

図 16 PLC の各測方法での GDR

図 17 は CD 値-200 ps/nm において MPS-Mueller 法を用い、RBW を 2,4,8,16,32pm で測定した結果である。GDR の周期は 300pm である。

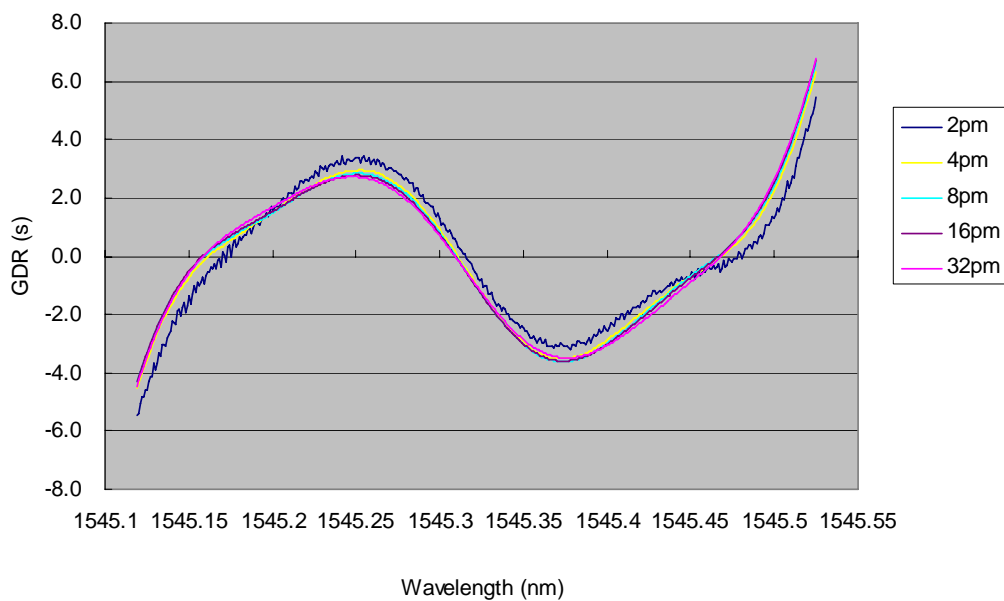


図 17 PLC の各 RBW での GDR

測定結果のまとめを表 7 および図 18 に示す。CD 設定値を変えると GDR 値は大きく変化する。また RBW の設定にかかわらず GDR 値はほとんど変わらない。RBW を 2pm とした場合のみ、多少 GDR 値が大きくなる傾向がある。測定方法による GDR 値の差異も比較的小さい。

表 7 PLC の GDR 測定結果まとめ

RBW	0ps/nm			-200ps/nm		
	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)
2 pm	0.8 ps	1.5 ps	1.3 ps	6.1 ps	6.8 ps	5.7 ps
4 pm	0.3 ps	0.4 ps	1.0 ps	5.8 ps	5.8 ps	5.3 ps
8 pm	0.1 ps	0.3 ps	0.7 ps	5.7 ps	5.7 ps	5.1 ps
16 pm	0.1 ps	0.2 ps	0.6 ps	5.7 ps	5.7 ps	5.0 ps
32 pm	0.1 ps	0.2 ps	0.5 ps	5.5 ps	5.5 ps	4.9 ps

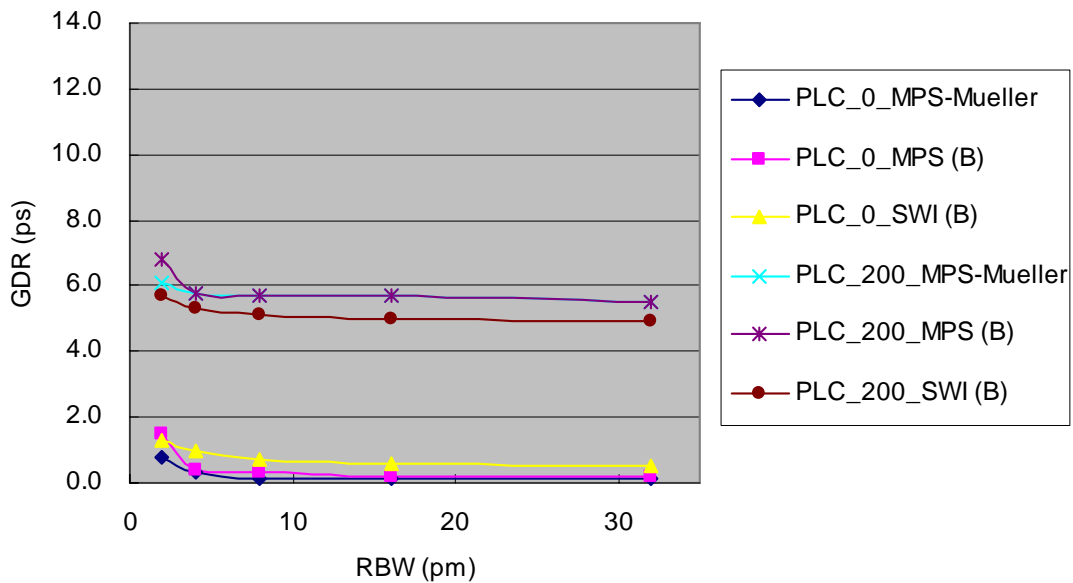


図 18 PLC の GDR 測定結果まとめ

同一条件で3回の測定を実施して測定再現性を確認した。結果を表8と図19に示す。RBWを8pm以上に設定すると、すべての測定方法で0.4ps以下の測定再現性が得られる。

表 8 PLC の GDR 測定再現性まとめ

RBW	0ps/nm			-200ps/nm		
	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)
2 pm	0.58 ps	0.49 ps	1.14 ps	0.72 ps	0.42 ps	1.41 ps
4 pm	0.04 ps	0.09 ps	0.62 ps	0.04 ps	0.10 ps	0.70 ps
8 pm	0.01 ps	0.04 ps	0.17 ps	0.02 ps	0.03 ps	0.32 ps
16 pm	0.00 ps	0.01 ps	0.10 ps	0.01 ps	0.01 ps	0.14 ps
32 pm	0.00 ps	0.00 ps	0.10 ps	0.01 ps	0.01 ps	0.07 ps

