

AE センサを用いた弁診断の取組み

Development of valve diagnosis using AE sensor

原子燃料工業(株)	○小川 良太	Ryota OGAWA	Member
原子燃料工業(株)	匂坂 充行	Mitsuyuki SAGISAKA	
原子燃料工業(株)	桑島 翔	Shyou KUWAJIMA	
原子燃料工業(株)	松永 嵩	Takashi MATSUNAGA	
原子燃料工業(株)	磯部 仁博	Yoshihiro ISOBE	Member
日本原燃(株)	服部 功三	Kouzou HATTORI	
日本原燃(株)	工藤 盛雄	Morio KUDOU	
日本原燃(株)	三浦 進	Susumu MIURA	

The maintenance of valves used in nuclear facilities (check valves, ball valves, gate valves, butterfly valves, etc.) is carried out by daily checking and overhaul. However, it is not easy to diagnose the inside status of these valves such as open-close performance and internal leakage. In this report, our approaches are shown to develop valve diagnosis by acoustic measurement using AE (Acoustic Emission) sensor through test loop examinations and the field applications.

Keywords: AE sensor, Non-destructive inspection, Valves

1. はじめに

原子力施設等のプラントにて多用されている逆止弁の保全は、外観の目視点検および分解点検による内部の目視点検等が実施されている¹。日本原燃再処理施設においても多数の弁が使用されており、「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」には、汚染された物質が汚染された物質を含まない流体を導く管に逆流するおそれがない構造とする事が定められており²、その手段の一つである逆止弁が正しく機能することは逆流防止機能を担保する上で重要である。

しかしながら、逆止弁の動作確認は、全て組上げた状態での確認となるため、外観の目視点検、分解点検では動作の確認が困難である。また、逆止弁の逆流リークの診断についても外観の目視点検では確認が困難であり、分解点検による確認では、リーク発生の有無は確認できるが、放射性流体を取り扱う箇所の場合、多大な労力を要することになる。以上より、分解点検を必要としない点検方法の開発が望まれている。

原子燃料工業では、AE (Acoustic Emission) センサを用

いた振動測定による逆止弁診断手法³等の AE センサを用いた業務/技術開発を実施しており、日本原燃再処理施設における逆止弁診断⁴に3年間継続して適用している。さらに、逆止弁診断の現場適用結果を応用した、弁診断について現在開発中である。

本報では、AE センサを用いた音響計測による弁診断の取組みとして、逆止弁診断のための事前検討結果および現場適用結果、玉形弁におけるシートリークの検出性確認試験結果を報告する。

2. 逆止弁診断

2.1 AE センサを用いた弁診断システム

弁診断には、図 1 に示す AE センサ (NF 回路ブロック 広帯域 AE センサ AE-900S-WE: φ12mm×40mm)、計測ハードウェア、波形処理装置 (タブレット PC) 等より構成されている AE センサを用いた音響計測システムを用いた。

AE センサを用いた音響計測システムの特徴として、AE センサを2つ使用した2ch 同時測定が可能であること、音響計測システムはハンディタイプで、現場適用が容易であること、AE センサの種類を交換することで、高温部位の測定も可能であること、計測信号を信号処理して

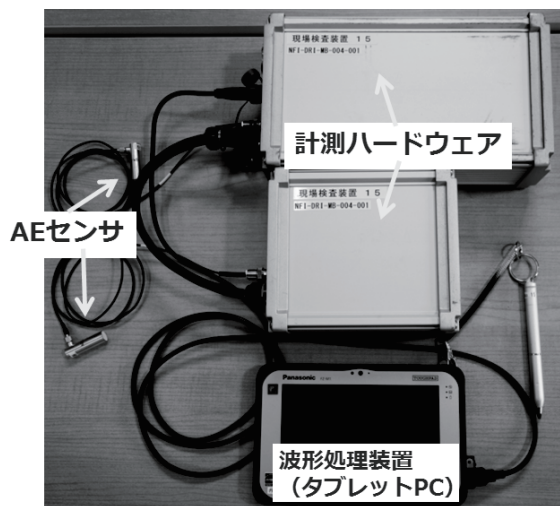


図1 AEセンサを用いた音響計測システム

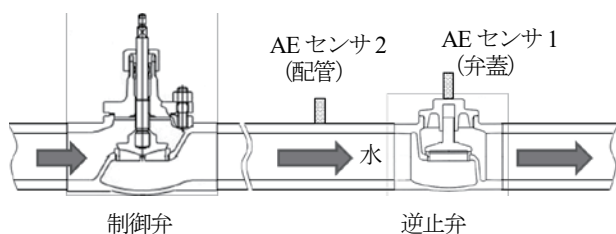


図2 センサ設置位置例 (リフト逆止弁の場合)

