



ニッケルの利点 ステンレス鋼へのニッケル利用





ニッケルによって得られるもの:

- オーステナイト300,200系、2相系、PH系のいろいろな鋼種で幅広い使い道のあるステンレス鋼
 - 何万もの用途で実証済みの高い信頼性を有するステンレス鋼
 - 高い耐食性、極低温から高温条件下での広範囲な機械特性と良好な加工性を兼ね備えたステンレス鋼
 - 強い化学薬品による洗浄と製品純度を確保することを可能にし、食品、飲料、医薬品産業における衛生的な装置のためのステンレス鋼
 - 消費財に高い品質をもたらす18/8,18/10,18/12タイプのステンレス鋼
 - 究極の成形性に対する要求を満たすステンレス鋼
 - 広範囲な厚みに良好な溶接性を有するステンレス鋼
 - おびただしい数の製品形状やサイズが広く入手可能なステンレス鋼
 - 多様な表面仕上げとともに色までも変化させ印象的な結果を実現するステンレス鋼
 - 電子分野での応用や医療用のインプラントに必要な非磁性であるステンレス鋼
 - 永続的価値を与え、使用の最後の時点でスクラップとしての高い本源的価値をもつステンレス鋼
- この冊子で、どのようにニッケルがこれらの特性に貢献しているかを見出すであろう。

-
- 価値あるエンジニアリング特性と用途をもつ広範囲に及ぶ他のニッケル合金:
 - 高耐食性と高温に耐えるニッケル合金
 - 低熱膨張鉄ニッケル合金
 - 耐焼きつき銅ニッケル合金
 - ニッケルめっき
 - ニッケル-チタン形状記憶合金
 - ニッケル触媒

上記の特質を合わせて意味するところは、ニッケルにより極めて用途の広い材料を得るということである。

本書中の情報は読者のための一般的情報として作成されたものである。これらの情報は専門家の助言なしに個別的な用途に関して使用すべきものではない。

ニッケル協会、ならびにその会員、スタッフおよびコンサルタントは、一般的な用途または個別的な用途に対するニッケルの適合性を保証または公式に是認することではなく、本書中の情報に関係するいかなる責任も負うことはない。

写真(上から): B-M提供のPetronas Towers, Cleanup Corporation, Johnsen Ultravac, Ron Arad Associates, Carl Pottの各社提供



「ニューヨークのクライスラービルはニッケル含有ステンレス鋼に期待できる長寿命を立証するものである。」

目 次

緒 言：	ニッケル含有ステンレス鋼の概要	5
第1章：	物理特性と機械特性	11
第2章：	耐食性	21
第3章：	高温	29
第4章：	成形	35
第5章：	接合	39
第6章：	サステイナブル・ニッケル	44
付 録：	情報源	49
	合金組成	50

「ニッケルは社会的責任を受容する産業により生産される。」

サステナビリティ ニッケルのもう一つの利点

ニッケルの利点は、さまざまな材料及びプロセスにニッケルがもたらす特性という点にとどまらない。

ニッケルまたはニッケル含有材料を使用している、或いは使用しようと考えている技術上の理由に勝る環境上や社会経済的な重要性が存在する。

ニッケルは、**環境効率の向上**に重要な数多くの新しく有望な製品及びプロセスの実現を可能にする一つの投資である。ニッケルはその他の数多くの既存の製品及びプロセスの**エネルギー効率、耐久性および強靱性を向上**させる。

ニッケルの価値は、**高利用効率および高リサイクル性**を確実にするところにある。

ニッケル含有材料が有する各種の特性は**環境効率**の向上を大きく支えるものである。

ニッケルの生産、使用およびリサイクルは、地域社会と政府をサポートする**付加価値のある経済活動**である。

ニッケルは、労働者、地域住民、株主および環境に対し**社会的な責任を受容する**産業によって生産されている。

ニッケルは、**サステナビリティへの重要な貢献**をし、はじめはニッケル産業自体から始まるニッケル・ヴァリューチェーンによるライフ・サイクルを通し、責任をもって管理される。



在北京米国大使館
ニッケル協会提供



緒言
ニッケル含有ステンレス鋼
の概要

緒言

ニッケル含有ステンレス鋼の概要

ステンレス鋼は単一の材料ではない。ステンレス鋼は5つの系に大別され、そのそれぞれが、さらにいくつかの鋼種に分類される。今日生産されているステンレス鋼の3分の2近くは、ニッケルを一つの重要な添加合金成分として使用している。

クロムは、ステンレス鋼を「ステンレス」たらしめる重要な合金元素である。光沢のある銀色の外観と耐食性を実現する保護性のある酸化皮膜を形成させるためには、鋼に10.5%より高い割合のクロムを添加する必要がある。一般には、クロムの添加量が多ければ多いほど耐食性は高くなる。このことが発見されたのは約100年前であるが、初期の一部のステンレス鋼にはすでにニッケルが使用されていた。ニッケル含有鋼種はその後、今日に至るまで使われ続けている。今日ではニッケルが高価な添加合金成分であるという事実にもかかわらず、ニッケルを含有するステンレス鋼が、年間総ステンレス鋼生産トン数の約3分の2を占めている。ニッケルはどのような役割を果たすのか。そして、ニッケルがこれほど広く使用されているのはなぜなのだろうか。

ニッケルの第一の機能は室温およびそれより低い温度で鋼のオーステナイト組織を安定化させることである。このオーステナイト（面心立方結晶）組織は、非常に韌性と延性が高い。この韌性と延性の高さ、ならびにその他の各種の特性がオーステナイト系鋼種のステンレス鋼のすぐれた多用途性を実現する。オーステナイト組織を有する金属の主な例としてはアルミニウム、銅、およびニッケル（そのもの）が挙げられる。

室温でオーステナイト組織を安定化させることのできる最小ニッケル量は約8%である。このため現在最も広く使用されているステンレス鋼種、すなわち304タイプ、はニッケルを8%含有している。304タイプ*はクロム含有率が18%、ニッケル含有率が8%である（これは、18/8と呼ばれることも多い）。この鋼種はステンレス鋼の歴史において最も早期に開発された鋼種の一つである。20世紀初頭に開発されたこの鋼種は、各種の化学プラント及びバイオリア式建築物であるクライスラー・ビル（ニューヨーク市、1929年完成）の被覆に使用された。

*鋼種別の構成成分リストは付録を参照。

マンガンが初めてステンレス鋼の添加成分として使用されたのは1930年代である。ニッケルの使用コストが高くなった1950年代には200系の低ニッケル・オーステナイト鋼種がさらに多く開発された。その後、溶製方法が改善され強力なオーステナイト形成元素である窒素を制御された形でより多く添加することが可能となった。このことは組織をオーステナイト状態に維持しつつすべてのニッケルを完全に置換できるという可能性を示唆しているようにもみえる。しかし、実際には事はそう単純ではなく、今日においても市場で販売されているすべての低ニッケル・オーステナイト鋼種が意図的に添加された一定量のニッケルを含有している。また、これらの低ニッケル・オーステナイト鋼種においては、オーステナイト組織を維持するためにクロム含有率が若干引き下げられている。以下に説明するように、これらの合金の耐食性はこの副作用が原因で、標準的な300系ニッケル鋼種のそれより低くなっている。

オーステナイト形成元素の総含有率を引き下げると、ステンレス鋼の組織は100%オーステナイト状態の組織からオーステナイトとフェライト（体心立方）の混合組織へと変化する。これらは2相ステンレス鋼である。ニッケルはオーステナイト相の組織を安定化させる役割を果たし続ける。商業的に重要なすべての2相鋼種（「リーニ2相」鋼種を含む）は、意図的に添加された約1%またはそれを上回る量のニッケルを含有している。ほとんどの2相ステンレス鋼は標準的なオーステナイト鋼種と比べてクロム含有率が高い。平均クロム含有率が高くなればなるほど、最小ニッケル含有率は高くしなければならない。この点は上述の200系のケースと



牛乳パック工場で広く使用される304
写真提供: Tetra Pak

「ニッケルの
第一の機能は
オーステナイト
組織を安定化
させること」

類似している。

2相鋼種の2相組織は、2相鋼種を一般的なオーステナイト鋼種より本質的に強い鋼種にする。また、クロム含有率が若干高いことから、耐食性も一般的なオーステナイト鋼種より若干高くなる。これら以外の特性も考慮に入れる必要はあるが、2相鋼種に関してはすでに一定の貴重なニッチ用途が見出されている。

ニッケル含有率のさらなる引き下げ（ゼロまでの引き下げを含む）はオーステナイトを全く含まない鋼種をもたらす。これらの鋼種はフェライト（体心立方結晶）組織を有する鋼種である。鉄および軟鋼も大気温度でフェライト組織を有する。

フェライト鋼種はニッケルを全く含有しないものばかりではない。ニッケルは延性／脆性遷移温度（DBTT）を引き下げることが確認されている。DBTTというのは延性合金と脆性合金の境界温度であり、温度がDBTTを下回ると合金は脆性合金となる。DBTTはまた、粒径や他の添加合金成分の含有率にも左右される。しかし、高合金スーパー・フェライト鋼種の中には（特に溶接部の）DBTTを改善するために意図的に添加されたニッケルを含有しているものもある。

マルテンサイト鋼種はオーステナイト鋼種とは異なり、熱処理で硬化させることのできる鋼種である。しかし、一部のマルテンサイト鋼種はニッケルを含有している。このニッケルは靱性を向上させるという役割に加えて、鋼のクロム含有率の引き上げを可能にするという役割も果たす。これは結果的に耐食性を向上させることになる。硬化熱処理は材料の一定温度までの加熱と焼入れ、それに続く焼き戻しで構成される。

析出硬化（PH）鋼種は、熱処理によって高い強度を実現することができる。PH鋼種にはさまざまな系があるが、いずれもニッケルを含有している。マルテンサイト系の場合とは異なり、熱処理に焼入れ工程はない。

成形性 成形限界比較図にも示されているように、オーステナイト組織が持つ各種の特性は、オーステナイト系のステンレス鋼に良好な引張延性と成形性を与える。一般的なクロム18%/ニッケル8%の鋼種はとりわけすぐれた張出し成形性を示しているが、限界絞り比は一定のフェライト鋼種と比べて若干小さい。ニッケル含有率を若干引き上げると、オーステナイトの安定性がさらに高まり、加工硬化傾向が弱まって深絞り加工に対する適合性が向上する。これらの鋼種は低ニッケル・高マンガン鋼種とは異なり、シーズンクラックが起きにくい。この良好な成形性が評価され、キッチン・シンク、深鍋、平鍋などのような良好な成形性を要する製品に300系オーステナイト鋼種が広く使用されるようになった。

溶接性 多くの機器はその加工工程において溶接を必要とする。一般にニッケル・オーステナイト鋼種は他の鋼種よりすぐれた溶接性を有する。304タイプと316タイプは世界で最も広く加工用として使用されているステンレス鋼である。これらの鋼種の特徴は、フェライト鋼種と違って高温結晶成長による脆化が起きにくく、溶接部が良好な曲げ特性および衝撃特性を有するという点である。また、これらの鋼種には厚物（例えば2 mm超）においてより溶接性が高いという特長もある。

2相鋼種は、同等の合金成分を有するフェライト鋼種よりもはるかに溶接性が高いが、標準的な2相鋼種および高合金スーパー2相合金の場合でさえも、同等のオーステナイト鋼種の場合を上回るレベルの注意を溶接手順の詳細に払う必要がある。200系の合金は300系と類似した溶接特性を有している。

靱性 靱性（材料が破壊をきたすことなくエネルギーを吸収できる度合い）は数多くのエンジニアリング用途において不可欠な特性項目である。ほとんどのステンレス鋼は室温では良好な靱性を有する。しかし、温度が下がるにつれフェライト組織は次第に脆性が高くなる。したがって、フェライト系ステンレス鋼は低温での使用には向いていない。一方、一般的

緒言

ニッケル含有ステンレス鋼の概要



ステンレス鋼の革新的な用途

写真提供:

(上) Experience Music Project
(シアトル)

(下) Eero Hyrkas

「304タイプと316タイプは世界で最も広く加工用として使用されているステンレス鋼である。」

緒言

ニッケル含有ステンレス鋼の概要



写真提供:ニッケル協会/シカゴハイヤット
(Hyatt Chicago)

なオーステナイト系ステンレス鋼は温度が液体ヘリウム温度まで下がっても良好な靱性を維持する。このため、低温用途には304タイプなどのような鋼種が広く使用されている。

高温特性 ニッケルの添加はオーステナイト鋼種に他の鋼種を相当上回る高温強度（特にクリープに対する抵抗力）を与える。またオーステナイト鋼種は中温および高温にさらされても有害相の形成がはるかに起こりにくい。またニッケルは保護性酸化皮膜の安定性を向上させ、サーマル・サイクリング中の剥離を削減する。このためオーステナイト鋼種は高温用途ならびに耐火性が必要とされる用途に使用されている。

一つ、特筆に価するのは、ガス・タービンなどのような最も過酷な高温用途に使用されるニッケル基超合金とオーステナイト系ステンレス鋼の間に位置する一連の組成の存在である。

耐食性 先述したとおり、ステンレス鋼の耐食性に最も大きく貢献するのは、クロムを多く含有する酸化物層の形成である。しかしこの層は（特に塩化物が存在する環境下において）損傷を受けやすい。この層の損傷は孔食やすきま腐食などのような局所腐食の開始につながる可能性がある。モリブデンと窒素はいずれも塩化物が存在する環境下における孔食の開始に対する抵抗力を向上させる。ニッケルは孔食段階に対しては影響をもたらさないが、孔食とすきま腐食の進展速度の引き下げという点で重要な役割を果たす（図9参照）。このことは腐食の深刻度がどれほどのものになるのかを判定する上できわめて重要である。

また、ニッケルはもう一つの形態の局所腐食、すなわち塩化物応力腐食割れ、に対するステンレス鋼の抵抗力にも影響を及ぼす。しかしながら、そのようなケースにおいてはニッケル含有率が8%前後のときに抵抗力が極小値に達する。ニッケル含有率が8%前後より高いとき、ならびにニッケル含有率が8%前後より低いときには、ニッケル含有率が8%前後のときよりも応力腐食割れに対する抵抗力が大幅に高くなる。

一般に（フェライト鋼種を含む）ステンレス鋼のニッケル含有率の引き上げは、硫酸などのような還元性酸に対するそれらのステンレス鋼の抵抗力を増大させる。この点に関しては、他の元素も強い影響を及ぼす。その一例としてはモリブデンと銅が挙げられるが、銅は特に強い影響を及ぼす。しかしながら、フェライト鋼種におけるこの目的でのニッケルの使用は、応力腐食割れに対する抵抗力および金属間化合物相の形成に関係するいくつかの潜在的な短所を伴う。

光沢および仕上げ 一見ただけではどのステンレス鋼種も外観的には同じように見える。しかし、一見全く同じように研磨された表面仕上げを並べて比較してみると、色および光沢が異なることがわかる。外観および美観上の品質は好みの問題であるが、一般に200系の鋼種はニッケル・オーステナイト鋼種よりも黒っぽく見え、フェライト鋼種はニッケル・オーステナイト鋼種よりも冷たい色に見える。建築関係の一部の用途においては濃い灰色が好まれることもあるが、一般には（300系の人気の高さが証明しているように）顧客は白の度合いの強い光沢のある金属を好む。また、200系および300系のステンレス鋼には、引っかき傷に対する抵抗力がより強いという特徴もある。これは200系と300系のステンレス鋼の固有の加工硬化特性によるものである。

すべてのステンレス鋼種について、ミル仕上げ、機械研磨（粗仕上げから鏡面仕上げまで、ブラシ仕上げ、ビードブラスト仕上げ、パターン仕上げなどをはじめとするさまざまな表面仕上げの中から、ニーズに合った表面仕上げを選択することができる。この選択肢の広さが、多種多様な美観的外観の実現という点でのニッケル・ステンレス鋼のすぐれた多用途性を実現している。ただし、一般には仕上げを粗くすればするほど（特に建築関係の屋外用途において）耐食性は低くなる。海洋環境や凍結防止塩が存在する環境においては、316Lタイプなどのようなより耐食性の高い材料が要求される。

緒言

ニッケル含有ステンレス鋼の概要

サスティナビリティ 「将来の世代がそのニーズを満たすことができなくなるような状況をもたらすことなく今日の世代のニーズを満たす形の開発」という、ブルントラント報告書に示された持続可能な開発の定義を考えると、ステンレス鋼（特にニッケル含有ステンレス鋼）が、これから先、環境保護、経済成長および社会的公平性の領域において一つの大きな役割を果たすことは明白である。その一例を以下に示す。

材料がサスティナビリティにどう貢献するのかを評価するためには、その材料のライフサイクル全体（抽出から製品寿命満了後のリサイクルまたは廃棄まで）をみる必要がある。

ほとんどのニッケル含有材料は製品寿命満了後に100%リサイクルすることができる。これらのニッケル含有材料の価値の高さはリサイクルのインセンティブとなっている。リサイクルは未使用原料に対する需要とエネルギー使用量の両方を減らし、環境負荷を低減させる。例えば、今日ではステンレス鋼を生産するための所要エネルギー量がステンレス鋼スクラップの使用によって、（未使用原料だけを使用した場合より）約33%削減されている[Yale¹]。この削減分のうちの半分近くは、寿命満了スクラップによるものである（IISFのデータを使用²）。削減率のさらなる向上を阻んでいる要因は、ステンレス鋼製品の寿命の長さによるスクラップ不足という問題だけである。

ニッケル含有ステンレス鋼の最大の貢献は、これらのステンレス鋼が（適切に使用されれば）市民のクオリティ・オブ・ライフを維持および改善し、企業およびその他の組織による持続可能なソリューションの提供を可能にするという点である。これらの持続可能なソリューションは、ニッケルの提供する特性と機能（すなわち、防食、耐久性、洗浄性、温度に対する抵抗力およびリサイクル性）に依存する。

ステンレス鋼の耐久性の高さを最もはっきりと示しているのは建物である。セントポール大聖堂（1925年）とロンドンのサボイ・ホテルの張出し屋根（1929年）、ニューヨーク市のク



使用実績例

米国ワシントンD.C.でこのほど竣工した空軍記念碑は、ステンレス鋼を使った構造物としてはアイルランドのダブリン尖塔や米国最大の記念碑であるゲートウェー・アーチに並ぶ世界最大級の構造物の一つである。

高さ64メートルに達する3本のステンレス鋼尖塔で構成されるこの新しい記念碑は、これまでに米国空軍およびその前身組織に貢献した何百万人という男女兵士たち（戦闘で死亡した54,000人の兵士を含む）の栄誉をたたえるためにつくられたものである。

3本の尖塔はいずれも鉄筋コンクリートでつくられたコアと、それを覆う厚さ19mmの被覆層でできている。被覆層はニッケル含有率12%の低硫黄（最大0.005%）型S31600ステンレス鋼である。

設計に携わったエンジニアたちがS31600を選んだ理由は、防食の必要性と手作業による清掃作業なしに構造物の外観の美しさを何十年という長期にわたって維持する必要性である。ワシントンは沿岸都市ではなく特に汚染の激しい都市でもないが、この記念碑は、S31600ほどの防食性能を持たない材料にとっては脅威となりうる凍結防止塩が使用される国道3本に囲まれている。

また、曲線状のデザインを有するこの3本の尖塔は風の強い日に揺れる傾向があるが、S31600はこの傾向の緩和を助ける構造的完全性を提供する。

写真：ニッケル協会用としてCatherine Houskaが撮影、ワシントンD.C.米国空軍記念碑。

「ほとんどのニッケル含有材料は100%リサイクルすることができる。」

¹ Johnson, J. et al, The energy benefit of stainless steel recycling, Energy Policy. Vol. 36, Issue 1, Jan. 2008, p181ff.

