

物質界を把握する2つの軸

この軸に沿った講義の配置には特別な意味はない

人間・社会との関わり

統合性・応用の広がり

小宮山

小関

鳥海

杉山

駒宮 家 小島

須藤

駒宮

理学(物理・化学)的な探求の広がり

10^{-10}

10^{-6}

10^{-2}

10^2

10^6

10^{10}

(m)

大きさ



※ 図の出典: 須藤靖 著『ものの大きさ』
東大出版会 (2006年)
イラスト: いずもり よう

2010年度俯瞰講義 第11回

物質から材料(マテリアル)として使われるまで - 鉄鋼材料を例として -



平成22年12月16日

工学部 マテリアル工学科

教授 小関 敏彦

「※: このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。」

物質から材料(マテリアル)へ



⌘ http://www.um.u-tokyo.ac.jp/web_museum/

鉄鉱石 (Fe_2O_3)



⌘ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chrysler_Building_2007.JPG



⌘ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pal_möltanks.jpg



⌘ <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:GoldenGateBridge-001.jpg>



⌘ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:2005_toyota_corolla_s_front_left_2.jpg

金属材料の生産量(世界)

鉄鋼材料

1,329 百万トン

アルミ・アルミ合金

36 百万トン

銅・銅合金

17 百万トン

亜鉛・亜鉛合金

11 百万トン

ニッケル・ニッケル合金

1.7 百万トン

チタン・チタン合金

0.2 百万トン

銀

2 万トン

金

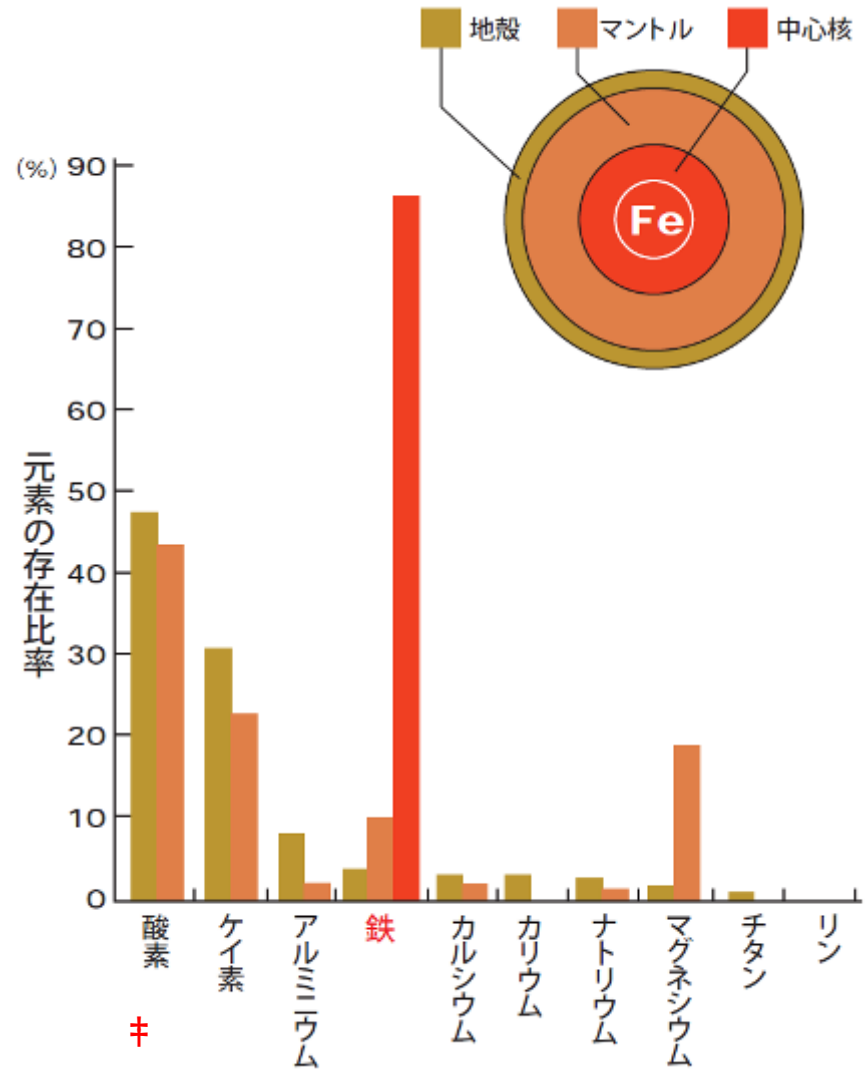
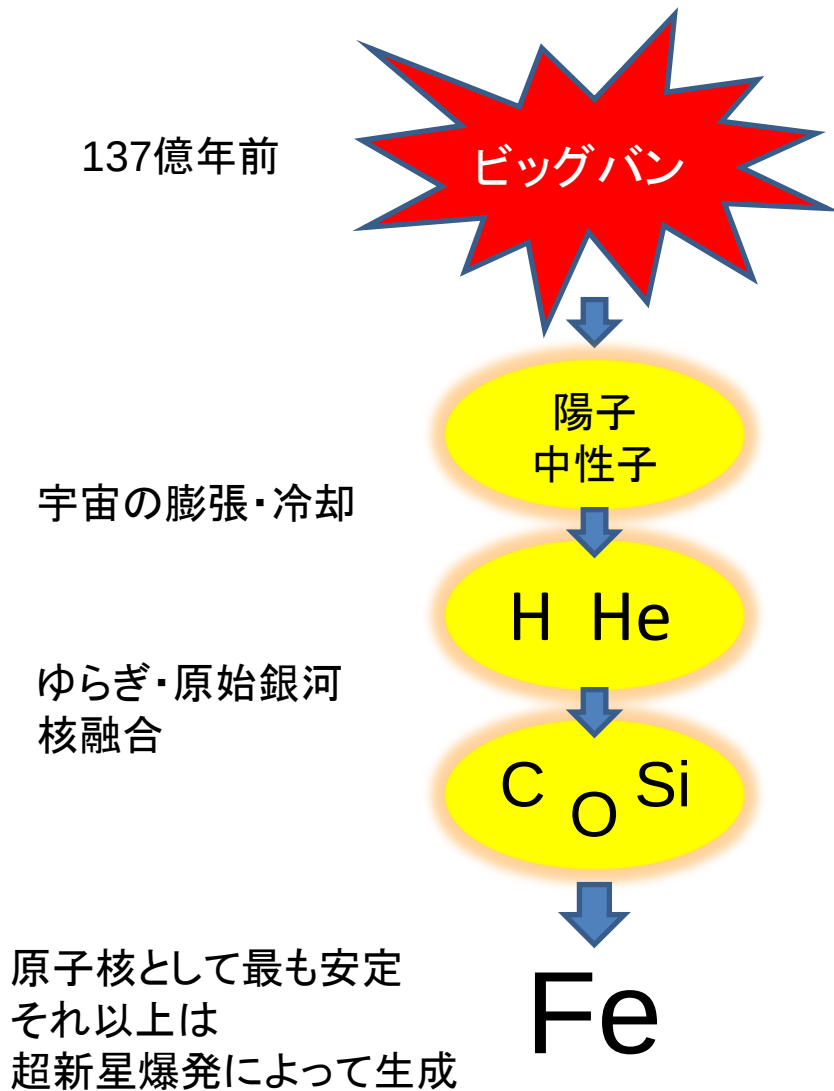
0.2万トン

(2007-2008)

今日の話

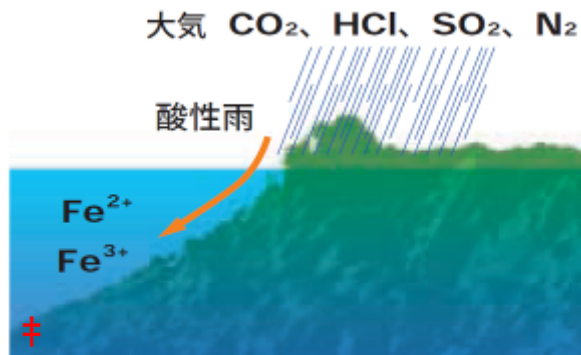
1. 鉄の起源
2. 材料としての鉄の歴史
3. 現代の鉄鋼の製造法
4. 現代、未来の鉄鋼材料の役割

鉄の起源



地球の元素存在割合

地表の鉄鉱石の形成



地球の誕生当時、酸性雨により地表の鉄分が鉄イオンとして海に入っていた。



約 27 億年前に大量発生した光合成を行う「シアノバクテリア」により海中に供給された酸素が鉄と結合して「鉄鉱床」が形成された。



海底の隆起により鉄鉱石の鉱山ができあがった。



鉄鉱石の露天掘り(豪)



縞状鉄鉱層

鉄鉱石	2,320
ボーキサイト	280
銅	6.1
亜鉛	3.3
鉛	1.2
ニッケル	1.1

単位：億トン

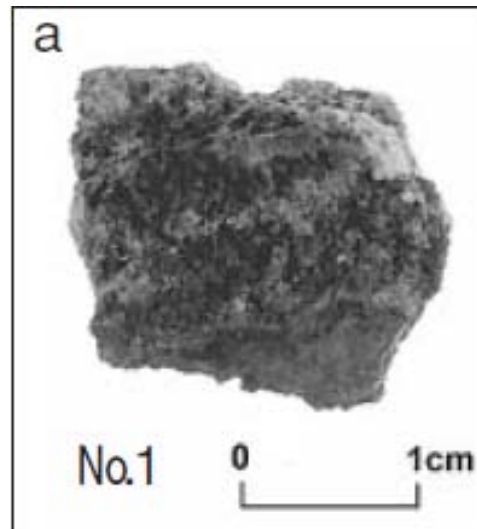
† 地表部分からの可採量

鉄の時代の始まり

- 製鉄以前

- 隕鉄 (iron meteorite)を加熱してハンマーで加工
- 古代エジプト 鉄製の装身具
- シュメール人(メソポタミア南部 B.C.3000)「天の金属」

- 製鉄の開始
B.C.2000-1500



✦ 岩手県立博物館だより No.106, 2005. 9

紀元前19世紀のアッシリアの鍛鉄
カマン・カレホユック遺跡(トルコ)

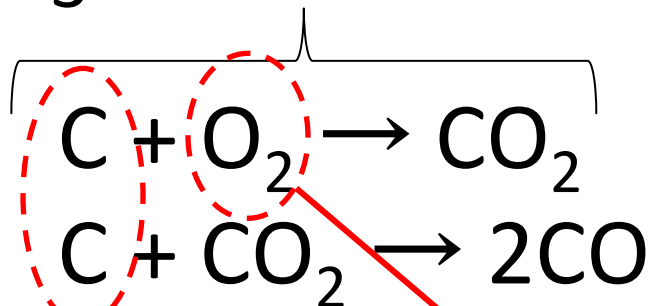
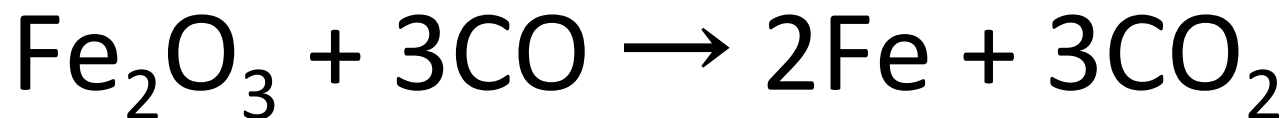


紀元前13世紀ヒッタイト人

鉄製武器と車軸に鉄を装着した軽戦車

✦ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Museum_of_Anatolian_Civilizations091.jpg

製鉄法



熱源・還元材

送風

温度・生産性

木炭

人力ふいご

↓
石炭 (16C)

↓
風車(15C)

↓
コークス (18C)

↓
蒸気機関 (18C)

上昇

古代の製鉄(ルッペ炉)



鉱石を木炭とともに加熱
ふいごで送風



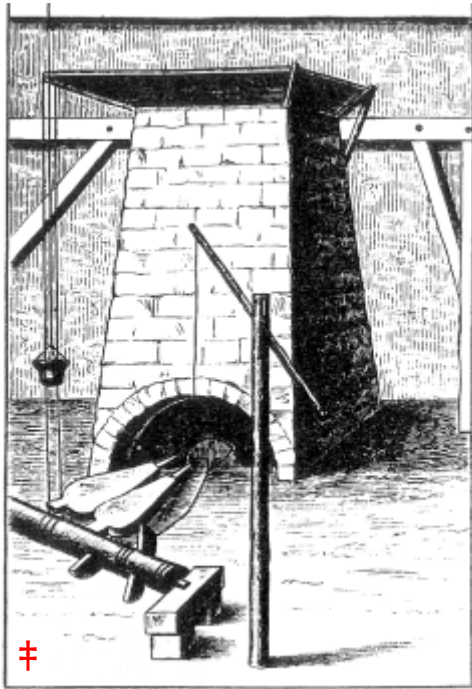
海綿状の鉄(ルッペ)生成



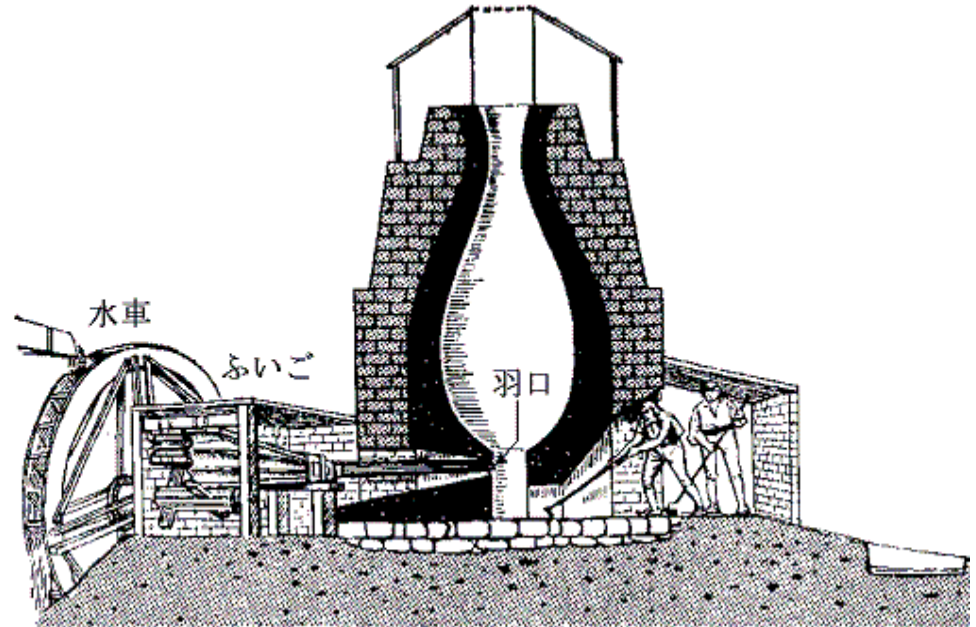
加熱してハンマーでたたき整形
不純物を取り出す(鍛造)

炉の大きさ: 0.5-1m
生産量: 数kg/日

中世の製鉄（ルッペ炉→高炉）



ルードウィヒ・ベック『鉄の歴史』
中沢護人 訳、伊藤書店(1968年)



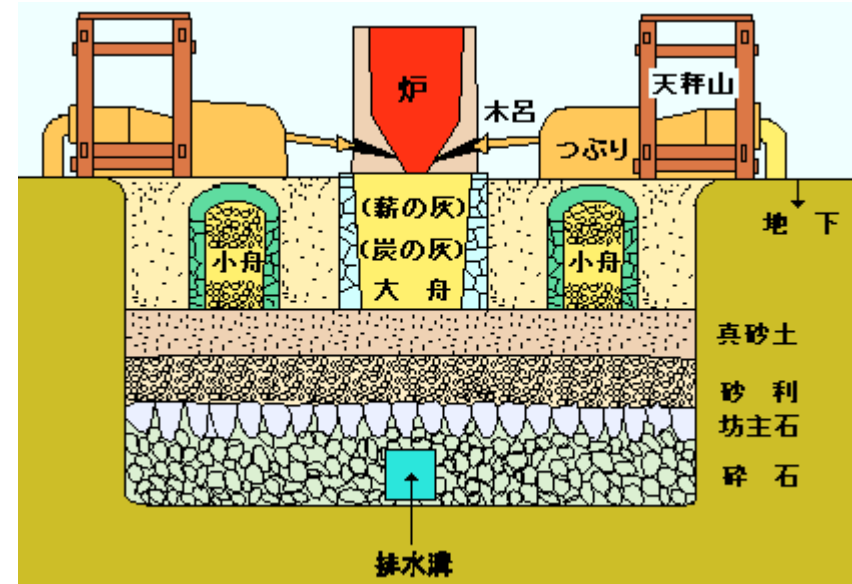
✠ 16 世紀イギリスの高炉の想定図 (Aitchison, a history of metals, 2,
Leslie Aitchison, A History of Metals: 2 vols. , Interscience Publishers, Inc. (1960), P410 Fig. 179-A

- 8世紀頃 次第に縦型に（高さ3～4m）依然、海綿状の鉄。数100kg/d
ただし中国では古代から縦型炉で製鉄
- 14世紀頃 高炉高さ6m、送風に水車の利用。炉底から送風。
熔融鉄を取り出す。約1ton/d

