

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高中組 生活與應用科學科

040816

智慧型車胎磨耗偵測系統

學校名稱：臺北市立建國高級中學

作者： 高三 蕭季威	指導老師： 廖家榮 惠沁宜
---------------	---------------------

關鍵詞：車胎磨損、磨耗偵測、RFID

# 智慧型車胎磨耗偵測系統

## 摘 要

車輛輪胎過度磨耗會危及車輛的操作安全。本研究建立了車胎磨耗自動偵測系統，在車胎表面下特定深度埋設覆有可隔絕電磁波之隔離層及防干擾層的被動式無線射頻識別標籤，採”故障觸發”方式運作。當車胎表面尚未被磨損到特定深度前，讀取器之電磁波無法穿透隔離層激發標籤，因此無法讀到標籤信息，系統將判定車胎磨損狀況良好。等該車胎過度磨損時，會把該隔離層磨除，使標籤可被激發而讀取到信息，系統藉此判別哪一個車胎已嚴重磨損，自動提出警告。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。測試結果證實本系統可即時有效的偵測到車胎之過度磨損，保障行車安全，讓 507 雪隧事故不再發生。

## 壹、研究動機

媒體常報導車輛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，如 507 雪隧的 2 死 31 傷火燒車事故。難道沒有適當方法來偵測輪胎磨損而防止悲劇發生嗎？因此我進行車胎磨耗自動偵測之研究。

一般車胎磨耗監測方法多為人工監測，例如在車胎表面設有磨損點或磨損線，當車胎磨損到與此磨損點或磨損線等高時，代表磨損已到嚴重狀況，該車胎必須更換。但這些方法均需要人工檢查才能發現磨損已到嚴重狀況，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。

因此設計一個低成本且可靠的車胎磨耗偵測裝置，將可提高車輛行駛之安全，減少車輛事故之發生，讓更多家庭免除傷心與痛苦。

作品與教材相關性：

選修物理	九 電磁感應	法拉第電磁感應定律與感應電動勢
選修物理	九 電磁感應	電磁波：電磁波之產生、傳播及波譜

## 貳、研究目的及項目

本研究提出車胎磨損的自動偵測方法和系統，並測試此方法的各項特性，除瞭解此自動偵測方法的可行性，並可以改善系統的各項設計，增加此系統的實用性。整個研究包含特性探討和應用設計，共分為八個研究子項。

研究目的		研究項目
研究一	系統概述與 RFID 原理探討	(一) 車胎磨損自動偵測之探討 (二) RFID 原理
研究二	車胎磨損自動偵測、測試設備與平台	(一) 車胎磨損自動偵測之構想 (二) 測試設備 - RFID 讀取器、標籤及測試平台
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	標籤後遮蔽層及中間層對標籤之影響	(一) 後遮蔽層對標籤之影響 (二) 中間層對標籤之影響
研究七	智慧型車胎磨耗偵測系統	(一) 車輪磨損自動偵測系統 (二) 大客貨車之輪胎檢查系統
研究八	智慧型車胎磨耗偵測系統實用性評估	(一) 系統製程 (二) 系統耐久性 (三) 系統成本

## 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 透明 EM4102 型標籤		黃銅網 I	黃銅網 II	黃銅網 III	紅銅網	不鏽鋼
	網目密度/cm <sup>2</sup>	625	400	625	49	3
	厚度 mm	0.25	0.25	0.50	0.45	0.50
		銅箔	鋁箔	鉛片	橡膠片	壓克力
	厚度 mm	0.13	0.10	0.38	1.30	3.00
中間層測試材料						
保麗龍	順丁烯二酸酐 MALEIC ANHYDRIDE (C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>x</sub>			二氧化鈦 (TiO <sub>2</sub> )		
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) 車胎磨損自動偵測之探討

本研究想建置車胎磨損自動偵測警告系統，可藉由信號裝置即時偵測出哪些車胎已過度磨損，警告使用者儘快更換。

目前車胎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：

在車胎表面凹處設有一些凸點指標，當車胎磨損到與此凸點等高時，代表已嚴重磨損，必須更換。

##### 2. 磨損線：

在車胎固定深度中埋設特殊顏色或材質之物體，當車胎磨損到出現此物體時，亦代表嚴重磨損，車胎必須更換。

##### 3. 影像監測：

利用影像監測車胎胎紋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。但自動監測的成本高、設置不易且維護困難。

##### 4. 無線通訊感測器：

在車胎中埋射感測器及無線通訊元件，隨時傳送車胎狀況；或埋設光電元件，當過度磨損時即可偵測到外部光線而送出信息。但有維護及電池壽命之問題(陳蘊彥, 2006)。

##### 5. 正常觸發式 RFID 識別標籤：

在車胎中布設有 RFID 識別標籤，以讀取器持續掃描；當車胎磨損時，識別標籤被磨損破壞而無法傳送信息，系統便判定有過度磨損(Brey, 2006)；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，並不適合實際使用。

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經常檢查車輛輪胎，不易發現輪胎磨損。
2. 影像、感測器及無線射頻元件可自動偵測即時提供警示，但設備成本高、系統複雜、又有電池電量的問題，不適合用在此類應用。
3. 綜言之，無線射頻辨識系統 RFID 為應用在車胎磨損警示中最適合之方式。
4. 但目前文獻中的 RFID 辨識方法，採用不斷掃描辨識的”正常觸發”方式，但 RFID 很容易受干擾而無法讀取到，因此誤判率很高。

因此在本研究中，根據方法評估的結果，將應用 RFID 在車胎磨損警示中，但更改”正常觸發”為”故障觸發”，以大幅降低系統的誤判率。

表 1.1 車胎磨損警示方法

系統評估	車胎磨損警示方法					
	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

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，包含整合了微晶片和天線的識別標籤(tag)和讀取器(reader)。當讀取機藉由電磁耦合或微波傳導的方式傳遞能量給標籤時，標籤上的電路即可通電，再將晶片內記憶體的資訊回傳，而讀取器亦可將新的資訊寫入無線射頻識別標籤內，進行資料交換。RFID 在台灣已普遍應用，如台北市的到離校管理系統、捷運悠遊卡等。

RFID 有下列幾種分類法。

(1) 依所使用的無線電波頻率：

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

但環境中的常見物質會對 RFID 的電磁波傳遞產生干擾效應，如表 1.3；由該表可知：

- (a) 金屬、石墨可遮蔽 RFID 電磁波，故可作為研究中的電磁波隔離層，但也要注意周遭的金屬干擾效應。
- (b) 水會吸收 UHF 的電磁波，故研究中要注意車胎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；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 車胎磨損自動偵測、測試設備與平台

### (一) 車胎磨損自動偵測之構想

車胎要使用一段長時間後，才有過度磨損之問題，所以車胎磨損偵測的特性為：(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。研究一討論過現行的車胎磨損自動偵測方法，但均有應用上的缺點，所以在安全上亟需發展一個良好的車胎磨損偵測方法。

由於 RFID 的電力需求小、安裝方便、反應快、穿透性良好，我提出一個使用 RFID 在車胎磨損自動偵測的新構想，如圖 2.1，包括監測系統、RFID 資料讀取器、電磁波隔離片、防干擾層及 RFID 被動式標籤。

其方法是把被動式 RFID 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，後方加上防干擾層，形成一個 RFID 標籤盒，並埋設在車胎表面下固定深度，如圖 2.1。系統工作原理如下：

