

大型ヘリカル装置用漏水検知システムの運用

○河合 将照、 村瀬 尊則、長原 一樹、林 浩己、伊藤 康彦、田窪 英法
佐藤 守、水野 嘉識、野村 吾郎
核融合科学研究所 技術部

1. はじめに

漏水検知システムは実験装置等の冷却水の漏洩を早期に検知し、実験装置等の安全な運用保全を支える重要な設備である。核融合科学研究所では、実験中に立ち入りが制限されるエリアがあるため遠隔監視による迅速・確実な漏水検知が必要とされている。技術部で構築したシステムを約 20 年運用してきたが、数年前に誤作動や故障が多発した。本発表では誤作動や故障に対して実施した対策について報告する。

2. 漏水検知システムの構成

本システムは大型ヘリカル実験棟の本体室及び本体室地下における漏水を検知し発報するシステムである。本体室には大型ヘリカル実験装置（以下 LHD）

と計測・加熱に必要な周辺装置が数多く設置されており、冷却水を使用する機器も多数存在する。一方、本体室地下においても、真空ポンプなど冷却水を使用する機器が多数存在するとともに、LHD 全体に冷却水を供給する設備も備わっている。万が一、本体室および本体室地下で漏水が発生すると、機器の故障や漏電による火災など、様々なトラブルの恐れがあるため、漏水の発生を速やかに把握する必要がある。しかしながら、本体室及び本体室地下は管理区域に設定されており、実験中は入室禁止となる。そのため大型ヘリカル実験棟における漏水を 300 m ほど離れた制御棟の制御室において常時監視するシステムを構築した。

