

# ステンレス鋼の基礎知識

岸本 耕司\*

## 1. ステンレス鋼とは

### 1.1 はじめに

ステンレス鋼は、スプーン、鍋類、流し台などの厨房用品をはじめとして、VTRやコピー機などのAVやOA機器、自動車や船舶などの輸送機械、あるいは、化学プラントやボイラなどの工業設備のような、私たちの生活に密着したさまざまな分野で重要な役割を果たしている。JISではステンレス鋼はSUS (Steel Use Stainless) という記号で表されており、現在、約60種類が登録されている。これ以外に外国規格の鋼種や、鉄鋼メーカーが独自に開発した鋼種も数多くある。そこで今回、ステンレス鋼について、鋼種分類とその特徴、ならびにそれぞれの鋼種分類に属する鋼種の特徴や特性と用途について、理解しやすいように当社の開発鋼を例にとって説明する。

### 1.2 ステンレス鋼に求められる特性

ステンレス鋼に求められる特性の中で、最も重要なのももちろん耐食性である。その耐食性をもたらす基本的な合金元素はCrである。鋼におよそ12%以上のCrを含有させると、鋼の表面に「不動態皮膜」と呼ばれる緻密で強固な薄い酸化保護皮膜が形成され、大気中で腐食しなくなる(図1)。従って、Cr量が増せば増すほど耐食性は向上する。Cr以外に耐食性を向上させる元素として、Ni, Mo, Ti, Nbな

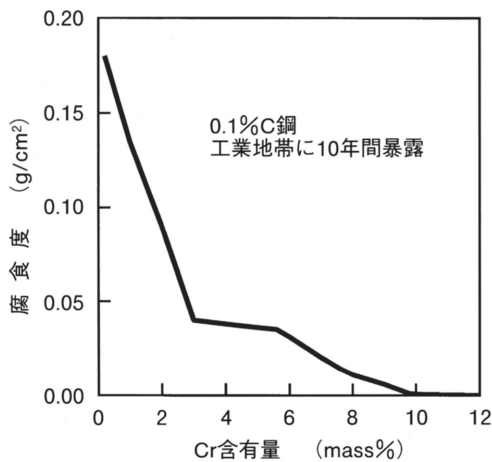


図1 大気中におけるCr鋼の耐さび性<sup>1)</sup>

どがある。耐食性の他に、ステンレス鋼は色々な用途に使用されるために、強度や冷間加工性、切削性、磁気特性などの特性を合わせ持ったものが必要になる。図2にステンレス鋼に求められる主な特性と、それらの特性に強く影響する合金元素を示す。これらの複合化された要求特性に対して、化学成分の適切な調整や、熱間加工、熱処理などの製造工程の適正な制御を行うことにより、最適の特性を持ったステンレス鋼を得ることができる。

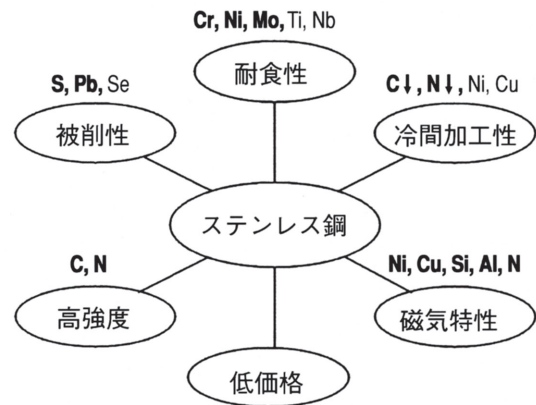
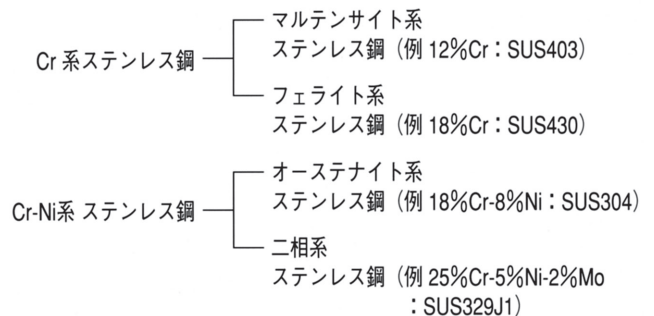


図2 ステンレス鋼に求められる特性

### 1.3 ステンレス鋼の分類

ステンレス鋼を大別する場合、13Crステンレス鋼や18(Cr)-8(Ni)ステンレス鋼と呼ぶような“化学成分による分類”と、オーステナイト系ステンレス鋼やフェライト系ステンレス鋼と呼ぶような“金属組織による分類”で分類するのが一般的である。これらの2つの分類の関係と、それぞれの代表的な鋼種を示すと、以下のようなになる。



\* 技術研究所 (現:品質保証プロジェクト)

これ以外に、上記の分類のいずれかに属するが、硬化方法として析出硬化を利用した析出硬化系ステンレス鋼や、特性による分類として快削ステンレス鋼や電磁ステンレス鋼などがある。ステンレス鋼の基本的な特性は金属組織によって決まるので、一般的にステンレス鋼は、組織により分類される場合が多い。それぞれの分類の代表的な鋼種のマクロ組織を図3に示す。

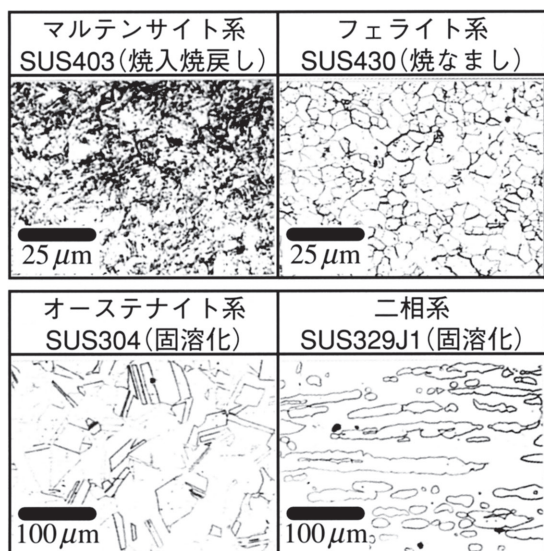


図3 各種ステンレス鋼の代表的マクロ組織

### 1・4 鋼種分類の特徴

表1に、マルテンサイト系ステンレス鋼、フェライト系ステンレス鋼およびオーステナイト系ステンレス鋼について、それぞれの代表的な鋼種の一般的な特性を概念的に比較示した。マルテンサイト系ステンレス鋼の特徴は焼入れによって硬化することである。フェライト系ステンレス鋼の特徴は、マルテンサイト系に比べ成形性や耐食性に優れることであり、また、良好な軟磁気特性を有しているため、電磁ステンレス鋼としても利用されている。オーステナイト系ステンレス鋼は一般に耐食性、延性および靱性に

表1 各種ステンレス鋼の特性比較

特性	マルテンサイト系 SUS410(焼入焼戻し)	フェライト系 SUS430(焼なまし)	オーステナイト系 SUS304(固溶化)
耐食性	良	良	優
耐酸化性	良	良～優	優
硬さ	大	小	中
引張強さ	高	低	中
延性	小	中	大
靱性	小	小	大
磁性	有	有	無
熱膨張	中	中	大
焼入硬化性	有	わずかに有	無
冷間加工性	難(焼なまし状態は良)	良	優
加工硬化能	小	小	大
溶接性	難	良	優
切削性	難(焼なまし状態は良)	良	難

富み、冷間加工性や溶接性も優れている。また、非磁性であることもオーステナイト系の特徴である。これら以外に二相系ステンレス鋼があるが、この鋼種はミクロ組織写真で分かるようにオーステナイト相とフェライト相がほぼ50%ずつ混合した組織であり、オーステナイト系より高い強度と、優れた耐食性を有している。物理的性質はフェライト系とオーステナイト系の間隔的な特性を有している。ステンレス鋼の各分類に属する鋼種とその特徴については、次章以降に詳しく説明する。

## 2. マルテンサイト系ステンレス鋼

### 2・1 種類と特徴

マルテンサイト系ステンレス鋼はCrを11.5～18%含み、高温のオーステナイト組織から急冷(焼入れ)することによって、マルテンサイト組織が得られ硬化するステンレス鋼で、代表的なものに0.12%C-12%CrのSUS410がある。図4に主なマルテンサイト系ステンレス鋼の鋼種とそれらの関係を系統図で示す。QD51やQPD5は耐食軸受用として開発した鋼種であり、SUS440Cと同等の焼入硬さと耐食性を有している。この他に、被削性を高めるために快削元素を添加した快削ステンレス鋼がある。

