

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6461570号  
(P6461570)

(45) 発行日 平成31年1月30日(2019.1.30)

(24) 登録日 平成31年1月11日(2019.1.11)

(51) Int.Cl.	F I		
HO 1 B 5/10 (2006.01)	HO 1 B	5/10	
HO 1 B 13/00 (2006.01)	HO 1 B	13/00	5 O 1 L
C 2 2 C 21/00 (2006.01)	C 2 2 C	21/00	A
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C	21/00	L
	C 2 2 C	38/00	3 O 1 Y

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2014-237809 (P2014-237809)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成26年11月25日(2014.11.25)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2016-100269 (P2016-100269A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成28年5月30日(2016.5.30)	(74) 代理人	100145872
審査請求日	平成29年6月22日(2017.6.22)		弁理士 福岡 昌浩
特許法第30条第2項適用	A O R C T e c h n i c a l M e e t i n g 2 0 1 4 予稿集	(74) 代理人	100187643
			弁理士 白鳥 昌宏
		(74) 代理人	100195006
			弁理士 加藤 勇蔵
		(73) 特許権者	000217686
			電源開発株式会社
			東京都中央区銀座6丁目15番1号
		(74) 代理人	100145872
			弁理士 福岡 昌浩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送電線および送電線の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の心線を有する鋼心部と、  
前記鋼心部の外側に複数のアルミニウム素線が撚り合わされて設けられる外部撚線部と、  
、  
を有する送電線であって、  
前記複数の心線のそれぞれは、  
鋼線部と、  
前記鋼線部の外周を被覆するように設けられ、0.3質量%以上1.0質量%以下のマンガンを含有し、残部がアルミニウムおよび不可避不純物からなり、0.08mm以上の厚さを有する被覆部と、  
を有し、  
前記心線の引張強さは、1570MPa以上であり、  
前記複数のアルミニウム素線のそれぞれは、マグネシウムおよびシリコンを含有し、残部がアルミニウムおよび不可避不純物からなり、  
前記アルミニウム素線の導電率は、52%IACS以上であり、  
前記アルミニウム素線の引張強さは、324MPa超であり、  
前記送電線の電気抵抗は、0.07/km以下であり、  
前記送電線の引張荷重は、450kN以上である  
送電線。

10

20

## 【請求項2】

前記送電線の常時90のときの電流容量は、900A以上であり、  
前記送電線の常時100のときの電流容量は、1000A以上である

請求項1に記載の送電線。

## 【請求項3】

前記複数の心線の平均引張強さは、1634MPa以上である

請求項1又は2に記載の送電線。

## 【請求項4】

前記心線の引張強さは、1770MPa以上である

請求項1～3のいずれか1項に記載の送電線。

10

## 【請求項5】

前記鋼線部は、0.7質量%以上0.9質量%以下の炭素を含み、残部鉄および不可避不純物からなる

請求項1～4のいずれか1項に記載の送電線。

## 【請求項6】

前記アルミニウム素線の伸びは、3.0%超である請求項1～5のいずれか1項に記載の送電線。

## 【請求項7】

前記複数の心線は、グリスを介さずに互いに直接接している請求項1～6のいずれか1項に記載の送電線。

20

## 【請求項8】

前記外部撚線部は、

前記鋼心部の外側に複数の第1アルミニウム素線が撚り合わされて設けられる第1外部撚線層と、

前記第1外部撚線層の外側に複数の第2アルミニウム素線が撚り合わされて設けられる第2外部撚線層と、

を有し、

前記第1外部撚線層の前記複数の第1アルミニウム素線のそれぞれは、径方向に沿った側面を有し、

前記複数の第1アルミニウム素線は、周方向に互いに前記側面で接する請求項1～7のいずれか1項に記載の送電線。

30

## 【請求項9】

複数の心線を形成する工程と、

複数のアルミニウム素線を形成する工程と、

前記複数の心線を有する鋼心部を形成する工程と、

前記鋼心部の外側に前記複数のアルミニウム素線を撚り合わせ、外部撚線部を形成する工程と、

を有する送電線の製造方法であって、

前記複数の心線を形成する工程は、

鋼線部の外周を被覆するように、0.3質量%以上1.0質量%以下のマンガンを含み、残部がアルミニウムおよび不可避不純物からなり、0.08mm以上の厚さを有する被覆部を形成する工程を有し、

40

該複数の心線を形成する工程では、

前記心線の引張強さを、1570MPa以上とし、

前記複数のアルミニウム素線を形成する工程では、

マグネシウムおよびシリコンを含有し、残部がアルミニウムおよび不可避不純物からなる前記アルミニウム素線を形成し、

前記アルミニウム素線の導電率を、52%IACS以上とし、

前記アルミニウム素線の引張強さを、324MPa超とし、

前記送電線が製造されたときに、

50

前記送電線の電気抵抗を、 $0.07 / \text{km}$ 以下とし、  
前記送電線の引張荷重を、 $450 \text{ kN}$ 以上とする

### 送電線の製造方法。

#### 【請求項10】

前記アルミニウム素線を形成する工程は、

前記アルミニウム素線を伸線した後に、前記アルミニウム素線に対して、 $140$  以上  $160$  以下の温度で10時間以上15時間以下の条件で熱処理を行う時効工程を有する請求項9に記載の送電線の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

10

#### 【0001】

本発明は、送電線および送電線の製造方法に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

海峡横断や河川横断などで使用される架空送電線の径間長は、 $1000 \text{ m}$ 以上となることがある。径間長が $1000 \text{ m}$ 以上となる海峡横断や河川横断のためにACSR（鋼心アルミ撚り線）系の送電線を適用する場合、送電線と線下を通過する貨物船などとの間隔を十分に確保するため、送電線の引張荷重を大きくし、高い張力で送電線を架線することが必要となる。

#### 【0003】

20

例えば、電流を流す導体部分を担うアルミニウム素線として、引張強さが $160 \text{ MPa}$ （ $16.3 \text{ kgf/mm}^2$ ）程度である硬アルミを用いたACSRでは、送電線の引張荷重が小さいことから、架線張力を大きくすることができず、送電線の弛度（弛み）が増大し、送電線と線下を通過する貨物船などとの間隔を十分に確保することができない場合がある。

#### 【0004】

そこで、海峡横断および河川横断で使用される送電線におけるアルミニウム素線としては、高力系のアルミニウム合金が使用されている。高力系のアルミニウムとしては、アルミニウム - マグネシウム - シリコン（Al - Mg - Si）系のイ号アルミ（IAL）、アルミニウム - ジルコニウム - 鉄 - 銅（Al - Zr - Fe - Cu）系の高力アルミ（KAL）などがある。イ号アルミ（IAL）の引張強さは $309 \text{ MPa}$ （ $31.5 \text{ kg/mm}^2$ ）、伸びは3～4%、導電率は52% IACSであり、高力アルミ（KAL）の引張強さは $226 \sim 255 \text{ MPa}$ （ $23.0 \sim 26.0 \text{ kg/mm}^2$ ）、伸びは1.3～2.0%、導電率は58% IACSである。なお、導電率の単位「% IACS」とは、国際標準軟銅（International Annealed Copper Standard）の導電率を100%としたときの導電率の比率である。

30

#### 【0005】

近年では、海峡横断および河川横断用に開発された特殊なアルミニウム合金として、Al - Mg - Si系のSI33アルミニウム合金が使用されている。SI33の引張強さは $294 \sim 333 \text{ MPa}$ （ $30 \sim 34 \text{ kg/mm}^2$ ）、伸びは3.0%、導電率は54% IACSである。

40

#### 【0006】

その他、様々なアルミニウム合金や送電線（鋼心アルミ撚り線）が提案されている（例えば、特許文献1～5）。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0007】

