

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學科(一)科

052316

磁心難測—探討具效能之磁流體磁化強度測量

學校名稱：國立新竹女子高級中學

作者：  高二 王靖雲  高二 李亭熙  高二 張莉雯	指導老師：  張 弘
---	------------------

關鍵詞：磁流體、磁化強度、摺積

## 摘要

本次研究中，我們建立一套測量方法，以低成本且架設簡單的方法求得磁流體之磁化強度。使用電磁鐵與磁鐵作為實驗架設的外加磁場，以放入磁流體後磁場變化量與與外加磁場作出實測之磁化強度曲線圖。接著假設實驗與理論間因測量條件不同而存在特定之摺積關係，將實測曲線做摺積修正。由轉換結果能發現，在考慮磁流體之磁化強度僅受外加磁場影響時，此測量方法能夠得到趨近於理論值之磁化強度曲線。

### 壹、研究動機

磁流體經常被應用在密封技術上。將其注入具磁場之空間時，可以充滿整個空間，形成密封圈。當磁流體磁化強度愈大時，磁流體受磁場影響的程度愈強，密封效果較佳。

市面販售的磁流體能透過網路或詢問等管道得到其磁化強度，廠商在測量時通常使用價格昂貴之儀器。然而若欲得到未知磁流體之磁化強度，需花費大量金錢利用儀器測量。因此我們希望能透過成本較低的測量方法，得到貼近理論值之結果，即在特定強度之外加磁場下，磁流體對應之實際磁化強度。

近期新聞中又提到，福衛五號計畫中因遙測取像儀焦距偏移，造成回傳時的影像模糊。其修正的方法是利用取像儀的溫度調控機制與反摺積運算，最後調整至原本期待看見之影像。我們認為其中的摺積運算，能夠應用於本次的實驗。

### 貳、研究目的

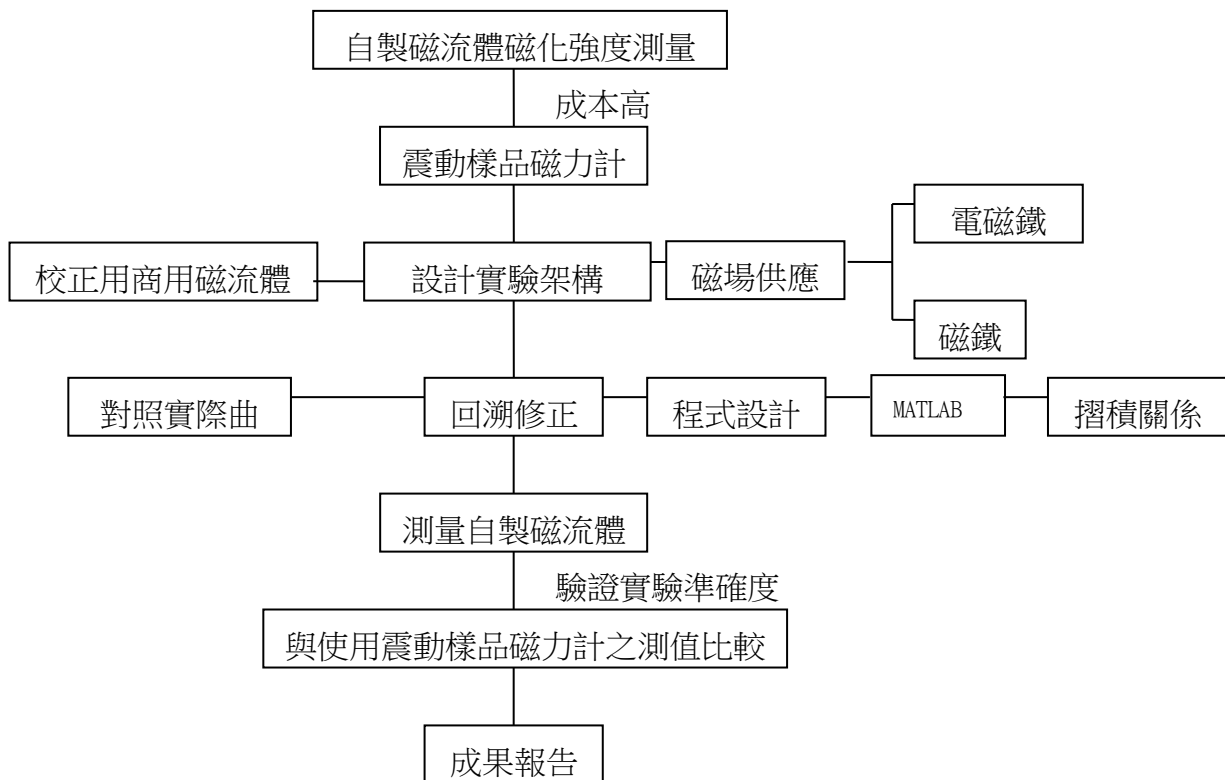
- 一、透過較簡易且成本較低的方式得知磁流體之磁化強度
- 二、找出誤差希望找到轉換關係式將結果修正至接近理論值
- 三、藉此測量方法得自製磁流體之磁化強度並與使用震動樣品磁力計的測值做比較，驗證測良方法之可用性

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗架設與測量部分

直流發電機	高斯計	鐵架	線圈	電線	MATLAB	壓克力板
						
30ml 透明罐子	EMG905 (30ml) 樣品一	APGS10n (30ml) 樣品二	APG830 (30ml) 樣品三	磁鐵	移動式平台	自製磁流體
						

## 肆、研究過程或方法



## 1、文獻探討

### (一) 磁流體

#### 1. 介紹

磁流體的出現是源自於二十世紀的太空競賽，美國太空總署(NASA)的 Paper1 為了使太空衣中能保持一大氣壓，讓頭盔能自由旋轉，解決其失重問題，因而研發了磁流體。

磁流體是一種由懸浮於載液裡的鐵磁奈米微粒和亞鐵磁奈米微粒所組成的黏性流體性物質，其奈米微粒大小約為 10nm，載液通常為有機溶液或水。而為了防止其因凡德瓦力或磁力而發生凝聚，每一個奈米級粒子的表面皆會包覆著界面活性劑（例如：油酸、氫氧化四甲基銨、檸檬酸、大豆卵磷脂）。在磁場下磁流體會被磁化，但外加磁場消失時，卻不會保持磁化，因為此特性，它被定義為磁性物質中的順磁性物質而非具磁滯效應之鐵磁性物質。又因其具高磁化率，更常被認為具有「超順磁性」，而此特性也使磁流體被廣泛應用且具有很高的學術價值。

磁性流體最主要的製造方法是經由化學合成的方法。在製作時，會加入界面活性劑使其包覆在奈米級粒子的表面，以避免粒子因相互間的吸引力凝聚，或因重力、磁力和離心力等作用發生沉澱。最後將其溶解於水性或油性的載液中，使其同時具有可磁化性和可流動性之雙重特性。且因為此特性和它的可操縱性，磁流體也被稱為智慧型流體或功能型流體。而因其的奈米尺寸，磁流體也被廣泛應用於相關先進生物科技與微奈米流體機械系統。

#### 2. 應用

由於磁流體具有易受磁場影響、流動性高、無磁場下不具磁性等特性，因此其應用十分廣泛。首先，為防止流體性物質從零件接合面或轉軸溢出，能夠利用磁流體感磁後移動並固定在特定的位置上，達到軸封的效果。應用於音響冷卻劑上時，藉由其處在高於居禮溫度下不具磁性，並受周圍溫度較低具磁性的推擠，反覆達到內部循環的散熱效果。磁流體也能運用於生化科技，其中改變磁場方向使磁流體隨之在腫瘤細胞間移動，則能夠利用摩擦生熱殺死癌細胞。

#### 3. 相關實驗

在 1060331 梯次，台北市立麗山高中二年級的學生書寫的小論文「磁鐵磁場面觀」中提到，希望透過手機中的 APP—phyphox 量測磁場，並透過程式模擬出磁鐵的磁場在空間中的分布，最終建立數學模型以瞭解磁性物質磁場分布的背後數學行為。

第一項實驗是透過荷姆霍茲線圈以 0.1 安培為間距，測量 0.1 安培到 0.8 安培下兩線圈內部之磁通量密度。再將校正實驗結果繪製成 B-I 圖（磁通量密

度 - 電流圖），並將實驗值與理論公式 
$$B = \frac{8\mu_0 NI}{R\sqrt{125}}$$
 進行比對。

磁通量密度代表單位面積通過的磁力線，將磁場用  $H$  表示， $B$  表示磁通量密度， $M$  為磁場強度、 $\mu$  為真空導磁率，而  $B$  場跟  $H$  場存在關係：

$$B = \mu(H + M)$$

我們想求得的是磁場強度，一樣可以用荷姆霍茲線圈進行量測，並利用測量數值和理論值進行對照，以確認我們實驗的精準度。

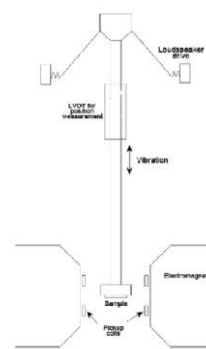
## （二）震動樣品磁力計

樣品被放置在單一磁場中時，會被感應出磁矩，而若使樣品在磁場中振盪，則會產生磁通量的變化。而震動樣品磁力計即是一種高靈敏度的磁矩測量儀器，他採用電磁感應的原理，測量一組在線圈中以固定頻率和振幅進行微震動之樣品之磁矩。因為樣品體積夠小，所以他在感測線圈中震動所測得的感應電壓與樣品之磁矩、振幅和振動頻率成正比。在保證振幅、振動頻率不變的基礎上，

用鎖相放大器測量這一電壓，即可算出待測樣品之磁矩。且在樣品震動的同時，有一標準片（其飽和磁化量為已知）亦會跟著震動並產生感應電動勢。由二者的感應電動勢相比較可以得在某一磁場下，樣品的磁通量為何。



圖(一)震動樣品磁力計



圖(二)震動樣品磁力計示意圖

### (三) 摺積轉換

任意兩訊號皆可進行摺積運算，求得兩訊號間存在之摺積結果，然而此結果不一定具有實際意義。在時域下將兩個離散訊號進行摺積，即是此二訊號做離散傅立葉轉換後之乘積。其關係式如下：

$$y[n] = f[n] * g[n] \leftrightarrow Y[f] = F[f]G[f]$$

由上述關係式可知，在時域下將  $f[n]$  與  $g[n]$  做摺積會得到  $y[n]$ ，意即若輸入  $f[n]$  訊號與  $g[n]$  進行運算，即可輸出所求  $y[n]$ 。而為了方便運算摺積，常使用離散傅立葉將時域轉為頻域，直接相乘即得在頻域下之關係式  $Y[f]$ ，再做傅立葉的逆轉換即可得所求時域下之  $y[n]$ 。

### (四) 傅立葉轉換

傅立葉轉換就是把一個函數分解為組成該函數的連續頻率譜。

$f(t)$  為原函數，是一個時域下的圖形，變量  $t$  表示時間，變量  $\omega$  表示頻率，則

$f(t)$  經過傅立葉轉換後則可得到  $f(\omega)$ ，也就是頻域。傅立葉轉換公式如下：

$$F[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt = F(\omega)$$

在一定的條件下，我們也可以進行傅立葉逆轉換，透過已知的頻域求得原本的函數。以下是傅立葉逆轉換的公式：

$$F[F(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{i\omega t} d\omega = f(t)$$

## 二、實驗架設

### (一) 原理

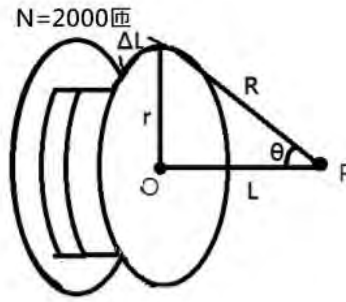
#### 1. 磁化強度

磁化強度描述在外加磁場下，物質感磁的程度。感磁後，內部微小的磁偶極子會朝磁場方向整齊排列。其中磁化強度越強的物質內部會有越多磁偶極子朝磁場方向排列。

磁流體為超順磁性物質，未受磁場影響下，內部的磁矩散亂分布，磁力為零。而感磁後測出的磁場強度和原外加磁場之差異就是我們要求的磁化強度。

### (二) 公式

#### 1. 必歐 - 沙伐



圖(三)電磁鐵產生磁場示意圖

圖中代號：

H：磁場大小 P：測量點

R：P 點到線圈外圍的距離 I：電流大小

r：線圈半徑 L：P 點到圓心的距離

$\Delta L$ ：圓形線圈上的微小長度

公式：
$$H = \mu_0 \Delta H \sin \theta$$

$$= \frac{\mu_0 I \sin \theta}{4\pi r^2} \sum \Delta L$$

$$= \frac{\mu_0 I (r/R)}{4\pi R^2} 2\pi r$$

$$= \frac{\mu_0 I r^2}{2R^3}$$

$$\because R = \sqrt{r^2 + l^2} = (r^2 + l^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore H = \frac{I r^2}{2(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} (T)$$

N 匝線圈時：

$$H = \frac{N I r^2}{2(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} (T)$$

使用雙線圈時：

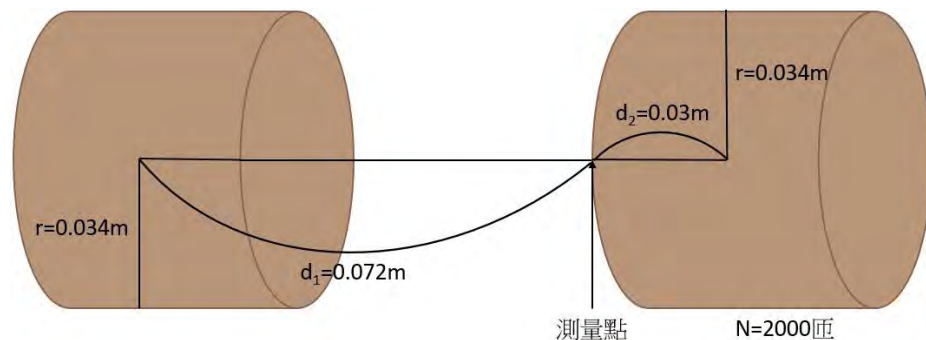
$$H = H_1 + H_2 = \mu_0 \left[ \frac{N I r^2}{2(r^2 + d_1^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{N I r^2}{2(r^2 + d_2^2)^{\frac{3}{2}}} \right] (T)$$

### 三、實驗與結果

在這個實驗中我們希望能利用較簡易的架設，做出我們欲測量之樣品的磁化強度。首先，我們將測量未放置磁流體前的磁場，即外加磁場之強度，作為圖中的 x 軸（單位：oe）。接著將磁流體放入此外加磁場中測量其感應磁場強度，並以磁流體感磁前後造成的磁場變化量作為圖中的 y 軸（單位：gauss）。為了比較我們的測量方式得到之磁化強度曲線與廠商利用儀器測量出之曲線是否吻合，上述的 x 軸與 y 軸皆與廠商給的曲線圖中具相同意義。

