

低曲げ損失シングルモード型 空孔アシスト光ファイバ

樽 稔 樹*・永 島 拓 志・桑 原 一 也
 佐々木 隆・長 尾 美 昭・寺 沢 良 明
 斎 藤 和 人・鈴 木 良 信・新 井 学
 渡 辺 裕 次・高 柳 寛・遠 藤 智

Low Bending Loss Single-Mode Hole-Assisted Fiber — by Toshiki Taru, Takuji Nagashima, Kazuya Kuwahara, Takashi Sasaki, Yoshiaki Nagao, Yoshiaki Terasawa, Kazuhito Saito, Yoshinobu Suzuki, Manabu Arai, Yuji Watanabe, Hiroshi Takayanagi and Satoshi Endo — As the optical access network expands, there is an increasing demand for optical fiber cables that improve Fiber-to-the-Home (FTTH) network installation and maintenance efficiency. To meet this demand, bend insensitive fibers (BIFs) have been developed. Among BIFs, hole-assisted fiber (HAF) shows excellent bending loss characteristics by the strong light confinement effect of air-holes surrounding the center core. Recently, single-mode HAF (SM-HAF) has been demonstrated to show low bending loss characteristics and other properties compatible with conventional single mode fiber (SMF). In this paper, we describe the characteristics of the SM-HAF. We have fabricated the SM-HAF and confirmed that the SM-HAF satisfied low bending loss requirements of ITU-T G.657.A2&B3 and other properties of G.652 simultaneously. We have also demonstrated fusion splicing of the SM-HAF and developed the optical fiber connector. To realize high reliability, the air holes of SM-HAF have been sealed by fusion splicing to conventional SMF at the end face and the splice point has been put inside the ferrule. Finally, we have fabricated the SM-HAF cord and cable and confirmed the excellent bend insensitive characteristics.

Keywords: single mode fiber, bend insensitive fiber, hole-assisted fiber

1. 緒 言

光ブロードバンドサービスの急増に伴い、光配線設備の急増、高密度化が進んでおり、敷設・配線作業や保守・運用性の向上が望まれている。特に配線密度の高い用途では光ファイバケーブルの取り扱い性を向上するため、低曲げ損失の要求があり、近年では曲げ半径5mmまでを許容する光ファイバが国際規格ITU-T G.657.B3において勧告化されている。

この低曲げ損失特性を実現するため、様々なタイプの光ファイバが開発されている^{(1)~(5)}。中でもHAF (Hole Assisted Fiber) は光ファイバのコア周辺に複数の空孔を設けることで、光の閉じ込め効果を飛躍的に高め、曲げ損失を大幅に低減できる。最近の研究では、空孔の位置やサイズを適切に設計製造することで、G.657.B3を満足する低曲げ損失特性と汎用シングルモード光ファイバ (SMF) の規格であるITU-T G.652に準拠した伝送特性を両立できることが報告されており⁽⁶⁾、この優れた特性を利用してHAFの適用領域拡大が期待されている。

本論では、従来の汎用光ファイバとの互換性能を有しつつ、低曲げ損失特性を実現するシングルモード (SM) 型HAFおよびそのコネクタ付け技術、また、応用例として

SM-HAFを利用したコード集合型光ファイバケーブルについて報告する。

2. SM-HAFの構造と特性

2-1 空孔構造と光学特性の関係 SM-HAFの断面構造を写真1に示す。中心コアを取り囲むように10個の空孔が配置され、この形状がファイバの光軸方向に連続的に繋がっている。

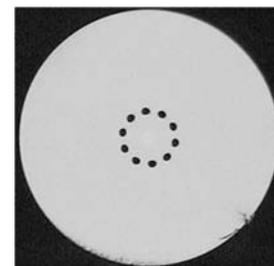


写真1 ファイバ断面構造

空孔は周囲のガラスとの屈折率が大きく異なるため、その僅かな断面構造の差によって光学特性も大きく変化する。HAFの場合、空孔のサイズを大きくすることでコアへの基底モードの光閉じ込め効果を強化し低曲げ損失化を図れるが、同時に高次モードの閉じ込めも強くなりカットオフ波長の長波長化をもたらす。そこで基底モードと高次モードの曲げ損失をバランスさせるため、最適な空孔サイズを選択する必要がある。また、ITU-T G.652に勧告されている分散特性に準拠するためには、空孔と中心コアの距離の最適化が必要である。これらの関係を図1に模式的に示す。HAFに求められる性能を実現するためには、上記制約に加えて中心コア径や比屈折率差も考慮した上で、空孔構造を最適化する必要がある^{(6),(7)}。

