



5 m から 15 m の配管探傷が瞬時に 行える“ガイド波による探傷監視 システム”

Guided Wave Pipe Inspection and Monitoring System

黒石 卓司*1
Takashi Kuroishi

椎橋 啓*2
Akira Shiibashi

西村 宣彦*3
Nobuhiko Nishimura

坂田 文稔*4
Fumitoshi Sakata

松本 拓俊*4
Hirotohi Matsumoto

青木 清隆*5
Kiyotaka Aoki

近年、給水配管等の減肉を対象とした検査においては検査対象範囲全域の保温撤去・復旧と、膨大な点数の UT 検査を実施している。このように膨大な点数の検査を効率的に実施する新しい検査方法として、ガイド波といわれる超音波特性をいかし、1つのセンサで広範囲の配管検査が可能となる探傷監視システムを開発した。本技術により、保温や足場の撤去・復旧工事の大幅な削減が可能となり、かつ気軽にいつでも計測できるようになった。本論文では、同システムによる探傷試験結果と火力プラントにおける適用要領について紹介する。

1. はじめに

近年、給水配管等の減肉を対象にした火力プラント配管の保守においては、検査対象範囲全域の保温を撤去して膨大な点数の従来 UT 検査を実施しており、多くの手間と時間を費やしている。一方、米国の石油化学業界ではガイド波による長距離検査法の適用検証が進められ、パイプライン等を対象として既に一部実用化されている⁽¹⁾。本技術は、検査コストの低減とモニタリングによる保守管理の高度化が可能であることから、今後火力プラント等の配管に広く普及していくものと考えられる。本報告では、各種検証試験により、

火力プラントの配管を対象として構築したガイド波による探傷監視システム (G-Monitor) について言及する。

図 1 に G-Monitor のシステム構成を示す。

2. G-Monitor と UT 検査の役割分担は

ここで配管検査の役割分担を理解するに当たり、図 2 に示す冰山をイメージしてみる。我々の目に見える冰山はその一角であり、実際にはその下に隠れる冰山の全貌をイメージすることは難しい。

言わば、冰山における全貌を把握する役割が G-Monitor で、その結果、表面に現れている冰山を

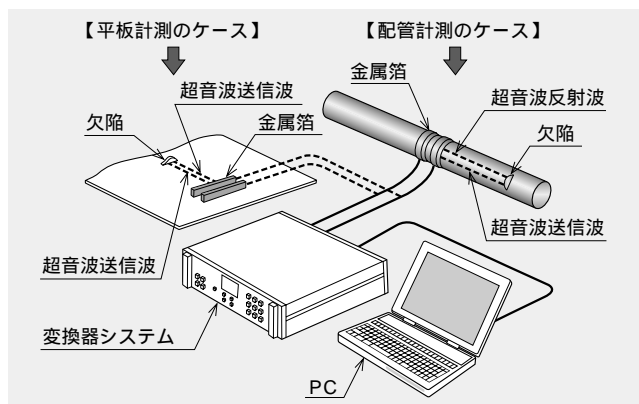


図 1 ガイド波による配管の探傷監視システムの構成システムは、Ni 等の金属箔とリード線からなるセンサ、変換器システム、そして制御用のパソコンにより構成される。

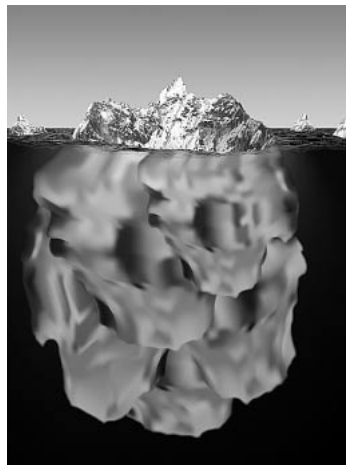


図 2 G-Monitor で冰山の全貌をスクリーニングするイメージ図

← UT 検査で定量的に計測

← G-Monitor で全貌をスクリーニング

*1 原動機事業本部火力プロジェクト部主席

*2 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ構造技術課長

*3 技術本部長崎研究所サービス技術課長

*4 技術本部長崎研究所サービス技術課

*5 技術本部長崎研究所材料・溶接研究室

詳細に検査するものがUT検査と言う役割になる。

すなわち、火力プラントの配管探傷検査においては、G-Monitorは配管長さ5～15mの範囲の欠陥をスクリーニングするもので、どの位置にどの程度の欠陥があるか瞬時に計測するものである。そして、この結果を踏まえ、確認された個々の欠陥部をUTで詳細検査するというのが主な役割分担である。