【特許文献1】特開2004 - 27294号公報

【特許文献2】特開2004 - 327254号公報

【特許文献3】特開2005 - 203127号公報

50

【特許文献4】特開2006-222021号公報

【特許文献5】特許第5014889号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

このような海峡横断および河川横断で使用される送電線において、アルミニウム素線として用いられるアルミニウム合金では、製造条件を調整した場合に、導電性を改善すると引張強さが低下する一方で、引張強さを改善すると導電性が低下するという傾向がある。このため、海峡横断および河川横断で使用される送電線では、従来のS I 3 3アルミニウム合金を用いた長径間送電線と比較して、電流容量特性を同等以上としつつ、引張強度特性を向上させることが困難となっていた。

10

【0009】

本発明の目的は、従来の長径間送電線と比較して、電流容量特性を同等以上としつつ、引張強度特性を向上させた送電線および送電線の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一態様によれば、

鋼心部と、

前記鋼心部の外側に複数のアルミニウム素線が撚り合わされて設けられる外部撚線部と

20

を有し、

前記アルミニウム素線は、マグネシウムおよびシリコンを含有し、残部がアルミニウムおよび不可避不純物からなり、

前記アルミニウム素線の導電率は、52% IACS以上であり、

前記アルミニウム素線の引張強さは、324MPa超である送電線が提供される。

【0011】

本発明の他の態様によれば、

上記態様に記載の送電線の製造方法であって、

前記アルミニウム素線を形成する工程は、

前記アルミニウム素線を伸線した後に、前記アルミニウム素線に対して、140 以上 160 以下の温度で10時間以上15時間以下の条件で熱処理を行う時効工程を有する送電線の製造方法が提供される。

30

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、従来の長径間送電線と比較して、電流容量特性を同等以上としつつ、引張強度特性を向上させた送電線および送電線の製造方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1実施形態に係る送電線の軸方向と直交する断面図である。

【図2】本発明の第2実施形態に係る送電線の軸方向と直交する断面図である。

40

【図3】比較例に係る送電線の軸方向と直交する断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

<本発明の第1実施形態>

(1)送電線の構造

本発明の一実施形態に係る送電線について、図1を用いて説明する。図1は、本実施形態に係る送電線10の軸方向と直交する断面図である。

【0015】

本実施形態に係る送電線(架空送電線)10は、海峡横断および河川横断などの長径間の横断で使用されるよう構成されている。本実施形態の送電線10は、特にアルミニウム

50

素線 300 が所定の導電性および引張強さを有することにより、従来の長径間送電線の電流容量特性と同等以上の電流容量特性と、従来の長径間送電線の引張強度特性よりも大きい引張強度特性とを有している。また、本実施形態の鋼心部 200 は、高強度と耐食性とを兼ね備えている。以下、詳細を説明する。

【0016】

なお、以下において、送電線 10 の「軸方向」とは送電線 10 の長手方向をいい、送電線 10 の「径方向」とは送電線 10 の軸方向に垂直な方向、すなわち送電線 10 の短手方向をいい、送電線 10 の「周方向」とは送電線 10 の外周に沿った方向のことをいう。

【0017】

(鋼心部)

図 1 に示されているように、送電線 10 の中心には、架線時に送電線 10 の張力を負担するテンションメンバとして機能する鋼心部 200 が設けられている。鋼心部 200 は、軸方向に延在して設けられている。鋼心部 200 は、複数の心線 100 が撚り合わせられることにより構成されており、例えば、中心に設けられ 1 本の心線 100 により構成される第 1 鋼心層 210 と、第 1 鋼心層 210 の外周を覆うように 6 本の心線 100 が撚り合わされて設けられる第 2 鋼心層 220 と、第 2 鋼心層 220 の外周を覆うように 12 本の心線 100 が撚り合わされて設けられる第 3 鋼心層 230 と、を有している。

【0018】

鋼心部 200 のそれぞれの心線 100 は、中心に鋼線部 120 を有している。鋼線部 120 は、例えば、鋼により構成されている。具体的には、鋼線部 120 は、0.7 質量%以上 0.9 質量%以下の炭素 (C) を含み、残部鉄 (Fe) および不可避不純物からなっている。また、心線 100 には、鋼線部 120 の外周を被覆するように、被覆部 140 が設けられている。本実施形態では、被覆部 140 は、マンガン (Mn) を含有し、残部が Al および不可避不純物からなっている。被覆部 140 が Mn を含有することにより、Al-Mn 系の金属間化合物が形成され、腐食性の不可避不純物の介在粒子 (Fe 等) と結合する。これにより、腐食性の不可避不純物による腐食作用が打ち消され、鋼心部 200 の耐食性を向上させることができる。

【0019】

被覆部 140 の Mn の含有量は、例えば、0.3 質量%以上 1.0 質量%以下である。被覆部 140 の Mn の含有量が 0.3 質量%未満であると、Al-Mn 系の金属間化合物が十分に形成されない可能性がある。これに対して、被覆部 140 の Mn の含有量が 0.3 質量%以上であることにより、Al-Mn 系の金属間化合物が形成され、鋼心部 200 の耐食性を向上させる効果を発現させることができる。一方、被覆部 140 の Mn の含有量が 1.0 質量%超であると、心線 100 の加工が困難となるとともに、加工の際に心線 100 の表面に微細な欠陥が生じ易くなる可能性がある。これに対して、被覆部 140 の Mn の含有量が 1.0 質量%以下であることにより、心線 100 を容易に加工することができる。

【0020】

なお、心線 100 の断面積に対する被覆部 140 の断面積の比率は、例えば、13%以上である。

【0021】

本実施形態の心線 100 において、JIS C3002 に準拠した引張強さは、従来の長径間送電線で用いられる特強亜鉛めっき鋼線の引張強さ (1770 MPa) と同等以上となっており、例えば、1770 MPa 以上である。なお、心線 100 の引張強さの上限値については、特に限定されないが、例えば、2000 MPa 以下程度である。

【0022】

本実施形態の心線 100 において、JIS C3002 に準拠した伸びは、例えば、1.5% 以上である。心線 100 の伸びが 1.5% 以上であることにより、送電線 10 に着雪した場合などに、送電線 10 が破断することを抑制することができる。なお、心線 100 の伸びの上限値については、特に限定されないが、例えば、10% 以下である。

10

20

30

40

50

## 【0023】

本実施形態の心線100において、JIS C3002に準拠した導電率は、例えば、11.5% IACS以上である。なお、鋼線部を電気用アルミで被覆した場合の導電率は14% IACS以上である。本実施形態の心線100の導電率の下限値(11.5% IACS)は、鋼線部を電気用アルミで被覆した場合の導電率の下限値(14% IACS)よりも低い。本実施形態のAl-Mn系の被覆部140の導電率が、電気用アルミの導電率(61% IACS)よりも低いからである。なお、本実施形態の心線100の導電率の下限値が鋼線部を電気用アルミで被覆した場合の導電率の下限値よりも低くなっているが、本実施形態の心線100の導電率は、心線の導電率として実用上十分な値となっている。また、心線100の被覆部140の厚さを調整すれば、本実施形態の心線100の導電率を、鋼線部を電気用アルミで被覆した場合の導電率と同等とすることも可能である。一方、本実施形態の心線100の導電率の上限値については、特に限定されないが、例えば、20% IACS以下である。

10

## 【0024】

以上のように、Al-Mn系の合金からなる被覆部140を有し、上記のような特性を有する心線100を、「特強耐食アルミ覆鋼線(特強耐食AC線)」と呼ぶ。

## 【0025】

本実施形態では、鋼心部200の心線100における被覆部140がMnを含有し、心線100の耐食性が向上していることにより、鋼心部200には、例えば防食用のグリスが充填(塗布)されていない。言い換えれば、鋼心部200の心線100は、グリスを介さずに互いに直接接している。

20

## 【0026】

(外部撚線層)