#### (1) 實驗一：電磁鐵產生外加磁場，測量值與實際運算值比較

我們的實驗以 2000 匝之線圈通以電流 (I)，代入電磁鐵產生磁場之理論公式，示意圖如下圖(四)：



圖(四)線圈示意圖

則電磁鐵理論應產生之磁場大小將如下：

$$H = H_1 + H_2 = \mu_0 \left[ \frac{N I r^2}{2(r^2 + d_1^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{N I r^2}{2(r^2 + d_2^2)^{\frac{3}{2}}} \right] (T) \cong 179.846 I (\text{gauss})$$

#### 1. 實驗架設：

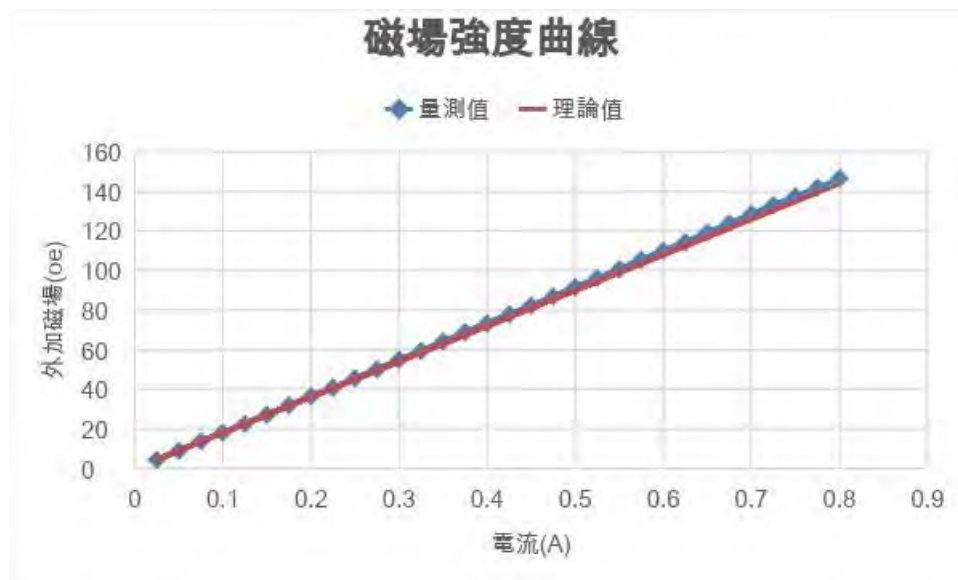
製造均勻的外加磁場，我們將兩個 2000 匝的線圈分別放置於壓克力板的兩側，分別與寬 166mm 之壓克力板兩邊切齊並接上直流電源供應器。測量磁場用之高斯計則固定緊貼於右側線圈。測量在未放置磁流體的情況下，磁場強度和固定電流之關係，由 0.025A 開始以 0.025A 為間隔增加至 0.800A 依序測量，並和理論值對照以確認架設測得之磁場大小是否正確。此架設如下圖(五)：





圖(五) 實驗一實驗架設圖

實際測量結果和理論對照：



圖(六) 磁場強度計算後實測值與理論值比較圖

由上圖兩曲線大致吻合可知，此實驗架設下測得之磁場強度可視為理論強度。因此，在後續的實驗中我們將繼續使用此套架設進行測量。

## (二) 實驗二：以電磁鐵為外加磁場架設實驗

### 1. 實驗架設：

製造均勻的外加磁場，我們將兩個 2000 匝的線圈分別放置於壓克力板的兩側，分別與寬 166mm 之壓克力板兩邊切齊並接上直流電源供應器。測量磁場用之高斯計

則固定緊貼於右側線圈。待測之兩種磁流體 EMG905 與 APG1S10n（下文將分別以樣品一及樣品二代替）固定以透明罐子盛裝 30ml，倒置於壓克力板中的凹槽中進行測量。此架設如下圖(七)。

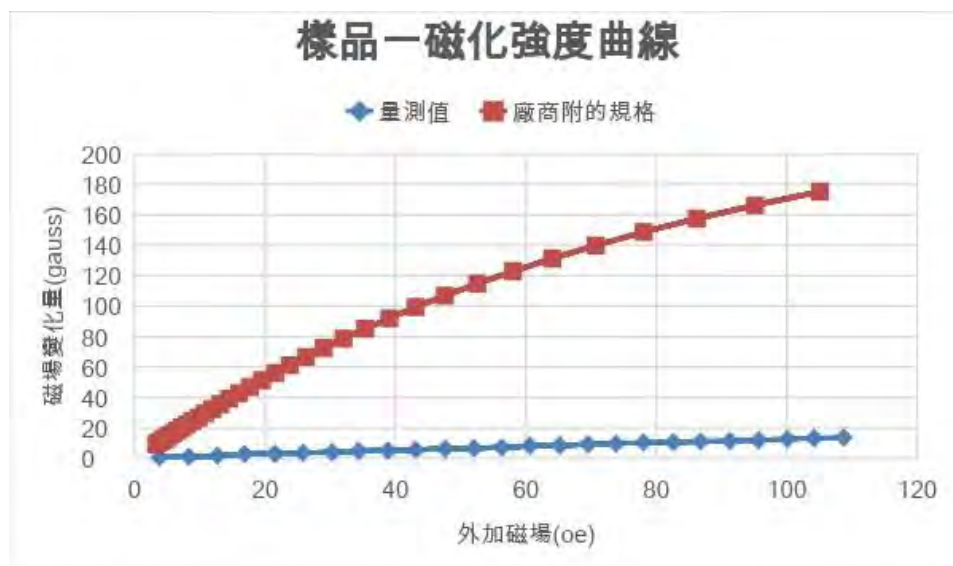


圖(七)實驗二實驗架設圖

## 2. 樣品一測量：

將實驗架設好後，調整直流電源供應器提供之電流，自 0.025A 開始，以 0.025A 為間距遞增至 0.800A。記錄在未放置樣品前，不同電流下所產生的磁場大小。測量完畢後，在不動到架設的情況，將樣品一放入此均勻磁場中，並確定高斯計能測量到感磁後磁流體產生之磁場。接著測量在提供與前面相同電流大小時

X 方向感應磁場。實驗結果樣品一磁化強度曲線與廠商附的規格比較如下：

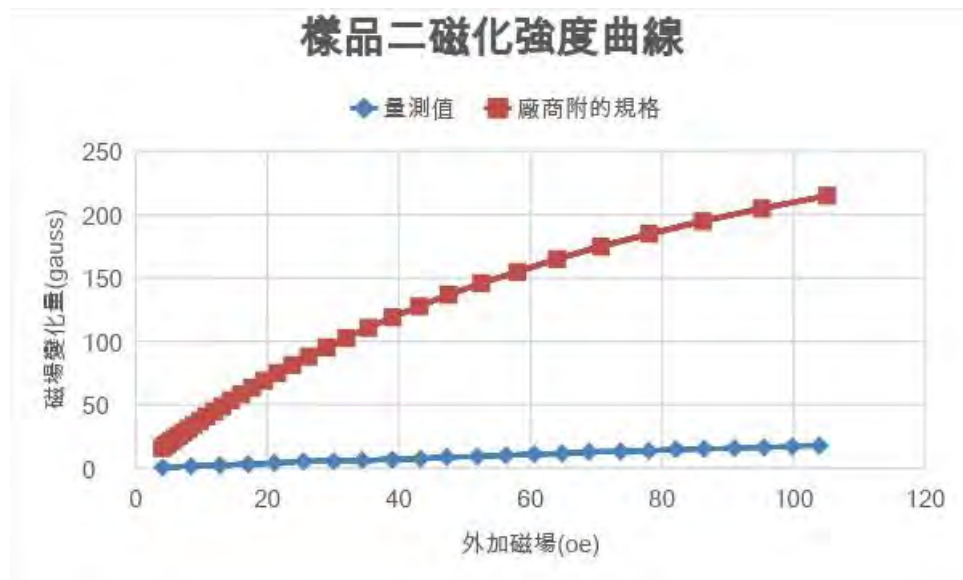


圖(八)樣品一之磁化強度曲線比較

由圖(八)可以發現，實測數據和廠商數據在磁化強度的數值上有顯著差異。實測數據圖接近斜直線，廠商數據圖則為曲線，但總體為正相關，磁化強度皆隨外加磁場增加而變強。

### 3. 樣品二測量：

為降低測量誤差，在測量樣品二時，我們會像測量樣品一時一樣，先記錄一組在只有外加磁場下，高斯計所測之磁場大小。測量後，才放入樣品二，利用與樣品一相同的測量方法，測量其感應磁場之大小。實驗結果得樣品二磁化強度曲線與廠商附的規格比較如下：



圖(九)樣品二之磁化強度曲線比較

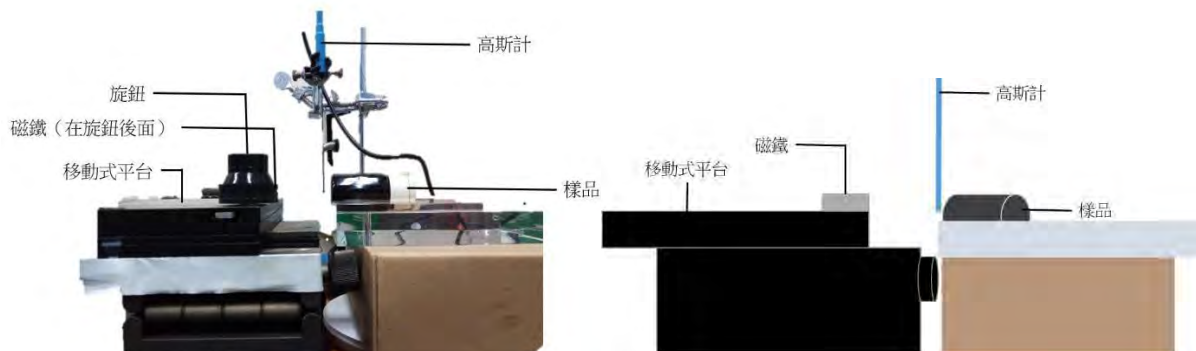
由圖(九)可以發現，實測數據和廠商數據在磁化強度之數值上同樣具顯著差異，但總體趨勢仍為正相關。

我們推測產生誤差的原因是由於數據量過少，廠商附的規格可達到 500 oe 以上，而我們的實驗架設置多只能提供約 150 oe 的磁場，為了改善此項因素，在實驗三中，我們改用磁鐵為外加磁場進行以下實驗，期望能達到更大的外加磁場。

## (三) 實驗三：以磁鐵為外加磁場架設實驗

### 1. 實驗架設：

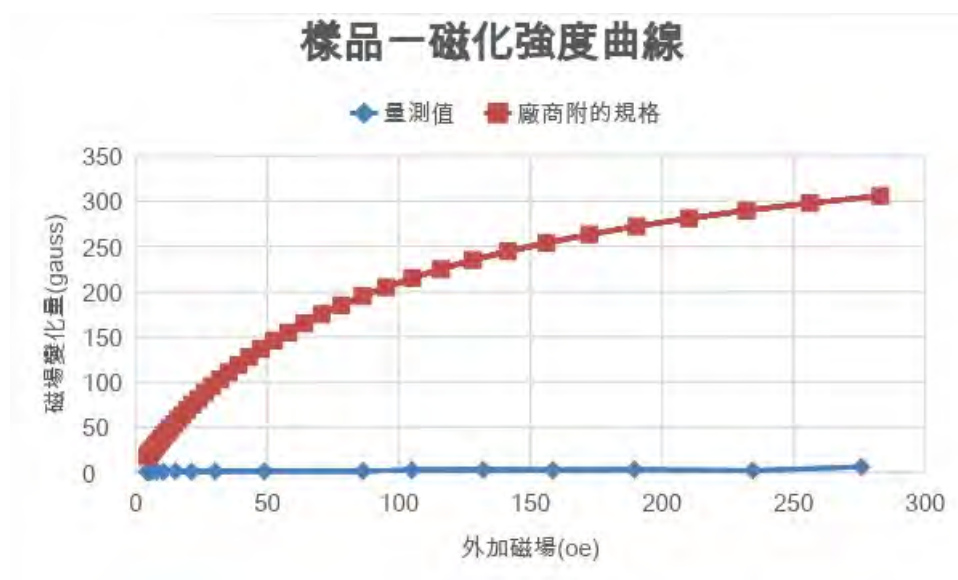
將一強力磁鐵以膠帶固定於移動式平台上，並且與邊緣切齊。在移動式平台上貼上邊長為 1mm 之方格紙，以利描述測量時磁鐵每次靠近樣品之距離。在平台旁 3mm 處放置用紙箱架高之壓克力板，使樣品橫放時，磁鐵能對準樣品，確保放在兩者間的高斯計能測得樣品之感應磁場。此架設如下圖(十)。



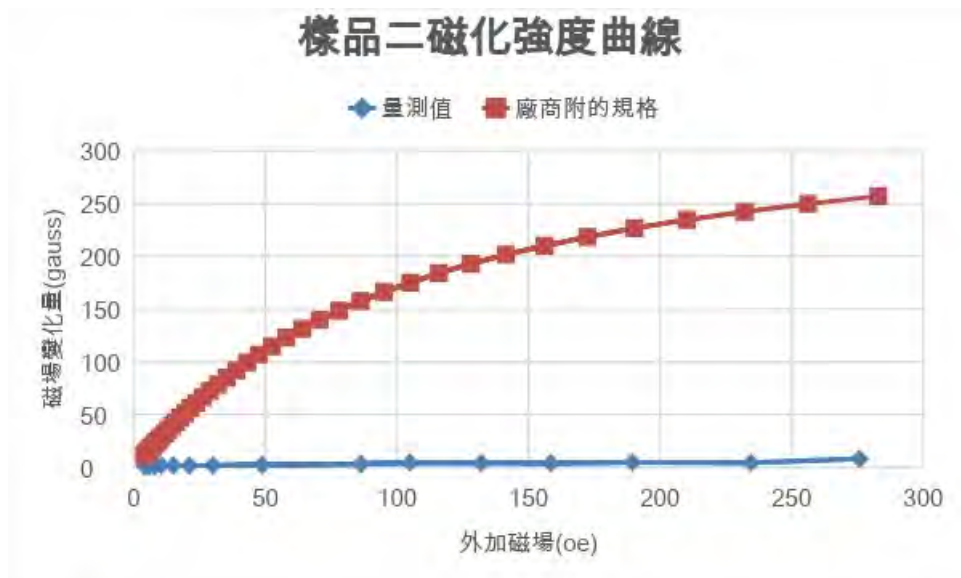
圖(十)實驗二實驗架設圖

## 2. 樣品一及樣品二測量：

此測量中，為了減少手動移動平台之誤差，我們使用和實驗一不同的測量方式進行。我們從距磁流體 39mm（方格紙上 36 格）處開始測量，先測量未受樣品影響之磁場大小，並在改變距離前，依序放上樣品一與樣品二，同時記錄三者高斯計上所顯示之 X 方向磁場之強度。接著以移動式平台上 3mm 為間距慢慢接近樣品，並以相同方式測量。直到樣品明顯受磁鐵磁力影響（距磁鐵 12mm）時，因為磁場變化幅度急速增大，所以改為以 1mm 為間距繼續測量。實驗結果得樣品磁化強度曲線與廠商附的規格比較如下：