² www.worldstainless.org

緒言

ニッケル含有ステンレス鋼の概要

「ニッケル含有オーステナイト鋼種は、容易に入手可能で多用途性にすぐれた鋼種……最も実用的かつ最も低リスクのソリューション」

ライスラー・ビル (1930年)、メキシコのユカタン州のプログレスオ橋 (1940年頃)、ドイツのデュッセルドルフのティッセン・ビル (1960年)、そして米国セントルイス市のゲートウェイ・アーチ (1965年)、これら全ての改修工事は、ニッケル含有ステンレス鋼でこそ期待できる寿命の長さを実証している。

生産の容易さ 生産の容易さというのは最終ユーザーの視点からは認識しにくいメリットであるが、一般的なオーステナイト鋼種はその生産における長年の経験、採用実績の多さ、すぐれた多用途性および生産規模の大きさを背景に、現在では高品質の大量生産鋼種としての地位を確立している。これらの鋼種は世界のあらゆる地域で (そしてあらゆる形態で) 手頃な価格で入手することができる。

ステンレス鋼の利用状況 一般的なニッケル含有オーステナイト鋼種は今、上記の特性を背景に良きオールラウンド・プレーヤーとしての地位を確立しつつある。一般的なニッケル含有オーステナイト鋼種は、容易に入手および使用できる多用途性にすぐれた鋼種であり、現在ではユーザーに十分に認知されている。また、一般的なニッケル含有オーステナイト鋼種は良好な性能を有するとともに、リサイクル性にもすぐれている。これらの事実は一般的なニッケル含有オーステナイト鋼種が多くのケースにおいて最も実用的かつ最も低リスクのソリューションとなることを意味している。

300系鋼種は長年にわたる使用実績が認められ、食品や飲料水との接触を伴う数多くの用途への使用に関して、すでに承認されている。また、必要な全ての製品形態のものの入手が容易である。



300系ステンレス鋼は飲料水及び排水用の設備に広く使用される。

写真提供: Robert Lowell

第1章

物理特性と機械特性



第1章

物理特性と機械特性

物理特性 各系統のステンレス鋼の物理特性は表1に示すとおりである。

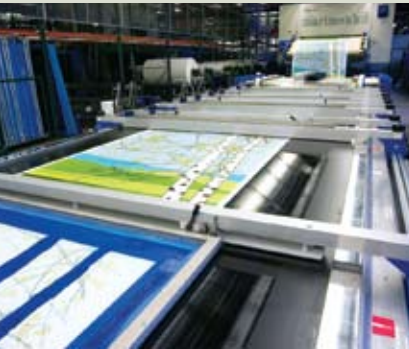
「…より高い
機械的強度
が…低い熱伝
導率を十二分
に相殺するで
あろう。」

表 1
各系ステンレス鋼の典型的な物理特性

系 統	鋼種	密度		熱伝導 100 °C		電気 抵抗	比 熱		熱膨張 0-100 °C		透磁率
		g/cm ³	lb/in ³	W/m.K	Btu/ft.hr. °F		J/kg.K	Btu/lb. °F	10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁶ /°F	
フェライト系	430	7.8	0.28	26.1	15.1	600	460	0.11	10.4	5.8	600-1000
マルテンサイト系	410	7.8	0.28	24.9	14.4	570	460	0.11	9.9	5.5	700-1000
オーステナイト系	304	8.0	0.29	16.2	9.4	720	500	0.12	17.2	9.6	1.02
オーステナイト系 (高Mn)	201	7.8	0.28	16.2	9.4	690	500	0.12	15.7	8.7	1.02
スーパーオーステナイト系	S31254	8.0	0.29	14	8.1	850	500	0.12	16.5	9.2	c.1
2相系	2205	7.8	0.28	16	9.3	800	500	0.12	13.0	7.2	>>1
析出硬化系	17-4PH	7.8	0.28	18.3	10.6	800	460	0.11	10.8	6.0	95

出典:ASM Metals Handbook

密度および比熱に関しては上表に示された系と系の間にはさほど大きな差はないが、熱伝導率および熱膨張に関しては有意でかつ実用上重要な差が存在する(表2)。オーステナイト鋼種の熱伝導率の低さは、建物内における火災の拡散速度の低減という点では有利だともいえる。一方、熱交換器や調理機器などのように熱伝達が高い方が望ましい用途においては、低い熱伝導率がデメリットとみなされることもある。ステンレス鋼鍋がよく銅やアルミニウム底である理由である。しかしながら、壁を通じた伝導よりも表面上における効果の方が全体的な熱伝達にはるかに大きな影響を及ぼすケースも多い(表2の熱交換例を参照)。機械的強度を引き上げることによってより薄い壁厚のコンポーネントを使用することができれば、それによって低い熱伝導率を十二分に相殺することも可能だといえる。



写真提供:ニッケル協会
Nickel Institute

表 2
「U」値に及ぼす金属の伝導率の影響

材 料	膜係数				金属の 熱伝導率		「U」値	
	h _o		h _i		W/m ² ·K	Btu/hr/ft ² /°F/in	W/m ² ·K	Btu/hr/ft ² /°F
銅	1704	300	5678	1000	387	2680	1300	229
アルミニウム	1704	300	5678	1000	226	1570	1295	228
炭素鋼	1704	300	5678	1000	66	460	1266	223
ステンレス鋼	1704	300	5678	1000	15	105	1124	198

h_o = 外側液膜の熱伝達率
h_i = 内側液膜の熱伝達率
ステンレス鋼は300シリーズ

$$"U" = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{\text{金属壁厚}}{\text{熱伝導率}} + \frac{1}{h_i}}$$

出典:ニッケル協会技術文献 9014

第1章

物理特性と機械特性

オーステナイト鋼種の熱膨張係数は他の鋼種よりも60～70%大きい。しかしながら、サーマル・サイクリングが予想されるケース（例：屋根材、低温用機器、および高温で動作するものとして意図された機器）においては、これを設計段階で考慮に入れることができる。溶接時に発生するゆがみは一つの大きな問題であるが、これについては「加工」の章で詳しく述べる。最も一般的なアプローチは、入熱を最小化することである。

オーステナイト系ステンレス鋼の熱膨張係数はたしかに大きいですが、それでもアルミニウムや銅などのような他の一般的金属の熱膨張係数よりは小さい。



日本でビルの配水管専用に使われているステンレス鋼

写真提供：ステンレス協会

オーステナイト鋼種は他の鋼種と異なり、室温では一般に非磁性である。このため海軍の船舶の消磁が行われるドックのコンクリート鉄筋や磁気共鳴撮像体スキャナーに使用されている強力な磁石の近傍などのような強磁性材料を回避しなければならないケースにおいては、オーステナイト鋼種が役立つ。一部のオーステナイト鋼種では、冷間加工によって生成されるマルテンサイトによってやや強磁性になる（図1参照）。ニッケルの増加に従いこの効果は低下し、結果、301タイプにおいてはこの効果がかなり顕著であるのにたいし、大量な冷間加工の後でも310タイプは非磁性状態にとどまる。

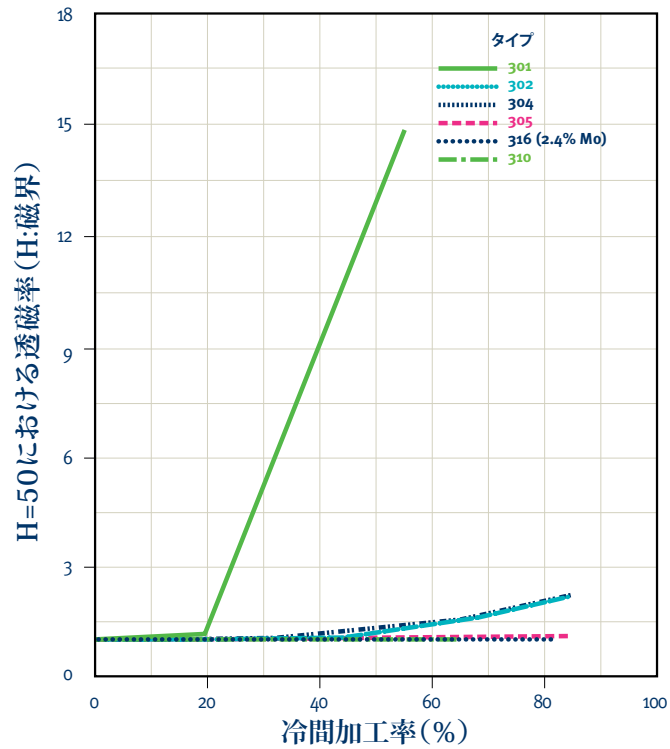
「オーステナイト鋼種は室温では一般に非磁性で磁気共鳴撮像体スキャナーに使用されている」。

第1章

物理特性と機械特性

「オーステナイト鋼種の非磁性は、リサイクルのために……分別を容易にする。」

図1：
クロムニッケルステンレス鋼の
透磁率に及ぼす冷間加工の影響



オーステナイト系ステンレス鋼は世界で最もリサイクルされている材料。

写真提供: Tim Pelling for the Nickel Institute

オーステナイト鋼種の非磁性は、リサイクルのためにスクラップを分別するような際、他の鋼種や炭素鋼との分離を容易にする。

室温での機械特性

図2：
4タイプのステンレス鋼の応力ひずみ曲線

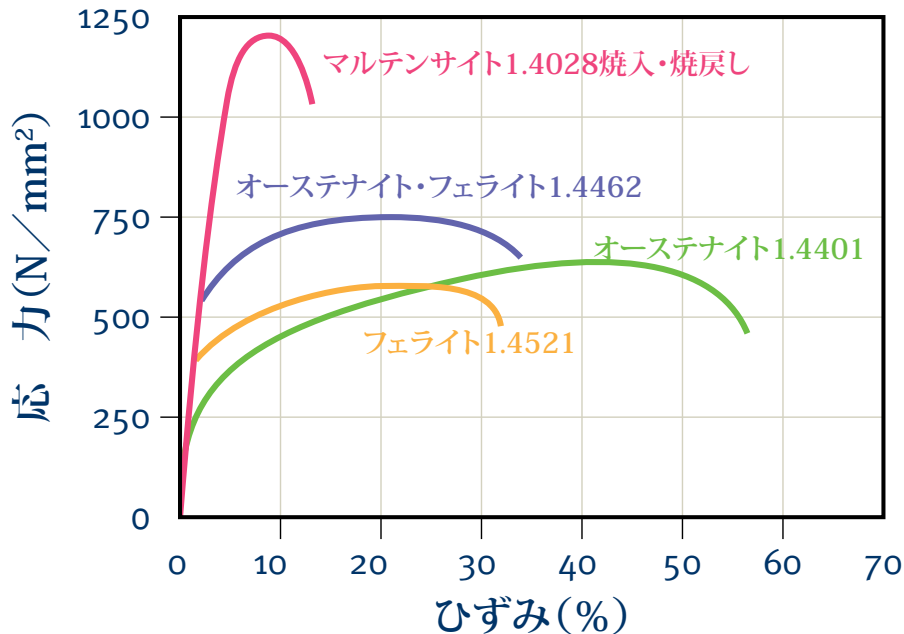


図2の引張特性比較は、鋼種によって挙動がかなり異なることを示している。いずれのステンレス鋼も他のすべての鋼と同様の200 GPa前後の室温弾性係数を有している。しかしながら、室温での機械特性が類似しているのはここまでである。表2に示されているように、オーステナイト系ステンレス鋼は(固溶化)熱処理状態で高い加工硬化率と高い延性を有する。これらはオーステナイト系ステンレス鋼の面心立方結晶構造によるものである。このため、0.2%耐力*はフェライト鋼種と類似しているが、引張強さと延性はフェライト鋼種よりはるかに高い。このことは2つの結果をもたらす。第1はオーステナイト鋼種に関しては冷間加工によって高い耐力と引張強さを実現する(そして同時に良好な延性と靱性も実現する)ことが可能だということである。第2はオーステナイト鋼種を変形させるためには大量のエネルギーが必要とされる(つまり衝突の影響を緩和するための車両設計の一部としてオーステナイト鋼種によるエネルギー吸収を利用することができる)ということである。この高い靱性は変形率(これもつぶれ効果性を左右する重要な要因の一つである)が大きい場合でも維持される。

*ステンレス鋼に関しては応力ひずみ曲線上の比例限度がかなり低いことから、一般的には降伏応力の代わりに0.2%耐力が使用される。

第1章

物理特性と機械特性



写真提供：
Cleanup Corporation

第1章

物理特性と機械特性

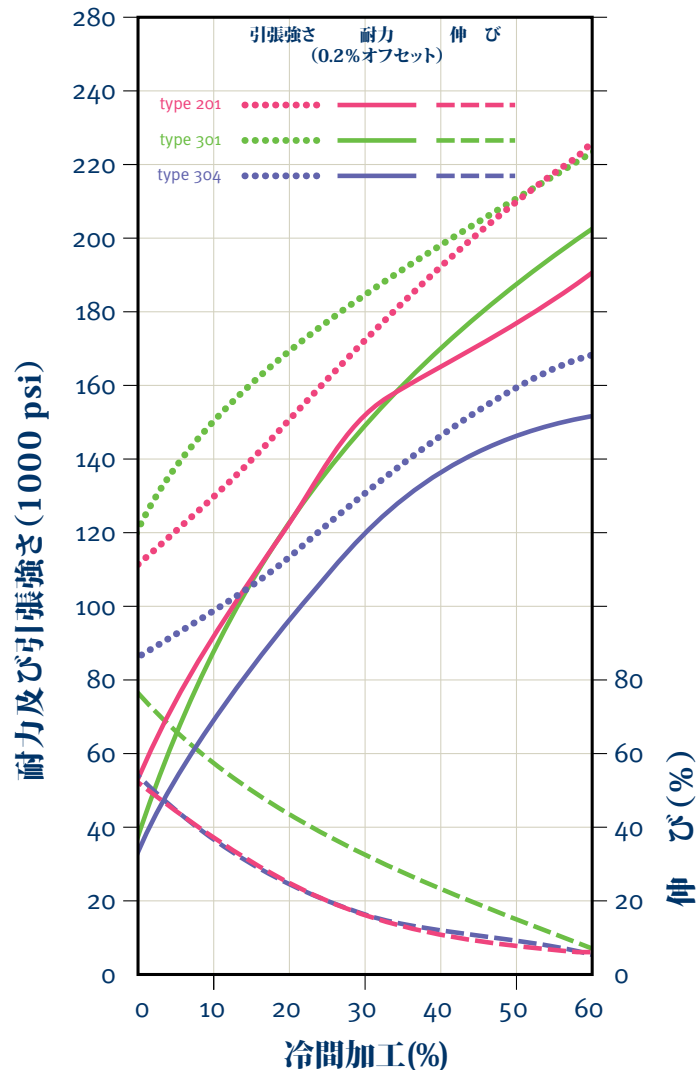
「オーステナイト鋼種は、冷間加工で非常に高いレベルまで強化することができる。」

オーステナイト鋼種は、熱処理によって強化することはできないが、冷間加工で非常に高いレベルまで強化することができる。

EN 10088-2:2005には350 MPaから1,300 MPaまでの増強耐力レベル、ならびに700 MPaから1,500 MPaまでの引張強度レベルが示されている。ASTM A666には、200系と300系のステンレス鋼のさまざまな調質度に関する各種の強度特性が示されている。これらの特性はどの調質度（強度）（例：1/4ハード）に関しても鋼種によって若干異なる。

マンガンは、たとえば201タイプで、冷間加工強度を上げるのにことさらに有効である。図3は、同種のオーステナイト鋼種に関し、ニッケル含有量が低いほど冷間加工の効果が上がることを示している。

図3：
201、301及び304タイプの機械的性質
に及ぼす冷間加工の影響
Allegheny Ludlum Steel Corp.



