

e-GPS儀器校正與 測量品質管理服務

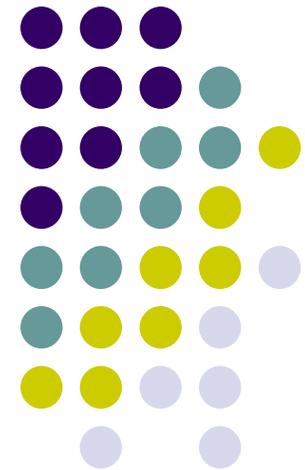
量測技術發展中心

June 6, 2013

報告人 彭森祥 Ph.D.

聯絡方式: MHPeng@itri.org.tw

03-5743891



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute



大綱

- 前言
- e-GPS精度驗證評估
- e-GPS儀器校正設計
- 實驗室品質管理服務



Network RTK 優勢(與RTK比較)

- 測量精度更均一化，不隨主站距離增長而誤差加大
- 基準主站系統事前配置，事前建立高精度框架，不會如RTK使用不同主站，主站精度不一致傳播到測量成果
- 不用架站，提高使用者便利性，作業快速
- 單人單機作業，頻寬技術並可同時服務更多組測量隊同時作業
- 與RTK比較，改正值計算演算法由多主站分析
 - 多主站服務，更高可靠度
 - 區域性改正值分析，更精密
 - 主站與主站距離條件比RTK更加長，設主站的總體數量可以降低
 - 同樣的主站數目比RTK服務範圍更廣

e-GPS ~ Network RTK



Network RTK

- 國內Network RTK服務
 - 內政部國土測繪中心
 - e-GPS衛星定位基準站即時動態定位系統
 - 2007年架構完成，涵蓋全省
 - 臺南市e-GPS即時動態定位系統
 - 高雄市e-GPS系統
 - 森泰儀器有限公司
 - Civil-NET雙星eGPS定位系統





Network RTK 概念

- GNSMART 為例
- State Monitoring and Representation Technique
 - Wübbena and Willgalis, 2001

$$C_j^s = \left| \bar{R}_j^s \right| + \frac{\bar{R}_j^s}{\left| \bar{R}_j^s \right|} \delta \bar{r}^s + c(\delta t_j - \delta t^s) + T_j^s(t) + \delta T_j^s(t) - I_j^s(t) - \delta I_j^s(t) + p_j^s + \varepsilon_{Pj}^s$$

$$\phi_j^s = \left| \bar{R}_j^s \right| + \frac{\bar{R}_j^s}{\left| \bar{R}_j^s \right|} \delta \bar{r}^s + c(\delta t_j - \delta t^s) + T_j^s(t) + \delta T_j^s(t) - I_j^s(t) - \delta I_j^s(t) + \frac{c}{f} N_j^s + p_i^s + \varepsilon_{\phi j}^s$$

$$\vec{X} = \left(N_j^s, \delta t_j, \delta t^s, \delta \bar{r}^s, \delta T_j^s, \delta r_{jI}^s, \delta M_j^s \right)^T$$

State vector at station j

由精密網形參考站坐標，估算軌道、對流層誤差、電離層誤差項



Network RTK技術（不同演算法）

- The Virtual Reference Station, VRS
 - 將“與距離相關的誤差項”應用差分定位減弱誤差量
 - 主從雙向通訊（NMEA格式）
 - 由參考站數據，轉換VRS虛擬觀測量及改正誤差量
- The Area-Parameter Corrections (FKP)
 - 未差分原始觀測量，估算誤差模型面
 - 區域改正參數供應Rover
- The Master-Auxiliary (MAC)
 - Leica公司產品
- 理論基礎:需精密參考站坐標值，估算誤差模型

研究目的

- e-GPS精度評估
- e-GPS校正場設計
 - 一、技術展現
 - 監控坐標精度，確認e-GPS系統參數(民間二級實驗室系統服務案例)
 - 二、品質管理展現
 - 計量品質工程管理在e-GPS應用

不確定度誤差源探討 (1)

GPS觀測不確定度
(不考慮觀測環境)

相對誤差量

衛星原子鐘
衛星軌道(星曆誤差)
電離層改正
對流層改正
接收器頻率源
相位中心改正誤差

(頻率偏移)
0.1 ~ 2 ppm
1 ~ 50 ppm
~ 0.5 ppm
 10^{-13} ~ 10^{-12}
mm ~ cm

不確定度: 計量學術語, 依ISO GUM指引評估, 測量誤差源與區間估計測量值的離散程度



不確定度誤差源探討(2)

作業程序、觀測環境有關的誤差源 (Local effect)

DOP衛星幾何

觀測衛星數目

遮蔽條件

使用群星系統 (GPS+GLONASS)

整置定平及定心

多路徑效應

觀測量多寡(接收時間)

海潮負載影響

mm ~ cm

相對定位，基線的長度

0.5 ~ 1 ppm

不確定度誤差源探討 (3)

與Network-RTK (e-GPS) 服務有關的誤差源

參考站網型、密度(距離函數)
演算法 (e-GPS處理技術)
數據傳輸(非誤差項)
e-GPS出勤率(非誤差項)



GPS坐標比對，差異性的來源探討

- 兩次GPS觀測值不確定度
 - 量測標準不確定度 $\sim 2 \text{ cm}$
 - Difference = $m_1 - m_2$; $\sigma_{\text{Difference}}^2 = \sigma_{m_1}^2 + \sigma_{m_2}^2$
- GPS相對定位測量，起算的已知坐標差異

$$R_B = R_A + R_{AB} \quad R_{B'} = R_C + R_{CB}$$

- 樁位異動(不同時期重複性測量成果差異來源)
 - 地層表層土壤條件沉陷，建物固定樁沉陷，
 - 地層下陷，樁位變動
 - 地殼板塊運動，固定樁隨時間位置變動(2~4 cm/年)
- GPS框架坐標差異
 - ITRF 94，ITRF 2000，ITRF 2005，ITRF2008
- 坐標系統差異
 - TWD67，TWD97的差異



案例：地籍公告坐標與e-GPS投影坐標比對

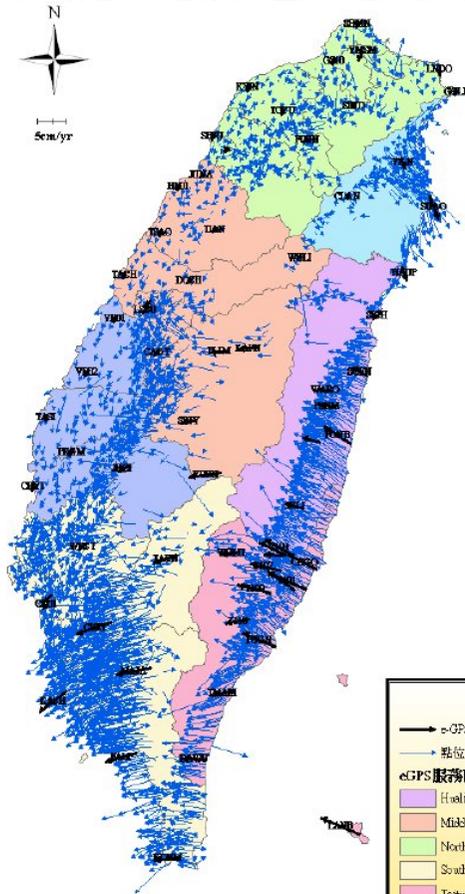
- e-GPS坐標:e-GPS參考站系統
- 本研究:追溯坐標基礎(國際標準坐標追溯)
 - 起算坐標採用國際站TNML
 - 坐標框架ITRF2008，時間2013.0 (2013.5，2014.0 ...)
- 地籍坐標(數值法)
 - 坐標框架ITRF94，1997.0；TWD97 (2010重測成果)
- 台灣區特性:地殼板塊運動，控制點因板塊運動，隨時間變動
 - 公告坐標值之間相對關係，與控制點位現況相對關係有差異
- 坐標比對方式
 - 考慮採用的GPS坐標框架有差異性
 - 考慮坐標起算點的計算時刻有差異性
 - 考慮板塊運動的影響量
 - **使用者需求角度**(多篇國內碩士論文研究)
 - 需在公告坐標基礎上比對，需求坐標轉換，強制套合處理



板塊運動

測繪中心資料2010,

99年度三等精度控制點速度場測量及管理維護作業工作總報告.pdf



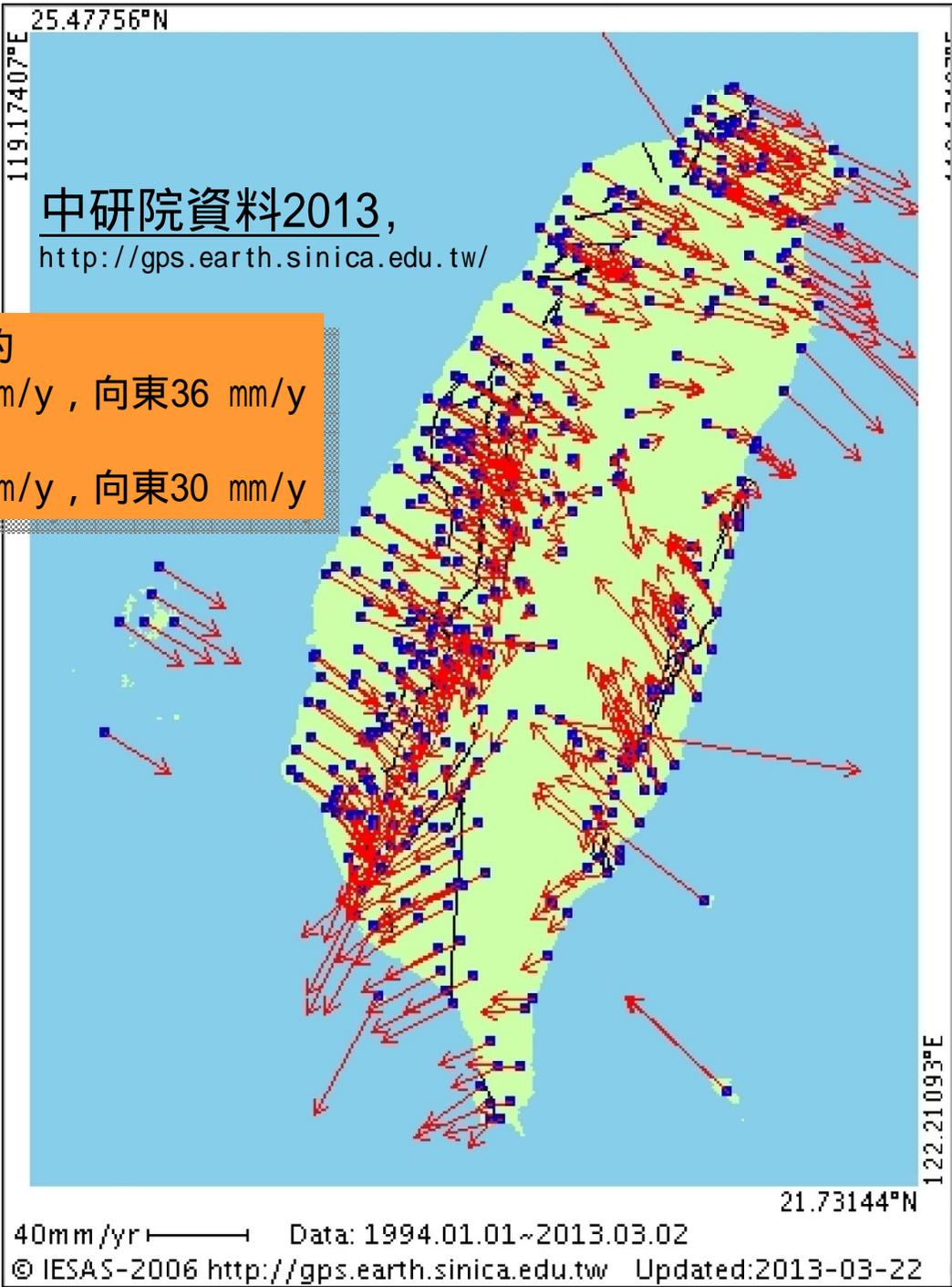
速度場計算基準：e-GPS 竹南基準站 (JUNA)

