

X線イメージングシステムの概観写真（右）とイメージセンサー部の拡大写真（左）

狭い場所にある設備をオンラインで診断するために —— X線イメージングシステムの開発 ——

- X線イメージングシステムの特徴
- より鮮明な撮影画像を安全に得るために
- 診断現場での実用に向けて

● ひとこと 電力技術研究所 高エネルギー領域 主任研究員 大石 祐嗣

X線イメージングシステムの特徴

火力発電所や原子力発電所などの発電設備はその完成から長い年月が経過すると、経年劣化が進んでいくことが懸念され、設備の健全性を維持していく上で、適切に状態を把握し、対策を施していくことが重要となります。

発電施設の配管設備はさまざまな原因により応力腐食割れ^(注1)や減肉などの現象が発生しますが、配管設備は複雑に入り組んだ構造となっていることも多く、また、配管部材を取り外すことも容易ではないため、狭い場所で効率よく診断できる技術が望まれています。

現在、非破壊検査の方法として超音波による探傷試験が用いられていますが、電力中央研究所では、配管断熱材の上からでも非破壊で検査が可能なX線イメージングシステムというX線の透過による撮影、診断が可能なシステムを開発し、システムの実用化に向けた研究に取り組んでいます。

注1：腐食環境下におかれた金属材料が、残留応力を含む一定の引張応力と腐食環境の相互作用により、き裂が発生し、そのき裂が時間とともに進展する現象のこと。

■コンパクトなセンサー部

本システムは、診断の対象物を透過したX線を画像として再現するイメージセンサー部と、撮影の位置を調整、決定するステージ部から構成されます。イメージセンサー部はセンサー本体と熱雑音^(注2)を低減させる冷却機構部から構成され、センサー本体の中で検出素子(CsIの針状結晶)によりX線を可視光線に変換し、その可視光線をCCD(電荷結合素子)カメラで撮影するという仕組みです。そのため、X線写真フィルムとは異なり現像作業が不要で、結果をその場で確認することができ、効率良い診断が可能です。また、センサー部のサイズは45×65×29mmと非常にコンパクトであり、発電プラントなど配管が複雑に入り組み、10cm程度しかスペースのない部分での撮影が可能です。

注2：電子の不規則な熱の振動により発生する雑音。

■感度を高めたセンサー部

センサーは検出素子の厚さが0.1mmの市販のものを利用していますが、感度の向上による撮影時間の短縮と作業の効率化を図るため、検出素子を現状で製作可能なレベルの1.0mmまで厚くし、その効果を確認しました。

確認にあたっては、イリジウム線源(8.2Ci)によるX線を用い、針金形透過度計^(注3)を裏面に貼付した厚さ50mmのステンレス鋼(SUS)板を厚さ0.1mmと1.0mmの検出素子により同時間(60秒)撮影し、画像の中心付近の平均輝度を比較しました。その結果、図1で示すとおり、厚さ0.1mmで約540、1.0mmで約3700の輝度を確認し、検出素子を約10倍厚くすることで、撮影感度を約7倍向上させることができました。

