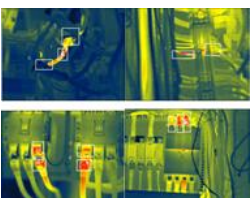


# 預知電氣火災 紅外線熱影像檢測技術

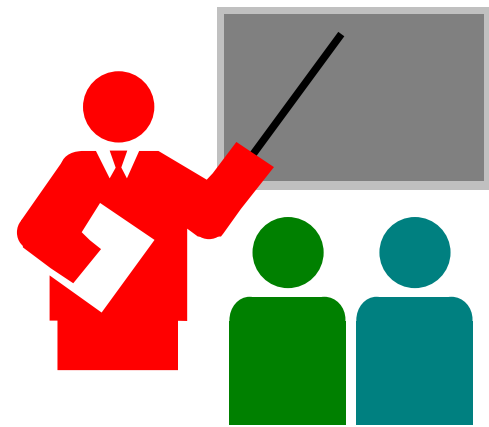


講員：謝 明 宏 博士



# 簡 報 內 容

- ▶ 前言
- ▶ 電氣火災統計與分析
- ▶ 什麼是紅外線熱影像技術
- ▶ 紅外線熱影像優缺點與適用範圍
- ▶ 紅外線熱影像量測
- ▶ 案例分析
- ▶ 結論





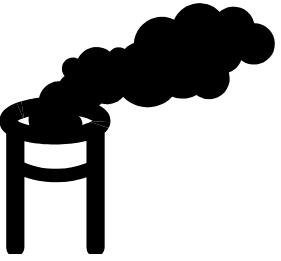
# 上課禮儀(要求)



- 請將手機設在靜音或飛航模式。
- 上課請準時回座。
- 請共同維護課堂秩序。
- 請共同維護上課環境之清潔。
- 請尊重他人之學習權利。
- 請尊重他人提問之權利。
- 有問題歡迎立即舉手發問。
- 歡迎大家積極參與問題分析與討論。



Please  
Turn off Your  
Mobile Phones



# 曲突徒薪



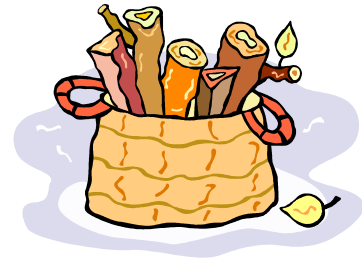
有位客人到某人家裡，看見主人家灶上的煙囪是直的，旁邊又堆著很多柴。客人告訴主人，煙囪要改曲，旁邊的柴堆要移去，否則將來可能會有火災為患。主人聽了不作聲。

不久，主人家果然失火，四鄰的人跑來救火，幸運的是火被撲滅了。主人於是殺牛備酒，請四鄰的人來吃，以酬謝他們救火的功勞。燒得皮肉焦爛的人功勞最大，請上座，其餘的人也按功勞大小，順序入座，卻沒有請最初建議他將煙囪改曲的人。





## 曲突徒薪(續)

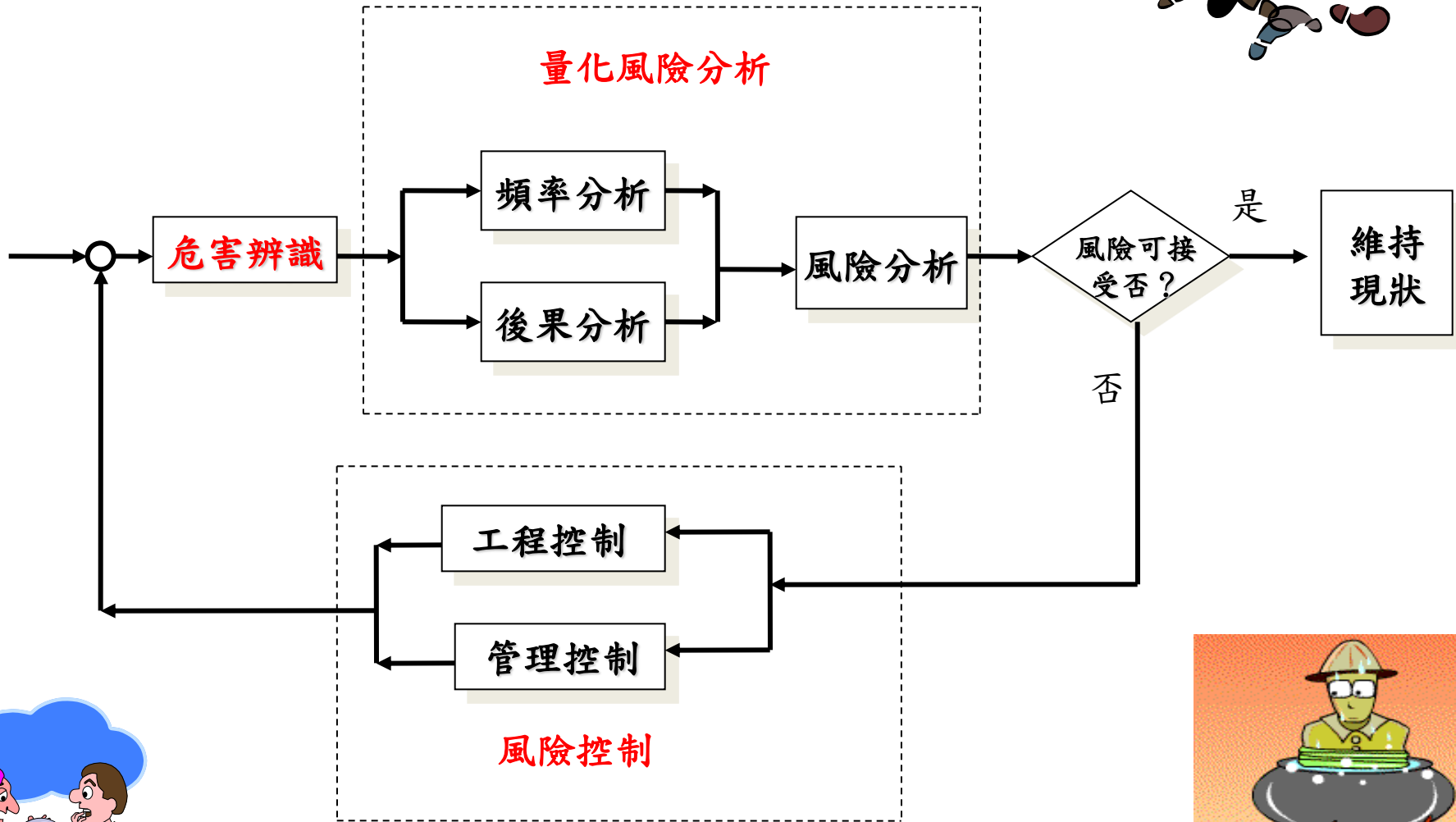


有人對主人說：「當初如果聽了那位先生的話，今天也不會破費殺牛備酒，因為根本就不會有火災。現在論功請客，原先建議你煙囪改曲，並移去柴堆的人沒有被感恩，而焦頭爛額的救火者卻成了座上客，這是什麼道理啊！？」

主人聽了之後，頓時覺悟過來，於是請那位  
囟改曲，移去柴堆的客人前來吃酒。(漢書)



# 風險評估與控制流程



# 近五年全國火災損失統計表

年度	死亡人數	受傷人數	房屋損失 (千元)	財物損失 (千元)	合計 (千元)
100年	97	288	120943	432392	553335
101年	142	286	136069	558340	694409
102年	92	189	160190	372931	533121
103年	124	244	111388	324747	436135
104年	117	733	199497	331066	530563

# 全國火災次數、前六名起火原因統計表

年度	火災 次數	電氣 因素	縱火	菸蒂	爐火 烹調	機械 設備	敬神掃 墓祭祖
100年	1772	640	184	103	78	54	42
101年	1574	508	205	131	76	57	47
102年	1451	508	210	135	63	41	42
103年	1417	451	213	146	69	30	43
104年	1704	582	268	147	72	29	45

電氣火災每年佔全年火災比例約

1/3



# 電氣設備發生設備異常的原因

- 場所整體通風不良或未配置空調設備，造成環境溫度或溼度過高而產生過熱。
- 設備長期操作使用後，容易產生過熱異常現象，尤其在三相接頭與連接點。
- 引線端子及電纜頭因壓接不良造成設備異常過熱
- 作業場所因粉塵或粒子過多，造成接點間存有異物接觸不良，導致電阻變大而溫度異常。

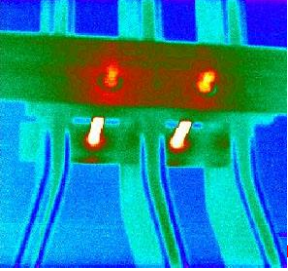
# 電氣設備發生設備異常的原因(續)

