

石英系光ファイバを用いたフレキシブル 光配線板の配線設計ガイド

JPCA-PE02-01-09G-2005

本 J P C A 規格には、産業財産権の対象となるものが含まれている可能性があることに注意が必要である。
J P C A 規格の発行者は、このような産業財産権の一部又は全部を特定する責任を負うものではない。

光電子回路実装標準化推進委員会

(順不同・敬称略)

委員長	中野義昭	東京大学
幹事	高原秀行	日本電信電話(株)
書記	柴田明一	(株)日本プリント回路工業会
委員	有島功一	NTTエレクトロニクス(株)
"	茨木修	NTTアドバンステクノロジー(株)
"	大木明	日本電信電話(株)
"	海津勝美	三和電気工業(株)
"	熊井晃一	凸版印刷(株)
"	児玉博明	イビデン(株)
"	佐々木純一	日本電気(株)
"	塩田剛史	三井化学(株)
"	白坂有生	古河電気工業(株)
"	辻伸二	(株)日立製作所
"	中川進	ヒロセ電機(株)
"	東浦健一	アイカ工業(株)
"	布施憲一	協和電線(株)
"	舟田雅夫	富士ゼロックス(株)
オブザーバ	平野隆之	(財)光産業技術振興協会
事務局	栗原正英	(株)日本プリント回路工業会
"	小泉徹	(株)日本プリント回路工業会
"	小幡高史	(株)日本プリント回路工業会

ファイバー布線フレキシブル光配線板 S W G

(順不同・敬称略)

リーダー	有島功一	NTTエレクトロニクス(株)
委員	有家茂晴	日立化成工業(株)
"	井上修和	三菱電線工業(株)
"	島研介	(株)フジクラ
"	助川健	(株)巴川製紙所
"	土屋一郎	住友電気工業(株)

制定・改正：制定：平成17年5月

作成者：社団法人 日本プリント回路工業会（会長 安東 脩二）

この規格についてのご意見又はご質問は、(株)日本プリント回路工業会（〒167-0042 東京都杉並区西荻北3-12-2 回路会館2階）Tel 03-5310-2020, Fax 03-5310-2021, e-mail: std@jpca.orgへ連絡して下さい。

J P C A 規格

**石英系光ファイバを用いたフレキシブル
光配線板の配線設計ガイド**

JPCA-PE02-01-09G

Wiring Design Guidance for Flexible Optical
Fiber Board using Glass Fiber

1. 適用範囲 (Scope) 本規格は、光ファイバを用いたフレキシブル配線板の配線設計に関するガイドである。
本ガイドの目的は、フレキシブル配線板の配線設計に際して考慮すべき主な項目について、指針を明らかにすることである。
2. 引用規格 (Normative references)
 - ・ 一般事項 : IPC-0040 Optoelectronics Assembly and Packaging technology
 - ・ 石英光ファイバに関する規格 :
 - IEC 60793-2 Optical Fibers-Part 2: Product specifications – General
 - IEC 60793-1-44 Optical Fibers-Part 1-44:Measurements methods and test procedures
- Cut-off wavelength
 - JIS C 6820 光ファイバ通則
 - JIS C 6825 シングルモード光ファイバ構造パラメータ試験方法
 - JIS C 6832 石英系マルチモード光ファイバ素線
 - JIS C 6835 石英系シングルモード光ファイバ素線
 - ・ 光ファイバコネクタに関する規格 :
 - IEC 61300 Fiber Optics Interconnecting Devices and Passive Components-Basic Test and
Measurements Procedures
 - JIS C 5961 光ファイバコネクタ試験規格
 - JIS C 5962 光ファイバコネクタ通則
 - ・ 光ファイバ配線板に関する規格 :
 - JPCA-PE02S 光配線板通則
 - JPCA-PE02-01-01S 石英ファイバフレキシブル光配線板の詳細規格
 - JPCA-PE02-01-05S 石英ファイバフレキシブル光配線板の試験規格
 - ・ 光ファイバ測長法に関する規格 :
 - JIS C 6823 光ファイバ損失試験方法
3. 用語 (Terms and Definitions) 以下に規定する用語以外は、IPC-0040及びJPCA-PE02-01-01S、JPCA-PE02-01-05Sを参照する。
 - (1) フレキシブル光ファイバ配線板 フレキシブルなシート又は基板上に光ファイバを任意の配線パターンで配線・固定し、その上に保護層を設けたもの。
 - (2) 非配線領域 配線板本体部において基板と保護層を張り合わせるために使用するため、配線に使用しない領域。

- (3) 配線板本体部の大きさ 光ファイバ配線する領域と配線板を形成するために必要な非配線領域を合わせた面積をいう。
- (4) 小径配線 損失、機械的信頼性の観点より曲げ直径50～60mmで配線されるのが一般的であるが、これより曲げ直径を小さく配線すること。
- (5) クラッド細径光ファイバ 小径配線に適用するため、クラッド外径を通常の125ミクロンより細くした光ファイバ。
- (6) MAC数 モードフィールド直径をカットオフ波長で除した値。
- (7) カットオフ波長（光ファイバ心線） シングルモード光ファイバでひとつのモードのみを伝播できる最短の波長。より正確には、IEC 61931, JIS C 6820付属書2, ファイバカットオフとケーブルカットオフそれぞれの測定方法についてはIEC 60793-1-44, JIS C 6825に規定されている。
- (8) 配線張力 配線時に光ファイバに付加される張力。
- (9) 編み込み 光ファイバ同士が配線板の厚み方向に蛇行している配線状態。