3. G-Monitorのシステム構成

ガイド波とは、部材中を軸（長手）方向に伝播する超音波振動モードをいうが、津波が流れる状態をイメージするとその特性を理解しやすい。小さな障害物であれば、それを乗り越える際に津波の水位は少しだけ高くなる。

一方、大きな障害物を乗り越える際に津波の水位は非常に高くなる。この障害物が欠陥、水位の高さがエコー振幅と考えればよい。このような特性を持ったガイド波を配管に伝播させるG-Monitorのシステム構成を図1に示す。配管の外表面に接着剤を用いてNi等の金属箔を貼り付け、その外表面にリード線を巻きつけてコイル状として、センサを構成する。センサから発信されたガイド波は配管の軸方向に伝播するが、欠陥に伴う配管断面の欠損部があると、その部位で反射波が発生する。そこで、ガイド波を発信してから反射波がセンサに到達するまでの時間によりセンサから欠陥までの距離を、また反射波のエコー振幅の高さから欠陥の大きさを推定することができる。

4. G-Monitorによる検査のメリットは

図3に本システムのメリットを示す。使用するセンサは、厚さ0.2mmの金属箔、接着剤、そしてリード線により構成されるが、その厚さが約4mmと薄いため、センサを設置した後そのまま保温を復旧することが可能である。よって、保温撤去・復旧の際に足場が必要な場所でも、センサのリード線を長くしておくだ

広い範囲を瞬時に計測！

- ⇒ 5～15mの範囲の探傷が可能に！
- ⇒ 足場がある部位に設置したセンサで、足場がない部位の探傷が可能。
- ⇒ 欠陥の一次スクリーニングとして利用！詳細検査はUTで！


センサの設置は容易！

- ⇒ 1つのセンサは90分で設置可能。

環境保護に配慮して！

- ⇒ 1つのセンサで広範囲を計測可能であり、保温工事、廃棄物を削減！

三菱重工はシステム特許を申請中



Fe・Co等の箔を全周に巻く。

図3 ガイド波による探傷監視システムのメリット

けで足場の設置や保温の撤去・復旧をすることなく、計測することが可能である。

次に、ガイド波は減衰が少ない低周波の超音波を使用し、かつ配管の軸方向に伝播させるため、センサから配管軸方向に5～15mの範囲内の探傷が可能である。よって、UT検査のように計測対象範囲全面の保温を撤去する必要がなく、センサ設置部近傍の保温を撤去するだけで計測可能であり、保温工事や廃棄物を大幅に削減することができる。

5. ガイド波による探傷の原理

図4に減肉部においてガイド波が反射する原理を示す。反射波は、超音波の伝播のしにくさを表す音響インピーダンスの変化の違いにより生じる。音響インピーダンスは、断面積、密度、そして音速の積で表されるので、同じ材質、温度の場合の音響インピーダンスは断面積のみに依存するため、反射波は断面積が変化する部分で生じることになる。またこのことから、減肉の発生部位（外表面または内表面）にかかわらず、減肉を検出可能であることがわかる。

