

# 教材概要

## 目的

この教材は建築・土木科の教師用教材であり、  
全体、また各章を個別に使用することができる

# 作成：ISSF\*タスク・フォース

## Members:

- Eduardo Carragueiro (Böllinghaus)
- Thiery Cremailh (Schmolz + Bickenbach)
- Bernard Heritier (ISSF)
- Clara Herrera (Deutsche Edelstahl Werke)
- Jun Ishikawa (ISSF)
- Marco Massazza (Cogne Acciai Speciali)
- Thomas Pauly (Euro-Inox)
- Luis Peiro (Acerinox)

\* International Stainless Steel Forum, Avenue de Tervueren 270, B-1150  
Brussels [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)

# 監修：諮問委員会


























## Members:

- Prof. Dinar Camotim (Instituto Superior Técnico , Lisboa, Portugal)
- Prof. Katherine Cashell (Brunel University, London, UK)
- Prof. Christelle Gress (Ecole Nationale d'Architecture, Strasbourg, France)
- Prof. Laura Daglio (Politecnico Milano, Italy)
- Prof. Helmut Hachul (Fachhochschule Dortmund, Germany)
- Prof. Satish Kumar (Indian Institute of Technology, Chennai, India)
- Prof. Satoshi Nara (University of Osaka, Japan)
- Prof. Esther Real (Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain)
- Prof. Barbara Rossi (KU Leuven, Belgium)
- Prof Antonio Santa-Rita (Universi Lusofona ... Lisboa, Portugal)
- Prof. Pedro Vellasco (Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brazil)








# 目次

1. [芸術作品におけるステンレス](#)
2. [A 建築向けのステンレス](#)  
1-外装、2-壁面緑化工法、3-屋根材、4-内装装飾、5-配管、  
6-エスカレーターとエレベーター、7-空港、8-街路備品、  
9-修復、10-アリーナ、11-スイミング・プール  
[B インフラストラクチャー向けのステンレス](#)  
1-給・配水管, 2 - 橋梁 3 - 護岸
3. [なぜステンレスを選ぶのか](#)
4. [ステンレスの特性](#)
5. [ステンレスの耐食性](#)
6. [ステンレスの機械的性質](#)
7. [構造用途 7A-鉄筋棒鋼、7B-鋼板](#)
8. [表面仕上](#)
9. [ステンレスの接合](#)
10. [形状と供給体制](#)
11. [ステンレスのサステナビリティ\(持続可能性\)](#)

# 世界各地のステンレス協会 (情報の無料ダウンロードが可能)






SSDA	Website	Country/Region	Social media
ISSF	<a href="http://worldstainless.org">worldstainless.org</a>	Global	   
Abinox	<a href="http://abinox.org.br">abinox.org.br</a>	Brazil	  
ASSDA	<a href="http://assda.asn.au">assda.asn.au</a>	Australia	  
BSSA	<a href="http://bssa.org.uk">bssa.org.uk</a>	United Kingdom	  
Cedinox	<a href="http://cedinox.es">cedinox.es</a>	Spain	
Centro Inox	<a href="http://centroinox.it">centroinox.it</a>	Italy	
IMINOX	<a href="http://iminox.org.mx">iminox.org.mx</a>	Mexico	  
ISER	<a href="http://edelstahl-rostfrei.de">edelstahl-rostfrei.de</a>	Germany	 
ISSDA	<a href="http://stainlessindia.org">stainlessindia.org</a>	India	  
JSSA	<a href="http://jssa.gr.jp">jssa.gr.jp</a>	Japan	
KOSA	<a href="http://kosa.or.kr">kosa.or.kr</a>	Korea	  

# 世界各地のステンレス協会 (情報の無料ダウンロードが可能)

SSDA	Website	Country/Region	Social media
NZSSDA	<a href="http://nzssda.org.nz">nzssda.org.nz</a>	New Zealand	 
PASDER	<a href="http://turkpasder.com">turkpasder.com</a>	Turkey	
SASSDA	<a href="http://sassda.co.za">sassda.co.za</a>	South Africa	  
SSINA	<a href="http://ssina.com">ssina.com</a>	North America	
CSSC	<a href="http://cssc.org.cn">cssc.org.cn</a>	China	
SSN	<a href="http://stalenierdzewne.pl">stalenierdzewne.pl</a>	Poland	
Swiss Inox	<a href="http://swissinox.ch">swissinox.ch</a>	Switzerland	
TSSDA	<a href="http://tssda.org">tssda.org</a>	Thailand	
USSA	<a href="http://ussa.su">ussa.su</a>	Russia	
ICDA	<a href="http://icdacr.com">icdacr.com</a>	Global	 
IMOA	<a href="http://imoa.info">imoa.info</a>	Global	 
Nickel Institute	<a href="http://nickelinstitute.org">nickelinstitute.org</a>	Global	  

\*Stainless Steel Development Association

# 世界各地のステンレス協会 (情報の無料ダウンロードが可能)

SSDA	Website	Country/Region	Social media
Construiracier	<a href="http://construiracier.fr/tout-sur-lacier/les-aciers-inoxydables/">construiracier.fr/tout-sur-lacier/les-aciers-inoxydables/</a>	France	    
Team Stainless	<a href="http://Stainlessconstruction.com">Stainlessconstruction.com</a>	Global	
Stainless Steel Training Portal	<a href="http://issftraining.org">issftraining.org</a>	Global	

# タスク・フォースから関係者への謝辞

本書の作成にあたりレビューを行って頂いた諮問委員会のメンバーの方々にタスク・フォース一同、心より感謝の意を表します。

またEric Chauveau (Ugitech), Jo Claes (ISSF), Laurent Faivre (Aperam), Thomas Pauly (Euro-Inox)や個々の氏名は差し控えさせていただきますが、他の多くの方々の援助と支援に対して、お礼を申し上げます。

## 注意:

ISSFは本書の情報は技術的に正確だと確信しております。但しISSFは本情報の正確さおよび一般的または個別の使用に適していることを表明または保証するものではありません。本書の情報はその必要性から元来一般的なものですので、個別または一般的に使用する前にまず適切なアドバイスを受けてください。ISSF、そのメンバー、スタッフおよびコンサルタントは本書の情報の使用から生じる一切の損失、損害または損傷に対する法的その他の責任を負いません。



# 建築・土木科講師用 補助教材

## 第1章

## 芸術作品



設置場所:  
ファルキーク  
(スコットランド)  
材料:  
Type316L  
(S31603)  
クラッド鋼  
大きさ:  
高さ 30m  
重量:  
各 300トﾝ  
建造年:  
2013年

## Andy Scott: The Kelpies(ケルピーズ=馬の頭を持つ幻獣) 1,2

Andy Scott:「幻の水馬ケルピーズのオリジナル・コンセプトがこの建造物の芸術的展開の出発点だった。私はこのコンセプトを基に神話的な要素から工業や農業における馬の役割、および当然ながら運河と関連して牽き馬を賛美する社会歴史的モニュメントというもっと現実の馬に近く、現代的な方向に軸足を移していった。」



**設置場所:**  
ブリュッセル  
(ベルギー)  
**使用材料:**  
EN1.4404  
(316L)  
研磨仕上  
**大きさ:**  
高さ 102m  
球径  $\phi$  18m  
**重量:**  
2400ト<sup>ン</sup>  
**建造年:**  
1958年

**設計: A. Waterkeyn 建築家: A. and J. Polak(アトミウム)<sup>3,4</sup>**

アトミウムは、1958年のブリュッセル万博のために建造された。9つの球体は、鉄の単位結晶格子の形状を1,650億倍の大きさを表現している。2004年から2006年まで行われた3年間の改修では、劣化したアルミニウム部はステンレス鋼に置換された。米CNNは、アトミウムを欧州で最も奇妙な建造物と報道している。今日では、アトミウムはブリュッセルの主要観光名所のひとつに数えられている。



**設置場所:**  
セントルイス  
(USA)  
**材料:**  
AISI 304  
クラッド鋼板  
**大きさ:**  
高さ 192m  
**重量:**  
4,164 トン  
**建造年:**  
1965年

## 設計者: E. Saarinen Engineer: H. Bandel: Gateway Arch (ゲートウェイアーチ)<sup>5,6</sup>

米国西部への進出の先駆けとなった開拓者に相応しく、かつ恒久的な公共記念建造物として創られたこの米国Missouri(ミズーリ)州、St Louis (セント・ルイス)のゲートウェイ・アーチは世界で最も高いアーチで、セント・ルイスのシンボルとなっている。総重量は4164トン、このうち803トンにはAISI304のクラッド鋼板が使用されている。



設置場所:  
シカゴ  
(USA)  
材料:  
316  
研磨仕上  
大きさ:  
10m × 20m × 13m  
重量:  
110 トン  
建造年:  
2004年

## Sir Anish Kapoor: Cloud Gate (クラウドゲート)<sup>7,8</sup>

クラウド・ゲートは英国の建築家Anish Kapoorの米国における最初の野外設置作品である。この重さ110トンで楕円形の建造物は高度研磨のステンレス厚板が継ぎ目なく鍛造され、シカゴの有名な高層ビル街とさらに上の雲を映し出している。高さ12 ft.のアーチは建造物の下に作られた凸型の部屋への「門」となっており、観光客は建造物の鏡のような表面を触って、色々な角度から自身の姿が映し出されるのを見ることができる。液体水銀をモチーフとした同建造物はこの種のものでは世界最大級である。



**設置場所:**  
ノルマンディ  
(フランス)  
**材料:**  
2205 & 316L  
**大きさ:**  
高さ 9m  
**建造年:**  
2004年

## Anilore Banon: Les Braves(勇者達) 9 - 11

この記念碑はフランス、Normandy(ノルマンディ)のSt. Laurent-sur-Mer村にあるOmaha Beach(オマハ・ビーチ)と呼ばれる海岸に設置され、D-ディとして知られる1944年6月6日、ノルマンディの海岸で戦死した兵士を記念するものである。ノルマンディ上陸60周年に合わせ2004年6月5日に除幕された。



設置場所:  
オハイオ  
(USA)  
(トレド美術館)  
材料:  
塗装ステンレス  
大きさ:  
各377 x 235 x 245 cm  
建造年:  
2010年

## Jaume Plensa: Mirror I and II(鏡 I & II) 12,13

この作品の基本的コンセプトは対話である。2つの人物像があたかも永遠の、声なき会話を行っているように向かい合っている。タイトルの「鏡」は人物像がお互いに他方の考えや夢を反映する行為を示している。2つの像の間には見学者が立って会話に「参加」するのに十分な空間がある。人物像はアラビア語、中国語、ギリシャ語、ヒンドゥー語、ヘブライ語、日本語、ラテン語およびロシア語からの8つの文字で作られている。作者はこの対話および交流が学習、またより重要な異民族や異文化間の理解の中心的役割を果たすものと考えている。



設置場所：  
ビルバオ  
(スペイン)  
(ゲーゲンハイム博物館)  
材料：  
青銅、大理石  
ステンレス  
大きさ：  
9mx10mx12m  
建造年：  
1999年

## Louise Bourgeois: Maman(ママン) 14

この建造物のタイトル「ママン」は彫刻の中心に見られる躍動的な矛盾を強調している。なぜ蜘蛛なのか？理由は作者によれば「自分の親友は母親であり、彼女は慎重で、賢く、我慢強く、心を落ち着かせ、合理的で、上品で、繊細で、無くてはならず、こぎれいで、かつ蜘蛛のように役に立つ存在だった。また馬鹿げて、詮索好きで、人を困惑さめるような立ち入った質問に答えないことで彼女自身と私を守ってくれた。」





**設置場所:**  
ヘルシンキ  
(フィンランド)  
**材料:**  
ステンレス鋼管  
**大きさ:**  
高さ8.5×長さ10.5m  
×奥行6.5m  
**重量:**  
24トン  
**建造年:**  
1967年

## Eila Hiltunen: Sibelius Monument(シベリウス記念碑) 15

フィンランド、Helsinki(ヘルシンキ)のシベリウス記念碑はフィンランドの作曲家ジャン・シベリウスに捧げられている。重量が約24トンのこの彫刻作品はパイプオルガンに似た波のような形に溶接された600本を超えるステンレス鋼管で作られている



**設置場所:**  
オスロ  
(ノルウェー)  
**材料:**  
ステンレス  
ガラスパネル  
**大きさ**  
12m × 17m × 16m  
**建造年:**  
2010年

## Monica Bonvicini: Hun Ligger (横たわる女性) <sup>16</sup>

水面から12mに位置するオスロ・オペラ・ハウスに隣接したコンクリートのプラットフォーム上に作られ、フィヨルドの海に浮かぶ恒久的な建造物である。この彫刻は汐と風の動きに合わせてその軸上で回転し、水面とその透明な表面からの反射により異なる景観を見ることができる。

**設置場所:**  
エルサレム  
(イスラエル)  
**材料:**  
ステンレス  
研磨仕上  
**大きさ:**  
高さ5m × 直径5m  
**建造年:**  
2010年



## Sir Anish Kapoor: Turning the world upside down (世界を逆さまに) 17

このステンレスの作品は高さ5m、直径5mでエルサレム市全体を空に反転させ、エルサレムの聖なる都市としての精神的重要性を表している。



Location:  
レイキャビク  
(アイスランド)  
材料:  
ステンレス  
大きさ:  
9 m x 18 m x 7 m  
建造年  
1990年

## Jon Gunnar Arnason: Sun Voyager(太陽へのボイジャー) 18

太陽へのボイジャーは太陽のオード、ドリームボートである。本質的に本ボートは未発見の土地の有望性、希望の夢、進歩および自由を含有している。この彫刻作品はアイスランド、Reykjavik(レイキャビク)の中心にある海岸沿いのSabrautに設置されている。



設置場所：  
トレンタムガーデン  
(イギリス)  
材料：  
ステンレスワイヤー

## Robin Wight: Fantasywire (ファンタジーワイヤー) 19

英国の彫刻家Robin Wightは細密に巻かれたステンレス製ワイヤーで風に吹かれた妖精がタンポポ綿毛を掴み、木に掴まって、一見宙に浮いているようなダイナミックな光景を作り出している。同氏は現在、Trentham Gardens (トレンタム・ガーデンズ)にいくつかの作品を展示している。



**設置場所:**  
ヴェルサイユ  
(フランス)  
**材料:**  
ステンレス  
**大きさ:**  
3m x 1.5m x 4m  
**建造年:**  
2009年

## Joana Vasconcelos: Marylin (マリリン) <sup>21</sup>

マリリンは鍋とその蓋を使って作られたエレガントな1足の拡大ハイヒール・サンダルの形をしている。女性の私的な面と公的な面の2つの典型的シンボルである鍋とハイヒール・サンダルとの思いもよらないが自己主張的でもある連想は現代の社会的慣習における女性らしさの変遷を示している。伝統的に女性の家庭的側面を表す鍋を材料に使う社会通念で求められる美とエレガンスの象徴である巨大なハイヒール・サンダルを再現することは女性の二面性——家庭的な面と社会的な面——は相反するとの見方を否認している。従って、表現された物体は女性の二面性の賛美を具現化し、社会規範の破壊による個性の全面的実現を暗示するものとなっている。



**設置場所:**

ツウストラ・グティエレス  
(メキシコ)

**材料:**

塗装ステンレス

**大きさ:**

48m (台座含めると62m)

**重量:**

2,000トﾝ

**建造年:**

2007年

## Architect Jaime Latapi Lopez: Cristo de Chiapas (チアバスの キリスト) 20

「チアパスのキリスト」はキリストの像を際立たせた黄金色の着色ステンレスで覆われた印象的な十字架で、太陽の光を反射して輝く。



設置場所：  
 ニューヨーク  
 (USA)  
 材料：  
 ハイクロムステンレス  
 カラー塗装  
 大きさ：  
 357 x 218 x 121 cm  
 建造年：  
 1994—2007  
 ※5つのうちの一つ

**Jeff Koons: Sacred Heart**  
**Red/Gold …(聖心、赤/黄金) 22**

「…精神のおよび宗教的経験の品位を商業化して低下させることへの  
 厳しい意見…」(ニューヨーク タイムス)







材料:

316L

大きさ:

71 cm x 41 cm x 41 cm

## Gil Bruvel: Dichotomy(二面性) 23

すべての世界を同時に、かつ十分に生きることの複雑さからひらめきを得て、二面性は瞑想し、存在の二面的本質を賛美している。完全に人間であるためにすべてのレベルの生を経験するプロセスを捉えようとする「エネルギーのリボン」で作られたこの彫刻は様々なレベルの存在を統合することの本質的強さと静かな荘厳さを反映している。その結果、この像は清らかで瞑想的な空間に生き、魂と意思、男性と女性、意識と無意識、覚醒と夢想という存在の二面性を完全に包含している。



**設置場所:**  
シャーロット  
ノースカロライナ  
(USA)  
**材料:**  
ステンレス  
**大きさ:**  
高さ8m  
**重量:**  
14ト(ステンレス部)  
**建造年:**  
2011年

## David Černý: Metamorphosis(変形) 24

この建造物は断続的に回転する別個の7つの層で構成され、このため輪切りされたような作品の容貌が作られている。

専用プログラムがこの建造物に埋め込まれたモーターを制御し、演出された各層の連続的動作を生み出している。

各モーターにフィードバック・スイッチが付けられ、各片がどこにあるかをコンピューターが常時把握できるようになっているので全体の連続的動作のなかにランダムな動きも盛り込めるようになっている。

この動作はインターネットを介して作者自身が制御しており、設計の不可欠な一部として機械工学とコンピューターを取り込む同氏の作品の継続的な一部となっている。

彫刻が動くライブのストリーミング・ビデオは[www.metalmorphosis.tv](http://www.metalmorphosis.tv)で見ることができる。



設置場所：  
Atna村（オスロ郊外），  
ノルウェー  
材料：  
316研磨仕上げ  
大きさ：  
全高 10.3m  
全長 11.5m  
重量：  
建造年：  
2015

## Linda Bakke（リンダ・バッケ）：The Big Elk（ヘラジカ）<sup>25</sup>

The Big Elk（ヘラジカ）と名づけられた本作は、ノルウェー人作家、Linda Bakkeにより設計され、ノルウェーのOslo（オスロ）とTrondheim（トロンドハイム）という都市の中間地点にあたるStor-Elvdalという町にあるBjøråa（ビョロア）サービスエリアのピクニックエリアに設置されている。このランドマークは、自身の美しさだけでなく、ドライバーの興味を引き付け、ここで休息をとり、ストレッチをしたりすることで疲労を回復させ、つまりは道路の安全性を高める目的で設置されました。The Big Elkは、動物事故に対する注意喚起をしていると共に、地域の新たなシンボルとなった。製作元である、Sperebanken Hedmark artによると、制作費は200万クローネ（207,000ユーロ）であったという。

<http://lindabakke.webs.com/sculptureskulptur.htm>



設置場所：

パリ、フランス  
Place Augusta  
Holmes (オギュ  
スタ・オルム広  
場)

材料：

ステンレス鋼,  
ガラス・プラス  
チック

大きさ：

重量：

設置年：

2008

## Chen Zhen (陈箴) : La danse de la fontaine émergente (噴水から出現するダンス)<sup>26</sup>

この噴水は、中国系フランス人作家により設計されており、広場の周囲を囲むように地中をうねり動く龍のように設計されている。この龍の肌は透明なため、内部に水が流れていることが分かる。この噴水は3つのパーツから構成されている。不透明な浅浮き彫りの龍が、給水装置の壁から出現し、地中に潜る様子が表現されている。透明な2番目、3番目のパートは、地中をうねる様子が表現されている。内部には加圧された水が流れており、夜間にはライトアップされている。この噴水は1999年にパリ市より発注され、2006年2月6日に完成した。一方、この作家は2000年に他界したが、彼は完成予想図のスケッチを残しており、彼の妻で共同製作者であったXu Min氏により引き継がれ完成させられた。この噴水の制作費、1,200万ユーロの大半は、パリ市、フランス文化省により賄われた。

出展： Wikipediaおよび <https://www.parisladouce.com/2013/03/paris-la-danse-de-la-fontaine-emergente.html>



設置場所：  
バルセロナ、  
スペイン  
材料：  
ステンレス  
鋼  
大きさ：  
全高 38m  
全長 58m  
重量：  
設置年： 1992

## Frank Gehry (フランク・ゲーリー) : The golden fish (金色の魚) <sup>27</sup>

エル・ピックス・ドールは、口を開きうねった形をした魚のメッシュ彫像である。石とステンレス鋼を材料としている。金色（銅）に着色されたステンレス鋼は、地中海の日差しにより輝き、その時の気象条件、太陽の高度により、その姿を変え、この巨大な彫像のオーガニックな姿を強調している。

カタルーニャ語でエル・ピックス・ドールと呼ばれるこの金色の魚は、1992年に開催されたバルセロナ・オリンピックの選手村用に設計された。また、これは高級ホテルであるホテル・アーツとオリンピック・マリーナ付近の海岸線を繋ぐ商業施設のアーケードとしての役割も持っている。バルセロナ市の海岸線において、最も愛され、最も印象的・象徴的なランドマークである。

<http://www.barcelonaturisme.com/wv3/en/page/1232/peix-fish-frank-gehry.html>



設置場所：  
上海、中国  
材料：  
ステンレス鋼  
大きさ：  
全高 8m  
全長 12m  
重量：  
設置年：  
2015

## Zhan Wang (展望) + Atelier Deshaus: Blossom Pavilion (花のパビリオン) 28

このプロジェクトのスタートは、Zhan Wang氏が1995年より取り組んできたRockery (岩) シリーズというステンレス彫刻であった。Atelier Deshaus (アトリエ・デハウス) は、ロック・ガーデンをモデルとしたパビリオンの建造に向け、これらの岩たちを再認識した。6体の細長い形状の岩は、柱として、上に草花が置かれた屋根を指示している。鏡面仕上げの反射する柱は、最も建築構造的に効率的な配置ではなく、ランダムに配置されており、岩場という概念を強調している。

<https://www.archdaily.com/792211/blossom-pavilion-atelier-deshaus/5799b693e58ece81bd00004a-blossom-pavilion-atelier-deshaus-photo>

材料 : ステンレス鋼  
大きさ : 等身大  
重量 : 不明  
設置年 : 不明



## Martin Debenham (マルティン・デベナム) : mermaid 3 (人魚) 29

英国の現代彫刻家、Martin Devenhamは、ファンタジーと自然にインスパイアされたステンレス・ワイヤーによる彫像を制作している。無限の可能性を持つ材料を用いて、複雑なねじれ、曲げ、溶接による表現された印象的な構造は、独創的な作家のワイヤーアートコレクションを特徴づけている。

3次元の線画のように見えるが、彼の傑作は屋外展示用に製作されている。自然環境に展示された際、太陽光の下での輝きにより、それらは神話的な物語を連想させる。この例では、ワイヤーで形づけられたある人魚が、ユリの花咲く池にある岩の上に座っており、今にも泳ぎ出しそうな様子をしている。ワイヤーの織り成す線は、女性の身体の曲線美を表現しており、その流れは人魚のテール部に続いていく。

<https://mymodernmet.com/wire-sculptures-martin-debenham/>



設置場所:

材料:

研磨

着色ステンレス

大きさ:

パネル3枚

各1m×1m

建造年:

2011年

## Robert Gahr: Surge (大波) 30

壁面彫刻。



大きさ:  
高さ2.1m



## Ralfonso Karo: #1 Kinetic Wind Sculpture (動く風の彫刻)<sup>31</sup>

25枚のダイヤモンド型のステンレス片が連結され、自動でバランスを取り、風の中で各々の動きをする。ビデオを見るにはここをクリック(4' :51")。

設置場所: 韓国  
材料: 塗装ステンレス

大きさ:  
273x160x95cm

重量:

設置年:  
2017

NEW 2019!



## Sun Hyuk Kim: Forgotten Memory (忘れられた記憶)<sup>32, 33</sup>

Sun-Hyuk Kim は、自然の中の複雑な根の形状から人間の表現のインスピレーションを受けた。各々の彫像は枝や小さな木を生やしており、人間と植物のハイブリットを表現している。大きなステンレスで作られた彫像は、顔の断面、頭のないボディーや、背中の上の重量に耐えるように地面にかがんでいる様子を表現している。キムのミニマリストな彫像に、我々は自分自身を投影することができる。それらは、脆さを表している。私たちは、望まぬ方向に引きずられたり、成長や変化がもたらす不快さを理解する。しかしながら、この知識が人と人とを結びつけ、さらに人間の経験は膨大で絶えず変化していることを呼び起こす。まるで木のように。

# 更に多数の作品あり!

<http://www.worldstainless.org/applications/art>

他に優れた芸術作品に心当たりがあれば、  
当方までご連絡ください。



# References Art (1/3)

UPDATED  
2019!

1. <http://www.andyscottsculptor.com/>
2. [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Kelpies](http://en.wikipedia.org/wiki/The_Kelpies)
3. <http://atomium.be/>
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Atomium>
5. <http://www.gatewayarch.com/>
6. [http://en.wikipedia.org/wiki/Gateway\\_Arch](http://en.wikipedia.org/wiki/Gateway_Arch)
7. [http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/dca/supp\\_info/millennium\\_park\\_artarchitecture.html](http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/dca/supp_info/millennium_park_artarchitecture.html)
8. [http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_Gate](http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_Gate)
9. <http://saintluciasculpturepark.com/portfolio/ani-lore-banon/>
10. <http://www.war-memorial.net/The-Braves---Les-Braves-1.292>
11. <https://www.youtube.com/watch?v=yHkOQWPZhyM>
12. <https://jaumeplensa.com/works-and-projects/public-space/mirror-2012>
13. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2011/mar/30/jaume-plensa-show-at-yorkshire-sculpture-park>
14. <https://www.theguardian.com/arts/gallery/2007/oct/03/spider>
15. <http://www.eilahiltunen.net/monument.html>

# References Art (2/3)

UPDATED  
2019!

16. <http://monicabonvicini.net/work/she-lies/>
17. <http://anishkapoor.com/111/turning-the-world-upside-down>
18. <https://www.gpsmycity.com/attractions/sun-voyager-28054.html>
19. <http://twistedstifter.com/2014/07/wire-fairy-sculptures-by-robin-wight/>
20. <http://megaconstrucciones.net/?construccion=cristo-chiapas>
21. [http://joanavasconcelos.com/det\\_en.aspx?f=2393&o=933](http://joanavasconcelos.com/det_en.aspx?f=2393&o=933)
22. <http://www.jeffkoons.com/artwork/celebration/sacred-heart>
23. <http://www.bruvel.com/exhibitions/houston-art-fair-2015>
24. <http://twistedstifter.com/2011/10/metalmorphosis-sculpture-david-cerny/>
25. <https://www.dailyscandinavian.com/the-worlds-biggest-elk-statue-in-norway/>
26. <https://www.parisladouce.com/2013/03/paris-la-danse-de-la-fontaine-emergente.html>
27. <http://www.barcelonaturisme.com/wv3/en/page/1232/peix-fish-frank-gehry.html>
28. <https://www.archdaily.com/792211/blossom-pavilion-atelier-deshaus/5799b693e58ece81bd00004a-blossom-pavilion-atelier-deshaus-photo>

# References Art (3/3)



29. <https://mymodernmet.com/wire-sculptures-martin-debenham/>
30. [http://www.gahr-metalart.com/artworks/metal\\_wall\\_art.htm](http://www.gahr-metalart.com/artworks/metal_wall_art.htm)
31. <http://www.ralfonso.com>
32. <https://mymodernmet.com/sun-hyuk-kim-stainless-steel-sculptures/>
33. <https://www.sunhyuk.com/sculpture>

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第2章 用途

# 目次

1. 外装(ファサード)
2. 壁面緑化工法(グリーンファサード)
3. 屋根材
4. 内装装飾
5. 配管
6. エスカレーターとエレベーター
7. 空港
8. 街路備品(ストリートファニチャー)
9. 修復
10. アリーナ
11. スイミングプール

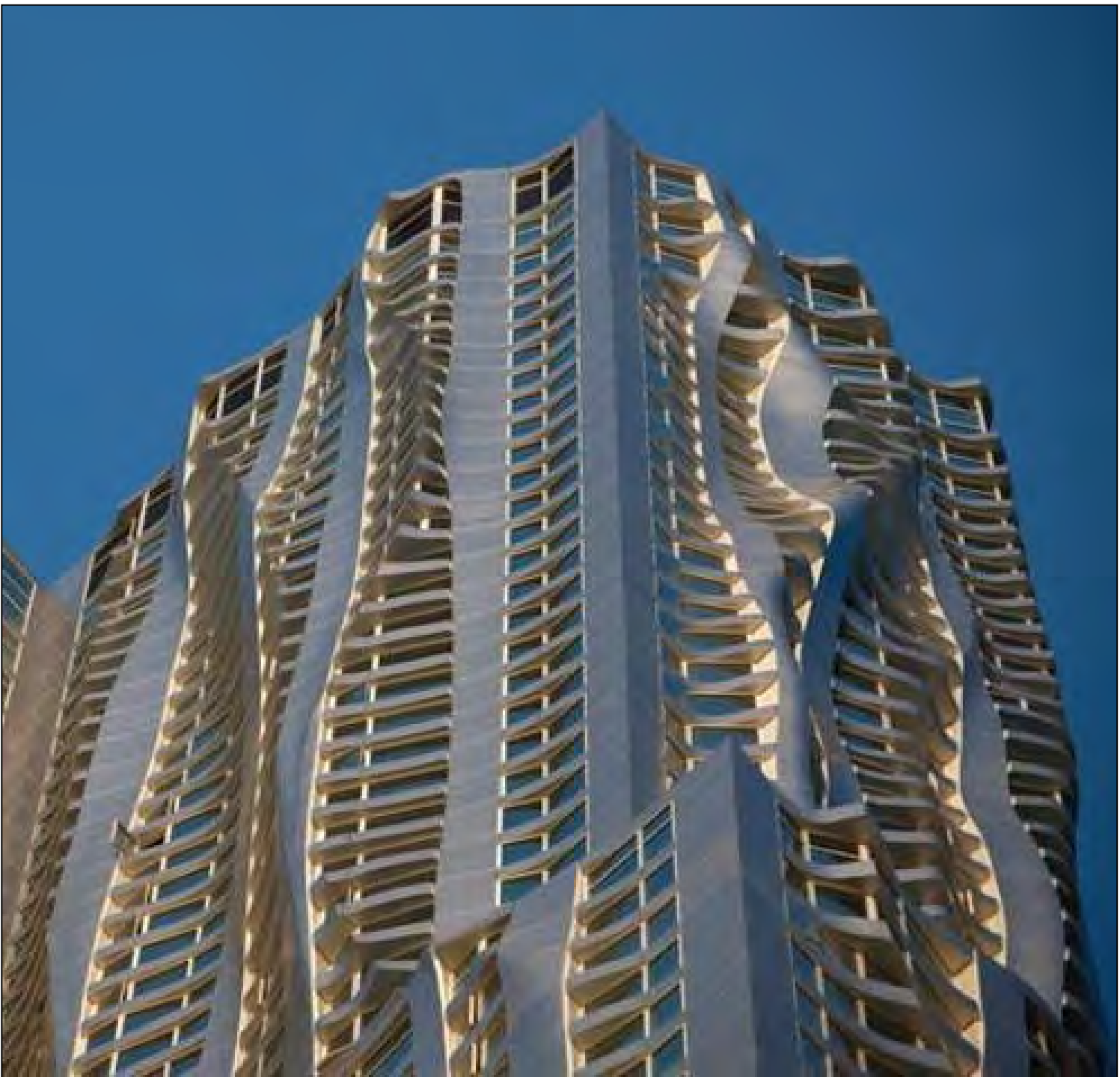


# 1. 外装（ファサード）



左上から時計回り:

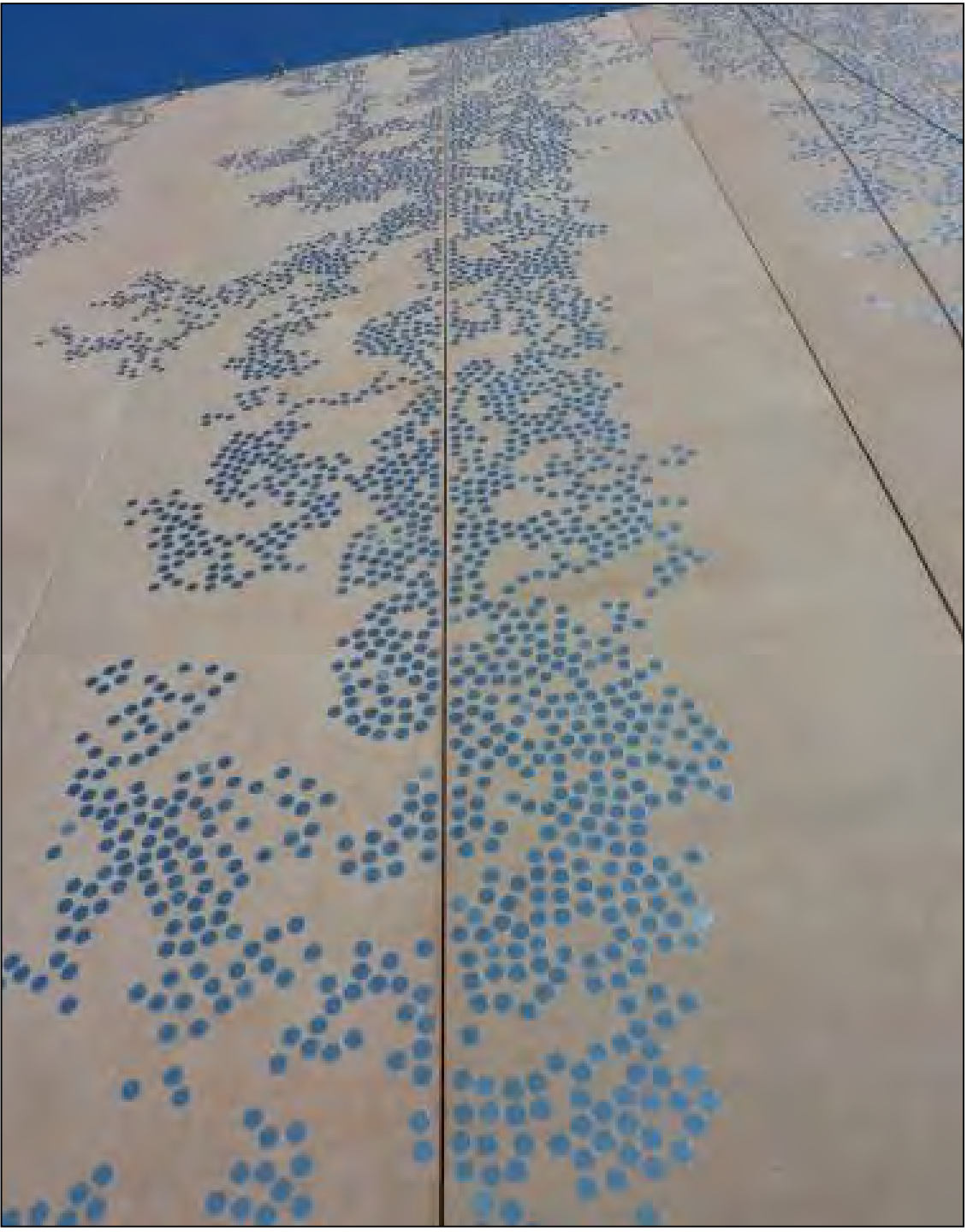
1. オーストラリア ビクトリア: ウエストフィールド・ドンキャスターショッピング・センターのファサード<sup>4</sup>
2. 米国、ワシントン近郊の学校のファサードに使われている日よけステンレス・メッシュ。まぶしい光を遮り、省エネ効果や見晴らしも良くしている<sup>6</sup>
3. 米国 アリゾナ州の中庭のステンレス・メッシュ天蓋、直射日光を遮る一方で空気の流れを確保できる<sup>6</sup>
4. 米国 ラスベガス、Frank Gehry 設計によるルー・ルーボ医療研究センター<sup>5</sup>



ニトーエーグ (USA)

Frank Gehry 設計 設計会社はAon Center 高層ビル285mの

高層アパートのステンレス・ファサード



Bure-Saudron (B-ソーロンドロン51) (フランス)  
公文書保管所のコンクリート壁への  
反射性ステンレス製埋め込み<sup>8)</sup>



ミネアポリス (USA)

F. R. ワイズマン 美術館 (1993) 建築家: Frank Gehry<sup>9</sup>

Gehry:「私は常に建築で一番大事なものは材料だと考えてきた。友達の美術家が材料を直接扱うのを見ていると優れた作品は正当で、本物でかつ好ましく見え、不自然に見えるものではない。」

ワイズマン美術館の材料としてGehryはステンレスを選んだ。ステンレスの輝き、光を反射する一方で非常に耐久性がある表面はこの建物にユニークな特性を与えている。



## カンザス・シティ(USA)

**Kauffman 芸術センター(2011)、建築家: Moshe Safdie; エンジニアリング: Arup<sup>10</sup>**

カンザス・シティの中心街に面するセンターの北側は地上から波のように上昇するステンレスで覆われた一連のアーチ型の壁が特徴となっている。その頂上から曲面ガラスの屋根が南側の低層家屋が多いクロスロード地区に下ってきて、高さ65フィート、幅330フィートのガラスの壁につながり、これにより同センターのBrandmeyer大壁からカンザス・シティの全景が見取れるようになっている。このドラマティックなガラス・ファサードと屋根は弦楽器を連想させる27本の高張力の鉄製ケーブルで固定されている。



ニュープリモス（ニュージーランド）  
レン・ライ・センター、建築家: A. Patterson<sup>11</sup>

高度研磨仕上げのステンレス316を32トン使用して作られた高さ14mのファサード



デリー（インド）

デリー地下鉄公団本社、建築家: Raj Rewal と協力者<sup>12</sup>

建築家: Raj Rewal と協力者はニュー・デリーに在るこのビルの壁をクラッドステンレスで設計し、強化ガラスを間に配置したステンレスパネルとステンレスの鋼管トラスを使用している。





**トレノ（イタリア）  
地域暖房設備、建築家: JP Buffi<sup>13</sup>**

この暖房設備は曲面スクリーンで覆われている。  
赤銅色の着色ステンレス鋼帯が設備を外から見られるように間を空けて配置されている。



## アブダビ（アラブ首長国連邦） キャピタル・ゲート・タワー(2010) RMJM, 建築家<sup>14-16</sup>

19階から落下してくる独特なステンレスの「しぶき」は設計のエレメントであると同時に日光の30%をこのタワーに達する前にカットする遮光装置でもある。「しぶき」はまた直射日光をできるだけタワーに当たらないようにするため南側に曲がっている。

「しぶき」は合計5000 m<sup>2</sup>のステンレス・メッシュに相当する580枚のパネルで作られている。



## ガラス・ファサード<sup>17</sup>

網状に連結されたステンレスのタイバーがガラス・ファサードを支え、角も含めての日の当たるオープンな空間を最大限確保している。



## パリ（フランス） ガラス・ファサード<sup>18</sup>

このガラス・ファサードは軽量・高張力のステンレス構造材で支えられている。後ろに見えるのは“Cite des Sciences et de l'industrie”の一部であるユニークステンレスクラッドを使った360度回転する映画館 <<Geode>>(ジオード=球果)である。



パリ（フランス）  
ガラス・ファサード、パリ<sup>19</sup>



**ユトレヒト（オランダ）  
オフィス・ビルのメッシュ・ファザード<sup>20</sup>  
建築家: Cepezed**

この3000 m<sup>2</sup>のステンレスのメッシュ・ファザードは透明なプラスチックのディスクを支えている。風でメッシュが揺らぎ、ディスクが動くので波と光のように見える効果を作りだしている。



ナント（フランス）  
省エネビル<sup>21</sup>、建築家: FORMA 6 & B. Dacher

複雑なレーザー・カットのステンレス・ファサードはこのビルに優れた景観を与えている。



## ワシントンDC (USA) マックゴウワン・アカデミック・センター、 日よけメッシュ<sup>6</sup>

マックゴウワン・アカデミック・センターは地域短期大学の学級ビルである。

このビルの設計では朝の時間、真東に面したビルの中央に野外換気ファサードの付いたアトリウム・エリアが作られている。

ステンレスの遮光は日中のまぶしさと夏期のスペースを冷房するエアコンの量を減少させている。通常の金属製遮光製品は視界が重要なことから使用できなかった。オープンな空間が十分とれなかったのだ。



# (フランス)Chateau de Rentyillyの改修 22-23



左:改修前  
下:改修後

シャトーの公園に作られた現代美術の建造物  
ファサードは鏡面仕上げのステンレスプレート厚板  
で覆われている。



Xavier Veilhan, (建築家):  
「... このビルは以前の  
面影だけになっていた。  
周りの公園を映し出す壁  
が欲しかった。」



ロンドン（イギリス）  
セント・ガイ病院<sup>24</sup>、建築家: T. Heartherwick

「ボイラー・スイート」はガイ病院に電力を供給するボイラー室を囲うようにデザインされたユニークなファサードである。ステンレスを編んだブレイドで作った108枚凹凸タイルを使ったもので夜間、病院に来るスタッフや訪問者を歓迎する独特の信号として照明が点けられる。



## American Airlines Arena (アメリカン・エアライン・アリーナ), Miami USA (マイアミ・米国)

マイアミのMediamesh®は、LEDライトを搭載した3,400平方フィート(約316m<sup>2</sup>)のハイグレード・ステンレス製メッシュからできおり、これによりアリーナの訪問者は、内側からの眺望を阻害することなく、外側からは魅力的なデジタル・メディア・コンテンツの投影スクリーンとして見ることができる。3階建ての高さ(高さ42フィート/約13m、幅80フィート/約24m)を持つこのマイアミのMediamesh®ファサードは、平均的な広告板の4倍の大きさである。このアリーナはコンサート会場、家族連れ・スポーツイベントなどを開催しており、年間130万人以上の訪問客が訪れている。

# 外装（ファサード）参考サイト（1/2）:

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Facades\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Facades_EN.pdf)
2. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Innovative\\_facades\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Innovative_facades_EN.pdf)
3. <http://www.archiexpo.com/architecture-design-manufacturer/stainless-steel-facade-cladding-2964.html> より多くの事例があります！
4. <http://www.steelcolor.com.au/westfield-doncaster/>
5. <http://wikimapia.org/7695594/Cleveland-Clinic-Lou-Ruvo-Center-for-Brain-Health#/photo/3116187>
6. <http://cambridgearchitectural.com/>
7. <https://newyorkbygehry.com/>
8. <http://archinect.com/firms/project/39353/edf-archives-center/9174600>
9. [http://greatbuildings.com/buildings/Weisman\\_Art\\_Museum.html](http://greatbuildings.com/buildings/Weisman_Art_Museum.html)
10. <http://www.arcspace.com/features/moshe-safdie-/kauffman-center-for-the-performing-arts/>
11. <http://pattersons.com/civic/len-lye-contemporary-art-museum/>
12. [http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/SI\\_Mar08.pdf](http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/SI_Mar08.pdf)
13. <http://www.archilovers.com/projects/30432/centrale-termica-teleriscaldamento-iride-energia.html>
14. <http://www.skyscrapercenter.com/building/capital-gate-tower/3172>

# 外装（ファサード）参考サイト（2/2）:

15. <http://www.dailymail.co.uk/travel/article-1284591/Abu-Dhabi-Capital-Gate-skyscraper-leans-times-Tower-Pisa.html>
16. <http://www.e-architect.co.uk/dubai/capital-gate-abu-dhabi>
17. <http://hda-paris.com/>
18. <https://www.parisinfo.com/musee-monument-paris/71198/La-Geode>
19. [http://issuu.com/hda\\_paris/docs/hda\\_2011\\_references\\_web\\_issu](http://issuu.com/hda_paris/docs/hda_2011_references_web_issu)
20. <http://5osa.tistory.com/entry/Cepezed-and-Ned-Kahn-Studios-Vertical-Canal-fa%C3%A7ade-Utrecht-Netherlands>
21. <http://www.reseaux-artistes.fr/dossiers/beatrice-dacher/architecture-sully-2006-2010>
22. <http://www.marneetgondoire.fr/les-albums-photos/album-photos-490/le-chateau-de-rentilly-renaissance-en-2013-230.html?cHash=d2d475c49fe75ee015495efb35c04460>
23. <http://www.marneetgondoire.fr/le-parc/les-espaces-1705.html>
24. <http://www.dezeen.com/2007/08/20/boiler-suit-by-thomas-heatherwick>
25. [http://www.gkdmediamesh.com/blog/the\\_role\\_of\\_metallic\\_mesh\\_in\\_transforming\\_stadium\\_architecture.html](http://www.gkdmediamesh.com/blog/the_role_of_metallic_mesh_in_transforming_stadium_architecture.html)

## 2. 壁面緑化工法

# 壁面緑化工法について

壁面緑化工法（Green Facade）は最近流行してきた建築要素で居住快適性、温度調整および空気の質の向上などによりビルに多大な恩恵をもたらしている。

ステンレスのケーブル、ロッドやメッシュを使って植物をビルの外装の上に伸ばすことで伝統的な植物が生えた緑の壁の代替にもなる。この様式は軽量で、展望や空気の流れを妨げず、また様々な植物の種類、気候または構造上の条件に対応できる。

既存の建物に緑化工法を後から施工することも簡単にできる。



## 壁面緑化工法 施工例<sup>1</sup>

変圧器建屋、バルセロナ。ステンレスの止め具とケーブルが工場を支えている。





壁面緑化工法 施工例 <sup>1</sup>

# 壁面緑化工法 施工例(アパート用) 2

## (場所を問わず手軽に施工可能)



長所:

- 断熱性の向上
- 防音効果
- 周囲の気温を下げる
- 生態系多様性の強化
- 空気の質の向上（汚染物質の濾過）
- 景観
- 気持ちの落ち着き
- 社会的および経済的な好影響

ステンレス使用

- ケーブル
- アンカー

# 壁面緑化工法 施工例 (アパート用) <sup>2</sup>

自然がどんどん消えていく環境に自然を取り戻す恩恵は非常に明確なことから、持続性のある不動産開発を提唱する目的でオーストラリア政府はGreen Building Council of Australia (GBA)〈オーストラリアグリーンビル協議会〉を発足させた。



## 垂直造園

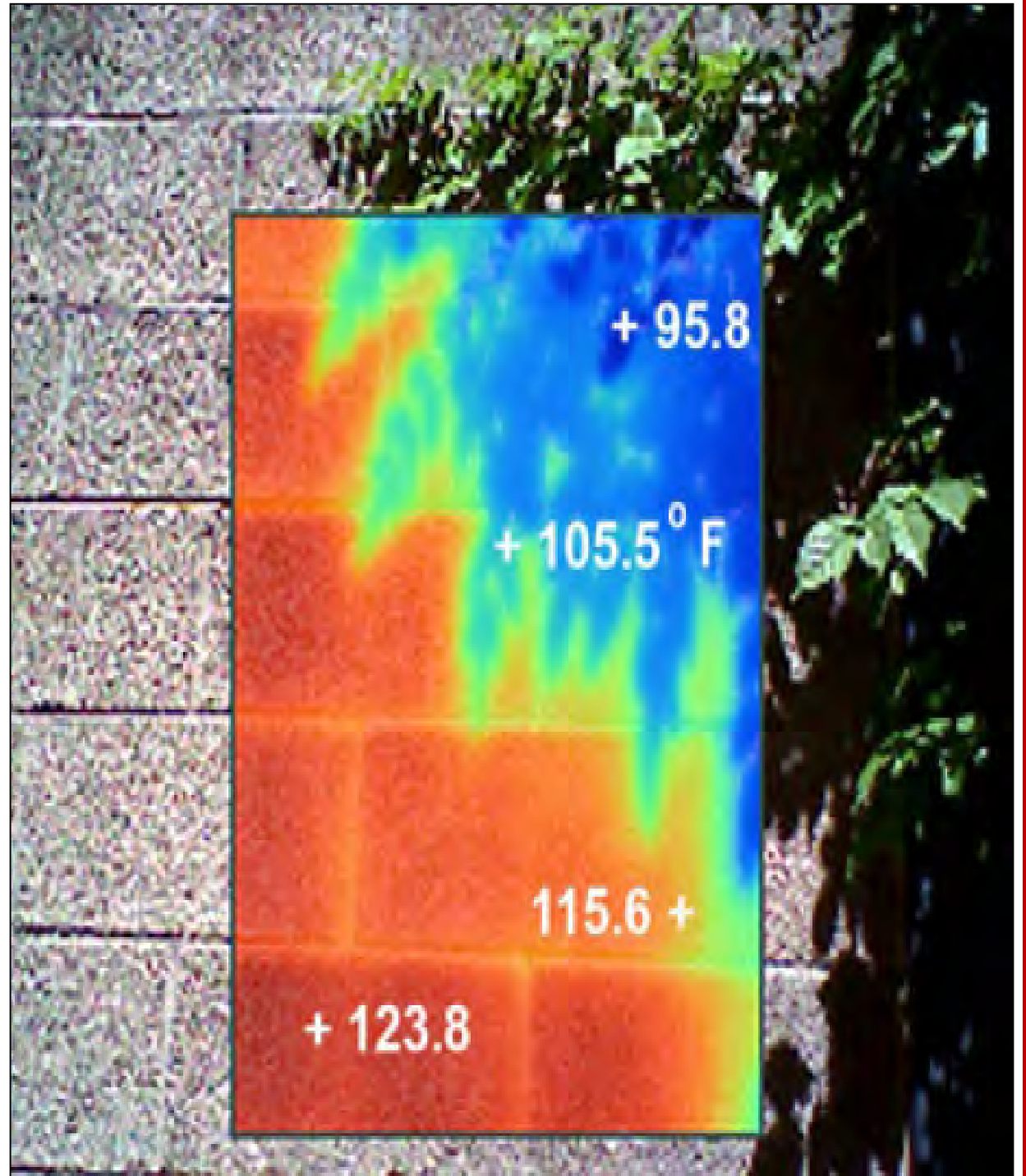
メルボルン市議会館:ステンレスの格子と関連部材が植物の登上に不可欠な建造物となり、かつ硬い熱がこもる表面を揺れ動く垂直な庭園に変えている。





壁面緑化工法 施工例 <sup>3</sup>

テンピ、アリゾナ州  
(USA)  
ビルの表面温度を  
示す赤外線写真<sup>4</sup>  
※温度表示;華氏



# アンカーとケーブル

ステンレスの装置は据え付けが容易である。



# 壁面緑化工法 参考サイト


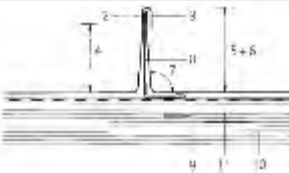
1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/VertGardens\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/VertGardens_EN.pdf)
2. <http://www.ronstantensilearch.com/melbourne-city-council-chambers-northern-green-facade/>
3. <http://www.jakob.co.uk/information/image-galleries/greenwall-systems-gallery/large-scale-greenwall-systems.html>
4. [http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/11291/1/Price\\_umd\\_0117N\\_11876.pdf](http://drum.lib.umd.edu/bitstream/1903/11291/1/Price_umd_0117N_11876.pdf)
5. <http://www.architectureartdesigns.com/30-incredible-green-walls/>



# 3. 屋根材

# ステンレス屋根材の一般的特徴

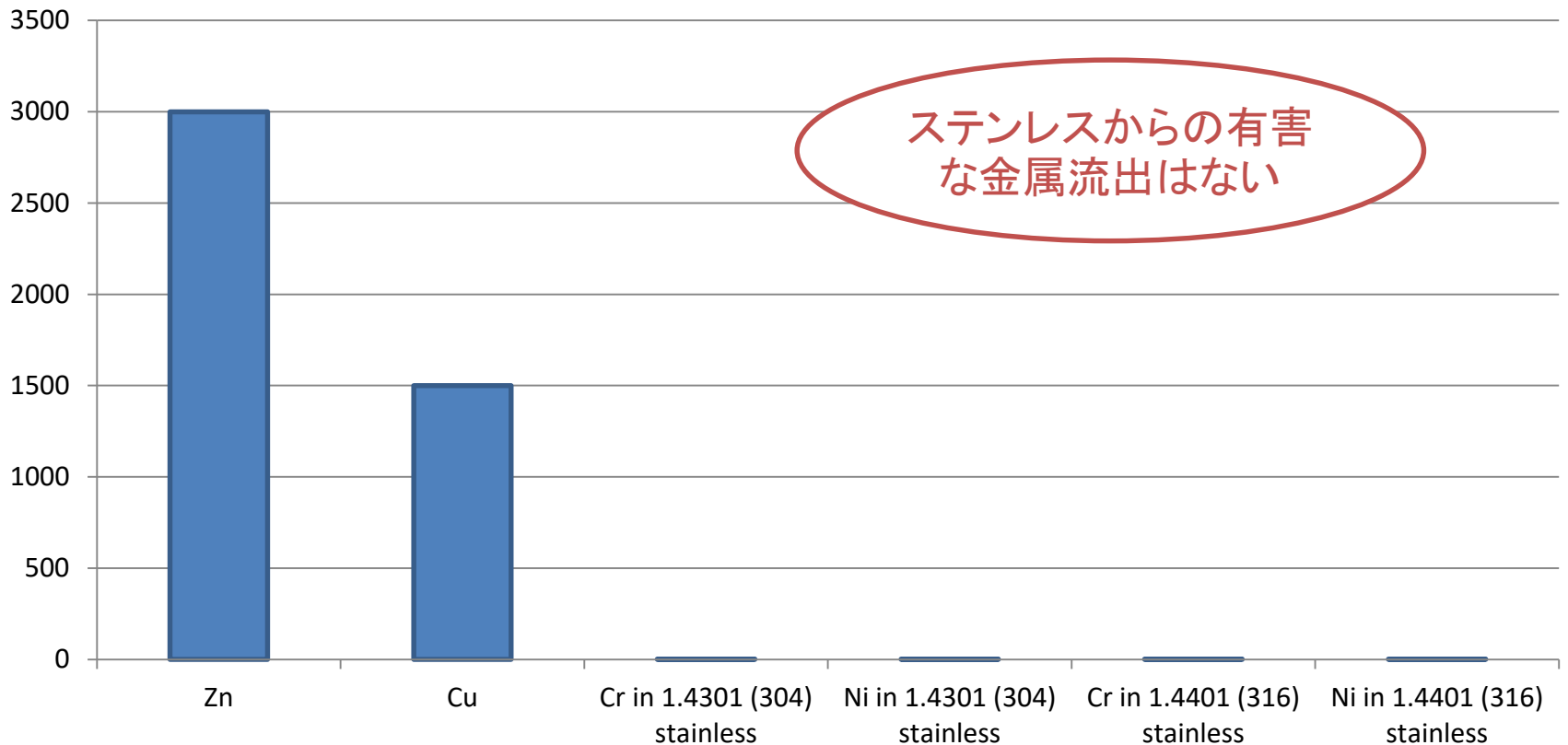
1-4

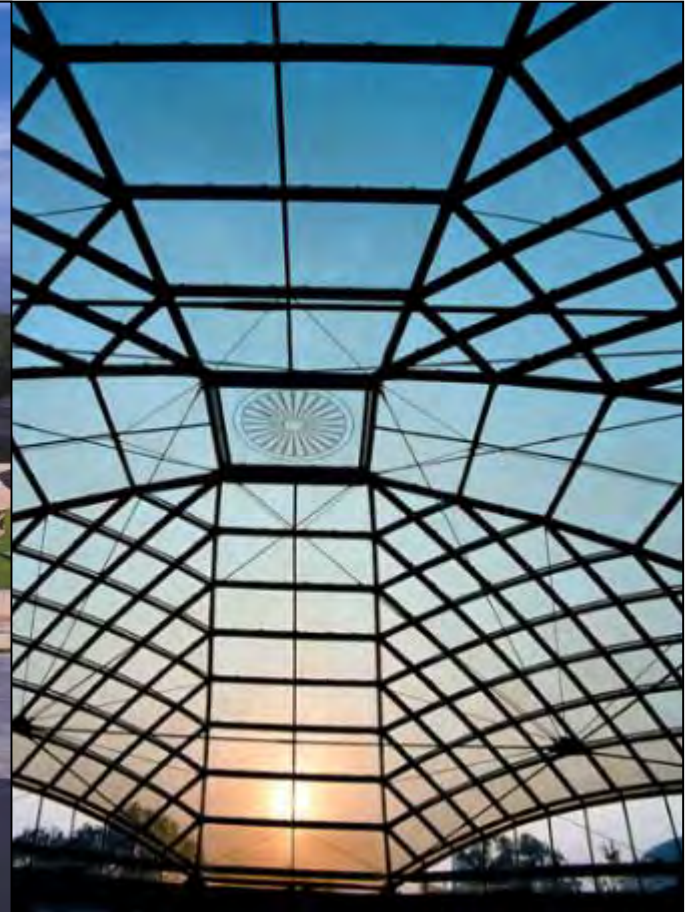
	傾斜(>3%)	平坦面
材料	フェライト鋼 1.4509 1.4510	オーステナイト鋼 1.4301 1.4401
接合	機械的接合	溶接 (防水のため)
		 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ステンレス鋼帯</li> <li>2. 連続シーム溶接</li> <li>3. 折曲部最上部の立点</li> <li>4. シーム溶接までの高さ=約15mm</li> <li>5. 折曲前の接合部の高さ=約30mm</li> <li>6. 折曲後の接合部の高さ=約20mm</li> <li>7. 角度=92°</li> <li>8. 滑り止め具</li> <li>9. ステンレス締め具</li> <li>10. 吸音/保護膜</li> <li>11. 支持材</li> </ol>
表面仕上げ	マットまたはターン・メッキ (Sn)*	マットまたは2B(上塗りがある場合)
板厚	雨水関連部材0.5mm,04mm ー軽量構造にできる	
期待耐用年数	ビルの年数と同じ	
その他	グリーンな屋根に最適、改修の際には瀝青屋根の上に直接設置可能	

\*地域によっては銅と亜鉛は生態面で毒性があり雨水に浸出するとの理由で使用禁止となっている

# 懸念事項：雨水への金属流出<sup>5</sup>

主に北欧にて、水の再利用時の水質に関する懸念を問われる



デリー国会図書館<sup>6-7</sup> 建築家: Raj Rewal Associates

1.左: 議会を背景とした概観

2.右: 中央ドーム

広さ、 $\sim 55,000\text{m}^2$ のこの図書館は議会の景観を損ねないように高さが制限されていた。中央に位置するドームは張力がかかる節点で交わるステンレスの鋼管とケーブルの格子で作られている。VIPドームとして知られているステンレス鋼管が入った2つ目のドームの大きさは直径16m、高さ2.5m.である。



左  
上  
から  
時  
計  
回  
り

1 教会のステンレス屋根 レスター(イギリス)

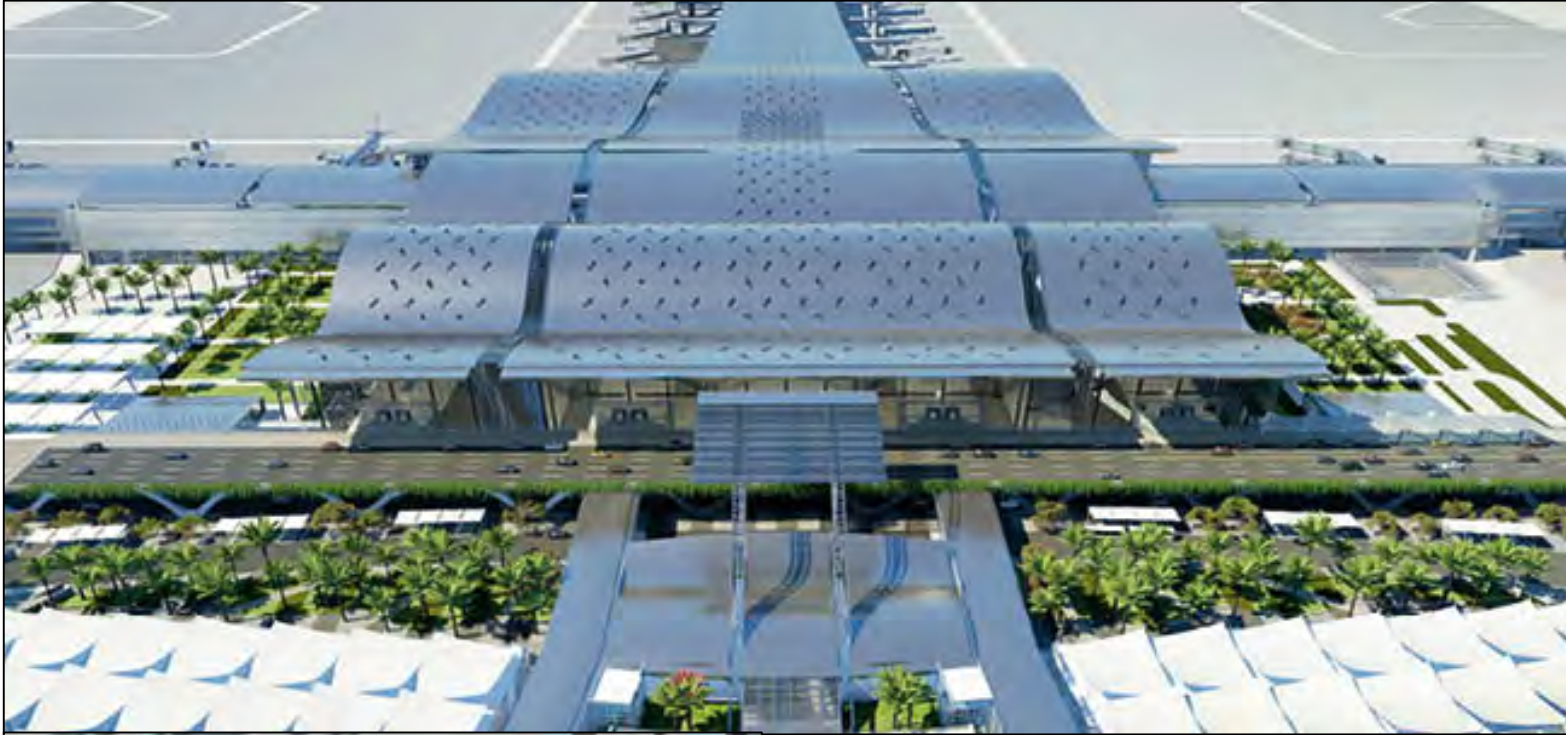
2 大学の科学センター ブレーメン(ドイツ)

1 学校の食堂 オヨナクス(フランス)



## 上海万博のアラブ首長国館<sup>8</sup> 建築家: Foster & Partners

この砂丘のような建物は平坦なステンレスパネルで覆われた三角形の格子で作られている。(利用後の)解体を前提としてデザインされている。

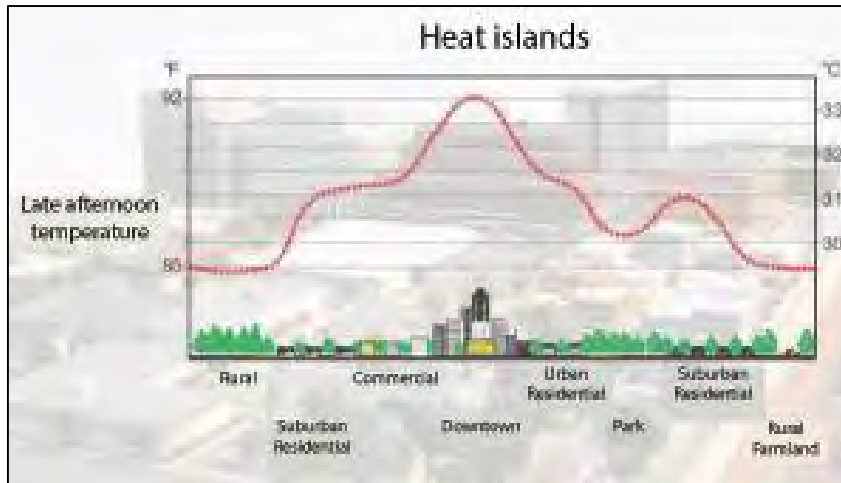
新ドーハ空港, カタール<sup>9-10</sup> 建築家: HOK

この起伏のある屋根は世界最大のステンレスの屋根と言われている(195,000㎡)。無方向性で光沢度が低く満遍なく凹凸の付いたステンレスの仕上げが特徴となっている。

リーン(低合金)二相系ステンレスが採用された。

メンテナンスは不要。

# 緑化屋根<sup>1-4, 11-12</sup>



## 長所

ヒートアイランド現象の緩和

埃の減少

生態系多様性の促進

断熱効果

洪水のリスク低減

防音効果

CO<sub>2</sub>を吸収

景観

気持ちの落ち着き

社会的および経済的な好影響

## 短所

強固な骨組みが必要

適切なノウハウが必要

夏季に水撒きが必要な場合もあり

ある程度のメンテナンスが必要

費用が高い



# 高反射の屋根

ハンツビル、テキサス州 (USA)

オースティン・ホール サム・ヒューストン州立大学 (1851)  
眩しさを押さえ\*, 反射率を高めたステンレスの屋根<sup>11-13</sup>

高反射性 (Albedo) 屋根は都市のヒートアイランド現象を緩和している。  
現在では太陽光反射はLEED (建物の環境性能評価基準) にも含まれている。  
専有仕上げのSRI (太陽光反射率) > 100



Product	Temperature Rise, at C (F)	Solar Reflective Index
Stainless Steel, bare	27 (48 F)	39-60
Galvanized steel, bare	30 (55 F)	46
Aluminum, bare	27 (48 F)	56
Any metal, white coating	9 (16 F)	107
Clay tile, red	32 (5 8F)	36
Concrete tile, red	39 (71 F)	17
Concrete tile, white	12 (21 F)	90
Asphalt, generic white	36 (64 F)	26
Asphalt, generic black	46 (82 F)	1
Wood shingle, brown	37 (67 F)	22
Wood shingle, white	6 (10 F)	106

\*表面は光の反射を拡散させなければならない(つまり鏡のような反射を避ける)。高度研磨材は適さない。

サンブレイカー<sup>15</sup>

## アリゾナ大学医学研究棟とトーマス・キーティング・バイオ研究棟



天蓋型日よけ

オープンな空間が43%のメッシュ: 太陽光を最大限遮る一方でパネルの間の通風を可能にしている。

# 屋根材 参考サイト

1. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Roofing\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Roofing_EN.pdf)
2. [http://ssina.com/download\\_a\\_file/roofing.pdf](http://ssina.com/download_a_file/roofing.pdf)
3. <http://www.worldstainless.org/About%20stainless/videos>
4. <http://www.bssa.org.uk/cms/File/The%20Growing%20Market%20for%20Stainless%20Steel%20Roofing.pdf>
5. O. Wallinder and C. Leygraf ASTM Special Technical Publication N° 1421, 《 Outdoor Atmospheric Corrosion 》 pp 185-199
6. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Parliament\\_Library\\_Building\\_Domes.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Parliament_Library_Building_Domes.pdf)
7. [http://www.architectureweek.com/2003/1022/design\\_1-3.html](http://www.architectureweek.com/2003/1022/design_1-3.html)
8. <http://www.fosterandpartners.com/projects/uae-pavilion-shanghai-expo-2010/>
9. <http://www.hok.com/design/service/engineering/hamad-international-airport/>
10. <https://www.rigidized.com/exteriorscmt.php>
11. a) <http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I.pdf>  
b) <http://www.wbdg.org/resources/cool-metal-roofing>
12. [http://www.constructalia.com/repository/transfer/en/01921518ENLACE\\_PDF.pdf](http://www.constructalia.com/repository/transfer/en/01921518ENLACE_PDF.pdf)
13. <http://www.rigidized.com/saveenergy.php>
14. <http://www.stainlessindia.org/UploadPdf/Dec%202011%20wshop%20Part-I.pdf>
15. [www.cambridgearchitectural.com/](http://www.cambridgearchitectural.com/)

# 4. 内装裝飾



左上から時計回り

- ① 木材とステンレスの階段（場所特定されず）
- ② 曲線ワイヤー・メッシュの天井（ルイジアナ州立大学）
- ③ 透明な部屋の仕切りがあるフィンランドのレストラン
- ④ ドアの取手

フランス銀行  
パリ(フランス)<sup>4</sup>  
建築家: Moati -Riviere

鏡面仕上げ EN 1.4301 (AISI 304)





**地下鉄の駅 L5 El Carmel  
バルセロナ（スペイン）<sup>5</sup>**

ステンレスを編んだメッシュの壁パネル



## バターリャ修道院 ポルトガル<sup>6</sup>

ステンレスメッシュ・カーテン 、 オープン空間:36 %

重量:0.25 kg/m<sup>2</sup> 、 ロッドの直径:φ0.05 mm 、ワイヤーのピッチ:0.13 x 0.13 mm.





## ホーム・カーテン 安全用手すり<sup>7</sup>

ステンレス

オープンな空間: 44%

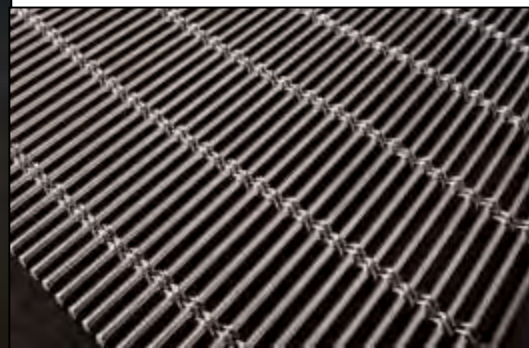
重量: 5,2kg/m<sup>2</sup>

ケーブルの直径: 4 x 0.75mm.

ロッドの直径:  $\phi$  1.5mm.

ケーブルのピッチ: 26.4mm.

ワイヤーのピッチ: 3mm.





