

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4944021号
(P4944021)

(45) 発行日 平成24年5月30日(2012.5.30)

(24) 登録日 平成24年3月9日(2012.3.9)

(51) Int.Cl.

HO 1 B 5/10 (2006.01)
HO 1 B 13/00 (2006.01)

F 1

HO 1 B 5/10
HO 1 B 13/00 5 O 1 Z

請求項の数 2 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2007-516475 (P2007-516475)
 (86) (22) 出願日 平成17年4月18日 (2005.4.18)
 (65) 公表番号 特表2008-503056 (P2008-503056A)
 (43) 公表日 平成20年1月31日 (2008.1.31)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2005/013009
 (87) 國際公開番号 WO2006/006997
 (87) 國際公開日 平成18年1月19日 (2006.1.19)
 審査請求日 平成20年4月15日 (2008.4.15)
 (31) 優先権主張番号 10/870,262
 (32) 優先日 平成16年6月17日 (2004.6.17)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 505005049
 スリーエム イノベイティブ プロパティ
 ズ カンパニー
 アメリカ合衆国、ミネソタ州 55133
 -3427, セント ポール, ポスト オ
 フィス ボックス 33427, スリーエ
 ム センター
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100077517
 弁理士 石田 敏
 (74) 代理人 100087413
 弁理士 古賀 哲次
 (74) 代理人 100111903
 弁理士 永坂 友康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ケーブルおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

熱膨張係数を有し、かつ、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タンクステン、または形状記憶合金の少なくとも1つを含む長手方向のコアと、

合せて前記コアの熱膨張係数より大きい熱膨張係数を有する複数のワイヤであって、前記複数のワイヤが、アルミニウムワイヤ、銅ワイヤ、アルミニウム合金ワイヤ、または銅合金ワイヤの少なくとも1つを含み、前記複数のワイヤが、前記コアの周りに燃り合される、複数のワイヤとを

含むケーブルであって、

前記ケーブルが5 MPa以下の応力パラメータを有する、ケーブル。

【請求項 2】

前記コアが、ポリマーマトリックス内の、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タンクステン、または形状記憶合金の少なくとも1つの連続纖維を含む、請求項1に記載のケーブル。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

一般に、複合体(金属マトリックス複合体(MMC)を含む)が知られている。複合体は、典型的には、纖維、微粒子、ウイスカー、または纖維(たとえば、短纖維または長纖

維)で強化されたマトリックスを含む。金属マトリックス複合体の例としては、アルミニウムマトリックス複合ワイヤ(たとえば、アルミニウムマトリックスに埋込まれた炭化ケイ素繊維、炭素繊維、ホウ素繊維、または多結晶アルファアルミナ繊維)、チタンマトリックス複合テープ(たとえば、チタンマトリックスに埋込まれた炭化ケイ素繊維)、および銅マトリックス複合テープ(たとえば、銅マトリックスに埋込まれた炭化ケイ素繊維またはホウ素繊維)が挙げられる。ポリマー・マトリックス複合体の例としては、エポキシ樹脂マトリック内の炭素繊維または黒鉛繊維、ポリエステル樹脂内のガラス繊維またはアラミド繊維、ならびにエポキシ樹脂内の炭素繊維およびガラス繊維が挙げられる。

【0002】

複合ワイヤ(たとえば、金属マトリックス複合ワイヤ)の1つの使用は、裸架空送電ケーブル内の強化部材としての使用である。ケーブルに対する1つの典型的な必要は、既存の伝送インフラストラクチャの電力伝達容量を増加させる必要によって駆り立てられる。10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

架空送電用途のためのケーブルの望ましい性能要件としては、耐腐食性、環境耐久性(たとえば、UVおよび湿気)、高温における強度の損失に対する耐性、耐クリープ性、ならびに比較的高い弾性率、低密度、低熱膨張係数、高導電性、および高強度が挙げられる。アルミニウムマトリックス複合ワイヤを含む架空送電ケーブルが知られているが、いくつかの用途の場合、たとえば、より望ましい弛み特性が引き続き望まれる。20

【課題を解決するための手段】

【0004】

一態様において、本発明は、

熱膨張係数を有し、かつ、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タングステン、または形状記憶合金の少なくとも1つを含む長手方向のコアと、合せてコアの熱膨張係数より大きい熱膨張係数を有する複数のワイヤであって、複数のワイヤが、アルミニウムワイヤ、銅ワイヤ、アルミニウム合金ワイヤ、または銅合金ワイヤの少なくとも1つを含み、複数のワイヤが、コアの周りに撲り合される、複数のワイヤとを含むケーブルであって、長手方向のコアが金属マトリックス複合ワイヤを含む場合、コアが、別個に、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タングステン、または形状記憶合金の少なくとも1つを含む(すなわち、金属マトリックス複合ワイヤの一部でない)という条件で、ケーブルが20 MPa以下(いくつかの実施形態において、19 MPa、18 MPa、17 MPa、16 MPa、15 MPa、14 MPa、13 MPa、12 MPa、11 MPa、10 MPa、9 MPa、8 MPa、7 MPa、6 MPa、5 MPa、4 MPa、3 MPa、2 MPa、1 MPa以下、またはさらには0 MPa以下;いくつかの実施形態において、0 MPaから20 MPa、0 MPaから15 MPa、0 MPaから10 MPa、または0 MPaから5 MPaの範囲内)の応力パラメータを有する、ケーブルを提供する。いくつかの実施形態において、複数のワイヤは、少なくとも90 MPa、またはさらには少なくとも100 MPaの引張破断強度を有する(ASTM B557/B557M(1999))に従って計算された。3040

【0005】

いくつかの実施形態において、コアが、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タングステン、または形状記憶合金の少なくとも1つの繊維(典型的には連続繊維)を含む。いくつかの実施形態において、コアは、繊維とマトリックス材料(たとえば、金属および/またはポリマー材料)とを含む複合体を含む。

【0006】

別の態様において、本発明は、本発明によるケーブルを製造する方法であって、

複数のワイヤを長手方向のコアの周りに撲り合せて、予備的な撲り合されたケーブルを50

提供する工程であって、複数のワイヤが、アルミニウムワイヤ、銅ワイヤ、アルミニウム合金ワイヤ、または銅合金ワイヤの少なくとも1つを含み、コアが、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p - フェニレン - 2 , 6 - ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タングステン、または形状記憶合金の少なくとも1つを含む工程と、

予備的な撲り合されたケーブルを閉じダイにかけて、ケーブルを提供する工程であって、閉じダイが内径を有し、ケーブルが外径を有し、ダイ内径がケーブル外径の1 . 0 0 から1 . 0 2 倍の範囲内である工程とを含む方法を提供する。

【 0 0 0 7 】

ここで使用されるように、次の用語を、ここで特に明記しない限り、示されているように定義する。

10

【 0 0 0 8 】

「セラミック」は、ガラス、結晶セラミック、ガラス - セラミック、およびそれらの組合せを意味する。

【 0 0 0 9 】

「連続纖維」は、平均纖維直径と比較されると比較的無限である長さを有する纖維を意味する。典型的には、これは、纖維が、少なくとも 1×10^5 (いくつかの実施形態において、少なくとも 1×10^6 、またはさらには少なくとも 1×10^7)のアスペクト比(すなわち、纖維の長さと纖維の平均直径との比)を有することを意味する。典型的には、そのような纖維は、少なくとも50メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。

20

【 0 0 1 0 】

「形状記憶合金」は、マルテンサイト変態を経る金属合金を指し、金属合金は、変態温度より低い温度双晶化機構によって変形可能であり、そのような変形は、変態温度より高い温度に加熱すると双晶構造が元の相に戻るときに可逆性である。

【 0 0 1 1 】

本発明によるケーブルは、たとえば送電ケーブルとして有用である。典型的には、本発明によるケーブルは、向上された弛み特性(すなわち、低減された弛み)を示す。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 2 】

本発明は、ケーブル、およびケーブルを製造する方法に関する。本発明による例示的なケーブル10の断面図が、図1に示されている。ケーブル10は、コア12と、撲り合された丸いワイヤ14の2つの層とを含み、コア12は、ワイヤ16(示されているように、複合ワイヤ)を含む。

30

【 0 0 1 3 】

本発明による別の例示的なケーブル20の断面図が、図2に示されている。ケーブル20は、コア22と、撲り合されたワイヤ24の3つの層とを含み、コア22は、ワイヤ26(示されているように、複合ワイヤ)を含む。

【 0 0 1 4 】

本発明による別の例示的なケーブル30の断面図が、図3に示されている。ケーブル30は、コア32と、撲り合された台形ワイヤ34とを含み、コア32は、ワイヤ36(示されているように、複合ワイヤ)を含む。

40

【 0 0 1 5 】

本発明による別の例示的なケーブル40の断面図が、図4に示されている。ケーブル40は、コア42と、撲り合されたワイヤ44とを含む。

【 0 0 1 6 】

いくつかの実施形態において、コアは、少なくとも、約 - 7 5 から約 4 5 0 の温度範囲にわたって、約 5 . 5 ppm / から約 7 . 5 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。

【 0 0 1 7 】

コアを構成する材料の例としては、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p - フェニ

50

レン - 2 , 6 - ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タングステン、および / または形状記憶合金が挙げられる。いくつかの実施形態において、材料は纖維(典型的には連続纖維)の形態である。いくつかの実施形態において、アラミドを含むコアは、少なくとも、約 20 から約 200 の温度範囲にわたって、約 - 6 ppm / から約 0 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、セラミックを含むコアは、少なくとも、約 20 から約 600 の温度範囲にわたって、約 3 ppm / から約 12 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、ホウ素を含むコアは、少なくとも、約 20 から約 600 の温度範囲にわたって、約 4 ppm / から約 6 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、ポリ(p - フェニレン - 2 , 6 - ベンゾビスオキサゾール)を含むコアは、少なくとも、約 20 から約 600 の温度範囲にわたって、約 - 6 ppm / から約 0 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、黒鉛を含むコアは、少なくとも、約 20 から約 600 の温度範囲にわたって、約 - 2 ppm / から約 2 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、炭素を含むコアは、少なくとも、約 20 から約 600 の温度範囲にわたって、約 - 2 ppm / から約 2 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、チタンを含むコアは、少なくとも、約 20 から約 800 の温度範囲にわたって、約 10 ppm / から約 20 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、タングステンを含むコアは、少なくとも、約 20 から約 1000 の温度範囲にわたって、約 8 ppm / から約 18 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、形状記憶合金を含むコアは、少なくとも、約 20 から約 1000 の温度範囲にわたって、約 8 ppm / から約 25 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、ガラスを含むコアは、少なくとも、約 20 から約 600 の温度範囲にわたって、約 4 ppm / から約 10 ppm / の範囲内の長手方向の熱膨張係数を有する。

【0018】

コアの纖維の例としては、アラミド纖維、セラミック纖維、ホウ素纖維、ポリ(p - フェニレン - 2 , 6 - ベンゾビスオキサゾール)纖維、黒鉛纖維、炭素纖維、チタン纖維、タングステン纖維、および / または形状記憶合金纖維が挙げられる。

【0019】

例示的なホウ素纖維が、たとえば、マサチューセッツ州ローウェルのテキストロン・スペシャルティ・ファイバーズ・インコーポレイテッド(Textron Speciality Fibers, Inc. of Lowell, MA)から市販されている。典型的には、そのような纖維は、少なくとも 50 メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続ホウ素纖維は、約 80 マイクロメートルから約 200 マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。より典型的には、平均纖維直径は、150 マイクロメートル以下、最も典型的には、95 マイクロメートルから 145 マイクロメートルの範囲内である。いくつかの実施形態において、ホウ素纖維は、少なくとも 3 GPa、およびまたはさらには少なくとも 3.5 GPa の平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、ホウ素纖維は、約 350 GPa から約 450 GPa の範囲内、またはさらには約 350 GPa から約 400 GPa の範囲内のモジュラスを有する。

【0020】

いくつかの実施形態において、セラミック纖維は、少なくとも 1.5 GPa、2 GPa、3 GPa、4 GPa、5 GPa、6 GPa、およびまたはさらには少なくとも 6.5 GPa の平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、セラミック纖維は、140 GPa から約 500 GPa の範囲内、またはさらには 140 GPa から約 450 GPa の範囲内のモジュラスを有する。