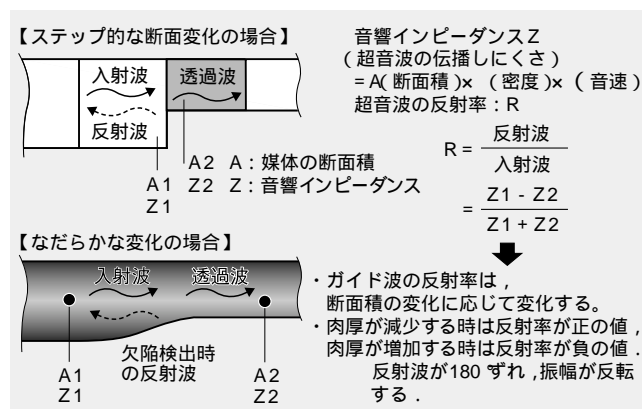


図4 減肉部においてガイド波が反射する原理
減肉部は超音波の伝播のしにくさを表す音響インピーダンスが異なるため、反射波が発生する。

6. G-Monitorでどのような部位を計測できるか

火力プラント配管にG-Monitorを適用するための各種検証試験を実施した結果、配管のなだらかな減肉、直管部、配管エルボ部、配管レデューサ部の欠陥を計測できることが確認できた。

