



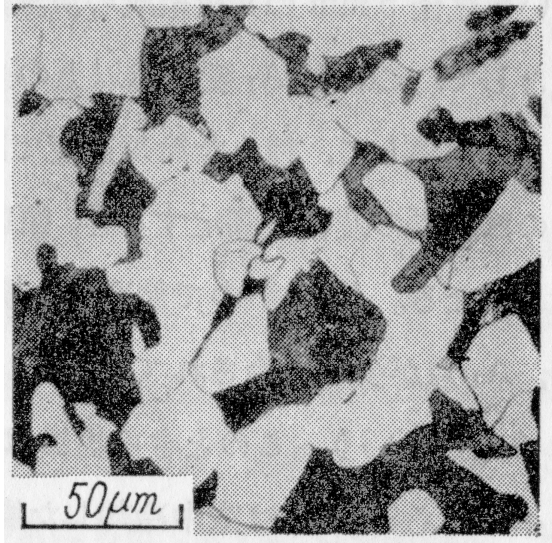
# 金属材料・勉強会

ステンレス材料について

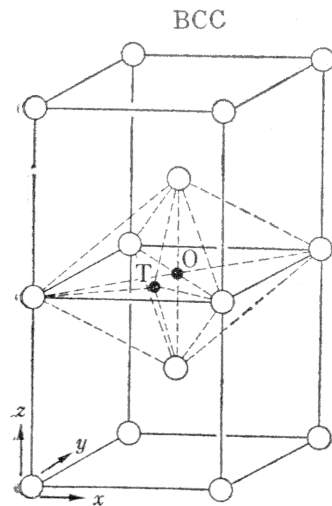
## フェライト、マルテンサイト、オーステナイト ってなに？

- 鉄は加熱冷却によって相が変態します。
- 結晶構造、結晶粒度が大きく変化します。
- 特にステンレス鋼で性質が大きく異なる3つの相がフェライト、マルテンサイト、オーステナイトとなります。

# フェライト



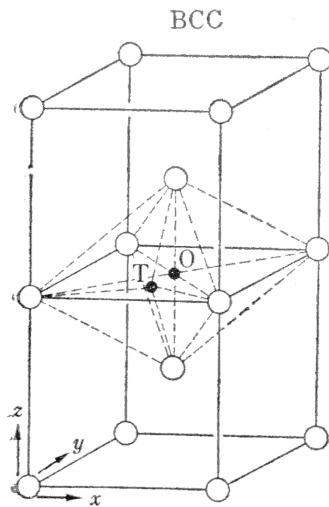
- 結晶構造はbcc(体心立方格子)
- 純鉄の室温結晶構造(基本構造)
- 強磁性  $\alpha$ -鉄(良く磁石に付く)
- 柔らかい

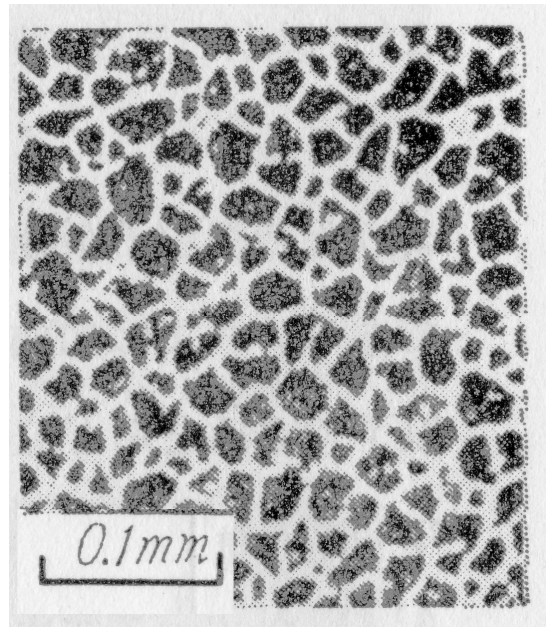


## マルテンサイト



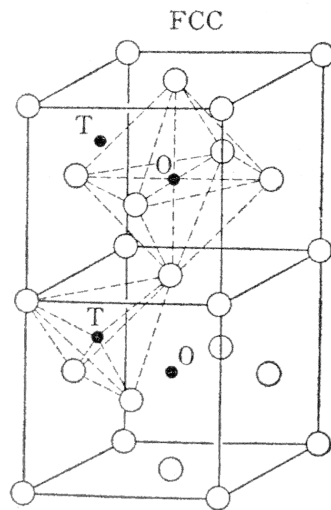
- 結晶構造はbcc(体心立方格子)
- 912°C以上に加熱し急冷却すると得られる緻密な針状結晶
- 常磁性 $\alpha$ -鉄(まあまあ磁石に付く)
- 堅いが脆い





## オーステナイト

- 結晶構造はfcc(面心立方格子)
- $912^{\circ}\text{C}\sim 1394^{\circ}\text{C}$ で変態する。
- 非磁性  $\gamma$ -鉄(磁石に付かない)
- 優れた靱性、延性



## で、なぜステンレス？

- 熱によって相が変態するので常温では基本的にフェライトとセメンタイトの化合物です。
- 他の相は純鉄では安定して得られません。
- そこで、常温でもオーステナイト、マルテンサイトを安定して得られるようにしたものが鉄合金です。
- 鉄合金の中でも耐腐食性を向上させたものがステンレス鋼ということになります。



ステンレス鋼とはどのような鋼か？

さびない鋼



## ステンレス鋼の歴史

18世紀の終わり (Faraday & Stodart)

史上初のステンレス鋼は“白金鋼: Fe-11%Pt合金”

19世紀のはじめ: (鉍山技師 Berthier)

(鉄鉍石 + Cr鉍石) の炭素還元 → Fe-(17~60)%Cr合金  
硬くて脆いが, 沸騰した王水中でも錆びないことを発見

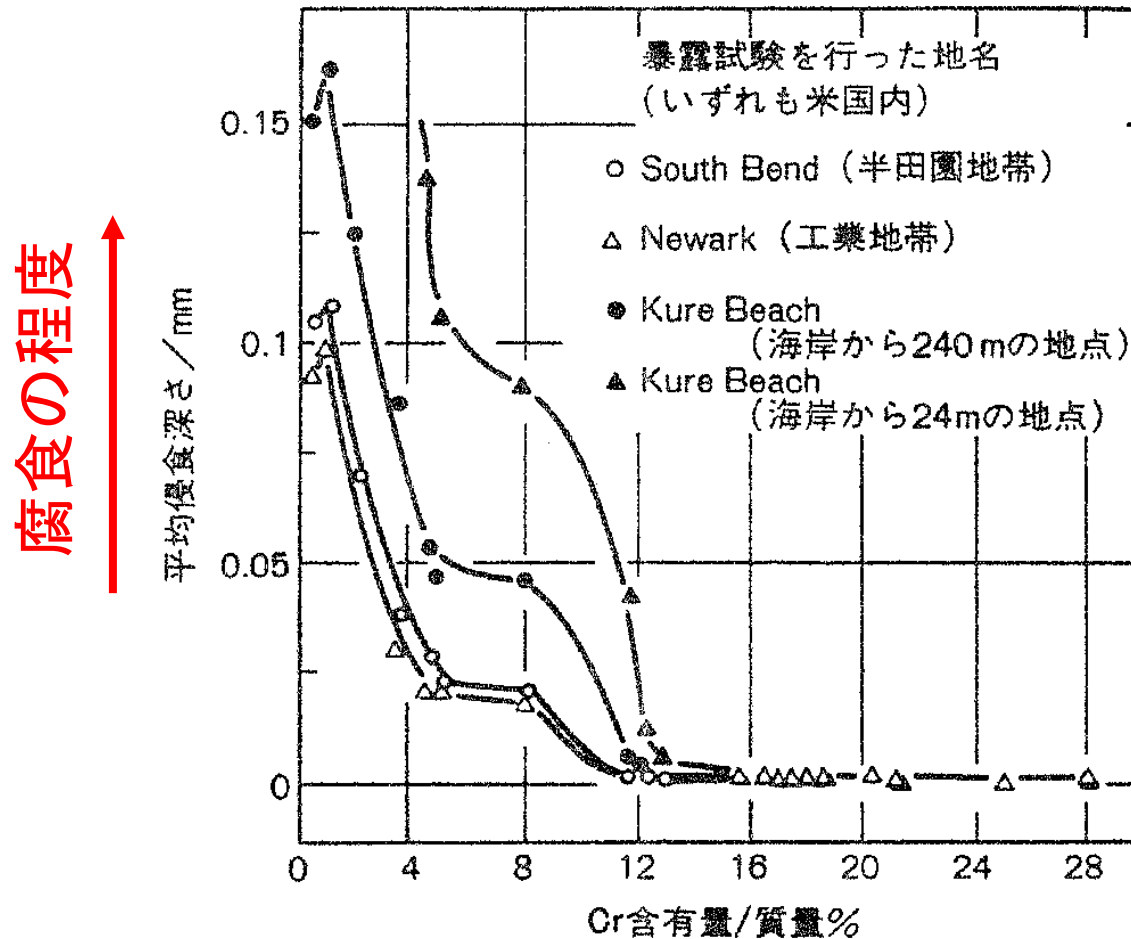
1870年以降, 本格的なステンレス鋼の研究

最初に開発されたステンレス鋼は, 炭素を0.1~0.3%程度含む  
高炭素のフェライト系またはマルテンサイト系である。  
(SUS410, SUS420, SUS430)

1910年以降, Niを加えたオーステナイト系ステンレス鋼が開発

より優れた耐食性の要求  
(SUS304)

# 耐食性に及ぼすCrの影響(通常的生活環境)



12%以上Crを加えると、通常的环境では鉄は錆びなくなる  
(12%以上のCrを含む鋼をステンレス鋼と呼ぶ)