しかしながら、他の合金元素も強化効果を有しているため、高合金鋼種は引張特性がかなり高くなる(表3)。

第1章

物理特性と機械特性

表3
高性能オーステナイト・ステンレス鋼の基本ASTM規格における機械的性質最小値

名称	UNS No.	ASTM-規格	耐力(最小)		引張強さ(最小)		伸び(最小)
			MPa	ksi	MPa	ksi	
201	S20100	A240	260	38	515	75	40
201LN	S20153	A240	310	45	655	95	45
304	S30400	A240	205	30	515	75	40
304L	S30403	A240	170	25	485	70	40
321	S32100	A240	205	30	515	75	40
Type 316L	S31603	A240	170	25	485	70	40
316Ti	S31635	A240	205	30	515	75	40
Type 317L	S31703	A240	205	30	515	75	40
Alloy 20	N08020	A240	240	35	550	80	30
317LMN	S31726	A240	240	35	550	80	40
904L	N08904	A240	220	31	490	71	35
Alloy 28	N08028	B709	214	31	500	73	40
6% Mo	S31254	A240	310	45	655	95	35
4565S	S34565	A240	415	60	795	115	35
7% Mo	S32654	A240	430	62	750	109	40

2相鋼種は本質的に基本オーステナイト鋼種よりも室温での強度が高い。これは表4に示されているように、2相鋼種の2相組織によるものである。

表4
2相ステンレス鋼の基本ASTM板材規格における機械的性質最小値

名称	UNS No.	耐力(最小)		引張強さ(最小)		伸び(最小)
		MPa	ksi	MPa	ksi	
2304	S32304	400	58	600	87	25
2205	S32205	450	65	655	95	25
2101	S32101	450	65	650	94	30
2507	S32750	550	80	795	116	15

これはフェライト相が本質的に持つ高い強度とオーステナイト相の高い加工硬化率の組合せによってもたらされた結果である。最近では、より低合金とより高合金の両方の2相鋼種が開発される傾向が強まってきている。

析出硬化鋼種ではさらに高い強度を得ることも可能である。マルテンサイト鋼種の強度を超える1,793 MPaまでの引張強さを実現することも可能である。この強度は良好な延性と耐食性ととも実現され、この強度の実現には中程度の温度(620°Cまで)での熱処理しか必要とされない。



写真提供:

iStock photos

第1章

物理特性と機械特性



304系ステンレス鋼のビール容器

写真提供: Tim Pelling for Nickel Institute

「2相鋼種は本質的に強度が高い。」

固溶体中のニッケル（およびその他の元素）はそれを含むフェライト系鋼種の耐力を引き上げるが、フェライト組織は加工硬化率が低いいため、引張強さは類似したオーステナイト鋼種よりも小さい。

低温での機械特性 低い温度は、オーステナイト鋼種の耐力と引張強度を増大させる。

図4：
タイプ304ステンレス鋼の低温強度

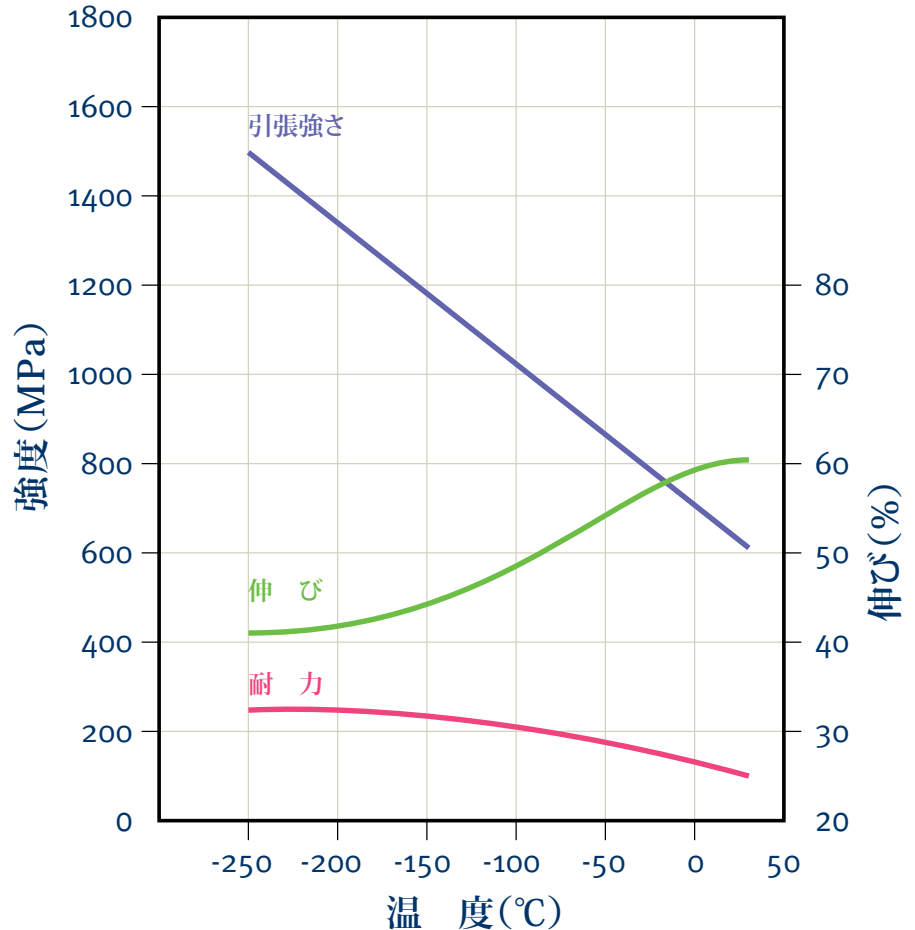
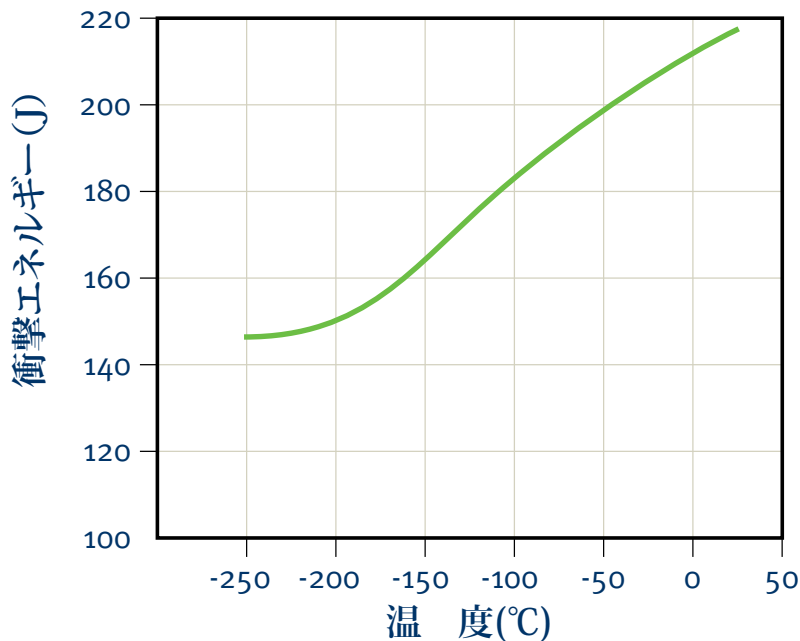


図4と図5はまた（他のいくつかの系のステンレス鋼とは対照的に）延性と靱性の両方が低い温度まで維持されることも示している。このことは冷間加工材料についてもいえることである。したがって、オーステナイト鋼種は液体ヘリウム温度での使用にも適している。

2相鋼種では（フェライト鋼種を下回る）マイナス100° C前後の温度まで機能する靱性がある。

図 5：
タイプ304Lステンレス鋼の低温衝撃特性



オーステナイト鋼種の窒素含有率が高くなるとオーステナイト組織が低温で安定し、結果的に焼なまし状態でのオーステナイト鋼種の低い透磁率の維持が実現される (表5)。

表 5
各温度における焼なましステンレス鋼の透磁率(μ)

焼なまし鋼の透磁率	μ 最大20°C	μ 最大-196°C	μ 最大-269°C
タイプ304	1.005 - 1.03	2.02 - 2.03	-
タイプ304L	1.08 - 1.3	1.2 - 1.6	1.1 - 1.5
タイプ316	1.02 - 1.05	-	-
タイプ316L	1.02 - 1.1	1.03 - 1.09	1.03 - 1.0
タイプ321	1.03 - 2.0	-	2.75
タイプ347	1.005 - 1.03	-	1.40
タイプ(316N)	1.0	1.0 - 1.01	1.03 - 1.06

出典：ニッケル協会技術文献 4368

第1章 物理特性と機械特性

「オーステナイト鋼種は低い温度まで延性を維持する。」



写真提供：Babcock & Wilcox

第1章

物理特性と機械特性

「耐火性及び爆発に強いことが利点。」



Anish Kapoorによる'Cloud Gate'

写真提供: Outokumpu 及びJames Steinkamp, Steinkamp Photography



使用実績例:ランナー・ブレードの交換で発電容量を400メガワット拡大

カナダ中央部の発電会社であるオンタリオ発電会社(OPG)(旧オンタリオ・ハイドロ社)は、1992年から既存のランナー・ブレードをNi含有率4%のJ91540ステンレス鋼から成形された軽量、高強度の改良設計ブレードと交換することによって同社の水力発電タービン(ユニット)の発電容量を増大させてきている。

この合金はS30400に匹敵する耐キャビテーション性と良好な耐食性を有している。

この合金の高い溶接性はあらゆる現地でのキャビテーション補修において重要なメリットとなる。また、ブレードの効率を高めるとその圧力側(上)とサクシオン側(下)の間の差圧も増大するため、この合金の高い強度が重要なメリットとなる。

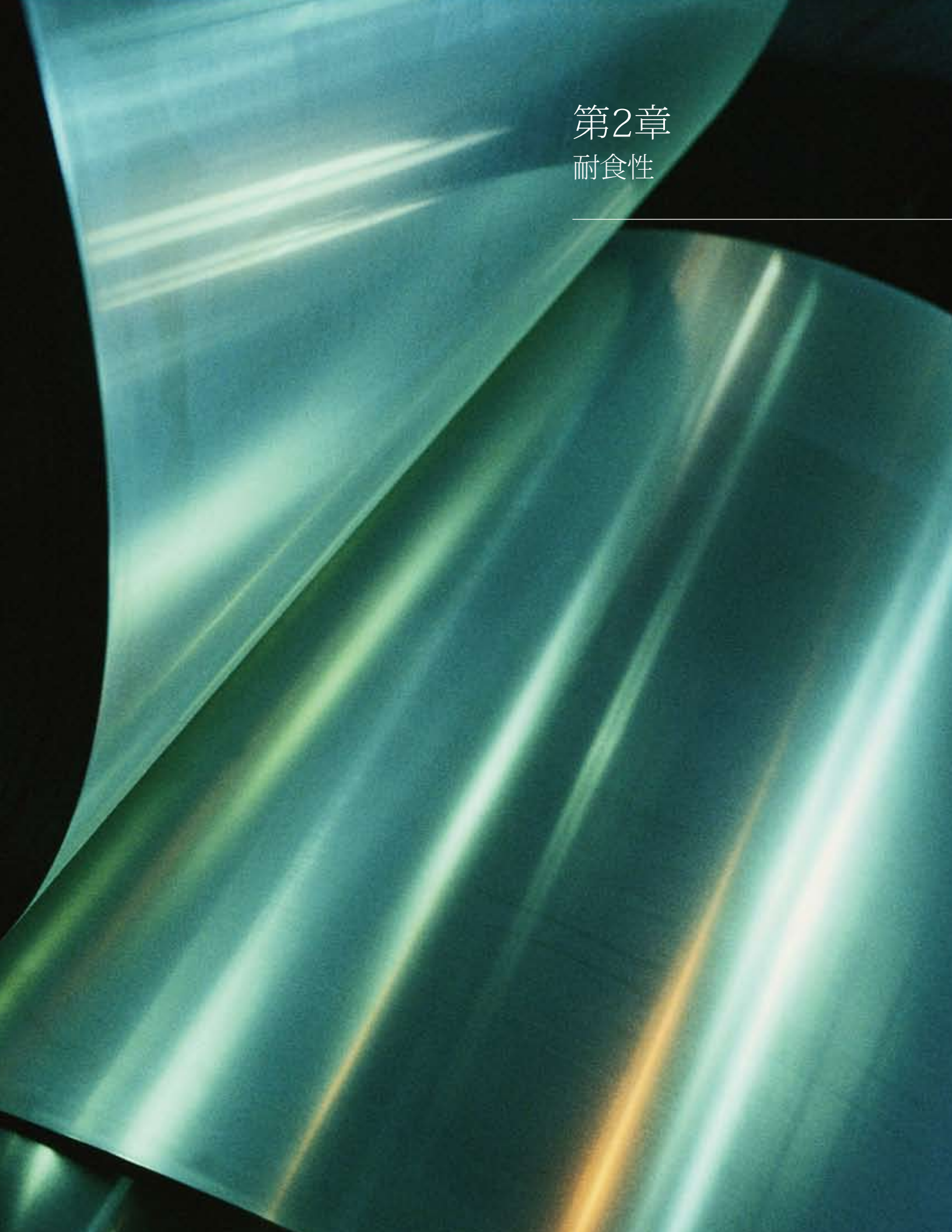
新しいブレード(J91540)との交換は各ユニットの容量を交換前の56MWから64~65.4MWまで増大させるという結果をもたらした。

写真:オンタリオ発電会社

高温機械特性 高温機械特性の面では考慮を要する特に重要な要因が2つある。すなわち熱間強度と熱的安定度である。これらについては第5章で詳しく述べる。

構造特性 オーステナイト系ステンレス鋼と2相ステンレス鋼は、腐食または火災/爆発に対する抵抗性が強みとなる多くの用途において、構造材として幅広く使用されている。The Steel Construction Institute (www.steel.sci.org) は、同協会が作成した「構造用ステンレス鋼のための設計マニュアル」という参考刊行物を提供している。これはEuroinox website(www.euro-inox.org) から入手可能である。ANSI/ASCE-8-90「冷間成形ステンレス鋼構造部材設計仕様書」も参考刊行物として役立つ。

ステンレス鋳鋼 本書の主な対象は加工ステンレス鋼である。ほとんどの加工されたオーステナイトステンレス鋼と2相ステンレス鋼は、鋳鋼でも、違う設計による同等鋼種を持っている。鋳鋼は流動性の改善と熱間割れ防止のため一般に若干異なる組成をもっており、それによって、媒体によっては耐食性に影響する。少量成分の含量もかなり変動する。結晶粒度も加工品と異なり、多少違う機械特性を示す。ニッケル協会刊行物11022に詳細がある。

The background is an abstract composition of teal and blue tones. It features several bright, diagonal light streaks that create a sense of motion and depth. The overall effect is clean and modern, typical of a technical or scientific document cover.