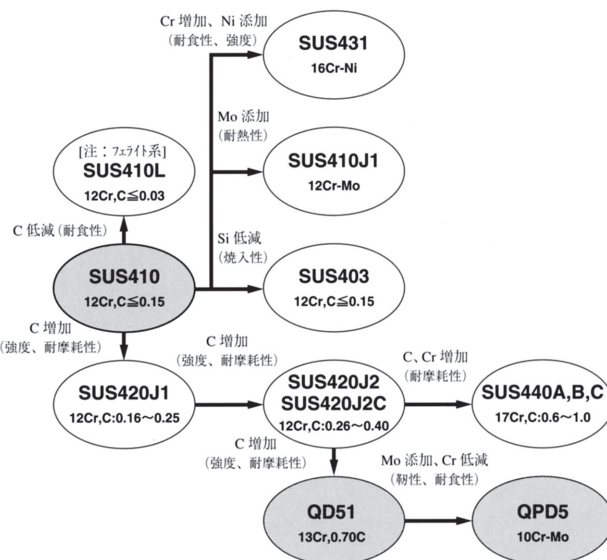


図4 マルテンサイト系ステンレス鋼の系統図

### 2・2 機械的性質

マルテンサイト系ステンレス鋼は焼入れ性がよいので、油冷または空冷でも十分に焼きが入る。焼入硬さは図5に示すように主としてC量に関係し、C量が高いものほど硬さが高い。マルテンサイト系ステンレス鋼の機械的性質は、およそ950～1000℃からの焼入状態で最高の硬さや強さが得られるが、そのままではもろいので、通常、靱性を持たせるために、焼戻しを施した状態で使用される。焼戻温度については、刃物用鋼のように硬さを必要とする場合は、



150~200℃空冷の低温焼戻し、靱性を必要とする構造用には600~750℃急冷の高温焼戻しが適用される。400~550℃での焼戻しは、炭化物の微細析出による二次硬化のために靱性が劣化する(焼戻脆性)ので、原則としてこの温度領域では、焼戻しを行わない。また、切削加工や冷間加工は、通常、800~900℃からの徐冷による焼なまし状態で行われる。

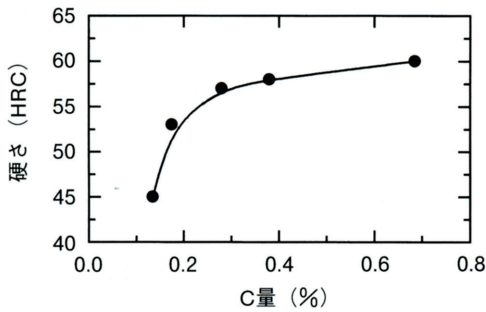


図5 12%Cr系ステンレス鋼の焼入硬さに及ぼす炭素量の影響

### 2・3 耐食性

マルテンサイト系ステンレス鋼は、室内等の穏やかな環境では十分な耐食性を有しているが、酸環境や塩水環境のような厳しい環境では、腐食を起こす場合がある。同じCr量の場合、図6に示すようにC量が増加すると耐食性は劣化する。従って、硬さや強度を高めるためにC量を増加した場合、耐食性の低下を改善するためにはCrを増加すればよく、例えば、図4中のSUS440Cは1%C-17%Crを主成分とする代表的な高硬度ステンレス鋼であり、耐食軸受などに使用されている。しかし、SUS440Cは熱間加工性や冷間加工性が非常に悪いので、C、Crのバランスを適正化することによって熱間、冷間加工性を大幅に改善したQD51や、さらに靱性と加工性を改善したQPD5が開発された。これらの開発鋼はSUS440Cと同等の焼入硬さと耐錆性を有しており、さらに大きな一次炭化物が著しく少ないため、軸受用鋼として必要な転動疲労寿命はSUS440Cより優れている。

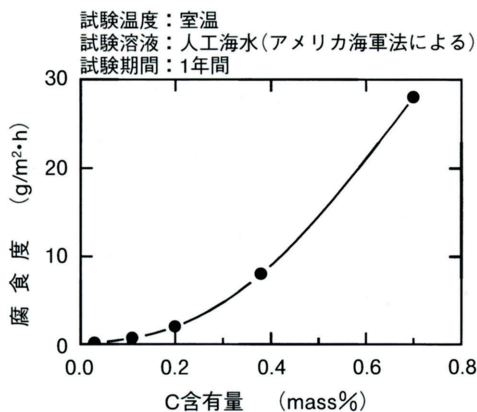


図6 12%Cr系ステンレス鋼の人工海水中での耐食性

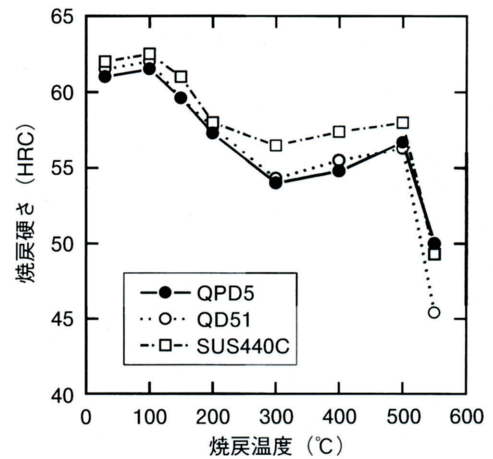
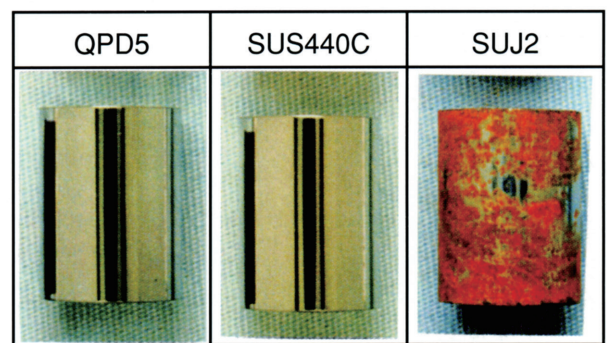


図7 マルテンサイト系開発鋼の焼入焼戻硬さ



試験片：焼入焼戻し後、鏡面仕上げ(0.3 μm Ry)  
試験法：MIL-STD-753B, Method 100  
35℃, 蒸留水浸漬 1h ⇄ 乾燥 1h 12サイクル

図8 開発鋼QPD5の湿潤環境での耐食性

図7に開発鋼の焼入焼戻硬さ特性を示す。また、図8に、代表的な軸受鋼であるSUJ2、耐食軸受用鋼SUS440Cと開発鋼QPD5の湿潤環境での腐食試験結果を示す。

### 2・4 用途

マルテンサイト系ステンレス鋼は、比較的安価であり、通常環境で良好な耐食性を有し、他のステンレス鋼に比べて強度が高いという特徴がある。そのため、強度が必要なシャフト、ボルト、ノズル、タービンブレードなどに使用されている。身近なところでは、ステンレス刃物(はさみ、ナイフ、包丁等)やOA機器の部品(シャフト、ローラー)などにも使用されており、QD51やQPD5は耐食直動軸受やハードディスクドライブのハブやシャフトに使用されている。

## 3. フェライト系ステンレス鋼

### 3・1 種類と特徴

17%Cr鋼のSUS430に代表されるフェライト系ステンレス鋼は、焼入硬化性がほとんどなく、マルテンサイト系ステンレス鋼に比べて冷間加工性や溶接性および耐食性に優れ

ている。図9に主なフェライト系ステンレス鋼の鋼種とそれらの関係を系統図で示す。また、フェライト系ステンレス鋼の特性の1つに磁石に着きやすい性質があり、この磁気特性を更に改良した電磁ステンレス鋼として開発されたQMR鋼があるが、この電磁ステンレス鋼については第8章で説明する。この他に、高温での耐酸化性や耐高温腐食性を改善するためにSiとAlを多く添加したSIC鋼や靱性および耐食性の改善のためにC,Nを非常に低く抑え、かつMoを添加した高耐食フェライト系ステンレス鋼QS192、QS261などの開発鋼がある。