圖(十一)樣品一之磁化強度曲線比較



圖(十二)樣品二之磁化強度曲線比較

由上兩圖可知，實測數據與廠商數據有非常顯著差異，且兩數據相比較下，幾乎無法看出實測數據的趨勢。我們認為以磁鐵當作外加磁場之架設狀況不穩定，雖然如預期能測得在更高外加磁場時之磁化強度，但測得之數值卻遠不及廠商之測值。因此，我們認為此實驗架構較前者不可行，如欲使用磁鐵測量，可能需另找架設方法。

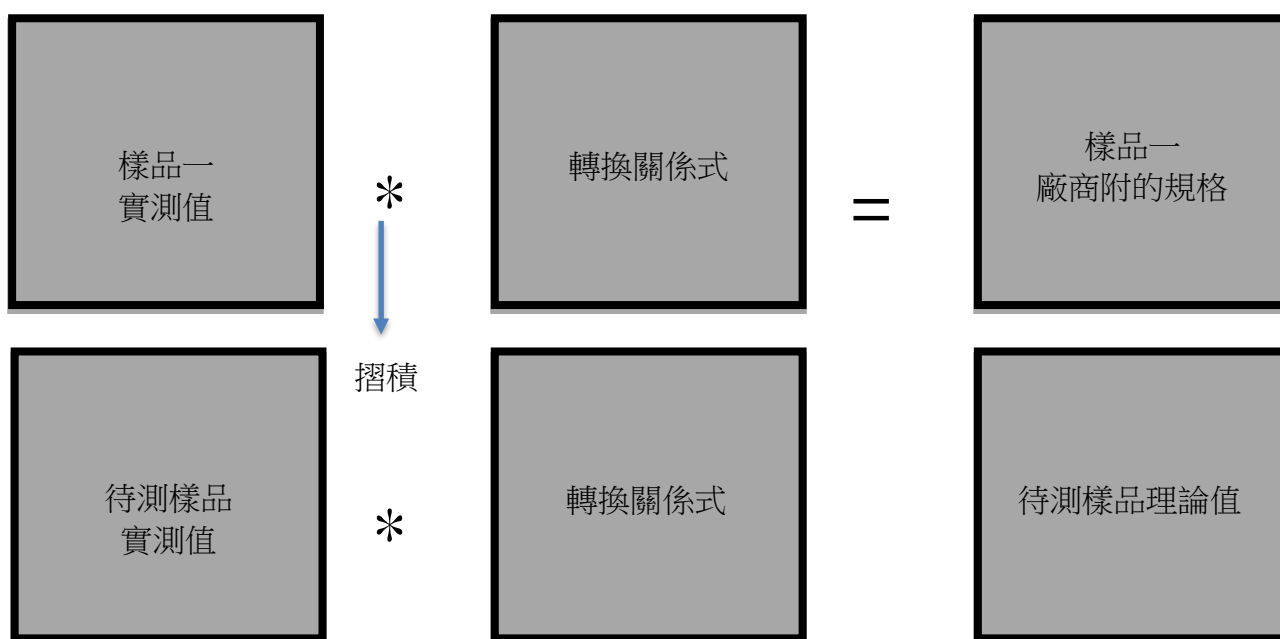
由上述實驗結果能發現，以我們的實驗架設測量得到的結果與廠商測量出的結果略有不同，數值相較均極小。我們認為可能是因為磁化強度的定義是磁流體內部磁偶極子感磁的程度，而我們的實驗架設僅能測量外部之磁場。因此我們希望能透過相同的校正方式，使實驗結果與實際結果吻合。於是我們進行了以下的實驗。

#### (四) 實驗四：將數據進行摺積運算

福爾摩沙衛星五號是台灣第一個自己發展的遙測衛星，功能主要包含了衛星影像的回傳與全球電離層之觀測等。然而並非發射後，就馬上適用並如期得到測值。2017年9月在開始取像後，發現影像的品質未達事前的預測，略有模糊及光斑現象產生，接著便開始進行近半年的修正與校正。其中一組團隊使用的調整方式就是反摺積，找到影像中光斑的點擴散函數，對實際得到的遙測影像進行運算，將失真的影像校正為高解析度之影像。

我們猜測得到的結果或許正如福衛五號起初回傳的失真影像，能找到我們實驗架設與經精密儀器測之結果間存在的校正關係。於是我們開始找尋適合的轉換方式，包含畫出回歸曲線、curve fitting、摺積等，最後決定嘗試以摺積研究兩實驗曲線是否存在校正關係，並以 MATLAB 作為輔助。

又因為在以磁鐵作為外加磁場的架設中，每次結果非常不穩定，因此在後續實驗中，我們只以電磁鐵當作測量的架設得到之結果進行修正。我們假定測值與實際值存在摺積關係，則進行修正方式如下：



圖(十三)實驗預測之轉換關係

由上圖可知，我們首要目的是找到圖中的轉換關係式。將樣品一實測值與樣品一理論值藉離散傅立葉轉換由時域轉為頻域，則在頻域下計算式如下，其中〔t〕代表時域下運算，〔f〕表示頻域下運算：

$$\text{樣品一實測值〔t〕} * \text{轉換關係式〔t〕} = \text{樣品一廠商附的規格〔t〕}$$

$$\rightarrow \text{樣品一實測值〔f〕} \times \text{轉換關係式〔f〕} = \text{樣品一廠商附的規格〔f〕}$$

$$\text{轉換關係式〔f〕} = \text{樣品一廠商附的規格〔f〕} / \text{樣品一測值〔f〕} \quad (1)$$

接著，因為我們假設待測樣品在時域下，與上述相同轉換關係式進行摺積能夠得到待測樣品理論值，因此我們也利用離散傅立葉轉換在頻域下進行運算，其運算如下：待測樣品實測值〔f〕×轉換關係式〔f〕=待測樣品理論值〔f〕 又由（1）式可知：

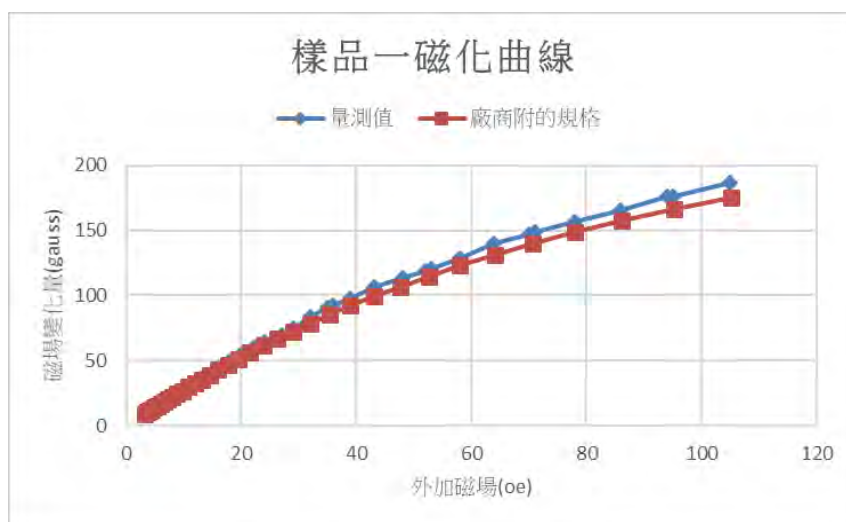
$$\begin{aligned} & \text{待測樣品實測值〔f〕} \times (\text{樣品一理論值〔f〕} / \text{樣品一測值〔f〕}) \\ & = \text{待測樣品理論值〔f〕} \end{aligned}$$

再將待測樣品理論值〔f〕利用傅立葉逆轉換即可得待測樣品理論值〔t〕。

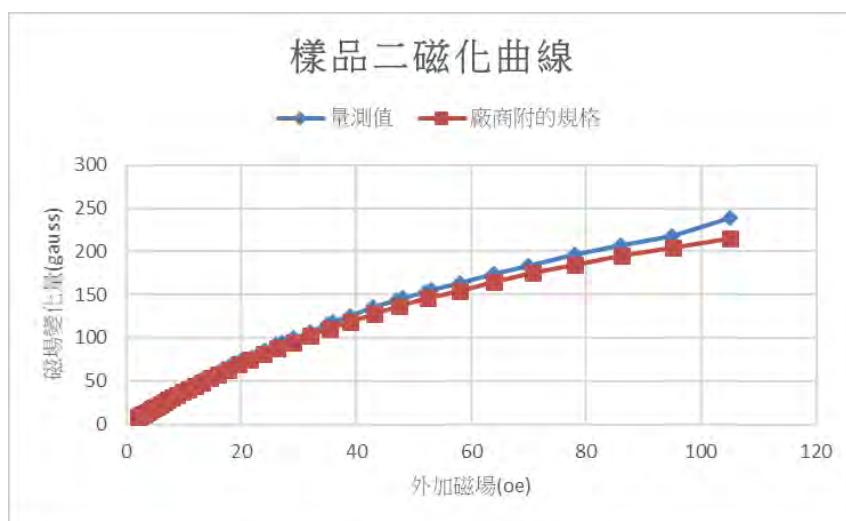
以上述摺積運算，我們寫成 MATLAB 程式後，進行以下測試：

### 1. 第一步測試：

利用一組樣品實驗得之數據與廠商數據做出轉換關係式，帶入同一天測量之同種不同組樣品（同一樣品要測兩次）的測值。再帶入預先寫好之摺積轉換式中進行運算，繪圖並與預測線比較得到結果如下：



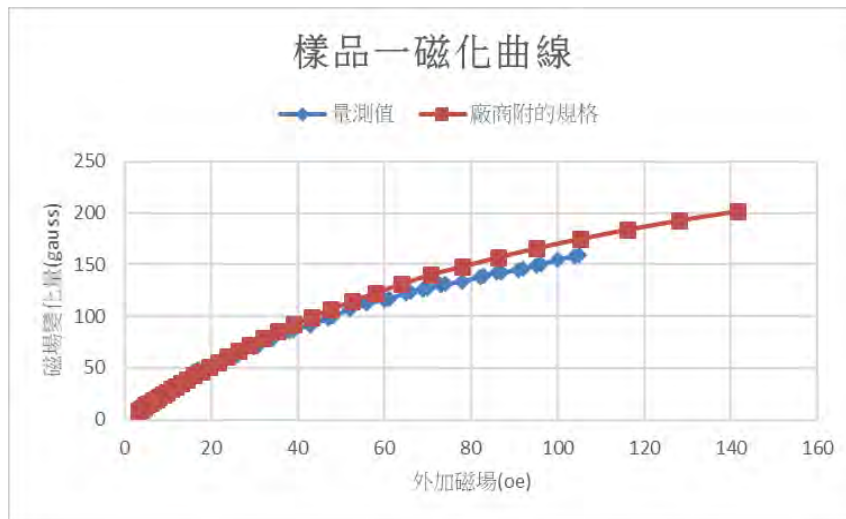
圖(十四)樣品一經摺積後曲線對照廠商測得曲線



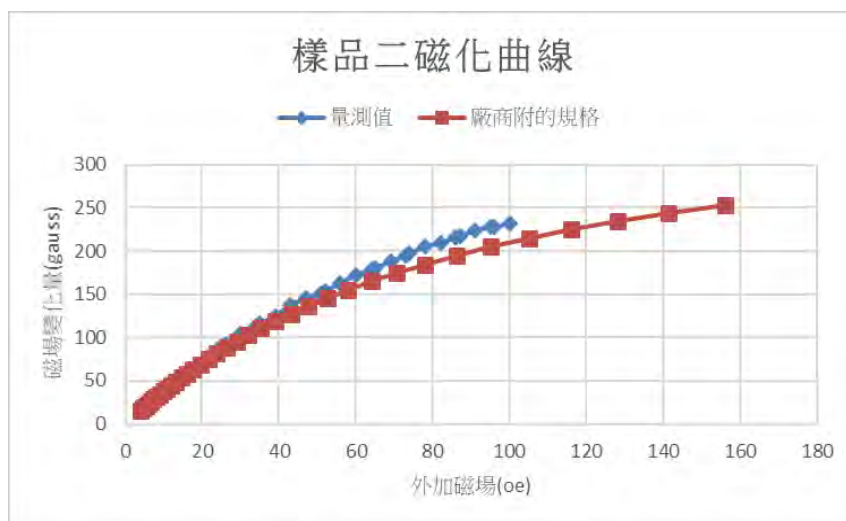
圖(十五)樣品二經摺積後曲線對照廠商測得曲線

由上二圖可知，如我們預期的，將相同樣品分別對照轉換得到的磁化強度曲線與廠商的曲線相當接近。再下一步的實驗中我們欲使用不同種的樣品當做對照，測量是否可以利用一種樣品做出的轉換式成功得到另一種磁化強度曲線。若能成功，利用這個架設時，只要能有任何一組廠商之測量數據，即可推得任意磁流體的磁化強度曲線，達到我們的期望。

2. 第二步測試：做出轉換關係式的方式與第一次實驗相同，利用一組樣品實驗得之數據與廠商數據代入求得。但在第二步測試中，則是使用同一天測量之另一種樣品（即兩種樣品需各測一次）測值，帶入相同之摺積轉換式中進行運算，繪圖並與預測線比較得到結果如下：



圖(十六)樣品一進行修正後曲線對照廠商測得曲線



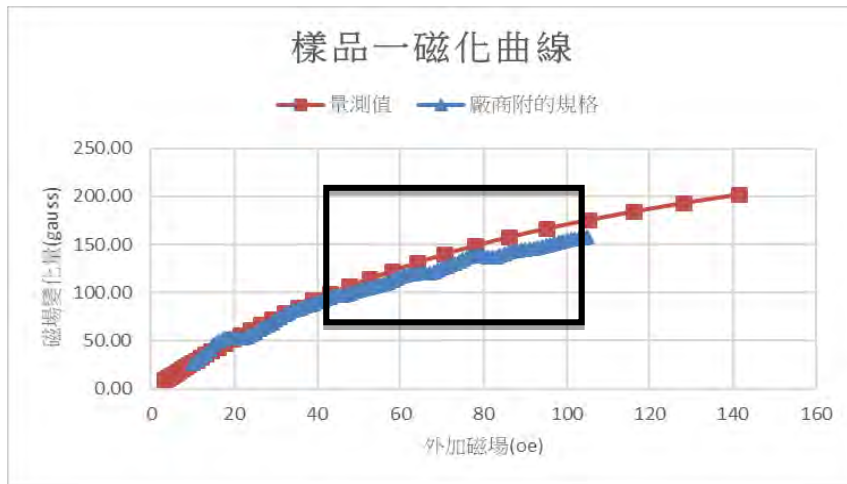
圖(十七)樣品二進行修正後曲線對照廠商測得曲線



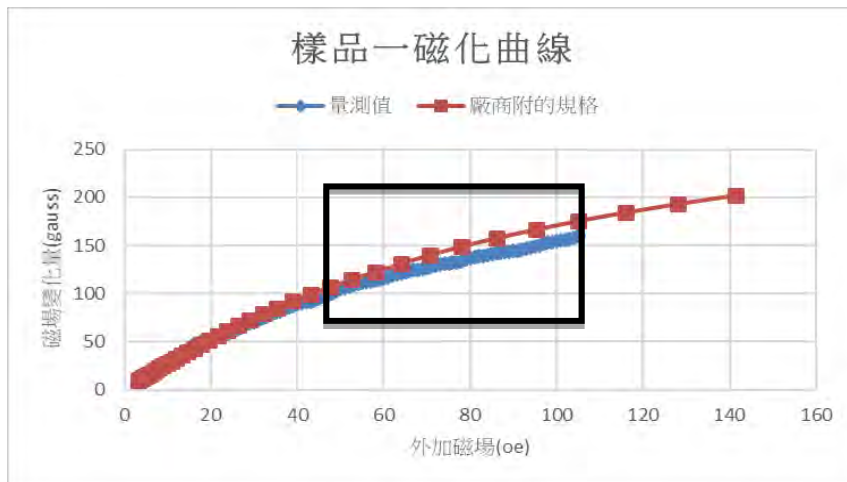
由上二圖可知，即使以不同樣品做對照組，也能得到接近廠商附的規格。證實我們能夠以任意一組已知磁化強度之樣品推得其他樣品之磁化強度。

