超音波(Ultrasound)與生活上的應用

嘉義大學生物機電工程學系
洪滉祐

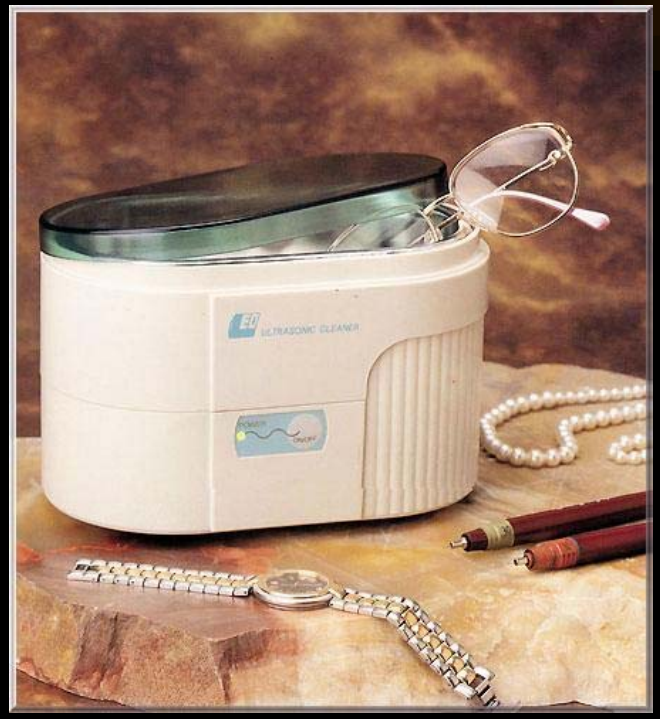
前 言

生活上的超音波

超音波具有洗淨作用

- 超音波是一種超過人類聽覺(16Hz～20KHz)數倍甚至百倍的周波振動，超音波洗淨機便是用此種超高頻振動，做一種能量轉換來洗淨工作物。
- 當我們在液體中發射超音波時，液體經超音頻推擠拉扯後，液體中會產生許多細下氣泡稱為空洞現象(Cavitation)，此氣泡有時會成真空狀態，當氣泡破裂時會產生極大音壓形作一股衝擊波，將污物剝離工作物，兩者產生間隙後，其他小氣泡再侵入此間隙，破裂後天再次形成衝擊波，如此循環使污物剝落。
- 因此超音波不只可以洗淨，也可以脫脂，除銹，去除氧化皮，去除助焊劑等，此種方式為機械洗淨力，配合洗濟本身的化學洗淨力，兩者相輔相成可對任何細小孔洞、間 隙、複雜不規則物體等作出最佳洗淨效果。

家庭專用超音波洗淨機
洗淨頻率:46KHZ



高科技產業實驗專用超聲波洗淨機

洗淨頻率:46KHZor120KHZ

晶圓專用超音波洗淨機

高科技及半導工業

（晶片細孔加工及LCD工業使用）

-

超音波洗碗機原理

- 是以每秒2萬8仟次的振動波在液體中傳導，當氣泡受壓爆破時，會產生強大的衝擊力，將碗盤，杯子，器皿表面及隙縫之油脂及污垢，完全乳化且剝離，達成污垢及殺菌效果，不是馬達轉動式的清洗不會將碗盤碰損，是目前最進步的洗碗方式，可將附著在物件表面及死角細縫之污垢打散剝離，達到徹底洗淨及消毒之驚人效果。

全自動PCB超音波洗淨機

PCB AUTOMATIC ULTRASONIC CLEANER

迷你精巧型超音波洗淨機

桌上型
不佔空間
40KHz
出力80w/150w
適合各產業實驗室

超音波隱形眼鏡洗淨器

超音波花邊縫合機

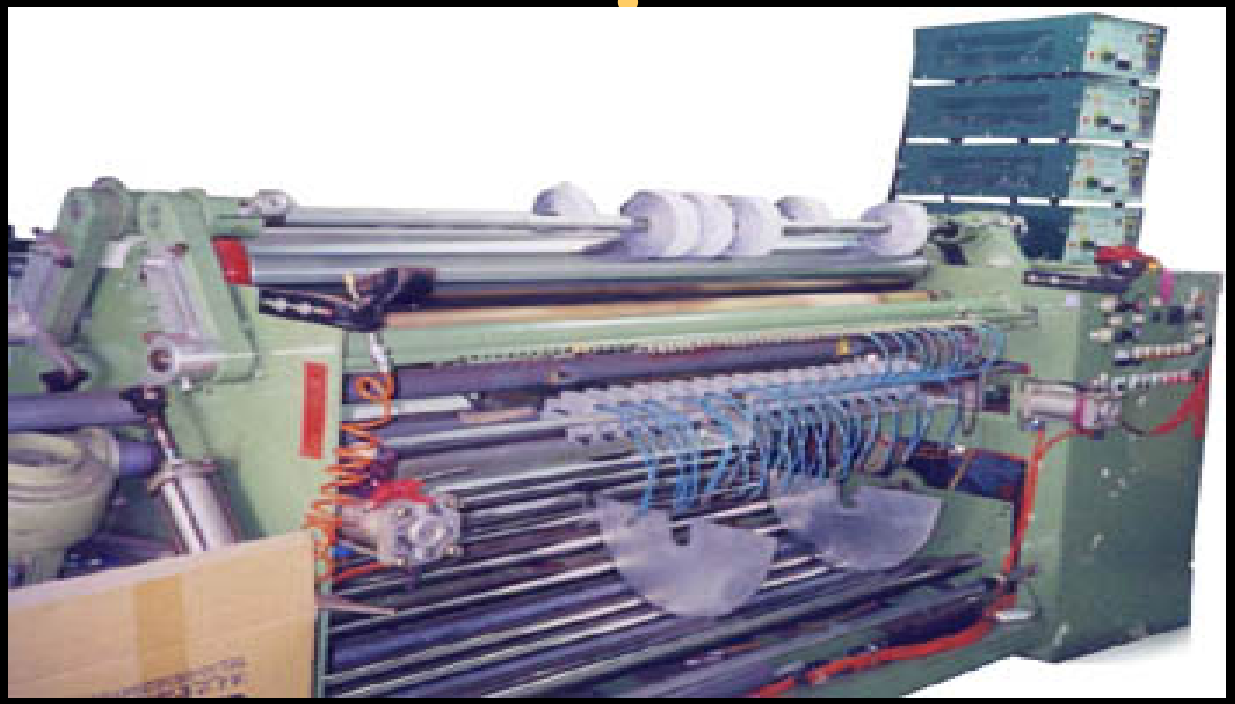
樣品

使用20KHz低噪音超音波，防噪音干擾
利用超音波加熱及特製鋼輪加壓之後就可獲得如上述功能

布類超音波分條機

可分條最小約20m/m左右，使用超音波分條切，

熔一次完成，切邊不會起毛掉屑



超音波洗淨機應用範圍

- 在科技發達的新世紀裡，各種產品的生產流程中，洗淨工程已成為必備的過程，在產品越來越精密、複雜，及產量不斷的增加的情況下，傳統的洗淨方式已經不符合經濟效率，因此超音波洗淨機已成為必備的洗淨設備，大至重達數百公斤的金屬加工物，小至電腦ＩＣ中的晶片，均可利用超音波洗淨機來完成洗淨工程。

超音波塑膠熔接機

原理:

- 傳統方法—

  使用強力膠或其他溶劑，但產品不良率高，破壞美觀，且有損人體健康。

- 超音波法—

  將音波藉焊頭(Horn)傳導至塑膠加工物上，以每秒兩萬Hz的超高頻率及適當的振幅，使兩片塑膠加工物劇烈摩擦後，於瞬間使塑膠接合面迅速熔解、交流，在一秒內完成熔合過程。

原理:超音波美容器

每秒鐘產生一百萬次之超高頻振動，透過不銹鋼傳輸導體集中傳遞。

可穿透肌膚深層，作柔和細微按摩，加速肌膚新陳代謝，活化細胞組織，幫助肌膚吸收營養，同時在肌膚表層因細微高頻按摩功效，達到消除老化細胞、減少皺紋、消除毛孔污穢；使肌膚清新乾淨、白嫩細緻。

此高頻震動可深入肌膚約4~6公分，可以將脂肪塊分解、溶化、配合相關減肥乳液可達塑身效果。

超強力超音波驅鼠蟲器

型號	頻率（多重掃描變）	放射音壓	耗電量	有效範圍	尺寸
JWP-313	可調式 10~65KHz	112dB	3瓦	70坪	17cmX11.2cmX8.6cm
JWP-309	可調式 10~65KHz	110dB	2瓦	40~50坪	19.8cmX11cmX10.7cm

超強力超音波驅鼠蟲器

特色:

- 壽命長，耗電量低，適合長時間使用。
- 不含化學原料及危險裝置，僅干擾鼠，蟲神經系統不會對人體、寵物產生不良影響，無公害、無副作用、安全可靠。
- 體積小，易安裝，免維修，操作簡單。
- 具立體空間的驅除效果(縱、橫面)，與一般捕鼠器、藥物殺蟲等定點的驅除法完全不同。
- 20~65KHz超音波不在人類、狗、貓、鳥的聽覺範圍內。
- 不會干擾工廠、電視、收音機、電腦和其他電子儀器，(如助聽器、車庫房遙控器、節拍器等)。

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瞄、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

