

# 「DOS テスター<sup>®</sup> D-15M」による鋼種別の鋭敏化測定 の紹介

## 1. はじめに

化学プラントでは、耐酸・耐食性を有するさまざまな材料が用いられるが、その中の一つにオーステナイト系ステンレス鋼がある。オーステナイト系ステンレス鋼は耐食性にすぐれるため広く普及しているが、応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking: SCC)による損傷リスクを有する。SCCは「材料」「環境」「応力」の3因子が相乗することで発生する損傷であるが、この中の「材料」因子の一つに鋭敏化(sensitization)が挙げられる。

鋭敏化とは、金属が500～850℃に加熱されることにより、結晶粒界にクロム炭化物が析出し、その結果結晶粒界近傍に耐食性が劣化する領域(クロム欠乏層)が生成される現象である。鋭敏化が起きる温度は「鋭敏化温度」と呼ばれ、鋼種により異なるが、溶接施工時の入熱や、運転時の加熱などの温度管理を誤れば、一般的な作業工程の中でも発生し得る現象である。したがって、オース

テナイト系ステンレス鋼を用いる際にはSCCを防ぐために、鋭敏化の度合い(鋭敏化度)を明らかにし材料の状態を把握する必要がある<sup>(1)</sup>。

当社では、現場で容易に鋭敏化度を測定できる機器として「DOS テスター<sup>®</sup> D-15M」(図1)を開発し、販売している。DOS テスター<sup>®</sup>は、鋭敏化度を定量的に評価できる装置であるが、持ち運びやすく、操作やデータ出力も簡単であることから、特に事業所外における現場測定に適している。またJIS G0580「ステンレス鋼の電気化学的再活性化率の測定方法」で規定される温度(30℃)への補正や、測定姿勢補正の機能を有しており、再活性化率に相当する鋭敏化度を求めることができる<sup>(2)</sup>。

本稿では、オーステナイト系ステンレス鋼の代表的な4種(SUS304、SUS316、SUS321、SUS347)に対するDOS テスター<sup>®</sup>を用いた鋭敏化度測定を紹介する。



図1 DOS テスター<sup>®</sup> D-15M

## 2. 鋼種別の特徴と DOS テスター<sup>®</sup> の適用

### 2.1 DOS テスター<sup>®</sup> の鋭敏化度測定方法

DOS テスター<sup>®</sup> は、検面に電位を掃引して電気学的に腐食と不導体膜形成を起こし、その際のアノード電流密度の挙動により鋭敏化の度合いを定量的に評価する装置である。

結果は JIS G0580「ステンレス鋼の電気化学的再活性化率の測定方法」で規定される、再活性化率に対応するものであるが、JIS で規定されている温度(30℃)以外の環境で測定した結果に対する温度補正や、測定姿勢補正の機能を有しているため、プラントなどで実部材を直接計測する目的に適した仕様となっている。

オーステナイト系ステンレス鋼の鋭敏化度測定では、一般的に硫酸とチオシアン酸カリウムの試験液(0.5 mol/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 0.01 mol/l KSCN)を用いるが、電位を掃引しても十分な電流密度が得られない材料には、高感度試験液(1.0 mol/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 0.1 mol/l KSCN)を用いる場合もある。また測定後の検面は電気化学的に腐食を起こしたことにより金属組織が現れる。鋭敏化が進んでいるほど粒界が溝状に腐食され、結晶粒界が明瞭に見えるようになるため、鋭敏化度の計測に加え、金属組織を観察することで、材料の状態を総合的に判断することができる。

### 2.2 SUS304

SUS304 は、オーステナイト系ステンレス鋼の中でも最も一般的な鋼種である。クロム・ニッケル系ステンレス鋼(18Cr-8Ni ステンレス鋼)と言われており、耐食性を得るために Cr を、またオーステナイト相を安定化させるために Ni を添加している。

