

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 8 月 30 日(30.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/114507 A1

- (51) 国際特許分類:
H01B 12/16 (2006.01) *H02G 9/00* (2006.01)
F25B 9/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/054312
- (22) 国際出願日: 2011 年 2 月 25 日(25.02.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社前川製作所 (MAYEKAWA MFG. CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1358482 東京都江東区牡丹 3 丁目 1 4 番 1 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山本 恵一 (YAMAMOTO, Keiichi) [JP/JP]; 〒1358482 東京都江東区牡丹 3 丁目 1 4 番 1 5 号株式会社 前川製作所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人 高橋松本 & パートナーズ (TAKAHASHI, MATSUMOTO & PARTNERS INTELLECTUAL PROPERTY CORP.); 〒1060032 東京都港区六本木 3 丁目 1 6 番 1 3 号 アンバサダー六本木 1 0 0 3 号 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SUPERCONDUCTING CABLE COOLING SYSTEM

(54) 発明の名称: 超電導ケーブル冷却システム

[図1]

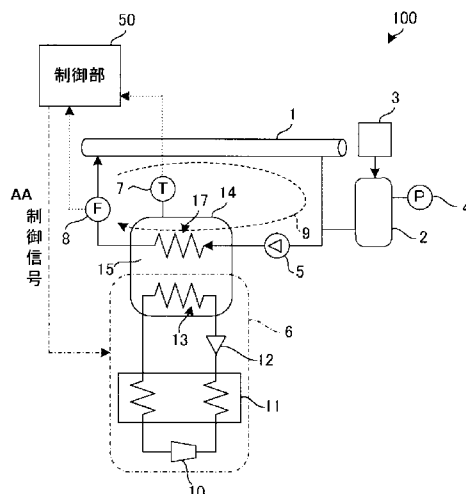


FIG. 1:
50 Control unit
AA Control signal

(57) Abstract: The present invention pertains to a superconducting cable cooling system in which a coolant for cooling the superconducting cable (1) is pumped to a heat-exchanging section (17) by a circulation pump (5), and the superconducting cable is cooled by a refrigerating machine (6). Specifically, the superconducting cable cooling system is characterized by being equipped with a heat-exchanging unit (14) having a cooling space (15) filled with a liquid gas, a flow sensor (8) for detecting the flow rate of the coolant, a temperature sensor (7) for detecting the temperature of the liquid gas filled inside the heat-exchanging unit, and a control unit (50) for controlling the refrigerating machine on the basis of the values detected by the flow sensor and the temperature sensor such that the temperature of the liquid gas filled in the heat-exchanging unit is brought to a prescribed value.

(57) 要約: 本発明は、超電導ケーブル (1) の冷却用冷媒を循環ポンプ (5) で熱交換部 (17) に圧送して冷凍機 (6) により冷却する超電導ケーブル冷却システムに関する。特に、液化ガスが冷却空間 (15) 内に充填されてなる熱交換ユニット (14) と、冷媒の流量を検出するための流量センサ (8) と、熱交換ユニットに充填された液化ガスの温度を検出するための温度センサ (7) と、流量センサ及び温度センサの検出値に基づいて、熱交換ユニットに充填された液化ガスの温度が所定値になるように冷凍機を制御する制御部 (50) とを備えたことを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：超電導ケーブル冷却システム

技術分野

[0001] 本発明は、電力の送配電に使用される超電導ケーブルを極低温に冷却するための超電導ケーブル冷却システムの技術分野に関する。

背景技術

[0002] 極低温下で電気抵抗値が略ゼロである超電導体を材料とする、電力送配電用の超電導ケーブルがある。超電導ケーブルの送電効率を良好に確保するためには、超電導ケーブルを安定的に極低温状態に維持する必要がある、このような冷却能力を有する冷却システムの研究開発が進められている。尚、一般的に超電導ケーブルの材料としては高温超電導体が用いられており、冷却用の冷媒としては液体窒素が使用されている。

[0003] ここで、図10を参照して、従来の超電導ケーブル冷却システム100（以下、適宜「冷却システム100」と称する）の構成について簡略的に説明する。図10は、従来の超電導ケーブル冷却システム100の全体構成を概略的に示す構成図である。

冷却システム100は、冷却対象として高温超電導体からなる超電導ケーブル1を有しており、該超電導ケーブル1の冷却用冷媒として液体窒素を用いている。超電導ケーブル1を冷却した冷媒は、一旦リザーバタンク2に貯留される。リザーバタンク2では、冷媒が加圧装置3によって所定圧力値に加圧されて貯留されている。この所定圧力値は、リザーバタンク2に設けられた圧力センサ4によって検出した圧力値を、図不示の加圧装置3のコントローラが取得し、該取得した圧力値が所定値になるように加圧装置3をフィードバック制御することによって維持されている。

[0004] リザーバタンク2の下流側には循環ポンプ5が設けられており、当該循環ポンプ5の駆動によってリザーバタンク2に貯留された冷媒は冷凍機6に圧送され、冷却される。冷凍機6はGM冷凍機やスターリング冷凍機であ

る。そして冷凍機 6 によって冷却された冷媒は、再び超電導ケーブル 1 に供給され、超電導状態の冷却に使用される。ここで、冷凍機 6 より下流側には冷媒の温度及び流量を検出するための温度センサ 7 及び流量センサ 8 が設けられており、各検出値に基づいて冷媒の温度が所定値に冷却されるように、冷凍機 6 がフィードバック制御される。

[0005] 以上説明したように、図 10 に示す例では、超電導ケーブル 1 を冷却することによって温度の上昇した冷媒をリザーバタンク 2、循環ポンプ 5、及び冷凍機 6 が設けられた循環経路 9 を介して冷却した後に、再度超電導ケーブル 1 に供給するという、循環サイクルを繰り返すものである。特許文献 1 は、このような循環サイクルにて冷媒を冷却して超電導ケーブル 1 に供給する方式の冷却システムの一例である。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献 1：特開 2006-12654 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] このような循環サイクルにて冷媒を冷却して超電導ケーブル 1 に供給する冷却システムでは、超電導ケーブル 1 の冷却温度を一定に維持するために、超電導ケーブル 1 への冷媒供給入口（図 10 において、流量センサ 8 の下流側）における冷媒の温度を一定に制御することが要求される。超電導ケーブル 1 を冷却する際に発生する熱損失としては、大きく次の 3 つがある。（i）超電導ケーブル 1 の外部から侵入する熱量による損失、（ii）超電導ケーブル 1 に交流電流（又は電圧）を通電した際に発生する AC ロスによる損失、及び（iii）冷媒を循環させる循環ポンプ 5 で発生する損失である。特に、（ii）による熱損失は、電力送電時の超電導ケーブル 1 の負荷変動に伴い変化する傾向がある。

[0008] 上記例では、冷媒温度を温度センサ 7 や流量センサ 8 における検出値に基

づいたフィードバック制御によって制御している。このような制御は、熱損失が時間的に一定である静的な系では有用ではある。しかしながら、超電導ケーブル１で発生する熱損失は上述したように時間的に変動する場合があります、このような場合に冷媒の温度制御が困難になってしまうという問題点がある。

[0009] また上記例では、冷凍機６としてGM冷凍機やスターリング冷凍機が使用されている。そのため、GM冷凍機では断続運転、スターリング冷凍機では運転サイクルの制御によって、冷媒の温度制御が行われることとなる。この種の冷凍機６を使用する場合、その制御には、循環経路９のうち所定の測定ポイントで温度や流量などの制御パラメータを測定し、冷凍機６をフィードバック制御する必要がある。しかしながら、超電導ケーブルは実用面を考慮すると長さが数kmに及ぶ大規模なものとなるため、当該測定ポイントの最適位置の選出は容易ではない。特に、超電導ケーブル１の長さが数kmのオーダーであるのに対して、実際に想定される冷媒の流速は数十cm/s程度であると想定される。そのため、冷媒が循環経路９を一巡するために要する時間は数時間程度に達し、冷媒が循環する時定数が非常に大きくなる。一方で、冷媒の温度制御を行う冷凍機６の動作に関する時定数（例えば、制御コントローラのクロック周波数など）は非常に短く、冷媒が循環する時定数との間には大きな差がある。従って、上記例では、超電導ケーブル１における熱損失が時間的に変動する場合など、動的な系においては、冷媒の入口温度を一定に制御することは容易ではないという問題点がある。