現代美術展示館（建設中）  
深圳（中国）<sup>8</sup>  
建築家: CoopHimmelblau

# 内装装飾 参考サイト

1. [http://www.seoic.com/cable\\_railing.htm](http://www.seoic.com/cable_railing.htm)
2. <http://cambridgearchitectural.com/projects/louisiana-state-university-lsu-student-union-theater>
3. <http://www.twentinox.com/projects/item/36/Transparent+stainless+steel+curtain+panels>
4. <http://www.uginox.com/fr/node/180>
5. <http://www.cedinox.es>
6. <http://www.archilovers.com/projects/58425/mosteiro-da-batalha.html>
7. [http://www.theinoxincolor.com/portfolio\\_category/decorative-mesh-projects/](http://www.theinoxincolor.com/portfolio_category/decorative-mesh-projects/)
8. <http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/museum-of-contemporary-art-planning-exhibition>

# 5. 配管



左上から時計回り:

1. サニタリー配管
2. プレス接合チューブ
3. 台所の蛇口
4. 照明付きシャワーヘッド



ステンレスパイプ配管システム

# ステンレス配管 参考サイト

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/PressFittingSystems\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/PressFittingSystems_EN.pdf)
2. [http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/TechnicalLiterature/StainlessSteelPlumbing-color-EN\\_11019\\_.ashx](http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/TechnicalLiterature/StainlessSteelPlumbing-color-EN_11019_.ashx)
3. [https://nickelinstitute.org/library/?opt\\_perpage=20&opt\\_layout=grid&searchTerm=pipes%20for%20buildings&page=1](https://nickelinstitute.org/library/?opt_perpage=20&opt_layout=grid&searchTerm=pipes%20for%20buildings&page=1)
4. <http://www.bssa.org.uk/cms/File/BSSA%20PLUMBING%20P.1-4.pdf>
5. [https://www.grohe.de/de\\_de/badezimmer.html](https://www.grohe.de/de_de/badezimmer.html)

## 6. エスカレーターと エレベーター





左上から時計回り！

① エレベーター(場所特定されず)

② エスカレーター(プラハ)地下鉄

③ 動く歩道(ブリュッセル)地下鉄

# メッシュ・クラッド・エレベーター 3



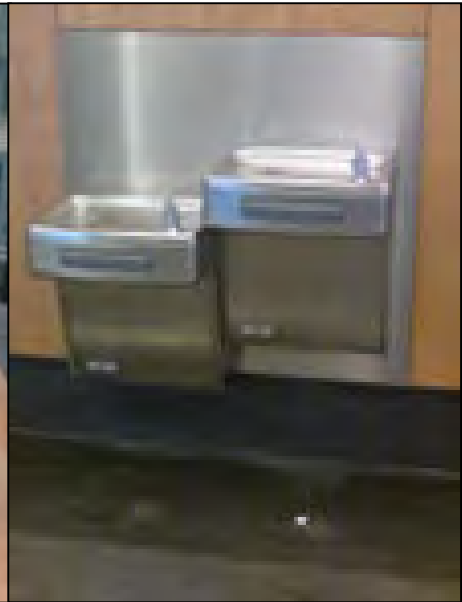


Kraaiennest 地下鉄駅入り口  
アムステルダム（オランダ）<sup>4</sup>

## 6. エスカレーターとエレベーター参考サイト

1. <https://www.forms-surfaces.com/elevator-ceilings>
2. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metro\\_bruxelles\\_la\\_ufband.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metro_bruxelles_la_ufband.jpg)
3. <http://cambridgearchitectural.com/projects/ft-lauderdale-hollywood-international-airport-rental-car-center>
4. <http://www.cabworks.com/>

# 7. 空港



左 上 角 時 計 回 り モ ン ト リ オール 空 港 ( カ ナ ダ )

1. 搭 乗 窓 口 の 手 す り と コ ミ 箱

2. 飲 料 水

3. バ ー カ ウ ン ター と フ ッ ト レ ス ト



左上から時計回り

- 1 手荷物受取場 マニラ空港（フィリピン）
- 2 動く歩道 モントリオール空港（カナダ）
- 3 保護柵 コペンハーゲン空港（デンマーク）

# 空港 参考情報

優れた外観の意匠性を保ちつつ、一年、365日を通じて、一般の人々が利用することが必要とされるため、ステンレス鋼はどのような用途にでも採用されます：

- 屋根
- 都市での公共用具
- カウンター
- 水飲み場
- 換気設備
- 手すり
- エレベーター、エスカレーター、動く歩道
- 手荷物搬送用のコンベア
- 手押しカート
- ファスナー
- その他



# 8. 街路備品

## アーバンファニチャー



左上から時計回り:

1. 学校近くのフェンス。鋼種: STSTS439 / STS304,仕上げ: 2B / HL / 研磨 、 ブندان (韓国)
2. 手すり 鋼種: 316L 仕上げ: 研磨 ギホン (スペイン)
3. 手すり (インド)
4. サウスフェリー地下鉄駅“(見る角度で)分れたり変わったりする” Doug & Mike Starn作 ニューヨーク(USA)



左上から時計回り:

1. ベンチ 鋼種: 304 STS304 、サテン仕上げ 、パウリナ (ブラジル)
2. バタフライ・ベンチ 、サンルイスポトシ (メキシコ)
3. メッシュ織付ベンチ (フランス)
4. ランプ・ポスト鋼種: STS439 / STS304 / STS304N1 、仕上げ: 2B / BA / 研磨 、ソウル(韓国)



左上から時計回り:

1. バス停 鋼種: AISI 304 と AISI 316 、仕上げ: 2B / BA / ブラシ / スコッチ・ブライト、イスタンブール(トルコ)
2. 自転車ラック 鋼種: EN 1.4301 (AISI 304) 、アルベンガ (イタリア)
3. 彫刻《見えざる都市》、ウェリントン (ニュージーランド)
4. Joana Vasconceloのステンレス鍋／蓋製《マリリン》という題名のタイトルの彫刻



# 街路備品 参考サイト

1. <https://www.worldstainless.org/applications/architecture-building-and-construction-applications/street-furniture/>
2. [http://norcor.free.fr/piazza\\_superbe\\_inox.jpg](http://norcor.free.fr/piazza_superbe_inox.jpg)
3. <http://listraveltips.com/wellington-street-art-stainless-steel-braille-sculpture/>

# 9. 修復



左: セント・マーチン・イン・ザ・フィールド教会のステンレス製地下室への入り口  
ロンドン (イギリス)

右: ルーブル美術館のステンレスとガラスのピラミッド  
パリ (フランス)





## 野外オペラ劇場、ベローナ（イタリア）

ベローナのシンボルである偉大なローマ時代の遺跡は1世紀後半まで遡り最も重要な野外オペラ劇場として知られてきた。最近の改修ではオーケストラが座る中央ピットに新しい覆いが付けられ、また地下室と地下の下水道が建設された。「中央大ピット」用の新しい覆いはその構造的性能において屋根の支柱と柱の張力留め棒によって支えられ、これにより作動負荷による歪みや変形を最小限にしている。ステンレス棒鋼を使った張力留め棒は安全、高品質と耐久性を保証している。



## ローマ劇場、 フレジュー(フランス)

野外ローマ劇場の復元使用材料は穿孔加工した  
3mmのEN 1.4571 ステンレス鋼板



# 復元 参考サイト

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/New\\_meets\\_Old\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/New_meets_Old_EN.pdf)

# 10. アリーナ



左上から時計回り

1-3

1 VIPルーム入口階段の手すり      ウェンブリー      (イギリス)

2 回転式の改札      3 ロッカー

4 コロニアル・スタジアムへの歩道橋の天蓋と手すり

メルボルン      (オーストラリア)



## Yamunaスタジアム デリー（インド）<sup>4</sup> 建築家: Peddle Thorb

2010年の英連邦競技大会に際し、ニュー・デリーに多目的スタジアムが建設された。ステンレス・メッシュ製の輝くファサードが付けられたこのスタジアムは現代的で持続性のある人的交流の手段としてのスポーツを象徴している。53%のオープン空間が確保されているステンレス製の壁により見物客は厳しい亜熱帯性気候に曝されることなく、また壁は有効な日よけとなっている。



## Castelãoスタジアム

フォルタレッサ（ブラジル）<sup>5,6</sup> 建築家: Vigliecca & Associados

このスタジアムのファサード全体がステンレスのエキスパンド・シートで作られた。外枠に加え、ステンレスはVIPの出入りする場所のガードレールや手すり、スタジアムのトイレや錠前にも使用された。「我々は耐食性の高い材料が求められるファサードや景観に優れた材料が求められる接待エリアに耐久性の高いステンレスを選んだ」とプロジェクトの責任者、Ronald Fiedlerは語る。



## Allianz Park Palmeirasスタジアム サンパウロ（ブラジル）<sup>7</sup> 建築家: Edo Rocha Arquitetura

これは世界で最も美しい競技場のひとつである。ステンレスがそのファサードにふんだんに使用されている。ステンレス鋼板には孔が開けられており、空気の循環を容易にしている。





## メディア・ファサード, Lille stadiumスタジアム (フランス)<sup>8</sup> 建築家: Valode Pistre and Ferret

ステンレスメッシュ・メディア・ファサード

メッシュが個別にプログラムできる簡単なグラフィックからビデオまでカバーする高出力のLED照明装置を支えている。

# アリーナ 参考サイト

1. [http://www.cmf.co.uk/products/products.asp?id=92&product\\_id=4](http://www.cmf.co.uk/products/products.asp?id=92&product_id=4)
2. <http://www.assda.asn.au/blog/223-stainless-welcome-for-sports-fans>
3. <http://www.controlledaccess.com/>
4. <https://gkd-india.com/metalfabrics/yamuna-sports-stadium>
5. <http://www.vigliacca.com.br/en/projects/castelao-arena#gallery;%20>
6. <http://www.copa2014.gov.br/en/noticia/see-details-castelaos-architecture-project>
7. <http://edorocha.com.br/portfolio/allianz-parque/>
8. <https://www.osram.com/ls/projects/grand-stade-lille/index.jsp>

# 11. スイミングプール



左上から時計回り

1 ステンレス内貼付 競技用プール

2 特注ステンレスの屋上スパ

3 ステンレス製手すり

ビシー(フランス)



## ステンレス製ウォータースライダー

一体型の流線形の足元部には利用者がスライダーにのぼるためのステップがある。頂点部で曲率は緩み、そして反り返るように反転する。コントラストを作り出すため、デザイナーは鏡面研磨仕上げを内面側に採用し、外面側はブラシ仕上げとした。

「研磨仕上げしたステンレス鋼は、晴れた日の日光に照らされてもさほど熱くならない」と英国のデザイナーは語る。「事実、他の金属のように酸化することが無いため、日光や熱エネルギーを反射している。」

# スイミング・プール 参考サイト

1. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/french-pool-liner-article.php>
2. [http://www.constructalia.com/repository/transfer/fr/02163065ENLACE\\_PDF.pdf](http://www.constructalia.com/repository/transfer/fr/02163065ENLACE_PDF.pdf)
3. <http://www.awt-eisleben.de/en/swimming-pools-136.html>

Thank you

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第2章 用途



# 目次

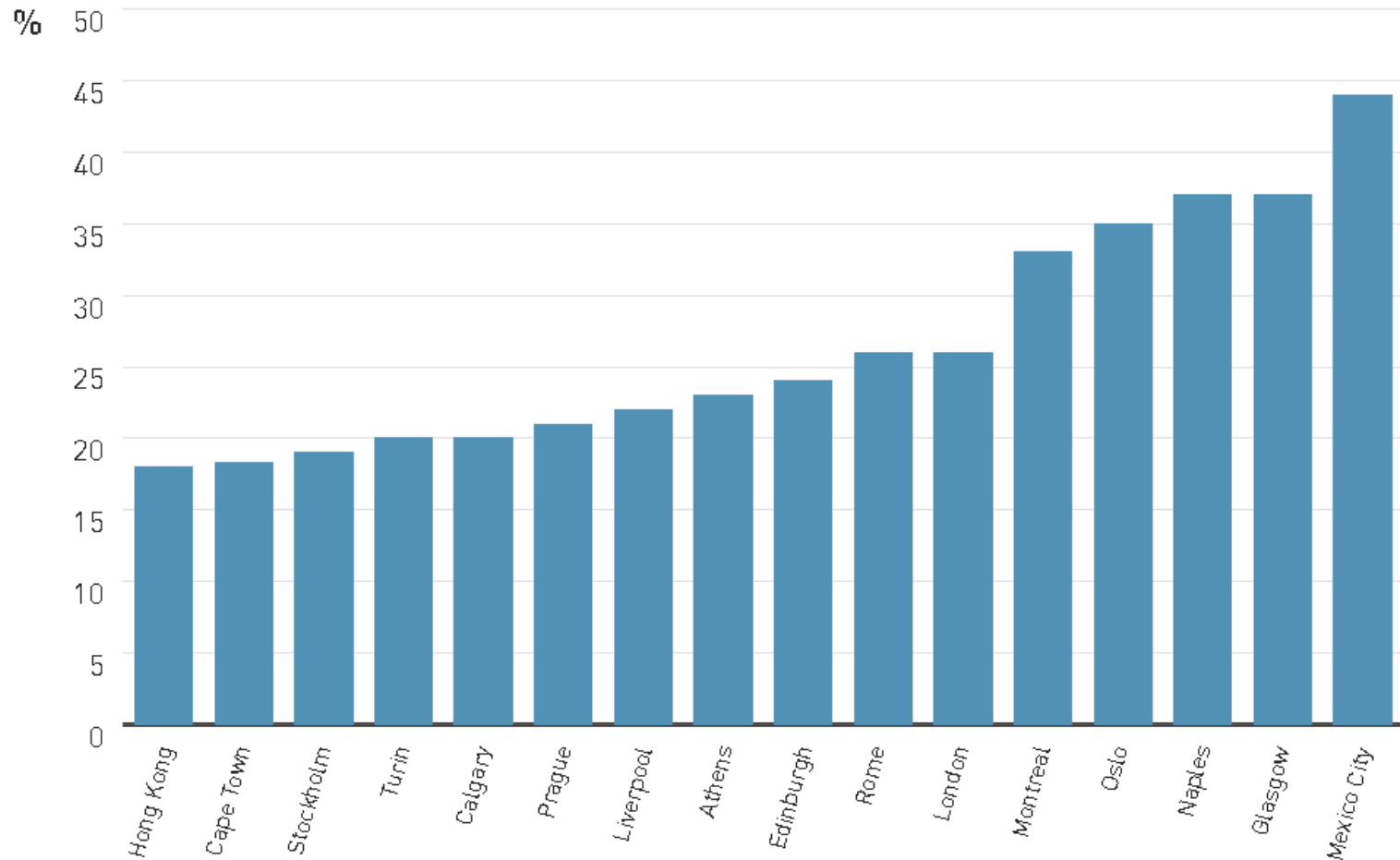
1. 給・配水管
2. 橋梁
3. 護岸

# 1. 給・配水管

# 何故、ステンレス鋼が採用されるのか

- **低漏水率**: ステンレス鋼においては、パイプラインの破損や欠損の主要因である、ダクタイル鋳鉄や炭素鋼のように全面腐食をすることが無い。また、ステンレス製のバルブは固着することが無い。適切な強度設計により、ステンレス製の配管システムは十分な耐震性能を示す。
- **衛生的**: ステンレス鋼は、基本的に水質の管理された飲料水中において不活性であり、飲料水の保管に適している。
- **長寿命化**: ステンレス鋼製品は、その優れた耐食性のため、100年間に渡る寿命が期待される。あらゆる土壌環境でも腐食せず、コーティングや電気化学的防食処理が不要である。
- **リサイクル可能**: セメントライニングや非金属パイプとことなり、ステンレス鋼は容易にリサイクル可能であり、その合金は高く評価される。
- ステンレス鋼は、新規または既存の大型リザーブタンクに使用されている。

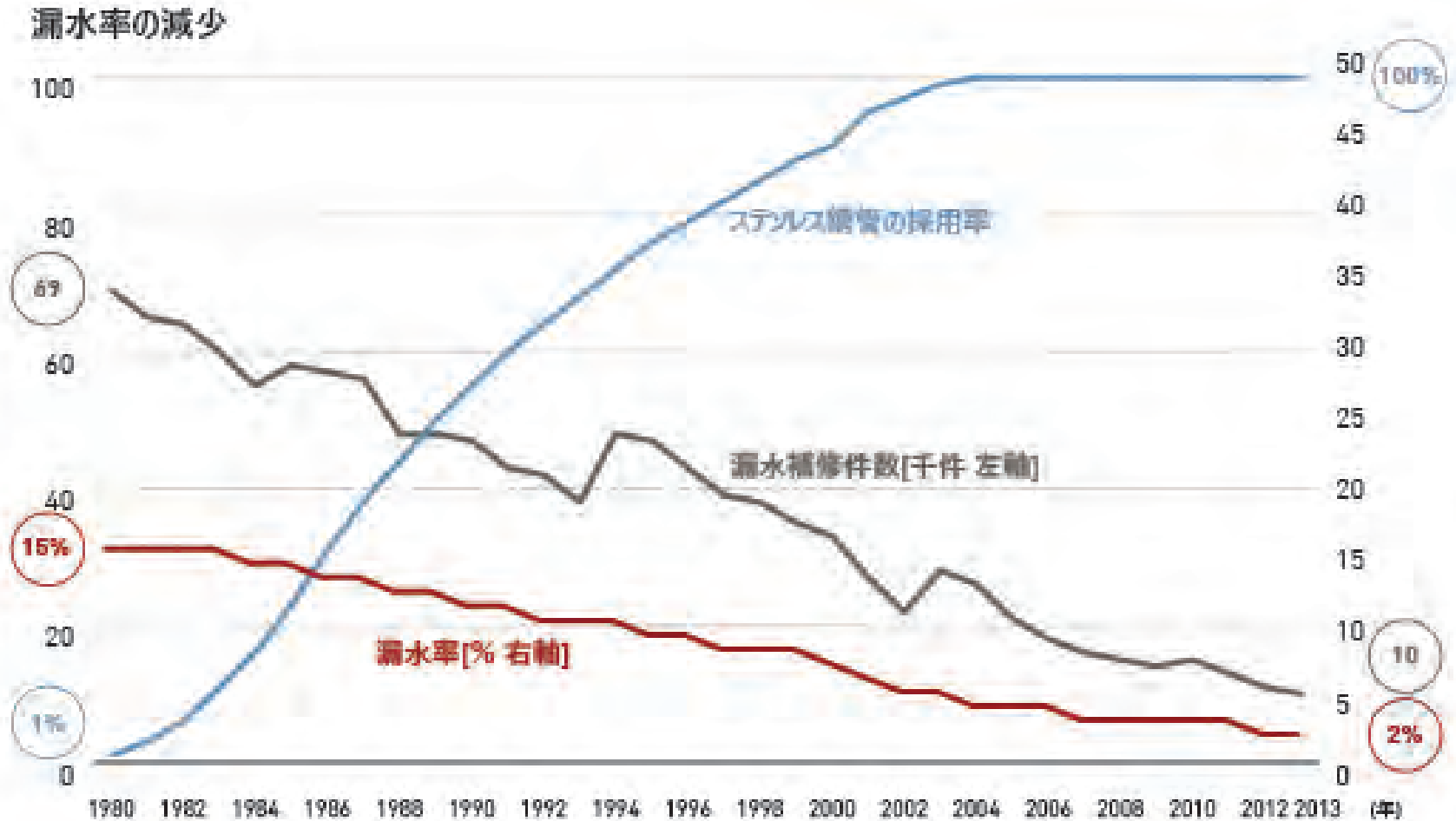
# 主要都市における漏水率(2014年)<sup>1</sup>



Leakage rate in major cities

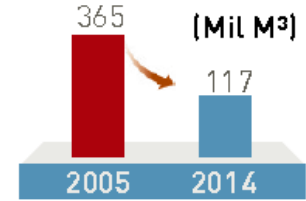
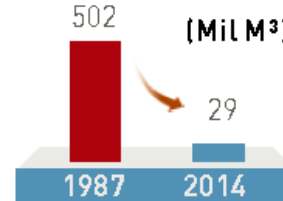
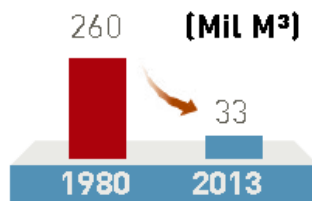
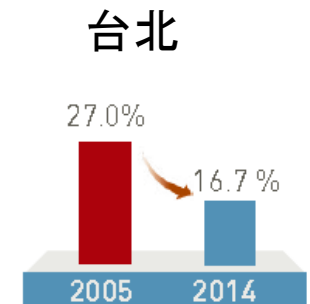
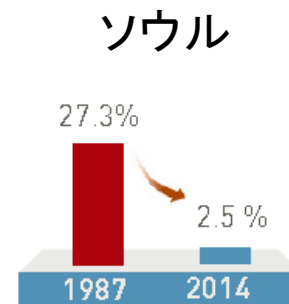
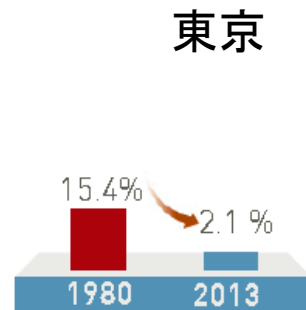
Source: OECD (Water Governance in Cities, 2014)

# 東京都におけるステンレス鋼採用率 と漏水率の減少<sup>1</sup>



# 老朽化した給水管のステンレス鋼への のリプレースによる漏水率の減少<sup>1</sup>

ステンレス鋼採用事業結果 東京、ソウル、台北









# 老朽更新前の貯水槽

## 江陵市(カンヌン) 韓国<sup>2</sup>

写真より、コンクリート部の腐食、経年劣化は明らかであり、これが漏水を引き起こしていた。

エポキシ樹脂によるコーティングは、永続性が無いため検討より除外された。

耐食性、耐久性、メンテナンスフリー、バクテリア成長フリーなどを理由に、ステンレス鋼でのライニングによる改修が採用された。



### 老朽更新前

# ステンレス鋼のライニング後

採用鋼種 二層  
系ステンレス

329LD(韓国規  
格)、SUS329J3L

ステンレスパネ  
ルの溶接接合と  
コンクリートへの  
アンカー固定



老朽更新後

# 給・配水管 参考サイト

1. <http://www.nickelinstitute.org/en/NickelUseInSociety/MaterialsSelectionAndUse/Water/Distribution.aspx>
2. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/Stainless\\_Steel\\_Pipe.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Stainless_Steel_Pipe.pdf)
3. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Cutler\\_water\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Cutler_water_EN.pdf)
4. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_A\\_workable\\_solution.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_A_workable_solution.pdf)
5. Source: POSCO, Korea (<http://www.posco.com>)
6. [https://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Drinking\\_Water\\_Supply.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Drinking_Water_Supply.pdf)
7. <https://worldstainless.org/applications/applications-for-the-protection-of-the-environment-and-human-health/protection-of-water/>
8. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/CorrResist\\_SoilsConcrete\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/CorrResist_SoilsConcrete_EN.pdf)
9. [https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/FieldCorrosionResistanceTestOnStStPipingForBuildingService\\_12012\\_.pdf](https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/FieldCorrosionResistanceTestOnStStPipingForBuildingService_12012_.pdf)
10. <https://worldstainless.org/applications/applications-for-the-protection-of-the-environment-and-human-health/protection-of-water/>

NEW!

## 2. 橋梁

NEW!

## 多くの橋梁が危険な状態

- それらは第二次世界大戦後に建設
- 建築されてから60年以上経過
- 交通量は計画よりも過多
- メンテナンス費用削減を頻繁に実施

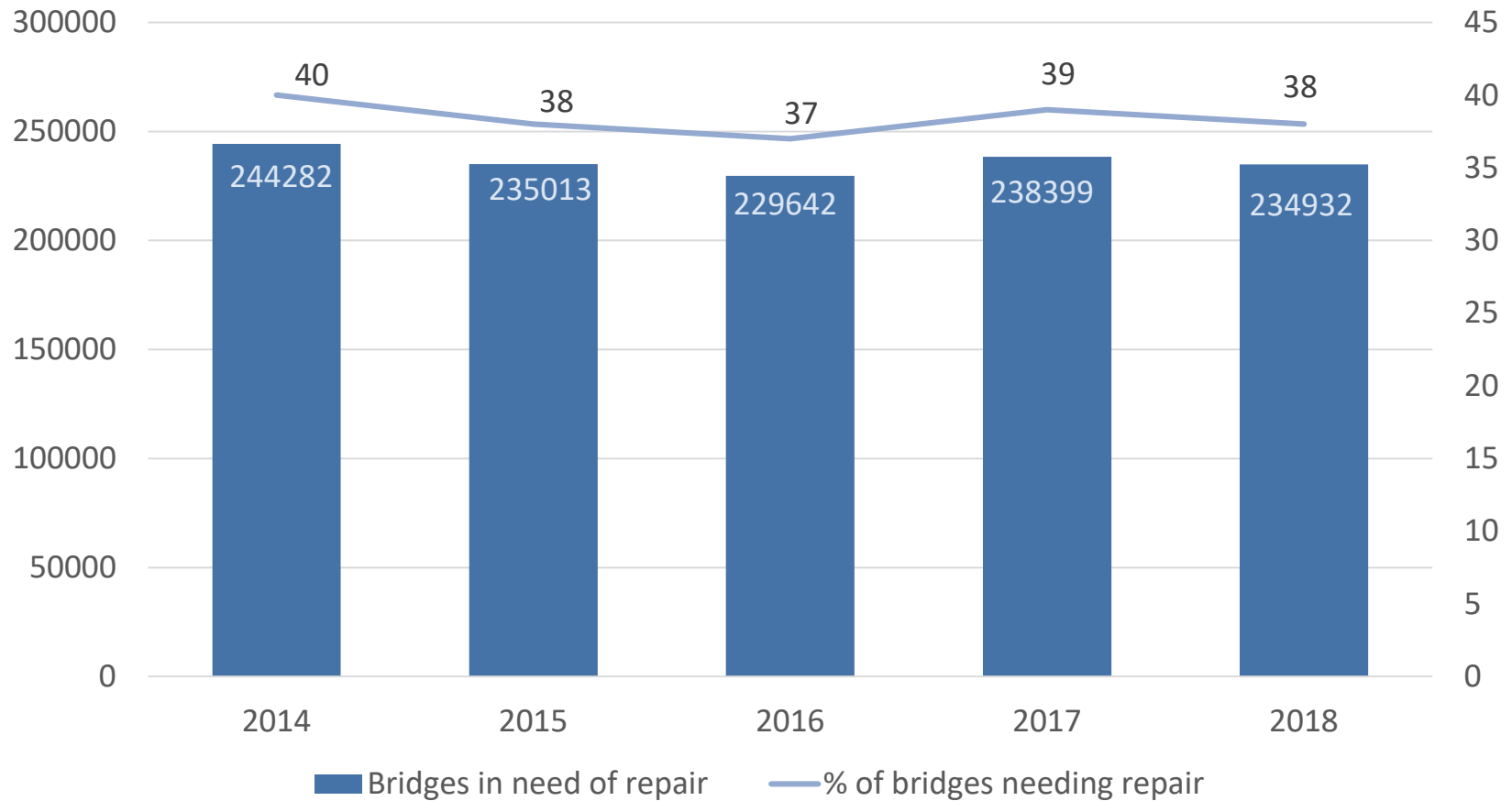
NEW!

# EU諸国の状況

- 全体的な調査報告なし
- 国により事情は異なっている
- ドイツ: 12.5 %の車道橋は良好,  
一方、12.4%危険な状態
- フランス: 最新の調査では1/3が危険な状態
- その他...

# 米国の状況

## 架け替えもしくは修繕が必要な橋梁数 (構造的欠陥含む)



NEW!

# ステンレス橋梁

事例



NEW!

## 香港:ストーンカッター橋

この交通量の多い象徴的な橋は都市部に位置し、熱帯の気象条件、都市の汚染、海霧、風、台風、船による衝撃荷重、地震荷重に耐えるように設計されている。

当時(2009年)、スパン長1 km超の最初の斜張橋であり、120年の寿命が想定されている。

二相鋼ステンレスUNS S32205 (EN1.4462)は、タワーの上部、ケーブルステーの固定部、鉄筋またはタワーの基礎と下部のコンクリート周囲の外皮として使用された。



NEW!



## モンテリオール:シャンプラン橋

旧橋の腐食により2019年に架け替えられた新橋は、 $-25^{\circ}\text{C}$ から $30^{\circ}\text{C}$ までの厳しい気候環境に耐えるよう設計されている。全長3.4km、セントローレンス川をまたがり、年間5,000万台以上の車が通行する。4車線の高速道路、通勤電車の線路、自転車道、観光用の展望台がある。約15000Tのステンレス鋼S32305(EN1.4362)が構造の重要な部分に使用された。

旧橋は1962年に開通し、大規模なメンテナンスにもかかわらず、架け替えが必要になった。新橋の建設費用は約4億2000万CADで、さらに、旧橋の解体費用が4億CADである。

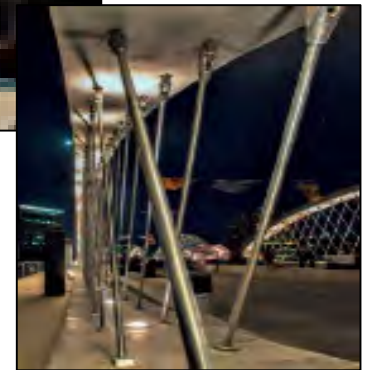
NEW!



## 香港－珠海－マカオ橋

この橋は、3つの斜張橋、6.7 km海底トンネルおよび3つの人工島で構成される50 kmの道路の一部。100年間の寿命を前提に、約200億ドルの建設費用で9年間にわたり建設され、2018年に完成した。1万T超の二相鋼ステンレスが重要部分に使用されている。

NEW!



## テキサス: フォートワース橋

この橋は、12個のプレキャスト部材を使用した世界初のアーチ橋で、2013年に完成した。斬新な特徴は、アーチ橋の上部と下部を接続する耐荷重性アングルバーで、これにより、安定性と構造上の特性が得られている。これらは、二相鋼ステンレス S32205 (EN1.4462) を使用している。全体的なデザインは、構造的に無駄がなく、非常にエレガントで、耐久性を保証している。

NEW!



## Menorca:カラ・ガルダナ橋

このステンレス製の橋は、2005年に炭素鋼のPC構造の橋と架け替えられた。炭素鋼より機械的特性と耐食性に優れている二相鋼S32205 (EN1.4462) が使用された。必要な降伏強度460MPaに対し二相鋼は535MPaの実測値で、一方、炭素鋼の規格値は355Mpaであった。

NEW!



## シンガポール：ヘリックス橋

この全長280mの通路を支えているユニークな二重らせん構造は、二相鋼S32205(EN1.4462)の管と板で作られている。この鋼種は、熱帯海洋環境を踏まえた強度と耐食性により選択された。この橋のライフサイクルコストは、炭素鋼の場合よりも低くなる。夜間の白い照明は、ステンレス鋼の研磨により、より美しく輝いている。

NEW!



## フランス、リヨン

大規模な再開発が行われておりMusée des Confluencesの近くに位置するこの二相鋼ステンレスの人道橋は、ドッグに入る船のための開架式である。エレガントで美的で、メンテナンスは不要である。

NEW!



## ドイツ:トランプ橋

交通量の多いGerlinger Strasseのこの人道橋は、ドイツのDitzingenにあるTRUMPF本社の2つの職場をつないでいる。TRUMPF社レーザー技術で切断された、薄く、丈夫で、耐食性の高い二相鋼S32205 (EN1.4462) が使用され、誰もの記憶に残る大変独創的な形状をしている。これは、二相鋼の実用性を示す例である。



NEW!



## カルフォルニア：サンディエゴハーバー橋

この全長168mの自定式吊橋は、非常に美しい橋である。湾曲したデッキは、傾斜したシングルパイロンに取り付けられたケーブルによって支えられ、非常にシンプルで魅力的なデザインになっている。構造部品、手すり、ケーブル、コネクタに、二相鋼ステンレスS31803と317Lが使用されている。この海洋環境で、想定寿命は100年を超える。

NEW!



## メキシコ:プログレッソ栈橋

写真の左側には、1970年に建設された栈橋の残骸が残っている。海洋環境により、炭素鋼鉄筋が腐食し、構造物が破壊された。写真の右側には、1937年から41年にかけて建設されたメンテナンスフリーの304鉄筋が使用された栈橋で、元の状態のまま現存している。

# 既存の橋梁の状態についての参考

A red rectangular stamp with a double border, tilted slightly to the right, containing the word "NEW!" in bold, black, uppercase letters.

1. <https://www.theguardian.com/world/2018/aug/16/bridges-across-europe-are-in-a-dangerous-state-warn-experts>
2. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/keeping-european-bridges-safe>
3. <https://www.thelocal.de/20180815/bridge-collapse-cannot-be-ruled-out-in-germany-says-expert>
4. [https://www.bast.de/BASt\\_2017/DE/Ingenieurbau/Statistik/statistik-node.html](https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Ingenieurbau/Statistik/statistik-node.html)
5. [https://www.lemonde.fr/securite-routiere/article/2018/08/15/un-pont-sur-trois-a-besoin-de-reparations-sur-les-routes-nationales-francaises-selon-un-rapport\\_5342799\\_1655513.html](https://www.lemonde.fr/securite-routiere/article/2018/08/15/un-pont-sur-trois-a-besoin-de-reparations-sur-les-routes-nationales-francaises-selon-un-rapport_5342799_1655513.html)
6. <https://edition.cnn.com/2019/04/02/us/deficient-bridge-report-2019-trnd/index.html>
7. <https://artbabridgereport.org/>
8. <https://www.infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges/>

# ステンレス鋼の橋梁についての参考

NEW!

1. IMO A web publication “Stainless steel in Vehicular, rail and pedestrian bridges” (March 2018) <https://www.imoa.info/stainless-solutions/archive/37/Vehicular-rail-and-pedestrian-bridges.php>
2. C Houska “More on duplex stainless steel and bridges “, The construction specifier, (May015) <https://www.constructionspecifier.com/duplex-bridges/>
3. EU Publication report “Application of duplex stainless steel for welded bridge construction in an aggressive environment”, (march 2009), ISBN 978-92-79-09948-9 <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ec2748d4-3269-43cd-9a34-3a0e1fba4e23/language-en/format-PDF/source-79161265>
4. Euro Inox publication « Pedestrian bridges in stainless steel » ISBN 2 87997 084 9 <https://www.bssa.org.uk/cms/File/Euro%20Inox%20Publications/Pedestrian%20Bridges.pdf>
5. N. Baddoo and A. Kosmač “Sustainable Duplex Sainless Steel bridges” Euro Inox publication [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable Duplex Stainless Steel Bridges.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable_Duplex_Stainless_Steel_Bridges.pdf)
6. “San Diego’s new harbor bridge sails onto the skyline” MolyReview, (June2012) <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

NEW!

# ステンレス鋼の橋梁についての参考

7. K F. Hansen, L. Lauge and S. Kite: “Stonecuttes bridge –Detailed design” (January 2004)  
DOI: 10.2749/222137804796291719  
[https://www.researchgate.net/publication/233611421\\_Stonecutters\\_Bridge\\_-\\_Detailed\\_Design/link/59ce24d3aca272b0ec1a4b34/download](https://www.researchgate.net/publication/233611421_Stonecutters_Bridge_-_Detailed_Design/link/59ce24d3aca272b0ec1a4b34/download)
8. Steel Construction Institute publication : “Stonecutters bridge Towers”(2010)  
[www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters\\_Bridge\\_Case\\_Study-2.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters_Bridge_Case_Study-2.pdf)
9. [G. Gedge](#): “Use of duplex stainless steel plate for durable bridge construction” (January 2007) DOI: 10.2749/222137807796119771  
[https://www.researchgate.net/publication/233632633\\_Use\\_of\\_Duplex\\_Stainless\\_Steel\\_Plate\\_for\\_Durable\\_Bridge\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/233632633_Use_of_Duplex_Stainless_Steel_Plate_for_Durable_Bridge_Construction)
10. Champlain bridge, Montreal Nickel Institute magazine, Vol. 34, N°2, (2019)  
<https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol34-no2-2019/?lang=English&p=6>
11. Champlain bridge, Montreal Stainless Steel World online, 05 January 2016  
<http://www.stainless-steel-world.net/news/58262/nas-to-supply-stainless-steel-bar.html>
12. Hong-Kong Macau bridge ISSF Publication: “Stainless steel in Infrastructure”  
[http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Infrastructure\\_English.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Infrastructure_English.pdf)

# ステンレス鋼の橋梁についての参考

NEW!

13. Hong-Kong Macau bridge  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Hong\\_Kong%E2%80%93Zhuhai%E2%80%93Macau\\_Bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Hong_Kong%E2%80%93Zhuhai%E2%80%93Macau_Bridge)
14. IMOA publication “[Innovative bridge at Ft Worth, Texas](#)” Moly-Review 1/2018  
<https://www.imoa.info/molybdenum-media-centre/downloads/>
15. Steel Construction Institute publication: “Cala Galdana Bridge” (2010)  
[http://www.worldstainless.org/architecture\\_building\\_and\\_construction\\_applications/structural\\_applications](http://www.worldstainless.org/architecture_building_and_construction_applications/structural_applications)
16. Railways Bridges in India <https://www.apnnews.com/pamban-to-become-indias-first-railway-bridge-to-use-stainless-steel-structurals/>
17. Steel Construction Institute publication: “Helix Pedestrian Bridge” (2011)  
[http://worldstainless.org/architecture\\_building\\_and\\_construction\\_applications/structural\\_applications](http://worldstainless.org/architecture_building_and_construction_applications/structural_applications)
18. ISSF Publication: Bascule pedestrian bridge in “Stainless steel as an architectural material”  
[http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_as\\_an\\_Architectural\\_Material.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_as_an_Architectural_Material.pdf)
19. Trumpf bridge <https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2018/case-pedestrian-bridge-at-trumpf-headquarters>
20. IMOA Publication “San Diego’s new harbor bridge sails onto the skyline” MolyReview, (June2012)  
<https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

NEW!

### 3. 護岸

世界の人口の37%は、海岸線から  
100km以内で生活している

NEW!

# 気候変更と沿岸部

## いくつかの事実

- 海洋は年間約3mm上昇し、しかも戻らない。いくつかの場所ではすでに洪水被害が発生。
- 沿岸部の被害を伴う異常気象がより頻繁に発生(クラス5のハリケーン、スーパー台風等)。
- 沿岸部の生態系に大きな変化が発生。
- 人口や人類の活動は、多大な人的および経済的負担に脅かされている。



# 洪水 (南西フランス)

NEW!



# 沿岸被害 (場所不詳)

NEW!



NEW!

# 沿岸部での対策例

- 防災移転 (e.g. 移動可能構造物, 内陸洪水対策、洪水警報システム)
- 住宅地 (e.g. 貯水地の整備, 堤防管理, 雨/排水管理)
- 護岸 (海岸養生等のソフト技術や防潮堤/護岸/水制等のハード技術等、海岸線保護のための広範な技術を含む)

NEW!

# ステンレス鋼を使用した 護岸構造の例

NEW!



## 英国、クローマー:防潮堤

クローマーは、ビクトリア朝時代からの美しい北ノーフォークの海岸リゾート。護岸は、コンクリート製の防潮堤と木製の水制により行われている。

2013年の暴風の後、護岸の維持だけでなく、今後100年間に予測される海面上昇のため、大規模で高コストの修繕を実施する必要があった。

このプロジェクトでは、300T超の二相鋼ステンレスS32304(EN1.4362)の鉄筋が使用された。

# フランス、バイヨンヌ：防波堤

NEW!

1960年代に建設された防波堤は、バイヨンヌ港の港口を暴風から保護している。それは、重荷重クレーンでも十分な幅と強度を持つ堤防を備えている。そのクレーンにより、海側にある40T消波コンクリートブロックを摩耗時に交換する。

堤防に亀裂が生じ始めた段階で、高強度の二相鋼ステンレスS32205 (EN1.4462) 鉄筋 (降伏強度 750Mpa min) を使用し補修され、使用量を大幅に削減できた。最終的に、必要な鉄筋は130トンのみであった。



NEW!

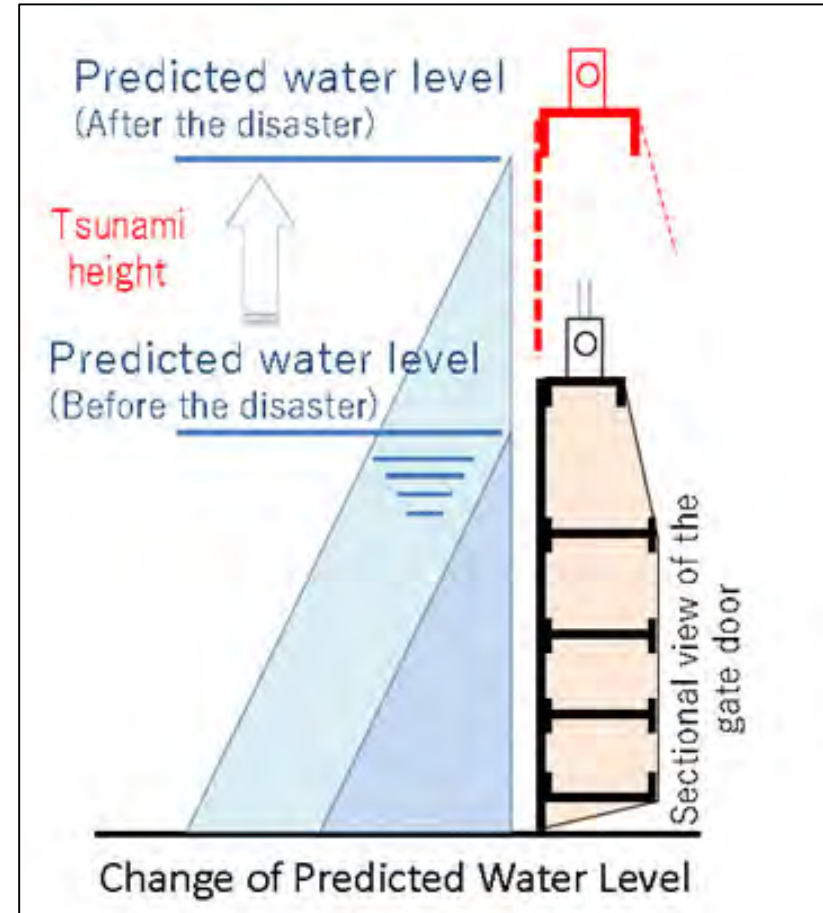
# 日本での安全対策

## 災害復興と国土強靱化への貢献

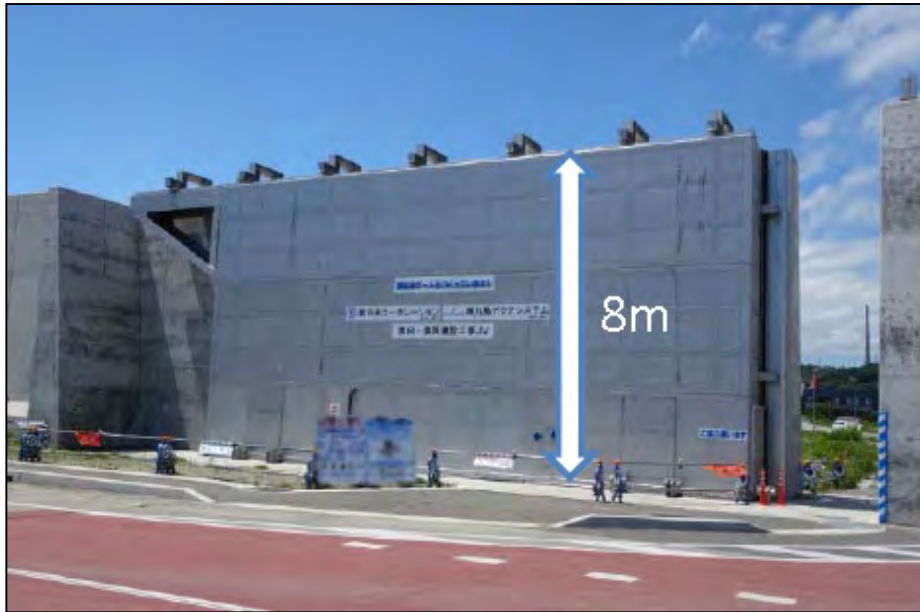
2011年3月の東日本大震災による死亡者数は約16,000人で、その90%以上は津波によるものと非常に多くなっている。その震災後、日本政府は水門高さの仕様を5mから8mに変更した。この大型化により水圧が増加し、設計追加による水門の強度増が必要となった。

解決法として、日鉄ステンレス株式会社は、軽量化と高強度による設計の簡素化を可能にする省資源型二相鋼ステンレス(ASDSS)を提案した。

Source: 日鉄ステンレス株式会社



# 日本での水門の事例



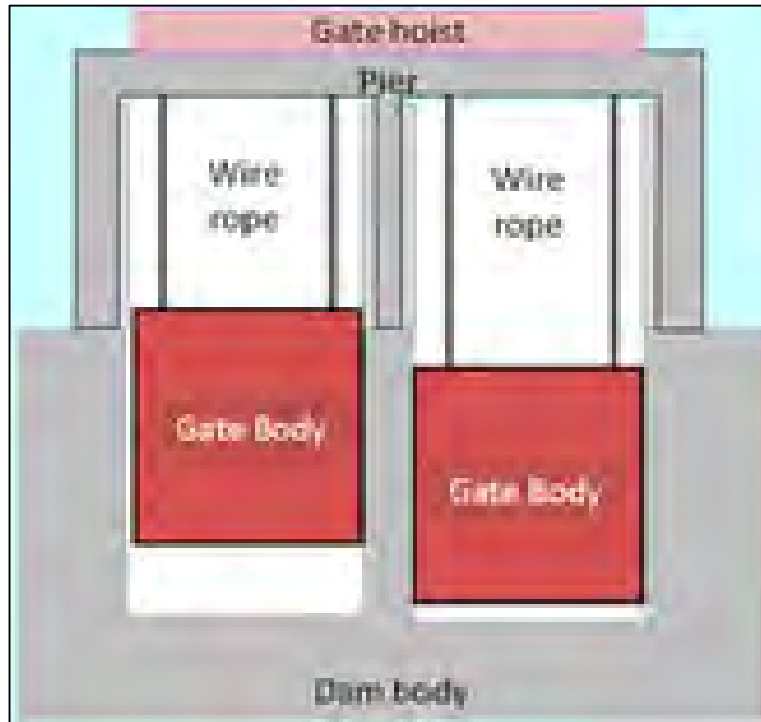
スライドゲート  
8.2 m高 x 15 m幅



水門  
6.2 m高 x 15 m幅



# リーン二相鋼ステンレスによる 水門の軽量化



Grades	Carbon steel (SM490)	Conventional SS (SUS 304)	ASDSS (NSSC2120)
Total weight	16.1 (t/gate)	14.7 (t/gate)	12.1 (t/gate)



25% 軽量化

設計比較 (ダム排出ゲート)  
7m x 7.8m = 54.6m<sup>2</sup>

Source: 電力土木技術協会 (2016.9)

NEW!

# 日本での主要プロジェクト

● ASDSS is used for more than 50 Dams and Water Gates in Japan, especially for the Earthquake Reconstruction Project.



Kanogawa Dam (SUS821L1)



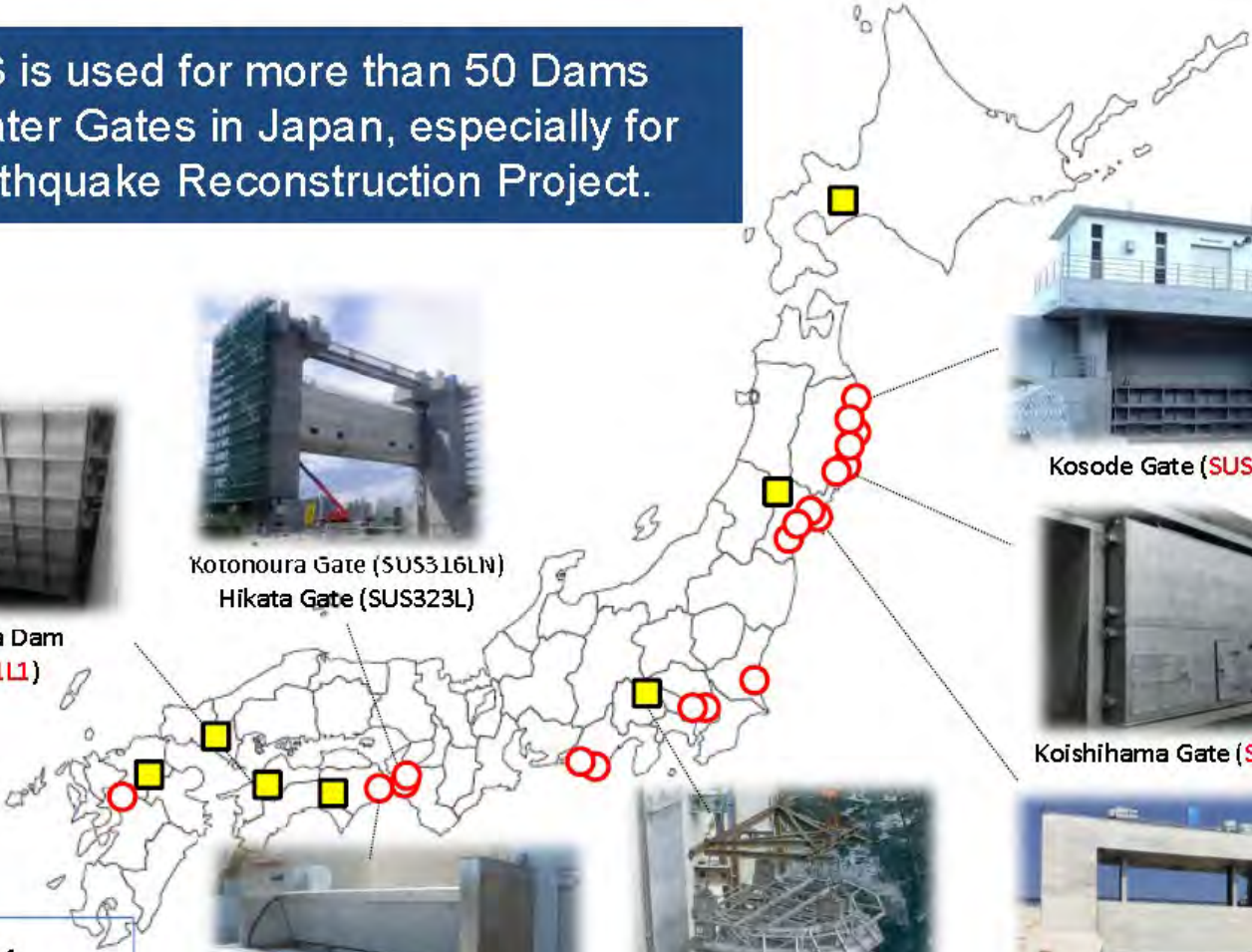
Kotonoura Gate (SUS316LN)  
Hikata Gate (SUS323L)



Kosode Gate (SUS821L1)



Koishihama Gate (SUS821L1)



■ : DAM  
○ : Water Gate



neo Rise (SUS821L1)



Futase Dam (SUS821L1)



Tsukihama Gate (SUS323L)

NEW!

# 日本：上平井水門



建造中の水門

# フランス： モンサンミッシェル



NEW!

# フランス：モンサンミッシェル

- モンサンミッシェルは、フランスの最も人気のある観光スポットの1つである。その修道院と天使がいる小さな島は湾内にある。時間の経過により、湾の干潟化がゆっくりと進み、風景が変化した。
- 満潮時に入水した水を貯水し、干潮時に放流するため水門が建設された。それにより、堆積物は一日に二回海に戻される。8組の水門は、高耐食性と耐摩耗性により選択された36 Tの二相鋼ステンレス S32205 (EN 1.4462) を使用して建造された。
- モンサンミッシェルは海に戻った。

## 海上へのモナコ拡張

地中海沿岸のモナコ公国は、約20億ユーロをかけた60万平米の巨大な新都市建設により、海上にその小さな領土(2km<sup>2</sup>)を拡大している。

技術的な課題は大きい。囲いを作るための仮設ダムの建設。最低100年の耐久性のあるコンクリート壁の建設。多層住宅ビル用のスペースの海上での確保と準備。海洋生物への影響を最小限に抑えること等。

4000T超の二相鋼ステンレスS32304(EN1.4362)鉄筋をコンクリート壁補強用に使用し、海水による腐食から保護する。



NEW!

# 参考

1. <https://www.ipcc.ch/>
2. [www.unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf](http://www.unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf)
3. <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/biodiversite/isr-rse/le-changement-climatique-grignote-nos-cotes-et-menace-plus-d-un-million-de-francais-147571.html>
4. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/adapter-documents-conception-entretien-exploitation>
5. <https://www.cerema.fr/fr/evenements/territoires-littoraux-transition-face-au-changement>
6. <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/coastal-zone-management>
7. Sea Wall at Cromer <http://www.stainlesssteelrebar.org/applications/coastal-protection-at-cromer-uk/>
8. Bayonne breakwater <http://stainlesssteelrebar.org/applications/bayonne-breakwater/>
9. <https://www.constructioncayola.com/batiment/article/2008/11/20/23050/l-inox-pour-resister-atlantique>
10. Tsunami-proof floodgates Japan (NSSC presentation)

NEW!

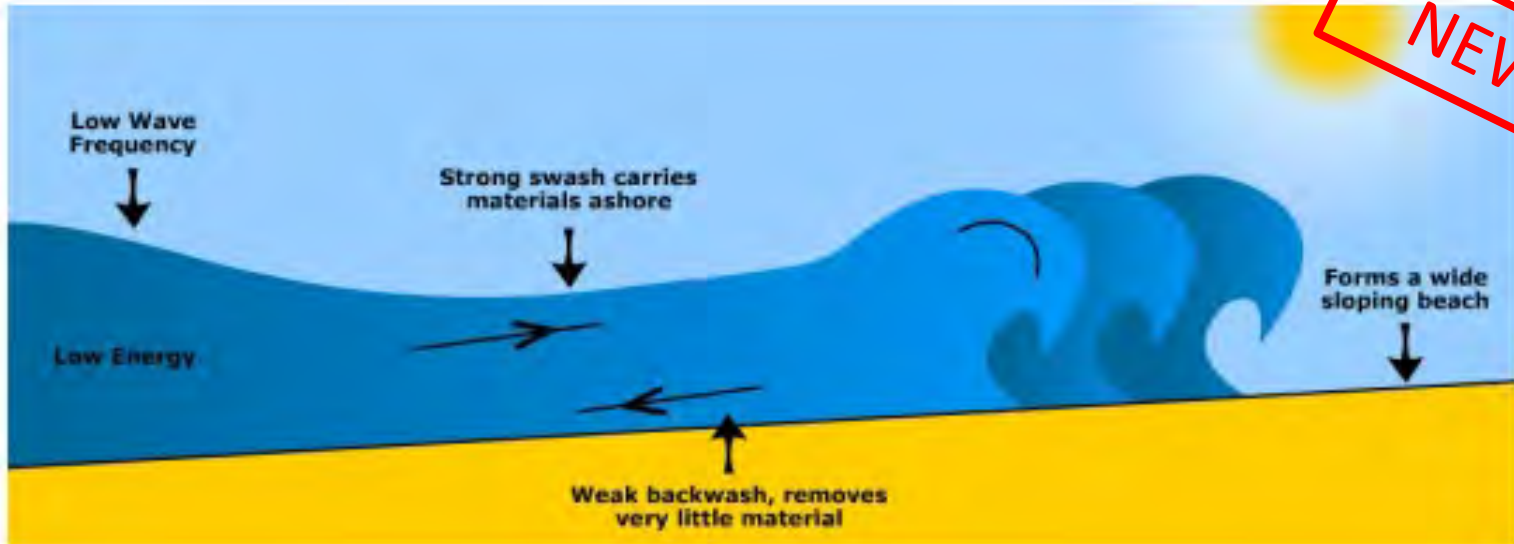
# 参考

11. Sluices Mt St Michel  
<https://www.nickelinstitute.org/en/NickelMagazine/MagazineHome/AllArchives/2015/Volume30-3/InUseMontStMichel.aspx?selected=year>  
[https://europe.arcelormittal.com/europeprojectgallery/foi\\_montsaintmichel](https://europe.arcelormittal.com/europeprojectgallery/foi_montsaintmichel)
12. Tammeroski floodgate  
<http://www.pratiwisteel.com/news/view/20110708090600/Outokumpu-Duplex-Stainless-Steel-For-Sluice-And-Flood-Gates-Structures-In-Finland.html>    <https://www.pontek.fi/in-english>
13. Monaco  
<https://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/Extension-en-mer-de-Monaco.pdf>
14. Gårda Dämme floodgate, Göteborg  
<https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2016/floodgates-to-fight-rising-sea-levels>
15. <https://coastal-environments.weebly.com/landforms-and-processes.html>

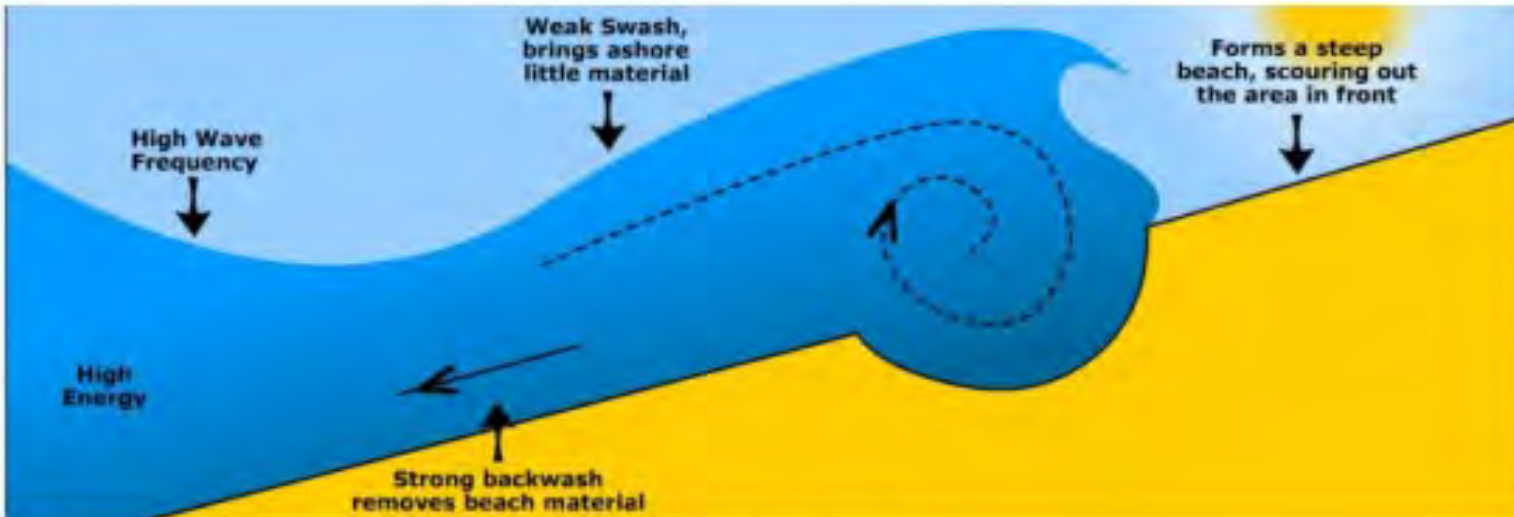


# 波が海岸線を作り破壊する<sup>1</sup>

NEW!



Constructive Waves



Destructive Waves

Thank you

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第3章

### なぜステンレスを選ぶのか

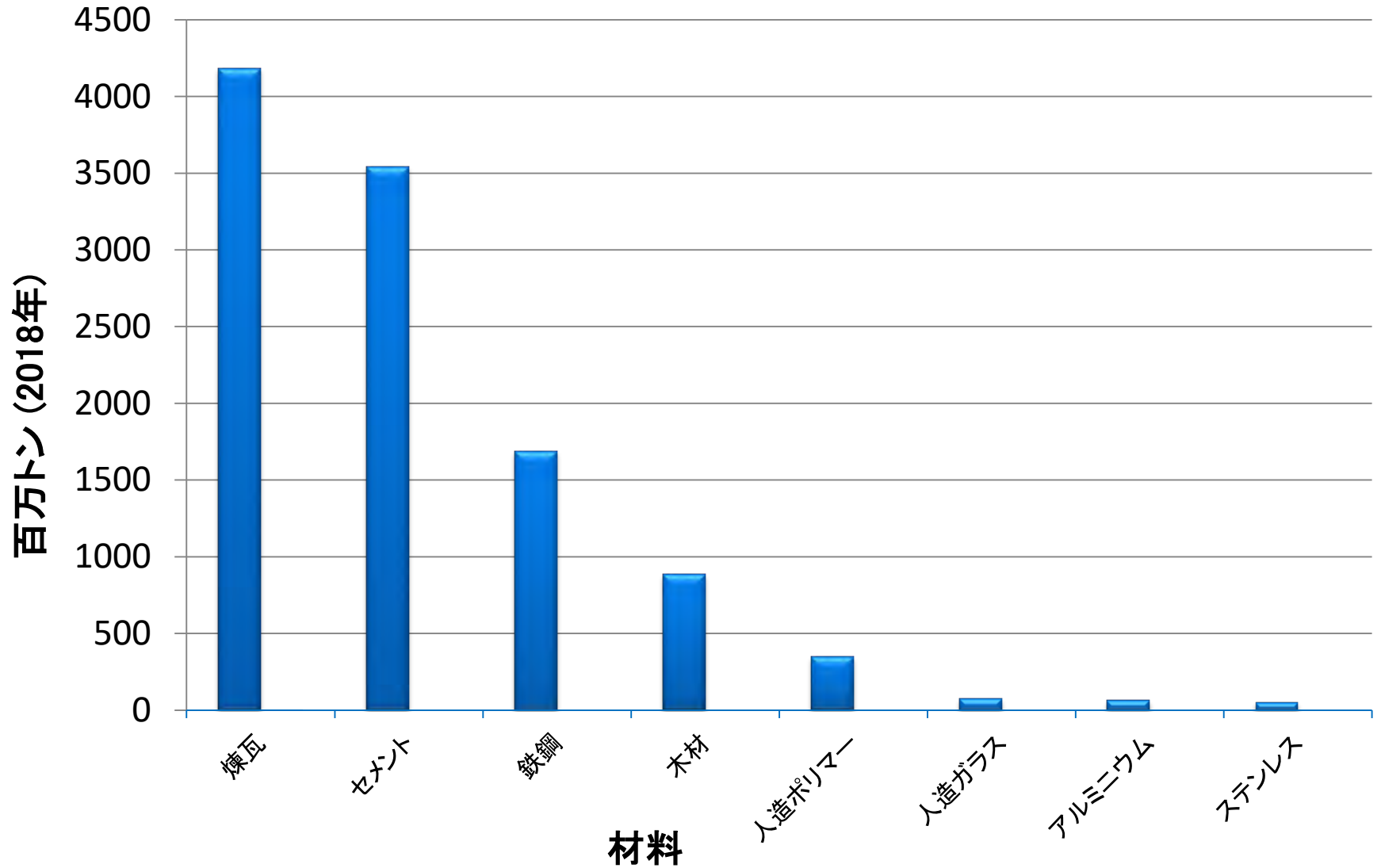
# 序文

現在、建築、ビルや建設に  
使用されている主要材料

# 今日の主な建築用材料

材 料	世界の生産量 <百万ト/年> 201年	平均 密度	備 考
練土	?		土を強く突き固める工法。黄河地域などで古くより採用され、法隆寺の築地塀などの例も現存。
煉瓦 <sup>3</sup> Traditional production is very polluting and unhealthy	4185	2, 0	生産量は2017年のもの 87%がアジアで使用されている
セメント <sup>4</sup>	3545	2, 4**	生産量は2018年のもの (コンクリートの数値を求めるには3-4倍する。) **コンクリート密度
鉄鋼 <sup>5</sup>	1690	7, 8	(2018年粗鋼生産) 14%がインフラ向け、その半分が鉄筋 <sup>10</sup> 42%が建材 <sup>12</sup>
木材 <sup>6, 11</sup> Deforestation keeps gaining ground	887	0, 5	生産量は2016年のもの
人造ポリマー <sup>7</sup>	348	1, 1	伐採木材+木材-パネルベースのみ (2016年統計) パルプ材を除く (約656百万ト) 木炭 (約1860百万ト) & その他木材製品を除く
人造ガラス <sup>8</sup>	75	2, 6	一部自然由来ポリマー: セルロース、ゴム、絹、キチン質 (甲殻類の殻) 数値は2018年
アルミニウム <sup>9</sup>	64	2, 7	(2018年一次アルミ生産量) 24%が建材用途
ステンレス <sup>10</sup>	51	7, 8	生産量は2018年のもの 17%が建材用途 <sup>10</sup>

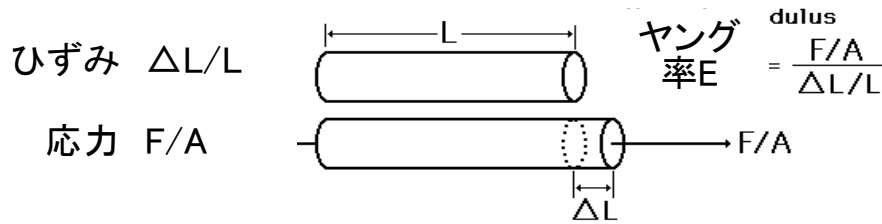
# 今日の主な建築用材料



# 主要材料におけるヤング率 $E^{12}$ (剛性)

材料	ヤング率 $E$ (GPa)
鉄鋼材料	~210
ステンレス鋼	~210
銅	~130
チタン	~100
アルミニウム	~70
コンクリート	~40
木材	~10
プラスチック	~4

ステンレス鋼は  
鉄鋼材と同等の  
剛性を持つ



# 建築材料における強度/重量比<sup>13</sup>

ステンレス鋼は鉄鋼材料、  
アルミに匹敵する  
強度/重量比を有する

材料	耐力(YS)/比重	降伏応力 Mpa	限界引張強度 Mpa	比重 (Kg/dm <sup>3</sup> )	伸び %
ステンレス 304 or 316, 焼鈍材	26	205	515	7,8	35
ステンレス 304 or 316, 硬化処理材 CP 350	45	350	-	7,8	-
ステンレス 304 or 316, 硬化処理材 CP 500	62	480	-	7,8	-
ステンレス 二層系 2205	64	500	700/950	7,8	20
ステンレス 630, 時効処理材	103	800	950/1150	7,8	10
炭素鋼 熱延材	30	234	317	7,8	35
構造鋼 (鋼板、棒鋼)	32	250	400/550	7,8	23
HSLA 鋼	49	380	460	7,8	25
工具鋼 4140 Q&T	96	750	930/1080	7,8	12
アルミニウム合金 3003- H14	37	145	150	2,7	40
アルミニウム合金 3105- H14	38	150	170	2,7	5
アルミニウム合金 5005- H16	44	170	180	2,7	5
アルミニウム合金 6061- T6	71	275	310	2,7	12
アルミニウム合金 6063- T5	37	145	185	2,7	12
銅合金	23	195	250	8,3	30



# 各種材料の簡易的比較<sup>14</sup>

		ステンレス鋼			銅合金	アルミ	炭素鋼	プラスチック
特徴		EN 1.4521 AISI 444	EN 1.4301 AISI 304	EN 1.4401 AISI 316				
物性	密度	-	-	-	--	+	-	++
	線膨張係数	++	0	0	0	-	+	--
	電気伝導率	--	-	-	+++	++	0	---
	強磁性	YES	NO	NO	NO	NO	YES	NO
機械特性	剛性(ヤング率)	+++	+++	+++	+	-	+++	---
	引張強さ	+	++	++	0	-	+ / ++	--
	延性	+	+++	+++	+++	++	0	-- / ++ +
その他	製造性	++	++	++	+	0	++	-
	高温特性	++	++	+++	0	-	+	---
	低温特性	-	+++	+++	+	0	-	-
	耐食性	+++	+++	++++	++	+	--	+

+ 優位性    - 弱点特性    (他の材料との比較)

# ステンレス鋼は 「若い」材料

# 時代と共に新しい材料が出現 ステンレスが最も新しい材料\*

材 料	年 代	
練土		人類誕生以来使用されてきた！
木材 <sup>1</sup>		人類誕生以来使用されてきた！
煉瓦 <sup>1</sup>	7500 BC 4500 BC	焼成煉瓦／陶器
鉄鋼 <sup>1</sup>	4000 BC 1858	鍛冶屋 ベッセマー・プロセス
人造ガラス <sup>1</sup>	3500 BC 100 BC 1950	ガラス製造の始まり 透明ガラス フロート・ガラス・プロセス
アルミニウム <sup>1</sup>	1825 1886	エルステッドがアルミを発見 ホール・エルー・プロセス
鉄筋コンクリート <sup>1</sup>	1850 1885	セメントの方がはるかに歴史が古い 回転炉プロセス
人造ポリマー <sup>1</sup>	1846 1907 1939	セルロイド ベークライト ナイロン
ステンレス <sup>2</sup>	1912-1913 1954 1955	初期の合金 AODプロセス 熱延鋼帯

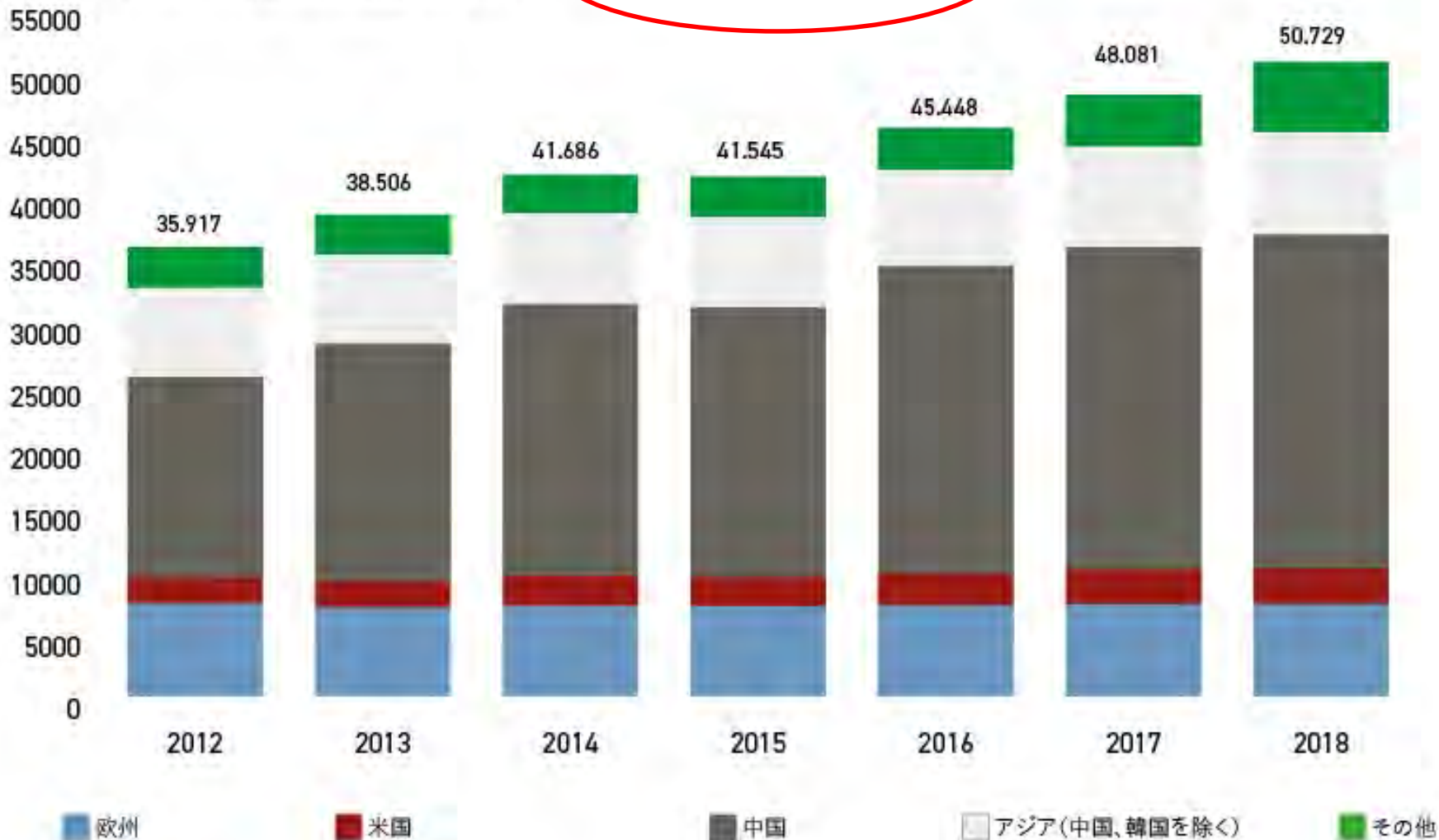
\*より新しい材料もあるがまだ有意な使用量に至っていない。

# 地域別の世界ステンレス鋼生産量

UPDATED  
2019!