本漏水検知システムの概要図を図 1 に示す。本体室及び本体室地下の冷却水使用箇所（全 142 箇所）

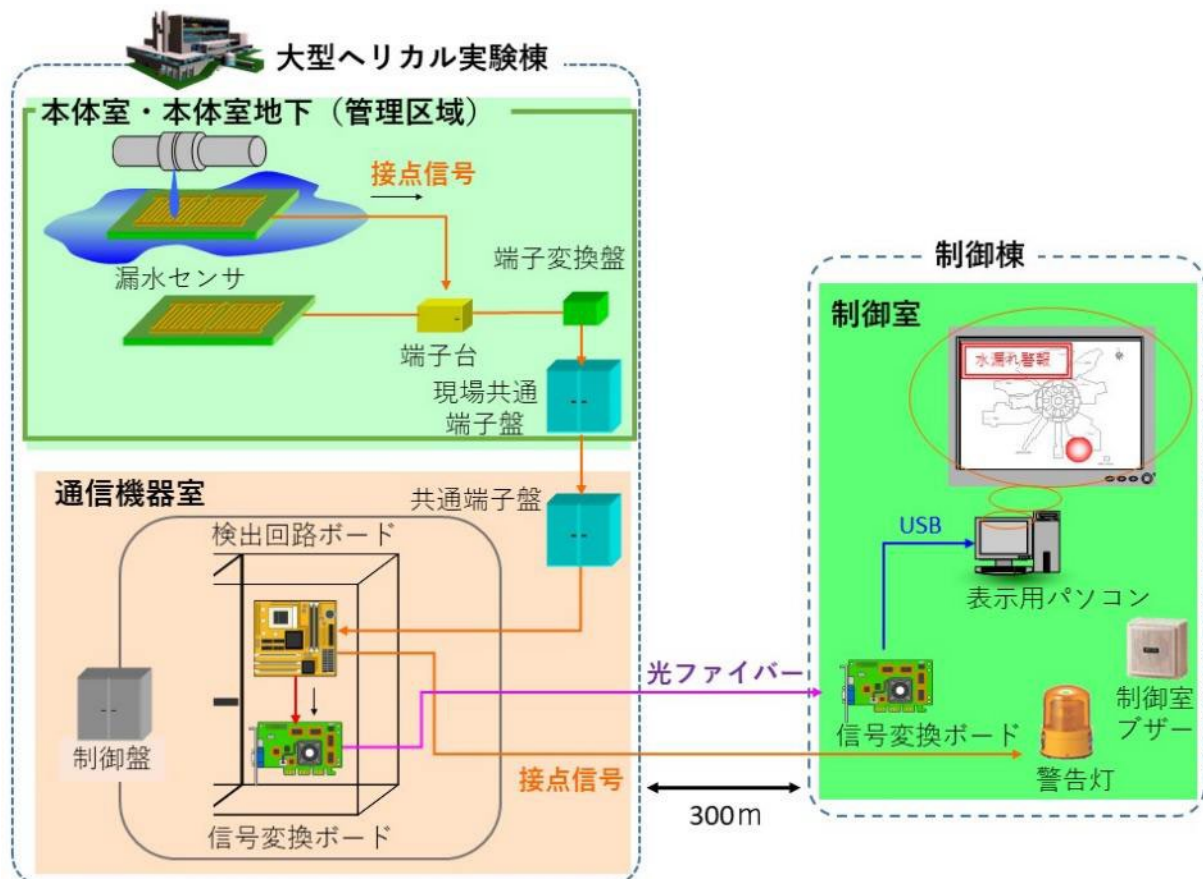


図 1 漏水検知システム概要図

に漏水センサを設置した。センサは櫛（くし）型電極構造を採用しており、櫛の間に水分が入ることで、水を介して通電する「接点」の役割を果たす。各センサからの接点信号は設置エリア（全 37 エリア）ごとに端子台でまとめ、端子台単位で漏水エリアを区分することとした。端子台でまとめられた接点信号は端子変換器を経由し、共通端子盤を経由して管理区域外の通信機器室にある制御盤に送られる。さらに、検出回路ボードで各センサの接点信号を統括し正常・異常（漏水）の状態データを生成、光ファイバーを介して制御室に伝送する。この状態データを表示用 PC で処理し監視画面に反映している。監視画面では漏水情報（漏水発生日時、場所、現場写真）が一画面で確認できる。

本漏水検知システムは、多数の検知点を効率的に監視することを目的として設計されている。特に、検知点数を多く確保するため、センサ構造や信号処理は極力単純化し、信頼性と保守性を重視した構成とした。このような設計により、142 箇所という多数の冷却水使用箇所に漏水センサを設置することが可能となり、本体室および本体室地下全域を網羅的に監視できるシステムを実現した。

また従来は、機器ごとに独立した漏水検知システムが構築されており、加熱装置である中性粒子入射加熱装置、電子サイクロトロン加熱装置、イオンサイクロトロン共鳴加熱装置についても、それぞれ専用の漏水検知システムを有していた。

これらのシステムは個別に維持したまま、発報信号を大型ヘリカル装置用漏水検知システムへ入力する構成とした。これにより、加熱装置で漏水を検知した場合でも、制御室において警報が発生するようになり、本体室、本体室地下における全ての漏水事象に対して 24 時間対応が可能となった。

また、これらの機器は LHD 本体グループの管轄外の機器であったため、特に夜間や休日に漏水が発生した場合の対応マニュアルを用意し、連絡不能時に備えて、複数名による連絡体制を構築した。漏水発生時には監視画面上に対応手順や連絡先がポップアップ表示されるよう表示用 PC アプリケーションの改修を行った。これにより、発報から初動対応までの判断時間を短縮することができた。

3. 不具合事例

長期運用に伴い、様々な誤検知、経年劣化、および予期せぬ外部要因による故障が発生した。

3. 1. 発報事例

これまで実際に発生した漏水事象について未検知例はない。主な検知事例としては、冷却水配管フランジからの漏水、流量計などの機器破損による漏水、冷却水配管、液体窒素配管や液体 He 配管からの結露水、現場作業時の誤散水、さらには現場作業中の漏水センサへの接触による検知などが挙げられる。

一方で、現場確認で漏水痕跡が確認できない発報事例が複数回発生している。過検知の可能性も考えられるが、漏水の見逃しリスクを考慮し、感度設定は変更していない。これらの事例については、検知信号が発生したセンサ周辺に水分で変色するテープを貼付し、実際に水分が存在したかを事後確認する対応としている。

また、本システムは放射線管理区域内を対象としているため、発報後であっても直ちに現場へ立ち入ることはできない。特に実験中は入室が禁止されており、現場確認のため実験中止になる可能性がある。このため、発報が漏水か否かを慎重に判断する運用が求められる。

実際の運用では、発報時に監視カメラ映像による現場状況の確認や、冷却水タンク水位の変化の有無など、複数の間接情報を組み合わせて漏水の可能性を判断している。（図 2）

