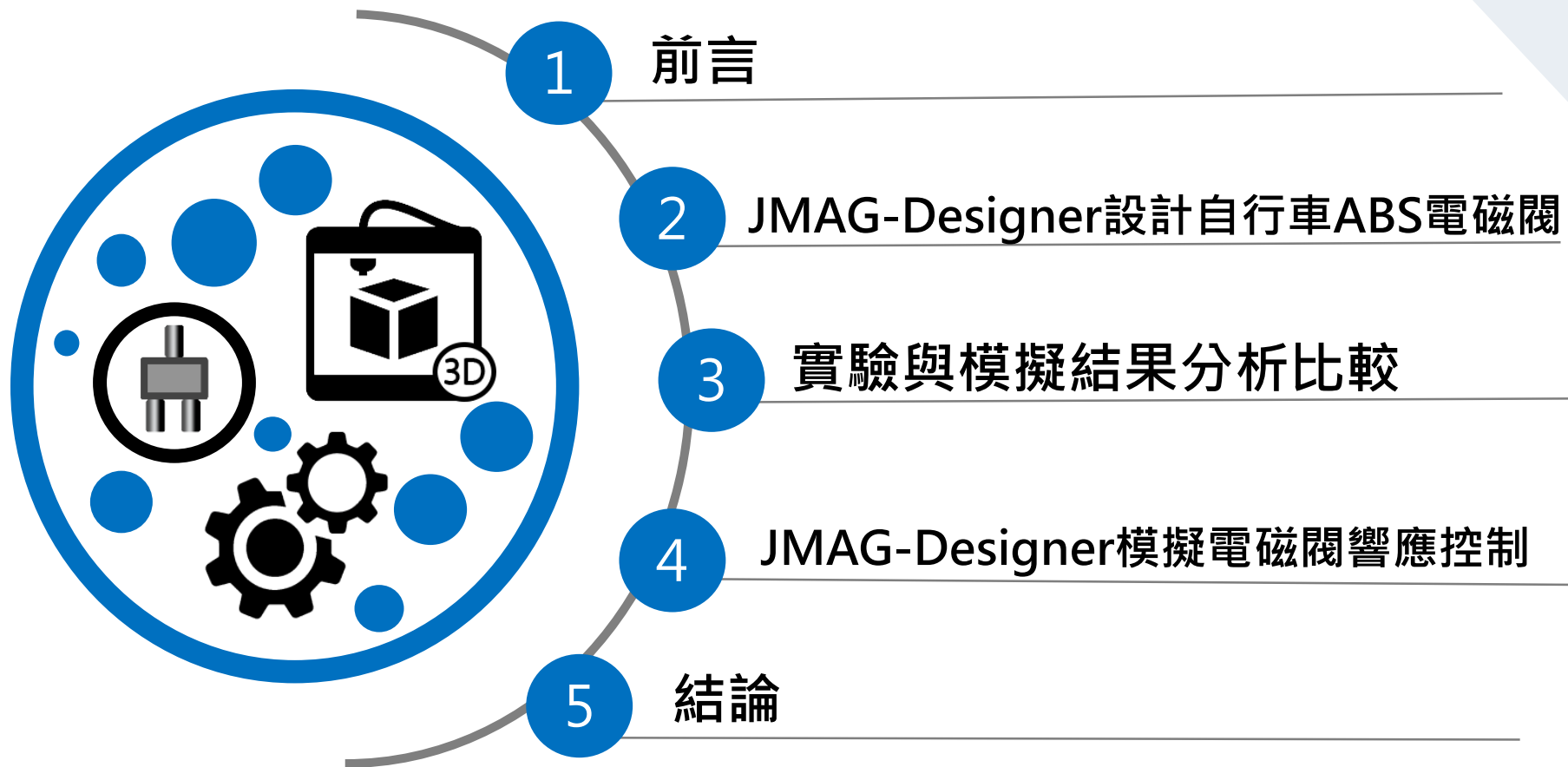


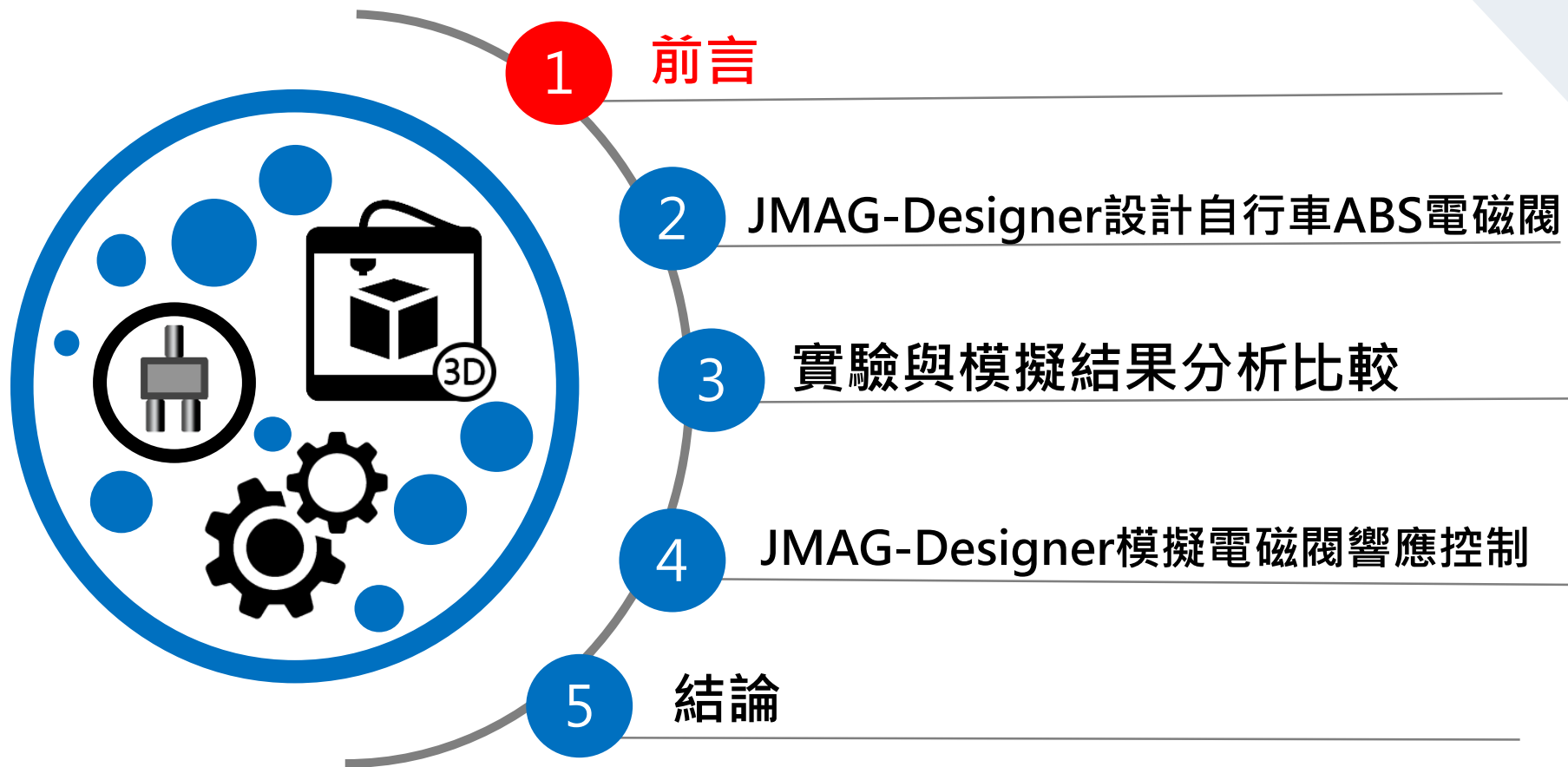
2020

應用有限元素分析防鎖死煞車電磁
線圈設計研究

報告人: 鄭秦亦 助理教授

國立雲林科技大學 機械工程系/智慧製造研究中心

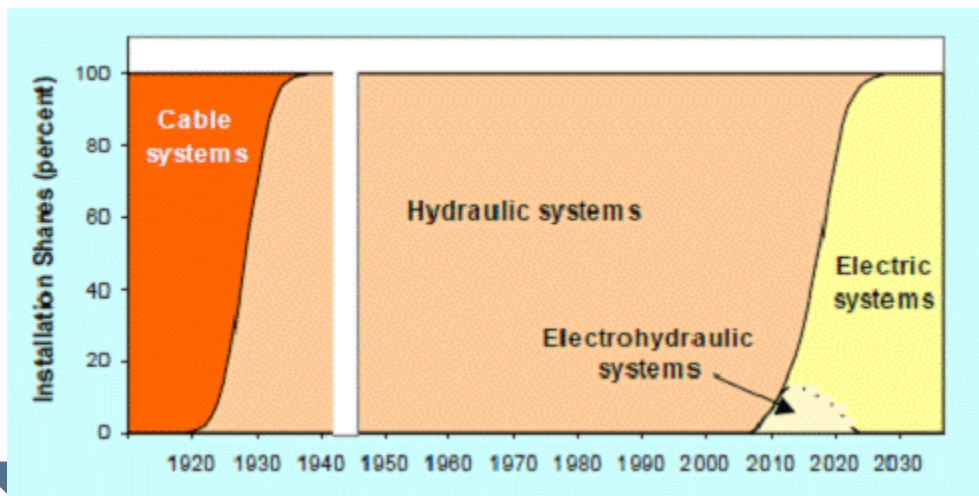




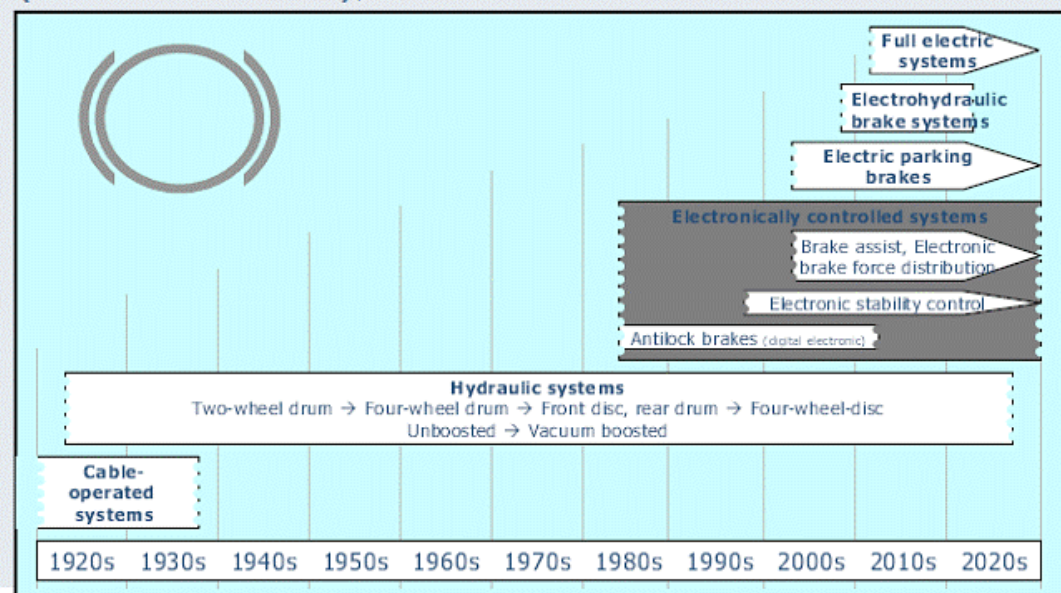
前言(1/5)



- 目前市面上**自行車的速度攀升**，一般的**煞車已無法達到有效的安全性**。
- 本研究將設計一款**開關式電磁閥**，參考如汽機車上**ABS(Anti-lock Braking System)**防鎖死煞車系統快速**點放煞車之功能**，導入至自行車上，以便**加強自行車制動器性能**，**增加使用者安全性**。



