

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 光纖光柵反射與群組延遲之頻率響應抖動對類比 與數位次載波之影響

計畫類別： 個別型計畫          整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2215 - E - 009 - 81

執行期間：2000 年 08 月 01 日至 2001 年 07 月 31 日

計畫主持人：尉應時

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學電信工程學系

中 華 民 國 2001 年 10 月 29 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 89-2215-E-009-81

執行期限：89年8月11日至90年7月31日

主持人：尉應時 教授 國立交通大學電信工程學系

共同主持人：

計畫參與人員：陳威宏 國立交通大學電信工程學系  
蔡坤廷 國立交通大學電信工程學系  
陳銘賓 國立交通大學電信工程學系

## 一、中文摘要

我們將評估在次載波光纖系統中，利用啾頻光纖光柵做為色散補償裝置的可行性，以及可能面臨的問題。然而，其中最大的問題莫過於是光柵的反射與群組延遲之頻率響應上的抖動(ripple)會造成傳輸訊號的失真。因此我們將利用分析、模擬與實驗的方式，來找到一個合理的光纖光柵的設計準則，從而希望建立一個長距離、高容量且富彈性的光纖網路。我們將建立兩個完全不同類型的傳輸系統：(1) 長距離直調式類比次載波光纖系統及(2) 長距離外調式數位次載波光纖系統。

**關鍵詞：**光纖光柵、次載波多工系統、色散補償

## Abstract

The amplitude and phase ripples of a chirped fiber Bragg grating (CFBG) can cause severe signal degradation in baseband 10 Gb/s transmission systems. However, the ripple effects in subcarrier multiplexed (SCM) lightwave systems have not been investigated thoroughly. In this project, we will investigate analytically and experimentally the effects of CFBG amplitude/phase ripples in (1) direct-modulation hybrid fiber coax (HFC) systems, and (2) external-modulated high-speed telecommunication SCM systems. We will also provide a design guideline that relates the nonlinear distortions, channels numbers, data rates, and transmission distance with the ripple period and the peak-to-peak amplitude ripple variation.

**Keywords:** fiber grating, Subcarrier

Multiplexed lightwave system, dispersion compensation

## 二、緣由與目的

線性啾頻光纖光柵 (linearly chirped fiber grating) 已廣泛地被使用在數位光纖系統中做為色散補償的一種方式[1]，其目的是用來克服在長距離的數位傳輸路徑中，由於光纖色散(fiber dispersion)所造成之限制。另外，由於其所產生的光纖延遲對於光纖的極化並不敏感 (polarization-insensitive)，且光纖光柵本身也非常容易製作，並具有低損耗的特質，所以此種光纖光柵非常適合做為光纖傳輸系統的色散補償裝置。而且目前已有實驗[2]驗證了它在高速數位光纖系統中做色散補償的可行性。

儘管光纖光柵是一個非常好的色散補償裝置的選擇，但是它畢竟是一種反射及共鳴的裝置。所以強度均勻的光纖光柵在反射(reflectivity)以及群組延遲(group delay)的頻率響應的特性中會產生旁波瓣 (sidelobes)，而這種特性對於光纖通訊來說是不希望發生的。這些效應是由於光柵末端的微弱反射交互影響而來。然而幸運的是，這些效應可以經由光柵的 apodization (或稱 taper) 的方式來有效的加以抑制 [3-8]。一個最佳化的 apodization 函數可以增進系統中之光柵補償效果的表現，然而，在反射以及群組延遲的響應上，仍然會存在有輕微的“擬似週期性”的抖動，我們稱之為 pseudo periodic ripples。這些抖動

的週期是視光柵的長度以及頻寬而定，並且大約是落在數十到數百微微米(picometer)的範圍之間。此外，不完美的光柵製程也會導致光柵在反射與群組延遲響應上的隨機變化。在高速數位光纖通訊系統上之光柵色散補償的表現上，對於這些反射與群組延遲上的抖動，已有文獻對其造成系統的影響進行審慎的研究[9]。

在另一方面，雖然線性啾頻光纖光柵已廣泛地被使用在數位光纖系統的色散補償架構中，但是對於類比次載波光纖系統而言，利用線性啾頻光纖光柵做為色散補償的裝置的方法，卻仍還在模擬研究的階段[8,10-11]，而還沒有實際的實驗結果。主要的原因有二：(一)如之前所述，雖然光柵的反射與群組延遲響應上的抖動對於數位傳輸(速率 2.5Gb/s)的光纖系統並不會造成嚴重的影響，可是對於類比的次載波光纖系統卻是造成失真的重要因素。(二)由於相對於數位訊號，類比訊號有高載波雜訊比(Carrier-to-Noise)的要求。

另外在電信網路的應用方面，雖然次載波多工(Subcarrier Carrier Multiplexing)系統被視為是相對於高速分時多工(Time Division Multiplexing)的另一種增加網路容量(capacity)的選擇。因為次載波多工的方式有以下兩個優點：(一)使整個網路架構更具有彈性(flexibility)。(二)可以增加頻譜的效益(spectrum efficiency)。但也因為它有下列的三個缺點，使得它鮮少被用在電信的光纖網路：(一)由於次載波多工的方式會佔據較大的頻寬，因此傳輸距離就會被光纖的色散效應所限制。(二)一般而言，傳統的次載波多工方式的光接收機須要求寬頻的檢光器，(三)需要複雜的微波解調變技術來取得次載波的信號。我們可以看到的一個世界紀錄是是利用一個 20GHz 外調式調變器載 4 個 2.5Gbps 的 OC-48 訊號(總共是 10Gbps)，在一般的單模光纖(single mode fiber-SMF)中，不經色散補償，傳 490 公里 [12]。這是將次載波系統應用在電信網路的一個實例，我們可以預見，如果有適當的色散補償，這個距離將會更遠。

綜上所述，我們將針對數位(外調式)和類比(直調式)的次載波多工光纖系統，研究利用啾頻光纖光柵補償光纖色散的可行

性。而在長距離的次載波光纖系統中除了線性的色散效應[13]之外，我們還須同時考慮光纖的各種非線性效應會對系統傳輸距離以及容量造成限制。其中包括：(1) self phase modulation(SPM)[14-18]、(2) stimulated Brillouin scattering(SBS)[19-23]、(3) double Rayleigh back-scattering(DRB)[24]、及(4) EDFA noise。而在高密度多波長分工(DWDM)的系統中，則須再包括(5) stimulated Raman scattering (SRS)[25-26]和(6) cross phase modulation (XPM)[27]的效應。