[0010] 本発明は上記課題に鑑みなされたものであり、超電導ケーブルに温度の安定した冷媒を供給可能な超電導ケーブル冷却システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明に係る超電導ケーブル冷却システムは上記課題を解決するために、超電導ケーブルの冷却用に使用された冷媒を、循環ポンプで熱交換部に圧送して冷凍機により冷却した後、前記超電導ケーブルに供給して循環経路を形

成することにより、前記超電導ケーブルを冷却する超電導ケーブル冷却システムにおいて、前記熱交換部と前記冷凍機とを熱交換させるための液化ガスが充填された冷却空間を有する熱交換ユニットと、前記循環経路における冷媒の流量を検出するための流量検出手段と、前記熱交換ユニットに充填された液化ガスの温度を検出するための温度検出手段と、前記流量検出手段によって検出された流量、及び前記温度検出手段によって検出された温度に基づいて、前記熱交換ユニットに充填された液化ガスの温度が所定値になるように前記冷凍機を制御する制御部とを備えたことを特徴とする。

[0012] 本発明によれば、超電導ケーブルの冷却に使用されて温度が上昇した冷媒は、循環ポンプによって循環経路上に設けられた熱交換部に圧送され、熱交換ユニットにて冷却空間に充填された液化ガスと熱交換することにより冷却される。このとき液化ガスには、循環経路を流れる冷媒が超電導ケーブルから受けた熱量が蓄熱され、当該液化ガスに蓄積された熱負荷は、冷凍機によって取り除かれる。即ち、本発明では、超電導ケーブルからの熱負荷を一旦液化ガスに蓄熱することによって液化ガスを熱的なバッファとして機能させることができる。これにより、冷凍機は当該液化ガスの温度を所定値になるように制御することで、超電導ケーブルにおいて発生する熱量が時間的に変動する場合であっても、冷媒の温度を安定的に維持できるよう制御できる。

[0013] 好ましくは、前記冷凍機は、前記冷却空間内に配置されたブレイトンサイクル熱交換部を有するブレイトンサイクル冷凍機である。ブレイトンサイクル冷凍機は圧縮機と膨張機により冷却を行う冷凍機であり、熱交換部としてブレイトンサイクル熱交換部を有している。本態様では、ブレイトンサイクル熱交換部を液化ガスが充填された冷却空間内に循環経路上に設けられた熱交換部と共に配置することによって、当該冷却空間に充填された液化ガスを媒体として熱交換を行い、超電導ケーブルの冷却を行うことができる。

[0014] また、前記循環経路には、該循環経路を流れる冷媒を所定圧力に加圧して貯留するリザーバタンクが接続されていてもよい。これにより、循環経路を流れる冷媒の温度が変動することに伴い、冷媒の体積又は圧力が変化した

場合であっても、リザーバタンクによって当該体積及び圧力の変化を吸収することができる。

[0015] 本発明の一態様では、前記超電導ケーブルを複数備える場合、前記循環経路は前記超電導ケーブルの各々に対応してそれぞれ形成されており、前記循環経路の各々における前記熱交換部は、単一の前記冷却空間内に配置されている。この態様によれば、それぞれの循環経路に設けられた熱交換部を、液化ガスが充填された冷却空間を有する単一の熱交換ユニット内に配置されている。そのため、制御部は単一の熱交換ユニットの冷却空間に充填された液化ガスの温度制御をするだけで、複数の循環経路を流れる冷媒の温度を安定的に制御することができる。

[0016] 特に、前記複数の超電導ケーブルが互いに直列に接続されている場合に、前記複数の超電導ケーブルのうち隣り合う超電導ケーブルに対応して形成された循環経路に含まれる熱交換部が、前記冷却空間内に配置されているとよい。超電導ケーブルを長距離送電用に使用する場合、複数の超電導ケーブルを直列に接続して長距離化を図ることがある。この場合、このように直列に接続された複数の超電導ケーブル毎に循環経路を形成しておき、そのうち隣り合う超電導ケーブルに対応する循環経路に設けられた熱交換部を単一の冷却空間内に配置することにより、複数の超電導ケーブルに対して温度の安定した冷媒を供給することができる。

[0017] 本発明の他の態様としては、前記熱交換ユニットの冷却空間内に充填された液化ガスを減圧するための減圧手段を更に備えていてもよい。この態様によれば、冷凍機が点検や故障などの何らかの事情によって停止した場合であっても、減圧手段によって液化ガスを減圧して液化ガスを冷却することができる。即ち、減圧手段を、冷凍機が停止した場合のバックアップ手段として機能させることができるので、より信頼性の高い冷却システムを構築することができる。

[0018] また本発明の他の態様としては、前記熱交換部は前記循環経路に複数設けられており、前記循環ポンプは前記複数の熱交換部のいずれかの間に設けら

れていてもよい。この態様によれば、循環ポンプを複数の熱交換部のいずれかの間に設置することで、超電導ケーブルでの冷媒の出入口での温度差を大きくとることができ、冷媒流量を少なくすることで、循環ポンプや冷凍機を小型化することが可能となる。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、超電導ケーブルの冷却に使用されて温度が上昇した冷媒は、循環ポンプによって循環経路上に設けられた熱交換部に圧送され、熱交換ユニットにて冷却空間に充填された液化ガスと熱交換することにより冷却される。このとき液化ガスには、循環経路を流れる冷媒が超電導ケーブルから受けた熱量が蓄熱され、当該液化ガスに蓄積された熱負荷は、冷凍機によって取り除かれる。即ち、本発明では、超電導ケーブルからの熱負荷を一旦液化ガスに蓄熱することによって液化ガスを熱的なバッファとして機能させることができる。これにより、冷凍機は当該液化ガスの温度を所定値になるように制御することで、超電導ケーブルにおいて発生する熱量が時間的に変動する場合であっても、冷媒の温度を安定的に維持できるよう制御できる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1] 第1実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの全体構成を概略的に示す構成図である。

[図2] 第1実施例に係る超電導ケーブル冷却システムにおいて、超電導ケーブルで発生する熱量の時間的推移の一例を示すグラフ図である。

[図3] 第1実施例に係る超電導ケーブル冷却システムにおいて、式(5)に従って冷凍機の冷却能力を制御した場合における超電導ケーブルの温度変化を示すグラフ図である。

[図4] 第1実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの循環経路の各部で冷媒が受け取る発熱、及び冷媒の温度分布を示すグラフ図である。

[図5] 第2実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの全体構成を概略的に示す構成図である。

[図6] 第3実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの全体構成を概略的に示

す構成図である。

[図7] 第4実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの全体構成を概略的に示す構成図である。

[図8] 第5実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの全体構成を概略的に示す構成図である。

[図9] 第5実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの循環経路の各部で冷媒が受け取る発熱、及び冷媒の温度分布を示すグラフ図である。

[図10] 従来の超電導ケーブル冷却システムの全体構成を概略的に示す構成図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、図面を参照して本発明の好適な実施形態を例示的に詳しく説明する。但しこの実施形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は特に特定の記載がない限りは、この発明の範囲をそれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例に過ぎない。

[0022] (実施例1)

図1は第1実施例に係る超電導ケーブル冷却システム100の全体構成を概略的に示す構成図である。尚、図10を参照して説明した背景技術と共通する箇所については、共通の符号を付すこととし、細部については適宜説明を省略することとする。

[0023] 冷却システム100は、超電導ケーブル1の冷却用に使用された冷媒を、循環ポンプ5で熱交換部17に圧送して冷却した後、超電導ケーブル1に再度供給することにより循環経路9を形成して超電導ケーブル1を冷却する。超電導ケーブル1は高温超電導体から形成されており、循環経路9を流れる冷媒（液体窒素）によって冷却されている。尚、循環経路9を流れる冷媒は、図1では図示を省略しているが、熱交換部17近傍を除いて基本的にその流路周囲が減圧されることによって、外部からの熱侵入を防止可能なように構成されている。

[0024] 循環経路9のうち循環ポンプ5の上流側には、循環経路9を流れる冷媒を

所定値に加圧して貯留するためのリザーバータンク 2 が接続されている。リザーバータンク 2 は、循環経路 9 を流れる冷媒の体積が温度変化により変動するため、この体積変動を吸収し、冷媒が温度上昇によって気化しにくくするために、加圧装置 3 によって冷媒を所定の値に加圧して貯留する。これにより、循環経路 9 を流れる冷媒は気化しにくくなり、超電導ケーブル 1 で発生する熱量が時間的に変動した場合への対応性能を向上させることができる。

