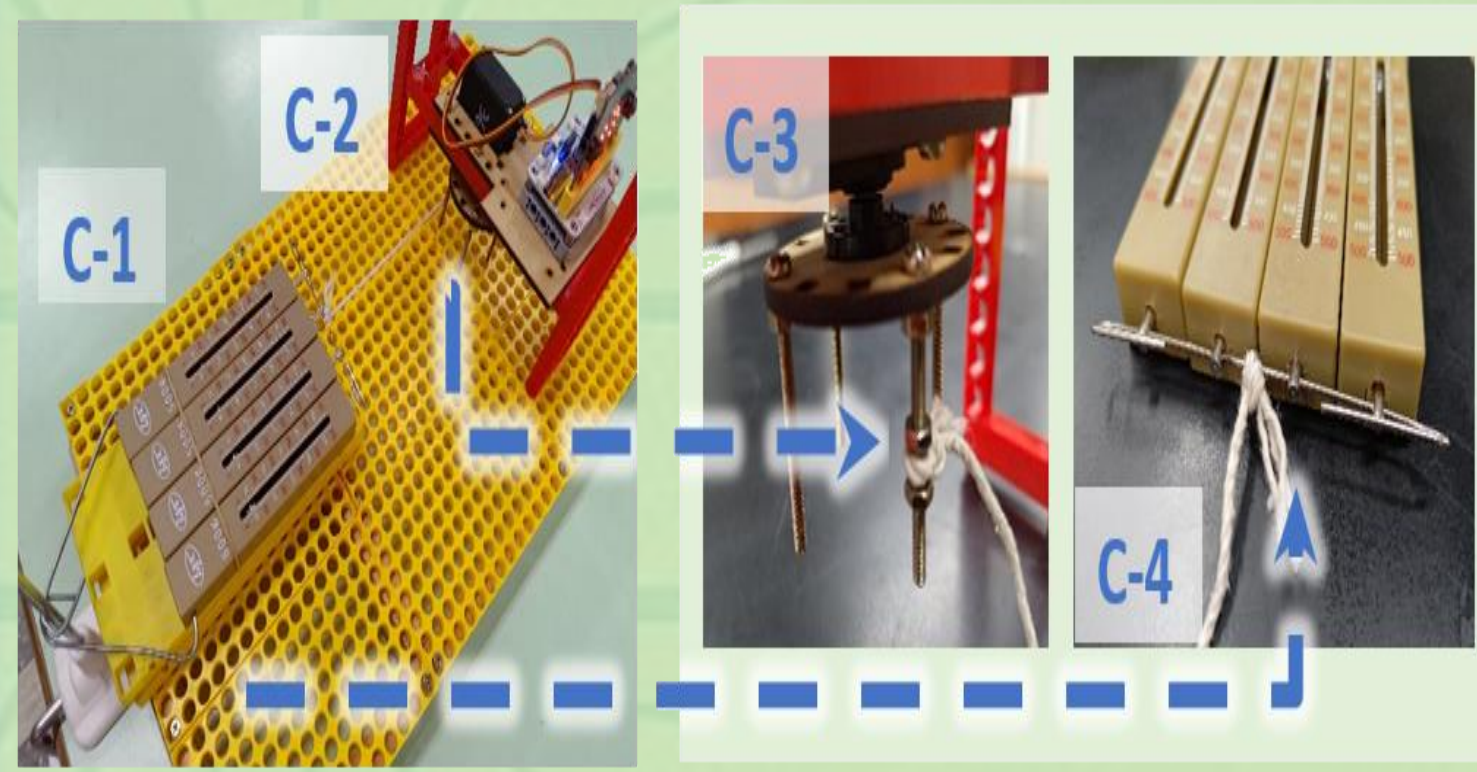
構造名稱	說明	構造名稱	說明
A-1 機械轉動架	放置控制板、伺服馬達提供轉動力，且可配合實驗調整位置	A-2 micro:bit v2及悟空擴充板	控制及調整伺服馬達轉動。
A-3 固定底板	依實驗拼裝需要的齒輪位置。	A-4 齒輪定位鋼牙棒及螺絲	調整及固定實驗齒輪高、低、左右位置。
A-5 高度調整墊片	可套於鋼牙棒中調整齒輪間的距離或固定齒輪。	A-6 鐵質層固定夾	固定同軸式齒輪鐵質層。
A-7 徑向磁鐵卡板	可依照徑向齒輪實驗需求，擺放不同磁鐵大小、角度及磁極位置。	A-8 軸向磁鐵卡槽	可依照軸向齒輪實驗需求，擺放不同磁鐵大小、角度及磁極位置。
A-9 齒輪轉動施力槽	可放入長螺絲轉動齒輪盤面。	A-10 鐵質層及含鐵物質	於齒輪中擺放含鐵物質因可磁化產生變動的磁場

• 自製磁場測量平台構造說明：



構造名稱	說明	構造名稱	說明
B-1 磁力計放置區	放置磁力計探測棒，測量不同距離時磁場的數值。	B-2 距離測量尺	測量平板與磁鐵放置區的距離。
B-3 磁鐵放置台	利用原手機顯微鏡物鏡模組台，放置要測量的磁鐵，台面可上下移動。	B-4 磁力計	測量磁鐵磁場用。

• 自製伺服馬達扭力測量說明：



構造名稱	說明	構造名稱	說明
C-1 彈簧秤放置區	放置並聯的彈簧秤，並利用繩子拉動。	C-2 機械轉動架	放置控制板、伺服馬達提供轉動力。
C-3 馬達扭力拉線	用線連接伺服馬達及彈簧秤，並調整轉速測量。	C-4 彈簧秤並聯橫桿	將數個500g的彈簧秤並連起來，且將拉線固定於中間。

• 測量方法：

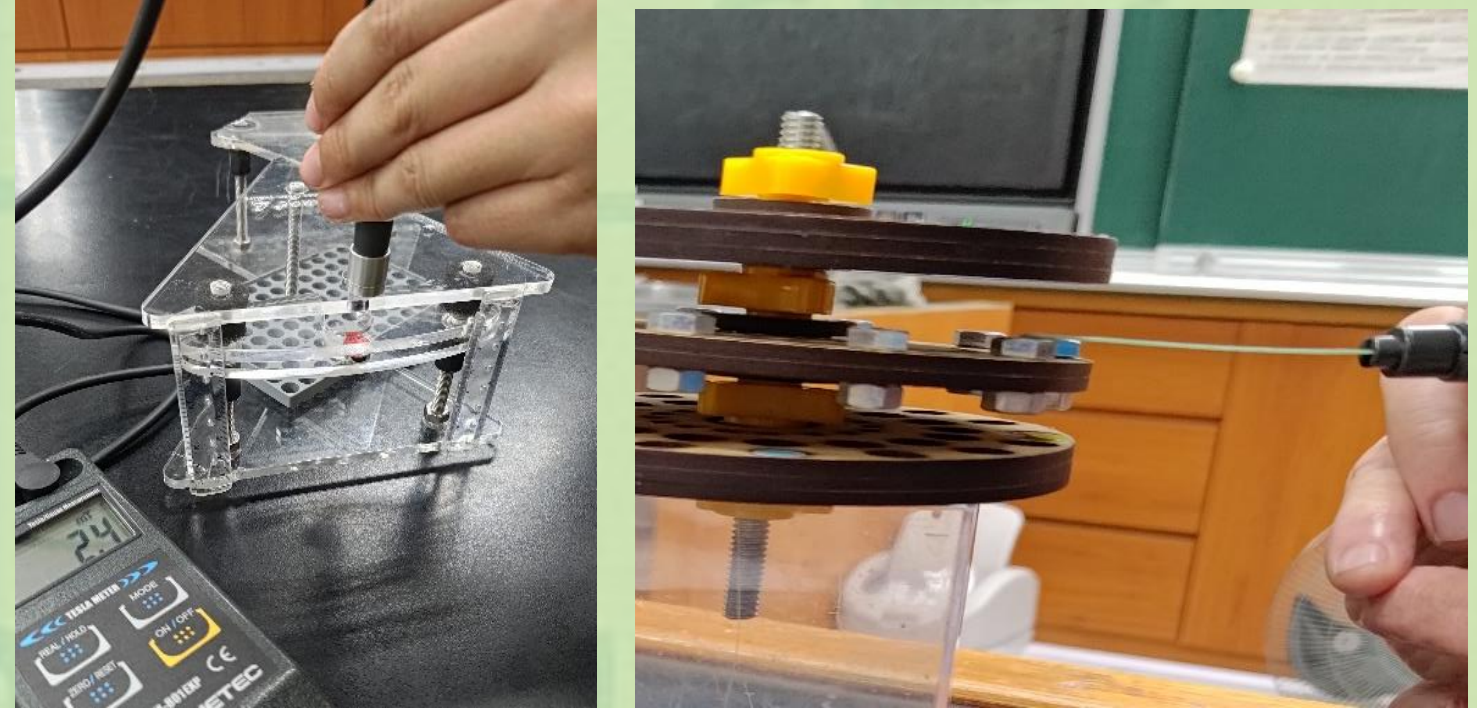
(一)磁性齒輪轉動圈數比的定義

當兩磁性齒輪再度重合於原始起點時的轉動圈數，兩盤轉動的圈數比例，稱為「轉動圈數比」。

(二)磁鐵磁場測量方法：



▲ 磁力計



▲ 磁鐵磁力測量

研究結果與討論

【實驗1】測量不同規格的強力磁鐵在相對距離時的磁場



各種磁鐵在不同距離時磁場大小

▲磁鐵商家資訊及照片

圓直徑(mm)	5							
顆數(個)	1				2			
厚度(mm)	3				6			
測量距離(mm)	0	10	15	20	0	10	15	20
5次磁力平均 (mT)	282.60	2.68	1.26	0.60	332.80	15.74	1.96	1.46
標準差(mT)	3.50	0.07	0.08	0.09	8.75	0.21	0.08	0.05

圓直徑(mm)	10									
顆數(個)	1					2				
厚度(mm)	3					6				
測量距離(mm)	0	10	15	20	25	0	10	15	20	25
5次磁力平均 (mT)	252.20	9.60	4.94	2.64	1.20	357.20	13.20	9.38	4.20	2.60
標準差(mT)	2.23	0.54	0.33	0.14	0.06	11.20	0.72	0.29	0.21	0.34

圓直徑(mm)	15									
顆數(個)	1					2				
厚度(mm)	3					6				
測量距離(mm)	0	10	15	20	25	0	10	15	20	25
5次磁力平均 (mT)	207.80	15.74	10.04	6.62	2.88	310.00	27.94	15.54	8.76	6.02
標準差(mT)	5.74	0.21	0.10	0.17	0.12	2.19	0.55	0.29	0.21	0.15

