

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：實習)

光纖障礙檢測技術 實習出國報告

行政院研考會/省(市)研考會 編號欄

服務機關:交通部中華電信股份有限公司
出國人員職稱:股 長
姓名:劉 見 東
出國期間:中華民國89年12月17日至
12月23日
出國地點:日本
報告日期:中華民國90年3月20日

摘要

為配合光纖網路之建設，尤其施工困難之超高層大樓垂直光纜或海底光纜之佈設，若能事先瞭解殘留應力和應變對光纖特性劣化之影響，並加以防範則可事半功倍且可確保光纖通信品質，因此本公司亟需瞭解其檢測相關技術及其應用領域；另外配合接取網路寬頻化基礎建設之推動，以及在電信國際化、自由化與固網業務開放競爭之趨勢下，光纖網路的品質將成為競爭市場不可或缺的要害，因此光纖預防性維運監測系統亦亟待建立，而其中應力和應變對光纖特性劣化之檢測將是一項不可忽視的項目，本公司宜適時掌握其技術與應用能力。

當光纖網路系統之技術與傳送能力正不斷提昇之際，其影響層面也就越來越廣泛，任一光纖通信系統之光纖心線的障礙，均足以造成用戶無可挽回之損失，雖然一般的光纖電路均會採用多重光纖路由及設備，或用其他通信系統（如衛星或微波）做為備援系統，以提高通信網路之可靠性及安定性，但若網路實體拓樸設計不良或環境因素，多重光纖路由或備援系統也不一定就管用，唯有加強預防性光纖品質監測，尤以超高容量的國際光纖海纜為然，或可減少損失及來自客戶的抱怨和不滿，才能確保競爭力優勢。

本報告內容為筆者實習心得之摘要，共分五章，第壹章為實習目的、行程概要與報告內容，第貳章為光纖網路發展趨勢，為將光纖在網路的實體情況及將來發展趨勢作一掃描，以更一步了解其扮演的角色，第參章為光纖檢測基本原理，主要簡介光纖檢測的一些參數與方法，為光纖任何檢測的基礎技術，第肆章為光纖殘留應變之檢測與對策，主要為簡介利用ANDO公司所製造的AQ8602光纖應變/損耗分析儀（BOTDR）來檢測光纖的應變及應用，第伍章為觀感與建議，提供有關單位參考。

本報告將簡介此次實習的光纖障礙檢測技術，盼能對國內正處在導入期之光纖網路應變檢測系統有所助益。

目 錄

內 容	頁 數
壹、實習目的、行程概要與報告內容	3
貳、光纖網路發展趨勢.....	5
參、光纖檢測基本原理.....	15
肆、光纖殘留應變之檢測與對策.....	24
伍、觀感及建議.....	32

壹、實習目的、行程概要與報告內容

§1.1 實習目的

為配合光纖網路之建設，尤其施工困難之超高層大樓垂直光纜或海底光纜之佈設，若能事先瞭解殘留應力和應變對光纖特性劣化之影響，並加以防範則可事半功倍且可確保光纖通信品質，因此本公司亟需瞭解其檢測相關技術及其應用領域；另外配合接取網路寬頻化基礎建設之推動，以及在電信國際化、自由化與固網業務開放競爭之趨勢下，光纖網路的品質將成為競爭市場不可或缺的要害，因此光纖預防性維運監測系統亦亟待建立，而其中應力和應變對光纖特性劣化之檢測將是一項不可忽視的項目，本公司宜適時掌握其技術與應用能力。

§1.2 行程概要

本案實習期間含往返行程共七天，即自民國八十九年十二月十七日起至同年十二月二十三日止。其行程概要簡述如下：

89.12.17 赴日本東京行程。

89.12.18~19 在日本東京ANDO公司實習光纖檢測原理和障礙分析。

89.12.20~21 在日本東京ANDO公司實習殘留應力/應變引起光纖品質劣化及解決方法。

89.12.22 在日本東京ANDO公司實習光纖障礙檢測。

89.12.23 由日本東京返國行程。

§1.3 報告內容

此次筆者奉派赴日本實習「光纖障礙檢測技術」，被安排在ANDO公

司接受光纖障礙檢測的訓練，據日本專家表示，全套課程需花四週才能結業，但因為我的實習時間不到一週，他們就以濃縮版教材施教，也頗能配合客戶的需求，這就是我們現在每個人都能朗朗上口的「以客為尊」的具體表現，可見過去「日本第一」的頭銜並非浪得虛名。雖然實習時間很短暫，由於日本人做事效率向來很高，所以獲益也就良多。本報告內容為筆者實習心得之摘要，共分五章，第壹章為實習目的、行程概要與報告內容，第貳章為光纖網路發展趨勢，第參章為光纖量檢測本原理，第肆章為光纖殘留應變之檢測與對策，第伍章為觀感與建議，提供有關單位參考。

本報告將簡介此次實習的光纖障礙檢測技術，盼能對國內正處在導入期之光纖網路應變檢測系統有所助益。

貳、光纖網路發展趨勢

§2.1 光纖通信概要

在過去將近二十年中，歐、美、日等國電信公司，開始將它們的傳統傳輸系統大量轉換成光纖系統，因而在電信的長途（含國際）、局間中繼及市話幹線網路的超級主幹線上，佈設了數百萬公里的光纜，並正往市話用戶迴路延伸，企圖解決「last mile」所引起的寬頻基礎建設問題，所以光纖大樓(FTTB)、光纖到里鄰 (FTTF)、光纖到路邊(FTTC)、近似光纖到家 (FTTNH)，甚至光纖到家(FTTH)等解案紛紛出籠，造成全球光纖心線的嚴重缺貨，據日本專家告訴筆者，此種情形預估需要兩三年後才能舒解。

推動光纖網路建設的原動力應非屬網際網路「殺手級的應用」莫屬，由於網際網路的熱潮方興未艾，網路交換中心 (IX) 和網路資料中心 (IDC) 商機也應運而生，因此網際網路骨幹的建設更加迫切，圖 2.1.1 陳示全球網際網路骨幹圖，從該圖可知是以美國為網路核心。

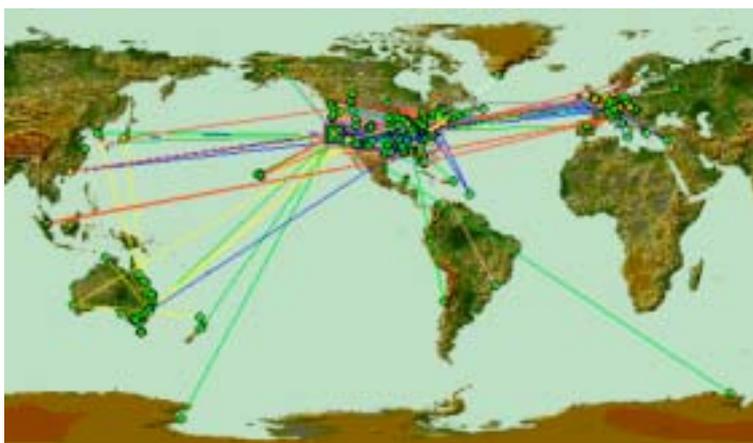


圖2.1.1全球網際網路骨幹圖

國內固網業務的開放，除了利用密集分波多工(DWDW)技術引進16的40G光纖傳輸系統已於去年完工營運外，國際海纜也紛紛要登陸搶食這波商機，根據電信總局估計，民間國際海纜電路出租業者加入初期，即可增加國際電路總頻寬約120Gbps，約為本公司目前提供的120%，日後視市場實際需求、透過密集分波多工技術，甚至可以再提升到550Gbps。據報目前申請合格的國際海纜電路出租業者有五家，分別是全球光網電訊公司籌備處、台灣國際纜網通信公司籌備處、三達通訊公司籌備處、網上網洲際海纜公司籌備處，以及台灣國際海纜公司。

在聯外頻寬將大幅擴充下，各業者間的價格競勢不可免，在平等接續方案的施實下，本公司原賴於用戶使用習慣之國際及長途業務優勢將喪失殆盡。為了鞏固本公司的既有業務，只有使出真正的本領，並發展寬頻的新興服務才能穩住局勢，也是本公司得以永續經營必經之路，而其中提供高品質的光纖傳輸電路更是一項最基本的條件，也是創造客戶價值不可或缺的要素之一。這樣也會加速了用戶迴路光纖化（FITL）的腳步，利用光纖通訊技術所帶來的好處計有：

1. 增加了通路容量。
2. 高數位傳輸速率。
3. 高頻寬。
4. 可靠性好。
5. 具電磁干擾免疫性。
6. 經濟性。

根據光纖製造廠商所提供的資料指出，相同的傳輸容量時，一公里之光纖僅重65公克，而一公里之銅纜卻重達33公噸，而且光纖心線材料取之不盡，用之不竭。所以，當光技術增進時，光纖通訊系統將大大地降低了其安裝及維運成本，所以現在電信公司可在其用戶迴路上大量佈設光纖，以達成其全面光纖到家(FTTH)的美夢，以提供用戶高品質之服務。最近光接取網路(Optical Access Network)的發展趨勢也更受到電信業者所關心，尤其，達成FTTH最關鍵的光網路單體(Optical Network Unit, ONU)，也已商用化，而成本也已降到目前銅纜網路之水準，除了本

公司已在建置的MFOAN外，其他三家固網公司也正在建設數百至數千套類似的多功能ONU，以搶攻商業大樓的客戶。

根據一項纜線成本之比較分析，是以成本效益作為最有用的衡量準則，根據其計算結果，在雙絞銅線、同軸纜線和光纖纜線等三種線材中，以每公尺為基礎算出，可知光纖之成本效益最佳。

