

技術紹介

大気圧過冷却液体窒素を用いた冷却システム

1 atm Subcooled Liquid Nitrogen Cryogenic System

吉田 茂* 上森 賢悦**
 YOSHIDA Shigeru UWAMORI Ken-etsu

1. はじめに

超伝導体は液体ヘリウムによる冷却が不可欠であったが、1986年にIBMチューリッヒ研究所のペドノルツとミュラーにより高温超伝導体¹⁾が発見されると、77Kの液体窒素でも超伝導体の冷却が可能となった。これを受けて、超伝導体を電力機器に応用する研究開発は、高温超伝導体を主体とした電力機器の開発に移行してきた。高温超伝導電力機器の特長は小型・高効率であり、液体窒素で冷却する手間を考慮しても首都圏のような大都市への導入にはかなりメリットがある。

高温超伝導電力機器の冷却は、これまで飽和液体(大気圧下で77K)状態の液体窒素を用いてきたが、最近では77K以下に大気圧過冷却した液体窒素を利用することが盛んに考えられている。大気圧過冷却の液体窒素とは、大気圧下で温度を下げると沸騰が収まり、泡が雲散霧消する63Kから77Kまでの状態を言い、大気圧下で激しく沸騰している77Kの飽和液体窒素とは状態が異なる。

大気圧の過冷却液体窒素による冷却システムは、高温超伝導電力機器の冷却に対して次のような長所を有する。

- (1) 高温超伝導体は低温で冷却するほど、多くの電流が流れるため、超伝導体部品を含め電力機器を小型化することができる。
- (2) 大気圧による冷却方法を採用しているため、空気が混入せず、超伝導機器に悪影響を与えない。
- (3) 冷却システムの設計圧力が大気圧なので、冷却システムが軽量となる。
- (4) 電力機器の耐電圧特性を大きく劣化させ、スパークの原因となる気泡が液体窒素中で発生せず、また、電力機器から奪った熱を自身の温度上昇で賄うため、ガスの発生が少ない。もし、気泡が発生

* 開発・エンジニアリング本部超低温プロジェクト技術部
 ** 開発・エンジニアリング本部ガスエンジニアリング統括部ガス利用技術部

しても過冷却液体窒素中では、直ちに気泡が消滅する。したがって、高電圧で使用する大規模な電力機器に対して、過冷却液体窒素は優れた冷媒である。

2. 大気圧過冷却液体窒素冷却システム

大気圧過冷却液体窒素を生成するためには、液体窒素の温度を77Kより下げる必要がある。その冷熱源として、減圧された飽和液体窒素を用いる方法と機械式冷凍機を用いる方法がある。

減圧飽和液体窒素を用いた冷却システム²⁾を図1

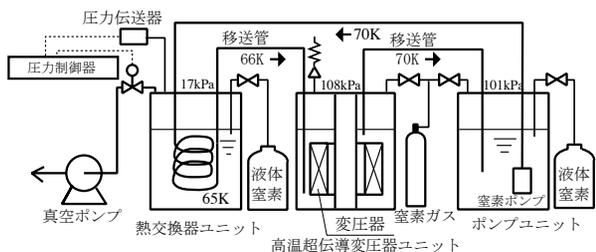


図1 バッチ式過冷却液体窒素冷却システムフロー図



図2 バッチ式過冷却液体窒素冷却システム

に、装置の外観を図2に示す。このシステムは、熱交換器ユニット、高温超伝導変圧器ユニット、ポンプユニットから構成されている。過冷却の冷熱源として使用する熱交換器ユニット内の液体窒素は、真空ポンプにより17kPaまで減圧し、63Kに冷却される。この冷熱源によりポンプユニットから送り出された大気圧液体窒素は66Kまで冷却される。生成した大気圧過冷却液体窒素は高温超伝導変圧器を冷却し、昇温した液体窒素はポンプユニットに返送される。

このシステムは液体窒素と真空ポンプで冷熱を発生するため、装置が比較的安価になる特長を持つが、熱交換器ユニット内の減圧液体窒素が排気・消費され、液体窒素液面がある高さには達した時点で運転終了となり、長期にわたる連続運転が困難である。

一方、機械式冷凍機を用いた冷却システム³⁾を図3に、装置の外観を図4に示す。このシステムは、高温超伝導変圧器ユニットと冷凍機ユニットから構成されており、大気圧液体窒素は直接冷凍機により冷却され、65Kの大気圧過冷却液体窒素を生成する。得られた大気圧過冷却液体窒素はポンプによりシステム内を循環し、高温超伝導変圧器を冷却する。このように過冷却液体窒素は、常に冷凍機により連続冷却されるので、システムの長期連続運転を可能にする。

両システムは、システム内を大気圧の窒素ガスで加圧しているため、大気圧の窒素ガスと65Kの液体窒素の境界面で“ガスの凝縮”が危惧される。しかし、低温液化ガスは、“成層”と呼ばれる独特な現象により、液相とガス相の界面での凝縮を抑制している。すなわち、窒素ガスと液体窒素との間に急峻な温度勾



図4 連続式過冷却液体窒素冷却システム

配を持った成層と呼ばれる液体窒素の薄い層が形成され、成層上部(窒素ガスとの境界面)は飽和液体温度(77K)、成層下部は65Kの過冷却液体窒素とする。この層の存在により、大気圧の窒素ガスと65Kの液体窒素が分けられ、システム内に安定した大気圧過冷却液体窒素を循環させることができる。

3. まとめ

大気圧過冷却液体窒素の利用技術は、高温超伝導体の発見により、今後も活発な研究活動が期待される。さらに、冷却の能力向上の面から、液体窒素中にザラメ状の固体窒素を分散したスラッシュ液体窒素の熱伝達特性の研究も開始されている。

参考文献

- 1) Bednorz, J. G.; Muller, K. A. *Z. Phys. B. Condens. Matter.* 64 (2), 189-193 (1986).
- 2) Yoshida, S.; Ohashi, K.; Umeno, T.; Suzuki, Y.; Kamioka, Y.; Kimura, H.; Tsutsumi, K.; Iwakuma, M.; Funaki, K.; Bhono, T.; Yagi, Y. *Adv. Cryog. Eng.* 43, 1191-1198 (1998).
- 3) Yoshida, S.; Yagi, Y.; Umeno, T.; Ishida, T.; Kamioka, Y.; Ogino, H.; Iwakuma, M.; Funaki, K.; Yasukawa, Y.; Konno, M. *Adv. Cryog. Eng.* 47, 473-480 (2002).

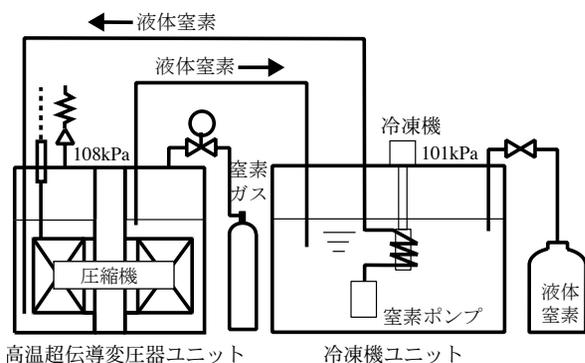


図3 連続式過冷却液体窒素冷却システムフロー図