### 3. 第三步測試：

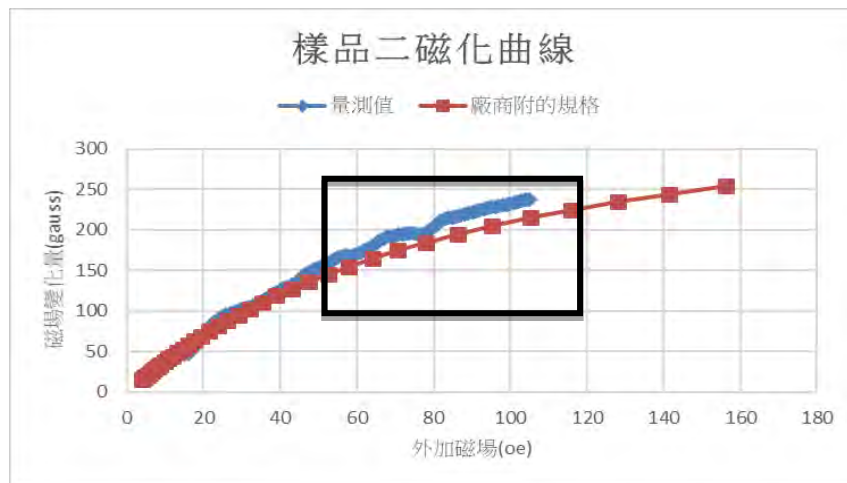
在工程測量中，常會受到高頻雜訊的影響，因此我們將高頻的部分，假設為環境中之雜訊並將其濾掉，觀察結果是否會跟實際值更相符。實驗得濾頻前後之比較圖如下：



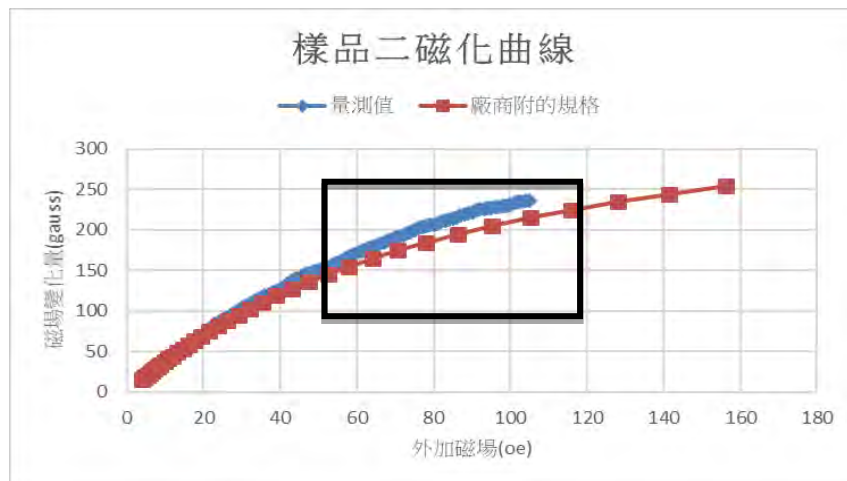
圖(十八)樣品一將高頻率的部分濾掉前之實驗曲線  
誤差範圍在 16%以內



圖(十九)樣品一將高頻率的部分濾掉後之實驗曲線  
誤差範圍在 9%以內



圖(二十)樣品二將高頻率的部分濾掉前之實驗曲線  
誤差範圍在 18%以內



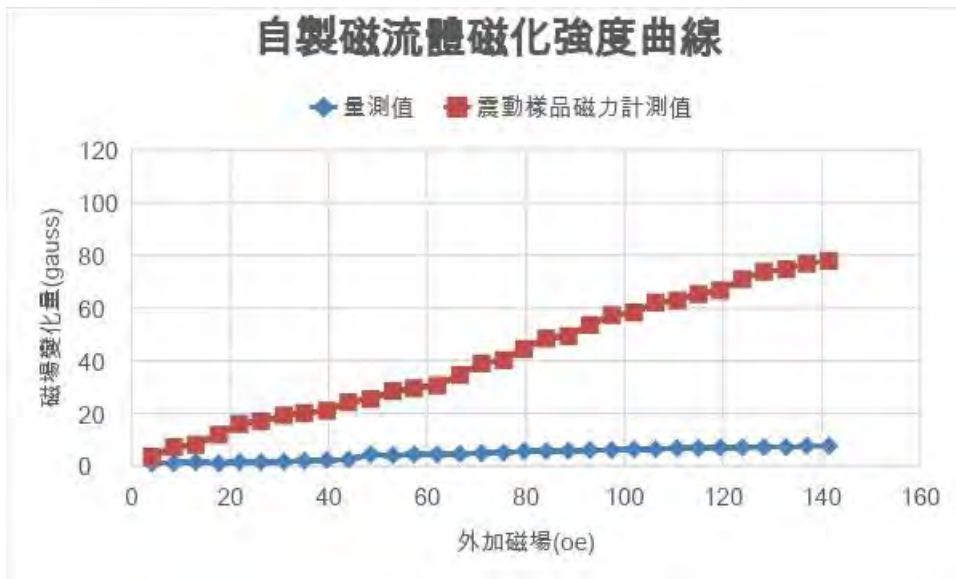
圖(二十一)樣品二將高頻率的部分濾掉後之實驗曲線  
誤差範圍在 10%以內

由上二樣品濾頻前後方框內比較可知，濾頻前的誤差值雖相較轉換前的數據精確許多，但與廠商附的規格相比還是有些差距。而濾頻後的誤差範圍縮減至 10%以內。雖然我們無法確定實驗是否受高頻影響，但若以此為假設進行修正，得到的結果良好，更符合我們的目標。

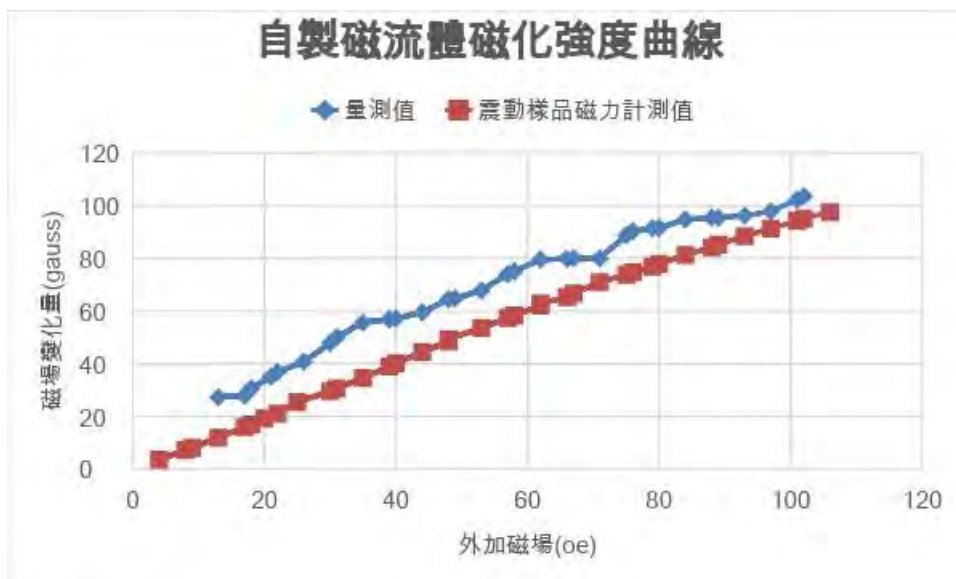
#### (五) 實驗五：驗證此測量方法之可用性

為了檢驗此裝置的可用性，我們決定以自製磁流體測試。實驗分為兩部分，首先我們會將自製磁流體利用我們的實驗架設測量，同樣進行摺積得到我們的結果。接著

為了避免每次做出的品質及磁化強度略有不同，我們將相同的樣品同時拿到台北科技大學奈米光電磁材料技術研發中心，利用震動樣品磁力計進行測量。兩種測量方式的結果與比較如下：



圖(二十二)自製磁流體摺積前曲線對照震動樣品磁力計測得曲線  
誤差高達 90%



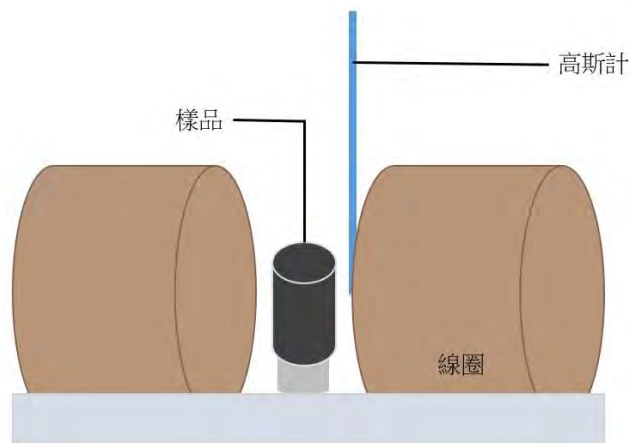
圖(二十三)自製磁流體摺積後曲線對照震動樣品磁力計測得曲線  
後期誤差範圍為 7%~40%

由上兩圖可看出，前期誤差巨大，我們推測其原因可能為自製磁流體的品質不穩定，造成測量結果不如預期，數據不如商用磁流體精確。但與修正前之數值

相比，仍明顯看出誤差範圍減少，實測圖形經摺積後確實更加近似於由震動樣品磁力計測出之理論值，因此得以證實此測量方式確實是具可行性的測量方法。

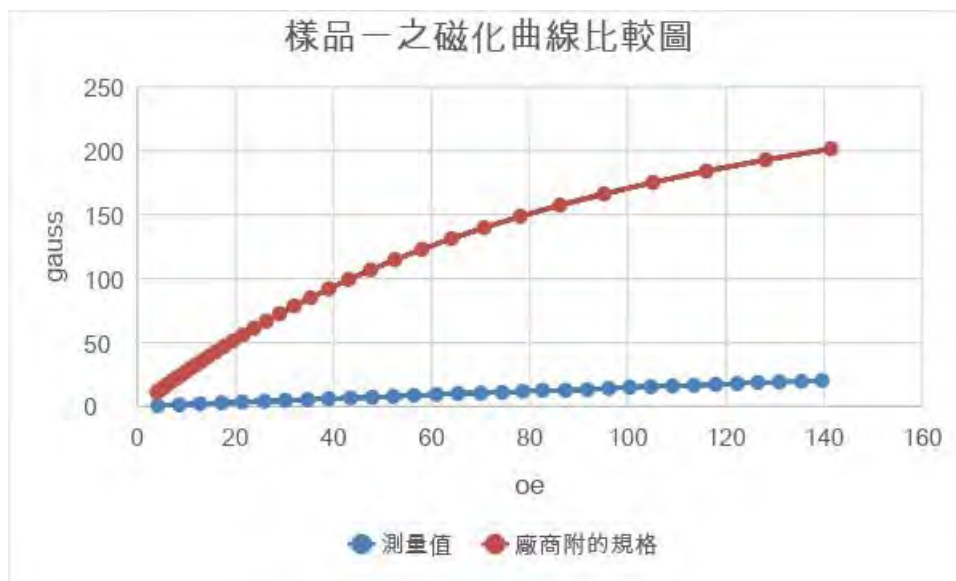
#### (六) 實驗六：增大數據數值

在先前的實驗中我們證實了此測量方法的可行性，但卻發現數據間的誤差仍然有縮減的可能性，因此我們稍微調整了實驗的架設，使外加磁場加大，並測量第三組樣品，期望能取得更好的數據並降低誤差值。在此架設中，我們將放在樣品下的方塊移開，使高斯計能在磁流體較多的位置的數據。此架設圖如下圖（二十四）



