

# 窒素添加によるステンレス鋼の 硬度と耐食性の向上

新潟県工業技術総合研究所  
素材応用技術支援センター

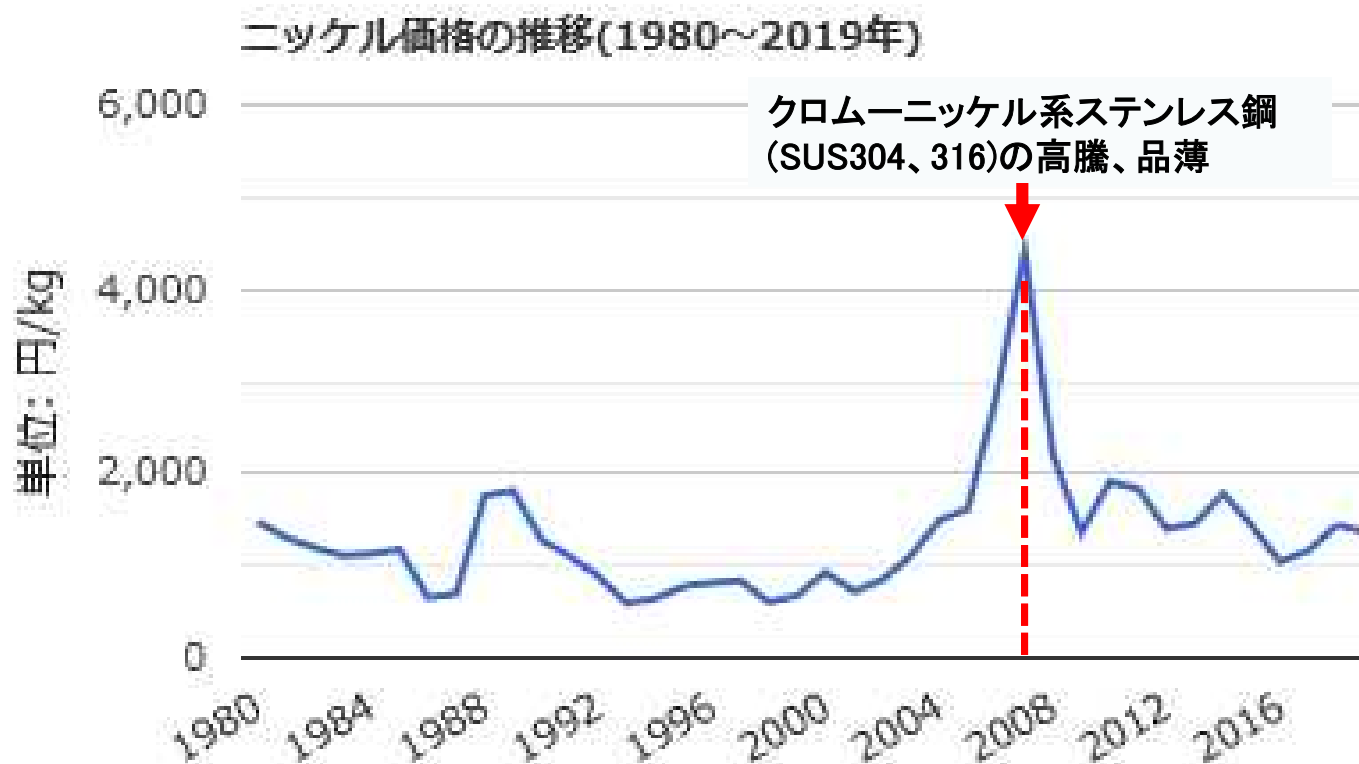
参事 三浦 一真

2019年5月23日

# 従来技術とその問題点

多くのステンレス鋼：特性改善のため元素を添加

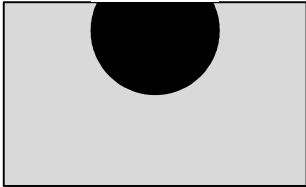
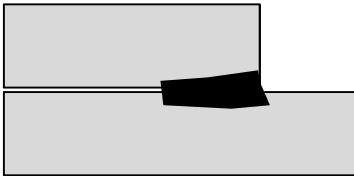
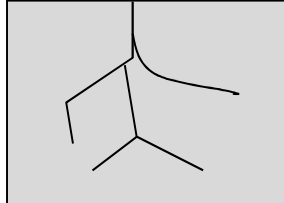



