

高密度低損失 16心/24心MMCコネクタ及び専用クリーナ

光コンポーネント事業部 山中 耕太¹・菅野 修平¹・坂口 有也¹・至田 智史¹・和田 靖征¹・
石川 隆朗¹・進藤 幹正¹
US Conec Ltd., Mike Hughes²・Sharon Lutz²・Jeff Hendrick²

16F/24F, low-loss, Ferrule for MMC High-Density Optical Connector

Kouta Yamanaka, Shuhei Kanno, Yuya Sakaguchi, Satoshi Shida, Yasuyuki Wada,
Takaaki Ishikawa, Kansei Shindo, Mike Hughes, Sharon Lutz, and Jeff Hendrick

近年、多心光コネクタの需要が急速に拡大している。特にデータセンターではAIやML（機械学習）といった最先端技術をサーバ群に適応することで、データ伝送の高速化・大容量化を図る事業者が現れてきており、接続点数は指数関数的に増加するとみられている。ここで問題となるのが、増大する接続点数を収めるサーバラック面積の制約と、接続損失の抑制である。この課題への解決策として、当社とUS Conec社は、超小型で低損失という特徴を持つMMCコネクタを共同開発した。開発品は、現行MPOコネクタと遜色ない光学特性を有し、また、各種性能試験の評価を行い優れた特性を維持することを確認した。

In recent years, the application of multi-fiber optical connectors has been expanding rapidly. In particular, some data center operators apply cutting-edge technologies such as AI and ML (machine learning) to their servers for increasing the speed and capacity of data transmission, and the number of connection points is expected to increase exponentially. There are problems for the limitation of server rack space to accommodate high-density connection and the control of connection loss. As a solution to these issues, Minebea and US Conec and we have jointly developed a group of MMC connectors with ultra-compactness and low loss. The developed products have optical characteristics comparable to those of current MPO connector and have been evaluated in various performance tests which has been confirmed and maintain excellent optical performance.

1. ま え が き

光インターコネクションやデータ伝送技術の急速な発展により、高速・高密度伝送に対応した多心光コネクタへの需要は高まっている。プラグブル光トランシーバや光電融合実装 (Co-Packaging Optics) を採用する400G+次世代リンクアーキテクチャでは、既存のMPO、LC及びSC光コネクタ技術では実現できない、より高密度の光ケーブル敷設ソリューションが求められる。具体的には、直近のマイルストーンによれば、通信用シングルモードファイバ1,024心以上を1RUに収めることが求められる。この要求に対し、現行MPOを適応した場合、ユーティリティエリア（電源ライン等）と干渉してしまい、実現が困難と想定される（図1）。また、接続損失に関しても、MPOやLCコネクタと同等の低損失接続を実現する技術要求が見込まれる。そこでMPO比約3倍という実装密度と、従来コネクタと同等の優

れた接続損失を併せ持ったMMCコネクタを開発した。

図2に示す通り、開発されたMMCコネクタは、建屋間を接続する多心ケーブルや、サーバアイランド間を接続するトランクケーブルといった様々のアプリケーションへの展開が期待される。加えて、MMCを適用し製品を従来品よりも小型軽量化することにより、搬送及び施工時のCO₂排出量の削減効果も期待され、重要な社会目標の一つであるSDGsに対しても有効なソリューションである。

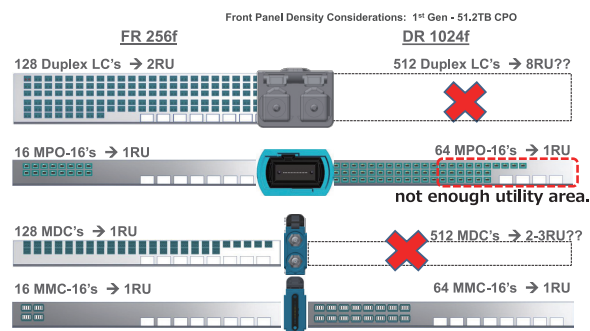


図1 ファイバ心数要求と、MMCコネクタの優位性

Fig. 1. Fiber core count requirements and the superiority of the MMC connector.