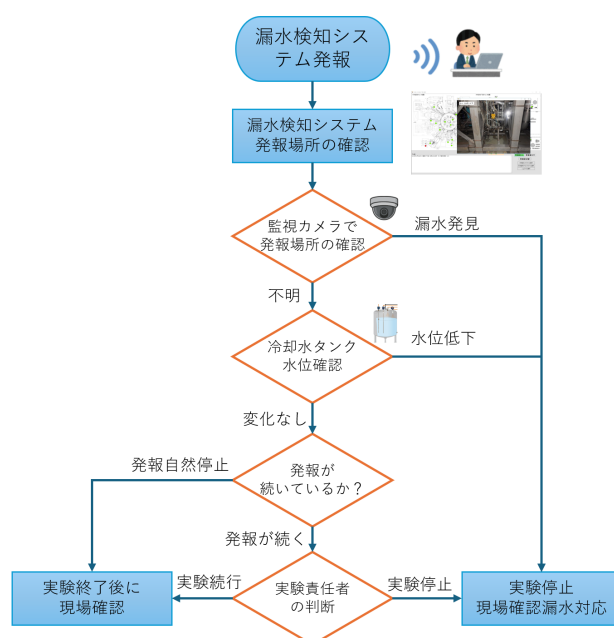


図 2 発報時の対応フロー

3.2. 経年劣化による故障事例

本漏水検知システムは約 20 年運用しており、経年劣化による故障も発生していた。近年の主な故障箇所は、PC のデータ取り込み装置、電源アダプタ、信号変換ボード（O/E 変換機）などである。

表示用 PC も 10 年以上使用していたため更新を行ったが、従来の信号変換用アプリケーションは新しい PC 環境では動作しなかった。データ取り込み機器が NI（National Instruments）社製であったことから、開発環境に LabVIEW を採用し、データ取り込みおよび信号出力用アプリケーションを新たに作成した。（図 3）

なお、故障が発生したのは既製品であり内製化した基板などは故障していない。

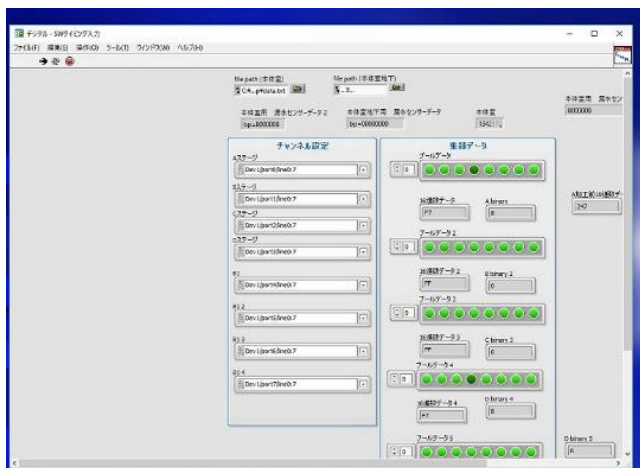


図 3 LabVIEW で制作した信号取り込みアプリ

3.3. 漏電に起因する故障と対策

漏水やその痕跡が確認されないにもかかわらず警報が連続して発報した。この時、複数のチャンネルが同時期に異常信号を出力していたことから、検出回路ボード上の IC 故障が判明した。当初はこの故障の原因を経年劣化によるものと判断したが、交換した IC も故障した。

原因調査を進める中で、漏電が関与している可能性が浮上したが、それが原因とすぐには断定できなかった。さらに調査を進めた結果、実験終了後も電位が残留している回路が存在した。その回路に接続されているチャンネルの電位を測定したところ、漏電が確認され、その痕跡（図 4）も発見された。現場調査で異常が確認できなかったのは漏電が起こった機器の電源が実験中以外は遮断されているためであった。

これを受け、当該機器に対して速やかに絶縁対策



図 4 漏水センサ放電痕

を実施した。また、当該機器の漏水センサ信号線については、検出回路ボードへ直接接続せず、リレーを介する構成へ変更した。さらに、漏電によるサージ電流から漏水検知システムを保護するため、検出回路に過電圧保護素子（バリスタ）を追加した。これにより、サージ電流が流入した場合にはバリスタが動作し、回路へのサージ電流の流入を防止する構成とした。

なお、バリスタが動作したチャンネルは短絡状態となり警報が継続発報されるため、サージ電流が発生したことを把握可能となった。

一連の漏電により 6 個の IC が故障したが、単価はいずれも 1 個 1900 円程度であった。近年は接点信号出力を備えたユニットも市販されているが、本システムは内製化していたため予備品コストを抑えられ、速やかに漏水検知システムを復旧することができた。

4. まとめ

近年発生した誤作動および故障に対して、機器の更新、漏電対策、サージ対策を実施することで、漏水に起因する装置停止や電気系統の損傷といった重大故障を未然に防ぐことができた。また、多系統の機器を統合監視する場合、漏水検知システムに漏電対策、サージ電流対策が不可欠であることを確認した。