

國民健康局 98 年度委託研究計畫

期末成果報告

(自 98 年 4 月 20 至 98 年 12 月止)

計畫名稱：電磁場（波）人體暴露量之量測方法及採
樣先驅研究

計畫編號：DOH98-HP-1409

研究起訖：自 98 年 4 月 20 至 98 年 12 月 31 日止

得標機構：中山醫學大學

主持人：劉宏信

職稱：副教授

聯絡電話：04-24730022-11827

電子郵件：hhliu@csmu.edu.tw

聯絡人：劉宏信

傳真：04-23248194

填表日期：98 年 11 月 24 日

摘 要

工業科技的迅速發展，運用電磁波技術情形越趨普遍，人們長時間暴露到電磁波的頻段種類與總能量亦大幅增加。雖然至今，科學並無明確的證據一致證明生物體長期暴露於電磁波的環境，將導致生物體健康上的不良效應。然而，長時間暴露於電磁波的環境中，已引起民眾之擔憂與抗爭事件頻傳，雖然對健康造成影響目前是未知之數，但就站在預防醫學角度思考，理應事先防範未然。故建立準確具有公信能力及可被接受的評估模式，以正確地評估電磁波人體暴露量，便成為一首要之事。因此，本研究之目的係建立電磁場人體暴露量之測量方法及量化模式。本研究團隊蒐集並參考電磁波暴露評估研究與各國之電磁波暴露測量方法，做為方法建立之基礎。並舉辦三次專家學者會議進行討論與修正測量方法後，進行實場測量，並分別測量於台灣之北部、中部、及南部之 5 歲以下兒童；6~15 歲青少年；一般辦公室環境(有射頻暴露可能之職場)；基地台作業人員；使用高頻加熱設備之製造業等五大族群。測量結果顯示，此五大族群人員電磁波暴露值，皆遠低於法規限值，但南部民眾之電磁波暴露值有較高於北部與中部之民眾，值得注意與持續追蹤調查。

關鍵詞：電磁波、射頻輻射、流行病學

Abstract

The rapid development of technology, human used wireless technology is increasing rapidly. It's led human exposed to more different radio-frequency (RF) electromagnetic field and total electromagnetic field's energy day and night. Although, there is no significant evidence to prove that human long term expose to radio-frequency would cause health adverse effect. Long term expose to radio-frequency would increase the public attention and cause protests, even the adverse effects is still not confirm. In the point of preventive medicine, it should fully understand human exposure level of RF at the first step. Therefore, it's important to establish a quantification model for assessment of the human exposure to electromagnetic fields. We collected the RF exposure assessment studies and measurement's methods of RF electromagnetic fields as a foundation to establish a quantification model for assessment of the human exposure to electromagnetic fields. We convened three time conferences to discuss and modify the method. And then, we measured 5 groups (fewer than 5 age children, 6-15 age youths, employees who may exposure to RF, mobile phone base station's workers, workers who operate high frequency heating) in the northern, central, and southern Taiwan. The measurement's results revealed that exposure level of the 5 group were under the limit level of law. But the exposure level of people who lives in southern Taiwan were higher than the other. Therefore, it's need to long term follow the exposure situation in southern Taiwan.

Key Words: electromagnetic fields (EMF), radiofrequency fields (RF), epidemiology

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vii
第一章 前言.....	1
第二章 計畫目的.....	6
第三章 文獻回顧.....	8
3-1 何謂電磁波.....	8
3-2 電磁波與健康不良效應.....	11
3-3 電磁波暴露評估工具於流行病學研究之應用.....	13
第四章 研究方法與步驟.....	27
第五章 計畫成果.....	30
5-1 Bioelectromagnetics (28:224-230, 2007)發表之文獻翻譯.....	30
5-2 國際間電磁波測量規範之搜集與整理.....	30
5-3 電磁波標準與熱危害效應評估.....	31
5-4 專家學者會議.....	32
5-5 人體電磁波暴露測量方法與量化模式.....	32
5-6 不同年齡或職業族群之個人電磁波暴露值.....	34
第六章 討論.....	58
6-1 採樣策略.....	58
6-2 測量高度之選取.....	59
6-3 測量點間距之選取.....	60
6-4 測量時間的選取.....	61
6-5 熱危害效應模式計算方式.....	61
6-6 研究方法限制.....	65

6-7 儀器選用建議.....	67
第七章結論.....	74
第八章參考文獻.....	75
第九章委員意見回覆.....	84
附錄一文獻翻譯.....	93
附錄二測量方法與規範整理.....	107
附錄三世界各國電磁波標準與熱危害效應評估方法之整理.....	176
附錄四專家學者會議紀錄.....	209
附錄五人體電磁波暴露量測與量化方法.....	216
附錄六不同年齡或職業族群電磁波暴露型態測量結果.....	234

圖目錄

圖 3-1：SAR(相對吸收率)的各頻帶特性	26
圖 3-2. 64 個 GSM 基地台鄰近地區之距離與電磁波功率關係圖	26
圖 4-1 本研究計畫實施架構.....	27
圖 5-1 台北縣三重市正義國小附設幼稚園教室內兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部 部位之電磁波頻段掃描圖	43
圖 5-2 台北縣三重市正義國小附設幼稚園教室內兒童坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部 部位之電磁波頻段掃描圖	44
圖 5-3 台北縣三重市正義國小附設幼稚園教室內兒童睡姿姿勢之頭部部位之電磁波頻 段掃描圖	45
圖 5-4 台北縣三重市正義國小附設幼稚園戶外遊樂區兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及 腿部部位之電磁波頻段掃描圖	46
圖 5-5 台北縣三重市正義國小教室內青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電 磁波頻段掃描圖	47
圖 5-6 台北縣三重市正義國小教室內青少年坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電 磁波頻段掃描圖	48
圖 5-7 台北縣三重市正義國小戶外操場青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之 電磁波頻段掃描圖	49
圖 5-8 台南成功大學醫學院員工於內間之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁 波頻段掃描圖	50
圖 5-9 台南成功大學醫學院員工於內間之坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁 波頻段掃描圖	51
圖 5-10 台南成功大學醫學院員工於外間之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電 磁波頻段掃描圖	52
圖 5-11 台南成功大學醫學院員工於外間之坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電 磁波頻段掃描圖	53
圖 5-12 基地台測量人員於 A 地(台北市承德路二段 208 號)之站姿姿勢之頭部、腹 部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖	54
圖 5-13 基地台測量人員於 B 地(台北市民權西路 72 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及 腿部部位之電磁波頻段掃描圖	55
圖 5-14 基地台測量人員於 C 地(台北市撫順街 37 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿 部部位之電磁波頻段掃描圖	56

圖 5-15 塑膠高頻加熱射出成型工廠作業人員站姿操作姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖	57
圖 6-1 某地之頻譜分析儀掃描頻段圖譜	73

表目錄

表 3-1 我國國內業務頻率分配使用情形.....	17
表 3-2 射頻電磁波之不同頻段下，距電磁波發射源所需超過最短距離之遠場區位置....	19
表 3-3 細胞或動物暴露射頻電磁波頻段之非熱危害效應比較.....	20
表 3-4 早期電磁波暴露危害之流行病學研究之暴露評估方式比較.....	22
表 3-5 以 FDTD 模式探討電磁波暴露量之文獻比較.....	23
表 3-6 以不同測量儀器探討人體之電磁波暴露量文獻比較.....	24
表 5-1 各組織訂定之電磁波規範.....	37
表 5-2 電磁場量測與採樣方法比較.....	37
表 5-3 我國環保署電磁場量測與採樣方法.....	38
表 5-4. 幼稚園孩童不同姿勢之電磁波量測高度表.....	38
表 5-5. 青少年不同姿勢之電磁波量測高度表.....	38
表 5-6. 職場勞工不同姿勢之電磁波量測高度表.....	39
表 5-7 時變電場和磁場暴露下適用於一般公眾的導出限值(無干擾情況下的均方根值)..	39
表 5-8 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中部、 及南部之兒童個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差, N=3).....	40
表 5-9 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中部、 及南部之青少年個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差, N=3).....	40
表 5-10 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中 部、及南部之一般職場員工個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差, N=3)..	40
表 5-11 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中 部、及南部之基地台測量人員個人電磁波時量平均暴露值(N=1).....	40
表 5-12 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之高頻加熱設 備之製造業作業人員個人電磁波時量平均暴露值(N=1).....	40
表 5-13 以頻譜分析儀測量分析結果計算台北縣三重市正義國小附設幼稚園兒童熱效 應危害之結果.....	41
表 5-14 以頻譜分析儀測量分析結果計算台北縣三重市正義國小青少年熱效應危害之 結果.....	41
表 5-15 以頻譜分析儀測量分析結果計算台南成功大學醫學院員工熱效應危害之結果..	41
表 5-16 以頻譜分析儀測量分析結果計算基地台北測量人員熱效應危害結果.....	42
表 5-17 以頻譜分析儀測量分析結果計算塑膠高頻加熱射出成型工廠作業人員熱效應	

危害結果.....	42
表 6-1.正義國小附設幼稚園教室之不同採樣間距之電場場強比較.....	68
表 6-2.正義國小附設幼稚園午休教室之不同採樣間距電場場強比較表.....	68
表 6-3.忠明國小課輔教室之不同採樣間距之電場場強比較表.....	68
表 6-4.正義國小音樂教室之不同採樣間距之電場場強比較表.....	69
表 6-5.正義國小戶外操場之不同採樣間距之電場場強比較表.....	69
表 6-6. 某地之頻譜分析儀掃描頻譜資料.....	70
表 6-7.頻率低於 10 GHZ 的時變電場和磁場基本限值	71
表 6-8.10 ~ 300 GHZ 頻率範圍內的功率密度基本限值	71
表 6-9. 距離廣播電台發射天線約 25 公尺處之不同時間與不同高度測量結果(山海屯青 少年之聲廣播電臺).....	72
表 6-10. 距離廣播電台發射天線約 132 公尺處之不同時間與不同高度測量結果(真善美 調頻廣播電臺).....	72

第一章 前言

科技的迅速發展，人們於日常生活中大幅運用無線科技，如：廣播、行動電話通訊、無線網路、及藍芽通訊等。因此無論於都會或鄉村等地區，除了可見到基地台四處林立外，於居家或辦公場所中亦可見到民眾自行設置 Access Point 無線網路基地台。

人們除了享受科技生活帶來的便利外，亦常不自覺地暴露到電磁波的環境中。雖然，科學目前並無明確的證據證明生物體長期暴露於電磁波的環境，將導致生物體健康上的不良效應。然而，四處林立的基地台架設在人們居家生活環境的週遭，已引起民眾擔憂長時間暴露於電磁波的環境中，是否會導致健康上的不良效應，進而導致抗爭事件頻傳。並且目前電磁波對人體健康是否會造成影響仍是未知，但就站在預防醫學角度思考，理應事先防範未然。

近年來流行病學研究指出得到腦癌與兒童罹患白血球病機率與鄰近廣播電台有相關，然而部分研究卻指出並無相關，流行病學研究射頻輻射對健康效應的影響的結果，目前仍有相當大的爭議。主要之問題乃在於研究者使用之方法各有不同，尤其是無足夠之證據力更是讓爭議不斷發生，整理這些研究發現他們採用之評估方法大致如下：

- 以與電台或發射源之距離為暴露指標。
- 以全向性寬頻電磁場分析儀量測值作為指標。
- 以有限時域差分法(Finite Difference Time Domain, FDTD)模式推估計算電磁波暴露量。

這些方法最大的爭議就是利用計算或推估之模式，由於人的暴露是多變及受許多因素干擾，如建築物、材質、及時間等，即使在相同區域內、相同距離也會有所不同；且每個被評估者暴露量及暴露時間等因素各有不同，因此，使用一套具有公信能力及可被接受的電磁波暴露測量方法，用以正確地評估電磁波人體暴露量，便成為一首要之事。除了可將其測量結果告知民眾，讓民眾瞭

解本身暴露於電磁波環境的風險，進而減少抗爭事件。並可將此測量方法與結果應用於流行病學研究，將可準確地評估電磁波暴露與疾病相關性。

1974年，國際輻射防護協會(International radiation protection association, IRPA)設立了非游離輻射(Non-ionizing radiation, NIR)工作組，開始對各種類型的NIR防護方面的問題進行研究。在1977年巴黎召開的IRPA大會上，該工作組演變成爲國際非游離輻射委員會(International non-ionizing radiation committee, INIRC)。並與世界衛生組織(World health organization, WHO)環境衛生部的合作，IRPA/INIRC制定了許多有關NIR健康的標準文件，作爲由聯合國環境規劃綱要(United nations environment programme, UNEP)倡導的WHO環境衛生標準專案的一部分。每份文件都包括：對物理特性、測量和檢測儀器、輻射來源和NIR的應用等方面的綜述；對於生物效應相關文獻有詳盡的評論；以及對暴露於NIR中的健康風險進行評估。這些健康標準已經爲後來確定與NIR有關的暴露限值和實用法規提供了科學的資料基礎。根據流行病學與動物實驗數據，國際非游離輻射防護委員會(ICNIRP)於1998年訂定了國際間有關暴露於0 - 300 GHz電磁場所導致的暴露規範，而大多數國家也從此依循ICNIRP之規範訂定職場與一般環境之電磁場暴露規範，2005年6月WHO國際電磁場計畫(International electromagnetic fields project)之年度報告也繼續背書此一規範，並鼓勵其會員國繼續遵循此一國際標準。

隨著科技文明的進展，工作場所裡許多的物理性與化學性危害都直接或間接對人類身體造成威脅，物理性危害之防護較化學性危害困難許多，主要原因是物理性危害之無形與其偵測技術之困難。因此美國ACGIH於1996年也訂定了職場電磁場的管制值(ACGIH, 1996)。有鑑於此經濟部標準檢驗局於2005年12月5日公布CNS14959「時變電場、磁場及電磁場曝露之限制值（300GHz以下）」，環保署環境檢驗所在2003年分別公告了「環境中(架空高壓線路、變電所、落地型變壓器)電場與磁場檢測方法」與「環境中電磁波檢測方法—調頻調幅廣播電臺、無線電視臺、行動電話基地臺」。勞委會也於2006年制定中華民國

國職場危害因子(職場環境電磁場)容許標準建議值文件，希望能保護勞工的健康。

非游離輻射屬物理性危害中之最，因為人類創造出許多新穎且能量極高的光源，因其頻率與波長的多樣化，對人體造成之危害亦有所不同，因此本研究希望能建立EMF的量測及採樣方法。雖然長期暴露於電磁場(Electromagnetic fields, EMF)中的致癌性並不被認為是已經確定的，因此ICNIRP導則的建議是基於短期的立即健康影響，比如末梢神經和肌肉的表面刺激、觸摸導體產生的電擊和灼傷，以及因暴露於EMF中吸收能量而引起的組織溫度升高。對於暴露潛在的長期影響，例如癌症危險的增加，在ICNIRP的結論中認為，目前的資料並不足以為暴露限值的設定提供基礎。

而 300 GHz 以下的電磁場主要包括微波、射頻輻射、極低頻磁場及靜電場之部份。極低頻(Extremely-low-frequency, EMF(30 - 300 Hz))電磁波在環境中的主要來源為現代電力系統(50/60 Hz)。我們日常所使用的家電用品，例如：電視、冰箱、熱水瓶、檯燈等都會產生極低頻的電磁波；而戶外的來源則包括輸配電線、變電箱、以及變電所等電力設備。另許多職業亦會接觸或使用大量電流的機器設備，也屬於極低頻電磁波的高暴露族群，這些職業包括：電焊工、變電所電力工作者、影片放映技師、裁縫師等。至於微波(microwave)與射頻(Radio-frequency, RF)所涵蓋的頻率非常廣(3 kHz - 300 GHz)。大多是人為產生被廣泛應用於微波爐、行動電話(包括行動電話基地台)、收音機、電腦終端機、無線電廣播、雷達、人造衛星、通訊、醫療及工業生產等用途(ICNIRP, 1992)。

有關細胞和動物系統的研究數據顯示：當所吸收的電磁能量可以導致體溫升高超過 1 ~ 2°C 時，會有許多生理效應(Michaelson and Elson, 1996)。這些效應包括：神經和神經肌肉功能發生變化、血—腦屏障滲透性增加、視覺機能障礙(晶狀體混濁和角膜異常)、免疫系統能力之降低、生殖能力發生變化(如精子生產能力降低)、致畸性、細胞形態改變、以及水和電解液以及細胞膜機能發生變

化，比如眼睛以及睪丸。當 SAR 值(Specific energy absorption rate)達到 100 ~ 140 Wkg⁻¹ 時，2 ~ 3 個小時的微波暴露會使兔子的眼睛產生白內障，這種暴露會使晶狀體的溫度達到 41 ~ 43°C (Guy et al., 1975)。但是暴露於類似強度或者更高強度微波場的猴子並未產生白內障，原因可能是猴子眼睛內的能量吸收模式與兔子存在差異。在頻率非常高的時候(10 - 300 GHz)，電磁能量的吸收主要限制在皮膚的表皮層、皮下組織以及眼睛的外部。在此等頻率範圍內，如果微波功率密度小於 50 Wm⁻²，眼睛損傷則是可以避免(UNEP/WHO/IRPA, 1993)。

近年來環保團體也一直對射頻電磁場的建議值有極大之爭議，但不管其爭議如何，正確的量測方法是一個重要的焦點，沒有一致的標準，最後會淪為各說各話。目前我國各部會對非游離輻射權責分工如下所列：

- ◆ 衛生署－非游離輻射對人體健康之對策
- ◆ 環保署－非游離輻射對環境影響及監測
- ◆ 國家通訊傳播委員會－通訊傳播事業營運之監督管理及證照核發
- ◆ 交通部－電波頻道分配及管理
- ◆ 經濟部－電業設備(高壓輸配電線、變電所)之管理
- ◆ 勞委會－非游離輻射對職場工作者影響及監測

其他各國管制情形

1. 美國

- 聯邦通訊委員會：管制 30 KHz – 100 GHz。
- 聯邦通訊委員會與食品藥物管理局：管制無線電手機。
- 國家通訊暨資訊管理局：管制政府部門使用之通訊設施。
- 60 Hz 之高壓電力線及變電所則未管制。

2. 加拿大

- 衛生部：管轄 3 KHz – 300 GHz。
- 60Hz 之高壓電力線、變電所則未管制。

3. 澳洲

- 衛生部輻射防護核能安全局管制。

4.日本

- 經濟部產業局：管轄 50/60 Hz 電力設施，
- 於 1976 年公佈對變電所、高壓電線產生電場管制標準為 3 KV/m(標準係以人體接近，不受電感為準)，對產生之磁場則無管制標準。
- 公共管理部：管轄 10 KHz – 300 GHz
- 總務省：管轄行動電話基地台

5.南韓

- 由資訊通訊部負責管制，訂定環境中非游離輻射建議值(與我國相同)

6.瑞士

- 環境森林景觀署管制：管轄 0 Hz – 300 GHz。

然而，目前國際間針對電磁波人體暴露量測量方法，並無一致認可的標準程序。且目前國內對於電磁波人體暴露量測量方法、健康調查、及各種防護措施之方法尚未完整。因此，本研究主要針對射頻電磁場進行採樣方法探討及量測，並藉此建立射頻電磁場量測方法基準及相關評估資料。

第二章 計畫目的

工作職場與日常生活中，非游離輻射暴露之情形非常普遍，過去非游離輻射對生物體危害常常被忽略。近年來電磁波之應用非常普遍，並成為一種普遍的生活暴露狀態。然而，針對電磁場的暴露評估卻未被完整的描述，並且尚未有準確及可被接受的評估模式，來推估目前生活環境中大量使用會產生電磁波的設備，所可能造成的暴露危害。電磁場的暴露可視為能量的傳遞，波長越短即具高頻率及高能量。雖然射頻輻射具較低的能量，但大量及長時間暴露的影響，尤其現今生活方式已經無分日晝，低能量的長期暴露，亦可能造成慢性的暴露危害。

目前國際間針對電磁波人體暴露量測量方法，並無一致認可的標準程序。且目前國內對於電磁波人體暴露量測量方法、健康調查、及各種防護措施之方法尚未完整。因此，本研究將針對射頻電磁場進行採樣方法探討及量測，並藉此建立射頻電磁場量測方法基準及相關評估資料。

本計畫目的如下所示：

1. 搜集國際上對射頻電磁場(波)暴露評估之相關研究，就不同研究設計使用之儀器、量測規範、不同頻率如何加權轉換等議題探討。
2. 了解不同年齡或職業族群暴露型態，就射頻電磁場(波)各種不同量測方法、採樣方法及轉化人體 24 小時暴露量之計算方式進行比較。
3. 進一步進行現場實際量測，並就前述實測案例經驗，評估未來進行較大規模研究之可行性及提出建議。

本計畫之執行重點如下：

1. 搜集國內外對射頻電磁場(波)暴露評估之相關研究，就不同研究設計使用之儀器、量測規範、不同頻率如何加權轉換等議題探討。

評估指標-

- a. 國內目前所有曾經使用之射頻電磁場測量儀器及其量測規範。

b. 國際上建議的儀器和測量技術的文獻。

c. 不同量測儀器設計與量測規範差異整理。

2. 翻譯最近較有系統研究文獻 Bioelectromagnetics (28:224-230, 2007) 發表之 Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations，了解最近之發展。

評估指標-完成翻譯文獻，並參考其內容。

3. 對不同年齡或職業族群暴露型態進行調查研究，並就射頻電磁場(波)各種不同量測方法、採樣方法及轉化人體 24 小時暴露量之計算方式進行比較。

評估指標-

a. 對不同暴露族群進行調查研究。

- 5 歲以下兒童。
- 6~15 歲青少年。
- 一般辦公室環境（有射頻暴露可能之職場）。
- 基地台作業人員。
- 使用高頻加熱設備之製造業。

b. 確定高頻場安全因素必須考量一些變數，如頻率範圍、暴露時間、暴露部位及惡劣環境條件（如高溫等職場）下電磁場暴露之影響。

4. 對不同年齡或職業暴露族群進行現場實際量測，評估未來進行較大規模研究之可行性及提出建議。

評估指標-

a. 現場實際量測方法探討

b. 邀請各界專家學者進行專家學者會議討論提出較佳之量測方法及採樣方法。

第三章文獻回顧

3-1 何謂電磁波

3-1-1 電磁波簡介

電磁波或稱非游離輻射，係描述電場和磁場變化特性的橫波。此波的電場部分之波動方向和磁場部分之波動方向互相成直角，且與波傳播前進方向垂直。依其特定的頻率或波長區間，可分為無線電波/射頻輻射、微波、熱射線、可見光、X 射線、及伽瑪射線等。這些依其頻率或波長的排列，可簡稱為「電磁波頻譜」。

3-1-2 本計劃探討之射頻電磁波(Radio-Frequency, RF)部分

射頻電磁波係指頻率範圍介於 100 kHz 至 3 GHz，其波長為 0.1 公分至 3 公里的電磁波。因具有不易被阻擋、折射、及變頻等特性，故常被用於長距離通訊，如：電視機、收音機與無線通信等用途(表 3-1)。

暴露于 EMF 會使體內產生電流和組織吸收能量，具體與耦合機制和涉及的頻率有關。可以用歐姆定律表示內部電場與電流密度之間的關係：

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

式中， σ 表示介質的導電率。考慮到不同的頻率範圍和波形，ICNIRP 導則中所用的劑量測量綱如下：

- 電流密度 \mathbf{J} ，適用的頻率範圍在 10 MHz 以下。
- 電流 I ，適用的頻率範圍在 110 MHz 及以下。
- 比吸收率 SAR(Specific energy absorption rate)，適用的頻率範圍在 100 kHz - 10 GHz。
- 比吸收能 SA(Specific energy absorption)，適用於脈衝場，頻率範圍在 300 MHz - 10 GHz。
- 功率密度 \mathbf{S} (Power density)，適用的頻率範圍在 10 - 300 GHz。

3-1-3 電磁場輻射近、遠場的定義

一般輻射源依特性可分為電壓源與電流源，電壓源在近場時為高阻抗，電流源在近場為低阻抗，但在行經一段距離後均與空氣阻抗 377 歐姆匹配而輻射。因此，近遠場定義就在於近場時所呈現的高阻抗或低阻抗與在遠場時所呈現的空氣阻抗 377 歐姆對比時，電磁波進行的臨界距離，凡小於此距離稱為近場(距離輻射天線短於磁場波長之區域)，大於此距離稱為遠場(距離輻射天線超過磁場波長之區域)，而距離(d)又與頻率波長(λ)有關係：

$$d=\lambda/2\pi \quad (3-1)$$

可大略計算出近遠場的臨界距離約為：

$$d=\lambda/2\pi \doteq \lambda/6 \quad (3-2)$$

在遠場區域，平面波模型是一種表示電磁場傳播的很好的近似模型。平面波的特性是：

波前是平面。

- 電場(E)與磁場(H)向量和傳播方向都是互相垂直的。
- E 與 H 的相位相同，在整個空間二者的振幅比恒定不變。在自由空間，二者的振幅比(E/H)為 377 歐姆，這是自由空間的特徵阻抗。
- 功率密度(S)，即與傳播方向垂直的單位面積上的功率，以下公式顯示了它與電場和磁場的關係：

$$S=EH=E^2/377=377H^2 \quad (3-3)$$

在近場區域的情況相對而言比較複雜，因為沿著傳播方向，E 和 H 的最大值和最小值並不像在遠場區域那樣出現在同一點。在近場區域，電磁場的結構可能很不均勻，與 377 歐姆的平面波阻抗相比可能有很大的變化，也就是說，可能在某些區域幾乎是純粹的電場，而其他區域則幾乎是純粹的磁場(ICNIRP, 1998)。

因此，實際進行電磁波測量時，需注意近場與遠場的效應。於近場測量時，需各別針對 E 與 H 進行測量；遠場測量時，因 E 與 H 具有自由空間的特徵阻抗特性，因此僅需針對 E 或 H 進行測量即可。

根據 3-2 式可計算出於射頻電磁波之不同頻段下，距電磁波發射源所需超過最短距離之遠場區位置(表 3-2)。由表 3-1 可知射頻電磁波中之較低頻頻段部分，主要係以廣播為主，然而廣播電台大多架設在山區高處或者大樓樓頂，而

本計劃所要探討之五大族群，如：5 歲以下兒童；6~15 歲青少年；一般辦公室環境(有射頻暴露可能之職場)；基地台作業人員；使用高頻加熱設備之製造業。大多遠離其廣播電台超過 500 公尺以上。此外，再經由表 3-2 可得知，針對射頻電磁波部分距離電磁波發射源超過 500 公尺以上皆為遠場，因此本計畫欲探討之族群，其測量電磁波部分，皆屬於遠場測量，僅需針對電場或磁場進行測量即可。

3-1-4 電磁波的發射與接收天線

3-1-4-1 天線的原理與種類

電磁波的發射與接收皆需要透過天線才能進行。天線就像是連結管道，能把電路板等各種電路的射頻訊號轉換為電磁波，以便在無線鏈路發射機與接收機之間的傳輸介質上傳送，或是將電磁波轉換為射頻訊號給電路使用。

發射機天線會激勵其週圍(近場)的電場或磁場，將電氣訊號轉換為電磁波。激勵電場的天線稱為電場天線，激勵磁場的天線稱為磁場天線。電場或磁場振盪會產生電磁波，並以光速向外傳播。

接收機天線會蒐集電磁波能量，再把它轉換為電路的電壓或電流。在大部分情況下只要不涉及非線性的鐵氧體，天線在發射和接收模式下的特性就完全相同(Loy and Sylla)。

目前針對射頻電磁波測量部份之天線，主要有兩大種類。可分為指向性天線與全向性天線。簡單來說，指向性天線對於電磁波的發射與接收具有方向性，且針對其發射或接收電磁波部分，有一定的夾角範圍以及天線增益，隨各場的設計不同而有所變化。而全向性天線係能全方位的發射或接收電磁波，其天線增益亦不具方向性，其發射的射頻電磁波功率都將延著所有方向均等地輻射出去。

3-1-4-2 天線於個人電磁波暴露測量之應用

人類於日常生活中暴露到電磁波是來自四面八方，因此在實際進行評估時，應同時測量四面八方來的電磁波。因此，於實際測量電磁波時，選用全向性天線進行測量最為恰當。然而，由於技術之限制，現階段全向性天線設計頻寬並不能涵蓋 10 MHz 以下的頻段。因此，於實際測量時，仍需用指向性天線

針對其全向性不足地方進行量測。由於指向性天線具有方向性，因此於實際測量時，需針對 X 軸、Y 軸、及 Z 軸分別進行測量，再依照下列公式，將其測量結果整合，用以推估實際人體暴露情況(ECC/REC/(02)04)。

$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}; |H| = \sqrt{|H_x|^2 + |H_y|^2 + |H_z|^2} \quad (3-4)$$

3-2 電磁波與健康不良效應

電磁波造成細胞或生物體健康上不良的效應，依照目前的研究顯示可區分為兩大類：

1. 熱效應危害：係指射頻電磁波對人體所造成皮膚紅腫、白內障、及男性不孕等熱生理反應。
2. 非熱效應：係指射頻電磁波對細胞或生物體所造成 DNA 損傷、頭痛、及疲勞等非熱生理反應(表 3-3)。

在身體組織中，SAR 與內部電場強度的平方成正比。平均 SAR 以及 SAR 分佈可以根據計算或實驗室測量值進行估計。SAR（相對吸收率）的各頻帶特性如圖 3-1

ICNIRP(1998)指出許多實驗室報告都顯示，當實驗動物如老鼠、狗以及靈長類動物等暴露於 10 MHz 以上的射頻電磁波而受到熱作用時會影響動物某些行為以及生理反應。如：熱敏感度以及體溫調節反應同時與下視丘和位於體表和體內的熱感覺器官發生關聯。反映體溫變化的傳入信號會聚在中樞神經系統，並且調整主要神經內分泌系統的活動，觸發生理反應和行為反應，以保持內在環境平衡。

當比吸收率(Specific Absorption Rate, SAR)大約超過 4 W kg^{-1} 時，暴露於電磁場中的被實驗動物顯示出下列體溫調節之反應狀態：體溫先升高，在體溫調節機制啟動之後又穩定下來。這種反應剛開始時，由於液體從細胞外部流入循環系統，血液容量會增加，而心律和心室內血壓也會升高。心臟動力的變化促進熱量向體表傳導，反映了體溫調節反應。如果長時間暴露在這種照射之中會導致動物的體溫調節機能失靈。

有關細胞和動物系統的研究數據顯示，當所吸收的電磁能量可以導致體溫升高超過 1-2°C 時，會有許多生理效應。這些效應包括：神經和神經肌肉功能發生變化、血-腦屏障滲透性增加、視覺機能障礙(晶狀體混濁和角膜異常)、免疫系統能力之降低、生殖能力發生變化(如精子生產能力降低)、致畸性、細胞形態改變、以及水和電解液以及細胞膜機能發生變化。

當身體局部暴露在高強度電磁場中時，某些敏感組織有可能首先招致熱損傷，比如眼睛以及睪丸。當 SAR 值達到 100-140 Wkg⁻¹ 時，2-3 個小時的微波暴露會使兔子的眼睛產生白內障，這種暴露會使晶狀體的溫度達到 41-43°C。但是暴露於類似強度或者更高強度微波場的猴子並未產生白內障，原因可能是猴子眼睛內的能量吸收模式與兔子存在差異。在頻率非常高的時候(10-300GHz)，電磁能量的吸收主要限制在皮膚的表皮層、皮下組織以及眼睛的外部，在此等頻率範圍內，如果微波功率密度小於 50 Wm⁻²，眼睛損傷則是可以避免。

上述有關 100 kHz-300 GHz 電磁場所產生之熱效應其標的器官包括體溫調節中樞、免疫系統、眼球、皮膚、及睪丸。這些研究顯示當暴露之頻率導致的危害目標器官相同時，將形成加成的危害影響，如何進行加權量化或個別評估將影響對公眾整體暴露危害評估之結果，因此電磁波暴露評估應該要對所有暴露之電磁波能量進行量測及分析量化，並應了解其加權的模式是否合理，做為進行本土長期流行病學追蹤研究，量化電磁波暴露資料之基礎。

由於特殊族群本身之差異性，將導致對相同的電磁場暴露會有不同的影響，例如人體的長軸平行於電場向量，而且身體處於平面波暴露環境之中(即遠場暴露)，此時全身的 SAR 達到最大值，但對於人的暴露評估而言並無法真實量測，應該以安全面考量採最大值。另外在不接地的情況下，暴露身體的尺寸為“標準參考人”(ICRP, 1994)的共振吸收頻率接近 70 MHz。對於較高的個體而言，共振吸收頻率會稍低一些；對於較矮的成人、兒童、嬰兒以及坐著的暴露者而言，該共振吸收頻率可能會超過 100 MHz。對於接地暴露者而言，共振頻率減低一半(UNEP/WHO/IRPA, 1993)。這資料顯示不同族群或特殊族群的差異性，因此對電磁場暴露健康評估量化模式技術的建立是非常重要的，將可更有助於本土長期流行病學追蹤研究。

早期的兩個流行病學研究探討女性利用微波透熱法緩減生產過程中因子宮收縮而導致的疼痛，研究並未發現胎兒會受到任何不良影響。然而，1980-90 年

代的許多研究卻發現，工人因職業需要暴露於微波照射之中將會受到的影響，造成其後代的先天缺陷，但此研究並未獲致一致性的支持。整體而言，有關生育影響以及微波暴露的研究現狀是，這類研究之暴露評估方法並不完善，在許多情況下，它們還會受到研究樣本數較少及缺乏整體暴露評估的影響。研究結果的不一致，顯示更為精確的暴露評估方法是需要發展與討論的。

綜合以上論述，雖然現階段科學上並無充分的證據明確證明長期暴露電磁波將對民眾健康造成不良效應，但人體暴露於環境中多種來源之不同頻段之射頻電磁波，與可能造成之影響，仍然是社會大眾關心的焦點。但人體各部位對不同頻段之射頻電磁波的能量吸收各不相同(UNEP/WHO/IRPA, 1993)，一般而言暴露於低頻電場和磁場中導致的身體能量吸收和體溫升高一般可以忽略不計。然而，暴露於頻率超過 100 kHz 的電磁場可以產生明顯的能量吸收和溫度升高。通常而言，暴露於均勻（平面波）電磁場可以導致身體產生高度不均勻的能量吸收和能量分佈，這些內容必須通過劑量測定和計算進行評估。

在人體吸收能量方面，電磁場可以劃分為四個範圍(Durney et al., 1985)：

- 從大約 100 kHz 到低於 20 MHz 的頻率範圍，軀幹對能量的吸收作用隨頻率的降低快速減弱，明顯的能量吸收出現在頸部和腿部。
- 從大約 20 MHz 到 300 MHz 的頻率範圍，全身吸收的能量相對較多，如果考慮身體局部(如頭部)的共振，所吸收的能量會更高。
- 從大約 300 MHz 到幾 GHz 的頻率範圍，能量吸收會出現較明顯的局部性和不均勻特徵。
- 超過 10 GHz 的頻率範圍，能量吸收主要發生在體表。

3-3 電磁波暴露評估工具於流行病學研究之應用

早期的職業流行病學研究發現，某些微波與射頻輻射職業族群(如：電台員工、無線電操作與維修人員、業餘無線電玩家、軍用雷達操作人員、及電信員工等)發生白血病與腦瘤的危險性較高(表 3-4)。然由表可知，其暴露評估工具主要係由工作分組區分或者是宣稱具有代表性的測量，在其文獻並提供其族群實際電磁波暴露量或進行測量，因此其研究結果之可性度令人質疑。此外，因為

電磁波功率強度有隨距離的平方成反比的特性，所以亦有電磁波暴露評估的流行病學研究，對人體的電磁波暴露量的推估主要都是以人居住位置與基地台的距離，當作一暴露尺度，進行計算人體可能電磁波暴露量並與疾病進行相關性探討。然電磁波強度衰減除了距離的平方成反比的特性外，亦深受天線高度、天線角度、頻率範圍、地形起伏以及如：樹木、汽車、建築物、大型看板等，都會導致電波訊號的衰減、干擾、中斷等問題。並且 Neubauer(2003)學者以功率密度計實際測量實際環境中發射源距離與電磁波強度功率的關係(圖 3-2)。研究結果發現同一距離情況下，其測量到之功率值相差有 10^4 倍之多，顯示實際評估若以距離當作人之電磁波暴露尺度並不恰當。

而一個較為完善的世代流行病學研究，有以下數點因素要進行考量：

- ◆ 族群大小
- ◆ 研究族群人口學特性資料的完整度
- ◆ 暴露因子(包含可能潛在暴露因子)
- ◆ 暴露量測的正確性
- ◆ 干擾因子
- ◆ 疾病發生率/死亡率
- ◆ 研究追蹤的完整性(追蹤時間長度與完成率)

由上述可知暴露量測的正確性，將影響是否導致研究學者對族群的錯誤分組，進而影響到研究結果的有效性。

隨著電腦計算能力演進與科技進步，電磁波強度計、頻譜分析儀、與個人電磁波暴露偵測計的相繼問世，電磁波暴露評估研究直到近幾年才有比較大的進展。Bernardi et al (2003)與 Martinez-Burdalo et al (2006; 2009)等多位學者利用電腦模式演算—時域有限差分法(Finite-Difference Time-Domain, FDTD)—成功模擬各種電磁波的現象，並計算出環境中或人體暴露電磁波強度情形(表 3-5)。然此類研究限制，除了研究人員本身對電子與電機方面知識要有較深厚的基礎之外，環境中的電磁波發射源與生活中其他可能發射源都必須要知曉、了解其設定發射功率、與基地台裝設天線角度，以及建築物使用的材質、牆壁厚度、與其他可能干擾因子都必須要考量，才能較準確推估人體暴露到的電磁波強度。然於現實環境中，有太多的模式計算必須因子都無法得知，如：各家業者基地台的裝設位置、基地台裝設天線角度、辦公室中 AP 無線網路裝設位置、

發射功率、與其它可能相關因素等，將會使得模式計算推估的正確性大幅降低。

職場人體電磁波暴露量測研究方面，Floderus et al (2002)研究學者為了要瞭解職場暴露 300Hz-10MHz 電磁波的情形，以 Wandel and Goltermann EFA-3 量測 5 Hz-30kHz 的電場與磁場、NARDA 8718 搭配 8762D 與 8752D 型天線量測 300 kHz-3 GHz 的電場與磁場、及 Holaday HI-3702 量測感應電流，以儀器量測分別距離 0.1、0.5、1.0、1.5 與 2.0 公尺的具有代表性的發射源，進行單點量測 (Spot measurement)。Kelsh et al (2003)以 EMDEX II 磁場強度計(可量測範圍 40-800 Hz)以 3 秒紀錄一筆數據方式配置至勞工腰部位置，並以 EMDEX Lite 磁場強度計(可量測範圍 40-1000 Hz)以 4 秒紀錄一筆數據方式配置至勞工胸部位置，瞭解勞工於工作期間暴露電磁波情形，並計算其時量平均濃度。Wilen et al (2004)為了要了解塑膠封裝工人電磁波暴露情形，以勞工實際操作機台的站姿與坐姿的頭部、胸部、腰部、膝蓋、手部、及腳踝等位置高度，以 Holaday HI-4413P 搭配 HI-4433-STE 電場探針與 HI-4433-HCH 磁場探針，量測人體上述高度位置之 X、Y、及 Z 軸的電場與磁場強度、以 Holaday HI-4413P 搭配 HI 3702 感應電流天線，測量勞工之手腕與踝關節位置之感應電流、及以 Narda 8850 測量勞工手部之接觸電流(表 3-6)。

而一般民眾電磁波暴露量測研究方面，Hamnerius (2009)為了要了解一般民眾暴露到新興無線通訊系統的電磁波暴露情形，如：WLAN、HSDPA、與 WIMAX 等，以 Hewlett Packard E7402B 頻譜分析儀搭配 Seibersdorf PBA 10200 天線於一棟辦公大樓的 32 個房間進行量測。Hutter et al (2009)為了要瞭解居住鄰近於行動電話基地台的民眾與自主症狀與睡眠問題的關係，以 Rhode & Schwarz 的 FSP 頻譜分析儀搭配 PBA 10200 天線於民眾寢室進行量測。Viel et al (2009)以個人電磁波暴露偵測計 EME SPY 120 佩帶至民眾身上，瞭解民眾暴露行動電話基地台與廣播電臺之電磁波暴露情形。Thomas et al (2008) 以個人電磁波暴露偵測計 ESM-140 佩帶至民眾身上，探討民眾暴露行動電話頻率之電磁波與生活舒適度(Well-Being)之關係(表 3-6)。

綜合上述研究學者以電磁波強度計或頻譜分析儀，進行職場暴露或一般民眾部分量測，可知以儀器量測電磁波進行推估至人體實際暴露劑量，仍有許多問題。例如：(1)無論職場勞工或者一般民眾，於一般生活中皆是自由活動，擁

有自己的活動區域，而上述研究者大多只針對待的最久的位置或操作位至進行單一空間點量測，並無測量整個活動區域，以單一空間測量點來代表整個區域，其代表性似乎不足。(2)以電磁波強度計進行量測電磁波暴露情形，電磁波強度計乃是將可量測的頻段範圍進行 RMS 的計算加總，得到的是一電場、磁場、或功率密度的總和值，然 Durney et al (1985)指出不同的電磁波頻段範圍對人體不同位置有著不同的影響，若單一以電磁波強度計測量結果探討與疾病或其他因素之相關，其結果可能錯估。(3)上述研究中，距地面之量測高度於測量電磁波時並無明確規範，在鄰近發射源時，隨著量測高度的不同，其電場值、磁場值、或功率密度也會有所差異。(4)個人電磁波暴露偵測計部分，其計算模式與電磁波強度計相似，乃是將可量測的頻段範圍進行 RMS 的計算加總，得到的是一電場的總和值。但現階段個人電磁波暴露偵測計設計為警示器用途，其單位僅能顯示百分比，不能得知電場場強或磁場場強，更不能得知電磁波暴露頻譜情形，因此對實際評估個人電磁波暴露量部分仍然有相當大的限制。

因此，本計劃將改進上述研究之缺失，並參考目前現有的國際間之電磁波測量方法，探討與建立一可靠之電磁波人體暴露量測方法與量化模式，提供做為流行病學暴露評估研究之基礎。

表 3-1 我國國內業務頻率分配使用情形

項目	用途	主要使用頻段
1	廣播電視業務	526.5-1606.5[AM](kHz) 2-26[AM], 76-88[TV], 88-108[FM], 174-216[TV], 200, 400, 500, 600, 700, 900(MHz) 2, 3.5, 4, 7, 12, 14(GHz)
2	公眾通信中繼網路	150, 200, 450, 900(MHz) 2, 4, 6, 7, 11, 15, 18, 23, 26, 38(GHz)
3	公眾行動電話業務	800, 900, 1800(MHz)
4	公眾無線電叫人業務	160, 280(MHz)
5	公眾中繼式無線電話業務	500, 800(MHz)
6	公眾行動數據通信業務	500, 800(MHz)
7	數位式低功率無線電話業務	866(MHz)
8	公眾衛星通信業務	1.6, 2.5, 4, 6, 12, 14, 19, 29(GHz)
9	公眾船舶通信業務	4, 6, 8, 12, 16, 22, 25, 160(MHz)
10	有線電話無線主副機	1.6, 46, 49, 1900(MHz)
11	民用無線電對講機	27(MHz)
12	鐵公路運輸	5, 6, 7, 9, 10, 11, 30, 150, 400, 450(MHz)
13	船舶通信	2-26, 156-174, 450(MHz)
14	港口導航、港埠管制	140, 150(MHz)
15	航管、飛航業務	300(kHz) 3-23, 36, 118-136, 150, 250, 300, 400, 950(MHz) 1, 6, 7, 10(GHz)
16	氣象測報	5, 6, 7, 8, 9, 13, 40, 400(MHz) 1.5, 2(GHz)
17	森林、礦區通信	175(kHz) 40, 150, 160(MHz)

資料來源：國家通訊傳播委員會

表 3-1 我國國內射頻業務頻率分配使用情形(續)

項目	用途	主要使用頻段
18	業餘無線	1.8-1.9, 3.5-3.5125, 3.55-3.5625, 7-7.1, 10.13-10.15, 14-14.35, 18.068-18.168, 21-21.45, 24.89-24.99, 28.1-29.7, 50-50.0125, 50.11-50.1225, 144-146, 430-432, 1260-1265, 2440-2450(MHz)
19	學術試驗	526.5-1606.5(kHz) 2-26, 88-108, 150, 200, 400, 900(MHz) 1-3, 8-15, 24(GHz)
20	警察及維持治安	4, 5, 140, 150, 160, 170, 410, 480, 490, 500, 900(MHz) 2, 7(GHz)
21	電力、石油	1.6, 1.8, 4, 6, 8.5, 8.6, 45, 150, 400(MHz) 1.5, 7, 12, 21, 23(GHz)
22	無線電遙控、監視、定位、測震	35, 40, 50, 210, 410(MHz) 3.2(GHz)
23	新聞接收	9-16, 19-22, 24, 900(MHz)
24	全省緊急醫療網	150, 160(MHz)
25	工業、科學及醫療用途	13, 27, 40, 400, 480(MHz) 2.4, 5.8, 24(GHz)
26	計程車無線電通信	140, 500(MHz)
27	一般用途無線遙控及低功率射頻電能器具	13, 27, 40, 72, 75, 400, 480(MHz)
28	山難救助	148, 150(MHz)

資料來源：國家通訊傳播委員會

表 3-2 射頻電磁波之不同頻段下，距電磁波發射源所需超過最短距離之遠場區位置

頻率(MHz)	遠場區(公尺)
	距射頻電磁波發射源距離
0.1	>500
1	>50
10	>5
100	>0.5
1000	>0.05
2000	$>2.5 \times 10^{-2}$
3000	$>1.67 \times 10^{-2}$

表 3-3 細胞或動物暴露射頻電磁波頻段之非熱危害效應比較

參考文獻	細胞種類	暴露射頻電磁波頻段	結論
Hook et al., 2004	Molt-4 淋 巴細胞	847.74 MHz CDMA, 835.62 MHz FDMA, 813.56 MHz iDEN® (iDEN), and 836.55 TDMA; 3.2 W/kg for CDMA and FDMA, 2.4 W/kg for iDEN, and 2.6 W/kg for TDMA.	沒有任何 DNA 損傷的變異或誘發細胞凋亡
Lagroye et al., 2004a	SD 大鼠	2450 MHz (PM); 1.2 W/kg; 2 hr.	無觀察到任何 DNA 損傷
Lagroye et al., 2004b	C3H 10T1/2 細 胞	2450 MHz CW; 1.9 W/kg; 2 hr.	無觀察到任何 DNA 損傷
Lai and Singh, 2005	雄性 SD 大 鼠	2450 MHz; 0.6 W/kg; 2 hr.	暴露到射頻輻射之老鼠，DNA 的單股與雙股傷害顯著高於控制組
Baohong et al., 2005	人類紅血 球	1.8 GHz; 3 W/kg with 4 chemical mutagens, i.e. mitomycin C (MMC, DNA crosslinker), bleomycin (BLM, radiomimetic agent), methyl methanesulfonate (MMS, alkylating agent), and 4-nitroquinoline-1-oxide (4NQO, UV-mimetic agent); 2 and 3 h, respectively.	無觀察到任何 DNA 損傷
Komatsubara et al., 2005	老鼠 m55 細胞	2.45 GHz; 5, 10, 20, 50 and 100 W/kg (CW), or 100 W/kg (PW); 2 hr	無觀察到染色體畸變
Nikolova et al., 2005	小鼠胚胎 幹細胞	1.71 GHz; 6 hr and 48 hr.	暴露六小時後觀察到暴露射頻輻射之 DNA 單股斷裂情形較控制組高

表 3-3 細胞或動物暴露射頻電磁波頻段之非熱危害效應比較(續)

<p>Diem et al., 2005</p>	<p>人類 diploid fibroblast 細胞與老 鼠 granulosa 細胞</p>	<p>1800 MHz; 1.2 or 2 W/kg; different modulations; 4, 16, and 24 h; intermittent 5 min on/10 min off or continuous wave.</p>	<p>暴露到射頻輻射之細胞有顯著的單股與雙股斷裂情形</p>
<p>Chemeris et al., 2006</p>	<p>細胞彗星 試驗</p>	<p>8.8 GHz, 180 ns pulse width, peak power 65 kW, pulse repetition frequency 50 Hz.</p>	<p>無觀察到任何 DNA 損傷</p>

表 3-4 早期電磁波暴露危害之流行病學研究之暴露評估方式比較

參考文獻	職業暴露族群	性別	參予受試者人數	暴露評估方式	參考結果
Milham 1988	業餘雷達操作者	男性	67829	嗜好分組	死亡率
Garland et al. 1990	海軍員工：電工技師、飛機電工技師、火災控制通報人員	男性	未註明	工作職稱	發生率
Muhm 1992	測試電磁脈衝勞工	男性	304	工作職稱	死亡率
Tynes et al. 1996	商船的廣播與電信通訊操作人員	女性	2619	測量船的廣播室	發生率
Szmigielski 1996	陸軍軍旅人員	男性	總人數 128000；暴露族群為 3700	陸軍健康檢查紀錄與具有代表性的測量(文中並未註明)	發生率
Szmigielski et al. 2001	陸軍軍旅人員	男性	總人數 124500；暴露族群為 3900	-	-
Lagorio et al. 1997	射頻熱封口機操作人員	女性	481	不明-宣稱超過 10 W/m ²	死亡率
Morgan et al. 2000	摩托羅拉員工	56%男性； 44 女性	總人數 195775；暴露族群為 24621	工作職稱	死亡率
Groves et al. 2002	有潛在暴露雷達可能性之海軍人員	男性	總人數 40581；高暴露人數為 20021	工作職稱	死亡率

表 3-5 以 FDTD 模式探討電磁波暴露量之文獻比較

參考文獻	評估方法	模擬情境	指標
Bernardi et al., 2003	UTD/FDTD	室外不同發射天線角度對室內房間 之電磁場場強變化	V/m、SAR
Martinez-Burdalo et al., 2006	FDTD	模擬不同材質之阻擋牆壁與距離 對人體接收電磁場暴露量影響	SAR
Martinez-Burdalo et al., 2009	FDTD	模擬人體暴露到無線網路、GSM、 及無線藍芽之電磁場	V/m、 μ T、SAR

註：V/m：電場場強；T：磁通密度；SAR：相對吸收率

表 3-6 以不同測量儀器探討人體之電磁波暴露量文獻比較

參考文獻	儀器	天線	測量範圍	採樣策略	受測對象
Floderus et al., 2002	Wandel and Goltermann EFA-3 (場強計)	內建電場與磁場天線	5 Hz–30 kHz	區域採樣	高頻加熱之職場 勞工
			5 Hz–30 kHz		
	NARDA 8718 (場強計)	8762D 型電場天線	300 kHz–3 GHz		
		8752D 型磁場天線	300 kHz–10 MHz		
Holaday HI-3702 (場強計)	內建天線(測量感應電 流)	9 kHz–110 MHz			
Kelsh et al., 2003	EMDEX II(場強計)	內建磁場天線	40-800 Hz	個人採樣(配帶至勞工腰部)	裁縫工廠與褲子
	EMDEX Lite(場強計)	內建磁場天線	40–1000 Hz	個人採樣(配帶至勞工胸部)	製造之職場勞工

表 3-6 以不同測量儀器探討人體之電磁波暴露量文獻比較(續)

參考文獻	儀器	天線	測量範圍	採樣策略	受測對象
Wilén et al., 2004	Holaday HI-4413P (場強計)	HI-4433-ST 型電場天線	-	測量實際勞工作業時之頭部、 胸部、腹部、膝蓋、手部、 及腳部位置	塑膠封裝 職場勞工
		HI-4433-HCH 型磁場天線	-		
		HI 3702 型天線 (測量感應電流)	-	測量實際勞工作業時之手腕及 踝關節位置	
	Narda 8850 (場強計)	-	測量勞工實際手部接觸 之接觸電流		
Hamnerius 2009	Hewlett Packard E7402B(頻譜分析儀)	Seibersdorf PBA 10200 型天線	-	測量使用無線網路的 某辦公大樓的 32 個房間	一般民眾
Hutter 2009	Rhode & Schwarz FSP(頻 譜分析儀)	Seibersdorf PBA 10200 型天線	-	測量民眾寢室	一般民眾
Viel et al., 2009	EME SPY 120 (個人電磁波暴露偵測計)	內建電場天線	-	個人採樣(配帶至個人身上)	一般民眾
Thomas et al., 2008	ESM-140 (個人電磁波暴露偵測計)	內建電場天線	-	個人採樣(配帶至個人身上)	一般民眾

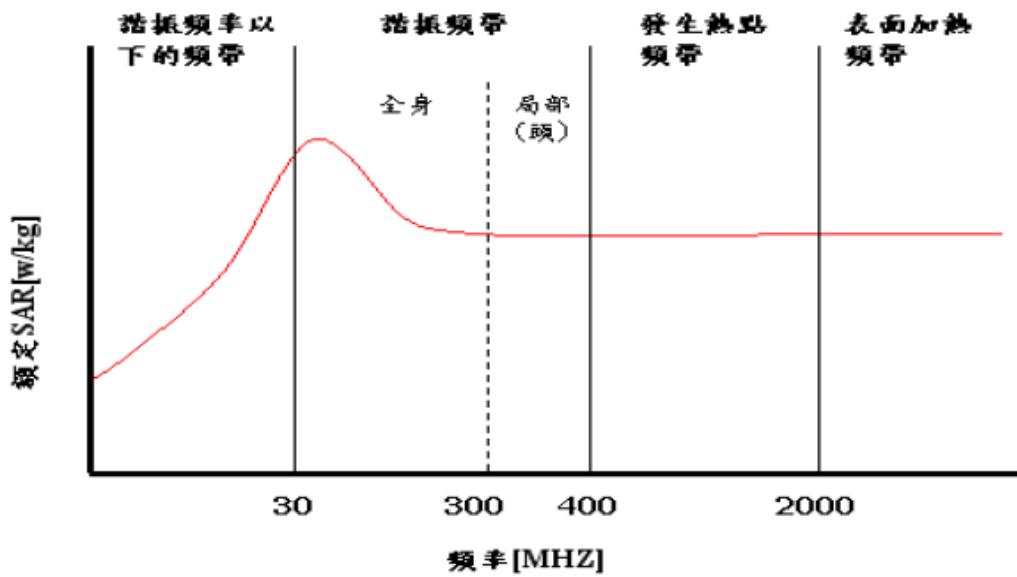


圖 3-1：SAR(相對吸收率)的各頻帶特性

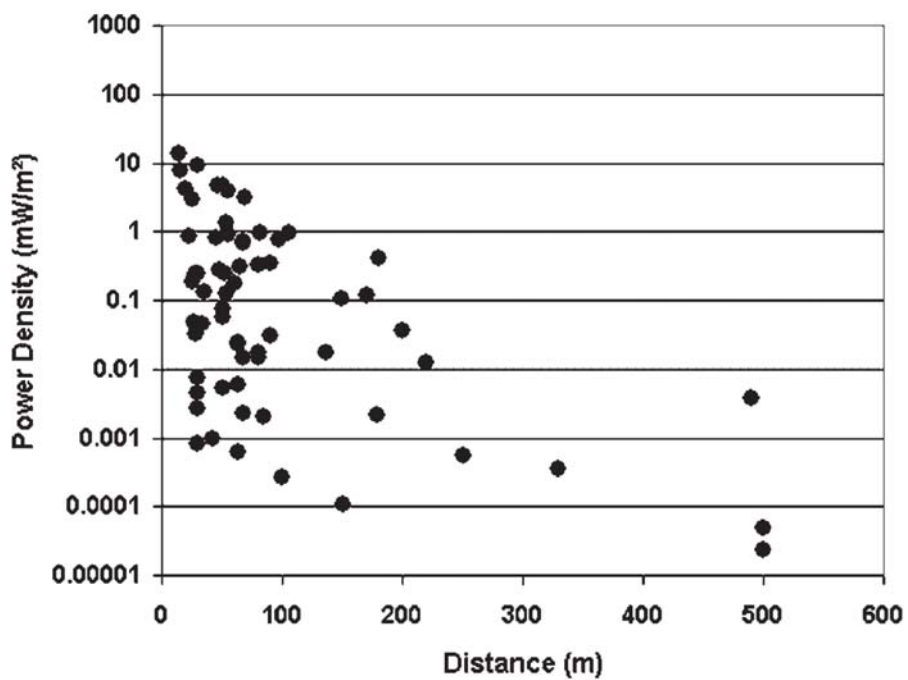


圖 3-2. 64 個 GSM 基地台鄰近地區之距離與電磁波功率關係圖

第四章研究方法與步驟

4-1. 實施架構

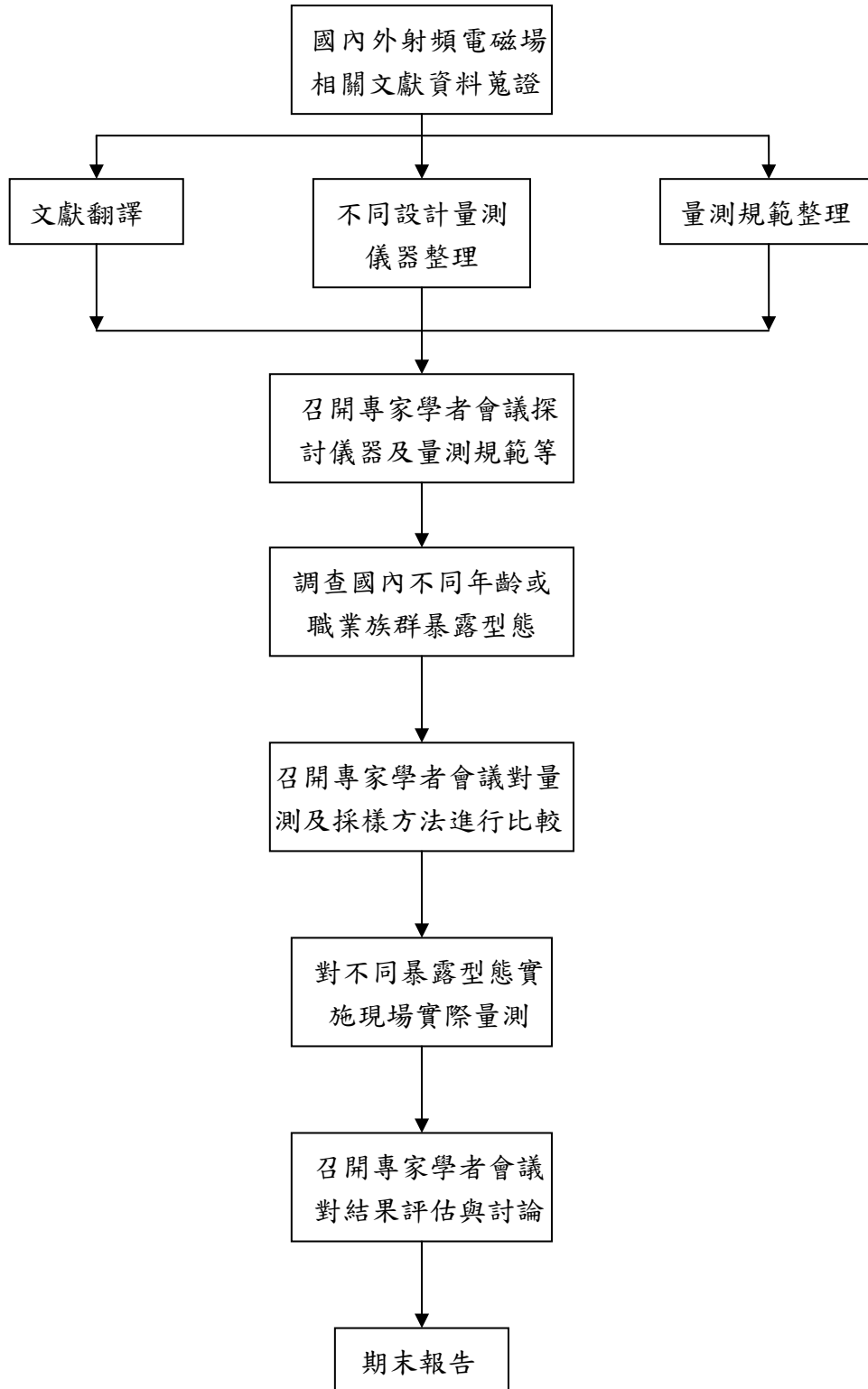


圖 4-1 本研究計畫實施架構

4-2. 進行步驟

(1) 蒐集國內外有關不同射頻電磁場量測儀器及量測規範。

- 首先利用各種資料及文獻蒐集方法，找出國內目前所有曾經使用之射頻電磁場測量儀器及其量測規範，再利用網路查詢國外文獻中所使用過之射頻電磁場測量儀器及其量測規範，比較不同量測儀器設計之差異及量測規範不同，探討其對量測結果影響之主要原因。
- 翻譯 Bioelectromagnetics (28:224-230, 2007)發表之 Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations 文獻，並參考其內容。
- 邀請各界專家學者進行專家學者會議討論分析，提出較佳之建議。

(2) 了解不同年齡或職業族群暴露型態。

人體和試驗性動物對磁場暴露之生物效應和健康效應之資料並不完善，以致於無法對整個頻率範圍和各種頻率調變建立安全因數時提供堅實基礎。在確定高頻場安全因數時必須考量一些變數，如惡劣環境條件(如高溫等職場)及或高活性位準下電磁場暴露之影響。某些人群具有更高的潛在熱靈敏度，如體弱人士、老人、嬰兒、小孩及正在生病及服藥影響了抗熱能力的人。另外不同人及不同方向對電磁能量吸收不同，入射場反射、聚焦及散射可導致高頻能量定位吸收增強。此部分必須思考電磁波的直接和間接影響兩方面的研究；直接影響源於場與身體的直接相互作用，間接影響則涉及到身體與具有不同電勢的物體間的相互作用。

因此本研究團隊擬對不同場所進行現場調查及資料收集，對國內不同年齡層或職業族群了解其暴露型態，進行分析才能了解其真正可能暴露劑量。

擬對下列不同暴露族群進行調查研究。

- 5歲以下兒童。
- 6~15歲青少年。

- 一般辦公室環境(有射頻暴露可能之職場)。
- 基地台作業人員。
- 使用高頻加熱設備之製造業。

(3) 蒐集國內外有關射頻電磁場之量測方法、採樣方法及轉化人體 24 小時暴露量之計算方式進行比較。

考慮因子如下：

- 頻率範圍、暴露時間、暴露部位

由於不同的射頻電磁場之量測方法、採樣方法會影響到真實的暴露量，資料蒐集及整理評估是非常重要的。因此首先將利用各種資料及文獻蒐集方法，找出國內外目前所有曾經使用之射頻電磁場之量測方法及採樣方法，進行分析比較確定其轉化人體 24 小時暴露量差異之因素。本研究團隊將邀請各界專家學者進行專家學者會議討論提出較佳之量測方法及採樣方法進行後續之現場實際量測。

(4) 進行現場實際量測，評估未來進行較大規模研究之可行性及提出建議。考量 5 歲以下兒童與一般成人之暴露型態不同，案例之一請以兒童為實測模擬對象。

第五章 計畫成果

5-1 Bioelectromagnetics (28:224-230, 2007)發表之文獻翻譯

本研究團隊翻譯 Bioelectromagnetics (28:224-230, 2007)發表之 Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations 文獻，用以瞭解研究暴露電磁波之健康危害之流行病學研究的未來展望，與現階段電磁波暴露評估方式之瓶頸。其文獻翻譯成果已整理於附錄一。

Neubauer et al(2007)指出未來之電磁波暴露偵測方式，其最佳評估方式係佩帶電磁波個人暴露偵測計，可隨時紀錄人體電磁波暴露值。然而，現階段市面上現有的電磁波個人暴露偵測計，其用途主要設計為警示器使用，僅能表示百分比(%)，以保護人們不會進入到超過 ICNIRP(1998)建議之場強值。其儀器本身並不能顯示電場場強值(V/m)、磁場場強值(A/m)、或進行頻譜分析。故現階段市面上之個人電磁波暴露偵測計，並不適用於實際人體電磁波測量與評估。因此，本研究團隊設計之人體電磁波測量評估方法，係以全向性電磁波強度計搭配頻譜分析儀進行設計。

5-2 國際間電磁波測量規範之搜集與整理

本研究團隊目前所蒐集到之研究文獻或國際上現有的電磁波測量規範，如：我國環保署之環境中電磁波檢測方法與環境中(架空高壓線路、變電所、落地型變壓器)電場與磁場檢測方法、中華人民共和國衛生部之工作場所物理因素測量-超高頻輻射，2007年，中華人民共和國衛生部之工作場所物理因素測量規範(GBZ/T 189.1、GBZ/T 189-2、GBZ/T 189-3、及 GBZ/T 189-5)、歐盟之電磁場測量方法標準(ENV 50166-1 1995、ENV 50166-2 1995、與 ECCRE((20)04)、及美國電子電機工程師學會之電磁場測量方法的標準(ANSI-IEEE 644-1994 與 IEEE Std C95.3-2002)。茲將主要資料整理於表 5-1，探討各種標準之差異。其餘參考資料其較細節部分及相關規範本研究團隊將其測量規範另搜集整理於附錄二中。

本研究團隊設計之人體電磁波暴露測量方法，係以上述之測量規範為參考

依據，並以區域採樣策略搭配個人時間活動模式問卷為設計概念，進行統整規劃設計與建立。此後，並藉由透過三次專家學者會議進行測量方法的修正。

本研究團隊也比較各組織之電磁場量測與採樣方法(表 5-2)，我國環保署之電磁場量測與採樣方法(表 5-3)。

5-3 電磁波標準與熱危害效應評估

1974 年，國際輻射防護協會(International Radiation Protection Association, IRPA)設立了非游離輻射(non-ionizing radiation, NIR)工作組，開始對各種類型的 NIR 防護方面的問題進行研究。在 1977 年巴黎召開的 IRPA 大會上，該工作組演變成爲國際非游離輻射委員會(International Non-Ionizing Radiation Committee, INIRC)。並與世界衛生組織(World Health Organization, WHO)環境衛生部的合作，IRPA/INIRC 制定了許多有關 NIR 健康的標準文件，作爲由聯合國環境規劃綱要(the United Nations Environment Programme, UNEP)倡導的 WHO 環境衛生標準專案的一部分。每份文件都包括：對物理特性、測量和檢測儀器、輻射來源和 NIR 的應用等方面的綜述；對於生物效應相關文獻有詳盡的評論；以及對暴露於 NIR 中的健康風險進行評估。這些健康標準已經爲後來確定與 NIR 有關的暴露限值和實用法規提供了科學的資料基礎。根據流行病學與動物實驗數據，國際非游離輻射防護委員會(ICNIRP)於 1998 年訂定了國際間有關暴露於 0-300 GHz 電磁場所導致的暴露規範，而大多數國家也從此依循 ICNIRP 之規範訂定職場與一般環境之電磁場暴露規範。

ICNIRP(1998)在考慮人類暴露到多種不同電磁波頻段下，假設最壞的情況，建立出一套評估人類暴露到電磁波導致之熱效應危害方式，當計算值大於 1 時，表示將超過允許暴露之建議值，將對人類健康造成危害。

本研究團隊除了搜集 ICNIRP 之電磁波暴露標準與熱危害效應評估方式，亦蒐集現階段各國規定之電磁波暴露標準與熱危害效應評估方式(整理於附錄三)。將其各國規範資料進行比對後，目前本研究團隊建議之測量方法參考之標準與熱危害計算方式，將以下列之方式進行評估。

熱效應危害評估：

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

E_i ：各頻段下的電場強度

$E_{L,i}$ ：ICNIRP 1998 標準的表 2 的該頻段下的電場建議規範值

H_j ：各頻段下的磁場強度

$H_{L,j}$ ：ICNIRP 1998 標準的表 2 的該頻段下的磁場建議規範值

c ：職業暴露時為 $610/f$ ；公眾暴露時為 $87/f^{1/2}$ (f 單位為 MHz)

d ：職業暴露時為 $1.6/f$ ；公眾暴露時為 $0.73/f$

5-4 專家學者會議

本研究團隊為修正初擬之人體電磁波暴露測量方法與量化模式不足地方，共召開三次專家學者會議，進行討論與修正。

其會議分別於 6 月 17 日、10 月 2 日、及 11 月 19 日，共計召開三次專家學者會議，針對本研究團隊設計之電磁波量測方法進行討論分析，已召開完畢並進行修正。主要討論重點在於暴露測量方法之正確性，針對人之暴露變異性進行探討，討論以人為主體之設計方式，探討如何獲得公眾之實際暴露值，將有助於釐清現階段與未來流行病學研究之盲點，甚至未來大範圍之暴露調查之可行性進行評估，建立未來實務量測技術之規範，其會議紀錄部分已整理於附錄四。

5-5 人體電磁波暴露測量方法與量化模式

本研究團隊依據第 5-1 節、5-2 節、5-3 節之研究資料與規範，初擬之人體電磁波暴露測量方法與量化模式，以區域採樣策略搭配個人時間活動模式問卷為設計概念。其中不同族群之高度測量點位置係參考衛生署網站公佈之 5 歲

以下兒童身高生長曲線圖、體委會之青少年平均身高體重表、及勞研所之勞工平均身高，搭配勞研所之人體計測資料，設計不同族群測量高度(表 5-4 至表 5-6)。經兩次專家學者會議確定測量方法與量化模式後，進行實際測量，以頭、腹、及腳部高度位置進行測量，然經第三次專家學者會議進行討論與修改後，議建議參考 ECCREC((20)04)之測量高度，其測量高度位置為人體之頭、胸、及腹部位置，主要係考慮對人傷害之部位。經三次專家學者會議確立之測量方法與量化模式，其換算方式如下所示(詳細內容請參照附錄五)。

