

技術紹介

石狩プロジェクト 高温超電導直流送電試験用冷却システム

The cooling system for Demonstration Studies of
High-temperature Superconducting DC Power Transmission System (Ishikari Project)

藤原伸弘*	巻野桃子*	中西努*
FUJIWARA Nobuhiro	MAKINO Momoko	NAKANISHI Tsutomu
松尾正宏*	金子充宏*	青木五男*
MATSUO Masahiro	KANEKO Mitsuhiko	AOKI Itsuo

1. はじめに

高温超電導 (HTS) ケーブルシステムには、送電方法の交流・直流を問わず、安全・高効率で動作可能な断熱配管と、液体窒素 (LN₂) 循環式冷却機構が必須である。

株式会社ジェック東理社は、同社コア技術の真空断熱技術をもとに、過冷却液体窒素循環システム、極低温用理化学機器を含めた低温断熱小型容器や、真空断熱二重配管等の設計・製作及び販売を行っている。

北海道石狩市で行われている高温超電導直流送電システムの実証研究 (以下石狩 PJ) においては、経済産業省委託事業コンソーシアム (千代田化工建設、住友電気工業、中部大学、さくらインターネット) である石狩超電導・直流送電システム技術研究組合 (以下技術組合) の指揮のもと、超電導ケーブル長 500 m の回線 1 及び、超電導ケーブル長 1000 m の回線 2 の冷却システムの設計製作に携わってきた。

本稿では、石狩 PJ にて設計製作を行った LN₂ 循環冷却システム中の技術の一部について紹介する。

2. 設計方針

本 LN₂ 循環冷却システムの設計に適用する法規には、従来、循環型冷却システム設置の際に適用される「高压ガス保安法」の「冷凍保安規則」規格に従う設計となるよう、技術組合より指針が出された。さらに、HTS ケーブルの地下埋設工事を行うことから、「電気事業法」の規格にも従う取り扱いで進める指針が出された¹⁾。

冷却効率の向上に関しては、①低熱侵入、かつ ②低圧力損失特性が期待される「直管タイプ断熱管の長尺特性を実証することの指針」が出された。

また、長尺ケーブル線路で必須となる「大容量冷凍機をケーブル冷却システムに使用し、長距離冷却が可能なことを実証することの指針」も出されたことから、各指針に従う方針で、設計製作を行った。

3. LN₂ 循環冷却システム全体仕様

本システムに用いている LN₂ 循環冷却システムは、冷凍機、循環ポンプ、流量計、リザーバー容器と、それらを断熱配管で接続した 1 つのユニットである。石狩 PJ における冷却システムの基本仕様とフロー図を図 1 に示す。

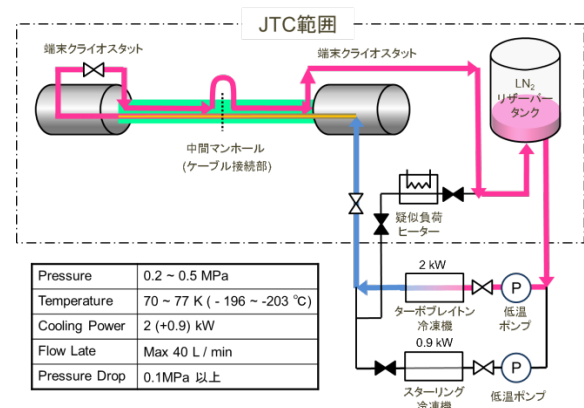


図 1 石狩回線の基本仕様とフロー図

ユニットは、冷却システム内部に含ませる熱負荷のボリュームを算出した上で、これに合わせた設計を行い、要求仕様に対応している。

例えば、77 K における液体窒素の密度は 808 kg / m³ であり、これを 77 K から 66 K の間で温度変化させると、体積は 7% 程度増減する。システム内における液体窒素の温度変動によるこの体積変化の影響をリザーバータンクにより吸収する仕組みとなっている。

