

多心型 OPGW の開発

Development of High Fiber-Count OPGW

磯本達也* Tatsuya Isomoto	平松耕太郎* Koutarou Hiramatsu	木村太郎* Taro Kimura	下田一彦* Kazuhiko Shimoda	吉田 覚*2 Satoru Yoshida
神山秀樹*2 Hideki Kamiyama	大橋資夫*3 Yorio Ohashi	牧井 健*4 Takeshi Makii	藤原裕士*2 Yuuji Fujihara	

概要 通信需要の増大に伴う OPGW (Composite Fiber-Optic Ground Wire) の多心化へのニーズに対応するため、60心収納可能な多心型 OPGW を開発した。

この光ユニットは新構造の 12心一括バンドルを 5バンドルより合わせた構造であり、試作評価の結果、温度特性や機械的特性など、従来型 48心光ユニットと同等の結果が得られた。

更に、OPGW 化し、圧潰試験等の諸特性において、従来型 OPGW と同等の性能であることを検証すると共に、敦賀試験線における実証試験を行った。この結果、実証試験中の伝送損失の変動量は 0.0025 dB/km 未満であり、極めて高い信頼性を有することが検証された。

今後、多心型 OPGW は通信情報ネットワークの増容量化に大きく貢献できるものと期待される。

1. はじめに

OPGW は架空送電線路に架線してある架空地線の中心に光ファイバを収納したものである。

このため、光ファイバの持つ高品位、大容量伝送の特長を生かし、既存の送電線網を利用して長距離かつ広範囲な電力通信システムを合理的に構築できることから、国内外の電力会社に広く採用されている。

近年における情報通信需要の増大に伴い、OPGW についても大容量化が求められていることから、60心収納可能な多心型 OPGW (図1及び図2) を開発したのでここに報告する。

2. 従来型 OPGW の構造と特徴

OPGW は光ファイバ収納部にアルミ覆鋼線やアルミ合金線をよりあわせたもので、収納部の構造により、固定型と非固定型に分類される。

固定型の光ファイバ収納部はアルミ管内にらせん状の溝が切られたアルミスペーサを収納し、その溝部に 6心以下の一括光ファイバを配置した構造である。

一方、関西電力で使用している OPGW は非固定型であり、その構造は図1に示すように、アルミ管とアルミ覆鋼線等で構成されるより線部と光ユニットから構成されている。このため、収納可能な光ファイバの心数はアルミ管の外径並びに、それによって決定する光ユニットの外径によって制約を受ける。

また、光ファイバの被覆材には耐熱特性に応じた材質を使い分けており、154 kV を超える高圧系では比較的高温で使用されるため、耐熱性にすぐれたシリコンファイバを使用し、154 kV 以下の低圧系では比較的低温で使用されるため、シリコン

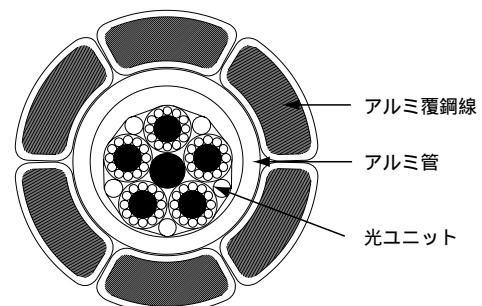


図1 多心型 OPGW (60心収納型)
Cross-section of high fiber-count OPGW

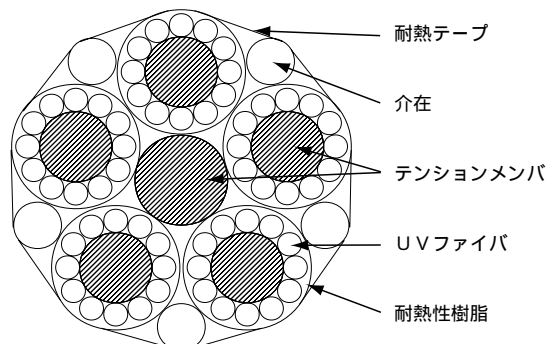


図2 多心型 OPGW の光ユニット
Cross-section of optical fiber unit

* 関西電力株式会社

*2 裸線事業部 技術部

*3 裸線事業部 開発部

*4 オプトコム事業部 千葉通信製造部

ファイバに加え、外径の小さなUVファイバを使用している。

上記のように、現状のOPGWは適用する送電系統により最大心数が異なり、外径6.0 mmのアルミ管を使用した場合、高压系は24心、低压系は48心が最大心数となっている。