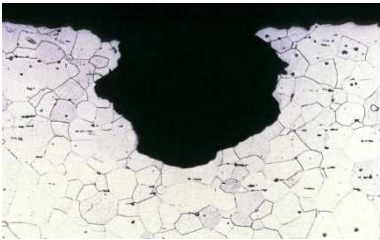
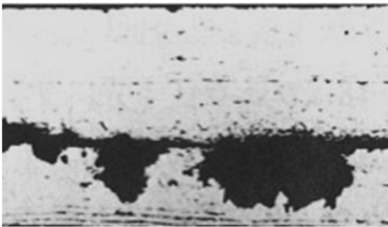
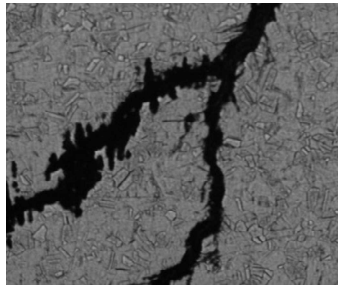
ニッケル(Ni)、モリブデン(Mo)、バナジウム(V)、ニオブ(Nb)、チタン(Ti)、等のレアメタル～多くが高価、資源的な制約(有限、偏在)



出展: <https://ecodb.net/commodity/nickel.html>

# 従来技術とその問題点

## ステンレス鋼の腐食(局部腐食)

腐食名称	孔食	すきま腐食	応力腐食割れ
腐食模式図			
腐食外観例			
断面組織			

# 新技術(窒素熱処理)

## ・添加元素としての窒素に注目

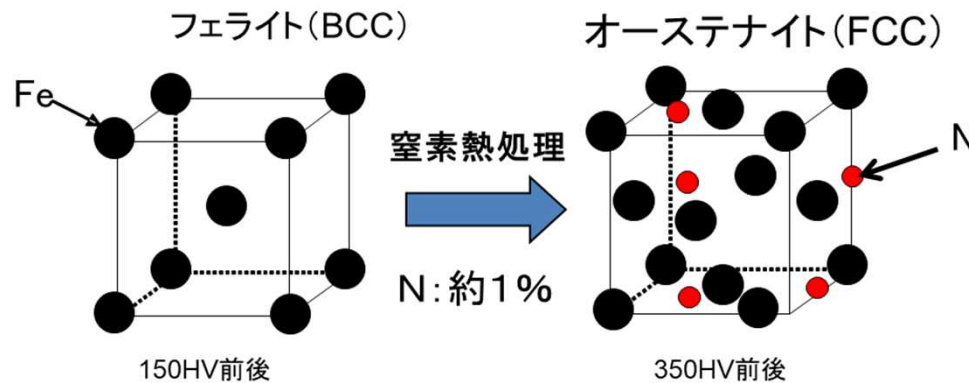
窒素(N)～原子番号7、空気の約80%を占める。不活性元素

- ・資源的な制約がない。
- ・ステンレス鋼中に**原子の形で固溶**  
→耐食性・強度・硬さの向上が期待  
オーステナイト安定化元素(C、Mn、Ni、**N**)