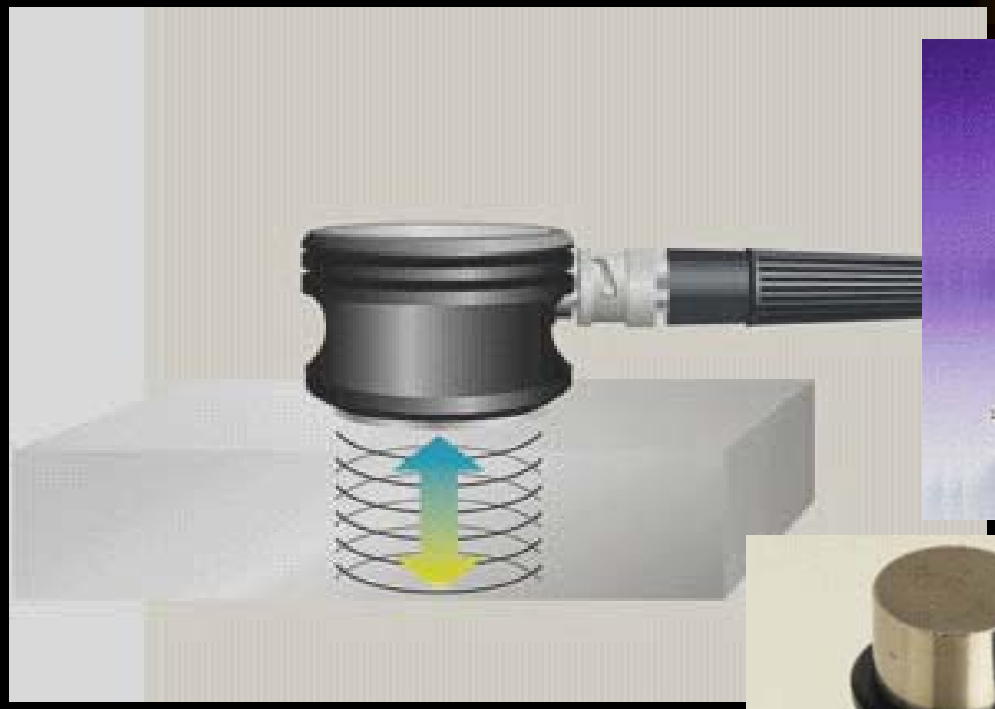
- 超音波的定義

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。

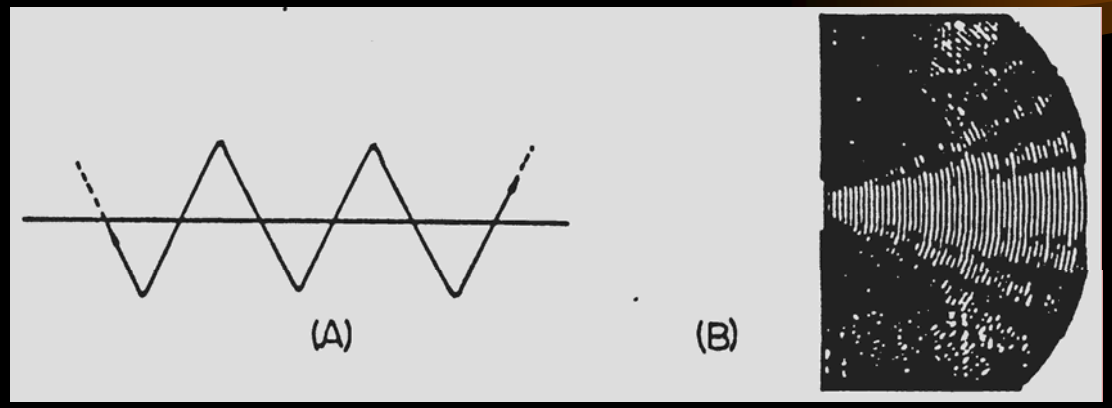
電-聲換能器圖

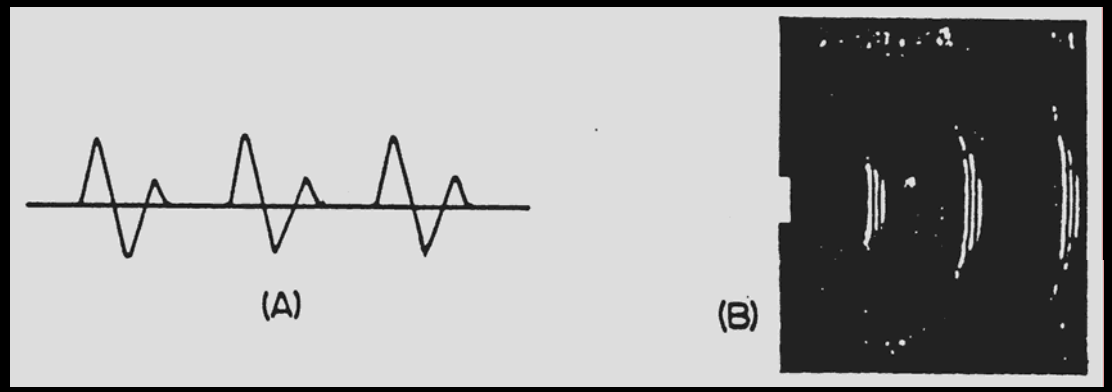


超音波的產生與接收

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。

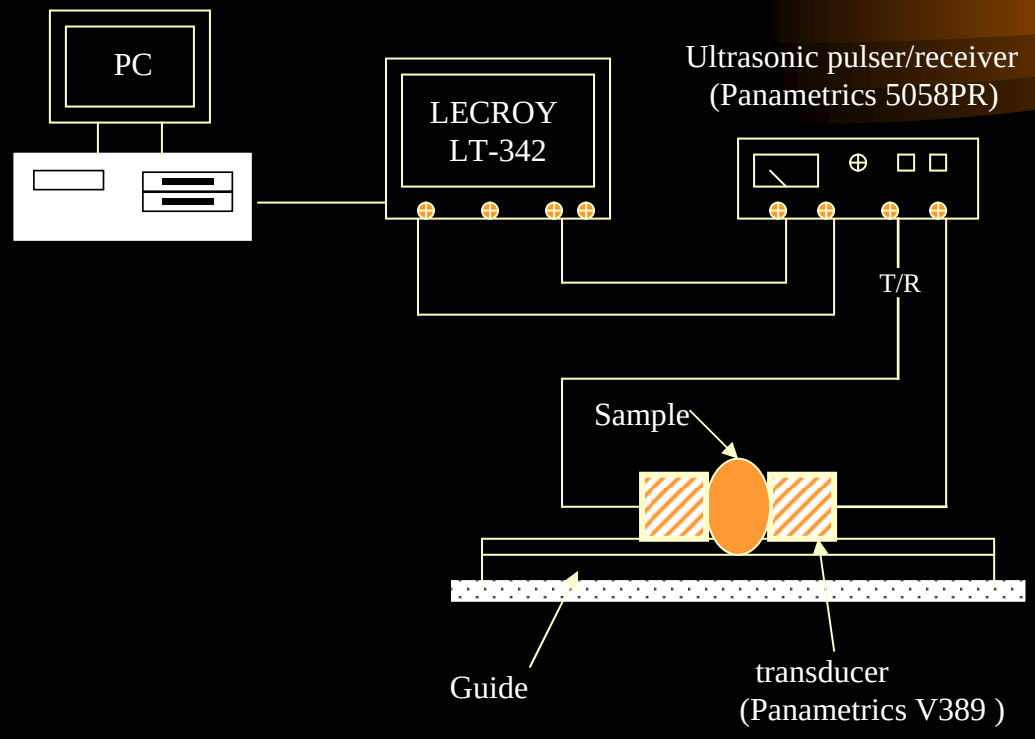
諧 振 法

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

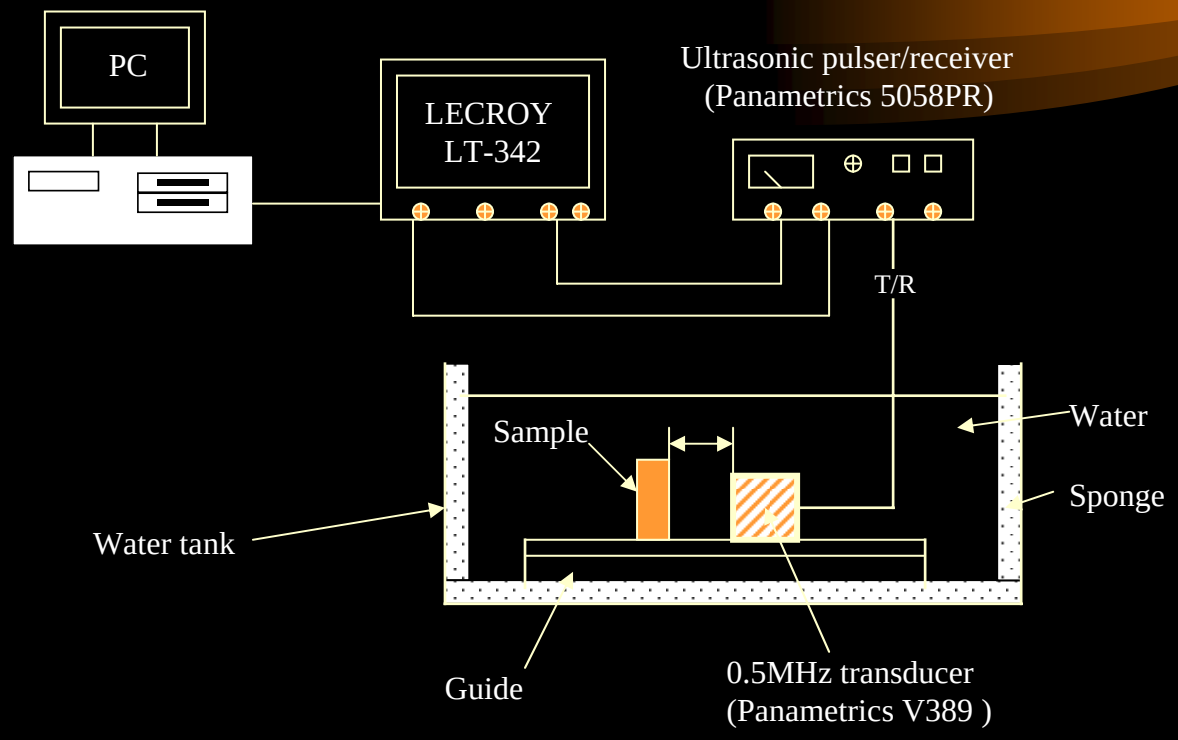
- 受檢物材質範圍廣
- 作業性佳
- 立即可檢知結果
- 可自動紀錄(適合自動化作業)
- 無危險性