第2章 耐食性

第2章

耐食性

「ステンレス鋼は、その耐食性の高さからほとんどの場合に指定される。」

材料の腐食は複雑なプロセスである。酸の腐食性は、温度、酸のパーセンテージ、通気の違い、不純物（不純物は、促進効果を持つ不純物と抑制効果を持つ不純物に大別される）の存在、流量などによって大きく異なりうる。また機器の設計、溶接/加工、熱処理、表面状態、および洗浄用化学薬品も機器の寿命に影響を及ぼす。

ステンレス鋼はほとんどの場合、その耐食性の高さから炭素鋼/低合金鋼より好ましい材料として指定される。しかしこれは一般論であり、当然のことながら例外も存在する。例えば、一定のステンレス鋼が炭素鋼より早く破壊しうるような状況も少なからず存在する。同様に316Lタイプは、ほとんどのケースにおいて304Lタイプより耐食性が高いが、一定の状況下（例えば硝酸やクロム酸などのような酸化力の強い酸が存在する状況下）においては、304Lタイプの耐食性の方が316Lタイプより高くなる。

ステンレス鋼の耐食性に対してニッケルが及ぼす影響は判別が相当難しいケースが多い。ニッケルは一つのバルク合金元素として影響を及ぼすだけでなく、不動態酸化物層および顕微鏡組織に対しても（例えば有害相の形成を削減することによって）影響を及ぼす。合金を選定する際には、要求される使用期間の最後まで持ち、かつその合金でつくられた容器の中に入れられる製品を汚染することのない、適切な合金を見つけ出す努力が必要とされる。

全面腐食 表6はSchwindらの研究^[1] (SSW論文) から抜粋したデータを示したものである。この研究では304タイプ、201タイプ、430タイプなどをはじめとするさまざまなタイプのステンレス鋼が（腐食率が0.13 mm/年 (5 mils/年) 未満となる最大温度が酸濃度別に与えられる）MTI手順に従って試験されている。この値が大きい合金ほど耐食性が高いとみなされる。

表6
タイプ304、201及び430ステンレス鋼が
各種溶液において0.13 mm/年未満の腐食度を示す最大温度

試験溶液	限界温度(°C)		
	304	201	430
96%硫酸	50	20	40
85%リン酸	80	70	<20
10%硝酸	>bp.	>bp.	>bp.
65%硝酸	100	80	70
80%酢酸	100	100	<20
50%水酸化ナトリウム	90	65	90
b.p.=沸点			

上記研究の試験環境のうち1つの試験環境では3種類の合金すべてで同じような性能が示されているが、すべての試験環境において304タイプに最も高い耐食性が認められる。201タイプはいくつかの試験環境では430タイプよりはるかにすぐれた耐食性が示されているが、別のいくつかの試験環境では430タイプに劣る耐食性が認められる。したがって、一般的な腐食を検討するときには単一の元素ではなく、元素の組合せがもたらす影響を分析することが重要である。

¹Schwind, M. et al., *Stainless Steel World*, March 2008, p66ff

原子力発電所

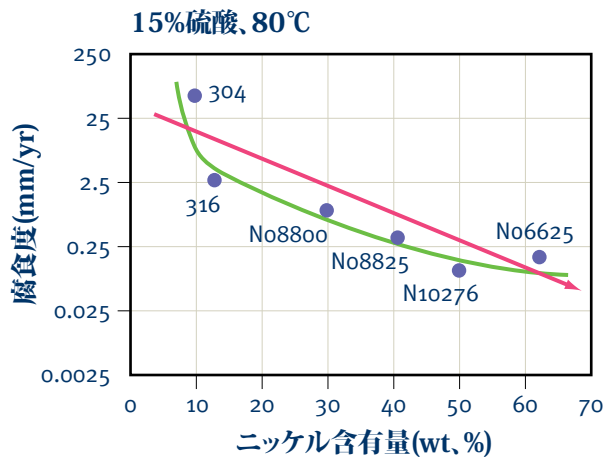
写真提供:

Duke Energy

第2章 耐食性

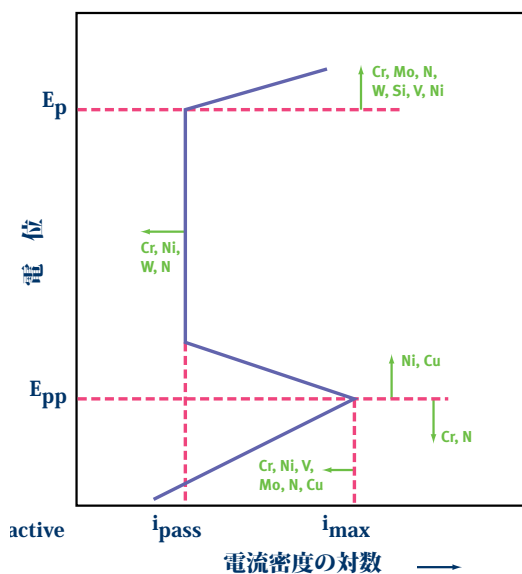
硫酸などのような還元性溶液の中における合金の耐食性を向上させるための一つの方法は、その合金のニッケル含有率を引き上げることである。ユーザーが腐食率の高い合金をあえて採用することは通常はないと思われるが、異常な使用条件が発生したときには、腐食率を高める環境が発生することもある。図6は、ニッケル含有率の引き上げが80°Cの15%硫酸溶液中における腐食率に与える影響を示したものである。先述したように、どの鋼種に関してもステンレス鋼の耐食性を左右するのは、単一の合金元素ではなく、合金元素の組合せがもたらす影響である。

図6：
80°Cの15%硫酸における各種合金の腐食度に及ぼすニッケル含有率の影響(Sedriks²より)



耐食性は、電気化学的挙動の観点から検討することもできる。この検討には、アノード分極曲線におけるステンレス鋼の個々の合金元素の影響を示した模式図を利用することができる(図7、Sedriks²)。

図7：
ステンレス鋼のアノード分極曲線に及ぼす各種合金元素の影響(模式的) (Sedriks²より)



ニッケルは E_{pp} (一次不動態化電位) の電流密度を低下させ、 E_{pp} を貴の方向に変化させる。またニッケルは不動態電流密度を低下させて不動態状態での腐食率を低下させるとともに、材料が過不動態域に入る電位 (E_p) を引き上げる。

²Sedriks, A.J. (*Corrosion of Stainless Steels*, 2nd edition, Wiley-InterScience 1996.)



海水淡水化プラントは通常、オーステナイト系及び2相ステンレス鋼を使用。

写真提供: Tim Pelling

これが実際にどのような結果をもたらすかについては、5%硫酸溶液に関する304タイプ、201タイプおよび430タイプの相互比較から見て取ることができる(図8、Schwind¹)。

図8：
5%硫酸における304、201及び430
鋼の分極曲線比較
(Schwind¹より)

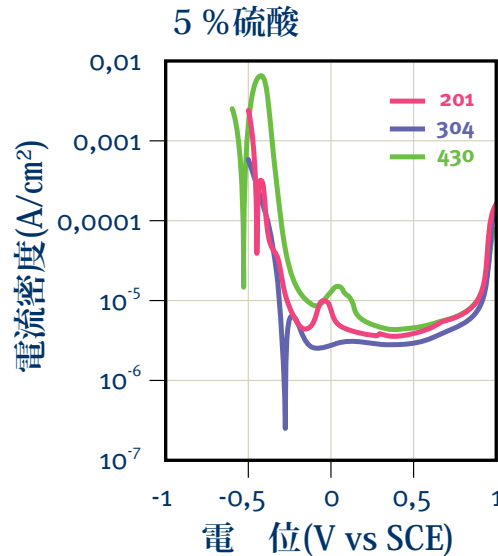
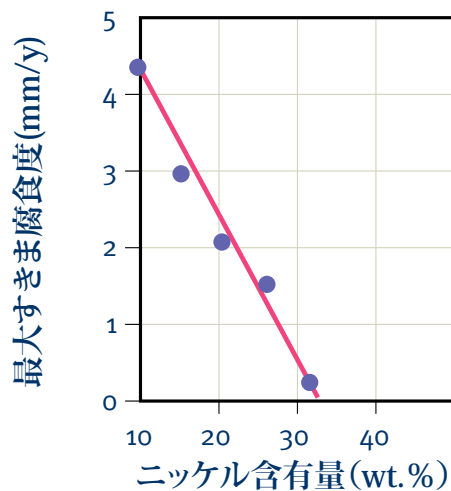


図8の比較グラフは、ステンレス鋼が活性態にあるときも、不動態にあるときも、ニッケルが腐食率の引き下げという点でプラスの影響をもたらすことを示している。通常は不動態状態で腐食率が許容可能なレベルとなる合金が選択される。しかしながら、一時的な温度上昇などのようなプロセス条件の小さな変化によって、合金が「活性化することもある。したがって、活性腐食率が過度に高くなく、プロセス条件が正常に戻ったときに迅速に再不動態化する合金を使用することが重要である。

塩化物に対する耐孔食性 孔食に対する合金の抵抗力は、「耐孔食係数」(PREN)で表される。PREN=%Cr + 3.3 (%Mo) + 16 (%N) という公式が最も一般的に使用されているが、これ以外にも、試験の中で観察された挙動を合金組成と結びつけることを目的としてつくられた公式が多数存在する。例えばタングステンに関するプラスの数字を含む公式や、マンガンに関してマイナスのファクターを有する公式もある。Sedriksはニッケルが大きくはないがプラスの影響を及ぼすことを示している。バルク合金含有率は重要であるが、これは合金の実際上の耐孔食性を左右する一つの要因を記述するにすぎない。介在物(特に硫化マンガン)の存在および不十分な熱処理による金属間化合物相(σ 、 χ など)の存在は主要な耐孔食性引き下げ要因の一つである。クロムおよびモリブデンを多く含有するステンレス鋼の場合は、通常の溶接時に金属間化合物相が発生することがある。これが最も起こりやすいのは、フェライト系ステンレス鋼である(接合に関する第5章を参照)。耐孔食性に関するニッケルの最大の貢献は、ニッケルが材料の組織を変化させて適切な厚さのステンレス材料の生産を容易にし、(特に高合金鋼種の)有害な金属間化合物相の形成を伴わない形で容易な溶接および加工を可能にするという点である。

すきま腐食 ニッケルは図9に示すようにすきま腐食の活性態腐食速度を引き下げることが知られている。これは図6に示されたニッケル含有率の増加にともなう腐食率の低下と類似した効果である。どちらのケースにおいても、金属は活性態で腐食する。

図9：
17%Cr-2.5%Moステンレス鋼のすきま腐食進展速度に及ぼすニッケル含有量の影響
(Sedriks'より)



使用実績例：ゼロ・メンテナンス

香港のKwai Chungコンテナ港の入口部では現在、高さ290 mに達する2本の橋塔を有する全長1,600 m、デッキ高75 mのStonecuttersブリッジの建設工事が進んでいる。この橋は2008年に竣工する予定であり、その後は中国のグローバルな貿易活動をサポートする主要施設の一つとしての役割を担うことになる。

この建設プロジェクトに参加しているロンドンのArup Materials Consulting社は、厳しい構造要件および表面仕上げ要件を満たすため、2本の橋塔の最上端から120 mまでの部分にS32205の2相熱間圧延鋼板(ニッケル含有率4.5~6.5%)を使用することを決定した。S32205(大部分は厚さ20 mmの鋼板)の総使用量は、約2,000トンに達する見込みである。

Arup社はまたこの橋のコンクリート橋脚および主塔の飛沫にさらされる部分にS30400のステンレス鋼鉄筋(ニッケル含有率8.0~10.5%、径50 mmまで)を使用することを決定した。ステンレス鋼鉄筋の総使用量は、2,882トンに達する。

Arup社の設計者たちは表面用材料の検討を行った結果、炭素鋼だと450 MPaの構造強度要件は満たせるが、メンテナンス不要という要件は満たせないという結論に達した。Arup社の工事材料スペシャリストGraham Gedge氏は次のように説明している。「オーステナイト系ステンレス鋼は設計強度が約300 MPaしかないため、オーステナイト系ステンレス鋼で強度要件を満たすことは無理だった。そのためには厚さを大きくすること、そして結果的に重さとコストを引き上げることが必要だった。一方、S32205なら熱間圧延鋼板で450 MPaという強度を実現することができる」

標準的なオーステナイト系ステンレス鋼を選定の対象から外す理由はもう一つあった。すなわち、この汚染度の高い海洋環境の中において長期にわたる使用を実現するためには、綿密に制御された形での表面処理が必要とされるのである。これらの材料の想定使用環境の耐久度査定はC5M、つまりISOの環境分類のもとで想定される最も過酷な大気暴露なのである。

S32205はArup社の設計者たちが指定した仕上げに理想的な材料である。Gedge氏は次のように説明している。「S32205は、他の候補合金より孔食およびさびに強く、最終表面仕上げのよりフレキシブルな選定を可能にする。ある程度の土と塩の取り込みは発生しうるが、最終表面粗度の制御のクリティカル度は他の合金の場合より低くなる」

2相熱間圧延鋼板を採用した橋塔とステンレス鋼鉄筋の組合せというこのソリューションは、この橋を耐久性の高いものにするはずである。

写真：Arup Materials Consulting社

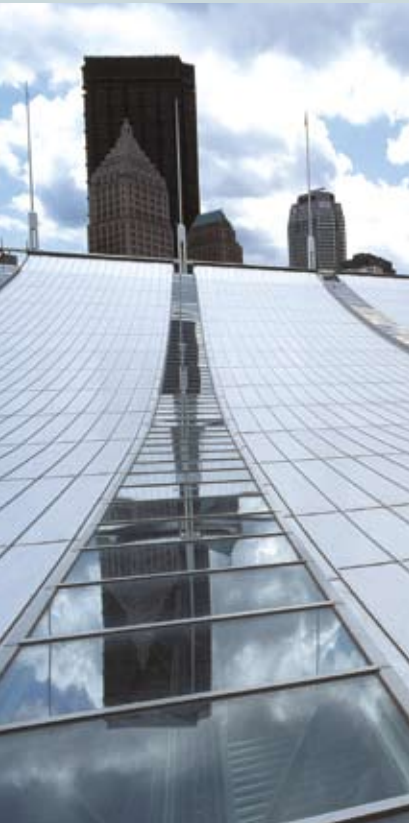


Alessi Kettle

写真提供：Alessi

第2章 耐食性

「ニッケルは耐食性に貢献」



「日射反射や省エネのためのステンレス鋼の革新的な使用」

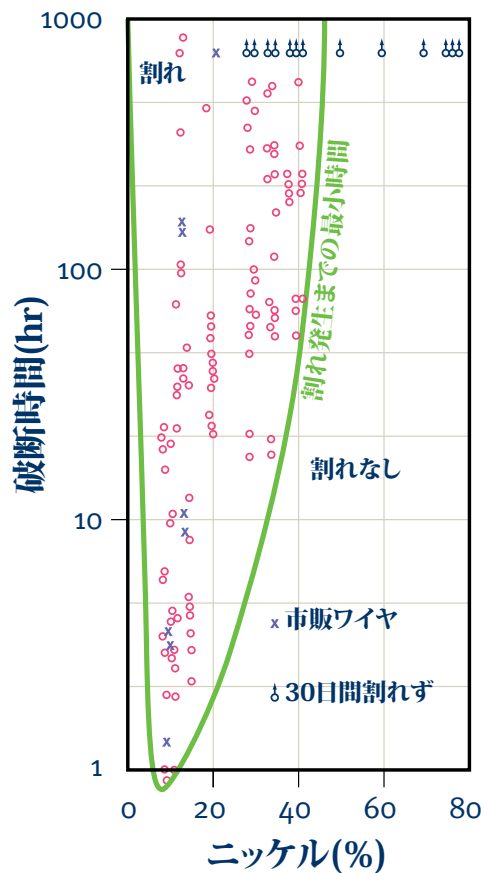
写真提供:

Rafael Vinoly Architects PD
(ピッツバーグコンベンションセンター)

応力腐食割れ 応力腐食割れ (SCC) には数多くのタイプがある。オーステナイト系ステンレス鋼は、天然ガス分野のような硫化水素環境下において非常に有用である。オーステナイト系ステンレス鋼、そして最近2相ステンレス鋼は長期間の素晴らしい実績を作り、それらの使用ガイドラインは、NACE MR0175/ISO 15156などの規格に見ることができる。

塩化物応力腐食割れは、長年にわたって研究されてきている。特に強い作用力を持つ沸騰塩化マグネシウムの中での試験から導き出された「Copson曲線」は有名である。この曲線はニッケルの添加されていないフェライト系ステンレス鋼がニッケル含有率6~12%の標準的なステンレス鋼に勝ることを示している。ニッケル含有率が45%を超える合金は、塩化マグネシウム中における割れとほぼ完全に無縁であることが確認されている。実際には他のほとんどの塩化物溶液は塩化マグネシウムよりもはるかに作用力が弱く、また通常は304タイプや316Lタイプなどのような鋼種は回避されるが、モリブデン含有率6%のステンレス合金は、2相ステンレス鋼と同様、大部分の場合において十分な抵抗力を持っている。

図10:
Copson 曲線—沸騰塩化マグネシウム溶液における塩化物応力腐食割れ感受性に及ぼすニッケルの影響



第2章 耐食性

「オーステナイト系ステンレス鋼は硫化水素環境で非常に役立つ。」



海洋プラットフォームは、海水腐食の防止のためとともに処理設備と配管はニッケル含有ステンレスに依存している。 写真提供: KM Europa Metal



使用実績例: 醤油発酵用タンク

醸造醤油の発酵工程の中では、他の食品加工産業で一般的に使用されているステンレス鋼タンクが耐えることのできない、きわめて過酷な条件が発生する。このため、日本では耐食性の高いFRPや樹脂でライニングされた鋼を使用するのが一般的である。

発酵工程の中で発生する酸はそのままでも約17%の塩化ナトリウムを含有する腐食性の高い原液(混合液)のpHをさらに4.7前後まで引き下げる。この有機酸と塩化ナトリウムの混合液の腐食性が非常に高いこと、そして醤油醸造における発酵工程の期間が非常に長い(約6か月)ことから、ケースによってはタンクの維持費が異常に高くなることもある。

最近実施されたある研究は、モリブデンを含有するS32053というスーパー・オーステナイト・ステンレス鋼が従来型醸造タンク内の液中の他のステンレス鋼に影響を与える腐食に対する抵抗力を有することを示している。

日本最大のステンレス鋼メーカーの一つである日本冶金工業株式会社の 小林 裕 氏は、「スーパー・オーステナイト・ステンレス鋼は腐食を起こしにくい。S31603ではすさまじい腐食および応力腐食割れが発生するし、2相ステンレス鋼S32506ではすさまじい腐食が起きやすい」と記述している。

1645年から醤油を作り続けているヤマサ醤油株式会社はこの実験結果を評価し、国内における醤油生産用としてS32053の発酵用タンクを計100基(最大容量39万リットル)建設した。同社は2002年10月からこれらのタンクを使って醤油の量産を行っているが、現在のところ腐食は全く発生していない。

これらのS32053タンクが今後ヤマサ醤油の工場で同社の期待に応える寿命を実現できれば、S32053の市場性は大きく高まるはずである。新設発酵用タンクの材料としてのスーパー・オーステナイト・ステンレス鋼の前途はきわめて有望であると思われる。