鋼心部200の外側には、複数のアルミニウム素線300が撚り合わせられることにより外部撚線部400が設けられている。外部撚線部400は、送電時に主に電流を流す導体部分として構成されている。本実施形態では、外部撚線部400は、例えば、鋼心部200の外周を覆うように18本のアルミニウム素線300が撚り合わされて設けられる第1外部撚線層410と、第1外部撚線層410の外周を覆うように24本のアルミニウム素線300が撚り合わされて設けられる第2外部撚線層420と、を有している。また、本実施形態では、第1外部撚線層410および第2外部撚線層420の両方において、アルミニウム素線300の断面は、円形となっている。

30

## 【0027】

外部撚線部400を構成する複数のアルミニウム素線300のそれぞれは、例えば、Al-Mg-Si系のアルミニウム合金により構成されている。アルミニウム素線300中のMgやSiが例えばMg<sub>2</sub>Siとして析出することにより、アルミニウム素線300の引張強さが向上する。

## 【0028】

アルミニウム素線300のMgの含有量は、例えば、0.4質量%以上0.6質量%以下であり、アルミニウム素線300のSiの含有量は、例えば、0.4質量%以上0.6質量%以下である。アルミニウム素線300のMgの含有量が0.4質量%未満であり、Siの含有量が0.4質量%未満であると、Mg<sub>2</sub>Siが十分に析出されず、アルミニウム素線300の引張強さを向上させる効果が発現しない可能性がある。これに対して、アルミニウム素線300のMgの含有量が0.4質量%以上であり、Siの含有量が0.4質量%以上であることにより、所定量のMg<sub>2</sub>Siを析出させ、アルミニウム素線300の引張強さを向上させる効果を発現させることができる。一方、アルミニウム素線300のMgの含有量が0.6質量%超であり、Siの含有量が0.6質量%超であると、Mg<sub>2</sub>Siの析出物のサイズが大きくなりすぎて、引張強さが低下する可能性がある。これに対して、アルミニウム素線300のMgの含有量が0.6質量%以下であり、Siの含有量が0.6質量%以下であることにより、Mg<sub>2</sub>Siの析出物のサイズが大きくなりすぎることを抑制し、引張強さが低下することを抑制することができる。

40

50

## 【 0 0 2 9 】

本実施形態のアルミニウム素線 3 0 0 は、製造工程のうち時効工程の処理条件を調整することにより、以下のような特性を有している。

## 【 0 0 3 0 】

本実施形態のアルミニウム素線 3 0 0 において、J I S C 3 0 0 2 に準拠した引張強さは、従来の長径間送電線で用いられる S I 3 3 アルミ合金の引張強さ ( 3 2 4 M P a ) より大きくなっており、好ましくは、例えば、3 5 0 M P a 以上である。なお、アルミニウム素線 3 0 0 の引張強さの上限値については、特に限定されないが、例えば、3 6 5 M P a 以下である。

## 【 0 0 3 1 】

本実施形態のアルミニウム素線 3 0 0 において、J I S C 3 0 0 2 に準拠した伸びは、従来の長径間送電線で用いられる S I 3 3 アルミ合金の伸び ( 3 % ) より大きくなっており、好ましくは、例えば、4 % 以上である。アルミニウム素線 3 0 0 の伸びが 3 % 超であることにより、送電線 1 0 に着雪した場合などに、送電線 1 0 が破断することを抑制することができる。なお、アルミニウム素線 3 0 0 の伸びの上限値については、特に限定されないが、例えば、7 % 以下である。

## 【 0 0 3 2 】

本実施形態のアルミニウム素線 3 0 0 において、J I S C 3 0 0 2 に準拠した導電率は、従来の長径間送電線で用いられる S I 3 3 アルミ合金の導電率 ( 5 4 % I A C S ) とほぼ同等となっており、例えば、5 2 % I A C S 以上であり、好ましくは、例えば、5 3 % I A C S 以上である。

## 【 0 0 3 3 】

以上のように、A l - M g - S i 系のアルミニウム合金からなり、上記のような特性を有するアルミニウム素線 3 0 0 を、「特別強力イ号アルミ合金線」と呼ぶ。

## 【 0 0 3 4 】

本実施形態では、上述のように、鋼心部 2 0 0 の心線 1 0 0 における被覆部 1 4 0 が M n を含有し、心線 1 0 0 の耐食性が向上していることにより、外部撚線部 4 0 0 においても、防食用のグリスが充填 ( 塗布 ) されていない。言い換えれば、外部撚線部 4 0 0 のアルミニウム素線 3 0 0 は、グリスを介さずに互いに直接接している。

## 【 0 0 3 5 】

( 送電線の特性 )

送電線 1 0 の公称断面積 ( アルミニウム素線 3 0 0 の合計断面積 ) は、例えば、4 0 0 m m <sup>2</sup> 以上 5 0 0 m m <sup>2</sup> 以下であり、本実施形態では、例えば、4 5 0 m m <sup>2</sup> である。また、送電線 1 0 の外径 ( 直径 ) は、例えば、2 5 m m 以上 6 0 m m であり、本実施形態では、例えば、3 3 . 3 m m である。

## 【 0 0 3 6 】

本実施形態において、上記のような構成を有する送電線 1 0 は、以下のような特性を有している。

## 【 0 0 3 7 】

本実施形態の送電線 1 0 において、J I S C 3 0 0 2 に準拠した ( 最大 ) 引張荷重は、従来の長径間送電線 ( S I 3 3 A C S R / E S T ) の引張荷重 ( 4 5 6 . 9 k N ) と同等以上となっており、例えば、4 5 0 k N 以上である。なお、送電線 1 0 の引張荷重の上限値については、特に限定されないが、例えば、8 5 0 k N 以下である。

## 【 0 0 3 8 】

本実施形態の送電線 1 0 において、J I S C 3 0 0 2 に準拠した単位長さ当たりの電気抵抗は、従来の長径間送電線 ( S I 3 3 A C S R / E S T ) の電気抵抗 ( 0 . 0 7 2 6 / k m ) 以下となっており、例えば、0 . 0 7 / k m 以下である。本実施形態では、鋼心部 2 0 0 の心線 1 0 0 が垂鉛めっき鋼線ではなく、被覆部 1 4 0 が A l 合金からなる特強耐食アルミ覆鋼線であり、被覆部 1 4 0 にも送電時の電流が流れるため、本実施形態の送電線 1 0 における電気抵抗は、従来の長径間送電線の電気抵抗以下となっている。

10

20

30

40

50

お、送電線10の単位長さ当たりの電気抵抗の下限値については、特に限定されないが、例えば、0.02 / km以上である。

【0039】

本実施形態の送電線10において、電流容量は、従来の長径間送電線(SI33ACSR/EST)の電流容量と同等以上となっている。例えば、送電線10の常時90のときの電流容量は、900A以上であり、常時100のときの電流容量は、1000A以上である。本実施形態では、上述のように、鋼心部200の心線100が亜鉛めっき鋼線ではなく、被覆部140がAl合金からなる特強耐食アルミ覆鋼線であり、被覆部140にも送電時の電流が流れるため、本実施形態の送電線10における電流容量は、従来の長径間送電線の電流容量と同等以上となっている。なお、送電線10の常時90のときの電流容量の上限値、常時100のときの電流容量の上限値については、特に限定されないが、例えば、それぞれ、3000A以下、3500A以下である。

10

【0040】

(2)送電線の製造方法

次に、本実施形態に係る送電線10の製造方法について説明する。

【0041】

(心線形成工程)

まず、以下のようにして、心線100を形成する。

【0042】

所定の純度を有するアルミニウム地金に、所定の含有量でMnを添加したアルミニウム合金の溶湯を鑄造して、鑄塊(鑄造材)を形成する。次に、鑄塊を熱間圧延することにより、所定のアルミニウム合金からなる荒引き線(熱間圧延材)を形成する。次に、熱間押出法によって、荒引き線を用いて、鋼からなる鋼線部120にアルミニウム合金を被覆することにより、複合線材を形成する。得られた複合線材を単頭伸線機によって冷間伸線することにより、所定の直径を有し鋼線部120および被覆部140を有する心線100(アルミ覆鋼線)を形成する。