SUS304 は、大気中において耐食性や耐孔食性にすぐれ、溶接性も良いことから、大型タンクや、

配管、ボルト、ナットに至るまで幅広く用いられている。一方、鋭敏化の問題が多く発生しているのも SUS304 である。広く使用されている材料であるため、測定対象も、持ち帰ってラボで測定できるボルトやナットなどから、現場で直接鋭敏化を測定する必要がある大型タンクや配管、アンカーボルトまで多種多様である。

オーステナイト系ステンレス鋼の中で、SUS304 は比較的測定時の電流変化が大きいことから、鋭敏化傾向を捉えやすい。また、測定後の金属組織も、他の鋼種より明瞭であることから、総合的に鋭敏化を評価しやすい。

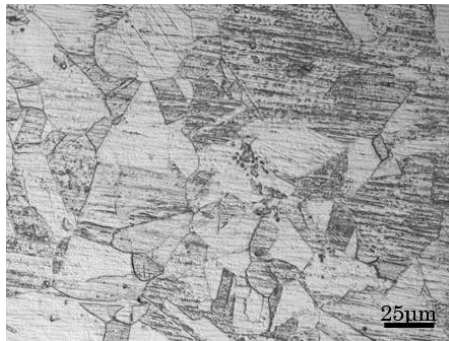
SUS304 の鋭敏化度による金属組織の違いを図 2 に示す。鋭敏化度が高い材料ほど粒界近傍が腐食して溶け出し、粒界部分が太い線状に見える。

### 2.3 SUS316

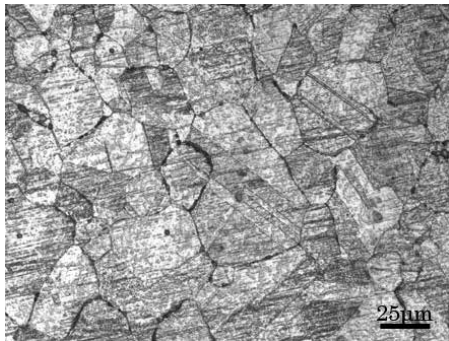
SUS316 は、Mo を添加することで耐食・耐酸性を高めており、腐食環境(海水や薬品タンク内)で広く用いられている。また、高いクリーブ強度を有することから、高温用部材にも用いられている。

SUS316 は耐 SCC 性が高いが、加熱時間・加熱温度によっては、鋭敏化されて SCC を起こす可能性がある。その対策として材料の炭素含有量を減らした SUS316L (Low Carbon) が用いられることがある。前述のとおり鋭敏化は粒界にクロム炭化物が析出した結果、耐食性が劣るクロム欠乏層が生じる現象であるため、炭素濃度を減らすことでクロム欠乏層の発生を遅らせ、結果的に鋭敏化を防ぐことができる。しかし長時間鋭敏化温度に曝露<sup>ばくろ</sup>されれば、いずれは鋭敏化が起きるので注意が必要である。

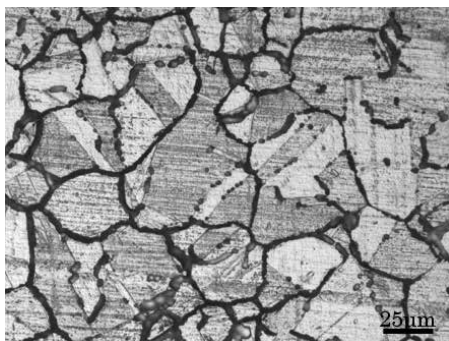
SUS316 は測定中に十分な電流密度が得られない傾向があるため、測定には高感度液を用いるこ