1. 如圖 2.1，當車胎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，系統將判定車胎磨損狀況良好。
2. 如圖 2.2，該車胎因未到過度磨損，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，系統判斷車胎磨損狀況正常。

3. 如圖 2.3，車胎嚴重磨損，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，系統將可以辨識此標籤，進而可判別哪一個車胎已有過度磨損之狀況，而自動提出警告信號。

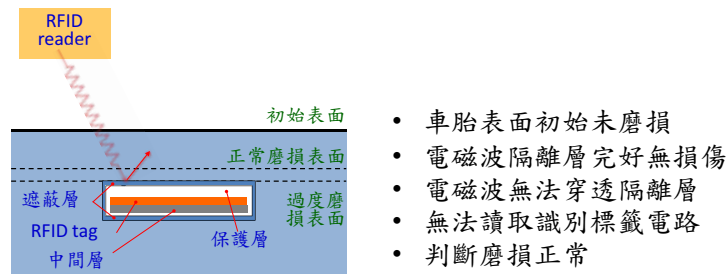


圖 2.1 車胎表面正常磨損，讀取器無法讀取標籤，系統判斷磨損正常。

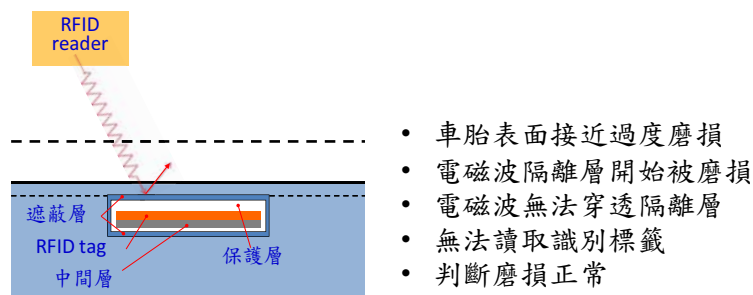


圖 2.2 車胎表面開始磨損，讀取器無法讀取標籤，系統判斷磨損正常。

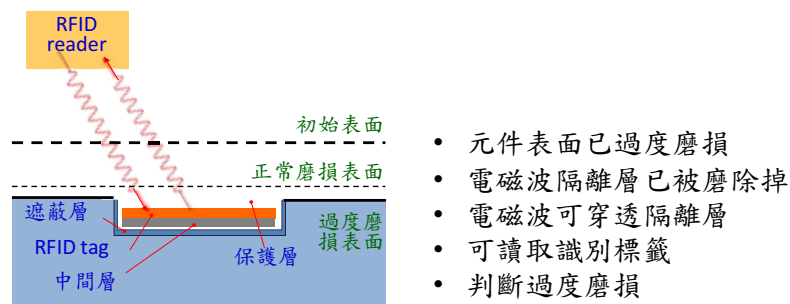


圖 2.3 車胎表面已過度磨損，電磁波隔離層被磨除，讀取器可讀取標籤，系統判斷磨損嚴重

表 2.1 列出此方法在不同狀態下的標籤讀取情形，只有當車胎表面有嚴重磨損時，系統才會讀到 RFID，並持續監測是否一段較長時間內都讀到標籤；即使後續因環境干擾(如電磁波干擾、移動)使讀取 RFID 標籤信息時斷時續，仍會判定車胎已嚴重磨損，因此誤判率非常低。其他”正常即觸發”之方式，常被外在干擾(例如車輪高速轉動或路面積水)而讀不到標籤信息造成判定錯誤。

表 2.1 車胎表面磨損偵測方法不同狀態下標的籤讀取情形

狀態	車胎表面磨損狀況	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

此車胎磨損偵測方法因為使用被動式 RFID 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，且系統採用創新之“故障即觸發”之方式，要有過度磨損才觸發，系統之誤判率低。相較於其他方法，此方法在各方面都可解決不同的問題，如表 2.2，證實我們構想的車胎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 車胎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

包括 RFID 讀取器和標籤，及自製的 RFID 讀取測試平台，以進行車胎警示偵測的特性量測。

### 1. RFID 讀取器和標籤

在特性測試和實際系統測試，均使用超高頻 RFID 讀取器，讀取範圍較長，可模擬在汽車之實際應用條件；但在建立本系統的展示系統時，將使用體積較小的低頻 RFID 讀取器。

#### (1) 低頻 LF RFID 讀取器

可讀取 EM4102 型 125 kHz RFID 標籤，但讀取距離最多為 30 mm，且受讀取方向影響。





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

可讀取 902.75 MHz~927.25 MHz 的 RFID EPC Gen2 識別標籤，符合 ISO 18000-6c 國際標準，最大 RF 功率為 4W。可讀取距離依天線種類而有所不同，讀取方向亦會嚴重影響讀取距離。

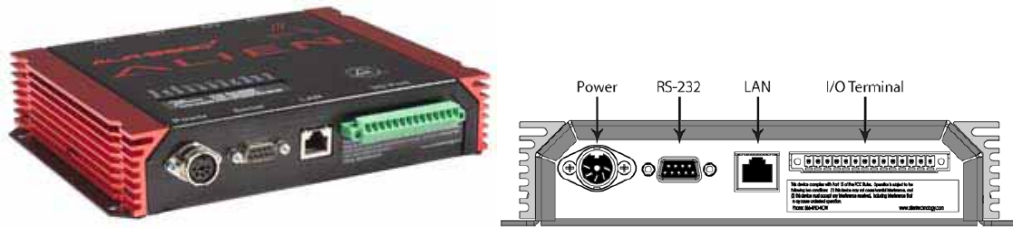


圖 2.5 超高頻 RFID 讀取器 ALR-9900-TAI (Alien, 2011)

(3) 讀取器天線

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

使用兩種 RFID 超高頻識別標籤，分別是長條型的 ALL-9540 標籤和方型的 ALL-9534。



圖 2.7 RFID UHF 識別標籤 (a) ALL-9540 標籤 (b) ALL-9534 標籤

## 2. 自製 RFID 讀取測試平台

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(距離、方向、環境介質)和動態特性(移動)。

### (1) 距離角度靜態測試平台

此靜態測試平台(圖 2.8)，包括天線旋轉座、角度尺、導引滑軌(附刻度尺)、標籤滑座，以測量天線和標籤間之距離與方向對讀取標籤資訊的影響。天線可於旋轉座上自由旋轉；標籤滑座則跨騎在旋轉座零度方向之導引滑軌上，可前後滑動，識別標籤則貼於滑座上。



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

動態測試平台(圖 2.9)多了旋轉臂滑座，可測量標籤移動的速度對讀取標籤資訊的影響，而旋轉臂滑座上固定有伺服馬達、速度計及標籤旋轉臂。馬達設定以不同轉速旋轉，使旋轉臂前緣之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。