20

【0043】

(アルミニウム素線形成工程)

また、以下のようにして、アルミニウム素線300を形成する。

【0044】

所定の純度を有するアルミニウム地金に、所定の含有量でMgおよびSiを添加したアルミニウム合金の溶湯を鑄造して、鑄塊(鑄造材)を形成する。次に、鑄塊を熱間圧延することにより、所定のアルミニウム合金からなる荒引き線(熱間圧延材)を形成する。次に、荒引き線に対して、400以上600以下(例えば500)の温度で1時間以上10時間以下の条件で加熱を行った後、水冷による溶体化処理を施す。これにより、MgおよびSiなどの添加物をAl結晶中に十分に固溶させる。次に、荒引き線を単頭伸線機によって冷間伸線することにより、所定の直径を有するアルミニウム素線300を形成する。

30

【0045】

次に、伸線したアルミニウム素線300に対して、140以上160以下の温度で10時間以上15時間以下の条件で熱処理(時効処理)を行う(時効工程)。従来では、時効工程の温度が160以上180以下であり、時効工程の時間が1時間以上10時間以下であったのに対して、本実施形態では、時効工程の温度が低く、時効工程の時間が長い。低い温度で長い時間をかけて時効工程を行うことにより、アルミニウム素線300の導電率を向上させることができるとともに、過度にMg<sub>2</sub>Siが析出することを抑制し、引張強さが低下することを抑制することができる。

40

【0046】

詳細には、時効工程の温度に対して、アルミニウム素線300の引張強さは上に凸の関係を示し、アルミニウム素線300の導電率は単調増加を示す。時効工程の温度を140未満とすると、アルミニウム素線中でMg<sub>2</sub>Siの析出が起こり難く、アルミニウム素

50



線の引張強さが充分に向上しない可能性がある。また、アルミニウム素線の導電率が充分に向上しない可能性がある。これに対して、時効工程の温度を140℃以上とすることにより、アルミニウム素線300が、 $Mg_2Si$ が析出した状態で硬化し、アルミニウム素線300の引張強さを向上させる効果を発現させることができる。また、アルミニウム素線300の導電率を所定値以上に向上させることができる。一方、時効工程の温度を160℃超とすると、アルミニウム素線の導電率は向上するものの、 $Mg_2Si$ の析出が短時間で進行し、アルミニウム素線がオーバーエージングされてしまい、アルミニウム素線の引張強さが低下してしまう可能性がある。これに対して、時効工程の温度を160℃以下とすることにより、アルミニウム素線300の導電率を所定値まで向上させつつ、 $Mg_2Si$ を徐々に析出させてアルミニウム素線300を硬化することにより、アルミニウム素線300の引張強さを安定的に向上させることができる。

10

## 【0047】

また、時効工程の時間を10時間未満とすると、 $Mg_2Si$ の析出が不十分となり、アルミニウム素線の引張強さが充分に向上しない可能性がある。また、アルミニウム素線の導電率が充分に向上しない可能性がある。これに対して、時効工程の時間を10時間以上とすることにより、所定量の $Mg_2Si$ を析出させて、アルミニウム素線300の引張強さを向上させる効果を発現させることができる。また、アルミニウム素線300の導電率を所定値以上に向上させることができる。一方、時効工程の時間を15時間超とすると、アルミニウム素線の導電率は向上するものの、 $Mg_2Si$ が過度に凝集され、アルミニウム素線がオーバーエージングされてしまう可能性がある。これに対して、時効工程の時間を15時間以下とすることにより、アルミニウム素線300の導電率を所定値まで向上させつつ、 $Mg_2Si$ が過度に凝集されることを抑制し、アルミニウム素線がオーバーエージングされてしまうことを抑制することができる。

20

## 【0048】

(鋼心部形成工程)

送出機によって第1鋼心層210となる1本の心線100を送り出しながら、撚り線機によって第1鋼心層210の外周を覆うように6本の心線100を撚り合わせることにより、第2鋼心層220を形成する。次に、撚り線機によって第2鋼心層220の外周を覆うように12本の心線100を撚り合わせることにより、第3鋼心層230を形成する。これにより、鋼心部200を形成する。

30

## 【0049】

(外部撚線部形成工程)

次に、撚り線機によって鋼心部200の外周を覆うように18本のアルミニウム素線300を撚り合わせることにより、第1外部撚線層410を形成する。次に、撚り線機によって第1外部撚線層410の外周を覆うように24本のアルミニウム素線300を撚り合わせることにより、第2外部撚線層420を形成する。これにより、鋼心部200の外側に外部撚線部400を形成する。

## 【0050】

以上により、本実施形態に係る送電線10が製造される。

## 【0051】

(3) 本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、以下に示す1つ又は複数の効果を奏する。

40

## 【0052】

(a) 本実施形態によれば、 $Mg$ および $Si$ を含有し、残部が $Al$ および不可避不純物からなるアルミニウム素線300において、 $JIS\ C3002$ に準拠した導電率は、従来の長径間送電線で用いられる $SI33$ アルミ合金の導電率(54% $IACS$ )とほぼ同等となっており、例えば、52% $IACS$ 以上である。また、当該アルミニウム素線300における $JIS\ C3002$ に準拠した引張強さは、従来の長径間送電線で用いられる $SI33$ アルミ合金の引張強さ(324MPa)より大きくなっており、好ましくは、例えば、350MPa以上である。ところで、アルミニウム素線300の導電率および引張強

50

さはトレードオフの関係にあり、これまでアルミニウム素線300の導電率および引張強さを両立して向上させることは困難とされていた。しかしながら、本発明者等の鋭意検討により、上記のように導電率および引張強さを両立して向上させたアルミニウム素線300が初めて実現された。上記のように、アルミニウム素線300の導電率が52% IACS以上であることにより、本実施形態の送電線10の(単位長さ当たりの)電気抵抗を従来の長径間送電線(SI33ACSR/EST)の電気抵抗と同等以下とすることができ、送電線10の電流量を従来の長径間送電線の電流量と同等以上とすることができる。また、アルミニウム素線300の引張強さが324MPa超であることにより、本実施形態の送電線10の(最大)引張荷重を従来の長径間送電線の引張荷重と同等以上とすることができる。

10

**【0053】**

(b)本実施形態によれば、上記の特性を有する送電線10は、アルミニウム素線300を形成する工程の条件を調整することにより実現することができる。例えば、アルミニウム素線300を形成する工程は、アルミニウム素線300を伸線した後に、アルミニウム素線300に対して、140以上160以下の温度で10時間以上15時間以下の条件で時効処理(熱処理)を行う。これにより、現有設備で製造が可能なイ号アルミ合金の技術で、アルミニウム素線300の導電率を維持しつつ、アルミニウム素線300の引張強さを向上させることができる。その結果、従来の長径間送電線と比較して、電流量特性を同等以上としつつ、引張強度特性を向上させた送電線10を提供することができる。

**【0054】**

20

(c)本実施形態によれば、鋼心部200の心線100における被覆部140は、Mnを含有し、残部がAlおよび不可避不純物からなっている。被覆部140がMnを含有することにより、Al-Mn系の金属間化合物が形成され、腐食性の不可避不純物の介在粒子(Fe等)と結合する。これにより、鋼心部200の耐食性を向上させることができる。

**【0055】**

(d)本実施形態によれば、鋼心部200の心線100における被覆部140がMnを含有し、心線100の耐食性が向上していることにより、鋼心部200には、例えば防食用のグリスが充填(塗布)されていない。これにより、グリスの油分消失を起因として、送電線10の耐食性が低下することを抑制することができる。

