

学術俯瞰講義

物質を作り利用する

東京大学 小宮山宏

小柴昌俊教授・佐藤勝彦教授

物質はどのようにして生まれたのか？

家泰弘教授

物質の性質はどのようにして決まるのか？

「※：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。」

1. 物質の構造と性質

物質の性質は構造に依存する

結晶相が同じでも性質は違う

強い、弱い鉄

無色、黄色、黒いダイヤモンド

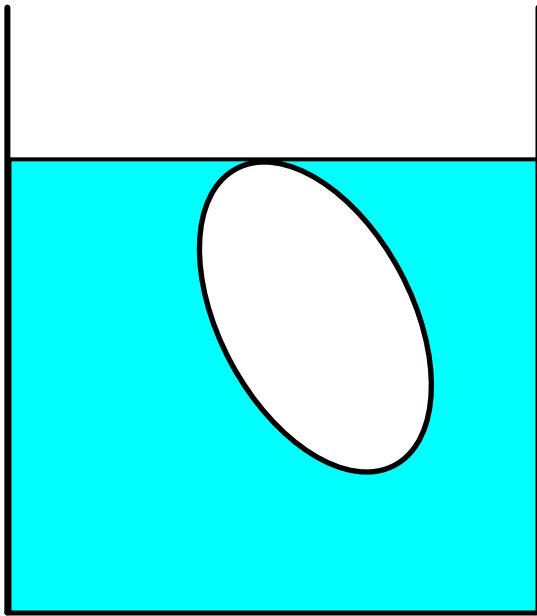
曲がる、砕け散る、きれいに割れるシリコン

1.1 現象は多様

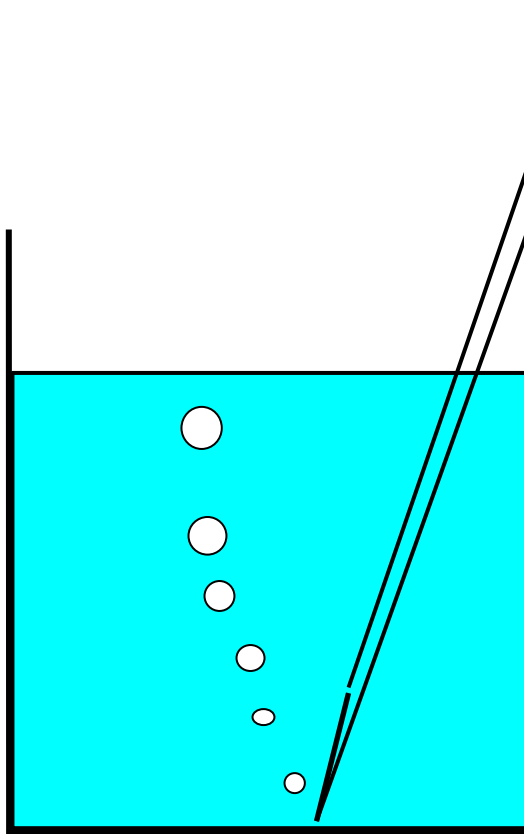
水は100度で沸騰しない

水は0度で凍らない

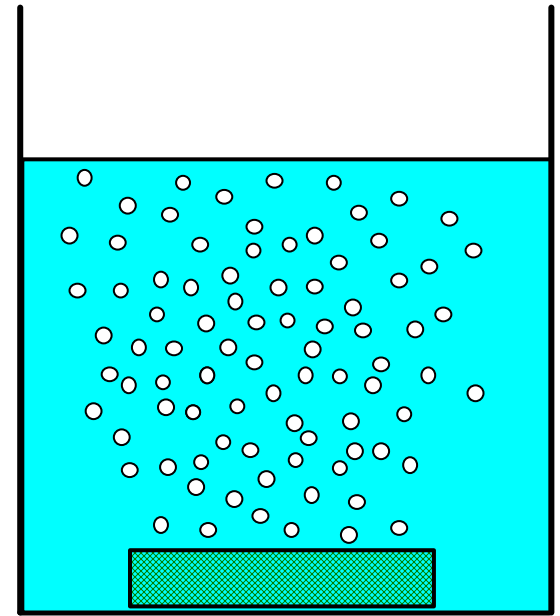
多様な沸騰：核発生



突沸

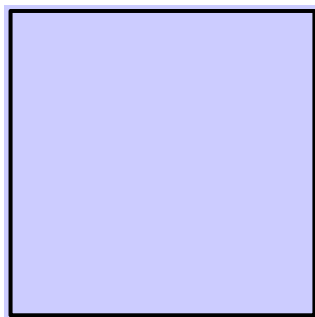
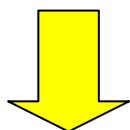
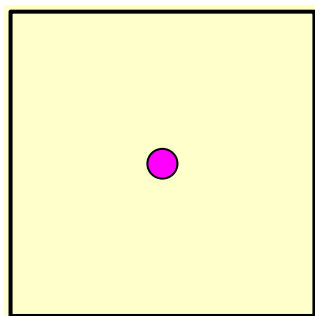


毛細管

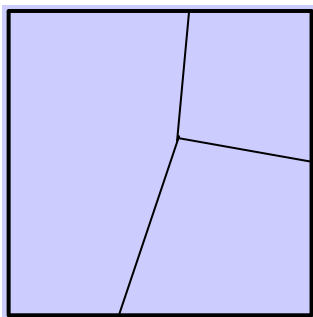
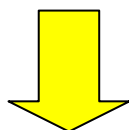
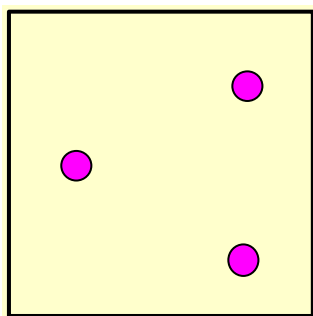


多孔体

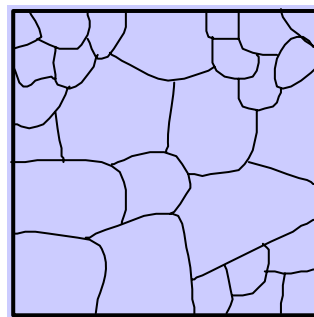
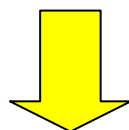
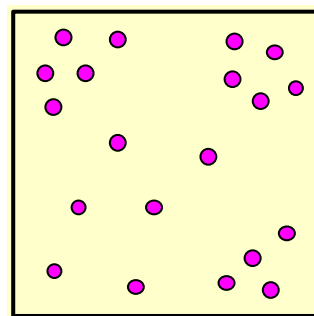
1.2 構造は無限：核発生→結晶



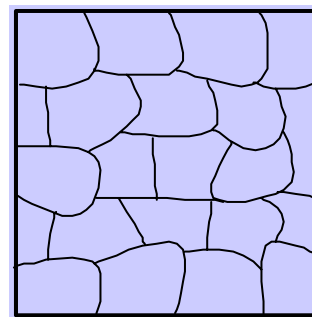
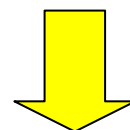
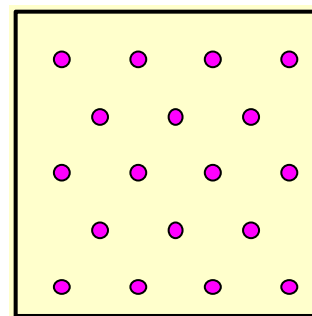
単結晶