以下の配線設計における用語については、図表を用いて定義する。

- (10) 光ファイバ結線表 配線板の設計にあたり、まず一対の光ファイバ端の結線を示す光ファイバ結線表を作成する。結線表により、光ファイバ交差、配線順序等の配線板設計の概略をつかむことができる。
図3.1.1及び表3.1.1は、8心の光ファイバが4組で完全にシャッフルしてクロスする配線パターンを例として示す。光ファイバのまとまりがある場合は、まとまり毎に名前（図3.1.1の例では、A,B,C,D）付けし、さらに光ファイバそれぞれに番号（図3.1.1の例では、1～8）を付与すると便利である。
- (11) 光ファイバ相対位置 光ファイバの断面方向の距離で規定し、光ファイバ中心を基準とする。
- (12) 光ファイバ引き出し位置 基板に光ファイバを配線する位置を規定するには、まず配線板本体部の端部から光ファイバが突き出している位置（光ファイバ引き出し位置）を決定する。
光ファイバ引き出し位置は通常相対位置で表示する。例えば、基準位置（図3.1.1の左下）から光ファイバまでの距離（図3.1.1の"a"）を用いて表示する。その後は、光ファイバ間隔（図3.1.1の"b"）、光ファイバのまとまり毎の間隔（図3.1.1の"c"）を用いて、相対表示する。
- (13) 光ファイバ間隔 光ファイバ間隔（d）は、通常光ファイバ中心間の距離によって表示する。従って、光ファイバ間と光ファイバ外径（D）の間で、 $d > D$ が成り立つように設計する必要がある。
同一平面上で平行な光ファイバの間隔（図3.1.1の"b"）は当然隣同士の光ファイバ外径和の1/2より大きいことが配線条件となるが、交差部や基板に対して厚み方向に積み上げるような立体的な配線においては、この条件は適用されない。
なお、光ファイバが周期的に配線される場合、この周期を光ファイバピッチとして定義する。
- (14) レグ部 光ファイバ配線板本体部から突き出したレグ部は通常直線であり、長さのみで規定される。レグ長はコネクタ実装や融着の作業性からの要請により決定されることが多い。

表3.1.1 8 X 4クロス光ファイバ配線板の結線表

D	8		8	D'
D	7		8	C'
D	6		8	B'
・	・		・	・
・	・		・	・
・	・		・	・
・	・		・	・
B	2		3	B'
B	1		3	A'
A	8		2	D'
・	・		・	・
・	・		・	・
A	3		1	C'
A	2		1	B'
A	1		1	A'

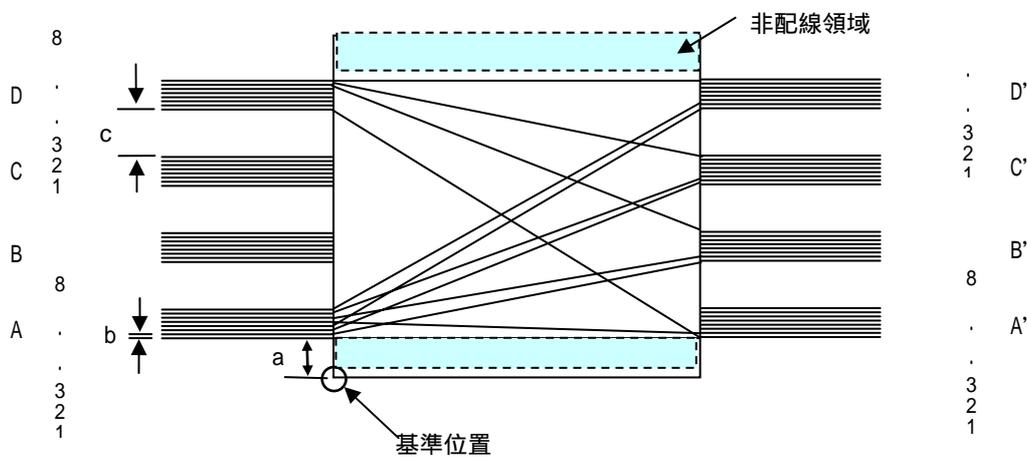


図3.1.1 8 X 4クロス光ファイバ配線板の例

4. 光配線板の設計 (Design Guidance for Flexible Optical Fiber Board) 光ファイバ配線板の配線設計手順を下記に示す。

- (1) まず、配線板に用いる光ファイバを選択する。選択に基準としては、導波モードによるシングルモード用又はマルチモード用ファイバ、曲げ半径によるクラッド外径等があげられる。詳細は、Appendix の“ A.1 使用するファイバの規格 ” に示す。
- (2) 次に、ファイバの結線表をもとに、配線板本体部の大きさ、ファイバの引き出し位置、レグ部のファイバのまとまり等を考慮して、図 3.1.1 に例示したように対応するファイバ引き出し位置を直線で結線し、結線図を作成する。この結線図により、配線パターン交差のおおよその状態を把握することができる。
- (3) さらに、下記に示す配線のパターン要素（直線部、曲線部、交差部）における要求条件をもとに、直線と曲線を用いて、光ファイバ配線板を詳細設計する。

直線部と曲線部を連続的に接続するため、両端の直線部の位置と曲率半径を規定して、両端の直線に接する接円を決定する。また、交差部におけるファイバの重なりがなるべく少なくなるように配線位置を決める。

- (a) 直線部 石英系光ファイバを用いる場合は直線部での損失はほとんど考慮する必要はないため、設計上光損失の

観点からは直線部の長さ制限はない。ただし、配線板の周辺部において、配線板内部から光ファイバ取り出し部までの直線長はレグ部の形状を維持するため、所定の直線部の長さが必要である。