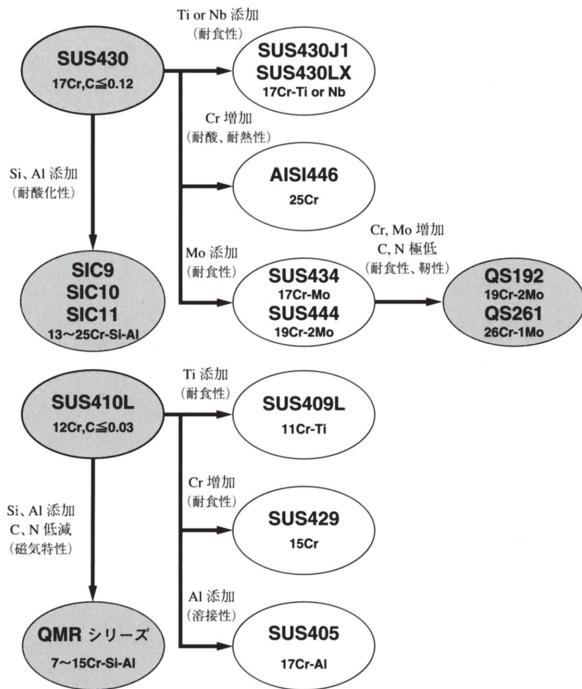


図9 フェライト系ステンレス鋼の系統図

### 3・2 機械的性質

フェライト系ステンレス鋼は、上述のように、高温でオーステナイト生成量が非常に少ないか、あるいは生成しないために、冷却時のマルテンサイト変態による硬化性もきわめて低く、加工性や溶接性は良好である。フェライト系ステンレス鋼は、通常焼なまし状態で使用される。焼なまし条件は鋼種によって異なり、一般的には、SUS410LやSUS430などの低Crフェライト鋼ではおよそ800℃からの空冷または徐冷で行い、SUS444やAISI446などの高Crフェライト鋼では900~1000℃からの急冷で行われる。フェライト系ステンレス鋼の引張強さおよび伸びはオーステナイト系ステンレス鋼のSUS304よりもやや低い。なお、高Crフェライト鋼では、500℃付近に加熱されると475℃脆化により硬さや引張強さが上昇し、靱性が低下するので350~550℃の温度範囲での使用を避ける必要がある。

### 3・3 耐食性

フェライト系ステンレス鋼は、C量が低くCr量が多いため、マルテンサイト系ステンレス鋼に比べ耐食性は優れ

ており、大気中や淡水などの環境下では良好な耐食性を有している。更に、Cr量の増加、Moの添加、C,Nの低減およびNbやTiなどの添加により、耐孔食性や耐粒界腐食性を向上した鋼種が開発されている。フェライト系ステンレス鋼の耐食性で最も特徴的なことは、オーステナイト系ステンレス鋼で問題となる塩化物を含む環境下での応力腐食割れに対する抵抗が非常に高いことである。表2に、SUS430やQS192、QS261などのフェライト系ステンレス鋼と、代表的なオーステナイト系ステンレス鋼であるSUS304やSUS316の応力腐食割れの比較試験結果を示す。また、QS192やQS261のような高純度高CrMoフェライト系ステンレス鋼は、図10に示すように塩化物環境での耐孔食性も非常に優れている。また、フェライト系ステンレス鋼は高温での耐酸化性も優れており、特に、重油燃焼ガス中での高温腐食に対する耐食性を改善したSIC鋼は、図11や図12に示すように、オーステナイト系ステンレス鋼のSUS304やSUS316Sに比べて優れた耐酸化性と耐高温腐食性を有している。

表2 フェライト系ステンレス鋼の耐応力腐食割れ性

鋼種	42%塩化マグネシウム (沸騰)	
	割れ発生時間 (h)	割れ横断時間 (h)
SUS430	>336 (割れなし)	—
SUS434	>336 (割れなし)	—
QS192	>336 (割れなし)	—
QS261	>336 (割れなし)	—
SUS304	2~3	3~5
SUS316	24	55

\*応力腐食割れ試験 (U曲げ法) による (JIS G0576)

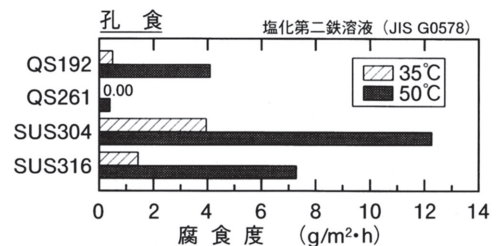


図10 高純度フェライト系ステンレス鋼の耐孔食性

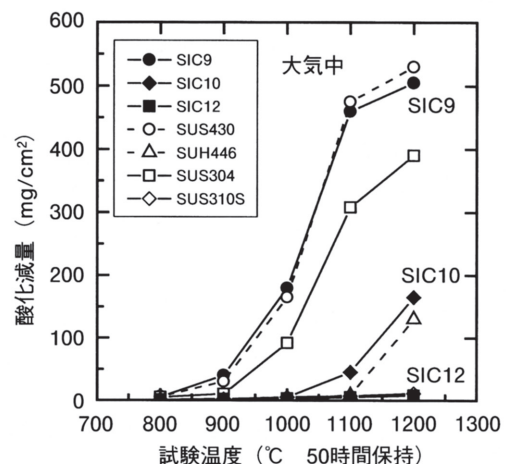


図11 SIC鋼の耐酸化性



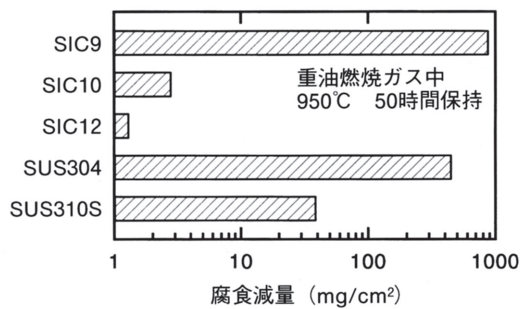


図12 SIC鋼の重油燃焼ガス中での耐食性

### 3・4 用途

フェライト系ステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼に比べて安価であり、耐食性や加工性、溶接性も良好であるため、厨房用品、電気機器部品、自動車部品、化学プラント装置など、広い分野で使用されている。特にQS192やQS261は、オーステナイト系ステンレス鋼で塩化物応力腐食割れが問題となるような温水器や熱交換器チューブに使われている。また、QS192は熱膨張が小さく耐酸化性も良いことから、ディーゼルエンジンの副燃焼室材としての適用例もある。SIC鋼は加熱炉の排ガスの熱回収用レキュベレーター用チューブとして広く使用されている。

## 4. オーステナイト系ステンレス鋼

### 4・1 種類と特徴

18Cr-8NiのSUS304を代表とするオーステナイト系ステンレス鋼は、延性、韌性に富み、冷間加工性が良好で、溶接性も優れている。さらに耐食性、耐酸化性も優れているために、非常に広範囲に使用されている優れた耐食材料である。そして、オーステナイト系ステンレス鋼はSUS304を基本に、種々の特性を付与することにより発展してきた。それらの関係を図13に系統図で示す。開発鋼のQS2025Mは、種々の腐食環境に対し非常に優れた耐食性を有している。また、高強度非磁性鋼としてQSM5がある。この他に、被削性を改善したオーステナイト系ステンレス快削鋼があるが、これについては他の系とまとめて第7章で説明する。

### 4・2 機械的性質

オーステナイト系ステンレス鋼は、炭化物を1050°C付近で固溶し急冷した状態が機械的性質や耐食性の点で最も望ましい。フェライト系ステンレス鋼に比べ、延性や韌性が優れているが、冷間加工を加えると加工硬化が顕著で、図14に示すように、加工度とともに硬さが上昇して行く。また、図15のように、SUS304は冷間加工度がおよそ20%以上になると、急に透磁率が上昇し、磁性を帯びようになってくる。これらの現象は、加工に伴って、オーステナイトの加工硬化に加えて、加工誘起変態によるマルテンサイトを生じるためである。これに対し、C, N量を低く抑え

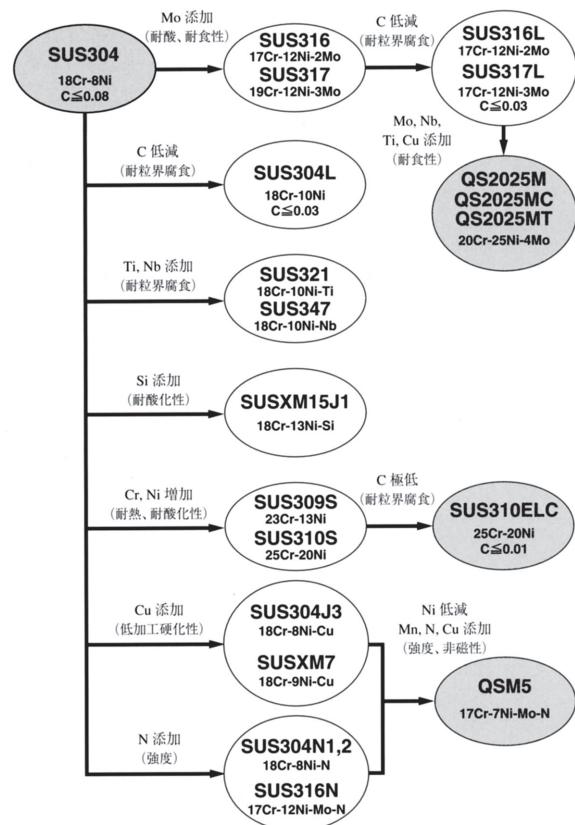


図13 オーステナイト系ステンレス鋼の系統図

Cuを添加したSUSXM7は、SUS304よりも加工硬化しにくく、延性に優れており、ねじやボルトなど冷間ヘッダー用に適している。また、QSM5は、冷間加工によってSUS304よりも高い強度が得られ、かつ透磁率はSUSXM7並に低く、高い加工率まで非磁性を維持している。この鋼種は非磁性でかつ高い強度が要求されるステンレスボルト材として使用されている。