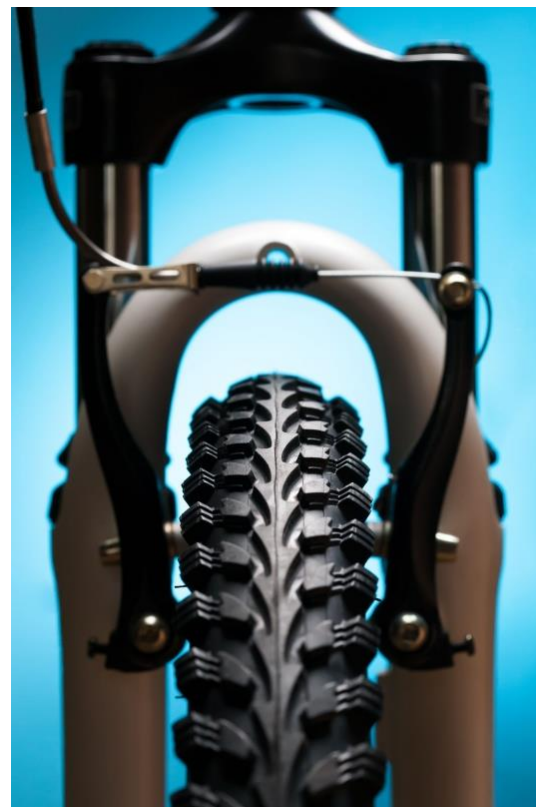
Timeline: Evolution of Brake Systems (North America), 1920s-2020s



前言 (2/5)



- 目前市面上常見的自行車制動器大致上可分為：C夾、V夾、碟煞



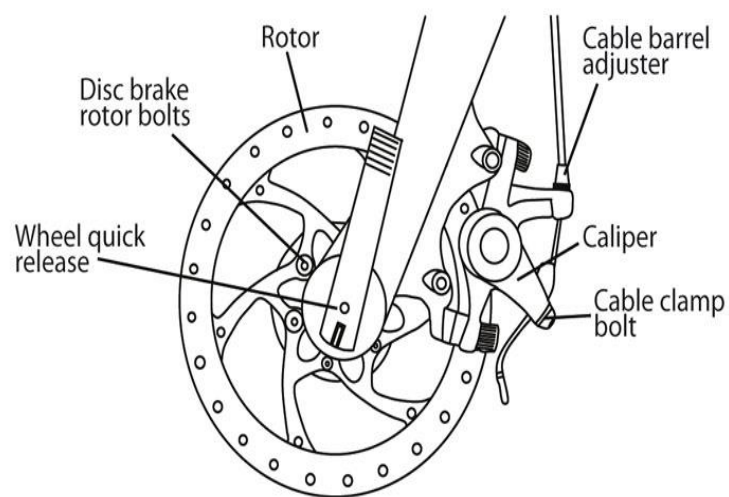
	V夾	C夾	碟煞
重量	中	輕	重
制動力	中	低	高
維修保養	簡單	簡單	困難
煞車元件	煞車皮	煞車皮	來令片
元件磨損	容易	容易	困難

圖片來源：123RF

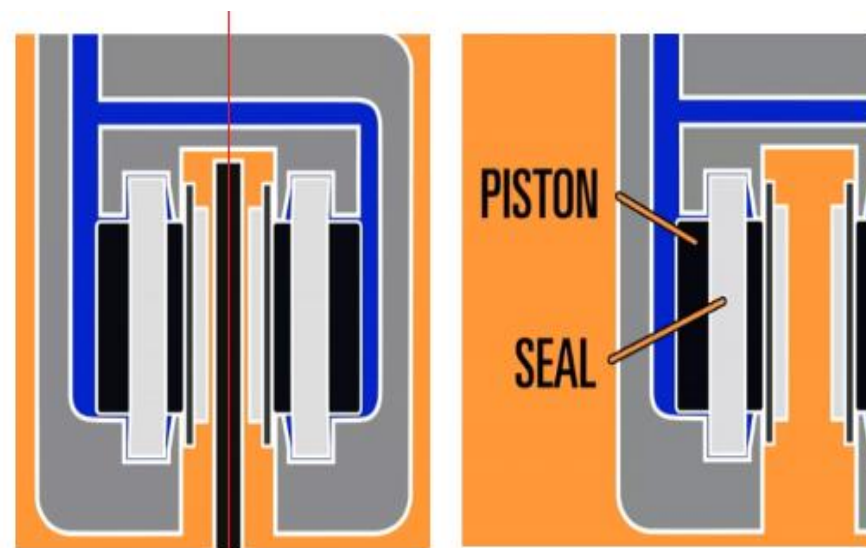
前言(3/5)



- 碟煞擁有**極佳的制動力**，並且因碟盤**安裝於車輪軸心**，可避免泥濘及雨水等外在汙物沾黏，故於**高階自行車與公路越野車**上時常使用。
- 自行車碟煞依照驅動方式不同，可分為**機械式與油壓式**。



機械碟煞內部動作圖

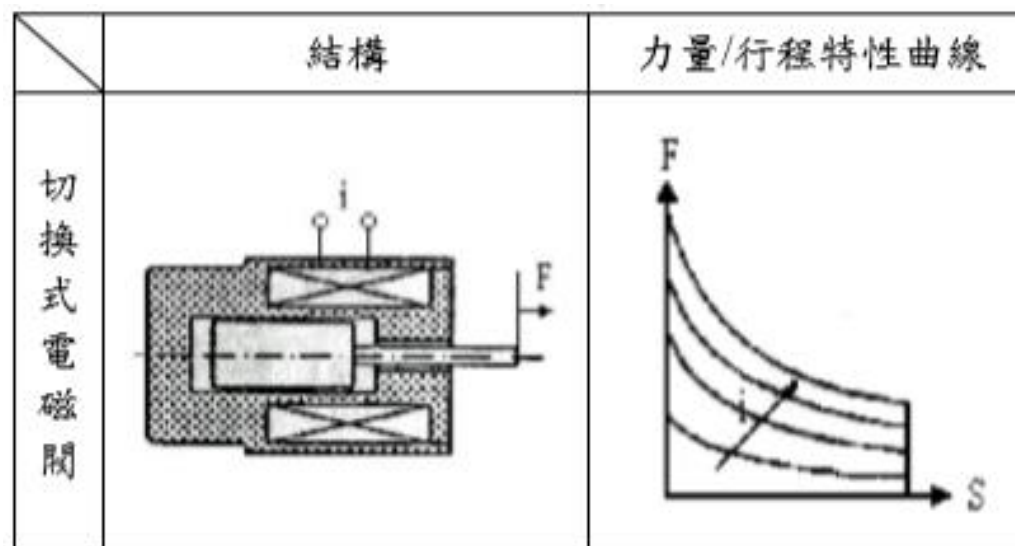


液壓碟煞內部動作圖

前言 (4/5)



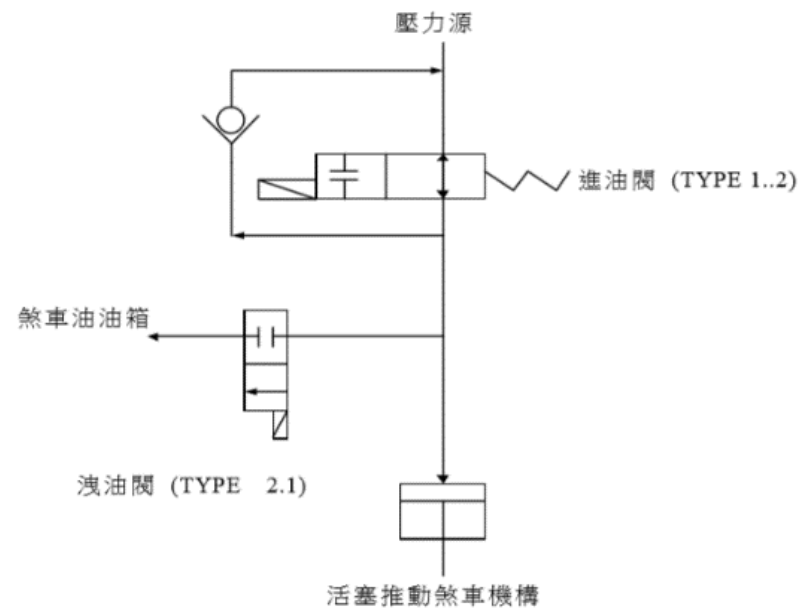
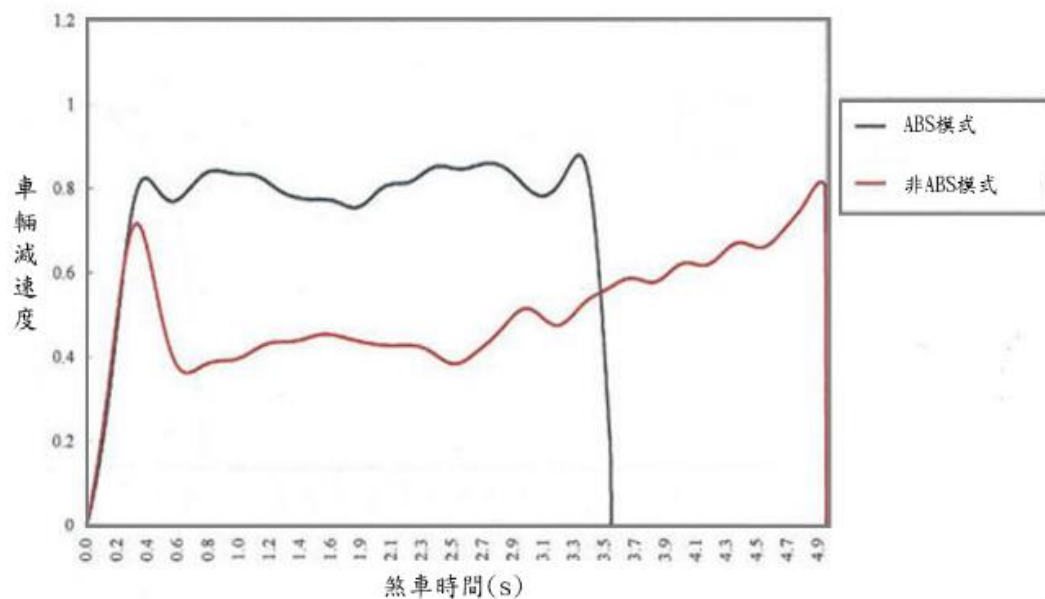
- 電磁閥為液氣壓系統中常見之**機械換能器 (Electro-Mechanical Transducer)**，其**液氣壓迴路**的構成上佔有**極重要的地位**。
- 本研究之電磁閥結構為「**開關式**」其特性呈現**非線性力量輸出**，利用此特性**激磁後**使之**產生最大磁力**，使**液壓缸關閉**進而**推動制動器碟片煞車**。