【0021】

10

20

30

40

50

例示的な炭素繊維が、たとえば、ジョージア州アルファレッタのアモコ・ケミカルズ(Amoco Chemicals of Alpharetta, GA)によって、商品名「ソーネル・カーボン(THORNEL CARBON)」で、2000、4000、5,000、および12,000の繊維のトウで、コネチカット州スタンフォードのヘクセル・コーポレーション(Hexcel Corporation of Stamford, CT)、カリフォルニア州サクラメントのグラフィル・インコーポレイテッド(Grafil, Inc. of Sacramento, CA)(三菱レイヨン(Mitsubishi Rayon Co.)の子会社)から、商品名「パイロフィル(PYROFIL)」で、日本、東京の東レ(Toray)、商品名「トレカ(TORAY CA)」で、東邦レーション株式会社(Toho Rayon of Japan, Ltd.)、商品名「ベスファイト(BESFIGHT)」で、ミズーリ州セントルイスのゾルテック・コーポレーション(Zoltek Corporation of St. Louis, MO)、商品名「パネックス(PANEX)」および「パイロン(PYRON)」で、ならびにニュージャージー州ワイコフのインコ・スペシャル・プロダクト(Inco Special Products of Wyckoff, NJ)(ニッケルコーティング炭素繊維)、商品名「12K20」および「12K50」で、販売されている。典型的には、そのような繊維は、少なくとも50メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続炭素繊維は、約4マイクロメートルから約12マイクロメートル、約4.5マイクロメートルから約12マイクロメートル、またはさらには約5マイクロメートルから約10マイクロメートルの範囲内の平均繊維直径を有する。いくつかの実施形態において、炭素繊維は、少なくとも1.4GPa、少なくとも2.1GPa、少なくとも3.5GPa、またはさらには少なくとも5.5GPaの平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、炭素繊維は、150GPaを超えて450GPa以下、またはさらには400GPa以下のモジュラスを有する。

【0022】

例示的な黒鉛繊維が、たとえば、ジョージア州アルファレッタのBPアモコ(BP Amoco of Alpharetta, GA)によって、商品名「T-300」で、1000、3000、および6000の繊維のトウで、販売されている。典型的には、そのような繊維は、少なくとも50メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続黒鉛繊維は、約4マイクロメートルから約12マイクロメートル、約4.5マイクロメートルから約12マイクロメートル、またはさらには約5マイクロメートルから約10マイクロメートルの範囲内の平均繊維直径を有する。いくつかの実施形態において、黒鉛繊維は、1.5GPa、2GPa、3GPa、またはさらには少なくとも4GPaの平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、黒鉛繊維は、約200GPaから約1200GPa、またはさらには約200GPaから約1000GPaの範囲内のモジュラスを有する。

【0023】

例示的なチタン繊維が、たとえば、ネバダ州ヘンダーソンのタイメット(TIMET, Henderson, NV)から入手可能である。典型的には、そのような繊維は、少なくとも50メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続チタン繊維は、50マイクロメートルから約250マイクロメートルの範囲内の平均繊維直径を有する。いくつかの実施形態において、チタン繊維は、少なくとも0.7GPa、1GPa、1.5GPa、2GPa、またはさらには少なくとも2.1GPaの平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、セラミック繊維は、約85GPaから約100GPa、またはさらには約85から約95GPaの範囲内のモジュラスを有する。

【0024】

例示的なタンゲステン繊維が、たとえば、カリフォルニア州グローバービーチのカリファルニア・ファイン・ワイヤ・カンパニー(California Fine Wire

10

20

30

40

50

Company, Grover Beach, CA) から入手可能である。典型的には、そのような纖維は、少なくとも 50 メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続タンゲステン纖維は、約 100 マイクロメートルから約 500 マイクロメートル約 150 マイクロメートルから約 500 マイクロメートル、またはさらには約 200 マイクロメートルから約 400 マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。いくつかの実施形態において、タンゲステン纖維は、少なくとも 0.7 GPa、1 GPa、1.5 GPa、2 GPa、またはさらには少なくとも 2.3 GPa の平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、タンゲステン纖維は、400 GPa を超えて約 420 GPa 以下、またはさらには 415 GPa 以下のモジュラスを有する。

10

【0025】

例示的な形状記憶合金纖維が、たとえば、ペンシルバニア州ウェストホワイトランドのジョンソン・マッセイ (Johnson Matthey, West Whiteford, PA) から入手可能である。典型的には、そのような纖維は、少なくとも 50 メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続形状記憶合金纖維は、約 50 マイクロメートルから約 400 マイクロメートル、約 50 から約 350 マイクロメートル、またはさらには約 100 マイクロメートルから 300 マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。いくつかの実施形態において、形状記憶合金纖維は、少なくとも 0.5 GPa、およびまたはさらには少なくとも 1 GPa の平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、形状記憶合金纖維は、約 20 GPa から約 100 GPa、またはさらには約 20 GPa から約 90 GPa の範囲内のモジュラスを有する。

20

【0026】

例示的なアラミド纖維が、たとえば、デラウェア州ウィルミントンのデュポン (DuPont, Wilmington, DE) から、商品名「ケブラー (KEVLAR)」で入手可能である。典型的には、そのような纖維は、少なくとも 50 メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続アラミド纖維は、約 10 マイクロメートルから約 15 マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。いくつかの実施形態において、アラミド纖維は、少なくとも 2.5 GPa、3 GPa、3.5 GPa、4 GPa、またはさらには少なくとも 4.5 GPa の平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、アラミド纖維は、約 80 GPa から約 200 GPa、またはさらには約 80 GPa から約 180 GPa の範囲内のモジュラスを有する。

30

【0027】

例示的なポリ (p-フェニレン - 2,6-ベンゾピスオキサゾール) 纖維が、たとえば、日本、大阪の東洋紡 (Toyoobo Co.) から、商品名「ザイロン (ZYLON)」で入手可能である。典型的には、そのような纖維は、少なくとも 50 メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続ポリ (p-フェニレン - 2,6-ベンゾピスオキサゾール) 纖維は、約 8 マイクロメートルから約 15 マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。いくつかの実施形態において、ポリ (p-フェニレン - 2,6-ベンゾピスオキサゾール) 纖維は、少なくとも 3 GPa、4 GPa、5 GPa、6 GPa、またはさらには少なくとも 7 GPa の平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、ポリ (p-フェニレン - 2,6-ベンゾピスオキサゾール) 纖維は、約 150 GPa から約 300 GPa、またはさらには約 150 GPa から約 275 GPa の範囲内のモジュラスを有する。

40

【0028】

セラミック纖維の例としては、金属酸化物 (たとえば、アルミナ) 纖維、窒化ホウ素纖維、炭化ケイ素纖維、およびこれらの纖維のいずれかの組合せが挙げられる。典型的には、セラミック酸化物纖維は、結晶セラミック、および / または結晶セラミックおよびガラスの混合物 (すなわち、纖維が、結晶セラミック相およびガラス相の両方を含有すること

50

ができる)である。典型的には、そのような纖維は、少なくとも50メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続セラミック纖維は、約5マイクロメートルから約50マイクロメートル、約5マイクロメートルから約25マイクロメートル、約8マイクロメートルから約25マイクロメートル、またはさらには約8マイクロメートルから約20マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。いくつかの実施形態において、結晶セラミック纖維は、少なくとも1.4 GPa、少なくとも1.7 GPa、少なくとも2.1 GPa、およびまたはさらには少なくとも2.8 GPaの平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、結晶セラミック纖維は、70 GPaを超えて約1000 GPa以下、またはさらには420 GPa以下のモジュラスを有する。

10

【0029】

モノフィラメントセラミック纖維の例としては、炭化ケイ素纖維が挙げられる。典型的には、炭化ケイ素モノフィラメント纖維は、結晶性、および/または結晶セラミックおよびガラスの混合物(すなわち、纖維が、結晶セラミック相およびガラス相の両方を含有することができる)である。典型的には、そのような纖維は、少なくとも50メートルのオーダの長さを有し、キロメートル以上のオーダの長さを有することさえできる。典型的には、連続炭化ケイ素モノフィラメント纖維は、約100マイクロメートルから約250マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。いくつかの実施形態において、結晶セラミック纖維は、少なくとも2.8 GPa、少なくとも3.5 GPa、少なくとも4.2 GPa、およびまたはさらには少なくとも6 GPaの平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、結晶セラミック纖維は、250 GPaを超えて約500 GPa以下、またはさらには430 GPa以下のモジュラスを有する。

20

【0030】

さらに、例示的なガラス纖維が、たとえば、ニューヨーク州コーニングのコーニング・グラス(Corning Glass, Corning NY)から入手可能である。典型的には、連続ガラス纖維は、約3マイクロメートルから約19マイクロメートルの範囲内の平均纖維直径を有する。いくつかの実施形態において、ガラス纖維は、少なくとも3 GPa、4 GPa、およびまたはさらには少なくとも5 GPaの平均引張強度を有する。いくつかの実施形態において、ガラス纖維は、約60 GPaから95 GPa、または約60 GPaから約90 GPaの範囲内のモジュラスを有する。

30

【0031】

いくつかの実施形態において、セラミックおよび炭素纖維はトウ形態である。トウは、纖維技術において知られており、ロービング状形態で集められた複数の(個別の)纖維(典型的には少なくとも100の纖維、より典型的には少なくとも400の纖維)を指す。いくつかの実施形態において、トウは、1トウあたり少なくとも780の個別の纖維を含み、いくつかの場合、1トウあたり少なくとも2600の個別の纖維を含む。セラミック纖維のトウは、300メートル、500メートル、750メートル、1000メートル、1500メートル、1750メートル、およびより長いものを含むさまざまな長さで入手可能である。纖維は、円形または橢円形である断面形状を有することができる。炭素纖維のいくつかの実施形態において、トウは、1トウあたり、少なくとも2,000~5,000~12,000、またはさらには少なくとも50,000の個別の纖維を含む。

40

【0032】

アルミナ纖維が、たとえば、米国特許第4,954,462号明細書(ウッド(Wood)ら)および米国特許第5,185,29号明細書(ウッド(Wood)ら)に記載されている。いくつかの実施形態において、アルミナ纖維は、多結晶アルファアルミナ纖維であり、理論酸化物基準で、アルミナ纖維の総重量を基準にして、99重量パーセントを超えるAl₂O₃と、0.2~0.5重量パーセントのSiO₂とを含む。別の態様において、いくつかの望ましい多結晶アルファアルミナ纖維は、1マイクロメートル未満(またはさらには、いくつかの実施形態において、0.5マイクロメートル未満)の平均粒度を有するアルファアルミナを含む。別の態様において、いくつかの実施形態において、多結

50

晶アルファアルミナ繊維は、少なくとも 1 . 6 GPa (いくつかの実施形態において、少なくとも 2 . 1 GPa 、またはさらには、少なくとも 2 . 8 GPa) の平均引張強度を有する。例示的なアルファアルミナ繊維が、ミネソタ州セントポールの 3Mカンパニー (3 M Company , St . Paul , MN) によって、商品名「ネクステル (NEXTEL) 610 」で販売されている。

【 0033 】

アルミノシリケート繊維が、たとえば、米国特許第 4 , 047 , 965 号明細書 (カルスト (Karst) ら) に記載されている。例示的なアルミノシリケート繊維が、ミネソタ州セントポールの 3Mカンパニーによって、商品名「ネクステル 440 」、「ネクステル 550 」、および「ネクステル 720 」で販売されている。

10

【 0034 】

アルミノボロシリケート繊維が、たとえば、米国特許第 3 , 795 , 524 号明細書 (ソウマン (Sowman) ら) に記載されている。例示的なアルミノボロシリケート繊維が、3Mカンパニーによって、商品名「ネクステル 312 」で販売されている。

【 0035 】

窒化ホウ素繊維を、たとえば、米国特許第 3 , 429 , 722 号明細書 (エコノミー (Economy)) および米国特許第 5 , 780 , 154 号明細書 (オカノ (Okano) ら) に記載されているように製造することができる。

【 0036 】

例示的な炭化ケイ素繊維が、たとえば、カリフォルニア州サンディエゴの COIセラミックス (COI Ceramics of San Diego , CA) によって、商品名「ニカロン (NICALON) 」で、500 の繊維のトウで、日本の宇部興産 (Ube Industries) から、商品名「ティラノ (TYRANNO) 」で、およびミシガン州ミッドランドのダウ・コーニング (Dow Corning of Midland , MI) から、商品名「シルラミック (SYLRAMIC) 」で販売されている。

20

【 0037 】

例示的な炭化ケイ素モノフィラメント繊維が、たとえば、マサチューセッツ州ローウェルのテキストロン・スペシャルティ・マテリアルズ (Textron Specialty Materials of Lowell , MA) によって、商品名「SCS - 9 」、「SCS - 6 」、および「ウルラ (Ulra) - SCS 」で、ならびにバージニア州ゲインズビルのアトランティック・リサーチ・コーポレーション (Atlantic Research Corporation , of Gainesville , VA) から、商品名「トリマーク (Trimarc) 」で販売されている。

