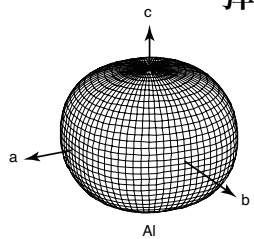
オーステナイト系ステンレスの塑性変形による微視的残留応力

○鈴木賢治(新潟大学),
菖蒲敬久(JAEA),
田中良彦，高木愛夫(東京電力)

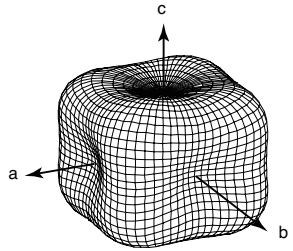
弾性異方性パラメータ $A = \dfrac{2C_{44}}{C_{11} - C_{12}}$

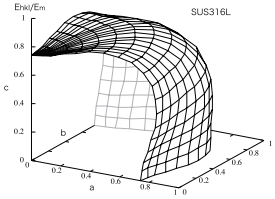


A=1.23 (Al)

オーステナイト系ステンレスは大きな弾性異方性を有する

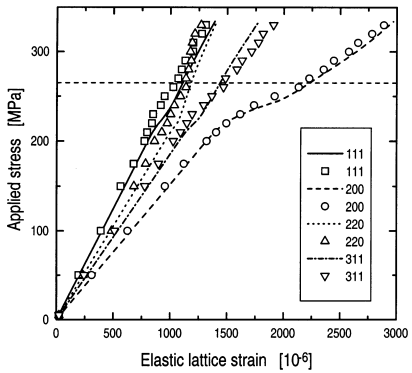
塑性変形により生じる残留応力と回折面依存性との関係

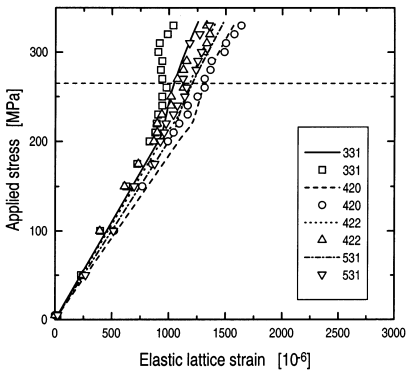




A=3.26 (SUS316L)

Tensile test of austenitic stainless steel using neutron diffraction with TOF method

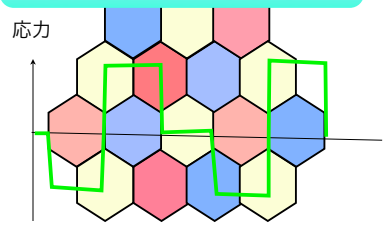




Bjørn Clausen, Torben Lorentzen, Mark A.M. Bourke, Mark R. Daymond, "Lattice strain evolution during uniaxial tensile loading of stainless steel", Materials Science and Engineering, A259 (1999) pp.17 – 24.

弾・塑性異方性 → 微視的残留応力

粒間ひずみ



オーステナイト系ステンレスを対象に

1. 弾・塑性特性の知見を得る.
2. マクロの特性だけでなく，結晶粒ごとの弾塑性特性を知る.
3. 残留応力の発生機構および表面改質処理についての科学的理解を築く.

塑性変形による微視的残留応力の挙動

1.オーステナイト系ステンレスの残留応力の回折面依存性
2.結晶方位による応力の乱れ
3.機械的残留応力とX線的残留応力との違い

実験方法---試験片，引張試験

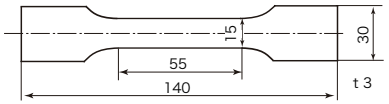


Fig. 1: Sizes of tensile specimen.