典型之光纖通訊系統主要含有下列諸元：

1. 輸入數位電信號源：載有想要傳送之資訊(如視訊信號)。
2. 電至光轉換器：具有將電波信號(數位式或類比式)轉變成光波信號(數位式或類比式)之能力。
3. 傳輸媒體：可傳送光能量之導光材料，一般為光纖。
4. 光至電轉換器：具有將光波信號轉回成電波信號之能力。
5. 輸出數位電信號：為原有輸入信號之複製品。

以上光通信系統諸元陳示如圖2.1.2。

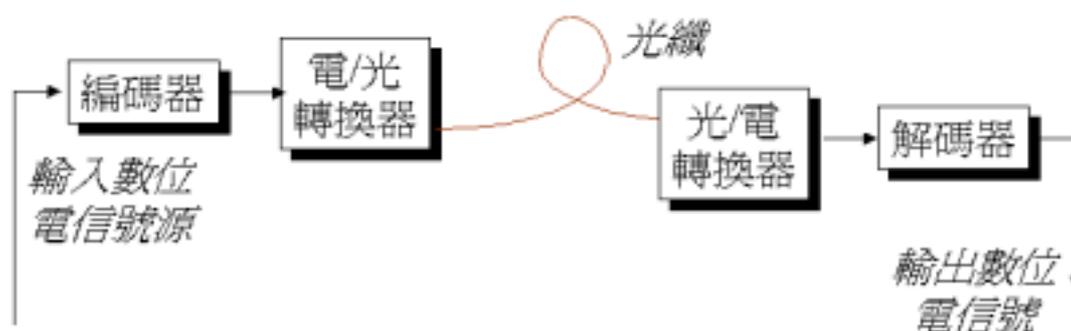


圖 2.1.2 典型光纖通訊系統方塊圖

電至光轉換器(即發射器或光源)可將輸入信號之電能轉換成光能，光源種類可用最簡易的射光二極體以至頗為複雜之雷射二極體。至於傳輸媒體，一般而言，只要能傳送光信號即可，其中之一即為大氣，船與船間之閃光通信暨古代戰爭所慣用之烽火(或燃煙)通信為其重要應用實例。然而，當代語音及數據之數位傳輸系統要求高可性及高容量之傳輸媒體，因而，發展低損失之光纖不失為目前最佳之途徑。另外，光至電轉換器能將光能轉回成電能，並產生含有被傳送資訊之輸出信號。

在光纖通信傳輸標準方面，同步光纖網路（SDH/SONET）是為光電傳輸系統而研發的一種數位架構標準，它結合了兩種現存標準，即ANSI與ITU-T，以作為傳輸系統與多工機間之介面標準。表2.1.1陳示了SDH及SONET之速率及容量，目前SDH之最高速率位階定在STM-64，操作速率約10 Gbps，另外OC-256操作在13 Gbps及更高的位階正在考慮中。

表2.1.1 同步光纖網路的速率及容量

ITU-T STM (SDH)	ANSI OC-N SONET (SONET)	線速率 (M bps)	相當於幾個 DS1 容量	相當於幾個 DS3 容量
	1	51.84	28	1
1	3	155.52	84	3
4	12	622.08	336	12
16	48	2,488.32	1,344	48
64	192	9,953.28	5,376	192

為了與同步光纖網路標準比較，一般的數位信號架構見表2.1.2，分成北美及歐洲兩大系統，其中DS0之速率為 64 Kbps，為一般電話語音之數位速率。

表2.1.2數位信號架構

信號位階	比次率	等值語音電路	載具系統	典型傳輸媒體
北美系統				
DS0	64 Kbps	1	---	銅線
DS1	1.544 Mbps	24	T1	銅線
DS1C	3.152 Mbps	48	T1C	銅線
DS2	6.312 Mbps	96	T2	銅線
DS3	44.736 Mbps	672	T3	微波/光纖
DS4	274.176 Mbps	4032	T4	微波/光纖
歐洲系統				
0	64 Kbps	1	---	銅線
1	2.048 Mbps	30	E1	銅線
2	8.448 Mbps	120	E2	銅線
3	34.368 Mbps	480	E3	微波/光纖
4	139.264 Mbps	1,920	E4	微波/光纖
5	565.148 Mbps	7,680	E5	微波/光纖

另外有三種傳送數位信號之傳送模式，即同步傳送模式 (Synchronous Transfer Mode, STM)、非同步傳送模式 (Asynchronous Transfer Mode, ATM) 及分封模式 (Packet Mode)。同步傳送模式用於電路模式交換及分時多工，其基本的交換單位為一個時槽 (time slot)，通常 STM 不是有效的傳送模式。其次分封模式用於分封模式交換，它雖然對比次率服務較有效，但因其通信協定複雜且由軟體處理，故對高比次率的應用較為困難。在三種傳送模式中，ATM 是為有效率的高比次率傳輸而設計，由 ITU-T 所研訂的 ATM 訊包 (cell) 其固定長度 (fixed length) 為 53 位元組，分成 5 位元組包頭 (header) 及 48 位元組的資訊欄 (information field)，因為其通信協定簡單，故可由高速的硬體來處理，ATM 被認為 BISDN 最適合的目標解決之傳送模式，同時也是視訊寬頻交換服務的利器。

美國朗訊 WaveStar OLS400G 採用 40 路的 OC-192，每心光纖可傳送 400Gbps，長度 640 公里，另每心傳 2.5Tbps ($20\text{Gbps} \times 132\lambda$) 正在研究中。圖 2.1.3 陳示未來之光交換網路圖。

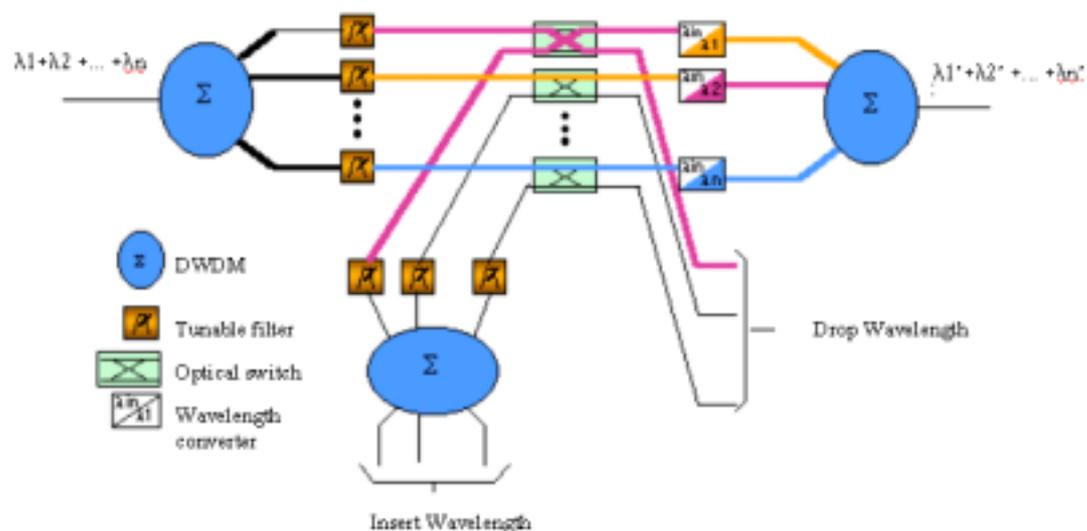


圖 2.1.3 未來之光交換網路

§2.2 長途光纖網路發展趨勢

根據電信總局的統計資料顯示，今年底我國對外頻寬將可達 120

Gbps裡，其中本公司現有4.3Gbps，另外三家固網東森寬頻電信、新世紀資通和台灣固網總計也有29.91Gbps海纜頻寬，加上國際海纜業者今年和明年將陸續登陸的頻寬，包括本公司、新世紀資通、東森寬頻電信和台灣固網在內的四家固網業者，將成為台灣聯外頻寬的最大獲益者。

所以電信總局預估，台灣聯外頻寬今年將大幅成長五倍，可達到120Gbps，其中固網業務和國際海纜開放更是主因。本公司今年底的海纜總頻寬可達20.9Gbps，目前已開放的橫太平洋五號(APC-5)、亞太光纜網路(AP CN)、中美海纜(CH-US)、法新歐亞三號海纜(SEMW-3)等多條海纜，分別在宜蘭頭城和屏東枋山通信中心登陸，可提供4.3Gbps的通信容量；另外，新建設完成的淡水海纜機房，也擬再增設亞太光纜網路二號(APCN2)，預計可再提供16.6海纜頻寬。

至於民營固網業者中，新世紀資通除了投資亞太光纜網路二號(APCN2)外，再和新坡電信合作投資C2C海纜，海纜系統總容量達13.95 Gbps；東森寬頻電信則是透過簽訂十五年的長期使用合約(IRU)，取得中美海纜和法新歐亞三號海纜(SEMW-3)等，總計13.6Gbps頻寬；至於台灣固網除了投資亞太光纜網路二號預計明年登陸外，目前也已租得2.36Gbps的海纜頻寬。

除了四家固網業者今年所擁有的50.18Gbps頻寬外，去年向交通部電信總局申請國際海纜執照的五家業者，也將再導入一倍以上的頻寬，預估明年初國際海纜頻寬的租金將可下降六到七成。由亞洲環球光網和全揚投資合資的全球光網電訊，EAG海纜將在台北縣的八里上岸，取得授權的頻寬為80Gbps；由Level 3和裕隆集團合資的三達通訊，首條海纜Tiger將在宜蘭頭登陸，取得授權的全電路在5Gbps以上；由Tycom Asia Network投資的台灣國際纜網通信，將在台北縣淡水登陸，取得授權頻寬為20Gbps；由APCN-2四十六個會員國共同投資建設的網上網洲際海纜，也將在台北縣淡水登陸，授權頻寬為5Gbps；由關島-菲律賓海纜公司(GPCC)、新世界電信公司(NEW WORD TELE)、菲律賓長途電信公司(PLDT)和台灣國際海纜公司(GPC)，也計劃在枋山登陸，取得授權頻寬為10Gbps。