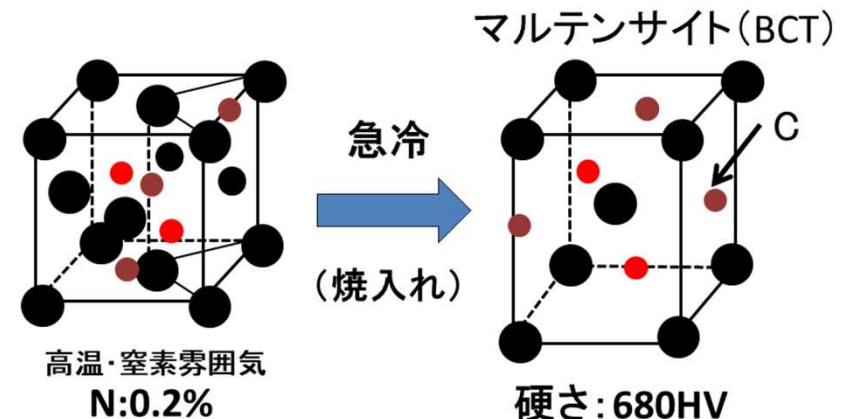
・耐食性～局部腐食である孔食を防止する元素の一つ

$$\text{孔食指数(PRE)} = \%Cr + 3.3\%Mo + n\%N \quad (n: 8 \sim 30: \text{多くは} n=16)$$

### 高Crフェライト系



### 汎用マルテンサイト系



耐食性の大幅改善(孔食の防止)

硬さ向上、耐食性の改善

## 新技術の特徴・競合技術との比較

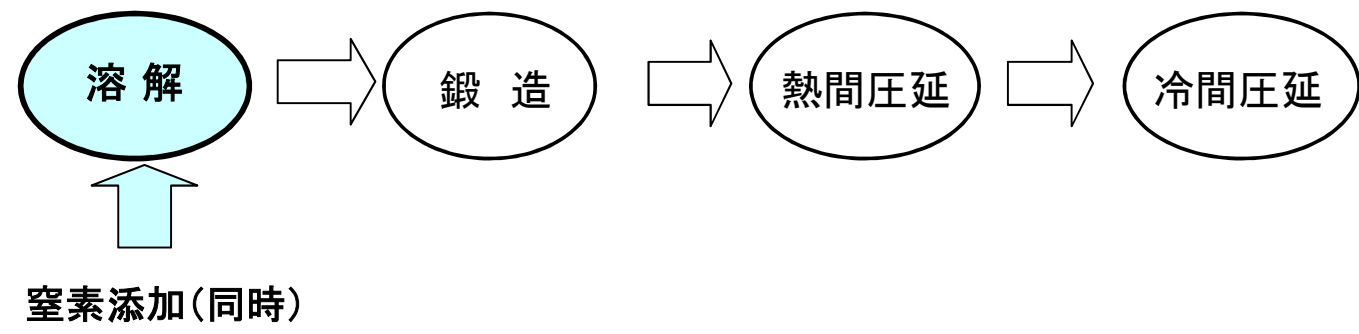
- 窒化処理が表面に硬い窒化物層を形成するのに対して、本技術は高温・窒素雰囲気中で素材に窒素を固溶させる熱処理である(窒化処理と窒素熱処理は異なる)。
- 窒素熱処理は一次加工品(板・棒)や二次加工品に窒素を添加する方法である。競合技術に素材製造時に窒素を添加する方法(バルク溶解法)があり、この場合は窒素を含むバルク材を加工する。
- 市場に流通しているステンレス鋼が対象で、本発表では主に高Crフェライト系(SUS445J1相当)とマルテンサイト系(SUS420J2)の事例を紹介。このほか、オーステナイト系(SUS316、SUS304等)の処理も可能。