➤ 測量結果處理：

- (1) 以全向性電磁波強度計與頻譜分析儀之量測結果，搭配個人時間活動模式問卷進行結果計算與推估。

$$E = \sqrt{\frac{E_{\text{頭}}^2 + E_{\text{胸}}^2 + E_{\text{腹}}^2}{3}}$$

$$E_i = \sum E_j \times t_{ij}$$

$$\bar{D} = \frac{E_i}{\sum t_{ij}}$$

- E：全身平均電磁場電場場強值(V/m)。
- E 頭：於頭部高度量測之電磁場電場場強值(V/m)。
- E 胸：於胸部高度量測之電磁場電場場強值(V/m)。
- E 腹：於腹部高度量測之電磁場電場場強值(V/m)。
- E_i：i 為個人於一定時間內的總暴露值 (V/m × h)。
- E_j：微環境 j 之電磁場電場場強暴露值(V/m)。
- t_{ij}：i 為個人停留於微環境 j (室內、室外、交通)之時間。
- j：i 為個人於一定時間內停留之微環境總數。
- \bar{D} ：個人之日平均暴露電磁場電場場強暴露值。

- (2) 熱危害效應評估，目前參考 ICNIRP(1998)之時變電場、磁場及電磁場曝露之限制值內載之計算方式，以下列關係式計算是否超過我國法規

暴露限值，再將不同高度量測進行算術平均計算，做為全身平均暴露情形推估。

換算說明：

1. 電場強度 E_0 (dB μ V/m) = 接收信號功率強度(dBm) + 107(dB) + 天線因子(dB/m) + 電纜損耗(dB)
2. 天線因子(dB/m) = $20\log(f \text{ MHz})$ - 天線增益 - 天線阻抗
3. E_0 (dB μ V/m) = $20 * \log E_1(\mu\text{V/m})$
4. $E_2(\text{V/m}) = E_1(\mu\text{V/m}) / 10^6$
5. 電波功率密度： $P(\text{mw/cm}^2) = [E_2(\text{V/m})]^2 / (10 \times Z_0) = [E_2(\text{V/m})]^2 / 3770$ 。
6. (Z_0 ：自由空間之波阻抗，約等於 377Ω)

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 \leq 1$$

E_i ：為各頻率下之電場強度

c ：我國之各射頻電磁波頻段下之電場強度建議值(表 5-7)。

註：若使用搭配指向性天線之頻譜分析儀，須先將 X、Y、Z 軸之電場強度值進行換算後，依照下式進行均方根計算，方可進行至熱效應之風險評估計算。

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

- E：電場場強總合值
- E_x ：X 軸的電場場強值
- E_y ：Y 軸的電場場強值
- E_z ：Z 軸的電場場強值

5-6 不同年齡或職業族群之個人電磁波暴露值

本研究團隊依照本身建立之電磁場（波）人體暴露量之量測方法與量化模

式，針對 5 歲以下兒童、6~15 歲青少年、一般辦公室環境(有射頻暴露可能之職場)、基地台作業人員、使用高頻加熱設備之製造業等 5 大族群，進行北部、中部、及南部地區電磁波量測。其不同族群之測量對象如下所示：

- 5 歲以下兒童：台北縣三重市正義國小附設幼稚園兒童、台中市忠明國小附設幼稚園兒童、及高雄縣鳳山市正義國小附設幼稚園兒童。
- 6~15 歲青少年：台北縣三重市正義國小學生、台中市忠明國小學生、及高雄縣鳳山市正義國小學生。
- 一般辦公室環境(有射頻暴露可能之職場)：分別是耕莘醫院永和分院辦公室員工、博為工程職員辦公室員工、與成功大學環境醫學研究所研究助理辦公室員工。
- 基地台作業人員：台北市某基地台測量人員、台中市某基地台測量人員、及高雄縣鳳山市某基地台測量人員
- 使用高頻加熱設備之製造業：一家從事塑膠顆粒加熱射出成型工廠作業人員與兩家高週波加熱工廠作業人員。

經實場測量上述族群後，其電磁波暴露量均低於政府之標準值。茲將各暴露族群部分結果整理如表 5-8 至表 5-17 及圖 5-1 至圖 5-15 所示。詳細完整之各族群特性資料與測量結果已整理於附錄六。

台灣北部、中部、及南部之五大族群個人電磁波暴露情形，由表 5-8 至表 5-12 顯示 5 歲以下兒童、青少年、一般辦公室人員、及基地台測量人員皆低於 1V/m 電場場強，從事高頻加熱業員工則有較高之暴露值，然卻皆遠低於政府之標準值，且由表可知，南部之族群有暴露較高之電磁場場強情形。可能與南部工業較多且範圍較廣，需要較強之發射功率有關。

本研究團隊量測時，利用頻譜分析確定各暴露場所，所有可能之電磁波來源及強度及計算電磁波熱危害效應情形。其測量結果顯示都會區暴露之特性，主要暴露頻率在 800 MHz - 2000 MHz 之間，此部分為行動電話基地台之頻率範圍(圖 5-1 至圖 5-15)。且由表 5-13 至表 5-17 可知，不論是 5 歲以下兒童、青少年、一般辦公室人員、基地台測量人員、或從事高頻加熱業員工皆遠低於電磁波熱危害效應。但非熱效應危害目前之研究結果尚非十分清楚，國際間也較無具體建議之規範，因此目前僅建議計算電磁波熱危害效應情形。未來之研究結

果若有明確危害效應時，應該再進行新的規範探討。

表 5-1 各組織訂定之電磁波規範

訂定標準之組織	ICNIRP	ACGIH	ANSI/IEEE	EN
目的	訂定暴露各頻率電磁波建議值	訂定職場有害影響健康暴露標準	訂定電磁波量測、校正技術、及相關頻率暴露的建議值	訂定電磁波量測、校正技術、及相關頻率暴露的建議值
電磁波量測方法	無	無	ANSI/IEEE Std 644-1994 ANSI/IEEE Std C95.3-2002	ENV-50166-1 ENV-50166-2
電磁波量測儀器校正方法	無	無	同上	同上
電磁波量測與校正方法之獨立性	無	無	獨立提出	參考其他規範
電磁波量測與校正技術之可行性	無	無	明確並詳細規範	僅原則性規範
適用性	全球	美洲地區為主	全球	以歐盟地區為主

表 5-2 電磁場量測與採樣方法比較

量測方法	ANSI/IEEE	EN	ANSI/IEEE		EN
	ANSI/IEEE Std 644-1994	ENV 50166-1	ANSI/IEEE Std C95.3-2002		ENV 50166-2
適用範圍	電力頻率電磁場量測	電力頻率電磁場量測(0-10KHz)	射頻頻段 單一輻射場源 多重輻射場源		100kHz-300GHz
量測儀器	自由導體型儀表	全向性探針與非全向性之單軸探針	全向性電磁場分析儀		全向性電磁場分析儀
量測值紀錄方式	最大峰值	檢驗電/磁場場強參考基準，應選人員頭部、身體軀幹等體積之平均值	射頻場強之最小、最大及有效值		最大峰值
量測縱向高度	距地1m	距地1m	距地2m	劃分1-3m的立方格間距	-
量測橫向距離	架空線跨距正下方，至少進行5等距之測量	-	四個不同方向向觀測點前進	劃分1-3m的立方格間距	-

表 5-3 我國環保署電磁場量測與採樣方法

量測方法	Taiwan EPA		
	NIEA P203.90B		
適用範圍	調幅廣播電臺	調頻廣播電臺與無線電視臺	行動電話基地臺
量測儀器	全向性電磁場分析儀		
量測值紀錄方式	最大峰值		
量測縱向高度	0.2 至 2 公尺的連續掃描		
量測橫向距離	最低的信號之 1/4 波長，取四個正交軸線為量測線，訂出各 5 個量測點	取其發射天線最大增益的 -3 dB 張角，取四個正交軸線為量測線，訂出各 5 個量測點	取其發射天線最大增益的 -3 dB 張角，依照面積大小劃分量測點

表 5-4. 幼稚園孩童不同姿勢之電磁波量測高度表

站姿		坐姿		睡姿	
人體部位	高度	人體部位	高度	人體部位	高度
頭頸	95	頭頸	75	頭頸	10
胸部	80	胸部	55		
腹部	50	腹部	25		

建議 5 歲以下孩童電磁波量測規範（以身高 105 公分為計算基準）

表 5-5. 青少年不同姿勢之電磁波量測高度表

站姿		坐姿	
人體部位	高度	人體部位	高度
頭頸	150	頭頸	115
胸部	135	胸部	70
腹部	80	腹部	40

建議青少年不同姿勢之電磁波量測規範（以身高 163 公分為計算基準）

表 5-6. 職場勞工不同姿勢之電磁波量測高度表

站姿		坐姿	
人體部位	高度	人體部位	高度
頭頸	155	頭頸	120
胸部	140	胸部	75
腹部	85	腹部	40

職場勞工不同姿勢之電磁波量測規範（以身高 169 公分作為計算基準）

表 5-7 時變電場和磁場暴露下適用於一般公眾的導出限值(無干擾情況下的均方根值)

頻率範圍	電場強度 E ($V\ m^{-1}$)	磁場強度 H ($A\ m^{-1}$)	磁通密度 B (μT)	等效平面波功率密度 Seq ($W\ m^{-2}$)
< 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1 - 8 Hz	10 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8 - 25 Hz	10 000	$4\ 000 / f$	$5\ 000 / f$	-
0.025 - 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8 - 3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3 - 150kHz	87	5	6.25	-
0.15 - 1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
1 - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 - 2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

(ICNIRP,

1998)

表 5-8 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中部、及南部之兒童個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差, n=3)

5 歲以下兒童時量平均暴露值(V/m)		
北部	中部	南部
0.123 ± 0.005	0.163 ± 0.011	0.295 ± 0.002

表 5-9 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中部、及南部之青少年個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差, n=3)

6~15 歲青少年時量平均暴露值(V/m)		
北部	中部	南部
0.227 ± 0.017	0.175 ± 0.002	0.602 ± 0.073

表 5-10 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中部、及南部之一般職場員工個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差, n=3)

一般辦公室環境時量平均暴露值(V/m)		
北部	中部	南部
0.205 ± 0.038	0.163 ± 0.048	0.320 ± 0.019

表 5-11 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之北部、中部、及南部之基地台測量人員個人電磁波時量平均暴露值(n=1)

基地台作業人員時量平均暴露值(V/m)		
北部	中部	南部
0.573	0.583	0.826

表 5-12 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之高頻加熱設備之製造業作業人員個人電磁波時量平均暴露值(n=1)

使用高頻加熱設備之製造業時量平均暴露值(V/m)		
北部	中部	南部
0.273	7.8	3.16

表 5-13 以頻譜分析儀測量分析結果計算台北縣三重市正義國小附設幼稚園兒童熱效應危害之結果

室內			戶外操場
坐姿	站姿	睡姿	站姿
1.72×10^{-9}	3.01×10^{-9}	1.32×10^{-9}	3.26×10^{-7}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

表 5-14 以頻譜分析儀測量分析結果計算台北縣三重市正義國小青少年熱效應危害之結果

室內		戶外操場
坐姿	站姿	站姿
4.35×10^{-8}	8.52×10^{-8}	8.67×10^{-7}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

表 5-15 以頻譜分析儀測量分析結果計算台南成功大學醫學院員工熱效應危害之結果

室內(內間)		室內(內間)	
坐姿	站姿	坐姿	站姿
2.02×10^{-6}	2.60×10^{-6}	1.23×10^{-6}	2.02×10^{-6}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

表 5-16 以頻譜分析儀測量分析結果計算基地台北部測量人員熱效應危害結果

測量位置	站姿
A	6.18×10^{-5}
B	3.59×10^{-5}
C	1.04×10^{-5}

測量位置：A：台北市承德路二段 208 號；B：台北市民權西路 72 號；C：台北市撫順街 37 號

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

表 5-17 以頻譜分析儀測量分析結果計算塑膠高頻加熱射出成型工廠作業人員熱效應危害結果

操作作業位置	4.59×10^{-7}
--------	-----------------------

註：測量結果係由搭配全向性電場天線(10 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

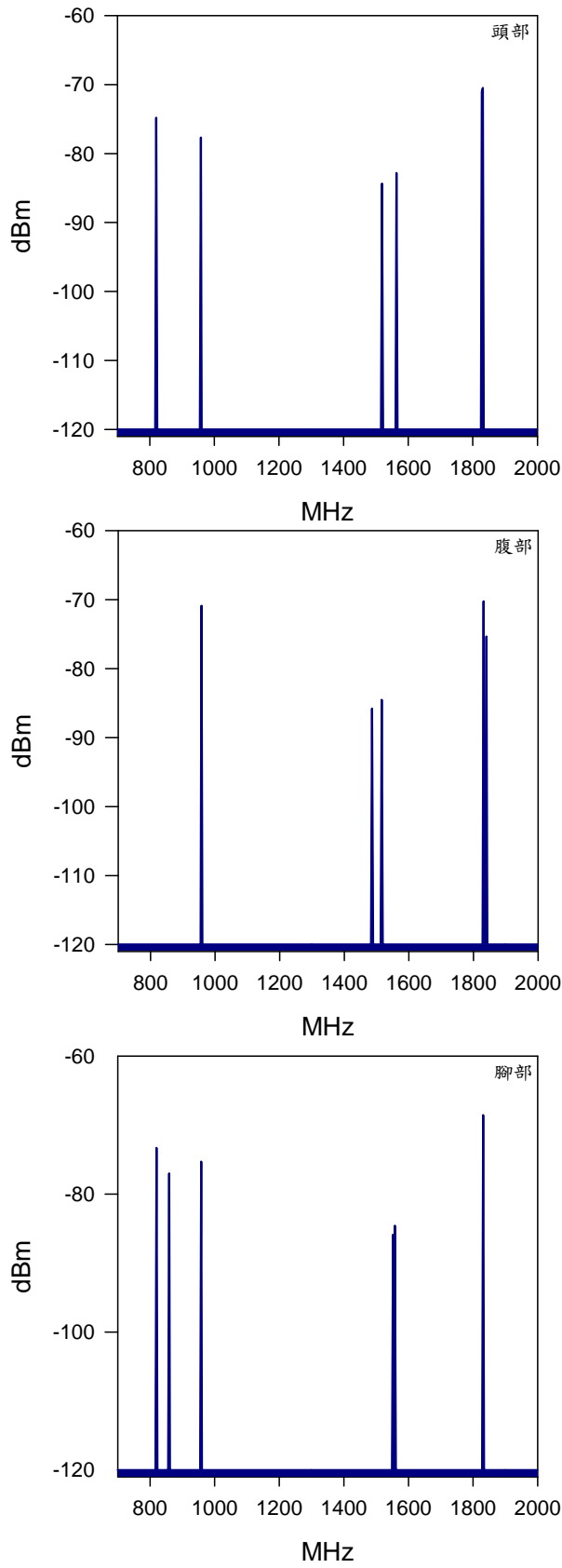


圖 5-1 台北縣三重市正義國小附設幼稚園教室內兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

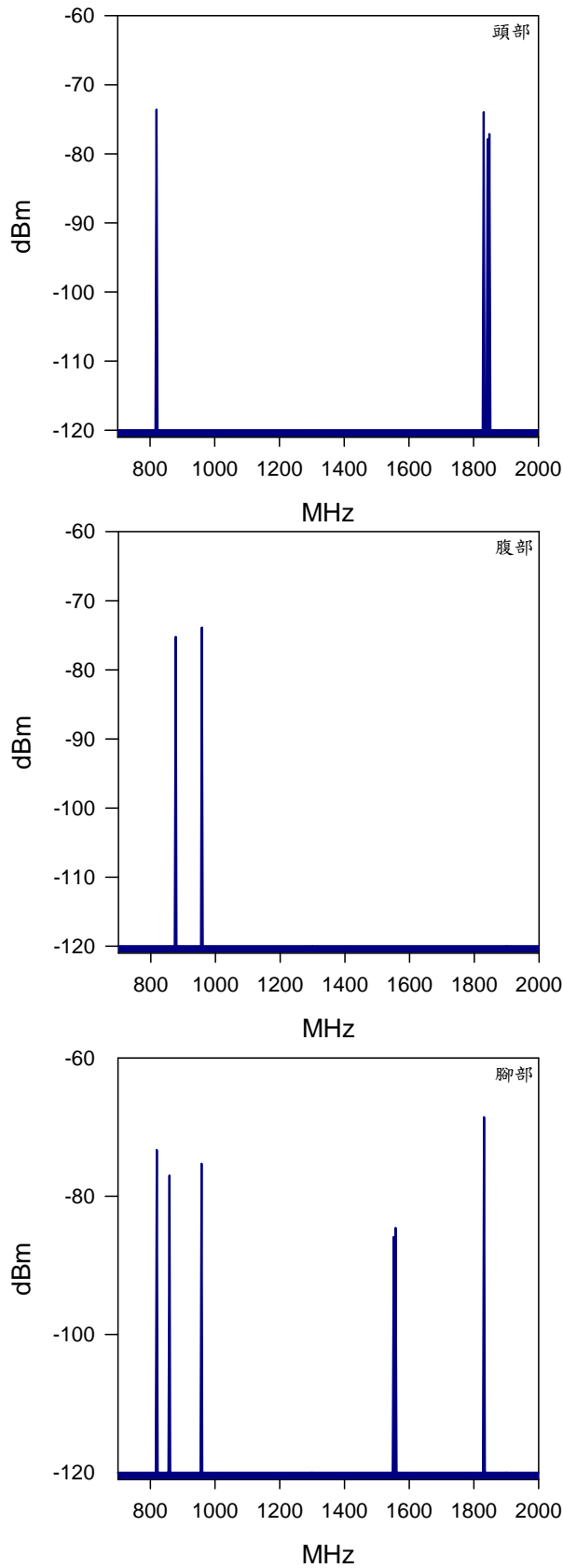


圖 5-2 台北縣三重市正義國小附設幼稚園教室內兒童坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

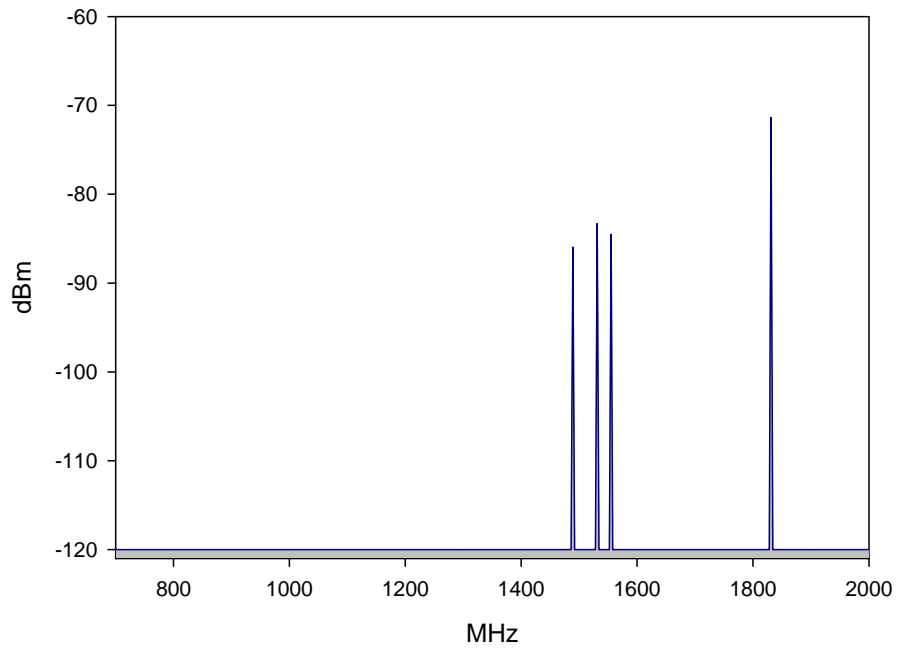


圖 5-3 台北縣三重市正義國小附設幼稚園教室內兒童睡姿姿勢之頭部部位之電磁波頻段掃描圖

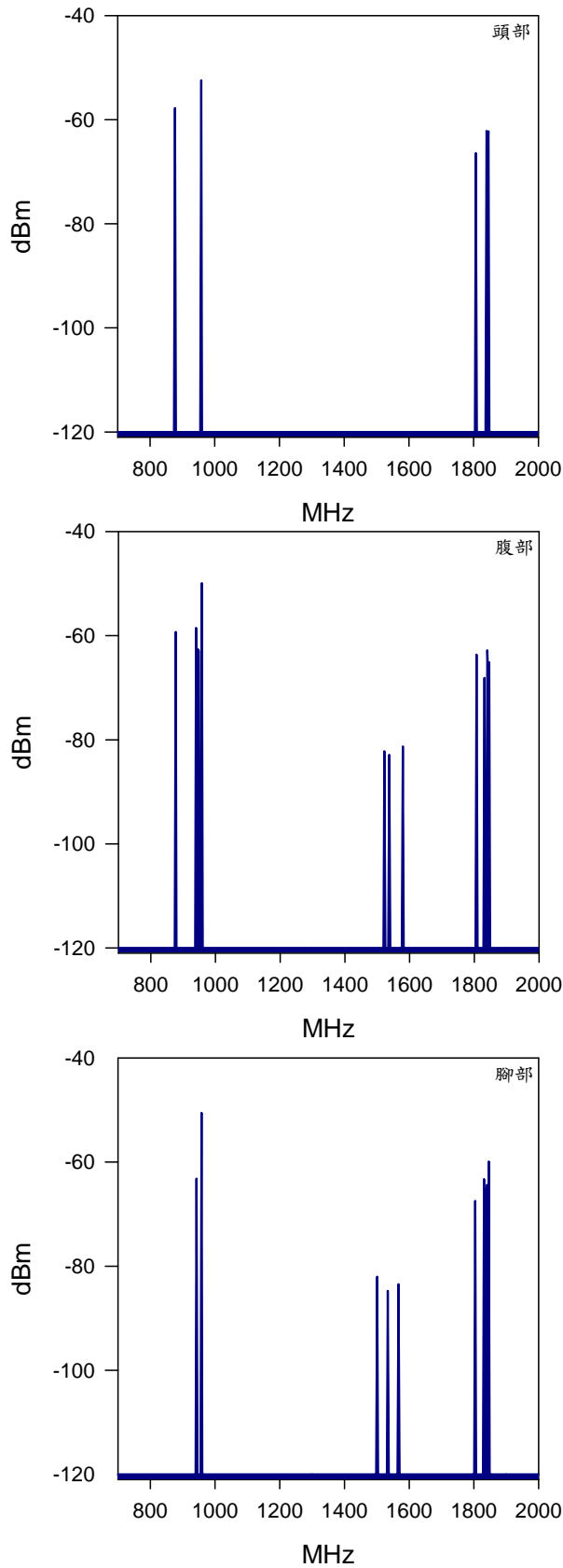


圖 5-4 台北縣三重市正義國小附設幼稚園戶外遊樂區兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

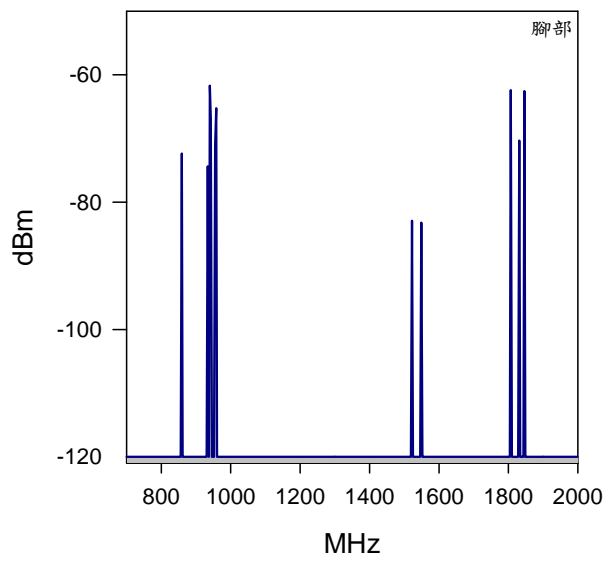
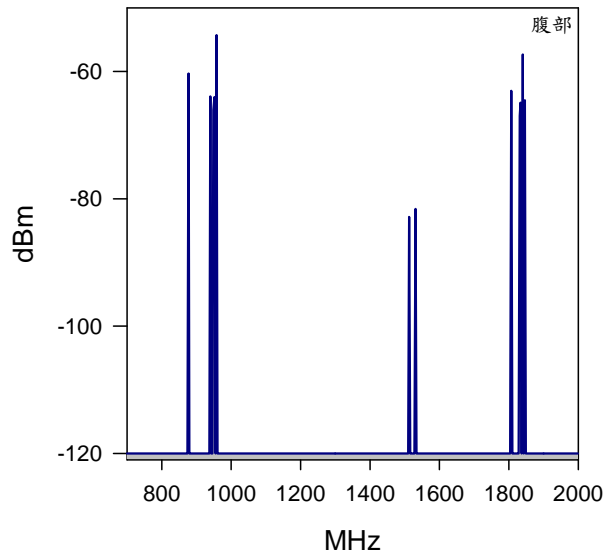
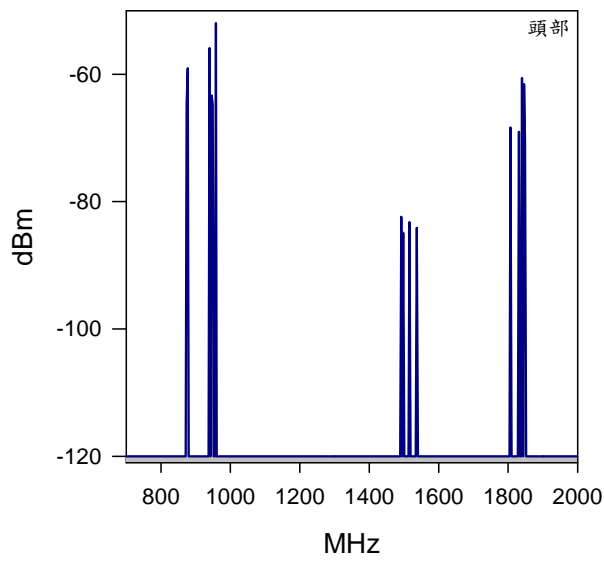


圖 5-5 台北縣三重市正義國小教室內青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

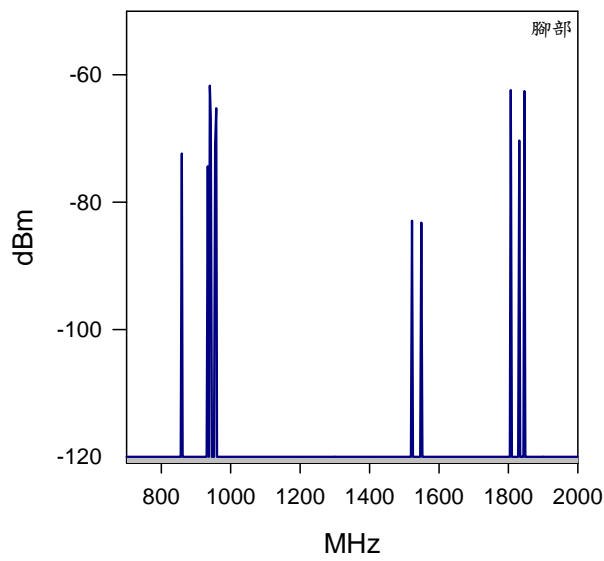
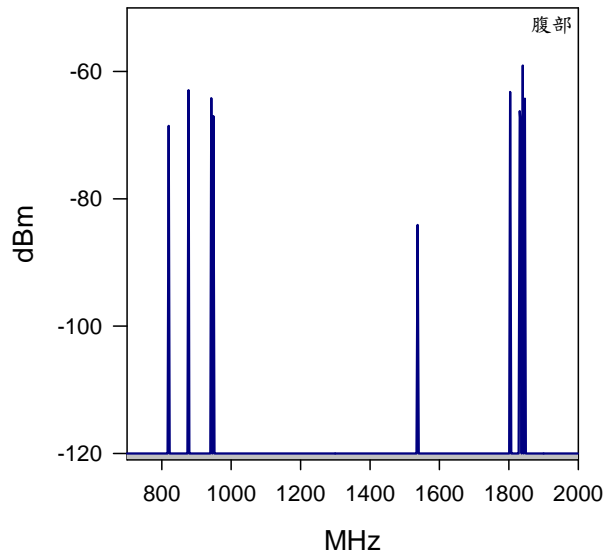
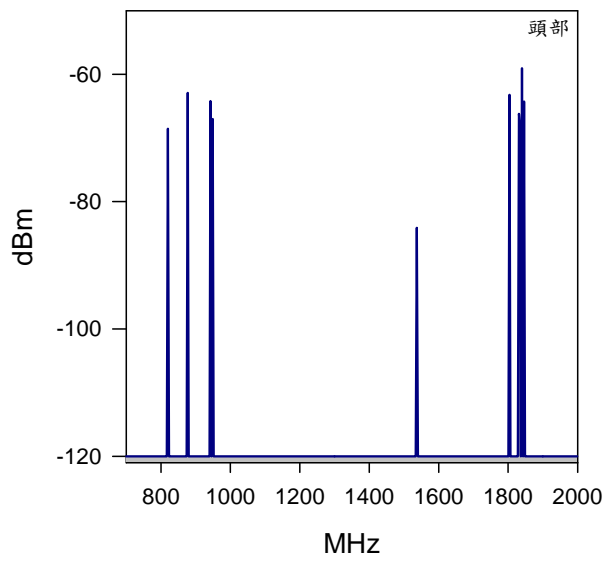


圖 5-6 台北縣三重市正義國小教室內青少年坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

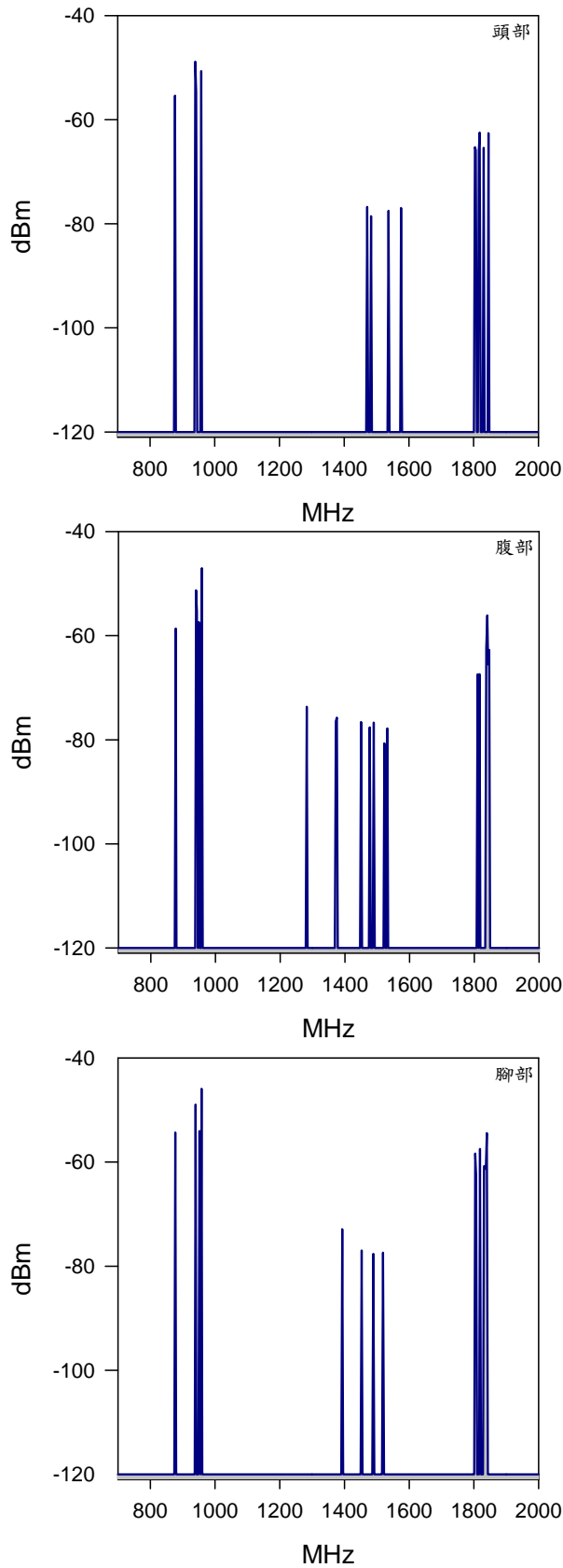


圖 5-7 台北縣三重市正義國小戶外操場青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部
部位之電磁波頻段掃描圖

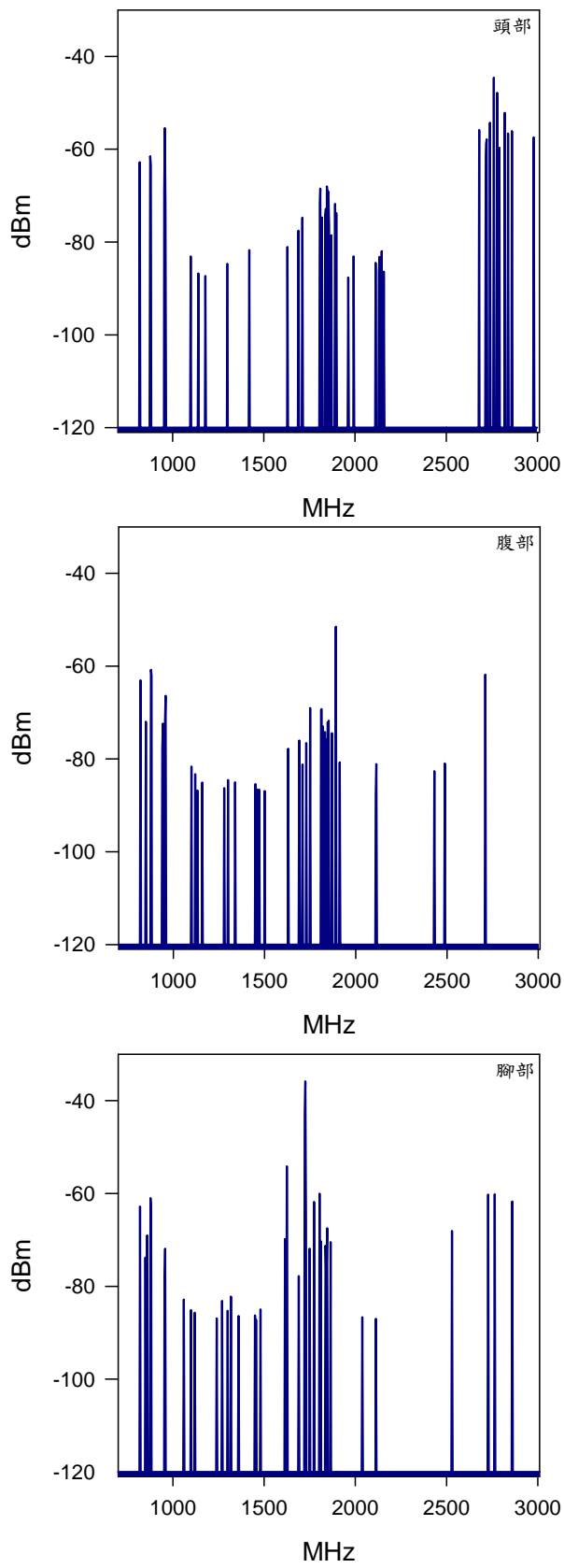


圖 5-8 台南成功大學醫學院員工於內間之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

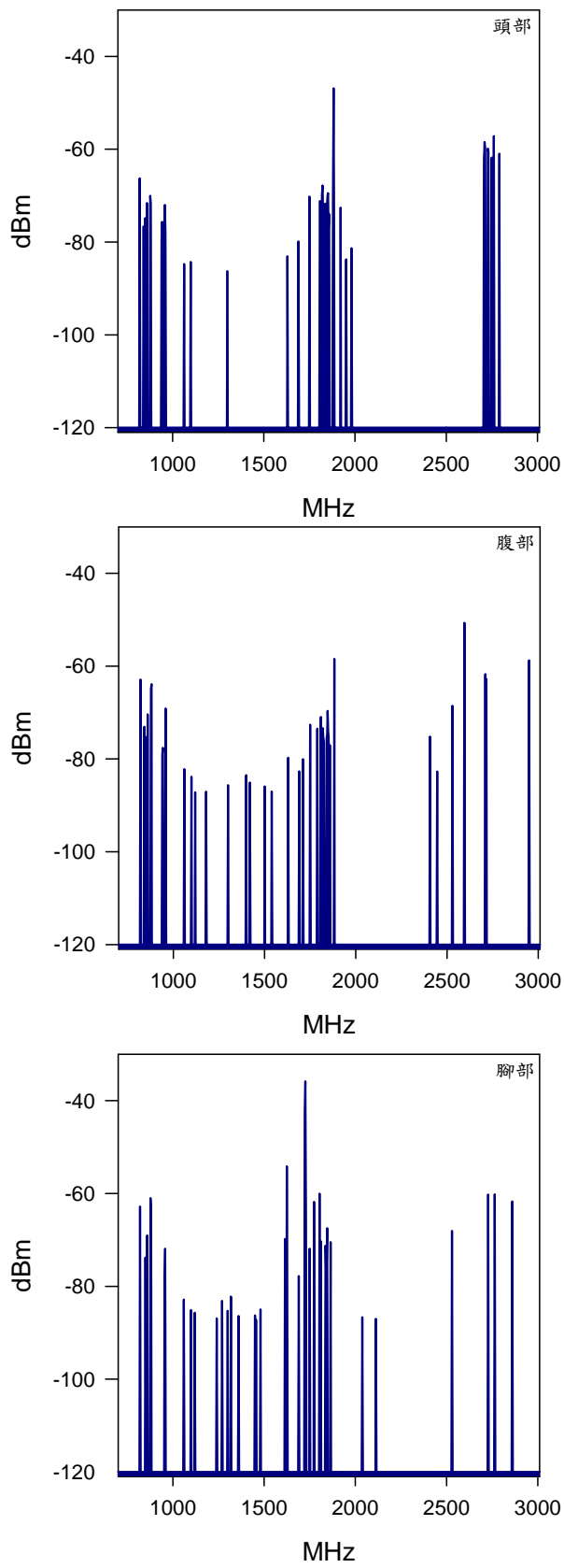


圖 5-9 台南成功大學醫學院員工於內間之坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

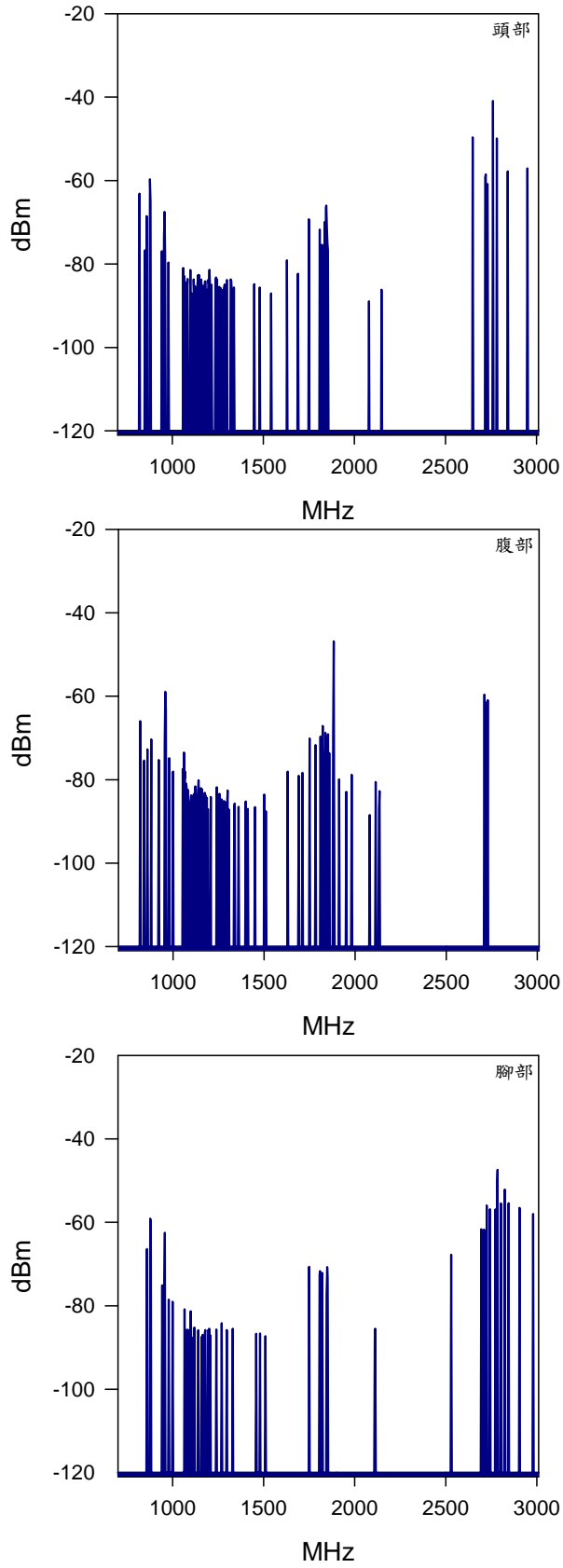


圖 5-10 台南成功大學醫學院員工於外間之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

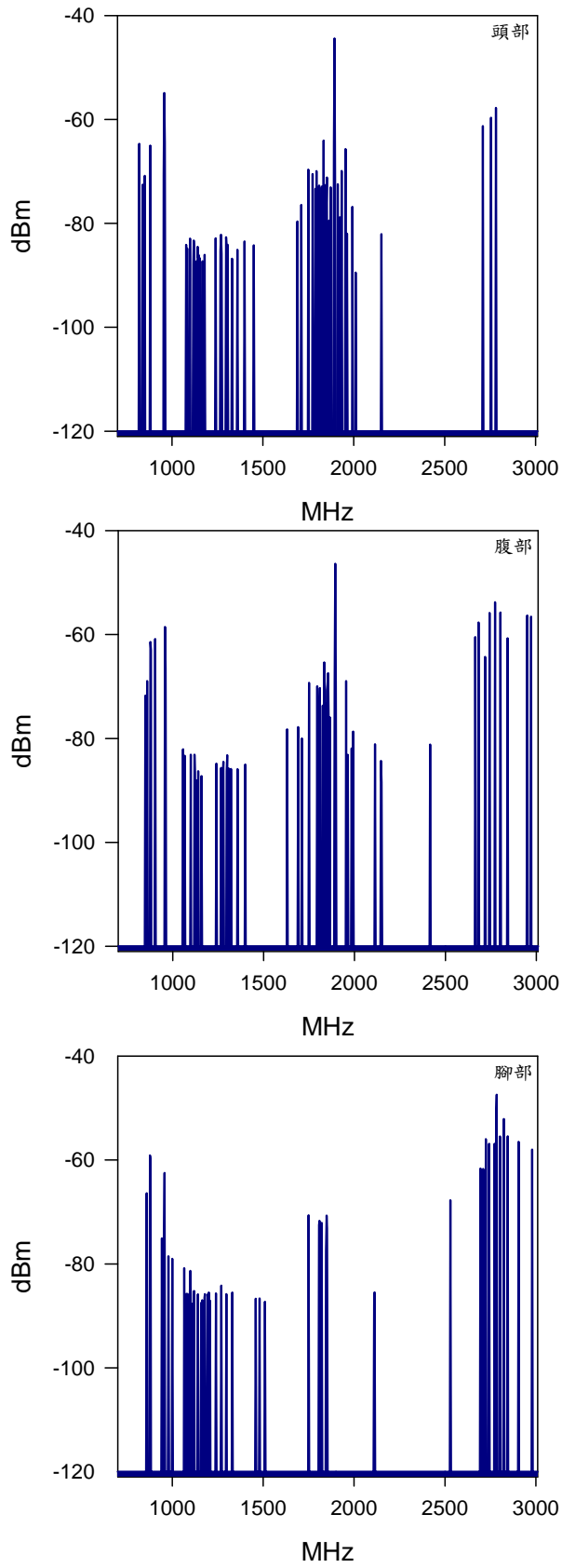


圖 5-11 台南成功大學醫學院員工於外間之坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

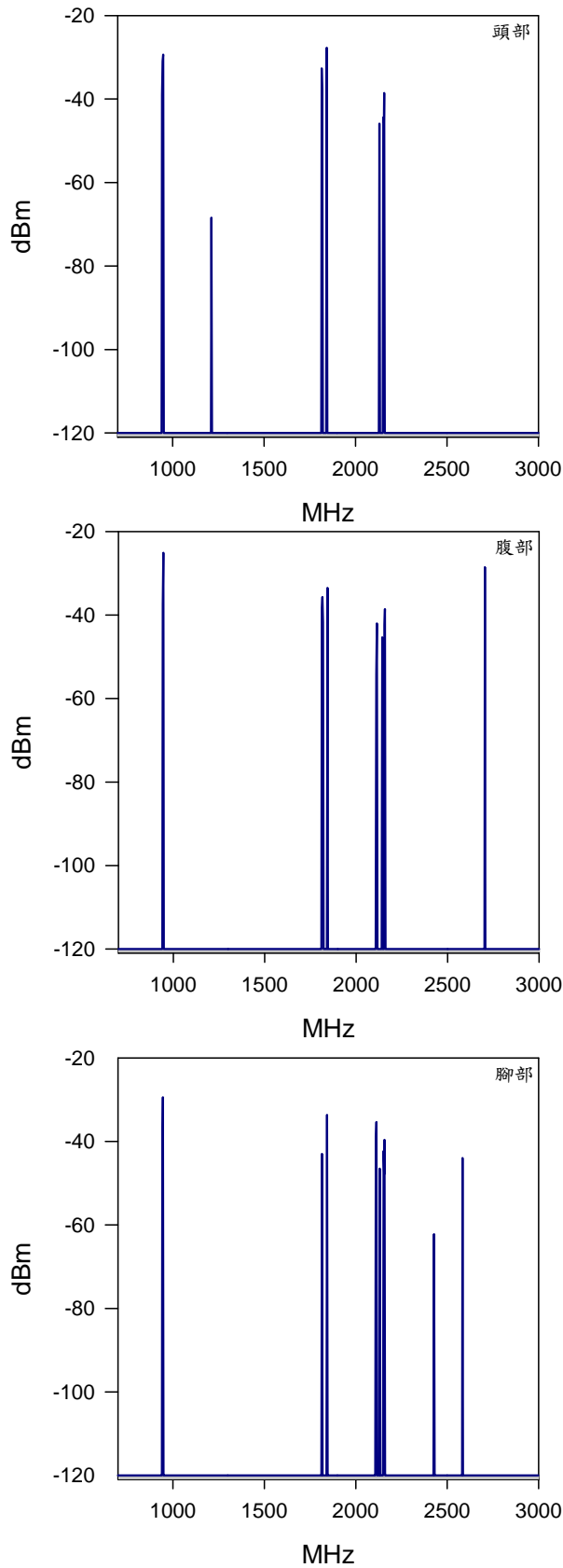


圖 5-12 基地台測量人員於 A 地(台北市承德路二段 208 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

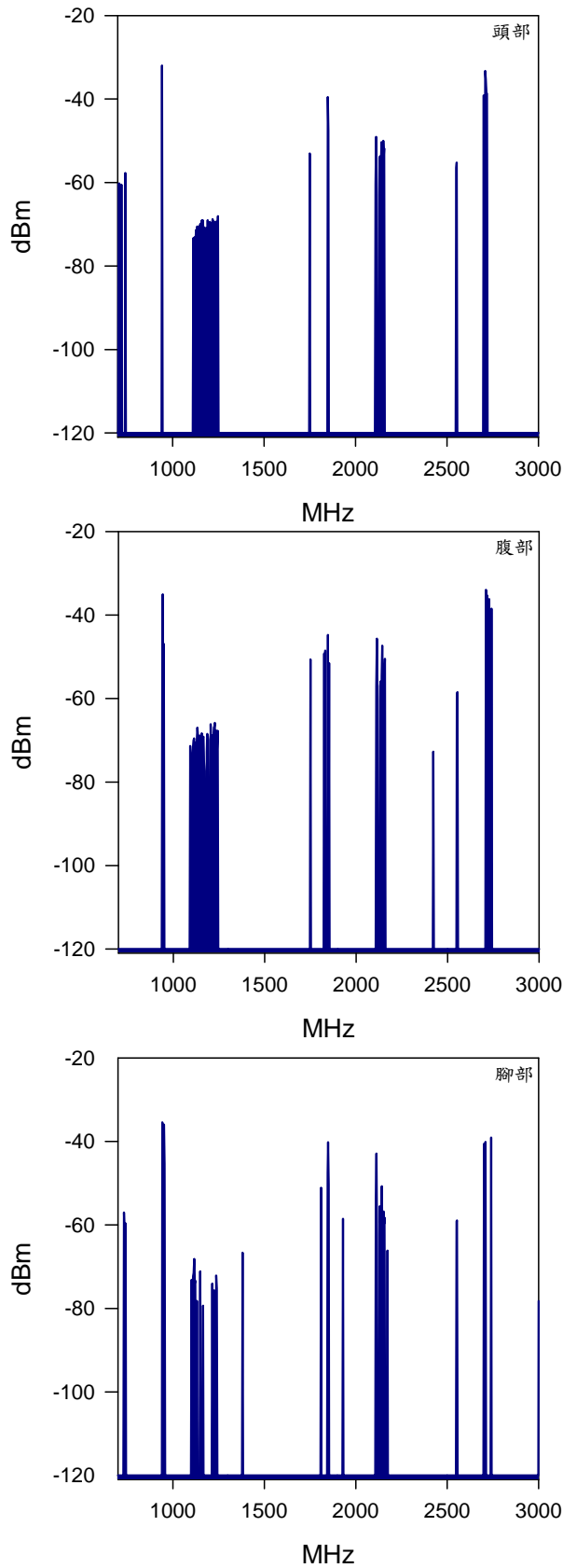


圖 5-13 基地台測量人員於 B 地(台北市民權西路 72 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

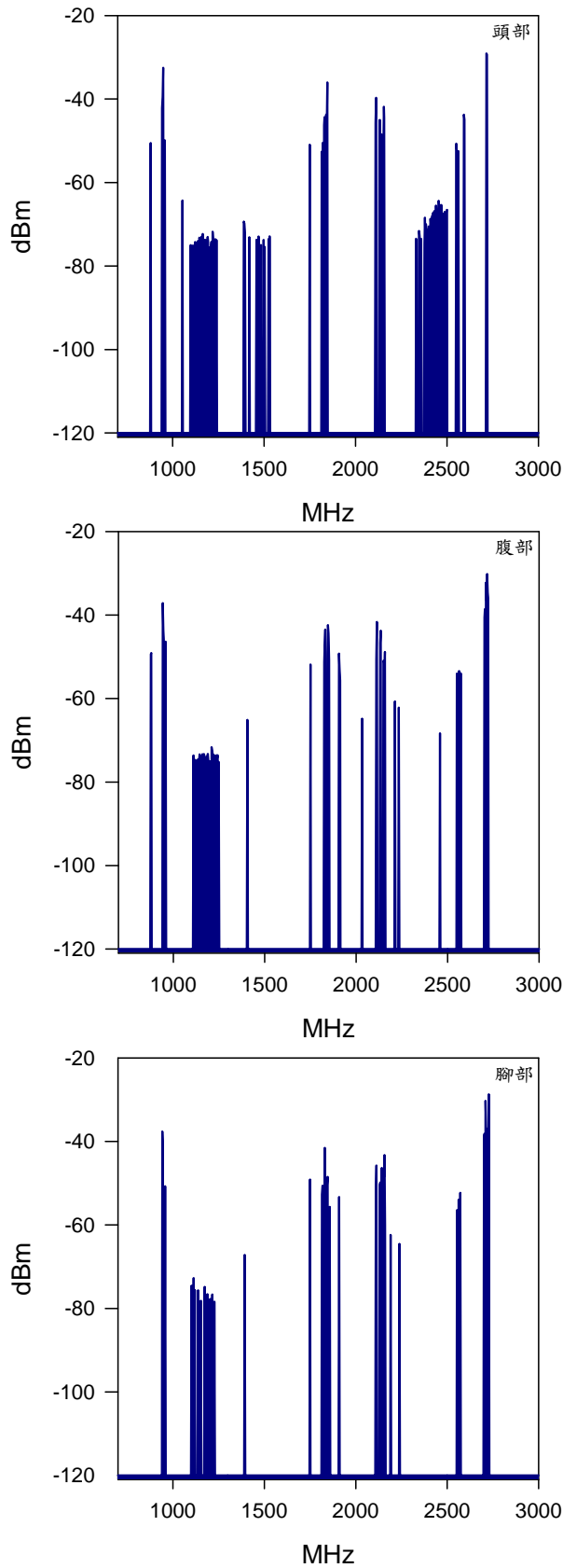


圖 5-14 基地台測量人員於 C 地(台北市撫順街 37 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

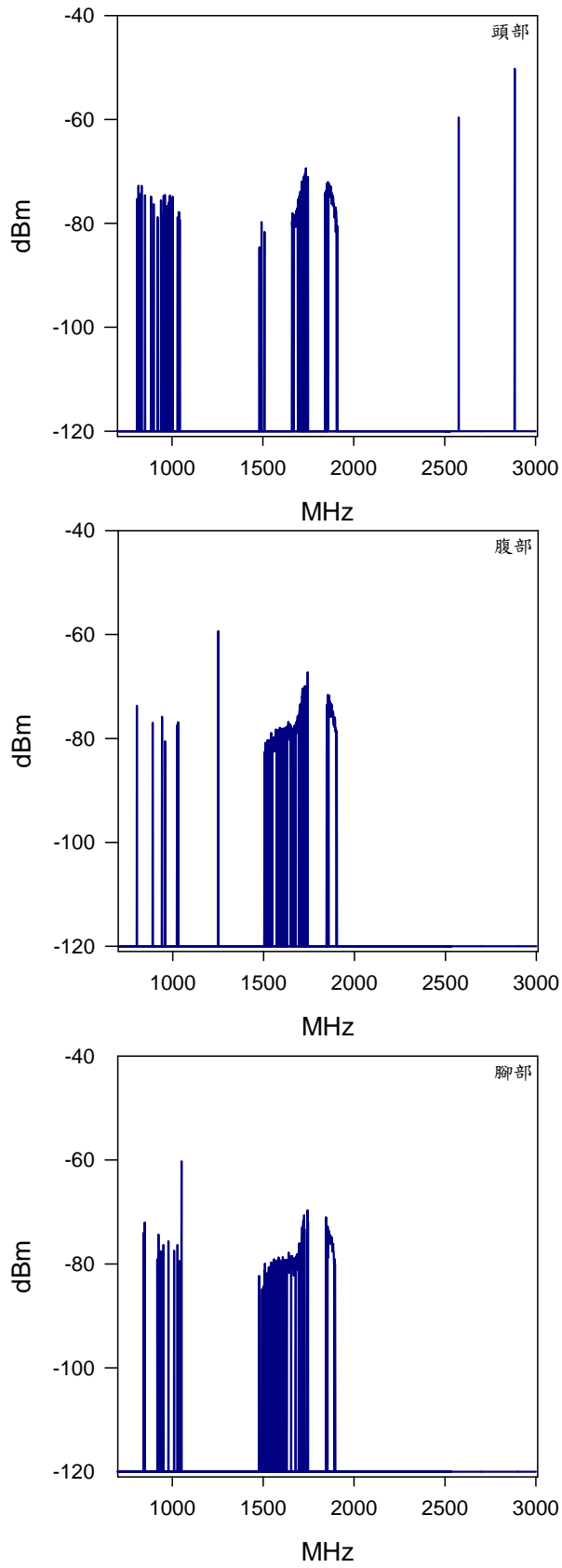


圖 5-15 塑膠高頻加熱射出成型工廠作業人員站姿操作姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

第六章討論

本計劃之個人電磁波暴露測量方法，係參考第 3-3 節之研究文獻與附錄二之測量方法建立。現階段測量電磁波儀器，可分為三大類：1.頻譜分析儀；2.電磁波場強強度計；3.個人電磁波暴露偵測計。以人體電磁波暴露量量測而言，以個人電磁波暴露偵測計佩帶至人身上，雖然無法利用加權方式處理，但可以大致評估實際人體暴露電磁波情形。然本研究團隊搜尋現階段市面有販售之個人電磁波暴露偵測計，發現現階段個人電磁波暴露偵測計，僅做為警示器用途，用於偵測個人暴露電磁波是否過量，其顯示單位為百分比(%)，並不能顯示個人暴露場強(V/m 或 A/m)，或進行電磁波頻譜掃描。因此，並不適用實際人體暴露測量用途。本研究團隊建立之人體電磁波暴露量測方法，係以頻譜分析儀與電磁波強度場強強度計做為測量儀器，輔以區域採樣策略搭配個人時間活動模式問卷，進行建立個人電磁波暴露測量方法，將能較正確評估公眾暴露量，並能做為未來全國暴露調查及流行病學研究的基礎。

本計畫之研究結果將對測量方法之採樣策略、未來如何選取測量高度、測量點間距、測量時間、及熱效應估算方式等提出建議，做為未來相關研究之參考，其參考規範如以下討論：

6-1 採樣策略

本研究團隊設計之測量方法，其採樣策略係採取區域採樣搭配個人時間活動模式問卷為基礎。藉由個人時間活動模式問卷，可瞭解各種不同族群或受試者之主要活動範圍、次要活動範圍、及活動時間。藉由區域採樣測量其個人主要活動範圍及次要活動範圍區域，再搭配於不同活動範圍之活動時間，可推估其個人之日平均暴露電磁場電場場強暴露值。

本研究團隊以區域採樣搭配個人時間活動模式問卷為基礎之採樣策略，此採樣策略之觀點，在國際上之電磁波測量標準或國際研究期刊中，亦可看到雷

同概念。首先針對區域採樣部份，德國所採用之測量非游離輻射電磁場標準(ECC/REC/(02)04)中，為了要瞭解人體暴露到電磁波情形與保護人體健康為前提下，提出於實際進行電磁波量測時，需針對其受試者活動範圍進行量測，並在其活動範圍內電磁波強度最高位置進行測量。中國大陸訂定之工作場所物理因素測量：超高頻輻射(GBZ/T 189.1-2007)及微波輻射(GBZ/T 189.5-2007)，主要針對人體之頭、胸、腹部位位置進行測量。Wilén et al (2004)為了要了解塑膠封裝工人電磁波暴露情形，以勞工實際操作機台的站姿與坐姿的頭部、胸部、腰部、膝蓋、手部、及腳踝等位置高度進行量測。

而時間活動模式問卷部分，Neubauer et al (2007)建議未來進行個人電磁波暴露評估量測之建議中，便有提出此時間活動模式之概念。Wilén et al (2004)與Vangelova et al (2006)等學者，評估勞工暴露電磁波情形，亦採用時量平均暴露概念(Time-weighted average, TWA)，將其電磁波場強測量結果與勞工作業時間進行 TWA 的平均計算。

綜合上述可知，本研究團隊以區域採樣搭配個人時間活動模式問卷為基礎之採樣策略，在國際電磁波測量標準或國際研究期刊中亦可發現類似概念。因此，可相信本研究團隊設計之測量方法具有相當程度可信度。

6-2 測量高度之選取

本研究團隊所測量之五大族群，其測量高度都是選用人體之頭、腹、及腳部之高度，來代表人體的全身性暴露分佈情形。然第三次專家學者會議建議參考 ECC/REC((20)04)之測量高度，其測量高度位置為人體之頭、胸、及腹部位置，主要係考慮對人傷害之部位。因此，對於往後測量人體電磁波暴露量之高度位置，若評估對人體傷害角度，建議以人體之頭、胸、及腹部位置為主。若有全身性評估研究則可思考不同之量測高度。

ECC/REC(20)04 非游離輻射測量方法，指出要評估非游離輻射個人暴露情形，須測量距地 1.7、1.5、及 1.1 公尺處，並透過下列方程式估算全身平均暴露

量。

$$E_{\text{spatial average}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 E_i^2}{3}}, H_{\text{spatial average}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 H_i^2}{3}}$$

而中華人民共和國國家職業衛生標準之工作場所物理因素測量-超高頻輻射測量方法，指出需根據人不同之作業姿勢選擇不同高度進行測量，如：立姿操作，測量高度分別取為 1.5 公尺~1.7 公尺、1.1 公尺~1.3 公尺、0.7 公尺~0.9 公尺；坐姿操作，測量高度分別取為 1.1 公尺~1.3 公尺、0.8 公尺~1 公尺、0.5 公尺~0.7 公尺。

綜合以上結果可知，要推估個人之全身非游離輻射暴露量，需針對身體軀幹之頭、胸、及腹等部位進行量測，再進行均方根計算。因此，本計畫以國人身高資料為依據，針對 5 歲以下孩童、青少年、及一般民眾或勞工，搭配勞研所人體計測資料，設計立姿與坐姿之量測高度。

6-3 測量點間距之選取

測量點間距之選取，目前並無明確的規範，現今測量標準或規定係針對個人活動範圍的部份，找尋最高暴露場強進行量測。然單純以最高暴露場強進行量測，並不能充分代表個人非游離輻射暴露情形。較佳之方法係針對個人活動範圍進行量測，但太密集的測量點間距，雖能較準確推估其實際暴露情況，但進行實際測量時，將會大量耗費人力與物力；而太大的測量點間距，將會對實際暴露情形造成低估或高估的現象，難以符合個人暴露非游離輻射暴露情形。因此，本計劃透過實際測量，以 3、6、及 9 公尺距離為測量點間距，找出較適合之測量點間距。

室內部份，本計劃測量高雄縣鳳山市正義國小附設幼稚園教室、台中市忠明國小課輔教室、及高雄縣鳳山市正義國小音樂教室等室內空間，其不同間距之測量結果整理如表 6-1 至表 6-4 所示。由表可知測量點間距於 3、6、及 9 公

尺部分，其測量結果差異並不大。

戶外部份，本計劃測量三重市正義國小戶外操場，其不同間距之測量結果整理如表 4 所示。由表可知測量點間距於 3、6、及 9 公尺部分，其測量結果差異並不大。

綜合上述結果可知，不論於室內或戶外，其場所附近無非游離輻射發射源的情形下，以 9 公尺做為測量點間距，不但可準確推估個人暴露情形，也可省下大量的人力與物力。

而當活動場所過大，如：面積超過 1 個籃球場面積時，可適當擴大測量點間距，估計將可省下相當的人力與物力。因為本研究團隊於實場測量時，測量點間距尚未有超過 9 公尺以外之實測值。因此當場地過大時，目前尚無法提出較明確之較寬測量點，建議在未來之研究時，可找尋較大之場地進行實地測量，來瞭解應選取間距多大之測量點規範。

6-4 測量時間的選取

現今之測量標準或規定值標準的建議測量時間，大多建議測量 6 分鐘之平均值。然於實際測量時，若以 6 分鐘平均值為主，由於測量點太多，將耗費冗長時間。由於測量時間的選取依據，主要係要能包含到暴露到最大場強的情況。本計劃於實際測量時，發現約略 15 秒時，便能達到穩定值。因此為確保測量 15 秒鐘能與測量 6 分鐘之結果並無太大差異，因此本計劃以廣播電台為測量標的，以 15 秒鐘及 6 分鐘之測量結果進行比較，其實際測量結果整理如表 6 及表 7 所示。由表可知，15 秒鐘及 6 分鐘之測量結果差異極小。因此本計劃推薦於實際測量時，測量時間已 15 秒鐘便可，但如果該場所之非游離輻射變化極大，則建議測量 6 分鐘平均值。

6-5 熱危害效應模式計算方式

實際測量場所之非游離輻射個人暴露量後，該如何得知該場所之非游離輻射個人暴露量是否對人體造成危害，這是一個相當重要的議題。電磁波造成人體之健康危害，可分為熱危害效應與非熱危害效應。熱危害效應係指射頻輻射對人體所造成皮膚紅腫、白內障、及男性不孕等熱生理反應。非熱危害效係指非游離輻射對人體造成 DNA 損傷、頭痛、及疲勞等非熱生理反應。然而，現階段確定電磁波之危害，僅有熱危害效應並訂出標準，而非熱危害效應部分仍在爭議中，且未有任何標準。

本計劃之研究團隊蒐集了 ICNIRP(1998)、我國 CNS 14959-C6428 標準、BS EN 50499(2008)、DD ENV 50166-2(1995)、ECC/REC/(02)04、及 1999/519/EC 之非游離輻射暴露之熱效應風險危害評估模式。經由綜合比較各熱效應評估模式，可發現各不同標準之計算方法大多雷同。因此，本計畫建議以 ICNIRP(1998)之熱效應評估模式做為計算方法。

而以 ICNIRP(1998)之熱效應評估模式做為計算方法，本研究團隊以下述一實測例子做為解說。

圖 6-1 為某地之頻譜分析儀(頻譜分析儀天線資料：頻段可掃描範圍 700 – 6000 MHz、天線增益為 5dB、天線阻抗為 50Ω)之實測值，於 820、943、1099、1750、及 1846 MHz 頻段偵測到其電磁波訊號(dBm)(表 6-6)。

首先依照下式計算不同電磁波頻段之天線因子(dB/m)(當天線阻抗為 50Ω 時，代入 29.8；天線阻抗為 75Ω 時，代入 31.5)

天線因子(dB/m)=20log(f MHz)-天線增益-天線阻抗

$$23.5=20\log(820)-5-29.8$$

$$24.7=20\log(943)-5-29.8$$

$$26=20\log(1099)-5-29.8$$

$$30.1=20\log(1750)-5-29.8$$

$$30.5=20\log(1846)-5-29.8$$

接下來依照下式計算換算其不同電磁波頻段之電場場強(dBμV/m)(本實測值

之儀器測量部分，其天線與儀器連接部份並未連接電纜，因此電纜損耗可忽略不計)

電場強度 $E_0(\text{dB}\mu\text{V/m}) = \text{接收信號功率強度}(\text{dBm}) + 107(\text{dB}) + \text{天線因子}(\text{dB/m}) + \text{電纜損耗}(\text{dB})$

820 MHz 之電場強度($\text{dB}\mu\text{V/m}$)：60.4=-70.12+107+23.5

943 MHz 之電場強度($\text{dB}\mu\text{V/m}$)：57.4=-70.12+107+23.5

1099 MHz 之電場強度($\text{dB}\mu\text{V/m}$)：45.9=-70.12+107+23.5

1750 MHz 之電場強度($\text{dB}\mu\text{V/m}$)：67.6=-70.12+107+23.5

1846 MHz 之電場強度($\text{dB}\mu\text{V/m}$)：64.2=-70.12+107+23.5

接下來，依照下式將電場強度($\text{dB}\mu\text{V/m}$)轉換單位為電場場強(V/m)

$$E_0 (\text{dB}\mu\text{V/m}) = 20 * \log E_1(\mu\text{V/m})$$

820 MHz 之電場場強($\mu\text{V/m}$)：1042= $10^{(60.4/20)}$

943 MHz 之電場場強($\mu\text{V/m}$)：741= $10^{(57.4/20)}$

1099 MHz 之電場場強($\mu\text{V/m}$)：198= $10^{(45.9/20)}$

1750 MHz 之電場場強($\mu\text{V/m}$)：2385= $10^{(67.6/20)}$

1846 MHz 之電場場強($\mu\text{V/m}$)：1617= $10^{(64.2/20)}$

$$E_2(\text{V/m}) = E_1(\mu\text{V/m}) / 10^6$$

820 MHz 之電場場強(V/m)：0.001042=1042/ 10^6

943 MHz 之電場場強(V/m)：0.000741=741/ 10^6

1099 MHz 之電場場強(V/m)：0.000198=198/ 10^6

1750 MHz 之電場場強(V/m)：0.002385=2385/ 10^6

1846 MHz 之電場場強(V/m)：0.001617=1617/ 10^6

最後再依照下式，計算其熱效應危害

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 \leq 1$$

E_i ：為各頻率下之電場強度

c：我國之各射頻電磁波頻段下之電場強度建議值(表 5-7)。

首先，頻譜分析儀於 820、943、1099、1750、及 1846 MHz 頻段偵測到的電磁波訊號，查照表 5-7 可知，在 400 – 2000MHz 之電場場強為 $1.375f^{1/2}$ 。因此，由下式計算過程可知掃描頻段內之各頻段電場場強暴露限值

$$820 \text{ MHz 電場場強暴露限值(V/m)} : 39=1.375 \times 820^{1/2}$$

$$943 \text{ MHz 電場場強暴露限值(V/m)} : 42=1.375 \times 943^{1/2}$$

$$1099 \text{ MHz 電場場強暴露限值(V/m)} : 46=1.375 \times 1099^{1/2}$$

$$1750 \text{ MHz 電場場強暴露限值(V/m)} : 58=1.375 \times 1750^{1/2}$$

$$1846 \text{ MHz 電場場強暴露限值(V/m)} : 59=1.375 \times 1846^{1/2}$$

計算熱效應危害

$$820 \text{ MHz 頻段之熱效應危害值計算} : 7 \times 10^{-10} = (0.001042/39)^2$$

$$943 \text{ MHz 頻段之熱效應危害值計算} : 3.08 \times 10^{-10} = (0.000741/42)^2$$

$$1099 \text{ MHz 頻段之熱效應危害值計算} : 1.89 \times 10^{-11} = (0.000198/46)^2$$

$$1750 \text{ MHz 頻段之熱效應危害值計算} : 1.72 \times 10^{-9} = (0.002385/58)^2$$

$$1846 \text{ MHz 頻段之熱效應危害值計算} : 7.49 \times 10^{-10} = (0.001617/59)^2$$

最後將其值作加總計算，得到熱效應危害值為 $3.50 \times 10^{-9} < 1$ 。此一熱效應危害值計算基本概念為劑量，就如同計算噪音危害的劑量觀念雷同，且其單位為 $\frac{(V/m)}{(V/m)}$ ，所以熱效應危害值本身並無單位。