- (b) 曲線部 曲線部は通常円弧で設計し、曲率半径、中心角によって規定される。

曲率半径は伝搬損失に大きく影響するため、設計の重要なパラメータとなる。曲率半径と伝播損失の計算法は、Appendixの“A.2 光ファイバの曲率と光損失の関係”に示す。

また、機械的強度にも大きく影響し、配線板全体の機械的信頼性（故障率）を算出する重要なパラメータでもある。曲率半径と故障率の関係については、Appendixの“A.3 光ファイバの曲率と機械的信頼性の関係”を参照されたい。

- (c) 交差部 交差部の設計パラメータとしては、配線パターン、交差部の長さ、配線順序がある。

交差部の配線パターンは、表3.1.1に示されるような光ファイバ結線及び光ファイバ間隔、交差部の長さにより決定される。また、配線順序は光ファイバが配線板の厚み方向に交差する“編み込み”を避けるために重要である。

交差部、編みこみに関する詳細は、Appendixの“A.4 交差部”に示す。

- (4) 最後に詳細設計された配線板を実装形態への適用性、配線長、損失、故障率等を検討し、最終的に決定する。

フレキシブル性を生かして配線板本体部を湾曲させる実装の場合は、ファイバ曲率を緩和することも可能である。ただし、湾曲部に交差部があると損失が増加する場合があるため、なるべく湾曲部に交差部がないようにする。詳細はAppendixの“A.5 配線板本体を湾曲して使用する場合”に示す。

また、ファイバ配線長を所定の長さに統一する等長化が要請される場合は、配線パターンのファイバ長を計算し、必要に応じてファイバ長を調整する。詳細はAppendix“A.6 光ファイバ長の設計”に示す。

配線板全体の損失を検討するには、同一配線板における曲線部損失の総和を求めて評価する。また、故障率の検討が必要な場合、AppendixのA.3項に示した計算を用いて、各パターン要素ごとの故障率を計算し、その積から算出する。

なお、フレキシブル光ファイバ配線板において、光ファイバとフレキシブルな基板との線膨張係数は2ケタ近く異なるが、フレキシブル基板全体の弾性係数が小さいため、熱応力、曲げ応力に対する影響が小さく、配線板設計において、通常はこれらを考慮する必要がない。ただし、特殊な環境、使用法については、考慮する必要が生じる場合があり、光ファイバ、フレキシブルな基板の線膨張係数、弾性係数等の物性値から設計することを推奨する。

Appendix(附属書)

A.1 使用する光ファイバの規格

A.1.1 SM光ファイバ SM光ファイバの国際規格はIEC60793-2-50(2004)に下記の5種類の規格が定められている。

B1.1 (標準SM光ファイバ)

B1.2 (1.5 μ m帯カットオフシフトSM光ファイバ)

B1.3 (低OH吸収損失SM光ファイバ)

B2 (分散シフトSM光ファイバ)

B4 (ノンゼロ分散シフトSM光ファイバ)

SM光ファイバは特に指定が無い場合、B1.1光ファイバ又はその互換光ファイバを用いる。光ファイバ曲げ直径を60mm未満にする必要がある場合は、曲げによる光ファイバ強度・曲げ損失の影響を検討して、表A.1.1の小径曲げ対応ファイバ例1のようにB1.1規格外の光ファイバを選定する。この場合は、接続損失が許容される範囲内であることを確認した上で選定する。表A.1.2は小径曲げ対応ファイバ例1の接続特性である。

また、配線密度を上げたり、小径曲げによる機械的信頼性を上げる目的でクラッド細径光ファイバを用いることがある。クラッド細径SM光ファイバは標準化されていないが、クラッド直径80 μ m、被覆径160-165 μ mが使われることが多い。この場合、許容曲げ直径及び接続特性に加え、コネクタを用いる場合は対応するフェルールが用意されているかを確認の上用いる。

表A.1.1 光ファイバ配線板に用いられるシングルモード光ファイバ

	単位	IEC60793-2-50 (2004)B1.1規格	標準SMF	小径曲げ対応 ファイバ例1	小径曲げ対応フ ァイバ例2
クラッド直径	μ m	125 \pm 1	125 \pm 0.5	125 \pm 0.5	125 \pm 0.5
被覆径(無着色)	μ m	245 \pm 10	245 \pm 10	245 \pm 10	245 \pm 10
被覆径(着色)	μ m	250 \pm 15	250 \pm 15	250 \pm 15	250 \pm 15
伝送損失(1310nm)	dB/km	0.40	0.40	0.40	0.50
伝送損失(1550nm)	dB/km	0.30	0.30	0.25	0.30
MFD中心(1310nm)	μ m	8.6-9.5	9.2	8.6	6.3
MFD許容幅	μ m	\pm 0.7	\pm 0.4	\pm 0.4	\pm 0.4
ケーブルカットオフ	nm	1260	1260	1260	1260
マクロバンド損失 (1625nm)	dB	0.5 100ターン 60	IEC規格準拠	IEC規格準拠	
マクロバンド損失 (1550nm)	dB			0.5 10ターン 30	0.5 100ターン 15
許容曲げ直径	mm		60	30	15

表A.1.2 小径曲げ対応SMF接続損失測定例

	対標準SMF	対同種光ファイバ
融着	Ave. 0.29dB Max. 0.39dB	Ave. 0.02dB Max. 0.06dB
SCコネクタ	Ave. 0.72dB Max. 0.93dB	Ave. 0.16dB Max. 0.45dB

A.1.2 MM光ファイバ MM光ファイバの国際規格はIEC60793-2-10(2002)に下記の3種類の規格が定められている。

A1a (コア径50 μm, クラッド径125 μm)

A1b (コア径62.5 μm, クラッド径125 μm)