至於國內長途光纖網路方面，除了本公司既有的光纖網路及三家新固網新建設的光纖網路外，尚有台鐵環島光纖網路、台電全省光纖網路、中油南北光纖網路、瓦斯公司光纖網路、有線電視公司光纖替代網路（如和信替代出租網路）等都大肆擴建光纖網路，普遍採用DWDM技術，有些甚至已引進非零射散光纖（ITU-T G.655），建設了每心光纖可傳輸高達40Gbps的速率，以搶奪國內長途寬頻網路及專線商機，圖2.2.1陳示每心光纖傳輸80Gbps的速率之DWDM與光纖整合架構圖。

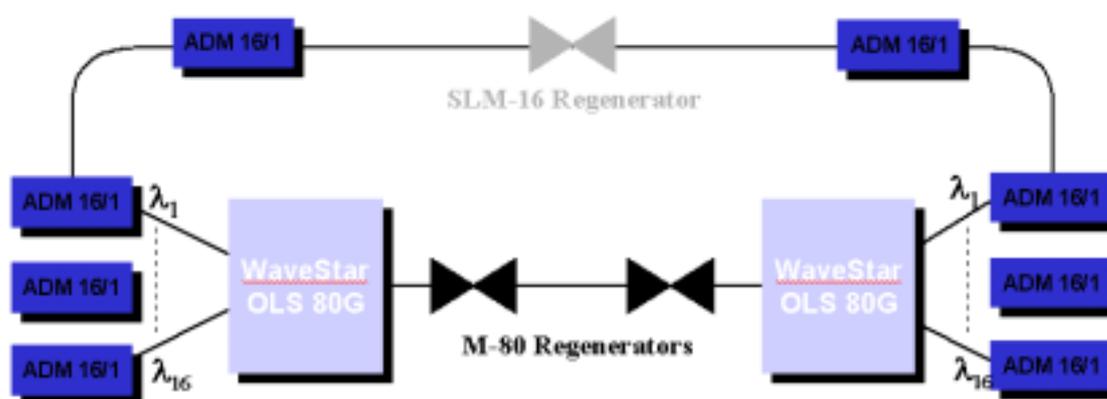


圖2.2.1 DWDM與光纖整合架構圖

§2.3 用戶迴路光化網路發展趨勢

眾所皆知，雙絞銅線（TPC）用戶迴路不能傳遞每秒高達數百萬位元組（MB）的寬頻影像高速數據服務，不過有兩種方法可解決此問題：其一為對TPC的傳輸方式採用先進的調變技術，另一為用光纖取代TPC用戶迴路。

雙絞銅線的增強採取了諸如QAM、CAP、DMT和DWMT等先進調變技術的優點，其結果衍生了HDSL、SDSL、ADSL和VDSL等xDSL的用戶迴路，但是它們依用途和傳輸距離而有不同的應用。雙絞銅線的增強方案除了附加對應的調變器外並不需要新裝或改變原迴路設施，所以它被認知為既有用戶迴路的第一階段演進，並普遍被電信公司採用為用戶迴路光纖化前之策略應用，以解頻寬需求燃眉之急，也就是它只是一種過

渡的產品。

另外，光纖化用戶迴路（Fiber In The Loop：FITL）的演進可以用諸如FTTB、FTTCab、FTTC、和FTTH等FTTx多階段方式來實現，詳附圖2.3.1所示。在光纖到路邊（FTTC）的方案中，幹線和分配線的雙絞銅線被光纖取代，而最後一段的引進線仍然維持銅線不變，此跟CATV網路採用HFC的演進方式有異曲同工之妙，均被視為朝向用戶網路最終光化-光纖到家（FTTH）的第二階段演進。

用戶迴路演進的目標，應以能提供各種寬頻及窄頻服務的全功能服務存取網路（Full Service Access Network;FSAN）為主要依歸。

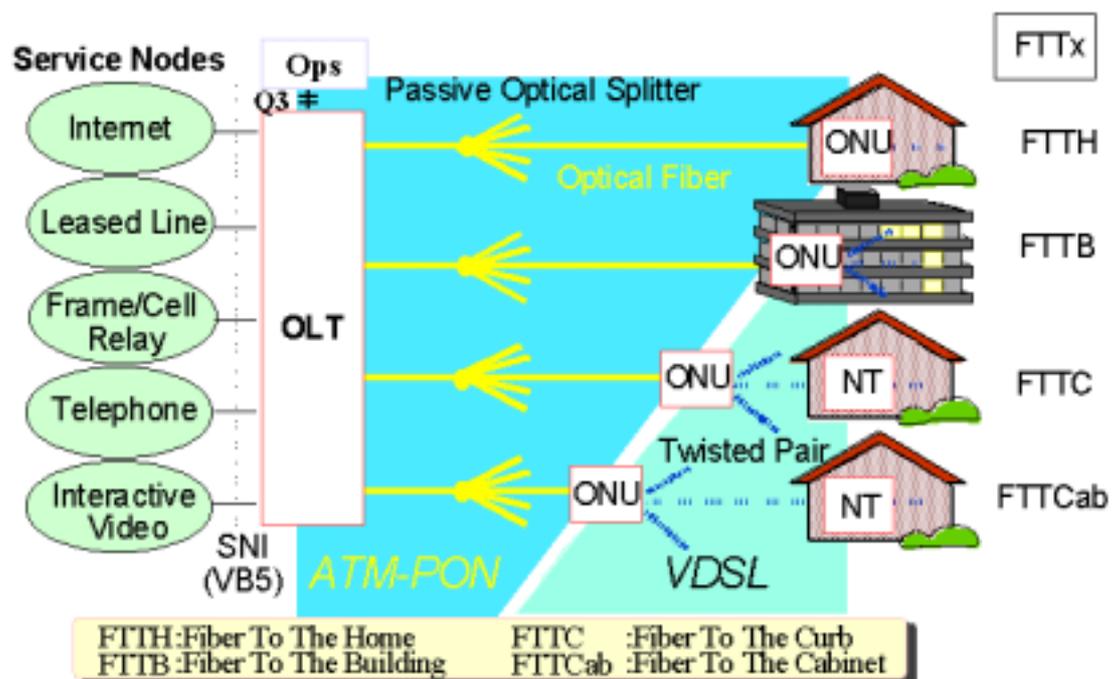


圖2.3.1 FTTx用戶迴路ATM-PON存取系統

一般電信公司用戶迴路光纖化發展策略，必須配合其發展目標才能竟其全功，其目標不外以xDSL應用策略，並以FTTx+xDSL方式為FTTH奠定基礎，配合寬頻交換技術，整合語音、數據、多媒體等服務，提供用戶寬頻高速上網服務，其基本策略有用戶迴路光纖化，可分三階段將光纖纜線逐步從中央局往用戶住家推展。

光纖到大樓(Fiber To The Building ; FTTB)的策略，在使光纖用戶線能服務商業區的大樓用戶，因為成本效益佳，早已是成熟的技術，其方式為新建的大樓先行引進光纖，然後再逐漸汰換舊大樓的擁塞銅纜成光纖。對FTTB而言，其遠端終端機(Remote Terminal ; RT)就裝置在大樓裡的電信室裡，因為商業區的大樓普遍為大企業所進駐，而根據營收的80/20法則，FTTB已成為新固網業者搶攻企業用戶的最愛。隨著光纖和光電轉換器成本的下降，頻寬需求的極速上昇，現在FTTB也已伸入了較小的大樓及大型社區。

其次光纖到固定供線區交接箱(Fiber To The Cabinet ; FTTCab)及光纖到用戶住家路邊配線點(Fiber To The Curb ; FTTC)為在用戶的里鄰和商業區的中小型建築物，擴張光纖用戶迴路的策略目標。因為全光纖化的成本還是居高不下，而所預估的寬頻服務需求量還很低時，FTTCab及FTTC提供了一個折衷的中間演進階段，而且高效能的TPC數位用戶線技術如VDSL技援了FTTC的推廣。對FTTC而言，光纖網路單體(Optical Network Unit ; ONU)裝置在用戶群的鄰近配線點，而光纖佈設在中央局和ONU之間，剩餘的最後一段引進線仍然使用雙絞銅線，其架構詳見圖2.3.2所示。

