

儀器與量測課程簡介

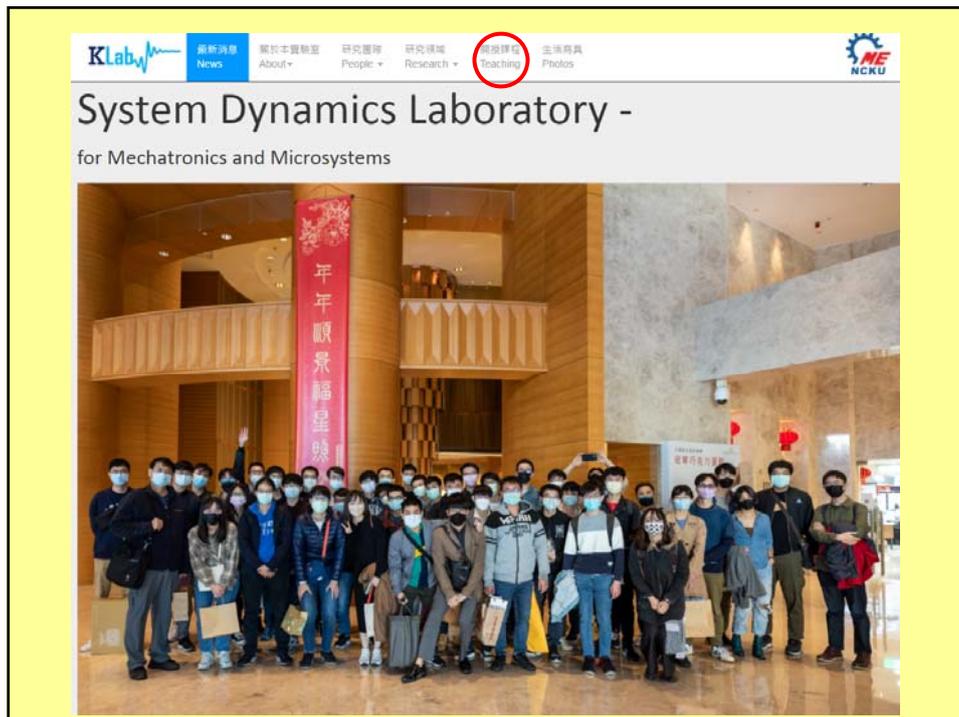
陳國聲

2022/ 02/ 16

RM 303

儀器與量測

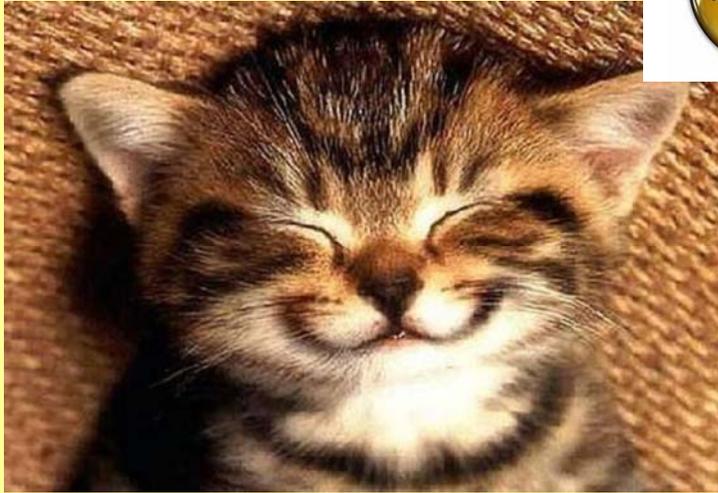
- Instructor
 - 陳國聲教授, x62192, RM 710
 - 何清政教授, x62146, RM 520
- TA
 - 楊博丞, 江其達 x62272, RM A07
- 課程網頁:
 - Moodle and <http://klab.me.ncku.edu.tw/>



課程目標

- 了解量測系統之基本特性
- 認識基本機械變數之量測方法與量測儀器之基本原理
- 精密量測系統 或 特定量測任務之量測系統概念設計
- 非機械量測系統之基本概念 (eg, EE, MSE, CHEM)
- 看懂儀器規格, 可以開出所需規格
- 不被誇大不實廣告所欺騙
- 以後當上司不被下屬糊弄

Sounds Like Great !



But !!!!!

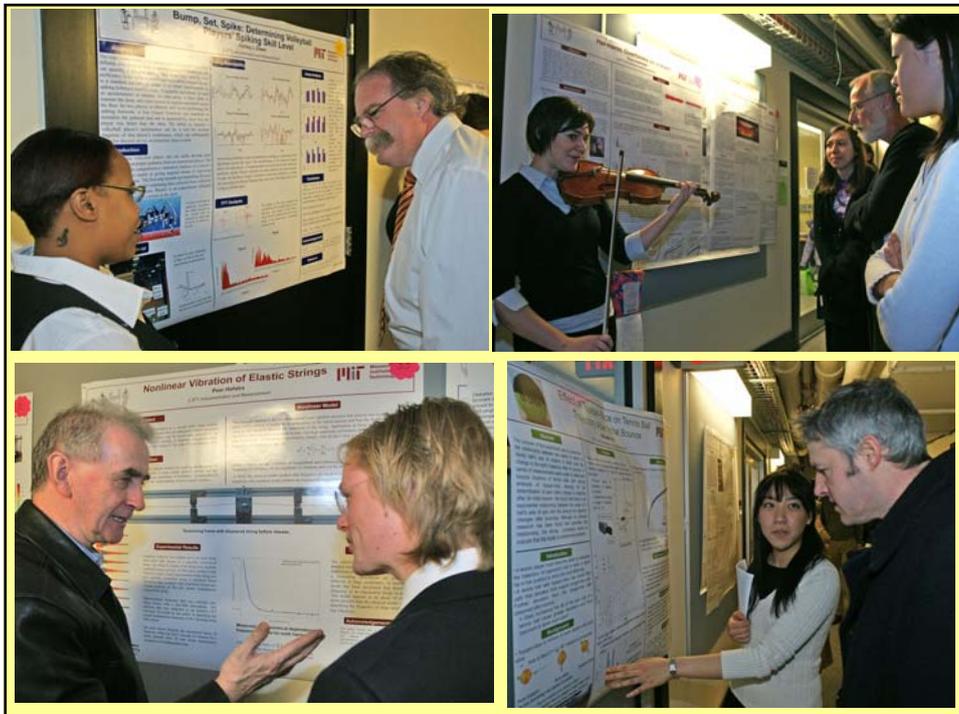
Common Concerns

- This is a low C/P course
- This means
 - Quite intensive reading, homework, reports, exams, and maybe presentations
- And
 - 好像不太營養
 - 研究所又不考
- 到底是哪一組的課?
 - I guess I should ask you this question after you finish this course.