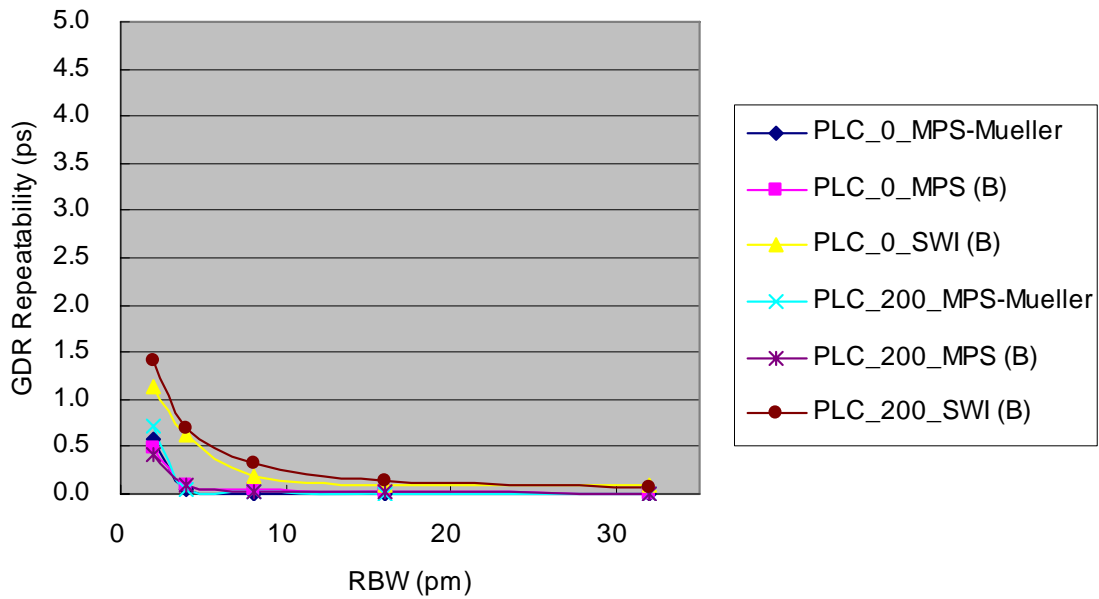


図 19 PLC の GDR 測定再現性まとめ

6.4 Etalon

GDR 解析波長範囲は 1545.258-1545.386 nm とし、CD 値は 0 ps/nm と -500 ps/nm の 2 点に設定して測定した。使用した測定方法は MPS-Mueller, MPS(B), SWI(B) で、MPS-Mueller と MPS(B) は同一の測定器である。図 20 は -500 ps/nm における GD と IL の測定結果である。この例では MPS-Mueller 法を用いて RBW は 8pm に設定した。

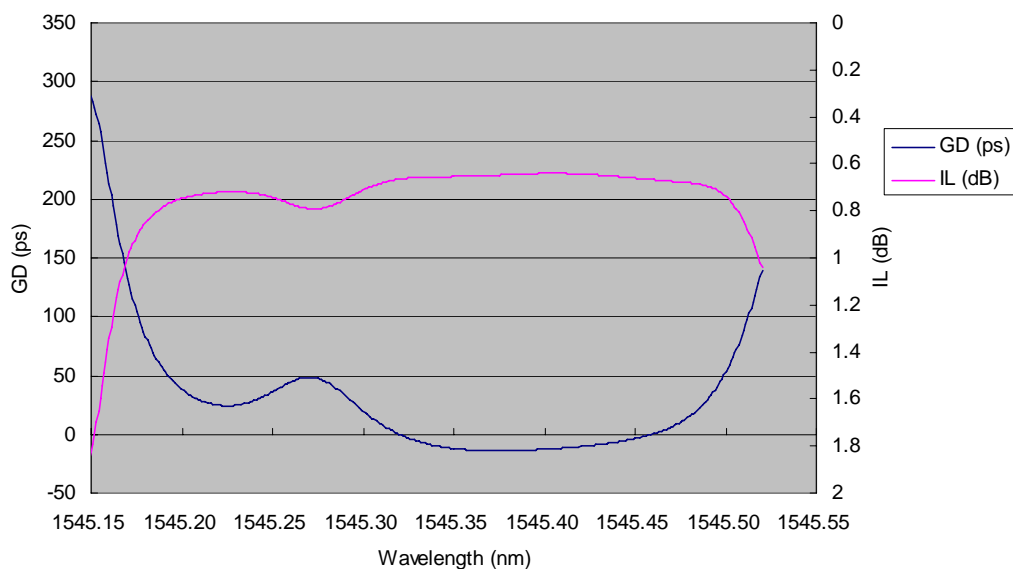


図 20 Etalon の GD および IL

図 21 は -500 ps/nm における GDR の測定結果である。RBW は 8pm に設定した。

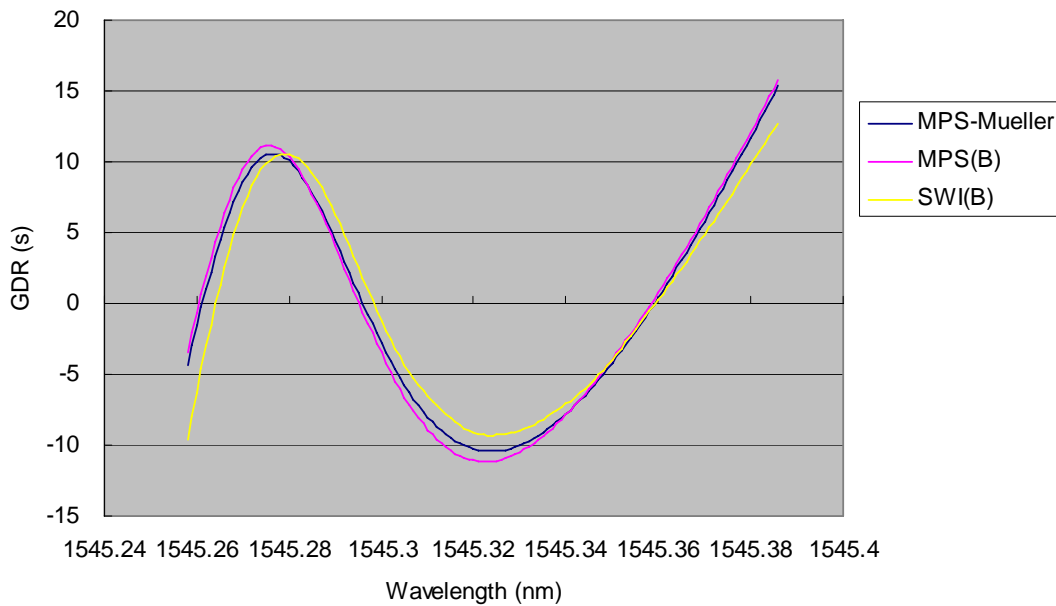


図 21 Etalon の各測方法での GDR

図 22 は、CD 設定値-500ps/nm において MPS-Mueller 法を用い、RBW を 2,4,8,16,32pm で測定した結果である。GDR の周期は 100pm である。

