

## 極低温空間における可視化技術の開発

極限計測ユニット 強磁場NMRグループ 端 健二郎

### 1. 背景・目的

NIMS の 930MHz (21.8T) 高分解能 NMR 超電導マグネットは加圧超流動状態を 7 年間連続して維持し、強磁場固体 NMR 測定に用いられてきた。しかし東日本大震災で被災したため、その状況診断のために、我々は日常的技術の延長で考えられる手法で、外形目視観察、機械的構造観察、電氣的機能観察を行った。観察の結果、クライオ外筒に“打痕”が確認され、常設配管類の立ち位置の不自然さも確認された。また通常外せるものが外れないこと、さらには余震発生によって被災が拡大する危険性を予知させるベローズの挙動を、映像によって確認した。確認された個々の事例から、超電導マグネット装置全体の不健全性が構造自体に発生していることが推察され、クエンチすることなく永久電流モードを保持していたマグネットを消磁し、分解調査の後、不具合箇所を修復し再立ち上げすることとした。

消磁のためには、マグネット内部に設置されている永久電流スイッチ用のソケットに外部からプラグを挿入および接続し通電することで、永久電流スイッチを動作させることが必須となる。まず、外部からプラグを接続するために永久電流スイッチ用のソケットの状況把握が前提となった。その過程で極低温空間での目視・画像化技術を開発した。

### 2. 研究成果

低温空間にある物体の観測手段は、真空断熱された容器に観測用の窓を設け、その中に撮影装置を入れる方法と、観察したい対象の近傍に内視鏡を設置する方法に大別される。前者は、十分な断熱を保つために容器が大きくなる。しかし、超電導磁石内部では観測対象物までの経路は狭いため、今回の目的には適合しないと考えた。後者の内視鏡にも①光ファイバースコープ、②ビデオスコープ、③リジッドスコープなどがある。光ファイバースコープは比較的細径化が容易であるが、長さや曲率に制限があるため、観測対象物までの距離や経路を任意に選べないという短所がある。加えて、極低温では可撓性がなくなり、動かすとファイバーが折れてしまうという欠点もある。またリジッドボアスコープは対物レンズで結像された像を複数のリレーレンズでリレーしながら伝送する方式である。目的物に直線的に到達したい場合には、操作性に優れているが、逆に曲げて到達することが困難であるという欠点を有している。これらのことからビデオスコープ方式を採用することとなった。ビデオスコープ方式は撮像素子で画像を電気信号に変換し伝送する方式であり、長尺化が容易であり、伝送部の通常の電線も可撓性に優れ、曲率の制限を受けない。一方、一般的なビデオスコープの撮像素子の動作温度は $-20\sim 60^{\circ}\text{C}$ であり、液体 He 温度( $-269^{\circ}\text{C}$ )には適さない。適用に当たっては、極低温に対応できるように改造/開発が必要となった。

極低温空間においても撮像素子が動作するように撮像素子の温度を常温近傍に保つことを試みた。Fig. 1 に開発したビデオスコープの概略を示す。(A)はビデオスコープの構成要素の外観写真で、(B)は組み立て概略図である。写真は下から、それぞれ、ボアスコープ (1) とケーブル(6)、Cernox 温度計(2)、銅薄板(3)、ヒーター用コンスタンタン線(4)、および断熱用 PTFE シート(5)である。

撮像素子の温度をモニタするための温度計として、Cernox 温度計を用いた。ヒーターによる加熱が撮像素子に均一に伝わるように厚さ 0.1mm の Cu 薄板を撮像素子とヒーターの間に設置した。ヒーター線として、極低温でも電気抵抗の変化が少ない外径 0.1 mm のホルマール絶縁被覆コンスタンタン線を用い、Cu 薄板の外側に抵抗が 20 オームとなるように巻いた。ヒーターの外周には断熱材として、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) シートを被覆した。ボアスコープの基本仕様は、外径 5 mm、長さ 3m、30 万画素、動作温度 0~40°C である。以上のような極低温下でも使用可能なように改造した後の外径は 9 mm である。

ボアスコープの映像用ケーブルに並行して温度調整用ケーブルを付与し、温度制御機器によりボアスコープの温度を周囲の温度に関係なく 0°C になるように PID 制御できるように設定した。制御されたヒーターの最大出力は約 30W であった。

このようにして開発したビデオボアスコープを用いて極低温 (約 5 K) において形成した固体空気の画像を Fig. 2 に示す。白い固体がはっきりと観察され、極低温下でもうまく動作していることが分かる。この機器を用いて、永久電流用スイッチの状況把握を行い、磁石の安全な消磁を行うことができた。

### 3. 展望

極低温を利用している機器は NMR 磁石に限らず、液化天然ガス関連設備やリニアモーターカー、MRI など多くある。この温度調整機能を有するビデオスコープは極低温の液体の日常メンテナンスまたは非常時の観測点検作業にも非常に有用であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 端健二郎, 清水禎, 大木忍, 品川秀行, 酒井修二、極低温用ビデオスコープの開発、低温工学 48 (2013) 607.
- 2) 端健二郎, 清水禎, 野口隆志, 大木忍 極低温環境で動作する CCD カメラ、2011/11/14 特許願 2011-248829

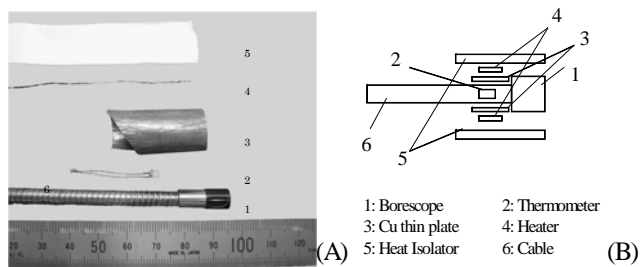


Fig.1 (A) Photo and (B) schematic view of a temperature controlled video bore scope.



Fig.2. Picture of a solid air around 5 K.