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

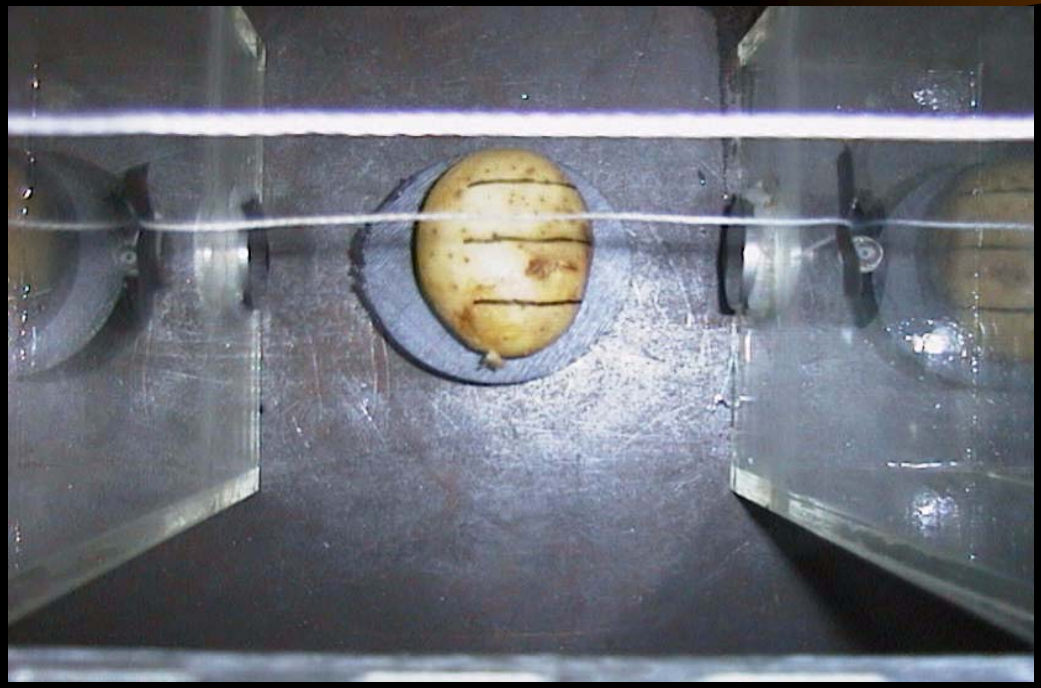


Underwater ultrasonic measurement system

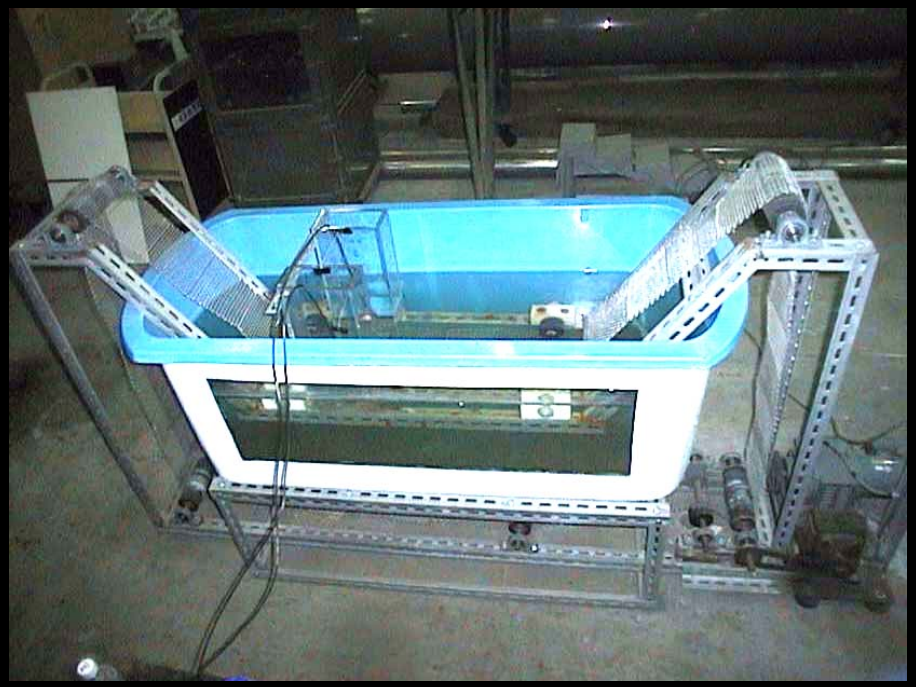
LECROY 9304A型數位儲存式示波器
頻寬200MHz

PANAMETRICS 5058PR
高能量脈波式波形產生及接收器

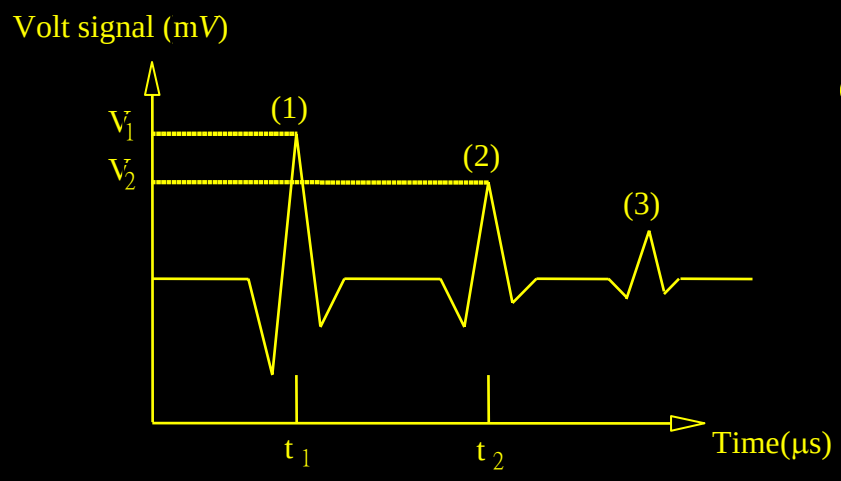
超音波強度法檢測馬鈴薯



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



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

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

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

α ： 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)