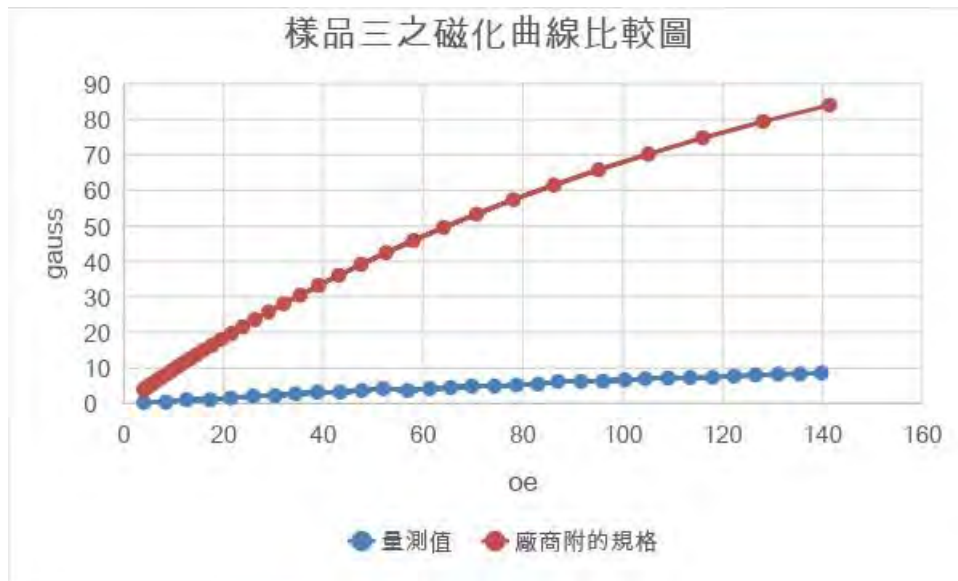
圖(二十四)實驗六實驗架設圖

##### 1. 樣品一測量：



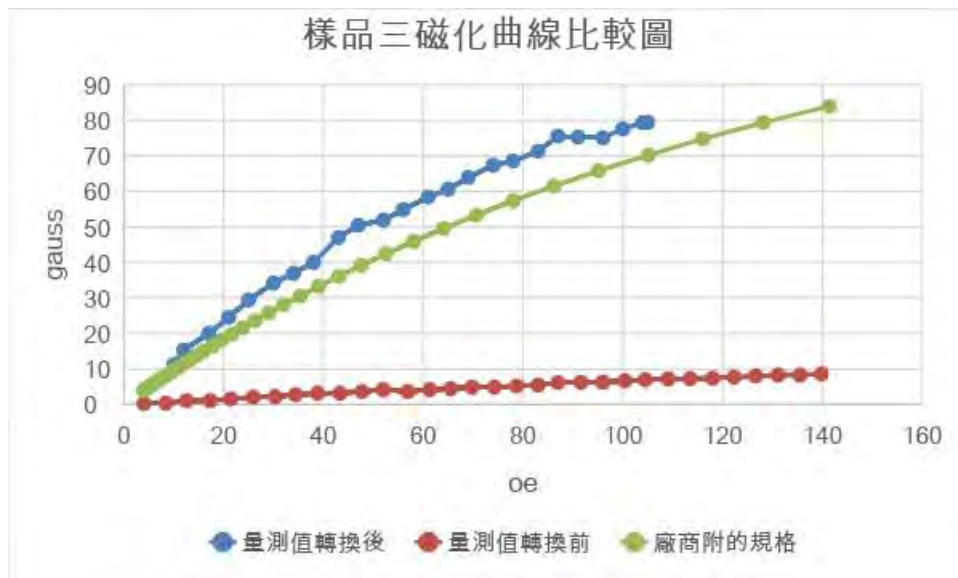
(二十五)樣品一之磁化強度曲線比較

## 2. 樣品三測量圖



圖(二十六)樣品三之磁化強度曲線比較

## 3. 將兩數據進行摺積：



圖(二十七) 電磁鐵實驗樣品三實測數據、經回溯修正後數據和廠商數據對照之實驗曲線

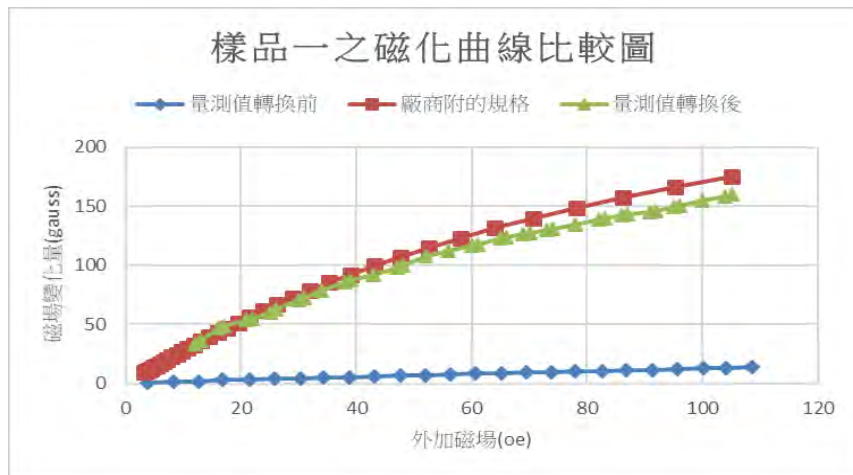
轉換後之誤差範圍在 30%以內

由上圖可知，此經過微調後的架設並沒有使數據達到更好的效果，雖如預期中增加了外加磁場大小，卻沒有降低誤差值。但是從圖中仍可以發現，經轉換後的測值能更加貼近理論值。

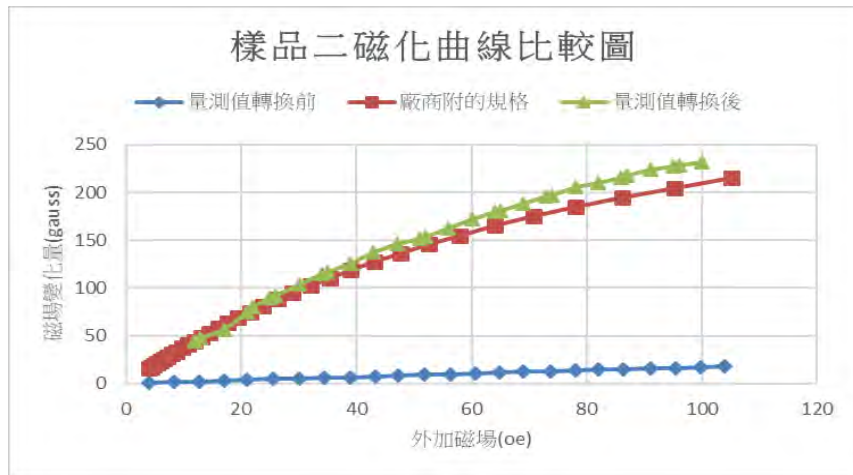
## 伍、研究結果

經過以上實驗，我們得到了下面的結果：

1、經過回溯修正轉換後，得到的數值與趨勢皆更接近廠商的數據。

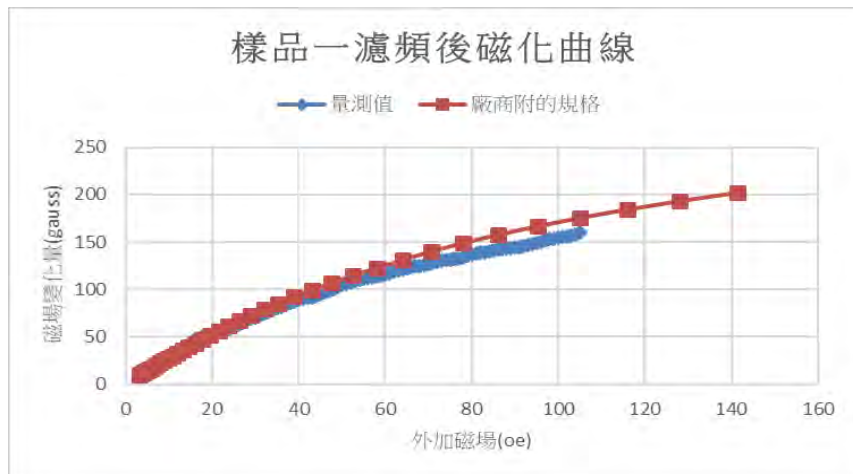


圖(二十八)電磁鐵實驗樣品一實測數據、經回溯修正後數據和廠商數據對照之實驗曲線

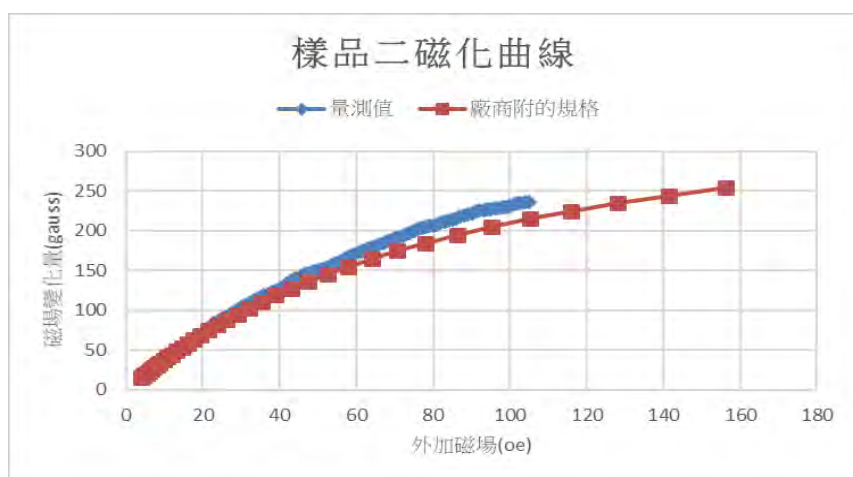


圖(二十九)電磁鐵實驗樣品二實測數據、經回溯修正後數據和廠商數據對照之實驗曲線

二、將高頻雜訊濾掉後，數據更為精準。



圖(三十)電磁鐵實驗將雜訊濾掉後得到之樣品一數據對照廠商數據之實驗曲線



圖(三十一)電磁鐵實驗將雜訊濾掉後得到之樣品二數據對照廠商數據之實驗曲線

## 陸、討論

- 1、實驗時，因為沒有在特殊環境下進行，因此外在環境的干擾會造成數據的些許誤差。觀察實驗數據的頻域圖，我們假設高頻且強度極高的部分為測量之雜訊，並將其過濾觀察結果是否會變得更符合預期。然而我們並不能完全確認這些高頻率的波皆是我們測量時的雜訊。
- 2、理論上來說，磁流體的量並不會對磁化強度造成影響，但小到無法測量，也就是體積幾乎為零時，即視體積為零，不具有感磁的效果。在我們的前置實驗中，磁流體的使用量為 2.5ml，因為體積過少，導致數據變化量不明顯。接著我們改用 15ml 和 30ml 的量進行測量，發現數據確實好轉許多，且兩者的實驗結果十分相近。
- 3、高斯計需要時常歸零，確保在加入磁場前磁場為零，沒有受到其他雜訊的影響。但在使用磁鐵當作外加磁場的測量方式中，如果要歸零高斯計，就要先將磁鐵移開才不會影響磁場，但移開磁鐵就會改變磁鐵和高斯計的相對位置。我們目前無法在完全不變動位置的情況下歸零高斯計。
- 4、在使用磁鐵進行實驗時，即使固定磁鐵與樣品間的距離，但無法保證每次歸零後高斯計和磁鐵的相對位置完全不改變，導致使用磁鐵的測值十分不穩定，參考價值不高。因此我們僅採用以電磁鐵作為外加磁場的架設，進行摺積轉換。

## 柒、結論

我們的研究目的是找出一種簡易且成本較低的實驗架設，測量並求得任意磁流體之磁化強度。由最後一個實驗結果可以發現，使用此測量方法得到自製磁流體（即未知磁化強度之磁流體）的磁化強度曲線與利用震動樣品磁力計測得出的圖形相近。由此推斷，在考慮磁化強度僅受磁場影響時，此種測量方式將能夠得到吻合理論之結果。

在未來的實驗中，我們希望能著手更多可能影響磁化強度之變因，更準確控制每個步驟，甚至拓展至磁性物質之磁化強度測量，而非僅限於測量磁流體之磁化強度。

## 捌、參考資料及其他

- 一、姚珩、張嘉泓、施華強、李重賢、鍾彩霞、陳東閔（編）選修物理（下）。翰林出版
- 二、陳慶耀(2008)。『智慧型流體：磁性流體液滴界面之操控－從突出峰到迷宮』
- 三、王聖焱、陳慶耀（2015）磁性液滴運動與感應電動勢之研究
- 四、黃崢瑜、陳應皓、姚柏宏、詹文皓（譯）物理（下）（第六版）。全華圖書。
- 五、李永勳（譯）電磁學（第二版）。偉明圖書。
- 六、磁性材料特性與量測方法簡介  
<http://www.propii.com.tw/upload/knowledge/11.pdf>
- 七、戴明鳳教授、施宙聰教授，實驗：亥姆霍茲線圈磁場  
<http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/18%20Helmholtz%20Coils/Magnetic%20fields%20of%20Helmholtz%20Coil.pdf>
- 八、陳鐘誠（2012），微積分：傅立葉轉換 -- CaFourier.wmv  
<https://www.youtube.com/watch?v=vKrS7YM72Tc>
- 九、物理與天文學科小論文「磁鐵磁場面面觀」  
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/03/2017032315550225.pdf>
- 十、中華民國 第 49 屆國中科展作品『鐵磁流體之製備與研究』  
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030213.pdf>



## 玖、附錄

### 一、MATLAB 摺積運算

```
clc
clear all
%sample with
definitions
%measured data
x1=[
放入自己測的空數據(oe)
];

y1=[
放入自己測的變化量數據(gauss)
];

%Company Data
x2= [
放入廠商給的空數據(oe)
]
y2=[
放入廠商給的變化量數據
];

xint = 10:1:105;
yint2 =
interp1(x2,y2,xint,'pchip'
); z1 = fft(yint1);
[b,a] =
butter(5,13/15,'low');
z1 =filter(b,a,z1);
z2 = fft(yint2);

Y = z2./z1;

subplot(3,2,1)
plot(x1,y1,'*',xint,yint1);

subplot(3,2,3)
plot(xint,abs(z1),'-b')
```

```
subplot(3,2,5)
plot(xint,angle(z1),'-b')
```

```
subplot(3,2,2)
plot(x2,y2,'*',xint,yint2);
subplot(3,2,4)
plot(xint,abs(z2),'-b')
subplot(3,2,6)
plot(xint,angle(z2),'-b')
```

```
figure
subplot(1,2,1)
plot(xint,abs(Y),
'-b')
subplot(1,2,2)
plot(xint,angle(Y
),'-b')
```

```
xs =[
任意磁流體測量空數據(oe)
];
```

```
ys= [
任意磁流體測量變化量數據(gauss)
];
```

```
yints =
interpl(xs,ys,xint,'pchip'
);
```

```
figure
subplot(3,1,1)
plot(xs,ys,'*',xin
t,yints);
```

```
S = fft(yints);
```

```
[b,a] =
butter(5,13/15,'low');
S =filter(b,a,S);
```

```
x = [
```

```
廠商 oe
];
y=[
廠商 gauss
];

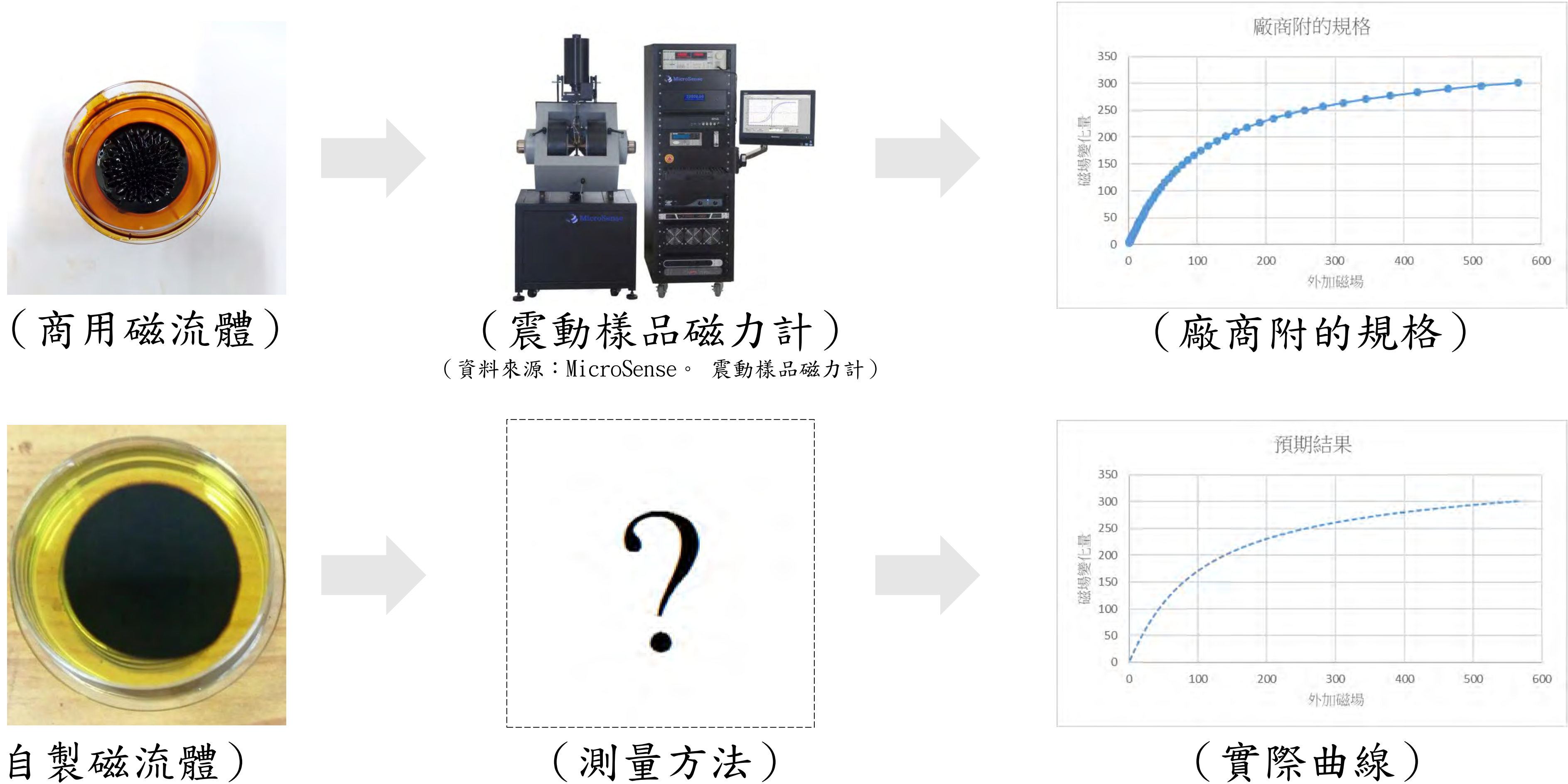
MR = S.*Y;
mr =
ifft(MR);
subplot(3,1,
2)
plot(xint,mr
,'*');
subplot(3,1,
3)
plot(x,y'*');
```