この他、オーステナイト系ステンレス鋼はフェライト系やマルテンサイト系に比べ、低温での延性、韌性に優れており、低温用材としても適している。また、高温強度と耐酸化性に優れているために、高温材料としても幅広く使用されている。

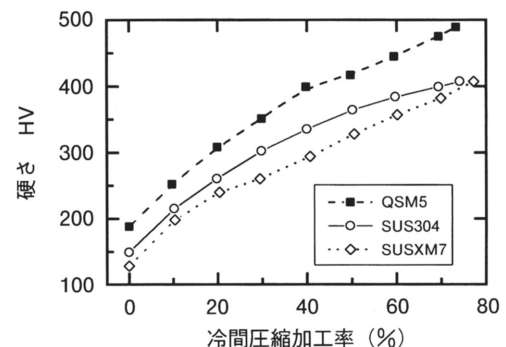


図14 オーステナイト系ステンレス鋼の冷間加工に伴う硬さ変化

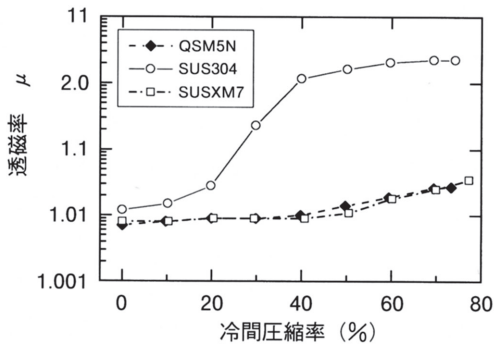


図15 オーステナイト系ステンレス鋼の冷間加工に伴う透磁率変化

### 4・3 耐食性

オーステナイト系ステンレス鋼は各種ステンレス鋼の中で最も耐食性が優れており大気中や淡水中あるいは中性塩や有機酸、酸化力の強い硝酸およびアルカリなどの環境中で優れた耐食性を示す。しかしながら、塩酸や硫酸などの非酸化性酸中では、全面腐食を生じることがある。これらの腐食に対しては、MoやCuの添加およびNi含有量の増加により、耐食性が向上する。図16に示すように、SUS304は550~750℃に加熱されると、鋼中に固溶していた炭素が結晶粒界にCr炭化物として析出し、粒界腐食を生じやすくなる。この粒界腐食に対しては、Cを低く抑えるかあるいは、TiやNbなどのCを安定化させる元素を添加することが有効であり、実用鋼種としては、低CのSUS304LやSUS316L、安定化鋼のSUS321やSUS347などがある。また、図17に示すように、SUS304は高温高濃度の塩化物水溶液中では、孔食や応力腐食割れを起すことがある。耐孔食性の改善には、Moの添加が極めて効果的であり、SUS316やSUS317はSUS304より耐孔食性に優れている。応力腐食割れ性は、Mo添加や高Ni化が有効であり、Ni, Moを高めたQS2025Mは耐全面腐食性、耐孔食性に優れるだけでなく、応力腐食割れに対しても極めて強い抵抗性を有している(図18及び表3)。

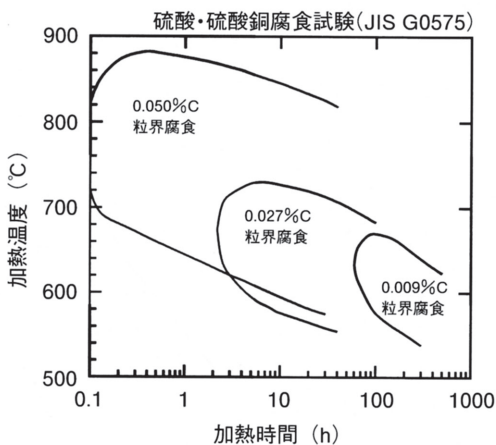


図16 SUS304の鋭敏化に及ぼすC量の影響

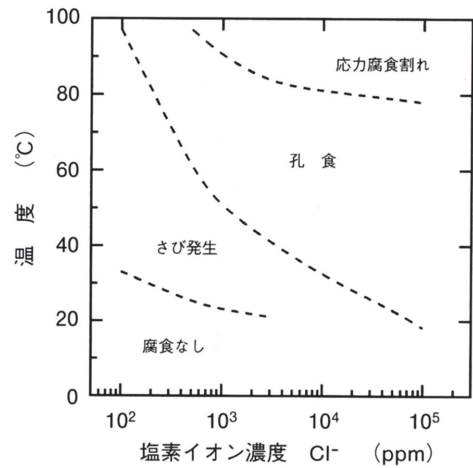


図17 SUS304の中性NaCl溶液中での腐食<sup>2)</sup>

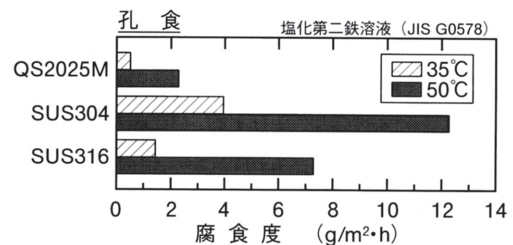


図18 QS2025Mの耐孔食性

表3 QS2025Mの耐応力腐食割れ性

鋼種	42%塩化マグネシウム (沸騰)	
	割れ発生時間 (h)	割れ横断時間 (h)
QS2025M	>336 (割れなし)	—
SUS304	2~3	3~5
SUS316	24	55

\*応力腐食割れ試験 (U曲げ法) による (JIS G0576)

### 4・4 用途

SUS304やSUS316などの汎用のオーステナイト系ステンレス鋼はその優れた性質のため用途は広範囲にわたっており、身近な家庭用品から、建築用、自動車部品、化学工業、食品工業、原子力発電、各種プラントなどの産業用まで広く用いられている。安定化鋼のSUS321やSUS347は発電用ボイラや石油精製、化学工業の熱交換器に用いられている。また、高耐食ステンレス鋼QS2025Mは都市ゴミ焼却炉の白煙防止装置の熱交換器や、石油精製プラントのコンデンサー、酢酸や硫酸製造プラントのクーラー、あるいは海水を冷却水に用いた熱交換器など、SUS304やSUS316では耐食性が不十分な環境に使用されている。この他特殊な用途例として、高強度非磁性ステンレス鋼のQSM5は、その特性を活かし、リニアモーターカー山梨実験線の浮上および推進コイルの締結ボルトに使用されている。また、ボイラや加熱炉などの高温用途には、耐熱耐酸化性に優れたSUS309SやSUS310SあるいはSUSXM15J1などが用いられている。



## 5. 二相系ステンレス鋼

### 5.1 種類と特徴

二相系ステンレス鋼はオーステナイト相とフェライト相がそれぞれおよそ50%の割合で混在する複合組織を持つステンレス鋼であり、優れた耐食性と強度特性を持つ。代表的なものとして、25%Cr-5%Ni-2%MoのSUS329J1がある。これ以外に図19に示すようなJIS鋼や開発鋼がある。二相系ステンレス鋼の特徴は、Mo, Nを含有するために塩化物環境での耐食性に優れ、耐力、引張強さがオーステナイト系およびフェライト系に比べて大きいことである。

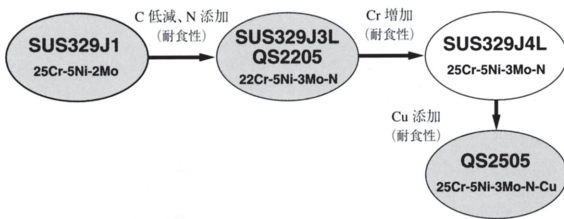


図19 二相系ステンレス鋼の系統図

### 5.2 機械的性質

二相系ステンレス鋼はオーステナイト系ステンレス鋼と同様に固溶化熱処理状態が耐食性や機械的性質の点で最も望ましく、通常1000~1100℃からの急冷によって固溶化処理される。機械的性質について図20に示すように、いずれの鋼種もオーステナイト系のSUS304と比べ引張強さは高く、延性は低い。また、高Crフェライト系ステンレス鋼と同様に500℃付近で加熱されると、475℃脆化により硬さや引張強さが上昇し、靱性が低下するので350~550℃の温度範囲での使用を避ける必要がある。