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

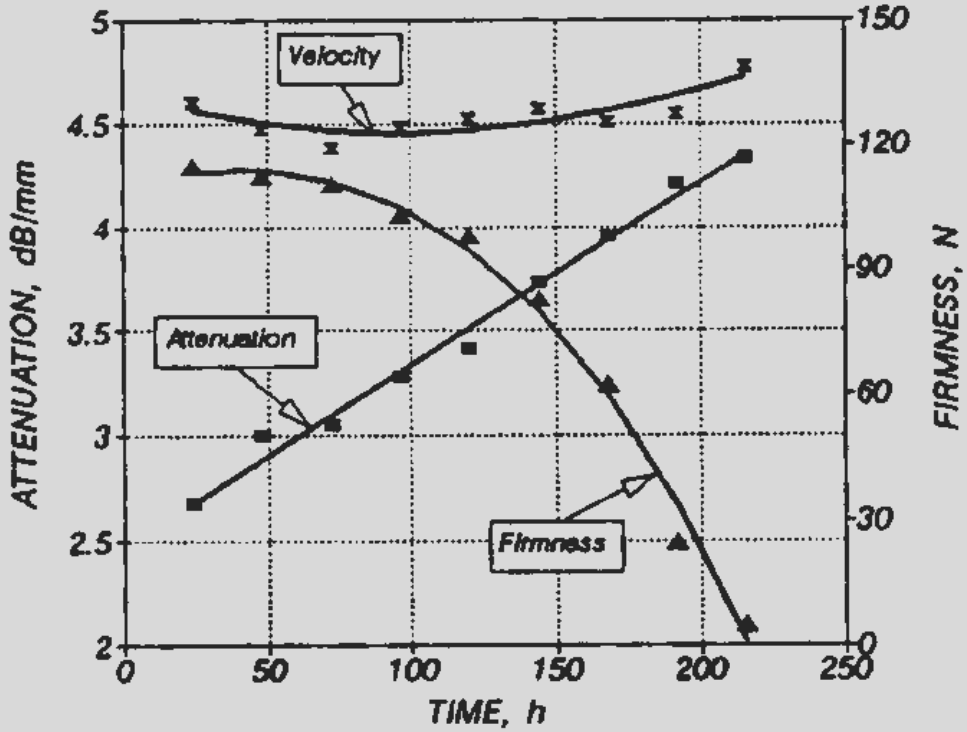
一維狀態下

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

二維狀態下

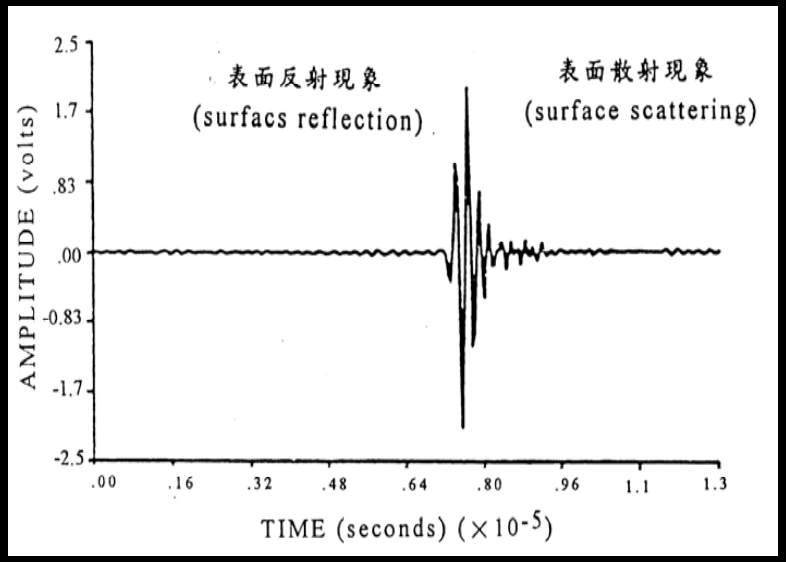
利用超音波檢測酪梨的成熟度

Mizrach（1998）

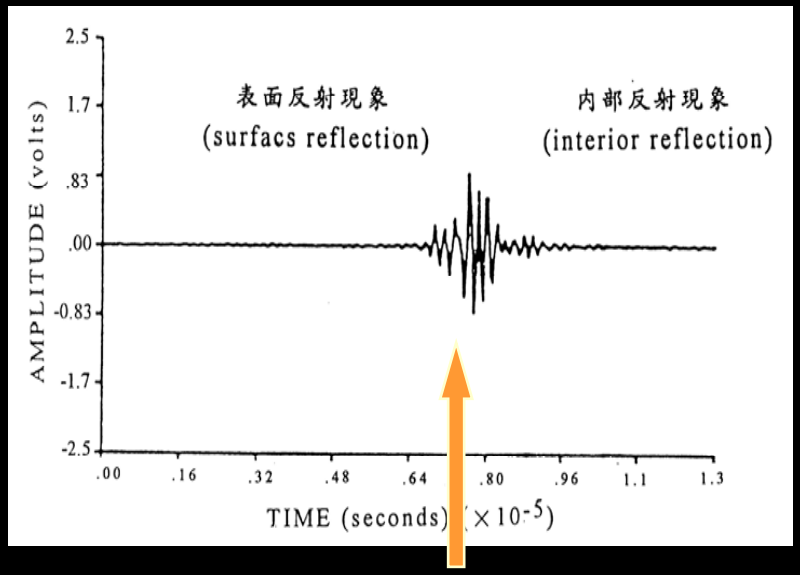


利用超音波反射訊號的頻譜分析（spectral analysis）分辨蘋果是否損傷

未受損蘋果組織的反射訊號



受損蘋果組織的反射訊號

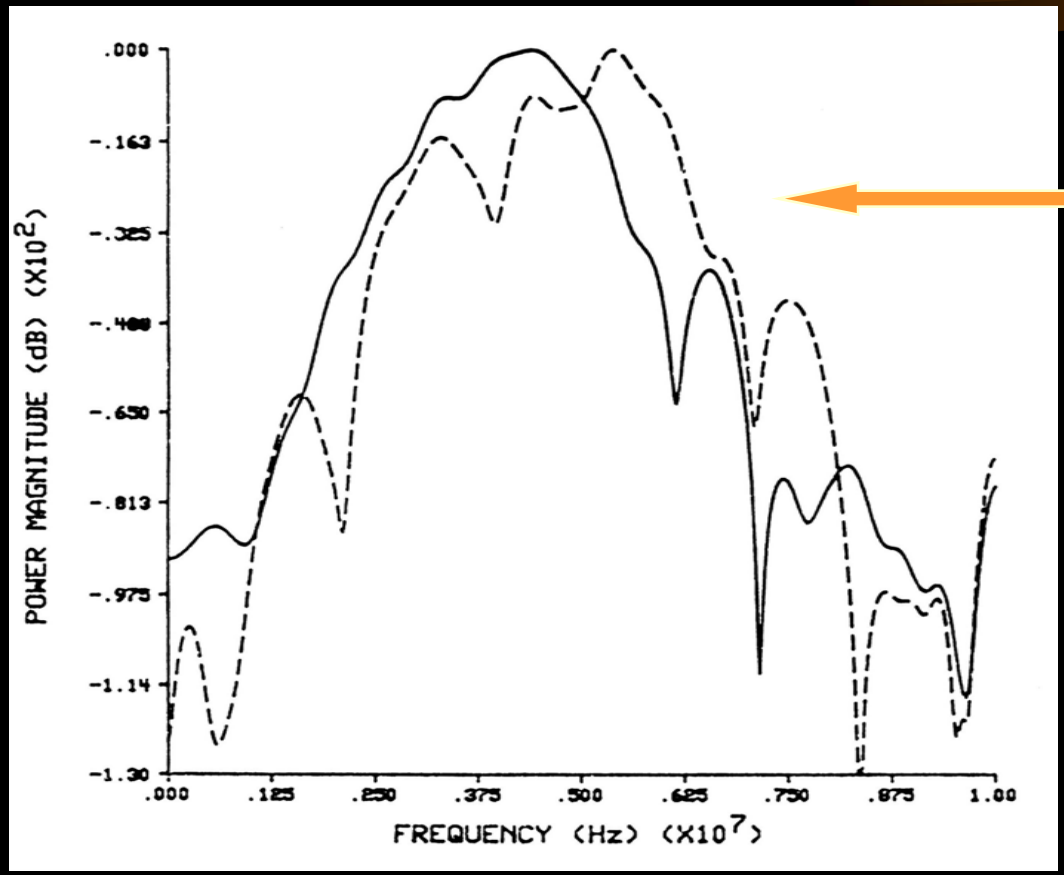


Upchurch et al.（1985）

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

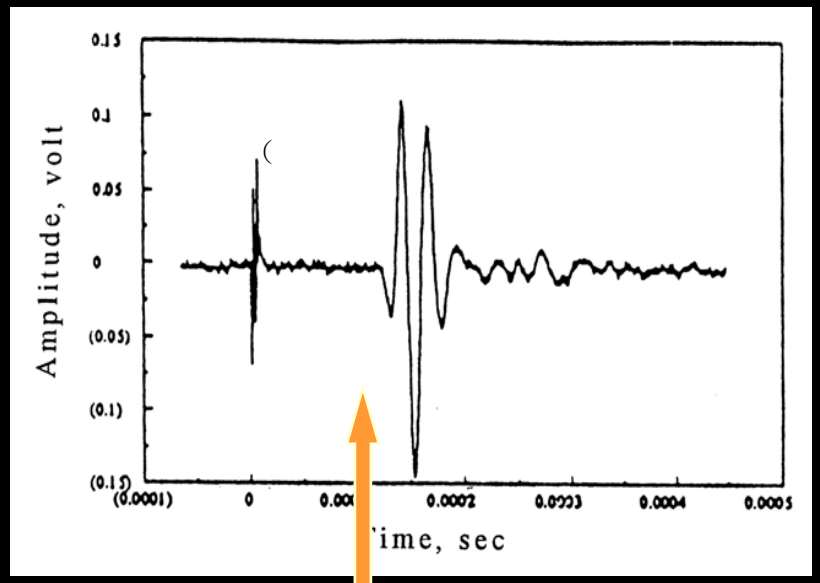
受損及未受損蘋果能量頻譜圖　　Upchurch et al.（1985）



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

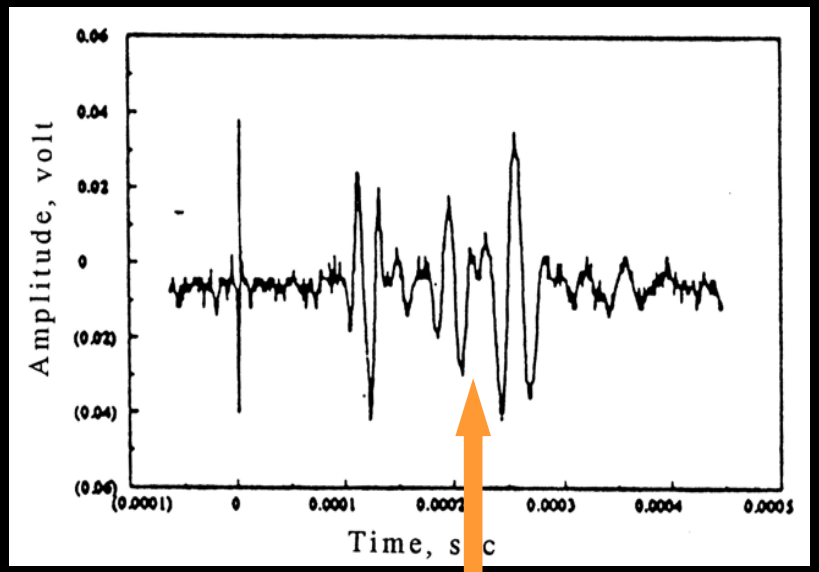
利用超音波探測馬鈴薯的空心缺陷

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

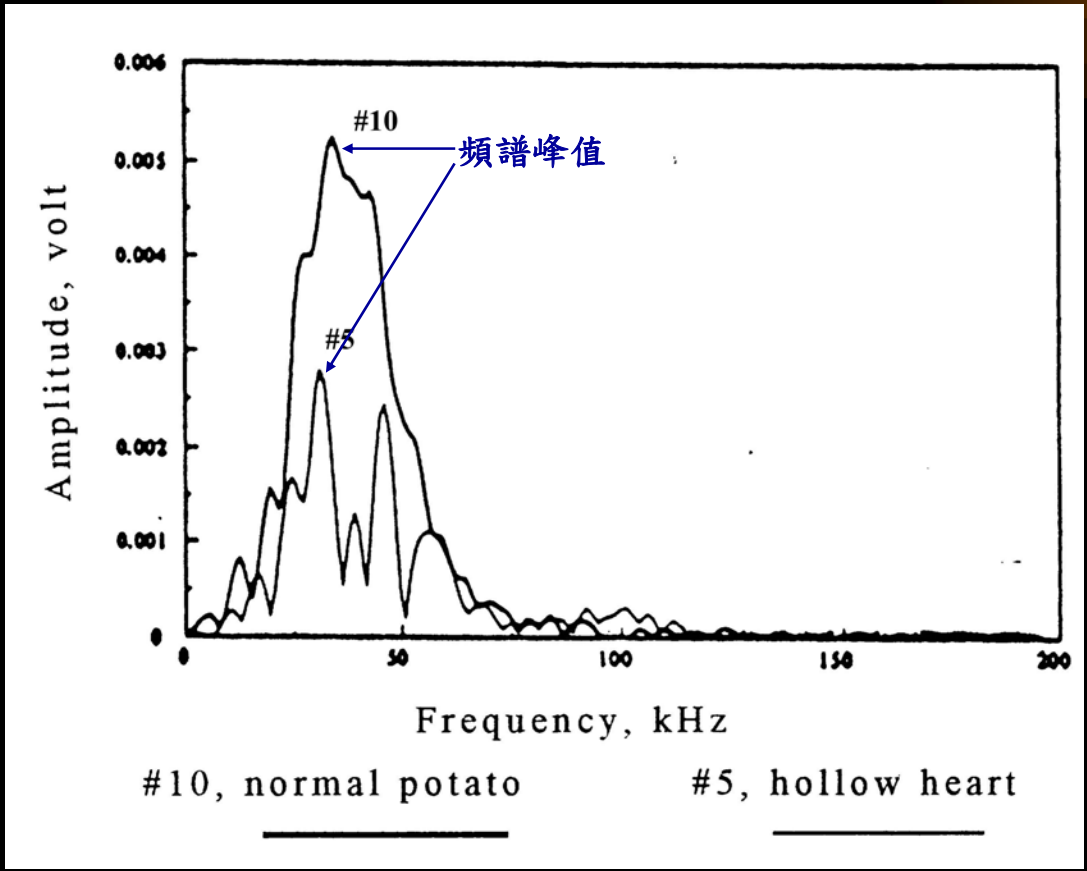
內部有空洞馬鈴薯的波形



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

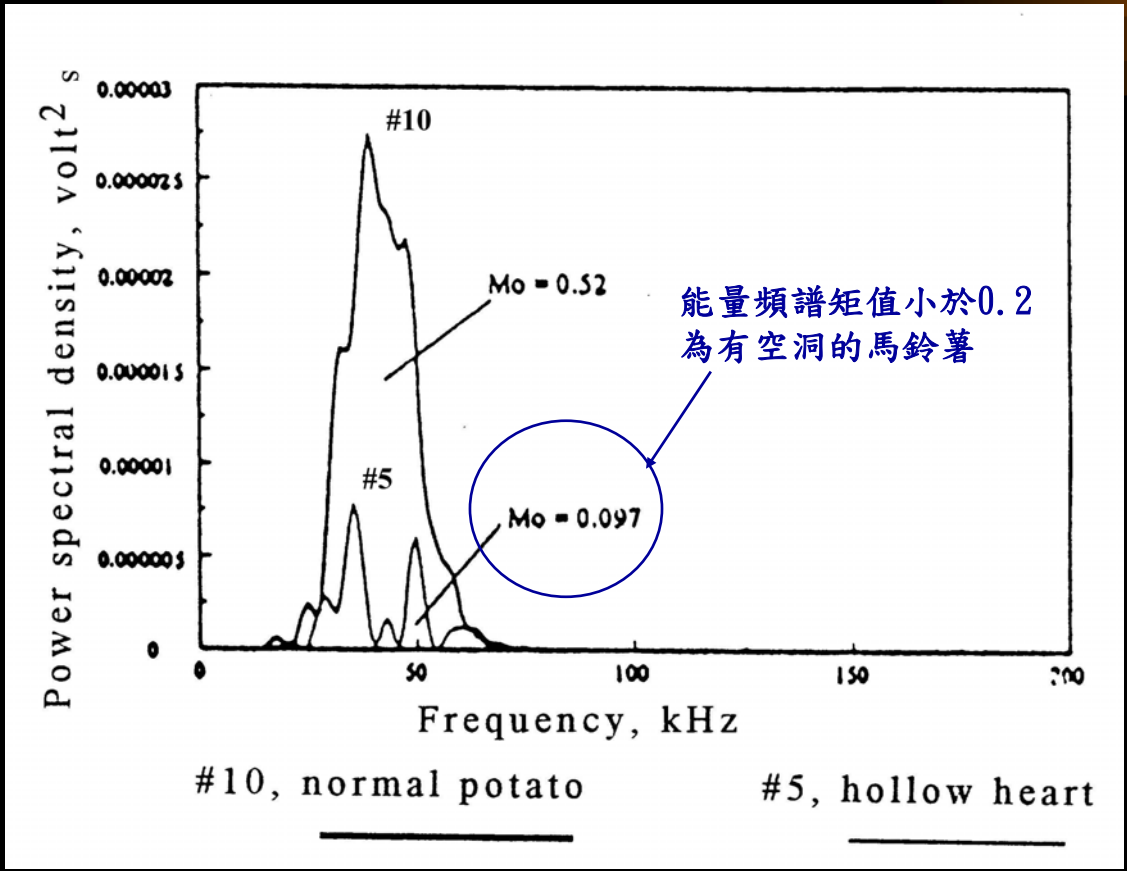
(Haugh, 1993)