因此若在次載波光纖系統中，啾頻光纖光柵可以補償掉大部份線性的色散效應，則除了上述的光纖非線性效應之外，光纖光柵的反射與群組延遲響應上的抖動對於系統表現的影響將會是我們研究的主要課題。除此以外，長距離的次載波光纖系統勢必使用串級(cascade)光纖光柵的方式以達到長距離光纖色散補償的效果。然而經由光纖光柵串級之後的整個反射與群組延遲響應上抖動的情形，也勢必與單一光柵時的情形有所不同[28]。所以我們也將對此種利用串級光纖光柵來做為長距離光纖色散補償的應用，所造成系統表現的影響進行研究。期望能找到一個合理的光纖光柵的設計準則，從而達到長距離、高容量光纖傳輸的目的。

綜合上述，本計畫的主要目的是對於數位和類比的次載波多工光纖系統，利用啾頻光纖光柵做為補償光纖色散的方法，進行可行性評估並且研究光柵的反射與群組延遲響應上的抖動對系統表現的影響。期望能找到一個合理的光纖光柵的設計準則，建立一個長距離、高容量且富彈性的光纖網路。

### 三、結果與討論

(一) 啾頻光纖光柵的反射與群組延遲響應上的抖動對類比次載波系統的分析與模擬結果與討論

分析部份，經由許多的文獻[13-27]以及之前的研究所得，我們對於類比次載波光纖系統中，光纖傳輸的各種線性及非線性效應對於系統傳輸距離、容量的影響已

有相當程度的瞭解。因此我們將應用我們已有的知識對類比與數位的次載波光纖系統進行理論的系統分析。此外，我們嘗試分析光柵的反射與群組延遲之頻率響應上的抖動，對直調式類比次載波光纖系統，所造成的二階和三階合成拍差失真。

正如之前所述，所有的啾頻光纖光柵僅管都有利用 apodization 函數來減少旁波瓣的產生。但由於非最佳的 apodization 函數或製程上的不完美都可能存在著與理想的情形有所偏差的擬似週期性誤差飄動，這就是所謂的抖動(ripple)。而當我們在模擬這些抖動時，可以藉由在一個理想的線性的色散補償裝置之反射與群組延遲響應的方程式中，加上一個週期性函數來加以表示和模擬。光柵的響應是一個複數值  $R = |R| \cdot e^{-j\phi}$ ，而若以相對角頻率  $\Delta\tilde{S} = \tilde{S} - \tilde{S}_0$  為函數，反射率與相關的群組延遲(relative group delay)則可以分別表示為[9]:

$$|R(\Delta\tilde{S})| = 1 - \frac{r_{refl}}{2} \cdot \left[ 1 + \sin\left(\frac{\Delta\tilde{S}}{\Delta f_{refl}} + W_{refl}\right) \right] \quad \text{式(1)}$$

$$\phi(\Delta\tilde{S}) = -s_2 \cdot L_f \cdot \Delta\tilde{S} + \frac{r_{gd}}{2} \cdot \cos\left(\frac{\Delta\tilde{S}}{\Delta f_{gd}} + W_{gd}\right) \quad \text{式(2)}$$

其中， $S$ 是角頻率，而 $\tilde{S}_0$ 是所操作之光源的角頻率。 $r_{refl}$ 以及 $r_{gd}$ 則分別是反射與群組延遲特性中抖動的振幅，而 $\Delta f_{refl}$  and  $\Delta f_{gd}$ 則分別是反射與群組延遲特性中以頻率為單位所表示之抖動的週期，且這些週期，當 $\Delta\lambda \ll \lambda_0$ 的時候，與波長有著方程式 $\Delta f = \frac{C}{\lambda_0^2} \Delta\lambda$ 的關係，其中 $C$ 是光在真空中的速度，而 $\lambda_0$ 是所操作之光源的光波長。而 $W_{refl}$ 與 $W_{gd}$ 則是分別表示反射以及群組延遲特性中相對於所操作光波長之抖動的起始相位。 $s_2$ 與色散係數 $D$ 藉由方程式

$$s_2 = -\frac{\lambda_0^2}{2fC} D \text{ 而有著相互的關係。}$$

若我們將式(1)及式(2)代入一個直調式的次載波光傳輸系統，我們可以分別得到由於非理想的反射率以及群組延遲上的漣漪所產生的合成二階拍差失真(composite second order distortion - CSO)

$CSO_{refl}$ ， $CSO_{gd}$ 的理論分析結果。

$$CSO_{refl} = 10 \cdot \log \left[ \left( -m \cdot \chi \cdot \frac{r_{refl}}{\Delta f_{refl}} \cdot \frac{\cos(W_{refl})}{1 - \frac{r_{refl}}{2} - \frac{r_{refl}}{2} \cdot \sin(W_{refl})} \right)^2 \cdot N_{CSO} \right] \quad \text{式(3)}$$

$$CSO_{gd} = 10 \cdot \log \left[ \left( -\frac{1}{2} m \cdot \chi \cdot \Omega_d \cdot \frac{r_{gd}}{\Delta f_{gd}} \cdot \sin(W_{gd}) \right)^2 \cdot N_{CSO} \right] \quad \text{式(4)}$$

其中， $m$ 是每個 RF 頻道的調變深度， $\chi$ 是雷射的 frequency chirp 峰值， $\Omega_d$ 是所考量、計算、或量測頻道的頻率， $N_{CSO}$ 是該頻道的 product count。若我們分別定義  $S_{r-CSO}$  與  $S_{gd}$  如下：

$$S_{r-CSO} \triangleq \frac{d\{20 \cdot \log[R(\tilde{S})]\}}{d\lambda} \Big|_{\tilde{S}=\tilde{S}_0} \quad \text{式(5)}$$

$$S_{gd} \triangleq \frac{d\phi_{sys}(\tilde{S})}{d\lambda} \Big|_{\tilde{S}=\tilde{S}_0} \quad \text{式(6)}$$

則我們可以把式(3)與式(4)中漣漪的三個參數、振幅、週期以及起始相位合併為一個參數，得到如下兩式：

$$CSO_r = 10 \cdot \log \left[ \left( m \cdot \chi \cdot S_{r-CSO} \cdot \frac{f^2}{2fc} \cdot \frac{\ln 10}{10} \right)^2 \cdot N_{CSO} \right] \quad \text{式(7)}$$

$$CSO_{gd} = 10 \cdot \log \left[ \left( m \cdot \chi \cdot S_{gd} \cdot \Omega_d \cdot \frac{f^2}{2fc} \right)^2 \cdot N_{CSO} \right] \quad \text{式(8)}$$