48心型光ユニットの構造は表1に示すとおりであり、テンションメンバを中心にUVファイバを6本より合わせたのち、耐熱性樹脂で被覆したものを1単位（以下バンドルと呼ぶ）とし、テンションメンバを中心に8バンドルより合わせて耐熱テープで押さえ巻きした構造となっている。

なお、非固定型OPGWではアルミ管内で光ユニットが固定されていないことから、施工時の電線の伸びや回転の影響を受けにくい特長を持つ反面、金車通過時などに受ける側圧によりアルミ管が変形する懸念がある。このため、図1に示すように光ファイバ収納部の周りにより合わせるアルミ覆鋼線には扇型の成形線を使用し、施工時に生じる側圧からアルミ管を保護する構造となっている。

3. 多心型OPGWの設計

従来からOPGWはアルミ管の径を大きくすることにより、収納心数を増加させてきた。したがって、多心型OPGWについても以下の点を考慮し設計を行った。

- ・ 収納可能心数を増やすためにアルミ管を大きくする。
- ・ より線としての機械的、電気的特性を維持する。
- ・ 従来の金具、工具をそのまま使えるようにする。
- ・ 風圧荷重が同等になるようにする。

3.1 光ユニットの要求性能

(1) 収納心数

従来の光ユニットの最大収納心数は48心であるため、25%増加である60心以上収納することを目標とした。

(2) 耐熱特性

OPGWは送電線の常時の誘導電流や落雷などの事故時の瞬時電流、誘導電流により温度上昇する。したがって、このときの温度条件における伝送損失の変動や被覆材の劣化を評価する必要がある。

今回の開発品は154kV以下の送電系統に適用されるため、従来の低压系用48心光ユニットと同様の温度条件として下記を設定した。

- ・ 瞬時：120 8時間
- ・ 短時間：90 400時間

(3) 光ユニットの外径

アルミ管の外径を6.5 mmと設定し、アルミ管の厚さについては圧潰特性を考慮し従来型と同じ0.7 mmとした。したがって、アルミ管の内径は5.1 mmとなる。

また、非固定型光ユニットは、架線工事時に生じる側圧や曲げから光ユニットを保護するために、アルミ管との間にクリアランスを確保することが重要である。このため、多心型光ユニットの外径を4.3 mm以下とし、従来型OPGWと同一の0.8 mmを確保することとした。

3.2 OPGWの要求性能

(1) 圧潰特性

OPGWは架線時の金車通過やクランプでの把持等、様々な側圧を受ける。よって、多心型OPGWはこれらの施工時、架線状態で生じる側圧を加えても伝送損失の変動がないものとした。

(2) 弛度特性

OPGWを本線弛度の80%で架線したとき、従来電線と同等の安全率及び常時張力であることとした。

4. 設計結果

4.1 光ユニット

(1) 構成材料

多心型OPGWは耐熱性及び信頼性を考慮し、従来のOPGWと同じ構成材料とした。

(2) 光ユニットの構造


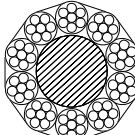
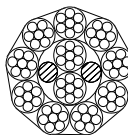

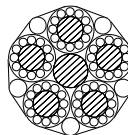
多心型光ユニットについては、表1に示す3種類の構造について検討をおこなった。

案1は従来型の光ユニットと同じ6心一括バンドルを10バンドルより合わせた構造である。本構造は従来型のバンドル数を増やしたものであり、各種特性は従来品と同等であると予想されるが、外径が大きくなりすぎるため、クリアランスの確保の面から適用は難しいといえる。

案2は6心一括バンドルを2層により合わせることににより、光ファイバの収納効率を高め、外径を小さくした構造である。2層構造は使用実績が少なく、外層をよりあわせることにより内層のバンドルが側圧をうけ、伝送損失が変動する可能性がある。