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)

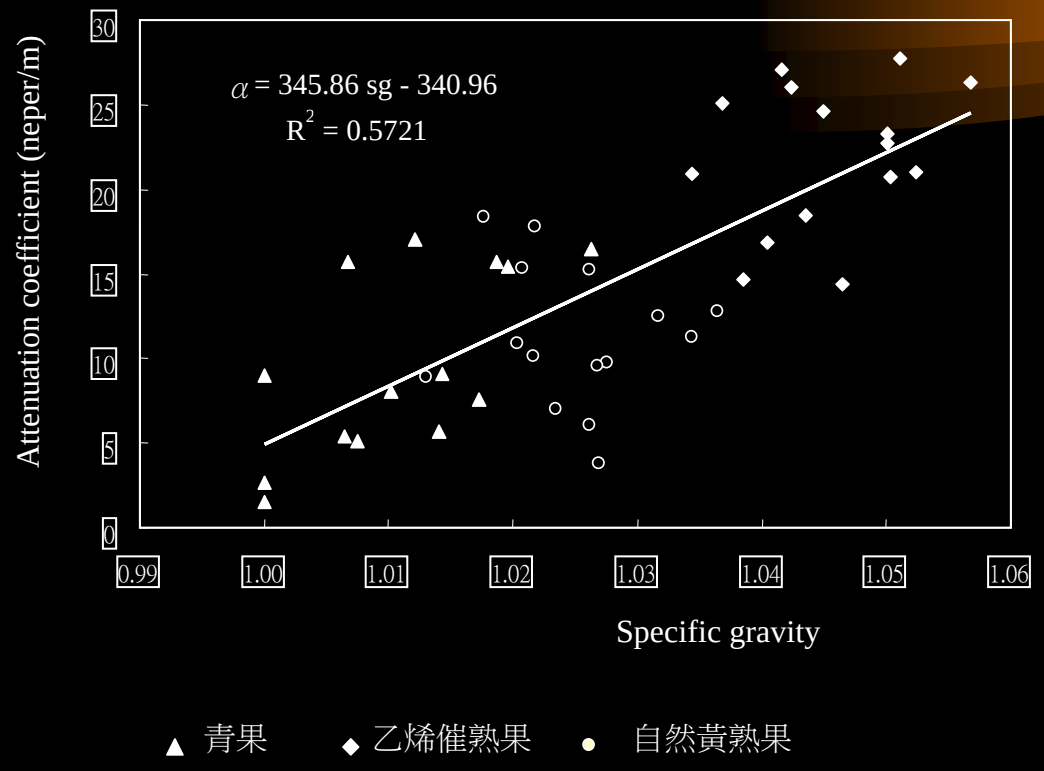
正常和空洞馬鈴薯
能量頻譜矩分析結果



能量頻譜矩值小於0.2
為有空洞的馬鈴薯

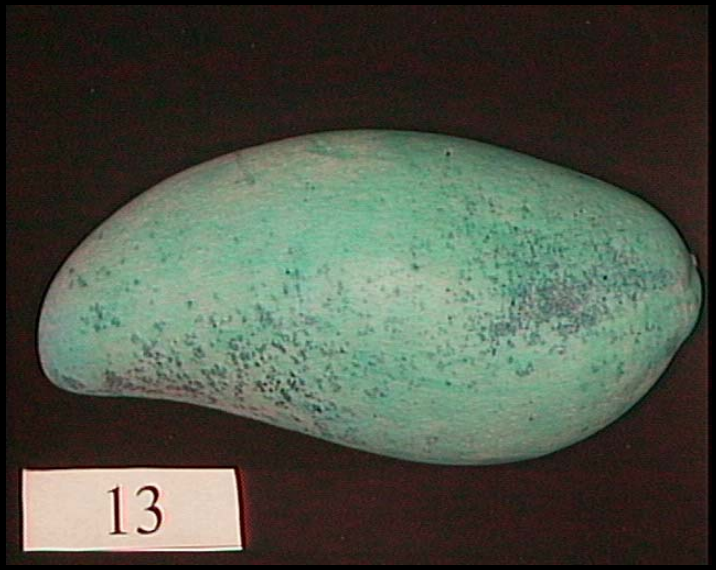
能量頻譜矩
不受厚度及
體積大小影
響可判定空
洞

以超音波反射回波衰減係數檢測芒果(金煌)比重與劣變

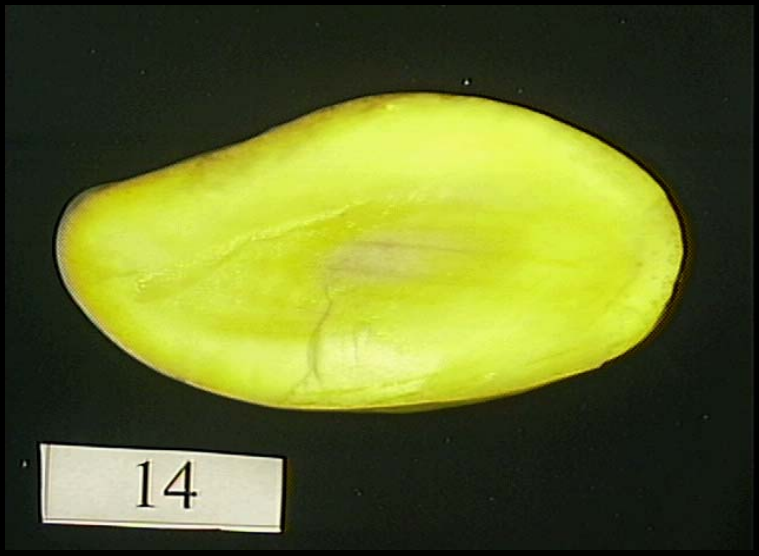


Regression analysis of specific gravity vs. attenuation coefficient for fresh samples