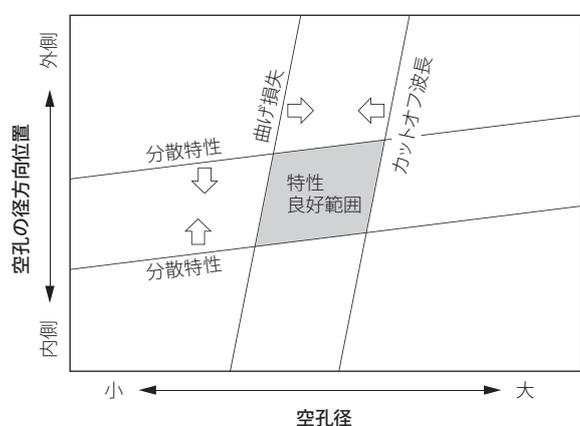


図1 空孔構造と光学特性の関係

同時に、空孔構造を目標範囲内に正確に制御する製造技術が必要となるため、サブミクロンオーダーの精度で空孔構造を制御する製造技術を開発した。

2-2 SM-HAFの特性 実際に製造したSM-HAFの特性について、国際規格との対比を表1に示す。低曲げ損失シングルモード光ファイバの国際規格であるITU-T G.657は、曲げ半径15 (R15) mmまで規定されたA1、R7.5mmまで規定されたA2およびB2、R5mmまで規定されたB3、と複数のサブカテゴリに分かれている。SM-HAFはこれら全カテゴリに適合する低曲げ損失特性を実現しつつ、分散特性など、G.652と互換性を有する伝送特性

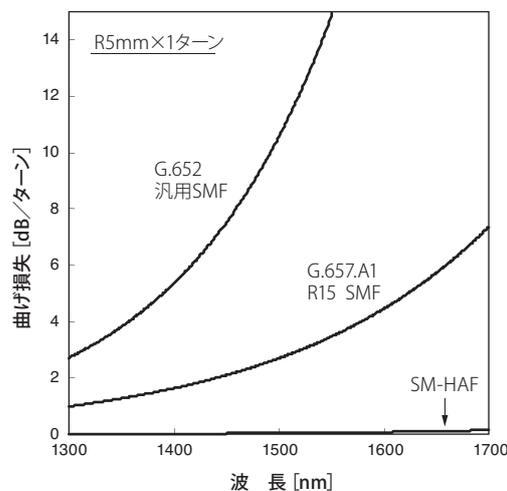


図2 半径5mm曲げにおける各光ファイバの曲げ損失の波長依存性

表1 ITU-T勧告とSM-HAFの特性

			ITU-T勧告 (抜粋)			SM-HAF 開発品
			G.652 汎用SMF	G.657 低曲げ損失SMF		
				A2	B3	
曲げ損失	R30	1625nm	$\leq 0.1\text{dB}/100\text{ターン}$	—	○	
	R15	1550nm	—	$\leq 0.03\text{dB}/10\text{ターン}$	—	○
		1625nm	—	$\leq 0.1\text{dB}/10\text{ターン}$	—	○
	R10	1550nm	—	$\leq 0.1\text{dB}/\text{ターン}$	$\leq 0.03\text{dB}/\text{ターン}$	○
		1625nm	—	$\leq 0.2\text{dB}/\text{ターン}$	$\leq 0.1\text{dB}/\text{ターン}$	○
	R7.5	1550nm	—	$\leq 0.5\text{dB}/\text{ターン}$	$\leq 0.08\text{dB}/\text{ターン}$	○
		1625nm	—	$\leq 1.0\text{dB}/\text{ターン}$	$\leq 0.25\text{dB}/\text{ターン}$	○
	R5	1550nm	—	—	$\leq 0.15\text{dB}/\text{ターン}$	○
1625nm		—	—	$\leq 0.45\text{dB}/\text{ターン}$	○	
モードフィールド径 (1310nm)			8.6-9.5 μm	8.6-9.5 μm	6.3-9.5 μm	○
コア偏心			$\leq 0.6\mu\text{m}$	$\leq 0.5\mu\text{m}$	$\leq 0.5\mu\text{m}$	○
カットオフ波長			$\leq 1260\text{nm}$	$\leq 1260\text{nm}$	$\leq 1260\text{nm}$	○
伝送損失 (1550nm)			$\leq 0.3\text{dB}/\text{km}$	$\leq 0.3\text{dB}/\text{km}$	$\leq 0.3\text{dB}/\text{km}$	○
ゼロ分散波長			1300-1324nm	1300-1324nm	—	○
ゼロ分散スロープ			$\leq 0.092\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$	$\leq 0.092\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$	—	○