30

【 0038 】

市販の繊維は、典型的には、潤滑性をもたらすために、かつ取扱いの間繊維ストランドを保護するために、製造の間繊維に加えられる有機サイジング材料を含む。また、サイジングは、ポリマー複合コアワイヤを製造するために、ポリマーでの引抜成形の間の取扱いを助けることができる。サイジングは、たとえば、サイジングを繊維から溶解除去または燃焼除去することによって除去することができる。典型的には、金属マトリックス複合ワイヤを形成する前に、サイジングを除去することが望ましい。

40

【 0039 】

繊維は、たとえば、繊維の湿潤性を向上させるために、繊維と溶融金属マトリックス材料との間の反応を低減または防止するために、コーティングを使用することができる。そのようなコーティング、およびそのようなコーティングを提供するための技術は、繊維および複合技術において知られている。

【 0040 】

いくつかの実施形態において、コア内の繊維の数の少なくとも 85 % (いくつかの実施形態において、少なくとも 90 % 、またはさらには少なくとも 95 %) が連続している。

【 0041 】

複合コアおよびワイヤの例示的なマトリックス材料としては、ポリマー (たとえば、エ

50

ポキシ、エステル、ビニルエステル、ポリイミド、ポリエステル、シアノ酸エステル、フェノール樹脂、ビスマレイミド樹脂、および熱可塑性樹脂) および金属(たとえば、高純度(たとえば、99.95%を超える)元素アルミニウム、または純アルミニウムの、銅などの他の元素との合金)が挙げられる。典型的には、金属マトリックス材料は、たとえば、纖維外部上に保護コーティングを提供する必要をなくするために、マトリックス材料が纖維と著しく化学的に反応しない(すなわち、纖維材料に対して比較的化学的に不活性である)ように選択される。例示的な金属マトリックス材料としては、アルミニウム、亜鉛、スズ、マグネシウム、およびそれらの合金(たとえば、アルミニウムおよび銅の合金)が挙げられる。いくつかの実施形態において、マトリックス材料としては、望ましくは、アルミニウムおよびその合金が挙げられる。

10

【0042】

いくつかの実施形態において、金属マトリックスは、少なくとも98重量パーセントのアルミニウム、少なくとも99重量パーセントのアルミニウム、99.9重量パーセントを超えるアルミニウム、またはさらには99.95重量パーセントを超えるアルミニウム含む。例示的なアルミニウムおよび銅のアルミニウム合金は、少なくとも98重量パーセントのAlと、2重量パーセントまでのCuとを含む。いくつかの実施形態において、有用な合金は、1000、2000、3000、4000、5000、6000、7000、および/または8000系アルミニウム合金(Aluminum Associationの名称)である。より高い純度の金属が、より高い引張強度のワイヤを製造するのに望ましい傾向があるが、金属のより純粋でない形態も有用である。

20

【0043】

適切な金属が市販されている。たとえば、アルミニウムが、ペンシルバニア州ピッツバーグのアルコア(Alcoa of Pittsburgh, PA)から、商品名「スーパー・ピュア・アルミニウム(SUPER PURE ALUMINUM); 99.99% Al」で入手可能である。アルミニウム合金(たとえば、Al-2重量%のCu(0.03重量%の不純物))を、たとえば、ニューヨーク州ニューヨークのベルモント・メタルズ(Belmont Metals, New York, NY)から得ることができる。亜鉛およびスズが、たとえば、ミネソタ州セントポールのメタル・サービスズ(Metal Services, St. Paul, MN)(「純亜鉛」; 99.99%の純度および「純スズ」; 99.95%の純度)から入手可能である。たとえば、マグネシウムが、英国マンチェスターのマグネシウム・エレクトロン(Magnesium Elektron, Manchester, England)から、商品名「ピュア(PURE)」で入手可能である。マグネシウム合金(たとえば、WE43A、EZ33A、AZ81A、およびZE41A)を、たとえば、コロラド州デンバーのタイメット(TIMET, Denver, CO)から得ができる。

30

【0044】

複合コアおよびワイヤは、典型的には、纖維およびマトリックス材料の組合された体積全体を基準にして、少なくとも15体積パーセント(いくつかの実施形態において、少なくとも20、25、30、35、40、45、またはさらには50体積パーセント)の纖維を含む。より典型的には、複合コアおよびワイヤは、纖維およびマトリックス材料の組合された体積全体を基準にして、40から75(いくつかの実施形態において、45から70)体積パーセントの範囲内の纖維を含む。

40

【0045】

典型的には、コアの平均直径は、約1mmから約15mmの範囲内である。いくつかの実施形態において、望ましいコアの平均直径は、少なくとも1mm、少なくとも2mm、またはさらには約3mmまでである。典型的には、複合ワイヤの平均直径は、約1mmから12mm、1mmから10mm、1から8mm、またはさらには1mmから4mmの範囲内である。いくつかの実施形態において、望ましい複合ワイヤの平均直径は、少なくとも1mm、少なくとも1.5mm、2mm、3mm、4mm、5mm、6mm、7mm、8mm、9mm、10mm、11mm、またはさらには少なくとも12mmである。

50

【0046】

複合コアおよびワイヤを、当該技術において知られている技術を用いて製造することができる。連続金属マトリックス複合ワイヤを、たとえば、連続金属マトリックス浸透プロセスによって製造することができる。1つの適切なプロセスが、たとえば、米国特許第6,485,796号明細書(カーペンター(Carpenter)ら)に記載されている。ポリマーと、纖維とを含むワイヤを、当該技術において知られている引抜成形プロセスによって製造することができる。

【0047】

連続金属マトリックスワイヤを製造するための例示的な装置60の概略図が、図6に示されている。連続纖維のトウ61が、供給スプール62から供給され、平行にされて円形束にされ、纖維については、チューブ炉63を通過させる間ヒートクリーニングされる。次に、纖維のトウ61は、真空チャンバ64内で排気され、金属マトリックス材料の溶融物65(また、「溶融金属」とここで呼ばれる)を収容するつぼ67に入る。纖維のトウ61は、ケータブラー(caterpillar)70によって供給スプール62から引かれる。超音波プローブ66が、溶融物65を纖維のトウ61内に浸透させるのを助けるために、溶融物65中に纖維の近傍に位置決めされる。ワイヤ71の溶融金属は、出口ダイ68を通って、るつぼ67を出た後、冷却し凝固するが、いくらかの冷却が、ワイヤ71がるつぼ67を完全に出る前に発生することができる。ワイヤ71の冷却は、ワイヤ71に衝突する、冷却デバイス69を通って送出される気体または液体の流れによって向上される。ワイヤ71は、スプール72上に集められる。

【0048】

上で説明されたように、纖維をヒートクリーニングすることは、サイジング、吸着水、および纖維の表面上に存在することがある他の不堅牢(fugitive)材料または揮発性材料の量を除去または低減するのを助ける。典型的には、纖維の表面上の炭素分が22%の面積部分より小さくなるまで、纖維をヒートクリーニングすることが望ましい。典型的には、チューブ炉63の温度は、少なくとも300、より典型的には少なくとも1000であり、纖維は、チューブ炉63内に少なくとも数秒間温度で存在するが、特定の温度および時間は、たとえば、使用されている特定の纖維のクリーニングの必要によることができる。

【0049】

いくつかの実施形態において、纖維のトウ61は、溶融物67に入る前に排気され、というのは、そのような排気を用いることが、乾燥纖維を有する局所化領域(すなわち、マトリックスの浸透のない纖維領域)などの欠陥の形成を低減するかなくす傾向があることが観察されたからである。典型的には、纖維61の2つが、いくつかの実施形態において、20トル以下、10トル以下、1トル以下、またはさらには0.7トル以下の真空中で排気される。

【0050】

例示的な適切な真空システム64が、纖維のトウの束61の直径と一致するサイズの入口チューブを有する。入口チューブは、たとえば、ステンレス鋼チューブまたはアルミナチューブであることができ、典型的には、長さが少なくとも約20~30cmである。適切な真空チャンバ64が、典型的には、約2~20cmの範囲内の直径と、約5~100cmの範囲内の長さとを有する。真空ポンプの容量は、いくつかの実施形態において、少なくとも約0.2~1立方メートル/分である。排気された纖維のトウ61は、金属浴に貫入する真空システム64上のチューブを通して、溶融物65に挿入される(すなわち、排気された纖維のトウの束61は、溶融物65に導入されるとき真空下である)が、溶融物65は、典型的には大気圧である。出口チューブの内径は、纖維のトウの束61の直径と本質的に一致する。出口チューブの一部が溶融金属中に浸漬される。いくつかの実施形態において、チューブの約0.5~5cmが溶融金属中に浸漬される。チューブは、溶融金属材料中で安定しているように選択される。典型的には適切であるチューブの例としては、窒化ケイ素チューブおよびアルミナチューブが挙げられる。

10

20

30

40

50

【0051】

溶融金属65の、纖維のトウの束61内への浸透は、典型的には、超音波の使用によって向上される。たとえば、振動ホーン66が、纖維のトウの束61に密に近接するように、溶融金属65中に位置決めされる。

【0052】

いくつかの実施形態において、ホーン66は、駆動されて、約19.5～20.5kHzの範囲内、および約0.13～0.38mm(0.005～0.015in)の空気の振幅で振動する。さらに、いくつかの実施形態において、ホーンは、チタン導波管に接続され、これは、超音波トランスデューサ(たとえば、コネチカット州ダンバリーのソニックス&マテリアルズ(Sonics & Materials, Danbury, CT)から入手可能)に接続される。

【0053】

いくつかの実施形態において、纖維のトウの束61は、ホーン先端の約2.5mm以内(いくつかの実施形態において、約1.5mm以内)である。ホーン先端は、いくつかの実施形態において、ニオブ、または、95重量%Nb-5重量%Moおよび91重量%Nb-9重量%Moなどのニオブの合金から製造され、たとえば、ペンシルバニア州ピッツバーグ(Pittsburgh, PA)のPMTIから得ることができる。合金は、たとえば、長さ12.7cm(5in.)および直径2.5cm(1in.)の円筒に作ることができる。円筒は、その長さを変更することによって、所望の振動周波数(たとえば、約19.5～20.5kHz)に調整することができる。金属マトリックス複合物品を製造するための超音波の使用に関する付加的な詳細については、たとえば、米国特許第4,649,060号明細書(イシカワ(Ishikawa)ら)、米国特許第4,779,563号明細書(イシカワ(Ishikawa)ら)、および米国特許第4,877,643号明細書(イシカワ(Ishikawa)ら)、米国特許第6,180,232号明細書(マカラック(McCullough)ら)、米国特許第6,245,425号明細書(マカラック(McCullough)ら)、米国特許第6,336,495号明細書(マカラック(McCullough)ら)、米国特許第6,329,056号明細書(デベ(Deve)ら)、米国特許第6,344,270号明細書(マカラック(McCullough)ら)、米国特許第6,447,927号明細書(マカラック(McCullough)ら)、米国特許第6,460,597号明細書(マカラック(McCullough)ら)、米国特許第6,485,796号明細書(カーペンター(Carpenter)ら)、および米国特許第6,544,645号明細書(マカラック(McCullough)ら)；2000年7月14日に出願された米国特許出願第09/616,741号明細書；ならびに2002年1月24日に公開された国際公開第02/06550号パンフレットを参照されたい。

【0054】

典型的には、溶融金属65は脱気される(たとえば、浸透の間および/または前、溶融金属65に溶解した気体(たとえば、アルミニウム中の水素)の量を低減する。溶融金属65を脱気するための技術は、金属処理技術において周知である。溶融物65を脱気することは、ワイヤの気体多孔性を低減する傾向がある。溶融アルミニウムの場合、溶融物65の水素濃度は、いくつかの実施形態において、約0.2cm³未満、約0.15cm³未満、またはさらには約0.1cm³未満/アルミニウム100グラムである。

【0055】

出口ダイ68は、所望のワイヤ直径を提供するように構成される。典型的には、その長さに沿って、均一に丸いワイヤを有することが望ましい。たとえば、58体積パーセントのアルミナ纖維を含有するアルミニウム複合ワイヤのための窒化ケイ素出口ダイの直径は、ワイヤ71の直径と同じである。いくつかの実施形態において、出口ダイ68は、望ましくは、窒化ケイ素から製造されるが、他の材料も有用であることができる。当該技術において出口ダイとして使用されている他の材料としては、従来のアルミナが挙げられる。しかし、窒化ケイ素出口ダイが、従来のアルミナダイより著しく少なく摩耗し、したがつ

て、特にワイヤの長い長さにわたって、ワイヤの所望の直径および形状を提供するのにより有用であることが、出願人によって見出された。

【0056】

典型的には、ワイヤ71を、冷却デバイス69を通して送出された液体（たとえば、水）または気体（たとえば、窒素、アルゴン、または空気）と接触させることによって、ワイヤ71は、出口ダイ68を出た後、冷却される。そのような冷却は、望ましい丸さ特徴および均一性特徴、ならびに空隙がないことを提供するのを助ける。ワイヤ71はスプール72上に集められる。