**【0056】**

30

ここで、参考までに、従来の長径間送電線(SI33ACSR/EST)のように、鋼心部および外部撚線部において防食用のグリスが充填(塗布)されている場合について説明する。グリスの油分は、グリス表面に遮水性の被膜を形成し、NaClなどを含んだ電解質溶液がグリス内に浸透することを抑制する効果を有している。しかしながら、従来の長径間送電線では、海峡付近などで長年に亘って、グリスを塗布した送電線を使用すると、グリスの油分が消失し、油分消失後の送電線内部に、電解質溶液が浸透する可能性がある。このため、送電線の耐食性(特に鋼心部と接触するアルミニウム素線の耐食性)を保持することができなくなる可能性がある。これに対して、本実施形態によれば、鋼心部200にはグリスが塗布されておらず、鋼心部200の耐食性は、各々の心線100に設けられたMnを含む被覆部140によって維持される。これにより、グリスの油分消失を起因として、送電線10の耐食性が低下することを抑制することができる。

40

**【0057】**

<本発明の第2実施形態>

図2を用い、本発明の第2実施形態について説明する。図2は、本実施形態に係る送電線の軸方向と直交する断面図である。

**【0058】**

本実施形態は、第1外部撚線層の構成が第1実施形態と異なる。以下、第1実施形態と異なる要素についてのみ説明し、第1実施形態で説明した要素と実質的に同一の要素には、同一の符号を付してその説明を省略する。

**【0059】**

50

## ( 1 ) 送電線の構造

## ( 外部撚線部 )

図 2 に示されているように、本実施形態の送電線 1 2 では、外部撚線部 4 0 2 は、鋼心部 2 0 0 の外側に 1 6 本の第 1 アルミニウム素線 3 1 0 が撚り合わされて設けられる第 1 外部撚線層 4 1 2 と、第 1 外部撚線層 4 1 2 の外側に 2 4 本の第 2 アルミニウム素線 3 2 0 が撚り合わされて設けられる第 2 外部撚線層 4 2 0 と、を有している。

## 【 0 0 6 0 】

第 1 外部撚線層 4 1 2 では、第 1 アルミニウム素線 3 1 0 のそれぞれの断面は、例えば扇形となっている。第 1 アルミニウム素線 3 1 0 のそれぞれは、径方向に沿った側面を有している。第 1 アルミニウム素線 3 1 0 は、互いに側面で接し（面接触し）、周方向に並んで設けられている。これにより、第 1 外部撚線層 4 1 2 において、第 1 アルミニウム素線 3 1 0 が密に充填されている。

10

## 【 0 0 6 1 】

なお、第 2 外部撚線層 4 2 0 では、第 2 アルミニウム素線 3 2 0 の断面は、円形となっている。

## 【 0 0 6 2 】

## ( 送電線の特性 )

本実施形態の送電線 1 2 の公称断面積は、例えば、 $400\text{ mm}^2$  以上  $500\text{ mm}^2$  以下であり、本実施形態では、例えば、 $460\text{ mm}^2$  である。なお、本実施形態の送電線 1 2 の外径は、第 1 実施形態の送電線 1 0 と等しく、例えば、 $33.3\text{ mm}$  である。

20

## 【 0 0 6 3 】

本実施形態の送電線 1 2 において、JIS C 3002 に準拠した（最大）引張荷重は、従来の長径間送電線（SI 33 ACS R / EST）の引張荷重（ $456.9\text{ kN}$ ）と同等となっており、例えば、 $450\text{ kN}$  以上である。なお、送電線 1 2 の引張荷重の上限値については、特に限定されないが、例えば、 $850\text{ kN}$  以下である。

## 【 0 0 6 4 】

本実施形態の送電線 1 2 において、JIS C 3002 に準拠した単位長さ当たりの電気抵抗は、従来の長径間送電線（SI 33 ACS R / EST）の電気抵抗（ $0.0726 / \text{km}$ ）以下となっている。また、本実施形態の送電線 1 2 の電気抵抗は、第 1 実施形態の送電線 1 0 の電気抵抗よりも低い。本実施形態の送電線 1 2 の電気抵抗は、例えば、 $0.07 / \text{km}$  以下である。なお、送電線 1 2 の単位長さ当たりの電気抵抗の下限値については、特に限定されないが、例えば、 $0.02 / \text{km}$  以上である。

30

## 【 0 0 6 5 】

本実施形態の送電線 1 2 において、電流容量は、従来の長径間送電線（SI 33 ACS R / EST）の電流容量と同等以上となっている。また、本実施形態の送電線 1 2 の電流容量は、第 1 実施形態の送電線 1 0 の電流容量よりも大きい。例えば、送電線 1 2 の常時 90 のときの電流容量は、 $900\text{ A}$  以上であり、常時 100 のときの電流容量は、 $1000\text{ A}$  以上である。なお、送電線 1 2 の常時 90 のときの電流容量の上限値、常時 100 のときの電流容量の上限値については、特に限定されないが、例えば、それぞれ、 $3000\text{ A}$  以下、 $3500\text{ A}$  以下である。

40

## 【 0 0 6 6 】

## ( 2 ) 本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、第 1 アルミニウム素線 3 1 0 のそれぞれは、径方向に沿った側面を有している。第 1 アルミニウム素線 3 1 0 は、互いに側面で接している（面接触している）。第 1 外部撚線層 4 1 2 において、第 1 アルミニウム素線 3 1 0 が密に充填されている。これにより、第 1 外部撚線層 4 1 2 の断面積における第 1 アルミニウム素線 3 1 0 の断面積の占める割合を増やすことができる。したがって、本実施形態の送電線 1 2 の引張荷重を、断面が円形であるアルミニウム素線 300 により構成された第 1 実施形態の送電線 1 0 の引張荷重よりも大きくすることができる。また、本実施形態の送電線 1 2 の電流容量を、断面が円形であるアルミニウム素線 300 により構成された第 1 実施形態の送電

50

線 10 の電気容量よりも大きくすることができる。

【 0 0 6 7 】

< 本発明の他の実施形態 >

以上、本発明の実施形態および変形例について具体的に説明したが、本発明は上述の実施形態および変形例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

【 0 0 6 8 】

上述の実施形態では、鋼心部が例えば 3 層の鋼心層を有する場合について説明したが、鋼心部は、1 ~ 2 層の鋼心層、または 4 層以上の鋼心層を有していてもよい。

【 0 0 6 9 】

また、上述の実施形態では、外部撚線部が例えば 2 層の外部撚線層を有する場合について説明したが、外部撚線部が例えば 3 層以上の外部撚線層を有していてもよい。

【 実施例 】

【 0 0 7 0 】

( 1 ) アルミニウム素線および心線の製造と性能評価

( 実施例 1 の心線 )

以下の表 1 に示されているように、実施例 1 の送電線サンプルの鋼心部に用いられる心線 ( 特強耐食アルミ覆鋼線 ) を製造した。具体的には、0 . 3 質量 % 以上 1 . 0 質量 % 以下の Mn を添加したアルミニウム合金の溶湯を鑄造して、鑄塊 ( 鑄造材 ) を形成した。次に、鑄塊を熱間圧延することにより、所定のアルミニウム合金からなる荒引き線を形成した。次に、熱間押出法によって、荒引き線を用いて、鋼からなる鋼線部にアルミニウム合金を被覆することにより、複合線材を形成した。得られた複合線材を単頭伸線機によって冷間伸線し、直径 3 . 7 mm の心線を得た。

【 0 0 7 1 】

【 表 1 】

実施例 1 の心線 ( 特強耐食アルミ覆鋼線 )