[0025] 循環経路 9 を流れる冷媒は、循環ポンプ 5 によって熱交換部 17 に圧送される。熱交換部 17 は高い熱伝導率を有する素材を使用したり熱伝達率が高くなるような構造となるように形成されており、その内部を流れる冷媒から受け取った熱量を外部と熱交換可能に構成されている。例えば循環経路 9 は金属などの熱伝導率を有する素材でできたパイプ状の流路を形成しており、内部を冷媒が流れるように形成されている。この場合、必要に応じてラジエータのように広い表面積を有することにより、適宜形状を工夫してもよい。尚、後に詳しく説明するが、熱交換部 17 の外部は低温の液化ガスで充填されており、熱交換部 17 の内部を流れる冷媒は、外部に充填された液化ガスとの間で熱交換することにより冷却される。

[0026] 熱交換部 17 にて冷却された冷媒は、下流側に設けられた流量センサ 8 を通過した後、再び超電導ケーブル 1 に供給される。これにより、超電導ケーブル 1 には温度の低い冷媒が供給され、継続的に極低温状態が維持される。流量センサ 8 は循環経路 9 を流れる冷媒の流量を検出するための流量検出手段であり、検出した流量値を制御部 50 に送信する。

[0027] 熱交換部 17 は、液化ガスが充填（封入）された冷却空間 15 を有する熱交換ユニット 14 内に配置されている。本実施例では特に、冷却空間 15 に充填された液化ガスは、循環経路 9 を流れる冷媒と同様に、液体窒素である。尚、液化ガスとしては、液体窒素と固体窒素が混合されたスラッシュ窒素などを使用すると、更に好ましい。

[0028] 冷凍機 6 はブレイトンサイクル冷凍機であり、圧縮機 10、熱交換器 11

、膨張機 12、及びブレイトンサイクル熱交換部 13 を備えてなる。ブレイトンサイクル熱交換部 13 は、前述の熱交換部 17 と共に、液化ガスが充填された熱交換ユニット 14 の冷却空間 15 内に配置されている。ブレイトンサイクル冷凍機である冷凍機 6 内は、冷却空間 15 内に充填された液化ガスより液化温度の低い気体が循環されている。本実施例では冷却空間 15 内に充填された液化ガスとして液体窒素を使用しているので、冷凍機 6 内に循環される気体の例としては、ヘリウムガスやネオンガスが好ましい。このように、これらの気体が冷凍機 6 内を循環することでブレイトンサイクル熱交換部 13 は、冷却空間 15 内に充填された液化ガスより十分に低い温度となる。そのため、冷凍機 6 の動作状態を制御することにより、冷却空間 15 内に充填された液化ガスの冷却温度を制御することができる。

[0029] 熱交換部 17 を流れる冷媒は、超電導ケーブル 1 を通過する際に超電導ケーブル 1 で発生した熱量を受け取り、更に循環ポンプ 5 で圧送される際にも熱量を受け取ることによって、温度が上昇している。熱交換部 17 では、このように冷媒に蓄積された熱量を冷却空間 15 に充填された液化ガスと間で熱交換することによって冷却される。液化ガスの温度は前述したように冷凍機 6 の動作状態を制御することによって制御することが可能である。尚、熱交換部 17 を流れる冷媒は、理想的には熱交換ユニット 14 内の液化ガスと同じ温度まで冷却可能だが、実際には熱交換部 17 の熱交換面積が有限なため、冷媒の温度は熱交換ユニット 14 内の温度よりはわずかだが高めになる。

[0030] 冷却空間 15 に充填された液化ガスの温度は、熱交換ユニット 14 に設けられた温度検出手段たる温度センサ 7 によって検出される。温度センサ 7 によって検出された液化ガスの温度は、電気信号として制御部 50 に送信する。

[0031] 制御部 50 は、流量センサ 8 及び温度センサ 7 から取得した情報に基づいて冷凍機 6 に制御信号を送信することによって、冷凍機 6 の動作状態を制御するためのコントロールユニットである。ここで、制御部 50 が冷却空間 1

5に充填された液化ガスの冷却を行うにあたって、冷凍機6の冷却能力をどのように制御したらよいかを、理論的に説明する。

[0032] まず、超電導ケーブル1における発熱を P_c [W]、当該発熱の発生期間を t_1 [秒]、循環ポンプ5における発熱を P_p [W]、循環ポンプ5の運転時間を t_p [秒]、冷却空間15に充填された液化ガスの質量を M [kg]、比熱を C [J/(K・kg)]、ブレイトンサイクル冷凍機6の冷却能力を P_b [W]とする。また、超電導ケーブル1を冷却する冷媒の流量（即ち、流量センサ8により検出される流量）を m [kg/秒]とする。この場合、超電導ケーブル1と循環ポンプ5を通過した冷媒の温度上昇 ΔT_c [K]は次式

$$\Delta T_c = (P_c \times t_1 + P_p \times t_p) / (m \times C \times t_p) \quad (1)$$

で求められる。ここで冷却システム100全体における発熱量 Q [J]は

$$Q = (P_c \times t_1 + P_p \times t_p) \quad (2)$$

である。この発熱量 Q は冷却空間15に充填された液化ガスに蓄熱され、仮に液化ガスが冷凍機6によって冷却されないと仮定した場合、液化ガスの温度は次式により算出される温度 ΔT だけ上昇することとなる。

$$\Delta T = Q / (M \times C) \quad (3)$$

従って、液化ガスの温度上昇を $\Delta T = 0$ [K]にするためには、発熱量 Q に相当する熱量を冷却空間15に充填された液化ガスから取り去ればよいので、ブレイトンサイクル冷凍機6の冷却能力 P_b を次式

$$P_b = Q / t_p \quad (4)$$

になるように制御するとよい。制御部50は、このように(4)式により求められる冷却能力 P_b を発揮するように冷凍機6を制御することにより、液化ガスの温度上昇を $\Delta T = 0$ [K]にし、超電導ケーブル1の冷却を安定的に行うことが可能となる。

[0033] 次に、図2を参照して、超電導ケーブル1で発生する熱量が時間的に変動する場合について考察する。図2は超電導ケーブル1で発生する熱量の時間的推移の一例を示すグラフ図である。この例では、超電導ケーブル1の発熱は、期間 t_1 では P_{c1} 、期間 t_2 では P_{c2} であり、これらの状態が交互に続く

場合を想定して説明する。

[0034] このような場合、制御部 50 は冷凍機 6 を、超電導ケーブル 1 で発生する熱量の平均値を冷却するように制御するとよい。具体的には、循環ポンプ 5 は時間的に連続で運転されるので、

$$t_P = t_1 + t_2$$

であるため、ブレイトンサイクル冷凍機 6 の冷却能力 P_b が次式

$$P_b \times (t_1 + t_2) = (P_P + P_{C1}) \times t_1 + (P_P + P_{C2}) \times t_2 \quad (5)$$

になるように制御するとよい。

[0035] 図 3 は式 (5) に従って冷凍機 6 の冷却能力 P_b を制御した場合における冷却空間 15 に充填された液化ガスの温度の時間的推移を示すグラフ図である。上述したように冷凍機 6 の冷却能力 P_b は超電導ケーブル 1 で発生する熱量の平均値を冷却するように一定に制御されるため、期間 t_1 では期間 t_2 に比べて発熱量が少ないため（図 2 を参照）、液化ガスの温度は次第に減少する。一方、期間 t_2 では期間 t_1 に比べて発熱量が多いため、液化ガスの温度は次第に上昇し、初期温度 T_0 に戻る。

[0036] 理論的に説明すると、期間 t_1 の発熱量 Q_1 [J] は、次式

$$Q_1 = (P_{C1} + P_P) \times t_1 \quad (6)$$

により求められる。この発熱量 Q_1 は冷却空間 15 に充填された液化ガスに蓄熱されて冷媒温度を上昇させるが、冷凍機 6 によって液化ガスが冷却される。そのため、期間 t_1 における温度変化 ΔT_1 は、

$$\Delta T_1 = (P_{C1} + P_P - P_b) \times t_1 / (M \times C) \quad (7)$$

と算出される。そして期間 t_2 では、冷凍機 6 の冷却能力 P_b が (5) 式により制御されているので、 ΔT_1 上昇して初期温度 T_0 に戻る。尚、この ΔT_1 は、 t_2 を用いて次式のように算出することもできる。

$$\Delta T_1 = (P_{C2} + P_P - P_b) \times t_2 / (M \times C) \quad (8)$$

[0037] このように制御部 50 によって温度が制御された液化ガスは、熱交換部 4 との間で熱交換することにより、熱交換部 4 を流れる冷媒を冷却する。液化

ガスの温度を T_s とすると、超電導ケーブル１の入口での冷媒温度 T_c は次式

$$T_c = T_s + \Delta T_c \quad (9)$$

となる。ここで、 ΔT_c は熱交換ユニット１４内の熱交換部４の熱交換効率で決まる温度差であり、所定値となるように熱交換ユニット１４や熱交換部４の構成や材料等を選択するとよい。