を持つことを確認した。

低曲げ損失特性の一例としてR5mmでの曲げ損失の波長依存性について、G.652準拠の汎用SMF、FTTHアクセス用ファイバとして広く用いられているG.657.A1準拠SMFとの比較を図2に示す。SM-HAFは全波長帯において、狙い通りの低曲げ損失特性を実現できていることがわかる。

3. SM-HAFの接続技術

3-1 SM-HAF用光コネクタ HAF端面には空孔が存在するため、空孔を開放した状態では異物が侵入し、場合によっては損失増加等の特性劣化を招くことが懸念される。これを防ぐには端面を開放した後にその空孔を封止する技術が有効である。具体的な方法として、樹脂充填封止、溶融封止、中実ファイバ接続封止などが挙げられる。今回、図3に示したSM-HAF端面に汎用SMFを融着接続し、フェルール内にHAFとの接続部を収納するコネクタを検討した。

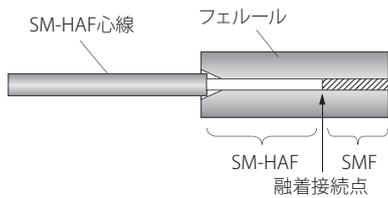


図3 SM-HAF用光コネクタのフェルール構造

3-2 融着接続損失 SM-HAFとSMFの融着接続において、接続部を観察したところ、写真2に示すように端面の空孔は融着時の加熱で一部変形を伴うことがわかる。HAFの空孔構造とモードフィールド径(MFD)特性の関係⁽⁸⁾によれば、空孔が中心コアから一定距離以上離れている構造では空孔構造がMFDに与える影響は十分小さい。

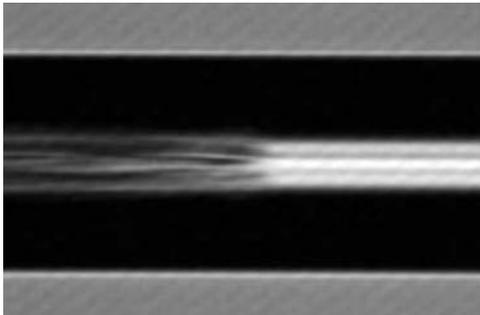


写真2 融着接続部近傍の側方写真

前述の通り、SM-HAF構造ではG.652分散特性適合のため、空孔は中心コアから一定量離れた構造をとっており、融着時の空孔変形に起因するMFD不整合はほぼ無視できると考えられる。実際に融着接続試験(N=100)を行った結果を図4に示す。平均接続損失は波長1310nmで0.06dB、波長1550nmで0.08dBであり、実用上問題のないことを確認した。

また、HAF導入後の断線事故など不測の事態では、HAF同士を融着する必要性も考えられる。図5にHAF同士の融着接続の評価結果を示す。図4と比較して遜色ない結果を得ている。