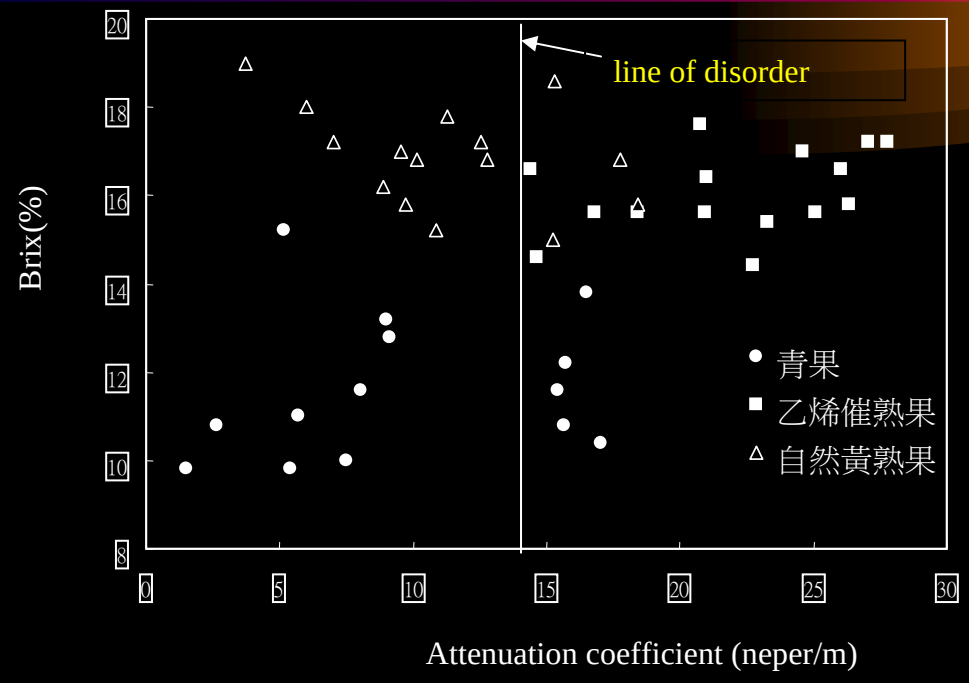
外觀CCD取像無差異芒果樣本



剖開內部取像劣變對照圖



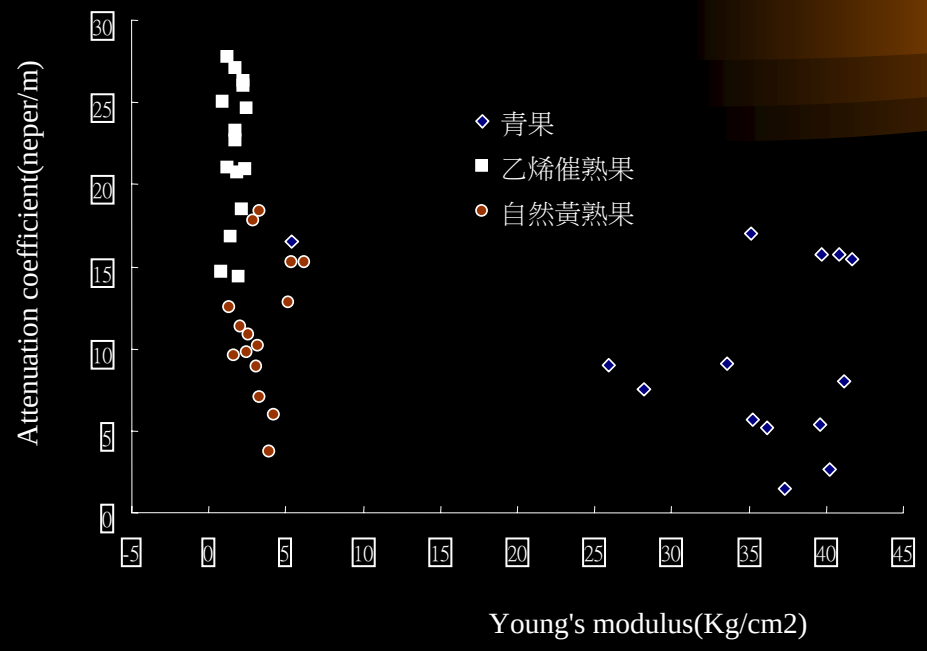
以超音波衰減係數為劣變指標的完熟金煌芒果劣變線



Evaluating disorder line of ‘Chiin Hwang’ mango

by attenuation coefficient for ultrasonic echo technology

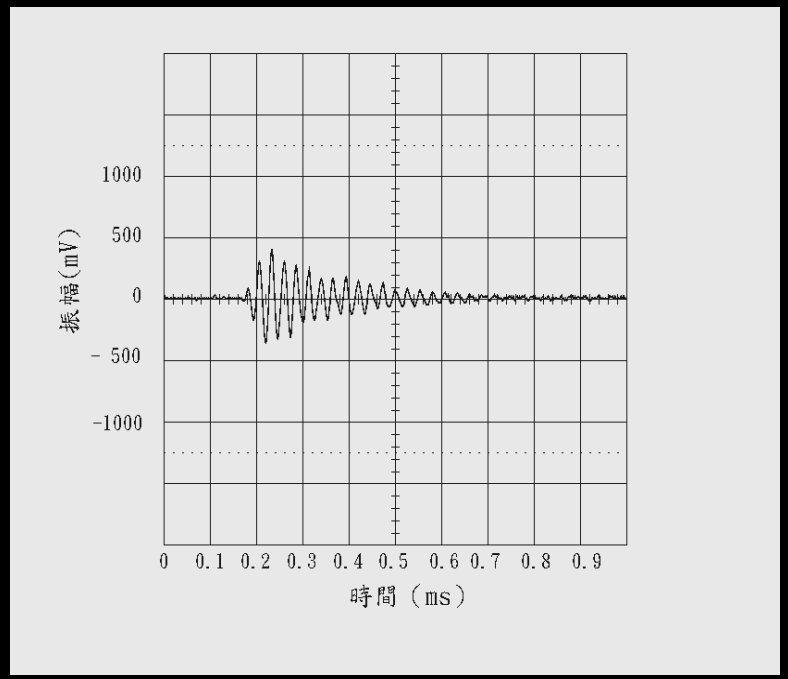
以超音波衰減係數為成熟指標的金煌芒果彈性模數對應分佈圖



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

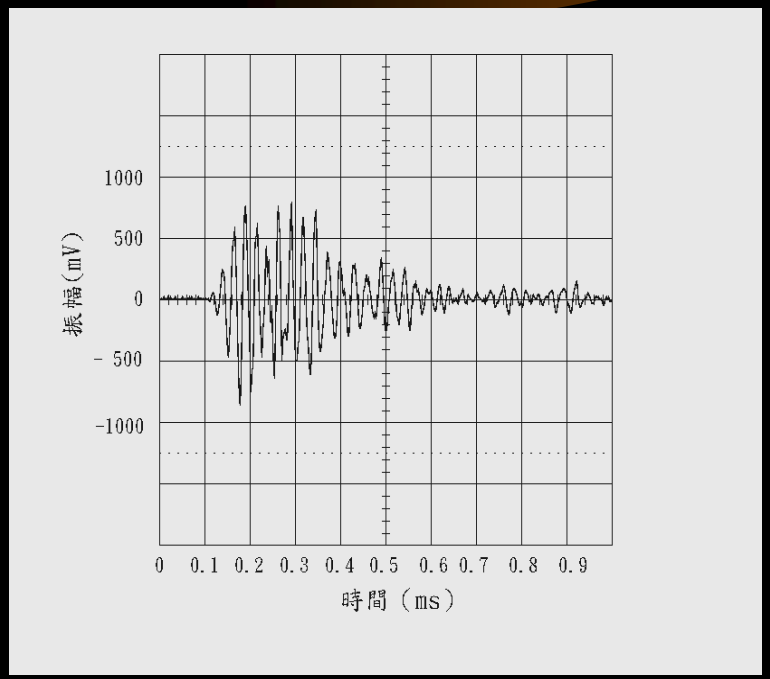
空氣中量測



振幅766mV

20.9 neper/m

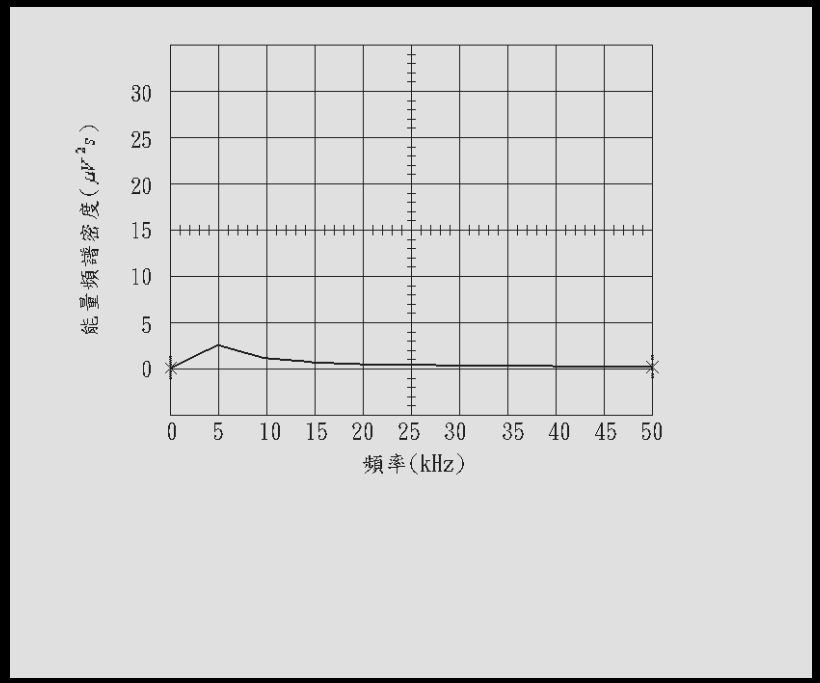
水中量測

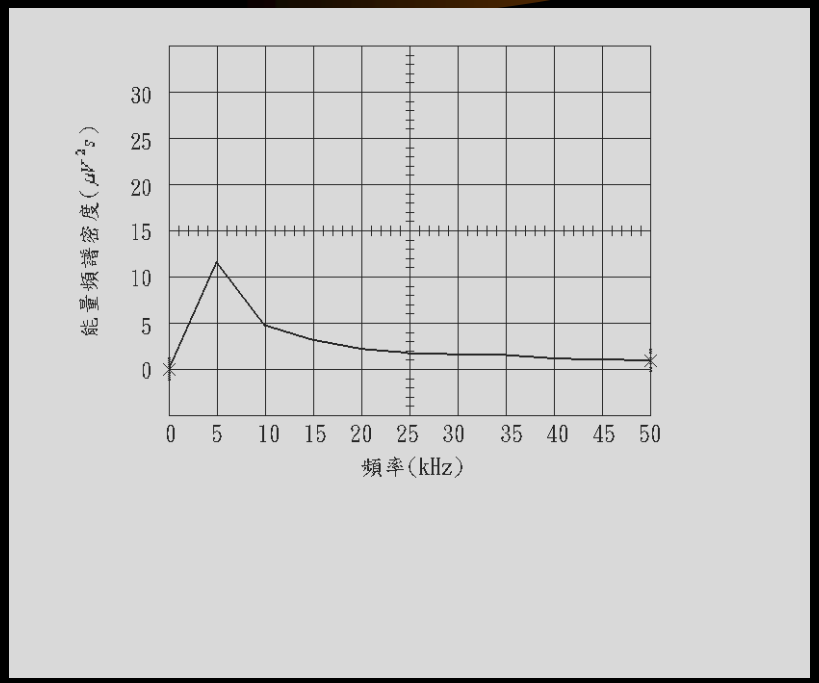


振幅1656mV

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





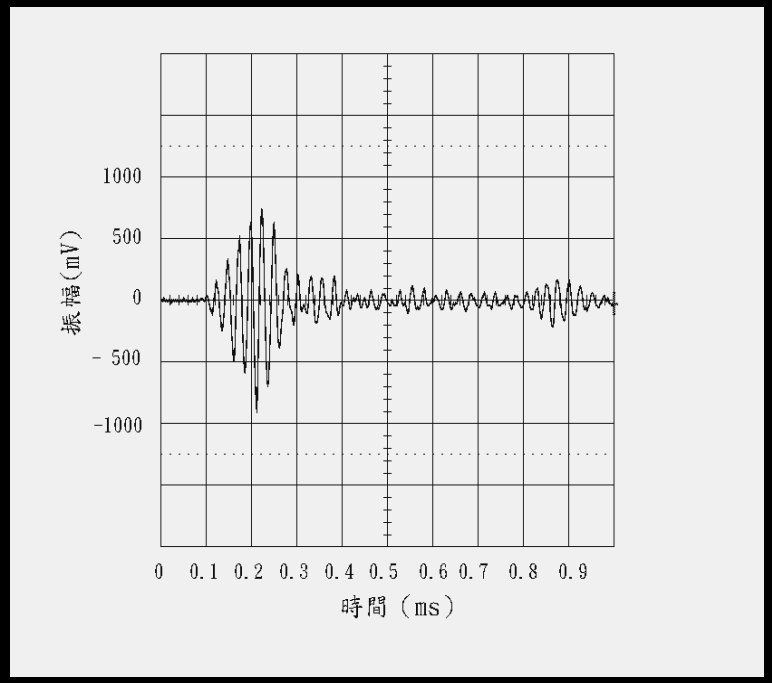