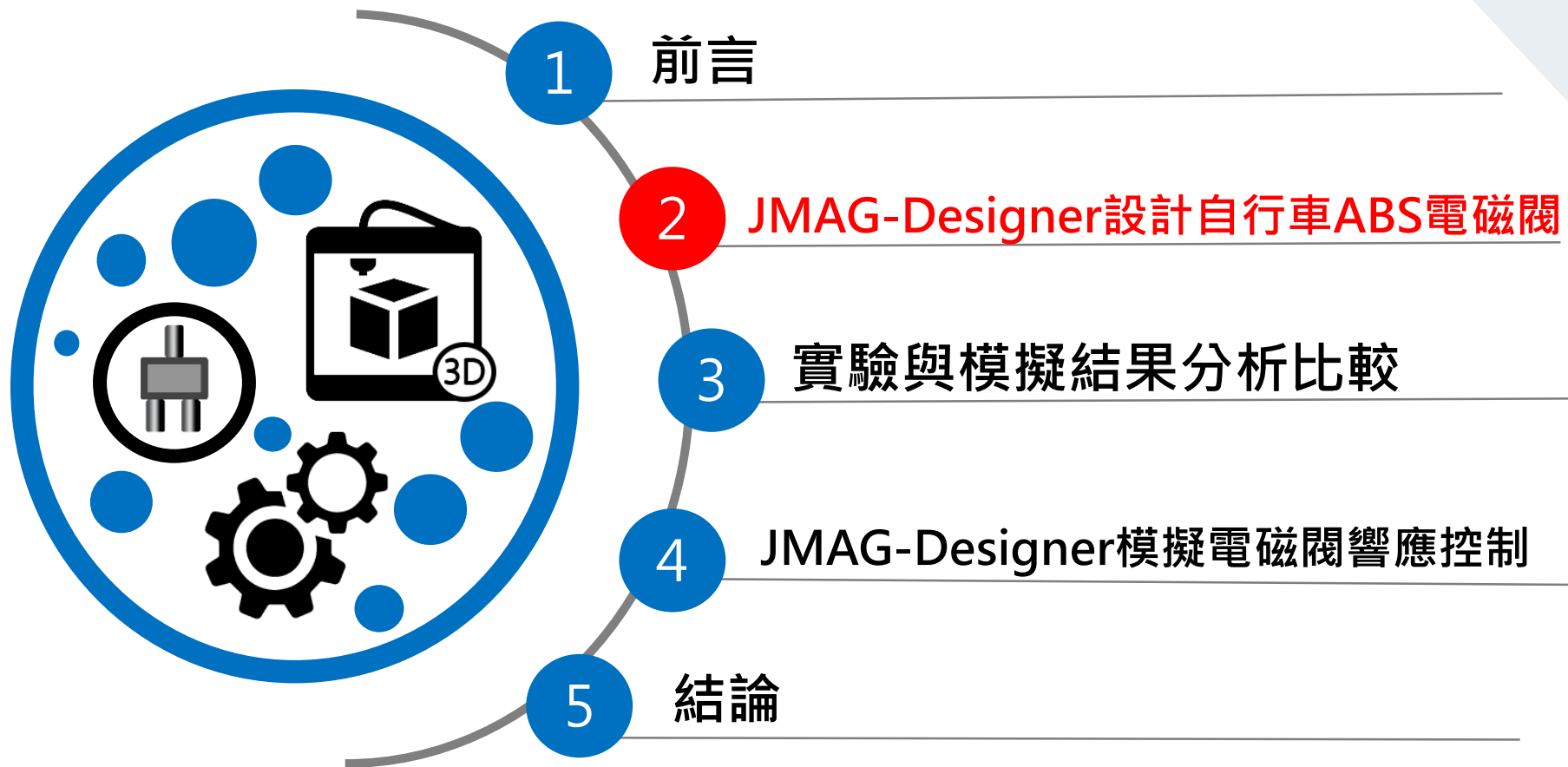


前言 (5/5)



- **ABS(Anti-lock Braking System)**防鎖死煞車系統**主要目的即是將滑差降低**，防止車輪打滑並於**最短距離內煞住車輛**。
- 一般ABS系統通常**透過電子控制元件送出的電壓訊號操控電磁閥**，控制**煞車油壓的壓力大小**，以確保達成**避免車輪鎖死**的發生。

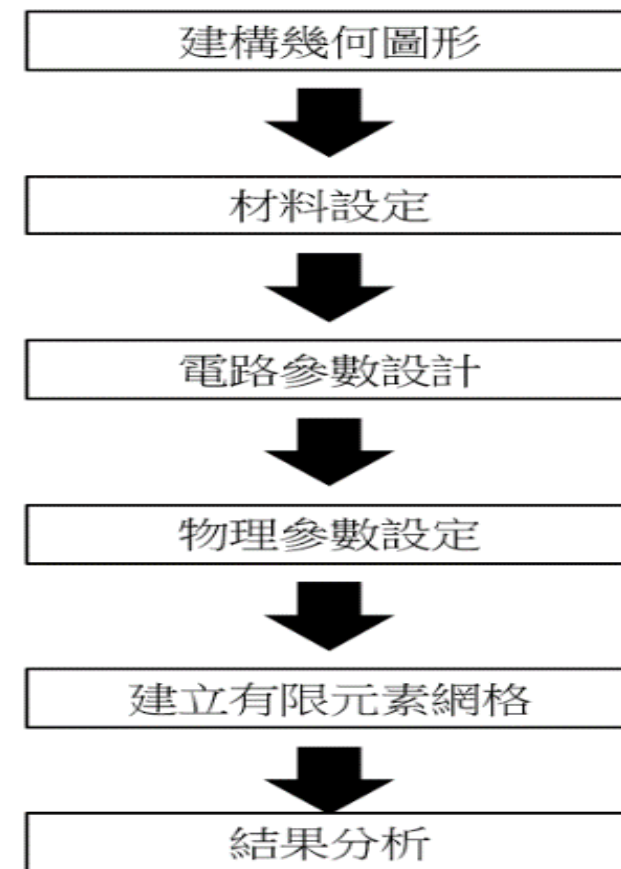




JMAG-Designer

設計自行車ABS電磁閥(1/4)

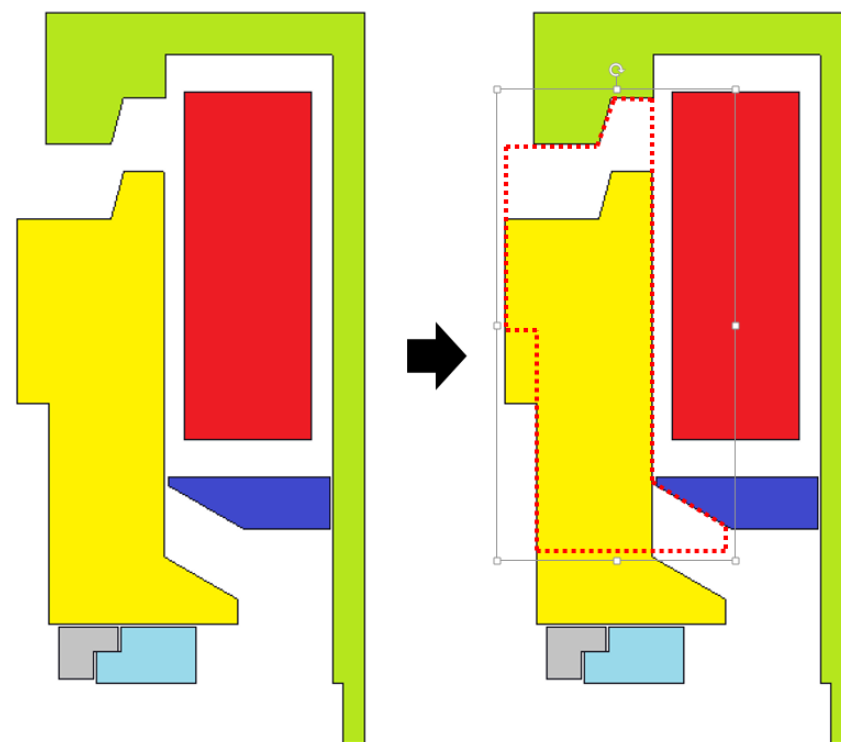
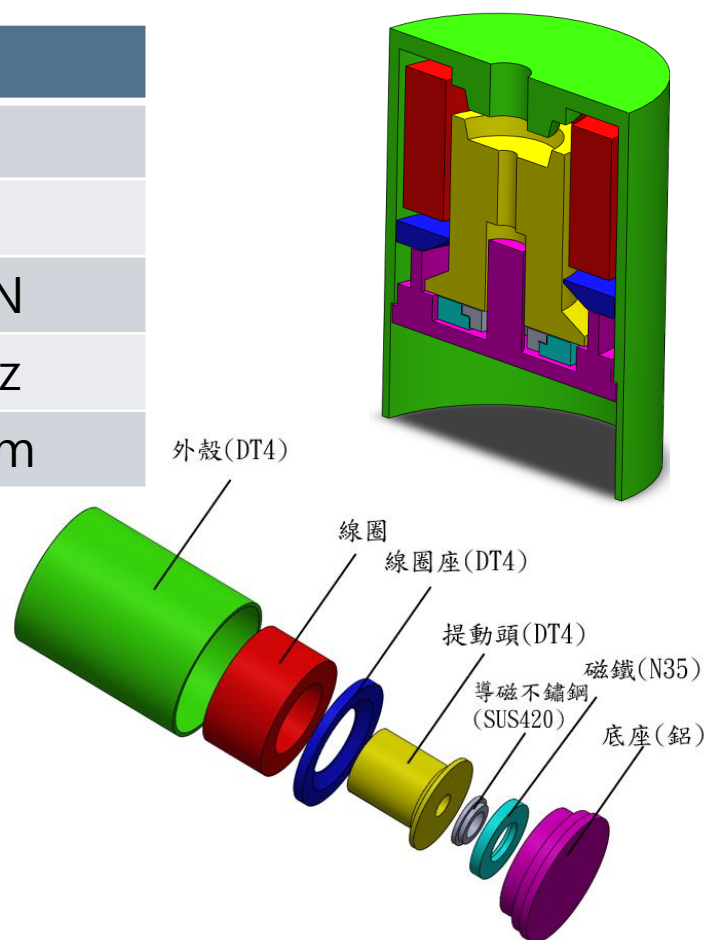
- JMAG-Designer利用**有限元素分析(FEM)**快速分析模擬結果，並且內建各種材料表已達最佳的數據可進行直接套用，分析完畢更可展示出其**磁推力、磁通密度、響應頻率...等等**。





- 本研究之設計為**對稱型**結構，故將圖形簡化為**1/4剖面繪製**分析即可。而內部提動頭作動行程示意圖與爆炸圖如下。

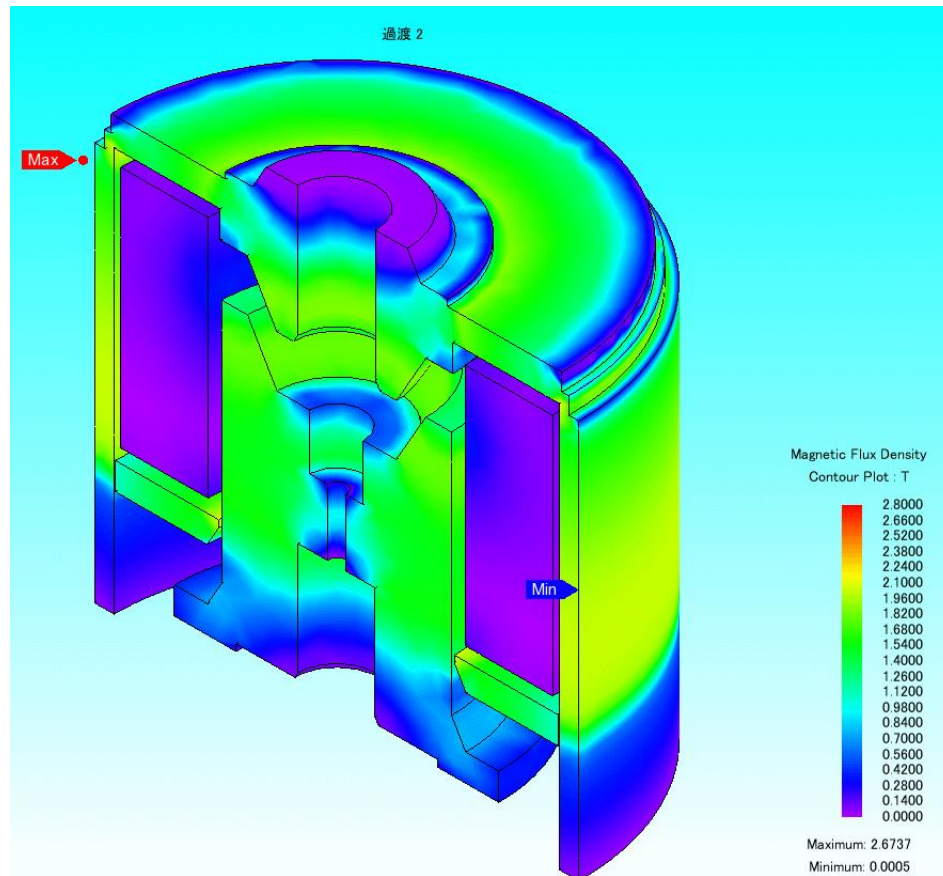
基本參數	數值
電阻	5Ω
電流	3.6A
最大力量	>250N
動態反應時間	>50Hz
體積長寬	<40mm



