R&D ホットコーナー ソリューション

光コネクタを観察状態からワンアクションで清掃 ――光コネクタクリーナ一体型スコープ

NTT先端集積デバイス研究所[†1]/ NTTアドバンステクノロジ[†2]/
NTTデバイスイノベーションセンタ[†3]

樋口 雄一[†1]　/三浦 達[†2]　/葉玉 恒一[†1]　/山口 城治[†3]

光コネクタ端面に付着したゴミや汚れは通信エラーを引き起こす可能性があるため，端面を清浄に保つことが重要となります．そのため光コネクタの接続時には，従来より端面の清掃と観察が行われています．これらの作業は個別の光コネクタ用クリーナ・スコープをそれぞれ持ち替えて行うため，作業工程が長くなっていました．今回，清掃・観察の作業を簡便にするために，光コネクタ用のクリーナとスコープを一体化し，ツールを持ち替えずワンアクションで作業できる新規ツールを研究開発しました．

光コネクタ端面の異物

光コネクタは低損失で光ファイバを接続する部品として光通信装置・設備のいたるところで用いられています．光コネクタでは光コネクタ端面どうしを物理的に押し付け，光ファイバのコア部分が隙間なく接触することで光接続されます．しかし，光コネクタ端面にゴミや汚れなどの異物が付着していると通信光が遮断される，接続面に隙間が生じるなどの要因で，接続点での透過光パワーの減少や反射光パワーの増加が起きます．これらは通信品質の劣化や通信自体の不具合を引き起こします．また，ハイパワー光を用いるV-OLTやラマンアンプなどで使用される光コネクタでは，異物の焼き付きや，光ファイバ自体を溶融してしまう危険性が指摘されています[(1), (2)]．

光コネクタ端面の検査

通信の不具合を避けるため，光コネクタ端面を清浄に保つことが求められ，IEC61300- 3 -35やITU-T Rec. L.36などの標準規格に基づいて，異物がないかを検査することが推奨されています．これらの規格では，光ファイバのコア中心からの距離によって許容される異物のサイズ・個数が定められています．微小な異物を目視で検査するのは不可能なため，光コネクタスコープにより撮影した端面像を解析して検査規格に合格しているか判断します．検査が不合格となった場合には，清掃糸が先端に付いたペンタイプの光コネクタクリーナなどで光コネクタ端面を清掃し，再度観察，検査の工程を繰り返します．現在，光コネクタスコープ，光コネクタクリーナは，それぞれ個別のツールとして市販されており，各ツールを持ち替え，観察，検査，清掃を繰り返す作業が煩雑となっています．そこで，作業効率を改善するために光コネクタクリーナと光コネクタスコープを一体化して，観察状態からワンアクションで清掃できる光コネクタクリーナ一体型スコープを開発しました．

