

原子力発電所における電動弁の状態監視保全について

Condition Based Maintenance of the Motor Operated Valve in Nuclear Power Plant

岡野バルブ製造株式会社	永岩 慶一郎	Keiichiro NAGAIWA	Member
岡野バルブ製造株式会社	田中 孝治	Koji TANAKA	Member
東京電力株式会社	大山 賢一	Kenichi OYAMA	Member
東京電力株式会社	曳田 史朗	Shiro HIKITA	Member
東京電力株式会社	川本 敦則	Atsunori KAWAMOTO	Member

Approximately 20,000 valves are installed in each nuclear power plant and the inspection by TBM had been adapted mainly. With the application of the new inspection system that has been implemented from January 2009, the need for adapting method conforming to CBM has been examined to optimize the conservation activities in the nuclear power plants.

The method of condition monitoring for motor-operated valve with the new diagnosis device and the effectiveness are to be addressed in the speech.

Keywords: CBM, TBM, Motor Operated Valve, Diagnosis device, On-line Maintenance, The new inspection System

1. 緒言

原子力発電所では、1プラントあたり約2万台のバルブ（弁）が設置されており、点検は時間計画保全（以下、TBM）を中心とした方法を採用していた。2009年1月より施行された新検査制度に伴い、原子力発電所における保全活動の最適化を図る観点から、状態基準保全（以下、CBM）に沿った手法を導入する必要性が検討された。

特に、原子力施設情報ライブラリー「ニューシア」の過去の弁トラブル実績を紐解くと、本来TBMによる効果が期待できるとされる“疲労・磨耗等の経年劣化”よりも時間依存性のない故障“いじり壊し”が多い事が確認されている。また、米国においては、1980年代より状態監視保全技術の導入により保全の合理化が進み稼働率の向上が実現されている。

2. 経緯と適用技術

原子力発電所において、CBMへの移行を検討する際、特に検討すべき点として、

- ① 安全性の向上
- ② 作業効率の向上
- ③ 環境改善の効果

が期待されるものでなければならない。

この状況も踏まえ、数年前より電動弁の状態監視保全技術として試験的に導入していた電動弁診断装置（以下、AVD診断装置）を用いた状態監視保全の可能性について紹介する。

当技術は、従来の電動弁診断の主であった現場作業（弁改造・歪ゲージ、センサー取り付け等）を排除し、モータコントロールセンタ（以下、MCC）からの電流・電圧測定のみで診断が可能となるものである。これにより、従来と比べ人的過誤及び保守施行不良が激減すると共に、作業時間の大幅な短縮による診断台数の増加、被ばく線量の低減等に繋がる事が期待できる。

特に、東京電力(株)福島第一原子力発電所においては、当時のプラント設計にメンテナンス思想が十分に反映されていなかったこともあり、狭隘な現場が多く、弁の分解点検が困難、且つ高線量下作業が多い為、当技術の採用は有効と評価した。

3. 状態監視保全の導入

3.1 背景

東京電力(株)（本店・福島第一・福島第二・柏崎刈羽）では、弁点検方法を検討する「弁点検合理化WG」を設置し、

- ・ 分解点検台数の削減（点検メニューの簡素化）
- ・ 弁特性に応じた点検方法の設定（弁保全の信頼性向上を図る）

を目的に検討を行い、適切な状態監視技術の併用による点検方針の見直しを実施している。

CBMを実施するにあたり、電動弁に対して活用が期待されている電動弁診断装置は各社で開発されているが、他社製は現場での取り付け作業等が必要であるのに対し、本装置ではMCCでの診断が可能である為、作業時間の短縮（20台/日作業可能）及び被ばく線量低減の観点からもその効果は大きい。

連絡先: 永岩慶一郎, 〒800-8601 福岡県北九州市門司区中町1-14, 岡野バルブ製造株式会社
技術部技術研究所 電話: 093-372-1131,
E-mail: k-nagaiwa@okano-valve.co.jp

3.2 弁不適合の傾向および状態監視保全の必要性

米国の原子力発電所では、1980年代よりCBMの導入が進められており、今日までに保全の合理化や設備利用率の向上が実現されている。

国内原子力発電所における過去の弁トラブル実績情報を、原子力施設情報公開ライブラリー「ニューシア」(1966～2009)に基づき評価した。(図.1)

