

2012 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

編號：100016

作品名稱

表面磨損之自動警告系統

得獎獎項

大會獎：二等獎

候補作品：1

作者姓名：蕭季威、蕭季萱

就讀學校：臺北市立建國高級中學、

臺北市立大直高級中學(附設國中)

指導教師：惠沁宜

關鍵字：表面磨損、磨損偵測、RFID

作者簡介



我是蕭季威，現在就讀臺北市立建國高中三年級。我從小就對數理科學很有興趣，每年都找機會參加各種科學體驗營和科學競賽，從其中我學到了很多物理、化學、航太、地球科學、電腦、機器人等知識。國小時曾經以環保淨水的研究得到全國科展第三名，上了國中後除了在學校的數理資優課程吸收更多元的數理知識外，也參加機器人比賽和青少年發明展，得到不錯的名次。同時我仍一直持續在做科展研究，並以傳熱控制、磁力的緩衝作用、可變倍率透鏡、家蠶自動注射等研究題目參加了北市科展、全國科展、2008 臺灣國際科展、2009 臺灣國際科展、2010 臺灣國際科展、2011 臺灣國際科展及 2010 美國 ISEF，得過全國科展第一名和臺灣國際科展工程學科第三名、第二名、第一名以及 ISEF 工程科大會獎三等獎。從這些科展研究中，我樂於享受做實驗過程中的甘苦滋味。

經過這些歷練，我除了學到許多課堂上沒有教的知識外，我最大的收獲應該是培養了獨立思考和研究的能力，我會去思考如何瞭解問題，嘗試設計實驗的方法，解決自己實驗中所遇到的問題，還能自己設計一個完整的實驗程序，並耐心的做完整個實驗和分析。其實科學實驗在建立實驗設備和進行實驗的過程，時時都充滿了挫折感，尤其是兩三個月都找不到合適的材料或方法時，真的感受到那種深深的挫折感；不過，老話一句，只要有耐心，持之以恆，用心去體會過程，科學實驗其實還是很有趣的。



我是蕭季萱，就讀臺北市大直高中國中部八年級，一個正好卡在不大不小的年紀中的不大不小的人。在學校我擅長的是文科的部分，也參加過一些國語文競賽與網頁比賽，得到了一點好成績，但同時我也對數學、理化、生物等有著興趣與熱忱，一方面是由於老師上課淺顯易懂，且鼓勵我們不要拘泥於一種固定的思維，並多培養邏輯思考的能力，使我獲得許多啟發；一方面則是因為單純的喜愛解題過程的峰迴路轉，和解題後的暢快感。即使如此，我在學校的數學成績並不突出，幾個學期下來累積了許多挫折感，但奇怪的是，只要給我充足的時間與「零壓力環境」，通常我都能順利解開難題(真是奇異的腦部構造啊，有機會真想解剖看看)。

我第一次接觸科學實驗是在小學三年級。學校安排了一個課程，每週給我們兩節課的時間(九十分鐘)可以研究(玩)各式各樣自己有興趣的東西，使我逐漸有了設計實驗、做實驗與用簡報向全班呈現結果等經驗與基本認識。小四時，我開始做科展，一直到現在，已經連續參加過四次北市科展，得到全國科展第二名和第三名。我從中學到很多事情，不論是科學實驗中必備的基本常識，或是與指導老師與組員的相處；過程中當然也有不為人知的辛酸血淚，但在老師、父母的幫忙，與淚水及汗水的滋養下，我也日漸成長。只希望自己能繼續在這條科學之路上向前邁進，懷抱著永不熄滅的熱忱。

表面磨損之自動警告系統

摘要

在機械系統中，物件表面常產生磨損，但重要物件的磨損將會危及系統的操作及安全。本研究建立了表面磨損自動偵測警告系統，該系統包含監測系統、無線射頻資料讀取器、被動式無線射頻識別標籤(tag)、及電磁波隔離層等，並採”故障觸發”之方式運作。亦即在物件之表面下特定深度埋設有被動式無線射頻識別標籤，但該標籤外層覆有一層隔離層可隔絕該射頻資料讀取器之電磁波。

當物件表面尚未被磨損到特定深度前，讀取器之電波無法穿透電磁波隔離層而激發無線射頻識別標籤，因此無法讀到識別標籤之信息，系統將判定物件磨損狀況良好。等該物件過度磨損時，會把該電磁波隔離層磨除掉，使讀取器之電波可激發無線射頻識別標籤，而讀取到識別標籤內含之信息，系統因此可判別哪一個物件已有嚴重磨損之狀況，而自動提出警告信號。由於使用被動式識別標籤及故障觸發方法，本系統具有體積小、免電池、免維護、成本低、誤判率低等優點。測試結果以車輛輪胎的磨損為對象，證實本系統可以即時有效的偵測到車胎之過度磨損，保障行車之安全。

Automatic Detection for Worn Surface

Abstract

Surface of an object in a mechanical system gets worn regularly. But worn surface of any important part makes the system operate in dangerous condition. This system developed an automatic detection and warning system for surface worn. The system consists of management system, RFID reader, passive RFID tag, and shielding layer for electromagnetic (EM) wave. The system adopted concept of “fault-and-trig” in detecting severely worn system. A passive RFID was completely wrapped by a metal layer which can shield the tag from electromagnetic wave. And this wrapped tag was buried behind the object surface.

If the object is under normal wearing process, the EM wave cannot penetrate the EM shielding layer to read tag. When the object is severely worn, the upper EM shielding layer will be also removed and RFID reader can read the tag inside the object. Therefore, detection system will decide that object is in severely worn situation, and give warning signal to operators. This proposed detection has benefits of small size, no battery, no maintenance, low cost and no fault alarm. After testing the system in a vehicle tires, test results show that this worn surface detection system can successfully detect any severely worn tire

Severely worn surface in an important machine part makes the machine operate in dangerous condition. This project developed an automatic detection and warning system for surface wear based on passive RFID technology. This detection system has benefits of small size, no battery, no maintenance, low cost, high reliability, and no fault alarm.

In this project we investigated the reading properties of RFID tag under different conditions. After examined many materials, we found TiO₂ and copper net are excellent materials for medium layer and shielding layer to electromagnetic wave. Finally, the detection method is applied in Tire Monitoring System and Tire Checking System for real-time detection of severely worn tires. These two systems can effectively and significantly reduce the traffic accidents due to flat tires.

目錄

摘要.....	iv
壹、研究動機.....	2
貳、研究目的及項目.....	3
參、研究設備及材料.....	4
肆、研究方法及過程.....	5
研究一 系統概述與 RFID 原理探討.....	5
研究二 表面磨損自動偵測、測試設備與平台.....	10
研究三 距離角度對 RFID 讀取之影響.....	17
研究四 標籤前遮蔽層之影響.....	22
研究五 標籤移動速度及水分之影響.....	26
研究六 表面磨損自動偵測之應用.....	29
伍、結論與應用.....	33
陸、參考資料及其他.....	34

壹、 研究動機

在報紙或電視媒體上常聽聞車輛行駛時，輪胎因磨損而爆胎導致車輛撞擊護欄或他車而翻覆，造成重大傷亡。難道沒有適當的方法來偵測輪胎磨損而防止這樣的事情發生嗎？因此我們開始進行物件表面磨損自動偵測警告裝置之研究。

在機械系統中，物件表面會因接觸而產生磨損。但重要物件的磨損將會危及系統的操作及安全。如輸送系統皮帶之過度磨損會使皮帶斷裂，影響到其他系統之安全；如車輛煞車片之過度磨損會使煞車力不足、煞車失效；車胎過度磨損會導致車胎打滑、甚至爆胎。因此必須有物件表面磨損的監測方法，防止物件過度磨損而損及系統。

一般磨損監測方法多為人工監測，例如在物件表面設有一些凹處指標，當表面磨損到與此凹面等高時，代表磨損已到嚴重狀況，該物件必須更換。或是在物件表面固定深度中埋設特殊顏色或材質之物體，當物件表面磨損到出現此物體時，亦代表磨損已到嚴重狀況，該物件必須更換。但這些方法均需要人工檢查才能發現磨損已到嚴重狀況。例如車輛輪胎便需人工經常檢查，故輪胎磨損並不易被發現，使得車輛行駛時常有過度磨損發生爆胎而發生車輛意外事件。

另有些磨損的自動監測方法，利用影像監測物件表面是否低於某一設定值，或是偵測到出現某種不同顏色，則判定為磨損嚴重。但自動監測所需的成本高且設置不易，儀器的維護亦困難。

因此設計一個低成本且可靠的表面磨損自動偵測警告裝置，將可提高機械系統操作之安全。應用在車輛時，可提供更好的車輛行駛安全，減少車輛事故之發生，讓更多家庭免除傷心與痛苦。

貳、研究目的及項目

本研究提出一個表面磨損的自動偵測方法和系統，並測試此方法的各項特性，一方面瞭解此自動偵測方法的可行性，另一方面則可以改善系統的各項設計，增加此表面磨損自動偵測系統在應用上的實用性。整個研究包含特性探討和應用設計，共分為六個研究子項，詳細的研究項目如下表。

