

# 冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収 の研究開発

発表者：田中 優実（学校法人東京理科大学）

PM：則永 行庸

国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学大学院 工学研究科 教授

PJ参画機関：国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、東邦瓦斯株式会社、  
学校法人東京理科大学

## 【研究開発項目2】

ベンチスケール機及びパイロット機の開発  
2-1(2)材料解析による健全性評価

## 【最終目標①】

熱交換器(昇華槽) 躯体として適した  
**経済的** で **信頼性の高い** 構造材料の選択  
鉄鋼材 → 破壊リスクアセスメント

## 【最終目標②】

熱交換器(昇華槽)用健全性  
**モニタリングシステム** の開発  
In-situ / operand 駆動歪みセンサ・実装部材

## 【研究開発方針①】(～2024年度)

- ・温度振幅:  $-162^{\circ}\text{C}$  ( $-196^{\circ}\text{C}$ )  $\leftrightarrow$  室温
  - ・圧力振幅: 10 Pa (@ドライアイス)  $\leftrightarrow$  4 MPa (@CO<sub>2</sub>ガス)
  - ・腐食雰囲気: CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、吸収剤等
- 環境での使用に対する信頼性評価(①)/システム設計(②)

冷熱/圧力衝撃試験 → 組織・力学物性評価  
計算機シミュレーション

## 【研究開発方針②】(～2024年度)

実装部材開発  
センサ出力・応答性評価

鉄鋼種	適用温度※ /°C	入手可否 (経済性)	許容引張応力 @-196°C~40°C /N・mm <sup>-2</sup>	標準成分%	結晶構造	付記
SL9N	-196	x	163-220	9Ni	体心立方晶	LNGタンクに使用 一般流通がなく高価 板材(管材なし) 耐腐食性が低い
インバー合金	-196	x	240	36Ni	面心立方晶	
SUS304	-196	○	110-129	18Cr-8Ni	面心立方晶	
SUS304L	-196	○		18Cr-8Ni 極低C	面心立方晶	
SUS316	-196	○	97-130	16Cr-12Ni-2Mo	面心立方晶	
SUS316L	-196	○		16Cr-12Ni-2Mo 極低C	面心立方晶	



鉄鋼種	成分詳細 %(m/m)								
	C	Si	Mn	P	Mo	S	Ni	Cr	Fe
SUS304	0.07	0.49	1.19	0.030	-	0.004	8.09	18.13	残
SUS304L	0.008	0.38	0.91	0.035	-	0.007	9.09	18.32	残
SUS316	0.05	0.65	0.91	0.035	2.08	0.002	10.18	16.84	残
SUS316L	0.011	0.66	0.92	0.033	2.06	0.001	12.10	17.28	残