- 設備長期超載，致使設備操作電流超過額定電流，而形成過熱溫度。
- 由於線路配置或設計不當造成設備負載不平衡，形成單相負載過重，導致設備單相溫度上昇。
- 電纜絕緣材質老化或劣化，造成絕緣能力不足，導線溫度異常偏高。
- 由於潤滑不當或對軸心的不良轉動，造成軸承異常摩擦，導致局部高溫現象。
- 迴路設計規劃不良，造成設備規格太小，導致設備整體異常過熱。

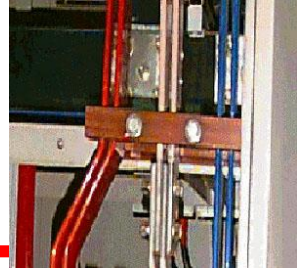
# 傳統電氣檢測之盲點

- 需先斷電，以免檢測人員感電
- 電氣未通電運轉，即無異常溫升現象
- 一般僅量測絕緣電阻、接地電阻等特性
- 金屬接點高溫變色、絕緣包覆變形或焦黑方能察覺
- 嚴重干擾生產之正常運作

電氣安檢須能活電狀態下進行檢測



# 產業機電安全

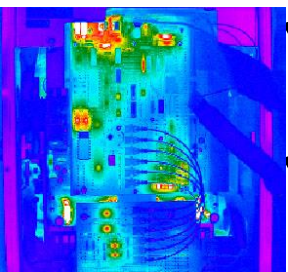


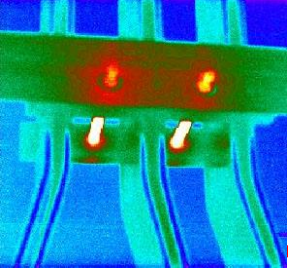
## 業者的考量

- ✓ 為降低對產能之影響，年度歲修時才進行機電系統安全檢測
- ✓ 又不難，自己做就好了
- ✓ Cost Down，降低檢測頻率和費用

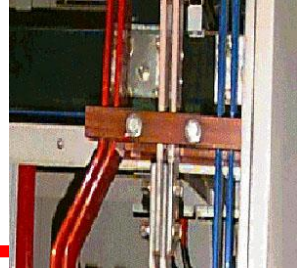
## 缺點

- ✓ 停機狀態有許多缺失是不容易或無法發現
- ✓ 專業度不足
- ✓ 省小錢、花大錢錯誤觀念





# 非破壞檢測技術-紅外線



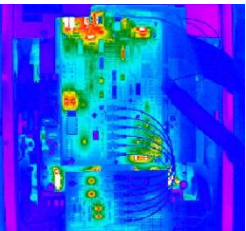
## ➤ 紅外線熱影像檢測技術

於機電系統在電力負載時，真實的將系統異常情形呈現出來，使結果分析更接近實際狀況



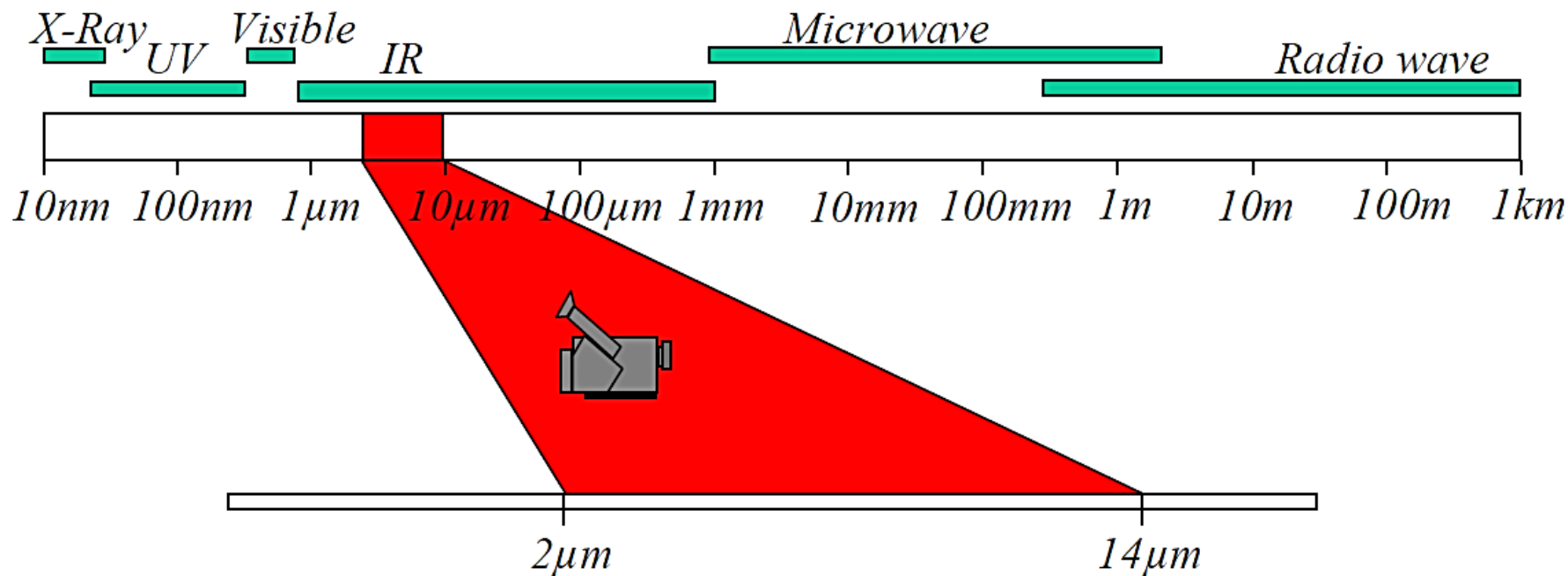
## ➤ 優點

不影響工廠正常運作同時又能切確反應出實際問題所在



# 紅外線熱像之基本原理

## 電磁波光譜(Electromagnetic Spectrum)



紅外線光譜：

near infrared 0.75-3 μm

middle infrared 3-20 μm

far infrared 20-1000 μm

可見光譜：

0.35-0.75 μm

violet-blue-green-yellow-red

# 什麼是紅外線熱影像技術

- 紅外線熱影像技術係運用光電技術，以偵測物體熱幅射之特定紅外線波段訊號，可將該訊號轉換成可供人類視覺辨視之影像圖形，並可進一步計算出溫度值。這種技術讓人類可以超越視覺障礙，「看得到」物體表面之溫度分佈情形。
- 物體表面溫度若超過絕對零度(0 K)即會輻射出電磁波，隨著溫度的不同，其所輻射電磁波之強度與波長分布特性亦隨之改變，波長約略介於 $0.75\mu\text{m}$  到  $1000\mu\text{m}$  間之電磁波概稱為「紅外線」。

# 何謂熱像( Thermography) ?

- 熱像：物體所輻射出的熱能分佈圖像  
(人眼無法偵測)
- 熱像並非物體的影像，而是物體的能量  
分佈圖譜。



# 熱像的產生

自然界任何物體在絕對溫度( 0 K 或  $-273.15^{\circ}\text{C}$ ) 以上，即存在內部能量( Internal Energy)，並輻射出電磁波，簡稱輻射能。

為何紅外線熱像儀可以看到溫度？ 測量溫度？

- 物體本身必須有能量
- 物體本身必須具有輻射能力即所謂的放射 (Emissivity)

# 熱訊號警戒限值(threshold)

溫度大小：

- (1)能準確獲知放射率才能獲知物體絕對溫度
- (2)影響放射率的諸多因素要完全考量是很困難
- (3)各元件放射率均要修正將造成資料處理負荷
- (4)一般設定較狹小使用區域

相對溫度：

- (1)預設常態操作溫度
- (2)放射率影響小  
可視為常數

溫度變化率：

- (1)各元件隨時間的變化
- (2)熱梯度偵測元件的劣化

# 什麼是紅外線熱影像技術

- 紅外線在地球表面傳送時，會受到大氣組成物質（特別是 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_3$  等）的吸收，使強度明顯下降，僅在 $305\mu\text{m}$ （短波）及 $812\mu\text{m}$ （長波）間的兩個波段有較好之穿透率(Transmission)，大部份的紅外線熱影像儀器即針對此二波段電磁波進行偵測，以計算並顯示物體的表面溫度分佈。因此，具有非接觸式、測溫快速、反應靈敏及視覺直接觀測等特性，使其在非破壞性檢測及熱點追蹤的領域中扮演重要的角色。