A1d (コア径100 μm, クラッド径140 μm)

光ファイバ曲げ直径を60mm未満にする必要がある場合は、曲げによる光ファイバ強度・曲げ損失の影響を検討して、60mm未満の許容曲げ直径が規定されている光ファイバを選択する。また、使用波長及び伝送帯域については、IEC60793-2-10のAnnex D及びAnnex Eに有益な記述があり、これを参照して選定する。表A.1.3は市販されている許容曲げ直径規定光ファイバの例である。

接続は原則としてA1a規格同士、A1b規格同士の光ファイバを用いる。また配線密度を上げたり、小径曲げによる残留応力低減の目的でクラッド細径光ファイバを用いることがある。クラッド細径MM光ファイバは標準化されていないが、クラッド直径80 μm、被覆径160-165 μmが使われることが多い。この場合、コアは接続する光ファイバと同一規格の光ファイバを選定し、許容曲げ径に加え治工具類、コネクタを用いる場合は対応するフェルールが用意されているかを確認の上用いることを推奨する。

表A.1.3 光ファイバ配線板に用いられるマルチモード光ファイバ

	単位	IEC60793-2-10 (2002)A1a規格	IEC60793-2-10 (2002)A1b規格	小径曲げ対応 ファイバ例1	小径曲げ対応 ファイバ例2
クラッド直径	μm	125 ± 2	125 ± 2	125 ± 2	125 ± 2
被覆径 (無着色)	μm	245 ± 10	245 ± 10	245 ± 10	245 ± 10
被覆径 (着色)	μm	250 ± 15	250 ± 15	250 ± 15	250 ± 15
コア直径	μm	50 ± 3	62.5 ± 3	50 ± 3	50 ± 3
最大伝送損失 (850nm)	dB/km	2.4-3.5	2.8-3.5	3.0	2.5
最大伝送損失 (1300nm)	dB/km	0.7-1.5	0.7-1.5	1.0	0.8
最低伝送帯域 (850nm)	MHz · km	200-800	100-800	OFL: 500	OFL: 1500
最低伝送帯域 (1300nm)	MHz · km	200-1200	200-1000	OFL: 600	OFL: 500
開口数(NA)		0.20 ± 0.02 or 0.23 ± 0.02	0.275 ± 0.015	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.02
マクロバンド損失 (850nm,1300nm)	dB			0.5 10ターン 30	0.5 10ターン 30
許容曲げ直径	mm			30	30

A.2 光ファイバ曲率と曲げ損失の関係 (シングルモード光ファイバの例)

光ファイバを小さな径に曲げると光損失を生じる。従って、光ファイバ配線板を設計する際にはこの光ファイバの曲げ損失を考慮しなくてはならない。

階段型屈折率プロファイルを有するシングルモード光ファイバの一樣曲げによる損失の理論式はあるが、実用上簡便ではない。ここでは、実用性を考慮した曲げ径における既知の曲げ損失から、実際の曲げ損失を推定する簡易式を示す。

理論式を近似すると、

$$\alpha_B(D_B) = \alpha_B(20) \times 10^{k(D_B-20)} \quad [\text{dB/m}]$$

ただし、 $k = -0.233 + 0.0614 \times \log[\alpha_B(20)]$ [mm⁻¹]
 となる。ここで、 α_B は単位長さあたりの曲げ損失[dB/m]、 D_B
 は曲げ直径[mm]を表わしており、 $\alpha_B(20)$ は曲げ直径20mmに
 おける曲げ損失である。これらの式から、曲げ直径が20mmの
 時の損失を基に様々な曲げ直径における損失を推測することが
 できる。

曲げ直径20mmにおける損失 $\alpha_B(20)$ は実測値を用いるのが
 望ましいが、図A.2.1の数値を用いて推測することもできる。

図A.2.1は光ファイバの波長1.30 μm におけるMAC数と、波長
 1.30 μm 及び1.55 μm における曲げ損失（曲げ直径 = 20mm）
 の関係を示したものである。ここでMAC数とは、使用波長にお
 ける光ファイバのモードフィールド直径を光ファイバのカット
 オフ波長（光ファイバカットオフ）で除した値、すなわち、

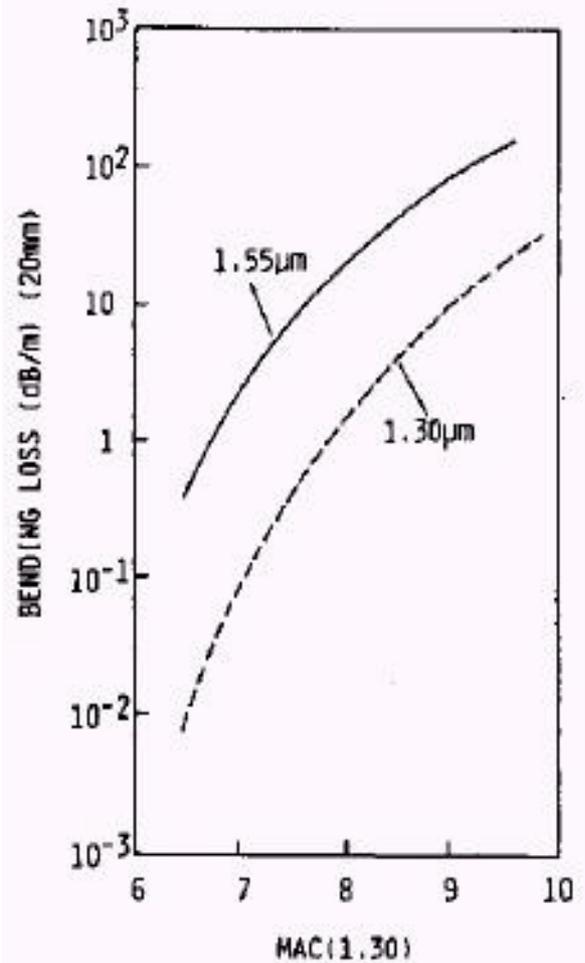
$$MAC = MFD(\lambda) / \lambda_c$$

である。

以上の方法により、様々な曲げ径における光ファイバの曲げ
 損失を推定できるが、安全のため、得られた値の2倍程度の損失
 を見込んで光ファイバ曲率の設計をすることが望ましい。

