

低損失／低嵌合力を特徴とする耐ダスト 光多心コネクタ FlexAirConnect

FlexAirConnect — Dust Insensitive Multi-Fiber Connector with Low Loss and Low Mating Force —

荒生 肇*
Hajime Arao

矢加部 祥
Sho Yakabe

上原 史也
Fumiya Uehara

佐々木 大
Dai Sasaki

島津 貴之
Takayuki Shimazu

現在、一般的に用いられている光コネクタではフィジカルコンタクト（PC）接続という技術を用いて、良好な接続特性を実現している。しかし、この技術はコネクタの多心化の進展に伴う嵌合力の増加、光コネクタ特有の念入りの端面清掃、といった問題を抱えている。当社は、PC接続を行わない他の方式として、嵌合時のコネクタ間にわずかな隙間を設けるエアギャップコネクタを開発した。本コネクタはPC接続が抱える問題を解決したうえで良好な光学特性と信頼性を実現しており、その性能について報告する。

Physical contact (PC) optical connectors are commonly used for their favorable connection characteristics. However, PC connectors have some drawbacks such as the necessity of careful end face cleaning and an increasing mating force as the number of fibers increases. To overcome these drawbacks, we have developed a new multi-fiber connector that has an air-gap between its end faces. Eliminating the need for PC connection, this connector offers good optical characteristics and high reliability. This paper reports on the optical characteristics and reliability test result of the new connector.

キーワード：光多心コネクタ、耐ダスト性、エアギャップ、信頼性

1. 緒言

インターネット上で流通する情報を扱うデータセンターでは、クラウドサービスや動画配信サービスなどの急激な普及に伴うデータ通信量の増大に伴い高速・大容量のデータ伝送が可能な光通信の需要が高まっている。

現在、データセンター内での機器間光接続は単心光コネクタではLCコネクタ、多心光コネクタではMPOコネクタ^{*1}が主流である。これらのコネクタは、フィジカルコンタクト（PC）接続と呼ばれる方法で接続を行っている。PC接続は図1に示すように、光ファイバ同士を直接接触させて圧力を加え、光信号の通り道であるコアを隙間なく密着させて接続させる方式のことであり、低挿入損失と高反射減衰量といった良好な光学特性を実現できる。

しかし、PC接続を用いるコネクタは以下に示す問題を抱えている。一つ目は嵌合力の増加である。PC接続はそ

の原理から一つのコネクタあたりのファイバ本数が増加すると嵌合力を大きくする必要がある。IEC^{*2}によってMPOコネクタの標準化がされており、その規格ではファイバ本数が12本以下のコネクタの嵌合力は9.8 N⁽¹⁾、ファイバ本数が24本など2段に配列されているコネクタの嵌合力は20 N⁽²⁾とされている。光通信の需要が高まる中、今後更なる多心化が求められることが予想されているが、この傾向が続くとさらに強い嵌合力が必要となり、作業性の悪化やコネクタハウジングの堅牢化によるコスト増加が問題となる可能性がある。二つ目はコネクタ端面の清掃問題である。マルチモード光ファイバのコアのサイズは50 μmと小さいため、埃などのわずかな異物でも光路を遮り、接続部での損失が増大する可能性がある。また、PC接続では光が伝搬するコア同士を直接接触させるため、ファイバ端面に異物が存在した状態で嵌合すると異物が端面に押し付けられて固着する可能性がある。

これらの問題を解決するために、PC接続を行わない光コネクタの開発・検討が盛んに行われている。そのうちのひとつがコネクタに取り付けられたレンズによって光線を拡大する、レンズコネクタである^{(3)~(6)}。光線を拡大しているため、異物による光路の遮りの影響を低減できることが特徴である。また、PC接続とは異なり光ファイバ同士を直接接触させる必要がないため、嵌合力はファイバの本数に依らず一定とすることが可能で、光路に異物を押し付けて固着することもない。このコネクタの開発では、光ファイバと