(短時間分析2008~2010)

中研院資料2013,

<http://gps.earth.sinica.edu.tw/>

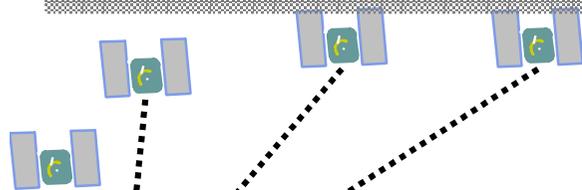
陽明山向量約
向南 18 mm/y, 向東 36 mm/y
TNML 國際站
向南 10 mm/y, 向東 30 mm/y



40mm/yr Data: 1994.01.01~2013.03.02
© IESAS-2006 <http://gps.earth.sinica.edu.tw/> Updated:2013-03-22



NML執行國際坐標傳遞標準至國內

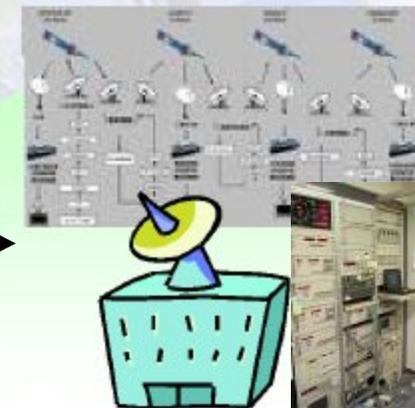
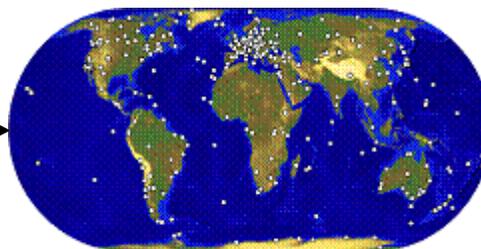


全球IGS GPS追蹤站

國際IGS 坐標服務
全球數據分析

全自動化分析

436 stations as of 13 Nov 2011



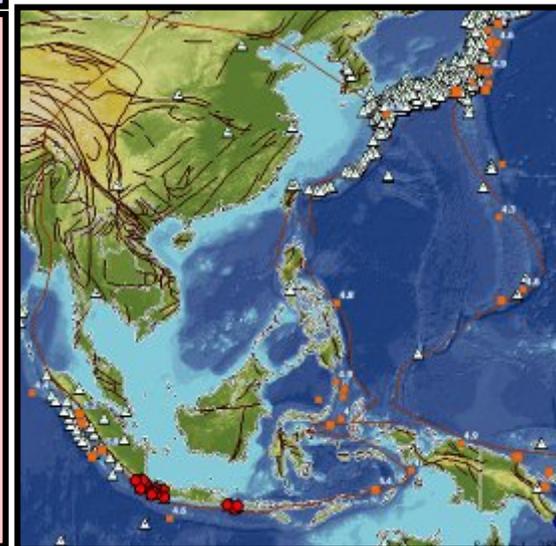
NML建2站，加入IGS追蹤站

研究應用

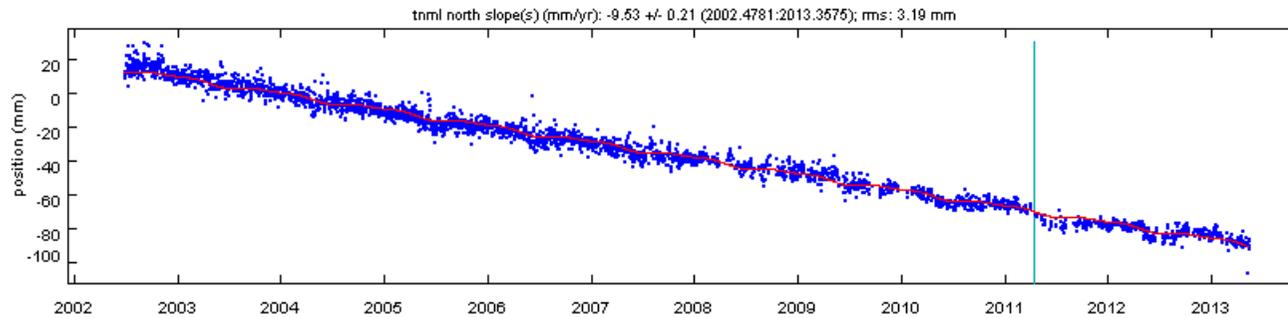
校正應用

圖上紅橙點，展示規模4以上地震分布

GPS校正場

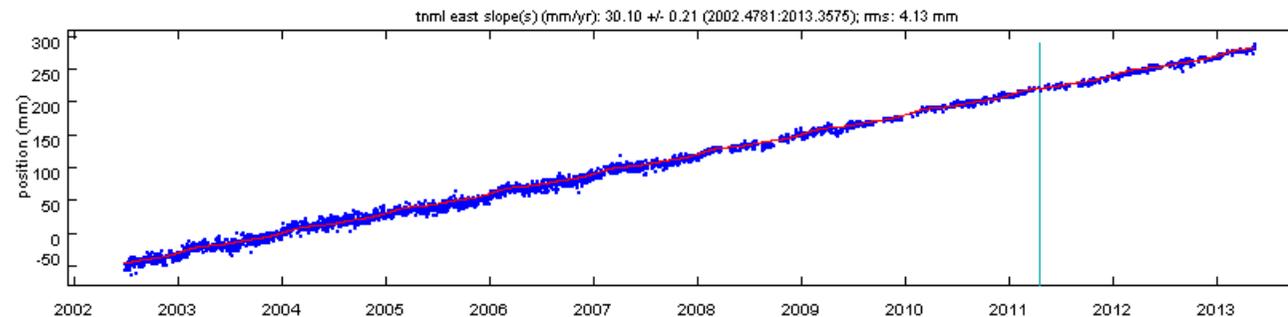


國際標準坐標傳遞



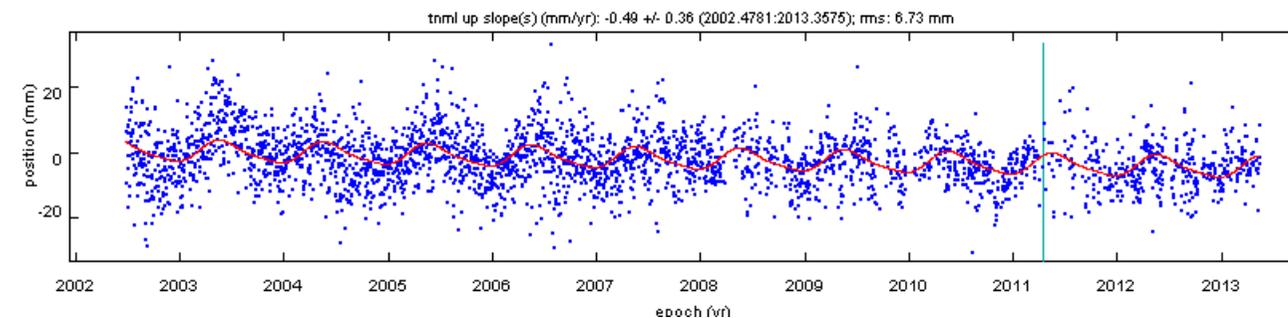
tnml/sopac_atz/unf/3.19

North:
 -9.53 ± 0.21 mm/y;
 RMS: 3.19 mm



tnml/sopac_atz/unf/4.13

East:
 30.10 ± 0.21 mm/y;
 RMS: 4.13 mm



tnml/sopac_atz/unf/6.73

Up:
 -0.49 ± 0.36 mm/y;
 RMS: 6.73 mm



精度驗證實驗設計

- 靜態基線與e-GPS比對;
- 強制對心;
- 標準追溯坐標;
- GPS校正場;
- 短時間驗證
- e-GPS比對公告坐標
- 三腳架
- 固定起算點
- 地政事務所圖根點
- 長時間數據(出勤率)
- 校正實驗室驗證精度(管理面向)
 - 工作標準件，儀器校正追溯
 - 作業程序書
 - 人員資格履歷，訓練紀錄，資格審查
 - 量測品保，定期操練

坐標驗證場地一：標準實驗室校正場(2.0 mm)



標準值量測(24小時)



標準座標

擴充不確定度2.0 mm



e_GPS量測值



GSM即時傳遞改正值

e_GPS即時快速量測



坐標驗證場地一：標準實驗室校正場(2.0 mm)

- 靜態基線與e-GPS比對;
- 強制對心;
- 標準追溯坐標;
- GPS校正場;
- 短時間驗證
- e-GPS比對公告坐標
- 三腳架
- 固定起算點
- 地政事務所圖根點
- 長時間數據(出勤率)