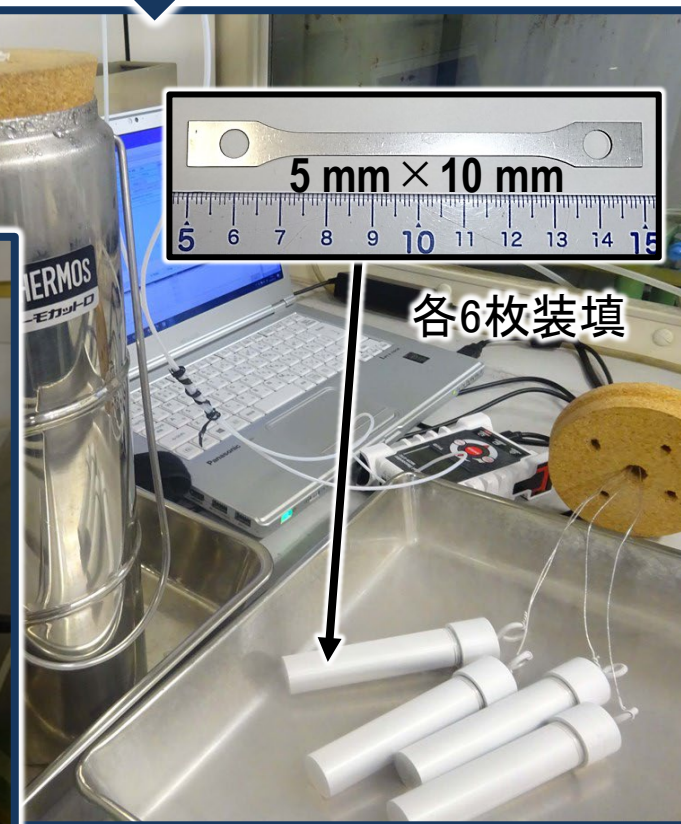
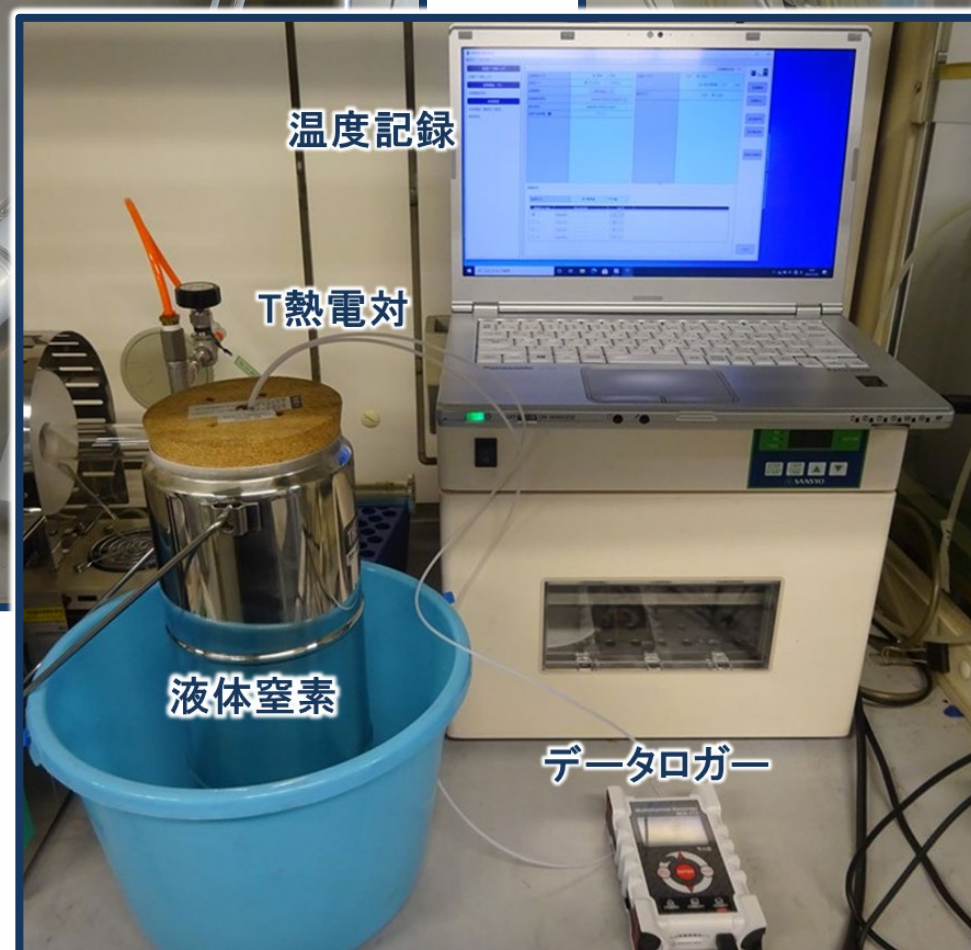
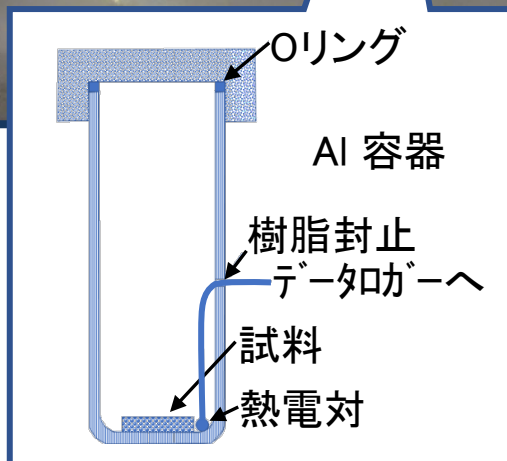