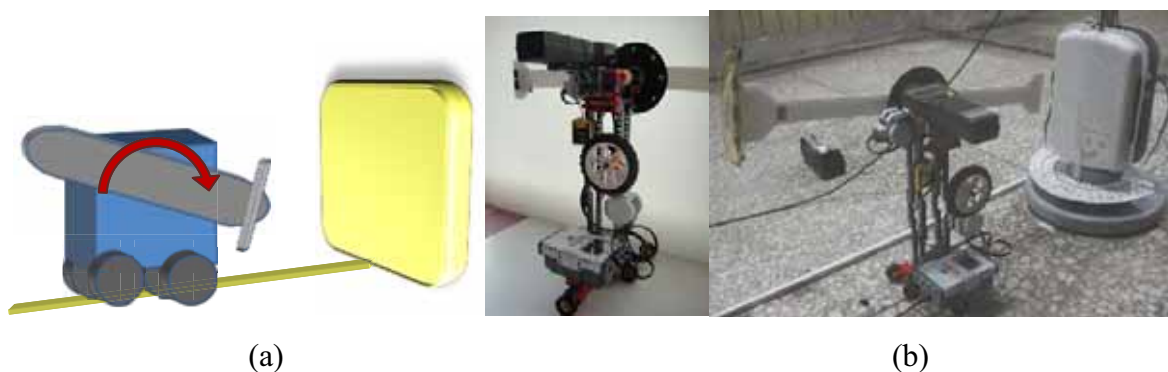


圖 2.9 旋轉動態測試平台；(a) 平台設計圖；(b) 測試平台實體圖

### 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，識別標籤的最大可讀取距離。測試中使用超高頻 UHF 讀取器，並分別使用圓極和線極兩種不同之天線進行測試。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°到 90°(間隔 15°)等 13 個天線角度。

先在靜態測試平台上檢測各個標籤，選出標籤讀取特性最相近的兩個標籤進行實驗；測試的程序為：

- (1) 將天線固定在天線旋轉座上，識別標籤固定標籤滑座上；
- (2) 天線對正某待測角度，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，直到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. 標籤最大可讀距離測試

圖 3.1 為實驗過程，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) 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) #3575 標籤已損壞，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 個方型標籤之可讀距離較接近，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

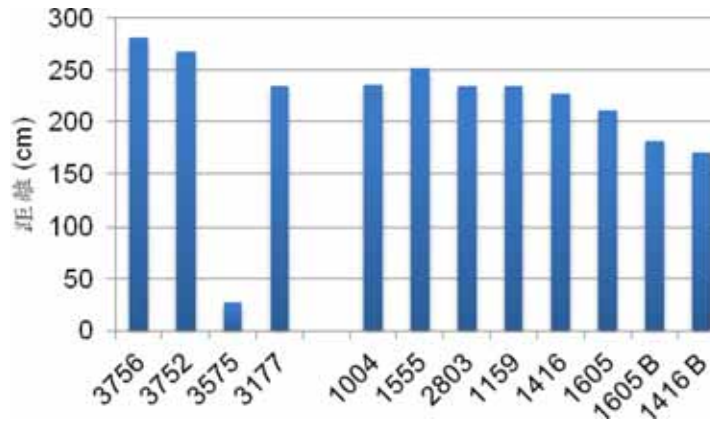


圖 3.2 各種標籤之最大可讀取距離

## 2. 讀取器功率對標籤最大可讀距離之影響

實驗使用[0db, 3db, 6db, 9db, 12db, 15db]等 6 種功率衰減程度，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) 對長條型標籤在  $m$  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) 方型標籤在  $m$  db 功率衰減下，標籤可讀距離可用下式表示。

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

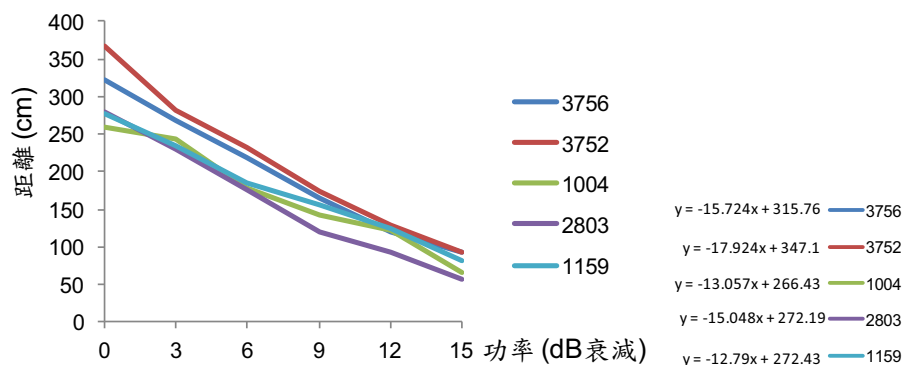


圖 3.3 各種讀取器功率之標籤最大可讀取距離

## 3. 天線角度對標籤最大可讀距離之影響

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

### 圓極天線

- (1) 由圖 3.4 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，長條型標籤在 60°時及垂直 90°時，可讀取距離分別減少為 48%及 24%，方型標籤在 60°及垂直 90°時，可讀取距離分別減少為 59%及 36%。
- (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。

### 線極天線

- (4) 由圖 3.5 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。

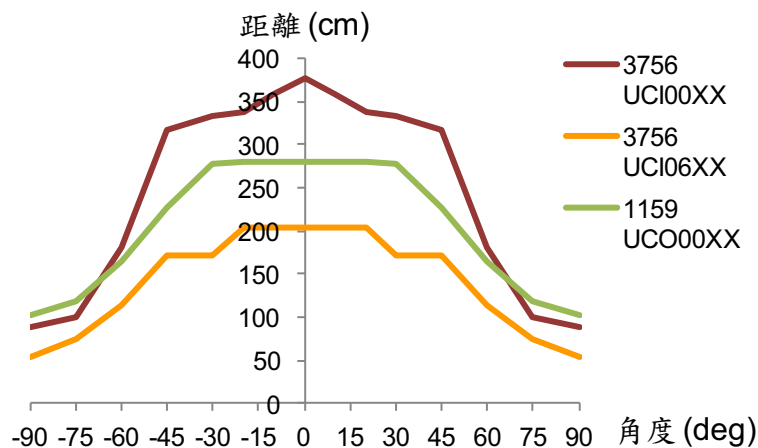


圖 3.4 不同功率下使用圓極天線之標籤最大可讀取距離

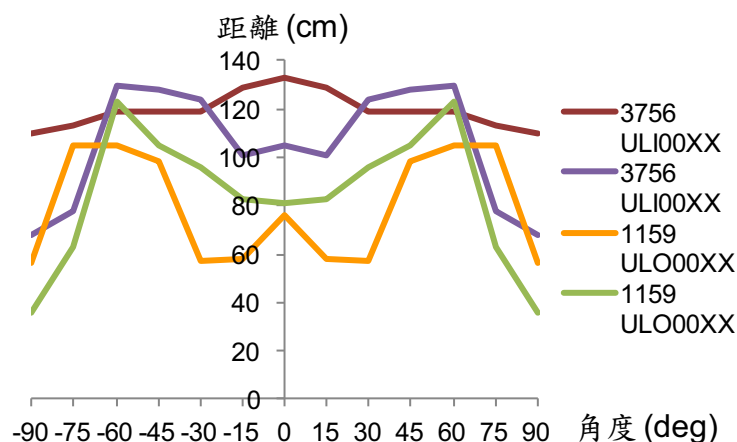


圖 3.5 不同功率下使用線極天線之標籤最大可讀取距離



#### 研究四 標籤前遮蔽層之影響

此車胎磨損自動偵測方法中，在 RFID 周遭要有一層質地軟易被磨除的電磁波隔離層；我們測試了幾種金屬網或金屬板，並討論網目密度及厚度的遮蔽效果。所選取的材料有黃銅網(Cu#y，有三種，不同網目密度及厚度)、紅銅網(Cu#r)、不鏽鋼(SS#)、銅箔(Cu)、鉛片(Pb)、橡膠片(R)、壓克力片(P)等 9 種材料。