我們已經利用模擬的方式驗證了式(3)和式(4)，式(7)和式(8)的正確性。為了得到在直調式類比次載波系統中，利用啾頻光纖光柵來做為色散補償的技術時，設計啾頻光纖光柵的設計準則。首先，我們利用 double Rayleigh back-scattering(DRB)[24]的公式以及接收端的 shot noise 和 thermal noise 計算出：當 CNR 要求為 50dB 時，傳輸距離對雷射的 frequency chirp 峰值的關係 ( $m=0.04$ )，如圖一所示右側縱座標-橫座標的關係。我們可以看到，當傳輸距離為 80 公里時，雷射 frequency chirp 峰值則必須大於 6 GHz，才能使得最差頻道的 CNR(worst CNR over all channels)大於 50dB。而圖一的左側縱座標-橫座標的關係則是由式(7)和式(8)所得。同樣地都是考慮最差的頻道。由圖一所示，若我們要求經由啾頻光纖光柵色散補償過後的 CSO 要小於 -50dBc，我們可以得到啾頻光纖光柵的設計準則：啾頻光纖光柵反射響應上的抖

動斜率 ( $S_{r\_CSO}$ ) 必須小於 **0.86dB/nm** (0.27dB/nm for CSO 要求 = -60dBc), 而其群組延遲響應上的抖動斜率 ( $S_{gd}$ ) 必須小於 **81ps/nm** (26ps/nm for CSO 要求 = -60dBc)。然而, 目前產品化的色散補償光柵製作的情形為: 反射與群組延遲響應上抖動的週期大約在 **30~50pm** 之間, 而反射響應上抖動的大小(峰值-至-峰值)約為 **1~2dB**(等效地  $S_{r\_CSO} = 60\sim 210\text{dB/nm}$ ); 群組延遲響應上抖動的大小(峰值-至-峰值)則約為 **40~100ps**(等效地  $S_{gd} = 2500\sim 10500\text{ps/nm}$ )。

綜合上述, 由我們的分析所得的啾頻光纖光柵設計準則的要求, 相對於目前產品化的色散補償光柵光纖之製程所能得到的結果而言, 我們想要在直調式類比次載波系統中應用啾頻光纖光柵來做為色散補償的技術是一項很大的挑戰。

## (二) 啾頻光纖光柵的反射與群組延遲響應上抖動的量測安排與結果

我們利用如圖二所示的實驗架構安排來量測我們所購買的色散補償光纖光柵。我們所使用來量測待測元件之色散值的方法乃是已經列為標準的 Differential Phase-Shift Method[29-31]。此量測方式主要是先由網路分析儀量測兩個相鄰波長  $\Delta\lambda$  之間, 由待測元件所產生的群組延遲的差, 此即為群組延遲的波長響應  $\Delta t(\lambda)$  :

$$\Delta t(\lambda) = \frac{W_{\lambda+\frac{\Delta\lambda}{2}} - W_{\lambda-\frac{\Delta\lambda}{2}}}{360 \cdot f_m} \times 10^{12} \quad \text{式(9)}$$

之後再由群組延遲的波長響應經由 curve fitting 的方式即可得到待測元件的色散平均值或稱為與群組延遲響應相稱的色散值 (Fitted Dispersion)。而群組延遲響應上的抖動則是群組延遲的波長響應減去色散平均值。

為了以後量測的方便性, 我們還利用 Vee 程式, 寫了一套自動化量測波長響應與群組延遲響應的程式, 如圖三所示。當我們要量測待測元件(並不限定啾頻光纖光柵)的波長響應與群組延遲響應時, 我們安排好量測儀器與待測元件, 並設定好程式中的量測參數之後, 只須按下”Start”鍵, 自

動化量測程式即會幫我們做好完整、詳細而且正確的量測。包括有波長響應、波長響應上的抖動、待測元件的插入損耗 (Insertion Loss)、待測元件的頻寬、群組延遲響應、與群組延遲響應相稱的色散值以及群組延遲響應上的抖動...等。

圖四所示為量測我們所購得之啾頻光纖光柵的反射響應上之抖動的結果。我們可以看到波長從 1558.75 至 1559.1nm, 大約是 0.35nm 的範圍中, 反射響應上抖動的大小(峰值-至-峰值)約為 **0.1dB**。而其抖動斜率則大約為 **0.8 至 2dB/nm**, 其中我們更可以找到反射響應中最平坦的波長位置從 **1558.925 至 1558.975nm**, 大約是 50pm(6.25GHz)的範圍。

圖五所示為量測我們所購得之啾頻光纖光柵的群組延遲響應上之抖動的結果。圖中我們秀出使用不同頻率的弦波做為光調變訊號時所量測的結果(不同調變頻率的量測結果均平移(offset)10ps)。如我們所預期的, 可以看到當使用的調變頻率越高時, 對於群組延遲的波長響應會有平均的效果。然而也因為調變頻率越高, 則群組延遲的解析度也越高。這我們可由式(9)中, 群組延遲和調變頻率成反比的關係中可以了解。雖然調變頻率越高, 解析度也越高, 也因此減少了因為網路分析儀本身所產生的相位雜訊(phase error), 所造成的群組延遲響應上之抖動的影響。但調變頻率的增加卻也對待測元件真正的群組延遲響應上之抖動有了平均的效果。所以我們應該針對應用啾頻光纖光柵做為色散補償技術的系統的訊號頻寬, 並考慮網路分析儀的相位雜訊, 選擇適當的量測群組延遲響應時的調變頻率。

在此, 若我們觀察圖五中, 以 500MHz 的弦波做為調變訊號所量測得到的群組延遲響應上之抖動。我們可以發現波長從 1558.75 至 1559.1nm, 大約是 0.35nm 的範圍中, 群組延遲響應上抖動的大小(峰值-至-峰值)約為 **20ps**。而其抖動斜率則大約為 **80 至 500ps/nm**, 同樣地, 由其中我們也可以找到群組延遲響應中最平坦的波長位置從 **1558.975 至 1559.025nm**, 大約是 50pm(6.25GHz)的範圍。但是, 很可惜地, 反射的波長響應與群組延遲的波長響應,