多結晶

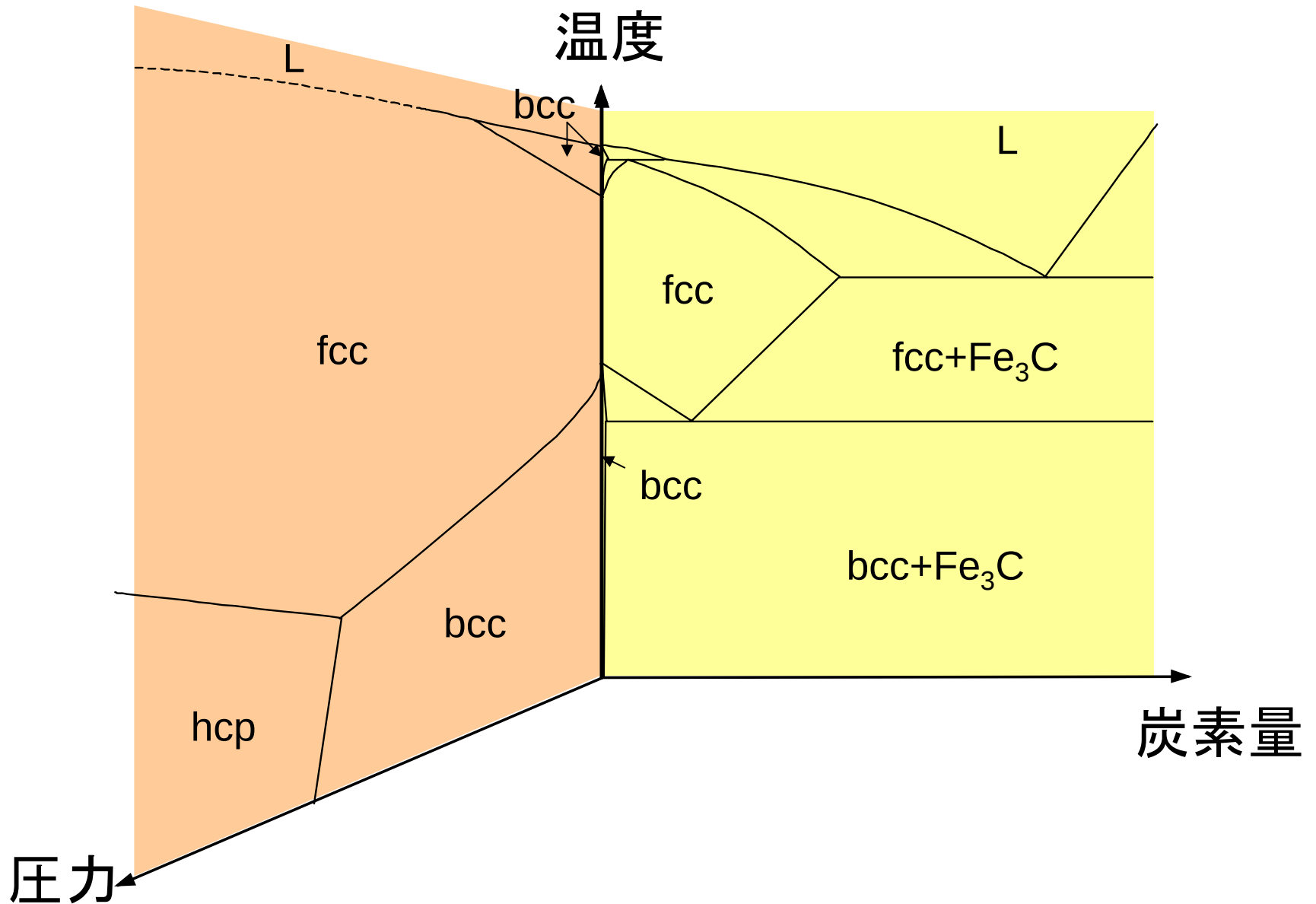


不均一



均一

構造は無限：鉄の状態図



地球上のほとんどの

1.3 物質は平衡状態にはない

120度の水、マイナス10度の水

ダイヤモンドは高圧で平衡状態の物質

鉄の地球環境中の平衡状態は酸化鉄

海の炭酸カルシウムは過飽和

1.4 物質の性質は構造に依存する

同じ物質でも構造は無限にある

（多結晶の形と大きさの分布）無限

×（相の種類）無限

×（相境界の構造）無限

→無限

構造制御を媒介するのは自然現象（核発生・成長）

1.5 物質製造プロセスの定義と要素

定義

無限の可能性のある現象の中から、
一定範囲の現象を進行させることによって、
無限の可能性のある構造の中から、
一定範囲の構造を実現すること

製造プロセスの4要素

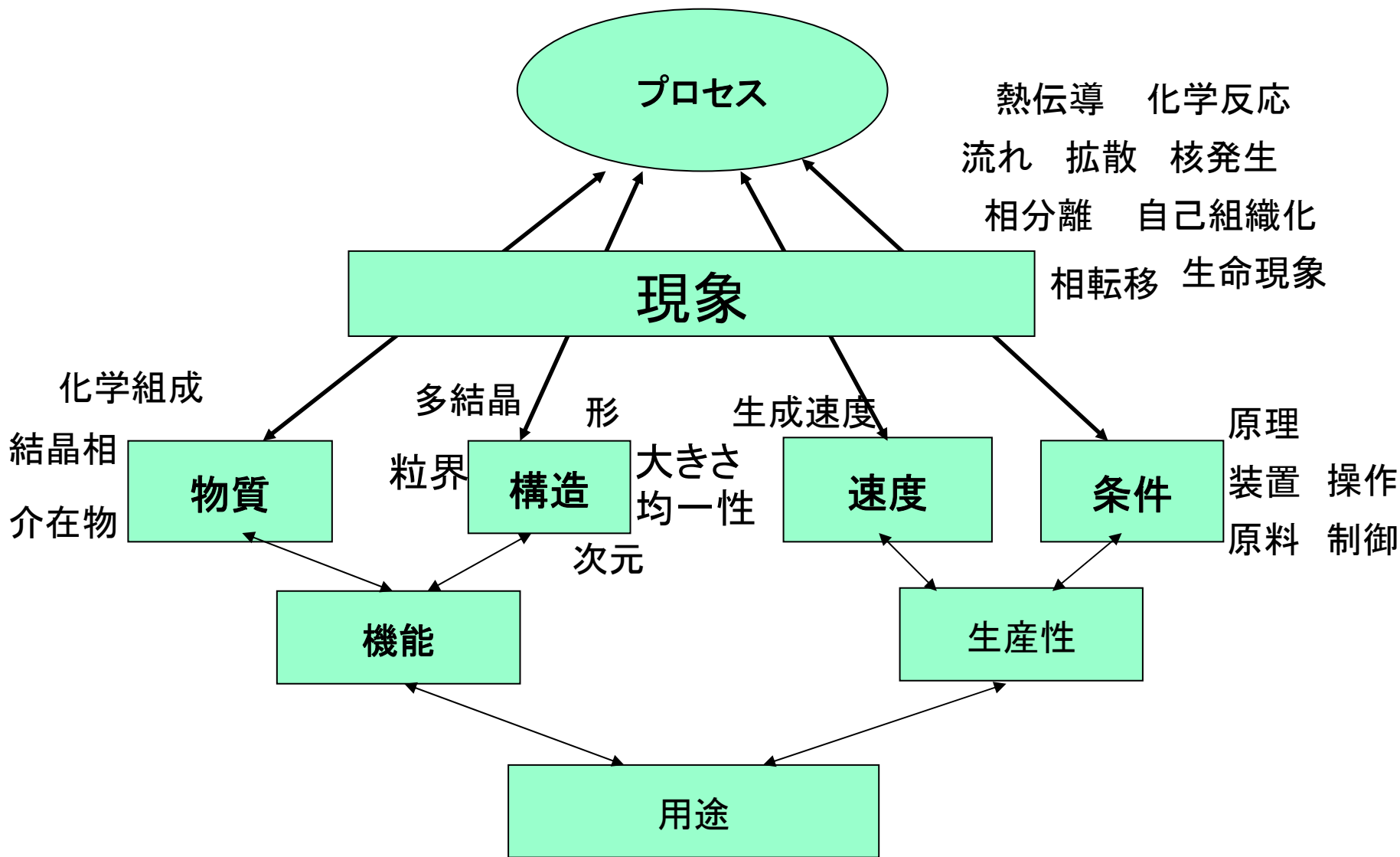
物質 : 化学組成、結晶相（非結晶相含む）、