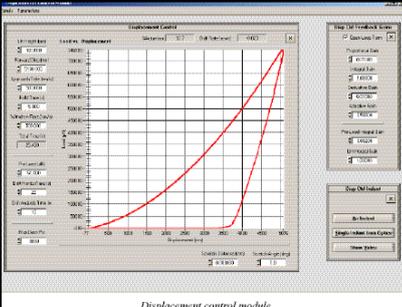
Related Courses in Other Universities

- NTHU PME
 - Measurement systems, 3 credits
 - 2 hour lecture + an afternoon lab
 - Equivalent to this course + 機工實驗 II
- MIT ME 2.671
 - Course + Lab + term project (need experiment)
 - Term report, presentation
 - 1 person/group



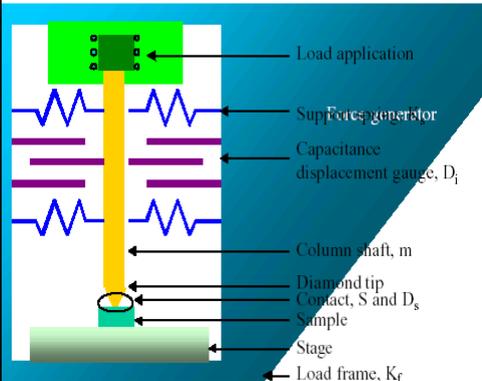
Course History

- Initiating by 李森墉系主任@2000
- 1st time @2001, 6 professors, maybe 15 students
- 2nd time @2002, 3 professors, maybe 6 students
- 3rd @2004, 4(F)/ 7
- 4th @2005, 3(F)/12
- 5th @2007, 2(F)/13
- 6th @2010, 0/13
- 7th @2012, 5(F)/20
- 8th @2014, 4(F)/17
- 9th @2016, 1(F)/14



Displacement control module.

Nano Indentor



- ← Load application
- ← Support generator
- ← Capacitance displacement gauge, D_1
- ← Column shaft, m
- ← Diamond tip Contact, S and D_s
- ← Sample
- ← Stage
- ← Load frame, K_f



常看到的問題, 冷靜的想一想!

- 某奈米壓痕機人員宣稱其力量解析度可達 10^{-12} 牛頓, 壓痕解析度可達 10^{-11} m.
- 某雷射位移計其讀數為 1.33333 nm, 但操作人員對此數據深信不疑, 因為這是那台數千萬機器告訴他(她)的!

狂牛症相關報導@2005

- 英國微生物學家理查·拉席(Richard Lasey)曾預測表示:「大約自2015年開始, 英國每年都會有二十萬人死於狂牛症。」
- 「美國帶骨牛肉風險評估報告」牛絞肉的平均終身致病風險(5.77×10^{-10})最高, 其次是牛內臟(1.50×10^{-10})、帶骨牛肉(2.72×10^{-11})與不帶骨牛肉(7.18×10^{-12})。
 - 簡單來說, 天天吃不帶骨牛肉, 平均終身罹患狂牛症機率是1千億分之7.18
若吃帶骨牛肉, 風險足足高出3.7倍, 若喝牛雜湯, 則風險高出20倍, 若吃美國牛絞肉, 風險則超過700倍。
- Prion蛋白質對熱、紫外線、輻射照射及消毒劑均有很強的抵抗力, 以一般常用的物理、化學方法並無法破壞它。英國醫學研究單位對當年病牛灰燼加以化驗, 經攝氏 $1,000^{\circ}\text{C}$ 焚化的病狂牛灰燼中, 仍發現有許多病原蛋白性顆粒; 若是經攝氏 600°C 的乾溫環境處理並掩埋3年之後, 發現樣本雖然變弱許多, 但仍然具有感染力。

全球暖化相關報導

- 英國媒體追蹤報導指出，聯合國跨政府氣候變遷小組（IPCC）先前宣稱全球高山冰河恐將消失的說法，來源竟是根據一篇登山雜誌上的文章與一篇碩士生的論文。IPCC上月初才因公布喜馬拉雅山冰河融化的預測不實而道歉，現在恐怕又要再次面臨外界質疑其報告品質有問題的尷尬場面。
- 關於全球暖化的論述，在科學界有三點共識：一、自19世紀晚期以來，全球氣溫上升了一度左右；二、在此同一段時期，大氣層中的二氧化碳增加約30%；三、二氧化碳會助長未來的暖化現象。

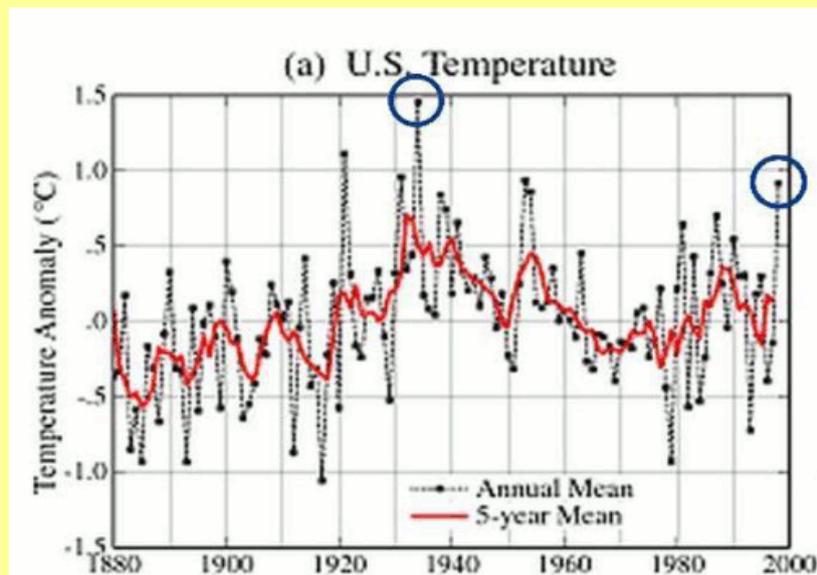
Key Issue I: 如何做實驗

- 如何設計實驗?
 - 對照組? 要量哪些物理量? 如何量測? 要量多少?
- 如何分析實驗 data?
 - 平均? 標準差? 機率?
- 如何剔除錯誤 (不合理) data?
 - 它為什麼是不合理?
- 如何排除未考慮因素?
 - 為何那些因素不需被考慮?