この結果を踏まえ、火力プラントの配管システムにおいてどの部位にG-Monitorセンサを設置するのか、その一例を図5に示す。

以下、各種検証試験の結果について述べる。

6.1 軸方向のなだらかな減肉の探傷試験

実機配管において発生する減肉は、軸方向になだら

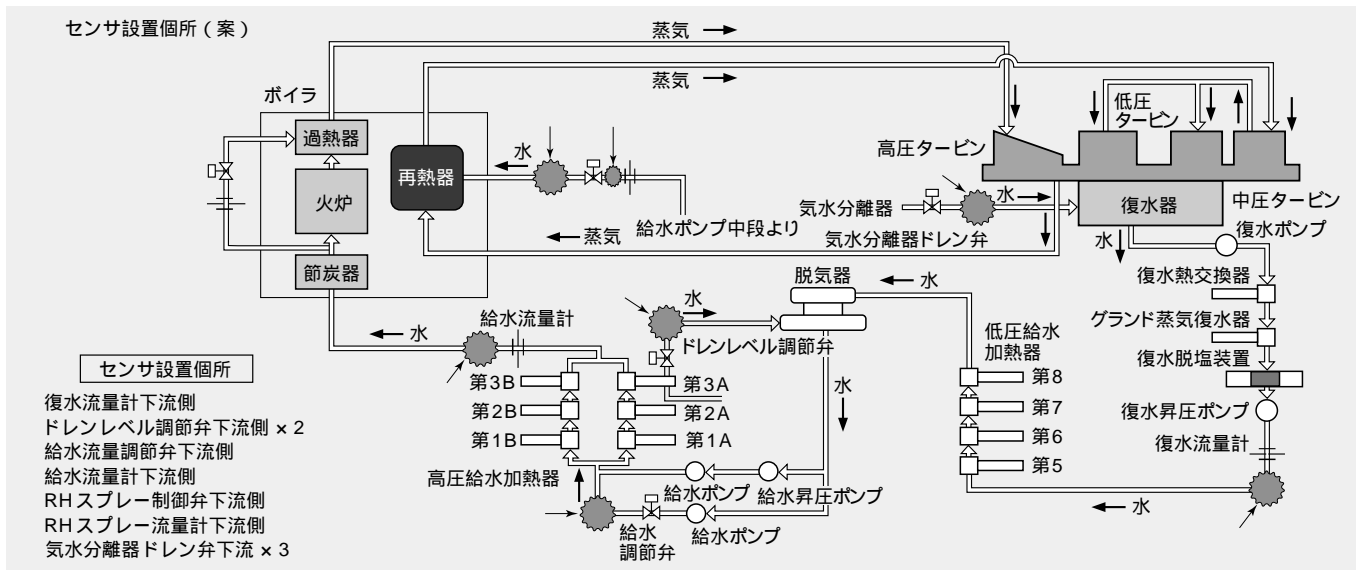


図5 G-Monitorを火力プラントでどの様に使うかの一例を示した図

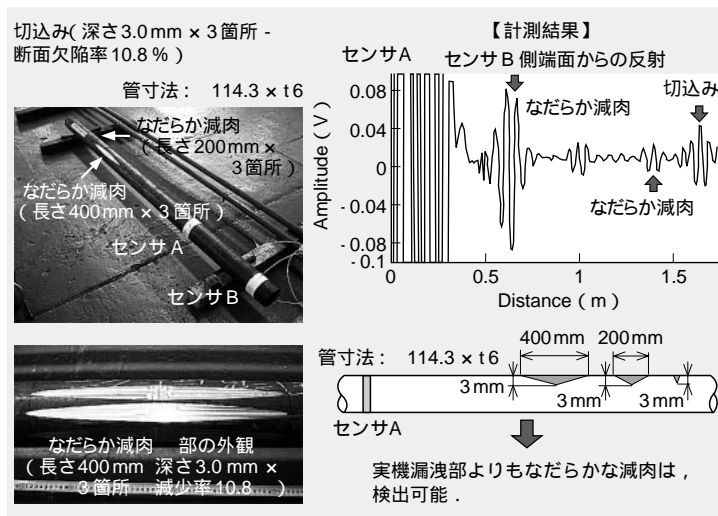


図6 軸方向になだらかな勾配の減肉の探傷試験結果
実機で生じるような軸方向長さ400mm、深さ3mmのなだらかな減肉を模擬した人工欠陥の検知が可能である。

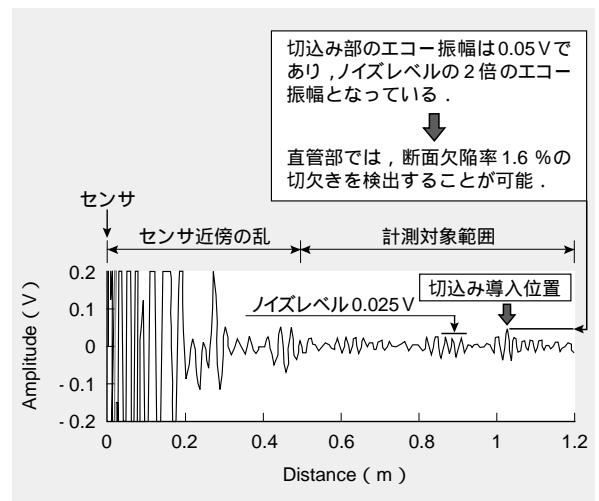


図7 直管部の欠陥検出限界
断面欠陥率1.6%の切欠き状欠陥を検出することが可能である。

かな勾配を有する。そこで、軸方向に400mmで深さ3mmのなだらかな減肉、軸方向に200mmで深さ3mmのなだらかな減肉、そして深さ3mmの切込みの3つを模擬した人工欠陥の探傷試験を実施した。

なお、3つの人工欠陥の断面欠陥率は全て同じ10%である。

図6に計測試験の結果を示す。2つのなだらかな減肉模擬人工欠陥部のエコー振幅値は切込みの約半分の値になっているが、ノイズレベルの2倍のエコー振幅値となっており、なだらかな減肉を検出することは可能である。

6.2 欠陥の検出限界確認結果

直管部、エルボ部、そしてレデューサ部に切込み状の人工欠陥を導入し、その検出限界を確認した。

図7に断面欠陥率1.6%の切込みを導入した直管部

の計測結果を示す。切込み導入位置でのエコー振幅は、計測対象範囲のノイズレベルの2倍の値となっている。よって、断面欠陥率1.6%の欠陥まで検出することが可能である。

次に、エルボ部及びレデューサ部に切込みを導入した計測により、エルボ部では断面欠陥率4.2%の欠陥まで、またレデューサ部では断面欠陥率5.2%の欠陥まで検出できることを確認した。