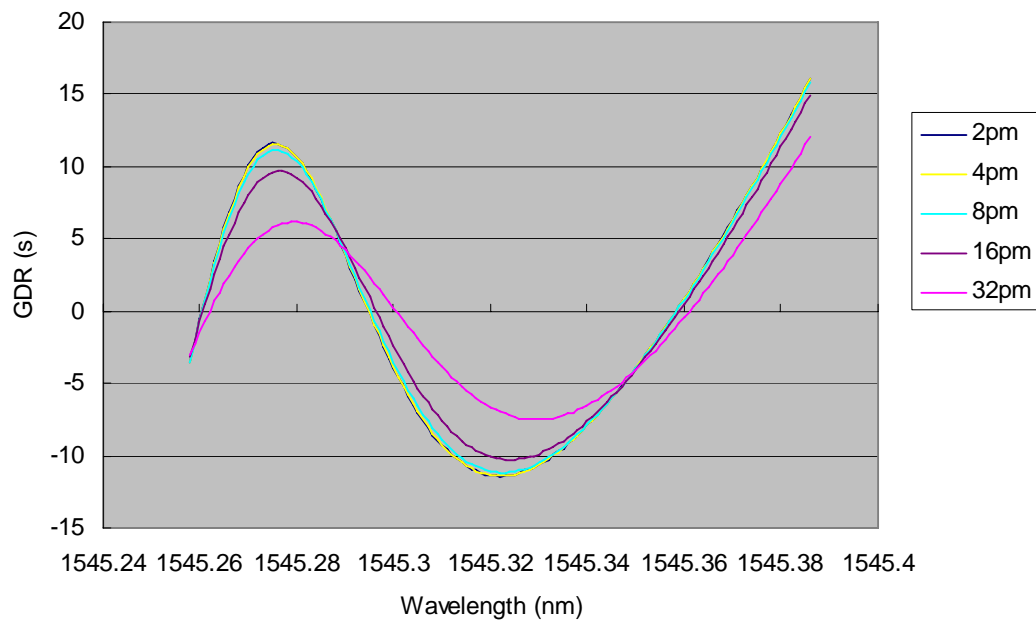


図 22 Etalon の各 RBW での GDR

測定結果のまとめを表 9 および図 23 に示す。CD 設定値を変えると GDR 値は大きく変化する。CD を 0ps/nm に設定した場合、GDR 値は RBW を変えてもほとんど変わらないが、CD を -500ps/nm に設定

すると GDR 値は RBW により変化する。この場合, RBW が 8pm 以下で GDR 値はほぼ一定となる。0ps/nm では SWI (B) のみ GDR 値が小さくなる傾向があるが, -500ps/nm では測定方法間の差異は小さい。

表 9 Etalon の GDR 測定結果まとめ

RBW	0ps/nm			-500ps/nm		
	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)
2 pm	7.4 ps	7.6 ps	3.9 ps	21.5 ps	23.0 ps	21.0 ps
4 pm	7.4 ps	7.6 ps	3.9 ps	21.5 ps	23.0 ps	20.5 ps
8 pm	7.4 ps	7.6 ps	4.0 ps	21.0 ps	22.5 ps	20.0 ps
16 pm	7.4 ps	7.6 ps	4.0 ps	19.0 ps	20.0 ps	18.0 ps
32 pm	7.4 ps	7.6 ps	4.0 ps	13.0 ps	13.5 ps	13.0 ps

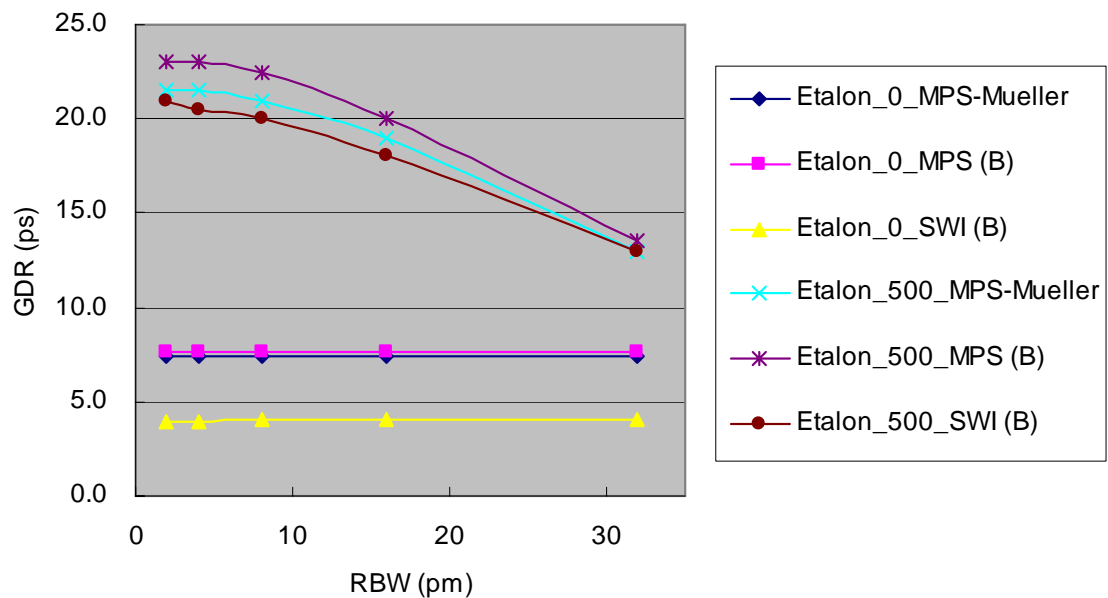


図 23 Etalon の GDR 測定結果まとめ

同一条件で 3 回の測定を実施して測定再現性を確認した。結果を表 10 と図 24 に示す。RBW を 8pm 以上に設定すると, すべての測定方法で 0.5ps 以下の測定再現性が得られる。

表 10 Etalon の GDR 測定再現性まとめ

RBW	Ops/nm			-500ps/nm		
	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)	MPS-Mueller	MPS (B)	SWI (B)
2 pm	0.07 ps	0.13 ps	0.76 ps	0.07 ps	0.23 ps	1.45 ps
4 pm	0.01 ps	0.03 ps	0.48 ps	0.04 ps	0.09 ps	0.85 ps
8 pm	0.00 ps	0.07 ps	0.21 ps	0.06 ps	0.08 ps	0.41 ps
16 pm	0.00 ps	0.01 ps	0.07 ps	0.02 ps	0.07 ps	0.21 ps
32 pm	0.00 ps	0.00 ps	0.04 ps	0.01 ps	0.03 ps	0.09 ps