案3は1バンドルの収納心数を増やすことにより、光ファイバの収納効率を高め、外径を小さくした構造であり、バンドル

表1 光ユニット構造
Comparison of optical fiber unit structures

	48心（従来型）	案1	案2	案3	最終構造
構造					
収納心数	48心	60心	66心	60心	60心
ファイバ種類	UVファイバ	UVファイバ	UVファイバ	UVファイバ	UVファイバ
光ユニット外径	約3.8 mm	約4.5 mm	約4.1 mm	約4.1 mm	約4.1 mm

の収納心は、従来の6心一括バンドルとの接続を考慮し12心構造とした。ただし、5バンドル構造のため、ケーブル断面が五角形に近く、アルミ管との接触面積が多くなることにより、摩擦が増加する可能性がある。

上記の3構造において、光ユニット外径の制限や伝送特性を考慮すると案3の構造が最も優れているといえる。ただし、案

3は摩擦力の増加の可能性があるため、開発品は介在を入れることによりケーブル形状を丸形状に近づけた構造とした。

4.2 より線部

多心型 OPGW はアルミ覆鋼線の等価径を若干小さくし、より線外径を従来型と同一とした。表2に最小サイズである55 mm²の設計結果を示す。

開発品は引張荷重が若干低下するものの、質量は減少するため、最大使用張力に対する最小引張荷重の安全率は3.0以上確保することができた。また、常時張力も従来電線と比較し1%以内の差となっている。なお、電気抵抗については若干増加するが、事故時の最高到達温度でも、光ユニットの許容温度以下であることを確認した。

表2 より線部の設計結果
Lay-stranded section

	従来型	開発品
構造		
サイズ	55 mm ²	55 mm ²
より線構成	23AC 7/ (3.44) mm ¹ OP 1/6.0 mm	23AC 7/ (3.30) mm ¹ OP 1/6.5 mm
外径	10.6 mm	10.6 mm
アルミ覆鋼線断面面積	55.76 mm ²	51.32 mm ²
アルミ覆鋼線厚さ	2.30 mm	2.05 mm
最小引張荷重 質量	63.7 kN 385.3 kg/km	58.6 kN 360.0 kg/km
電気抵抗	1.36 /km (20)	1.48 /km (20)

¹ () 内は等価径

5. 評価

5.1 光ユニットの評価結果

光ユニットの評価項目として、従来の光ユニットの評価項目と同じ試験項目について試験を実施した。また、目標性能については、表3に示すように、従来の光ユニットと同等とした。

特に、12心一括バンドルについては初めての構造であり、バンドル中心のテンションメンバが太いため、圧縮特性と温度特性の変化が予想されることから、圧縮特性と温度特性については、目標性能に対し十分な余度を持っていることを確認することとした。