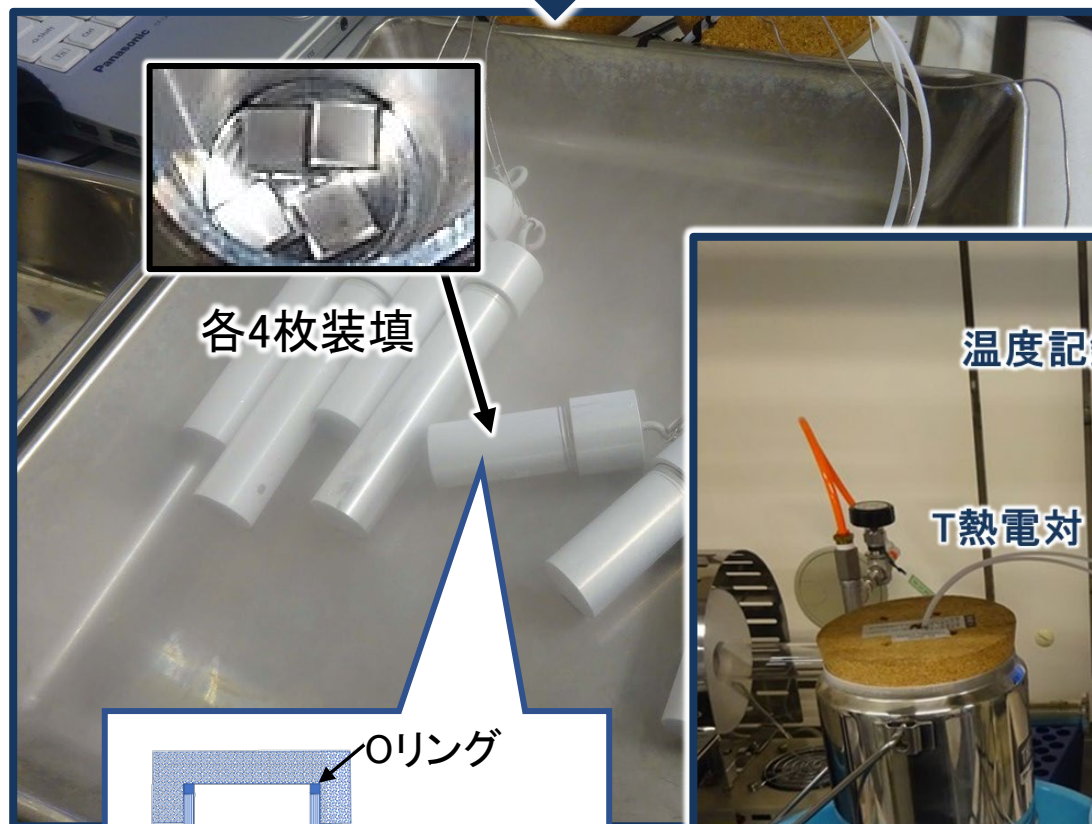
※最低使用温度>-196°Cの鉄鋼材は候補から除外》 source: 安全衛生情報センター\_鉄鋼材料の許容引張応力