不純物（介在物）

→家教授の物質

構造 : 多結晶構造（非結晶含む）
形、大きさ、均一性、次元

速度 : 生成速度

条件 : 原理、装置、操作、原料、制御



鉄鋼材料はどこに使われているか



写真提供：新日本製鐵株式会社

2. プロセスの例：製鉄

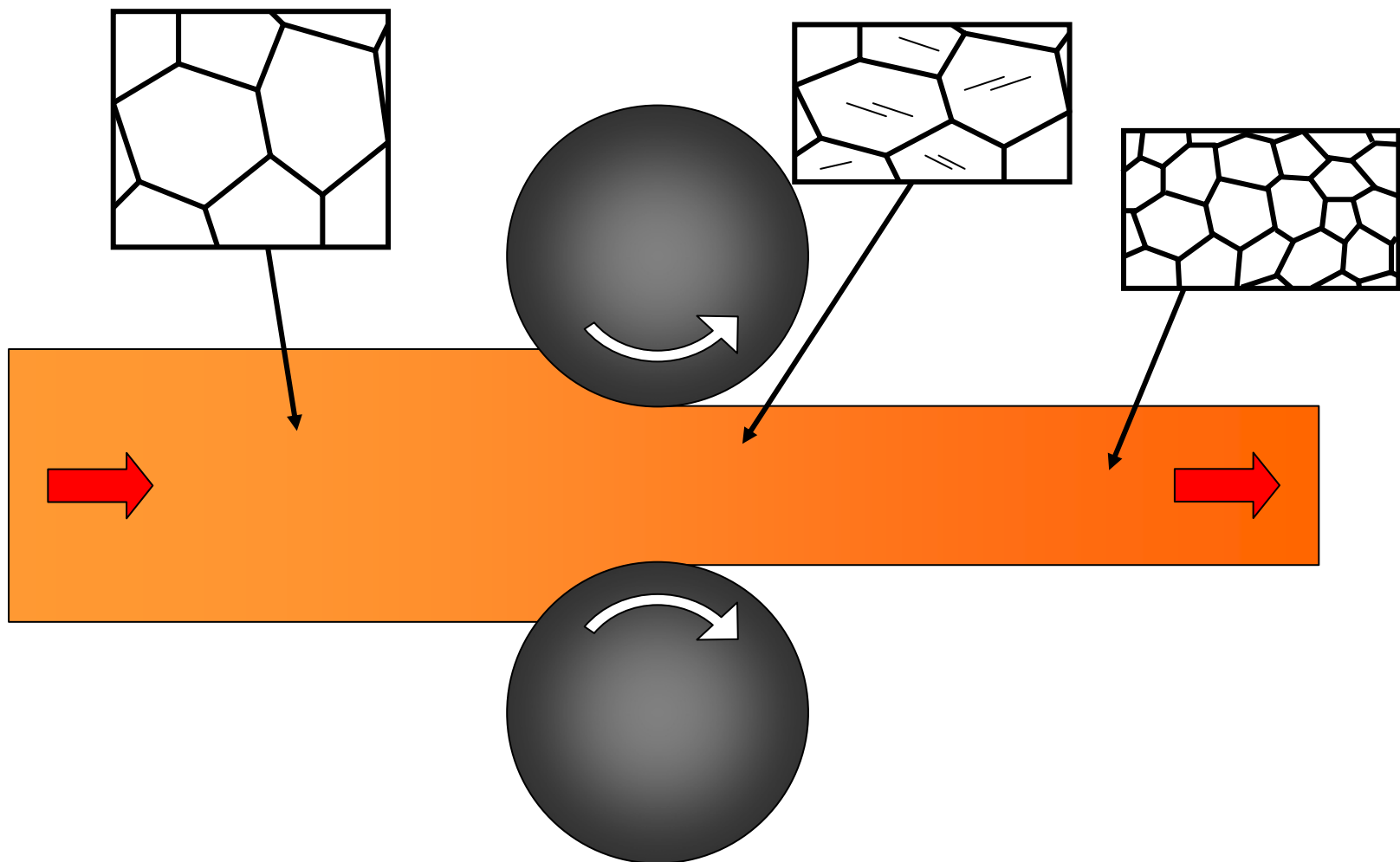
2.1 製鉄(高炉)：鉄鉱石 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow$ 還元反応 $\rightarrow \text{Fe}$

2.2 製鋼（転炉）

2.3 連続鑄造（C C）

2.4 熱間圧延

圧延（ひずみ駆動で固体微結晶粒）



2.5 製鉄プロセスの概要

- 高炉(酸化鉄の還元)
- 転炉(不純物の除去)
- 鑄造(液体⇒固体)
- 圧延(微結晶粒化)
- 制御: 圧延の例

ロールの圧力、温度、速度

均一性(ミクロンからキロメートル)