# 新技術の特徴・競合技術との比較

## 窒素添加ステンレス鋼板材の製造プロセス

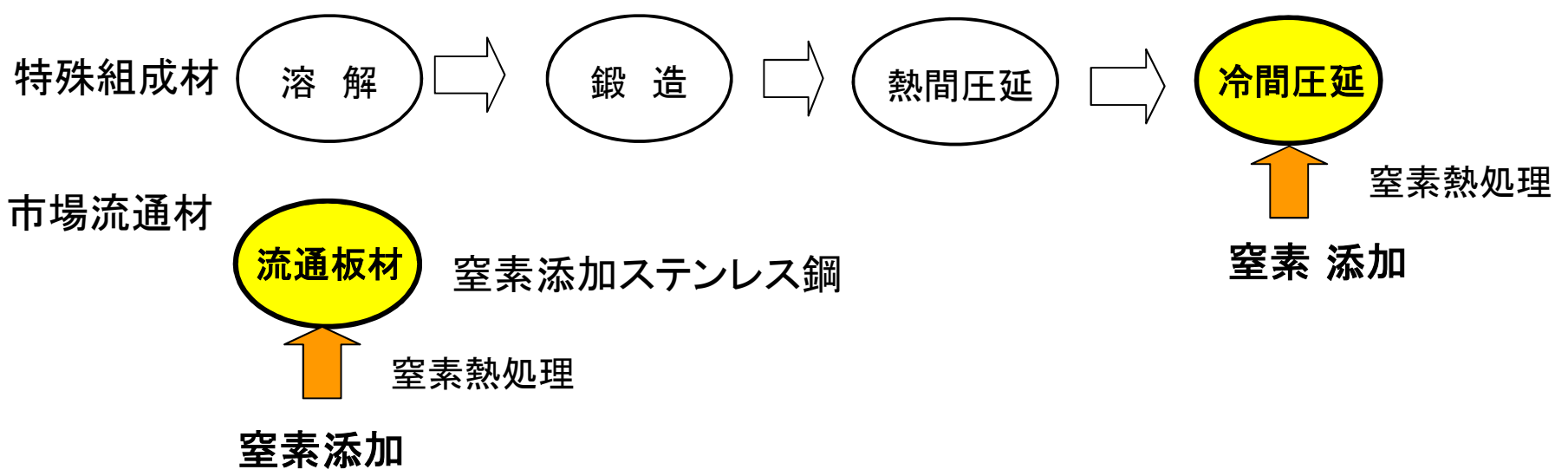
バルク溶解

窒素添加ステンレス鋼



窒素熱処理

窒素添加ステンレス鋼



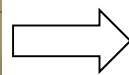
# 新技術の特徴・競合技術との比較

## 窒素熱処理(固相窒素吸収処理)技術を開発

### ポイント

- (1) 不純物ガス除去技術(真空排気によるガス置換、酸素除去)
- (2) 温度・冷却コントロール(1000°C~1200°C、急冷)

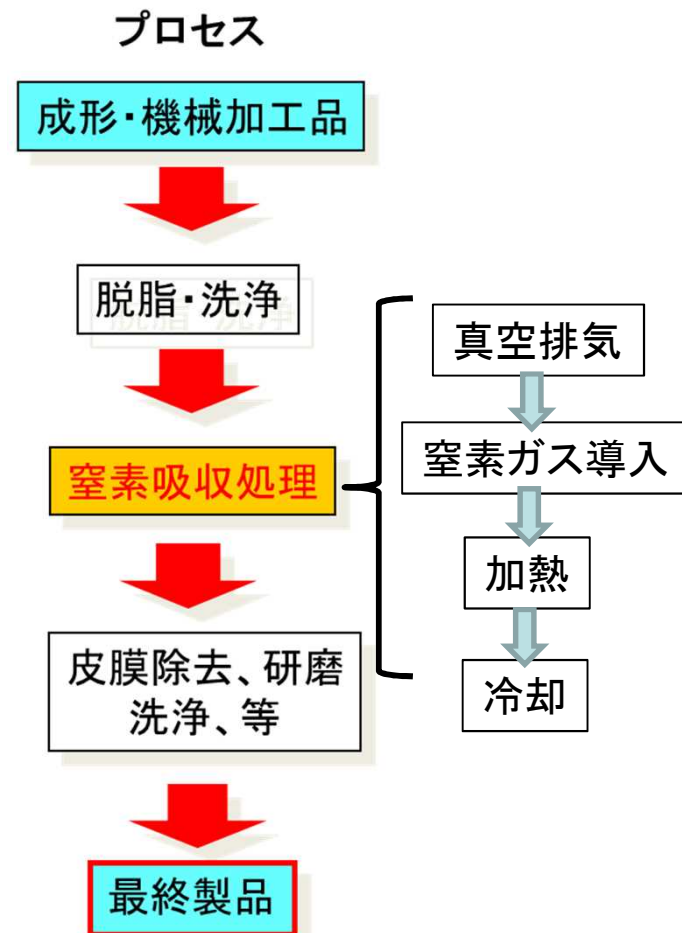
### 実験装置外観



- ・県内企業に技術移転・移管
- ・テストピース・スケールアップサンプル、製品の処理を企業所有の専用設備にて実施。
- ・上記サンプルの組織解析(分析)、耐食性等評価