研究目的		研究項目
研究一	系統概述與 RFID 原理探討	(一) 表面磨損自動偵測之探討 (二) RFID 原理
研究二	表面磨損自動偵測、測試設備與平台	(一) 表面磨損自動偵測之構想 (二) 測試設備 1. RFID 讀取器和標籤 2. 自製 RFID 讀取測試平台
研究三	距離角度對 RFID 讀取之影響	(一) 測試目的與方法 (二) 測試結果與討論
研究四	標籤前遮蔽層之影響	(一) 長條型標籤 vs 方型標籤 (二) 圓極天線 vs 線極天線
研究五	標籤移動速度及水分之影響	(一) 標籤移動速度之影響 (二) 水分之影響
研究六	表面磨損自動偵測之應用	(一) 車輪磨損自動偵測系統構想 (二) 車輪磨損自動偵測之測試 (三) 車輪磨損自動偵測系統之人機介面

參、研究設備及材料

RFID reader	RFID reader antenna 天線
Codatex RFID reader Alien ALR-9900-TAI	Alien RP circular antenna (ALR-9611-CR, 915 MHz, 6.0 dbi Gain) Alien linear antenna (ALR-9610-AL, 915 MHz, 5.90 dbi Gain)
RFID 識別標籤	屏蔽測試材料
Codatex EM4102 型標籤 Alien ALL-9540-02(長條型) Alien ALL-9534 2x2 (方型), 860~960 MHz	黃銅網(網目密度 625/cm ² , 厚度 0.25 mm) 紅銅網(網目密度 49/cm ² , 厚度 0.45 mm) 不鏽鋼(網目密度 36/cm ² , 厚度 0.5 mm) 銅箔(厚度 0.13 mm), 鋁箔(厚度 0.1 mm) 橡膠片(厚度 1.3 mm), 壓克力片(厚度 3 mm)
轉速計	軟體
Yokogawa digital tachometer TM-300 LEGO 轉速計	Alien RFID Gateway LabVIEW 2009 Student Edition

肆、研究方法及過程

研究一 系統概述與 RFID 原理探討

(一) 表面磨損自動偵測之探討

本研究想建置一種表面磨損自動偵測警告系統，該系統安裝在機械物件上時，可藉由一些信號裝置，即時偵測出哪些物件磨損之程度已達過度磨損的狀態，警告使用者儘快更換。這類型的偵測系統尤其適合使用於車胎胎紋或輸送皮帶之磨損警告。

目前磨損監測方法多為人工監測，亦有些是自動偵測，這些方法簡略說明如下。

1. 磨損點：

在物件表面設有一些凹處凸點指標，當表面磨損到與此凹面凸點等高時，代表磨損已到嚴重狀況，該物件必須更換，如車輛輪胎之磨損點。

2. 磨損線：

在物件表面固定深度中埋設特殊顏色或材質之物體，當物件表面磨損到出現此物體時，亦代表磨損已到嚴重狀況，該物件必須更換，如車輛輪胎之磨損線。

3. 影像監測：

利用影像監測物件表面是否低於某一設定值，或是偵測到出現某種不同顏色，則判定為磨損嚴重。但自動監測所需的成本高且設置不易，儀器的維護亦困難。

4. 無線通訊感測器：

在物件表面下埋射感測器及無線通訊元件，隨時將物件之狀況傳送到讀取器；或埋設光電元件，當磨損時即可偵測到外部之光線而送出磨損之信息。但無線通訊元件有維護及電池壽命之問題，且元件埋入物件表面下並無法更換（陳蘊彥,2006）。

5. 正常觸發式 RFID 識別標籤：

在物件表面下布設有 RFID 識別標籤，並用 RFID 讀取器持續掃瞄所有 RFID 識別標籤；當物件表面磨損時，識別標籤即被磨損破壞而無法傳送信息，系統便判定有過度磨損；亦即採用”正常即觸發”之方法。但 RFID 識別標籤於高速移動、濕氣環境、電磁波干擾等因素下會影響讀取，因此該方法之誤判率極高，並不適合實際系統之使用 (Brey, 2006)。

這些方法之優缺點整理在表 1.1，由該表可看出：

1. 磨損點/線的方法均需要人工檢查才能發現磨損已到嚴重狀況；例如車輛輪胎便需人工經常檢查，故輪胎磨損並不易被發現，使得車輛行駛時常有過度磨損發生爆胎而發生車輛意外事件。
2. 影像、感測器及無線射頻元件可做到自動偵測，可以即時提供警示，是比較好的表面磨損警告方法。但影像和感測器的設備成本很高、系統複雜、又有電池電量的問題，比較適合於參數數值經常在頻繁變化的系統，不適合用在僅偵測是否已過度磨損的門檻值偵測系統。
3. 因此綜合這些評估，無線射頻辨識系統 RFID 為應用在表面磨損警示中最適合之方式。
4. 但目前文獻中的 RFID 辨識方法，因為採用不斷掃瞄辨識的”正常觸發”方式，在掃瞄不到識別標籤時，便判定物件表面已嚴重磨損。但事實上，RFID 的傳輸特性是很容易受到水分、高速移動、電磁波干擾等因素影響而無法讀取到，因此很容易正常的表面被判定為過度磨損；實際使用時，誤判率相當高，尤其是如文獻所宣稱用在車輪胎紋磨損的偵測上。

因此在本研究中，根據方法評估的結果，將應用無線射頻辨識系統 RFID 在表面磨損警示中，但要改善”正常觸發”的策略，改為使用”故障觸發”的策略，以大幅降低系統的誤判率。

表 1.1 表面磨損警示方法

系統評估	表面磨損警示方法					
	磨損點	磨損線	影像監測	無線通訊感測器	正常觸發式 RFID	研擬的故障觸發式 RFID
自動監測	×	×	○	○	○	○
即時監測	×	×	○	○	○	○
高偵測方便性	×	×	△	○	○	○
低電池依賴度	○	○	×	×	○	○
低成本	○	○	×	×	○	○
低設備複雜度	○	○	×	×	△	△
低環境干擾	△	△	×	×	×	○*
低誤判率	○	○	△	○	×	○
警示觸發方式	故障觸發	故障觸發	故障觸發	正常觸發	正常觸發	故障觸發

(二) RFID 原理

1. RFID 的源起

無線射頻識別(Radio Frequency Identification, RFID)是運用無線電波傳輸訊息的識別技術，包含了識別標籤(tag)和讀取器(reader)。微晶片和天線被整合在標籤(tag)內，當讀取機從一段距離外發射能量，藉由電磁耦合或微波傳導的方式傳遞給標籤時，標籤上的電路即可通電，再將晶片內記憶體的資訊，回傳到無線射頻讀取器(reader)，進行資料交換。而讀取器亦可將新的資訊寫入無線射頻識別標籤內，達到相互資訊交換。

RFID 技術的應用首見於二次世界大戰期間，英國應用於飛行器作為敵我識別裝置。其後開始應用在民間商業用途。1999 年 MIT 成立 Auto ID Center，結合 100 家全球知名企業，共同發展 RFID 系統與應用標準，後來交由國際電子條碼推動組織 EPCglobal 持續推廣(胡榮勝, 2010)。

2005 年美國 Wal-Mart 開始在其供應商交貨棧板及紙箱上安裝 RFID 標籤，使其可以快速有效的進行物流管理，確定各貨品的流向及放置地點。接著 RFID 應用的市場結構發生重大變化，RFID 的應用開始進入門禁管制、動物識別、車輛收費、車輛防盜、身份識別、電子付費等，在台灣也普遍應用，如台北市各中小學的到

離校管理系統、捷運悠遊卡等，均是應用 RFID 的技術。

2. RFID 種類與工作原理

RFID 有多種型式，依分類標的不同，可有下列幾種分類法。

(1) 依所使用的無線電波頻率：

可分為低頻 LF、高頻 HF、超高頻 UHF、微波 microwave；其頻率分布如表 1.2。

(2) 依標籤有無使用電池：可分為主動式、半主動式、被動式標籤。

表 1.2 RFID 使用的無線電波頻率分布

	低頻 125 KHz	高頻 13.56 MHz	超高頻 860~930 MHz	微波 2.45 & 5.8 GHz
讀取作用方式	感應線圈	感應線圈	電容式電場效應	電容式電場效應
傳輸速度	慢	慢	快	快
被動 tag 尺寸	大	大	中	小

RFID 低頻系統和超高頻系統的工作原理並不相同。

(1) RFID 低頻系統

使用感應線圈讀取作用方式，如圖 1.1。先將訊號送到震盪器，讓讀取機的線圈產生交流電以生成交變磁場，並和標籤內的線圈交互作用，生成感應電流，使標籤得到電力，而把識別碼資料含在產生的變動的磁場中，並與讀取機的磁場生成負載調制的交互作用。讀取機再將此感應到的線圈電流變化轉換為數位訊號和標籤識別碼。

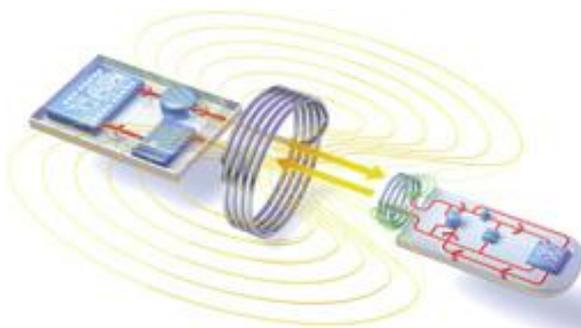


圖 1.1 低頻 RFID 系統使用感應線圈讀取作用方式 (科學人, 2004)