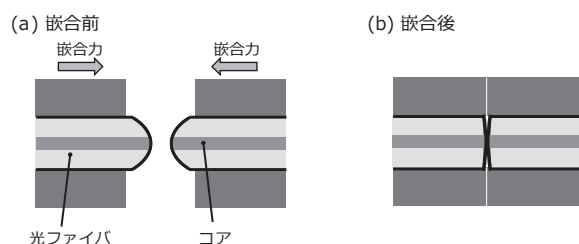


図1 PC接続の模式図

コネクタに取り付けられるレンズの位置ずれが損失に直結するため、これらの位置合わせが非常に重要な開発要素である。

PC接続を行わない他の方式として、嵌合時のコネクタ間にわずかな隙間を設けるエアギャップコネクタも類似の効果を得ることができる。光線を拡大しないため異物による光路の遮りの可能性はPC接続と大きく変わらないが、コネクタ端面を直接接触させる必要がないため、嵌合力の低減や光路への異物の固着を防ぐことができる。この方式は、レンズコネクタと異なり、調心が必要な光学素子が光ファイバだけなので、調心による製造ばらつきの影響を最小限に抑えることができ、低挿入損失を実現できる可能性が高い。文献(7)では、特殊な端面研磨でファイバ端面をへこませ、嵌合時にエアギャップができるようになっている。コネクタ端面に反射防止膜を施すことでコネクタ端面間での光学干渉を抑制している。

当社は、エアギャップを形成するためのフィルムをコネクタ端面に貼り付けたエアギャップコネクタ (FlexAir ConnecT) を開発した。この方式では、コネクタ間隔の寸法を文献(7)と比較して自由に選択することができるため、設計面で有利な方式である。この利点を生かし、反射防止膜がなくても光学干渉の抑制と低挿入損失の両立を達成した⁽⁸⁾。

2. 構造

今回開発したエアギャップコネクタの構造を図2に示す。このコネクタと従来のMPOコネクタの違いは使用しているハウジングの形状とオス側コネクタのフェルール端面にフィルムを貼り付けている点である。このコネクタの製造プロセスはMPOコネクタの製造プロセスとほぼ同一であり、オス側コネクタのフェルール端面にフィルムを貼り付ける工程を追加するだけで実現することができる。このフィルムはフェルールと同じ材料で作られており、線膨張係数も同じである。そのため、温度変化時に生じる線膨張係数差による応力の発生を抑えることができ、高い信頼性を確保することができる。コネクタが嵌合した際にはこのフィルムの厚み分だけ、フェルール間にスペースが設けられる。

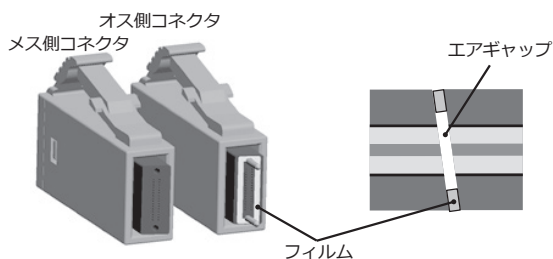


図2 開発したコネクタの斜視図と断面図

フィルムはファイバ部を避け、フェルールの外周部に貼り付けられており、コネクタ間の光線は空气中を伝搬する。これにより、ファイバ同士の直接接触を避け、PC接続を行わないコネクタを実現している。

コネクタの嵌合力はファイバの本数に依らず一定とすることが可能で、今回の開発品は嵌合時の姿勢確保に十分な3Nに設定した。この荷重は24心MPOコネクタで標準化されている嵌合力のおよそ7分の1である。この嵌合力の低減により、ハウジングの簡素化を実現することができる。図3に示す通り、アダプタの断面積は13.8 mm × 7.1 mm であり、MPOアダプタと比較して65%まで減少させている。

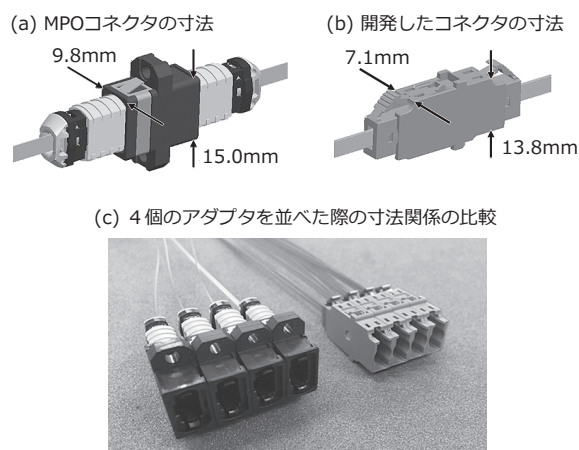


図3 MPOコネクタとの寸法比較

3. 光学設計

前節でも述べた通り、今回開発したコネクタはオス側コネクタのフェルール端面に貼り付けたフィルムを除くとMPOコネクタとほぼ同一の設計としている。そのため、基本的な光学設計はMPOコネクタの設計を踏襲し、フィルムの厚みとフェルールの端面角度を最適化することで設計を行った。本光学設計の目標は、反射防止膜がなくとも光学干渉を起こさないことと、MPOコネクタ標準グレードに相当する挿入損失0.75 dB以下を達成することとした。