電磁場之基本物理參數為電場場強(V/m)、磁場場強(A/m)、及功率密度值(W/m²)。而當電磁場與人體交互作用時，則會導致人體產生感應電流與熱效應。因此探討電磁波對人體的影響時，便以電流密度(mAm⁻²)及 SAR(Wkg⁻¹)來探討對人體之熱效應影響。ICNIRP(1998)針對電磁波造成人體熱效應危害，以電流密度(mAm⁻²)及 SAR(Wkg⁻¹)為基礎，在超過 100 kHz 的頻率下，以 SAR 及功率密度值訂出一系列暴露限值與熱危害效應計算公式，如下式。

$$\sum_{i=100kHz}^{10GHz} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10GHz} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

SAR_i 是在頻率 i 下的照射 SAR

SAR_L 為表 6-7 中規定的 SAR 限值

S_L 為表 6-8 中規定的功率密度

S_i 為在頻率 i 下的功率密度

然而實際應用層面，量測 $SAR(Wkg^{-1})$ 需在實驗室中，控制好所有的變因後，方可量測，於實際應用層面並不可行。因此，ICNIRP(1998) 對於基本限值的實際應用，以上述 SAR 及功率密度之基礎限值與熱效應方程式，以場強導出限值相關標準，如下式所示。

$$\sum_{i=1Hz}^{1MHz} \frac{E_i}{E_{L,j}} + \sum_{i>1MHz}^{10MHz} \frac{E_i}{a} \leq 1$$
$$\sum_{j=1Hz}^{65kHz} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65kHz}^{10MHz} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

E_i 為在頻率 i 下的電場強度

$E_{L,i}$ 為表 5-7 中規定的電場導出限值

H_j 為在頻率 j 下的磁場強度

$H_{L,j}$ 為表 5-7 中規定的磁場導出限值

因為射頻電磁場測量大多屬於遠場測量，電場與磁場存在著 377Ω 的相位阻抗，可互相轉換。因此於實際測量時，僅需測量電場場強即可。但若得知附近有發射源的情況下，在此情形下進行量測時，可能在其近場區，此時建議得電場與磁場要各別量測，如：職場暴露。

6-6 研究方法限制

本研究團隊設計之採樣方法，採樣策略係以區域採樣搭配個人活動模式問卷為基礎，並以全向性電磁波強度計搭配頻譜分析儀儀器做為測量儀器，推算個人電磁波暴露量以及熱危害效應。其推算值與個人暴露實際值可能仍有些許差異。

6-6-1 時變電場與磁場

射頻電磁場頻段範圍為 100 kHz – 3GHz。在此頻段範圍內，主要應用於廣

播電台、2G 行動電話基地台、3G 行動電話基地台、及 AP 無線網路等。本研究團隊於廣播電台發射天線外空曠處，定點測量其早晚之電磁波場強差異。測量結果發現，早晚電磁波場強存有差異(表 6-9 與表 6-10)。推測其原因，可能係由於廣播收聽率之關係，電台人員調整電台發射功率，以增加或減少其電台涵蓋率。而行動電話基地台之發射功率部份，經與財團法人電信技術中心瞭解後，行動電話基地台發射功率可分為兩部份，一種為涵蓋範圍的功率，另外一種為手機通話時的發射功率。第一種的發射功率通常為固定功率，主要做為告知手機進入此基地台之功率涵蓋範圍(手機看到的訊號格數)，當手機要進行通話時，以此基地台做為數據交換台。而第二種手機通話時的發射功率，此種發射功率會受數據傳送頻寬與手機訊號強弱而有所增減，且頻率是跳頻設計。當數據傳送頻寬越大時，基地台發射之功率越大。當手機訊號弱時(手機訊號格數為 1 格或 0 格時)，為有良好通訊品質，基地台會發射較強之功率，以增進通話品質。

綜合上述可知，電磁波乃是時變電磁波，隨著不同的應用或情境而變化。本研究團隊現階段僅有針對廣播發射電台進行早晚測量，其早晚之測量結果具有差異，但測量值僅各有一個，並無法進行統計檢定。因此本研究團隊建議未來進行電磁波量測，應考慮早晚差異之問題。

本研究團隊設計之採樣方法，主要係以全向性電磁波強度計與頻譜分析儀進行測量，將其測量結果搭配個人時間活動模式問卷進行推估個人電磁波暴露量。承接上段文章之論點，電磁場是具有時變性的，因此測量人之活動區域的當下時間點，可能與個人實際活動時間不同，其測量值可能與實際個人暴露狀況有差。因此，建議最佳之情形係測量時之時間點與個人活動時間點相同。

6-6-2 測量儀器

本研究團隊設計之採樣方法，主要係以全向性電磁波強度計與頻譜分析儀進行測量。不考慮個人電磁波暴露偵測計進行測量，因為本研究團隊搜尋現階段市面有販售之個人電磁波暴露偵測計，發現目前個人電磁波暴露偵測計僅做

為警示器用途，用於偵測個人暴露電磁波是否過量，其顯示單位為百分比(%)，並不能顯示個人暴露場強(V/m 或 A/m)，或進行電磁波頻譜掃描。因此，並不適用實際人體暴露測量用途。若未來個人電磁波暴露偵測計能顯示電場場強與磁場場強或兼具有掃描頻譜之功用，建議將可修改本研究設計之測量方法，進行更加便捷之電磁波量測。

6-7 儀器選用建議

本研究團隊將針對全向性電磁波強度計與頻譜分析儀之選用，提出以下建議。

全向性電磁波強度計

1. 選購時，需注意天線是否為全向性天線。
2. 天線之測量頻率涵蓋範圍是否為射頻電磁波頻率範圍。
3. 需與廠商確定其校正方法是否有符合國際標準。

頻譜分析儀

1. 選購天線時，需注意天線是否為全向性天線。
2. 天線之測量頻率涵蓋範圍是否為射頻電磁波頻率範圍。若全向性天線無法涵蓋足夠之頻率範圍，則需購買不足之頻段範圍之指向性天線，補其不足部分。
3. 廠商是否能提供轉換程式，將其測量到之不同頻段功率值，自動進行計算轉換成電場場強、磁場場強、及功率密度值，並內建各個不同國際標準限值，可直接進行換算熱效應危害值。

表 6-1.正義國小附設幼稚園教室之不同採樣間距之電場場強比較表

間距 (公尺)	測量高度(公分)				
	95	75	50	25	5
3	0.346	0.318	0.325	0.307	0.317
6	0.333	0.325	0.327	0.313	0.320
9	0.335	0.315	0.330	0.310	0.315

表 6-2.正義國小附設幼稚園午休教室之不同採樣間距電場場強比較表

間距(公尺)	測量高度 (公分)
	10
3	0.302
6	0.305
9	0.300

表 6-3.忠明國小課輔教室之不同採樣間距之電場場強比較表

間距(公尺)	測量高度(公分)		
	115	40	7
3	0.180	0.144	0.128
6	0.187	0.146	0.132
9	0.191	0.152	0.128

表 6-4.正義國小音樂教室之不同採樣間距之電場場強比較表

間距 (公尺)	測量高度(公分)				
	150	115	80	40	7
3	0.728	0.639	0.729	0.496	0.447
6	0.715	0.637	0.703	0.476	0.445
9	0.726	0.677	0.766	0.491	0.496

表 6-5.正義國小戶外操場之不同採樣間距之電場場強比較表

間距 (公尺)	測量高度(公分)				
	150	115	80	40	7
3	0.728	0.639	0.729	0.496	0.447
6	0.715	0.637	0.703	0.476	0.445
9	0.726	0.677	0.766	0.491	0.496

表 6-6. 某地之頻譜分析儀掃描頻譜資料

頻段 (MHz)	功率值 (dBm)
820	-70.12
943	-74.29
1099	-87.07
1750	-69.51
1846	-73.35

表 6-7. 頻率低於 10 GHz 的時變電場和磁場基本限值

暴露特性	頻率範圍	頭部和軀幹電流密度 ($\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$) (rms)	全身平均 SAR ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$)	局部暴露 SAR (頭部和軀幹) ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$)	局部暴露 SAR (肢體) ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$)
職業暴露	<1 Hz	40	—	—	—
	1 - 4 Hz	40/f	—	—	—
	4 Hz - 1 kHz	10	—	—	—
	1 - 100 kHz	f/100	—	—	—
	100 kHz - 10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz - 10 GHz	—	0.4	10	20
公眾暴露	<1 Hz	8	—	—	—
	1 - 4 Hz	8/f	—	—	—
	4 Hz - 1 kHz	2	—	—	—
	1 - 100 kHz	f/500	—	—	—
	100 kHz - 10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz - 10 GHz	—	0.08	2	4

表 6-8. 10 ~ 300 GHz 頻率範圍內的功率密度基本限值

暴露特性	功率密度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
職業性暴露	50
公眾暴露	10

表 6-9. 距離廣播電台發射天線約 25 公尺處之不同時間與不同高度測量結果(山海屯青少年之聲廣播電臺)

測量時間	山海屯青少年之聲廣播電臺					
	測量高度					
	早上			晚上		
	155 公分	85 公分	7 公分	155 公分	85 公分	7 公分
15 秒	62.7	64.9	58.3	20.5	11.3	8.05
6 分鐘	70.6	64.1	62.4	20.5	11.3	8.07

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 6-10. 距離廣播電台發射天線約 132 公尺處之不同時間與不同高度測量結果(真善美調頻廣播電臺)

測量時間	真善美調頻廣播電臺					
	測量高度					
	早上			晚上		
	155 公分	85 公分	7 公分	155 公分	85 公分	7 公分
15 秒	0.741	1.24	0.687	1.01	1.38	0.686
6 分鐘	0.786	1.08	0.655	1.02	1.38	0.723

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

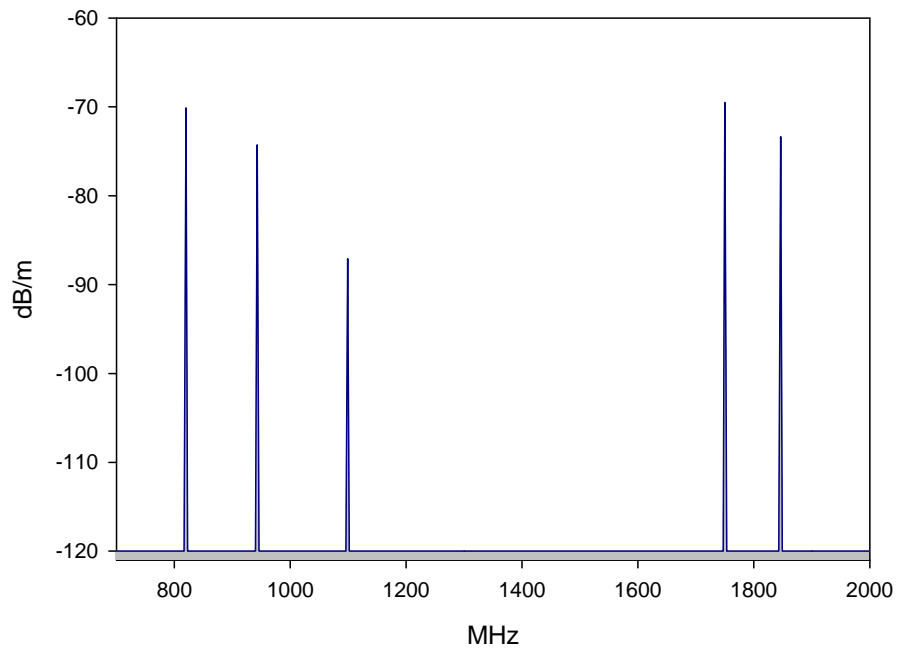


圖 6-1 某地之頻譜分析儀掃描頻段圖譜

第七章結論

1. 現階段國際間已確定之電磁波危害，僅有熱危害效應，並根據現有之研究資料訂出各國之標準，而非熱危害效應部分目前仍有許多爭議，國際間並未有任何建議標準。
2. 近年來之電磁波暴露流行病學研究，大多採用距離評估模式，缺乏個人暴露量之實測值，這些研究結果之因果關係可信度令人質疑，經常是各種爭議的來源。建議未來國內引用之資料應採用有適當量測與評估方法之文獻，避免引用推估模式計算之流行病學研究資料，才可減少爭議。
3. 未來之流行病學研究團隊應該有專業之電磁場暴露量測人員，並且該人員須先經過衛生署或相關單位之評估其專業能力或要求其接受相關之教育訓練，瞭解電磁場之基本知識與儀器使用方法與原則，參考本研究團隊建議之測量方法進行測量。
4. 本研究團隊設計之測量方法，係依據現有的科技發展之測量儀器進行適當的規劃與設計，若未來有設計出之較佳測量儀器，如個人電磁波暴露偵測計，建議可修改本研究團隊設計之測量方法。
5. 建議電磁場暴露量測之儀器應有可長時間連續記錄與頻譜分析之功能，且能提供轉換程式，將其測量到之不同頻段功率值，自動進行計算轉換成電場場強、磁場場強、及功率密度值，並內建各個不同國際標準限值，可直接進行換算熱效應危害值，方便未來流行病學研究。

第八章參考文獻

1. American Conference of Government Industrial Hygienists. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1996.
2. Ahlbom A, Green A, Kheifets L, Savitz D, Swerdlow A. 2004. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environmental Health Perspectives* 112(17): 1741-1754.
3. ANSI/IEEE Std 644-1994, (1995). "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines," IEEE, New York.
4. Baohong, W., Jiliang, H., Lifen, J., Deqiang, L., Wei, Z., Jianlin, L., and Hongping, D. 2005. Studying the synergistic damage effects induced by 1.8 GHz radiofrequency field radiation (RFR) with four chemical mutagens on human lymphocyte DNA using comet assay in vitro. *Mutat. Res.* 578:149–157.
5. Bellan D, Gaggelli A, Maradei F, Mariscotti A, Pignari SA. 2004. Time-domain measurement and spectral analysis of nonstationary low-frequency magnetic-field emissions on board of rolling stock. *Ieee Transactions on Electromagnetic Compatibility* 46(1): 12-23.
6. Berg-Beckhoff G, Blettner M, Kowall B, Breckenkamp J, Schlehofer B, Schmiedel S, et al. 2009. Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 2 of a cross-sectional study with measured radio frequency electromagnetic fields. *Occupational and Environmental Medicine* 66(2): 124-130.
7. Bernardi P, Cavagnaro M, Cicchetti R, Pisa S, Piuze E, Testa O. 2003. A UTD/FDTD investigation on procedures to assess compliance of cellular base-station antennas with human-exposure limits in a realistic urban environment. *Ieee Transactions on Microwave Theory and Techniques* 51(12): 2409-2417.
8. Blettner M, Schlehofer B, Breckenkamp J, Kowall B, Schmiedel S, Reis U, et al. 2009. Mobile phone base stations and adverse health effects: phase 1 of a population-based, cross-sectional study in Germany. *Occupational and Environmental Medicine* 66(2): 118-123.

9. Breckenkamp J, Berg G, Blettner M. 2003. Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: a synopsis of cohort studies. *Radiation and Environmental Biophysics* 42(3): 141-154.
10. Burch JB, Clark M, Yost MG, Fitzpatrick CTE, Bachand AM, Ramaprasad J, et al. 2006. Radio frequency nonionizing radiation in a community exposed to radio and television broadcasting. *Environmental Health Perspectives* 114(2): 248-253.
11. Cicchetti R, Faraone A. 2004. Estimation of the peak power density in the vicinity of cellular and radio base station antennas. *Ieee Transactions on Electromagnetic Compatibility* 46(2): 275-290.
12. Chemeris, N. K., Gapeyev, A. B., Sirota, N. P., Gudkova, O. Yu, Tankanag, A. V., Konovalov, I. V., Buzoverya, M. E., Suvorov, V. G., and Logunov, V. A. 2006. Lack of direct DNA damage in human blood leukocytes and lymphocytes after in vitro exposure to high power microwave pulses. *Bioelectromagnetics* 27:197–203.
13. Dawson TW, Stuchly MA, Kavet R. 2004. Electric fields in the human body due to electrostatic discharges. *Ieee Transactions on Biomedical Engineering* 51(8): 1460-1468.
14. Diem, E., Schwarz, C., Adlkofer, F., Jahn, O., and Rüdiger, H. 2005. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutat. Res.* 583:178–183.
15. Eliyahu I, Luria R, Hareuveny R, Margaliot M, Meiran N, Shani G. 2006. Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions of humans. *Bioelectromagnetics* 27(2): 119-126.
16. Elwood JM. 2003. Epidemiological studies of radio frequency exposures and human cancer. *Bioelectromagnetics*: S63-S73.
17. ECC/REC(20)04. Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz-300 GHz)
18. ENV 50166-1 (1995). Human exposure to electromagnetic fields. Low frequency (0 Hz to 10 kHz)
19. ENV 50166-2 (1995). Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz to 300 GHz)
20. Fernandez MI, Watson PJ, Rowbotham DJ. 2007. Effect of pulsed magnetic field therapy on pain reported by human volunteers in a laboratory model of acute pain. *British Journal of Anaesthesia* 99(2): 266-269.

21. Feychting M. 2005. Non-cancer EMF effects related to children. *Bioelectromagnetics*: S69-S74.
22. Feychting M, Ahlborn A, Kheifets L. 2005. EMF and health. *Annual Review of Public Health* 26: 165-189.
23. Furubayashi T, Ushiyama A, Terao Y, Mizuno Y, Shirasawa K, Pongpaibool P, et al. 2009. Effects of Short-Term W-CDMA Mobile Phone Base Station Exposure on Women With or Without Mobile Phone Related Symptoms. *Bioelectromagnetics* 30(2): 100-113.
24. Garland FC, Shaw E, Gorham ED, Garland CF, White MR, Sinsheimer PJ. 1990. Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am J Epidemiol* 132:293–303.
25. Groves FD, Page WF, Gridley G, Lisimaque L, Stewart PA, Tarone RE, et al. 2002. Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years. *Am J Epidemiol* 155:810–818.
26. Guy, A. W.; Lin, J. C.; Kramar, P. O.; Emery, A. Effect of 2450-MHz radiation on the rabbit eye. *IEEE Transactions on Microwave Theory Technique* 23:492– 498; 1975.
27. Habash RWY, Elwood JM, Krewski D, Lotz WG, McNamee JP, Prato FS. 2009. RECENT ADVANCES IN RESEARCH ON RADIOFREQUENCY FIELDS AND HEALTH: 2004-2007. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews* 12(4): 250-288.
28. Hakansson N, Gustavsson P, Sastre A, Floderus B. 2003. Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and mortality from cardiovascular disease. *American Journal of Epidemiology* 158(6): 534-542.
29. Hamnerius Y. 2009. Measurements of human exposure from emerging wireless technologies. *Environmentalist* 29(2).
30. Hook, G., Zhang, P., Lagroye, I., Higashikubo, R., Moros, E. G., Straube, W. L., Pickard, W. F., Baty, J. D., and Roti Roti, J. L. 2004. Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to radiofrequency radiation. *Radiat. Res.* 161:193–200.
31. Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Kundi M. 2006. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occupational and Environmental Medicine* 63(5): 307-313.

32. Johansen C, Nielsen OR, Olsen JH, Schuz J. 2007. Risk for leukaemia and brain and breast cancer among Danish utility workers: a second follow-up. *Occupational and Environmental Medicine* 64: 782-784.
33. Karipidis K, Benke G, Sim M, Fritschi L, Yost M, Armstrong B, et al. 2007. Occupational exposure to power frequency magnetic fields and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Occupational and Environmental Medicine* 64(1): 25-29.
34. Karpowicz J, Gryz K. 2007. Practical aspects of occupational EMF exposure assessment. *Environmentalist* 27(4).
35. Kelsh MA, Bracken TD, Sahl JD, Shum M, Ebi KL. 2003. Occupational magnetic field exposures of garment workers: Results of personal and survey measurements. *Bioelectromagnetics* 24(5): 316-326.
36. Kheifets L, Afifi AA, Shimkhada R. 2006. Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields. *Environmental Health Perspectives* 114(10): 1532-1537.
37. Kheifets L, Shimkhada R. 2005. Childhood leukemia and EMF: Review of the epidemiologic evidence. *Bioelectromagnetics*: S51-S59.
38. Komatsubara, Y., Hirose, H., Sakurai, T., Koyama, S., Suzuki, Y., Taki, M., and Miyakoshi, J. 2005. Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells. *Mutat. Res.* 587:114–119.
39. Krewski D, Glickman BW, Habash RWY, Habbick B, Lotz WG, Mandeville R, et al. 2007. Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2001-2003. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews* 10(4): 287-318.
40. Labreche F, Goldberg MS, Valois MF, Nadon L, Richardson L, Lakhani R, et al. 2003. Occupational exposures to extremely low frequency magnetic fields and postmenopausal breast cancer. *American Journal of Industrial Medicine* 44(6): 643-652.
41. Lagorio S, Rossi S, Vecchia P, De Santis M, Bastianini L, Fusilli M, et al. 1997. Mortality of plastic-ware workers exposed to radiofrequencies. *Bioelectromagnetics* 18:418–421.
42. Lagroye, I., Anane, R., Wettring, B. A., Moros, E. G., Straube, W. L., La Regina, M., Niehoff, M., Pickard, W. F., Baty, J., and Roti Roti, J. L. 2004a. Measurement of DNA damage after acute exposure to pulsed-wave 2450 MHz microwaves in rat brain cells

- by two alkaline comet assay methods. *Int. J. Radiat. Biol.* 80:11–20.
43. Lagroye, I., Hook, G. J., Wettring, B. A., Baty, J. D., Moros, E. G., Straube, W. L., and Roti Roti, J. L. 2004b. Measurements of alkali-labile DNA damage and protein–DNA crosslinks after 2450 MHz microwave and low-dose gamma irradiation in vitro. *Radiat. Res.* 161:201–214.
 44. Leitgeb N. 2008. Assessment of multiple frequency ELF electric and magnetic field exposure. *Physics in Medicine and Biology* 53(2): 431-443.
 45. London SJ, Pogoda JM, Hwang KL, Langholz B, Monroe KR, Kolonel LN, et al. 2003. Residential magnetic field exposure and breast cancer risk: A nested case-control study from a multiethnic cohort in Los Angeles County, California. *American Journal of Epidemiology* 158(10): 969-980.
 46. ICNIRP (1998). Guidelines for limiting exposure in time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 74, 494-522.
 47. ICNIRP (1998). Response to questions and comments on ICNIRP Guidelines. *Health Phys.* 75, 438-439.
 48. IEEE Std C95.3-2002(R2008). Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure, 100 kHz-300 GHz
 49. Martinez-Burdalo M, Martin A, Pizarro V, Villar R. 2006. An efficient FDTD-time-domain equivalent currents method for safety assessment in human exposure to base-station antennas in presence of obstacles. *Microwave and Optical Technology Letters* 48(10): 1987-1991.
 50. Martinez-Burdalo M, Martin A, Sanchis A, Villar R. 2009. FDTD Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields From WiFi and Bluetooth Devices in Some Operating Situations. *Bioelectromagnetics* 30(2): 142-151.
 51. Martinez-Burdalo M, Nonidez L, Martin A, Villar R. 2002. On the calculation of safety distances for human exposure to electromagnetic fields from base-station antennas. *Microwave and Optical Technology Letters* 34(5): 364-367.
 52. Mezei G, Cher D, Kelsh M, Edinboro C, Chapman P, Kavet R. 2005. Occupational magnetic field exposure, cardiovascular disease mortality, and potential confounding by smoking. *Annals of Epidemiology* 15(8): 622-629.
 53. Michaelson, S. M.; Elson, E. C. Modulated fields and ‘window’ effects. In: Polk, C.;

- Postow, E., eds. Biological effects of electromagnetic fields. Boca Raton, FL: CRC Press; 1996: 435–533.
54. Milham S Jr. 1988. Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies. *Am J Epidemiol* 127: 50–54.
 55. Mjoen G, Saetre DO, Lie RT, Tynes T, Blaasaas KG, Hannevik M, et al. 2006. Paternal occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields and risk of adverse pregnancy outcome. *European Journal of Epidemiology* 21(7): 529-535.
 56. Muhm JM. 1992. Mortality investigation of workers in an electromagnetic pulse test program. *J Occup Med* 34:287–2
 57. Morgan RW, Kelsh MA, Zhao K, Exuzides KA, Heringer S, Negrete W. 2000. Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems. *Epidemiology* 11:118–127.
 58. Matthew Loy and Iboun Sylla. (德州儀器) ISM 頻帶與短距裝置天線基本原理：第 1 篇.
 59. Nikolova, T., Czyz, J., Rolletschek, A., Blyszczuk, P., Fuchs, J., Jovtchev, G., Schuderer, J., Kuster, N., and Wobus, A. M. 2005. Electromagnetic fields affect transcript levels of apoptosis-related genes in embryonic stem cell-derived neural progenitor cells. *FASEB J.* 19:1686–1688.
 60. Papageorgioua CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Kapareliotis E, Kontoangelos KA, Capsalis CN, et al. 2006. Acute mobile phone effects on pre-attentive operation. *Neuroscience Letters* 397(1-2): 99-103.
 61. Regel SJ, Negovetic S, Roosli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, et al. 2006. UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environmental Health Perspectives* 114(8): 1270-1275.
 62. Schmiedel S, Bruggemeyer H, Philipp J, Wendler J, Merzenich H, Schuz J. 2009. An Evaluation of Exposure Metrics in an Epidemiologic Study on Radio and Television Broadcast Transmitters and the Risk of Childhood Leukemia. *Bioelectromagnetics* 30(2): 81-91.
 63. Schreier N, Huss A, Roosli M. 2006. The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Sozial-Und Praventivmedizin* 51(4): 202-209.
 64. Seidler A, Geller P, Nienhaus A, Bernhardt T, Ruppe I, Eggert S, et al. 2007.

- Occupational exposure to low frequency magnetic fields and dementia: a case-control study. *Occupational and Environmental Medicine* 64(2): 108-114.
65. Szabo J, Janossy G, Thuroczy G. 2007. Survey of residential 50 Hz EMF exposure from transformer stations. *Bioelectromagnetics* 28(1): 48-52.
 66. Szmigielski S. 1996. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci Total Environ* 180:9–17.
 67. Szmigielski S, Sobiczewska E, Kubacki R. 2001. Carcinogenic potency of microwave radiation: overview of the problem and results of epidemiological studies on Polish military personnel. *Eur J Oncol* 6:193–199.
 68. Thomas S, Kuhnlein A, Heinrich S, Praml G, Nowak D, von Kries R, et al. 2008. Personal exposure to mobile phone frequencies and well-being in adults: A cross-sectional study based on dosimetry. *Bioelectromagnetics* 29(6): 463-470.
 69. Toivonen T, Toivo T, Puranen L, Jokela K. 2009. Specific Absorption Rate and Electric Field Measurements in the Near Field of Six Mobile Phone Base Station Antennas. *Bioelectromagnetics* 30(4): 307-312.
 70. Tynes T, Hannevik M, Andersen A, Vistnes AI, Haldorsen T. 1996. Incidence of breast cancer in Norwegian female radio and telegraph operators. *Cancer Causes Control* 7:197–204.
 71. United Nations Environment Programme/World Health Organization/International Radiation Protection Association. *Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz)*. Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 137; 1993.
 72. Van Deventer TE, Saunders R, Repacholi MH. 2005. WHO health risk assessment process for static fields. *Progress in Biophysics & Molecular Biology* 87(2-3): 355-363.
 73. Vangelova K, Deyanov C, Israel M. 2006. Cardiovascular risk in operators under radiofrequency electromagnetic radiation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 209(2): 133-138.
 74. WHO EMF Project (<http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap.htm>)
 75. Wilen J, Hornsten R, Sandstrom M, Bjerle P, Wiklund U, Stenstrom O, et al. 2004. Electromagnetic field exposure and health among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics* 25(1): 5-15.

76. Wilen J, Wiklund U, Hornsten R, Sandstrom M. 2007. Changes in heart rate variability among RF plastic sealer operators. *Bioelectromagnetics* 28(1): 76-79.
77. Willett EV, McKinney PA, Fear NT, Cartwright RA, Roman E. 2003. Occupational exposure to electromagnetic fields and acute leukaemia: analysis of a case-control study. *Occupational and Environmental Medicine* 60(8): 577-583.
78. 勞工安全衛生研究所人體計測資料庫
(<http://www.iosh.gov.tw/Publish.aspx?cnid=26&P=812>)
79. 楊坤謀、洪穎怡，900MHz~1800MHz 電磁場的測量與探討，93 年中原大學碩士論文。
80. 董光天，「電磁干擾防制與量測 1000Q & A」，全華科技圖書股份有限公司，民國 91 年。
81. 江榮成，「電力品質實務（二）」，全華科技圖書股份有限公司，民國 91 年 5 月。
82. 卓聖鵬，「MEC 的基礎和實踐」，全華科技圖書股份有限公司，民國 87 年 7 月。
83. 陳錦賢、張正泓，行動電話天線源發射與接收時之極低頻磁場鐵磁遮蔽量測與分析，93 年逢甲大學碩士論文。
84. 環境中電磁波檢測方法-調頻調幅廣播電臺、無線電視臺、行動電話基地臺，民國 92 年，環保署。
85. 環境中(架空高壓線路、變電所、落地型變壓器)電場與磁場檢測方法，民國 92 年，環保署。
86. GBZ/T 189.1，工作場所物理因素測量-超高頻輻射，2007 年，中華人民共和國衛生部。
87. GBZ/T 189.2，工作場所物理因素測量-高頻電磁場，2007 年，中華人民共和國衛生部。
88. GBZ/T189.3，工作場所物理因素測量-工頻電場，2007 年，中華人民共和國衛生部。
89. GBZ/T 189.5，工作場所物理因素測量-微波輻射，2007 年，中華人民共和國衛生部。

90. 行政院環保署。公告「非游離輻射環境建議值」。行政院環境保護署公報/卷期 14;2:158 (90.02)/頁 78-81。
91. 行政院勞委會。中華民國職場危害因子(職場環境電磁場)容許標準建議值文件。

第九章委員意見回覆

期中審查審查意見與建議事項：

綜合審查意見	回覆
1. 文獻收集數量頗多，請於期末報告進一步完整探討，又，文獻搜集篇數之來源、關鍵字索引請交待分明。	本研究團隊已將搜集之文獻表格化，整理於期末報告本文之表 3-3 至表 3-6 中其詳細文獻出處整理於參考文獻之章節，關鍵字包括 FDTD、場強計、及個人電磁波暴露偵測計。
2. 請清楚呈現本計畫創新處，哪些研究方法(理論)屬其他國家之研究成果，哪些是本計畫研發的論點。本篇報告完成後之結論，對於過去已發表之文獻有何進一步的知識累積。	本研究團隊以區域採樣搭配個人時間活動模式問卷為基礎之採樣策略，在國際電磁波測量標準或國際研究期刊中亦可發現類似概念，Neubauer et al (2007)建議未來進行個人電磁波暴露評估量測之建議中，便有提出此時間活動模式之概念，詳如 6-1 節說明。
3. 請分析其他國家文獻中是否有不同頻率暴露量加權之研究設計。	<p>針對不同頻率或多重發射源之暴露加權，現階段僅有針對電磁波熱效應危害進行加權設計，如：ICNIRP(1998)、我國 CNS 14959-C6428 標準、BS EN 50499(2008)、DD ENV 50166-2(1995)、ECC/REC/(02)04、及 1999/519/EC 之非游離輻射暴露之熱效應風險危害評估模式。</p> <p>而電磁波之非熱效應針對不同頻率或多重發射源暴露加權，現階段找不到其他流行病學研究文獻實例。</p>
4. 各項電磁波量測規範與標準之比較已清楚列出，附件四已擬成量測方	其品質管制(QA/QC)已整理於附錄五中。

<p>法草案，品質管制(QA/QC)請予納入。</p>	
<p>5. 希望對量測方法能進一步建立標準作業程序，供健康局做為業務參考，品質管制(QA/QC)請一併納入，如果可能，亦可以表格化呈現，或做一個流程圖示(flow chart)，有一清楚明白之結果呈現。</p>	<p>量測方法之標準作業程序，已整理於附錄五中。</p>
<p>6. 請註明本計畫樣本數、時間點等採樣策略。</p>	<p>本計畫團隊分別測量於台灣之北部、中部、及南部之 5 歲以下兒童；6~15 歲青少年；一般辦公室環境(有射頻暴露可能之職場)；基地台作業人員；使用高頻加熱設備之製造業等五大族群，共計有 15 個樣本，主要於 8 月至 11 月內測量完成。</p>
<p>7. 請在期末報告中對國內測量儀器校正方法之標準程序做建議。</p>	<p>建議參考附錄二之射頻頻段電磁場(波)測量方法的標準 (IEEE Std C95.3-2002(R2008))，但要建立一校正實驗室需耗費大量的金錢以及需具有專業背景之人才，因此於國內建議送往中華民國實驗室認證體系(TAF)認可之實驗室進行校正。</p>
<p>8. 白天或晚上之差異對測量有無差別；空曠處與屋內之電磁波暴露有何差距。</p>	<p>本計畫團隊於廣播發射電台外之空曠處進行測量，其詳細結果整理於附錄六，由於電台發射功率並非一直固定，而是根據其需求進行調整，因此早晚測量是有其差異，但測量值僅各有一個，並無法進行統計檢定。因此本研究團隊建議未來進行電磁波量測，應考慮早晚差異之問題，請參考 6-6-1 節說明。</p>

<p>9. 完成實際測量後，請將各測量變項的變異量給一個範圍值，以利估計時之各項考量。</p>	<p>已重新整理，請參考表 5-8 至表 5-10。</p>
<p>10. 報告中多提及全向性電磁場強度計及頻譜分析儀等，請多補充說明個人攜帶式量測工具，P5 的個人電磁波暴露計是否已納入研究，如果可以，建議納入研究範圍。</p>	<p>本研究團隊搜尋現階段市面上有販售之個人電磁波暴露計，進行評估比較，現今個人電磁波暴露計主要做為個人警示用途，其顯示單位僅能顯示百分比，並不能提供電場場強(V/m)與磁場場強(A/m)等基本物理測量值，更不能提供頻譜分析結果，因此現階段本研究團隊並不將其納入研究範圍。</p>
<p>11. 量測時應考慮電磁場(波)發生源是否已確定，P6 倒數 15 行電磁波來源複雜，除了行動電話基地台外，變電所、配電盤、電腦、冰箱、及電視等，是否可予明確界定。</p>	<p>可用頻譜分析儀進行確定頻率來源，然變電所、配電盤、電腦、冰箱、及電視等，為低頻電磁波，不在本計劃之射頻電磁波探討範圍內。</p>
<p>12. 依 Neubauer 等人(2007)發表文獻對流行病學暴露評估之建議，請就本國未來進行較大規模研究之方向提出建議。</p>	<p>Neubauer 等人(2007)發表文獻建議應將所有可用之科技納入應用，如：可選擇頻率之暴露計、單點及連續偵測系統等。並且其新的暴露評估方法，都應事先於前驅試驗進行評估或進行效度測試後，方可應用至流行病學研究。現階段個人電磁波暴露計並不符合實際評估個人電磁波暴露量之要求，因此建議使用本研究團隊設計之測量方法進行量測。</p>
<p>13. P7 實測點中，似乎著重中小學，職場是否考慮納入，例如高周波設施場所似未納入</p>	<p>本計劃已納入高周波設施場，並完成實場測量，其測量結果於附錄六。</p>

<p>14. P10 中經費並未見有檢測費用，是委託檢測抑或自行檢測。</p>	<p>本計畫之並未編列檢測費用，其實場測量主要係由本計畫之研究助理楊鎮壕進行實場量測。</p>
<p>15. 本計畫的困難與未來之擴充性是甚麼。</p>	<p>本計畫之困難點主要在於人才訓練，於進行實場測量時，需事先針對測量人員進行教育訓練，讓測量人員能對電磁波能有基本觀念與測量時之安全性評估。未來之擴充性，現階段之個人電磁波暴露計並不符合實際評估個人電磁波暴露量之要求，在現階段將其可用之科技納入應用情形下，以全向性電磁波強度計與頻譜分析儀，搭配區域採樣策略與個人活動模式問卷進行估計個人之電磁波暴露量。若未來個人電磁波暴露計之設計，能提供頻譜分析、電場場強(V/m)、及磁場場強(A/m)等電磁波基本物理測量值，建議使用其個人電磁波暴露計佩帶至受測者身上，可更為準確評估個人暴露量。</p>

期末綜合審查意見	回覆
<p>1. 表 5-4、5-5、5-6 呈現測量高度為頭、胸、腹部，但測量圖形呈現為頭、腹、腳部，請更正。</p>	<p>本研究團隊所測量之五大族群，其測量高度都是選用人體之頭、腹、及腳部之高度，來代表人體的全身性暴露分佈情形，故實際測量圖形呈現為頭、腹、腳部。然第三次專家學者會議建議參考 ECCREC((20)04)之測量高度，將其測量高度位置改為人體之頭、胸、及腹部位置，主要原因係考慮對人傷害之部位。因此，對於往後測量人體電磁波暴露量之高度位置，若評估對人體傷害角度，建議以人體之頭、胸、及腹部位置為主。若有全身性評估研究則可思考不同之量測高度。</p>
<p>2. 表 5-7 至 5-10 若能增加人數之測量值，並列出測量值之分散度(期中審查意見所提各測量變項的變異量)，便於做統計檢定。</p>	<p>遵照委員意見辦理，結果已重新整理，增加至 3 人及其變異量，詳如表 5-8 至表 5-10 所示。</p>
<p>3. 表 6-1 至 6-5 中之採樣間距若有更多間距測量，請一併列出，以便於能看出其產生變化的切點。</p>	<p>因為本研究團隊於實場測量時，測量點間距尚未有超過 9 公尺以外之實測值。因此當場地過大時，目前尚無法提出較明確之較寬測量點，建議在未來之研究時，可找尋較大之場地進行實地測量，來瞭解應選取間距多大之測量點規範。詳細內文請參考 6-3 節，謝謝。</p>
<p>4. 流行病學研究最希望有個人特定頻率之絕對暴露量，針對此點請做較詳細的建議。</p>	<p>可透過頻譜分析儀搭配不同頻段天線測量個人暴露到之不同電磁波頻率。而針對個人特定頻率之絕對安全暴露量，ICNIRP(1998)針對電磁波熱危害效應提出安</p>

	全暴露量，詳細內文請參考 6-5 節，謝謝。
5. 請加總結與建議之章節。	遵照委員意見辦理，已增加建議與結論章節。
6. 建議文中出現之參考資料出處，可完整列入”參考文獻”表列中(如P15之Loy and Sylla似未列入參考文獻)	遵照委員意見辦理，已加入至參考文獻。
7. 建議修訂附錄四之部分內容如下： 四.1.(1)...送回原廠或中華民國實驗室認證體系(TAF)認可之實驗室進行校正。 四.2.(2)i宜訂出變化差異大小之判定建議準則。 四.4.”皆屬於遠場量測”建議改為”大都屬於...” 四.6.(2).2公式建議修訂為 天線因子(dB/m)=20log(fMHz)- 天線增益(dBi)-29.78(dB)	已將其附錄四修改為附錄五，並已依照委員意見修改，詳如附錄五所示。
8. P28 圖 3-2 顯示電磁波之功率強度應是隨距離之平方而遞減(甚至以 3 次方遞減)，唯 P19 第 17 行「...距離與電磁波的強度並無明顯相關」，不能顛覆科學理論，查看原文附件尚無此絕對論述，請再予瞭解。	遵照委員意見進行修正，已修正為 Neubauer(2003)學者以功率密度計實際測量實際環境中發射源距離與電磁波強度功率的關係(圖 3-2)。研究結果發現同一距離情況下，其測量到之功率值相差有 10^4 倍之多，顯示實際評估若以距離當作人之電磁波暴露尺度並不恰當。
9. 研究報告只有討論沒有結論事項，請就研究內容予以補列。	遵照委員意見辦理，已補充第七章結論。
10. 附錄五量測方法草案，是否可在儀器選用上加註”選用準則”，以供甲方及各界研究參採之用，或可用”標	遵照委員意見辦理，已將電磁波測量儀器選用建議補充至 6-6-2 及 6-7 節所示。

<p>準作業程序”(SOP)來補強。</p>	
<p>11. P35 提及”ICNIRP 在考慮人類暴露到多種電磁波頻段下...，建立出一套評估人類暴露到電磁波導致之熱效應危害方式，當計算值大於 1 時，將對人類健康造成危害。”請進一步解釋 1 的單位或計算方式。</p>	<p>遵照委員意見辦理，已將其計算方法、步驟及其解釋整理於 6-5 節所示。</p>
<p>12. 請解釋以功率密度 mW/cm^2 及場強 V/m 做為計量方式之換算，報告中以”熱效應危害結果”替代”功率密度強度”之意義，是否有其他國家的研究報告文獻依據。(比如說:一般不會把噪音”分貝”稱為”聽力危害結果”)</p>	<p>(1)功率密度($P, mw/cm^2$)與電場場強(V/m)可依照下式進行換算</p> $P(mw/cm^2) = [E(V/m)]^2 / 3770$ <p>(2)電磁場之基本物理參數為電場場強 (V/m)、磁場場強(A/m)、及功率密度值 (W/m^2)。而當電磁場與人體交互作用時，則會導致人體產生感應電流與熱效應。因此探討電磁波對人體的影響時，便以電流密度(mA/m^2)及 SAR(W/kg^{-1})來探討對人體之熱效應影響。ICNIRP(1998)針對電磁波造成人體熱效應危害，以電流密度(mA/m^2)及 SAR(W/kg^{-1})為基礎，在超過 100 kHz 的頻率下，以 SAR 及功率密度值訂出一系列暴露限值與熱危害效應計算公式，如下式。</p> $\sum_{i=100kHz}^{10GHz} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10GHz}^{300GHz} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$ <p>SAR_i 是在頻率 i 下的照射 SAR SAR_L 為表 6-7 中規定的 SAR 限值 S_L 為表 6-8 中規定的功率密度 S_i 為在頻率 i 下的功率密度 然而實際應用層面，量測 SAR(W/kg^{-1}) 需在實驗室中，控制好所有的變因後，方可量測，於實際應用層面並不可行。因</p>

	<p>此，ICNIRP(1998) 對於基本限值的實際應用，以上述 SAR 及功率密度之基礎限值與熱效應方程式，以場強導出限值相關標準，如下式所示。</p> $\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$ $\sum_{j=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$ <p>E_i 為在頻率 i 下的電場強度 $E_{L,i}$ 為表 5-7 中規定的電場導出限值 H_j 為在頻率 j 下的磁場強度 $H_{L,j}$ 為表 5-7 中規定的磁場導出限值</p> <p>因為射頻電磁場測量大多屬於遠場測量，電場與磁場存在著 377Ω 的相位阻抗，可互相轉換。因此於實際測量時，僅需測量電場場強即可。但若得知附近有發射源的情況下，在此情形下進行量測時，可能在其近場區，此時建議得電場與磁場要各別量測，如：職場暴露。詳細內文請參考 6-5 節，謝謝。</p>
<p>13. 本計畫測量結果，以”時量平均暴露值 V/m”代表受測個案暴露強度，請列舉是否有類似之流行病學研究前例，以場強 V/m 或是功率密度 mW/cm^2，計量個案暴露強度。</p>	<p>時間活動模式問卷部分，Neubauer et al (2007)建議未來進行個人電磁波暴露評估量測之建議中，便有提出此時間活動模式之概念。Wilen et al (2004)與 Vangelova et al (2006)等學者，評估勞工暴露電磁波情形，亦採用時量平均暴露概念(Time-weighted average, TWA)，將其電磁波場強測量結果與勞工作業時間進行 TWA 的平均計算。</p> <p>綜合上述可知，本研究團隊以區域採樣搭</p>

	配個人時間活動模式問卷為基礎之採樣策略，在國際電磁波測量標準或國際研究期刊中亦可發現類似概念。詳細內文請參考6-1節，謝謝。
14. 目前 P27 表 3-4 列出之文獻屬較早期文獻，P20-21 文字敘述部份似乎為近年文獻，請亦以列表方式呈現，並將其暴露評估方式及計量單位列於表中比較。	遵照委員意見辦理，已將其文獻整理於表 3-5 至表 3-6，謝謝。
15. 建議整份報告內容均編頁碼(含附錄)，目前附錄編碼零亂(附錄四重複)，請將附錄名稱編入目錄，方便搜尋閱讀。P19的表2-4是否應為表 3-4	遵照委員意見辦理，已修正頁碼，謝謝。
16. 請就本國未來進行較大規模研究之方向提出建議。	未來之流行病學研究團隊應該有專業之電磁場暴露量測人員，並且該人員須先經過衛生署或相關單位之評估其專業能力或要求其接受相關之教育訓練，瞭解電磁場之基本知識與儀器使用方法與原則，參考本研究團隊建議之測量方法進行測量。

附錄一文獻翻譯

Neubauer 等人(2007)發表於 *Bioelectromagnetics* (28:224-230, 2007)之 Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations 之文獻翻譯如下所示：

流行病學研究於行動電話基地台對健康效應影響

之未來可行性探討

摘要

行動電話基地台廣泛的建立，促使學者對暴露無線電頻率電磁波造成可能健康效應，進行流行病學調查與研究。無線電頻率工程學、劑量學、及流行病學等領域之科學家，已對此類流行病學研究的方法學進行探討，並瞭解先前研究之優缺點。運用不同種類的流行病學研究方法，探討電磁波暴露危害，在其研究暴露評估方法中的劑量與其他重要觀點，已被仔細評估。原則上，我們認為基地台電磁波暴露危害之流行病學研究是可行的，但需考量環境中其他電磁波發生源的貢獻。且其暴露評估方法應先進行前驅試驗，確認其方法效度。探討短期至中期之電磁波暴露對生理或健康效應影響，我們推薦目前最好的方法，係運用世代研究方法 (cohort study) 進行研究探討。長期暴露評估部分，需先確認的潛在高暴露族群；短期暴露評估以研究導致人體立即性健康效應較佳。

簡介

自 1990 年行動電話使用 GSM/DCS 1800 數位式行動電話系統後，數位科技通訊系統便在全世界廣泛應用。並由於基地台的增設，使得環境中無線電頻率，射頻(radio frequency, RF)暴露量增加。最新發展的通訊業科技技術，如：通用移動通訊系統(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) 的建立，也將造成環境中無線電頻率電磁波暴露量增加。除了考量通訊科技所伴隨而來的無線電頻率電磁波暴露之外，也應考量其他新穎科技伴隨來的無線電頻

率電磁波暴露量，如：無線區域網路 WLAN、全球互通微波存取 WiMax、或藍芽 Bluetooth。現今全球約有 20 多億人口使用行動電話，在歐洲約有 4 億 5 千萬人口使用行動電話。伴隨著行動電話使用人口的增加，使得需架設大量的行動電話基地台。然行動電話基地台通常架設於辦公大樓或公寓住所附近，因此，近年來社會大眾對暴露於無線電頻率電磁波引起健康效應問題感到關切。故許多研究學者針對行動電話基地台無線電頻率電磁波對潛在健康效應影響，進行流行病學調查與研究。然而此類流行病學研究在方法學上一直有所爭議，如：缺乏有效度及可靠的暴露評估方法，故學界對其研究結果一直有所質疑。因此本篇文獻目的，係以現有針對環境中無線射頻輻射對人健康或安適感 (well-being) 影響的研究文獻及暴露評估方法，探討未來流行病學研究之可行性。

基地台與其他無線電頻率電磁波發生源暴露比較

在基地台於流行病學上的可能性的研究上，有一個重要癥結是：是否基地台輻射的放射量相較於其他無線電頻率，射頻(RF)放射源幾乎是可忽略的。短期暴露到其他電磁波發生源，如微波頻率範圍內之無線電頻率暴露量，其通常顯著高於基地台。過去研究指出手機電磁波能量吸收比之空間峰值 (spatial peak specific absorption rate, SAR)，在大腦部位可達到 1 W/kg，其劑量相當於 10000 倍人處於電場強度 1 V/m 之暴露量。使用行動電話通話後的前 4 秒，其大腦電磁波暴露量相當於人暴露 24 小時於頻率為 2150 MHz 及電場強度為 1 V/m 之環境 (Regel et al., 2006)。針對坐姿體重為 80 公斤之男性，行動電話 (平均吸收量為 0.03 W/kg) 與基地台之全身平均吸收比值約為 50 (Regel et al., 2006)。意味著使用行動電話 30 分鐘之暴露量等同於人暴露 1 天在電場強度為 1-2 V/m 的基地台環境 (Regel et al., 2006)。先前研究針對手機通訊運用在電力控制及交通指揮

之溝通用途進行探討，其行動電話與基地台暴露比較也有相似的結果 (Dale and Wiart, 2004)。其研究結果顯示，使用行動電話 20 分鐘之全身平均吸收量，相當於人暴露在電場強度為 2 V/m 的基地台環境 24 小時。然而使用行動電話時，大腦局部暴露量值卻遠高於基地台。

因此，假如研究學者對於總暴露時間高於極低的 SAR 閾值感到興趣，那麼基地台電磁波暴露議題就可能相當重要，如：全身 SAR 值為 $10\mu\text{W}/\text{kg}$ ，約相等於超過 0.5 V/m 電場強度之水平入射波暴露。根據 Adair 等人 (2005) 研究顯示在極低閾值下，溫度造成的影響是可忽略的，且如果暴露次數頻繁或暴露到特定波長的情況下，24 小時全身暴露就顯得相當重要。一般來說，使用手機、無線麥克風、或有工業用、醫療用儀器等電磁波發生源，就會考量相關的高劑量及局部暴露(特別是腦部暴露)。

因此，只考量基地台的電磁波暴露進行研究是不具研究意義。而是應該考量所有的電磁波發生源進行研究才具有意義。然在某些情況下，研究電磁波的潛在健康效應，其基地台的電磁波磁場強度是可以忽略的，如：研究使用手機導致大腦腫瘤。

在下段文章，我們將討論哪種情況下，需考量基地台暴露及介紹現今基地台暴露量測之挑戰。

基地台暴露量測的重要觀點

在流行病學研究中，其暴露評估之目的在於找出具有代表性的暴露指標尺度。因此，首要的目的並不是要獲得過去實際暴露劑量值，而是先確定研究族群是否有錯誤分組 (misclassification) 的情形發生，如：實際暴露電磁波的族群被歸納至非暴露組族群 ([Rothman and Greenland, 1998])。

由於電磁波的強度隨著距離的增加而減少。因此，基地台與居住地的距

離，一直是被先前的研究應用為暴露指標 (Santini et al., 2003)。但除了距離外，實際的電磁波暴露強度亦受到許多因子影響。如：基地台天線的輸出功率、電磁波傳播方向、及因牆、樹與建築物導致電磁波衰減。Neubauer (2003) 在奧地利地區選擇 64 個不同基地台的鄰近位置，做為量測點，進行距離與電磁波功率相關性調查。其距離與電磁波功率相關性結果整理如圖一所示。由圖可知，在相同的距離下，其功率最多可相差 10000 倍以上。因此可知在做暴露分析時，若只單考量距離並不恰當 (Mann et al., 2000; Roosli et al., 2002; Bornkessel and Schubert, 2005)。

此外，亦有許多研究選擇特定頻率或全波段進行單點電磁波量測當作暴露指標 (Hutter et al., 2006; Navarro et al., 2003)。但無論是特定頻率或全波段進行單點電磁波量測做為暴露指標，對其個人長期暴露是否具有代表性仍然未知。主要問題在於現今偵測儀器需固定於同一位置進行電磁波量測，以及當研究族群過於龐大時，運用儀器進行個人連續性電磁波量測，其所發費的人力與物力，將使得研究變得難以執行。

因此，針對電磁波對潛在健康效應影響之流行病學研究，仍需發展具有效度之電磁波暴露評估方法。

結果評估

哪些研究文獻具有參考價值

先前的電磁波健康效應影響研究，除了研究本身能提供的成果有限，且伴隨著許多方法學上的缺失 (Kheifets and Shimkhada, 2005; Kheifets et al., 2005)。在現今有限的研究資料下以及其研究本身選取的結果參數，大多來自於軼聞趣事。因此，先前的研究似乎不足以作為研究的前趨者，亦不能作為排除實驗參數的參考。

慢性疾病於電磁波健康效應影響之流行病學研究之考量觀點

慢性疾病，如：癌症與神經退化性疾病，可藉由醫生診斷獲得明確的證據。由於慢性疾病的發展，需經歷長時間的潛伏期，故為了要確定暴露與疾病的因果關係，通常需長期監測暴露情形。然而目前長期監測基地台電磁波暴露是不可行的 (Schuz and Mann, 2000)，因此研究電磁波暴露與慢性疾病的關係，應優先考量發射最高劑量之電磁波發生源，如鄰近地區有高功率之發射台或職場暴露，以及能進行具可靠性的長期暴露監測。故在上述存在有高功率之發射台或職場暴露等，具有發射高劑量之電磁波發生源，其基地台的影響是可忽略的。任何關於稀有疾病的流行病學研究，都需具有足夠的統計檢定力 (statistical power)，用以降低誤判暴露與疾病之關係。並且選用的暴露指標需先經過前趨試驗，確定其有效度。

電磁波影響生活品質與個人安適感 (Well-being) 的流行病學研究

目前社會大眾對於電磁波暴露造成生活品質降低與可能導致不具特異性的健康危害症狀的擔憂，更甚於慢性疾病 (Schreier et al., 2006)。目前世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 已將個人安適感納入健康的定義範圍。然而個人安適感純屬於主觀的感受度，因此進行個人安適感的研究易受多種因素干擾難以判斷。藉由透過經確認效度之問卷，進行生活品質與個人安適感調查，可得知其不具特異性的健康危害症狀程度，如：頭痛、睡眠干擾等。在進行問卷調查前，應考量其各種不同文化背景水平造成的影響。例如：生活在落後地區的人們，其個人安適感有時會高於生活水準較高之人們。因此，藉由縱貫式 (longitudinal study) 或交叉式 (crossover study) 研究方法，分析其受試者內效應 (within-subject) 影響，可有效評估電磁波對生活品質或個人安適感的影響。

如果研究受試者擔憂其本身暴露情況，那麼藉由問卷調查的結果可能不可

信。因此進行研究調查時，也應考量反安慰劑效應 (Nocebo effect)。研究電磁波危害的新手，通常以與基地台間的距離，作為評估暴露電磁波程度的指標。但由於電磁波輻射劑量與基地台距離相關性低，因此這類研究恰可對心理因素的影響與實際生理上的影響兩者作釐清。將其研究族群細分為實際暴露組、主觀認為有暴露之非暴露組、主觀認為無暴露之暴露組、及非暴露組，可區別出心理與生理之影響。其後，將來研究可藉由數位科技產品，如藉活動記錄器 (actigraphs) 記錄個人生活模式，較準確推估個人電磁波暴露情況。

目前長期監測基地台電磁波暴露並無可靠方法。再者因長期電磁波暴露研究，個人安適感的變異亦是難以偵測 (Michel, 2004)，因此現今長期暴露基地台電磁波對個人安適感影響之研究，仍充滿著困難。

於人類實驗研究室，研究電磁波暴露對個人安適度之立即影響或數分鐘之短期影響較為理想。因其試驗可針對受試者進行隨機 (randomization) 盲樣 (blinding) 分組，可較為精確控制偏差 (bias) 與干擾因子 (confounding) 的影響。並且進行電磁波暴露試驗時，可全程控制與監測其測試條件。

研究指出具有電磁波超敏感症 (electromagnetic hypersensitive) 之病患，通常宣稱暴露到行動電話基地台電磁波後，約數週或數月後會出現不適症狀 (Roosli et al., 2004)。由於症狀的潛伏期過長，故在實驗室中難以調查其電磁波對人體造成的影響。因此在此情況下，為了瞭解其因果相關性，需以流行病學進行研究。要瞭解中期 (數週到數月) 電磁波暴露對健康可能影響，可藉由田野試驗 (field trials)、橫斷式 (cross-sectional)、及前瞻性世代研究 (prospective cohort study) 等方法可供選取進行研究。運用田野試驗、橫斷式研究方法進行研究時，需從母族群中隨機選取受試者，並須評估其拒絕參與研究之受試者，否則將會導致嚴重的選擇偏差 (selection bias)。其各種流行病學研究方法之優缺點整理如表一所示。

總之，流行病學研究較適合應用於評估中期健康效應影響。目前並無適當方法評估中期電磁波暴露劑量情形。因此，仍需建立一有效評估暴露評估之方

法。以下我們將討論建立電磁波暴露評估方法時，應該考慮哪些觀點。

暴露評估的規範

敏感性 (sensitivity)與特異性 (specificity)

目前真實暴露到高劑量電磁波發生源，僅有一小部分的族群。因此暴露評估分析工具之特異性，佔有著重要的角色，將其真實暴露族群歸類至暴露組。如果暴露評估分析工具之敏感性低，及有部份真實暴露組被歸類至非暴露組。在此情況下，大部份真實非暴露組組群，仍被歸類至非暴露組 (圖 2)。因此，進行風險評估時，並不會造成太大的偏差 (bias)。

暴露尺度 (Exposure metrics)

至今，低劑量基地台電磁波暴露對生物之生理機制影響仍然未知。因此，可就下述提供參考之暴露評估觀念進行評估。(1)暴露與反應關係存在一閾值 (threshold)，亦即暴露在一定的低劑量以下之並不會造成效應或傷害。(2)暴露與反應關係存在一線性劑量反應關係，無閾值存在。隨著暴露量的增加，效應或傷害也伴隨著增加。(3)暴露與反應之關係，可能會隨著生物適應而有所變異。

不同訊號暴露來源特徵之考量

進行電磁波危害暴露評估時，我們該如何去處理不同電磁波發生源之訊號頻率呢？例如：無線電頻率電磁波發生源及微波頻率發生源等不同電磁波發生源。目前針對其物理特性，有兩種不同的觀點。(1)某些研究者認為電磁波僅有其強度才是最為重要，其他皆可忽略。(2)另一派研究者認為其電磁波之特定頻

率 (specific frequencies)、強度 (intensities)、及調變 (modulation)皆會影響健康。假設其微波頻率暴露，對健康不具特異性效應(non-specific effect)，那麼在進行電磁波暴露危害之流行病學研究時，便須考量所有微波頻率的暴露。如果沒有考量所有的電磁波發生源的話，可能會有下述之後果發生：

1. 如果考量之電磁波暴露發生源，其暴露量遠大於其他忽略之電磁波發生源，那麼暴露組之錯誤分組 (exposure misclassification)的影響層面較小。
2. 如果其他忽略之電磁波發生源，其暴露量遠大於研究中考量之電磁波暴露發生源，可能會導致嚴重的研究誤判的情形。在此情況下，可能會導致兩種後果。

(1) 其他忽略之電磁波發生源與研究中考量之電磁波暴露發生源無相關，將導致無差別之暴露組錯誤分組 (non-differential misclassification)，造成研究的統計檢定力減弱以及低估暴露造成的危害。在此情形下的研究，將有很高的機率可能找不出暴露與危害之相關性。

(2) 其他忽略之電磁波發生源與研究中考量之電磁波暴露發生源有相關，且影響其研究結果參數，其研究在任何層面將會受偏差 (bias)影響。在此情況下，可把其他之電磁波發生源當做一干擾因子 (confounder)。瑞典的農村地區，其架設行動電話基地台數量稀少，其行動電話之輸出功率遠大於高人口密度都市區之行動電話之輸出功率 (Lonn et al., 2004)。其研究發現電磁波之暴露量，與使用市話電話聽筒與基地台之暴露呈現負相關。因此，其研究建議在基地台電磁波暴露危害研究中，需獲得其個人使用手機情形的資訊，並當成研究中之共同因子 (co-factor)。

相對的，假設微波頻率暴露對健康具特異性效應，在即使其他電磁波發生源暴露量遠高於微波頻率暴露情況下，仍只對特定微波發生源探討，是相當合理的。然而，微波頻率暴露對健康是具特異性的效應影響，在科學上的證據仍是相當薄弱的。因此，進行暴露評估時，仍需考量到所有的暴露源。若要針對單一電磁波發生源之暴露與反應關係，進行特定的分析 (specific analysis)時，

則需考量到其他暴露源的影響，小心地詮釋暴露與危害之關係。

暴露的時間點亦是進行暴露危害評估時的重要參數，並且可有不同的尺度，如：一天或一生。目前許多研究都指出孩童時期的電磁波暴露，遠重要於其他後面時期的暴露 (Kheifets and Shimkhada, 2005; Kheifets et al., 2005)。孩童有較高的易感受性、有較長的時間發展疾病、及長期累積暴露皆是可能因子。由於人們隨著生理時鐘的作用，日出而作，日入而息，因此在特定時間暴露電磁波便相當重要。有人推測在晚間暴露可能會增加其易感受性，因此晚間暴露可能最為重要。探討基地台暴露時，因夜晚大多在睡覺並未使用手機，因此在夜晚的基地台電磁波暴露通常較手機電磁波暴露量大。

流行病學暴露評估的未來方向

至今，仍有許多問題迴繞在無線電頻率電磁場暴露評估。在有限的知識下，對於暴露評估方法，目前並無一套建議標準。為了要建立一套合適的暴露評估方法，母群體的各種不同子群體的暴露特徵資料，如：年齡、居住地、及職業等，以及各種不同電磁波發生源對總電磁波暴露量貢獻度的資料，都是目前相當迫切需要的。透過個人電磁波暴露計 (Personal exposimeters) 調查母群體的暴露情形是目前做好的方法之一。由於個人電磁波暴露計，本身易操作且便於整天攜帶，因此適合量測長期個人暴露情形，如：24 小時或者更久。有些少數系統能夠調整頻率，因此能評估各種不同電磁波發生源之暴露貢獻量，例如：使用行動電話、基地台、廣播、及電視。然而對於大型流行病學研究，此種個人電磁波暴露計的昂貴花費將會是一研究限制。因此，結合簡易式個人電磁波暴露計與研究參與者提供的個人活動日誌，能夠有機會去辨別不同的個人暴露模式，如：個人行為特徵與生活習慣的影響。這樣的資訊，對於發展合適的暴露指標是相當具有價值。此外，個人電磁波暴露計量測，可與計算電磁場

頻率與能量分佈結合應用。此模式理想上以空間與地形分佈為運算基礎，並加入數種電磁場參數進行計算，如：基地台天線數目、輸入功率、旁波瓣 (side lobes)、下蓋式天線(Down Tilt Antenna)、及天線高度。運用此模式可有助於調查無線電頻率發生源的鄰近地區電磁場分佈，以及調查電磁場中電磁波的人體吸收深度。

總之，發展有效運用於電磁波暴露危害流行病學研究之有效暴露評估工具，所有可用之科技都應考量納入應用，如：可選擇頻率之暴露計、單點及連續偵測系統等。

結論

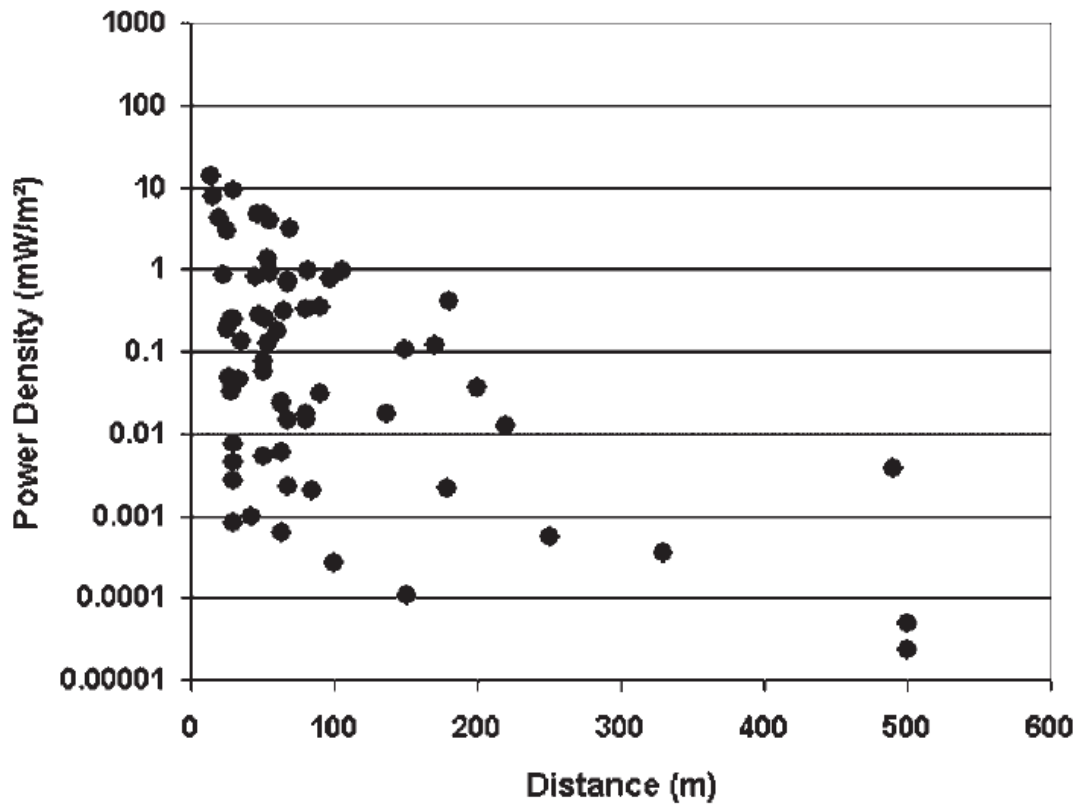
目前全球各個國家人口幾乎都處於電磁波暴露環境下。因此社會大眾無不擔憂暴露到電磁波發生源，如：基地台，可能會導致的健康上的不良效應。目前行動電話與廣播基地台之流行病學研究，其研究結果並不一致。由於社會與論的壓力，研究學者進行許多於方法學上有遐思之基地台電磁波暴露危害流行病學研究。因此，進行較好且完整的基地台電磁波暴露危害流行病學研究是迫切需要的，且需明確定義方法學上的規範，以提供具有科學意義的數據。

電磁波暴露危害之流行病學研究，不建議只針對基地台進行研究。而是應考量所有的電磁波發生源的貢獻。例如：研究者研究人體特定局部位置暴露危害，如：頭部，那麼探討基地台暴露便毫無意義。假如研究學者對於總暴露時間高於極低的 SAR 閾值感到興趣，基地台電磁波暴露議題可能相當重要，如全身 SAR 為 $10\mu\text{W}/\text{kg}$ ，約相等於超過 $0.5\text{ V}/\text{m}$ 電場強度之水平入射波暴露。至今電磁波暴露危害之流行病學研究，長期監測基地台電磁波暴露評估工具仍尚未發展。其困難度在於除了電磁場本身於空間及時間上的變異，增加其發展評估工具困難度。快速新穎的科技發展，如無線通訊科技，亦增加研究困難度。現

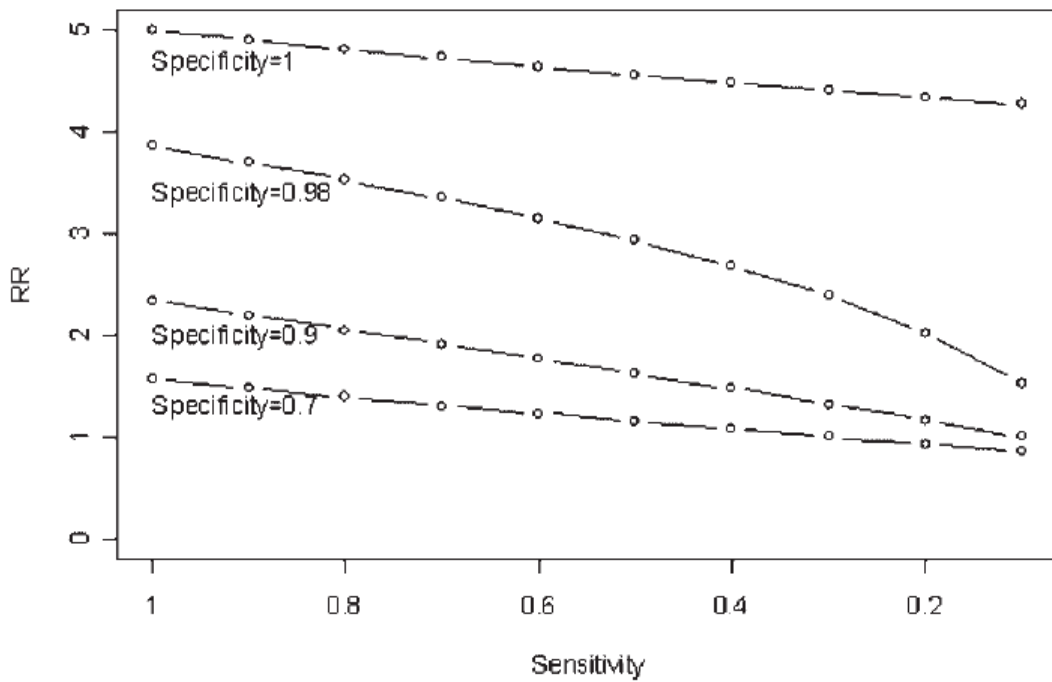
階段仍需發展新的暴露評估草案，例如在間隔一定時間裡，對具有代表性的研究族群進行暴露評估，以及進行研究前，事先了解研究族群中慢性疾病盛行情形，如癌症與神經退化性疾病。研究暴露電磁波導致人體立即性健康效應較佳，但是中期（數月到數週）的研究，暴露基地台電磁波對於生活品質與個人安適感的影響，可藉由流行病學研究進行調查與瞭解。然目前對中期電磁波暴露評估工具仍尚未有可靠的偵測評估方法，但發展可靠的評估方法似乎是可行的。為了要發展可靠暴露評估方法，我們建議應將所有可用之科技納入應用，如：可選擇頻率之暴露計、單點及連續偵測系統等。並且其新的暴露評估方法，都應事先於前驅試驗進行評估或進行效度測試後，方可應用至流行病學研究。