A.3 光ファイバ曲率と機械的信頼性の関係 光ファイバ配線
 板に配線される光ファイバは直線形状だけではなく、曲線部や
 交差部を含む場合が多い。これらの部位では光ファイバはあ
 る曲率をもって配線されることとなる。光ファイバの曲率は
 光損失以外に機械的信頼性の点でも重要であり、光ファイバに残留する配線張力と併せて評価する必要がある。機械的
 信頼性は一般的に故障率、すなわちFit数で表現され、1(Fit) = 10⁻⁹ (h⁻¹) (1時間あたり、10⁹個に1個の故障) によって
 定義されている。光ファイバ張力が加わった1 kmの光ファイバ心線における、使用時間 t(s)後の破断率 は次式で導
 出できる。

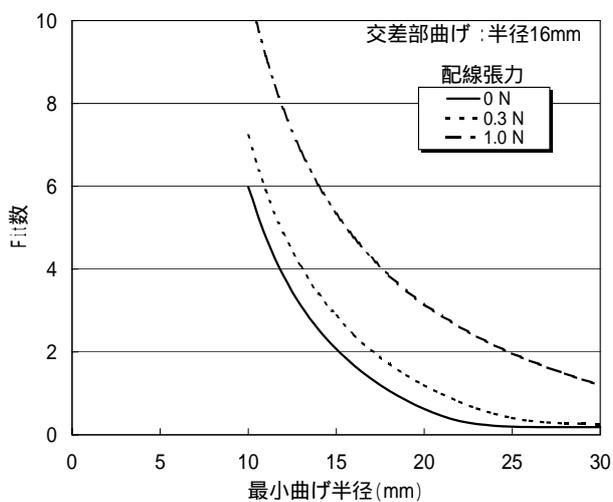
$$\lambda = 1 - \exp \left[Np \cdot \left\{ 1 - \left(1 + \frac{Bp/E^2}{(B/E^2)^\beta} \cdot \frac{(\epsilon_a^n \cdot t)^\beta}{(\epsilon_p^{np} \cdot t_p)} \right)^\alpha \right\} \right] \quad (\text{回/km})$$



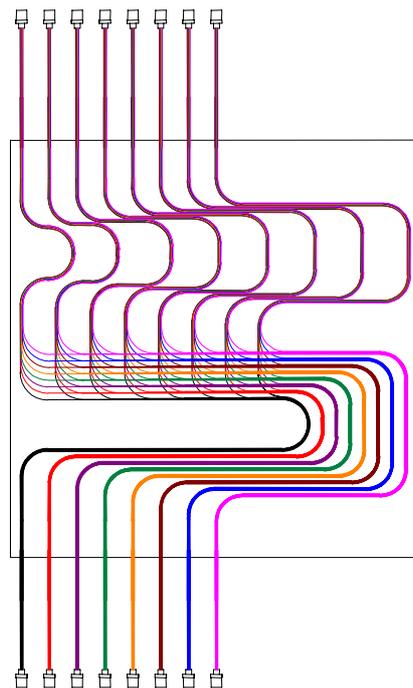
図A.2.1 MAC数と曲げ損失の関係

表A.3.1 計算に用いた光ファイバパラメータ

記号	内容	数値
n_p	スクリーニング環境での光ファイバの疲労係数	24
n	使用環境での光ファイバの疲労係数	19.5
p	スクリーニング試験時の光ファイバへの印加応力	1.00%
a	使用環境での光ファイバへの印加応力	0.125/曲げ直径 × 100 %
t_p	光ファイバへ印加応力 p が付加される時間	1sec
t	光ファイバへ印加応力 a が付加される時間 (設計保証時間)	20年
N_p	スクリーニング試験時の単位長さ当たりの破断回数	0.01回/km
m	光ファイバの形状係数	2.42
$\frac{(B_p/E^2)}{(B/E^2)}$	環境によって決定される定数	10^3
	$m/(n_p-2)$	-
	$(n_p-2)/(n-2)$	-
	使用環境での光ファイバの単位長さ当たりの破断率	-



図A.3.1 故障率評価用配線パターン



図A.3.2 故障率の最小曲げ半径依存性

計算に必要となるパラメータを表A.3.1に示す。光ファイバのパラメータは代表値である。

例として図A.3.1に示す形状の光ファイバ配線板(直線部総長25600mm, 曲線部総長16780mm, 交差部総長1288mm)において, 残留応力と曲率をパラメータに故障率をシミュレーション計算した結果を図A.3.2に示す。ここで残留応力とは, ファイバを配線したときにファイバに残る配線応力である。実測結果によれば, 張力が高い場合でも平均