写真: ニッケル協会用としてTom Skudraが撮影/日本冶金工業株式会社



写真提供: Veer

「120年間メン テナンス不要。」



使用実績例: コンクリート用鉄筋

海に面した河口にかかる橋を想像してみたい。もしこの橋が非常に長い期間、例えば120年間にわたって全くメンテナンスを必要としなかったとしたら、膨大な時間と費用を節約できるはずである。コンクリート橋脚に穴を開けて錆びた鉄筋を交換する必要性も、橋の道路部分の補修による交通渋滞もなくなるのである。

ダブリン市に本社を置くArup Consulting Engineers社はそのようなメンテナンス・フリーの橋を構想しただけでなく、ステンレス鋼製の鉄筋を使って実際に一つのメンテナンス・フリー橋を設計・建設した。この橋は2003年6月に開通したダブリン市とベルファスト市を結ぶ高速道路の一部を構成するツイン橋Broadmeadowブリッジ(アイルランド東部)である。

Arup社の准役員であり、この橋の主任設計エンジニアでもあるTroy Burton氏は次のようにコメントしている。「海水、そして湿潤と乾燥の繰り返しという非常に厳しい環境の中に位置するこの橋は、将来的なメンテナンスのためのアクセスが極度に困難な橋である。当社では120年の設計寿命を保証することを目標としてこのプロジェクトに臨んだ。そして、当社には将来的にほとんど維持費がかからない、非常に長持ちするソリューションを当社が有しているということを施主に納得してもらえるように、施主を説得する必要があった」

このソリューションは河口にかかるこの長さ313mの橋を支える16本の橋脚すべてにS31600ステンレス鋼製鉄筋を使用するというものであった。

ステンレス鋼製の鉄筋の使用は、Arup社にとっては初めての試みであったが、Burton氏は、「ステンレス鋼鉄筋は“半永久的に長持ちするソリューション”に求められる要件のほとんどすべてを満たしていた」と述べている。

このような経緯を経て169トンのステンレス鋼を使ったこの橋が完成することとなった。

Burton氏によれば、ステンレス鋼鉄筋を使うことによって発生した追加コストはこの橋の総工費(約1,200万ユーロ)の3%未満にすぎない。これは橋の寿命期間全体をつうじた維持修繕費の節約分を考えれば微々たる金額である。この橋の下に位置する人間活動の影響を受けやすい干潟に悪影響を与えることなくこの橋の橋脚の補修工事やメンテナンスを行うことは困難なことである。したがって、この橋をメンテナンス・フリーの橋にすることは、非常に重要なことであった。

アイルランドの道路省はBroadmeadowブリッジの実績を評価し、今後建設されるすべての新規橋梁についてその欄干にステンレス鋼を使用することを義務化することとなった。

写真: Arup Consulting Engineers社

第3章 高温



第3章

高温

「高い安定性が高温環境の用途において広く使用されている大きな理由である。」

高温環境下で使用される材料は、低温環境下で使用される材料の場合と同様、その特性にもとづいて選定される。そしてこの選定においては通常妥協が必要とされる。設計者が考慮する高温特性には耐力、引張強さ、クリープ強さ、クリープ破断、延性、熱疲労、耐熱衝撃性などのような機械特性が含まれる。物理特性には熱膨張、熱伝導率および電気伝導率が含まれる。耐環境性にかかわる特性には酸化、浸炭、硫化および窒化が含まれる。加工特性には溶接性および成形性が含まれる。また摩耗、すり減り、反射性などをはじめとするその他の特性も検討しなければならない。

これらの特性は材料がさらされるあらゆる温度について関心の対象となる特性であり、寿命期間内に発生する可能性のある特性の変化を調べることが特に重要である。オーステナイト系ステンレス鋼が高温環境の用途において広く使用されている大きな理由の一つは、その高い安定性である。

一般にはオーステナイト系ステンレス鋼は高い温度においても（少なくとも他の材料よりは）高い強度を維持する。図11はいくつかのオーステナイト系ステンレス鋼とフェライト系ステンレス鋼の短時間高温耐力と高温引張強度をさまざまな温度で比較した結果を示したものである。約540°C (1000°F) より低い温度では、さほど大きな差は出てこない。温度が約540°C (1000°F) より高くなるとフェライト鋼種の強度レベルは急速に低下するが、一定の特殊フェライト系ステンレス鋼については合金化をつうじて高温強度を引き上げることが可能である。



使用実績例：真空室

カナダのサスカチュワン大学にある「シンクロトロン」は、太陽より何百万倍も明るい光を放つ電子を発生させる装置である。同大学の研究者たちは、この光をさまざまな設計プロジェクトおよび生産プロジェクトに活用している。

この装置の真空室（そして一部の光学システム内において寸法安定性を提供するK93600サポートなどのような特殊用途）に、ステンレス鋼（最も一般的なタイプはS30400、S30403およびS31603）が広く使用されている。



真空を実現するためには、可能な限り多くの分子を除去することが必要とされる。不純物は電子ビームの速度を下げるだけでなく、（霧が車のヘッドライトからのビームを散乱させるように）電子を回折させる。CLSの事業部長であるMark de Jong氏によれば、シンクロトロンの中には銅やアルミニウムでできているものもあるが、ステンレス鋼の方が製作が容易なため、より広く使用されている。

真空室のコンポーネントは、巨大な焼付がまの中で最大40時間にわたって最大250°Cの温度で加熱しなければならない。これによって製造中に吸収されたガスが除去される。

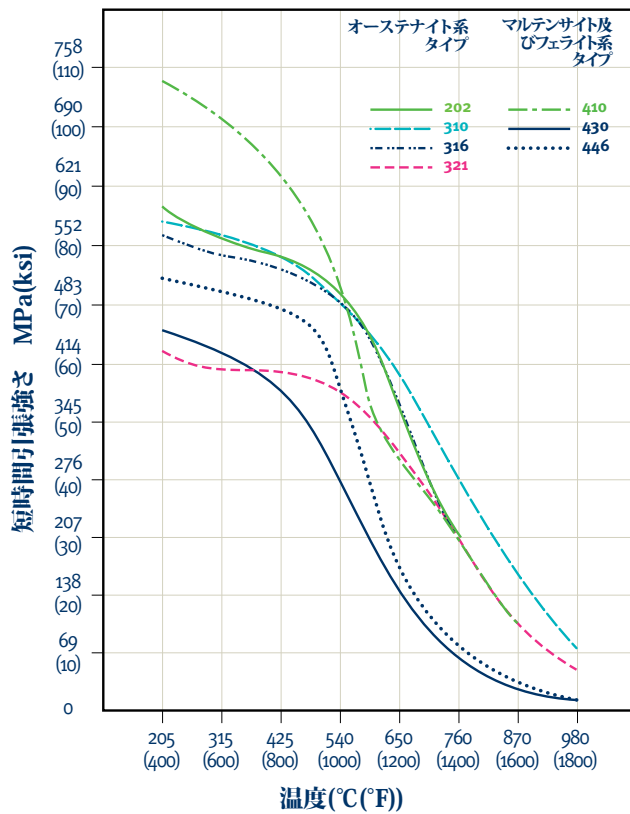
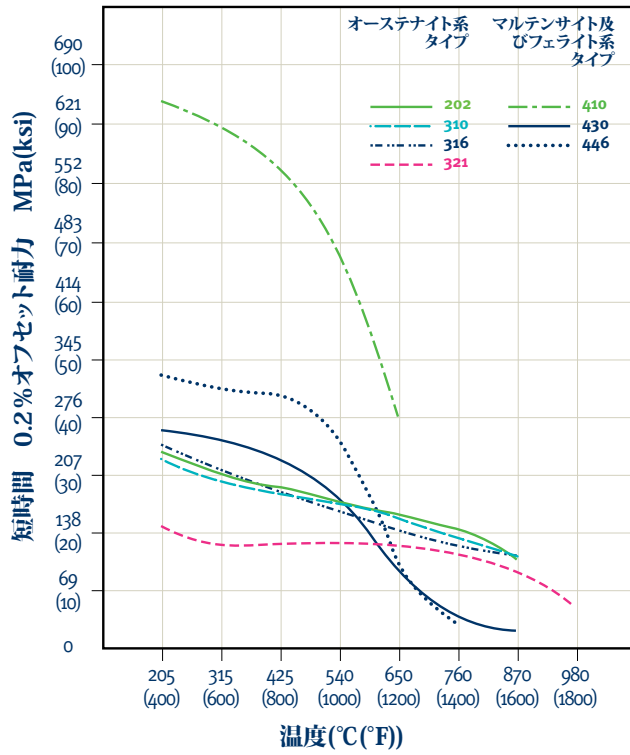
アルミニウムは150°Cで強度が低下し始めるが、ステンレス鋼ならその心配がない。コンポーネントが真空の中で加熱されるという点を考えると、これは一つの決定的な特性だといえる。Mark de Jong氏は、「我々の加熱工程の平均的な圧力では、ステンレスは強度低下をきたさない」と述べている。

カナダのオンタリオに本社を置くJohnsen Ultravac社は、同社が生産する一部の真空室にS30400を使用している。S30400は他の金属よりもコストが低い。またS30400は機械加工および溶接が容易であり、銅製ガスケットへの貫入のための十分な硬度を有している。シンクロトロンは多くの取付部品、フランジ、イオン・ポンプおよびバルブを有する装置であるが、そのすべてがステンレス鋼製であるため、同類の金属の使用はエンジニアリングの簡素化につながる。

ステンレス鋼製のポンプ・シリンダーの中に配置された電磁石とX線吸収銅製ブロックを冷却するのは、長さ0.5 kmの20.32 cmのステンレス・パイプと長さ0.5 kmの7.62 cmのステンレス・パイプを通して流れる脱イオン水である。この腐食性の高い脱イオン水は炭素鋼を溶かしてしまうため、S31600とS31603が採用されることとなった。

写真：Canadin Light Source社、Johnsen Ultravac and University of Saskatchewan

図11:
高温におけるステンレス鋼の耐力及び引張強さ



第3章 高温

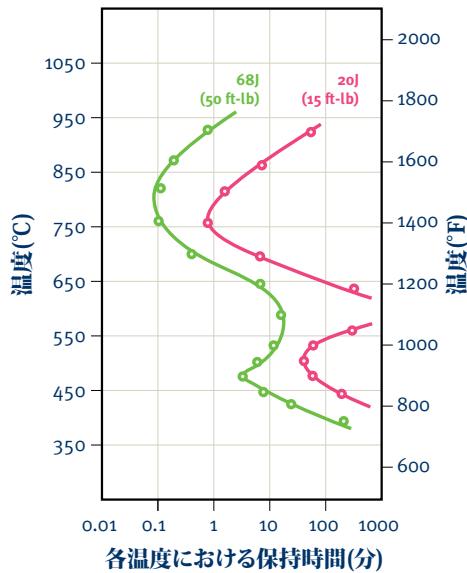
「オーステナイト系は475°C脆化の危険がない。」



写真提供: Eero Hyrkäs

クロム含有量が13%を超えるフェライト系ステンレス鋼は、400～550°C (750～1020°F) の温度帯において比較的短い時間で脆化し、高合金[クロム/モリブデン]鋼種の場合では、さらに270°Cまでゆっくりと脆化する。「曲線のノーズ(鼻)」と呼ばれる、最短脆化時間の温度は、約475°C (885°F) である。このことから、この現象は、「475°C脆化」(または「885°F脆化」)と呼ばれている。図12に下方ノーズとして示されている脆化現象は、2相ステンレス鋼のフェライト相にも影響を及ぼす。これは、ほとんどの2相合金の長時間曝露の最大温度が約270°C (520°F) またはそれより若干低い温度となる理由の一つである。オーステナイトにおいてはこの脆化が起きることはないが、オーステナイト系ステンレスの溶接部および鋳物に含まれるフェライトは脆化する。ただし、その量は通常は極低温以外の温度では特性に大きな悪影響を及ぼすほどの量ではない。409タイプや410Sタイプなどのようなクロム含有率が13%未満のフェライト系ステンレス鋼の場合は、具体的なクロム含有率によってこの脆化が全く起きないこともあれば、長時間の曝露によってのみこの脆化が起きることもある。しかし、これらのステンレス鋼のクロム含有率および強度の低さは、約650°C (1200°F) までその有用性を制限することになる。低合金フェライトステンレス鋼は自動車排ガスシステムで広範に応用されている。

図12:
475°C及び金属間化合物相生成による脆化を示すフェライト系合金S44800の脆化曲線 (Allegheny Ludlumより)

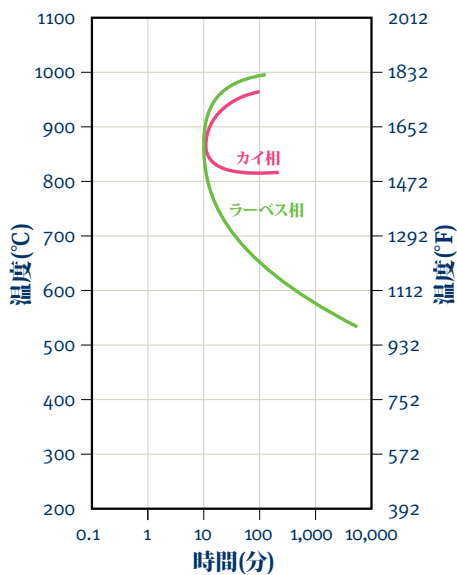


考慮する必要のあるもう一つの顕微鏡組織変化は、シグマ相などのような有害な硬い脆性金属間化合物相の形成である。本書では説明を簡素化するため、以後これらすべての金属間相を「シグマ相」と称する。シグマ相が発生するのは、2相合金を含むフェライト系ステンレス鋼とオーステナイト系ステンレス鋼である。図12の上方のノーズは、高合金フェライト系ステンレス鋼におけるこの脆化である。図13はモリブデン含有率が6%のステンレス鋼に関する金属間化合物相の形成を示した図である。金属間化合物相が形成される温度帯は合金の組成によって異なるが、一般には565～980°C (1050～1800°F) の範囲内に収まる。しかしながら、一部の低クロム・フェライト鋼種においては、時間が非常に長い場合には480°C (900°F) からシグマ相が形成されることもある。曲線のノーズは通常は温度帯の上端部に位置する。

温度に加えて、シグマ相形成に要する時間も組成および処理(例:冷間加工の量)によって大幅に異なる。クロム、ケイ素、モリブデン、ニオブ、アルミニウムおよびチタンはシグマ相の形成を促進するが、ニッケル、炭素および窒素はシグマ相の形成を遅らせる。シグマ相の形成はニッケルの含有率を十分に高くすることによって、完全に抑制することもできる。シグマ相形成帯の中で材料を使用する場合は、当該構成部材の寿命期間内に起きる可能性のある脆化の度合い、ならびに当該構成部材の性能に対するその影響の度合いを事前に査定することが必要である。この脆化は一般に材料の温度がその材料の使用温度であるときには(熱疲労が関与する場合を除いて)問題となることはないが、シャットダウン時に問題となることがある。

高温環境下で使用される材料に関しては、結晶粒径が一つの重要な要因となりうる。オーステナイト系ステンレス鋼の場合には、細かい粒径はクリープ強度が劣るため通常は望ましくない

図13:
1150°C(2102°F)で焼なました
0.145%Nを含む0.05C-17Cr-13Ni-
5Mo鋼における金属間化合物相の
恒温析出



い。高いクリープ強度と破断強度が求められるようなケースにおいては、オーステナイト合金の粒径が粗い方が望ましいこともあるが、特性の組み合わせとして最良となるのは、中程度から細かい結晶粒径のものである。粗い粒径のデメリットは、熱疲労特性と熱衝撃特性が低下するという点である。純粋なフェライト・ステンレス鋼の場合は、1100°C (2010°F) より高い温度で急速な結晶成長が起きることがある。これは溶接中に起きることもあり、その結果として粗く延性の低い熱影響部 (HAZ) が発生することもある。フェライト・ステンレス鋼においては、オーステナイト合金の場合よりはるかに急速に結晶の粗粒化が起きる。

オーステナイト系ステンレス鋼に含まれる炭素は、温度帯全体にわたってクリープ強度を引き上げることから高温での使用のためには一般に有益である。腐食を引き起こす物質が存在している環境下で炭化物が形成された場合は (通常はシャットダウン条件下における相対的に低い温度で) 一定の腐食問題が発生することもある。高温圧力容器を対象として設計

されたほとんどの規格には、最小炭素含有率を有するオーステナイト鋼種ならびに低炭素鋼種よりも設計強度の高い最大炭素含有率を有するオーステナイト鋼種 (または最小炭素含有率が存在しないケースのための最大炭素含有率を有するオーステナイト鋼種) が存在する。例えば304Hタイプは0.04%という最小炭素含有率を有する。

材料を高温環境下で使用する場合は機器の設計の中でその熱膨張を考慮に入れなければならない。これを行わないと破壊が起きることがある。フェライト系ステンレス鋼の熱膨張係数はオーステナイト鋼種より小さいが、必ず設計の中で考慮に入れておかなければならない。310タイプや330タイプなどのようなニッケル含有率が相対的に高いステンレス鋼種は、標準的な304のステンレス鋼およびその安定化された派生鋼種よりも熱膨張率が低い。ニッケル合金 (例: Alloy 600) はそれよりもさらに膨張率が低い。

実際のコンポーネントの熱伝導率に影響を与える要因は数多く存在する。オーステナイト系ステンレス鋼は、フェライト系ステンレス鋼および炭素鋼よりも熱伝導率が低い。すなわち、これらは金属を介した熱伝達を低減させる。また、表面酸化物層も熱伝達に対するバリアとして働く。

