

OITDA規格

TP

Technical Paper

TP (技術資料)
通信用光受動部品のハイパワー信頼性
に関する調査

(Technical paper of investigation of high-power reliability
for passive optical components for optical communication
application)

公表 2008 年 8 月

取纏委員会
光部品・モジュール安全信頼性国際標準提案委員会
及び 光受動部品標準化委員会

OITDA

発行：財団法人 光産業技術振興協会

Optoelectronic Industry and Technology Development Association (JAPAN)

これは、光産業技術振興協会の標準に関する TP（技術資料）である。TP（技術資料）は、規格になる前段階、標準化の技術的資料、規格を補足する などのために公表するものである。

まえがき Background

近年、超長距離伝送への要求、光ファイバアンプの CATV への適用等を背景に、光伝送出力の増大が進んでいる。これら光通信システムの伝送媒体である光ファイバ、光コネクタおよび光受動部品には、ハイパワー光の洩れによる人体への損傷や、部品の熔融、損傷による火災の危険性も指摘されている。しかし、これら損傷等が発生するメカニズム、条件、要因等については明確な解明がされていない。また、光通信用部品の信頼性および長期評価に関する業界標準には、ハイパワー光による試験が規定されておらず、通信用光部品の各メーカーおよびユーザが独自に評価を行っているのが現状である。

一方、IEC では、TC86/SC86B（ファイバ通信/光受動部品）において、ハイパワー損傷しきい値試験（61300-2-14、2005 年 10 月、第 2 版）が発行され、ハイパワー信頼性基準（62005-10）の NP 文書が提案された。

これらの背景を考慮し、光受動部品のハイパワーに関する評価が実施された。本技術資料は、その評価結果および研究結果をまとめたものである。

（財）光産業技術振興協会が発行する OITDA 規格類（TP を含む）は、工業所有権（特許、実用新案など）に関する抵触の有無に関係なく制定・公表されています。

（財）光産業技術振興協会は、この規格類の内容に関する工業所有権に対して、一切の責任を負いません。

目次

序文	.....	3
1. 適用範囲	.....	3
2. はじめに	.....	3
3. ハイパワー評価を行う光受動部品の選定	.....	3
4. ハイパワー破壊限界評価 その1	.....	4
5. ハイパワー破壊限界評価 その2	.....	10
6. 光受動部品のハイパワー熱シミュレーション	.....	11
7. 光固定減衰器のハイパワー故障モードの推定	.....	14
8. 光受動部品のハイパワー長期評価	.....	15
9. 光固定減衰器の追加シミュレーション	.....	18
10. まとめ	.....	21
解説	.....	22

TP (技術資料)

通信用光受動部品のハイパワー信頼性に関する調査

(英語題名: Technical paper of investigation of high-power reliability for passive optical components for optical communication application)

序文

この技術資料は、2005年度から2007年度までの3年間、経済産業省基準認証研究開発事業「ブロードバンド FTTH 時代に向けた高品位光伝送システム用光部品・モジュールの安全性及び信頼性の標準化」に基づき、財団法人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および光受動部品標準化委員会において行われた光受動部品のハイパワーに関する評価結果をまとめたものである。

1. 適用範囲 Scope

この技術資料は、通信用光受動部品のハイパワー耐力およびその信頼性に関する調査検討結果および評価結果をまとめたものである。光受動部品のハイパワー評価結果、熱シミュレーション結果、故障メカニズムの解析に関する考察が記載されている。

2. はじめに Introduction

近年、超長距離伝送への要求、光ファイバアンプの CATV への適用等を背景に、光伝送出力の増大が進んでいる。これら光通信システムの伝送媒体である光ファイバ、光コネクタおよび光受動部品には、ハイパワー光の洩れによる人体への損傷や、部品の溶融、損傷による火災の危険性も指摘されている。しかし、これら損傷等が発生するメカニズム、条件、要因等については明確な解明がされていない。また、光通信用部品の信頼性および長期評価に関する業界標準には、ハイパワー光による試験が規定されておらず、通信用光部品の各メーカーおよびユーザが独自に評価を行っているのが現状である。

一方、IEC では、TC86/SC86B (ファイバ通信/光受動部品) において、ハイパワー損傷しきい値試験 (61300-2-14, Optical power handling and damage threshold characterization, Ed.2, October, 2005) が発行され、ハイパワー信頼性基準 (62005-10, High power reliability qualification) が NP 回覧されている。その後、2006年10月に行われた IEC ケベック会合にて、両文書を再構築することが決定された。再構築方法は、両文書を合体させ、破壊限界パワー測定法、ハイパワー信頼性評価基準、ハイパワーに関する技術レポートの3文書に再分割することである。

これらの背景を考慮し、光受動部品標準化委員会では、以下の調査・検討を行った。

- ・各種光受動部品のハイパワー破壊限界評価
- ・各種光受動部品のハイパワー信頼性検討

3. ハイパワー評価を行う光受動部品の選定

光受動部品には、光スイッチ、光減衰器、分散補償器、光スプリッタ、光アイソレータ、光フィルタ等多くの品種がある。その中で、ハイパワー環境下で用いられる部品、内部構造および設計上ハイパワーに対する危険が高いと思われる光受動部品を列挙した。結果を表1に示す。まずは、これらの光受動部品を中心に、評価を行う部品を選定することとした。

表1 ハイパワー評価対象の光受動部品

光受動部品	評価の根拠
光固定減衰器	内部に吸収帯（一般に金属ドープファイバ）があり，光を吸収するためハイパワーに対する危険性が高い
光アイソレータ （偏光無依存型）	光ファイバアンプ，光ファイバレーザに用いられ，ハイパワー環境下で使用される。
利得イコライザ	同上。誘電体フィルタ型と FBG 型が市販されている。特に，誘電体フィルタ型は，吸収散乱光があるため，危険性が高い
光アンプ用複合部品	光アイソレータと光フィルタ，WDM 等の複合機能部品。 同様に光ファイバアンプに用いられる。
光導波路スプリッタ	光導波路と光ファイバの接続部に樹脂が使われている。ハイパワー分配用途で用いられる場合がある。

4. ハイパワー破壊限界評価 その1

表1に示す光受動部品の中から，代表的な3品種である，光固定減衰器，光アイソレータ，光スプリッタの3品種の光受動部品に対し，破壊限界評価を行った。表2に評価を行った光受動部品の詳細仕様を示す。

表2 ハイパワー破壊限界評価対象の光受動部品の詳細仕様

評価対象光受動部品	仕様
光固定減衰器	プラグ型固定減衰器（SCコネクタ） 減衰量：10dB, 20dB, 30dB
光アイソレータ （偏光無依存型）	インラインアイソレータ（pigtail型） 非相反部2段構成
光導波路スプリッタ	1入力8出力

評価条件および測定項目をそれぞれ表3および表4に示す。評価方法は，入射パワーを段階的に上昇させるステップストレス試験とした。入射時間は，光受動部品の温度上昇による安定化時間と評価時間を考慮し，一条件5分間とした。また，光受動部品は，一般的な使用環境温度の上限を想定し，70℃とした。70℃は，IEC 61300-2-14で指定されている条件でもある。測定項目では，損失変化の他，反射減衰量をモニタした。さらに，光受動部品が吸収するハイパワー光が熱に変化し，それによる温度上昇が破壊モードになると想定されるため，外周部温度をモニタした。