## 【評語】 052316

1. 本作品利用一磁力計測量在外場下加入磁流體後的變化，再利用捲積校正方式，獲得未知磁流體的磁化強度。
2. 利用此方法，校正函數會受到不同次測量、樣品、磁力計(Hall probe)及磁場線圈相對位置的影響，不同量的磁流體也可能造成磁場分布不同，致影響檢測結果，故應考慮使用標準化程序，並進行不確定因子及誤差分析。
3. 實驗的數據應更多，方利確立推論之有效性。
4. 成果中未提供系統轉換關係式或物理特性，只做資料演練，有進一步析論與研討必要。

## 壹、研究動機

市面上販售的磁流體能透過網路或詢問等管道得到其磁化強度，其數據通常利用價格昂貴之精密儀器測量得出。若我們想得知一未知磁流體之磁化強度，需花費大量金錢。由於成本不足，我們希望設計出一種成本較低但同樣準確之測量方法。



## 貳、研究目的

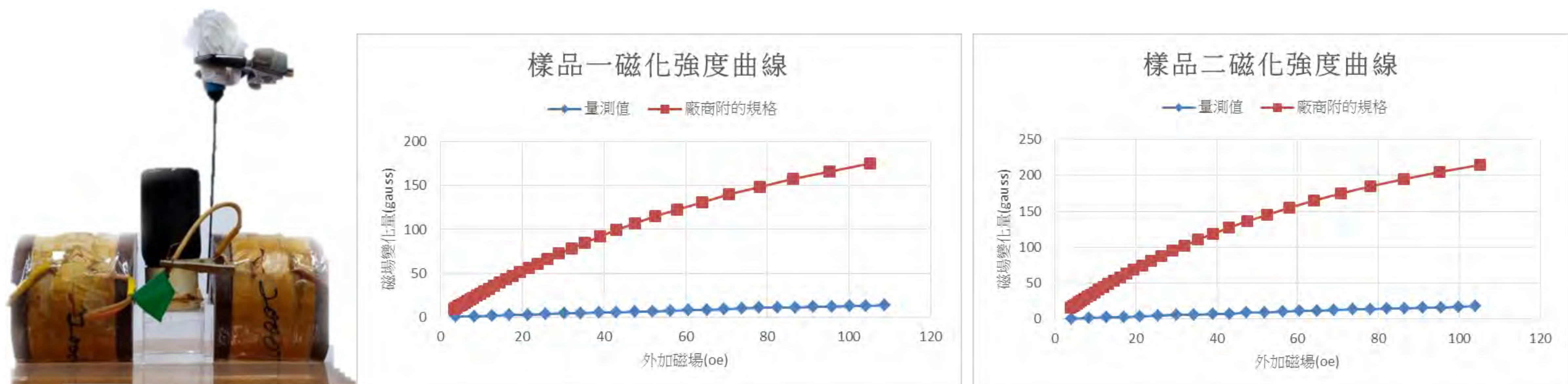
- 一、透過較簡易且成本較低的方式得知磁流體之磁化強度
- 二、找出誤差希望找到轉換關係式將結果修正至接近理論值
- 三、藉此測量方法得自製磁流體之磁化強度並與使用震動樣品磁力計的測值做比較，驗證測量方法之可用性

## 參、研究設備及器材

直流發電機	高斯計	鐵架	線圈	電線	鱷魚夾	壓克力板
透明罐子 (30ml)	EMG905 (30ml) 樣品一	APGS10n (30ml) 樣品二	APG830 (30ml) 樣品三	移動式平台	MATLAB	自製磁流體

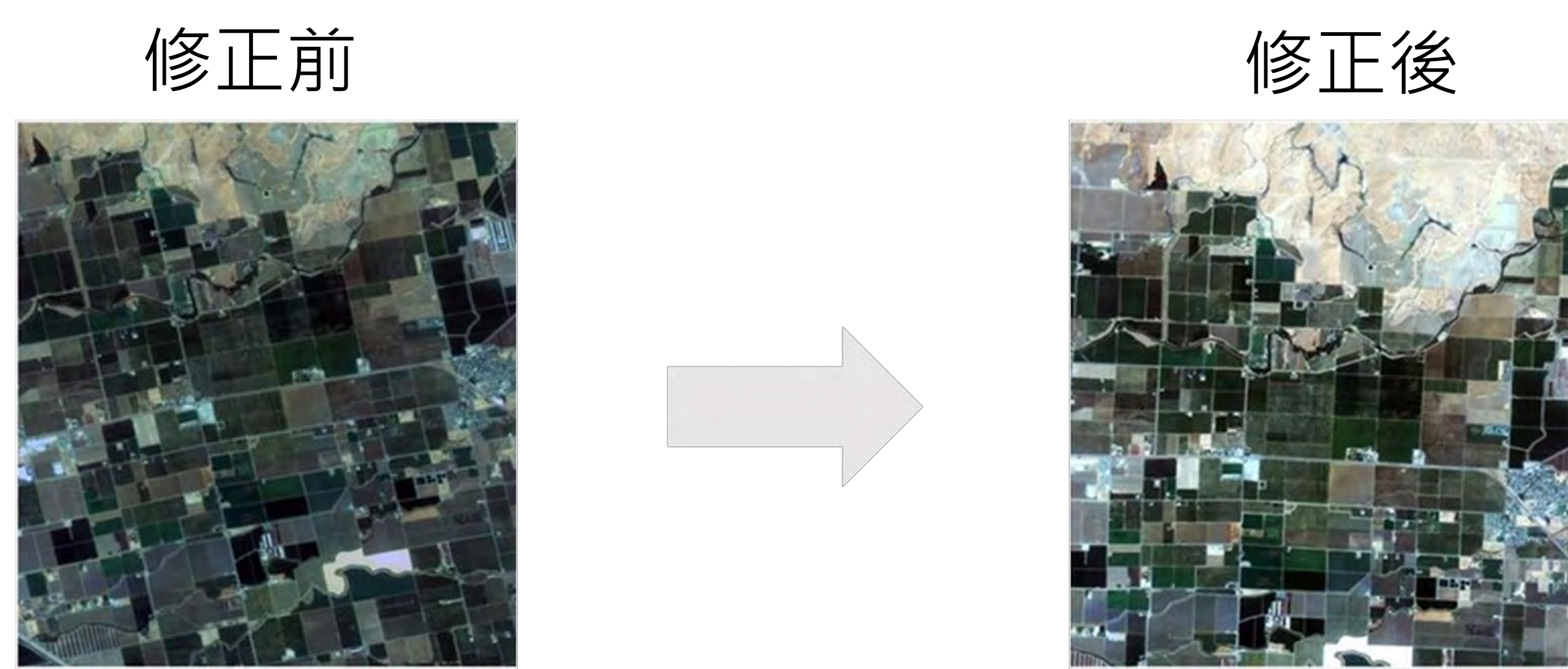
## 肆、研究過程與結果

以下是我們的實驗架設與測量後實驗結果



結論：兩數據和廠商附的規格在磁化強度的數值上有顯著差異，可能是因磁化強度是指物質內部磁偶極子感磁的程度，而我們的實驗架設僅能測量外部之磁場。

福衛五號計畫中因遙測取像儀焦距偏移，造成回傳時的影像模糊。其修正的方法是利用取像儀的溫度調控機制與反摺積運算，最後調整至原本期待看見之影像。我們大膽的猜測，摺積運算或許能應用於本次的實驗。



(圖片取自：<https://www.ettoday.net/news/20171128/1061795.htm> 鏡周刊)

我們利用與上述相同模式進行假設：

$$f[t] * h[t] = f'[t]$$

$$s[t] * h[t] = s'[t]$$

其中  $f[t]$  為已知磁化強度樣品之測值       $h[t]$  為存在的摺機轉換關係

$f'[t]$  為已知磁化強度樣品廠商附的規格       $s[t]$  為待測樣品測值

$s'[t]$  為待測樣品理論值

我們的轉換方法則如下：

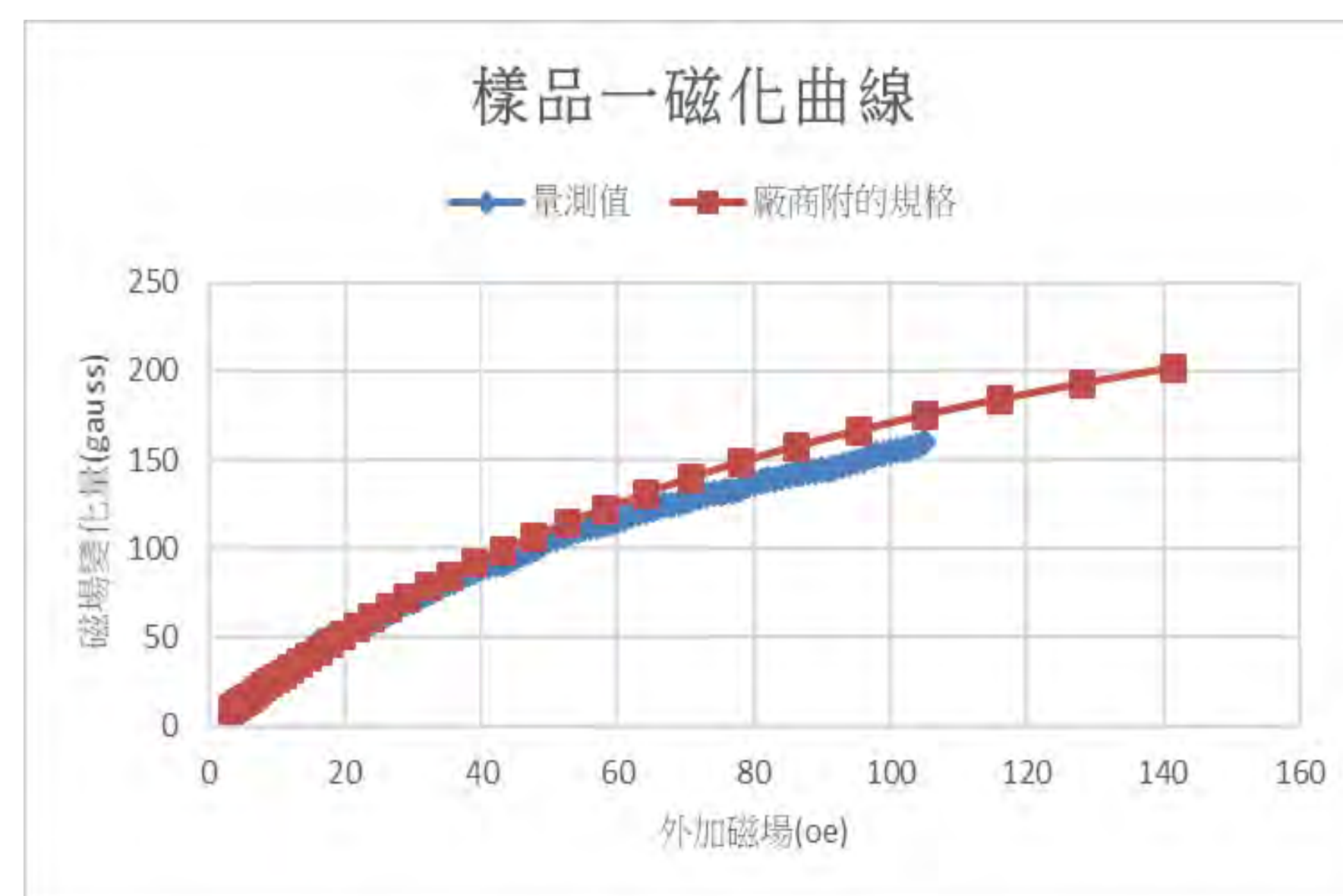
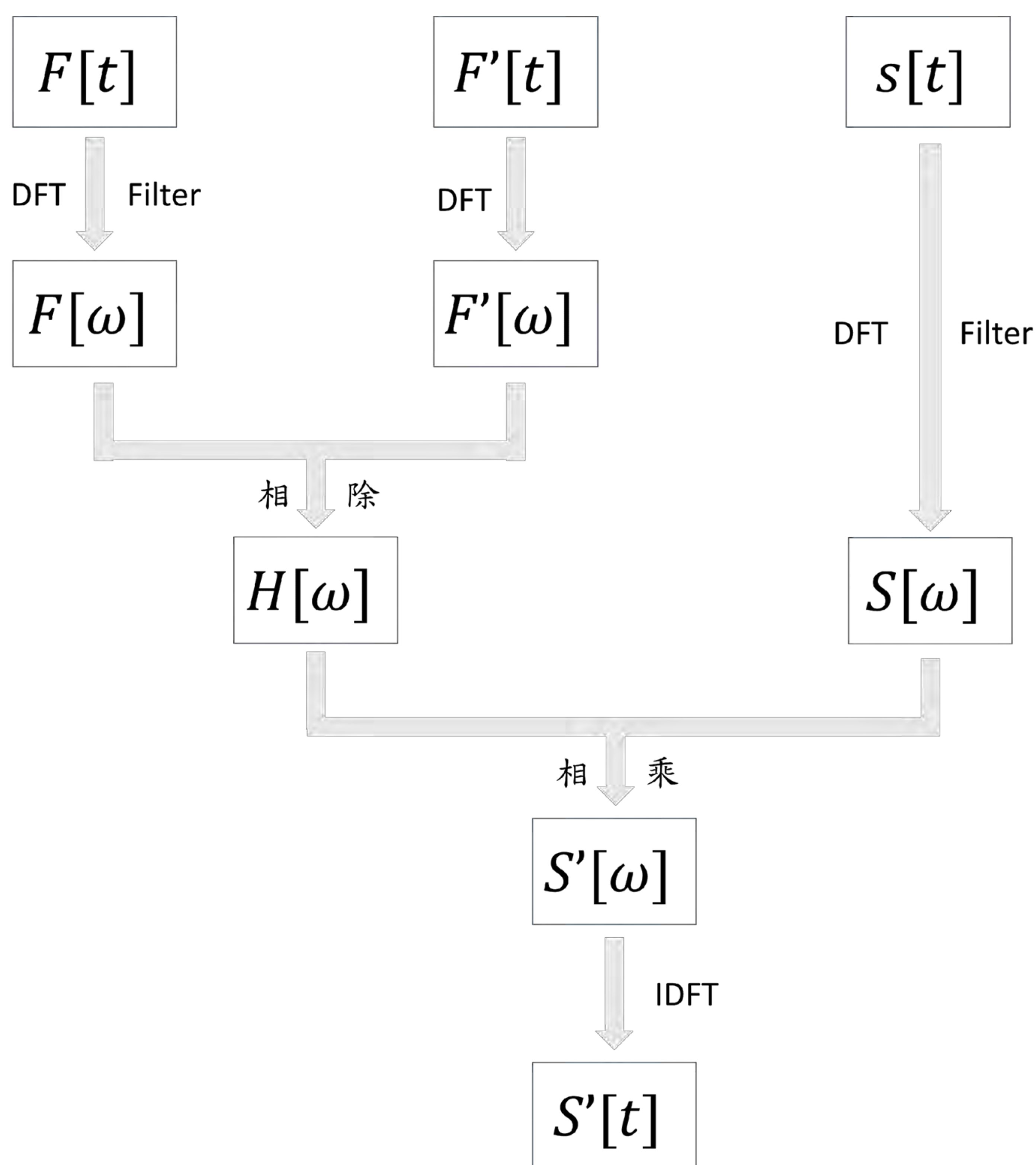
$$\text{已知快速傅立葉轉換 } f[t] * g[t] = y[t] \leftrightarrow F[\omega] \times G[\omega] = Y[\omega]$$

$$\text{則上述 } f[t] * h[t] = f'[t] \leftrightarrow F[\omega] \times H[\omega] = F'[\omega]$$