最平坦的位置並不重疊。

### (三) 啾頻光纖光柵應用於直調式類比次載波系統的實驗結果

在此實驗中，我們利用已量得反射與群組延遲響應特性的啾頻光纖光柵做為直調式類比次載波系統中色散補償的元件。實驗架構如圖六所示。在本實驗中雷射的臨界電流(threshold current)大約為 10mA，啾頻參數(chirp parameter)經由實驗量得大約為 70MHz/mA，而我們將雷射偏壓(bias current)在 100mA，所以此系統的頻率啾頻(frequency chirp)峰值大約為  $70 \times (100-10) = 6.3\text{GHz}$ 。另外，我們更以溫控的方式，來控制雷射的中心波長，使其能夠位於啾頻光纖光柵模組的適當位置(反射響應或/和群組延遲響應最平坦的位置)。78 個 NTSC 的頻道直接調變雷射，而每個頻道的功率為 42dBmV 以維持每個頻道的光調變深度(OMI-optical modulation index)為 3.3%。經過調變的雷射，輸出功率為 12dBm，經過極化控制器(polarization controller)以及啾頻光纖光柵的模組，包括一個三端的光循環器(optical circulator)、啾頻光纖光柵(DCG-dispersion compensated grating)以及一個光終止器(optical terminator)，之後，進入摻鉕光纖放大器(booster EDFA)。啾頻光纖光柵模組的插入損耗大約為 3dB。摻鉕光纖放大器的輸入與輸出光功率分別為 7.85 與 17.88dBm。再經過 80.8km 標準的單模光纖傳輸之後，有線電視光接收器接收到 1.7dBm 的光功率。

圖七所示為所量測到的合成二階拍差失真(CSO)、合成三階拍差失真(CTB)以及載波雜訊比(CNR)，分別為有與沒有經過啾頻光纖光柵模組的色散補償的結果。由圖中我們可以發現沒有經過色散補償，傳輸系統會因為光纖的色散而產生很嚴重的失真，在類比次載波系統即表現為隨頻率而變大的 CSO 及 CTB。經過 80.8km 的傳輸，在最差頻道(頻道 78)的 CSO 及 CTB 分別為 -27dBc 和 -50dBc。然而在經過以啾頻光纖光柵模組做為色散補償之後，CSO 明顯得降低為 -48dBc(改善了 ~20dB)。但很不幸地，CTB 並沒有顯著的改善，而且，載波雜訊比也會因為光循環器的單向性

(directivity)的不足(>-70dB)以及因為啾頻光纖光柵本身即是反射式的形態，所以極有可能會產生一些不想要的小反射雜訊，而這些小雜訊均會與訊號在接收端造成類似干涉(interferometer)的效應，因而使得載波雜訊比下降。由圖中我們可以看到經過以啾頻光纖光柵模組做為色散補償之後的載波雜訊比，由原本的 ~50dB 下降為 ~47dB(變差 ~3dB)。很明顯地，這樣地的補償結果，CNR>46dB、CSO<-50dBc 以及 CTB<-50dBc，仍不能符合有線電視(CATV)系統的要求。