表一 不同研究設計之方法學優缺點概觀 (優(+), 缺(-), 中等(~))

	實驗室 (Laboratory)	田野試驗 (Field)	世代研究 (Cohort)	病例對照研究 (Case-control)	橫斷式研究 (Cross-sectional)	生態學研究 (Ecologic)
無暴露錯誤分組 (No exposure misclassification)	+	~	-	-	-	-
選擇偏差的控制 (Control of selection bias)	+	~	~	~	-	-
干擾因子的控制 (Control of confounding)	+	+	~	~	~	-
結果的可轉移性 (Transferability of results)	-	+	+	+	~	
統計檢定力 (Power)	-	~	+	+	+	
立即效應影響 (Immediate effects)	+	~	~	-	+	-
短期效應影響 (Short term effects)	~	+	+	~	~	-
長期效應影響 (Long term effects)	-	~	+	+	-	-



圖一 64 個 GSM 基地台鄰近地區之距離與電磁波功率關係圖



圖二 以高暴露族群為 4.8% 為例 (真實比例值假設為 5)，運用模式在推估在不同的敏感度與特異度之暴露評估工具下，所得之相對危險比之關係圖

附錄二測量方法與規 範整理

環境中（架空高壓線路、變電所、落地型變壓器） 電場與磁場檢測方法

中華民國 92 年 4 月 4 日環署檢字第 0920024406 號公告
自中華民國 92 年 7 月 4 日起實施
NIEA P202.90C

一、方法概要

本方法主要參考 ANSI/IEEE Std 644-1994 標準。有關量測儀器的規範係完全依據 ANSI/IEEE Std 644-1994 標準。在量測程序方面則考量我國輸配電線路型態特性後，尤其是人口密集區域的線路特性，對 ANSI/IEEE Std 644-1994 標準的建議稍加修正。

二、適用範圍

本方法所述及之量測儀器與程序適用於架空高壓線路附近空曠地區的電場與磁場環境量測。其中量測儀器部份亦適用於沿建築物外側經過或由屋頂跨越等架空高壓線路、變電所、落地型變壓器等周遭的電場與磁場環境量測。

本方法的量測對象為 60 赫茲高壓輸配電線路附近任一定點及瞬間所產生的極低頻（ELF）電場與磁場的均方根場強。量測儀表若具定時自動取樣與資料儲存功能時，本方法亦可作為定點場強監測之用，但本方法並不涵蓋以隨身攜帶的磁場記錄儀器進行非定點的個人磁場曝露監測問題。

三、干擾

在輸電線下所預期出現的環境磁場準位對電場量測儀器性能的擾動應由儀器製造廠商加以量化，並將測試結果提供給使用者。此一擾動對量測不確定度的影響以百分比表示，若其足夠影響時即應於量測報告中述明。

上述規範亦適用於在電力線下所預期出現的環境電場準位對磁場量測儀器性能的擾動問題。

四、儀器及設備

電場量測儀器以自由導體型儀表（Free-body meter）為宜，並僅需具有單一方向的電場感測功能即可。

磁場量測儀器以具有可同時量測磁通量密度向量於三個正交軸向的分量及其合成值的三軸式等向性感測器為原則。

電場與磁場量測儀器皆應具有真均方根值（True rms value）量測功能。

電場與磁場量測儀器可選擇具有分離個別頻率的場強成份的窄頻（Narrowband）量測功能或頻譜分析功能；其個別頻率的量測結果可直接與安全曝露建議值比較，以判斷場強是否符合要求。

若所用儀表涵蓋一個或多個特定頻段時，於其任一涵蓋頻段內對強度相同，但頻率不同的場強的量測結果應在 $\pm 3\text{dB}$ 之內；此一要求可由於感測器輸出端加裝合適的頻率響應修正電路達成。場源頻率成份若僅含一個高準位的基頻成份及幾個低準位的諧波成份時（如空曠地區的高壓輸電線路）在諧波貢獻不致使整體量測不確定度超過 $\pm 10\%$ 的條件下，仍可使用此類寬頻（Broadband）儀器。在場源頻率成份複雜且未明的環境中（如配電變壓器的低壓側及相關的接戶線附近），則不宜使用此類寬頻儀器。

儀表讀值顯示可為類比或數位式。感測器與讀值顯示裝置之間的信號傳送應採用具抗電磁干擾之高電阻線或光纖。電場感測器應與量測人員保持 2 公尺以上的距離；感測器的支撐裝置或握把應使用絕緣性能良好、低漏電的材質。

工作溫度與濕度若會影響儀表準確度，製造廠商即需將相關資訊提供給客戶，以便使用者能依量測時的溫度與濕度對儀表讀值作適當的修正。

五、量測方法

在時間取樣方面，每一空間量測點的最小取樣間隔應大於儀表的安定時間，但以不超過 10 秒鐘為原則。每一空間量測點的量測時間長度、總共取樣點數、取樣數據的處理與報告方式，視量測目的、儀表是否具自動定時取樣與資料儲存和處理功能而定，在此並不予以硬

性規定。

量測步驟

(一) 「線路跨越空曠地區」時的量測程序及注意事項

量測工作包含「橫向分佈」與「縱向分佈」兩項。量測範圍為任一特定的跨距之間。除非地形有所限制，否則量測工作一般應先由橫向分佈量測開始，之後才進行縱向分佈量測。

所有取樣點離地高度以 1 公尺為原則。如有需要，亦可於其它高度進行量測，但以不超過 2 公尺高度為原則。更高的量測高度因需利用輔助性昇高器具或昇空車，其是否進行端視安全問題及量測人員能否取得此類設備而定，在此不予硬性規定。

橫向分佈可於跨距之間任一特定的縱向距離處沿線路的左右兩側量測。線路下方若為平坦的地面時，橫向分佈可於導線離地面最近的跨距中點處進行；其它狀況則視實際地形而定。最遠量測點離線路任一側迴路最外側導線的橫向距離以不超過 30 公尺為原則，但實際量測範圍可視線路下方地形地物及是否有民眾經常會於該區域活動等因素調整。

縱向分佈量測路徑與線路的橫向距離，以橫向分佈所測得的最大場強發生的橫向距離為原則，但亦應顧及地形地物對量測可行性與準確性的可能影響。

橫向與縱向分佈量測所需的取樣間隔與量測點數，以量測結果能描述場強分佈的細節變化為原則。基本上，線路較低時和/或線路下方及側向距離較近處，場強橫向分佈變化較大，取樣間隔應較小（如 1 公尺或更小）；，線路較高和/或側向距離較遠處，場強橫向分佈變化緩慢，取樣間隔即可較大（不超過 2 公尺）。地面呈現顯著的高低起伏時，場強的橫向和/或縱向分佈亦會隨之改變，取樣間隔亦應隨地形調整（不超過 1 公尺為原則）。

進行量測的時間應加以記錄，以便日後若有需要時可與電力公司有關量測線路的電壓和電流記錄比較。線路的形態與線下的地形地物亦應加以描繪記載或照相存檔。

量測電場時，感測器與線路下方任何非永久性物體（如車輛）的水平間隔應大於該物體高度的 3 倍，與永久性物體（如各種建築物以及樹

木等)的水平間隔應大於 1 公尺，與量測人員的水平間隔則應大於 2 公尺且量測人員應處於場強較弱的一方。儀表若需透過握把由量測人員握持時，即應評估握把與人體的漏電效應的影響。

地面上的植物被覆會影響電場的強度。其影響程度視其水份含量與離感測器的距離而定。由於此一影響並非定值且尚無理論估測方法可供參考，量測地點應儘可能避開植物被覆較高的區域，否則即應瞭解量測結果可能會因不同的植物被覆特性而有所變動的事實。

量測磁場時，量測人員可靠近感測器（如直接以手拿著儀器進行量測）。量測區域若存在有含導磁性物體（如各種鐵製品或結構）或大型的非導磁性金屬物體（如鋁製品）時，量測點應與這些物體保持大於 3 倍該物體最大尺寸的距離。

（二）「線路跨越或鄰近建物」時的量測程序及注意事項

此一狀況係指線路下方或附近有建築物存在時，其室內與室外電磁場環境量測的問題。室外部份除建物外圍的地面之外，亦可包括建物屋頂平坦且可活動的區域。

一般建築物的建材對電場具有遮蔽作用，因此電場的量測僅需於室外區域進行即可，且量測對象可以與高壓線較靠近的屋頂地面為主。磁場則需於室內與室外同時進行。

量測目的在於瞭解高壓線路所產生的電磁環境，因此量測期間建物電源應由總開關處予以切斷，以免量測結果受到建物本身用電所產生的電磁場的影響。此一要求應與建物使用者先行溝通，並取得同意後方可進行量測工作。

線路跨越建物時，量測工作應由最高樓層開始，再根據量測目的依序往低樓層逐層進行。線路由建物外側通過時，量測工作應由與線路同高的樓層開始，再根據量測目的依序往其它樓層逐層進行。線路所產生的場強應有下列趨勢：愈接近線路的地方，場強愈大。

所有量測點離地面的高度皆以 1 公尺為原則；若有需要亦可量測其它高度，但以不超過 2 公尺為原則。建物內部所有物體皆應視為永久性物體，量測點離牆壁以及任何永久性物體之間的水平間隔以大於 1 公尺為原則。

室內空間取樣範圍需事先與建物使用者協商擬定，原則上以個別建物使用者正常活動的範圍為限。取樣規劃宜以臥房、客廳、餐廳、廚房、陽台、辦公室、作業區等功能性單元區分。

線路若由建物外側通過且距離較遠時（欲量測建物（外）牆與最接近線路直線距離 5 公尺以外），取樣點的選取方式係先於個別單元找出一最大的長方形空間，再畫出長方形的兩條對角線。每條線離長方形頂點 1 公尺處以及兩條對角線的交點，合計 5 點，即為場強量測點。建物外圍地面或屋頂地板空間的取樣方式亦可參考上述作法。

線路若由建物外側通過但距離較近時（欲量測建物（外）牆與最接近線路直線距離 5 公尺以內），或線路由建物上方跨越時（直線距離 5 公尺以內），即有必要作更詳細的取樣。若室內地板鋪設格狀地板，且每格尺寸在 30 公分見方以上時，即可以每格的中心點為取樣點；地板尺寸較小時則可每隔幾塊地板取一點，最小取樣間隔以 30 公分為原則。若室內無現成地板可茲利用，量測人員亦可利用任何方便使用的度量裝置設定取樣點，最小取樣間隔亦以 30 公分為原則；此一作法亦適用於屋頂地面和屋外靠線路較近處。

（三）變電所周遭電磁場量測程序及注意事項

變電所周遭電磁場環境量測方法，除以下所述與空間取樣有關的量測步驟之外，其餘要求與架空線路的量測方法完全相同。

變電所周遭電磁場環境量測應於變電所外圍，一般民眾可正常活動的空間進行。

如變電所牆外為緊鄰的人行道或可允許路人步行的道路時，即應於離圍牆等距處，沿人行道或道路進行縱向場強量測。所有的測量點以離地面及牆面皆為 1 公尺為原則。沿線取樣間隔以能顯示出場強變化細節為原則，量測點靠近線路進出變電所的區域時，取樣間隔應較小(1 公尺或更小)，量測點離進出變電所的路線較遠時，取樣間隔可較大(不超過 2 公尺)。上述取樣建議可視量測區域的實際地形地物狀況加以調整。如變電所外牆與一般民眾可正常活動的空間由天然障礙物(如未加封蓋的水溝)或綠地之類的地物隔開時，量測工作以於民眾活動的空間進行為原則。除量測點的離地高度仍以 1 公尺為原則之外，總共的水平取樣面積與取樣間隔則依量測區域的實際地形地物狀況，及量測結果能顯示出場強變化細節等原則選定。

如變電所外牆緊鄰建築物，建築物內的場強量測方法與前述架空線路

跨越或鄰近建物的量測方法相同。

所有的量測皆以與地面垂直的電場分量以及磁通量密度的合成值為量測對象。

(四) 落地型變壓器周遭電磁場量測程序及注意事項

落地型變壓器僅需測其磁場的空間分佈。其量測方法，除以下所述與空間取樣有關的量測步驟之外，其餘要求與架空線路的量測方法完全相同。

落地型變壓器周遭磁場空間分佈的取樣方式為：於離地 100、130、和 160 公分等三個高度處，沿與其安置之底座保持 50 公分水平間隔的長方形周邊，由任一頂點開始，每隔 30 公分取一點，直至回到出發點止。

(五) 陳情人指定地點電磁場量測程序及注意事項

於陳情人指定地點進行量測，每一定點取 10 秒內的最大場強作為其量測結果，量測地點必須詳細繪圖及加註與四周明顯固定物（建物）之相關位置（距離）。

所有的量測皆以 60 赫茲磁通量密度的合成值為量測對象。

六、結果處理

量測儀器的準確度若受環境溫度、濕度、場源諧波含量影響時，即需依儀器製造商所提供的資訊估算其對整體性量測不確定度的影響。整體量測不確定度在 $\pm 10\%$ 之內時，量測結果不需修正即可被接受；整體未確定度超過 $\pm 10\%$ 時，量測結果即需修正至所允許的不確定度範圍內，或視之為無效結果。

空間分佈的量測結果可以試算表格或繪圖方式呈現。簡單的輔助性統計特性，如最小值、最大值、平均值、或中值的大小以及出現位置/範圍，亦可增加量測結果的價值。類似作法亦適用於空間單點或多點的時間場強監測結果。

量測報告項目除以上所陳述之外，需再詳實記錄量測電磁場當時日期與時段、量測儀器廠牌型號、校正與否、量測人員及單位等。

七、品質管制

(一) 電場量測儀器的校正原理

單軸式電場量測儀器的校準可以圖 1 所示的平行平板結構，或圖 2 所示的電流注入方式進行。

ANSI/IEEE Std 644-1994 標準指出，當量測儀表的最大對角線尺寸不超過 23 公分時，儀表若置於尺寸為 1.5 公尺 x 1.5 公尺 x 0.75 公尺的平行平板結構中心點附近，在不需使用電位梯度環的情況下，儀表所處區域內電場的均勻度將高於 1%。電場指向係與兩平板的板面垂直；而強度則為 V/t ；其中 V (伏) 為兩平板之間的電壓，而 t 則為兩平板的間隔 (即 0.75 公尺)。若對場的均勻度的要求更高時，亦可加裝電位梯度環。若需校準更大或更小尺寸的儀表時，平行平板結構的尺寸亦可作等比例的調整。

使用此一校準結構時應注意：(1) 兩平板離最接近的地面 (如牆壁或地板) 的距離不得小於 0.5 公尺，以免影響場的均勻度，(2) 電源供應器的諧波含量不得高於 1%，以免影響儀表頻譜反應校準的準確度，和 (3) 變壓器的高壓輸出端應加裝合適的電阻器以作為電流限制的安全防護措施 (例如，加裝 10 百萬歐姆的電阻器時，平板間的電壓即可安全的使用到 10 仟伏的程度；以上述結構的 0.75 公尺間隔而言，此時場強可達 13 仟伏/公尺，此一場強範圍對大部份的量測而言已夠用了)。

上述校準方法考慮整體儀表的反應，但若：(1) 儀表的電流/電場強度比已知 (如於儀表製作完成或購置時，已以平行平板結構測得)；而 (2) 感測器於使用一段時間後，其結構的形狀與材質並未受到損耗時，圖 2 所示的電流注入法即可用來校準儀表性能。使用此一方法時需先確定無外界電場存在，或至少其場值不得高於所擬校準場值的 1%，以確保校準結果的準確性。於滿足上述要求後，即可將振幅已知的電流直接注入儀表的感測器 (若圖 2 所示的阻抗值比待校準儀表的輸入阻抗大 10 倍以上，則此一電流值可以“電壓表讀值除以總共的外加阻抗值”關係估測，其準確度即可高於 5%) 並記錄儀表的輸出值。其結果經與 (1) 的電流/電場強度比較之後，即可獲知儀表反應是否有所變化，同樣地，電源的諧波含量亦應保持在 1% 之內。

(二)

磁場量測儀器的校正原理

常用的標準磁場產生器包含 Helmholtz 線圈與矩形電流迴圈 (Loop)。以下僅介紹 ANSI/IEEE Std 644-1994 所建議的矩形迴圈磁場校正設施。

圖 3 顯示一位於 xy -平面，邊長為 $2a$ (公尺) 的 N 匝方形迴圈。通電後於迴圈中流動的單頻時諧 (弦波穩態) 電流的振幅為 I_0 安培。其所產生的磁場通過迴圈所包圍面積內的所有點時皆指向與該平面垂直的 z -方向。在迴圈中心點處，磁通量密度的振幅可由下式表示 (ANSI/IEEE Std 644-1994)：

$$B_z(0,0,0) = \mu_0 I_0 N \sqrt{2} / \pi a \quad (\text{特斯拉}) \quad (4.1)$$

其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (亨利/公尺) 為迴圈周遭空氣的導磁率。

圖 4 顯示一個邊長為 1 公尺的方形迴圈在 $z=0$ 和 ± 3 公分等兩個平面，位於中心點附近的場值與中心點場值之間差值的百分比的分佈狀況。由於對稱的關係，本圖僅展示第一象限的結果。此外，為顯示磁場均勻度的實用性，本圖亦包含市售感測線圈的一般尺寸。結果顯示當感測線圈的邊長或直徑在 12 公分之內時，場值的均勻度在中心點場值的 2% 之內。

ANSI/IEEE Std 644-1994 建議以此方形迴圈作為磁場量測儀表校準用的標準磁場產生器。如圖 3 所示，流過迴圈的電流值可由調整可變電阻器的電阻值加以控制。實際電流值則由電流表監測。電源的諧波含量應保持在 1% 以內。校準時，感測線圈應與方形迴圈共平面，且兩者的中心點應重合；三軸式儀表的各軸感測性能應依序校準。

(三)

儀器校正頻率

正常使用時，儀器應每年校正一次。但若感測器結構的形狀或材質受到損壞時，或於操作過程中儀器呈現不穩定狀態時，亦需重新校正。送校單位的校正品質必須可追溯至國家級實驗室。

(四) 量測不確定度

影響電場量測的不確定度包括儀器校正、溫度、干擾、不均勻的場強分佈、儀表讀值顯示與讀取誤差、感測器的擺設位置、儀器握把漏電、諧波含量、量測者的迫近效應等因素。

儀器校準、溫度、儀表讀值顯示等因素可能影響磁場量測的不確定度。為避免環境電場感應電流的影響，磁場感測器對電場的屏蔽則為基本要求。至於不均勻的場強分佈、感測器的擺設位置、讀取誤差、量測者或近距離處的（非導電性）物體的迫近效應、儀器握把漏電等因素對磁場量測的影響很小，甚或可忽略。

整體的量測不確定度的估算方式為：個別量測不確定度的平方相加後再取其平方根值。電場與磁場的整體量測不確定度皆不應超過±10%。

八、量測相關條件註記（略）

九、參考資料

- (一) ANSI/IEEE Std 644-1994, “IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines,” IEEE, New York, 1995.
- (二) “Measurement of power-frequency electric fields”, IEC 60833, 1987
- (三) ”非游離輻射環境建議值”，行政院環境保護署，中華民國九十年一月。

附註（名詞解釋）：

- (一) 純量（Scalar）：完全由大小（可為正或負）指定的量（如電流）。
- (二) 向量（Vector）：具有特定方向與大小的量（如作用力與速度），其大小與方向可隨空間位置和/或時間改變。在任一三維右手正交座標系統中，向量可分解成三個正交方向的空間分量（Spatial Components）。

- (三) 相量 (Phasor)：由隨時間以特定週期呈穩定弦波變化的量 (如 60 赫茲交流電的電壓波形) 的振幅 (Magnitude, 指最大的瞬間值或峰值) 與起始時間相角 (Initial Time Phase) 所組成的複數純量。
- (四) 向量相量 (Vector phasor)：構成向量的個別分量皆以相同週期呈弦波變化時, 亦即個別分量皆為相量, 其於任一定點的合成向量的大小與方向的時間變化特性可由向量相量表示。特定頻率場源所產生的電場與磁場一般即以向量相量的方式表示。
- (五) 均方根值 (root-mean-square, 或 rms, value)：呈週期性變化的時間波形瞬間值的平方值於一個週期內的積分結果, 除以週期, 再取平方根後所獲致的結果。對穩定弦波變化的波形而言, 其均方根值為峰值 (或振幅) 的 0.707 倍。
- (六) 合成值 (Resultant Value)：一個向量相量的三個正交分量的大小的平方和之平方根值。在電磁場檢測中, 場強大小以均方根值表示。
- (七) 電場強度 (Electric field intensity/strength)：體積無窮小的單位正電荷所感受到的電性作用力, 以向量 E 表示, 公制單位為牛頓/庫侖或伏/公尺。電場由帶電物體產生, 若場源具穩定弦波變化時, 電場強度可由向量相量描述。
- (八) 磁通量密度 (Magnetic flux density)：由通電的導體所產生的一個向量, 以向量 B 表示, 公制單位為特斯拉 (Tesla 或 T) 或韋伯/平方公尺 (Wb/m^2), 可對運動中的電荷施加磁性作用力而改變其運動特性 ($1 \text{ mT} = 10 \text{ mG}$, $1 \text{ T} = 10000 \text{ G}$)。體積無窮小的單位正電荷於磁場中運動時所感受到的磁性作用力的大小, 等於電荷量、運動速率、與磁通量密度在與電荷運動方向垂直的方向的分量大小的乘積, 而右手四指由電荷運動方向朝磁場方向轉動時, 大拇指的指向即為作用力的方向。若場源具穩定弦波變化時, 磁通量密度可由向量相量描述。
- (九) 跨距 (Span)：兩相鄰之電塔或電桿構成一個跨距。線路沿跨距方向平行架設。
- (十) 跨距中點 (Mid-Span)：跨距的中心點。於平坦地區, 導線因其重量而下垂時, 於跨距中點處離地面最近。
- (十一) 橫向分佈 (Lateral Profile)：任一跨距之間, 離兩端任一電塔或

電桿特定縱向距離處，線路左右兩側場強隨橫向空間距離的變化。

(十二) 縱向分佈 (Longitudinal Profile)：任一跨距之間，離線路一定橫向空間距離時，場強沿線路架設方向的空間變化。

註一：本文引用之公告方法名稱及編碼，以環保署最新公告者為準。

註二：以下圖示 (圖 1~圖 4) 轉載自”ANSI/IEEE Std 644-1994”。

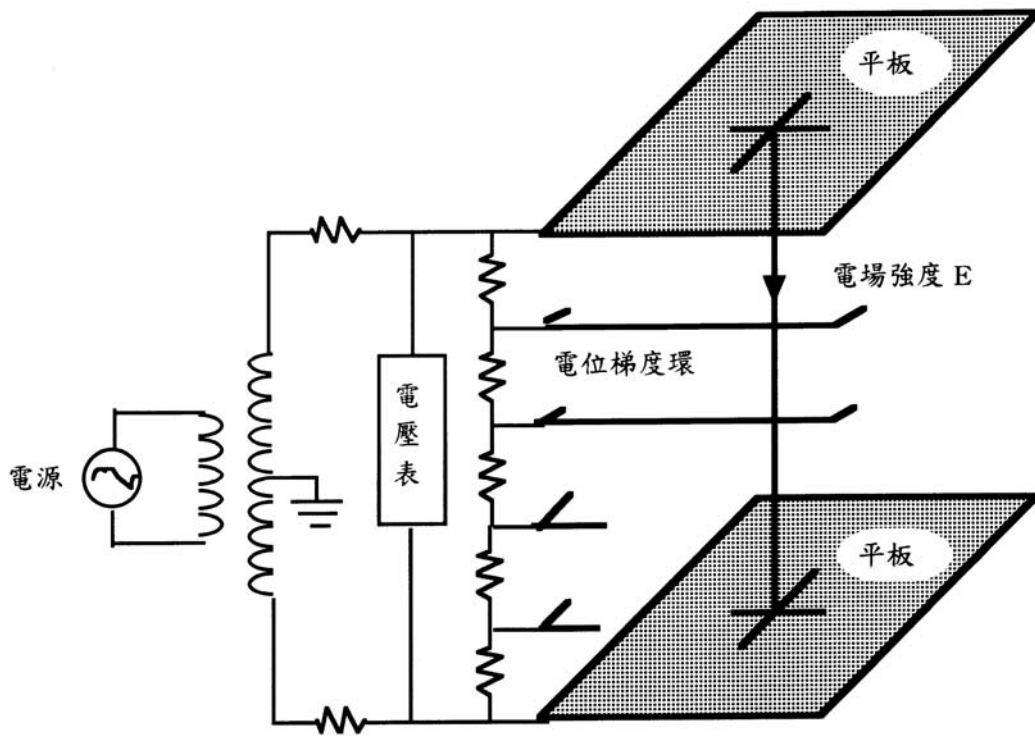


圖 1 平行平板型 (含電位梯度環) 電場校準結構

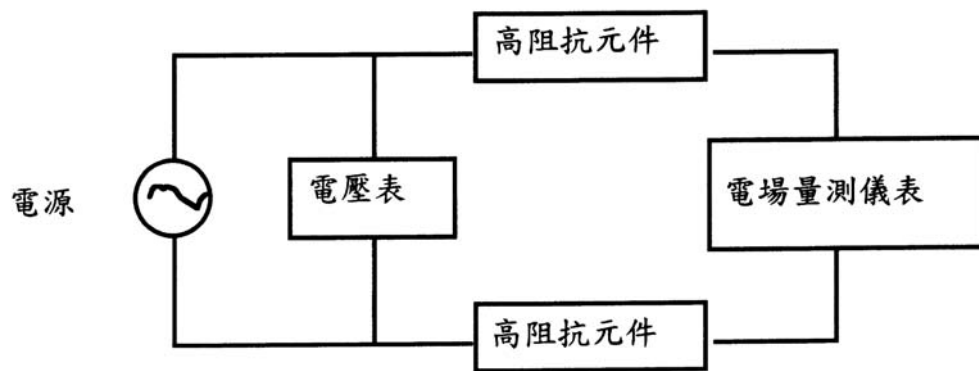


圖 2 電流注入式電場量測儀表校準方法

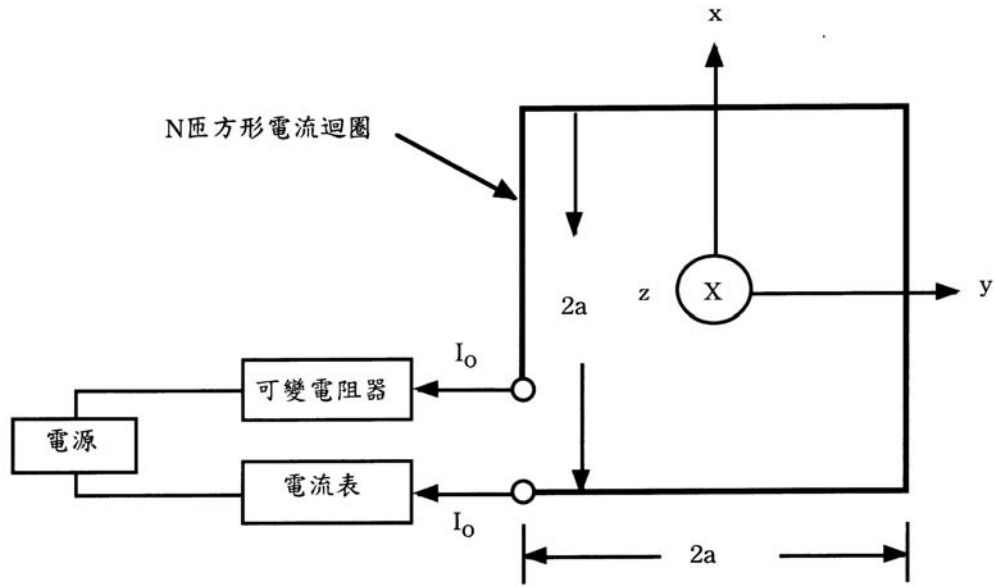


圖 3 磁場校準用方形電流迴路與相關電路配置

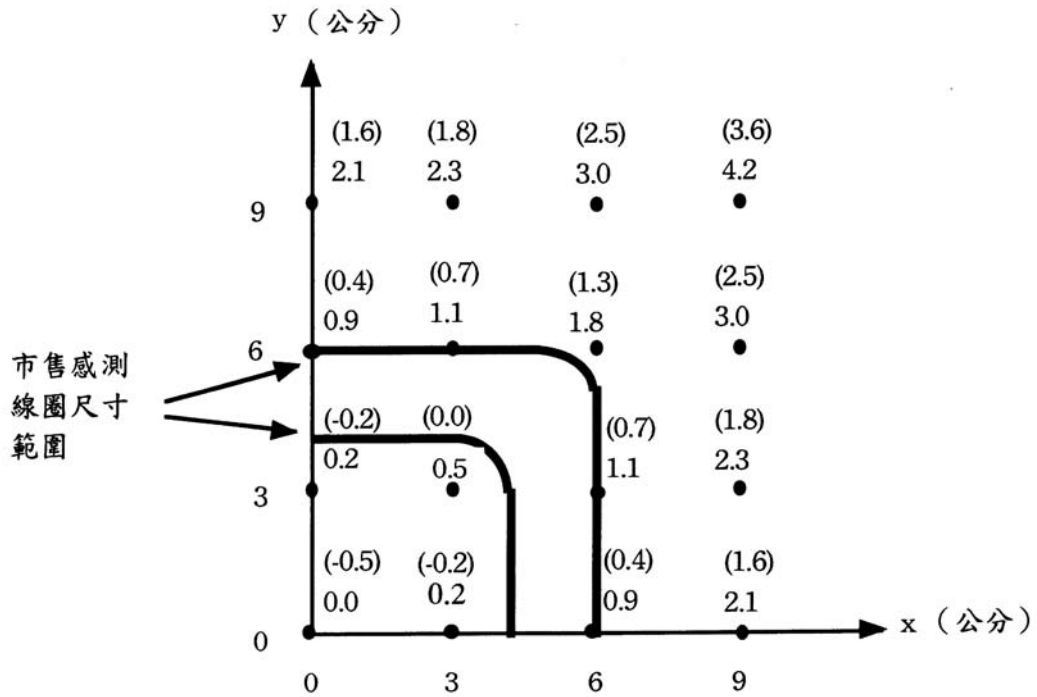


圖 4 一公尺見方的方形電流迴圈在迴圈中心附近 $z=0$ 或 $z=\pm 3$ 公分平面 (括弧內數據) B_z 值與 $B_z(0,0,0)$ 之間差值的百分比分佈狀況

環境中電磁波檢測方法

一調頻調幅廣播電臺、無線電視臺、行動電話基地臺

中華民國 92 年 7 月 2 日環署檢字第 0920047566 號公告
自中華民國 92 年 10 月 2 日起實施
NIEA P203.90B

一、方法概要

本量測方法以 Institute of electrical and electronics engineers (IEEE C95.3-1997) 為主要參考依據，並以參考資料所列之其他文件為輔，配合實際量測所需，訂定實際可行之量測方法。

本方法主要採用三軸全向性電磁場感測頭搭配電磁場強度顯示器 (包含 Electromagnetic field strength meter/sensor/probe, RF radiation hazard meter/monitor/survey instrument 等，簡稱全向性電磁場強度計) 為檢測儀器，量測結果與行政院環境保護署公告「非游離輻射環境建議值」(以下簡稱環境建議值) 比較，若超過「環境建議值」則採用天線與頻譜分析儀(接收機)組成之量測系統進行量測及確認。亦可直接使用天線與頻譜分析儀(接收機)組成之量測系統進行量測，以確定受測廣播電臺或行動電話基地臺等在其周遭環境所產生的電磁波強度是否超過「環境建議值」。

二、適用範圍及名詞解釋

本方法適用於無線電波發射設施周遭環境中電磁波之強度量測，包括調幅(AM)廣播電臺、調頻(FM)廣播電臺、無線電視臺及行動電話基地臺(在本文中簡稱電臺或基地臺)等中高頻(10kHz~2165MHz)之電磁波發射源，本方法所涉及之名詞其意義如下：

- (一) 電場強度(V/m, $\mu\text{V}/\text{m}$, $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)：表示空間中電場向量的大小值，其單位為伏特每公尺(V/m)。對於較微弱的電場，常以微伏特每公尺($\mu\text{V}/\text{m}$)為表示單位，以對數表示時，則常以 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 為表示單位，其中：

$$\text{電場強度}(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m})=20 \times \log_{10}[10^6 \times \text{電場強度}(\text{V}/\text{m})]$$

- (二) 磁場強度(A/m, mA/m , dBA/m)：表示空間中磁場向量的大小值，其單位為安培每公尺(A/m)。對於較微弱的磁場，常

以毫安培每公尺(mA/m)為表示單位，以對數表示時，則常以dB A/m 為表示單位，其中：

$$\text{磁場強度(dBA/m)}=20 \times \log_{10} [\text{磁場強度(A/m)}]$$

(三) 電磁場功率密度(W/m^2 ， mW/cm^2)：於垂直電磁波行進方向的平面上，單位面積上的電磁場功率值，其單位為瓦特每平方公尺(W/m^2)。對於較微弱的電磁場，常以毫瓦特每平方公分(mW/cm^2)為表示單位。

(四) 天線因子：為天線的特性參數之一。表示頻譜分析儀(接收機)自天線端點所量測到的電壓值(單位為伏特,V)與天線所在位置空間中的電場強度(單位為伏特每公尺,V/m)關係。其關係式為：

$$\text{電場強度(V/m)} = \text{天線因子(1/m)} \times \text{電壓值(V)}$$

以對數表示時，則為：

$$\text{電場強度(dBV/m)} = \text{天線因子(dB/m)} + \text{電壓值(dBV)}$$

或

$$\text{電場強度(dB}\mu\text{V/m)} = \text{天線因子(dB/m)} + \text{電壓值(dB}\mu\text{V)}$$

(五) 電纜損耗(dB)：信號在電纜線上傳輸過程中，信號強度的衰減率。

(六) 近場：發射天線的附近區域，其電場與磁場不具有平面波(Plane wave)的特性，區域的大小視天線的特性而定。在此區域的電場與磁場比值隨位置而變，不為定值，因此無法藉由量測其中一個場之強度而推算另一個場的強度。在本量測方法中，調幅(AM)廣播電臺的量測區域屬於近場，必須分別對電場與磁場進行量測。

(七) 遠場：當離發射天線之距離超出近場區域，即稱為遠場，在遠場區域電磁波具有平面波的特性，其電場與磁場的向量所構成的平面與行進方向垂直，且其比值約為377歐姆。因此可藉由量測其中一個場之強度而推算另一個場的強度。在本量測方法中規定的量測區域，除調幅(AM)廣播電臺外，

一般情況皆屬於遠場。

三、干擾

在量測電磁波強度時，主要的干擾來源有：

- (一)待測電磁波對量測儀器本身的干擾：其干擾方式可能經由連接線或直接對量測儀器內部之電路造成影響。因此必須選擇有良好電磁隔離效果之量錶，而連接線部分應為非金屬導線，例如以高阻線或光纖製成之連接線。
- (二)量測儀器、人員、天線或感測頭之支撐結構與傳輸線對待測電磁波的干擾：因此量測時人員或儀器應儘量遠離天線或感測頭；若無法避免，則人員或儀器至少應避免處於接收天線或感測頭與受測電臺或基地臺天線所成之直線上。另外必須選用非金屬之支撐結構，而量測時傳輸線應儘可能保持與電磁場垂直之方向。

四、儀器及設備

(一)全向性電磁場強度計

本檢測方法主要採用全向性電磁場強度計為檢測儀器。檢測儀器一般包含感測頭或探頭(Sensor/Probe)、連接線(Lead)與量錶(Meter)三個部分。感測頭應視量測所需，選用電場感測頭(E-probe)或磁場感測頭(H-probe)。

全向性電磁場強度計的基本規格至少包含：

- 1.可執行三軸全向性量測。
- 2.頻寬涵蓋被測電磁場的頻率。
- 3.若使用電池，必須有顯示電池狀態的功能。
- 4.必須具有顯示功率密度(mW/cm^2)、電場強度(V/m)與磁場強度(A/m)等單位之功能。
- 5.量測之動態範圍，最高須高於任一被測訊號所對應「環境建議值」的三倍 (+5 dB)；最低則須低於任一被測訊號所對應「環境建議值」的十分之一(-10 dB)。

- 6.具有顯示量測最大值與平均值之功能。
- 7.具有量測均方根值(Root-mean-square, RMS)的功能。
- 8.量測反應時間(Response time)須小於1秒。
- 9.量測不確定度必須小於 2 dB。
- 10.量錶顯示之解析度必須小於量測頻率所對應之「環境建議值」的十分之一。

(二) 天線與接收機

當在下列三種情況時，得使用天線配合頻譜分析儀(接收機)進行量測。

- 1.以全向性電磁場強度計進行量測所得結果大於「環境建議值」時，可使用天線配合頻譜分析儀進行量測，以確定超過「環境建議值」之電磁波是否為被測電臺或基地臺所發射。
- 2.當量測環境附近有數個發射源時，且以全向性電磁場強度計進行量測所得結果大於「環境建議值」時，可使用天線配合頻譜分析儀量測，量測結果以六、之公式計算，以確定是否超過「環境建議值」。
- 3.當量測地點因訊號強度過低，以全向性電磁場強度計無法測得有效讀值，又經指定必須進行量測時，得使用天線配合頻譜分析儀進行量測。

天線、頻譜分析儀與其配件的基本規格至少包含：

- 1.天線與頻譜分析儀之工作頻率須涵蓋被測電磁場的頻率。
- 2.量測之動態範圍，最高須高於任一被測訊號所對應「環境建議值」的三倍 (+5 dB)；最低則須低於任一被測訊號所對應「環境建議值」的十分之一(-10 dB)。
- 3.天線的支撐結構必須為非金屬材料所製成。
- 4.對各不同發射源進行量測時，建議可使用(但不限定)之天線型式及該類型天線頻率範圍如表一。

五、量測方法

(一)量測前應注意事項：

1.量測前對電臺或基地臺基本了解

為獲得準確的量測結果與確保量測人員的安全，在執行量測前必須先確認被測電臺或基地臺的基本特性，包括：

- (1) 電臺或基地臺之種類與發射功率及頻率。
- (2) 發射天線型式、特性、數目與高度。

2.人員安全

執行量測時，操作人員應確保自身安全，必須注意下列事項：

- (1) 至量測地點進行量測作業之初，在安置量測儀器及選取／標示量測位置點時，即應先以全向性電磁場強度計偵測人員所要進入的區域，以瞭解現場的電磁場強度狀況，以避免誤入過強的場強區域內。尤其是在接近電臺或基地臺的天線時，更應謹慎。
- (2) 量測時必須由距發射天線最遠的量測點往天線方向移動進行量測。人員儘量避免在高於「環境建議值」之環境進行量測，必要時可降低發射功率，再依量測結果估算全功率時之電磁場強度。
- (3) 電臺或基地臺通常包含有使用高電壓之設備，必須小心勿近以避免電擊。
- (4) 不可進入高磁場區。
- (5) 有安裝心律調節器之人員不得執行量測工作。
- (6) 不可接觸工作中之調幅（AM）廣播電臺的發射天線。
- (7) 避免接觸電臺或基地臺附近之金屬導體。

(二)量測步驟

1.量測點之選擇

依據電臺或基地臺之種類，將量測點之選擇分為三類，如下所述。

(1)調幅（AM）廣播電臺之量測點選擇

量測區域範圍的選定：

由於調幅（AM）廣播電臺所使用天線為單極柱形天線，其天線場型在水平方位角方向上為均勻等向性，電磁能量向四面八方輻射，因此量測區域範圍之選定為以天線位置為中心的一圓形區域，且一般民眾可達之區域。由於部分電臺會在天線外圍以圍牆隔離出管制區域，使一般民眾不致進入，因此量測區域之最小半徑為圍牆外距牆面 0.2 公尺位置或是一般民眾可達最接近天線處(當未設圍牆或其他障礙物時)。量測區域之最大半徑定為發射信號之 1/4 波長，為約在 45 公尺至 150 公尺之範圍；若同一電臺有不同工作頻率時，取頻率最低的信號之 1/4 波長為量測區域之最大半徑。

量測點的選定：

由於天線場型在方位角方向上為均勻全向性，因此在量測區域的圓形區域內選擇四個正交軸線為量測線，如圖一所示，於每一量測線上劃出等間隔的量測點，自最小量測半徑至最大量測半徑區域內定出 5 點，即每量測點間距離小於 1/16 波長。若因電臺之現場環境因素，使得人員實際可達之最遠距離小於 1/4 波長時，則在最小量測半徑與最遠可達距離間等距取 5 點進行量測。

(2)調頻（FM）廣播電臺、無線電視臺之量測點選擇

量測區域範圍的選定：

由於調頻（FM）廣播電臺及無線電視臺所使用的天線類似，多為具有方向性的陣列天線，其天線場型在方位角方向上有一固定輻射角度，電磁能量向該角度方向輻射，因此量測區域範圍的選定為以天線位置為中心之一扇形區域，且一般民眾可達之區域。其張角視其發

射天線特性而定，取其發射天線最大增益的 -3 dB 張角(半功率波束寬)，如圖二所示。倘若該調頻 (FM) 電臺所使用的天線為等向性天線，則量測區域範圍的選定同前述調幅 (AM) 廣播電臺，取以天線位置為中心之一圓形區域。量測區域之最小半徑為一般民眾可達最接近天線處(當未設圍牆或其他障礙物時)。量測區域之最大半徑則定為 50 公尺。若是電臺兼具發射水平極化與垂直極化之訊號，且天線在不同極化時其最大增益方向不同時，則必須依天線場型選定水平極化與垂直極化兩個量測區域。

量測點的選定：

選定量測區域後，在扇形區域中以天線最大增益方向為中央量測線，在中央量測線兩側扇形區域內再各取一量測線，以此三條軸線為量測線 (倘若該調頻 (FM) 廣播電臺所使用的天線為等向性天線，則量測線的選定同前述調幅 (AM) 廣播電臺，取四個正交線)，於每一量測線上劃出等間隔的量測點，自最小量測半徑至最大量測半徑區域內定出 5 點為量測點。若因電臺之現場環境因素，使得人員實際可達之最遠距離小於 50 公尺時，則在最小量測半徑與最遠可達距離間等距取 5 點進行量測。

(3)行動電話基地臺之量測點選擇

由於行動電話基地臺除一般常見的室外型天線外，部份辦公大樓為改善室內通訊品質，亦加裝室內型天線。以下分別說明對這兩種型式發射臺的量測規劃。

室外行動電話基地臺 (包括鐵塔型) 量測區域範圍的選定：

室外行動電話基地臺所使用天線為具有方向性的陣列天線，其輻射場為扇形場型，水平方位角的半功率波束寬大多在 65° 左右，最寬者約將近 90° ，所發射能

量主要在此角度方向內輻射。因此量測區域範圍的選定為以天線位置為中心之一扇形區域，其張角視其發射天線特性而定，取其發射天線最大增益的 -3 dB 張角(半功率波束寬)，最大半徑為 20 公尺（水平距離），且一般民眾可以活動的範圍為量測區域，如圖三所示。

室外行動電話基地臺量測點的選定：

由於行動電話基地臺所輻射信號為 900／1800／2000 MHz 頻段，波長約為 16 至 30 公分，因此在量測點的選定上須較為密集，需分下列情況訂定：

- a. 量測區域面積在 20 平方公尺以內時，在區域內以每邊長約一公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上(無障礙物且人員可達處)進行量測。
- b. 量測區域面積在 20 至 100 平方公尺以內時，在區域內以每邊長約二公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上(無障礙物且人員可達處)進行量測。
- c. 量測區域面積大於 100 平方公尺時，在區域內以每邊長約三公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上(無障礙物且人員可達處)進行量測。
- d. 量測基地臺周遭在上述量測範圍／量測點以外的其他位置，包括樓頂一般人員可達之處及住家／辦公室內等，亦可依陳情人指定位置進行量測。

室內行動電話基地臺量測區域範圍的選定：

室內型行動電話基地臺所使用的天線亦為具有方向性的天線，其輻射場型依架設位置分兩種場型。其中一型為架設在室內牆面或柱子上，其場型與室外行動電話基地臺所使用天線類似，因此可依前述室外基地臺之量測方法進行選定。另一型為架設在室內天花板上之天線，所輻射之電磁能量涵蓋範圍主要為天線正下方，前後左右各 75° 之圓形區域，因此選定此區域內民眾可以活動範圍為量測區域。

室內行動電話基地臺量測點的選定：

由於該天線場型在方位角方向上為均勻對稱，因此在量測方向上，以在圓形區域內選擇兩個正交軸線為量測線，如圖四所示。在室內因為天花板高度有限，在一垂直高度上的場強分佈為愈接近天花板，強度愈強，因此在進行量測時，以距離地板高度 2 公尺為量測高度，在每一量測線上進行連續的移動掃瞄量測。

2.儀器之基本操作

操作人員必須熟悉各項儀器設備的正確操作方法，在量測時必須依下述之步驟進行基本之設定。

(1) 全向性電磁場強度計

- a.若強度計使用電池，須先確認電池仍在正常工作狀況。
- b.進行強度計歸零動作。
- c.選定適當的顯示單位。
- d.選定適當的範圍設定。

(2) 頻譜分析儀(接收機)

- a.打開頻譜分析儀電源，並依原廠儀器操作手冊之規定進行熱機。
- b.若儀器具有自我校正功能，則進行自我校正。
- c.依待測訊號頻率，選擇適當之量測頻帶，必須確定所選擇之頻帶涵蓋所有的待測頻率。
- d.選擇適當之解析頻寬(RBW及VBW)：解析頻寬愈小，所能觀測到的信號頻率鑑別率愈佳，但同時也會加長掃瞄所需時間，設定時需注意確定掃瞄時間(Sweep time)小於 1 秒。

3.量測方式

在下述的量測步驟中皆必須遵守兩原則。

- 在量測時必須由距發射天線最遠的量測點往天線方向移動逐點進行量測，以避免危及人員與儀器的安全。
- 任何量測電磁場強度計之感測頭或天線皆必須距離金屬物體或牆面 20 公分以上。

量測步驟：

(1) 調幅(AM)廣播電臺

- a.由全向性電磁場強度計為量測儀器，以最大值（Maximum hold）量測模式，於每一量測點進行距地面高度 0.2 至 2 公尺的連續掃瞄，掃瞄時間不得小於 10 秒，記錄最大值為量測結果。此量測須分別使用電場感測頭及磁場感測頭對電場及磁場分別進行量測。
- b.對任一量測點倘若最大值高於「環境建議值」，則須在此量測點上找出最大值發生位置，並於該位置持續量測 6 分鐘，取其 6 分鐘平均值，確認該值是否超出「環境建議值」。
- c.倘若以全向性電磁場強度計 6 分鐘平均值之量測結果仍高於「環境建議值」，得以天線與頻譜分析儀組成之量測系統在此量測點上進行三軸向的場強量測，取其 6 分鐘最大值，並以三軸量測結果取其和方根值(Root-sum-square,RSS)，以確認此輻射電磁場是否均由該發射電臺所產生，結果依下述兩方式處理。
 - (a) 若確定為被測發射電臺所產生，則仍以全向性電磁場強度計 6 分鐘平均值為量測結果。
 - (b) 若超過「環境建議值」之原因是存在其他訊號所造成，因各頻段所對應的「環境建議值」不

同，因此需以六、之所述之公式計算，以判定是否超過「環境建議值」。

上述以頻譜分析儀量測時，必須選用適當之天線分別對電場與磁場進行量測，若以棒狀天線(Rod antenna)進行電場量測，棒狀天線須以平行調幅(AM)廣播電臺發射天線之軸向進行量測，無需進行三軸向量測。若以環形天線(Loop antenna)進行磁場量測時，環形天線之平面須平行調幅(AM)廣播電臺發射天線之軸向，並以水平旋轉方式找尋最大值發生之角度進行量測，無需進行三軸向量測。

d.量測區域內若有民眾的建築，可於建物內依陳情人指定位置依五、(二)、3.(1)進行量測。

(2) 調頻(FM)廣播電臺：依據五、(二)3.(1)進行量測，惟全向性電磁場強度計可為電場或磁場感測頭。

a.以全向性電磁場強度計為量測儀器，以最大值量測模式，於每一量測點進行距地面高度 0.2 至 2 公尺的連續掃描，掃描時間不得小於 10 秒，記錄最大值为量測結果。此量測須使用電場感測頭或磁場感測頭對電場或磁場進行量測。

b.對任一量測點倘若最大值高於「環境建議值」，則須在此量測點上找出最大值發生位置，並於該位置持續量測 6 分鐘，取其 6 分鐘平均值，確認該值是否超出「環境建議值」。

c.倘若以全向性電磁場強度計 6 分鐘平均值之量測結果仍高於「環境建議值」，得以天線與頻譜分析儀組成之量測系統在此量測點上進行三軸向的場強量測，取其 6 分鐘最大值，並以三軸量測結果取其和方根值，以確認此輻射電磁場是否均由該發射電臺所產生，結果依下述兩方式處理。

(a) 若確定為被測發射電臺所產生，則仍以全向性電磁場強度計 6 分鐘平均值為量測結果。

- (b) 若超過「環境建議值」之原因是存在其他訊號所造成，因各頻段所對應的「環境建議值」不同，因此需以六、之所述之公式計算，以判定是否超過「環境建議值」。
- d. 量測區域內若有民眾的建築，可於建物內依陳情人指定位置依五、(二)3.(2)進行量測。
- (3) 無線電視臺：依據五、(二)3.(2)進行量測。
- (4) 室外行動電話基地臺：依據五、(二)3.(2)進行量測。
- (5) 室內行動電話基地臺：依據五、(二)3.(2)進行量測，惟進行最大值量測時，是以距離地板高度 2 公尺為量測高度，在每一量測線上進行連續的移動掃瞄，記錄最大值為量測結果。
- (6) 現場量測亦可直接使用天線與頻譜分析儀組成之量測系統依據五(二)1.之規定進行初步掃瞄找出最大值，再以天線與頻譜分析儀組成之量測系統，在該量測點上對各發射頻率進行三軸向的場強量測（調幅廣播電臺無需進行三軸向量測），取其 6 分鐘最大值，並以三軸量測結果取其和方根值（依據六、結果處理所列公式計算之），以決定是否超過「環境建議值」；如果該值超過「環境建議值」則需重新再檢視其他各量測點並計算之，以決定是否超過「環境建議值」。

六、結果處理

量測結果應據實記錄於量測紀錄表，紀錄內容至少需包括量測地點、當時溫溼度、量測人員、發射功率與頻率、各頻率相對應之「環境建議值」、量測儀器廠牌型號、量測位置與射源相對位置圖示等。依不同電臺或基地臺選取適當之紀錄表（參考格式如表二～表八）使用。當使用天線與頻譜分析儀組成之量測系統量測得有多個強度之發射訊號時，取其前六個最大強度訊號（每一訊號皆須進行三軸量測並取其和方根值），每一訊號皆計算其功率密度值（或電場強度或磁場強度）再以下列之公式計算，結

果小於 1，則判定未超過「環境建議值」；大於 1，則判定超過「環境建議值」，必須採取必要的安全措施。若非調幅（AM）廣播電臺，則毋需計算磁場之比值。

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i^2}{MPE_i^2} \leq 1 \quad \text{及} \quad \sum_{i=1}^n \frac{H_i^2}{MPE_i^2} \leq 1 \quad \text{或} \quad \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{MPE_i} \leq 1$$

其中：

E_i ：第*i*個訊號之電場強度

H_i ：第*i*個訊號之磁場強度

P_i ：第*i*個訊號之電磁場功率密度

n ：量測訊號總數

MPE ：為該頻率相對應之「環境建議值」

紀錄表中，量測數據的計算公式說明如下：

(一) 電場強度位準計算方法

以天線及頻譜分析儀進行量測時，電場強度位準可依下列公式計算而得：

$$E_0(\text{dBmV/m}) = P(\text{dBm}) + 107(\text{dB}) + AF(\text{dBmV/m}) + CL(\text{dB})$$

其中 E_0 ：為電場強度

P ：為頻譜分析儀測得功率讀值、

$107(\text{dB})$ ：為電壓值($\text{dB}\mu\text{V}$)與功率值(dBm)在 50 歐姆阻抗系統中的轉換係數

AF ：為天線因子

CL ：為 Cable Loss

(二) 磁場強度位準計算方法

以環形天線及頻譜分析儀進行量測時，磁場強度位準可依下列公式計算而得：

$$H(\text{dBA/m}) = P(\text{dBm}) - 13(\text{dB}) + AF_H(\text{dBA/Vm}) + CL(\text{dB})$$

其中 H：為磁場強度

P：為頻譜分析儀測得功率讀值

-13(dB)：為電壓值(dBV)與功率值(dBm)在50歐姆阻抗系統中的轉換係數

AF_H：為環形天線之磁場天線因子

CL：為 Cable Loss

(三) 電磁場強度相關單位之換算方式為：

$$E_0(\text{dB}\mu\text{V/m}) = 20 \times \log E_1(\mu\text{V/m})$$

$$E_2(\text{V/m}) = E_1(\mu\text{V/m}) / 10^6$$

$$P(\text{mW/cm}^2) = [E_2(\text{V/m})]^2 / (10 \times Z_0)$$

$$\doteq [E_2(\text{V/m})]^2 / 3770$$

其中 E₁：為以 μV/m 單位表示的電場強度值

E₂：為以 V/m 單位表示的電場強度值

P：為以 mW/cm² 單位表示的電磁場功率密度值

Z₀：為自由空間之波阻抗，約等於 377 歐姆

上開公式僅適用於量測點滿足遠場條件時。

七、品質管制

(一) 與量測結果有關之儀器設備必須定期送至可追溯至國內外國家標準的校正實驗室進行校正；同時量測人員應隨時攜帶校正證

明文件。

- (二) 執行量測之人員必須熟讀本量測方法與具備電磁波量測之知識，同時必須熟悉所使用儀器之操作規定。
- (三) 量測時應遵守三、之規定，降低干擾所造成之量測不確定度。
- (四) 使用儀器在執行量測前，應依原廠儀器使用手冊之規定時間熱機。
- (五) 量測結果必須詳實記載。

八、檢驗相關條件註記

除了量測結果之外，應依量測紀錄表之各項欄位，確實記錄相關量測條件。

九、參考資料

- (一) IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE C95.1-1991.
- (二) Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic fields (up to 300 GHz), ICNIRP, 1998.
- (三) IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields-RF and Microwave, IEEE C95.3-1991.
- (四) A Practical Guide to the Determination of Human Exposure to Radiofrequency Fields, NCRP report no. 119, 1993.
- (五) Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, FCC OET Bulletin 65, 1997.
- (六) 『第一類電信事業基地臺或電臺電磁波量測服務作業要點』，交通部電信總局，中華民國九十一年。

- (七) “非游離輻射檢測方法之建立—無線電波發射設施周遭環境中電磁波檢測方法之建立” 期末報告 (EPA-91-E3S2-02-01) , 行政院環境保護署環境檢驗所, 中華民國九十一年十二月。
- (八) 「臺灣地區行動電話基地臺電磁波調查」, 2002 第七屆中華民國實驗室管理與認證論文發表會, 中華民國九十一年十二月十三日。

表一、對各發射源建議使用之天線型式及一般規格。

發射電臺	天線型式	一般規格
調幅 (AM) 廣播電臺	棒狀天線	1. 頻率範圍：10 kHz ~ 30 MHz. 2. 量測場強：電場.
	環形天線	1. 頻率範圍：10 kHz ~ 30 MHz. 2. 量測場強：磁場.
調頻 (FM) 廣播電臺、無線電視臺及行動電話基地臺	雙錐形天線	1. 頻率範圍：80 MHz ~ 2165 MHz. 2. 量測場強：電場.

表二、無線電台環境電磁輻射量測紀錄
(量測基本資料)

電台類別：	填表人：
電台編號：	審核人：
電台名稱：	
電台地址：	
量測日期/時間：中華民國 年 月 日	執行測試人員：
量測時環境條件：溫度 °C	會同測試人員：
溼度 %	
電台工作頻率及功率：	各頻率相對應之「環境建議值」：

量測設備基本資料

項次	儀器名稱	廠牌	型號	序號	備註
1	電磁場強度顯示器				
2	全向性電場感測頭				
3	全向性磁場感測頭				
4	頻譜分析儀				
5	棒狀天線				
6	環形天線				
7	雙錐形天線				
8					
9					
10					

表三、無線電台環境電磁輻射量測記錄 (AM)
(電磁場強度計量測法 — 最大值)

【範例】

電台工作頻率：

對應之 環境建 議值	電場					磁場				
	電場量測值 (V/m)					磁場量測值 (A/m)				
量測位置 及量測值	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

註：

表四、無線電台環境電磁輻射量測記錄 (AM)
(電磁場強度計量測法 — 六分鐘平均值)

【範例】

第 頁，共 頁

電台工作頻率：										
對應之 環境建 議值	電場					磁場				
量測位置 及量測值	電場量測值 (V/m)					磁場量測值 (A/m)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
註：										

表五、無線電台環境電磁輻射量測記錄 (AM)
(Rod、Loop 天線量測法)

【範例】

第 頁，共 頁

量測位置	量測距離 (m)	量測值		天線因子 AF (dB1/m)	電纜損耗 CL (dB)	電場強度值 E		ICNIRP 建議值 (V/m)
		頻率 (MHz)	功率 P ₁ (dBm)			(dBμV/m)	(V/m)	
	55	1.017	-13.17	44.4	0.2	138.4	8.32	599.8
	55	1.386	-7.69	42.0	0.2	141.5	11.89	440.1

以 Rod 天線測得電場強度： $E(dB_{\mu V/m}) = P_1(dBm) + 107(dB) + AF(dB1/m) + CL(dB)$.

$$E(V/m) = 10^{\frac{E(dB_{\mu V/m})}{20}} \div 10^6$$

量測位置	量測距離 (m)	量測值		天線因子 AF _H (dBA/Vm)	電纜損耗 CL (dB)	磁場強度值 H		環境 建議值 (A/m)
		頻率 (MHz)	功率 P ₁ (dBm)			(dBA/m)	(A/m)	
	55	1.017	-16.39	-1.8	0.2	-31.0	0.0282	1.573
	55	1.386	-12.61	-1.8	0.2	-27.2	0.0437	1.154

以 Loop 天線測得磁場強度 $H(dBA/m) = P_1(dBm) - 13(dB) + AF_H(dBA/Vm) + CL(dB)$.

$$H(A/m) = 10^{\frac{H(dBA/m)}{20}}$$

表六、無線電台環境電磁輻射量測記錄 (FM/TV/行動電話基地台)
(電磁場強度計量測法 - 最大值)

【範例】

第 頁，共 頁

電台工作頻率：					環境建議值：					
量測位置 及量測值	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

註：量測值單位為 mW/cm^2 .

表七、無線電台環境電磁輻射量測記錄 (FM/TV/行動電話基地台)
(電磁場強度計量測法 — 六分鐘平均值)

【範例】

第 頁，共 頁

電台工作頻率：					環境建議值：					
量測位置 及量測值	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

註：量測值單位為 mW/cm^2 .

表八、無線電台環境電磁輻射量測記錄 (FM/TV/行動電話基地台)
(三軸向天線量測法)

【範例】

第 頁，共 頁

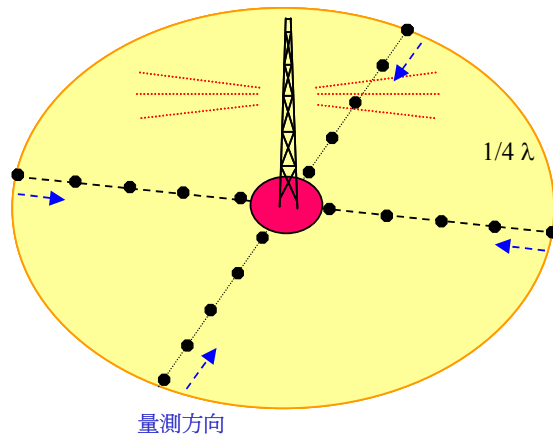
量測位置	量測距離 (m)	量測值		天線因子 AF (dB1/m)	電纜損耗 CL (dB)	電磁場強度值			環境建議值 (mW/cm ²)	
		頻率 (MHz)	功率 P ₁ (dBm)			電場強度 E		和方根值 E _{rss} (V/m)		功率密度值 P (mW/cm ²)
						(dBμV/m)	(V/m)			
1.5	943.26	0.58	33.5	3.0	144.1	16.03	17.42	0.0805	0.47	
	943.26	-7.83	33.5	3.0	135.7	6.10				
	943.26	-13.83	33.5	3.0	129.7	3.05				
	943.64									
	943.64									
	943.64									
	947.20									
	947.20									
	947.20									
	944.66									
	944.66									
	944.66									
	945.26									
	945.26									
	945.26									
	946.23									
	946.23									
	946.23									

電場強度： $E(dB\mu V/m) = P_1(dBm) + 107(dB) + AF(dB1/m) + CL(dB)$.