## ステンレス鋼の分類

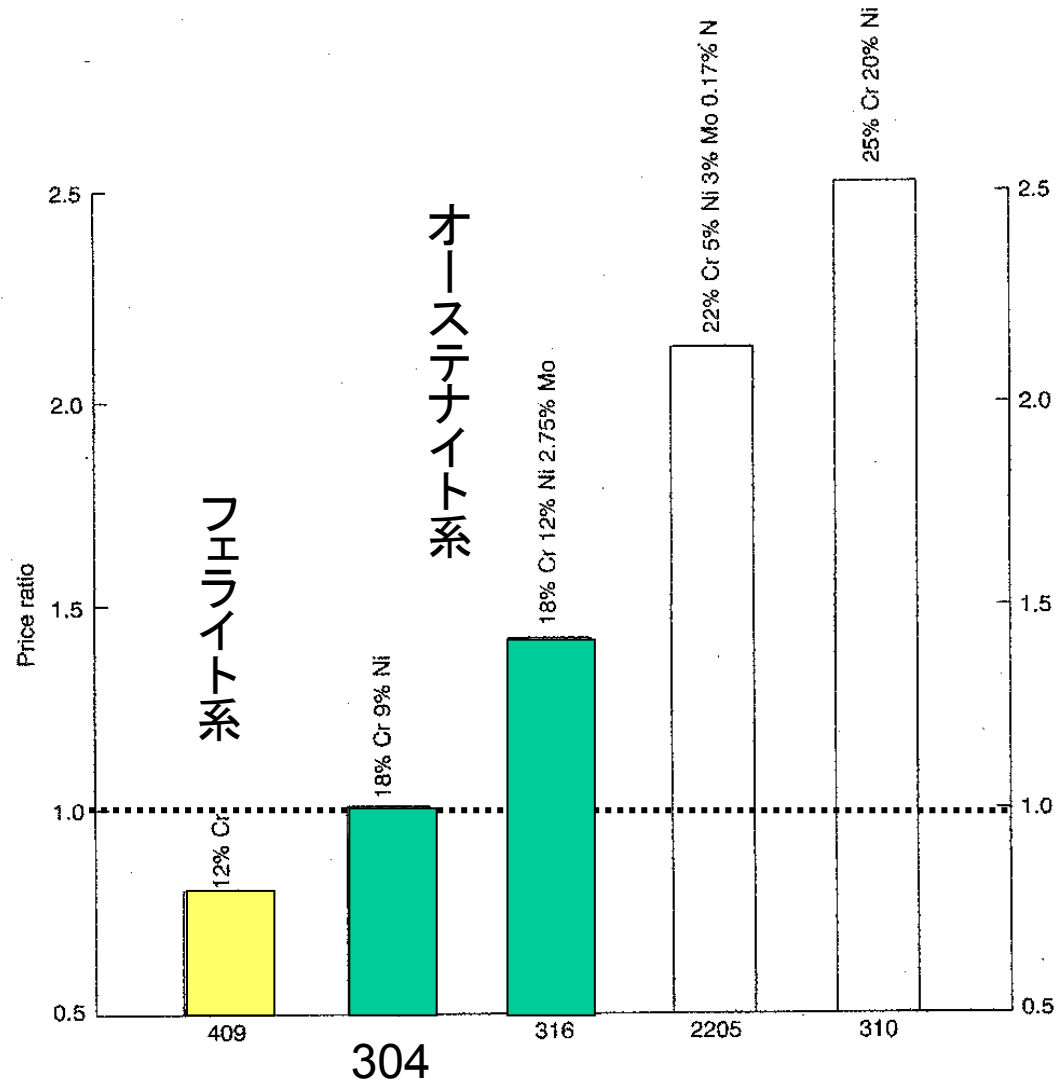
		組織による分類	鋼種例	成分
ステンレス鋼	Fe-Cr系 (Cr系) 磁石につく 結晶構造: bcc	マルテンサイト系	SUS410	Fe-13%Cr-0.1%C
		フェライト系	SUS430	Fe-17%Cr-0.1%C
	Fe-Cr-Ni系 (Ni系) 磁石につかない(冷間加工すると磁石につくようになることがある) 結晶構造: fcc	オーステナイト系	SUS304	Fe-18%Cr-8%Ni (18-8ステンレス鋼)
	その他の系	二相ステンレス鋼	SUS329J1	

析出強化系ステンレス鋼 SUS630, SUS631

その他, 多種多様の鋼種がある

\* 現在使われているステンレス鋼の9割以上はオーステナイト系(SUS304)

# 各種ステンレス鋼の価格の比較

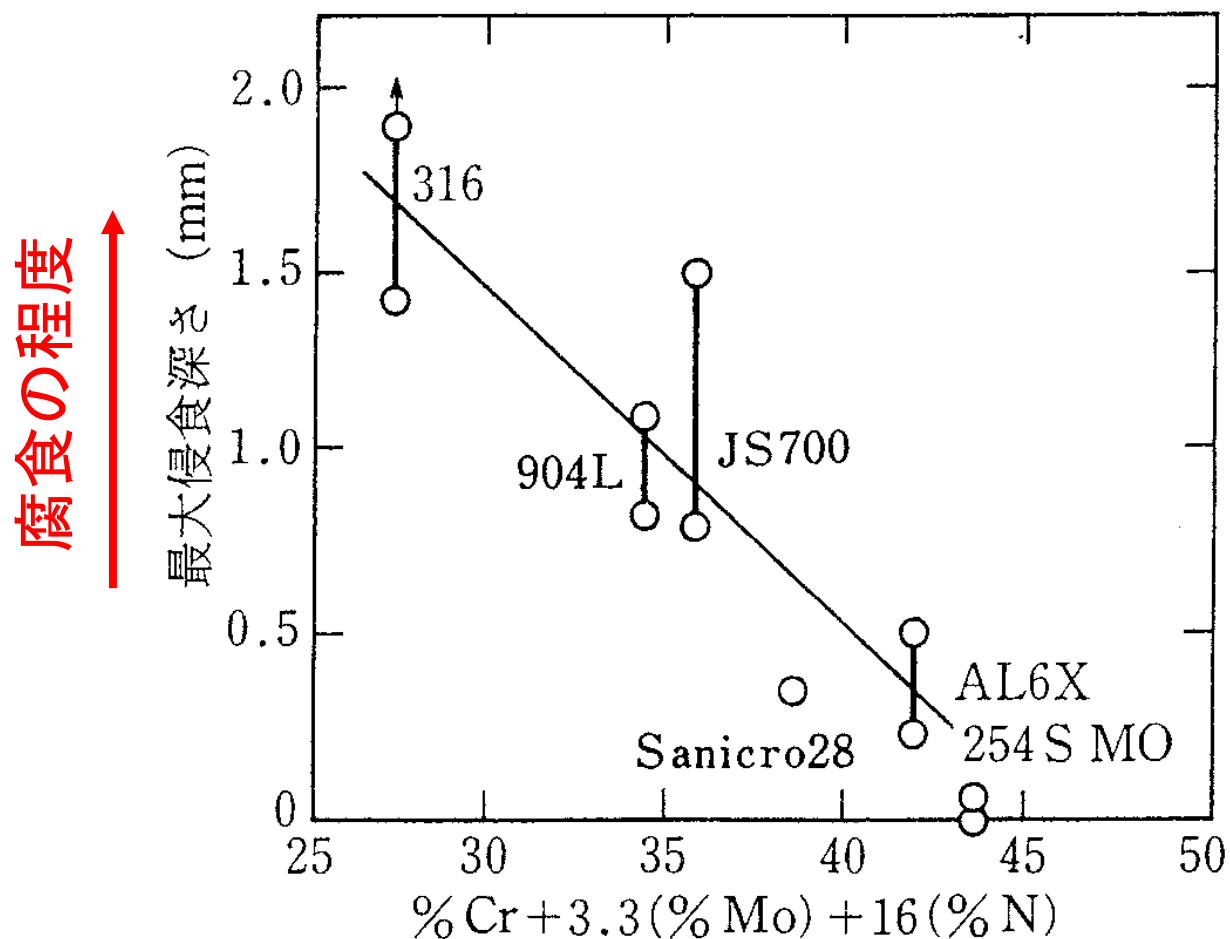


ステンレス鋼の中では値段が安い

## フェライト系ステンレス鋼

用途：  
硬さや強度はそれほど必要なく、耐食性の  
み<sup>み</sup>が要求される部材

## 耐酸性に及ぼす合金元素の影響



Crの含有量が多いほど鉄はより錆び難くなる  
(コスト高, 難加工性, 様々な脆化の問題)

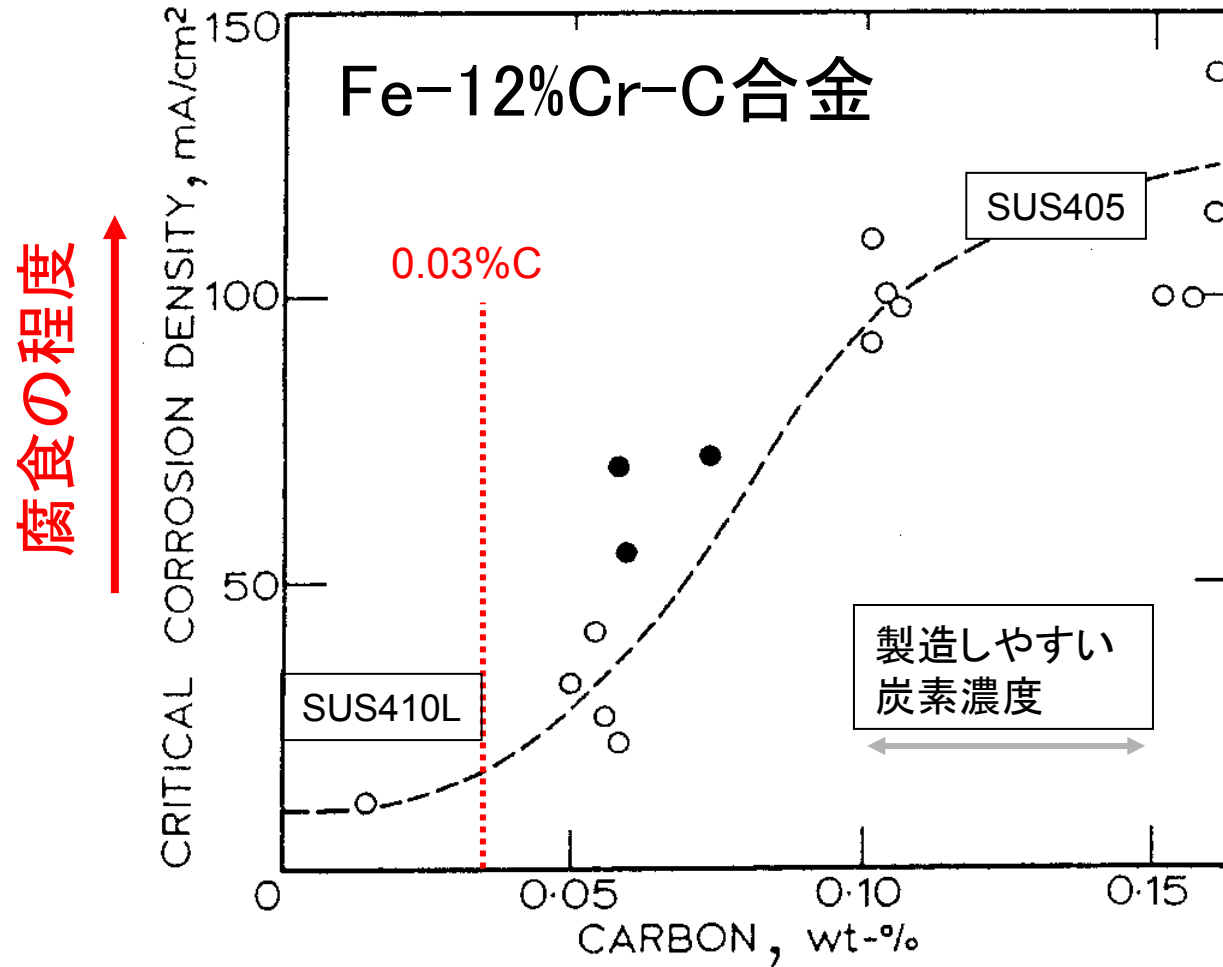
## フェライト系ステンレス鋼の種類

	Cr	C	Mo
SUS405	11.5~14.5%	0.08%以下	
SUS410L	11.0~13.5%	0.03%以下	
SUS430	16.0~18.0%	0.12%以下	
SUS434	16.0~18.0%	0.12%以下	約1%
SUS447J1	28.5~32.0%	0.01%以下	約2%