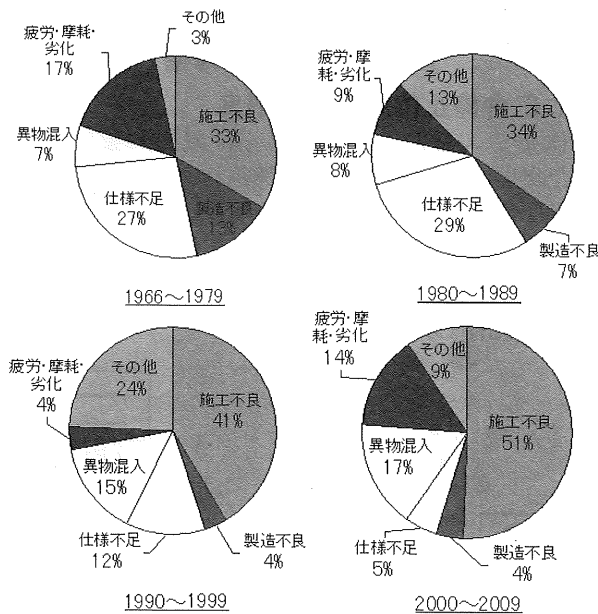


図1 ニューシア登録情報に基づく年代別原因比率

- ① 特に施工不良については、当初の30%台であったものが50%台に増加している。これはプラント数の増加に伴う、熟練技術者の不足・技術継承不足に起因する保全技量の相対的低下が主な原因と推測される。
- ② 反して、製造不良・仕様不足は減少傾向を示している。これは過去の故障やトラブル事例を反映し対策を講じてきた結果と考えられる。
- ③ 異物混入については不適合事象報告制度の厳格化に伴い一時増加傾向にあったが、近年異物混入防止の「しくみ」構築後は減少傾向を示している。

近年発生しているトラブル原因の大多数は時間依存性がなく、無用な分解作業を引き起こす「ヒューマンエラー」「いじり壊し」など保守起因のエラーである。TBM主体の保全では、部品故障の有無に関わらず点検手入れ・交換作業の実施が前提となる。ゆえにCBMの導入は単にヒューマンエラーの防止に留まらず、合理的な点検内容および周期を求める為の予知保全活動としても有効であるといえる。

4. 装置概要

4.1 測定原理

AVD診断技術は、電動弁に使用されている誘導モータ、または直流モータに入力される電流と電圧を用いて、トルクおよび回転速度を推定するものである。よって、現場に設置された電動弁本体には手を加えることなく、MCC内部の制御回路に計測センサーを接続する事により診断が可能となる。

動作に伴う電動弁の負荷挙動はトルクに同期して変動する為、故障や劣化によって生じるトルク変動および微細なトルク変動を捉えることで、電動弁内部の状況を把握する事ができる。