SUS316L

塑性ひずみ

0%, 0.23%, 0.99%, 2.13%, 4.98%, 9.25%, 19.00%, 54.75%

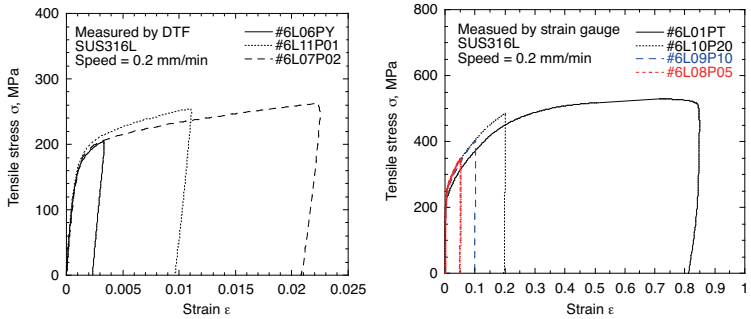


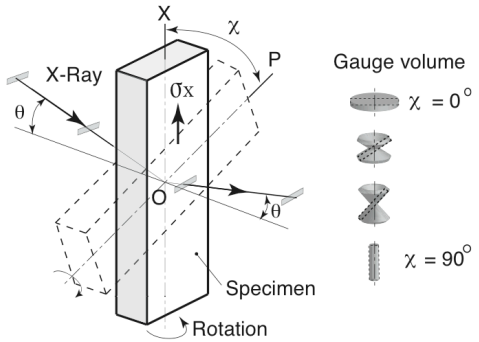
Fig. 2: Stress-strain curves for tensile test

ラボX線条件

Radiations	Mn-$K\alpha$
Diffraction	γ-Fe, 311
Tube voltage	30 kV
Tube current	10 mA
Method	Iso-inclination
Irradiated area	$4 \times 8\text{mm}^2$
Diffraction angle $2\theta_0$	152.313 deg
Scanning	$149 \sim 156$ deg
Scanning step	0.1 deg/step
Preset time	1 sec
$\sin^2\psi$	$0.0 \sim 0.6$, 0.1 step
Stress constant K	-301 MPa/deg
Peak determination	Half value breadth

放射光X線条件

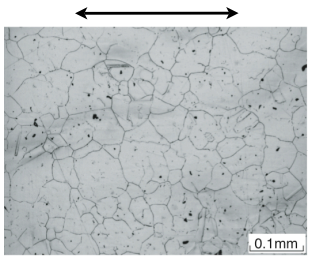
Beam line	BL02B1
Wavelength	71.793 keV (17.264 pm)
Divergent slit (height× width)	0.2×2(mm)
Receiving slit 1, 2 (height× width)	0.2×2(mm)
Rotation speed	0.5 Hz