測試在靜態測試平台上進行，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。

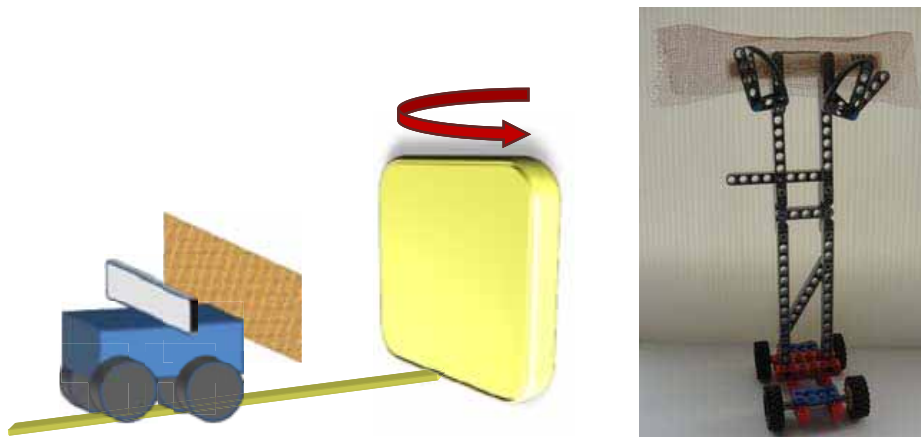


圖 4.1 靜態測試平台及前面有遮蔽材料之標籤

本研究四的測試結果與討論如下：

- (1) 由圖 4.2、圖 4.3 及圖 4.4 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。

##### 長條型標籤

- (1) 遮蔽層的影響結果在圖 4.2 及圖 4.3，與圖 3.4 比較，可看出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 > 紅銅網 > 鉛片 > 不銹鋼網 > 鋁箔 > 紅銅片

- (2) 實心的銅箔和鋁箔其遮蔽效果不一定比金屬網佳。金屬網均有很好的遮蔽效果，尤其是黃銅網對長條型標籤有 100% 的遮蔽效果，是很好的隔離層材料。
- (3) 金屬材料的 RFID 長條型標籤遮蔽效果，黃銅網的網目密度越大、厚度越厚，遮蔽效果越好。

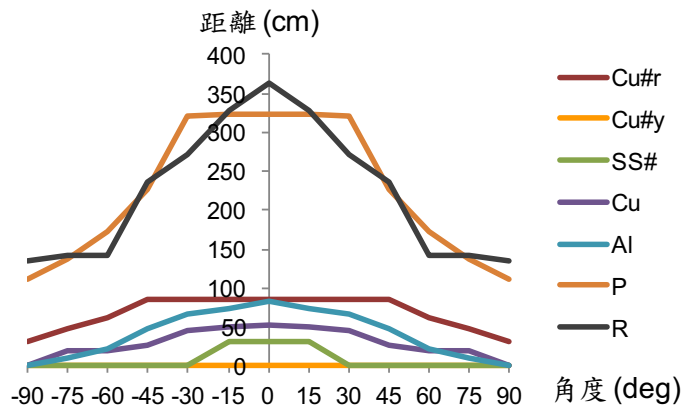


圖 4.2 各種隔離材料對長條型標籤的最大標籤可讀距離 (定功率及圓極天線)

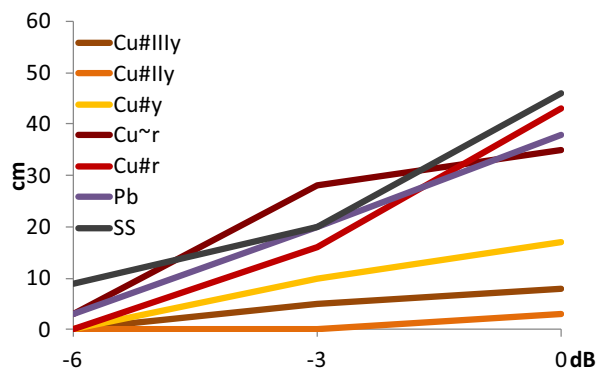


圖 4.3 各種隔離材料對長條型標籤的最大標籤可讀距離 (定角度及圓極天線)

### 方型標籤

(1) 遮蔽層的影響結果在圖 4.3，與圖 3.4 比較，可看出金屬材料對方型標籤有很強的影響，標籤可讀取距離大約減少為 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

(2) 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。黃銅網的遮蔽效果則反而在金屬類中最不好。

### 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。

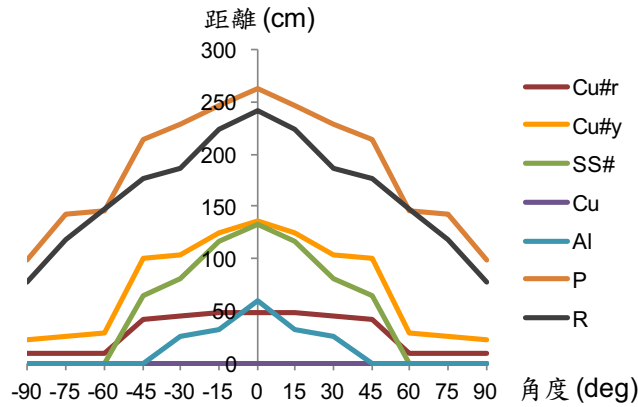


圖 4.4 各種隔離材料對方型標籤的最大標籤可讀距離 (定功率及圓極天線)

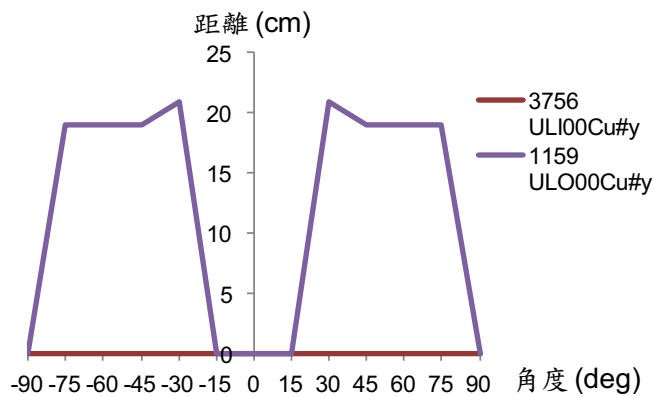


圖 4.5 黃銅網對長條型和方型標籤的最大標籤可讀距離 (定功率及線極天線)

小結論：

1. 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. 無論使用圓極或線極天線，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

因為車胎會經常轉動，必須測定標籤移動的速度對標籤讀取的影響。研究中以 UHF RFID 和圓極天線進行測試，標籤固定在旋轉臂前緣(如圖 5.1)，分別測試正對天線且讀取器全功率時不同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

因馬達出力和轉速之關係不是十分線性，馬達的轉速控制不精準。

改善方法：製作了旋轉臂轉速控制器，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

所使用的紅外線反射式轉速計取樣頻率僅有 4 Hz，在低轉速時解析度不夠。

改善方法：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)，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。

(3) 標籤若直接貼在旋轉臂前緣，標籤會接收到傳至背面的電磁波，影響量測結果。

改善方法：在標籤後面加上一層黃銅網(如圖 5.4)，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 5.1 移動速度測試