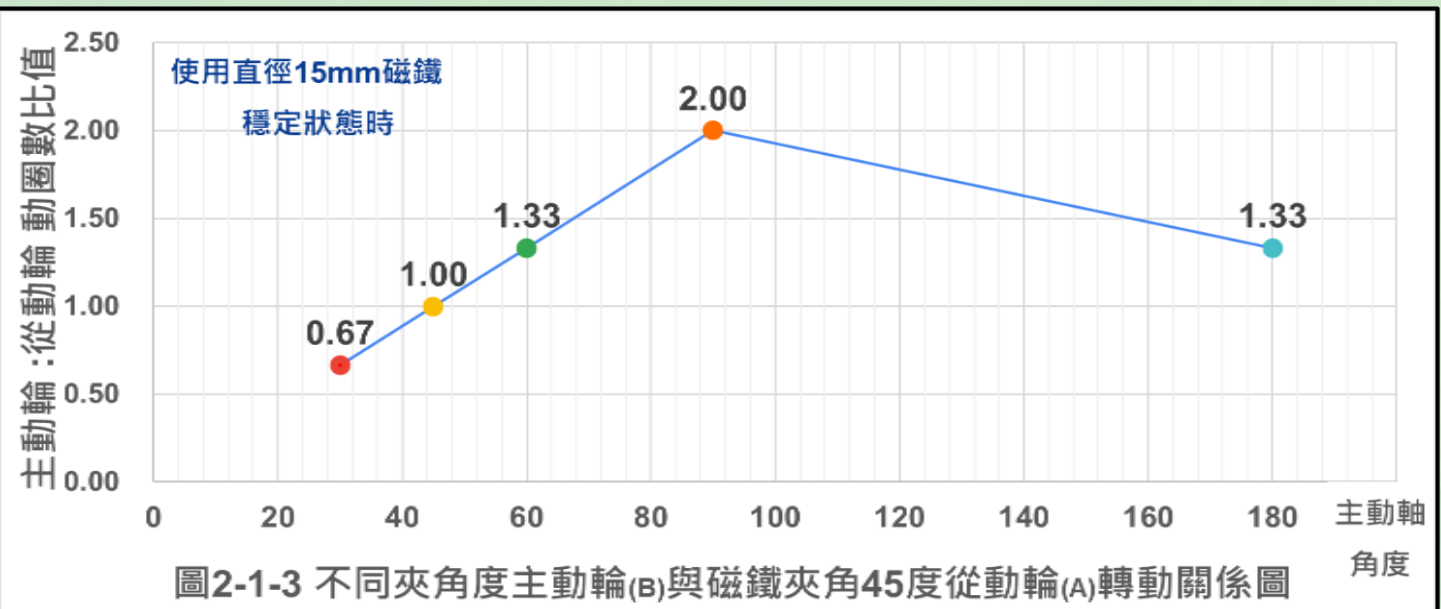
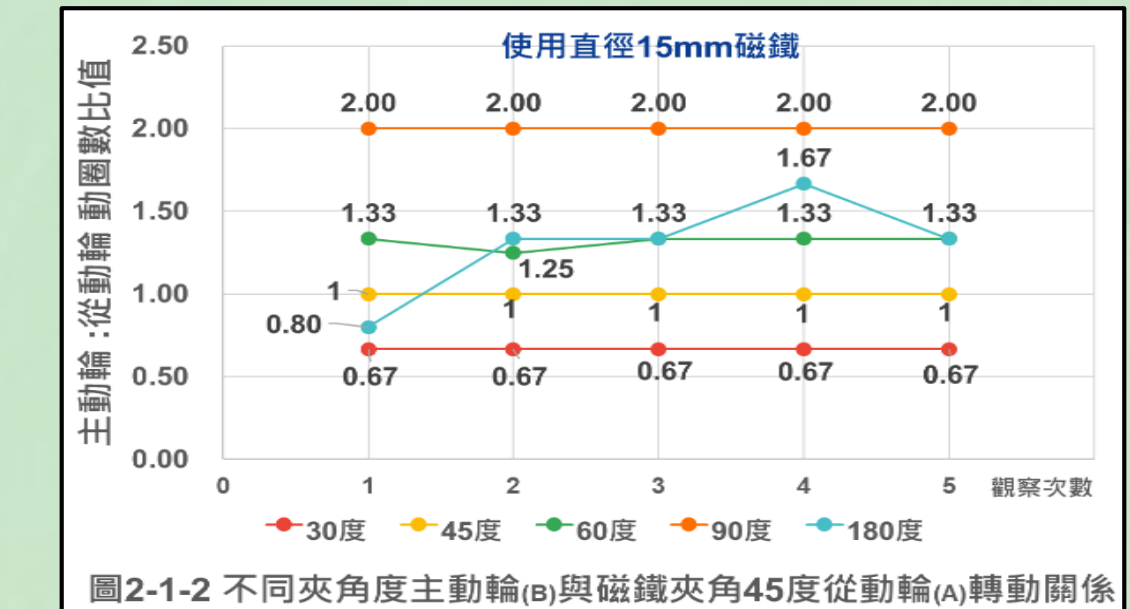
1 討論：

- 數據顯示當同一磁鐵在不同距離進行測量時，距離越近時磁場越大；距離越遠時磁場越小。此與以前學過的磁極概念一致。
- 除了表面磁場外，當相同距離時，磁鐵直徑越小磁場越小；磁鐵直徑越大磁場越大。

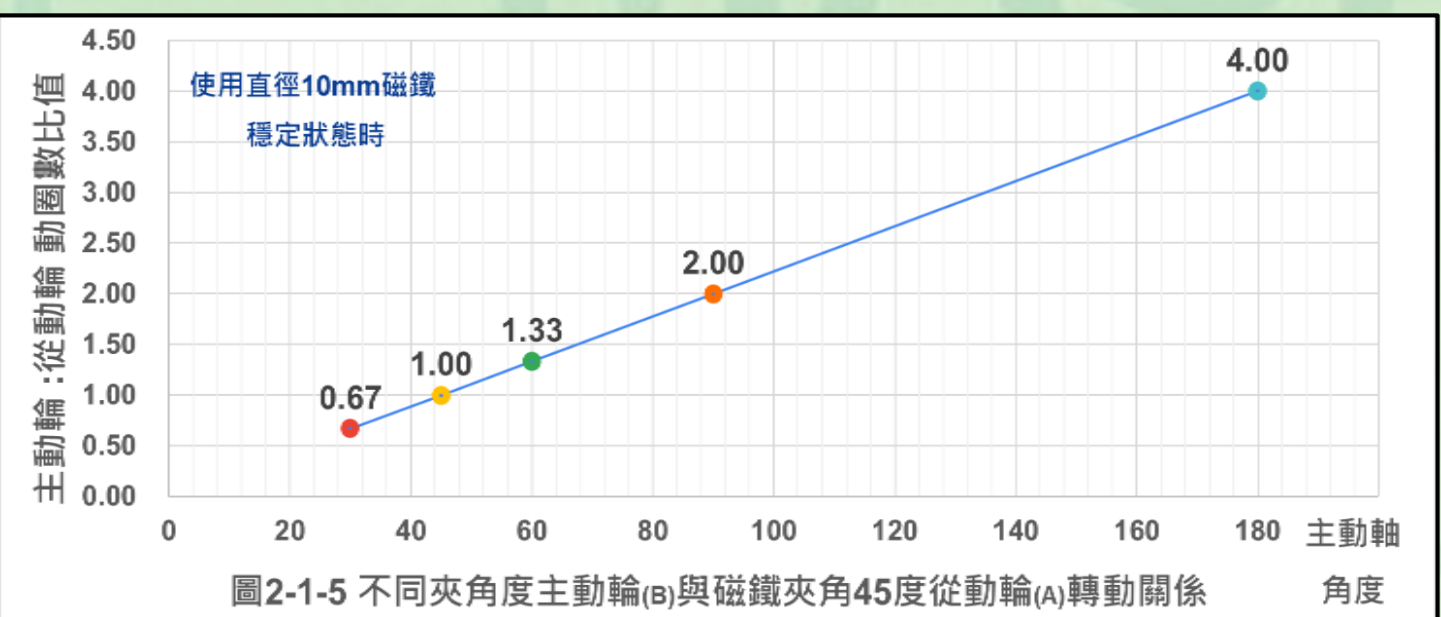
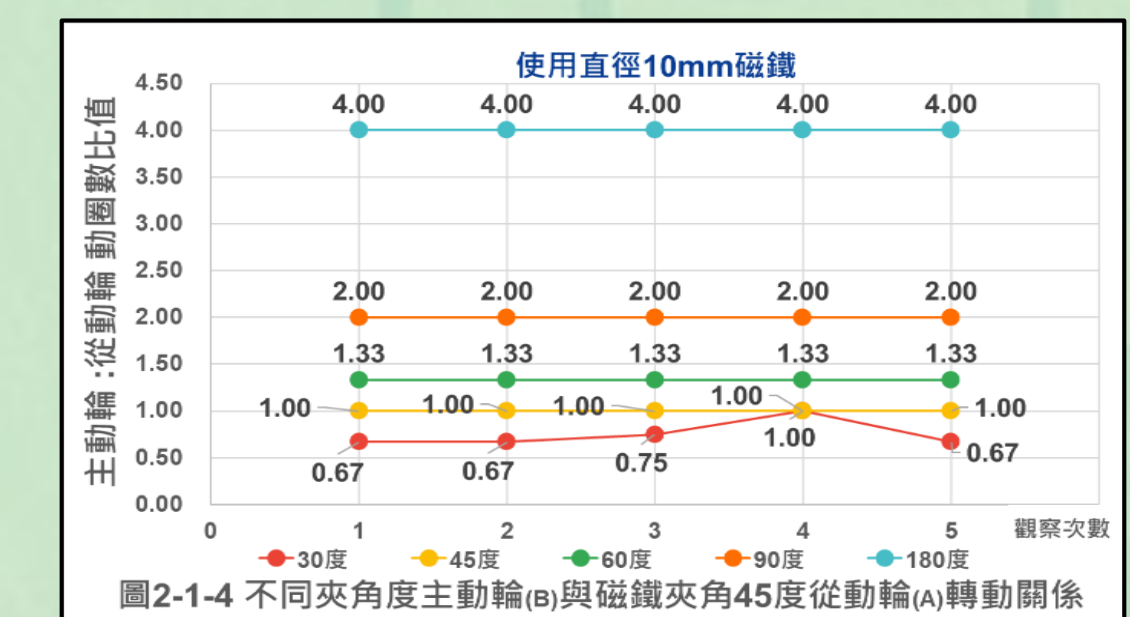


