

鉄道電化用 30 kV 共心形 OF ケーブル

Oil Filled Type Railway Feeder Cable with Concentric Conductor for National Railways

依田 文吉*
Bunkichi Yoda

比企野 恭二**
Kyôji Hikino

網野 弘**
Hiroshi Amino

内 容 梗 概

本報告はイギリスで使用されている鉄道電化の共心ケーブルの使用状況の調査と日立電線株式会社における本ケーブルの試作経過をとりまとめたものである。共心ケーブルは低インピーダンスであること、通信線への誘導障害が全くないことなどの利点があり、わが国でも交流電化区間の給電ケーブルとして今後使用されるものと考えられる。

1. 緒 言

1950年代後半より欧州諸国、特にフランス、西独などでは鉄道の交流電化が広範囲に行なわれた。交流電化の利点はいろいろあるが、その一つとして給電機器の簡略化があげられる。しかし他方において交流電化によって生じた新たな問題として次のようなものがある。

- (1) 電力線より通信線に及ぼす誘導障害
- (2) 電力線の集中負荷によるインピーダンス降下

英国においては、都市市街地の電化区間においては、既設の変電所より受電する場合、上述の難点を解決する方法として共心ケーブルが使用されている。わが国でも都市市街地の立地条件としては給電ケーブルを必要とする部分のあることが予想されたのでケーブルの試作を行なった。

2. イギリスにおける共心ケーブルの使用状況

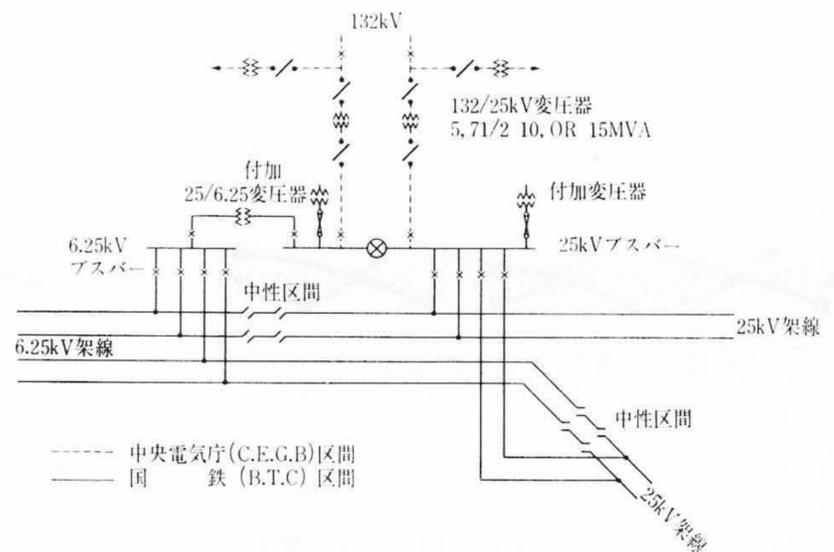
イギリスにおける交流電化は1951年より Lancaster~Heysham 間で行なわれた実用試験における50サイクル交流電化の成功によって一応の見通しがたてられた。その後1954年、主要幹線の交流電化案が採用され一部の区間で実現のはこびとなった。給電電圧25,000 V に対する絶縁距離である11インチは既設の直流区間でもとれることおよび既存の132 kV 系統より受電可能であるとの検討結果が得られた。

交流電化による誘導障害について、まず架線およびレールを環流する電流に対しては約2 mile ごとにブースタ(吸上げ)変電器を配置し、送電線には可能なかぎりケーブルを使用することが提案された。

このケーブルによる受電方法は次のようなものである。中央電気庁(C. E. G. B)の変電所の132/25 kV の降圧変圧器を経ての受電は2回線を原則とし、25 kV の共心(同軸)ケーブルによって給電所へ供給される。場合によっては架空線が使用されることもある。第1図は25 kV 交流受電系統の代表例である。

給電所では同軸ケーブルの内部導体は単極の遮断器を通過して母線へ接続され、ここから単極遮断装置を経て架空導体へ給電される。共心ケーブルの外部導体は接地側母線へ接続され、さらに絶縁されたケーブルによって軌条へ接続される。電気機関車上のパンタグラフは架線から所要電流を集電し、帰路電流は車両の車輪を経て軌条に流れ、さらに接地側母線を通して供給点に戻る。