圖 5.2 旋轉臂轉速控制器及其控制程式

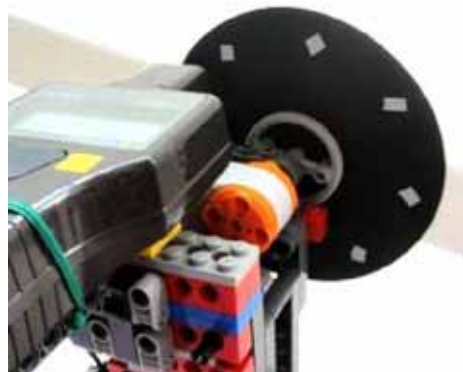


圖 5.3 轉速計反射盤



圖 5.4 標籤後面加上一層橡膠，再貼覆黃銅網

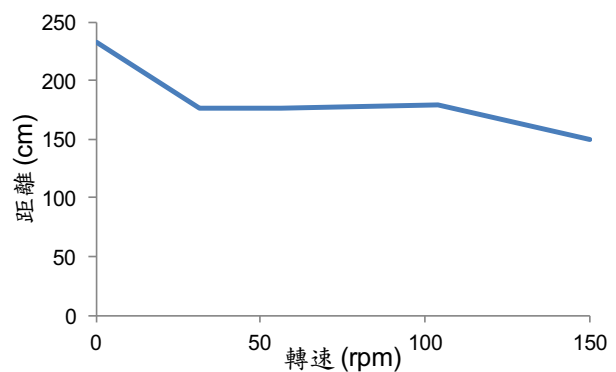


圖 5.5 標籤轉動對讀取之影響

## 研究五討論

1. 由圖 5.5 可看出，車胎移動速度對 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 cm 內被讀取，約為原距離的 60%。
2. 我們亦進行水份對 UHF RFID 讀取的影響，實驗結果發現標籤上有水份時會使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 標籤後遮蔽層及中間層對標籤之影響

為防止未過度磨損前，識別標籤被讀取器讀取到，識別標籤必須封在遮蔽層及隔離層中。但標籤後的後遮蔽層卻會干擾識別標籤之信號回傳，使讀取器無法讀取到識別標籤。可行的解決方法是在標籤和後遮蔽層之間插入高介電係數之物質當作中間層，以減少後遮蔽層的干擾效應 [7]。

本研究目的在測定後遮蔽層對識別標籤的干擾程度，並找出適當之中間層物質，來減少後遮蔽層的干擾效應。中間層物質的介電係數愈高，其防干擾性愈強 [7]。我們先蒐尋資料，找出幾種物質的介電係數，再測試其防干擾性。表 6.1 為幾種常見材料的介電係數，表 6.2 為高介電係數的材料。

表 6.1 常見材料的介電係數

材料	空氣	保麗龍	紙	尼龍	聚苯乙烯	電木	雲母	合成橡膠	乙醇	蒸餾水	二氧化鈦
介電係數	1.0006	1.27	2.0~3.0	3.5	2.56	4.9	6	6.7	24.3	81	100
外觀	氣體	固體	固體	固體	固體	固體	固體	固體	液體	液體	白色粉末

表 6.2 高介電係數的材料

材料	MALEIC ANHYDRIDE 順丁烯二酸酐 (C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>x</sub>	ETHYLENE CYANIDE 丁二腈 NC CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CN	ACETAMIDE 乙酰胺 CH <sub>3</sub> CONH <sub>2</sub>	二氧化鈦 TiO <sub>2</sub>
介電係數	51.0	58.3	59.0	100
外觀	白色晶體	無色蠟狀固體	無色晶體	白色粉末

因中間層物質，必須是固體，且具有高介電係數，而丁二腈不易購買到，乙酰胺則不易研磨成細粉。因此最後採用順丁烯二酸酐(MA)及二氧化鈦，並以保麗龍和膠帶作為對照組。

圖 6.1 為自製的各種單層中間層。而保麗龍則是將其桿壓至 0.785 mm 厚，形成單層中間層。依序將標籤、中間層、後遮蔽層緊密固定好，避免有空氣層或電磁波滲入，再測試不同中間層厚度及材料時長條型標籤的最大可讀取距離(如圖 6.2)。



二氧化鈦

順丁烯二酸酐(MA)

保麗龍

圖 6.1 單層中間層



圖 6.2 靜態測試平台及後面有中間層及隔離層之標籤

測試結果與討論如下：

1. 圖 6.3、6.4 為使用二氧化鈦(單層厚度 0.0008 mm)、順丁烯二酸酐(MA)(單層厚度 0.1133 mm)、保麗龍(單層厚度 0.785 mm)、膠帶當中間層，其最大標籤可讀距離與中間層厚度及天線功率之關係。由圖可看出：

- (1) 中間層厚度愈厚，對降低後遮蔽層干擾之效果愈好。
- (2) 二氧化鈦比 MA 有較好的防干擾性，證明材料之介電係數愈高，其防干擾性愈好。
- (3) 由圖 6.4 可知保麗龍在 2 層以上，開始具有防干擾性。但保麗龍每層厚度達 0.785 mm，故其防干擾性的增加主要是來自厚度造成之間距，而非本身的介電效應之影響。
- (4) 膠帶無任何防干擾性，因此高介電材料被封裝在膠帶中，其防干擾性完全是來自高介電材料。

2. 由以上之測試結果可推定中間層之材料使用二氧化鈦具有非常良好之效果(如圖 6.3)，只要 0.008 mm，即可有 99 cm 以上之可讀距離，可讓 RFID 標籤在有後金屬隔離層之情形下，仍可有效被讀取。

3. 但高介電材料之中間層容易引起介電效應(di-electric effect)，會產生電容效應引起放電，使電磁波產生頻率的偏移；本實驗中使用高介電之二氧化鈦，當厚度超過 0.008 mm 時，可看到明顯的介電效應。但未來設計天線時可透過調整頻率來預先補償頻率偏調 [3]。

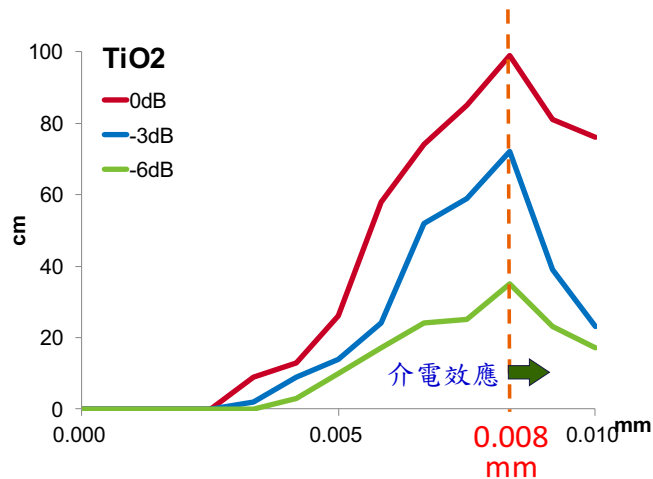


圖 6.3 使用不同厚度之二氧化鈦中間層，其最大標籤可讀距離 (單層 0.0008 mm)