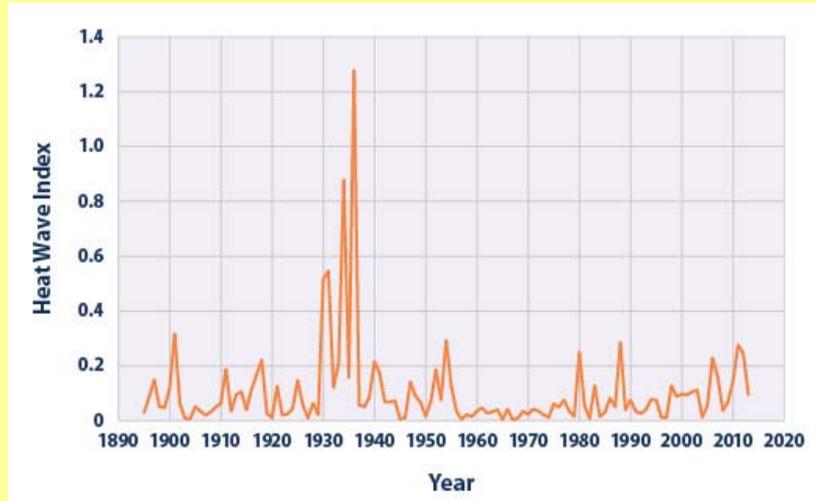
Key Issue II: 如何統計資料

- 要做多少個實驗才算數?
 - 機率是億分之一需要多少實驗數據?
- 實驗資料本身的可信度=?
 - E.g., 溫度量測之地點, 時間=?
 - E.g., 發病之其他原因是否排除?
- 如何下預測論述?
 - E.g., “... 根據實驗結果, 預估在 2100年時, 海水會上升 1 公尺, ...”
 - E.g., “... 預估在 2020年時, 全世界的石油將會耗盡...”

Avg Temperature of US

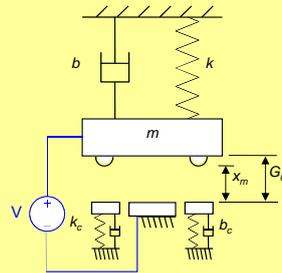
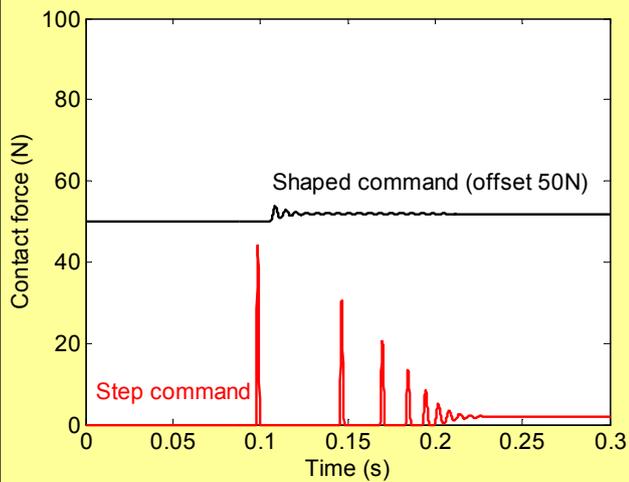


Heat Wave Index of US

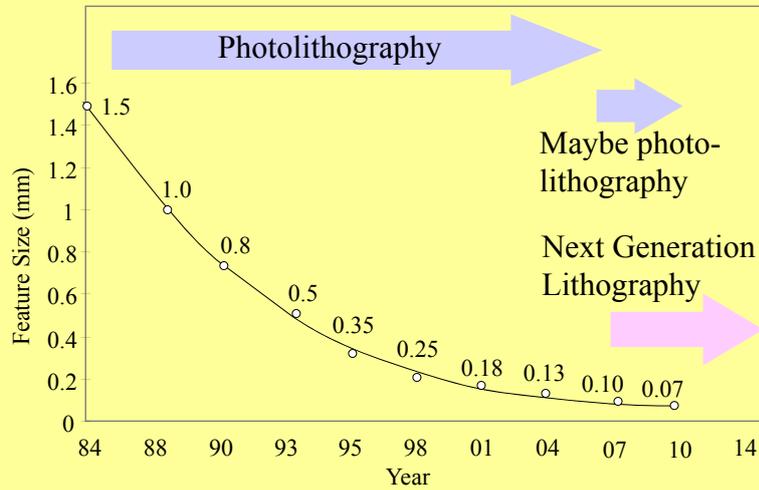


Key Issue III: 如何詮釋資料

- 你是否有預設立場?

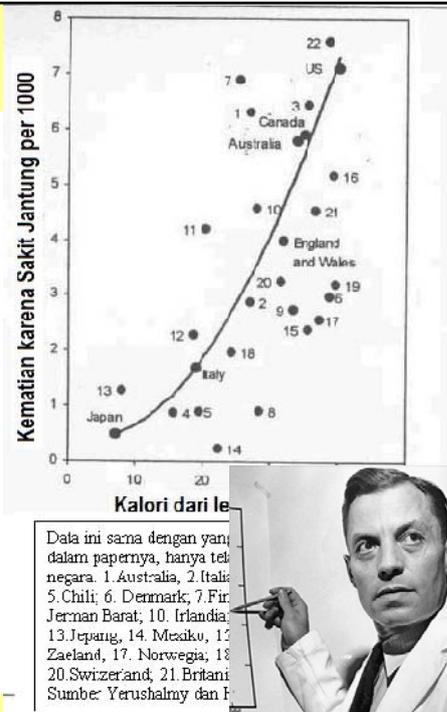
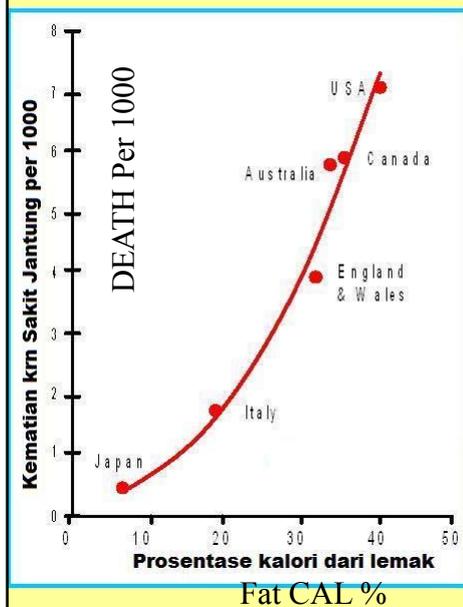