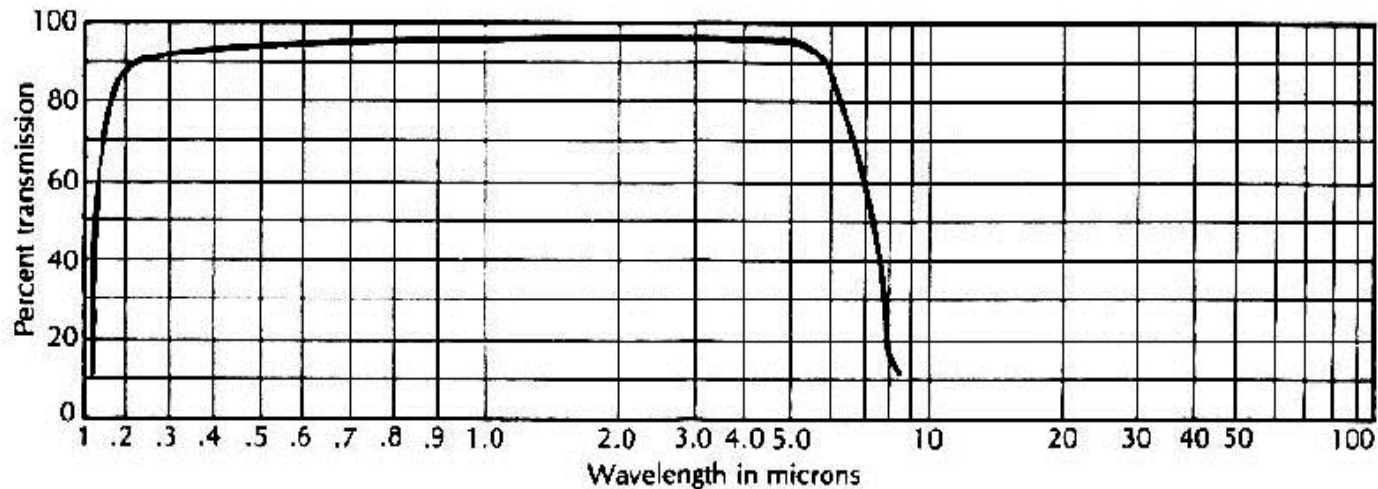
# 紅外線視窗(windows)

**Material:** BaF<sub>2</sub>、Cs Br、Cs L、CaF<sub>2</sub>、Ge、La F、Li F、MgF<sub>2</sub>、

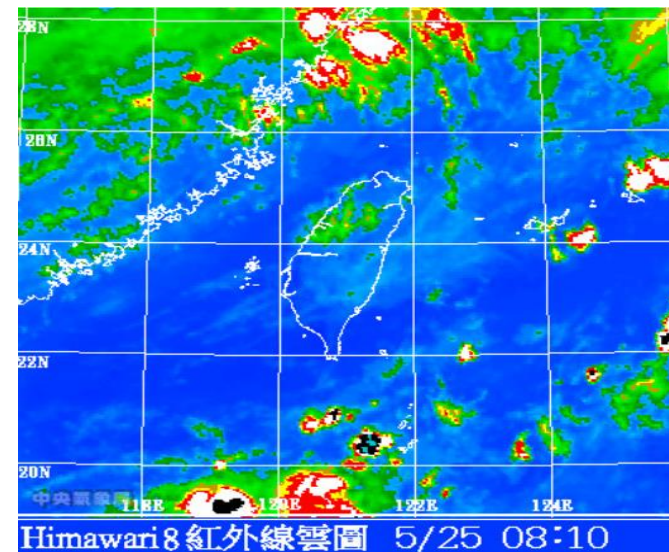
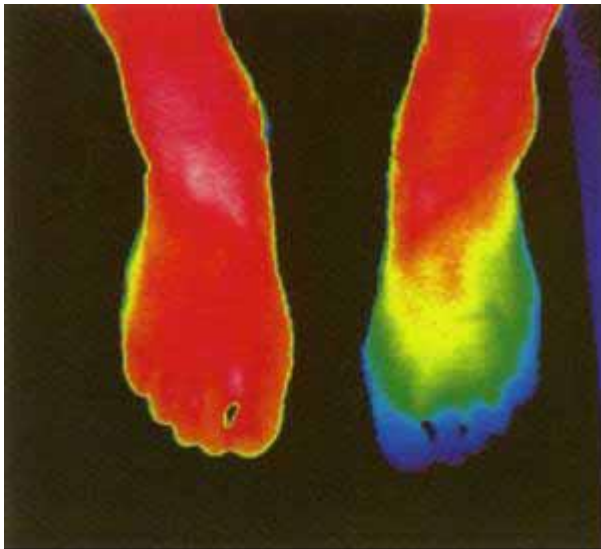
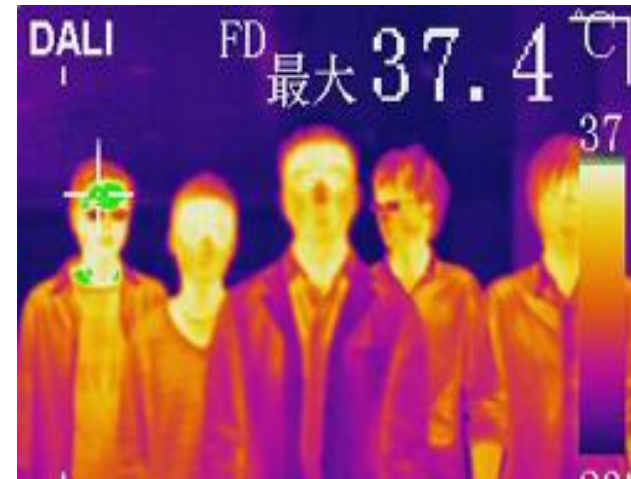
Mg O、K Br、K Cl、Rb Br、Rb Cl、Rb L、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si、

Ag Br、Ag Cl、Na Cl、Na F、SrF<sub>2</sub>、Ti Br、Krs-6、

Krs-5、Ti Cl、Zn Se、Zn S



# 生活中常見之紅外線熱影像應用



# 熱影像應用範圍：

## 工業安全\設備維修預知保養

- 火災之預防
- 發電廠、變電所的異常狀況監視
- 變壓器、繼電器異常發熱監視
- 電子、電機設備機所異常發熱監視
- 冷暖器異常發熱監視
- 鍋爐(窯)壁面異常發熱監視
- 工業安全之災害預防
- 電線電纜、配電盤異常發熱監視
- 供電機所異常發熱監視
- 化學工廠管線異常發熱監視
- 馬達運轉異常發熱監視
- 配管的保溫、熱診斷

## 非破壞性檢測

- 印刷電路板的異常發熱檢測
- 家電製品異常發熱檢測
- 模具溫度分佈測量
- 空調施工管線檢測
- 水土保持牆面異常狀況檢測
- IC、電子元件異常發熱檢測
- 塗裝面剝落診斷檢測
- 斷熱施工檢測
- 建築物壁面異常狀況檢測
- 橋墩壁面龜裂異常狀況檢測

# 熱影像應用範圍(續)

## 研究開發及產品QC

- 3C工業產品散熱解析研究
- 金屬熔接研究
- 綠建築節能溫度分析
- 各種產品快速QC檢測
- 熱傳導解析研究
- 熱環境調查
- 動、植物生態的溫度研究
- 服裝鞋業及布料熱傳導解析研究

## 醫療診斷

- 非接觸體溫快速量測
- 血液循環障礙
- 局部發炎
- 皮膚炎
- 感覺神經障礙

## 監視保全

- 火災監視\火山活動觀測
- 工廠設施的入侵保全監視
- 夜間安全運行管理(火車、汽車、船舶)



