

## 利用課題名

### 原子炉シラウド用材料 SUS316L の高温・高圧水中変形の In-situ 2 次元応力分布解析

In-situ analyses on two-dimensional stress distribution in SUS316L used for a shroud in an atomic reactor under high temperature and pressure.

山本厚之<sup>1)</sup>, 椿野晴繁<sup>1)</sup>, 寺澤倫孝<sup>1)</sup>, 中東重雄<sup>2)</sup>, 大西陽子<sup>1)</sup>,  
菖蒲敬久<sup>3)</sup>

Atsushi YAMAMOTO, Harushige TSUBAKINO, Mititaka TERASAWA, Shigeo NAKAHIGASHI, Youko OHNISHI,  
Takahisa SHOUBU

<sup>1)</sup> 兵庫県立大学, <sup>2)</sup> 発電設備技術検査協会, <sup>3)</sup> 日本原子力研究開発機構

(要約) SUS316L を素材として、ゲージ部のサイズが  $1 \times 1 \times 1$  mm の小型引張り試験片を作製し、288°C, 8 MPa の高温高圧水中で応力を負荷した状態での 2 次元歪分布を測定した。試料としては、溶体化処理後のもの、および溶体化処理後、ゲージ部の 1/2 だけショットピーニングを施したもの用いた。

キーワード : SUS316L, In-situ 測定, 原子炉シラウド用材料, 2 次元歪分布。

#### 1. 目的

沸騰水型原子炉内で使用される SUS316L 製シラウドにおけるクラック発生の原因究明と対処法の構築が急がれている。このクラックは、応力腐食割れ (SCC) に似ているが、発生起点が粒内であること、表面加工などにより、硬度が上昇した部分に発生すること、いわゆる熱影響部ではない位置に発生すること、など、従来の SCC とは異なる特徴を持つ。溶体化処理後の試料、表面研削加工を施した試料、冷間圧延により加工した試料等、いくつかの処理を施した試料について、通常の大気中での応力測定を行ってきた。これらを基礎として、原子炉雰囲気内、すなわち、高温高圧水中での試料の応力／歪分布を In-situ (その場) 測定することにより、現象の再現を目指すものである。

今回は、種々の処理を施した試料について 2 次元歪分布を測定し、その後、試料の低歪速度引張り試験を行って、クラック発生との関連を調べることとした。

#### 2. 方法

SUS316L ステンレス鋼を試料とした。化学組成を表 1 に示す。図 1 に示すようなゲージ部の寸法が  $1 \times 1 \times 1$  mm<sup>3</sup> の引張り試験片を作製した。試片作製後、1323 K, 0.9 ks の溶体化処理を施した。その後、①溶体化処理のままの試料、②ゲージ部の 1/2 だけショットピーニングを施した試料、③表面を研削した試料、④研削後、1/2 だけショットピーニングを施した試料、の計 4 種類の試料を準備した。ただし、今回使用したのは、①と④のみである。

表 1. 試料化学組成 (mass%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Fe
0.011	0.89	1.05	0.024	0.006	12.09	17.60	2.03	0.026	bal.

温度 561 K、圧力 8 MPa の高温高圧水中で試料に応力を負荷した状態で放射光 (SR) 回折が可能な、小型オートクレーブ装置の試料チャンバー部を図 2 に示す。SR を透過させ、水圧に耐える窓材として、サファイアを用いた。実際の試料チャンバーを図 3 に示す。窓部から見た試料を図 4 に示す。

BL22-XU の試料ステージにセットした In-situ 測定装置および高温高圧水コントローラ、循環装置などを図 5 に示す。

ビームエネルギー 69 keV、ビームサイズ  $0.2 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$  の条件で、 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$  の試料ゲージ部を  $5 \times 10$  点に区切って、計 50箇所の歪測定を行った。

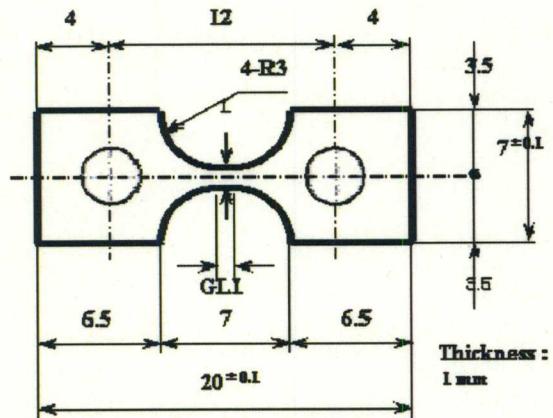


図 1 引張試験片の形状と寸法.