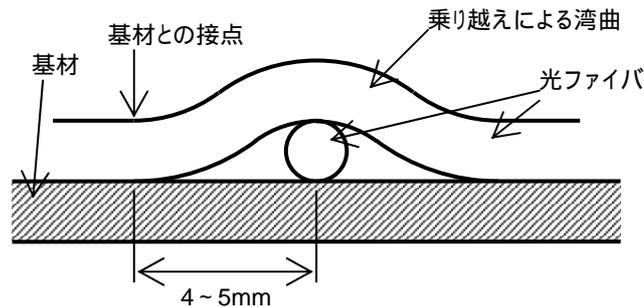
0.30N，通常は0.15N程度である。

図より，使用時間20年間での故障率0.05%以下を設計目標としたときのFIT数 = 2.5を上限とすると，光ファイバの曲げにより発生する曲げ応力残留応力0Nの時には14mm，0.3Nの時16mm，1Nの時22mm以上となるが，配線時の光ファイバ張力に注意すればIECに規定される通常の光ファイバでも16mm程度以上の曲率半径にて十分な機械的信頼性が確保されることがわかる。

これ以下の曲げ半径が必要な場合は小径曲げ対応光ファイバを使用することを推奨する。

A.4 光ファイバ交差部 光ファイバ配線板において，一方の光ファイバが他方の光ファイバを乗り越える光ファイバ交差部が生じる場合がある。この場合，交差部で乗り越える光ファイバは，座屈の発生による損失増加や破断を引き起こす要因となる。そのために，以下のことに配慮して，配線する必要がある。

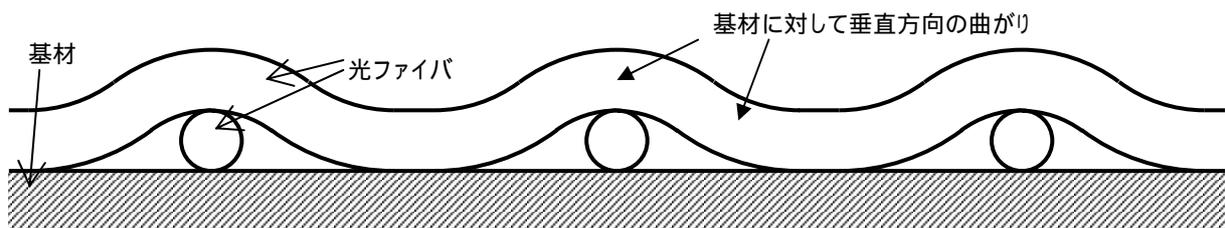
- (1) 同一箇所での光ファイバの交差本数は，光ファイバの破断や損失を抑制するために，二本以下にすることが好ましく，かつ，なるべく交差数を少なくするように設計することが好ましい。
- (2) 光ファイバは，基本的に直線と円弧を用いて配線されるが，交差部においては，直線で配線することが好ましい。
- (3) 光ファイバを平面上で直線配線により乗り越える場合，基本的に緩やかな曲線を描いて配線するように設計することが好ましい。なお，0.25mm外径の光ファイバを用いた場合，交差部における光ファイバの交差点と基材との接点との距離は4～5mm程度で曲げ半径16～20mm程度の円弧形状の乗り越えが可能である。(図A.4.1)



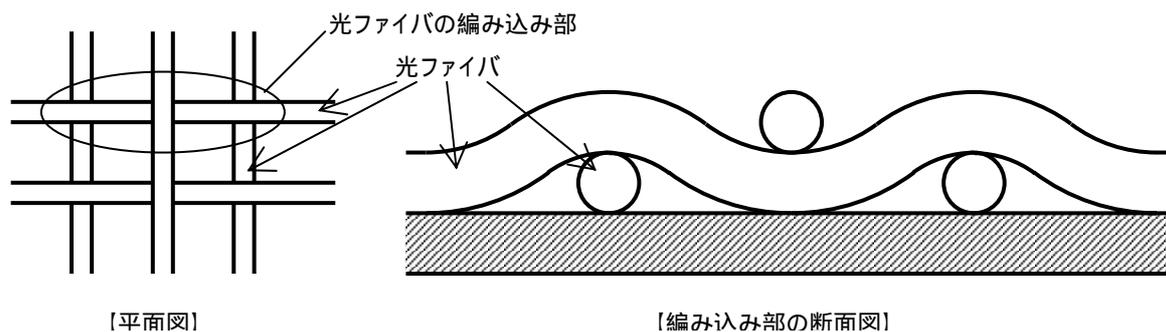
図A.4.1 光ファイバ交差部

- (4) 光ファイバが繰り返し交差をする場合は，その交差における基材に対して垂直方向の曲率半径が著しく小さくならないように設計することが好ましい。(図A.4.2)

更に，光ファイバが上下に蛇行し，伝播損失が生じやすい“編み込み”(図A.4.3)を造らないようにすることが好ましい。この編み込みは，交差部前後での光ファイバ配線位置と配線順序を工夫することにより，避けることができる。