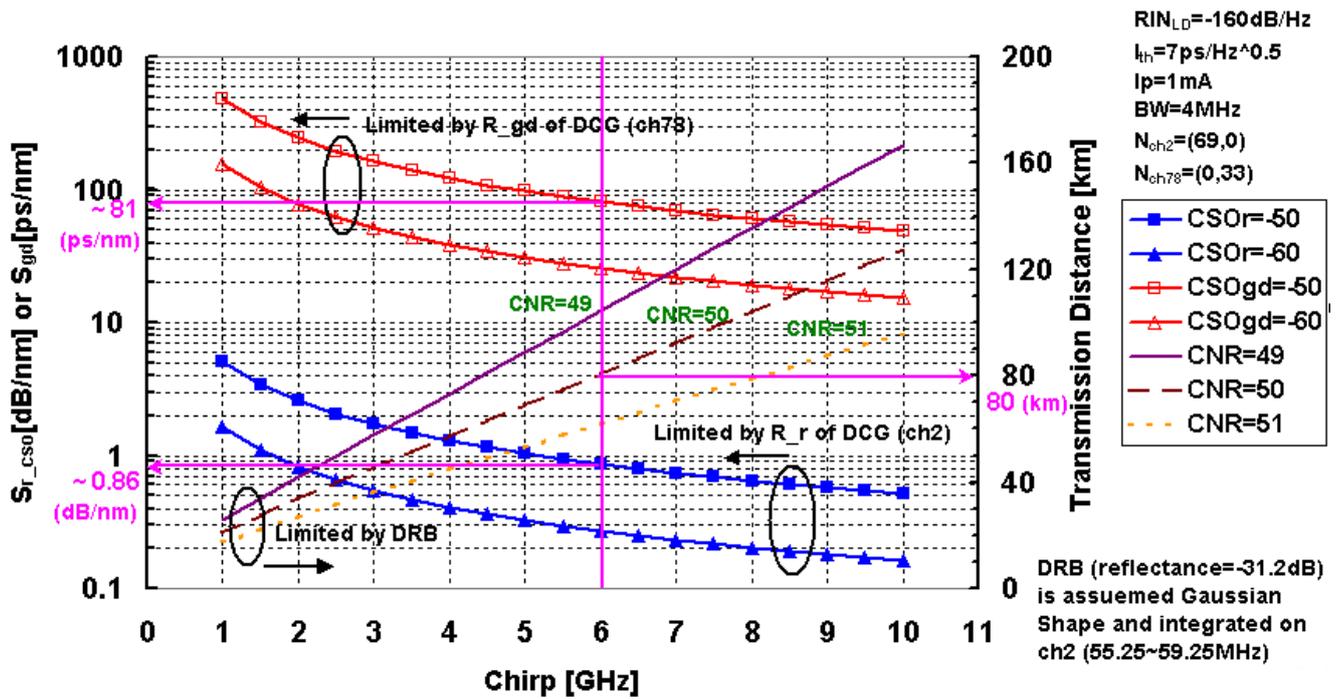
### 四、參考文獻

- [1] F. Ouellette, "Dispersion cancellation using linearly chirped Bragg grating filters in optical waveguides," *Opt. Lett.*, Vol. 12, No. 10, pp. 847-849, Oct. 1987
- [2] W. H. Loh, R. I. Laming, X. Gu, M. N. Zervas, M. J. Cole, T. Widdowson, and A. D. Ellis, "10cm chirped fiber Bragg grating for dispersion compensation at 10 Gb/s over 400 Km of nondispersion shifted fiber," *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 2203-2204, 1995
- [3] F. Ouellette, "All-fiber filter for efficient dispersion compensation," *Opt. Lett.*, vol. 16, pp. 303, 1991
- [4] F. Ouellette, J. F. Cliché, and S. Gagnon, "All-fiber device for chromatic dispersion compensation based on chirped distributed resonant coupling," *J. Lightwave Technol.*, vol. 12, pp. 1728, 1994
- [5] H. Kogelnik, "fiber response of nonuniform almost-periodic structures," *Bell Syst. Tech. J.*, pp. 109-125, 1976
- [6] P. S. Cross and H. Kogelnik, "Side lobe suppression in corrugated-waveguide filters," *Opt. Lett.*, vol. 1, pp. 43-45, 1977
- [7] D. Pastor, J. Capmany, D. Ortega, V. Tatay, and J. Marti, "Design of Apodized Linearly Chirped Fiber Gratings for Dispersion Compensation," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 11, Nov. 1996
- [8] J. Marti, D. Pastor, M. Tortola, J. Capmany, and A. Montero, "On the Use

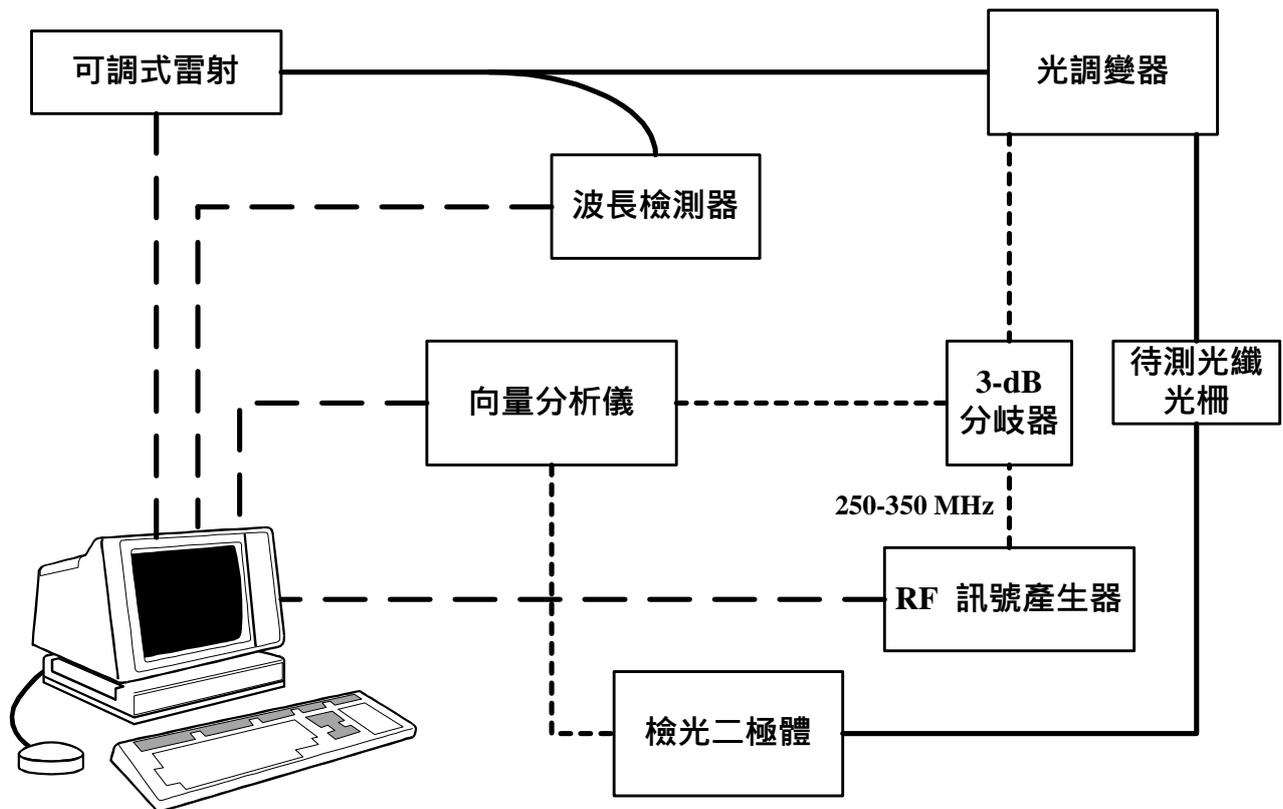
- of Tapered Linearly Chirped Gratings as Dispersion-Induced Distortion Equalizers in SCM Systems,” *J Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 2, Feb. 1997
- [9] K. Ennsner, M. Ibsen, M. Durkin, M. N. Zervas, and R. I. Lamming, “Influence of Nonideal Chirped Fiber Grating Characteristics on Dispersion Cancellation,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 10, Oct. 1998
- [10] D. Pastor, J. Capmany, and J. Marti, “Reduction of Dispersion Induced Composite Triple Beat and Second-Order Intermodulation in Subcarrier Multiplexed Systems Using Fiber Grating Equalizers,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, no. 9, Sep. 1997
- [11] F. Ramos, and J. Marti, “Comparison of Optical Single-Sideband Modulation and Chirped Fiber Gratings as Dispersion Mitigating Techniques in Optical Millimeter-Wave Multichannel Systems,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 11, Nov. 1999
- [12] Paul D. Sargis, Bruce D. Henderer and Mark E. Lowry, “10-GB/s subcarrier multiplexed transmission over 490 km of ordinary single-mode fiber without dispersion compensation,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.9, pp.1658-1660, Dec. 1997
- [13] M.R. Phillips, T.E. Darcie, D. Marcuse, G.E. Bodeep and N. J. Frigo, “Nonlinear distortion generated by dispersive transmission of chirped intensity-modulated signals,” *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.3, No.5, May 1991
- [14] C. Desem, “Composite second order distortion due to self-phase modulation in externally modulated optical AM-SCM systems operating at 1550 nm,” *Electron. Lett.* vol 30, no 24, pp. 2055-6, Nov. 1994
- [15] Dogan A. Atlas, “Fiber induced distortion and phase noise to intensity noise conversion in externally modulated CATV systems,” 1996 NCTA Technical Papers, pp.289-293
- [16] F. W. Willems, W. Muys and J. C. van der Plaats, “Experimental verification of self-phase-modulation-induced nonlinear distortion in externally modulated AM-VSB lightwave systems,” *OFC’96 Technical Digest*, pp.281-282
- [17] F. W. Willems, J. C. van der Plaats and W. Muys, “Harmonic distortion caused by stimulated Brillouin scattering suppression in externally modulated lightwave AM-CATV systems,” *Electronics letters*, Vol.30, No.4, pp.343-345, Feb. 1994
- [18] M.R. Phillips, D.W. Anthon and K.L. Sweeney, “Chromatic dispersion effect in CATV analog lightwave systems using externally modulated transmitters,” *OFC’96 post deadline paper PD17*
- [19] X. P. Mao, G. E. Bodeep, R. W. Tkachm A. R. Crraplyvy, T. E. Darice and R. M. Derosier, “Brillouin scattering in externally modulated lightwave AM-VSB CATV transmission systems,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 4, pp.287-289, Mar. 1992
- [20] H. Yoshinaga, “Influence of stimulated Brillouin scattering on nonlinear distortion in SCM video transmission,” *Electron. Lett.*, vol.29, pp.1707-1708, Sep. 1993
- [21] F. W. Willems, W. Muys and J. S. Leong, “Simultaneous suppression of stimulated Brillouin scattering and interferometric noise in externally modulated lightwave AM-SCM systems,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.12, pp.1476-1478, Dec. 1994
- [22] D. Piehler, C. Y. Kuo, J. Kleefeld, C. Gall, A. Nilsson and X. Zou, “Influence of SBS suppression on distortion in an optically amplified analog video transport system,” *OSA TOPS on Optical Amplifiers and Their Applications*, vol.5, pp.377-380, 1996
- [23] M. R. Phillips, “Distortion by stimulated Brillouin scattering effect in analog video lightwave systems,” *OFC’97 post deadline paper PD23*
- [24] D. A. Atlas, Rezin Pidgeon and Frank Little, “Rayleigh backscattering effects on 1550-nm CATV distribution systems employing optical amplifiers,” *J. Lightwave Technol.*, vol.13, pp.933-946, May 1995