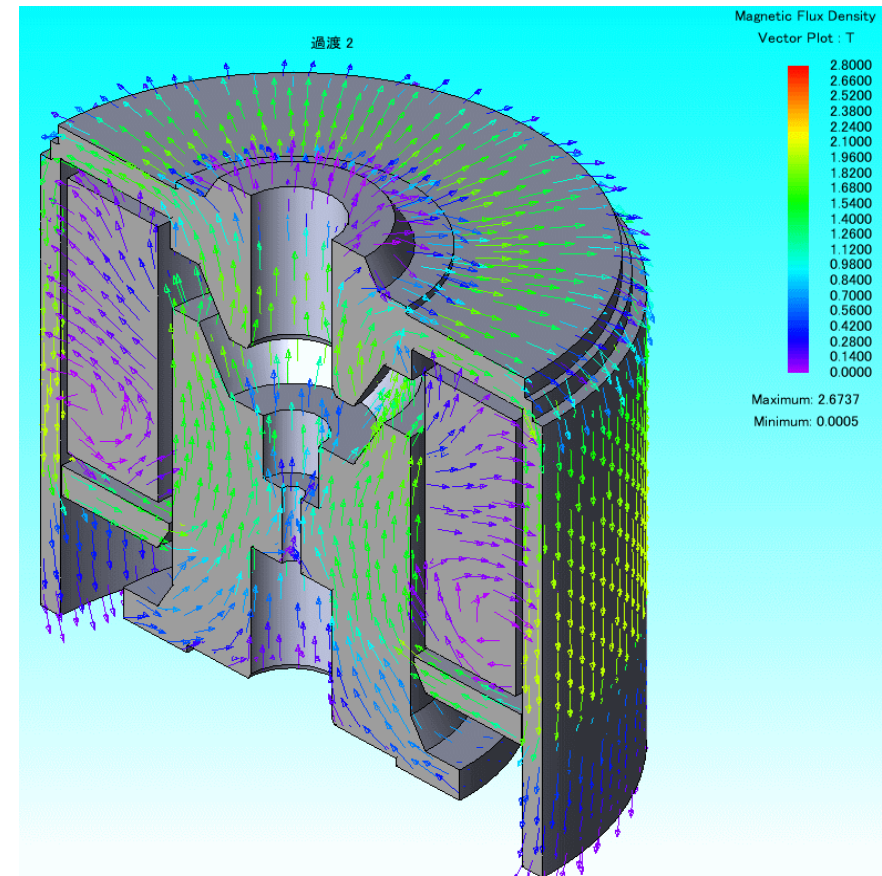
動作行程

JMAG-Designer

設計自行車ABS電磁閥(2/4)



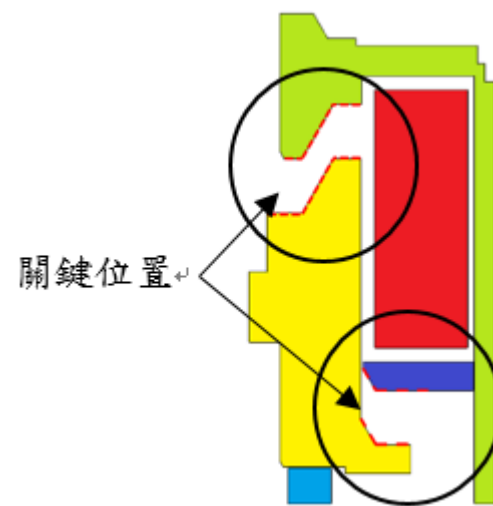
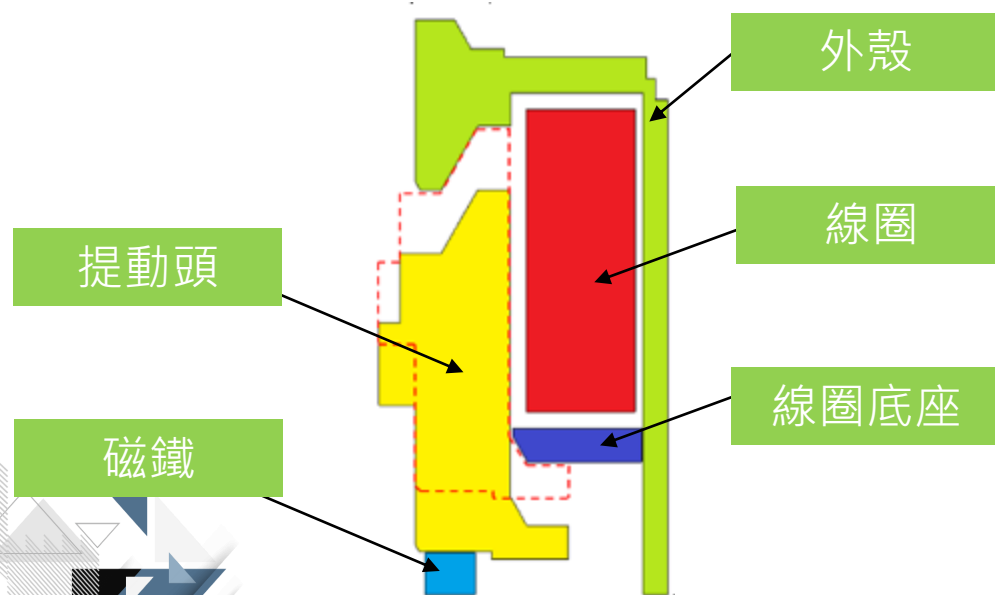
電磁線圈磁通密度圖



電磁線圈磁力線分布圖



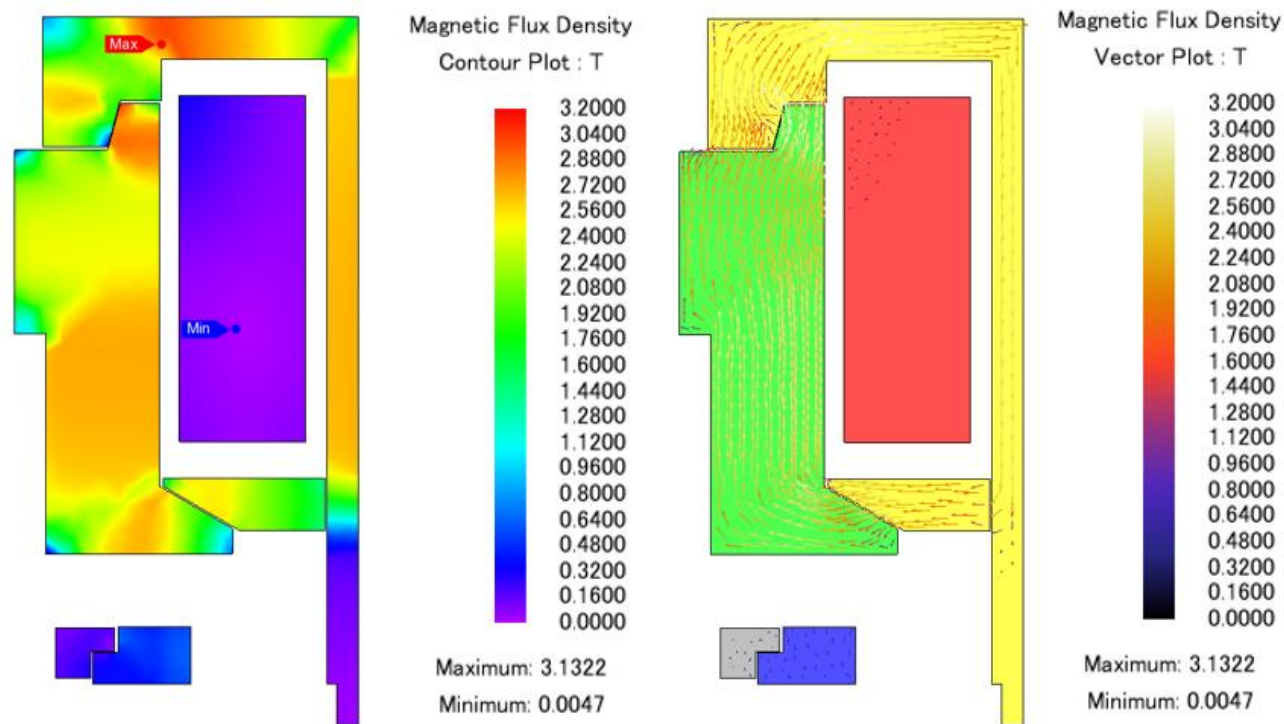
- 本研究之設計為**對稱型**結構，故將圖形簡化為**1/4剖面繪製**分析即可。而內部提動頭作動行程示意圖如下。
- 在線圈激磁過程中，磁力線所經由導磁材料作用於提動頭上，其中，**導磁材料外觀幾何形狀設計**將決定**最終力量輸出大小**。在這可提出**三個關鍵位置**進行修改。



JMAG-Designer

設計自行車ABS電磁閥(3/4)

- 將電磁閥進行模擬分析，可得出**磁通密度**與**磁力線**變化如下。
- 由圖中看出**整體磁力線曲線**通道**轉角率平緩**，磁力線**減少彎曲幅度**，因此可**減少轉角磁阻**，**提升磁力效率**，可看出此設計為是優良的設計。