\* 鉬石からCrを取り出すときに炭素で還元するので、炭素は必然的に入ってくる。炭素濃度を0.1%以下に下げるにはお金が掛かる。

**炭素濃度が低いほど高価になる！**

## 耐食性に及ぼす炭素の影響



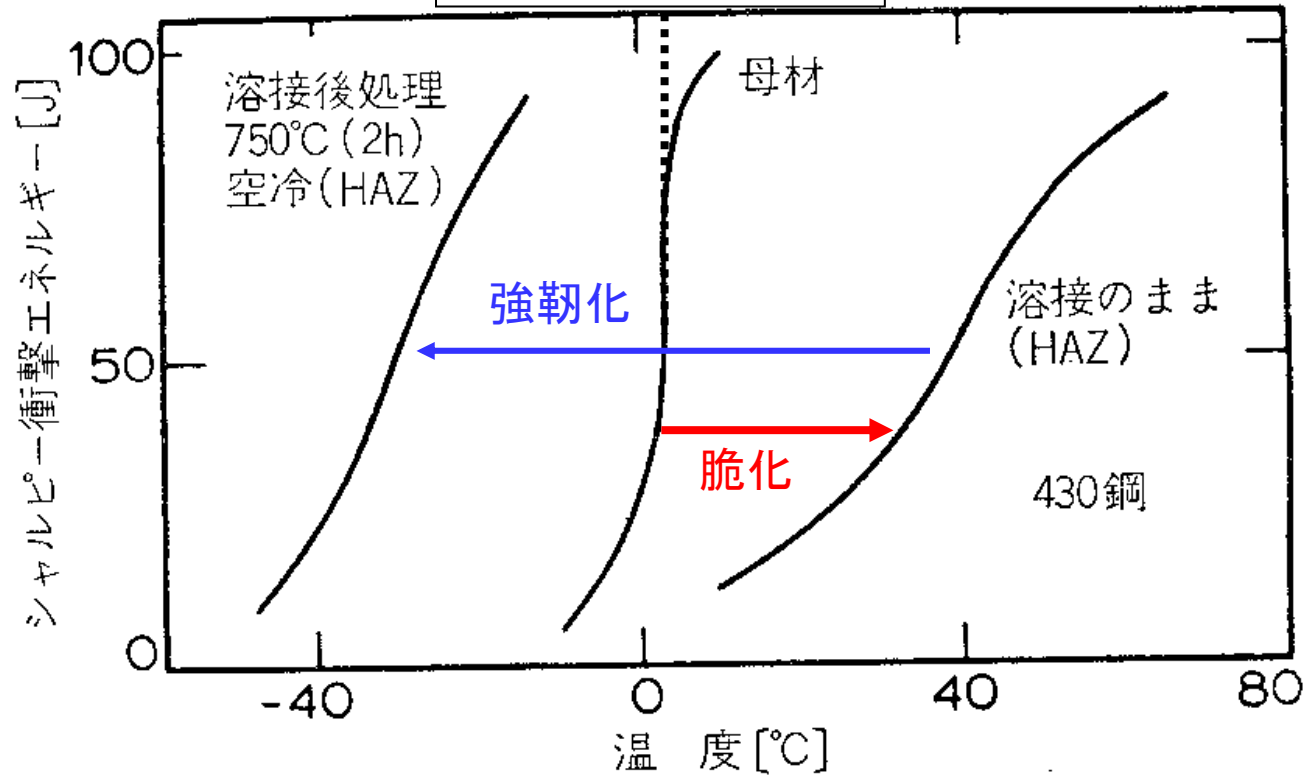
Cの含有量が0.03%以下のSUS410Lだと問題ない

Lは、炭素量が0.03%以下を意味する！



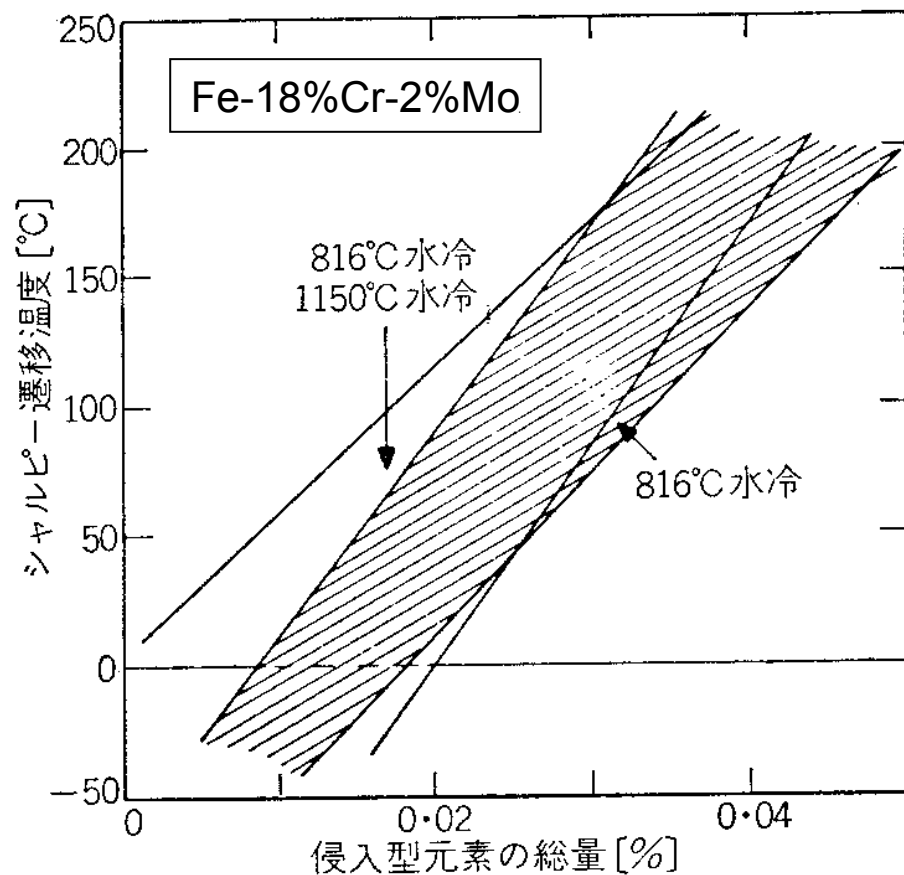
# 17%Crフェライト系ステンレス鋼の衝撃特性 (SUS430)

延性・脆性遷移温度



- \* フェライト系ステンレス鋼は室温でも脆い(加工性悪い)
- \* 溶接するともっと悪くなる(溶接する部材には向かない)

## フェライト系ステンレス鋼の衝撃遷移温度に及ぼす(C+N)の影響



0.03%以上の炭素を含むと室温で脆性破壊する。

## フェライト系ステンレス鋼の特徴

- \* Cr含有量が多いほど耐食性は良いが、加工性が悪く、価格も高い。
- \* 炭素量が0.03%を境界として、耐食性や機械的性質が大きく変化する。  
(0.1%をごく微量と考えると大怪我をする。)
- \* フェライト系ステンレス鋼は溶接をする部材には使わないほうが良い。
- \* 熱膨張率が小さいという利点はある。

## マルテンサイト系ステンレス鋼

用途:

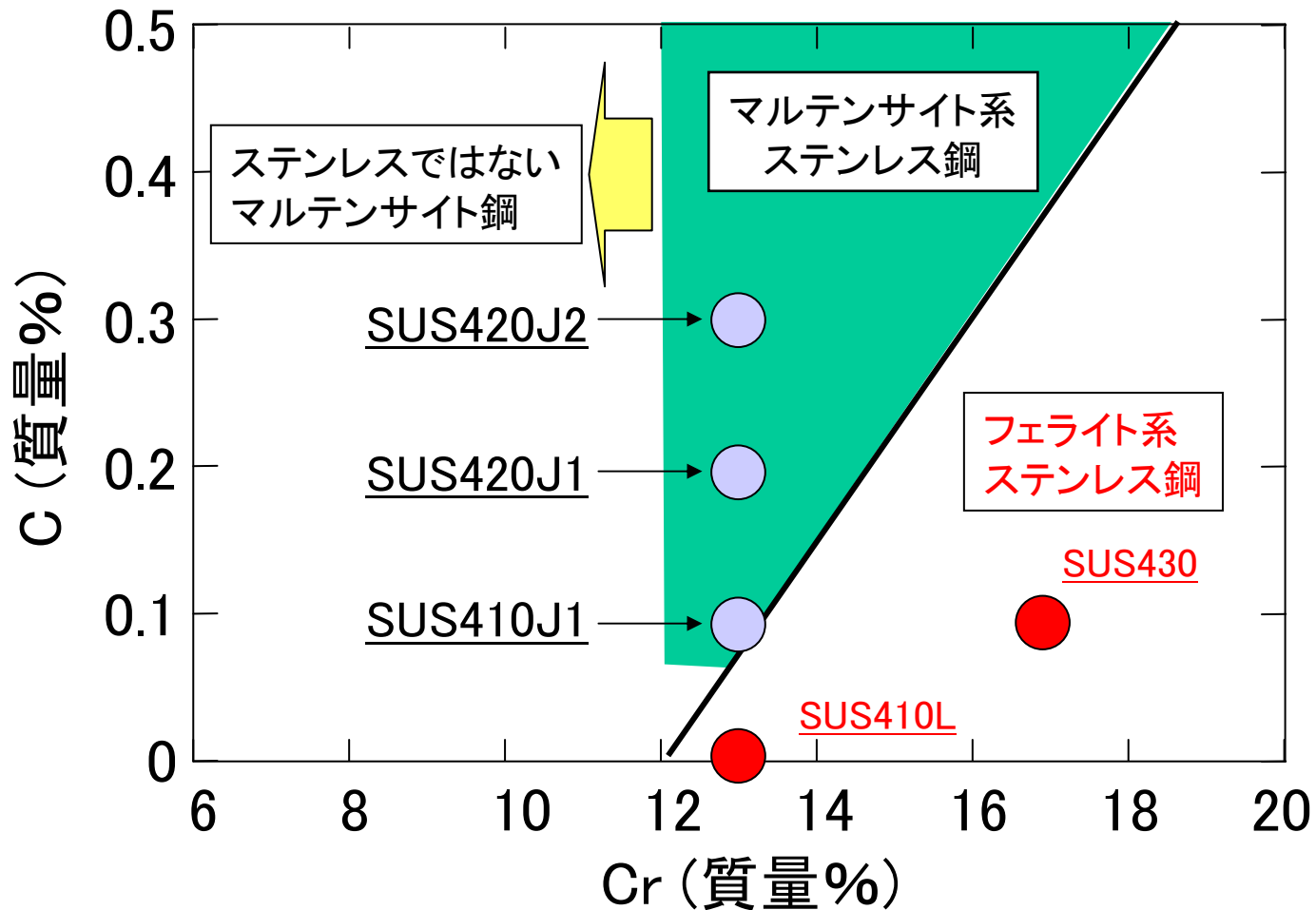
ほどほどの耐食性が必要で、しかも耐摩耗性や耐疲労特性が要求される部材

## マルテンサイト系ステンレス鋼の種類

	<u>Cr</u>	<u>C (目標値)</u>
SUS410	11.5~13.5%	0.15%以下
SUS410J1	11.5~14.0%	0.08~0.18% (0.12%)
SUS420J1	12.0~14.0%	0.16~0.25 % (0.20%)
SUS420J2	28.5~32.0%	0.26~0.40% (0.30%)