空氣中量測

Mo =0.08 V^2

水中量測

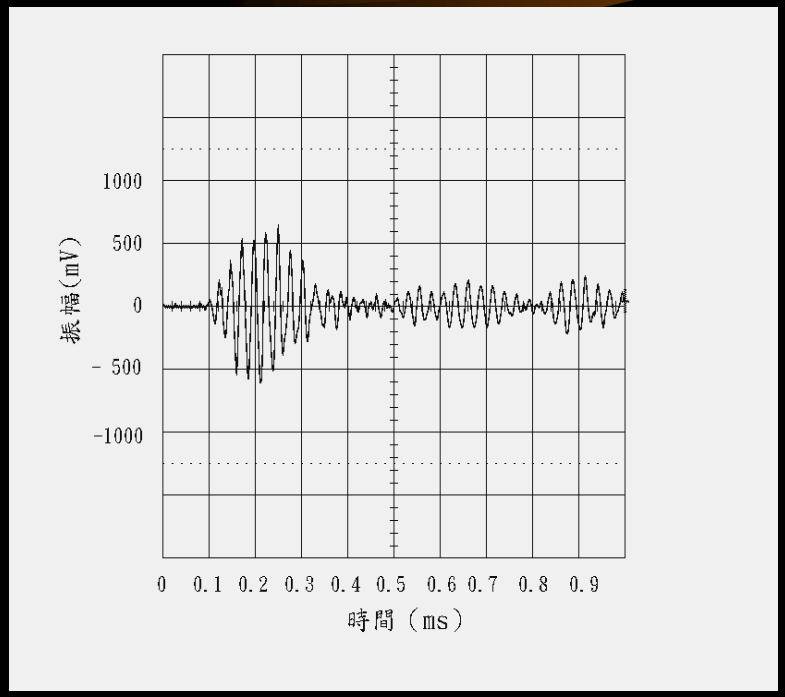
Mo =0.39 V^2

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

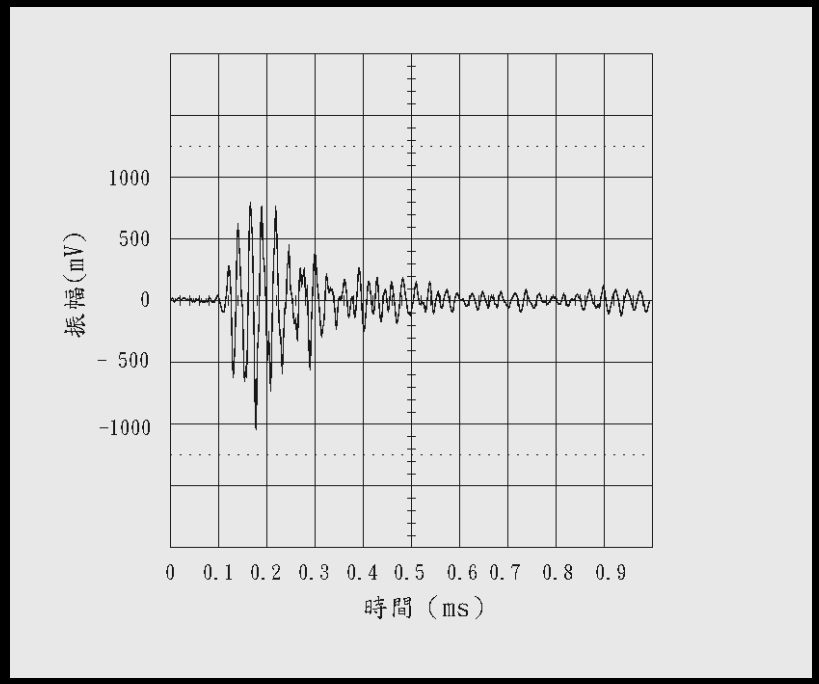
穿透波波形



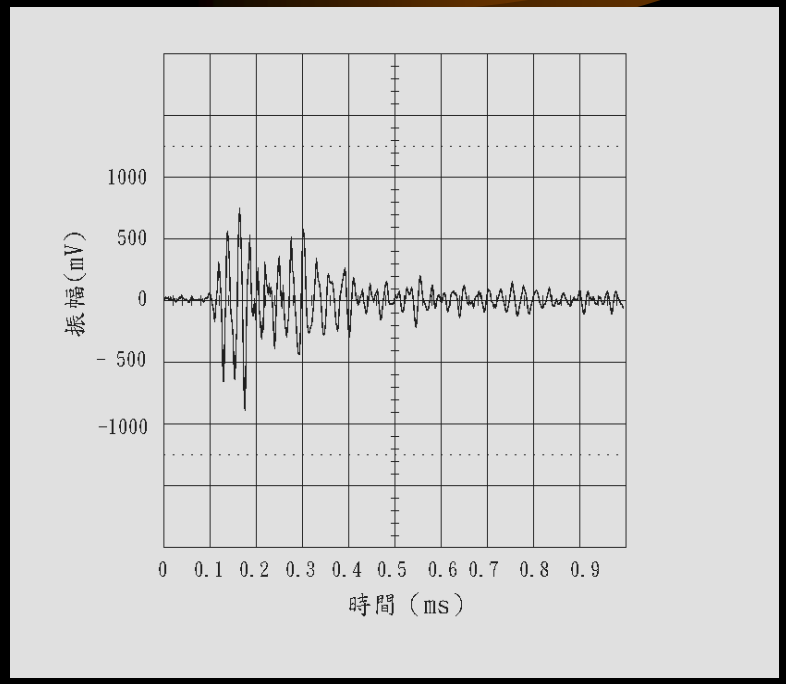
兩個空洞受檢物

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



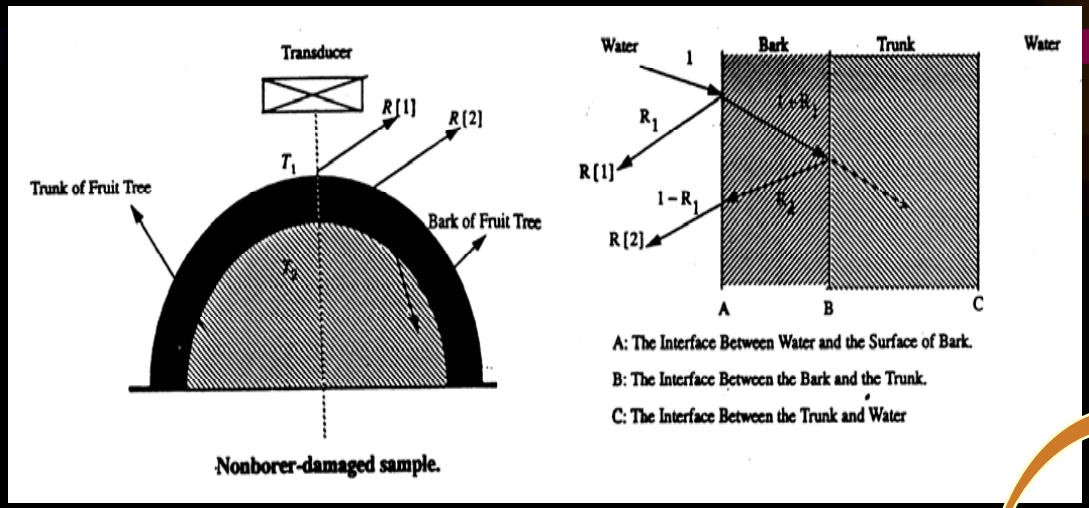
梯形樣本
穿透波波形

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。

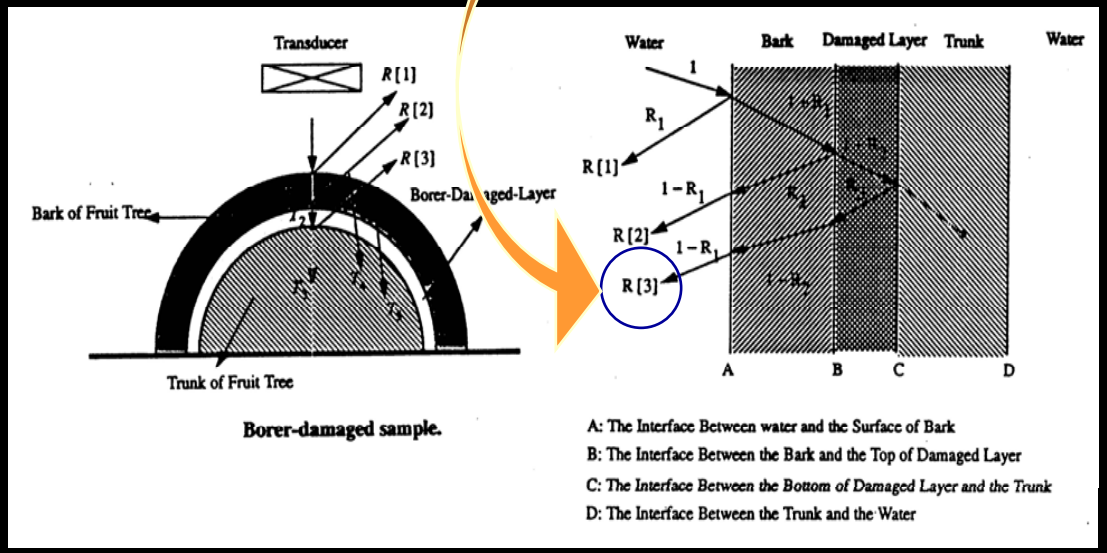
(Zhang et al.,1994)

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。

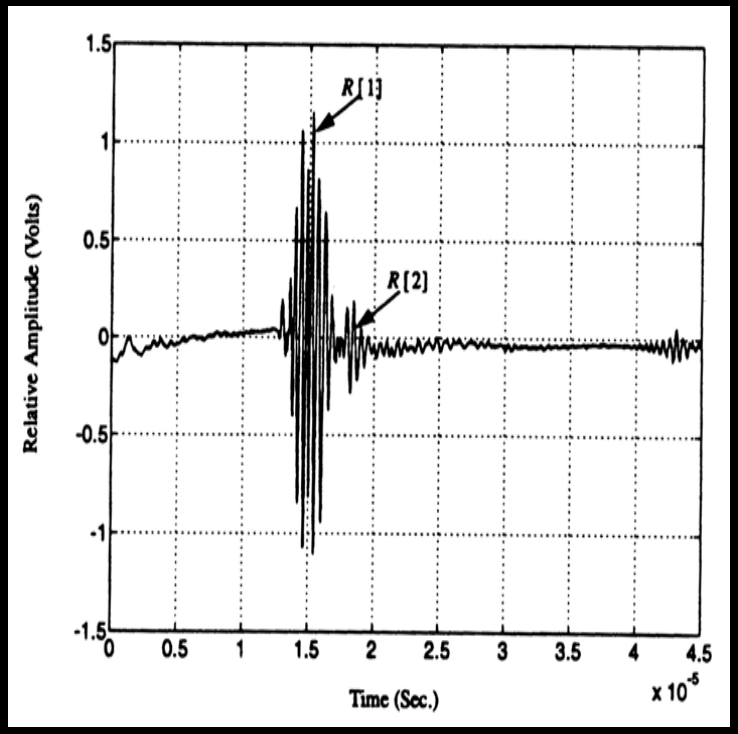
未受蟲害的櫻桃樹



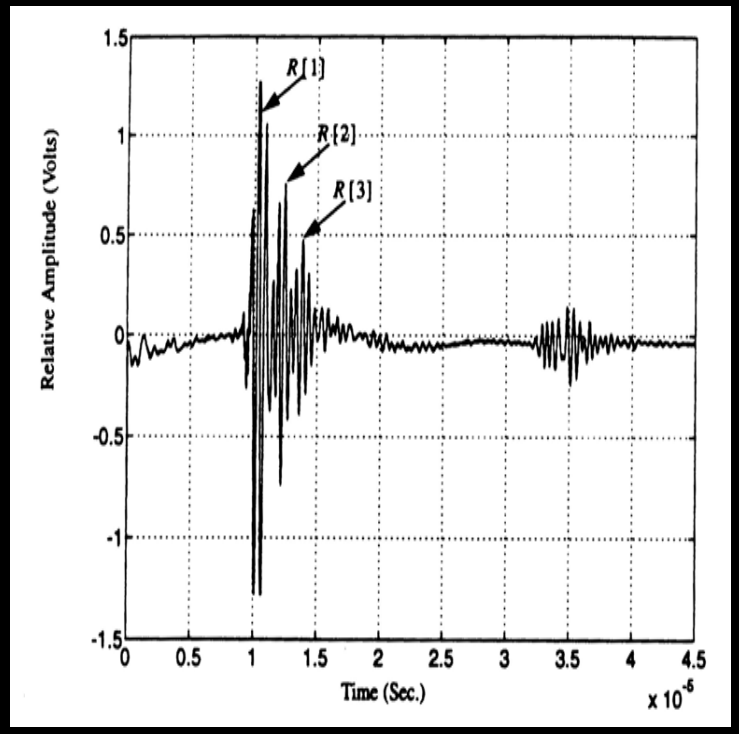
(Zhang et al.,1994)