# 夜視的分類：熱輻射與影像強化

- 能量量測 熱影像
- 光子量測 星光夜視



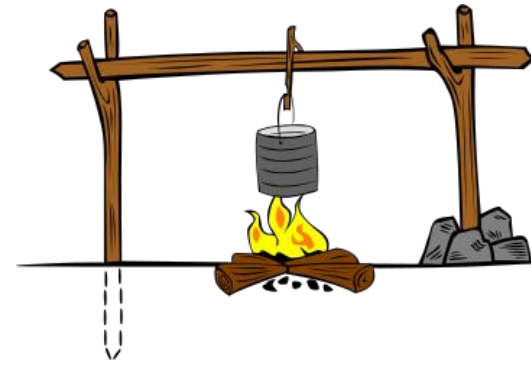


# 分析的類別

- 定性：熱圖譜比較分析
- 定量：實際溫度的量測

# 熱傳遞模式

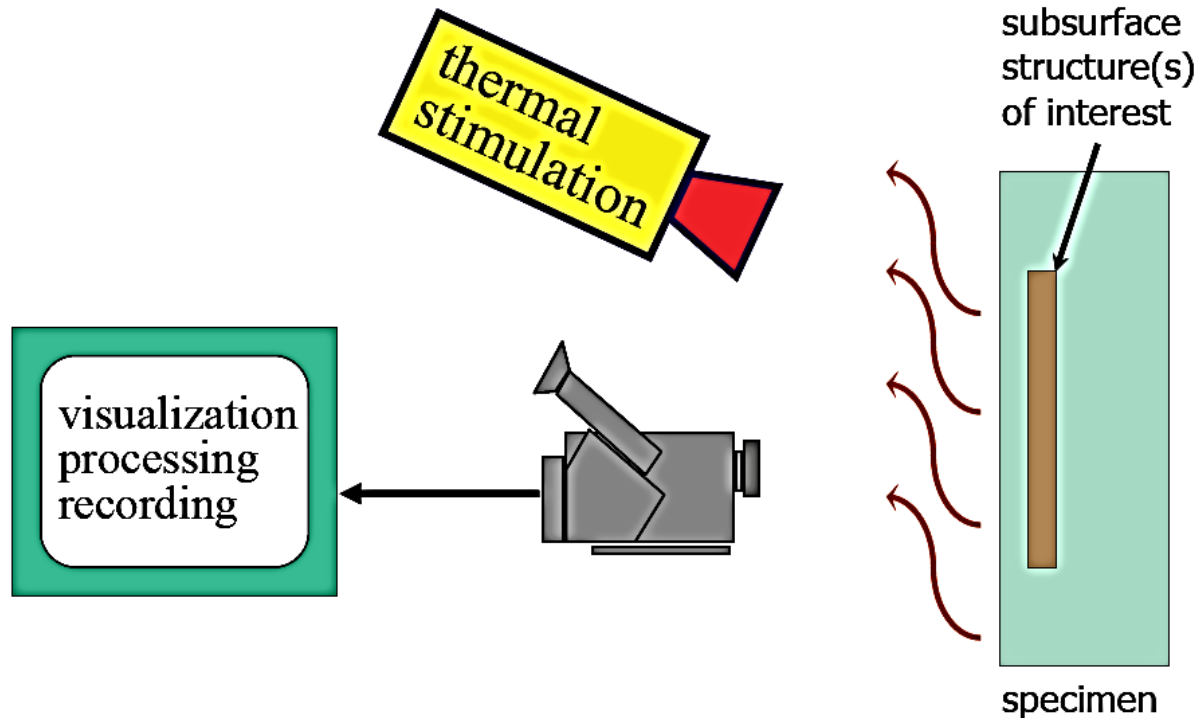
- 傳導(Thermal Conduction)
  - 需固體的傳導介質
- 對流(Thermal Convection)
  - 液態對流介質
- 輻射(Thermal Radiation)
  - 無須介質，即能傳遞熱能



# 熱像非破壞檢測

## Thermographic Nondestructive Testing (TNDT)

- 整合紅外線感測器、電腦處理器的數據分析和控制介面



# 熱像非破壞檢測的重要介質

- 檢測中常用水和空氣的特性突顯物體表面的溫差

材質	$k(\text{W/m.K, @27C})$	$c_p(\text{J/kg.K, @27C})$
銅	401	385
鋁	237	903
鐵	80	447
鋼(非合金)	52	460
水泥	1.5	880
磚	1	790
水	0.6	4180
空氣	0.0263	1007

# TNDT優點

- 不需熱源，且能夠日夜進行
- 適合用於檢測熱點或冷點
- 熱輻射較可見光之穿透煙霧能力高
- 即時且非破壞性
- 可在遠距離操作，可以測危險區的物體
- 反應速度比傳統測溫方式快，可即時溫度量測或控制
- 可測到物體表面溫度而不是週界溫度
- 可以分析暫態的現象
- 可以觀察及評估熱分佈的模式

# TNDT缺點

- 開始投資成本較高
- 比較複雜（如箱體內部檢測）
- 放射率問題，反射問題
- FOV限制
- 大氣環境考量
- 大面積之加熱不易均勻（主動式檢測）
- 較適用於淺層瑕疵
- 熱像拍攝需有相當經驗

# TNDT適用對象

- 轉動（運動）中目標物
- 電氣類產品（接觸）危險
- 目標物脆弱，使用接觸式易受損
- 小目標物的溫度量測
- 遠距離目標物（無法接近）
- 目標物溫度隨時變化
- 目標物對接觸式測溫器具有破壞性  
如震動、腐蝕物質測試
- 大目標、大範圍量測

# 輻射能量

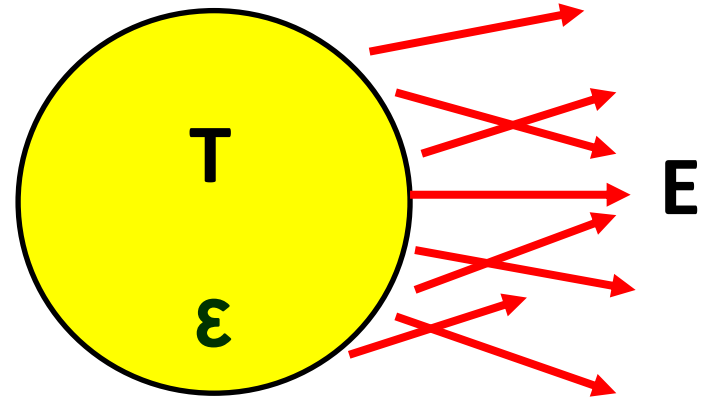
物體本身輻射出的能量是溫度和放射率的函數

$$E = f(T, \epsilon)$$

$E$ : 輻射能量

$T$ : 物體的絕對溫度

$\epsilon$ : 物體的輻射能力  
(放射率)





# 普朗克定律( Planck's Law )

任何物體其溫度在絕對零度(-273.15或0 K)以上均會輻射電磁波，一個黑體的輻射強度，隨波長而變動，可用下列公式表示：

$$E_{b\lambda} = \frac{3.743 \times 10^8}{\lambda^5 (e^{14387/\lambda T} - 1)}$$

*unit*

$$E_{b\lambda} : W / m^2 \cdot \mu m \quad \lambda : \mu m \quad T : K$$

- Spectral emissive power,  $E_{b\lambda} (W/m^2 \cdot \mu m)$
- definition : the amount of radiation emitted per unit surface area at a given wavelength

# 史蒂芬-波茲曼定律

## (The Stefan-Boltzmann Law)

若將物體的輻射能量強度對整個波長積分，則黑體的總輻射能量可以下列公式表示：

$$E_b = \sigma \times T^4$$

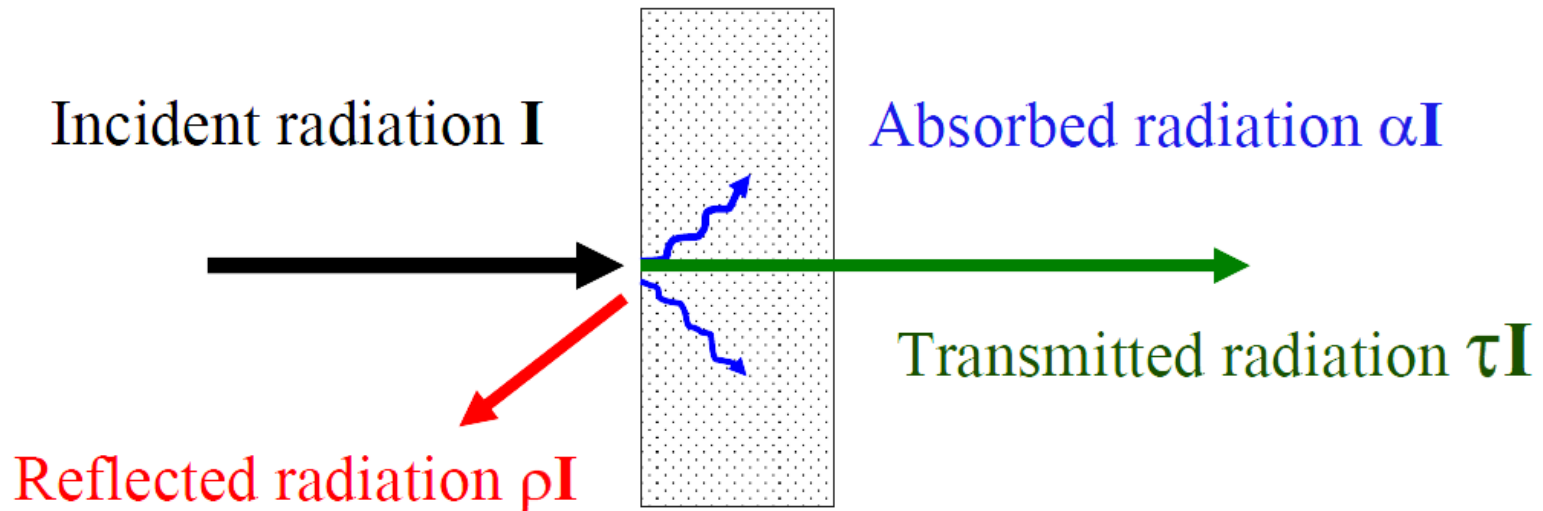
$E_b$ ：黑體總輻射能量

$\sigma$ ：史蒂芬-波茲曼常數 =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$T$ ：物體的絕對溫度(K)