マルテンサイトという硬い組織を得るために、炭素の助けが不可欠！

## マルテンサイトが得られる成分領域



\* SUS410は、Lが付くか付かないかで全く違う種類！

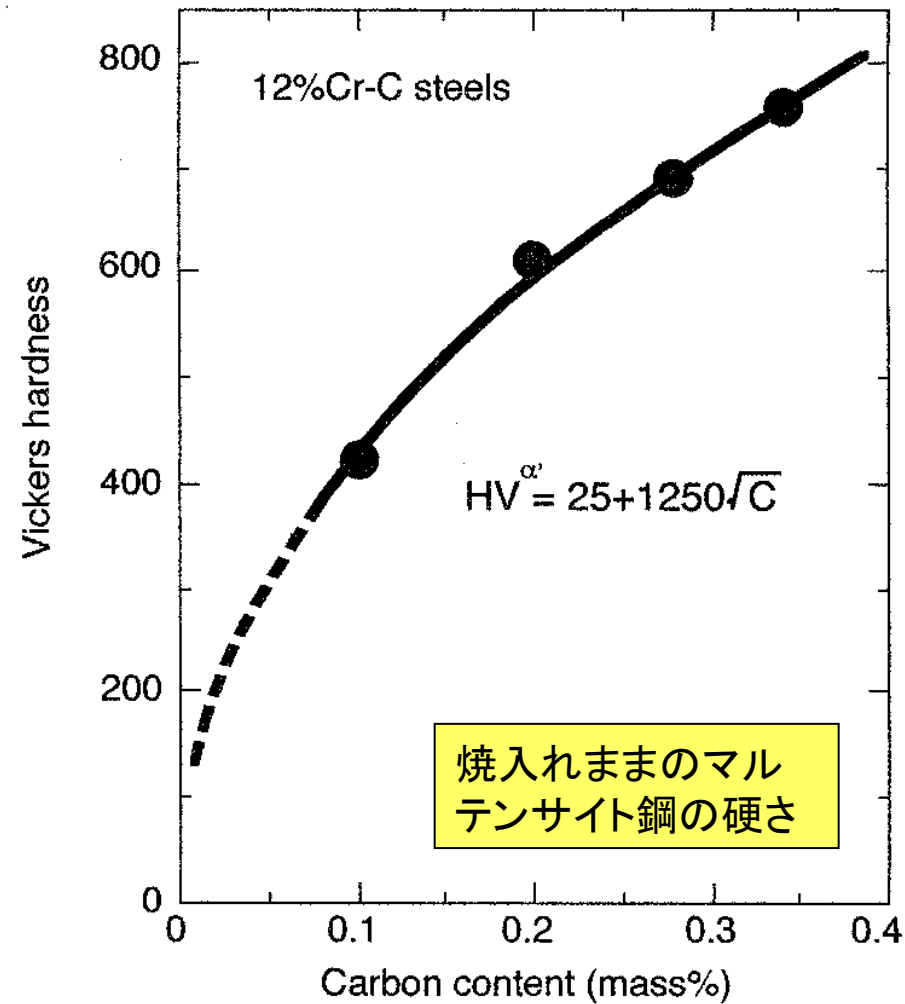
## \* 注意: SUS410とSUS410J1の違い

	Cr	C(目標値)
SUS410	11.5~13.5%	0.15以下
SUS410J1	11.5~14.0%	0.08~0.18 (0.12%)

SUS410J1は最低の炭素含有量が規定されているので組織がマルテンサイトになることがほぼ約束されているが、14%Cr-0.08%Cという極端な成分の場合、マルテンサイト単一の組織にならないことがある。

SUS410については最低の炭素含有量が保障されていないので、炭素量が0.08%以下と低い場合にはマルテンサイト単一の組織にならないこともある。

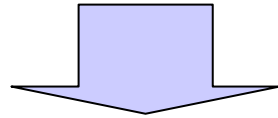
## マルテンサイトの硬さに及ぼす炭素量の影響



\* マルテンサイトの強度は炭素含有量で決まる！

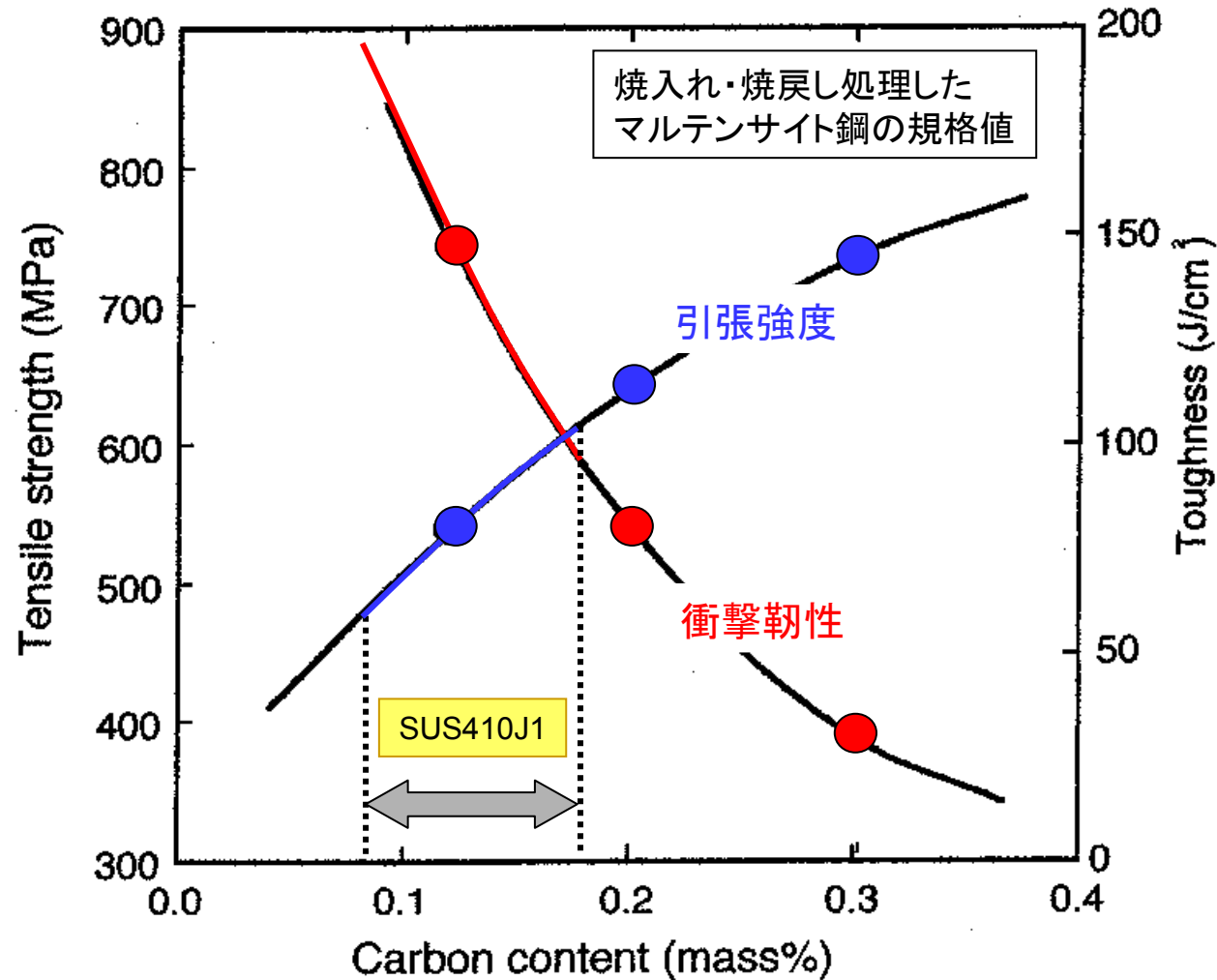


\* 焼入れままのマルテンサイトは大変硬いが、**韌性がほとんどない**。マルテンサイト系ステンレス鋼は必ず**適切に焼戻して使用する**。



**焼戻し処理の条件はJIS規格を参照！**

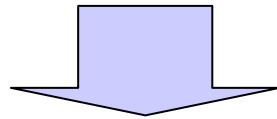
# 引張強度と衝撃靱性に及ぼす炭素含有量の影響



SUS410J1の場合：規格の範囲内で**衝撃靱性は2倍の**違い  
**引張強度は480MPa~620MPa**

## マルテンサイト系ステンレス鋼の場合

同じ規格の鋼種でも、わずかな炭素含有量の違いによって機械的な特性が大きく変化する。とくに、炭素含有量が少ないSUS410系において炭素量の影響が顕著に現れる。



鋼材の納入業者からミルシートを取って、成分（とくに炭素量）管理をきちんと行うことが重要。

## オーステナイト系ステンレス鋼

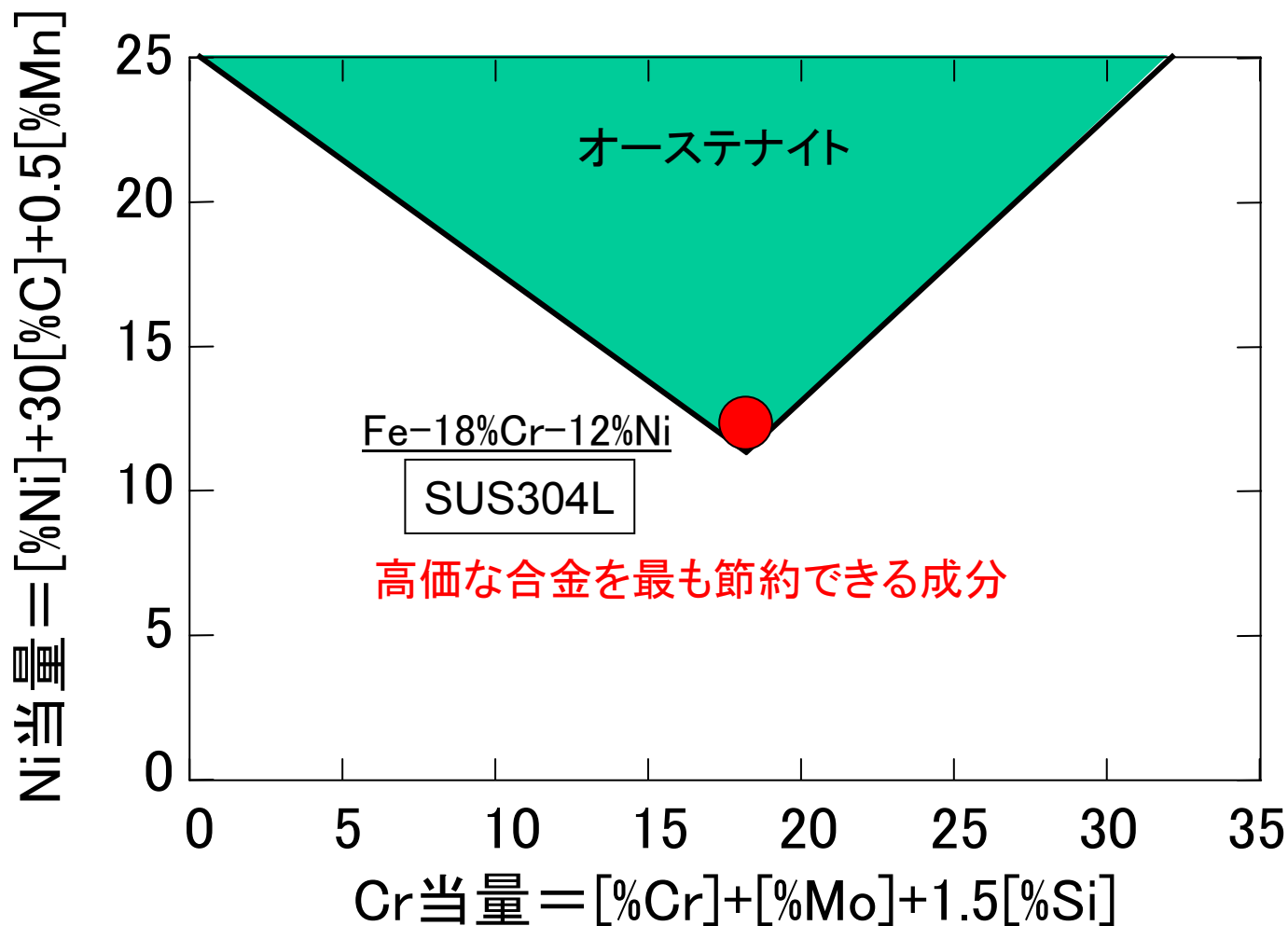
用途:

優れた耐酸性, 成形性, 延性, 靱性が要求される部材。他鋼種より高価。

(降伏強度が低いのが唯一の欠点)

塩酸(塩素イオン)には弱い

## 室温でオーステナイトが得られる成分領域



## オーステナイト系ステンレス鋼の種類(成分は目標値)

	Cr	Ni	Mn	C	
SUS202	18.0%	5.0%	9.0%	0.15%以下	成分による呼び名
SUS304	18.0%	8.0%	1.0%	0.08%以下	(18- 8)
SUS304L	18.0%	10.5%	1.5%	0.03%以下	(18-10)
	18.0%	12.0%	—	0.03%以下	(18-12)
SUS310S	25.0%	20.0%	1.0%	0.08%以下	

Niの含有量が多いほど耐酸性は良いが高価になる

安価な材料は、コストを下げるために、  
Niを安価なMnやCで置き換えている。



耐食性や溶接性は低下する！

# SUS304のミルシートの例

品名: SUS304  
 商標: \_\_\_\_\_  
 表面仕上: NO. 20

品目 Item No.	クレーンNo. Crane No.	コイルNo. Coil No.	ヒートNo. Heat No.	寸法 Size (mm)	数量 Quantity	重量 Weight (kg)	化学成分 (%) / Chemical Composition (%)										
							C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr				
							MAX 0.08	MAX 1.00	MAX 2.00	MAX 0.045	MAX 0.030	5.00 0.50	18.00 20.00				
03	S K8487	H743559A1	N82201	2.0 X 1000 X C	1	2122	0.06	0.36	0.78	0.028	0.006	8.05	18.28				

0.06%C

0.78%Mn

8.05%Ni

品目 Item No.	引張試験 Tensile Test					表面試験 Surf. Test	ニーロット試験 P.C. Test		備考 Remarks
	引張強さ Tensile N/10mm <sup>2</sup>	引張強さ Tensile N/10mm <sup>2</sup>	伸び Elongation %	硬度 Hardness HV	硬度 Hardness HV		試験片 Specimen Type	試験結果 Test Result %/10mm	
03	284	---	658	56	160	---	---	---	

引張試験 : JIS Z 2201, NO. 13B  
 LD=50MM

# SUS304Lのミルシートの例

鋼種: SUS304L  
 表紙番号: NO. 2B

品目 Item No.	クレーンNo. Crane No.	コイルNo. Coil No.	シートNo. Sheet No.	寸法 Size (mm)	数量 Quantity	重量 Weight (kg)	化学成分 (%) / Chemical Composition in %									
							C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr			
							MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	9.05	18.00			
							0.030	1.00	2.00	0.045	0.030	10.00	20.00			
01	5 L3138	H80365	H73893	2.0 X 1219 X C	1	13779	0.008	0.56	1.49	0.030	0.002	10.39	18.37			
01	5 L3139	H80366A	H73893	2.0 X 1219 X C	1	9125	0.008	0.56	1.49	0.030	0.002	10.39	18.37			

0.009%C      1.49%Mn      10.39%Ni

品目 Item No.	引張試験 Tensile Test					引張試験 Tensile Test	引張試験 Tensile Test	ニーロフポート試験 ISC Test		備考 Remarks
	引張強さ Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	引張強さ Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	伸び Elongation %	伸び Elongation %	伸び Elongation %			引張強さ Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	引張強さ Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	
01	279	—	588	51	150	—	—	—		
01	283	—	587	50	151	—	—	—		

引張試験 : JIS Z 2201, NO. 11B  
LD-50mm

0.06%Cと0.009%Cの違いを知っておかないととんでもないことになる。



## Moを含むオーステナイト系ステンレス鋼の種類(成分は目標値)

	<u>Cr</u>	<u>Ni</u>	<u>Mn</u>	<u>Mo</u>	<u>C</u>
SUS316	17.0%	12.0%	2%以下	2.5%	0.08%以下
SUS316L	17.0%	14.0%	2%以下	2.5%	0.03%以下

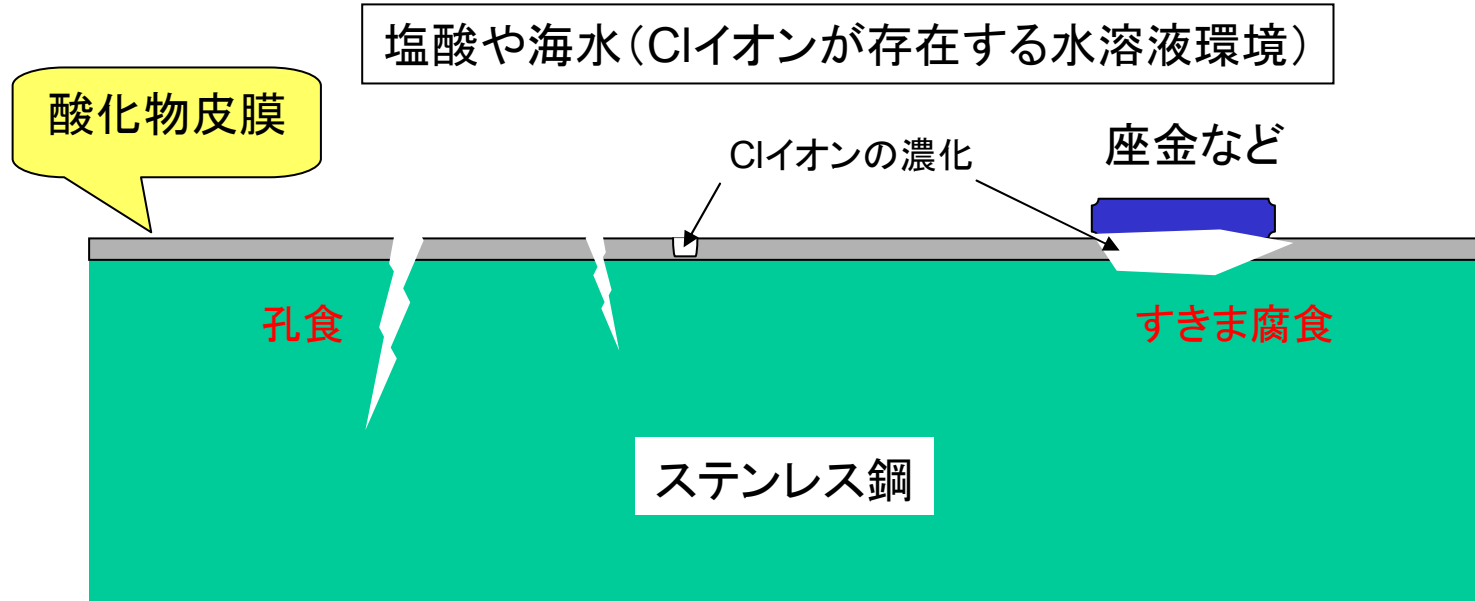
Niの含有量を多くすると同時に、Moを2.5%添加している。



**耐孔食性や耐すきま腐食性の改善！**

Lの有無についてはSUS304と同様  
(溶接する場合にはSUS316Lを使う)