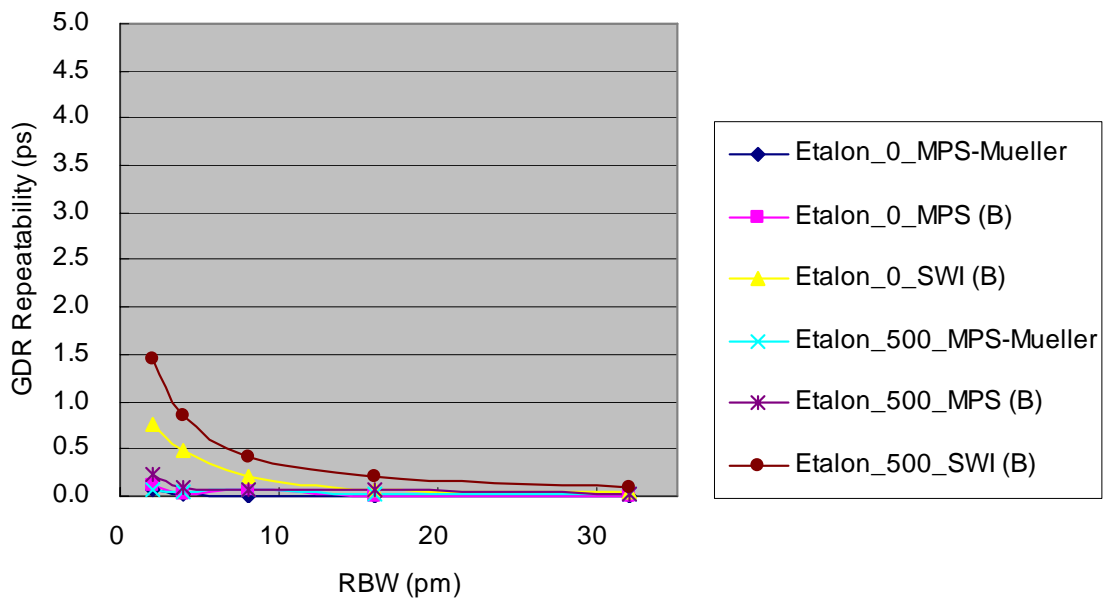


図 24 Etalon の GDR 測定再現性まとめ

7 データ解析 Data analysis

7.1 測定再現性 Repeatability

全測定結果の測定再現性を図 25 に示す。測定再現性は RBW に大きく依存しており、全般的には RBW が 16pm より小さくなると RBW に反比例して測定再現性が悪くなる傾向にある。また、TDC が用いている技術により固有のリップル周期があり、GDR の測定再現性、RBW 依存性に影響している。

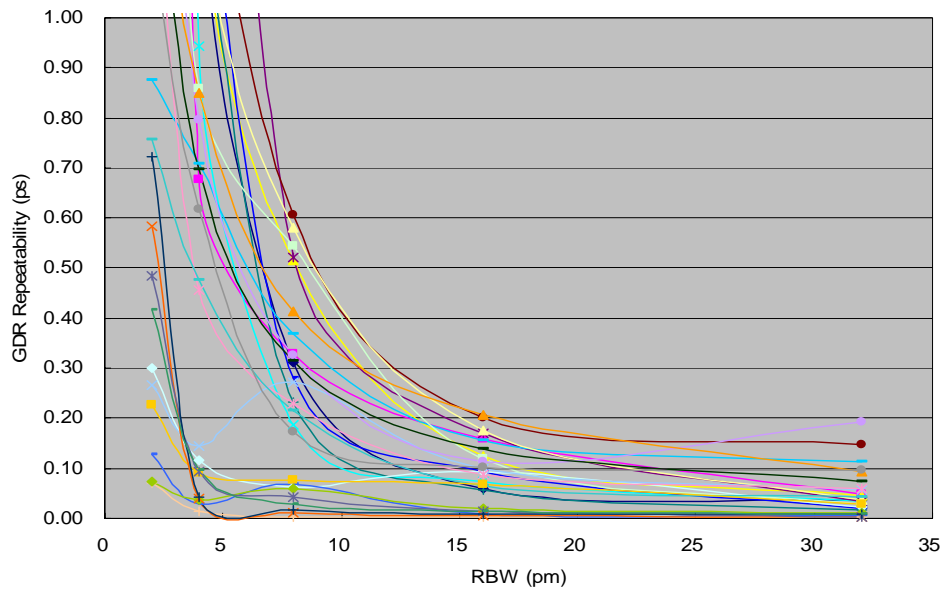


図 25 GDR 測定再現性まとめ

一方、RBW を大きく設定するとリップルが波長方向に平均化されるために測定される GDR 値が小さくなる。このため、リップルの振幅を正確に測定するには RBW をできるだけ小さく設定する必要がある。

TDC の性能標準では 10Gbps 用の場合、6ps 以下の GDR 値が要求されており、測定上、十分な確度を得るためには 0.6ps 以下の測定再現性が必要と思われる。この要件を満たしつつ、より正確なリップルの振幅値を得るには RBW を 8pm (変調周波数では 500MHz) に設定して測定することが望ましいことが判る。

測定方法および RBW を変えた場合の GDR 測定再現性を比較した結果を図 26 に示す。RBW=2pm は非常にばらつきが大きいため図には含めていない。ここでも RBW=4pm では依然としてばらつきが大きく、8pm 以上で上記の要求を満足する 0.6ps 以下の測定再現性が得られることが判る。

測定方法間の比較では MPS-Mueller 法と MPS (B) は他と比較して非常にばらつきが小さい結果が得られていることが判る。この 2 つの方法は同一測定器であり、ばらつきに影響する要因として測定原理間の差異以上に測定器自体の性能による差異が大きく影響することが考えられる。