[0038] 続いて、図４は第１実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの循環経路９の各部で冷媒が受け取る発熱、及び冷媒の温度分布を示すグラフ図である。尚、図４では、横軸は基準位置（超電導ケーブル１の冷媒出口）からの距離を示しており、図４（ａ）の縦軸は各地点における発熱、図４（ｂ）の縦軸は各地点における温度を示している。

[0039] 循環経路９を流れる冷媒は、超電導ケーブル１内で熱量 P_c を受け取ることにより温度が ΔT_c 上昇する。そして、循環ポンプ５では更に熱量 P_p を受け取り、温度が ΔT_p 上昇する。そして、循環ポンプ５によって熱交換部１７に圧送された冷媒は、熱交換ユニット１４において冷却空間１５に封入された液化ガスとの熱交換により、冷却され、初期の入口温度に戻る。

[0040] 尚、冷却システム１００では、循環経路９を流れる冷媒が気化すると絶縁耐力が下がるため、当該冷媒の温度の上限値が、冷媒が気化しない温度の範囲となるように制御する必要がある。例えば液体窒素が気化する温度は圧力が大気圧で７７〔Ｋ〕である。そのため、超電導ケーブル１内での温度上昇は循環ポンプ５の発熱による温度上昇を加味した分、低めに設定されることが好ましい。

[0041] 以上説明したように、第１実施例では、超電導ケーブル１の冷却に使用されて温度が上昇した冷媒は、循環ポンプ５によって循環経路９上に設けられた熱交換部４に圧送され、熱交換ユニット１４にて冷却空間１５に充填された液化ガスと熱交換することにより冷却される。このとき液化ガスには、循環経路９を流れる冷媒が超電導ケーブル１から受けた熱量が蓄熱され、当該液化ガスに蓄積された熱負荷は、冷凍機６によって取り除かれる。即ち、本実施例では、超電導ケーブル１からの熱負荷を一旦液化ガスに蓄熱すること

によって液化ガスを熱的なバッファとして機能させることができる。これにより、冷凍機 6 は当該液化ガスの温度を所定値になるように制御することで、超電導ケーブル 1 において発生する熱量が時間的に変動する場合であっても、冷媒の温度を安定的に維持できるよう制御できる。

[0042] (第 2 実施例)

図 5 は第 2 実施例に係る超電導ケーブル冷却システム 100 の全体構成を概略的に示す構成図である。尚、実施例 1 と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は適宜省略することとする。

[0043] 第 2 実施例に係る超電導ケーブル冷却システム 100 では、1 台のブレイトンサイクル冷凍機 6 で超電導ケーブル 1 a と超電導ケーブル 1 b という複数の超電導ケーブルを冷却できる点に特徴がある。超電導ケーブル 1 a と 1 b の各々には、それぞれ循環ポンプ 5 a と 5 b、熱交換部 17 a と 17 b、流量センサ 8 a と 8 b、リザーバタンク 2 a、2 b が具備され、独立した循環経路 9 a と 9 b が形成されている。循環経路 9 a 及び 9 b はそれぞれ独立しているので、圧力や流量などは個別に設定し独立した状態で制御可能に構成されている。

[0044] 熱交換部 17 a 及び 17 b は共に、熱交換ユニット 14 に設けられた共通の冷却空間 15 内に設置されている。この冷却空間 15 内には、上述したようにブレイトンサイクル熱交換部 13 も設置されており、液化ガスが充填されている。冷却空間 15 に充填された液化ガスは、制御部 50 によってブレイトンサイクル冷凍機 6 が制御されることにより、所定の温度に冷却されている。

[0045] 循環経路 9 a 及び 9 b を流れる冷媒は、それぞれ熱交換部 17 a 及び 17 b で冷却空間 15 に充填された液化ガスに蓄熱する形で冷却され、熱交換部 17 a 及び 17 b の出口温度は、冷却空間 15 に充填された液化ガスの温度によって決定される。従って、液化ガスの温度は、温度センサ 7 によって検出された温度に基づいてブレイトンサイクル冷凍機 6 が制御されて所定温度に制御されることで、超電導ケーブル 1 a と超電導ケーブル 1 b の入口での

冷媒温度は同一のものとなり、且つ、所定温度となる。

[0046] ここで、超電導ケーブル 1 a で発生する熱量を $P_{c,a}$ [W]、超電導ケーブル 1 b で発生する熱量を $P_{c,b}$ [W]、循環ポンプ 5 a で発生する熱量を $P_{p,a}$ [W]、循環ポンプ 5 b で発生する熱量を $P_{p,b}$ [W]、超電導ケーブル 1 a の発熱時間を $t_{1,a}$ [秒]、超電導ケーブル 1 b の発熱時間を $t_{1,b}$ [秒]、循環ポンプ 5 a 及び 5 b の運転時間を t_p [秒] とすると、超電導ケーブル 1 a 及び 1 b、循環ポンプ 5 a 及び 5 b における合計熱量 Q [J] は次式

$$Q = P_{c,a} \times t_{1,a} + P_{c,b} \times t_{1,b} + P_{p,a} \times t_p + P_{p,b} \times t_p \quad (10)$$

により算出される。この合計熱量を冷却空間 15 に充填された液化ガスに蓄熱し、ブレイトンサイクル冷凍機 6 で取り去ればよい。そのため、ブレイトンサイクル冷凍機 6 の冷却能力 P_b [W] は

$$P_b = Q / t_p \quad (11)$$

となるように制御されればよい。このように、ブレイトンサイクル冷凍機 6 の冷却能力 P_b は超電導ケーブル 1 a 及び 1 b、循環ポンプ 5 a 及び 5 b における合計熱量で算出されるので、超電導ケーブル 1 a 及び 1 b における発熱の時間的な変動の影響を受けることはない。

[0047] このように第 2 実施例に係る冷却システム 100 では、超電導ケーブル 1 a と超電導ケーブル 1 b の長さや、発生する熱量は異なっても影響はなく、それぞれの入口温度は冷却空間 15 に充填された液化ガスの温度で決定される。従って、制御部 50 は、温度センサ 7 によって検出した温度に基づいてブレイトンサイクル冷凍機 6 を動作させることにより、超電導ケーブル 1 a 及び 1 b における冷却温度を容易、且つ、安定的に制御することができる。

[0048] 尚、本願明細書では、超電導ケーブル 1 の数を 2 本とした場合について説明したが、超電導ケーブル 1 の数を 3 本或いは 4 本以上に増設した場合についても、同様の構成とすることで 1 台のブレイトンサイクルで冷却を行うことができる。

[0049] (第 3 実施例)

続いて図6を参照して、第3実施例に係る超電導ケーブル冷却システム100について説明する。図6は第3実施例に係る超電導ケーブル冷却システム100の全体構成を概略的に示す構成図である。尚、上記第1実施例と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は適宜省略することとする。

[0050] 超電導ケーブルを長距離送電用に使用する場合、図6に示すように、超電導ケーブル1a及び1bを互いに直列に接続して長距離化を図ることがある。このような場合、循環ポンプ5の加圧能力には限界があるため、各超電導ケーブルに対応するように独立した循環経路9a及び9bが設けられる。

[0051] 図6に示す例では、1台のブレイトンサイクル冷凍機6で隣接した超電導ケーブル1a及び1bを冷却可能に構成している。超電導ケーブル1a及び1bには独立して循環経路9a及び9bが形成されており、それぞれ循環ポンプ5aと5b、熱交換部17aと17b、流量センサ8aと8b、リザーバタンク2a、2bを具備している。ここで各循環経路9a及び9bは独立しているので、圧力や流量などは個別に設定し独立した状態での運転を行うことができる。

[0052] 熱交換部17aと17bは共に、同一の熱交換ユニット14の冷却空間15内に設置される。この熱交換ユニット14の冷却空間15内には、上述したようにブレイトンサイクル熱交換部13も設置されており、液化ガスが充填されている。この液化ガスは、制御部50によってブレイトンサイクル冷凍機6が制御されることにより、所定の温度に冷却されている。