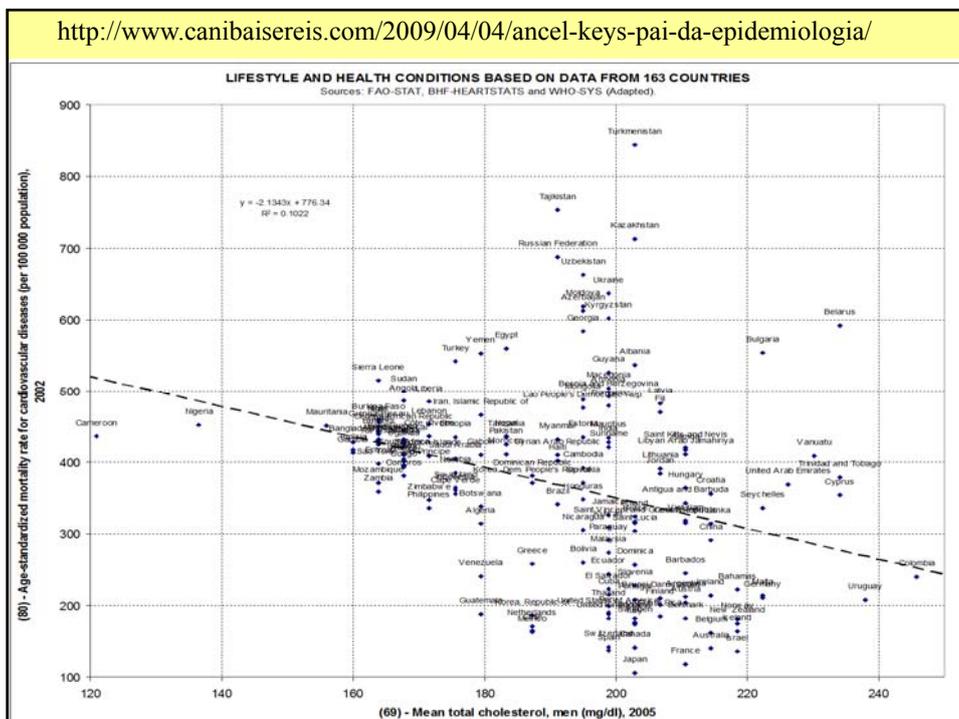
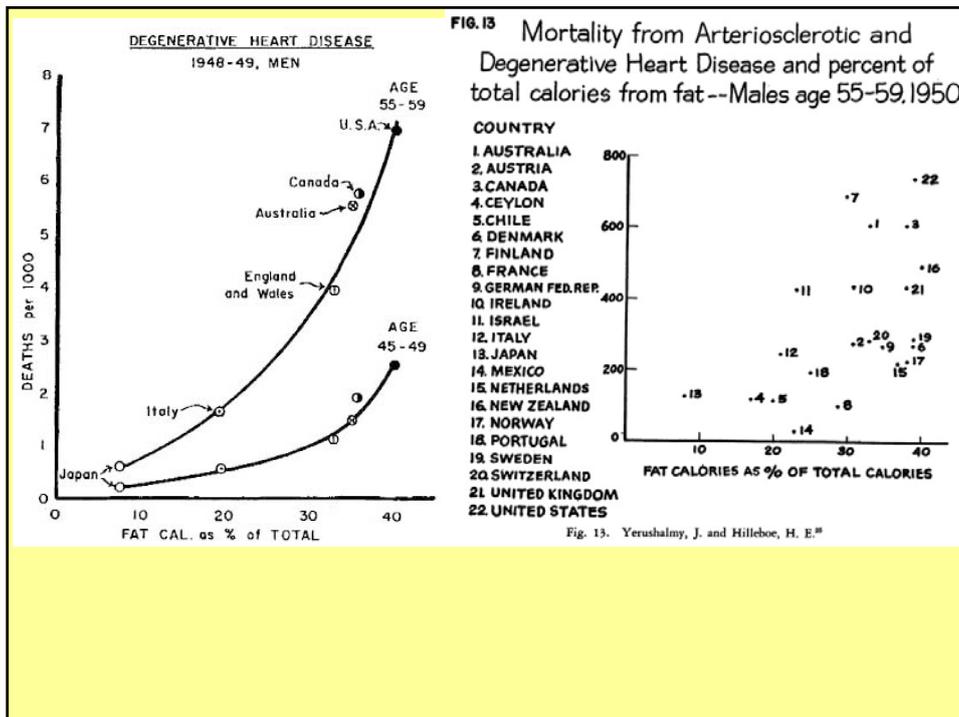
E.g., IC Size Tendency



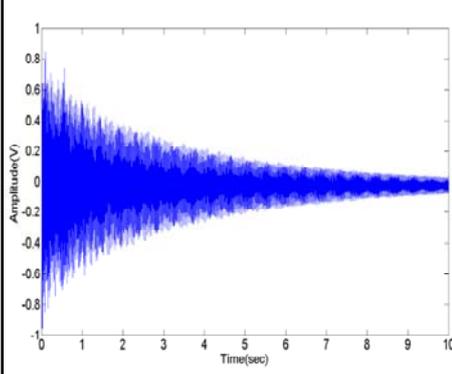
- 我們是否可以以該圖去預測科技走勢?

