光コネクタ現場組立用小型研磨機の開発*

Rapid Optical Connector Polishing Machine for on-site Connecting

松井伸介** 大木茂久*** 柳 秀一**** 長瀬 亮**** 小林 勝****
Shinsuke MATSUI, Shigehisa OHKI, Shuichi YANAGI, Ryo NAGASE and Masaru KOBAYASHI

Key words optical connector, on-site assembling, portable polishing machine, diamond film

1. はじめに

オフィス、家庭等に光通信が広くいきわたるにつれ、現場等あらゆる状況下で光通信線の接続をする技術は重要になってきている。われわれは光接続技術の一つである光コネクタ現場組立技術を開発、実用化を行った。この方法は、他のメカニカルスプライスや融着技術による接続に比べ部材コスト、接続性能の点で優れている。しかし、光コネクタの組み立ては、フェルールへのファイバの接着、フェルールの端面研磨、フェルールのハウジング部への装着等の工程からなっており、時間がかかり複雑である。そこでいかに時間の短縮、工程の簡便化が行えるかが課題となる。

図1の上図に従来のコネクタ組立タイムチャートを示す。コネクタ主要部品であるフェルールへのファイバの接着には、広い範囲の温度において良好な接続を保つためには高性能なエポキシ系接着剤が必要とされてきた。この接着剤は熱硬化型でほぼ30分も硬化時間がかかる。一方、ファイバが接着されたフェルールの端面研磨では、工場等

において比較的大型で高剛性・高性能な加工装置が歩留まり良く高精度な端面を加工するために用いられている。この場合、多工程で10数分の加工時間を要する。工場では同時に多数端子に対し加工するため1本あたりの加工時間を短縮しているが、現場では通常1本のコネクタの加工が必要とされる。このため、この10数分がコネクタ1本あたりの加工時間となる。これらと複雑な組立工程を合わせてトータルでは従来、ほぼ45分の作業時間を必要とした。ここでフェルールとは、コネクタの主要部品でジルコニア製の直径1.25~2.5mmの円筒状のものである。この円筒の軸中心にファイバが設置される。ファイバとしては通信用として最も多く使われる石英製が対象である。

2. 新しい現場光コネクタ組立

われわれはまず接着固定に対して新たにシアノアクリレートタイプ（瞬間接着剤タイプ）の接着剤を開発し、厳しい接続特性を満足しつつ硬化時間を短縮した。また、新たな接着・組立ジグを開発することにより組立時間を1/2にするとともに、組立作業を簡便にした。そして研磨技術では、現場で簡単・確実にかつ短時間で加工する技術を開発した。これらにより現場で、熟練を要せずに確実にトータルほぼ7分という短時間の作業でコネクタ組立を実現した。組立技術の中でも特に重要な研磨技術の開発について以下詳述する。

3. 現場用新加工工程の提案

現場で光コネクタを組立てる際の加工および研磨装置に

*原稿受付 平成19年4月10日

**正会員 日本電信電話(株) NTT フォトニクス研究所 (厚木市森の里若宮 3-1)

***日本電信電話(株) NTT マイクロシステムインテグレーション研究所 (厚木市森の里若宮 3-1)

****日本電信電話(株) NTT フォトニクス研究所 (厚木市森の里若宮 3-1)

松井伸介

1984年名古屋大学工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了、同年日本電信電話公社(現NTT)入社。1999年博士(名古屋大学)。NTT フォトニクス研究所主任研究員。

大木茂久

1982年長岡技術科学大学電子機器工学専攻修士課程修了、同年日本電信電話公社(現NTT)入社。1994年博士。

柳 秀一

1997年慶應義塾大学理工学部物質科学科博士課程修了、同年日本電信電話株式会社入社。

長瀬 亮

1985年東北大学大学院工学研究科精密工学専攻修士修了、同年日本電信電話株式会社入社。1998年博士(東北大学)。

小林 勝

1988年名古屋大学工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了、同年日本電信電話株式会社入社。2004年博士(名古屋大学)。

図1 コネクタ組立時間の概要

要求される条件として、まず、短時間に加工できることがある。しかしそれと同等以上に重要なことは、熟練した研磨技術者を必要とせず、誰が行っても簡単、確実に加工できることである。