【0057】

金属間相、乾燥繊維、たとえば収縮または内部気体（たとえば、水素または水蒸気）空隙の結果としての多孔性などの、金属マトリックス複合ワイヤ内の欠陥の存在が、減少された特性、たとえばワイヤ強度などをもたらすことがあることが知られている。したがって、そのような特徴の存在を低減するか最小にすることが望ましい。

【0058】

ワイヤから構成されるコアについて、いくつかの実施形態において、たとえば、テープオーバラップ(tape overwrap)で、接着剤または接着剤なしで、またはバインダーで、ワイヤをともに保持することが望ましい（たとえば、米国特許第6,559,385 B1号明細書（ジョンソン（Johnson）ら）を参照のこと）。たとえば、テープが巻付けられたコアを有する、本発明による別の例示的なケーブル50の断面図が、図5に示されている。ケーブル50は、コア52と、撲り合されたワイヤ54の2つの層とを含み、コア52は、テープ55が巻付けられたワイヤ56（示されているように、複合ワイヤ）を含む。たとえば、コアは、当該技術において知られている技術を用いて、ワイヤの第1の層を中心ワイヤの周りに撲り合せる（たとえば、螺旋状に巻く）ことによって製造することができる。典型的には、螺旋状に撲り合されたコアが、わずか7の個別のワイヤから50以上のワイヤを含む傾向がある。撲り合せ設備が当該技術において知られている（たとえば、イタリア、ベルガモのコルティノビス・スパ（Corertino vis, SpA, of Bergamo, Italy）、およびニュージャージー州パターソンのワトソン・マシナリー・インターナショナル（Watson Machinery International, Patterson, NJ）から入手可能な遊星歯車式ケーブル撲り合せ機）。ともに螺旋状に巻かれる前、個別のワイヤは、別個のボビン上に提供され、次に、これらは、撲り合せ設備のいくつかのモータ駆動キヤリッジ内に配置される。典型的には、完成された撲り合されたケーブルの層ごとに1つのキャリッジがある。各層のワイヤは、各キャリッジの出口で一緒にされ、第1の中心ワイヤの上に、または前の層の上に配列される。ケーブル撲り合せプロセスの間、中心ワイヤ、または1つ以上の付加的な層が周りに巻かれる中間の未完成の撲り合されたケーブルは、さまざまなキャリッジの中心を通して引かれ、各キャリッジは、1つの層を撲り合されたケーブルに加える。1つの層として加えられるべき個別のワイヤは、モータ駆動キヤリッジによってケーブルの中心軸の周りに回転される間、それらのそれぞれのボビンから同時に引かれる。これは、所望の層ごとに順次行われる。たとえばテープを、結果として生じる撲り合されたコアに付与することができ、撲り合されたワイヤをともに保持するのを助ける。テープを付与するための1つの例示的な機械が、ワトソン・マシン・インターナショナル（Watson Machine International）から市販されている（たとえば、モデル300コンセントリック・テーピング・ヘッド（Concentric Taping Head））。例示的なテープとしては、金属箔テープ（たとえば、アルミニウム箔テープ（たとえば、ミネソタ州セントポールの3Mカンパニーから、商品名「foil/glass cloth Tape 363」で入手可能））、ポリエステル支持テープ、およびガラス強化パッキングを有するテープが挙げられる。いくつかの実施形態において、テープは、0.05mmから0.13mm（0.002から0.005インチ）の範囲内の厚さを有する。

【0059】

10

20

30

40

50

いくつかの実施形態において、テープは、各連続ラップが、間隙なしで、かつ重なりなしで、前のラップに接するように巻付けられる。いくつかの実施形態において、たとえば、テープは、連続ラップが、各ラップの間の間隙を残すように隔置されるように巻付けることができる。

【0060】

コア、複合ワイヤ、ケーブルなどは、少なくとも100メートル、少なくとも200メートル、少なくとも300メートル、少なくとも400メートル、少なくとも500メートル、少なくとも600メートル、少なくとも700メートル、少なくとも800メートル、またはさらには少なくとも900メートルの長さを有する。

【0061】

本発明によるケーブルを提供するためにコアの周りに撚り合せるためのワイヤは、当該技術において知られている。アルミニウムワイヤが、たとえば、カナダ、ウェイバーンのネクサンズ(Nexans, Weyburn, Canada)、またはジョージア州キャロルトンのサウスワイヤ・カンパニー(Southwire Company, Carrollton, GA)から、商品名「1350-H19アルミニウム(ALUMINUM)」および「1350-H0アルミニウム」で市販されている。典型的には、アルミニウムワイヤは、少なくとも、約20から約500の温度範囲にわたって、約20 ppm/から約25 ppm/の範囲内の熱膨張係数を有する。いくつかの実施形態において、アルミニウムワイヤ(たとえば、「1350-H19アルミニウム」)は、引張破断強度、少なくとも138 MPa(20 ksi)、少なくとも158 MPa(23 ksi)、少なくとも172 MPa(25 ksi)、または少なくとも186 MPa(27 ksi)、または少なくとも200 MPa(29 ksi.)を有する。いくつかの実施形態において、アルミニウムワイヤ(たとえば、「1350-H0アルミニウム」)は、41 MPa(6 ksi)を超えて97 MPa(14 ksi)以下、またはさらには83 MPa(12 ksi)以下の引張破断強度を有する。アルミニウム合金ワイヤが、たとえば、日本、大阪の住友電気工業(Sumitomo Electric Industries)から商品名「ZTAL」で、またはジョージア州キャロルトンのサウスワイヤ・カンパニーから、商品名「6201」で市販されている。いくつかの実施形態において、アルミニウム合金ワイヤは、少なくとも、約20から約500の温度範囲にわたって、約20 ppm/から約25 ppm/の範囲内の熱膨張係数を有する。銅ワイヤが、たとえば、ジョージア州キャロルトンのサウスワイヤ・カンパニーから市販されている。典型的には、銅ワイヤは、少なくとも、約20から約800の温度範囲にわたって、約12 ppm/から約18 ppm/の範囲内の熱膨張係数を有する。銅合金(たとえばCu-Si-X、Cu-Al-X、Cu-Sn-X、Cu-Cdなどの銅ブロンズ；ここで、X=Fe、Mn、Zn、Sn、およびまたはSi；たとえば、ジョージア州キャロルトンのサウスワイヤ・カンパニーから市販されている；たとえば、ノースカロライナ州リサーチトライアングルパークのOMGアメリカズ・コーポレーション(OMG Americas Corporation, Research Triangle Park, NC)から、名称「グリドカップ(GLIDCOP)」で入手可能な酸化物分散強化銅)ワイヤ。いくつかの実施形態において、銅合金ワイヤは、少なくとも、約20から約800の温度範囲にわたって、約10 ppm/から約25 ppm/の範囲内の熱膨張係数を有する。ワイヤは、多様形状(たとえば、円形、橢円形、および台形)のいずれかであることができる。

【0062】

一般に、本発明によるケーブルを、コアの上でワイヤを撚り合せることによって製造することができる。コアは、たとえば、1つのワイヤ、または撚り合された(たとえば、螺旋状に巻かれたワイヤを含むことができる。いくつかの実施形態において、たとえば、7、19、または37のワイヤ。本発明によるケーブルを製造するための例示的な装置80が、図7、図7A、および図7Bに示されている。コア材料のスプール81が、従来の遊星歯車式撚り合せ機械80のヘッドに設けられ、スプール81は、自由に回転することが

10

20

30

40

50

でき、張力を制動システムによって加えることができ、張力を、（いくつかの実施形態では、0～91 kg (0～200 lb.) の範囲内で）繰出しの間コアに加えることができる。コア90は、ボビンキャリッジ82、83を通して、閉じダイ84、85を通して、キャプスタンホイール86の周りにかけられ、巻取りスピール87に取付けられる。

【0063】

外側撲り合せ層の付与前、個別のワイヤが、別個のボビン88上に提供され、これらは、撲り合せ設備のいくつかのモータ駆動キャリッジ82、83内に配置される。いくつかの実施形態において、ボビン88からワイヤ89A、89Bを引くのに必要な張力の範囲は、典型的には4.5～22.7 kg (10～50 lb.) である。典型的には、完成された撲り合せられたケーブルの層ごとに1つのキャリッジがある。各層のワイヤ89A、89Bは、各キャリッジの出口で閉じダイ84、85と一緒にされ、中心ワイヤの上に、または前の層の上に配列される。層は、外側層がZ撲り (right hand lay) をもたらすように両方向に螺旋状に撲り合せられる。ケーブル撲り合せプロセスの間、中心ワイヤ、または1つ以上の付加的な層が周囲に巻かれる中間の未完成の撲り合せられたケーブルは、さまざまなキャリッジの中心を通して引かれ、各キャリッジは、1つの層を撲り合せられたケーブルに加える。1つの層として加えられるべき個別のワイヤは、モータ駆動キャリッジによってケーブルの中心軸の周囲に回転される間、それらのそれぞれのボビンから同時に引かれる。これは、所望の層ごとに順次行われる。結果は、形状の損失もほどけることなく好都合に切断し取扱うことができる、螺旋状に撲り合せられたケーブル91である。

10

【0064】

撲り合せられたケーブルを取扱うこの能力は、望ましい特徴である。理論に縛られることを望まないが、ケーブルは、その螺旋状に撲り合せられた配列を維持し、というのは、製造の間、金属ワイヤが、ワイヤ材料の降伏応力を超えるが最終応力または破壊応力より低い、曲げ応力を含む応力を受けるからである。この応力は、ワイヤが、前の層または中心ワイヤの比較的小さい半径の周囲に螺旋状に巻かれるときに与えられる。付加的な応力が閉じダイ84、85で与えられ、これらは、製造の間、半径方向の剪断力をケーブルに加える。したがって、ワイヤは、塑性変形し、それらの螺旋状に撲り合せられた形状を維持する。

20

【0065】

30

コア材料、および所与の層のワイヤは、閉じダイによって密接に接触される。図7Aおよび図7Bを参照すると、閉じダイ84A、85Aは、典型的には、巻かれている層のワイヤ上の変形応力を最小にするようなサイズである。閉じダイの内径は、外部層直径のサイズに合される。層のワイヤ上の応力を最小にするために、閉じダイは、ケーブルの外径に対して、0～2.0%大きい範囲内であるようなサイズである。（すなわち、ダイ内径は、ケーブル外径の1.00から1.02倍の範囲内である）。図7Aおよび図7Bに示された例示的な閉じダイは、円筒であり、たとえば、ボルトまたは他の適切な付属品を使用して、所定位置に保持される。ダイは、たとえば、硬化工具鋼から製造することができる。

【0066】

40

結果として生じる完成されたケーブルは、望ましい場合、他の撲り合せステーションを通過し、最終的に、ケーブル損傷を回避するために、十分な直径の巻取りスピール87上に巻くことができる。いくつかの実施形態において、ケーブルのくせを取るための当該技術において知られている技術が望ましいであろう。たとえば、完成されたケーブルは、ローラから構成されるくせ取り機デバイスを通過させることができる（各ローラは、たとえば、10～15 cm (4～6インチ)、2つのバンク内に線状に配列され、たとえば、各バンク内に5～9のローラがある。ローラの2つのバンクの間の距離は、ローラが、ケーブルに衝突するだけか、ケーブルの激しい曲げを引起すように変えることができる。ローラの2つのバンクは、ケーブルの両側に位置決めされ、一方のバンク内のローラが、他方のバンク内の対向するローラによって作られた空間と一致する。したがって、2つのバン

50

クを互いにずらすことができる。ケーブルがくせ取りデバイスを通過するとき、ケーブルは、ローラの上で前後に曲がり、導体内のストランドが同じ長さまで伸張することを可能にし、それにより、弛んだストランドを低減するかなくす。

【0067】

いくつかの実施形態において、ゼロ未満の応力パラメータを有するケーブルを提供するのを促進するために、周囲温度（たとえば、22°）より高い高温（たとえば、少なくとも25°、50°、75°、100°、125°、150°、200°、250°、300°、400°、またはさらには、いくつかの実施形態において、少なくとも500°）でコアを提供することが望ましい。たとえば、スプールに巻かれたコア（たとえば、金属（たとえば、鋼）上のコアをオープン内で数時間加熱することによって、コアを所望の温度にすることができます。加熱されたスプールに巻かれたコアは、撓り合せ機械の繰出しきスプール（たとえば、図7の繰出しきスプール81を参照のこと）上に配置される。望ましくは、高温におけるスプールは、撓り合せプロセス中であり、コアは、依然として、所望の温度またはその近くである（典型的には約2時間以内）。さらに、ケーブルの外側層を形成する繰出しきスプール上のワイヤが周囲温度であることが望ましいであろう。すなわち、撓り合せプロセスの間、コアと外側層を形成するワイヤとの間の温度差を有することが望ましい。