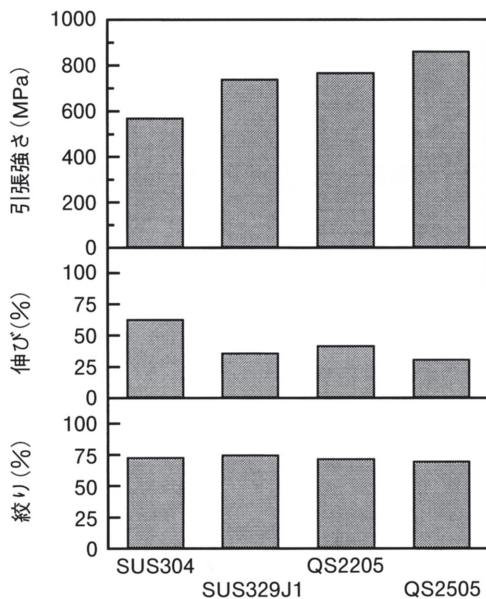


図20 二相系ステンレス鋼の機械的性質

### 5.3 耐食性

二相系ステンレス鋼は耐食性向上に有効なCr, Moを多く含有しているために、耐孔食性や耐隙間腐食性に優れている。また、炭素含有量が低く耐粒界腐食性も良好である。図21に主な二相系ステンレス鋼の腐食試験結果を示す。いずれの鋼種もオーステナイト系ステンレス鋼のSUS304より優れており、海水環境でも良好な耐食性を示す。また、二相系ステンレス鋼は塩化物環境での応力腐食割れに対しても高い抵抗性を有しているため、海水や油井などのきびしい腐食環境用の耐食材料としても使用されている。

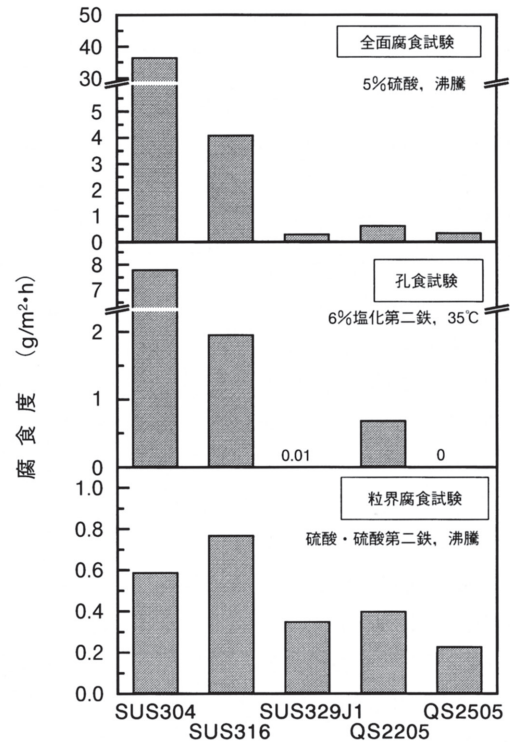


図21 二相系ステンレス鋼の耐食性

### 5.4 用途

二相系ステンレス鋼は耐食性に優れていることから、海水冷却復水器や排煙脱硫装置および各種化学プラント用材料に使用されている。また、高い強度を有することから船舶の遠心分離器用材としても使用されている。

## 6. 析出硬化型ステンレス鋼

### 6.1 種類と特徴

析出硬化型ステンレス鋼は、析出硬化を意味する英語の“Precipitation Hardening”を略してPHステンレス鋼とも呼ばれる。析出硬化型ステンレス鋼は熱処理によって、素地金属中にCu, Al, Nb, Tiなどの析出物を均一微細に析出させ強化するものであり、代表的なものにマルテンサイト系析出硬化型ステンレス鋼のSUS630 (17-4PH) と、セミオーステナイト系析出硬化型ステンレス鋼のSUS631 (17-7PH)

がある。また、これらの鋼種の冷間加工性や耐食性を改善したQSH6やQSH7などの開発鋼がある（図22）。析出硬化型ステンレス鋼の特徴は、1000 N/mm<sup>2</sup>以上の高い引張強さを持ち、かつ通常のマルテンサイト系ステンレス鋼よりも優れた靱性と耐食性を有することである。

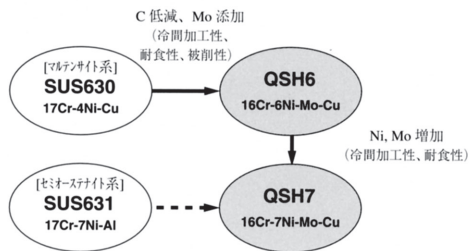


図22 析出硬化型ステンレス鋼の系統図

### 6・2 機械的性質

代表的なマルテンサイト系析出硬化型ステンレス鋼であるSUS630では、およそ1040℃で固溶処理（ST）後、480～620℃の温度範囲に保持（時効処理）すると、Cuが微細析出し高強度化される。図23はSUS630とQSH6の析出硬化特性を示したものである。QSH6はST状態でSUS630よりもHRCで約5ポイントほど低いため、冷間加工性や切削性はSUS630より良好である。QSH6の時効処理後の硬さはSUS630とほぼ同等であり、優れた時効特性を有している。セミオーステナイト系析出硬化型ステンレス鋼のSUS631やQSH7は、ST処理後は軟らかいオーステナイト組織である。しかし、そのオーステナイト組織は不安定な組織であり、その後の熱処理や冷間加工によってマルテンサイト化し硬くなる。さらに時効処理を行うと、マルテンサイト素地中にNi-AlやCuの金属間化合物が析出し著しく硬化する。図24はSUS631の時効特性を示したものである。マルテンサイト系、セミオーステナイト系のいずれも、時効処理条件については使用目的や加工方法によって最適の条件が選択される。

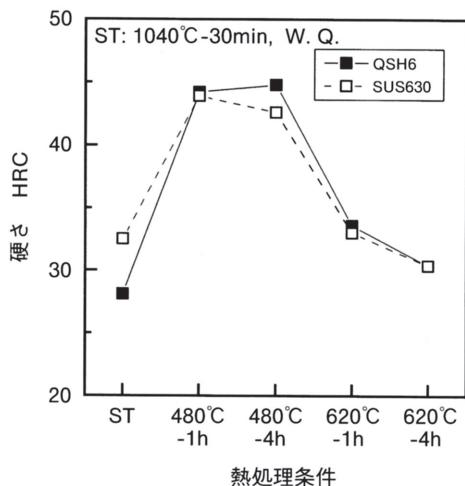


図23 開発鋼QSH6の析出硬化特性

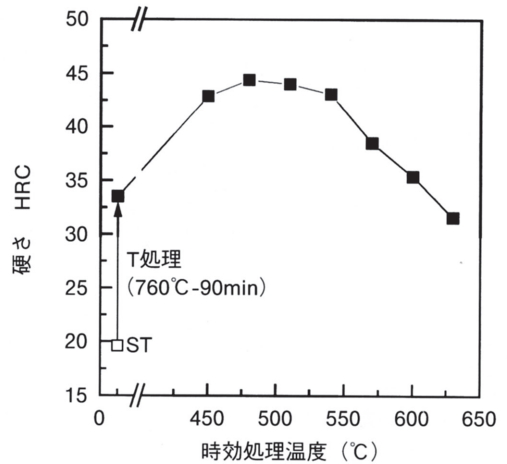


図24 SUS631の析出硬化特性

### 6・3 耐食性

一般的な耐食性はSUS410などのマルテンサイト系ステンレス鋼よりも優れており、大気環境中では十分な耐食性を示すが、海水のような塩素含有雰囲気中では、孔食や隙間腐食が発生する場合がある。図25に塩化第二鉄溶液中での孔食試験結果を示す。SUS630の時効材はSUS304よりも耐孔食性が劣っているが、低C、Mo添加のQSH6やQSH7の時効材はSUS304と同等の優れた耐食性を有していることが分かる。また、QSH6は硫酸や塩酸などの酸に対してもSUS304と同等の耐食性を有している。

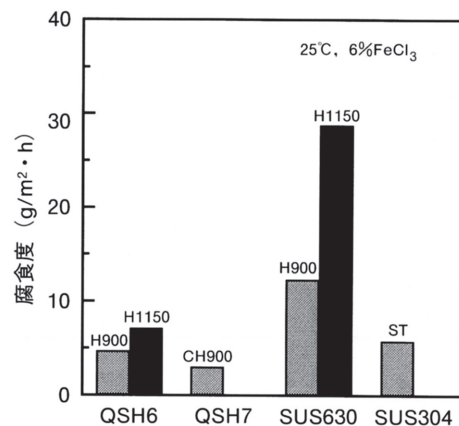


図25 開発鋼QSH6およびQSH7の耐食性

### 6・4 用途

強度と耐食性が要求される用途として、バルブや船舶用のモーターシャフト、建築用ボルト、航空機用部品、各種スプリング、ダイヤフラムあるいは、ゴルフクラブやアイゼンなどのスポーツ用品にも使用されている。SUS630の被削性と耐食性を改善したQSH6は、船外機のシャフトやプラスチック金型などに使用され、今後その需要はさらに増加していくものと考えられる。