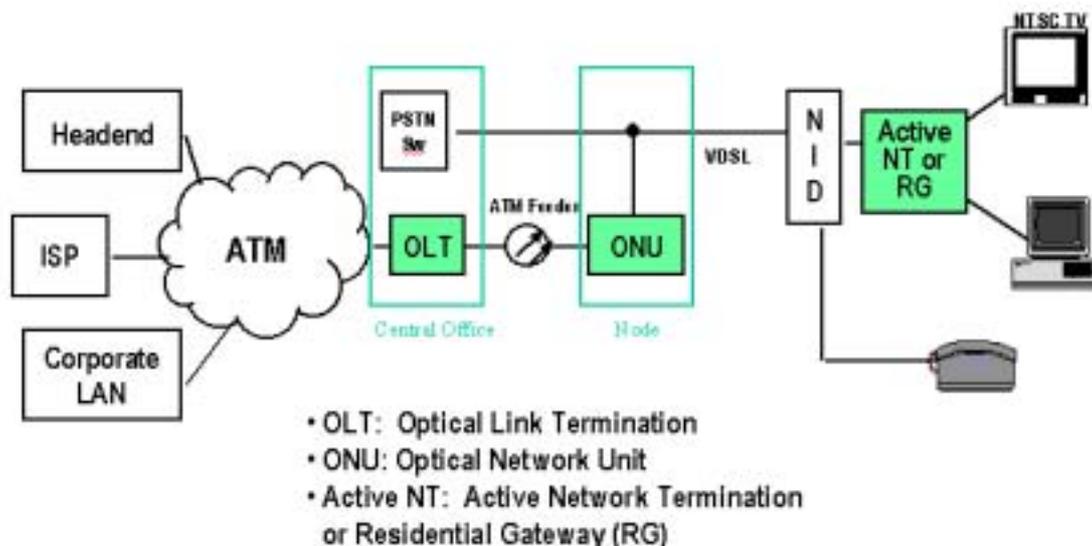


圖2.3.2 FTTC+VDSL方案示意圖

最後，光纖到家（戶）（Fiber To The Home；FTTH）被認為是用戶網路演進的最後目標。事實上，FTTH對BISDN的虛擬無限寬頻服務是不可或缺的，雖然經濟因素是邁向FTTH之路上的最大障礙，但FTTB-FTTC-FTTH三階段演進策略將可能提供了一個經濟的折衷方案。

由於光纖的傳輸距離比銅纜遠得多，所以過去以五、六公里為範圍的設局（CO）方式將會產生很大的變化，所以將來一個中央局所管轄的服務範圍可達20~30公里，將不成問題，除可以大幅提昇網路維運的績效，而且也可節省大量人力，正可符合本公司民營化前後的需求，圖2.3.3陳示其網路演進架構。

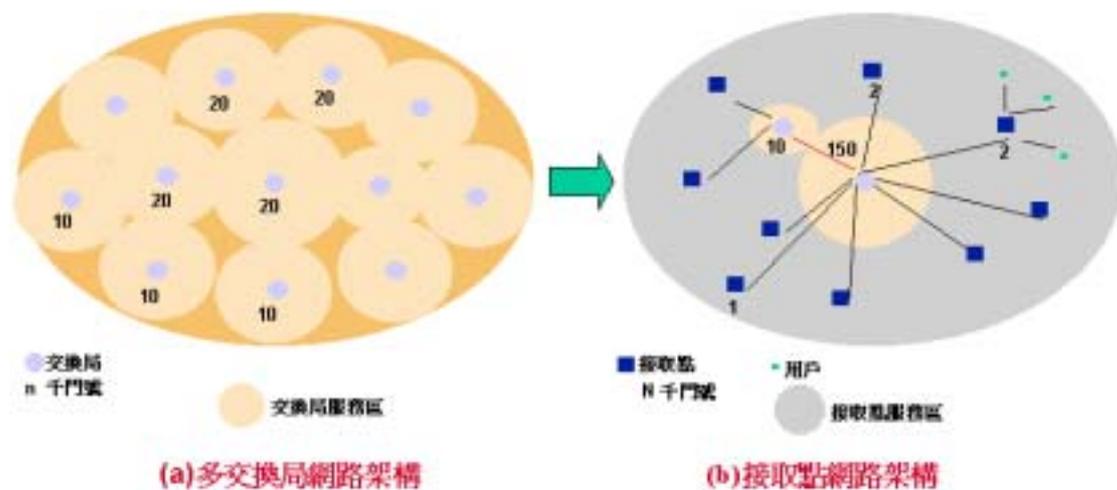


圖 2.3.3 本地光纖網路演進架構

參、光纖檢測基本原理

§3.1 光纖檢測及障礙分析概要

無論是在測量原理還是在測量設備上，光纖檢測與銅纜檢測都大為不同，主要原因是兩者的傳輸介質不同，一個是光介質而另一個則是銅介質。在光纖檢測中，由於傳輸的是光信號，所以就不存在近端串音 NEXT，但兩者一樣地存在損耗即衰減，所以衰減檢測對光光來說也同樣重要。

在電信公司的應用上，最主要係利用光纖的 $1.3\ \mu\text{m}$ 和 $1.55\ \mu\text{m}$ 兩個波長視窗，如圖3.1.1所示，密集分波多工技術主要係採用 $1.55\ \mu\text{m}$ 視窗，至於 $0.85\ \mu\text{m}$ 波長視窗現僅使用於在區域網路（LAN）中。

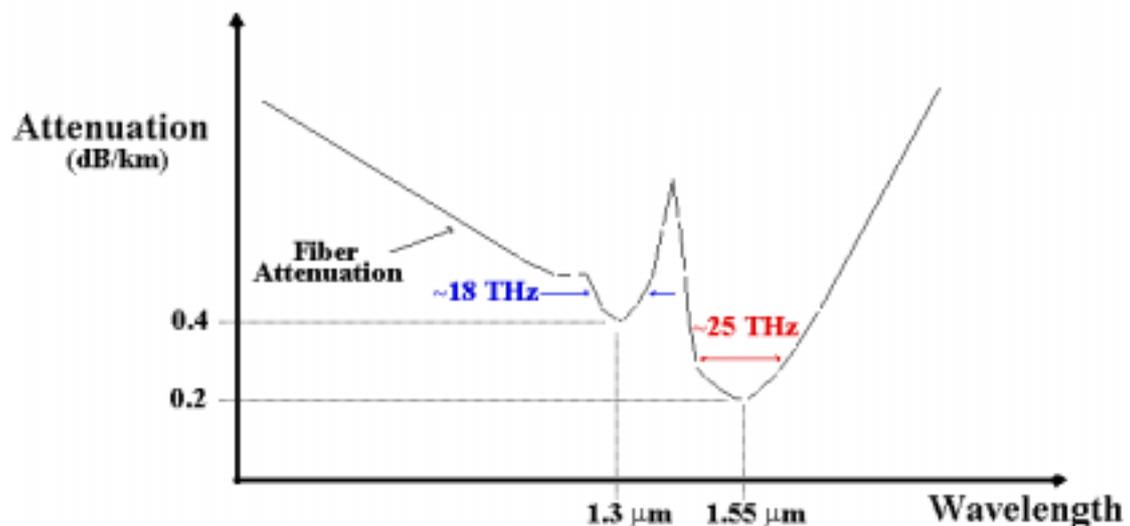


圖 3.1.1 光波長損失及頻寬圖

§3.2 光纖損耗的檢測

如眾所周知，光纖損耗是由多種因素而造成的。對用戶來說，他們最關心的是光纖的總損耗，在此，將主要討論光纖總平均損耗的檢測。

光纖的損耗是衡量光纖品質的重要指標。ITU-T G.651建議對標準光纖損耗進行了分級，各廠家生產出來的光纖通過檢測後進行分級，不同級的光纖自然價格也不同。用戶可以根據需要選擇不同的光纖。單模光纖也一樣按損耗分級。

光纖損耗的檢測精度要求是相當高的，檢測時，應儘可能採用ITU-T建議的基準法（剪斷法）和替代法（插入法、背向散射法）。需要強調的是，光纖總平均損耗檢測一般應該考慮兩種情況：特定波長損耗檢測和損耗譜檢測。

對使用者來說，首先關心的是對光纖特定波長的檢測，例如，在短波長，一般檢測0.85 μm的損耗，在長波長，一般檢測1.3 μm或1.55 μm損耗。特定波長損耗的檢測一般使用以下三種方法：剪斷法、插入法和背向散射法。下面將分別介紹這三種方法的檢測原理。

一、剪斷法

設一光纖的長度為Lkm，當要檢測它的損耗時，只要測出光纖輸入端和輸出端的光功率，就可以得到光纖的平均損耗。檢測原理見圖3.2.1所示。P1是光纖的輸入功率，P2是光纖的輸出功率。光纖的損失係數可以表示為：

$$=-10/L \times \log(P1/P2) \quad (\text{dB/km})$$

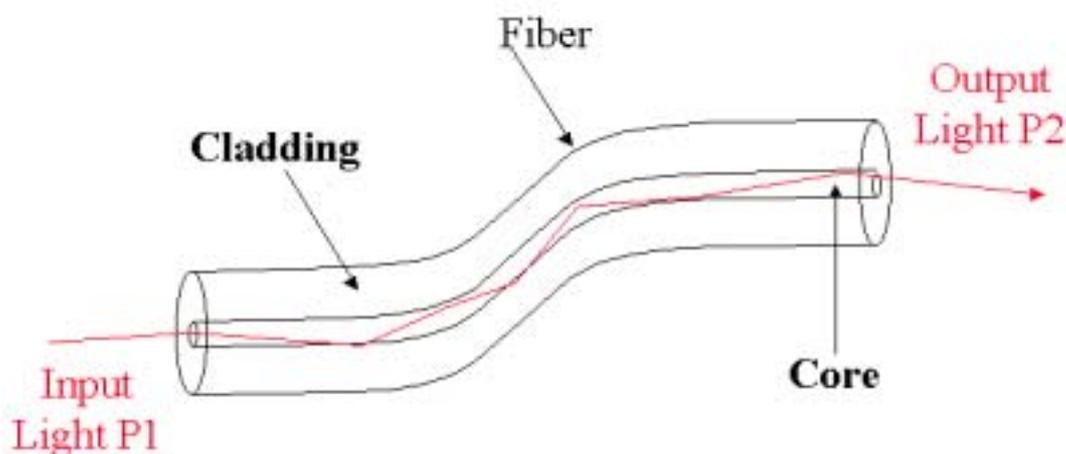


圖 3.2.1 光纖損耗檢測原理示意圖

剪斷法檢測系統方塊圖見圖3.2.2所示，由標準光源輸出的光功率通過驅動器進入光纖，在光纖的另一端用光功率計檢測光纖的輸出功率 P_2 ，然後在距離輸入端2~3公尺的地方剪斷，測量出 P_1 ，根據上式就可計算出光纖的損耗。