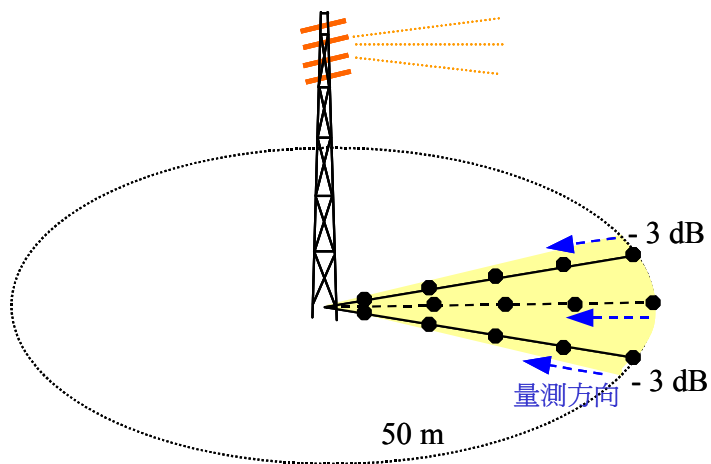
$$E(V/m) = 10^{\frac{E(dB\mu V/m)}{20}} \div 10^6$$

電場強度之和方根值 (root-sum-square)： $E_{rss} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$
(E_x、E_y、E_z 為三軸向各別之電場強度 E 量測值)

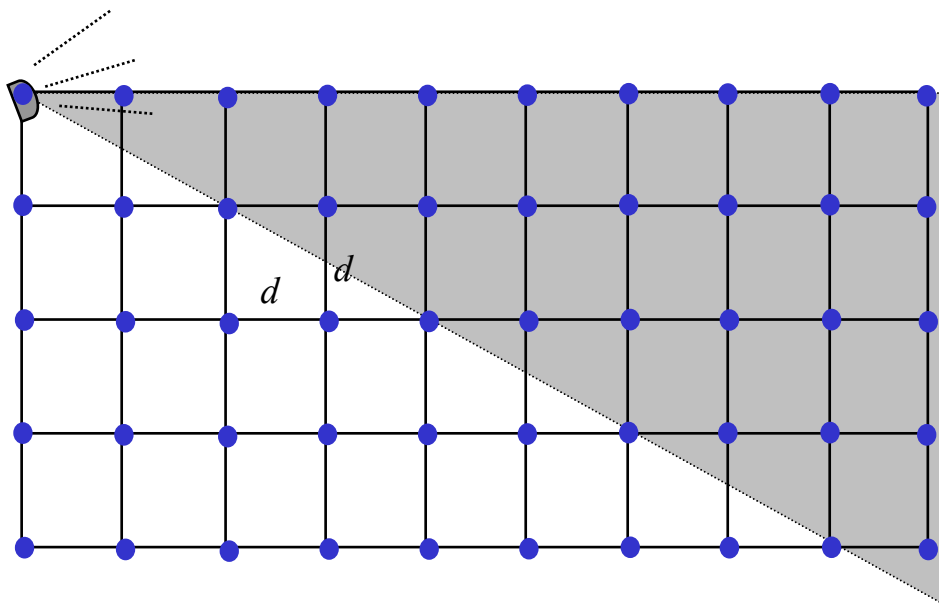
$$\text{電場強功率密度值：} P(mW/cm^2) = \frac{E_{rss}^2}{3770}$$



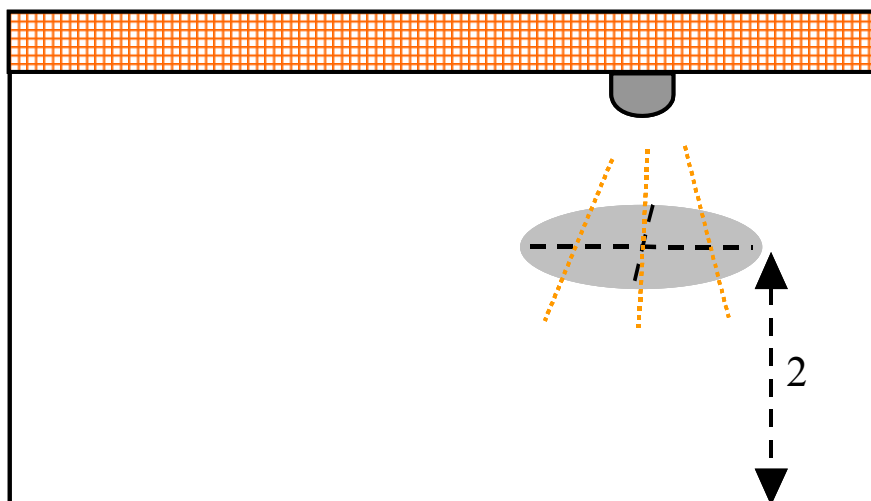
圖一、調幅 (AM) 廣播電臺量測點選擇示意圖



圖二、調頻 (FM) 廣播電臺與無線電視臺量測點選擇示意圖



圖三、室外行動電話基地臺量測點選擇示意圖



圖四、室內行動電話基地臺量測點選擇示意圖

中國大陸制訂之職業場所電磁場測量與校正方法之標準
工作場所物理因素測量-工頻電場(GBZ/T189.3-2007)

一、範圍

1. 本標準規定工作場所工頻電場的測量方法。
2. 本標準適用於交流輸電系統工作及操作地點工頻電場的測量。

二、測量儀器

1. 採用高靈敏球型(球直徑為 12 公分)偶極子場強儀進行測量，場強儀測量範圍為 0.003kV/m~100kV/m。其他類型場強儀的最低檢測限值應低於 0.05kV/m。

三、測量對象的選擇

1. 相同型號、相同防護的工頻設備選擇有代表性的設備及其接觸人員進行測量。
2. 不同型號或相同型號不同防護的工頻設備及其接觸人員應分別測量。

四、測量方法

1. 儀器校準：場強儀在直徑 3 公尺，極間距離 1 公尺的平行平板電極產生均勻電場中校準定標。
2. 測量時應考慮工作場所地面場強的分佈、工作模式、工作地點，進行有代表性的選點測量。地面場強是測定距地面高 1.5 公尺的電場強度，測量地點應比較平坦，且無多餘的物體。對不能移開的物體應記錄其尺寸及其與線路的相對位置，並應補充測量離物體不同距離處的場強。變電所內進行測量時，應遵守高壓設備附近工作的安全規則。環境條件：溫度 0°C~40°C；相對溼度 < 60%。

五、測量紀錄

1. 測量紀錄應包括以下內容：測量日期、測量時間、氣象條件(溫度、相對溼度)、測量地點(單位、製造商名稱、工廠和具體測量位置)、設備型號和參數、測量儀器型號、測量數據、及測量人員等。

六、注意事項

1. 進行現場測量時，測量人員應注意人體的防護。

中國大陸制訂之職業場所電磁場測量與校正方法之標準
工作場所物理因素測量高頻電磁場 (GBZ/T 189.2-2007)

一、範圍

1. 本部分規定工作場所高頻電磁場的測量方法。
2. 本部分適用於工作場所高頻電磁場的測量。但不適用於環境照射以及作為醫療和診斷為目的之照射。

二、測量儀器

1. 選擇量程和頻率適合於測量對象的測量儀器。即測量範圍能覆蓋 10V/m~1000V/m 和 0.5A/m~50A/m，頻率能涵蓋 100kHz~30MHz 的高頻場強儀。

三、測量對象的選擇

1. 相同型號、相同防護的高頻頻率選擇有代表性的設備及其接觸人員進行測量。
2. 不同型號或相同型號不同防護的高頻頻率設備及其接觸人員應分別測量。
3. 接觸人員的各操作位置應分別進行測量。

四、測量方法

1. 儀器校準

(1) 測量前應遵照儀器使用說明書進行校準。

2. 測量操作場強，一般測量頭部和胸部位置。當操作中其他部位可能受到更強烈照射時，應在該位置予以加測。

3. 測量高頻設備場強時，由遠至近，儀器天線探頭距離設備不得小於 5 公分，當發現場強接近最大量程或儀器警報時，應立刻停止前進。

4. 測量

(1) 手持測量儀器，將檢測探頭置於所要量側的位置，並旋轉探頭至讀數最大值方向，探頭周遭 1 公尺以內不應有人或臨時性放置其他金屬物品。磁場測量則不受此限制。

- (2) 每個測點連續測量 3 次，每次測量時間不應小於 15 秒，並讀取穩定狀態的最大值，若測量讀值起伏較大時，應延長至適當的測量時間，取 3 次值的平均值作為該點的場強值。

5. 測量紀錄

- (1) 測量紀錄應包含以下內容：測量日期、測量時間、氣象條件(溫度、相對溼度)、測量地點(單位、製造商名稱、工廠和具體測量位置)、高頻設備型號和參數、測量儀器型號、測量數據、及測量人員等。

6. 測量結果處理

- (1) 不同操作崗位的測量結果應分別計算和評估。

四、注意事項

1. 進行現場測量時，測量人員應注意人體防護。

中國大陸制訂之職業場所電磁場測量與校正方法之標準
工作場所物理因素測量-超高頻輻射(GBZ/T 189.1-2007)

一、範圍

1. 本標準規定工作場所超高頻輻射的測量方法。
2. 本標準適用於工作場所超高頻輻射強度的測量。

二、測量儀器

1. 選擇量程和頻率適合於測量對象的測量儀器。

三、測量對象的選擇

1. 相同型號、相同防護的超高頻設備，選擇有代表性的設備及其接觸人員進行測量。
2. 不同型號或相同型號不同防護的超高頻頻率設備及其接觸人員應分別測量。
3. 接觸人員的各操作位置應分別進行測量。

四、測量方法

1. 儀器校準

(1) 測量前應遵照儀器使用說明書進行校準。

2. 測量操作者接觸強度時，應分別測量其頭、胸、腹各部位。立姿操作，測量高度分別取為 1.5 公尺~1.7 公尺、1.1 公尺~1.3 公尺、0.7 公尺~0.9 公尺；坐姿操作，測量高度分別取為 1.1 公尺~1.3 公尺、0.8 公尺~1 公尺、0.5 公尺~0.7 公尺。

3. 測量超高頻設備場強時，將儀器天線探頭置於距設備 5 公分處。

4. 測量

(1) 測量時將偶極子天線對準電場向量，並旋轉探頭，讀出最大值。測量時手握探頭下部，手臂盡量伸直，測量者身體應避開天線杆的延伸線方向，探頭 1 公尺內不應站人或放置其他物品，探頭與發射源設備及饋線應保持一定距離(至少 0.3 公尺)。每個測點應重複測量 3 次，取平

均值。

5. 測量紀錄

- (1) 測量紀錄應包含以下內容：測量日期、測量時間、氣象條件(溫度、相對溼度)、測量地點(單位、製造商名稱、工廠和具體測量位置)、超高频設備型號和參數、測量儀器型號、測量數據、及測量人員等。

6. 測量結果處理

- (1) 測量結果應用功率密度或電場強度表示。在遠場時，功率密度與電場強度 E(V/m)按下式換算：

$$P = \frac{E^2}{3770}$$

P：功率密度(mW/cm²)

E：電場強度(V/m)

- (2) 不同操作崗位的測量結果應分別計算和評估。
- (3) 接觸時間不足 4 小時者，以 4 小時計算；接觸時間超過 4 小時，而不足 8 小時者，按 8 小時計算。

五、注意事項

進行現場測量時，測量人員應注意人體防護。

中國大陸制訂之職業場所電磁場測量與校正方法之標準
工作場所物理因素測量-微波輻射(GBZ/T 189.5-2007)

一、範圍

1. 本標準規定工作場所微波輻射測量方法。
2. 本標準適用於工作場所微波輻射測量，不適用於居民所受環境輻射及接受微波診斷或治療輻射的測量。

二、測量儀器

1. 選擇量程和頻率適合於檢驗對象的測量儀器。

三、測量對象的選擇

1. 應在各操作位置分別予以測量。一般測量頭部與胸部的位罝。
2. 當操作中某些部位可能受到更強輻射時，應予以加測。如需眼睛觀察波導口或天線向下腹部輻射時，應分別加測眼部或下腹部。
3. 當需要查找主要輻射源時，了解設備洩漏情況時，可緊靠設備測量，其測值可供防護參考。

四、測量方法

1. 儀器校準

- (1) 測量前應遵照儀器使用說明書進行校準。
2. 應在微波設備處於正常工作狀態時進行測量，測量中儀器探頭應避免紅外線及陽光的直接照射及其他干擾。
3. 在目前使用非各向同性探頭的儀器量測時，將探頭對著輻射方向，並旋轉探頭至最大值。
4. 每個測點均應重複測量3次，取平均值。
5. 測量值的取捨：全身輻射取頭、胸、腹等處的最高值；肢體局部輻射取肢體某點最高值；若考慮全身，又有局部的輻射，則取除之體外測得的最高值。

五、測量紀錄

- (1) 測量紀錄應包含以下內容：測量日期、測量時間、氣象條件(溫度、相對溼度)、測量地點(單位、製造商名稱、工廠和具體測量位置)、微波設備型號和參數、測量儀器型號、測量數據、及測量人員等。

六、注意事項

1. 進行現場測量時，測量人員應注意人體防護。

電力頻率電磁場場強測量方法之標準(ENV 50166-1:1995)

電磁場(波)之測量範圍：0 至 10 kHz

一、電(磁)場測量儀表之特性要求

1. 儀表應能測得適當之參數，且能適合各種不同的氣候條件(如：溫度及溼度等條件)。
2. 儀表之頻率響應範圍需為已知，且能分析、比較場強的頻譜或諧波成分。
3. 儀表量測不確定性應低於 $\pm 10\%$ 。
4. 基本上場強測量儀表可分類為兩部分：一為探針或場強感測器；另一為包含信號處理電路、類比或數位顯示螢幕。
5. 測量儀表可分為兩種類別：一為等向性探針(Isotropic Probe)，具有三個垂直正交軸感測器，可測得有效場強(即三軸場強分量之均方根值)；另一為具非等向性感測元件之單軸探針(Anisotropic Probe)，且必須能測得三軸場強之個別正交分量。

二、電場場強之測量步驟

1. 測量電力頻率之電場場強應遵循 ANSI/IEEE 644-1994、國際電工技術協會(IEC)、及國際勞工組織所議定之規範或方針。
2. 測量電力頻率之電場場強應距離地面上方 1 公尺位置測量。
3. 對於電力頻率以外之頻率，其量測應遵照 ANSI/IEEE 644-1994 提出選用具有適當頻率響應之測量儀表。
4. 檢驗電場場強之參考基準，其場強測量值應選用在人員頭部、身體區看等體積之平均值，若無法計算其平均值，可取各體積中間點之場值。
5. 所有探針活動部份的尺寸不得超過 0.2 公尺。
6. 個人暴露監測(有時稱為 Dosimeters)

三、磁場場強之測量步驟

1. 量測電力頻率 50Hz 磁場場強(或磁通密度)應遵循 ANSI/IEEE 644-1987 及國際勞工組織所議定之規範或方針。
2. 對於電力頻率以外之頻率，量測時應遵照 ANSI/IEEE 644-1987 選用具有適當頻率響應之測量儀表。
3. 檢驗電場場強之參考基準，其場強值應選用在人員頭部、身體軀幹等體積之平均值，若無法計算其平均值，可取各體積中間點之場值。
4. 所有探針活動部份的尺寸不得超過 0.2 公尺。
5. 個人暴露監測(有時稱為 Dosimeters)

四、電磁場測量儀表之校正方法

1. 電場測量之儀表校正：電場場強測量儀表之校正方法應能產生均一之電場場強，該場強可藉由尺寸遠大於測量儀表的感測元件間距之兩平行極板加入激勵電源來獲得。另外為避免影響場強，致使扭曲，操作時應與探針部分保持足夠之距離。
2. 磁場場強測量之儀表校正：可藉由赫姆芝線圈或是採樣適當尺寸，但不同

排列方式之正方形線圈來獲得均一之磁場場強。

射頻頻段電磁場(波)測量方法標準(ENV 50166-2:1995)

電磁場(波)測量範圍：100 KHz to 300 GHz

一、一般性

1. 本測量方法係根據溫度、電磁場暴露值測量，以提供實際電磁傷害的評估方法。
2. 測量頻段介於 100 KHz 到 300 GHz 的電磁暴露值所選用的方法與儀表係根據頻率、輻射場特性(近場或遠場)、調變方式與輻射場源之數量。
3. 電磁暴露測量主要根據場強或功率流量密度(Power flux density)之測量為原則，但人體感應電流之測量(特別是足部或者接觸電流測量)亦可包含在內。
4. 根據遠場條件進行電磁場場強值並非絕對有效，其轉換結果仍必須針對個別場強進行測量。
5. 測量儀表(感測器、顯示器與測量原理)應充分瞭解，及其他因素，如：調變、諧波及不同頻率能量等所產生額外的效應也應加以考量。
6. 測量平均值的時間應遵循相關的標準並採樣足夠長的時間，以確保正確的量測結果。

二、寬頻測量(Broadband measurements)

1. 如輻射頻率為已知且在參考頻段範圍的參考基準為均一時，其峰值(有效值)應以寬頻量測設備進行測量，且該測量設備應具有足夠的頻寬用以測量有關的頻率範圍。另外，測量之有效值與信號變化的波形無關。
2. 測量時間的長度應選取足夠的時間，用以紀錄發生峰值最大的頻率範圍。

三、窄頻測量(Narrowband measurements)

1. 如輻射頻率為已知，但在參考頻率範圍內之參考位準非為均一時，其峰值(有效值)應以具頻率選擇之設備進行量測，而該選擇取樣之頻寬應選足夠窄，以確保個別頻率成分的精確度。
2. 如以暫態記錄器(Transient recorder)測量經調變之載波信號時，其頻率可經

由傅立葉轉換計算而得，則需要選擇適當解析度確保能得到正確測量結果。

四、電磁波測量步驟

1. 場源與傳播特性：測量前建議測量者，藉由已知輻射源相關技術與規格所能提供的資訊，用以熟悉場源與其傳播特性。將可較準確的評估其場強位準，進一步裨益所使用的儀器與測量方法。此步驟能確保有足夠的資料評估人員或使用儀表所可能經歷的危險。
2. 場源與傳播特性列表如下：
 - (1) 形式與輻射源的發射功率。
 - (2) 載波頻率、錯誤頻率與調變特性。
 - (3) 責任週期、脈衝信號寬度及脈衝重覆頻率。
 - (4) 輻射源。

五、測量儀表的選擇

1. 依照頻率、響應時間(Response time)、峰值限制及場強的極化特性來選擇測量儀表，而該儀表須能涵蓋輻射場源之所有頻率範圍。
2. 下列情況需使用寬頻探頭(Broadband probe)
 - (1) 輻射場源包含多個頻率且相關聯頻率的參考基準相等或經補償。
 - (2) 使用頻率選擇儀表進行個別場強分量的測量。
3. 原則上，遵循此標準以儀表響應時間來測量平均或有效值(均方根值)。
4. 對於場強變化緩慢或週期變化者，其平均測量時間(以秒或以分計算)可以估算求出。對於場強劇烈變化者，如：雷達天線掃描，其測量儀器對於可靠的測量峰值場強的響應時間需要小於1微秒。
5. 當測量鄰近雷達天線之場強，其探頭之峰值限制必須為已知，確保探頭免於低責任週期(low-duty-cycle)場強的破壞。
6. 若場源與天線的極性特性無法獲悉，則建議使用等向性探頭(Isotropic probe)。

電力頻率電磁場測量與校正方法之標準(ANSI/IEEE 644-1994)

一、電場場強測量注意要點

1. 電場場強測量儀表以自由導體型儀表(Free-body Meter)為宜，並僅需具有單一方向的電場感測功能即可。
2. 在架空電力線下方應離地面 1 公尺高度(於其他高度測量時，應明確載明)。
3. 探針(Probe)應定向讀取垂直於地面方向之電場場強。
4. 對於非對稱設計形式之電場場強測量儀表，可將其電氣軸向對應於明顯的垂直方向。
5. 測量儀表與非永磁性物體之間距，至少應保持為該物體高度 3 倍以上(間距至少應保持 1 公尺以上)，以確保騰測得足過精確的周圍電場場強。

二、電場場強測量期間之測量位置、注意及檢查事項

1. 為使測量值能正確代表該處之未受干擾場強，測量位置應選擇遠離電力線、鐵塔、樹木、圍籬、高樹、草叢、及不規則物體之空曠位置，最佳者為平坦的位置。
2. 測量地點應避開植物被覆位置，因植物的被覆會影響電場場強，而其影響程度依被覆含水量而不同；特別是在孤立的植物被覆邊緣處會使場強增強，而在被覆側，則會有場強衰減的影響。
3. 測量不確定性：
測量不確定是由校正、溫度、干擾、設備參數、及觀測者效應所造成，而所有的不確定值不得超過 $\pm 1\%$ 。

三、電場場強測量步驟

1. 在測量範圍內沿跨距(Span)方向，並垂直於地面上方 1 公尺進行取樣點測量，如圖 1 及圖 2 所示。
2. 測量半橫向截面之分佈，應從該區間之中間線延橫截面方向移動至距離最外側導體至少 30 公尺。
3. 在架空線之跨距正下方，至少應進行 5 等距測量。
4. 完整的測量應沿著上述之反方向重覆其測量過程。
5. 在測量路線之沿線，應在其間重覆數次的測量，並提供一些可能發生線路高度、電力負載、及電壓值改變處。
6. 測量時應紀錄區域時間於資料表中，以參考對應變電所提供之限電壓及負載資料。

四、電場場強測量儀表之校正步驟

1. 電場場強測量儀表應視儀表元件之穩定度進行週期性校正。
2. 測量儀表至於兩金屬平板間中央處，如圖 3 所示，校正期間並應正常使用絕緣把手。
3. 兩金屬平板所佔之空間為 1.5 公尺 \times 1.5 公尺 \times 0.75 公尺，在不使用電位梯度環(或電阻分壓器)的條件下，應能使平板區域內電場場強的校正場強

均勻度變化在 1% 以內。

4. 前述之限制條件為當測量儀表最大對角線尺寸不得超過 23 公分，若儀表至於上述平板空間結構的中心點位置。
5. 進行校正大或較小尺寸的儀表時，平行板架構的尺寸亦可作等比例的調整。
6. 進行校正時，平行板架構應注意下列條件：
 - (1) 距離最接近的地面(如：牆壁或地板)的距離不得小於 0.5 公尺。
 - (2) 電源供應器所產生的諧波含量不得高於供應電壓值的 1%。
 - (3) 變壓器在高壓輸出端應加裝安全防護措施：合適的電阻器(例如在 0.75 公尺的間距，裝置 10MΩ 電阻器)以作為限制電流之用途。

五、磁場場強之測量步驟

1. 在架空電力線下方應離地面上方 1 公尺之高度(於其他高度測量時，應明確載明)。
2. 單軸探針須能定向以讀取最大的讀值，或是採用之三軸探針可以測得總磁場場強之合成值。
3. 當需要計算、比較在金屬藩籬之感應效能時，其水平與垂直磁場場強須能個別測量其讀值。
4. 測量人員可以靠近其測量儀表之探針部份。
5. 紀錄磁場場強測量值，應註明為最大值或是合成值。

六、磁場場強測量儀表之校正步驟

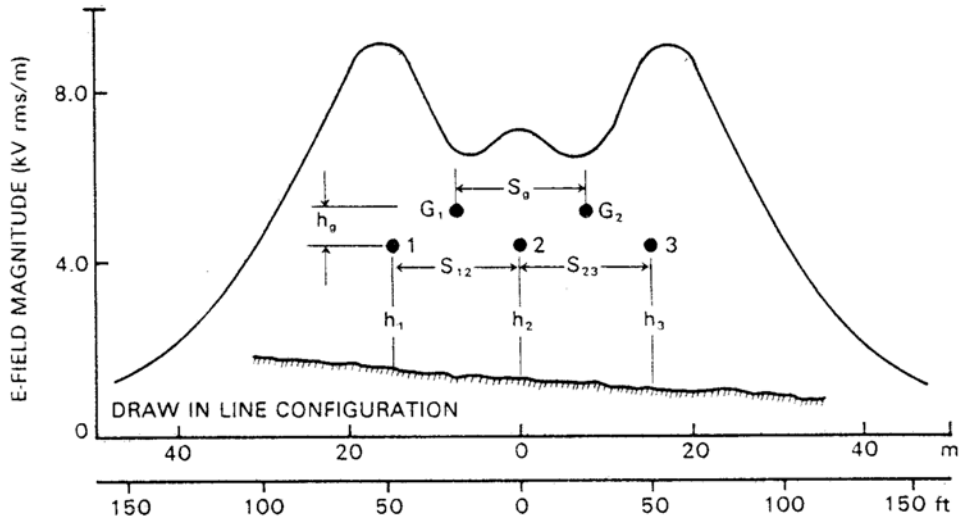
1. 磁場場強測量儀表應視儀表元件之穩定度進行週期性校正。
2. 磁場場強測量儀表之校正的作業，係將該儀表至於能產生均勻磁場與固定方向之線圈系統，如 Helmholtz 線圈或矩形迴圈磁場校正系統，如圖 4 所示。
3. 磁場場強之校正值計算：在一 xy 平面上，設置一邊長為 2a(m)N 匝線圈的正方形迴圈，如圖 5 所示。通電後能產生單頻(弦波穩態)電流，其振幅為 I_0 安培。

在迴圈中心點位置，磁通密度的振幅可由下式計算

$$B_z(0,0,0) = \mu_0 I_0 \sqrt{2} / \pi a \quad (\text{特斯拉}) \quad (1)$$

其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (亨利/公尺) 為空氣的導磁係數

4. 圖 6 展示一個邊長為 1 公尺的正方形迴圈，並在垂直測試平面之高度分別為 $z=0$ 和 $z=\pm 3$ 公分兩個平面，在中心點位置附近的其理論與量測磁場場強之差值百分比分佈狀況，其結果顯示當感測線圈的直徑在 10 公分以下時，在中心點位置磁場場強值的均勻度應在 2% 以內。
5. 進行校正操作時，電源的諧波含量應低於 1% 以下。



NOTE—The symbols (h_1 , S_{12} , etc.) represent conductor heights and spacings.

圖 1. 電場場強測量之橫截面圖

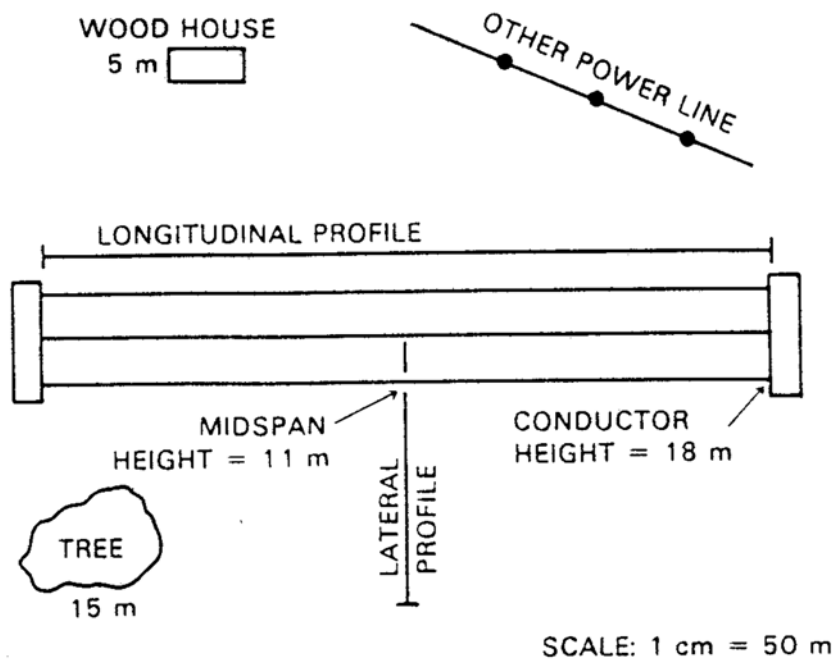


圖 2. 典型與鄰近物體之電場場強測量路徑

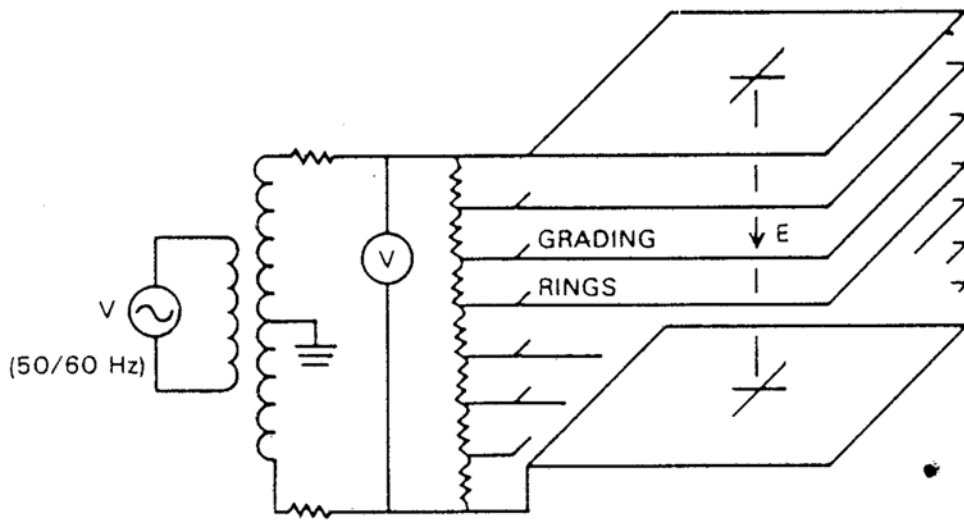


圖 3. 平行板架構應用於電場場強測量儀表之校正

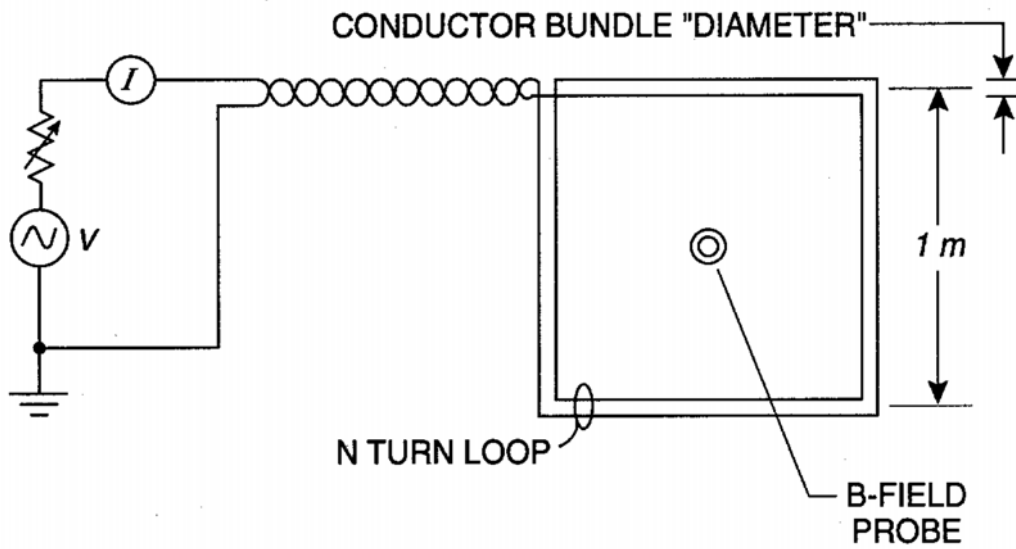


圖 4. 矩形迴圈之磁場場強校正系統

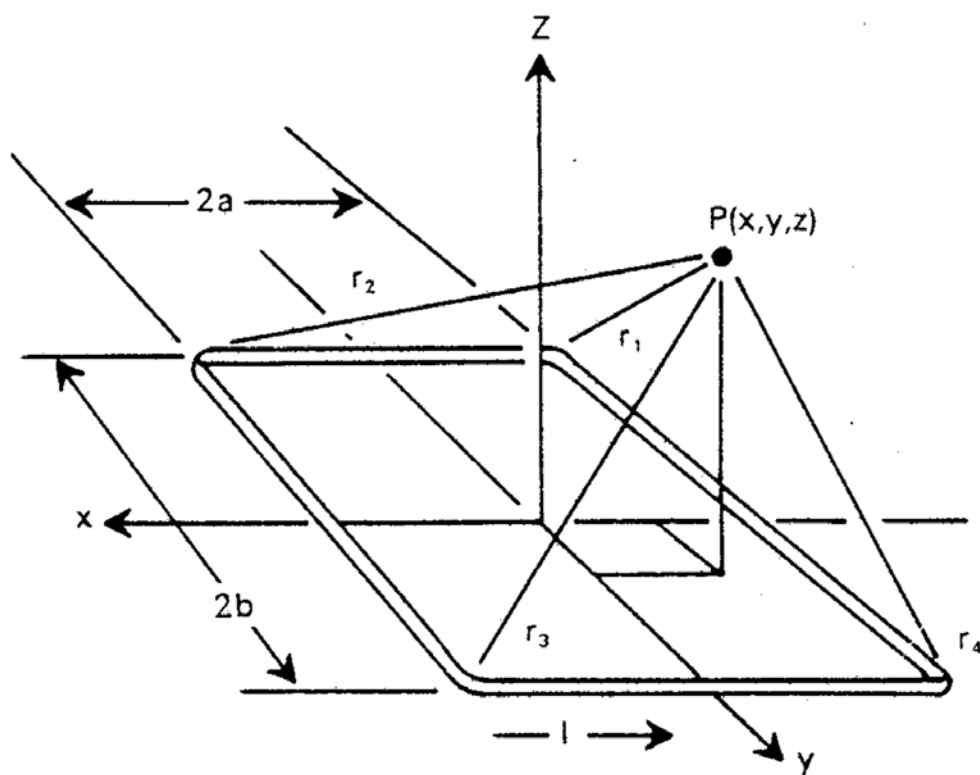


圖 5. 磁場場強之校正值計算架構

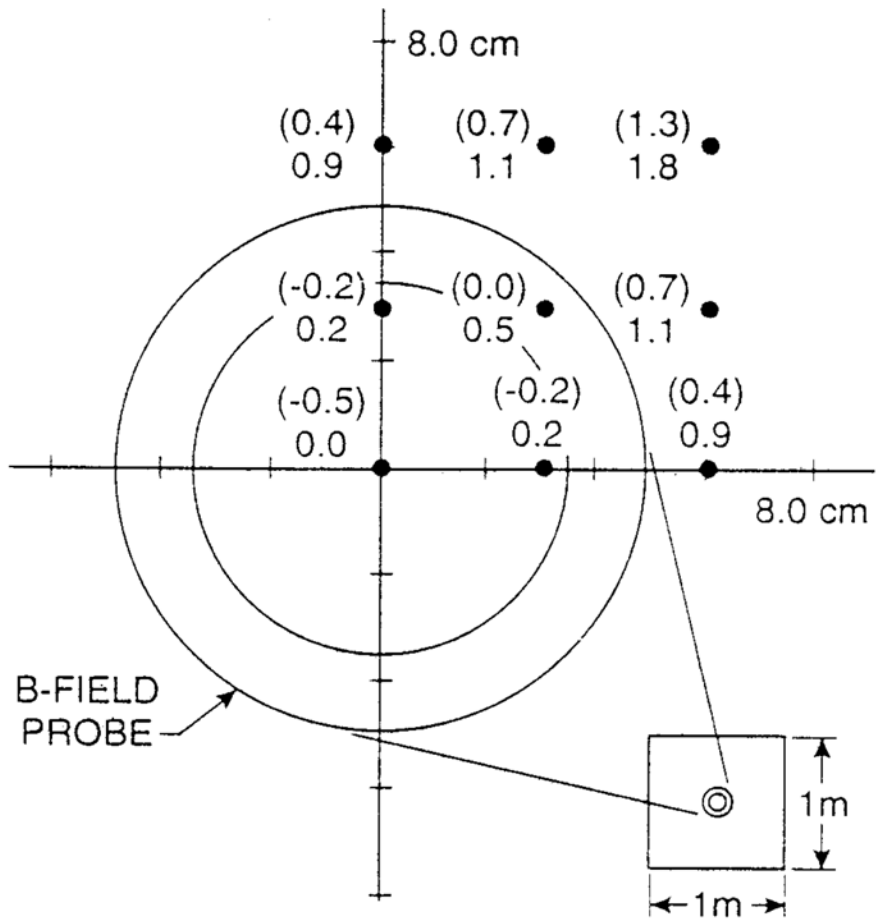


圖 6. 理論與量測磁場場強之差值百分比分佈

射頻頻段電磁場(波)測量方法的標準(IEEE Std C95.3-2002(R2008))

一、注意事項

1. 依足夠的資訊，進行調查及預估場強，選擇適當的測量儀表型式。
2. 測量步驟得依不同之場源和傳播資訊而選擇不同的測量方法。
3. 測量員應使用高功率(低敏感度)探針，並應具有最低敏感度之範圍調整開關。
4. 對高強度輻射場區，其方向性天線(Directional Antenna)，應由較低向較高場強區接近，並於測量時保持適當之距離，以避免探針燒毀。
5. 應特別注意，避免測量人員與測量儀表的過量暴露，以避免傷害。
6. 因低頻場強存在較高的潛在傷害風險，故應優先進行電場場強測量。
7. 對於未知頻率、調變方式、及場強扭曲的區域，應準備數種儀表測量其潛在危害場強，如：頻譜分析儀或電場場強儀。並藉由調幅特性的分析(Amplitude Modulation)，以顯示頻域(Frequency-Domain)的資訊。
8. 經由上述的調查與準備，使用等向性測量設備進行有意義的測量。

二、測量設備之組成基本架構，如圖 1 所示。

1. 感測器：能產生電器信號與場強成比例(或平方成比例)的關係之生成比例。
2. 高阻抗連接：將場和連接電路之間的相互影響減到最低，也就是隔離來自調節和讀出電路的感應器。
3. 功能電路：包括濾波、放大、及數位化等功能。
4. 連接電纜：連接功能電路與讀出裝置，亦可為光學的連接以增加。
5. 讀出裝置：可數位或類比方式顯示場強資訊，可包含登入、平均值、及其他條件之相容性，另外應可藉由適當模組與外部之個人電腦互相通訊與交換資料。
6. 外部裝置：讀出值可藉由導線或光纖電纜傳送至遠方進行資料彙整。

三、單一輻射場源(遠場)之測量步驟

1. 對於線性極化之平面波場強之測量，在場源位置、頻率、及極化型態為已知的條件下，其操作可藉由涵蓋待測頻段，並具有可接受之測量準確度及其可調整之測量場強儀表。
2. 測量儀表中可使用常見的天線：如具有標準增益之號角天線(Horn)或雙極天線(Dipole)，另外全向性之探針亦可使用。
3. 面對觀測點以四個不同方向沿著垂直地面上方 2 公尺高度路徑前進，並採有具有資料收集裝置之寬頻電場探針，測得射頻場強之最小、最大、及有效值。
4. 裝置或固定天線(探針)時，應注意避免受到支撐物或操作人員產生的反射或場強擾動。另外，測量設施之金屬部分、支撐物亦應覆蓋適當的吸收材料，以避免造成場強的擾動。
5. 為了得到最高場強之精確度，場強誤差應能計算出使真實的場強不確定介於 2dB。
6. 測量頻率高於 30MHz 以上之頻段，為獲得上述的精確度，在相對該頻率的每一波長位置應採樣掃描測量或多點測量以得到來自多重路徑或其他反射造成場強變動的資訊。

四、多重輻射場源的遠場測量步驟

1. 當測量多重或分離之輻射場源，對其未知極化或傳播方向時，必須採用一寬頻等向性探針。
2. 當駐波效應與多重場源交互作用時，必須對該區之空間體積進行掃描，該區域可以劃分成 1-3 公尺的立方間距，並對其交叉之每一格點進行測量；另外，垂直面所劃分交叉格點亦進行同樣的測量步驟。
3. 對於未知極化之多重輻射場源，需使用具有垂直軸向的探針，以確保計算場強分量的精確性；但對線性偶極形式之單軸探針，若無法在合理的時間內提供精確的資料時，則不得使用。
4. 若必須使用單軸天線或線性極化天線測量時，則必須能確保場強測量具有

非時變特性。

5. 採用數公尺之細長形、高電阻或光纖形式的探針，其連結電纜後，將可減少上述問題的發生。

五、開放式平行薄板架構的校正方法

使用一個開放式的平行金屬薄板來產生已知電場場強的系統，其結構如圖 2 所示，其操作頻率大約至 30MHz。二導電薄板所間隔的平坦空間，其能所產生的電場場強可視為一個具橫向電磁波(TEM)細胞：

$$E=V/b \quad (1)$$

其中 E 為電場強度，V 為電極間所加的電壓，b 是兩板間距。對於一個使用 TEM 細胞之校正系統，將在相同場強標準的條件下，獲得相同的不確定性。

六、橫向電磁波細胞之校正方法

1. 此校正方法適用低於 500MHz 之頻段。
2. 該系統之主體包括矩形外側導體和上、下平行板間之導板，如圖 3 所示。
3. 該主體之末端漸近部分在沿著整個縱向長度的方向，被設計成具有 50Ω 之特性阻抗。
4. 當該細胞被適當設計並在末端裝設無反射之負載，則低於截止頻率之輸入電壓駐波比(VSWR)將低於 1.05。
5. 在校正區域的中心位置處，介於上板(或下板)與中間導板處，其電場將呈垂直極化特性並具相當之均一性，且波阻抗將趨近於 $120\pi\Omega$ 。

七、GHz 橫向電磁波(GTEM)細胞進行校正方法

1. GTEM 細胞校正方法的結構如圖 4 所示，適用於直流(DC)-18GHz 頻率範圍。
2. GTEM 細胞由漸近式非對稱矩形搭配同軸傳輸線(類似加長 TEM 細胞的輸入部分)組成。
3. 沿著長軸方向，其橫截面尺寸設計成具 50Ω 之特性阻抗。

4. 角錐狀吸收材料將覆蓋 GTEM 之內牆表面，並可將較高頻段之平面波(場)濾除與散逸。

以使用 2 只標準號角天線(Horn, 圖 5)校正之原理說明如下：

首先，定義符號性質

S_I ：全向性天線輻射之功率密度(W/m²)

R ：與發射天線之距離(m)

S_D ：指向性天線輻射之功率密度(W/m²)

P_t ：發射天線輻射之功率(W)

P_r ：接收天線接收輻射之功率(W)

G_t ：發射天線之天線增益

G_r ：接收天線之天線增益

A_{er} ：天線之接收面積

λ_0 ：信號發射頻率在自由空間中所對應之波長(m)

接收天線接收到來自一全向性天線(Isotropic Antenna)輻射之功率密度

$$S_I = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (2)$$

接收天線接收到一指向性天線(Directive Antenna) 輻射之功率密度

$$S_D = \frac{P_t}{4\pi R^2} G_t \quad (3)$$

接收之功率等於功率密度與接收天線有效面積(Effective area)之乘積

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} A_{er} \quad (4)$$

有效面積與天線增益(Antenna Gain)之對應關係

$$A_{er} = \frac{G_r \lambda_0^2}{4\pi} \quad (5)$$

將(5)代入(4)中可得到下式

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda_0^2}{(4\pi R)^2} \quad (6)$$

另外空間路徑損失之定義為

$$SL = \frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi R)^2}{\lambda_0^2} \quad (7)$$

將其轉換成 dB 值單位

$$SL(\text{dB}) = 10\log \frac{P_t}{P_r} = 20\log \frac{(4\pi R)}{\lambda_0} \quad (8)$$

$$10\log P_r = 10\log P_t + 10\log G_t - 20\log \left(\frac{4\pi R}{\lambda_0} \right) - 10\log L_{\text{sys}} \quad (9)$$

$$P_r(\text{dB}) = P_t + G_t + G_r - SL - L_{\text{sys}} \quad (10)$$

由於，我們所要量測的參數為電磁場場強，但天線接收端(機)及場強儀所測量得到的訊號形式為功率或電壓(電流)。但是，功率、電壓(電流)與場強之間的單位可以相互轉換，其間的關係主要是與天線的增益、波長、及天線接收端(機)的輸入阻抗有關。

在一個特定位置，其場強若為 E ，功率密度為 E^2/η ，其中 η 為自由空間的特性阻抗(377Ω)。假設接收天線的等效接收面積為 A_e ，則天線所收到的功率為功率密度與接收面積的乘積，亦即

$$P_r = (E^2/\eta)A_e \quad (11)$$

假設接收天線的輸入阻抗與接收機的輸入阻抗兩者相互匹配，其值皆為 R ，則接收天線所量測得到的功率與電壓、電場場強間的關係為

$$P_r = \frac{V^2}{R} = \left(\frac{E^2 A_e}{\eta} \right) \quad (12)$$

其中 A_e 為接收天線的等效接收面積。而天線的等效接收面積與天線增益 G_r 的關係可由(5)式推知，其中 λ_0 為輻射頻率相對應的波長。再由(11)與(12)式二者，則可推知場強與量測電壓值的關係

$$E = \sqrt{\frac{\eta \times 4\pi}{R\lambda_0^2 G_r}} \times V = A_f \times V \quad (13)$$

$$A_f = \sqrt{\frac{\eta \times 4\pi}{R\lambda_0^2 G_r}} \quad (14)$$

其中 A_f 稱為天線因數(Antenna Factor)。當天線接收端的輸入阻抗為 50Ω 時，其量測功率與測量電壓值之間的關係將可簡化成

$$\text{dBm} = \text{dB}\mu\text{V} - 107\text{dB} \quad (15)$$

假定接收天線增益為 $1(0\text{dB})$ ，場強與量測電壓值的關係設發設定頻率為 100MHz (波長為 3m)的限制下，(15)將可簡化成

$$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} = \text{dB}\mu\text{V} + 10.2\text{dB} \quad (16)$$

從天線因數 A_f 的關係中得知，若已知天線的增益 G_r ，換言之即可求得該待測天線的天線因數，其中待測天線的增益及其天線因數則可應用已知標準天線(號角天線)的量測值與待測天線量測之比值，以及已知天線的增益值及其天線因數值之間的關係來獲得。假設進行校正時，皆使用相同的發射天線，並使用標準天線當做接收天線的量測值為 V_s ，使用待測天線做進行接收時的量測值為 V_u ，標準天線的增益為 G_s 與天線因數為 A_{FS} ，而待測天線的增益為 G_u 與天線因數為 A_{Fu} ，則 G_u 和 A_{Fu} 可分別藉由下式求得

$$G_u = (V_u/V_s)^2 \times G_s \quad (17)$$

$$A_{Fu} = (V_s/V_u) \times A_{FS} \quad (18)$$

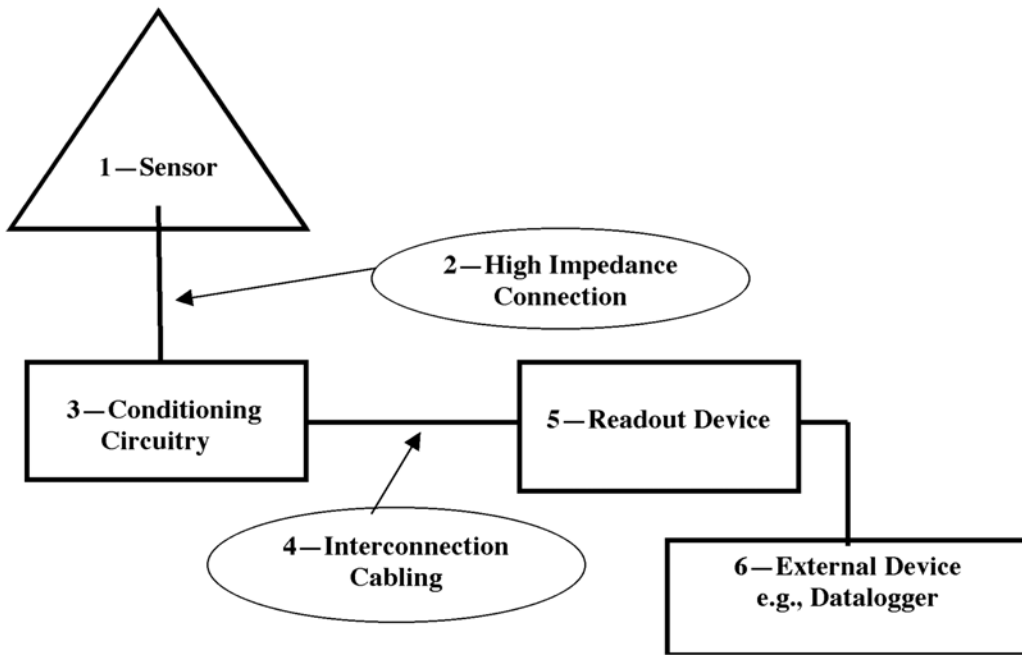
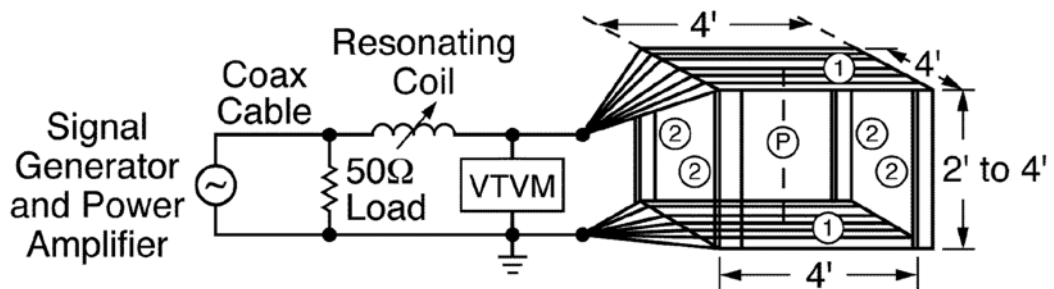


圖 1. 設頻頻段電磁場(波)之基本量測架構



Notes:

- (1) Top and bottom are metal clad plywood
- (2) Vertical supports are wood 2x4s
- (P) Location P is the optimum calibrating point

圖 2. 開放式平行板校正系統

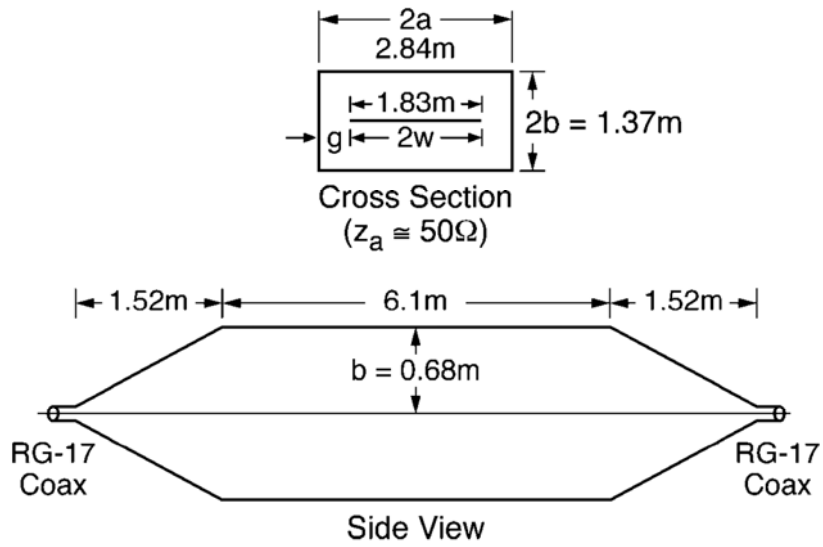


Figure 7—Typical large transverse electromagnetic (TEM) cell

圖 3. 橫向電磁波校正系統

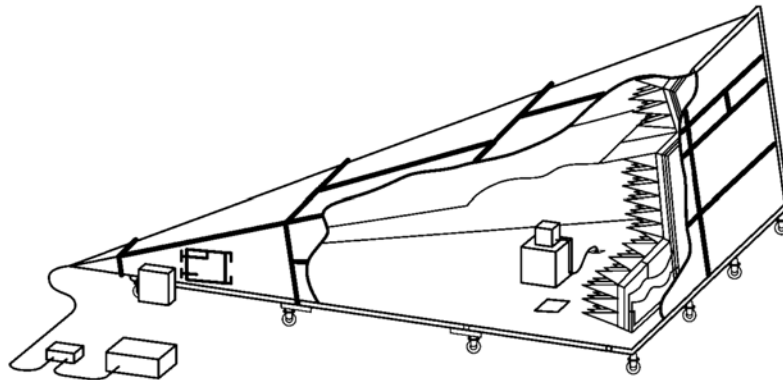


圖 4. GTEM 細胞校正系統

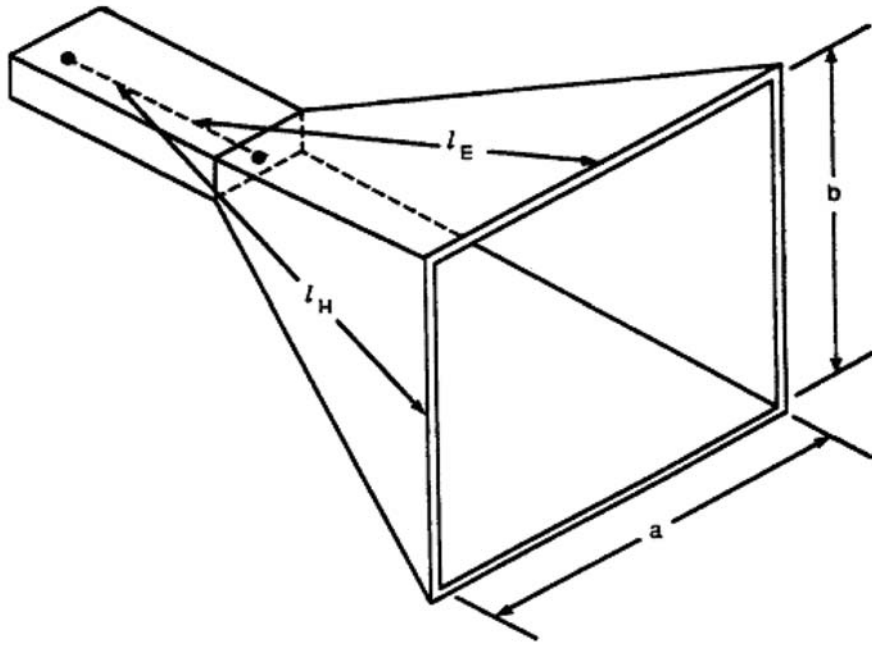


圖 5. 標準號角天線之結構

測量非游離輻射電磁場(9 kHz - 300 GHz)(ECC/REC(20)04)

一、適用範圍

1. 電磁波頻段範圍：9 kHz - 300 GHz。
2. 本測量方法適用於人體電磁波暴露測量，並且適用於以下 3 種狀況：
 - (1) 狀況 1：快速掃瞄(Quick overview)
 - (2) 狀況 2：電磁波頻段掃描(Variable frequency band scan)
 - (3) 狀況 3：詳細的測量(Detailed investigation)

二、非游離輻射電磁場測量方法適用性

1. 狀況 1：快速掃瞄(Quick overview)
 - (1) 本方法適用於當要瞭解非游離輻射電磁場暴露量的概觀。
 - (2) 本方法適用於遠場測量。
 - (3) 本方法不適用於測量不同電磁波頻段的暴露量。
2. 狀況 2：電磁波頻段掃描(Variable frequency band scan)
 - (1) 本方法適用於測量不同頻段電磁波暴露量。
 - (2) 本方法不適用於近場測量。
3. 狀況 3：詳細的測量(Detailed investigation)
 - (1) 本方法適用於當狀況 1 與狀況 2 不適用的情形。

三、測量儀器

1. 狀況 1：快速掃瞄(Quick overview)
 - (1) 儀器：全向性電磁波強度計。
2. 狀況 2：電磁波頻段掃描(Variable frequency band scan)
 - (1) 儀器：頻譜分析儀。
 - (2) 建議配備以下天線進行測量：
 - i. 適合高頻電磁廠之磁場迴圈天線
 - ii. 寬頻偶極天線
 - iii. 雙錐形天線

iv. 指向型天線

v. 全向型天線

3. 狀況 3：詳細的測量(Detailed investigation)

(1) 儀器：狀況一與狀況二中之測量儀器。

(2) 於近場測量時，需分別更換電場探頭與磁場探頭，測量電場與磁場強度。

四、測量方法

1. 測量位置：應選擇人體可能暴露到最高量電磁波的位置，進行測量。

2. 測量高度：

(1) 狀況 1：如圖一所示，於距地 1.7 公尺、1.5 公尺、1.1 公尺處進行測量。

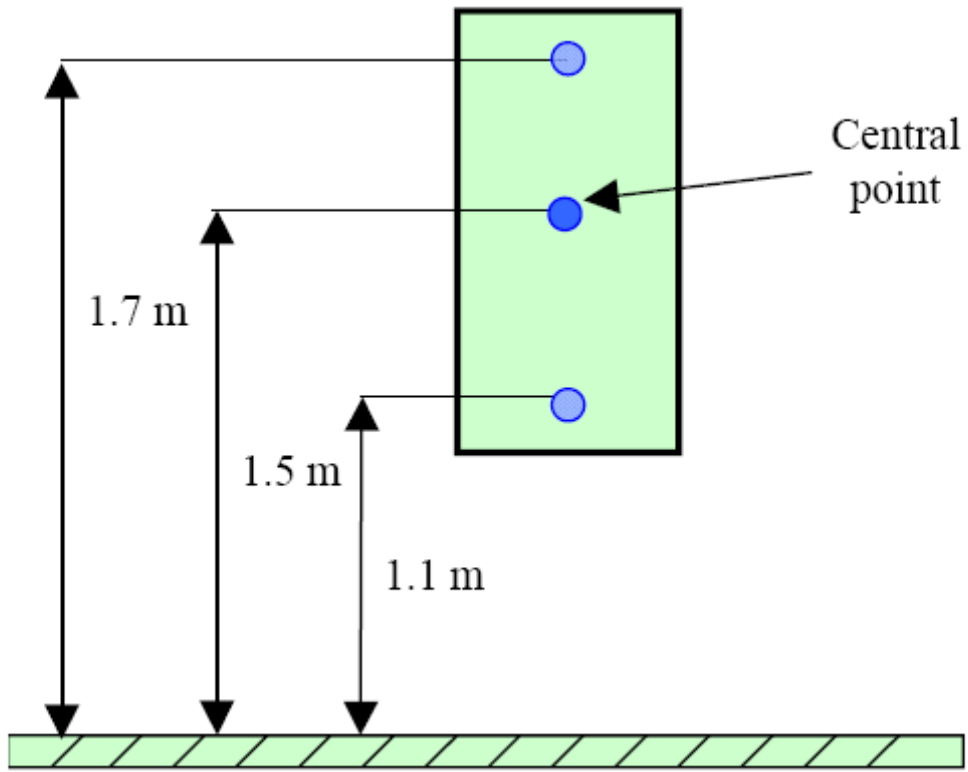
(2) 狀況 2：距地 1.5 公尺處進行測量。

(3) 狀況 3：與狀況一相同。

五、資料處理

1. 狀況 1 與狀況 3 之人體電磁波暴露之電場或磁場平均暴露強度，可依照下式進行測量。

$$E_{\text{spatial average}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 E_i^2}{3}}, H_{\text{spatial average}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 H_i^2}{3}}$$



圖一：測量高度位置示意圖

附錄三 世界各國電磁 波標準與熱危害效 應評估方法之整理

ICNIRP 1998

表 1. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

頻率範圍	電場強度 E (V m ⁻¹)	磁場強度 H (A m ⁻¹)	磁通密度 B (μT)	等效平面波功率密度 Seq (W m ⁻²)
< 1 Hz	-	1.63×10 ⁵	2×10 ⁵	-
1 - 8 Hz	20 000	1.63×10 ⁵	2×10 ⁵ /f	-
8 - 25 Hz	20 000	2×10 ⁴ /f	2.5×10 ⁴ /f	-
0.025 - 0.82 kHz	500/f	20/f	25/f	-
0.82 - 65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065 - 1 MHz	610	1.6/f	2.0/f	-
1 - 10 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	-
1 - 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 - 2000 MHz	3f ^{1/2}	0.008 f ^{1/2}	0.01f ^{1/2}	f/40
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45	50

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

表 2. 時變電場和磁場暴露下適用於一般公眾的導出限值(無干擾情況下的均方根值)

頻率範圍	電場強度 E (V m ⁻¹)	磁場強度 H (A m ⁻¹)	磁通密度 B (μT)	等效平面波功率密度 Seq (W m ⁻²)
< 1 Hz	-	3.2×10 ⁴	4×10 ⁴	-
1 - 8 Hz	10 000	3.2×10 ⁴ /f ²	4×10 ⁴ /f ²	-
8 - 25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	-
0.025 - 0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0.8 - 3 kHz	250/f	5	6.25	-
3 - 150kHz	87	5	6.25	-
0.15 - 1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	-
1 - 10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	0.92/f	-
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 - 2000 MHz	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/200
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

熱效應危害評估

ICNIRP 1998

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

E_i ：各頻段下的電場強度

$E_{L,i}$ ：ICNIRP 1998 標準的表 2 的該頻段下的電場建議規範值

H_j ：各頻段下的磁場強度

$H_{L,j}$ ：ICNIRP 1998 標準的表 2 的該頻段下的磁場建議規範值

c ：職業暴露時為 $610/f$ ；公眾暴露時為 $87/f^{1/2}$ (f 單位為 MHz)

d ：職業暴露時為 $1.6/f$ ；公眾暴露時為 $0.73/f$

台灣

CNS 14959-C6428

表 3. 時變電場和磁場職業暴露參考位準(無干擾的均方根值)

頻率範圍	電場強度 E (Vm^{-1})	磁場強度 H (Am^{-1})	磁通密度 B (μT)	等效平面波功率密度 S_{eq} (Wm^{-2})
< 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1 - 8 Hz	20 000	1.63×10^5	$2 \times 10^5/f$	-
8 - 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	-
0.025 - 0.82 kHz	500/f	20/f	25/f	-
0.82 - 65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065 - 1 MHz	610	1.6/f	2.0/f	-
1 - 10 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	-
1 - 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008 f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	f/40
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45	50

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

表 4. 時變電場和磁場公眾暴露參考位準（無干擾的均方根值）

頻率範圍	電場強度 E (V m^{-1})	磁場強度 H (Am^{-1})	磁通密度 B (μT)	等效平面波功率密度 S_{eq} (Wm^{-2})
< 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1 - 8 Hz	10 000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8 - 25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	-
0.025 - 0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0.8 - 3 kHz	250/f	5	6.25	-
3 - 150kHz	87	5	6.25	-
0.15 - 1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	-
1 - 10 MHz	$87/f^{1/2}$	0.73/f	0.92/f	-
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 - 2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	f/200
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

熱危害效應評估

CNS 14959-C6428

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

E_i ：各頻段下的電場強度

$E_{L,i}$ ：CNS 14959-C6428 標準的表 4 的各頻段下的電場建議規範值

H_j ：各頻段下的磁場強度

$H_{L,j}$ ：CNS 14959-C6428 標準的表 4 的各頻段下的磁場建議規範值

c ：職業暴露時為 $610/f$ ；公眾暴露時為 $87/f^{1/2}$ (f 單位為 MHz)

d ：職業暴露時為 $1.6/f$ ；公眾暴露時為 $0.73/f$

2004/40/EC

DIRECTIVE 2004/40/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 April 2004

表 5. 時變電場和磁場暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

頻率範圍	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面波 功率密度 (W/m ²)	接觸電流 I _c (mA)	誘導電流 (肢體)I _L (mA)
0 to 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-	1.0	-
1 - 8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-	1.0	-
8 - 25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f^2$	$2.5 \times 10^4/f$	-	1.0	-
0.025 - 0.82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1.0	-
0.82 - 2.5 kHz	610	24.4	30.7	-	1.0	-
2.5 - 65 kHz	610	24.4	30.7	-	0.4f	-
65 - 100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0.4f	-
0.1 - 1 MHz	610	1.6/f	2/f	-	40	-
1 - 10 MHz	610/f	1.6/f	2/f	-	40	-
10 - 110 MHz	61	0.16	0.2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0.16	0.2	10	-	-
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008 f^{1/2}$	$0.01 f^{1/2}$	f/40	-	-
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45	50		

熱危害評估

BS EN 50499:2008

Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

E_i : 各頻段下的電場強度

$E_{L,i}$: 2004/40/EC 標準的表 5 的各頻段下的電場建議規範值

H_j : 各頻段下的磁場強度

$H_{L,i}$: 2004/40/EC 標準的表 5 的各頻段下的磁場建議規範值

c : $610/f$ V/m (f 單位為 MHz)

d : $1.6/f$ A/m (f 單位為 MHz)

DD ENV 50166-2:1995

Human exposure to electromagnetic fields – High frequency (10 kHz to 300 GHz)

表 6. 持續暴露時變電場和磁場暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍(MHz)	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	等效平面波功率密度 (W/m ²)
職業暴露	0.01 – 0.038	1000	42	-
	0.038 – 0.61	1000	1.6/f	-
	0.61 - 10	614/f	1.6/f	-
	10 - 400	61.4	0.16	10
	400 - 2000	$3.07f^{1/2}$	$8.14 \times 10^{-3}f^{1/2}$	f/40
	2000 - 150000	137	0.364	50
	150000 – 300000	$0.354 f^{1/2}$	$9.4 \times 10^{-4}f^{1/2}$	$3.334 \times 10^{-4}f$
公眾暴露	0.01 – 0.038	400	16.8	-
	0.038 – 0.61	400	0.7 /f	-
	0.61 - 10	275/f	0.7 /f	-
	10 - 400	27.5	0.07	2
	400 - 2000	$1.37f^{1/2}$	$3.64 \times 10^{-3}f^{1/2}$	f/200
	2000 - 150000	61.4	0.163	10
	150000 – 300000	$0.158 f^{1/2}$	$4.21 \times 10^{-4}f^{1/2}$	$6.67 \times 10^{-5}f$

表 7. 暴露脈衝電場和磁場暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍(MHz)	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	等效平面波功率密度 (W/m ²)
職業暴露	0.01 – 0.23	4760	200	-
	0.23 – 3.73	4760	46/f	-
	3.73 - 10	17750/f	46/f	-
	10 - 400	1775	4.6	8160
	400 - 2000	88.8f ^{1/2}	0.23f ^{1/2}	20.4f
	2000 - 150000	3970	10.3	40890
	150000 – 300000	10.3 f ^{1/2}	2.66 × 10 ⁻² f ^{1/2}	0.274f
公眾暴露	0.01 – 0.23	1936	80	-
	0.23 – 3.73	1936	20/f	-
	3.73 - 10	7940/f	20/f	-
	10 - 400	794	2	1588
	400 - 2000	39.7f ^{1/2}	0.1f ^{1/2}	3.97f
	2000 - 150000	1775	4.17	7934
	150000 – 300000	4.58 f ^{1/2}	0.0115f ^{1/2}	0.053f

熱危害評估

DD ENV 50166-2:1995

$$\sum_i \frac{E_i}{L_{E,i}} + \sum_j \frac{H_j}{L_{H,j}} \leq 1 \quad 60 \text{ Hz} \leq f \leq 700 \text{ kHz}$$

$$\sum_i \left(\frac{E_i}{L_{E,i}} \right)^2 \leq 1 \text{ 與 } \sum_j \left(\frac{H_j}{L_{H,j}} \right)^2 \leq 1 \quad 700 \text{ kHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$$

E_i ：各頻段下的電場強度

$L_{E,i}$ ：DD ENV 50166-2 標準的表 6 的各頻段下的電場建議規範值

H_j ：各頻段下的磁場強度

$L_{H,i}$ ：DD ENV 50166-2 的表 6 的各頻段下的磁場建議規範值

(1999/519/EC)

COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)

表 8. 時變電場和磁場暴露下適用於一般公眾的導出限值（未受干擾的均方根值）

頻率範圍	電場強度 E (V m ⁻¹)	磁場強度 H (Am ⁻¹)	磁通密度 B (μT)	等效平面波功率密度 Seq (Wm ⁻²)
< 1 Hz	-	3.2×10 ⁴	4×10 ⁴	-
1 - 8 Hz	10 000	3.2×10 ⁴ /f ²	4×10 ⁴ /f ²	-
8 - 25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	-
0.025 - 0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0.8 - 3 kHz	250/f	5	6.25	-
3 - 150kHz	87	5	6.25	-
0.15 - 1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	-
1 - 10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	0.92/f	-
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 - 2000 MHz	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/200
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

危害評估

1. (1999/519/EC)

COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)

2. ECC/REC/(02)04

Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz – 300 GHz)

$$\sum_{i=100\text{ kHz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100\text{ kHz}}^{150\text{ kHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>150\text{ kHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

E_i : 各頻段下的電場強度

$E_{L,i}$: 1999/519/EC 2 標準的表 8 的各頻段下的電場建議規範值

H_j : 各頻段下的磁場強度

$H_{L,j}$: 1999/519/EC 2 標準的表 8 的各頻段下的磁場建議規範值

c : $87/f^{1/2}$

d : $0.73/f$

中華人民共和國

表 9. 頻率 100 kHz - 300 GHz 的時變電場和磁場基本限值

暴露特性	頻率範圍	頭部和軀幹 電流密度 (mA/m ²)	全身平均 SAR(W/kg)	局部暴露 SAR(頭部和 軀幹)(W/kg)	局部暴露 SAR(肢 體)(W/kg)	功率密度 (W/m ²)
職業暴露	100 kHz - 300 GHz	-	0.1 W/kg	-	-	-
公眾暴露	100 kHz - 300 GHz	-	0.02 W/kg	-	-	-

表 10. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面波功率密度 (W/m ²)
職業暴露	100 kHz - 3 MHz	87	0.25		
	3 MHz - 30 MHz	150/f ^{0.5}	0.4/ f ^{0.5}		
	30 MHz -3000 MHz	28	0.075		2
	3000 MHz - 15000 MHz	0.5 f ^{0.5}	0.0015 f ^{0.5}		f/1500
	15000 MHz – 30000 MHz	61	0.16		10
公眾暴露	100 kHz - 3 MHz	40	0.1		
	3 MHz - 30 MHz	67/f ^{0.5}	0.17/ f ^{0.5}		
	30 MHz -3000 MHz	12	0.032		0.4
	3000 MHz - 15000 MHz	0.22 f ^{0.5}	0.001 f ^{0.5}		f/7500
	15000 MHz - 30000 MHz	27	0.073		2

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

表 11. 環境電磁場暴露限值

暴露特性	頻率範圍	暴露限值 (第一級標準)	暴露限值 (第二級標準)
公眾暴露	100 kHz - 30 MHz	< 10 V/m	< 25 V/m
	30 MHz - 300 MHz	< 5 V/m	< 12 V/m
	300 MHz - 300 GHz	< 10 W/cm ²	< 40 W/cm ²

備註：第一級標準適用人類居住環境；第二級標準適用人類短期暴露環境或工作場所

日本

表 12. 頻率 100 kHz - 300 GHz 的時變電場和磁場基本限值

暴露特性	頻率範圍	頭部和軀幹 電流密度 (mA/m ²)	全身平均 SAR(W/kg)	局部暴露 SAR(頭部和 軀幹)(W/kg)	局部暴露 SAR(肢 體)(W/kg)	功率密度 (W/m ²)
職業暴露	100 kHz - 300 GHz	-	0.4	10(10 g ave.)	20 (10 g ave.)	-
公眾暴露	100 kHz - 300 GHz	-	0.08	2 (10 g ave.)	4 (10 g ave.)	-

表 13. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通 密度 B (mT)	等效平面 波功率密 度 (W/m ²)
職業暴露	50 Hz / 60 Hz	3	-	-	-
	10 kHz - 30 kHz	0.614	163	-	-
	30 kHz - 3 MHz	0.614	4.9/f	-	-
	3 MHz - 30 MHz	1.842/f	4.9/f	-	-
	30 MHz - 300MHz	0.0614	0.163	-	10
	300 MHz - 1.5 GHz	0.00354f ^{1/2}	f ^{1/2} /106	-	f/30
	1.5 GHz - 300 GHz	0.137*f [MHz]	0.365*f [MHz]	-	50*f [MHz]
公眾暴露	50 Hz / 60 Hz	3	-	-	-
	10 kHz - 30 kHz	0.275	72.8	-	-
	30 kHz - 3 MHz	0.275	2.18/f	-	-
	3 MHz - 30 MHz	0.824/f	2.18/f	-	-
	30 MHz - 300MHz	0.0275	0.0728	-	2
	300 MHz - 1.5 GHz	0.001585f ^{1/2}	f ^{1/2} /237.8	-	f/150
	1.5 GHz - 300 GHz	0.0614* f [MHz]	0.163* f [MHz]	-	10* f [MHz]

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

南韓

表 14. 頻率 100 kHz - 10 GHz 的時變電場和磁場基本限值

暴露特性	頻率範圍	頭部和軀幹 電流密度 (mA/m ²)	全身平均 SAR (W/kg)	局部暴露 SAR(頭部和 軀幹) (W/kg)	局部暴露 SAR(肢體) (W/kg)	功率密度 (W/m ²)
職業暴露	-	-	-	-	-	-
公眾暴露	100kHz-10GHz	-	-	1.6 (1 g average)	-	-

表 15. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (kV/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面 波功率密 度 (W/m ²)	
職業暴露	Below 1Hz	-	1.63×10^5	2×10^2	-	最高限制 值
	1Hz - 8Hz	20	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^2 / f^2$	-	最高限制 值
	8Hz - 25Hz	20	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10 / f$	-	最高限制 值
	0.025kHz - 0.82kHz	$0.5 / f$	$20 / f$	$0.025 / f$	-	最高限制 值
	0.82kHz - 65kHz	0.61	24.4	0.0307	-	最高限制 值
	0.065MHz - 1MHz	0.61	$1.6 / f$	$0.002 / f$	-	
	1MHz - 10MHz	$0.61 / f$	$1.6 / f$	$0.002 / f$	-	
	10MHz - 400MHz	0.061	0.16	0.2×10^{-3}	10	
	400MHz - 2,000MHz	$0.003 f^{1/2}$	$0.008 f^{1/2}$	$0.1 \times 10^{-4} f^{1/2}$	$f / 40$	
	2GHz - 300GHz	0.137	0.36	0.45×10^{-3}	50	

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

表 16. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)(續)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (kV/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面 波功率密 度 (W/m ²)	備註
公眾暴露	Below 1Hz	-	3.2×10^4	4×10	-	最高限制 值
	1Hz - 8Hz	10	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10 / f^2$	-	最高限制 值
	8Hz - 25Hz	10	$4,000 / f$	$5 / f$	-	最高限制 值
	0.025kHz - 0.8kHz	$0.25 / f$	$4 / f$	$0.005 / f$	-	最高限制 值
	0.8kHz - 3kHz	$0.25 / f$	5	0.00625	-	最高限制 值
	3kHz - 150kHz	0.087	5	0.00625	-	-
	0.15MHz - 1MHz	0.087	$0.73 / f$	$0.92 \times 10^{-3} / f$	-	-
	1MHz - 10MHz	$0.087 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 \times 10^{-3} / f$	-	-
	10MHz - 400MHz	0.028	0.073	0.92×10^{-4}	2	-
	400MHz - 2,000MHz	$0.001375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.46 \times 10^{-5} f^{1/2}$	$f / 200$	-
2GHz - 300GHz	0.061	0.16	0.2×10^{-3}	10	-	

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

俄羅斯聯邦

表 17. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面波功率密度 (W/m ²)
職業暴露	50 Hz	$50,000 \cdot (T+2)^{-1}$ (25,000 ^a)	80 ^b . (1,600 ^a)	0,1 ^b . (2 ^a)	-
	50 Hz	-	1,400/3,400/5,400 ^{b.c} . (6,000/8,000/10,000 ^a . .c.)	-	-
	10- 30 kHz	500 ^b . (1,000 ^a)	50 ^b . (100 ^a)	-	-
	0.03 - 3 MHz	$(20,000/T)^{1/2}$ (500 ^a)	$(200/T)^{1/2}$ (50 ^a)	-	-
	3 - 30MHz	$(7,000/T)^{1/2}$ (296 ^a)		-	-
	30 -50 MHz	$(800/T)^{1/2}$ (80 ^a)	$(0.72/T)^{1/2}$ (3 ^a)	-	-
	50 - 300 MHz	$(800/T)^{1/2}$ (80 ^a)		-	-
	0.3 - 300GHz			-	2·T ⁻¹ (10 ^a ·(50 ^d))
	超寬頻電磁場脈衝	2,000 - 7,000 依據脈衝種類 ^e .	-	-	-

表 18. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)(續)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面波功率密度 (W/m ²)
公眾暴露	50 Hz	500 (1,000 ^f)		0.01 (0.05 ^f)	
	(0.3) 30 - 300 kHz	25			
	0.3 - 3 MHz	15			
	3 - 30 MHz	10			
	30 - 300 MHz	3g.			
	0.3 - 300 GHz				0.10 (0.25 ^h)
	超寬頻電磁場脈衝	700 - 2,300 依據脈衝種類 ^e .			
Mobile terminal users	27 - 30 MHz	45 ⁱ .			
	30 - 300 MHz	15 ⁱ .			
	300 - 2400 MHz				1 ⁱ .
VDU users workplaces	5 - 2000 Hz	25		0.000 250	
	2 - 400 kHz	2.5		0.000 025	