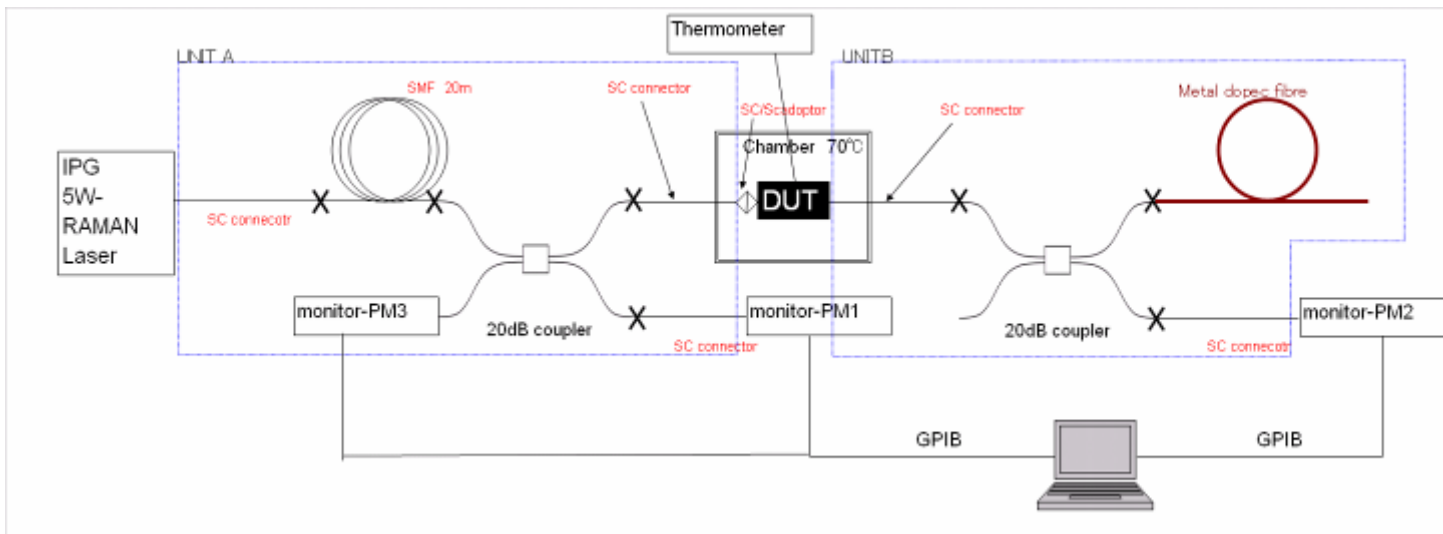
表3 光受動部品のハイパワー破壊限界評価の条件

項目	条件
入射波長	1480nm (ラマンレーザ)
入射パワー	最大 5W (測定系の制限により, DUT への入射は 4.4W)
評価方法	入射パワーを徐々に上昇させるステップストレス試験
入射時間	一条件 5 分間
評価温度	70°C (光受動部品の使用環境温度の上限を想定)

表4 光受動部品のハイパワー破壊限界評価の測定項目

区分	測定項目
オンラインモニタ	挿入損失 (1480nm), 反射減衰量 (1480nm), 光受動部品外周部温度
試験前後測定	挿入損失, 反射減衰量, PDL (光スプリッタ, 光アイソレータ) アイソレーション (光アイソレータ)

評価系は, IEC 61300-2-14 の条件を参考に決定した。評価系を図 1 に示す。高出力光源をカブラで分岐し, 分岐側を入射レーザーパワーのモニタとし, DUT 通過後をさらにカブラで分岐し, 出力レベルのモニタとした。また, 反射減衰量 (RL) をモニタするため, 入射側カブラを 2x2 とした。



評価系の写真（一例）を図2に示す。



図2 ハイパワー評価系の写真

評価結果を表5に示す。光スプリッタおよび光アイソレータでは、4.4Wの入射パワーまで破壊が見られなかった。一方、光固定減衰器では、1.4~2.3Wで反射減衰量が10dB以上低下し、40dB以下となった。また、10dB、20dB、30dBのいずれの減衰量においても、ほぼ同じ光パワーで反射減衰量不良が発生しており、減衰量には大きく依存していないように見える。

表 5 光受動部品のハイパワー破壊限界評価結果

	サンプル数	表面温度 (°C)	温度安定化時間 (分)	結果
光スプリッタ	3	87.2	4	異常なし
光アイソレータ	5	86.0	4	異常なし
光固定減衰器(10dB)	6	89.0	>5	1.4~2.3Wにて 反射減衰量不良(40dB 以下)
光固定減衰器(20dB)	3	85.3	>5	1.7~1.9Wにて 反射減衰量不良(40dB 以下)
光固定減衰器(30dB)	2	74.7	>5	1.4~1.6Wにて 反射減衰量不良(40dB 以下)

評価結果のグラフの一例を図 3 に示す。グラフ上段は、横軸がレーザ入射時間、縦軸がレーザ入射パワーと光受動部品外周温度を示す。下段は、縦軸に挿入損失変化量、反射減衰量変化量を示す。入射パワーが 2.3W の時に反射減衰量が急激に劣化したことがわかる。その時の外周部温度は、89°Cであった。なお、挿入損失の変化量は $\pm 0.5\text{dB}$ 以内であった。

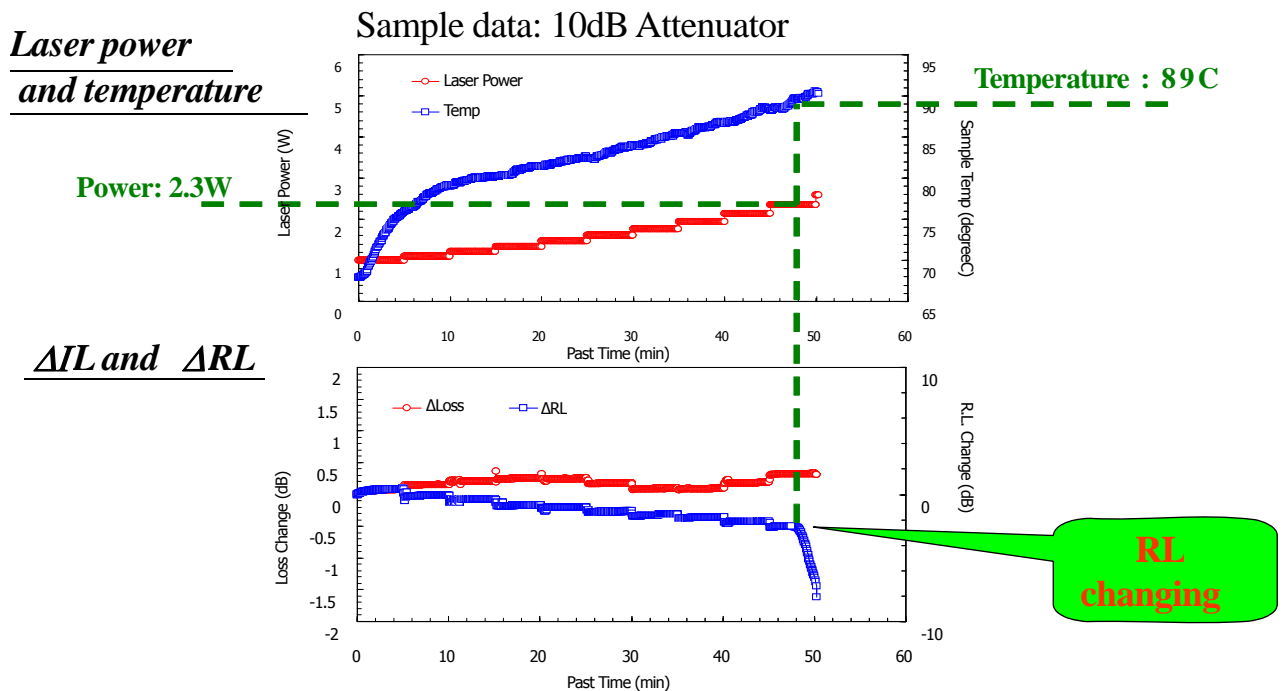


図 3 10dB 光減衰器のハイパワー評価結果 (グラフ)

試験前後で、評価サンプルの特性を測定した。測定結果を表 6 に示す。測定の結果、試験中に反射減衰量劣化のあった固定減衰器においても、特性の変動は、測定精度範囲内であった。

表 6 ハイパワー評価前後での特性変動量

		I.L.(@1.55)	RL(@1.31)	
Attenuator (10dB)	Before	Ave 10.11dB Max 10.38dB Min 9.90dB	Ave 53.0dB Max 53.9dB Min 51.9dB	
	After	Ave 10.13dB Max 10.30dB Min 10.00dB	Ave 54.5dB Max 55.1dB Min 54.2dB	
Attenuator (20dB)	Before	Ave 20.87dB Max 20.89dB Min 20.83dB	Ave 53.6dB Max 54.9dB Min 52.0dB	
	After	Ave 20.90dB Max 20.94dB Min 20.87dB	Ave 54.7dB Max 55.1dB Min 54.1dB	
Attenuator (30dB)	Before	Ave 29.5dB Max 29.6dB Min 29.3dB	Ave 49.5dB Max 50.3dB Min 48.6dB	
	After	Ave 29.9dB Max 30.0dB Min 29.8dB	Ave 50.3dB Max 50.5dB Min 50.1dB	
Splitter	Before	I.L.(@1.31) Ave 9.55dB Max 9.74dB Min 9.37dB	PDL(@1.31) Ave 0.04dB Max 0.13dB Min 0.02dB	R.L.(@1.31) >50dB
	After	Ave 9.53dB Max 9.78dB Min 9.34dB	Ave 0.07dB Max 0.11dB Min 0.03dB	>50dB
Isolator	Before	I.L.(@1.55) Ave 0.54dB Max 0.55dB Min 0.52dB	Isolation(@1.55) Ave 63.1dB Max 64.0dB Min 62.2dB	RL(@1.55) >60dB
	After	Ave 0.52dB Max 0.53dB Min 0.51dB	Ave 61.8dB Max 62.0dB Min 61.5dB	>60dB