遮断装置に付属する保護系統の動作のため、また、人身の保護の見地からも各給電所において接地側母線は接地電極と直接接続される。帰路フィードは変電所側の終端で放電間げきによって接地が行



第1図 イギリスにおける交流電化用給電系統図

なわれ、線路側は直接接地される。隣接する各給電所間では両給電所を電氣的に分離するために、neutral section がおかれる。

主幹電力ケーブルとして用いられる25 kV 共心ケーブルは上述のように主として C. E. G. B 所属の変電所から線路に給電する線路給電所までの接続に使われている。

ケーブルは大部分は OF 形であるが一部にはガス圧形も使われている。ケーブルの種別は銅導体鉛合金シースのものと、アルミ導体、波付のアルミシースのものなどが使用されている。

ケーブルの終端としては屋外形が普通であるが、将来は油中ブッシングとして屋内形遮断器に直結されるような構造も計画中とのことであった。

布設方法としては布設地の立地条件によって次の3種のものが基本的な布設方法とされている。

- (1) 直埋布設: トラフ内に布設され、通常の区間はこの方法がとられる。
- (2) コンクリートポストへの添架布設: 直埋布設が不可能な場合に用いる。アルミ被ケーブルの場合はステンレス鋼のクリップで固定される。
- (3) 管路布設: 地下埋設されたアスベストコンジットパイプに引き入れる。

3. 共心ケーブルと単心ケーブル2条布設との比較

共心形 OF ケーブルの特長は次の諸点である。

- (A) リアクタンスが小さいから電圧降下が小さい。
- (B) 空間占有率がよく鉄道の沿線布設に適する。
- (C) 通信線に対する誘導障害が小さい。
- (D) 外害によって絶縁破壊をうけることが少ない。外部導体によって内部絶縁が保護される。

* 日立電線株式会社日高工場 工博

** 日立電線株式会社日高工場

第1表 共心ケーブルと単心ケーブル2条布設との比較表

	対地 30 kV 1,000 mm ² 共心ケーブル	対地 30 kV 800 mm ² ケーブル	帰路用 600 mm ² ケーブル
布設方法			
単位: mm			
導体抵抗	$r = \frac{17.4}{A} \times k_1 \times k_2 \times k_3$ <p>A: 導体断面積 k₁: より込率 k₂: 温度係数 k₃: 表皮係数</p> 高圧側導体 r ₁ =0.0230Ω/km 低圧側導体 r ₂ =0.0212Ω/km	r=0.0285Ω/km	r=0.0366Ω/km
インダクタンス	高圧側 $L_1 = \left[\frac{\mu_1}{2} + 2\mu_2 \log \frac{r_2}{r_1} + \frac{2\mu_2}{r_4^2 - r_3^2} \left(r_4^2 \log \frac{r_4}{r_3} - \frac{r_4^2 - r_3^2}{2} \right) \right] \times 10^{-7}$ $= 0.113 \text{ mH/km}$ $L_2 = 2\mu_1 \left[\frac{r_4^2 - r_3^2}{(r_4^2 - r_3^2)^2} \log \frac{r_4}{r_3} - \frac{r_4^2 + r_3^2}{4(r_4^2 - r_3^2)} \right] \times 10^{-7} = 0$ <p>μ₁: 銅の比透磁率=1 μ₂: 絶縁層の比透磁率=1 r₁: 導体外半径=22.8mm r₂: 絶縁層外半径=27.5mm r₃: 外部導体内径=27.25mm r₄: 外部導体外半径=34.6mm</p>	高圧側 $L = \left[\frac{\mu_1}{2} + 2\mu_2 \log \frac{S}{r} \right] \times 10^{-7}$ $= 0.45 \text{ mH/km}$ <p>r: 導体外半径 20.0mm S: 導体中心間隔 15.0mm</p>	低圧側 $= 0.51 \text{ mH/km}$ <p>r=15.0mm S=150 mm</p>
インピーダンス	高圧側 Z=r+jωL =0.0230+j0.0356 Ż =0.0424Ω/km 低圧側 Ż =0.0212Ω/km	高圧側 Z=0.0285+j0.142 Ż =0.145Ω/km	低圧側 Z=0.0366+j0.160 Ż =0.16Ω/km