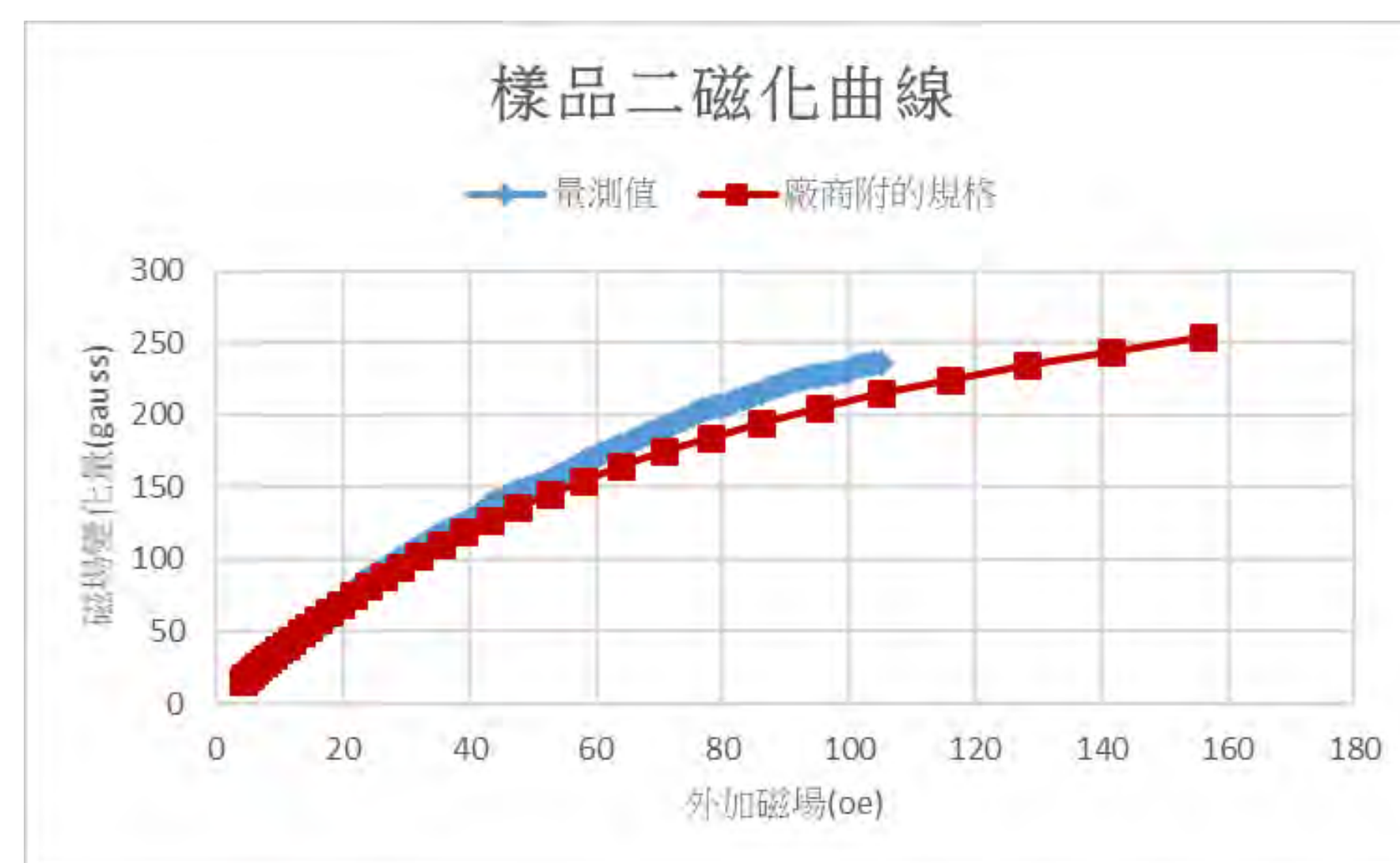
$$s[t] * h[t] = s'[t] \leftrightarrow S[\omega] \times H[\omega] = S'[\omega]$$