たたら（日本、明治初期まで）



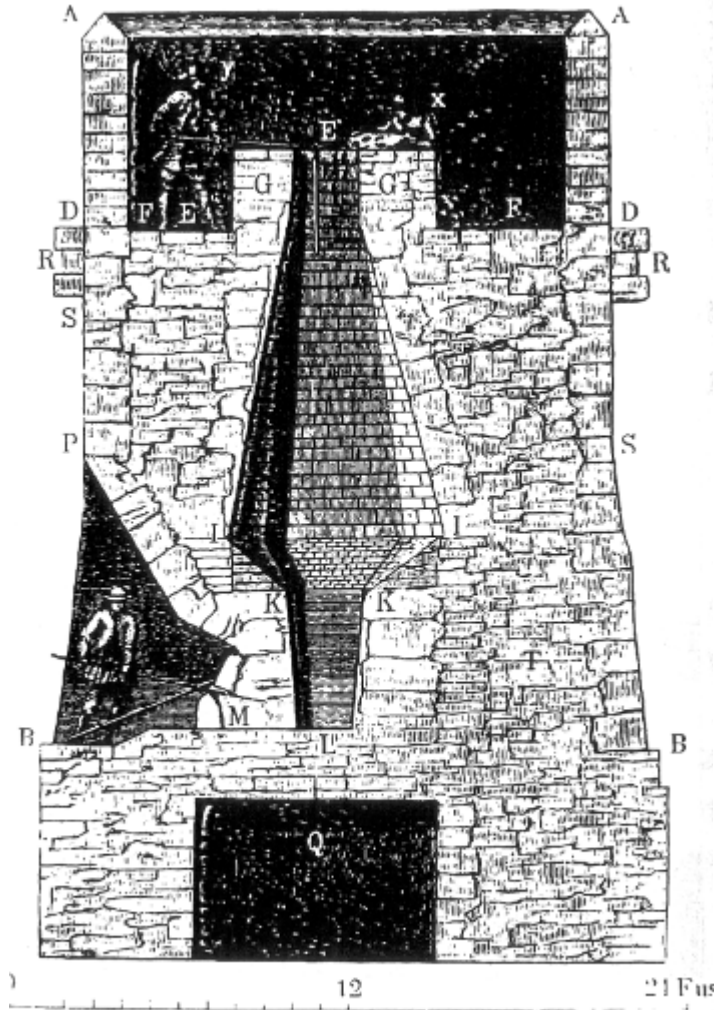
✦ 島根県安来市 和鋼博物館



✦ <http://www.hitachi-metals.co.jp/tatara/nnp0102.htm>

- 砂鉄＋木炭 → 鉄1トンに対し木炭6トン
- 人力ふいご。炉を横長にしてふいご数を増やす

近世～近代の高炉法



✦

フランスのBerryの高炉

奥村正二『製鐵製鋼技術史』伊藤書店(1944年),P52



✦

ルードウィヒ・ベック (著),鉄の歴史(第4巻 第2分冊), (1969), 中沢 護人 (翻訳), たたら書房, P56

278 図 50年代のイギリスの一般的な高炉

1850年代のイギリスの高炉

木炭の代わりに
コークスの使用

水車の代わりに
蒸気機関を使った
送風

近代～現代の製鉄



✚

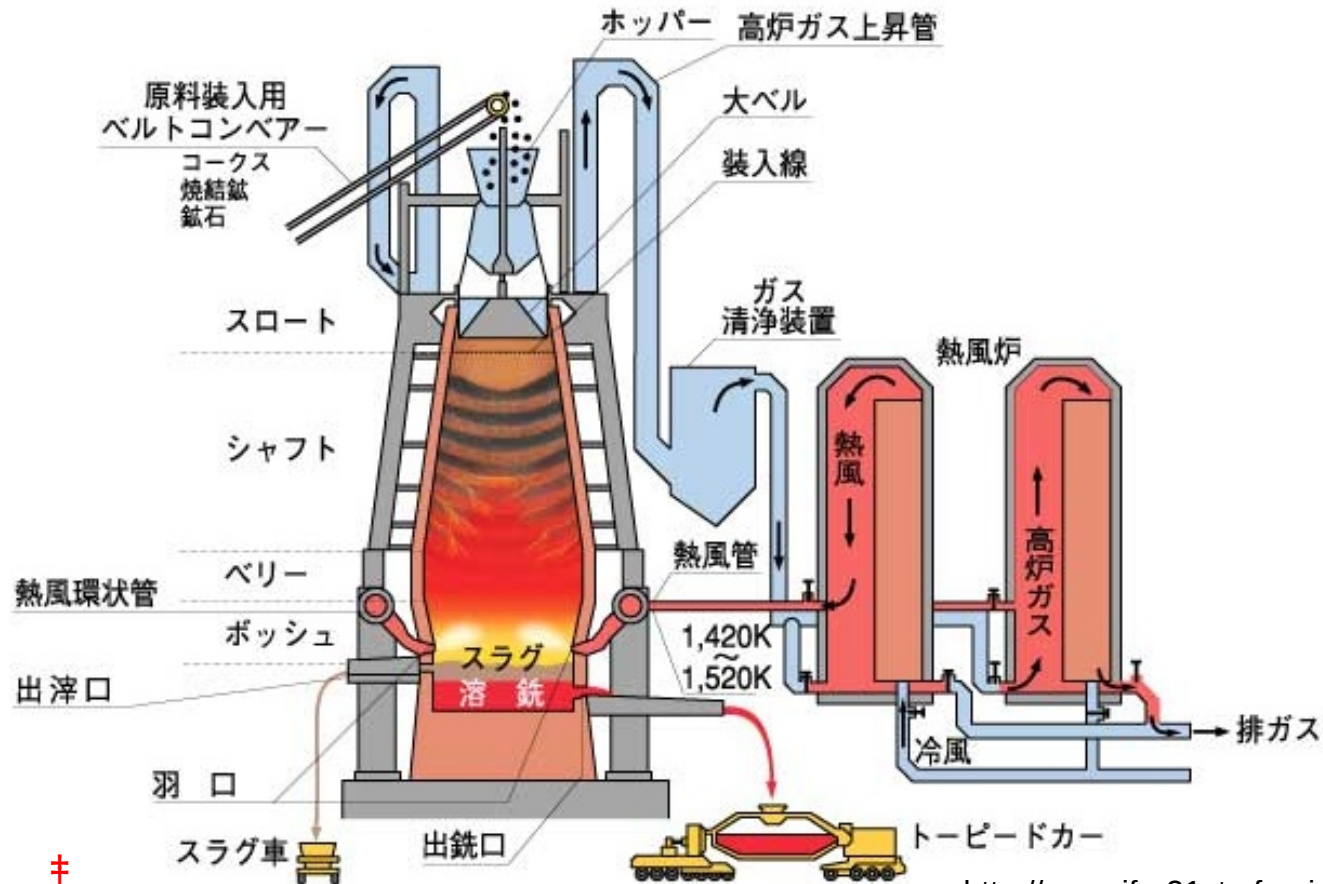
1901年日本初の高炉
(官営八幡製鉄所)
生産 300トン/日



http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Higashida_First_Blast_Furnace.JPG

現在の高炉(八幡製鉄所)
日本の高炉 世界最大級
高炉1基あたりの生産 1万トン/日

現代の高炉製鉄法



http://www.jfe-21st-cf.or.jp/jpn/chapter_2/

高炉の大型化

- 送風圧
- 原料粒度・固さにより実現

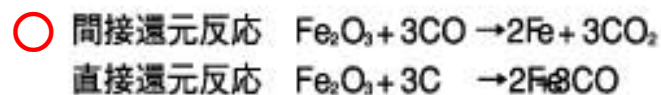
コークス

- 石炭を乾留
- 高発熱量
- 高温で高硬度

送風

- 高圧化
- 熱風(1200-1300°C)
- 酸素富化・微粉炭

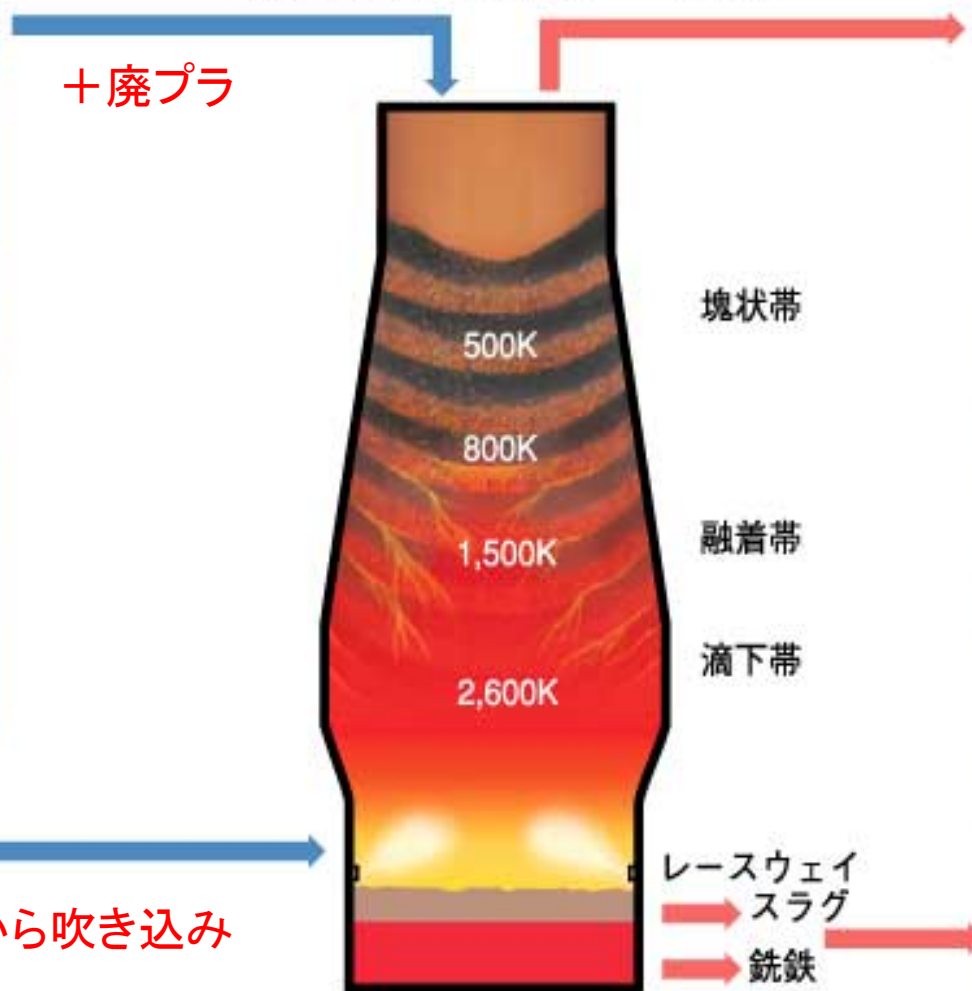
高炉 鉄鉱石の還元→鉄（製鉄）



→発電・燃焼用

装入原料		
原料	平均粒径 (mm)	装入量 (kg/銑鉄t)
コークス	50	380
焼結鉱	20	1,160
塊鉄石	25	280
ペレット	12	190

送風条件	
送風量 (Nm ³ /銑鉄t)	995
微粉炭 (kg/銑鉄t)	120
湿 分 (kg/Nm ³)	28
温 度 (K)	1,453
圧 力 (MPa)	0.40
酸素富化率 (vol.%)	2.3



炉頂ガス			
ダスト量 (kg/銑鉄t)		16	
ガス組成	量 (Nm ³ /銑鉄t)	1,533	
	温 度 (K)	430	
	圧 力 (MPa)	0.25	
	組 成	CO (vol.%)	22.0
		CO ₂ (vol.%)	22.8
H ₂ (vol.%)		4.2	

溶銑、スラグ	
溶銑温度 (K)	1,800
スラグ比	0.30

組 成 (mass %)	
銑 鉄	スラグ
C 4.50	SiO ₂ 32.8
Si 0.39	CaO 42.5
Mn 0.27	Al ₂ O ₃ 14.3
P 0.10	MgO 6.5
S 0.03	MnO 0.26
	S 0.96

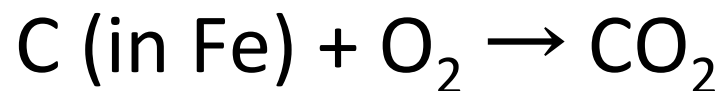
⌘ http://www.jfe-21st-cf.or.jp/jpn/chapter_2/2d_2_img.html

→セメント 16

1)製鉄(高炉)

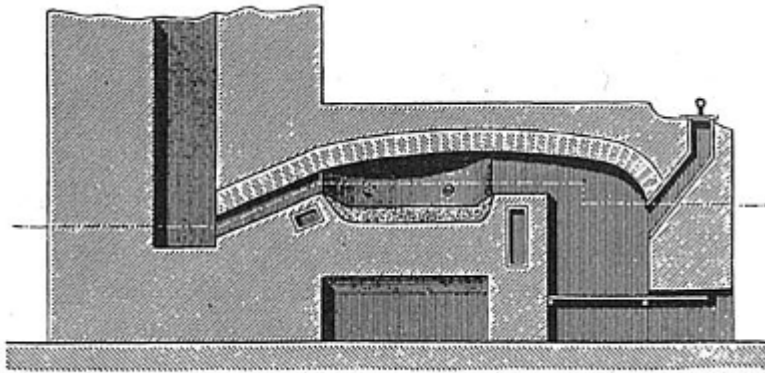
鉄から鋼へ

- 鉄は炭素を含むほど強い。
- 炭素2%以下の鉄を「鋼」と呼ぶ。強さとしなやかさを併せ持つ。我々が日常使っているのは「鋼」。
- 炭素を2%以上含む鉄は「鑄鉄」。非常に脆い。
- 高炉法では溶鉄は炭素を4.5%含む。そのままでは「鋼」として使えない。
- 高炭素の鉄から鋼への転換が必要→「製鋼」

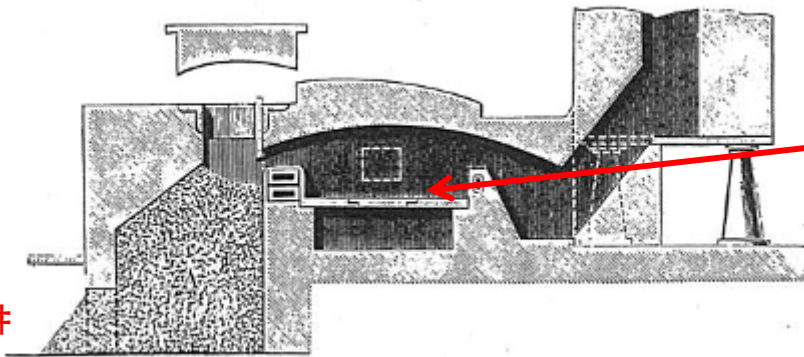


製鋼法(近世～近代)

パドル(Paddle)法

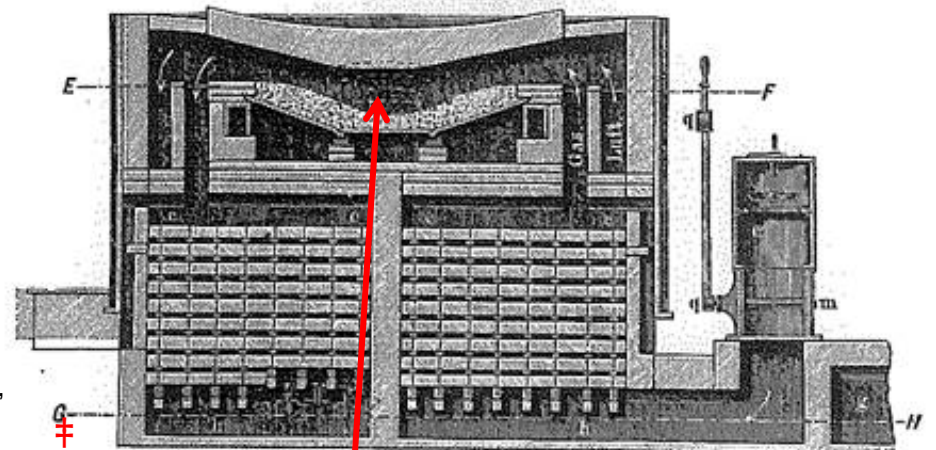


ルードウィヒ・ベック (著), 鉄の歴史〈第4巻 第2分冊〉, (1969), 中沢 護人 (翻訳), たたら書房



ルードウィヒ・ベック (著), 鉄の歴史〈第4巻 第2分冊〉, (1969), 中沢 護人 (翻訳), たたら書房

平炉

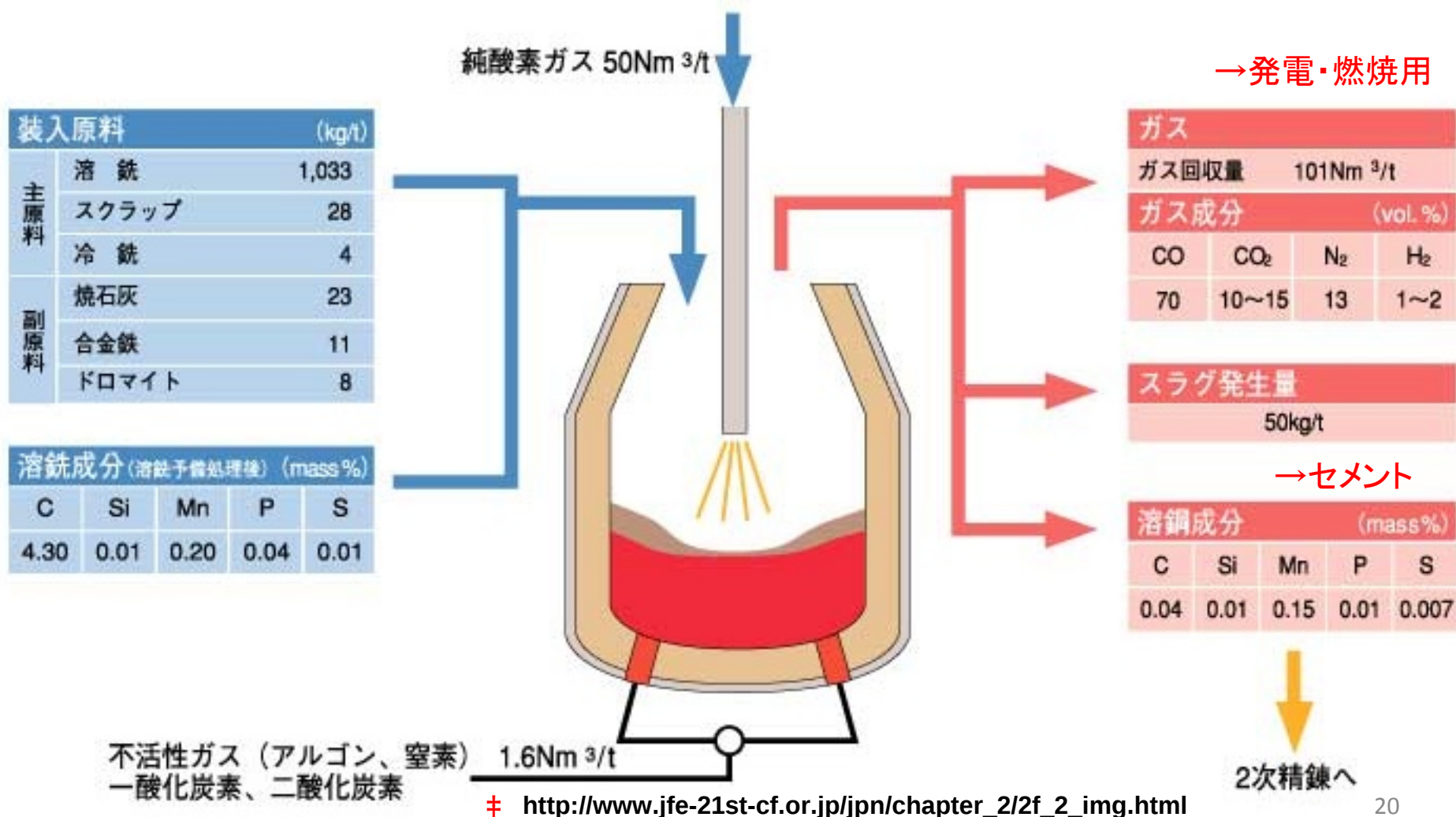


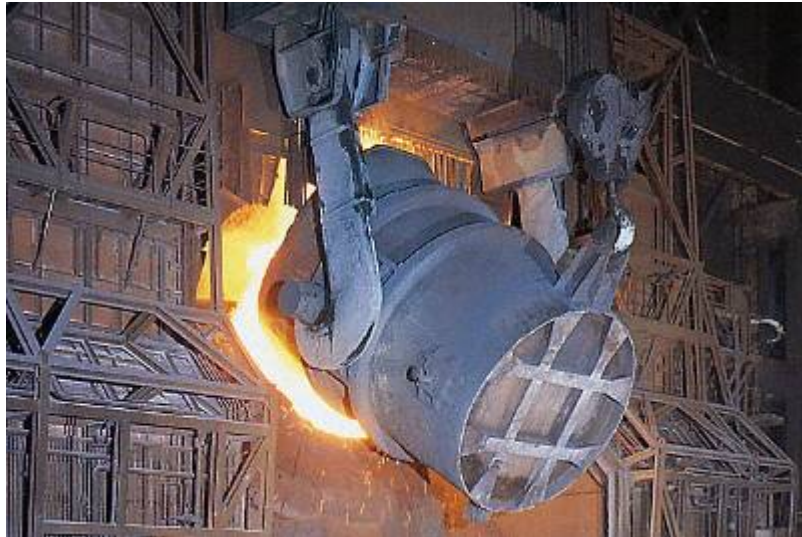
ルードウィヒ・ベック (著), 鉄の歴史〈第4巻 第2分冊〉, (1969), 中沢 護人 (翻訳), たたら書房