(2) RFID 超高頻系統

使用電容式電場效應讀取作用方式，如圖 1.2。讀取機產生的數位訊號會由收發機轉成射頻訊號，再透過偶極天線發射到標籤內的偶極天線，使其產生電力而將標籤識別碼透過背向散射調制傳送到讀取機，再轉換成識別碼。

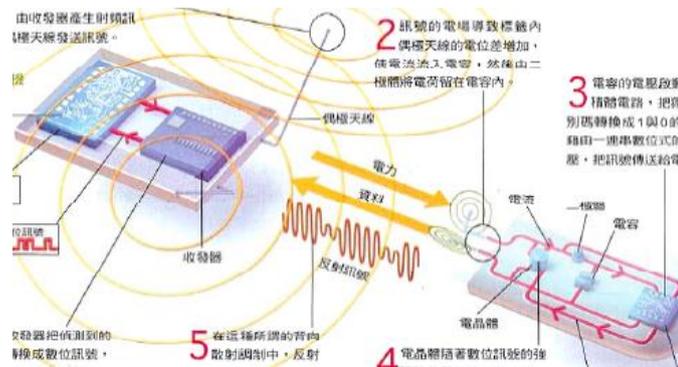


圖 1.2 超高頻 RFID 系統使用電容式電場效應讀取作用方式 (科學人, 2004)

但環境中的常見物質會對 RFID 的電磁波傳遞產生干擾效應，我們將常見物質的干擾效應整理在表 1.3 中；由該表可以知道兩件對我們的研究較重要的事：

- (a) 金屬、石墨可遮蔽 RFID 電磁波，所以在研究中可使用金屬或石墨作為電磁波隔離層，而在應用時要注意周遭的金屬干擾效應。
- (b) 水會吸收 UHF 的電磁波，所以在研究的應用時要注意物件表面水份的干擾效應。
- (c) 此外輪胎的橡膠會有介電效應，干擾標籤的有效讀取，這也是研究應用時要注意之事項。但該項橡膠介電效應干擾可藉由調整頻率設計而改善 (胡榮勝, 2010)。

表 1.3 常見物質對 RFID 的干擾效應

	低頻 125 KHz	高頻 13.56 MHz	超高頻 860~930 MHz	微波 2.45 & 5.8 GHz
衣服、汽油、紙製品、塑膠	可穿透	可穿透	可穿透	可穿透
乾燥木頭	可穿透	可穿透	可穿透	吸收
水、潮濕木頭	可穿透	可穿透	吸收	吸收
石墨、金屬	可穿透	可穿透	不可穿透	不可穿透

*** 整理自：台灣科大資管系 RFID 資訊安全課程

研究二 表面磨損自動偵測、測試設備與平台

(一) 表面磨損自動偵測之構想

會移動或轉動的物件，若表面產生磨損，會產生危及操作或環境的安全，因此表面磨損的自動偵測是安全操作與使用上所必需的。表面磨損的偵測跟很多安全偵測系統很類似，如瓦斯警報器、一氧化碳偵測器、煙霧偵測器等，這些系統的特性在於，物件開始使用時都是在正常狀況，通常要使用一段長時間後，才會開始有過度磨損之問題，這時便需要自動系統能夠很快偵測到故障或磨損。所以這類安全偵測系統的特性為：(1) 需很長的待命時間、(2) 需成本低才能多點裝設、(3) 且誤判率要很低。

對表面磨損的自動偵測在研究一討論過現行的偵測方法，但現行的表面磨損偵測方法均有應用上的缺點，如無法自動偵測、無法即時監測、會有電量不足問題、系統過於複雜等，所以發展一個可克服以上缺點的良好表面磨損偵測方法是安全上亟需的。

由於 RFID 具有電力需求小、安裝方便、反應快、穿透性良好，我們提出一個使用 RFID 在表面磨損的自動偵測的新構想。在我們的構想中，表面磨損偵測系統如圖 2.1，包括監測系統、RFID 無線射頻資料讀取器、電磁波隔離片、及 RFID 被動式無線射頻識別標籤。

其方法是把被動式 RFID 識別標籤外圍先用塑膠等電磁波可穿透材質完全包覆且保護標籤，外層再用具電磁波隔離功能的薄片(如金屬、石墨)包覆住，形成一個 RFID 標籤盒，並將此標籤盒埋設在物件表面下固定深度，如圖 2.1。系統工作原理如下：

1. 如圖 2.1，當物件表面尚未被磨損到特定深度前，讀取器之電波無法穿透電磁波隔離片而激發 RFID 標籤，因此無法讀到 RFID 標籤之信息，系統將判定物件磨損狀況良好。
2. 如圖 2.2，該物件開始磨損，因未到過度磨損的程度，讀取器發送之電磁波仍無法穿透隔離層，無法讀取識別標籤，系統判斷物件磨損狀況正常。

3. 如圖 2.3，該物件嚴重磨損，同時把該電磁波隔離層磨除掉，使讀取器之電波可激發 RFID 標籤，而讀到標籤信息。
4. 每個被動式 RFID 標籤內含特定之信息或識別碼，可以辨識此標籤，進而可判別此識別標籤在物件中之位置；系統將可判別哪一個物件已有過度磨損之狀況，而自動提出警告信號。

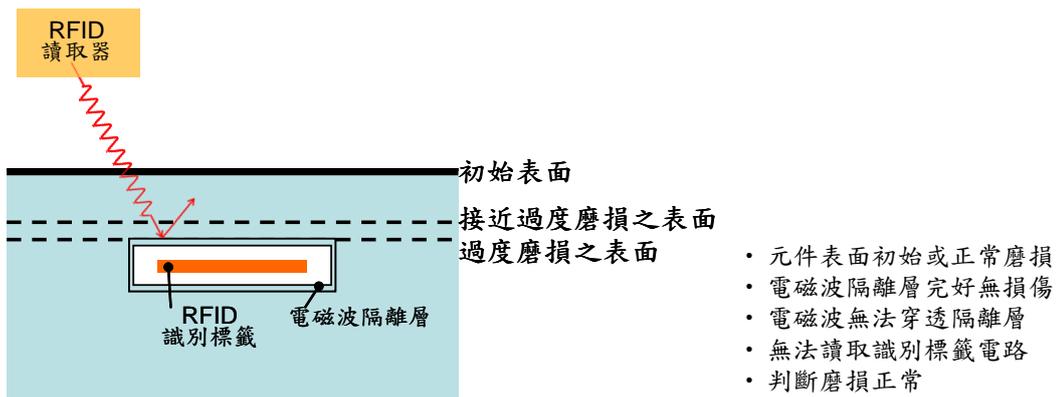


圖 2.1 物件表面正常磨損，讀取器無法讀取標籤，系統判斷磨損正常。

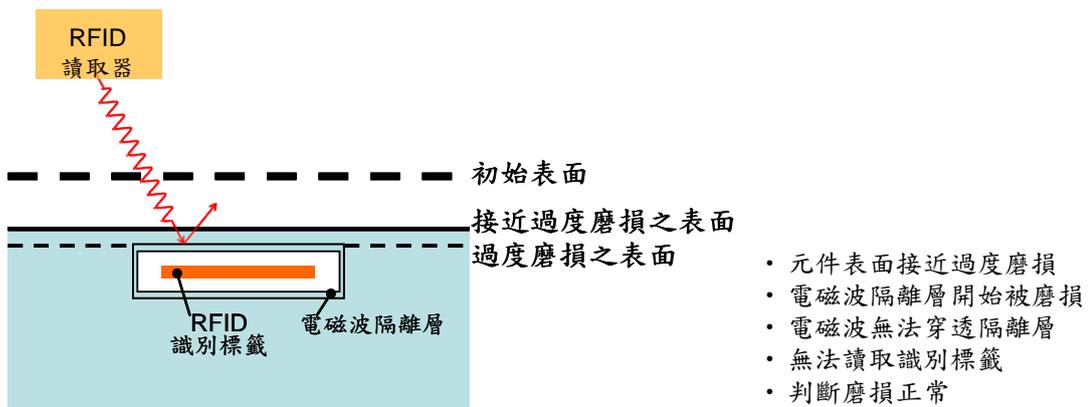


圖 2.2 物件表面開始磨損，讀取器無法讀取標籤，系統判斷磨損正常。

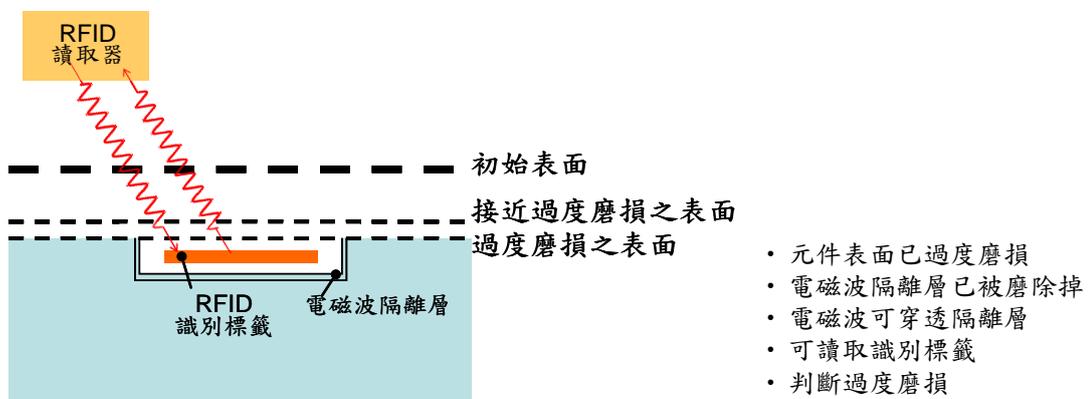


圖 2.3 物件表面已過度磨損，電磁波隔離層被磨除，讀取器可讀取標籤，系統判斷磨損嚴重

表 2.1 列出這個構想的表面磨損偵測方法在不同狀態下的標籤讀取情形，可瞭解只有當物件表面有嚴重磨損時，系統才會讀到 RFID；而且系統只要讀到標籤後，就會註記該表面發生嚴重磨損，且會再持續監測是否一段較長時間內都讀到標籤；所以即使後續因環境干擾(如電磁波干擾、物件移動)使讀取 RFID 標籤信息時斷時續，仍會判定物件已嚴重磨損。因此這個表面磨損偵測方法的誤判率非常低，不會誤判物件嚴重磨損，造成使用者緊張。