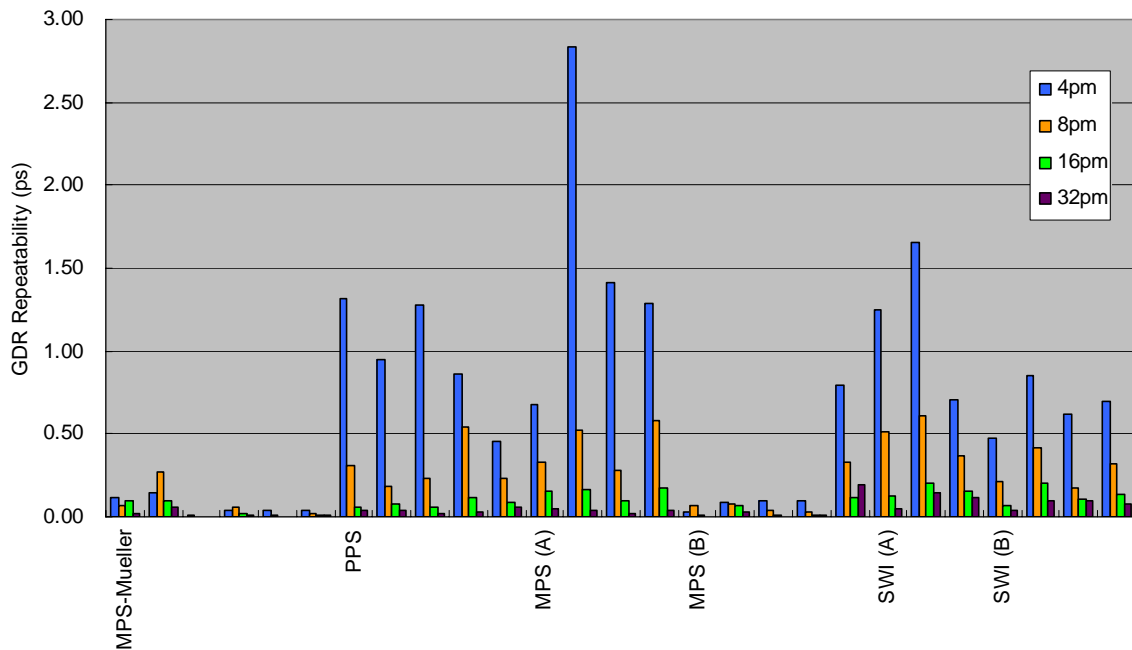


図 26 RBW および測定方法と GDR 測定再現性

7.2 測定方法依存性 Measurement method differences

回覧試験では同一 TDC の GDR を複数の方法で測定しているが、得られた GDR 測定結果間での最大の差異を図 27 に示す。TDC により差異の大きさが異なるが、理由として各 TDC で使用している測定器が異なること、各 TDC の GDR 値が大きく異なり、GDR 値が大きいほど差異も大きくなる傾向があること、RBW が小さい場合は測定時のばらつきが大きいこと、の 3 点があげられる。

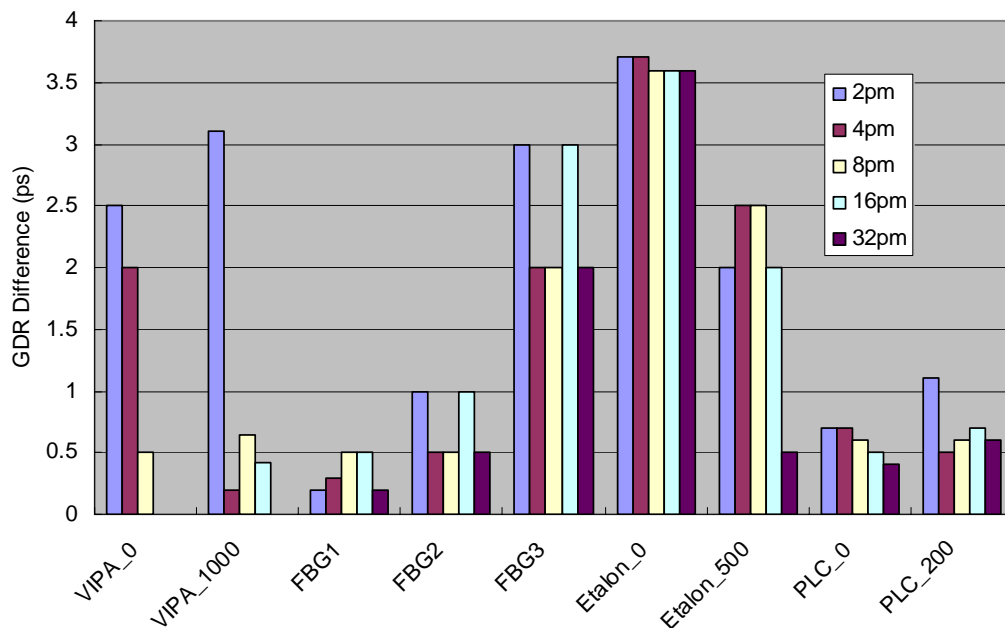


図 27 測定方法間の GDR 測定結果の差異

そこで、検討する対象を現実的に使用されるであろう GDR 値が 6ps 以下の TDC のみとし、RBW を 8pm で測定した場合に限定してみると図 28 のような結果となる。これにより、測定方法間の差異は約 0.6ps 以下となり、TDC の性能標準として要求される 6ps 以下の GDR 値（10Gbps の場合）を評価する上で問題ないレベルの差異となっていることが判る。

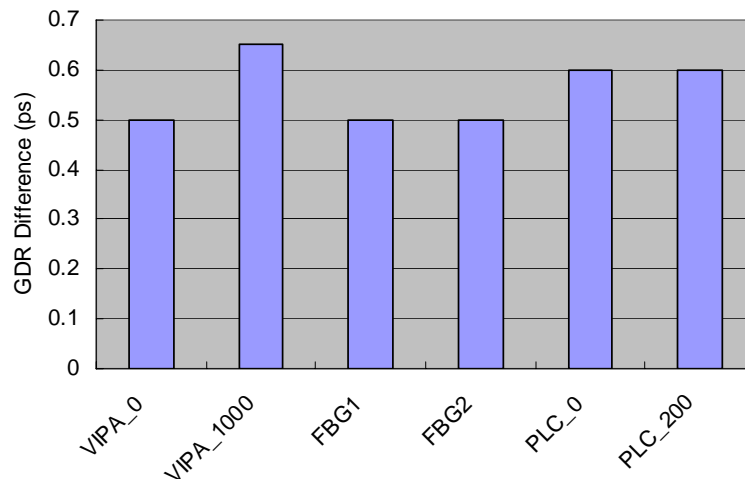


図 28 GDR<6ps の TDC を RBW8pm で測定した場合の GDR 差異

また、GDR の周期については測定方法間での差異はほとんど見られなかった。波長方向の分解能は RBW または変調周波数を規定することによりほぼ標準化されているものと考えられる。