熔融銑鉄

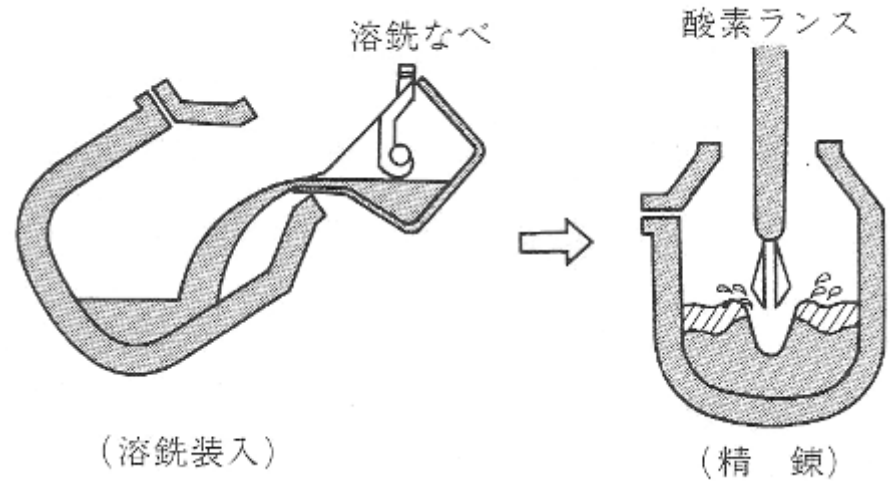
転炉法

ベッセマー(1856)→トーマス(1879)→LD(1959)





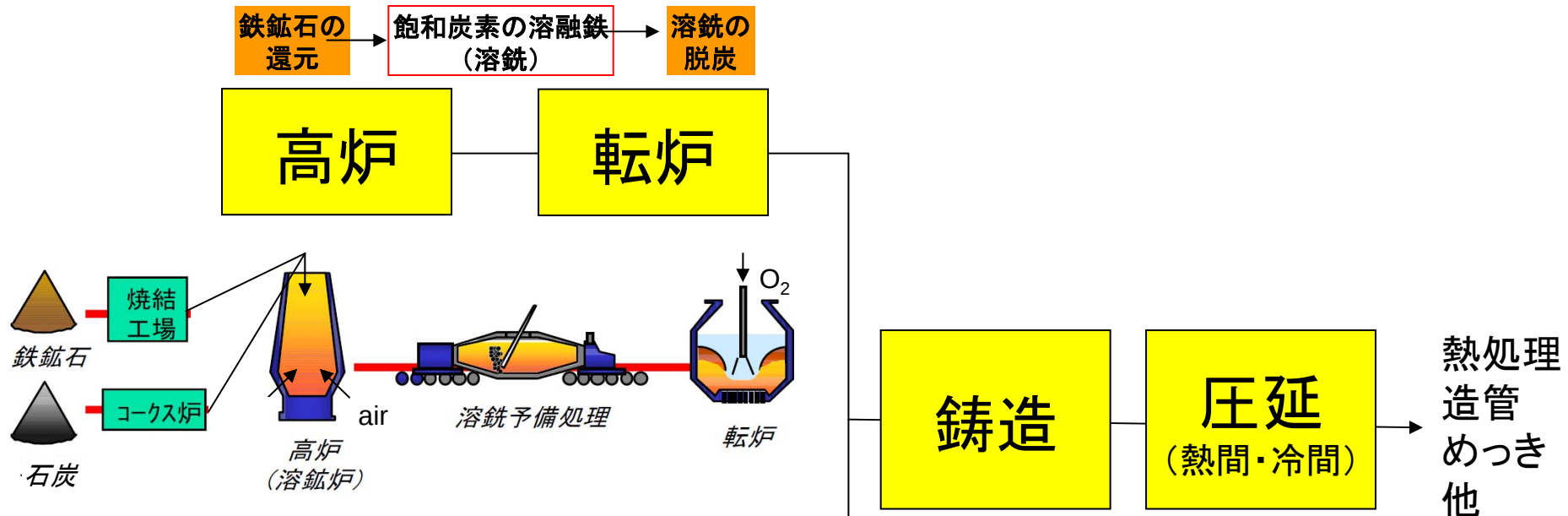
✚ 出典:IPA「教育用画像素材集サイト」<http://www2.edu.ipa.go.jp/gz/>
<写真提供>新日本製鐵



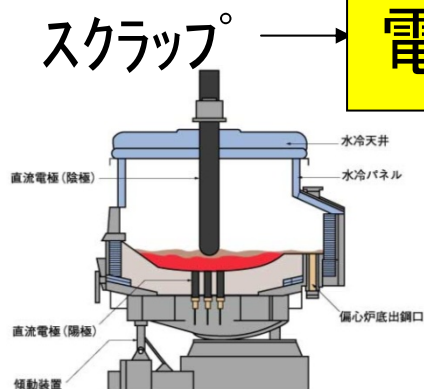
炉容 200～300 ton
生産 10,000 ton/d

現在の鉄鋼の製造の流れ

<高炉・転炉法>



<電炉法>



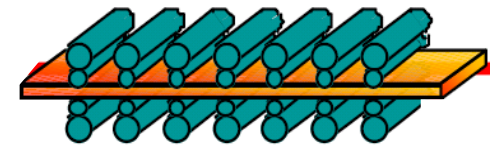
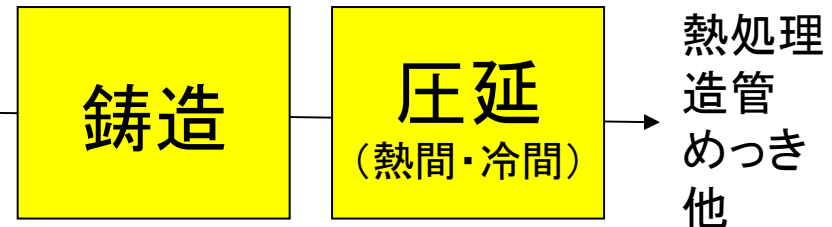
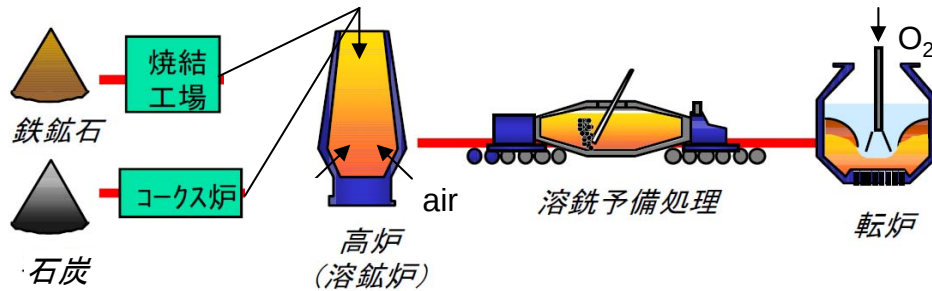
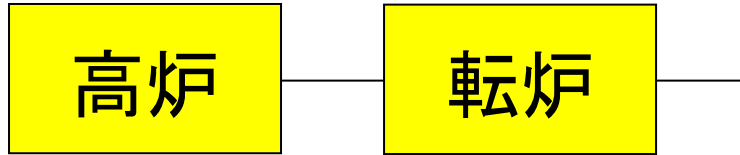
※ www.jsce.or.jp/committee/steel/subcomit.../20050701-3.pdf
(2010年12月16日時点)

4)熱間圧延

現在の鉄鋼の製造の流れ

<高炉・転炉法>

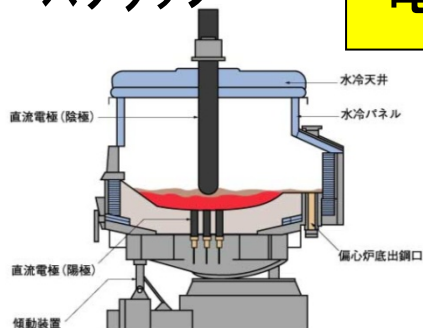
鉄鉱石の還元 → 飽和炭素の溶融鉄（溶銑） → 溶銑の脱炭



ホットストリップミル

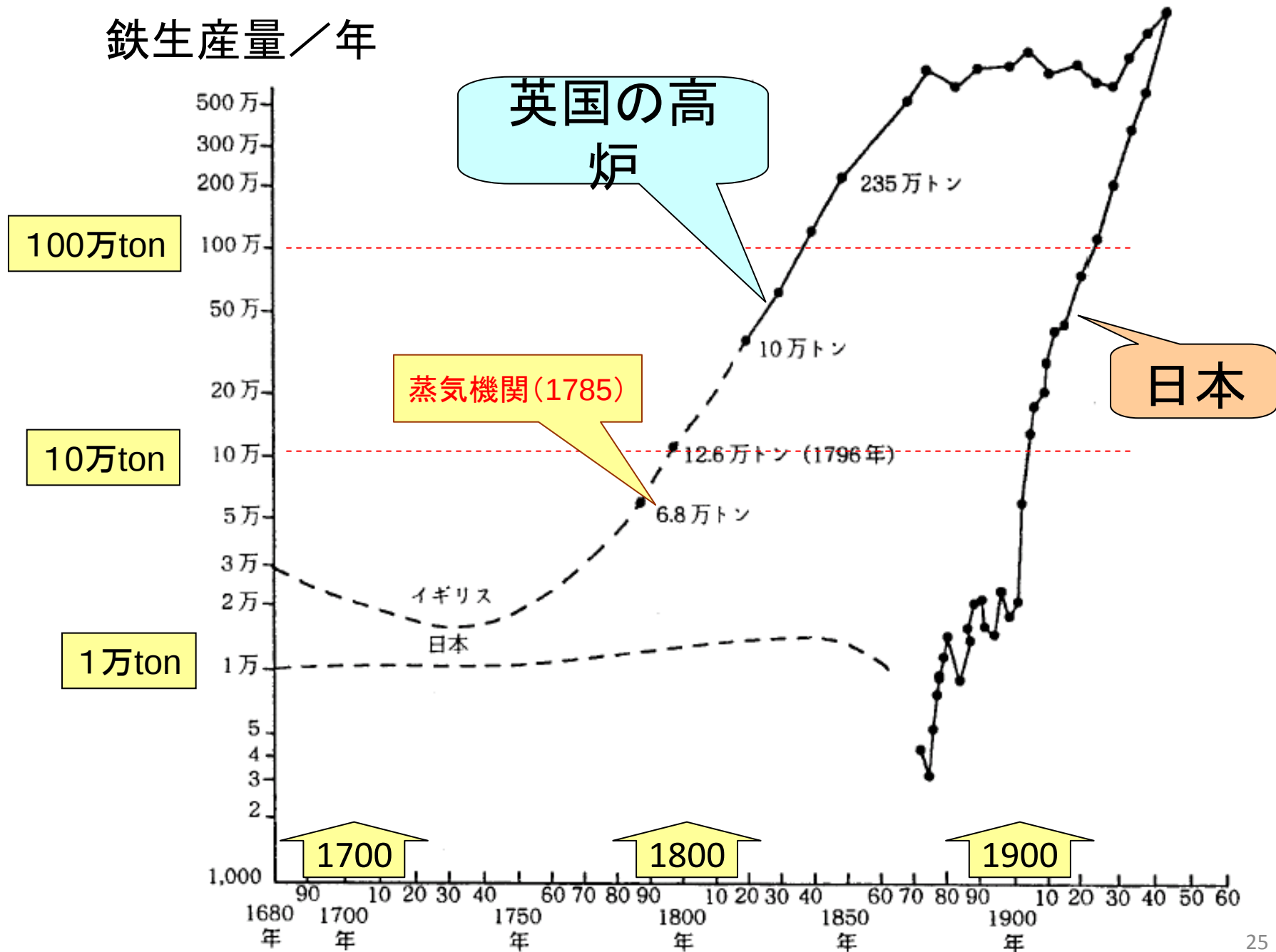
<電炉法>

スクラップ → 電気炉



※ www.jsce.or.jp/committee/steel/subcomit.../20050701-3.pdf
(2010年12月16日時点)

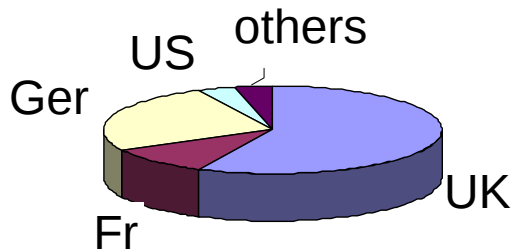
鉄生産量／年



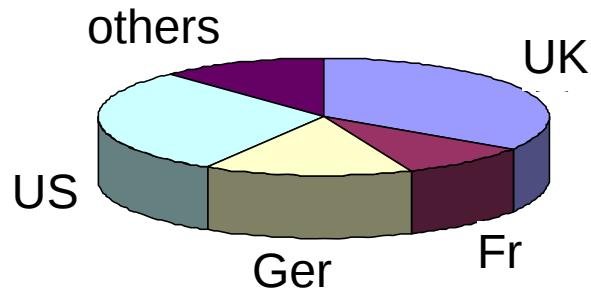
産業革命を牽引した鉄

鉄鋼の製造 ⇔ 輸送、動力、機械

19世紀の世界の鉄鋼生産

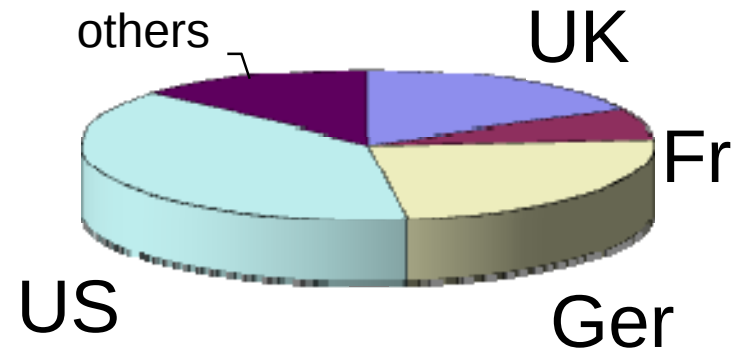


1865



1885

600万トン



1900

2,700万トン

中沢護人『ヨーロッパ鋼の世紀：近代溶鋼技術の誕生と発展』
東洋経済新報社、1987年、200頁、表2のデータを元に作成。

国別鉄鋼生産 (2008)

1. 中国	50,031万トン
2. 日本	11,874
3. 米国	9,135
4. ロシア	6,851
5. インド	5,779
6. 韓国	5,363
7. ドイツ	4,583
世界	132,912

会社別鉄鋼生産 (2009)

1. ArcelorMittal(欧)	7,750万
2. Baosteel(中)	3,130
3. POSCO(韓)	3,110
4. 新日鉄(日)	2,650
5. JFE(日)	2,580
6. Shangan(中)	2,050
7. Tata Steel(インド)	2,050

鉄のない生活は考えられない

建築, 橋, 交通, 輸送

エネルギー

家電, 工具, 産業機械

医療機器, etc

現在の鉄鋼材料

- 私たちが使う鉄鋼材料は、19世紀半ば、高炉を使った鉄鉱石還元法、および製鋼法の確立によって実現した炭素量の低い **Modern Steel「鋼」**
- 現在約3,500種の鉄鋼材料。
- その75%は直近20年間に開発。
- 現在生産されている自動車に使われる鉄鋼材料の70%は10年前には存在しない新しい鉄鋼材料
- 60%以上がリサイクルされる最もリサイクルの進んだ材料

鉄鋼材料は常に「新しい材料」→常に鉄器時代
社会・産業・生活に不可欠

Titanic, 1912

著作権上の都合により、
ここに挿入されていた図は
削除致しました。

橋・・・Possible without steel?



岩国錦帯橋(193m, 1692)

http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:20100724_Iwakuni_5235.jpg

プラハ・カレル橋(516m, 1400)



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karlův_most_od_Sovových_mlýnů.jpg

橋・・・Possible without steel?



http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Tokyo-bay_aqualine01.jpg

総長さ15.1km
鋼材使用量 約7万トン

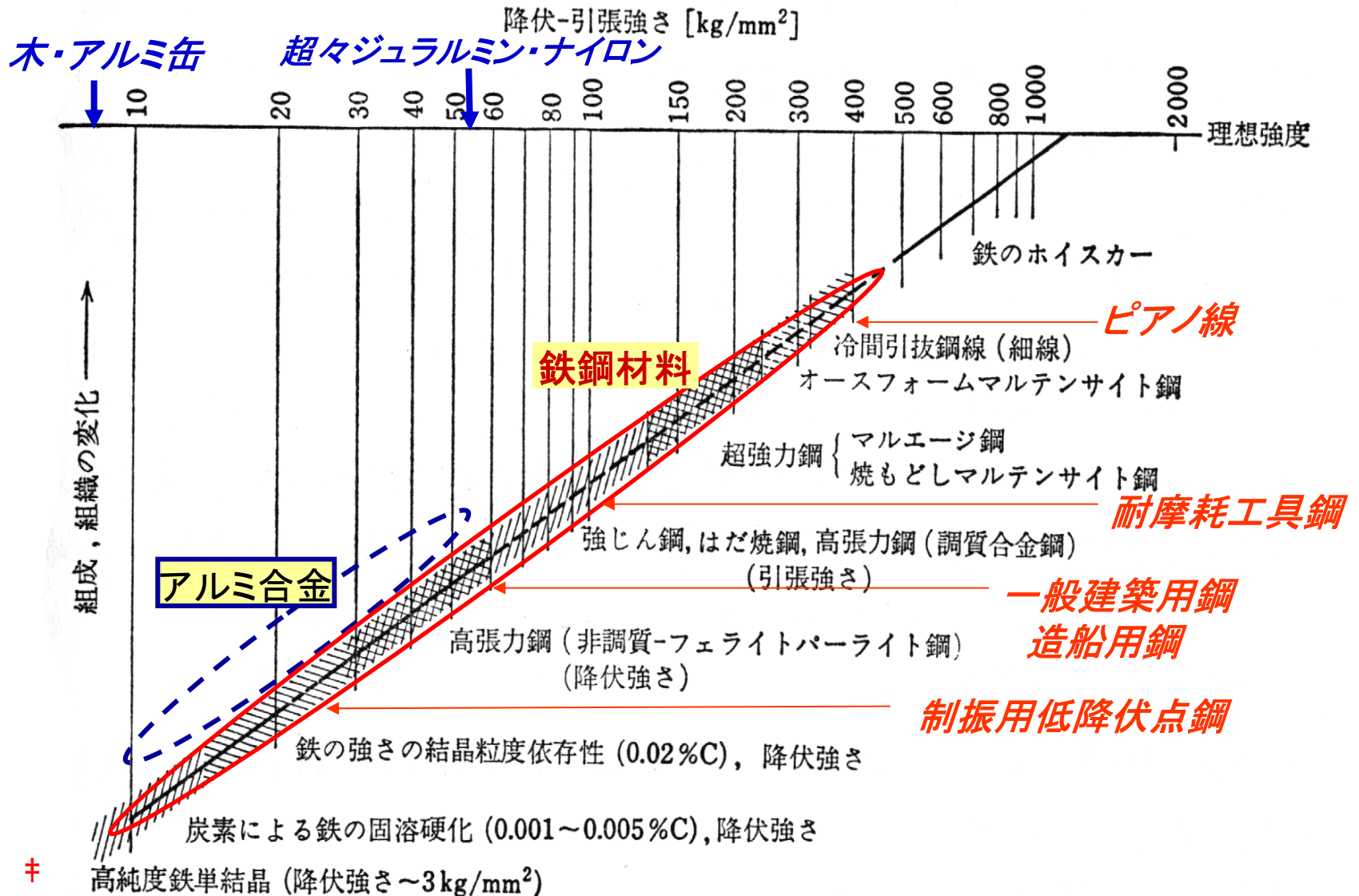
船・・・Possible without steel?