表 2.1 表面磨損偵測方法不同狀態下標籤讀取情形

狀態	物件表面磨損狀況	電磁波隔離層狀況	電磁波	無線射頻標籤	判斷
A	初始或正常磨損	完好無損傷	無法穿透隔離層	無法激發電路	磨損正常
B	接近嚴重磨損	開始被磨損	無法穿透隔離層	無法激發電路	磨損正常
C	已達嚴重磨損	已被磨除掉	可穿透隔離層	激發電路	磨損嚴重

我們的表面磨損偵測方法因為使用被動式 RFID 標籤埋在物件內，標籤完全不用電池，沒有電池壽命之問題，亦無需任何維護，使系統之耐用度及壽命提高。而系統採用創新之”故障即觸發”之方式，要有過度磨損才觸發，系統之誤判率低。因為其他”正常即觸發”之方式，常被外在干擾而讀不到標籤信息，就會錯誤判定為磨損程度嚴重，例如應用在車輛上時，車輪高速轉動和路面積水會使讀取器長時間讀不到標籤信息，而錯誤判定全車所有車輪均已嚴重磨損。

而我們的方法採用”故障即觸發”之方式，例如在偵測車輪磨損時，當任一車輪有過度磨損，只要車輛在低速或停止時，便會偵測到該車輪內的 RFID 標籤而判定該車輪過度磨損，並維持該警示信號之存在，即使之後車輛又高速行駛使識別標籤之信息無法被有效讀取。此方式完全可防止上述干擾造成系統誤判之情形，使系統誤判率極低，提升系統可用性。

我們將這個表面磨損偵測方法跟其他的方法比較，發現我們的方法在各方面都可解決其他不同系統存在的問題，如表 2.2，證實我們構想的表面磨損自動偵測系統有很好的性能表現，具有實際使用的可實現性。

表 2.2 表面磨損自動偵測方法的評估

安全偵測所需條件	無法應用的方法	我們的解決方法
1. 自動監測、即時監測、高偵測方便性	磨損點、磨損線	應用 RFID 可隨時、即時、長時間、自動偵測
2. 低電池依賴度	影像監測、無線通訊感測器	使用被動式 RFID 識別標籤，無需自備電源
3. 低成本、低設備複雜度	影像監測、無線通訊感測器	使用 RFID 識別標籤
4. 低環境干擾	影像監測、無線通訊感測器、正常觸發式 RFID	使用故障觸發式 RFID 識別標籤
5. 低誤判率	正常觸發式 RFID 標籤	使用故障觸發式 RFID 識別標籤

(二) 測試設備

本研究的測試設備包括 RFID 讀取器和標籤，及自製的 RFID 讀取測試平台，以進行表面磨損警示偵測的特性量測。

1. RFID 讀取器和標籤

本研究使用低頻和超高頻兩種 RFID 讀取器，其特性分別敘述如下。由於低頻 RFID 讀取器之讀取範圍在 30 mm 以下，較不適合實際應用，因此在本研究中，主要的特性測試和實際系統測試，均使用超高頻 RFID 讀取器，較能跟實際的應用條件相吻合。但所借用的超高頻 RFID 讀取器之天線體積較大，因此在建立表面磨損自動偵測警示系統的展示系統時，將使用低頻 RFID 讀取器。

(1) 低頻 LF RFID 讀取器

此 RFID 讀取器可讀取 EM4102 型 125 kHz RF ID 識別標籤。識別標籤內部提供 5 bytes 編碼，可以有 240 種組合。但其讀取距離最多為 30 mm，且讀取方向會嚴重影響讀取距離。



圖 2.4 低頻 RFID 讀取器及識別標籤 (CODATEX, 2011)

(2) 超高頻 UHF RFID 讀取器

所使用之超高頻 RFID 讀取器可讀取 902.75 MHz – 927.25 MHz 的 RFID EPC Gen 2 識別標籤，符合 ISO 18000-6c 國際標準，最大 RF 功率為 4 W，具有 4 個頻道。可讀取距離依所用之天線為圓極天線或線極天線而有所不同，讀取方向亦會嚴重影響讀取距離。

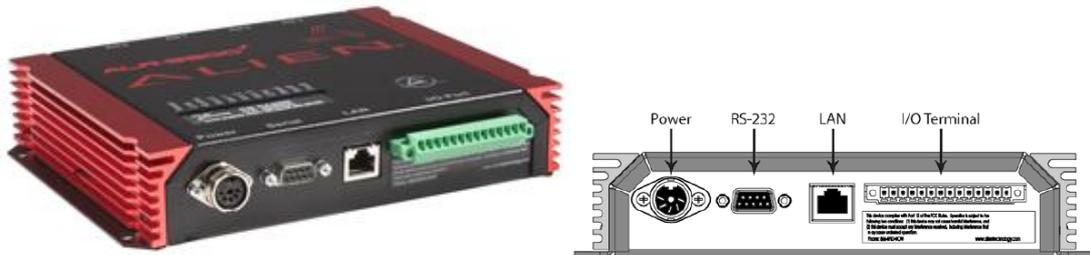


圖 2.5 超高頻 RFID 讀取器 ALR-9900-TAI (Alien, 2011)

(3) 讀取器天線

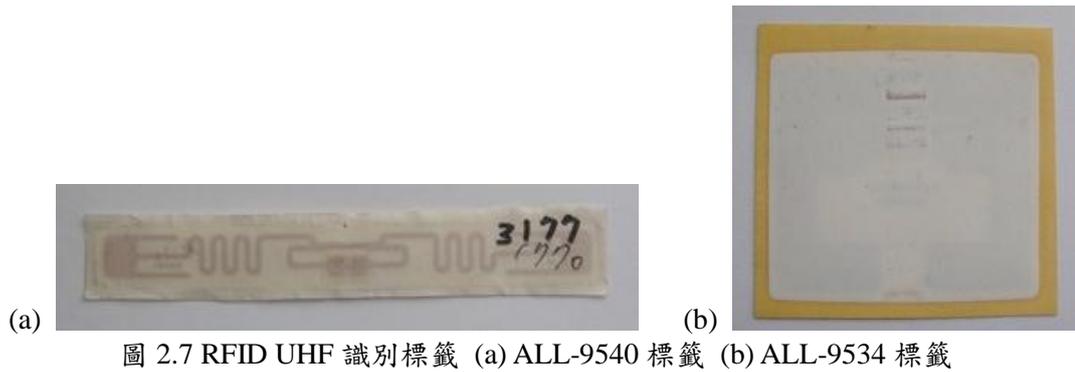
RFID 天線有圓極天線和線極天線，外型相同，都使用 915 MHz。



圖 2.6 RFID 915 MHz 圓極/線極天線

(4) RFID 識別標籤

在研究中，使用的 RFID 超高頻識別標籤天線有兩種，分別是長條型的 ALL-9540 標籤和方型的 ALL-9534。



2. 自製 RFID 讀取測試平台

為了量測 RFID 讀取的靜態特性(距離、方向、環境介質)及動態特性(移動)，本研究分別建立距離角度靜態測試平台和旋轉動態測試平台，來量測 RFID 讀取的靜態特性和動態特性。

(1) 距離角度靜態測試平台

此靜態測試平台之目的，用於測量讀取器天線和標籤間之距離與方向對讀取標籤資訊的影響。該靜態測試平台之系統設計如圖 2.8a，包括天線旋轉座、旋轉角度尺、導引滑軌(附刻度尺)、標籤滑座。RFID 讀取器天線背板固定於旋轉座軸上，可對垂直軸自由旋轉；旋轉座零度方向設一導引滑軌，標籤滑座則跨騎在導引滑軌上，可前後滑動改變滑座與天線的距離；識別標籤則貼於滑座上。完成之靜態測試平台如圖 2.8b。



圖 2.8 距離角度靜態測試平台；(a) 平台設計圖；(b) 測試平台實體圖

(2) 旋轉動態測試平台

此動態測試平台之目的，用於測量識別標籤移動的速度對讀取標籤資訊的影響。該動態測試平台之系統設計如圖 2.9a，包括天線旋轉座、旋轉角度尺、導引滑軌、旋轉臂滑座，而旋轉臂滑座固定有伺服馬達、速度計及標籤旋轉臂，旋轉臂上另貼有反光標記，作為反射式速度計之標記。