- [25] K. Kikushima and H. Yoshinaga, "Signal crosstalk due to fiber nonlinearity in wavelength multiplexed SCM-AM-TV transmission systems," OFC'95 Post deadline paper PD24
- [26] Z. Wang, A. Li, C. J. Mahon, G. Jacobsen and E. Bodtker, "Performance limitations imposed by stimulated Raman scattering in optical WDM SCM video distribution systems," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.7, pp.1492-1494, Dec. 1995
- [27] P. Hui, Y. Wang, K. Demarest and C. Allen, "Frequency response of cross-phase modulation in multispan WDM Optical fiber systems," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.10, pp.1271-1273, Sep. 1998
- [28] K. Hinton, and J. Arkwright, "Impact of Grating Delay and Reflectivity Ripple in Optical Systems," Global Telecommunications Conference, pp. 986-991, 1998
- [29] "Spectral Characterization and Chromatic Dispersion Measurements in Fiber Bragg Gratings for Dispersion Compensation", Simova, E., IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1998
- [30] "Measuring Chromatic Dispersion of Fiber Gratings", Chad Clark, LIGHTWAVE, 1999
- [31] *Fiber Optic Test and Measurement*, Dennis Derickson

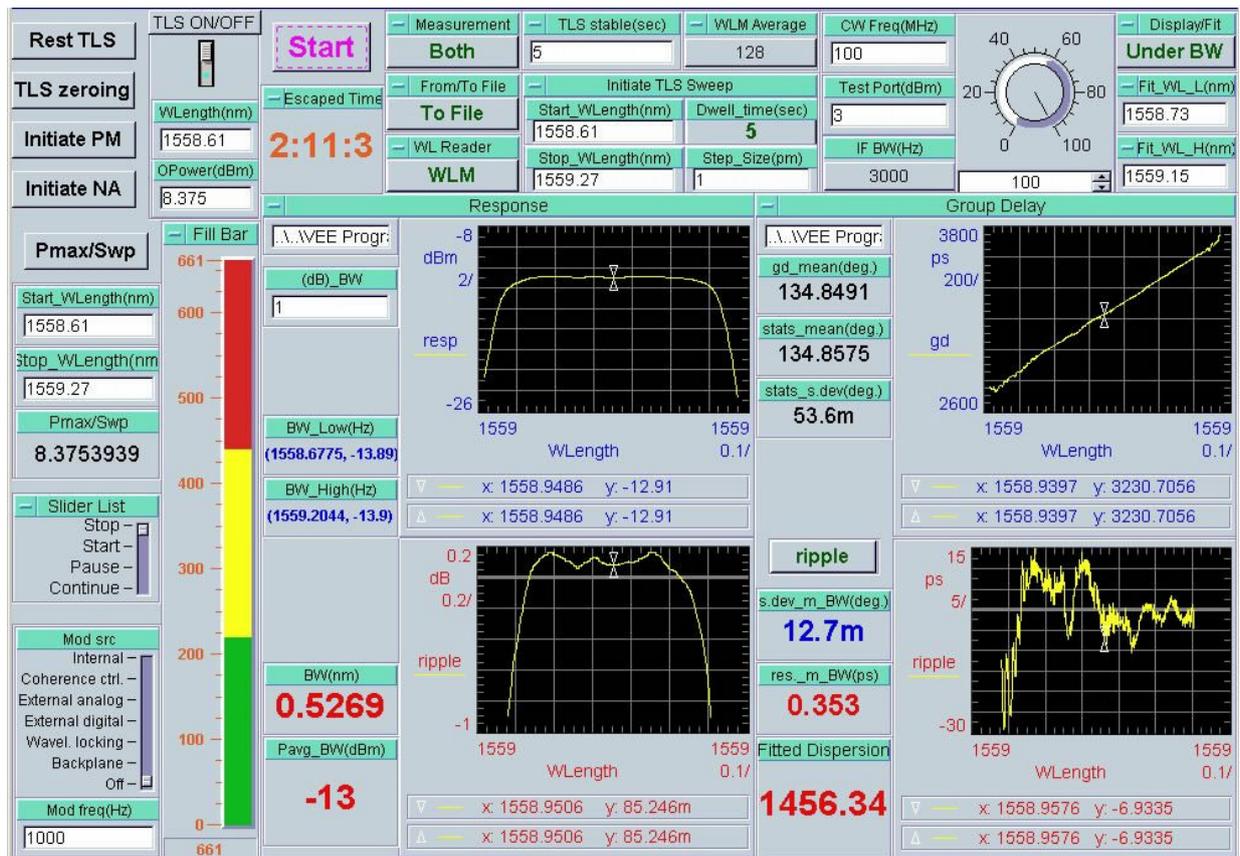
### DM System Limited by Ripples of DCG induced CSO and DRB induced CNR Degradation versus Laser Chirp