【0068】

いくつかの実施形態において、少なくとも100kg、200kg、500kg、1000kg、またはさらには少なくとも5000kgのコア張力で撓り合せを行うことが望ましいであろう。

【0069】

本発明によるケーブルのいくつかの実施形態（たとえば、ゼロ未満の応力パラメータを有するケーブル）において、たとえば、テープオーバラップで、接着剤でまたは接着剤なしで、またはバインダーで、コアの周りに撓り合されたワイヤをともに保持することが望ましい。たとえば、本発明による別の例示的なケーブル110の断面図が、図10に示されている。ケーブル110は、ワイヤコア116を有するコア112と、撓り合されたワイヤ114の2つの層とを含み、ケーブル110は、テープ118が巻付けられる。撓り合されたワイヤをともに保持するのを助けるために、たとえばテープを、結果として生じる撓り合されたケーブルに付与することができる。いくつかの実施形態において、ケーブルは、従来のテーピング設備を使用して、接着テープが巻付けられる。テープを付与するための1つの例示的な機械が、ワトソン・マシン・インターナショナルから市販されている（たとえば、モデル300コンセントリック・テーピング・ヘッド）。例示的なテープとしては、金属箔テープ（たとえば、アルミニウム箔テープ（たとえば、ミネソタ州セントポールの3Mカンパニーから、商品名「フォイル／ガラス・クロス・テープ363」で入手可能）、ポリエステル支持テープ、およびガラス強化バッキングを有するテープが挙げられる。いくつかの実施形態において、テープは、0.05mmから0.13mm（0.002から0.005インチ）の範囲内の厚さを有する。

【0070】

いくつかの実施形態において、テープは、各連続ラップが前のラップに重なるように巻付けられる。いくつかの実施形態において、テープは、各連続ラップが、間隙なしで、かつ重なりなしで、前のラップに接するように巻付けられる。いくつかの実施形態において、たとえば、テープは、連続ラップが、各ラップの間の間隙を残すように隔置されるように巻付けることができる。

【0071】

いくつかの実施形態において、ケーブルは、撓り合せプロセスの間ケーブルが張力下である間巻付けられる。たとえば図7を参照すると、テーピング設備が最終閉じダイ85と最終キャブスタン86との間に配置される。

【0072】

弛みを測定するための方法

10

20

30

40

50

ある長さの導体を、長さ 30 ~ 300 メートルに選択し、従来のエポキシ取付物で終端させ、層が、製造されたままの状態と同じ相対位置を実質的に維持することを確実にする。外側ワイヤは、エポキシ取付物を通して、他方の側から延在させ、次に、従来のターミナルコネクタを使用する AC 電源への接続を考慮するように再構成する。エポキシ取付物を、張力を保持するためのターンバックルに接続されたアルミニウムスペルターソケット内に注ぐ。1つの側で、ロードセルをターンバックルに接続し、次に、両端で、ターンバックルをプリングアイに取付ける。アイを、張力下のときのシステムの端部撓みを最小にするのに十分大きい、大きいコンクリート柱に接続した。テストのため、張力を、導体定格破断強度の 10 から 30 パーセント範囲内の値に引く。温度は、導体の長さに沿った 3 つの位置で（総（プリングアイからプリングアイ）スパンの距離の 1 / 4 、 1 / 2 、および 3 / 4 で）、9 の熱電対を使用して測定する。各位置において、3 つの熱電対を、導体内の 3 つの異なった半径方向の位置、すなわち、外側ワイヤストランド間、内側ワイヤストランド間、および外側コアワイヤに隣接して（すなわち、接触する）位置決めする。弛み値は、導体の長さに沿った 3 つの位置で（スパンの距離の 1 / 4 、 1 / 2 、および 3 / 4 で）、プルワイヤポテンショメータ（カリフォルニア州パームデールのスペースエージ・コントロール・インコーポレイテッド（Space Age Control, Inc., Palmdale, CA）から入手可能）を使用して測定する。これらは、3 つの位置の垂直移動を測定するように位置決めする。AC 電流を導体に与えて、温度を所望の値に上昇させる。導体の温度は、室温（約 20 （68 °F））から約 240 （464 °F）に 60 ~ 120 / 分（140 ~ 248 °F / 分）の範囲内の速度で上昇させる。熱電対のすべての最も高い温度を対照として用いる。10 20

【0073】

導体の弛み値（弛み_{合計}）は、室温（約 20 （68 °F））から約 240 （464 °F）まで 1 度間隔でさまざまな温度で、次の式を用いて計算する。

【数1】

$$\text{弛み}_{\text{合計}} = \text{弛み}_{1/2} - \left(\frac{\text{弛み}_{1/4} + \text{弛み}_{3/4}}{2} \right) \quad (1)$$

30

式中、

弛み_{1/2} = 導体のスパンの距離の 1 / 2 で測定された弛み

弛み_{1/4} = 導体のスパンの距離の 1 / 4 で測定された弛み

弛み_{3/4} = 導体のスパンの距離の 3 / 4 で測定された弛み

【0074】

有効「内側スパン」長さは、1 / 4 の位置と 3 / 4 の位置との間の水平距離である。これは、弛みを計算するために用いられるスパン長さである。

【0075】

応力パラメータの導出

測定された弛みおよび温度データを、弛み対温度のグラフとしてプロットする。計算された曲線を、サウスカロライナ州グリーンビルのアルコア・フジクラ・リミテッド（Alcoa Fujikura Ltd., Greenville, SC）から商品名「サグ 10 (SAG 10)」（バージョン 3.0 アップデート 3.9.7）でソフトウェアプログラムで入手可能なアルコア・サグ 10 (Alcoa Sag 10) グラフィック方法を用いて、測定されたデータに適合させる。応力パラメータは、「組込みアルミニウム応力」と呼ばれる「サグ 10」の適合パラメータであり、これは、アルミニウム以外の材料が使用される（たとえば、アルミニウム合金）場合、他のパラメータに適合するよう変更することができ、かつ、予測されたグラフ上のニーポイントの位置、およびまた高温ポストニーポイント領域の弛みの量を調整する。応力パラメータ理論の説明が、アルコア・サグ 10 ユーザズマニュアル（Users Manual）（バージョン 2.0）：40 50

ACS R のアルミニウムの圧縮応力の理論 (Theory of Compressive Stress in Aluminum of ACS R) に提供されている。次の導体パラメータが、サグ 10 ソフトウェア (Sag 10 Software) へのエントリに必要である ; 面積、直径、単位長さあたりの重量、および定格破断強度。次のラインローディング条件が、サグ 10 ソフトウェアへのエントリに必要である ; スパン長さ、室温 (20 ~ 25) における初期張力。次のパラメータが、圧縮応力計算を行うために、サグ 10 ソフトウェアへのエントリに必要である ; 組込みワイヤ応力、ワイヤ面積 (総面積の一部として) 、導体内のワイヤ層の数、導体内のワイヤストランドの数、コアストラップの数、各ワイヤ層の撲り込み率 (stranding lay ratios) 。応力 - 歪み係数が、表 (下記表 1 を参照のこと) として、「サグ 10 」ソフトウェアへの入力に必要である。
10

【 0076 】

【表1】

初期ワイヤ					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
最終ワイヤ(10年クリ- β')					
B0	B1	B2	B3	B4	α (A1)
初期C7					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
最終C7(10年クリ- β')					
D0	D1	D2	D3	D4	α (C7)

また、係数が関係づけられる温度であるパラメータ TREF を特定する。

【0077】

応力歪み曲線多項式の定義

最初の 5 の数字 A 0 ~ A 4 は、初期ワイヤ曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数であり

10

20

30

40

【数2】

$$\frac{A_{ワイヤ}}{A_{合計}} \cdot \sigma_{初期ワイヤ} = A0 + A1\varepsilon + A2\varepsilon^2 + A3\varepsilon^3 + A4\varepsilon^4 \quad (2)$$

A F はワイヤの最終モジュラスであり、

【数3】

10

$$\frac{A_{ワイヤ}}{A_{合計}} \cdot \sigma_{最終ワイヤ} = AF\varepsilon \quad (3)$$

式中、 ε は、 % 単位の導体伸びであり、 σ は、 p s i 単位の応力であり、

B 0 ~ B 4 は、ワイヤの最終 10 年クリープ曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数であり、

【数4】

20

$$\frac{A_{ワイヤ}}{A_{合計}} \cdot \sigma_{最終ワイヤ} = B0 + B1\varepsilon + B2\varepsilon^2 + B3\varepsilon^3 + B4\varepsilon^4 \quad (4)$$

C (A 1) は、ワイヤの熱膨張の係数である。

C 0 ~ C 4 は、複合コアのみの、初期曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数である。

C F は、複合コアの最終モジュラスであり、

D 0 ~ D 4 は、複合コアの最終 10 年クリープ曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数であり、

(コア) は、複合コアの熱膨張の係数である。

30

【0078】

計算されたデータおよび測定されたデータを適合させる際に、最良適合は、(i) 曲線が高温 (140 ~ 240) で一致するように応力パラメータの値を変えることによって、計算された曲線を測定されたデータに一致させ、(ii) 測定された曲線の変曲点 (ニーポイント) は、計算された曲線と厳密に一致し、(iii) 初期の計算された弛みは、初期の測定された弛みと一致する必要がある (すなわち、 24 (75 °F) における初期張力は 1432 kg であり、 12.5 cm (5 インチ) の弛みを生じさせる。)。測定されたデータへの最良適合を得るために応力パラメータの値は、こうして得られる。この結果は、ケーブルの「応力パラメータ」である。

【0079】

40

本発明によるケーブルを、架空送電ケーブルを含むさまざまな用途で使用することができる。

【0080】

本発明の利点および実施形態を、次の実施例によって、さらに例示するが、これらの実施例に記載された特定の材料およびそれらの量、ならびに他の条件および詳細は、本発明を不当に限定するように解釈されるべきではない。部およびパーセンテージはすべて、特に明記しない限り、重量による。

【実施例】

【0081】

例示的な実施例

50

例示的な実施例のケーブルのワイヤを次のように準備した。ワイヤを、図6に示された装置60を使用して製造した。10,000デニールのアルファアルミニナ纖維（セントポールの3Mカンパニーによって、商品名「ネクステル610」で販売された）の11(11)のトウが、供給スプール62から供給され、平行にされて円形束にされ、305cm/分(120in./分)で1100に加熱された長さ1.5m(5ft.)のアルミニチューブ63を通過させることによってヒートクリーニングされた。次に、纖維のヒートクリーニングされた纖維61は、真空チャンバ64内で排気され、金属アルミニウム(99.99%A1)マトリックス材料（ペンシルバニア州ピッツバーグのベック・アルミニウム・カンパニー（Beck Aluminum Co., Pittsburgh, PA）から得られた）の溶融物（溶融金属）65を収容するつぼ67に入った。纖維は、ケータブラー70によって供給スプール62から引かれた。超音波プローブ66が、溶融物65を纖維のトウ61内に浸透させるのを助けるために、溶融物65中に纖維の近傍に位置決めされた。ワイヤ71の溶融金属は、出口ダイ68を通って、つぼ67を出した後、冷却し凝固したが、いくらかの冷却が、ワイヤ71がつぼ67を完全に出る前におそらく発生した。さらに、ワイヤ71の冷却は、ワイヤ71に衝突した、冷却デバイス69を通って送出された窒素気体の流れによって向上された。ワイヤ71は、スプール72上に集められた。

【0082】

纖維61は、溶融物67に入る前に排気された。真空チャンバ内の圧力は約20トルであった。真空システム64は、纖維の束61の直径と一致するサイズの、長さ25cmのアルミナ入口チューブを有した。真空チャンバ64は、長さ21cm、直径10cmであった。真空ポンプの容量は0.37m³/分であった。排気された纖維61は、金属浴に貫入した真空システム64上のチューブを通して、溶融物65に挿入された（すなわち、排気された纖維61は、溶融物54に導入されるとき真空下であった）。出口チューブの内径は、纖維束61の直径と一致した。出口チューブの一部が、溶融金属中に5cmの深さまで浸漬された。

【0083】

溶融金属65の、纖維61内への浸透は、纖維61に密に近接するように溶融金属65中に位置決めされた振動ホーン66の使用によって向上された。ホーン66は、駆動されて、19.7kHz、および0.18mm(0.007in.)の空気の振幅で振動した。ホーンは、チタン導波管に接続され、これは、超音波トランスデューサ（コネチカット州ダンベリーのソニックス＆マテリアルズから得られた）に接続された。

【0084】

纖維61は、ホーン先端の2.5mm以内であった。ホーン先端は、組成91重量%Nb - 9重量%Mnのニオブ合金（ペンシルバニア州ピッツバーグのPMTIから得られた）から製造された。合金は、長さ12.7cm(5in.)および直径2.5cm(1in.)の円筒に作られた。円筒は、その長さを変更することによって、19.7kHzの所望の振動周波数に調整された。