From A. Keys 1953

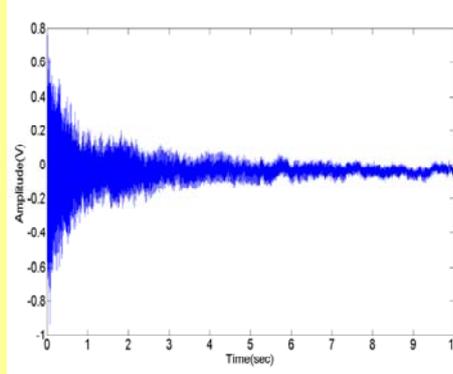




Time Domain Response



• Accelerometer Time Domain Response

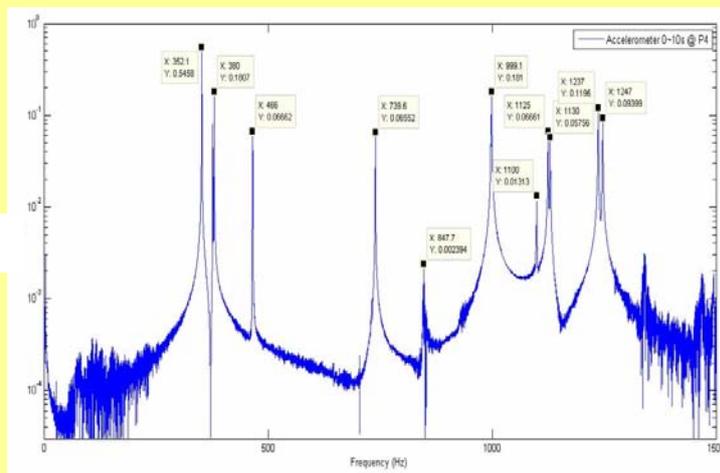


Microphone Time Domain Response

Any technical information?

23

Accelerometer Spectrum



24

June 03- Sep 03 2014日圓賣出匯率



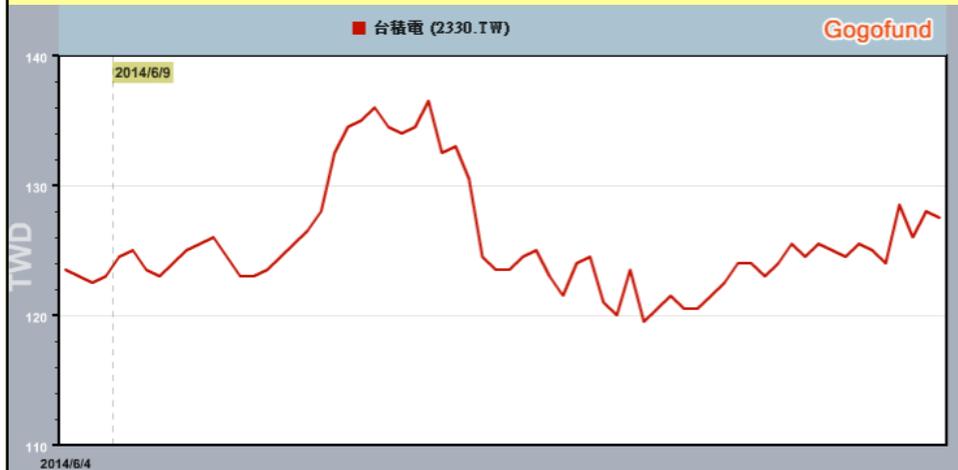
Can you tell the tendency and make a prediction?

長榮 Feb 08 2022 股價



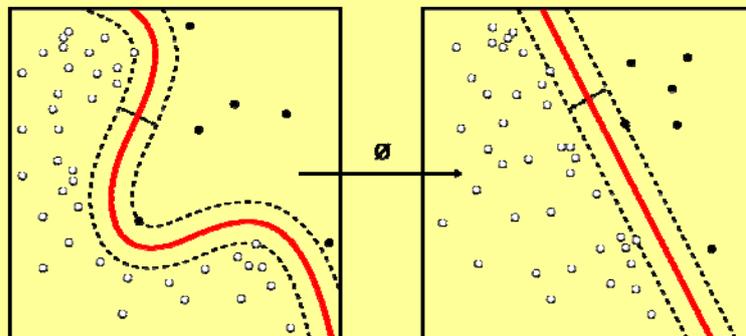
Any insightful information?

TSMC 收盤 (Jun. 04 – Sep. 04, 14)



Again, can you tell the tendency and make a prediction?

Support Vector Machine (SVM)



交叉分子束儀器—HOPE
Crossed Molecular Beam Apparatus—Hope

立體圖

1. 離子撞擊離子化源	6. 分子束源板	11. 軸承	16. 光電倍增管
2. 四極桿質量過濾器	7. 冷板	12. 真空軸封	17. 磁扇磁極
3. 離子計數器	8. 到離子真空室	13. 液氮入口	18. 轉盤
4. 磁扇	9. 到撞前真空室	14. 高電壓接配	19. 切斷閥
5. 分子束源	10. 液氮阱	15. 閃爍片	

它真正量到的是什麼？

交叉分子束方法用來是研究反應動態學的一種實驗技術，由兩個不同噴嘴噴發出兩股不同的分子(或原子)束，在一高真空的反應腔中形成交叉，使分子或原子產生碰撞而散射。可以藉此探討化學反應中的分子動力機制，以及偵測出化學反應中的分子碰撞現象

量測儀 vs. 真正量測量

- 量測儀藉由量測某些物理量 + physical model → 達成所欲量測的性質
- Example:
 - 光彈; 材料試驗機, 薄膜應力量測
 - RTD, Laser Doppler...
- 因此, 實驗誤差與 physical model 之適用限制均影響儀器之精度與可用性

課程大綱

- 量測系統基本原理與資料表示注意事項
- 量測信號處理
- 量測儀器與機械變數量測
- 量測系統概念設計與個案討論

What does the course cover?

Measurement
Devices

Data
Acquisition

Uncertainty
Analysis

System
Response

Data
Processing



PCB PIEZOTRONICS INC.

Model 320C15
Product Type: Accelerometer, Vibration Sensor
 ESS mini (2 gm), quartz shear ICP® accel., 10 mV/g, 2 to 10k Hz, 5-44 side conn., 5-40 mounting stud, to +325°F
 View [photo](#) and [drawing](#).