光学干渉はコネクタ端面間での多重反射によって生じる。本来の透過光とは別に一方のコネクタ端面での反射光がもう一方のコネクタ端面でも反射して伝搬する光、さらに反射を繰り返して伝搬する光・・・のように複数回反射した光が伝搬することで生じる。コネクタ間隔と波長の関係性で光が強め合ったり弱め合ったりするため不安定な光学特性の要因となる。これを解消するためには、複数回反射した光が受光側のコネクタに伝搬することを防げばよく、反射光自体を反射防止膜によって抑制するか、反射光が受光側コアから離れた位置に到達させればよい。前者の方法は

文献(7)で用いられているが、大掛かりな設備が必要になるなどデメリットもある。後者の方法については、フィルムの厚みとフェルールの端面角度の最適化により実現できる可能性がある。

フェール端面角度については、マルチモードファイバ用MPOコネクタで使用されている直角研磨では干渉の抑制が困難であるため、シングルモードファイバ用MPOコネクタで一般的に使用されている 8° 研磨端面を使用することとした。次にフェール間隔と挿入損失の関係を実験的に求めた。マルチモードファイバをMTフェールに実装して端面を 8° に研磨したMTコネクタを作製し、調心機を用いて端面間隔を変化させながら挿入損失を測定した。光学干渉が発生すると端面間隔を変化させたときに挿入損失の値が大きく変動するため、それらの変動が発生しない範囲を選択することとした。測定結果を図4に示す。コネクタ間隔 $5\mu\text{m}$ から測定を行ったが、 $14\mu\text{m}$ よりコネクタ間隔が狭い範囲では端面間隔の変化に対して大きく挿入損失が変動しており、光学干渉が発生していることが分かる。また、端面間隔を拡大していくと、挿入損失の変動は小さくなるものの徐々に絶対値は増大していく。挿入損失 0.75dB を達成するために、損失を要素ごとに分解した。低損失グレードのフェールを使用することで、挿入損失は 0.35dB まで抑えられ、フェール端面でのフレネル反射^{*3}による損失が2面分で 0.30dB 生じる。これらを加味すると、間隙を設けることで生じる損失として許容されるのは 0.1dB 以下となった。

光学干渉が抑えられる領域は $14\mu\text{m}$ 以上、間隙による損失増加が 0.1dB 以下となる領域は $30\mu\text{m}$ 以下であるため、製造公差等を考慮に入れて、フェール間隔は $25\mu\text{m}$ と設計値を定め、実際に試作を行うこととした。

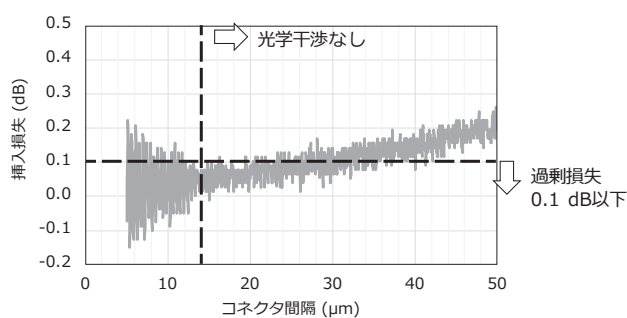


図4 コネクタ間隔と挿入損失の関係性

4. 光学特性

ここまで述べてきた構造と光学設計を基に24心マルチモードファイバ用コネクタを試作しその光学特性を測定した。標準のMPOコネクタと同じく、同じ段の光ファイバ

配列ピッチは 0.25mm で段間ピッチは 0.50mm である。また、測定波長は 850nm である。

4-1 挿入損失

試作したコネクタの挿入損失の測定結果を図5に示す。この結果は288チャンネル分の結果であり、6個のオス側コネクタと6個のメス側コネクタをランダムに2回ずつ嵌合させた、12組分の接続の結果である。平均挿入損失は 0.49dB 、最大挿入損失は 0.58dB であり、目標の 0.75dB 以下を達成した。