周波数分布等を出力するなど多方面からの診断が可能となること、計測信号のデジタルデータによるデータベース化により、経年傾向を把握し、適切な保全計画策定が可能となること等があげられる。

音響計測においては、1つのAEセンサ (AEセンサ1) を弁本体 (弁箱または弁蓋) に設置し、もう1つのAEセンサ (AEセンサ2) を近傍の配管に設置した。(図2参照) これは、音響計測では、測定対象となる弁本体にセンサを設置しなくても、音響は材料内を伝わるため、近傍配管に設置することで多少離れたところからでも弁の振動を計測することが可能であることが理由である。

2.2 逆止弁診断の事前検討

日本原燃再処理施設では、2013年の法律改正により、新たな保全が必要とされていた。その中で、「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」の第十三条を満たすために、再処理施設では約900弁の逆止弁を利用している。これら逆止弁の健全性の確認には、順方向の流れで正常に動作すること、および逆流リークが発生していないことを評価する必要がある。

そこで、まず初めに模擬ループ等を用いて逆止弁の動

作に伴う音響信号の確認を実施した。動作信号の確認には図2に示すように、上流側より制御弁 (空気動作弁)、逆止弁 (リフト逆止弁) の順に弁が設置されているシステムを用いた。模擬ループに水を流した際の逆止弁の動作状態および水の流れを確認するため、水を供給する制御弁を開操作した1秒間の音響信号の計測例を図3に示す。水の流れのない初期状態では、音響信号はほぼゼロであるが、制御弁を開操作すると水の流れが生じ音響振動が現れ、その後逆止弁の動作に伴う音響振動が確認できる。逆止弁動作時の音響振動は、制御弁が発する音響振動よりも大きく、弁体のリフト動作が起こっていることが確認できる。また、水の流れのない0~0.1秒における振幅と流れが安定した後の0.6秒以降の振幅を比較すると、流れが安定した0.6秒以降の振幅が大きくなっていることから、流体の流れの有無を判定することができる。さらに、これらの傾向は、弁本体に設置したAEセンサだけでなく、近傍の配管に設置したAEセンサでも同様の結果が得られており、逆止弁本体にアクセスできない場合でも、近傍の配管を測定することで弁状態を評価できる可能性が得られた。

以上のことから、逆止弁の弁体の動作した場合に音響振動から動作状態を検知することが可能であるため、正常動作時のデータを蓄積しておくことで異常動作時の判定が可能になると考えられる。また、流体の流れの有無についても信号強度の違いにより判別できることから、順流だけではなく、逆流リークが発生した場合も、配管内部の流れに起因する変化が現れると考えられる。

なお、現場での繰り返し測定における誤差を評価するため、センサの取り付け/取り外しやAEセンサ設置位置の違いについても確認したが、測定データに顕著な違いは認められず、取り付け状態の違いによる影響が小さかったことから現場に適用しても問題ないことが確認できた。

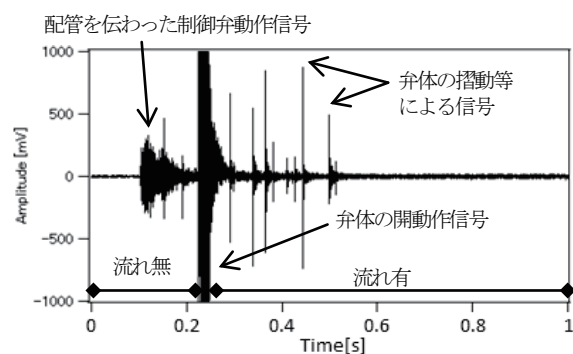


図3 逆止弁の1秒間における開動作の音響信号 (生波形)

2.3 現場適用

日本原燃再処理施設内の「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」の第十三条「流体状の使用済燃料等が使用済燃料等を含まない流体を導く管に逆流するおそれがない構造」に係る逆止弁（約 900 弁）を対象に 2016 年度から 2018 年度にかけて逆止弁診断を 3 回適用した。診断方法は、図 2 に示すように AE センサを設置し、動作頻度の高い逆止弁については開閉動作の確認をするため、停止状態（閉状態時）と動作状態（流体流れ時または弁動作時）の測定を実施した。一方で、動作頻度の低い逆止弁については今後の比較のためのベースデータとして、停止状態での音響データ測定を実施した。さらに、音響データ測定の記録として、①生波形、②FFT 波形の特徴を分析して、「AE センサを用いた逆止弁診断記録」にまとめた。「AE センサを用いた逆止弁診断記録」には、機器情報、測定データ、解析・評価、診断結果を記載する欄を設け、解析・評価欄には、比較の基準となるベースデータとして 2016 年度に測定したデータを示し、容易に比較できるようにした。