冷却システム内を循環させている LN₂ は、加圧することで沸点を上げ、サブクール状態で使用している。このため、リザーバータンクには圧力制御機構を含めた設計となっ

* 株式会社ジェック東理社

いる。LN₂ 循環冷却システムの中枢部の実例として、回線 1 における端末部分の建屋 1 内に設けたリザーバータンクとその周囲を写真 1 に示す。



写真 1 回線 1 の LN₂ 循環冷却システム中枢部

4. 超電導ケーブル用断熱二重管

1000 m という長尺の HTS ケーブルを冷却する断熱管は、侵入熱、圧力損失ともに小さいことが期待される。ケーブル冷却用配管には、2009 年、中部大学超伝導・持続可能エネルギー研究センター殿に納入された 200 m 超電導ケーブル冷却システムの断熱二重配管の実績から、コスト評価、配管への熱侵入量バランス等が討議された。

これより、従来、低温配管断熱に用いられるコルゲート配管方式ではなく、屋外による錆び対策を含めた PLP ポリエチレン被覆鋼管を採用することで電氣的なインダクタンス等を大きくし、超電導ケーブルからの漏れ磁場の遮蔽効果を考慮の上、鋼管設計による断熱二重管方式を採用することが決定された。

また、技術組合より要求のあった仕様の設計概要は以下の 4 項である¹⁾。

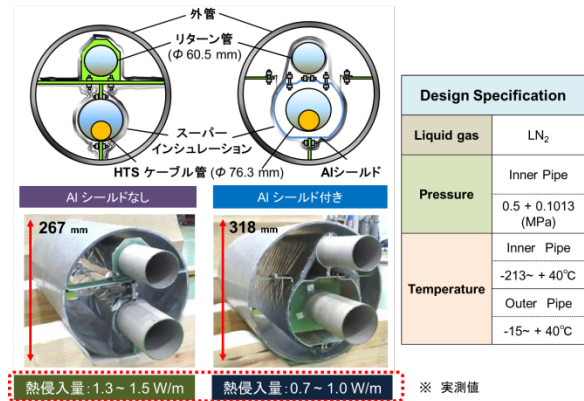
- (1) HTS ケーブルを LN₂ 浸漬状態で冷却する「ケーブル配管」、ケーブルを冷却した LN₂ をリザーバータンクへと送り返す「リターン管」の 2 本を内管として持つ構造の断熱二重管である事 (図 2 参照)。
- (2) 断熱二重管は、①アルミシールド無し (図 2 左側参照)、断熱効果を高めるための ②アルミシールドありの 2 種類を用意する事 (図 2 右側参照)。
- (3) 詳細構造および多層断熱材 (スーパーインシュレーション) の施工方法最適化のため、中部大学にて事前検証試験を実施する事。
- (4) リターン管は 50 A のステンレス管を用いる事。また、ケーブル配管は 65 A のステンレス管、2 本は FRP 材製のサポートで固定する事。外管 (鋼管) は 250A (アルミシールド付きは 300 A)。約 12 m を 1 ユニットとして工場にて製作し、

各ユニットを現地で溶接により連結・敷設を行う事。

さらに、直管内部配管、90° 曲げ配管の構造設計では、ケーブル張力、熱収縮応力に耐えられるサポート支持強度確認試験が要求された。このため、ダミー配管を製作の上、技術組合側での強度試験の応力解析の結果を反映した設計製作を行った。

この配管構造の採用により、送電路の熱損失を低減し、当初の目標であった 1.5 W/m 以下、従来の熱損失の約 1/2 を達成した。また、液体窒素循環の熱損失については、従来の 1/4 を達成した。

図 2 直管断熱二重管方式を採用した



敷設配管の構造と基本仕様

5. まとめ

2015 年 8 月 6 日、技術組合より超電導ケーブル 500m の直流超電導送電試験の世界最長規模の実証試験成功の発表がなされた。今後、500 m での成果を踏まえて、超電導ケーブル 1000 m での実証試験で長距離化に向けた検証冷却試験が 11 月から 3 月にかけて行われる予定である。

実証試験開始まで到達するに至り、これまでには、技術組合殿はじめ、関係の皆様方のご指導とご支援を戴きながら、この大型プロジェクトに参画させて頂けていることに、改めて、感謝の意を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 「低炭素化社会のための超電導直流送配電システムの研究開発」研究成果報告書、平成 26 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業、中部大学 山口 作太郎、平成 27 年 3 月。