(a) 鋭敏化度：0%



(b) 鋭敏化度：約 3.7%



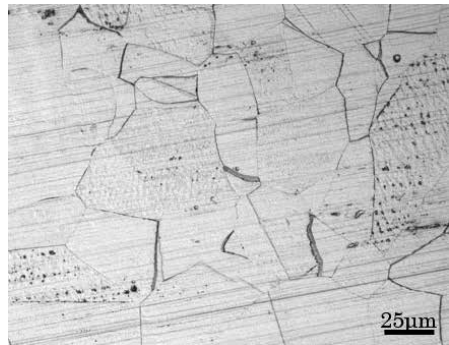
(c) 鋭敏化度：約 40.8%

(※ 1) 鋭敏化度の結果は、測定時の温度および測定姿勢を DOS テスター® D-15M で自動補正した値である。粒度補正は実施していない。

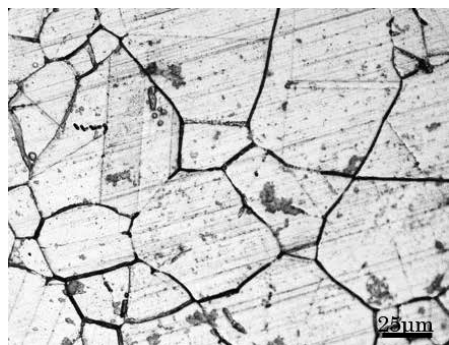
図 2 SUS304 の鋭敏化度による金属組織の違い

とが多い。しかし、冬季の屋外など試験温度が低い場合は反応が進まず、高感度液を用いても十分な電流密度が得られない場合があるため、温度管理などの対策が必要となる。

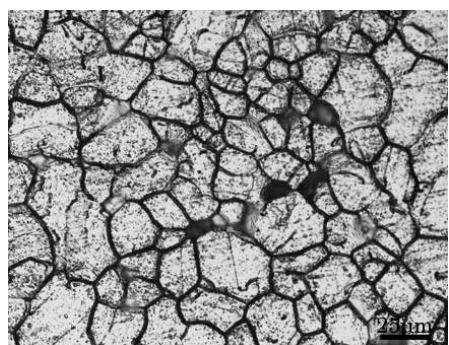
SUS316 の鋭敏化度による金属組織の違いを図 3 に示す。SUS304 と同様、鋭敏化度が高い材料は粒界が選択的に腐食されるため、太い線として現れている。



(a) 鋭敏化度：0%



(b) 鋭敏化度：約 3.4%



(c) 鋭敏化度：約 31.0%

(※ 1) 鋭敏化度の結果は、測定時の温度および測定姿勢を DOS テスター® D-15M で自動補正した値である。粒度補正は実施していない。

図 3 SUS316 の鋭敏化度による金属組織の違い

## 2.4 SUS321 および SUS347

SUS321 および SUS347 は、Ti や Nb などの炭化物安定化元素を添加して、Cr の代わりにこれらの物質と炭素を結び付けることでクロム炭化物の生成を抑え、鋭敏化を抑制する材質である。SUS321、SUS347 はともに高温強度や耐粒界腐食性が高く、SCC への感受性が低いことから、高温環境下で使用されることが多い。しかしこれらの材料でも、鋭敏化温度にさらされる時間が長くなれば鋭敏化は避けられない。

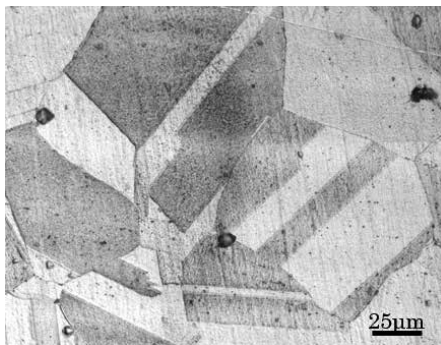
SUS321、SUS347 の鋭敏化を測定する際にも試験温度が低いと十分な電流密度が得られない場合があるため、外気温が低い環境では温度管理など対策が必要となる。また、特に SUS347 は鋭敏化

度だけでは評価が難しい場合があり鋭敏化度測定後の金属組織評価は必須である。そのため測定後に金属組織を正確に評価できるように、測定前に検面を丁寧に研磨する必要がある。