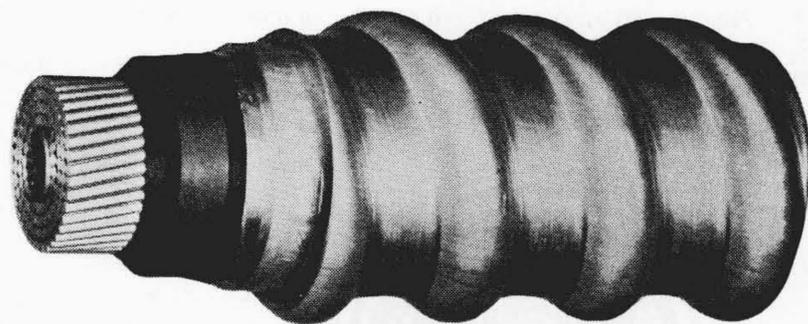
第2表 保護用避雷器の特性

機器名	特性項目	単位	数値	
避雷器	定格電圧	kV	42	
	定格電流	kA	10	
	放電電圧	交流	kV	66~77
		衝撃全波	kV	110
	制限電圧 (5 kA)	kV	110	
	衝撃全波耐電圧	kV	175	

第3表 ケーブル使用種別

項目	主給電用			トラックフィーダ		電車用	
	英国	試作品 ケーブル	終端箱	ケーブル	終端箱	ケーブル	終端箱
使用電圧 (kV)	25	25	25	25	25	25	25
最高許容電圧 (kV)	—	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6
周波数 (c/s)	50	50~60	50~60	50~60	50~60	50~60	50~60
定格電流 (A)	—	1200	—	—	—	—	—
導体断面積 (mm ²)	—	800	—	—	—	100	—
絶縁階級 (号)	25	40	40	30	30	30	30
衝撃試験電圧 (kV)	250	300	300	240	240	240	240
交流試験電圧 (kV)	69	69	69	63	63	63	63
ケーブル形式および終端形式	共心形 OFまたはGF	共心形 OF	碍子形	BNまたはソリッド	プラスチックまたは碍子	BN	油中碍子

さらに具体的に単心ケーブル2条布設との比較を行なう。同一の送電容量をもつ共心ケーブル 1,000 mm² と単心ケーブル 800 mm² および帰路ケーブル 600 mm² との設計計算上の比較を第1表に示す。これによると高圧側と低圧側の両者を含めたインピーダンス降下は単心ケーブル2条布設の21%となり負荷電流による電圧降下は約1/5に低減できる。



第2図 30 kV 2×500 mm² 共心形 OF ケーブル

4. 試作ケーブルの設計条件および構造

4.1 設計条件および構造

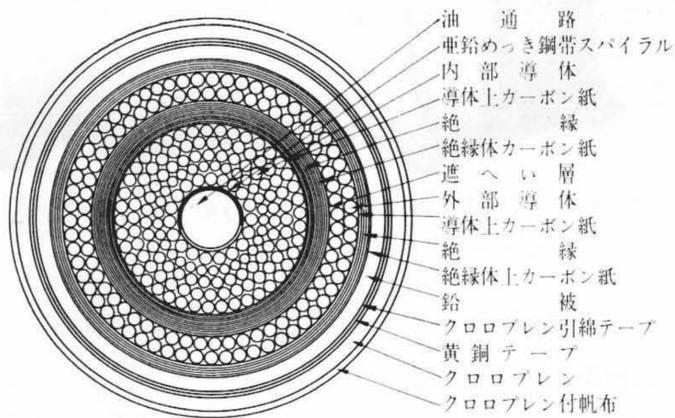
交流電化用の単相回路の絶縁階級および保護装置については日本国有鉄道と避雷器、車両製造者との間で検討されていた。第2表はそのうちの一案である。使用するケーブルの使用区分は第3表に示す。絶縁階級の選択に当たっては、3相回路と単相回路の持続性内部異常電圧を検討した結果、大差がないとの結論が得られたので、3相換算では√3×30=52 kVであるが絶縁階級としては40号で十分と考えた。この結果、内部絶縁のインパルス保証値は250 kV、ケーブルの耐電圧値は20%の余裕をみて300 kVに決定した。