テストピースを  
処理、解析

**\* 窒化処理とは異なる処理**





# 新技術の特徴

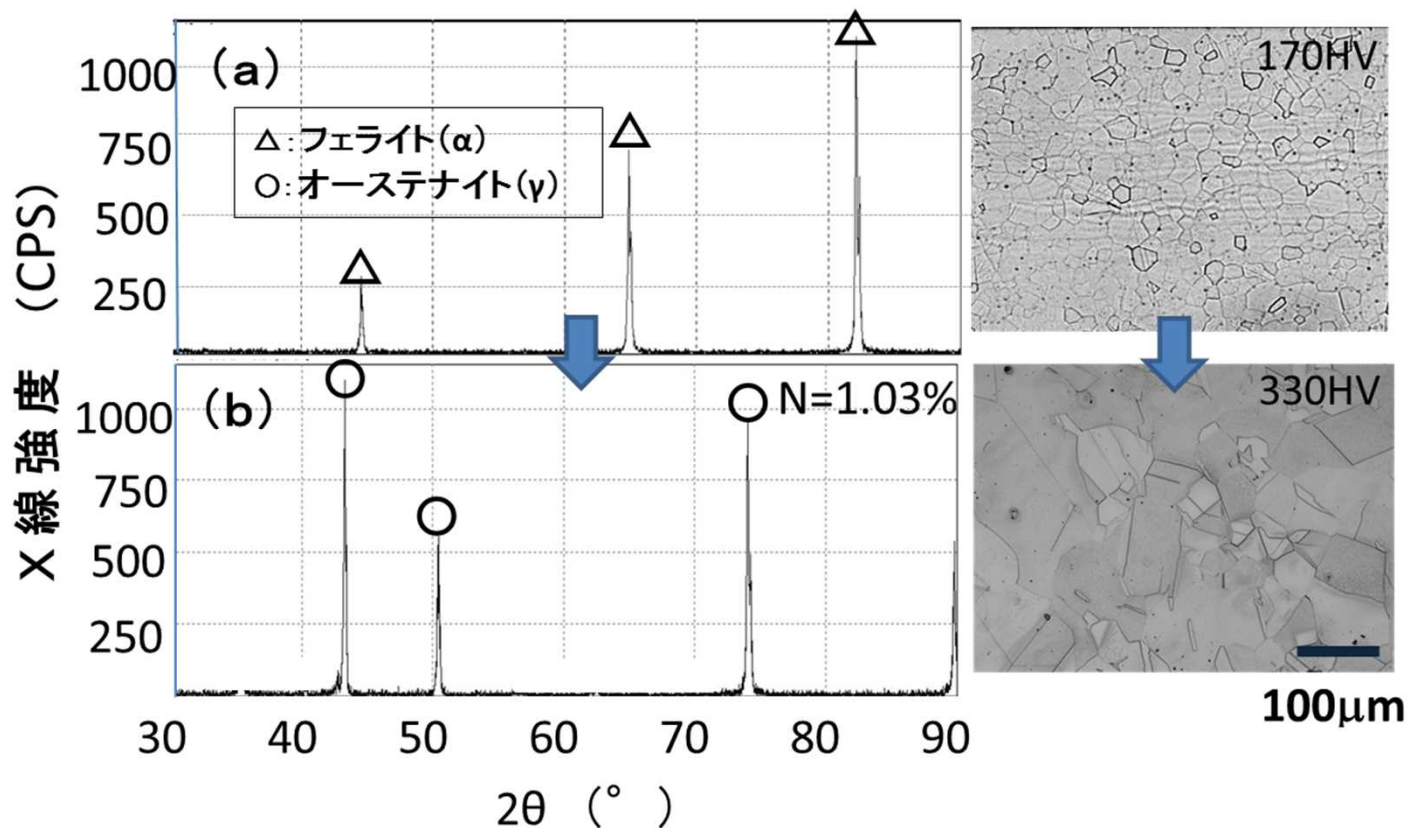
## 高Cr系フェライト系ステンレス鋼の例

(Fe-22Cr-1Mo-(Ti, Nb, Al):市場流通材:SUS445J1相当鋼種)