SUS304、SUS304L、SUS316、SUS316L

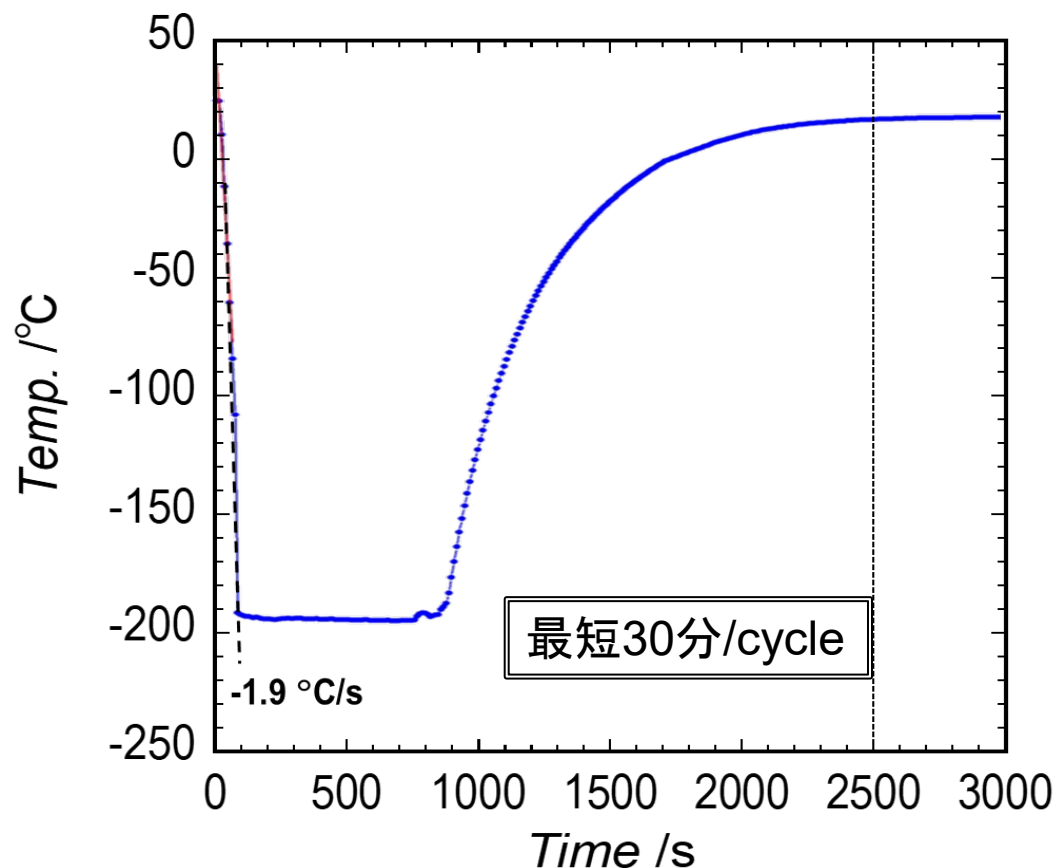
組織観察・表面硬度評価用  
5 mm角 試験片

応力/歪み特性評価用  
引っ張り試験片

冷熱衝撃印加：液体窒素(-196°C)浸漬⇔室温下での復温

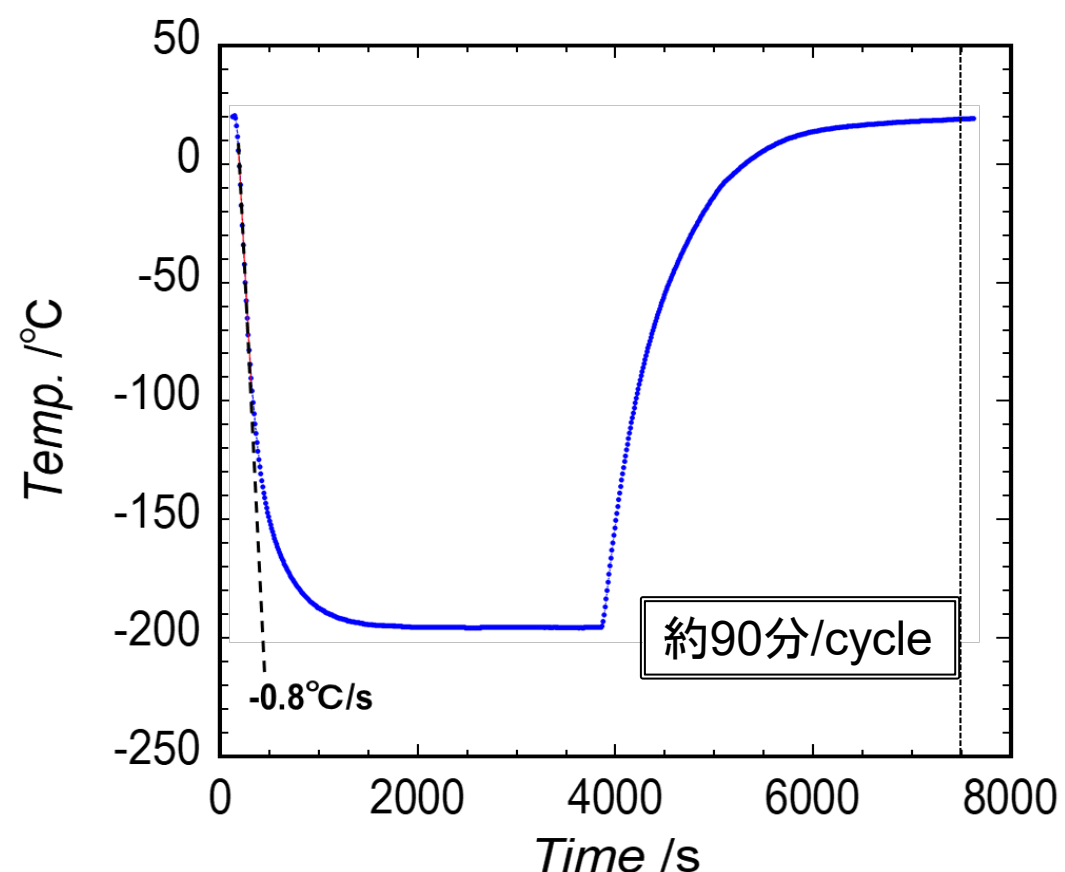


## 組織観察・表面硬度評価用 5 mm角 試験片



鉄鋼種	試験回数 /cycle	
SUS304	1000	2000
SUS304L	1000	2000