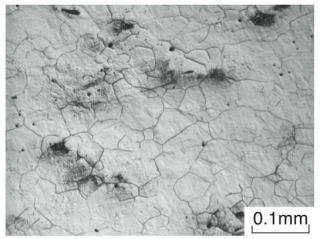
粗大粒対策

$\cos^2\chi$ 法

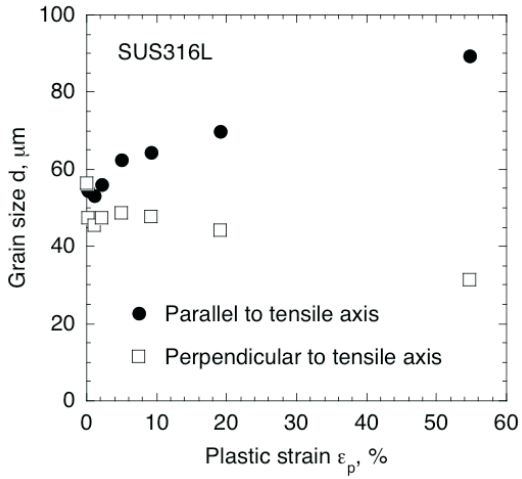
結晶組織



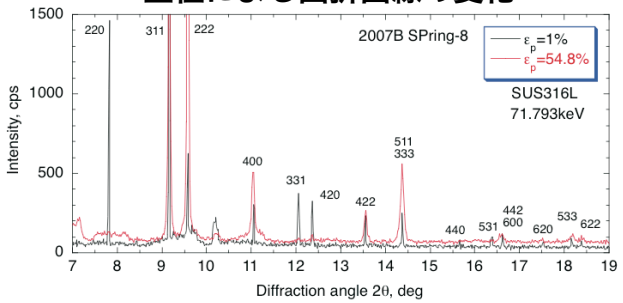
(a) $\varepsilon_p = 0\%$



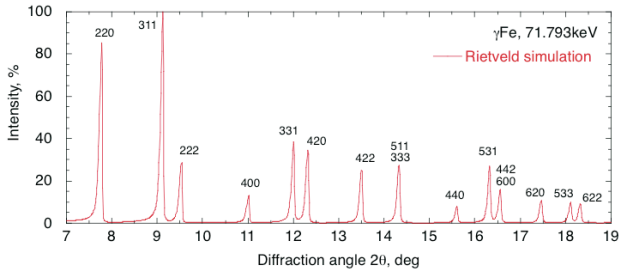
(e) $\varepsilon_p = 20\%$



塑性による回折曲線の変化

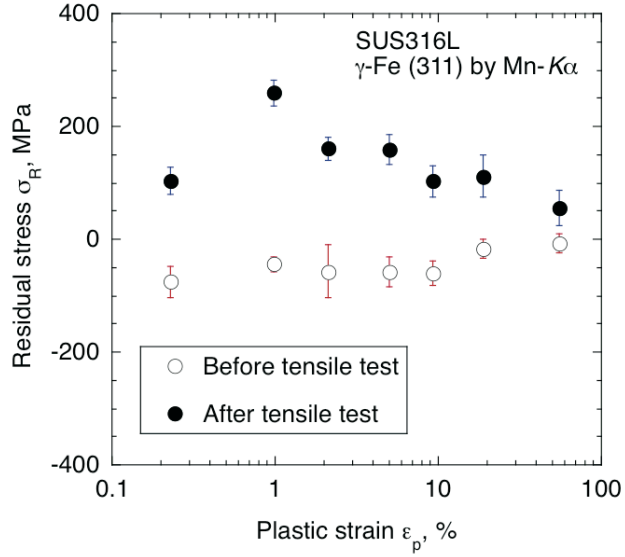


(a) Profiles of test specimens with plastic strain

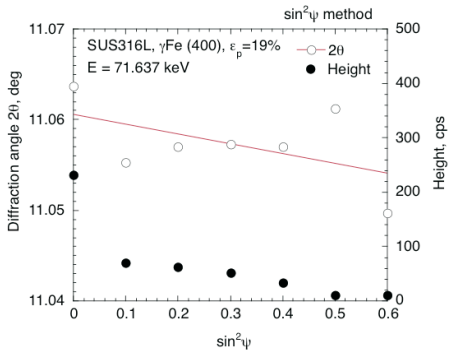


(b) Profile simulated by Rietveld method.