処理温度:1150°C(1100~1200°C)

X線回折パターンと金属組織写真

((a):処理前, (b):処理後)



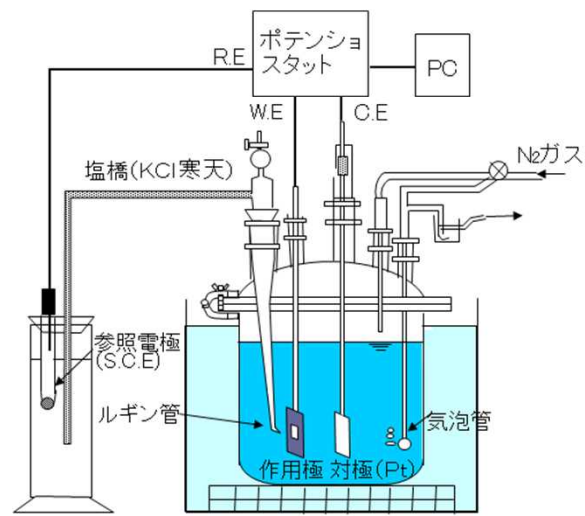


# 新技術の特徴・従来技術との比較

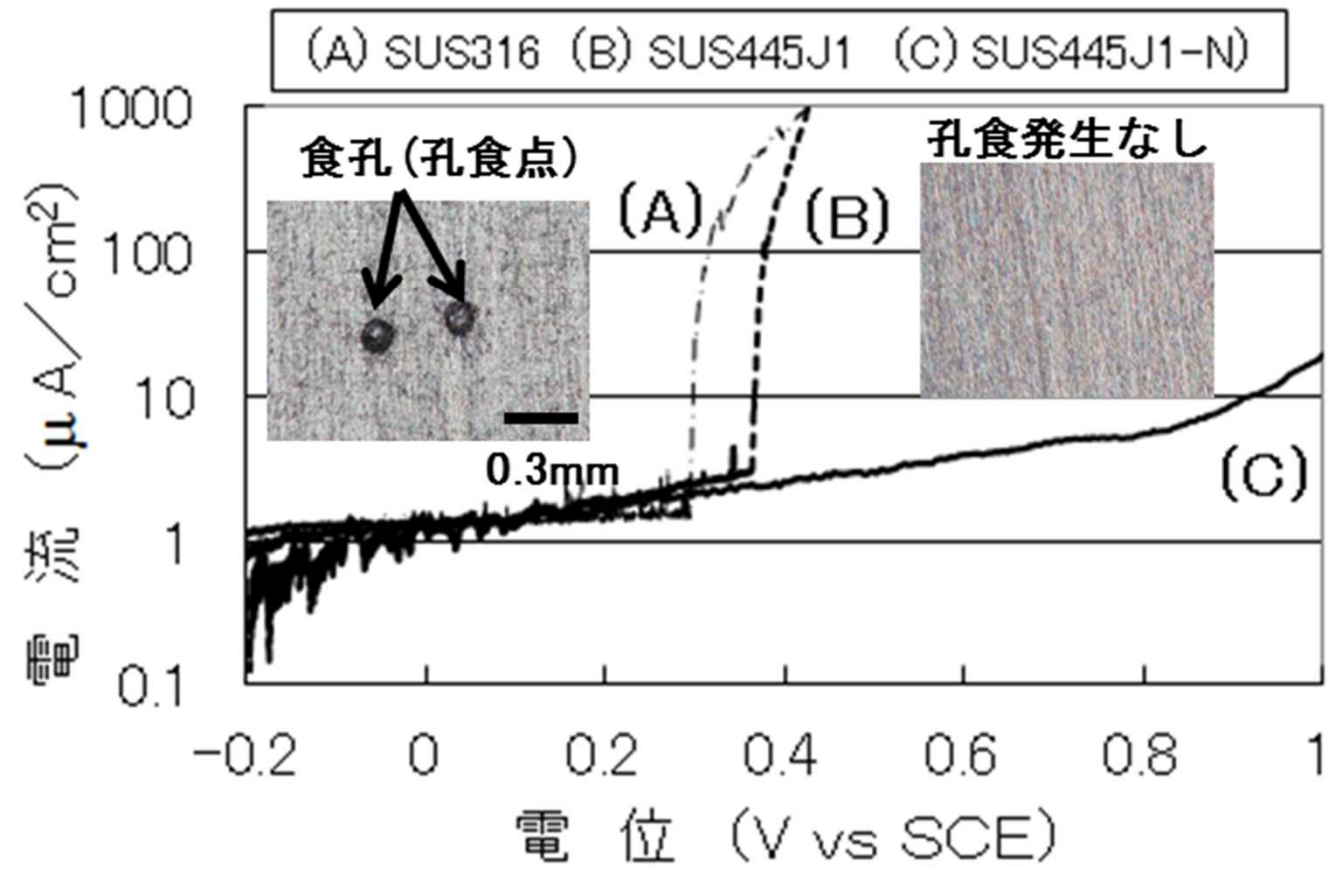
## 耐食性評価結果の一例

高Cr系フェライト系窒素添加ステンレス鋼(SUS445J1-N)と  
既存材(SUS316、SUS445J1)の孔食電位測定結果

孔食電位測定装置概略



孔食電位測定: JIS G 0577 A