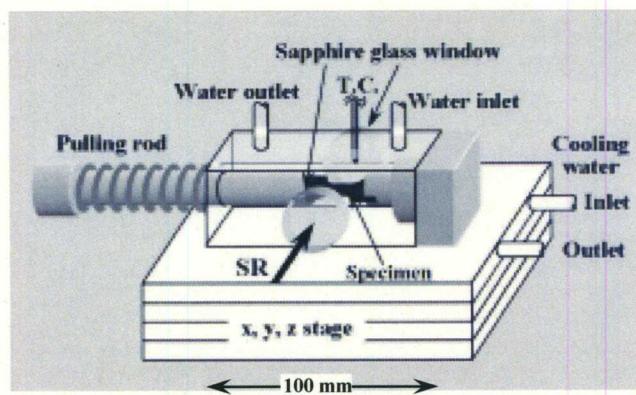


図 2 In-situ 回折測定用高温高压水中引張り装置.

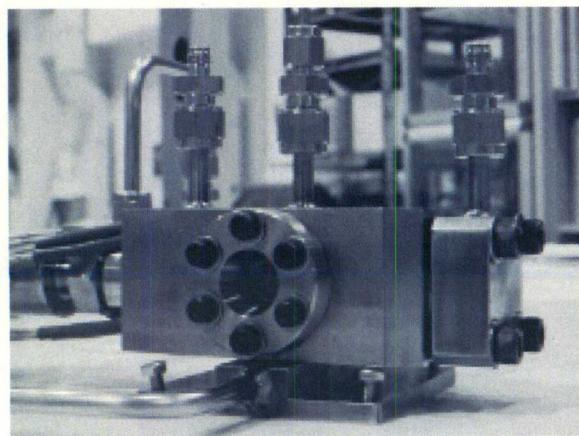


図 3 高温高压水中 In-situ 回折測定用試料チャンバー.

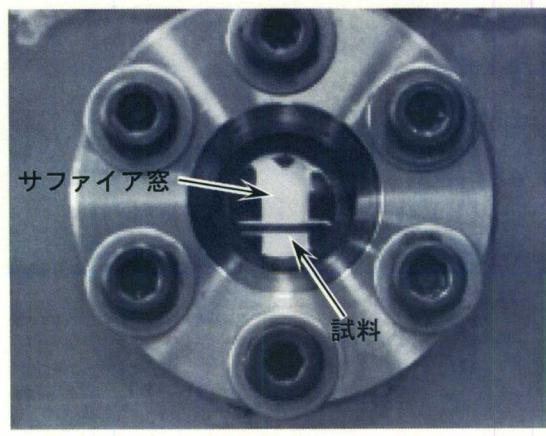


図 4 サファイア窓越しに観察した試料.

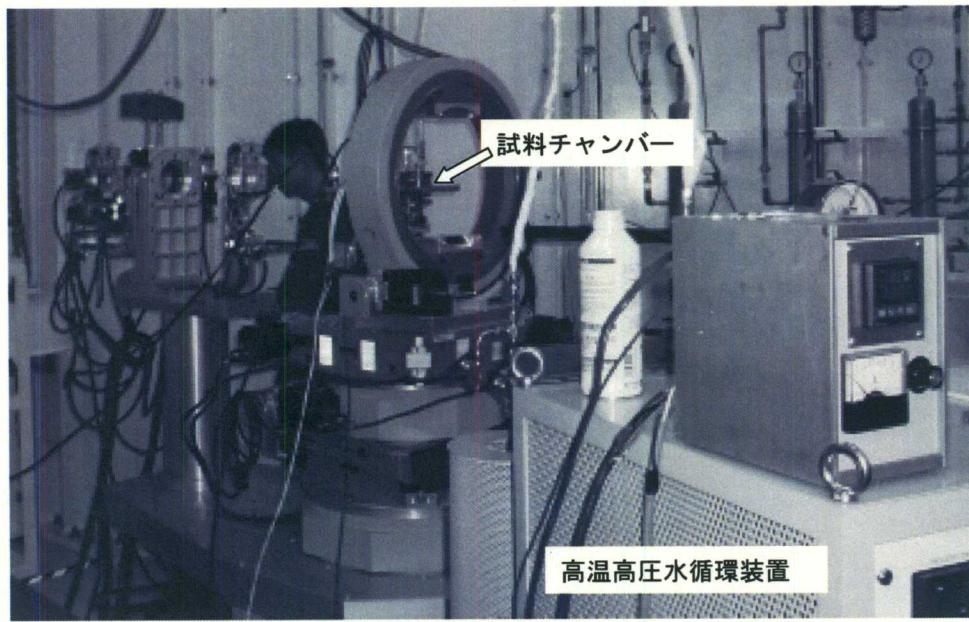


図 5 BL-22XU にセットした試料チャンバーおよび附属装置.