# 物體表面特性

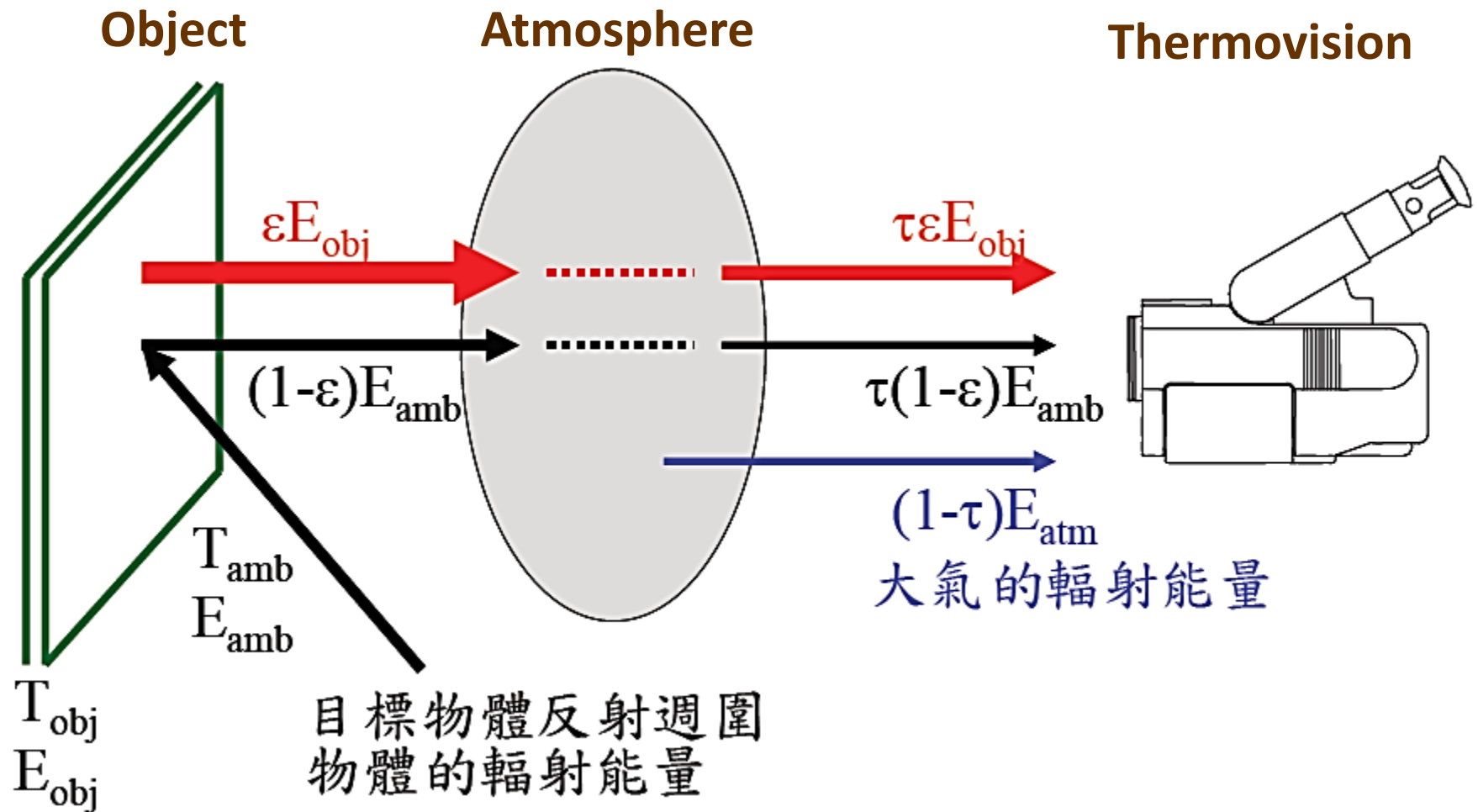
- 放射( Emittance) -反射( Reflectance )
- 穿透( Transmittance ) -吸收( Absorption )



$$I = \alpha I + \rho I + \tau I \rightarrow 1 = \alpha + \rho + \tau$$

# 紅外線熱像之量測技術

## 紅外線溫度量測系統



# 波段的選擇(Choice of Waveband)

- 8-13  $\mu\text{m}$  長波適用於高性能的系統，因為對於常溫的物體有較佳靈敏度並較能穿透煙霧。
- 3-5  $\mu\text{m}$  短波適用於高溫物體或著重對比的效果。

# 幾何解析度

## ( Spatial Resolution Concepts )

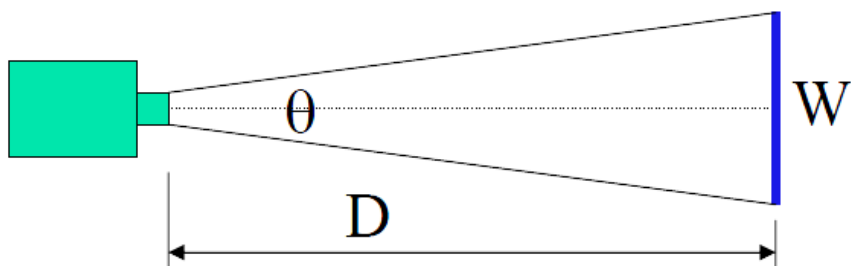
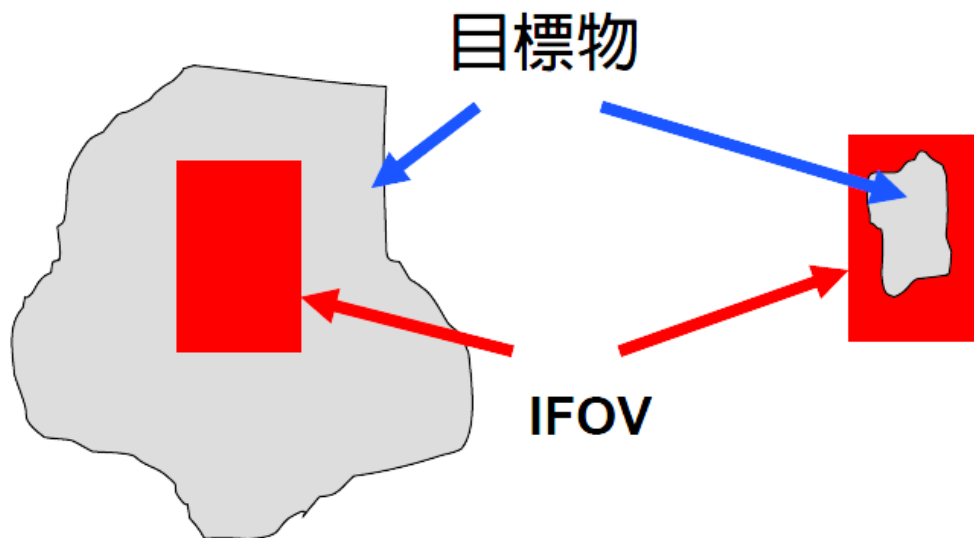
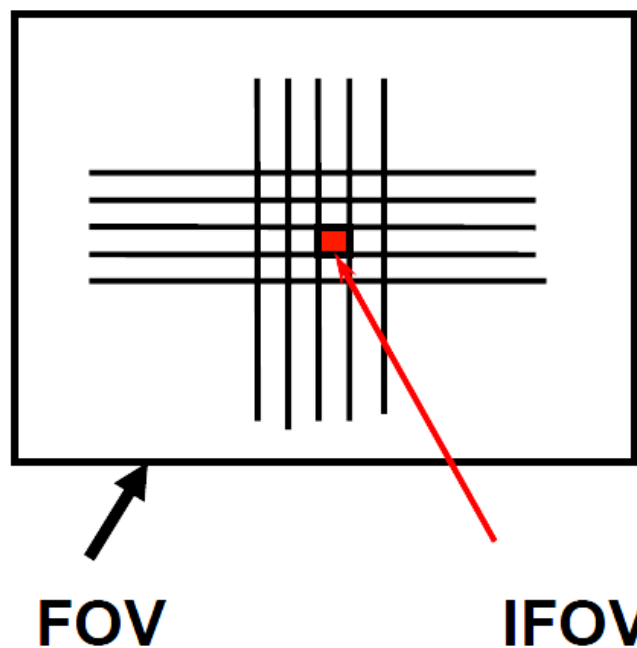
### 單點測溫計

視野( Field of View ) :

