



## レーザー照射材料の応力分布解析

米田 修  
トヨタ自動車株式会社

### 1. 測定実施日

25年3月5日 10時 – 18時30分 (2シフト) , BL8S1

### 2. 概要

超高強度レーザーを材料に照射することにより、衝撃波が発生し材料表面や内部に超高圧・高温を印加することができる。そこで、レーザーを活用することで非常に大きい残留応力歪の導入や更には新しい構造を持つ材料の創生が期待されている。そこで、超高強度レーザーを照射したイットリウム安定化ジルコニアの残留応力歪の定量的な計測を試みた。

### 3. 背景と研究目的

超高強度レーザーを材料に照射すると、材料表面で生成する衝撃波により、ダイヤモンドアンビルなどの従来の手法では得られない超高圧が生成可能といわれている。この超高圧により材料内部に非常に大きな残留応力が保持され、高圧状態でのみ存在する高圧相の凍結がなされたとの報告も得られている<sup>1)</sup>。また、残留応力による高圧相の凍結にいたらずとも、結晶格子の間隔が大きく変化すれば大きな空間的な電子構造の変化が誘起され、従来の材料では得られない電子物性（誘電分極、磁性、伝導性など）や触媒作用の発現も期待される。

このように、新しい電子物性を持つ材料の探索や創生に超高強度レーザーの活用が期待されている。そのため、レーザー照射条件と材料に誘起される残留応力分布の関係を定量的に明らかにすることは大変重要になっている。

しかしながら、レーザーの照射域は  $100\mu\text{m}$  程度であり、生成される残留応力も微小である。そのため、通常の XRD ではフラックスが不足し散乱ピークがノイズに埋れ計測が困難であった。そこで、シンクロトロン放射光で得られる高輝度のフラックスによる残留応力歪の計測を試みる。

### 4. 実験内容

あいちシンクロトロンのビームライン BL8S1 にて、 $2\theta - \sin^2\phi$  法による X 線応力測定をおこなった<sup>2)</sup>。

基板の傾斜角度  $\phi$  に対する X 線回折ピーク位置  $\theta$  の変化からひずみ ( $\varepsilon$ ) を計測し、そのひずみ ( $\varepsilon$ ) から試料に存在する応力 ( $\sigma$ ) を求めるというものである。

10mm×10mm、厚み 1mm の 8mol%Y安定化ジルコニア多結晶板（フルウチ化学）に、エネルギー 1.3 J、パルス幅 15 ns、エネルギー $1/e^2$ 照射径 65  $\mu\text{m}$ 、レーザー強度 2.6 TW/cm<sup>2</sup> の高強度レーザーを照射し計測サンプルとした。

計測に用いた X 線のエネルギーは 9.15 keV、ビーム形状は約 0.2 mm×0.6 mm、基板の傾斜角度  $\phi$  は 0°、20.704°、30°、37.76°、45° の 5 水準である。

## 5. 結果および考察

基板傾斜角度を変化させた場合の約 80° に現れるピーク変化の一例を図 1 に示す。

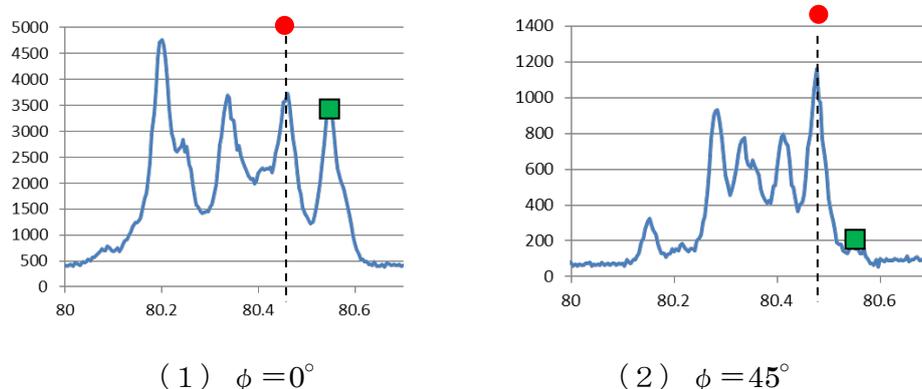


図 1 基板傾斜角度を変化させた場合のピーク位置

フラックス強度の低い X 線源では、レーザー照射部が微小なためノイズに埋もれ明確なピークが観測できない。本計測では複数の明瞭なピークが観測されている。各々のピーク強度は基板傾斜角度  $\phi$  に対して大きく変化しているが、強度が減少してもノイズに埋もれずピークのシフトを追うことが可能であった（図 1 ■ のピーク）。これより、今回使用したビーム品質は応力計測に十分であることを示唆している。尚、複数のピークが現れる理由としてレーザーの照射スポット径が 65  $\mu\text{m}$  に対し、計測に使用した X 線のビームの照射域が 0.2 mm×0.6 mm と非常に広く、照射領域内に異なる歪を有する結晶粒が生成しているためと推察される。

そのため、レーザー照射条件と生成した残留歪の関係の定量化することは困難であった。しかしながら、特定のピーク（例えば、図 1 の ● ピーク）に着目し、残留応力解析を行った。2 $\theta$ -sin<sup>2</sup> $\phi$  プロットでは、ばらつきはあるものの、概ね負の傾き、すなわち圧縮応力（約 100 GPa）が認められた。したがって、レーザー衝撃波により、高压相の凍結や新機能付与など、材料創製において新展開が期待できる。さらに、あいちシンクロトンの高い SN 比による応力解析は歪の発生メカニズムを解明するにあたり非常に重要な手段となると期待される。

## 6. 今後の課題

今回の試験ではX線ビーム照射領域内に大きさの異なる残留歪をもつ領域が存在したため、レーザー照射条件と生成した残留歪の関係の定量化には至らなかった。レーザーパワーを上げ照射径を広げることで均一な歪となる領域を拡大するとともに、X線の照射域を数  $10\ \mu\text{m}$  まで狭めて空間分解能を上げる必要がある。

## 7. 参考文献

- 1) 尾崎典雅、兒玉了祐 他、J. Plasma Fusion Res. Vol. 86, No. 10 (2010)604-610
- 2) X線応力測定法標準 ー鉄鋼編ー、ーセラミックス編ー (公社) 日本材料学会