

技 術 資 料

技 資 第 1 5 2 号

超電導ケーブルシステムの概要及び安全上の取扱い

2018 年（平成 30 年）5 月

一般社団法人 日本電線工業会
技術審議会

目 次

ページ

はじめに

1 総論	1
1.1 調査範囲	1
1.2 関連法規（高圧ガス保安法，電気事業法）	1
1.2.1 高圧ガス保安法	1
1.2.2 電気事業法	2
1.2.3 電気事業法関連規制を超電導ケーブルに適用した場合の不具合の例	2
2 超電導ケーブルシステム概要と法令との関係	3
2.1 システム構成	3
2.2 過去の事例	4
2.3 常電導ケーブルシステムとの設備構成の違い	7
2.4 法的取り扱い	8
2.5 一般的な地中送電ケーブルにおける電技確認項目	9
2.6 課題	13
2.6.1 法令上の課題	13
2.6.2 その他の課題	13
3 超電導ケーブルシステム一般	14
3.1 材料	14
3.2 構造及び設計	17
3.2.1 ケーブル	17
3.2.2 ケーブル接続部の構造及び設計	20
3.2.3 ケーブル終端部の構造及び設計	20
3.3 超電導ケーブルの運用	20
3.3.1 超電導ケーブルの冷却と昇温	20
3.3.2 超電導ケーブルシステムの運転	20
3.3.3 異常時対応	20
3.4 試験及び検査	20
3.4.1 型式試験の内容（Type test）	21
3.4.2 出荷試験（Routine test, Factory test）	21
3.4.3 竣工試験（After laying test）	22
3.4.4 検査	22
4 超電導ケーブルの冷却に用いるガス類	24
4.1 超電導ケーブルを冷却する液体窒素	24
4.1.1 性状	24
4.1.2 取扱い	30
4.2 冷凍機に用いる冷媒ガス	30
4.2.1 ヘリウム	31
4.2.2 ネオン	31
4.2.3 水素	32
5 超電導ケーブルの冷却技術	33
5.1 基礎	33
5.1.1 冷却	33
5.1.2 流れ	34
5.2 超電導ケーブル冷却システム実施例	35
5.3 超電導ケーブルシステムの主要構成機器	36
5.3.1 冷凍機	36
5.3.2 液体窒素配管	37
5.3.3 液体窒素循環ポンプ	38

5.3.4	リザーバータンク	39
5.3.5	熱交換器	40
5.3.6	低温バルブ	41
5.3.7	安全弁	41
5.4	試験	41
5.4.1	高圧ガス保安上の完成検査	42
5.4.2	高圧ガス保安上の日常点検	42
5.4.3	高圧ガス保安上の定期点検	42
5.4.4	高圧ガス保安上の定期自主検査例	42
5.4.5	高圧ガス保安上の選任・資格	42
5.4.6	メンテナンス	42
6	計測・監視システムと想定されるトラブルと対応例	43
6.1	計測システム	43
6.1.1	温度測定装置	43
6.1.2	圧力測定装置	44
6.1.3	液面測定装置	45
6.1.4	真空度測定装置	45
6.1.5	流量計	46
6.1.6	監視カメラ	46
6.1.7	酸素濃度計	47
6.2	監視システム	47
6.3	系統保護システム	48
7	提言	49
7.1	提言の経緯（参考）	49
7.2	提言の根拠（参考）	49
7.3	具体的な提言	50
索引		51

はじめに（技術資料策定の経緯）

液体窒素を冷媒とする超電導ケーブルでは、長距離冷却と低温での臨界電流特性及び低温絶縁特性等を考慮し、液体窒素を加圧し、かつ、過冷却状態で使用するケースがほとんどである。その際、液化ガスの圧力が2気圧を超える場合や、冷凍機の動作ガスを10気圧以上に圧縮する場合は、高圧ガス保安法では高圧ガスの製造にあたり、高圧ガス保安法に準拠して安全面に配慮した取り扱いが必要になる。特に研究室、工場の実験設備に関しては、従来から高圧ガス保安法に則り、都道府県への届出、許認可手続きがとられてきている。

ただし、具体的な対応に関して統一的な扱いとはなっておらず、実験設備の規模等によっても対応はまちまちであった。また、実際の電力系統で超電導ケーブルが使用されるケースで、特に地中ケーブルとして使用される場合には、冷凍機の動作ガス（He, Ne）や日常の点検・監視等に関して、高圧ガス保安法の規定では対応困難なケースがあり、運用に関して規制の見直しが求められる状況である。一方、海外においては、例えば米国では、使用機器がASMEに準拠する必要があるものの、基本的には事業者責任での運用であり、圧力容器の技術的要件も日本ほど厳しくはない。

日本の高圧ガス保安法では、幾つかのケースで適用除外規定があり、その中に電気工作物が適用除外されることになっている。具体例としては火力発電用LNG設備が挙げられ、高圧ガス保安法ではなく電気事業法の範ちゅうで安全面での取り扱い等が規制されている。超電導ケーブルにおいても今後の地中ケーブルとして電力系統の中での使用を考えると、電気事業法の範ちゅうで具体的な扱いを決めるのが妥当と考えられるが、現行の電気設備としての取扱い（電気事業法、電気設備技術基準、JIS, JESC, JEC等）では具体的なルールがない状態である。世界的にも実系統での実証試験が数多く行われつつある状況であり、実線路適用に向けて、ルールを整備するタイミングにきている。

本技術資料は、超電導ケーブルにおける液化ガスの取り扱いを中心として、事故時対応等を含めた安全上の取り扱いに関して、必要な技術的要件、関連データの整理等を行い、今後の公的な安全規制ルール（例えば電気設備技術基準が引用するJESC規格等）作りに資することを目的に、（一社）日本電線工業会に設置された、超電導規格化部会 安全規制作業会での議論を取りまとめたものである。

なお、超電導ケーブルと言っても電力ケーブルの一種であり、電力ケーブルとして備えるべき要件についてもあわせてとりまとめを行い、超電導ケーブル技術の全貌が把握できるように配慮した。

超電導ケーブルの電気試験法については、現在、IEC（International Electrotechnical Commission, 国際電気標準会議）内のTC20（Electric cables, 電力ケーブル）とTC90（Superconductivity, 超電導）が、共同で超電導ケーブルの試験法に関する国際規格策定作業を進めており、本資料でも要点を記載した。

今後、液化ガスの扱い、電気試験方法を含めて、超電導ケーブル全体での安全規制ルールに関して過不足がないか、技術の進歩に合わせた内容の改訂など継続して議論が必要であることを付記しておく。

なお本資料で引用している関連法規の条文は、本資料を取りまとめた2017年12月11日時点で施行されているものである。