使用する研磨機としては高速加工が行え、端面精度としてコネクタの仕様を満たす高精度加工が行えることが必要となる。さらに、現場で加工するため、小型軽量、電池駆動ができる低消費電力であること、また、低コストであることも重要となる。開発は2段階からなり、第一段階では、従来は実現していなかった現場用の小型高速研磨機を開発した。この段階では、工程は一般的な3工程となっている。この研磨機は非常に小型で低コスト、高速加工を実現している。一方、第2段階としては従来3工程で行っていた加工を単一工程で行う装置である。装置としては少し大きくなるが、簡便な機構を有する小型な装置で、ごく簡単に誰でも加工可能である。

図2(a)に従来の研磨工程を示す。まず、ファイバを接着固定する。この際端面に接着剤を図のように塗布する。次に余分なファイバをブレイクした後、第1工程で接着剤を除去しながらファイバとフェルールが同一面になるように加工する。ここでファイバは接着剤に保護されているためフェルールの中へあまり折れ込まない。第2工程では、主にダイヤモンド砥粒を用いる程度加工量をとって凸球面に粗加工をする。その後、第3工程ではシリカ砥粒を用い加工ダメージのほとんどない鏡面へ仕上げ加工する。

ところが本現場組み立て技術(図2(b))では、瞬間接着剤を用いるため粘度が低く、ファイバ周辺に盛ることができない。そこで接着剤塗布なしに第1工程を行う。この方法によると、若干ファイバがフェルール内部へ折れ込むが、簡単で再現性が良いというメリットがある。折れ込みは、第2工程で高速に加工することにより比較的簡単に除

図3 研磨面上方より見た装置の動き

図4 コネクタ現場組立用研磨機

去できる。そして第3工程で鏡面仕上げ加工を行う。これが第1段階の開発における新規提案工程である。

一方、図2(c)はファイバ切断と1工程だけで加工ダメージの非常に少ない鏡面を実現する工程である。われわれが開発した工程(b)は再現性が高く実加工時間も非常に短いものであったが、各工程間ではフィルムの交換、端面の洗浄、研磨水の供給等が必要で作業として煩雑であり、また、時間もかかる。端面の洗浄はある程度の熟練を必要とし、この研磨特有の工程間作業は配線工事者に強い抵抗感を与えた。そこで後述する新規な加工方式により第2段階として加工の1工程化を行った。

4. 現場組立用小型研磨機の開発¹⁾

フェルール端面は良好な光接続を実現するために凸球面である。その形状精度仕様として、曲率、10から25 mm、凸球面頂点とファイバ軸偏心、50 μm 以下、ファイバとフェルールの段差、引き込み0.05 μm 、突出0.1 μm という高精度加工を必要とされる。ところが従来のハンディな小型研磨機では、大きさ、価格の制約上良好な加工精度でかつ十分な加工量を得ることができなかった。図3(a)に一例として従来の小型研磨機の軌跡を示す。この場合、自転する研磨板の周速が異なるためフェルール端面の研磨板外周側がより加工され偏心が発生しやすくなる。一方、本技術で採用した研磨軌跡は図3(b)に示すようにフェルールは自転せずに研磨板が高速に公転する。この軌跡は、研

図5 フェールの加工軌跡

磨板と試料を同一回転数で自転させ研磨する場合と同じ相対運動となり、フェール端面全面で同一の相対速度成分をもち、高精度加工が実現できる。そして、この状態でわずかに研磨板を自転させる。これにより軌跡の分散が行え研磨板上の研磨フィルムを有効に利用でき高速加工が実現できる。我々は新たに遊星歯車機構を応用し、この軌跡を実現する非常にコンパクトで、軽量の機構を実現した。これを搭載することにより課題をすべて満たす装置を開発した。図4に装置概観を示す。主要部の高さ150mmで、電池駆動、重さ800g程度を実現している。検討により、第1程10秒（Sicフィルム、乾式）、第2程80秒（ダイヤモンドフィルム、湿式）第3程60秒（シリカフィルム、湿式）の150秒（このほか工程間作業として60秒）の加工でコネクタ端面加工ができた。

加工された面は端面仕様を満たし、高い反射減衰量を示す良好面であった。

5. 新しい加工方式による単一工程研磨機の開発²⁾

前記のように研磨に対する更なる簡便化、研磨を感じさせない作業性への要求は強く、われわれは次に研磨の単一工程化を中心とした更なる簡便化開発を行った。まず、新しい前処理技術の導入によって、フェール面平坦化工程（第1工程）の省略を行った。比較的軟質なコーナーエッジにフェールから突出したファイバを押圧せん断することによりファイバの突出の非常に少ない前処理を実現した。ここで軟質のエッジを用いることによって、フェールの中心部の非常に狭い面積を占めるファイバ基部に対し確実にエッジで接触させることを可能としている。