## 【實驗 2 - 1】探討不同磁鐵磁場強弱、圓心角對軸心平行式磁性齒輪組轉動的影響

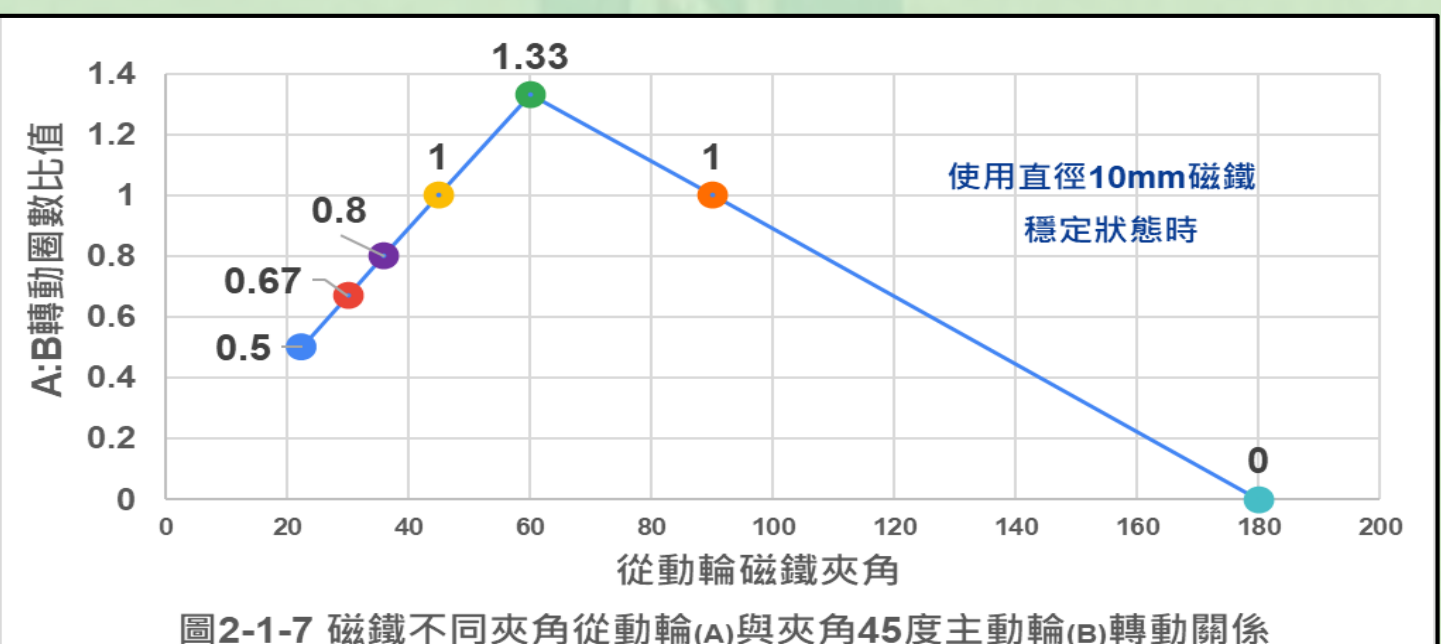
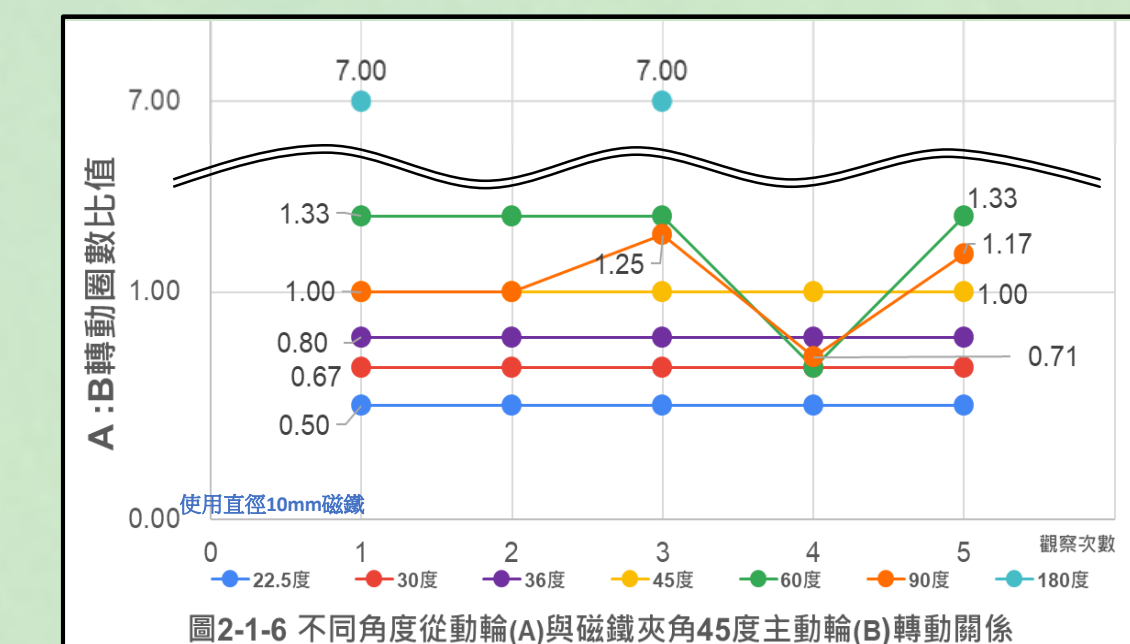
### 1.不同大小的磁鐵 –直徑15mm磁鐵組合



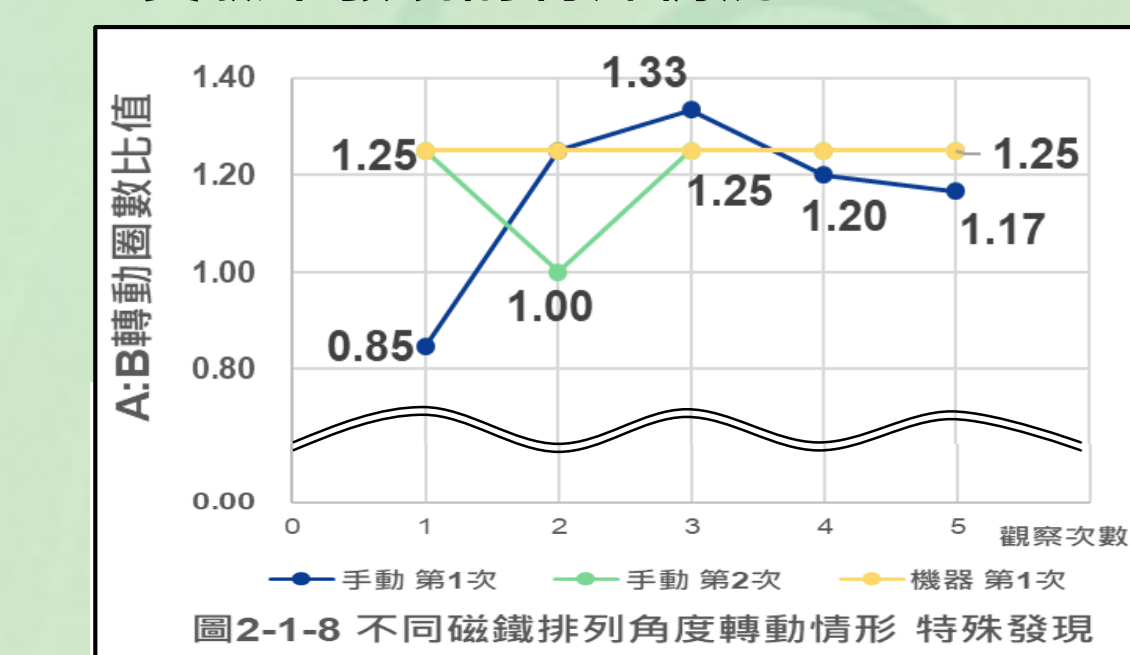
### 2. 不同大小的磁鐵 –直徑10mm磁鐵組合



### 3. 從動輪磁鐵位置擺放不同角度

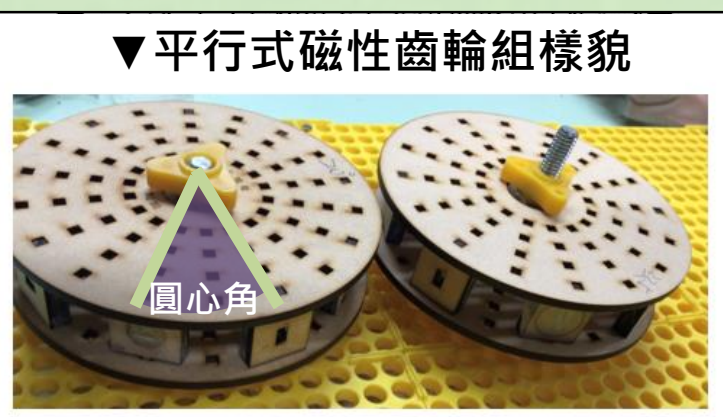


### ※實驗中發現的特殊情況



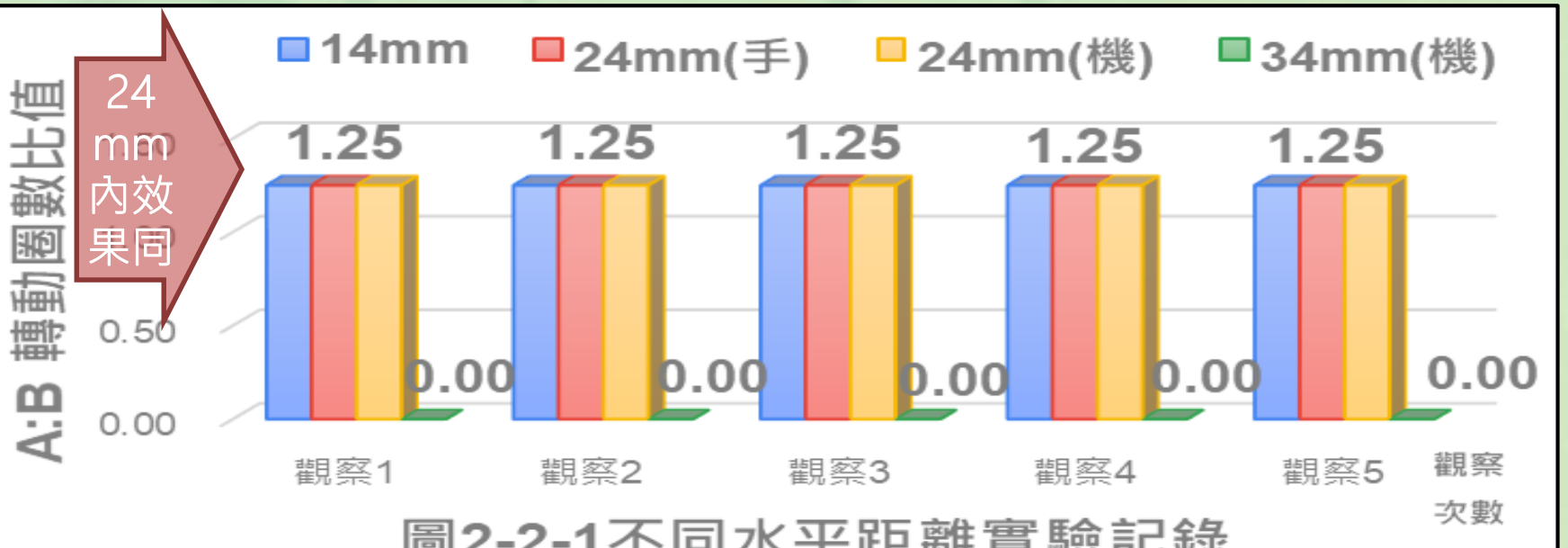
### 2-1 討論：

10mm與15mm磁鐵齒輪組在相同角度下轉動圈數比相同，10mm磁鐵具成本優勢。15mm磁鐵因磁場大阻力高，可調整距離改善。數據顯示轉動圈數比與磁鐵擺放圓心角呈正比，磁鐵圓心角擺放較大的當主動軸較穩定，且為減少人為誤差，後續改以馬達驅動。