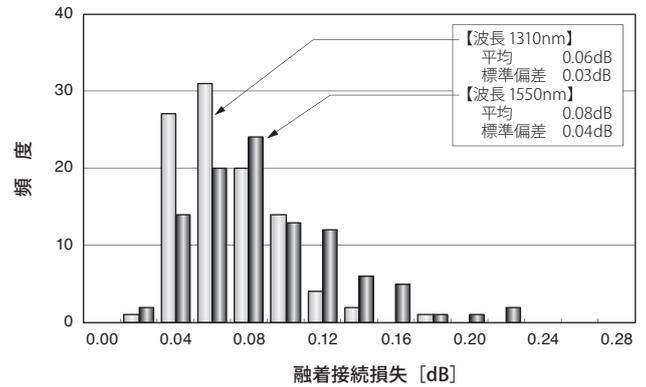


図4 SMFとSM-HAFの融着接続損失ヒストグラム

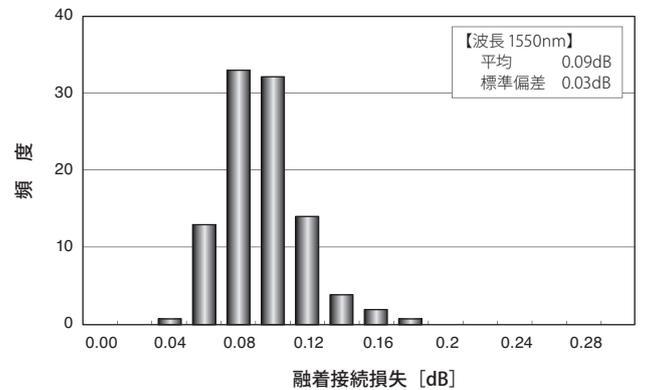


図5 SM-HAF同士の融着接続損失ヒストグラム

3-3 コネクタ挿入損失 上記方法によってファイバの両端に封止部を有するコネクタを有するHAFパッチコードの挿入損失(対マスター接続)のヒストグラムを図6に示す。こちらも波長1310nmで0.13dB、波長1550nmで0.17dBと実用上問題のないレベルである。

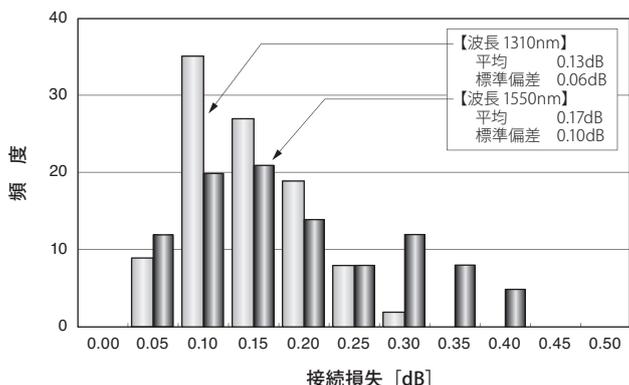


図6 SM-HAFパッチコードの挿入損失ヒストグラム

4. SM-HAF ケーブル

SM-HAFを用いて図7に示す光ファイバコードおよびコード集合型光ファイバケーブルを開発した。この光ファイバケーブルについて、光学特性、機械特性、温度特性の評価を行った。全ての特性について、従来の汎用光ファイバを用いたケーブルと同様の特性を有しつつ、G.657.A2およびB3の低曲げ損失特性を実現できることを確認した。SM-HAFの適用により光ケーブルの取り扱い性は大幅に向上しており、開発の狙い通り、伝送品質を維持した上、光配線設備の保守・運用性の向上が見込まれる。

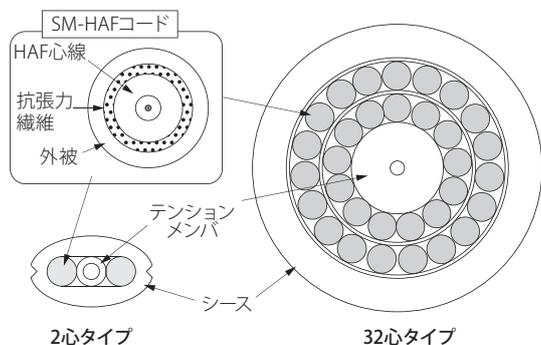


図7 SM-HAFケーブル断面構造

5. 結 言

SM型HAFとその接続技術、光ケーブルへの適用例について報告した。HAF特有の空孔構造を適切に設計製造することにより、ITU-T G.657.A2およびB3に適合する低曲げ損失特性を示しつつ、G.652同等の伝送特性を実現できることを確認した。またSM-HAF 端部に汎用光ファイバを融着しコネクタに内蔵する技術により、空孔端面の信頼性

