

光海底ケーブル（OCC-SC300）の最新技術

西田 孝人・永富 治

要 旨

本稿では、最新の光海底ケーブルシステムに使用されているOCC-SC300のケーブルについて、技術的に優れた特長、特性を主に説明します。更に、最近の超長距離D-WDMシステムに適用される最新ファイバであるDMFの紹介、及びOCC-SC300ケーブル開発の最終段階に統合評価として行った海洋実験の内容についても概要を述べます。

キーワード

●光海底ケーブル ●D-WDM ●DMF ●OCC-SC100
●OCC-SC300 ●タイトタイプ構造 ●ルースタイプ構造

1. はじめに

初期の光海底ケーブルシステムの運用開始から20年余りが経過し、光ファイバ特性の向上や伝送技術の発展に伴い、光海底ケーブルも大きく変化を遂げてきています。加えて、昨今のITの飛躍的発展に伴い光海底ケーブルへの要求も、より早く、安く、信頼性が高く、容易に敷設できるものが求められています。

本稿では、最新の光海底ケーブル（OCC-SC300）の構造、特性及び実海域で実施した海洋実験結果について述べます。

2. 中継用光海底ケーブル（OCC-SC300）

太平洋横断光海底ケーブルシステムでは、システム長が約10,000km、最大水深は8,000mにもなります。このような長距離中継用光海底ケーブルシステムを構築する上で光海底ケーブルに要求される最も重要な事項は、光ファイバを敷設時の張力などの外力から守り、ケーブルが敷設される深海底の環境下において25年以上の長期間安定した特性を有することです。

1980年代に開発されたOCC-SC100光海底ケーブルは既に14万km以上製造し、世界各地域で運用実績があります。このOCC-SC100ケーブルは、光ファイバを中心鋼線の周囲に撚り合わせて、紫外線硬化型樹脂により充実した光ファイバユニットを採用したタイトタイプ構造のケーブルです。

近年においては、伝送容量の大容量化に伴いD-WDM（高密

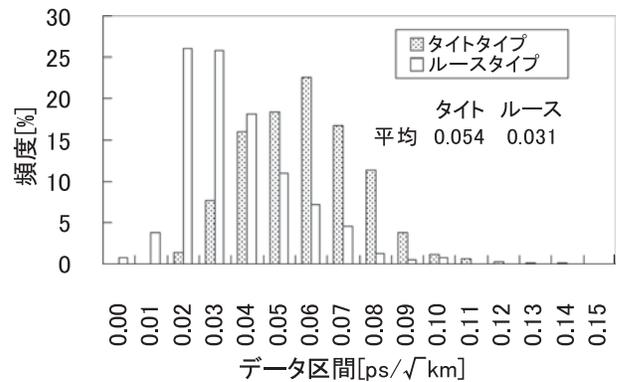


図1 PMD分布

度波長多重方式) 向けの拡大コア型ファイバが使用されています。OCC-SC100光海底ケーブルにおいても拡大コア型のファイバ（以下LMF：Large Mode-field Fiber）を適用したケーブルの開発¹²⁾に成功していますが、今後の更なる高密度で大容量の光伝送を見据えた場合、タイトタイプ構造ではPMD特性に限界が生じることが想定されました。

そこで、実績のあるOCC-SC100ケーブルの優れた機械・電気特性を維持しながら、よりファイバに優しいルースタイプ構造の光海底ケーブル（OCC-SC300）を開発しました。図1に、LMFをタイトタイプ構造とルースタイプ構造で製造した場合のPMD分布を示します。よりファイバへのストレスを低減できるルースタイプ構造の方がPMDを小さく抑えることが

できることがわかります。このようにOCC-SC300は優れた光学特性を持ちつつ構造的に大幅なコストダウンを実現したケーブルで、現在はこのケーブルが主力となっています^{3,4)}。

2.1 光ファイバ

長距離光海底ケーブルD-WDM伝送システムに用いられる最新の光ファイバについて説明します。

最近の長距離光海底ケーブルシステムには分散マネジメントファイバ（以下、DMF：Dispersion Management Fiber）と呼ばれるファイバが用いられます。DMFは正分散、正分散スロープのファイバ（以下、DMF+）と負分散、負分散スロープのファイバ（以下、DMF-）の2種類のファイバからなり、線長比率を約2:1に構成することで、波長分散スロープがほぼ0（ゼロ）となるように設計されています。DMF+、DMF-の特性を表1に示します。