PERFORMANCE	ENGLISH	SI
Sensitivity (± 10 %)	10 mV/g	1.02 mV/(m/s ²)
Measurement Range	± 500 g pk	± 4900 m/s ² pk
Frequency Range (± 5 %)	2.0 to 10,000 Hz	2.0 to 10,000 Hz
(± 10 %)	1.5 to 18,000 Hz	1.5 to 18,000 Hz
(± 3 dB)	0.7 to 30,000 Hz	0.7 to 30,000 Hz
Resonant Frequency	≥ 60 kHz	≥ 60 kHz
Broadband Resolution (1 to 10,000 Hz)	0.005 g rms	0.05 m/s ² rms [1]
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 % [2]
Transverse Sensitivity	≤ 5 %	≤ 5 % [3]
ENVIRONMENTAL		
Overload Limit (Shock)	± 10,000 g pk	± 98,100 m/s ² pk
Temperature Range (Operating)	-100 to +325 °F	-73 to +163 °C
Temperature Response	See Graph	See Graph
Base Strain Sensitivity	≤ 0.0005 g/με	≤ 0.005 (m/s ²)/με [1]
ELECTRICAL		
Excitation Voltage	18 to 30 VDC	18 to 30 VDC
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA
Output Impedance	≤ 100 ohms	≤ 100 ohms
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC	8 to 12 VDC
Discharge Time Constant	0.25 to 1 sec	0.25 to 1 sec
Settling Time (within 10% of bias)	<5 sec	<5 sec
Spectral Noise (1 Hz)	2800 μg/√Hz	27,468 (μm/s ²)/√Hz [1]
(10 Hz)	500 μg/√Hz	4905 (μm/s ²)/√Hz [1]
(100 Hz)	90 μg/√Hz	883 (μm/s ²)/√Hz [1]
(1 kHz)	30 μg/√Hz	294 (μm/s ²)/√Hz [1]

A General Spec Sheet

- 如何看懂規格?
- 如何購買合乎自己需要的儀器?
- 如何不被下屬糊弄

量測 (Measurement)

- 針對特定系統有興趣的變數, 利用相關儀器, 以實驗方式進行探求
- 量測通常僅能獲取原始資料, 無法求得真正欲量測之變數
 - 必須仰賴相關力學或物理模型轉換之
- 量測之準確度與下列因素有關:
 - 儀器之精度, 儀器對系統之干擾程度, 量測結果之優劣, 模型之適用性

量測儀器 (Measurement Instruments)

- 量測儀器係用於量測基本物理量或是某些性質/系統行為
- 所有的量測儀器, 不管多麼神奇, 皆僅樑測基本物理量, 如: 時間, 位移, 溫度, 波動, 電壓等, 再經後續演算處理而成
- 儀器之動態影響量測結果
- 儀器通常會將量測之資料先以信號處理, 之後再透過人性化之介面顯示. 因此, 若信號處理不當, 或該介面忽略重要細節, 則其表現出的結果將是錯的, 但一般人則無從查知.

課本與主要參考書

- R. S. Figliola and D. E. Beasley (Text)
 - 基本量測注意事項還算清楚
 - 熱流量測內容豐富
 - 非熱流量測嚴重不足
 - 章節順序編排不佳, 英文內容稍嫌繁複

Theory and Design for Mechanical Measurements

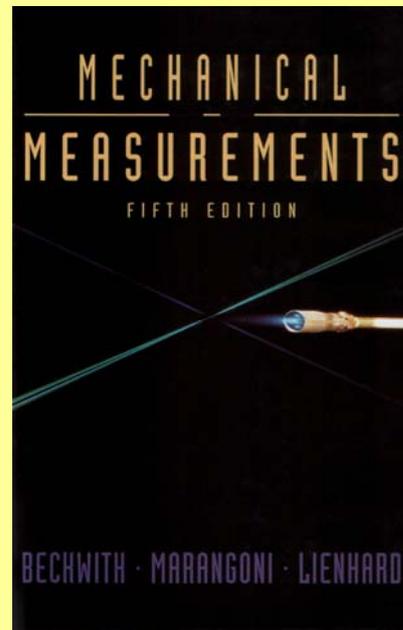
Third Edition



Richard S. Figliola
Donald E. Beasley

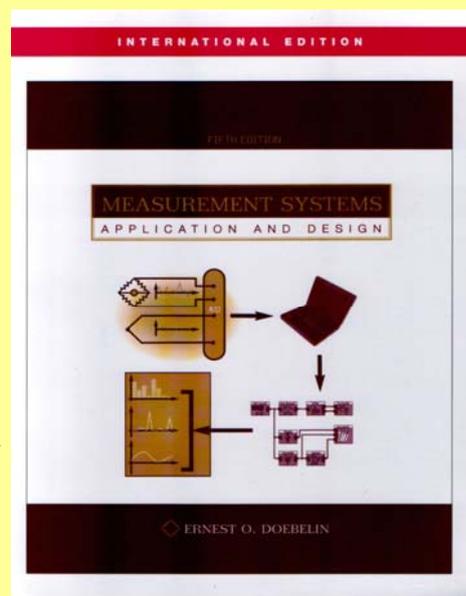
課本與主要參考書

- Beckwith 等人
- 主要參考書
- 編排及文字均清楚
- 非熱流量測介紹詳盡
- 本書國外已經絕版，國內仍有翻印。
- 將與 textbook 搭配使用



課本與主要參考書

- Doebelin
- 舊瓶新酒
- 內容最為豐富
- 但不適合當成 textbook. 這是一本絕佳之量測系統參考書

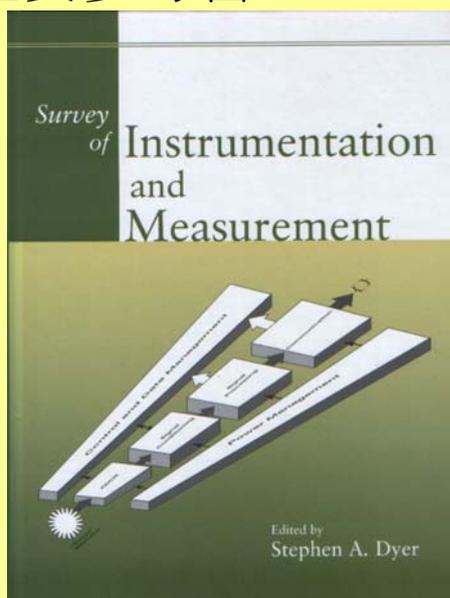


非課本之重要參考書

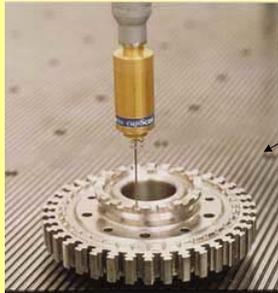
- 熱流
 - Goldstein, *Fluid Mechanics Measurement*
 - Eckert, *Measurement in Heat Transfer*
- 振動
 - McConnell, *Vibration Testing, Theory and Practice*
- MEMS
 - Kovacs, *Micromachined Transducer Source Book*
 - Elwenspoek and Wiegerink, *Mechanical Micro Sensors*