RFID 讀取器天線背板固定於旋轉座軸上，可對垂直軸自由旋轉；旋轉座零度方向設一導引滑軌，旋轉臂滑座則跨騎在導引滑軌上，可前後滑動改變滑座與天線的距離；標籤旋轉臂與馬達軸心固定，而識別標籤則垂直固定在旋轉臂前緣。馬達設定以不同之轉速旋轉，標籤會掃過天線前方，可測出在不同的天線-標籤之距離與方向下，可有效讀取識別標籤的轉動速度。完成之動態測試平台如圖 2.9b。

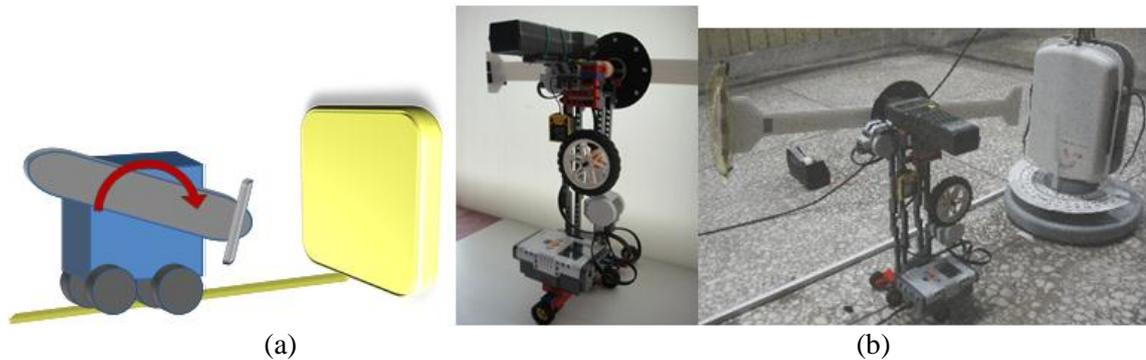


圖 2.9 旋轉動態測試平台；(a) 平台設計圖；(b) 測試平台實體圖

研究三 距離角度對 RFID 讀取之影響

(一) 測試目的與方法

本研究要測定在不同的天線角度下，可讀取到識別標籤的最大距離。測試中使用超高頻 UHF 讀取器，並分別使用圓極天線和線極天線等兩種不同之天線進行測試。實驗使用的讀取器功率有功率衰減的設定，分別為[0db, 3db, 6db, 9db, 12db, 15db]等 6 種功率衰減程度，分別測試[-90°, -75°, -60°, -45°, -30°, -15°, 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°]等 13 個天線角度。

因為考量各種標籤之可讀取距離不同，即使相同型式標籤可讀取距離亦不同，有些標籤可能有些損壞。因此測試前對各個標籤進行測試，各型式標籤選出讀取特性最相近的兩個標籤，再進行接續的測試。

測試在距離角度靜態測試平台上進行，可讀取之最大距離的測試程序為：

- (1) 將天線固定在天線旋轉座上，相對應之識別標籤固定在標籤滑座；
- (2) 天線對正某待測角度，打開讀取器之讀取功能，設定讀取功率；
- (3) 將標籤滑座對正天線旋轉座，滑座由 8 m 外緩慢向天線接近，並監看讀取器是否讀取到識別標籤；
- (4) 監看讀取器是否讀取到識別標籤，首次讀取到標籤之距離即為最大有效讀取距離。

(二) 測試結果與討論：

1. 各種標籤之最大可讀距離測試

圖 3.1 為實驗過程，其中各個測試條件用 6 碼代號編號，分別是[地點、天線 C/L、標籤 I/O、功率、隔離片、轉速]來代表。

各種標籤之可讀取距離之測試結果在圖 3.2，其前半部為長條型標籤，後半部為方型標籤。由測試結果可知：

- (1) 由圖 3.2 所有標籤的可讀距離測試可看出，相同型式的標籤其最大可讀取距

離仍然不同。所以測試或應用時，必須先逐一確認標籤的特性。

(2) 4 個長條型標籤中#3575 標籤已損壞，可讀距離僅有平均的 10%。而#3756 和 #3752 之結果較相近，後續長條型標籤測試以這兩個標籤為主。

(3) 6 個方型標籤中，可讀距離較接近，但相同標籤因為天線設計的型式，垂直旋轉 180°之可讀距離減少為 75~85%，因此測試時須注意標籤方向性。後續方型標籤測試以#1159 和#1004 兩個標籤為主。



圖 3.1 實驗過程

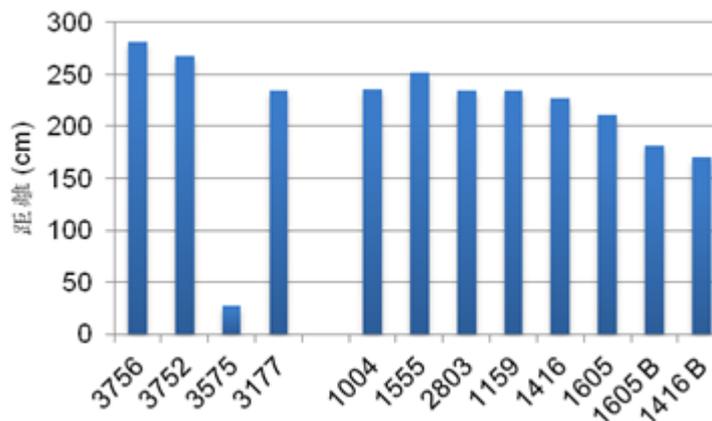


圖 3.2 各種標籤之最大可讀取距離

2. 各種讀取器功率對標籤最大可讀距離之影響

實驗使用的讀取器功率分別為[0db, 3db, 6db, 9db, 12db, 15db]等 6 種功率衰減程度，對各種功率下的標籤可讀距離(使用圓極天線)之測試結果如圖 3.3。由測試結果可知：

- (1) 讀取器功率衰減時，標籤可讀距離近似於等比例下降。
- (2) 對長條型標籤，其等比例下降之斜率約為 -16.8 cm/db ，故對長條型標籤其在 $m \text{ db}$ 功率衰減下，標籤可讀距離可用下式表示，其中 y_0 為最大功率下之標籤可讀距離。

$$y = -16.8 \cdot m + y_0 \quad (1)$$

- (3) 對方型標籤，其等比例下降之斜率約為 -13.6 cm/db ，故對方型型標籤其在 $m \text{ db}$ 功率衰減下，標籤可讀距離可用下式表示，其中 y_0 為最大功率下之標籤可讀距離。

$$y = -13.6 \cdot m + y_0 \quad (2)$$

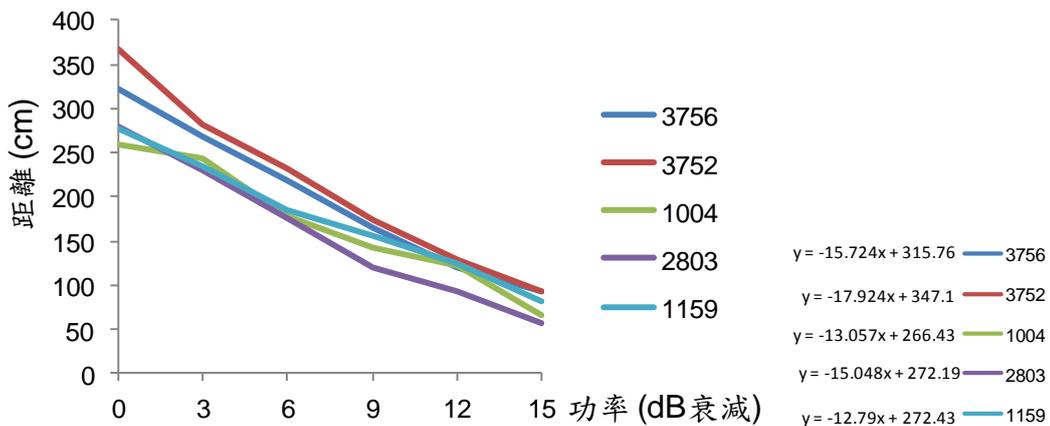


圖 3.3 各種讀取器功率之標籤最大可讀取距離

3. 各種天線角度對標籤最大可讀取距離之影響

測試中分別使用圓極天線和線極天線，並對長條型標籤和方型標籤均進行測試。圓極天線的測試結果如圖 3.4，線極天線的測試結果如圖 3.5。由測試結果可知：

圓極天線

- (1) 由圖 3.4 圓極天線之測試結果，可知圓極天線在正向面對標籤時，其可讀取距離為最長，長條型標籤達 377 cm，方型標籤有 281 cm；隨著天線角度偏移，標籤最大可讀取距離逐漸下降，長條型標籤在 60°時減少為 48%，但天線與標籤垂直 90°時，仍有 24%之可讀取距離。方型標籤在 60°時減少為 59%，但天線與標籤垂直 90°時，仍有 36%之可讀取距離。
- (2) 所以圓極天線對標籤可讀取距離的影響很大。標籤可與圓極天線垂直，但其可讀取距離將減為兩者正向面對時的 1/4，且長條型標籤可讀取距離衰減的程度比方型標籤要嚴重。
- (3) 改用功率衰減 6 db 時再進行長條型標籤測試，其可讀取距離隨天線角度衰減的情形與全功率時一致。