測量時間: Apr. 19, 2012

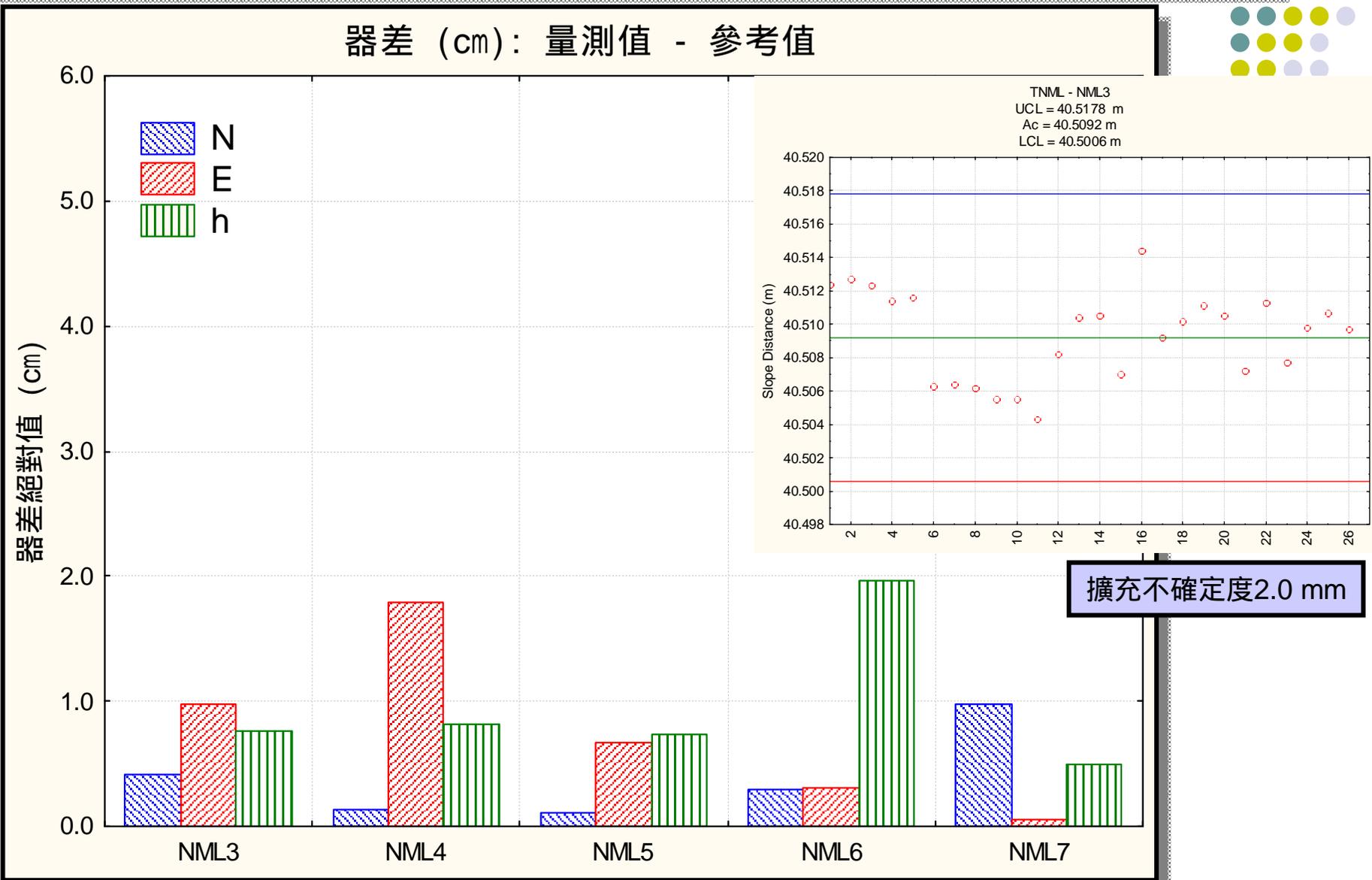
e-GPS: 1秒1筆, 60筆取平均值, 10個平均值

靜態基線:

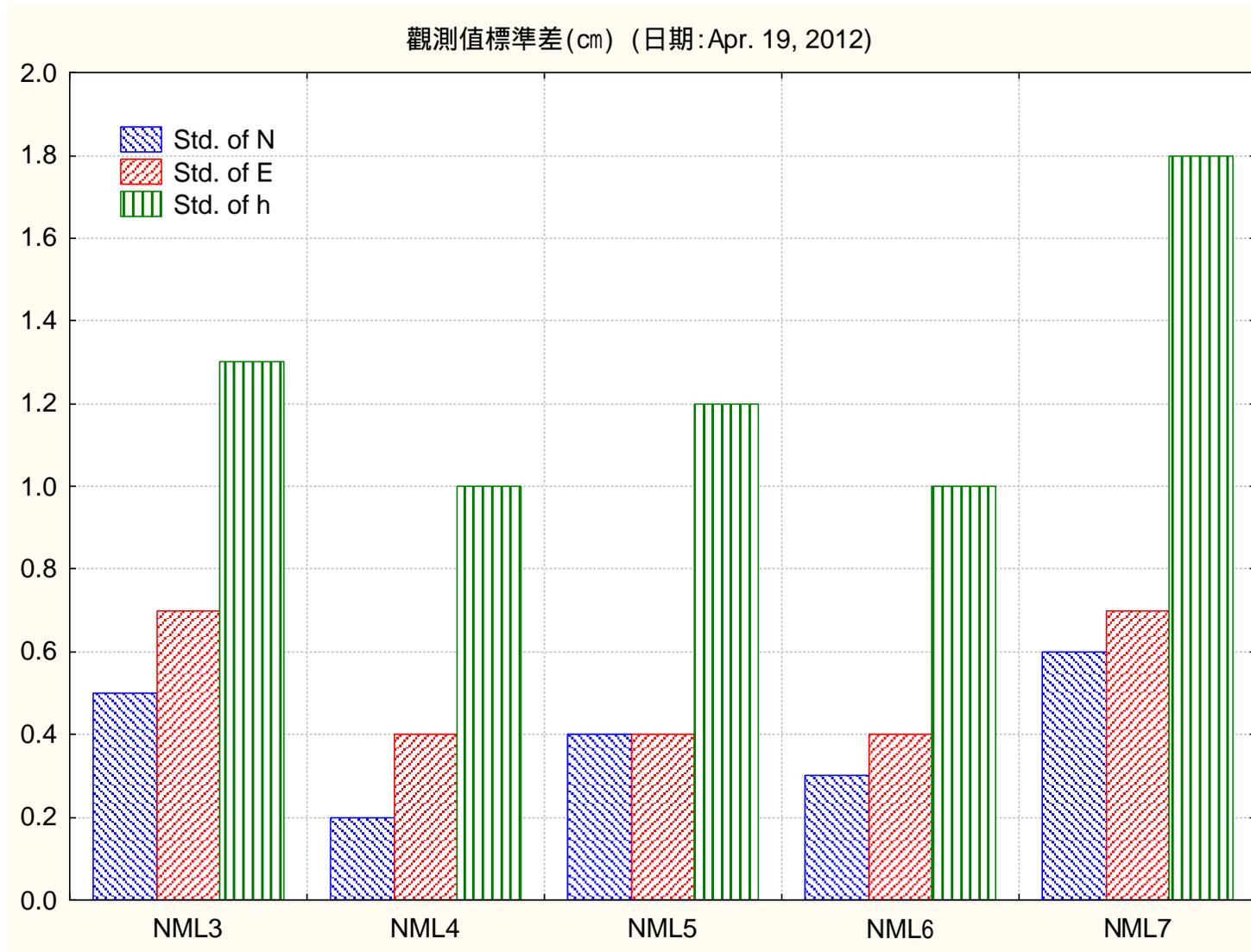
- 標準實驗室量測品保基線成果, 不確定度 2.0 mm



坐標驗證場地一：標準實驗室校正場(2.0 mm)



坐標驗證場地一：標準實驗室校正場(2.0 mm)



坐標驗證場地二：大溪地政事務所圖根點(18 mm)



坐標驗證場地二：大溪地政事務所圖根點(18 mm)



- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 靜態基線與e-GPS比對; | <input type="checkbox"/> e-GPS比對公告坐標 |
| <input type="checkbox"/> 強制對心; | <input checked="" type="checkbox"/> 三腳架 |
| <input type="checkbox"/> 標準追溯坐標; | <input checked="" type="checkbox"/> 固定起算點 |
| <input type="checkbox"/> GPS校正場; | <input checked="" type="checkbox"/> 地政事務所圖根點 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 短時間驗證 | <input type="checkbox"/> 長時間數據(出勤率) |

測量時間: May 30 ~ June 1, 2012

e-GPS: 1秒1筆, 60筆取平均值, 5個平均值

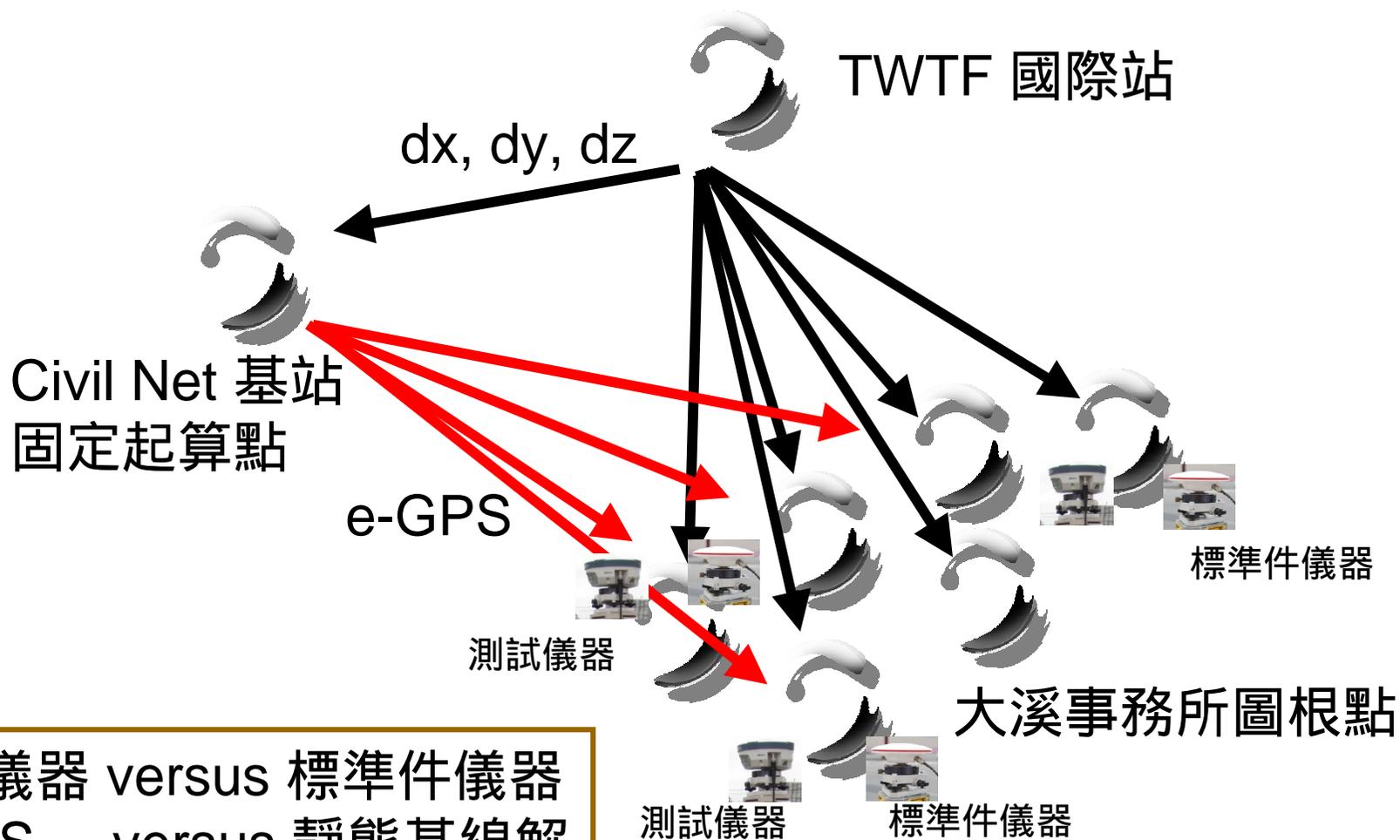
靜態基線:

