



# 超音波非破壞檢測技術 在生物材料檢測應用

嘉義大學生物機電工程學系

洪滉祐



## 超音波技術的發展

- 音波最早的紀錄在西元第六世紀
- 音波科學開始發展於十七~十八世紀間
- 超音波被發現於西元十九世紀
- 超音波第一次被發展應用是在第一次世界大戰偵測潛水艇
- 超音波對金屬做非破壞性檢測的基礎發展在第二次世界大戰中的雷達電子技術
- 近代的工業界與醫學界對超音波有長足研究與發展



## 超音波技術的發展

- 現今超音波的應用包括
  - 工業上：聲納技術、清洗、切割、焊接、混凝土裂縫、孔隙等非破壞檢測技術
  - 醫學上：腫瘤診斷、人體內部組織斷層掃描、骨質疏鬆診斷、都卜勒流速量測等
  - 農業上：蔬果質地變異檢測、損傷檢測、分級與貯藏指標、果汁穩定性、乳酪凝固、樹木蟲害檢測等



# 超音波檢測原理

- 超音波的定義

振動波具有高於正常聽力範圍之頻率被稱為超音波 (Ultrasonic)，包含所有頻率高於20K週/秒 (cps) 之音波。



## 電-聲換能器(transducer)

利用電壓的正負及大小作用於壓電晶體，使厚度方向產生壓縮震盪發出超音波而傳入受檢物；反射後的超音波在受檢物產生伸縮震盪現象，而於電極間產生電壓。



# 電-聲換能器圖



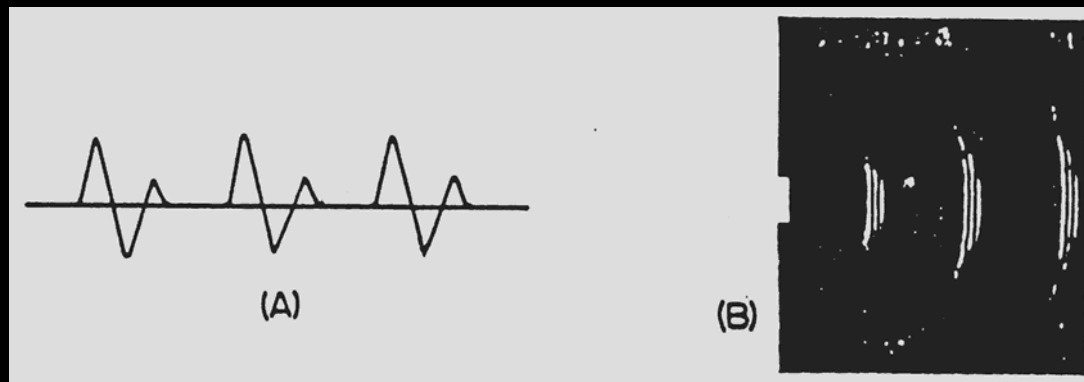
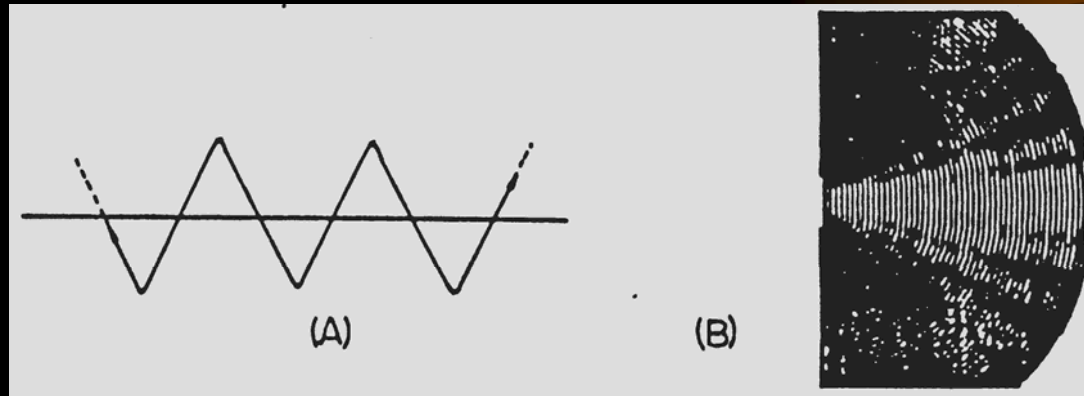


## 超音波的產生與接收

利用超音波產生器與電-聲換能器接觸或非接觸受檢物，由發射脈衝波經介質之傳遞，在受檢物底部接收脈衝回波信號。根據傳遞的距離與時間推算超音波在受檢物內的波傳速度(wave speed)與衰減(attenuation)特性。



# 連續波與脈波







# 超音波非破壞檢測方法

- 穿透法(強度法)
- 回波反射法
- 諧振法



## 穿透法(強度法)

分別使用傳送和接收的換能器，  
由傳送之連續波穿透受檢物而被另一換能器接收，量測因受檢物內部  
穿透能量的改變而偵測出變異。



## 回波反射法

利用脈衝波經由耦合劑(介質)送入受檢物，於受檢物背面超音波被反射回來，由換能器接收，若受檢物內有變異時，亦傳送一回波於螢幕上。



## 諧振法

使用可調頻率之連續波換能器，使受檢物厚度等於超音波半波長之整數倍時，將產生共振後的能量經由螢幕上顯示出來，觀察其指示的出現或消失而偵測出變異，換能器需在其自然頻率以下操作。