1 光コンポーネント事業部
2 US Conec Ltd.,

略語・専門用語リスト

略語・専門用語	正式表記	説 明
MTフェルール	Mechanically Transferable Ferrule	多心光ファイバを一括で接続するために、ファイバ挿入孔を高い位置決め精度で成形された部品。
MPOコネクタ	Multifiber Push-On Connector	多心タイプのプッシュプル型光コネクタ。複数の光ファイバを一つのコネクタで接続できるように設計されている。
TMTフェルール	Tiny Mechanically Transferable Ferrule	高密度実装を可能にした小型MTフェルール。
MMCコネクタ	Mini-Multi-Connector	高密度実装を可能にした小型MPOコネクタ。
LCコネクタ	LC connector	プッシュプル型光コネクタフェルール径がSCの1/2なので小型で高密度配列に適する。
SCコネクタ	SC connector	最も一般的な単心光コネクタプッシュプル方式で簡単に着脱可能。LANの世界標準コネクタ。
RU	Rack unit	サーバラックの一段分のサイズおよび形状のことを「U」(Unit) という単位で表す。「RU」(Rack Unit) と呼ばれる幅19インチ(約482.6mm)、高さ1.75インチ(約44.5mm)の区画(奥行きは任意)。

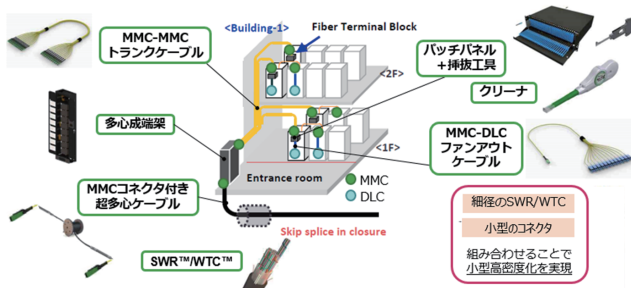


図2 MMCコネクタ製品のアプリケーション

Fig. 2. Application of MMC connector products.

光通信業界において標準的に採用されているIEC 61753-1²⁾やTelcordia GR-1435³⁾の規格を満足しており、故にデファクトスタンダードを獲得している。今回我々は、高密度実装を実現するMMCコネクタ向けとして、MTフェルールを小型化した専用のTMTフェルール(“Tiny-MT”の略称)を開発した(図4)。また、TMTフェルールでは、ガイド孔ピッチ、ガイド孔径やファイバ孔径といったアライメント寸法をMTフェルールと互換を持たせる設計⁴⁾としている(図5)。この設計により、従来MPOと互換接続を可能

2. 構造

2.1 MMCコネクタ

図3に外観を示すMMCコネクタ¹⁾は、次世代コネクタソリューションVSFF(Very Small Form Factor)のうち、多心一括接続を担う小型コネクタである。名称のMMCとは”Mini-Multi-Connector”の略称であり、小型である外形寸法を活かし、様々な場面での適用を見込んでいる。

2.2 TMTフェルール

従来MPOコネクタでは、MTフェルールをハウジング先端に組み込み、着脱を行う構造となっている。これらは、

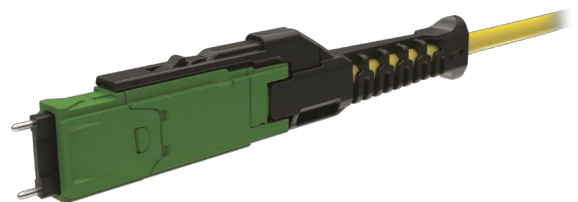


図3 MMCコネクタの外観

Fig. 3. Appearance of MMC connector.

にできる点、ファイバ取付け～端面研磨後の寸法測定器や、ファイバ孔偏心測定機をMTフェルールと共用化することができる点といった汎用性が生まれる。MMCコネクタは、MPOに代わる次世代コネクタのデファクトスタンダード化を目標にした製品であり、前述の汎用性はこの目標に準じたものである。

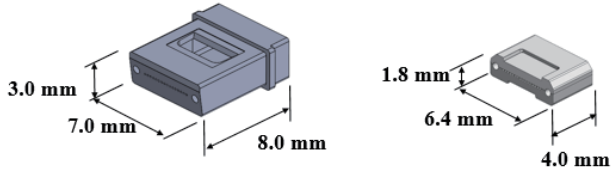


図4 MTフェルールと16心TMTフェルールの寸法
Fig.4. MT ferrule and 16F TMT ferrule dimensions.