非課本之重要參考書

- Dyer, *Survey of Instrumentation and measurement*
 - 一本量測系統之百科全書
- Review of Scientific Instruments
 - AIP 電子期刊, 圖書館有訂, 可以找到許多先進之儀器設計資料



Motion Measurement



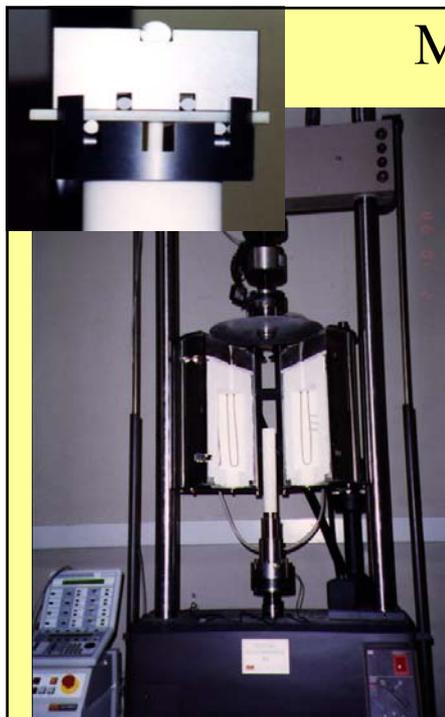
Capacitance probe



LVDT

Photonic Sensor

Laser sensor



Motion Measurement



光學尺

Time/Frequency Measurement

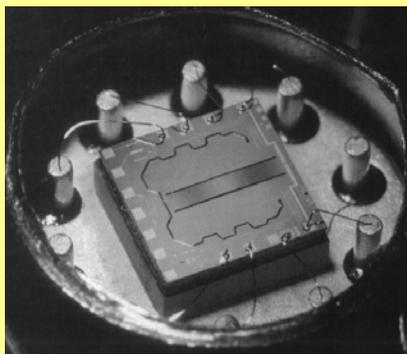


Spectrum analyzer



Angular rate sensors

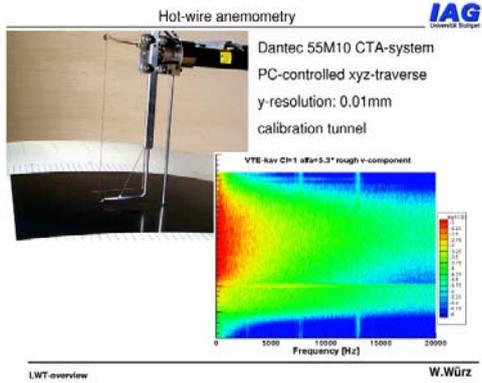
Acceleration Measurement



各式加速規



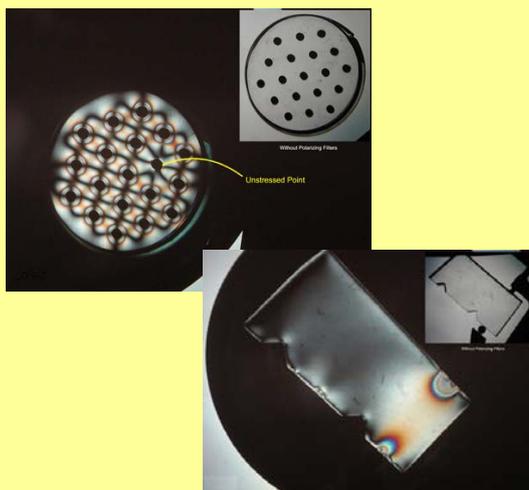
Velocity Measurement



Tacho meter

Hot-wire anemometry

Strain / Stress Measurement



光彈量測

應變規



extensometer



Force / Torque / Power Measurement



帆船動力計

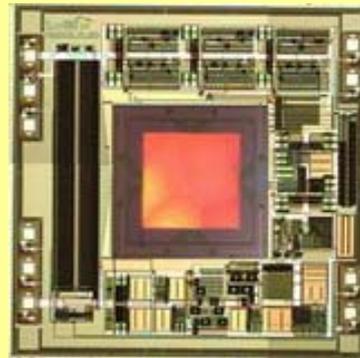


力規

Pressure Measurement



壓力計



壓力計晶片

Temperature Measurement



熱像儀



熱電偶

Flow Measurement

Photo © 2002 Creighton Henthorn Jr

皮托 (Pitot) 管



LDA



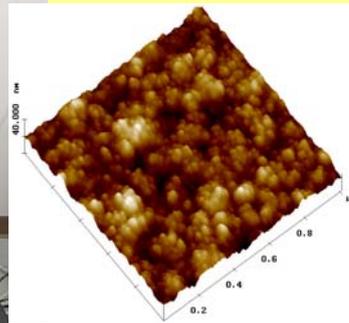
Think More

- 你相信量測儀器告訴你的數值嗎?
 - 校準 (Calibration)
 - 有效數字
 - 環境擾動強度
 - 量測儀器對系統之干擾程度與其相對頻寬
 - 系統本身你自己能夠掌握的程度
 - E.g., 信號處理之狀況
 - E.g., 所套用公式之適用性

Quantify the Measured Data

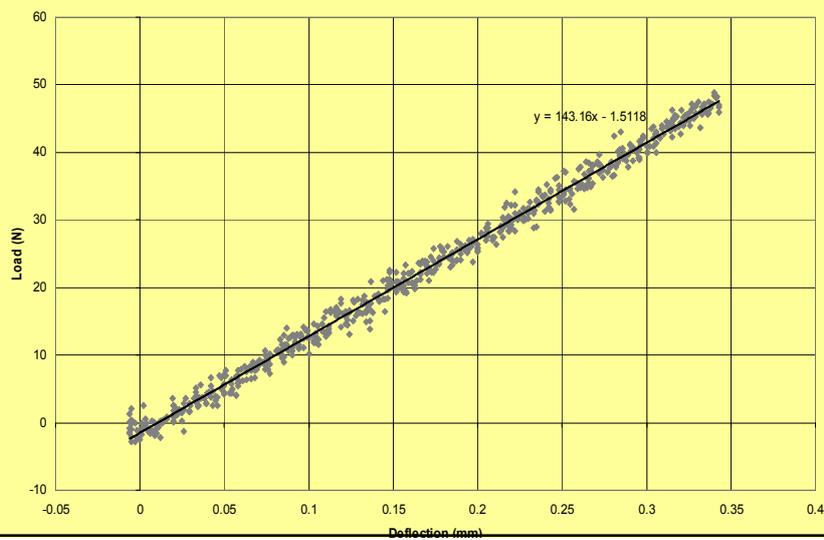
- 迴歸(regression)分析
 - 最小方差擬合法
- 機率, 統計
 - 平均值
 - 標準差
 - 可靠度
- 參數變異之靈敏度或強健性
- Chapters 4 & 5