構成と動作原理

光コネクタクリーナ一体型スコープの構成を**図1**に示します．光コネクタク

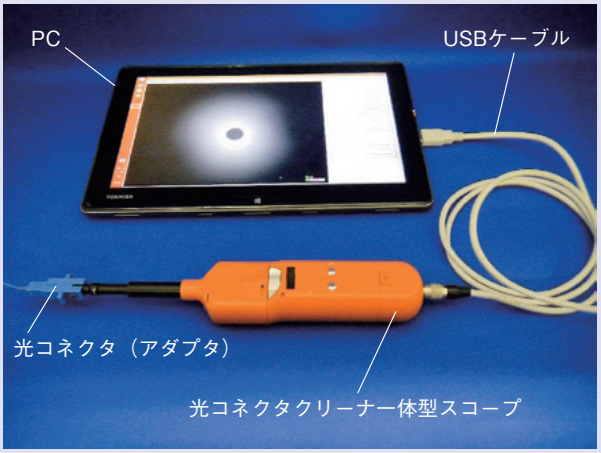


図1　光コネクタクリーナ一体型スコープの構成

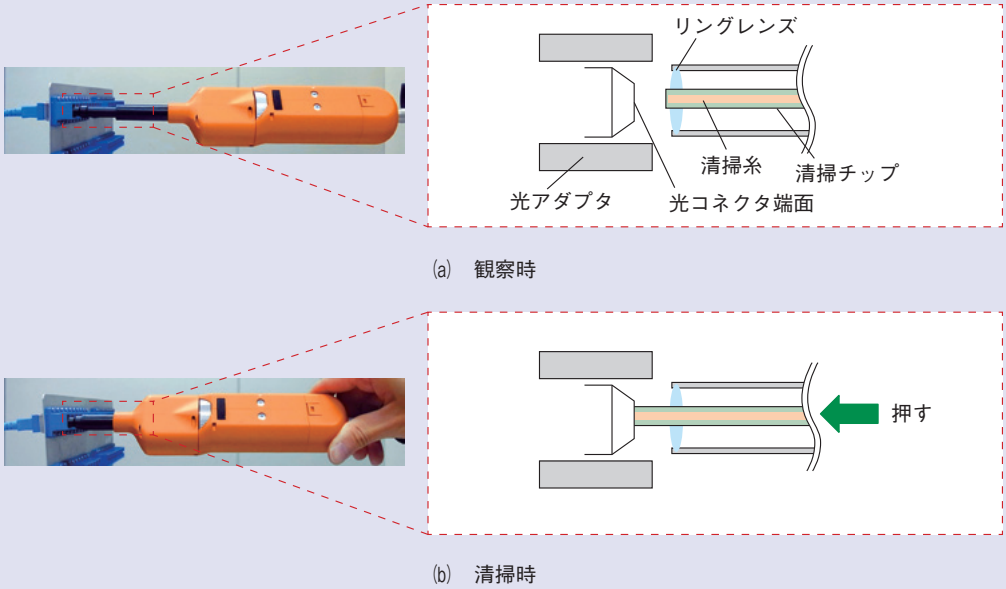


図2 光コネクタクリーナ一体型スコープでの作業工程

リーナ一体型スコープはUSBケーブルでPCに接続して使います．光コネクタクリーナ一体型スコープ内部には，コネクタ端面を照明する光源，端面像を撮影するイメージセンサ，端面像をイメージセンサに結像するレンズが配置されています．光コネクタが挿さっている光アダプタに光コネクタクリーナ一体型スコープ先端部を反対側から挿すことで，光コネクタ端面像はイメージセンサに結像されます．イメージセンサで取得した画像はUSBを経由してPCで表示されます．重量（180 g）・サイズ（265×46×39 mm）ともに片手で扱えるものになっており，既存の光コネクタクリーナ，光コネクタスコープと同様にポータブルに作業が可能です．また，光コネクタクリーナ一体型スコープの先端アダプタを替えることでSC，MU，LCといったアダプタ形状が異なる各種コネクタに対応できます．

光コネクタクリーナ一体型スコープでの作業工程を**図2**に示します．光アダプタに光コネクタクリーナ一体型スコープ先端部を挿し込むことで光コネクタ端面を観察することができます（図2(a)）．この状態からそのまま押し込むことで光コネクタ端面の清掃ができます（図2(b)）．さらに元の観察状態の位置に戻すことで清掃後の光コネクタ端面を観察できます．このように，光コネクタクリーナ一体型スコープでは2体のツールを持ち替える必要がなく，簡便で，作業時間を大幅に短縮することができます．

次に，光コネクタクリーナ一体型スコープの動作原理を説明します．光コネクタクリーナ一体型スコープでは観察のためにリング状のレンズを採用し，穴部に清掃用具となる清掃チップを配置する構成となっています．観察時はレンズ形状が残っている円環部だけを用いて，光コネクタ端面を照明し，端面像をイメージセンサ上に結像させて画像を取得します（図2(a)）．清掃時には，光コネクタクリーナ一体型スコープを押し込むことで清掃チップがリングレンズから突き出され，清掃チップ先端の清掃糸を光コネクタ端面に押し当てることで異物を取り除きます（図2(b)）．この構成によって観察状態からワンアクションで清掃ができます．