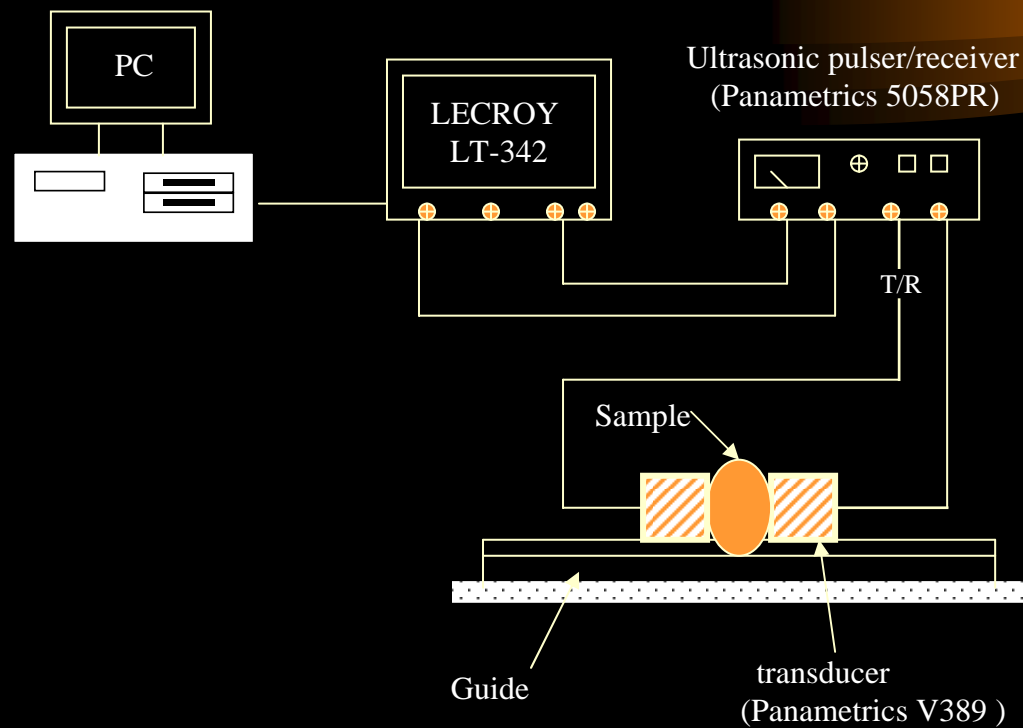


## 超音波在生物材料檢測的應用特性

- 受檢物材質範圍廣
- 作業性佳
- 立即可檢知結果
- 可自動紀錄(適合自動化作業)
- 無危險性



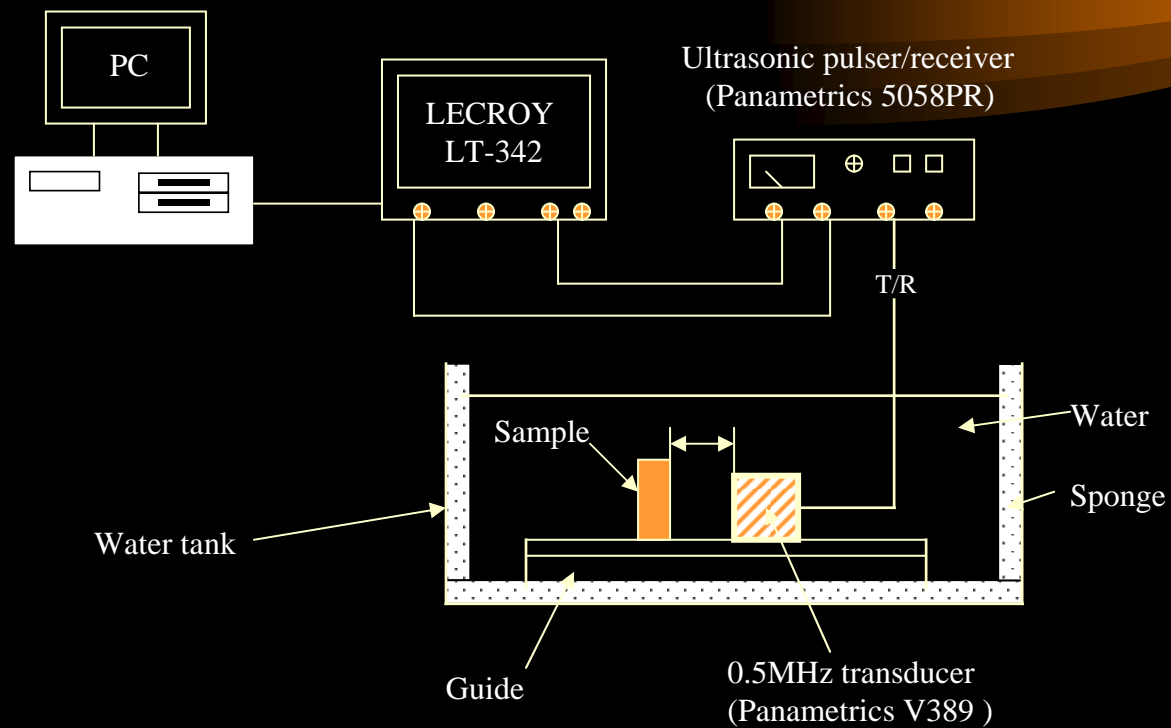
# 超音波量測系統 - 空氣中接觸式



Ultrasonic measurement system



# 超音波量測系統 - 水中非接觸式



Underwater ultrasonic measurement system



# LECROY 9304A型數位儲存式示波器

## 頻寬200MHz







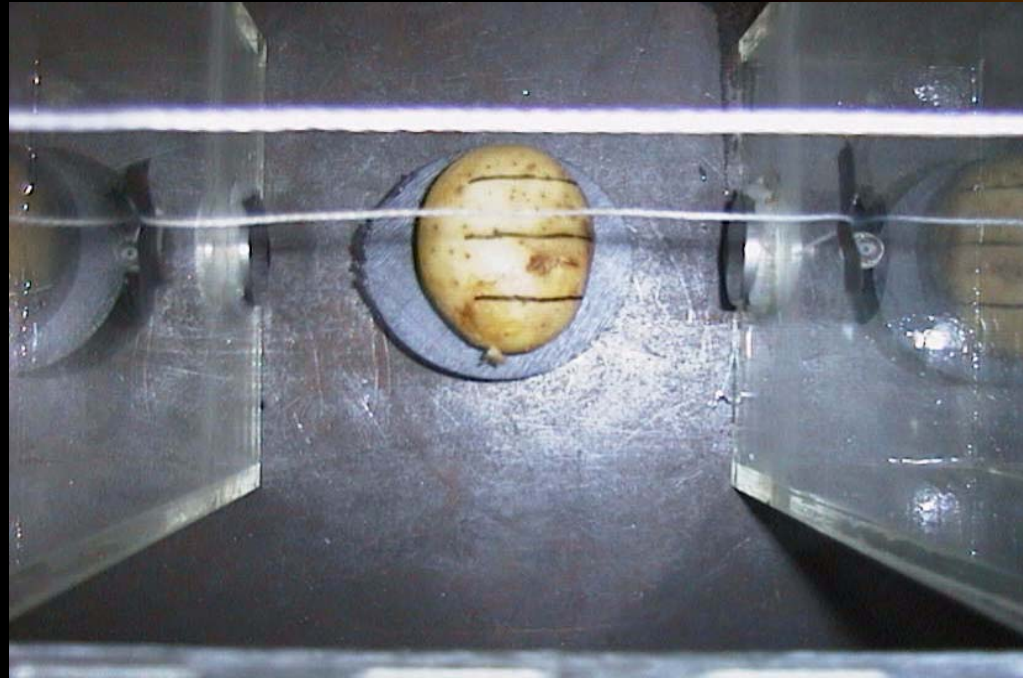
# PANAMETRICS 5058PR

## 高能量脈波式波形產生及接收器



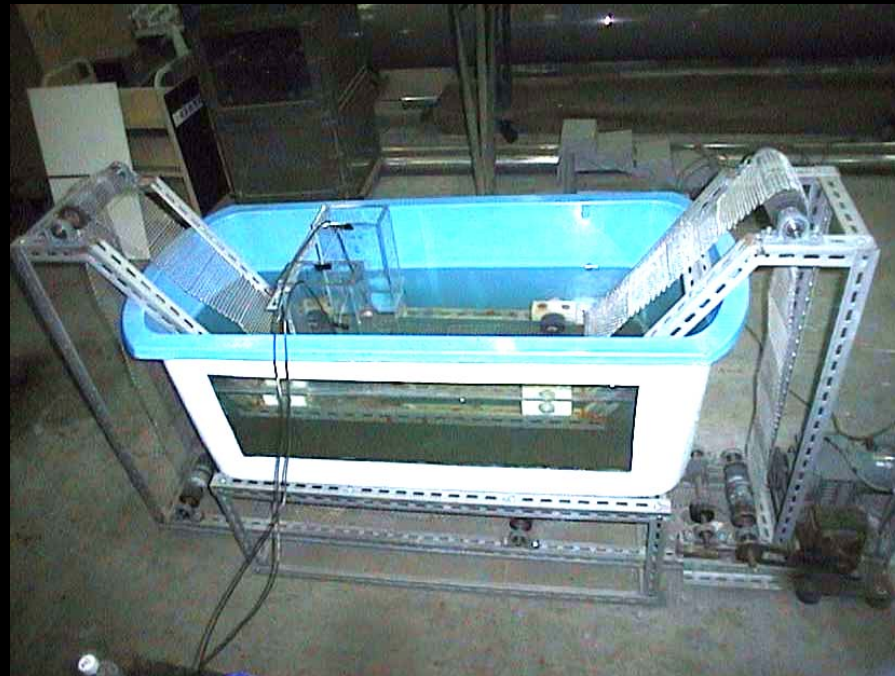


## 超音波強度法檢測馬鈴薯





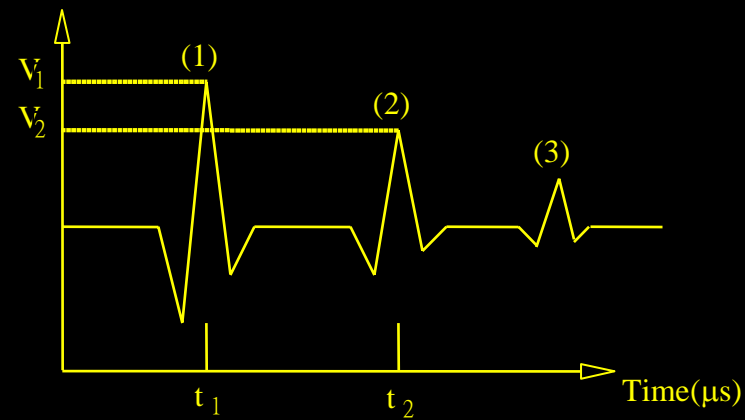
# 超音波水中不鏽鋼輸送帶式檢測機





# 超音波訊號擷取及分析

Volt signal (mV)



$$C = \frac{2d}{t_2 - t_1}$$



## 波速、頻率與波長

介質為固相時  
縱波波速C：

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$C = f \cdot \lambda$$

# 超音波衰減特性測定



量測受檢物短軸方向的距離

超音波穿透後的時域波形peak to peak  
振幅電壓值

發射端與接收端間無受檢物的peak to  
peak振幅電壓值



# 超音波衰減的原因

吸收 黏性損失  
分子鬆弛  
相對運動損失

散射

$$A_x = A_o \exp(-\alpha x)$$



## 衰減係數分析

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln \left( \frac{(V_{pp})_o}{(V_{pp})_x} \right)$$

$\alpha$  : 衰減係數 (neper/m)

$(V_{pp})_o$  : 發射及接收端間無受測物的peak to peak振幅值 (volt)

$(V_{pp})_x$  : 穿透整顆受檢物後的peak to peak振幅值 (volt)

$x$  : 受檢物短軸方向的距離 (meter)





## 能量頻譜矩測定

根據巴斯瓦定理 (Parseval's theorem)

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega$$

將能量頻譜密度積分所得之值即為能量頻譜矩  
(Haugh, 1993)



## 超音波在生物材料檢測的應用例

- Sarkar and Wolfe (1983) 蔬果需用  
低頻、高能之超音波
- Mizrach (1989) 建議量測蔬果使用  
50kHz到500kHz的超音波



## 超音波於生物材料物性的研究

- Finney等人 (1968) 利用音波振盪得到楊氏係數和共振頻率的關係

$$E = 4\rho f^2 L^2$$



# 音波的傳遞速度與物體的楊氏 係數、密度及蒲松比有關

Garrett & Furry (1972)