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

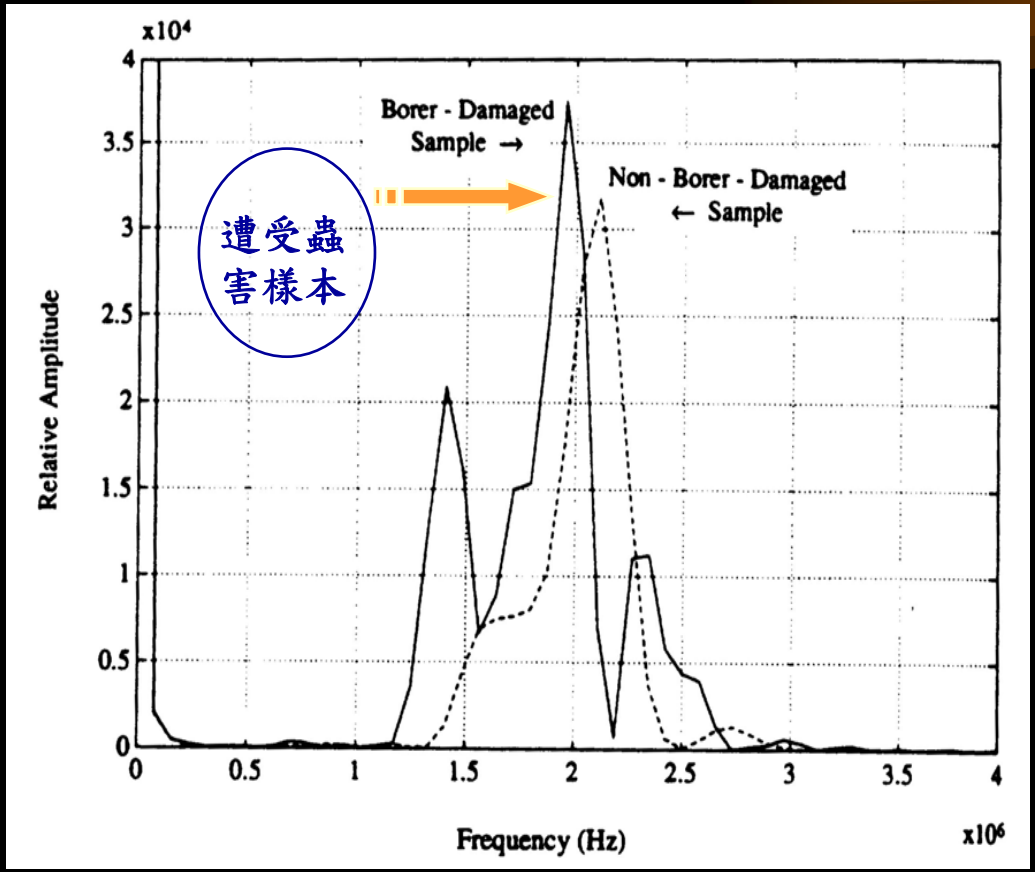


受蟲害的時間域波形



(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】許多婦女乳房檢驗發現疑似腫瘤等硬塊，部分醫生常先開刀切除再檢驗良惡性，有些婦女因此白挨刀的切除乳房。

國立中正大學副教授張瑞峰博士班學生黃育仁與中國醫藥學院附設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已嚴重受傷害。

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檔等方式，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瞄圖像輸入電腦類神經網路，讓電腦記住乳癌影像的紋路特性後進行比對，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，以免延誤診療時機。

他說，為了防止電腦誤判，陸續將臨床病例輸入電腦，並將一張一角度的掃瞄圖像比對，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，讓婦女免白挨刀。

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腫瘤。 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

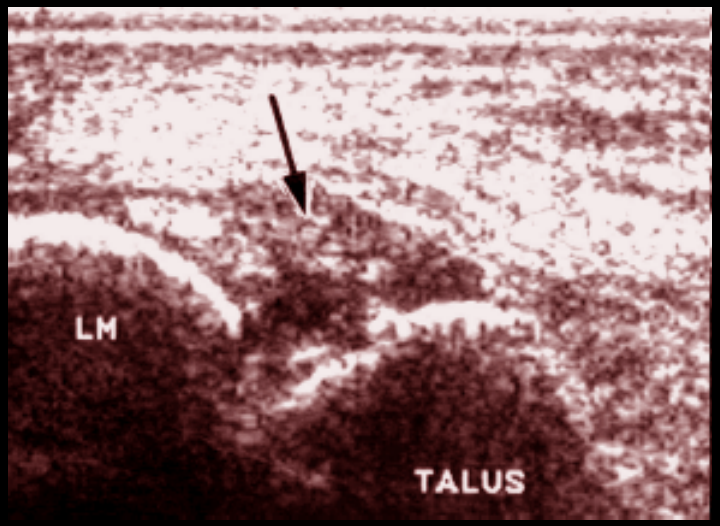
秀傳紀念醫院杜卜勒超音波
肝腫瘤檢查圖片

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)



SAW SENSOR簡介
(表面聲波感測器)

在醫學、農業科學及生物化學等研究領域中，精確的生物感測器擁有極大且未完全開發的市場。在醫學領域中，病毒或特殊致癌基因的快速檢測，可提升臨床醫療照顧的品質與降低醫療成本。

在農業方面，寄生或傳染性有機體之檢測也是重要的課題。總括來說，生化材料的定性和定量檢測極具市場潛力。

近年來，生物感測器亦朝微小化方向發展，以降低成本並提高檢測機能。

SAW SENSOR簡介
(表面聲波感測器)

1970年代初期，表面聲波元件開始被用作生物感測器，量測氣態或液態生物混合物之材料性質。

主要的結構為一聲波元件，利用鍍在壓電材料上表面電極來激發與接收聲波，當波傳路徑上之邊界狀況發生改變時，聲波特性如波速、相位或振福等，相對地會有所變化，故可據此進一步確認混合物的質量密度、彈性勁度、液體黏滯性、pH值、介電（光學）性質及傳導率（電子、離子與熱）等材料性質的變化。

SAW SENSOR簡介
(表面聲波感測器)

微型表面聲波感測器應用於探討其在生醫液體粘滯性特性量測。

在理論方面利用Hermann與Braga所提出之壓電晶體八階矩陣波動方程式，加上波阻的概念將之推展至黏滯性液體負載下之壓電層狀介質波傳特性分析，以分析液體與壓電波傳互制關係。

此方面研究成果除可用來分析表面波傳特性外，對後續各式生化感測器之發展亦極為重要。在技術發展方面則包括表面拉福波(Love wave)元件之設計與製作、表面聲波元件量測及校正系統建立與測試、關節液超音波波速及衰減(與粘滯性相關)與臨床診斷相關性研究。

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)

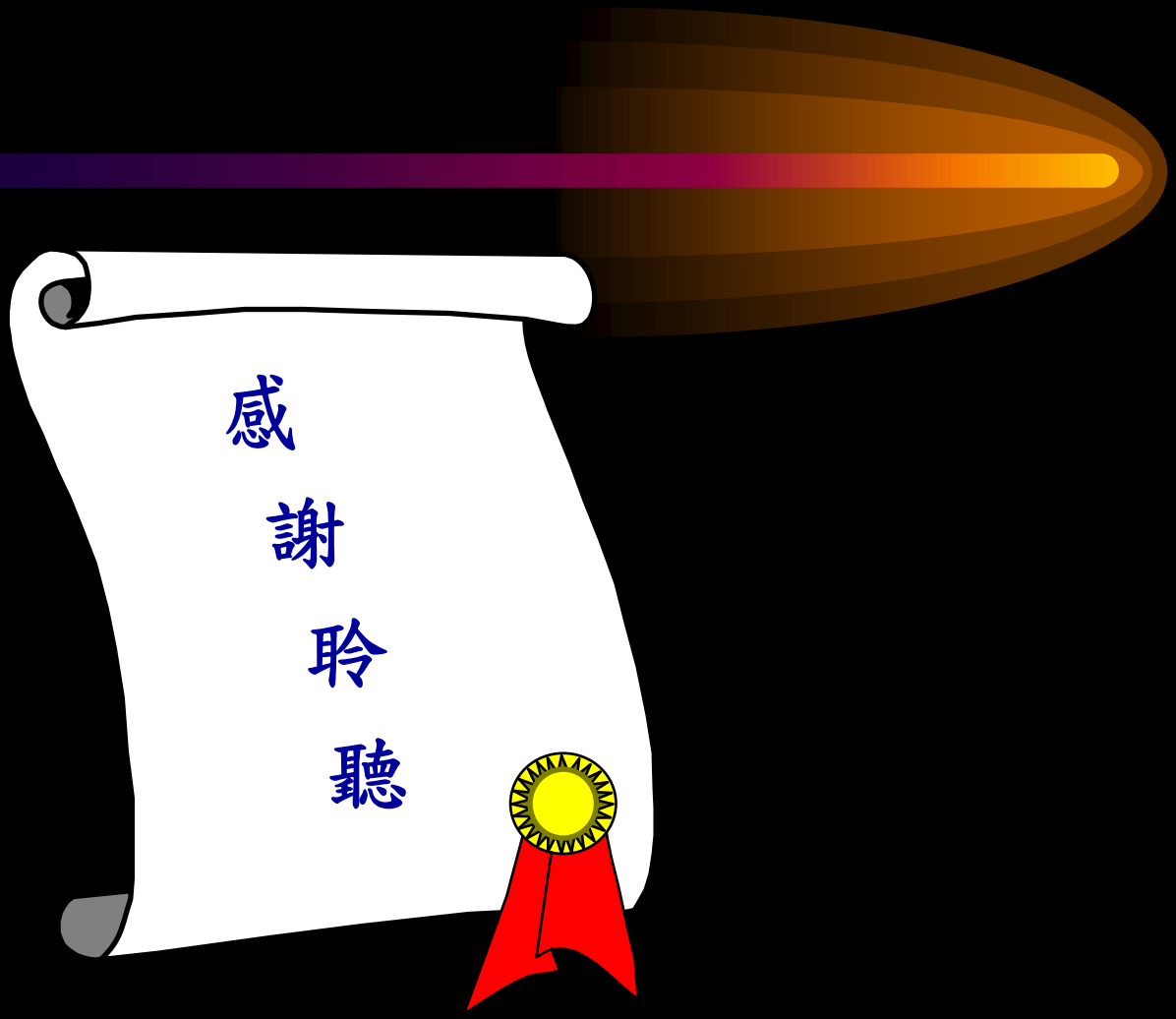
傳統壓電式超音波檢測探頭需有耦合介質(couplant)，因此目前的研發均朝向非接觸式檢測，如EMAT、電容式(capacitive)、氣體耦合式(air-coupled)，雷射超音波法(laser-ultrasonics)等，其中又以雷射超音波法(LUT)在超音波音源產生與超音波檢測探頭部份均以非接觸的方式處理，在應用上可適用的環境較為廣泛。

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