その結果、全ての逆止弁に対して停止状態（閉状態時）のデータを測定することができた。収集した生波形および FFT 波形はいずれも同様の傾向であり、明らかな異常が無く、過去の分解点検記録等においてもトラブルの報告が無かったことから、健全な状態のデータが測定できたと考えられる。動作頻度の高い逆止弁については、停止状態（閉状態時）のデータに加え、動作状態（流体流れ時または弁動作時）におけるデータを測定することができた。

さらに、結果を「AE センサを用いた逆止弁診断記録」にまとめることにより、今後逆止弁の状態監視保全の方法として利用する上でのデータベースを構築することができた。

今後は、逆止弁診断の高度化として、定量的な逆流リーク検出性能の確認や、逆止弁診断最適化として、系統の情報などを考慮したプラントの総合診断を検討したい。

3. 弁診断への展開

逆止弁診断で得られた知見を応用し、各種弁において微少リークが発生した場合の検知手段としての利用を検討し、図 4 に示す模擬ループを構成して手動式玉形弁を試験サンプルとして、弁体・弁座部シートリークの検出

性確認試験を実施した。試験では、手動玉形弁においてシートリークを模擬し、弁開度を調整することで全閉状態とシートリーク模擬状態における計測信号の比較を実施した。試験における計測時間は 60 秒間とし、最初の 10 秒は全閉状態、10～20 秒でハンドル操作、20～60 秒はシートリーク模擬状態となる様条件とし、シートリーク量を計量して音響信号との相関性を評価することとした。

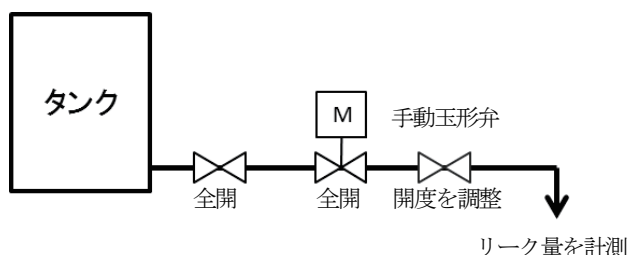


図 4 模擬ループ構成概要

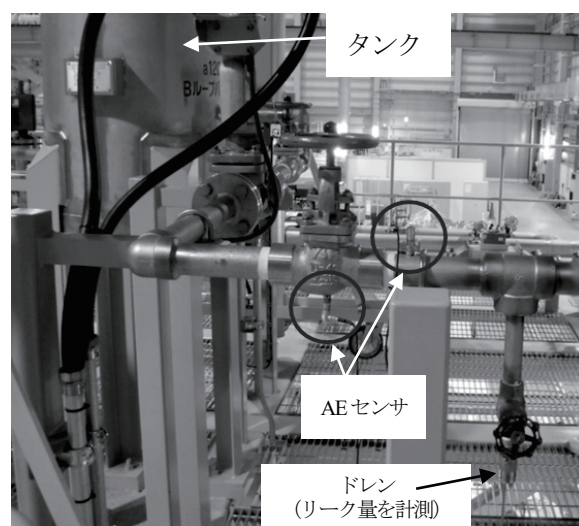
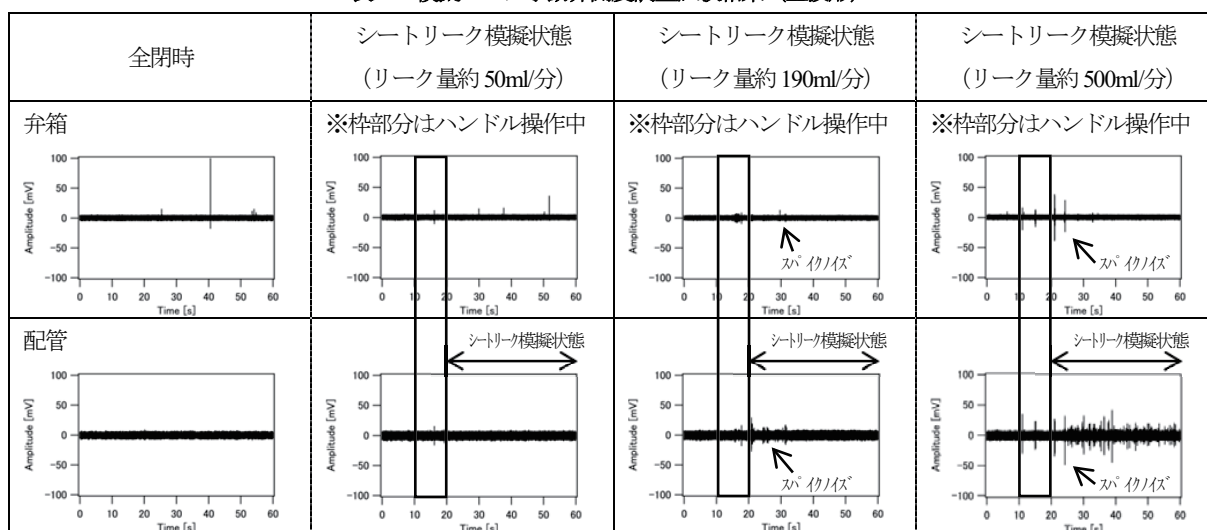