8 位相リップルの検討 Consideration of phase ripple

近年、GDR による伝送品質への影響を検討する上で GDR の振幅以外に周期を考慮する必要があることが明らかとなっており[1]、GDR ではなく位相リップルで TDC の評価を行うことが求められている。位相リップルの定義を以下に示す。

Peak-to-peak phase ripple ($\Delta\theta$);

$$\Delta\theta = f_{\text{period}} * A_{\text{rip}} \text{ (unit: radian),}$$

A_{rip} は peak-to-peak-GD ripple

f_{period} は GD ripple の周期

ここで、 $\Delta\theta \ll 1$ であれば、位相リップルによって発生する EOP (Eye Opening Penalty; アイ開口ペナルティ) の最悪値は以下の式で推定できることが言われている[2]。

$$\text{EOPworst (dB)} = -10 \log (1 - \Delta\theta / 2)$$

FBG1 に関して GDR と位相リップルの測定例を図 29 に示す。上のトレースが GDR、下のトレースが位相リップルを表す。

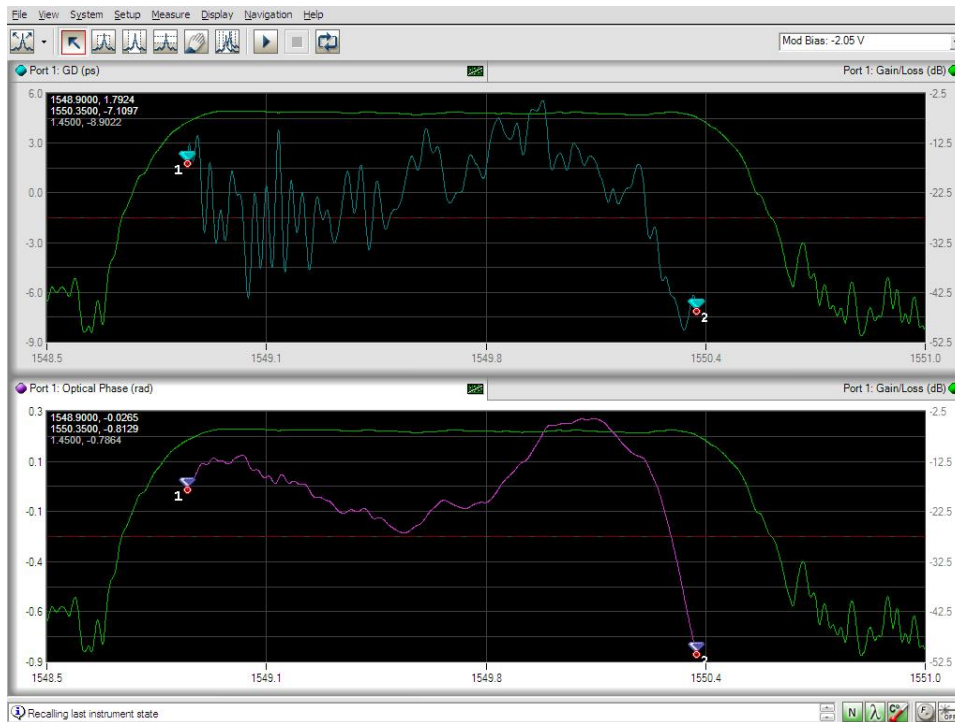


図 29 GDR と位相リップルの測定例

図 30 に GDR の振幅および周期と EOP 最悪値に換算した位相リップルの関係を示す。EOP=0.1dB のトレースは 0.046rad の位相リップルを示し、EOP を 0.1dB 以下にしたい場合は GDR の振幅および周期がこのトレースよりも下に定義される必要がある。また、図中のプロットは回覧試験での VIPA と FBG1-3 の最大 GDR を周期と合わせて表示した結果である。これより GDR 値が大きくても GDR 周期 (GDR Period) が小さければ EOP への影響は小さいことが判る。

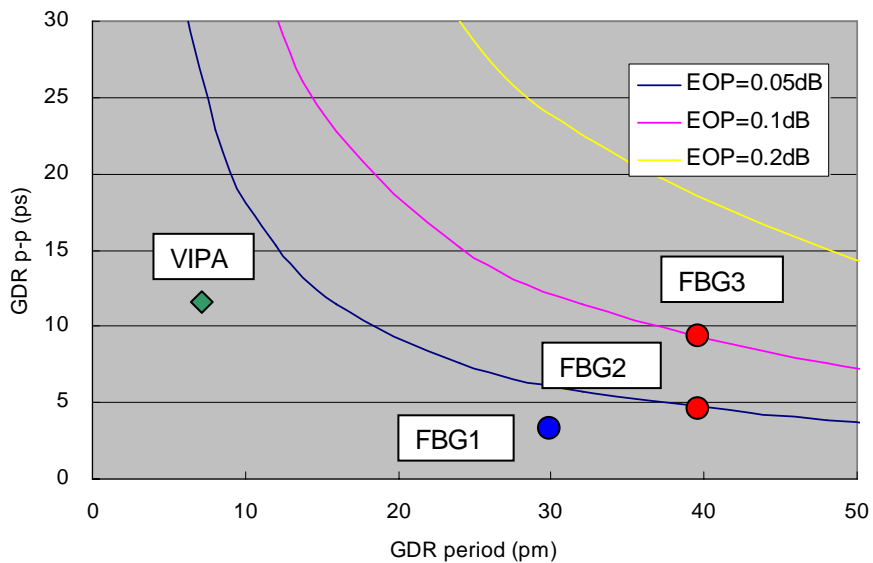


図 30 GDR の振幅および周期と EOP

回覧試験での VIPA と FBG1-3 の測定結果を GDR の振幅および周期から計算した位相リップルで表した結果を図 31 に示す。EOP=0.1dB に相当する位相リップル(p-p)は 0.046rad である。

製品として使用されている VIPA と FBG1 では EOP=0.05dB 以下になっているが、意図的にリップルが大きな DUT として用意した FBG3 では EOP=0.1dB を超えていることが判る。