最近のマラッカマックス型VLCC (三菱重工) 全長333m, 全幅60m, 深さ29.1メートル,
タンク容積 355,000m³

なぜ鉄器時代は続くの？

鉄鋼材料の強さ



韌性

K_{Ic} (MPa m^{1/2})

7. 破壊靱性-強度

金属, ポリマー: 降伏強度
 セラミックス, ガラス: 圧縮強度
 複合材料: 引張強度
 塑性域直径 $\approx K_{Ic}^2 / \pi \sigma_f^2$

破壊前に降伏

安全設計の
ガイドライン

ポリマー
木材

$$\frac{K_{Ic}^2}{\sigma_f} = C$$

$$\frac{K_{Ic}}{\sigma_f} = C$$

$$\frac{K_{Ic}^2}{\pi \sigma_f^2} (mm)$$

ポリマーフォーム

工業用
合金

工業用
複合材料

工業用
ポリマー

トネリコ
オーク
マツ

HDPE
PP
PVC
PC

バルサ
LDPE
木材
製品

PS
PMMA
エポキシ
MEL

トネリコ
オーク
マツ

木目に
垂直

セメント,
コンクリート

石膏
バルサ

氷

多孔質
セラミックス

岩石

陶器,
れんが

ガラス

工業用
セラミックス

降伏前に破壊

強度 σ_f (MPa)

鉄鋼

鋼

Ni合金

Ti合金

Cu合金

Al合金

Mg合金

鋳鉄

CFRP
GFRP

積層材

W合金

ZrO₂

SiC

サイアロン

Al₂O₃

MgO

Si₃N₄

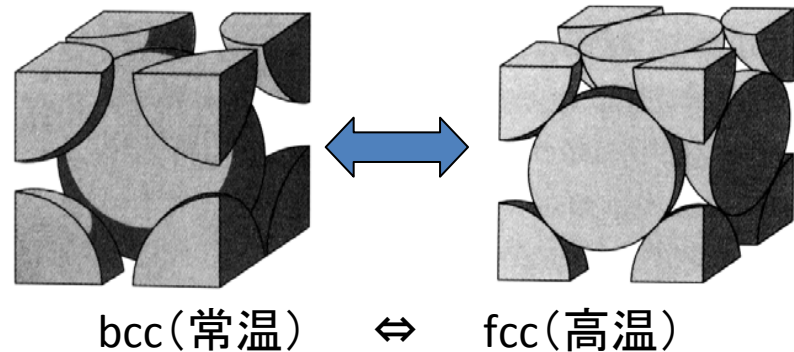
1ダイヤモンド

セラミックス

強度

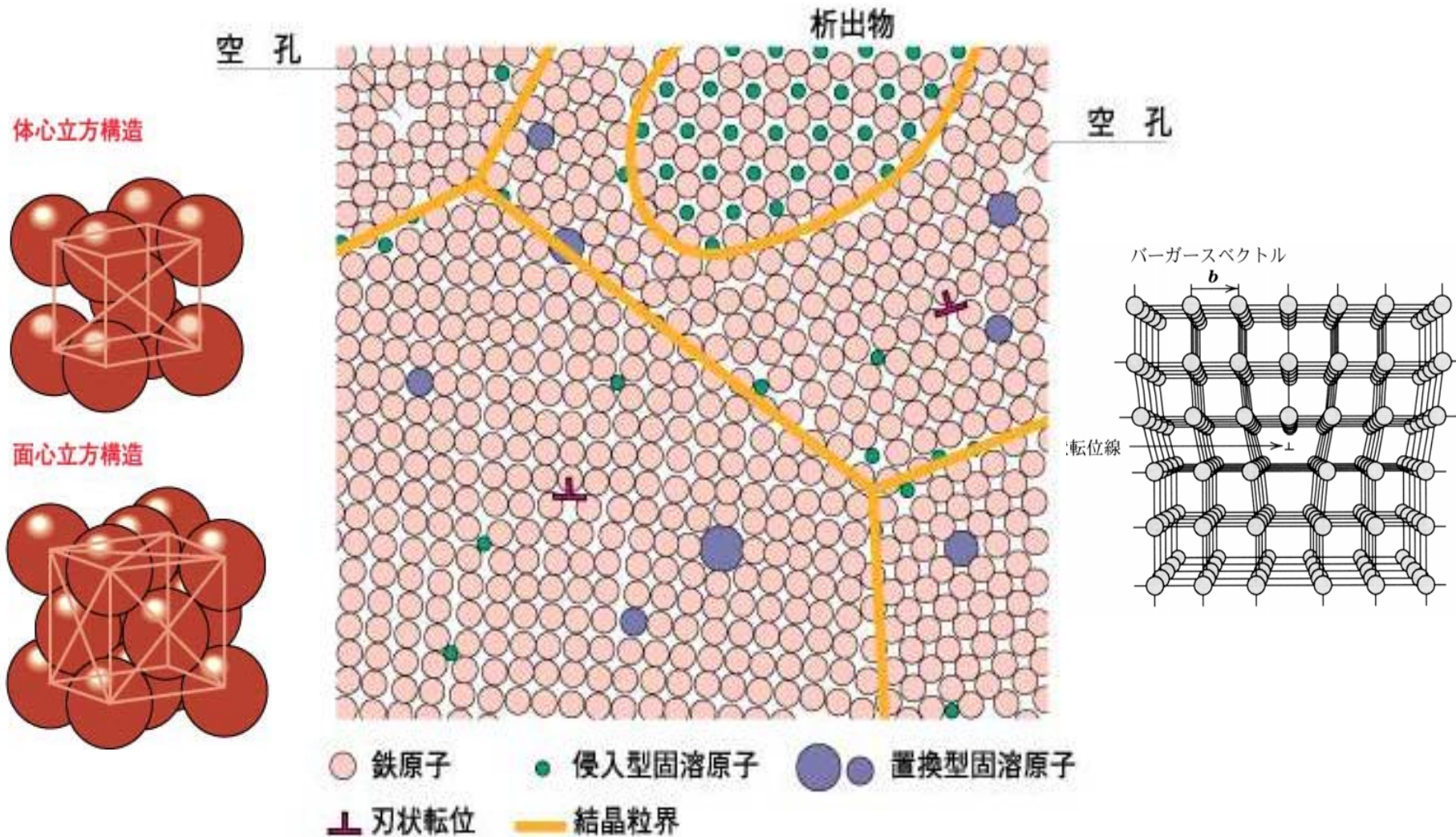
鉄鋼の強度の仕組み・・微細組織制御

- bcc(常温) $\Leftrightarrow$ fcc(高温) **相変態**
 - 様々な bcc (溶質濃度、格子欠陥、etc.) の作り分け
 - フェライト
 - パーライト
 - ベイナイト
 - マルテンサイト



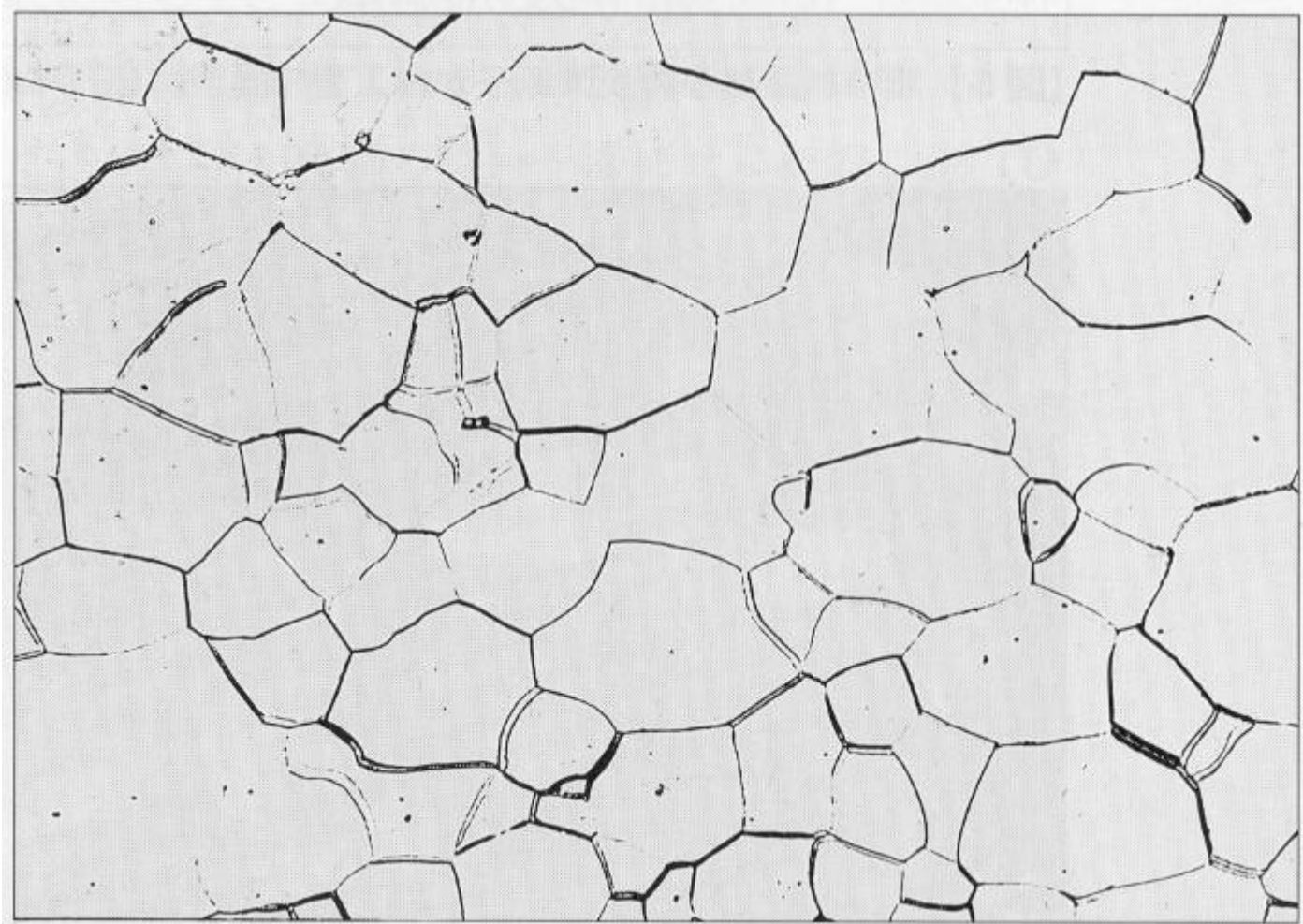
- **ミクロ組織・ナノ組織の制御**
 - 結晶粒サイズ(超細粒への挑戦)
 - 格子欠陥(転位の密度、動きやすさの制御)
 - 析出・分散第二相(ナノ組織の複合化)