外部絶縁は、帰路の接地のとり方で耐電値を決める必要があるが、ケーブルの帰路の接地方法は未定であるため交流耐電圧値を15,000 Vとした。外部導体にはいる異常電圧は放電ギャップで保護することができるので十分と考えられる。

送電容量は、ピーク時の許容電流として1,200 Aを想定したので、それに相当する導体断面積として800 mm²を採用した。さらにアルミ導体ケーブルとして第4表に示す構造の300 mm²硬アルミ架

第4表 試作ケーブル構造表

項目	単位	数 値				
		銅導体ケーブル	アルミ導体アルミ被ケーブル			
公称断面積	mm ²	800	500			
油通路	材 質	—	亜鉛めっき鋼帯スパイラル			
油通路	内 径	mm	12.0			
	厚 さ	mm	0.8			
	素線構成	No/mm	155/2.6			
内部導体	計算断面積	mm ²	825			
	形 状	—	中空円形			
	外 径	mm	39.0			
絶 縁	導体上カーボン紙	mm	0.3			
	絶 縁	mm	4.05			
	絶縁体上カーボン紙	mm	0.3			
遮 へ い 層	mm	0.25				
外部導体	構 成	No/mm	一重平滑アルミシース	一重波付アルミシース	二重外層波付アルミシース	
	計算断面積	mm ²	500	500	500	
	形 状	—	円形2層			
	外 径	mm	61.9			
外部絶縁	導体上カーボン紙	mm	0.3			
	絶 縁	mm	1.2			
	絶縁体上カーボン紙	mm	0.3			
鉛 被	mm	3.1				
補強防食	クロロブレン引綿テープ	mm	0.5			
	黄銅テープ	mm×枚	0.2×2			
	材 質	—	クロロブレン			
	厚 さ	mm	3.0			
概算外径	mm	84	54	59	61	
概算重量	kg/km	28,100	4,300	4,700	4,600	
導体抵抗	内部導体 (20℃)	Ω/km	0.0240	0.0765	0.0765	0.0765
	外部導体 (20℃)	Ω/km	0.0214	0.0765	0.0765	0.0765



第3図 30 kV 2×800 mm² 共心形 OF ケーブル構造図

線と同一の送電容量もつアルミ導体アルミ被ケーブルの試作を行なうことにした。

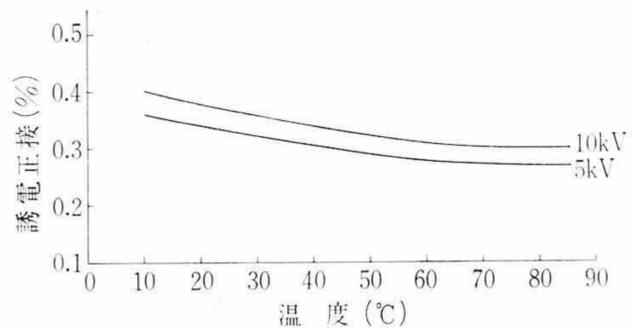
前者のケーブルでは鉛被、補強層、および防食層は従来の低油圧 OF ケーブルと同一設計とした。第4表、第2図および第3図にその構造を示す。

アルミ導体ケーブルのアルミシース厚さは、シース断面積が導体断面積と等しくなるような厚さをえらび、外部導体と共用としたものである。外部導体としては、(1)一重平滑アルミシース。(2)一重波付アルミシース。(3)二重シースで外側のみ、波付としたものの3種を試作し、たわみ性を比較したが(2)が最もすぐれ、(1)と(3)では、いちじるしい差はみとめられなかった。