光ユニットの評価結果は表3に示すように、目標値を満足しており、48心型光ユニットと同等の性能であることを確認した。

表3 光ユニットの評価結果
Test conditions and results of optical fiber unit

評価項目	評価方法	目標性能	評価結果
外径	光ユニットの外径を測定する。	約4.4 mm以下	3.85 ~ 4.00 mm
伝送損失	光ユニットの伝送損失を測定する。	最大：0.5 dB/km	最大：0.370 dB/km 平均：0.357 dB/km
光ユニット引張試験	光ユニットに張力を加え、伝送損失が増加しない限界の張力を調べる。	552 Nで損失増加がないこと。 1.84 kNで破断しないこと。	1.23 kN (1%伸び時)において伝送損失の増加なし。 2.45 kN (2%伸び時)において光ユニットの破断なし。
光ユニット曲げ試験	光ユニットをマンドレルに沿って±180度で曲げ、伝送損失が増加しない限界の曲げ半径と損失が残留しない限界の曲げ半径を調べる。	損失増加しない曲げ半径の限界が500 mm以下であること。 損失残留しない曲げ半径の限界が200 mm以下であること。	曲げ半径100 mmまで損失増加なし。 曲げ半径50 mmまで損失残留なし。
光ユニット圧縮試験	光ユニットに50 mm平板で側圧をかけ、伝送損失が増加しない限界の側圧を調べる。	側圧29.4 N/cmで損失増加がないこと。	47 N/cmまで損失増加なし。
損失温度変動	光ユニットを恒温槽内で -20 ×2 hr ~ +90 ×2 hr, 2サイクルで温度を変動させ、温度と伝送損失との関係を調べる。	最大：0.2 dB/km以下	試験時：0.02 dB/km 試験後：0.01 dB/km
瞬時耐熱性	光ユニットを恒温槽内で120 ×8 hr加熱し、加熱時、加熱後の伝送損失を調べる。	最大：0.2 dB/km以下	試験時：0.01 dB/km 試験後：0.01 dB/km
短時間耐熱試験	光ユニットを恒温槽内で90 ×400 hr加熱し、加熱時、加熱後の伝送損失を調べる。	最大：0.2 dB/km以下	試験時：0.02 dB/km 試験後：0.02 dB/km
低温試験	アルミ造管した光ユニットを恒温槽内で -20 ×24 hr冷却し、冷却中、冷却後の伝送損失を調べる。	最大：0.2 dB/km以下	試験時：0.01 dB/km 試験後：0.01 dB/km

なお、圧縮特性については、施工時に想定される最大の荷重である 29.4 N/cm に対し、1.5 倍以上の圧縮特性を有することを確認し、また、温度特性についても最大 0.02 dB/km の損失

変動量であり、目標値に対し十分な性能であることを確認した。

温度特性試験の特性例として、図3に損失温度変動試験結果を示す。

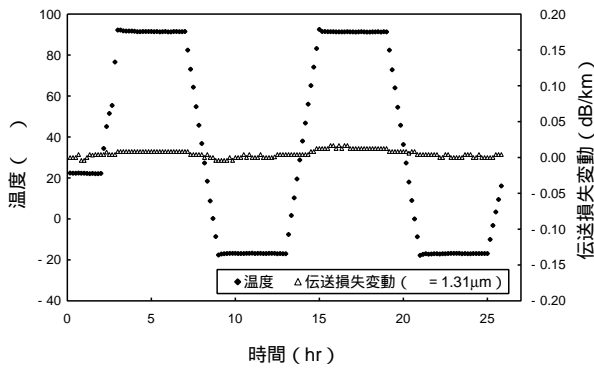


図3 損失温度変動の試験結果
Thermal stability

5.2 OPGW の評価結果

開発品は従来の OPGW と比較し、アルミ覆鋼線の等価素線径及びアルミ管外径が変更されているため、圧潰特性が変化することが予想された。更に、圧潰特性は OPGW のサイズが小さいほど試験条件が過酷となるため、試作及び評価として、最も小サイズである 55 mm² を選定した。また、OPGW の評価項目は従来の OPGW の試験項目に準拠した。

OPGW の評価試験結果を表4示す。なお、特に圧潰力については架線時に想定される最大の圧潰力である 2610 N/50mm に対し、6000 N/50mm まで損失増加がない結果であり目標値を満足している。また、クランプ適用性試験及びカムアロング適用性試験では滑りや伝送損失の変動もなく良好であり、摩擦係数も 48 心型と同等であった。