フィードバック、フィードフォワード

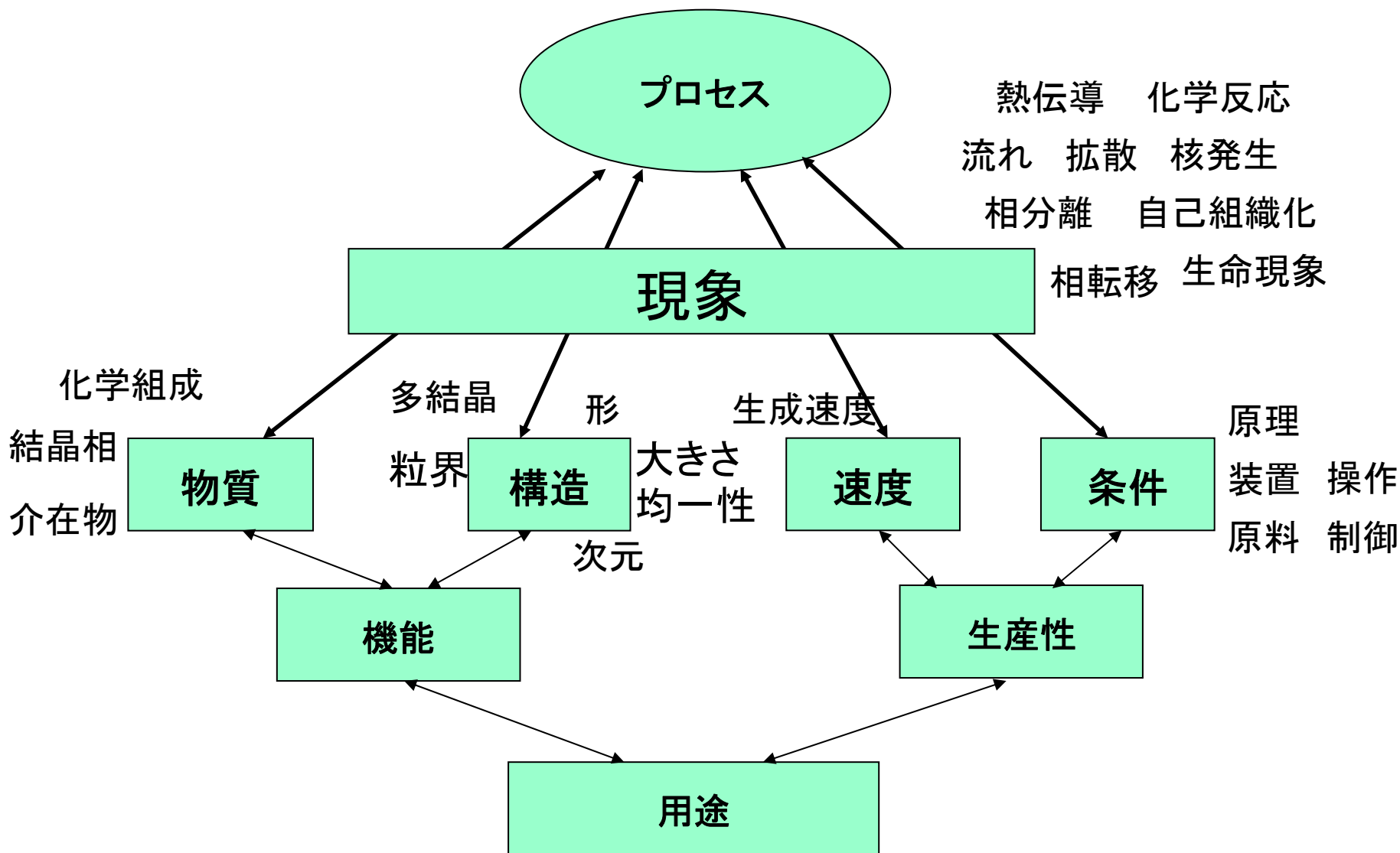
2.6 物質生産の4要素

物質 : 組成、結晶相、不純物（介在物）
構造 : 多結晶構造、形、大きさ、均一性
速度 : プロセスの速度
条件 : プロセス原理、装置、
操作条件（温度・圧力・濃度）、
制御、計測

物質と構造 ⇒ 「機能（物性）」

速度と条件 ⇒ 「生産性」

機能と生産性 ⇒ 「応用範囲」



3. 機能と応用（鉄鋼の例）

3. 1 自動車用薄板

相変態制御による高強度と伸び

→軽量化と衝突安全

3. 2 明石大橋ワイヤー

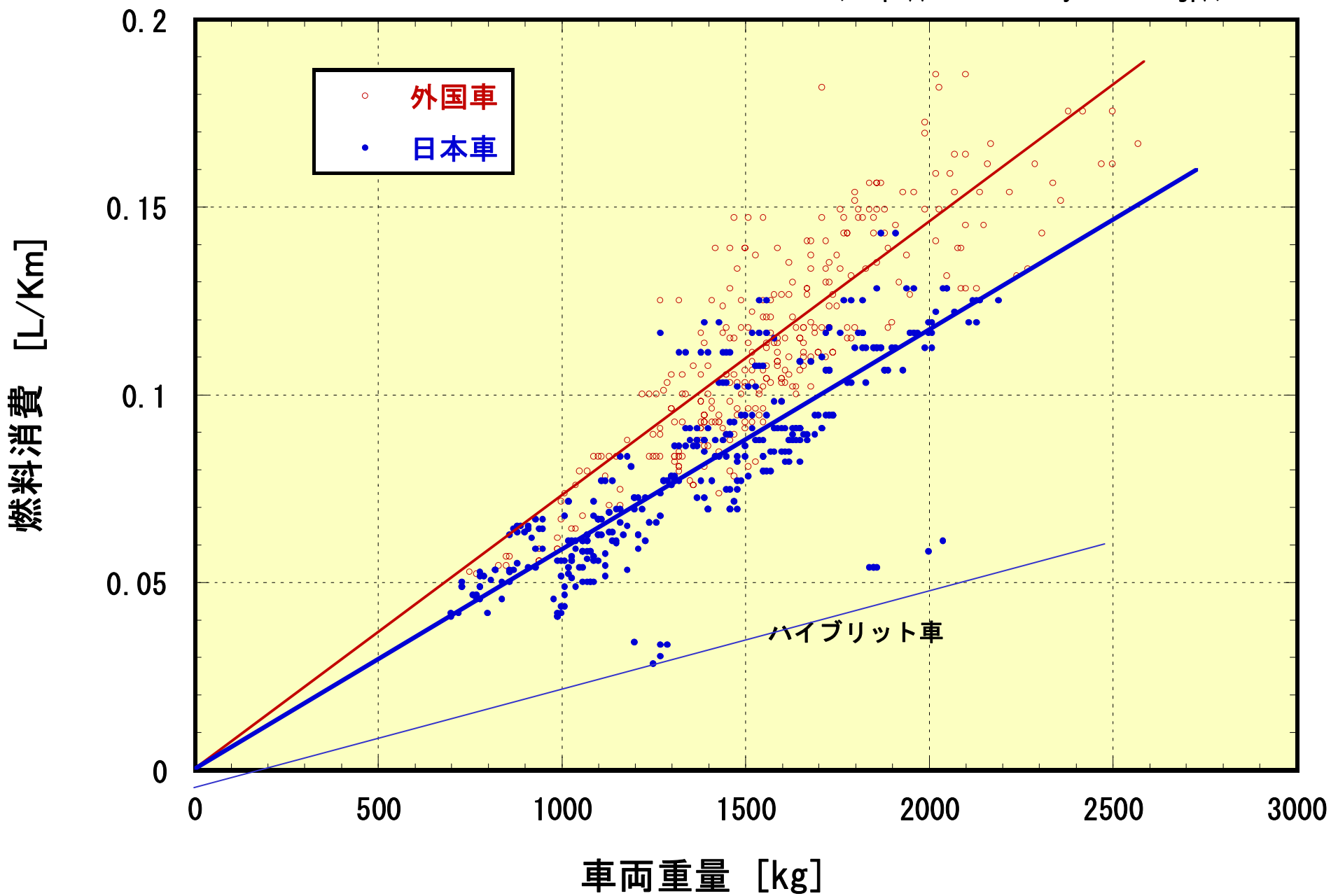
ナノ自己組織化による高強度

→大スパン橋梁

3. 3 スーパーメタル

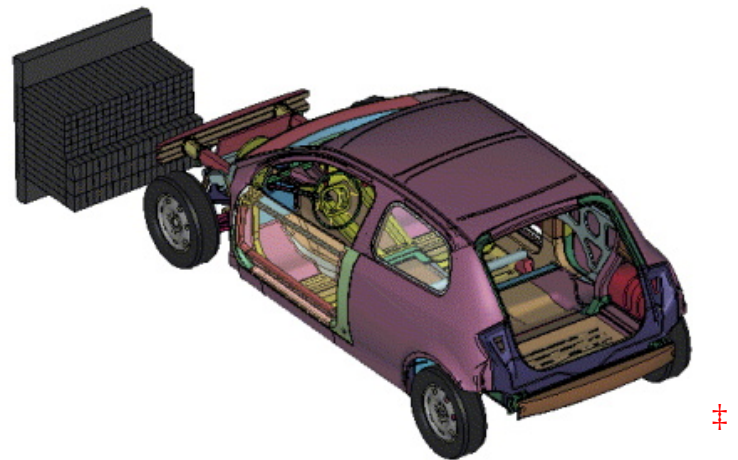
超微結晶粒による高強度

→高リサイクル性高強度材料



3.1 構造とエネルギー吸収：

圧力誘起構造変態による高強度鋼



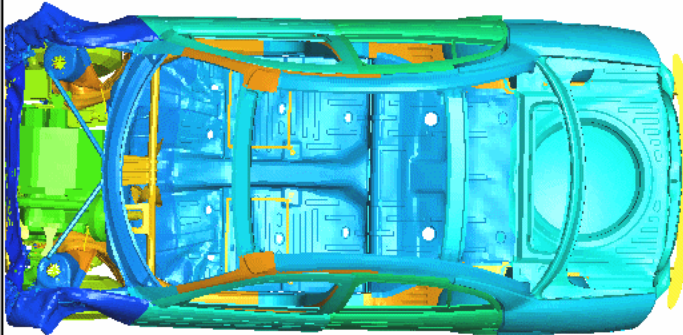
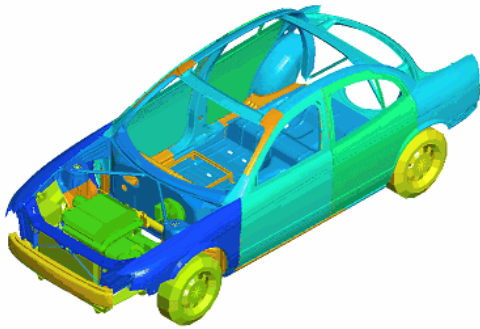
提供：新日本製鐵株式会社