単一工程化のための加工方式を図5に示す。同一研磨板上に粗加工用のダイヤモンドフィルムと仕上げ用のシリカフィルムが設置され、加工は図のスタートポイントから始まる。研磨板は高速公転を行いながらゆっくり自転し、加工位置を粗加工領域から仕上げ加工領域へ連続的に移動し、エンドポイントで加工を終了する。この際、最初に供給する研磨水を仕上げ領域でも使用し、途中で洗浄、新たな供給はしない。また、フィルムは3工程加工と同じダイヤモンドとシリカフィルムを用い、粗加工領域60秒、仕上げ加工領域60秒の120秒である。このような加工方式をとるために装置は劇的に簡単な構成で単一工程を実現できるこ

図6 単一工程研磨装置

図7 加工端面の代表例

とになる。

しかし、このような加工方式では通常高品質加工は行えないとされてきた。この方式では、粗加工領域における離脱砥粒あるいは加工屑が、研磨水とともに仕上げ加工領域へ持ち込まれる。そして仕上げ加工中に研磨面にダメージを与えてしまう。そのため通常は粗加工終了時に洗浄と新規研磨水の供給が不可欠であった。しかし、本加工では研磨板公転は高速、小径とした。このため研磨水は高速に攪拌されるとともに旋回流が発生する。これによりフェール保持部にメニスカス力で保持された研磨水は、離脱砥粒および加工屑を常に浮遊させ、かつフェールから離れた研磨水外周部へ排除するように駆動する。すなわち、フェールと研磨フィルムが接触する加工点には離脱砥粒あるいは加工屑が常になく、これらの影響は排除できる。これが我々が提案する新しい連続加工法である。

図6は試作した装置である。大きさは直径ほぼ85mm、高さはほぼ150mm、で重さは1.5kgである。モータは公転用と自転用の2モータとした。これにより汎用性、操作性を確保している。電源は電動工具用バッテリーからの供給も可能である。3工程研磨機より若干スケールアップして

(1) 曲率半径

(2) ファイバ段差量

(3) 偏心量

(4) 反射減衰量

図8 加工端面の各種特性

いるが、なお十分小型である。加工時間は120秒の1工程で、前記したように工程間作業がなく、総加工時間は短縮されている。

この装置に加工された加工端面の典型的な例が図7にあるが、スクラッチのない鏡面を示している。ほぼ98%でこのような鏡面が得られ、高い歩留まりを示した。また、加工された端面の光学特性を図8に表す。ここではすべての項目で仕様値を満たしている。また、加工ダメージの指標でもある反射減衰量（高い値ほどダメージが少なく、コネクタ端面としても望ましい）もすべての端面で50 dB以上となっている。

6. ま と め

1. 時間がかかり、複雑であった光コネクタの現場組立を、新規瞬間接着剤、組立ジグおよび従来になかった小型研磨機の開発によって簡単に短時間で行うことが可能となった。

2. 新たなコネクタフェルール研磨工程の提案により、現場で確実に高歩留まりな加工を可能とした。

3. 再現性良く高精度な加工が行える研磨軌跡を実現する小型軽量で高速駆動可能な研磨定盤駆動機構を開発した。これにより非常に小さな研磨装置を作成した。この装置は小型、高速、低コスト、高歩留まりという複数の要求条件すべてをはじめて満足する光コネクタ研磨装置である。実加工時間150秒（ただし、工程間作業を入れると210秒）で再現性良く端面加工が行えた。

4. 小径高速回転による離脱砥粒および切りくずの影響の排除により非常に簡単な構成で粗仕上げ連続加工を可能とした研磨装置を開発した。これにより工程間作業がなく非常に簡単に短時間（120秒）で端面加工を行うことが可能となった。現場組立用MUコネクタ研磨機を開発した。今後さらに操作性の向上、加工の経済化を図っていく。

参 考 文 献

- 1) 松井伸介他：SC光コネクタ現場組み立て用小型高速研磨機の開発，2005年度精密工学会秋季大会論文集，（2005）307。
- 2) 松井伸介他：単一工程光コネクタ現場組立用小型研磨機の開発，2006年度精密工学会秋季大会論文集，（2006）306。