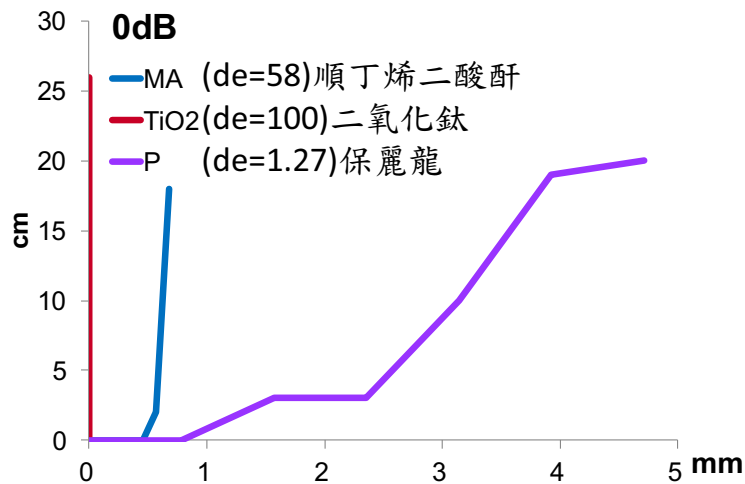


圖 6.4 不同介電係數材料之厚度與最大標籤可讀距離之關係

## 研究七 智慧型車胎磨耗偵測系統

對於車胎磨損自動偵測方法，經過以上的研究測試，說明了

- (1) 在有黃銅網隔離層時，RFID 標籤可完全被遮蔽，無法被讀取；
- (2) 等黃銅網被磨耗後，標籤馬上可被讀取；
- (3) 且在車胎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。

媒體常報導車胎磨損而爆胎導致重大人車傷亡，如今年五月雪隧 2 死 31 傷火燒車事故(圖 7.1)，便起因於車胎過度磨損所造成的爆胎。據統計死亡交通事故之肇事原因中，車輪爆胎便佔了 13%(如圖 7.2)；僅 2010 年高速公路上車輪爆胎便造成 388 件交通意外，共 13 人死亡，189 人受傷，爆胎原因以車胎過度磨損為主。如果善加應用我們的車胎磨損自動偵測方法，就可及時警告駕駛，避免不幸。



圖 7.1 今年五月雪隧 2 死 31 傷火燒車事故

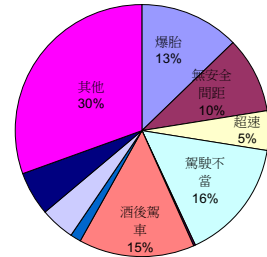


圖 7.2 2008~2010 年交通事故造成立即死亡的 A1 事件肇事原因

## (一) 車輪磨損自動偵測系統

### 1. 車輪磨損自動偵測系統 RFID 標籤盒

藉由以上的多項研究，我們瞭解了 RFID 標籤的讀取特性，並確定了各種干擾標籤讀取的環境因素不影響車輪磨損自動偵測系統運作，更找出了黃銅網為最佳之電磁波隔離層，而二氧化鈦則為最佳之防干擾層，最後利用這些成果製作出了 RFID 標籤盒(如圖 7.3)。

為了測試研究中設計製作之 RFID 標籤盒，實際埋設於輪胎中時是否可以順利運作，我們將 RFID 標籤盒埋入輪胎中，再將 RFID 標籤盒的各層依序移除，並以 RFID 讀取器測量是否可讀取到訊號，模擬於車輛行駛時標籤盒各層被磨損掉之情況(如圖 7.4)。測試結果發現，RFID 讀取器在標籤盒各層未移除前讀取不到訊號，但是當遮蔽層被移除後，便可讀取到訊號，代表車胎已過度磨損，顯示了智慧型車胎磨耗偵測系統應用於時際車胎上時是可行的，系統可如預期的順利運作。

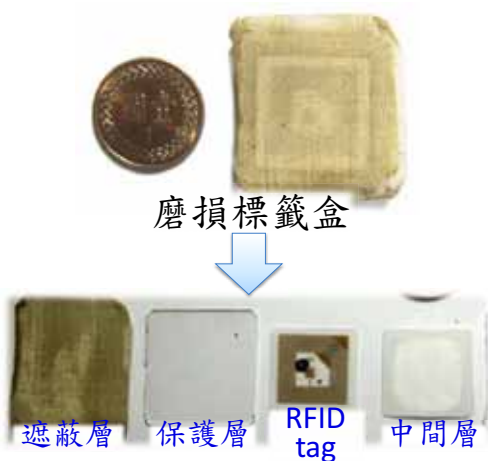


圖 7.3 RFID 標籤盒

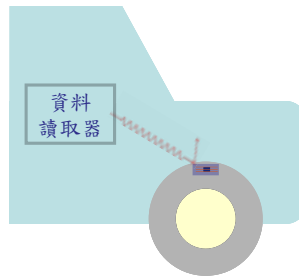
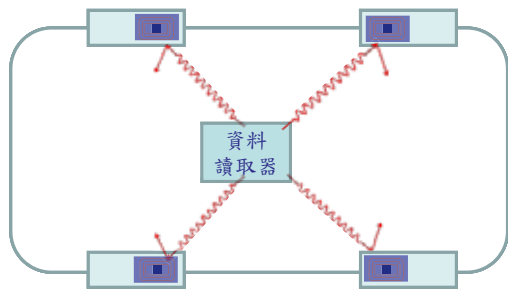


圖 7.4 車胎磨耗自動偵測系統實際測試

### 2. 車輪磨損自動偵測系統構想

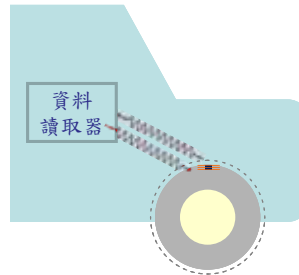
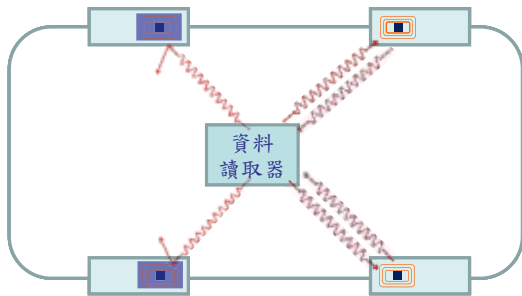
應用於車輛上之構想如圖 7.5 和圖 7.6。





- 車胎表面初始未磨損
- 電磁波隔離層完好無損傷
- 電磁波無法穿透隔離層
- 無法讀取識別標籤電路
- 判斷磨損正常

圖 7.5 系統判定所有車胎均在正常磨耗狀態。



- 元件表面已過度磨損
- 電磁波隔離層已被磨除掉
- 電磁波可穿透隔離層
- 可讀取識別標籤
- 判斷過度磨損

圖 7.6 系統判定前兩輪已達過度磨耗，後兩輪仍為正常磨耗。

### 3. 車輪磨損自動偵測之測試

將 RFID 標籤貼在車胎上如圖 7.7，並用圓極天線分別放在前保險桿下及車底盤正中央，測試了金屬底盤及車身是否會干擾 RFID 讀取。(但實際應用時，天線之尺寸可縮減)。



圖 7.7 RFID 標籤貼在車胎



圖 7.8 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 7.8。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。

#### 4. 車輪磨損自動偵測系統之人機介面

以上測試說明了車胎磨損自動偵測方法是可實現的，接著發展該系統的軟體人機介面(如圖 7.9)，使用低頻 RFID 系統做為模型展示用，並撰寫人機介面(如圖 7.10)，操作程序如下：