【0085】

溶融金属65は、浸透前に脱気された（たとえば、溶融金属に溶解した気体（たとえば、水素）の量を低減する）。イリノイ州シカゴのブルムンド・ファウンドリ・インコーポレイテッド（Brummond Foundry Inc, Chicago, IL）から入手可能な携帯用回転脱気ユニットが使用された。使用された気体はアルゴンであり、アルゴン流量は1分あたり1050リットルであり、速度は、1分あたり50リットルに設定されたモータへの空気流量によって提供され、持続時間は60分であった。

【0086】

窒化ケイ素出口ダイ68は、所望のワイヤ直径を提供するように構成された。出口ダイの内径は2.67mm(0.105in.)であった。

【0087】

撫り合されたコアは、カナダ、モントリオールのワイヤ・ロープ・カンパニー（Wir

10

20

30

40

50

e Rope Company in Montreal, Canada)における撚り合せ設備上で撚り合された。ケーブルは、中心の1つのワイヤと、Z撚りでの第1の層の6のワイヤとを有した。ともに螺旋状に巻かれる前、個別のワイヤが、別個のボビン上に提供され、これらは、次に、撚り合せ設備のモータ駆動キャリッジ内に配置された。キャリッジは、完成された撚り合されたケーブルの層のための6のボビンを保持した。層のワイヤは、キャリッジの出口で一緒にされ、中心ワイヤの上に配列された。ケーブル撚り合せプロセスの間、中心ワイヤは、キャリッジの中心を通して引かれ、キャリッジは、1つの層を撚り合されたケーブルに加えた。1つの層として加えられた個別のワイヤは、モータ駆動キャリッジによってケーブルの中心軸の周りに回転される間、それらのそれぞれのボビンから同時に引かれた。結果は、螺旋状に撚り合されたコアであった。

10

【0088】

撚り合されたコアは、従来のテーピング設備（ニュージャージー州パターソンのワトソン・マシン・インターナショナル（Watson Machine International, Paterson, NJ）からのモデル300コンセントリック・テーピング・ヘッド（Concentric Taping Head）を使用して、接着テープが巻付けられた。テープバックティングは、ガラス繊維を有するアルミニウム箔テープであり、感圧シリコーン接着剤を有した（ミネソタ州セントポールの3Mカンパニーから、商品名「フォイル／ガラス・クロス・テープ363」で得られた）。テープ18の総厚さは0.0072インチ（0.18mm）であった。テープは幅0.75インチ（1.90cm）であった。

20

【0089】

完成されたコアの平均直径は0.324インチ（8.23mm）であり、撚り合された層の撚り長さは21.3インチ（54.1cm）であった。

【0090】

第1の台形アルミニウム合金ワイヤは、アルミニウム／ジルコニウムロッドから準備された（9.53mm（0.375インチ）の直径；ラミフィルN・V（Lamifil N.V.）（ベルギー、ヘミクセム（Hemiksem, Belgium）、商品名「ZTAL」で）から得られ、153.95MPa（22,183psi）の引張強度、13.3%の伸び、および60.4%のIACSの導電性を有した。第2の台形ワイヤは、132.32MPa（19,191psi）の引張強度、10.4%の伸び、および60.5%のIACSの導電性を有する、直径9.53mm（0.375インチ）のアルミニウム／ジルコニウムロッド（「ZTAL」）から準備された。ロッドは、室温で、当該技術において知られているように5の中間ダイを使用して、最後に台形形成ダイを使用してドローダウンされた。ドローダイは、炭化タンゲステンから製造された。炭化タンゲステンダイのジオメトリは、60°の入口角度、16～18°の低減角度、ダイ直径の30%のベアリング長さ（a bearing length 30% of the die diameter）、および60°のバックレリーフ角度（back relief angle）を有した。ダイ表面は高度に研磨された。ダイは、ドローオイルを使用して潤滑され冷却された。ドローシステムは、1ダイあたり1分あたり60～100リットルの範囲内に設定された速度でオイルを送出し、温度は40～50°の範囲内に設定された。最後の形成ダイは、高度に研磨された加工表面を有する2つの水平硬化鋼（60RC硬度）形成ロールを含んだ。ロール溝の設計は、必要な台形プロファイルに基いた。ロールは、ドローボックスと外側ドローブロックとの間に配置されたローリングスタンド上に設置された。最終形成ロール低減は、ワイヤの面積を約23.5%低減した。面積低減の量は、金属をロール溝のコーナ内に移動させ、形成ロール間の空間を適切に充填するのに十分であった。形成ロールは、台形ワイヤのキャップが、ドローブロックおよびボビンドラムの表面に面するように整列され設置された。形成後、ワイヤプロファイルは、テンプレートを使用してチェックされ確認された。

30

【0091】

次に、このワイヤはボビン上に巻かれた。結果として生じるワイヤのさまざまな特性は

40

50

、下記表2に記載されている。台形形状の「有効直径」は、台形形状の断面積と同じ面積を有する円の直径を指す。撲り合せ設備内に装填された20のボビンがあり（第1の内側層を撲り合せるための第1のワイヤの8）、第2の外側層を撲り合せるための第2のワイヤの12）、ワイヤは、テストのためにこれらのサブセットからとられ、これらは「サンプルボビン」であった。

【0092】

【表2】

表2

	有効直径、mm (インチ)	引張強度、MPa (psi)	伸び、 %	導電性、IACS %
内側層				
ワイヤ第1ボビン	4.54 (0.1788)	168.92 (24,499)	5.1	59.92
ワイヤ第4ボビン	4.54 (0.1788)	159.23 (23,095)	4.3	60.09
ワイヤ第8ボビン	4.54 (0.1788)	163.39 (23,697)	4.7	60.18
外側層				
ワイヤ第1ボビン	4.70 (0.1851)	188.32 (27,314)	4.7	60.02
ワイヤ第4ボビン	4.70 (0.1851)	186.27 (27,016)	4.3	60.09
ワイヤ第8ボビン	4.70 (0.1851)	184.73 (26,793)	4.3	60.31
ワイヤ第12ボビン	4.70 (0.1851)	185.50 (26,905)	4.7	59.96

【0093】

ケーブルが、従来の遊星歯車式撲り合せ機械、ならびに比較例について上で説明されたコアおよび（内側および外側）ワイヤを使用して、SK、ウェイバーンのネクサンズ（NeXans, Weyburn, SK）によって製造された。ケーブルを製造するための装置80の概略図が、図7、図7A、および図7Bに示されている。

【0094】

コアのスプール81が、従来の遊星歯車式撲り合せ機械80のヘッドに設けられ、スプール81は、自由に回転することができ、張力を制動システムによって加えることができた。繰出しの間コアに加えられた張力は45kg(1001b.)であった。コアは室温（約23（73°F））で入力された。コアは、ボビンキャリッジ82、83の中心を通して、閉じダイ84、85を通して、キャップスタンホイール86の周りにかけられ、従来の巻取り（152cm（60in.）の直径）スプール87に取付けられた。

【0095】

外側撲り合せ層の付与前、個別のワイヤが、別個のボビン88上に提供され、これらは、撲り合せ設備のいくつかのモータ駆動キャリッジ82、83内に配置された。ボビン88からワイヤ89を引くのに必要な張力の範囲は、11~14kg(25~30lb.)の範囲内であるように設定された。撲り合せステーションは、キャリッジと、閉じダイとからなる。各撲り合せステーションにおいて、各層のワイヤ89は、各キャリッジの出口で、それぞれ、閉じダイ84、85で一緒にされ、それぞれ、中心ワイヤの上に、または前の層の上に配列された。したがって、コアは、2つの撲り合せステーションを通過した。第1のステーションにおいて、8のワイヤを、コアの上でS撲り(left lay)で撲り合せた。第2のステーションにおいて、12のワイヤを、前の層の上でZ撲り(right lay)で撲り合せた。

【0096】

コア材料、および所与の層のワイヤは、適用できるような閉じダイ84、85によって接触された。閉じダイは、円筒（図7Aおよび図7Bを参照のこと）であり、ボルトを使用して所定位置に保持された。ダイは、硬化工具鋼から製造され、完全に閉じることができた。

10

20

30

40

50

【0097】

完成されたケーブルは、キャプスタンホイール86を通過され、最終的に、(91 cmの直径(36インチ))巻取りスプール87上に巻かれた。完成されたケーブルは、各バンク内に7のローラで、2つのバンク内に線状に配列されたローラ(各ローラは12.5 cm(5インチ)である)から構成されたくせ取り機デバイスを通過された。ローラの2つのバンクの間の距離は、ローラがケーブルに衝突するだけであるように設定された。ローラの2つのバンクは、ケーブルの両側に位置決めされ、一方のバンク内のローラが、他方のバンク内の対向するローラによって作られた空間と一致した。したがって、2つのバンクは互いにずれた。ケーブルがくせ取りデバイスを通過するとき、ケーブルは、ローラの上で前後に曲がり、導体内のストランドが同じ長さまで伸張することを可能にし、それにより、弛んだストランドをなくした。10

【0098】

内側層は、15.4 mm(0.608 in.)の外側層直径、353 kg/km(2371 lb./kft.)の単位長さあたり質量で、20.3 cm(8 in.)のS撓り(left hand lay)で、8の台形ワイヤからなった。内側層のための閉じプロック(硬化工具鋼から製造された；60 Rc硬度)は、15.4 mm(0.608 in.)の内径に設定された。したがって、閉じプロックは、ケーブル直径とちょうど同じ直径に設定された。

【0099】

外側層は、22.9 mm(0.9015 in.)の外側層直径、507.6 kg/km(341.21 lb./kft)の単位長さあたり質量で、25.9 cm(10.2 in.)のZ撓りで、12の台形ワイヤからなった。アルミニウム合金ワイヤの単位長さあたり総質量は928.8 kg/km(624.31 lb./kft.)であり、コアの単位長さあたり総質量は136.4 kg/km(91.71 lb./kft.)であり、単位長さあたり総導体質量は1065 kg/km(716.01 lb./kft.)であった。外側層のための閉じプロック(硬化工具鋼から製造された；60 Rc硬度)は、0.9015 in.(22.9 mm)の内径に設定された。したがって、閉じプロックは、最終ケーブル直径とちょうど同じ直径に設定された。20

【0100】

内側ワイヤおよび外側ワイヤ張力(繰出しボビンとしての)は、ハンドヘルドフォースゲージ(入手可能な、イリノイ州シカゴのマクマスター・カード(McMaster-Carrd, Chicago, IL))を使用して測定され、13.5~15 kg(29~33 lb.)の範囲内であるように設定され、コア繰出し張力は、ブレーキによって、ボビンと同じ測定方法を用いて、約90 kg(198 lb.)に設定された。さらに、くせ取り機は使用されず、ケーブルはスプールに巻かれなかつたが、まっすぐに走り、フロア上に広がる(lay out)に任せられた。コアは室温(約23(73°F))で入力された。30

【0101】

撓り合せ機械は、15 m/分(49 ft/分)で動作され、従来のキャプスタンホイール、標準くせ取りデバイス、および従来の直径152 cm(60 in.)の巻取りスプールを使用して駆動された。40

【0102】

結果として生じる導体を、次の「切断端部テスト方法」を用いてテストした。テストされるべき導体のセクションをフロア上にまっすぐに広げ、長さ3.1~4.6 m(10~15 ft.)のサブセクションを両端で締付けた。次に、導体を切断して、依然として両端で締付けられたセクションを隔離した。次に、1つの締付けを解除し、層移動は観察されなかった。次に、導体のセクションを、層の、互いに対する移動について検査した。各層の移動を、定規を使用して測定して、コアに対する移動の量を定めた。外側アルミニウム層は複合コアに対して引っ込み、コアをゼロ基準位置とみなし、内側アルミニウム層は0.16 in.(4 mm)引っ込み、外側層は0.31 in.(8 mm)引っ込んだ。50