線極天線

- (4) 由圖 3.5 線極天線之測試結果，可知線極天線在正向面對標籤時，其可讀取距離比圓極天線短，長條型標籤僅有 133 cm，方型標籤僅有 81 cm，約為圓極天線的 1/3。
- (5) 隨著天線角度偏移，標籤最大可讀取距離反而先下降後上升，兩種標籤在 60°時均約增加了 25%；在天線與標籤垂直 90°時，仍有 50%以上之可讀取距離。
- (6) 所以線極天線的角度以 30°~60°的範圍，會有較高的標籤可讀取距離；但線極天線的可讀取距離比圓極天線要短，僅有其 1/3。推論這與線極天線的電磁波發射方向有關，故後續可對圓極天線和線極天線產生的磁場方向進一步研究。

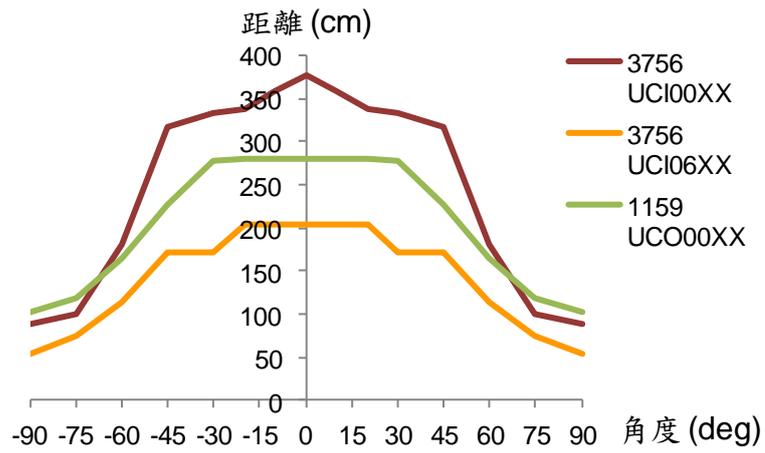


圖 3.4 不同功率下使用圓極天線之標籤最大可讀取距離

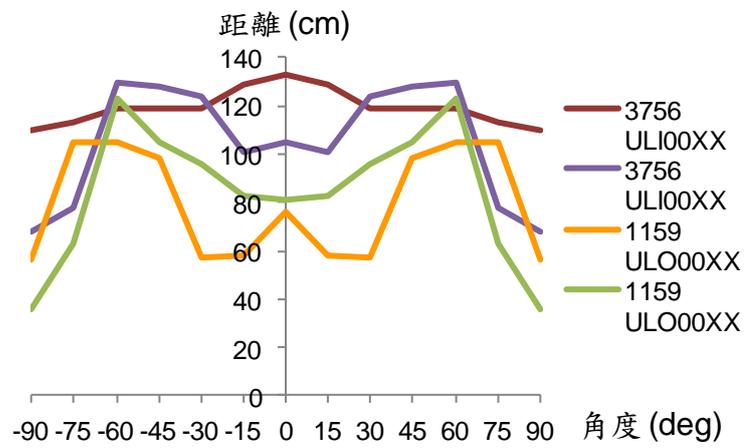


圖 3.5 不同功率下使用線極天線之標籤最大可讀取距離

研究四 標籤前遮蔽層之影響

我們所提出的表面磨損自動偵測方法中，在 RFID 周遭要有一層電磁波隔離層，且上面的隔離層要質地軟易被磨除。所以研究中必須測試各種可能材質的電磁波遮蔽效果，以決定使用何種材料作為電磁波隔離層。

我們所選取的材料有黃銅網(Cu#y)、紅銅網(Cu#r)、不鏽鋼(SS#)、銅箔(Cu)、鋁箔(Al)、橡膠片(R)、壓克力片(P)等 7 種材料，各材料之規格(如：網目密度與厚度)列於研究設備與材料之表格中。

測試在距離角度靜態測試平台上進行，先將隔離層材料放在標籤前，以遮蔽讀取器之電磁波(如圖 4.1)，再依研究三的標籤最大可讀取距離的測試程序逐一進行測試。本實驗分別對長條型標籤和方型標籤均進行測試。

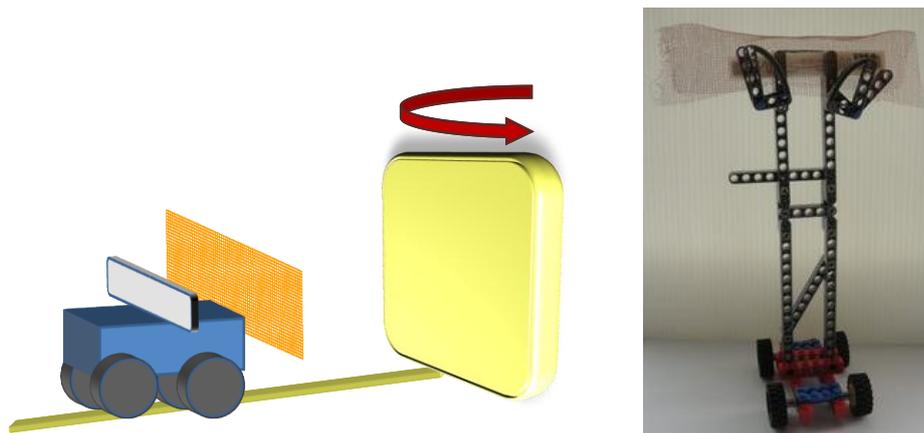


圖 4.1 靜態測試平台及前面有遮蔽材料之標籤

本研究四的測試結果與討論如下：

長條型標籤

- (1) 遮蔽層對長條型標籤的影響結果在圖 4.2。由其結果與圖 3.4 比較，可看出非金屬材料(橡膠片和壓克力片)對標籤的讀取影響很小，幾乎沒有遮蔽效果。而且橡膠對這型天線和標籤的介電效應干擾亦不強，不會干擾標籤的讀取。
- (2) 金屬材料對長條型標籤有很強的影響，大約將標籤可讀取距離減少為 1/4。其遮蔽效果由最佳依序排序為：

黃銅網 > 不鏽鋼網 > 銅箔 > 鋁箔 > 紅銅網

- (3) 實心的銅箔和鋁箔其遮蔽效果不一定比金屬網佳。金屬網的遮蔽效果，除紅銅網外，黃銅網及不銹鋼網均有很好的遮蔽效果，尤其是黃銅網有 100% 的遮蔽效果，對長條型標籤是很好的隔離層材料。
- (4) 金屬材料的 RFID 長條型標籤遮蔽效果，依目前測試結果，與網目密度、導電度無關，後續要找不同網目密度的相同金屬網進行測試，做進一步之確認。

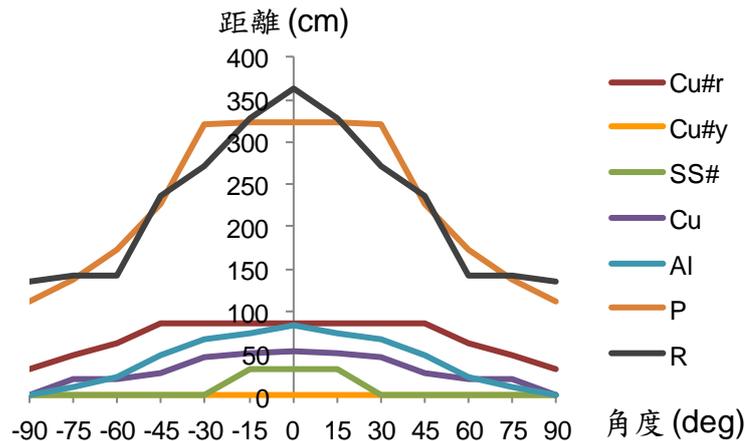


圖 4.2 各種隔離材料對長條型標籤的最大標籤可讀距離 (定功率及圓極天線)

方型標籤

- (1) 遮蔽層對方型標籤的影響結果在圖 4.3。由其結果與圖 3.4 比較，可看出非金屬材料(橡膠片和壓克力片)對標籤的讀取影響很小。而且橡膠對這型天線和方型標籤的介電效應干擾亦不強。
- (2) 金屬材料對方型標籤有較強的影響，大約將標籤可讀取距離減少為 1/2~1/4。其遮蔽效果由最佳依序排序為：

銅箔 > 鋁箔 > 紅銅網 > 不銹鋼網 > 黃銅網

- (3) 實心的銅箔和鋁箔對方型標籤的遮蔽效果比金屬網佳。銅箔對方型標籤有 100% 的遮蔽效果，對方型標籤是很好的隔離層材料。黃銅網對方型標籤的遮蔽效果反而是金屬類中最不好。
- (4) 金屬材料的 RFID 方型標籤遮蔽效果，依目前測試結果，與網目密度、導電度無關，後續要找不同網目密度的相同金屬網進行測試，做進一步之確認。

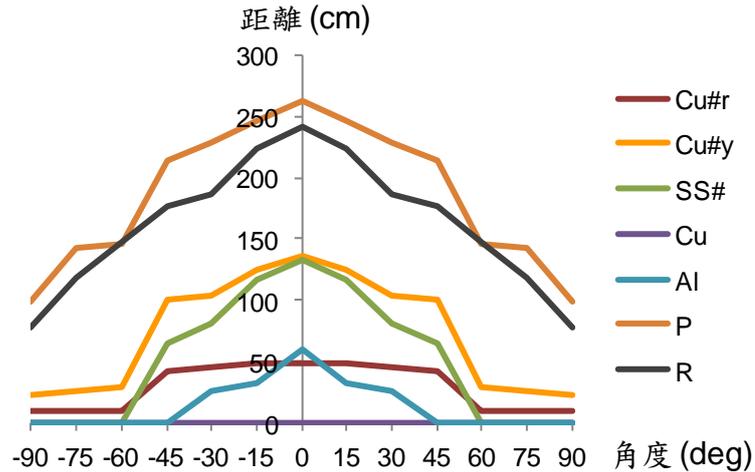


圖 4.3 各種隔離材料對方型標籤的最大標籤可讀距離 (定功率及圓極天線)