- 國際站TWTF為基站, 觀測4小時, 擴充不確定度 18 mm
- 標準件:Leica SR530 GPS



靜態基線比對e-GPS坐標示意

精度驗證評估



測試儀器 versus 標準件儀器
e-GPS versus 靜態基線解

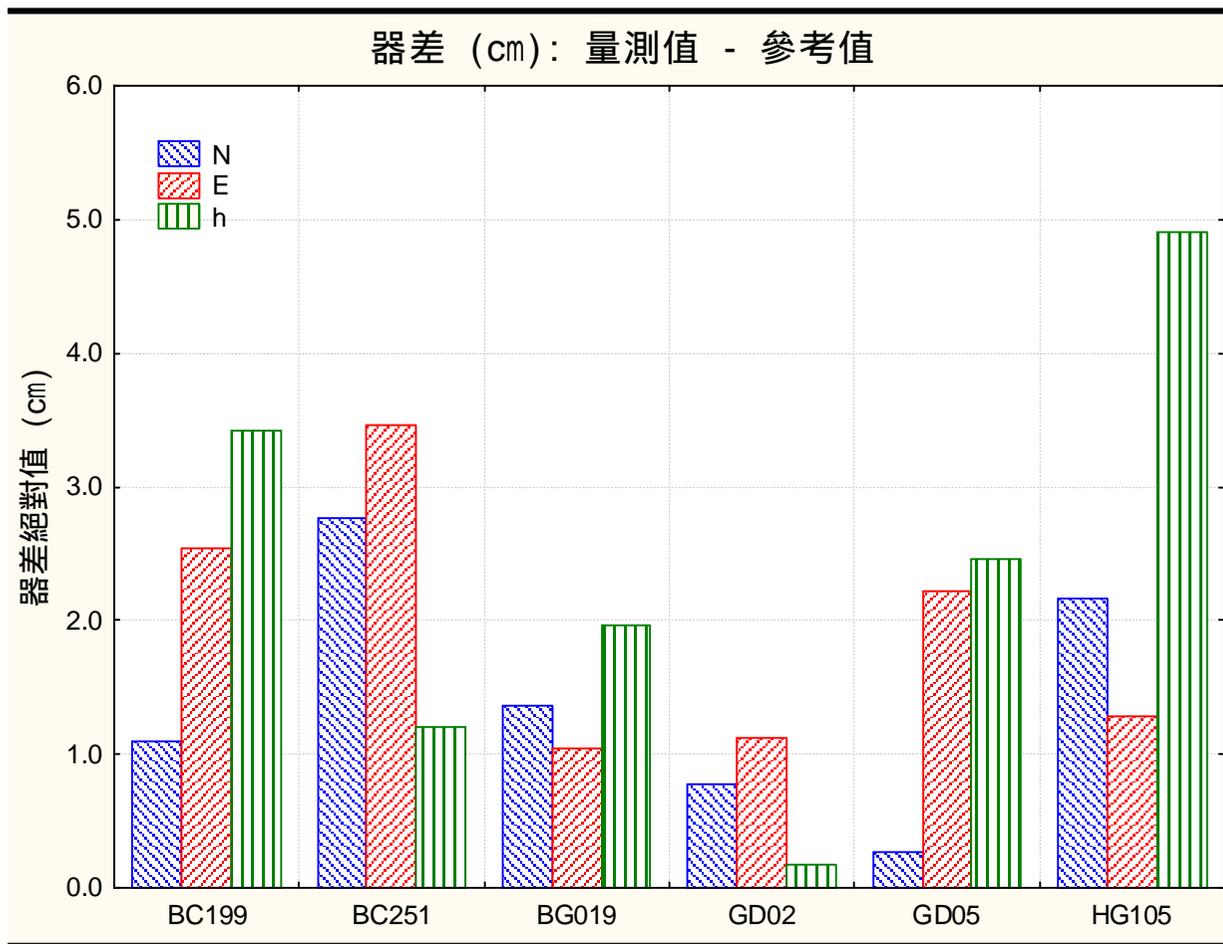


工業技術研究院

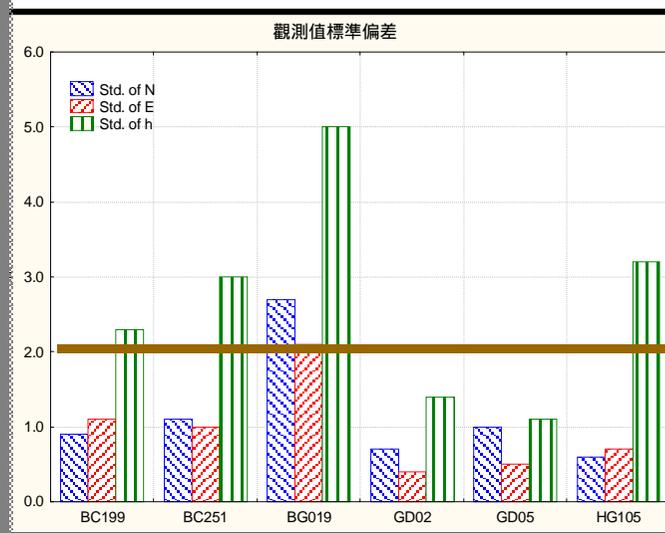
Industrial Technology
Research Institute

© ITRI. All rights reserved.

坐標驗證場地二：大溪地政事務所圖根點



參考值標準不確定度：
18 mm

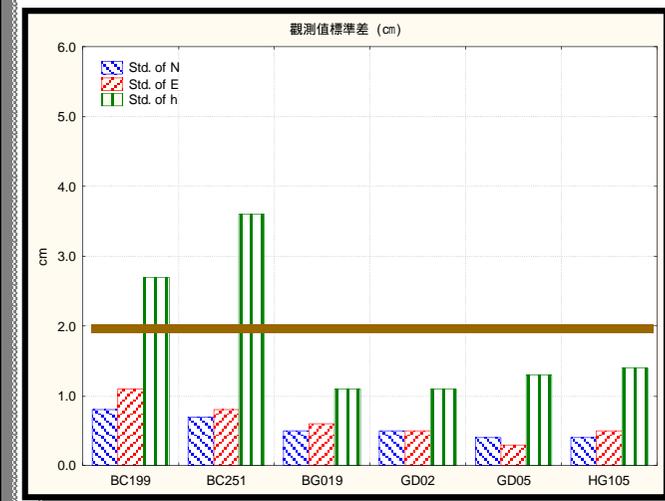
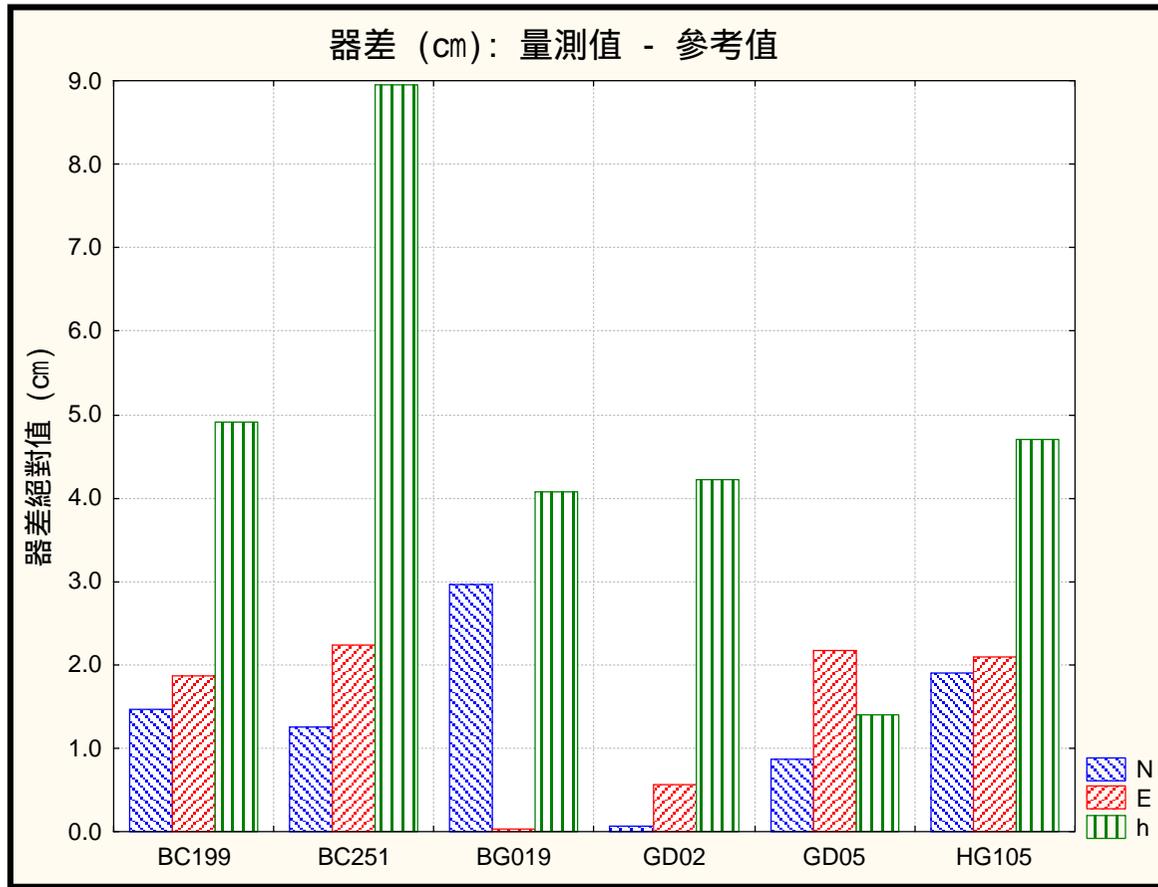


Civil-Net系統



大溪地政事務所圖根點 測繪中心e-GPS系統

精度驗證評估

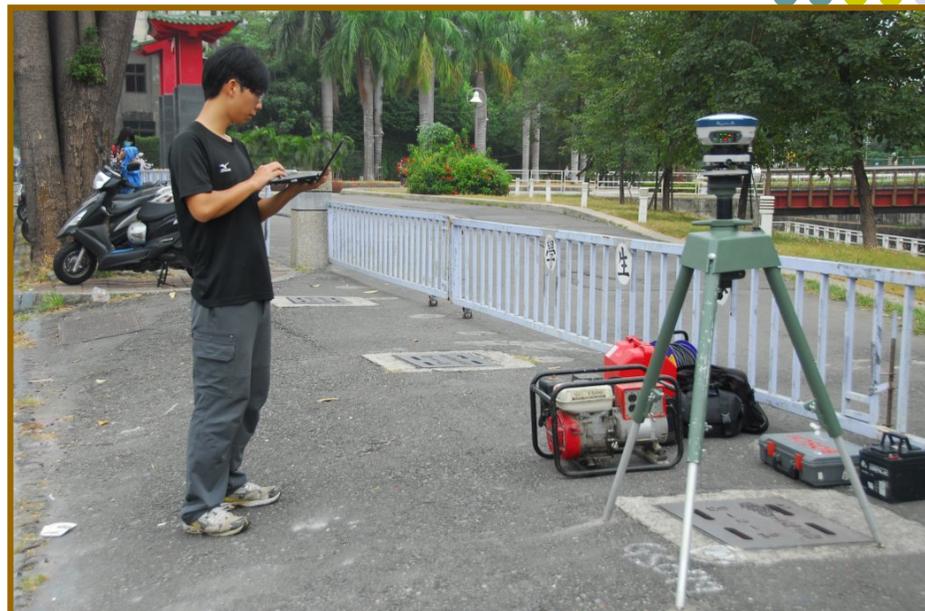


工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

© ITRI. All rights reserved.