4.2 AVD診断装置の概要

AVD診断装置は、電動弁の状態を迅速に効率よく把握する為の簡易診断装置を目的としており、オフライン(定期)診断システムとして開発された。

図.2にAVD診断装置の外観を示す。持ち運びに便利なポータブル装置としてアタッシュケース型を採用しており、ケース内に全ての計測備品が収納される構成である。

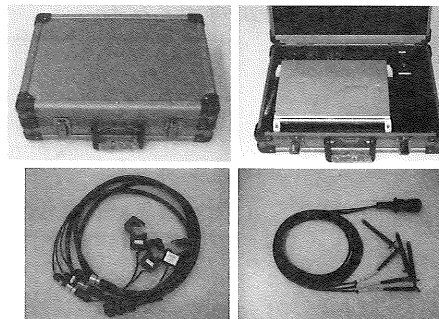


図2 AVD診断装置

測定された電流および電圧は、自動的にシステム内部でトルクおよび回転速度に換算される。図.3に画面表示例として測定画面、解析画面、周波数解析(FFT)画面を示す。

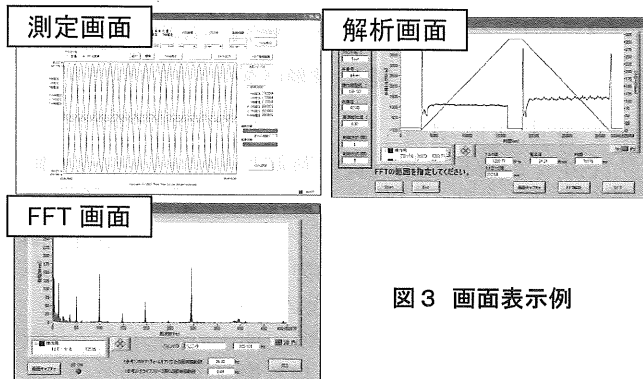


図3 画面表示例

4.3 作業手順

電流および電圧を測定する為の計測センサーを、図.4に示すようにMCC内部の制御回路に設置し測定を行う。作業は非常に簡素化しており、設置作業は約5分、測定および判定には約10分、弁一台あたり15分程度の短時間で診断が可能である。

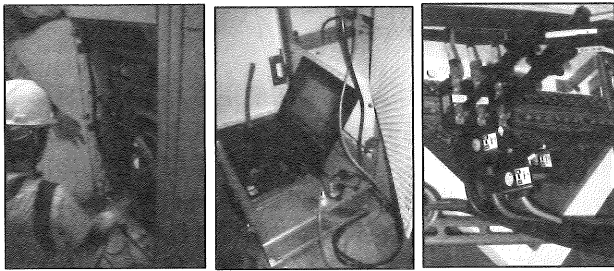


図4 作業状況

4.4 弁動作挙動と波形の相関性

一般的に電動弁は、モータトルクを歯車機構によって弁の開閉に必要な駆動トルクに増幅する事で動作を行う。このことから、電動弁の動作状態は、主に駆動トルクを判定する事により評価が可能といえる。すなわち、求められた駆動トルクは弁負荷と同期して変動する為、電動弁の作動特性を時系列的に把握する事が可能となる。(図.5,図.6)

更に、回転速度が既知となれば、モータの回転数を弁体のリフト量として推定できる為、トルクの時系列変化と合わせて評価を行うことにより、更に弁状態のより詳細な解析が可能となる。

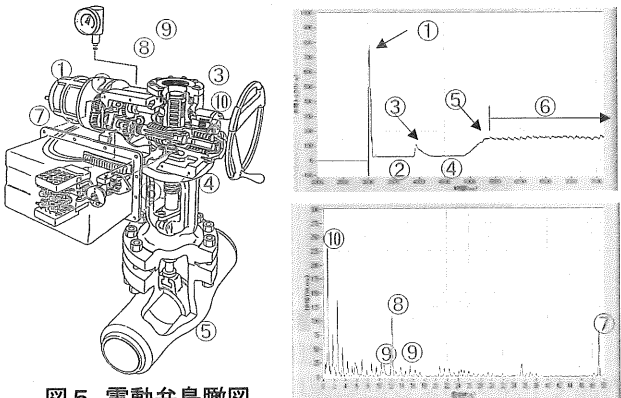


図5 電動弁鳥瞰図

- | | |
|------------------|---------------|
| ①モータ起動 | ⑦モータ定格回転数 |
| ②無負荷区間 | ⑧ヘリカルギア回転数 |
| ③ハンマーブロー | ⑨ヘリカルギア回転数側帯波 |
| ④ステムブッシュねじクリアランス | ⑩ウォームギア回転数 |
| ⑤弁体移動開始 | |
| ⑥パッキン摩擦力 | |

図6 波形パターンとの相関性

4.5 診断可能項目

トルクの解析結果(周波数解析含む)からは、駆動部内部品の状況(軸受や歯車等回転部品の損傷の有無)、弁内部品の状況(パッキンの劣化や弁棒の偏心など)及び操作部の駆動力量変化に対する評価が可能であり、更にリフト量との組み合わせによって、開度と弁挙動の相関性評価が可能となる。(リフト量の変化、ステムブッシュのねじ磨耗量など)