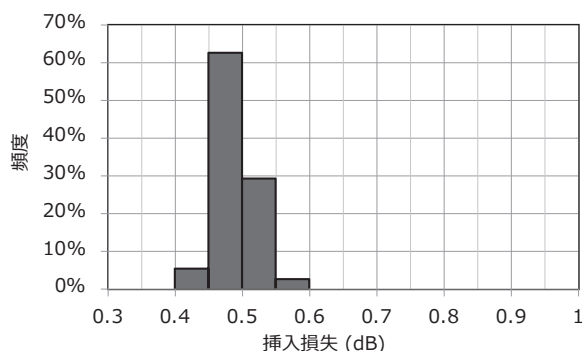


図5 挿入損失測定結果

4-2 反射減衰量

試作したコネクタの反射減衰量の測定結果を図6に示す。最小値は 38dB であった。PC接続していないことやコネクタ端面に反射防止膜はないことから、反射光は発生しているものの、端面角度を 8° に研磨しているため反射光は出射側コネクタには戻らず、良好な反射減衰量の値を得られた。

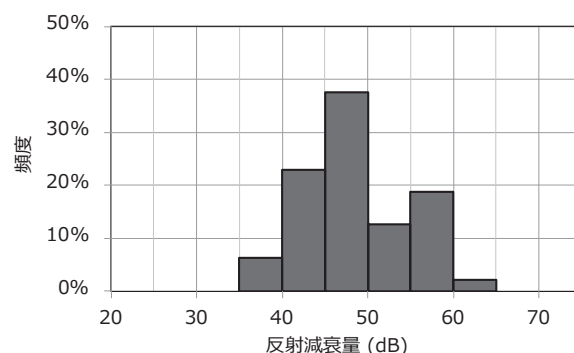


図6 反射減衰量測定結果

5. 信頼性試験

次に、今回試作したエアギャップコネクタの信頼性試験を実施した。全ての試験において、挿入損失変動0.3 dB以下を規格に設定して試験を行った。

5-1 着脱試験

着脱時にコネクタやフェルールから生じる異物の影響やフィルムの耐性を評価するために、連続着脱試験を行った。

試験前後での端面状態の観察と着脱50回ごとの全心の挿入損失測定を行った。また、端面清掃は従来の接触式の清掃ツールよりも容易に清掃可能な、エアブローによる簡易的な清掃ツールを用いた。この方式は多連化も容易な方式である。着脱5回ごとに端面清掃を行った。試験結果を図7に示す。

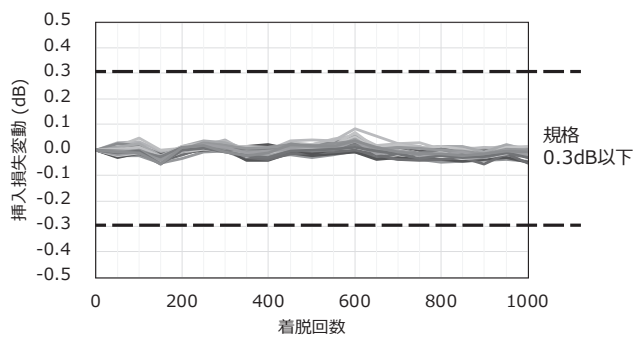


図7 着脱試験結果

合計1,000回の着脱を行ったが、挿入損失変動は0.08 dB以下と非常に良好であった。また、端面のフィルムにも外観上傷などの変化は見られなかった。

5-2 Service life test

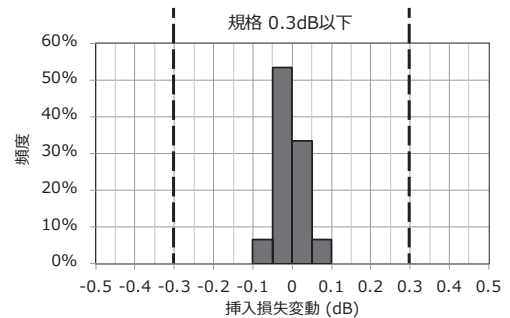
多心光コネクタの環境試験の規格として広く知られている、Telcordia GR-1435-CORE issue2を基にした信頼性試験を実施した。実施した試験リストを表1に示す。このリス