著作権等の問題により、この場所に挿入されていた「自動車の衝突試験に関する写真」を省略させていただきます。

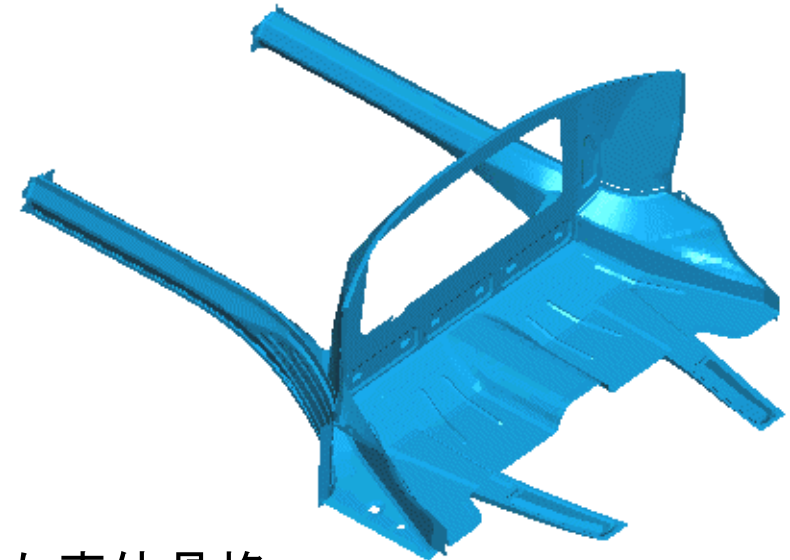
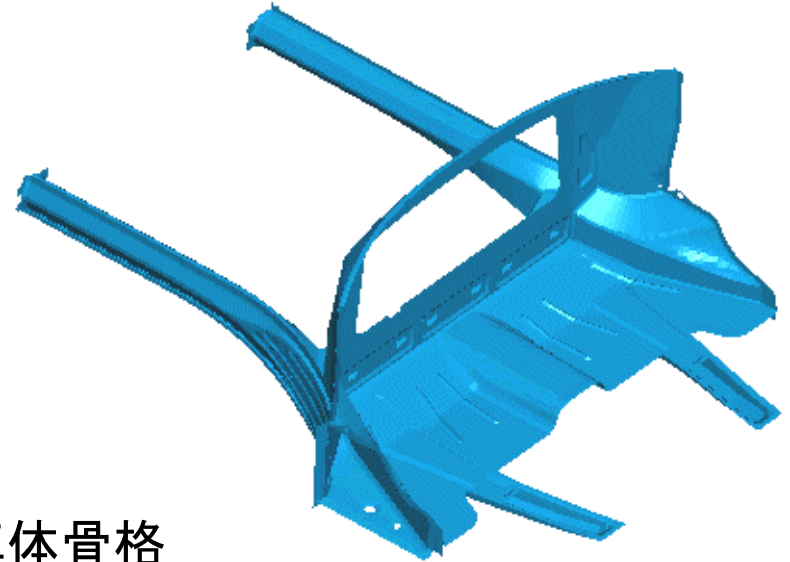
著作権等の問題により、この場所に挿入されていた「自動車の衝突試験に関する写真」を省略させていただきます。

著作権等の問題により、この場所に挿入されていた「フロント部エネルギー吸収構造に関する図」を省略させていただきます。

<アニメーション> : 前側骨格の変形 相当塑性ひずみ



軟鋼板のみからなる車体骨格



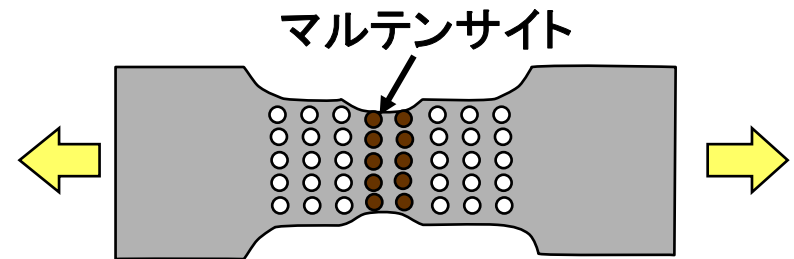
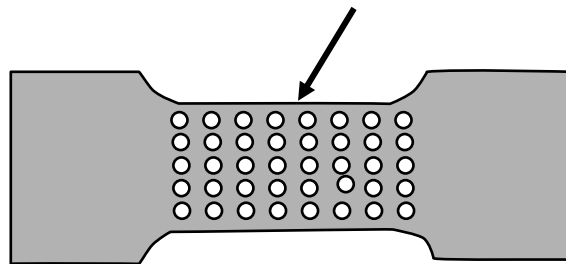
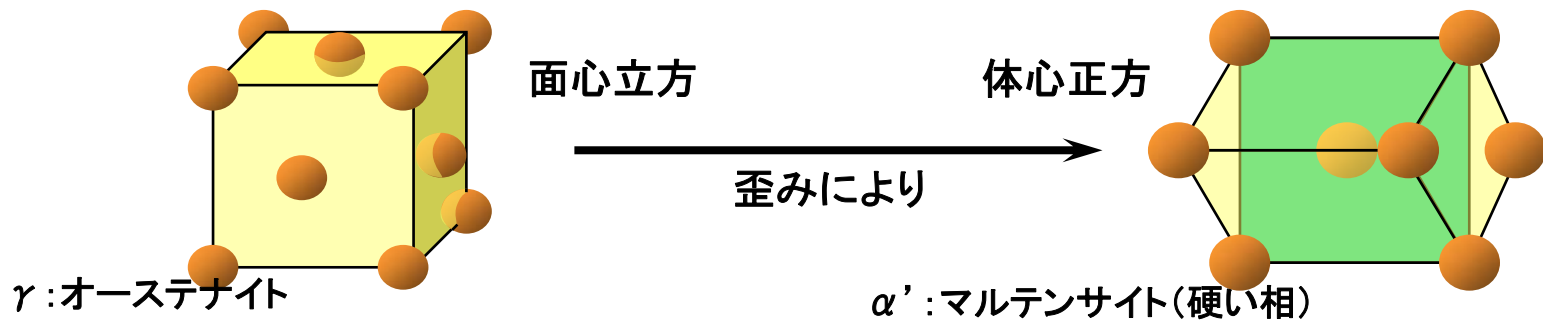
高強度鋼板を適切に配した車体骨格