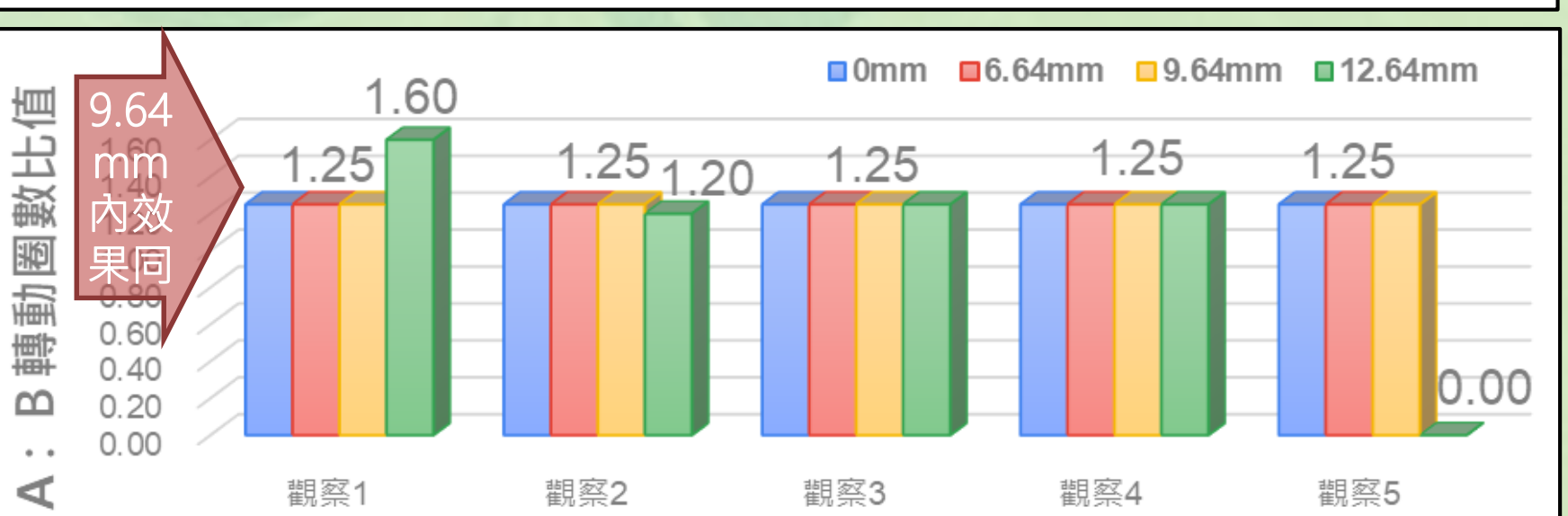


## 【實驗 2 - 2】探討軸心平行式磁性齒輪組間不同水平、垂直距離轉動的影響

### 1.不同水平距離實驗記錄：



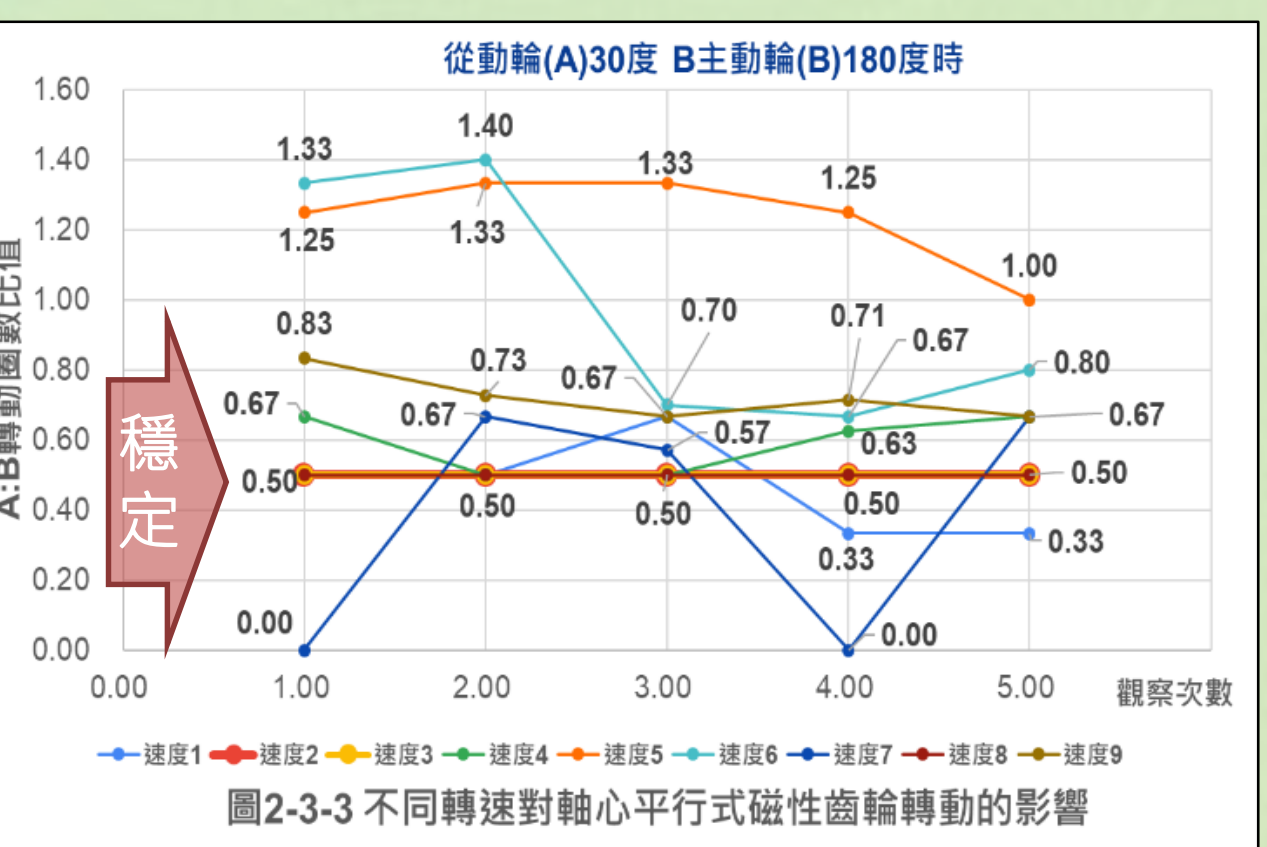
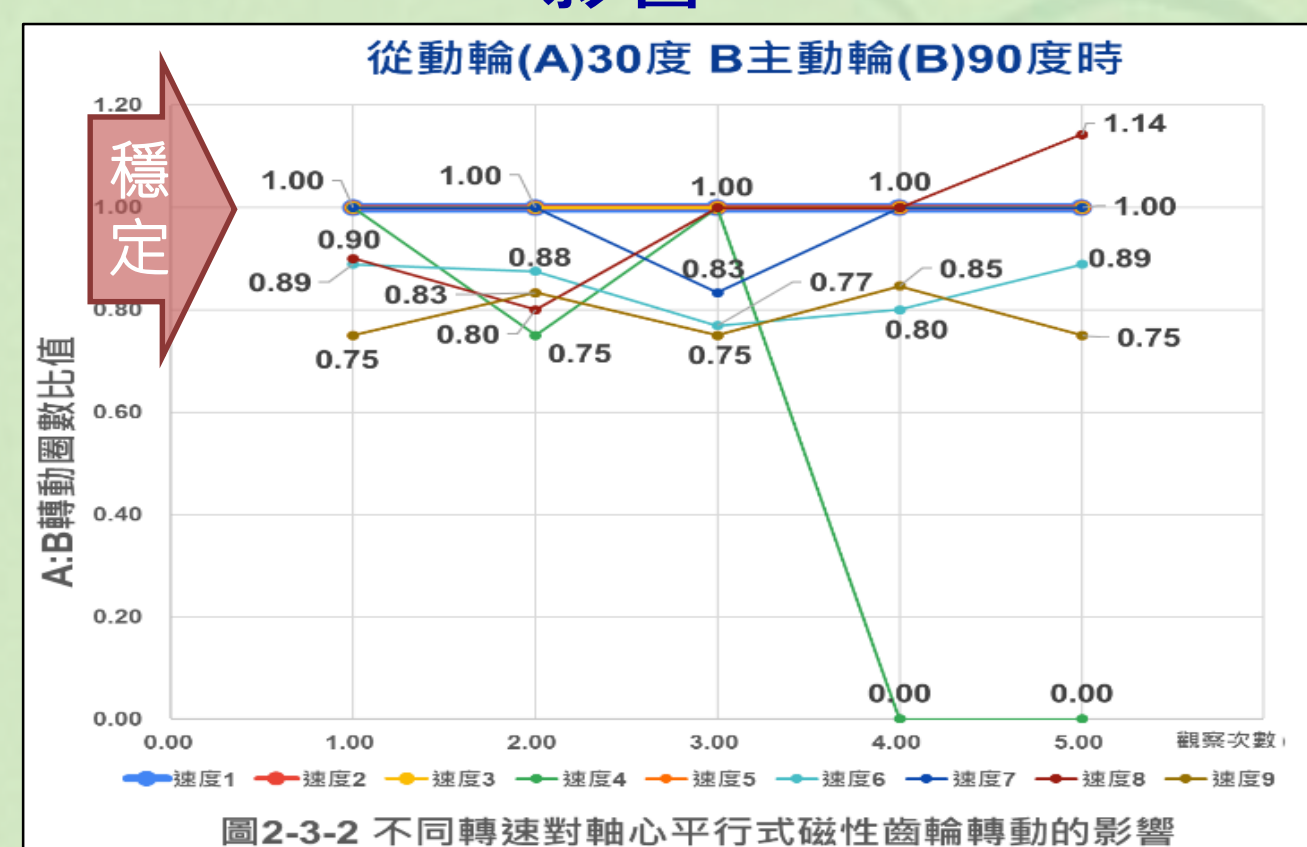
### 2.不同垂直距離實驗記錄：



### 2-2 討論：

- 在適當範圍內調整兩軸水平與垂直距離，轉動效果差異不大。
- 如水平距離24mm時磁場約1.2mT、垂直距離9.64mm時磁場約4.94mT，皆可穩定轉動。
- 若欲延長水平距離仍保持轉動，需提升磁鐵磁場以維持驅動效能。

## 【實驗 2 - 3】探討主動輪在不同轉速對軸心平行磁性齒輪組間轉動的影響



### 2-3 討論：

- 不同轉速會影響磁性齒輪的穩定度及轉動圈數比，且發現轉動時的穩定度（不忽快忽慢）也會影響磁性齒輪的轉動圈數比。
- 從實驗中發現以速度3級最穩定且轉動速率最快，故後續實驗以此為實驗時的主要轉速。

## 【實驗 2 - 4】探討三組軸心平行式磁性齒輪間轉動的影響

乙組合 (磁鐵直徑<mm>/夾角/顆數)			
A輪	15 /30 /12	10 /22.5 /16	10 /22.5 /16
B輪	10 /22.5 /16	15 /30 /12	10 /45 /8
C輪	10 /45 /8	10 /45 /8	15 /30 /12

轉動圈數比A：B			
轉動情形紀錄	轉動觀察1	4:3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (32:24:1)	2:1 <sup>3</sup> / <sub>2</sub> (4:2:3)
	轉動觀察2	4:3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (32:24:1)	8:4 <sup>13</sup> / <sub>7</sub> (16:12:13)
	轉動觀察1	4:4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (32:32:1)	3:4:6
	轉動觀察2	4:4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> (32:32:1)	3:4:6
轉動情形紀錄	轉動觀察1	4:1:2 (4:3:6)	5:3:2 (5:12:8)
	轉動觀察2	5:1:2 (4:3:6)	3:3:2 (3:6:4)
	轉動觀察1	4:3:6	X
	轉動觀察2	X	X

※綠底的轉動圈數比恰為其磁鐵個數的倒數比。 X：為無法動。

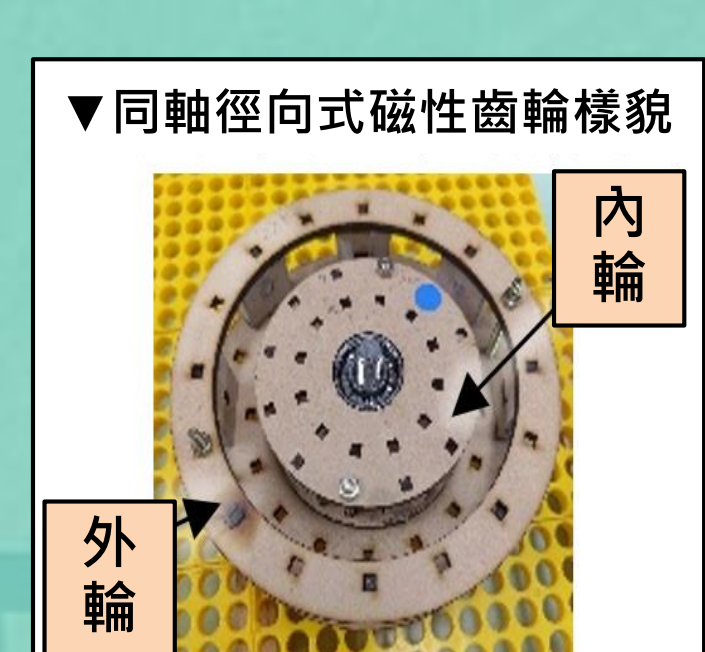
甲組合 (磁鐵直徑<mm>/夾角/顆數)			
A輪	10 /90 /4	10 /45 /8	10 /45 /8
B輪	10 /45 /8	10 /90 /4	10 /22.5 /16
C輪	10 /22.5 /16	10 /22.5 /16	10 /90 /4

轉動圈數比A：B			
轉動情形紀錄	轉動觀察1	X	2:1 <sup>1</sup> / <sub>12</sub> (24:12:1)
	轉動觀察2	X	2:1 <sup>1</sup> / <sub>12</sub> (24:12:1)
	轉動觀察1	1 <sup>1</sup> / <sub>12</sub> :2:1 (1:24:12)	1:3:1
	轉動觀察2	1 <sup>1</sup> / <sub>12</sub> :2:1 (1:24:12)	1:3:1
轉動情形紀錄	轉動觀察1	不能轉但微動	X
	轉動觀察2	不能轉但微動	X
	轉動觀察1	X	1 <sup>1</sup> / <sub>10</sub> :1:3 (1:16:48)
	轉動觀察2	X	X