剪斷法是檢測光纖損耗的基準法，其優點是設備簡單、準確性高，測量誤差主要取決於光源和光功率計精度。驅動器是保證光纖輸入端驅動條件的穩定性，即達到模穩態分佈。剪斷法的缺點是有一定的破壞性，測量一次需要剪斷一段光纖，不適用於工程現場使用。

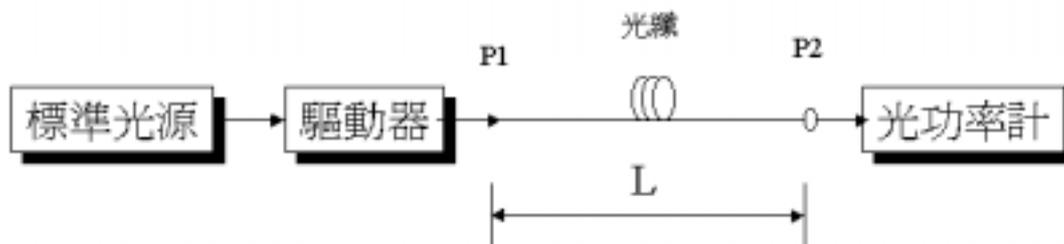


圖3.2.2 剪斷法檢測光纖損耗系統方塊圖

二、插入法

插入法檢測光纖損耗系統方塊圖如圖3.2.3所示，該檢測系統是一個完整光纖傳輸部分。檢測前，用3m長的光纖跳線直接連接系統的發送設備和接收設備，調整光源輸出功率使接收機直接顯示為0dB或0dBm。然後拆去跳線，插入待測光纖，此時，接收機顯示的就是光纖總平均損耗。

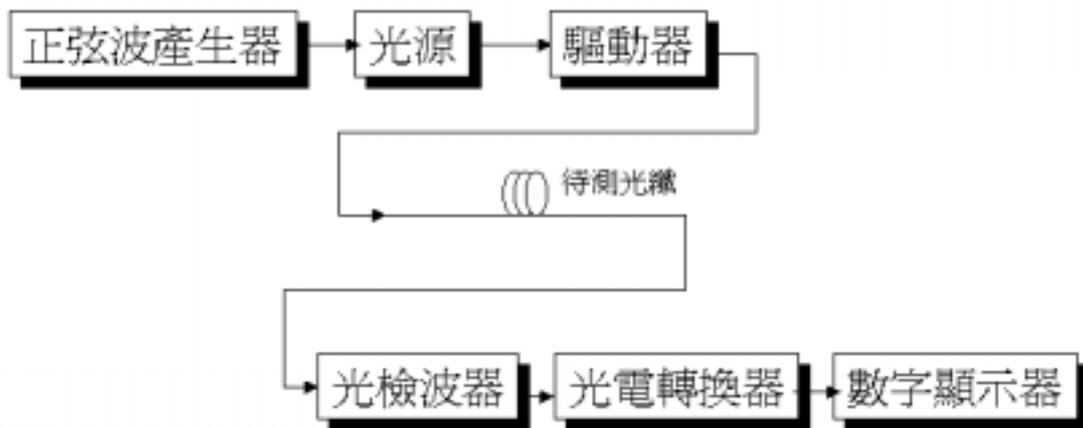


圖3.2.3 插入法檢測光纖損耗系統方塊圖

為了保證系統的測量精度，光源一般使用發光二極管，並要合理選擇預偏電流。正弦波產生器調變深度要適當（80%左右），以保證光源的線性工作。

插入法的優點是沒有破壞性，所以它是實際工程測量中最常用的一種方法。當然，插入法在精度上不如剪斷法。

三、背向散射法

背向散射法是一種多功能的檢測方法，它不僅可以測量特定波長的光纖損耗，也可以測量接頭損耗、光纖損耗分佈、光纖長度和故障點位置等。

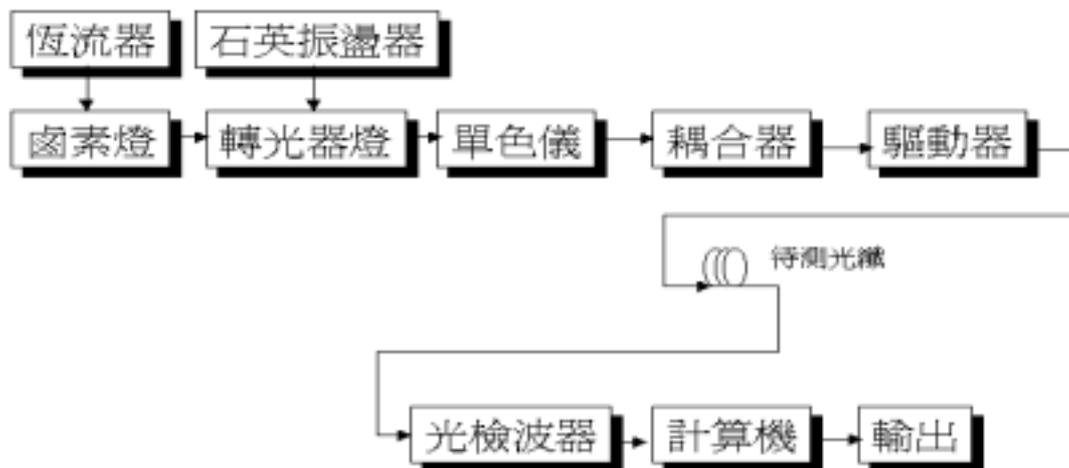


圖3.2.4 光纖損耗譜檢測系統

為瞭解光纖在不同波長的損耗特性，需要進行光纖損耗譜檢測。如果按照上述插入法檢測光纖特定波長損耗方法，則需要大量的發光波長不同的光源，光電檢波器和光功率計也要相對應地更換。這不僅會使測量設備體積龐大，成本高，而且測量的時間長，因此，需要用新的測量系統，如圖3.2.4所示。

系統光源是白光源，輸出穩定的白光經轉光器變成矩形光脈沖，光脈沖輸入到單色儀的光柵上，通過改變衍射光的旋轉角度，就能輸出要求的單色光波長。一般情況下，單色儀輸出的光波長可在0.6~1.8 μm 範圍內連續變化。單色儀輸出光經耦合送入光纖驅動器。在接收端，光檢波器把經光纖傳輸來的光變成電信號，進行放大處理以後，送入計算機繪製作損耗波長曲線，或由X-Y記錄儀繪製成曲線。

利用OTDR光時域反射儀能夠完成這種多功能要求測量。只是儀器價格較高。

在實際工程測量中，一般都是用光功率計檢測特定波長下光纖的損耗，而用OTDR對光纖進行損耗譜的檢測。

§3.3 光纖檢測設備簡介

在這個部分裡，將主要介紹一下光纖測量儀器的精度問題、光功率計、OTDR以及BOTDR。

一、光纖測量儀器的精確度

光纖測試儀器一般都由兩個部分組成：一個是光源，用來發送測試信號；另一個是光功率計，用來測量來自光纖的測試信號。測試儀器的動態範圍是指儀器能夠檢測的最大和最小信號之間的差值，通常應在30dB以上。在這一動態範圍內功率測量的精確度通常被稱為動態精確度或線性度。儀器顯示功率與真實輸入功率應該是呈線性關係。

測量設備有一些共同缺陷。比如，當測量高功率電壓位準時，光檢測器會呈現飽和，此時便增加輸入功率也不能改變所顯示的功率值。反

之，當測量低功率電壓位準時，只有在信號達到最小門檻值電壓位準時，光檢測器才能檢測到信號。

光時域反射儀(Optical Time Domain Reflectometry ; OTDR)與光功率計(Power Meter)是光纜工程中用得最頻繁的兩種檢測工具。兩者都可測試光鏈路內的光損失，但所測的結果卻未必相同，然而光纜工程驗收時，兩者測試的結果都必須列入考慮。

二、光功率計

光功率計主要是用來對光纖進行特定波長下的衰減測試。它是由光電二極體將輸入的光變成可測量的信號。通常情況下，光功率計都是與光源配合使用的。光功率計在作光纖活線維修時，最能發揮輕巧方便的特性。光纖鏈路的終端有時會在電信室，有時會在民宅二樓的外牆，當裝設地點越高時，光功率計的輕巧越能發揮功用，因攜帶容易，爬上爬下不會對技術人員造成困難。活線光纖會產生障礙不外被挖斷、半斷線、彎曲或其他原因等。一般活線發生障礙時光纖都還接著光源，這時工作人員可攜帶著光功率計到接收端，利用既有光源量測線路末端光功率，從光功率的數值之有無和大小即可以判斷光纖是否有障礙。例如量不到讀數，表示斷線，光功率過小表示鏈路當中可能有劣化點或是彎曲，但無法得知何處發生障礙，光功率正常表示末端的金屬電纜或終端機有問題。

前述的情況OTDR未必管用，一方面OTDR笨重，不易帶上帶下；另一方面，OTDR接上有光源的光纖時，儀器上的接收器會產生飽和的現象，使OTDR無法測出光信號在光纖內跑的情形。當使用與活線上不同波長的光源時，例如線上使用1310nm，而OTDR使用1550nm或1625nm光波測試時，需另加分歧器將OTDR所發出之信號與線上使用之光源分開，在作業上過於麻煩。而且，分歧器的裝設目前並不普遍。

