

設備診断のためのレーザープラズマX線源の開発

背景

発電設備をはじめとする各施設において応力腐食割れや配管減肉対策は重要な課題であり、効果的な設備診断技術が必要とされる。現状では、超音波探傷が主として用いられるが、配管断熱材を除去しなければならず、また、溶接部や小口径配管等への適用は困難である。そのため、放射線透過検査を併用するが、同位体線源では高い空間分解能が得難く、放電X線管線源では狭隘部の検査は困難である。一方、レーザープラズマX線源*1では、高空間分解能で狭隘部の検査が可能となる(表1)。この線源を実用化し、X線透過画像撮影に適用するためには、高エネルギーかつ高強度のX線を発生させる技術を確立する必要がある。

目的

レーザープラズマX線源において高エネルギーX線の強度を高めるために、X線コンバータ方式*2の適用を図る。

主な成果

1. レーザープラズマX線の高強度・高エネルギー化

レーザープラズマX線の発生強度を向上させるために、図1に示すターゲットとX線変換部を切り離れたX線コンバータ方式を提案し、その有効性を実験的に評価した。原子番号の高いタングステンはX線変換に有利であり、これをコンバータに用いた場合、図2に示すように厚さ0.2~0.5mmにおいてX線強度が高く、コンバータがない場合の約2.5倍に向上した。さらにシミュレーションにより発生X線の透過特性を計算し、実験結果との良い一致を得た。本計算はX線コンバータにおける高エネルギー電子とX線の挙動を再現できており、今後の理論設計に活用できる。また、レーザーのプリパルス*3を積極的に利用することで、電子温度を2倍向上させることができ、これを用いることでX線エネルギーの向上が期待される。また、エネルギー的には2~3MeVの電子も得られており、透過性の良い高エネルギーX線発生が可能である。

2. レーザープラズマX線による透過像撮影

上記で得られたレーザープラズマX線とX線イメージインテンシファイアを用いてX線透過像撮影を試みた。回路基板を撮影した例を図3に示す。今回のX線強度では、レーザー照射回数100ショットにおいて透過限界は4mm厚の銅程度であった。X線強度の向上と照射回数の増加によりX線の積算強度をさらに1桁程度高めることで、実用化に必要な数cm厚配管のX線透過像を得ることができる。

今後の展開

レーザープラズマの最適化を行うことでX線強度を高め、実用化に必要な数cm厚配管のX線透過像を得る。同時に、狭隘部に持ち込めるよう、レーザープラズマX線源装置のコンパクト化およびX線検出器の選定を行う。

主担当者 電力技術研究所 高エネルギー領域 主任研究員 大石 祐嗣

関連報告書 「レーザープラズマX線源の開発に向けたX線コンバータ方式の評価」電力中央研究所報告：H05014 (2005年3月)

“Effect of plasma peak density on energetic proton emission in ultrashort high-intensity laser-foil interactions”, Phys. Plasmas 12, 113101 (2005).

*1：高強度短パルスレーザーを集光照射することで瞬時に高温高密度プラズマを生成し、このプラズマ中の電子を介して生成されるX線。

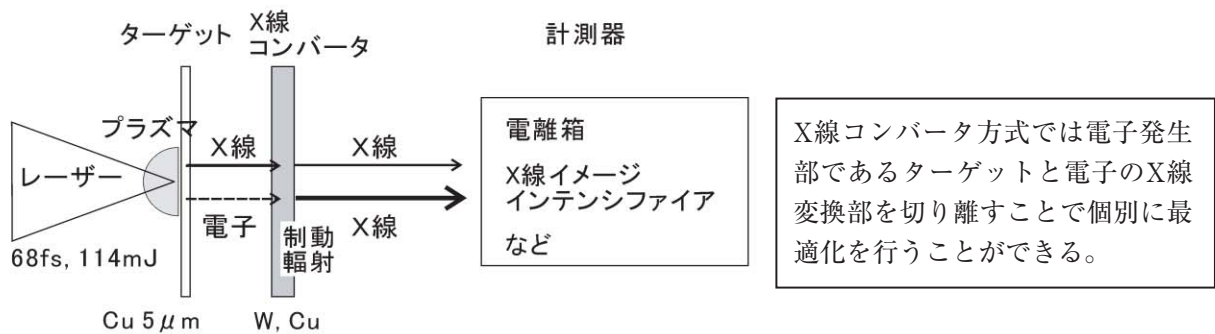
*2：通常のレーザープラズマX線源ではターゲットの中で電子発生と電子のX線変換を行うが、X線コンバータ方式ではX線変換部をターゲットの外に設け個別に最適化を行うことで、高エネルギーX線の強度を高める。

*3：レーザーのメインパルスの前に発生するパルス。通常は無視できるが、メインパルスの強度が非常に大きいため、プリパルスの影響が無視できなくなる。

表1 放射線透過検査用X線源の比較

	既存技術			本方式
	同位体線源 コバルト	イリジウム	放電管	レーザー プラズマ
空間分解能 (≤0.1mm)	△	△	○	○
発生部本体 の大きさ (≤十数cm)	○	○	×	○
取扱い易さ (遮蔽)	×	△	○	○
X線のエネルギー (MeV級)	○	×	△	○

但し、レーザープラズマについては今後の性能向上を含めている。



X線コンバータ方式では電子発生部であるターゲットと電子のX線変換部を切り離すことで個別に最適化を行うことができる。

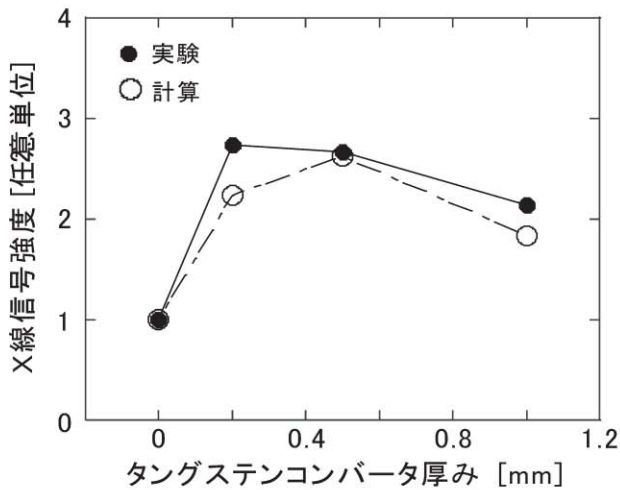


図2 X線減衰フィルター (W1mm) 通過後のX線信号強度とWコンバータ厚みの関係

タングステンコンバータを用いることで、X線強度が約2.5倍増加する。

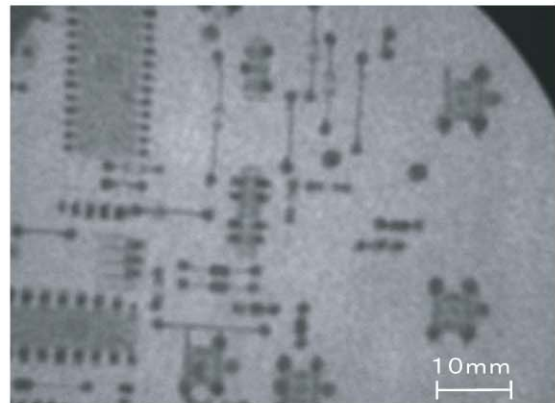


図2 レーザープラズマX線とX線イメージインテンシファイヤーを用いて撮影したX線透過像

1mm厚アルミ板の後ろに設置した回路基盤 (最大厚3mm) の撮影。