図A.4.2 光ファイバの繰り返し交差部



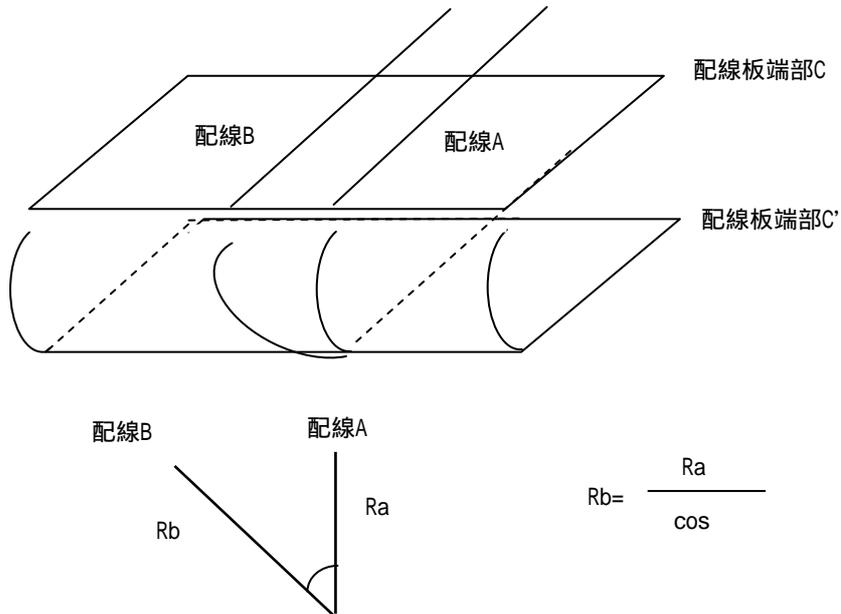
図A.4.3 光ファイバの編み込み部

- (5) 光ファイバ配線板のフレキシブル性を考慮すると、光ファイバの交差密度はなるべく高密度にならないように設計することが好ましい。

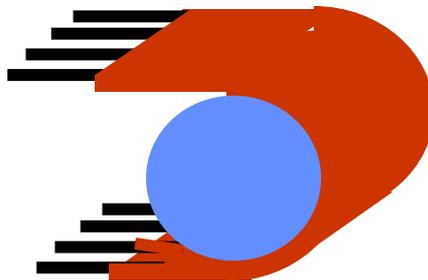
光ファイバの交差部における配線設計に関しては、上記のことを考慮しながら、光ファイバの取り出し位置、配線位置、配線順序や光ファイバ配線板の基材サイズについての検討を行なう必要がある。

A.5 配線板本体を湾曲して使用する場合 配線板本体を湾曲させて使用する場合、以下の二つの要素を考慮する必要がある。

- (1) 光ファイバの曲率 配線板平面上の光ファイバ曲線部と設計指針は同じであり、曲率半径、曲線部の長さを考慮した設計が必要となる。ただし、3次元性を利用することにより、実質的に曲率半径を大きくすることができる。例えば、図A.5.1に示すように、湾曲した配線板の配線板端部CからC'まで配線する場合、配線Bの曲率半径は配線Aのそれに比べ $1 / \cos$ だけ大きくなる。
- (2) 光ファイバ交差部の光ファイバ同士の側圧 一般的なフレキシブルな基板と保護層で挟まれた構造の光ファイバ配線板では、配線板本体の湾曲により光ファイバは基板と保護層の両側から応力を受け、光ファイバ交差部で過剰な損失を生じる。図A.5.2,表A.5.1は配線板を湾曲させた場合の交差部と直線部での過剰損失の違いを示している。交差部では過剰損失が生じても直線部では過剰損失がほとんど生じないことが分かる。従って、配線設計においては、曲げが生じる個所になるべく交差部を設けないことが必要となる。