DMF+とDMF-はその実効断面積にも特徴があり、光信号パワーの入射する側に実効断面積の大きなDMF+を配置し、信号パワーが弱まる出射側に実効断面積の小さなDMF-を配置することで非線形光学効果の抑制を図っています。

2.2 LWケーブル

OCC-SC300のLWケーブル構造を図2に示します。

OCC-SC300ケーブルの特徴は、光ファイバを直接3分割鉄個片内にジェリーとともに挿入している点にあります。これは、ユニット工程を省くことで光ファイバに加わる熱応力履歴を軽減し、併せて製造コストの低減を図っています。

3分割鉄個片上には、ハガネ線を撚り込み、その上に銅テープをフォーミングし、合わせ目をTIG溶接します。溶接された銅チューブの状態を径を絞り込むことでハガネ線と一体となった銅チューブ構造が完成します。

最大16心の光ファイバが実装可能であり、微細な張力制御、

表1 DMF+、DMF-の特性 (@1550nm)

項目	単位	DMF+	DMF-
光損失	dB/km	0.19	0.24
実効断面積	μm^2	100	30
波長分散	ps/nm/km	19	-38
分散スロープ	ps/nm ² /km	0.06	-0.12

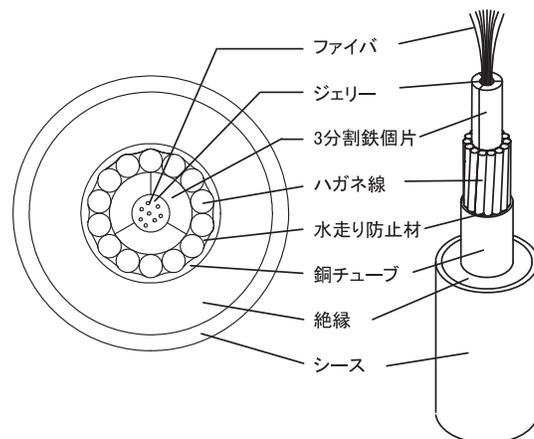


図2 OCC-SC300のLWケーブル構造

スラック制御技術や、安定した銅チューブ溶接技術などによって均一に長尺ケーブル（80km以上）を一連で製造することができます。

銅チューブはポリエチレン被覆により絶縁されてLW（Light Weight）ケーブルが完成します。

2.3 LWS、外装ケーブル

光海底ケーブルは、その使用環境によって外傷防止のためにさまざまな保護構造が施されています。特に陸揚げ局舎近傍の浅海域では漁労や錨などによりケーブルが損傷を受けやすいため、鋼線を1重あるいは2重に撚り込んで保護した外装ケーブルが使用されています。また、深海にいくに従って損傷を受ける可能性が少なくなるため、鉄テープで補強した軽外装のLWSケーブルが適用されます。

OCC-SC300ケーブルのLWS、外装ケーブルの代表であるSALケーブル断面構造を図3に、OCC-SC300ケーブルタイプ別諸特性について表2に示します。

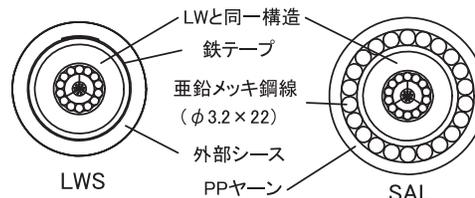


図3 LWS、外装ケーブル断面構造

表2 OCC-SC300ケーブルタイプ別諸特性

項目	単位	ケーブルタイプ				
		LW	LWS	SAL	SAM	DA
外径	mm	20.4	27	32	34	47
空中重量	kN/km	7.9	11.0	23.5	30.6	64.2
水中重量	kN/km	4.7	5.4	16.8	22.9	50.0
破断荷重	kN	98	98	310	380	800
耐水圧特性	MPa	≥78				
水走り長	m	≤250 @9.8MPa×2週間				
		≤1,000 @78.4MPa×2週間				
導体抵抗(3°C)	Ω/km	≤0.8				
絶縁耐力	-	15kV×25年間(設計寿命)				
適用水深	m	≤8,000	≤6,000	≤2,000	≤1,500	≤500