剛体壁

加工誘起変態による高強度鋼

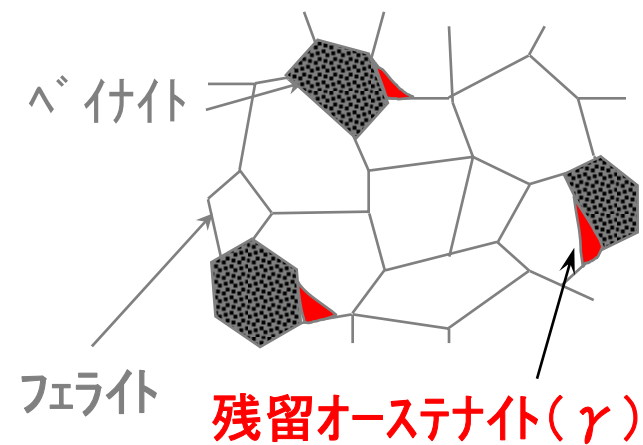
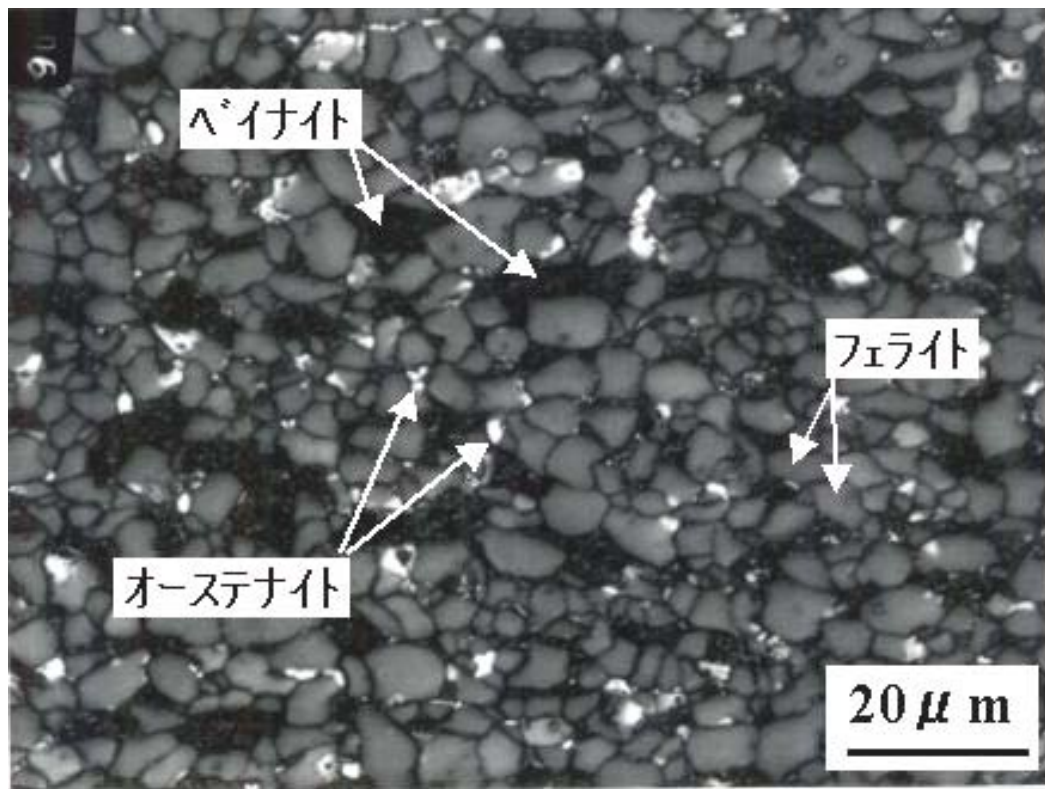
一瞬で(歪、変形⇒構造変態⇒硬化)

マルテンサイト変態を引き起こす⇒硬化



残留オーステナイト（軟質）が歪みを受けることにより、硬質のマルテンサイトに変態していくことで、歪みが均一に伝播し、局部くびれが起こり難い等の効果により高延性が得られる。