に対する懸念を解消し、汎用ファイバ同様の接続性を実現した。SM-HAFを用いた光ケーブルは、従来との互換運用性を維持しながら、その低曲げ損失性能により大幅な取り扱い性向上を実現している。今後の展開として、SM-HAF技術の適用領域拡大が期待される。

参 考 文 献

- (1) K. Himeno, S. Matsuo, N. Guan, and A. Wada, "Low-Bending-Loss Single-mode fibers for fiber-to-the-Home", "IEEE J. Lightw. Technol., vol.23, no.11, pp.3494-3499 (Nov. 2005)
- (2) M. J. Li, P. Tandon, D. C. Bookbinder, S. R. Binckham, M. A. McDermott, R. B. Desorcie, D. A. Nolan, J. J. Johnson, K. A. Lewis, and J. J. Englebert, "Ultra-low bending loss single-mode fiber for FTTH", IEEE J. Lightw. Technol., vol.27, no.3, pp.376-382 (Feb. 2009)
- (3) J. M. Fini, P. I. Borel, M. F. Yan, S. Ramachandran, A. D. Yablon, P. W. Wisk, D. Trevor, D. J. DiGiovanni, J. Bjerregaard, P. Kristensen, K. Carlson, P. A. Weimann, C. J. Martin, and A. McCurdy, "Solid ring-assisted fibers with low bend loss," Proc. of OECC '08, ThN2 (2008)
- (4) L-A. de Montmorillon, F. Gooijer, N. Montaigne, S. Geerings, D. Boivin, L. Provost, and P. Sillard, "All-solid G.652.D fiber with ultra low bend losses down to 5 mm bend radius," Proc. of OFC '09, OTuL3 (2009)
- (5) 中西 他、「半径5mm曲げに対応した光ファイバPureAccess®-R5の光学特性とFTTx配線への適用」、SEIテクニカルレビュー第177号、pp.62-68 (Jul. 2010)
- (6) K. Nakajima, T. Shimizu, T. Matsui, C. Fukai and T. Kurashima, "Single-mode hole-assisted fiber as a bending-loss insensitive fiber", Opt. Fiber Technol., vol.16, no.6, pp.392-398 (Dec. 2010)
- (7) T. Matsui, K. Nakajima, Y. Goto, T. Shimizu, and T. Kurashima, "Design of single-mode and low-bending-loss hole-assisted fiber and its MPI characteristics", IEEE J. Lightw. Technol., vol.29, no.17, pp.2499-2505 (Sep. 2011)
- (8) K. Nakajima, K. Hogari, J. Zhou, K. Tajima, and I. Sankawa, "Hole-assisted fiber design for small bending and splice losses", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.15, no.12, pp.1737-1739 (Dec. 2003)

執 筆 者

樽 稔樹*: 光通信研究所 光伝送媒体研究部 主席
光ファイバの研究開発に従事



- 永島 拓志 : 光通信研究所 光伝送媒体研究部
- 桑原 一也 : 光通信研究所 光伝送媒体研究部 グループ長
- 佐々木 隆 : 光通信研究所 光伝送媒体研究部 グループ長
- 長尾 美昭 : 光通信事業部 技術部 主席
- 寺沢 良明 : SEI オプティフロンティア(株) 通信事業部 部長
- 斎藤 和人 : SEI オプティフロンティア(株) 機器事業部 部長
- 鈴木 良信 : SEI オプティフロンティア(株) 現 日本カールコード(株)
- 新井 学 : SEI オプティフロンティア(株) 機器事業部 主事
- 渡辺 裕次 : SEI オプティフロンティア(株) 機器事業部 グループ長
- 高柳 寛 : SEI オプティフロンティア(株) 機器事業部 グループ長
- 遠藤 智 : SEI オプティフロンティア(株) 機器事業部 参事

* 主執筆者