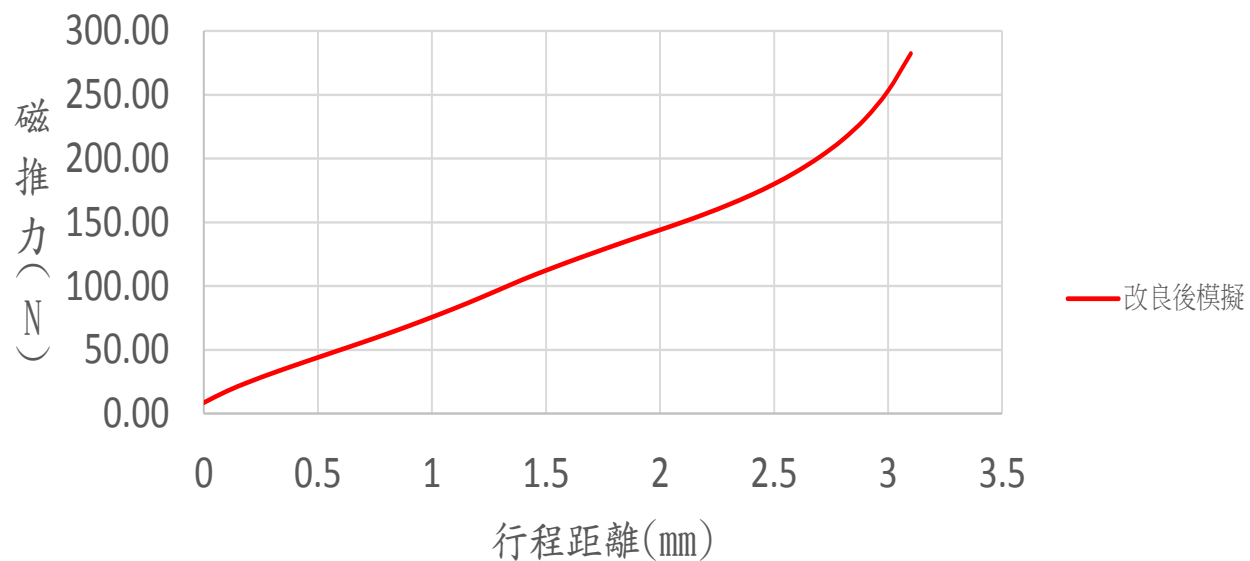
剖面圖與爆炸圖

JMAG-Designer

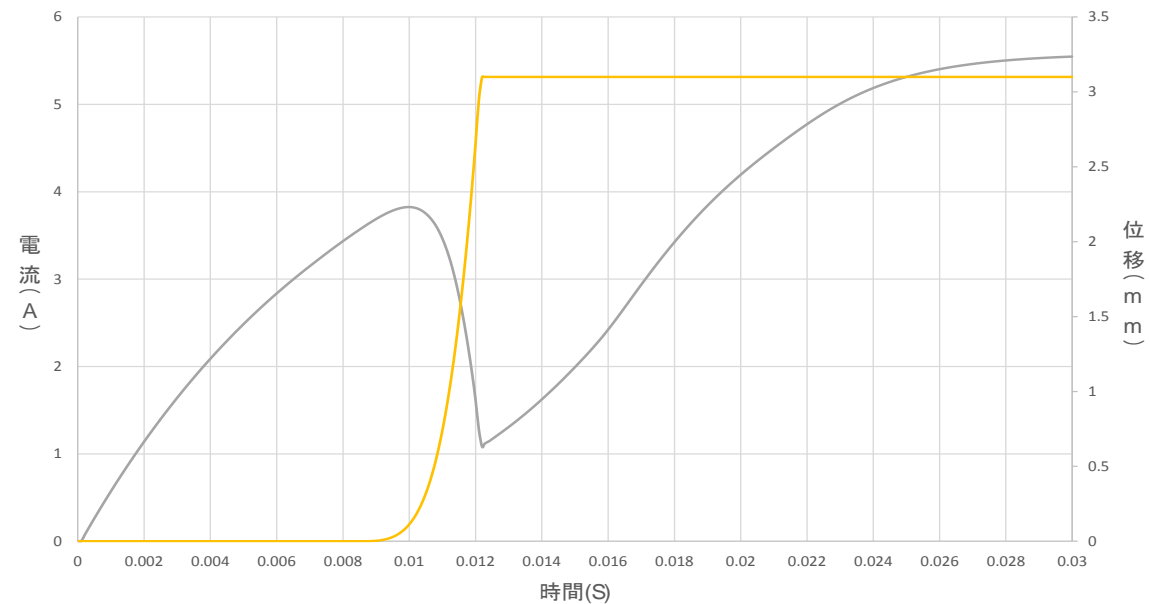
設計自行車ABS電磁閥(4/4)

- 圖表為電磁閥靜態與動態響應曲線。
- 力量最大可達**260N**，響應頻率12ms約為**85Hz**，兩者皆符合最初設定預想

JMAG靜態響應模擬曲線圖



JMAG動態響應模擬曲線圖



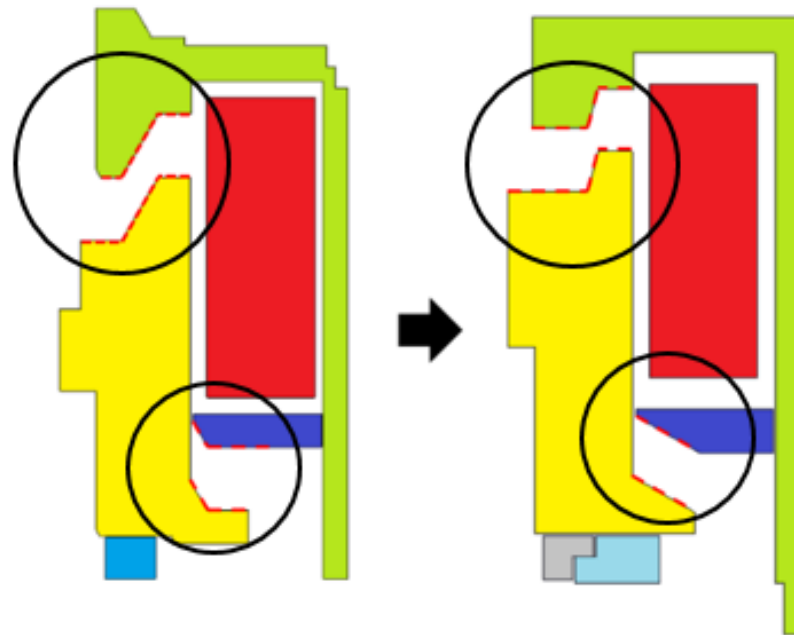
黃色：位移

黑色：電流

切換式電磁閥 關鍵幾何形狀改良1/4



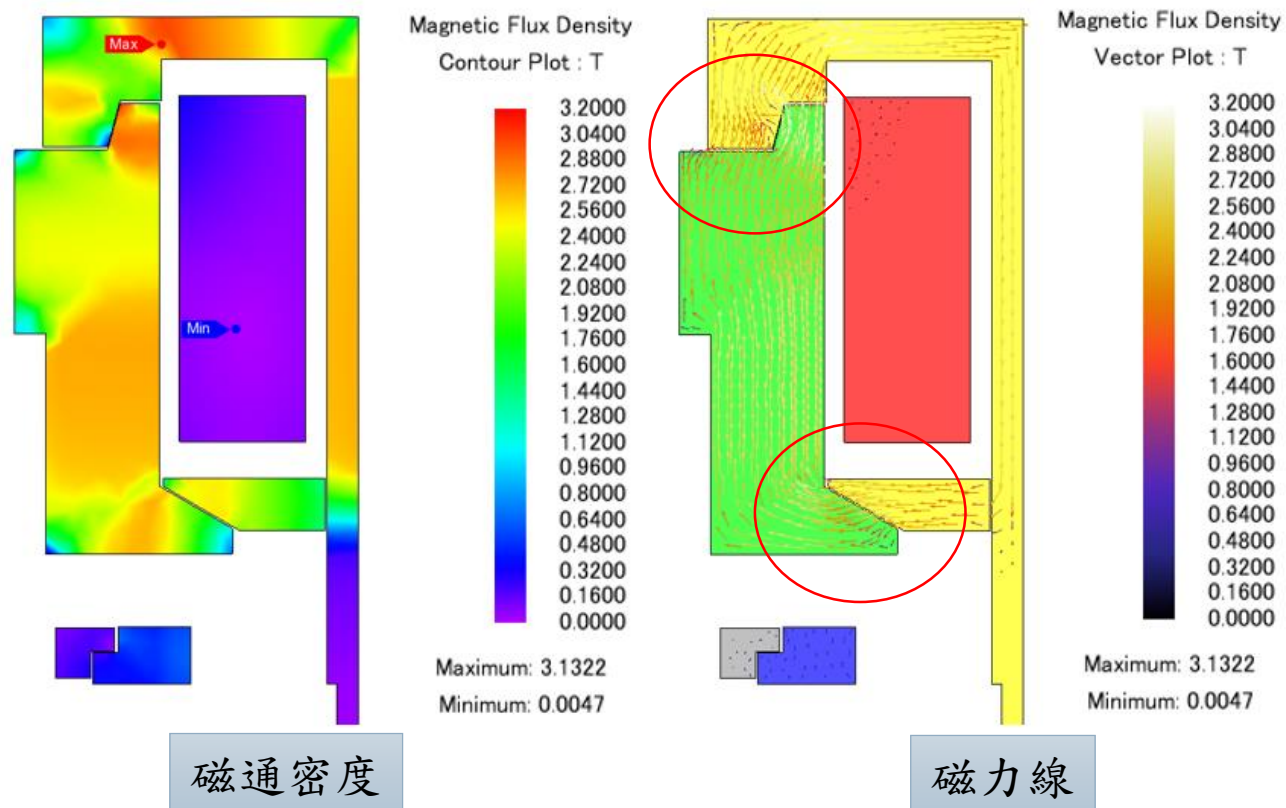
- 參考原始結構**相關尺寸**與**關鍵位置**進行**調整與改良**，使電磁閥在**材料與體積不變**的情況下，**降低驅動電流**並**達到所需磁推力**。
- **改善位置**為**提動頭角度**、**提動頭檔塊角度**進行更改，主要是**減少電磁閥閉合時的磁通面積**。並且為了**加寬磁鐵支撐面積**，使用導磁不鏽鋼SUS420進行組裝，以**加強磁鐵影響範圍**。



關鍵尺寸變化位置

切換式電磁閥
關鍵幾何形狀改良2/4

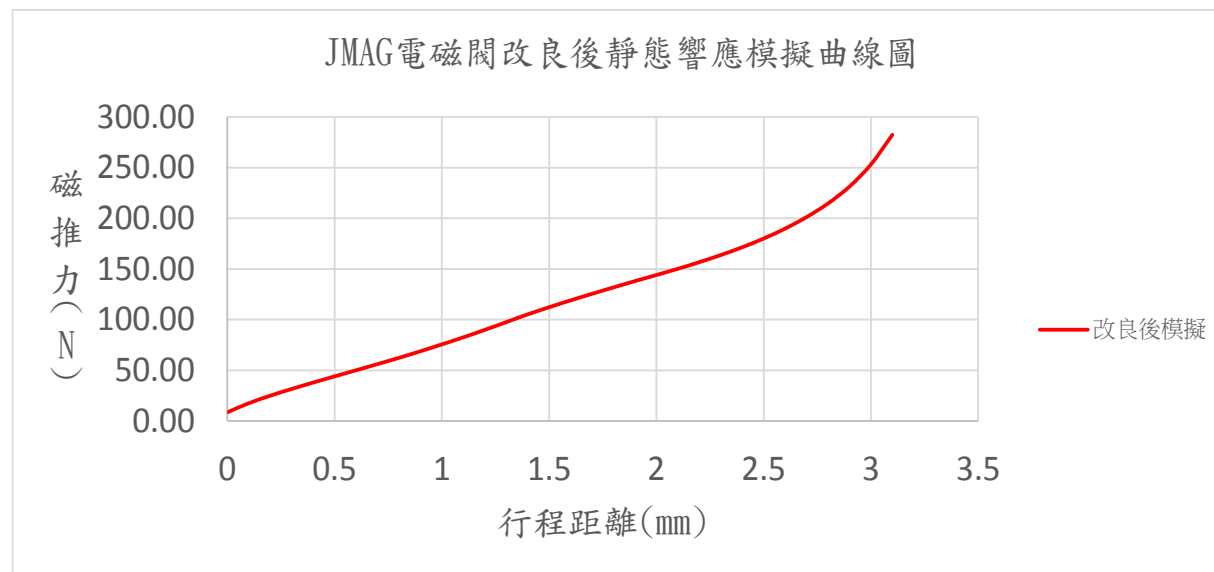
- 將改良型進行模擬分析，可得出磁通密度與磁力線變化如下。
- 由圖中看出整體磁力線曲線通道轉角率平緩，磁力線減少彎曲幅度，因此減少轉角磁阻，提升磁力效率。