### 2-4 討論：

- 甲組合中A輪難以帶動C輪，推測磁場與扭力不足，且B輪受兩側磁鐵干擾。
- 主動輪磁鐵分布的圓心角較大，較易帶動磁鐵分布較小的從動輪。
- 三輪若可轉動，方向為「順-逆-順」或「逆-順-逆」，與齒輪原理相符，推測因邊緣磁鐵相吸共同帶動所致。

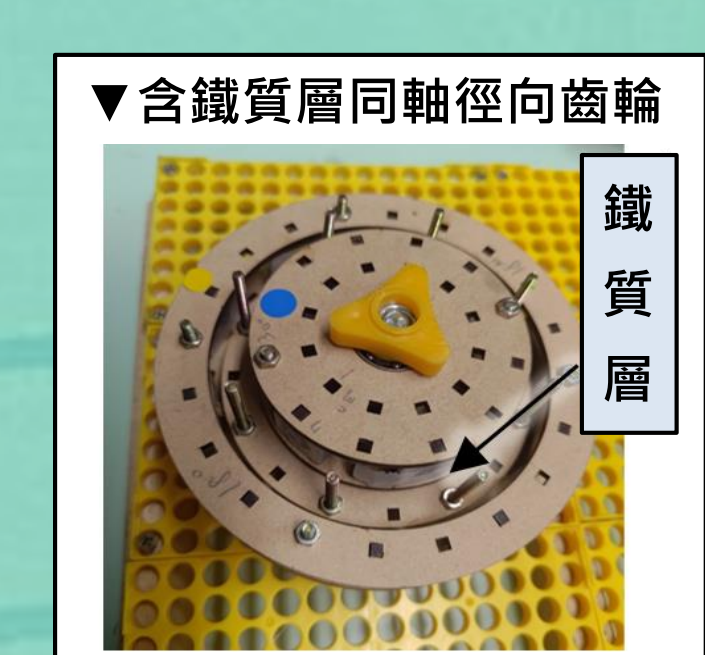
## 【實驗3-1】探討不同大小的磁鐵對同軸徑向式磁性齒輪組轉動的影響



### 3-1討論：

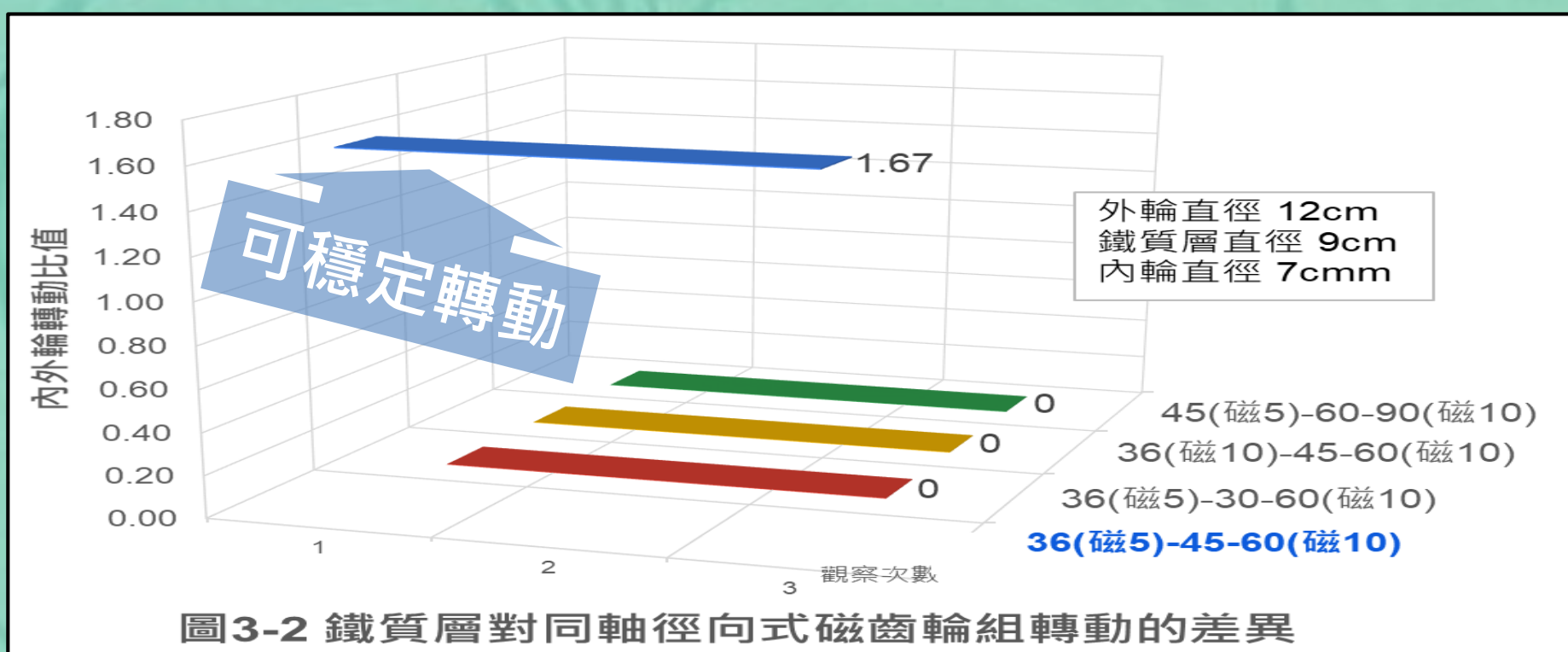
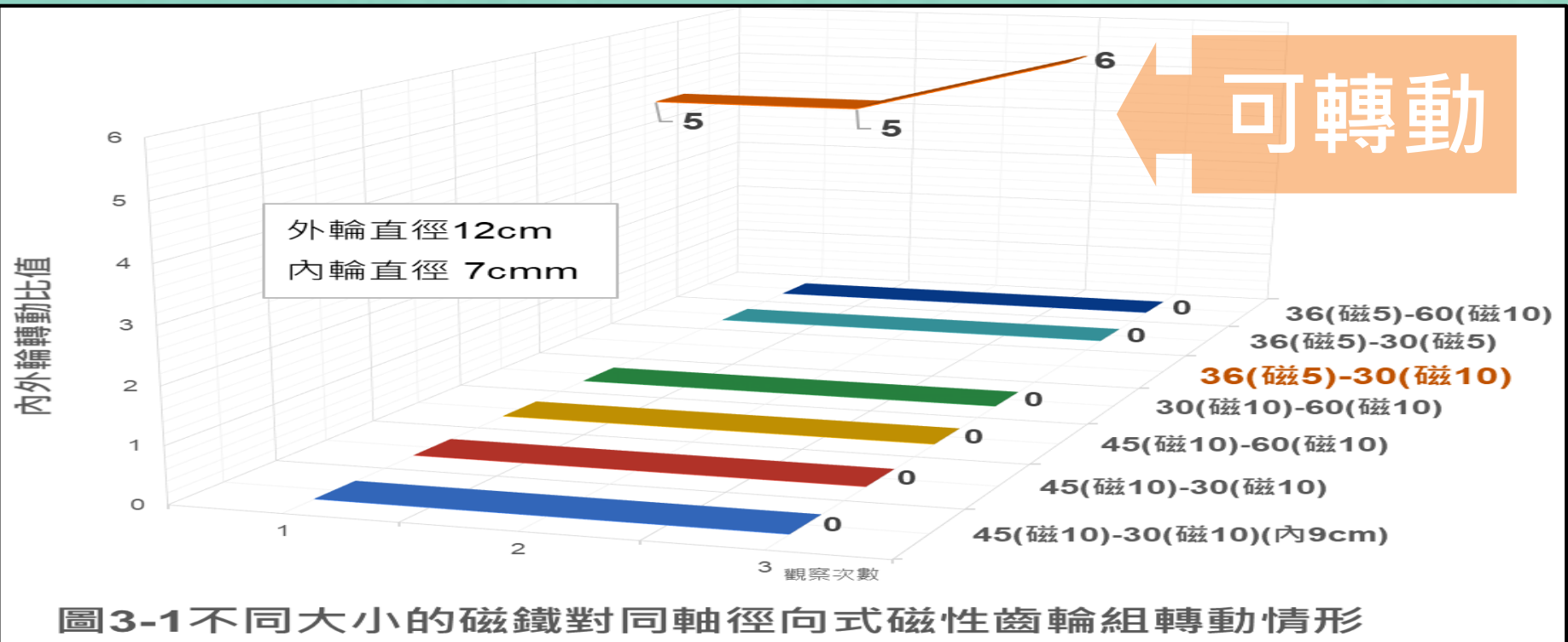
當內外輪皆用10mm磁鐵，因多組磁場相互吸引，導致轉動困難；改用內圈10mm、外圈5mm磁鐵可開始轉動，但穩定性差且易同步旋轉。

## 【實驗3-2】探討有無鐵質層對同軸徑向式磁齒輪組轉動的差異

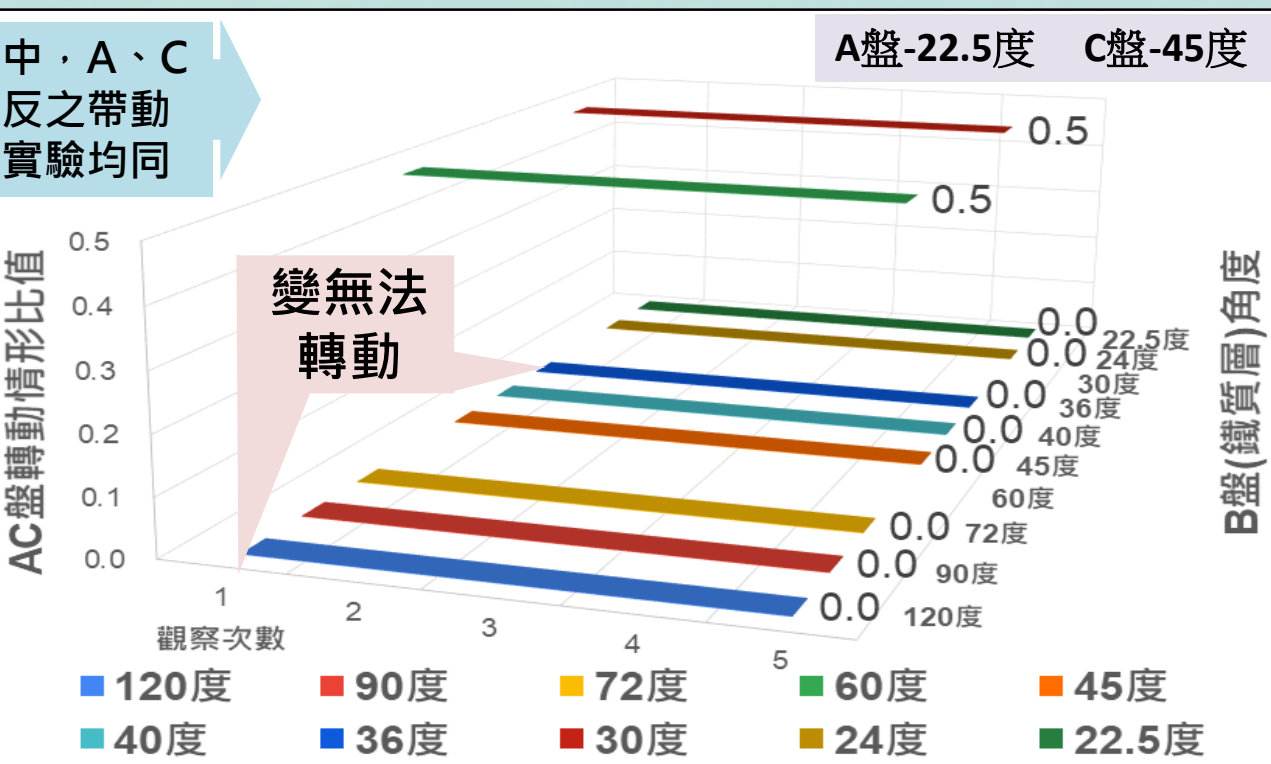
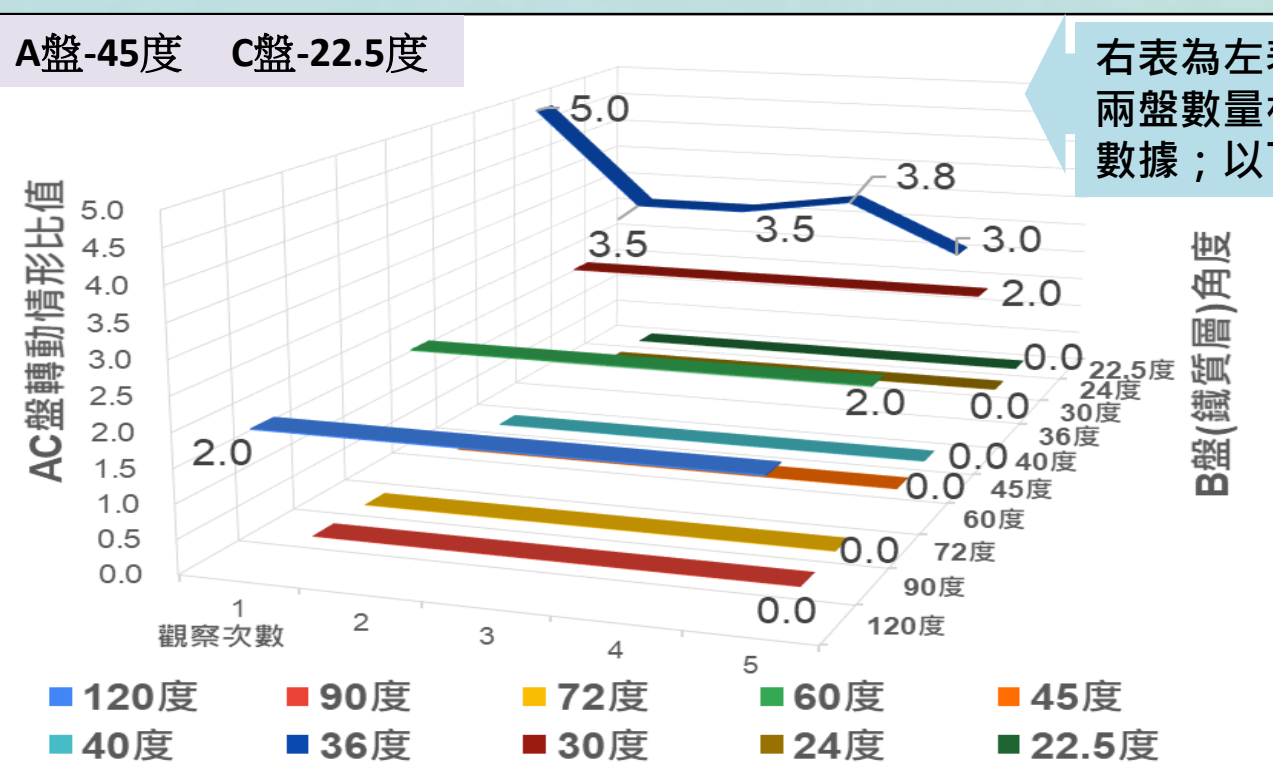