5. 状態監視保全がもたらす効果

5.1 異常・劣化検出事例

5.1.1 パッキンの劣化

弁には可動部のシールの目的でグランドパッキンが使用されている。図.7はパッキンの劣化によ

て、作動時における摺動抵抗の増大が確認されたものである。

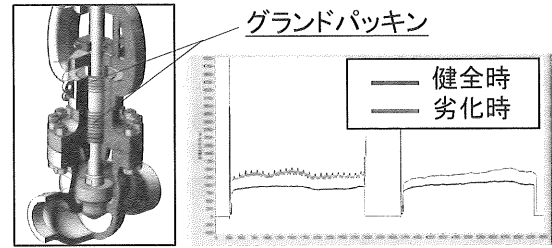


図7 パッキン劣化の影響

5.1.2 弁停止位置の調整不良

作業ミスなどにより弁停止位置の調整不良があった場合、仕切弁のシート部割れまたは容器内の異常昇圧現象に繋がることもある。この状況は図.8に示すような引き抜きトルクの発生によって確認する事ができる。

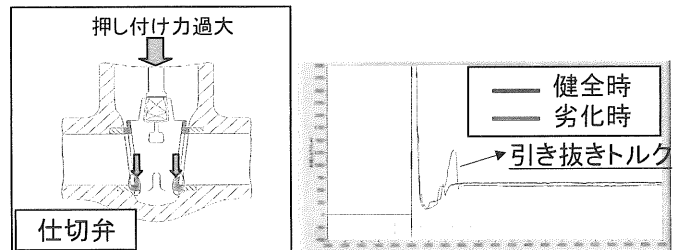


図8 引き抜きトルクの確認

5.1.3 ステムブッシュのねじ磨耗

弁には、駆動部の回転運動を弁の往復運動に変換して伝える為のステムブッシュと呼ばれる内面にねじ加工を施した部品が使用される。(図.9)

一般的なステムブッシュは弁棒ねじ部金属面との焼付きを防止する目的で弁棒材よりも柔らかい銅合金で製作されており、経年的にねじ面の磨耗が進行する。図.10は正規品と磨耗が進行した同部品の比較結果である。

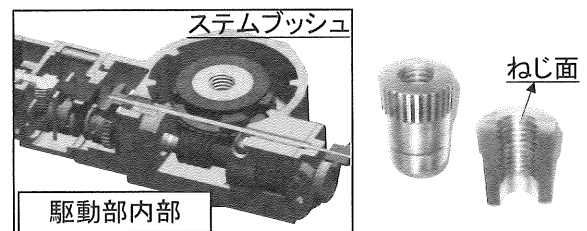


図9 駆動部とステムブッシュ

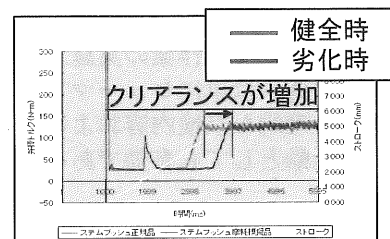


図10 ステムブッシュねじ磨耗の確認

5.1.4 駆動部の軸受損傷

電動弁に限らず、回転駆動機器における最も多い故障箇所は軸受と言われる。図.11 は軸受が損傷した際に確認されたデータである。

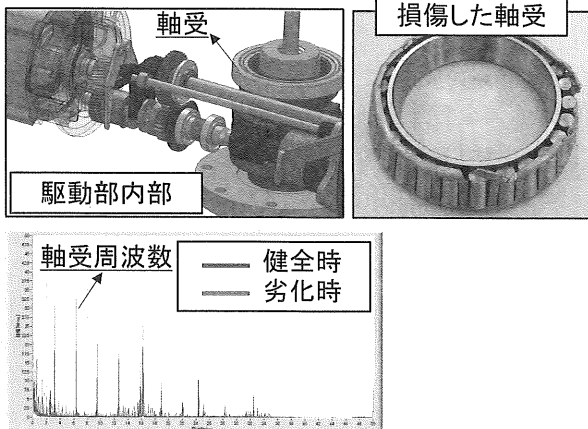


図 11 軸受損傷の影響

5.1.5 駆動部の歯車損傷

一般的に電動弁の駆動部は、モータの回転を減速しモータトルクを増幅する目的で歯車機構を用いた減速機が使用されているが、潤滑不良や取り付け不良が発生した場合、歯車の損傷に繋がる場合がある。図.12 はヘリカルギア歯面に引っかき磨耗が発生した際に確認されたデータである。