鉄鋼(金属材料)の組織



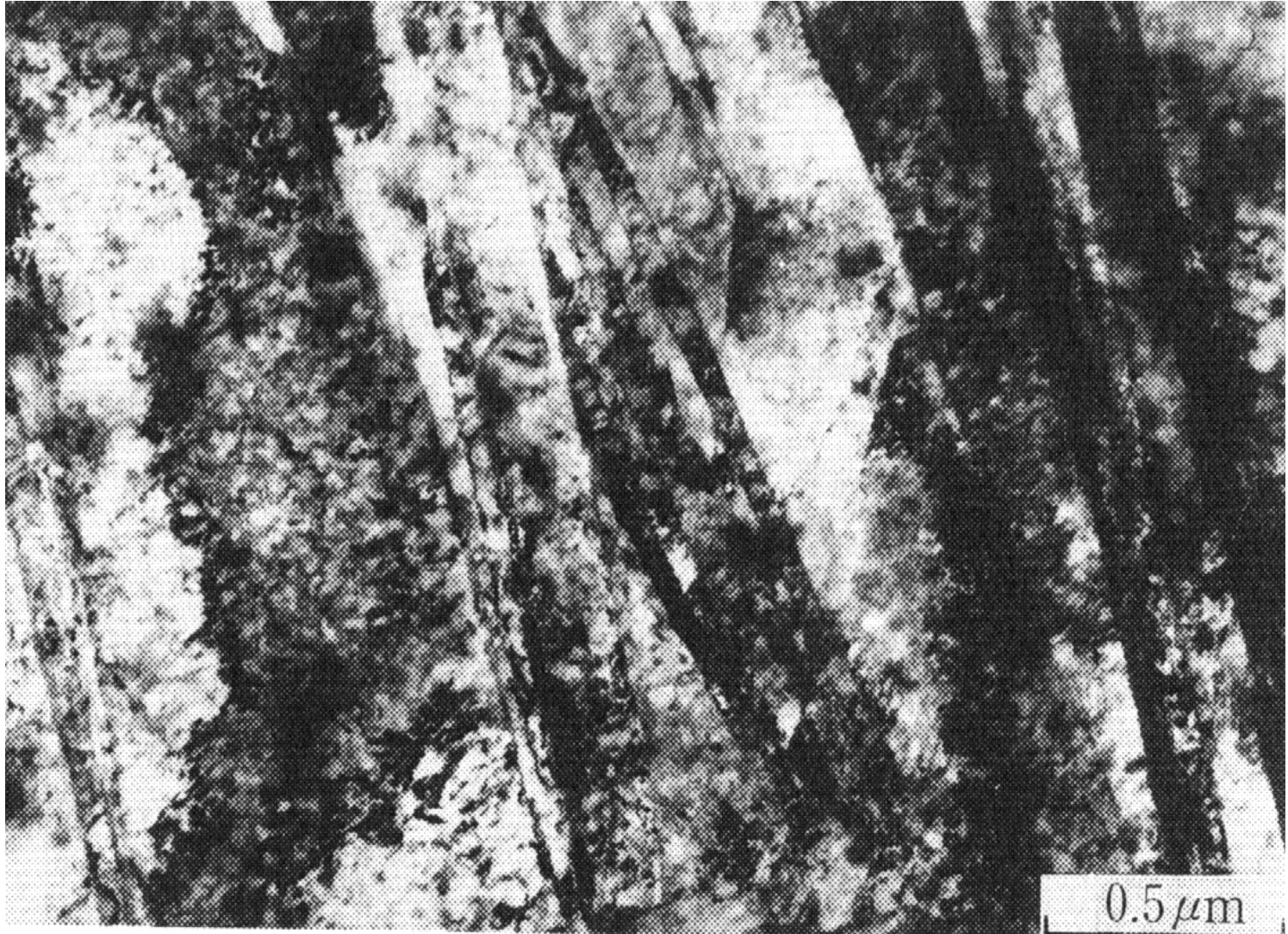
自動車ボディ用鋼板

フェライト結晶だけからなる加工しやすいマイクロ組織



工具・刃物用の鋼

転位(線欠陥)密度の高い高硬度のマルテンサイト組織

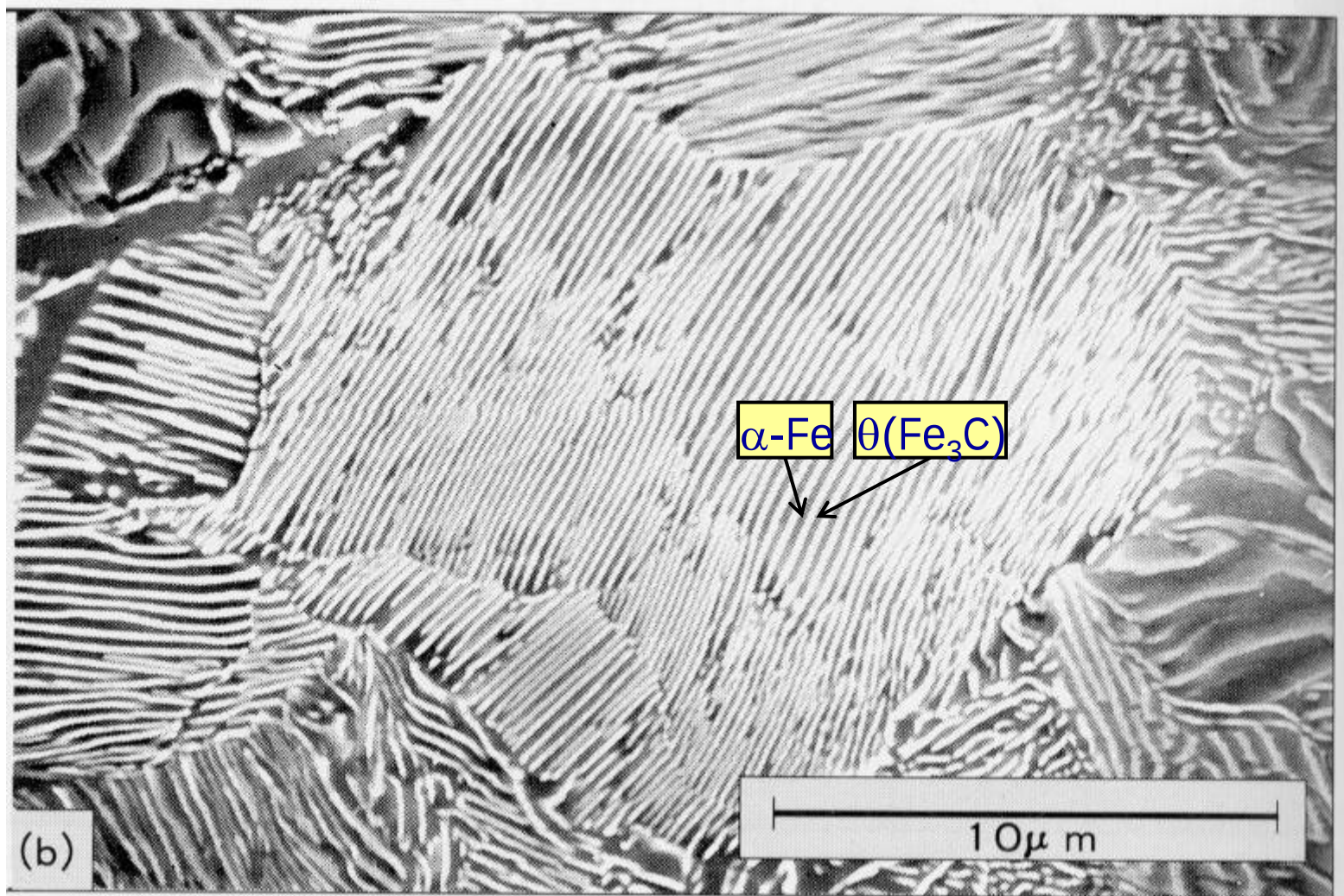


✚

谷野満, 鈴木茂著、「鉄鋼材料の科学：鉄に凝縮されたテクノロジー」、金子純一, 大塚正久訳、内田老鶴圃、2001年、P97、写真4.4

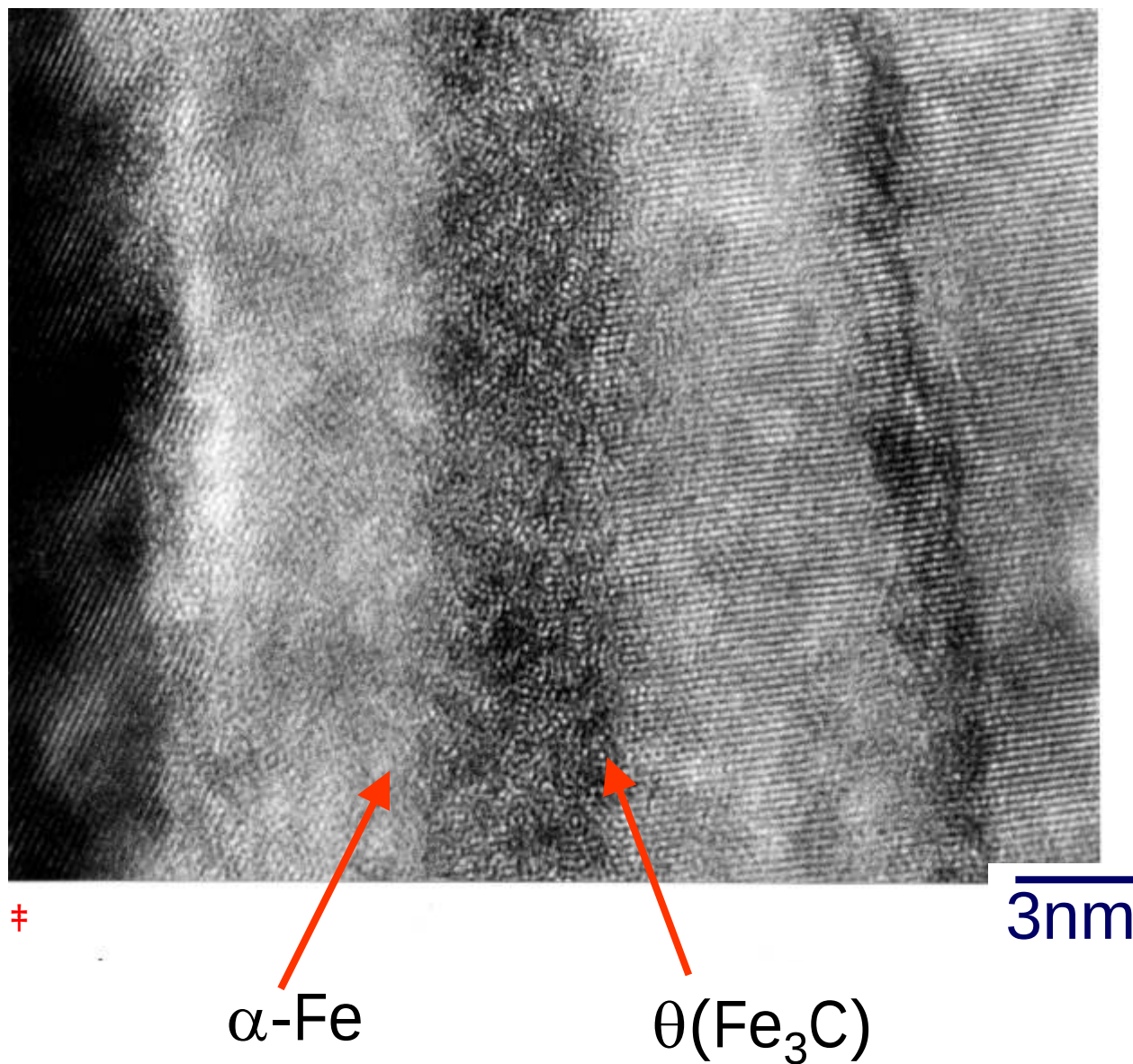
レール鋼(世界の10%を生産)

ナノ層状組織(パーライト)による強度・耐摩耗の実現



(走査型電子顕微鏡写真) 41

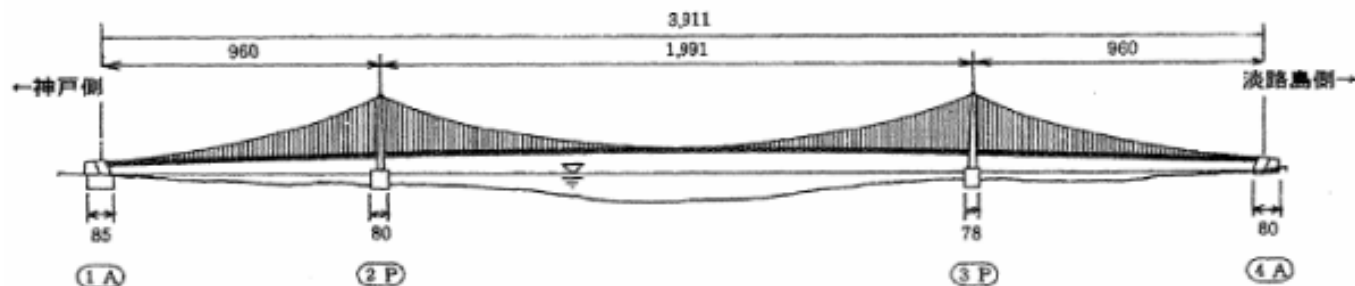
明石海峡大橋を実現した1,800MPaワイヤのナノ組織



明石海峡大橋 世界最大・最長の吊り橋
ナノ(10^{-9}m)制御を巨大(10^3m)構造物へ

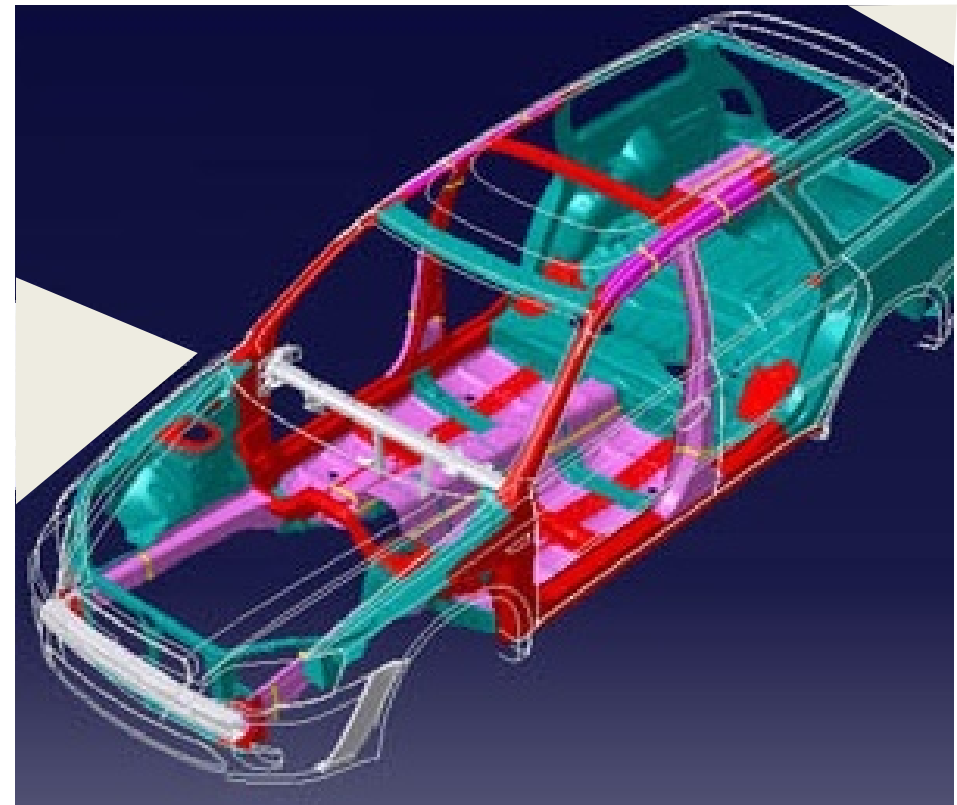
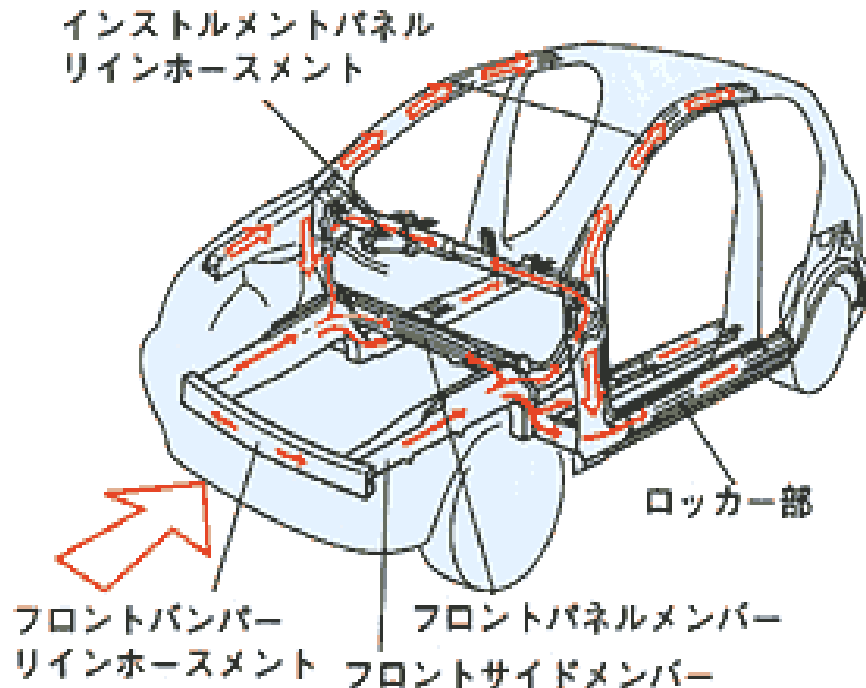


http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Akashi_Bridge.JPG



✚ <http://www.jb-honshi.co.jp/technology/akashi.html>

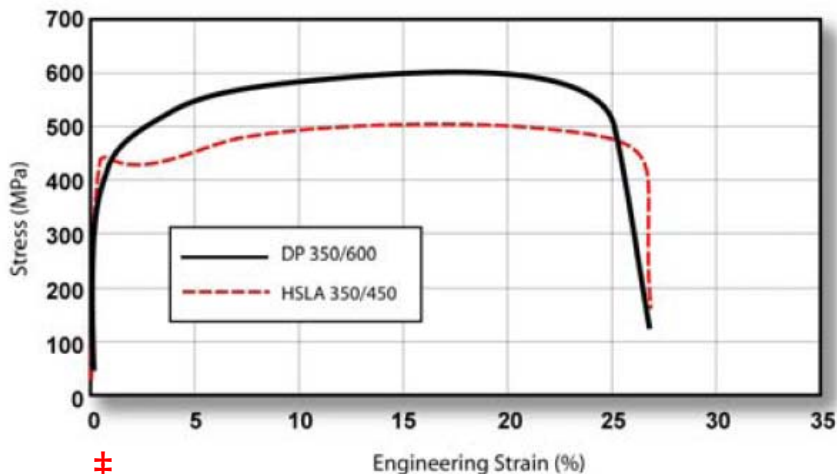
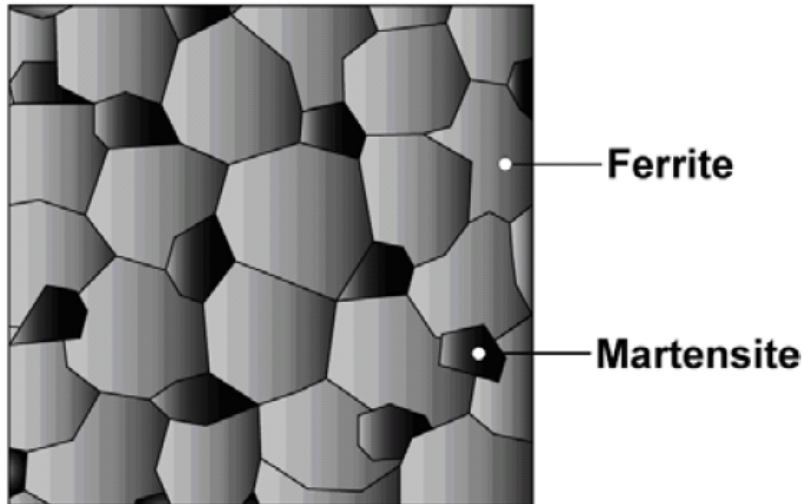
自動車・軽量化と衝突安全の両立



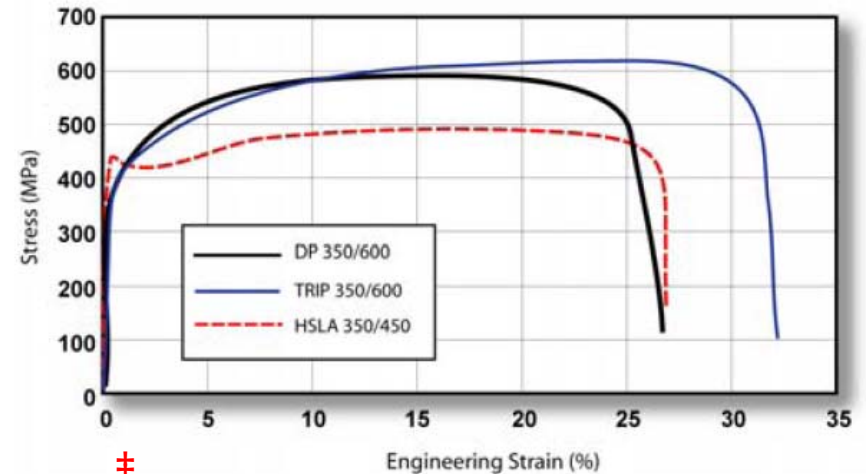
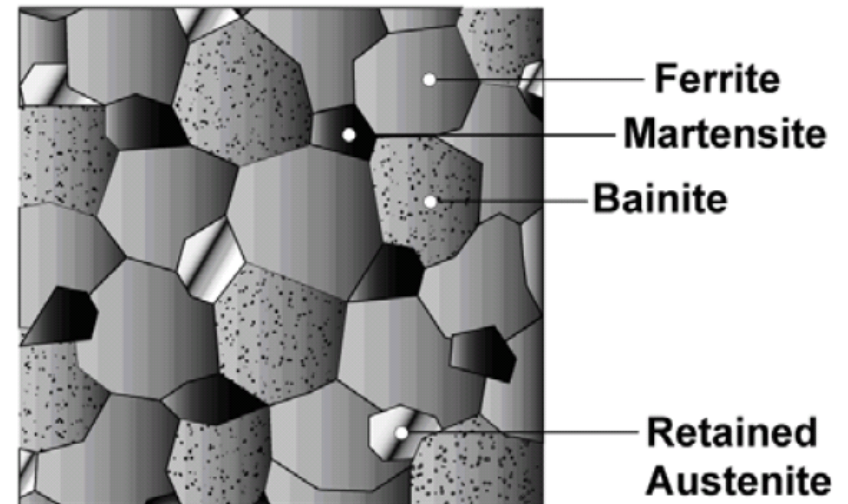
赤: 高張力鋼 + テーラードブランク
ピンク: 高張力鋼

TMC for Thin Sheets

Ferrite-Martensite DP



TRIP



なぜ鉄鋼材料は広く使われるのか？

- 優れた特性

- 広い強度範囲 50～5,000MPa
- 広い使用温度範囲 -269°C ～約 900°C
- 広い使用環境 海水、化学プラント etc.

- 良好な利用加工性

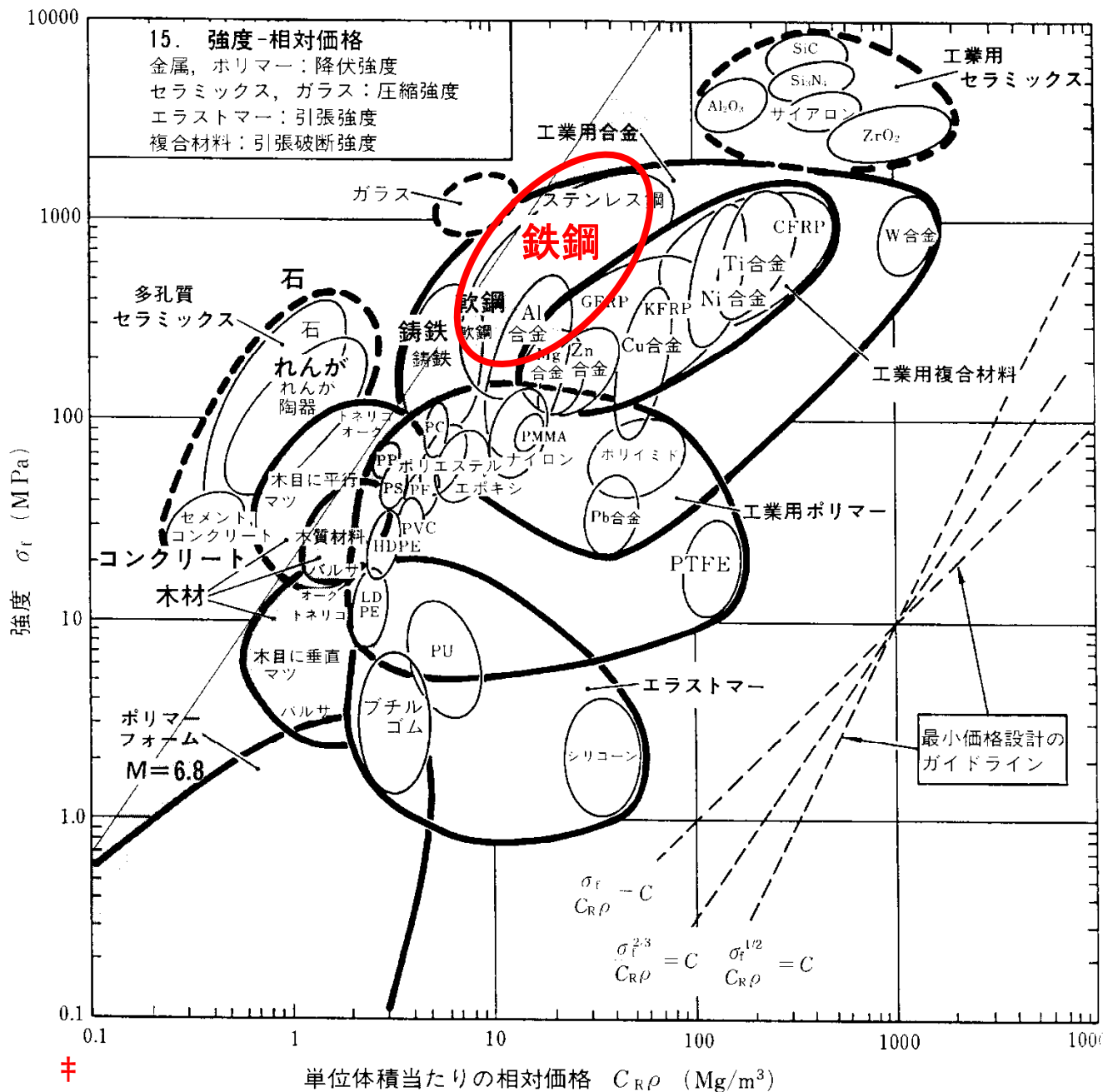
- 曲げ、プレス、深絞り、切断、切削、溶接 etc.