### 3-2討論：

鐵質層可提升同軸徑向式磁齒輪穩定性，其數量會影響轉動效果。為便於操作與深入探討，後續改以同軸軸向式磁齒輪實驗。

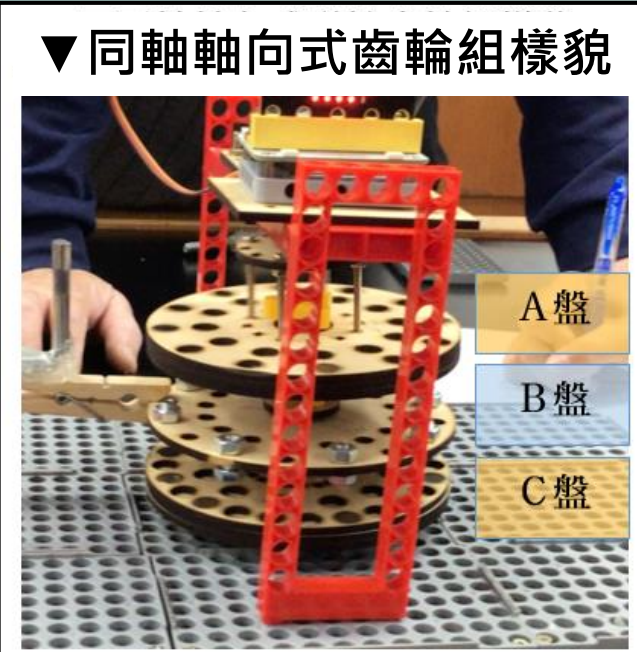


## 【實驗4-1-1】探討B盤中螺絲在不同的圓心角，對同軸軸向式磁性齒輪相對轉動的影響



### 4-1-1討論：

從數據分析可知，當B盤螺絲的圓心角為30°（12顆）與60°（6顆）時，轉動圈數比穩定，且呈現倍數關係；但當為120°（3顆）或360°（10顆）時，因力矩不足或不穩定，無法順利帶動。穩定數據中也顯示，圓心角的倍數關係（如30°、60°、120°）可能與轉動效果有關。另外，三盤圓心角數值大小的倒數（放置物個數）似乎存在關聯性，且A盤與C盤轉動方向互為反向，基於這些觀察，我們決定以3D建模軟體進行模擬驗證。



## 【實驗4-1-2】利用Blender 3D建模軟體進行磁性齒輪磁場的模擬與轉動的關係

模擬-圓心角45°- 30° -22.5° (8-12-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形			
A盤初始態	轉動A盤	磁場模擬立體圖	C盤磁鐵受B盤下螺絲磁場影響的情形
NS相距45度 (8顆)	0度		C盤4顆磁鐵被螺絲吸住 (○：磁場向上) 合力矩=0，不轉動 箭頭：磁場大小、方向 磁場強度：紅色N極、藍色S極，顏色越深數值越大，後面亦同
順時針轉動 22.5度			C盤4顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩≠0 逆時針轉動
逆時針轉動 22.5度			C盤4顆磁鐵被螺絲吸住 合力矩≠0 順時針轉動

模擬-圓心角45°- 60° -22.5° (8-6-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形			
A盤初始態	轉動A盤	磁場模擬立體圖	C盤磁鐵受B盤下螺絲磁場影響的情形
NS相距90度 (4顆)	0度		C盤2顆磁鐵被螺絲吸住， 合力矩=0 不轉動
順時針轉動 22.5度			C盤2顆磁鐵被螺絲吸住， 合力矩≠0 逆時針轉動
逆時針轉動 22.5度			C盤2顆磁鐵被螺絲吸住， 合力矩≠0 順時針轉動

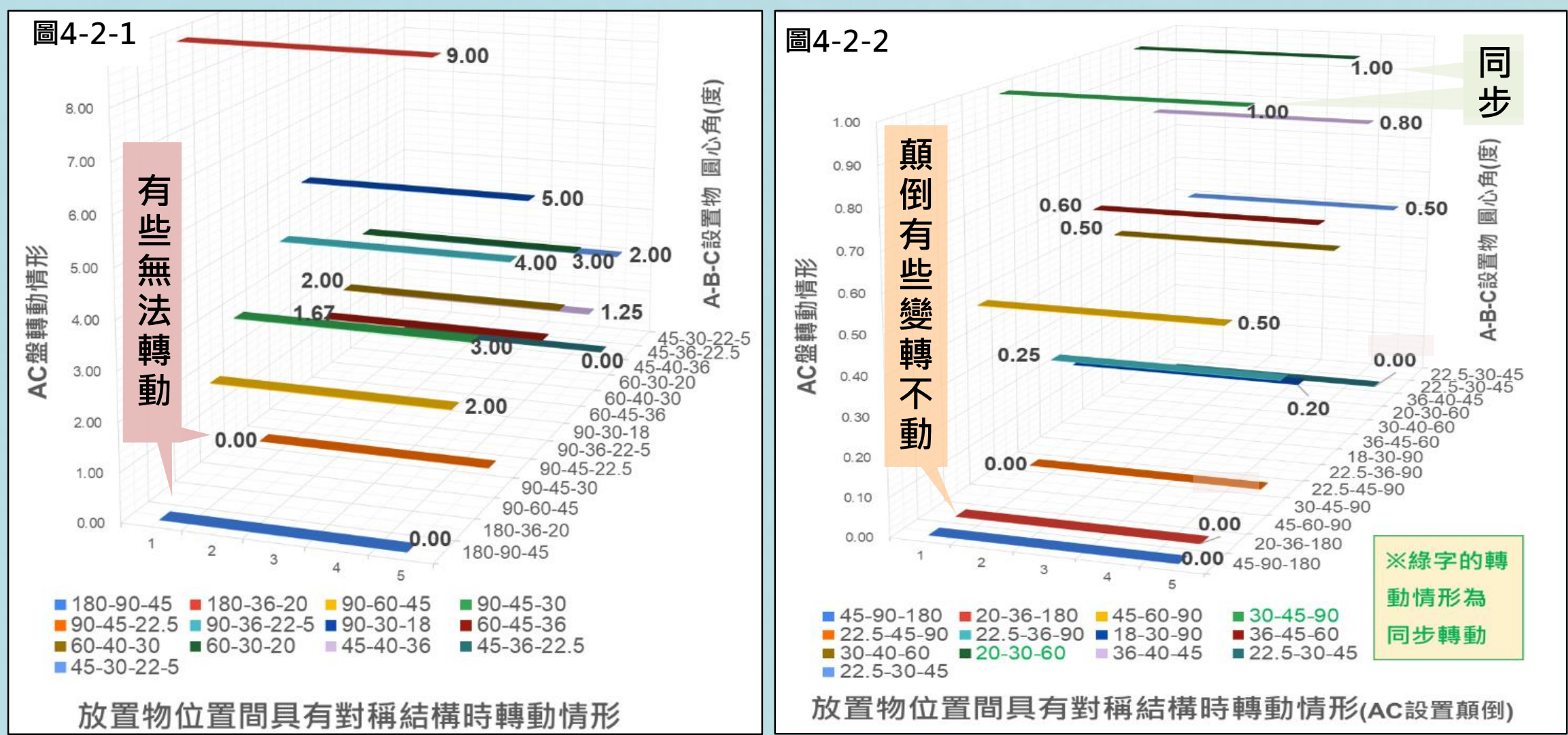
模擬-圓心角45°- 120° -22.5° (8-3-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形			
A盤初始態	轉動A盤	磁場模擬立體圖	C盤磁鐵受B盤下螺絲磁場影響的情形
NS相距90度 (4顆)	0度		C盤1顆磁鐵被螺絲吸住， 合力矩=0 不轉動
順時針轉動 22.5度			C盤1顆磁鐵被螺絲吸住， 合力矩≠0 逆時針轉動
逆時針轉動 22.5度			C盤1顆磁鐵被螺絲吸住， 合力矩≠0 順時針轉動

### 4-1-2討論：

- 從圖表中可知，三盤中放置物的位置具有對稱情形時，可能會產生轉動平衡或較大的力矩，例如中心線(直徑)對稱則轉動平衡(靜止)，中心點(圓心)對稱則會朝反向轉動。
- 因此放置物位置間具有對稱結構的圓心角，是我們之後的研究目標。