合金の耐酸化性は一つの重要な要因である。その測定は比較的容易であるが、実際の使用においては問題が発生することもある。理想としてはステンレス鋼上に酸化物層が形成され、その発達速度が時間とともに遅くなって最終的には非常に遅い速度に落ち着くという形が望ましい。また酸化物はステンレス鋼と同じ膨張係数を有する。現実には酸化物層の厚さが増大して一定のレベルを超え、温度が変動すると酸化物層が部分的に剥落し、新たな酸化物の形成が始まる。通常は連続的条件と断続的条件に関する最大温度が指標として使用される。

クロム含有率は温度が次第に高くなるケースにおける保護酸化物層の形成に関して重要な要因である。ケースによっては、これを促進するためにクロムより少量のケイ素、アルミニウムおよびセリウムが添加されることもある。酸化物層は決して完璧な層ではない。熱による膨張収縮および機械応力が発生すると、多くのクラックならびにその他の欠点が発生する。厚さが比較的大きい酸化皮膜の場合は剥落が起きてその下に新たな酸化皮膜が形成され、結



廃棄物エネルギープラント
写真提供:
Technical University of
Denmark

「…熱膨張
を……常に考慮
しなければならない。」

果的に金属厚が減少することがある。オーステナイト系ステンレス鋼は、フェライト系合金より一般に熱膨張率が高いことから、標準化された試験においては間欠的な使用の場合よりも連続的な使用の方がランクが高くなる。フェライト系ステンレス鋼種の場合はこの逆となる。このことは表7にも示されている。同表はいくつかのステンレス合金について、空气中での連続的な使用と間欠的な使用に関するスケール温度の近似値と推奨最大使用温度値を示した表である。酸化特性の最適化という選択肢を利用することのできる特殊ステンレス鋼もいくつか存在する。マンガンは耐酸化性に対して悪影響を与える。したがって、200系は高温では用途が限定される。



Rolled Alloys

使用実績例：燃料ガスの脱硫

燃料ガス脱硫 (FGD) システムは、化石燃料燃焼式の発電所からの排出ガスによる大気汚染を低減させる上で不可欠なシステムである。燃料ガスがもたらす腐食条件は、非常に過酷なものとなりうる。腐食性の最も高いエリアではニッケル含有率の高い合金が使用されており、比較的腐食性の低いエリアではニッケル含有ステンレス鋼が使用されている。写真のスプレー配管はUNS N08367 (Ni含有率24%、Mo含有率6%のステンレス鋼) で作られた配管である。UNS N08367が選ばれた理由は、耐食性の高さでこれらの断面サイズでの加工の容易さである。

「メタル・ダスティングの防止には、特殊ニッケル合金の使用が必要とされる。」

表7
数種の標準ステンレス鋼種の耐磁化性

鋼種	スケール温度(概略)		空气中における最大使用温度			
			連続使用		断続使用	
	C	F	C	F	C	F
403	700	1,300	700	1,300	820	1,500
430	825	1,500	820	1,500	870	1,600
446	1,100	2,000	1,100	2,000	1,175	2,150
304	900	1,650	925	1,700	870	1,600
309	1,065	1,950	1,000	1,850	1,000	1,850
310	1,150	2,100	1,150	2,100	1,040	1,900

浸炭に対するステンレス鋼の抵抗力は、保護酸化物スケールの性質とニッケル含有率によって決定される。一酸化炭素または炭化水素を含む高温の還元性環境は、金属中への炭素の拡散を引き起こして表面層を硬い脆性の層に変えることがある。ステンレス鋼中における炭素の溶解度は、ニッケル含有率が増えるにつれて低下する。このため、浸炭環境内ではニッケル合金またはニッケル含有率の高いステンレス鋼が使用される。

ケイ素は保護酸化層の増強に役立つ元素である。このためケイ素含有率の高い合金が選ばれることが多い。クロム含有率19%、ニッケル含有率35%、ケイ素含有率1.25%の330合金は広く使用されている。ニッケルを含まないステンレス鋼は浸炭に対する抵抗力が低い。「破壊的浸炭」とも呼ばれる特殊な形態の浸炭である「メタル・ダスティング」の防止には、特殊ニッケル合金の使用が必要とされる。一方、高温ガス中に含まれる硫黄は、特に還元性の環境において、高ニッケル合金に悪影響を与えることがある。通常選ばれるのはニッケル含有率が比較的低いオーステナイト系ステンレス鋼であるが、過酷な環境の場合はクロム含有率の高いフェライト鋼種が選ばれる。そのようなケースにおいてはどの鋼種を選ぶかに関係なく、特性に関して一定の妥協が必要となる。

第4章 成形



第4章

成形

「オーステナイト系ステンレス鋼は多様な方法で成形が可能である。」

熱間成形 熱間圧延、熱間鍛造、熱間押しなどの操作に関して言えば、200系と300系のオーステナイト・ステンレス鋼はすぐれた熱間成形特性を有している。これらの操作の温度帯は、通常、熱処理温度より多少低いところから開始される。表8はいくつかの一般的なオーステナイト系ステンレス鋼種と、二、三の2相鋼種の典型的な熱間成形温度を対応する固溶化熱処理温度とともに示した表である。これらは一般的な温度帯であり、実際の作業の内容および鋼種によっては、より制約的な操業が必要とされることも多い。

温度の高い部分は温度の低い部分より容易に変形することになるため、鋼材全体にわたって均一な温度を実現することが重要である。熱間成形部材に関しては、最大の耐食性が得られるように完全固溶化熱処理が適用されるケースがほとんどである。Mo含有率6%のステンレス鋼などのような高合金オーステナイト鋼種の熱間成形を行う場合は、特に注意を払わなければならない。これらの鋼種は鍛造中に高温割れを起こしやすい鋼種であり、熱間成形中に形成された金属間化合物相を除去するための後続の焼なまし工程における適切な均熱化が不可欠である。2相鋼種は低温では相対的に強度が高いが、熱間成形温度および焼なまし温度では強度は一般にきわめて低い。したがって、これらの操作中に寸法安定性を確保するための注意を払わなければならない。各鋼種について個別的なデータを参照すべきであり、また熱間操作の後には材料が期待どおりの腐食特性を有しているか否かを確認するための試験を実施すべきである。

表8
2相、200及び300系ステンレス鋼の推奨熱間成形温度範囲と固溶化熱処理温度

鋼種	熱間成形温度範囲		固溶化熱処理温度	
	°C	°F	°C	°F
標準鋼種 タイプ304, 305, 316, 321	1200-925	2200-1700	1040 min.	1900 min.
高温用鋼種 タイプ309, 310	1175-980	2150-1800	1050 min.	1925 min.
6%Mo系鋼種	1200-980	2200-1800	1150 min.	2100 min.
201, 202, 204	1200-925	2200-1700	1000-1120	1850-2050
S32205	1230-950	2250-1750	1040 min.	1900 min.
S32750	1230-1025	2250-1875	1050-1125	1925-2050

温間成形 成形性を向上させることを目的としてオーステナイト系ステンレス鋼材の加熱が行われることは珍しいことではない。オーステナイト系ステンレス鋼の場合はフェライト鋼種や2相鋼種とは異なり、第3章で先述した475°C脆化の危険がない。炭素含有率の低い、安定化されたオーステナイト系のステンレス鋼は、その耐食性に対する大きな悪影響を受けることなく、600°C (1100°F) までの温度に短時間耐えることができる。2相ステンレス鋼の場合は、300°C (575°F) より高い温度での温間成形は回避しなければならない。

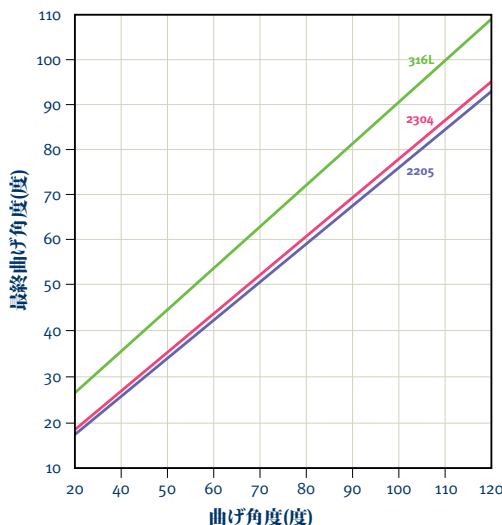
冷間成形 オーステナイト系ステンレス鋼は非常にすぐれた延性を有する。一つの一般的な合否判定基準は圧延方向に関係なく、材料厚の0.5倍の半径での180度冷間曲げが可能か否かというものである。しかしながら調質圧延オーステナイト・ステンレス鋼を成形するときには、圧延方向が重要であり、きつい曲げは横圧延方向にすべきである。最小曲げ半径は材料の初期調質度（強度）が高くなるにつれて大きくする必要がある。例えば、最小耐力が760 MPa (110 ksi) の1/2 ハード304タイプ薄鋼板は板厚に等しい半径を有するマンドレル上で180度曲げることのできるものであるべきである。2相ステンレス鋼は一般にはオーステ

写真提供: Alessi

ナイト鋼種ほど高い延性は持たないが、焼なましされた状態では良好な延性を有する。2相鋼種は、冷延ワイヤーを除き一般に調質圧延された条件で使用されることはない。

高強度の200系および300系のステンレス鋼ならびに大部分の2相鋼種に関しては、耐力の大きさが原因で成形が困難となるケースが発生しうる。焼なましされた300系のステンレス鋼でその限界に近づく可能性のある機器は、同じ厚さの相対的に高強度の材料が使われた場合には大きな困難に遭遇する可能性がある。すべてのオーステナイト系ステンレス鋼および2相ステンレス鋼に随伴する一つの懸念要因は、加工硬化に起因するスプリングバックである。一般には初期強度が高ければ高いほど、そして冷間加工の度合いが大きければ大きいほど、スプリングバックの量は大きくなる。図14は焼なましされた316Lタイプと2相2205鋼種の曲げに関するスプリングバック特性の比較の結果を示した図である。このケースにおいては2相鋼種がオーステナイト鋼種より多くの余分曲げ (overbending) を要する。316Lタイプで90度の角度を実現するためには100度まで曲げなければならないが、316Lタイプより強度の高い2相鋼種の場合は115度までの曲げが要求される。

図14:
焼なまし316L及び2相鋼種S32304及び
S32205のスプリングバック特性比較



「304タイプおよびその派生鋼種の成形は、非一般的な選択肢だと考えられるが、実際には長年にわたって一つの慣習的手法として使用されてきている。」

圧延成形はどのオーステナイト鋼種または2相鋼種に関しても、アングルやチャンネルなどのような長い形鋼を製造するためのきわめて効率的かつ実用的な方法の一つとなる。

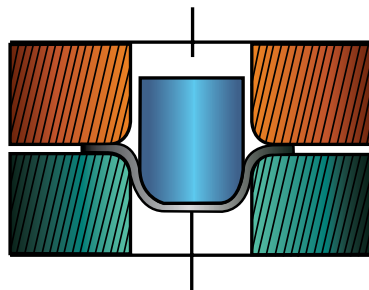
絞り加工および張出し オーステナイト系ステンレス鋼およびフェライト系ステンレス鋼の成形には、絞り加工および張出しが広く使用されている。オーステナイト系ステンレス鋼特有の高い延性と高い加工硬化性の組合せは、薄鋼板においてきわめて高い成形性をもたらす。

絞り加工(深絞り加工)ではブランク材をクランプ固定することなく薄鋼板の成形が行われる。金属は厚さの減少が最小になるように薄鋼板の平面内を流れる。純粋な絞り加工には加工硬化率が相対的に低いオーステナイト材料(例:304タイプ)を使うことが一般的には望ましい。張出し成形は、ブランク材の縁を堅固にクランプ固定した状態でダイスを使って薄鋼板を成形する成形法である。この方式では、すべての変形が張出しによって(対応する度合いの薄鋼板の厚さ減少を伴う形で)実現される。張出し成形の場合は、301タイプに特有の高い加工硬化率が役立つ(より深いパンチ深さを可能にするため)ことが少なくない。薄鋼板成形技術は複雑度の高い技術であり、ほとんどの現場では実際の成形はこれら2タイプの方式を併用する形で行われる。オーステナイト系ステンレス鋼に特有の平滑でクオリティの高い外観の実現には表面仕上げ、成形シーケンスおよび潤滑がきわめて重要である。標準的な304タイプおよびその派生鋼種の成形は、非一般的な選択肢だと考えられるが、実際には長年にわたって一つの慣習的手法として使用されてきている。施される成形が非常に大掛かりなものであるケースにおいては、延性の高いステンレス鋼であるオーステナイト系ステンレス鋼を使った場合でも、延性を回復してそれ以降の成形を可能にするためのひとつまたは複数の中間焼きなまし工程が必要とされることがある。

第4章 成形

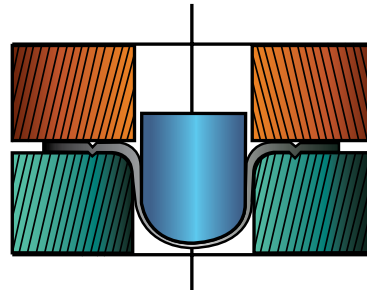
絞り加工

- ・金属はダイスに自由に流れ込む
- ・大きい円板の狭い円筒への変形は厚みよりも広さによる(=高異方性“r値”)



張出し加工

- ・金属はブランク押さえによって支えられる
- ・かなりの厚み減少
- ・高い伸び(A%)と加工硬化性(n値)が要求される

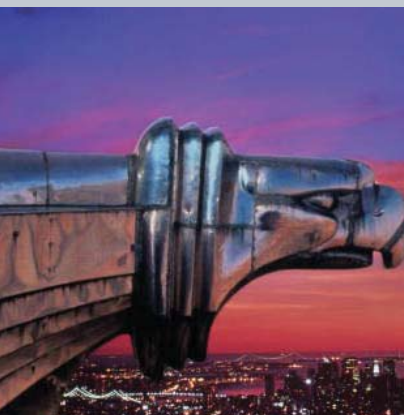


出典：<http://www.euroinox.org/>

2相ステンレス鋼の場合は、絞り加工または張出しによる本格的な成形が行われることは少ない。これがうまくいったケースにおいては、低い延性と高い強度を考慮に入れるための機器およびダイスの改良が行われている。

スピン成形 スピン成形（スピニング）は薄鋼板または厚鋼板の広範囲にわたる成形により、回転に関して対称な部品をつくるための一手法である。これは、他の手法では比較的難しいような円錐形部品の成形に最適な手法である。スピン成形では薄鋼板の変形が大きくなることがあり、305タイプなどのような加工硬化率の低い鋼種が有利となることがある。305タイプは他の鋼種と比べてニッケル含有率が若干高く、クロム含有率が若干低い。これらの特性はいずれも加工硬化率の低下をもたらす。2相ステンレス鋼種の場合はスピン成形を行うことは可能であるが、より強力な機器が必要とされる。またケースによっては、より多くの中間焼きまし工程が必要とされることもある。

冷間圧造 棒状の製品に関しては、ネジやボルトなどのような締結具の頭がダイス内でのアキシヤル・スタンピングで成形されることは珍しくない。そのようなケースにおいては、良好な延性を有する材料を使用する必要があり、小さい加工硬化が一つの利点となる。305タイプまたは18/8タイプの鋼を含有するもの（これは、302HQタイプと呼ばれることもある）が頻繁に使用されている。また、容易に冷間圧造することのできる低加工硬化特性を有する200系のステンレス鋼もある。2相ステンレス鋼の中にも、冷間圧造の実績例があるものが存在する。



写真提供：
Getty Images



Reactor Watches

使用実績例：腕時計

カリフォルニアに本社を置くReactorWatches社の創業者であるJimmy Olmes氏は次のように語った。「腕から外すことなくダイビング、サーフィン、水上スキー、スノーボードなどのようなあらゆるスポーツ活動をすることができ、夜の外出時にも外す必要のない、高品質な腕時計を生産するという使命を担っていることは当社の誇りだ」

当社がS31603を選んだ理由は、S31603が耐磨耗性、耐食性、耐久性および頑丈性にすぐれているという点と、その機械加工が十分に容易だという点である。S31603は今では、スポーツ用腕時計の業界標準材料としての地位を確立している。さらに（他のほとんどのステンレス鋼の場合と同様に）高い耐食性を持つS31603を使ってつくられた腕時計は、ニッケル・アレルギーの人でも問題なく身に付けることができる。

第5章 接合



第5章

接 合

溶接

ニッケルは、あらゆる系および鋼種のステンレス鋼の溶接性において重要な役割を果たす。オーステナイト鋼種は困難な条件下でも良好かつ再現可能な結果が得られるという点で、許容範囲の広い鋼種である。どのような鋼種のステンレス鋼を溶接する場合においても、良好な品質を確実にするために清浄度の維持および溶接後のクリーニングを含む一定の措置を講じることが必要である。ステンレス鋼は耐食性または高温特性が必要とされる用途などのような過酷な用途に使用されることが多いため、溶接金属が「鎖の中の最も弱い輪」にならないことを確実にすることが必要である。どの鋼種に関しても、一般には高合金の度合いが高ければ高いほど、より多くの注意と予防措置が必要とされる。

オーステナイト系ステンレス鋼 オーステナイト系ステンレス鋼の一つの重要な特性は熱処理や溶接の熱によって硬化することがないという点である。オーステナイト系ステンレス鋼は水素脆化が起こりにくいステンレス鋼であるため通常は予熱や溶接後の加熱を必要としない。そして、薄いものから非常に厚いものまで、多様な厚さの材料をかなり容易に溶接することが可能である。オーステナイト系ステンレス鋼に関しては、清浄度の維持（オイル、グリース、水、スケールなどの排除）が非常に重要となる。