$$V_b = \frac{E}{\rho}$$

一維狀態下

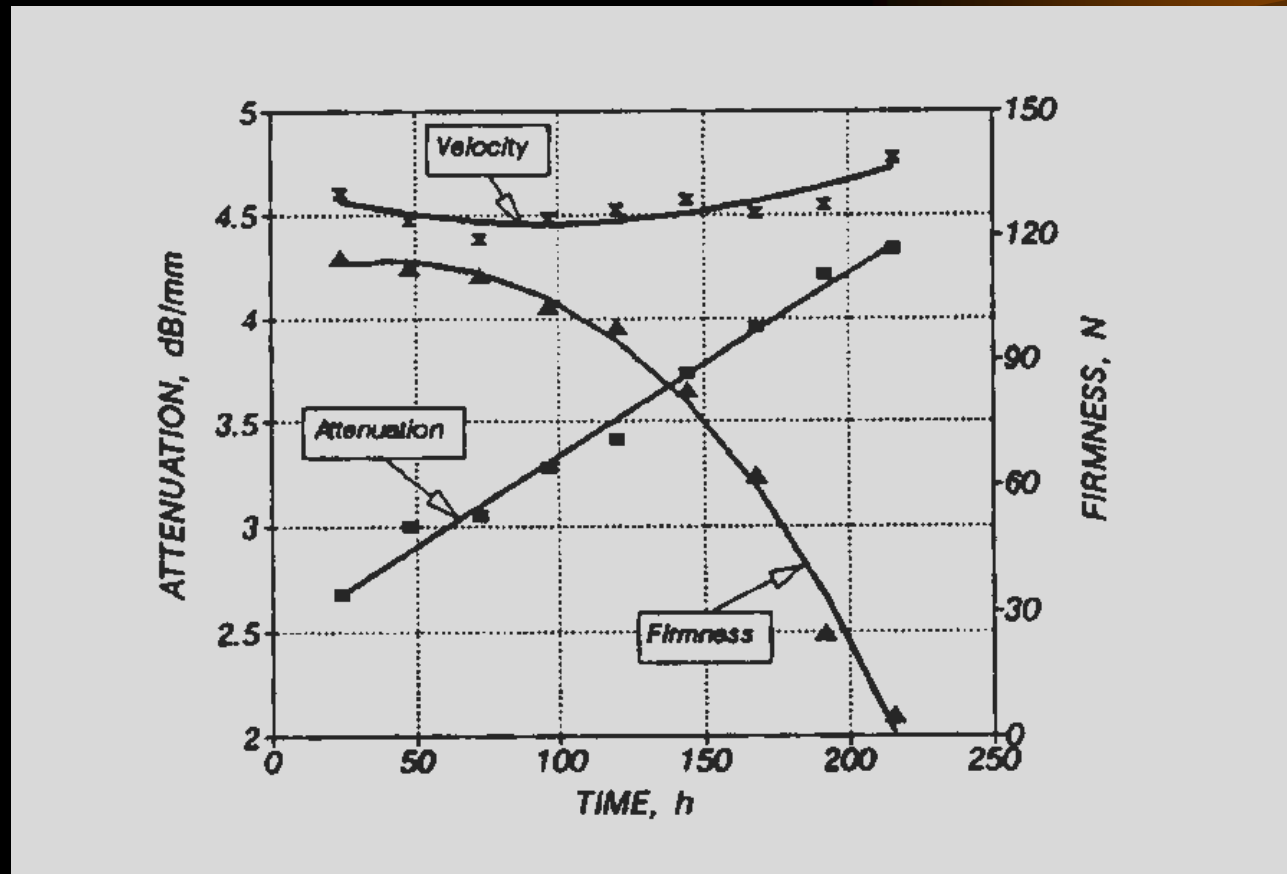
$$V_d = \frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}$$

二維狀態下



# 利用超音波檢測酪梨的成熟度

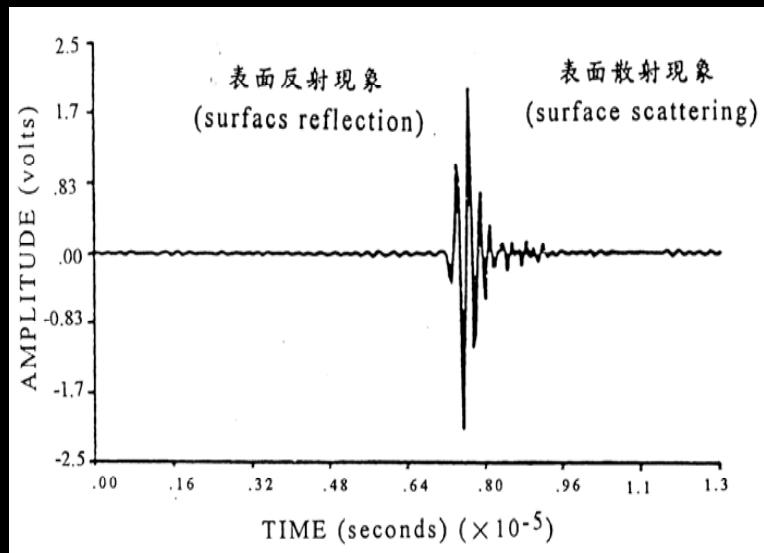
Mizrach (1998)



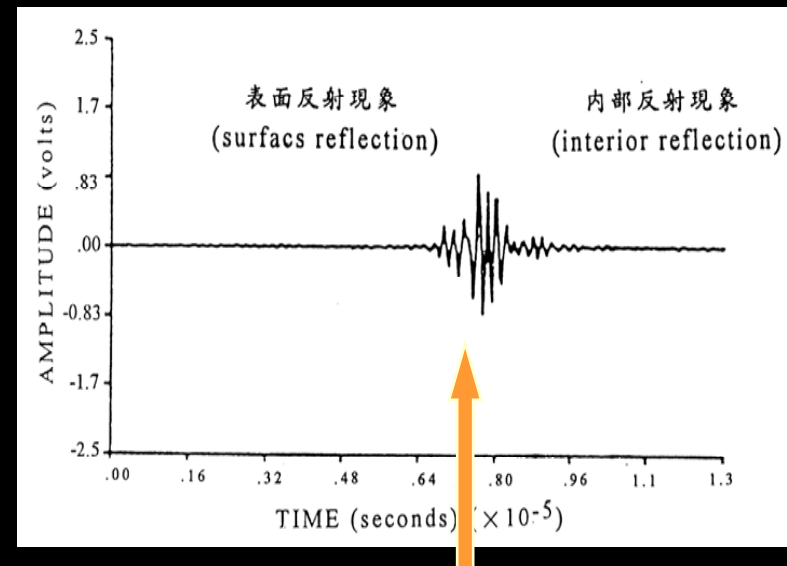


# 利用超音波反射訊號的頻譜分析 (spectral analysis) 分辨蘋果是否損傷

未受損蘋果組織的反射訊號



受損蘋果組織的反射訊號



Upchurch et al. (1985)

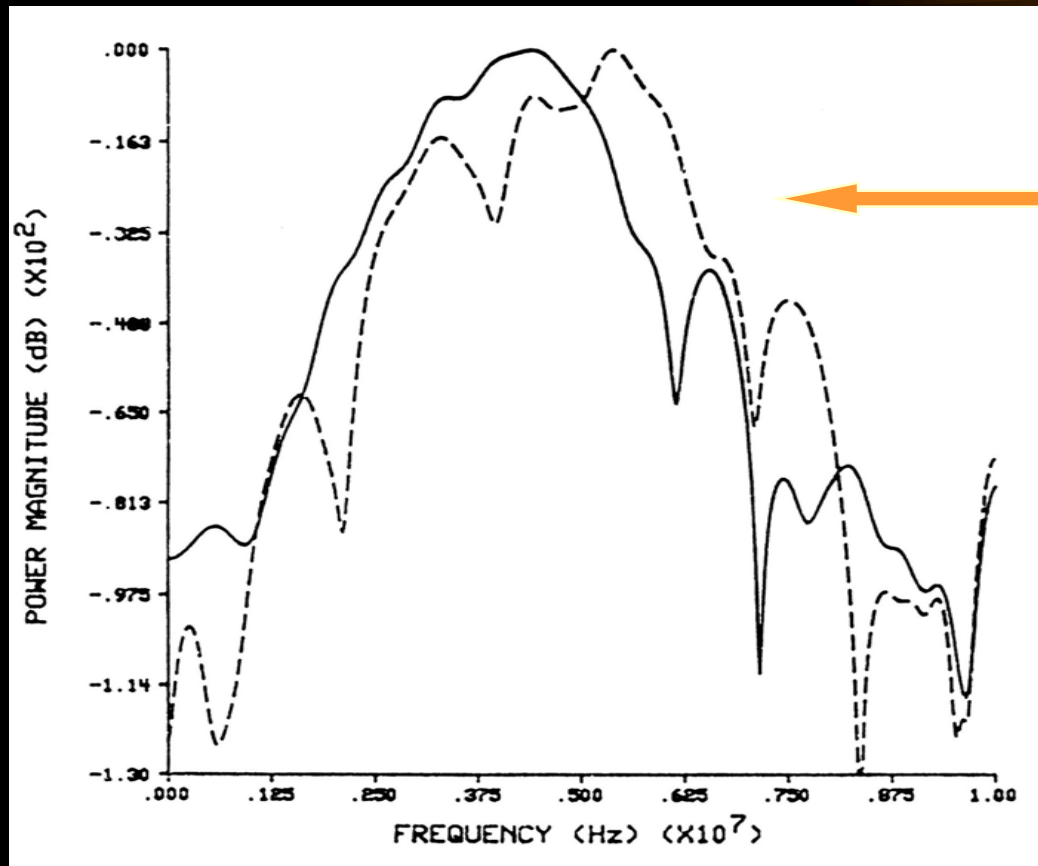
受損傷蘋果所反射的超音波訊號會有較低的振幅



# 利用超音波反射訊號的頻譜分析 (spectral analysis) 分辨蘋果是否損傷

受損及未受損蘋果能量頻譜圖

Upchurch et al. (1985)