### 3. 研究成果

溶体化処理後の試料①についての常温状圧水中および高温高圧水中での歪分布、および研削加工後、ゲージ部の1/2だけショットピーニング処理を施した試料④についての高温高圧水中での歪分布を図6に示す。現在定量的な分析を行っているところであり、歪の絶対値については議論できないが、図6(a), (b)を比較すると、これらの試料においては、水の圧力が異なるだけであり、引張応力は試料に付加されてないにもかかわらず、歪分布に差が見ら

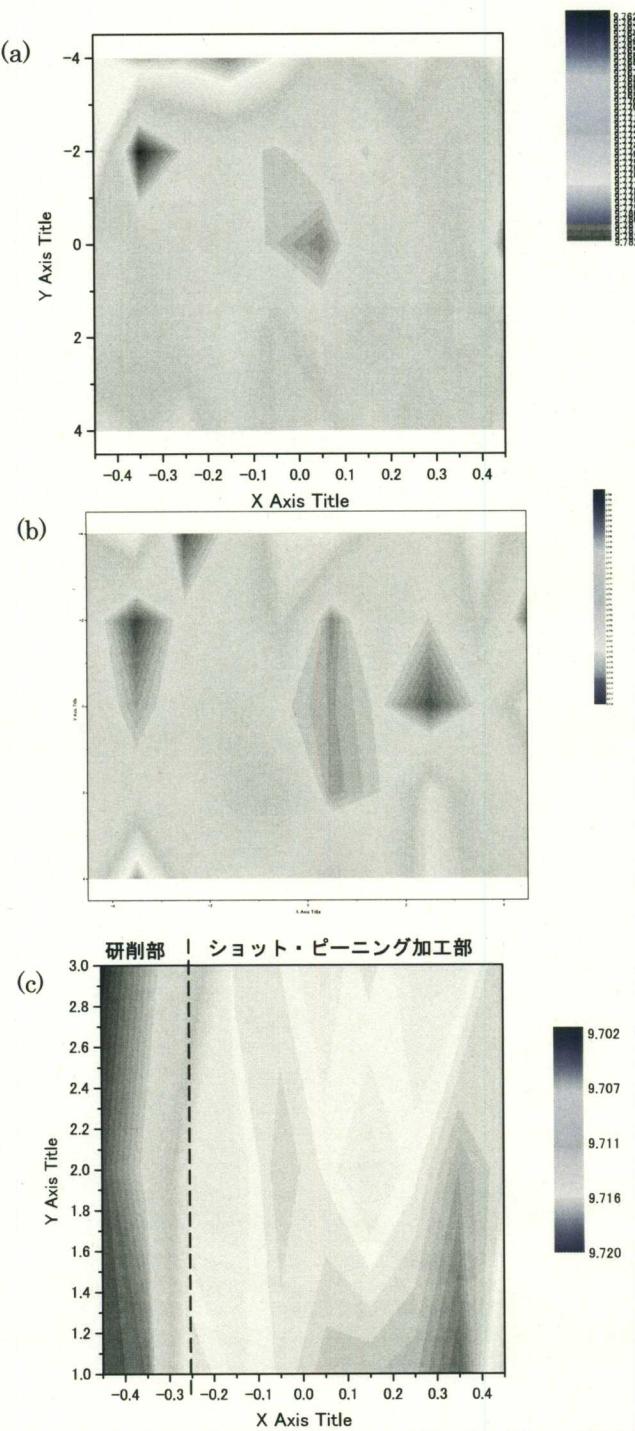


図6 In-situ 二次元歪分布測定結果。常温状圧水中での試料①：(a), 高温高圧水中での試料①：(b), 高温高圧水中での試料④：(c).

れる。(c)中に示した破線は、ショットピーニングを施した部分と研削加工のみの部分の境界であり、これに沿って歪の勾配が生じている。

#### 4. 結論・考察

図6(a), (b)においては、静水圧が負荷されているだけであるが、歪分布に明らかな差が見られる。試料素材は熱間圧延材であり、成分元素の偏析があることは別途行っている微細組織観察の結果から示されている。主にCr, Mnの偏析である。これが歪分布すなわち弾性率の部分的な変化を引き起こすとは考えにくいが、偏析に限らず、何らかの微細組織の差に原因が求められると思われる。

一方、(c)の結果は、ショットピーニングを一部にのみ施すと、その周囲の部分との境界に歪の不均一を誘引することを示唆している。研削加工の歪除去を目的とするショットピーニング処理であるが、研削部全面に施さないとその効果が低減されるかあるいは逆に助長する可能性があることが示された。

今回の実験により、この高温高圧水中 In-situ 歪分布測定の手法は、原子炉内実環境下での歪の評価に有効であることが示された。歪の絶対値評価については今後詳細に検討する。また、水中の試料についての SR 光による測定が可能であるという結果は、回折測定以外の他の測定手法にも応用可能であることを示している。今回は透過光の回折測定であったが、十分な強度が得られており、たとえば、あらかじめ応力腐食によりクラックを生じさせた試料について、クラックの形状等のイメージング測定も可能と思われる。さらに、そのような試料に応力を負荷した際のクラックの進展も観察可能と思われる。

In-situ SR 測定実験の今後の大きな可能性を示す結果が得られた。