評価後、劣化メカニズムを推定するため、評価中に反射減衰量不良となった光固定減衰器および、評価中の損失変動が 0.5dB と大きかった光スプリッタを分解調査することとした。光固定減衰器の反射減衰量不良は、フェルルル端面の光ファイバの引き込みが原因のひとつと推定されるため、ファイバ端面形状を測定した。光スプリッタでは、内部の光導波路とファイバアレイの接続部およびファイバアレイの接着剤の変質に注目して調査を行った。

光固定減衰器のファイバ端面測定結果を表 7 および図 4 に示す。

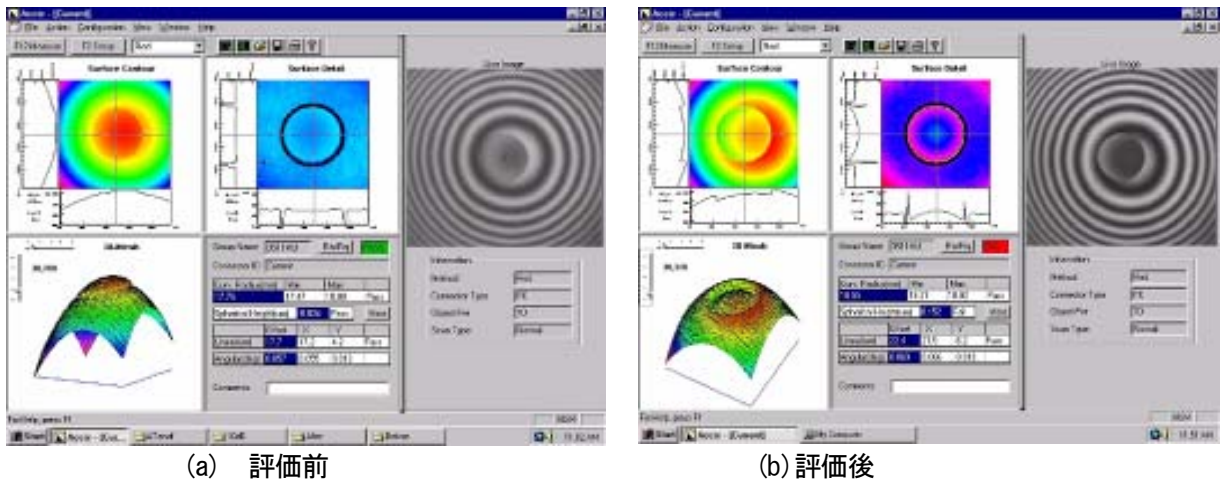


図4 ハイパワー評価前後の光固定減衰器（減衰量 30dB）の端面形状測定結果（一例）

表7 ハイパワー評価前後の光固定減衰器のファイバ突き出し量（単位μm）

試験前			試験後		
サンプル	オス側	メス側	サンプル	オス側	メス側
10dB-5	0.02	未測定	10dB-5	-0.10	-0.01
10dB-6	0.02	未測定	10dB-6	-0.13	-0.05
30dB-2	0.02	未測定	30dB-2	-0.15	-0.06
30dB-3	0.01	未測定	30dB-3	-0.13	-0.09

光ファイバ突き出し量は、3次元測定器により測定した。単心円形フェルルール光コネクタの光ファイバ突き出し量は、 $-0.05\mu\text{m}/+0.1\mu\text{m}$ が標準値である。ここで+側はフェルルールからの突き出しを、-側はフェルルールからの引き込みを示す。オス側メス側ともに、光ファイバが引き込んでいることが分かる。この引き込みが試験中の反射減衰量不良の原因となったと考えられる。試験後の測定では、マスタ光コネクタとの接続で損失及び反射減衰量を測定しているため、この程度の光ファイバ引き込みでは、反射減衰量不良が検出できなかったものと推定される。

図5に評価中に損失変動が0.5dBであった光スプリッタの内部写真を示す。分解調査の結果、接着剤の変質が無く、異常は発見できなかった。



図5 ハイパワー試験後の光スプリッタの内部

5. ハイパワー破壊限界評価 その2

光スプリッタおよび光アイソレータが 4.4W まで破壊しなかったことから、故障モード解析を目的として、逆方向からのハイパワー入射の評価を行うこととした。光アイソレータは、逆方向から、光スプリッタは分岐側（多心側）からハイパワー光を挿入した。実際、光アイソレータでは、逆方向からハイパワー光が入射される可能性がある。光ファイバアンプに使用する際、EDF の前段に配置している光アイソレータには、ASE（自然放出光）や励起光が逆方向から入射されることがある。光スプリッタでは、通常ハイパワー光を分配する用途で用いることが多いため、ここでは、故障モードを確認する目的で評価を実施した。

評価の結果、光スプリッタでは故障は起きず、光アイソレータでは、4 サンプルの内、1 サンプルのみが反射減衰量不良となった。結果を表 8 に示す。また、反射減衰量が劣化した光アイソレータの評価結果を図 6 に示す。

表 8 ハイパワー評価結果（逆方向入射）

	試験数量	試験中 損失変動	試験中 反射変動	試験前後 損失変動	試験前後 反射変動	到達温度	故障パワ-
光スプリッタ	3 台	<1dB	なし	<0.25dB	なし	158°C	-
光アイソレータ	2 台(タイプ A)	なし(※1)	>30 dB(※2)	<0.1dB	なし	174°C	5W
	2 台(タイプ B)	なし(※1)	なし	<0.1dB	なし	145°C	-

※1) 光アイソレータは、逆入射なのでアイソレーション。なお、実際はいずれの光アイソレータもアイソレーション変動は 30~40dB あったが、これは、温度上昇が原因と考えられる。

※2) 2 台中 1 台故障。

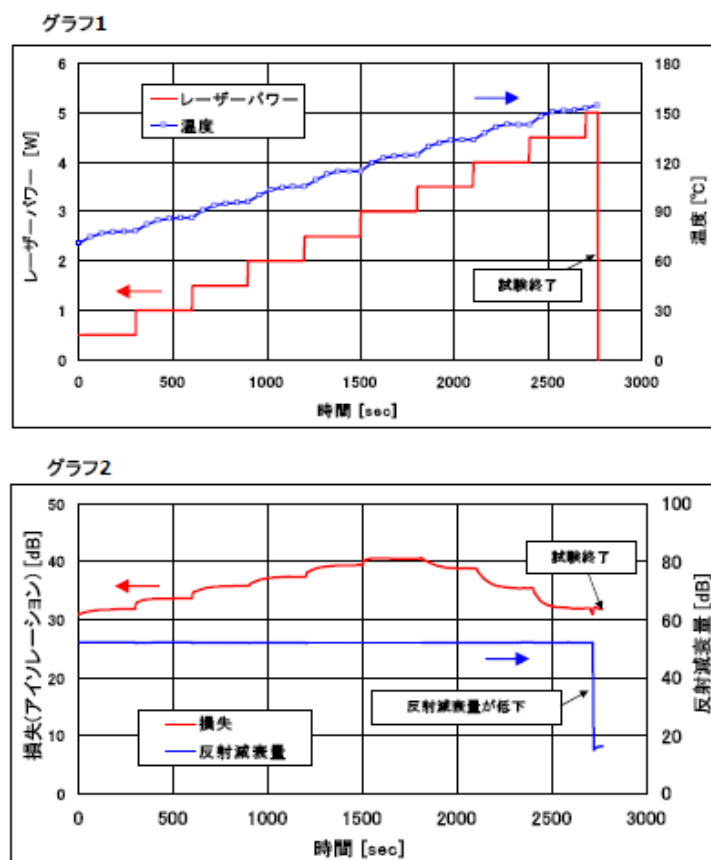


図 6 反射減衰量の劣化した光アイソレータのハイパワー評価結果

光アイソレータのアイソレーションが 30~40dB の間で変化しているが、これは、変質によるものでなく、ファラデー回転子の温度上昇が原因となったファラデー回転角の変動によるアイソレーション変動であると考えられる。ファラデー回転子の光の吸収率は通常 1%程度と言われている。また、ファラデー回転角の温度依存性は、0.07~0.1 度/°C程度と言われている。これにより数 10~100°C以上の温度上昇があったと見積もられる。