## 孔食とは？ すきま腐食とは？

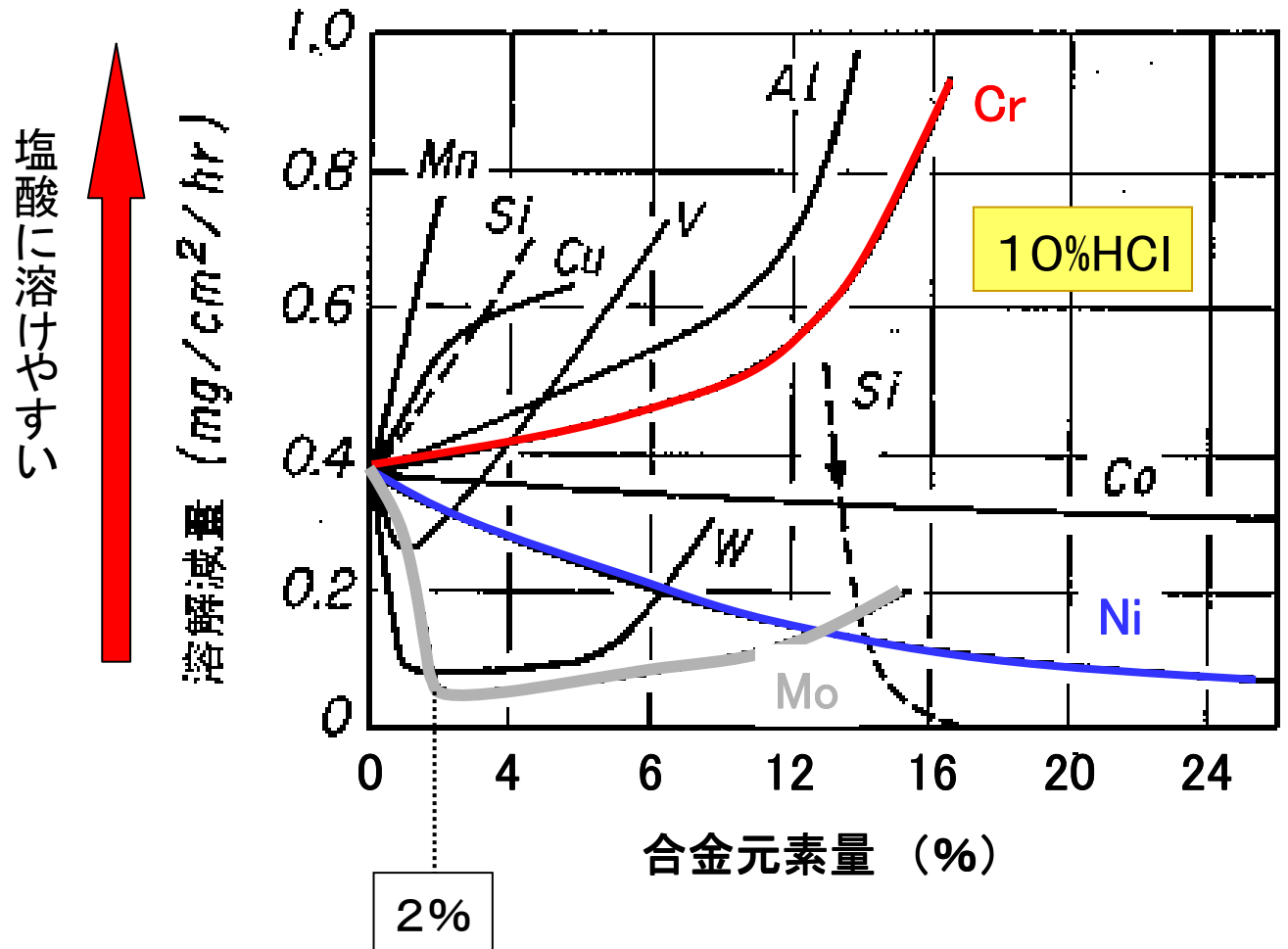


**孔食:**  
Clイオンによって酸化皮膜が破られ、そこから内部に向かって集中的に腐食が進行する現象。

**すきま腐食:**  
隙間に侵入したClイオンによって酸化皮膜が破壊され、そこから集中的な腐食が進行する現象。

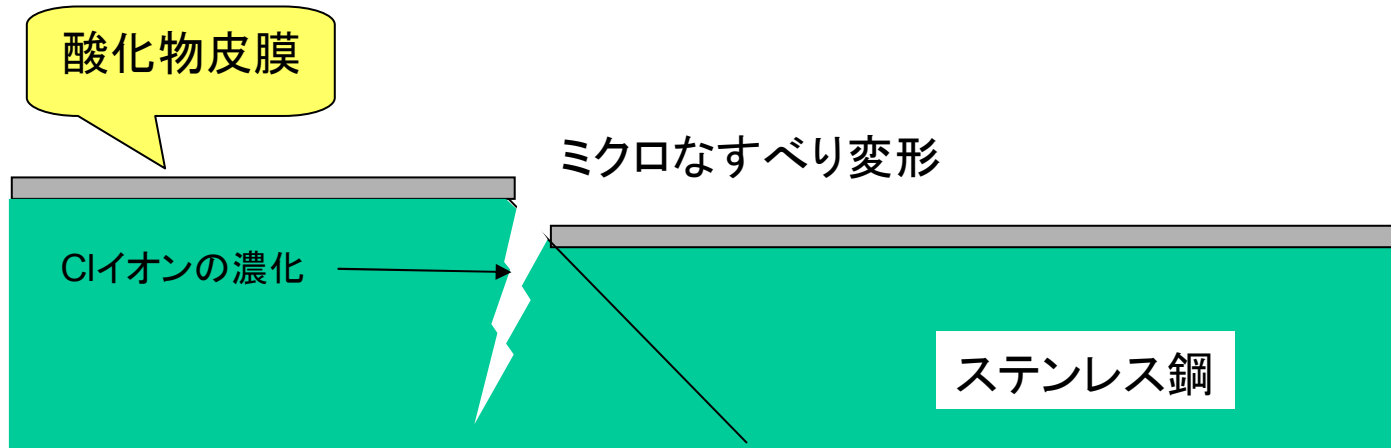
炭素が多いと孔食やすきま腐食は助長される。(Lの有無に注意)

# HClに対するFeの溶解速度に及ぼす合金元素の影響



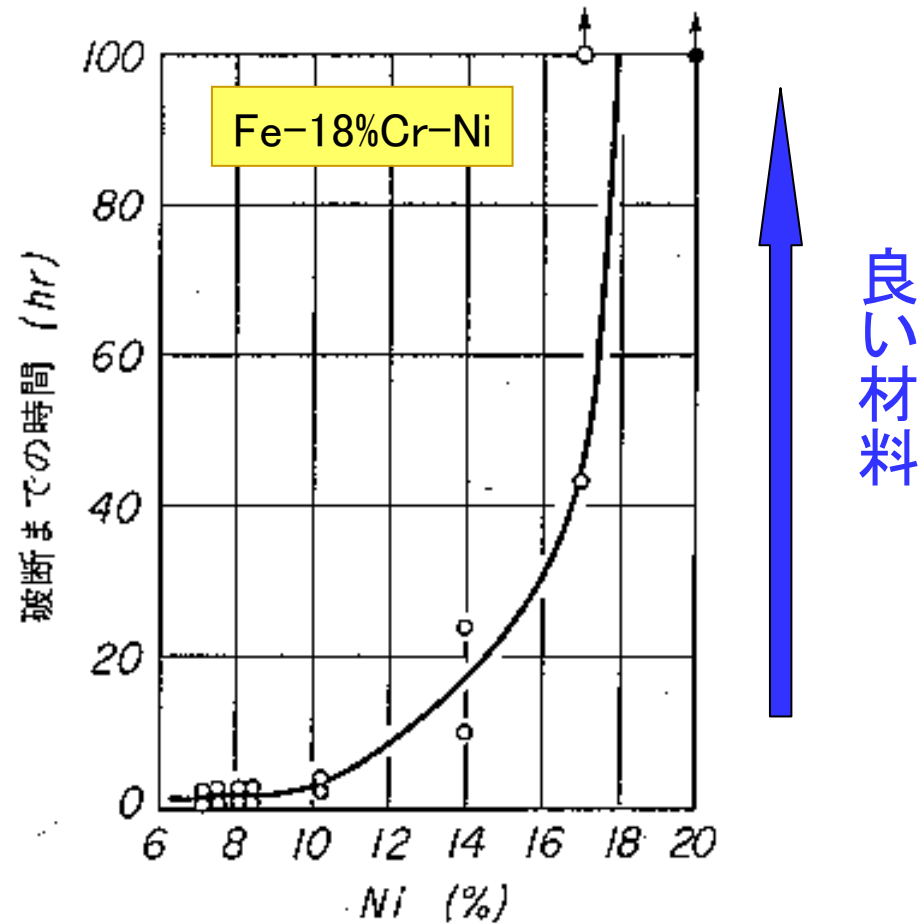
2%のMo添加が最良, Niの添加量が多いほど良い。

## \* 応力腐食割れ



Clイオンが存在する腐食環境において静的応力が加わった状態でステンレス鋼を使用する場合、ある時間を経て部材が破断してしまう現象。  
使用中に材料の表面でマイクロな塑性変形が起こり、そこに形成された腐食孔を基点として亀裂が発生して破壊が起こる。

## MgCl<sub>2</sub>溶液中での応力腐食割れ感受性に及ぼすNiの影響



10%以上のNiを添加すると効果が現れてくる。

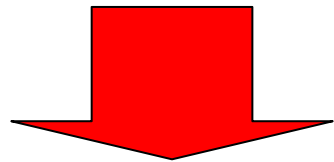
炭素が多いと応力腐食割れは助長される。(Lの有無に注意)

## カネミ油症事件

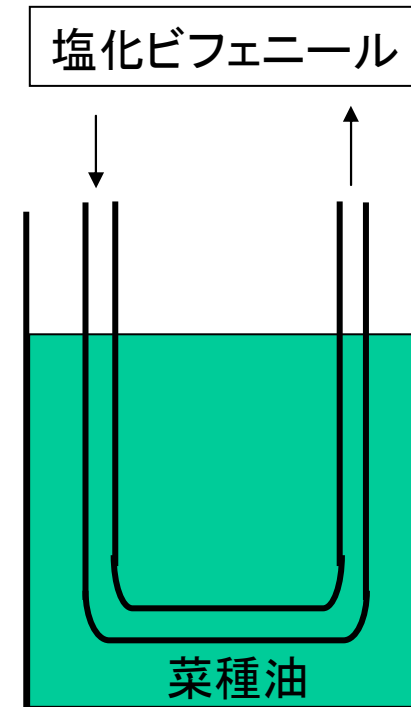
冷却媒体として使用していた塩化ビフェニール(猛毒)が菜種油の中に混入して、多数の毒物被害者を出した事件

原因:

塩化ビフェニールを流すためのパイプとして、設計段階ではSUS304Lのシームレスパイプを使用することが指示されていたのに、実際に使われていたのはSUS304の溶接パイプであった。



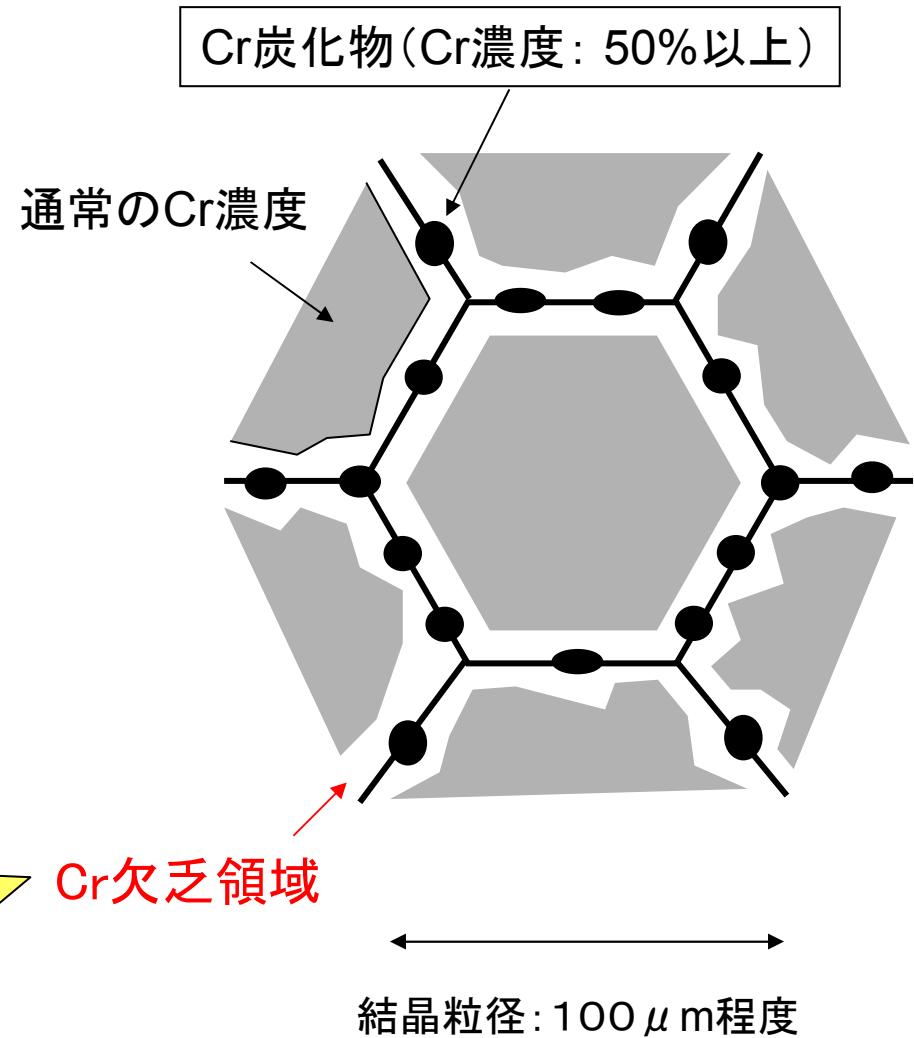
ステンレス鋼の鋭敏化現象



## \* 鋭敏化とは

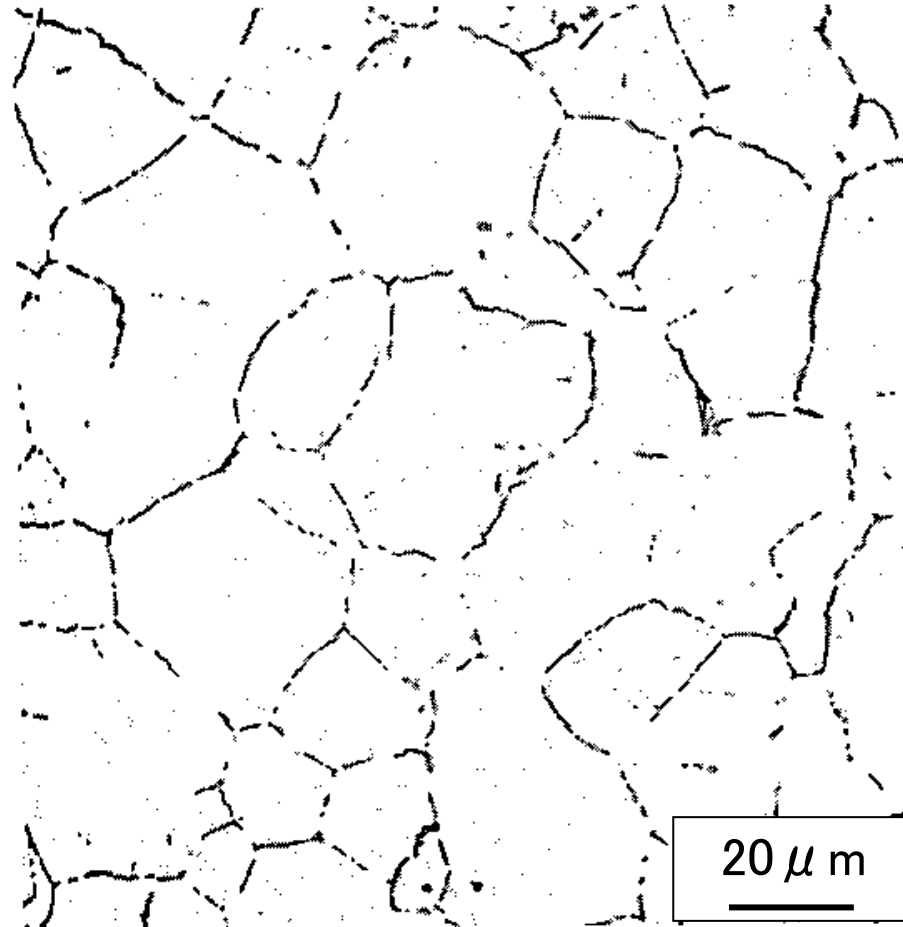
結晶粒界に Cr炭化物が析出して**周辺のCrを奪い取る**ことによって、結晶粒界近傍に**Cr欠乏領域**ができる現象。