SUS316	1000	2000
SUS316L	1000	2000

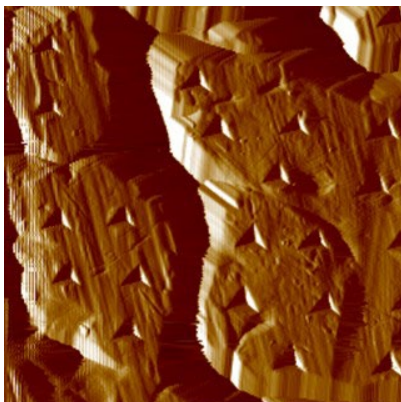
## 応力/歪み特性評価用 引っ張り試験片



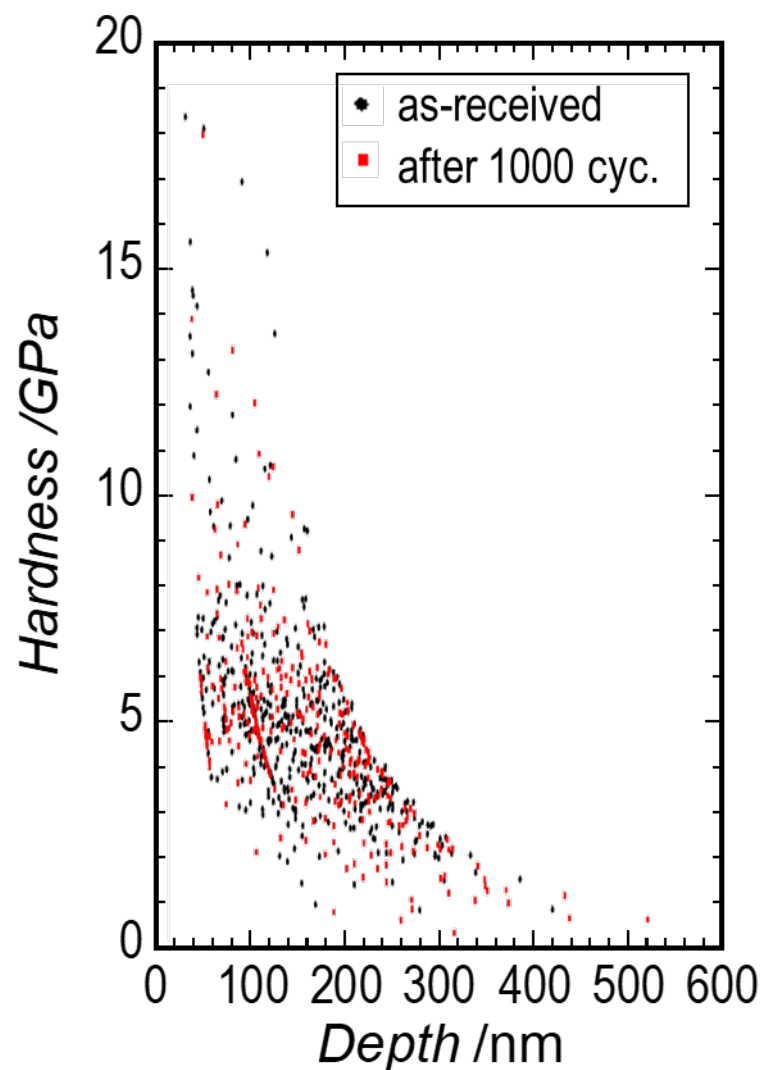
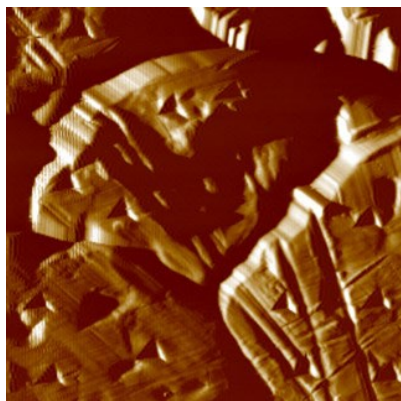
鉄鋼種	試験回数 /cycle	
SUS304	510	1000
SUS304L	510	1000
SUS316	510	1000
SUS316L	510	1000