- 紅外線感測器可以看見"see"的角度範圍內，所有溫度的平均值。
- FOV 由距離(D) 與物體大小(S) 的比值來決定。

**FOV: 320(H) x 240(V)**

看不見=無法量測  
看得見≠量測準確



$$\tan(\theta / 2) = \frac{W / 2}{D}$$

$$IFOV = \frac{W}{pixels} = \frac{\tan(\theta / 2) \cdot 2D}{pixels}$$

# 紅外線熱影像儀空間辨識率 及場視角計算方法

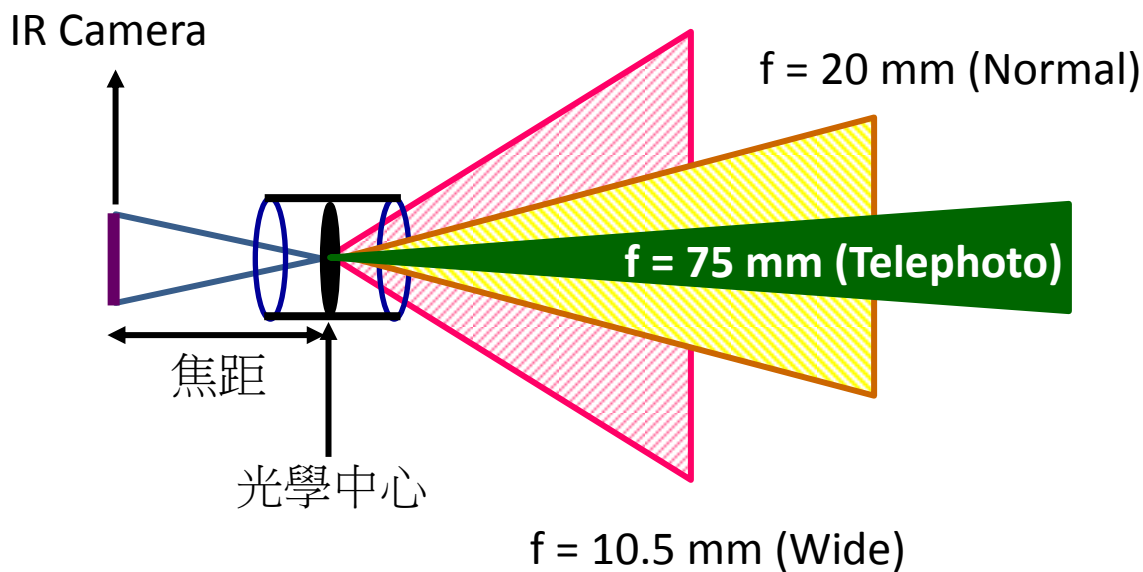
## 空間辨識率定義：

- 空間辨識率係指紅外線熱影像儀能夠識別出的兩個相鄰目標之最小距離。
- 瞬間場視角(IFOV)之大小(毫弧度, mrad)是被用來表示熱影像儀之最小角辨識單元。
- 熱影像儀能量測到的最小尺寸，決定熱影像儀的清晰程度。其和光學像質，光學元件焦距等有關。



## 場視野(FOV)之定義：

場視野(角)：係指熱影像儀其位置固定時，所能觀測到最大空間角度範圍，故又稱總場視野或掃描場視野

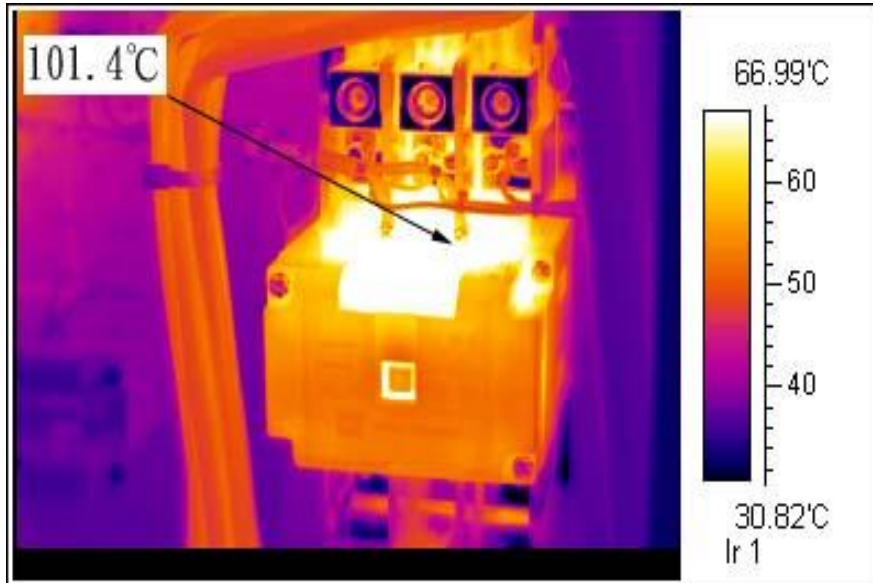


空間辨識率

= 像間距 [Pixel Size(Array Pitch)] / 鏡頭焦距(Lens focal length)