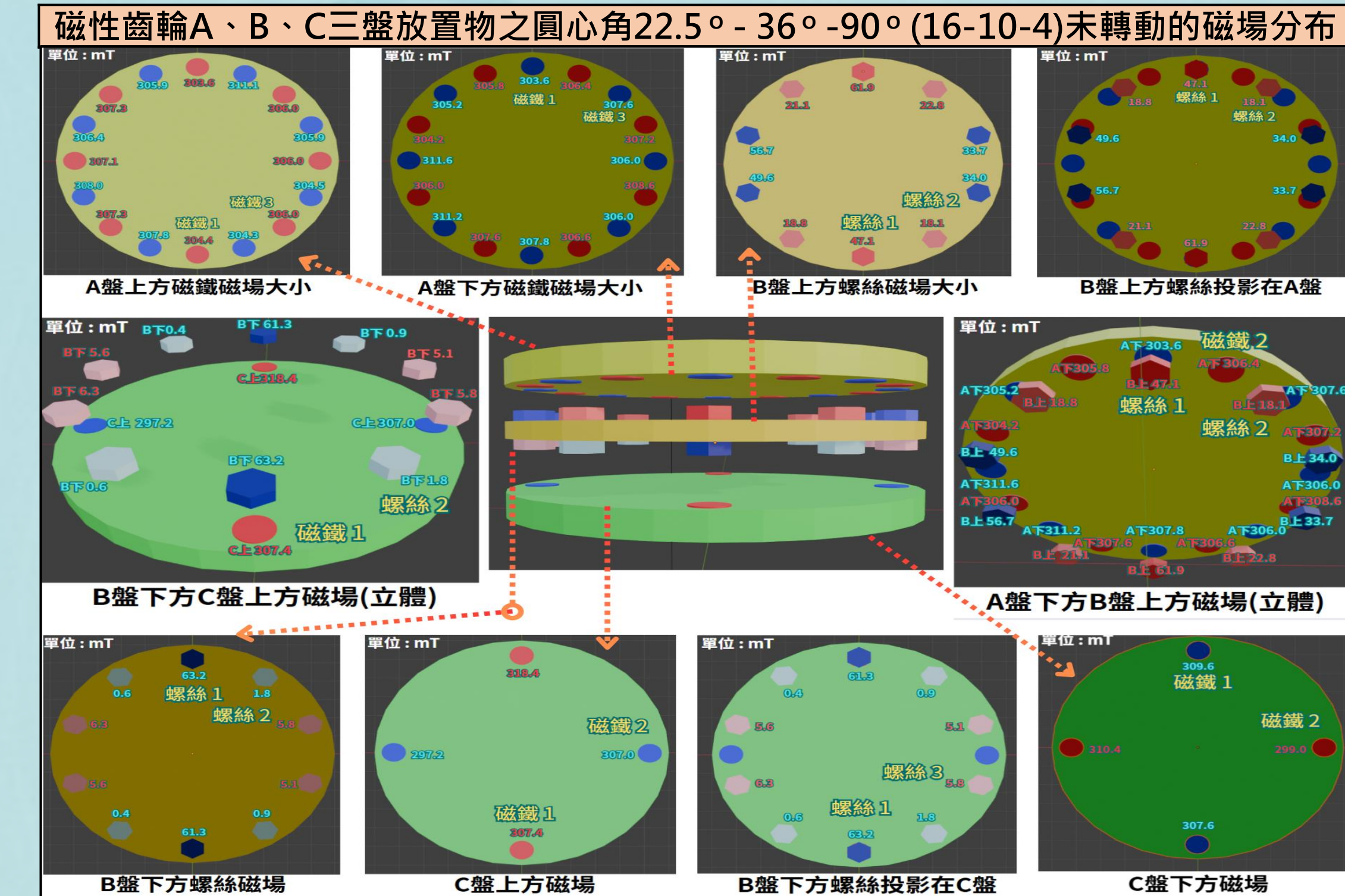
【實驗4-2-1】探討放置物位置間具有對稱結構時，對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響



4-2-1討論：

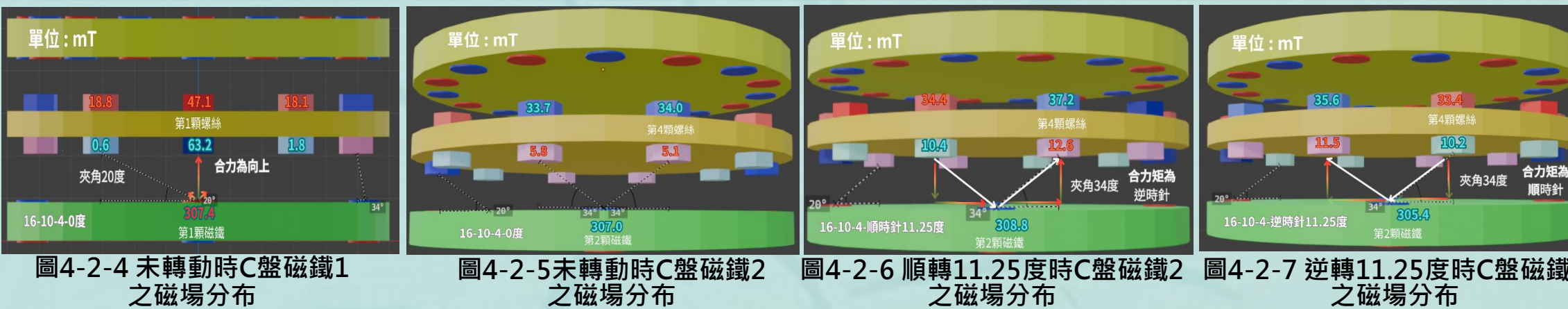
- 數據顯示，除A、C盤同步外，穩定轉動圈數比與圓心角成正比，A、C盤數量可能具數列關係。
- 180度帶動20度時符合理論，反之則失效，可調整距離或增強C盤磁場改善。
- 同步轉動可能是因三盤在特定角度皆有磁鐵吸引；若初始反向轉動，則會遵守正比規律。

【實驗4-2-2】利用磁力計的數據配合3D建模軟體來驗證磁性齒輪的轉動情形

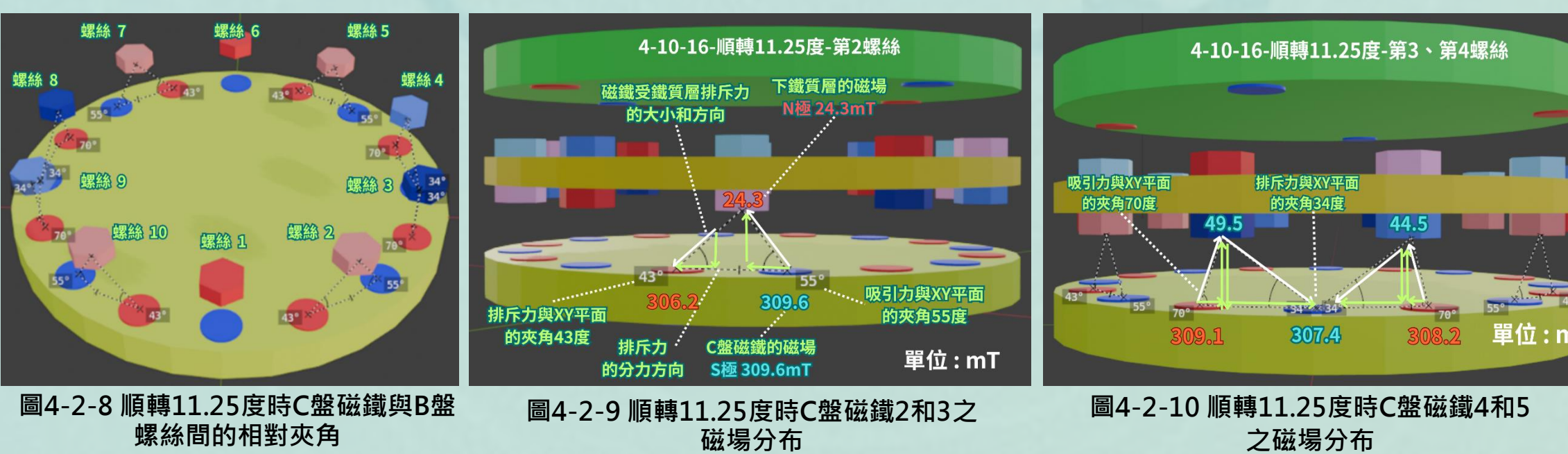


- 圖4-2-3 A、B、C三盤放置物之顆數16-10-4時未轉動之磁場分布
- 鐵質層的磁性受上下磁鐵相對位置影響，導致不同數據，亦為磁性齒輪能轉動的主因。
  - A、C盤反向轉動多因整體磁場由線對稱轉為點對稱，產生力矩驅動轉動。下列圖表數據亦驗證此結果。

模擬-圓心角22.5°-36°-90°(16-10-4) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形			
A盤初始態	轉動A盤	磁場模擬立體圖	C盤磁鐵受B盤下螺絲磁場影響的情形
NS-相距20度(16顆)	0度		C盤磁鐵1、3被螺絲1和6吸住(圖4-2-4) 螺絲3、4造成磁鐵2之力矩約為0(圖4-2-5) 故轉動平衡， <b>不轉動(線對稱)</b>
順時針轉動11.25度			同理C盤2顆磁鐵被螺絲吸住螺絲3、4造成磁鐵2之力矩≠0 逆時針(圖4-2-6)同理磁鐵4力矩≠0逆時針故合力矩≠0 <b>逆時針轉動</b>
逆時針轉動11.25度			同理C盤2顆磁鐵被螺絲吸住螺絲3、4造成磁鐵2之力矩≠0 順時針(圖4-2-7)同理磁鐵4力矩≠0順時針故合力矩≠0 <b>順時針轉動</b>



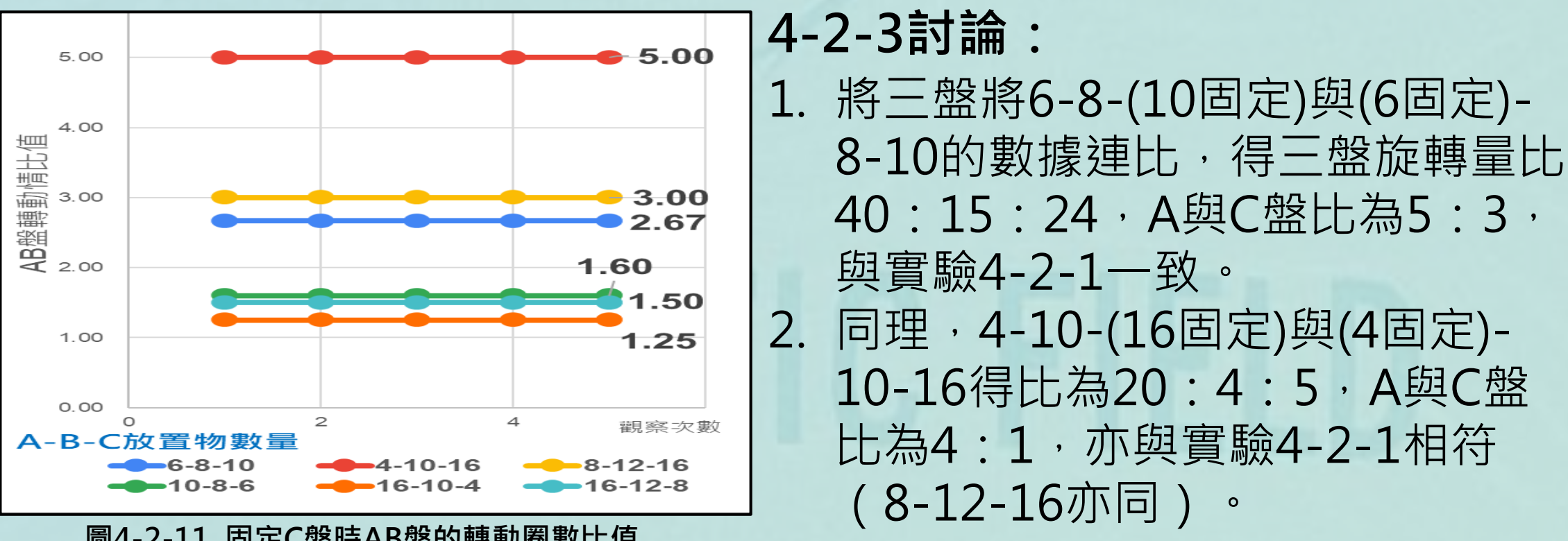
模擬-圓心角90°-36°-22.5°(4-10-16) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形			
A盤初始態	轉動A盤	磁場模擬立體圖	C盤磁鐵受B盤下螺絲磁場影響的情形
NS-相距90度(4顆)	0度		C盤磁鐵1、9被螺絲1和6吸住 力矩呈現線對稱 <b>故合力矩=0 不轉動</b>
順時針轉動11.25度			C盤磁鐵1、9被螺絲1和6吸住，上、下框各顏色的力矩都線對稱(圖4-2-8)(圖4-2-9)只剩中間部分的小力矩(圖4-2-10)，合力矩≠0但很小 <b>逆時針小轉動</b>
逆時針轉動11.25度			同理：C盤磁鐵1、9被螺絲1和6吸住，上、下框各顏色的力矩都線對稱，但逆時針力矩都大於順時針力矩，故合力矩≠0 <b>逆時針轉動</b>
順時針轉動22.5度			C盤磁鐵1、9被螺絲1和6吸住，上、下框各顏色的力矩都線對稱，但順時針力矩都大於逆時針力矩，故合力矩≠0 <b>順時針轉動</b>
逆時針轉動22.5度			C盤磁鐵1、9被螺絲1和6吸住，上、下框各顏色的力矩都線對稱，但順時針力矩都大於逆時針力矩，故合力矩≠0 <b>順時針轉動</b>