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接は、どのようなステンレス鋼にも使用することができる。最も普及度の高いプロセスの主なものとしては、SMAW（被覆金属アーク）、GMAW（ガス金属アーク）、GTAW（ガス・タングステン・アーク）、SAW（サブマージド・アーク）、FCAW（フラックス・コア・アーク）、スポット/抵抗溶接、レーザーおよび電子ビームが挙げられる。オーステナイト系ステンレス鋼の多くは、溶加金属や追加熱処理を要することなく溶接することができる。スーパー・オーステナイト合金のほとんどは、溶接部において適切な耐食性を実現するための溶加金属の使用を要する。溶接金属は通常は焼なましされた母材に関する最小耐力/引張強さ要件を満たすことができる。溶接部は、一般には母材よりは延性が低くなるものの、延性は非常に高いままで維持されている。耐食性が要求される用途には、通常は低炭素鋼種（L鋼種）の溶加金属が使用される。高温用途においては炭素含有率の高い溶加金属を使用することによってより高い高温強度が得られることがある。

多くの300系溶加金属に関しては、凝固時における高温割れを防止するための措置として、一定量のフェライト形成を伴って凝固するための組成の調節が行われる。これによって、より高い入熱、そして結果的に、より高い溶接速度の実現が可能となる。一定量のフェライトの存在は溶接部が若干強磁性になることを意味する。完全またはほぼ完全なオーステナイト状態で凝固する合金は、低い入熱で溶接しなければならない。一定の用途に関しては溶接部を低フェライト溶接部にすることが望ましいこともあるが、そのための溶加金属も生産されている。大部分の300系ステンレス鋼に関しては、公称的に適合とされる溶加金属が最も広く使用されている。この原則の例外は下記のとおりである：

- 1) チタン安定化鋼種を溶接する場合には、チタンがアークの中で酸化するため、ニオブ安定化された溶加金属が最も頻繁に使用される。例えば321は347溶加金属を使って溶接される。
- 2) モリブデン含有率が6%以上のステンレス鋼は、Ni-Cr-Moタイプ（例：Alloy 625/「C」タイプ）のニッケル合金溶加金属を使って溶接される。一部のケースではモリブデン含有率の低い（最小で3%）鋼種がモリブデン量のさらに多い溶加金属を使って溶接されることもある。

写真提供：
Rafael Vinoly Architects PC

「オーステナイト鋼種は許容範囲の広い鋼種である。」

- 3) 200系は、適切な強度を有する300系の溶加金属を使って溶接されるケースがほとんどである。その理由は、これらの材料の入手の容易さと、一定のメリットとして見られているこれらの材料の溶接性の高さにある。窒素含有率の高い鋼種である200系の鋼種は溶接中に一定の窒素を失う可能性がある。二、三の用途において200系の溶加金属は、一定の特性を実現するための最良の選択肢となる（ただし、通常は他の溶加金属よりコストが高くなる）。現時点で304L鋼種および316L鋼種のための標準的な溶加金属として位置付けられているのは、最も入手しやすいいくつかの溶加金属である。
- 4) 303タイプなどのような快削オーステナイト系ステンレス鋼は硫黄の含有率が高く、一般には溶接はできないと考えられている。どうしても溶接が必要なケースにおいては、312タイプの溶加金属を使って小さな溶接部がつくられるが、その場合には大きな応力には耐えることのできない小さなクラックが数多く発生することがある。一般にはこの鋼種は溶接しないのが一番である。

一般にオーステナイト母材はすぐれた低温特性を有する。例えばASMEの「ボイラーおよび圧力容器に関する規格」は、マイナス254° C (マイナス450° F) までの低温での使用に関しては304タイプ、304Lタイプ、316Lタイプなどのような鍛錬オーステナイト鋼種の低温衝撃試験を義務付けていない。しかし鋳物および溶接金属は一定量の低温で脆化するフェライトを含有しているため、試験する必要がある。ケースによっては、低温衝撃要件を満たすために一定の溶接プロセス、または、或いは同時に、一定の溶加金属を使用することが必要となることもある。

304Lタイプと316Lタイプなどのような異種のオーステナイト鋼種を溶接するときには、オーステナイト溶加金属が使用される。鋼種の選択は溶接金属の要求特性（ほとんどの場合は耐食性）に左右される。炭素鋼もしくはフェライト系/マルテンサイト系のステンレス鋼または析出硬化の可能なステンレス鋼をオーステナイト系ステンレス鋼に溶接する場合も、オーステナイト溶加金属が最も広く使用される。また溶加金属を選定する前に、強度や耐食性などのような溶接金属の要求特性を慎重に評価しなければならない。現在は309Lタイプ、309MoLタイプ、312タイプなどの溶加金属がこれらの用途用として生産されているが、これらの溶加金属はいずれも、標準鋼種より高いフェライト含有率を結果として実現する組成をもっており、そのことにより不純物や熱膨張差に対する許容性を高めている。

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接の詳細については、ニッケル協会刊行物No.11007、「耐食性を要する用途のためのニッケル含有ステンレス鋼の溶接加工に関するガイドライン」を参照のこと。

2相ステンレス鋼 ほとんどの2相ステンレス鋼の母材は制御された組成を有する。これらの母材にはフェライト含有率を40～55%の範囲内に収める（残りはオーステナイト）ための制御された熱処理が施される。溶接部をつくる際には、制御される加熱条件と冷却条件の数がはるかに少なくなるため、フェライト含有率が上記より高くなる可能性がある。溶接金属もしくはHAZ（熱影響部）の中におけるフェライト含有率が65～70%を超えるような溶接条件は、耐食性に、そしておそらくは機械特性にも、大きな悪影響を及ぼす可能性があるため回避する必要がある。

上記と同様の理由から、結果はそう厳しいものにはならないものの、ほとんどの仕様書は25%または30%という最小フェライト含有率も指定している。フェライト含有率が高くなりすぎるのを回避するため、ほとんどの2相溶加金属には、母材より2～3%高いニッケル含有率が与えられる。一般論としては、溶加金属なしでの溶接は回避しなければならない。ニッケル含有率約1.5%のあるリン2相ステンレスの場合は、溶接部の中において適切な特性を確実に実現するため、溶加金属は約6～7%高いニッケル含有率をもっている。2相溶接部の適切な焼なましは許容できない程度に高いフェライト含有率を適切なレベルまで引き下げることができる。その場合はニッケル含有率の引き上げがなされていない溶加金属を使って、あるいは、溶加金属を全く使わずに鋳物ならびに溶接管および取付部品を溶接することができる。



写真提供：
ニッケル協会 (Nickel Institute)

「ほとんどの2相溶加金属には、母材より2～3%高いニッケル含有率が与えられる。」



2相ステンレス鋼の溶接は、通常は予熱も溶接後熱処理もなしで行われる。オーステナイト鋼種への2相ステンレス鋼の溶接は、2相溶加金属またはオーステナイト溶加金属を使って行われる。後者の溶接部は強さが2相母材より低くなることもあるが、それでもオーステナイト母材よりは常に強い。炭素鋼への2相ステンレス鋼の溶接は、通常はフェライト含有量の多いオーステナイト溶加金属のうちのいずれか（309Lタイプまたは309MoLタイプ）、もしくは2相溶加金属を使って行われる。一部の高強度（硬度）炭素鋼または低合金鋼への異種溶接は、非ステンレス金属に対する予熱および溶接後熱処理を要することがある。これは2相ステンレス鋼に影響を与えることがあるため、冶金学の専門家の助言を仰ぐ必要がある。

過酷な環境用として使用される2相ステンレス鋼や特に高合金のものに関しては、溶接部が期待通りの腐食特性および機械特性を有することを確実にしめるための特別な措置が必要とされる。2相ステンレス鋼の溶接の詳細については、IMOA刊行物「2相ステンレス鋼の加工に関する実用ガイドライン」（NI刊行物No. 16000）を参照のこと。

フェライト系ステンレス鋼 熱処理によって硬化することのないステンレス鋼とされているクロム含有率10.5～12%のフェライト系ステンレス鋼に関しては、溶接はほとんどの場合溶加金属なしで行われるか、適合する溶加金属を使って行われる。308Lタイプなどのオーステナイト溶加金属も確実に入手できる場合には使用されることがある。S41003などのような溶接可能なフェライト系母材の一部は、特に厚い断面を持つものの製造と溶接時の両方における粒径制御のために意図的にニッケルが添加されている。これらは真のフェライト系ステンレス鋼ではないため、「フェライト-マルテンサイト合金」という呼び名の方が適切だといえる。これらは、通常は309Lタイプを使って溶接されるが、他のオーステナイト溶加金属を使って溶接されることも時々ある。

モリブデンを含有しないクロム含有率16～18%のフェライト鋼種は、適合する溶加金属が存在するかもしれないが、ほとんどの場合はオーステナイト溶加金属を使って溶接される。

高合金のフェライト系ステンレス鋼に関しては、溶接を行う上で解決すべき特別な問題がいくつか存在するが、これらの問題は本書の対象範囲外である。これらの合金の実際の溶接には、オーステナイト溶加金属が使用されることが多い。溶接に際しては必ず当該合金メーカーの溶接に関するデータシートを確認しなければならない。これらの合金のほとんどに関しては、肉厚の厚いものは提供されていない。このため、異種金属溶接部が存在するケースが多い。その一例としては、オーステナイト管板への薄肉のフェライト管の溶接が挙げられる。これらの溶接部は、常にオーステナイト溶加金属を使ってつくられる。

マルテンサイト系ステンレス鋼と析出硬化（PH）ステンレス鋼 これらの材料に関しても、溶接を行う上で解決すべき特別な問題がいくつか存在する。溶接金属の強さ（および硬さ）を母材と同じにすることが望ましい場合は、母材と同じ硬化処理に反応する溶加金属を使用すべきである。ほとんどの場合は、そのような溶加金属が使用されることはなく、オーステナイト系ステンレス鋼またはニッケル合金の溶加金属が使用される。得られる溶接部は、強さは低くなるが、延性はきわめて高い。マルテンサイト鋼種の場合は、通常は予熱と溶接後熱処理が必要とされる。一方、PH鋼種の場合は、厚さが大きいケースにおいてのみ、予熱と溶接後熱処理が必要とされることがある。

溶接後のクリーニング

ステンレス鋼は耐食性に関しては保護酸化層に依存している。このため、最終用途に適した適正なクリーニング作業を溶接後に行う必要がある。これらの作業の詳細については、NI 刊行物No. 10004を参照のこと。

その他の接合方法

ステンレス鋼に関して使用されるその他の接合方法の代表的なものとしては、ろう付け、はんだ付けおよび各種の機械的接合手法が挙げられる。以下にこれらのそれぞれについて述べる。

ろう付け ろう付けはオーステナイト系ステンレス鋼の接合手段として広く使用されている。最も広く使用されている溶加金属はおそらく銀ろう合金である（ただし、これらは、価格的には相当高い）。銀ろう合金には良好な耐食性と、かなり低いろう付け温度での使用が容易というメリットがある。ニッケルろう付け溶加金属（これらの中にはクロムを含有するものもある）は耐食性は銀ろう合金より高いが、銀ろう合金の場合より高いろう付け温度を要する。特殊な用途には、銅ろう付け溶加金属および金ろう付け溶加金属が使用される。溶加金属の選定にあたっては、あらかじめ個々の用途を母材に対するろう付け温度の影響、溶加金属と母材の有害な相互作用の発生可能性、強度および耐食性に関して査定しておく必要がある。

はんだ付け すべてのステンレス鋼はかなり容易にはんだ付けすることができるが、チタン安定化された鋼種に関しては問題が発生することがある。通常は鉛-すずはんだまたはすず-銀が使用される。保護酸化層はフラックスによる除去が可能でなければならない。すべてのはんだは耐食性および強度が母材より大幅に低い。

機械的接合方法 ステンレス鋼に使用される機械的接合方法の主なものとしては、ボルト接合、ネジ接合、リベット接合、折り曲げ接合（clinchng）、シーム継ぎ（lock seaming）および接着剤接合が挙げられる。一般にはこれらの接合部はいずれも溶接接合部より強度が低い。さらに形成された隙間の中で腐食が発生することもある。また異なる金属を締結具として使用する場合には、そしてケースによっては、かなり異なるタイプのステンレス合金を締結具として使用する場合にも、ガルバニック腐食を考慮に入れるべきである。アルミニウムおよび亜鉛めっき炭素鋼でつくられた締結具は、ステンレス鋼より耐食性が低い。これらの締結具は、多くの場合はステンレス鋼に対して相対的なその面積の小ささが原因ですぐに腐食し始めることがある。

「ろう付けはオーステナイト系ステンレス鋼の接合手段として広く使用されている。」

本章で使用されている溶加金属の 対照表	
AWS (A5.4)	EN (1600)
308L	19 9 L
309L	23 12 L
309MoL	23 12 2 L
312	29 9
316L	19 12 2 L

第6章

サステイナブル・ニッケル



第6章

サステイナブル・ニッケル

これより以前の章では、設計と機能の要求に関連する冶金学的側面を取り扱ってきた。本章は、それらの要求の持続可能（サステナビリティ）側面に焦点をあて、それらの特性のより広い意味のいくつかを説明する。

個人や社会は、要求を満たすために製品やシステムに投資する。われわれの複雑な時代では、要求は多増で増加していて、それらを満たすための方法は通常いろいろ異なったものである。必要な資源のコストは、それら資源を得るための結果も含めて、地球の供給能力を試している。材料使用の集約度を減らせるような材料はきわめて重要となり、ここでニッケルは貢献する。

材料の効率的な使用は欠くことができない。問題になっている沢山の材料とエネルギーを捨ててしまうような、粗野で無骨なやりかたで需要を大事にする贅沢は、もはや持続可能的ではない。少量のニッケルをステンレス鋼に採用すると、材料とエネルギー必要量を減らし、より軽く、熱く、より効率的で優美な解決を社会ニーズに対し与える。ニッケル存在の有無は、いろいろなどころで環境効率の尺度であり、当にニッケルが環境効率の有利さをだしている。

以下に、二三例しか提示しないが、数千例の中の代表例である。

永続するインフラストラクチャーの構築

強さ もし何かインフラの一部でも、機器の一部でも、より少量の材料で同じ機能をもたらすことができれば、それは進歩である。耐食性と結びついた強さゆえに、ニッケル含有鉄筋は、同一荷重に耐え且つより軽量な手段になりうる。構造中の鋼の重量が少なくなるため、柱に必要なコンクリート量も比例的に低減する。この例では、少量のニッケルが、同じ効用を果たしながら、かなりの量の鉄、セメント、骨材の低減を可能にする。

高耐食性 塩の存在、或いは、重工業が発達している気候的、地理的地域のなかで、少量のニッケル添加は、構造物や製品のライフサイクル全体にわたって資源の使用を大きく減らすことができる。多くの場合、そのことで何倍も製品の寿命は延び、そして妨げられることなく機能は生き延びる。また、製品や機能にもよるが、繰り返される保守や修復の必要性を完全に排除。塗料不要、鉄筋がさびることで起こるコンクリートの剥がれ落ちることによる高価な修繕も不要、遅延（燃料廃棄）はなく、或いは、且つ、変更（燃料使用の増加）もない。加えて、（コンクリートとアスファルトの深さが必要とする）鉄筋を腐食から防ぐカバーも削減される。コンクリートとアスファルトが少ないということは荷重が少ないことを意味し、スリムな柱と梁を可能にし、結果として材料量、重量の低減をもたらす。ニッケル含有ステンレス鋼の使用は、この好循環を可能にする。

サステナビリティ 示唆的な分析によれば、橋や陸橋のライフサイクル全体にわたる物質集約度はニッケル含有ステンレス鋼を使用することで50%ほど削減できることを示している。この評価に至る要素としては、塗料からアスファルトまでの材料の生産、使用、最終廃棄に伴うエネルギーと、ニッケル含有ステンレス鋼の損なわれない品質と価値を持つが故の最終ライフ時に回収されリサイクルされる材料の高い比率を考慮している。この構造の環境への影響が軽減される中であっても、その他の社会的要求に応えうるのは材料（および資金と労働）である。

「より少量の材料で同じ機能をもたらすことができれば、それは進歩である。」

「橋のライフサイクル全体にわたる物質集約度は…50%ほど削減できる。」

第6章

サステナブル・ニッケル

「耐久ステン
レス鋼屋根材
を使用すると
熱バランスが
改善される。」

エネルギー効率の改善

反射性 年間の寒冷期に建屋の中に熱を入れ、暑熱期に熱を出すことは難題である。典型的には、これはエネルギーの使用によって行われてきた。加熱のためのエネルギー、冷却のためのエネルギー、ともに、気候変動と重大な密接関係がある。適正な表面処理と屋根スロープをつけて耐久ステンレス鋼屋根材を使用すると熱バランスが改善される。結果は、屋根が建物の寿命まで長持ちし、100%に近い率でリサイクルされることで、物質集約度が低下し、エネルギー集約度も低下する。



ピッツバーグコンベンションセンター

写真提供: Rafael Vinoly Architects PC

耐食性の向上 カーテン・ウォールや屋根の明白な貢献については既に扱われてきた。しかしながら、その他、材料が少量でも目に見えないところで、効率に多大な寄与がなされた多くの貢献がある。一例は凝縮ガスボイラーである。それらは、入手可能なボイラーのなかでも最もエネルギー効率が高い。90%近い効率であり、この性能はニッケル含有ステンレス鋼熱交換器表面によって可能になっている。この凝縮熱交換断面では、燃焼ガスは水蒸気が凝縮する点まで冷却され、その仕組みで、建屋に追加の熱を放つ。