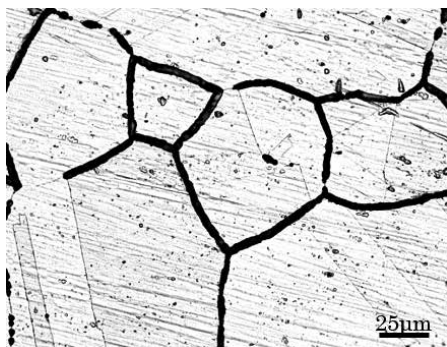
SUS321 および SUS347 の鋭敏化度による金属組織の違いを図 4 および図 5 に示す。いずれも鋭敏化した材料では粒界が太い線状に現れている。

### 3. まとめ

発電所やプラントで用いられているさまざまな材料の中には、施工や使用環境により鋭敏化が避けられないものもある。SCC を防ぐためには定期点検が必須となるため、現場で簡単に鋭敏化度を測定できる DOS テスター<sup>®</sup> を役立てていただくと



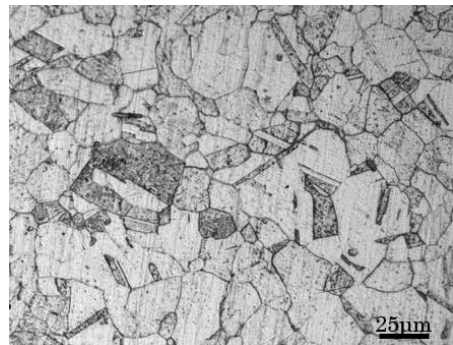
(a) 鋭敏化度：0%



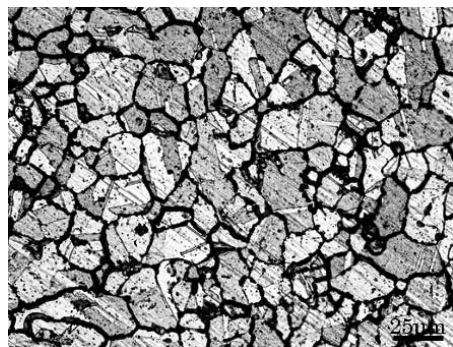
(b) 鋭敏化度：約 19.1%

(※ 1) 鋭敏化度の結果は、測定時の温度および測定姿勢を DOS テスター<sup>®</sup> D-15M で自動補正した値である。粒度補正は実施していない。

図 4 SUS321 の鋭敏化度による金属組織の違い



(a) 鋭敏化度：0%



(b) 鋭敏化度：約 50.1%

(※ 1) 鋭敏化度の結果は、測定時の温度および測定姿勢を DOS テスター<sup>®</sup> D-15M で自動補正した値である。粒度補正は実施していない。

図 5 SUS347 の鋭敏化度による金属組織の違い

考える。なお DOS テスター® は海外への販売実績もあり、海外での簡易検査や製品の品質検査にも活用されている。

JIS G0580 では、オーステナイト系ステンレス鋼の再活性化率測定について規定しており、代表鋼種として本稿で紹介した SUS304、SUS316、SUS321、SUS347 の 4 種が記載されている。DOS テスター® は現状はこれら 4 種にのみ対応しているが、今後は、二相ステンレス鋼など対応鋼種の拡大を検討していく。

## 文責

計測事業部 材料試験部 浅野 晴香  
計測事業部 材料試験部 次長 三谷 幸寛

## 参考文献

- (1) 陳家福、相馬才晃、松田史朗、杉本克久：高温水溶液中における鋭敏化 SUS304 鋼の表面皮膜の性状と応力腐食割れ感受性の関係、防食技術、Vol.38、No.4、1989、pp.203-210
- (2) 森安あかね、三谷幸寛：鋭敏化度測定器「DOS テスター D-15M」、IIC REVIEW、No.54、2015/10、pp.78-81