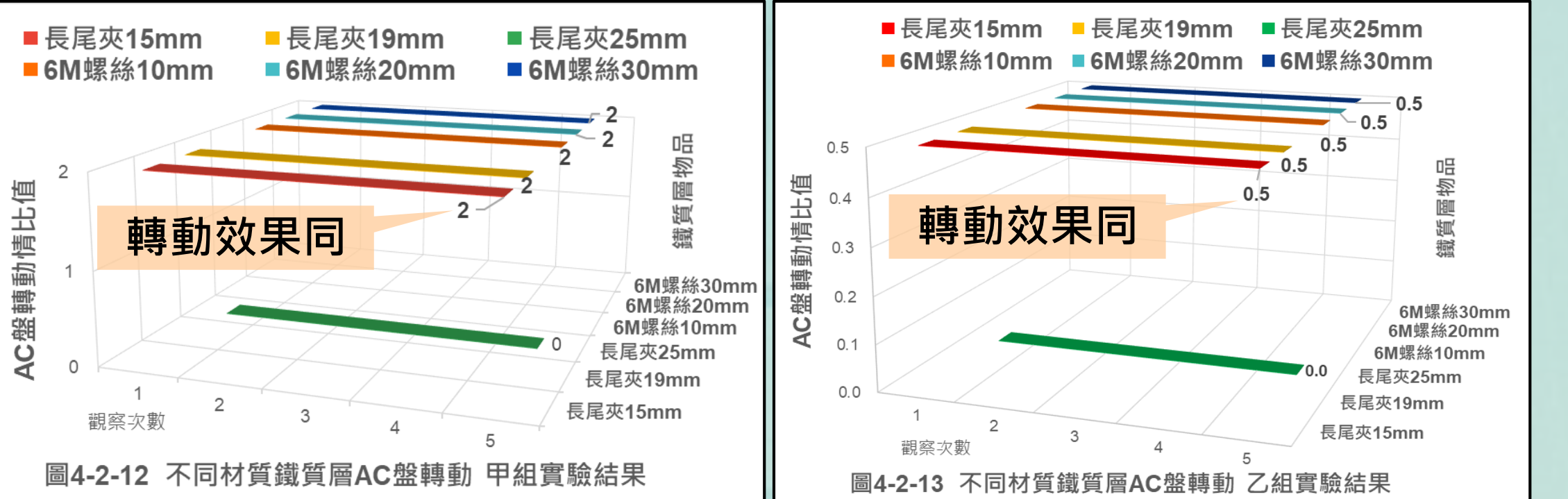
模擬-圓心角90°-45°-30°(4-8-12) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形			
A盤初始態	轉動A盤	磁場模擬立體圖	C盤磁鐵受B盤下螺絲磁場影響的情形
NS-相距90度(4顆)	0度		C盤4顆磁鐵被螺絲吸住 <b>合力矩=0 (線對稱) 不轉動</b>
順時針轉動22.5度			C盤4顆磁鐵被螺絲吸住，其他螺絲線對稱，合力矩≠0，但其他螺絲磁場小，力矩則小，須先克服顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動，不然只能與A盤同向同步轉動
同理，逆時針轉動22.5度亦同，須先克服4顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動，不然只能與A盤同步轉動			

模擬-圓心角60°-30°-20°(6-12-18) 磁性齒輪之磁場分布與轉動情形			
A盤初始態	轉動A盤	磁場模擬立體圖	C盤磁鐵受B盤下螺絲磁場影響的轉動情形
NS-相距60度(6顆)	0度		C盤6顆磁鐵被螺絲吸住 <b>合力矩=0 (線對稱) 不轉動</b>
順時針轉動15度			C盤6顆磁鐵被螺絲吸住，其他螺絲合力矩≠0但螺絲磁場小，同4-8-12須先克服顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動，不然與A盤同向同步轉動
同理，逆時針轉動15度亦同，須先克服6顆磁鐵的垂直吸引力，才能順時針轉動。			

【實驗4-2-3】探討固定C盤對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響

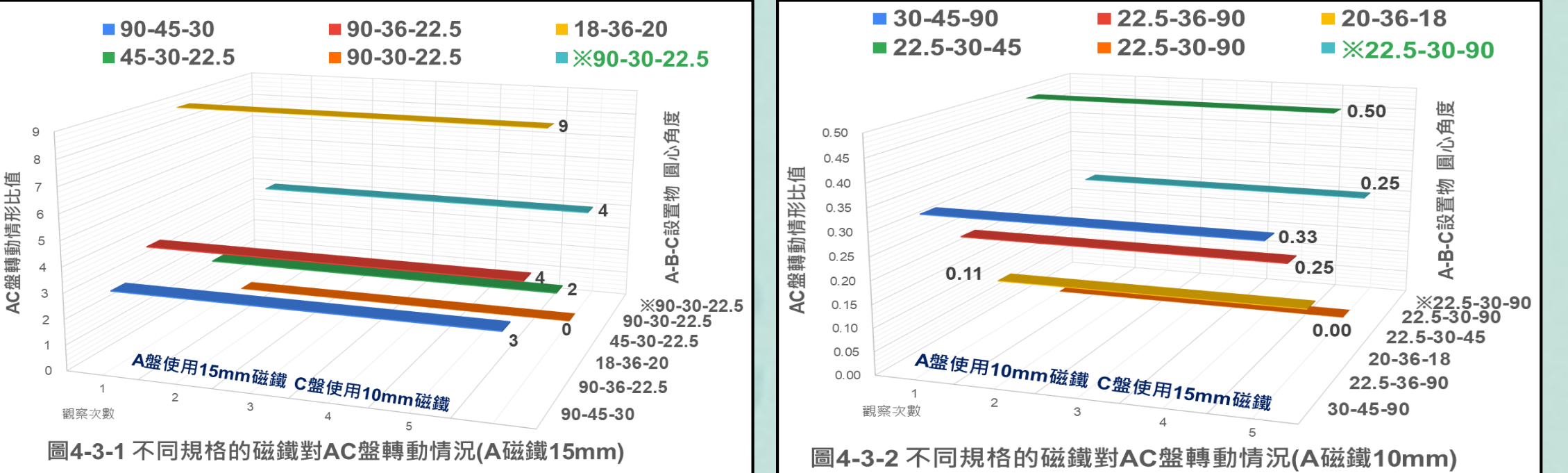


【實驗4-2-4】探討B盤(鐵質層)中，長短或不同材質對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響



- 4-2-4討論：
- 實驗顯示長尾夾可穩定轉動，但若數量過多或寬度不當，會因間距過小而轉動不穩，甚至無法旋轉。

【實驗4-3】探討不同規格的磁鐵對同軸軸向式磁性齒輪轉動的影響



- 4-3討論：
- 磁性齒輪A盤、C盤轉動圈數比會和磁鐵的圓心角呈現正比關係，也驗證了磁鐵量少時，使用直徑較大且磁場較強者較易傳動。

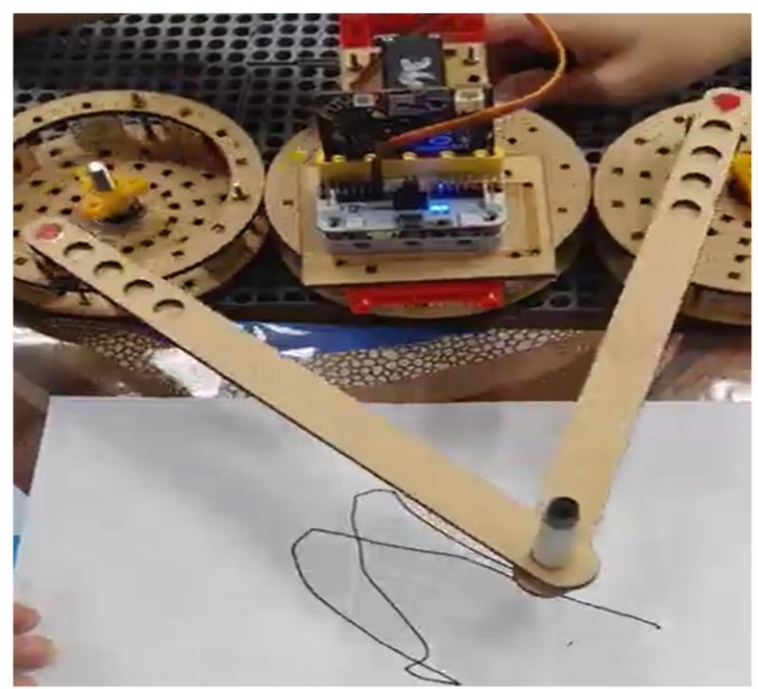
【實驗4-4】探討兩組同軸軸向式磁性齒輪組合(五盤)時的轉動情形

設置物 圓心角	A盤-C盤-E盤	90-45-15	60-30-20	45-22.5-90
	B盤-D盤	60-22.5	40-24	30-36
ACE盤轉動情形1		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE盤轉動情形2		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE盤轉動情形3		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE盤轉動情形4		6:3:1	6:3:2	2:1:4
ACE盤轉動情形5		6:3:1	6:3:2	2:1:4

設置物 圓心角	A盤-C盤-E盤	15-45-90	20-30-60	90-22.5-45
	B盤-D盤	22.5-60	24-40	36-30
ACE盤轉動情形1		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE盤轉動情形2		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE盤轉動情形3		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE盤轉動情形4		1:3:6	2:3:6	4:1:2
ACE盤轉動情形5		1:3:6	2:3:6	4:1:2

- 4-4討論：
- 觀察數據可知，轉動圈數比與磁鐵的圓心角呈現正比關係。當小角度磁鐵帶動大角度磁鐵時，中間層受上下兩組磁場影響，需更大扭力才能順利轉動，建議底層磁鐵大角度時使用磁場較強、直徑較大的磁鐵。本實驗中，第一層所需扭力大於實驗4-1-1的三層組合，才能有效帶動整體旋轉。

- 結論
- 距離越近，磁場越強；距離越遠，磁場越弱。
  - 軸心平行式磁性齒輪(1)轉動圈數比與圓心角成正比。(2)水平移動磁場約1.2mT，垂直約4.94mT，轉動穩定。(3)轉速3級最穩定。(4)三輪運作建議使用大圓心角當主動輪，轉動方向為順-逆-順或逆-順-逆。
  - 同軸徑向式磁性齒輪磁鐵間距約17mm時，需用直徑5mm磁鐵可避免吸附過強，中間鐵質層會使它更穩定。
  - 同軸軸向式磁性齒輪(1)對稱排列時，A與C盤圈數比更穩定。(2)鐵質層建議用螺絲螺帽，穩定又好操作，螺距20mm最適；長尾夾轉動較不穩。
  - 主動輪磁鐵相對數量比較大時，穩定性差，可加強從動輪磁力或拉近距離。
  - 應用與創新•應用：磁力風扇、隱藏磁性螺絲、Lissajous圖形繪製。•優點：無接觸、耐磨、低維護、高精度。•潛力：適用於航空、船運、機械等領域。



(本海報圖片均為團隊實驗時拍攝及繪製)