一般的にリングレンズを用いた光学系では，レンズ中央部がないため，画像のコントラストが低下し，靄がかかったような画像になってしまいます．そこで私たちは，以下のような手順で光学系を設計しました．リングレンズの穴径は清掃チップのサイズから決まります．また，アダプタ形状によって端面像の開口が決まります．これらの条件をかんがみて光コネクタ端面とレンズ間の距離，レンズサイズを最適化します．その結果，穴がないレンズとほぼ同等の光学特性を実現できました．

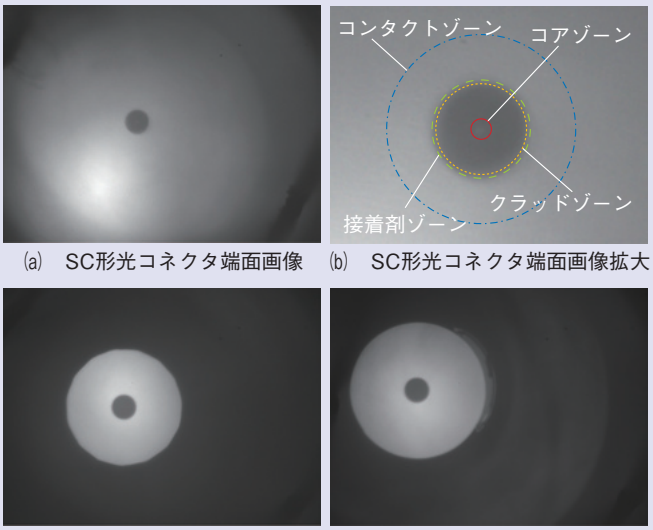
また，クリーナ部分は市販の光コネクタクリーナと同様に清掃糸が充填されたカートリッジを交換可能で繰り返し使える構成としています．その際，クリーナカートリッジの交換時の位置ずれが光学特性に影響しないように，光学系のトレランス設計をしています．

光コネクタ端面の観察・清掃例

光コネクタクリーナ一体型スコープで観察した光コネクタ端面画像を**図3**に示します．図3(a)はSC形光コネクタの端面画像です．中心部の黒い部分が光ファイバで，その周辺の白い部分は光ファイバを保護・ガイドするためのフェルールです．図3(b)は図3(a)の光ファイバ部分の拡大画像です．IEC61300-

3-35ではシングルモードファイバの場合，光ファイバの中心から直径25 μm（図3(b)赤実線）までをコアゾーン，25～120 μm（図3(b)橙点線）までをクラッドゾーン，120～130 μm（図3(b)緑破線）までを接着剤ゾーン，130～250 μm（図3(b)水色一点破線）までをコンタクトゾーンと定義しており，それぞれのゾーンで許容される異物のサイズ，数が定められています．図3(b)の画像からコンタクトゾーンまでの領域が十分に観察できることが分かります． MU，LC形光コネクタの端面を観察した画像を図3(c)，(d)に示します．フェルール径が小さく光アダプタの開口が狭いMU，LC形光コネクタでもSC形光コネクタと同様に光ファイバ，フェルールが観察でき，コネクタ種に依存しない，鮮明な画像が取得可能です．