1. 駕駛者先用 RFID 智慧鑰匙 i-Key 啟動全車系統後(如圖 7.11)，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. 系統將在儀表上以紅燈持續警示該車輪過度磨損，不會因環境干擾短暫讀不到識別標籤時便熄滅，以免造成誤判。
4. 更換新輪胎後重設該車輪對應之 RFID 標籤識別碼，系統重新自動偵測車輪磨損。

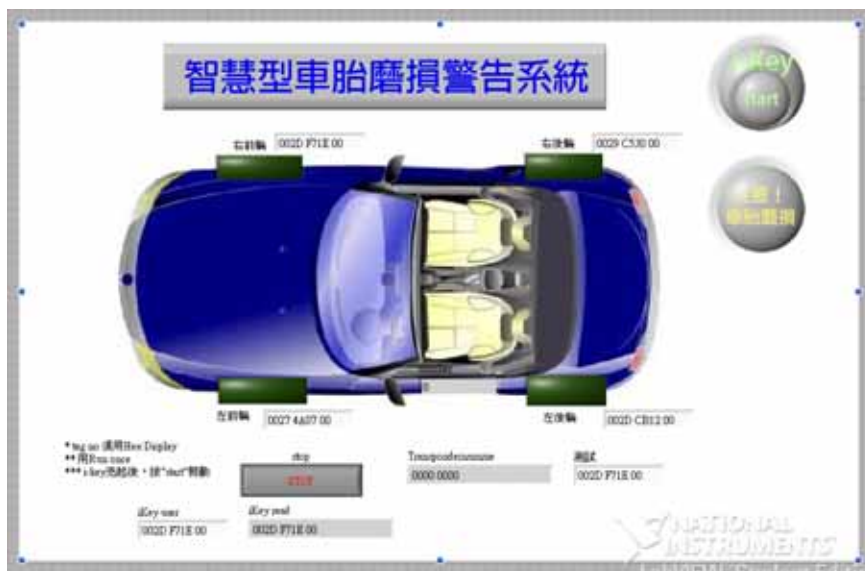


圖 7.9 車輪磨損自動偵測系統之人機介面

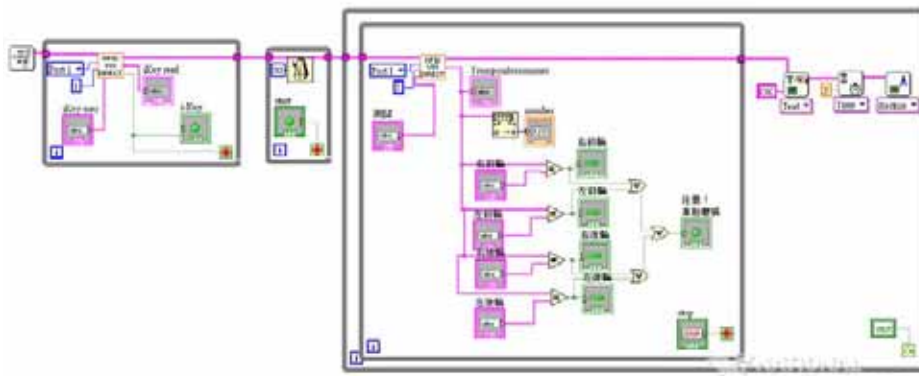


圖 7.10 車輪磨損自動偵測系統之人機介面程式碼

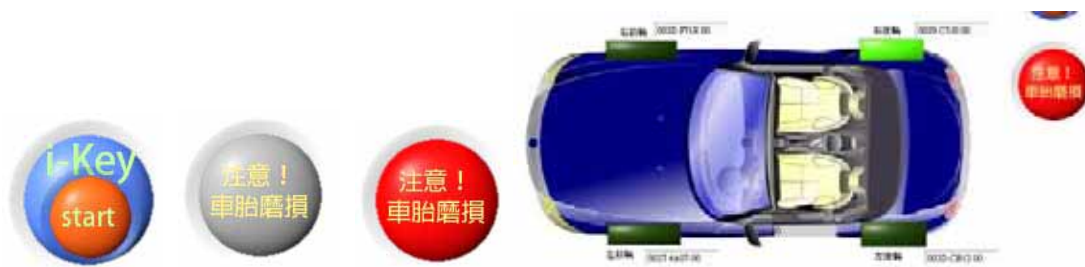


圖 7.11 車輪磨損自動偵測系統啟動訊息及故障警示

## (二) 大客貨車之輪胎檢查系統

車輪過度磨損時，自小客車因輪胎成本較低，較會主動更換；但營業大客貨車因輪胎磨耗快、成本高、且數量多，因此較不願主動更換，甚至會使用翻修胎來減少成本。但大客貨車因載重較重，爆胎時極易失控，輕則翻修胎皮剝落而危及後車安全，或車輛自行撞擊護欄造成車輛毀損；重則撞擊其他無辜車輛，甚至經常翻越護欄，衝越到對向車道與對向車強烈撞擊，造成慘重之傷亡（2008~2010 年共發生五起聯結車車輪爆胎衝越到對向車道，造成 9 死 10 傷）。

因此對於大客貨車，除了車上裝設車輪磨損自動偵測系統來提醒駕駛者外，更應該有官方之檢查系統來強制大客貨車駕駛更換過度磨損之車胎。所以在這個研究項目中，進行了該系統的設計與測試。

該輪胎檢查系統主要是將 RFID 天線埋設在大型車之車道上(如收費站、地磅站等)，並在大客貨車輪胎中植入本研究發展的磨損標籤盒以及檢查大客貨車是否使用有磨損標籤的 RFID 輪胎的認證標籤。該系統需各輪胎廠有共同辨識碼之標準，或在被動式標籤中即寫入代表認證標籤或磨損標籤訊息；磨損標籤可判別哪些車胎已過度磨損，而認證標籤則埋設在車胎側邊，可避免駕駛使用非 RFID 輪胎，使讀取器永遠讀不到磨損標籤而逃避檢查。認證標籤與磨損標籤之示意圖如圖 7.12。

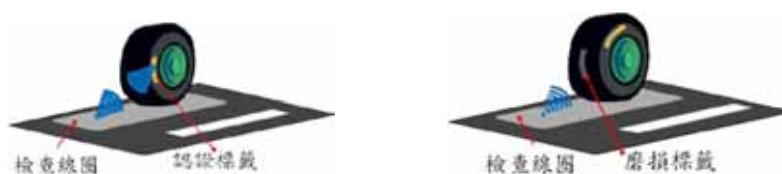


圖 7.12 輪胎認證標籤與磨損標籤之示意圖

研究中輪胎檢查系統使用 LF RFID 發展示範系統(圖 7.14)，其工作原理為 (流程圖如圖 7.13)：

- (1) 當大客貨車緩速通過該車道時，先讀到車頭前的車身碼，而顯示該車的輪數及配置。
- (2) 車輛緩慢前進時，RFID 讀取器自動讀取所有輪胎的認證標籤和磨損標籤。
- (3) 在人機介面上顯示非 RFID 輪胎及過度磨損輪胎。
- (3) 若認證標籤數和輪胎數符合時，可確定該大客貨車之所有輪胎均為 RFID 輪胎。
- (4) 若 RFID 讀取器讀取到該車任何輪胎中的磨損標籤，則須當場更換為安全輪胎再行上路。