- 価格

- 安定した供給（資源・製造能力）

- リサイクル性

価格と強度



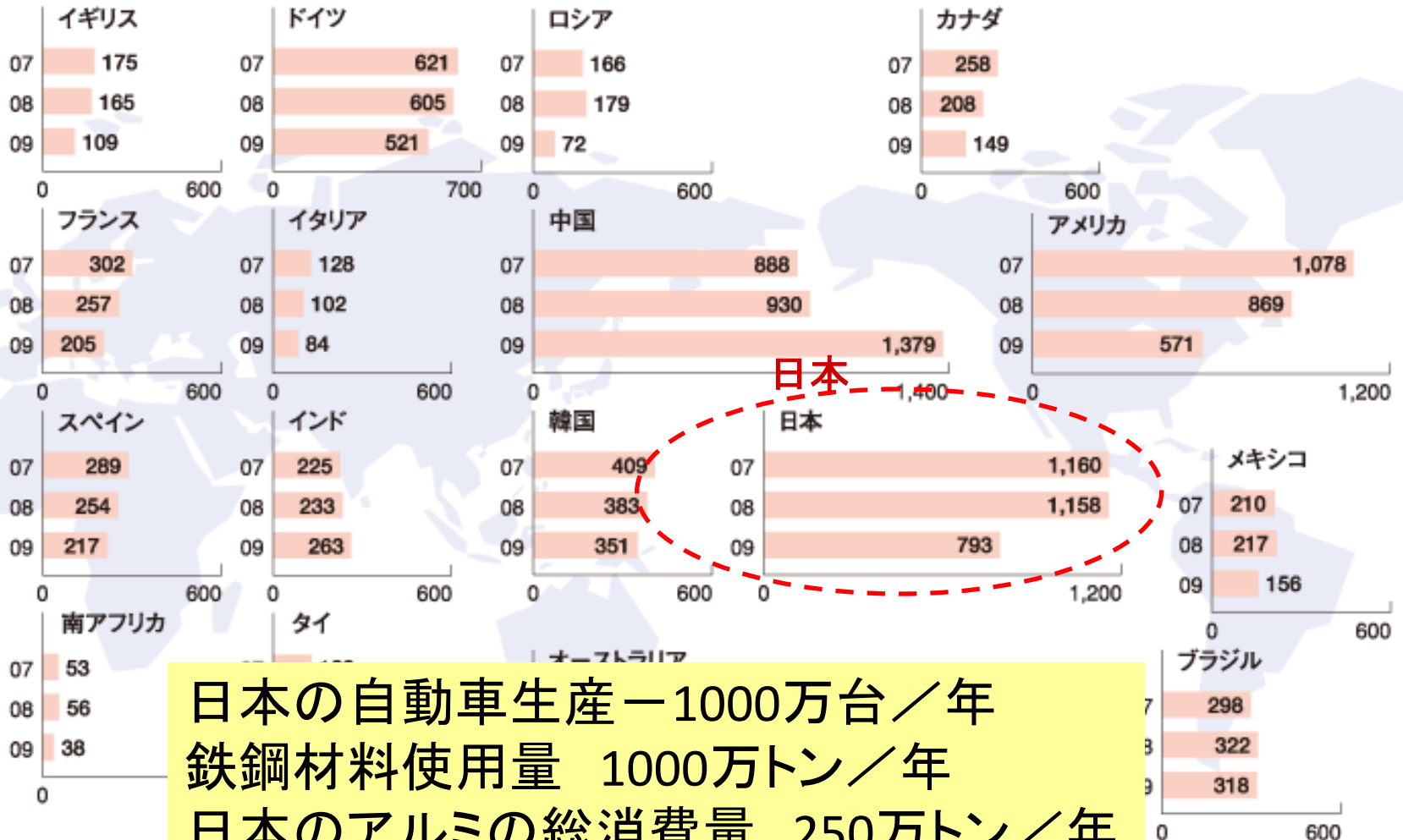
※

単位体積当たりの相対価格 $C_R\rho$ (Mg/m^3)

自動車産業の競争力

高性能な鉄鋼材料の安定した供給が基盤

単位:万台

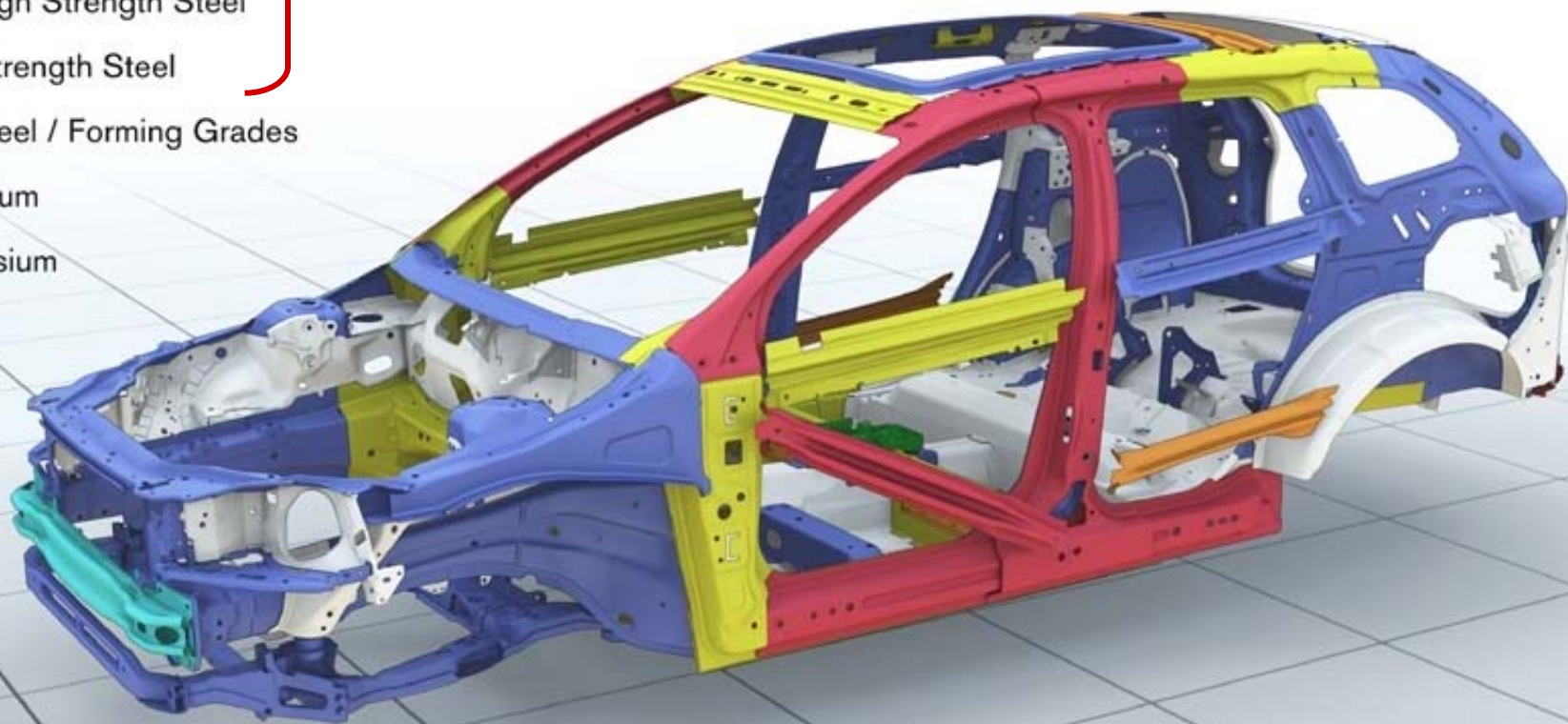


安心な生活を支える鉄鋼

- 交通、運輸、物流
 - 道路、鉄道、橋、トンネル
 - 自動車、電車、船舶
- 建物の安心・安全
 - 耐震・耐火
- エネルギー
 - 石油、ガス、発電
- ライフライン
 - 電気、ガス、水道、通信
- 医療

- Ultra High Strength Steel
- Extra High Strength Steel
- Very High Strength Steel
- High Strength Steel
- Mild Steel / Forming Grades
- Aluminium
- Magnesium

高強度鋼による軽量化と衝突安全性向上





http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Hanshin-Awaji_earthquake_1995_338.jpg



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FEMA_-_2807_-_Photograph_by_FEMA_News_Photo_taken_on_01-17-1994_in_California.jpg?uselang=ja



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:UN_headquarters_Haiti_after_2010_earthquake.jpg

耐震性を高める鉄鋼材料

制振ダンパー

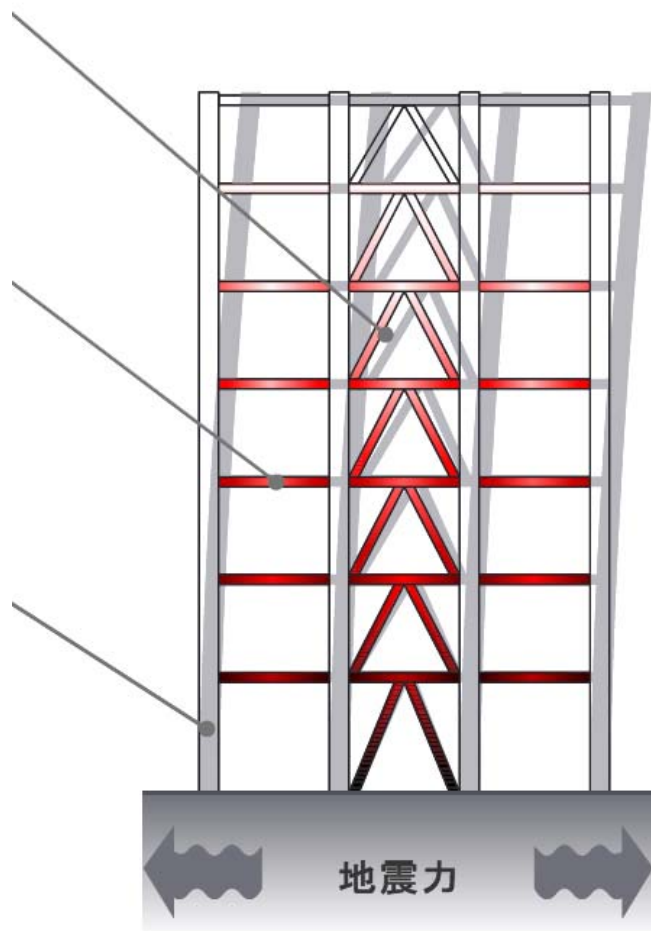
極低降伏強度
高伸び延性

梁部材

低降伏強度

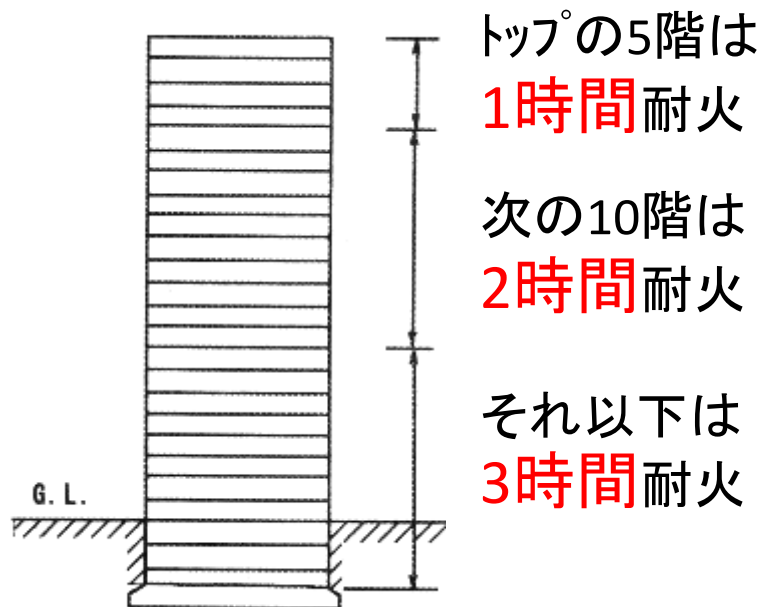
柱部材

高強度
高靱性



新日鉄HP

耐火性を 高める 鉄鋼材料



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Top_of_winds_or_tower_ruins_.jpg



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:New_Orleans_Fire_2005-09-02.jpg

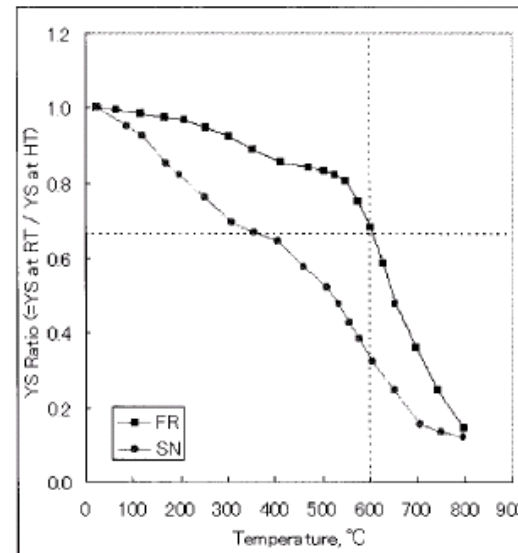


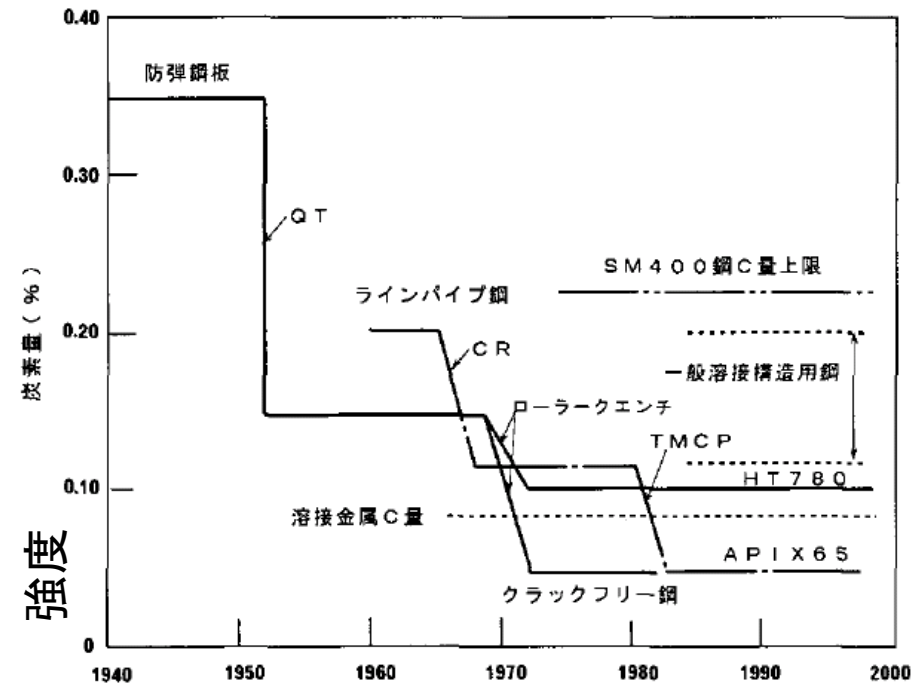
図1 普通鋼及び耐火鋼のYS比温度依存性

Temperature dependence of yield strength ratio in SN 490 and NS FR 490 steels

石油・天然ガスを運ぶパイプライン



http://en.wikipedia.org/wiki/File:800px-Trans_Alaska_Pipeline_Denali_fault_shift.JPG



※

図2 溶接構造用鋼の炭素量の変移

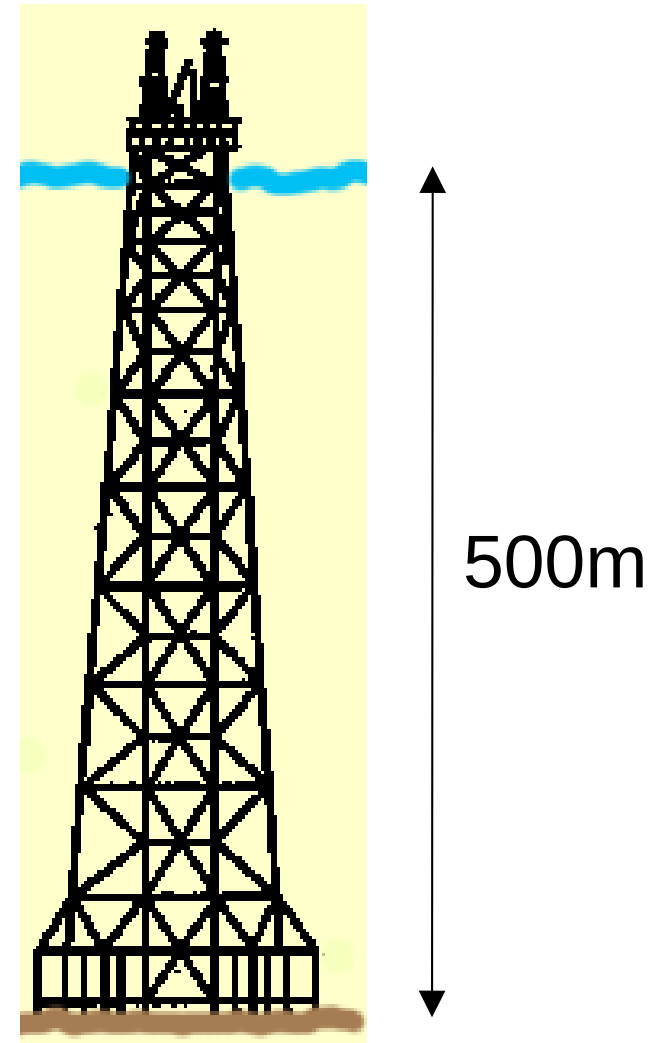
百合岡 信孝、「溶接学会誌 Vol.69, No.1(2000)」

高強度化するパイプライン用
鉄鋼材料

石油や天然ガスを掘削する海洋構造物



✚ © Edison Spa.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adriatic_LNG_terminal_being_towed.jpg