地域別製鋼ベース生産量,千トン(スラブ/インゴット含)  
その他地域:ブラジル、ロシア、南アフリカ、韓国、インドネシア

需要は増加傾向



# 世界粗鋼生産量の年間成長 <sup>22</sup> (百万トン)

UPDATED  
2019!



# なぜステンレスを 選ぶのか？

# なぜステンレスを選ぶのか？

## → 優れた優位特性

- 1. 耐食性** (第3章参照)
  - 全環境に対応：熱帯から極地まで、海岸から砂漠まで、都市環境から田舎環境までなど
  - 塗装とは異なり、自己修復性を示す
- 2. 永続性** ほぼメンテナンス不要
- 3. 幅広い機械的特性** 数種のステンレス鋼種系列より最適鋼種を選択可能  
(Cr-Ni オーステナイト系、Cr-Mn オーステナイト系、Cr フェライト系、二層系、Cr-C マルテンサイト系)  
現在では主要な建築基準にも含まれている  
さらに耐火性能にも優れる (第4章、5章参照)
- 4. 多様性**: 幅広い表面仕上げ、色調の選択肢 (第6章参照)  
さらに、公共の場での利用における耐久性も期待できる
- 5. 製造/接合が容易** (第9章参照)
- 6. 優れたサステナビリティ** (第11章参照)
  - メンテナンスをほぼ行わずに永続的に使用可能
  - 100% リサイクル可能 (85%以上がリサイクルされている)
  - 廃却時においてもその特性を失わない
- 7. 安全、衛生的**: 不活性、不純物を含まず、清掃・消毒が容易
- 8. その他特性**: 強磁性、非磁性など

# ステンレスが採用されない理由 → イニシャルコストが高い

## 【質問】

ステンレス鋼は高価であると思いますか？

## 【回答】

ステンレス鋼は“高価である”と同時に、“安価な材料”として扱うこともできる

### Yes:

材料のイニシャルコストの観点からは確かに高額となる（とくに投資判断において）  
しかし、材料選択において、誤った選択をすると非常に高額となる

- ステンレス鋼の使用料は物件トータルで見ると少ないことが多い
- 早すぎる更新やメンテナンスは直接的、間接的に大きな費用発生を伴う

### No:

- ライフサイクルコスト\*の検討；メンテナンス、劣化更新、リサイクルなど
- 最適な設計；断面形状を検討し材料の薄肉、軽量化を図る

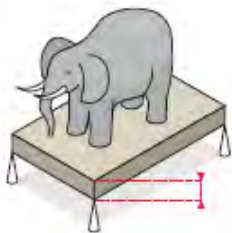
\* 管理者にとっては常にライフサイクルコストによる評価が成されるべきである



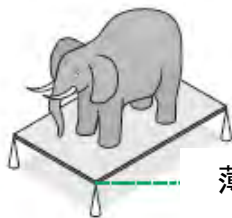
# ステンレス(又はその他金属材料) は材料の使用料が少ない <sup>16</sup>

## 【材料コストの削減】

金属材料は剛性が高いため、非金属材料に対して薄肉化が可能となる。従って、より少ない材料にて必要な強度を得ることができる。



非金属材料

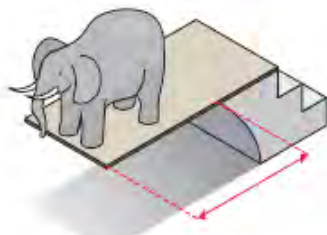


薄肉化  
可能

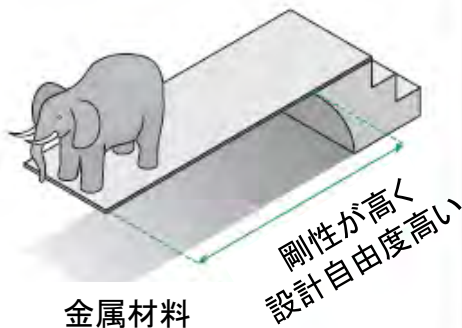
金属材料

## 【設計自由度が高い】

金属材料は剛性が高いため、より少ない拘束、支持にて必要な強度を得ることが出来る。このため、より自由な設計が選択可能となる。



非金属材料



金属材料

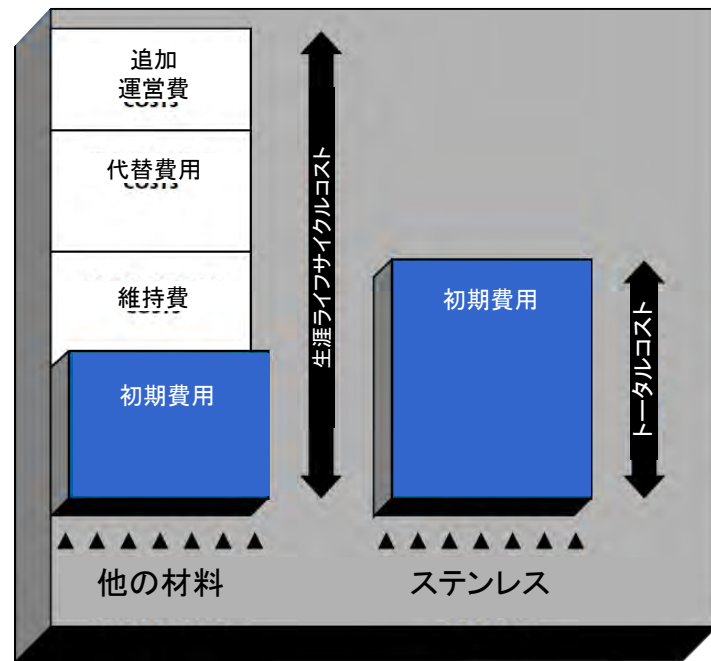
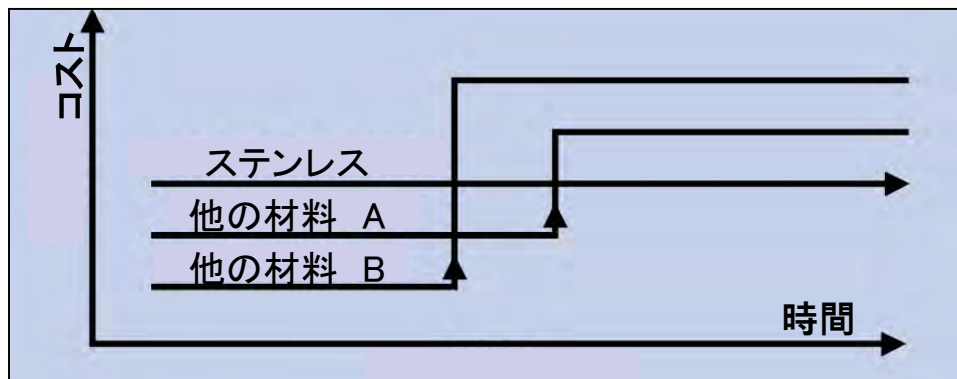
厚さ0.4mm、0.6mm程度のステンレス薄板が主に使用されている

重量 3.12kg/m<sup>2</sup> (t0.4mm)  
4.68kg/m<sup>2</sup> (t0.6mm)

※非常に軽量！

# なぜLCCを考慮すると ステンレスが高価でないのか

他の材料で作られた建造物のコストは時間の経過とともに大幅に増加するがステンレスの建造物のコストは一般的に一定とされている



腐食のコストは米国だけで1,370億ドル超となっている<sup>14</sup>

# 2つの古い建造物のLCC比較

建造物

完成年

材料

高さ

メンテナンス

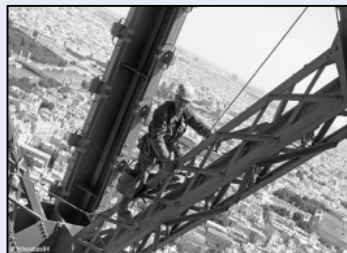
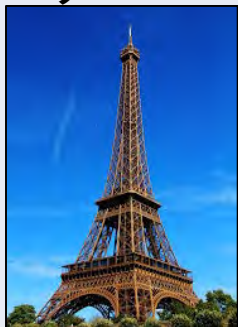
エッフェル塔  
パリ\*

1889

錬鉄

324m

7年毎。塗装作業は毎回約1.5年  
(15月)かかる。



塗料50-60トン、塗装作業者25名、  
ブラシ1500本、やすり盤5000個、  
作業着1500着。

クライスラー・ビル  
(屋根と入口)  
ニューヨーク

1930  
(屋根1929)

オーステナイト系  
ステンレス  
(鋼種: 302)

319m

1951年と1961年の2回。  
1961年の洗剤は不明。1995には  
中性洗剤、脱脂洗剤と研磨剤が  
使用された。



\*エッフェル塔はステンレスが発明される前に建築され、当初は臨時の建造物だったが民衆に好評を博した。

# 【事例】橋のメンテナンス比較<sup>20,21</sup>

- ゴールデン・ゲート・ブリッジ  
(サンフランシスコ、USA)
- ストーンカッター・ブリッジ  
(香港、中国)

# ゴールデン・ゲート・ブリッジ 20



「鉄工員13人と鉄工員助手3人、塗装作業員28人と塗装助手5人および橋梁塗装主任というたくましいグループが腐食の進行している鉄橋材を補修するためにしばしばゲートの頂上近くに宙づりになり風、海気および霧と戦っている。鉄工員は腐食の進行している鉄橋材とリベットを高張力鋼のボルトに置き換え、橋で使用出来るよう軽度な加工を行い、塗装作業員の足場作りに協力する。さらに鉄工員は塗装作業員が橋を構成する橋脚や翼弦の内部まで入れるように厚板や棒材を撤去する。塗装作業員は橋全体の表面を整備し、腐食している部分すべてに再塗装を行う。」<sup>20</sup>

# ストーンカッター・ブリッジ (2009) 21



## プロジェクト詳細:

全長1,596m、片側3車線の高強度斜張橋、純径間1,018m、台風に耐えられる設計。

材料:ステンレス EN1.4462(二相鋼)降伏応力450MPaの厚板が搭橋上部(175mから295mの頂上まで)と搭橋表面に使用されている。

ステンレス鋼の選定理由:暑く汚染された海水環境で橋梁耐用年数120年を目指した。メンテナンスフリーを志向した設計となっている。<sup>21</sup>

# 主要参考サイト

1. <http://worldstainless.org/>
2. (a) <http://www.hablakilns.com/the-brick-industry/the-brick-market/>  
(b) [http://wiki.answers.com/Q/What\\_is\\_the\\_weight\\_of\\_a\\_red\\_clay\\_brick\\_in\\_Kilograms](http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_weight_of_a_red_clay_brick_in_Kilograms)
3. CEM bureau <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/>
4. (a) <https://www.worldsteel.org/> (b) [www.globalcastingmagazine.com](http://www.globalcastingmagazine.com)
5. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/F0>
6. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
7. (a) <http://www.glassforeurope.com/en/industry/global-market-structure.php>  
(b) <https://www.statista.com/statistics/609964/flat-glass-market-key-info-globally-projection/>
8. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>
9. [http://worldstainless.org/statistics/crude\\_steel\\_production](http://worldstainless.org/statistics/crude_steel_production)
10. <http://www.withbotheyesopen.com/>
11. <http://www.ssina.com/overview/markets.html>
12. <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>
13. [http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI\\_14057a\\_.pdf](http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI_14057a_.pdf)
14. <http://www.aperam.com/>
15. Wikipedia
16. <https://european-aluminium.eu/media/1310/en-metals-for-buildings-essential-fully-recyclable.pdf>

# 主要参考サイト(続き)

17. US Federal Highway administration reports FHWA-RD-01-156 and 157  
[www.corrosioncost.com](http://www.corrosioncost.com)
18. a) <https://www.toureiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) [http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler\\_Building](http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building) b)  
[https://www.nickelinstitute.org/library/?opt\\_perpage=20&opt\\_layout=grid&searchTerm=1023&page=1](https://www.nickelinstitute.org/library/?opt_perpage=20&opt_layout=grid&searchTerm=1023&page=1)
20. <http://goldengatebridge.org/research/facts.php#IronworkersPainters>
21. [https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters\\_Bridge\\_Towers.pdf](https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters_Bridge_Towers.pdf)
22. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Figures\\_2019\\_English\\_public\\_version.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_English_public_version.pdf)



Thank you

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第4章

## ステンレスの特性

# ビデオ



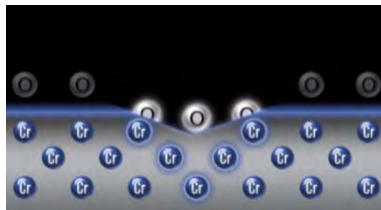
ステンレス100年の歩み

<http://worldstainless.org/publications/videos>



価値を持続するための合金化

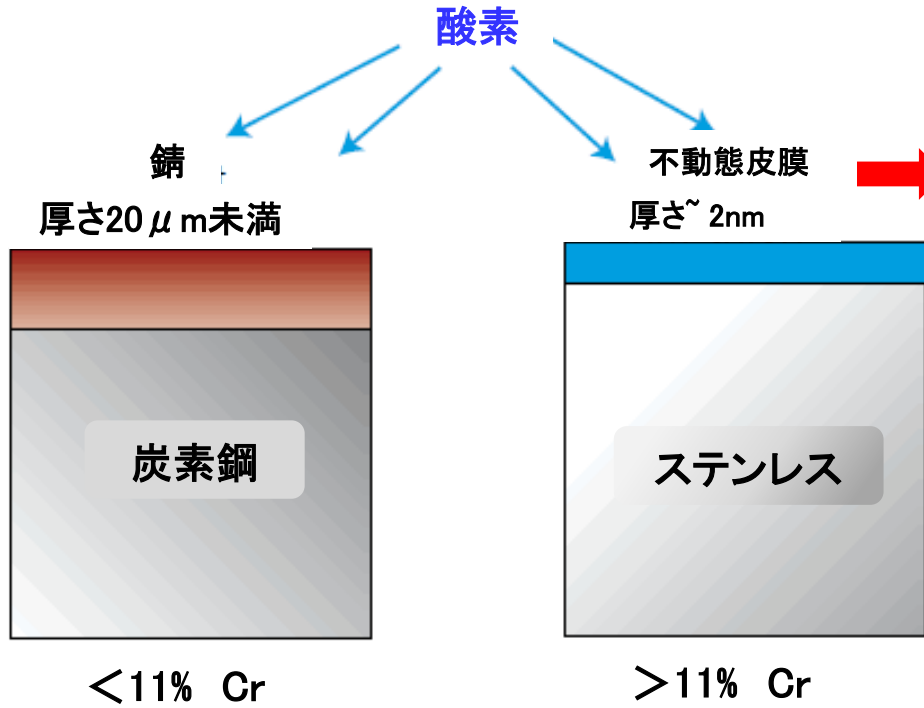
<http://worldstainless.org/publications/videos>



価値を持続するため自己修復

<http://worldstainless.org/publications/videos>

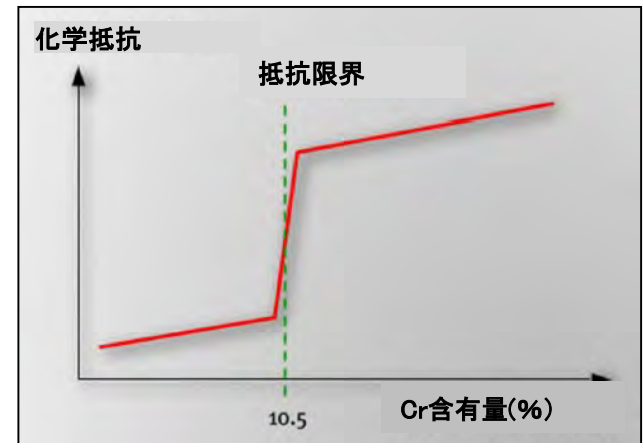
# ステンレスとは Cr含有量10.5%以上の鉄をベースとした合金鋼



耐食性

不動態皮膜は数分間で生成

Cr含有量を増やすと不動態皮膜の有効性が増加するが、他にも耐食性に影響を与える重要な要因がある。(第5章参照)





# Cr-Ni(Mo)系 オーステナイト鋼

## 一般的特性:

- ・非磁性
- ・高膨張係数(炭素鋼と比較して)
- ・低熱伝導率
- ・優れた耐食性、合金含有率と共に上昇
- ・但し、温塩素環境ではSCC(応力腐食割れ)を起こす可能性がある(スイミング・プールなど)
- ・全温度帯(超低温も含め)での高い延性と耐衝撃性
- ・冷間加工により強度が上がる(但し熱処理では上がらない)
- ・非常に優れた耐火性
- ・非常に優れた冷間および熱間加工性(延性、伸び率)
- ・溶接が容易(TIG, MIG)

## サブ・グループ:

- Cr-Ni(代表鋼種304 /EN 1.4301)
- Cr - Ni - Mo(代表鋼種 316/EN 1.4401)

材料	熱膨張係数 $10^{-6}^{\circ}\text{K}^{-1}$	熱伝導率 $\text{W}^{\circ}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$
オーステナイト	18	15
フェライト	10	25
二相鋼	14	15
マルテンサイト	8	24
炭素鋼	12	18
アルミ	22	230
銅	17	380
コンクリート	10	1

色による特性区分

- ・物理的性質
- ・耐食性
- ・機械的性質
- ・加工性

最も良く知られ  
最も多く使用されている

# Cr-Mn系 オーステナイト鋼

## Cr-Ni オーステナイト鋼との主な相違

- 一定の耐食性
- 特にNiとCrの含有量が低い鋼種でははるかにSCCや孔食を起こしやすい
- 強度が高い
- 高い加工硬化により冷間加工性が劣る
- 機械加工性が劣る
- 溶接がより難しい
- コストは安い

材料	熱膨張係数 $10^{-6}^{\circ}\text{K}^{-1}$	熱伝導率 $\text{W}^{\circ}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$
オーステナイト	18	15
フェライト	10	25
二相鋼	14	15
マルテンサイト	8	24
炭素鋼	12	18
アルミ	22	230
銅	17	380
コンクリート	10	1

色による特性区分

- ・ 物理的性質
- ・ 耐食性
- ・ 機械的性質
- ・ 加工性

主にインドと中国  
で使用される

# フェライト鋼

## 一般的特性

- 磁性
- 炭素鋼に近い低熱膨張係数
- 高い熱伝導率
- SCCを起こさない
- 良好な延性（但しオーステナイト系には劣る）
- 極低温での使用には不適
- 冷間加工で若干強度を上げられる（但し熱処理では上げられない）
- 優れた冷間加工性（スプリングバックや工具摩耗は少ないが、オーステナイト鋼に対し伸びが低く深絞り性に欠ける）
- 安定化鋼種（Nb, Tiを添加したもの）は溶接が容易（TIG, MIG）

## サブ・グループ:

- Cr（代表鋼種 430 /EN 1.4016）
- Cr - Mo（代表鋼種 444/EN 1.4539）

材料	熱膨張係数 $10^{-6}^{\circ}\text{K}^{-1}$	熱伝導率 $\text{W}^{\circ}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$
オーステナイト	18	15
フェライト	10	25
二相鋼	14	15
マルテンサイト	8	24
炭素鋼	12	18
アルミ	22	230
銅	17	380
コンクリート	10	1

色による特性区分

- ・ 物理的性質
- ・ 耐食性
- ・ 機械的性質
- ・ 加工性

多くの用途で最適なコスト  
パフォーマンスが得られ、  
使用量が増加している



# 二相鋼

(オーステナイト-フェライト鋼とも呼ばれる)

## 一般的特性

- 磁性
- 膨張係数はフェライトとオーステナイトの中間
- 低熱伝導率
- 優れた耐食性、合金含有量と共に上昇する
- SCCを起こさない
- 高強度、優れた延性
- 冷間加工で若干強度を上げられる(但し熱処理では上げられない)
- 優れた冷間および熱間加工性(延性と伸び率)
- 溶接可能 (TIG,MIG)

## サブ・グループ:

- Cr-Ni (代表鋼種 /EN 1.4362 )
- Cr - Ni - Mo (代表鋼種 /EN 1.4462)

材料	熱膨張係数 $10^{-6}^{\circ}\text{K}^{-1}$	熱伝導率 $\text{W}^{\circ}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$
オーステナイト	18	15
フェライト	10	25
二相鋼	14	15
マルテンサイト	8	24
炭素鋼	12	18
アルミ	22	230
銅	17	380
コンクリート	10	1

色による特性区分

- ・ 物理的性質
- ・ 耐食性
- ・ 機械的性質
- ・ 加工性

耐食性と機械的性質の最適な組み合わせが得られる

# マルテンサイト鋼

## 一般的特性:

- 磁性がある
- 低い熱膨張係数
- 良好な熱伝導率
- ある程度良好な耐食性、合金含有量と共に上昇
- 熱処理により高強度が得られる(冷間加工では得られず)、伸び率は限定的
- 極低温での使用には不適
- 成形には適さず、しばしば機械により加工される
- 溶接可能(TIG,MIG)だが通常溶接後の熱処理を必要とする

## サブ・グループ:

- C- Cr (代表鋼種 420/EN 1.4028 )
- C-Cr-Ni (代表鋼種 /EN 1.4313)
- 析出硬化 (17/4 PH/EN 1.4542)

材料	熱膨張係数 $10^{-6}^{\circ}\text{K}^{-1}$	熱伝導率 $\text{W}^{\circ}\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$
オーステナイト	18	15
フェライト	10	25
二相鋼	14	15
マルテンサイト	8	24
炭素鋼	12	18
アルミ	22	230
銅	17	380
コンクリート	10	1

耐食性を持つ工業用鋼として使用される

# ステンレスの化学成分

## 世界の主要規格:

ISO



EN



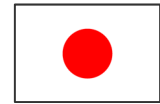
ASTM/AISI



UNS



JIS



### 注:

上記規格は広く受け入れられており、多くの国で使用されている。

上記規格すべてにおいて多数の鋼種が非常に近似している。

対応表は下記より入手できる。

米国規格 : 参考サイト 11

欧州規格 : 参考サイト 12

規格対応表: 参考サイト 13~15

# 建材用の主要鋼種: EN 10088-4 (鋼板／厚板／鋼帯)

鋼種	ASTM UNS	C Wt%	Cr Wt%	Ni Wt%	Mo Wt%	Other Wt%	代表的用途 <sup>3,4</sup>
4003	S40977	0,02	11,5	0,5	-	-	暖房・非暖房の内装
4016	430	0,04	16,5	-	-	-	装飾内装被覆
4509	S43932	0,02	18	-	-	Nb Ti	内陸の屋根と雨水関連製品—しばしば艶出しに 錫でメッキ
4510	439	0,02	17	-	-	Ti	
4521	444	0,02	17,8	-	2,1	Ti	国内配管市場
4301	304	0,04	18,1	8,1	-	-	海岸から離れた通常の工業地帯の建物の内・外 装
4307	304L	0,02	18,1	8,1	-	-	
4306	304L	0,02	18,2	10,1	-	-	
4401	316	0,04	17,2	10,1	2,1	-	常に湿気がある箇所の用途、海岸地域、汚染さ れた工業地帯の環境、または融雪岩塩が問題と なる道路脇で使用
4404	316L	0,02	17,2	10,1	2,1	-	
4571	316Ti	0,04	16,8	10,9	2,1	Ti	
4529	N08926	0,01	20,5	24,8	6,5	N, Cu	トンネルや室内プール
4547		0,01	20,0	18,0	6,1	N, Cu	
	S31254						

# 建材用の主要鋼種

## EN10088-5 (棒鋼／線材／形鋼)

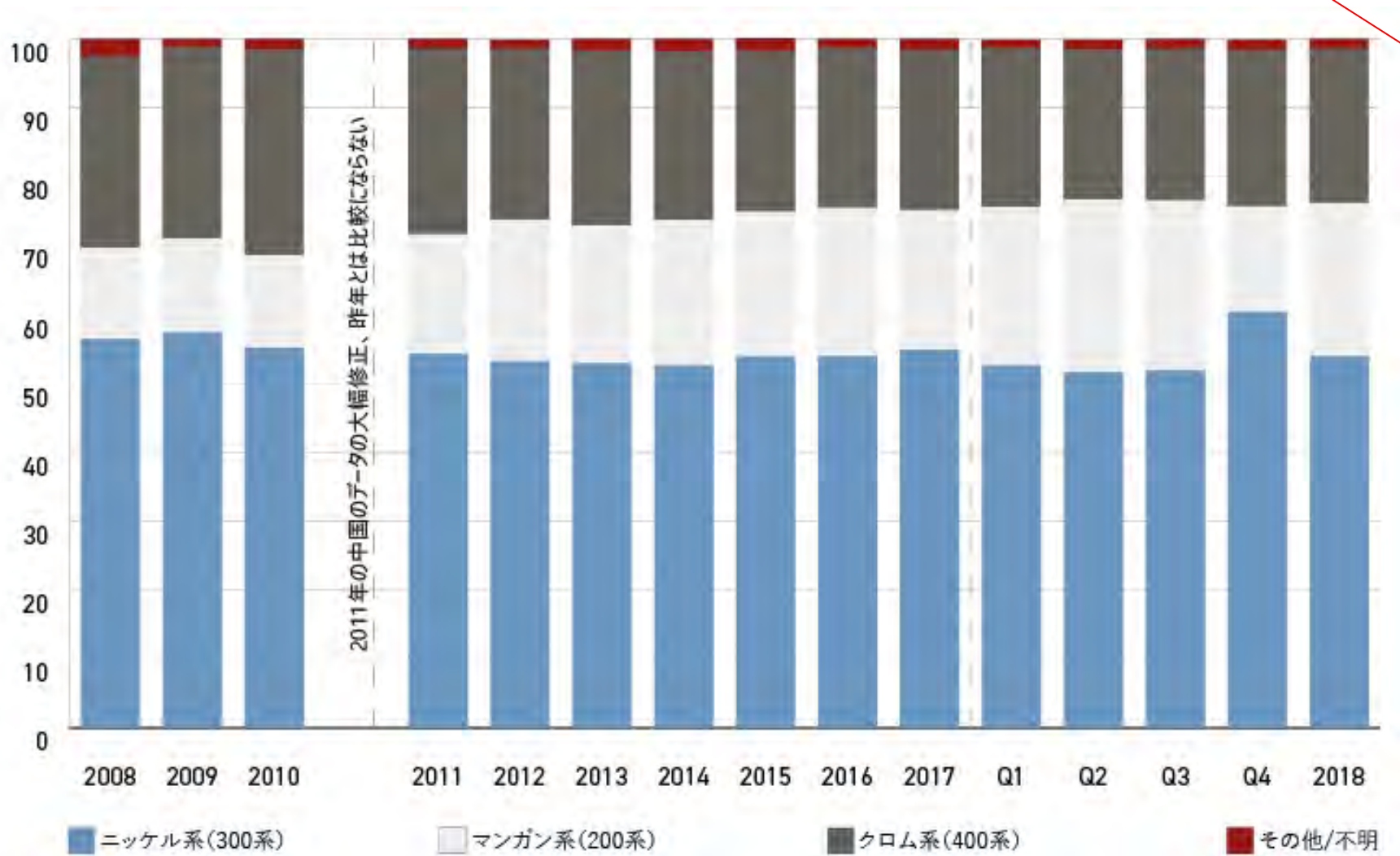
鋼種	ASTM UNS	C Wt%	Cr Wt%	Ni Wt%	Mo Wt%	Other Wt%	代表的用途 <sup>6</sup>
4003	S40977	0,02	11,5	0,5	-	-	
4016	430	0,04	16,5	-	-	-	スレート・フック
4542	630	0,04	16,0	4,0		Cu,Nb	タイバー
4301	304	0,04	18,1	8,1	-	-	鉄筋棒鋼 A2ファスナー
4307	304L	0,02	18,1	8,1	-	-	
4311	304N	0,02	18,1	8,6	-	N	
4567	304Cu	0,02	17,1	8,6	-	Cu	
4401	316	0,05	16,6	10,1	2,1	-	海岸から離れた通常の工業地帯の建物の 内・外装, 鉄筋棒鋼
4404	316L	0,02	16,6	10,1	2,1	-	
4429	« 316LN »	0,02	16,6	11,1	2,6	N	
4529	« 926 »	0,01	20,5	24,8	6,5	N, Cu	トンネルや室内プール
4547	S31254	0,01	20,0	18,0	6,1	N, Cu	
4362	S32304	0,02	22,5	3,6	0,3	N, Cu	鉄筋棒鋼と機械部品
4462	S32205	0,02	21,5	4,6	2,8	N	鉄筋棒鋼と機械部品

# ステンレス鋼の鋼種系統別による分類



# 鋼種別 全世界ステンレス生産量<sup>19</sup>

UPDATED  
2019!



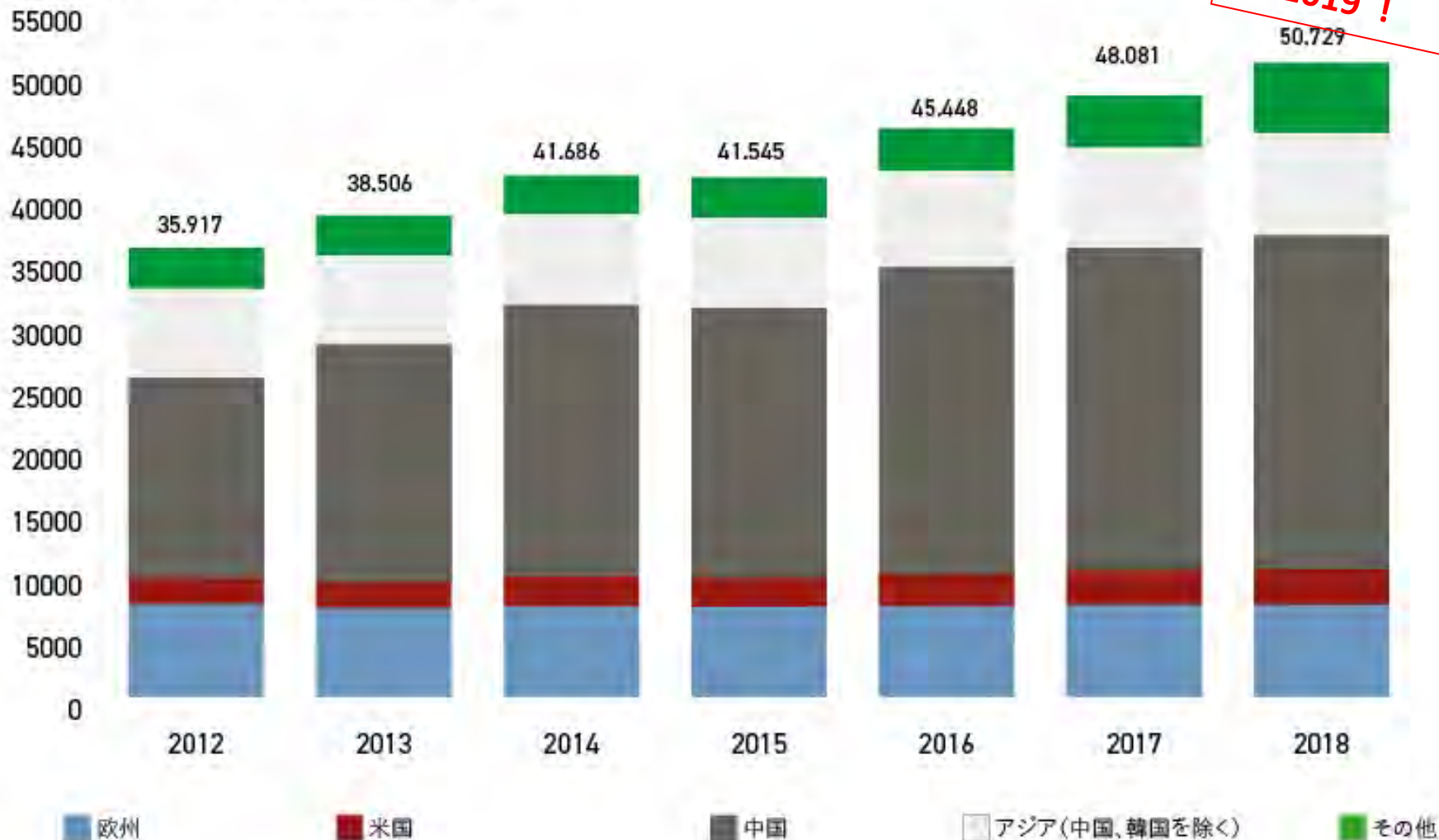
Ni価格の高騰に起因したCr-Ni系オーステナイト鋼から、Cr-Mn系、Cr系フェライト鋼および二相鋼などへの切替は今後続くと予想される

# 地域別製鋼ベース生産量,千トン(スラブ/インゴット含)

その他地域: ブラジル、ロシア、南アフリカ、韓国、インドネシア

UPDATED  
2019!

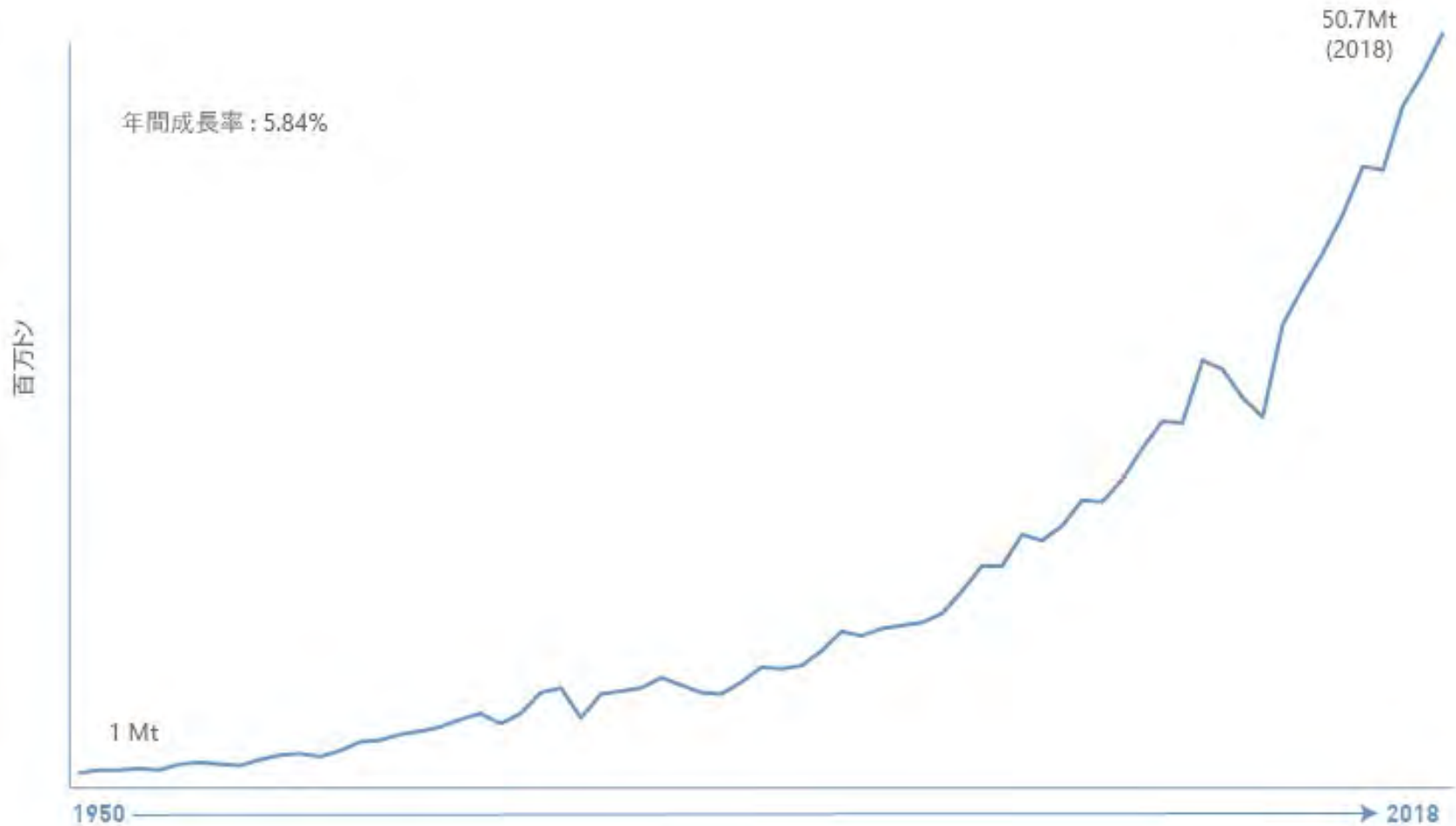
地域別製鋼ベース生産量,千トン(スラブ/インゴット含)  
その他地域: ブラジル、ロシア、南アフリカ、韓国、インドネシア





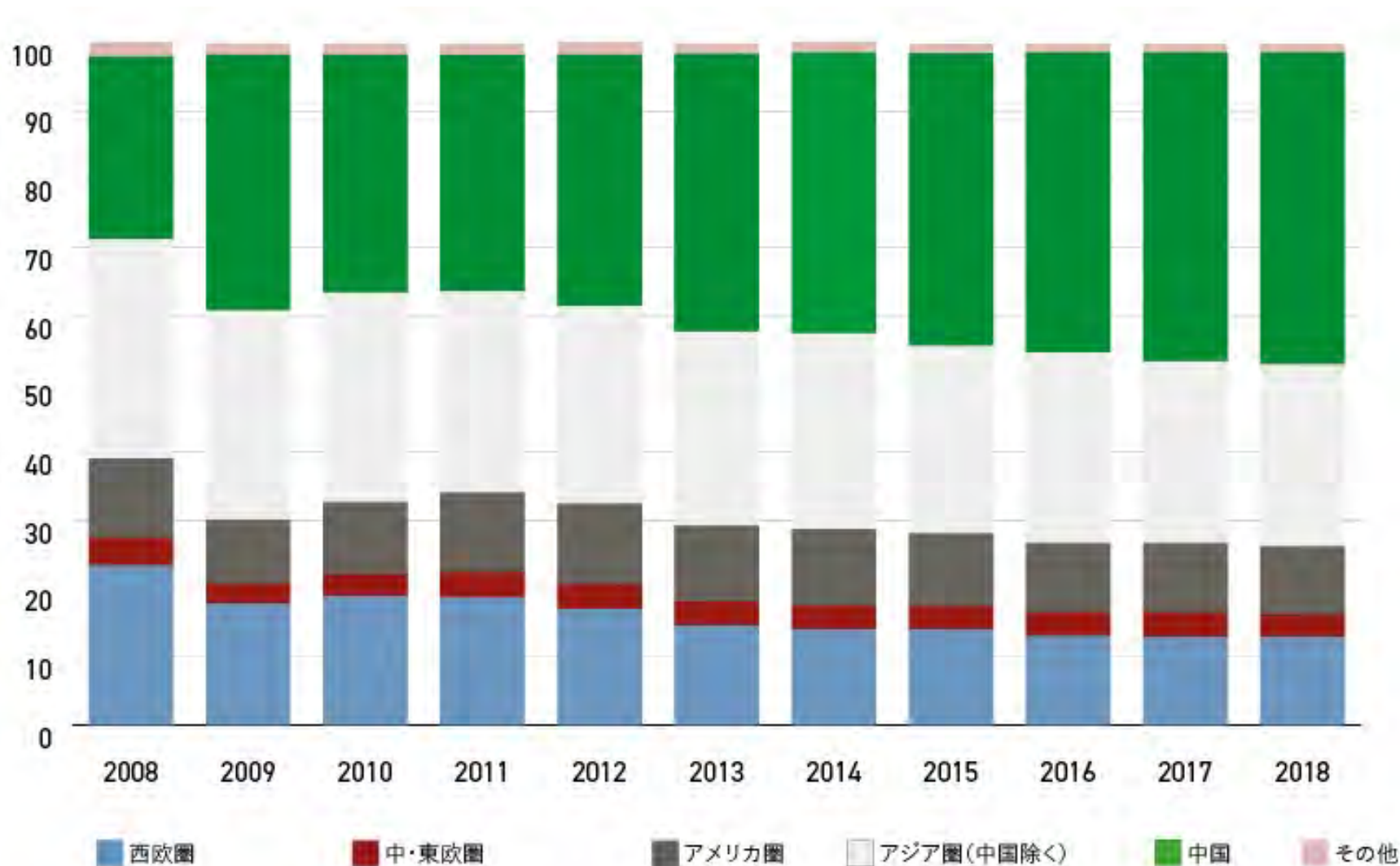
# 世界粗鋼生産量の年間成長 (百万トン)

UPDATED  
2019 !



# 各地でのみかけ消費量

UPDATED  
2019!



# 参考サイト (1/2)

1. <https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/TheStainlessSteelFamily.pdf>
2. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/about-stainless-steel/stainless-steel-types/pages/default.aspx>
3. D. Peckner Handbook of Stainless Steels Hardcover – June, 1977 ISBN-13: 978-0070491472 ISBN-10: 007049147X
4. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/Austenitics.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf)
5. New « 200 series steels »: An opportunity or a threat to the image of stainless steel?  
[https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSFNew200seriessteelsAnopportunityorathreat\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSFNew200seriessteelsAnopportunityorathreat_EN.pdf)
6. The ferritic solution [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_The\\_Ferritic\\_Solution\\_Japanese.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_The_Ferritic_Solution_Japanese.pdf)
7. Martensitic stainless steels [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Martensitic\\_Stainless\\_Steels.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Martensitic_Stainless_Steels.pdf)
8. Duplex stainless steels: <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/structural-duplex-stainless.php?d=1>
9. [https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI\\_14057a\\_.pdf](https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI_14057a_.pdf)
10. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Tables\\_TechnicalProperties\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Tables_TechnicalProperties_EN.pdf)
11. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/2014-8-Specification-and-Guideline-list.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/2014-8-Specification-and-Guideline-list.pdf)
12. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=370&featured=1>
13. [http://www.worldstainless.org/what\\_is\\_stainless\\_steel/standards](http://www.worldstainless.org/what_is_stainless_steel/standards)

# 参考サイト (2/2)

14. Chemical composition of stainless steel flat products for general purposes to EN 10088-2:  
<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44>
15. Chemical composition of stainless steel long products for general purposes to EN 10088-3:  
<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>
16. EN 10088-4:2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for construction purposes [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/EN10088-4\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/EN10088-4_EN.pdf)
17. Stainless steel flat products for building – the grades in EN 10088-4 explained:  
[http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/EN10088-4\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/EN10088-4_EN.pdf)
18. EN 10088-5: 2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for construction purposes.
19. ISSF publication « Stainless steel in Figures »: [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Figures\\_2019\\_English\\_public\\_version.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_English_public_version.pdf)

Thank you!

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第5章

## ステンレスの耐食性

# 概要

1. 多くの材料が経年劣化を起こす
2. ステンレス鋼が耐食性を示す理由
3. ステンレス鋼の腐食形態
4. 適切な耐食性を有する鋼種選定方法
  - 構造用途
  - その他
5. 参考リンク先

# 1. 多くの材料が経年劣化を起こす






# 多くの材料が経年劣化を起こす

材料	木材	鉄鋼	コンクリート
			
劣化タイプ	菌 虫 日光+雨	錆	割れ/破砕
対策	化学薬品 塗装/ニス	亜鉛めっき 塗装	耐食性棒鋼

# 多くの材料が経年劣化を起こす

材料	石	ガラス	プラスチック
			
劣化タイプ	摩耗 汚染による破損	割れ	紫外線による劣化
対策	通常対策不可	強化ガラス	品質改良

# 多くの材料が経年劣化を起こす

材料	アルミニウム*	銅合金	ステンレス鋼
			
劣化タイプ	孔食 異種金属接触腐食	緑青	経年劣化なし
対策	異種金属接触腐食は 防止可能	なし	不要

\* アルミニウムもステンレス鋼同様に不働態皮膜を形成するが、ステンレス鋼に比べて耐食性は劣る

# コンクリートの腐食

(腐食の問題は表面だけには限らない!)



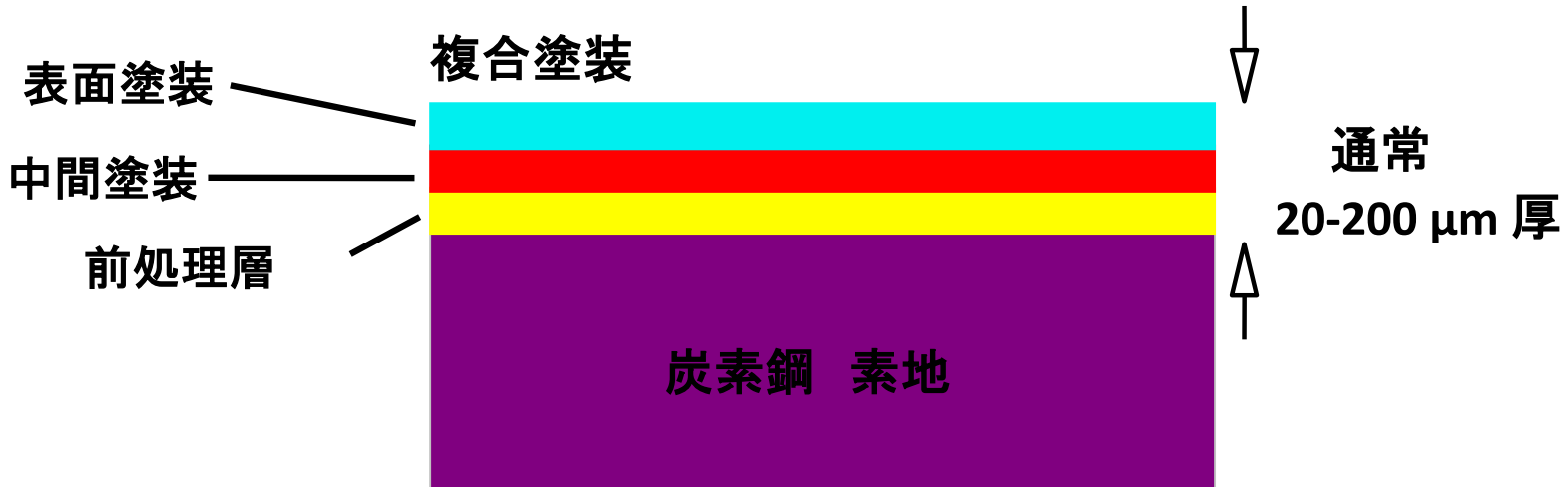
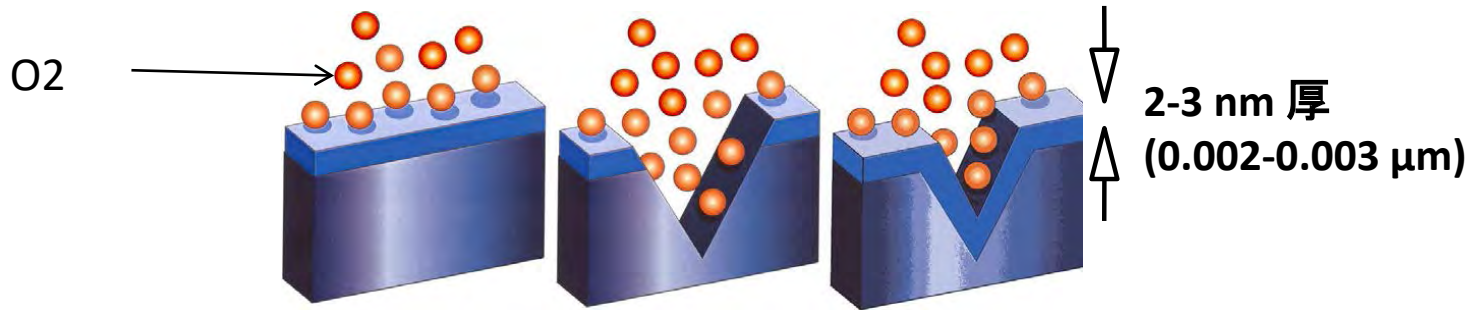
ステンレス鋼はコンクリート内部に強度と耐食性を付与し、構造物のメンテナンス不要の耐久年数延長に寄与する

- 防食処理をされていない炭素鋼の腐食は、環境(沿岸腐食、融雪塩害)に塩化物イオンが介在するため、鉄筋コンクリートの内部でも発生する
- 腐食生成物(錆)は、金属より容積が大きく、内部張力を発生させ、コンクリート外被が砕ける原因となる
- 鉄筋コンクリートの腐食を防止する対策は必要不可欠である
- コンクリート外被を厚くする、カソード防食、皮膜、エポキシ塗装、または炭素鋼の代わりにステンレス鋼を採用する、など様々な対策が講じられている

## 2. ステンレス鋼が耐食性を示す理由

# 不働態皮膜と塗装の対比

ステンレス鋼の不働態皮膜:  
Fe、Cr系酸化物皮膜

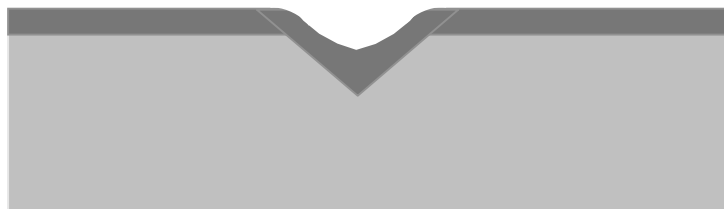


# 保護皮膜の損傷

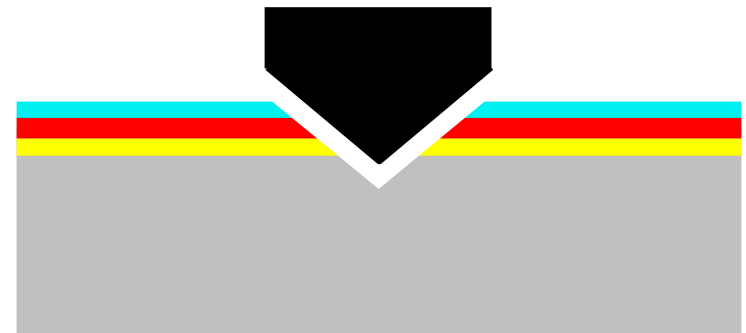
## ステンレス鋼



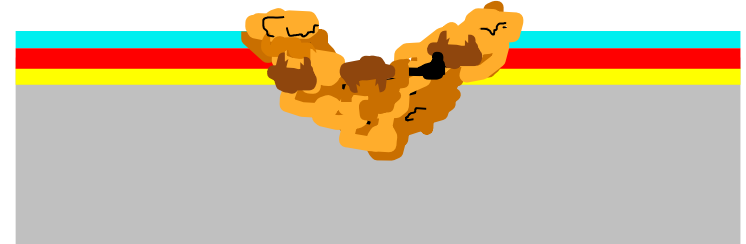
## 自己修復



## 炭素鋼



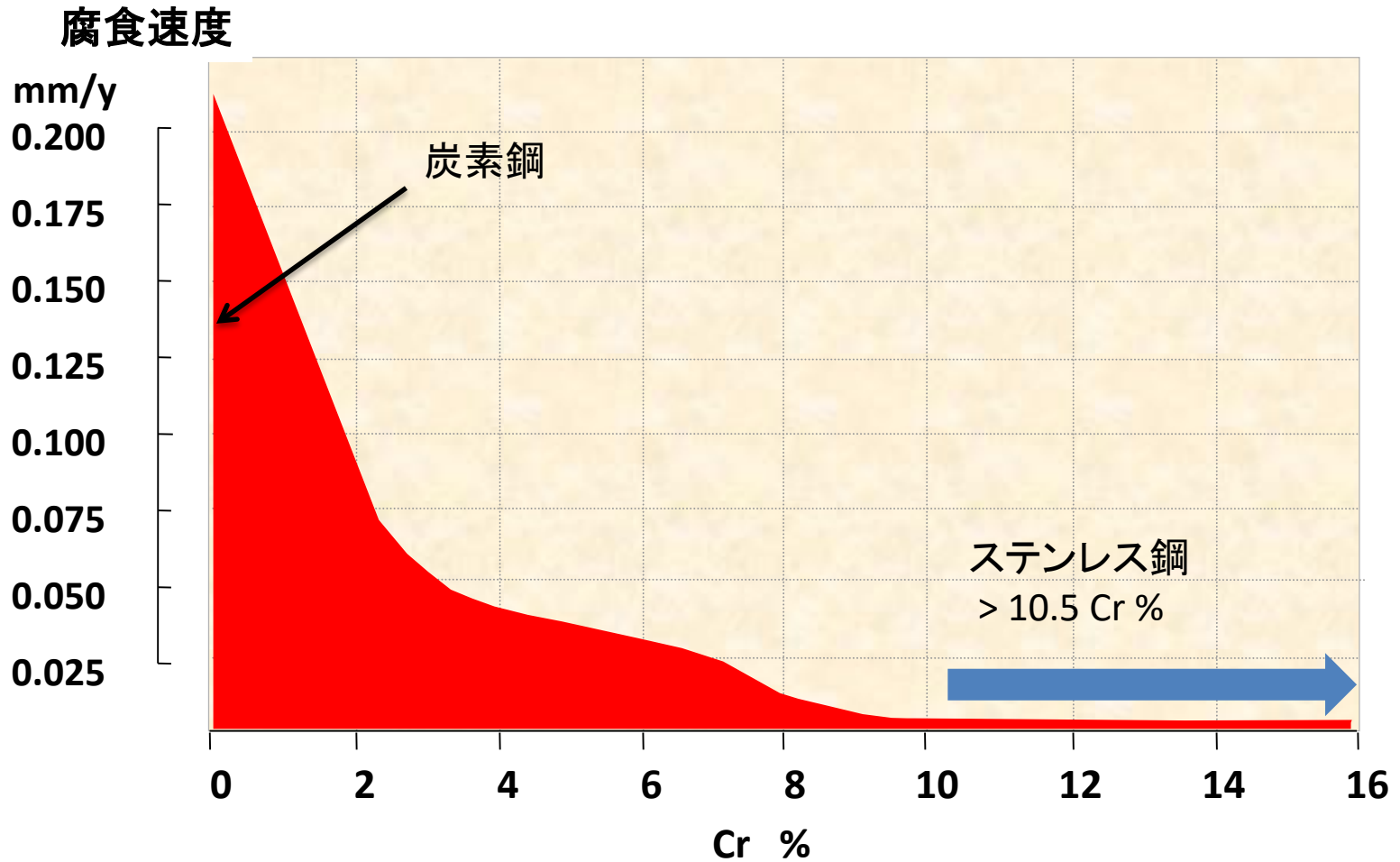
## 腐食生成物



### 3. ステンレス鋼の腐食形態



# Crによる耐候性向上効果(全面腐食)



ステンレス鋼の鋼種選択が適切に行われなかった場合、腐食が発生する可能性がある

...いかなる材料も完ぺきではない!

使用目的に適した車両を選択することと同じ  
と考えてください

# ステンレス鋼の腐食形態 1

- a) 全面腐食
- b) 孔食
- c) すきま腐食
- d) 異種金属接触腐食
- e) 粒界腐食
- f) 応力腐食割れ

## a) 全面腐食とは?

- 不働態皮膜が侵攻的環境により破壊されると、鋼材表面が全面的に腐食する  
(mm/年と評価される)
- 通常、保護皮膜を有しない炭素鋼などで発生する
- これは、腐食条件が侵攻的とならないため、建材に使用されるステンレス鋼には発生しない  
(恒常的に酸に接触する場合を除く)



## b) 孔食とは<sup>1,2,3,7</sup>?

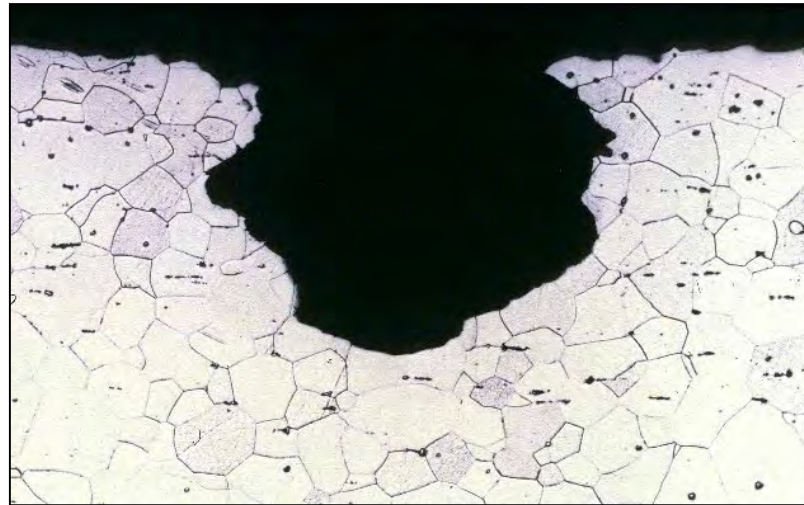
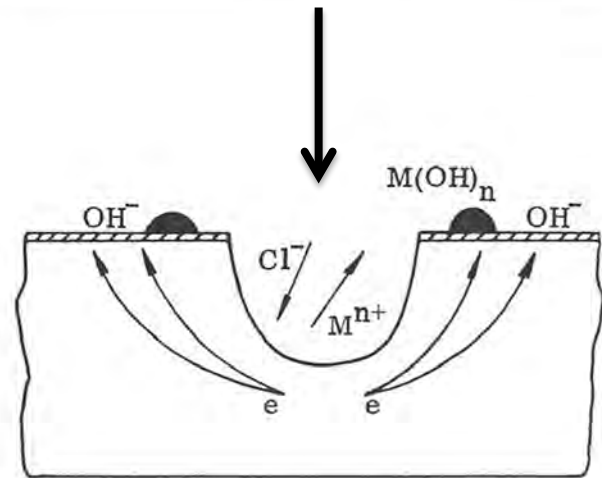
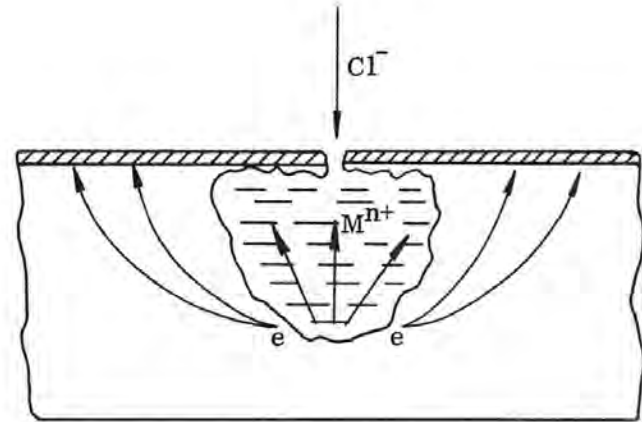
孔食（ピitting）とは、金属に小さな孔があくことにつながる局所的な腐食である

右写真は非常に強い塩化物イオン環境のため、耐食性が不十分であったEN1.4301（SUS304）にて発生した孔食の例である



# 孔食の発生メカニズム<sup>2</sup>

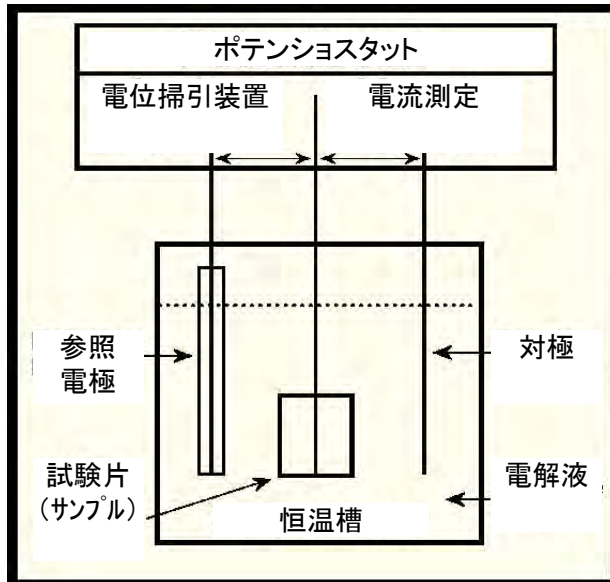
1. 非常に小さな表面欠陥または非金属の混入から始まる
2. 孔の空洞における電気化学反応が再不働態化により防止されないため、腐食が伝播する



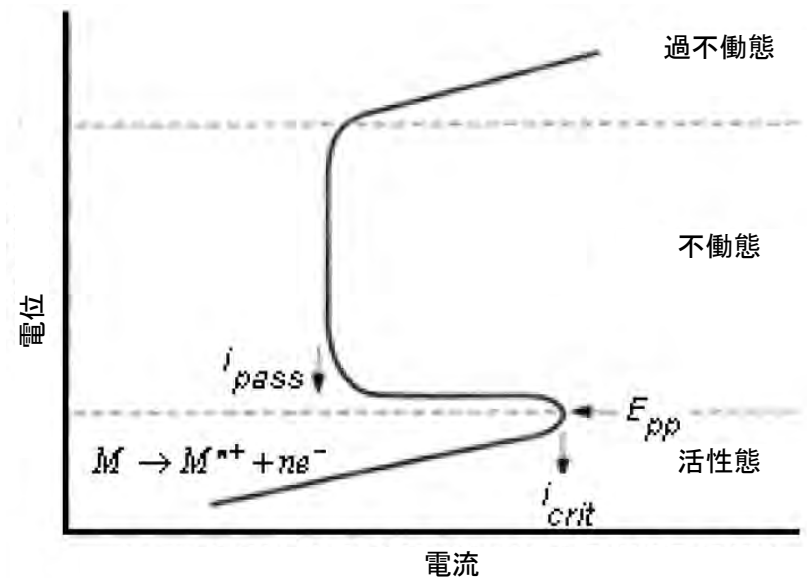
# 孔食は電気化学セルにより検証可能 4

- 孔食は金属溶解が関係している
  - a) 金属表面における電気化学反応
  - b) 腐食進行部とカソード反応発生部間の孔食電流
- これら孔食は、電気化学セルにより検証することができる

電気化学セル



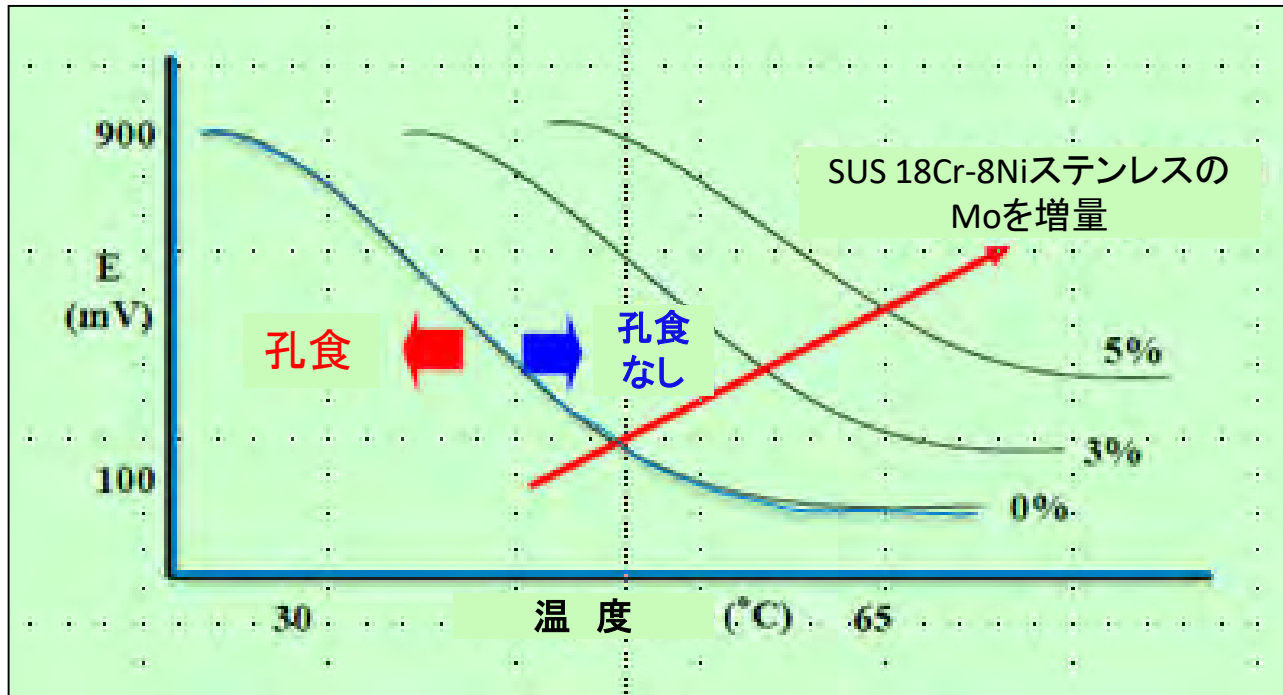
分極曲線



# 孔食に影響する主要因 5

(孔食電位  $E_{pit}$  は一般的に孔食の測定基準として用いられる)

## 1. 温度



温度上昇に伴い、耐孔食性が著しく低下する



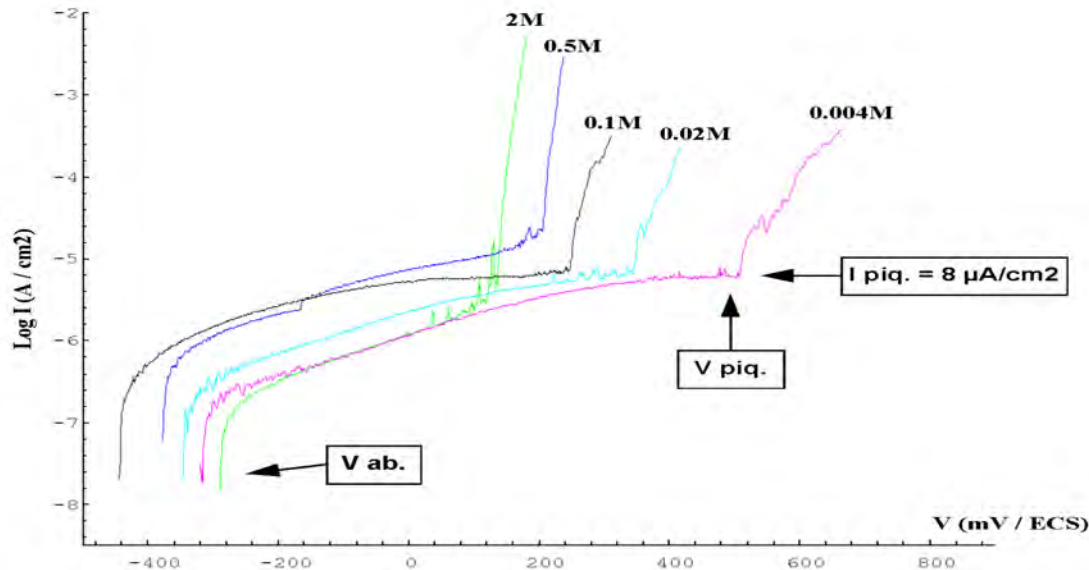
# 孔食に影響する主要因 6

(孔食電位  $E_{pit}$  は一般的に孔食の測定基準として用いられる)