轉換流程圖如下：

轉換後結果如下：



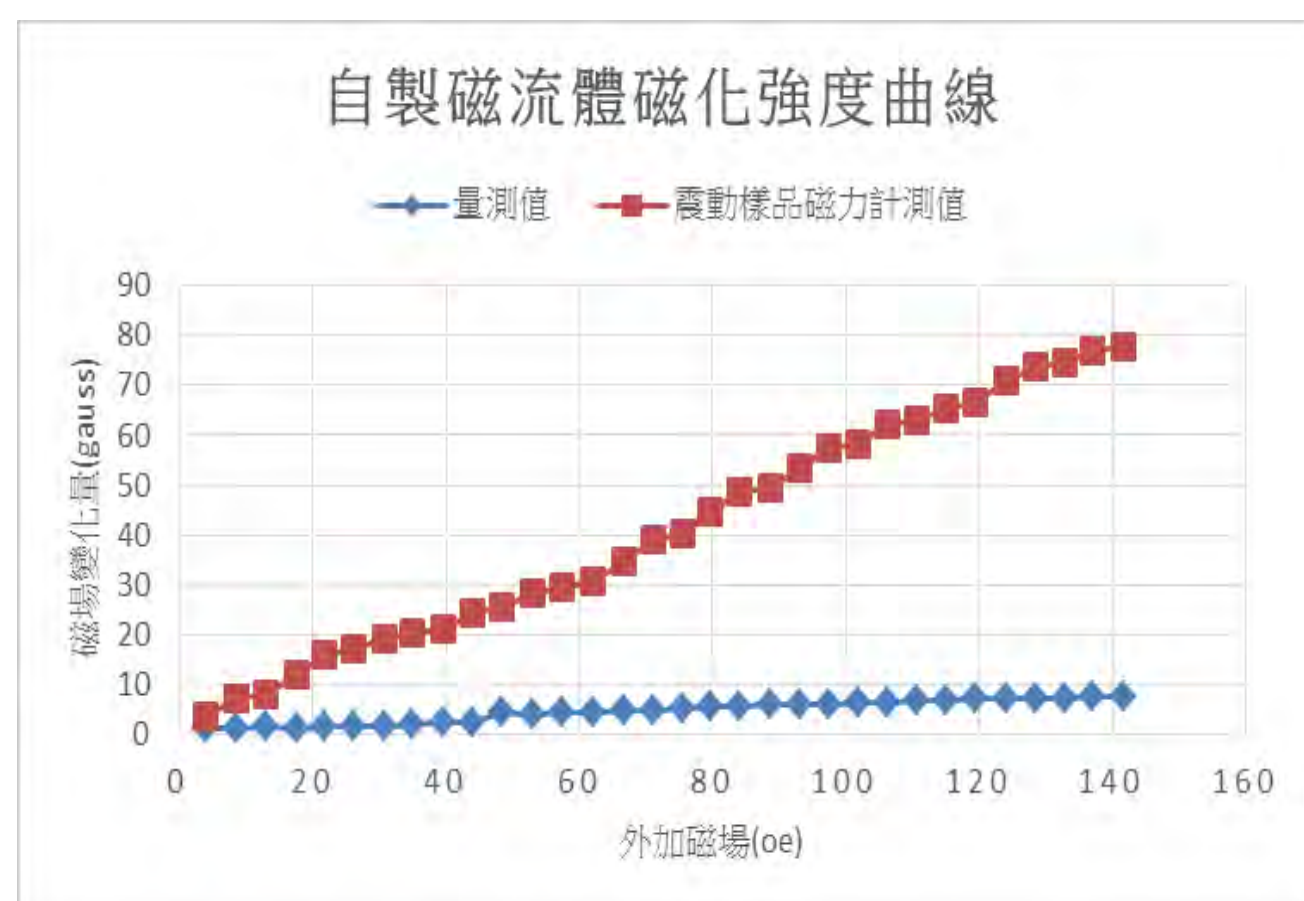
誤差範圍在 9% 以內



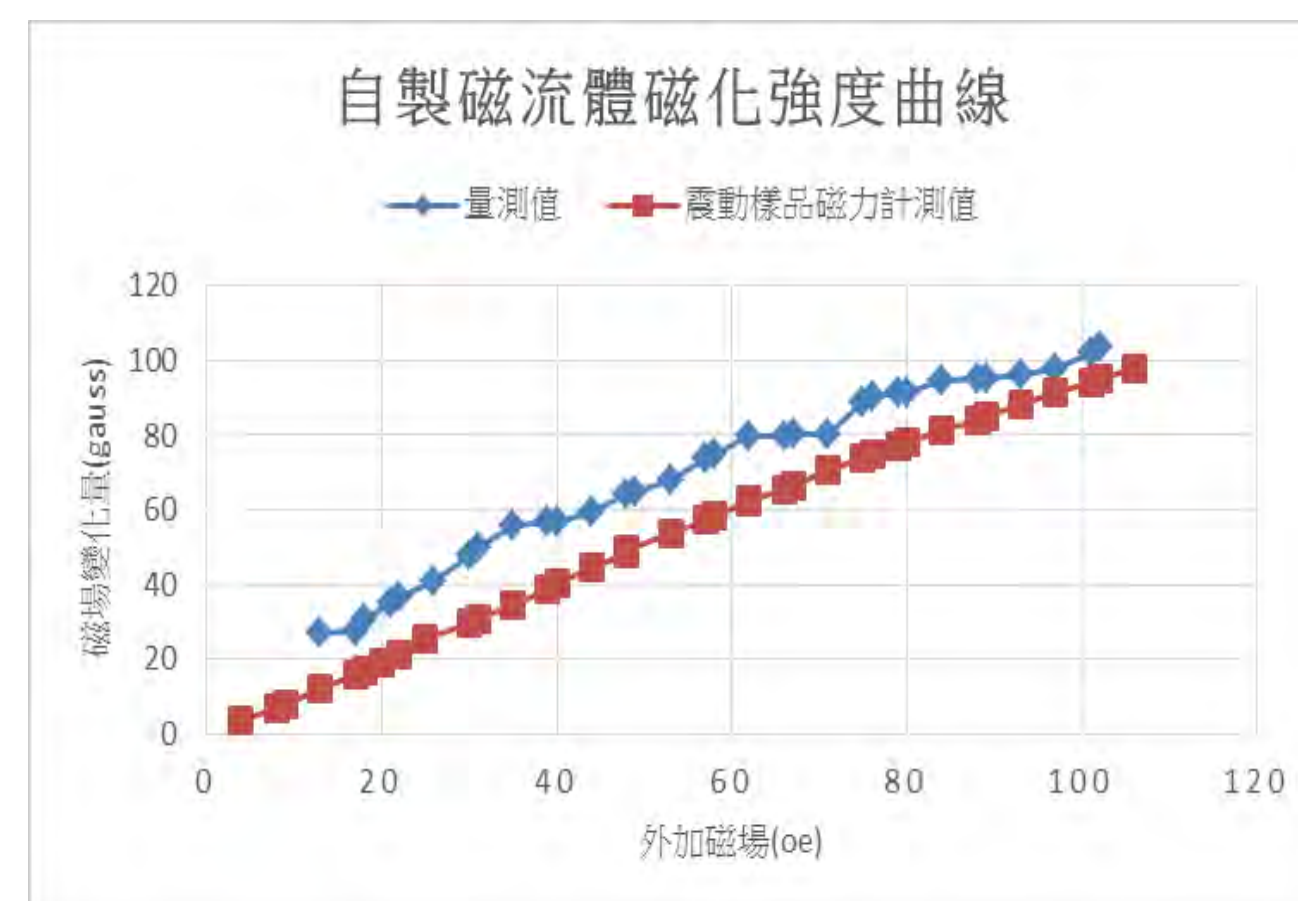
誤差範圍在 10% 以內

結論：由此二結果可以猜測，使用摺積進行轉換與濾頻器，能使原本受的干擾的測量值修正至接近廠商附的規格。我們認為此假設可能成立，並能透過此方法找到我們的目標。

為了證實此測量方法的可行性，我們將自製磁流體利用此測量方法測量後與震動樣品磁力計測量之結果進行比較：



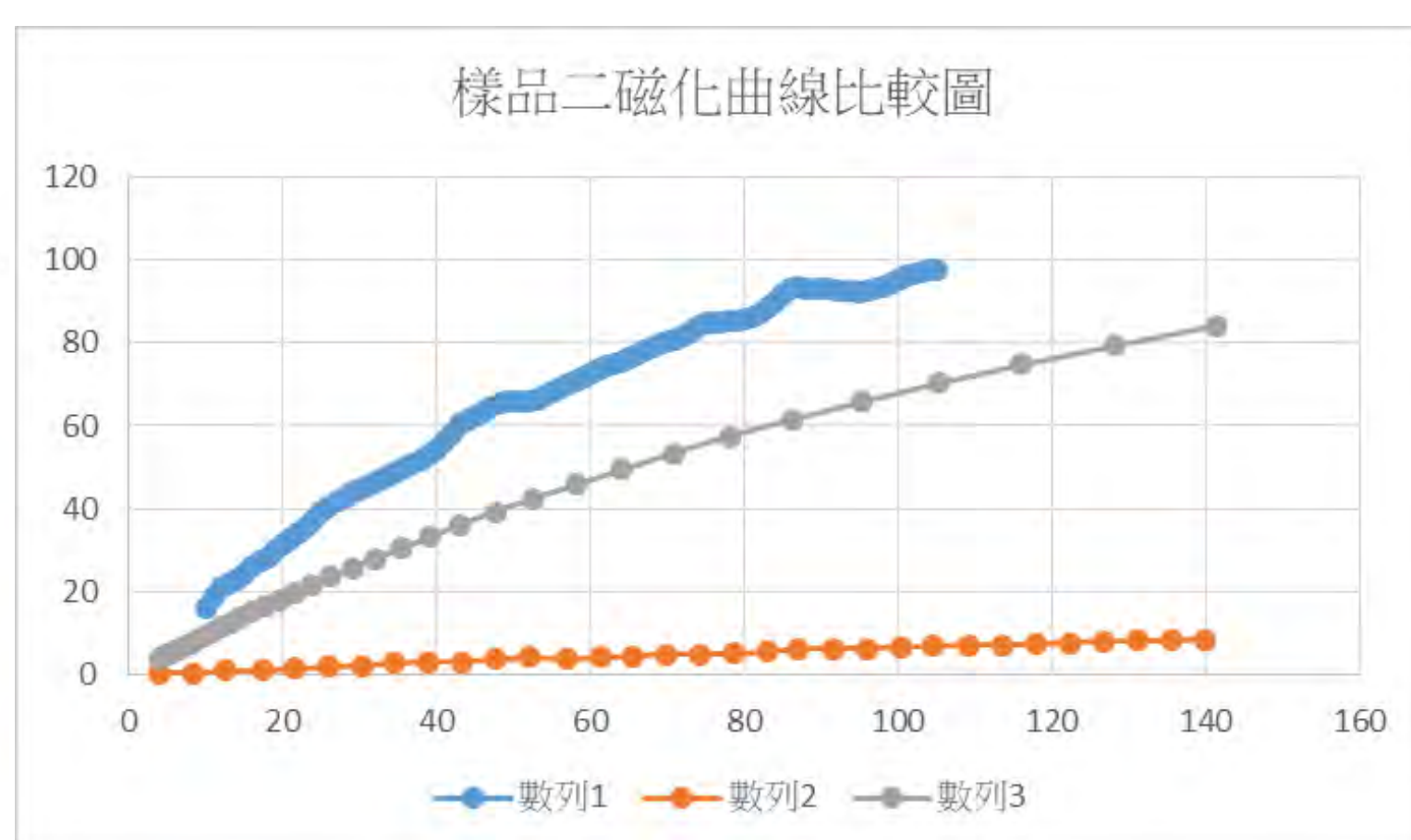
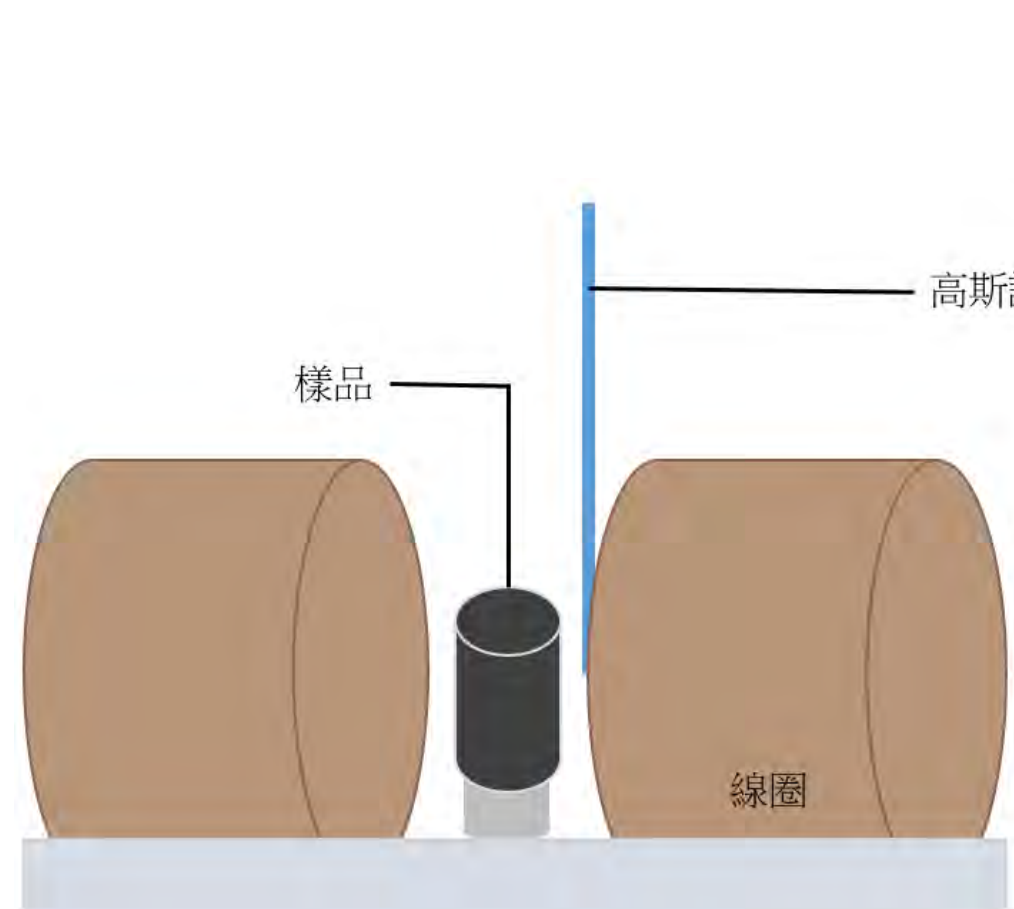
摺積前兩曲線之比較  
誤差高達90%



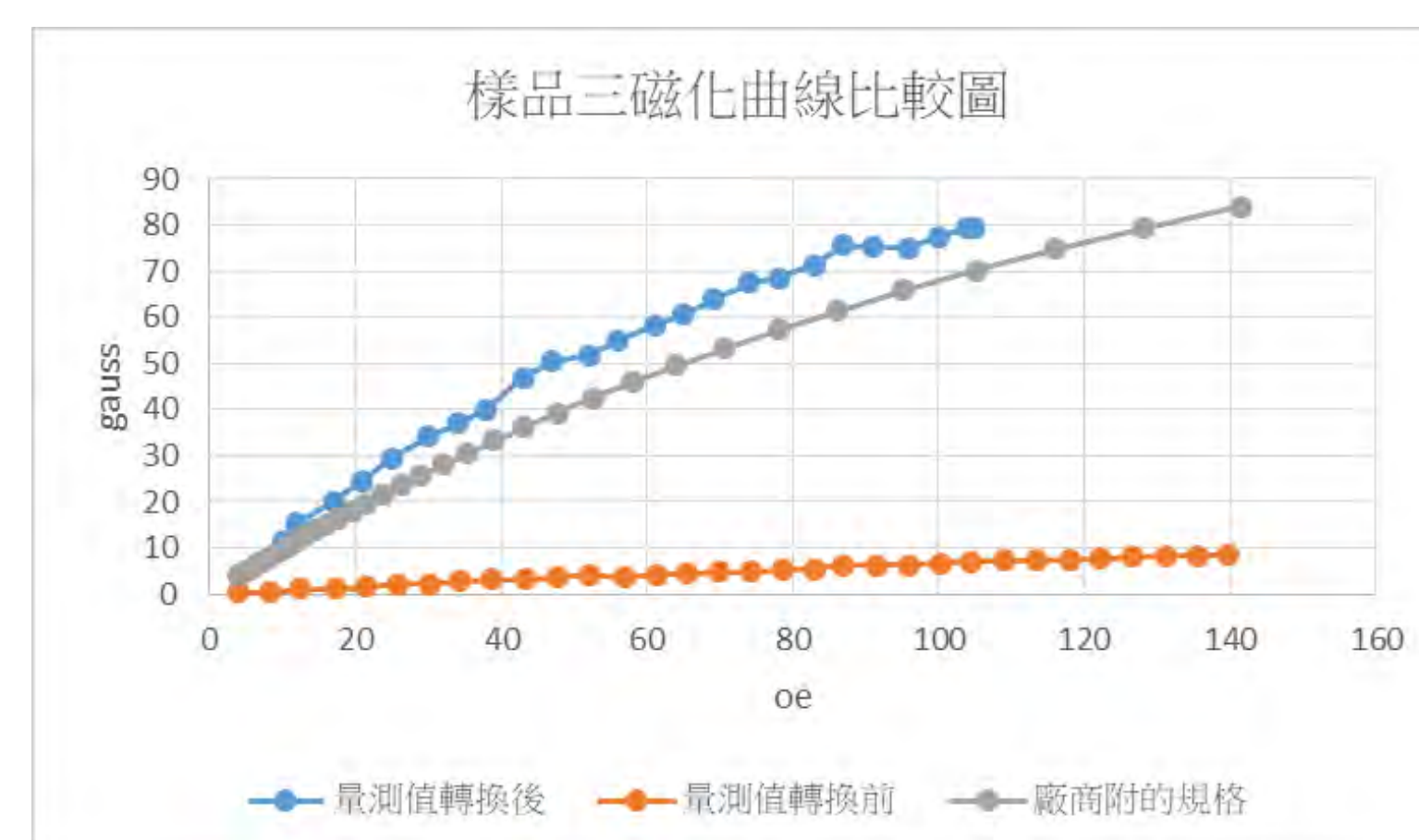
摺積後兩曲線之比較  
後期誤差範圍為7%~40%

結論：利用此方法所得之自製磁流體測值確實更加符合理論值。

為了得到更完美的實驗數據，我們新增樣品三，並修改了實驗架設：



轉換後之誤差範圍在50%以內



轉換後之誤差範圍在30%以內

結論：由上圖可知，經過微調後的架設並未使數據達到更好的效果，雖增加了外加磁場大小，卻沒有降低誤差值。

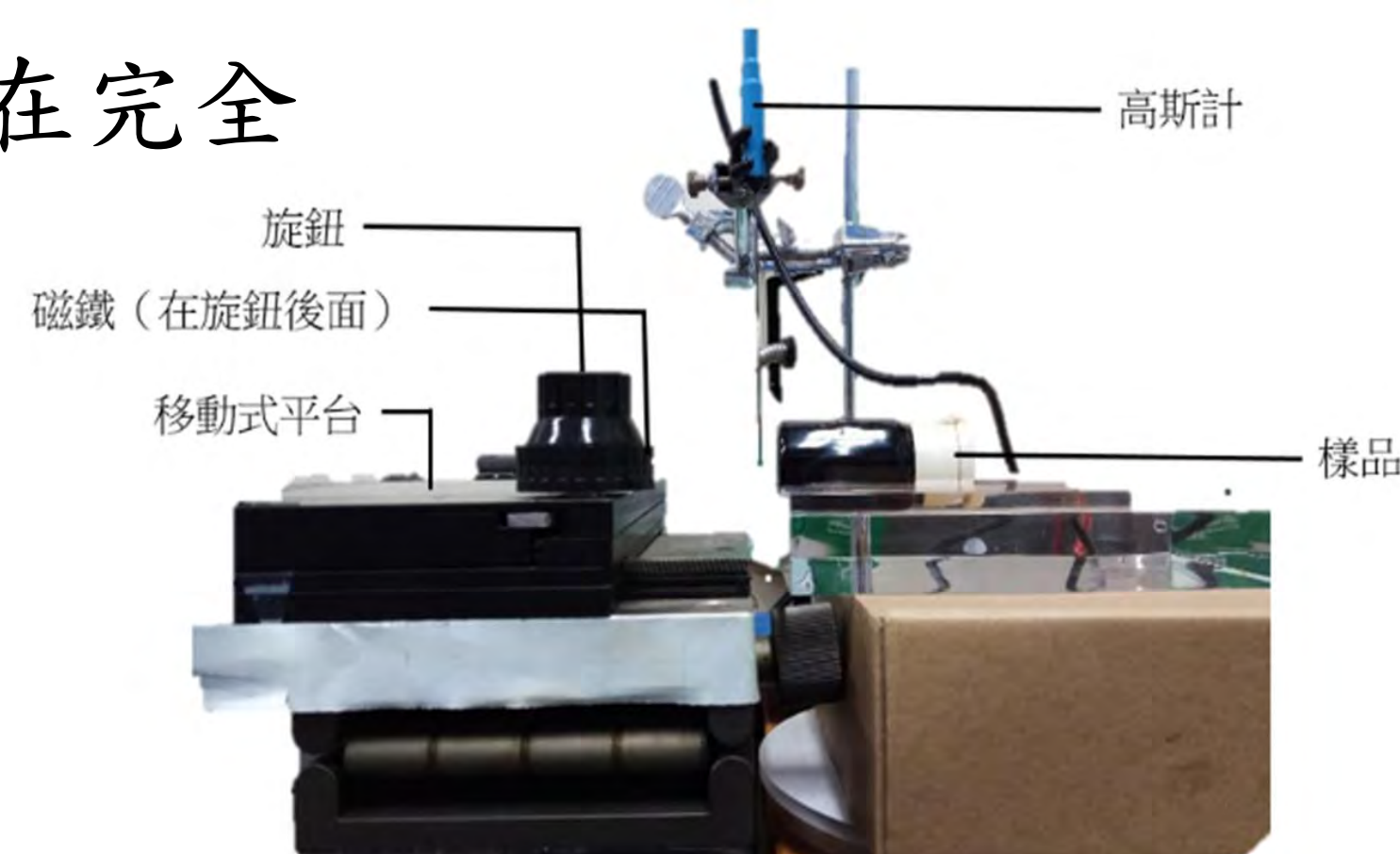
## 伍、討論

一、實驗時，外在環境的干擾會造成數據的些許誤差。觀察實驗數據的頻域圖，我們假設高頻且強度極高的部分為測量之雜訊，並將其進行過濾。然而我們並不能完全確認這些高頻率的波皆是我們測量時的雜訊。

二、在以磁鐵作為外加磁場的實驗中，欲歸零高斯計，須先將磁鐵移開才不會影響磁場，但移開磁鐵會略微改變磁鐵和高斯計的相對位置，使前後數據有些許差距。我們目前無法在完全

不變動位置的情況下歸零高斯計，因此我們僅

採用以電磁鐵作為外加磁場的數據進行摺積。



## 陸、結論

我們的研究目的是找出一種簡易且成本較低的實驗架設，測量並求得任意磁流體之磁化強度。由實驗結果可以發現，使用此測量方法得到自製磁流體的磁化強度曲線與利用震動樣品磁力計測得出的圖形相近。由此推斷，在考慮磁化強度僅受磁場影響時，此種測量方式將能夠得到吻合理論之結果。

但由於摺積關係本是用於校正偏移焦距的工具，因此轉換時數據間的摺積關係，僅是我們的猜測，尚需完整的理論分析。雖然結果皆得到正確的數值，但確切的數學關係仍需在未來中繼續求得。

## 柒、參考資料

一、姚珩、張嘉泓、施華強、李重賢、鍾彩霞、陳東閔（編）選修物理（下）

二、王聖焱、陳慶耀（2015）磁性液滴運動與感應電動勢之研究

三、李永勳（譯）電磁學（第二版）。偉明圖書。