備註：a.最高限制值

b.工作 8 小時限制值

c.脈衝調變 50 Hz 磁場峰值。模式 1：脈衝時間 PD \geq 0.2 秒，脈衝間斷時間 TP \leq 2 秒；模式二：60 秒 \geq PD \geq 1 秒, TP > 2 秒；Mode 3：0.02 秒 \leq PD <1 秒，TP > 2 秒。

d.局部暴露最高限制值(手與腳)

e.前方的脈衝電磁場的峰值，持續時間為 0.1 到 50 ns 與 1 到 1000 ns。

f.建築物外居住地區

g.廣播與電視發射台的 MPL，頻率範圍是 48,5 - 108 MHz 與 174 - 230 MHz 內，計算方法為 $E_{MPL} = 21 \cdot f^{0.37}$ [V/m], f 為 MHz；大範圍的雷達掃描，頻率範圍是 150 - 300 MHz，MPL 在近場為 6 V/m，遠場為 19 V/m。

h.旋轉與掃描的天線

i.靠近使用者的手

英國

表 19. 靜電場與磁場基本限值

暴露特性	電場強度 E (kV/m)	磁通密度 B (mT)(頭、脖、與軀 幹)	磁通密度 B (mT) (頭、脖、與軀幹)	磁通密度 B (mT)(肢體)
職業暴露	25	200 (24 小時平均 值)	2000 (立即)	5000 (立即)
公眾暴露	25	200 (24 小時平均 值)	2000 (立即)	5000 (立即)

表 20. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面 波功率密度 (W/m ²)
職業暴露	<0.4 Hz	25	160000	200	-
	0.4 - 24 Hz	25	64000/f	80/f	-
	24 Hz - 600 Hz	600/f	64000/f	80/f	-
	600 Hz - 1 kHz	1	64000/f	80/f	-
	1kHz - 535 kHz	1	64	0.08	-
	535 kHz - 600 kHz	1	18/f ²	0.023/f ²	-
	600 kHz - 12 MHz	600/f	18/f ²	0.023/f ²	-
	12 MHz - 200 MHz	0.05	0.13	0.00016	6.6
	200 MHz - 400 MHz	0.25f	0.66f	0.00079f	165f ²
	400 MHz - 800 MHz	0.1	0.26	0.00031	26
	800 MHz - 1.55 GHz	0.125f	0.33f	0.00040f	41f ²
	1.55 GHz - 300 GHz	0.194	0.52	0.00062	100
公眾暴露	<0.4 Hz	25	160000	200	-
	0.4 - 24 Hz	25	64000/f	80/f	-
	24 Hz - 600 Hz	600/f	64000/f	80/f	-
	600 Hz - 1 kHz	1	64000/f	80/f	-
	1kHz - 535 kHz	1	64	0.08	-
	535 kHz - 600 kHz	1	18/f ²	0.023/f ²	-
	600 kHz - 12 MHz	600/f	18/f ²	0.023/f ²	-
	12 MHz - 200 MHz	0.05	0.13	0.00016	6.6
	200 MHz - 400 MHz	0.25f	0.66f	0.00079f	165f ²
	400 MHz - 800 MHz	0.1	0.26	0.00031	26

	800 MHz - 1.55 GHz	0.125f	0.33f	0.00040f	41f ²
	1.55 GHz - 300 GHz	0.194	0.52	0.00062	100
成人	600 kHz - 10 MHz	600/f (f in kHz)	-	-	-
	10 MHz - 60 MHz	0.06	-	-	10
	60 MHz - 137 MHz	f (f in GHz)	-	-	2700f ² (f in GHz)
	137 MHz - 1.1 GHz	0.137	-	-	50
	1.1 GHz - 1.55 GHz	0.125f	-	-	41f ² (f in GHz)

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

波蘭

表 21. 時變電場和磁場基本限值

頻率範圍	電磁場的物理參數		
	電場	磁場	功率密度
0 Hz	10 kV/m	2500 A/m	-
>0 Hz to 0.5 Hz	-	2500 A/m	-
>0.5 Hz to 50 Hz	1 kV/m (短期暴露： 10 kV/m)	60 A/m	-
> 0.05 kHz to 1 kHz	-	$3/f$ A/m	-
> 0.001 MHz to 0.8 MHz	20 V/m	3 A/m	-
> 0.1 MHz to 0.8 MHz	20 V/m	3 A/m	-
> 0.8 MHz to 3 MHz	20 V/m	$2.4/f$ A/m	-
> 3 MHz to 10 MHz	6.14 V/m	$2.4/f$ A/m	-
>10 MHz to 300 MHz	6.14 V/m	-	-
> 300 MHz to 300 000 MHz	-	-	0.1 W/m ²

瑞士

表 22. 設備限制值(Installation Limit Values, ILV)

設備	ILV(RMS 值)	參考操作狀態
電力線、變電所	1 T	最大比例電流
電鐵	1 T	依照實際操作之 24 小時 平均值
行動電話基地台		最大比率發射功率
900 MHz	4 V/m	
1800 MHz	6 V/m	
混合頻率	5 V/m	
長中波廣播	8.5 V/m	最大比率發射功率
雷達	5.5 V/m	最大比率發射功率
所有其他發射電台	3 V/m	最大比率發射功率

土耳其

表 23. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

頻率 範圍(MHz)	電場 強度/單一 發射源 (V/m)	總電 場強度 (V/m)	磁場強 度/單一發射 源(A/m)	總磁場 強度 (A/m)	磁通 密度/單一 發射源(μT)	總磁通 密度(μT)	功 率 密 度 / 單 一 發 射 源 (W/m ²)	總功 率密度 (W/m ²)
0.010 - 0.15	22	87	1,03	5	1,05	25,06	-	-
0.15 - 1.0	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
1.0 - 10	$22 / f^{1/2}$	$87 / f^{1/2}$	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10 - 400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400 - 2000	$0.341f^{1/2}$	$1.375f^{1/2}$	$0.0009f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.001f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f / 3200$	$f / 200$
2000 - 60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

備註：f指頻率範圍欄裡的單位。

加拿大

表 24. 頻率 100 kHz - 10 GHz 的時變電場和磁場基本限值

暴露特性	頻率範圍	全身平均 SAR (W/kg)	局部暴露 SAR(頭部和軀幹) (W/kg)	局部暴露 SAR(肢體) (W/kg)	功率密度 (W/m ²)
職業暴露	100 kHz - 10 GHz	0.4	8	20	-
	10 GHz - 150 GHz	-	-	-	50
	150 GHz - 300 GHz	-	-	-	$3.33 \times 10^{-4} f$
公眾暴露	100 kHz - 10 GHz	0.08	1.6	4	-
	10 GHz - 150 GHz	-	-	-	10
	150 GHz - 300 GHz	-	-	-	$6.67 \times 10^{-5} f$

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

表 25. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍 (MHz)	電場強度 E(V/m)	磁場強度 H(A/m)	磁通密度 B(mT)	等效平面 波功率密 度 (W/m ²)	平均時間 (min)
職業暴露	0.003 - 1	600	4.9	-	-	6
	1.0 - 10.0	600/f	4.9/f	-	-	6
	10.0 - 30.0	60	4.9/f	-	-	6
	30 - 300	60	0.163	-	10*	6
	300 - 1500	3.54f ^{0.5}	0.0094f ^{0.5}	-	f/30	6
	1500 - 15000	137	0.364	-	50	6
	15000 - 150000	137	0.364	-	50	616000/f ^{1.2}
	150000 - 300000	0.354f ^{0.5}	9.4 x 10 ⁻⁴ f ^{0.5}	-	3.33 x 10 ⁻⁴ f	616000/f ^{1.2}
公眾暴露	0.003 - 1	280	2.19	-	-	6
	1.0 - 10.0	280/f	2.19/f	-	-	6
	10.0 - 30.0	28	2.19/f	-	-	6
	30 - 300	28	0.073	-	2*	6
	300 - 1500	1.585f ^{0.5}	0.0042f ^{0.5}	-	f/150	6
	1500 - 15000	61.4	0.163	-	10	6
	15000 - 150000	61.4	0.163	-	10	616000/f ^{1.2}
	150000 - 300000	0.158f ^{0.5}	4.21 x 10 ⁻⁴ f ^{0.5}	-	6.67 x 10 ⁻⁵ f	616000/f ^{1.2}

美國

表 26. 頻率 100 kHz - 10 GHz 的時變電場和磁場基本限值

暴露特性	頻率範圍	頭部和軀幹電流密度 (mA/m ²)	全身平均 SAR (W/kg)	局部暴露 SAR(頭部和軀幹) (W/kg)	局部暴露 SAR(肢體) (W/kg)	功率密度 (W/m ²)
職業暴露	0.3MHz-6GHz	-	0.4	8	20	-
公眾暴露	0.3MHz-6GHz	-	0.08	1.6	4	-

表 27. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (kV/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面 波功率密 度 (W/m ²)	平均時間 (min)
職業暴露	0.3-3.0 MHz	0.614	1.63	-	1000	6
	3.0-30 MHz	1.842/f	4.89/f	-	9000/f*2	6
	30-300 MHz	0.0614	0.163	-	10	6
	300-1500 MHz	-	-	-	f/30	6
	1.5-100 GHz	-	-	-	50	6
公眾暴露	0.3-1.34 MHz	0.614	1.63	-	1000	30
	1.34-30 MHz	0.824/f	2.19/f	-	1800/f*2	30
	30-300 MHz	0.0275	0.073	-	2	30
	300-1500 MHz	-	-	-	f/150	30
	1.5-100 GHz	-	-	-	10	30

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

祕魯

表 28. 時變電場和磁場職業暴露導出限值(未受干擾的均方根值)

暴露特性	頻率範圍	電場強度 E (V/m)	磁場強度 H (A/m)	磁通密度 B (mT)	等效平面波 功率密度 (W/m ²)	平均時間(min)
職業暴露	9- 65 KHz	610	24.4	-	-	-
	0.065 - 0.1 MHz	610	1,6/f	-	-	-
	0.1 - 1 MHz	610	1,6/f	-	-	6
	1 - 10 MHz	610 / f	1,6/f	-	-	6
	10 - 400 MHz	61	0.16	-	10	6
	400 - 2000 MHz	3 f ^{0.5}	0.006 f ^{0.5}	-	f / 40	6
	2 - 10 GHz	137	0.36	-	50	6
	10 - 300 GHz	137	0.36	-	50	68 / f ^{0.5}
公眾暴露	9 - 100 KHz	67	5	-	-	-
	100 - 150 KHz	67	5	-	-	6
	0,15 - 1 MHz	67	0,73 / f	-	-	6
	1 - 10 MHz	87/ f ^{0.5}	0,73 / f	-	-	6
	10 - 400 MHz	26	0.073	-	2	6
	400 - 2000 MHz	1.375 f ^{0.5}	0.0037f ^{0.5}	-	f/200	6
	2 - 10 GHz	61	0.16	-	10	6
	10 - 300 GHz	61	0.16	-	10	68 / f ^{0.5}

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

附錄四 專家學者會議 紀錄

電磁場(波)人體暴露量之量測方法及採樣先驅研究第一次學者會議

時間：九十八年六月十六日（星期三）上午十時

地點：中山醫學大學校本部 PBL 第 04 教室

姓名	簽名
毛義方	毛義方
盧士一	
陳秋蓉	陳秋蓉
張振平	
程惠生	程惠生
陳永華	陳永華
陳國弘	陳國弘
周傳凱	周傳凱
李中一	李中一
劉宏信	劉宏信
楊鎮壕	楊鎮壕

九十七學年度電磁場(波)人體暴露量之量測方法及採樣先驅研究第一次學者會議紀錄

時間：九十八年六月十七日（星期三）上午十時

地點：中山醫學大學校本部 PBL 第 04 教室

主席：劉宏信

出席人員：毛義方、劉宏信、李中一、陳國弘、陳永華、陳秋蓉、程惠生、周傳凱、楊鎮壕

紀錄：楊鎮壕

主席報告：本計劃為國健局委託之研究計畫，其目的在於建立一電磁場(波)人體暴露量之量測方法，為了解電磁波研究最新進展，目前本計畫已翻譯完畢 Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations 文獻，及本計畫之初擬電磁波量測方法，已放置在各位委員的座位處。請各位委員過目後，敬請給予指教，謝謝。

一、委員意見

1. 國外資料可再廣泛收集，尤其是近年之電磁波暴露研究，參考其採樣分析方法。
2. 各種不同頻段之電磁波，在不同量測高度之強度可能差異度不大，建議進行實測後，比較其差異。若無差異，僅需量測固定高度即可。
3. 由於目前研究量測的電磁波之各種指標還尚未確定哪一指標對電磁波量測最具代表性，建議可考慮所有指標取其平均值，初擬的量測方法可考慮 Analysis of individual- and school-level clustering of power frequency magnetic fields 研究文獻，進行修正。
4. 針對基地台維護人員之問卷並未規劃，可向陳國弘委員討論，建立與修改其問卷。
5. 電磁波量測紀錄表，需加入 board band 量測儀器之紀錄值項目。
6. 由於電磁波量測均在遠場量測，其電磁波量測紀錄表僅需有電場強度紀錄表即可。
7. 針對有電磁波暴露之虞的一般職場，可考慮加入大賣場作為量測地點。
8. 可向 TCC 委員，如陳國弘與周傳凱委員，學習目前電磁波量測儀器使用方法。
9. 針對電磁波量測地點選取，可至非屬原子能游離輻射全國地理資訊系統查詢 2008 年較高電磁波量測值之場地，但其環境中電磁波皆在屋頂量測，於實際場地量測時，如：戶內。在室內可能由於遮蔽效應關係，電磁波強度與在屋頂量測時，將有極大的差異。
10. 電磁波量測地點選取，可考慮 AM 及 FM 廣播發射電台，其發射源之週遭環境皆較高，可做為研究剛開始地點之選取。

二、臨時動議

無

電磁場(波)人體暴露量之量測方法及採樣先驅研究第二次學者會議

時間：九十八年十月二日（星期五）上午十時

地點：中山醫學大學校本部學人樓四樓會議室

姓名	簽名
毛義方	毛義方
陳秋蓉	
張振平	張振平
程惠生	程惠生
陳永華	陳永華
陳國弘	陳國弘
李中一	李中一
劉宏信	劉宏信
楊鎮壕	楊鎮壕

九十七學年度電磁場(波)人體暴露量之量測方法及採樣先驅研究第二次學者會議紀錄

時間：九十八年十月二日（星期五）上午十時

地點：中山醫學大學校本部學人樓 4 樓會議室

主席：劉宏信

出席人員：毛義方、劉宏信、李中一、陳國弘、張振平、程惠生、陳永華、楊鎮壕

紀錄：楊鎮壕

主席報告：本計劃為國健局委託之研究計畫，目前已初步建立電磁波人體暴露量量測方法，並完成台灣北、中、南部區域之 5 歲以下兒童、6~15 歲青少年、一般辦公室環境（有射頻暴露可能之職場）、及基地台作業人員之族群量測，其相關文獻資料已放置在各位委員的座位處。請各位委員過目後，敬請給予指教，謝謝。

三、委員意見

1. 關於初步建立之量測方法，量測方法如有參考其他標準或量測方法時，請註明並標示出處。
2. 量測方法中之每個測點連續測量 3 次，每次測量時間不應小於 15 秒，並讀取穩定狀態的最大值，若測量讀值起伏較大時，應延長至適當的測量時間，取 3 次值的平均值作為該點的場強值。此部份可改為量測一次即可，而 ICNIRP 建議量測單點時間為 6 分鐘，需注意此差別，提出於實際量測時僅需約 15 秒便達穩定之論述。
3. 量測方法中之採樣點數目過多，當在戶外或室內中時，實際距離發射源極遠，建議可減少採樣點數目。
4. 建議可多加 AM 電台進行電磁波量測。

四、臨時動議

無

電磁場(波)人體暴露量之量測方法及採樣先驅研究第^三次學者會議

時間：九十八年十一月 19 日（星期四）下午 1 點

地點：中山醫學大學校本部學人樓 PBL 07 教室

姓名	簽名
毛義方	毛義方
陳秋蓉	陳秋蓉
劉立文	劉立文
饒瑞榮	饒瑞榮
古家豪	古家豪
盧士一	盧士一
劉宏信	劉宏信
楊鎮壕	楊鎮壕

九十七學年度電磁場(波)人體暴露量之量測方法及採樣先驅研究第三次學者會議紀錄

時間：九十八年十一月十九日（星期四）下午一時

地點：中山醫學大學校本部學人樓 PBL 07 教室

主席：劉宏信

出席人員：毛義方、劉宏信、饒瑞榮、古家豪、陳秋蓉、劉立文、盧士一、楊鎮壕

紀錄：楊鎮壕

主席報告：本計劃為國健局委託之研究計畫，目前已初步建立電磁波人體暴露量量測方法，並完成台灣北、中、南部區域之 5 歲以下兒童、6~15 歲青少年、一般辦公室環境（有射頻暴露可能之職場）、基地台作業人員之族群量測、及職場為高頻加熱之勞工族群，其相關文獻資料已放置在各位委員的座位處。請各位委員過目後，敬請給予指教，謝謝。

五、委員意見

1. 關於測量完後的數據，應進行統計分析檢定，如：電磁波強度於頭部、腹部、及腳部的差異。
2. 關於測量方法內的文字敘述部份，用詞遣字請重新修正，如：電磁波風險評估應改正為熱效應危害評估。
3. 熱效應危害評估公式之計算方式中，將電場強度值平方之原因，在於將電場強度轉換成能量功率之故，所以需要將其平方。
4. 縱橫線交叉軸部份之測量點，其間距可以在拉大至 10~20 公尺。
5. 為了民眾暴露到非游離輻射之安全，建議於測量電磁波，評估個人暴露量時，取峰值(最大值)做為測量值。
6. 建議測量高度選取應改為頭部、胸部、及腹部等三個部位高度。

六、臨時動議

無

附錄五人體電磁波暴 露量測與量化方法

人體電磁波暴露量測與量化方法

一、範圍

1. 本方法規定 100kHz 至 3GHz 電磁場的測量方法。但不適用於環境照射以及作為醫療和診斷為目的之照射。
2. 本方法不適用局部性的非游離輻射暴露偵測，如：使用行動電話時之非游離輻射暴露。

二、量測儀器

1. 選擇測量和頻率適合於測量對象的全向性電磁波強度計與頻譜分析儀。

三、測量對象

1. 針對欲測量之對象(如：一般民眾、暴露於電磁波之職業員工、兒童、及孕婦等)進行訪談，瞭解受測對象之時間活動模式與個人活動範圍，以決定量測地點與範圍。

四、量測方法

1. 儀器校正

- (1) 測量前，應確定儀器是否每年一次固定送回原廠或中華民國實驗室認證體系(TAF)認可之實驗室進行校正。

2. 測量點之選擇，經由瞭解受測對象之時間活動模式與個人活動範圍，得知量測地點與範圍後，依下列方式決定測量點。

- (1) 主要活動區域：依照人員實際作業姿勢與位置，決定測量點。(註 1)

- (2) 次要活動區域：(註 2)

- i. 實際測量前，應先用全向性電磁波強度計於活動區域部位掃瞄，若整體場前變化差異不大(最大值與最低值相差一倍內)則適用下列方式：

1. 量測區域面積在 20 平方公尺以內時，在區域內以每邊長約三公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上進行量測

2. 量測區域面積在 20 至 100 平方公尺以內時，在區域內以每邊長約六公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上進行量測。
 3. 量測區域面積大於 100 平方公尺時，在區域內以每邊長約九公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上進行量測。
- ii. 若整體場前變化差異大(最大值與最低值相差大於一倍)則適用下列方式：
1. 量測區域面積在 20 平方公尺以內時，在區域內以每邊長約一公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上進行量測。
 2. 量測區域面積在 20 至 100 平方公尺以內時，在區域內以每邊長約二公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上進行量測。
 3. 量測區域面積大於 100 平方公尺時，在區域內以每邊長約三公公尺為單位，定出方格線，在每一方格線交點上進行量測。
3. 量測高度之選擇，應針對受測者之活動姿勢，選擇不同量測高度位置。立姿操作：受測者之頭、胸、腹之高度。坐姿操作：受測者之頭、胸、腹之高度。睡姿：頭部高度。(表 1 至表 3)
4. 電磁場量測(於射頻電磁場之頻率範圍內，大多屬於遠場量測，因此感測頭搭配電場探針即可)
- (1) 全向性電磁波強度計
- i. 依照 2 之步驟進行選擇採樣點位置數量，及 3 之步驟進行採樣點高度選取。
 - ii. 手持測量儀器，將檢測探頭置於欲量側的位置，探頭周遭 1 公尺以內不應有人或臨時性放置其他金屬物品。
 - iii. 每個測點測量 1 次，測量時間不應小於 15 秒，並讀取穩定狀態的

最大值，若測量讀值起伏較大時，應延長至 6 分鐘，取 6 分鐘平均值。

(2) 頻譜分析儀

- i. 同一自由寬敞空間內選擇一採樣點，並依照 3 之步驟進行採樣點高度選取。
- ii. 手持量測儀器，將檢測天線置於欲量側的位置，探頭周遭 1 公尺以內不應有人或臨時性放置其他金屬物品。
 1. 若搭配指向性天線，需各別測量 X、Y、Z 軸方向。若使用全向性天線則無此限制，僅需將天線置於欲量側的位置。
- iii. 使用頻譜分析儀進行頻譜分析掃描時，首先應進行全頻寬掃描 (Full band scan) 後，得知概略電磁波訊號頻率後，再針對其訊號頻率範圍進行窄頻掃描 (Narrow band scan)，得到較詳細之掃描結果。

5. 測量紀錄

- (1) 測量紀錄應包含以下內容：測量日期、測量時間、氣象條件(溫度、相對溼度)、測量地點(單位、製造商名稱、工廠和具體測量位置)、高頻設備型號和參數、測量儀器型號、測量數據、及測量人員等。

6. 測量結果處理

- (1) 以全向性電磁波強度計與頻譜分析儀之量測結果，搭配個人時間活動模式問卷進行結果計算與推估。

$$E = \sqrt{\frac{E_{\text{頭}}^2 + E_{\text{胸}}^2 + E_{\text{腹}}^2}{3}}$$

$$E_i = \sum E_j \times t_{ij}$$

$$\bar{D} = \frac{E_i}{\sum t_{ij}}$$

- E：全身平均電磁場電場場強值(V/m)。
- E頭：於頭部高度量測之電磁場電場場強值(V/m)。
- E胸：於胸部高度量測之電磁場電場場強值(V/m)。
- E腹：於腹部高度量測之電磁場電場場強值(V/m)。
- Ei：i 為個人於一定時間內的總暴露值 (V/m × h)。
- Ej：微環境 j 之電磁場電場場強暴露值(V/m)。
- tij：i 為個人停留於微環境 j (室內、室外、交通)之時間。
- j：i 為個人於一定時間內停留之微環境總數。
- \bar{D} ：個人之日平均暴露電磁場電場場強暴露值。

(2) 熱危害效應評估，目前參考 ICNIRP(1998)之時變電場、磁場及電磁場曝露之限制值內載之計算方式，以下列關係式計算是否超過我國法規暴露限值，再將不同高度量測之熱效應值，進行比較，以最大值做為代表熱效應暴露危害值。

換算說明：

1. 電場強度 E_0 (dB μ V/m) = 接收信號功率強度(dBm) + 107(dB) + 天線因子(dB/m) + 電纜損耗(dB)
2. 天線因子(dB/m) = 20log(f MHz) - 天線增益 - 天線阻抗(當天線阻抗為 50 Ω 時，代入 29.8dB；天線阻抗為 75 Ω 時，代入 31.5dB)
3. E_0 (dB μ V/m) = 20*log E1(μ V/m)
4. E_2 (V/m) = E_1 (μ V/m)/10⁶
5. 電波功率密度：P(mw/cm²) = $[E_2$ (V/m)]² / (10 × Z₀) = $[E_2$ (V/m)]² / 3770。
6. (Z₀：自由空間之波阻抗，約等於 377 Ω)

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 \leq 1$$

Ei：為各頻率下之電場強度

c：我國之各射頻電磁波頻段下之電場強度建議值(表 4)。

註：若使用搭配指向性天線之頻譜分析儀，須先將 X、Y、Z 軸之電場強度值進行換算後，依照下式進行均方根計算，方可進行至熱效應之風險評估計算。

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

- E：電場場強總合值
- Ex：X 軸的電場場強值
- Ey：Y 軸的電場場強值
- Ez：Z 軸的電場場強值

五、注意事項

1. 進行現場測量時，測量人員應注意人體防護。

六、備註

註 1：主要活動區域係指人員活動主要範圍的姿勢，如：幼稚園孩童與青少年於上學階段時，主要活動範圍是坐在上課課桌椅部份。，因此，就必須針對實際上課的姿勢，如：坐姿或站姿高度進行測量，其他族群亦是此概念。

註 2：次要活動區域係指人員活動次要範圍的姿勢，如：幼稚園孩童與青少年於上學階段時，於下課階段會在教室走道、走廊、遊樂區、或操場活動，由於此活動範圍大，且處於這範圍的時間短。因此，僅以測量其活動範圍部分並搭配實際活動時之姿勢進行測量即可，其他族群亦是此概念。

表 1. 幼稚園孩童不同姿勢之電磁波量測高度表

站姿		坐姿		睡姿	
人體部位	高度	人體部位	高度	人體部位	高度
頭頸	95	頭頸	75	頭頸	10
胸部	80	胸部	55		
腹部	50	腹部	25		

以身高 105 公分作為計算基準

表 2. 青少年不同姿勢之電磁波量測高度表

站姿		坐姿	
人體部位	高度	人體部位	高度
頭頸	150	頭頸	115
胸部	135	胸部	70
腹部	80	腹部	40

以身高 163 公分作為計算基準

表 3. 職場勞工不同姿勢之電磁波量測高度表

站姿		坐姿	
人體部位	高度	人體部位	高度
頭頸	155	頭頸	120
胸部	140	胸部	75
腹部	85	腹部	40

以身高 169 公分作為計算基準

表 4. 時變電場和磁場暴露下適用於一般公眾的導出限值(無干擾情況下的均方根值)

頻率範圍	電場強度 E (V m ⁻¹)	磁場強度 H (Am ⁻¹)	磁通密度 B (μT)	等效平面波功率 密度 Seq (Wm ⁻²)
< 1 Hz	-	3.2×10 ⁴	4×10 ⁴	-
1 - 8 Hz	10 000	3.2×10 ⁴ /f ²	4×10 ⁴ /f ²	-
8 - 25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	-
0.025 - 0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0.8 - 3 kHz	250/f	5	6.25	-
3 - 150kHz	87	5	6.25	-
0.15 - 1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	-
1 - 10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	0.92/f	-
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 - 2000 MHz	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/200
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

備註：f 指頻率範圍欄裡的單位。

(ICNIRP,

1998)

表 5. 電磁波測量紀錄基本資料表

第 頁，共 頁

量測日期：中華民國 年 月 日		測量人員：			
環境條件：溫度		℃			
溼度		%			
測量設備基本資料					
項次	儀器名稱	廠牌	型號	序號	備註
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

圖 1. 採樣地點圖示

第 頁，共 頁

採樣地點圖示

表 6. 電磁波場強強度測量紀錄表

幼稚園孩童站姿之電磁波量測高度表(電場值, V/m)

量測編號	站姿		
	頭部	胸部	腹部
	95 公分	80 公分	50 公分

表 9. 電磁波場強強度測量紀錄表

第 頁，共 頁

青少年站姿之電磁波量測高度表(電場值 V/m)

量測編號	站姿		
	頭部	胸部	腹部
	155 公分	135 公分	85 公分

表 11. 電磁波場強強度測量紀錄表

職場勞工站姿之電磁波量測高度表(電場值 V/m)

量測編號	站姿		
	頭部	胸部	腹部
	155 公分	140 公分	85 公分

表 13. 電磁波頻譜測量紀錄表

第 頁，共 頁

測量 編號	測量 高度 (cm)	量 測 值		天線因子 AF (dB1/m)	電纜損耗 CL (dB)	電場強度值 E		ICNIRP 建議值 (V/m)
		頻率 (MHz)	功率 P ₁ (dBm)			(dBμV/m)	(V/m)	

附錄六 不同年齡或職業族群電磁波暴露型態測量結果

族群特徵描述

5 歲以下兒童族群特徵描述

本研究選取幼稚園孩童做為 5 歲以下兒童研究族群，進行個人電磁波暴露量測。於臺灣北部、中部、及南部等地區共挑選三間幼稚園做為研究對象，分別是台北縣三重市正義國小附設幼稚園、台中市忠明國小附設幼稚園、及高雄縣鳳山市正義國小附設幼稚園，進行瞭解族群活動特性與兒童電磁波暴露量測。

孩童於幼稚園活動時間約從早上 8 點至 8 點 40 分上學，至下午 3 點 50 分到 4 點放學，總時間約為 8 小時左右。其活動時間與範圍大多於教室內，進行室內團體活動、主題課程、音樂欣賞、午餐與點心時間、及午休午覺等活動。而戶外活動部份，其活動範圍主要於教室外之戶外遊樂區進行玩樂，活動時間約為半小時左右。

6-15 歲青少年族群特徵描述

本研究選取國民小學青少年做為 6-15 歲青少年研究族群，進行個人電磁波暴露量測。於臺灣北部、中部、及南部等地區共挑選三間國民小學做為研究對象，分別是台北縣三重市正義國小、台中市忠明國小、及高雄縣鳳山市正義國小，進行瞭解族群活動特性與青少年電磁波暴露量測。

青少年於學校活動時間約從早上 7 點 30 分上學至下午 4 點放學，總時間約為 8 小時 30 分鐘左右。其活動時間與範圍大多於教室內，進行導師時間、國語教學、英語教學、數學教學、社會教學、鄉土語教學、綜合活動、及午時用膳等。而戶外活動部份，其活動範圍主要於教室外之操場進行體育課程，活動時間約為半小時左右。

有射頻暴露可能之一般辦公室環境勞工族群特徵描述

本研究挑選室內架設有 AP 無線網路基地台辦公室，做為有射頻暴露可能之一般辦公室環境勞工之研究族群。於臺灣北部、中部、及南部地區，接洽三間公司做為研究對象，分別是耕莘醫院永和分院環安人員辦公室、博為工程職員辦公室與成功大學環境醫學研究所研究助理辦公室。

耕莘醫院永和分院環安人員辦公室為三人一間的小型辦公室，主要負責醫院之安全與衛生。環安人員約從早上 8 點上班至下午 5 點下班，中午大多至醫院外圍之餐廳用膳。其活動範圍與作業形式部份，職員主要在辦公室內，大多為電腦文書作業，進行整合醫院之安全與衛生事件通報與環安事件管理。博為工程為一營造建築製圖公司，公司職員約共有 6 人，約從早上 8 點上班至下午 5 點下班，中午時段大多亦在公司內用膳。其活動範圍與作業形式部份，職員主要在辦公室內，於電腦桌前使用 AutoCAD 繪圖軟體進行建築設計製圖。而成功大學環境醫學研究所研究助理辦公室部分，職員約有 5 人，約從早上 8 點上班至下午 5 點下班或從早上 9 點上班至下午 6 點下班，中午時段大多都在醫院附設餐廳用膳。處理行政事務之助理，主要於辦公室內於電腦桌前處理報帳、公文發送、及其他老師交辦事務。而處理計畫之研究助理，隨著計畫的進展其工作內容亦有所不同，剛開始主要於辦公室內，於電腦桌進行研究文獻閱讀與整理、計畫撰寫、及其他計畫涉及文書事務，後續執行計畫階段可能至工廠進行作業環境測定與分析。

基地台作業人員族群特徵描述

基地台作業人員主要工作為基地台的架設、天線角度調整、發射功率調整、基地台檢修與搶修等。作業場所在於有設置電磁波遮蔽設備之機房進行上述作業，當需要調整天線時，則是將機房電源關閉，停止發送電磁波訊號，進行天線調整與維修，因此基地台作業人員之電磁波暴露強度情形，與一般民眾無差異。因此，本研究選取具有較高度暴露電磁波強度之族群做為研究對象—財團法人電信技術中心(Telecom Technology Center, TTC)之基地台電磁波量測人

員。當民眾向國家通訊傳播委員會(National Communications Commission, NCC) 申訴架設於鄰近房屋屋頂基地台發射之電磁波強度可能會對健康造成影響，申請基地台之電波功率密度量測及分析，NCC 便將民眾之申請案件轉交給 TTC 之電磁波量測人員進行處理，TTC 之量測人員依據交通部電信總局頒「行動電話業務無線電基地臺審驗技術規範」及行政院環境保護署頒之「非游離輻射環境建議值」，進行電波功率密度量測及分析，並依照量測數據出具檢測報告。其量測基地台電磁波作業形式與範圍，係以基地臺每一天線正前方左右各約四十五度且人體可活動範圍內為測試區域，並以頻譜分析儀進行量測，以頻譜中三個最大峰值之頻率進行功率密度加總。

高頻加熱設備之製造業勞工族群特徵描述

本研究挑選一家從事塑膠顆粒加熱射出成型工廠與兩家高週波加熱工廠，其職場勞工之作業模式大多相似。經訪談瞭解，其勞工作業輪班可分為 8 小時輪班與 12 小時輪班制度。且於作業時，以固定站姿或坐姿進行操作儀器或在儀器旁檢驗生產之產品品質監控。

量測成果

壹、5 歲以下兒童

台北縣三重市
正義國小附設幼稚園

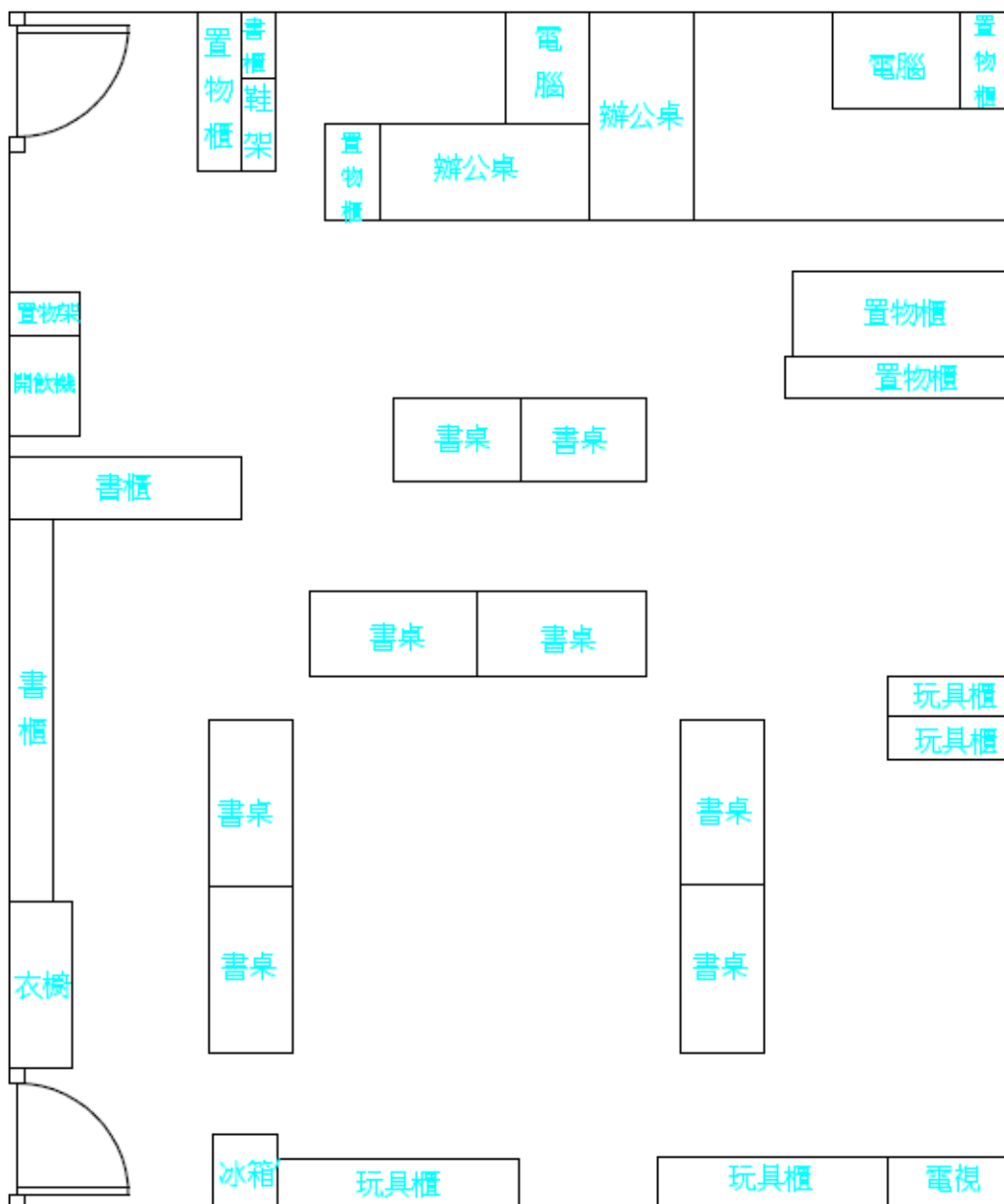


圖 1. 台北縣三重市正義國小附設幼稚園企鵝班教室位置示意圖

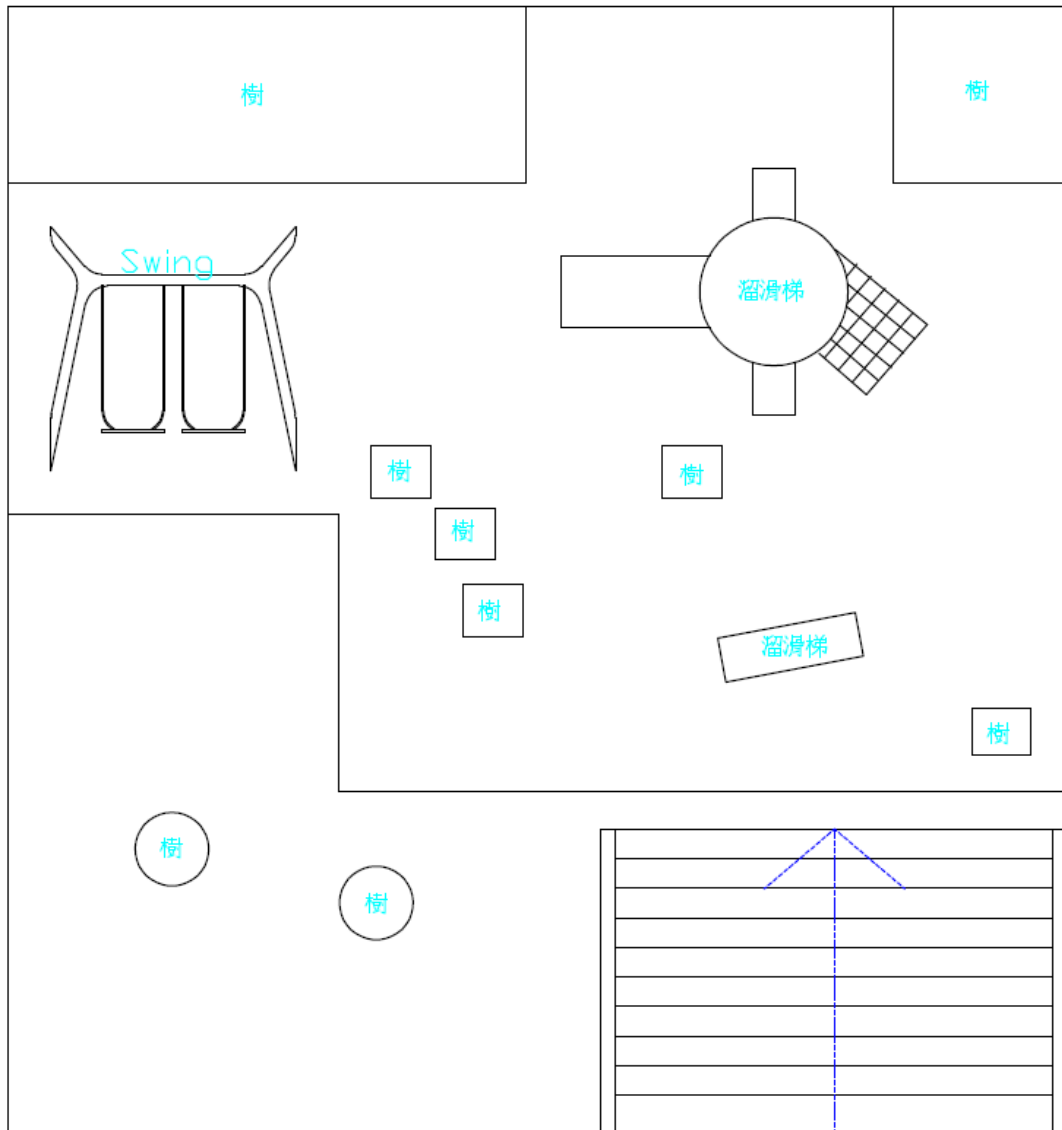


圖 2. 台北縣三重市正義國小附設幼稚園兒童戶外活動區位置示意圖

台北縣三重市正義國小附設幼稚園兒童個人暴露量測量結果

表 1. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之三位兒童個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.123 ± 0.005
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 2. 以頻譜分析儀測量分析結果計算幼稚園兒童熱效應危害之結果

室內			戶外操場
坐姿	站姿	睡姿	站姿
1.72×10^{-9}	3.01×10^{-9}	1.32×10^{-9}	3.26×10^{-7}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

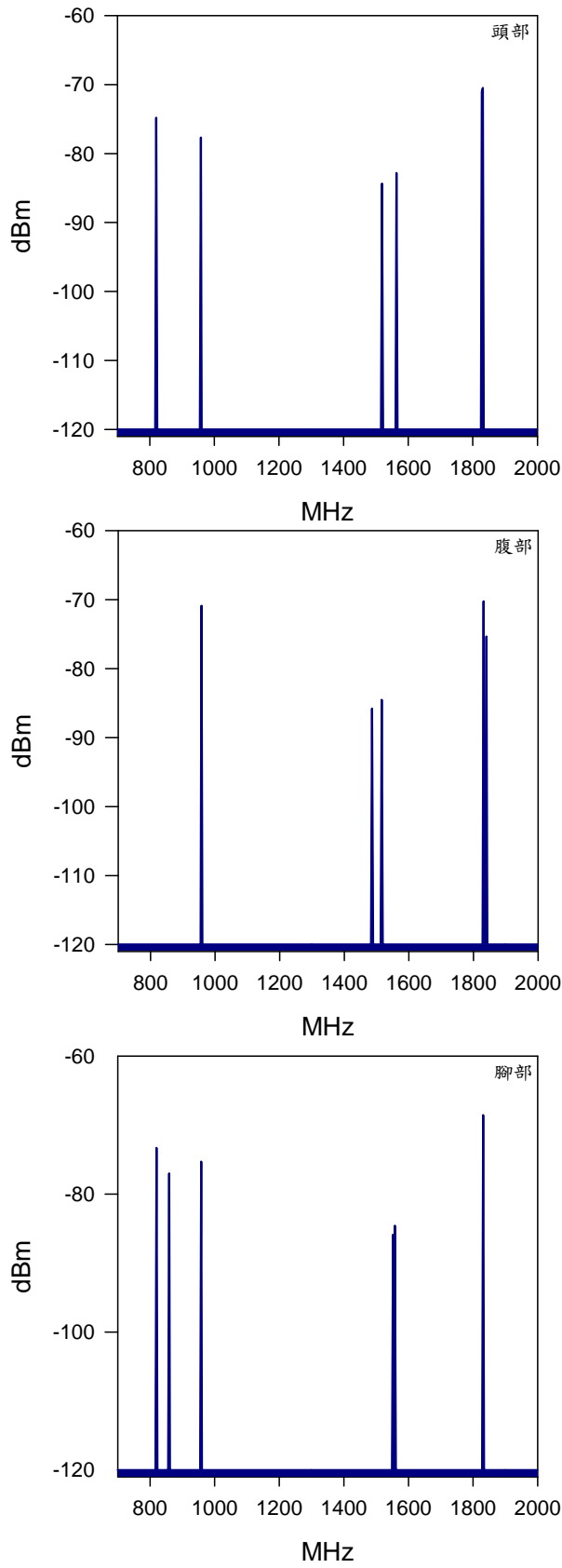


圖 3. 幼稚園教室內兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

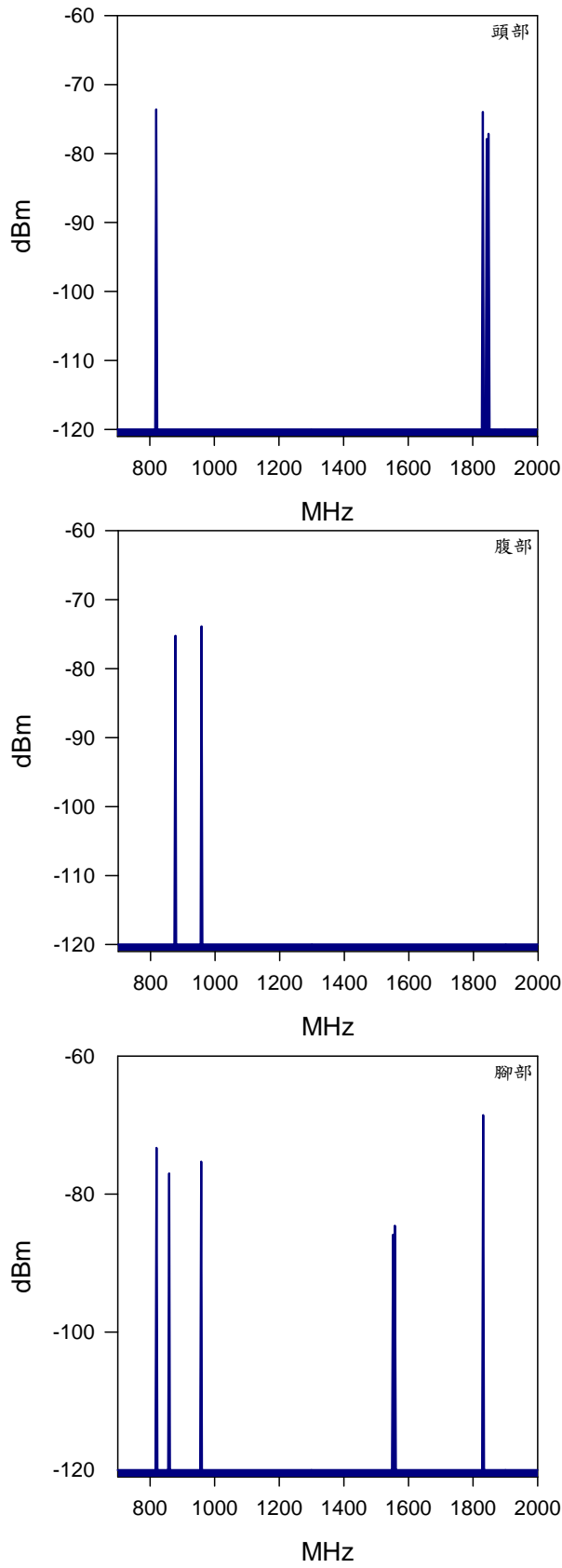


圖 4. 幼稚園教室內兒童坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

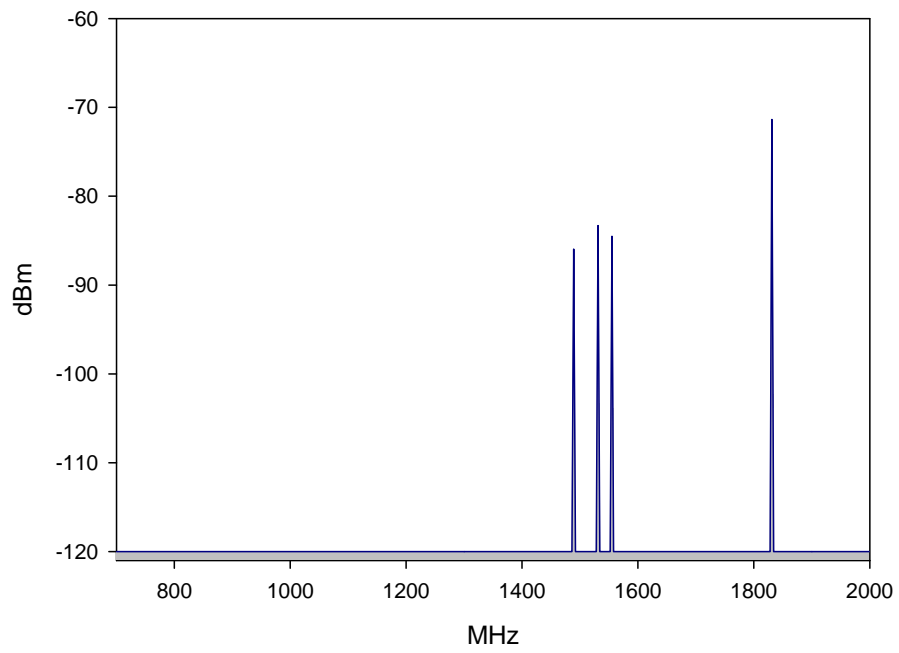


圖 5. 幼稚園教室內兒童睡姿姿勢之頭部部位之電磁波頻段掃描圖

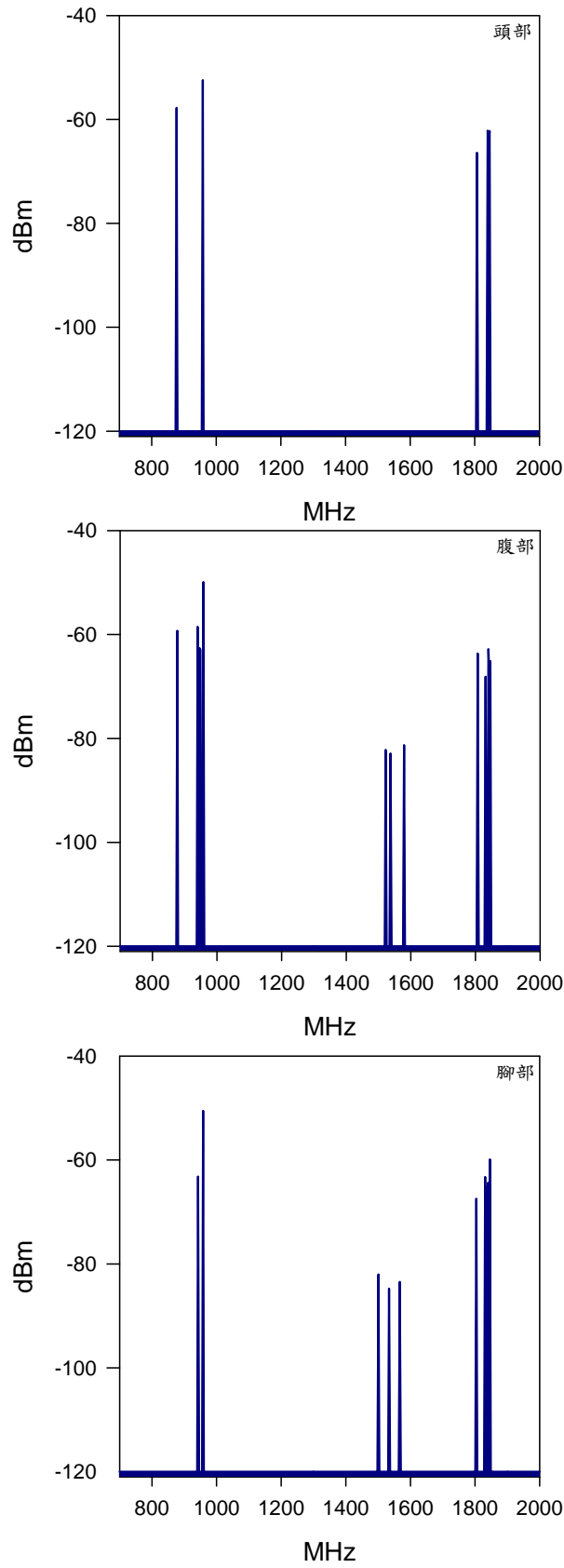


圖 6. 戶外遊樂區兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

台中市

忠明國小附設幼稚園

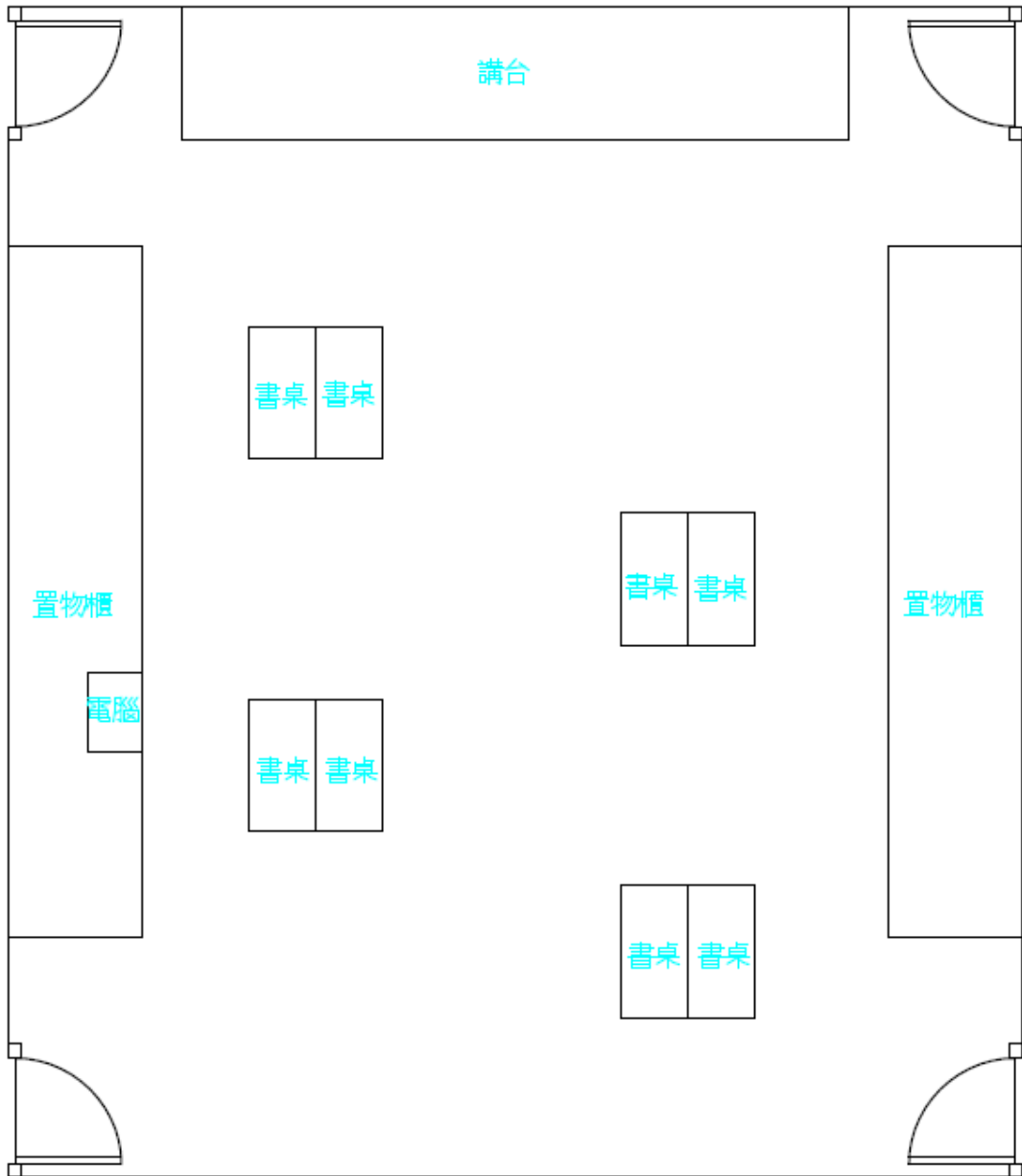


圖 7. 台中市忠明國小附設幼稚園白兔班教室位置示意圖

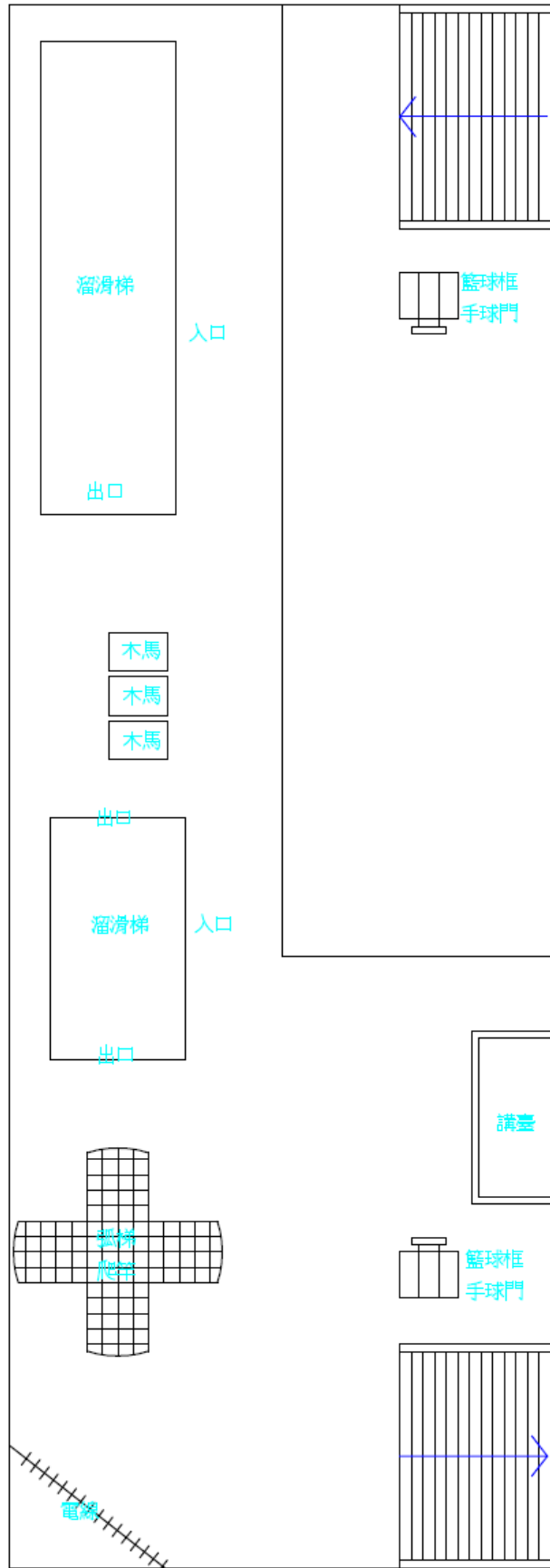


圖 8. 台中市忠明國小附設幼稚園白兔班戶外遊樂區

台中市忠明國小附設幼稚園兒童個人暴露量測量結果

表 3. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之三位兒童個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.163 ± 0.011
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 4. 以頻譜分析儀測量分析結果計算幼稚園兒童熱效應危害之結果

室內			戶外操場
坐姿	站姿	睡姿	站姿
1.75×10^{-8}	1.47×10^{-8}	1.70×10^{-8}	2.03×10^{-6}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

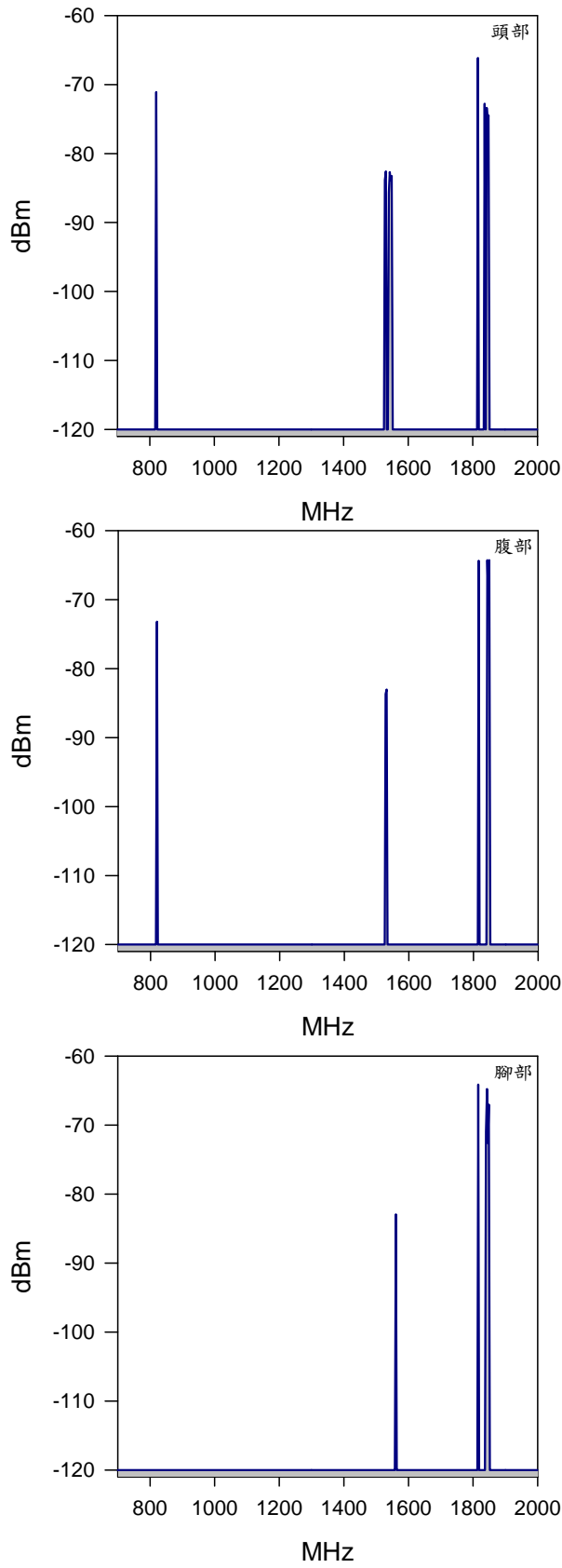


圖 9. 幼稚園教室內兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

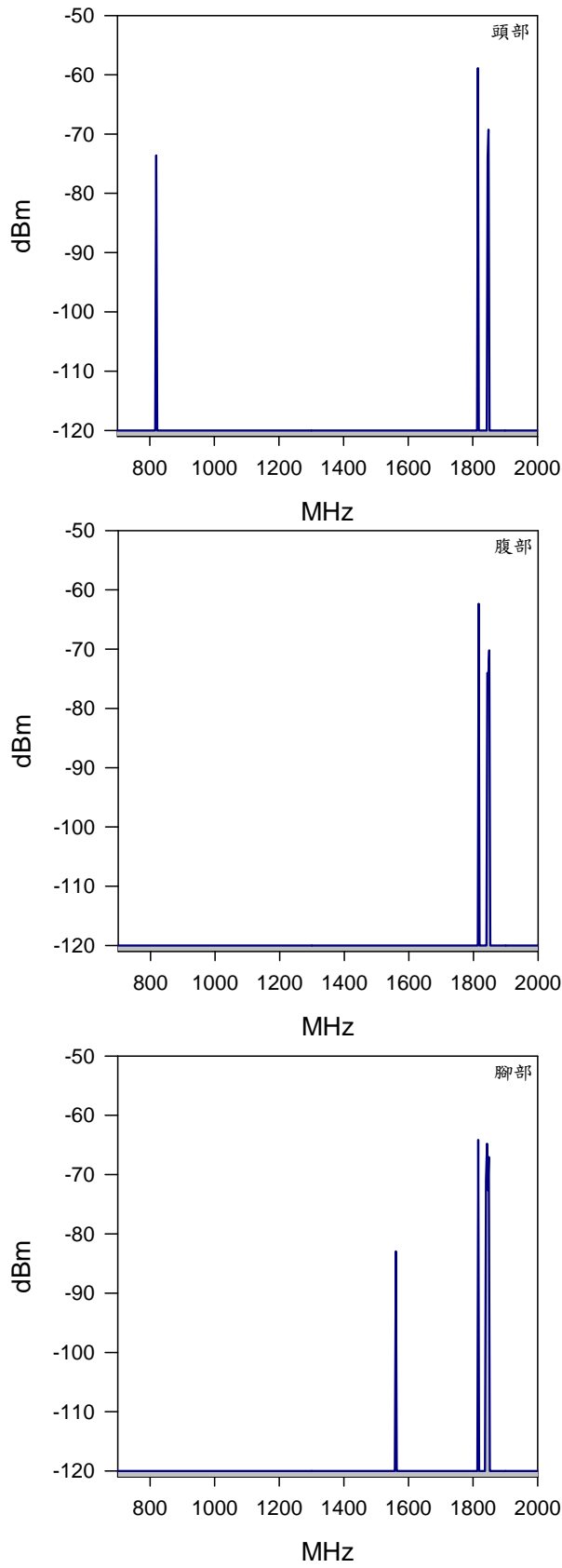


圖 10. 幼稚園教室內兒童坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

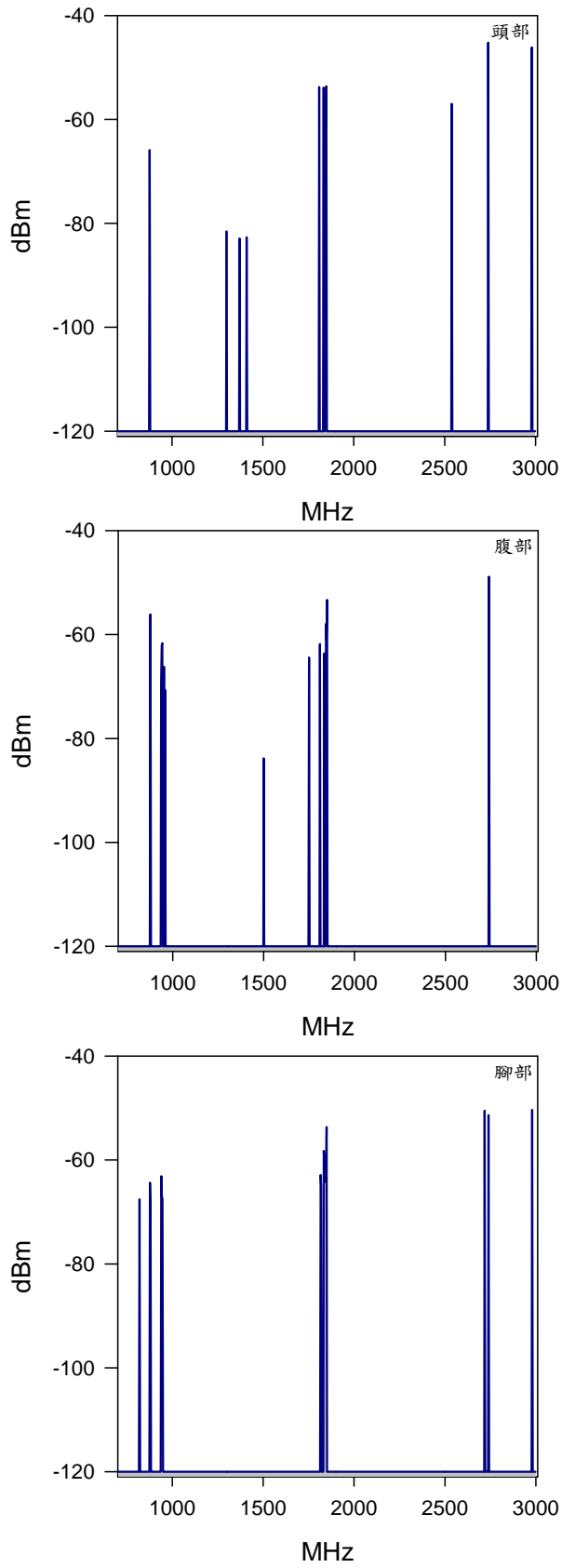


圖 11. 幼稚園戶外遊樂場之兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波
頻段掃描圖

高雄縣鳳山市
正義國小附設幼稚園

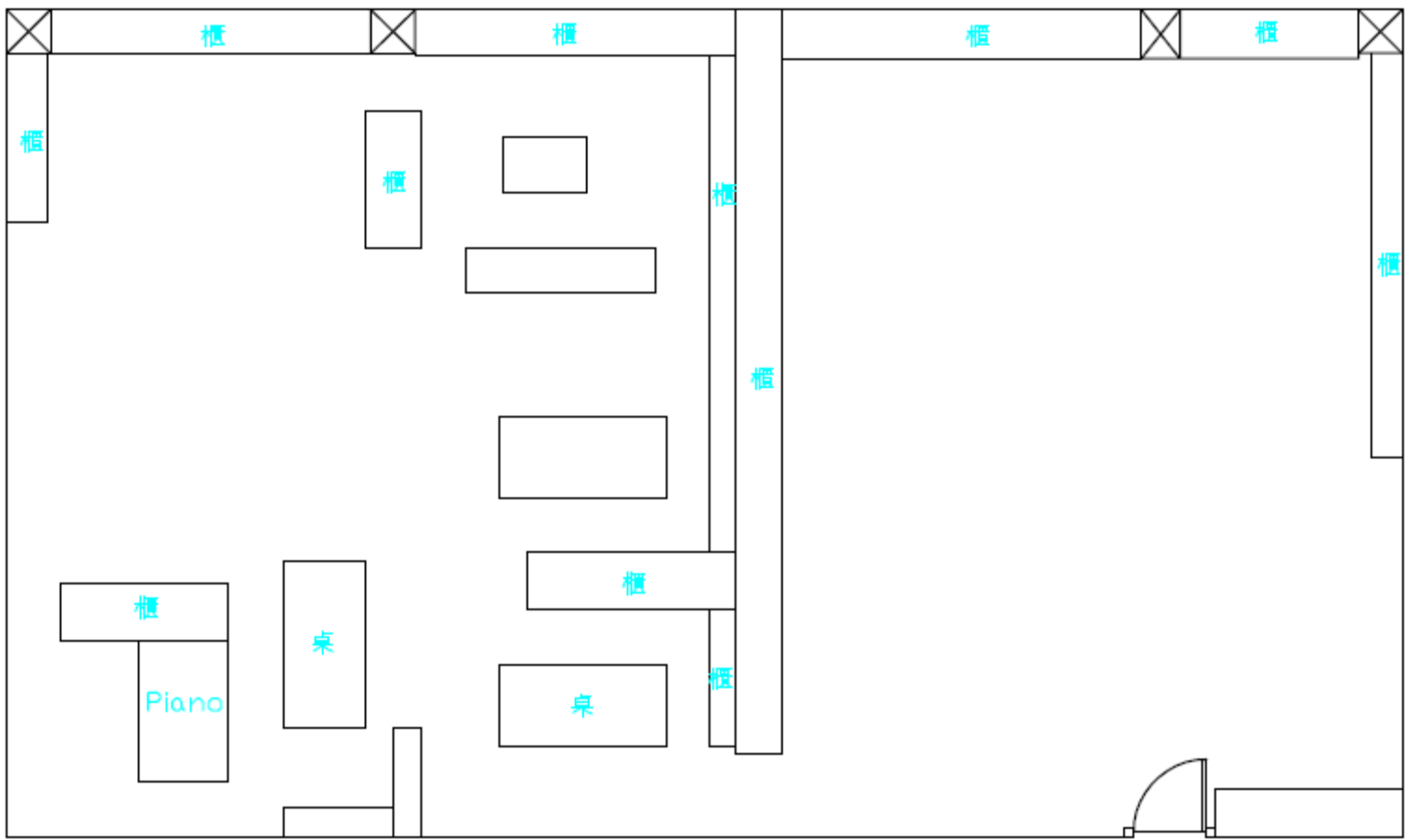


圖 12. 高雄縣鳳山市正義國小附設幼稚園位置示意圖

高雄縣鳳山市正義國小附設幼稚園兒童個人暴露量測量結果

表 5. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之三位兒童個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.295 ± 0.002
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 6. 以頻譜分析儀測量分析結果計算幼稚園兒童熱效應危害之結果