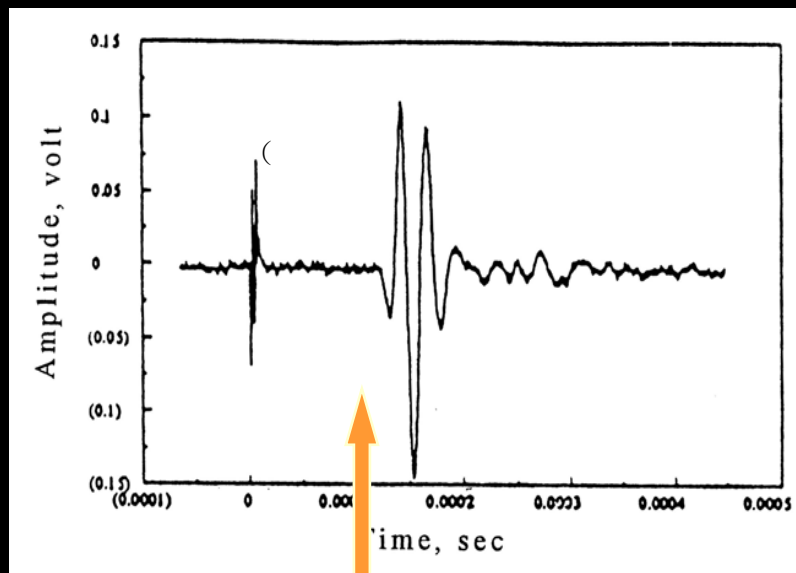


超音波訊號能量  
對頻率的分佈因  
蘋果表面形狀引  
發散射或瘀傷深  
度的二次反射而  
有所不同



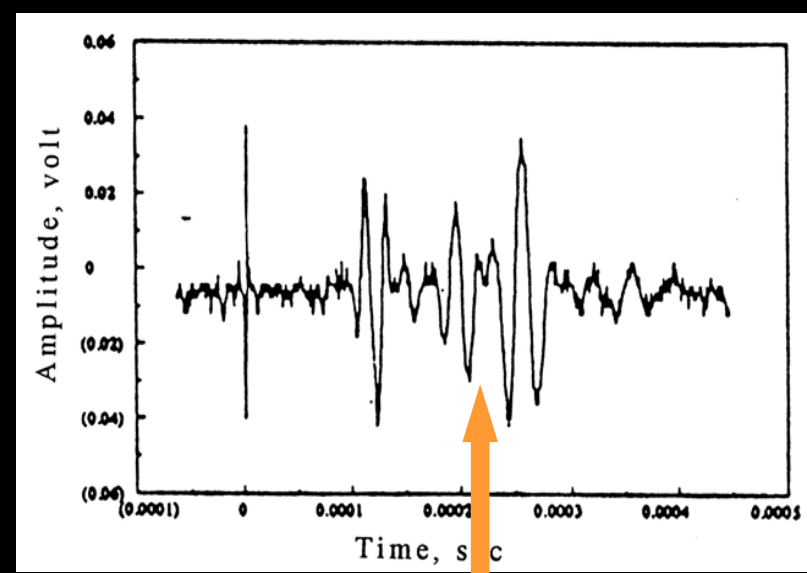
# 利用超音波探測馬鈴薯的空心缺陷

內部正常無空洞馬鈴薯的波形



正常馬鈴薯穿透波形較穩定  
且波形上下振盪不多

內部有空洞馬鈴薯的波形



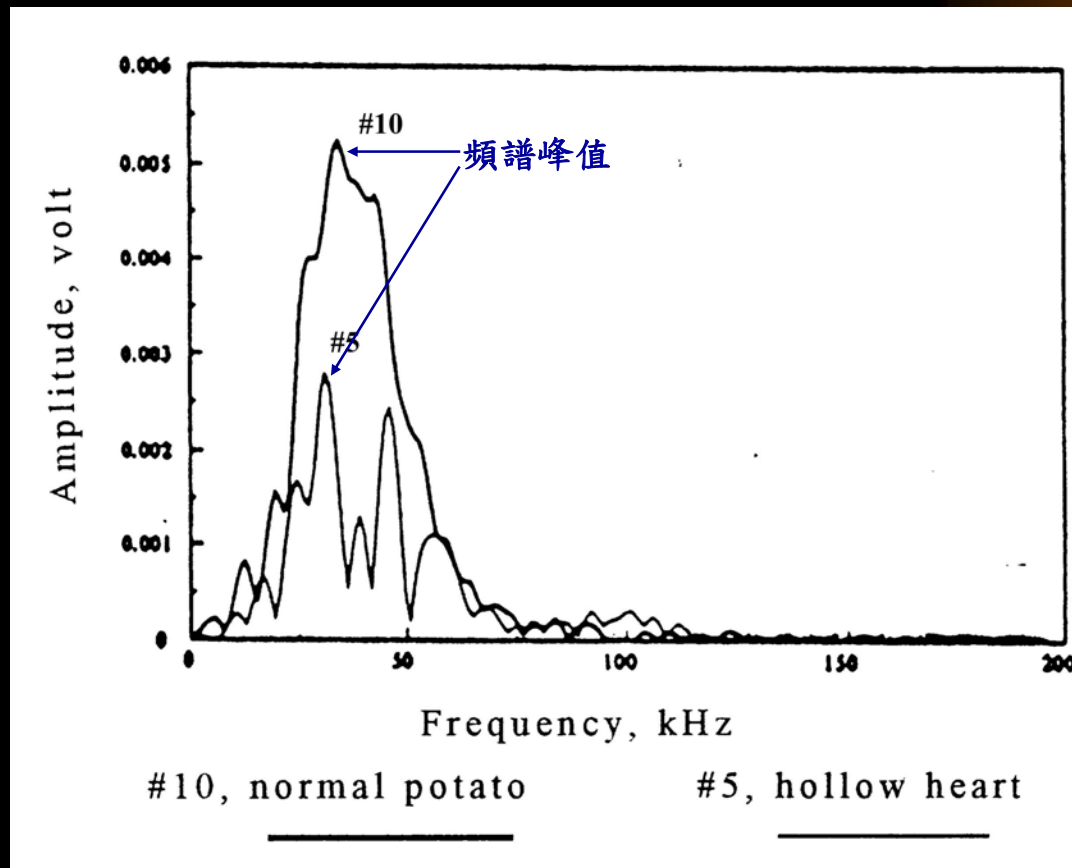
中空馬鈴薯的波形變化劇烈，  
因超音波在中空處來回反  
射，造成較複雜的震盪所致

(Haugh, 1993)





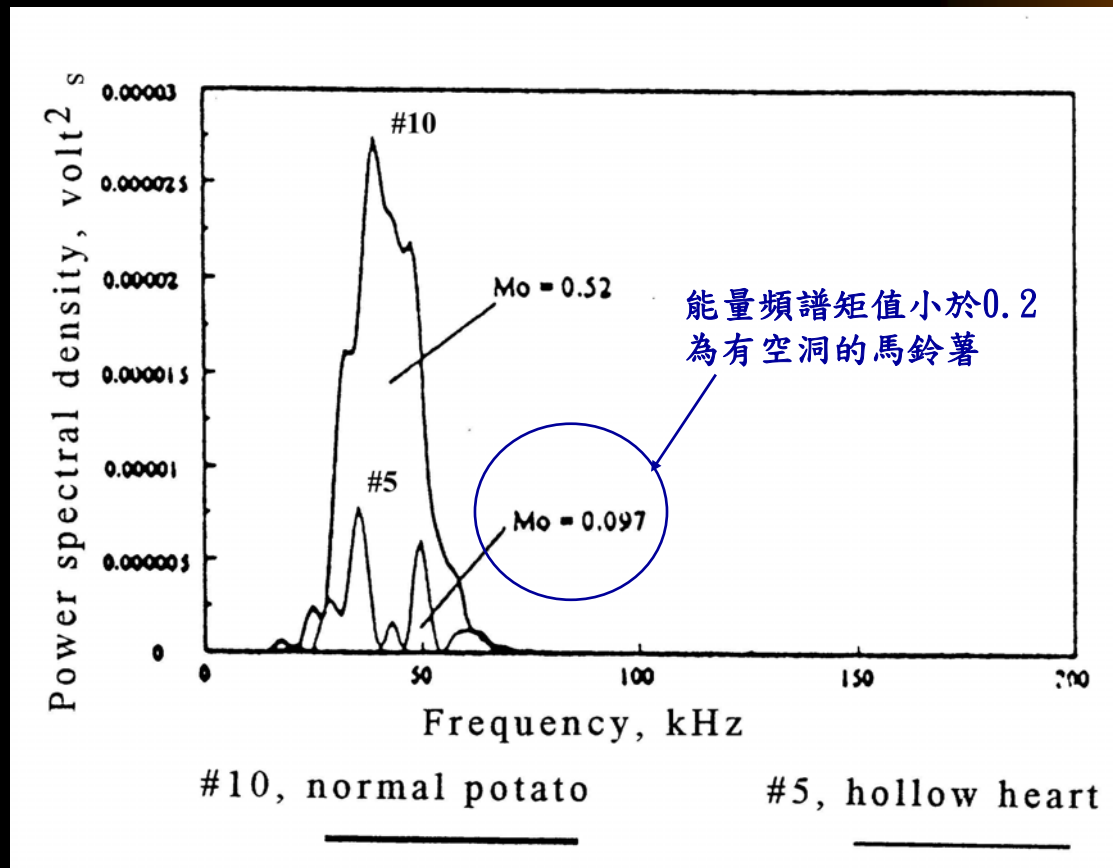
## 波形經過FFT轉換後所得的能量頻譜圖



每顆馬鈴薯有不同頻譜峰值(受質量和物理性質影響)故僅以頻譜峰值辨別空洞有困難  
(Haugh, 1993)