周囲が腐食されにくいだけに、局所的な優先腐食が起こる



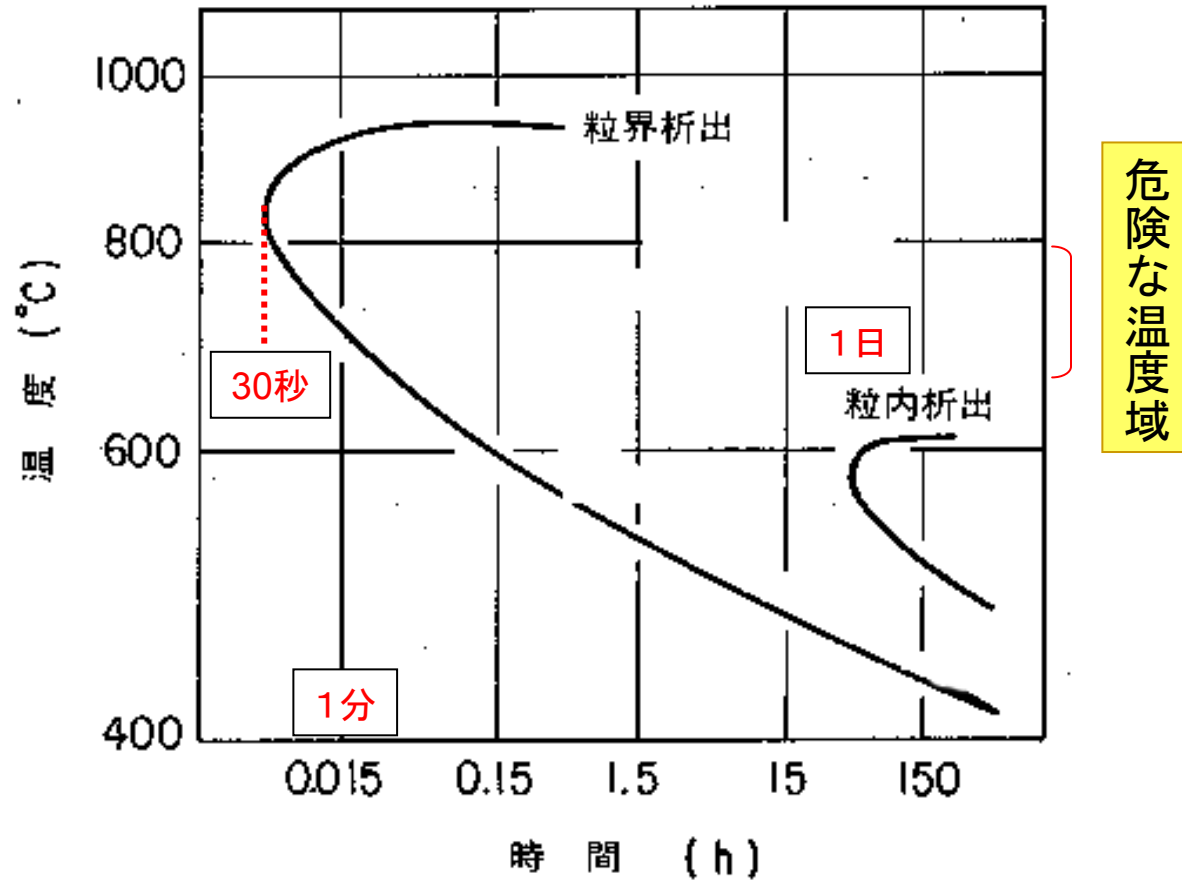


## SUS304の粒界に析出した高Cr炭化物



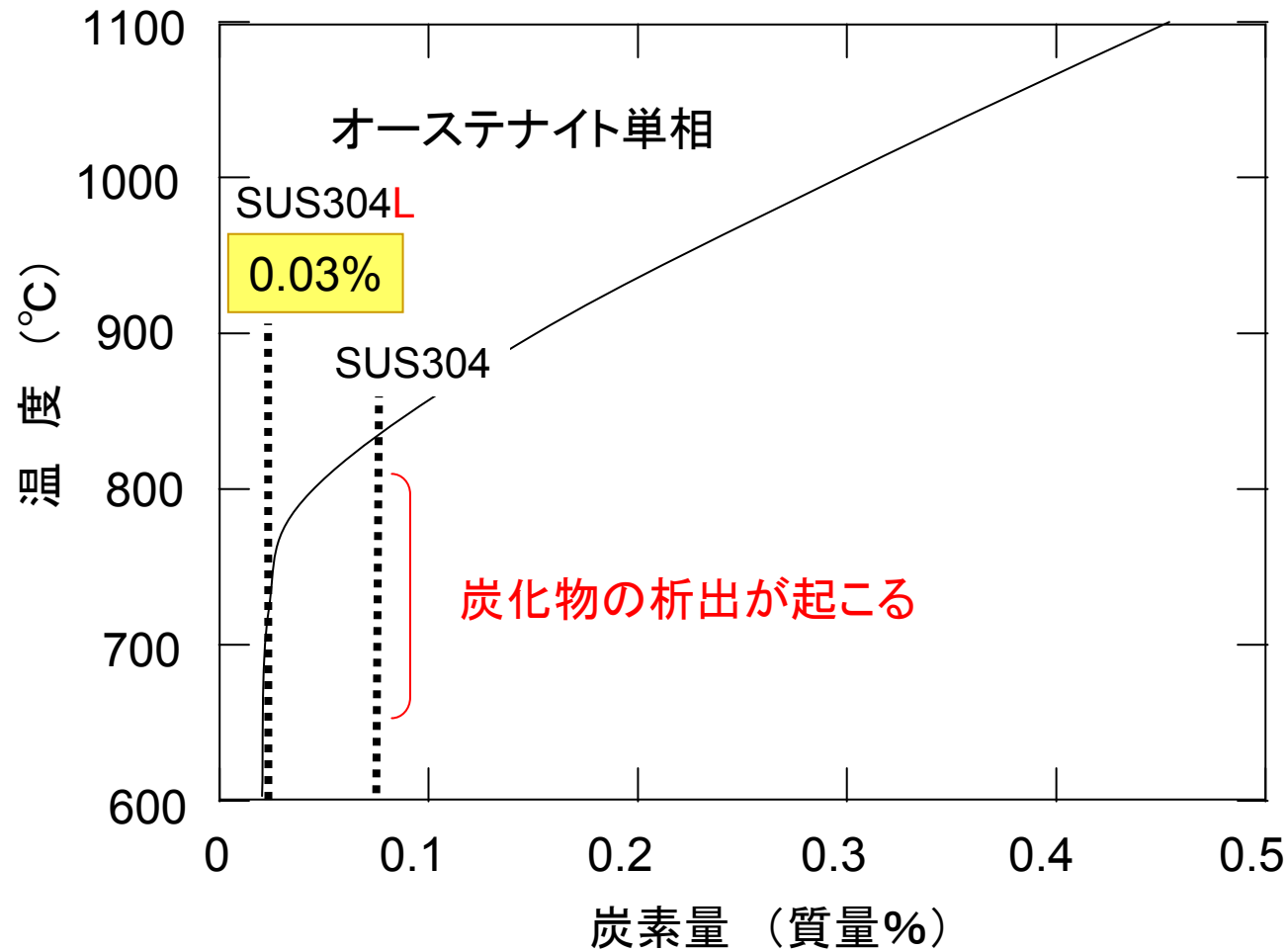
700°C - 15hの鋭敏化処理

## 高Cr炭化物の析出に必要な時間



炭化物の析出は、**650~800°C**では短時間で起こる。

# オーステナイト(18%Cr-8%Ni)における炭素の固溶限

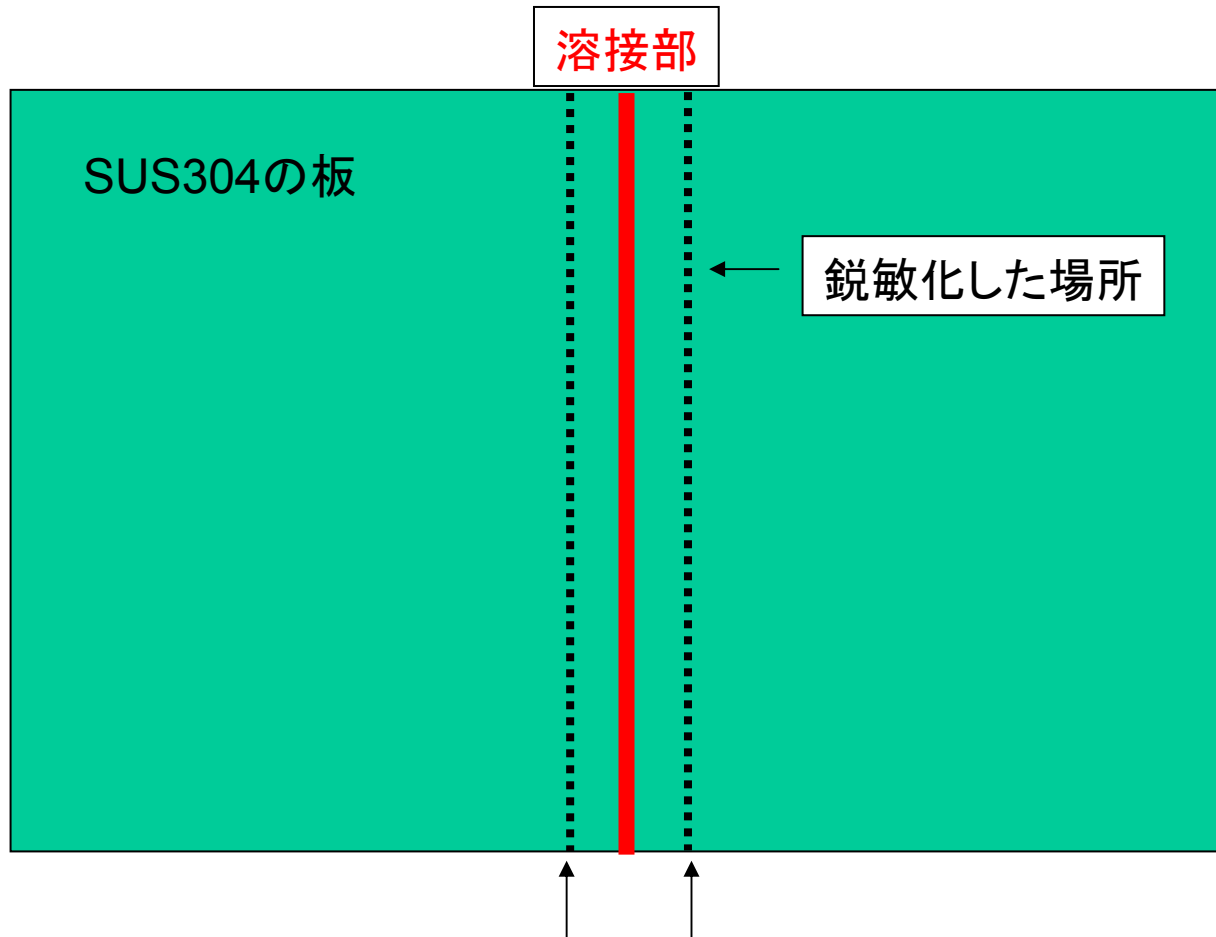


## \* 鋭敏化が起こる条件

- 1) 炭素含有量が0.03%以上であること
- 2) Cr炭化物が析出できる温度域に加熱されること(オーステナイト系ステンレス鋼の場合, 650~700°C)