次に，異物が付着したMU形光コネクタ端面の観察・清掃例を**図4**に示します．光ファイバやフェルール上に島状に点在しているものが皮脂であり，明確に確認できることが分かります（図4(a)）．また，皮脂と同様に光コネクタ端面上の塵埃，繊維屑が明確に確認できます（図4(b)，(c)）．これらの異物が光コネクタどうしの接続を阻害します．先の観察状態から光コネクタクリーナ一体型スコープをさらに押し込み，端面清掃を実施した後，観察位置に戻したときの画像を図4(d)～(f)に示します．異物種によらず清掃でき，光ファイバ周辺の異物が取り除かれていることが分かります．光コネクタを清浄にするために必要なクリーナの平均清掃回数が2回であるため，従来のツールでは観察・清掃・観察・清掃・観察と5回ツールの抜き差しが標準作業でしたが，このツールを使うことで，ツールの抜き差し回数を1回に減らすことができます．そのため，抜き差し作業が大部分を占めていた作業時間を大幅に短縮できます．



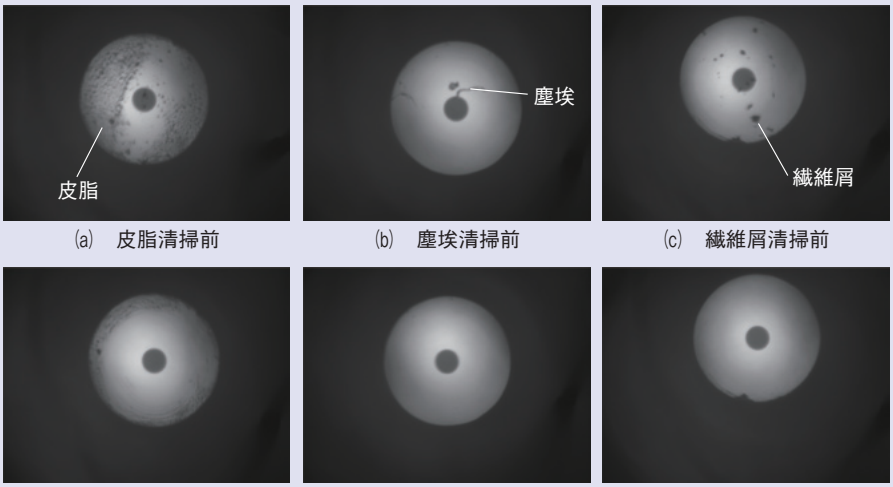
(a)　SC形光コネクタ端面画像　(b)　SC形光コネクタ端面画像拡大

(c)　MU形光コネクタ端面画像　(d)　LC形光コネクタ端面画像

図3　各種光コネクタ端面画像

光学系・清掃機能の性能評価

IEC61300-3-35ではシングルモードファイバのクラッドゾーンにおいて2 μmの欠陥のサイズ判別することが要求されています．光学系の特性評価のため，



(a)　皮脂清掃前　(b)　塵埃清掃前　(c)　繊維屑清掃前

(d)　皮脂清掃後　(e)　塵埃清掃後　(f)　繊維屑清掃後

図4　MU形光コネクタ端面の異物ならびに清掃後画像

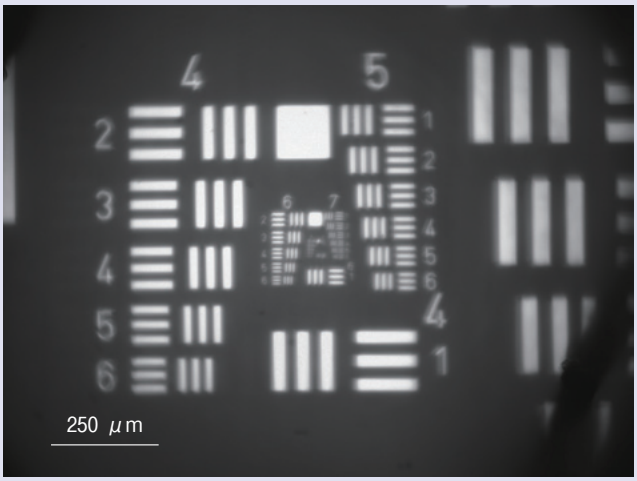


図5　1951USAFテストターゲット画像

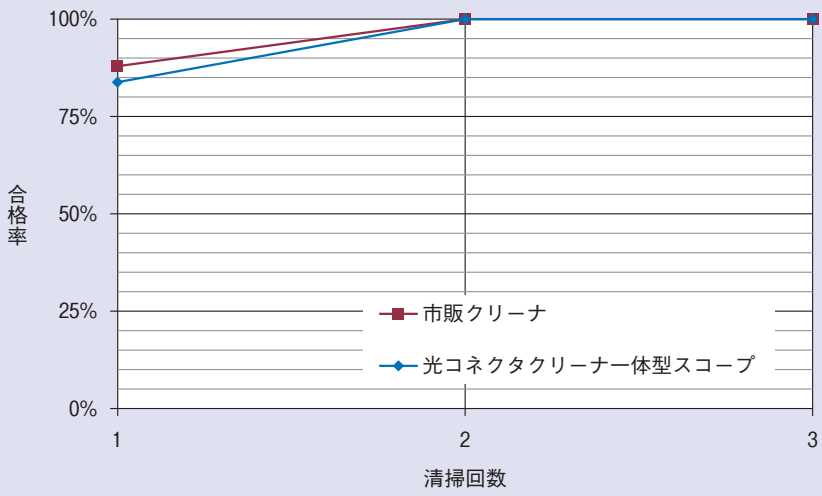


図6　MU形光コネクタでの清掃回数と検査合格率

イメージングシステムの分解能測定によく用いられている1951USAFテストターゲットを観察しました．1951USAFテストターゲットの観察画像を**図5**に示します．このターゲットはさまざまな線幅のラインアンドスペースが描かれています．このラインアンドスペースのコントラストを解析した結果，判別可能な線幅が2 μm以下であることが確認できました．以上から，光コネクタクリーナ一体型スコープが実用的な性能を有していることが分かりました．