表1 Service life test 試験リスト

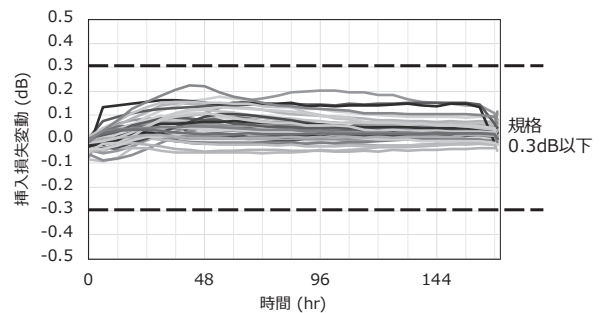
項目	条件
Thermal Aging	85°C, 168 hr
Humidity Aging	95%RH at 75°C, 168 hr
Thermal Cycle	-40 to 75°C, 168 hr (21 cycles)
Humidity Cycle	-10 to 65°C 95%RH, 168 hr (14 cycles)
Vibration	10 to 55 Hz, 2 hr / Axis for 3 axis
Flex	2.2 N, ±90°, 100 times
Twist	2.2 N, ±360°, 10 times
Transmission Under The Load	2.2 N, 0°
Impact	1.5 m, 8 cycles
Durability	50 cycles

トはTelcordia GR-1435-CORE issue2のUncontrolled conditionを基に作成し、各試験を連続して実施した。

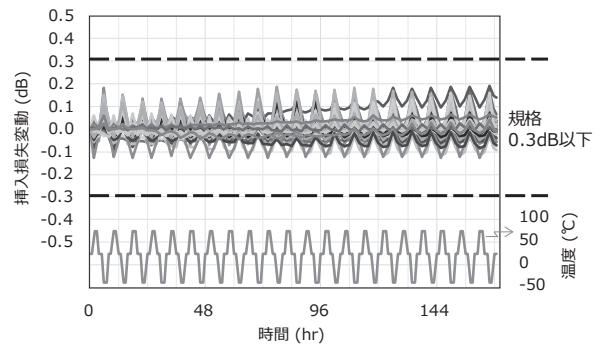
この試験で使用したサンプル数は15組、360心である。試験実施前とすべての試験が終了した後に挿入損失を測定しその変化量を確認した。また、試験中はサンプル1組当たり3心分、合計45心分の挿入損失変動をモニタした。



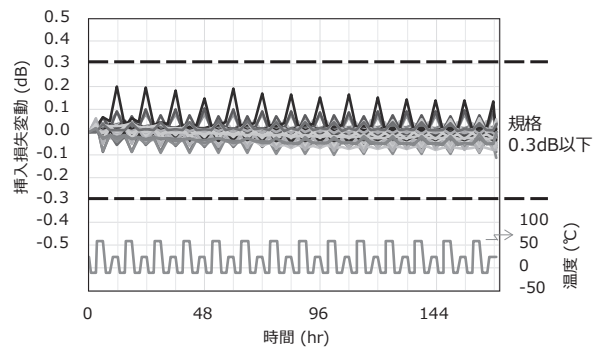
(a) 高温放置試験(Thermal Aging)



(b) 高温高湿試験(Humidity Aging)



(c) 温度サイクル試験(Thermal Cycling)



(d) 湿度サイクル試験(Humidity Cycling)

図8 Service life test 環境試験結果

前半は環境試験であり、各試験の挿入損失の変動を図8に示す。高温放置試験（Thermal Aging）では、試験前後での挿入損失変動を測定し、最大変動は0.09 dBであった。高温高湿試験（Humidity Aging）では、試験前後と試験中の6時間おきに挿入損失変動を測定し、最大変動は0.22 dBであった。温度サイクル試験（Thermal Cycling）では、試験前後と温度が高温（75℃）、常温（23℃）、低温（-40℃）それぞれで安定した状態での挿入損失変動を測定し、最大変動は0.19 dBであった。湿度サイクル試験（Humidity Cycling）では、試験前後と温度が高温（60℃）、常温（23℃）、低温（-10℃）それぞれで安定した状態での挿入損失変動を測定し、最大変動は0.20 dBであった。これらの環境試験での挿入損失変動は0.3 dB以下であり、規格を満足したことを確認した。