\* 1000°C以上の温度に十分に保持して, そのあと急冷すれば鋭敏化は起こらない。

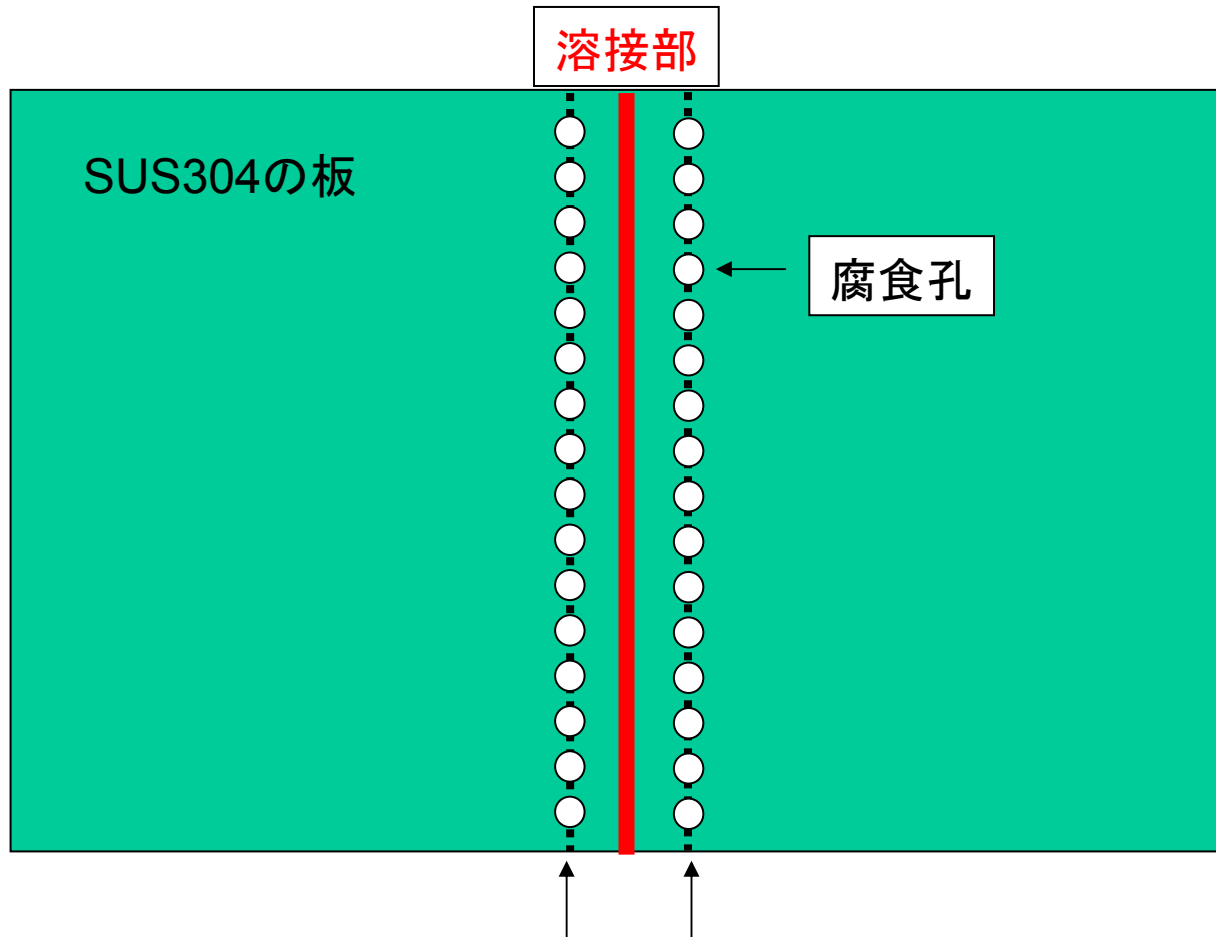
## 鋭敏化の事例：SUS304を溶接した場合



溶接箇所から数ミリ離れた場所で鋭敏化が起こる。

溶接によって適度な温度域に過熱される！

## SUS304の溶接材を酸の中に長時間浸漬した場合



**鋭敏化が起こった場所で穴が開く！**

塩素イオンがある酸や有機溶媒ではとくに起こりやすい

## カネミ油症事件の真相と結末

- ・SUS304の溶接パイプでは溶接時にすでに鋭敏化が起こっていた。
- ・長時間、塩化ビフェニールをパイプ内に流している間に、鋭敏化した領域の優先腐食が進行し、最終的にその部分に穴が開いてしまった。
- ・パイプに空いた穴から塩化ビフェニールが少しずつ流出し、食用の菜種油に混入。
- ・その菜種油を使用した人々が中毒症状を起こした。
- ・多額の賠償、ならびに社会的信用失墜のために会社が倒産。

## どうすればカネミ油症事件は防げたか

- ・設計時の指示通り，SUS304Lのシームレスパイプを使用する（最善の策）。
- ・溶接パイプでもよいから，SUS304Lを使用する。
- ・SUS304を選択するならば，シームレスパイプを使用する（ただし，食品が混入する場所では溶接という施工を行えない）。

頭を使いたくないときはお金を使い，SUS304Lを取り合えず使用する。



## その他の注意すべき現象

### \* 疲労破壊

繰り返しの応力負荷によって部材に亀裂が入り、亀裂が時間とともに進行して最終的に破断してしまう現象。腐食環境では一般に疲労破壊は促進される(間接的要因)。

## おわりに

1) 材料の性質はppmの単位の成分濃度の違いで大きく変わってしまうことがあるので、材料に関する基礎的な知識をもっていないと大きな社会問題を起こしてしまうことがある。

2) 材料のミルシートには有効な情報が含まれているので、これをうまく活用すれば安価で効果的な品質管理を行うことができる。

ご清聴，有難うございました。

# 金属材料勉強会 確認テスト

解答

# 設問 1

- 鉄に何の元素が何%以上含まれていると、ステンレス鋼と呼ばれるでしょうか。

- **解答**

**Cr (クロム) が 12 %以上**

# 解説

- 鋼にCrを12%加えると通常的环境下では錆びなくなります。
- 12%以上になると耐食性が改善するものの著しい変化はないためCrを12%以上含むものをステンレス鋼と定義されています。

## 設問 2

- ・ オーステナイト系ステンレスSUS316にはSUS304に含まれていない元素が含まれています。その元素名と含有%を答えなさい。

### ・ 解答

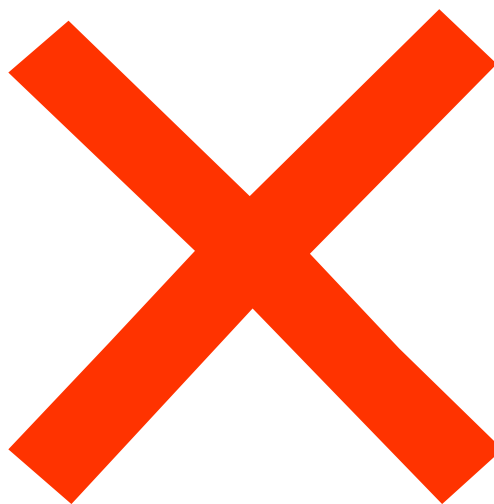
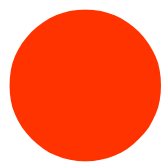
Mo (モリブデン) が 2.5 %以上

# 解説

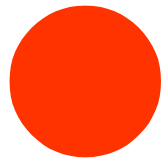
- 耐塩素腐食性の改善にはMo 2%の添加が最も良くそれ以上入れると緩やかに悪くなってゆきます。
- SUS304とSUS316の決定的違いはMoの含有(量)によるのでモリブデンチェッカーで、識別できるのです。



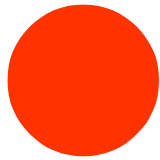
# 設問 3 の①



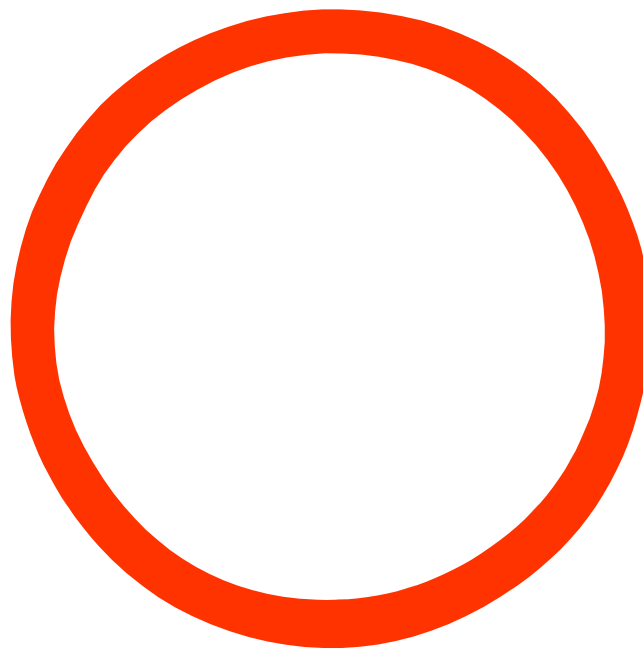
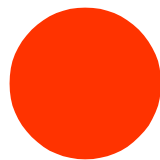
# 設問 3 の②



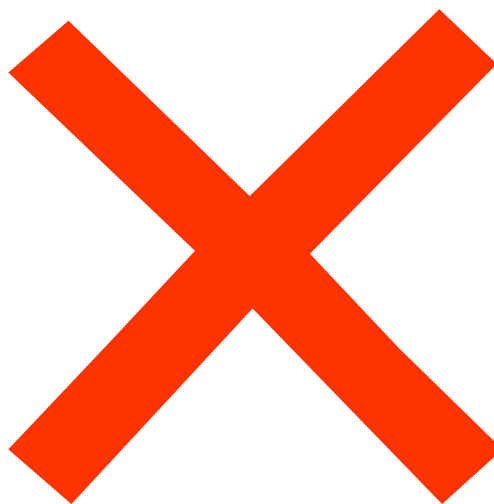
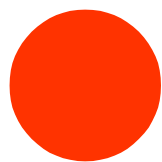
設問 3 の③



設問 3 の④



設問 3 の⑤



いかがでしたか？

勉強会終わり、お疲れ様でした。