表4 OPGW の評価結果
Test conditions and results of OPGW

評価項目	評価方法	目標性能	評価結果
引張荷重	試料の片端より試験片をとり、光ファイバ素線の両端で樹脂などで固定し、つかみ間隔1000 mm以上として引張試験を行う。	58.6 kN以上	70.2 kN
金車通過試験	下記条件で金車通過試験を実施する ・カテナリ角：30°以上 ・金車径：450 mm（ウレタンゴム張り） ・電線張力：20%UTS ・金車通過回数：20回	損失変動がないこと。	損失変動なし。
圧潰試験	より線を幅50 mmの平板ではさみ、圧潰力を加え、光ファイバの伝送損失が急増する圧潰力を求める。	2610 N/50mmまで損失変動がないこと。	損失が増加した荷重 6100 kN
吸収エネルギー	より線を張力下（20%UTS）で架線し、加振機により加振を行い吸収エネルギーを求める。	従来型OPGWと同等であること。	従来型OPGWと同等である。
回転試験	試料の片端を固定し、20%UTSの張力下で有効長10 m以上として他端からねじりを加え、伝送損失の増加するねじり回数を求める。	2回/10 mの回転を加える前後で、損失変動がないこと。	損失が増加した回数 20回/10 m
振動試験	微風振動を模擬した下記の条件により加振を行ない、伝送損失変化、光ユニット外觀構造を測定する。 ・張力：20%UTS（光ファイバ両端は固定） ・振幅：1～10 mm ・周波数：1～100 Hz ・振動回数：10 ⁷ 回	損失変動が0.2 dB/km以下であること。また、試験後の光ユニットの外觀に異常がないこと。	損失変動なし。 光ユニットの外觀に変化なし。
摩擦係数	直線及び曲げ時における、光ケーブル引き抜き時の摩擦係数（静止及び動）を測定する。曲げ角度は90度とする。	48心型と同等であること。 48心試験結果 ・静摩擦係数 0.35 ・動摩擦係数 0.31	48心型と同等である。 静摩擦係数 0.361 動摩擦係数 0.351
クランプ適用性	所定の方法でより線にクランプを取り付け、21.6 kNまで張力を加え、クランプの滑り、伝送損失を測定する。	問題となるクランプの滑りなし。 損失変動がないこと。	従来のクランプが適用可能。 問題となるクランプの滑りはない。 損失変動なし。
カムアロング適用性	より線にカムアロングを取り付け、23.4 kNまで張力を加え、カムアロングの滑り、伝送損失を測定する。	問題となるカムアロングの滑りなし。 損失変動がないこと。	従来のカムアロングが適用可能。 問題となるカムアロングの滑りはない。 損失変動なし。

6. 試験線路における実証試験

施工性、長期信頼性、架線金具及び付属品の確認を目的に平成10年9月から平成11年3月までの半年にわたり、敦賀試験線で実証試験を実施した。本試験線は、琵琶湖の北側、福井県と滋賀県の県境にまたがる標高約600 mから800 mの東西に走る尾根上に建設されている。径間数は2径間であり径間長はおのおの350 mである。なお、本試験線は高標高にあり、冬季の気象環境が厳しく、過去に重着氷や着雪によるギャロッピングが観測されている。図4に敦賀試験線の概要を示す。

6.1 架線試験

架線工法は一般的な架線工法である吊金工法を採用した。また、架線金具及び付属品の適用性は工場試験で検証されていることから、従来の架線金具及び付属品で施工を実施した。写真1に試験状況を示す。

延線前、延線後、吊金反転後、緊線後の各工事ごとに、伝送損失について測定を行い、伝送損失の増加がないことを確認した。

また、架線工事終了後、全心についてOTDRによる測定を行い、局所的な損失変化がないことを確認した。

非固定型のOPGWでは、光ユニットに過度のストレスが掛かっていないことを確認するため、実長差の管理が行われる。このため、OPGWの張力や光ユニットの移動量を測定した。その結果、光ユニットの移動量の測定値と計算値の差は0.005%と非常に小さく、従来の計算方法による管理ができることを確認した。

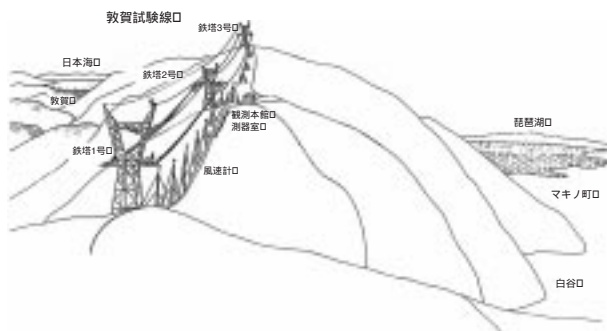


図4 敦賀試験線概要
Tsuruga test line



写真1 架線試験状況
Installation

6.2 フィールド観測

実環境での伝送性能を把握し長期信頼性に対する評価を行うため、伝送損失、電線張力、気象条件について、定時測定を行った。

フィールド試験期間中の気象は、最低気温が - 9.1 にも達しており、非常に厳しい条件であった。また、電線張力についても、着雪や強風が原因とみられる変動があり、緊線時張力である5.2 kNに対して、2倍以上の増加が確認された。