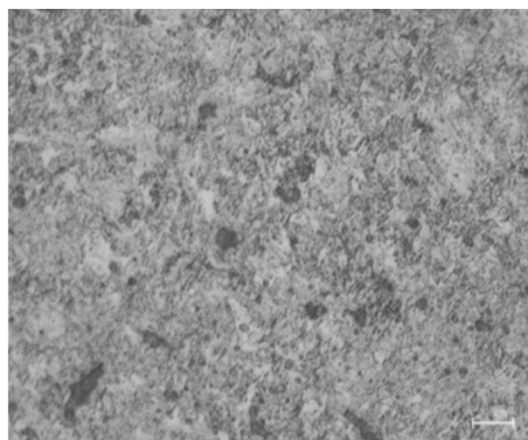
# 新技術の特徴・従来技術との比較

## マルテンサイト系ステンレス鋼の例

### 金属組織

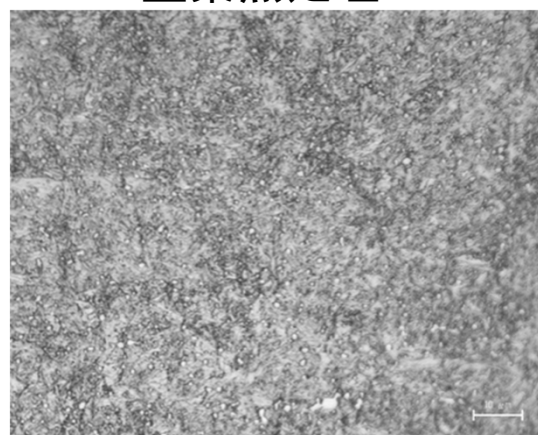
Fe-13Cr-0.3C (SUS420J2)

通常焼入れ



52~54HRC 560~580HV

窒素熱処理

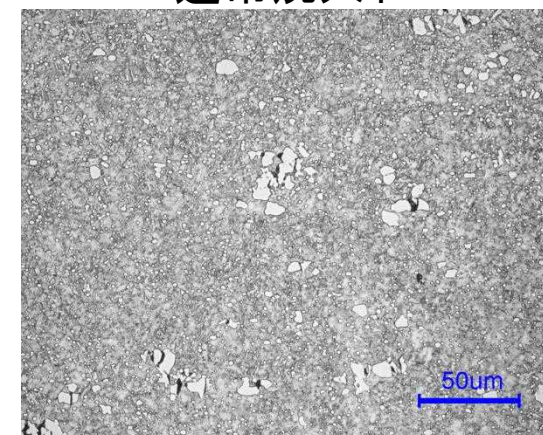


58~59HRC 670~690HV

窒素:0.2%

Fe-16Cr-1.0C (SUS440C)