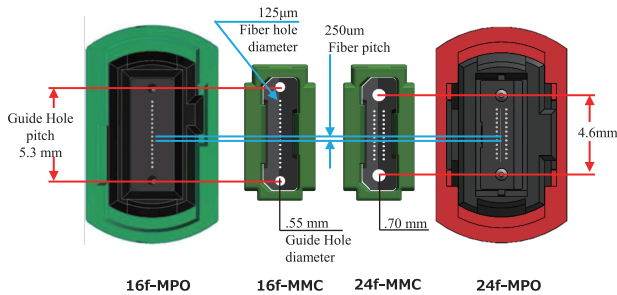


図5 MMCコネクタとMPOコネクタの寸法
Fig. 5. Dimensional of MMC and MPO Connectors.

2.2 MMCクリーナ

光コネクタの接続品質を担保する為には、接続端面の清浄性が重要である。従来MPOに対しては、1コネクタずつ不織布で端面異物を除去清掃するクリーナが存在し、接続品質を担保していたが、高密度実装されたMMCコネクタは、コネクタ同士の間隔が密になる為、既存品では、1コネクタずつ清掃を行うことができなくなってしまう課題があった(図6)。また、クリーナには異物除去しながらも、露出したファイバを傷つけない最適な面圧が求められる。MTフェルールに対し、TMTフェルールは嵌合面積も小型化された為、面圧の最適化が求められた。

そこで、ノズル寸法と、クリーナ先端チップ寸法の最適化を行ったMMCクリーナを開発した(図7)。

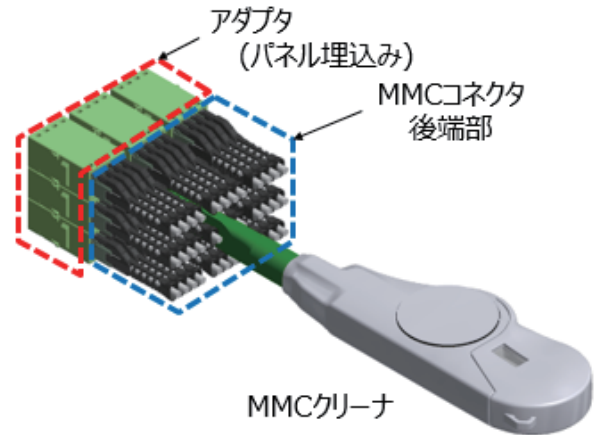


図6 高密度MMCパッチパネルに対する清掃
Fig. 6. Cleaning for high-density patch panels.

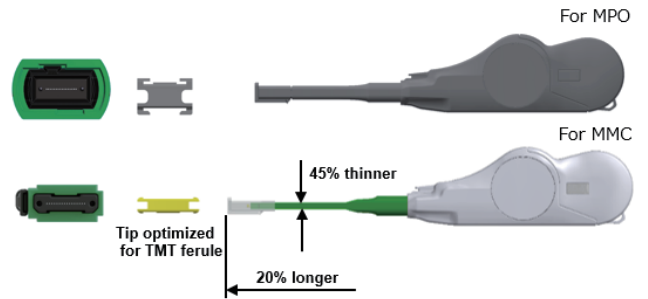


図7 MMCクリーナの特徴
Fig. 7. Characteristics of MMC Cleaner's.

3. 特性評価

3.1 光学特性

光コネクタの最も重視される特性は、嵌合時の挿入損失(以下、IL)特性である。ILは、入射した光が、コネクタ接続点を通り、どれだけ減衰したかを比率で表した指標であり、その大きさを[dB]で表す。多心光コネクタでは、国際電気標準会議(IEC)によって、許容される挿入損失の大きさごとにグレードが定められている。現在一般的に使用されているMPOコネクタはIEC61753-1²⁾ Grade B(ランダム嵌合における測定値が、平均 ≤ 0.12 dB, 97%値 ≤ 0.25 dB)準拠であり、開発品であるMMCコネクタでもGrade B準拠を開発目標とした。