[0053] 循環経路9a及び9bを流れる冷媒は、それぞれ冷媒熱交換4a及び4bで冷却空間15に充填された液化ガスに蓄熱する形で冷却され、熱交換部17a及び17bの出口温度は、熱交換ユニット14の冷却空間15内の液化ガスの温度によって決定される。従って、熱交換ユニット14の冷却空間15内の液化ガスの温度を、温度センサ7によって検出された温度に基づいてブレイトンサイクル冷凍機6を制御して所定温度に制御することで、超電導ケーブル1aと超電導ケーブル1bの入口での冷媒温度は同一のものとなり、且つ、所定温度となる。

[0054] ここで、超電導ケーブル 1 a で発生した熱量を $P_{c,a}$ [W]、超電導ケーブル 1 b で発生した熱量を $P_{c,b}$ [W]、循環ポンプ 5 a で発生した熱量を $P_{p,a}$ [W]、循環ポンプ 5 b で発生した熱量を $P_{p,b}$ [W]、超電導ケーブル 1 a の発熱時間を $t_{1,a}$ [秒]、超電導ケーブル 1 b の発熱時間を $t_{1,b}$ [秒]、循環ポンプ 5 a 及び 5 b の運転時間を t_p [秒] とする。すると、超電導ケーブル 1 a 及び 1 b と循環ポンプ 5 a 及び 5 b における合計熱量 Q [J] は次式

$$Q = P_{c,a} \times t_{1,a} + P_{c,b} \times t_{1,b} + P_{p,a} \times t_p + P_{p,b} \times t_p \quad (12)$$

により算出される。この合計熱量を冷却空間 15 に充填された液化ガスに蓄熱し、ブレイトンサイクル冷凍機 6 で取り去ればよい。そのため、ブレイトンサイクル冷凍機 6 の冷却能力 P_b [W] は

$$P_b = Q / t_p \quad (13)$$

となるように制御されればよい。このように、ブレイトンサイクル冷凍機 6 の冷却能力 P_b は超電導ケーブル 1 a 及び 1 b、循環ポンプ 5 a 及び 5 b における合計熱量で算出されるので、超電導ケーブル 1 a 及び 1 b における発熱の時間的な変動の影響を受けることはない。

[0055] 以上説明したように第 3 実施例によれば、このように直列に接続され、隣り合うように配置された超電導ケーブル 1 a 及び 1 b に独立した循環経路 9 a 及び 9 b を形成しておき、各循環経路 9 a 及び 9 b に設けられた熱交換部 17 a 及び 17 b を単一の冷却空間 15 内に配置することにより、各超電導ケーブル 1 a 及び 1 b に対して温度の安定した冷媒を供給することができる。

[0056] (実施例 4)

次に図 7 を参照して、第 4 実施例に係る超電導ケーブル冷却システム 100 について説明する。図 7 は第 4 実施例に係る超電導ケーブル冷却システム 100 の全体構成を概略的に示す構成図である。尚、上記第 1 実施例と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は適宜省略することとする。

[0057] 第 4 実施例では、熱交換ユニット 14 に排気装置 16 を取り付けることにより、冷却空間 15 内に充填された液化ガスを減圧して冷却できるように構

成されている。ここで、冷却空間 15 内に充填された液化ガスの体積を V [m^3]、圧力を p [Pa]、温度を T [K]、液化ガスの気体定数を R とすると、

$$p \times V = R \times T \quad (14)$$

の関係が成立する。ここで、体積 V を一定としつつ圧力 p を下げることで、温度 T を下げることができる。

[0058] 即ち、本実施例では、冷凍機 6 の定期点検や故障などの何らかの事情により冷凍機 6 が停止した場合であっても、排気装置 16 によって冷却空間 15 を減圧することによって、該冷却空間 15 に充填された液化ガスを冷却することができる。従って、より高い信頼性を有する超電導ケーブル冷却システム 100 を実現することができる。

[0059] 尚、排気装置 16 は上記各種実施例における熱交換ユニット 14 にも取り付け可能であり、同様の効果を得られることはいうまでも無い。

[0060] (実施例 5)

次に図 8 及び図 9 を参照して、第 5 実施例に係る超電導ケーブル冷却システム 100 について説明する。図 8 は第 5 実施例に係る超電導ケーブル冷却システム 100 の全体構成を概略的に示す構成図である。また図 9 は第 5 実施例に係る超電導ケーブル冷却システムの循環経路 9 の各所で冷媒が受け取る発熱、及び冷媒の温度分布を示すグラフ図である。尚、図 9 では、横軸は基準位置（超電導ケーブル 1 の冷媒出口）からの距離を示しており、図 9 (a) の縦軸は各地点における発熱、図 9 (b) の縦軸は各地点における温度を示している。尚、上記第 1 実施例と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は適宜省略することとする。

[0061] 図 8 に示すように、第 5 実施例では、循環経路 9 上に複数の熱交換部 17 a 及び 17 b が設けられている。特に、熱交換部 17 a 及び 17 b は、循環経路 9 上において循環ポンプ 5 が間に配置されるように設けられている。これにより、超電導ケーブル 1 を冷却した冷媒は熱交換部 17 a で一度冷却された後、循環ポンプ 5 によって加熱された後、再び熱交換部 17 b にて冷却

される。

[0062] また図9に示すように、循環経路9を流れる冷媒は、超電導ケーブル1内で熱量 P_c を受け取ることにより温度が ΔT_c 上昇する。そして冷媒は熱交換部17aにて冷却された後、循環ポンプ5で熱量 P_p を受け取ることによって温度が ΔT_p 上昇する。そして、循環ポンプ5によって熱交換部17bに圧送され再度冷却されて初期の入口温度に戻る。このように本実施例では、第1実施例（図4を参照）とは異なり、循環ポンプ5の前後に設けられた熱交換部17a及び17bにおいて二段階に渡って冷却される。そのため、循環ポンプ5に熱交換部17aにて予め冷却された冷媒を供給できるため、循環ポンプ5での発熱に対するマージンを大きく確保することができる。

[0063] ここで、循環経路9における冷媒の流量を m [kg/秒]、循環ポンプ5で加圧される圧力を p [Pa] とすると循環ポンプ5で発生する熱量 P_p [W] は

$$P_p = k \times m \times p \quad (15)$$

と求められる。ここで、 k は比例乗数である。そのため、流量が減少すると圧力損失も減少し、循環ポンプ5の加圧量も減少する。従って、循環ポンプ5の発熱 P_p は大幅に減少し、ブレイトンサイクル冷凍機6の能力を低減することができる。

[0064] このように第5実施例によれば、ブレイトンサイクル熱交換部13と冷媒冷却のための熱交換部17a及び17bを熱交換ユニット14の冷却空間15内に設置し、循環ポンプ5を熱交換部17aと17bとの間に設置することで、超電導ケーブル1での冷媒の出入口での温度差を大きくとることができる。これにより、循環経路9における冷媒の流量を少なくすることができる。循環ポンプ5やブレイトンサイクル冷凍機6を小型化することができる。尚、本実施例は実施例2および実施例3に適用しても、同様の効果を得られることはいうまでも無い。