【0103】

例示的な実施例のケーブルを、また、カナダ、オンタリオ州トロントのキネクトリックス・インコーポレイテッド (Kinectrics, Inc. Toronto, Ontario, Canada) によって、次の「弛みテスト方法I」を用いて、評価した。ある長さの導体を従来のエポキシ取付物で終端させ、層が、製造されたままの状態と同じ相対位置を実質的に維持することを確実にし、ただし、アルミニウム／ジルコニアワイヤを、エポキシ取付物を通して、他方の側から延在させ、次に、従来のターミナルコネクタを使用するAC電源への接続を考慮するように再構成した。エポキシ取付物を、張力を保持するためのターンバックルに接続されたアルミニウムスペルターソケット内に注いだ。1つの側で、ロードセルをターンバックルに接続し (5000キログラム (kg)) のキャパシティ)、次に、両端で、ターンバックルをプリングアイに取付けた。アイを、張力下のときのシステムの端部撓みを最小にするのに十分大きい、大きいコンクリート柱に接続した。テストのため、張力を、導体定格破断強度の20%に引いた。したがって、2082 kg (4590 lb) をケーブルに加えた。温度は、導体の長さに沿った3つの位置で(総(プリングアイからプリングアイ)スパンの距離の1/4、1/2、および3/4で)、9の熱電対(各位置に3つ；コネチカット州スタンフォードのオメガ・コーポレーション (Omega Corporation, Stamford, CT) から入手可能なJタイプ)を使用して測定した。各位置において、3つの熱電対を、導体内の3つの異なる半径方向の位置、すなわち、外側アルミニウムストランド間、内側アルミニウムストランド間、および外側コアワイヤに隣接して(すなわち、接触する)位置決めした。弛み値は、導体の長さに沿った3つの位置で(スパンの距離の1/4、1/2、および3/4で)、ブルワイヤポテンショメータ(カリフォルニア州パームデールのスペースエージ・コントロール・インコーポレイテッドから入手可能)を使用して測定した。これらは、3つの位置の垂直移動を測定するように位置決めした。AC電流を導体に与えて、温度を所望の値に上昇させた。導体の温度は、室温(約20 (68°F))から約240 (464°F)に60~120 /分 (140~248°F/分)の範囲内の速度で上昇させた。熱電対のすべての最も高い温度を対照として用いた。240 (464°F)を達成するために、約1200 ampが必要であった。

【0104】

導体の弛み値(弛み合計)は、さまざまな温度で、次の式を用いて計算した。

【数5】

$$\text{弛み}_{\text{合計}} = \text{弛み}_{1/2} - \left(\frac{\text{弛み}_{1/4} + \text{弛み}_{3/4}}{2} \right)$$

式中、

弛み_{1/2} = 導体のスパンの距離の1/2で測定された弛み

弛み_{1/4} = 導体のスパンの距離の1/4で測定された弛み

弛み_{3/4} = 導体のスパンの距離の3/4で測定された弛み

【0105】

表3(下記)は、固定入力テストパラメータを要約する。

【0106】

【表3】

表3

パラメータ	値
総スパン長さ	68.6 m (225 ft.)
有効スパン長さ [*] - m (ft.)	65.5 m (215 ft.)
北固定点の高さ	2.36m (93.06 in.)
南固定点の高さ	2.47 m (97.25 in.)
導体重量	1.083 kg/m (0.726 lb./ft.)
初期張力 (20% RTS [*])	2082 kg (4590 lb)
ロードセルキャパシティ	5000 kg (1100 lb) ロードセル

^{*}定格引張強度

【0107】

結果として生じる弛みおよび温度データ（例示的な実施例の「結果として生じるデータ」）をプロットし、次に、計算された曲線を、サウスカロライナ州グリーンビルのアルコア・フジクラ・リミテッドから商品名「サグ10」（バージョン3.0 アップデート3.9.7）でソフトウェアプログラムで入手可能なアルコア・サグ10グラフィック方法を用いて適合させた。応力パラメータは、「組込みアルミニウム応力」と呼ばれる「サグ10」の適合パラメータであり、これは、予測されたグラフ上のニーポイントの位置、およびまた高温ポストニーポイント領域の弛みの量を調整した。応力パラメータ理論の説明が、アルコア・サグ10ユーザマニュアル（バージョン2.0）：ACSRのアルミニウムの圧縮応力の理論に提供された。示された表4～7（下記）のような675 kcmi¹のケーブルの導体パラメータをサグ10ソフトウェアに入力した。最良適合は、（i）曲線が高温（140～240）で一致するように応力パラメータの値を変えることによって、計算された曲線を「結果として生じるデータ」に一致させ、（ii）「結果として生じるデータ」曲線の変曲点（ニーポイント）は、計算された曲線と厳密に一致し、（iii）初期の計算された弛みは、初期の「結果として生じるデータ」弛みと一致する必要があった（すなわち、22（72°F）における初期張力は2082 kgであり、27.7 cm（10.9インチ）の弛みを生じさせる。）。この実施例の場合、応力パラメータの3.5 MPa（500 psi）の値が、「結果として生じるデータ」への最良適合を提供した。図8は、サグ10によって計算された弛み（線82）、および測定された弛み（プロットされたデータ83）を示す。

【0108】

次の導体データを「サグ10」ソフトウェアに入力した。

【0109】

【表4】

表4

サグ（弛み）10の導体パラメータ

面積	381.6 mm ² (0.5915 in ²)
直径	2.3 cm (0.902 in)
重量	1.083 kg/m (0.726 lb./ft.)
RTS:	10,160 kg (22,400 lb.)

【0110】

【表5】

表5

ラインローディング条件	
スパン長さ	65.5 m (215 ft.)
初期張力 (22°C (72°F))	2082 kg (4,590 lb.)

【0111】

【表6】

10

表6

圧縮応力計算のオプション	
組込みアルミニウム応力	(3.5 MPa (500 psi))
アルミニウム面積 (総面積の一部として)	0.8975
アルミニウム層の数:	2
アルミニウムストランドの数	20
コアストランドの数	7
燃り込み率	
外側層	11
内側層	13

20

サグ (弛み) 10 の応力歪みパラメータ; TREF = 22°C (71°F)

ソフトウェア実行の入力パラメータ (下記表7を参照のこと)

【0112】

【表7】

30

表7

初期アルミニウム					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
17.7	56350.5	-10910.9	-155423	173179.9	79173.1
最終アルミニウム (10年クリープ)					
B0	B1	B2	B3	B4	α (AI)
0	27095.1	-3521.1	141800.8	-304875.5	0.00128
初期コア					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
-95.9	38999.8	-40433.3	87924.5	-62612.9	33746.7
最終コア (10年クリープ)					
D0	D1	D2	D3	D4	α (コア)
-95.9	38999.8	-40433.3	87924.5	-62612.9	0.000353

40

【0113】

応力歪み曲線多項式の定義

最初の 5 の数字 A0 ~ A4 は、初期アルミニウム曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数であり、

【数6】

$$\frac{A_{ワイヤ}}{A_{合計}} \cdot \sigma_{初期ワイヤ} = A0 + A1\varepsilon + A2\varepsilon^2 + A3\varepsilon^3 + A4\varepsilon^4$$

A F はアルミニウムの最終モジュラスであり、

【数7】

10

$$\frac{A_{ワイヤ}}{A_{合計}} \cdot \sigma_{最終ワイヤ} = AF\varepsilon$$

式中、 ε は、 % 単位の導体伸びであり、 σ は、 psi 単位の応力であり、

B 0 ~ B 4 は、アルミニウムの最終 10 年クリープ曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数であり、

【数8】

20

$$\frac{A_{ワイヤ}}{A_{合計}} \cdot \sigma_{最終ワイヤ} = B0 + B1\varepsilon + B2\varepsilon^2 + B3\varepsilon^3 + B4\varepsilon^4$$

C (A 1) は、アルミニウムの熱膨張の係数である。

C 0 ~ C 4 は、複合コアのみの、初期曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数である。

C F は、複合コアの最終モジュラスであり、

D 0 ~ D 4 は、複合コアの最終 10 年クリープ曲線 × 面積比を表す 4 次多項式の係数であり、

(コア) は、複合コアの熱膨張の係数である。

30

【0114】

予測実施例 1

ケーブルを、次の通りである以外は、例示的な実施例で説明されたように製造する。コアを形成するために撚り合される複合ワイヤは、炭素繊維複合 (ビスマレイックアミド (bismaleic amide) 樹脂マトリックス内の炭素繊維) ワイヤからなる。これらのワイヤは、日本、東京の東京製綱株式会社 (Tokyo Rope Manufacturing Company, Ltd.) から、商品名「 C FCCC 」で入手可能である。複合ワイヤは、例示的な実施例の複合ワイヤと同じ直径を有する。

【0115】

例示的な実施例で説明されたアルコア・サグ 10 グラフィック方法モデルを用いて、予測実施例 1 で説明されたケーブルの弛み対温度挙動を予測した。例示的な実施例のサグ 10 モデルおよび方法を用いて、弛み対温度曲線を生成した。表 8 ~ 11 (下記) に示された導体パラメータを、サグ 10 ソフトウェアに入力した。予測実施例 1 の圧縮応力パラメータの値は、3.5 MPa (500 psi) であった。さらに、55 MPa (8000 psi) の圧縮応力値について、弛み対温度曲線を生成した。図 9 は、例示的な実施例および予測実施例 1 の弛み対温度曲線を示す。例示的な実施例の測定されたデータは、プロットされたデータ 9 3 として示されており、例示的な実施例の計算された曲線は、線 9 2 として示されている。3.5 MPa (500 psi) の応力パラメータを用いた予測実施例 1 の計算された曲線は、線 9 4 として示されている。55 MPa (8000 psi) の応力パラメータでの付加的な計算された曲線は、線 9 6 として示されている。

40

50

【0116】

次の導体データを「サグ10」ソフトウェアに入力した。

【0117】

【表8】

表8

サグ(弛み)10の導体パラメータ

面積	381.6 mm ² (0.677 in ²)	10
直径	2.3 cm (0.902 in.)	
重量	1.007 kg/m (0.677 lb/ft.)	
R TS :	11,045 kg (24,350 lb.)	

【0118】

【表9】

表9

ラインロードティング条件

スパン長さ	65.5 m (215 ft.)	20
初期張力 (72°F)	2082 kg (4,590 lb.)	

【0119】

【表10】

表10

圧縮応力計算のオプション
組込みアルミニウム応力値

500 (予測実施例1)	30
8000 (付加的な曲線)	

アルミニウム面積(総面積の一部として)

0.8975

アルミニウム層の数:

2

アルミニウムストランドの数

20

コアストランドの数

7

燃り込み率

外側層 11

内側層 13

サグ(弛み)10の応力歪みパラメータ; TREF = 22°C (71°F)

40

【0120】

【表11】

表11

初期アルミニウム					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
17.7	56350.5	-10910.9	-155423	173179.9	79173.1
最終アルミニウム(10年クリープ)					
B0	B1	B2	B3	B4	α (AI)
0	27095.1	-3521.1	141800.8	-304875.5	0.00128
初期コア					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
0	23575	0	0	0	23575
最終コア(10年クリープ)					
D0	D1	D2	D3	D4	α (コア)
0	23575	0	0	0	0.000033

【0121】

本発明のさまざまな変更および改変が、本発明の範囲および精神から逸脱することなく、当業者には明らかになるであろう。また、本発明は、ここに記載された例示的な実施形態に不当に限定されるべきではないことが理解されるべきである。

以下に、本願発明に関連する発明の実施形態について、列挙する。

実施形態1

熱膨張係数を有し、かつ、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タンクステン、または形状記憶合金の少なくとも1つを含む長手方向のコアと、

合せて前記コアの熱膨張係数より大きい熱膨張係数を有する複数のワイヤであって、前記複数のワイヤが、アルミニウムワイヤ、銅ワイヤ、アルミニウム合金ワイヤ、または銅合金ワイヤの少なくとも1つを含み、前記複数のワイヤが、前記コアの周りに撫り合される、複数のワイヤとを

含むケーブルであって、

前記長手方向のコアが金属マトリックス複合ワイヤを含む場合、前記コアが、別個に、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タンクステン、または形状記憶合金の少なくとも1つを含むという条件で、前記ケーブルが20MPa以下の応力パラメータを有する、ケーブル。

実施形態2

前記ケーブルが15MPa以下の応力パラメータを有する、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態3

前記ケーブルが10MPa以下の応力パラメータを有する、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態4

前記ケーブルが5MPa以下の応力パラメータを有する、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態5

前記ケーブルが0MPaから15MPaの範囲内の応力パラメータを有する、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態6

前記ケーブルが0MPaから10MPaの範囲内の応力パラメータを有する、実施形態1に記載のケーブル。

10

20

30

40

50

実施形態 7

前記コアが、ポリマーマトリックス内の、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タングステン、または形状記憶合金の少なくとも1つの連続纖維を含む複合体を含む、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態 8

前記コアが、ポリマーマトリックス内の連続セラミックを含む複合体を含む、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態 9

前記ワイヤおよび前記コアが、連続しており、長さが少なくとも150メートルである、実施形態1に記載のケーブル。

10

実施形態 10

前記コアが、1mmから12mmの直径を有するワイヤを含む、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態 11

前記コアが、1mmから4mmの直径を有するワイヤを含む、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態 12