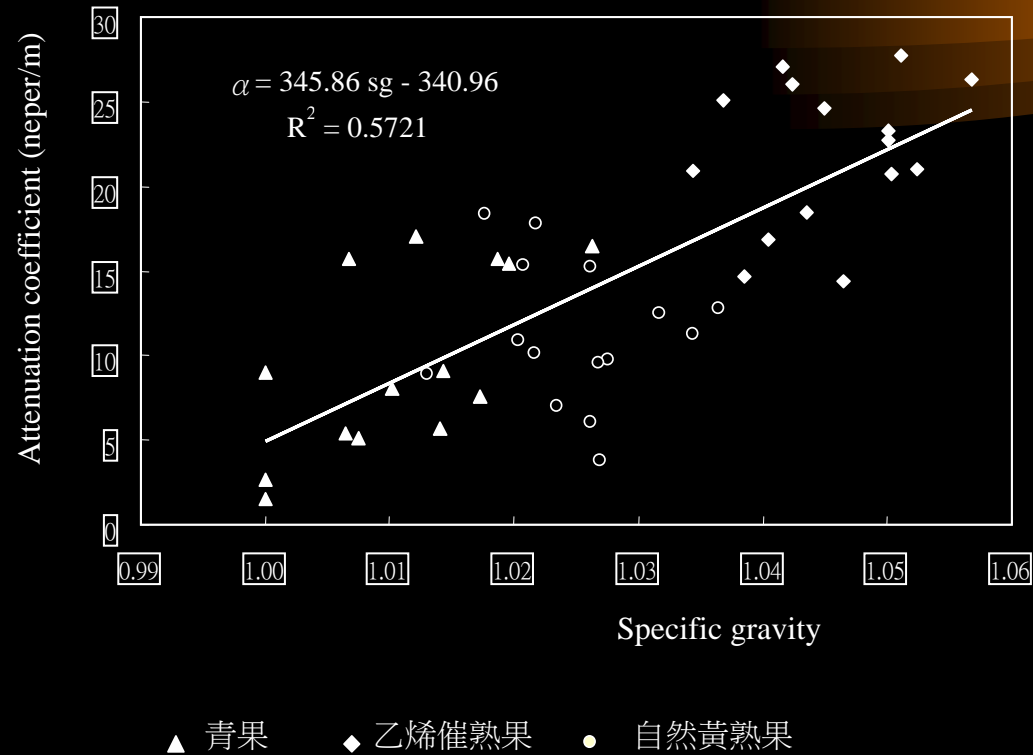
# 正常和空洞馬鈴薯 能量頻譜矩分析結果



能量頻譜矩  
不受厚度及  
體積大小影  
響可判定空  
洞



# 以超音波反射回波衰減係數檢測 芒果(金煌)比重與劣變



Regression analysis of specific gravity vs.  
attenuation coefficient for fresh samples



## 外觀CCD取像無差異芒果樣本



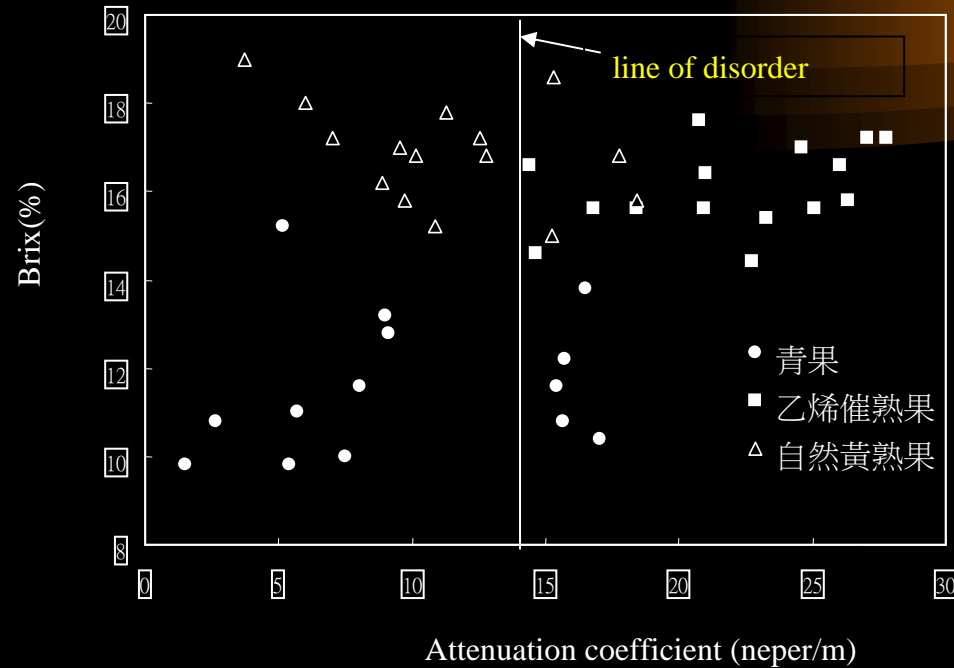


## 剖開內部取像劣變對照圖





# 以超音波衰減係數為劣變指標的 完熟金煌芒果劣變線

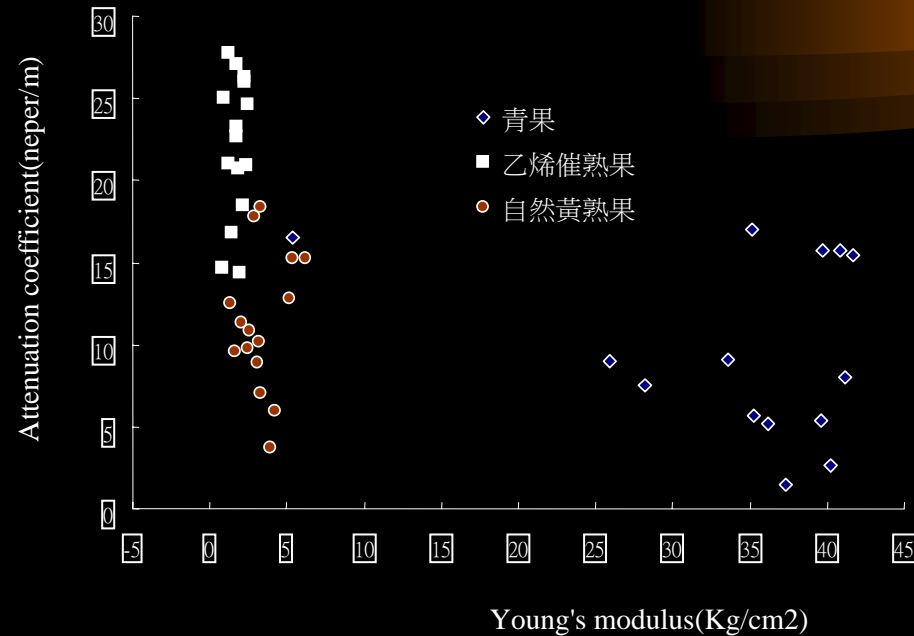


Evaluating disorder line of 'Chiin Hwang' mango

by attenuation coefficient for ultrasonic echo technology



# 以超音波衰減係數為成熟指標的 金煌芒果彈性模數對應分佈圖

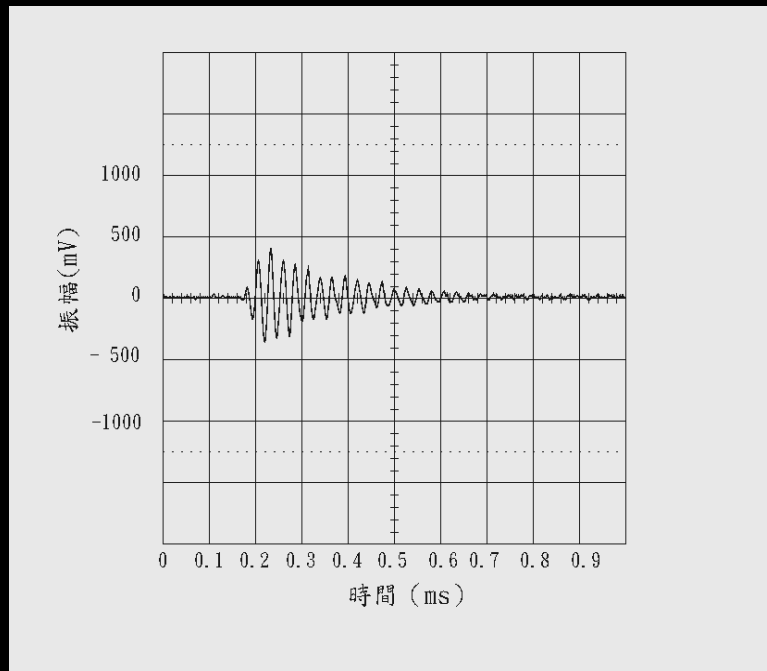


The distribution of attenuation coefficient and  
Young's modulus by 0.5MHz underwater ultrasonic