## 2. 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度が増加すると、耐孔食性が低下する

$$E_{pit} = A \log [Cl^-] + B$$

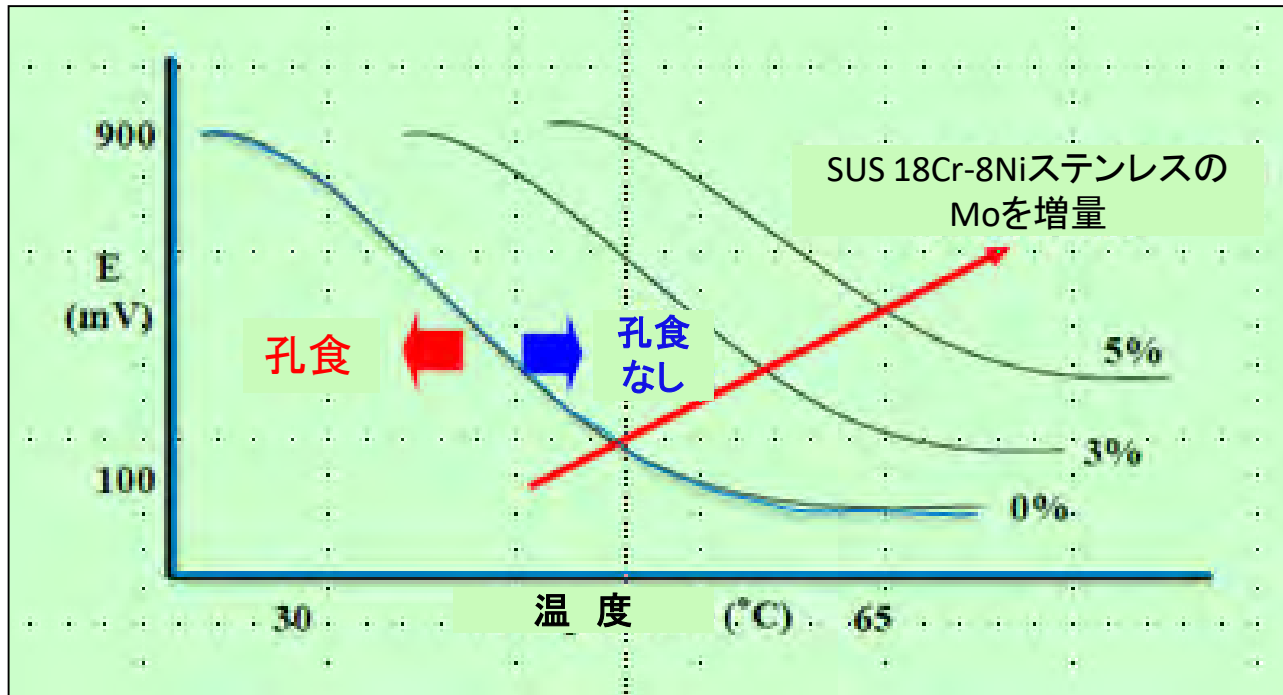


# 孔食に影響する主要因 6

(孔食電位  $E_{pit}$  は一般的に孔食の測定基準として用いられる)

## 2. ステンレス鋼の分析

耐孔食性は N, Mo, Cr などの合金元素の添加により上昇する



合金元素の効果は、PREN(孔食指数)により示される

# 耐孔食指数 (PREN)<sup>6</sup>

- PRENを計算することでステンレス各鋼種の対孔食性の比較が可能となる。数値の高い方が対孔食性が高い。
- 勿論、PRENだけではある鋼種が特定用途に適しているか否かを判断できない。

$PREN = Cr + 3.3Mo + 16N$ , where

Cr = クロム含有量

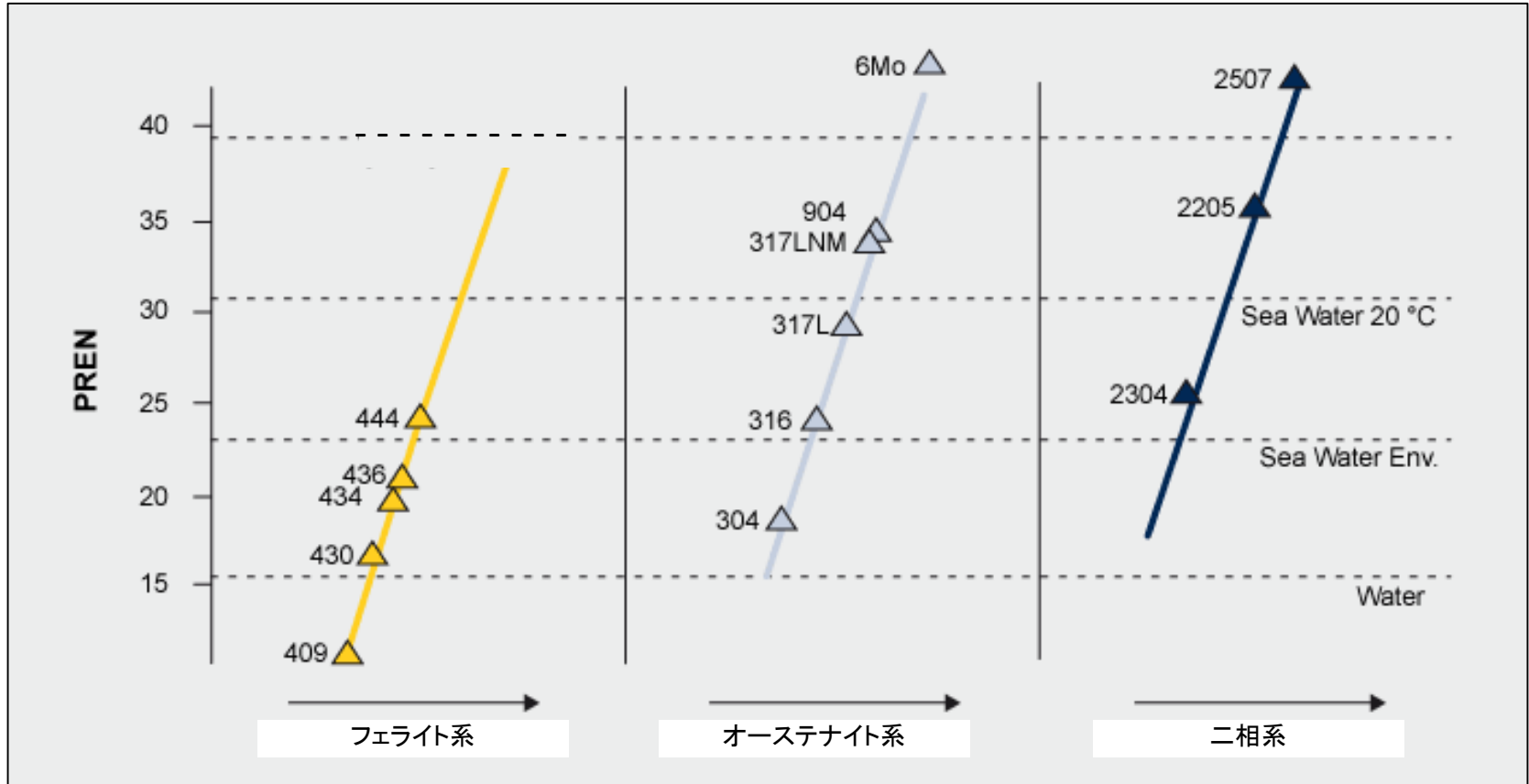
Mo = モリブデン含有量

N = 窒素含有量

ステンレス鋼種 EN規格	AISI規格	PREN
1.4003	-	10.5 - 12.5
1.4016	430	16.0 - 18.0
1.4301	304	17.5 - 20.8
1.4311	304LN	19.4 - 23.0
1.4401/4	316/L	23.1 - 28.5
1.4406	316LN	25.0 - 30.3
1.4439	317L	31.6 - 38.5
1.4539	-	32.2 - 39.9
1.4362	-	23.1 - 29.2
1.4462	-	30.8 - 38.1
1.4410	-	40
1.4501	-	40

**PRENにはNiが含まれていないことに注意。**  
**耐孔食性は、ステンレス鋼のNi含有量に依存しない。**  
**次スライド参照。**

# 一般的な鋼種のPREN<sup>9</sup>



フェライト系ステンレス鋼は耐孔食性において304および316オーステナイト系ステンレス鋼と同等。

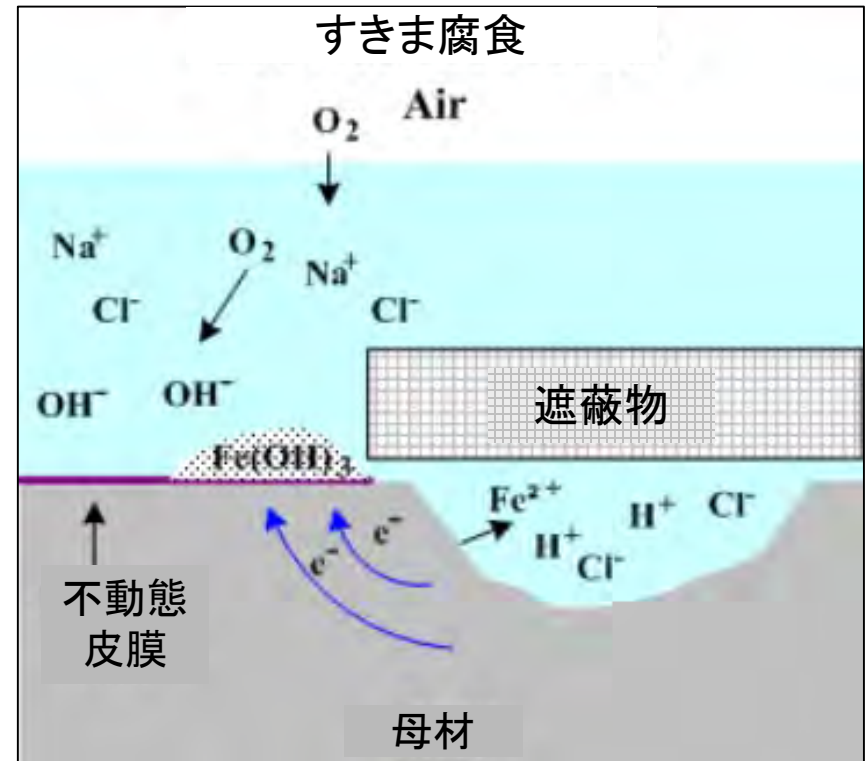
付表のEN規格一覧を参照のこと

## c) すきま腐食とは<sup>1)</sup>?

すきま腐食は、電解質の動きが限定されている閉空間で発生する腐食である。こうした空間は一般的に隙間と呼ばれている。隙間の例としては部品の間隙部と接触部、ガスケットやシールの下、割れ目やシームの中、沈着物が入り込んだ空間やスラッジ堆積物の下等がある。

# すきま腐食のメカニズム

- 当初は隙間部と隙間以外の表面に差異は無い
- しかし、隙間部の酸素濃度が低下すると状況が変化する
- 隙間部にて電気化学反応により塩化物イオン濃度が上昇し、さらに局所的にpHが低下し不動態皮膜の形成を阻害する
- これにより、隙間部において母材の腐食が発生する



オーステナイト系、二相系ステンレス鋼における  
 臨界孔食発生温度: Critical Pitting Resistance Temperature (CPT)  
 臨界すきま腐食発生温度: Critical Crevice Corrosion Temperature (CCT)<sup>8</sup>

補足: 高温であるほど耐食性に優れることを示す

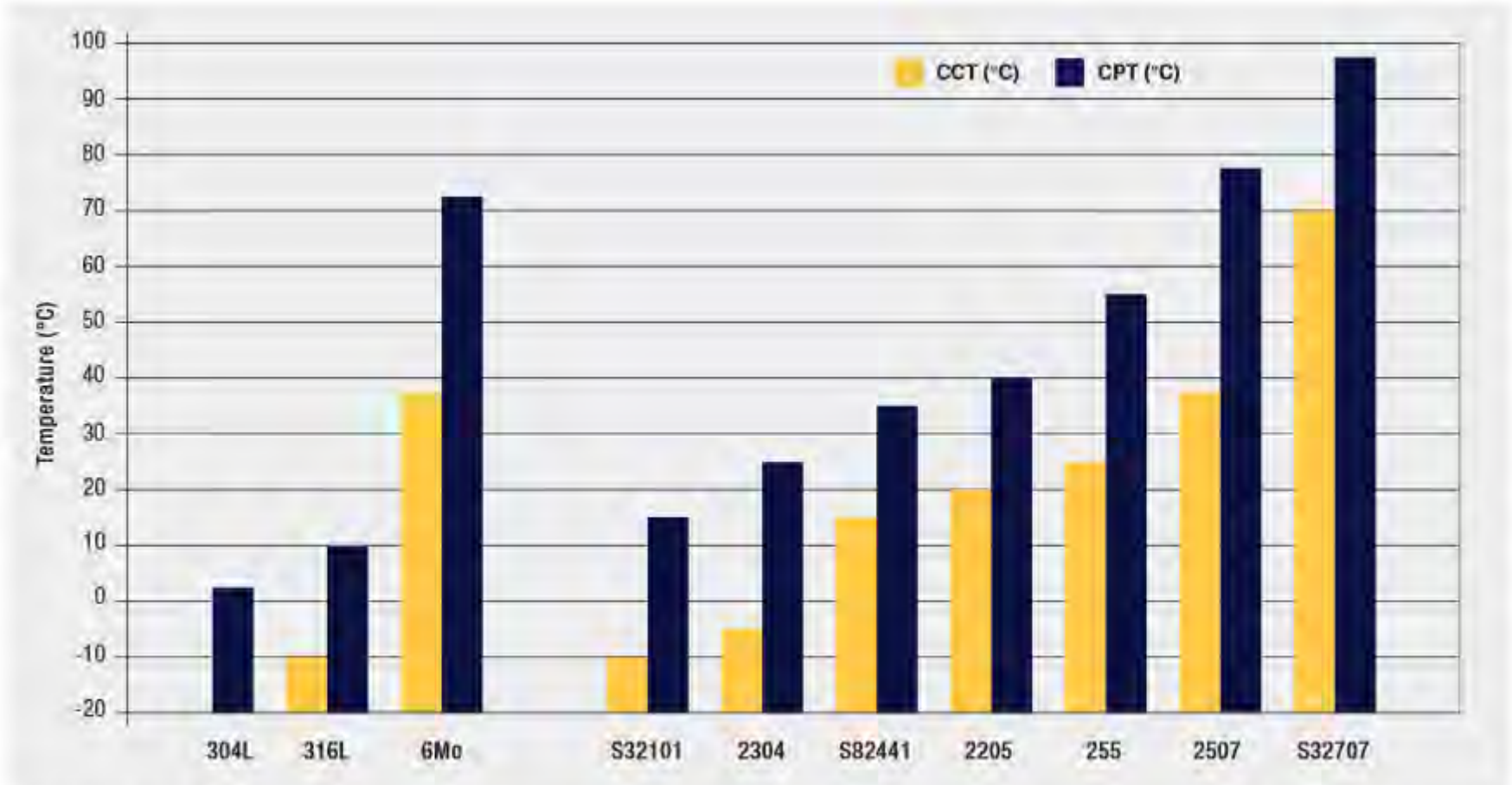


Figure 9: Critical pitting and crevice corrosion temperatures for unwelded austenitic stainless steels (left side) and duplex stainless steels (right side) in the solution annealed condition (evaluated in 6% ferric chloride by ASTM G 48).

付表のEN規格一覧を参照のこと

# すきま腐食の防止方法

1. デザインの最適化:
  - a) 溶接部品を使用する
  - b) 水はけの良さを最適化する
2. 可能な限り付着物を除去、清掃する
3. 適切な耐食性を持つ鋼種選択をする  
(本章 第4項参照)



# d) 異種金属接触腐食とは<sup>11)</sup>?

## (電解腐食)



自然電位が異なる異種金属が接触した際に発生する腐食現象。

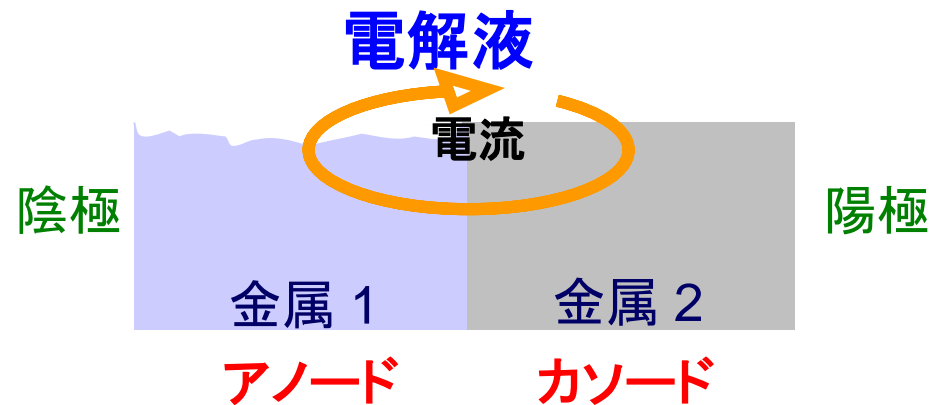
より自然電位が低い金属が腐食する。

左写真:

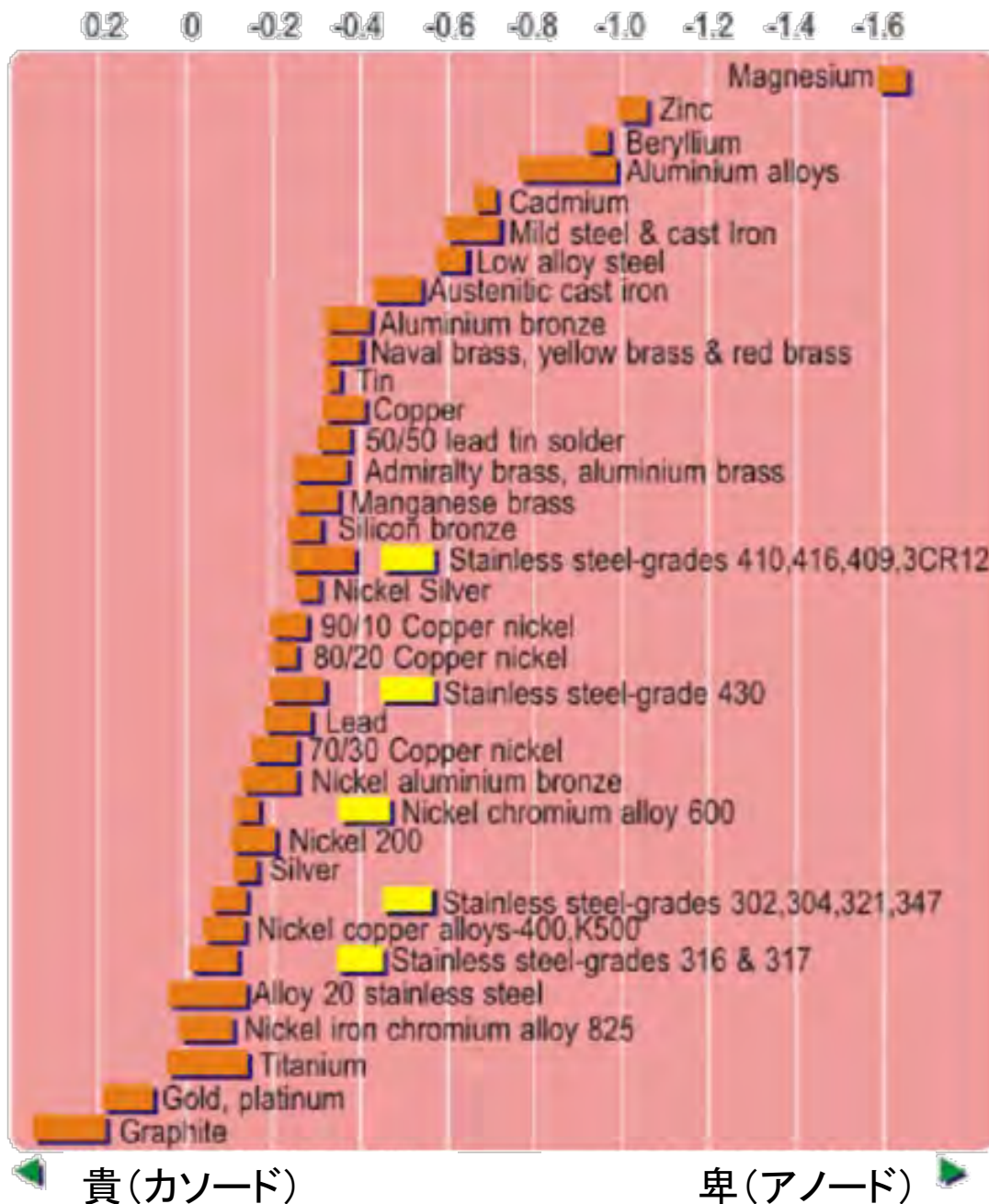
ステンレス鋼を炭素鋼のボルトによりステンレス鋼製の容器に取り付けた際に、湿度(電解液)の存在によりボルトに異種金属接触腐食が発生

# 異種金属接触腐食のメカニズム

- 各金属は電解液に浸漬されると異なる電位を示す(自然電位)
- 2つの異種金属が電解液(湿度)で満たされ
- かつ、それぞれの金属が異なる自然電位を有する場合、
- より卑なる(自然電位が低い)金属側がアノード側となり、貴なる(自然電位が高い)金属側がカソードとなり、腐食電流が発生する
- アノード側の面積が小なる場合、金属溶解がより促進される



# 流動海水中における各金属の自然電位



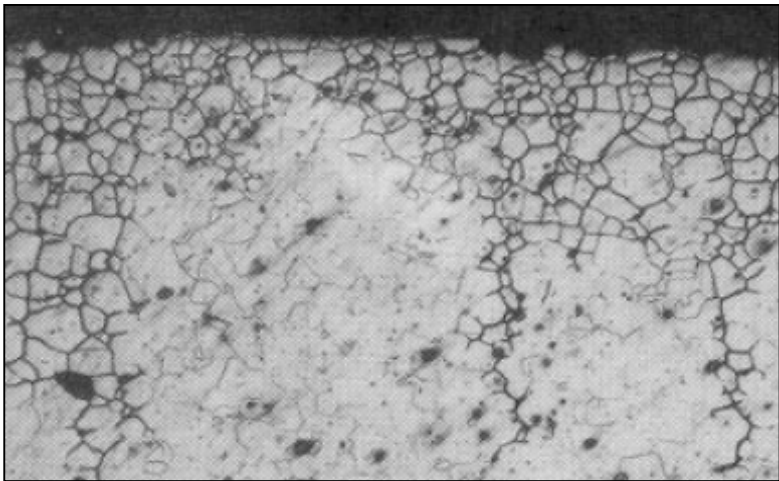
# 異種金属接触腐食を 防止するための基本的ルール

- 異種金属の接触を避ける
- 異種金属の接触が避けられない場合は、  
卑金属(アノード)側の表面積を  
貴金属(カソード)側よりも大きくする
- 事例:
  - アルミニウム製品にステンレス製のファスナーを使用する  
(ステンレス製品へのアルミ製ファスナー使用は避ける)
  - ステンレス鋼と炭素鋼においても同様

塩化物イオンを含有するコンクリート(高pH)中で、ステンレス鋼鉄筋と炭素鋼鉄筋を組み合わせる場合、ステンレス鋼は異種金属接触による炭素鋼の腐食をほとんど促進しない。  
[www.stainlesssteelrebar.org](http://www.stainlesssteelrebar.org)参照。

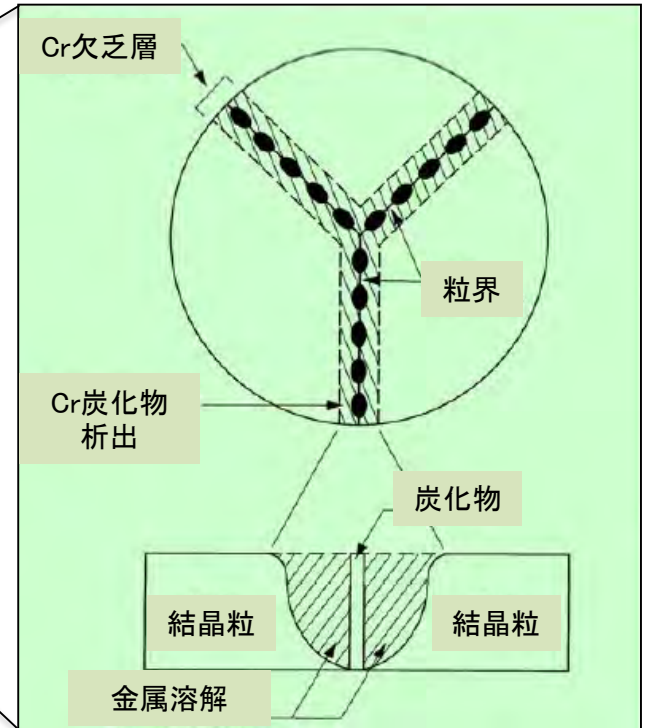
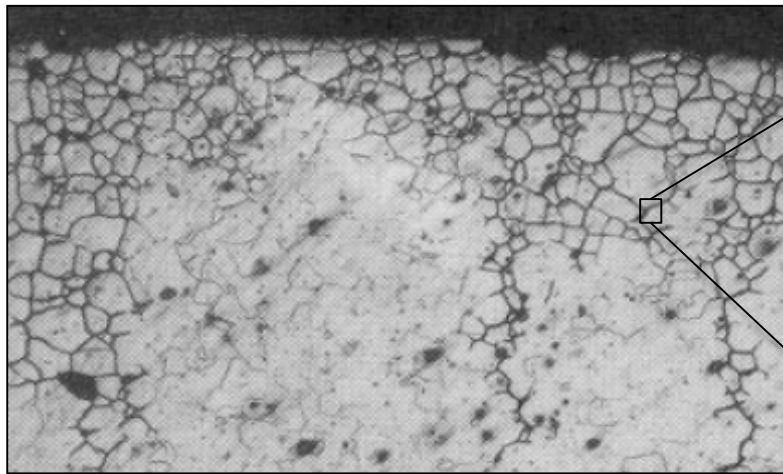
## e) 粒界腐食とは<sup>1</sup>?

粒界腐食とは、結晶粒界にクロム炭化物  $(Fe,Cr)_23C_6$  が析出し、周囲にクロム欠乏層を形成することにより、不働態皮膜の安定性が低下し耐食性が低下することにより発生する



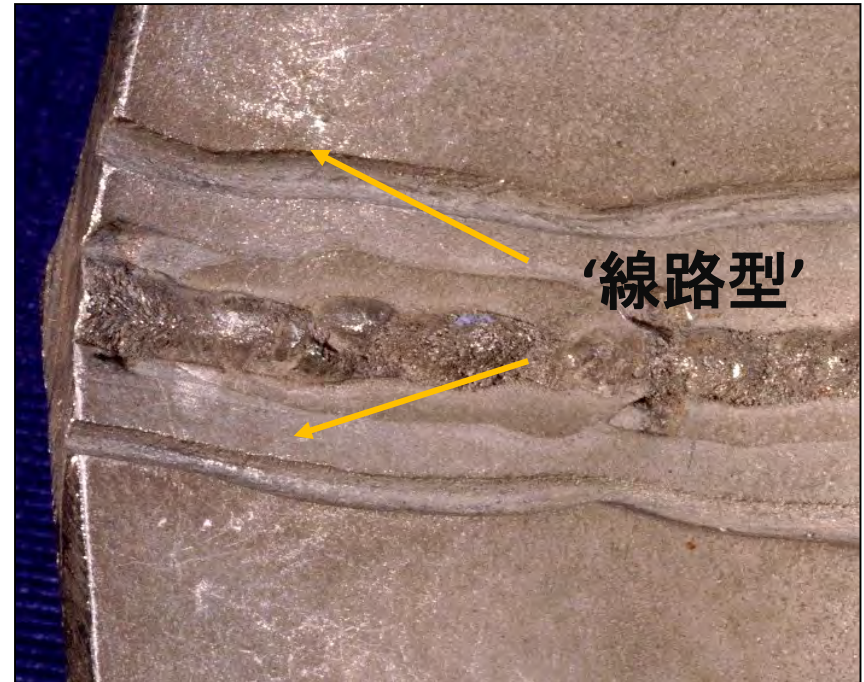
上記写真は、表面研磨後に酸エッチングされたステンレスの顕微鏡写真。網状の黒い線は、耐食性が低下した粒界が酸エッチングにより優先的に腐食していることを示す。

# 粒界におけるCr欠乏層の会略図



# いつ粒界腐食が発生するか？

- 適切に熱処理されたステンレス鋼には粒界腐食は発生しない
- 次に示す場合、HAZ(または溶接部近傍)にて粒界腐食が発生する場合がある
  - 炭素含有量が高い場合
  - 安定化元素(例:Ti、Nb、Zr\*)が含有されていない場合  
(炭素を母材中に“トラップ”し、粒界への拡散を防止する働きがある)



溶接部の経年劣化

\*「安定化」と認められている鋼種には、Ti、Nb、Zrが含有されている

# 粒界腐食の防止方法

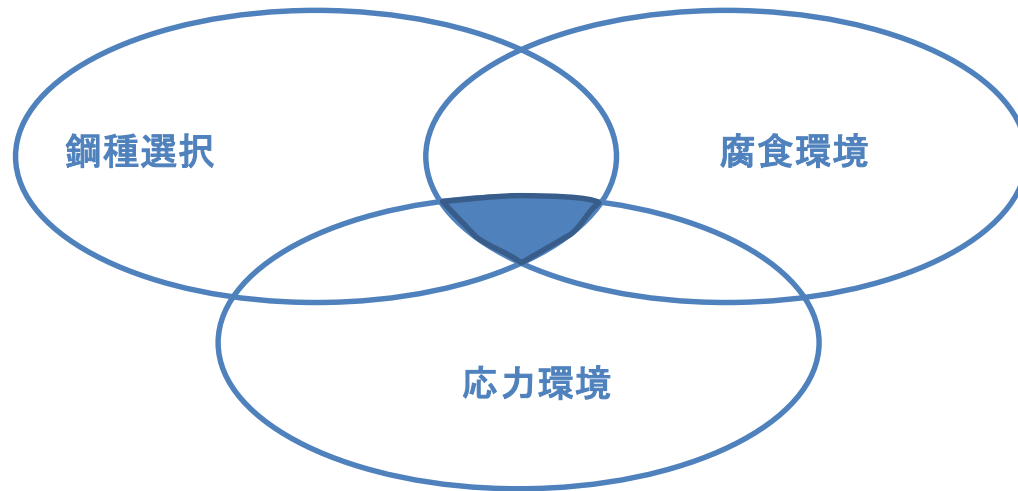
- 低炭素鋼種の採用(オーステナイト系では0.03%以下)
- 安定化鋼種の採用(フェライト系、オーステナイト系)
- 溶体化処理の実施(オーステナイト系)
  - 1,050°C以上に加熱(炭化物の再固溶)
  - 急冷による焼き入れ(実際は実施困難な手法)



# f) 応力腐食割れとは？

## Stress Corrosion Cracking<sup>1</sup> (SCC)

- 変形することなく、突然部品が割れる現象
- この現象は以下の条件が重なることにより発生する
  - 応力がかかる環境（負荷環境または残留応力）
  - 高い腐食環境（塩化物イオン環境、50°Cを超える環境）
  - 耐SCC性の低いステンレス鋼種選択

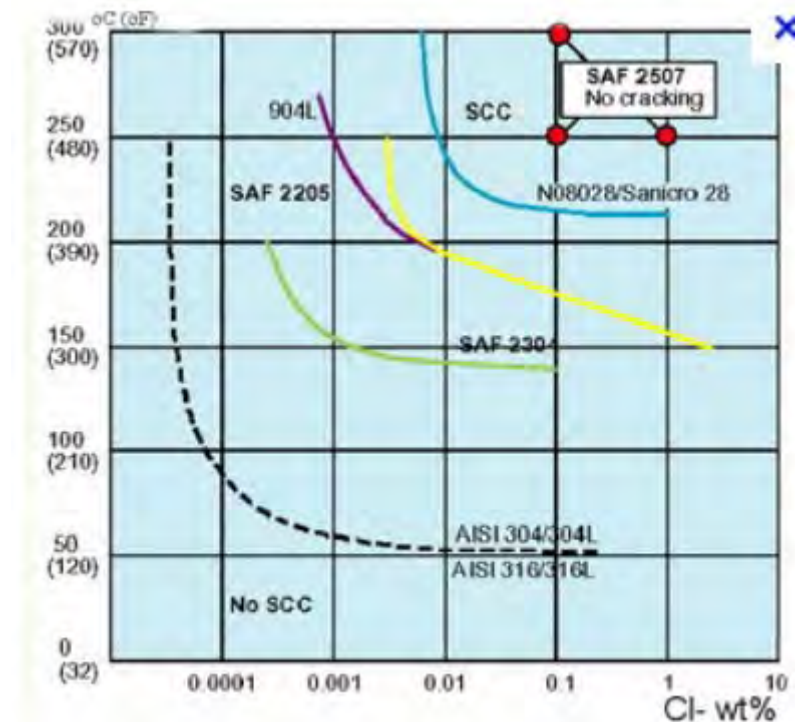


フェライト系、二相系ステンレス鋼においては、応力腐食割れはほぼ発生しない  
(応力腐食割れの感受性が低い)

# 応力腐食割れ(SCC)の発生メカニズム

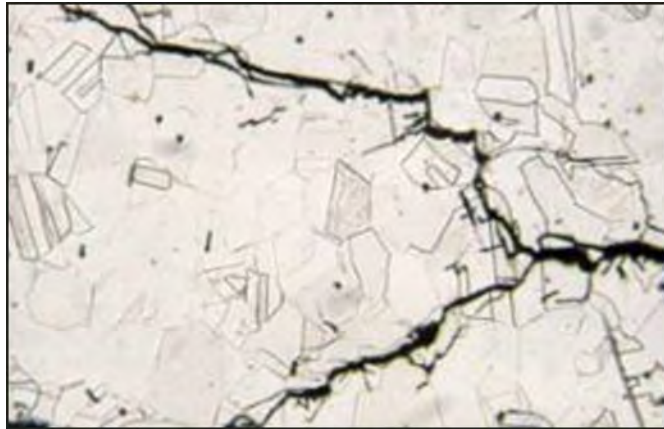
腐食環境と応力環境により以下の現象が連続的に発生する:

1. 孔食の発生
2. 孔食を起点に亀裂発生
3. 亀裂が粒内、粒界を伝播
4. 大きな割れ



付表のEN規格一覧を参照のこと

# 応力腐食割れ(SCC)を避ける選択肢



塩化物イオン環境下での標準的なオーステナイト系ステンレス鋼 (EN1.4301/304、EN1.4401/316) における応力腐食割れ(SCC)

+Ni  
+Mo

1.4539/SUS890L  
1.4547 (6Mo)/SUS312L

Ni、Moの含有量が高い鋼種を選択  
(高耐食性の鋼種)

+Cr

二相ステンレス鋼の選択

1.4462/SUS329J3L  
1.4410  
1.4501

フェライト系、二相系ステンレス鋼は応力腐食割れの感受性が低い  
(二相系においてはフェライト相がSCCの伝播を防止する働きがあるため)  
より詳しい情報は第4章を参照してください

## 4. 適切な耐食性を有する 鋼種選定方法

2つの異なる用途を検討:

1. 構造用途 <sup>10a</sup>
2. その他 <sup>10b</sup>

## 4 - 1 構造用途

Eurocode 1-4では、構造用途に適したステンレスの鋼種選択方法が記載されている

### 対象用途

- 耐力組立部材
- 野外用途
- 海水の浸漬が無い環境での用途
- pH 4～10での用途
- 化学反応の副産物に曝されない用途

# 鋼種選択の方法

1. 環境を(F1+F2+F3)で構成される耐食係数(CRF = F1+F2+F3)で評価
  - a) F1 : 塩水または融雪塩による、塩化物イオンへの暴露ランク
  - b) F2 : 二酸化硫黄への暴露ランク
  - c) F3 : 洗浄方法または降雨による洗浄への暴露ランク
2. 対応表により、耐食係数(CRF)より耐食等級(CRC)を決定
3. ステンレス鋼種は耐食等級(CRC)I~Vに分類

表 A: 1. 耐食係数(CRF=F1+F2+F3) の測定

## F1 塩水または融雪塩による塩化物イオン暴露ランク

注: M=海岸からの距離 S=融雪塩が撒かれる道路からの距離

1	内部管理された環境
0	暴露への低いリスク M > 10 km or S > 0.1 km
-3	暴露への中位のリスク 1 km < M ≤ 10 km or 0.01 km < S ≤ 0.1 km
-7	暴露への高いリスク 0.25 km < M ≤ 1 km or S ≤ 0.01 km
-10	暴露への非常に高いリスク 除氷岩塩が撒かれるトンネル、または車両により除氷岩塩が持ち込まれるトンネル
-10	暴露への非常に高いリスク M ≤ 0.25 km ドイツの北海沿岸 バルト海沿岸全域
-15	暴露への非常に高いリスク M ≤ 0.25 km ポルトガル、スペイン、フランスの大西洋沿岸、 英国の英仏海峡と英国、フランス、ベルギー、オランダ、スウェーデン南部の北海沿岸、 英国、ノルウエー、デンマークおよびアイルランドの沿岸全域 地中海沿岸

## F2 二酸化硫黄への暴露ランク

注：欧州沿岸の環境下では二酸化硫黄の数値は通常低い。内陸部の環境下では同数値は低いか中位である。高位の分類は稀で特定の重工業地帯やトンネルのような固有の環境に関連している。二酸化硫黄の沈着はISO 9225に規定の方法で判定することができる。

0	<b>暴露への低いリスク</b> 平均沈着 <10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
-5	<b>暴露への中位のリスク</b> 平均沈着 10 – 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
-10	<b>暴露への高いリスク</b> 平均沈着 90 – 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## F3 洗浄方法または降雨による洗浄への暴露ランク(もし F1 + F2 = 0なら F3 = 0となる)

0	雨による洗浄へ完全に暴露
-2	特定の洗浄方法がある
-7	雨による洗浄も特定の洗浄方法も無い

注：特定の部品につき腐食の有無を確認する定期的検査や洗浄が必要な場合には、その旨書面でユーザーに伝える。また検査、洗浄方法およびその頻度も指定する。洗浄を頻繁に行えば行うほどその恩恵は増す。頻度は最低3ヶ月に1回とする。洗浄方法を指定する場合は、単に簡単に手が届き、目に見える箇所だけでなく構造物全体に適用されるようにすること。



# 対応表

表 A.2: 耐食等級 (Corrosion Resistance Class : CRC)	
耐食係数 : Corrosion Resistance Factor (CRF)	耐食等級 : Corrosion Resistance Class (CRC)
CRF = 1	I
$0 \geq \text{CRF} > -7$	II
$-7 \geq \text{CRF} > -15$	III
$-15 \geq \text{CRF} \geq -20$	IV
CRF < -20	V

# ステンレス鋼種の耐食等級

表A3: 各耐食等級(CRC)に分類される鋼種

耐食等級(CRC)

I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4539	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4462	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4578		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4162		

フェライト系   
 一般オーステナイト系   
 Moオーステナイト系   
 スーパーオーステナイト系  
リン二相系   
 二相系/スーパー二相系

注: 添付のEN規格一覧参照。これはスイミングプールには適用されない。

## 4-2 その他

- 通常は特別な規定は適用されない
- 鋼種選択は期待する性能を満たすものとする
- 以下の方法を検討する
  - 専門家に相談する
  - 各国のステンレス協会の支援を得る
  - 類似環境における成功例を参考にする

# 建築材における鋼種選択方法

- ただし、以下の場合を除く
  - 外観上の意匠性を伴わない場合
  - 構造的強度を最優先する場合

# 選択方法の活用

1. 評価用のスコアを算出する
2. それぞれのスコアに対応したSUS鋼種が推奨される

評価用のスコアの基準は以下の5項目

- i. 大気汚染影響スコア
- ii. 塩害暴露影響スコア（沿岸部または豪雪部）
- iii. 地域性天候影響スコア
- iv. 設計影響スコア
- v. メンテナンススコア

# i. 大気汚染影響スコア

スコア	工業排気または自動車排気ガスによる大気汚染状況
0	大気汚染が低いまたは無い地域
2	軽工業、自動車排ガスによる影響が中程度の地域
3	軽工業、自動車排ガスによる影響が強い地域 *
3	重工業による影響が低いまたは中程度の地域
4	重工業による影響が強い地域 *

\*潜在的に高い腐食環境にある場所であり、ステンレス鋼の専門家に問合せ下さい

## ii. 塩害暴露影響スコア (A) 沿岸部(塩害影響)

スコア	海岸からの距離または波飛沫の飛散状況
1	低レベル ( 海岸より 1.6~16.0km の地域 ) **
3	中レベル ( 海岸より 30m~1.6km の地域 )
4	高レベル ( 海岸より 30m以下 の地域 )
5	海岸線地域 低 ( 時折波飛沫が飛散する地域 ) *
8	海岸線地域 中 ( 断続的に波飛沫が飛散する地域 ) *
10	海岸線地域 高 ( 断続的に海水に接触する地域 ) *

\* 潜在的に高い腐食環境にある場所です。専門の腐食サイトを参照してください。

\*\* 一般的に塩化物が検出される海岸線からの距離を示しています。  
このため、一部地域では全く塩化物が検出されない場合もあります。

## ii. 塩害暴露影響スコア (B) 豪雪部(凍結防止剤影響)

スコア	公道からの距離または建物の階層レベル
0	塩化物イオンが全く検出されず、暴露環境の変化が予測されない地域
0	交通、風雨による路上の凍結防止剤の飛散が弱く歩道に凍結防止剤が使用されていない地域
1	極低レベル (公道より 10m~1.0km または 3~60階建て) **
2	低レベル (公道より 10~500m または 2~34階建て) **
3	中レベル (公道より 3~100m または 1~22階建て) **
4	高レベル (公道より 2~50m または 1~3階建て) * **

\* 潜在的に高い腐食環境にある場所です。専門の腐食サイトを参照してください。

\*\* 一般的に塩化物イオンが検出される公道からの距離を示しています。

外壁部における塩化物濃度の測定を行ってください。

沿岸部かつ豪雪部に属する場合は、専門家にお問合せ下さい



### iii. 地域性天候影響スコア

スコア	気象条件
-1	温暖または寒冷気候で多雨地域
-1	温暖または寒冷気候で一般的に湿度が50%以下の地域
0	寒冷気候で時折大雨がある地域
0	熱帯、亜熱帯湿潤気候で季節による大雨がある地域
1	温暖気候でにわか雨があり湿度が50%以上の地域
1	小雨、霧が多い地域
2	熱帯気候で湿度が50%以上あり少雨または降雨が無い地域 ***

\*\*\* 同時に塩害、大気汚染がある場合は専門の腐食サイトを参照してください。

## iv. 設計影響スコア

スコア	天候影響
0	外気に晒され、降雨により表面が洗淨され易い環境
0	垂直面または突起が無い表面仕上げ
-2	酸洗仕上げ、電解研磨仕上げまたは表面粗度 $0.3\mu\text{m}$ 以下 (Ra)
-1	表面粗度 $0.3 < \text{Ra} \leq 0.5\mu\text{m}$
1	表面粗度 $0.5 < \text{Ra} \leq 1.0\mu\text{m}$
2	表面粗度 $1.0\mu\text{m} < \text{Ra}$
1	表層がカバーで覆われた形状または保護されていない隙間環境 ***
1	水平な表面環境
1	水平方向となる突起がある環境

\*\*\* 同時に塩害、大気汚染がある場合は専門の腐食サイトを参照してください。

表面粗度 (Ra) に関する補足;

[https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/RoughnessMeasurement\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoughnessMeasurement_EN.pdf)

この表は、耐食性が表面状態、仕上げに依存していることを示しています。

表面仕上影響に関するより詳しい情報は、第8章を参照して下さい

## V. メンテナンススコア

スコア	清掃、メンテナンス環境
0	清掃が全く行わないまたは自然に行われない環境
-1	降雨による表面洗浄が行われる環境
-2	年間4回以上の清掃
-3	毎月の清掃

# スコアによる鋼種選定

スコア	一般的に最も経済的とされる鋼種選択
0~2	Type 304 / 304L
3	Type 316 / 316L or 444
4	Type 317L またはそれ以上の耐すきま腐食に優れた鋼種が推奨されます
5以上	二相ステンレス鋼など非常に高い耐食性を示す特殊素材が必要です 4462, 317LMN, 904L, super duplex, super ferritic, 6% Mo super Austenitic...

付録のEN規格の鋼種表を参照して下さい

ステンレス鋼の鋼種選定は、メンテナンスコストを含めたライフサイクルコストを最小化させ、持続可能性を高める意味で非常に重要です。  
持続可能性に関するより詳しい情報は、第11章を参照して下さい

# まとめ

- それぞれの用途、使用環境に応じて、ステンレス鋼の鋼種を正しく選定して下さい
- 適切な鋼種選択を行うことにより、永続的にメンテナンスフリーを実現することができます

[全世界的なステンレス鋼の成功的な採用事例として以下を参照して下さい](#)

[第1章 永続的な芸術作品](#)

[第2章 幅広い分野での採用事例](#)

# 5. 参考リンク先

1. An excellent course on corrosion. Please look at chapters 7 (Galvanic Corrosion), 8 (intergranular corrosion), 11 (crevice corrosion) 12 (pitting) 14 (Stress corrosion cracking) and 15 (stress corrosion cracking of stainless steels) Original source: <http://corrosion.kaist.ac.kr> Downloads available from: [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education\\_references/Zrefs\\_on\\_corrosion.zip](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Zrefs_on_corrosion.zip)
2. Some basics on corrosion from NACE <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-History/Course.htm#Scope>
3. An online course on corrosion [http://www.corrosionclinic.com/corrosion\\_online\\_lectures/ME303L10.HTM#top](http://www.corrosionclinic.com/corrosion_online_lectures/ME303L10.HTM#top)
4. Information on electrochemical testing <http://mee-inc.com/esca.html>
5. Ugitech: private communication
6. BSSA (British Stainless Steel Association) website ” Calculation of pitting resistance equivalent numbers (PREN)” <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=111>
7. On Pitting corrosion  
[https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG\\_JournalElectrochemicalSociety\\_1998\\_v145n6\\_p2\\_186-2198.pdf?sequence=1](https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG_JournalElectrochemicalSociety_1998_v145n6_p2_186-2198.pdf?sequence=1)
8. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/Duplex\\_Stainless\\_Steel\\_3rd\\_Edition.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex_Stainless_Steel_3rd_Edition.pdf)
9. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/steel-grades.php>
10. a ) J. McGray and G Gedge: EN1993-1-4 Annex 4 and service experience of real structures Paper presented at the Duplex Deminar and Summit 2016 b) [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/IMOA\\_Houska-Selecting\\_Stainless\\_Steel\\_for\\_Optimum\\_Performance.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/IMOA_Houska-Selecting_Stainless_Steel_for_Optimum_Performance.pdf)
11. [http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic\\_corrosion](http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic_corrosion)
12. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=668>
13. [http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW\\_0812\\_duplex.pdf](http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW_0812_duplex.pdf)
14. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/grades/duplex/Pages/default.aspx>
15. [http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex\\_Maastricht\\_EN-22p-7064Ko.pdf](http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex_Maastricht_EN-22p-7064Ko.pdf)
16. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=606>
17. a) Chemical composition of stainless steel flat products for general purposes to EN 10088-2: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44> b) Chemical composition of stainless steel long products for general purposes to EN 10088-3: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>

# 付表: EN規格一覧<sup>17</sup>

EN Designation		Alternative Designations			
Steel name	Steel number	AISI	UNS	Other US	Generic/Brand
<b>Ferritic stainless steels - standard grades</b>					
X2CrNi12	1.4003		S40977		3CR12
X2CrTi12	1.4512	409	S40900		
X6CrNiTi12	1.4516				
X6Cr13	1.4000	410S	S41008		
X6CrAl13	1.4002	405	S40500		
X6Cr17	1.4016	430	S43000		
X3CrTi17	1.4510	439	S43035		
X3CrNb17	1.4511	430N			
X6CrMo17-1	1.4113	434	S43400		
X2CrMoTi18-2	1.4521	444	S44400		
<b>Martensitic stainless steels - standard grades</b>					
X12Cr13	1.4006	410	S41000		
X20Cr13	1.4021	420	S42000		
X30Cr13	1.4028	420	S42000		
X3CrNiMo13-4	1.4313		S41500	F6NM	
X4CrNiMo16-5-1	1.4418				248 SV
<b>Martensitic and precipitation-hardening steels - special grades</b>					
X5CrNiCuNb16-4	1.4542		S17400		17-4 PH

EN Designation		Alternative Designations			
Steel name	Steel number	AISI	UNS	Other US	Generic/Brand
<b>Austenitic stainless steels - standard grades</b>					
X10CrNi18-8	1.4310	301	S30100		
X2CrNi18-9	1.4307	304L	S30403		
X2CrNi19-11	1.4306	304L	S30403		
X2CrNiN18-10	1.4311	304LN	S30453		
X5CrNi18-10	1.4301	304	S30400		
X6CrNiTi18-10	1.4541	321	S32100		
X4CrNi18-12	1.4303	305	S30500		
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	316LN	S31653		
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	S31600		
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316Ti	S31635		
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	316L	S31603		
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	317L			
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539		N08904		904L
<b>Austenitic-ferritic stainless steels-standard grades</b>					
X2CrNiN22-2	1.4062		S32202		DX 2202
X2CrMnNiMoN21-5-3	1.4482		S32001		
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162		S32101		2101 LDX
X2CrNiN23-4	1.4362		S32304		2304
X2CrNiMoN12-5-3	1.4462		S31803/ S32205	F51	2205

注)これは一例であり、詳細については  
リンク先17を参照してください

Thank you



# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第7章A

### ステンレス鉄筋の構造用途

# 誤った鋼種選択は 大きな問題を引き起こす





## インターチェンジでの腐食事例

Turcot highway interchange

(ターコットインターチェンジ、モントリオール、カナダ)

- 1966年に建設されたDearie (デカリエ = 南北) と Ville Marie (ビル・マリ = 東西) 2本の高速道路のインターチェンジ
- 1日の交通量は300,000台以上
- 鉄筋コンクリート製だが今日では除氷岩塩により著しく腐食している。

# 建て替えが必要となる

- 常時監視し、修理を行っているにもかかわらず、取り外すか部分的な建て替えが必要となる
  - 現在までのコスト概算：30億ドル
  - 2018年の建て替えまでにさらに2億5400万ドルが必要となる。
- この建造物の耐用年数はわずか50年しかない。

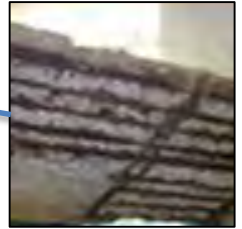
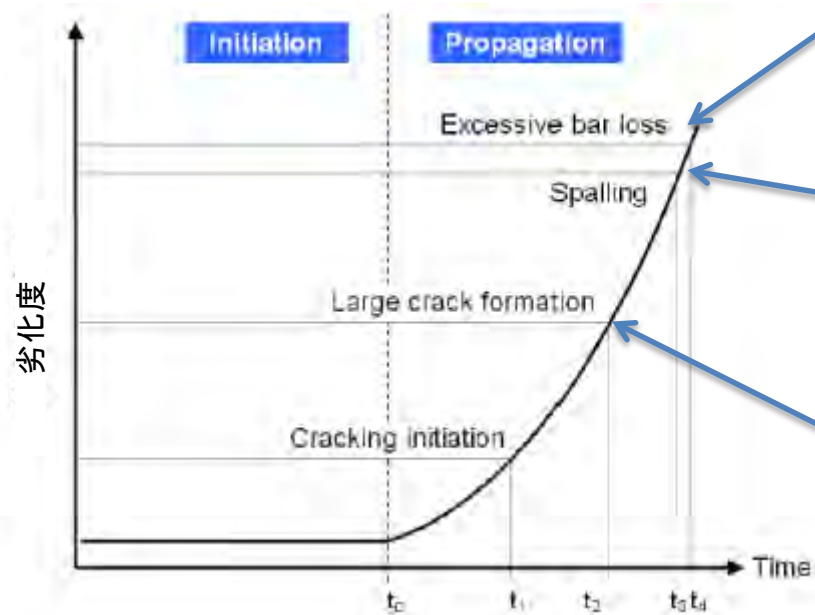


どのようにして鉄筋コンクリート  
が腐食により損傷するのか

# コンクリート内部への 腐食性イオン(一般的に塩化物イオン)の拡散

順序<sup>3</sup>:

1. 最初に炭素鋼の鉄筋が腐食する( $t_0$ )
2. 鋼材よりも大きな体積となった腐食生成物は外側に圧力を与える
3. コンクリートに亀裂が入り、塩化物イオンが侵入し易い環境となる( $t_1$ )
4. コンクリートの外装が割れ(スポーリング)、鉄筋がむき出しとなる( $t_3$ )
5. 修復をしない場合、腐食が進行し、鉄筋が強度限界を迎え建物が崩壊する( $t_4$ )



## コンクリートの亀裂が腐食を進行させる

コンクリートには亀裂が入ることがあり、この亀裂を介して腐食性イオンが鉄筋に到達することがある。

亀裂発生の原因については、参考サイト4を参照してください。

亀裂はすぐには発生せず、また修復が不可能な隠された場所でも発生する点にご注意下さい。



# 正しい鋼種選択は 賢明な長期投資となる

## Progresso Pier(プログレッソ栈橋) (1/3)



メキシコのProgresso(プログレッソ)で1970年に栈橋が一基建造された。海浜環境のため炭素鋼が腐食し、最終的に栈橋は崩壊した。

## Progresso Pier(プログレッソ棧橋) (2/3)



一方で、隣接する別の棧橋(写真の奥側)は、1937～1941年にステンレス鉄筋を使用して建造されていた。

## Progresso Pier(プログレッソ栈橋) (3/3)



それ以降、この隣接するステンレス製の栈橋は  
大きな改修、補修を行わずに新設時同様の状態を保持している。

主要な土木建造物は現在では  
100年以上の耐用年数が必要とされる

# Haynes Inlet Slough Bridge

(ヘインズ・インレット・スラウ橋, 米国オレゴン州, 2004)

デッキ部に400トンのステンレス鉄筋を使った珍しいアーチ蝶番の橋。

長さ230mのヘインズ・インレット・スラウにかかる橋はメンテナンス無しで120年は持つと考えられている。ステンレスは材料としては普通の鉄鋼よりはるかに高価だが、橋のライフ・サイクル・コストは大幅に削減される。





# Broadmeadow Bridge

(ブロードメドウ橋, アイルランド ダブリン, 2003)

105トンのステンレス鉄筋を橋脚や欄干に使用して新しく作られた河口を跨ぐ橋



# Hong Kong- Zhuhai- Macau Bridge

(香港—珠海—マカオ橋, 2009年着工, 2018年竣工の予定)

著名な香港—珠海—マカオを結ぶ海上路は世界最大のプロジェクトの一つである。要求される耐用年数はメンテナンス無しで120年。従って、橋脚の重要な部分—主に飛沫帯—にはステンレス鉄筋が指定されている。最終的には15,000トンのステンレスが使用される予定。





## ダムの修理

Bayonne (バイヨンヌ, フランス)

港への入り口を保護するために  
1960年代に建てられたダム

海側の方が高く40トンのブロックで  
保護されているが、嵐で傷むので  
取り替えの必要がある。

川側では幅7mのプラットフォーム  
から大型クレーンでブロックを持ち  
上げられるようになっている。

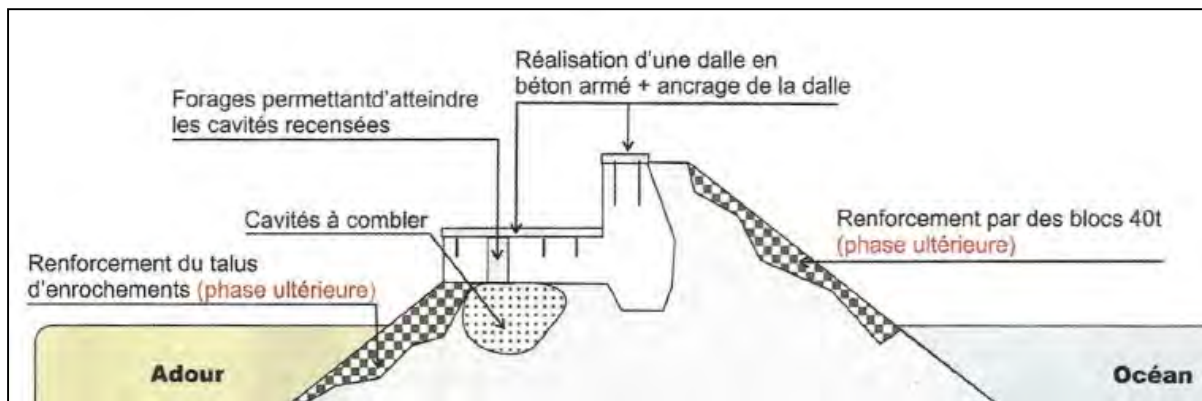


航空写真

デッキと壁の割れ目は修理の必要がある。



## 護岸部断面図

護岸修理  
Bayonne (バイヨンヌ, フランス)

プラットフォームと護岸はリー  
ンニ相鋼(EN1.4362) で補強さ  
れた。

## 修理中の護岸

## 2014年の初めに強風に見舞われたダム



## ステンレス鉄筋を検討すべき場合：

### 腐食環境：

- ・海水環境、熱帯性気候地域
  - －橋梁
  - －栈橋
  - －岸壁
  - －街頭柱や手すりのアンカー
  - －護岸
  - －その他
- ・豪雪地帯（融雪塩を使用する環境）
  - －橋梁
  - －陸橋やインターチェンジ
  - －駐車場
- ・廃水処理タンク
- ・淡水化プラント
- ・耐用年数の長い建造物
  - －歴史的建造物の修復
  - －核廃棄物貯蔵
- ・使用状態が不明な環境
  - －検査が不可能
  - －修理がほとんど不可能か非常に高価となる場合

# ステンレス鉄筋と他の材料との比較

	利点	欠点
エポキシ被覆	初期コストが安価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲げると割れる</li> <li>・据付けの際に傷つけないよう取扱いに注意を要する</li> </ul>
亜鉛被覆	初期コストが安価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲げると割れる</li> <li>・ZnはFeより短期間で腐食し、Znが腐食すると耐食性が無くなる</li> </ul>
FRP	初期コストが安価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲げると割れる</li> <li>・厳しい冬期には耐熱性や耐衝撃性がなくなる</li> <li>・鉄鋼ほど堅固ではない</li> <li>・耐用年数経過後の処分も考えておく必要がある</li> </ul>
カソード被覆	初期コストが安価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全般的保護のためデザインに注意する必要がある</li> <li>・適切な電気接続が確保できるよう据付けの際にも注意を要する</li> <li>・恒久的な電流原(監視とメンテナンスが必要)か監視または取り替えを要する犠牲アノードが必要となる</li> </ul>
膜	初期コストが安価?	<ul style="list-style-type: none"> <li>・据付けに注意が必要</li> <li>・長期使用の場合の性能に疑問がある</li> <li>・水平面に限定される</li> </ul>
ステンレス	LCCが安価 <ul style="list-style-type: none"> <li>・炭素鋼と似た設計が可能</li> <li>・炭素鋼・ステンレスの組み合わせ補強が効果的</li> <li>・据付けが簡単</li> <li>・メンテナンス不要</li> <li>・耐用年数に限度がない</li> <li>・コンクリート被覆を薄くできる</li> <li>・耐火性にも優れている</li> <li>・100%リサイクル可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・初期コストが高い</li> </ul>

# 参考サイト／文献

1. <http://www.lapresse.ca/actualites/montreal/201111/25/01-4471833-echangeur-turcot-254-millions-pour-lentreten-avant-la-demolition.php>
2. <http://www.ledevoir.com/politique/quebec/336978/echangeur-turcot-quebec-confirme-le-mauvais-etat-des-structures>
3. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education\\_references/Ref07\\_The\\_use\\_of\\_predictive\\_models\\_in\\_specifying\\_selective\\_use\\_of\\_stainless\\_steel\\_reinforcement.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref07_The_use_of_predictive_models_in_specifying_selective_use_of_stainless_steel_reinforcement.pdf)
4. <http://www.nachi.org/visual-inspection-concrete.htm> visual inspection of concrete
5. <http://www.nickelinstitute.org/en/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAProgresoPier.aspx> (progreso Pier)
6. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education\\_references/Ref08\\_Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref08_Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf)
7. <https://www.roadsbridges.com/willing-bend-0> (oregon)
8. <http://structurae.net/structures/data/index.cfm?id=s0011506> (oregon)
9. <http://www.aeonline.ae/major-hong-kong-stainless-steel-rebar-contract-signed-by-arminox-middle-east-42317/news.html> (HK Macau)
10. <http://www.engineersireland.ie/EngineersIreland/media/SiteMedia/groups/Divisions/civil/Broadmeadow-Estuary-Bridge-Integration-of-Design-and-Construction.pdf?ext=.pdf> (Broadmeadow)
11. Courtesy Ugitech SA
12. [http://www.arup.com/Projects/Stonecutters\\_Bridge.aspx](http://www.arup.com/Projects/Stonecutters_Bridge.aspx) (stonecutters'bridge)
13. [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters\\_Bridge\\_Case\\_Study-2.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters_Bridge_Case_Study-2.pdf) (stonecutters'bridge)
14. [http://www.cif.org/noms/2008/24\\_Ocean\\_Parkway\\_Belt\\_Bridge.pdf](http://www.cif.org/noms/2008/24_Ocean_Parkway_Belt_Bridge.pdf) (belt parkway bridge)
15. Béton Armé d'innox: Le Choix de la durée (French) <http://www.infociments.fr/publications/ciments-betons/collection-technique-cimbeton/ct-t81>
16. Armaduras de Acero Inoxidable (Spanish) <http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59armadurasaceroinoxidable.pdf>
17. [www.ukcares.com/downloads/guides/PART7.pdf](http://www.ukcares.com/downloads/guides/PART7.pdf)
18. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education\\_references/Ref19\\_Case\\_study\\_of\\_progreso\\_pier.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Ref19_Case_study_of_progreso_pier.pdf)
19. <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrapp%20405.pdf> (general)
20. [http://americanarminox.com/Purdue\\_University\\_Report\\_-\\_Stainless\\_Steel\\_Life\\_Cycle\\_Costing.pdf](http://americanarminox.com/Purdue_University_Report_-_Stainless_Steel_Life_Cycle_Costing.pdf) (advantages of using ss rebar)
21. <http://www.stainlesssteelrebar.org>

NEW!

# 異種金属接触腐食について

1. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore, M. P. Pedferri and P. Pedferri, "Effects of Galvanic Coupling between Carbon Steel and Stainless Steel Reinforcement in Concrete", International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, 1998, Orlando, Florida.
2. A. Knudsen, EM. Jensen, O. Klinghoffer and T. Skovsgaard, "Cost-Effective Enhancement of Durability of Concrete Structures by Intelligent use of Stainless Steel Reinforcement", International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, 1998, Orlando, Florida.
3. L. Bertolini, M. Gastaldi, T. Pastore and M. P. Pedferri, "Effect of Chemical Composition on Corrosion Behaviour of Stainless Steel in Chloride Contamination and Carbonated Concrete", Properties and Performances, Proceedings of 3rd European Congress Stainless Steel '99, 1999, Vol .3, Chia Laguna, AIM
4. O. Klinghoffer, T. Frolund, B. Kofoed, A. Knudsen, EM. Jensen and T. Skovsgaard, "Practical and Economic Aspects of Application of Austenitic Stainless Steel, AISI 316, as Reinforcement in Concrete", Corrosion of Reinforcement in Concrete: Corrosion Mechanisms and Corrosion Protection, 2000, Mietz, J., Polder, R. and Elsener, B., Eds, London
5. Knudsen and T. Skovsgaard, "Stainless Steel Reinforcement", Concrete Engineering, 2001, Vol. 5 (3), p. 59.
6. L. Bertolini and P. Pedferri, "Laboratory and Field Experience on the Use of Stainless Steel to Improve Durability of Reinforced Concrete", Corrosion Review, 2002, Vol. 20, p. 129
7. [S. Qian](#), [D. Qu](#) & [G. Coates](#) Galvanic Coupling Between Carbon Steel and Stainless Steel Reinforcements [Canadian Metallurgical Quarterly](#) Volume 45, 2006 - [Issue 4](#) Pages 475-483 Published online: 18 Jul 2013
8. J.T. Pérez-Quiroz, J. Teran, M.J. Herrera, M. Martinez, J. Genesca : "Assessment of stainless steel reinforcement for concrete structures rehabilitation" J. of Constructional Steel research (2008) doi:10.1016/j.jcsr.2008.07.024
9. Juliana Lopes Cardoso / Adriana de Araujo / Mayara Stecanella Pacheco / Jose Luis Serra Ribeiro / Zehbour Panossian "stainless-steel-rebar-for-marine-environment-a-study-of-galvanic-corrosion-with-carbon-steel-rebar-used-in-the-same-concrete-structure" (2018) <https://store.nace.org/stainless-steel-rebar-for-marine-environment-a-study-of-galvanic-corrosion-with-carbon-steel-rebar-used-in-the-same-concrete-structure> Product Number: 51318-11312-SG
10. <http://stainlesssteelrebar.org/>

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第7章B

# ステンレス鋼板の構造用途

# 構造用ステンレス (ステンレスを用いた建築設計について)

Nancy Baddoo(ナンシー・バドゥー)

Steel Construction Institute

Ascot(アスコット,イギリス)



# 概要

- S1 構造用途での採用事例
- S2 材料の機械的特性
- S3 Eurocode3に基づいた設計
- S4 代替方法
- S5 たわみ
- S6 その他追加情報
- S7 技術者向けの情報源



# Section 1

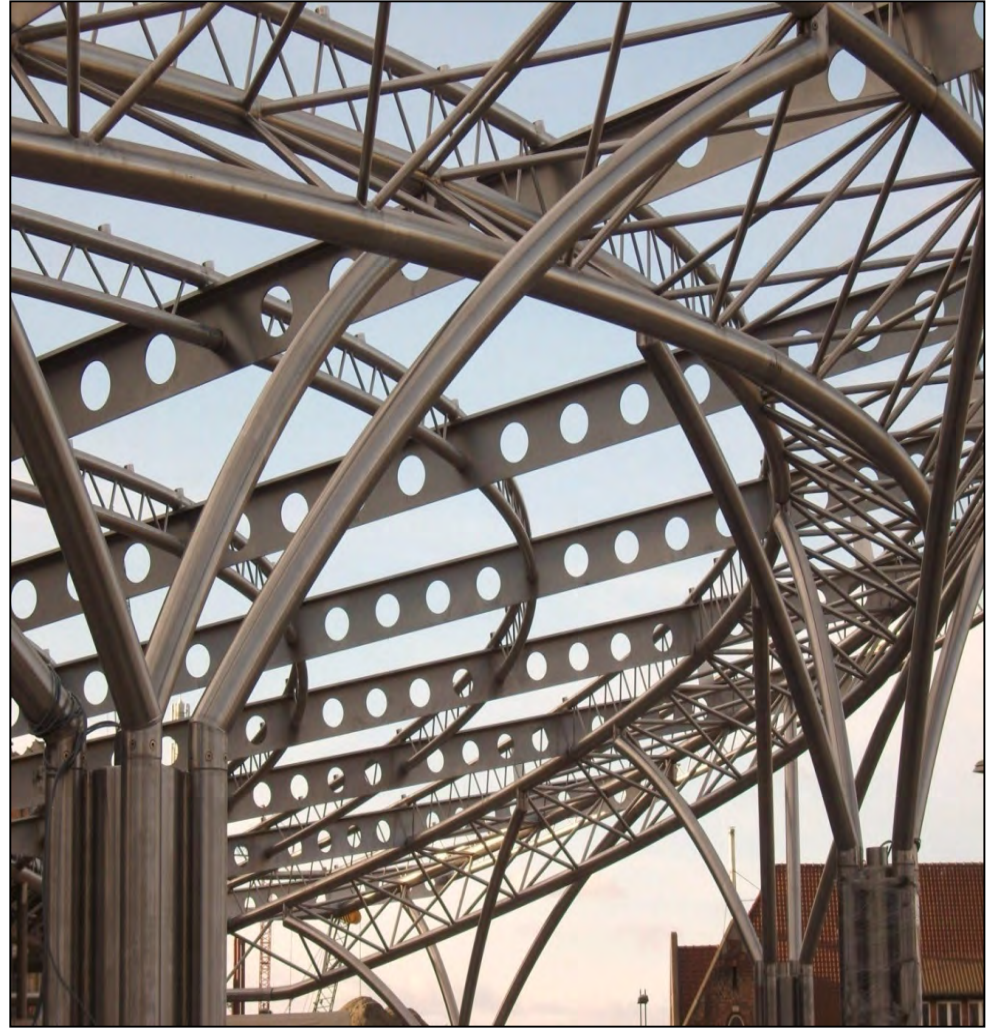
## 構造用途における採用事例

ゲント(ベルギー)

サンピエトロ駅

設計:Wefirna

施工:THV Van Laere-Braekel Aero





ブリュッセル

(ベルギー)

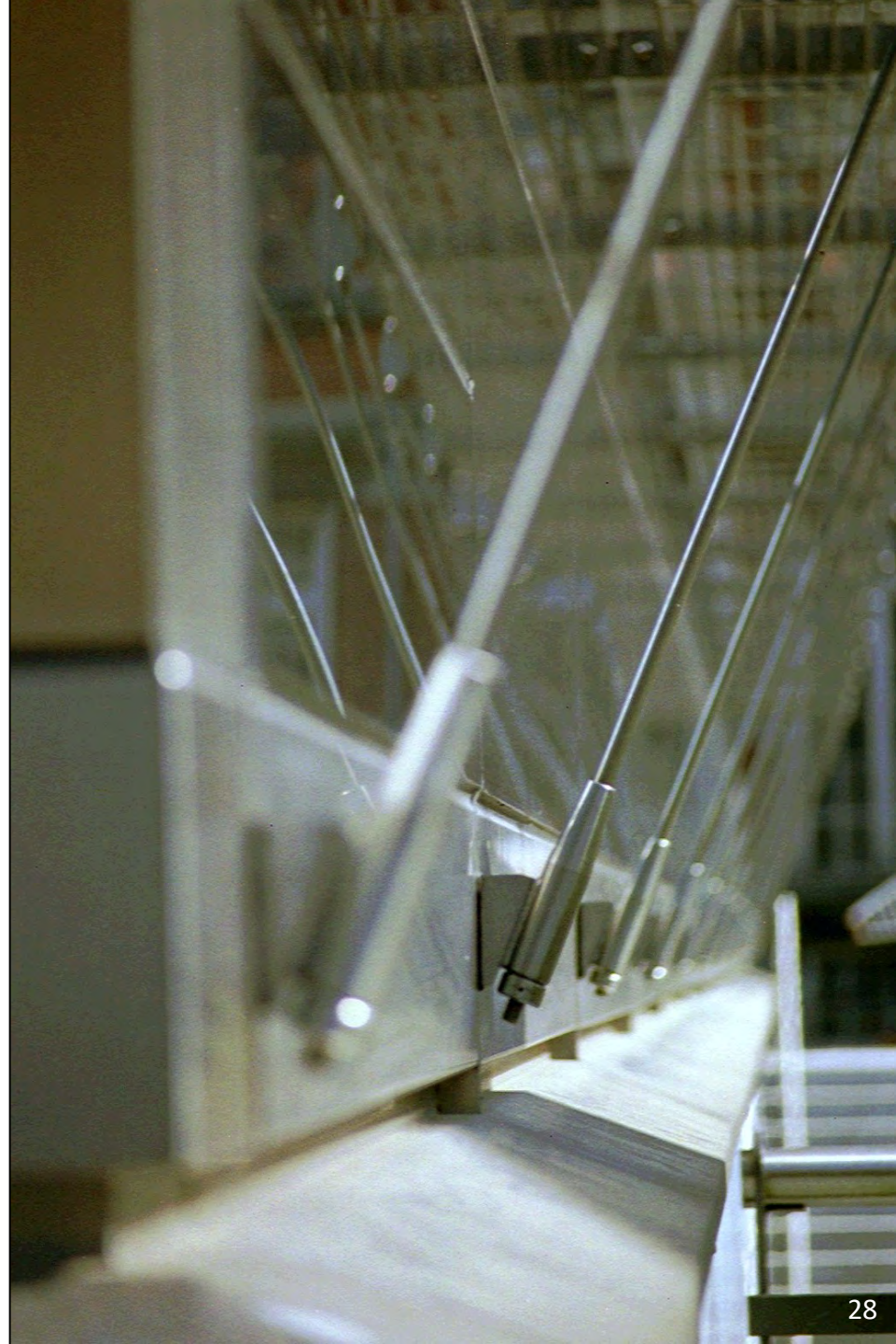
軍事学校

設計: AR.TE

施工:

Tractebel

Development



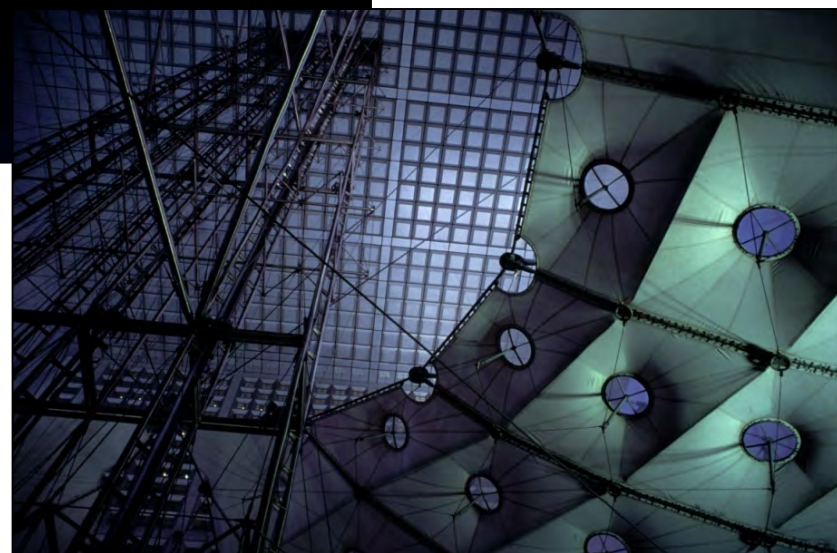


パリ(フランス)

La Grande Arche

設計 : Johan Otto von Spreckelsen

施工 : Paul Andreu





フィンランド  
Villa Inox  
(ステンレス村)

パリ(フランス)

La Lentille de Saint-Lazare

設計: Arte Charpentiers &  
Associés

施工: Mitsu Edwards



# ポルト (ポルトガル) ポルト駅





ミラノ(イタリア)

Torno Internazionale S.P.A. 本社ビル

鋼種 : EN 1.4404 (AISI 316L)

設計 : Dante O. BENINI & Partners Architects



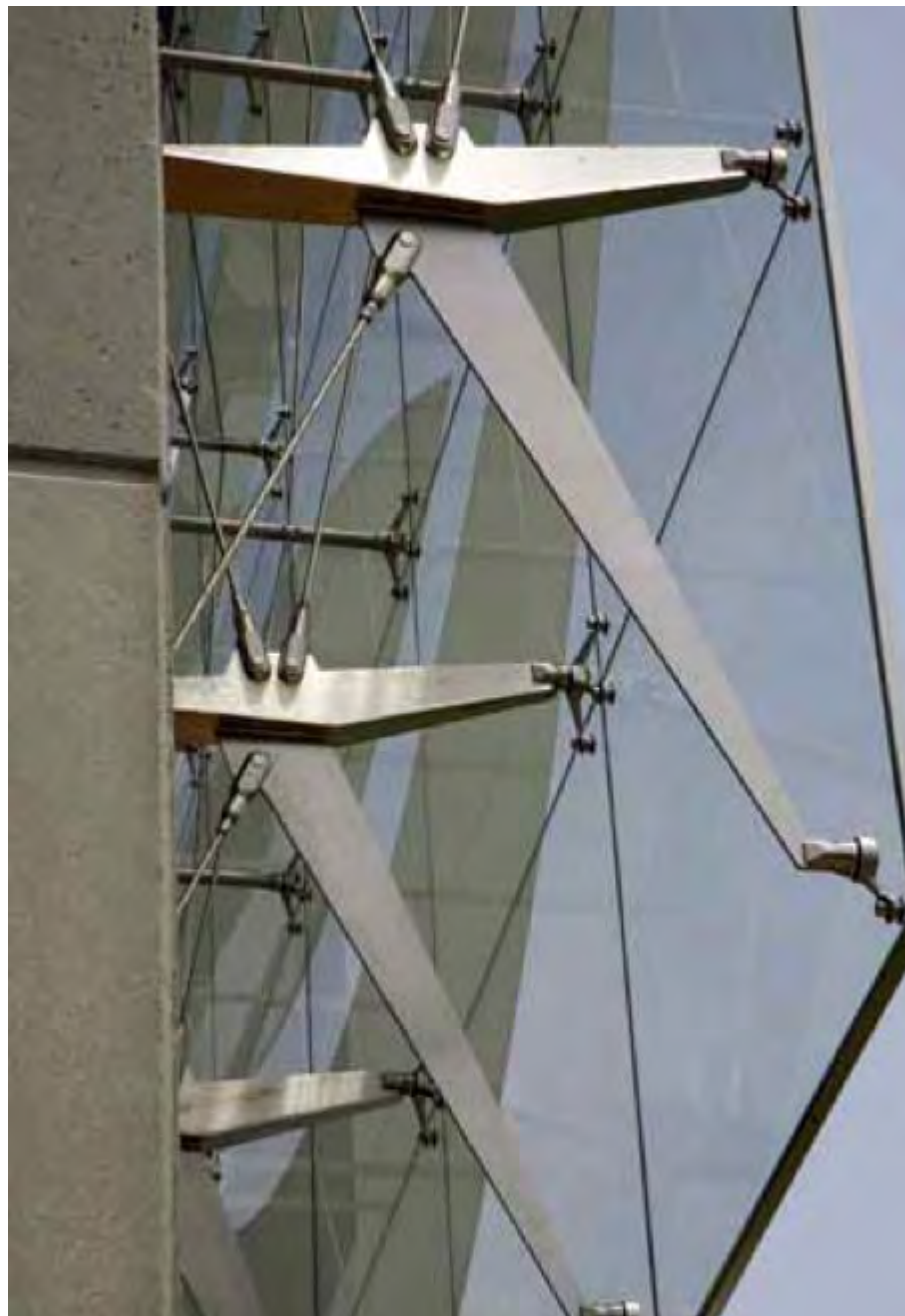
Photography : Toni Nicolino / Nicola Giacomini

原子力発電所におけるステンレス構造体



Photography: Stainless Structurals LLC

タンパ(USA)  
ステンレスによる  
外装サポート材



Photography: TriPyramid Structures, Inc.