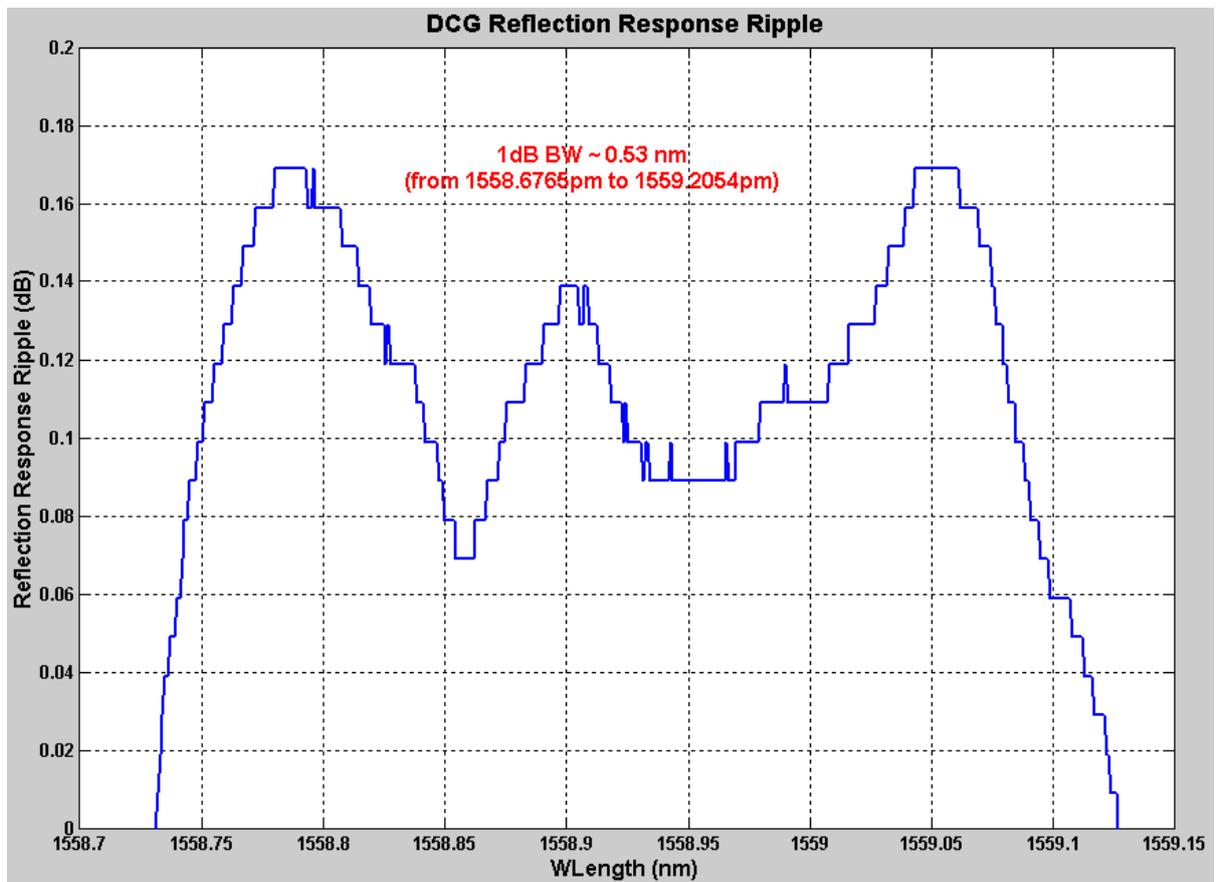
圖一 直調式光纖系統中，傳輸距離(右側座標)以及反射與群組延遲響應上之抖動(左側座標)對雷射的 frequency chirp 峰值的關係圖