## 7. 快削ステンレス鋼

前章までは、マルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系、二相系および析出硬化系ステンレス鋼について、それぞれの代表的な鋼種と特徴について説明してきた。いずれの系においても、これまで耐食性を主とし、強度や冷間加工性などの特性の改善を目的に鋼種開発が行われてきた。近年、OA機器をはじめとする電子部品の高性能化、小型化に伴い、構成部品の形状が益々複雑となり、これらの部品に使用されるステンレス鋼に対し、“被削性の改善”の要求が一段と強まっている。そこで、本章では「削り易さ」に重点を置いた快削ステンレス鋼を紹介する。

### 7.1 快削元素の役割

ステンレス鋼の被削性を改善するために添加される快削元素の代表的なものとして、硫黄 (S)、セレン (Se)、テルル (Te)、鉛 (Pb)、などがある。S、Se、Teは主にMnと結合してMnS等の介在物として鋼中に分散し、切削時にこれらの介在物が切り屑を破砕しやすくなることによって切削抵抗を低減し、鋼の被削性が向上する。図26はオーステナイト系快削ステンレス鋼であるSUS303の硫化物系介在物の分布状態を示したものである。Pbは鋼中に固溶せずに単独で微細に分散しており、切削時にPbが工具に対し潤滑作用をしたり、切り屑を破砕しやすくなることで、被削性が向上するといわれている。また、PbはSほど耐食性に悪影響を及ぼさないため耐食性が問題となる用途にはPb快削鋼が適している。これらの快削元素は単独で添加される場合が多いが、きびしい切削加工条件に対応するために、2元素あるいは3元素を複合添加する場合もある。

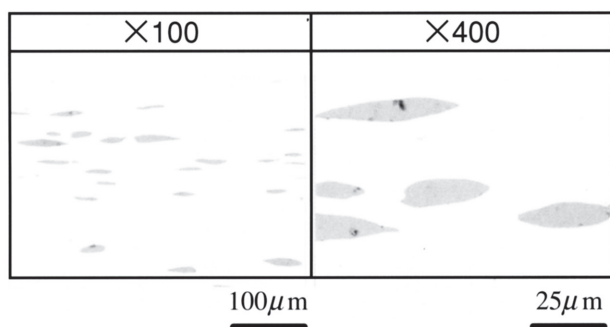


図26 オーステナイト系快削ステンレス鋼SUS303の硫化物形態

### 7.2 快削ステンレス鋼の特徴と用途

#### 7.2.1 マルテンサイト系快削ステンレス鋼

マルテンサイト系快削ステンレス鋼は焼入硬化可能な材質であるが、一般に、切削加工は軟らかい焼なまし状態で行われる。図27にマルテンサイト系快削ステンレス鋼の系統図を示す。代表的な規格鋼としてS快削鋼のSUS416がある。SUS410並の耐食性が必要な場合はPb快削鋼のY2Lが適している。さらに、SUS416よりも優れた被削性と耐食性を有する鋼種として、S、Pb、Seを複合添加した

QSF416LXがある。図28、図29にそれらの被削性と耐食性についての比較データを示す。マルテンサイト系快削ステンレス鋼は安価で被削性に優れ、焼入れ可能な特長を生かし、用途としては、プリンター、事務機器、音響機器のシャフトや部品などがある。また、Y2Lは耐食性が良いことから洗濯機のローターシャフト材として多く使用されている。

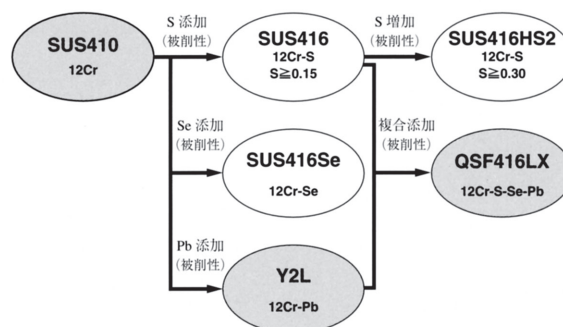


図27 マルテンサイト系快削ステンレス鋼の系統図

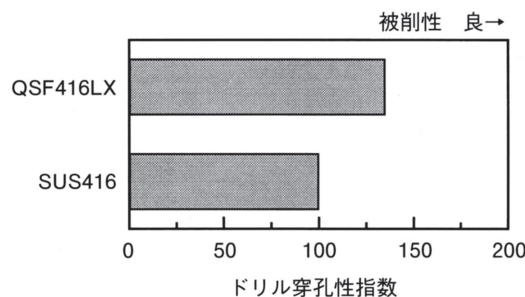


図28 開発鋼QSF416LXのドリル穿孔性

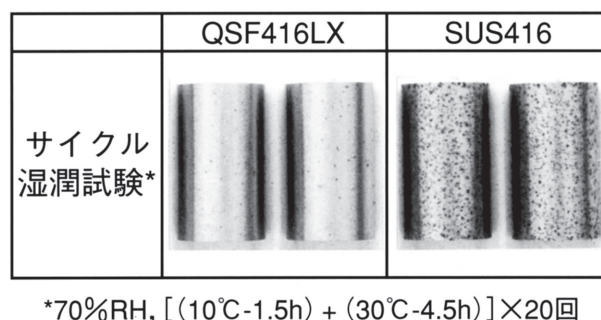


図29 開発鋼QSF416LXの耐食性

#### 7.2.2 フェライト系快削ステンレス鋼

フェライト系ステンレス鋼は軟らかく、加工硬化しにくいので、本来オーステナイト系ステンレス鋼よりも被削性は良好である。従って、一般的にフェライト系快削ステンレス鋼の被削性は、同一快削元素量のオーステナイト系快削ステンレス鋼に比べると優れている。耐食性はマルテンサイト系ステンレス鋼よりも良好であり、OA機器や時計部品、ポンプやバルブなどの機械部品に使用されている。図30にフェライト系快削ステンレス鋼の系統図を示す。

代表的な規格鋼としてS快削鋼のSUS430Fがある。実用的には被削性改善のためS量を0.3%程度まで高めたSUS430HS2が多く使われている。SUS430並の耐食性を必要とする用途には、Pb快削鋼のQSF430Lがあり、吸水ポンプのモーターのシャフト材として使用されている。また、最近ハードディスクのスピンドルモーター部品用に開発した高切削、高耐食快削ステンレス鋼として、S、Pbを複合添加したQSF190Lがある。QSF190Lの被削性と湿潤環境での耐食性について、SUS430Fと比較したデータを図31、図32に示す。特にハードディスクについては、使用環境中で耐発錆性以外に、腐食性のガスが発生しない（耐アウトガス性）材料特性が要求され、この要求に対しQSF190Lは優れた特性を有している。SUS430FHS2よりもさらに切削性を改善した鋼種としてS、Pb、Te添加の複合快削鋼QS192Fが開発されている。この鋼種は快削ステンレス鋼の中で最も良好な被削性を有しており、高耐食、重切削用途に用いられている。

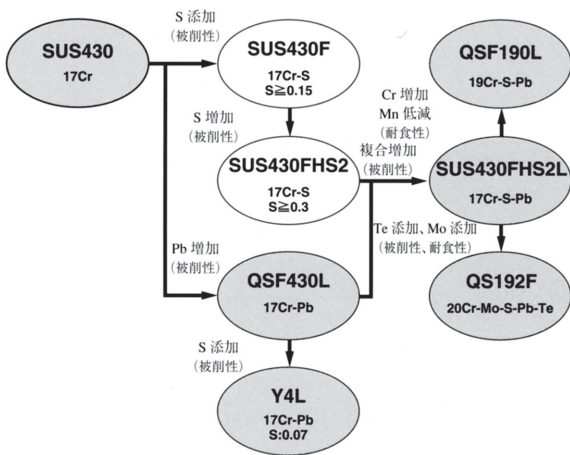


図30 フェライト系快削ステンレス鋼の系統図

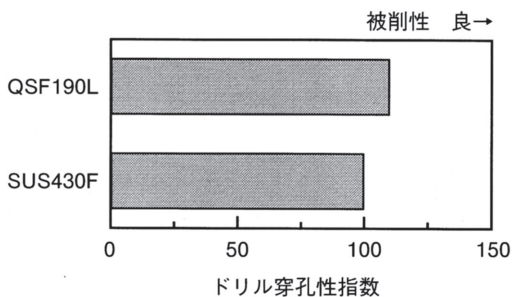
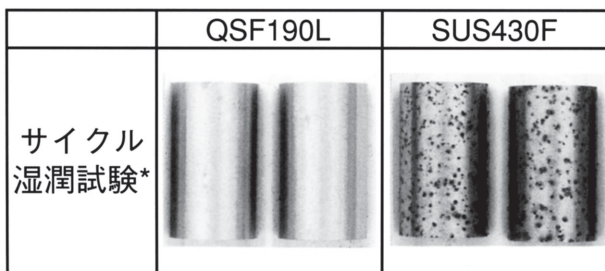