# 熱影像檢測實例1

## 實例1



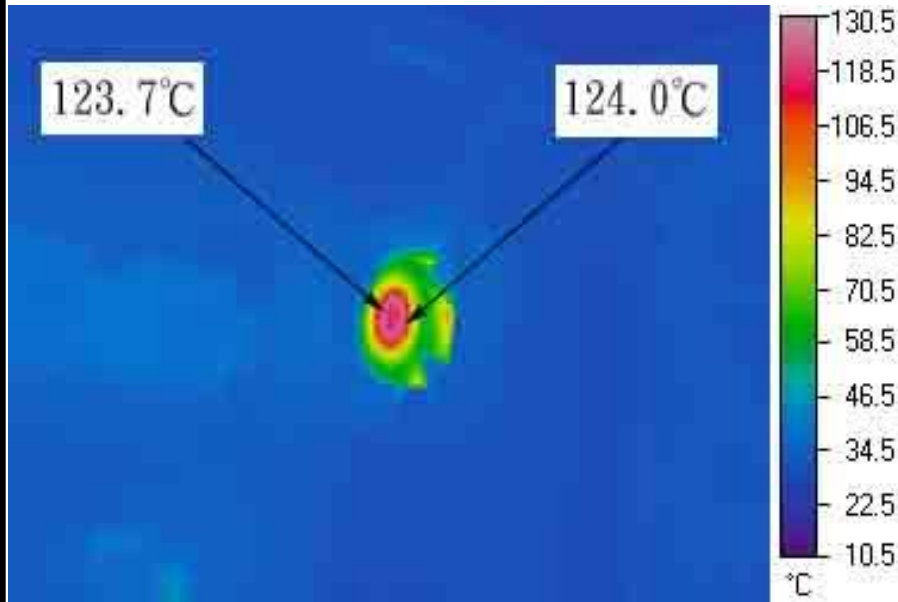
紅外線



實體圖

# 熱影像檢測實例2

## 實例2



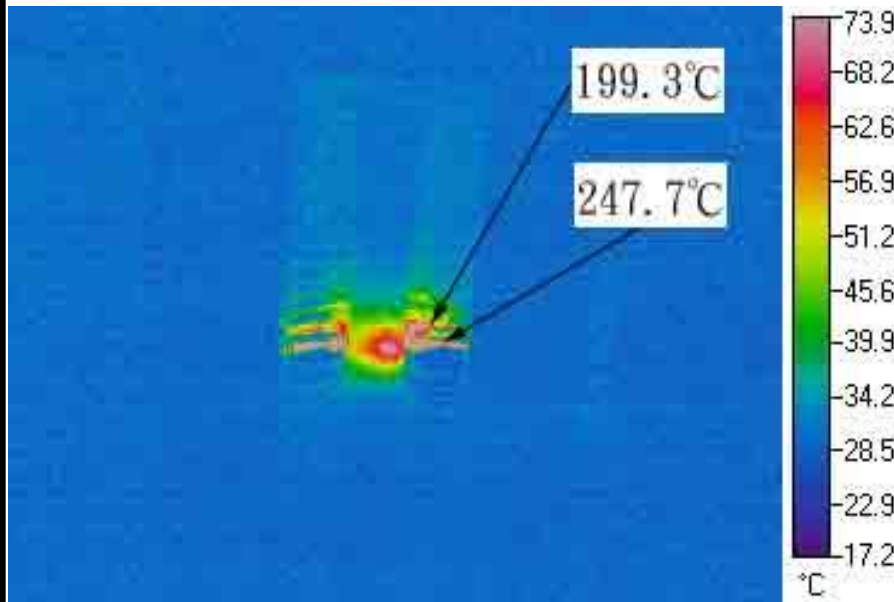
紅外線



實體圖

# 熱影像檢測實例3

## 實例3



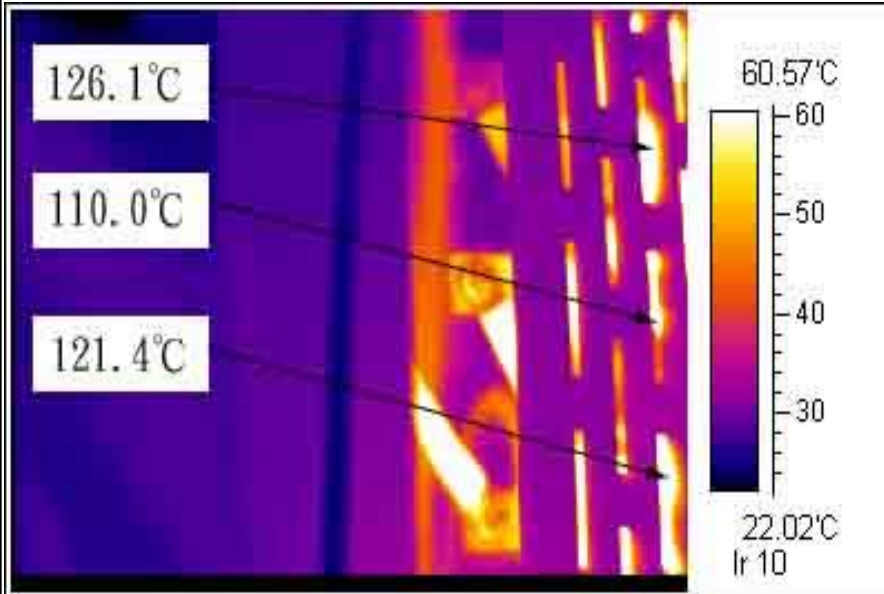
紅外線



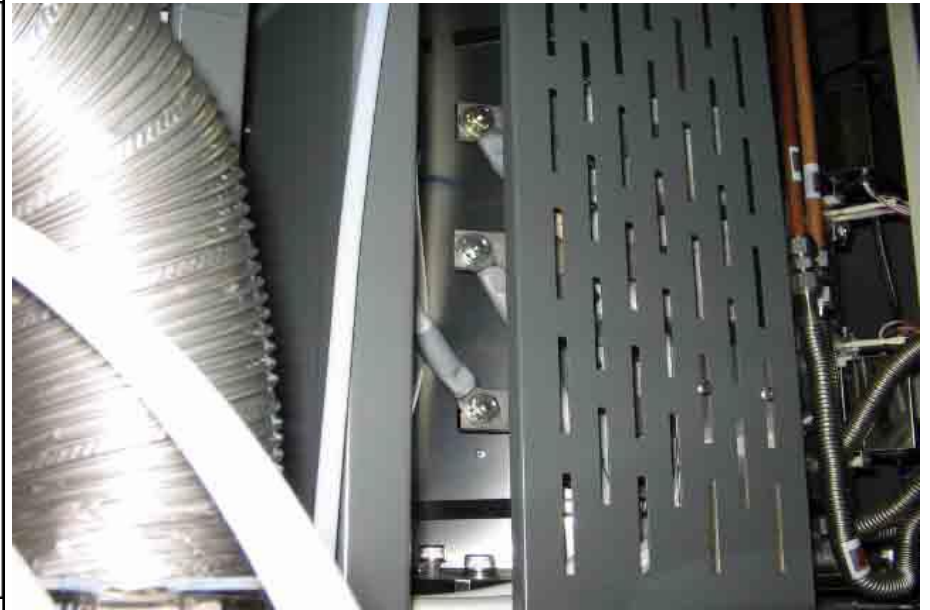
實體圖

# 熱影像檢測實例4

## 實例4



紅外線

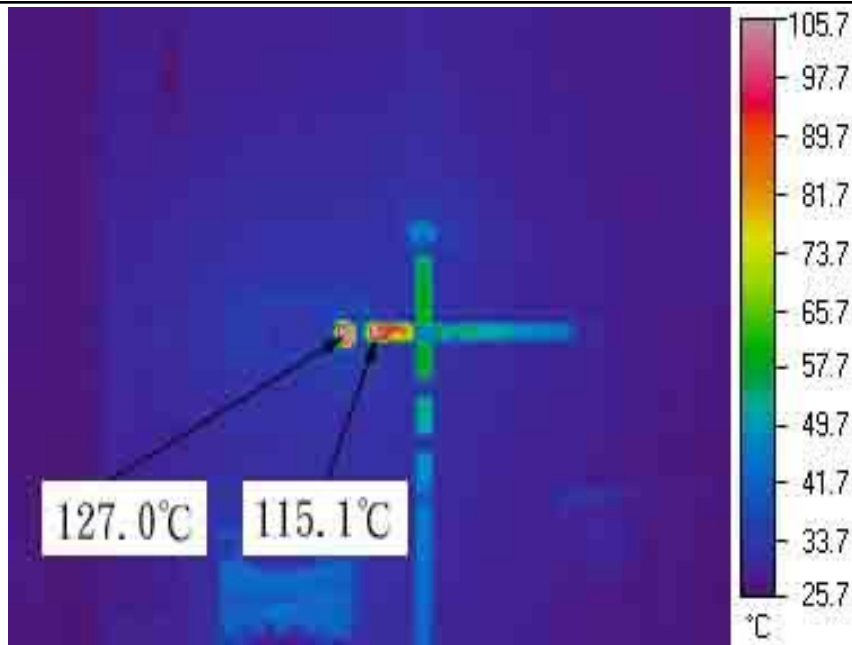


實體圖

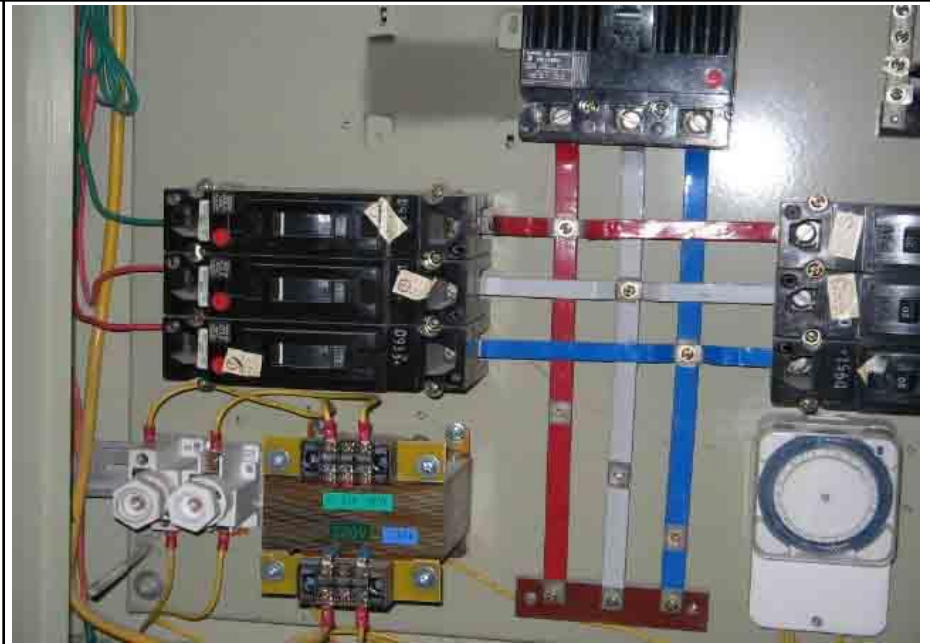


# 熱影像檢測實例5

## 實例5



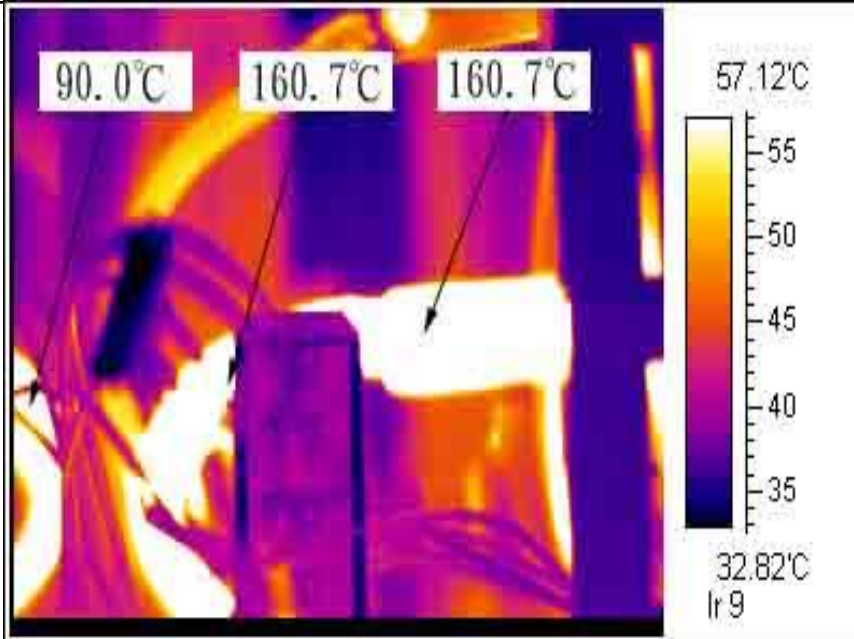
紅外線



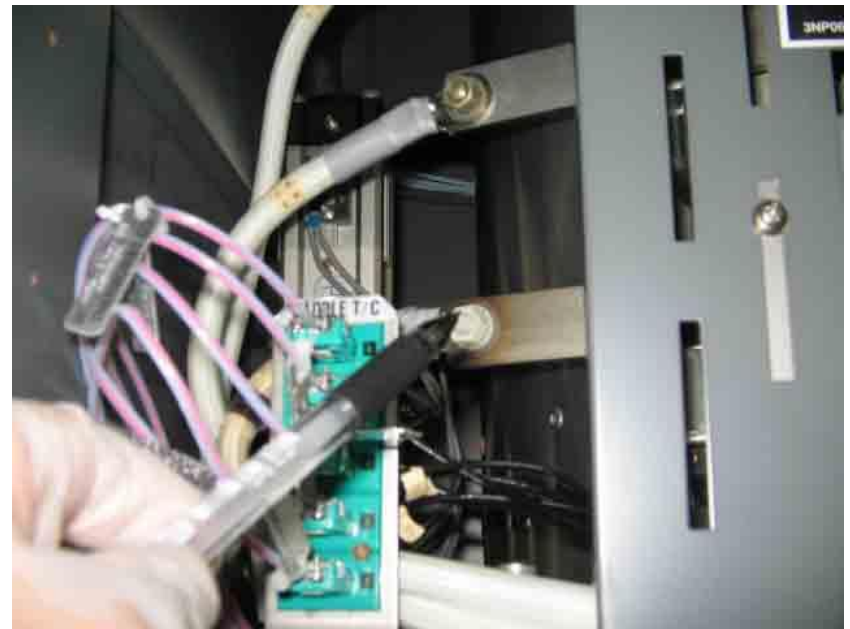
實體圖

# 熱影像檢測實例6

## 實例6



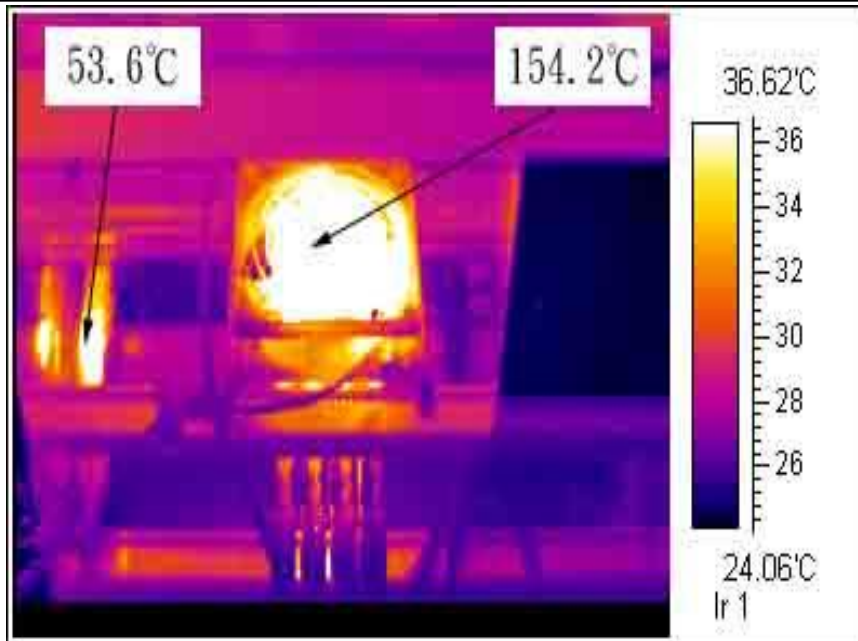