	線径 (mm)	引張荷重 (kN)	引張強さ (Mpa)	伸び (%)	ねじり (回)	巻付	電気抵抗 (20°C) (μΩ/0.5m)	導電率 (%IACS)	被覆部厚 最小値 (mm)	巻付 巻戻	外観
目標値	3.7 ±0.07	—	1770以上	1.5以上	16以上	8	—	11.5以上	0.08以上	Id×8	傷・裂け目がないこと
1	3.705	19.80	1837	2.6	24	8	6345	12.6	0.110	良	良
2	3.705	19.95	1850	3.2	26	8	6335	12.6	0.109	良	良
3	3.715	20.65	1905	2.9	23	8	6316	12.6	0.107	良	良
4	3.710	20.45	1892	3.0	25	8	6328	12.6	0.109	良	良
5	3.710	20.60	1906	2.8	24	8	6330	12.6	0.108	良	良
6	3.705	20.55	1906	3.1	24	8	6353	12.6	0.111	良	良
7	3.710	20.50	1896	3.0	25	8	6341	12.6	0.109	良	良
8	3.715	20.20	1864	2.9	23	8	6348	12.5	0.106	良	良
9	3.710	20.35	1882	3.2	22	8	6344	12.6	0.110	良	良
10	3.705	20.10	1864	3.0	24	8	6320	12.7	0.111	良	良
最小値	3.705	19.80	1837	2.6	22	8	6316	12.5	0.106	—	—
最大値	3.715	20.65	1906	3.2	26	8	6353	12.7	0.111	—	—
平均	3.709	20.32	1880	3.0	24	8	6336	12.6	0.109	—	—

【 0 0 7 2 】

製造した心線のうち、10 本の心線に対して、J I S C 3 0 0 2 に準拠して、線径、引張荷重、引張強さ、伸び、電気抵抗、質量、導電率を計測した。また、当該心線の外観について評価した。また、被覆部の厚さを拡大投影機により計測した。

【 0 0 7 3 】

また、心線の片端を固定し、他端を捻回させ、心線が破断するときのねじり回数を求めた。これにより、心線の靱性を確認した。また、心線の直径の 5 倍の直径を有する円筒に心線を 8 回巻き付け、心線の被覆部が剥がれないかを確認した。また、心線の直径と同一の直径を有する円筒に 8 回巻き付けた後、巻き戻した。これにより、心線の靱性を確認した。

【 0 0 7 4 】

その結果、実施例 1 の心線において、引張強さが 1 7 7 0 M P a 以上であり、伸びが 1

・5%以上であり、導電率が11.5%以上であることを確認した。つまり、実施例1の心線の引張強さは、従来の長径間送電線で用いられる特強亜鉛めっき鋼線の引張強さ(1770MPa)と同等となっていることを確認した。また、実施例1の心線の外観は良好であることを確認した。また、実施例1の心線の靱性も良好であることを確認した。また、実施例1の心線において被覆部の剥がれがないことを確認した。

【0075】

(実施例1のアルミニウム素線)

以下の表2に示されているように、実施例1の送電線サンプルの外部撚線部に用いられるアルミニウム素線(特別強力イ号アルミ合金線)を製造した。具体的には、所定の純度を有するアルミニウム地金に、0.4質量%以上0.6質量%以下のMgと、0.4質量%以上0.6質量%以下のSiとを添加したアルミニウム合金の溶湯を鑄造して、鑄塊を形成した。次に、鑄塊を熱間圧延することにより、所定のアルミニウム合金からなる荒引き線を形成した。次に、荒引き線に対して500の温度で1時間以上10時間以下の条件で加熱を行った後、水冷による溶体化処理を施した。次に、荒引き線を単頭伸線機によって冷間伸線することにより、直径3.7mmのアルミニウム素線を形成した。その後、伸線したアルミニウム素線に対して、150以下の温度で10時間以上15時間以下の条件で時効処理を行った。

【0076】

【表2】

実施例1のアルミニウム素線(特別強力イ号アルミ合金線)

	線径 (mm)	引張荷重 (kN)	引張強さ (Mpa)	伸び (%)	電気抵抗 (20°C) ( $\mu\Omega/0.5m$ )	質量 g/0.5m	導電率 (%IACS)	外観
目標値	3.7 ±0.04	—	324超	3.0超	—	—	52以上	傷・裂け目がないこと
1	3.690	3.77	353	5.6	1491	14.43	54.1	良
2	3.690	3.78	353	5.4	1496	14.43	53.9	良
3	3.690	3.77	353	5.4	1498	14.46	53.7	良
4	3.695	3.78	353	5.2	1488	14.46	54.1	良
5	3.685	3.79	355	5.6	1489	14.45	54.1	良
6	3.685	3.80	356	6.0	1492	14.42	54.1	良
7	3.685	3.80	356	5.8	1486	14.46	54.2	良
8	3.690	3.80	355	4.8	1504	14.43	53.6	良
9	3.690	3.79	354	5.4	1490	14.44	54.1	良
10	3.685	3.80	356	5.6	1493	14.43	54.0	良
最小値	3.685	3.77	353	4.8	1486	14.42	53.6	—
最大値	3.695	3.80	356	6.0	1504	14.46	54.2	—
平均	3.689	3.79	354	5.5	1493	14.44	54.0	—

【0077】

製造したアルミニウム素線のうち、10本のアルミニウム素線に対して、JIS C3002に準拠して、線径、引張荷重、引張強さ、伸び、電気抵抗、質量、導電率を計測した。また、アルミニウム素線の外観について評価した。

【0078】

その結果、実施例1のアルミニウム素線において、引張強さの実測値が350MPa以上であり、伸びの実測値が4.0%以上であり、導電率の実測値が53%以上であることを確認した。つまり、実施例1のアルミニウム素線において、引張強さは従来の長径間送電線で用いられるSI33アルミ合金の引張強さ(324MPa)より大きくなっており、伸びは従来のSI33アルミ合金の伸び(3%)より大きくなっており、導電率は従来のSI33アルミ合金の導電率(54%IACS)とほぼ同等となっていることを確認した。また、実施例1のアルミニウム素線の外観は良好であることを確認した。

【0079】

(実施例2の心線)

以下の表3に示されているように、実施例2の送電線サンプルの鋼心部に用いられる心線(耐食アルミ覆鋼線)を製造した。実施例2の心線では、線径が3.9mmである点が、実施例1の心線と異なる。

【0080】

【表 3】

実施例2の心線(耐食アルミ覆鋼線)

	線径 (mm)	引張荷重 (kN)	引張強さ (Mpa)	伸び (%)	ねじり (回)	巻付	電気抵抗 (20°C) ( $\mu\Omega/0.5m$ )	導電率 (%IACS)	被覆部厚 最小値 (mm)	巻付 巻戻	外観
目標値	3.9 $\pm 0.08$	—	1570以上	1.5以上	16以上	8	—	11.5以上	0.09以上	Id×8	傷・裂け目がないこと
1	3.885	19.38	1634	3.6	32	8	5646	12.9	0.125	良	良
2	3.885	19.85	1675	3.3	32	8	5642	12.9	0.123	良	良
3	3.885	20.55	1734	3.3	26	8	5761	12.6	0.125	良	良
4	3.885	19.42	1638	3.3	31	8	5640	12.9	0.128	良	良
5	3.885	19.62	1655	3.5	30	8	5643	12.9	0.126	良	良
6	3.880	19.78	1673	3.2	32	8	5648	12.9	0.124	良	良
7	3.885	19.72	1664	3.2	33	8	5643	12.9	0.123	良	良
8	3.885	19.80	1670	3.4	31	8	5651	12.9	0.125	良	良
9	3.880	19.76	1671	3.3	30	8	5692	12.8	0.124	良	良
10	3.885	19.82	1672	3.4	29	8	5683	12.8	0.125	良	良
最小値	3.880	19.38	1634	3.2	26	8	5640	12.6	0.123	—	—
最大値	3.885	20.55	1734	3.6	33	8	5761	12.9	0.128	—	—
平均	3.884	19.77	1669	3.4	31	8	5665	12.8	0.125	—	—

10

## 【0081】

製造した心線のうち、10本の心線に対して、JIS C3002に準拠して、線径、引張荷重、引張強さ、伸び、電気抵抗、質量、導電率を計測した。また、当該心線の外観について評価した。また、被覆部の厚さを拡大投影機により計測した。また、実施例1と同様の方法により、心線の心線の靱性等を確認した。