ILの大きさは理論的には式(1)によって示される。式(1)の通り、ILを小さくするには、ファイバコア位置ずれ量を小さくする必要がある。

ファイバコア位置ずれ量とは、コネクタが嵌合されたときに、オス-メス間の同一チャネルでファイバコア同士に最終的に残る軸ずれ量のことである。このコアずれ量は、フェルール上に於いて、ファイバコアが設計に対して生じ

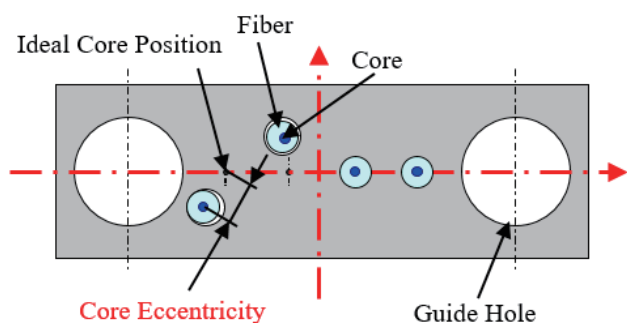


図8 MTフェルールのコア偏心模式図

Fig.8, Illustration of fiber core eccentricity of MT ferrule.

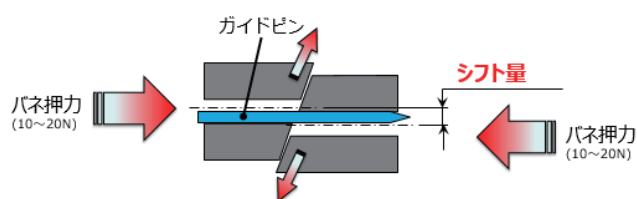


図9 嵌合によるフェルールのシフト

Fig.9. Ferrule shift by mating

た位置誤差であるコア偏心（図8）に加え，嵌合時にバネによって相互に発生するシフト量（図9）によって決定される。

$$IL[dB] = 10 \times \log \left(\exp \frac{d^2}{w^2} \right) \cdots (1)$$

d = コア位置ずれ量 [μm]

w = M.F.D.[μm]/2

これらの要素を制御し，最適化することによって所定のIL性能を目指した。

また，次に重要な光学特性は反射損失（以下，RL）である。RLが一定以上であれば，安定した光通信が可能であることを意味し，併せて端面形状が極めて高精度に研磨され，ハウジングを含む嵌合品質が堅牢であることを意味するものである。多心光コネクタの基本技術である端面研磨は，光ファイバ同士を物理的に接触させることと，フェルルール端面同士はそれぞれ8度の角度をつけることにより，フレネル反射を低減させている。今回はTMTフェルルールに対しても新たに研磨技術の開発を行った。

図10に，開発品である16心MMCコネクタ同士をランダムに嵌合させ，波長1310 nmの光源にてIL及びRLを測定した結果を示す。なお，この試験は，IEC61300-3-34⁵⁾の一部”並びにIEC61300-3-6⁶⁾の要件に適合している。ILは，平均で0.06 dB，97%値で0.22 dB，RLは60.0 dB以上。また，

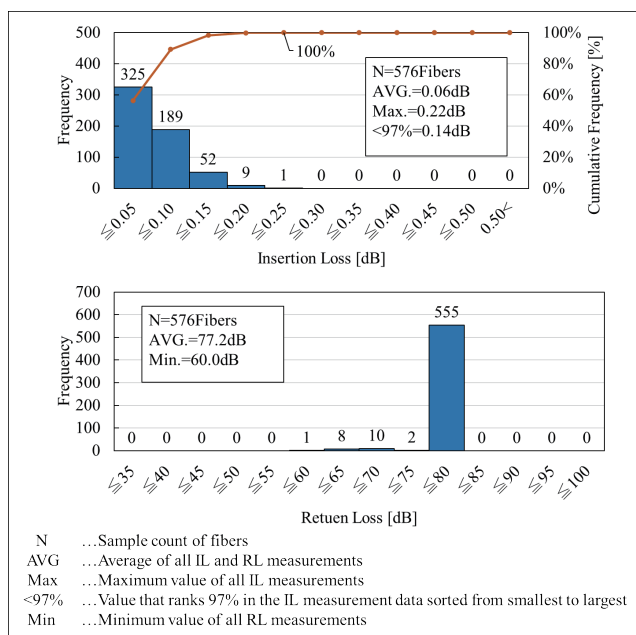


図10 16心 MMCコネクタの光学特性評価結果

Fig. 10. Random mating test results for 16F MMC connectors.