紅外線



實體圖

# 熱影像檢測實例7

實例7



紅外線

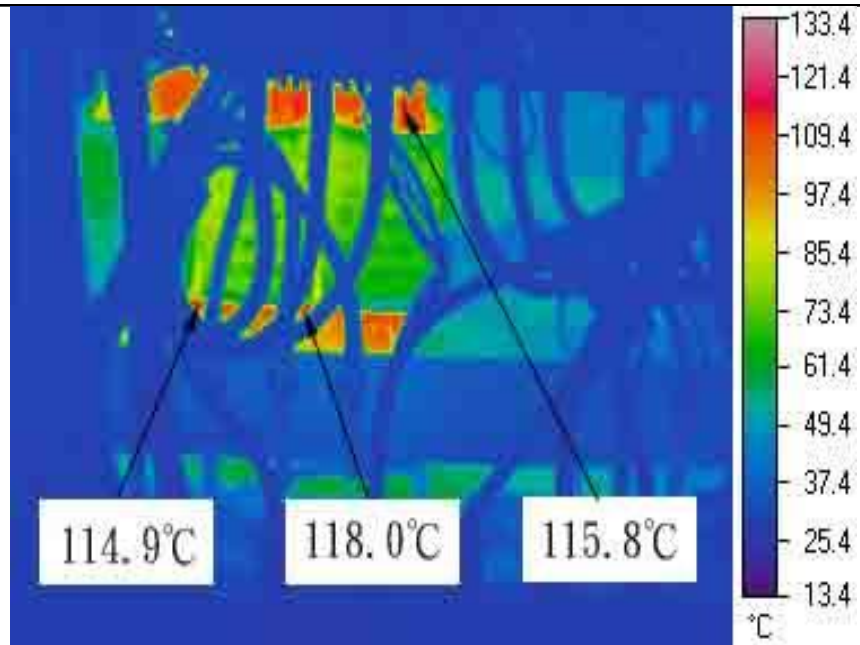


實體圖

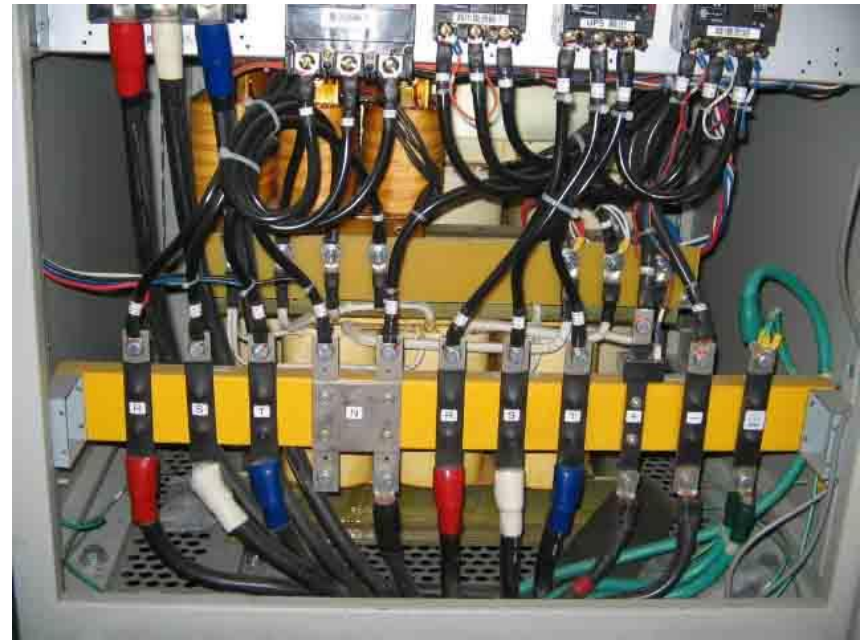


# 熱影像檢測實例8

## 實例8



紅外線



實體圖



# 結 論

- 未有效辨認電氣危害、未進行電氣危害風險評估及未建立電氣作業安全管理機制與運作是導致災電氣火災事件發生與擴大之主要因素。
- 建構有效與完整之電氣作業安全評估與管理機制能避免電氣火災事件導致災害擴大與營運損失。
- 電氣異常引發緊急事件是任何產業無法避免之課題。
  - ✓ 所有組織皆應建構電氣安全管理機制。
  - ✓ 唯有落實電氣危害預知才能有效管控電氣安全！
  - ✓ 對電氣設施進行紅外線熱影像檢測是落實電氣危害預知之有效方法。



# 結 語

## 墨菲定律 Murrhy's law

如果容許事故有發生的可能

錯誤就一定會發生

(If it can go wrong it will)

別讓自己成為下一個案例

**Thank you for your attention!**

**The End**

**Q & A**