當光功率計與穩定光源在測量光纖鏈路的光損失時，光信號是從光纖的一端送進，另一端接收，運作的情形與光纖鏈路實際使用的情況很類似，測試出來的結果自然較為準確。而且，光功率計沒有盲區的問題。

題，既使長度很短也不需用虛擬光纖。只要測試之前，先量測出兩端的連接器損失，測試後再將之扣除，即為光纖鏈路的實際損失。現在的用戶光纜，動輒數百心，將來會有數千心。光纜心數一多，錯接的機會就相對增大。用光功率計測試除了驗證鏈路的損失是否在理想的範圍內，還可以確定心線是否錯接。光功率計的用途不只這些，它可以測光纖元件的插入損失、均勻度、反射衰減量、方向性、極化穩定性等，功能也算相當強。這些功能在採購光纖元件或將來在建設被動光纖網路(Passive Optics Network；PON)時，都會被用上。

三、光時域反射儀

OTDR能測出光纖長度，光鏈路損失、連接器反射損失、熔接損失、光纖斷線點、彎曲點、每公里光損失，還能將測試圖形儲存、列印、比較等，可說是個多功能的測試儀器，而且測試時只要一個人在一端執行測試即可，節省人力，機動性大，技術人員對它的依賴很深；而光功率計體積小、輕巧，只能測試光纖鏈路的光損失，大部份測試時兩端都需要人員，程序稍嫌麻煩，但有時又只需一個人即可操作。所量出來的只是數字，對光纖鏈路內部的情形無從判斷。它最大的好處是體積輕巧，損失測試較為準確，但不是絕對正確，因為測試時光纖連接器的連接，每拆裝一次測試值會改變。所以，測試時量測三次，取其平均值。

OTDR的測試型態與光功率計不同，是造成兩者測試結果不同之最大原因。當光信號從光纖的一端進入後，OTDR是等著光信號從光纖反射回來，依光的來回時間和反射量來作測試。這種情況與實際的光鏈路運作不同，所以它測試鏈路的損失值會不同於光功率計也未必正確。事實上，OTDR測試出來的光纖鏈路損失值很少被正式採用，但可以當作參考。因為用OTDR測試鏈路損失時，第一個和最後一個連接器的損失經常會被忽略，或是未能正確的被計算在內，有時又會因盲區而影響測試結果。

比較困難的是OTDR的圖形不是人人能解讀，需要經過特殊的訓練與

經驗。不過，OTDR有光功率計所不及的地方，它最能發揮功效的場合不是在光鏈路終端測試，而是在光纜的施工及查修過程。施工前用OTDR測試可以確定光纖在光纜內是否保持完好，也可以測出光纜的正確長度，一方面可以釐清責任，一方面確保施工品質。光纜佈放過程中的拉力、綁縛、捲繞、切割、接續、收容等動作對光纖來講是一種考驗，佈放後的光纖能否完美無缺，或鏈路資料是否正確，也得靠OTDR來驗證。將來網路的維護，光纖障礙更需用OTDR來查修。

現在的光纖製造技術進步，光纖的幾何精準度相當高，又加上熔接機的對準技術也跟著進步，光纖的熔接損失已達0.01dB以下，其在OTDR圖形上所顯現的情況與以往的高熔接損失情況不同，0.01dB的熔接損失與正常的光纖反射波振幅不相上下，就算放大也難以辨識。為了避免此現象在光纖維護上造成困擾，光纜在接續之前，應先用OTDR量測一遍，由OTDR圖形上的光纖末端反射點先確認光纖長度後，再予以熔接。每接一條光纜之前，必先將此動作做一遍，如此才能確定整個鏈路的接頭距離，以方便維護單位將來在資料上標示接頭。

OTDR不但顯現光纖的障礙點，也可以顯現障礙的種類，依圖形的不同可判斷為光纖斷線情況的資訊：末端為斷線、末端為斷線但不平整、末端為半斷線等。

在查修方面，OTDR與光功率計可互補不足，有時光纖鏈路測得的整體光功率損失合格，但鏈路中的某一熔接點可能超出規定值，此時就得靠OTDR查測。從光功率計的測試結果即可判斷是否需要用到OTDR，即可當下決定下一個必須採行的步驟。

依現場實務運作來看，光纜工程所建立的光纜資料，除了光纜段長、種類、接頭位置、路由標示為將來維護不可或缺的資料之外，其他的如光纖鏈路損失、OTDR圖形這些資料在工程完工過後，除非行政作業上需要，在技術上即失去保存的意義。因為，光纖在管道內只要管道環境不變動，它的傳輸特性即不會變動，維護人員不需也不必無緣無故去動它。倘若因其他纜線施工增加應力、光纖用戶引接，光纜改接等緣故而動到光纜，維護人員根本不可能將數百心光纖用OTDR每日從頭到尾掃

描一遍，再把這些圖形與完工資料對比（除非用光纖自動監測系統，但在國內這種系統很少，即使在國外也不多），只有等光纖真的發生障礙時，才由維護人員現場查修。查修人員從現場用光功率及OTDR所量得的資料就可以立即判斷障礙點即可進行維修，用不著在從厚厚的一疊資料中找出光纖圖形對比。所以，善用光功率計與OTDR可以提高工作效率！

四、布氏光時域反射儀

前面所談到的OTDR係利用賴利背向散射(Rayleigh Backscattering)和雷曼(Raman Backscattering)原理作成的一種多功能測試儀器，最近又在OTDR上增加了另項功能，它係利用布里努恩散射(Brillouin Scattering)原理製成，叫做布氏光時域反射儀(Brillouin Optical-Fiber Time Domain Reflectometry；BOTDR)，它不僅可用來測量光纖的溫度分佈而且也可測量光纖縱向應力應變的分佈，BOTDR是目前可精確量測標準光纖應變分佈的唯一測試儀器。

肆、光纖殘留應變之檢測與對策

§4.1 BOTDR測試操作簡介

BOTDR係由日本NTT公司研發並交由ANDO生產的一種光纖障礙檢測儀器，它能檢測到一般OTDR無法測試到的光纖應變和溫度的分佈，ANDO公司AQ8602型BOTDR之外觀詳圖4.1.1所示，體型比一般OTDR大很多。

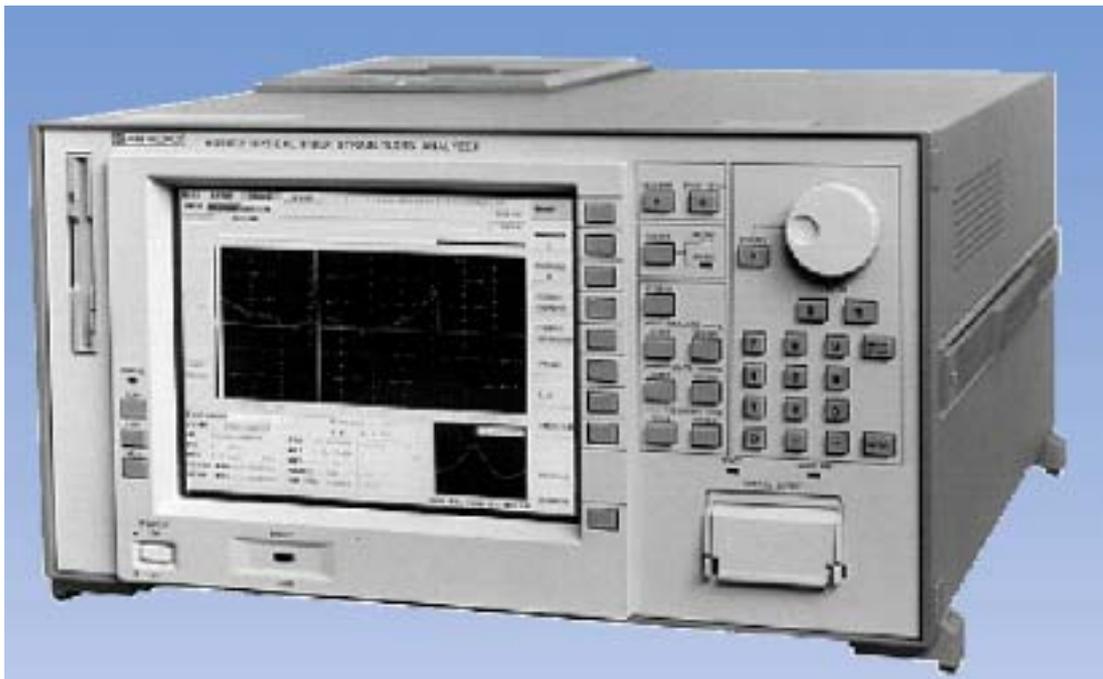


圖4.1.1 ANDO公司AQ8602型BOTDR之外觀

一、布氏散射光

在一光纖中傳輸的光波中，光纖中的典型散射光譜見圖4.1.2所示，其中布里努恩散射光（ Brillouin Scattered Light ）係由在光纖中的高同調入射光和由入射光所產生的聲波間之非線性交互作用所生成，散射光頻率