TRIP鋼の組織



提供：新日本製鐵株式会社

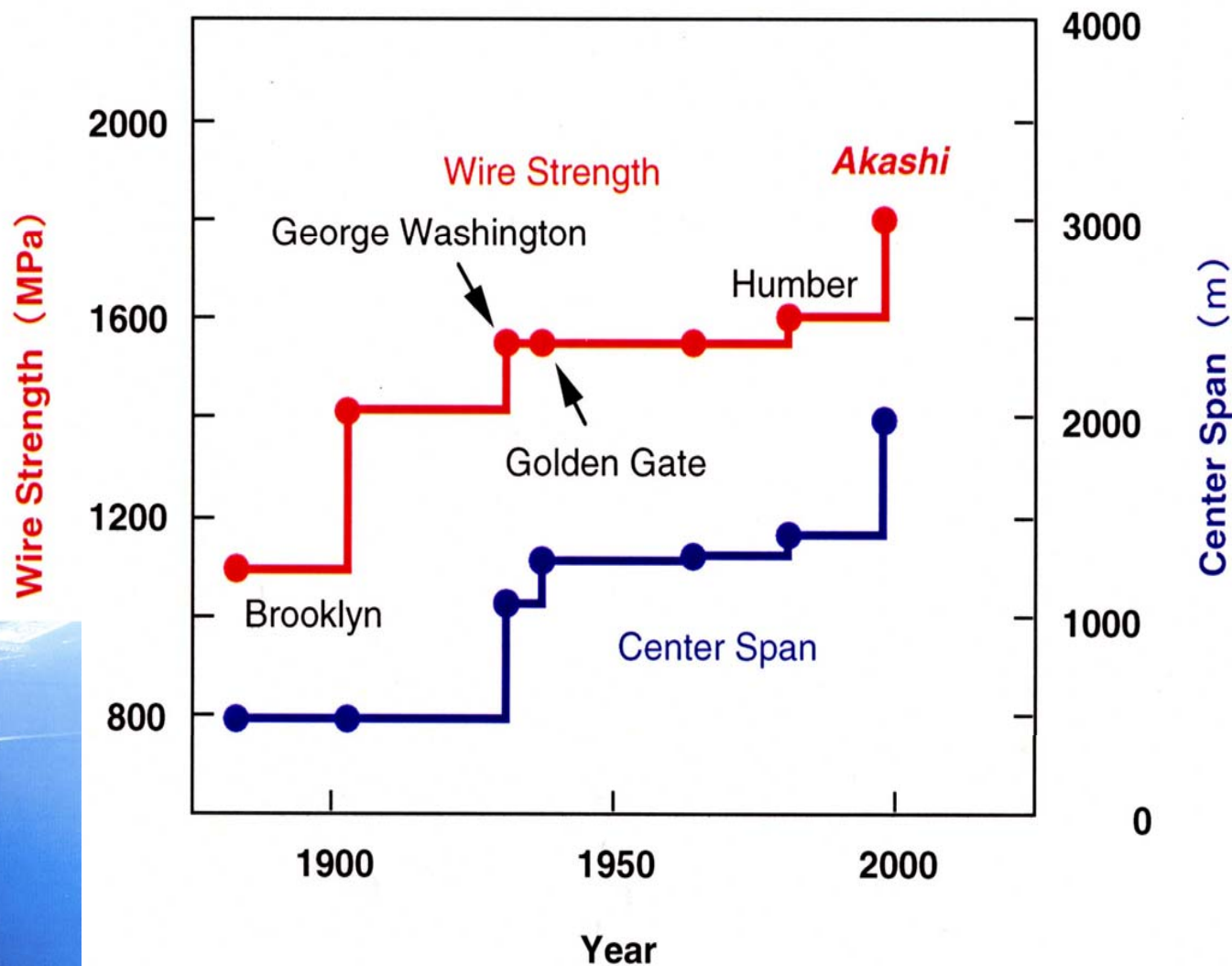
3.2 明石大橋の高強度鋼：

原子レベルの組織制御で高強度を発現した
橋梁用高強度ワイヤ



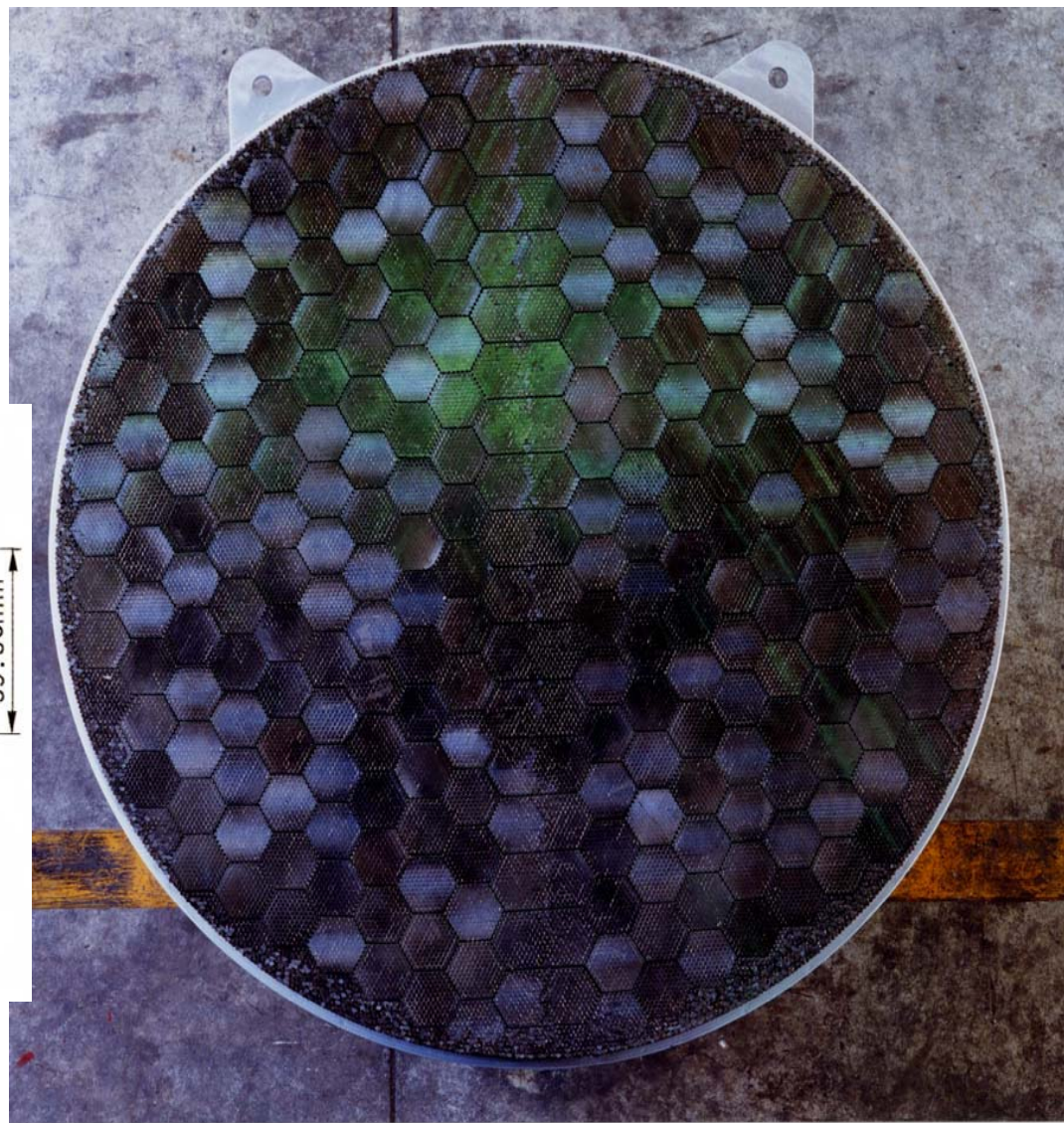
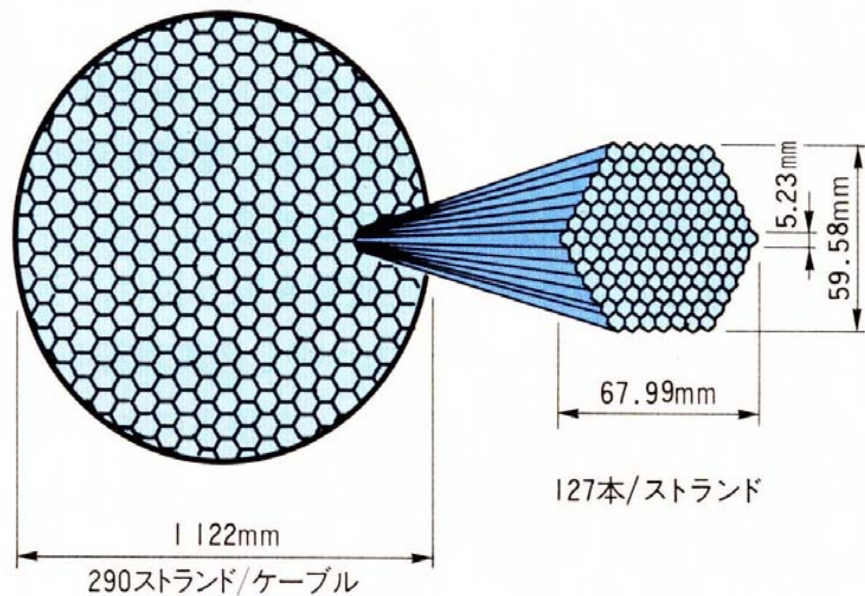
提供：新日本製鐵株式会社

橋梁用亜鉛めっき鋼線の高強度化



提供：新日本製鐵株式会社

明石海峡大橋 メインケーブルの断面



Cross section of main cable used for Akashi Strait Bridge.

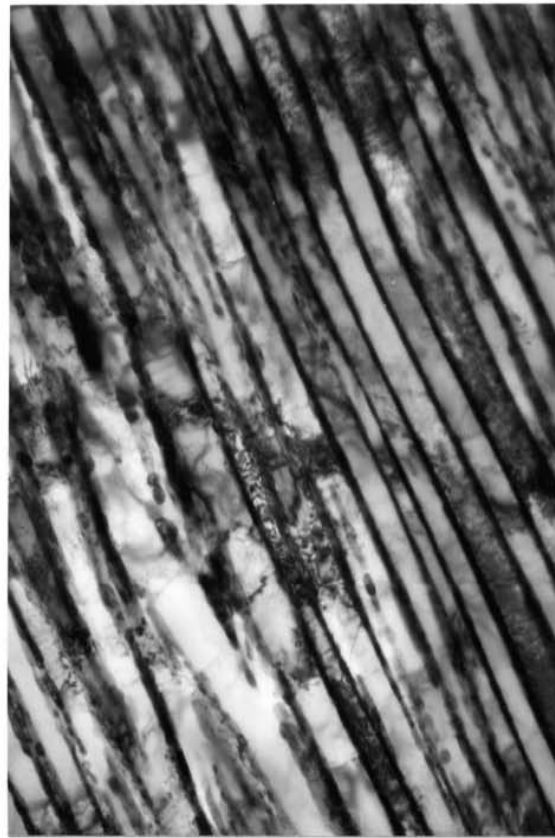
Strength of galvanized wire	: 1800 MPa
Diameter of galvanized wire	: 5.28 mm
Diameter of main cable	: 1.12 m
Number of galvanized wire / cable	: 36,830
Weight of main cable	: 25,265 ton