これに対し、伝送損失の変動量は0.0025 dB/km未滿と極めて小さな変動であり良好な結果であった。

更に、張力、気温と伝送損失について、図5及び図6に整理したが、特に相関はなく、張力や気温の変動に対しても伝送損失が安定していることが確認できた。

フィールド観測試験後、すべてのファイバについてOTDRで測定を行い、局所的な損失増加についても発生していないことを確認した。

また、OPGWを撤去し、解体調査を実施した結果、アルミ管、光ユニットに外傷がないことを確認した。更に、アルミ管については気密試験を実施し、気密性が保たれていることを確認した。

以上のことから 本開発品は従来と同じ架線工法が適用でき、冬季の過酷な環境下においても性能を満足することが確認できた。

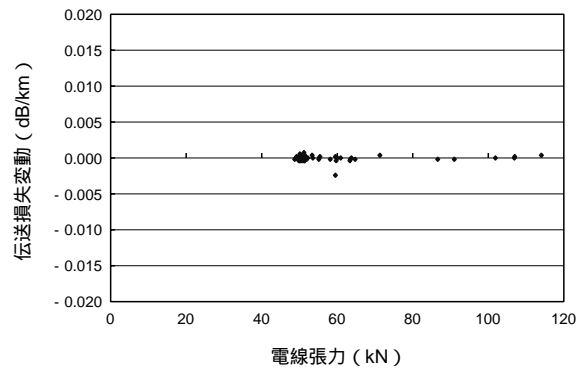


図5 張力と伝送損失の関係
Tension dependence of attenuation

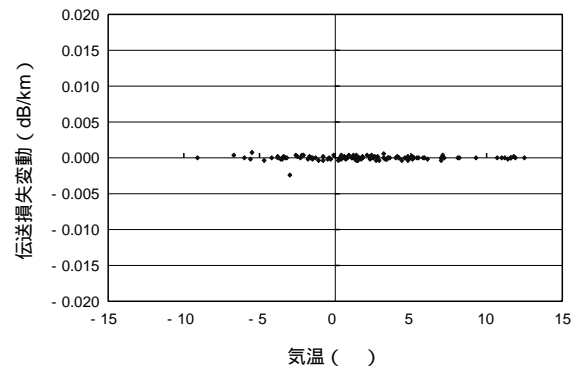


図6 気温と伝送損失の関係
Temperature dependence of attenuation

7. まとめ

今回、60心収納可能な多心型OPGWを開発した。OPGWの光ユニット部の設計では、従来型の6心一括バンドルを用いた構造で検討を行ったが、外径が大きくなる等の制限があり、新規に12心バンドル構造を採用した。

光ユニットの評価としては、12心バンドルの採用により、バンドル内のテンションメンバが太くなったことから、温度特性や圧縮特性の変化が予想されたが、評価試験の結果、従来の48心型光ユニットと同等の特性であることを確認した。

また、OPGWのより線部の設計については、従来のOPGWに対し風圧荷重の増加がないことと、従来の付属品や工具が使用できるようにするため、従来型OPGWと外径等価の構造とした。

OPGWの評価としては、アルミ覆鋼線の等価素線径及びアルミ管外径を変更したことにより、圧潰特性の変化が予想され

たが、架線時や運用時に受ける側圧に対し、十分な強度を持っていることを確認した。

長期信頼性の確認のため、平成10年度に敦賀試験線での実証試験を実施し、架線工事中に問題となる損失変動がないことを確認した。また、フィールド試験中の伝送損失の変動量も0.0025 dB/km未満と極めて小さいことを確認した。

これらの評価試験の結果、本開発品は従来のOPGWと同等の機械的特性、伝送特性、施工性を持ち、極めて高い信頼性を有することを検証した。

本開発品は、今後、情報通信ネットワークの増容量化に大きく貢献できるものと期待される。

本開発にあたり、御指導、御助力をいただきました関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 光ファイバ複合架空地線，電気協同研究 第46巻第1号，平成2年5月