室內		
坐姿	站姿	睡姿
1.09×10^{-5}	1.06×10^{-5}	1.06×10^{-4}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

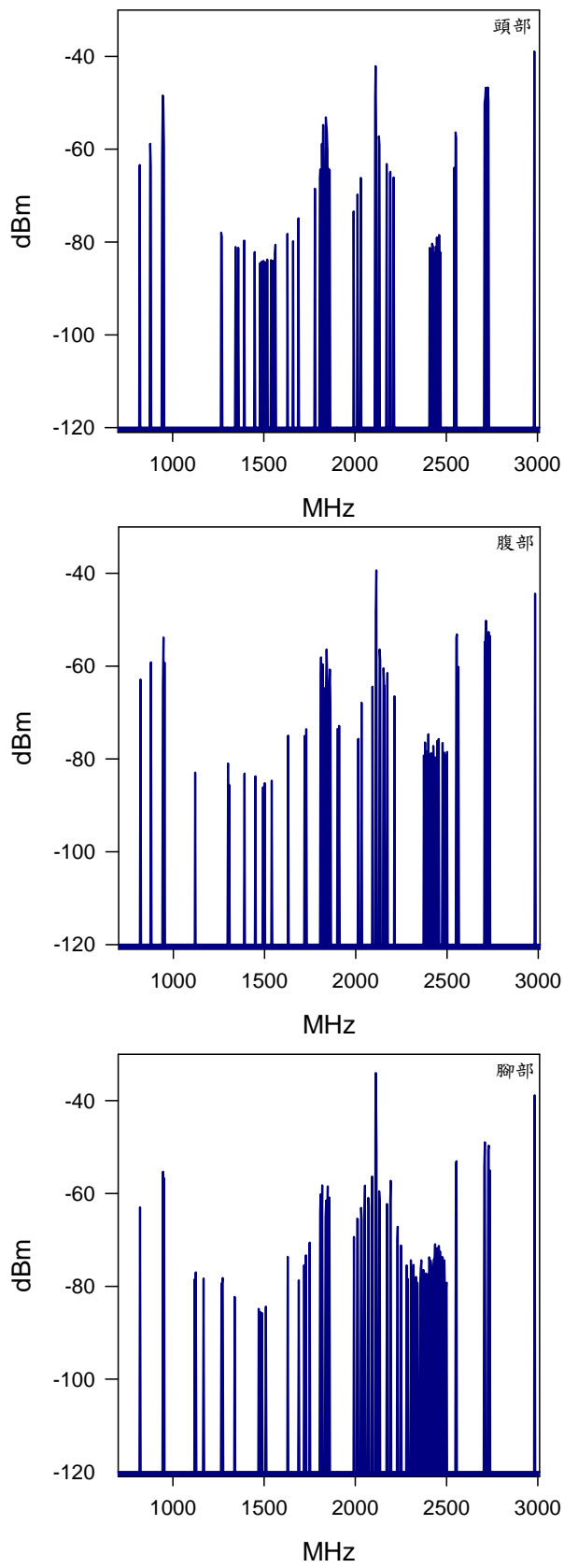


圖 13. 幼稚園教室內兒童站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

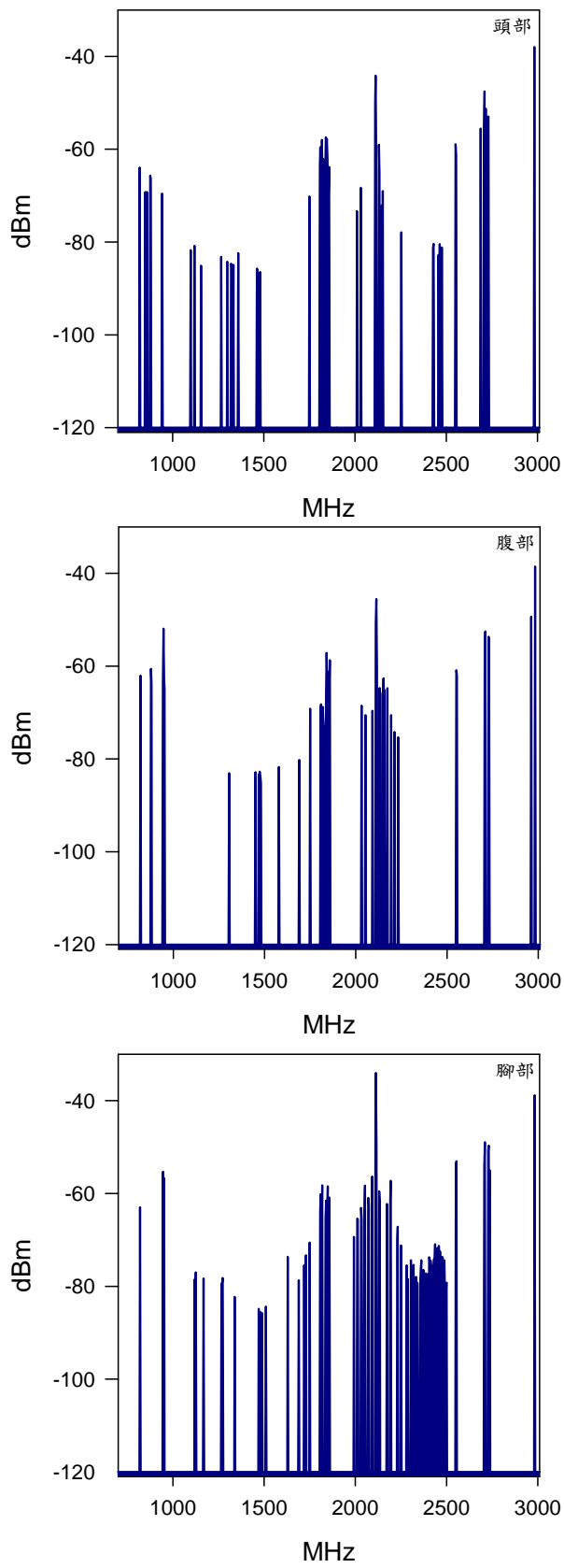


圖 14. 幼稚園教室內兒童坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

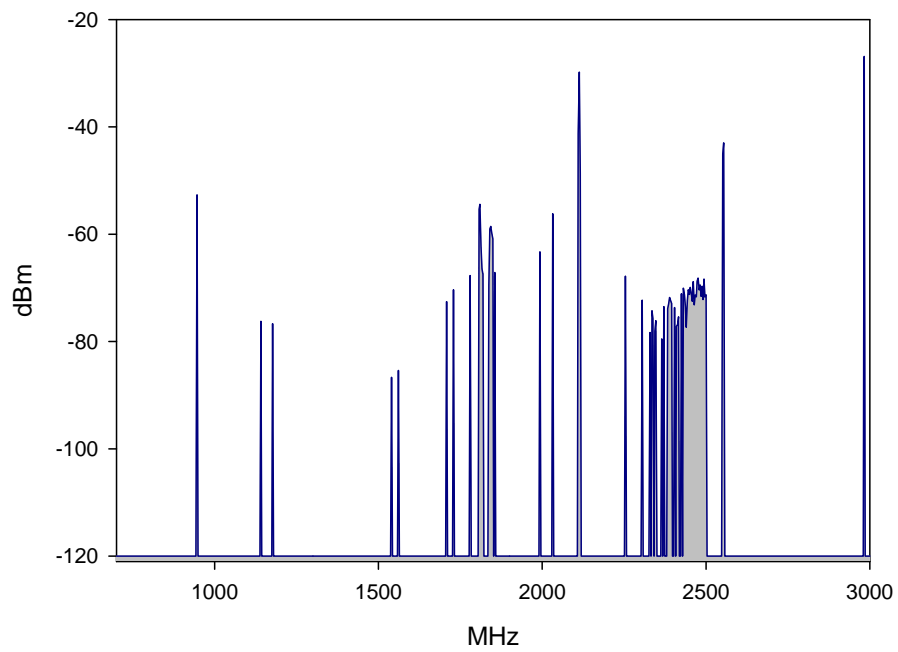


圖 15. 幼稚園教室內兒童睡姿姿勢之頭部部位之電磁波頻段掃描圖

貳、6~15 歲青少年

台北縣三重市
正義國小

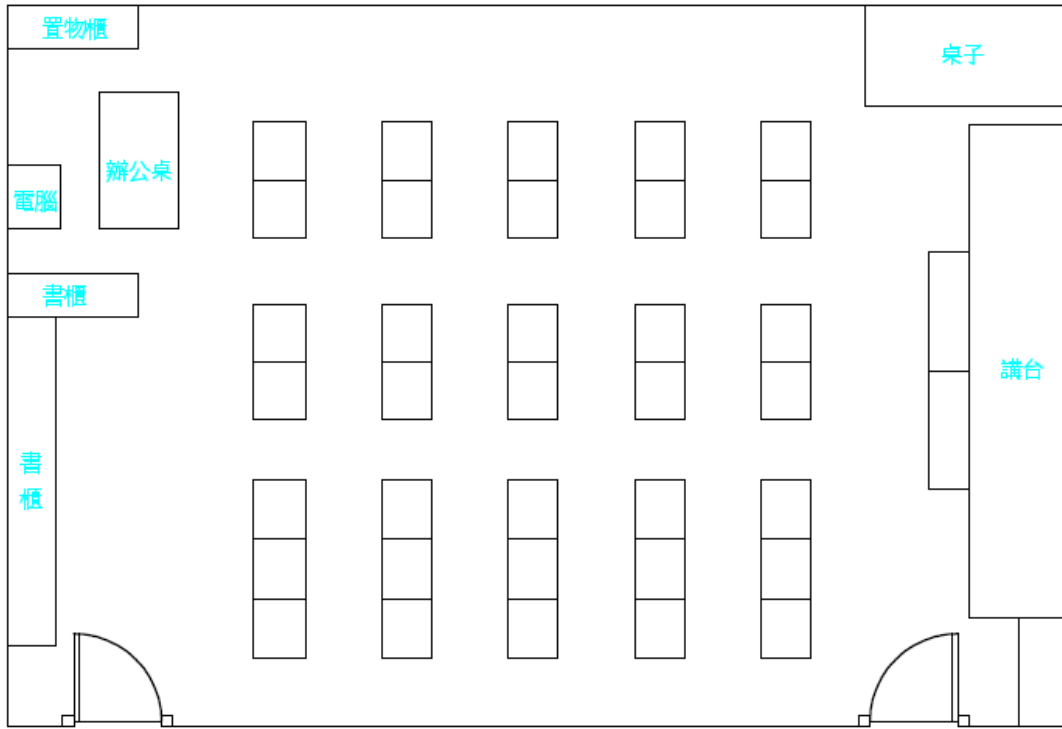


圖 16. 台北縣三重市正義國小位置示意圖

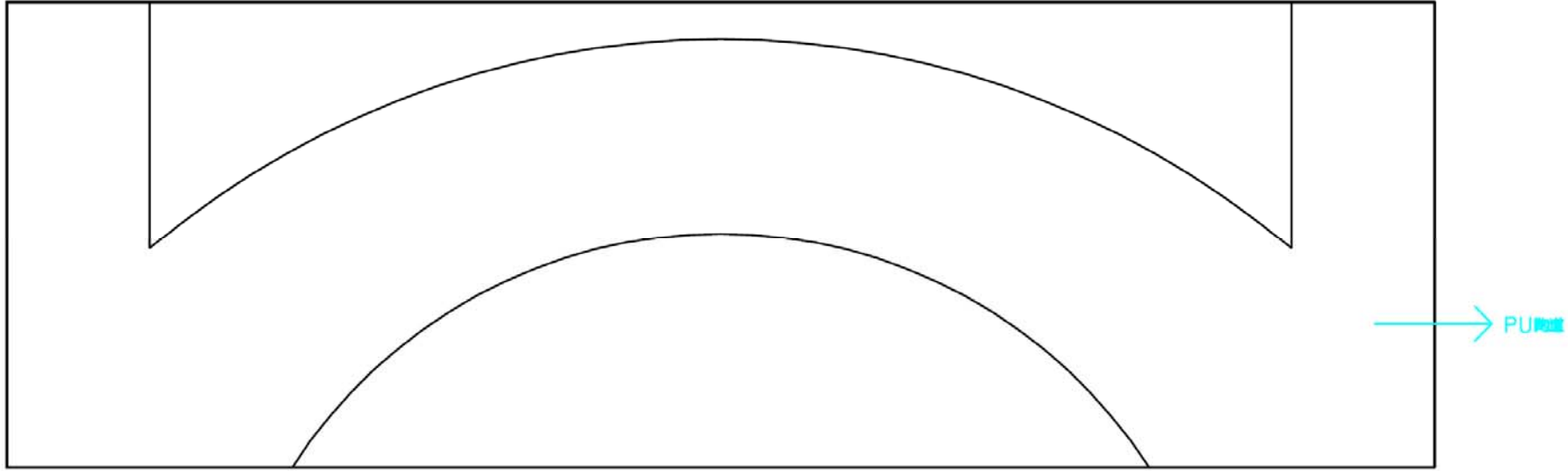


圖 17. 台北縣三重市正義國小戶外操場 PU 跑道位置示意圖

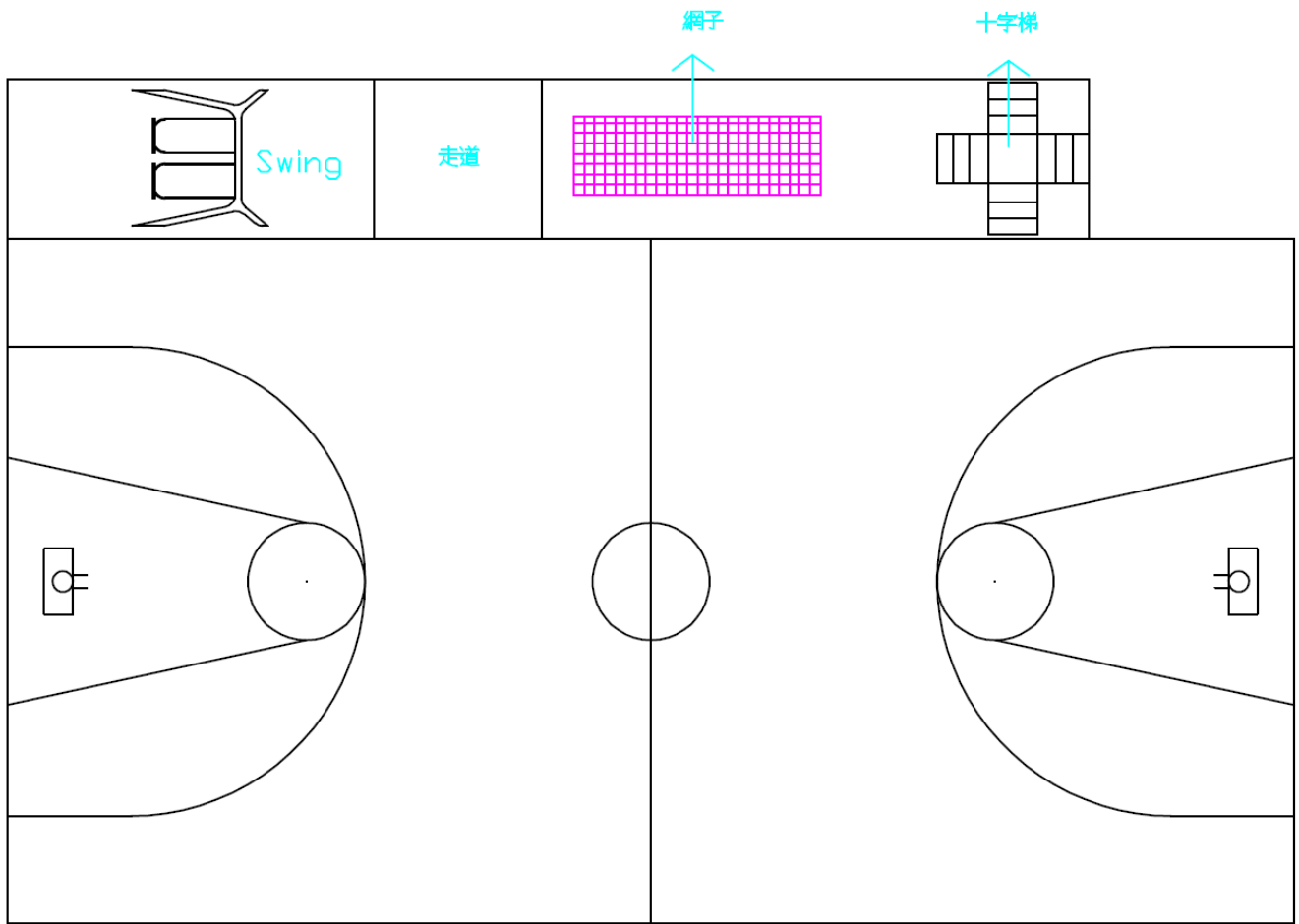


圖 18. 台北縣三重市正義國小戶外籃球場位置示意圖

台北縣三重市正義國小青少年個人暴露量測量結果

表 7. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之三位青少年個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.227 ± 0.017
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 8. 以頻譜分析儀測量分析結果計算台北縣三重市正義國小青少年熱效應危害之結果

室內		戶外操場
坐姿	站姿	站姿
4.35×10^{-8}	8.52×10^{-8}	8.67×10^{-7}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

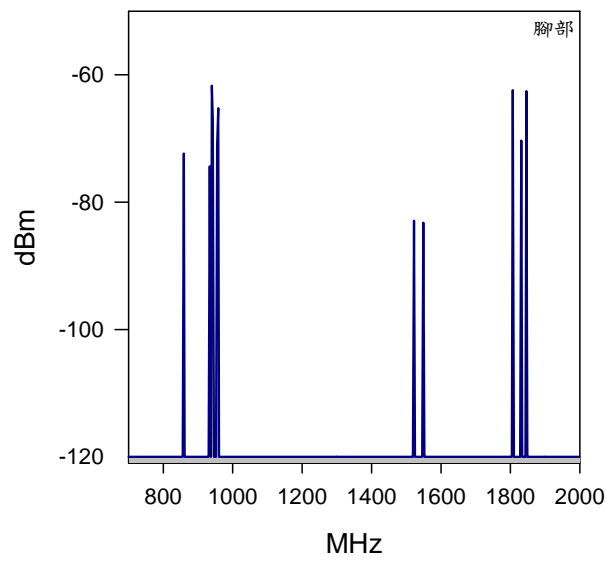
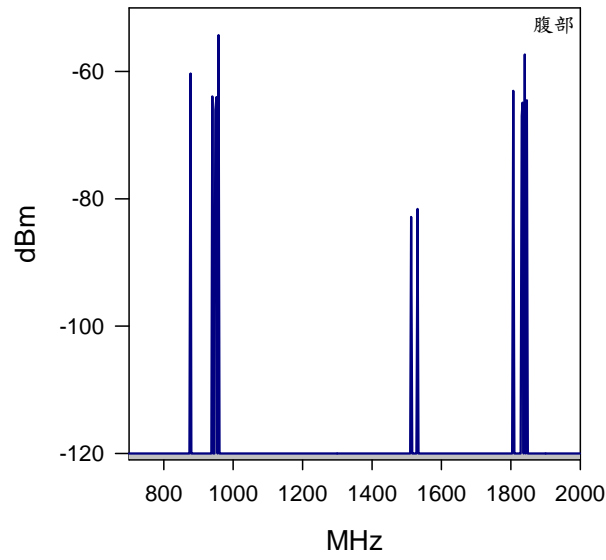
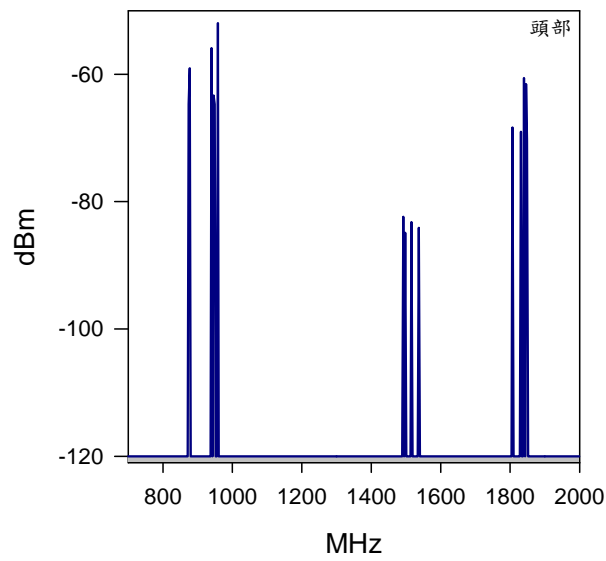


圖 19. 教室內青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

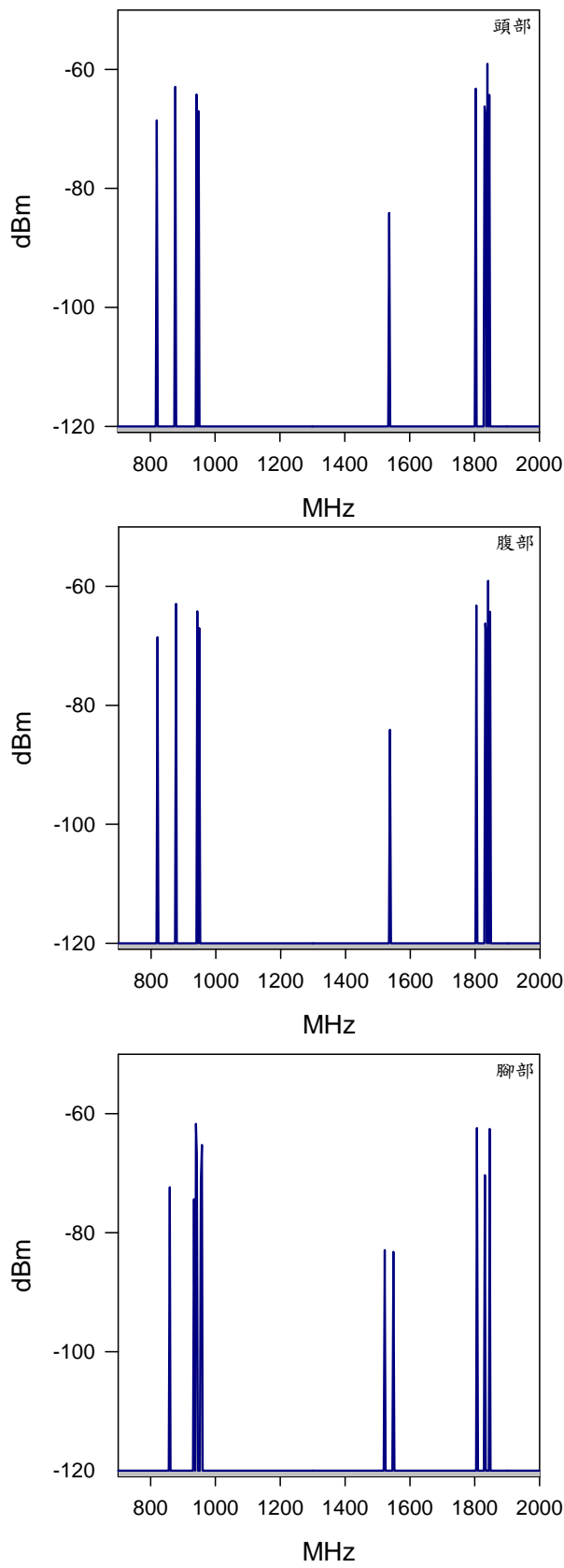


圖 20. 教室內青少年坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

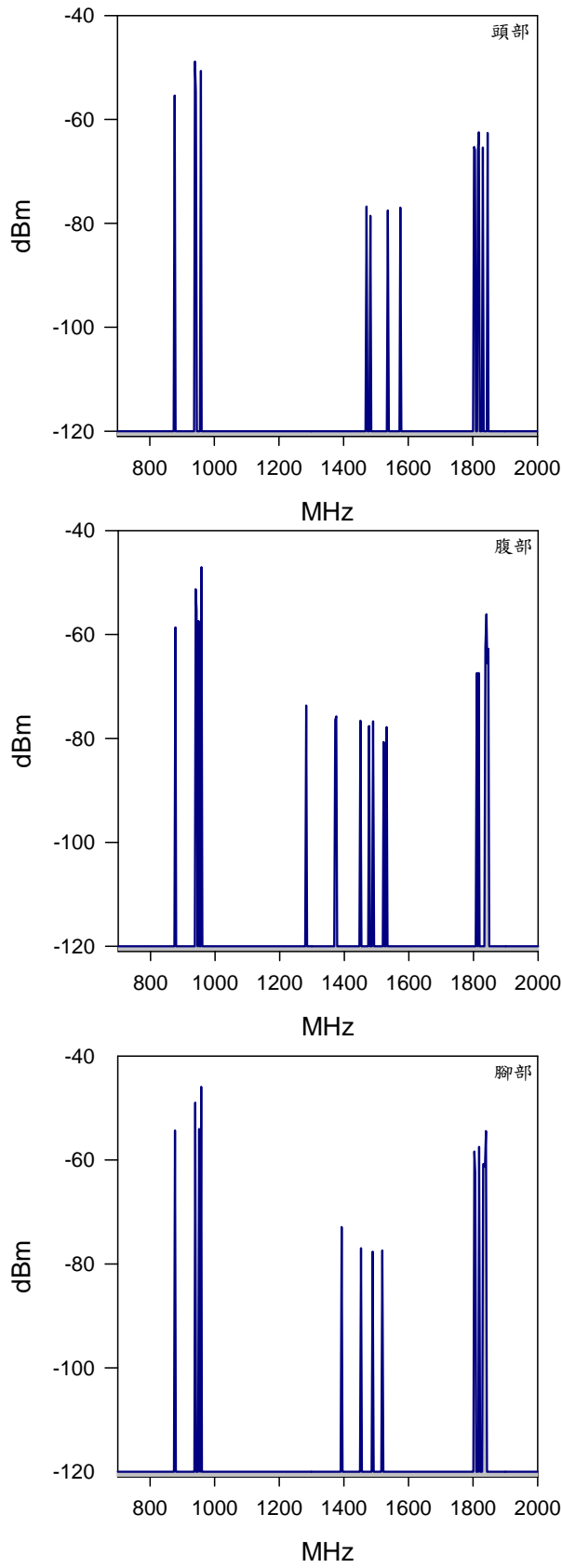


圖 21. 戶外操場青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

台中市忠明國小

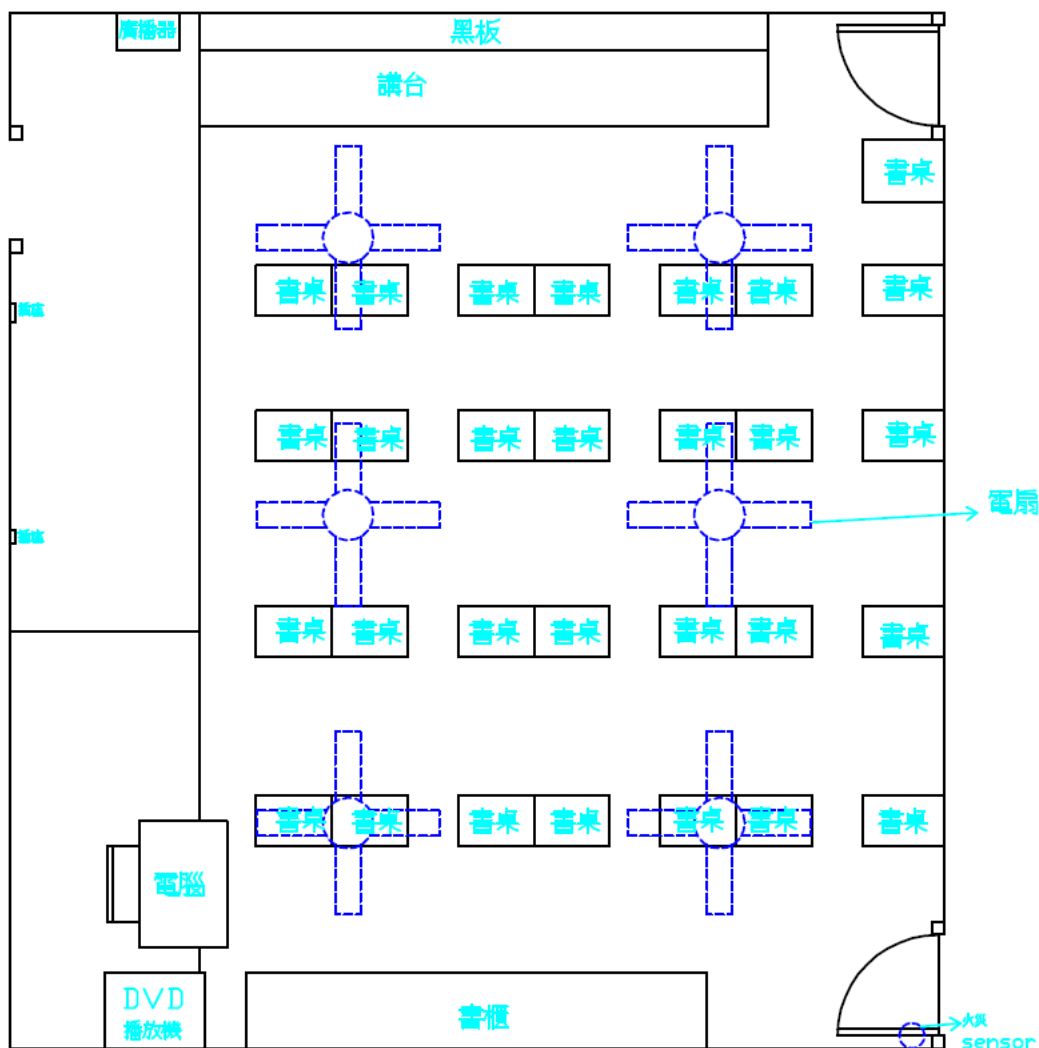


圖 22. 台中市忠明國小課輔教室位置示意圖

台中市忠明國小青少年個人暴露量測量結果

表 9. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之三位青少年個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.175 ± 0.002
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 10. 以頻譜分析儀測量分析結果計算青少年熱效應危害之結果

室內	
坐姿	站姿
1.42×10^{-7}	1.01×10^{-7}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

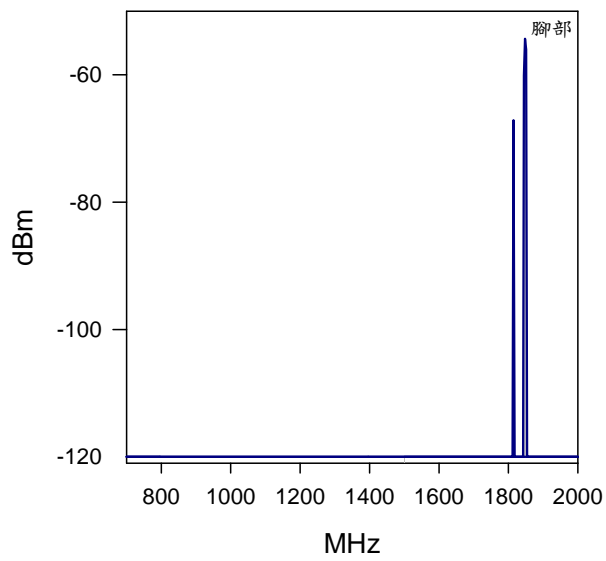
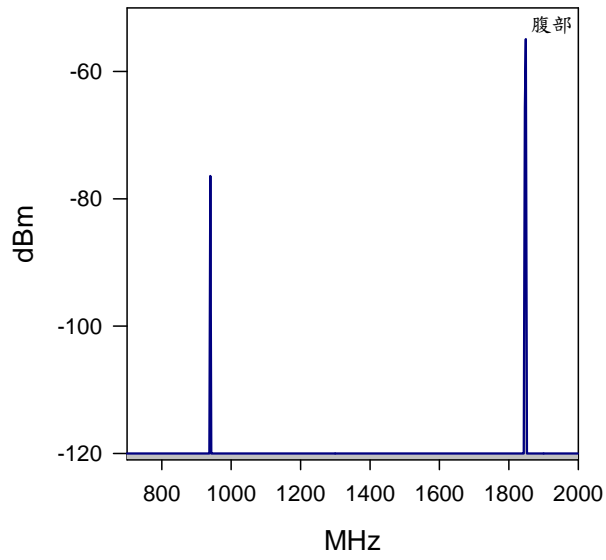
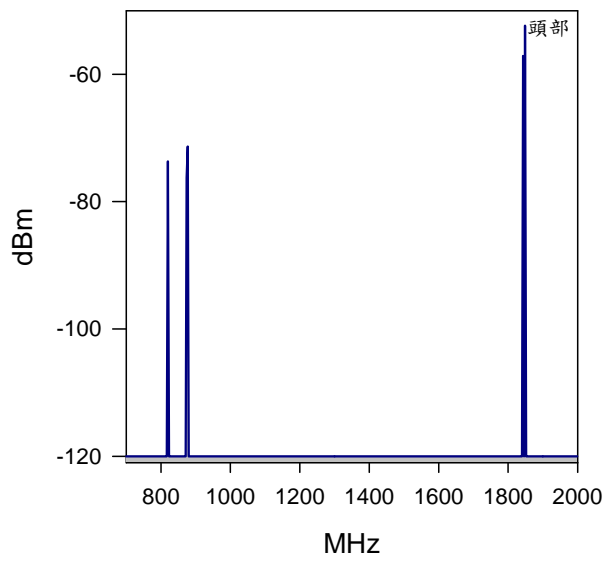


圖 23. 教室內青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

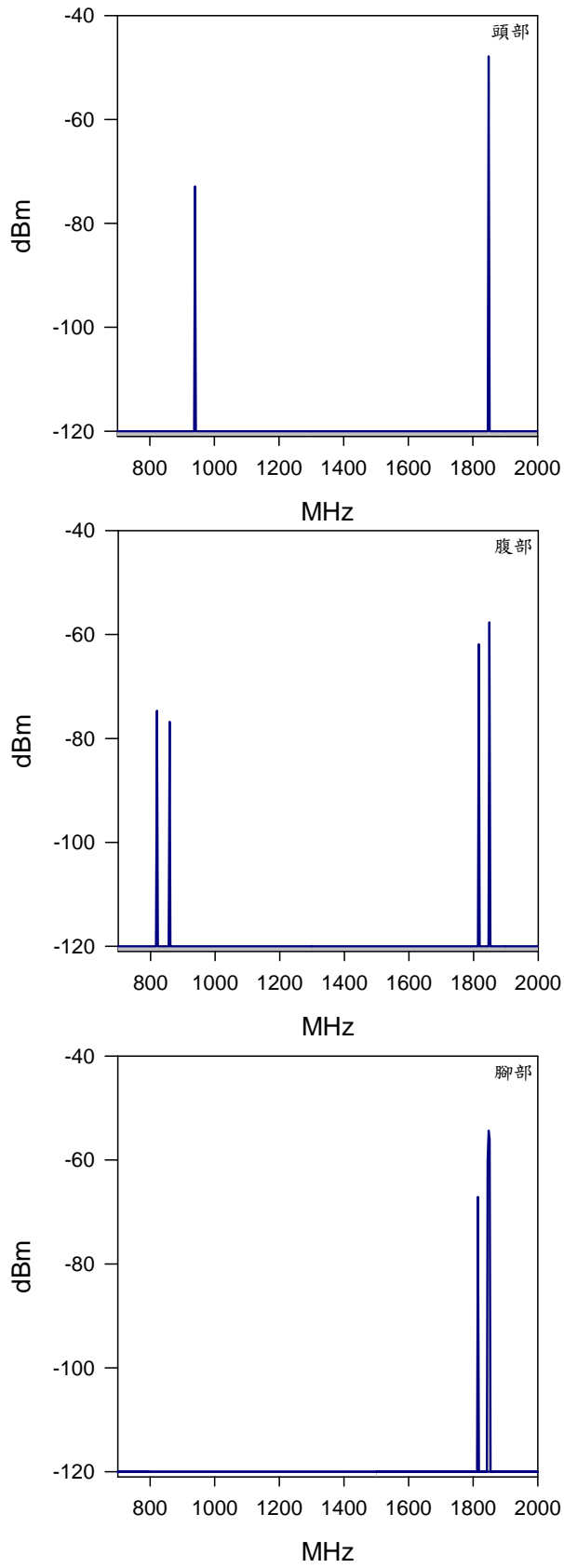


圖 24. 教室內青少年坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

高雄縣鳳山市
正義國小

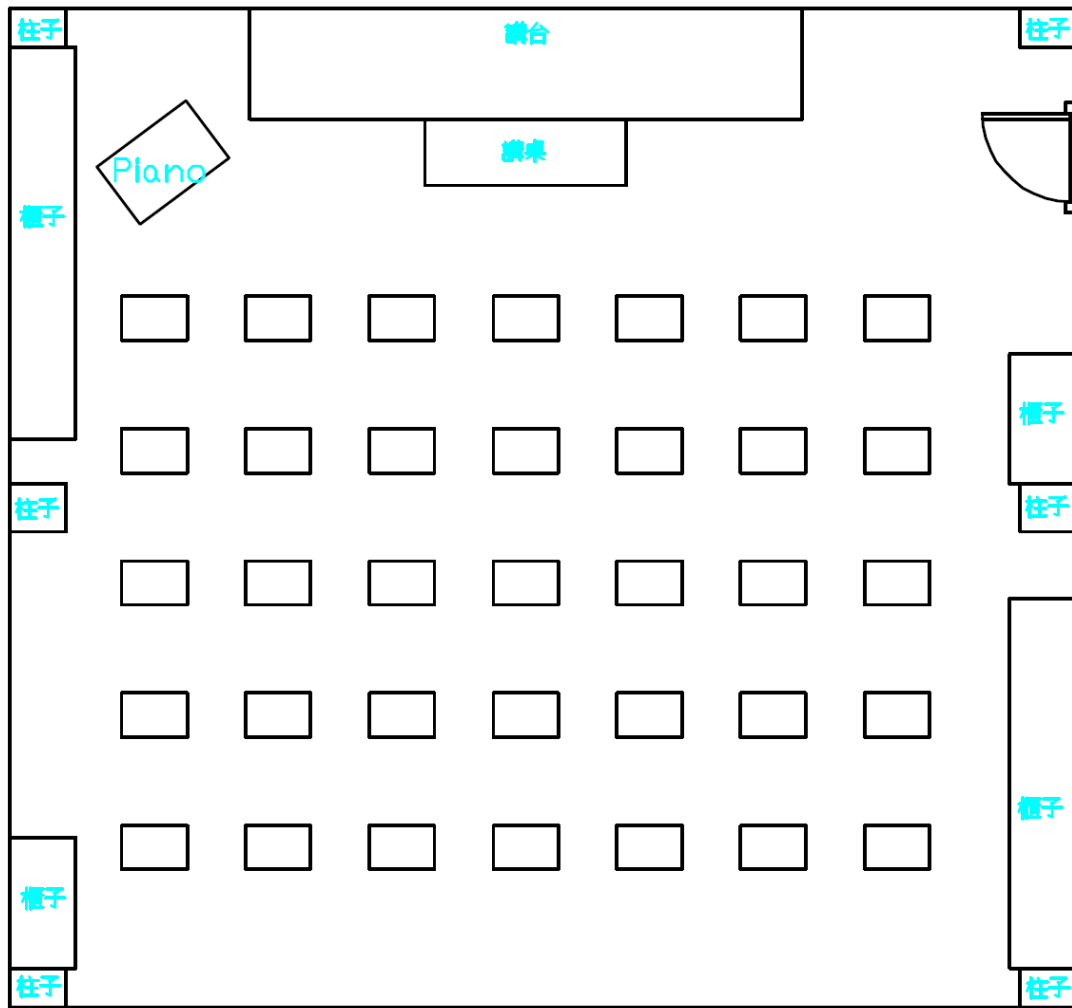


圖 25. 高雄縣鳳山市正義國小音樂教室位置示意圖

高雄縣鳳山市正義國小個人暴露量測量結果

表 11. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之三位青少年個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.602 ± 0.073
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 12. 以頻譜分析儀測量分析結果計算青少年熱效應危害之結果

室內	
坐姿	站姿
1.55×10^{-4}	9.74×10^{-5}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

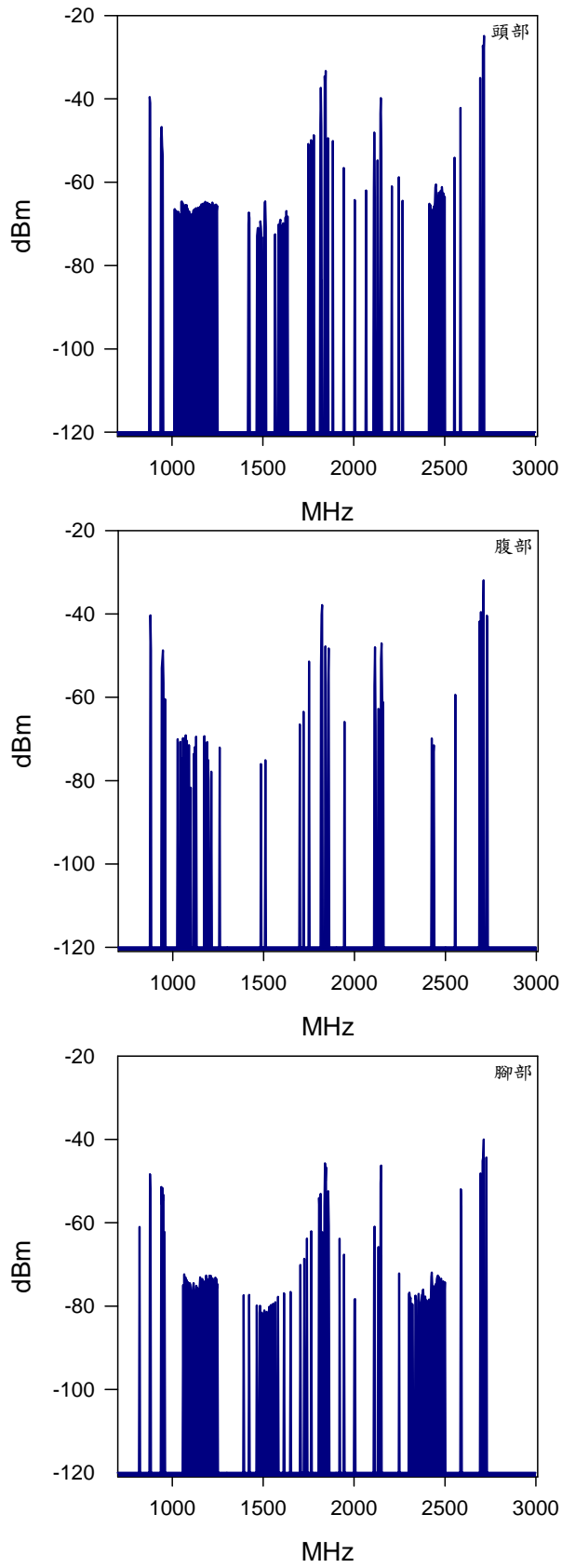


圖 26. 教室內青少年站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

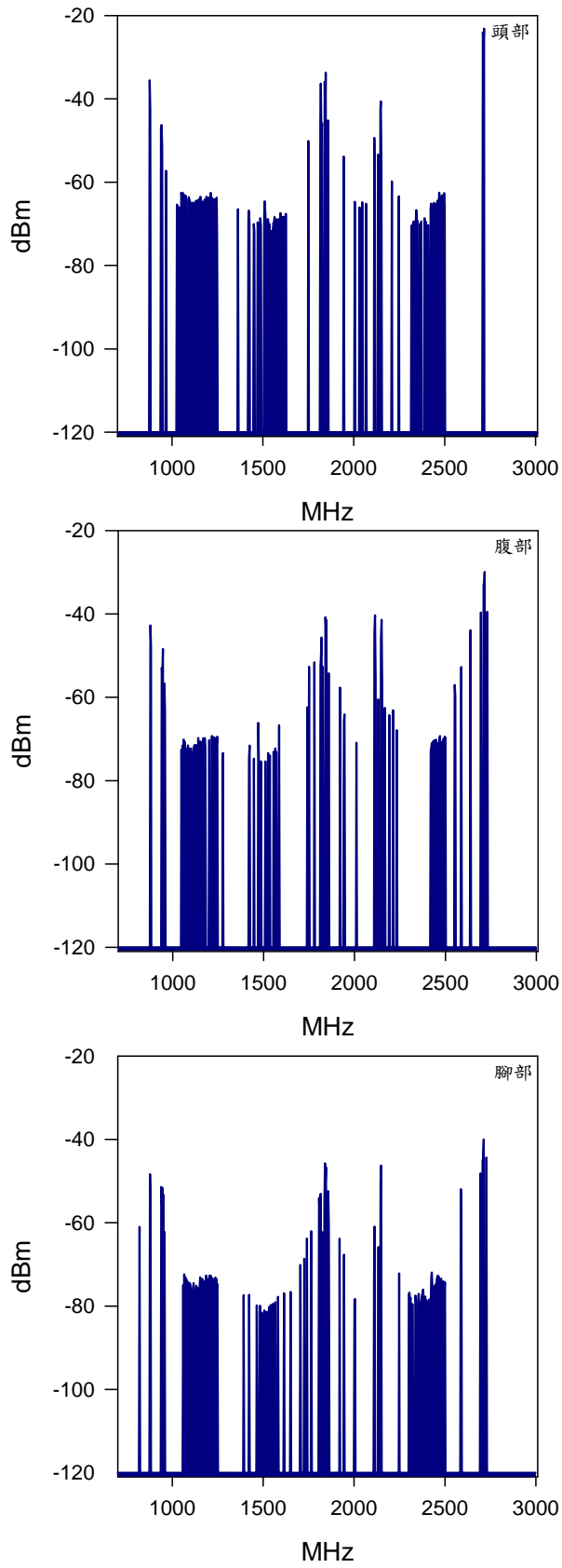


圖 27. 教室內青少年坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

參、一般辦公室環境
(有射頻暴露可能之
職場)

台北縣中和市
耕新醫院

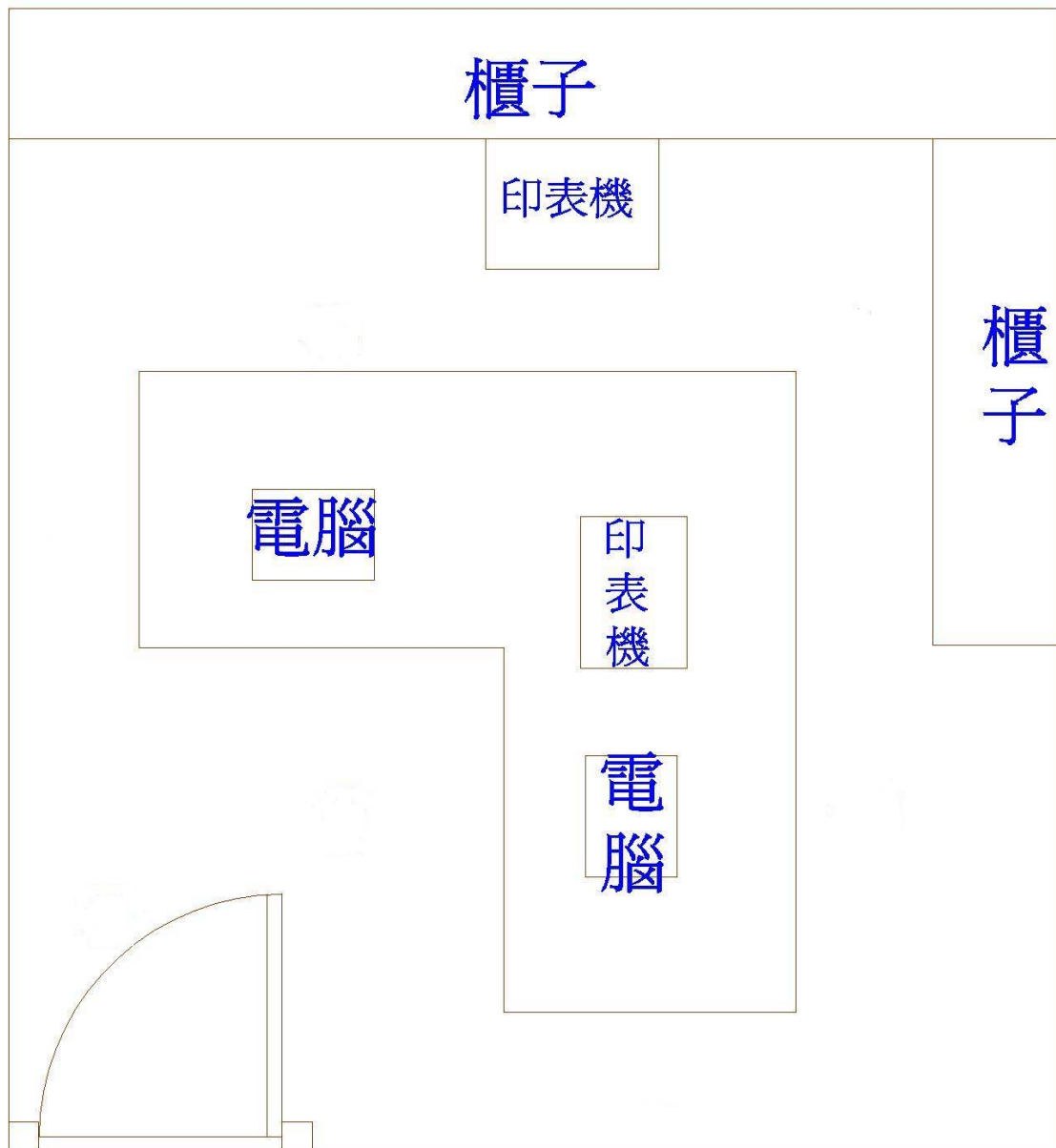


圖 28. 台北縣中和耕新醫院辦公室位置示意圖

台北縣中和耕新醫院員工個人暴露量測量結果

表 13. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之一般職場三位員工個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.205 ± 0.038
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 14. 以頻譜分析儀測量分析結果計算一般職場員工熱效應危害之結果

室內	
坐姿	站姿
4.51×10^{-7}	1.73×10^{-6}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

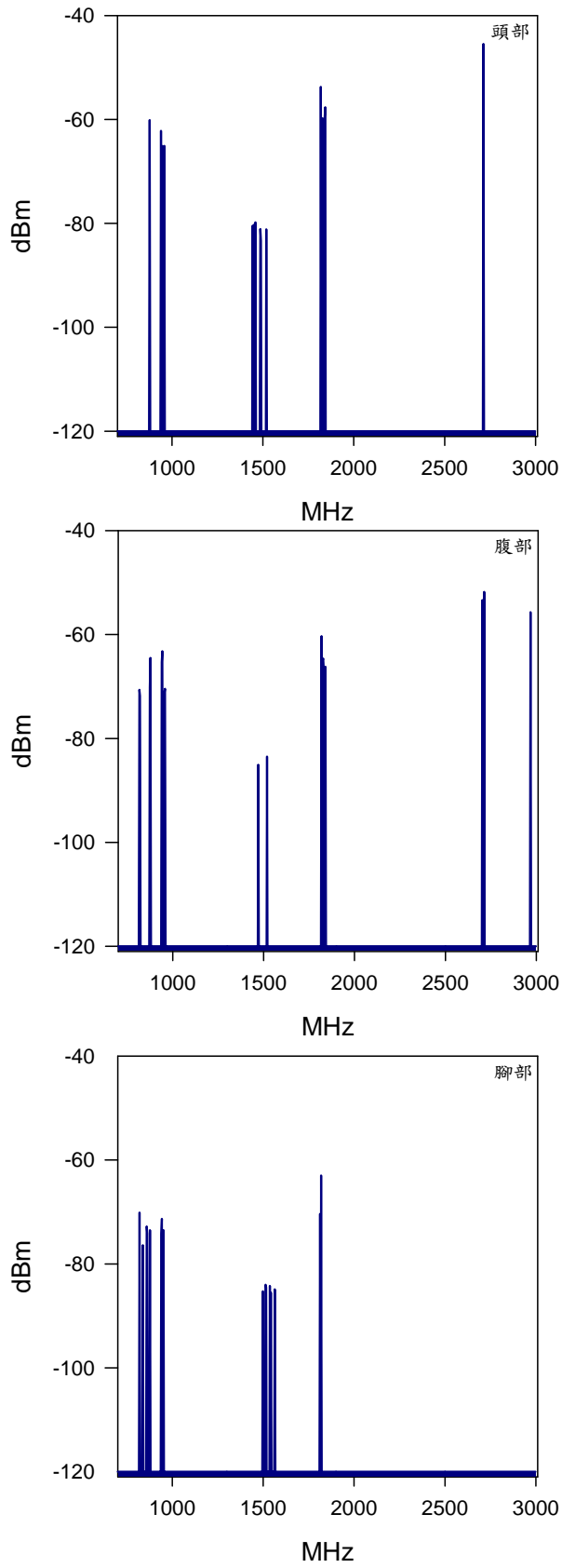


圖 29. 一般職場員工站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

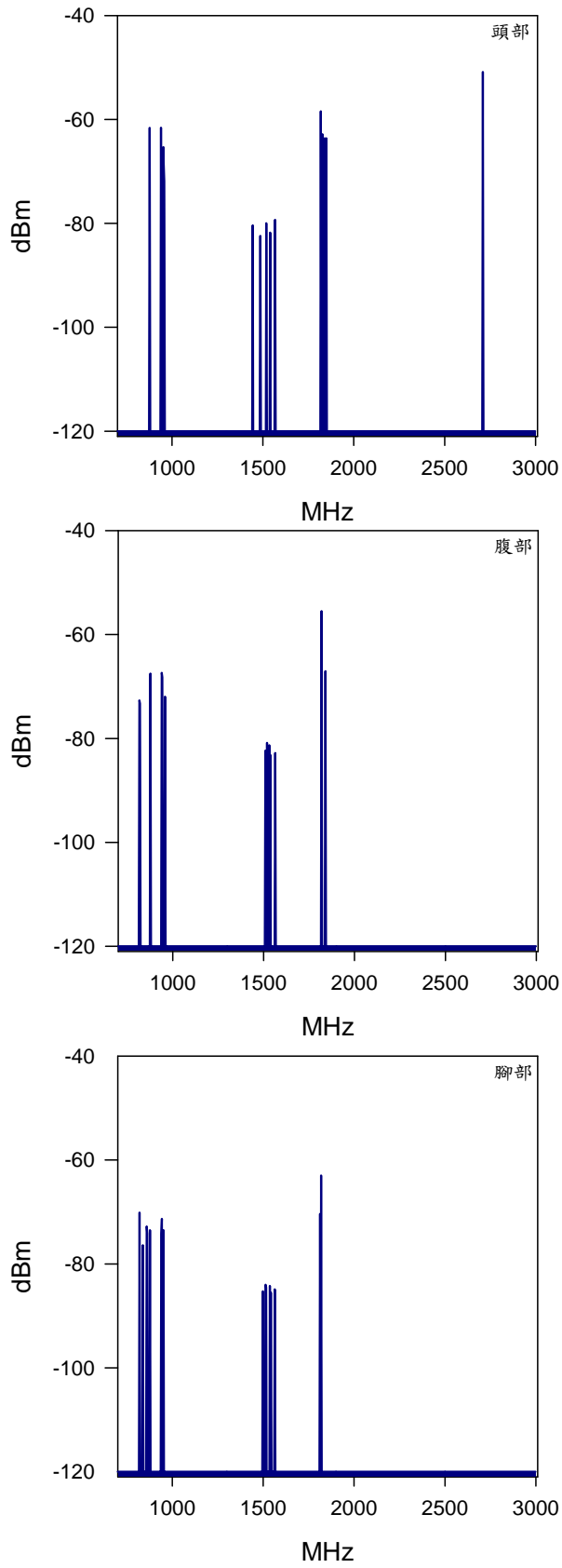


圖 30. 一般職場員工坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

博為工程

(臺中市西屯區)

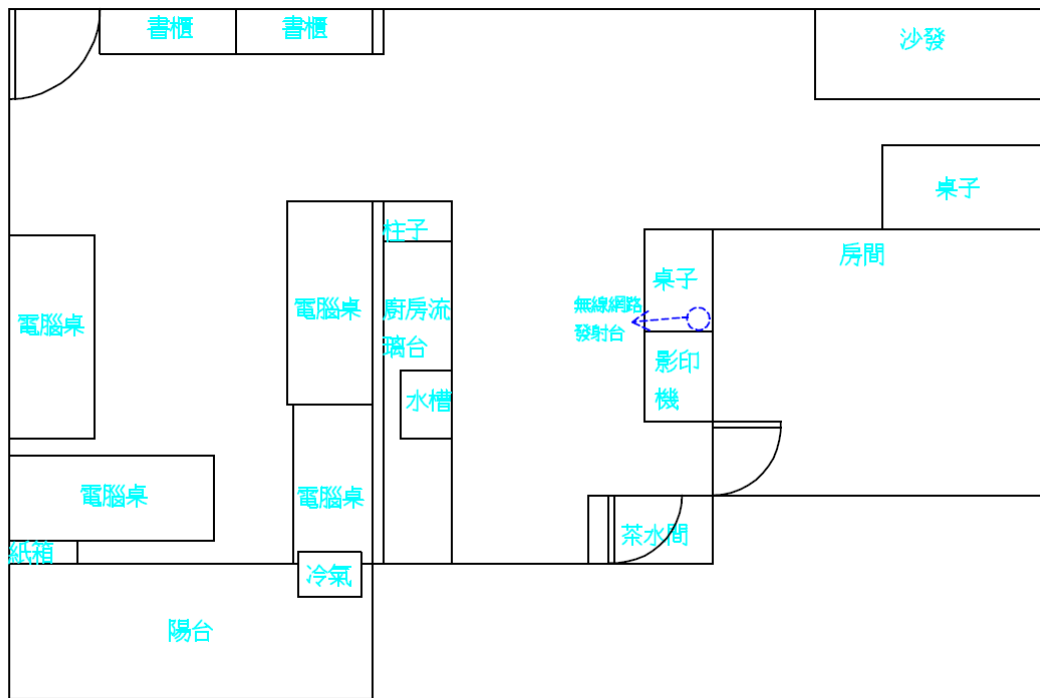


圖 31. 博為工程辦公室位置示意圖

博為工程員工個人暴露量測量結果

表 15. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之一般職場三位員工個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.163 ± 0.048
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 16. 以頻譜分析儀測量分析結果計算一般職場員工熱效應危害之結果

室內	
坐姿	站姿
3.03×10^{-9}	2.63×10^{-9}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

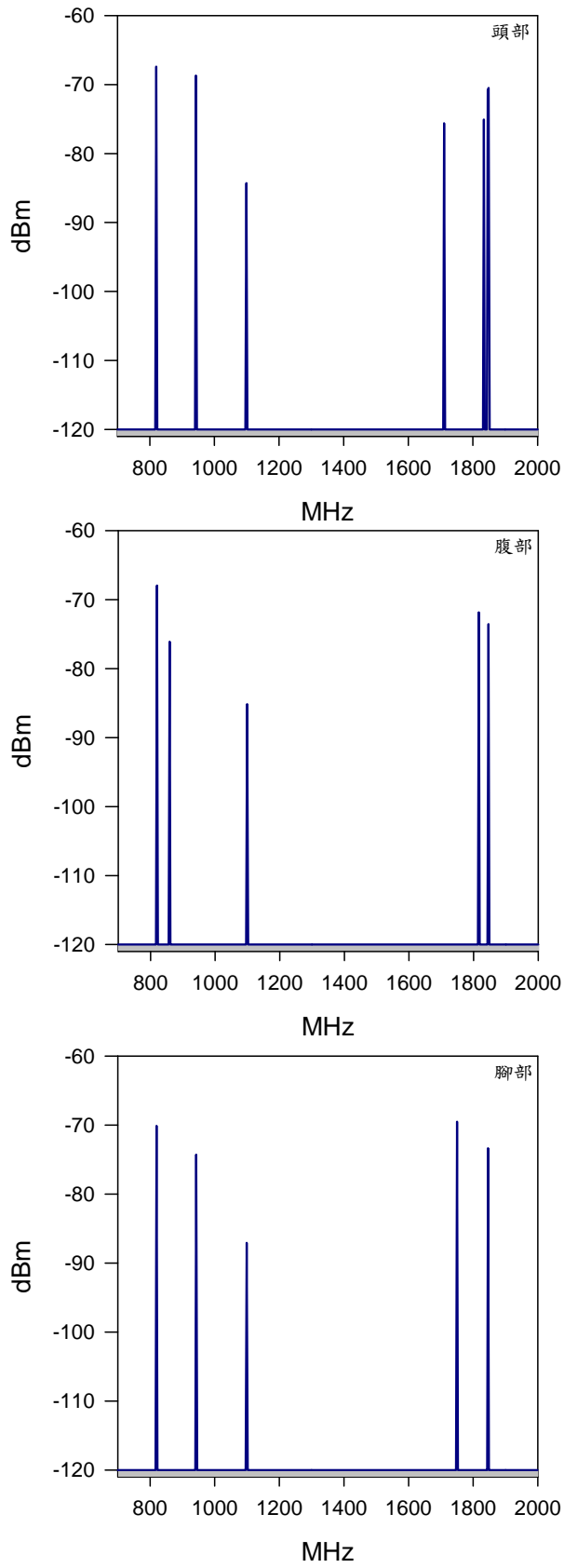


圖 32. 一般職場員工站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

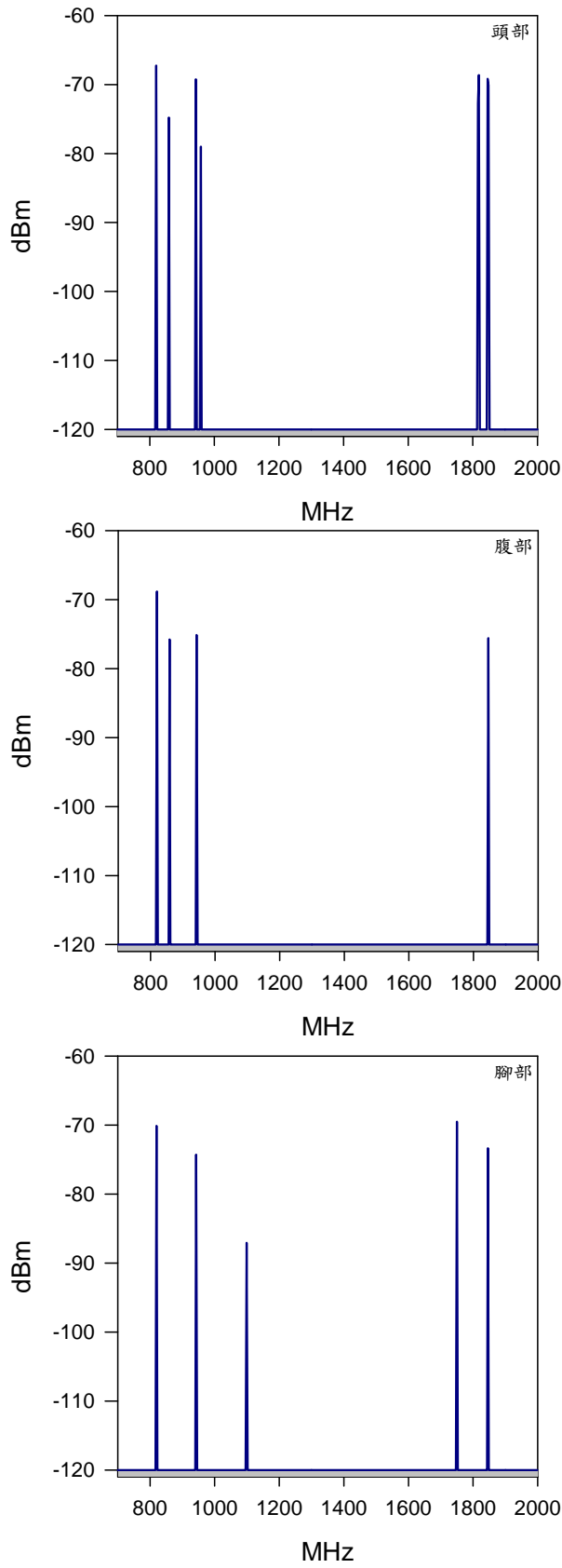


圖 33. 一般職場員工坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

台南成功大學
醫學院院區

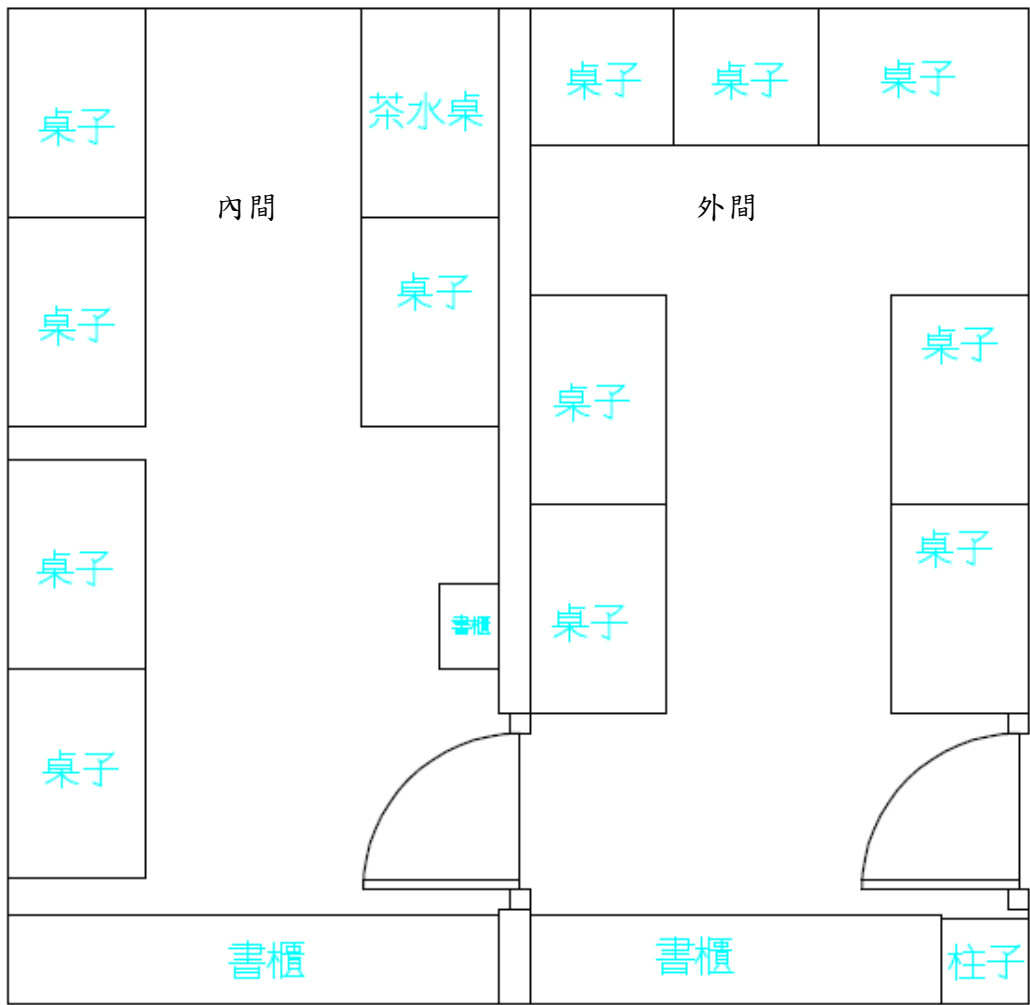


圖 34. 台南成功大學醫學院某職員辦公室

台南成功大學醫學院員工個人暴露量測量結果

表 17. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之一般職場三位員工個人電磁波時量平均暴露值(平均值±標準偏差)

時量平均暴露值(V/m)	0.320 ± 0.019
--------------	---------------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 18. 以頻譜分析儀測量分析結果計算一般職場員工熱效應危害之結果