ロンドン（イギリス）  
テムズ川水門  
ステンレスIビーム

Thames Gateway Water Treatment Works



Photography: Interserve

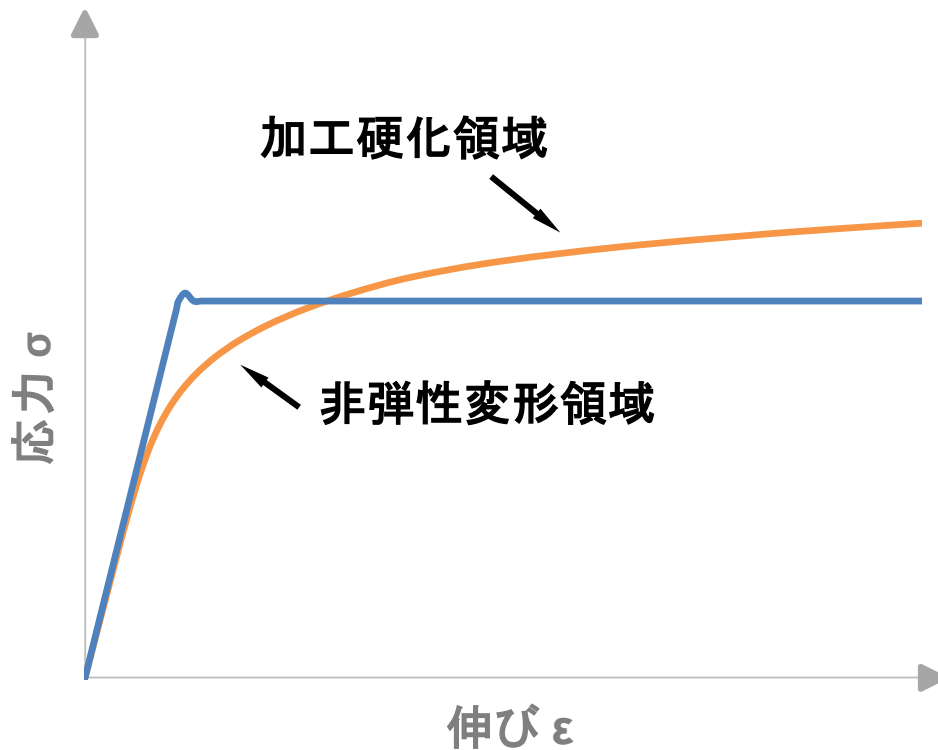


# Section 2

## 材料の機械的特性

# 応力ひずみ曲線 (炭素鋼とステンレス鋼)

ステンレス鋼は炭素鋼とは異なる応力ひずみ特性を示す



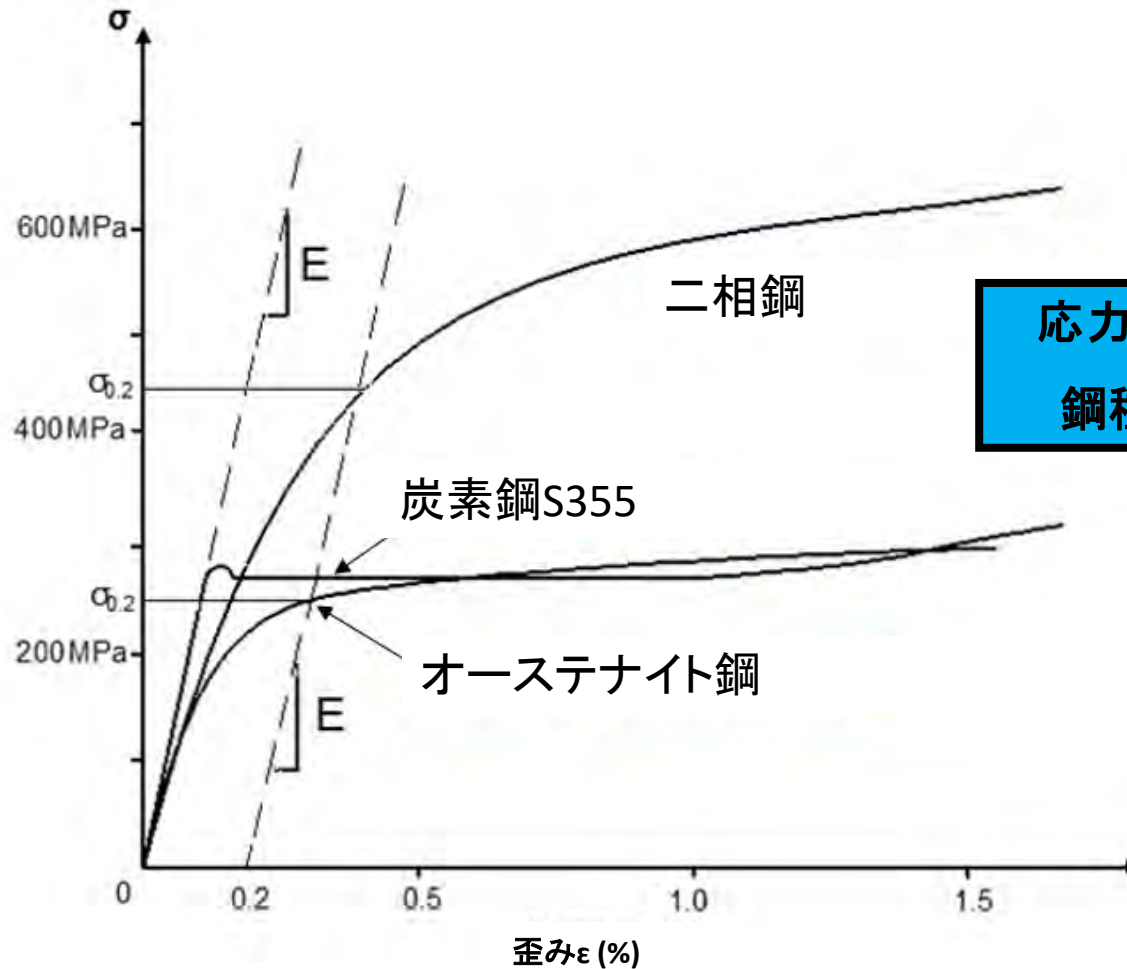
## 【炭素鋼】

- ・明確な降伏点を示す
- ・平坦な塑性変形挙動を示す

## 【ステンレス鋼】

- ・明確な降伏点が現れない
- ・高い加工硬化を示す

# 応力ひずみ曲線 (低ひずみ域)



# ステンレス鋼の降伏点設計

EN 10088-4 and -5などの規格にて  
各ステンレス鋼の0.2%耐力の  
数値が定義されている

オーステナイト系ステンレス鋼:

$$f_y = 220-350 \text{ MPa}$$

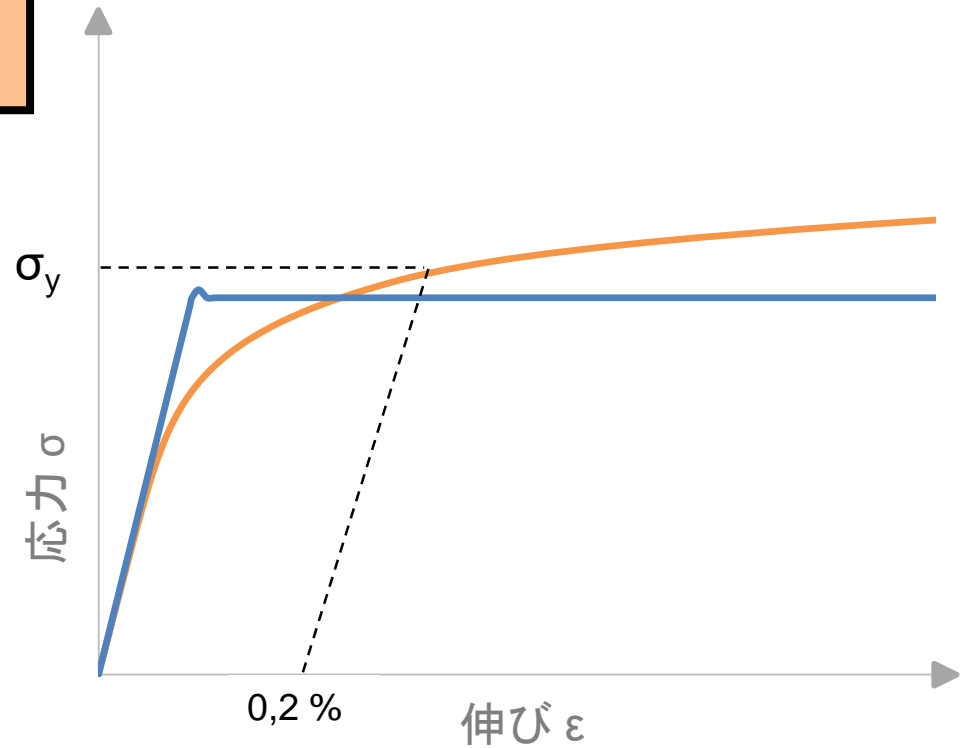
二相系ステンレス鋼:

$$f_y = 400-480 \text{ MPa}$$

フェライト系ステンレス鋼:

$$f_y = 210-280 \text{ MPa}$$

ヤング率:  $E=200,000$  to  $220,000$  MPa





# ステンレス鋼の降伏点設計

鋼種	分類	0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	最大応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	破壊 ひずみ (%)
1.4301 (304)	オーステナイト	210	520	200000	45
1.4401 (316)	オーステナイト	220	520	200000	40
1.4062	二相鋼	450	650	200000	
1.4462	二相鋼	460	640	200000	
1.4003	フェライト	250	450	220000	

# 歪み硬化

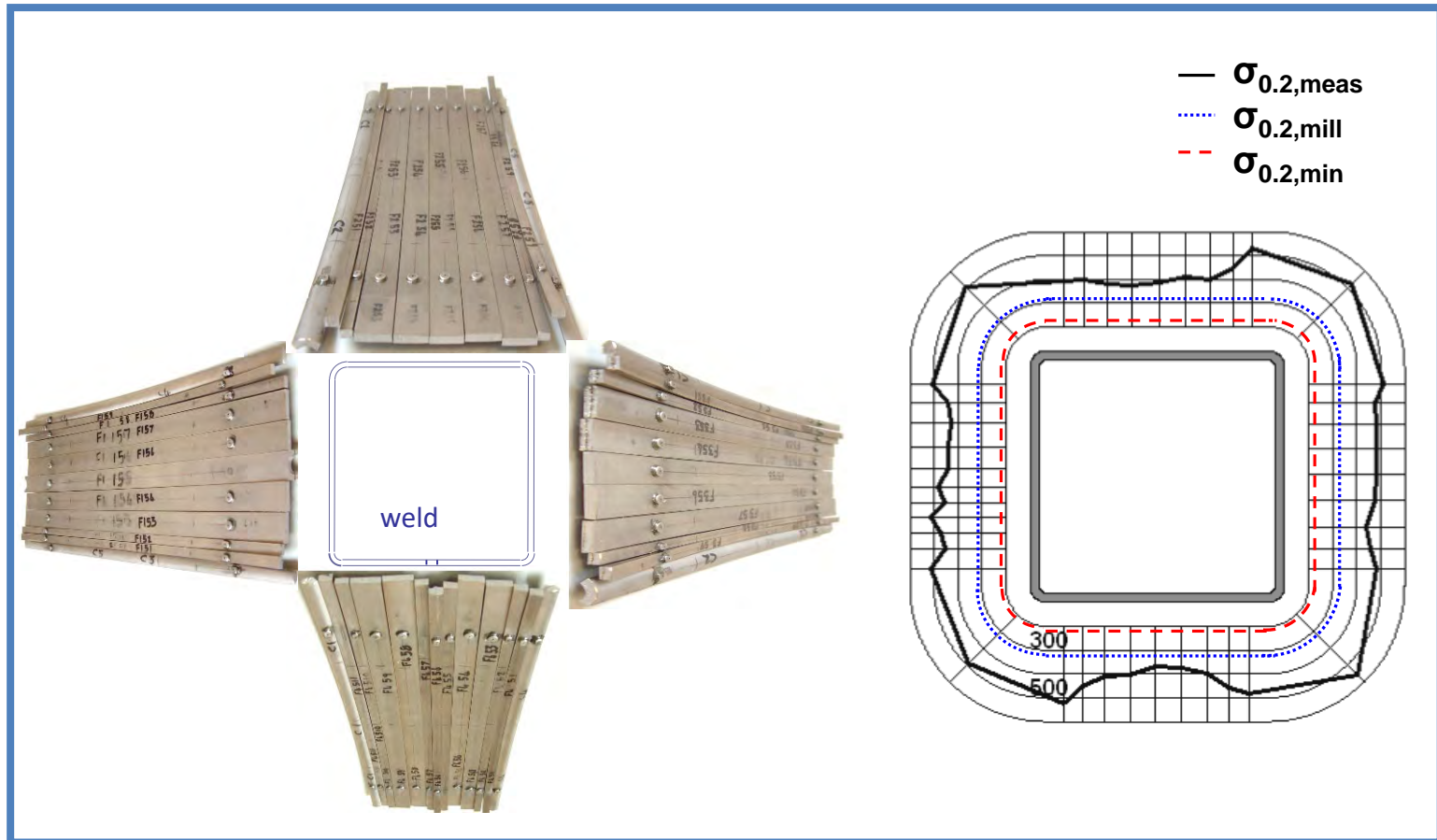
## (加工硬化または冷間加工)

- 塑性変形により強度が上昇
- 生産または加工工程での冷間成形によるもの

角形鋼管の製造工程においては、冷間成形したコーナーの切断面で0.2%耐力が約50%上昇する

# 歪み硬化 (加工硬化または冷間加工)

- 加工工程における耐力の上昇



# 歪み硬化 常に有用とは限らない

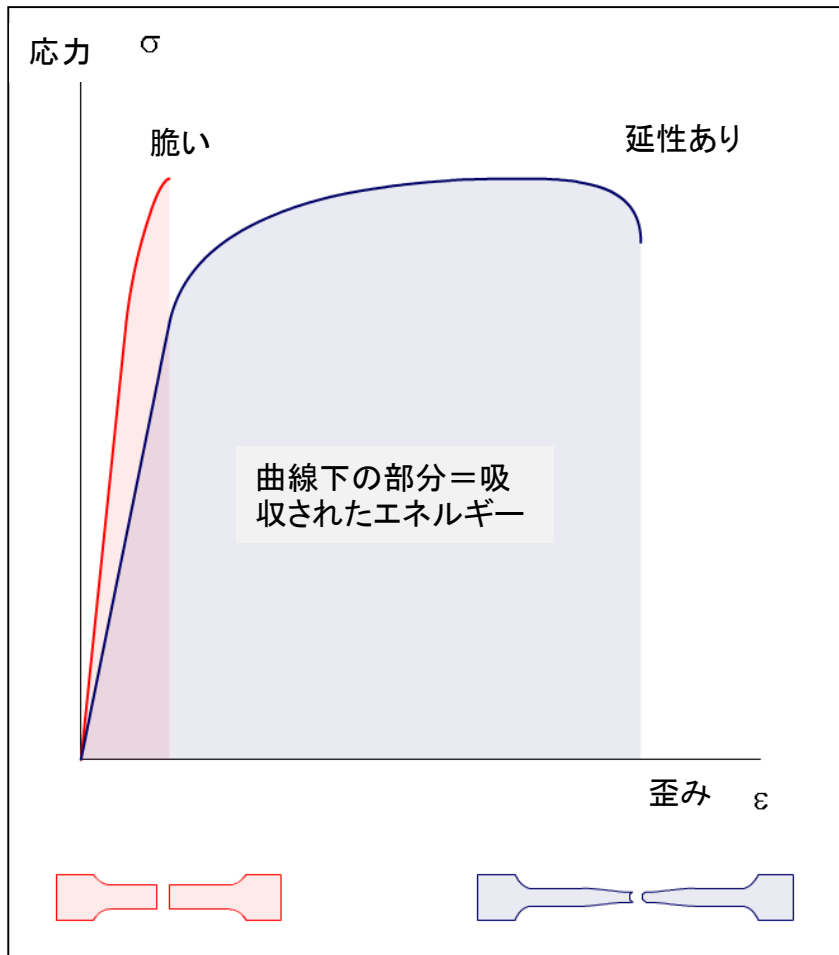
理由は:

- 製造設備の大型化
- 加工に必要な負荷の上昇
- 延性の低下

(但し特にオーステナイト鋼では初期延性が高い)

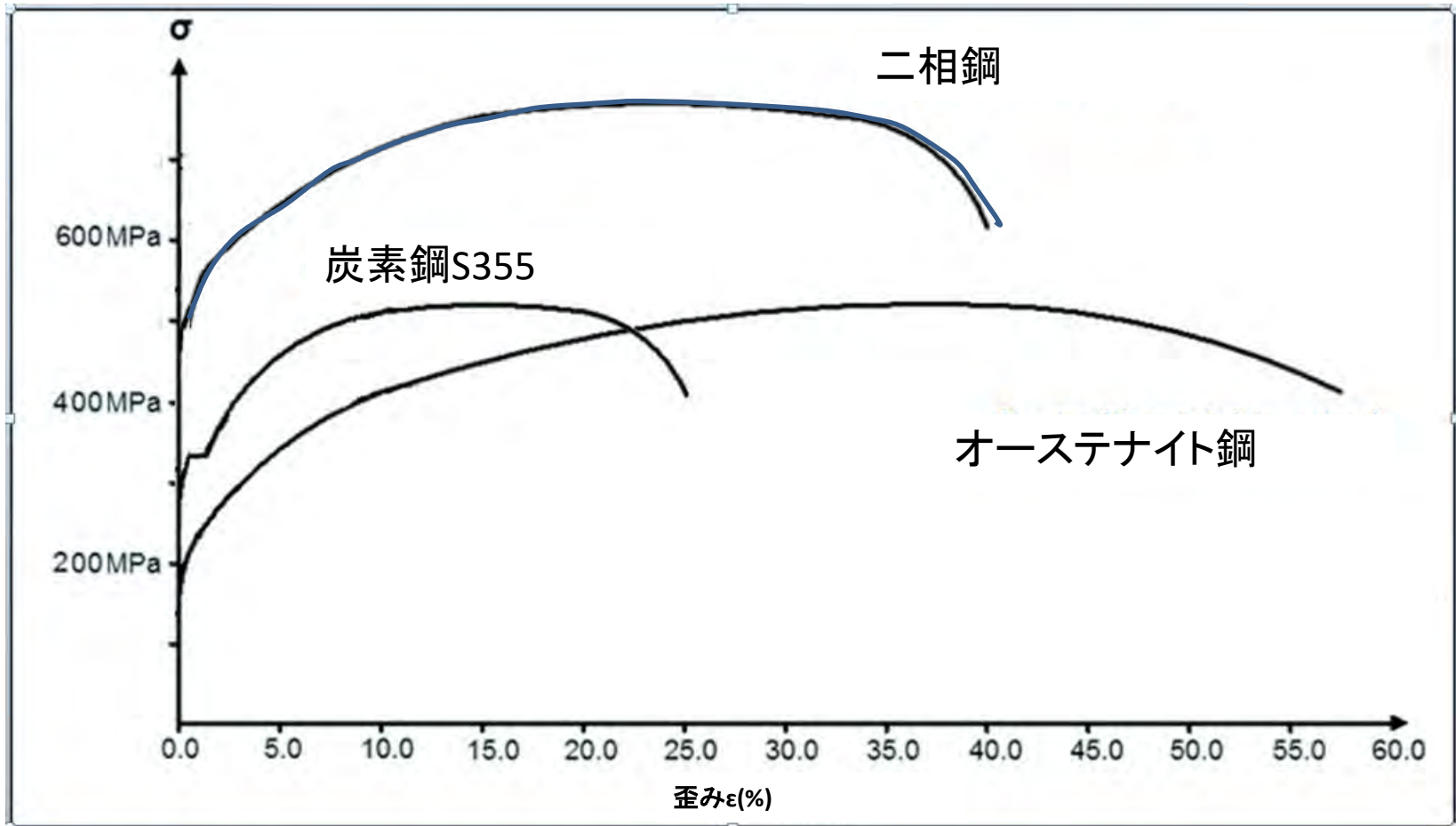
- 望ましくない残存応力の発生

# 延性と靱性



- 延性 — 割れずに延びる力
- 靱性 — エネルギーを吸収し、壊れずに塑性的に変形する力

# 応力ひずみ曲線 (高ひずみ域)





# 耐衝撃／衝突建造物



安全車止めポール



海上プラットフォームの甲板に建設中の  
台形耐衝撃壁

# 応力-歪み特性

## 非線形性による影響

- 局部座屈に対応し限界幅・厚み比率を変えられる
- 圧縮や曲げの際に組立部材の座屈挙動が異なる
- たわみが大きくなる



# 座屈性能への影響

- 細長比 : 低

柱類は圧潰負荷に耐えるか、これを超え、歪み硬化の利点が明確となる

ステンレス鋼の性能は炭素鋼と同等

- 細長比 : 高

軸方向強度、応力とも低く、線形部分に見られるステンレス鋼も炭素鋼に類似した挙動を示し、同様の幾何学的大よび残存応力を示す

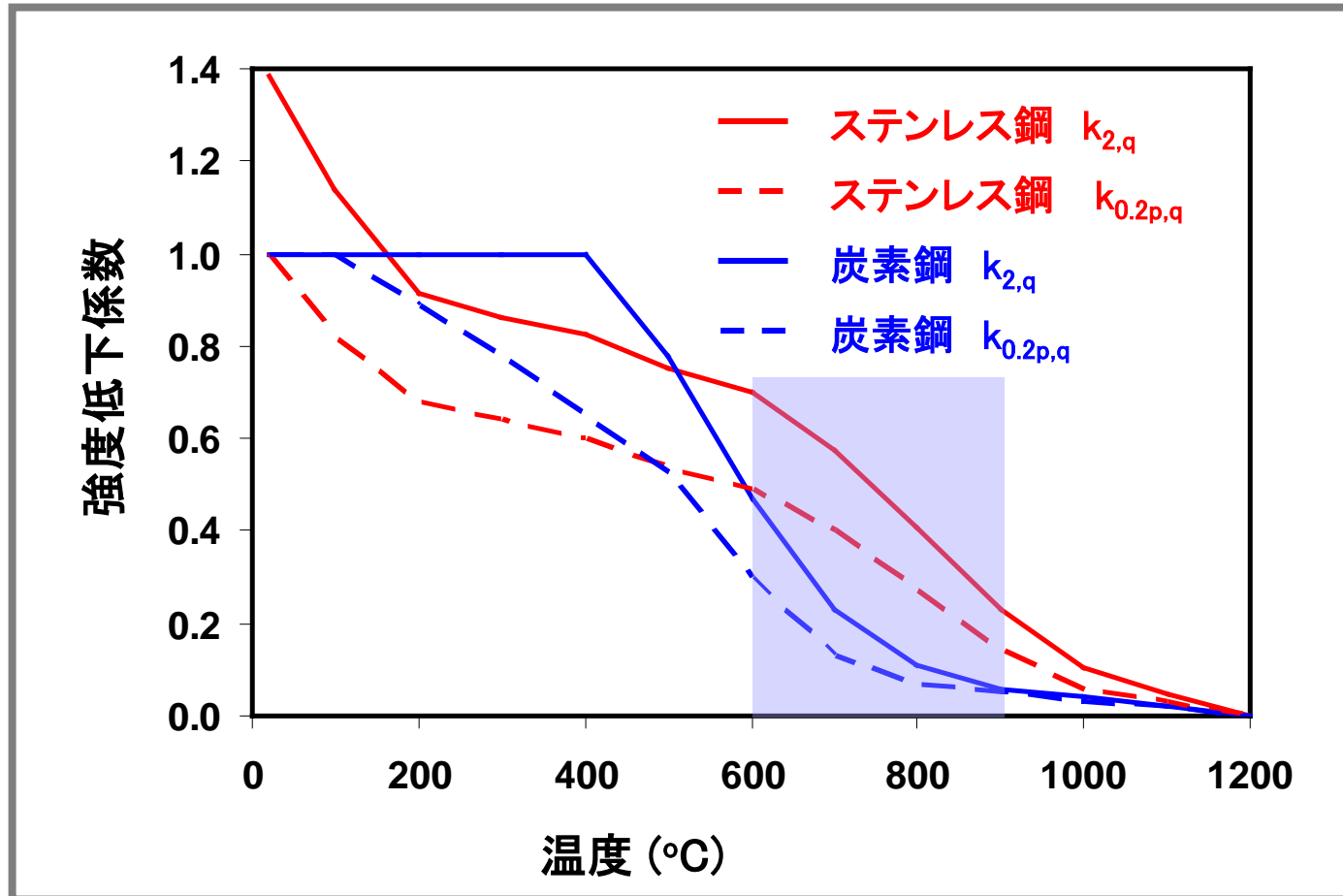
# 座屈性能への影響

- 細長比 : 中間程度

柱類の平均的応力は比例限界と0.2%永久歪みの間にある

ステンレスの柱は炭素鋼ほど強くはない

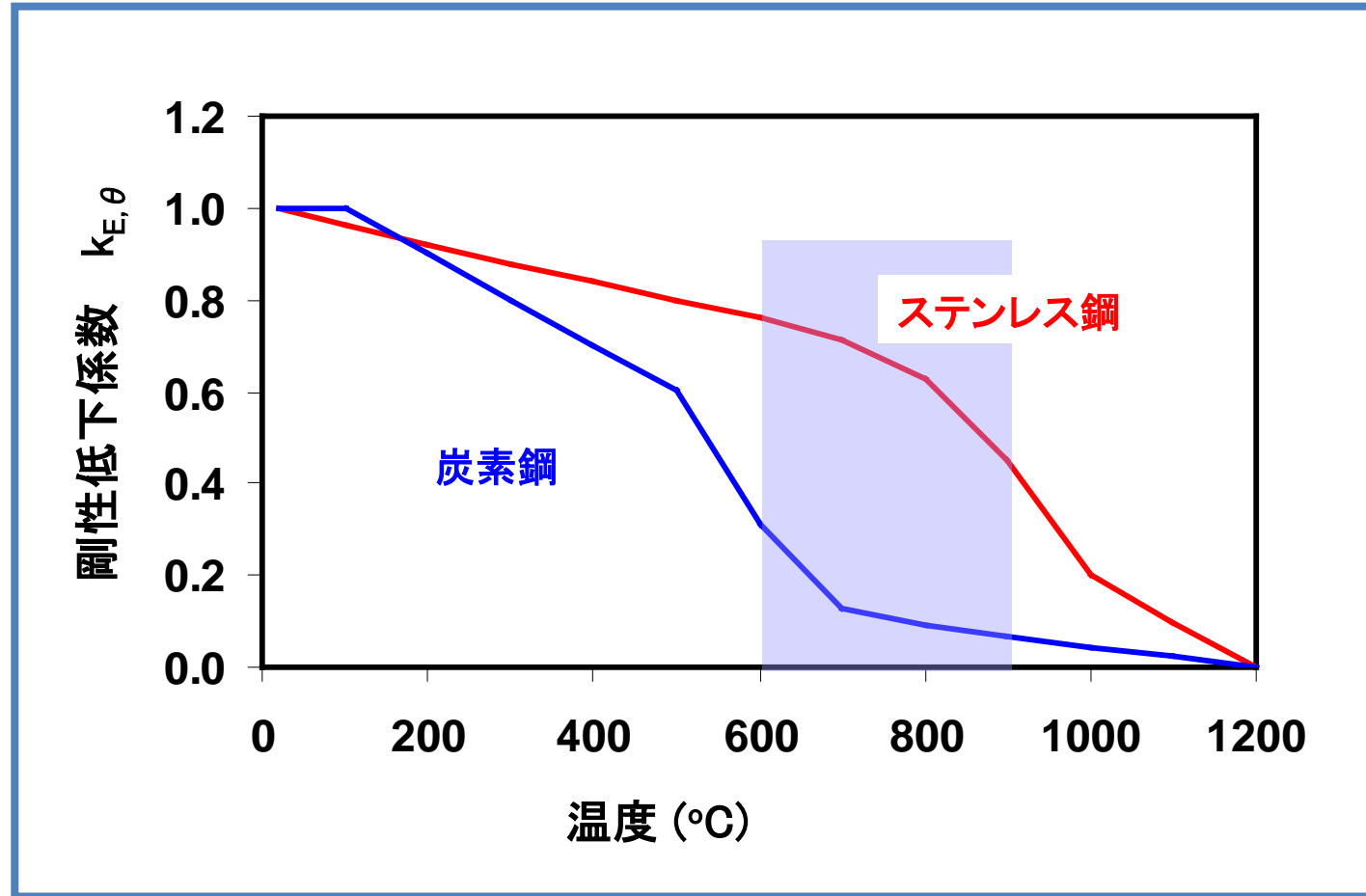
# 高温条件下での材料特性



$k_{0.2p,q}$  = 0.2%耐力における強度低下係数

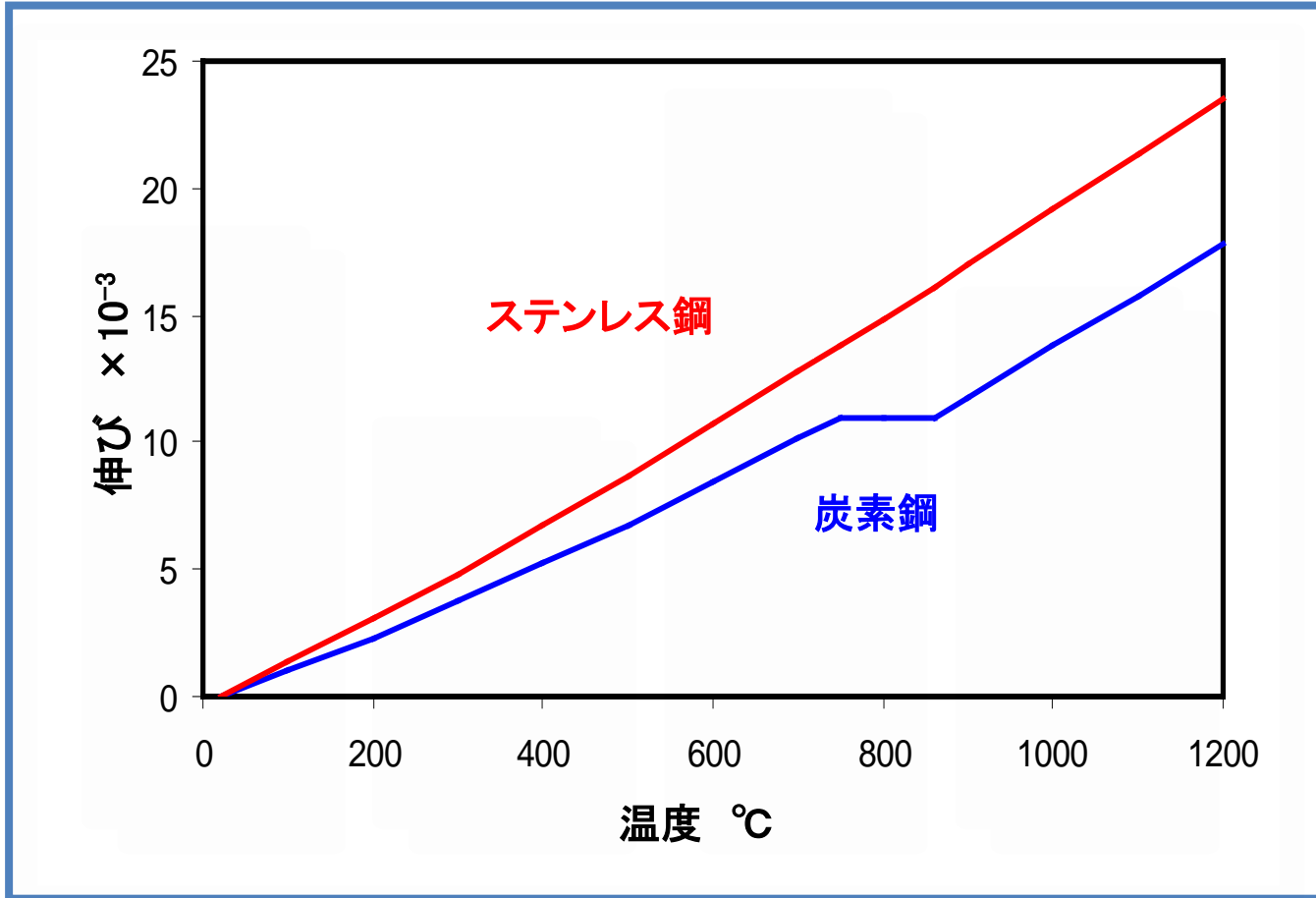
$k_{2,q}$  = 総ひずみ2%における強度低下係数

# 高温条件下での材料特性



剛性低下係数

# 高温条件下での材料特性



熱膨張



# Section 3

Eurocode3に基づいた設計



# 国際設計規格

構造用ステンレスについて  
入手可能な国際設計規格は？



Hamilton Island Yacht Club  
(ハミルトン・アイランド・ヨット・クラブ, オーストラリア)

## EN 1990

構造上の安全性、有用性および耐久性

## EN 1991

構造物への影響

EN 1992

EN 1993

EN 1994

EN 1995

EN 1996

EN 1999

設計と詳細説明

EN 1997

地質工学的設計

EN 1998

耐震設計

ユーロコード(Eurocodes)間の相互関係

Eurocodes  
(ユーロコード)  
はすべての一般的  
建材を網羅した  
構造設計規定  
の完全な集成で  
ある



# Eurocode 3: Part1 (EN 1993-1)

EN1993-1-1 総則と建物関連規定

EN1993-1-2 防火構造設計

EN1993-1-3 冷間加工組立部材と仕切板

**EN1993-1-4 ステンレス鋼**

EN1993-1-5 メッキ構造部材

EN1993-1-6 殻構造の強度と安定性

EN1993-1-7 横方向荷重の平面メッキ構造の強度と安定性

EN1993-1-8 接合の設計

EN1993-1-9 鉄鋼建造物の疲労強度

EN1993-1-10 破壊靱性と厚み方向特性に関する鉄鋼の選定

EN1993-1-11 張力部材を含む建造物の設計

EN1993-1-12 高張力鋼に関する補則

# Eurocode 3: Part1-4

## ステンレスに関する補足規定

BRITISH STANDARD

BS EN  
1993-1-4:2006

### Eurocode 3 — Design of steel structures —

Part 1-4: General rules —  
Supplementary rules for stainless steels

The European Standard EN 1993-1-4:2006 has the status of a  
British Standard

ICS 91.040.01; 91.080.10

**BSi**  
British Standards

### 鉄鋼構造物の設計

### ステンレスに関する補足規定 (2006)

- Eurocode3に記載されている炭素鋼の規定を必要に応じ修正、補足
- 建物、橋梁、タンク等に適用される

# Eurocode 3: Part1-4

## ステンレスに関する補足規定

- 基本的方法は炭素鋼と同じものを用いる
- 張力を要する組立部材や梁についても炭素鋼と同じ規定を用いる
- 断面分類限界、局部座屈や部材座屈カーブに関しては、以下の理由により異なる方法を用いる
  - 非線形性応力歪み特性
  - 歪み硬化特性
  - 残存応力の違い

# Eurocode 3: Part1-4

## ステンレスに関する補足規定

### 部材の種類

- 熱延・溶接
- 冷間成形
- 棒鋼

### 鋼種

分類	Eurocode 3-1-4	次改訂版 (予定)
フェライト系	3	3
オーステナイト系	16	16
二相系	2	<b>6</b>

### 対象範囲

- 組立部と接続部
- 耐火性 (EN1993-1-2を参考にして規定)
- 疲労 (EN1993-1-9を参考にして規定)

# その他の設計規格

- 日本：  
2規格—冷間成形用と溶接ステンレス組立部材用
- 南ア、オーストラリア、ニュージーランド：  
冷間成形ステンレス組立部材用
- 中国：  
策定中
- 米国：  
ASCE—冷間成形部材用仕様、  
AISC—熱延・溶接ステンレス構造材用設計ガイド

# Eurocode 3: Part1-4

## ステンレスに関する補足規定

ステンレスの設計  
規格はEN1993-1-4  
に記載されている



Seven World Trade Center  
(セブン・ワールド・トレード・センター, ニューヨーク)  
入り口天蓋の耐衝撃柱

# EN1993-1-4

## 断面分類と局部座屈の表現

- 限界幅、厚み比率が炭素鋼に比べて低い
- 細長比要素の有効幅の計算に際して若干異なる表現が使われている

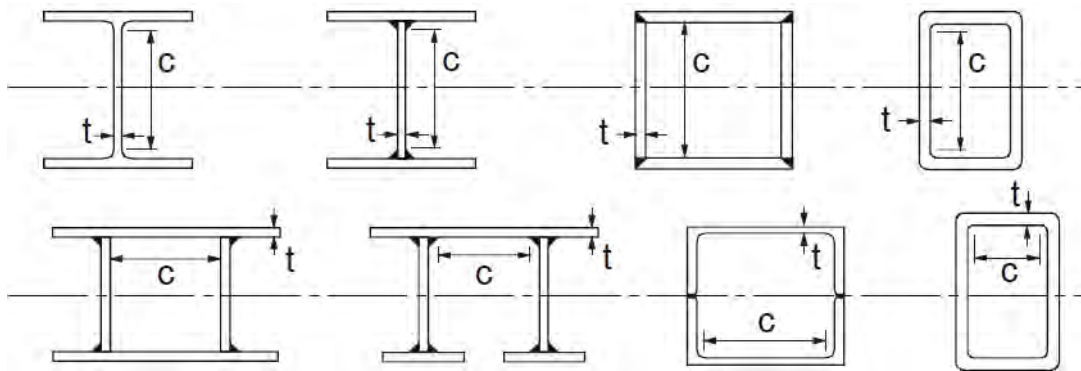
但し、

EN1993-1-4の次の版では限界と有効幅の表現がより踏み込んだものになる予定

# EN1993-1-4

## 断面分類と局部座屈の表現

- 内部補強材



$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

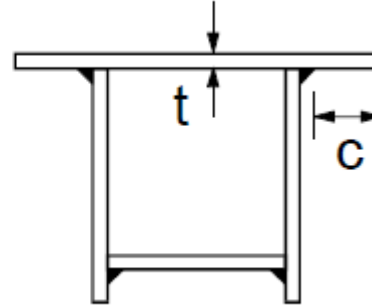
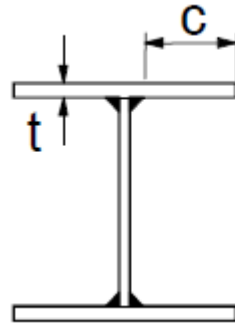
Class	Eurocode 3-1-1: 炭素鋼		Eurocode 3-1-4: ステンレス鋼		次改訂版 (予定)	
	曲げ	圧縮	曲げ	圧縮	曲げ	圧縮
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	$c/t \leq 56\epsilon$	$c/t \leq 25,7\epsilon$	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	$c/t \leq 58.2\epsilon$	$c/t \leq 26.7^\epsilon$	$c/t \leq 76\epsilon$	$c/t \leq 35\epsilon$
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	$c/t \leq 74.8\epsilon$	$c/t \leq 30.7\epsilon$	$c/t \leq 90\epsilon$	$c/t \leq 37\epsilon$



# EN1993-1-4

## 断面分類と局部座屈の表現

- 外部補強材



$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}}$$

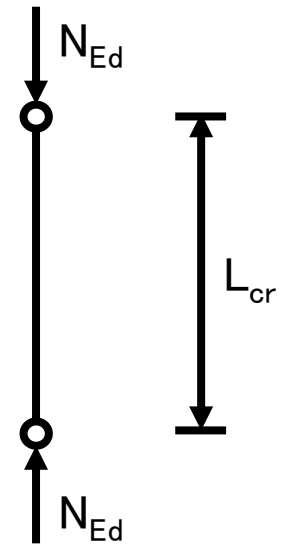
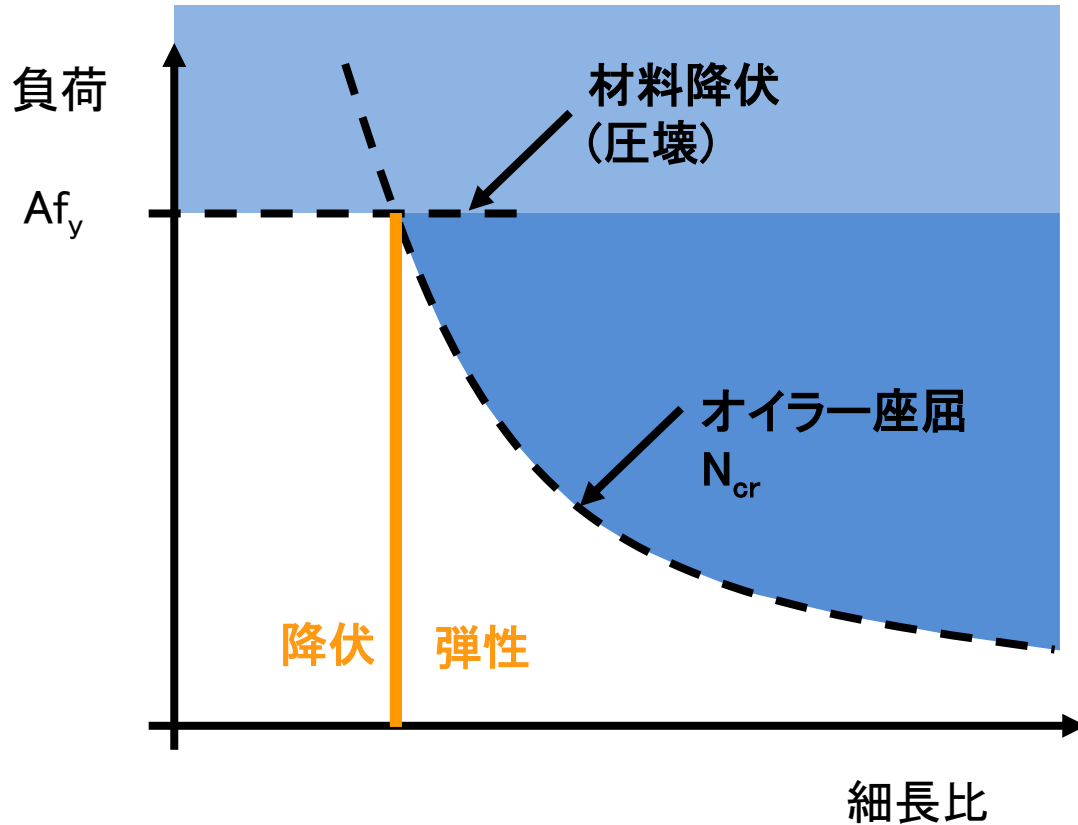
Class	Eurocode 3-1-1 炭素鋼	Eurocode 3-1-4 ステンレス鋼		次改訂版 (予定)
	圧縮	圧縮(溶接構造)	圧縮(曲げ構造)	圧縮
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq 9\epsilon$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq 9.4\epsilon$	$c/t \leq 10.4\epsilon$	$c/t \leq 10\epsilon$
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 11\epsilon$	$c/t \leq 11.9\epsilon$	$c/t \leq 14\epsilon$

# 張力部材、柱および梁の設計

- 一般的に炭素鋼と同じ方法で設計する
- 但し、柱や制約のない梁の座屈に対しては異なる座屈カーブを用いる(LTB)
- 鋼種に対して正しい $f_y$ を使用する(EN10088-4および5に最低数値が規定されている)

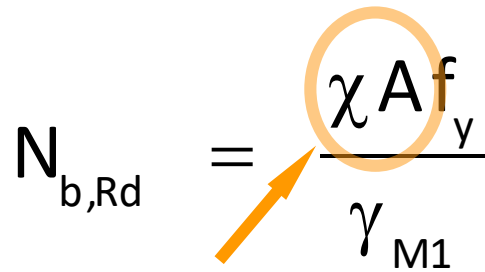
# “理想的な”柱構造挙動

2つの限界：降伏限界と座屈限界



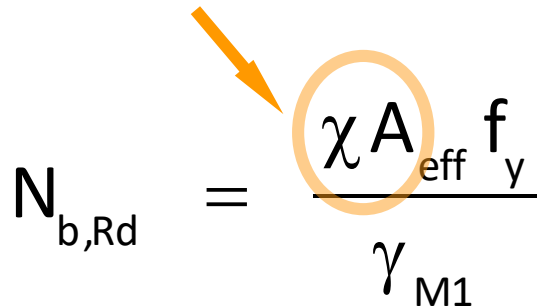
# 柱材の座屈現象

圧縮応力に対する座屈抵抗 :  $N_{b,Rd}$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$


**Class 1, 2 and 3**

抵抗係数

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$


**Class 4 (対照)**

# 柱材の座屈現象

細長比(無次元級数):  $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \quad \text{Class 1、2、3の断面構造}$$

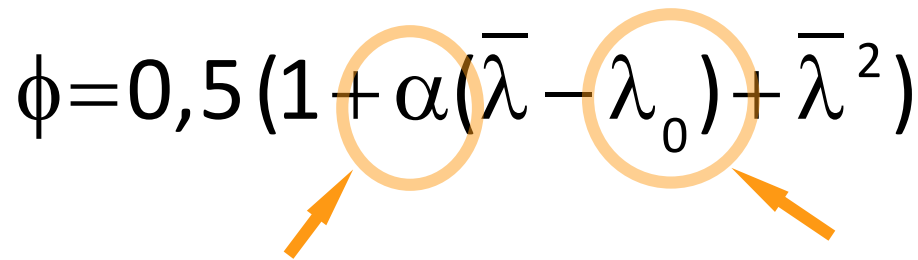
$$= \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{Class 4の断面構造}$$

$N_{cr}$  : 断面の全体的な特性による座屈モードにおける  
弾性限界座屈荷重

# 柱材の座屈現象

減少係数 :  $\chi$

$$\chi = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0,5}} \leq 1$$

$$\phi = 0,5 (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \lambda_0) + \bar{\lambda}^2)$$


不確定要素

平坦部長さ

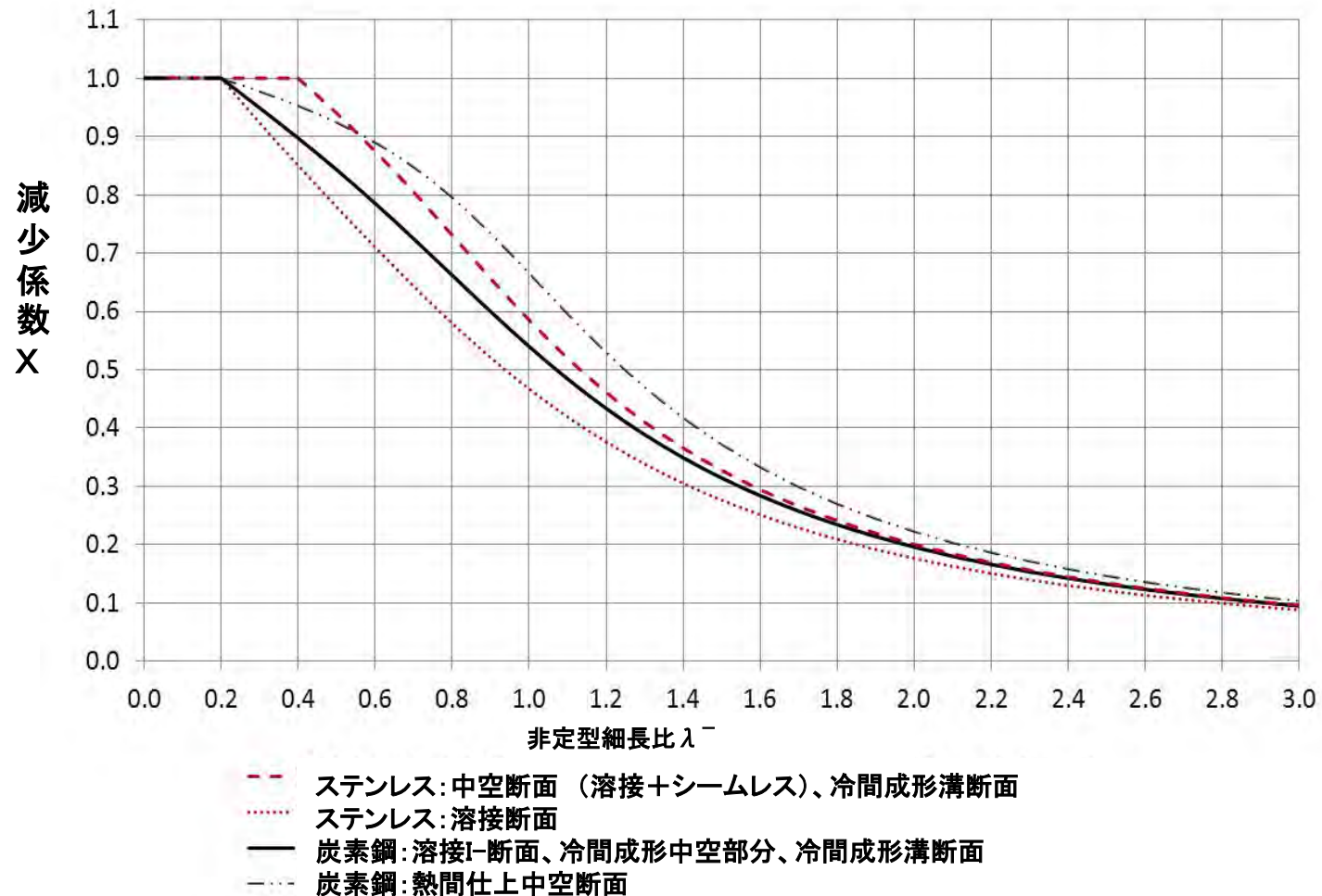
# 柱材の座屈現象

座屈曲線の選択は断面形状、製造方法や軸による

表5.3 曲げ、ねじりおよびねじり曲げ座屈に対する $\alpha$ と $\bar{\lambda}_0$ 。

座屈モード	部材の種類	$\alpha$	$\bar{\lambda}_0$
曲げ	冷間成形開放断面	0,49	0,40
	中空断面 (溶接およびシームレス)	0,49	0,40
	溶接開放断面 (主要軸)	0,49	0,20
	溶接開放断面 (補助軸)	0,76	0,20
ねじりー曲げねじり	すべての部材	0,34	0,20

# Eurocode3 曲げ座屈曲線

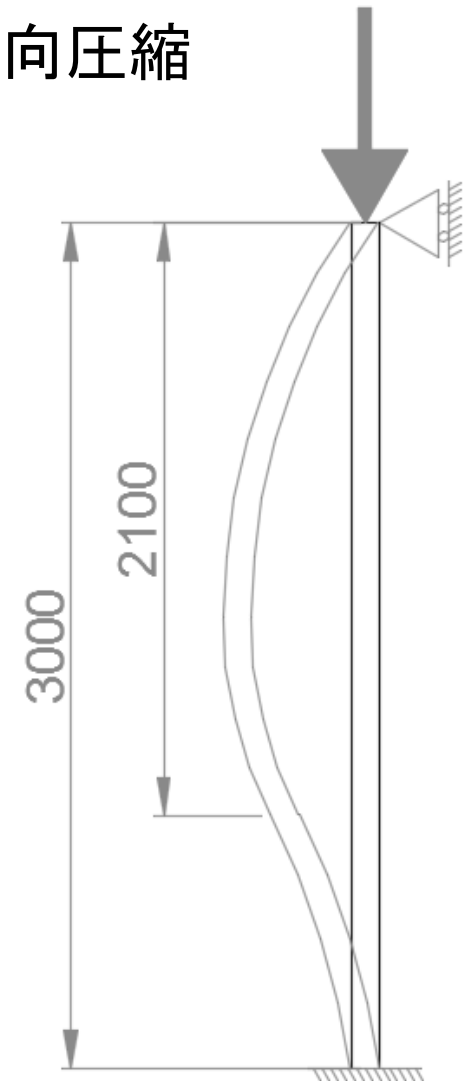
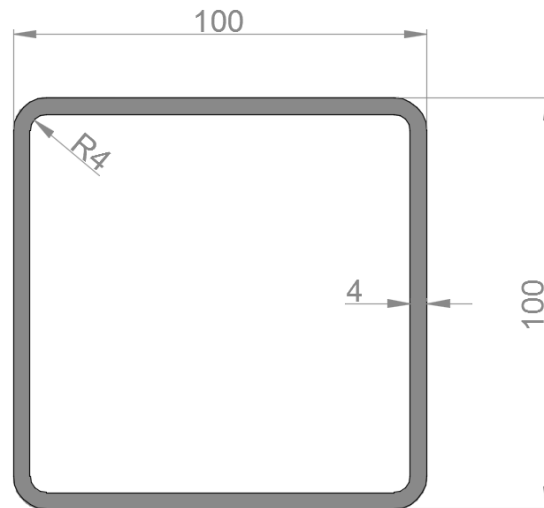




# Eurocode3 曲げ座屈 事例

- 冷間成形された角形鋼管における同心円方向圧縮

	炭素鋼	オーステナイト系ステンレス鋼
材料	S235	EN 1.4301
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	235	230
$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	210000	200000



# Eurocode3 曲げ座屈 事例

- Eurocode 3-1-1  
S235 (炭素鋼)

- 分類

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

全ての内部構造

$$c/t = 21 < 33 = 33\varepsilon$$

Class 1

断面構造 = class 1

- Eurocode 3-1-4  
オーステナイト系ステンレス鋼

- 分類

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0.99$$

全ての内部構造

$$c/t = 21 < 25.35 = 25.7\varepsilon$$

Class 1

断面構造 = class 1

# Eurocode3 曲げ座屈 事例

	Eurocode 3-1-1 S355	Eurocode 3-1-4 二相系ステンレス鋼
A [mm <sup>2</sup> ]	1495	1495
f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>235</b>	<b>230</b>
γ <sub>M0</sub> [-]	<b>1</b>	<b>1,1</b>
N <sub>c,Rd</sub> [kN]	<b>351</b>	<b>313</b>
L <sub>cr</sub> [mm]	2100	2100
λ <sub>1</sub> [-]	93,9	92,6
$\bar{\lambda}$ [-]	0,575	0,583
α [-]	0,49	0,49
$\bar{\lambda}_0$ [-]	0,2	0,4
φ [-]	0,76	0,71
χ [-]	0,80	0,89
γ <sub>M1</sub> [-]	<b>1</b>	<b>1,1</b>
N <sub>b,Rd</sub> [kN]	<b>281</b>	<b>277</b>

# Eurocode3 曲げ座屈 事例

- 比較

	Eurocode 3-1-1 S235 (炭素鋼)	Eurocode 3-1-4 オーステナイト系ステンレス鋼
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	235	230
$\gamma_{M0}$ [-]	1,0	1,1
$\gamma_{M1}$ [-]	1,0	1,1
断面構造 $N_{c,Rd}$ [kN]	351	313
安定性 $N_{b,Rd}$ [kN]	281	277

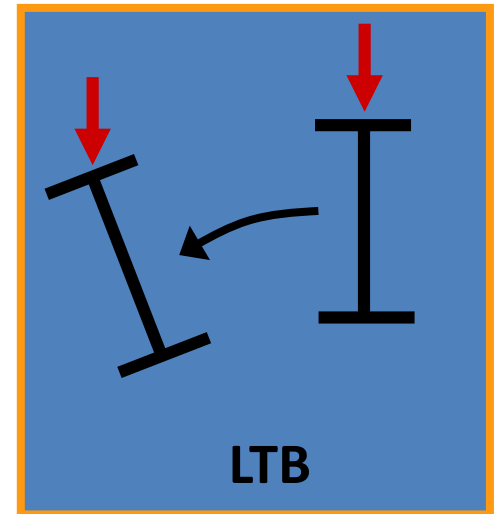
この事例においては、炭素鋼とステンレス鋼が同等の座屈抵抗を示す

⇒ ひずみ硬化の優位性が示されておらず、現在のEurocode3-1-4では、ひずみ硬化の影響が考慮されているとは言えない

# 水平ねじれ座屈現象

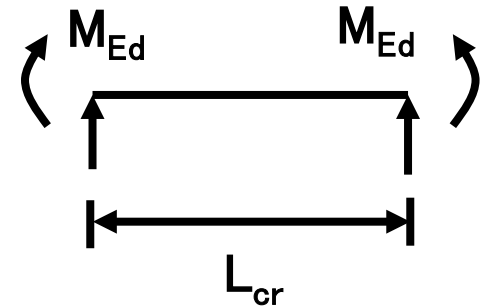
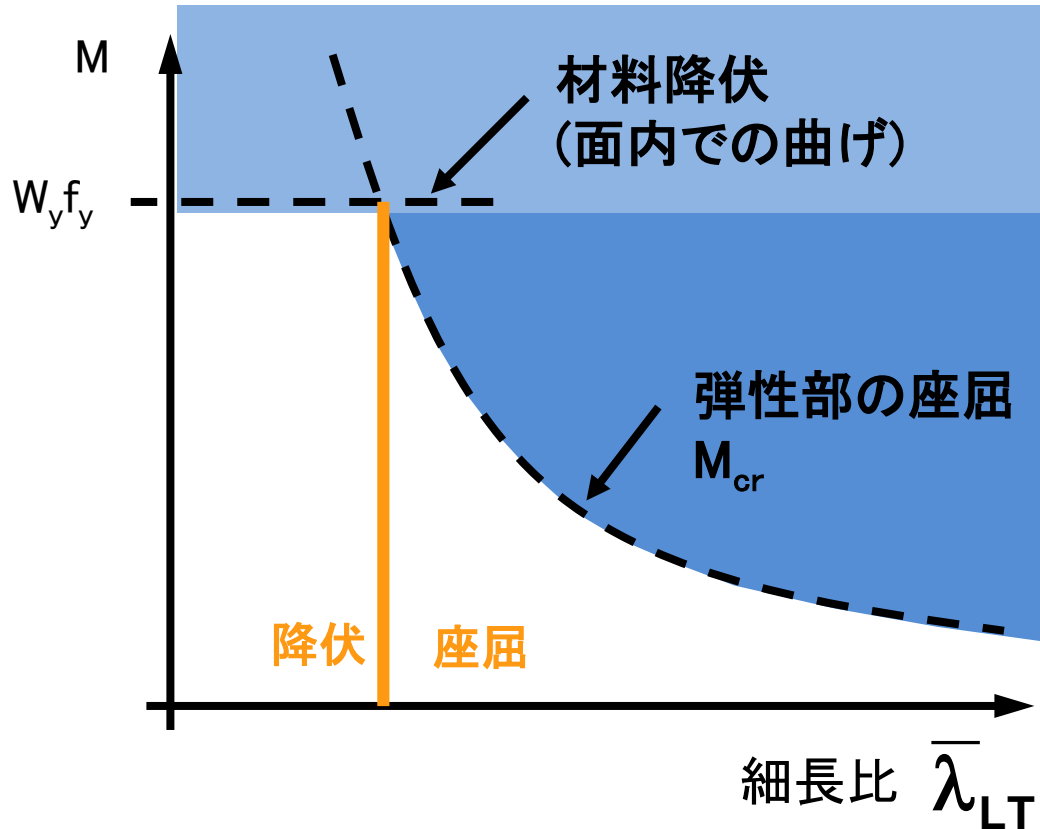
以下の条件下では、  
水平ねじれ座屈現象  
を軽減することができる

- 対称軸曲げ
- CHS, SHS, 棒鋼(丸、角)
- 完全に水平方向に拘束された梁
- $\bar{\lambda}_{LT} < 0.4$



# 水平ねじれ座屈現象

- 水平ねじれ座屈の設計は、柱の座屈現象と類似している



# 水平ねじれ座屈現象

水平方向に拘束されていない梁（またはその一端）における座屈抵抗 :  $M_{b,Rd}$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

水平ねじれ梁 低減係数

# 水平ねじれ座屈現象

## 水平ねじれ座屈曲線の計算式

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{but } \chi_{LT} \leq 1.0$$

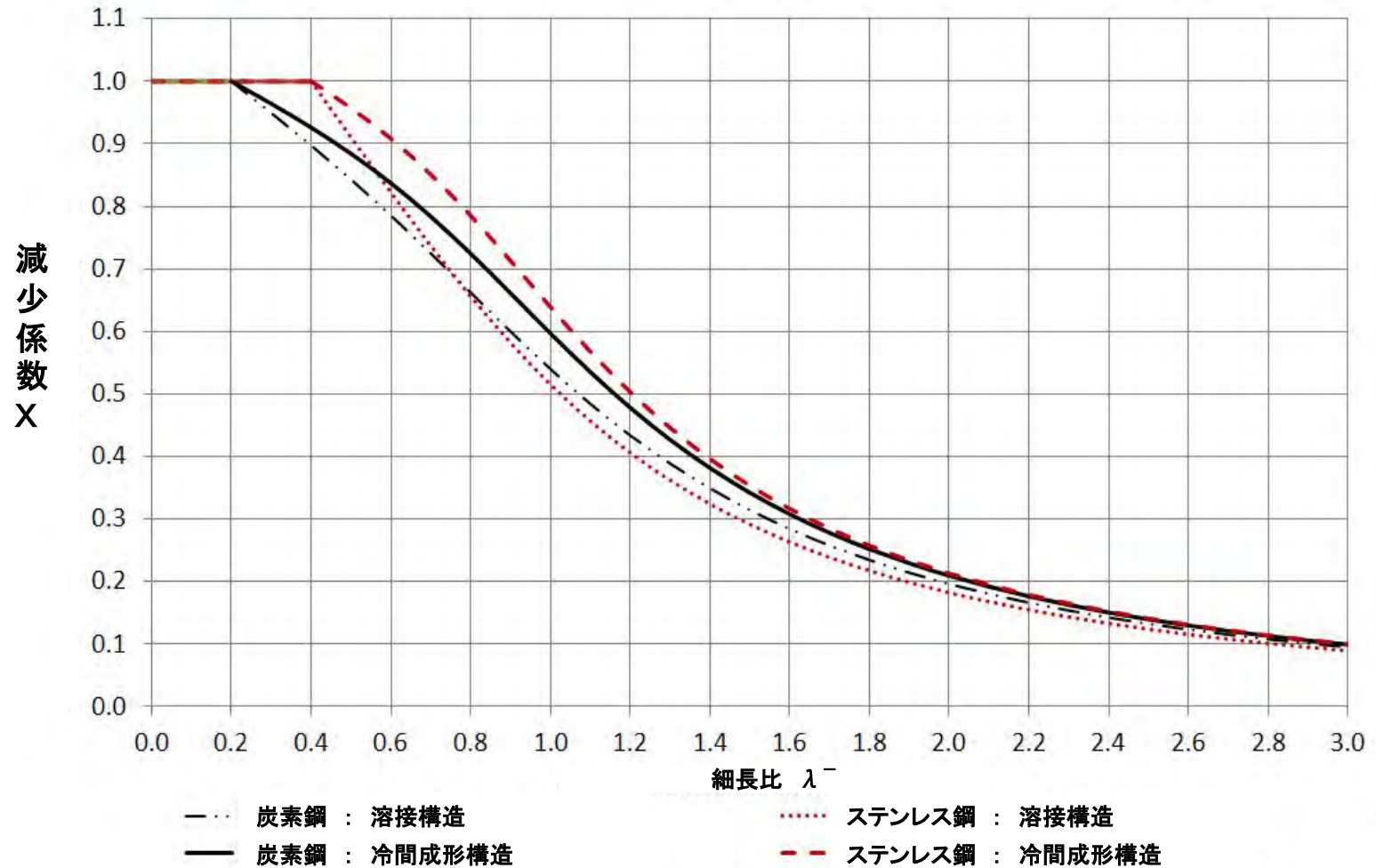
$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.4) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