## SUS304 5 mm角 試験片

as-received



冷熱衝撃試験  
(1000 cycle) 後

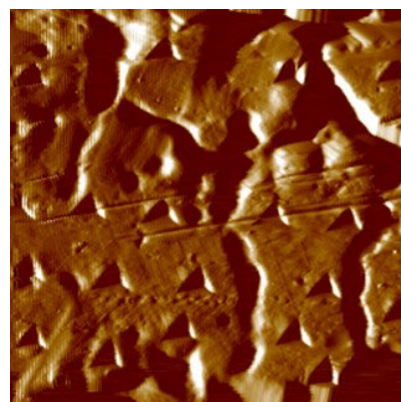


試料	平均硬さ/GPa	標準偏差
as-received	5.0	2.3
after 1000 cyc.	4.8	2.2

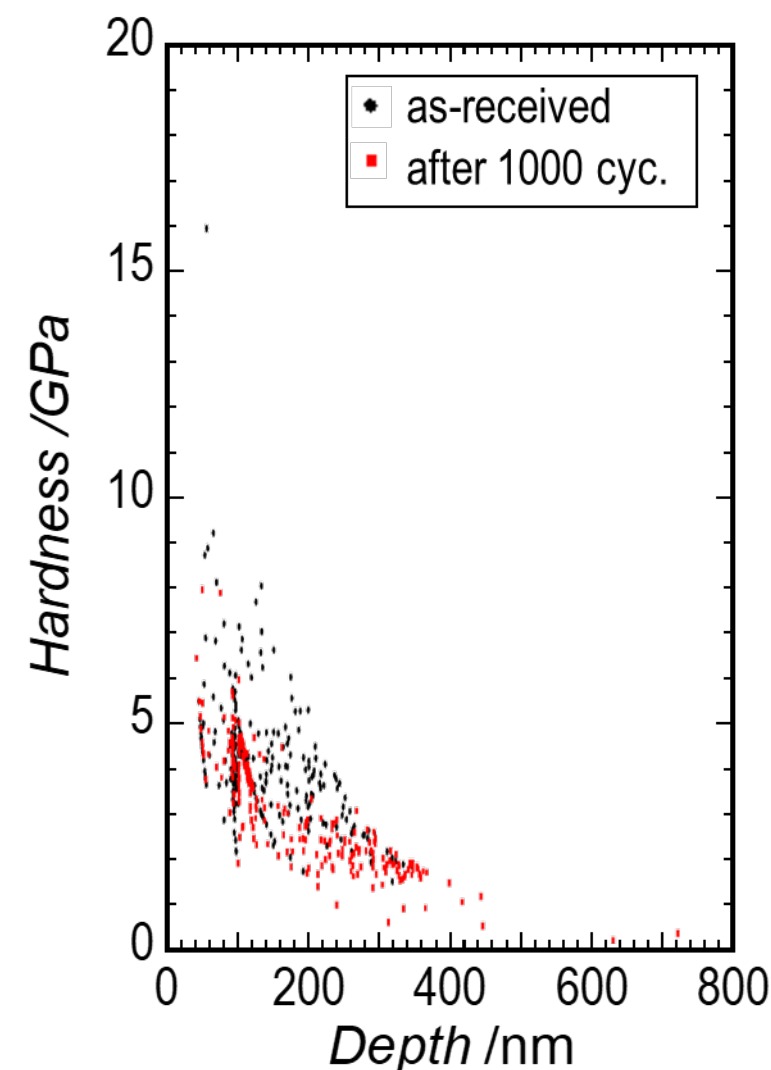
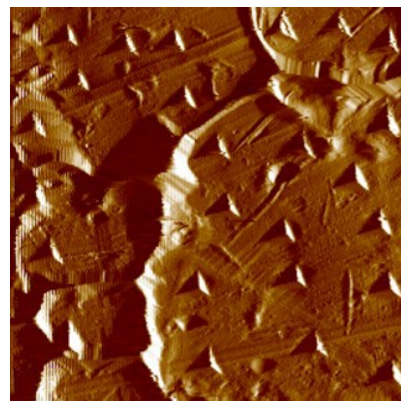
表面硬度に有意差なし