Atomic Force Microscope



SILICON TEST (RT)

Load vs Deflection for Silicon at RT
piston speed = 2µm/s



量測信號本身之一些問題

- 信號過於微弱怎麼辦?
 - E.g., 一般 strain gauge 配合 Wheatstone bridge 之輸出僅在 mV level
 - 放大, 如何放大
- 信號雜訊過高怎麼辦?
 - E.g., 一般電子信號輸出常含有一些高頻或特定頻率之雜訊
 - 隔絕, 濾波, 但如何做?
- Chapters 6 & 7

Case Study

- 風洞 (Wind Tunnel) 量測
 - Small scale testing
 - Satisfy geometry, kinematic, and dynamic similarity
- 風洞的用途:
 - 飛機模型
 - 建築物
 - 賽車

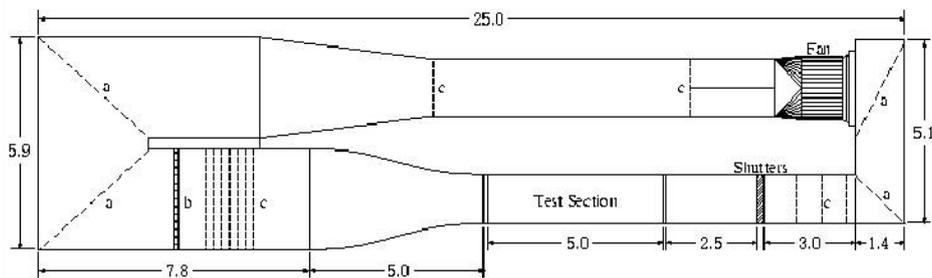
The Task

- Install the tunnel operation monitoring system
- Provide necessary sensors for the model under investigation
- Equip the tunnel and the test section with the data acquisition and processing system

The wind tunnel

(Dimensions in meters)

a turning vanes
b honeycomb
c screens

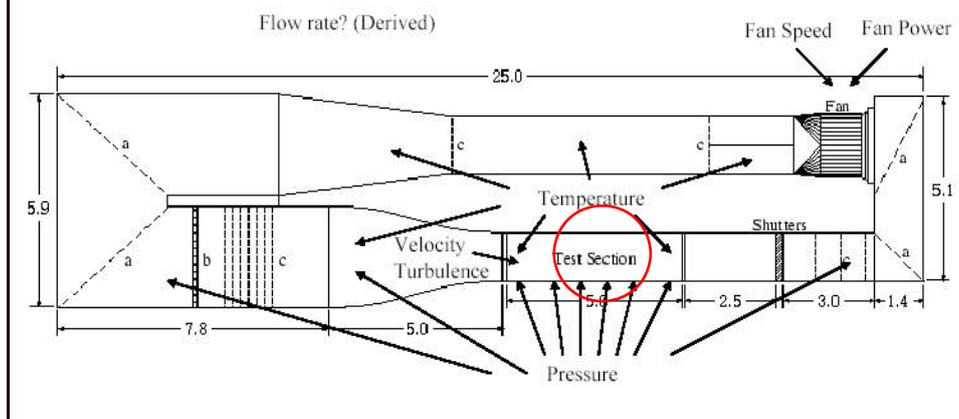


The tunnel instrumentation

- What we need to measure ?
 - Flow rate
 - Velocity
 - Temperature
 - Pressure
 - Fan speed
 - Fan power
 - Turbulence
 - Induced loads
 - Flow induced vibration

The tunnel instrumentation

➤ Where we need to measure?



Model examples:
A helicopter fuselage



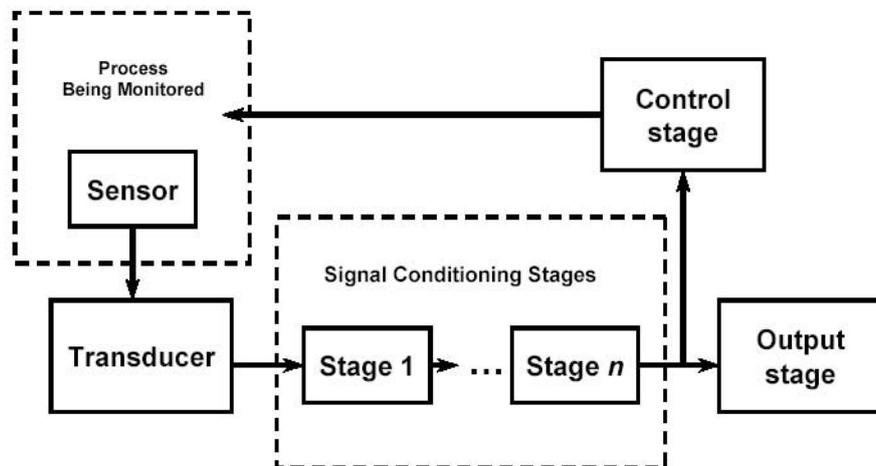
Model examples:
A Racing Helmet



Model examples: A City district



What does each measurement point involve?



課程評分標準

- 考試: 三次, 每次佔總分 25分. 共 75分
- 作業: 共佔 15分
 - 遲交不予計分
- Instrumentation: 佔 10分
- Mini Term Project: 佔 15分

- 共 115 分

Instruments Review

- 目的: 讓同學透過對一個 “新奇”, “尖端”, “精密” 儀器之原理, 規格, 及設計進行研讀, 了解其真正的 “內幕” 是什麼.
- 需於規定時間, 繳交一份 (一頁) 之構想書, 並於規定時間, 繳交一份打字之書面報告.
- 一人一組

Mini Term Project

- 以任課老師實驗室之儀器為對象, 設計校準實驗校準所選之儀器
- 內容包含:
 - 實驗架設
 - 數據擷取
 - 數據處理
 - 資料分析

Mini Term Project



Not used: Conceptual Design Project

- 目的: 讓同學利用已經學到的基本機械量測概念, 進行一量測儀器或是量測任務之概念設計
- (暫定) 5月初繳交構想書, 期末考時繳交報告書
- n人一組 (n=1 in the past)

Conceptual Design Example