光アイソレータの反射減衰量不良品を分解調査した。その結果、フェルール内部のファイバ断線であることが分かった。図 7 に、フェルール部の反射点測定結果を示す。光アイソレータのフェルール内部のファイバ断線は、逆方向への 4.4W 光入力の際の温度上昇により発生したと推定される。この場合の光アイソレータの表面温度は 170°Cであり、フェルール部の温度は、後述する熱シミュレーションの結果から、400°C以上になると推定される。また、フェルール内部は、温度分布を持つことが考えられる。温度分布および膨張係数差による応力等により、光ファイバが断線したものと推定される。

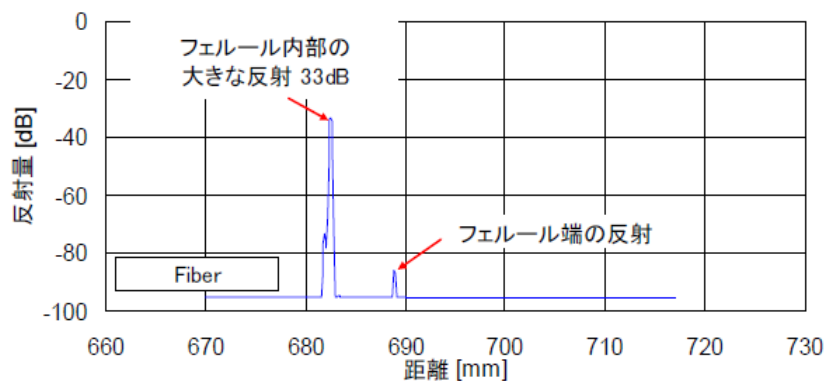


図 7 光アイソレータのフェルール部反射点測定結果
(逆方向入射時の反射減衰量異常品)

6. 光受動部品のハイパワー熱シミュレーション

光受動部品のハイパワー光による損傷は、光の吸収が熱に変わることによる変質であると考えられる。そこで、吸収されたハイパワー光が熱に変化するとして試験した光受動部品（光固定減衰器、光アイソレータ、光スプリッタ）の熱シミュレーションを実施した。シミュレーションでは、ハイパワー入射時の内部温度分布（最高温度）と温度上昇カーブをアウトプットとした。一例として図 8 に光固定減衰器の熱シミュレーションのモデルを示す。光固定減衰器は、内部に金属をドープした光ファイバがフェルールに收容されており、その金属ドープファイバが光を吸収し熱に変化する。ここでは、金属ドープファイバを長手方向に 10 分割し、それぞれが対数関数に従い熱を発するとしてシミュレーションを行った。外周部（ハウジング）は複数の樹脂部材で構成されているが、モデルを簡易化するため、材料を加重平均から、平均的な熱伝導率、比熱、密度を換算し、円筒形の形状とした。

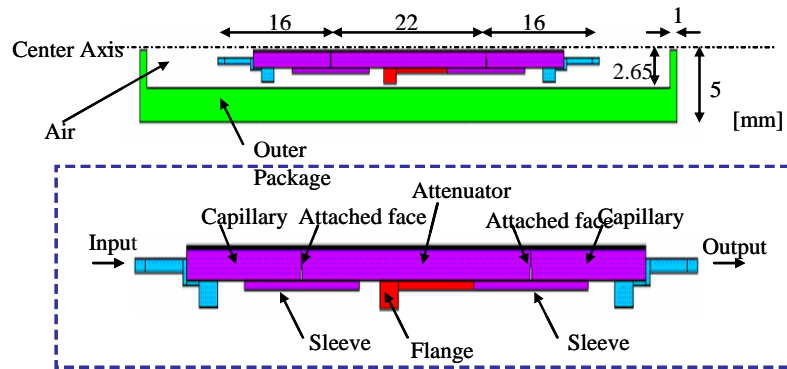


図8 光固定減衰器の熱シミュレーションのモデル

熱シミュレーション結果を図9, 図10に示す。

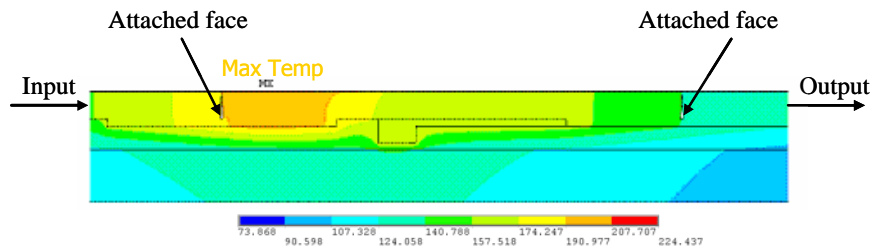


図9 光固定減衰器の熱シミュレーション結果 (温度分布)
(条件: 入射パワー1W, 温度安定化時)

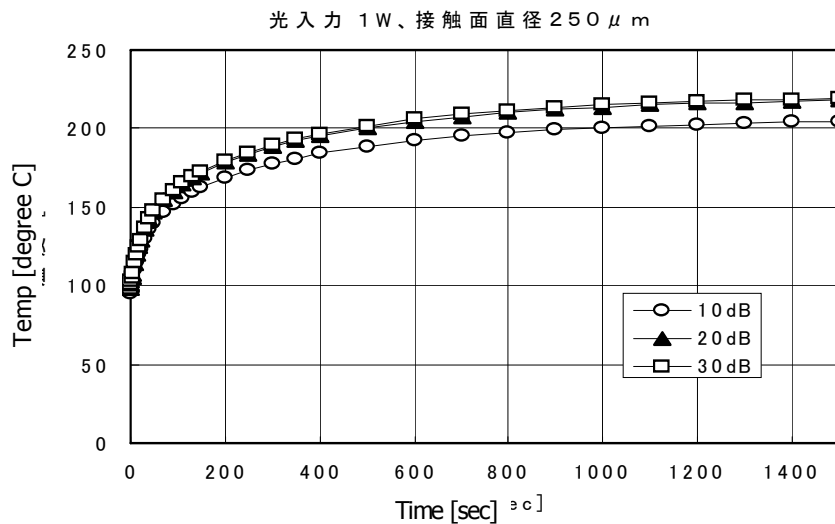


図10 光固定減衰器の熱シミュレーション (最高温度部の温度上昇カーブ)

図10は、入射側の光ファイバが接続する光コネクタプラグとの接触面を $\phi 250\mu\text{m}$ の場合を示す。シミュレーションは、 $\phi 125\mu\text{m}$, $250\mu\text{m}$ の両者で行った。光コネクタ接続時の接触面は、 $\phi 150\sim 300\mu\text{m}$ と考えられている。接触面積が大きいほど、熱伝導が大きく、温度上昇が小さいと考えられる。シミュレー

シミュレーションの結果、温度は減衰量に大きく依存しないことが分かった。これは、10dB 減衰量は90%の光パワーを、30dB 減衰量では99.9%の光パワーを吸収するため、両者の差（比）は、1割程度であるからだと推定できる。図11に、部位による温度上昇カーブの違いのシミュレーション結果を示す。

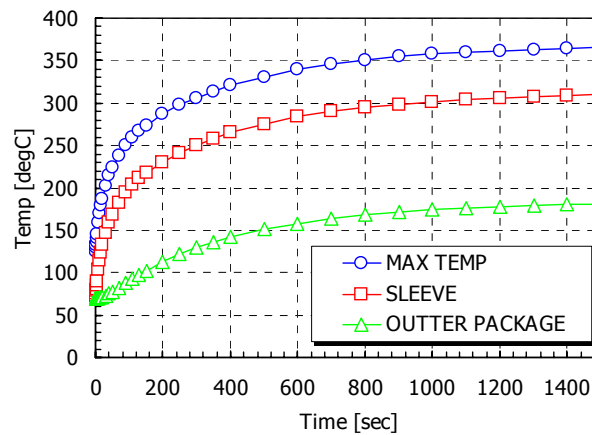


図11 光固定減衰器の熱シミュレーション結果（温度上昇カーブ）
（条件：入射パワー2W, 20dB 品, ファイバ接触面φ250 mm）

外周部の温度上昇は、内部の温度上昇よりも遅く飽和する傾向が見えた。これは、外周部は、外気へ熱が逃げるためであると考えられる。また、温度飽和時間は、1200秒（20分）程度で、実際の評価結果よりも若干長かった。

また、シミュレーションでは、外周部温度は、150°Cを超えている。一方、実験による結果では、最大でも90°C程度であった。これらの差は、シミュレーションのモデルを簡易化したこと、外周部の温度モニタの際の温度センサの熱容量が比較的大きいこと、光固定減衰器を置いたプラスチックトレイもヒートシンクになっていた可能性が大きいこと等が要因と考えられる。