後半の機械試験の結果を表2にまとめる。振動試験、引張試験、衝撃試験、着脱試験それぞれの試験前後での挿入損失の変動を測定し、最大変動は0.14 dBであった。これらの機械試験での挿入損失変動は0.3 dB以下であり、規格を満足したことを確認した。

表2 Service life test 機械試験結果

項目	最大損失変動
Vibration	0.02 dB
Flex	0.02 dB
Twist	0.02 dB
Transmission Under the Load	0.05 dB
Impact	0.14 dB
Durability	0.01 dB

最後に、全てのチャンネルの挿入損失を測定した。試験前後での挿入損失変動の分布を図9に示す。挿入損失変動は0.3 dB以下であり、規格を満足したことを確認した。

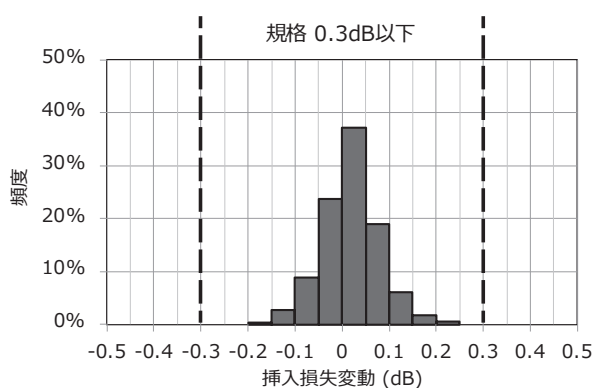


図9 Service life test 試験前後挿入損失変動分布

6. 結 言

嵌合時のコネクタ間に微小なエアギャップを設けられた多心光コネクタの開発を行った。従来の多心光コネクタはPC接続を行う必要があるため、ファイバ心数に応じた強い嵌合力が必要になるが、今回開発したコネクタはそのような強い嵌合力は不要である。また、エアギャップを設けるために、フェルールと同じ材料のフィルムを使用することで良好な信頼性を得ることができ、フィルムの厚みを適切に設定することで反射防止膜を施さなくとも光学干渉の抑制と低挿入損失を実現することができた。

用語集

※1 MPO コネクタ

Multi-fiber Push-onコネクタの略称で、PC接続を用いた多心光ファイバコネクタ。

※2 IEC

電気工学、電子工学の分野に特化した国際的な標準化団体。International Electrotechnical Commissionの略称。

※3 フレネル反射

異なる媒質の境界面で生じる反射のこと。反射率は媒質の屈折率によって決まる。反射防止膜を用いることで反射率を低減することができる。

・FlexAirConnectTは、住友電気工業㈱の登録商標です。

参 考 文 献

- (1) IEC 61754-7-1 : 2014. Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces - Part 7-1: Type MPO connector family - One fibre row
- (2) IEC 61754-7-2 : 2017. Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces - Part 7-2: Type MPO connector family - Two fibre rows
- (3) A. Nakama et al., "High Density Optical Connector with Unibody Lensed Resin Ferrule," Proc. IWCS2015, 8-3
- (4) D. Childers et al., "Next-generation, high-density, low-cost, multimode optical backplane interconnect," Proc. SPIE, vol. 8267, 82670O (2012)
- (5) O. Shimakawa et al., "Single-mode 24-fiber connector with GI fiber lens array," Proc. OFC2015, W4B.2
- (6) H. Arao et al., "Single-mode 32-fiber connector with GI fiber lens array," 2015 IEEE Optical Interconnect Conference, WB4
- (7) B. Jian, "The NonContact Connector: A New Category of Optical Fiber Connector," Proc. OFC2015, W2A.1
- (8) H. Arao et al., "Small Footprint Air-gap Multi Fiber Connector with Low Loss and Low Mating Force," Proc. OFC2018, W1A.3

執筆者

荒生 肇* : 光通信研究所 主査



矢加部 祥 : 光通信研究所



上原 史也 : 光通信研究所



佐々木 大 : 光通信研究所 主席



島津 貴之 : 光通信研究所 グループ長



*主執筆者