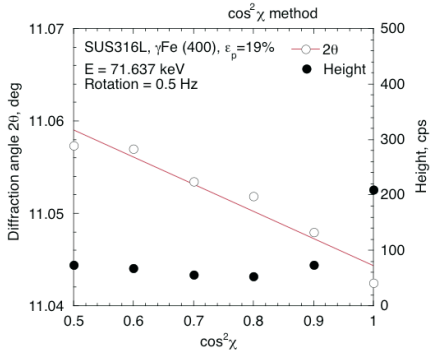
ラボX線による塑性変形前後の残留応力の測定



$\cos^2\chi$ 法による粗大粒対策の効果



(a) $\sin^2\psi$ method

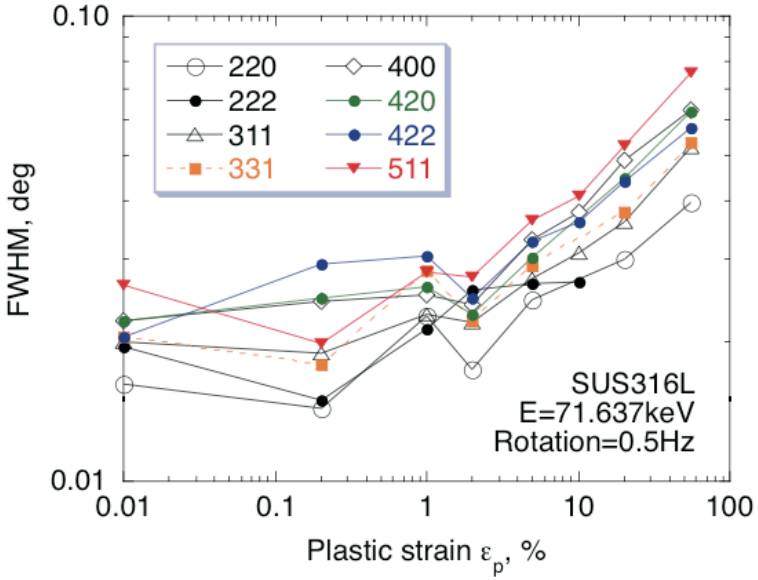


(b) $\cos^2\chi$ method

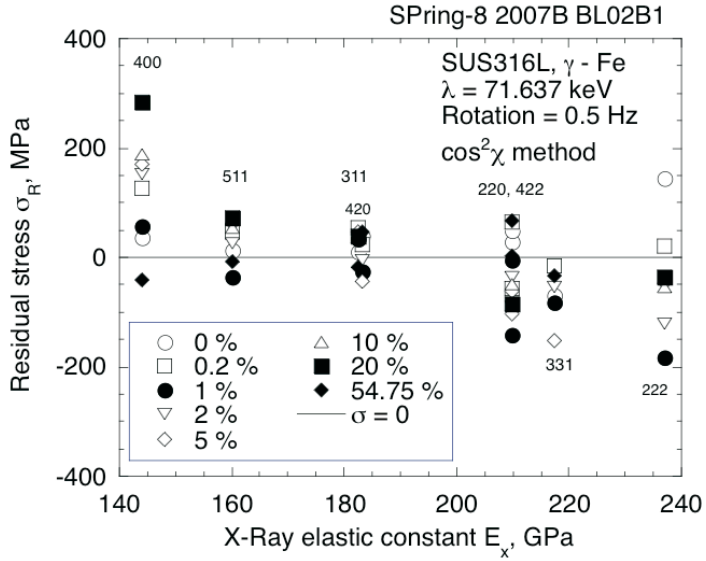
放射光による残留応力測定結果

#	6L19P00	6L06PY	6L11P01	6L07P02	6L08P05	6L09P10	6L10P19
ε_p	0%	0.23%	0.99%	2.13%	4.98%	9.25%	19.00%
220	50 ± 59	-56 ± 38	-142 ± 13	-92 ± 44	-104 ± 33	—	—
311	10 ± 35	53 ± 27	33 ± 14	35 ± 49	47 ± 27	37 ± 14	38 ± 31
222	145 ± 56	20 ± 58	-182 ± 80	-125 ± 34	-45 ± 17	-55 ± 17	36 ± 20
400	37 ± 31	126 ± 42	56 ± 17	154 ± 27	170 ± 25	187 ± 25	283 ± 37
331	-69 ± 49	-16 ± 38	-83 ± 16	-54 ± 24	-153 ± 25	—	—
420	38 ± 32	23 ± 16	-26 ± 18	-4 ± 21	-43 ± 38	—	—
422	30 ± 36	65 ± 12	-4 ± 17	-37 ± 24	-60 ± 34	-48 ± 18	-85 ± 34
511, 333	14 ± 14	48 ± 28	-35 ± 36	26 ± 10	61 ± 14	54 ± 12	72 ± 23
442, 600	—	—	—	—	4 ± 15	-34 ± 14	25 ± 16
533	—	—	—	—	-74 ± 38	-47 ± 17	-127 ± 25