線極天線

- (1) 我們對線極天線也做了部份的測試，以黃銅網做為遮蔽層，測試對長條型標籤和方型標籤的影響，其結果在圖 4.4。
- (2) 由結果可看出黃銅網對長條型標籤仍有 100% 的遮蔽效果，對長條型標籤是很好的隔離層材料。
- (3) 黃銅網對方型標籤的遮蔽效果比圓極天線好，但在近距離下 (<20 cm) 遮蔽效果仍不好。
- (4) 故對不同的天線，黃銅網對長條型標籤是很好的隔離層材料，具有 100% 的遮蔽效果。但銅箔對方型標籤之遮蔽效果最好。

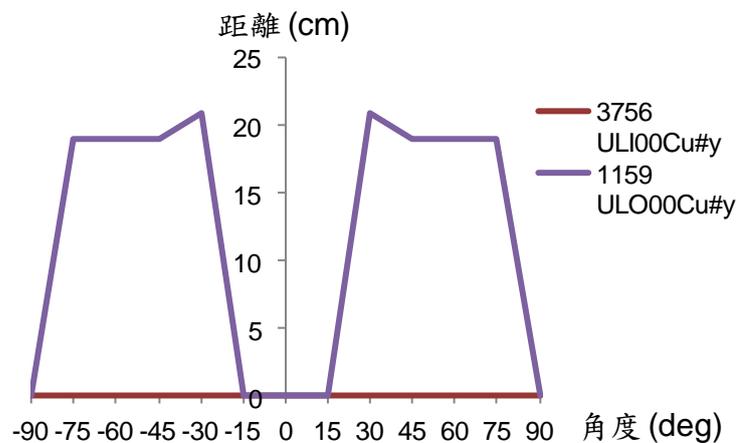


圖 4.4 黃銅網對長條型和方型標籤的最大標籤可讀距離 (定功率及線極天線)

小結論：

1. 由圖 4.2、圖 4.3 和圖 4.4，可看出同一種隔離材料，對不同的天線和標籤有不同的遮蔽效果。
2. 無論使用圓極天線和線極天線，黃銅網對於長條型標籤具有 100% 的遮蔽效果，但對方型標籤僅有部分遮蔽效果。
3. 銅箔對於方型標籤具有 100% 的遮蔽效果，但對長條型標籤僅有部分遮蔽效果。

研究五 標籤移動速度及水分之影響

在測試物件表面磨損的自動偵測時，因為物件可能會移動，本研究要測定識別標籤移動的速度對標籤讀取的影響。研究中以超高頻 UHF RFID 和圓極天線進行測試，標籤並固定在旋轉臂前緣(如圖 5.1)。實驗使用固定的讀取器全功率分別測試馬達轉速在[0, 125/4, 150/4, 175/4, 200/4, 225/4, 415/4, 600/4 rpm]等 8 種轉速下之標籤最大可讀距離。

但在實際測試時，發現了幾個問題：

(1) 馬達轉速難以精確控制

要做各定轉速下的測試，馬達的轉速控制要精準，但馬達出力和轉速之關係不是十分線性。

改善方法：我們也製作了一個旋轉臂轉速控制器，利用橡膠車輪圓盤連上角度感測器，每轉動 20°便增加馬達 1/100 之出力，如此可精確控制馬達轉速。

(2) 轉速計低轉速時解析度不夠

使用的 NXT 馬達最高轉速僅有 150 rpm，換算成汽車行進速度大約為時速 10 km/hr。所使用的轉速計為紅外線反射式，所以在旋轉臂上貼有一片反光片。但該轉速計取樣頻率僅有 4 Hz，在低轉速時解析度不夠，定轉速下連續測量時每次讀到的轉速相差甚大。

改善方法：所以我們自己做了一個反射盤，每 45°貼上反光片，共貼有 8 片反光片(如圖 5.1)，這樣便把轉速計的解析度提高 8 倍，很低的轉速下也可準確測量了。



圖 5.1 移動速度測試



圖 5.2 旋轉臂轉速控制器及其控制程式

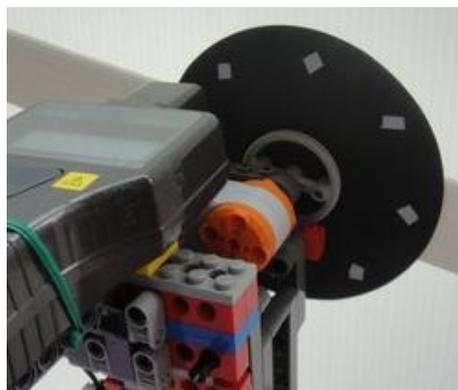


圖 5.3 轉速計反射盤

測試在旋轉動態測試平台上進行，測試程序為：

1. 將天線固定在天線旋轉座上，相對應之識別標籤垂直固定在旋轉臂前緣；
2. 天線對正某待測角度，打開讀取器之讀取功能，設定讀取功率後，開始讓讀取器發射無線電磁波；
3. 將旋轉臂滑座對正天線旋轉座，設定馬達轉速，滑座由 8 m 外緩慢向天線接近，並監看讀取器是否讀取到識別標籤；
4. 監看讀取器是否讀取到識別標籤，首次讀取到標籤之距離即為最大有效讀取距離。

在初次測試時發現若標籤直接貼在旋轉臂前緣時，由於標籤前後或直放橫放均可接收到讀取器之電磁波，因此無法測出標籤移動對讀取距離的影響。因此我們做了改良，將標籤後面加上一層橡膠，再貼覆黃銅網(如圖 5.4)，測試後發現標籤除了垂直天線的正面前外，其他方向均遮蔽電磁波；經過這樣的改善，只有當旋

轉臂前緣正對天線時，讀取器才有反應，符合我們的實驗設計。實驗測試的結果如圖 5.5。



圖 5.4 標籤後面加上一層橡膠，再貼覆黃銅網

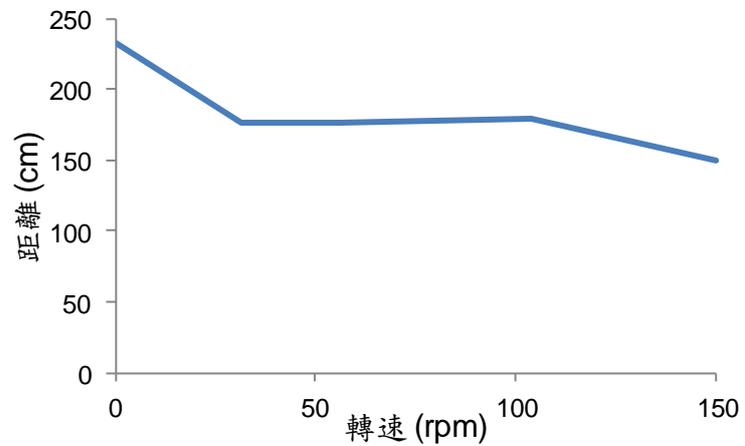


圖 5.5 標籤轉動對讀取之影響

研究五討論

1. 在測試物件轉速對可讀距離之影響效果時，標籤的背面須有適當電磁波遮蔽，實驗才能有正確結果。
2. 由圖 5.5 的結果可看出，物件移動速度對 UHF RFID 的讀取有部份影響。但在移動速度 10 km/hr 下，標籤仍可在 150 mm 內被讀取，約為原距離的 60%。
3. 所以若將我們的表面磨損自動偵測方法應用在車輪磨損之偵測上，車速 10 km/hr 下均可讀取到標籤。
4. 我們亦進行水份對 UHF RFID 讀取的影響，對標籤噴灑水滴，或標籤前有黃銅網遮蔽時噴灑水滴，測試其標籤讀取距離。實驗結果發現，標籤上有水份時會影響標籤讀取，可讀距離縮小為原距離 90%，但若標籤有黃銅網遮蔽時，無論是否有水份，標籤均無法被讀取。

研究六 表面磨損自動偵測之應用

我們所提出的表面磨損自動偵測方法，經過以上的研究測試，說明了在有黃銅網隔離層時，長條型標籤可完全被遮蔽，無法被讀取。等黃銅網被磨耗後，標籤馬上可被讀取；且在物件低速移動或有水分等不良環境條件下，仍可讀取到標籤。這些測試證實了該自動偵測方法的可用性。

為了進一步顯現這方法的實用性，我們挑選了汽車輪胎做為應用的系統。選擇汽車輪胎磨損偵測來應用的原因是現在汽車非常普及，同時因為台灣各種高速公路的設施完善，車輛高速行駛的機會很多。但從新聞媒體上常聽到車輛因車胎磨損而爆胎，使車輛失控衝撞別車或路欄，有些車輛進而翻覆造成重大傷亡。所以如果我們的表面磨損自動偵測方法應用在輪胎磨損自動偵測，就可以給駕駛者提供適時的警告，避免掉很多的不幸。