前記コアのワイヤが、10から150の撚り係数を有するように螺旋状に撚り合される、実施形態1に記載のケーブル。

20

実施形態 13

前記ワイヤが、形状が台形である、実施形態1に記載のケーブル。

実施形態 14

ケーブルを製造する方法であって、

複数のワイヤを長手方向のコアの周りに撚り合せて、予備的な撚り合されたケーブルを提供する工程であって、前記複数のワイヤが、アルミニウムワイヤ、銅ワイヤ、アルミニウム合金ワイヤ、または銅合金ワイヤの少なくとも1つを含み、前記コアが、アラミド、セラミック、ホウ素、ポリ(p-フェニレン-2,6-ベンゾビスオキサゾール)、黒鉛、炭素、チタン、タングステン、または形状記憶合金の少なくとも1つを含む工程と、

前記予備的な撚り合されたケーブルを閉じダイにかけて、実施形態1に記載のケーブルを提供する工程であって、前記閉じダイが内径を有し、前記ケーブルが外径を有し、前記ダイ内径が前記ケーブル外径の1.00から1.02倍の範囲内である工程とを含む方法

30

【図面の簡単な説明】

【0122】

【図1】本発明によるケーブルの例示的な実施形態の概略断面図である。

【図2】本発明によるケーブルの例示的な実施形態の概略断面図である。

【図3】本発明によるケーブルの例示的な実施形態の概略断面図である。

【図4】本発明によるケーブルの例示的な実施形態の概略断面図である。

【図5】本発明によるケーブルの例示的な実施形態の概略断面図である。

40

【図6】本発明による、纖維に溶融金属を浸透させるために使用される例示的な超音波浸透装置の概略図である。

【図7】本発明によるケーブルを製造するために使用される例示的な撚り合せ装置の概略図である。

【図7A】本発明によるケーブルを製造するために使用される例示的な撚り合せ装置の概略図である。

【図7B】本発明によるケーブルを製造するために使用される例示的な撚り合せ装置の概略図である。

【図8】例示的な実施例のケーブル弛みデータのプロットである。

【図9】例示的な実施例および予測実施例1のケーブル弛みデータのプロットである。

50

【図10】本発明によるケーブルの例示的な実施形態の概略断面図である。

【図1】

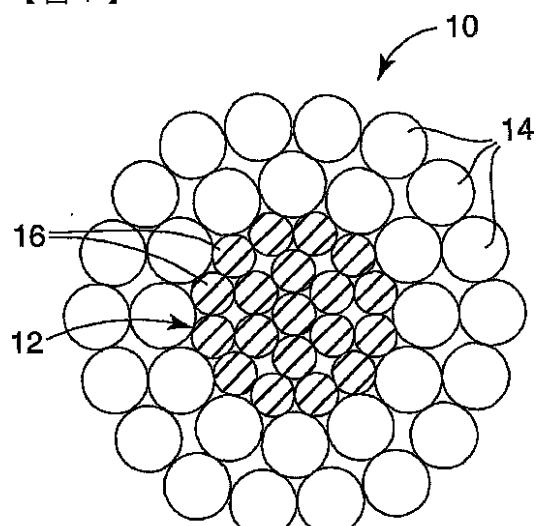


FIG. 1

【図2】

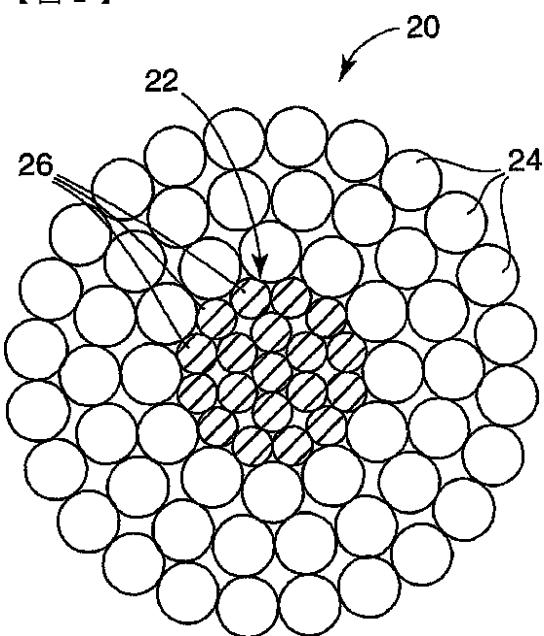
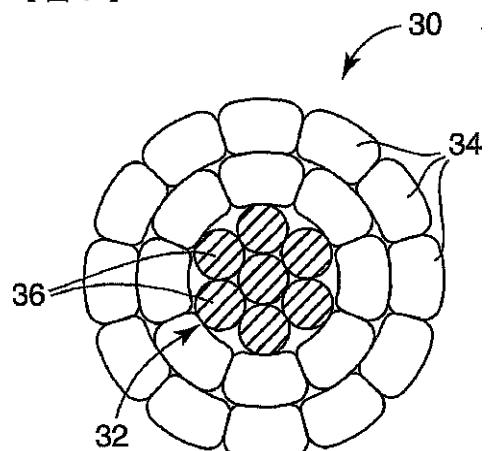
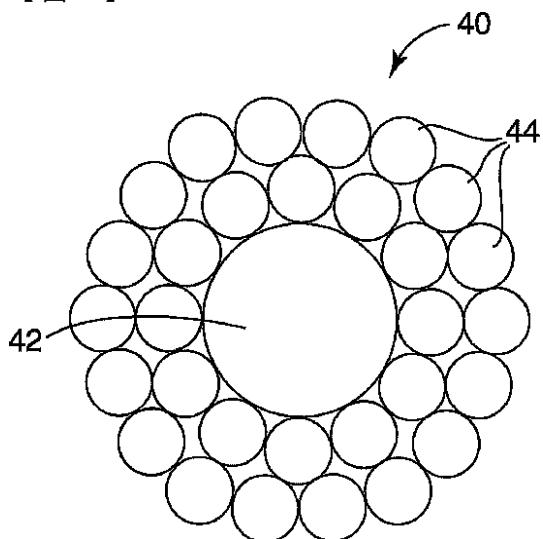


FIG. 2

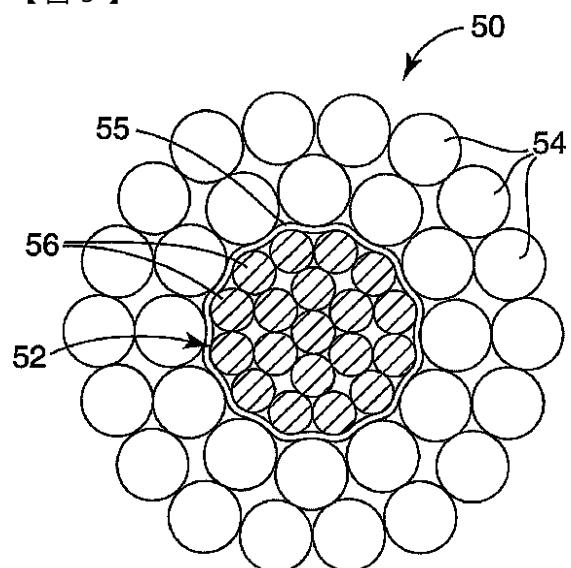
【図3】

**FIG. 3**

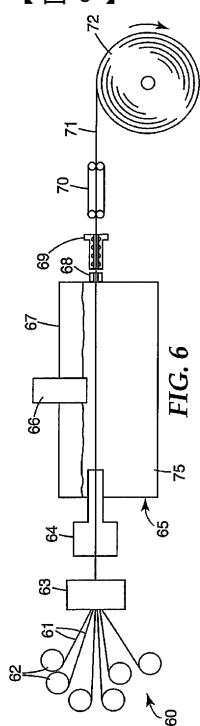
【図4】

**FIG. 4**

【図5】

**FIG. 5**

【図6】

**FIG. 6**

【図 7】

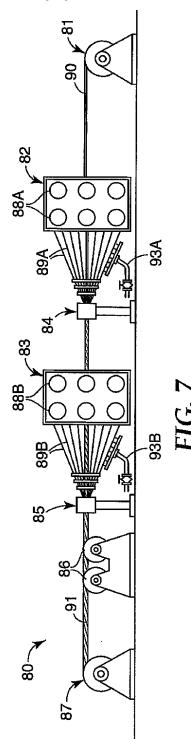


FIG. 7

【図 7 A】

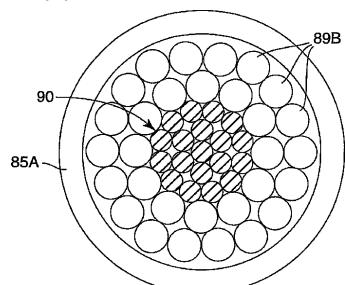


FIG. 7A

【図 7 B】

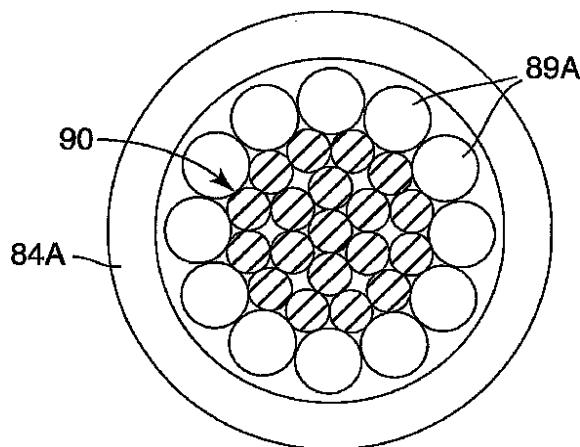


FIG. 7B

【図 8】

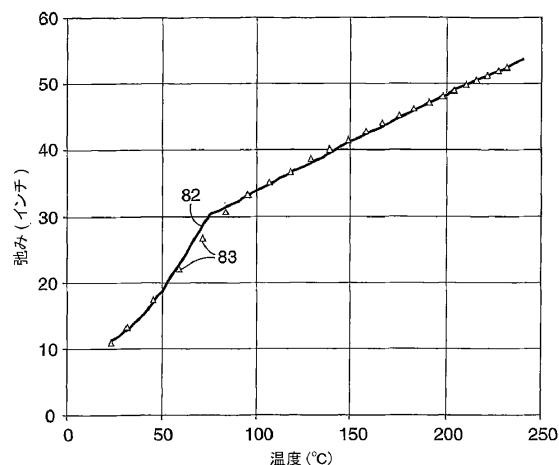


FIG. 8

【図 9】

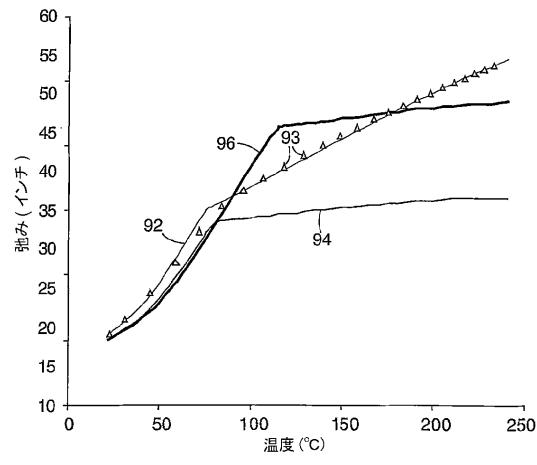
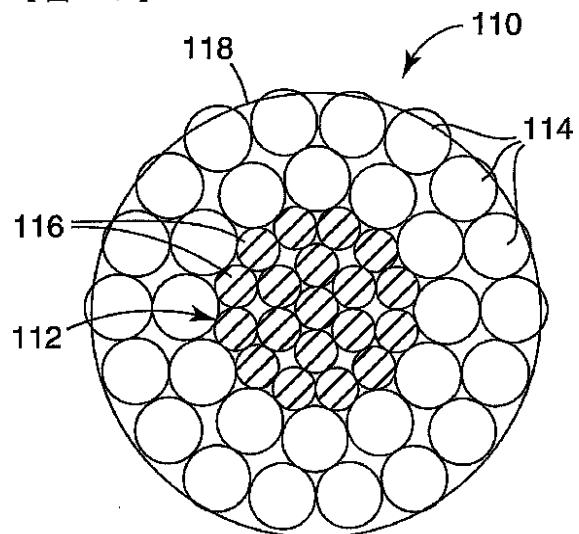


FIG. 9

【図10】

**FIG. 10**

フロントページの続き

(72)発明者 ジョンソン , ダグラス イー .

アメリカ合衆国 , ミネソタ 55133 - 3427 , セント ポール , ポスト オフィス ボック
ス 33427

(72)発明者 マクカロー , コリン

アメリカ合衆国 , ミネソタ 55133 - 3427 , セント ポール , ポスト オフィス ボック
ス 33427

(72)発明者 デベ , ハーベ イー .

アメリカ合衆国 , ミネソタ 55133 - 3427 , セント ポール , ポスト オフィス ボック
ス 33427

審査官 前田 寛之

(56)参考文献 特開平10 - 321050 (JP, A)

特開平10 - 321048 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01B 5/10

H01B 13/00