坐標驗證場地三：三民地政事務所圖根點



坐標驗證場地三：三民地政事務所圖根點



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

© ITRI. All rights reserved.

坐標驗證場地三：三民地政事務所圖根點



- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 靜態基線與e-GPS比對; | <input type="checkbox"/> e-GPS比對公告坐標 |
| <input type="checkbox"/> 強制對心; | <input checked="" type="checkbox"/> 三腳架(改良) |
| <input type="checkbox"/> 標準追溯坐標; | <input checked="" type="checkbox"/> 固定起算點 |
| <input type="checkbox"/> GPS校正場; | <input checked="" type="checkbox"/> 地政事務所圖根點 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 短時間驗證 | <input type="checkbox"/> 長時間數據(出勤率) |

測量時間: Oct. 29 ~ Oct. 31, 2012

e-GPS: 1秒1筆, 60筆取平均值, 5個平均值

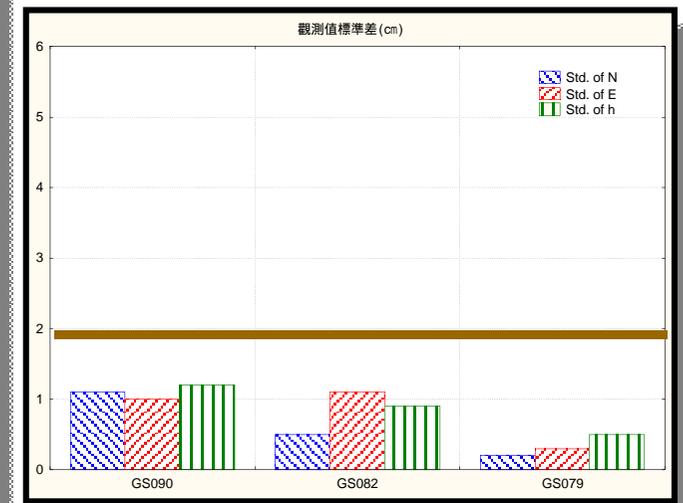
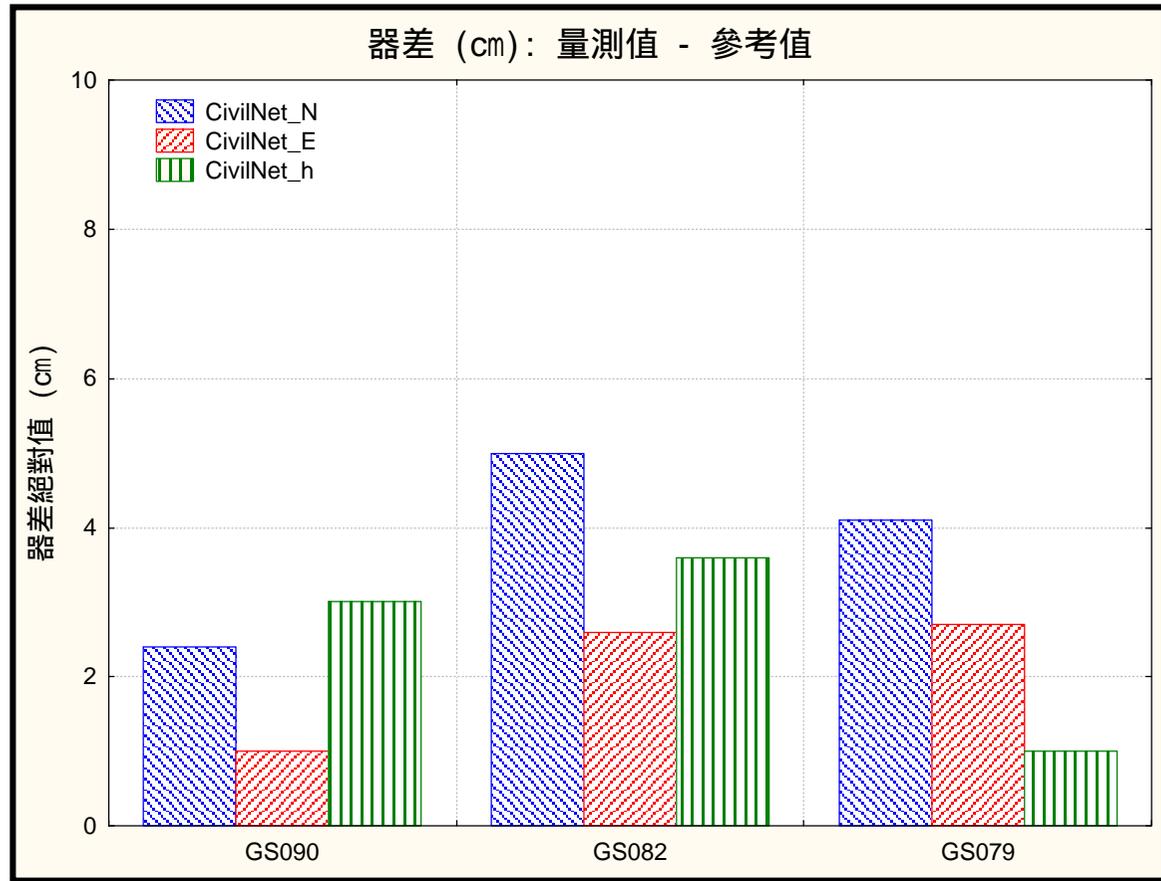
靜態基線:

- 參考站大寮基站, 觀測4小時, 擴充不確定度 13 mm





Civil-Net坐標比對靜態基線坐標

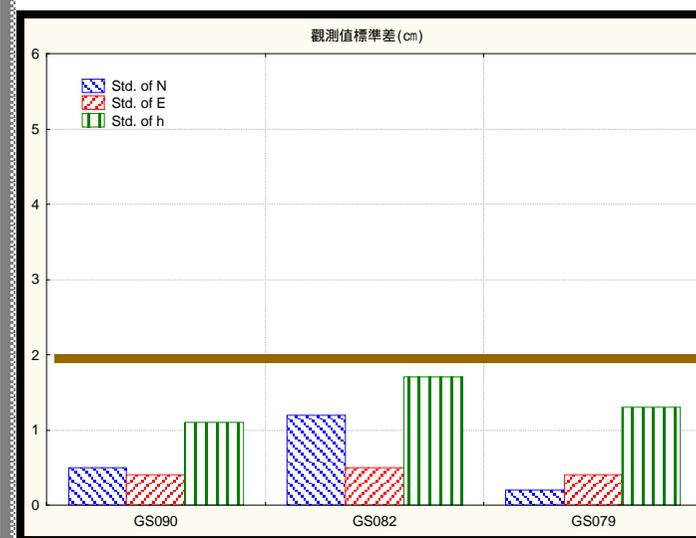
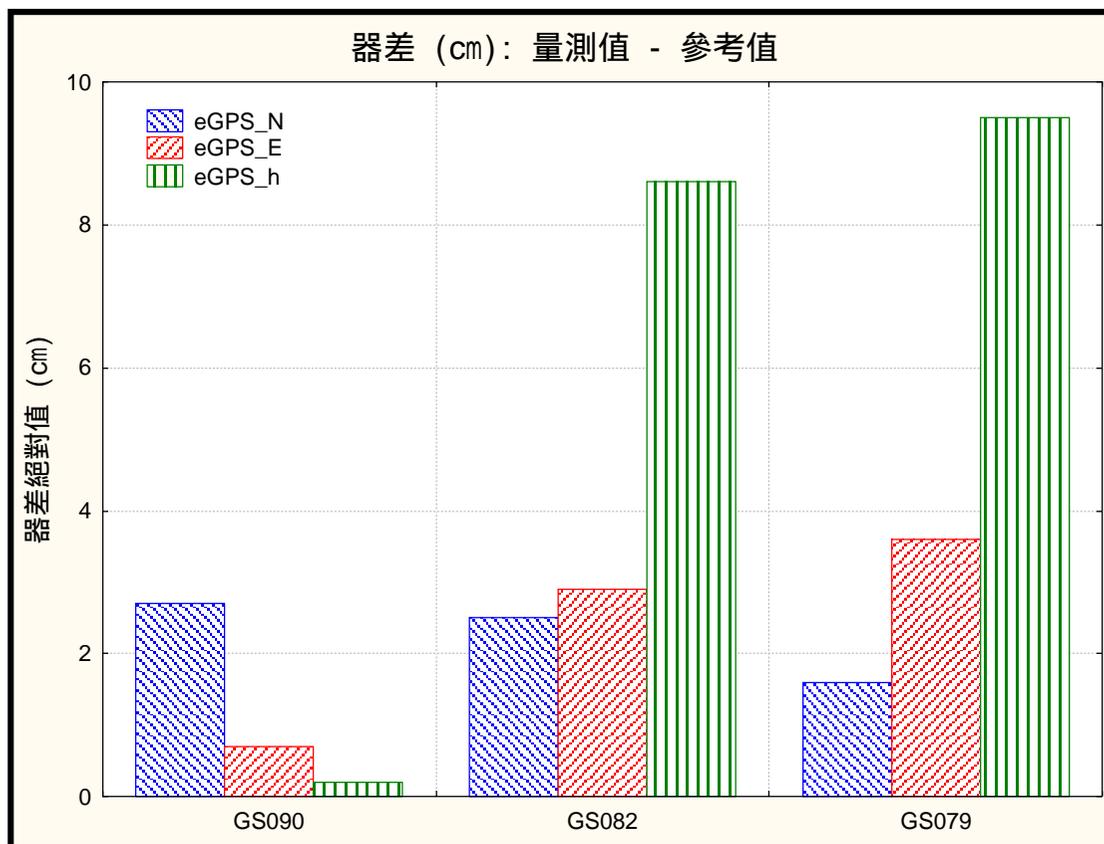