切換式電磁閥 關鍵幾何形狀改良3/4

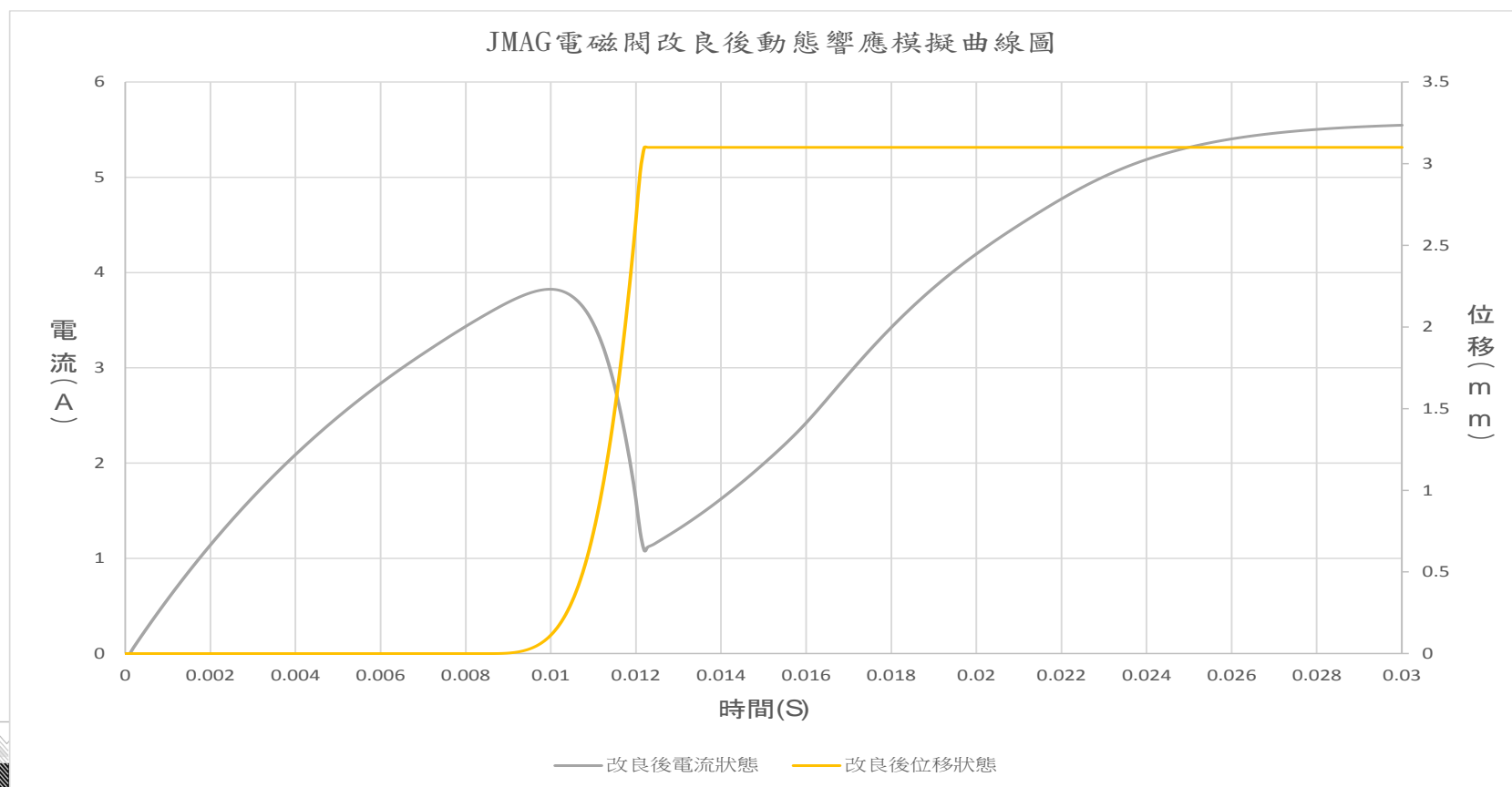


- 改良型電磁閥進行靜態響應分析。將電流從原本的5A降低為3.6A，最大磁推力可達280N，整體曲線如下。
- 原因為減少轉角磁阻設計，降低了磁力不必要的損失，故可在電流降低的情況下，磁推力卻是保持穩定力量趨勢。



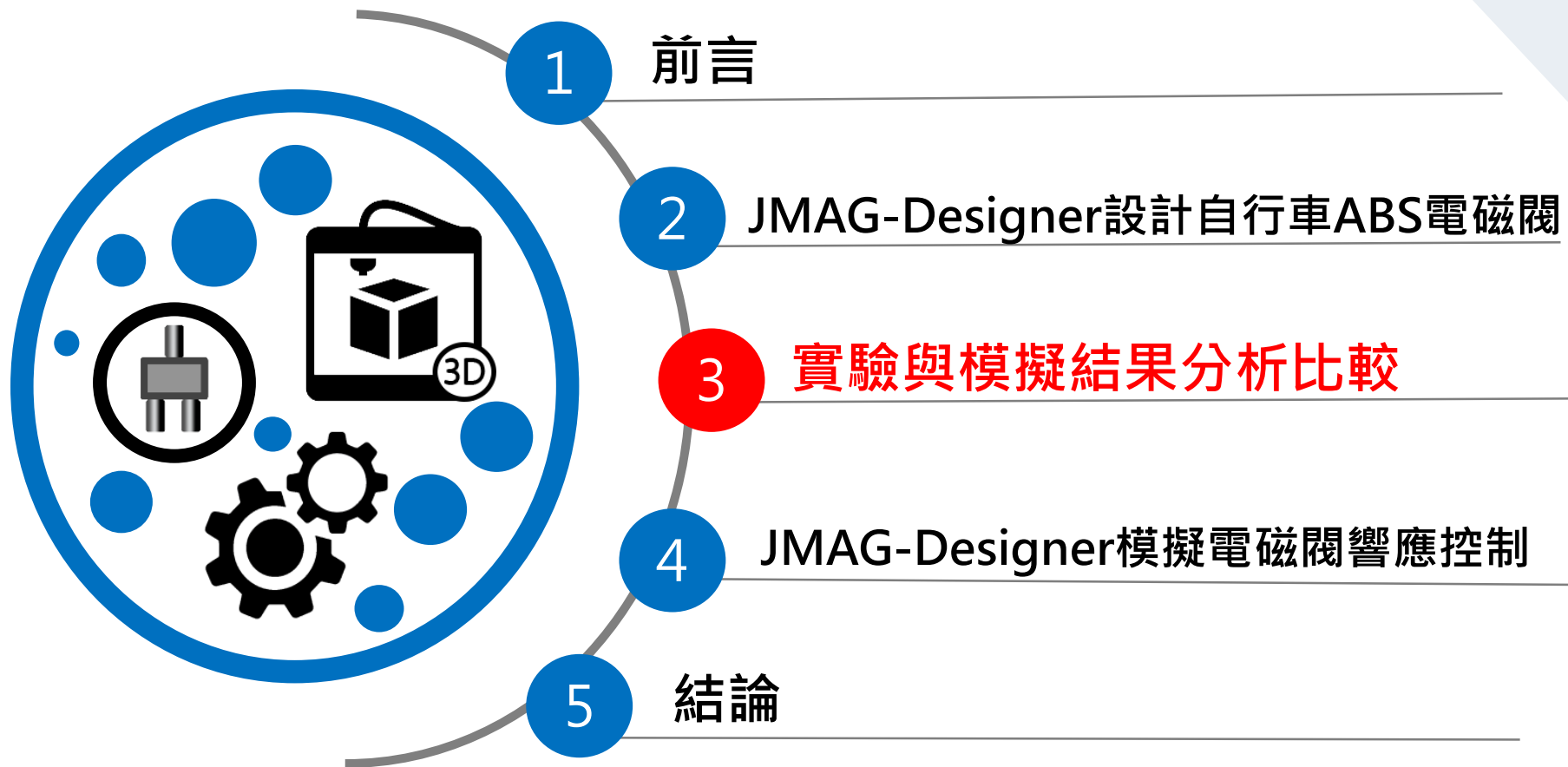
切換式電磁閥
關鍵幾何形狀改良4/4

- 圖表為改良型切換式電磁閥動態響應曲線，可看出因增加永久磁鐵作用面積，連帶影響響應速度下降，時間為12.3ms。但對於自行車制動器反應速度已經是足夠。



黃色：位移

黑色：電流



實驗與模擬結果分析比較 (1/4)



- 電磁線圈進行量測，可分為兩種**靜態**與**動態量測**。
- 本研究利用自行設計之**電磁線圈測試平台**，將自行車制動器電磁線圈進行量測，**驗證實際與模擬**是否符合數據。



實際電磁線圈

實驗與模擬結果分析比較
(2/4)

- 靜態響應平台，利用螺桿前進推動電磁線圈提動頭，再使用位移感知器(Linear Variable Differential Transformer)和力量感知器(Load Cell)抓取力量與行程數值。
- 動態響應平台，主要將質量塊設為閥軸(Spool)，彈簧為電磁線圈中的反饋彈簧，當電磁線圈激磁後推動閥軸，量測位移動作時間。



LVDT位移感知器

步進馬達

Load Cell
力量感知器

滾珠螺桿

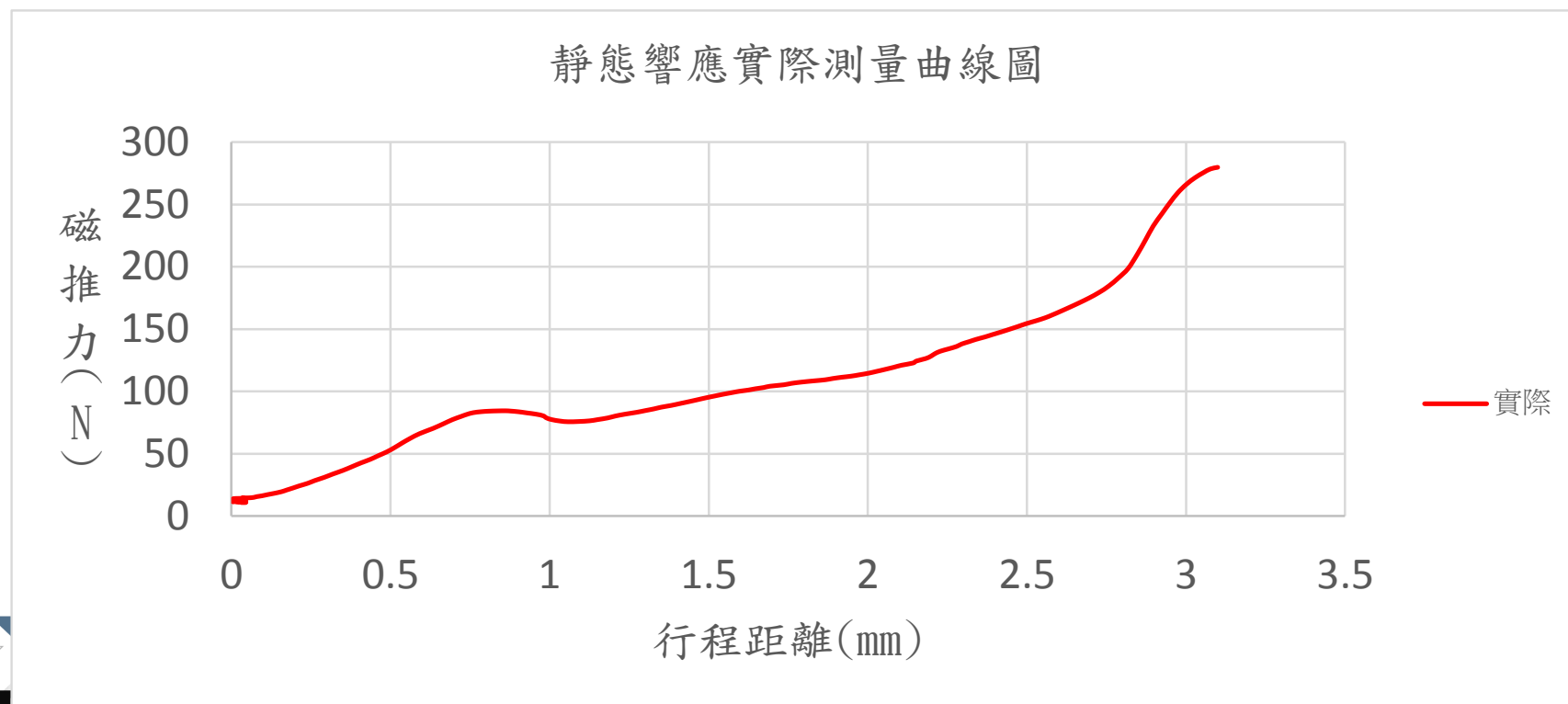


質量塊

雷射位移器

實驗與模擬結果分析比較
(3/4)