室內(內間)		室內(內間)	
坐姿	站姿	坐姿	站姿
2.02×10^{-6}	2.60×10^{-6}	1.23×10^{-6}	2.02×10^{-6}

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

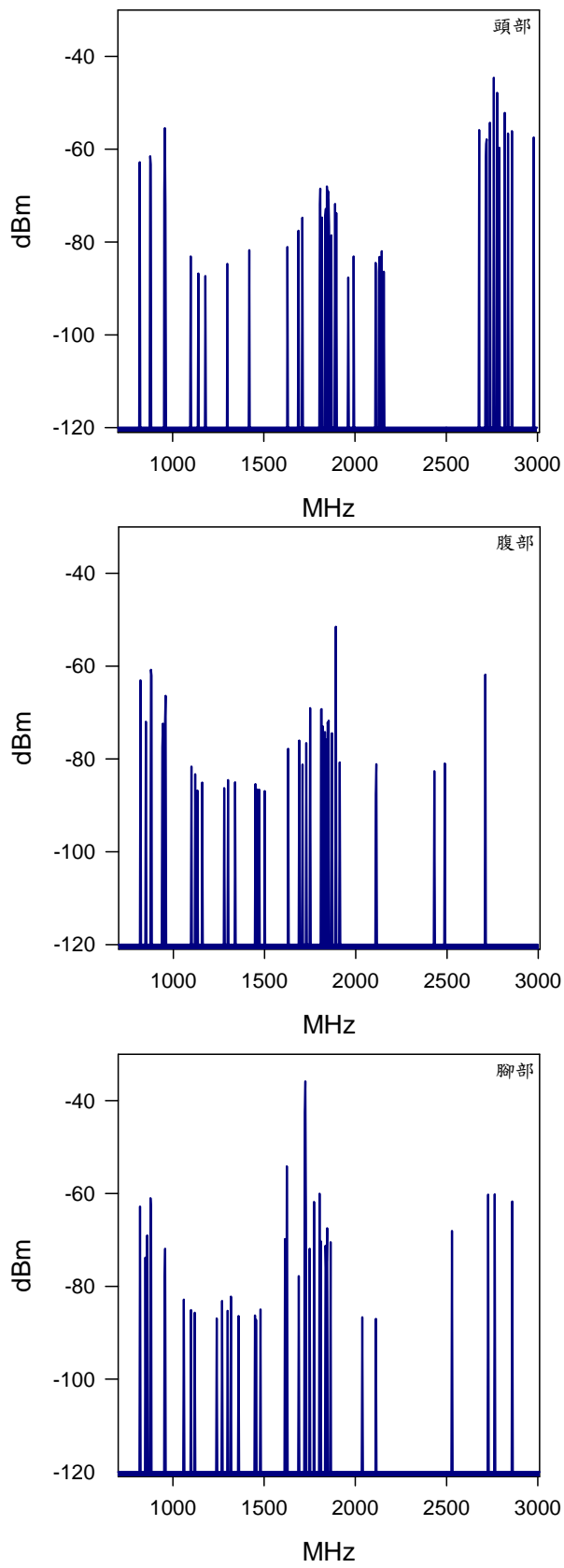


圖 35. 內間一般職場員工站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

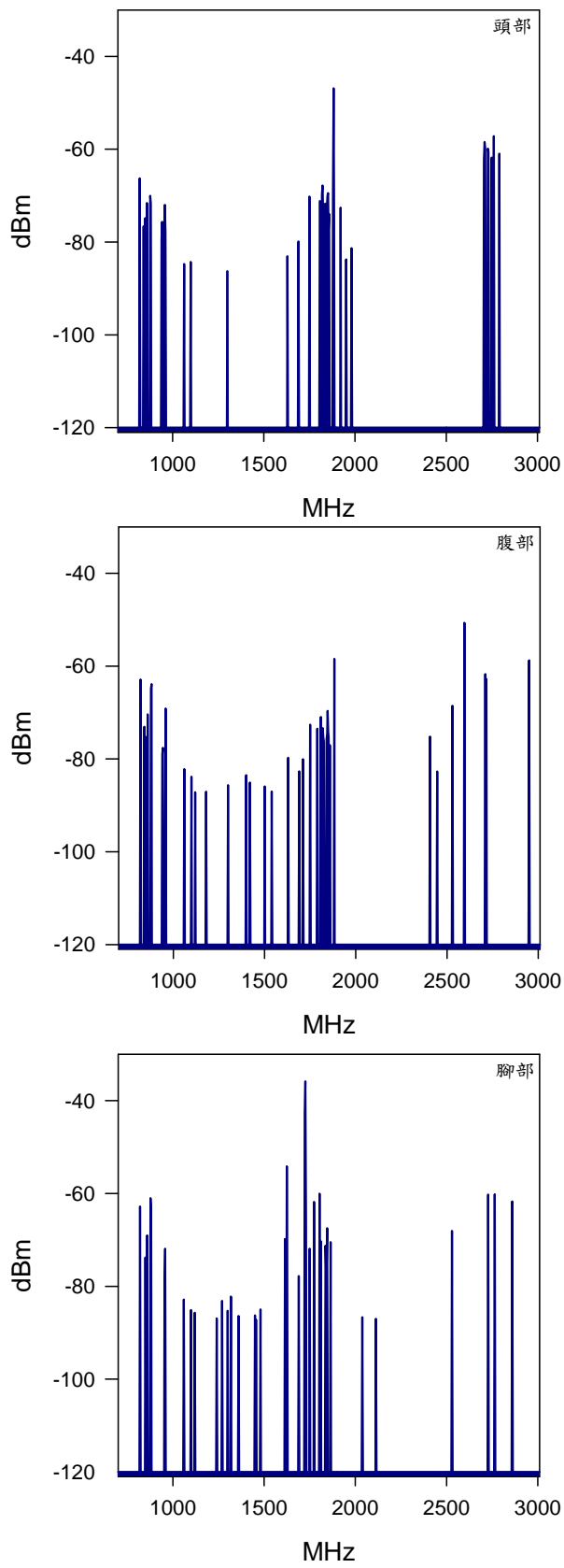


圖 36. 內間一般職場員工坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

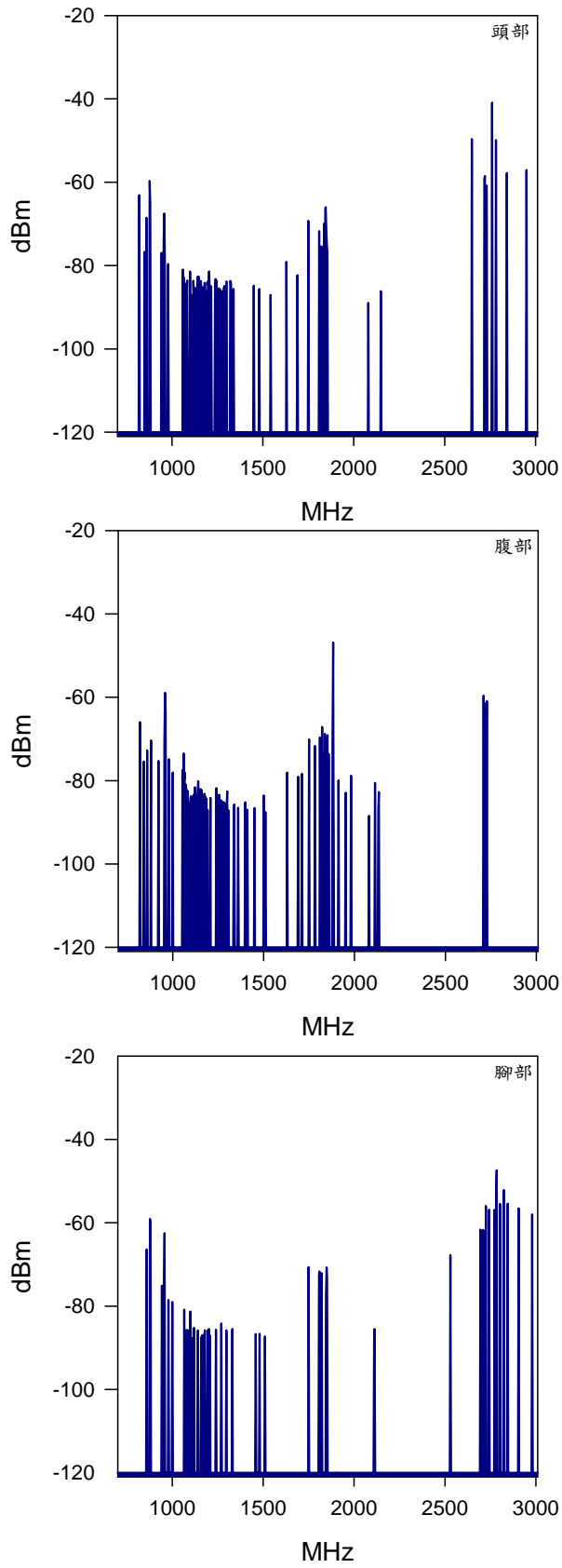


圖 37. 外間一般職場員工站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

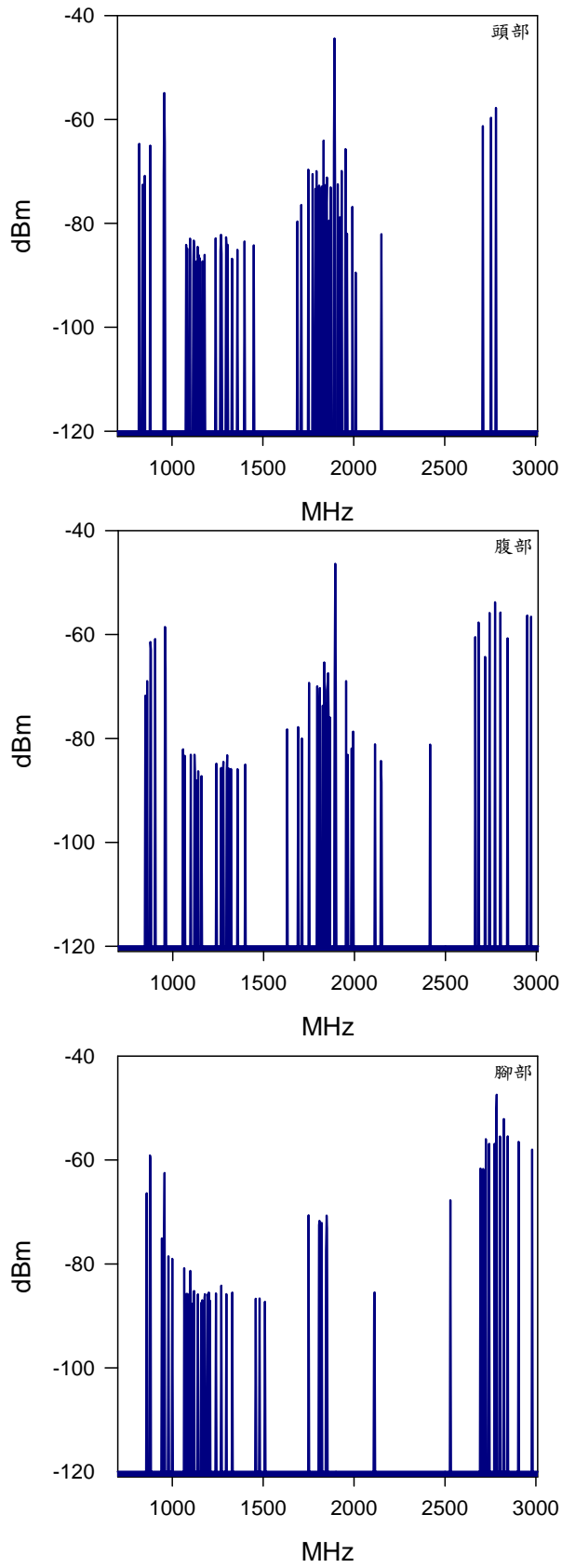


圖 38. 外間一般職場員工坐姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

肆、基地台作業人員

北部

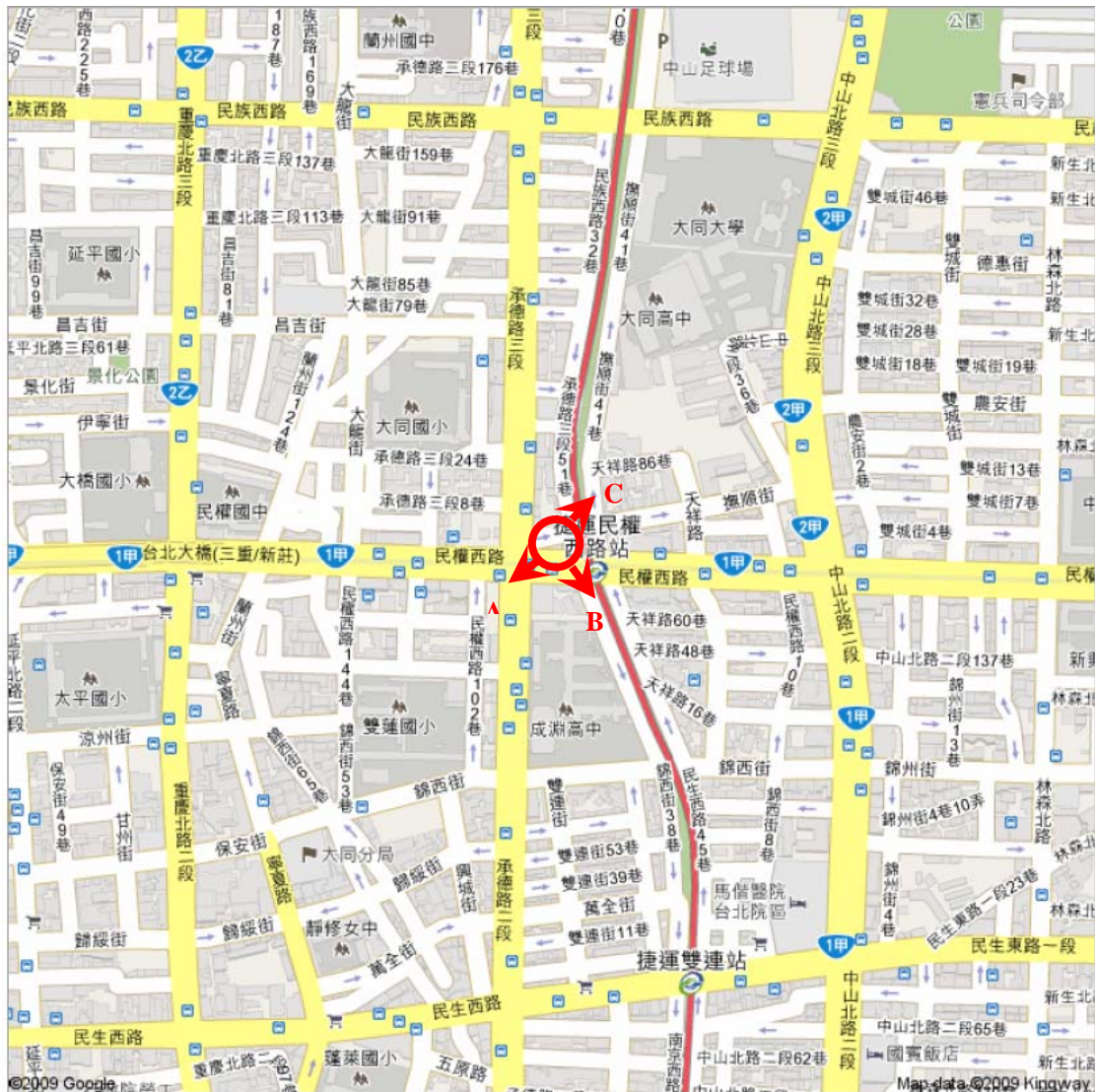


圖 39. 臺北市基地台作業測量人員量測位置示意圖

量測位置說明

基地台位置：台北市民權西路 93 號

A：台北市承德路二段 208 號

B：台北市民權西路 72 號

C：台北市撫順街 37 號

臺北市基地台測量人員個人暴露量測量結果

表 19. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之基地台測量人員個人電磁波時量平均暴露值

時量平均暴露值(V/m)	0.573
--------------	-------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 20. 以頻譜分析儀測量分析結果計算基地台測量人員熱效應危害結果

測量位置	站姿
A	6.18×10^{-5}
B	3.59×10^{-5}
C	1.04×10^{-5}

測量位置：A：台北市承德路二段 208 號；B：台北市民權西路 72 號；C：台北市撫順街 37 號

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

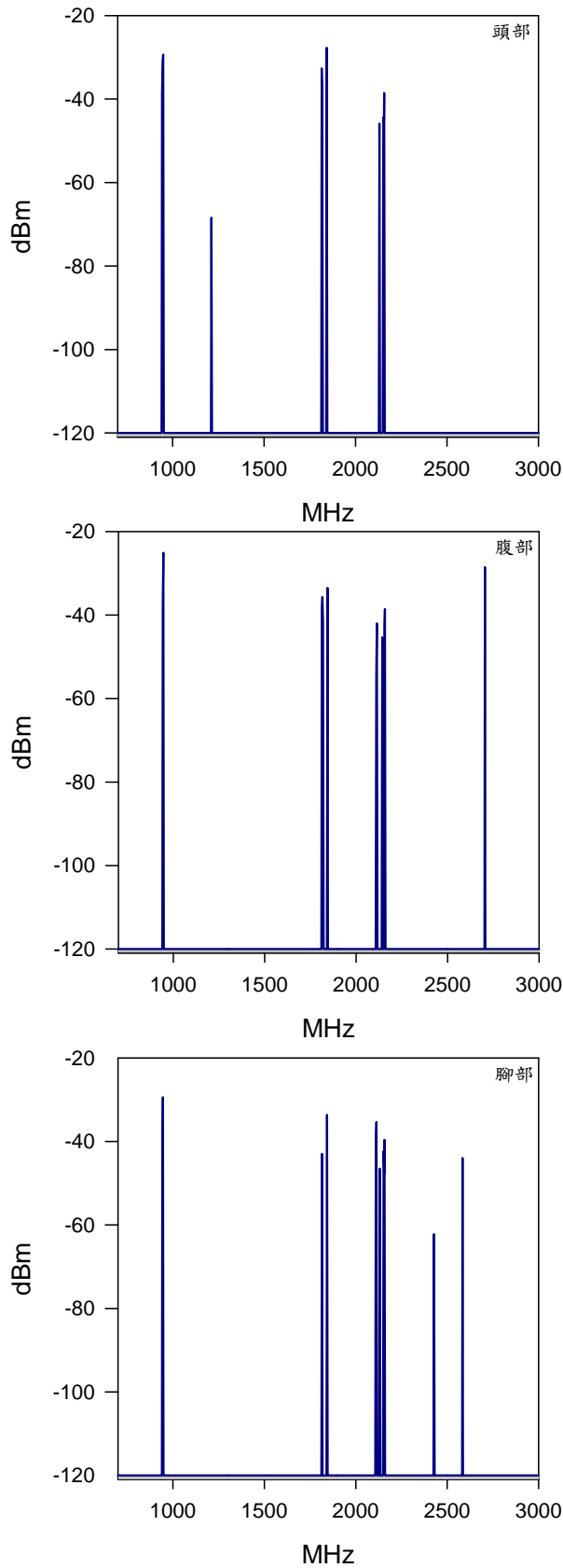


圖 40. 基地台測量人員於 A 地(台北市承德路二段 208 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

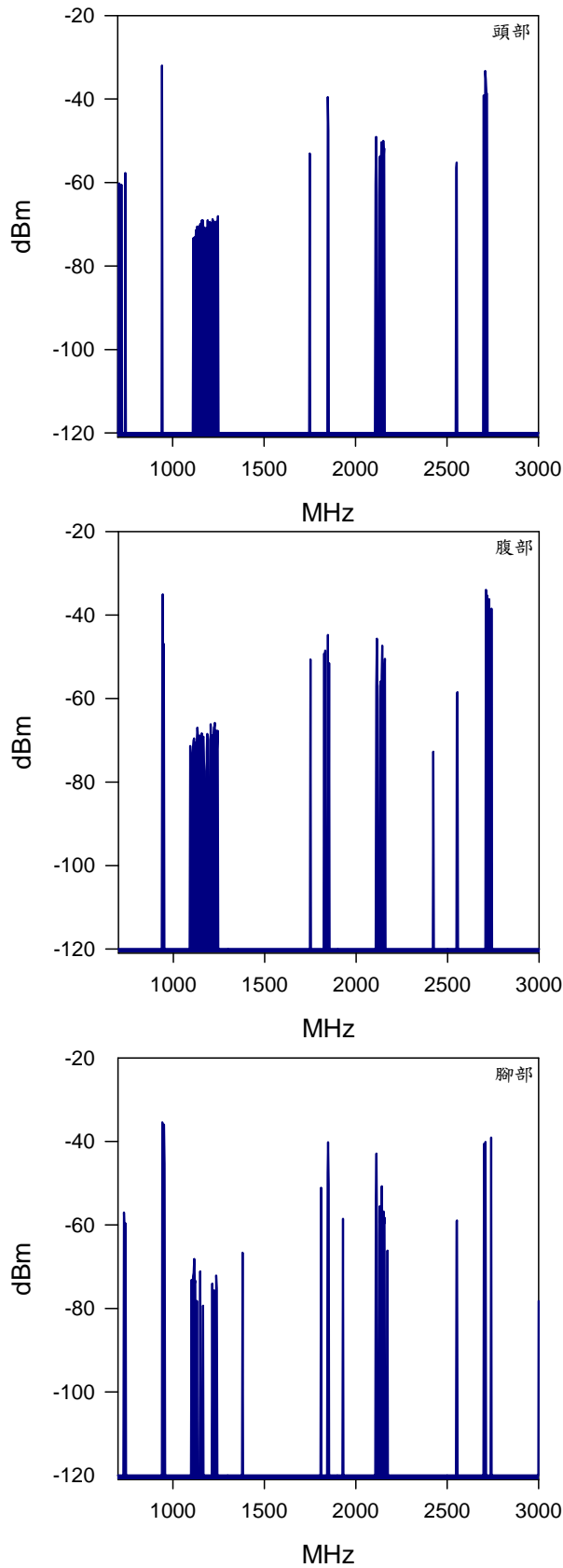


圖 41. 基地台測量人員於B地(台北市民權西路 72 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

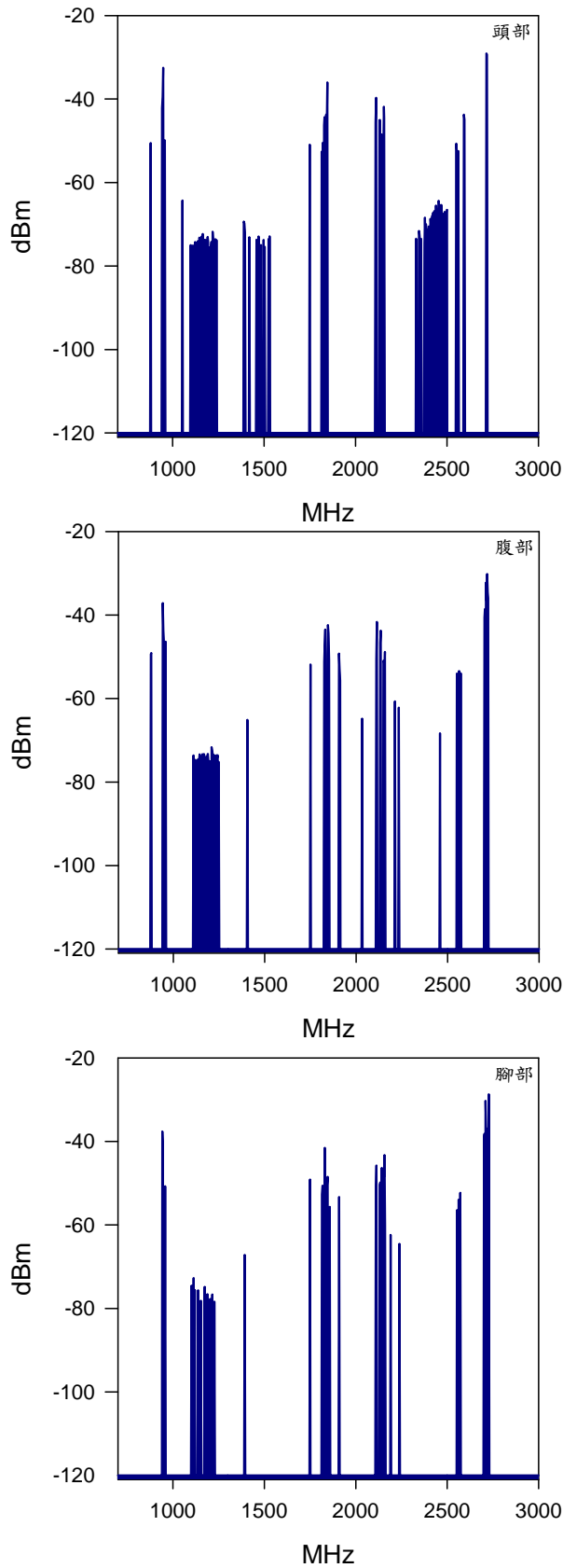


圖 42. 基地台測量人員於 C 地(台北市撫順街 37 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

中部

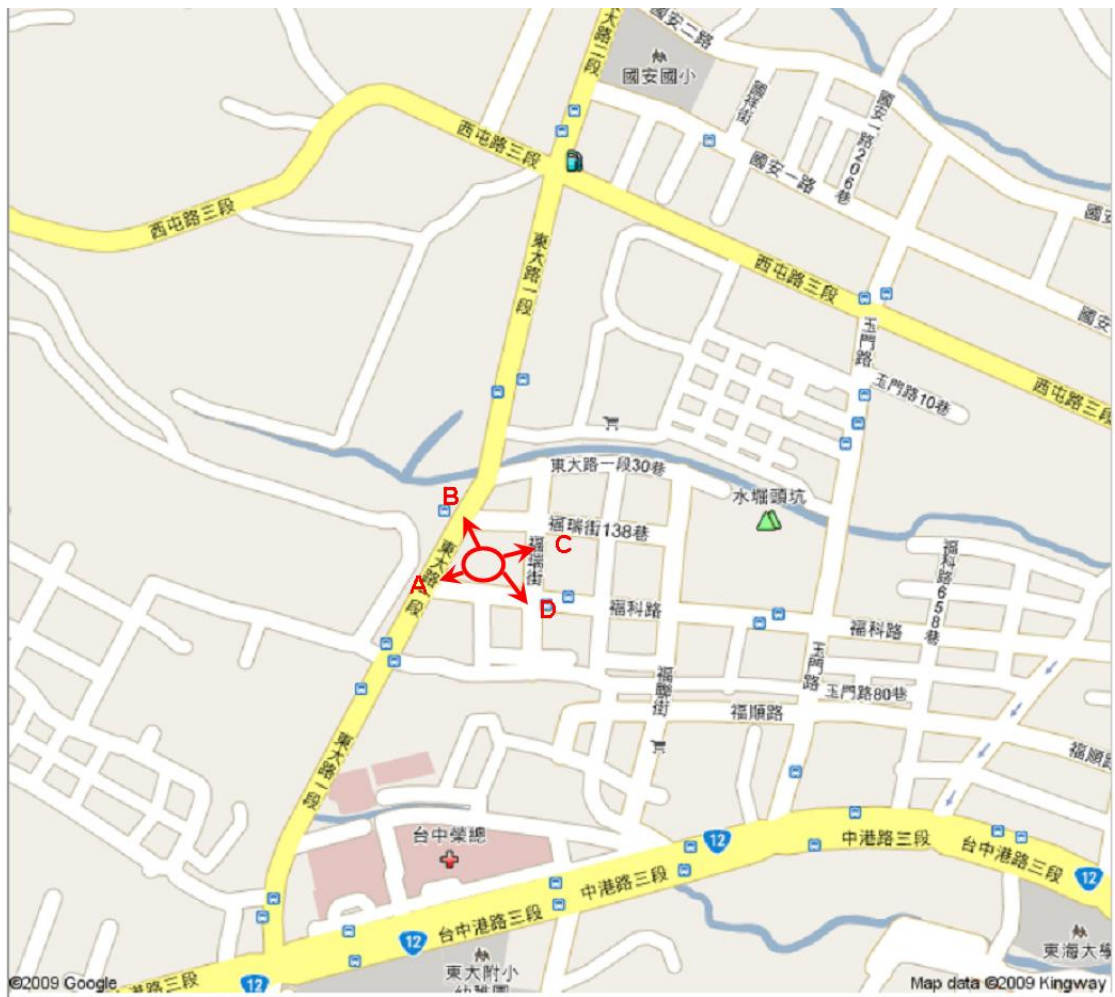


圖 43. 臺中市基地台作業測量人員量測位置示意圖

量測位置說明

基地台位置：臺中市福科路 950 號

A：台中市東大路一段與福科路交叉口

B：台中市東大路一段與福瑞街 75 巷交叉口

C：台中市福瑞街 126 號

D：台中市福科路與福瑞街交叉口

臺中市基地台測量人員個人暴露量測量結果

表 21. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之基地台測量人員個人電磁波時量平均暴露值

時量平均暴露值(V/m)	0.583
--------------	-------

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 22. 以頻譜分析儀測量分析結果計算基地台測量人員熱效應危害結果

測量位置	站姿
A	1.51×10^{-5}
B	1.30×10^{-6}
C	4.04×10^{-6}
D	2.80×10^{-5}

測量位置：A：台中市東大路一段與福科路交叉口；B：台中市東大路一段與福瑞街 75 巷交叉口；C：台中市福瑞街 126 號；D：台中市福科路與福瑞街交叉口

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

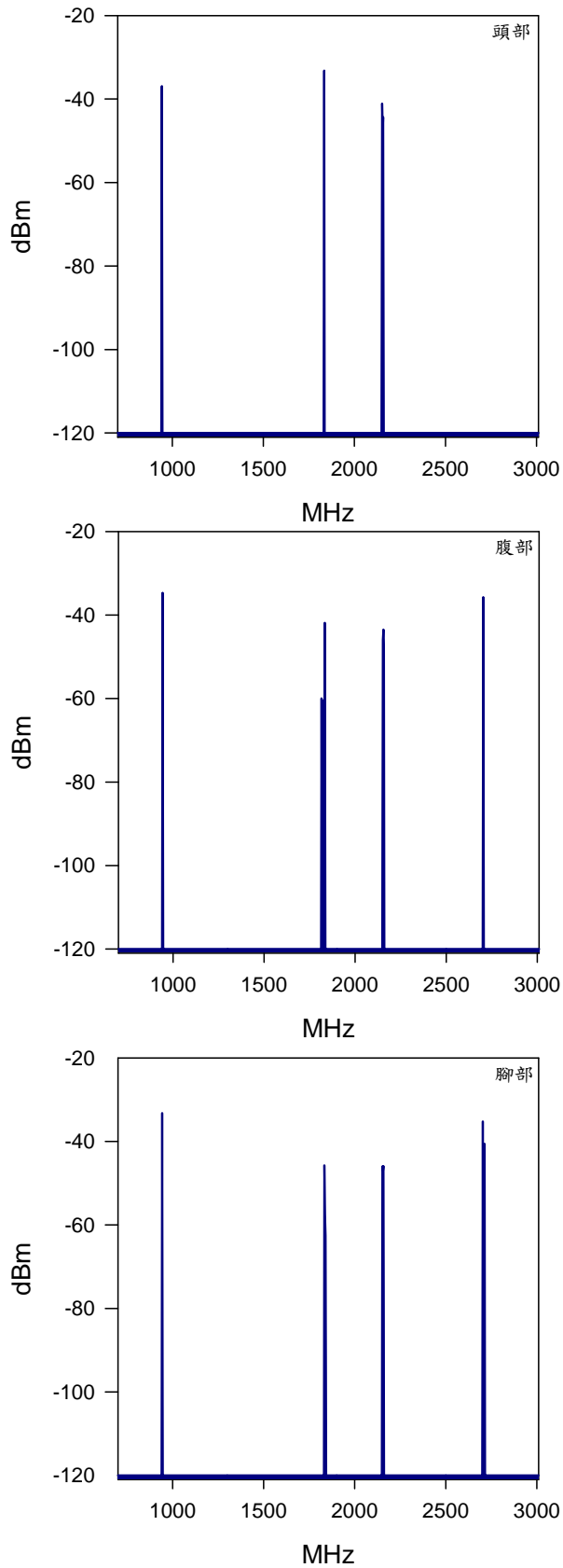


圖 44. 基地台測量人員於 A 地(台中市東大路一段與福科路交叉口)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

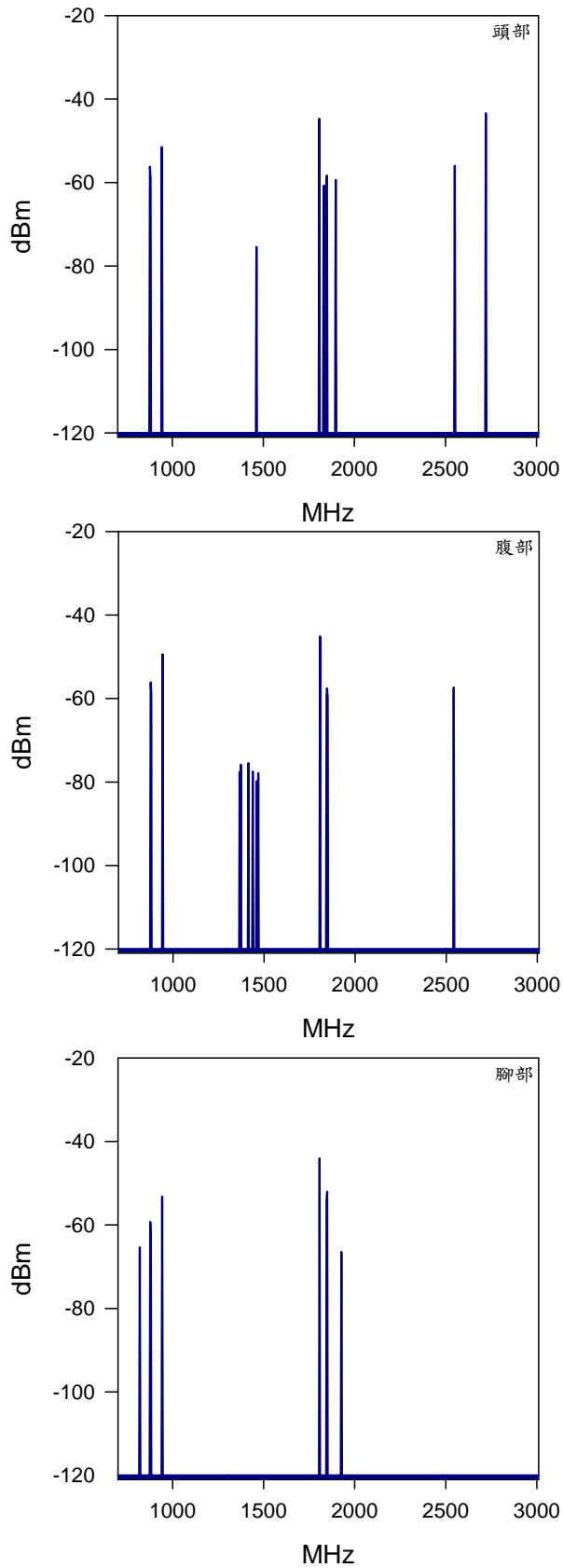


圖 45. 基地台測量人員於 B 地(台中市東大路一段與福瑞街 75 巷交叉口)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

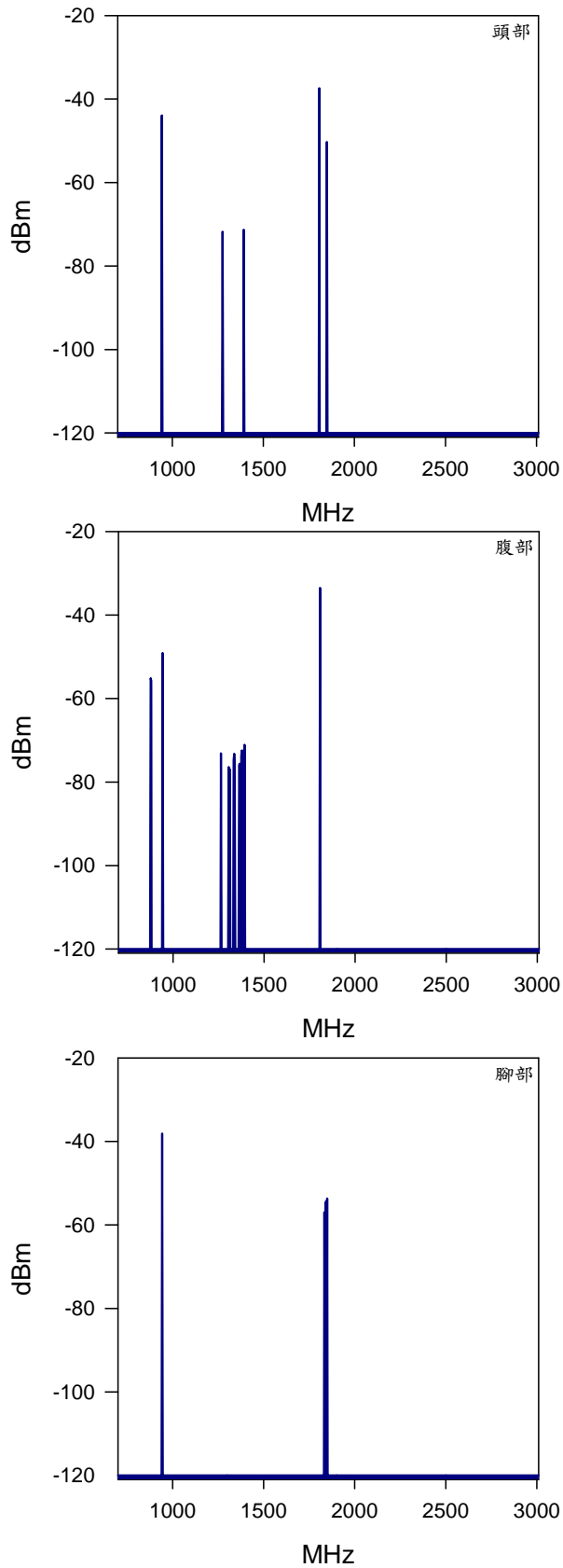


圖 46. 基地台測量人員於 C 地(台中市福瑞街 126 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

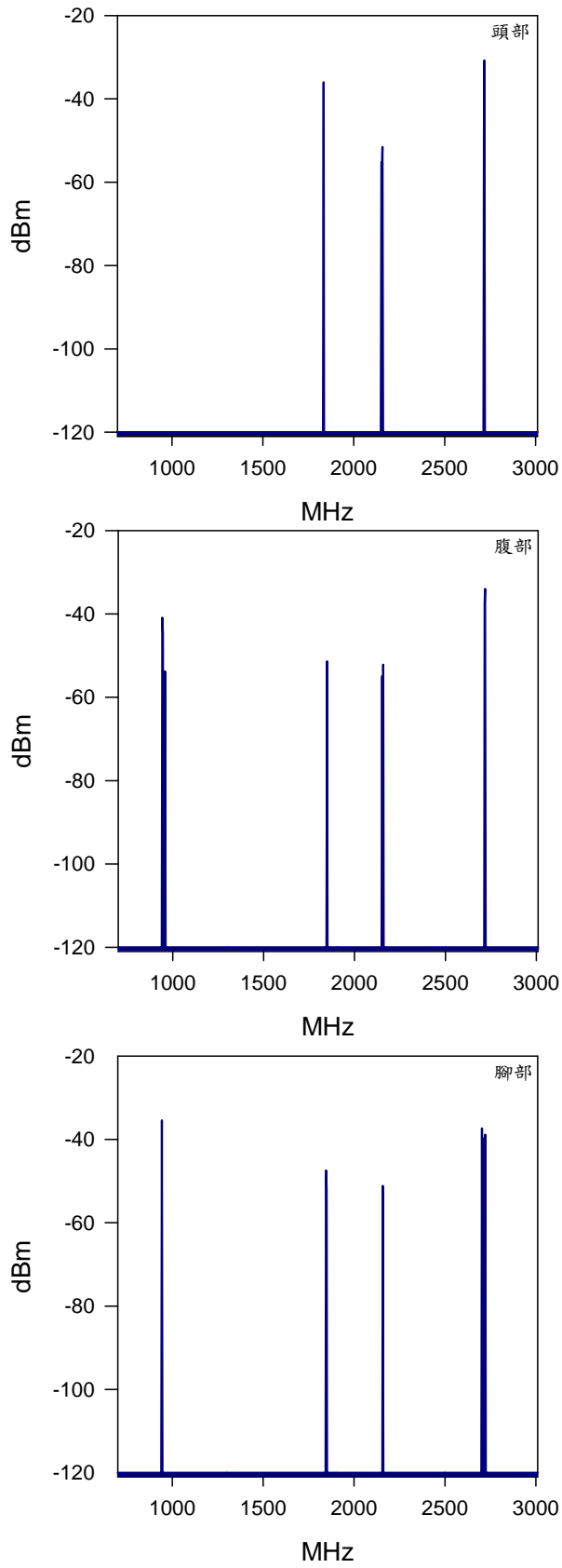


圖 47. 基地台測量人員於 D 地(台中市福科路與福瑞街交叉口)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

南部



圖 48. 高雄縣鳳山市基地台作業測量人員量測位置示意圖

量測位置說明

基地台位置：鳳山市碑頂里中山東路 176 號

A：鳳山市碑頂里中山東路 289 號

B：鳳山市中山東路 229 巷巷口(高雄捷運鳳山國中站 3 號出口對面處)

C：鳳山市誠群街 60 號

高雄縣鳳山市基地台測量人員個人暴露量測量結果

表 23. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之基地台測量人員個人電磁波時量平均暴露值

時量平均暴露值(V/m)	0.826
--------------	-------

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 24. 以頻譜分析儀測量分析結果計算基地台測量人員熱效應危害結果

測量位置	站姿
A	1.92×10^{-4}
B	1.52×10^{-4}
C	1.64×10^{-5}

測量位置：A：鳳山市碑頂里中山東路 289 號；B：鳳山市中山東路 229 巷巷口(高雄捷運鳳山國中站 3 號出口對面處)；C：鳳山市誠群街 60 號

註：測量結果係由搭配指向性電場天線(700 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

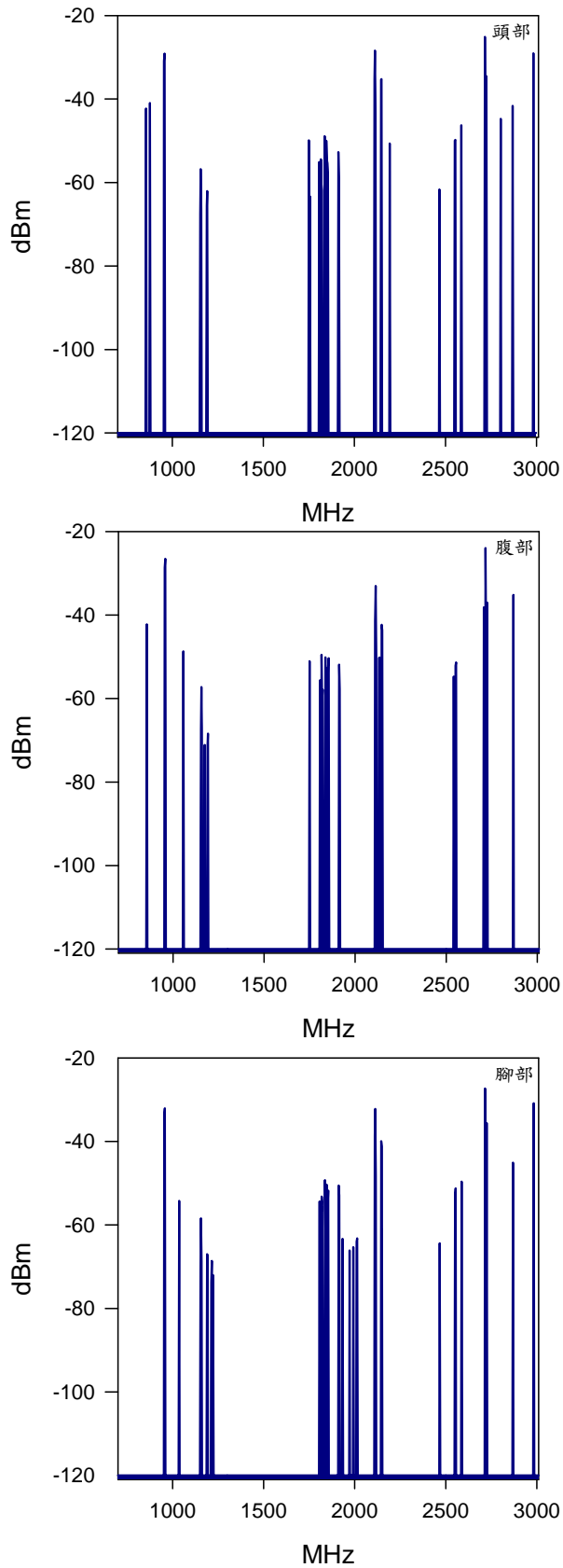


圖 49. 基地台測量人員於 A 地(鳳山市碑頂里中山東路 289 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

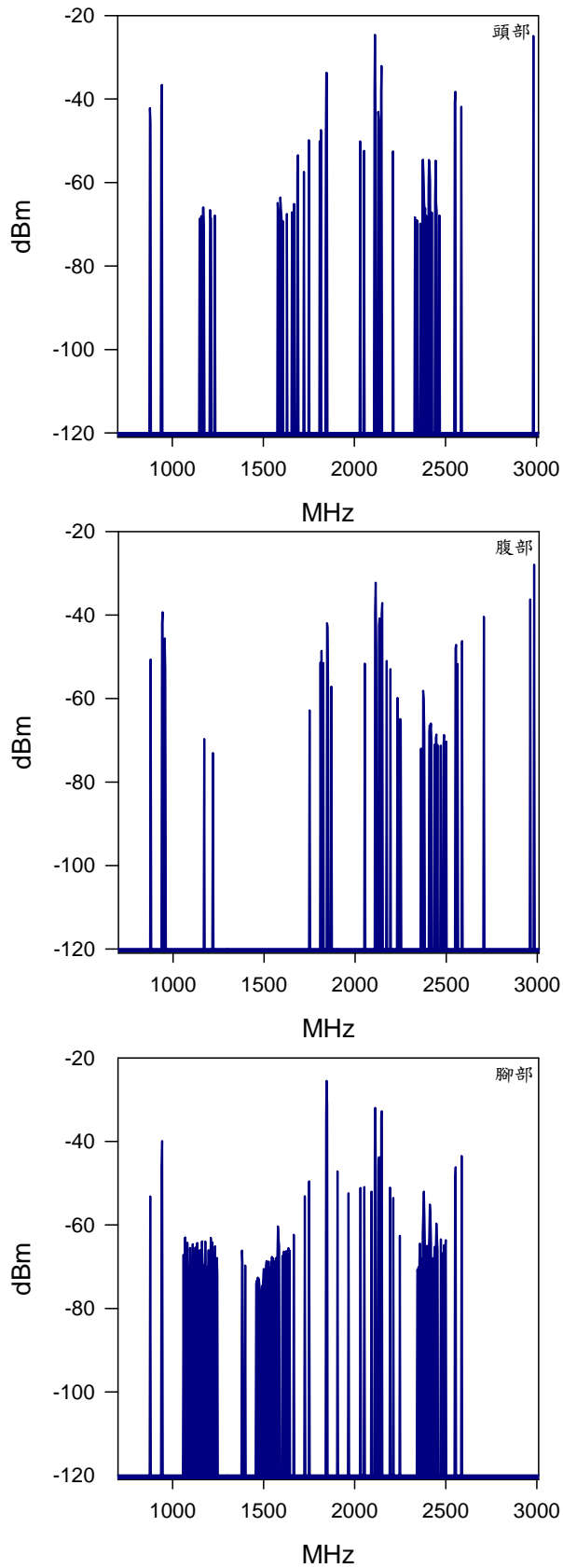


圖 50. 基地台測量人員於 B 地(鳳山市中山東路 229 巷巷口(高雄捷運鳳山國中站 3 號出口對面處)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

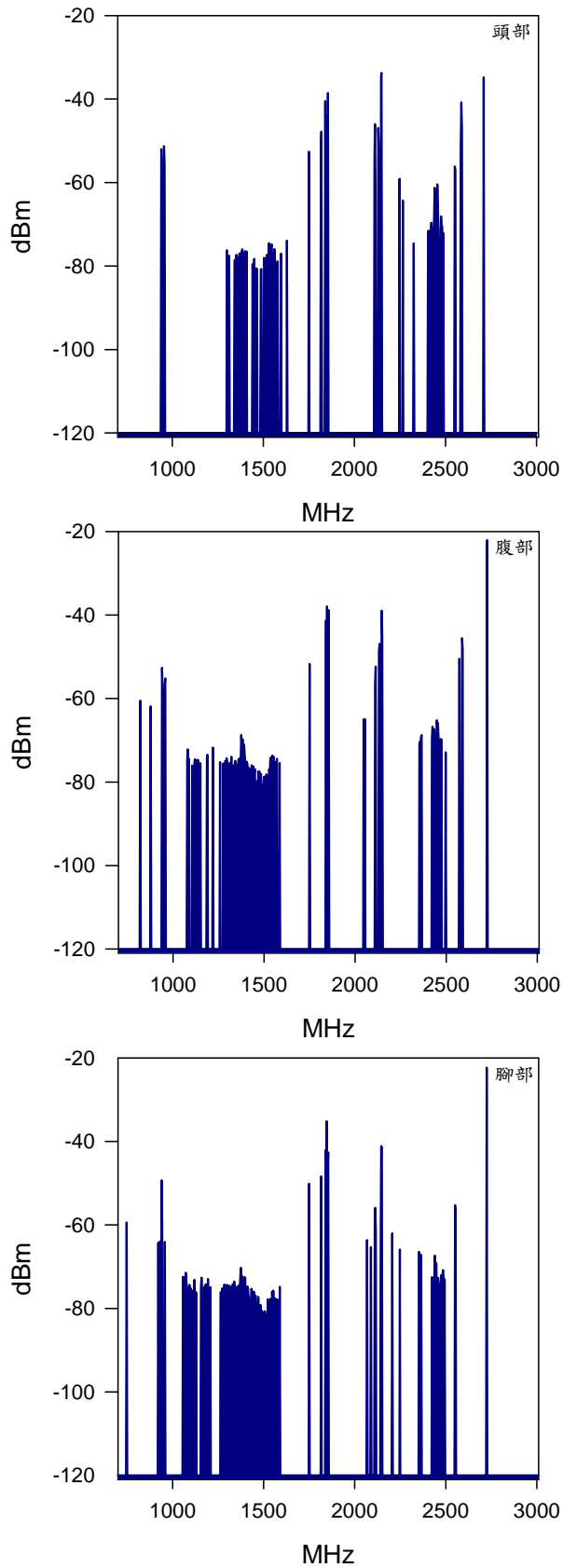


圖 51. 基地台測量人員於 C 地(鳳山市誠群街 60 號)之站姿姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

伍、使用高頻加熱設備之製造業



圖 52. 北部某塑膠高頻加熱射出成型工廠場區位置示意圖

北部某塑膠高頻加熱射出成型工廠作業人員個人暴露量測量結果

表 25. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之塑膠高頻加熱射出成型工廠作業人員個人電磁波時量平均暴露值

時量平均暴露值(V/m)	0.273
--------------	-------

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 26. 以頻譜分析儀測量分析結果計算塑膠高頻加熱射出成型工廠作業人員熱效應危害結果

操作作業位置	4.59×10^{-7}
--------	-----------------------

註：測量結果係由搭配全向性電場天線(10 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

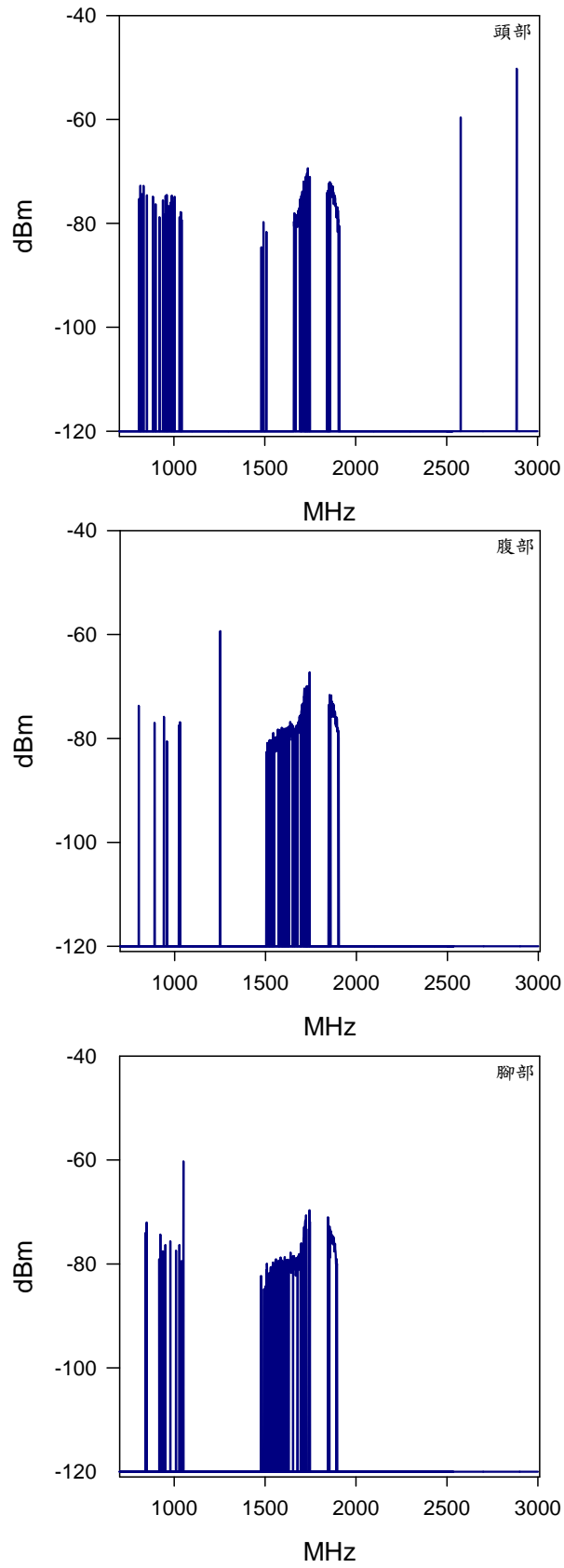


圖 53. 勞工站姿操作姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

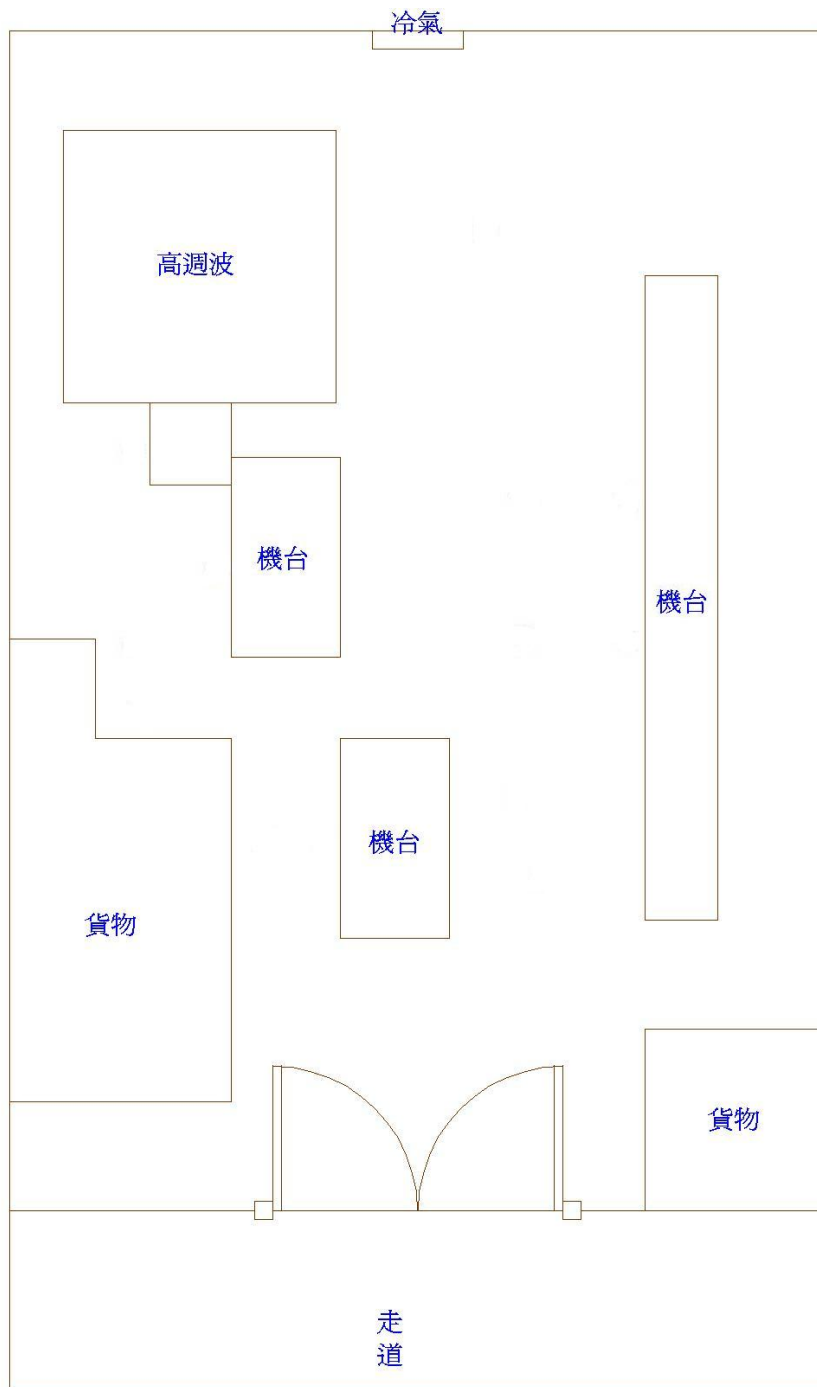


圖 54. 中部某高頻加熱工廠場區位置示意圖

中部某高頻加熱工廠作業人員個人暴露量測量結果

表 27. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之高頻加熱工廠作業人員個人電磁波時量平均暴露值

時量平均暴露值(V/m)	7.80
--------------	------

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 28. 以頻譜分析儀測量分析結果計算高頻加熱工廠作業人員個人熱效應危害結果

操作作業位置	7.85×10^{-7}
--------	-----------------------

註：測量結果係由搭配全向性電場天線(10 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

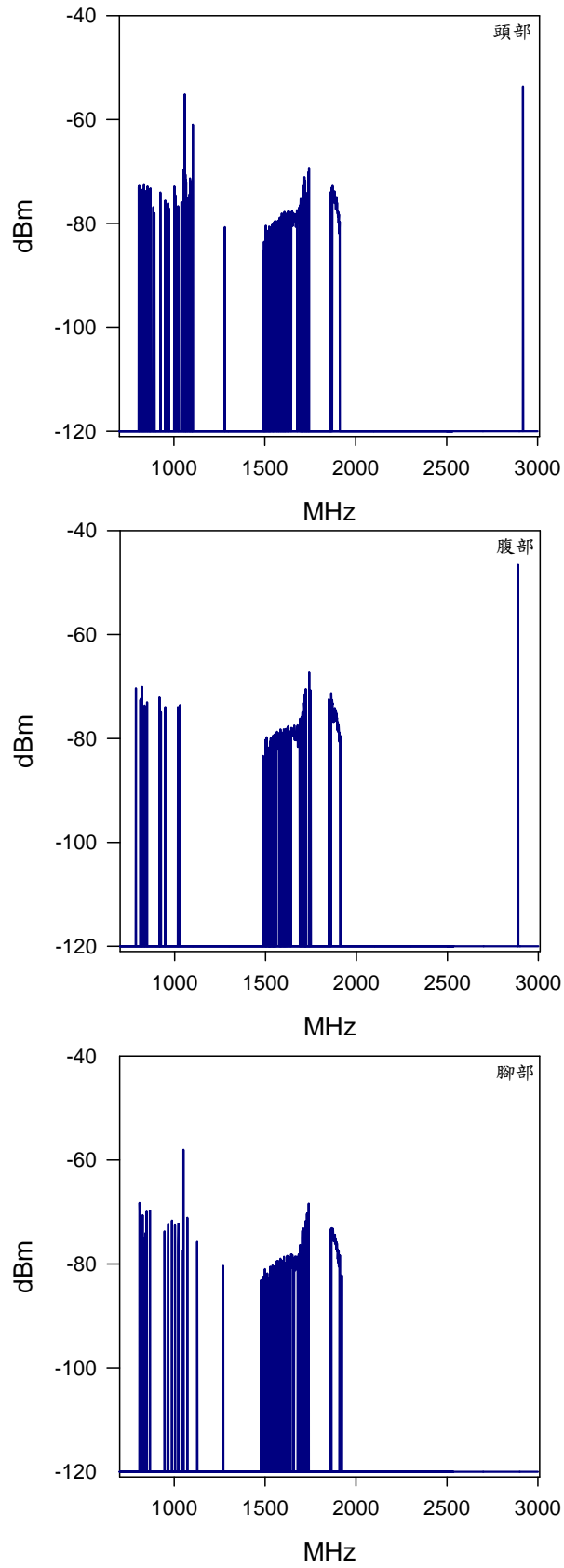


圖 55. 勞工站姿操作姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

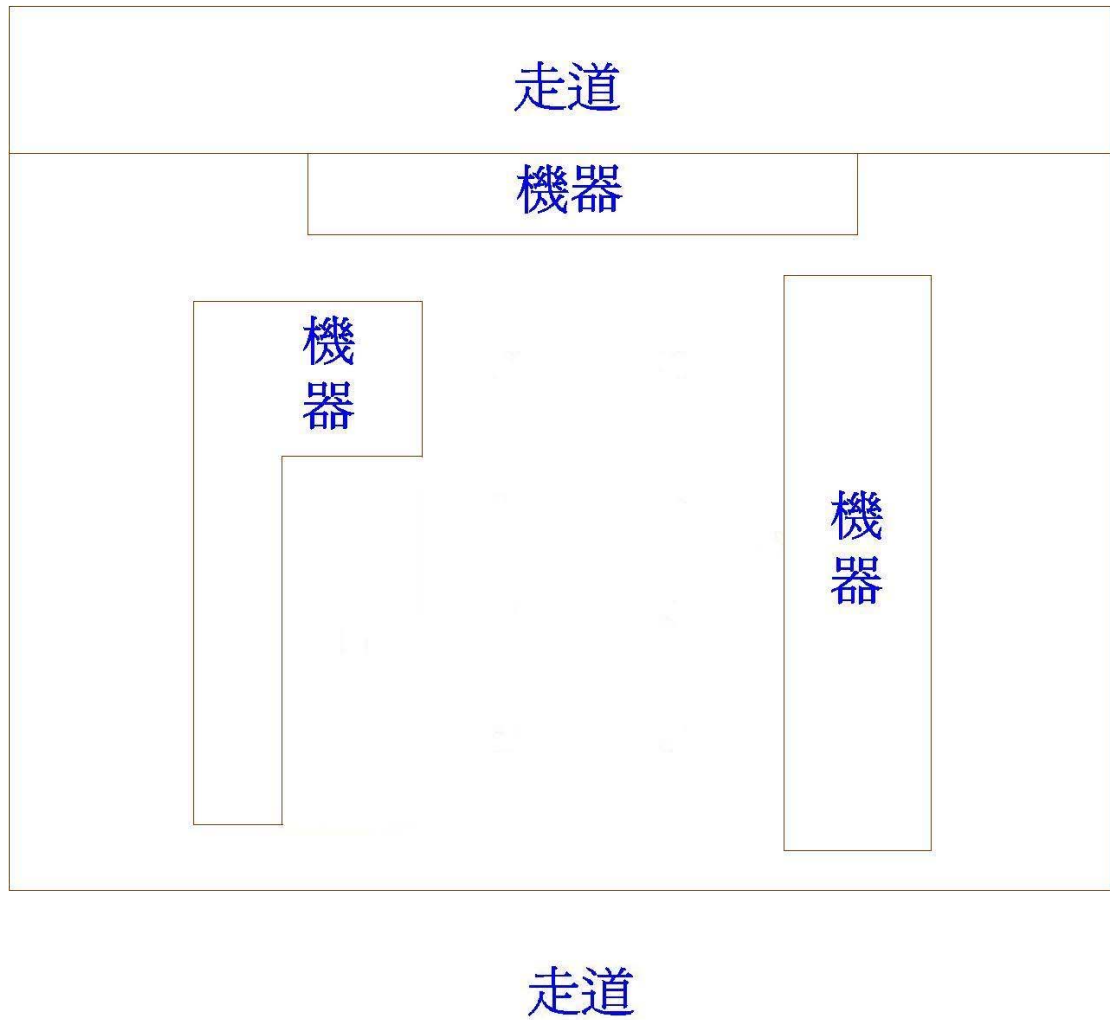


圖 56. 南部某高頻加熱工廠場區位置示意圖

南部某高頻加熱工廠作業人員個人暴露量測量結果

表 29. 以全向性電磁波場強計量測結果，搭配個人活動模式問卷推算之高頻加熱工廠作業人員個人電磁波時量平均暴露值

時量平均暴露值(V/m)	3.16
--------------	------

註：測量結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

表 30. 以頻譜分析儀測量分析結果計算高頻加熱工廠作業人員員熱效應危害結果

操作作業位置	5.67×10^{-7}
--------	-----------------------

註：測量結果係由搭配全向性電場天線(10 MHz – 6 GHz)之頻譜分析儀測量得之。

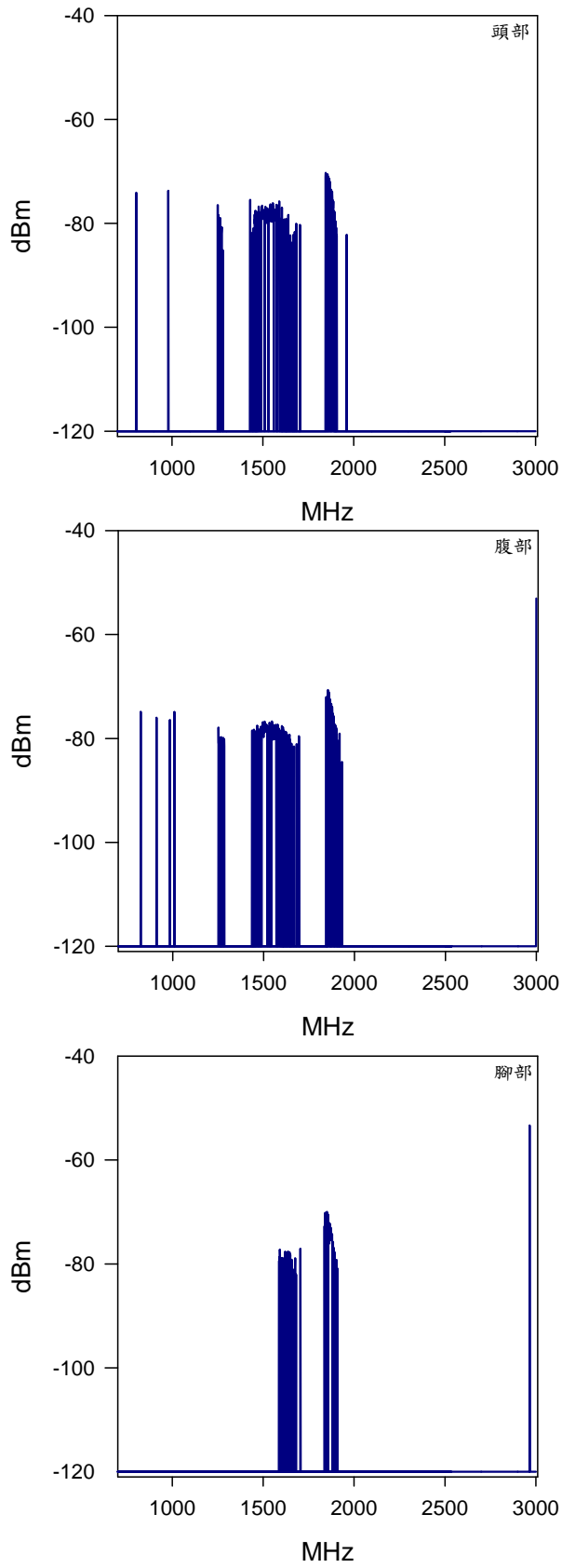


圖 57. 勞工站姿操作姿勢之頭部、腹部、及腿部部位之電磁波頻段掃描圖

陸、廣播電台測量

山海屯青少年之聲廣播電臺

表 31. 距離廣播電台發射天線約 25 公尺處之不同時間與不同高度測量結果

測量時間	山海屯青少年之聲廣播電臺					
	測量高度					
	早上			晚上		
	155 公分	85 公分	7 公分	155 公分	85 公分	7 公分
15 秒	62.7	64.9	58.3	20.5	11.3	8.05
6 分鐘	70.6	64.1	62.4	20.5	11.3	8.07

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。

真善美調頻廣播電臺

表 32. 距離廣播電台發射天線約 132 公尺處之不同時間與不同高度測量結果

測量時間	真善美調頻廣播電臺					
	測量高度					
	早上			晚上		
	155 公分	85 公分	7 公分	155 公分	85 公分	7 公分
15 秒	0.741	1.24	0.687	1.01	1.38	0.686
6 分鐘	0.786	1.08	0.655	1.02	1.38	0.723

註：結果係由搭配全向性電場探頭(100 kHz – 3 GHz)之場強計測量得之。