産業上の利用可能性

[0065] 本発明は、電力の送配電に使用される超電導ケーブルを極低温に冷却する

ための超電導ケーブル冷却システムに利用可能である。

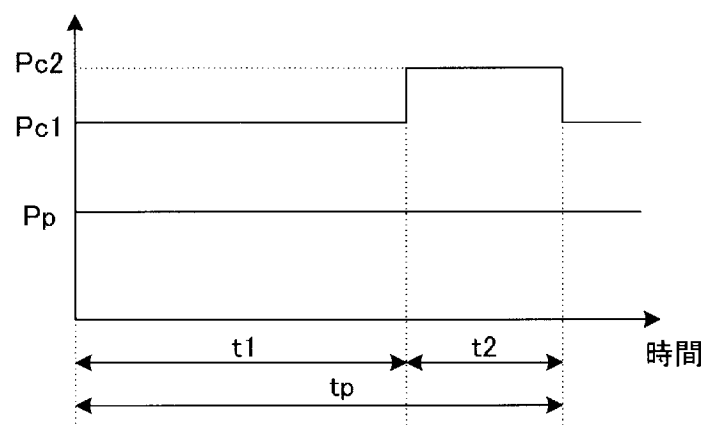
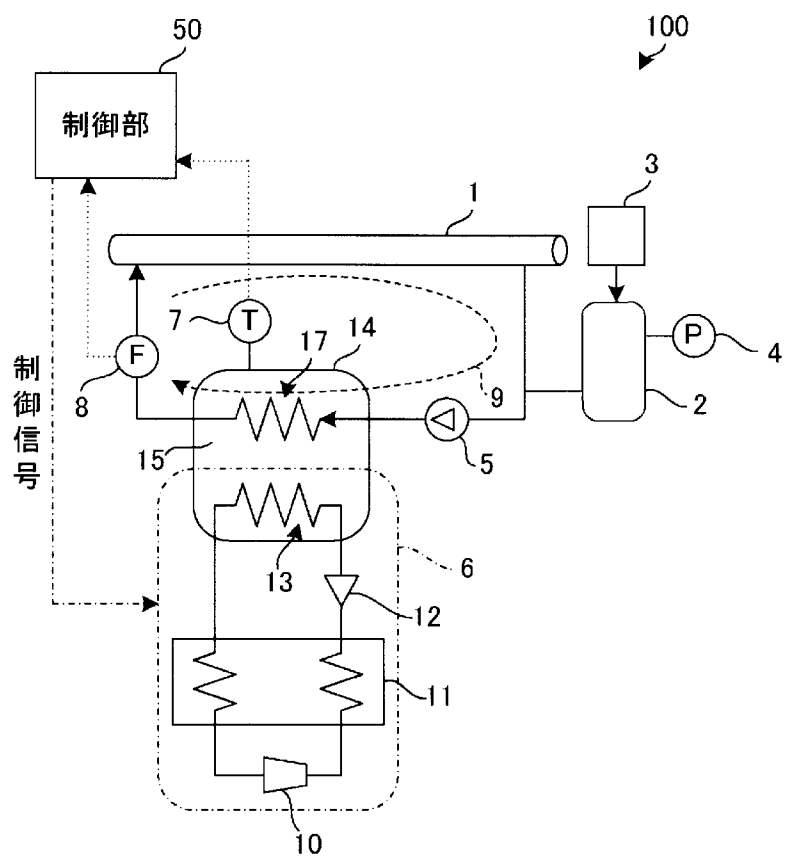
請求の範囲

- [請求項1] 超電導ケーブルの冷却用に使用された冷媒を、循環ポンプで熱交換部に圧送して冷凍機により冷却した後、前記超電導ケーブルに供給して循環経路を形成することにより、前記超電導ケーブルを冷却する超電導ケーブル冷却システムにおいて、
- 前記熱交換部と前記冷凍機とを熱交換させるための液化ガスが充填された冷却空間を有する熱交換ユニットと、
- 前記循環経路における冷媒の流量を検出するための流量検出手段と、
- 前記熱交換ユニットに充填された液化ガスの温度を検出するための温度検出手段と、
- 前記流量検出手段によって検出された流量、及び前記温度検出手段によって検出された温度に基づいて、前記熱交換ユニットに充填された液化ガスの温度が所定値になるように前記冷凍機を制御する制御部と
- を備えたことを特徴とする超電導ケーブル冷却システム。
- [請求項2] 前記冷凍機は、前記冷却空間内に配置されたブレイトンサイクル熱交換部を有するブレイトンサイクル冷凍機であることを特徴とする請求項1に記載の超電導ケーブル冷却システム。
- [請求項3] 前記循環経路には、該循環経路を流れる冷媒を所定圧力に加圧して貯留するリザーバタンクが接続されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の超電導ケーブル冷却システム。
- [請求項4] 前記超電導ケーブルを複数備える場合、前記循環経路は前記超電導ケーブルの各々に対応してそれぞれ形成されており、
- 前記循環経路の各々における前記熱交換部は、単一の前記冷却空間内に配置されていることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の超電導ケーブル冷却システム。
- [請求項5] 前記複数の超電導ケーブルが互いに直列に接続されている場合に、

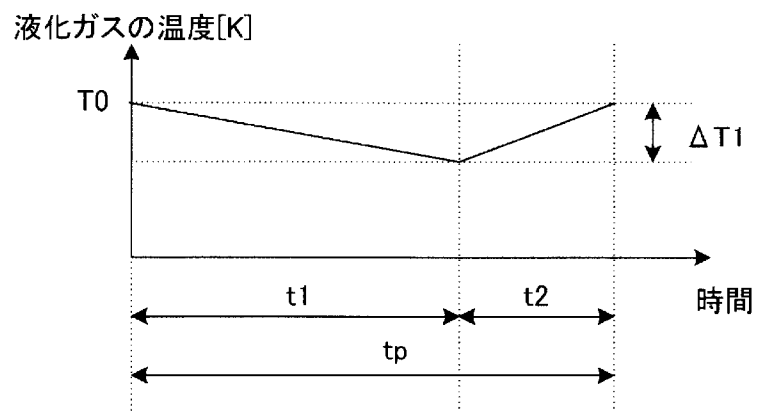
前記複数の超電導ケーブルのうち隣り合う超電導ケーブルに対応して形成された循環経路に含まれる熱交換部が、前記冷却空間内に配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の超電導ケーブル冷却システム。

[請求項6] 前記熱交換ユニットの冷却空間内に充填された液化ガスを減圧するための減圧手段を更に備えたことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の超電導ケーブル冷却システム。

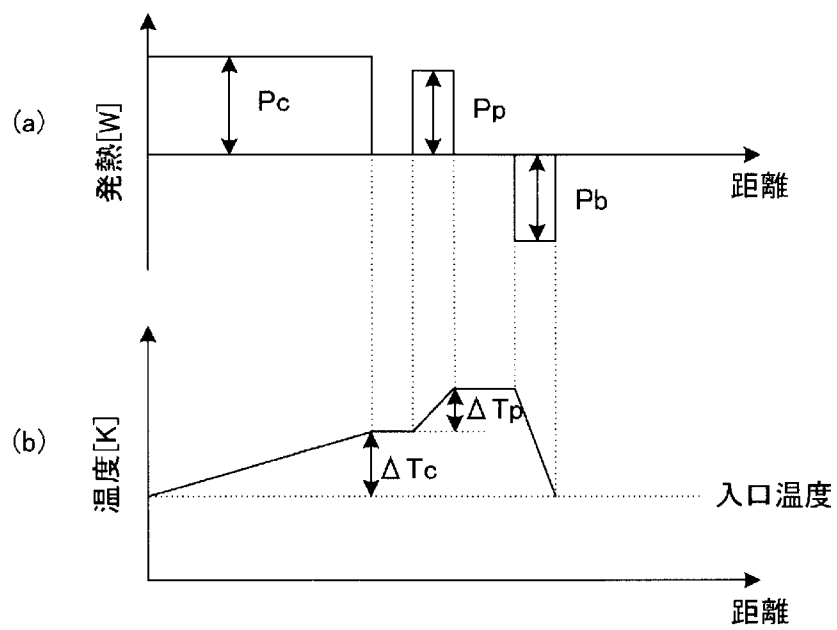
[請求項7] 前記熱交換部は前記循環経路に複数設けられており、前記循環ポンプは前記複数の熱交換部のいずれかの間に設けられていることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の超電導ケーブル冷却システム。