(一) 車輪磨損自動偵測系統構想

應用於車輛上之構想如圖 6.1 和圖 6.2。

- (1) 圖 6.1 為車輛所有車胎處於正常磨損，資料讀取器無法讀取任何識別標籤，系統判定所有車胎均在正常磨耗狀態。
- (2) 圖 6.2 為車輛前兩輪已過度磨損，資料讀取器可讀取到前兩輪車胎上識別標籤，系統判定前兩輪已達過度磨耗，後兩輪仍為正常磨耗。

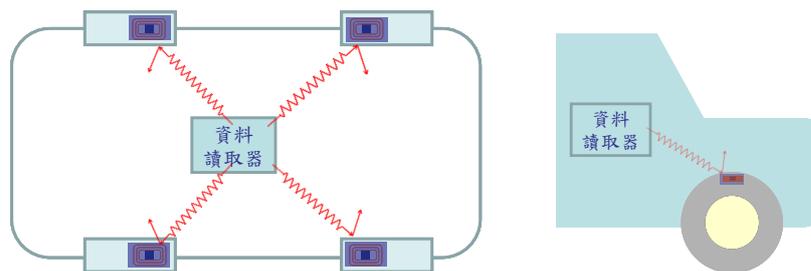


圖 6.1 系統判定所有車胎均在正常磨耗狀態。

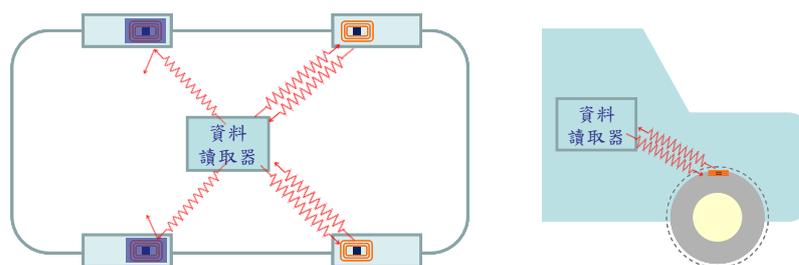


圖 6.2 系統判定前兩輪已達過度磨耗，後兩輪仍為正常磨耗。

(二) 車輪磨損自動偵測之測試

由於車底下多為金屬底盤及車身，RFID 會受到一些干擾。為了測試這個自動偵測方法是否可應用在車輪磨損自動偵測上，我們將 RFID 標籤貼在車胎上如圖 6.3，並用圓極天線進行測試。我們模擬天線可能在車輛的位置，天線分別放在前保險桿下及車底盤正中央以讀取 RFID 標籤(但實際應用時，天線之尺寸可縮減)。



圖 6.3 RFID 標籤貼在車胎



圖 6.4 天線分別由前保險桿下及車底盤正中央讀取 RFID 標籤

測試過程如圖 6.4。由 RFID 檢測程式中可看出，天線在兩個位置上均可讀取標籤，證實在車上的應用是可行的。但未來在實際應用時，建議可在各車輪前的塑膠擋板內安裝小型 RFID 天線，天線和標籤間隔僅有 15 cm，就不會有天線安置空間的問題。且此天線亦可同時作為讀取車輪胎壓主動式 RFID 標籤、車輛防盜 RFID 標籤及其他功能的 RFID 標籤，設備之成本便可降低。

(三) 車輪磨損自動偵測系統之人機介面

以上測試說明了把表面磨損自動偵測方法應用在車輪磨損自動偵測上是可實現的，接著我們發展了該系統的軟體人機介面(如圖 6.5)。我們使用低頻 LF RFID 系統做為模型展示用，在各模型車車輪上貼上 EM4102 型 125 kHz RFID 識別標籤(圖 2.4)，各輪前並有低頻 RFID 讀取器與之對應。此人機介面採用 NI LabVIEW 2009 撰寫(如圖 6.6)，並搭配 NXT 來驅動低頻 RFID 讀取器及資訊交換。各車輪對應之 RFID 標籤識別碼已事先存入。

軟體人機介面的操作程序：

1. 駕駛者先用 RFID 智慧鑰匙 i-Key 啟動全車系統後(如圖 6.7)，系統自動進入車輪磨損自動偵測模式。
2. 遇有任一車輪讀到 RFID 識別標籤時，即判定該車輪過度磨損。
3. 系統將在駕駛者的儀表上顯示過度磨損車輪的位置，並以紅色警示。該警示將一直存在，不會因環境干擾短暫讀不到識別標籤時便熄滅，以免造成駕駛者之困擾。
4. 駕駛者更換新輪胎後，可重設該車輪對應之 RFID 標籤識別碼，系統重新自動偵測車輪磨損。



圖 6.5 車輪磨損自動偵測系統之人機介面

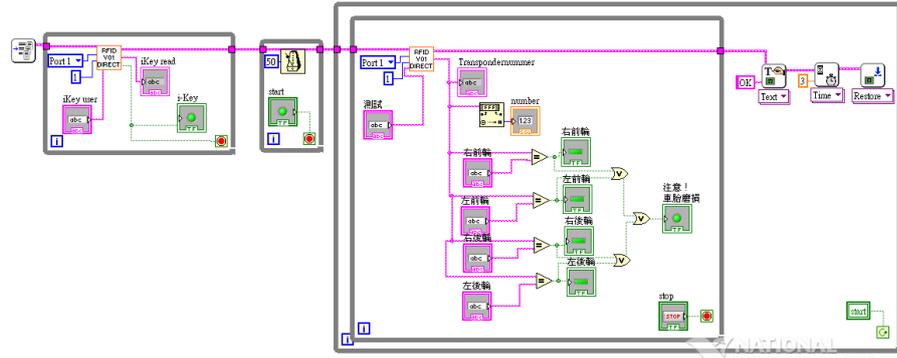


圖 6.6 車輪磨損自動偵測系統之人機介面程式碼

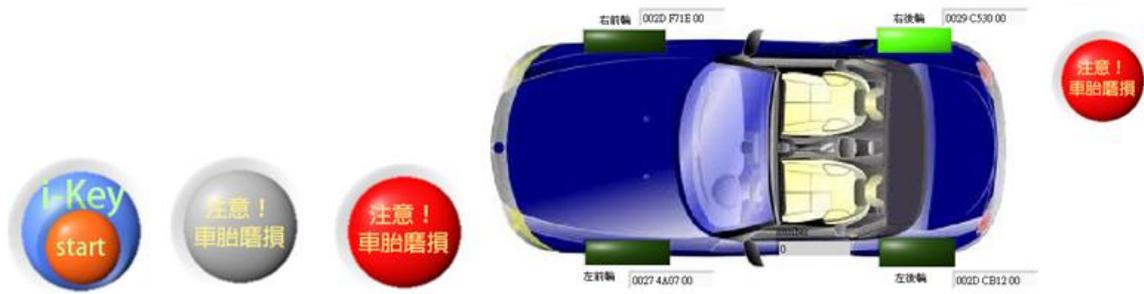


圖 6.7 車輪磨損自動偵測系統啟動訊息及故障警示

伍、結論與應用

1. 本研究提出一種新式表面磨損自動偵測警告系統，可即時、自動、正確的偵測出物件表面的嚴重磨損，並通知使用者，確保操作與使用的安全。
2. 該系統使用 RFID 無線射頻系統及被動式標籤，免維護、無電力不夠問題、系統可靠度高。
3. 研究中測試了影響超高頻 RFID 標籤讀取的各種因素，包括天線角度、物件移動速度、水分、其他物質干擾等，確定了表面磨損自動偵測警告系統的可用性。
4. 測試時，應注意標籤方向性及天線之方向性。
5. 各種金屬物質對 RFID 標籤讀取的干擾效應，與材質、網目密度、厚度、導電度之關係，會再進一步探討其影響。
6. 另外系統可於同一位置僅埋入在同一位置之被動式無線射頻識別標籤數量可為單個或複數個但不同深度，亦即可僅使用單一個識別標籤，用來代表特定之磨損臨界值；但亦可於同一位置附近但不同深度埋入複數個識別標籤，用來代表各種不同的磨損程度。
- 7 研究提出將此表面磨損自動偵測方法應用於車輪磨損自動偵測系統，除已驗證其可行性，並發展出自動偵測系統的人機介面。若能於每輛車之車輪上安裝，將可避免車輛爆胎翻覆等重大傷亡，減少很多家庭的悲傷與不幸。

陸、參考資料及其他

- [1] 陳蘊彥 (2006)，輪胎及其檢測警示機構，中華民國發明專利 I317703
- [2] Brey, T.A. (2006)，胎紋磨損偵測系統，中華民國發明專利，公開號 095107107
- [3] 胡榮勝、李達生 (2010)，RFID 系統及 EPC 標準架構，台大出版中心。
- [4] CODATEX Hainzlmaier GmbH & Co.KG (2011), www.codatex.com
- [5] Product Overview (2011), Alien Technology Corporation,
www.alientechnology.com
- [6] 科學人雜誌(2004)

評語

1. 本作品利用 RFID 與故障觸發的策略，能夠以自動檢測方式偵測輪胎磨損，以避免潛在危險。
2. 前案有使用 RFID 與正常觸發方式的識別標籤，使用無線通訊感測器埋入與正常觸發方式，前者有可能誤判的缺點；後者有主動元件維護及壽命問題，故本作品可以解決前案的問題。
3. 本作品採用故障觸發的策略，因此在結構上有遮蔽層與隔離層，作品中已針對兩層的材料做研究。
4. 建議可以針對 RFID 對壓力的影響對植入輪胎的方式及影響作研究或更多的說明。