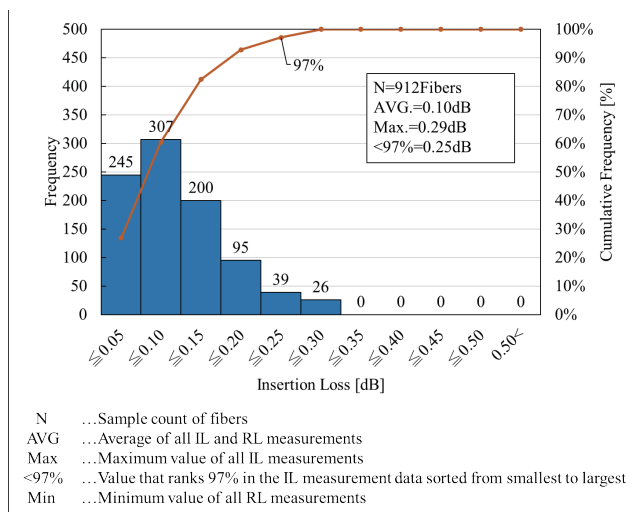


図11 24心 MMCコネクタの光学特性評価結果

Fig. 11. Random mating test results for 24F MMC connectors.

図11に，同じく開発品である24心MMCコネクタの試験評価結果を示す。平均で0.10dB，97%値で0.25 dBとなり，いずれもIEC 61753-1 に定義されるGrade-Bに準拠していることを確認し，開発目標を達成した。

3.2 他製造社間の光学特性互換

ユーザは一般的に，運用保守の観点から部品調達を複数社から行う。多心光コネクタであっても同様であり，ネットワーク自由度を確保できる為，他製造社間で互換性を評価することは，重要な要素である。

この為，MMC開発に於いては共同開発先のUS Conec社

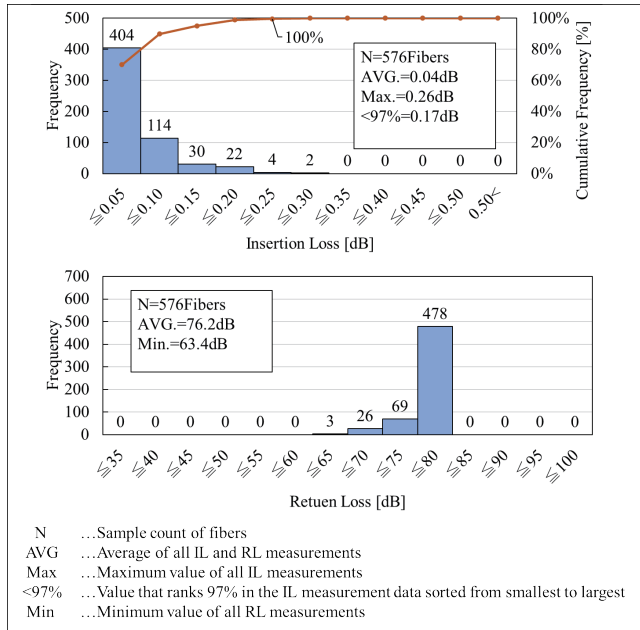


図12 当社製16心 MMCコネクタとUS Conec社製 16心 MMCコネクタによる互換試験結果

Fig. 12. Mating test results with Fujikura's 16F MMC connectors and US Conec's 16F MMC connectors.

との互換を試みた。試験手順としてはUS Conec社の試作 TMTフェールを入荷し、当社の評価工程を経てIL並びにRL測定を行った。結果は図12の通りで、ILは平均で 0.04dB、97%値で0.17 dB、RLは63.4 dB以上となり、こちらもGrade-Bを達成し開発目標をクリアした。

3.2 環境試験

表1に、開発したMMCコネクタの環境試験を実施した。試験項目と条件、試験結果を示す。なお、この試験は

表1 環境試験項目と条件、試験結果

Table 1. Environmental test conditions, criteria and results.