## 【0082】

その結果、実施例2の心線において、引張強さが1570MPa以上であり、伸びが1.5%以上であり、導電率が11.5%以上であることを確認した。つまり、実施例1の心線の引張強さは、従来の長径間送電線で用いられる特強亜鉛めっき鋼線の引張強さ(1770MPa)とほぼ同等となっていることを確認した。また、実施例2の心線の外観は良好であることを確認した。また、実施例2の心線の靱性も良好であることを確認した。また、実施例2の心線において被覆部の剥がれがないことを確認した。

20

## 【0083】

(実施例2のアルミニウム素線)

以下の表4に示されているように、実施例2の送電線サンプルの外部撚線部に用いられる(第2)アルミニウム素線(特別強カイヤ号アルミ合金線)を製造した。実施例2のアルミニウム素線では、線径が4.0mmである点が、実施例1のアルミニウム素線と異なる。

30

## 【0084】

【表 4】

実施例2のアルミニウム素線(特別強カイヤ号アルミ合金線)

	線径 (mm)	引張荷重 (kN)	引張強さ (Mpa)	伸び (%)	電気抵抗 (20°C) ( $\mu\Omega/0.5m$ )	質量 g/0.5m	導電率 (%IACS)	外観
目標値	4.0 $+0.15$ $-0.04$	—	324超	3.0超	—	—	52以上	傷・裂け目がないこと
1	4.096	4.78	363	6.6	1221	17.79	53.6	良
2	4.096	4.77	362	6.0	1227	17.79	53.3	良
3	4.095	4.80	364	7.8	1223	17.78	53.5	良
4	4.096	4.78	363	5.6	1225	17.79	53.4	良
5	4.097	4.73	359	6.0	1220	17.80	53.6	良
6	4.097	4.73	359	6.2	1221	17.80	53.5	良
7	4.096	4.78	363	7.4	1224	17.79	53.4	良
8	4.097	4.75	360	7.0	1220	17.80	53.6	良
9	4.097	4.77	362	6.9	1222	17.80	53.5	良
10	4.096	4.77	362	7.1	1221	17.80	53.5	良
最小値	4.095	4.73	359	5.6	1220	17.78	53.3	—
最大値	4.097	4.80	364	7.8	1227	17.80	53.6	—
平均	4.096	4.77	362	6.7	1222	17.79	53.5	—

40

## 【0085】

製造したアルミニウム素線のうち、10本のアルミニウム素線に対して、JIS C3002に準拠して、線径、引張荷重、引張強さ、伸び、電気抵抗、質量、導電率を計測し

50

た。また、アルミニウム素線の外観について評価した。

【0086】

その結果、実施例2のアルミニウム素線において、引張強さの実測値が350MPa以上であり、伸びの実測値が4.0%以上であり、導電率の実測値が53%以上であることを確認した。つまり、実施例2のアルミニウム素線において、引張強さは従来の長径間送電線で用いられるSI33アルミ合金の引張強さ(324MPa)より大きくなっており、伸びは従来のSI33アルミ合金の伸び(3%)より大きくなっており、導電率は従来のSI33アルミ合金の導電率(54%IACS)とほぼ同等となっていることを確認した。また、実施例2のアルミニウム素線の外観は良好であることを確認した。

【0087】

(2)送電線サンプルの製造および性能評価

以下の表5に示されているように、第1実施形態に相当する実施例1の送電線サンプルを製造した。具体的には、上記した実施例1の心線を19本の撚り合わせることにより、鋼心部を形成した。次に、鋼心部の外周を覆うように実施例1のアルミニウム素線を42本撚り合わせることにより、外部撚線部を形成した。なお、鋼心部および外部撚線部にはグリスを塗布しなかった。このようにして、実施例1の送電線サンプルを製造した。

【0088】

また、以下の表5に示されているように、第2実施形態に相当する実施例2の送電線サンプルを製造した。具体的には、上記した実施例2の心線を19本の撚り合わせることにより、鋼心部を形成した。次に、鋼心部の外周を覆うように断面が扇形の第1アルミニウム素線を16本撚り合わせることにより、第1外部撚線層を形成し、第1外部撚線層の外周を覆うように実施例2の第2アルミニウム素線を24本撚り合わせることにより、第2外部撚線層を形成した。なお、鋼心部および外部撚線部にはグリスを塗布しなかった。このようにして、実施例2の送電線サンプルを製造した。

【0089】

また、表5および図3に、従来の長径間送電線サンプルとして、比較例の送電線サンプル(SI33ACSR/EST)を示す。

なお、図3は、比較例に係る送電線の軸方向と直交する断面図である。

図3に示されているように、比較例の送電線サンプルは、例えば以下のようにして製造する。特強亜鉛めっき鋼線からなる心線910を19本撚り合わせることにより、鋼心部920を形成する。次に、SI33アルミ合金からなるアルミニウム素線930を42本撚り合わせることにより、外部撚線部940を形成する。なお、鋼心部および外部撚線部にはグリスを塗布する。以下の表5では、このようにして製造された比較例の送電線サンプルを例示している。

【0090】

10

20

30

【表5】

名称		単位	比較例	実施例1	実施例2
記号		—	中防食特別強力鋼心 SI33アルミ合金撚線	特強耐食アルミ覆鋼心 特別強カイ号アルミ合金撚線	耐食アルミ覆鋼心 特別強カイ号アルミ合金撚線
送電線		—	SI33ACSR/EST	—	—
(素線数/素線径)	アルミ素線	本/mm	42/3.7	42/3.7	24/3.7 & 16/4.0
	心線	本/mm	19/3.7	19/3.7	19/3.9
公称断面積		mm <sup>2</sup>	450	450	460
計算断面積	外部撚線層	mm <sup>2</sup>	451.5	451.5	459.1
	鋼心部	mm <sup>2</sup>	204.3	204.3	227.1
	合計	mm <sup>2</sup>	656	655.8	686.2
外径	外部撚線層	mm	33.3	33.3	33.3
	鋼心部	mm	18.5	18.5	19.5
質量		kg/km	2,977 (2,856) ( )内:グリスなし	2,721	2,905
弾性係数		Gpa (kgf/mm <sup>2</sup> )	108.0 (11,020)	96.8 (9,870)	98.9 (10,100)
線膨張係数		× 10 <sup>-6</sup> /°C	16.2	17	16.7
電気抵抗		Ω /km	0.0726	0.0683	0.0667
電流容量(常時90°C)		A	880	907	918
電流容量(常時100°C)		A	996	1027	1039
引張荷重		kN (kgf)	456.9以上 (46590以上)	457.1以上 (46610以上)	454.7以上 (46370以上)
アルミニウム素線	材質名	—	SI33アルミ合金	特別強カイ号アルミ合金	特別強カイ号アルミ合金
	引張強さ	MPa	324	324超	324超
	伸び	%	3	3超	3超
	導電率	%IACS	54	52以上	52以上
心線	材質名	—	特強亜鉛めっき鋼線	特強耐食AC線	耐食AC線
	引張強さ	MPa	1770	1770以上	1570以上
	伸び	%	4.5	1.5以上	1.5以上
	導電率	%IACS	—	11.5以上	11.5以上

10

20

【0091】

製造した実施例1の送電線サンプル、実施例2の送電線サンプル、および比較例の送電線サンプルに対して、質量、弾性係数、線膨張係数、電気抵抗、電気容量、引張荷重を計測した。

なお、質量は、電子天秤で測定した。

また、弾性係数は、以下の方法により計測した。引張試験機に各送電線サンプルを装着後、引張荷重規格値の60%まで荷重を印加し、その後、0kNまで除荷する。荷重上昇または下降時の送電線サンプルの伸びをダイヤルゲージで測定する。これにより、弾性係数が求められる。なお、送電線サンプルの伸びを測定するときの送電線サンプルの長さは約2mとする。

30

また、線膨張係数は、以下の方法により計測した。送電線サンプルに規格値の20%の荷重を印加した状態で、通電により送電線サンプルの温度を上昇させる。送電線サンプルの温度上昇時の送電線サンプルの伸びをダイヤルゲージで測定する。これにより、線膨張係数が求められる。なお、送電線サンプルの伸びを測定するときの送電線サンプルの長さは約2mとする。