光コネクタクリーナ一体型スコープの清掃性能を**図6**に示します．これは，皮脂が付着したMU形光コネクタ端面がIEC61300-3-35の基準をクリアするまでに必要な清掃回数を評価した結果です．比較のために，市販のペンタイプクリーナでも同様の評価を実施しました．試行回数はそれぞれ50回です．合否判定には市販の光コネクタスコープと解析ソフトを用いました．評価の結果，光コネクタクリーナ一体型スコープでは，2回の清掃で100%の合格率になり，市販のペンタイプクリーナと同等の性能が実現できていることが分かりました．

今後の展開

ここでは光コネクタクリーナ一体型スコープを紹介しました．本ツールは光コネクタ端面の清掃と観察を短時間で実施できるため，光設備だけでなく光装置の製造現場にも適用可能だと考えています．また，この技術は細管内での異物の検査・清掃など各種分野で応用できる可能性がありますので，今後アプリケーションを広げていきたいと考えています．

■参考文献

(1) 大町・細田・岡田・木原・豊永："光アクセス設備でのコネクタ溶融故障事例，" 信学総全大，Vol.334，B-10-25，2011.
(2) A. Naka and T. Matsuda: "Operational Issues Facing Commercial Raman Amplifier System: Safety Measures and System Designs," Optical Fiber Communication Conference, W3E.4, Los Angeles, U.S.A., March 2015.

（左から）山口　城治/ 葉玉　恒一/
樋口　雄一/ 三浦　　達（右上）

光コネクタクリーナ一体型スコープは機構系技術と私たちが保有している光学技術を密接にコラボレーションすることで実現しました．今後も光学技術を活かしてさまざまなツールの研究開発を続けていきます．

◆問い合わせ先
NTT先端集積デバイス研究所
ソーシャルデバイス基盤研究部
バイタル情報処理研究グループ
TEL　046-240-2035
FAX　046-270-2936
E-mail　higuchi.yuichi@lab.ntt.co.jp