圖 7.13 輪胎檢查系統之工作原理流程圖

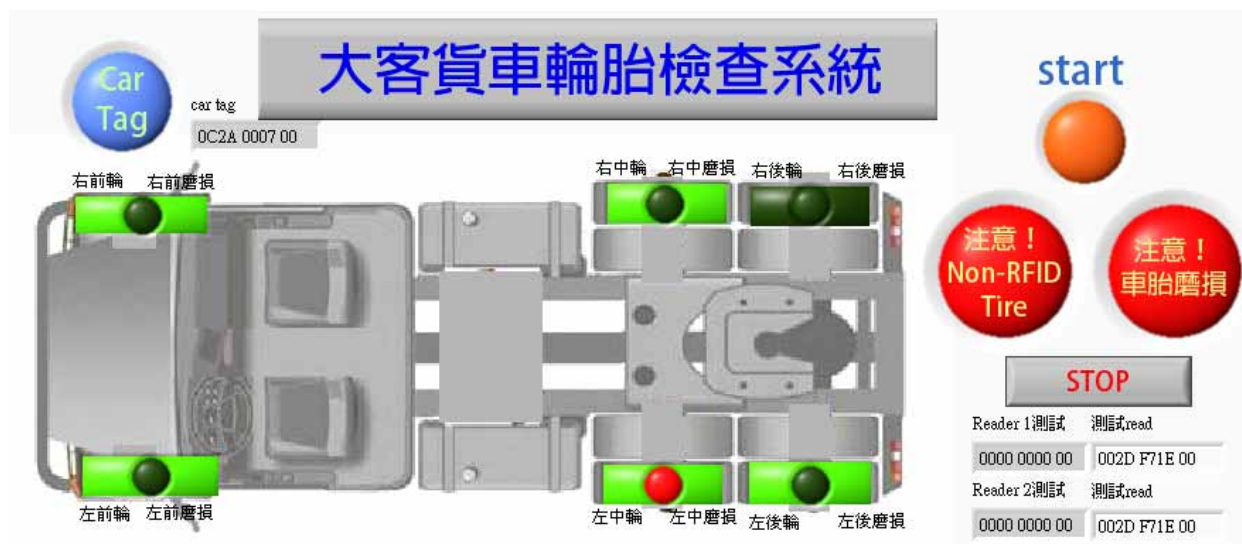


圖 7.14 大客貨車輪胎檢查系統

#### 研究八 智慧型車胎磨耗偵測系統實用性評估

以上研究證實了該系統的可用性，但仍需評估系統實際使用於車輛上時的運作效果、製程、耐久性及成本等。

##### (一) 系統製程

輪胎製作時，先將鋼絲層等包覆在一圓筒上再纏上橡膠層，最後放入模具中加熱加壓使其膠料分子進行重新排列並擠壓出胎紋。因此只要於纏繞橡膠層之前先將 **RFID** 標籤盒固定於特定位置上，便可順利埋設在輪胎內。

另外輪胎大廠米其林也已在輪胎上加裝 **RFID**，作為產品的供應鏈與生命週期管理。由此可知目前已有輪胎加裝 **RFID** 的技術及程序，同理 **RFID** 標籤盒可以很容易埋設在輪胎內。

## (二) 系統耐久性

RFID 標籤盒整個密封於輪胎橡膠層內，耐久性之評估如表 8.1。

表 8.1 智慧型車胎磨耗偵測系統耐久性評估

問題	結果	說明
材料間反應	互相不起反應	材料性質穩定
維護及電池問題	無問題	採用被動式 RFID 標籤
橡膠胎面強度	不被影響	汽車輪胎直徑約 540 mm，橡膠胎面約厚 40 mm (連胎紋)。RFID 標籤盒厚 2 mm，僅為胎面厚的 5%。且製作時是先放在環帶層上，再讓熔化的橡膠完全包覆住 RFID 標籤盒，兩者完全緊密貼合。
標籤晶片被壓壞	無壓壞之虞	RFID 標籤的晶片厚度僅 0.4 mm，面積僅 2 mm <sup>2</sup> ；而輪胎與地面接觸面積約 12x20=250 cm <sup>2</sup> ，晶片面積僅佔 0.008%。若以 Toyota Altis 1.8 車重 1260 kg，加上四名乘客，總重約 1500 kg，每輪負荷 375 kg，則晶片的面積僅受到 $375 \times 0.008\% = 0.03 \text{ kg} = 30 \text{ g}$ 之力量，且對晶片的微小面積，此力量可視為水平均勻施加，不會有彎折的問題，經過以推力計測試後，證實 RFID 標籤晶片至少可受 100 g 以上的力而不會損壞。且標籤上有金屬遮蔽層保護。

## (三) 系統成本

2006 年 UHF tag 約 US \$0.15 元(NT 4.5 元)，若大量生產後，價格會大幅下降。且本系統可與車上現有之胎壓偵測系統(Tire Pressure Monitoring System, TPMS)共用天線及 RFID reader，不需再花成本。若磨損偵測要單獨設 reader，僅需一個 reader 及四個小型天線即可，未量產前成本約 2800 元，量產後價格預估 700 元。對安全的設備，相較於一組約 6000 元的胎壓偵測系統或一萬元的安全氣囊，本系統是非常低成本但高效益的設備。

## 伍、結論與討論

1. 本研究提出新式車胎磨損自動偵測警告系統，可即時、自動、正確的偵測出車胎嚴重磨損，並通知使用者，確保操作與使用的安全。且該系統免維護、無電力問題、可靠度高。
2. 研究中測試了影響 UHF RFID 標籤讀取的各種因素，包括天線角度、車胎移動速度、水分、其他物質干擾等，確定了本系統的可用性。
3. 對 RFID 標籤盒的材料，由測試中找出黃銅網為最佳遮蔽層，TiO<sub>2</sub> 為最佳中間層。且測試發現 TiO<sub>2</sub> 對後遮蔽層有相當優秀之防干擾性，只要 0.008 mm 厚的 TiO<sub>2</sub> 隔在標籤和後遮蔽金屬層之間，即可大幅改善可讀距離，使標籤盒薄且輕巧，可順利埋設在輪胎內。
4. 研究已驗證了車輪磨損自動偵測系統之可行性，並發展出其人機介面。若能於每輛車之車輪上安裝，將可即時警告駕駛者儘速更換新輪胎，避免車輛打滑、爆胎翻覆等重大傷亡。
5. 研究並提出大客貨車輪胎檢查系統及其人機介面。若能於每輛大客貨車之車輪上安裝，將可立即找出過度磨損之輪胎，檢查人員便可強制該車當場更換為安全輪胎後再上路；避免大客貨車打滑爆胎而造成重大傷亡。
6. 該車輪磨損自動偵測系統，可結合現有之 TPMS 胎壓偵測系統與防盜系統，共用讀取器及天線，大幅降低設備成本。

## 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 HainzImaier GmbH & Co.KG (2011), [www.codatex.com](http://www.codatex.com)
- [5] Product Overview (2011), Alien Technology Corporation, [www.alientechnology.com](http://www.alientechnology.com)
- [6] 科學人雜誌(2004)
- [7] 呂金獅(2009)，”被動 RFID 標籤貼於大型金屬體上之特性研究”，元智大學碩士論文

## 【評語】 040816

本作品旨在建立車胎磨耗自動偵測系統，以避免車胎過度磨損造成傷害。本作品與本年度國際科展之題目及內容雷同，改善不多，且對偵測系統之環境造成的可靠度問題亦可進一步加以探討。