エネルギーの生産・輸送・備蓄に使われる鉄鋼材料



<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palmöltanks.jpg>



http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Tanker_unloading_crude_oil.jpg



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anselden_biomasse_gaskessel.JPG



http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Electricity_pylon.jpg



http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Double_underway_replenishment_2005.jpg

医療を支える鉄鋼材料

メス



http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Various_scalpels.png

MRI

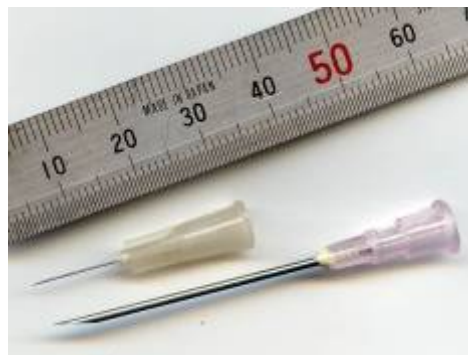


http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Modern_3T_MRI.JPG

手術機器

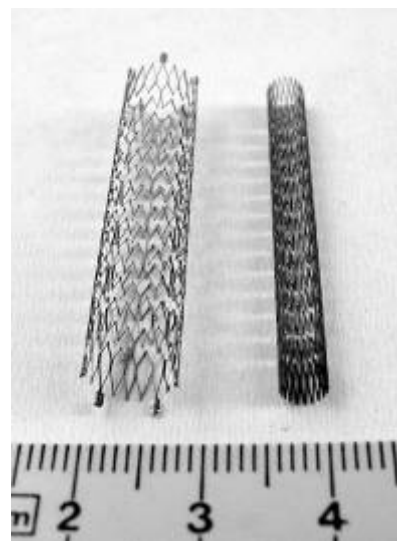
縫合針

注射針



<http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:定規と注射針.jpg>

ステント



http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Stent4_fcm.jpg

日本の産業・経済を支える鉄鋼

- 自動車

高張力(ハイテン)鋼

優れた加工性・溶接性

均一性の高い鋼板

- 船舶

TMCPによる高強度鋼

優れた溶接性、均一性の高い鋼板

- 産業機械

- 電気機器(家電、重電)

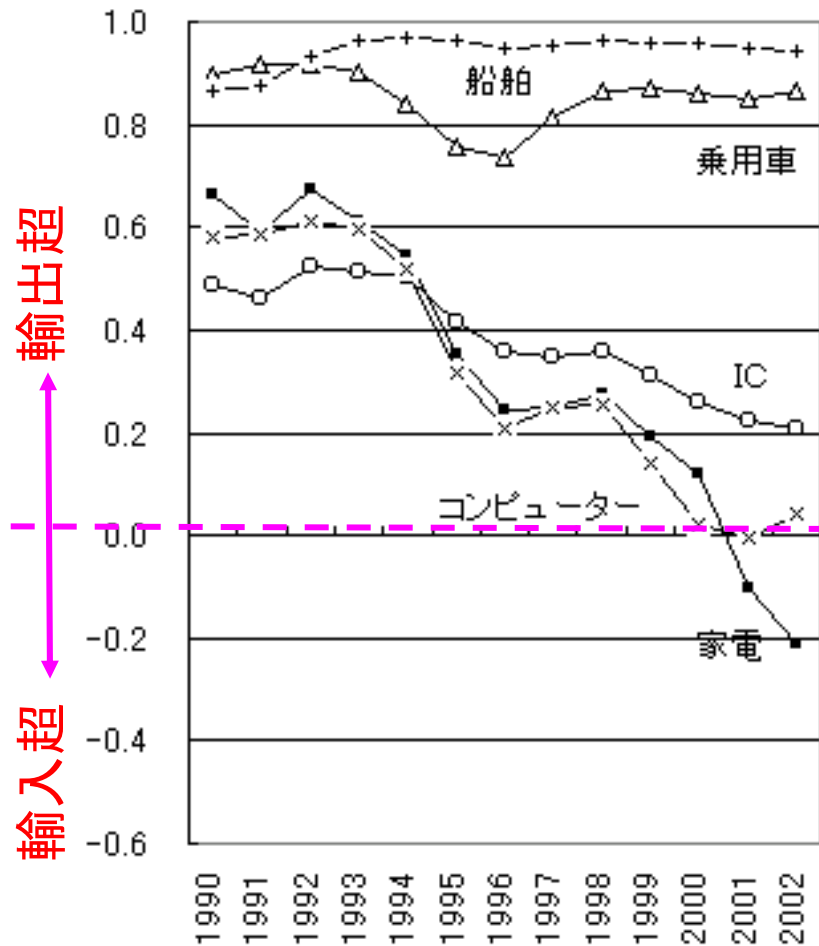


✚ (c)Worthington Industries
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steel-factory.JPG>

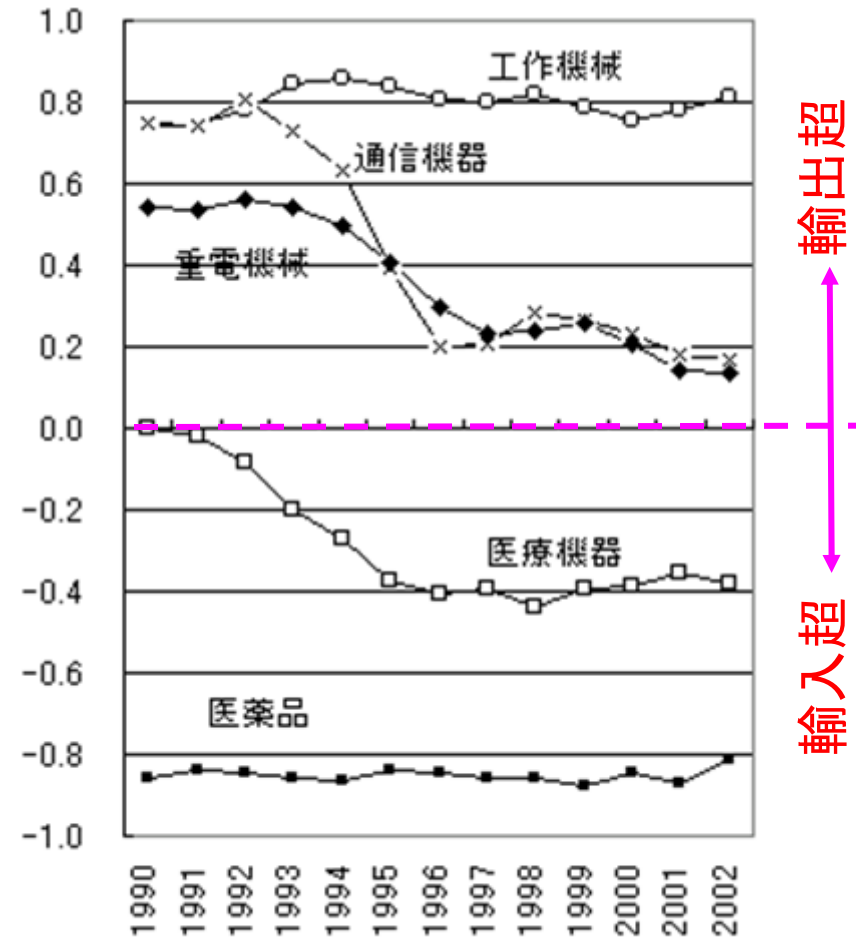
日本からの輸出(H20)

- 輸出総額 81 兆円
- 内訳
 - 鉄鋼 4.6 兆円
 - 一般機械 15.9 兆円
 - 輸送機器 20.0 兆円
 - (自動車・船舶)
 - 電気機器 15.4 兆円

船舶・自動車



工作機械



※ 社会実情データ図録, 貿易から見た国際競争力指数の推移(コード4800),
<http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/4800.html>

環境と持続可能社会のための鉄鋼の役割

高性能な鉄による環境への貢献

- エネルギー製造や発電の効率化
- 自動車や構造体の軽量化
(省エネ、低CO₂、省資源)
- 構造体の高信頼性・長寿命化

環境と持続可能社会のための鉄鋼の役割

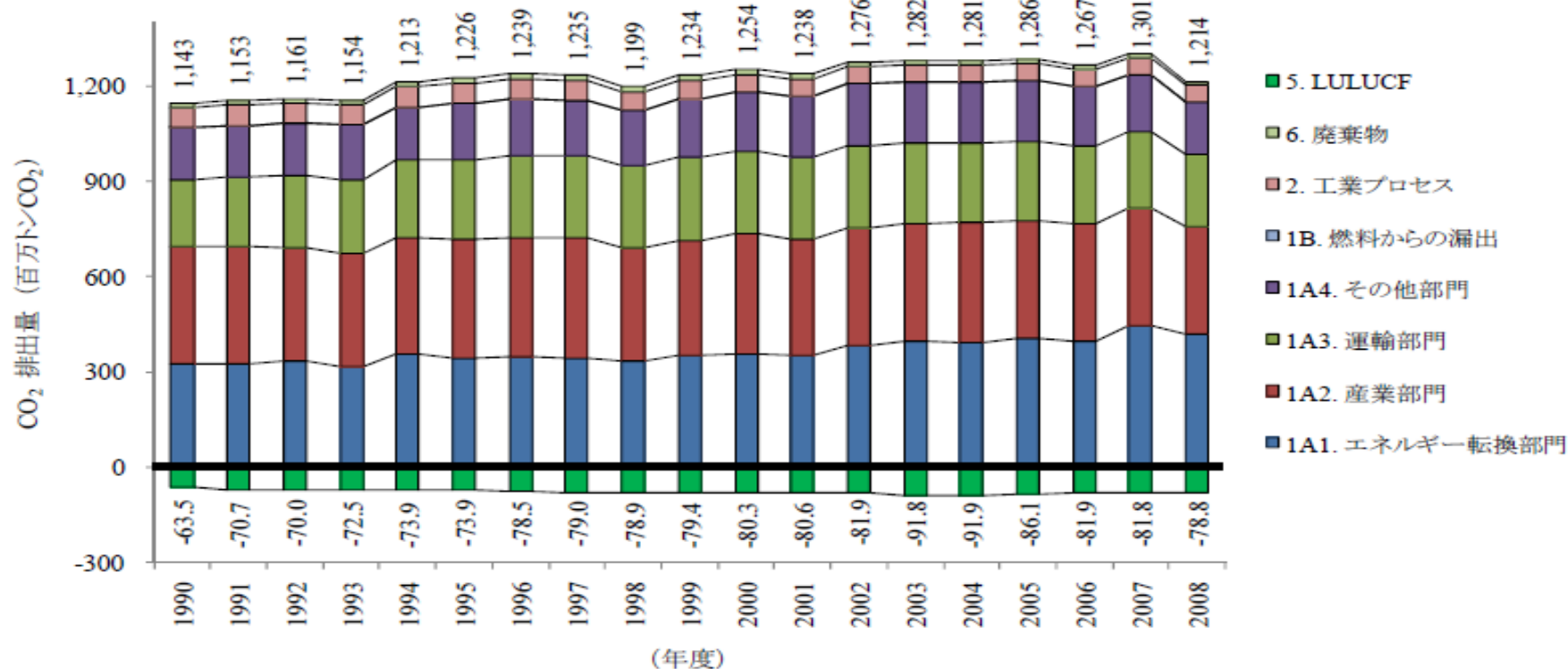


図 2-4 CO₂ 排出量の推移

※ 出典: 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス編 環境省地球環境局地球温暖化対策課監修「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」

1. エネルギー転換(主に発電)全体の約40%

高性能な鉄鋼による
削減への貢献

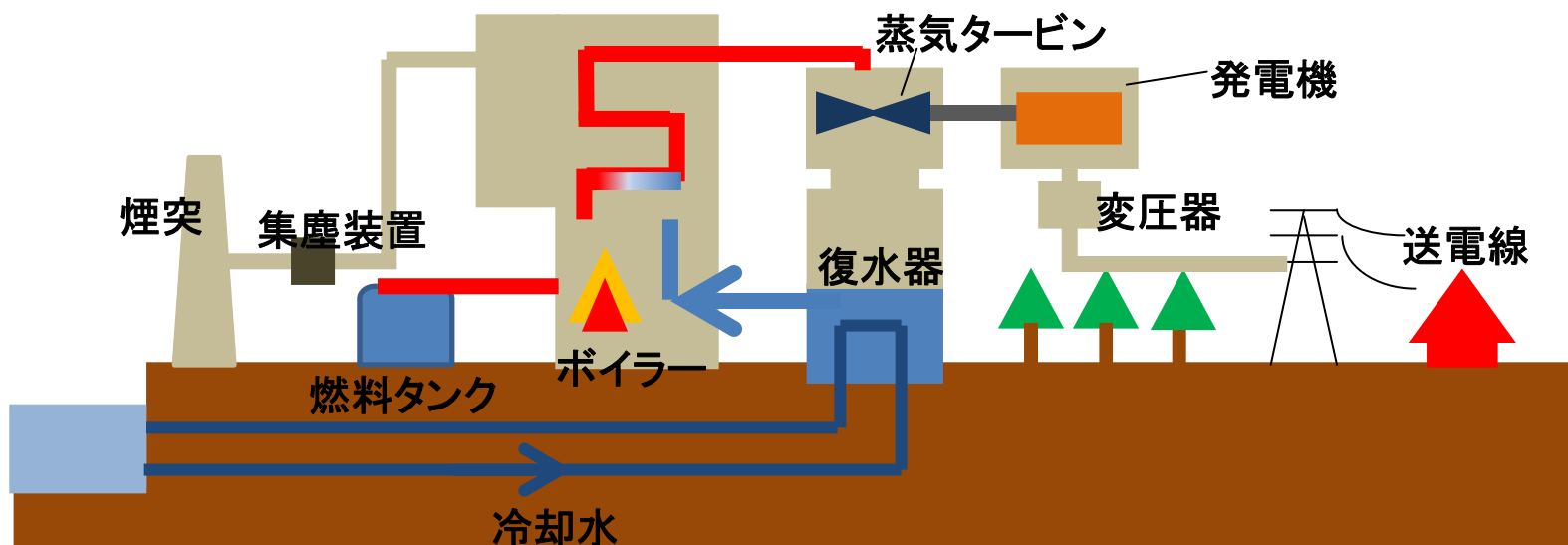
2. 自動車・運輸 全体の約20%

鉄鋼製造段階での
省エネCO₂削減

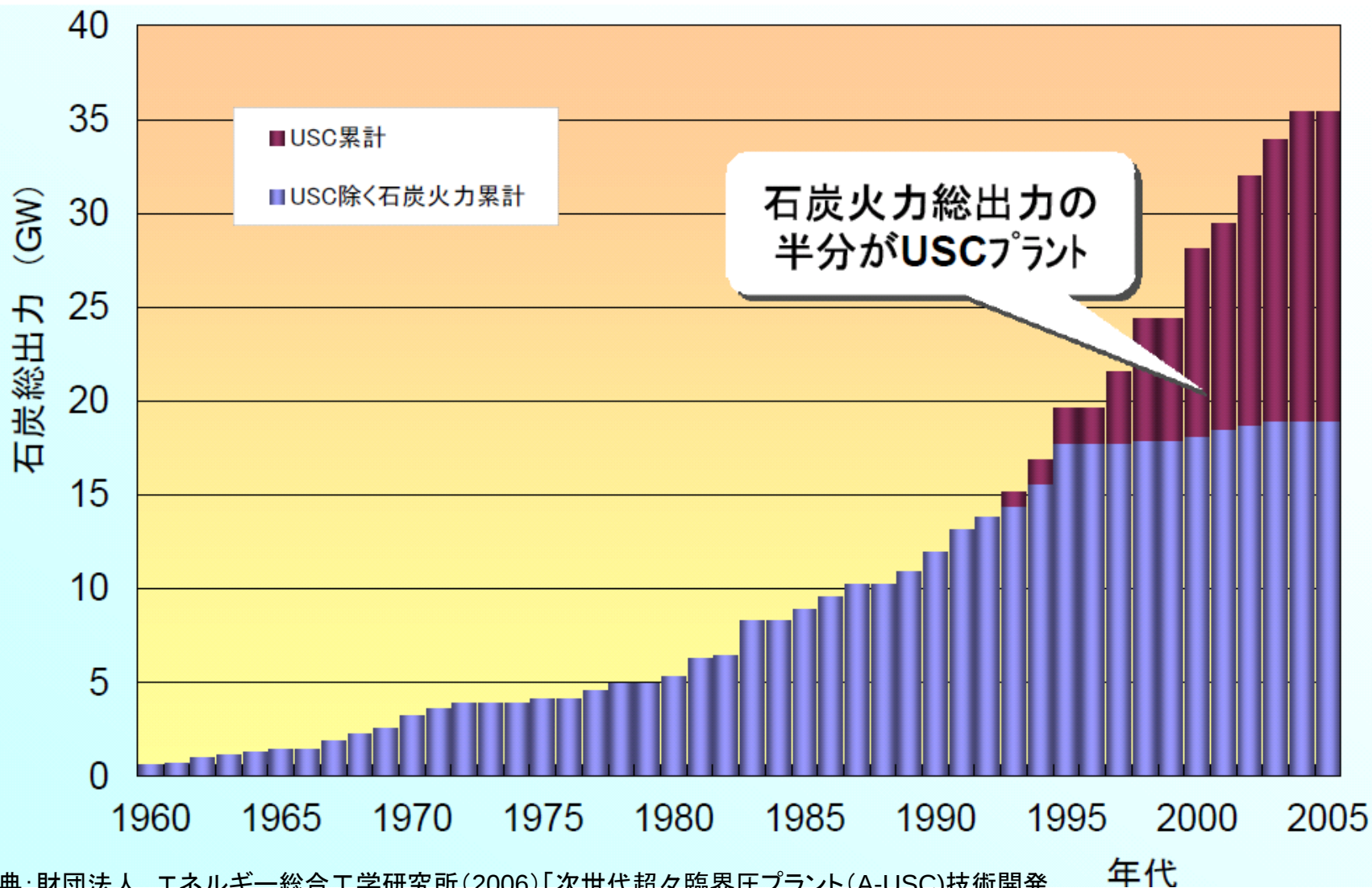
3. 産業部門

火力発電の高効率化に向けて

- 石炭・石油・LNG→高温高圧蒸気→蒸気タービンによる発電
- 発電全体の60%(CO₂は発電全体のほぼ100%)
- 超々臨界圧(USC)ボイラー
 - 蒸気温度538℃→650℃によって発電所1基あたり自動車16万台分のCO₂削減可能
 - より高温に持つタービン、ボイラー管鉄鋼材料が必要