Telcordia GR-1435			Accelerated Test			Result
Test	Test Condition	Criteria	Duration	Test Condition	Criteria	Novel 16F MMC Connector
Thermal Aging	85°C	Maximum Insertion Loss Change	7days (21 Cycles)	-40°C to 85°C	Maximum Insertion Loss Change	Maximum Insertion Loss Change =0.21dB
Humidity Aging	95% at 75°C	≤ 0.30dB		Humidity : 95%	≤ 0.30dB	
Thermal Cycling	-40°C to 75°C	Reflectance			Reflectance	Reflectance =51.82dB
Humidity/Condensation Cycling	-10 °C to 65°C	≥ 50dB			≥ 50dB	
Dry-Out	75°C					

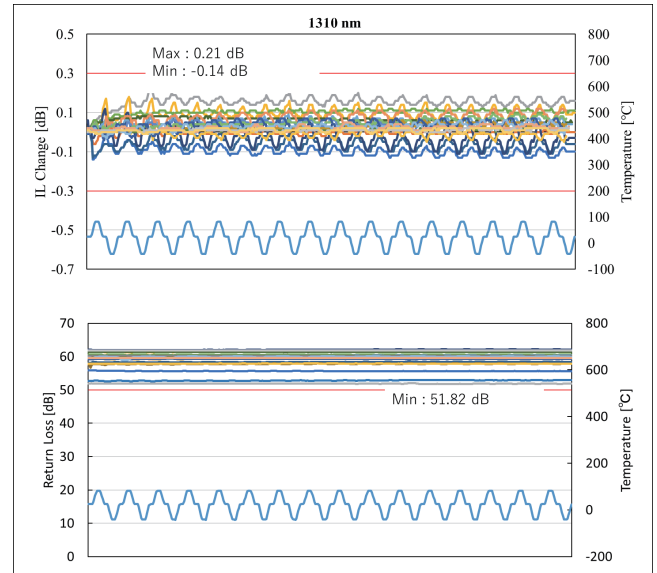


図13 16心 MMCコネクタの環境試験中のIL変動

Fig. 13. IL change results during environmental testing of developed 16F MMCs.

Telcordia GR-1435で定められた条件を同時に課す加速試験である。図13に試験期間中のILおよびRL変動経過を示す。その結果、開発したMMCコネクタは同規格をクリアし、高い信頼性を持つことを確認した。

3.4 機械試験

表2にTelcordia GR-1435規格に準拠した機械的試験の基準と試験結果を示す。開発したMMCコネクタは、規定された要求水準すべてに合格し、優れた堅牢性を示した。

表2 機械試験項目と条件、試験結果

Table 2. Mechanical test condition, criteria and results

Test		Condition	Criteria	Results
Vibration		10-55 Hz, 3-axis 2 h	IL ≤ 0.8 dB IL change ≤ 0.3dB RL ≥ 50dB	IL ≤ 0.35 dB IL change ≤ 0.25 dB RL ≥ 55.3 dB
Flex		2.2 N, 100 cycles	IL ≤ 0.8 dB IL change ≤ 0.3dB RL ≥ 50dB	IL ≤ 0.51 dB IL change ≤ 0.16 dB RL ≥ 56.4 dB
Twist		2.2 N, 10 cycles	IL ≤ 0.8 dB IL change ≤ 0.3dB RL ≥ 50dB	IL ≤ 0.50 dB IL change ≤ 0.01 dB RL ≥ 56.3 dB
Transmission with Applied Load	Measure w/Load (0deg)	2.2 N	• After test IL ≤ 0.8 dB IL change ≤ 0.3dB RL ≥ 50dB • During Applied Load IL change ≤ 0.5dB RL ≥ 50dB	• After test IL ≤ 0.50 dB IL change ≤ 0.08 dB RL ≥ 66.3 dB • During Applied Load IL change ≤ 0.09 dB RL ≥ 66.4 dB
	Measure w/Load (90deg)	2.2 N	• After test IL ≤ 0.8 dB IL change ≤ 0.3dB RL ≥ 50dB • During Applied Load IL change ≤ 0.5dB RL ≥ 50dB	• After test IL ≤ 0.59 dB IL change ≤ 0.09 dB RL ≥ 66.6 dB • During Applied Load IL change ≤ 0.04 dB RL ≥ 66.2 dB
Impact		1.5 m, 8 times	IL ≤ 0.8 dB IL change ≤ 0.3dB RL ≥ 50dB	IL ≤ 0.58 dB IL change ≤ 0.16 dB RL ≥ 62.1
Durability		50 times	IL ≤ 0.8 dB IL change ≤ 0.3dB RL ≥ 50dB	IL ≤ 0.18 dB IL change ≤ 0.07 dB RL ≥ 68.1