光固定減衰器、光アイソレータ、光スプリッタの熱シミュレーション結果を図12、図13に示す。光アイソレータでは5W入射時に最高温度が120°C近く、外周部温度が110°Cであった。外周部温度が実際の評価結果と異なるのは、光固定減衰器の場合と同様な理由だと推定される。光アイソレータの逆方向入射のシミュレーション結果では、3W入射の場合でも、最高温度が400°C近くとなった。光ファイバは光固定減衰器と同様にフェルルールに接着剤で固定されている。実際の評価では、400°Cまで上昇していないと思われる。シミュレーション結果では、外周部温度と内部温度の差は小さいが、これはシミュレーションのモデルを考える際、金属部材同士が完全に熱的接触をしていると仮定したためである。この影響が出ているものと推定される。

光スプリッタのシミュレーションでは、5W入射時に最高温度が150°C（条件：損失1dB）となった。実験結果と異なるため、損失はさらに小さく、ほとんどの光パワーが光ファイバから外に抜けているものと推定される。

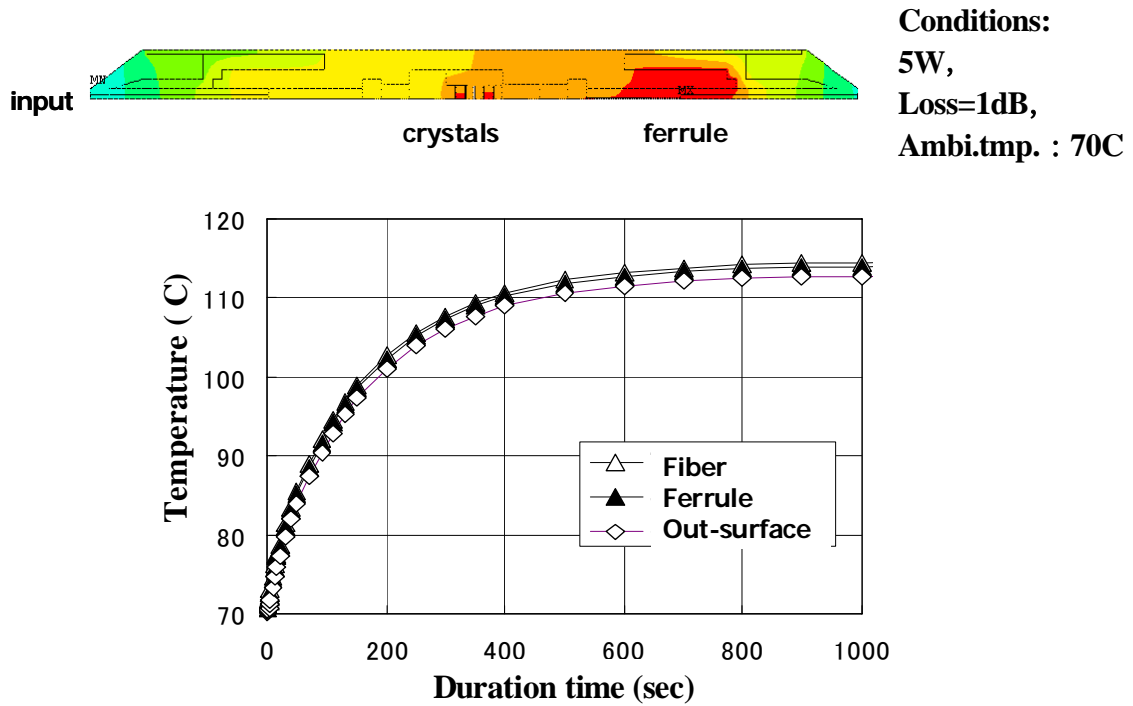


図 12 光アイソレータの熱シミュレーション結果

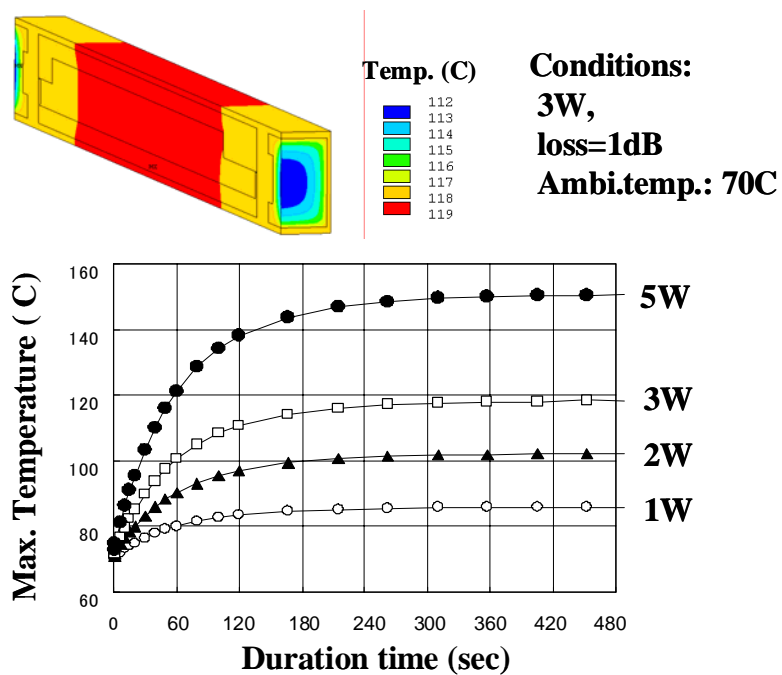


図 13 光スプリッタの熱シミュレーション結果

7. 光固定減衰器のハイパワー故障モードの推定

上述したように、光固定減衰器の内部温度（最高温度）は、シミュレーションでは 300℃を超えている。光固定減衰器は、金属ドーブファイバがジルコニアフェルルールに接着剤で固定されている。その接

着剤のガラス転移温度は 150℃程度であり、それを超えると接着剤が軟化すると考えられる。その接着剤の軟化と、ジルコニアフェルルールと金属ドープファイバの線膨張率の違いから光ファイバの引き込みが起り、それが反射減衰量不良の原因となったと推定される。実際に評価した際の内部温度を正確に測定することは難しいが、実験結果およびシミュレーション結果から、入射側（オス側）で 200～300℃、出射側（メス側）で 150～250℃であると推定される。

8. 光受動部品のハイパワー長期評価

ハイパワー破壊限界評価結果および熱シミュレーション結果を基に、信頼性を確認するため、500hr の長期評価を実施した。評価系は、ハイパワー破壊限界評価と同一とした。評価条件を以下の表 9 に示す。ここで、入射パワーは、破壊限界パワーの 60%を基準に設定した。光アイソレータ、光スプリッタは、破壊限界評価最大パワー5W の 60%とした。

表 9 光受動部品のハイパワー長期評価条件

評価対象 光受動部品	評価条件	モニタ特性
光固定減衰器 (プラグ形 SC, 10dB)	光源：1480nm ラマンレーザ 入射パワー：1W 環境温度：70℃ 評価時間：500hr	減衰量 (1480nm) 反射減衰量 (1480nm)
光アイソレータ (偏光無依存型) (非相反部 2 段構成)	光源：1550nm ファイバレーザ 入射パワー：3W 環境温度：70℃ 評価時間：500hr	損失 (1550nm) 反射減衰量 (1550nm)
光導波路スプリッタ (1 入力 8 出力)	光源：1550nm ファイバレーザ 入射パワー：3W 環境温度：70℃ 評価時間：500hr	損失 (1550nm) 反射減衰量 (1550nm)

図 14～図 16 に、光固定減衰器、光アイソレータ、光スプリッタの評価結果を示す。光固定減衰器のサンプル B にて、100hr 経過付近での温度の低下は、温度センサーの脱落によるものであり、その後、問題なく評価を継続した。評価の結果、いずれのサンプルにも、顕著な特性変動は見られなかった。