6.3 ガイド波の減衰要因の影響

当初は、実機配管の拘束や形状不連続部においてガイド波が減衰して計測ができなくなることが懸念されていた。そこで、各種減衰要因の影響について各種計測試験を実施した。

図8にエルボ部の計測結果を示す。エルボ部前後の周溶接1と周溶接2におけるエコー振幅には変化が見

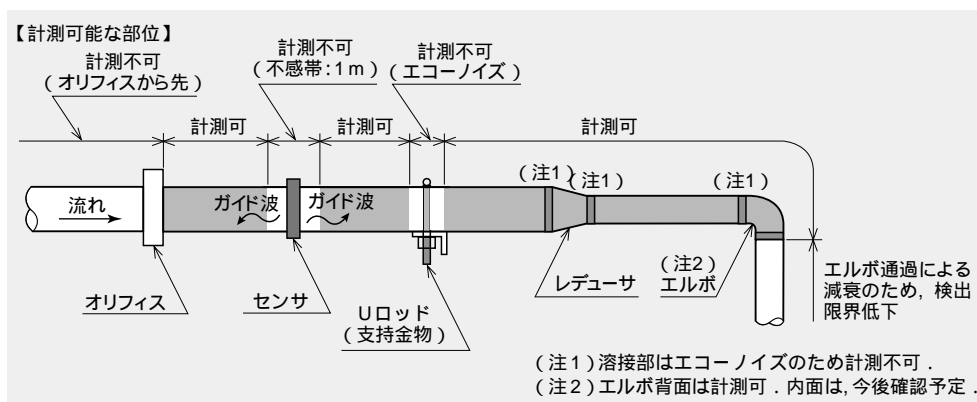


図9 現状のシステムで計測可能な部位
エルボ部通過によりガイド波は減衰するため、エルボ通過後の部位は検出限界が低下する。

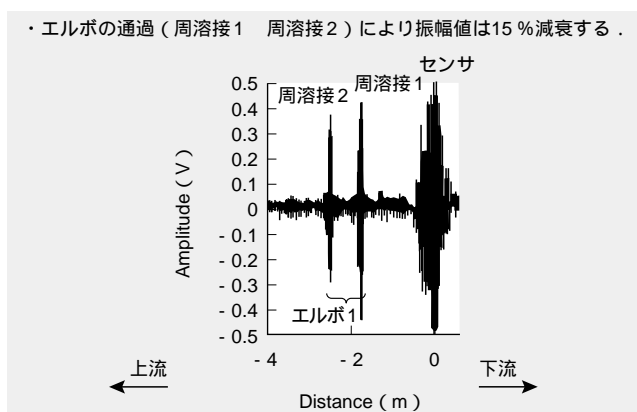


図8 エルボ部の減衰計測結果
エルボ部の通過によるガイド波の減衰は15%である。

られ、15%減衰している。よって、エルボ部においてガイド波は減衰する。

また、レデューサ部とUロッド部の計測によりレデューサ部とUロッド部でのガイド波の減衰は無視できることを確認した。

図9に、これまで計測を実施した減衰要因の影響を基に、配管上で計測可能な部位を示す。

6.4 計測可能な温度条件

火力プラントの配管においては、運転中に温度が上昇するため、その運転時の温度によっては運転中のモニタリングが困難な可能性がある。また一方で、減肉の進展は一般的に遅いため、ユニット停止時の配管温度が低下した際に計測できれば実用上十分な場合もある。

そこで、計測可能な温度条件を明確にするために、電気炉を利用した高温用金属箔センサの高温計測試験

を実施した結果、370℃までセンサ出力が維持されることが確認できた。

現在、運転中のモニタリングを目指して、長時間耐久性について検証中である。

7. まとめ及び今後の展望

以上のように、火力プラント配管への適用を対象としたガイド波による配管の探傷監視システムについて報告した。本技術により、配管の保守・管理のために必要な保温の撤去・復旧工事を大幅に削減し、かついつでも探傷モニタリングができるシステムとして成立可能であることを示した。本報告が火力プラントの保守・保全に役立てば幸甚である。

参考文献

- (1) Takahiro Hayashi, Circumferential Guided Wave Inspection for a Defect at Inner Surface of a Pipe, ASME-PVP2004 (2004)



黒石卓司



椎橋啓



西村宣彦



坂田文穂



松本拓俊



青木清隆