- 靜態響應測試平台量測電磁線圈靜態力量曲線。

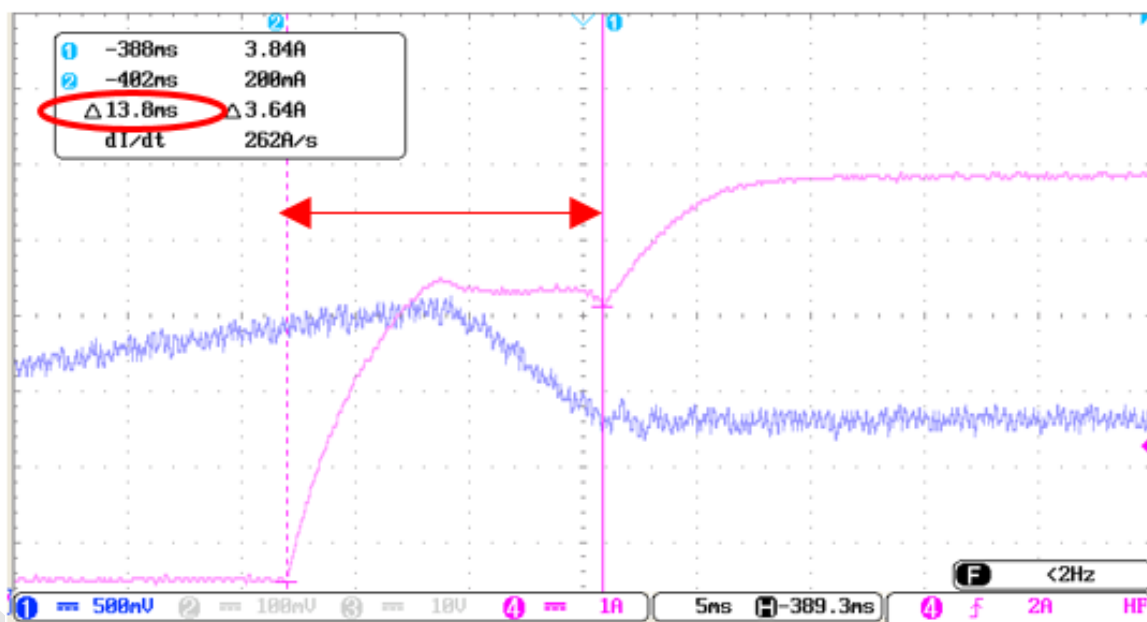


	實際參數
電流	3.6A
力量	280N
行程	3.1mm

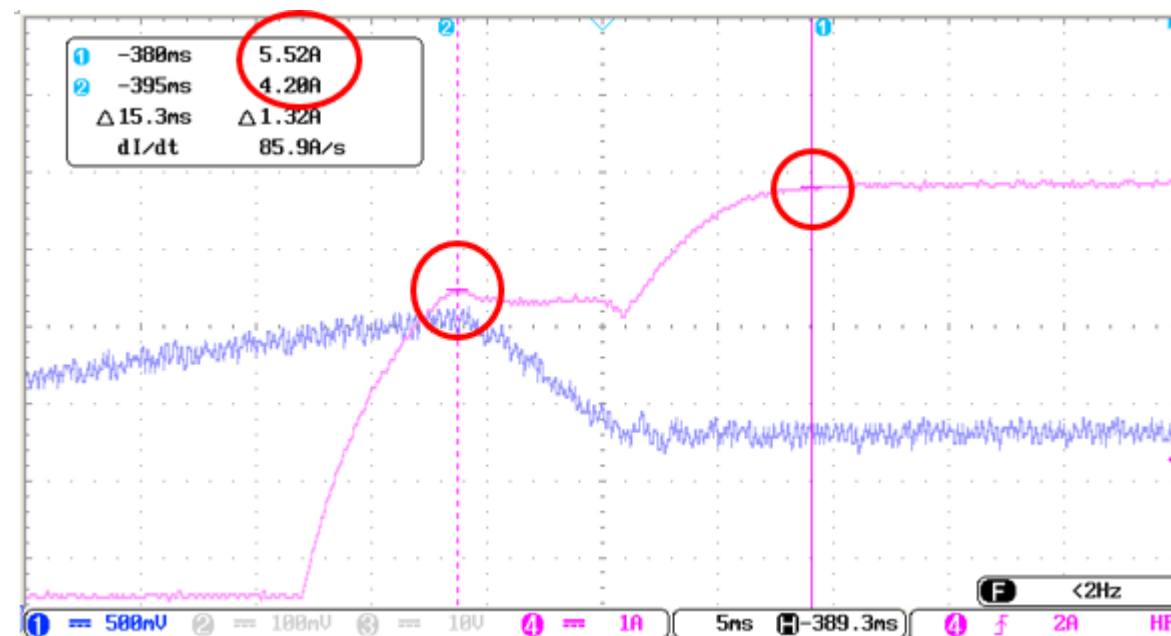
實驗與模擬結果分析比較

(4/4)

- 使用動態測試平台與示波器，可量測通電激磁推動質量塊的反應時間，與驅動電流變化。



動態響應反應時間



動態電流變化

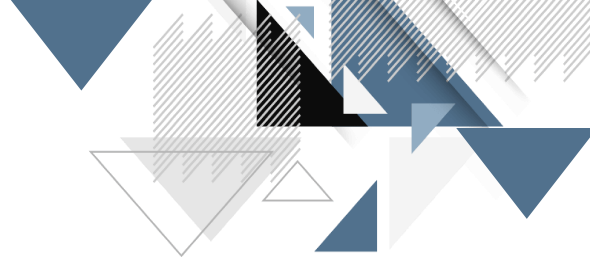
實驗與模擬計算 結果比較

	實際	模擬	計算
最大磁推力(N)	279.76	282.34	260.71
與實際誤差		0.9%	6.8%

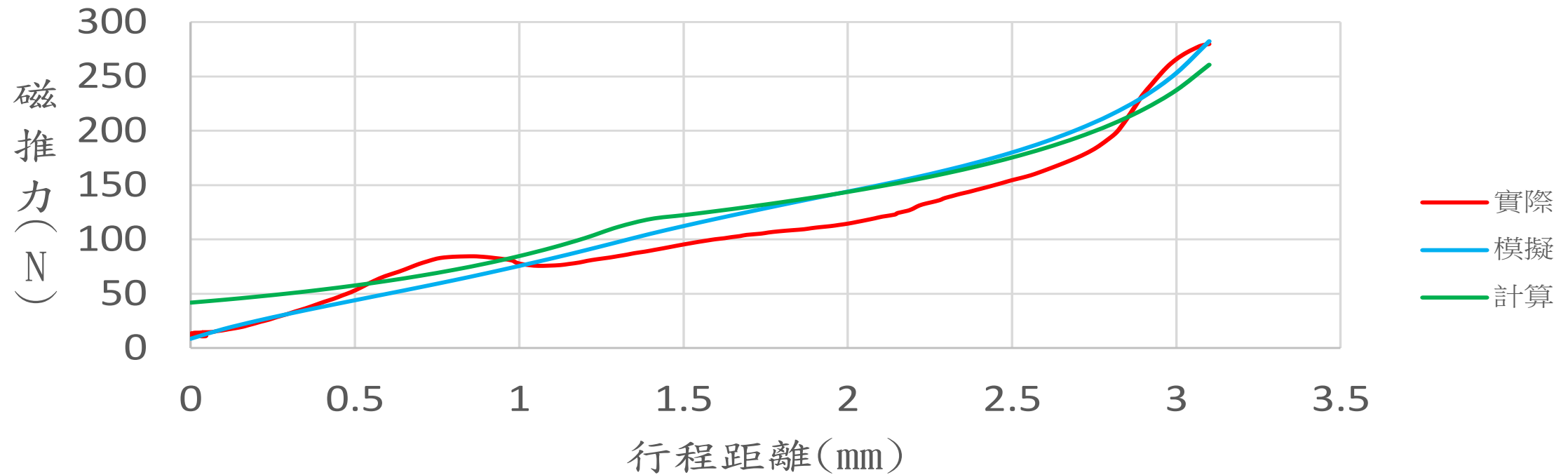
靜態響應誤差

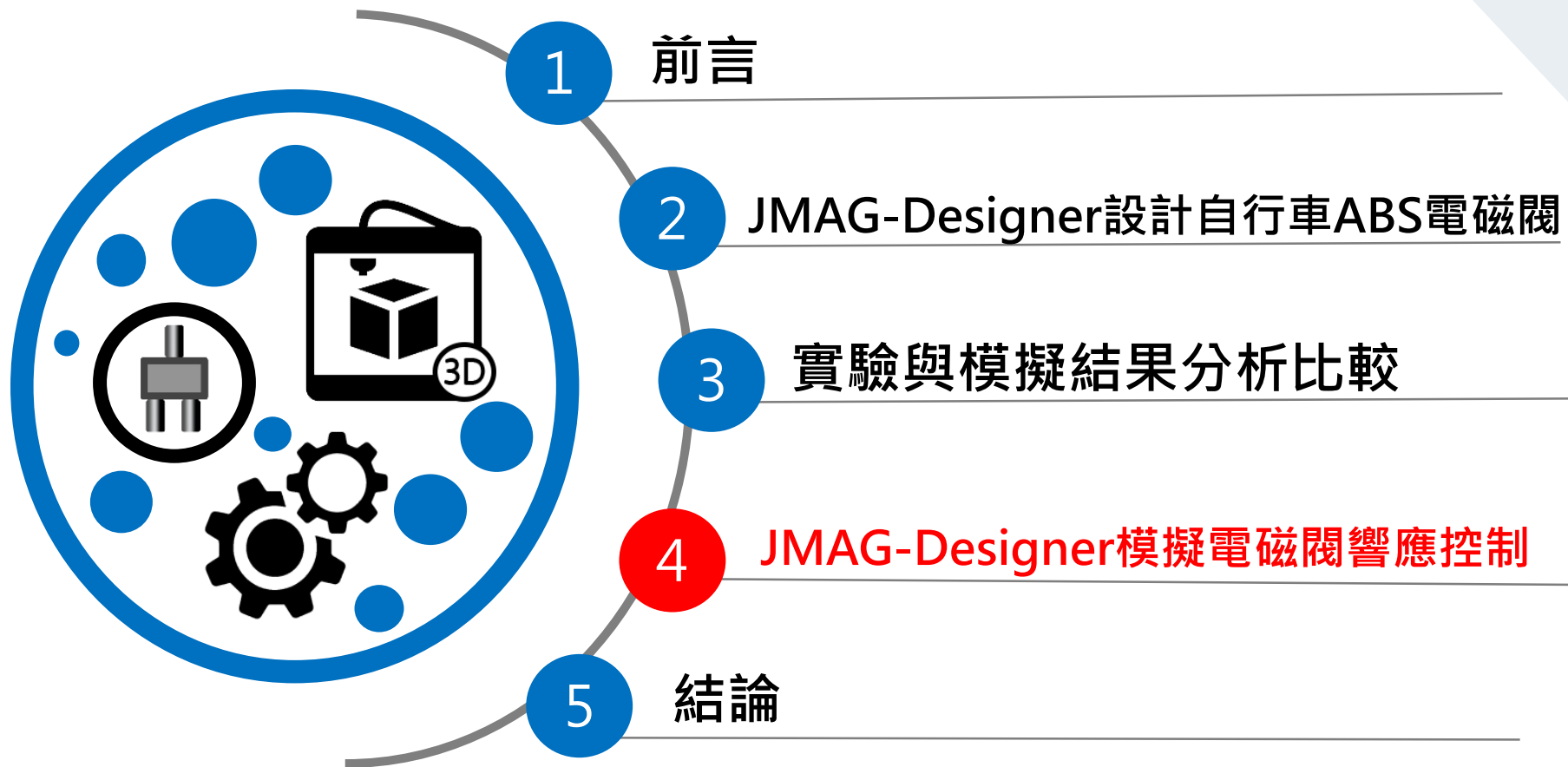
	實驗作動	軟體模擬	誤差
反應時間(ms)	13.8	12.3	10%
電流變化(A)	4.2 ~ 5.5	3.8 ~ 5.4	5%