從入射光頻率的移動量依材料而定。該頻率移動量叫做布里努恩頻率移動 v_B ，並由下式表示：

$$v_B = 2nV_A/\ell$$

其中 n : 反射率

V_A : 聲波速度

ℓ : 入射光波長

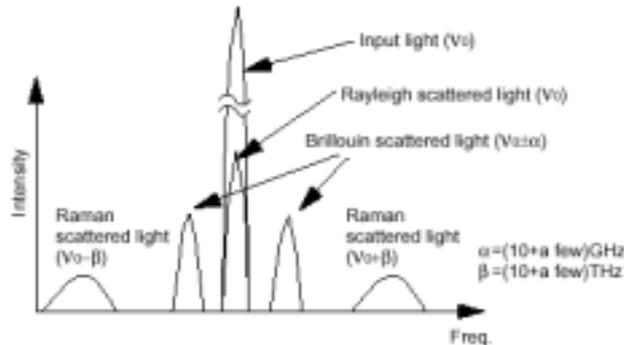


圖4.1.2 典型散射光譜

一般而言，典型的布里努恩頻率移動量在波長 $1.3\mu\text{m}$ ($1.55\mu\text{m}$) 上將移動大約 $\pm 13\text{GHz}$ ($\pm 11\text{GHz}$)，該布里努恩頻率移動量 v_B 將會隨著溫度(T)和應變(ϵ)而變化，已知其間的變化為線性關係，根據實驗所得，在 $1.55\mu\text{m}$ 波長時， v_B 的變化係數， dv_B/dT 和 $dv_B/d\epsilon$ 可由下兩列表示：

$$dv_B/dT = 1 \text{ MHz/}^\circ\text{C}$$

$$dv_B/d\epsilon = 493 \text{ MHz/\%}$$

圖4.1.3陳示上兩公式。這樣雖然 dT 和 $d\epsilon$ 可能無法同時測量到，但是可由 v_B 的變化來估計溫度改變 dT 或應變改變 $d\epsilon$ 值。

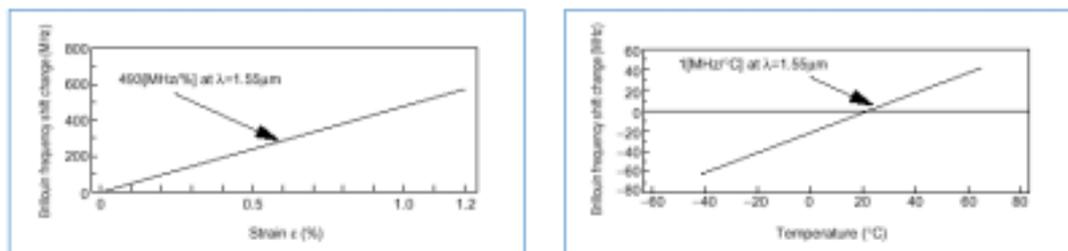


圖4.1.3 布里努恩頻率移動量與應變及溫度之關係

根據以上二種公式算出的結果顯示，由於溫度改變所引起的應變量測誤差僅約0.002 % / ，所以在大部分的應用中，溫度的影響可以忽略不計；另一方面，由於應變的改變所引起的溫度量測誤差確實不小，所以必須避免應變效應造成溫度量測的偏差。

二、安藤AQ8602光纖應變/損失分析儀

AQ8602基本組態和信號波形見圖4.1.4所示。

量測輸入光纖端的脈沖光波，而反射光（布里努恩散射、賴略散射）由同調電路檢測，在布里努恩散射中，從輸入脈沖光波移動的布里努恩頻率移動量為 ν_B ，此意指匹配到布里努恩頻率移動量 ν_B 的 ν_s （為光脈沖 $\nu_0 + \nu_s$ 和本地光頻率 ν_0 間之差）將可以檢測布里努恩光。設若改變脈沖光的頻率，則可決定在每一頻率的布里努恩散射，就可產生布里努恩散射頻譜直線圖，此頻譜直線圖中峰值即為布里努恩頻率移動量 $(\nu_B(\Delta))$ 。

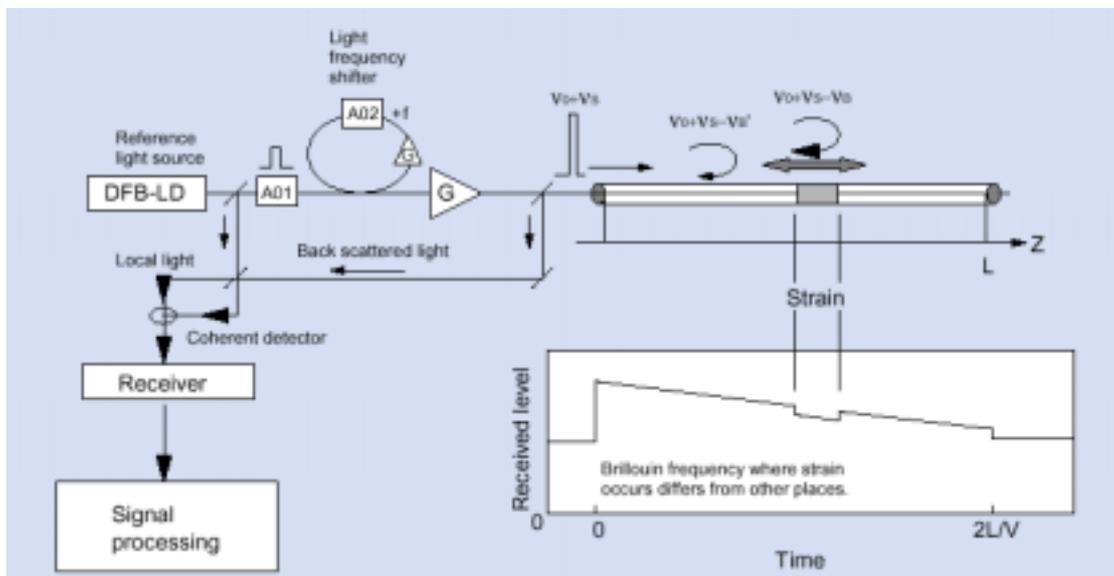


圖4.1.4 AQ8602 基本組態和信號波形

布里努恩頻率移動量 $(\nu_B(\epsilon))$ 與光纖中的張力應變間之關係由下式表示：

$$\nu_B(\epsilon) = \nu_B(0)(1 + C\epsilon)$$

其中 $v_B(\epsilon)$ ：有應變之布里努恩頻率移動量

$v_B(0)$ ：無應變之布里努恩頻率移動量

C：應變係數

ϵ ：應變

由此結果，根據布里努恩頻率移動量($v_B(\epsilon)$)就能夠決定光纖軸向中的應變分佈，此外，當量測脈沖光和本地光之頻率相同時也可檢測到賴略射散光。

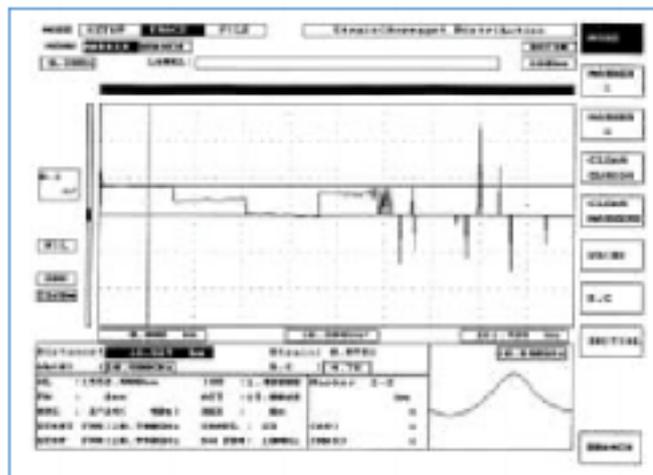
經由切換脈沖光波的頻率，AQ8602具有量測應變分佈(BOTDR)和損失分佈(COTDR)兩種功能的能力。

§4.2 安藤AQ8602型BOTDR量測實例

安藤公司的BOTDR共有兩型，即AQ8602及AQ8602B，後者測量應變精度比前者高一倍，即可達 $\pm 0.005\%$ ，而距離解析度為1公尺，本次實習係採用AQ8602型BOTDR。