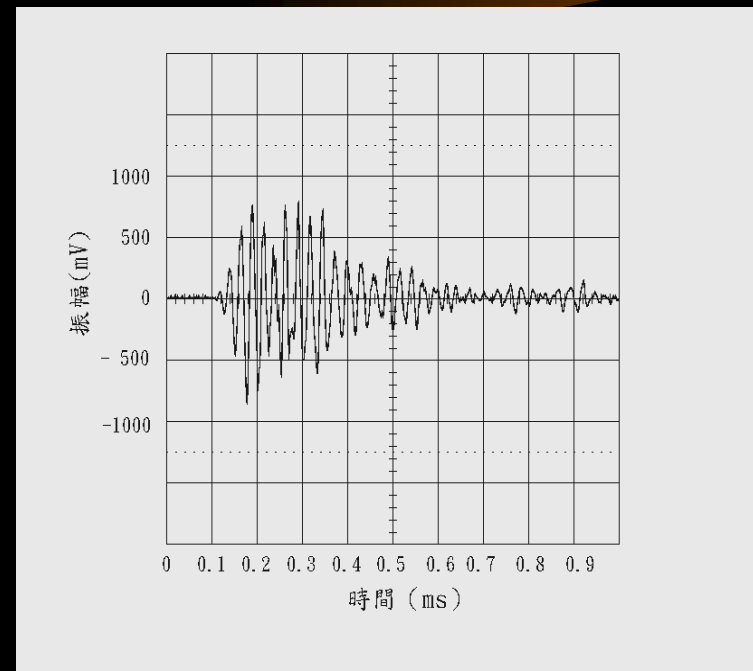
# 以超音波強度法檢測空氣中與水中 馬鈴薯衰減係數波式分析

空氣中量測



振幅766mV  
20.9 neper/m

水中量測

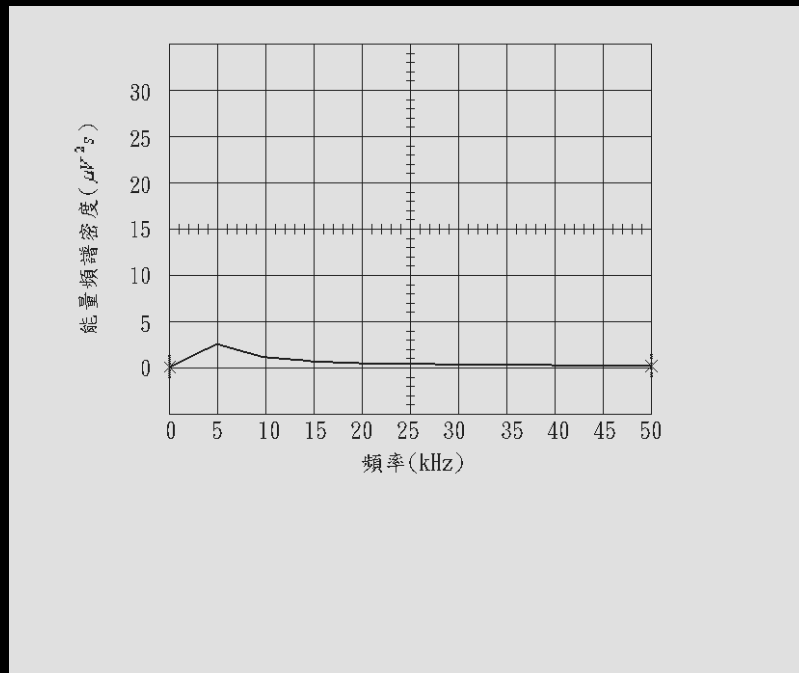


振幅1656mV  
8.1 neper/m

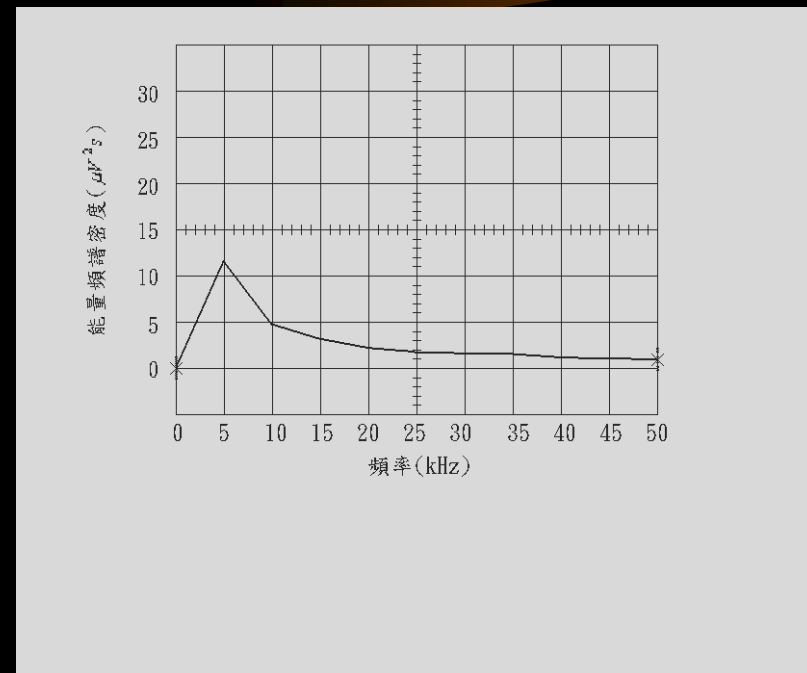




# 超音波在空氣中與水中檢測馬鈴薯 能量頻譜矩的波式分析



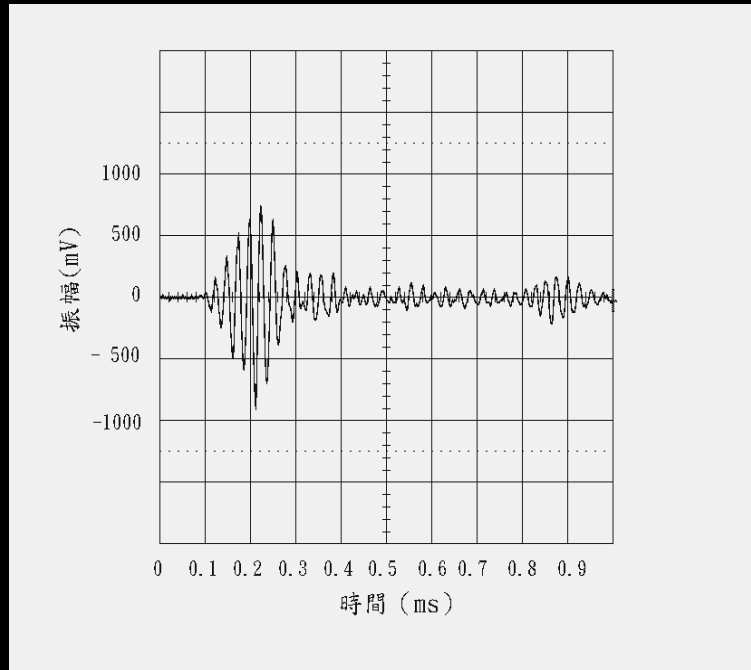
空氣中量測  
 $M_0 = 0.08 V^2$



水中量測  
 $M_0 = 0.39 V^2$

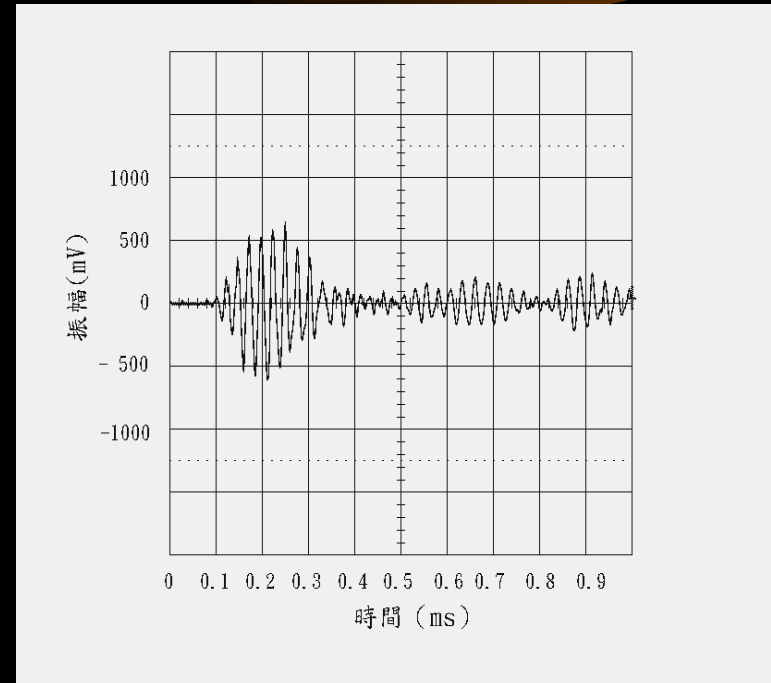


# 超音波強度法檢測馬鈴薯空心程度的衰減係數波式分析



無空洞受檢物

穿透波波形

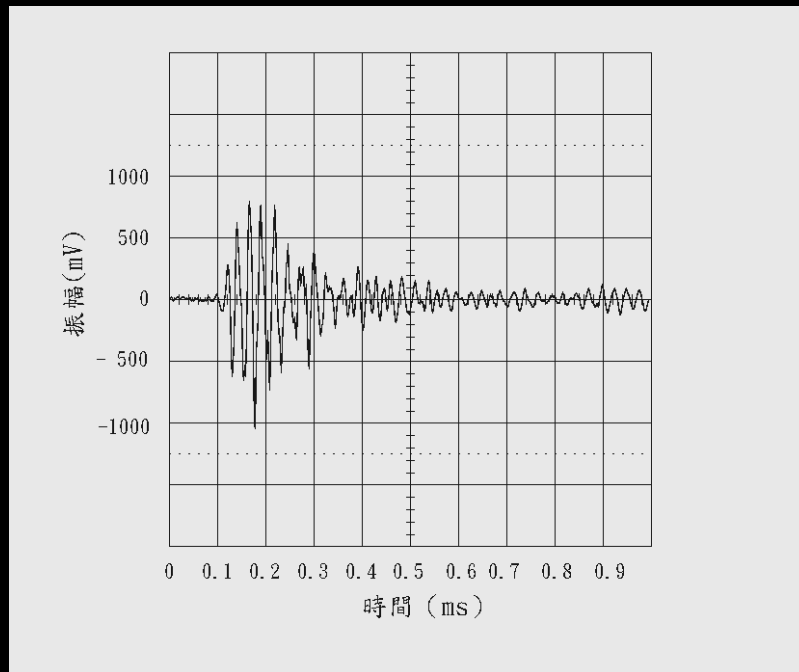