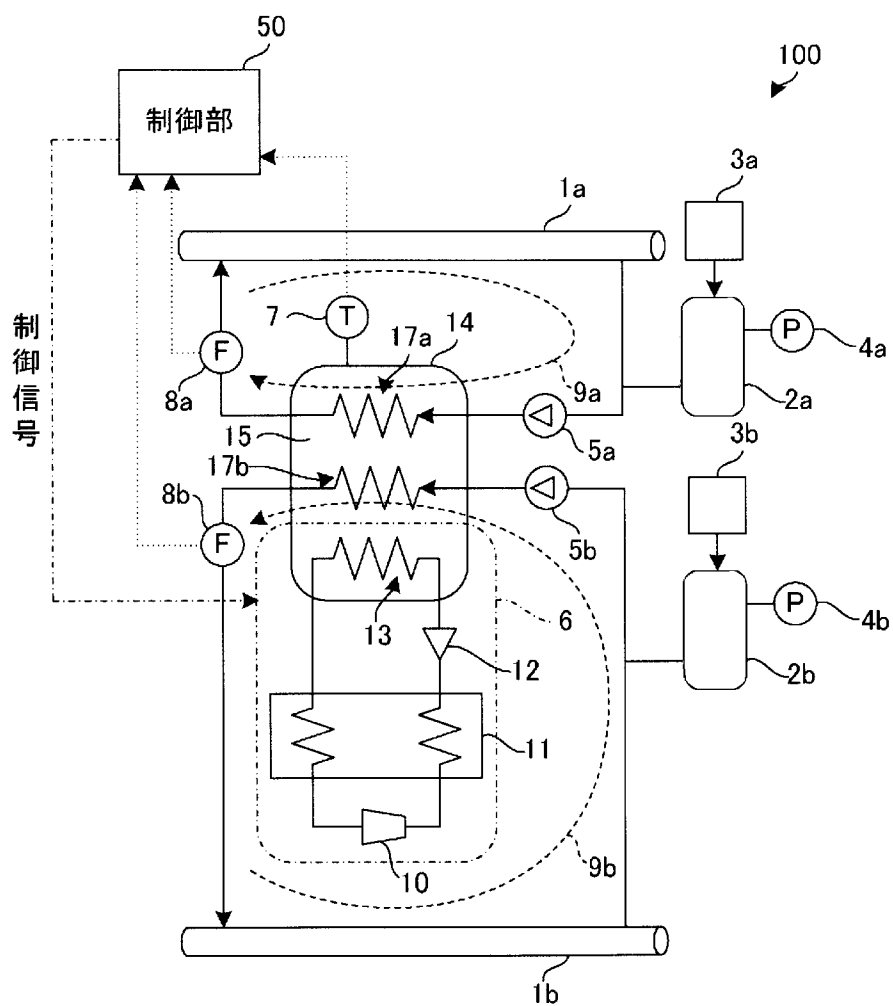


[図3]

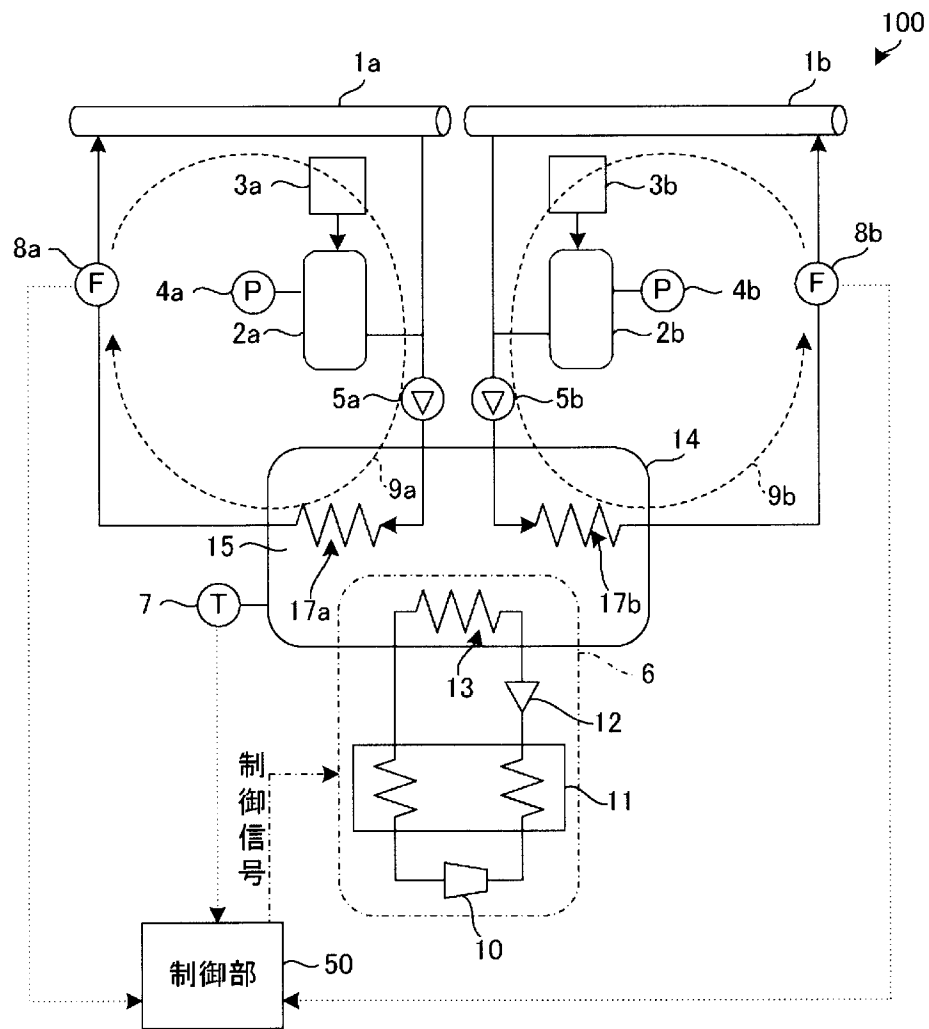


[図4]

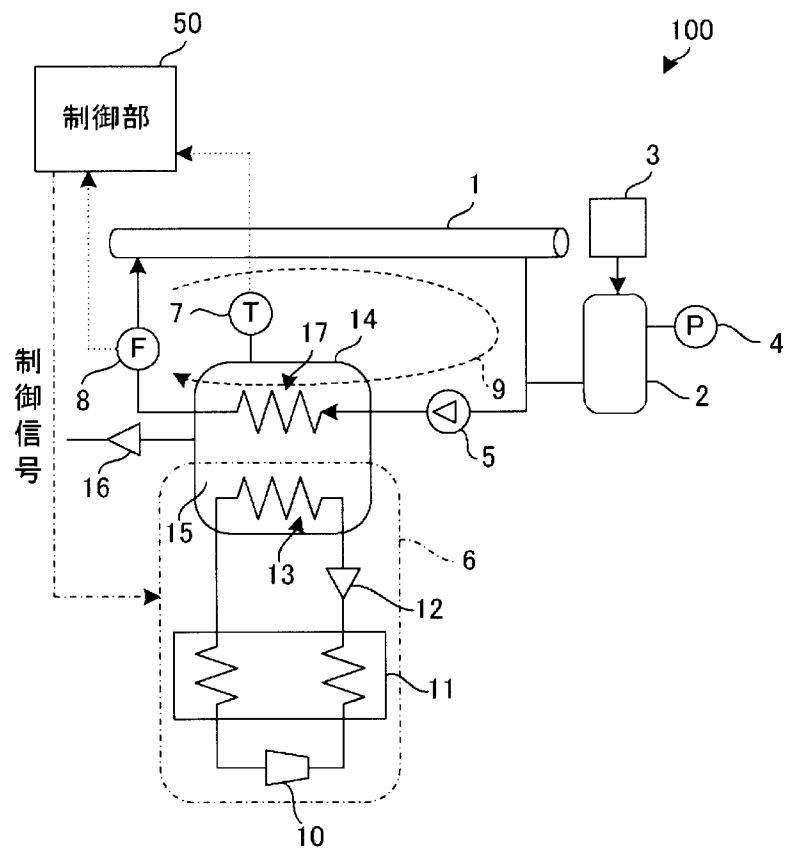




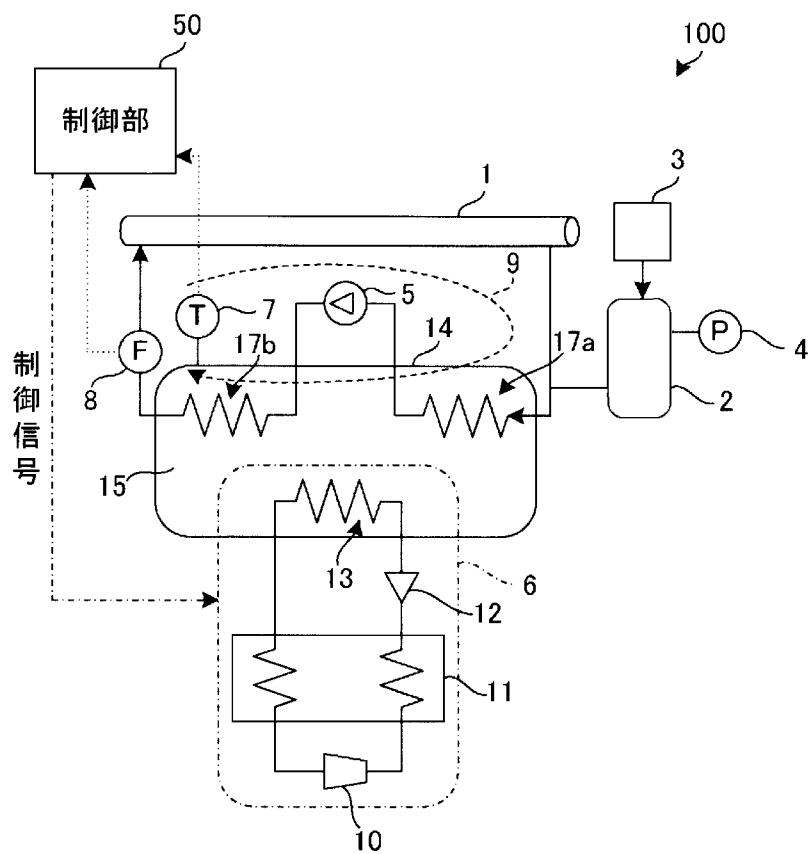
[図6]