不確定要素

平坦部長さ



# Eurocode3 水平ねじれ座屈カーブ



# 細長比（無次元級数）

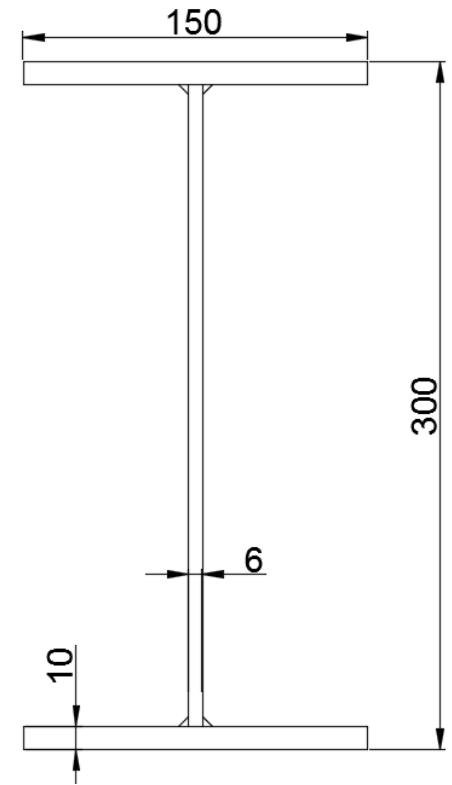
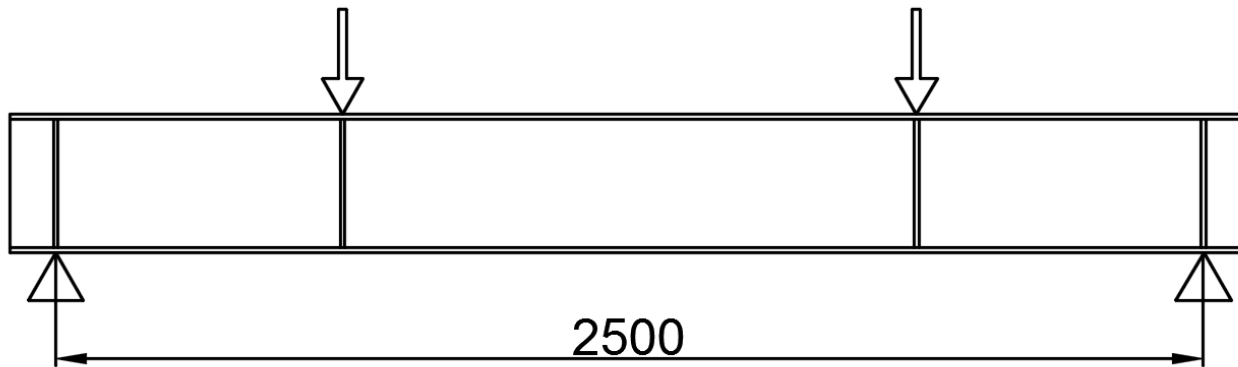
水平ねじれ座屈における細長比

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y y} f_y}{M_{cr}}}$$

- 圧縮荷重座屈曲線（除く  $a_0$  曲線）
- $W_y$  分類に応じた係数
- $M_{cr}$  弾性限界LTBモーメント

# Eurocode 3 水平ねじれ座屈 事例

- I ビームにおける曲げ



	炭素鋼	二相系ステンレス鋼
材料	S355	EN 1.4162
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	355	450
E [N/mm <sup>2</sup> ]	210000	200000

# Eurocode 3 水平ねじれ座屈 事例

- Eurocode 3-1-1:

炭素鋼 ( S355)

- 分類

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0.81$$

- フランジ

$$c/t = 6.78 < 7.3 = 9\varepsilon$$

Class 1

- ウェブ

$$c/t = 45.3 < 58.3 = 72\varepsilon$$

Class 1

断面構造 = class 1

- Eurocode 3-1-4:

二相系ステンレス鋼

- 分類

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0.71$$

- フランジ

$$c/t = 6.78 < 7.76 = 11\varepsilon$$

Class 3

- ウェブ

$$c/t = 45.3 < 58.3 = 72\varepsilon$$

Class 3

断面構造 = class 3

# Eurocode 3 水平ねじれ座屈 事例

- Eurocode 3-1-1:  
炭素鋼 (S355)

- 限界モーメント

Class 1

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 196 \text{ kNm}$$

- Eurocode 3-1-4:  
二相系ステンレス鋼

- 限界モーメント

Class 3

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$= 202 \text{ kNm}$$

- 次改訂版(予定) Eurocode 3-1-4
- 分類上、炭素鋼に近くなる

断面構造 = class 2

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 226 \text{ kNm}$$

# Eurocode 3 水平ねじれ座屈 事例

弾性限界座屈モーメント:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \sqrt{\left[ \left( \frac{k_z}{k_\omega} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]} - C_2 z_g \right\}$$

	Eurocode 3-1-1: 炭素鋼 (S355)	Eurocode 3-1-4: 二相系ステンレス鋼
$C_1$ [-]	1,04	1,04
$C_2$ [-]	0,42	0,42
$k_z$ [-]	1	1
$k_\omega$ [-]	1	1
$z_g$ [mm]	160	160
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	5,6.10 <sup>6</sup>	5,6.10 <sup>6</sup>
$I_T$ [mm <sup>4</sup> ]	1,2.10 <sup>5</sup>	1,2.10 <sup>5</sup>
$I_\omega$ [mm <sup>6</sup> ]	1,2.10 <sup>11</sup>	1,2.10 <sup>11</sup>
$E$ [MPa]	210000	200000
$G$ [MPa]	81000	77000
$M_{cr}$ [kNm]	<b>215</b>	<b>205</b>

# Eurocode 3 水平ねじれ座屈 事例

## 水平ねじれ座屈抵抗

	Eurocode 3-1-1: 炭素鋼 (S355)	Eurocode 3-1-4: 二相系ステンレス鋼	Eurocode 3-1-4: 次改訂版(案)
$W_y$ [mm <sup>3</sup> ]	5,5.10 <sup>5</sup>	4,9.10 <sup>5</sup>	5,5.10 <sup>5</sup>
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	355	450	450
$M_{cr}$ [kNm]	215	205	205
$\bar{\lambda}_{LT}$ [-]	0,96	1,04	1,10
$\alpha_{LT}$ [-]	0,49	0,76	0,76
$\bar{\lambda}_{LT,0}$ [-]	0,2	0,4	0,4
$\phi_{LT}$ [-]	1,14	1,29	1,37
$\chi_{LT}$ [-]	0,57	0,49	0,46
$\gamma_{M1}$ [-]	1,0	1,1	1,1
$M_{b,Rd}$ [kNm]	<b>111</b>	<b>99</b>	<b>103</b>

# Eurocode 3 水平ねじれ座屈 事例

## ■ 比較

	Eurocode 3-1-1: 炭素鋼 S355	Eurocode 3-1-4: 二相系ステンレス鋼	Eurocode 3-1-4: 次改訂版(案)
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	355	450	450
$\gamma_{M0}$ [-]	1,0	1,1	1,1
$\gamma_{M1}$ [-]	1,0	1,1	1,1
断面構造 $M_{c,Rd}$	196	202	226
安定性 $M_{b,Rd}$	111	99	103

この事例では、炭素鋼とステンレス鋼が水平ねじれ座屈抵抗において、近い結果を示した。しかし、最近の実験や文献によると、Eurocode3-1-4による結果が実測に近いことが指摘されている  
 ⇒ 非常に保守・消極的発想である  
 (これは有限要素法による解析例に示されています)





# Section 4

## 代替方法

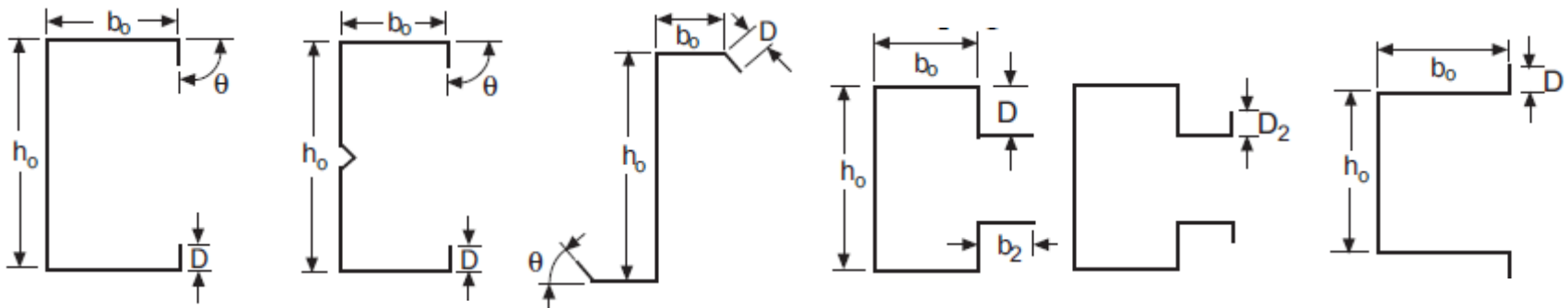
# 代替方法

- 直接強度計算法 DSM(Direct Strength Method)
  - 米国基準の一部流用
  - 厚板向けの手法
- 連続強度計算法 CSM(Continuous strength method)
  - ひずみ硬化の影響を含む
- 有限要素法 FEM(Finite Element Model)
  - 算出に時間を要する
  - 全ての要素を計算モデルに含めることができる

# 直接強度計算法

## DSM (Direct Strength Method)

- AISI規格の付表1に掲載
- 単純明快な手法
- 厚板壁面に適用される



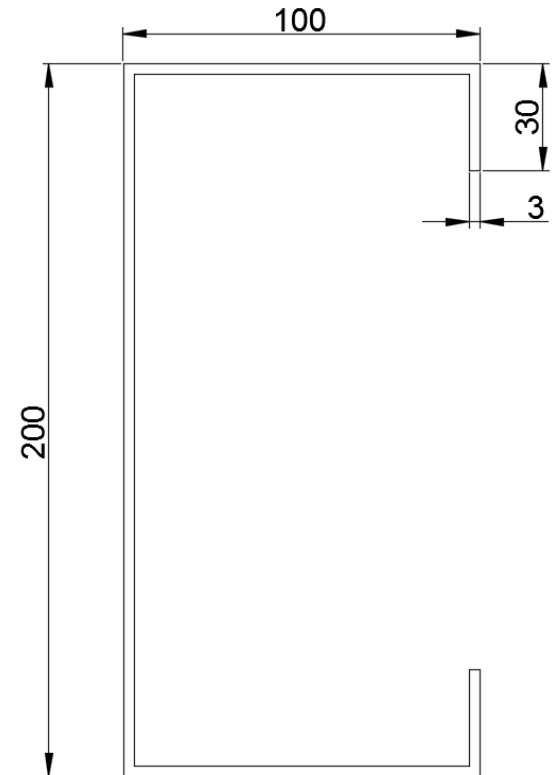
- しかし、“弾性座屈解析”が要求される
  - 文献に掲載されている理論的な方法
  - 有限ストリップ解析 (例 CUFSM)
- 詳細リンク先 : <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/>

# 直接強度計算法 事例

## DSM (Direct Strength Method)

- 垂直C型鋼の圧縮
  - 単純拘束の柱構造
  - 柱高さ: 5m

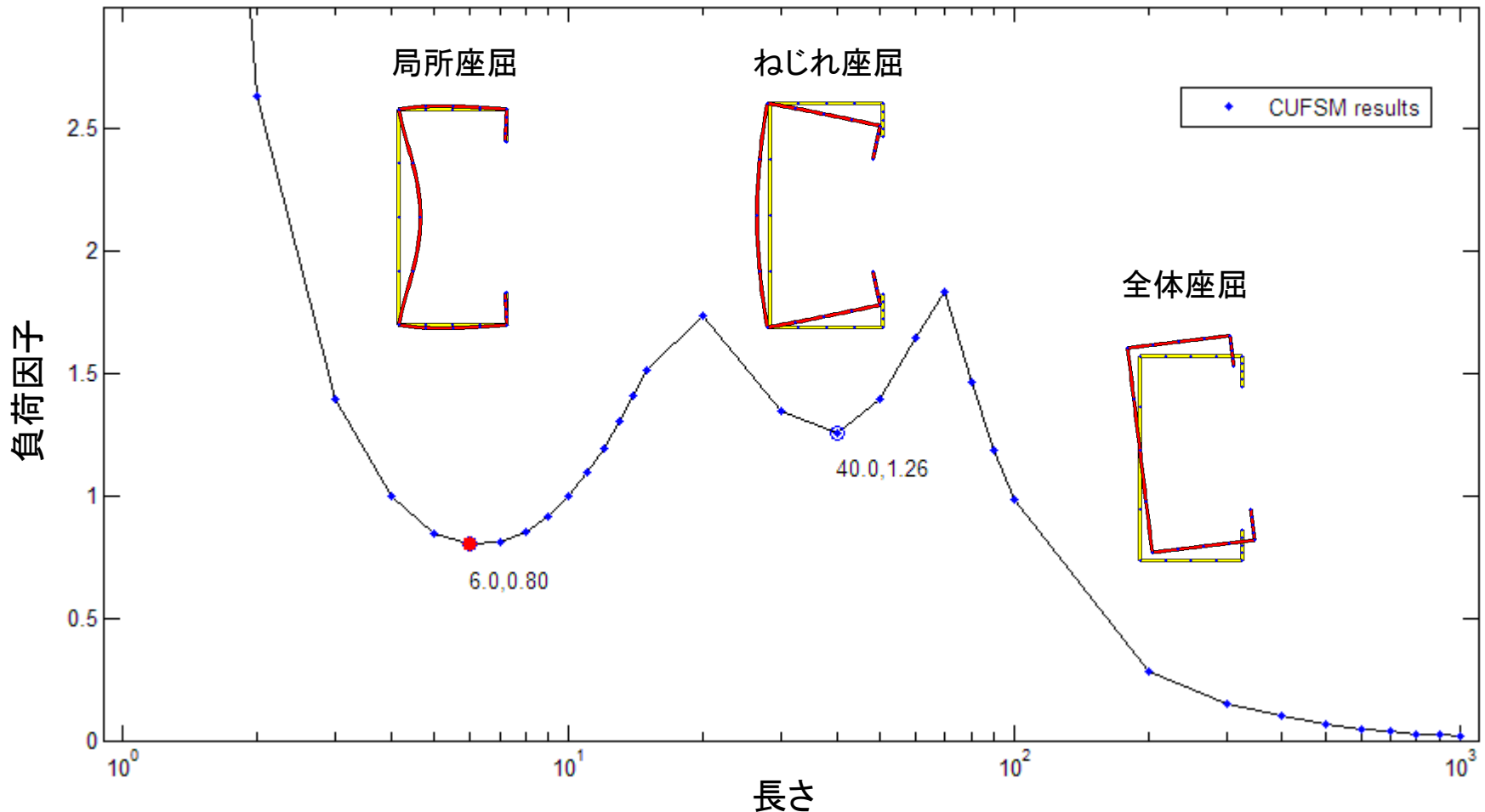
	フェライト系ステンレス鋼
材料	EN 1.4003
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	280
$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	450
E [N/mm <sup>2</sup> ]	220000



# 直接強度計算法 事例

## DSM (Direct Strength Method)

### ■ ステップ1 : 弾性座屈解析



# 直接強度計算法 事例

## DSM (Direct Strength Method)

### ■ 解析結果 = “ 弾性限界座屈荷重 ”

本事例における弾性座屈解析の荷重因子は次に等しい

- 局部座屈荷重 : 0.80
- ねじれ座屈荷重 : 1.26
- 全体座屈荷重 : 0.28

### ■ ステップ2 : 公称強度の計算

- 局部座屈 → 1方程式
- ねじれ座屈 → 1方程式
- 全体座屈 → 1方程式

# 直接強度計算法

## DSM (Direct Strength Method)

- 公称局所座屈強度  $P_{nl}$

- $\lambda_l = \sqrt{P_{ne}/P_{crl}} = 0,56$

- $P_{crl} = 0,80 * 376 = 302 \text{ kN}$

For  $\lambda_l \leq 0,776$

$$P_{nl} = P_{ne}$$

For  $\lambda_l > 0,776$

$$P_{nl} = \left[ 1 - 0,15 \left( \frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left( \frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0,4} P_{ne}$$

- $P_{nl} = 93,81 \text{ kN}$

# 直接強度計算法

## DSM (Direct Strength Method)

- 公称ねじれ座屈強度  $P_{nd}$

- $\lambda_d = \sqrt{P_y / P_{crd}} = 0,89$

- $P_{crd} = 1,26 * 376 = 473 \text{ kN}$

For  $\lambda_d \leq 0,561$

$$P_{nd} = P_y$$

For  $\lambda_d > 0,561$

$$P_{nd} = \left[ 1 - 0,25 \left( \frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left( \frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} P_y$$

- $P_{nd} = 344,56 \text{ kN}$



# 直接強度計算法

## DSM (Direct Strength Method)

- 公称全体座屈強度  $P_{ne}$

- $\lambda_c = \sqrt{P_y/P_{cre}} = 1,88$

- $P_y = Af_y = 376 \text{ kN}$

- $P_{cre} = 0,28 * 376 = 107 \text{ kN}$

For  $\lambda_c \leq 1,5$   $P_{ne} = (0,658^{\lambda_c^2}) P_y$

For  $\lambda_c > 1,5$   $P_{ne} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right) P_y$

- $P_{ne} = 93,81 \text{ kN}$

# 直接強度計算法

DSM (Direct Strength Method)

- ステップ3 :

同軸座屈抵抗はこれらの最小値に等しい

- 局所座屈 :  $P_{nl} = 93.81 \text{ kN}$
- ねじれ座屈 :  $P_{nd} = 344.56 \text{ kN}$
- 全体座屈 :  $P_{ne} = 93.81 \text{ kN}$

$$\Rightarrow P_n = 93,81 \text{ kN}$$

# 連続強度計算法

CSM (Continuous Strength Method)

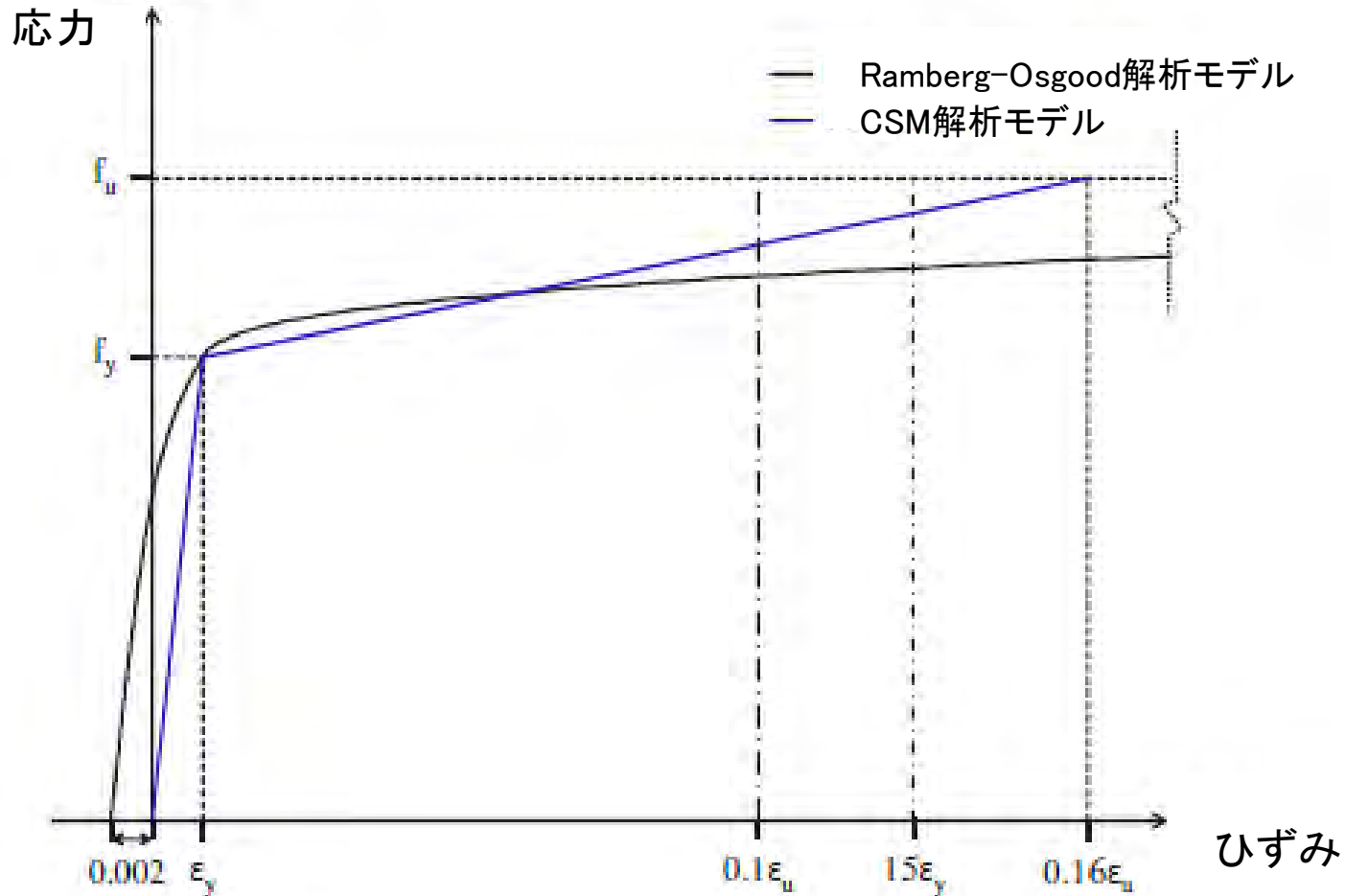
- ステンレス鋼の特徴
  - 非線形的材料構造
  - 高いひずみ硬化現象
  - 定型的な手法では断面構造の全挙動を考慮できない

連続強度計算法では  
ひずみ硬化を考慮した  
モデル解析を実施

# 連続強度計算法

## CSM (Continuous Strength Method)

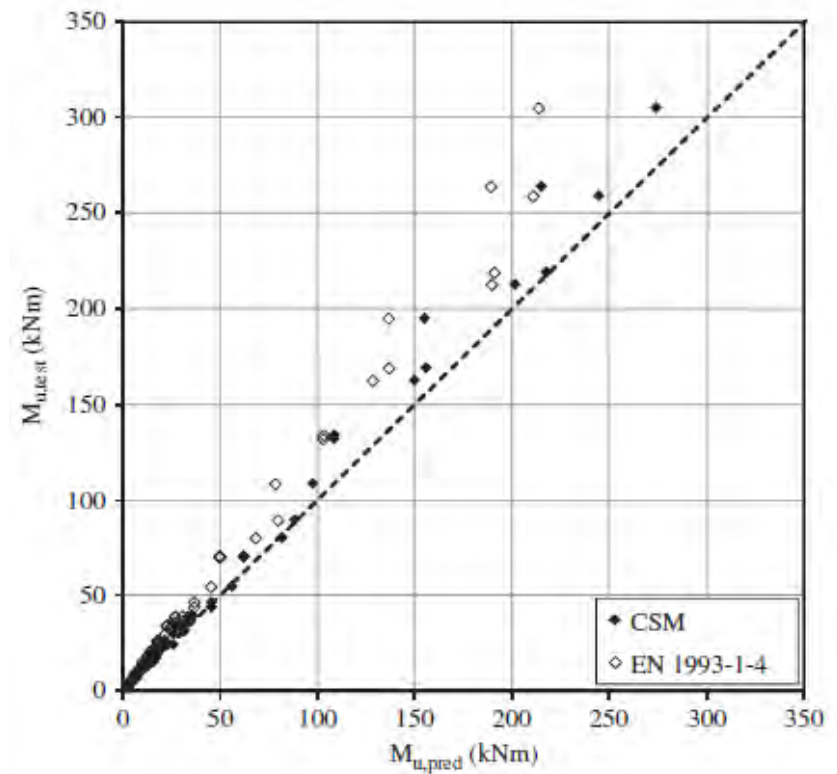
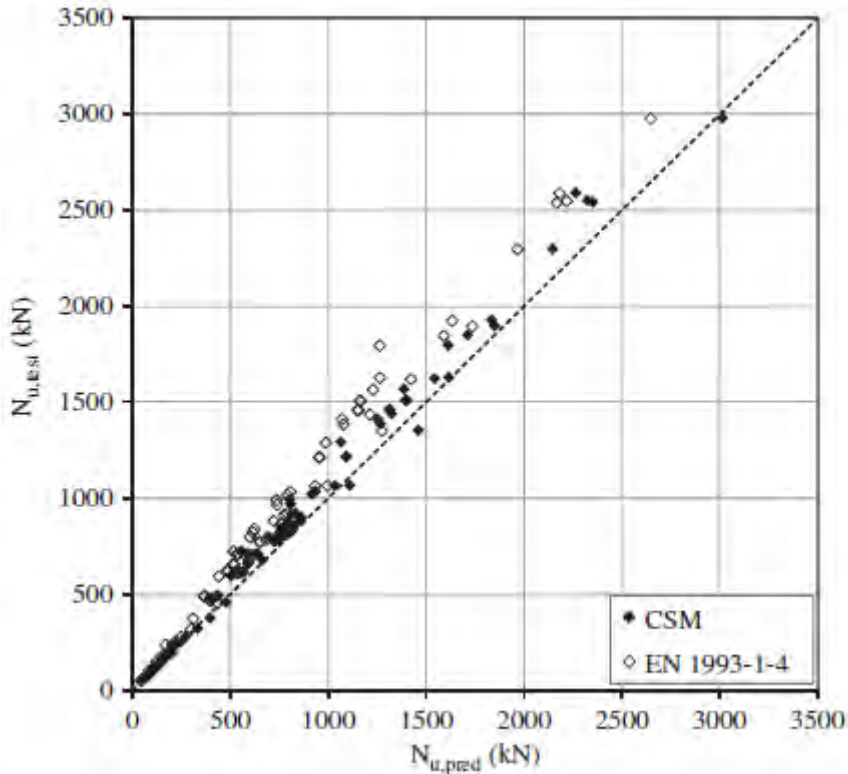
CSMを考慮した材料モデル



# 連続強度計算法

## CSM (Continuous Strength Method)

- Eurocode3とCSMにおける解析と実測の対比
  - 圧縮系
  - 曲げ系



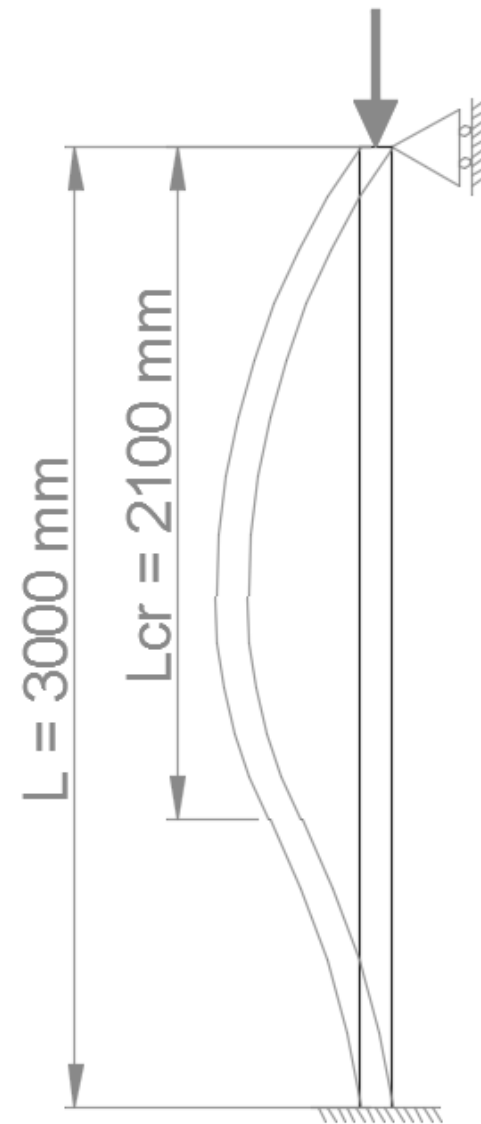
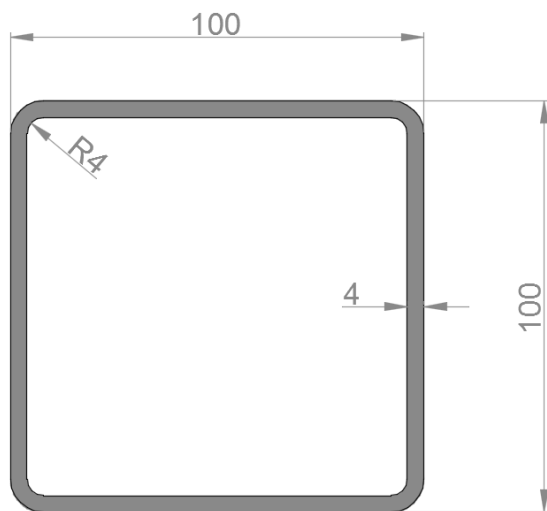
CSM解析の方がより正確に断面構造の挙動を示す

# 連続強度計算法 湾曲座屈例

## CSM (Continuous Strength Method)

- 冷間成形された角形鋼管における同心円方向圧縮モデル (P.51と同例)

オーステナイト系ステンレス	
材料	EN 1.4301
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	230
$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	200000



# 連続強度計算法 湾曲座屈例

## CSM (Continuous Strength Method)

$$f_y = 230 \text{ N/mm}^2$$

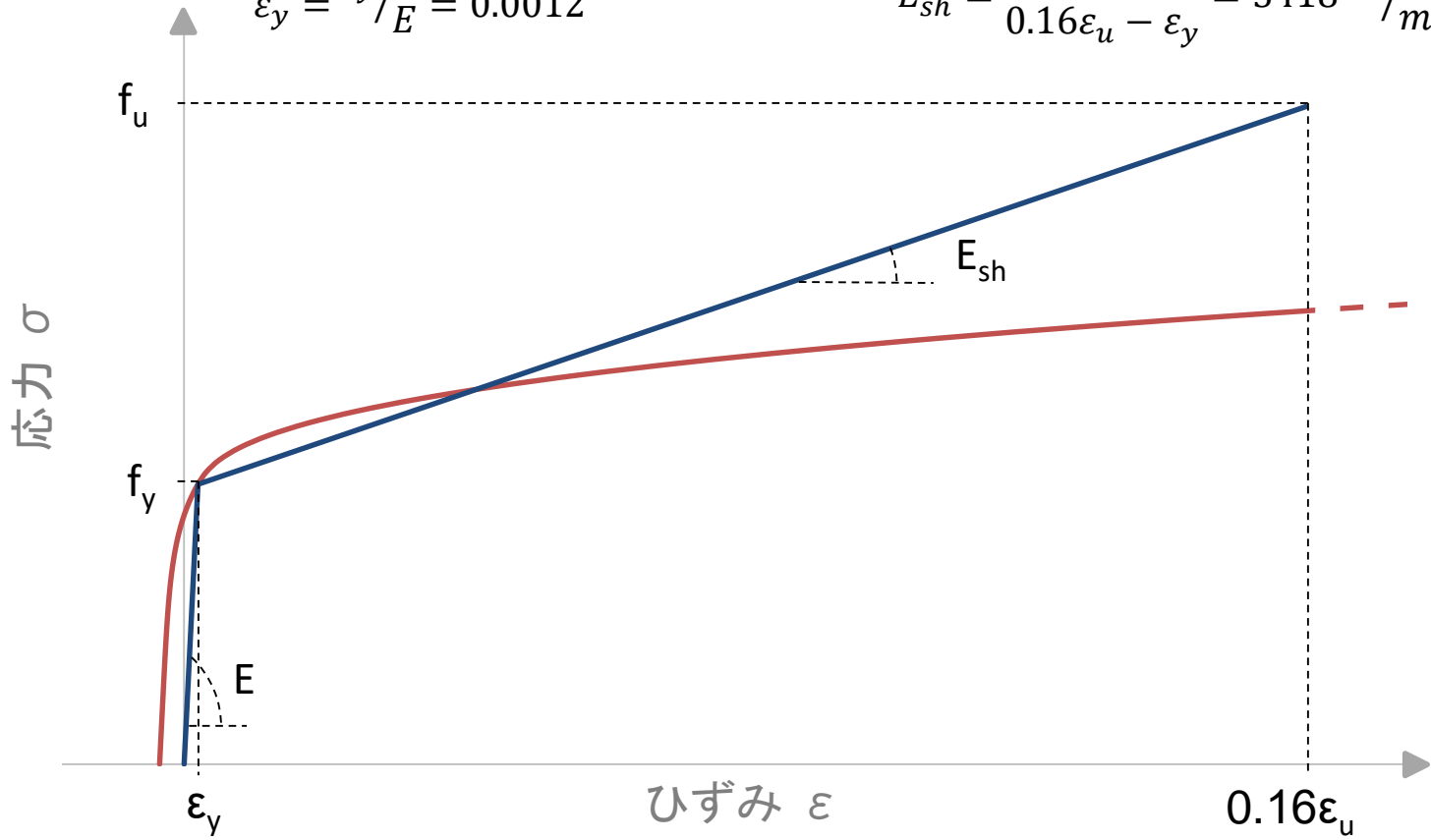
$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_y = f_y / E = 0.0012$$

$$f_u = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$0.16\varepsilon_u = 0.16(1 - f_y/f_u) = 0.919$$

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{0.16\varepsilon_u - \varepsilon_y} = 3418 \text{ N/mm}^2$$



# 連続強度計算法 湾曲座屈例

## CSM (Continuous Strength Method)

$$f_y = 230 \text{ N/mm}^2$$

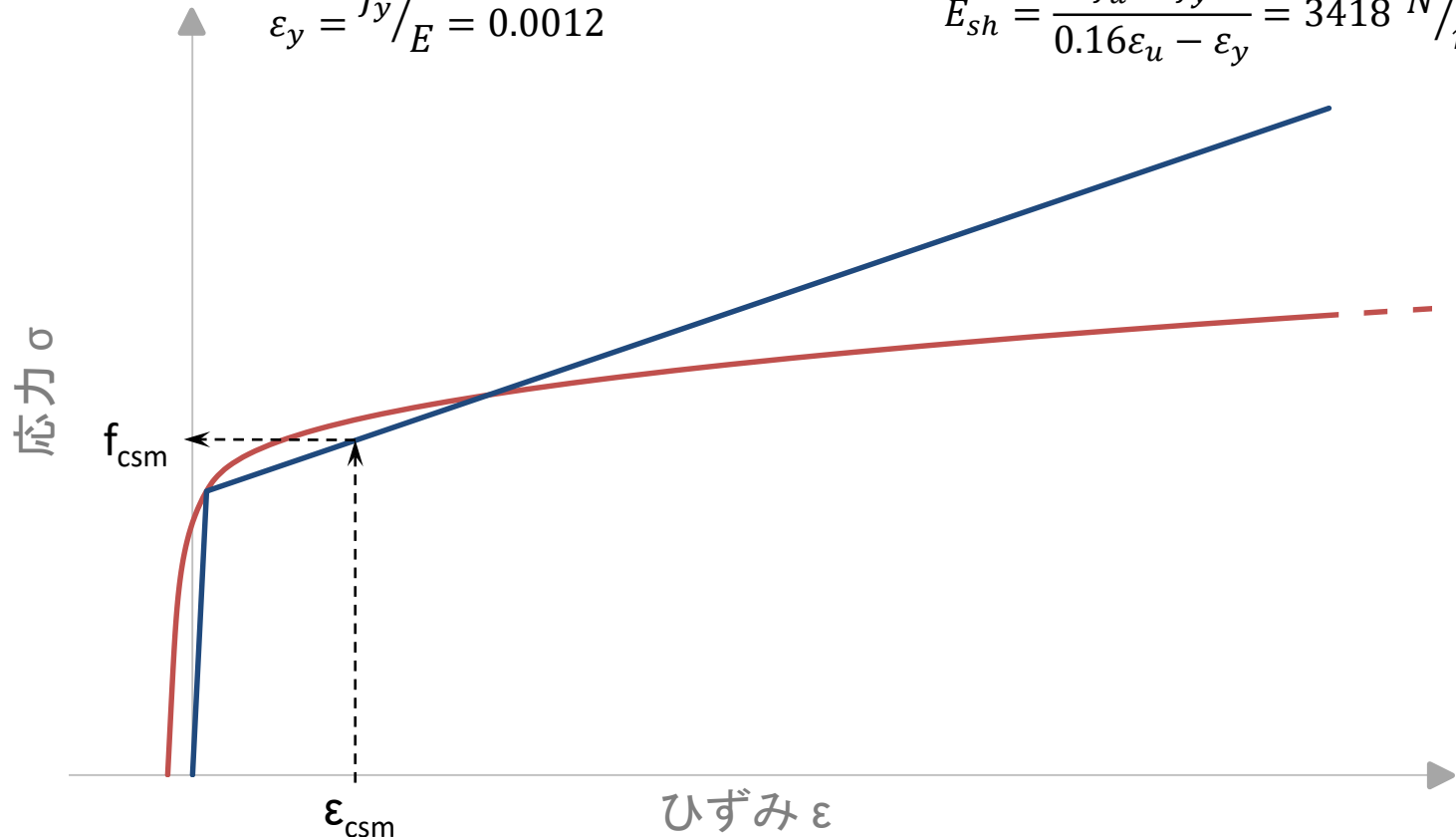
$$E = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_y = f_y / E = 0.0012$$

$$f_u = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$0.16\varepsilon_u = 0.16(1 - f_y/f_u) = 0.0919$$

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{0.16\varepsilon_u - \varepsilon_y} = 3418 \text{ N/mm}^2$$





# 連続強度計算法 湾曲座屈例

## CSM (Continuous Strength Method)

- $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,cs}}} = 0,60$

-  $\sigma_{cr,cs}$  = 総合作用を加味した総断面における弾性座屈荷重

- $\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} = \frac{0,25}{\bar{\lambda}_p^{3,6}} = 5,27$

- $f_{csm} = f_y + E_{sh} \varepsilon_y \left( \frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} - 1 \right) = 247 \text{ N/mm}^2$

- $N_{c,Rd} = \frac{A f_{csm}}{\gamma_{M0}} = 335 \text{ kN}$

# 連続強度計算法 湾曲座屈例

## CSM (Continuous Strength Method)

- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_{csm}}{N_{cr}}} = 0,60$
- $N_{b,Rd} = \chi \frac{Af_{csm}}{\gamma_{M1}} = 294 \text{ kN}$

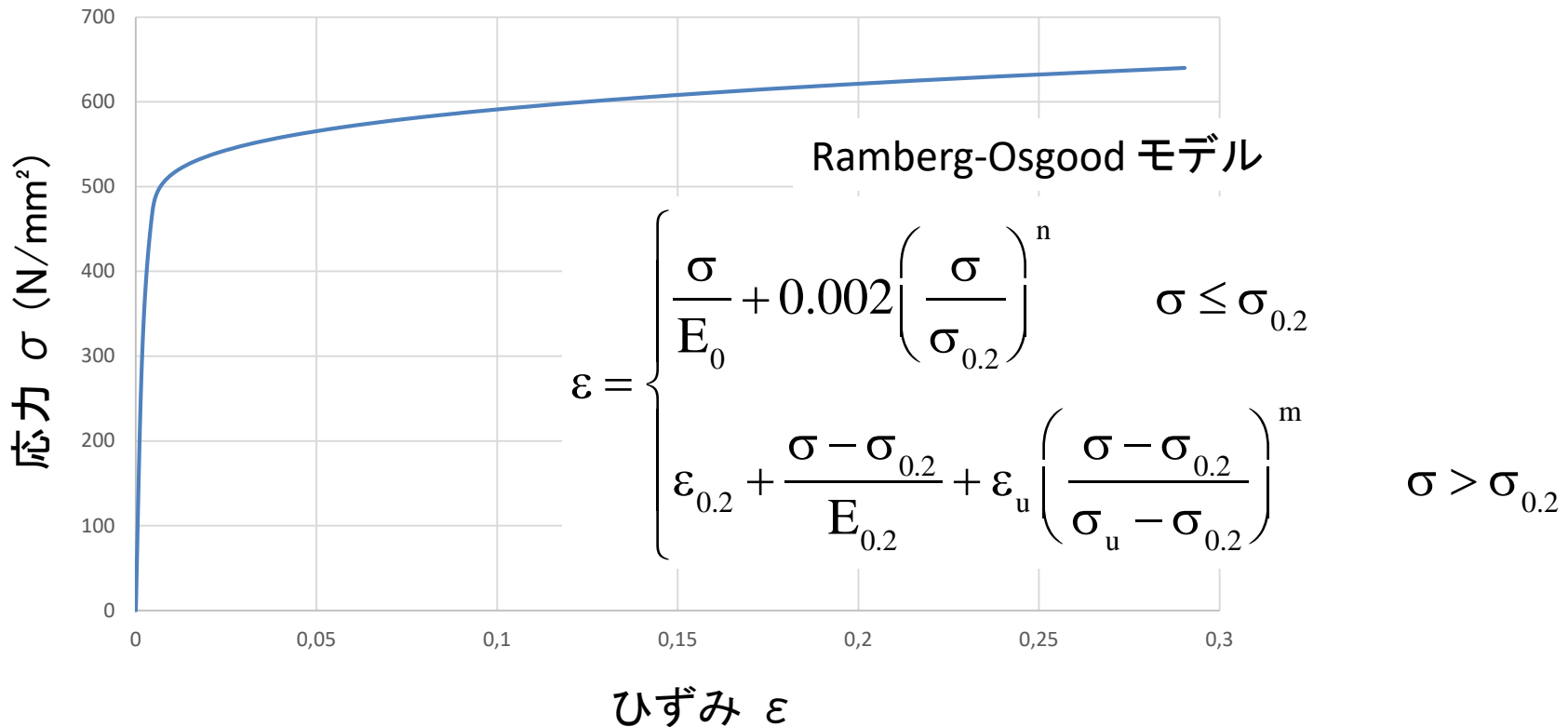
	Eurocode 3-1-1: 炭素鋼 (S235)	CSM: オーステナイト系ステン ス鋼	Eurocode 3-1-4: オーステナイト系ステン ス鋼
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	235	230	230
$\gamma_{M0}$ [-]	1,0	1,1	1,1
$\gamma_{M1}$ [-]	1,0	1,1	1,1
断面形状 $N_{c,Rd}$ [kN]	<b>351</b>	<b>335</b>	<b>313</b>
安定性 $N_{b,Rd}$ [kN]	<b>281</b>	<b>294</b>	<b>277</b>

# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)

材料の応力ひずみ曲線は正確に示される

(例えばRamberg-Osgoodモデルや引張試験の実測値など)



# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)

- 非線形因子は以下の式で表される  
(Rasmussenの式)

$$n = \frac{\ln(20)}{\ln\left(\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{0.01}}\right)} \quad m = 1 + 3.5 \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} \quad E_{0.2} = \frac{E_0}{1 + 0.002n \frac{E_0}{\sigma_{0.2}}}$$

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u}$$

$$\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} = \begin{cases} 0.2 + 185 \frac{\sigma_{0.2}}{E_0} \\ \frac{0.2 + 185 \frac{\sigma_{0.2}}{E_0}}{1 - 0.0375(n - 5)} \end{cases}$$

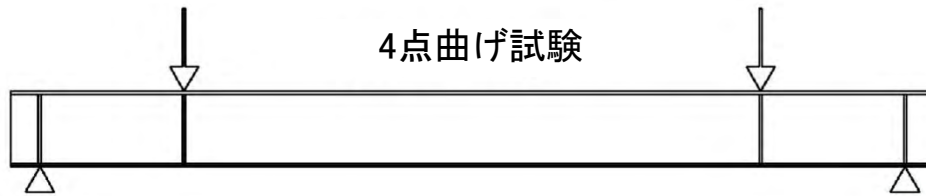
オーステナイト系ステンレス鋼または二相系ステンレス鋼

その他ステンレス鋼

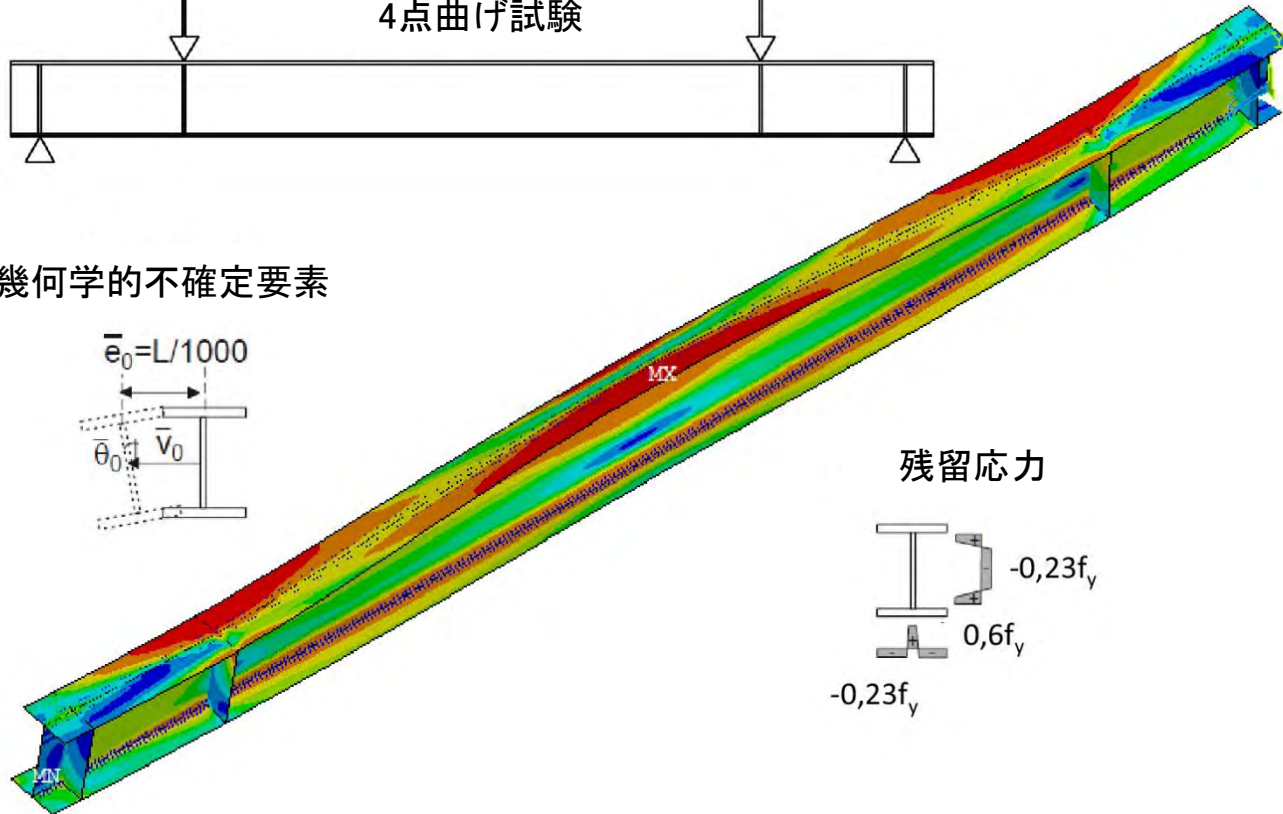
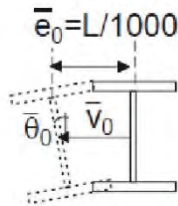
# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)

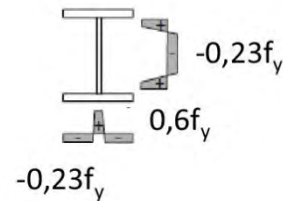
- 平行ねじり座屈荷重を受けるI型ビーム：  
全ての影響因子をモデル化することができる



幾何学的不確定要素



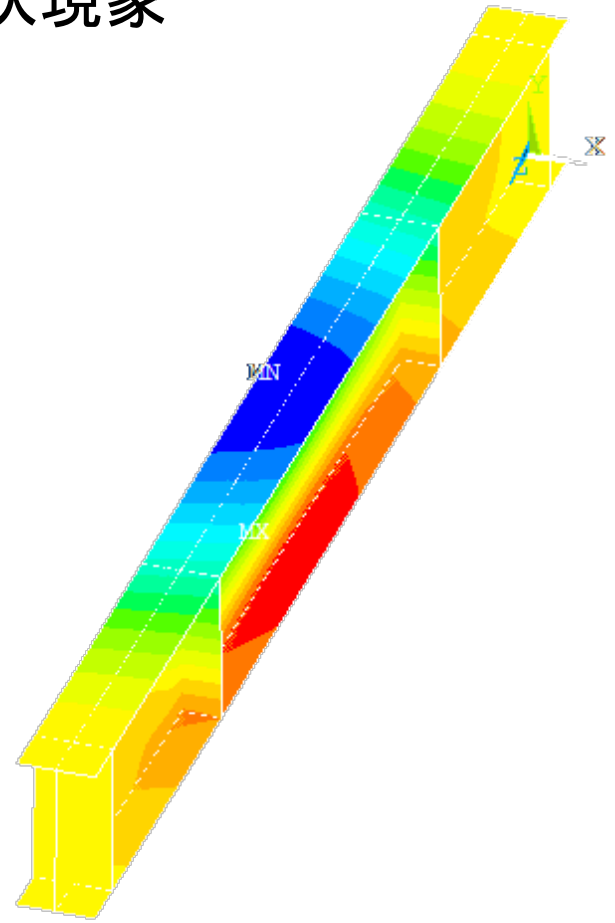
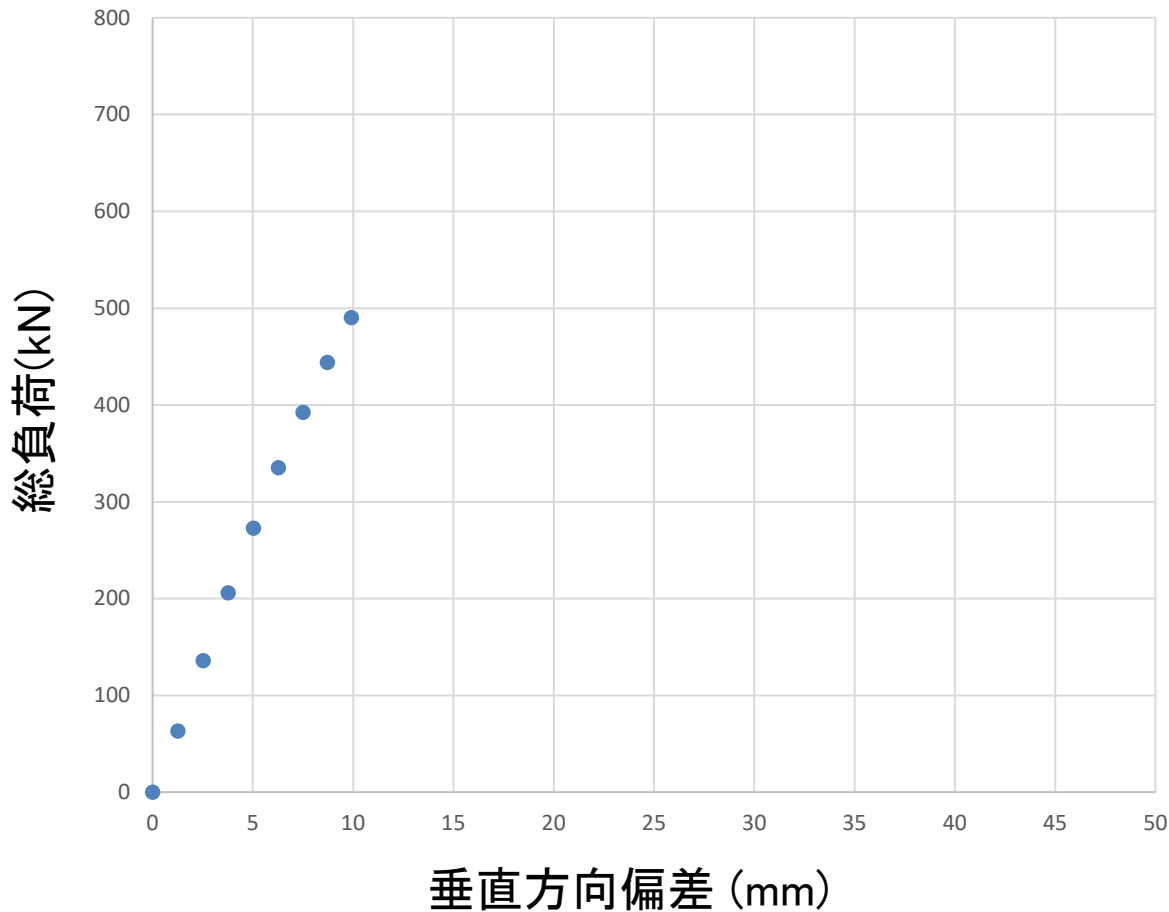
残留応力



# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)

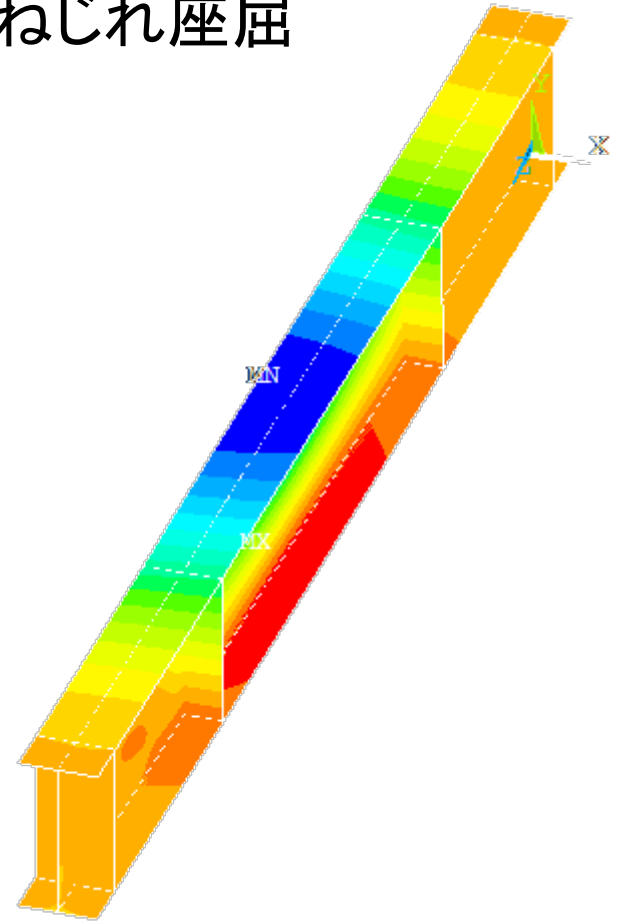
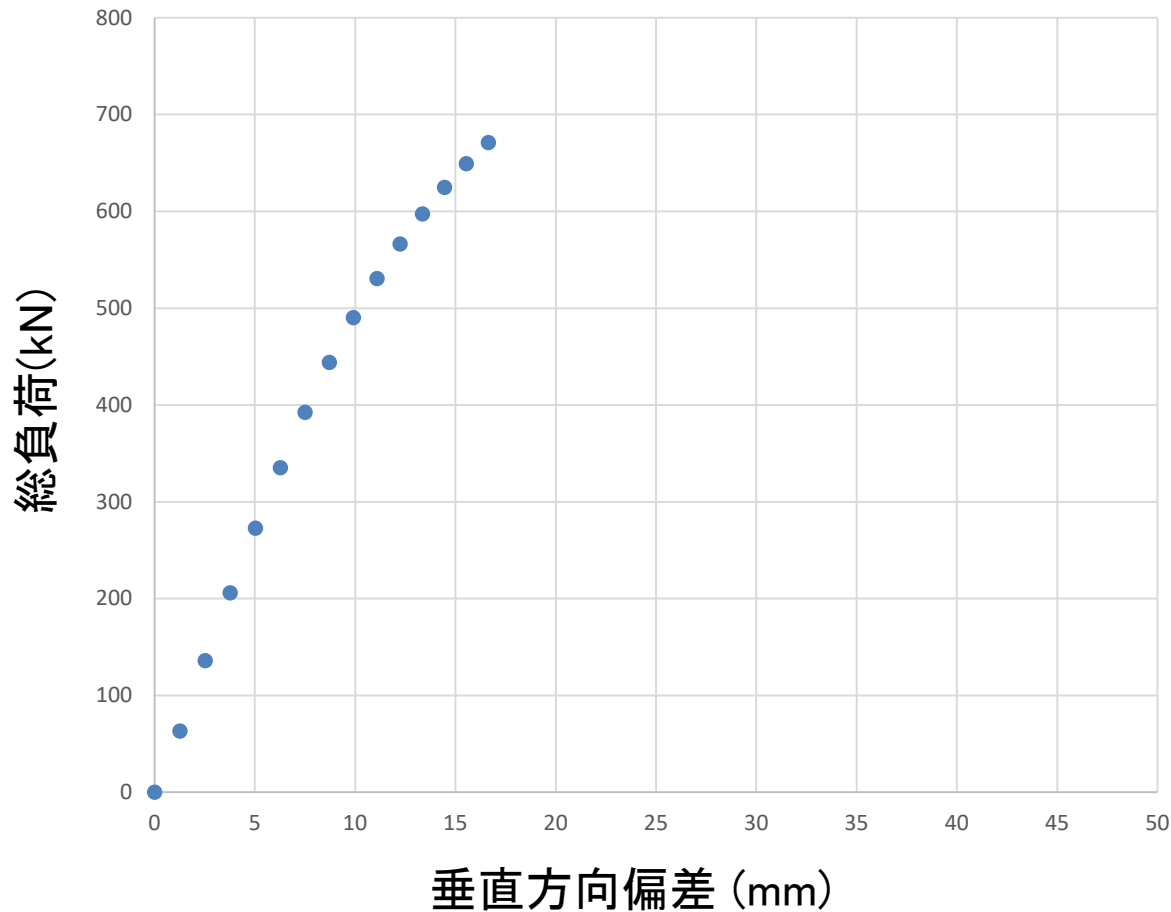
- 負荷-たわみ曲線 : 弾性挙動と初期降伏現象



# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)

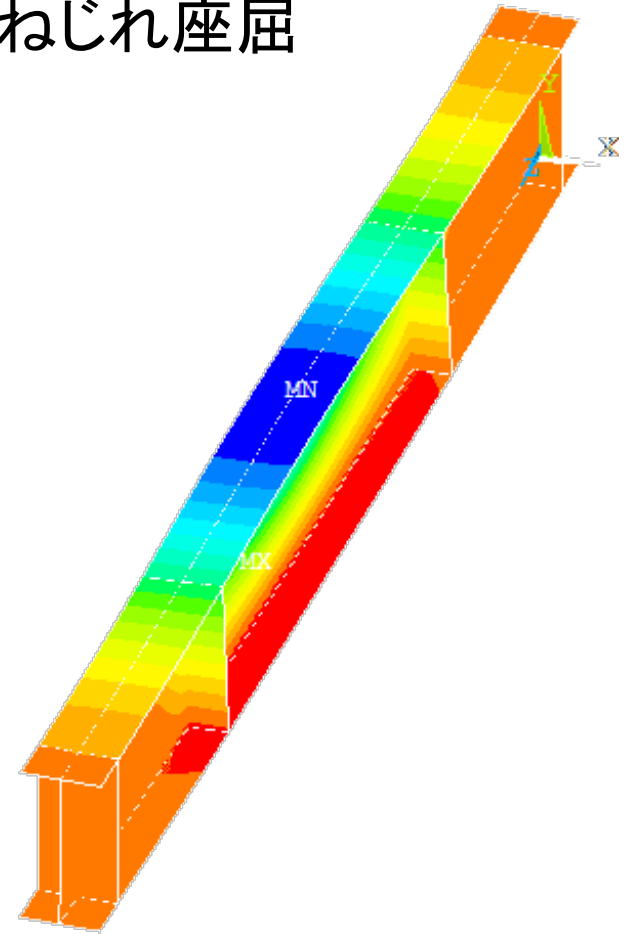
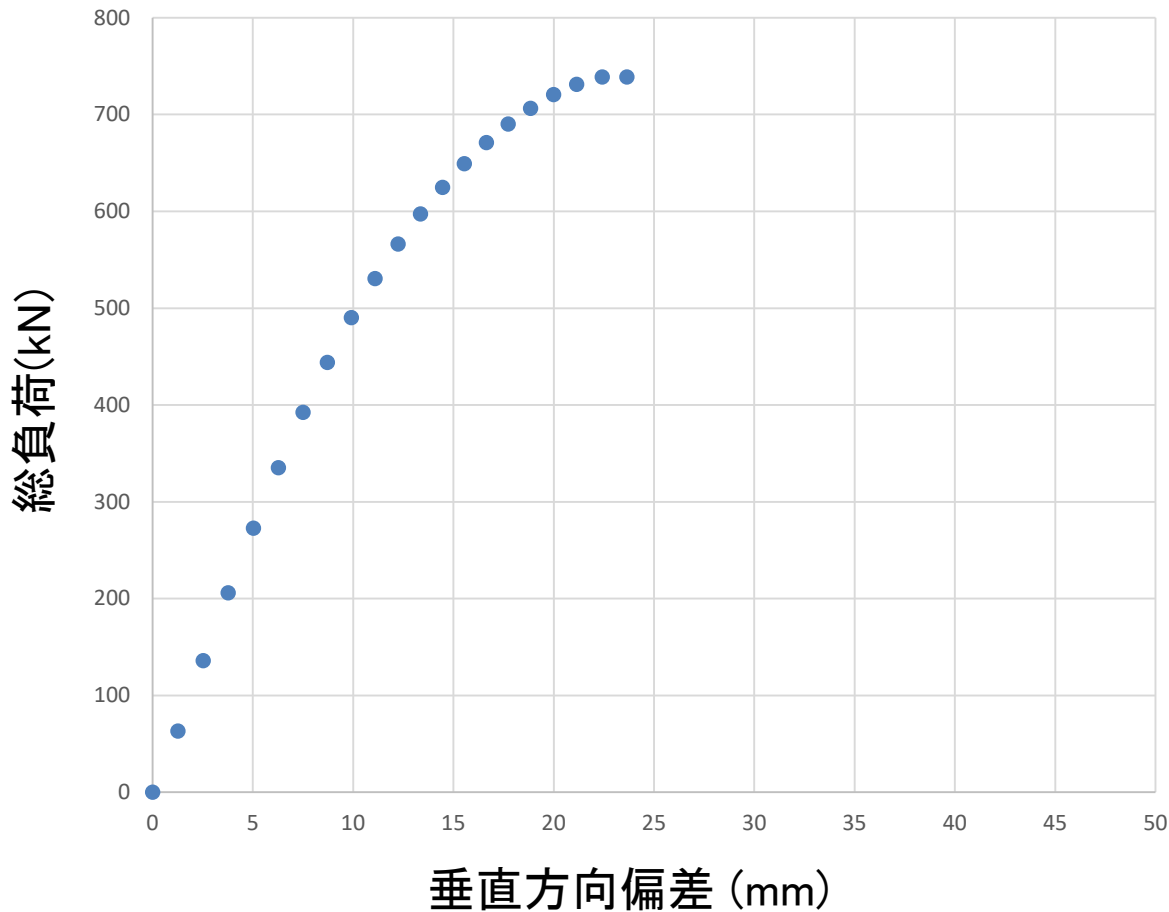
- 負荷-たわみ曲線 : 不安定現象→平行ねじれ座屈



# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)

- 負荷-たわみ曲線 : 不安定現象→平行ねじれ座屈

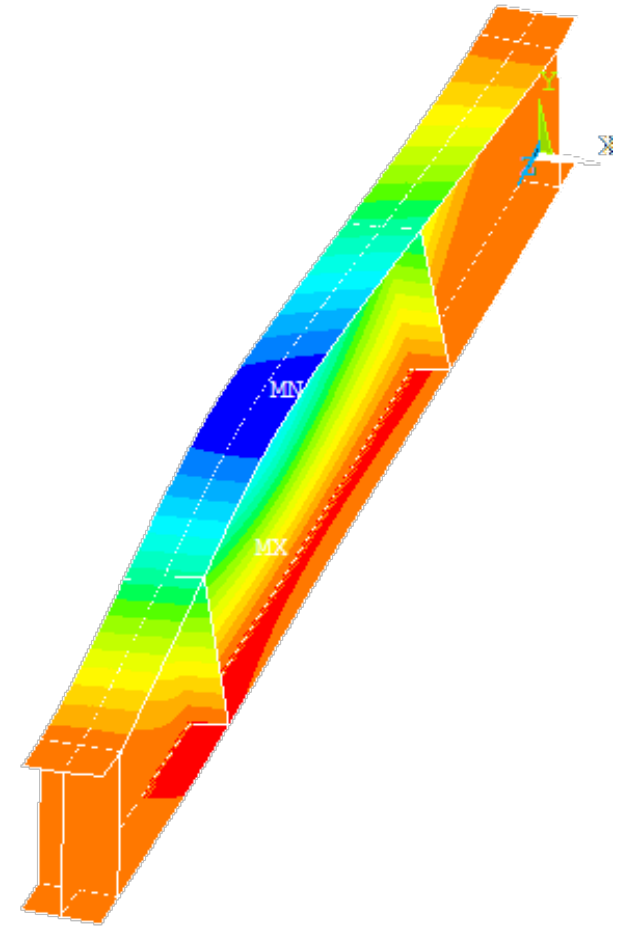
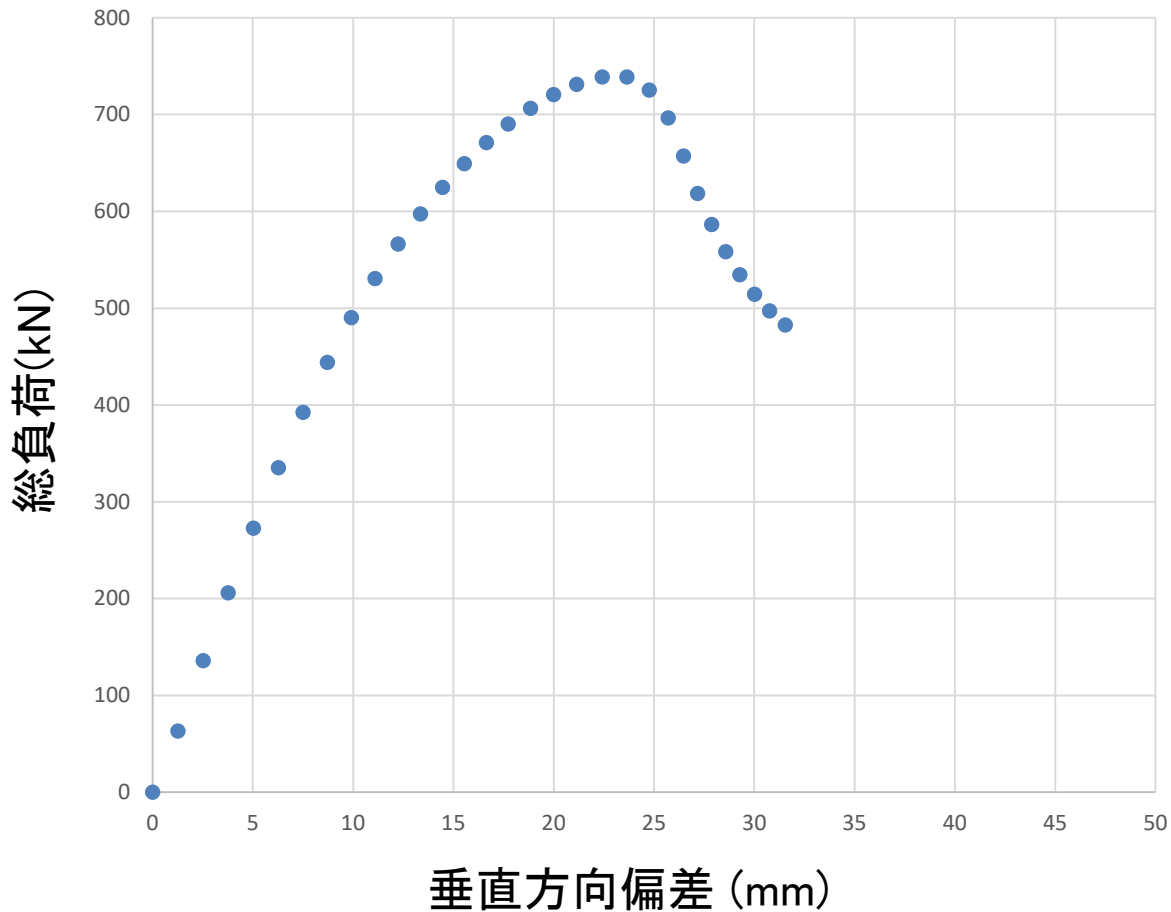




# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)