図31 開発鋼QSF190Lのドリル穿孔性



\*90%RH, [(20°C-1.5h) + (50°C-4.5h)] × 20回

図32 開発鋼QSF190Lの耐食性

### 7・2・3 オーステナイト系快削ステンレス鋼

オーステナイト系快削ステンレス鋼は、一般にマルテンサイト系、フェライト系快削ステンレス鋼よりも、耐食性が優れており、ボルトやシャフト、O A 機器、電子機器、精密機械部品、時計部品、医療機器など、耐食性が要求される切削部品材料として広く使用されている。図33にオーステナイト系快削ステンレス鋼の系統図を示す。代表的な鋼種としてS快削鋼のSUS303がある。複雑な形状の小物部品の加工には、さらに被削性の良い材料が要求される。その被削性の要求度に応じて、S量を数レベルで変化させたS快削鋼が商品化されており、最大0.33%まで添加されているものも製造されている。また、通常SUS304やSUS303は引抜き加工のような冷間加工を行うと、加工誘起マルテンサイトの生成により透磁率が上昇し、着磁性を持つようになる。V T R 部品のように非磁性と被削性が要求される用途には、通常SUS303では不十分な場合があり、そのような用途には非磁性特性と被削性を改善したSUS303MFやSUS303Cuが使用されている。図34に冷間加工度と透磁率の関係を示す。

また、図35に被削性についてSUS303CuとSUS304およびSUS303との比較データを示す。

以上、マルテンサイト系、フェライト系、およびオーステナイト系の快削ステンレス鋼の特徴について述べた。最後に、ここに紹介したすべての鋼種について、耐食性と被削性の位置付けを図36に示す。

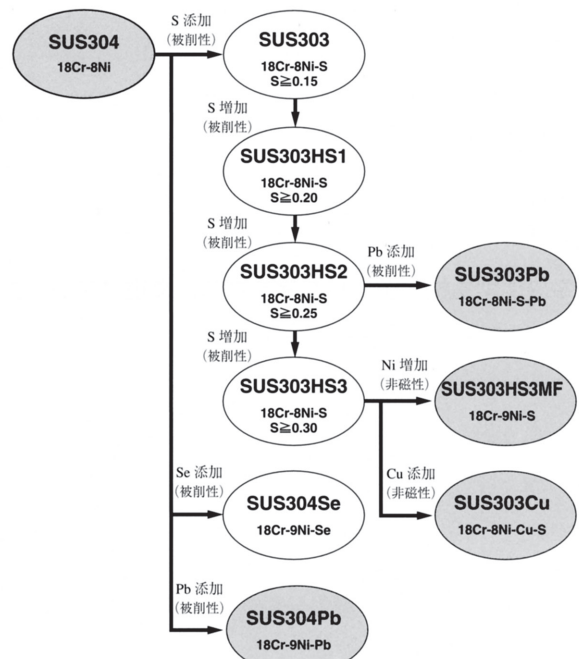


図33 オーステナイト系快削ステンレス鋼の系統図



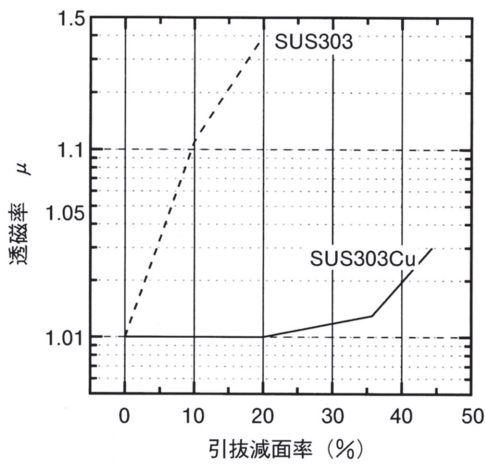


図34 開発鋼SUS303Cuの冷間引抜に伴う透磁率変化

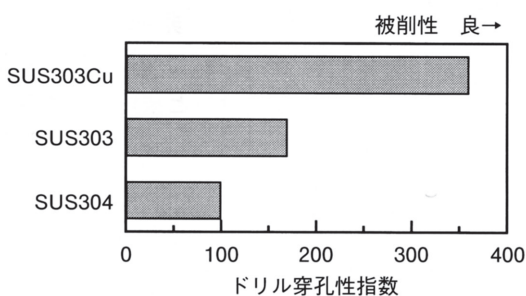


図35 オーステナイト系快削ステンレス鋼のドリル穿孔性

## 8. 電磁ステンレス鋼

### 8・1 種類と特徴

電磁ステンレス鋼はフェライト系ステンレス鋼に属し、フェライト組織がもつ電磁特性を更に向上させ、同時に、耐食性や加工性を併せもつ材料である。従来から、油圧や空気圧機器の制御に使われる電磁弁には、電磁軟鉄や珪素鋼などが使われてきたが、これらの材料は削りにくく、錆びやすいなどの欠点があった。電磁ステンレス鋼QMRシリーズは、用途に合わせた電磁気特性、耐食性、被削性および加工性を兼ね備えるように成分設計された、Fe-Cr-Si-Al系の快削電磁ステンレス鋼である。電磁ステンレス鋼QMRシリーズの基本特性の概念図を図37に示す。

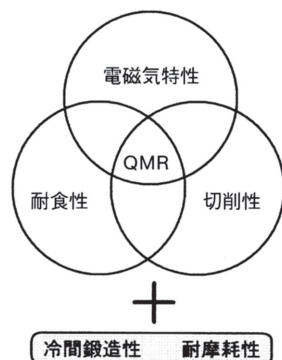


図37 QMRシリーズに求められる基本特性の概念図

### 8・2 特性

QMRシリーズの各種特性と特徴をまとめて表4に示す。QMR1L, QMR4, QMR5Lは、固有抵抗が高く、交流用途においても少ない消費電力での動作が可能である。中でも、QMR1Lは、他の鋼種と比較して磁束密度が高く、特に強い吸引力が要求される用途に適している。QMR5Lは、QMRシリーズの中で最も優れた耐食性を有し、腐食環境下での使用に適している。鋼種記号にLがつくものは、耐食性を損なわずに被削性を高めるために適量のPbが添加されている。これにより、電磁軟鉄や通常の12%Crステンレス鋼の約2倍の切削能率を有しており、切削加工時の高能率化、省コスト化に貢献している。QMR1L, QMR5Lはやや硬度を高めめに設定し、耐摩耗性、耐久性を向上させている。また、QMR2L, QMR3Lは、電磁弁用としての硬さを保ちながら、過酷な冷間鍛造を可能にした材料で、部品加工プロセスの合理化を可能にしている。

表4 QMRシリーズの各種特性

鋼種	主成分	軟磁気特性	耐食性	切削性	冷鍛性	鉄損	特長
電磁軟鉄	Fe	◎	×	△	○	×	直流軟磁特性良好
珪素鋼	Fe-3Si	◎	×	○	○	△	直・交流軟磁特性良好
QMR1L	7Cr-2Si-0.6Al-Pb	◎	○	◎	○	◎	湿潤環境での耐食性良好 交流用途に適する
QMR2L	10Cr-1.2Al-Pb	◎	◎	◎	◎	◎	13Crステンレス並の耐食性 特に優れた冷鍛性
QMR3L	13Cr-0.3Si-1Al-Pb	○	◎	◎	◎	○	13Crステンレス並の耐食性 優れた冷鍛性
QMR4	13Cr-1Si-1Al	○	◎	△	△	◎	優れた耐食性、耐摩耗性
QMR5L	15Cr-1.5Si-1Al-0.3Mo-Pb	○	◎	◎	△	◎	特に優れた耐食性 交流用途に適する

### 8・3 用途

上記特性や特徴を活かし、空気、ガス、水、油、燃料などの流体制御機器の電磁弁の鉄心材料に使用されている。また、最近では図38に示すような自動車の電子燃料噴射装置のインジェクタのコアやコネクタ、ハウジングにも使用されている。この他、各種アクチュエーターやセンサー部品にも広く使用されている。