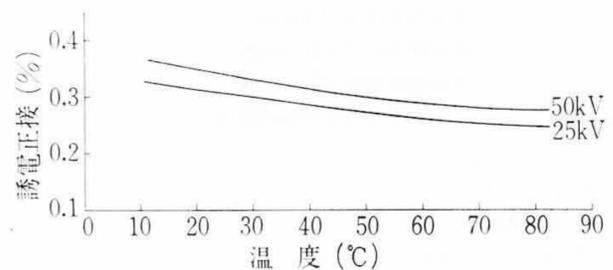
アルミ導体ケーブルにおいては防食層はポリエチレンである。

第5表 絶縁破壊試験結果

項目	ケーブル種別	試験方法	
		鉛被ケーブル	アルミ導体アルミ被ケーブル
内部絶縁	インパルス耐電圧	300 kV/1回破壊	300 kV/3回破壊
	長時間耐電圧	150 kV/10分破壊	140 kV/1時間10分破壊
	誘電正接	第5図	—
外部絶縁	インパルス耐電圧	130 kV/1回破壊	180 kV/1回破壊
	交流耐電圧	55 kV/10分破壊	(6,000V/1分間)異常なし



第4図 30 kV 2×800 mm² 共心形 OF ケーブル 誘電正接温度特性 (外部絶縁)



第5図 30 kV 2×800 mm² 共心形 OF ケーブル 誘電正接温度特性 (内部絶縁)

5. 試作ケーブルの特性

5.1 電気特性

電気試験の結果を第5表に示す、インパルス耐電圧値が規格値に対して裕度がなく、若干低い値である。鉛被ケーブルについてみると内部絶縁において破壊時のストレスは $G_{max}=75 \text{ kV/mm}$ となる。この値は 60~70 kV OF ケーブルの破壊ストレスが 90 kV/mm 以上あるのに対し若干低い値である。破壊点の所見は特に異常は認められないが、外部導体より線作業時に外部導体の素線が内部絶縁に食いこむ傾向があり、かつ G_{max}/G_{min} の比が小さいのでこのような絶縁の外側の欠陥による油膜がインパルス耐電圧に大きく影響するものと考えられる。長時間耐電圧値はストレスにして 60~70kV の単心ケーブルと同等である。

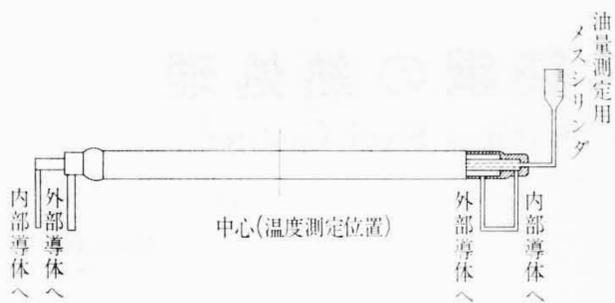
誘電正接の温度特性および電圧特性は第4図および第5図に示すとおりであるが異常は認められない。

5.2 曲げ試験

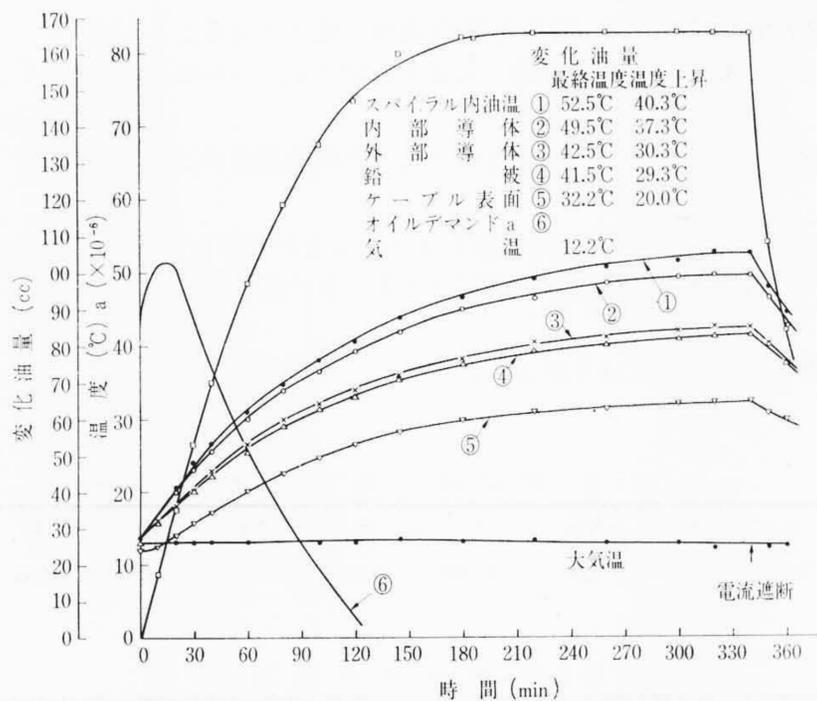
5~10℃ の水中に2時間浸漬後外径の20倍の直径に2回曲げて解体した結果、いずれの構造のケーブルも絶縁紙、鉛被その他に異常が認められなかった。参考試験として鉛被ケーブルについては、ケーブル外径の15倍、10倍径についても試験を行ない、ケーブルの損傷の有無を調べたが異常は認められなかった。