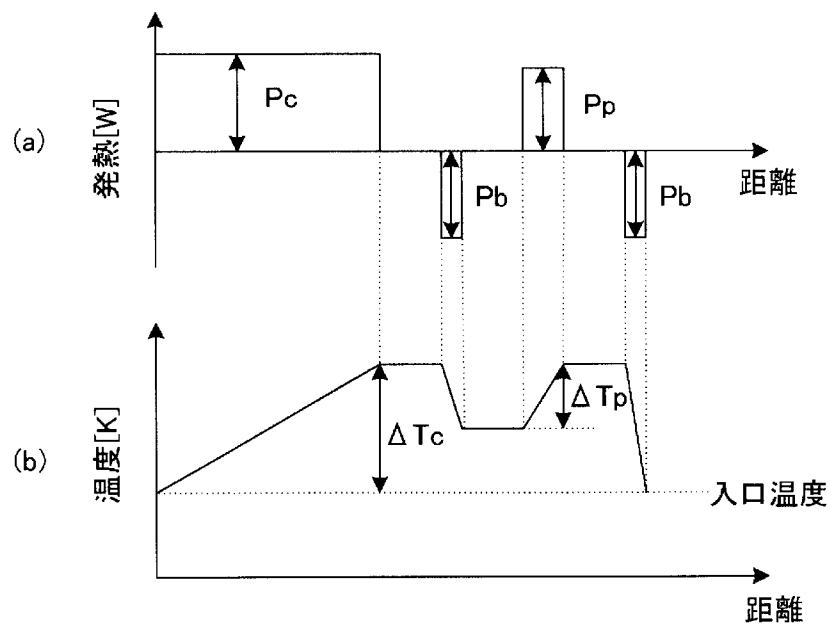
[図7]



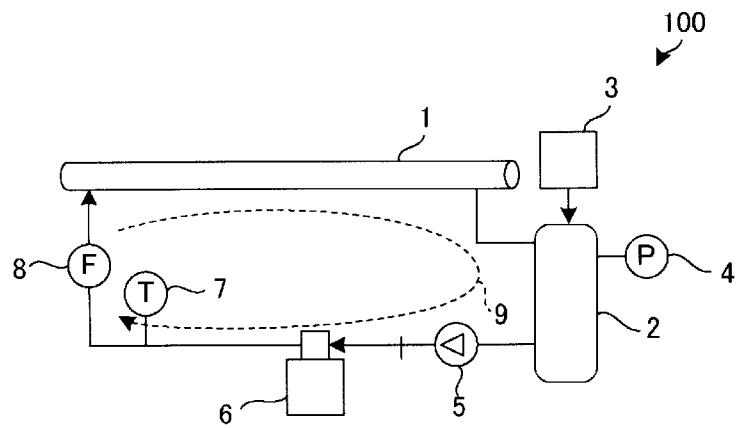
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054312

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01B12/16(2006.01) i, F25B9/00(2006.01) n, H02G9/00(2006.01) n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01B12/16, F25B9/00, H02G9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 99/62127 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 December 1999 (02.12.1999), claims; page 11, line 1 to page 48, line 10; fig. 1 to 36	1-7
Y	JP 8-152204 A (Hitachi, Ltd.), 11 June 1996 (11.06.1996), claims; paragraphs [0001] to [0029]; fig. 1 to 9	1-7
Y	JP 2006-52921 A (Mayekawa Mfg., Co., Ltd.), 23 February 2006 (23.02.2006), claims; paragraphs [0001] to [0027]; fig. 1 to 4	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 May, 2011 (23.05.11)

Date of mailing of the international search report
07 June, 2011 (07.06.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054312

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 44-29708 B1 (British Insulated Callender's Cables Ltd.), 02 December 1969 (02.12.1969), column 1, line 30; column 10, line 12; claims; fig. 1 to 9	4-7
Y	JP 2007-23966 A (Denso Corp.), 01 February 2007 (01.02.2007), paragraph [0023]	6-7
Y	JP 2004-233010 A (Daikin Industries, Ltd.), 19 August 2004 (19.08.2004), paragraphs [0021] to [0034]; fig. 6	7
A	JP 2006-12654 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 12 January 2006 (12.01.2006), entire text; all drawings	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2011/054312

WO 99/62127 A1	1999.12.02	US 6354087 B1	2002.03.12
		EP 1026755 A1	2000.08.09
		CA 2295565 A1	1999.12.02
		AU 746563 B2	2002.05.02
JP 8-152204 A	1996.06.11	(Family: none)	
JP 2006-52921 A	2006.02.23	(Family: none)	
JP 44-29708 B1	1969.12.02	GB 1109811 A	1968.04.18
		US 3406245 A	1968.10.15
		DE 1590143 A1	1972.02.17
JP 2007-23966 A	2007.02.01	US 2006/0266072 A1	2006.11.30
		DE 102006024211 A1	2007.01.25
		KR 10-2006-0121757 A	2006.11.29
		CN 1869551 A	2006.11.29
JP 2004-233010 A	2004.08.19	(Family: none)	
JP 2006-12654 A	2006.01.12	US 2008/0202127 A1	2008.08.28
		EP 1780482 A1	2007.05.02
		WO 2006/001203 A1	2006.01.05
		KR 10-2007-0036027 A	2007.04.02
		CN 1969158 A	2007.05.23

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01B12/16(2006.01)i, F25B9/00(2006.01)n, H02G9/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01B12/16, F25B9/00, H02G9/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 99/62127 A1（住友電気工業株式会社）1999.12.02, 特許請求の範囲, 第11頁第1行－第48頁第10行, 【図1】－【図36】	1-7
Y	JP 8-152204 A（株式会社日立製作所）1996.06.11, 【特許請求の範囲】, 【0001】－【0029】, 【図1】－【図9】	1-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 3 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 6 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田々井 正吾

電話番号 03-3581-1101 内線 3377

3M

9029

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-52921 A (株式会社前川製作所) 2006.02.23, 【特許請求の範囲】, 【0001】－【0027】, 【図1】－【図4】	1-7
Y	JP 44-29708 B1 (ブリテイツシユ・インシユレエテツド・カレンダ アス・ケーブルス・リミテツド) 1969.12.02, 第1欄第30行第1 0欄第12行, 特許請求の範囲, 第1図－第9図	4-7
Y	JP 2007-23966 A (株式会社デンソー) 2007.02.01, 【0023】	6-7
Y	JP 2004-233010 A (ダイキン工業株式会社) 2004.08.19, 【002 1】－【0034】, 【図6】	7
A	JP 2006-12654 A (古河電気工業株式会社) 2006.01.12, 全文, 全図	1-7

WO 99/62127 A1	1999. 12. 02	US 6354087 B1	2002. 03. 12
		EP 1026755 A1	2000. 08. 09
		CA 2295565 A1	1999. 12. 02
		AU 746563 B2	2002. 05. 02
JP 8-152204 A	1996. 06. 11	ファミリーなし	
JP 2006-52921 A	2006. 02. 23	ファミリーなし	
JP 44-29708 B1	1969. 12. 02	GB 1109811 A	1968. 04. 18
		US 3406245 A	1968. 10. 15
		DE 1590143 A1	1972. 02. 17
JP 2007-23966 A	2007. 02. 01	US 2006/0266072 A1	2006. 11. 30
		DE 102006024211 A1	2007. 01. 25
		KR 10-2006-0121757 A	2006. 11. 29
		CN 1869551 A	2006. 11. 29
JP 2004-233010 A	2004. 08. 19	ファミリーなし	
JP 2006-12654 A	2006. 01. 12	US 2008/0202127 A1	2008. 08. 28
		EP 1780482 A1	2007. 05. 02
		WO 2006/001203 A1	2006. 01. 05
		KR 10-2007-0036027 A	2007. 04. 02
		CN 1969158 A	2007. 05. 23