3. OCC-SC300光海底ケーブルの特性

3.1 ケーブル製造工程間ロス変化

ケーブル製造時の工程間ロス変化の把握については、ケーブルを製造する上で最も重要な点の1つです。特に拡大コア型ファイバ (LMF) を用いる場合、ケーブル化前のファイバはポビンに巻かれておりポビン巻きの影響によるロスが増加します。ケーブル化後にはファイバがルース状態となり、ロスが減少しますが、これらの製造工程間のロス変化を把握することは、システム設計上、重要なパラメータです。

LMFのケーブル製造工程間ロス変化の一例を図5に示します。ケーブル化前から約0.005dB/kmロスが改善されそれ以後は安定した特性を示していることが確認されます。これは、ケーブル化においてマイクロバンドなどが発生していないことを示しています。

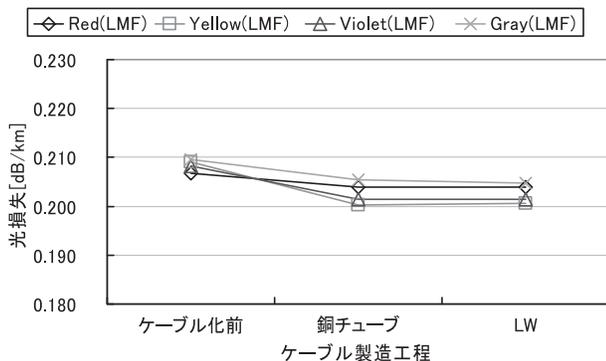


図5 ケーブル製造工程間ロス変化

3.2 温度特性

ケーブルの製造工程では25°C前後の室温下で製造されますが実際にケーブルが敷設され長期運用される海底下の温度は3°C程度になります。更に輸送や保管中にはケーブルは-20°C ~ +50°Cといった大きな温度変化を受けることも考えられます。この温度の影響は必ず受けるものであり、光損失特性の温度依存性を高精度に把握してシステム設計に反映することが必要となります。

OCC-SC300では、ケーブルサンプルで温度サイクル試験を行い、光損失特性の温度依存性を確認しています。図6に、光損失の温度依存性を示します。LMFの温度依存性は、0.0001dB/km/°Cであり、残留劣化のないことが分かります。

3.3 ケーブル引張り特性

光海底ケーブルは敷設や回収時にケーブル自重によって張力を受けます。特に回収時は水深によるケーブル自重の約2倍もの張力を受けることになり、このような張力に対して、光学特性変化や構成部材の劣化有無を確認する目的で引張試験が行われます。引張試験結果の事例として、SC300 LWケーブル引張り伸びトルク特性を図7に示します。OCCの引張り試験においては微小な光学特性変化を把握するため、高分解能の光学測定器を使うとともに、試験長も120mと長尺化して測定精度の向上を図っています。