5.3 温度上昇およびオイルデマンド試験

温度上昇およびオイルデマンド特性を測定するために、第6図に示すようにケーブル中央部に熱電対を埋めこみ、一端に変化油量を測定するためにシリンダを取り付けた試料について通電による温度上昇試験を行なった。



第6図 温度上昇測定装置



第7図 30 kV 2×800 mm² 共心形 OF ケーブル 温度上昇, 油量変化-時間特性, 通電電流 1,200 A

測定結果を第7図に示す。温度上昇特性は通常形式のケーブルと異なる点はないことが確認された。

オイルデマンドは、内部導体の発生損失が油の膨張に同時に作用するため同一電流に対しては単心ケーブルより大きくなるが予

想された。

実測結果によると内部導体および外部導体の両方に発生する熱損失の合計が $W=0.69 \text{ W/cm}$ に対して、オイルデマンドの最大値は $a_{\text{max}}=51 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ となった。両者の比をとると、

$$K = \frac{a_{\text{max}}}{W} = 7.4 \times 10^{-5}$$

となり、60~70 kV 単心ケーブルでの値である 15×10^{-5} に比較して小さいことが確認された。これによって、共心形という理由でオイルデマンドが特に大きくなることはなく同一電流に対しては単心ケーブルと差がないことが確認された。

6. 結 言

共心ケーブルの試作経過および結果について簡単に報告したが要約すると次のようになる。

- (1) イギリスにおける交流電化に使用されている共心ケーブルの使用状況を調査した結果、わが国でも使用の可能性のあることを確認した。
特にインピーダンスが単心ケーブルの平行布設に対して20%程度となる点および通信線に対する障害が全くないことが基本的な特長といえる。
- (2) 試作ケーブルとして実用的に使用可能なものが製造できることを確認した。
- (3) オイルデマンドについては通常のOFケーブルと同等と考えてよいことを確認した。

本ケーブルの試作に当たり、種々ご意見くださった日本国有鉄道幹線総局電力課の関係者およびご指導いただいた日立電線株式会社水上副工場長をはじめ関係者に、お礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) W. J. Webb: "The Power Supply" British Railway Electrification Conference Paper (1960)
- (2) S. B. Warcler: "Electrification in the Modernization of British Railways" British Railway Electrification Conference Paper (1960)



特 許 の 紹 介



特許第413405号

丹 秀 太 郎

半 屋 外 式 閉 鎖 型 配 電 盤

この考案は、建屋側壁1の一部を除去して床面2との間に、建屋内に位置する前面制御盤6および建屋外に突設され配電用機器を収納する函体7ならびに裏面扇8、屋根板9により耐風耐雪構造に構成した複数列の閉鎖型配電盤3, 4, 5を配列している。函体7の設置用台枠10は建屋内床面2と函体7内の床面の高さが等しくなるような高さのものを用い、屋根板9の制御盤6側における端部または建屋側壁1へ密着して防水構成となるようにしており、函体7内には遮断器11や断路装置12、変流器13、ケーブルヘッド14、母線17などを配設し、それぞれ直列に接続された屋外ケーブルピット15内のケーブル16へ接続するようにしたものである。

このようにすれば、建屋内には占有床面積の大部分を占める函体部分の収納面積を必要とせず、単に可動制御盤側の点検余地のみで十分となるから他の屋内設備機器との配置関係が簡単に行ない得て建屋内床面の利用率を高く設定できるし、台枠と建屋内床面との高さをほぼ等しくしているため機器の収納や引出を容易に行なうことができる。
(白土)