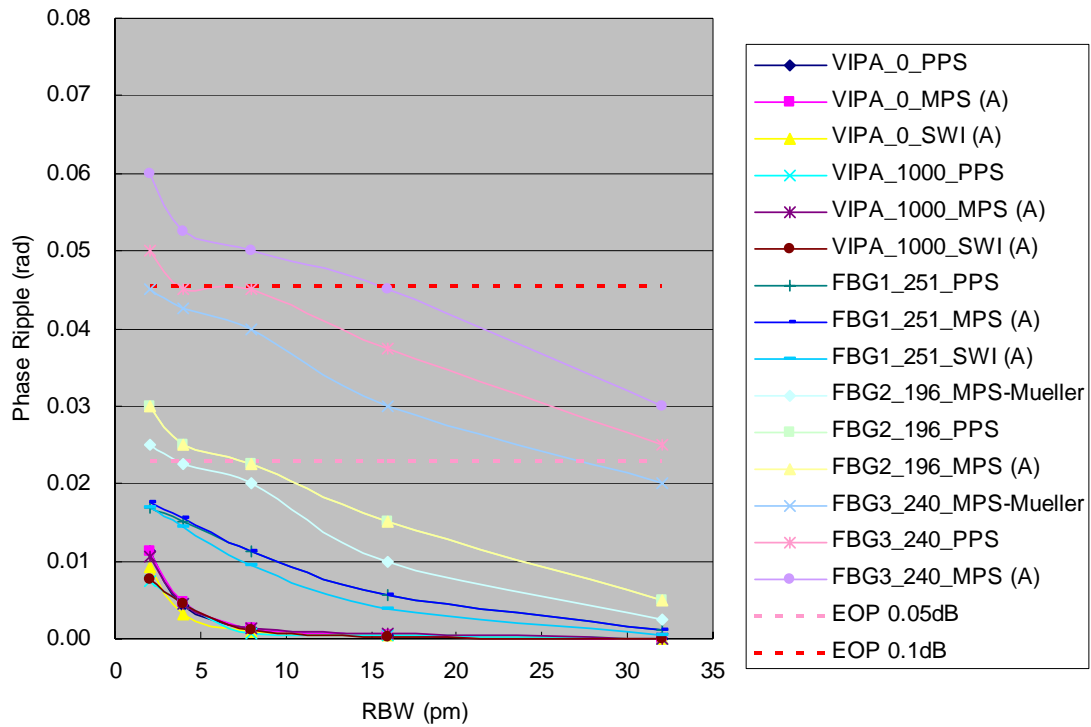


図 31 VIPA と FBG の位相リップル

VIPA と FBG の測定再現性を位相リップルで表した結果を図 32 に示す。RBW を 8pm 以上とすれば EOP=0.01dB (0.0046rad) を十分に下回る再現性が得られていることが判る。

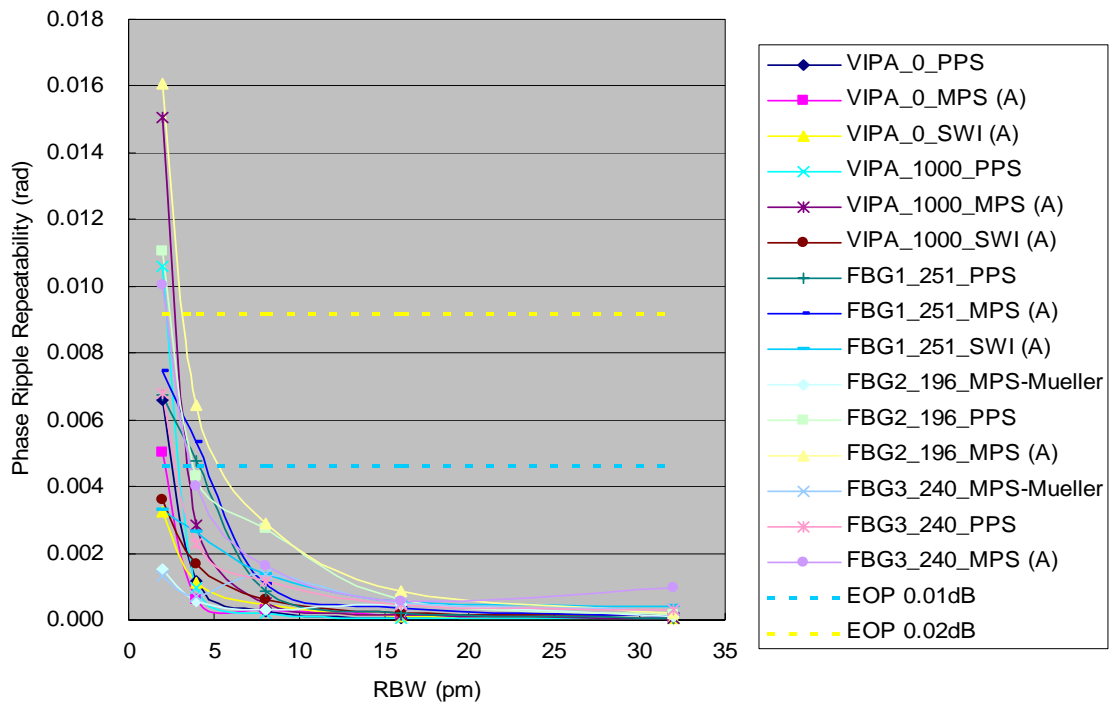


図 32 VIPA と FBG の位相リップル 再現性

VIPA と FBG の測定方法による差異を位相リップルで表した結果を図 33 に示す。意図的にリップルが大きな DUT として用意した FBG3 を除き、RBW を 8pm 以上とすれば EOP=0.01dB (0.0046 rad) をほぼ下回る差異に収まっていることが判る。

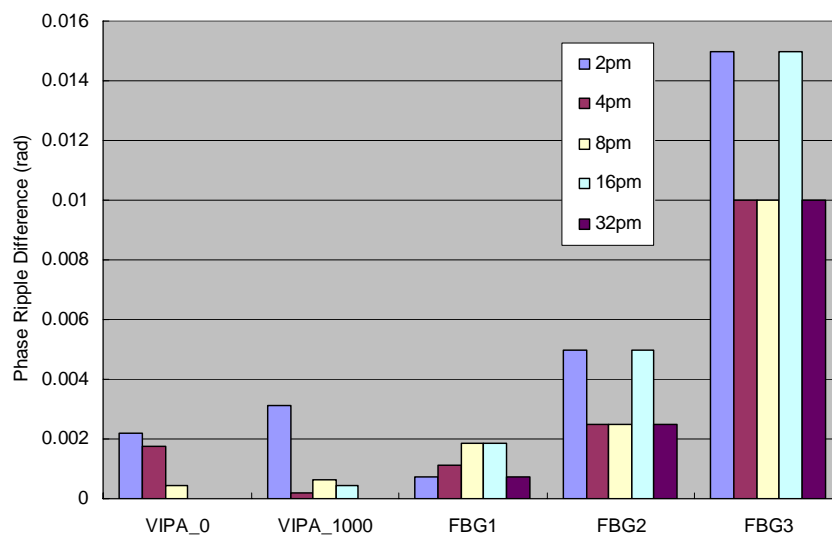


図 33 測定方法間での位相リップルの差異

9 まとめ Summary

種々の TDC に対して各種 GD 測定方法を用いた回覧試験を実施した。その結果、GDR 測定に推奨される波長分解能は 8 pm (変調周波数で 500 MHz)とすることが望ましいとの結論を得た。この条件は各種測定方法における測定再現性、測定方法間の差異を、実際の伝送品質に影響を及ぼさない範囲内にとどめつつ、より正確な GDR を測定することが可能である。