測試儀器 versus 標準件儀器
e-GPS versus 靜態基線解





測繪中心e-GPS坐標比對靜態基線坐標



坐標驗證四：標準實驗室校正場，追溯坐標比對



坐標驗證四：標準實驗室校正場，追溯坐標比對

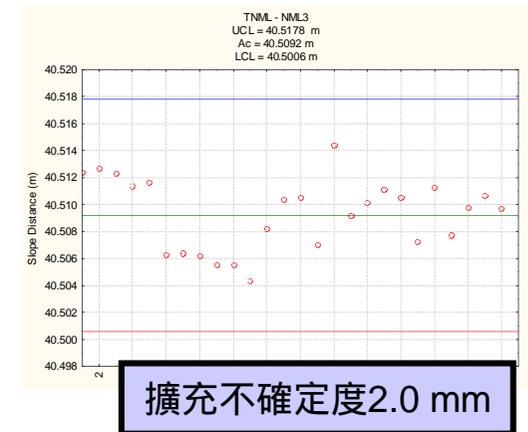
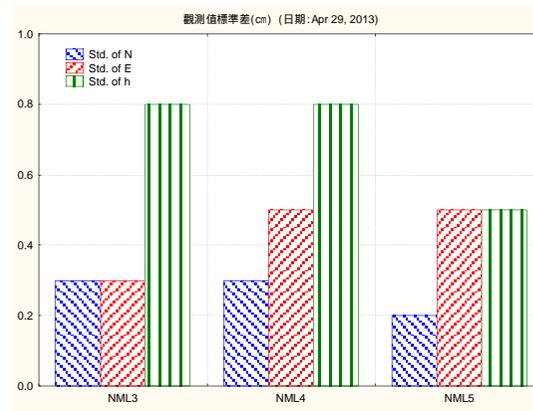
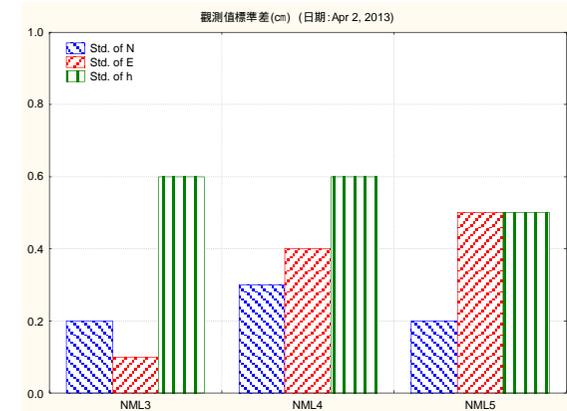
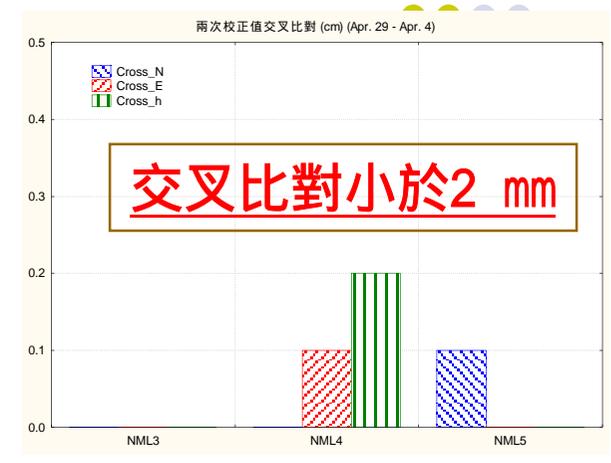
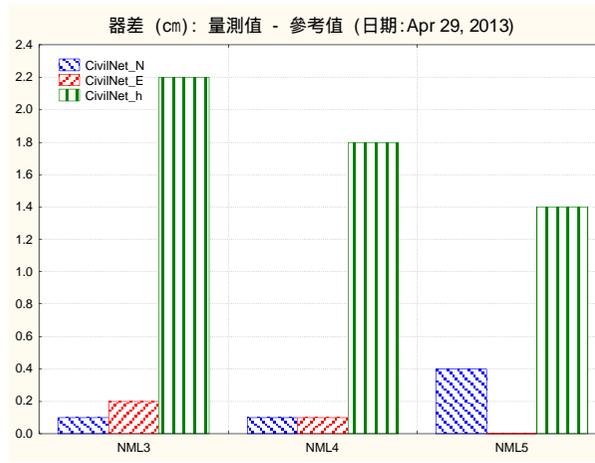
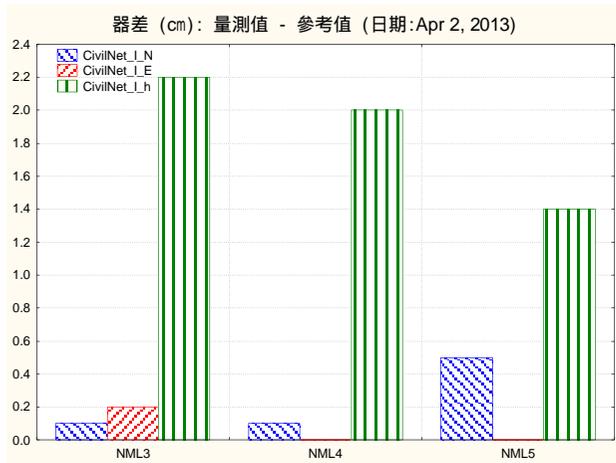
- 靜態基線與e-GPS比對;(長時間維持高精度參考值)
(不確定度2.0 mm, 依ISO GUM指引評估, 定期品保管制)
- 強制對心;(減弱對心誤差, 天線高量斜距誤差)
- 標準追溯坐標(**2013.0減弱板塊運動效應影響**);
Civil-Net校正場建置, 供應參考站, 採用追溯坐標
- GPS校正場(優秀查核條件, 透空, 穩定條件, 減弱環境效應);

-
- e-GPS比對公告坐標
 - 三腳架(改良)
 - 固定起算點
 - 地政事務所圖根點



標準實驗室校正場

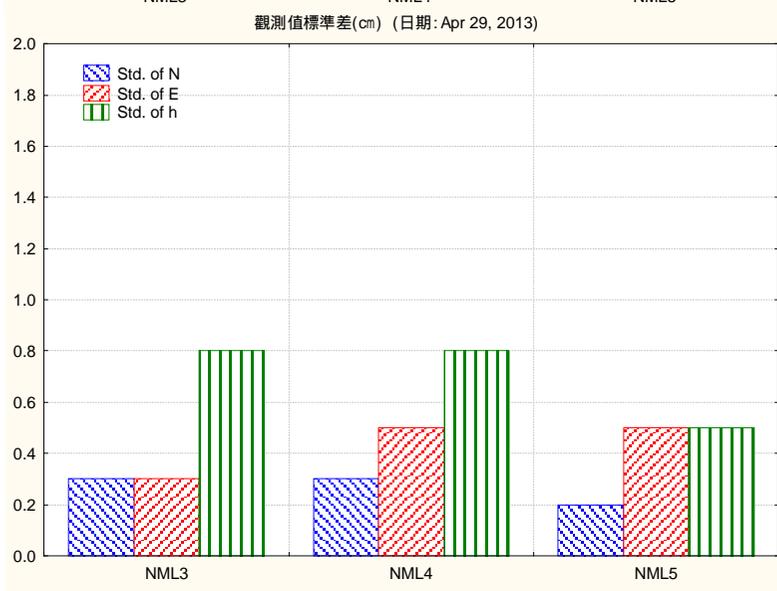
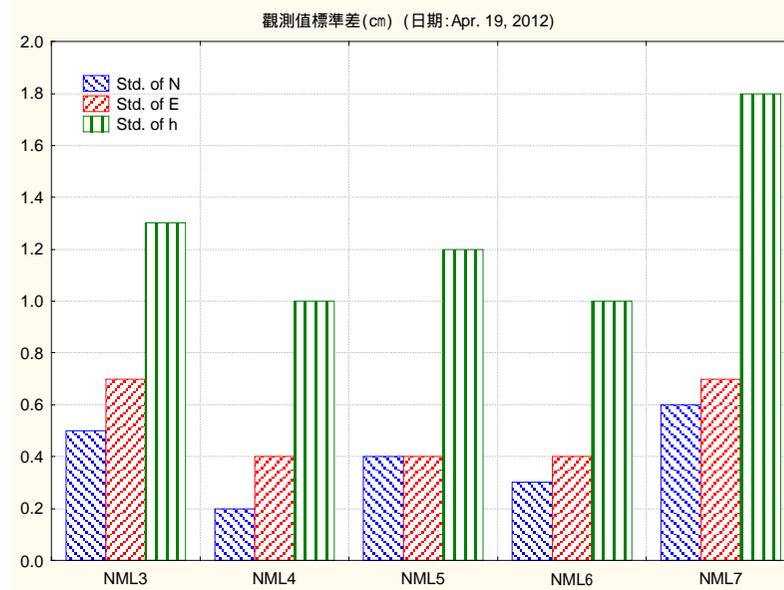
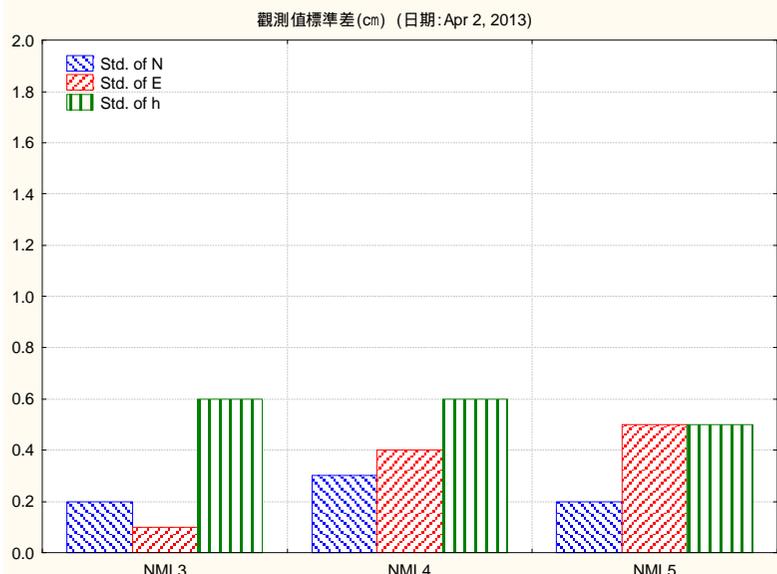
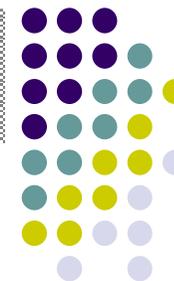
日期: 1. Apr. 02, 2013
2. Apr. 29, 2013



單位: 公分(無誤)