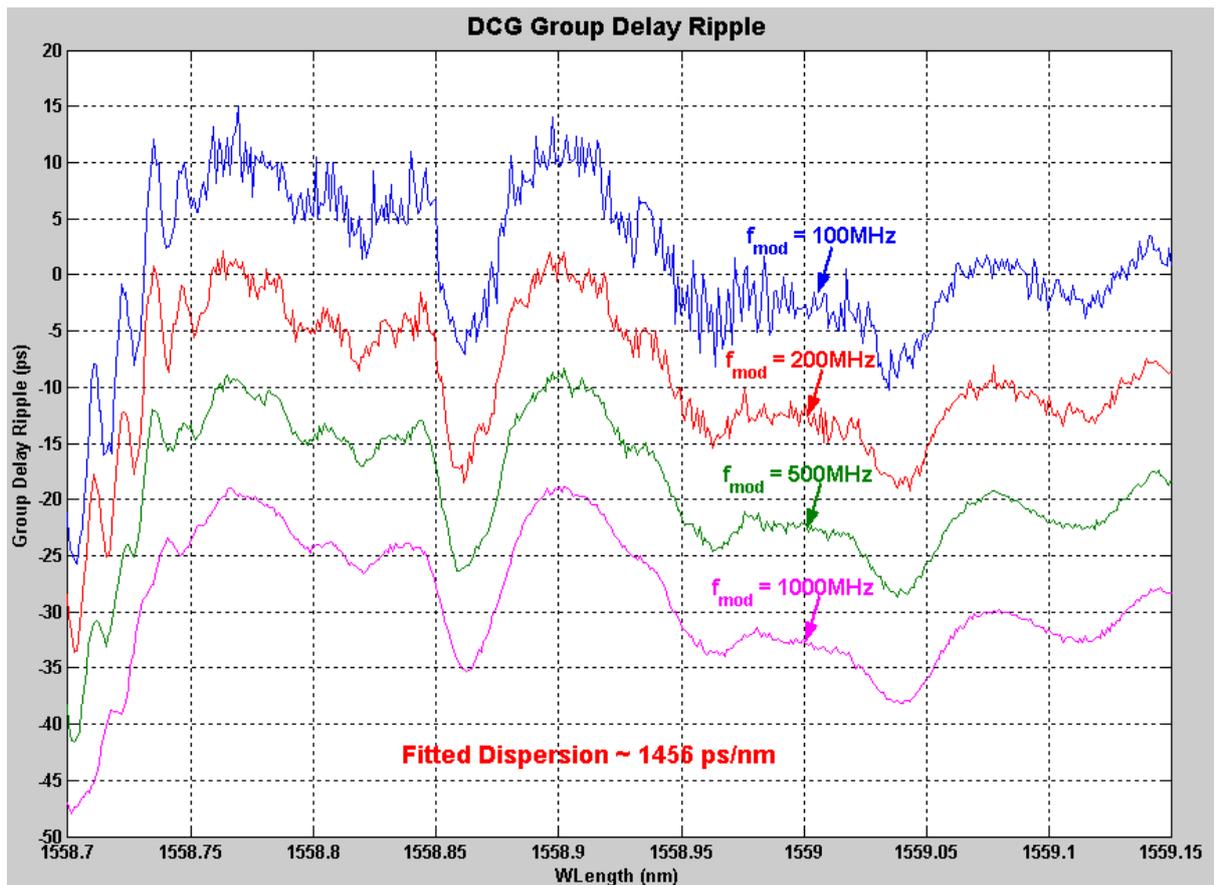
圖二 量測待測元件的波長響應與群組延遲響應之實驗安排



圖三 自動化量測波長響應與群組延遲響應的程式

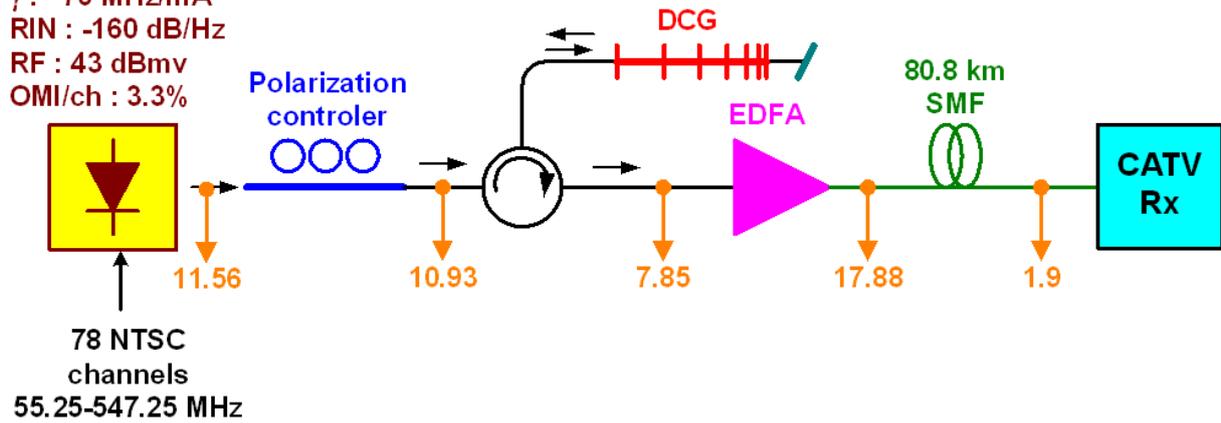


圖四 啻頻光纖光柵的反射響應上之抖動的量測結果

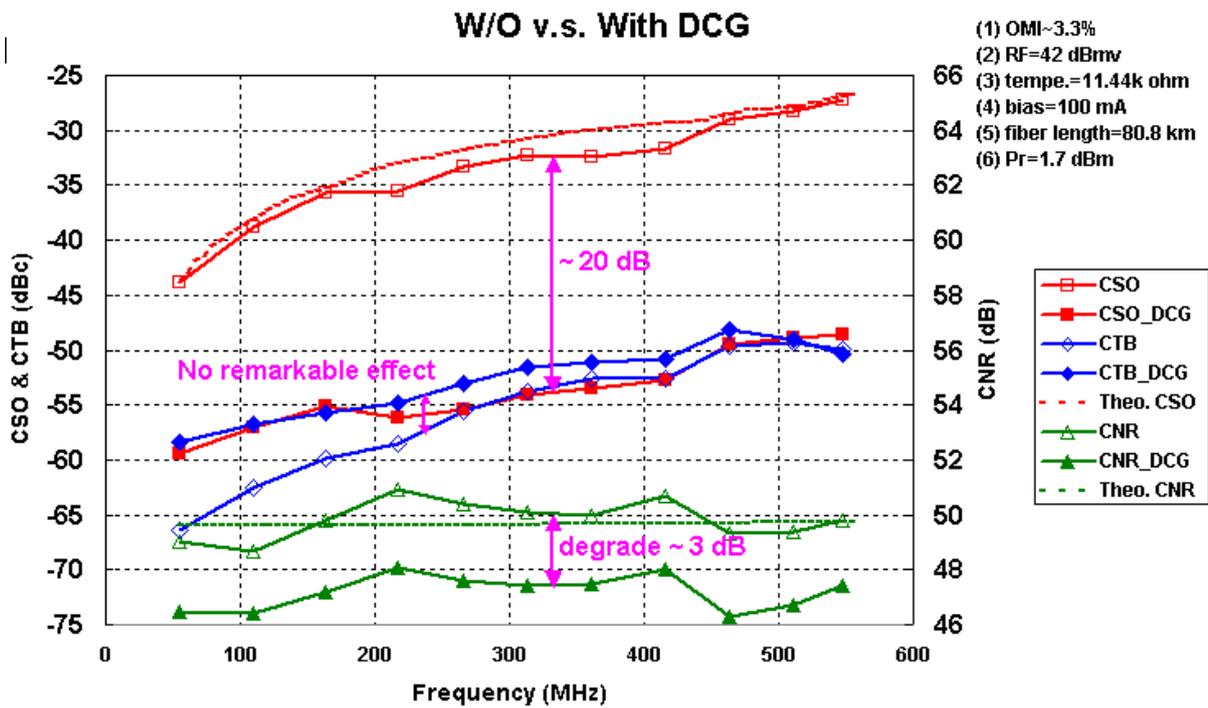


圖五 啻頻光纖光柵的群組延遲響應上之抖動的量測結果

$\lambda$ : 1559 nm  
 $I_{bias}$ : 100 mA  
 $\gamma$ : ~70 MHz/mA  
 RIN: -160 dB/Hz  
 RF: 43 dBmV  
 OMI/ch: 3.3%



圖六 長距離直調式類比次載波系統之實驗架構



圖七 長距離直調式類比次載波系統之實驗結果