SC300ケーブルはSC100ケーブルと機械特性は同等であり、トルク発生を抑えて、張力履歴後の残留伸びの少ない信頼性

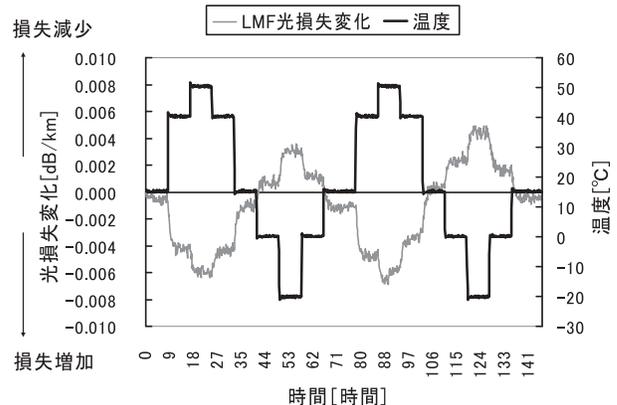


図6 温度依存性

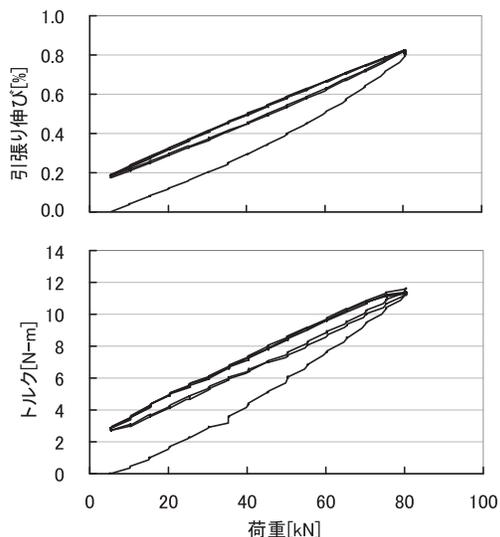


図7 SC300 LWケーブル引張り伸びートルク特性

の高いケーブル設計となっています。また張力印加時の光損失変動モニターで、NTTS (LW:80kN) までの張力印加に対し光ファイバにロス変化のないことが確認されています。

4. 海洋実験

陸上評価では、前述のように温度依存性、張力依存性といった単体特性の評価は可能ですが、それらが複合され、更に動的に変化する状況を確認する目的で最終統合評価として海洋実験が行われます。OCC-SC300では2002年11月に小笠原海溝の最大水深8,200mの海域において、約40kmのLWケーブルで深海実験を実施しました。

ルースタイプ構造の海底ケーブルは海底下に敷設した後、ロス特性が安定しないことなどが懸念されましたが、まったく問題ない安定したロス特性を得ることができました。

また、ケーブル敷設船での実海域におけるケーブル及びジョイント機器類のハンドリング特性の確認と敷設→回収→再敷設が問題なく行えることが確認されました。

更に、2004年2月に奄美大島東側の水深700m～2,700mの起伏の激しい海域において、約20kmの外装ケーブル (DA: 4km、SAM: 4km、SAL: 7km、LWS: 6km) で浅海実験を実施しました。

深海実験と同様にケーブル敷設船での実海域におけるケー

ブル、中継器及びジョイント機器類のハンドリング特性の確認と、全長の敷設→回収→再敷設→回収が問題なく行えることが確認され、ケーブルうねりなどの発生もなく、良好な結果が得られました。

5. むすび

OCC-SC300ケーブルは2004年7月にUJ (Universal Joint) の適用評価を完了し、すべての評価ステータスは完了しました。その後、2006年にインドとスリランカを結ぶケーブル350kmを皮切りに、同年モルジブ向けのプロジェクトで1,300km製造しました。以下、毎年、アジア地域を中心に、太平洋横断プロジェクト、北米のプロジェクトと世界各地での適用実績を積み重ねてきました。IMW、Unityプロジェクトでは初のDMF適用プロジェクトも完遂することができ、Unityプロジェクト完了までで28,000kmもの製造実績を積み上げることができました。

今後も高品質な光海底ケーブルを供給し、国内外の光海底ケーブルネットワークの構築に貢献します。

参考文献

- 1) Juan C. Aquino, et al., "Development of High-Count Tight Type Fiber Unit for Submarine Cables", 49th IWCS, p.607-612 (2000).
- 2) Kazuto Yamamoto, et al., "Tight Type Fiber Unit Optical Submarine Cable with DMF for Ultra Long-Haul DWDM Submarine System", 50th IWCS, p.758-763 (2001).
- 3) Mareto Sakaguchi, et al., "Development of 3-Divided Segment Loose Tube Optical Submarine Cable and Cable Joints", 52nd IWCS, p. 586-591 (2003).
- 4) Nobuaki Matsuda, et al., "New High Reliability OCC-SC300 Cable and Cable Joints for Long-Haul Submarine Cable Systems", 53rd IWCS, p.583-588 (2004).

執筆者プロフィール

西田 孝人
株式会社OCC
海洋事業本部
海底システム事業所
技術部
部長

永富 治
株式会社OCC
海洋事業本部
海底システム事業所
技術部
第一技術グループリーダー