通常焼入れ



59HRC 690HV

### 塩水噴霧試験後のサンプル外観

Fe-13Cr-0.3C (SUS420J2)

通常焼入れ



窒素熱処理



Fe-16Cr-1.0C (SUS440C)

通常焼入れ



30mm

# 新技術の特徴

## 窒素熱処理

オーステナイト系ステンレス鋼 (Fe-Cr-Ni(-Mo): SUS304、SUS316等)

- ・Fe-18Cr-12Ni-3Mo (SUS316)で実施
- ・処理後の窒素含有率: 0.4~0.5%、硬さ: 250HV前後
- ・耐食性は大幅に向上
- ・引張強さ: 20%向上、伸び: 若干減(処理前との比較)
- ・スーパーステンレス鋼の代替

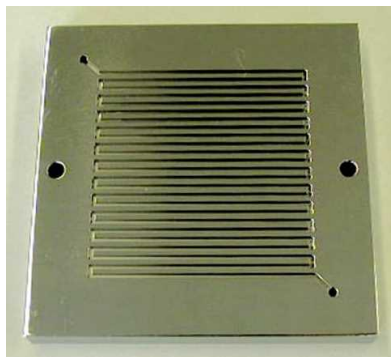
汎用フェライト系ステンレス鋼 (Fe-18Cr: SUS430)

- ・処理後の窒素含有率: 0.2~0.6%、硬さ: 500~600HV  
→処理後の加工は困難。加工品を処理
- ・金属組織: オーステナイトとマルテンサイトの二相  
→オーステナイト単相が理想
- ・耐食性は改善

# 想定される用途

- 高Cr系窒素添加ステンレス鋼は耐孔食性を有することから、腐食環境（海洋環境）で使用される製品、機械部品、エネルギー関連部品への用途が想定される。
- マルテンサイト系窒素添加ステンレス鋼は硬さと耐食性が要求される機械製品、刃物、工具への用途が想定される。

窒素熱処理品



JARI標準仕様  
金属セパレータ



業務用厨房製品

想定用途





# 実用化に向けた課題

- 耐食性(耐孔食性)については、既存ステンレス鋼を大きく上回る。しかし、耐食性に及ぼす不純物ガスや金属組織に形成される窒化物の影響については、不明な点が多い。実用化に必要な評価・研究を継続中。
- 実用化に向け、生産性向上(処理時間短縮・処理量アップ・連続処理)・品質安定化を目的とした量産処理技術の開発。
- 高Crフェライト系ステンレス鋼:窒素熱処理による変形・割れ対策、一次加工品の加工技術の確立。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ニッケルフリーオーステナイト  
ステンレス鋼の製造方法
- 登録番号 : 特許第5989297号  
(登録日: 2016年8月19日)
- 出願人 : 新潟県、株式会社中津山熱処理
- 発明者 : 三浦一真、中津山國雄

# 産学連携の経歴

- 2005-2006年 経済産業省 地域新規産業創造技術開発費補助事業  
「ニッケルフリーステンレス鋼の実用化研究」
- 2009年 JST シーズ発掘試験研究 A  
「窒素含有ニッケルフリーステンレス鋼の実用化研究」
- 2012年 JST A-STEP シーズ顕在化タイプ  
「窒素含有ニッケルフリーステンレス製 燃料電池用  
金属セパレーターの開発」
- 2014年 JST A-STEP FS 探索タイプ  
「窒素添加によるクロム系ステンレス鋼の 耐食性向上に  
関する研究」



# お問い合わせ先

新潟県工業技術総合研究所  
企画管理室

TEL 025-247-1301

FAX 025-244-9171

e-mail [info@iri.pref.niigata.jp](mailto:info@iri.pref.niigata.jp)