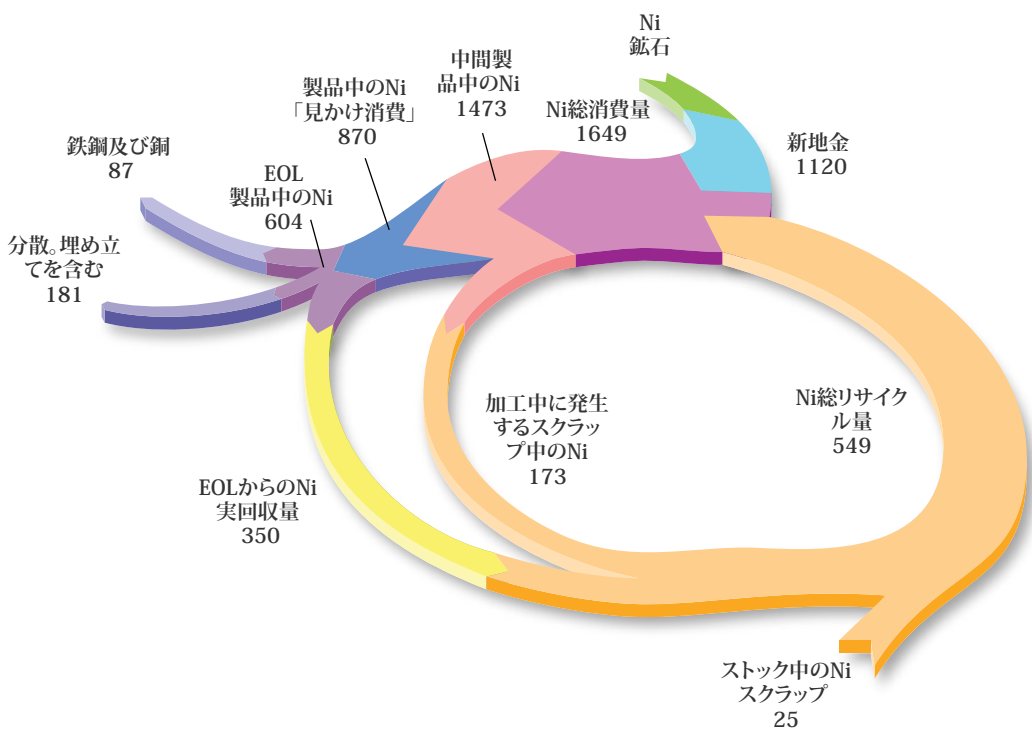
エンドライフでのリサイクル

ほとんど全ての材料はリサイクル可能 エネルギーも含め、リサイクルと回収材料の品質を達成するために必要な努力の量で差異は生じる。金属は、一般的に、この面ではよく実施され、ステンレス鋼はリサイクルに関しては素晴らしい。ニッケル含有スクラップは重要な経済価値をもち、大量収集とスクラップ前処理の産業を維持している。そして、品質の低下もなく、世界平均で60%のリサイクル率で「新」ステンレス鋼の連続生産と拡大生産を可能ならしめている。

汎用60%のリサイクル率というのは冶金学的な限界ではない。問題は供給性にある。ステンレス鋼の需要拡大は、ステンレス鋼を含む製品の寿命の長さと相俟ってスクラップ入手可能性の遅れを意味する。冶金学的には100%は不可能ではない。

リサイクルは物理的に資源を節約する以上のことを成している。それは、エネルギー需要をトン当たり33%、CO₂発生を32%低減している。ステンレス鋼生産におけるスクラップとヴァージン材料との比がスクラップ側に上がっていくにしたがい、エネルギー節減は67%に、CO₂削減は70% [Yale¹] に至る可能性がある。

2000年のニッケルのストックとフロー(単位1,000トン)



「近年、リサイクルがエネルギー需要をトン当たり33%、CO₂発生を32%減少させている。」

現在ニッケルのストックの多くが使用中で、耐久構造、エンジンあるいは配管に使われて、製品のライフサイクルの中でまだ有用な役割を果たしている。

出典：Yale University, 2008

¹Johnson, J. et al, *The energy benefit of stainless steel recycling*, Energy Policy. Vol. 36, Number 1, Jan. 2008, S. 181 ff.

第6章

サステイナブル・ニッケル

責任ある生産と使用

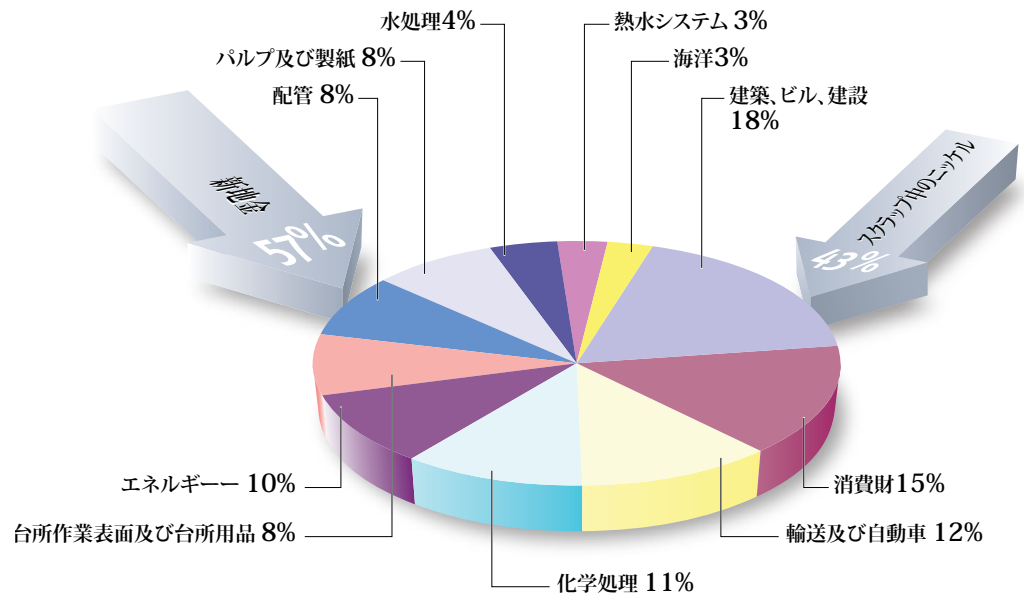
材料とエネルギーの環境効率的な使用を直接的に支えるニッケル生産産業とヴァリュー・チェーンは地球規模のものである。ニッケル産業はどの気候的、地理的地域にも存在し、活動し、それぞれの国の経済に貢献している。

ニッケル産業の経営者は、その事業運営につき責任ある言動をとることをコミットしている。ニッケル産業はさらにヴァリュー・チェーンに、技術と技能の移転、効率の最大化、産業衛生標準と実施の改善、リサイクルの増強、人間の健康と環境についての基礎科学的研究での支援についての約束をしている。

コミットメントはニッケル協会のサステイナブル憲章に集成されており、活動は、公式のプロダクト（マテリアル）・スチュアードシップのプログラムとして、またICMMの会員として、展開されている。

まとめとして、ニッケルの有利性をエンジニアリングや建築上の課題への技術面での解決に使用する理由は沢山ある。同時に、気候変動低減やサステナビリティへのニッケルの貢献は最大化されつつあり、ニッケルそのものも、ニッケル産業を起点とするニッケル・ヴァリュー・チェーンのライフサイクルをとおり責任をもって管理されている。

ニッケルの最終用途



ニッケルの用途は多様である。建築、消費財、輸送及び化学処理用がニッケル総生産量の50%以上を占める。
出典:Pariser, 2007.

「ニッケル含有
ステンレス鋼の
100%リサイク
ルは冶金学的
には不可能で
はない。」

ニッケル含有ステンレス鋼に関する情報源

ニッケル含有ステンレス鋼も含めステンレス鋼については多数の情報源があり、本冊子より詳細なものもある。ここに若干載せる。

ニッケル協会：ステンレス鋼に加えてニッケル合金、銅ニッケル合金、ニッケル含有鉄および鋼、ニッケルめっきの情報を含む最新の入手可能な刊行物のカタログ或いはウェブサイト www.nickelinstitute.org をチェックしてください。

加えて、ニッケル誌にはニッケル使用に関する数多くの記事が載せられ、ウェブサイトでは、多数の過去の刊行物について保管されている。ステンレス鋼についてよく読まれている関連刊行物のいくつかを以下に載せる。

文献番号	タイトル
14056	Stainless Steels: An Introduction to their Metallurgy and Corrosion Resistance
11021	High Performance Stainless Steels
11022	Castings - Stainless Steel and Nickel-base
2980	Engineering Properties of Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steel at Elevated Temperatures
9004	High Temperature Characteristics of Stainless Steels
313	Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steel at Subzero Temperatures
11023	Timeless Stainless Architecture
11024	Stainless Steels in Architecture, Building and Construction
10087	Stainless Steel for Potable Water Treatment Plants
10076	Stainless Steel in Municipal Waste Water Treatment Plants
12010	Stainless Steel in Swimming Pool Buildings
11003	Nickel Stainless Steels for Marine Environments, Natural Waters and Brines
11025	Stainless Steels and Specialty Alloys for Modern Pulp and Paper Mills
10057	Selection and Performance of Stainless Steels and other Nickel-bearing alloys in Sulphuric Acid
10075	Selection and Use of Stainless Steels and Nickel-bearing alloys in Nitric Acid
10063	Selection and Use of Stainless Steels and Nickel-bearing alloys in Organic Acids
10020	Alloys to Resist Chlorine, Hydrogen Chloride and Hydrochloric Acid
10015	Alloy Selection in Wet-Process Phosphoric Acid Plants
10074	Nickel-containing alloys in Hydrofluoric Acid, Hydrogen Fluoride, and Fluorine
10019	Alloy Selection for Caustic Soda Service
10071	Wrought and Cast Heat Resistant Stainless Steels and Nickel Alloys for the Refining and Petrochemical Industries
10073	Corrosion Resistant Alloys in the Oil and gas Industry
14054	Alloys for Marine Fasteners
11007	Guidelines for the Welded Fabrication of Nickel-containing Stainless Steels for Corrosion Resistant Applications
16000	Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels(Publ. by IMOA)
11026	Fabricating Stainless Steels for the Water Industry
10004	Fabrication and Post-fabrication Cleanup of Stainless Steels
10068	Specifying Stainless Steel Surface Treatment

付 録

ISSF (International Stainless Steel Forum) – www.worldstainless.org

ウェブサイトには、健康と環境問題をはじめとしてステンレス鋼の生産と用途に関する情報を掲載。ステンレス鋼専門家コースを提供。他へリンク可能。

多くの国及び地域においてステンレス鋼の適切な使用を専門とする機関がある。英語の主要なものは以下の通り。

EuroInox (European Stainless Steel Development Association) – www.euro-inox.org

多くのヨーロッパ言語で優れた文献を出版。会員はBSSA(British Stainless Steel Association)をはじめとする多様なヨーロッパの需要開発協会。
www.bssa.org.uk

SSINA (Specialty Steel Industry of North America) – www.ssina.com

ASSDA (Australian Stainless Steel Development Association) – www.assda.asn.org

NZSSA (New Zealand Stainless Steel Development Association) – www.hera.org/nz/nzssda/

ISSDA (Indian Stainless Steel Development Association) – www.stainlessindia.org

SASSDA (South African Stainless Steel Development Association) – www.sassda.co.za

その他のステンレス開発協会
Brazil – www.nucleinox.org.br
China – www.cssc.org.cn
Japan – www.jssa.gr.jp
Mexico – www.cendi.org.mx
Thailand – www.tssda.org

その他の協会

IMOA (International Molybdenum Association) – www.imoa.info/

ICDA (International Chromium Development Association) – www.icdachromium.com

本冊子ででてくる合金の組成

組成は注釈がなければ重量%である。

UNS	AISI or common name	EN grade (approx.)	C (max.)	Cr	Ni	Mo	other
300 series Austenitic							
S30100	301	1.4310	0.15	17	7	-	-
S30200	302	1.4319	0.15	18	9	-	-
S30430	302HQ	1.4567	0.10	18	9	-	Cu
S30300	303	1.4305	0.15	18	9	-	S
S30400	304	1.4301	0.08	19	9	-	-
S30403	304L	1.4301	0.03	19	9	-	-
S30409	304H	1.4948	0.10 max. 0.04 min.	19	9	-	-
S30500	305	1.4303	0.12	18	12	-	-
S30900	309	1.4833	0.20	23	13	-	-
S31000	310	1.4841	0.25	25	20	-	-
S31600	316	1.4401	0.08	17	11	2.2	-
S31603	316L	1.4404	0.03	17	11	2.2	-
S31635	316Ti	1.4571	0.03	17	11	2.2	Ti
S31703	317L	1.4438	0.03	19	12	3.2	-
S31726	317LMN	1.4439	0.03	19	15	4.2	N
S32100	321	1.4541	0.08	18	10	-	Ti
S34700	347	1.4550	0.08	18	10	-	Nb
S31254	-	1.4547	0.02	20	18	6.2	N, Cu
S32053	-	-	0.03	23	25	5.5	N
S32654	-	1.4652	0.02	24	22	7.2	N, Cu, Mn
S34565	-	1.4565	0.03	24	17	4.5	N, Mn
N08020	Alloy 20	2.4660	0.06	20	34	2.5	Cu, Nb
N08028	Alloy 28	1.4877	0.03	27	32	3.5	Cu
N08330	330	1.4864	0.08	18	35	-	Si
N08904	904L	1.4539	0.02	20	25	4.5	Cu
200 series Austenitic							
S20100	201	1.4372	0.15	17	4.5	-	Mn
S20153	201LN	-	0.03	17	4.5	-	Mn, N
S20200	202	1.4373	0.15	18	5	-	Mn
Duplex							
S32101	2101	1.4162	0.03	21	1.5	-	Mn, N
S32304	2304	1.4362	0.03	23	4	0.2	N
S32205	2205	1.4462	0.03	22.5	5.5	3.2	N
S32506	-	-	0.03	25	6.5	3.3	N, W
S32750	2507	1.4410	0.03	25	7	4	N
400 series Ferritic							
S40900	409	1.4512	0.08	11	-	-	Ti
S43000	430	1.4016	0.12	17	-	-	-
S44600	446	1.4749	0.20	25	-	-	-
S44800	29-4-2	-	0.010	29	2.2	4	-
400 series Martensitic							
S41003	-	1.4003	0.03	11	0.5	-	-
S41000	410	1.4006	0.15	12	-	-	-
J91450	CA6NM	1.4317	0.06	13	4	0.7	-
Other Types							
S17400	630/17-4PH	1.4542	0.03	17	4	-	Cu, Nb

ニッケル協会海外事務所

Nickel Institute Head Office
55 University Avenue
Suite 1801
Toronto, ON Canada M5J 2H7
Tel: + 1 416 591 7999
Fax: + 1 416 591 7987
ni_toronto@nickelinstitute.org

Nickel Institute Australasia
c/o Australian Stainless Steel Development
Association (ASSDA)
Level 15, 215 Adelaide Street
Brisbane, QLD 4000 Australia
Tel: + 61 7 3220 0722
Fax: + 61 7 3220 0733
ni_australasia@nickelinstitute.org

Nickel Institute China
Room 677, Poly Plaza Office Building
14 Dongzhimen Nandajie
Beijing, China 100027
Tel: + 86 10 6553 3060
Fax: + 86 10 6501 0261
ni_china@nickelinstitute.org

**Nickel Institute
European Technical Information Centre**
The Holloway, Alvechurch
Birmingham, England B48 7QA
Tel: + 44 1527 584 777
Fax: + 44 1527 585 562
birmingham@nickelinstitute.org

European Nickel Industry Association
Sixth Floor
Avenue des Arts 13
Brussels 1210 Belgium
Tel: + 32 2 290 3200
Fax: + 32 2 290 3220
euronickel@euronickel.org

Nickel Institute India
K-36, 1st Floor
Hauz Khas Enclave
(behind Hauz Khas Post Office)
New Delhi 110 016 India
Tel: + 91 11 2686 5631/2686 3389
Fax: + 91 11 2686 3376
nissda@gmail.com
ni_india@nickelinstitute.org

Nickel Institute Korea
B-1001, Kumho Richensia
Yeouido-dong, Yeongdeungpo-gu
Seoul 150 947 South Korea
Tel/Fax: + 82 2 786 5668
ni_korea@nickelinstitute.org

Nickel Institute Brazil
c/o ICZ-Instituto de Metais Não Ferrosos
Av. Angélica, 2118, conj 93
Higienópolis
São Paulo – SP Brasil
CEP 01228-000
Tel/Fax: + 55 11 3214 1311
Fax: + 55 11 3214 0709
douglas.dallemule@icz.br

Nickel Institute Japan
Shimbashi Sumitomo Bldg. 1F
5-11-3, Shimbashi, Minato
Tokyo 105-8716 Japan
Tel: + 81 3 3436 7953
Fax: + 81 3 3436 2132
ni_japan@nickelinstitute.org

**Nickel Producers Environmental Research
Association (NiPERA)**
2605 Meridian Parkway, Suite 200
Durham, NC 27713 U.S.A
Tel: + 1 919 544 7722
Fax: + 919 544 7724
info@nipera.org

Nickel
An Element of Quality

 **Mixed Sources**
Product group from well-managed
forests and other controlled sources
www.fsc.org Cert no. SW-COC-002523
© 1996 Forest Stewardship Council