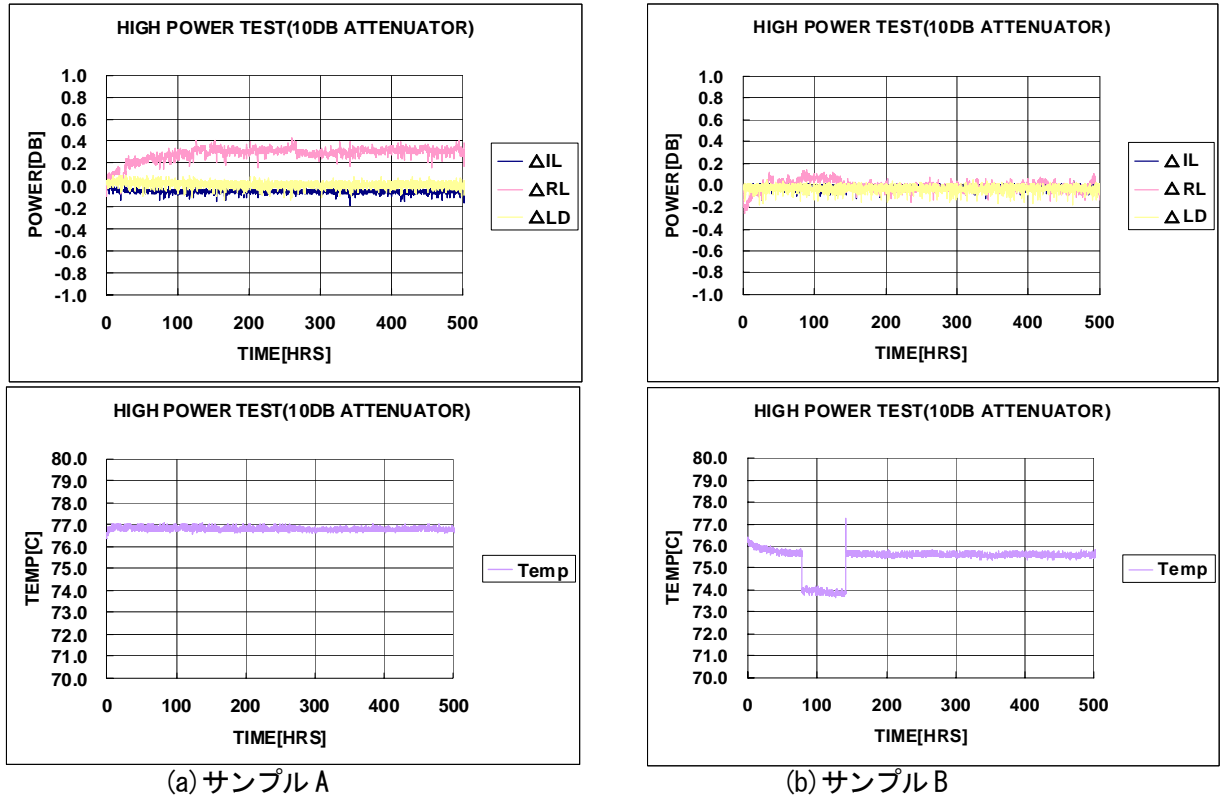


図 14 光固定減衰器のハイパワー長期評価結果

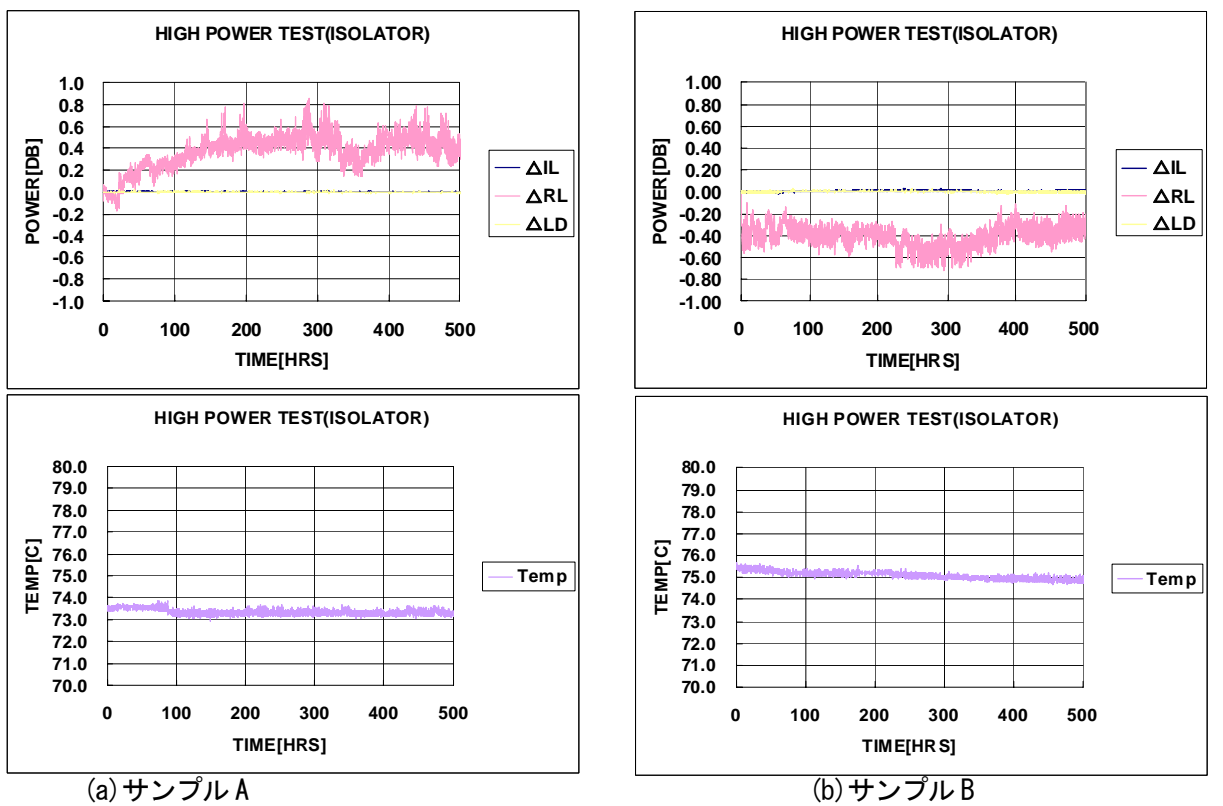


図 15 光アイソレータのハイパワー長期評価結果

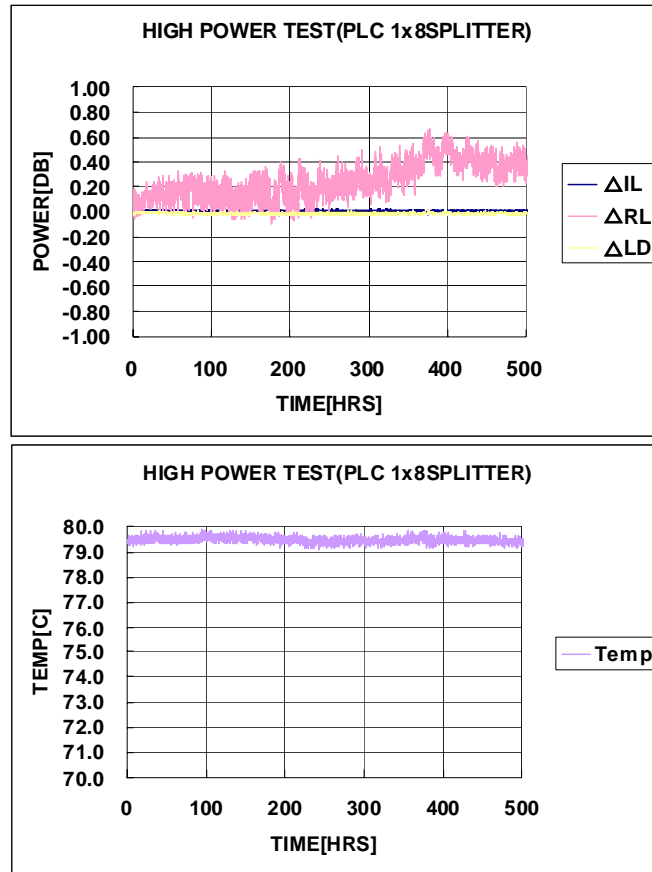


図 16 光スプリッタのハイパワー長期評価結果

500hr の評価前後にて、主要光学特性を測定した。その結果を、表 10～表 12 に示す。いずれのサンプルにも測定精度以上の変化は見られなかった。光固定減衰器では、破壊限界評価の際と同様に、評価前後にて光ファイバの突き出し量を測定した。測定の結果、光ファイバの突き出し量に、測定精度を超える変化が見られた。表 10 中の突出量が負の値は、引き込みを意味している。

表 10 光固定減衰器のハイパワー長期評価前後での特性測定結果

	試験前					試験後(1W, 500hrs @70°C)				
	挿入損失(dB)		反射減衰量(dB)		突出量 (um)	挿入損失(dB)		反射減衰量(dB)		突出量 (um)
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm		1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
サンプルA	10.02	9.98	51.8	51.1	0.034	10.1	10.03	51.8	51.1	-0.085
サンプルB	9.93	10.12	54.1	55.6	0.028	9.82	9.98	58.4	60.2	0.183

表 11 光アイソレータのハイパワー長期評価前後での特性測定結果

	試験前				
	挿入損失(dB)	PDL(dB)	アイソレーション(dB)	IN反射減衰量(dB)	OUT反射減衰量(dB)
サンプルA	0.35	0.02	55.4	68.4	65.9
サンプルB	0.38	0.06	64.1	60.6	65.7
	試験後(3W, 500hrs @70°C)				
	挿入損失(dB)	PDL(dB)	アイソレーション(dB)	IN反射減衰量(dB)	OUT反射減衰量(dB)
サンプルA	0.33	0.02	54.9	67.6	63.6
サンプルB	0.34	0.07	62.5	63.0	64.3