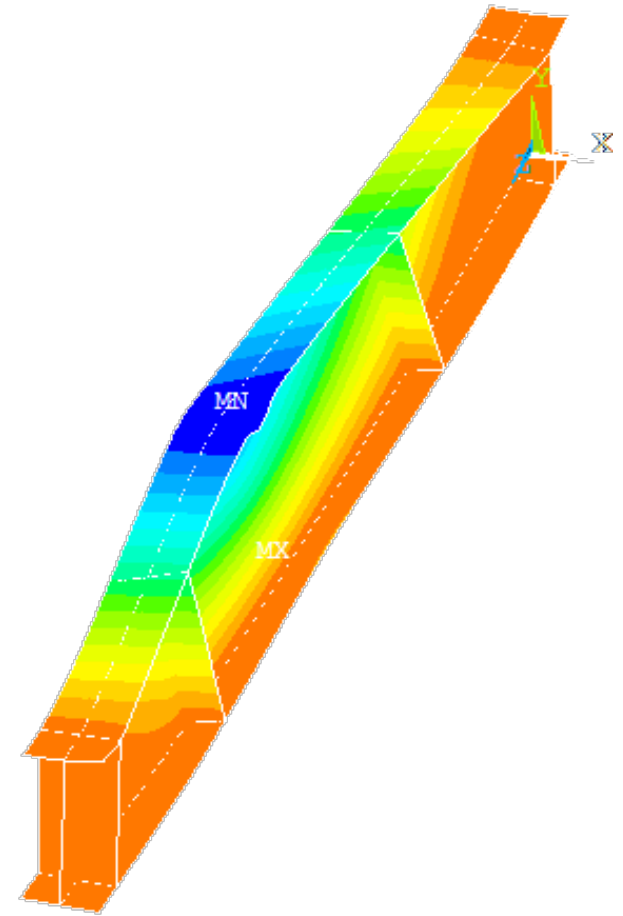
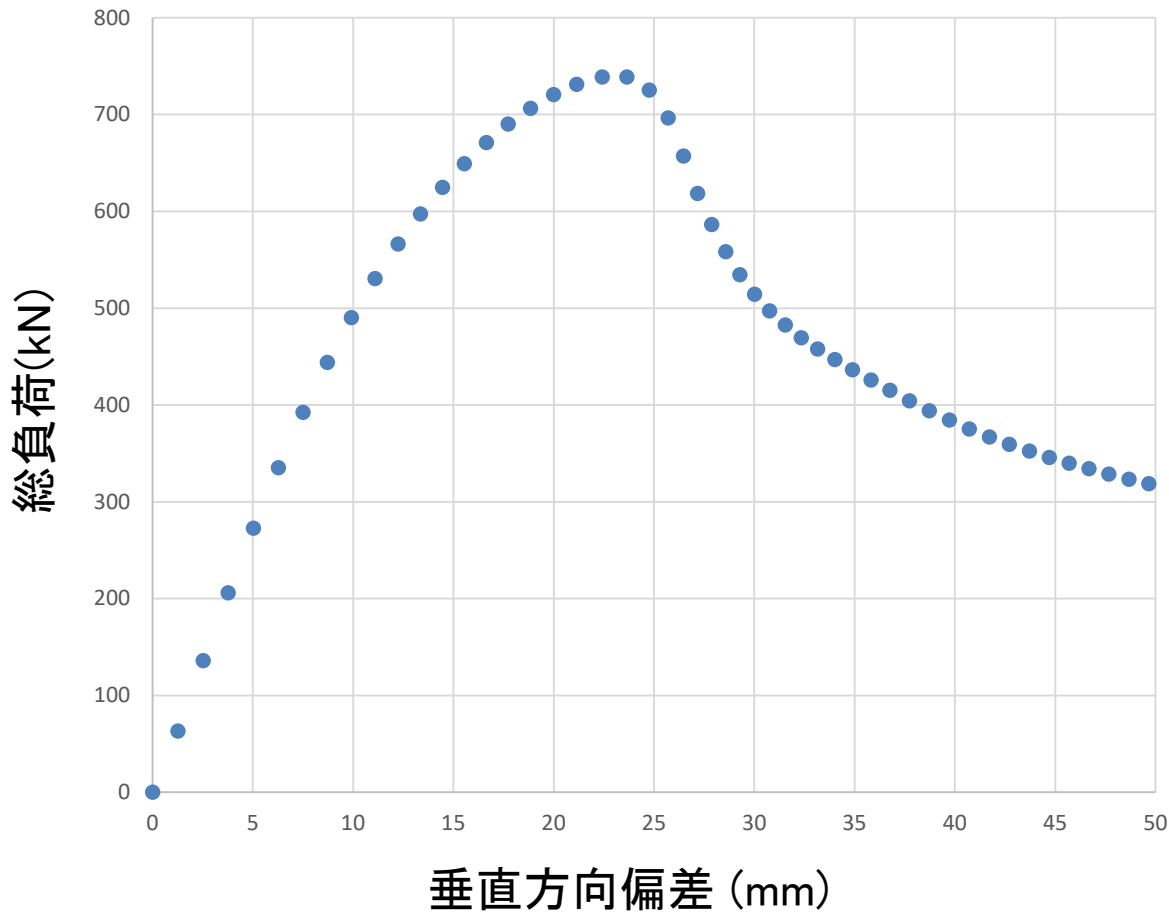
- 負荷-たわみ曲線 : 座屈発生の前兆



# 有限要素法

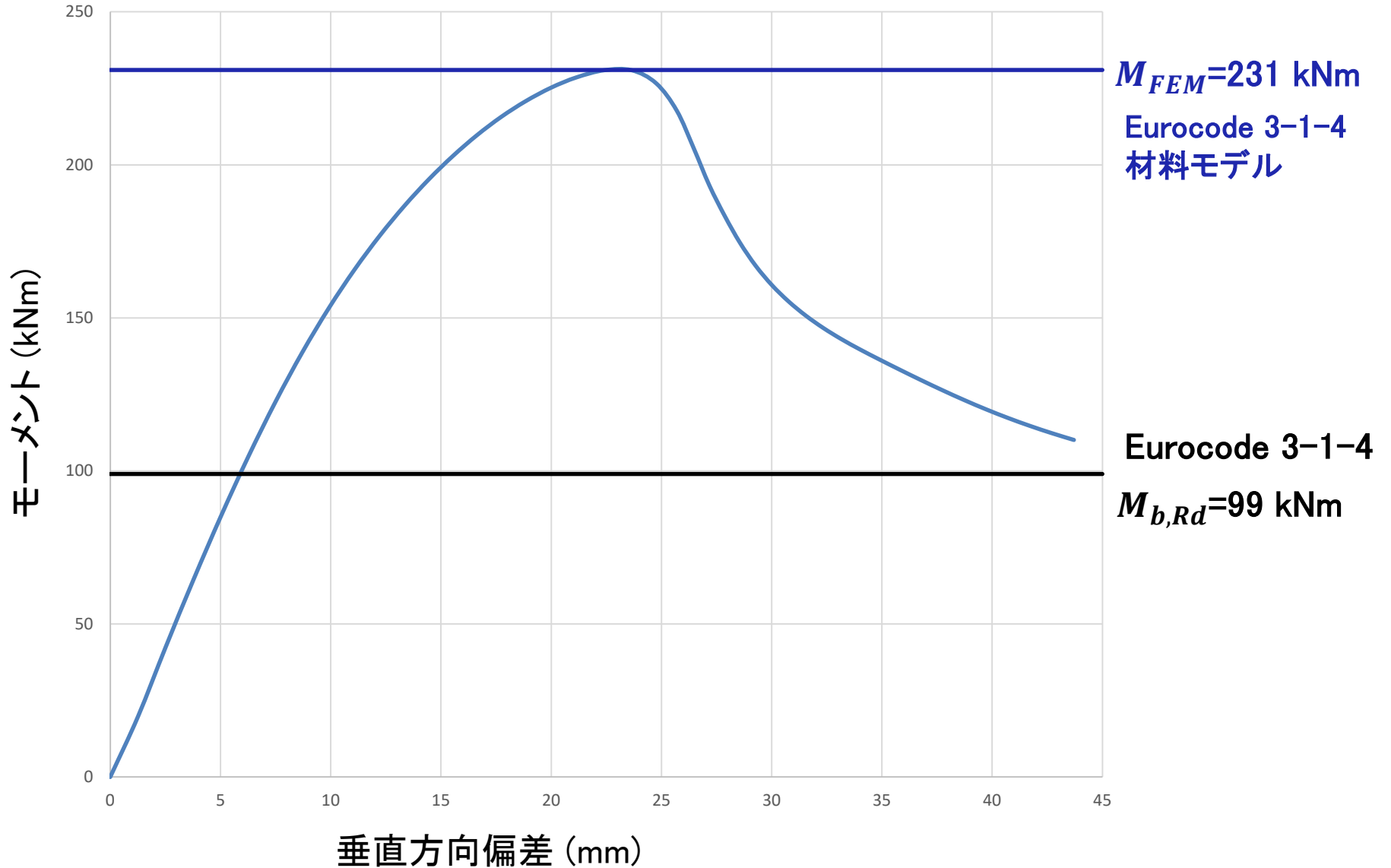
## FEM (Finite Element Model)

- 負荷-たわみ曲線 : 座屈発生の前兆



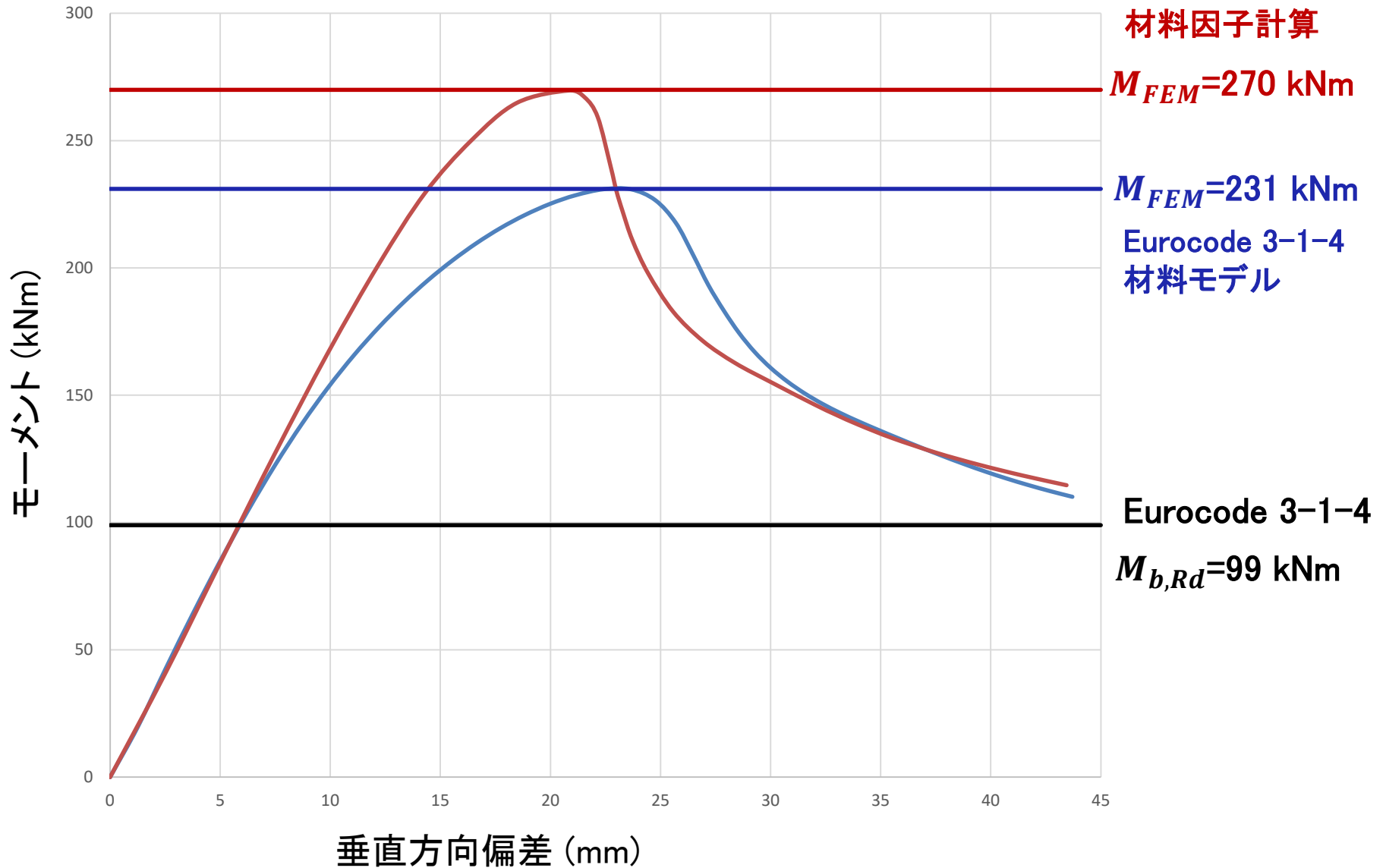
# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)



# 有限要素法

## FEM (Finite Element Model)





# Section 5

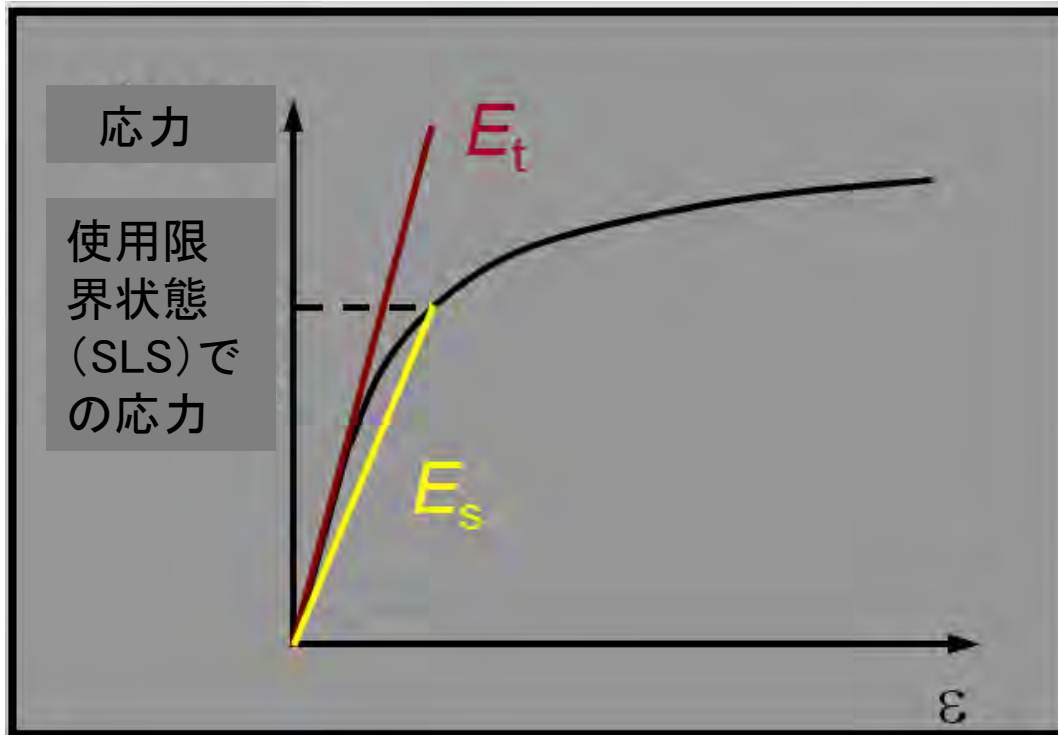
たわみ

# たわみ

- 非線形応力ひずみ曲線は、応力が上昇するとステンレス鋼の剛性が低下することを意味する
- たわみはステンレス鋼の方が炭素鋼より若干大きい
- 使用限界状態(SLS)での組立部材への応力については割線係数を使用する

# たわみ

- 使用限界状態 (SLS) での組立部材への応力に関する割線係数  $E_s$



# たわみ

- Ramberg-Osgoodモデルより算出される割線係数  $E_s$

$$E_S = \frac{E}{1 + 0.002 \frac{E}{f} \left( \frac{f}{f_y} \right)^n}$$

$f$  使用限界状態(SLS)での応力

$n$  材料定数



# オーステナイト鋼梁におけるたわみ

- Ramberg-Osgoodモデルより算出される  
割線係数  $E_s$

応力率 $f/f_y$	割線係数 $E_s$ N/mm <sup>2</sup>	たわみ増加率 %
0.25	200,000	0
0.5	192,000	4
0.7	158,000	27

$f$ =使用限界状態(SLS)での応力



# Section 6

## その他追加情報

# 地震負荷への対応

- 高い延性(オーステナイト系ステンレス)はより厳しい負荷サイクルに耐えられる
  - 負荷サイクル下でのヒステリシス・エネルギー拡散が大きい
- 高い加工硬化
  - 大きく、かつ変形可能な塑性領域の生成を促進
- 強い歪み速度依存性
  - 早い歪み速度での高強度につながる

# ボルト接合の設計

- ボルトと母材の強度と耐食性が近似であること
- 異種金属接触腐食を避けるためステンレス製部材にはステンレス製ボルトを使用する
- ステンレス製ボルトは亜鉛メッキ鋼材やアルミ製部材にも使用できる

# ボルト接合の設計

- ざぐり穴に関する炭素鋼ボルトの規定が一般的にはステンレス鋼にも適用できる(張力、せん断応力)
- ステンレス鋼の高い延性を考慮し、変形を限定するために耐荷重に関する特別規定が必要となる

$$f_{u,\text{red}} = 0.5f_y + 0.6f_u \leq f_u$$

# 組み込みボルト

以下の状況で橋梁、搭、マスト等に有用

- 結合部に振動負荷がかかる
- 結合部のスリップを避ける必要がある
- 掛かる負荷がしばしば+値から-値に変わる
  
- 特にステンレス組み込みボルトの設計規定はない
- 常にテストを行うこと

# 溶接接合の設計

- 一般的には炭素鋼の設計規定がステンレス鋼にも適用できる
- 母材のステンレス鋼種に適した電極等を使用する
- ステンレス鋼は炭素鋼にも溶接できるが特別な準備が必要となる

# 疲労強度

- 溶接部分の疲労挙動は溶接形状に依存する
- オーステナイト鋼と二相鋼の疲労強度は少なくとも炭素鋼と同等である
- 炭素鋼のガイドラインを適用すること





# Section 7

## 技術者向けの情報源

# 技術者向けの情報源

- オンライン情報センター
- ケーススタディ
- 設計ガイド
- 設計例
- ソフトウェア



# STAINLESS STEEL P O R T A L

[www.steel-stainless.org](http://www.steel-stainless.org)

100  
YEARS  
OF  
STAINLESS  
STEEL



## A CENTURY OF INNOVATION

From small beginnings a hundred years ago, stainless steel has grown to be an integral part of our lives. Utilised primarily for its corrosion resistance, stainless steel is also found in applications where strength, innovation and aesthetics are important.

[VIEW WEBSITE](#)



**ONLINE INFORMATION  
CENTRE FOR STAINLESS  
STEEL IN CONSTRUCTION**

[VIEW WEBSITE](#)



**DESIGN MANUAL FOR  
STRUCTURAL STAINLESS  
STEEL**

[VIEW PUBLICATION](#)



**STRUCTURAL STAINLESS  
STEEL CASE STUDIES**

[VIEW CASE STUDIES](#)

# 建築情報センターの ステンレス鋼関連ページ

[www.stainlessconstruction.com](http://www.stainlessconstruction.com)

The screenshot shows the homepage of the 'ONLINE INFORMATION CENTRE FOR STAINLESS STEEL IN CONSTRUCTION'. The page has a light blue header with the title in dark grey. Below the header is a dark grey navigation bar with white text for the following categories: SPECIFICATION, CODES & STANDARDS, DESIGN, FABRICATION & INSTALLATION, CASE STUDIES, and RESEARCH. The main content area is split into two columns. The left column has a light blue background and contains the text 'Stainless steel at your fingertips...', a paragraph stating 'This website will lead you to essential technical information about the use of stainless steel in construction.', a 'Featured Resource:' section for 'Thames Gateway Water Treatment', and a search bar with the placeholder 'Enter search query' and a blue 'GO' button. The right column features a large, high-quality photograph of a curved, stainless steel architectural structure, possibly a water treatment component, set against a clear blue sky.

# ケーススタディ 構造12事例

[www.steel-stainless.org/CaseStudies](http://www.steel-stainless.org/CaseStudies)

Structural Stainless Steel Case Study 01

## Stonecutters Bridge Towers

Stonecutters Bridge, Hong Kong, is a cable stayed structure with a total length of 1596 m and a main span of 1018 m. The bridge crosses the Rambler Channel and is the main entrance to the busy Kwai Chung Container Port. It is visible from many parts of Hong Kong Island and Kowloon. The most striking features of the bridge are the twin tapered mono towers at each end supporting the 50 m wide deck. These tapered towers rise to 295 m above sea level; the lower sections are reinforced concrete while the upper 115 m are composite sections with an outer stainless steel skin and a reinforced concrete core.

### Material Selection

Figure 1: General view of Stonecutters Bridge

The design life of the bridge is 120 years. A highly durable material was required for the upper sections of the bridge towers because of the harsh marine and polluted environment. Additionally, post-construction maintenance on the towers will be extremely difficult, due to the live traffic beneath. Stainless steel was chosen for the skin of the composite section of the upper tower because of its durability and also its attractive appearance. Carbon steel would have required protective coatings that would have needed replacing after an estimated 25-30 years.

Figure 2: Mono tower and stay cables

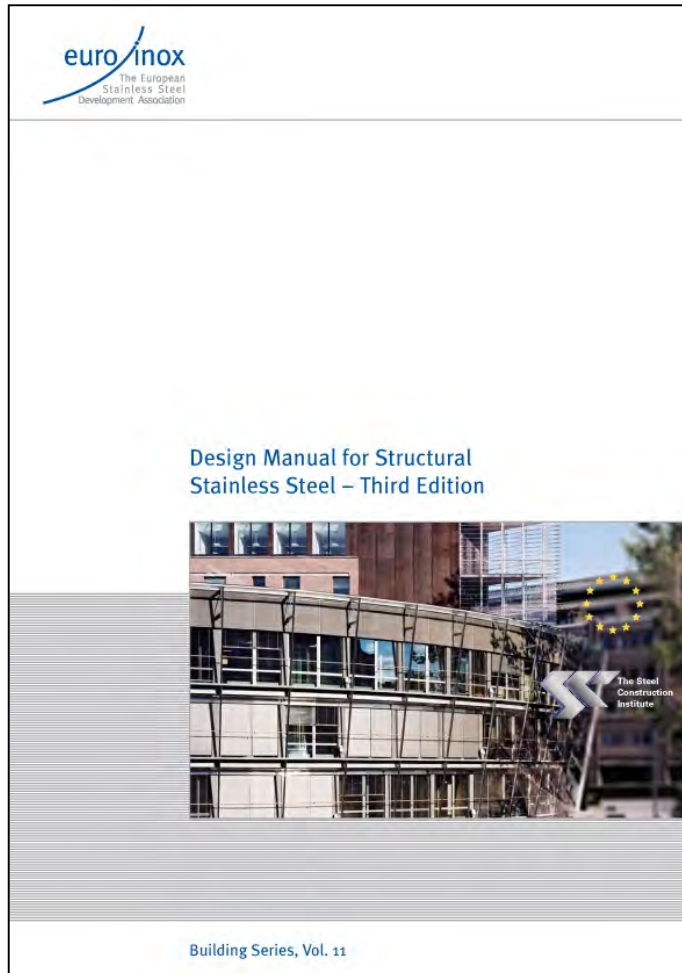
A polished 1K finish (as defined in EN 10069 Part 2 [1]) was specified for all exposed surfaces, with an average surface roughness  $R_a$  of 0.5  $\mu\text{m}$ . A slightly textured, non-directional, low reflective appearance was then created by shot peening the surface with a mixture of aluminium oxide and glass beads.

Structural Stainless Steel Case Study 01

Page 1



# 設計ガイド Eurocode



[www.steel-stainless.org/designmanual](http://www.steel-stainless.org/designmanual)

- 指導書
- 注釈
- 設計例

Online design software:  
(オンライン設計ソフト)

[www.steel-stainless.org/software](http://www.steel-stainless.org/software)

# まとめ

- 構造的耐力

炭素鋼に近似しているが非線形の応力ひずみ曲線により若干の修正が必要となる

- 設計規定は策定されている

- 参考資料(設計ガイド、事例研究、加工例、ソフトウェア)は自由に利用できる

# 参考

- EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-1: General rules and rules for buildings. 2005
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. 2006
- EN 1993-1-4. Eurocode 3: Design of steel structures – Part1-4: Supplementary rules for stainless steel. Modifications 2015
- M. Fortan. Lateral-torsional buckling of duplex stainless steel beams - Experiments and design model. PhD thesis. 2014-...
- AISI Standard. North American specification Appendix 1: Design of Cold-Formed Steel Structural Members Using the Direct Strength Method. 2007
- B.W. Schafer. Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008) 766-778
- S.Afshan, L. Gardner. The continuous strength method for structural stainless steel design. Thin-Walled Structures 68 (2013) 42-49





# Thank You

Barbara Rossi – [barbara.rossi@kuleuven.be](mailto:barbara.rossi@kuleuven.be)  
Maarten Fortan – [maarten.fortan@kuleuven.be](mailto:maarten.fortan@kuleuven.be)

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第8章

## 表面仕上げ

# 目次

1. ステンレス鋼の表面仕上げ
2. 3次元仕上げ
3. メッシュ構造
4. 参考サイト

# ステンレスの表面仕上げ<sup>1,2</sup>

- ミル仕上げ
- 機械研磨仕上げ
- パターン仕上げ
- ビード・ブラスト仕上げ
- 電解研磨仕上げ
- 着色仕上げ
- 電解着色仕上げ
- 電解着色・パターン仕上げ
- 有機塗装
- 特殊装飾仕上げ

様々な  
仕上げが  
入手可能

# ミル冷延仕上げ<sup>1,3</sup>

規格 EN10088-2の表6に示す冷延仕上げと代表的な表面粗度値

記号	仕上げプロセス	特記事項	代表的 表面粗度値 μm
2B	冷延、熱処理、酸洗、スキ ンパス	最も一般的な「冷延」仕上げ。反射性はなく、滑らかな表面で、平坦度コントロールが良い。厚み範囲はメーカーのスキんパス能力により制限される。	0.1-0.5
2C	冷延、熱処理、ディスクール 処理は行なわない	熱処理で発生するスケール付だが表面は滑らかで次工程で機械加工またはディスクール処理が行なわれる部品あるいは耐熱性が要求される部品に適した仕上げ。	-
2D	冷延、熱処理、酸洗	厚めの鋼板用。2Bほど表面は滑らかではないがほとんどの用途に適する。	0.4-1.0
2E	冷延、熱処理、機械的ディス ケール処理	表面が粗くダル。通常酸洗液に強いスケール付鋼材に適用。	-
2H	冷延、加工硬化	オーステナイト系鋼種の「テンパー」圧延は機械的強度を向上させる。表面の滑らかさは2Bに近い。	-
2R	冷延、光輝焼鈍 (BA)	反射性の高い「ミラー(鏡面)仕上げ」表面は非常に滑らか。プレス加工用にプラスチック保護フィルム付で供給される。BA仕上げの製品は通常さらなる表面処理を行わずに使用される。	.05-0.1
2Q	冷延、硬化およびテンパー処 理、スケール除去	マルテンサイト系(例えば420)でのみ供給可能 スケールは保護大気熱処理で回避、または熱処理後ディスクール処理される。	-

上記が最も  
一般的な仕上げ  
である。

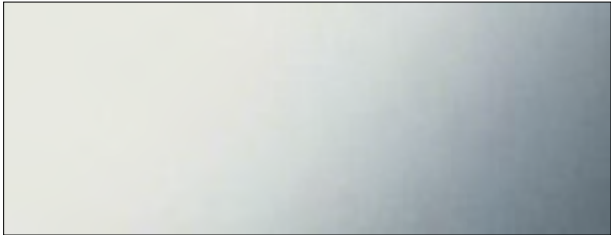
# 一般的なミル仕上げ



2B 2Dとして製造されるがよく研磨されたロールを使用した最後の軽度圧延により表面が滑らかで、反射性があり、グレーの光沢を持つ仕上げとなる。これは今日、最も一般的に使用されている仕上げでほとんどの研磨およびブラシ仕上げのベースとなっている。



2D 1Dよりも高級な仕上げで冷延、熱処理、酸洗の製造工程で作られる。反射性が低いマット仕上げは産業・エンジニアリング関連用途には適しているが、建築に関しては美観がそれほど重要ではない用途に適している。



2R 研磨ロールによる冷延後に無酸素大気状態で光輝焼鈍を行なうことで物体を明確に映し出す反射性の高い仕上げが得られる。この非常に滑らかな表面は他のミル仕上げに比べ空中の汚染物質や湿度の付着が少なく、洗浄が非常に容易でもある。

# 特別仕上げ<sup>1,3</sup>

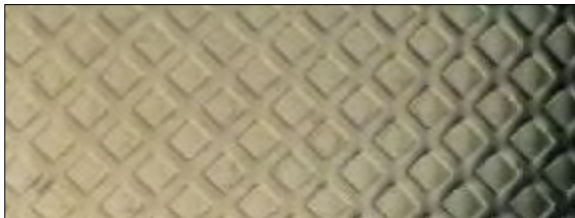
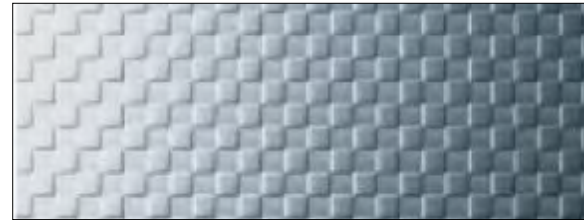
規格 EN10088-2の表6に示す冷延仕上げと代表的な表面粗度値

記号	仕上げプロセス	特記事項	代表的表面粗度値 μm
1G or 2G	研削	ミル仕上げ「1」「2」がベースとなる。テクスチャーは一方向で、反射性は低い。	-
1J or 2J	ブラシまたはダル研磨	ミル仕上げ「1」「2」がベースとなる。Gよりは表面が滑らかでテクスチャーは一方向、反射性は低い。	0.2-1.0
1K or 2K	サテン研磨	ミル仕上げ「1」「2」がベースとなる。ほとんどの屋外使用に適する耐食性があり、反射性が低い特別仕上げの中では表面が最も滑らか。	< 0.5
1P or 2P	光輝研磨	ミル仕上げ「1」「2」がベースとなる。機械研磨を行なった反射仕上げ。鏡面仕上げにもなる。	< 0.1
2F	冷延、熱処理、粗度の高いロールでスキンパス	均一な非反射性マット仕上げ、ミル仕上げ「2B」「2R」がベースとなるもなる。	-
1M or 2M	パターン仕上げ	ミル仕上げ「1」「2」がベースとなる。片面だけパターン仕上げし、パターンには「チェッカー」プレート(“1” ミル仕上げ)やテクスチャーの細かい仕上げ(“2” ミル仕上げ)等がある。	-
2W	段面仕上げ	段付きロールを使用(例えば台形や正弦形)。	-
2L	着色仕上げ	平板(2R, 2P または 2K 仕上げ)またはパターン鋼板(2M 仕上げ)に着色したもので様々な色彩の製品が入手可能。	-
1S or 2S	表面処理仕上げ	ミル仕上げ「1」「2」がベースとなる。通常は錫、アルミまたはチタンなどの金属メッキで片面のみ表面処理。	-

多様な特別  
仕上げが入手  
可能

# パターン仕上げ<sup>4,5,7</sup>

2Mに分類される片面のみパターン仕上げを施した鋼板の用途例を以下にいくつか示す。多様なパターンが入手可能。





# 着色仕上げ<sup>4,5,7</sup>

ステンレスを電解着色して得られる色彩効果



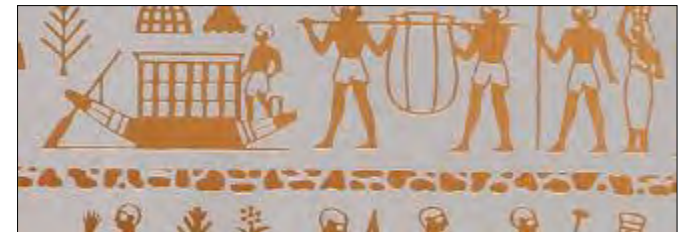
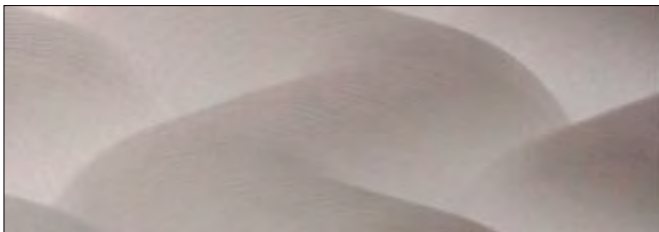
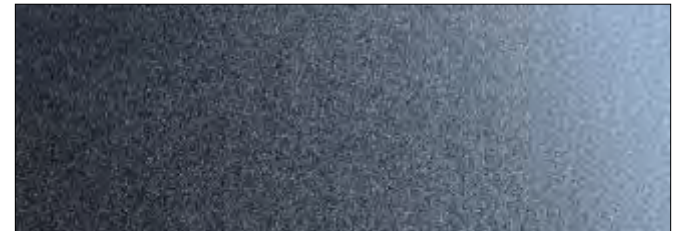
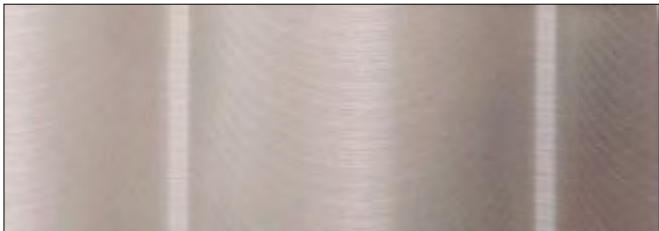
# エッチング・パターン仕上げ<sup>4,5,7</sup>

シルク・スクリーンとフォトレジスト・プロセスはステンレス表面にあらゆる模様を転写するために開発された技術で、このプロセスの後にステンレス表面を酸でエッチングすると転写された模様が現れる。酸によるエッチングは表面の鋼を少量取り除くプロセスである。エッチングされた表面はダルで若干粗めに見え、これがエッチングされない研磨またはサテン仕上げの部分とほどよいコントラストを作り出す。表面に電解・化学着色を施す場合はエッチングの前、後どちらでも可能である。



# 特注仕上げ<sup>4,5</sup>

多くの固有および特注仕上げが専門のメーカーから入手できる



# 電解研磨 6



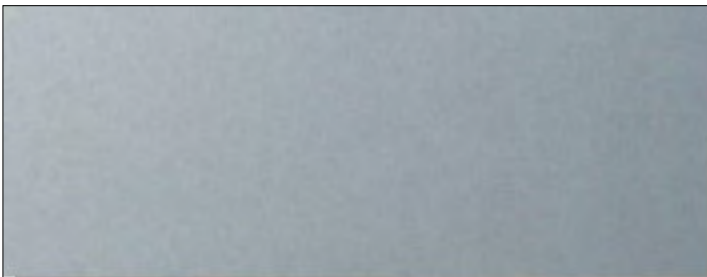
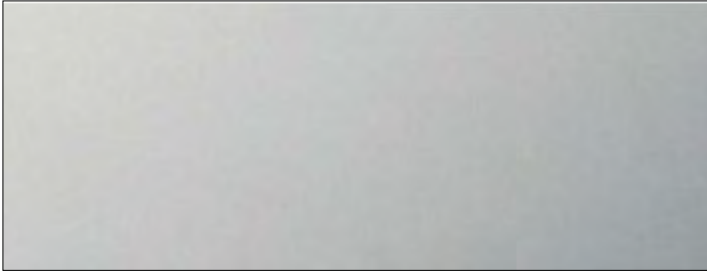
以下に示す特徴を持つ明るく、反射性の表面が作り出される。

- 鋼種を問わず最適な耐食性が得られる。
- 消毒や洗浄が他の仕上げより容易である。
- 落書きの消去も他の仕上げより容易である。

但し

- 表面のむらが目立つ。
- また引っかけ傷や機械的損傷も目立つ。

# ビード・ブラスト仕上げ<sup>8</sup>



外観はブラストの材料で  
様々に変えられる。

例えばガラス玉(上)また  
は破砕ガラス(下)等。

# 補足説明

ステンレス鋼には様々な鋼種があり、厳しい腐食環境下での耐食性要求や高強度、加工性や溶接性など、幅広い設計問題に対応することができます。鋼種同様に表面仕上げに関しても多くの選択肢があり、建築家の求める美観、景観を追求することができます。表面仕上げは、平滑な艶消し、テクスチャ加工された模様や色調、研磨による鏡面仕上げに至るまで様々です。これらは想像力豊かなデザイナーに幅広いオプションを提供します。

鏡面仕上げの採用においては、光沢、熱反射の問題を意識する必要があります。特に、太陽と凹形面を有する建物においては、計画段階で特別な注意が必要です

# 建築デザイナーは様々なステンレスの 表面仕上げを使っている <sup>7</sup>

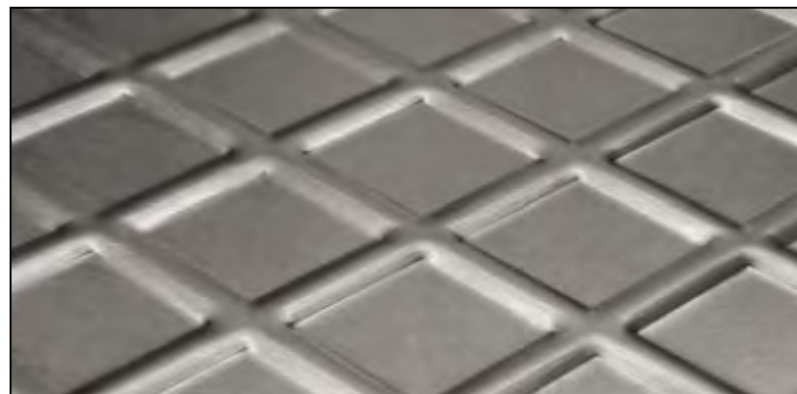
美観に優れた表面仕上の  
採用例については  
第2章を参照して下さい

## 2-3次元仕上げ<sup>9</sup>

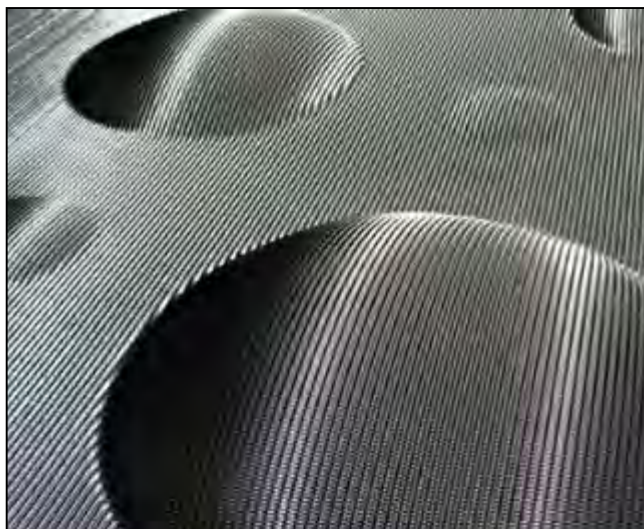
エンボス、パンチ、カット、プロファイリング  
などで得られるパターンよりも深い3次元の  
仕上げであり、一般的にはコンピュータ制  
御された機械加工により製造される



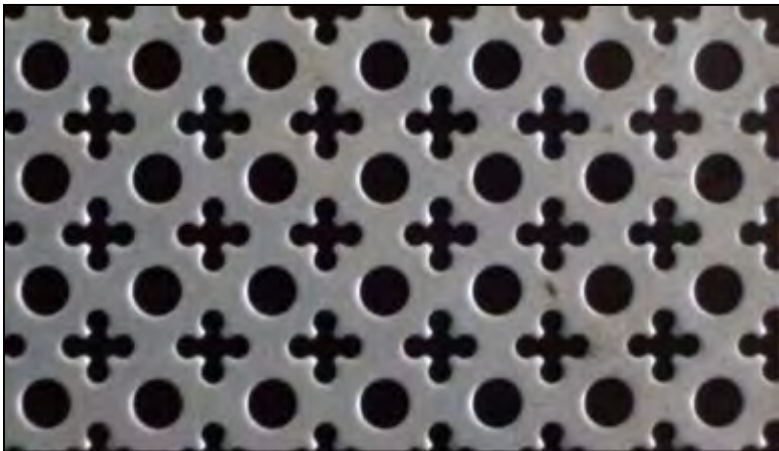
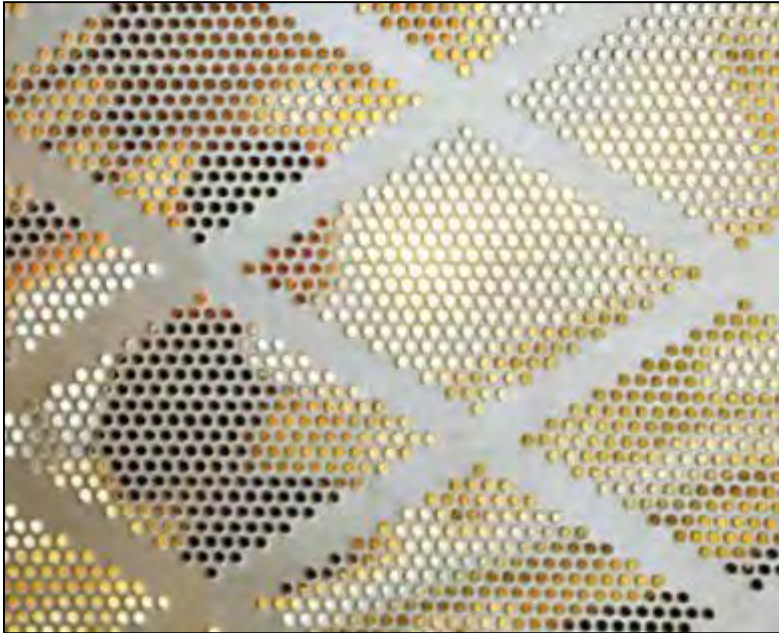
# エンボスパターン<sup>9</sup>



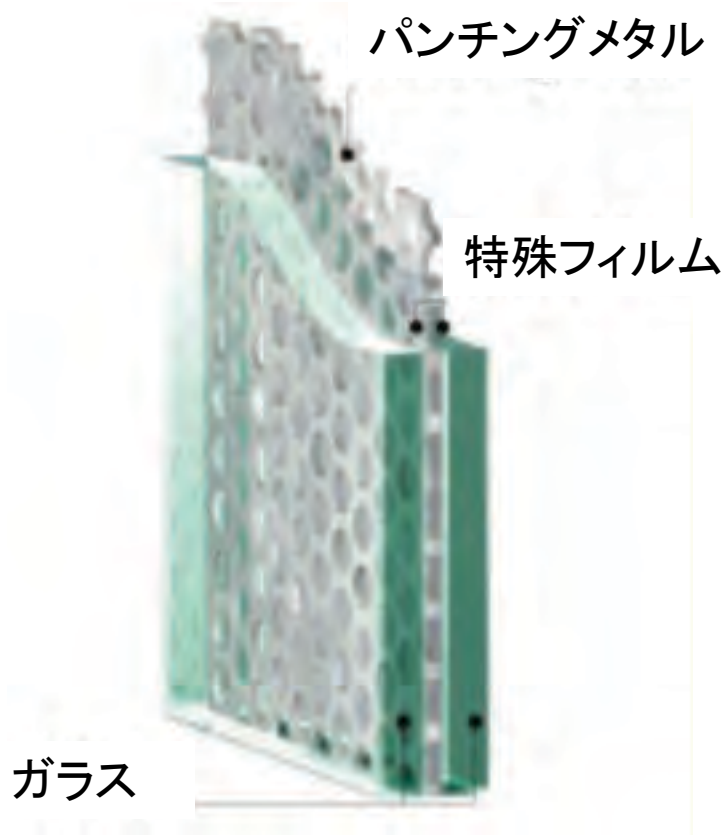
# 不規則模様<sup>9</sup> (流線形)



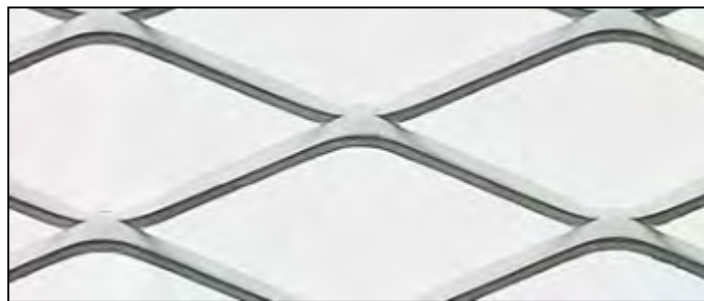
# パンチメタルシート<sup>9</sup>



# パンチングメタルを使用した半透明ガラスシート<sup>10</sup>

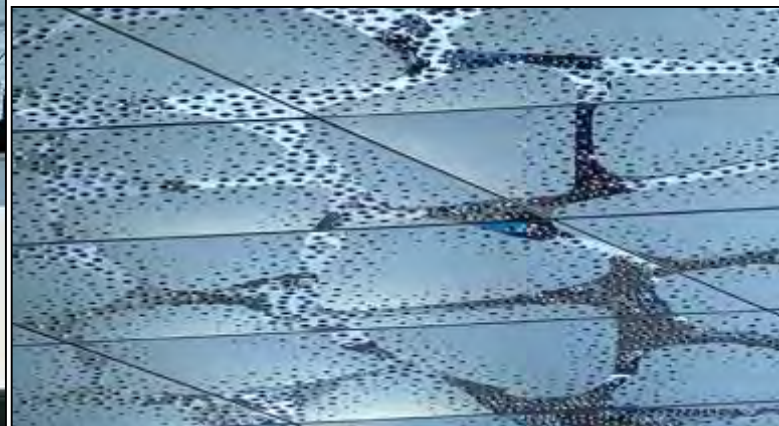


# エキスパンドメタルシート



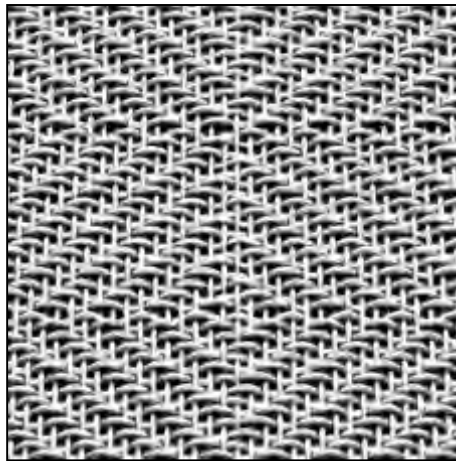
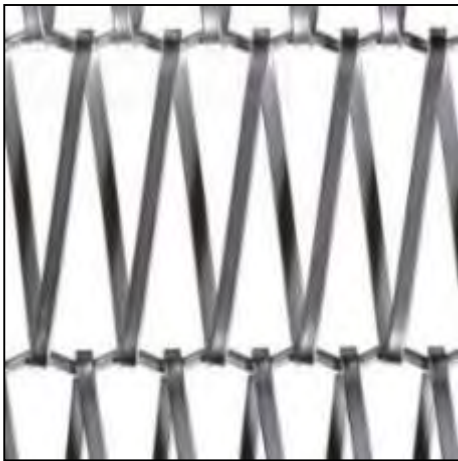
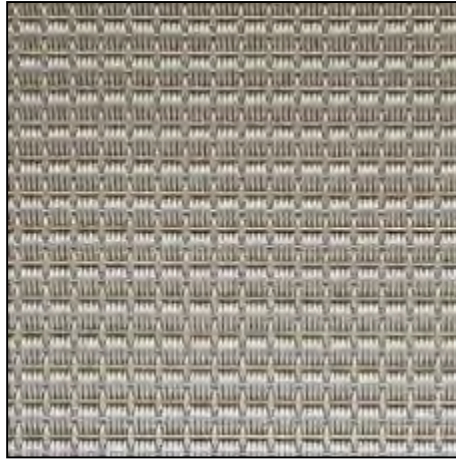
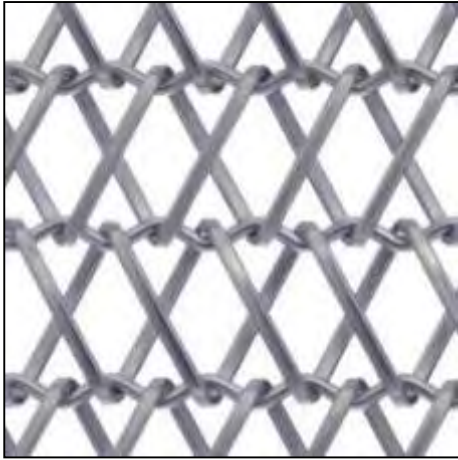
# 複合技術 11

ストックホルム(スウェーデン)の臨海地域ビル  
写真右下の溶けた氷の表面をイメージした天井模様



## 3 - メッシュ構造

# 規格 12-14

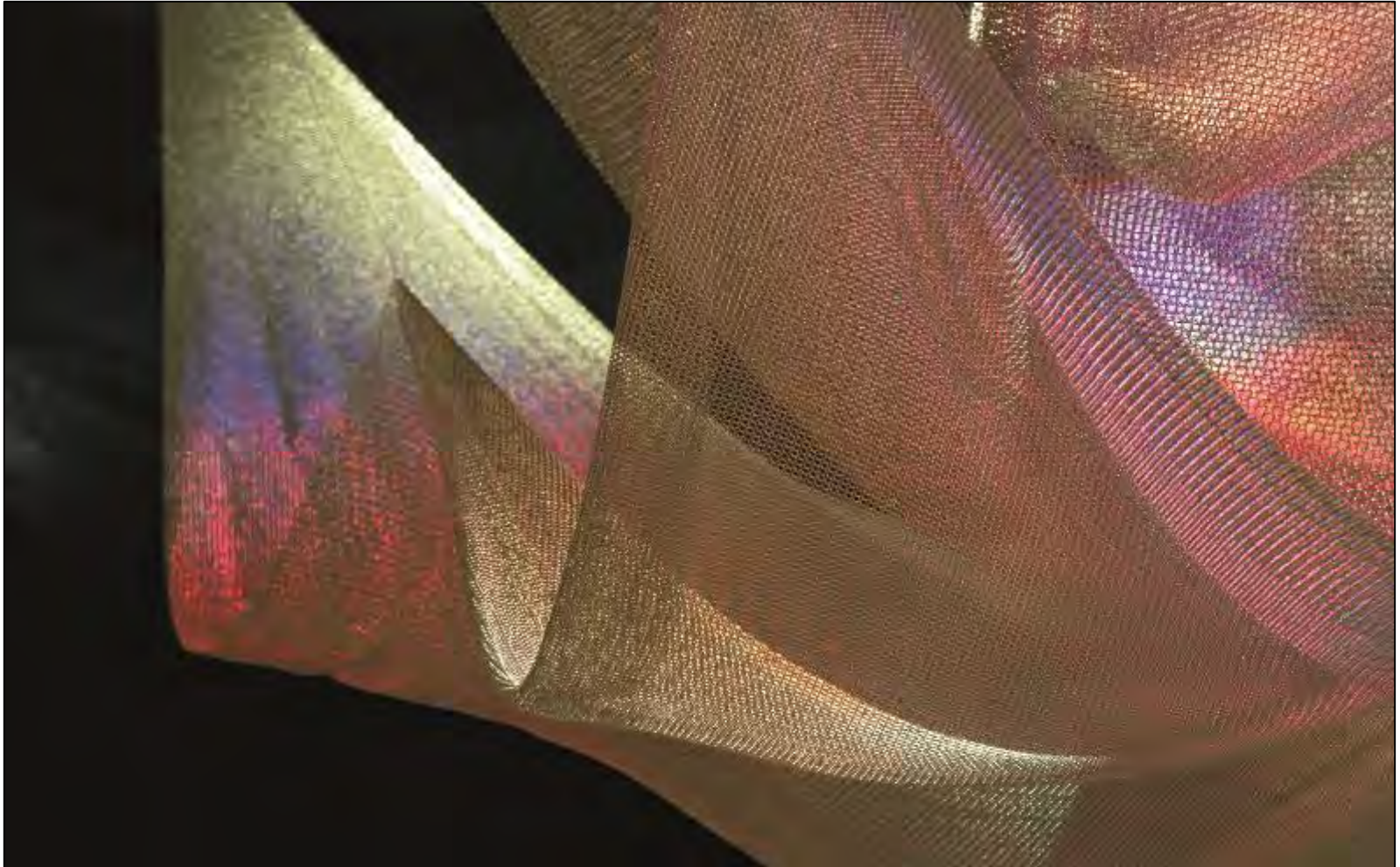


非常に幅広い形状の選択肢があり、用途、目的に応じて選択可能

- 細密模様
- 開放空間
- 光の拡散
- 音響透過性
- 色調
- その他



# ステンレスメッシュの採用事例



## ステンレス・ワイヤー・メッシュ

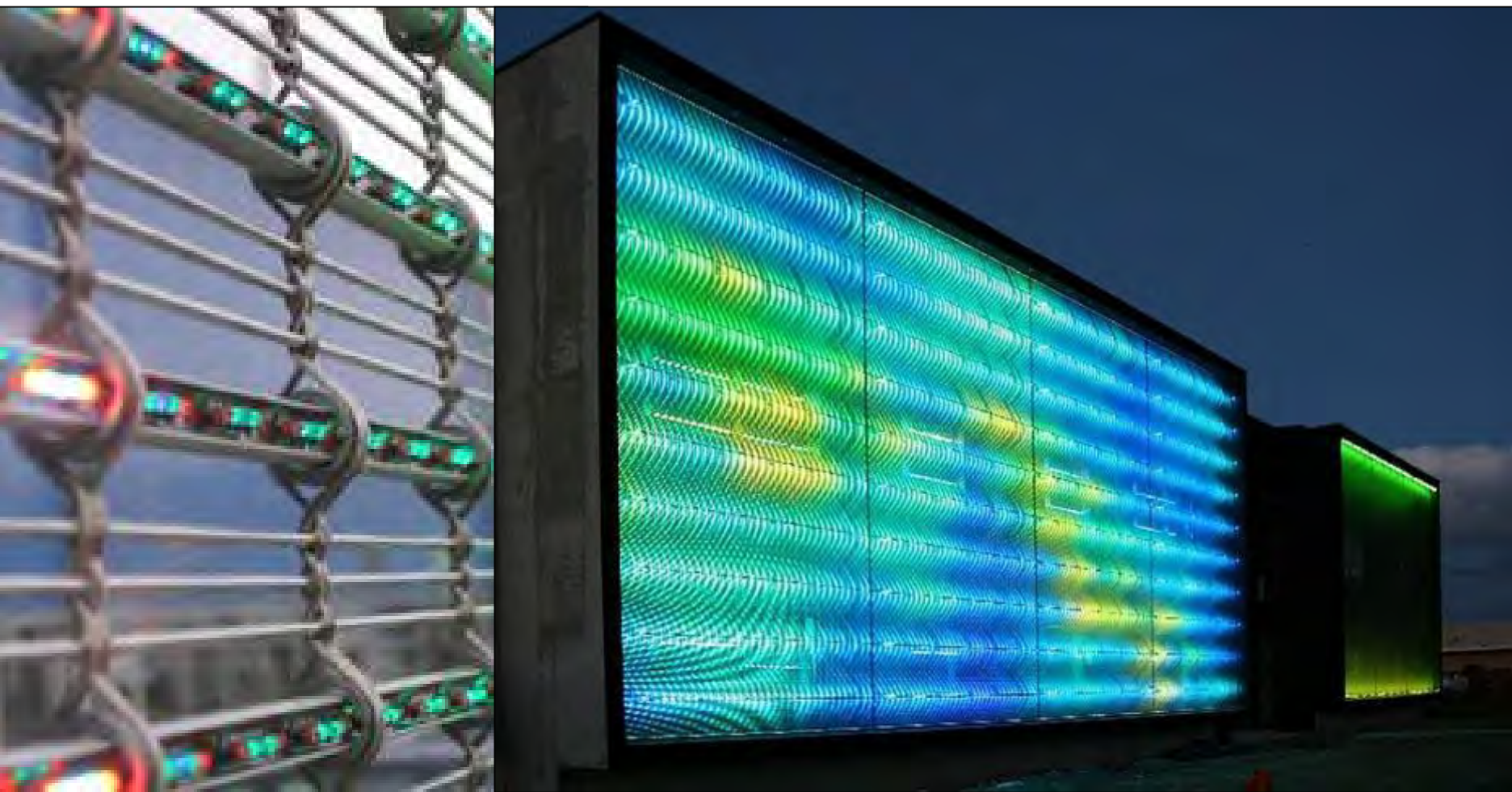
ステンレス・ワイヤー・メッシュは装飾用に広く使用されている。

例えば照明(LED)等と組み合わせると写真のような特殊効果が得られる。

(Swarovski Building 本部)



# ステンレスメッシュとLED照明<sup>13</sup>



## 4 - 参考サイト・文献

1. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Finishes02\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Finishes02_EN.pdf)
2. [http://www.ssina.com/download\\_a\\_file/special\\_finishes.pdf](http://www.ssina.com/download_a_file/special_finishes.pdf)
3. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=47>
4. [www.uginox.com/sites/default/files/public/Triptyque%20Lusignan\\_web.pdf](http://www.uginox.com/sites/default/files/public/Triptyque%20Lusignan_web.pdf)
5. <http://www.poligrat.de/home/>
6. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Electropolishing\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Electropolishing_EN.pdf)
7. <http://www.legrand-sm.fr/>
8. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/3D\\_Finishes\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/3D_Finishes_EN.pdf)
9. <https://cambridgearchitectural.com/projects/ft-lauderdale-hollywood-international-airport-rental-car-center>
10. <https://www.exyd.com/waterfront-building.html>
11. <http://cambridgearchitectural.com>
12. <https://gkd.de/architekturgewebe/>
13. <http://www.diedrahtweber-architektur.com/de/anwendungen-architekturgewebe/medienfassade/>
14. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/RoughnessMeasurement\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoughnessMeasurement_EN.pdf)

Thank you

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第9章 ステンレスの接合

# ステンレスに適用可能な接合方法

## 適用可能な接合法 : 全て可能!

プロセス(参考)	ビデオ	特徴
溶接 (1-5) (幅広い利用)	<a href="#">MIG 溶接</a> <a href="#">TIG 溶接</a> <a href="#">溶接ロボット</a>	接合部の強度が高い 分解不可
機械接合 (幅広い利用)	<a href="#">例</a>	現場で容易に組立可能 異種材料との接合可能(木材、ガラス・・・) 後刻分解が可能
ろう付け／ はんだ付け	<a href="#">はんだ付け</a>	防水性 (主に屋根に使用)
プレス・フィッティング 曲げ他	<a href="#">プレス・フィッティング例</a>	パイプの恒久的接合 防水性 (主に屋根に使用)
接着 (適用例少ないが徐々に増加している)		表面仕上げが保持される

# アーク溶接

## アーク溶接の利点

- 溶接部の特性が焼鈍状態と同等
- 最も強固な接合が可能
- 現場、工場どちらでも作業可能
- 形状、板厚を問わず接合可能
- 同種、異種金属の接合が可能  
(一般的に炭素鋼は適切なフィラーメタルが使用される)
- 疲労、周期的負荷にも耐え得る
- 焼鈍材と同じ耐食性、耐熱性が得られる

## アーク溶接の欠点

- 全鋼種には対応不能
- 資格のある作業員、作業手順が必要
- 熱に起因する変形が発生する場合がある
- 美しい外観に仕上げるためには、サンドブラストのような溶接後処理が必要
- 冷間加工材の場合には機械的性質が失われる



# アーク溶接

## ビデオ: 溶接部の研磨



UPDATED  
2018!

# 機械接合

## 機械接合の利点

- 分解可能
- 現場での作業に最適
- 作業が早い
- 作業員の資格が不要

## 機械接合の欠点

- 溶接ほど強固ではない
- すきま腐食が発生する場合がある  
(第5章-腐食関連項を参照)

## 適切な留め具の選定

The German Institute for Building Technology\* (ドイツ建築技術研究所)は、環境に応じた留め具の選定を推奨している。参考文献4、表1a(暴露クラス)、表8(クラス別ステンレス鋼種)を参照。

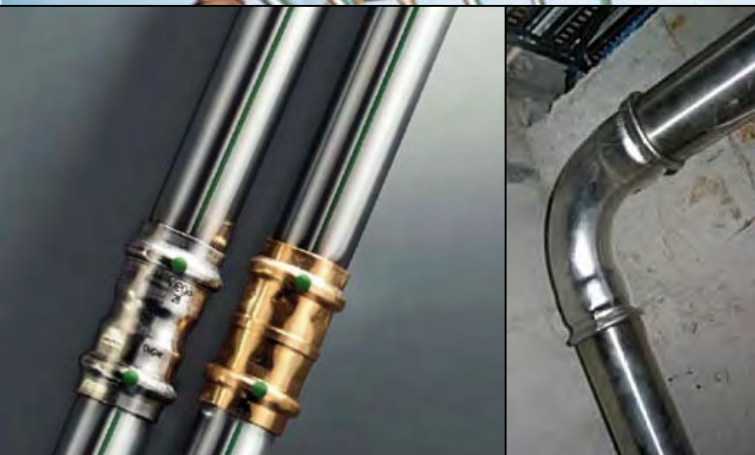


\* Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)



# プレス・フィッティング

(鋼管にのみ使用されるプロセス)



## プレス・フィッティングの利点

- 液体やガス用に密閉できる
- 作業が早い
- 火を用いない
- 外観に優れる、清潔
- 作業員の資格が不要



## プレス・フィッティングの欠点

- 分解できない
- 各管径に応じた部品が必要

# 接着

## 接着の利点

- 接着箇所が目立たず、外観に優れる
- 応力分布が均一で、応力負担域が大きい
- 形状、板厚を問わず接合可能
- 同種、異種金属の接合が可能
- 異質材料間の電気化学的腐食(異種金属接触腐食)を抑制または防止する
- 疲労、周期的負荷に耐え得る
- 接合面の輪郭が滑らかになる
- 様々な環境に対して接合部を遮蔽する
- 熱・電気伝導を遮断する
- 熱による変形がない
- 振動を抑え、衝撃を吸収する
- 良好な強度／重量比率が得られる
- 機械接合より作業が早く経済的なケースが多い

## 接着の欠点

- 接合部分の目視検査ができない
- 薬品により表面を整える必要がある場合がある
- 硬化時間において、特に高温硬化が使用できない場合、長くかかる場合がある。
- 他の接合方法では必要がない保持具、プレス、オーブン、加圧滅菌器が必要となる場合がある
- 約180°C以上の温度条件下は適用不可
- 多くの接着剤において、清浄度に注意した厳しい工程管理が必要となる
- 使用環境に影響される

# 接着の用途



## 手すり部材の接着 (Delo-Duopox AD895)

- 接着の隙間(大小両方の隙間)を埋めるのに適している
- 耐薬品性と耐経年劣化が優れる
- 屋内・屋外両方に使用できる
- 効率的
  - 手すり構造をユニット化できる
  - 研削、研磨等の溶接時に必要となる追加工程を省略することができる



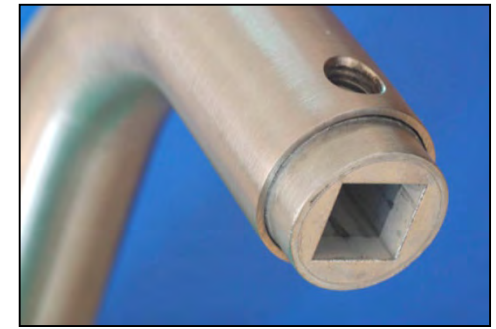
(例)

オフィスビル外壁 ハノーファー(ドイツ)  
6階建てのビル外壁に、機械接合を用いずに接着接合のみでステンレスパネル(鋼種EN1.4404/316)が貼付けられている

表1: 構造用母材と接着剤の選定[11]

	ステン レスと	半構造用接着剤の種類				
		シリコン	シリ ン 改 良 型 ポ リ マ ー	ポ リ ウ レ タ ン	ア ク リ ル	エ ポ キ シ
ステンレス	yes	●	●	●	○	●
普通鋼	yes	●	●	○	○	●
塗装普通鋼	yes	●	●	X	○	○
亜鉛鉄板	yes	●	●	X	○	○
アルミ	yes	●	●	○	○	●
木材	yes	●	●	○	○	●
ガラス/セラミック	yes	●	●	X	○	●
プラスチックPCV	yes	●	●	X	X	X
プラスチックPA	yes	○	●	X	○	
プラスチックPP/PE	no	X	X	X	X	X

●大いに推奨できる ○推奨できる X推奨できない



接着はドア取っ手の組み立てに使用されている。

Photo: Hoppe, Stadtallendorf (D)



接着はステンレスを石細工や自然石に接合する必要がある場合には実用的な方法である。

Photos: Enkolit, Sulz (A)

# 参考サイト

1. [http://www.worldstainless.org/Files/issf/animations/WeldedFabrication/start\\_1.html](http://www.worldstainless.org/Files/issf/animations/WeldedFabrication/start_1.html)
2. <http://www.wikihow.com/Weld-Stainless-Steel>
3. [http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/WeldingofStainlessSteelandotherJoiningMethods\\_9002\\_.pdf](http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/WeldingofStainlessSteelandotherJoiningMethods_9002_.pdf)
4. <http://www.edelstahl-rostfrei.de/page.asp?pageID=1590>
5. <https://www.sciencedirect.com/book/9781855734289/metallurgy-of-welding>
6. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Adhesive\\_bonding\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Adhesive_bonding_EN.pdf)
7. <http://shura.shu.ac.uk/3115/>
8. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_for\\_Designers.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_for_Designers.pdf)
9. [http://www.delo.de/fileadmin/upload/dokumente/en/broschueren/Structural\\_Bonding.pdf](http://www.delo.de/fileadmin/upload/dokumente/en/broschueren/Structural_Bonding.pdf)
10. <https://www.ellsworth.com/globalassets/literature-library/manufacture/ellsworth-adhesives/ellsworth-adhesives-white-paper-structural-bonding.pdf>
11. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9781845694357>

# ステンレス鋼の製造

非常に参考となる文献が示されていますので、是非ご参考として下さい

参照1は、ISSFによるステンレス鋼の製造に特化した教育項目です

第2章では非常に多くの建造物の物件を掲載しており、その全ての加工形状、仕上げは施工済となっています



# ステンレス鋼の製造・加工工程（映像）

- 製鋼と圧延 <https://www.youtube.com/watch?v=5zwgI-pQ6kE>
- 切断と曲げ [https://www.youtube.com/watch?v=VMu7\\_WOQE3Y](https://www.youtube.com/watch?v=VMu7_WOQE3Y)
- ウォータージェットカッター <http://www.sastainless.com/videos/index.html>
- 深絞り加工 [https://www.youtube.com/watch?v=n-ht\\_5Ysurc](https://www.youtube.com/watch?v=n-ht_5Ysurc)
- ワイヤ曲げ機 <https://www.youtube.com/watch?v=kDoSDiiZx6U>
- スプリング加工機 <https://www.youtube.com/watch?v=SwY-RT4DBxY>
- ロールフォーミング [https://www.youtube.com/watch?v=44XD5mZoM\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=44XD5mZoM_0)
- 機械加工（ミーリング） <https://www.youtube.com/watch?v=LDxNDWObTyg>

さらに多くの映像がインターネットで公開されています

# ステンレス製造に関する参考サイト

1. <http://www.issftraining.org/>
2. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/Austenitics.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf)
3. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/Duplex\\_Stainless\\_Steel\\_3rd\\_Edition.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex_Stainless_Steel_3rd_Edition.pdf)
4. [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_The\\_Ferritic\\_Solution\\_Japanese.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_The_Ferritic_Solution_Japanese.pdf)

Thank you

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第10章 形状と供給体制

## ＜形状と供給体制＞を取り上げる理由

- 納期とコストは建築家や土木エンジニアにとって非常に重要なテーマである
- 全てのステンレス製品は「製鋼工程」から始まる
  - －ステンレス製品には多くの生産プロセスがある
  - －問屋、仲介業が種々のサービスを提供している
- そのため納期とコストに非常に大きな差異が生じる

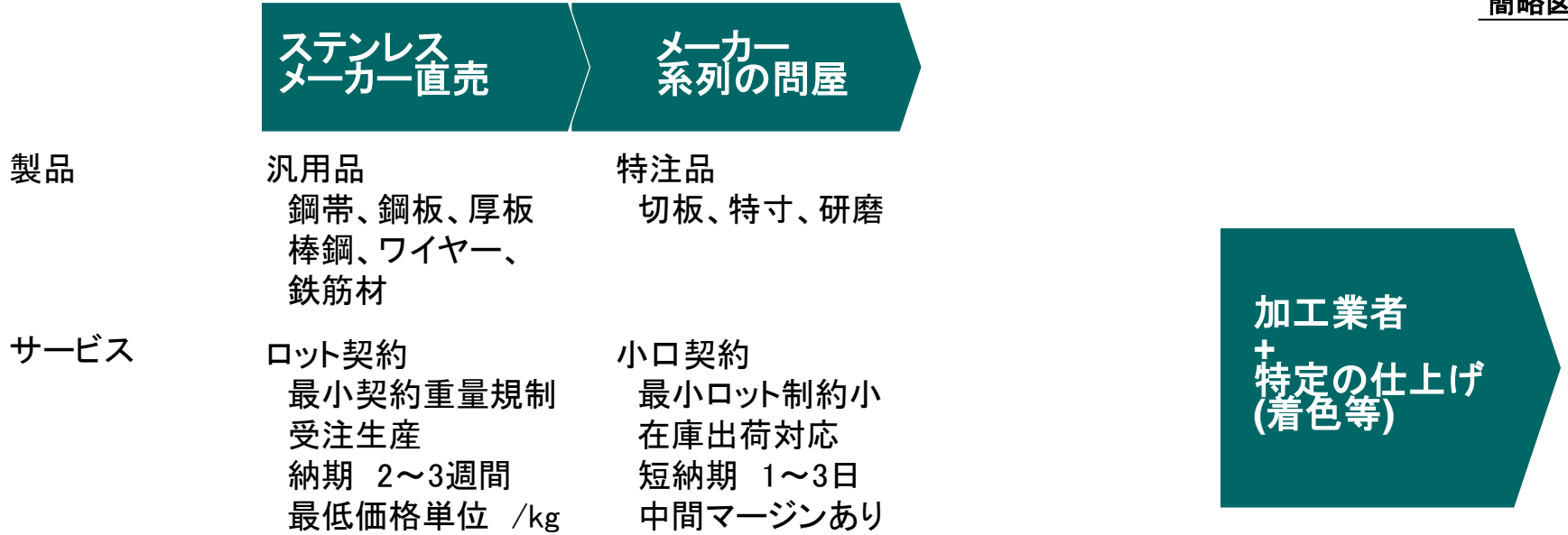
# 背景情報

## ステンレスの製造方法

- [ビデオ](#): 製鋼と熱間圧延工程
- [ビデオ](#): コイルの熱間圧延工程 (熱延)
- [ビデオ](#): コイルの冷間圧延工程 (冷延)
- [ビデオ](#): 製鋼と棒鋼の熱間圧延
- [ビデオ](#): 線材圧延
- [ビデオ](#): 線材圧延