国内石炭火力発電所容量の変遷



※

出典: 財団法人 エネルギー総合工学研究所 (2006) 「次世代超々臨界圧プラント (A-USC) 技術開発
経年石炭火力発電所の高効率化とそれに伴うCO₂排出削減研究報告書」P.8

自動車・・軽量化と衝突安全の両立

高強度鉄鋼を
フルに活用した
自動車設計



ホワイトボディ概念図

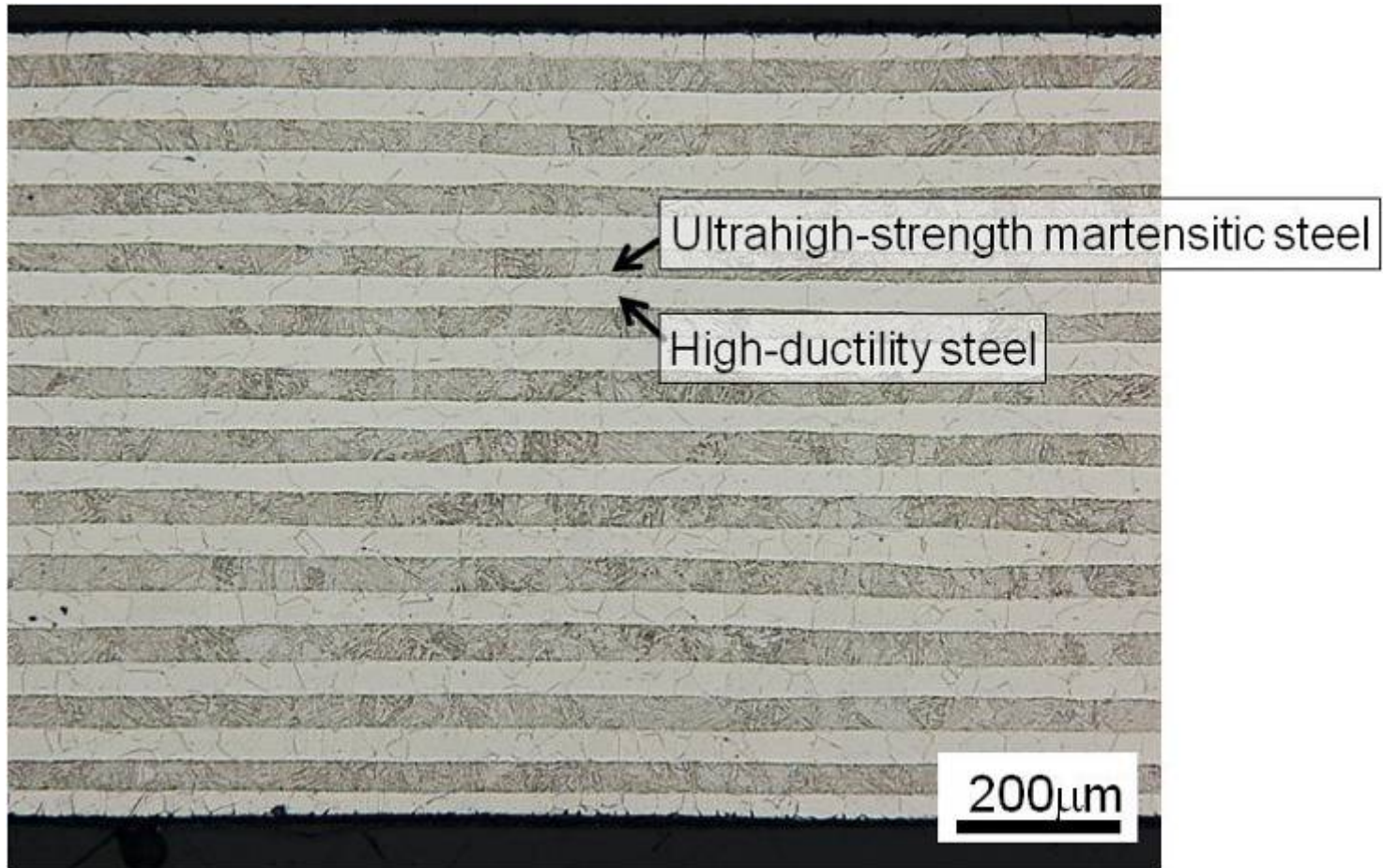


<http://www.worldautosteel.org/Projects/ULSAB.asp>
X

ボディ重量25%減

新たな超高強度鋼 - 複層鋼板

Multi-layer Integrated Steel



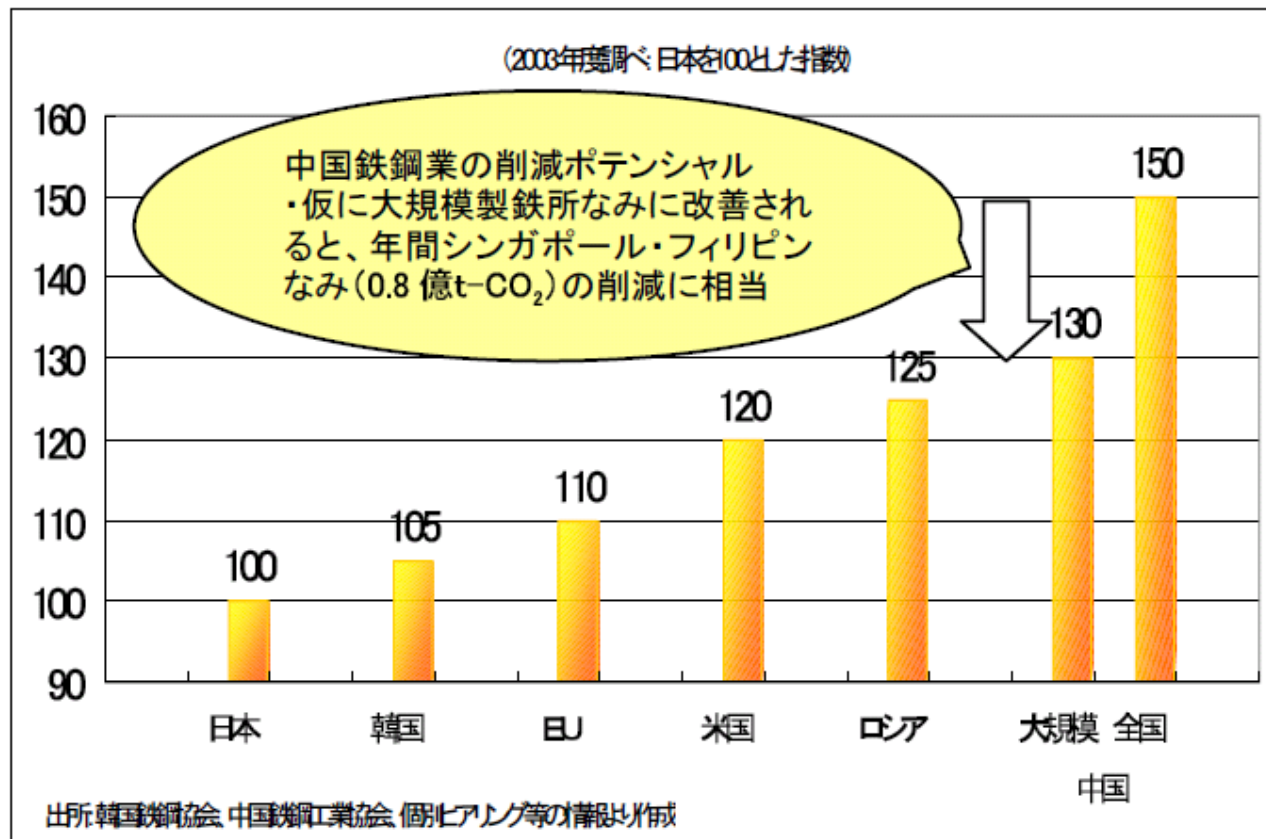
従来の鉄鋼材料では達成できなかった超高強度と高延性の両立

鉄を作る上での環境対応

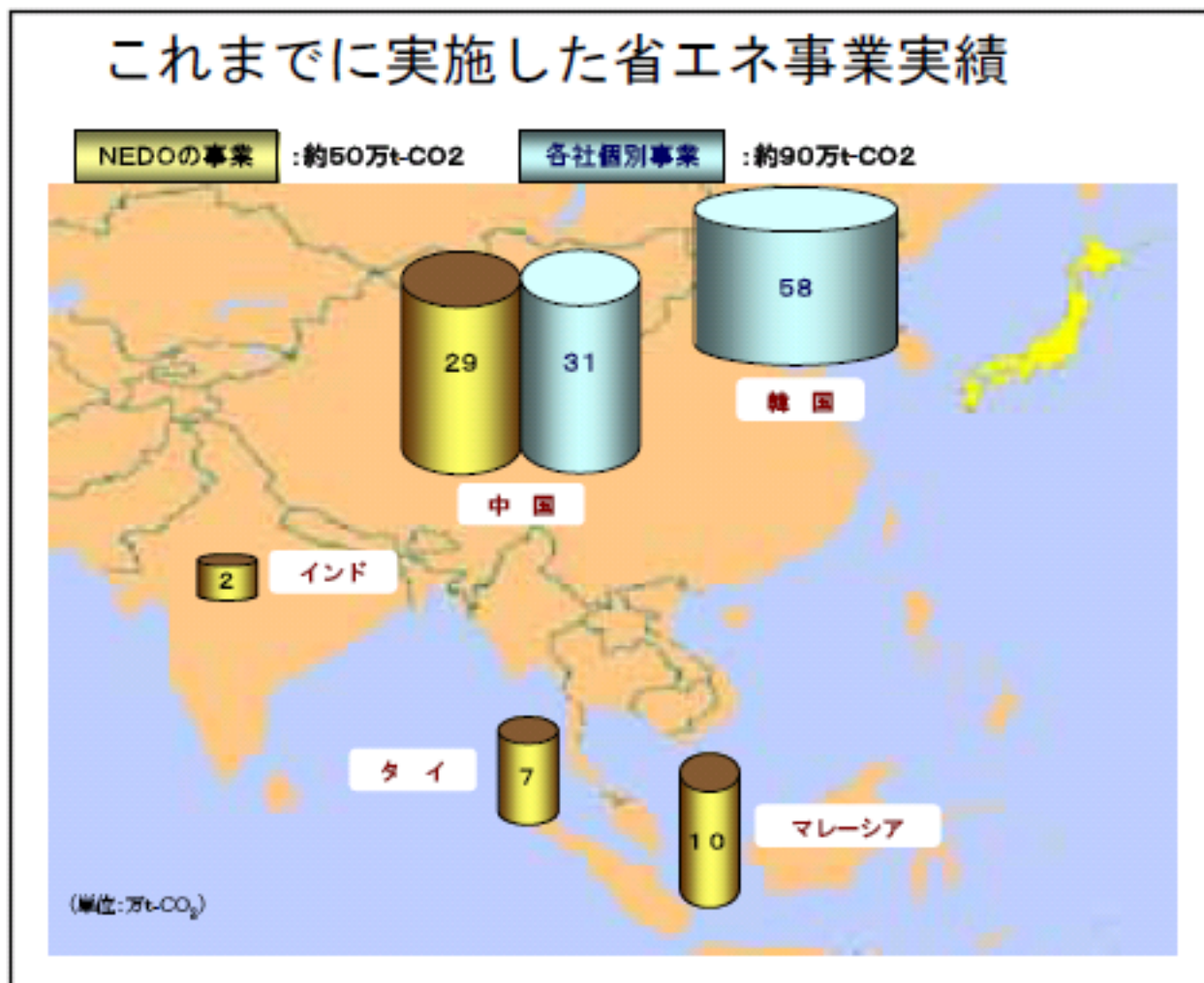
- 省物質・省エネルギー
- CO2排出削減
- 環境技術による世界への貢献
- 劣質原料やスクラップの利用

世界で
最も効率的な
日本の
鉄鋼生産

一貫製鉄所のエネルギー原単位の国際比較



日本の鉄鋼業の技術による アジアのCO2削減への貢献(2004)



未来社会のための鉄鋼

- 未来の都市景観・生活空間
- 未来のエネルギーシステム
- 未来の交通・輸送

快適・安心の未来都市づくり



<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marunouchi.jpg>

高層化、様々なデザインを可能にする高張力鋼

火災にも耐える耐火鋼

大地震にも耐える高靱性鋼

エッフェル塔と東京タワー、そして東京スカイツリー®



エッフェル塔
1889年完成
高さ 301m
鉄骨 7,000トン



東京タワー
1958年完成
高さ 333m
鉄骨 4,200トン
耐震設計(関東大震災の2倍)



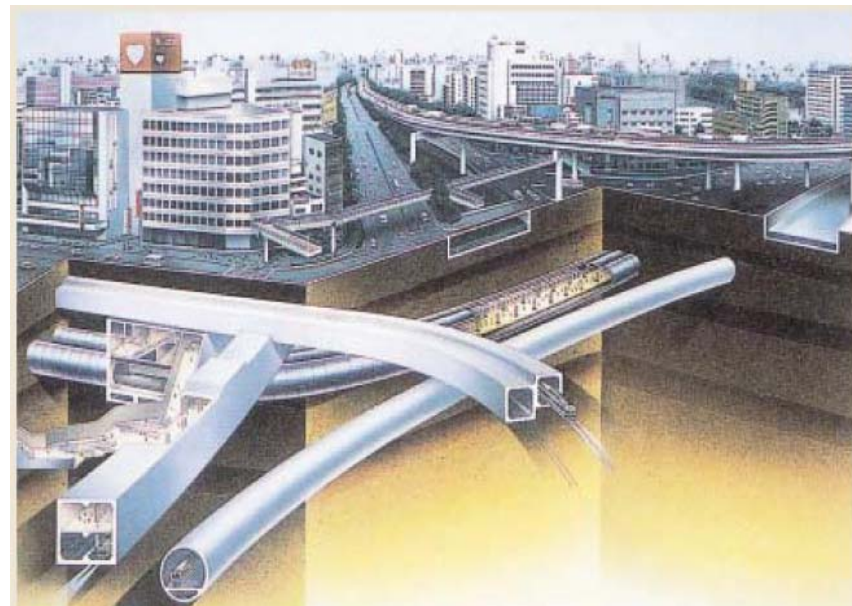
東京スカイツリー®
2012年春開業予定
高さ 634m
鉄骨 3-4万トン

海へ



✦ 国土交通省HPより
<http://www.mlit.go.jp/about/file000081.html>
【図-3】超大型浮体式海洋構造物メガフロート
(横須賀沖の1km空港モデル)

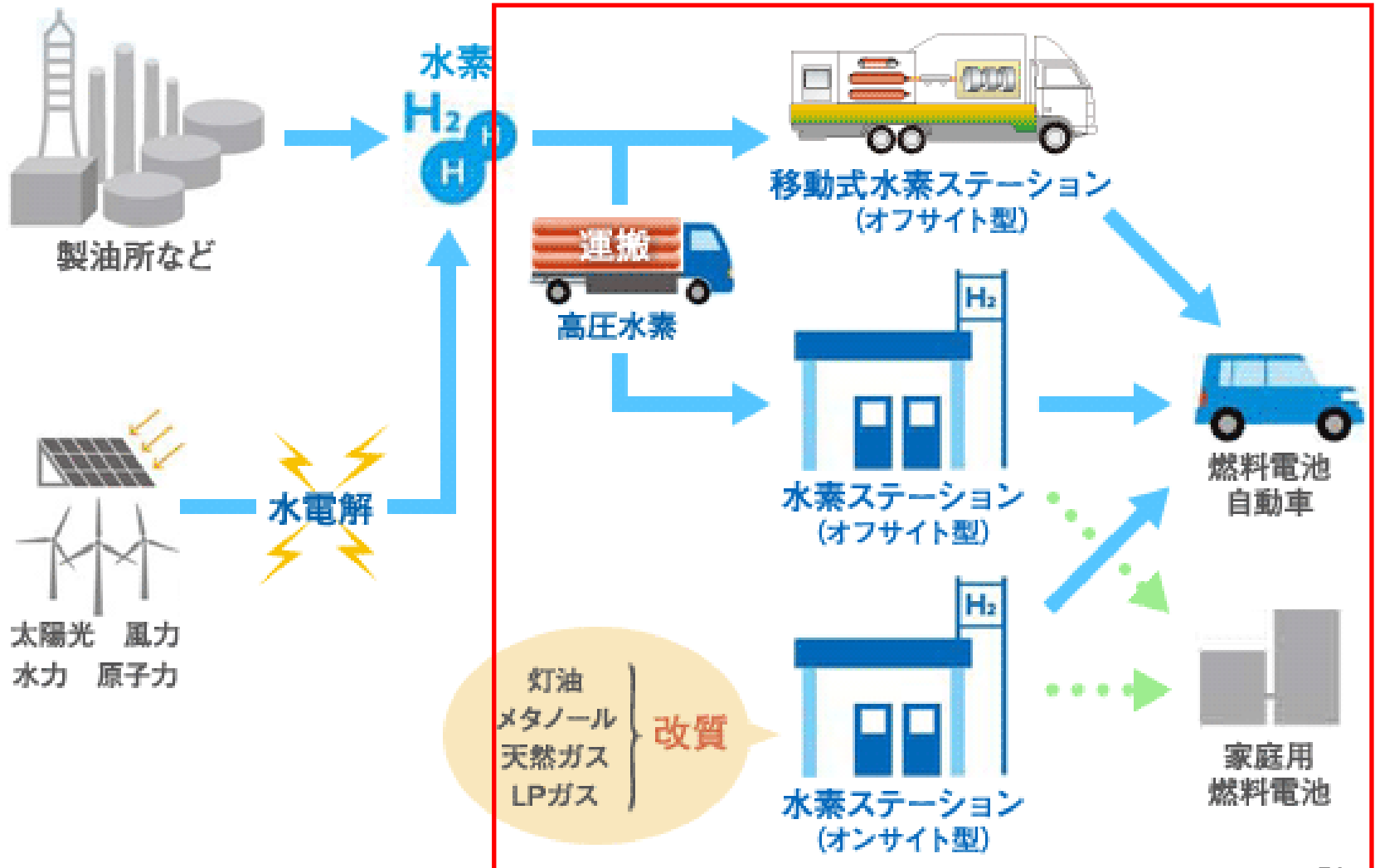
地下へ



✦ 国土交通省HPより
http://www.mlit.go.jp/crd/crd_daisei_tk_000007.html
「東京飯田橋駅付近の地下の状況」

水素社会に向けて

耐水素脆化に優れた鉄鋼材料



リニア新幹線



<http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:JR-Maglev-MLX01.JPG>

材料としての鉄鋼

いつまでも続く鉄器時代

➤鉄はもっとも身近で豊富な物質

➤材料への転換

役に立つ物質 – 材料(マテリアル)

強さ、しなやかさ

幅広い特性レンジ(温度、環境)

➤歴史は長いが“新しい材料”

未来社会の実現(安全・安心、エネルギー)

産業の競争力(技術立国を支える)

環境と持続的発展のために