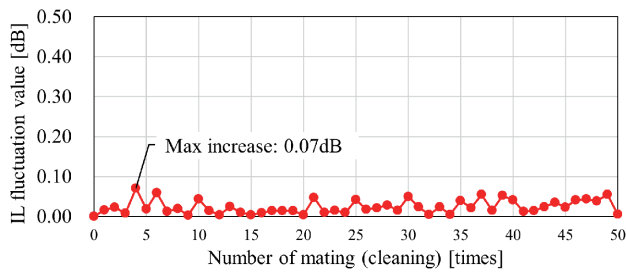


図14 Durability試験中のIL増加量

Fig. 14. IL increase as a function of mating cycles.

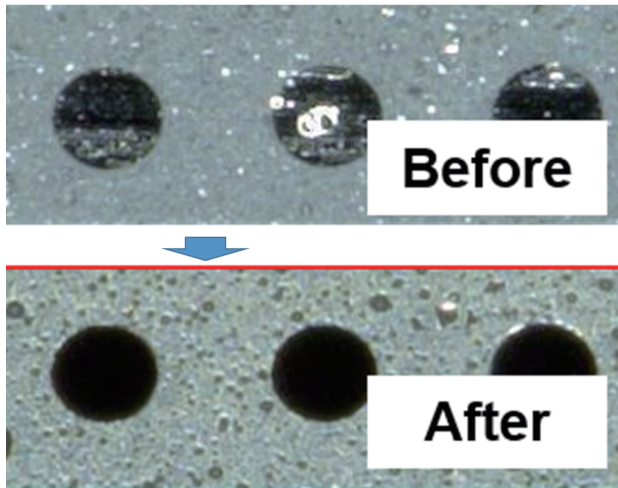


図15 MMCクリーナによる清掃前後のコネクタ端面

Fig. 15. Connector end face before and after cleaning with MMC cleaner.

また、表2中の”Durability”試験の清掃作業には、開発品であるMMCクリーナを用いた。図14に示す試験結果では、試験開始時に測定したILに対し、各嵌合時に測定したILの増加分を表示している。ILの最大増加量は0.07 dBとなり、MMCコネクタの嵌合安定性を示すと同時に、開発されたMMCクリーナの清掃能力が優れていることが確認できた。また、図15にコネクタ端面清掃前後の光学顕微鏡観察画像を示す。清掃前で確認できるコンタミネーションが、清掃後では効果的に除去されていることが確認できた。

4. むすび

本稿報告内容では、開発品であるMMCコネクタがIEC Grade B仕様を満たす光学特性を満たし、かつ、二つの製造社間での性能互換性を確認した。更に、環境的・機械的安定性も実証された。MMCクリーナでは配線高密度化に伴う保守作業性を向上させている。これらの性能は業界ニーズを満足させることができる水準であり、今後もDC市場をキャッチアップできる製品開発に取り組んでいく。

参考文献

- 1) Darrell Childers, Jeff Hendrick, Jason Higley, Mike Hughes, Dan Kurtz, Sharon Lutz, Dirk Schoellner, “A Novel, Low-loss, Multi-Fiber Connector with Increased Usable Fiber Density”, 70th International Cable and Connectivity Symposium, (2021) .
- 2) International Standard IEC 61753-1.
- 3) Telcordia GR-1435, Issue 2, Generic Requirements for Multi-Fiber Optical Connectors, 2008.
- 4) K.Yamanaka, et al.:"Development of 16F, low-loss, IEC-Grade B, MMC High-Density Optical Connector and Corresponding Cleaning tool",IWCS,2022.
- 5) International Standard IEC61300-3-34.
- 6) International Standard IEC61300-3-6.