図A.5.1 湾曲した配線板での配線方法と光ファイバ曲率半径



図A.5.2 配線板本体部の曲げ試験

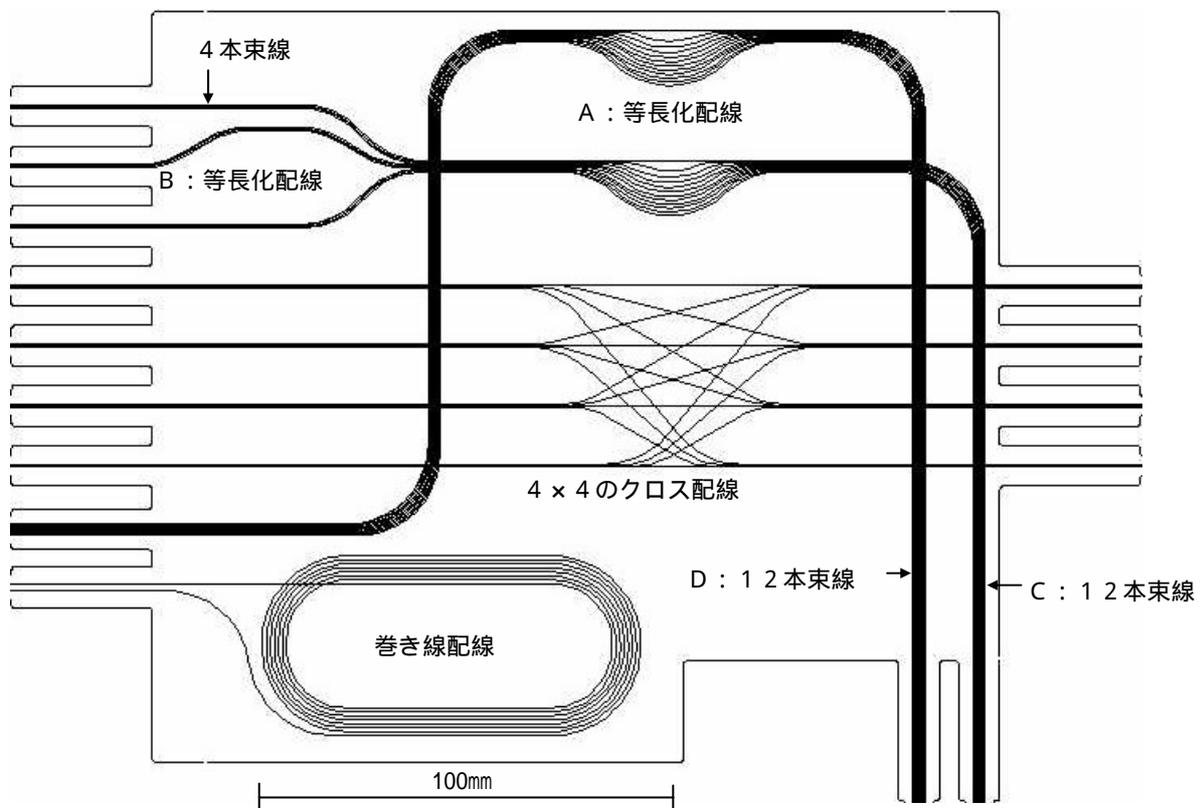
表A.5.1 配線板本体部の曲げ試験結果

パターン	配線板本体の曲げ半径	過剰損失(dB)
交差あり	27mm	1.07
	44mm	0.71
交差なし	27mm	~ 0.01
	44mm	~ 0.01

A.6 光ファイバ長の設計 光配線板の光ファイバの長さは、配線板本体内部の配線長さとレグ部の配線長さの合計である。

CAD (Computer Aided Design system) で配線設計するため、配線板本体部の設計上の光ファイバ長はソフトウェアで容易に配線長さを算出できる。ただし、実際に配線される光ファイバの長さは、光ファイバ布線機の性能や配線の三次元性による誤差を有しているため、必ずしもCADでの計算値とは一致しない。従って、光ファイバ配線長に高い精度が求められる場合には注意が必要である。

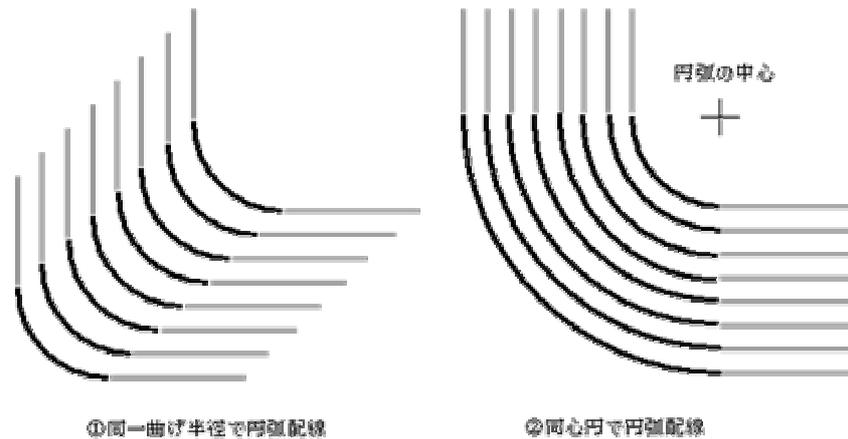
配線パターンの例を図A.6.1に示す。一般的に光ファイバの配線は交差部を極力避ける配線設計が好ましい。また、並列で複数本の光ファイバを同じ入出力部分に接続させるには、図A.6.1に示した様に、束線の配線が経路を把握しやすく、光コネクタを付ける場合は、その作業性も向上する。この時、円弧形状の部分の内側と外側では配線長に差が生じる。



等長化配線 A - 12本光ファイバの円弧1箇所分の配線長差（内側と外側）を解消するために差分に依じて円弧で構成するパターンを挿入する。

等長化配線 B - 中央部の4心束線はレグ部から直進すれば他の4心束線より曲線部部分より短くなる。この配線長差を解消するため、中央部の4心束線に円弧を挿入し、他の4心束線と等長化する。

図A.6.1 光ファイバ配線の設計例



図A.6.2 円弧部の配線方法

この配線長差は、図A.6.1のAに示す様な等長化パターンや、Bに示すような分岐を挿入することで同一束線に属する全ての配線の長さを一定に制御することができる。

ここで、円弧部の配線設計ルールは大きく分けると図A.6.2に示すような 円弧部分の曲げ半径を一定にする方法と、円弧部分の曲げ中心を同一（同心円）にする方法がある。 の方法は、円弧部が同じであるため、伝送時間が一定であり、ピコ秒以下の光ファイバ間の遅延時間を問題とする場合は重要である。 の方法の具体例を図A.6.1の左下の巻き線配線に示す。いずれの方法でも、円弧部での配線長差を算出して、その差分の配線を個々の配線に直線と曲線パターンを組み合わせて追加すれば良い。

配線長を実測した例を挙げると、図A.6.1に示した光配線パターンを、数値制御布線機を用いて基板上に配線した後、Cの12本束線（配線長：550mm）を光ファイバボードから引き剥がして12本全ての物理長を測定した結果、配線長の差は1mm以内であった。

上記の例で分かるように、光ファイバの長さ精度が $\pm 1\text{mm}$ を超える（指定された伝送時間に対して $\pm 5\text{ps}$ を超える）もので支障のない場合は、特に考慮する必要はない。しかし、これより高い精度を求める場合には、配線設計の段階から配線長に誤差が生じにくいパターンを選定することが望ましい。

本書に関して、ご意見、ご要望等がありましたら、本用紙にご記入の上、工業会事務局（Fax 03-5310-2021，e-mail：std@jpca.org）までご送付下さい。次回改訂の際に参考とさせていただきます。

会社名		氏名	
		役職	
住所	〒 ☎		

————— 禁 無 断 転 載 —————

J P C A 規 格
石 英 系 光 フ ァ イ バ を 用 い た フ レ キ シ ブ ル
光 配 線 板 の 配 線 設 計 ガ イ ダ ン ス

平 成 17 年 5 月 26 日 第 1 版 第 1 刷 発 行

編 集 兼 長 嶋 紀 孝
発 行 人

発 行 所

社 団 法 人 日 本 プ リ ン ト 回 路 工 業 会

〒 167-0042 東 京 都 杉 並 区 西 荻 北 3-12-2
回 路 会 館 2 階

Tel 03 - 5310 - 2020

Fax 03 - 5310 - 2021

<http://www.jpca.org/>

JPCA