表 12 光スプリッタのハイパワー長期評価前後での特性測定結果
(損失, PDL, 反射減衰量)

IL data [DB]	Before		After	
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm
Port1	9.86	9.84	9.85	9.83
Port2	9.91	9.64	9.95	9.63
Port3	9.94	9.64	10.00	9.66
Port4	9.70	9.64	9.72	9.67
Port5	9.82	9.78	9.91	9.85
Port6	9.89	9.63	9.79	9.69
Port7	9.91	9.64	9.92	9.67
Port8	9.82	9.79	9.86	9.80

PDL data [DB]	Before		After	
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm
Port1	0.06	0.04	0.04	0.04
Port2	0.04	0.06	0.02	0.05
Port3	0.04	0.04	0.05	0.05
Port4	0.05	0.04	0.04	0.06
Port5	0.04	0.03	0.03	0.02
Port6	0.03	0.05	0.02	0.02
Port7	0.02	0.05	0.02	0.06
Port8	0.04	0.04	0.03	0.05

RL [DB]	Before		After	
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm
Port1	57.9	60.4	57.3	60.4
Port2	58.9	61.7	58.8	57.9
Port3	58.9	59.1	57.9	57.4
Port4	58.2	61.7	57.2	58.4
Port5	59.3	63.0	58.1	61.2
Port6	57.4	56.8	57.5	57.6
Port7	58.7	58.6	58.0	59.6
Port8	58.6	61.2	56.8	57.4
IN	51.5	55.6	51.3	54.3

9. 光固定減衰器の追加シミュレーション

光固定減衰器のハイパワー長期評価にて、光ファイバに突き出しが見られた。通信用光受動部品は、10年もしくはそれ以上、光が入射された状態で使用される。一方、今回の評価は、500hrであった。第7章に示すように、反射減衰量不良は、金属ドープ光ファイバをフェルールに固定する接着剤が高温により軟化し、それにより、光ファイバが突き出しまたは引き込んだと推定した。長期信頼性を考慮する際、金属ドープ光ファイバ部の温度が接着剤の軟化温度を上回らないことが重要である。接着剤の軟化温度は、100～150℃であり、内部温度がこれに近い温度に到達する条件を求めるため、より低パワー(100mW～1W)、低減衰量の条件で熱シミュレーションを行った。

シミュレーションの条件は、光入力パワー、減衰量、ハウジングの有無、環境温度とし、表 13 に示す 16 条件とした。シミュレーションのモデルは前回と同一とした。

表 13 光固定減衰器のシミュレーション条件

		損失 [dB]		
		1	5	10
光入力パワー [mW]	1000	①	②, ⑫	⑬, ⑯
	500	③	④, ⑭	⑤, ⑮
	200	⑥	⑦	⑧
	100	⑨	⑩	⑪

①～⑪：ハウジング有，環境温度 70℃

⑫～⑮：ハウジング無，環境温度 70℃

⑯：ハウジング無，環境温度 25℃

シミュレーションによる温度分布の一例を図 17 に示す。

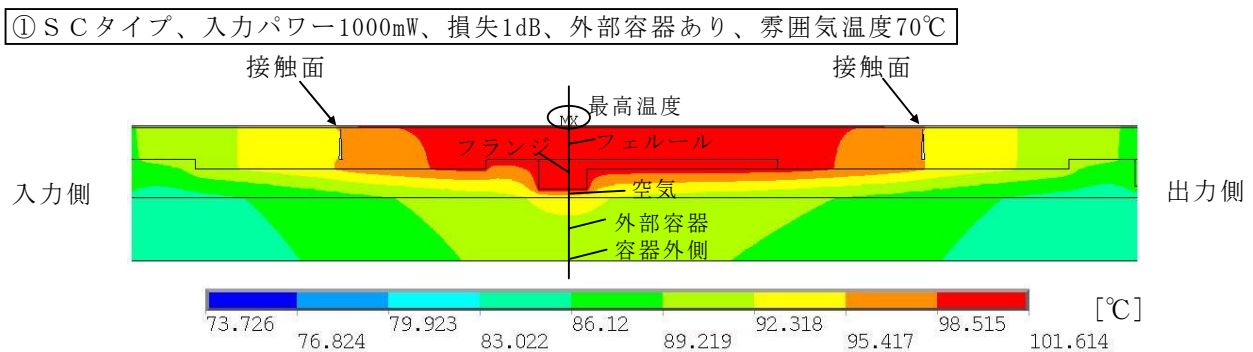


図 17 固定減衰器の熱シミュレーションによる温度分布

図 18 は、損失割合と最高温度の関係を示している。第 6 章に示すシミュレーション結果である 2W, 20dB, 30dB の減衰量の結果もプロットした。この結果、損失割合（熱の吸収率）対最高温度は、70℃切片の直線にほぼ近似できることが分かった。

図 19 に、光入射パワーと最高温度の関係を示す。こちらも、70℃切片の直線にほぼ近似できることが分かった。

また、図 20 に、環境温度依存性のグラフを示す。環境温度が 25℃, 70℃の場合を比較した。入力パワー1000mW, 減衰量 10dB では、環境温度 70℃での最高温度は 204.4℃, 温度上昇は 134.4℃となる。一方、環境温度 25℃での最高温度は 154.1℃, 温度上昇は 129.1℃となり、環境温度が低いほうが、温度上昇は小さい傾向となった。

長期信頼性を確保するための内部最高温度を 100℃と想定した場合、10dB 減衰量品では 200mW, 5dB 減衰量品では 300mW 程度が限界であると推定される。