標準實驗室校正場，三次作業內部精度比較

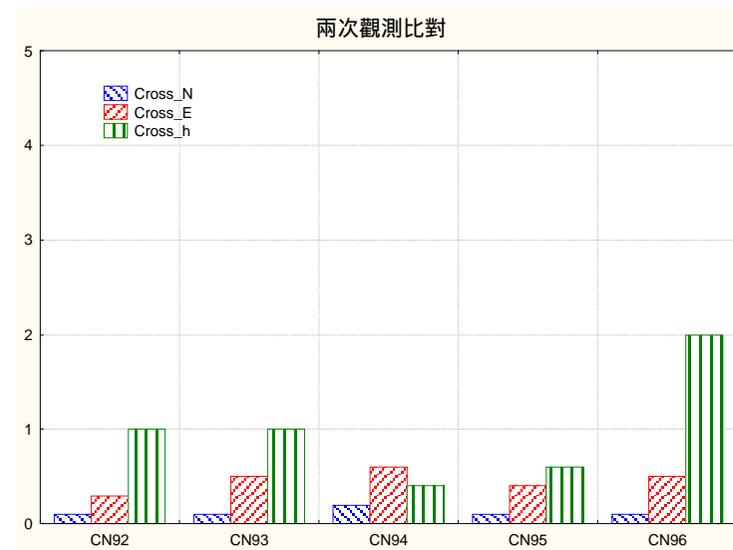
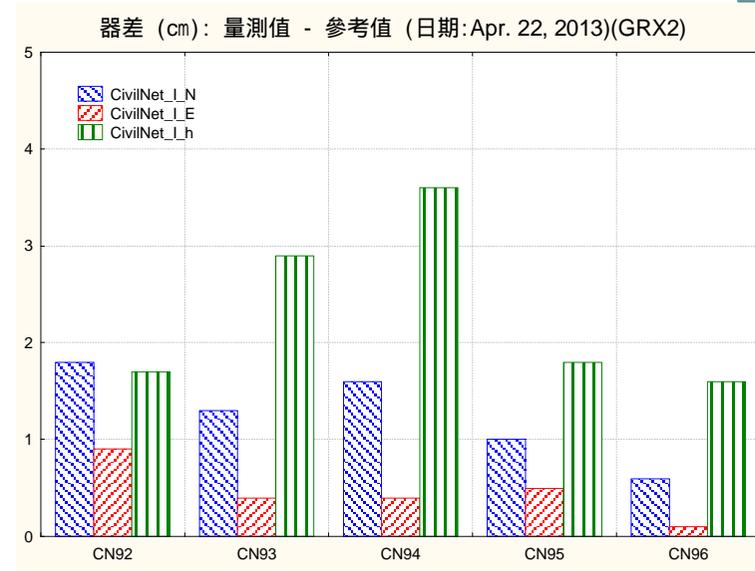
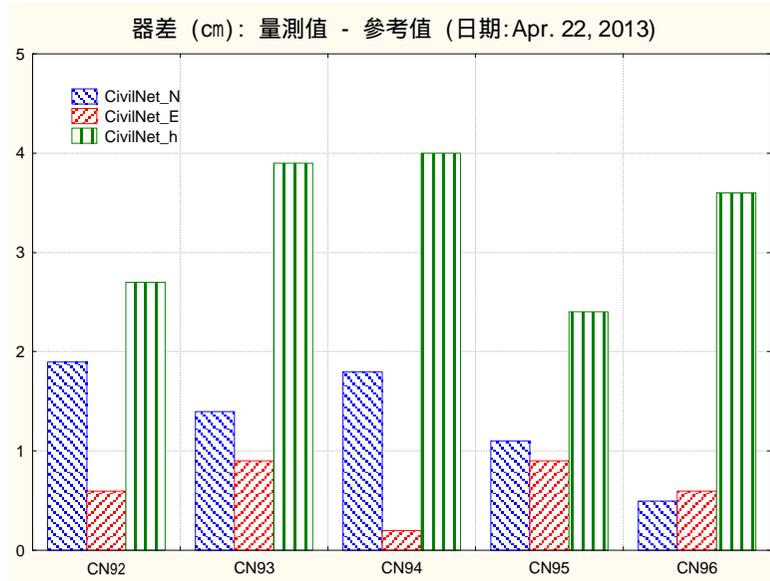


二級實驗室校正場



二級實驗室校正場

快速測試(150 秒)



交叉比對平面 5 mm



測量基準

- 新基準時代
- e-GPS測量重現性 <10 mm，無需圖根點時代
- 相對測量 VS. 測量基準
- 系統查核，驗證，監控



- 指定條件下操作，階段一：建立一個“量測標準數值與量測數值”對應關係，階段二：應用此關係將儀器器示值得到量測結果；完整校正活動在階段一量測數值需含有量測不確定度，量測標準數值需含有量測不確定度。
- 測距儀校正
 - 在基線場校正依校正程序操作，階段一：待校測距儀讀數測距數值與基線長標準數值，回歸分析(建立對應關係:求定校正參數”加常數改正量”與”比例常數改正量”)。階段二：歸算量測結果，待校儀器器示值，經改正後為”量測距離”。量測結果含擴充不確定度。
- e-GPS校正
 - e-GPS校正場環境條件下，依校正程序操作，階段一：將「e-GPS系統」接收儀器示坐標值與校正場參考值進行比對(建立對應關係:Difference=eGPS-Reference)，階段二：歸算器示值為量測結果(法碼標稱值案例)。校正活動需含坐標值不確定度與參考值不確定度。
- Note
 - Calibration不可混淆成儀器整置”adjust”，“alignment”，“self-calibration”，”verification”
 - 舉例:測距儀偏心求定
- operation that, under specified conditions, in a first step, establishes a relation between the quantity values with measurement uncertainties provided by measurement standards and corresponding indications with associated measurement uncertainties and, in a second step, uses this information to establish a relation for obtaining a measurement result from an indication
- 校正活動完整要素：ISO 17025品質管理(國內TAF實驗室校正報告)



Civil-Net校正能量建置過程

- ISO 17025品質管理
- 如何建立量測系統
- 校正與追溯
- 如何建立品質系統
- 不確定度評估活動
- 量測品保活動
- 實驗室人員訓練
- 內外稽核，矯正/預防措施
- 實驗室能力證明(能力試驗)

有系統管理活動：品質技術



GPS校正場硬體與環境

- 校正場
- 校正基樁
- 強制對心基座
- GPS計算分析軟體
- GPS接收儀標準件
- 溫濕壓力計

e-GPS校正:GPS校正能量選項

標準實驗室場地現況



標準推廣:建置涵蓋全島的坐標校正場實驗室 大尺度高精度量測校正

校正追溯到
原級頻率標準



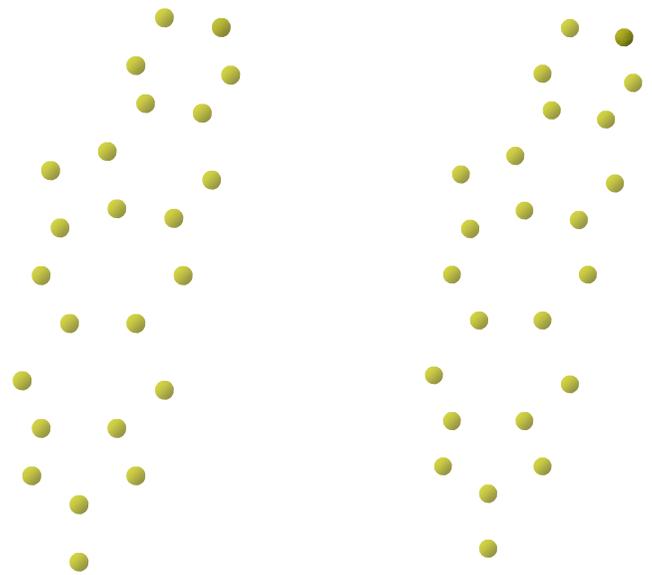
建置二級e-GPS
校正場實驗室



坐標比對分析
Civil-Net精度

精度
驗證

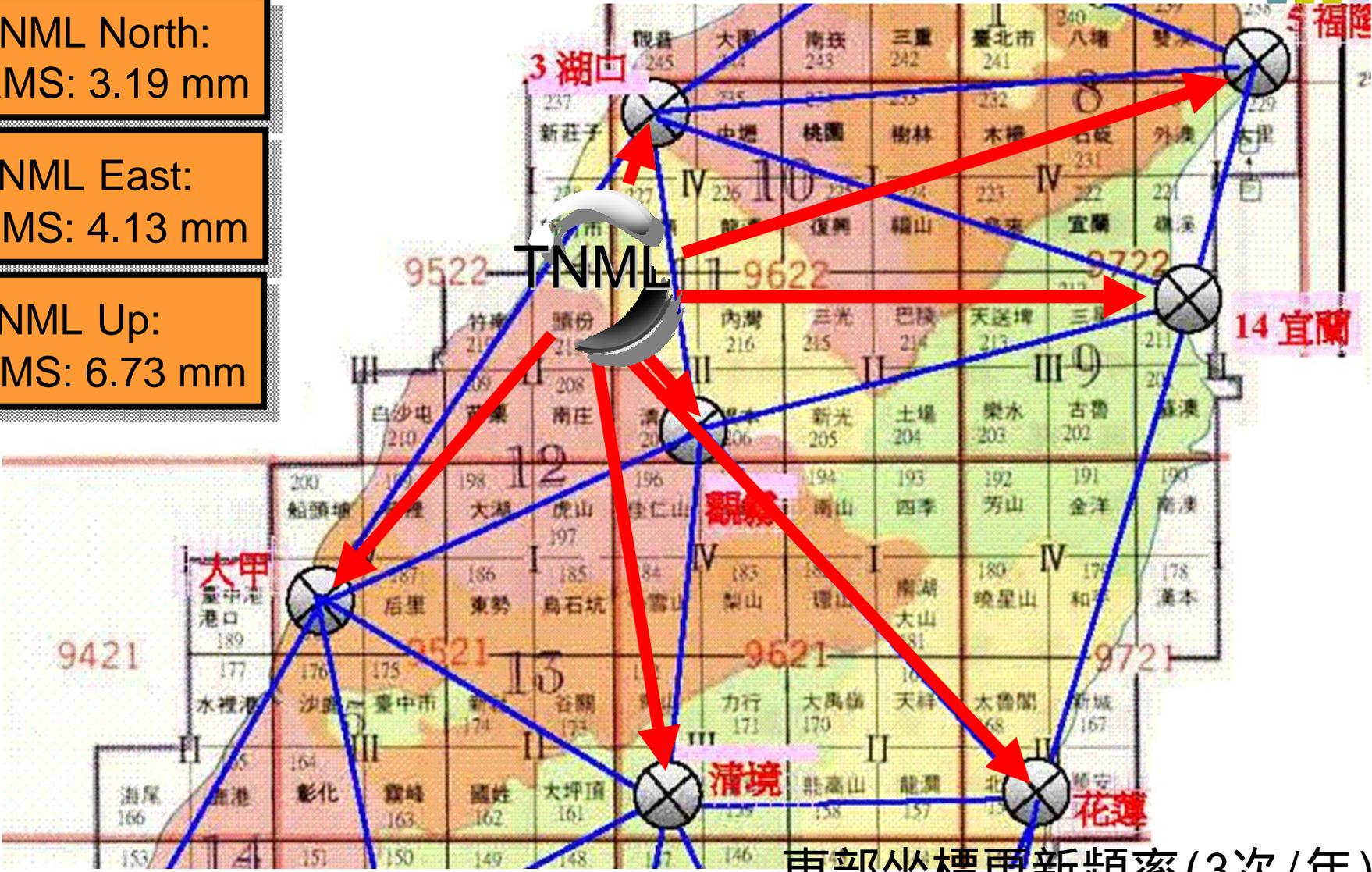
品質
確認



標準坐標傳遞示意，坐標更新頻率(2次/年)