兩個空洞受檢物

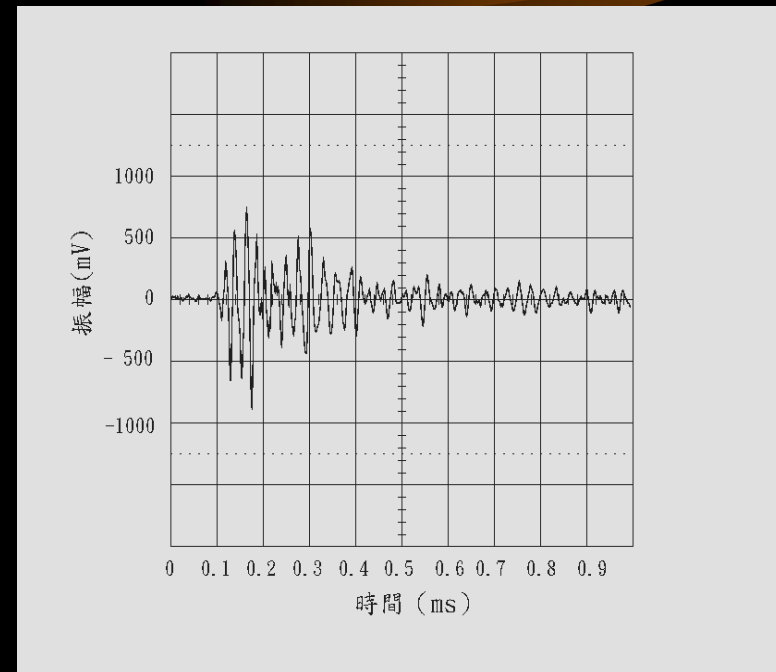
穿透波波形



# 以超音波檢測馬鈴薯幾何外觀 的穿透波形波式分析



矩形樣本  
穿透波波形



梯形樣本  
穿透波波形



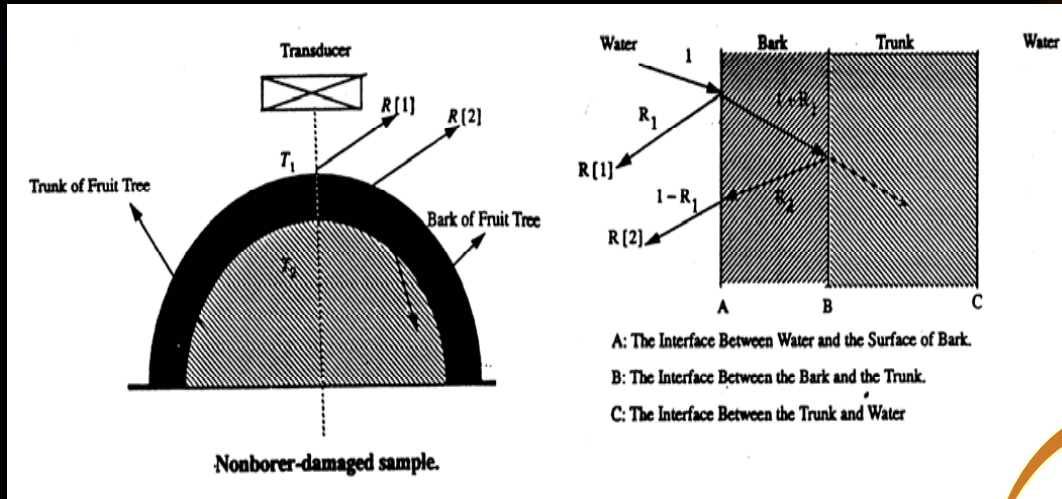
## 利用超音波反射法檢測櫻桃樹蟲害

- 如果櫻桃樹受到蟲害，在樹皮和樹幹間會造成一不連續較低音阻抗空洞的蟲害區。
- 利用音阻抗的差異造成的反射波來判斷是否受到蟲害。
- 當界面兩側音阻抗差越大時，其反射訊號會越大，由此可以分辨出是否受到蟲害。

(Zhang et al., 1994)



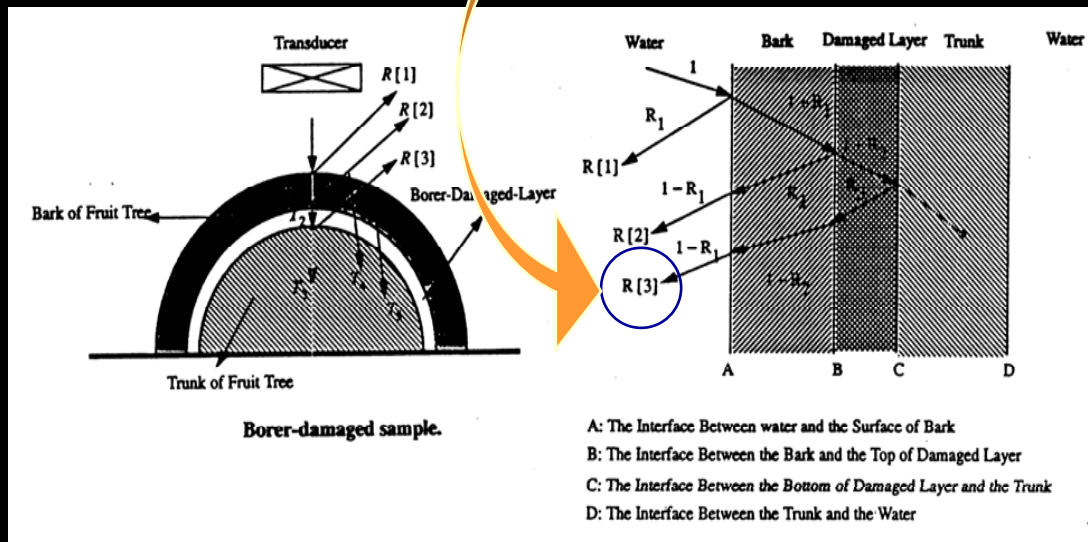
# 未受蟲害和受蟲害的櫻桃樹幹結構圖



受蟲害部分會產生變化，因此比未受蟲害的櫻桃樹多一層不連續的斷層，反射波也多一個。

未受蟲害的櫻桃樹

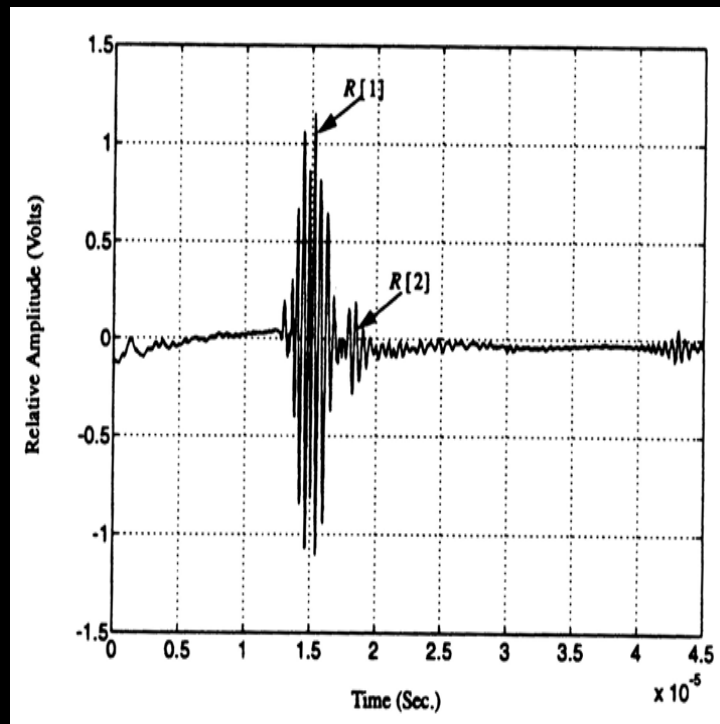
(Zhang et al., 1994)