また、TDC はそれぞれ特有な GDR 周期を持ち、伝送品質は GDR の振幅だけではなく周期により影響を受けることが知られており、今後の TDC 評価には GDR ではなく位相リップルを用いることが望ましい。この場合でも上記の推奨波長分解能は有効である。

今後は本技術資料の結果に基づき、位相リップル測定方法の標準化が望まれる。

付録 Appendix 参考文献 Informative References

- [1] H. Yoshimi, Y. Takushima, K. Kikuchi, "A simple method for estimating the eye-opening penalty caused by group-delay ripple of optical filters" ECOC 2002

- [2] C. Scheerer, C. Glingener, G. Fischer, M.Bohn, W. Rosenkrantz, "Influence of filter group delay ripples on system performance" ECOC 1999

解説

通信システムの技術向上の最も大きなものに、ネットワーク化および高速化、長距離化がある。40Gbps以上の長距離高速通信システムでは、分散が伝送距離の制限になることが知られている。分散による信号の劣化を抑制するため、種々の TDC (Tunable Dispersion Compensator; 可変波長分散補償器) が提案され、製品化されている。しかしながら、TDC は、そのメカニズムに依存して GD (Group Delay; 群遅延) がリップルを持つことが知られており、それが、信号の劣化に影響があると指摘されている。

IEC/TC 86 では、いくつかの CD (Chromatic Dispersion; 波長分散) に関する測定法が規定されている。一例に、61300-3-38 があるが、そこには、GDR (Group Delay Ripple; 群遅延リップル) の測定法が規定されていない。分散を補償する光受動部品の代表的なものには、DCF (Dispersion Compensation Fibre; 分散補償ファイバ) があるが、DCF はその原理上、GD にリップルがない。一方、TDC は干渉効果を用いるものが多く、そのことから原理上リップルがある。

また、GD 測定法は、61300-3-38 でも規定している通り、種々の測定法がある。それらの測定法は、GD 測定、CD の導出には十分であることが知られている。しかし、GDR については、その測定パラメータ依存性、測定法依存性の十分な情報がないため、それらを確認する必要がある。

以上の背景から、財団法人光産業技術振興協会 ファイバオプティクス標準化委員会ダイナミックモジュール分科会および光受動部品標準化委員会では 2004 年度から 2007 年度までの 4 年間、種々の TDC を用いて各種 GD 測定法による回覧試験を実施してきた。本技術資料は回覧試験の結果に基づき、TDC 可変波長分散補償器の GDR 測定方法に関する調査結果をまとめ、測定方法標準化の方向性を検討したものである。

また、本技術資料にまとめた GDR 回覧試験の結果については、IEC の TC86/SC86C/WG5 (ダイナミックモジュール) において中間報告を重ねてきた。その結果、GDR 試験方法の Technical Report (62343-6-3) , TDC の位相リップル測定方法 (62343-5-2) を日本主導で提案することが要請され、承認された。

GDR 回覧試験関係者(敬称略)

株式会社アドバンテスト	木村 栄司
アンリツ株式会社	川北 浩二
日本電気株式会社	渋谷 隆
日本電信電話株式会社	高橋 哲夫
富士通株式会社	磯野 秀樹
三菱電機株式会社	杉原 隆嗣
横河電機株式会社	佐々木志織
アジレント・テクノロジー株式会社	山口 修司

TP 作成・検討メンバー(WG2)

アンリツ株式会社	川北 浩二
株式会社日立コミュニケーションテクノロジー	宇田 哲也
古河電気工業株式会社	佐藤 功紀
アジレント・テクノロジー株式会社	山口 修司
日本電気株式会社	渋谷 隆

TP 承認 ファイバオプティクス標準化委員会 ダイナミックモジュール分科会 委員

(2008年10月現在)

主査	金子 明正	日本電信電話株式会社
委員	渋谷 隆	日本電気株式会社
委員	上塚 尚登	日立電線株式会社
委員	宮内 彰	富士通株式会社
委員	宇田 哲也	株式会社日立コミュニケーションテクノロジー
委員	佐藤 功紀	古河電気工業株式会社
委員	姫野 明	NTT エレクトロニクス株式会社
委員	山口 修司	アジレント・テクノロジー株式会社
委員	島田 典昭	株式会社フジクラ
委員	川北 浩二	アンリツ株式会社
委員	佐藤 文利	財団法人日本規格協会
委員	田澤 英久	住友電気工業株式会社
委員	澤田 和重	三菱電機株式会社
委員	山本 秀人	日本電信電話株式会社
委員	増田 岳夫	財団法人光産業技術振興協会
オブザーバ	吉田 淳一	千歳科学技術大学
オブザーバ	立川 義彦	横河電機株式会社
オブザーバ	磯野 秀樹	富士通株式会社
オブザーバ	金枝上 敦史	経済産業省産業技術環境局
事務局	賣野 豊	財団法人光産業技術振興協会

禁無断転載

この OITDA 規格の TP (技術資料) は、光産業技術振興協会 光部品・モジュール安全信頼性国際標準提案委員会 及び ファイバオプティクス標準化委員会 ダイナミックモジュール分科会で審議・取纏めたものである。
この資料についてのご意見又はご質問は、下記にご連絡ください。

OITDA 規格 TP (技術資料) :

可変波長分散補償器の GDR 測定法に関する検討

(英語題名 : Group Delay Ripple Measurement Method for Tunable Dispersion Compensators – Technical Paper)

TP 番号 : OITDA-TP06/SP-DM-2008

第 1 版

公表日 : 2008 年 10 月 9 日

発行者 : 財団法人 光産業技術振興協会

住所 : 〒112-0014 東京都文京区関口 1-20-10

住友江戸川橋駅前ビル 7F

電話 : 03-5225-6431 FAX : 03-5225-6435

e-mail : opt-st@oitda.or.jp (標準化室)