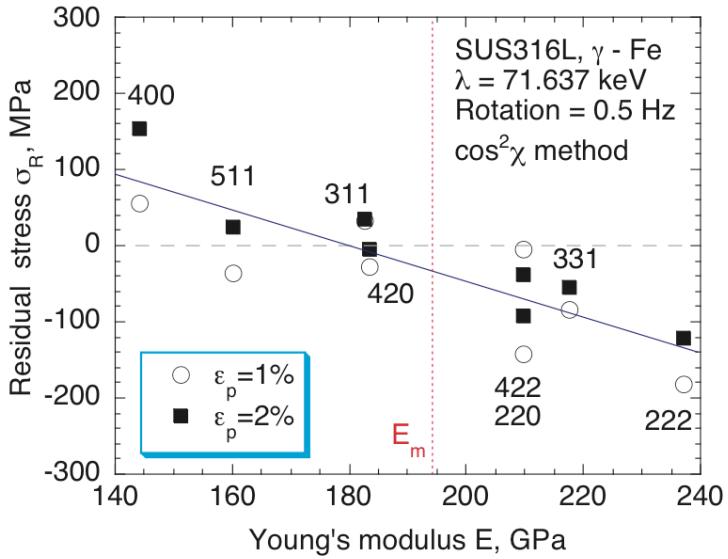
塑性変形に伴う各回折面の半価幅の変化



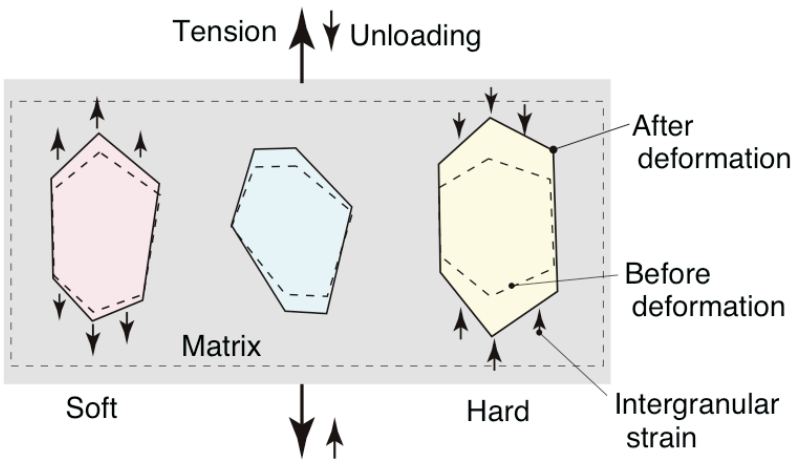
残留応力の回折面依存性



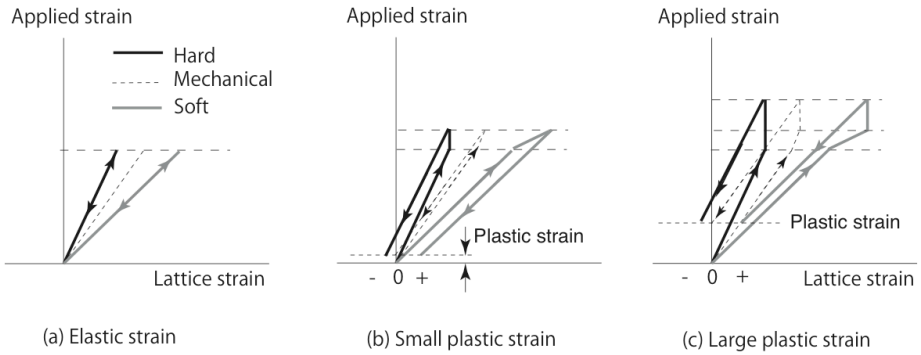
残留応力の回折面依存性



塑性変形による微視的残留応力形成メカニズム



微視的残留応力の発生機構



(a) Elastic strain　(b) Small plastic strain　(c) Large plastic strain

まとめ

1. 本研究で提案した $\cos^2\chi$ 法は，粗大粒をもつオーステナイト系ステンレスの残留応力測定に有効であった．
2. 塑性変形を与えた試料の残留応力を多数の回折面を用いて評価すると，回折面に依存した残留応力を示した．
3. 塑性による残留応力をKronerモデルに基づき計算したヤング率で整理すると，結晶粒間の残留応力の回折面依存性が整理できた．
4. 回折面依存性による残留応力は，弾性異方性を持つ材料において塑性初期の弾塑性混在域で発生し，除荷後に残留ひずみとして分布する．

謝辞　本研究は，平成19年度高経年化対策整備事業の支援を受けた