また、電気抵抗は、4端子ダブルブリッジ法で測定した。

また、電流容量は、CIGRE (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques a Haute) における式で計算した。なお、CIGREにおける電流容量を求める式は、電気学会技術報告論文No. 660「架空送電線の電流容量」に記載されている。

40

また、JIS C3002に準拠して、引張荷重を計測した。具体的には、送電線サンプルの両端を引張試験機に把持し、片側の把持ヘッドを油圧で移動させることにより、送電線サンプルに荷重を印加する。そして、送電線サンプルが破断するまで引っ張る。送電線サンプルが破断した時の荷重を引張荷重として求める。

【0092】

その結果、実施例1の送電線サンプルおよび実施例2の送電線サンプルのそれぞれにおいて、電気抵抗が0.07 / km以下となっており、比較例の送電線サンプルの電気抵

50



抗(0.0726 / km)以下となっていることを確認した。

【0093】

また、実施例1の送電線サンプルおよび実施例2の送電線サンプルのそれぞれにおいて、常時90のときの電流容量が900A以上となっており、また常時100のときの電流容量が1000A以上となっていることを確認した。つまり、実施例1の送電線サンプルおよび実施例2の送電線サンプルのそれぞれにおける電気容量が、比較例の送電線サンプルの電流容量と同等以上となっていることを確認した。

【0094】

また、実施例1の送電線サンプルおよび実施例2の送電線サンプルのそれぞれにおいて、引張荷重が450kN以上となっており、比較例の送電線サンプルの引張荷重と同等となっていることを確認した。なお、実施例2の送電線サンプルにおける心線の引張強さが比較例の送電線サンプルにおける心線の引張強さよりも小さいものの、実施例2の送電線サンプルにおけるアルミニウム素線の引張強さが比較例の送電線サンプルにおけるアルミニウム素線の引張強さよりも大きいことにより、実施例2の送電線サンプルの引張荷重を比較例の送電線サンプルの引張荷重と同等とすることが可能となっていることを確認した。

10

【0095】

(3) 弛度

以下の表6に示されているように、上記した実施例1の送電線サンプル、実施例2の送電線サンプル、および比較例の送電線サンプルに対して、径間長を998mとし、最大使用張力を132.4kNとして、連続許容温度90のとき、および短時間許容温度100のときのそれぞれにおいて、送電線サンプルの弛度を算定した。

20

【0096】

【表6】

送電線 公称断面積	最大使用張力 (kN)	998m径間における弛度(m)	
		90°C(連続許容温度)	100°C(短時間許容温度)
比較例 450mm <sup>2</sup>	132.4	53.92	54.70
実施例1 450mm <sup>2</sup>	132.4	52.18	53.02
実施例2 460mm <sup>2</sup>	132.4	53.49	54.30

30

【0097】

その結果、実施例1の送電線サンプルにおける100のときの弛度は、比較例の送電線サンプルにおける弛度よりも1.7m小さかった。また、実施例2の送電線サンプルにおける100のときの弛度は、比較例の送電線サンプルにおける弛度よりも0.4m小さかった。したがって、実施例1の送電線サンプルおよび実施例2の送電線サンプルでは、比較例の送電線サンプルよりも弛度を低減できることを確認した。

【0098】

(4) 腐食加速試験

以下の表7に示されているように、上記した実施例1の送電線サンプル、および実施例2の送電線サンプルに対して、腐食加速試験を行った。腐食加速試験では、腐食溶液を送電線サンプルの表面にスプレー塗布し、送電線サンプルに電流を流すことで送電線サンプルを加熱させた。腐食溶液は、海塩および酸性雨を想定し、NaClおよびH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の溶液とし、腐食溶液のpHは5とした。また、送電線サンプルの温度は、90に維持した。腐食加速試験の期間は4.5ヶ月とした。

40

【0099】

【表 7】

腐食加速試験4. 5ヶ月後の孔食深さ

		孔食深さ(μ m)	
		実施例1(450mm <sup>2</sup> )	実施例2(460mm <sup>2</sup> )
外部撚線部	第2外部撚線層	10~49 平均:22	9~55 平均:22
	第1外部撚線層	7~57 平均:27	13~66 平均:32
鋼心部	第3鋼心層	6~19 平均:12	7~20 平均:13
	第2鋼心層	7~22 平均:13	8~19 平均:12
	第1鋼心層	3~8 平均:5	2~7 平均:4

(注)評価本数は、各層でn=20

10

【 0 1 0 0 】

【表 8】

一般環境下のアルミニウム腐食速度(アルミ種類1100材)

環境	海洋	海浜	工業地帯	田園	山間
腐食速度(μ m/年)	48	18	19	10	7

(注)出典:電気学会技術報告 第968号「架空送電線の電線腐食現象」P13, 2004年6月

【 0 1 0 1 】

ここで、電気学会技術報告 2004年6月第968号「架空送電線の電線腐食現象」p 20 . 13に記載された一般環境下でのアルミ腐食速度を、表8に示す。表8に示されているように、海洋雰囲気におけるアルミの腐食速度は48 μ m / 年である。したがって、海洋雰囲気における10年での孔食深さは、480 μ mとなる。

【 0 1 0 2 】

これに対して、表7における腐食加速試験の期間(4.5ヶ月)は、海洋雰囲気の10年以上に相当する。表7によれば、実施例1の送電線サンプルおよび実施例2の送電線サンプルのそれぞれにおける各部の孔食深さは、海洋雰囲気の10年の孔食深さ(480 μ m)以下であることを確認した。したがって、実施例1の送電線サンプルおよび実施例2の送電線サンプルでは、耐食性が良好であることを確認した。

【 0 1 0 3 】

以上の実施例1および実施例2のように、従来 of 長径間送電線(比較例)と比較して、電流容量特性を同等以上としつつ、引張強度特性および耐食性を向上させた送電線を提供することができることを確認した。

30

【符号の説明】

【 0 1 0 4 】

- 1 0 , 1 2 送電線
- 1 0 0 心線
- 1 2 0 鋼線部
- 1 4 0 被覆部
- 2 0 0 鋼心部
- 2 1 0 第1鋼心層
- 2 2 0 第2鋼心層
- 2 3 0 第3鋼心層
- 3 0 0 アルミニウム素線
- 3 1 0 第1アルミニウム素線
- 3 2 0 第2アルミニウム素線
- 4 0 0 , 4 0 2 外部撚線部
- 4 1 0 , 4 1 2 第1外部撚線層
- 4 2 0 第2外部撚線層

40



## フロントページの続き

- (72)発明者 加藤 厚志  
東京都中央区銀座六丁目15番1号 電源開発株式会社内
- (72)発明者 小谷 智哉  
東京都中央区銀座六丁目15番1号 電源開発株式会社内
- (72)発明者 長野 宏治  
東京都港区三田三丁目13番16号 株式会社ジェイ・パワーシステムズ内
- (72)発明者 小川 寿春  
東京都港区三田三丁目13番16号 株式会社ジェイ・パワーシステムズ内
- (72)発明者 渡部 雅人  
東京都港区三田三丁目13番16号 株式会社ジェイ・パワーシステムズ内

審査官 佐藤 貴浩

- (56)参考文献 特開2001-084838(JP,A)  
特開2014-002863(JP,A)  
特開2004-027294(JP,A)  
特開昭53-076114(JP,A)  
特開昭60-079607(JP,A)  
特開2000-090744(JP,A)  
特開平06-052734(JP,A)  
特開2005-011570(JP,A)  
実公昭46-017562(JP,Y1)  
特開平09-213131(JP,A)  
特開2008-112620(JP,A)  
特開昭60-215751(JP,A)  
特開2008-311151(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01B 5/10  
H01B 13/00  
C22C 21/00  
C22C 38/00