動態響應誤差



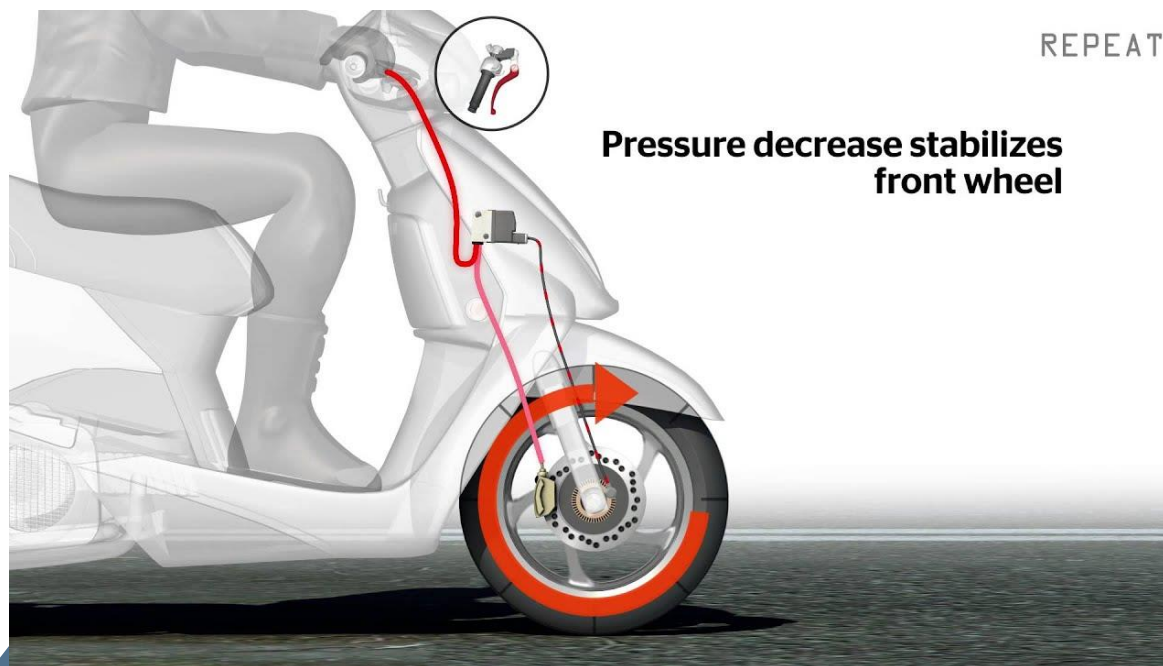
電磁閥靜態響應比較曲線圖







- 藉由上章節證明**實際與模擬**的數值是**相互吻合**，因此本研究將其**模擬ABS防鎖死煞車系統**的**電磁線圈實際動作狀況**。
- 並且可分為使用**類比電流訊號與電磁閥快速開關響應頻率控制**，並將其**電流與力量**控制在**7A至2A**，力量**500N至300N**。



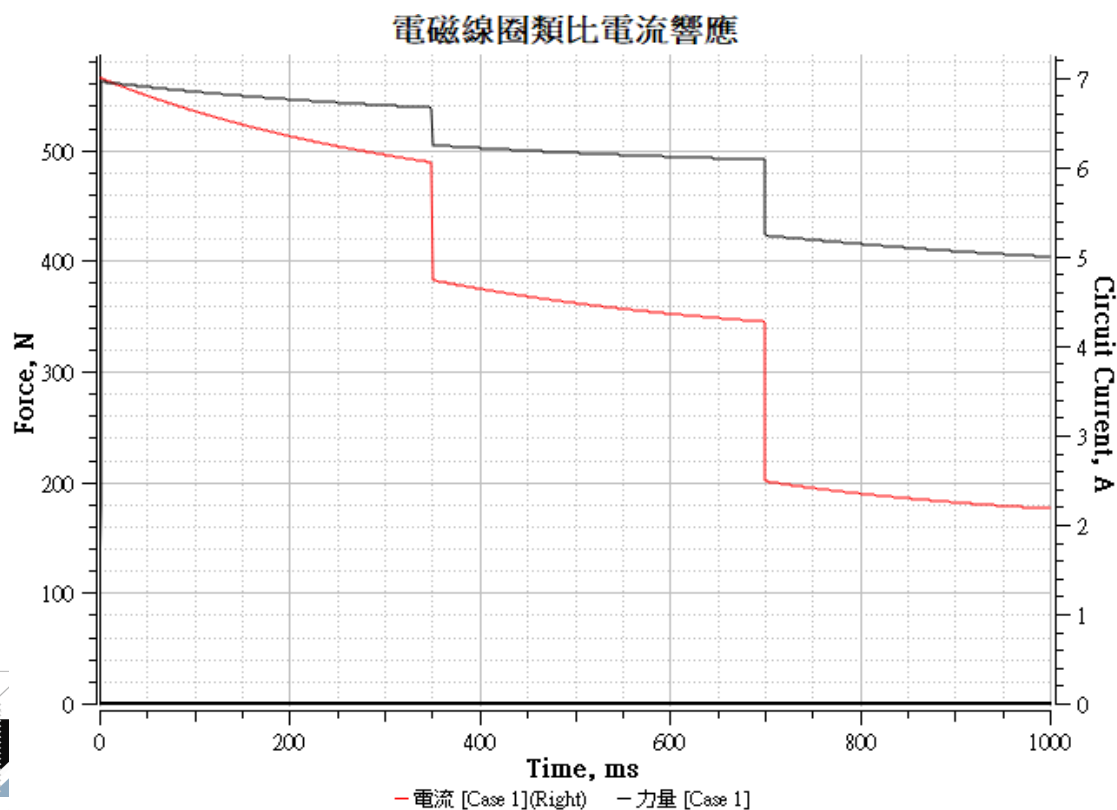
圖片來源：Continental Automotive

JMAG-Designer

模擬電磁閥響應控制(2/3)



- 將電磁閥使用**類比電流訊號**進行控制曲線數值，進行模擬後結果如下。

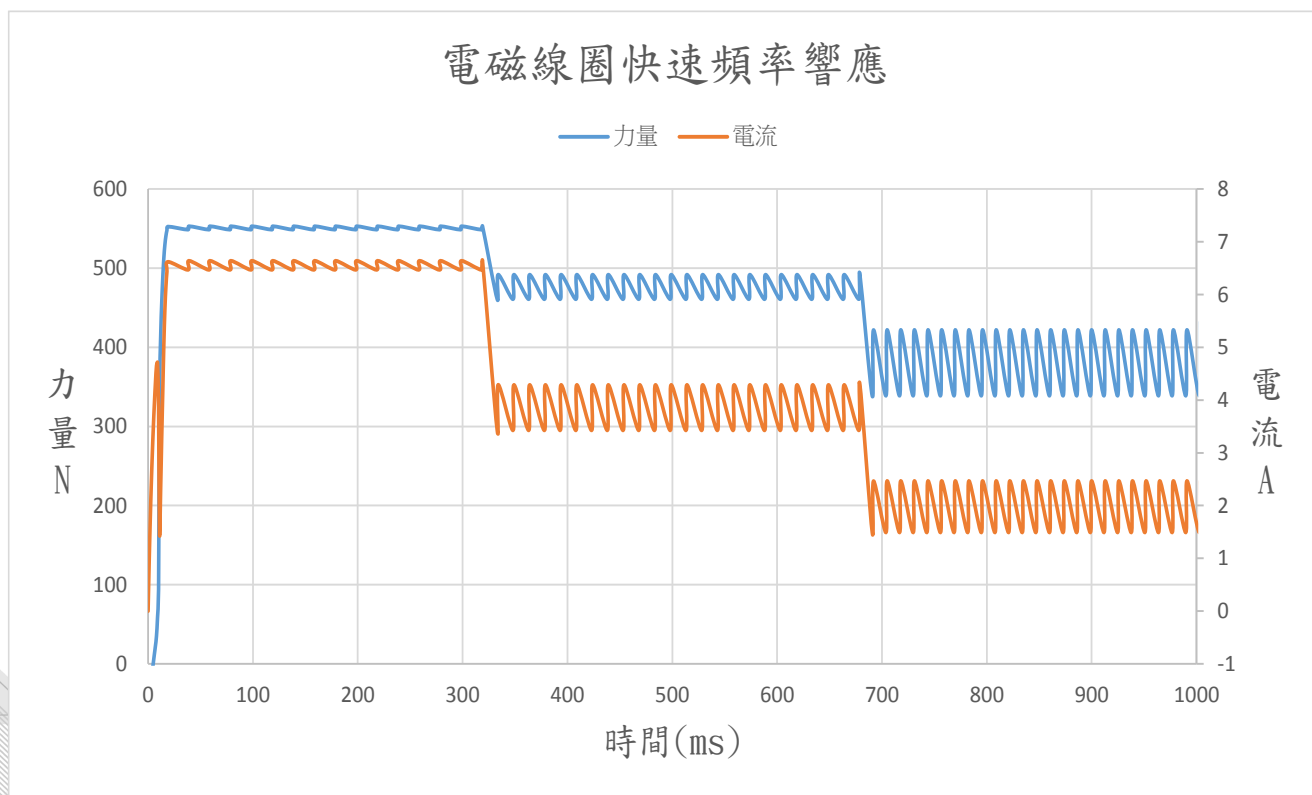


	高	中	低
控制電流	7A~6A	5A~4A	2A
平均力量	530N	500N	400N

紅色：電流

黑色：力量

- 將電磁閥使用**電磁閥快速開關響應頻率**進行控制曲線數值，進行模擬後結果如下。



	高	中	低
控制電流	7A	4A	2A
平均力量	550N	470N	380N

橘色：電流

黑色：力量



1

前言

2

JMAG-Designer設計自行車ABS電磁閥

3

實驗與模擬結果分析比較

4

JMAG-Designer模擬電磁閥響應控制

5

結論

結論



1. 由靜態與動態響應上，發現兩者的力量行程與反應響應時皆優於最初設定之目標。
2. 依照模擬與實際數值結果可得知，自行設計自行車制動器電磁線圈與實際吻合，並且可被成功加工製作，因此可證明其利用模擬軟體分析電磁效應數值是可信的數據。
1. 而本研究藉此進而改變模擬參數，其使電壓頻率改變而影響磁推力出力狀況，由數值可看出此點正確，故將來可將此電磁線圈使用於實際自行車油壓碟煞制動器上，並且加裝感知器與電路後，可達到更加有效的煞車作用。

結論



1. 本研究成功地利用JMAG-Designer磁力模擬分析，搭配磁路模型計算設計出理想目標中切換式電磁線圈，並且利用自行研發的電磁線圈測試實驗平台量測電磁線圈動態與靜態響應數值，驗證了模擬、計算與實驗三者之間的結果，並確認其結果誤差10%內。
2. 改良後的電磁閥在體積寬度不變的情況下，電流可節省28%，原本的5A降低至3.6A，並且最大磁推力量維持在280N以上，有效地利用內部幾何形狀的改變，節省了磁力的散失。
3. 動態響應的數值上，發現反應時間改良後有延遲情況，但是依然在13ms左右，對於自行車制動器來說，此反應速度已足夠進行實際作動時間。

結論 - 未來規劃



1. 未來規劃將會加裝於一台自行車的碟煞制動器，進行實際的測試與控制，加強驗證產品開發。
2. 因熱能對於磁力與電磁線圈本身都具有相當的影響性，故希望能配合熱傳分析軟體，用以觀察電磁線圈內部的溫度變化，了解溫度與電磁場關係，反映產品實際狀況。

Thank you for your attention

Q & A