注3：放射線透過写真の画像の質を評価するために用いられる計器・器具のこと。

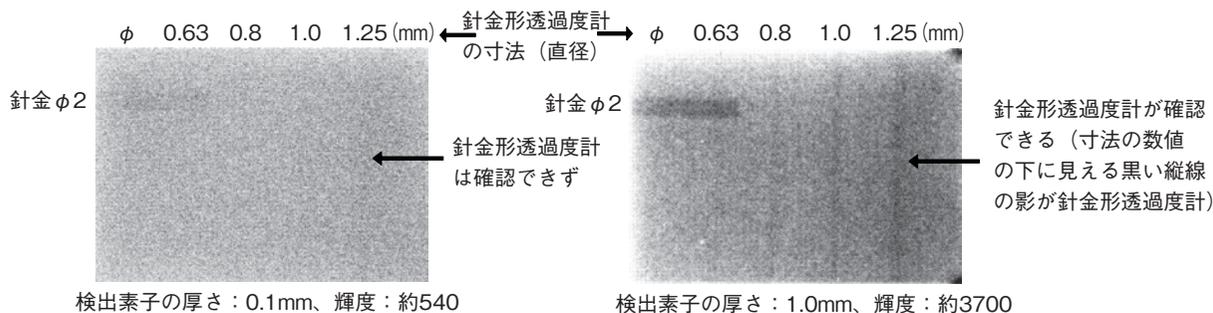


図1 X線透過画像の比較(厚さ50mmのSUS304板に針金形透過度計16Sを貼付)

より鮮明な撮影画像を安全に得るために

■レーザープラズマによるX線源の開発

イリジウム線源によるX線の使用により、厚さ5～10cm程度の鋼材の透過撮影を実現していますが、イリジウム線源は厳しい管理が必要です。そこで、当研究所では、イリジウム線源に替わるものとして、レーザープラズマによるX線源の開発を進めています。レーザープラズマX線源では、レーザーを数 μ m程度に集光した点からX線が発生するので、解像度の高い画像が期待されます。

発電設備の配管材料などに使用されている鋼材の撮影には、100KeV以上の高いエネルギーのX線が必要です。当研究所では、パルス幅の極めて短いレーザービームを集光用のミラーに反射させて、銅などの金属テープに極めて小さく集光しながらあてることによりプラズマを生じさせ、そこから高いエネルギーを有するX線が発生させるという方法を考案しました。その構造は図2のとおりです。また、このX線発生装置を利用した透過画像計測システムの構成は図4のとおりです。この方法により、300KeV相当の高いエネルギーのX線が発生させ、厚さ1cm鋼材の透過画像撮影に成功しました。

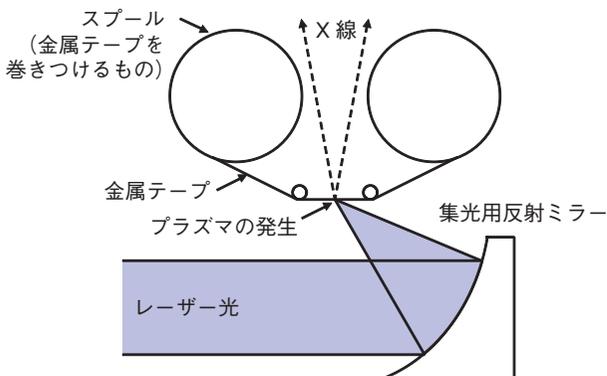


図2 レーザープラズマX線源ヘッド部分の構造

■画像処理による視認性の向上

前述のようにイメージセンサーとレーザープラズマX線を用いて、厚さ1cm鋼材の透過画像撮影が可能になりました。

しかし、本方式では対象部分を区切って撮影するため、対象物の全体画像を得るには、撮影画像を連結する必要があります。単純に画像を連結するだけでは、画像間での位置ずれや、微妙な撮影条件の違いにより、連結部分で不連続な画像になるという問題がありました（図3a）。そこで、画像の回転補正や線形合成の処理ができる画像連結プログラムを開発し、画像処理をした結果、連結部分の不連続性が解消され、非常に滑らかな画像を得ることができました（図3b）。また、明るさなどの人間の視覚特性を考慮したRetinexフィルタによる画像処理を施した結果、画像のコントラストがはっきりし、模擬減肉部分を鮮明に確認することができました（図3c）。