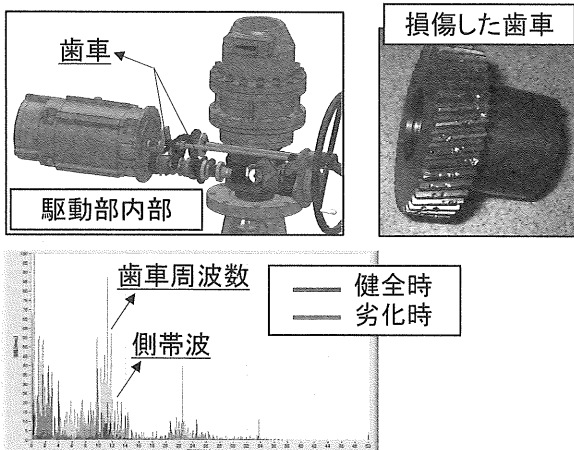


図 12 歯車損傷の影響

5.2 状態監視に基づく保全活動 PDCA への展開

前項に示した事例の通り、当技術は電動弁の状態を把握する為の「状態監視技術」として非常に有用なツールである。

電動弁の作動特性の確認を CBM として実施することは保全活動において有効であり、当該 CBM により取得したデータはプラント内の保全活動 PDCA サイクルを確立する一つの要素になると考えられる。

5.3 保全活動 PDCA の業務プロセス

弁診断装置を用いた保全活動の PDCA を有効に回す為の業務プロセスは概ね以下の手順にて運用することが考えられる。(図.13)

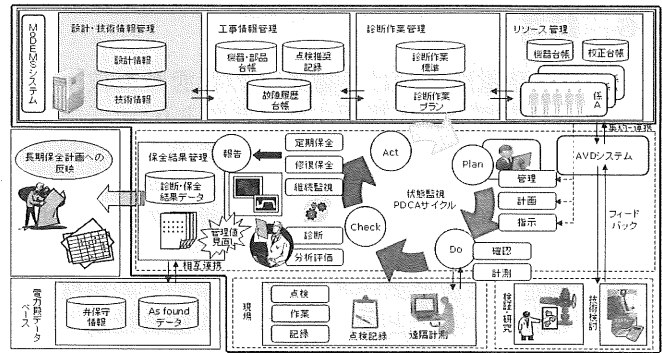


図 13 診断装置による PDCA プロセス図

- A) 初期準備
選定した対象弁の仕様整備、管理基準の設定、ベースデータの採取などを実施する。
- B) 測定
ポータブルの AVD 診断装置を MCC に持ち込み、弁開閉時の電流および電圧を測定する。測定頻度は対象弁の重要度、運転形態などを考慮して設定するが、原則として定期検査時に実施する。
- C) 分析・評価
簡易診断としてトルクの波形パターン評価や周波数分析による駆動部および弁内部状況の傾向管理を実施する。波形パターン評価や周波数解析結果については、弁メーカーの経験に基づいた推奨基準を適用している。
- D) 評価結果に応じた対応と保全計画への反映
診断結果に応じ、継続監視・監視強化・保全の計画（点検時期の決定など）・緊急対応などを検討・実施する。また、保全の有効性を評価し、分解点検周期の延長・保全方式の変更・管理基準値の見直しなどを実作業へフィードバックする。

5.4 適用実績

東京電力㈱では、福島第一原子力発電所をはじめ福島第二原子力発電所、柏崎刈羽原子力発電所において、現在までに約 2000 台の電動弁についてベースデータの取得および評価を行っている。また、電動弁の状態監視保全を行うにあたっての管理基準の定量化についても検討している。

5.5 オンライン（運転中）保全への適用

当技術は、電動弁に対するオンライン保全の適用にあたって有効なものであると考える。オンライン保全の採用により、運転中と停止中の保全活動の平準化が実施でき、被ばく線量低減にも繋がる為、保全の信頼性を更に高めることが期待できる。

6. 結言

原子力発電所における電動弁の状態監視技術として AVD 診断装置を採用することにより、

- 1) センサーの設置作業が簡易であること、および MCC で測定することから、作業時間の短縮・診断台数の増加・被ばく線量の低減が期待できる。
- 2) 測定した波形データと弁動作挙動との相関性を評価することで、電動弁の作動特性および内部状況の評価が可能である。

参考文献

- [1] 原子力施設情報公開ライブラリー「ニューシア」トラブル等情報検索 <http://www.nucia.jp/>
- [2] 日本保全学会, 原子力発電所 保全の現状と今後の在り方について, 70-76 (2006).