1.應變（平均）分佈波形：BOTDR模式

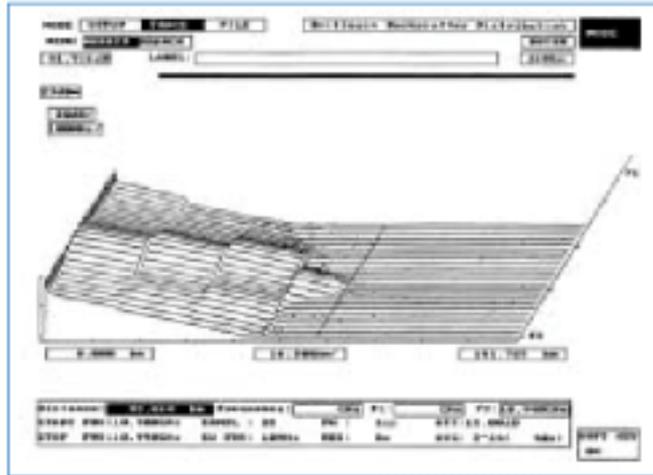
下圖為測量由四種光纖，每種25公里經熔接組成的100公里長單模光纖的結果。



H. scale: Distance (16 km/div)
V. scale: Strain (0.1 %/div)
Distance resolution: 100 m

2. 布里努恩散射分佈波形 (3D) : BOTDR模式

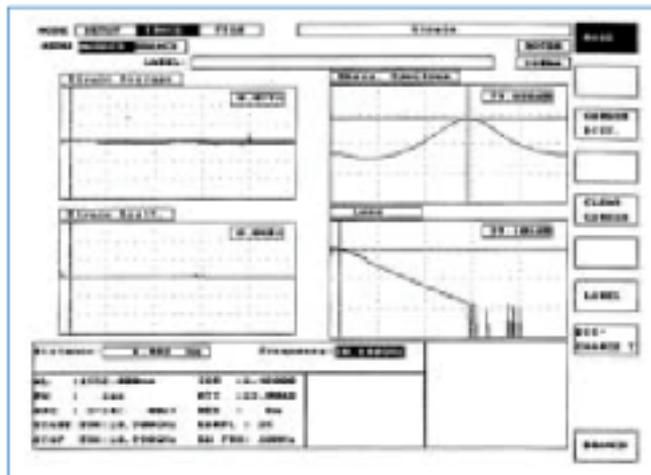
下圖為測量由四種光纖，每種25公里經熔接組成的100公里長單模光纖的結果。



H. scale: Distance (16 km/div)
V. scale: Scattering power (20 dB/div)
Z. scale: Optical frequency (100 MHz/div)

3. 多波形顯示測試結果 : BOTDR模式

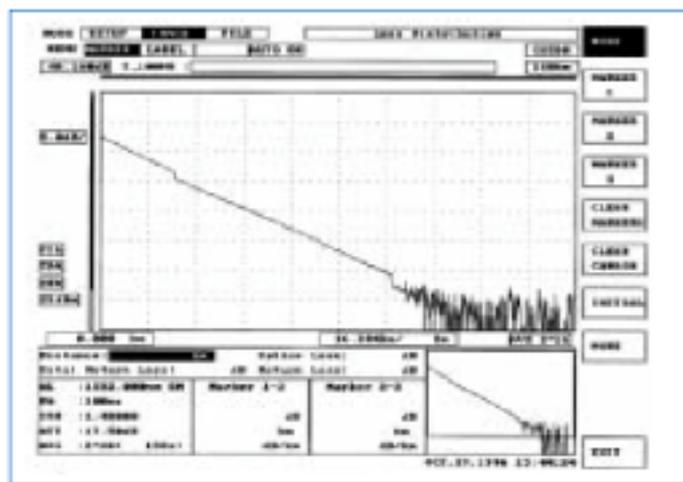
下圖為測量由四種光纖，每種25公里經熔接組成的100公里長單模光纖的結果。



- Strain (average) waveform
- Strain (scatter) waveform
- Brillouin scattering spectrum
- Loss waveform

3. 損失分佈量測波形 : COTDR模式

下圖為測量一條100公里長單模光纖的結果。



H. scale: 16km/div
 V. scale: 5dB/div
 Pulse width: 100ns

四、安藤AQ8602應變檢測模式規格

安藤AQ8602應變檢測模式(BOTDR mode)規格如表4.2.1所示。

表4.2.1 安藤AQ8602應變檢測模式規格

圖形顯示	應變分佈、布里努恩散射頻譜、布里努恩散射分佈				
距離範圍(km)	10、20、40、80、160				
應變顯示範圍(%)	-6.0~+6.0				
讀出解析度(min.)	距離	5cm			
	應變	0.001%			
應變檢測範圍(%)	3				
脈波寬度(ns)	20	50	100	500	1000
動態範圍(dB)	8	12	15	17	20
檢測距離(km)	約25	約45	約55	約65	約80
距離解析度(m)	2	5	11	55	110
應變檢測精度(%)	±0.01	±0.005			

§4.3 BOTDR 檢測光纖殘留應變之應用

布氏光時域反射儀 (BOTDR) 確能檢測單模光纖縱向分佈溫度和應變，但主要係應用於應變的檢測。在AQ8602對分佈應變測量方面可達到精度0.01% 及動態範圍最大為20 dB。光纖受力並斷裂的情況，在光纖產生光損耗前，會先發生應變效應，而一般的OTDR對此束手無策。對於國內長途海纜常受不明漁船漁網拖拉或船錨撞擊，致海纜產生殘留應變，最後海纜劣化甚至斷裂，應可由BOTDR早期監測得知，並加以防範及因應。而超高層垂直光纜佈設不易，稍一施工不慎，亟易造成光纜殘留應變，導致光纖品質下降，可於驗收時利用BOTDR檢測得知，並及早改善以防後患。

BOTDR亦可應用於預測受冰凍之光纖劣化或障礙事件，惟國內年溫度變化不太，除了在冬季大雪山地區外，此項功能將無法發揮，但因台灣位於多地震帶，因地震而導致管中或架空的光纜受拉力而發生殘留應變的問題時有所聞，此亦可由BOTDR監測得知並加以處理，尤其將來傳輸40G~400G之光纖品質對殘留應變效應更加靈敏，為維持高品質的通信，應力應變對光纖的影響就不可忽視了。

利用BOTDR檢測光纖應變時，可以得知光纖受力時的最大的應變點或殘留的最大應變點，可量出該點距離端點的長度，並加以改善或監控。在廠商交光纜料時，若有訂定光纖容許殘留的最大應變值，若檢測出高於此值，則可要求供料商改善或更換，以免將來在使用於現場時才發現而徒增困擾。

當光纖網路系統之技術與能力正不斷提昇之際，其影響層面也就越來越廣泛，任一光纖通信系統之光纖心線的障礙，均足以造成用戶無可挽回之損失，尤以單路由單設備為然，不要說40G或400G超高容量的光纖，即使僅是2.5G的光纖斷裂，也就夠維運人員手忙腳亂了，年初中美海纜的斷裂即是一個活生生的實例。雖然，一般國際、長途幹線及局間中繼電路均會採用多重光纜路由及設備，或用其他通信系統（如衛星或微波）做為備援系統，以提高通信網路之可靠性及安定性，但若網路實體

拓樸設計不良或環境因素，多重光纜路由或備援系統也不一定就管用，921大地震台灣中部災區電訊通信中斷及中美海纜最近的二次斷裂，就是明證，唯有加強預防性光纖品質監測，或可減少損失及來自客戶的抱怨和不滿，才能確保競爭力優勢。

伍、觀感與建議

§5.1 觀感

大家都知道，日本東京的地下鐵是全世界有名的，有國營、都營及私營等各種路線，其地下鐵線路之密集度堪稱全球第一。即使在東京已經有這麼多便捷的地下鐵系統，但是他們的都市交通基礎建設沒有一日稍停的。在筆者抵達東京的前5天，也就是2000年12月12日，他們在東京就又開通了一條新地鐵，名叫「大江戶線」，係屬東京都都營，東京都石原都知事並在媒體大力鼓勵民眾搭乘。當筆者抵日時，其全線開通紀念氣氛仍濃，雖該線有經過都廳及新宿西口，但因行程緊湊，筆者無暇搭乘遊覽，殊為可惜。據日本友人說，該線沿途有很多景點值得留連，如清澄白河、月島、春日、青山一丁目、麻布十番等，算是在繁忙的都市生活中，可以讓市民有喘息地方可去的一條市內地鐵，也難怪他們要打出「Tokyo散步帳」的廣告，可見日本人也極重視市民的生活品味及身心健康，台北的捷運系統也真該加加油，好讓台北縣市民的生活品味也能不斷地提昇。

在搭乘日鐵山手線時，在車箱中無意中看到了有關「市外電話」的促銷廣告，在國內知道有「市內電話」這個名詞，但從未聽說過「市外電話」一詞，後經日本友人解釋才知道就是類似國內的「長途電話」，算我孤陋寡聞。筆者入局時曾問過一些電信前輩，「市內電話」的英文名稱為「local telephone」，應譯為「本地電話」比較恰當，為什麼叫做「市內電話」，電信前輩們並沒有給筆者解惑，或許當時沒有遇到所謂的「日本通」，後來我查了大陸的電信用語，他們也是直譯為「本地電話」，雖然大陸也有「市內電話」這個名詞，但指的是真正的「市內」，所以國內的「市內電話」一詞應該不是源自大陸才對，這一次筆者抵日實習，無意中竟解開了多年的疑惑，日本的「市內電話」竟與台

灣的「市內電話」用語意義相同。由於台灣曾被日本統治五十年，很多電信用語還是沿用日據時代的名詞，惟近年來，隨著老一輩「日本通」的凋零，本公司與日本「NTT」的技術交流不復以往的頻繁，很多的電信問題因環境的不同也沒有辦法從歐美方面得到啟發，尤其以本地接取網路為然。實際上這個問題在NTT已經有很好的解案，但由於本公司「日本通」的凋零或不受重視，加以日本資料取得不易，使本公司的接取網路寬頻化問題尚無法借他山之石攻錯而獲得最適解。相對於「和信電訊」與日本電信電話的「DoCoMo」在台宣佈策略聯盟的兩三天內，就派了三人赴日向「DoCoMo」取經營「i-mode」之經乙事看來，日本的一些電信技術與經營經驗確實值得我們借鏡的，又如由KDDI所經營的「cdma One」所打出的廣告詞為「*Designing The Future*」，這不是直接由行銷教科書中囫圇吞而取出的老生常談之「客戶滿意xxx」或「創造xxx」等詞兒可比擬，它們的產品確實就推出了「EZweb」+「Music」的服務，這不是用「蓋」的，而是真正表現了他們的用心與創意。

§5.2 建議

第一項建議是為因應本公司引進非零色散光纖電纜，在收料驗收或廠驗時，能要求廠商提供光纖殘留應變檢測資料，以確保光纜的品質，目前BOTDR已被大多數光纜製造廠視為必備的檢測儀器。

第二項建議是因BOTDR目前還很笨重而攜帶不易，且價格昂貴（一台約需NT\$400萬），各分公司有需要時，將來可採購計劃推出的較便宜簡易型，之前如有急需，可請求研究所先支援，以節省資本支出。

第三項建議為配合第一項建議，請有關單位檢討非零色散光纖電纜之檢驗規範是否應適時增列殘留應變檢測項目及其規格值，以確保光纜之品質。