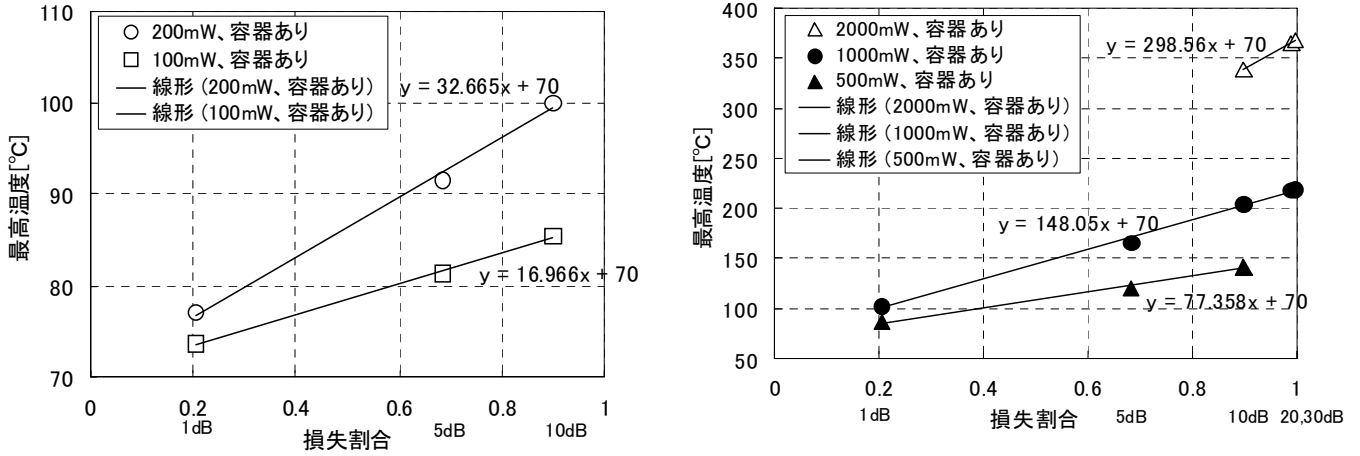


図 18 光固定減衰器の熱シミュレーションによる損失割合と最高温度の関係

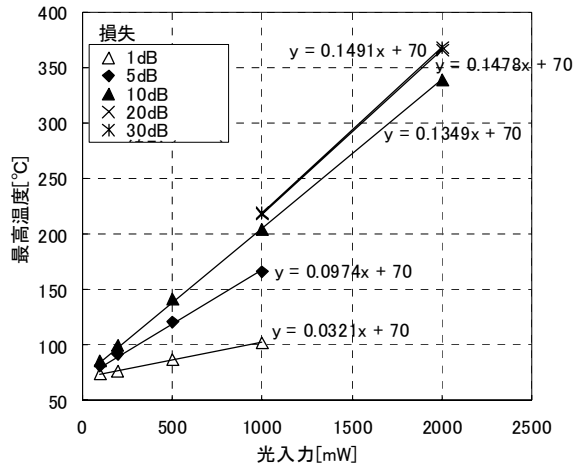


図 19 光固定減衰器の熱シミュレーションによる光入射パワーと最高温度の関係

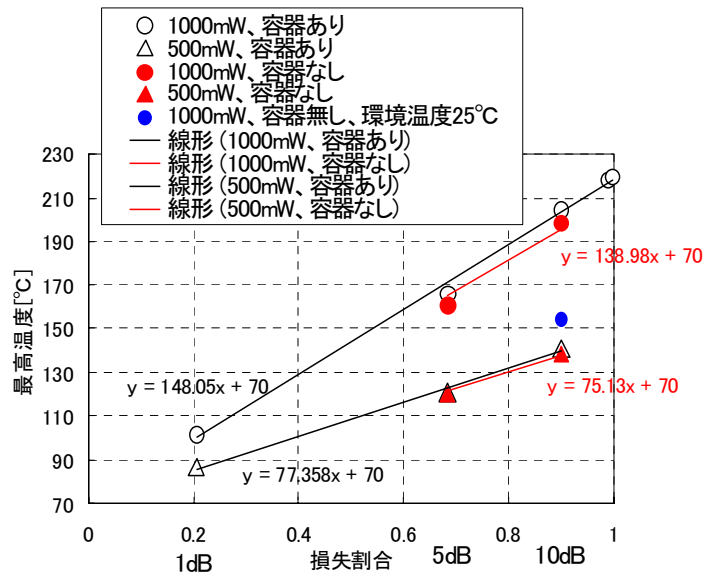


図 20 光固定減衰器の熱シミュレーションによる最高温度の環境温度依存性

10. まとめ

光受動部品に関するハイパワー評価を実施した。光受動部品のハイパワー破壊限界評価の他、500hrの長期評価を実施した。光固定減衰器（減衰量 10dB）は、1W、500hr で光ファイバの突き出しまたは引き込みが見られた。そこで、低パワー、低減衰量の条件で熱シミュレーションを実施した。その結果、内部の最高温度は、入射パワー、吸収率（減衰量）にほぼニアであることが分かった。長期信頼性を確保するための使用条件は、10dB 減衰量品では 200mW、5dB 減衰量品では 300mW 程度が限界であると推定された。

光アイソレータ、光スプリッタは、4.4W まで性能劣化が見られなかった。光アイソレータ、光スプリッタについて、逆方向からハイパワーを入射する評価を実施した。光アイソレータでは、反射減衰量不良が発生した。不良の原因はフェルルール内部のファイバ断線であり、熱シミュレーションの評価結果から、内部温度が 400°C程度まで上昇したことが原因と推定された。

光受動部品のハイパワーによる故障は、光の吸収による温度上昇と温度分布等による膨張係数差による応力が主要因であると推定される。

解説

近年、超長距離伝送への要求、光ファイバアンプの CATV への適用等を背景に、光伝送出力の増大が進んでいる。これら光通信システムの伝送媒体である光ファイバ、光コネクタおよび光受動部品には、ハイパワー光の洩れによる人体への損傷や、部品の熔融、損傷による火災の危険性も指摘されている。しかし、これら損傷等が発生するメカニズム、条件、要因等については明確な説明がされていない。また、光通信用部品の信頼性および長期評価に関する業界標準には、ハイパワー光による試験が規定されておらず、通信用光部品の各メーカーおよびユーザが独自に評価を行っているのが現状である。

一方、IEC では、TC86/SC86B（ファイバ通信/光受動部品）において、ハイパワー損傷しきい値試験（61300-2-14, 2005 年 10 月, 第 2 版）が発行され、ハイパワー信頼性基準（62005-10）の NP 文書が提案された。これらの背景を考慮し、光受動部品のハイパワーに関する評価を実施した。

この技術資料は、2005 年度から 2007 年度までの 3 年間、経済産業省基準認証研究開発事業「ブロードバンド FTTH 時代に向けた高品位光伝送システム用光部品・モジュールの安全性及び信頼性の標準化」に基づき、財団法人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および光受動部品標準化委員会において行われた光受動部品のハイパワーに関する評価結果をまとめたものである。なお、実際の光受動部品のハイパワー試験・評価に当っては、対象となる光受動部品製造企業の方々に協力をお願いした。

[取纏め・審議委員]（敬称略）

ハイパワー試験・評価関係者

株式会社精工技研	川村 卓也, 木村 昌行, 久保 大輔, 佐伯 一朗
昭和電線デバイステクノロジー株式会社	香月 史朗, 森下 祐一, 住本 勉
FDK 株式会社	佐藤 幸路, 加藤 隆司
日本電気(株)	渋谷 隆
古河電気工業株式会社	斎藤 景一郎, 渡辺 智浩, 奈良 一孝

TP 作成・検討メンバー(WG4)

日立電線(株)	上塚 尚登
FDK(株)	加藤 隆司
日本電気(株)	渋谷 隆
住友電気工業(株)	鈴木 隆介
古河電気工業(株)	奈良 一孝

TP 審議・承認 光受動部品標準化委員会

委員長	水本哲弥	東京工業大学
委員	金子明正	日本電信電話株式会社
	山本一人	財団法人日本規格協会（H18 年 3 月まで）
	吉武奉文	財団法人日本規格協会（H18 年 4 月から H18 年 12 月まで）
	黒岩七生	財団法人日本規格協会（H19 年 4 月から H20 年 3 月まで）
	佐藤文利	財団法人日本規格協会（H19 年 1 月から 3 月まで及び H20 年 4 月から）
	福田大治	独立行政法人産業技術総合研究所

増田岳夫 財団法人光産業技術振興協会
 西村公佐 株式会社KDD I 研究所 (H19年3月まで)
 吉兼 昇 株式会社KDD I 研究所 (H19年4月から H20年3月まで)
 小笹健仁 経済産業省商務情報政策局 (H20年4月から)
 安部健一 富士通株式会社
 岸本俊樹 住友金属鉱山株式会社 (H20年3月まで)
 佐々木浩子 オリンパス株式会社 (H20年3月まで)
 井上 亨 住友電気工業株式会社 (H17年6月から H19年3月まで)
 鈴木隆介 住友電気工業株式会社 (H19年4月から)
 速水一行 オムロン株式会社 (H18年3月まで)
 寺川裕佳里 オムロン株式会社 (H18年4月から H20年3月まで)
 奈良一孝 古河電気工業株式会社 (H17年10月から)
 佐々木康二 日本板硝子株式会社 (H18年3月まで)
 村田健治 日本板硝子株式会社 (H18年4月から H19年9月まで)
 伊藤 拓 日本板硝子株式会社 (H19年9月から)
 横山 純 santec 株式会社
 伊藤伸器 松下電器産業株式会社 (H19年3月まで)
 千葉貴史 日立電線株式会社 (H19年3月まで)
 上塚尚登 日立電線株式会社 (H19年4月から)
 太田垣文章 アンリツ株式会社
 木村栄司 株式会社アドバンテスト (H19年6月まで)
 加藤隆司 FDK株式会社 (H19年6月から)
 小林善宏 京セラ株式会社 (H20年3月まで)
 奥田通孝 京セラ株式会社 (H20年4月から)
 佐々木志織 横河電機株式会社 (H19年12月まで)
 野極誠二 横河電機株式会社 (H20年1月から)
 渋谷 隆 日本電気株式会社
 大内康弘 株式会社フジクラ (H18年3月まで)
 西脇賢治 株式会社フジクラ (H18年4月から H19年12月まで)
 佐久間 健 株式会社フジクラ (H20年1月から)
 オブザーバ 堀 昭夫 経済産業省産業技術環境局 (H19年6月まで)
 金枝上敦史 経済産業省産業技術環境局 (H19年7月から)
 事務局 野口幸男 財団法人光産業技術振興協会 (H19年9月まで)
 村田健治 財団法人光産業技術振興協会 (H19年9月から)
 平野隆之 財団法人光産業技術振興協会 (H19年3月まで)
 岡部正博 財団法人光産業技術振興協会 (H19年4月から H20年3月まで)
 神山泰三 財団法人光産業技術振興協会 (H20年4月から)

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の 光部品・モジュール安全信頼性国際標準提案委員会及び光受動部品標準化委員会 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) :
通信用光受動部品のハイパワー信頼性に関する調査
(英語題名 Technical paper of investigation of
high-power reliability for passive optical
components for optical communication application)

TP 番号 : OITDA-TP04/SP・PD-2008

第 1 版

公表日 : 2008 年 8 月 28 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:hyojun@oitda.or.jp (標準化室)