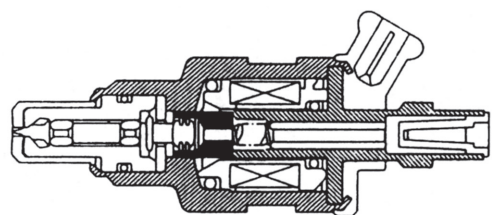


図38 QMRシリーズが適用されているインジェクタの構造

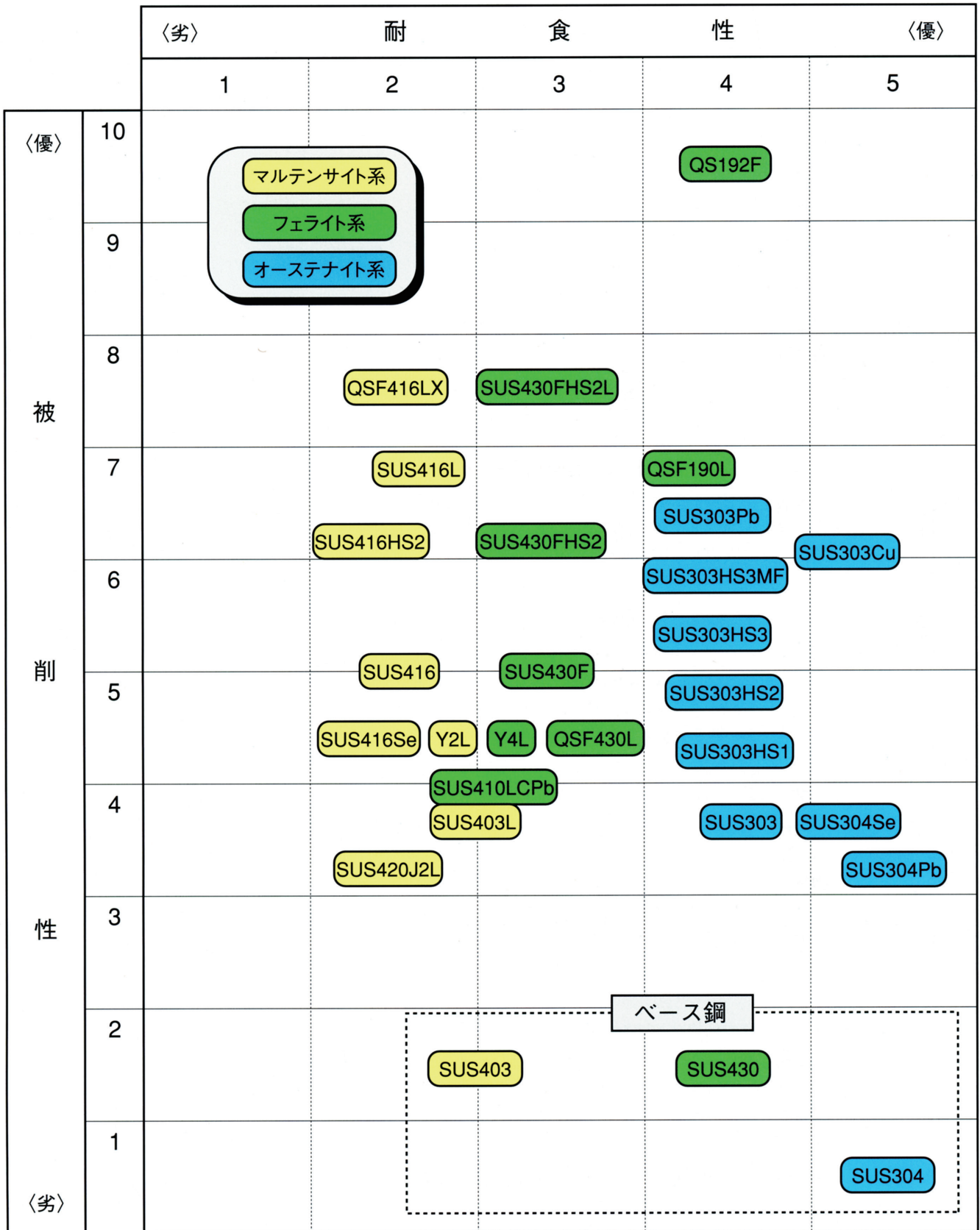


図36 被削性および耐食性による各種快削ステンレス鋼の位置付け



表5 開発ステンレス鋼の用途事例

用途分類	対象部品	要求される特性	鋼種記号	概略成分	特長	
輸送	自動車	ABSセンサー部品	QMR1L	7Cr-Al-Si-Pb-Lc,N	強い吸引力和良好な被削性	
			QMR5L	15Cr-Al-Si-Pb-Lc,N	強い吸引力和良好な被削性、耐食性	
	鉄道車両	酸素センサー部品		SUS430S	17Cr-LC	良好な冷間加工性と耐錆性
				SUS430S	17Cr-LC	同上
		ノズル部品		SUS430F	17Cr-S	良好な冷間加工性と被削性、耐熱性
				QSF430L	17Cr-Pb	良好な被削性と耐食性に併せて磁気特性を利用
		ディーゼルエンジン用予燃焼室		QS192	18Cr-2Mo-Lc,N	高温での耐酸化性と良好な熱疲労特性
				QSM5	18Cr-6Ni-6Mn-その他(特許申請中)	冷間加工による高強度化と非磁性、耐食性
				SUS304C1	18Cr-8.3Ni-Cu	良好な冷間加工性
				QSH6	16Cr-6Ni-1Mo-Cu-Nb(特許申請中)	SUS304と同等の耐食性とSUS630相当の高強度
家電	船舶	船舶スクリュー用シャフト	Y2L	13Cr-Pb	被削性と熱処理による強度を兼備	
		洗濯機シャフト	SUS410LCPb	13Cr-Pb-LC	同上	
	電子機器	VTRテープガイドピン	SUS303MF	18Cr-9Ni-S	冷間引抜き後、良好な被削性と非磁性	
		精密シャフト	SUS303Cu	18Cr-9Ni-Cu-S	同上	
	産業機械・装置	ハードディスク部品		QSF416LX	13Cr-S-Se-Pb	13Cr系でもっとも優れた被削性
				QS192F	19Cr-2Mo-S-Pb-Te(特許申請中)	フェライト系で最も優れた被削性と耐食性
		プリンタ部品		SUS303HS3	18Cr-9Ni-S	18-8系で非常に優れた被削性
				QD51	13Cr-0.7C	高硬度による耐摩耗性と優れた耐錆性
		半導体製造装置関連機器		SUS304Se	19Cr-S-Pb(特許申請中)	優れた耐錆性と耐ガス放出性、被削性
				VAR316L	16Cr-8Ni-Se	冷間鍛造可能な快削ステンレス鋼
機械	電磁弁(コア・ブランジヤ)		QMR1L	18Cr-14Ni-2Mo-極低C,N,O	超高清浄度、鏡面仕上げ、電解研磨性良好	
			QMR5L	7Cr-Al-Si-Pb-Lc,N	強い吸引力和良好な被削性	
	電磁弁(シリンドラチューブ)		SUS631	15Cr-Al-Si-Pb-Lc,N	強い吸引力和良好な被削性、耐食性	
			QD51	16Cr-7Ni-Al	固溶化状態で非磁性、時効処理後で高硬度と磁性	
	直線運動軸受け		QD51	13Cr-0.7C	焼入れ焼戻しによる高硬度と優れた耐錆性	
			QPD5	10Cr-0.5C-Mo	同上	
	化学装置	超高真空用フランジ	ESR304L	18Cr-10Ni-Lc-Ls	碳化物系介在物を低減、高清浄度	
		熱交換器用チューブ	ESR316L	16Cr-12Ni-Lc-Ls	碳化物系介在物を低減、高清浄度、耐食性	
	エネルギー	環境	熱交換器用チューブ	QS192	18Cr-2Mo-Lc,N	316Lと同等の耐食性、応力腐食割れ感受性がない
				QS261	26Cr-1Mo-Lc,N	317Lと同等以上の耐食性、応力腐食割れ感受性がない
熱交換器用ヒーターチューブ			SUS310ELC	25Cr-20Ni-極低C	硝酸などの環境で優れた耐粒界腐食性	
			QS2205	22Cr-5Ni-3.5Mo-LC	塩化物環境で優れた耐食性	
高強度ボルト			QS2025M	20Cr-25Ni-3.5Mo-LC	同上	
			QSH6	16Cr-6Ni-1Mo-Cu-Nb(特許申請中)	SUS304と同等の耐食性とSUS630相当の高強度による耐摩耗性	
構造物		アンカーボルト	QSH6	25Cr-22Ni-その他(特許申請中)	ゴミ燃焼ガス環境で優れた高温耐食性	
			SUS304Se	20Cr-25Ni-3.5Mo-Ti-LC	塩化物を含む腐食環境での優れた耐食性	
上・下水機器		配管締結用Tボルト		SUS304Pb	13~25Cr-Si-Al	重油燃焼ガス中での優れた耐高温腐食性
				SUS304KS	21Cr-33Ni-その他(特許申請中)	ガス燃焼温度での優れた耐酸化性

## 9. おわりに

以上、ステンレス鋼の特徴や基本的な特性、および用途について簡単に説明してきた。最後にこれまでに当社が開発した主なステンレス鋼について、用途別に整理したものを表5に示す。今後、高度情報化、省資源、省エネルギー、環境保全などの観点から、エレクトロニクス関連、自動車部品関連、エネルギー・環境関連、および住宅設備機器などで、ステンレス鋼の需要が増大するものと思われる。

また、それに伴う新たな材料開発のニーズに対し、これからも積極的に応えていくつもりである。

## 文 献

- 1) H. H. Uhlig : Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, Inc. 1953, 150
- 2) ステンレス鋼便覧【第3版】ステンレス協会編, 日刊工業新聞社刊, (1995) 564