図 5 模擬ループ写真

試験により得られた、全閉状態とシートリーク模擬状態における、弁箱および近傍配管に設置した AE センサによる生波形の計測結果を表 1 に示す。表 1 の生波形において四角で囲った部分は、ハンドル操作による音響が含まれている時間を示している。

全閉時の生波形データでは、概ね一定の波形が得られていることが確認できる。一方で、シートリーク模擬状態の生波形データではシートリーク量が増えるに従い、ハンドル操作中以降（20 秒～）にスパイクノイズが確認できる。AE センサを弁箱に取り付けたケースでは、微少リークを模擬した 50ml/分のリーク量でも流体の通過を示すスパイクノイズが現れており、特に 190ml/分以上のリーク量では、弁箱と配管の両方でスパイクノイズが確

表 1 模擬ループ手動弁開度調整試験結果 (生波形)



認できる。

生波形で確認されたスパイクノイズは、図 6 に示すように、弁体と弁座の隙間を流れることにより発生する音響や弁棒・弁座等が弁箱等に接触・摺動することにより発生する音響が原因と考えられる。これらの音は、弁内の流れが無く、また全閉状態で弁座が確実に着座した隙間の無い状態では発生しない。

以上のことから、生波形におけるスパイクノイズの発生を監視することで、シートリーク発生の有無を検出できる見通しが得られた。

今後は、生波形を用いたシートリーク発生有無の検出限界の評価に加え、生波形の高速フーリエ変換 (FFT) により得られる周波数分布によるシートリークの検出を進める予定である。

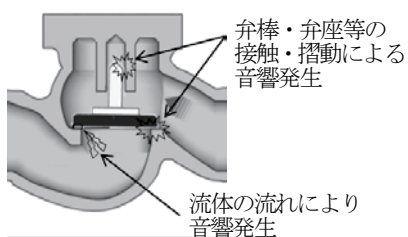


図 6 弁の音響発生メカニズム

4. まとめ

AE センサを用いた弁診断への取組みの一環として、動作状態を確認するために、AE センサを用いた逆止弁診断システムを用いた逆止弁の振動計測を実施した。また、逆止弁診断の知見を応用し、玉形弁のシートリーク検出

性確認を模擬ループにて行った。その結果、以下の知見を得た。

- 再処理施設内における「性能に係る技術基準に関する規則」の対象逆止弁約 900 弁全数に対して音響振動計測を実施できた。
- 再処理施設は運転停止中のため、大半の弁が常時停止状態であったが、ベースとなるデータとして停止状態の計測データを蓄積できた。
- 動作頻度の高い逆止弁では、閉状態に加え、開動作時のデータを測定でき、正常動作時の音響振動の変動状態を確認できた。
- 玉形弁の弁体・弁座部シートリークは、生波形でのスパイクノイズ発生監視により、シートリーク発生の有無を検出できる見通しが得られた。

参考文献

- [1] 関西電力株式会社、“高浜発電所 4 号炉 高経年化技術評価書”、2015 年 11 月。
- [2] 再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則第十三条、平成二十五年原子力規制委員会規則第二十九号
- [3] 松永 嵩、他、“逆止弁診断システムの開発”、日本原子力学会 2014 年春の大会
- [4] 三浦 進、他、“逆止弁診断に関する取組み”、日本原子力学会 2018 年秋の大会