# ステンレスのサプライチェーン

簡略図



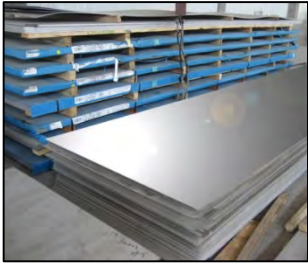
# 鋼板類

メーカー供給品

冷延コイル



厚板



規格鋼管



冷延鋼帯



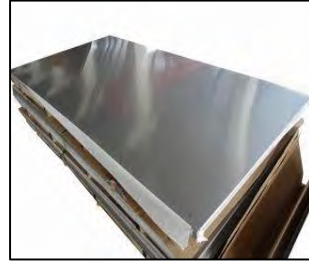
厚板からのI形鋼



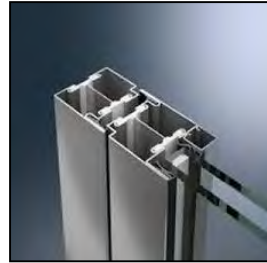
加工鋼管



冷延研磨鋼板



ドア・窓枠



鋼管継手



特注品

レーザーカット形鋼



締め具

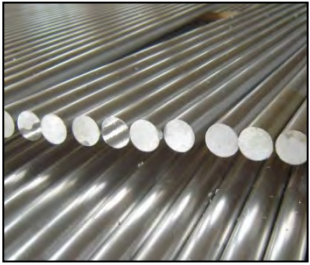




# 条鋼

メーカー供給品

棒鋼



鉄筋棒鋼



線材



タイバー



ケーブル



メッシュ



ネジ切り棒鋼



コンクリート・アンカー



締め具



特注品

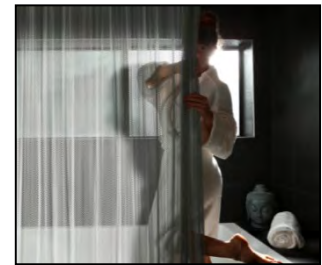
ハンドル



日よけ



メッシュ・シャワー・カーテン



# 参考サイト

主要ステンレスメーカー

<http://www.worldstainless.org/about-issf/issf-members>

Thank you

# 建築・土木科 講師用補助教材

## 第11章 ステンレスのサステナビリティ

# 定義

- **温暖化ガス(GHG)排出**: 二酸化炭素ガス(CO<sub>2</sub>-eq)排出トン数／鉄鋼生産トン数<sup>(1)</sup>
- **地球温暖化潜在性(GWP)単位無し**: 各種温暖化ガスのCO<sub>2</sub><sup>(7)</sup>との比較において大気中に熱を閉じ込める能力の比率。例えば、メタンのGWPは21。製鋼で排出されるGHGは主にCO<sub>2</sub>である。
- **一次エネルギー需要(GJ/T)**: 第一次製品(例えば鉄鋼)1トンを生産する<sup>(1)</sup>のに必要なエネルギー消費量。
- **総エネルギー必要量(GER)**: 製品に必要な総エネルギー量<sup>(8)</sup>。
- **材料効率**: 粗鋼生産量<sup>(1)</sup>に対して恒久的処分、埋め立てまたは焼却に回されない材料の量を測定する。

# 定義

- **ライフ・サイクル・インベストメント(LCI)** : 体系化され、総合的で国際的に標準化された評価方法。製品のライフ・サイクル<sup>(3)</sup>全体に亘るすべての排出量と消費された資源、および関連する環境や健康への影響、また資源減減の問題を定量化する。
- **ライフ・サイクル・コスト(LCC)** : 資産の取得、使用、維持および処分も含めた長期に亘る製品の総合的費用対効果を評価する方法<sup>(4)</sup>。
- **ライフ・サイクル・アセスメント(LCA)** : 地球からの必要材料の抽出から耐用年数終了に至るまでの製品システムと活動に関連する環境負荷と影響の定量化を補佐する方法。環境関連の方針決定や材料選定の方法として産業界、政府や環境グループの間での利用が広まっている。

# 定義

## 安全指標:

- **休業災害**: 休業災害頻度率は1,000,000労働時間毎の休業災害の回数を示す<sup>(1)</sup>。

## リサイクル指標:

- **リサイクル率**: 耐用年数(EOL)経過後の金属がどの程度回収されてリサイクル・チェーン(埋め立てに回される金属に対して)に入ってくるかを示す<sup>(5)</sup>。
- **リサイクル量**: 製品が消費者に渡った後および消費者に渡る前にリサイクルされた材料の質量の割合と定義されている<sup>(6)</sup>。
- **固形廃棄物負荷 (SWB; Solid Waste Burden)**: 鉱山廃棄物、鉱選クズや電力発電所の灰などが含まれる

# 指標に関する補足説明

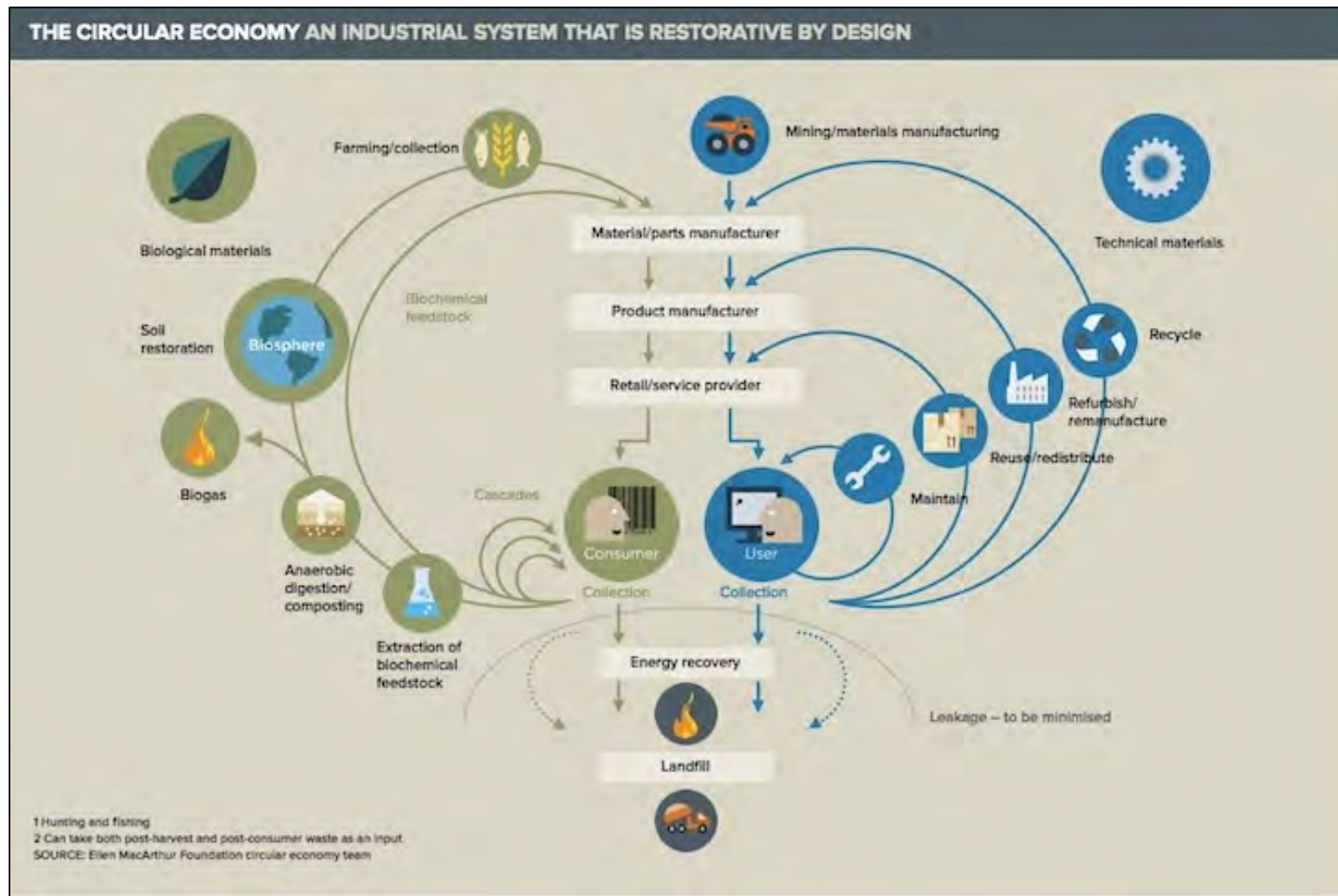
リサイクルに関する指標において「ダウンサイクル」は考慮しない



金属は、品質劣化させることなくリサイクルすることができる。金属結合は、再結合する度の結合が回復するため、何度リサイクルを繰り返していても元の状態に回復することができる。この特性により、金属は同じ用途に何度の再利用することができる。対照的に、多くの非金属材料はリサイクルする度に低位の用途にダウンサイクルされていく。<sup>(45)</sup>

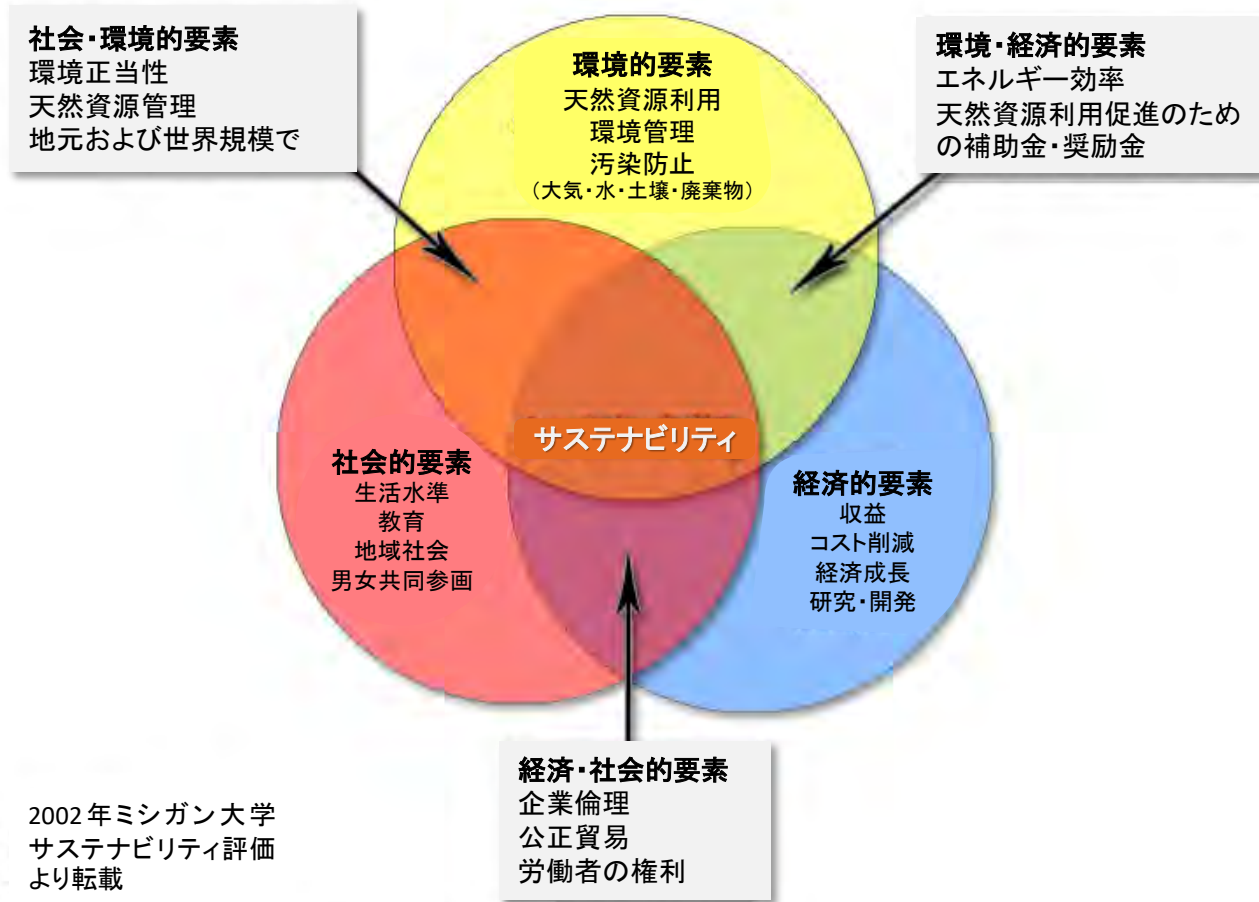


# 「ダウンサイクル」は「廃棄」よりは良いが、 循環型経済の観点からは決して良いとは言えない (46,47)



金属スクラップの回収、再利用は、最も  
経済的な経済ループの一つです

「サーキュラーエコノミー」(循環型経済)とは、欧州にて適用されている経済モデルで、社会、ビジネス構造において自然循環を模倣し、有限な資源による閉鎖的循環環境モデル



## サステナビリティ(持続可能性)

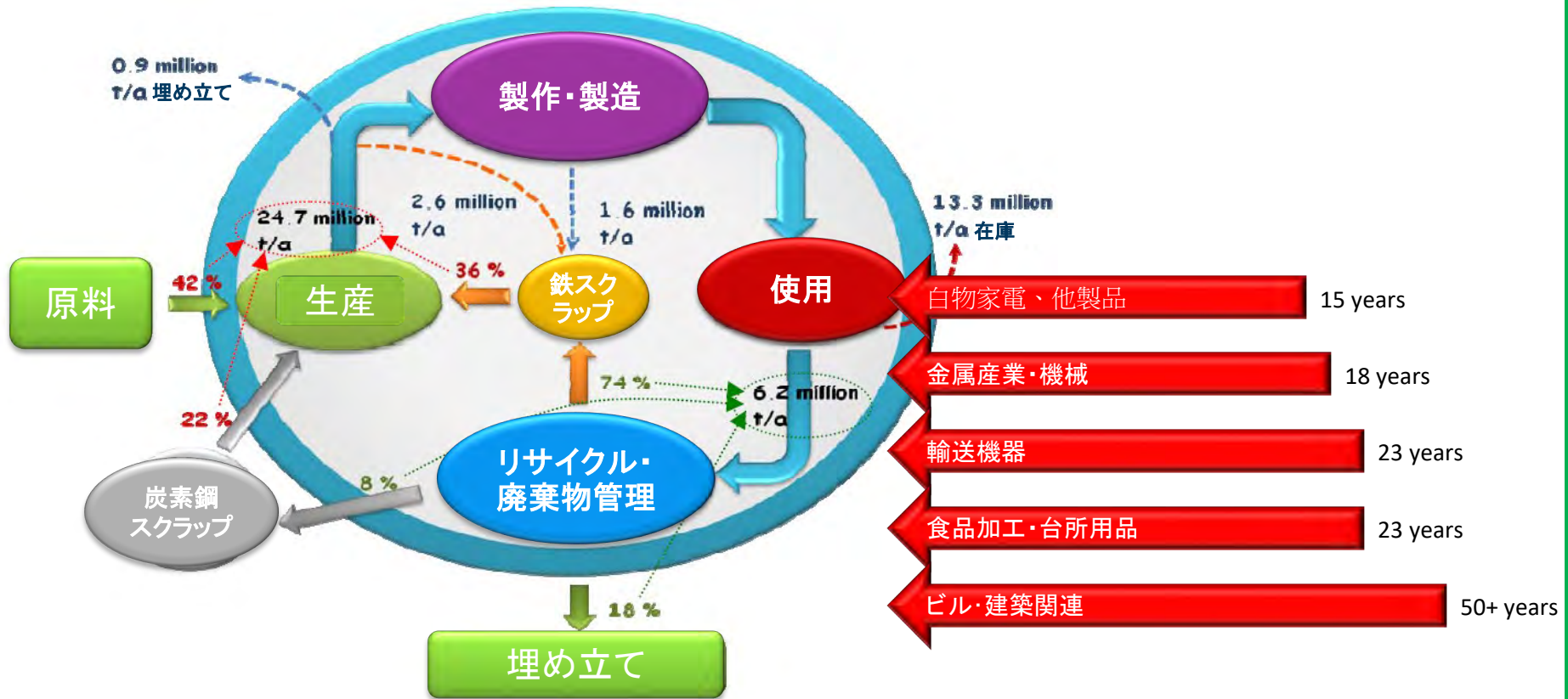
「サステナビリティ」とは原料調達に始まり、計画、設計、製造および使用、さらに最終解体から廃棄物管理に至る製品製造の全サイクルに関するものである。」(Rossi, B. 2012)<sup>9</sup>

# ステンレスのサステナビリティ

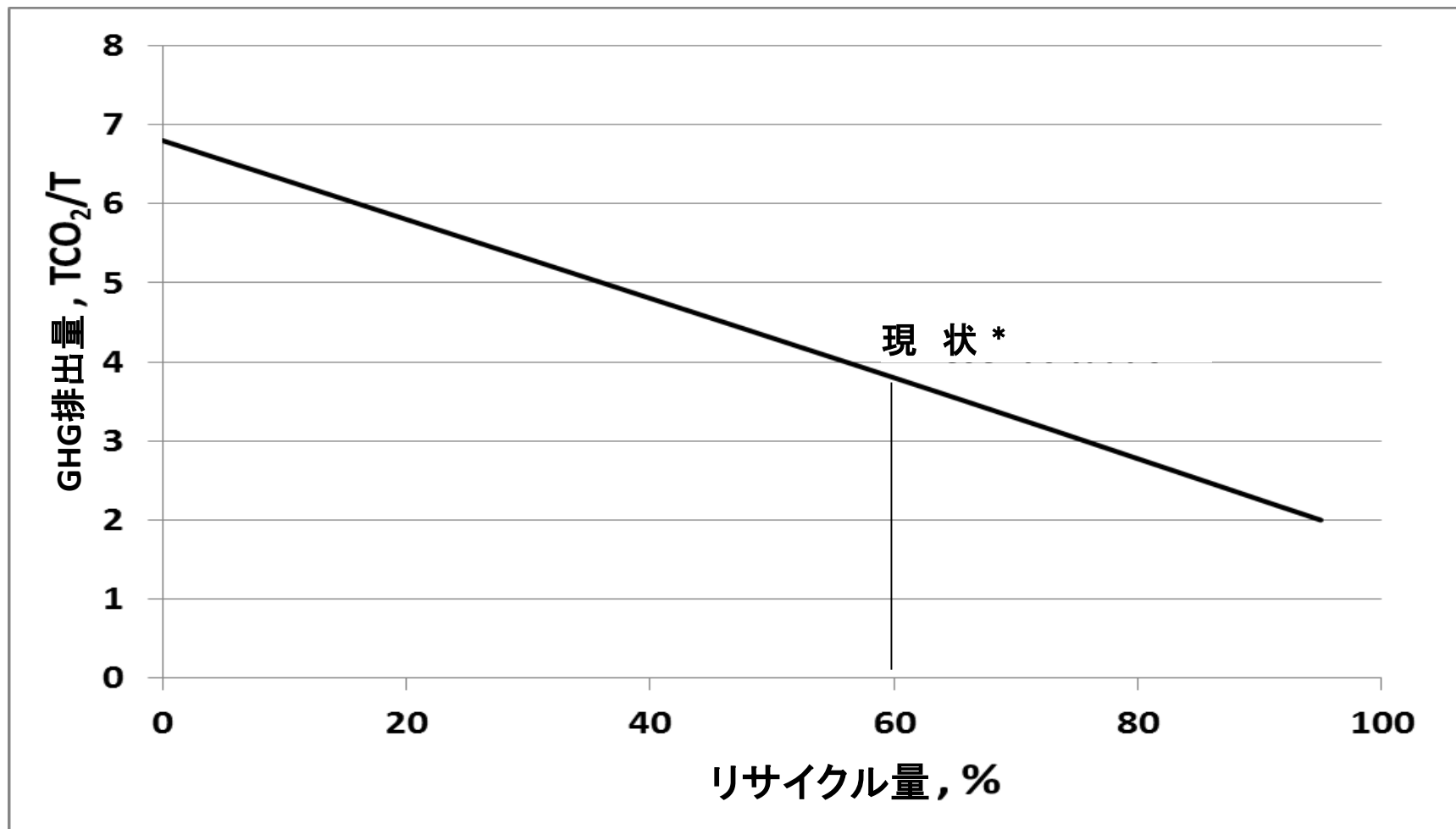
1. 環境的要素
2. 社会的要素
3. 経済的要素

# 1. 環境的要素

## 生産 ⇨ 使用 ⇨ リサイクル



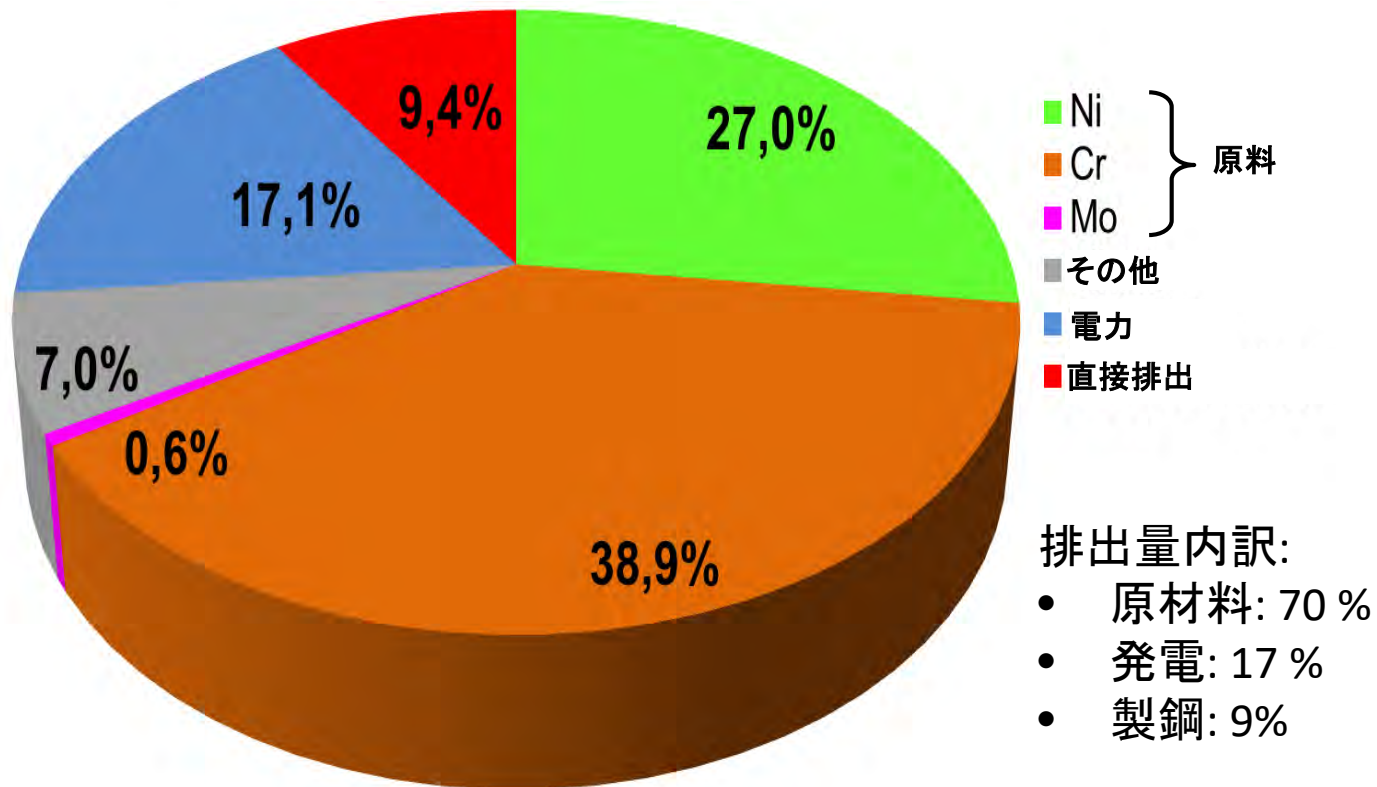
# GHG排出量とリサイクル量<sup>11, 12, 13, 14</sup>



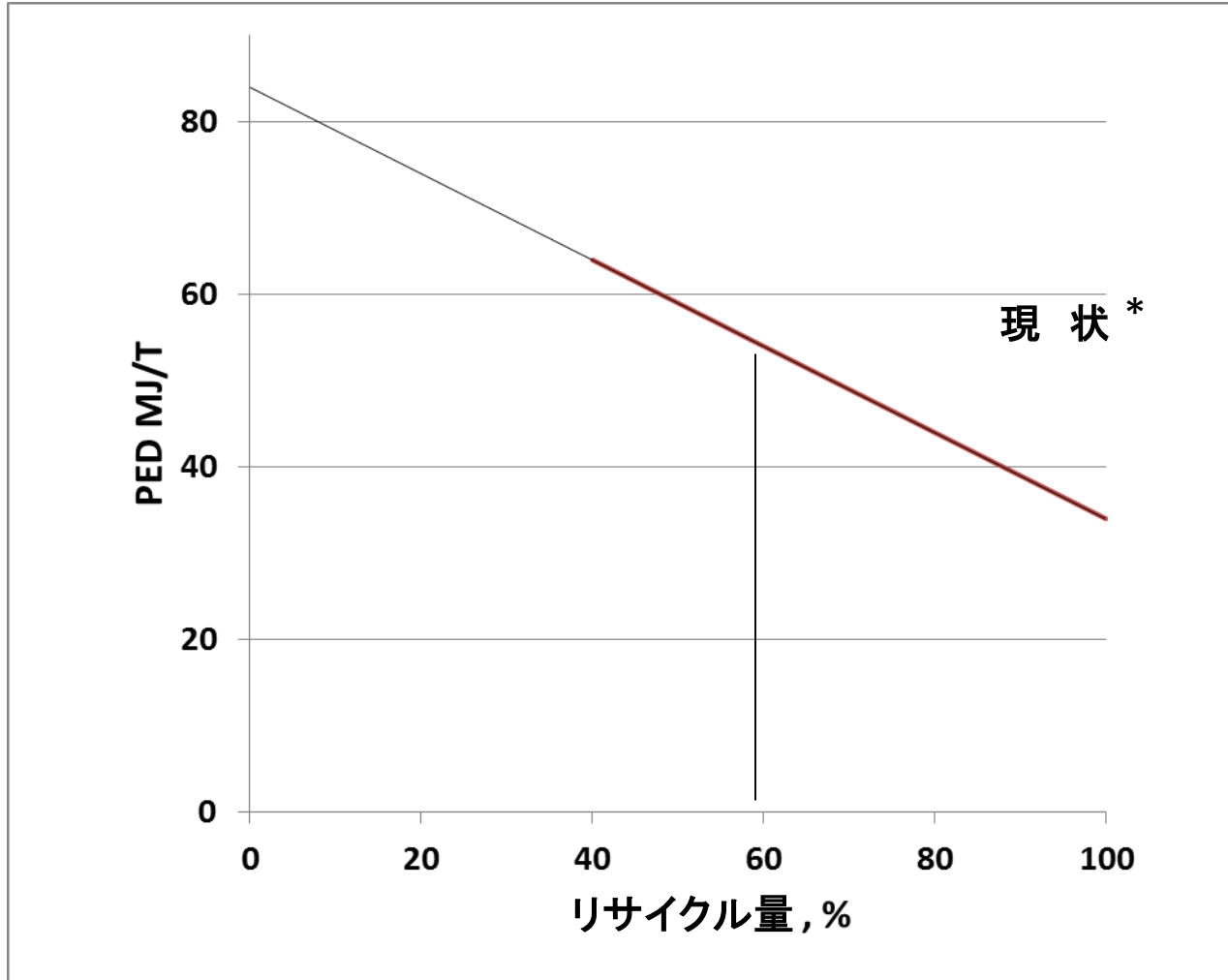


# ステンレスの温暖化ガス排出量<sup>(15)</sup>

3.81 ton-CO<sub>2</sub>/ ton-ステンレス<sup>(16)</sup>



# 一次エネルギー需要<sup>18</sup>



\* リサイクル量はスクラップ発生量により限定される。



# 「ゆりかごからゲートまで」(原料調達～製品出荷) 金属材料の製造における環境影響<sup>19</sup>

金属	プロセス	GER (MJ/kg)	GWP (kg CO <sub>2e</sub> /kg)	AP (kg SO <sub>2e</sub> /kg)	SWB (kg/kg)
ステンレス	電気炉+脱炭工程	75	6.8	0.051	6.4
鉄鋼	一貫プロセス(高炉+転炉)	23	2.3	0.020	2.4
アルミ	ベイヤー精製+ホール・エ ルー製錬	361	35.7	0.230	16.9
銅	精錬/加工/電解精錬	33	3.3	0.040	64
	堆積浸出とSX/EW	64	6.2	-	125

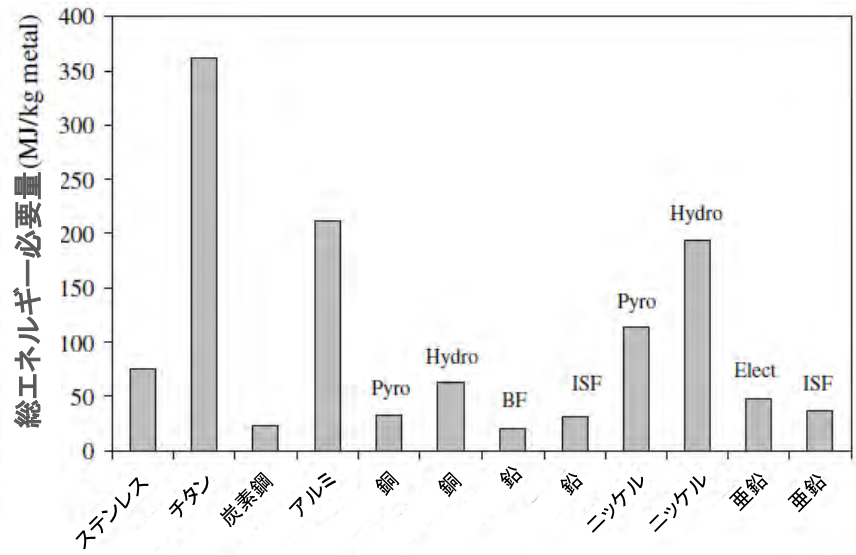
GER:総エネルギー必要量  
Potential AP:酸化潜在性

GWP:地球温暖化潜在性  
SWB:固形廃棄物負荷

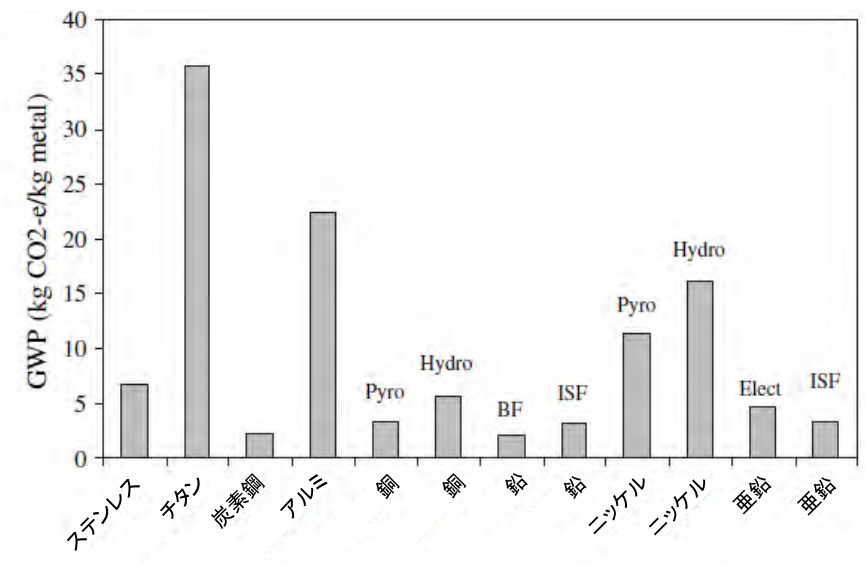
# 「ゆりかごからゲートまで」(原料調達～製品出荷) 金属材料の製造における環境影響<sup>20</sup>

各種金属の「工場での原料調達から製品出荷まで」の総エネルギー必要量

(リサイクルを勘案せず)



各種金属の「工場での原材調達から製品出荷まで」の地球温暖化潜在性



# 類似の機能やサービスでも 材料により使用量が異なる<sup>21</sup>

例：  
3種類の壁仕上げ材の環境影響

材料	PED (MJ/m <sup>2</sup> )	GWP (Kg CO <sub>2</sub> -eq./m <sup>2</sup> )	End-of-Life (EOL) シナリオ
高圧ラミネート材 (例えば Trespa®)	759.3	23.9	50% 再使用 + 50% 埋め立て
一般的スタッコ材	144.2	12.7	リサイクルなし
ステンレス 0.5mm	140.5	7.2	RR = 95%
ステンレス 0.8mm	191.7	11.3	RR = 95%



# 材料効率

## 使用量の削減:

ステンレス生産用の原材料を減量(40%)し、その結果CO2排出量を削減。

## 再使用:

ステンレスの耐久性により再使用が非常に重要となる。

例:ビン、ジョッキ、コップ、ストロー等





## 例：再使用<sup>22</sup>

ステンレス・パネルが50年間の使用で汚れ、傷つけられていた。ロビーの改装時、これらの50年使用のパネルは取り外され、洗浄され、補修仕上げの後、再使用された。

# 材料効率



## リサイクル:

ステンレスは100%リサイクルできるのでスクラップは全量(リサイクル率82%)回収され、再利用される。

廃棄物ゼロのステンレス生産⇒スラグと粉末が製鋼工程の主要な副産物と廃棄物である。例:スラグ製品は道路建設用アスファルトに利用される。

# LEED\* とステンレスにおける LCI データ

- 米国グリーンビルディング協会 (USGBC) は、2013年にLEED ver4を公表
  - 新版(第4版)にはステンレスに優位な変更が含まれている
    - サービス寿命(耐用年数)を重視する傾向
    - VOC\*\*規制の厳格化(石油製品などにおける課題)
- 米国の政府関連施設の管理局がLEEDの適用を承認
  - 州や各自治体は、新築物件へのLEEDなどの適用を要求している

\*LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

LEEDとは、米国グリーンビルディング協会 (USGBC:US Green Building Council) が開発、および、運用を行っている建物と敷地利用についての環境性能評価システムです。省エネと環境に配慮した建物・敷地利用を先導するシステムであり、日本でも導入例が既に報告されている。

\*\*VOC (Volatile Organic Compounds)

ステンレス鋼の製造においては、その影響が非常に小さい(詳細データは未公表)

# ステンレスは製品寿命終了後は ほとんどリサイクルされる<sup>23, 24, 25</sup>

主要用途	製造時のステンレス最終製品の利用率	平均耐用 (年) 数	埋め立て	リサイクル用に回収	
				総計	ステンレスとして
建物	16%	50	8%	92%	95%
輸送	21%	14	13%	87%	85%
産業機械	31%	25	8%	92%	95%
家電	6%	15	18%	82%	95%
電子機器	6%	-	40%	60%	95%
金属製品	20%	15	40%	60%	80%
総計	100%	22	18%	82%	90%

スクラップ回収と分別効率は作業方法の改善やオンラインX線蛍光分析等により向上し続けている。  
建築のデザインが回収率に大きな影響をおよぼす。





## ステンレスを使ったサステナビリティビル

- The David L. Lawrence Convention Center, ピッツバーグ (USA) (2003) <sup>26</sup>

ステンレス製屋根:

- S30400 ステンレス
- 広さ: 280 × 96m
- 0.6mm(24ゲージ)鋼板で23,000m<sup>2</sup>を覆い、重量は約136トン

# ステンレスを使ったサステナビリティビル LEEDにおける格付:「GOLD」

**LEED**(Leadership in Energy and Environment Design)

同センターは以下の点が評価されGOLDランクに評価された

- 再開発地区に建造
- (自動車以外の)代替輸送手段に対応
- 水の消費量を抑制
- 優れたエネルギー効率
- 有害物質を排出しない、または排出が少ない材料の使用
- 斬新なデザイン



## ステンレスを使ったサステナビリティな土木工事： プログレツソ栈橋<sup>27</sup>

メキシコのプログレツソで1970年に栈橋が一基建造された。海洋環境のため炭素鋼は腐食、栈橋は崩壊した。



## ステンレスを使ったサステナビリティな土木工事： プログレッシブ栈橋

隣接の栈橋は1937-1941年にステンレス鉄筋を使って建造されていた。



## ステンレスを使ったサステナビリティな土木工事： プログレッシブ栈橋

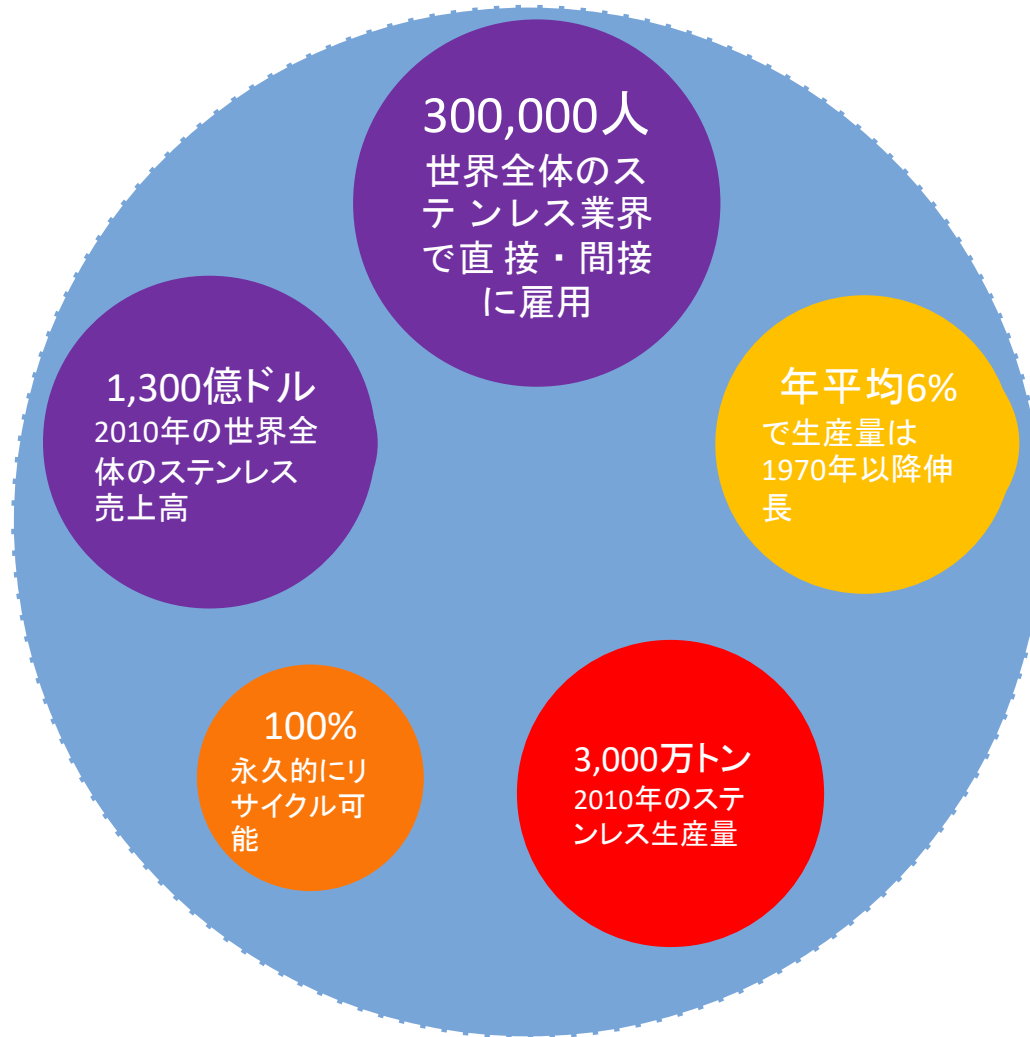
それ以後、この隣接栈橋はメンテナンス無しで新設同様の状態を保持している。

## 2. 社会的要素

サステナビリティな材料はその生産に従事したり、また使用、リサイクルや最終処分の際にそれを取り扱う人々に害を及ぼさない。

- ステンレスは生産および使用に際し人々に害を及ぼさない。こうした理由により、ステンレスは医療、食品、加工、家庭や配膳業用品の最も重要な原材料となっている。
- 従業員の労災も無く、また健全な職場等の安全はステンレス産業の最優先課題である。
- さらにステンレスは技術的進歩を可能にして生活の質を向上させている。例えば、我々にきれいな飲料水、食料、および医療品を提供する設備等もステンレスが無ければ現在のような衛生的かつ効率的なものにはならないだろう。

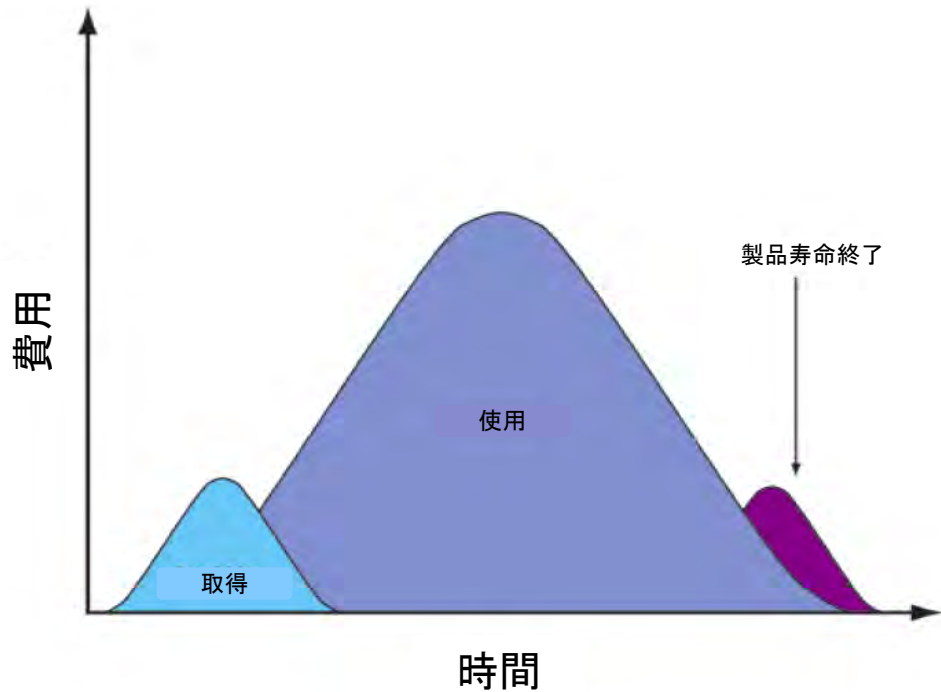
### 3. 経済的要素



# ライフ・サイクル・コスト計算 (LCC) <sup>30</sup>

- LCCとは、資産が求められる機能を果たしている全期間におけるコストである (ISO15686-5)
- LCCはライフ・サイクル全期間に発生する製品に関連する全コストの総計である

考案 ⇨ 製造 ⇨ 使用 ⇨ 製品寿命終了





# ライフ・サイクル・コスト計算(LCC)

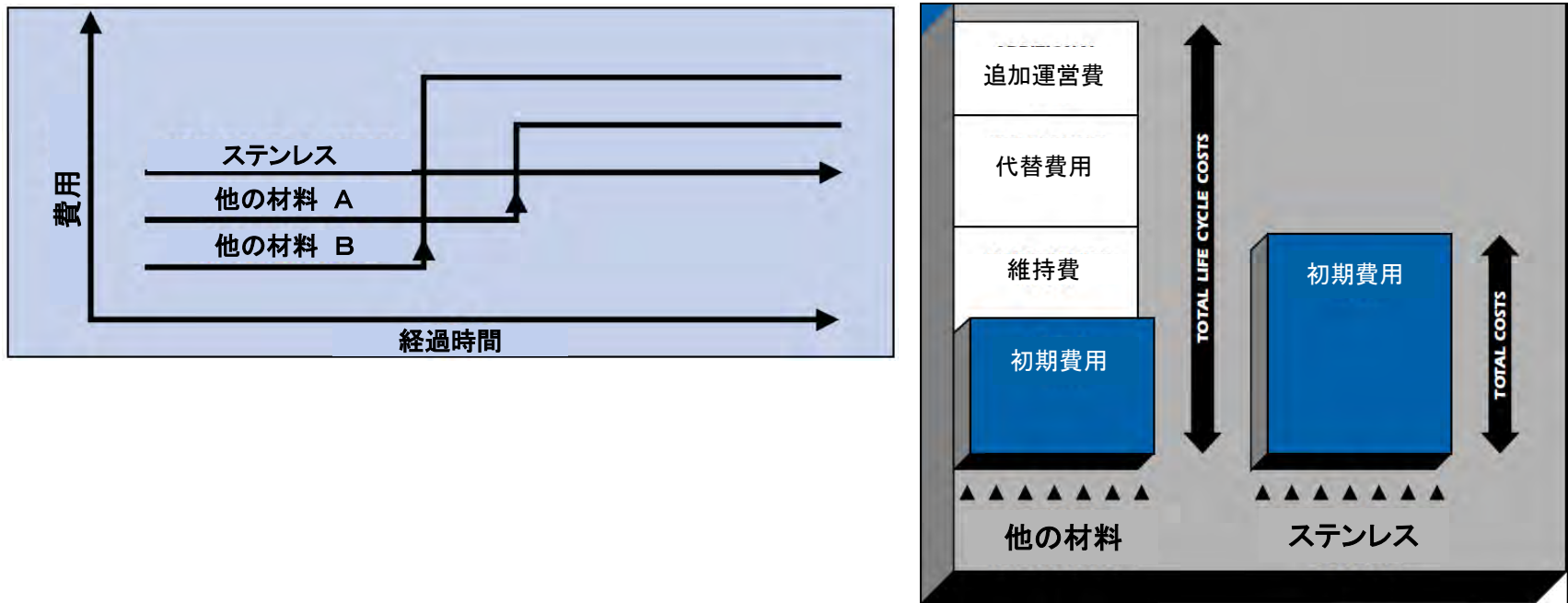
LCCは投資判断や投資オプションの比較に有用な数学的手法

追加前の現在の価値全ての費用					
LCC総計 (LCC)	当初材料 購入コス ト(AC)	当初材料 設置と製 造コスト(IC)	使用・メン テナンスコ スト(OC)	故障による 生産休止 コスト(LP)	代替材料 コスト(RC)
LCC	= AC	+ IC	+ $\sum_{n=1}^N \frac{OC}{(1+i)^n}$	+ $\sum_{n=1}^N \frac{LP}{(1+i)^n}$	+ $\sum_{n=1}^N \frac{RC}{(1+i)^n}$

注: N=期待耐用年数 I=実質金利 n=関連年数

# LCCを考慮するとステンレスが高価格でない理由 <sup>31</sup>

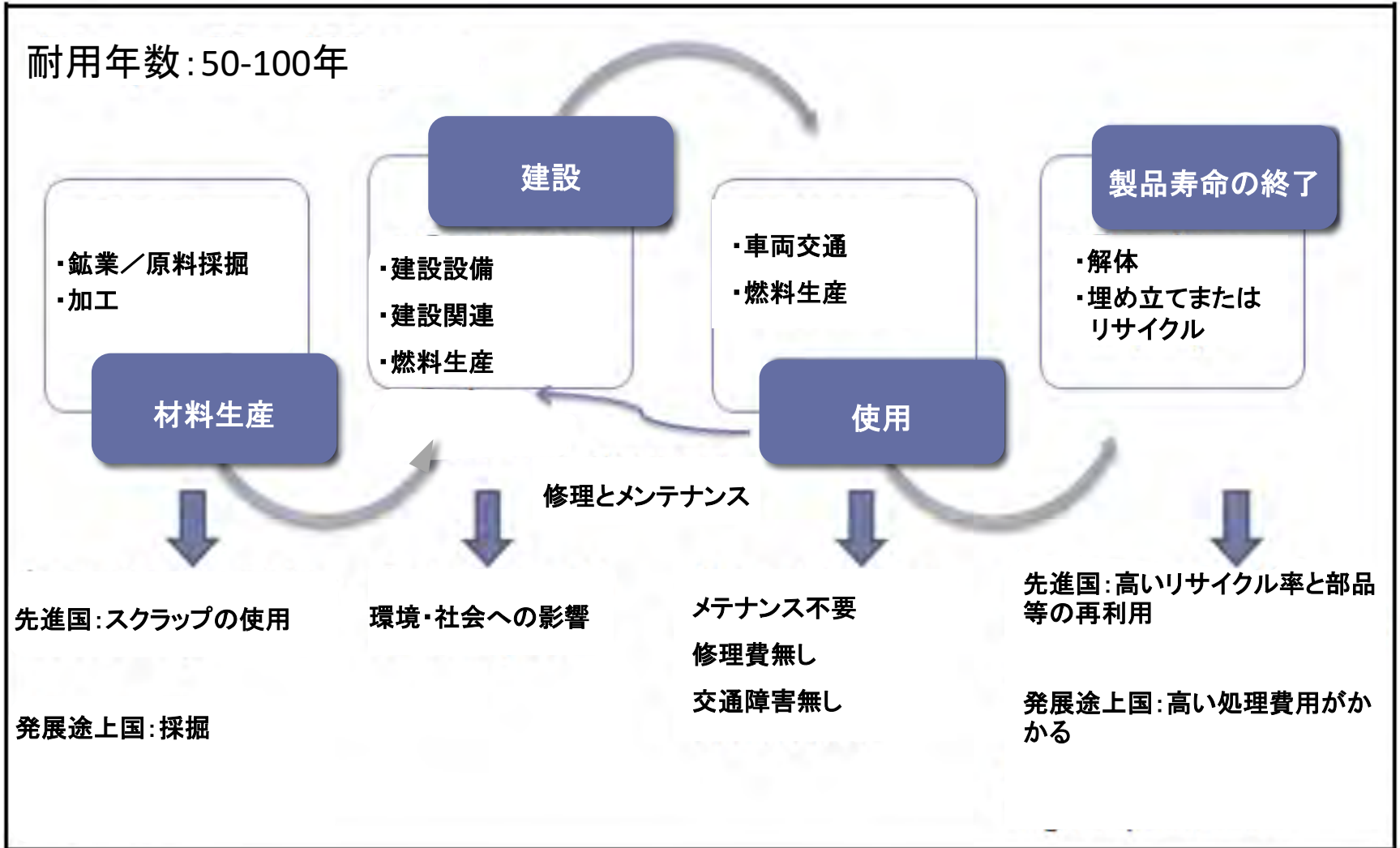
ステンレス以外の材料で作られた建造物のコストは時間の経過とともに大幅に増加するがステンレス建造物のランニングコストは一般的に一定であると考えられる



「金属類の腐食により米国経済には年間3,000億ドルのコストがかかっている。その内の約1/3 (1,000億ドル)は最も良く知られた技術を利用すれば回避できる。まず第一歩として設計、ステンレスのような耐食性がある材料の選定、およびライフ・サイクル・コスト計算/LCC手法を用いてメンテナンス費用も含めた初期および将来コストの定量化が必要となる。」

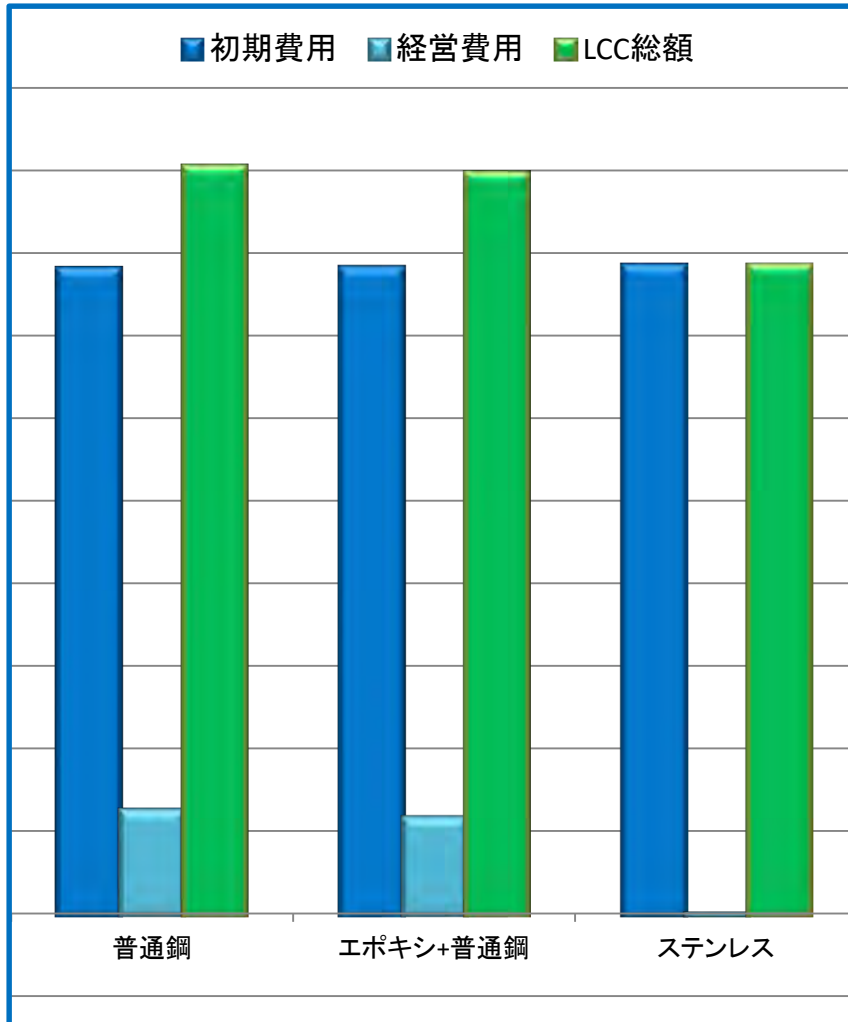
# LCCの例：橋梁

ステンレス橋梁のライフ・サイクルの各段階と世界各地での環境への影響例



# LCCの例：橋梁

## 河川を横断する高速道路橋梁のLCC概要<sup>32</sup>



項目	炭素鋼	エポキシ +炭素鋼	ステンレス
材料費用	8,197	31,420	88,646
加工費用	0	0	0
その他据付費用	15,611,354	15,611,345	15,611,354
<b>初期費用</b>	<b>15,619,551</b>	<b>15,642,774</b>	<b>15,700,000</b>
メンテナンス	0	0	0
取り換え費	256,239	76,872	-141
生産喪失費	2,218,524	2,218,524	0
材料関連	0	0	0
<b>経営費用</b>	<b>2,247,763</b>	<b>2,295,396</b>	<b>-141</b>
<b>LCC総額</b>	<b>18,094,314</b>	<b>17,937,170</b>	<b>15,699,859</b>

# LCCの例：屋根

屋根のLCC<sup>33, 34, 35</sup>



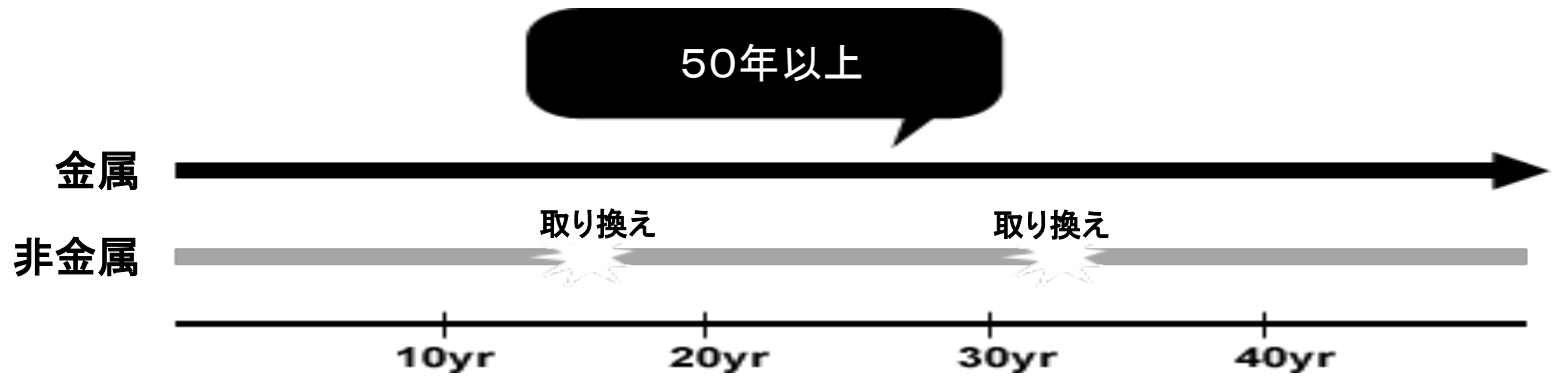
従来の屋根、～30年



金属屋根40-50年



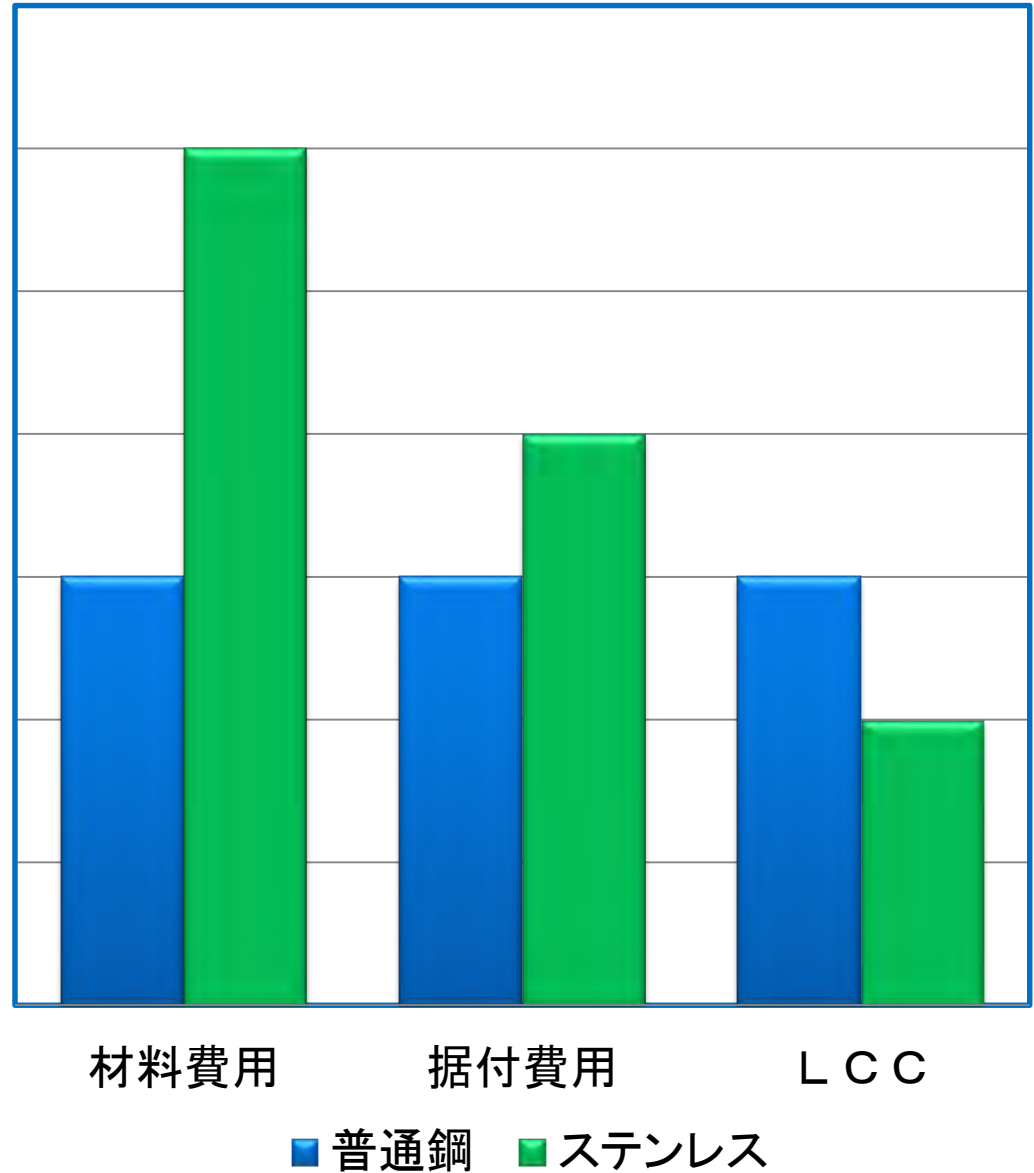
ステンレス屋根、50年以上



## LCC 例：屋根

塗装亜鉛鉄板(厚み0.6mm)とステンレス鋼板(0.4mm-鋼種EN1.4401/304)のコスト比較。

ステンレスの優れた機械的性質により材料板厚を0.5mmまたは0.4mmに抑えられるため、重量も軽減できる。(0.7mmの塗装炭素鋼板で3.2kg/m<sup>2</sup>)。また塗装炭素鋼板の予想耐用年数が15-20年なのに対しステンレスの耐用年数は通常ビル自体の耐用年数と同じである。



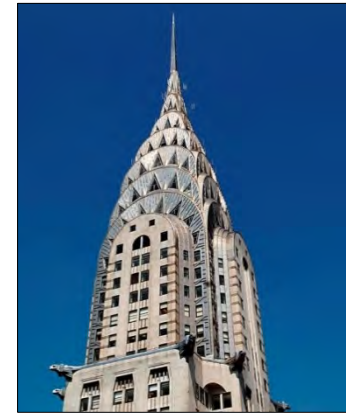
# 不朽のステンレス建造物



サボイホテル  
ロンドン(英) 1929



エンパイアステートビル  
ニューヨーク(米) 1931



クライスラービル  
ニューヨーク(米) 1930



ヘリックスブリッジ  
シンガポール 2011





ペトロナスツインタワー  
クアラルンプール(マレーシア)



クラウドゲート“ジェリービーン”  
シカゴ(米) 2008

# LCC計算の比較<sup>36,37,38,39,40</sup>

建造物	完成年	材料	高さ	メンテナンス
エッフェル塔 -パリ 	1889	鍛鉄	324m	7年毎。塗装作業は毎回約1.5年(15ヶ月)かかる。塗料50-60トン、塗装作業者25名、ブラシ1500本、やすり盤5000個、作業着1500着
クライスラー・ビル(屋根と入口) -ニューヨーク 	1930 (roof 1929)	オーステナイト系ステンレス(鋼種302)	319m	1951年と1961年の2回。1961年の洗剤は不明。1995年には中性洗剤、脱脂洗剤と研磨剤が使用された。



# なぜステンレスは環境に優しいのか？

## ステンレスの環境面の評価<sup>41</sup>

ステンレスのリサイクル量は？	60%
ステンレスは100%リサイクルできるか？	Yes
耐用年数が長い？	Yes（メンテナンスや処分の頻度を減少できる）
リサイクルの内容は？	Yes（消費者製品と産業製品の両方）
建設廃棄物の埋め立てを回避できるか？	Yes（スクラップ価格が高く再利用の潜在性も高い）
改修時に回収され再利用できるか？	Yes
排出物が少ない材料か？	Yes（塗装がないので排出量はゼロ）
屋内の空気の質向上に有用か？	Yes（揮発性有機化合物は使用せず、細菌も除去され、耐食性のダクト使用）
有害物質の使用回避に有用か？	Yes（長期のシロアリ防御もでき、屋根の流出液も少ない）
省エネに有効か？	Yes（日よけ、屋根材）
クリーン エネルギーの生産に有用か？	Yes（ソーラーパネル、発電所の気体洗浄装置）
水の保存に有用か？	Yes（耐食・耐震の水位線や水槽に使用）
反射パネルは自然光を増加するか？	Yes
他の材料の耐用年数を延ばせるか？	Yes（石や石積のアンカーボルト、木や耐用年数の長い金属の締め具）

# まとめ

- サステナビリティはステンレス業界にとり将来の大きな、かつ重要な課題である。リサイクル性と生産プロセスの改良によりステンレスの二酸化炭素排出量を削減する取組が行われている。
- ステンレスは材料選定の設計段階で考慮されるべき下記のような様々な特性の相乗効果を持っている。
  - 機械的性質
  - 耐食性
  - 耐火性
  - リサイクル性
  - 耐久性
  - 安価なメンテナンス・コスト
  - 中性で衛生的
  - 美観
  - 雨水に対して中性

# 参考サイト・文献

1. <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:a5cd469c-89cb-4d57-9ad8-13a0d86d65f0/Sustainability+indicator+definitions+and+relevance.pdf>
2. <http://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/>
3. <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>
4. <https://www.gsa.gov/portal/content/101197>
5. Recycled content is defined in accordance with the ISO Standard 14021 -Environmental labels and declarations - Self declared environmental claims (Type II environmental labeling).
6. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/recycled-content/>
7. <http://www.fao.org/docrep/u2246e/u2246e02.htm>
8. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
9. Source: Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
10. B. Rossi. ArcelorMittal International Scientific Network in Steel Construction Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting, Bruxelles, 2010.
11. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
13. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
14. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>

# 参考サイト・文献

15. ISSF [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF Stainless Steel and CO2.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_and_CO2.pdf). Data from European and Japanese ISSF members
16. Based on 2013 data, including 60% scrap content (and therefore 40% new materials) and energy contribution to GHG
17. Data provided by ISSF, estimates calculated by SCM. Includes 60% recycled content
18. ISSF [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org). Data from European and Japanese ISSF members
19. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
20. T.E. Norgate, S. Jahanshahi, W.J. Rankin. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15 (2007), 838-848.
21. B. Rossi. Stainless steel in structures: Fourth International Structural Stainless Steel Experts Seminar. Ascot, UK. 6-7 December 2012.
22. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural.
23. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>
24. <https://www.drkarenslee.com/comparing-reusable-bottles-stainless-steel-glass-plastic/>
25. Yale University/ISSF Stainless Steel Project, 2013
26. The Greening of a Convention Centre. Nickel, Volume 23, Number 3, June 2008, 6-9.
27. <https://www.nickelinstitute.org/Sustainability/LifeCycleManagement/LifeCycleAssessments/LCAProgress/Pier.aspx>
28. International Stainless Steel Forum [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)
29. World Steel Association
30. A. Dusart, H. El-Deeb, N. Jaouhari, D. Ka, L.Ruf . Final Report ISSF Workshop. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2011.

# 参考サイト・文献

31. [http://www.ssina.com/download\\_a\\_file/lifecycle.pdf](http://www.ssina.com/download_a_file/lifecycle.pdf)
32. <https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol-31-no1-2016/>
33. [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/RoofingTech\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoofingTech_EN.pdf)
34. <http://www.ametalsystems.com/RoofLifecycleCostComparison.aspx>
35. <http://www.metalroofing.com/v2/content/guide/costs/life-cycle-costs.cfm>
36. <https://www.tou Eiffel.paris/en>
37. [https://en.wikipedia.org/wiki/Eiffel\\_Tower](https://en.wikipedia.org/wiki/Eiffel_Tower)
38. <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
39. [http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler\\_Building#](http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building#)
40. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
41. C. Houska. Sustainable Stainless Steel Architectural. Construction Canada, September 2008, 58-72.
42. Nickel Development Institute. Timeless Stainless Architecture. Reference Book Series No 11 023, 2001
43. G. Gedge. Structural uses of stainless steel — buildings and civil engineering. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008), 1194–1198.
44. <http://www.metalsforbuildings.eu/>
45. <http://www.circle-economy.com/circular-economy/>
46. <http://www.irishenvironment.com/iepedia/circular-economy/>

Thank you

# 補足

## その他材料のリサイクル

非常に複雑な問題ではあるが、  
他材料とステンレスを対比することにより  
より多くのアイデア、知見を  
得ることができる考える

# セメント・コンクリートのリサイクルについて

<http://www.wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf>

- コンクリート材において、最大20%の再利用が行われている
  - セメント材ではなく、コンクリート製造用の骨材として利用される
  - 再利用材を使用したコンクリートは低品位であり、全ての用途に適用可能ではない
- 解体により発生したコンクリート端材のほとんどが路床や埋立に利用されている
- コンクリートのリサイクル工程における主な作業は、破碎と運搬である
- 総じて、リサイクルは「ダウンサイクル」として低品位再利用となる
- 現時点では、解体時に発生したコンクリート片のブロックとしての再使用が、ダウンサイクルせずに適用可能な限られた再利用方法であるが、実施は困難である



# プラスチックのリサイクルについて

<http://www-g.eng.cam.ac.uk/impee/?section=topics&topic=RecyclePlastics&page=materials>

- 一般家庭廃棄物 (最終製品形態)は既に100%程度リサイクルされている
- 使用済プラスチックのリサイクル は非常に難しい
  - 収集に時間を要するため非経済的
  - 混合物より必要となる素材の選別が困難(不純物に混入が不可避)
  - ラベル、印刷などの除去を完全にすることができない
  - これら不純物の混入により、「ハイテク」用途には適用できない
    - => 一般家庭廃棄物の再利用はダウンサイクルとして低品位利用されている
      - PET : 安価な敷物、フリース材
      - PE・PP : ブロック板、ベンチ
    - =>このため、焼却炉で燃焼廃棄されたり海洋汚染の要因となっているケースが多い

# 木材のリサイクルについて(提供ABC\*)

- 当然ながら、最も有用なリサイクルは再使用である。木材の回収、再調整、再製造など多くの活動が成されているが、どの程度は不明である
- 未処理の角材、木材は園芸用途、動物飼育用途、乗馬関連などの新規需要が開拓されている
- 処理済の角材、木材(防カビ、防虫、紫外線対策などの用途の薬剤処理)においては、非常に有害な薬品が使用されており、現時点ではパーティクルボードとしての再利用が最も汎用的であるが、この廃棄時に発生する有害物質の影響は明らかにされていない
- 地球規模での森林破壊が指摘され、新規森林環境の醸成には1世紀もの期間を要することが広く知られている今、木材の再利用についてはもっと議論されるべき項目である
- 一度伐採をした土地に新たに植林を行った場合、この間に土壌は汚染され、生態系の破壊を招く
- 最後に、炭素の中立性は、30年以上もかかる植林後の森林が完全に醸成された後に達成されるということをお忘れずにいて下さい

[https://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/TWW\\_Final.pdf](https://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/TWW_Final.pdf)

<https://woodrecyclers.org/about-waste-wood/wood-recycling-information/>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Wood\\_preservation](http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_preservation)

<http://www.wasteminz.org.nz/wp-content/uploads/Scott-Rhodes.pdf>

<http://www.brighthub.com/environment/green-living/articles/106146.aspx>

\*ABC : (Architecture, Building and Construction) 建造物、ビル、土木