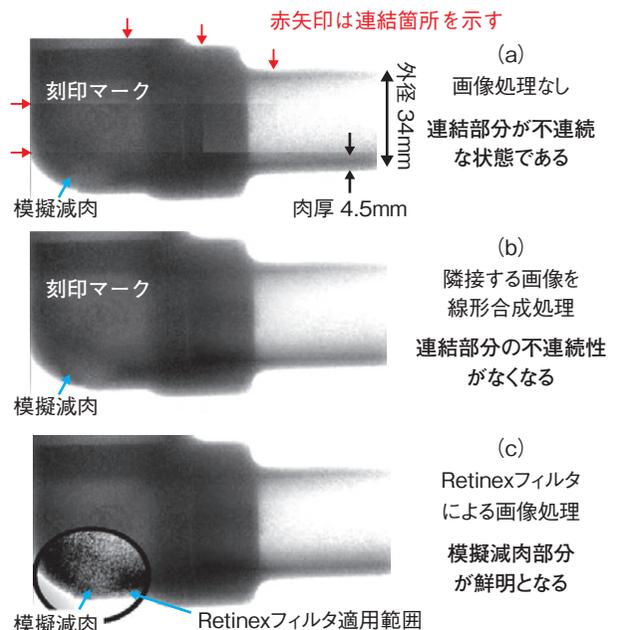


図3 透過撮影画像と画像処理結果
(エルボ配管、SUS304)

診断現場での実用に向けて

■ 利便性の向上に向けて

現場での活用を考え、利便性の向上を図りました。

その一つは機器の遠隔操作です。センサー部と制御用のパソコンの間をケーブルで繋ぎ、10mの遠隔でもシステム全体を操作ができるようにしています。

もう一つは、周辺機器のコンパクト化と軽量化です。機器を現場へ簡単に持ち込むことができるように、外部トリガ（データの取得を開始するタイミングを外部から与える機器）や、センサー部のペルチエ素子（熱の移動を促す半導体素子）用電源など周辺機器を改良しました。

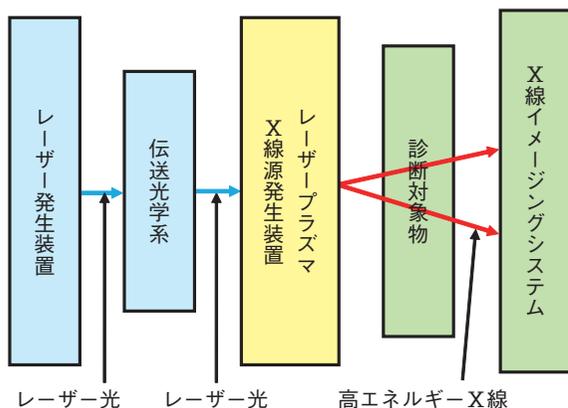


図4 透過画像計測システムの構成図

■ 様々な現場での活用可能性

今回紹介したイメージセンサーについては現場への適用が検討されています。しかし、レーザープラズマによるX線源については、現時点で診断が可能なものは厚さ1cmの鋼材レベルであり、実際の診断現場で活用できるレベルにはまだ至っていません。今後は、電力会社のプラント施設などでの配管減肉検査、金属溶接の欠陥調査、更には鋼材などの金属系材料だけではなく、コンクリート構造の内部欠陥調査などさまざまな場面での活用を目標に、更なるX線源の高エネルギー化・高線量化を達成させるための研究を進め、より精度の高い効率的な診断システムを開発していく予定です。

● ひとこと



電力技術研究所
高エネルギー領域
主任研究員
大石 祐嗣

近年、既設発電設備の老朽化が進んでいることから、健全性評価に対するニーズが高まっています。

今回開発したX線イメージングシステムは、狭い場所にある設備の非破壊検査をオンラインで行う際に威力を発揮します。レーザープラズマX線源については、高エネルギー化・高線量化など、まだクリアしなければならない課題がありますが、新しい応用計測診断技術として確立するようチャレンジしていきたいと思っています。

関連 報告書

- 「狭隘部診断用X線イメージングシステムの開発(2)―X線透過画像の視認性向上およびセンサー感度の向上―」電力中央研究所報告:H08005
- 「狭隘部診断用X線イメージングシステムの開発―プロトタイプの作製および性能評価―」電力中央研究所報告:H07006
- 「レーザープラズマX線源を用いた透過画像計測システムの開発―鋼材計測のための高エネルギーX線の発生量増大―」電力中央研究所報告:H08009