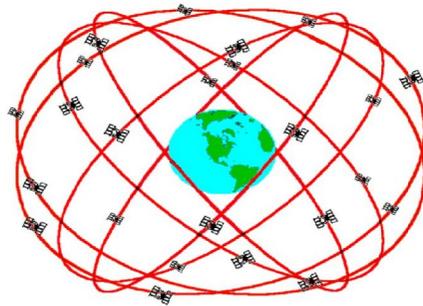
- TNML North:
RMS: 3.19 mm
- TNML East:
RMS: 4.13 mm
- TNML Up:
RMS: 6.73 mm



東部坐標更新頻率(3次/年)

NML執行國際坐標傳遞標準至國內

管理展現



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

技術角度 談追溯



頻率
原級
標準Cs

IGS tracking
stations

建置
衛星定位儀
校正能量

校正
衛星定位儀準確度

- 精確定時、授時
- 工程施工、勘探測繪：
- 導航、定位

國家實驗室
NML



TAF認可校正實驗室
國土測繪中心、森泰、名家

確保使用者
衛星定位儀功能

應用校正場，確認Civil-Net 系統參數



- 標準實驗室進行技術服務，推廣品質技術
- e-GPS校正場建置，固定站坐標定期量測執行品保，查核坐標參數
- Civil-Net參考站使用追溯標準坐標
 - TNML追溯標準坐標
 - Bernese 5.0 經密網形平差
 - 應用IGS精密星曆
 - 應用IERS地球自轉參數
- 海潮負載改正確認，(校正場比對靜態基線成果)
- 相位中心改正確認，(校正場比對靜態基線成果)





小結

- 本研究建議e-GPS參考站採用追溯坐標
 - 應用校正實驗室量測系統獲取高精度參考值
 - 坐標追溯國際ITRF框架
 - 坐標不確定度評估依據ISO GUM (Guide 98-3:2008)
- 本研究建議定期更新Civil-Net參考站站坐標 (2~3次/年) , 應用精密計算 , 達成坐標追溯國際標準坐標
 - 效益:高精度參考值坐標 , 精準估算e-GPS改正值
 - 效益:有效提升Civil-Net系統精度
- 高精度校正場調校系統參數
 - Civil-Net參考站站坐標精度提升
 - 海潮負載改正
 - 相位中心改正確認 , 採絕對相位中心改正量



e-GPS使用者自我查核自校需求性



- e-GPS查核具有在地特性
 - 新竹高精度驗證經驗，無法確保台東e-GPS的品質
- 查核具有高頻率特性：自校頻率需求極高
 - 昨天e-GPS穩定，無法確保今天出勤效能一致
 - 自校應為e-GPS測量前置動作，先完成查核確認系統精度，再赴測區做測量
 - 由e-GPS校正場建置經驗:校正場監控e-GPS有效益
- e-GPS坐標轉換到公告坐標的需求
 - 在自校樁定期重複測量，標準參考值定期維護，附帶效益定期更新轉換參數，維護測區e-GPS成果轉換到公告坐標。
 - 需求以鄉鎮為單位加密自校樁，在地特性，自我定期更新鄉鎮轉換參數
- 案例:Civil-Net二級實驗室校正能量建置
- 願景:地政事務所自校能量建置

Q:校正實驗室計量品質工程
如何助益e-GPS

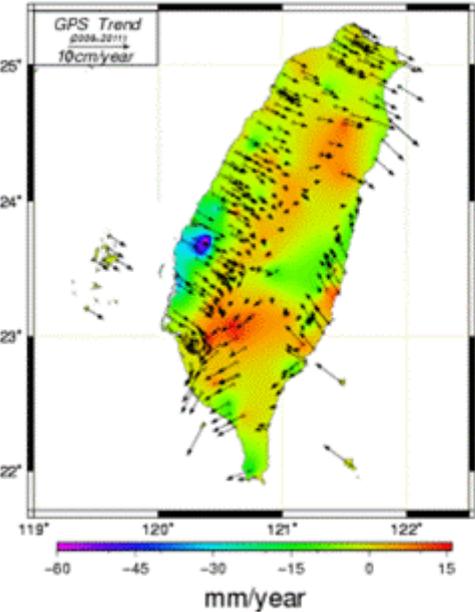
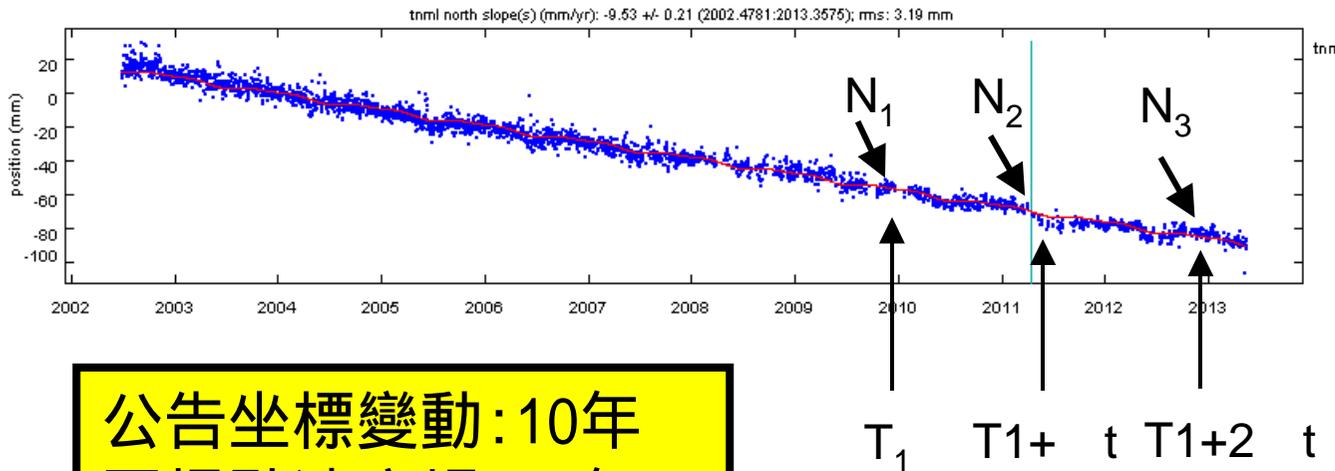


工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

© ITRI. All rights reserved.

坐標與轉換參數的變動頻率



公告坐標變動: 10年
圖根點速度場cm/年
轉換參數更新 2次/年

時間序列	T_1	$T_1 + t$	$T_1 + 2t$
e-GPS 投影座標	N_1	$N_2 \quad (N_1 + N)$	$N_3 \quad (N_1 + 2N)$
(內插)轉換參數 dN	dN_1	dN_2	dN_3
公告座標 TWD97(2010)	$TWD_N_1 = N_1 + dN_1$	$TWD_N_1 = N_2 + dN_2$	$TWD_N_1 = N_3 + dN_3$



地政事務所e-GPS自校能力



自校能力

- 設置5處GPS校正樁
 - 極易到達；透空；可長久使用
 - 強制對心基樁
 - 完成校正樁公告坐標引測
- GPS標準件進行週期性重複測量，維護參考值獨立性
 - 量測品保，施行較長時間靜態基線測量，週期性維持校正樁坐標參考值
 - 由校正樁公告坐標與坐標參考值定期維護轉換參數
- **建置實驗室管理要求**

使用者查核

- e-GPS自校查核動作
 - GPS校正樁上，整置測量待校件，e-GPS測量，比對參考值
 - 完成查核動作與報告紀錄
- 追溯標準，接軌國際



eGPS (追溯國家量測標準，接軌國際)



- 校正活動
 - 標準追溯體系
- 儀器校正
 - 測量工作的根本盤石
 - 接軌國家量測追溯體系



**測量成果重大意義：
追溯國家標準接軌國際**

**完善校正機制
確保測繪成果品質**

標準推廣：地政品質活動年

地政事務所自校能量建置

- 地政事所測量儀器自校管理能量

- 電子測距儀自校系統
- e-GPS自校系統
- 電子經緯儀自校系統

- 品質課程；品質活動

- 地籍測量專家
- 實驗室專業人員

- 展現社會表現力

- 加強儀器校正
- 精益求精

- 磐石基礎工程

- 地政品質，堅若磐石

追溯標準，接軌國際
VS.

呼氣酒測器 用千次恐失準

2011年01月23日



民眾常對警方酒測器精
準度持懷疑態度。資料
照片



國土測繪法應用測量實施規則：
「辦理應用測量使用之儀器裝備所為之校正，
應依測量計畫目的及作業精度等需求辦理」



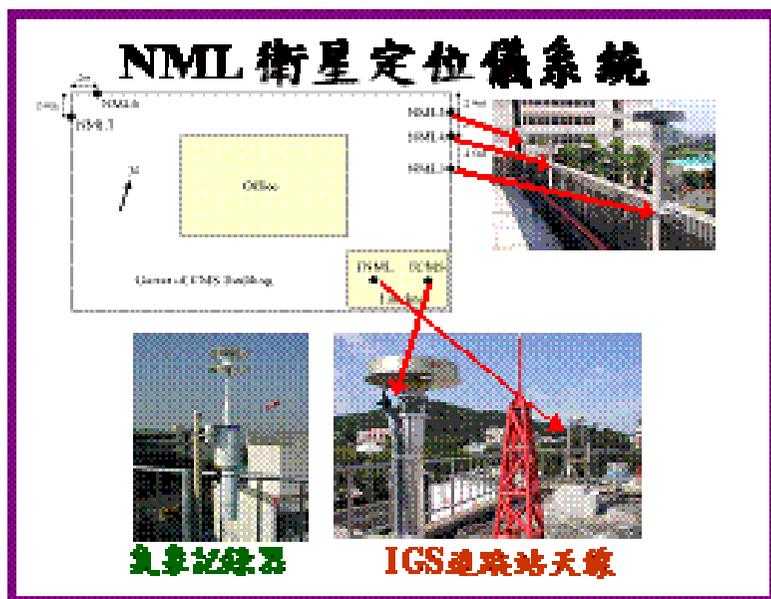
工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

© ITRI. All rights reserved.



謝謝聆聽



量測技術發展中心

June 6, 2013

聯絡方式: MHPeng@itri.org.tw

03-5743891



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

© ITRI. All rights reserved.