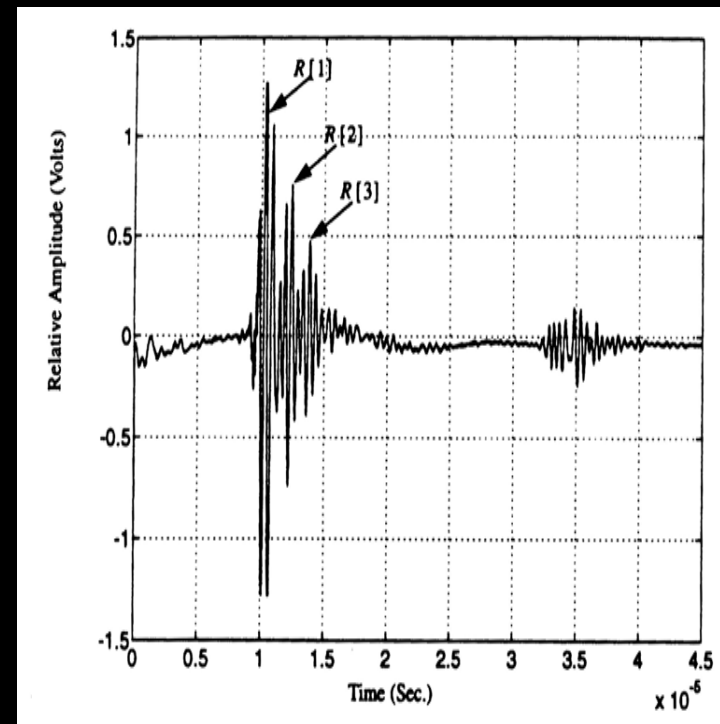


# 未受蟲害和受蟲害的櫻桃樹幹 反射波波形的差異

未受蟲害的時間域波形



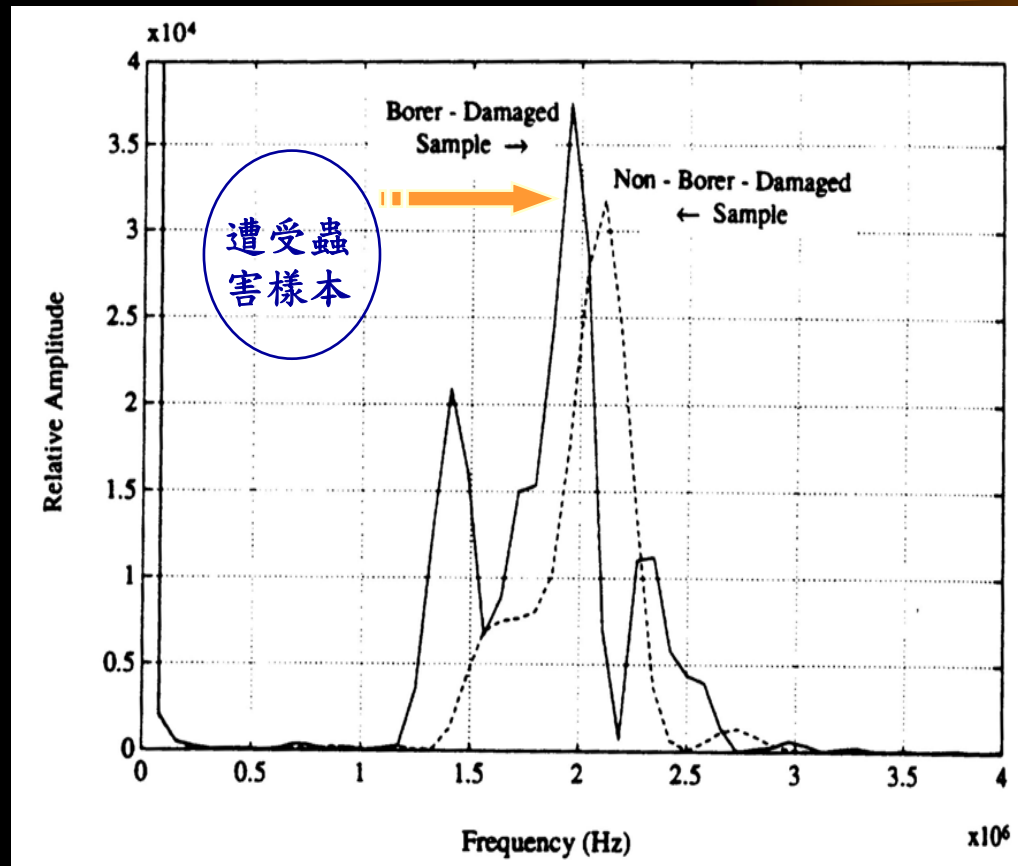
受蟲害的時間域波形



(Zhang et al., 1994)



# 櫻桃樹時間域波形經由FFT轉換到 頻率域波形



(Zhang et al., 1994)



## 由FFT轉換到頻率域的波形分析 可分辨櫻桃樹是否遭受蟲害

- 遭受蟲害的樣本中會產生一不連續的受損層，會使得較高頻的超音波不能穿透，因此受蟲害的頻譜會往低頻偏移。
- 從頻率域的分析可以看出受蟲害部分的蟲害區域厚薄。當受蟲害和未受蟲害最大振幅的頻率值差異越大時，表示受蟲害的區域越大。





# 檢驗乳癌婦女可免挨刀

## 利用超音波結合電腦類神經網路系統檢查 準確度達九成五

【記者陳永順／嘉義報導】許多婦女乳房檢查發現疑似腫瘤等硬塊，那分醫生常先開刀切除再檢驗良惡性，有些婦女因此白白挨刀的切除乳房。國立中正大學副教授張瑞峰與博士班學生黃育仁與中國醫藥學院附屬醫院醫師陳達人合作，共同研發超音波結合電腦類神經網路系統來檢驗乳癌，準確度高達百分之九十五，對婦女是一項福音。

專攻外科的陳達人在醫界工作十多年，發現乳癌是不少婦女聞之色變的重大疾病，早期切除可以有效抑制病情，一旦延誤，癌細胞可能擴散其他器官，但醫界處理婦女發現乳房周邊有疑似腫瘤硬塊時，以X光或超音波照射後，大多採取先切除再檢驗腫瘤屬於良性或惡性，這時，患病的婦女心理與生理均嚴重受傷害。

陳達人與在中正大學教書的妹婿張瑞峰經常談到這個問題後，兩人決定提供各自研究領域

合作先期診斷工作，張瑞峰與資訊工程學系的博士生黃育仁共同編寫電腦程式，陳達人將患者的檢驗資料透過電腦建構等方式，研發超音波結合電腦類神經網路系統來檢驗乳癌。

這套系統先將疑似患者的超音波掃描圖像輸入電腦類神經網路，讓電腦記住乳癌影像的故路特性後進行比對，前後不到十分鐘就可判斷疑似腫瘤硬塊為良性或惡性。

張瑞峰昨天表示，這套類神經網路系統大約經過兩年的比對，準確率達百分之九十五，如果檢驗是良性，病患就可免去白白挨刀的痛苦，如屬惡性，醫生則會建議患者進一步做切片檢驗或切除手術等，以免延誤治療時機。

他說，為了防止電腦誤判，陸續將臨床病例增加到兩張多角度的圖像，透過不斷修正來提高準確率，希望加強把關，讓婦女免挨刀。



中正大學副教授張瑞峰研發電腦類神經網路系統，可早期檢驗良性或惡性的乳房硬塊。  
記者陳永順／攝影

張瑞峰研發檢驗乳癌新方法 19版



影像教學

# 超音波

## ULTRASOUND



|  |            |  |            |
|--|------------|--|------------|
|  | 婦產科<br>超音波 |  | 神經科<br>超音波 |
|  | 腹部<br>超音波  |  | 泌尿科<br>超音波 |
|  | 外科<br>超音波  |  | 眼科<br>超音波  |
|  | 胸腔科<br>超音波 |  | 放射科<br>超音波 |
|  | 甲狀腺<br>超音波 |  | 復健科<br>超音波 |
|  | 小兒科<br>超音波 |  | 骨科<br>超音波  |
|  | 腎臟科<br>超音波 |  | 耳鼻喉<br>超音波 |



# 秀傳紀念醫院杜卜勒超音波 肝腫瘤檢查圖片

腹部超音波發現有腹水，肝硬化徵象，在右肝後葉有一6x5公分之腫瘤並延伸至膽管內，並伴有左右兩側肝內膽管擴張。經腹部電腦斷層檢查確定為一肝腫瘤併有腫瘤侵入膽管。

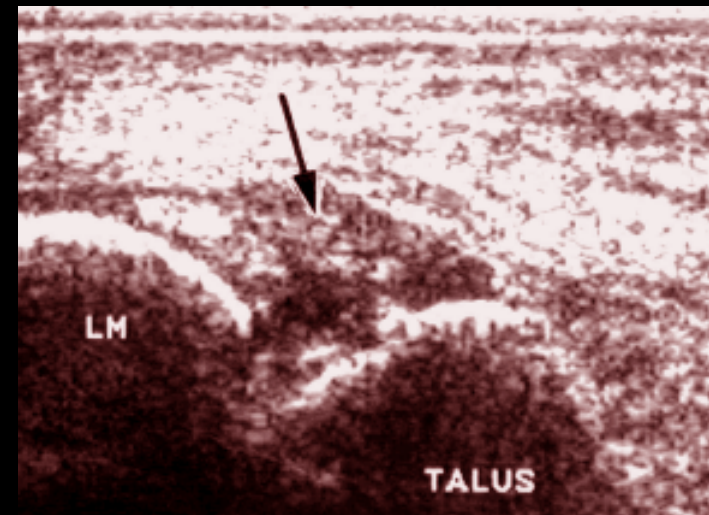


圖：右肝後葉有一5x6公分之高回音腫瘤  
(arrow)



# 臺大醫院復健部

左踝外側骨突, 以超音波檢查顯示左前距腓韌帶(箭頭)所在之處有腫脹( distended left anterior talofibular pouch )





# LASER-ULTRASONICS 簡介

## (雷射超音波)

非破壞檢測為在不影響試體性能的前題下所進行的物性評估，在製程中與維修階段均有極重要之地位。傳統上非破壞檢測方法主要有射線法(RT)，渦電流法(EU)，磁粒檢測法(MT)，液滲檢測法(LT)，超音波檢測法(UT)，音洩法(AE)等等，上述各種方法當中以射線法使用量最大，其次為超音波法，均為接觸式探測。

為因應檢測環境的多變，如試體的小型化，劣化的檢測空間(狹小、密閉、有毒等)，與高速檢測的需求，近幾年也有多種改良型檢測設備，特別是超音波法的研究最為廣泛。





# LASER-ULTRASONICS 簡介

## (雷射超音波)

傳統壓電式超音波檢測探頭需有耦合介質 (couplant)，因此目前的研發均朝向非接觸式檢測，如EMAT、電容式 (capacitive)、氣體耦合式 (air-coupled)，雷射超音波法 (laser-ultrasonics) 等，其中又以雷射超音波法 (LUT) 在超音波音源產生與超音波檢測探頭部份均以非接觸的方式處理，在應用上可適用的環境較為廣泛。



# LASER-ULTRASONICS 簡介

## (雷射超音波)

以雷射產生和接收超音波可提供一完全非接觸，高頻寬的收發系統，近幾年來，已開始被應用於檢測傳統超音波不能解決的問題。



# 超音波非破壞檢測技術 在生物材料檢測應用優點

- 受檢物材質範圍廣
- 作業性佳可立即檢知結果
- 可自動紀錄適合自動化及線上檢測作業
- 蔬果內部質地變異檢知率高適精密分級作業
- 探傷(檢測)精度可大幅提升
- 作物蟲害檢測、農牧產品穩定檢測性佳
- 無危險具前瞻性





感謝  
聆聽