## SUS316L 5 mm角 試験片

as-received



冷熱衝撃試験  
(1000 cycle) 後

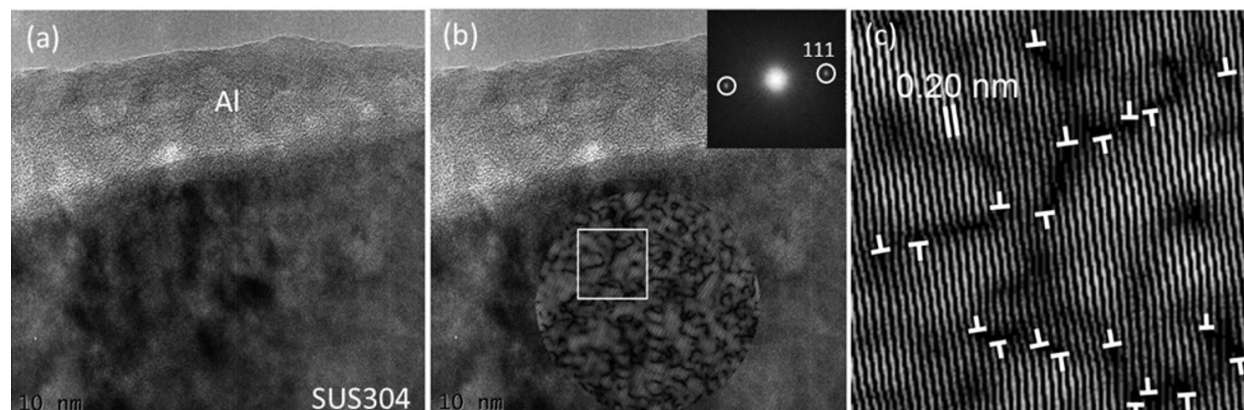


試料	平均硬さ/GPa	標準偏差
as-received	4.1	1.4
after 1000 cyc.	3.2	1.3

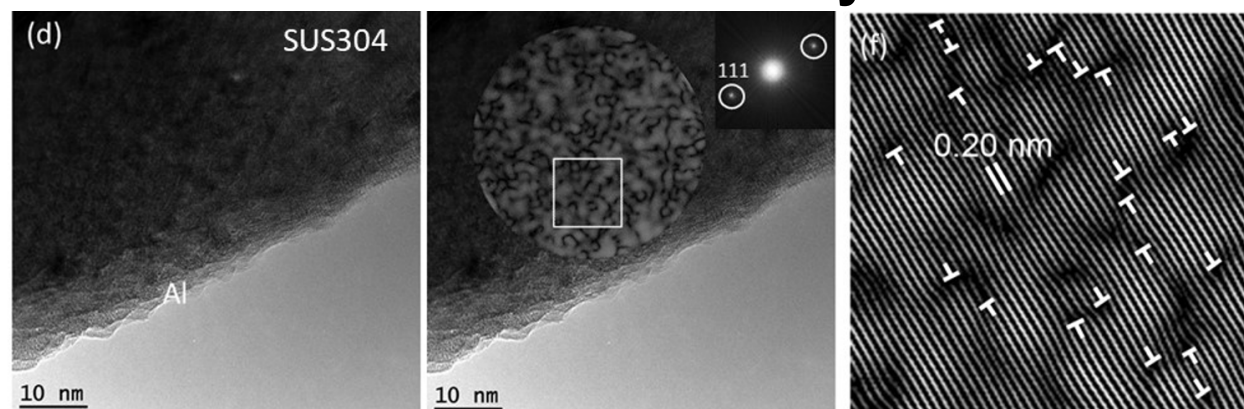
表面硬度が有意に低下

SUS304  
5 mm角 試験片

as-received



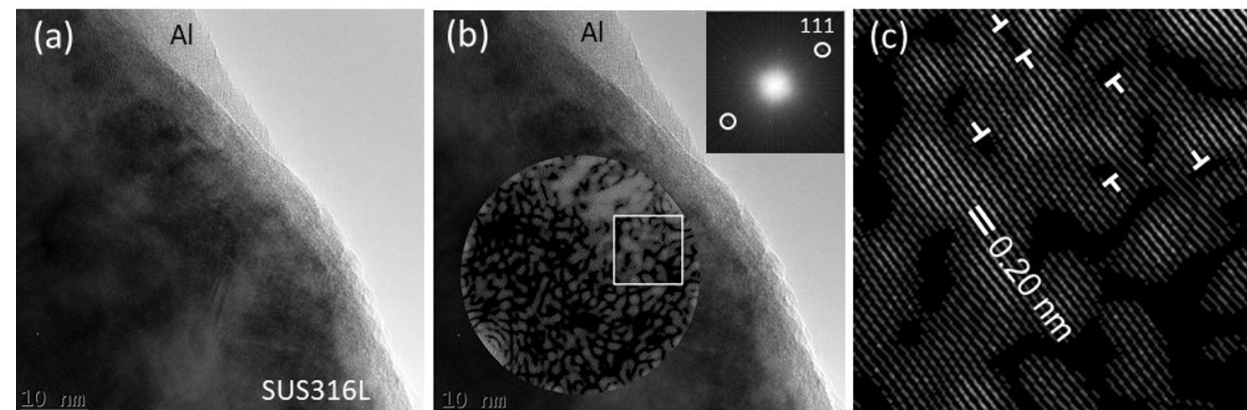
冷熱衝撃試験 (1000 cycle) 後



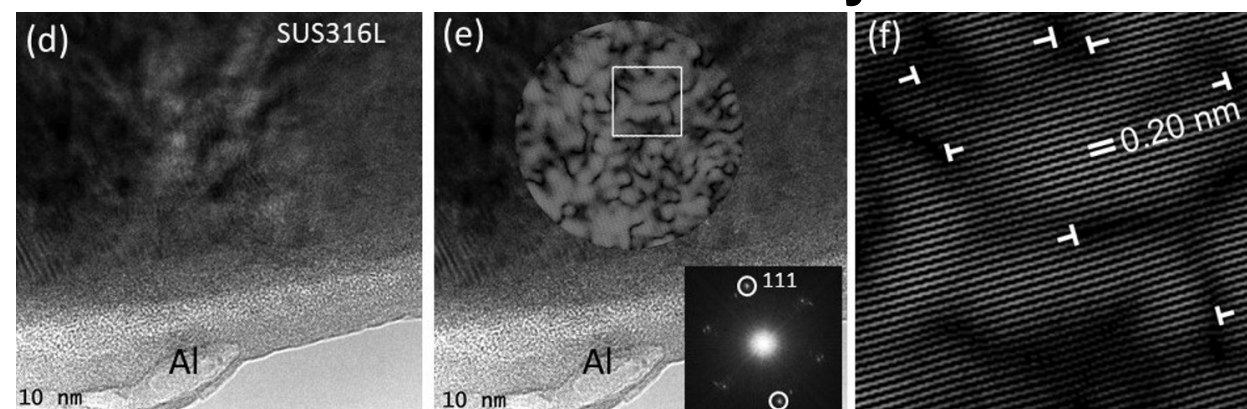
組織構造に有意差なし

SUS316L  
5 mm角 試験片

as-received



冷熱衝撃試験 (1000 cycle) 後



転位密度が有意に低下

冷熱衝撃耐性 (~1000 cycle) : SUS304 > SUS316L  
数万cycle ⇒ 25年間の繰り返し耐性の予測

- ・冷熱衝撃(-162°C ⇔ 室温)に耐える材料のスクリーニング評価系を構築した
- ・SUS304: 汎用性が高く低コストで-196°Cの使用に耐える鉄鋼材
  - ⇒ 1000 cycleの冷熱衝撃印加後も表面硬度・組織構造が変化しないことを見出した
  - ⇒⇒ 熱交換器(昇華槽) 躯体用部材の有力候補?

- 一定引張応力を負荷した状態で低温疲労試験を行う装置を開発  
⇒ SUS系鋼材を対象とした数万cycle程度の低温疲労試験を実施
- ・圧力振幅による疲労破壊リスクの検証
  - ・腐食剤混入環境における腐食疲労破壊リスクの検証
  - ・形態因子(歪曲・屈曲・溶接)が関与する破壊リスクの検証
- を進めつつ、25年間の繰り返し耐性の予測に繋げる