明石大橋用ワイアと従来のワイア

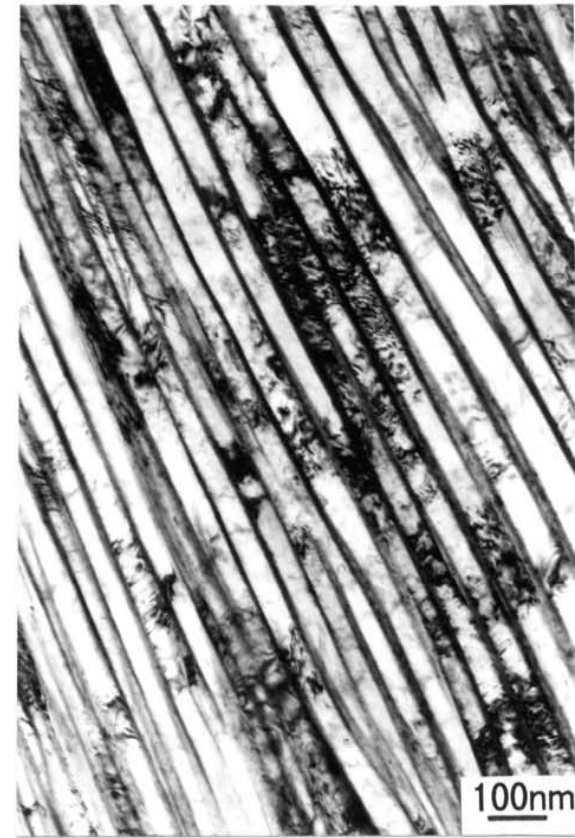
Si、Cr添加鋼線のめっき後の組織（組織が崩れない）



従来鋼 0.82%C



0.82%C—Si



0.82%C—Si—Cr

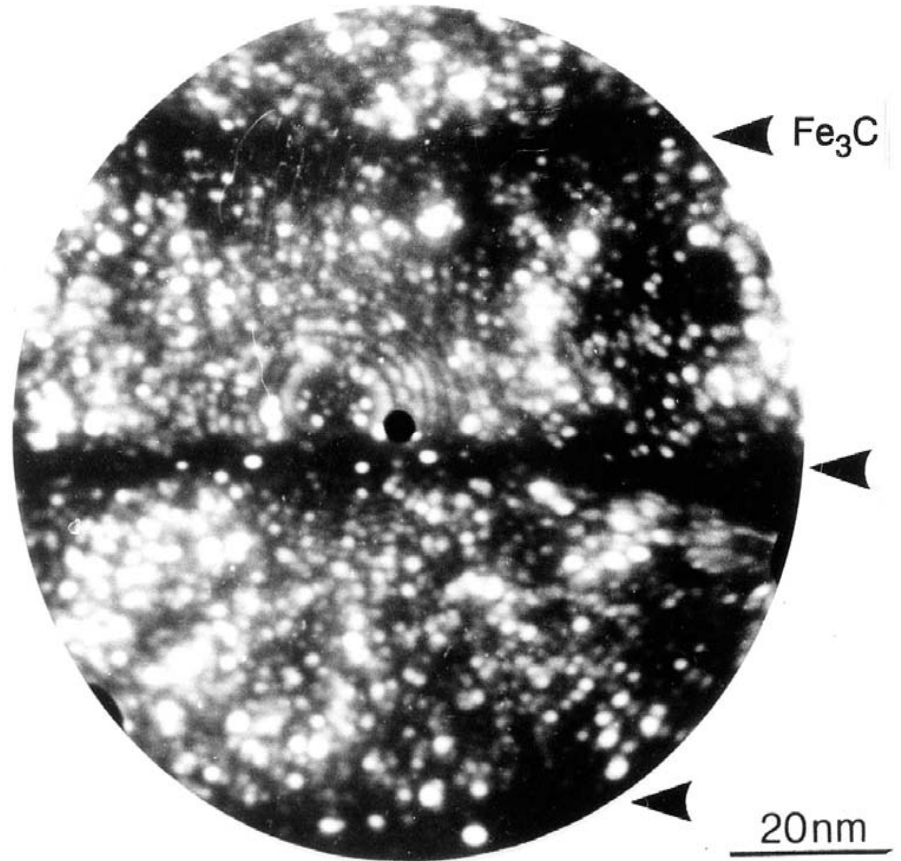
Transmission electron micrographs of wire aged at 450°C

提供：新日本製鐵株式会社

鋼線のAP-FIM組織



FIM試料のTEM組織



FIM組織

3.3 スーパーメタル

社会ニーズの時代変遷

通常機能品の大量生産

プロセスの効率化

省エネルギー、省資源、環境対応、自動化

高機能化

高張力、高靱性

一層の高機能化

衝突安全

新たな要請

持続社会適合素材：省エネ、水平リサイクル

同時達成

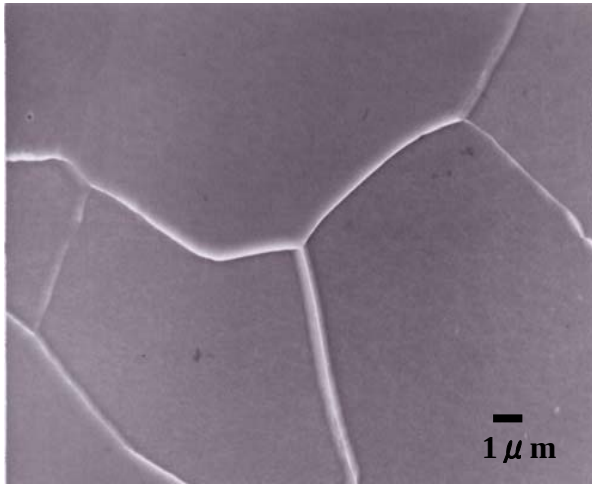
リサイクル性

鉄はリサイクルされている→電気炉
鉄鋼生産 10億トンのうち5億トン
リサイクルは組成を均質化し機能劣化
今は構造材に利用

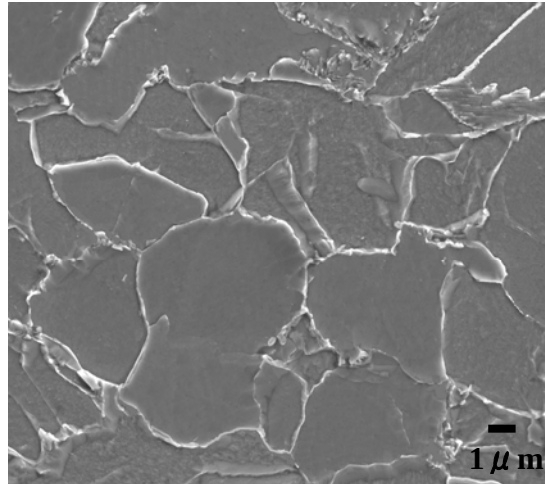
スーパーメタル

単一組成の構造制御だけで物性を発現

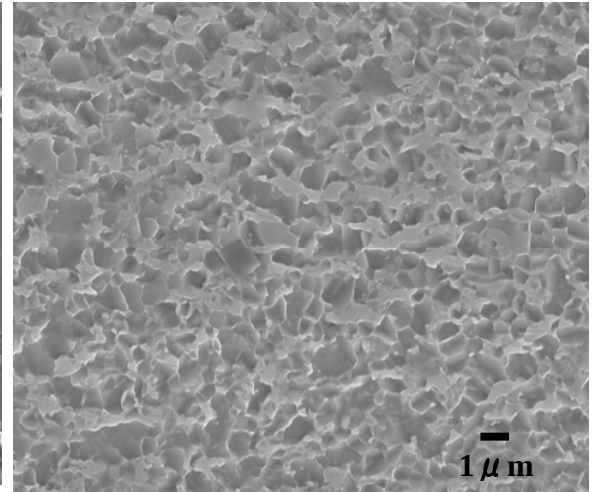
結晶粒サイズによる高強度化



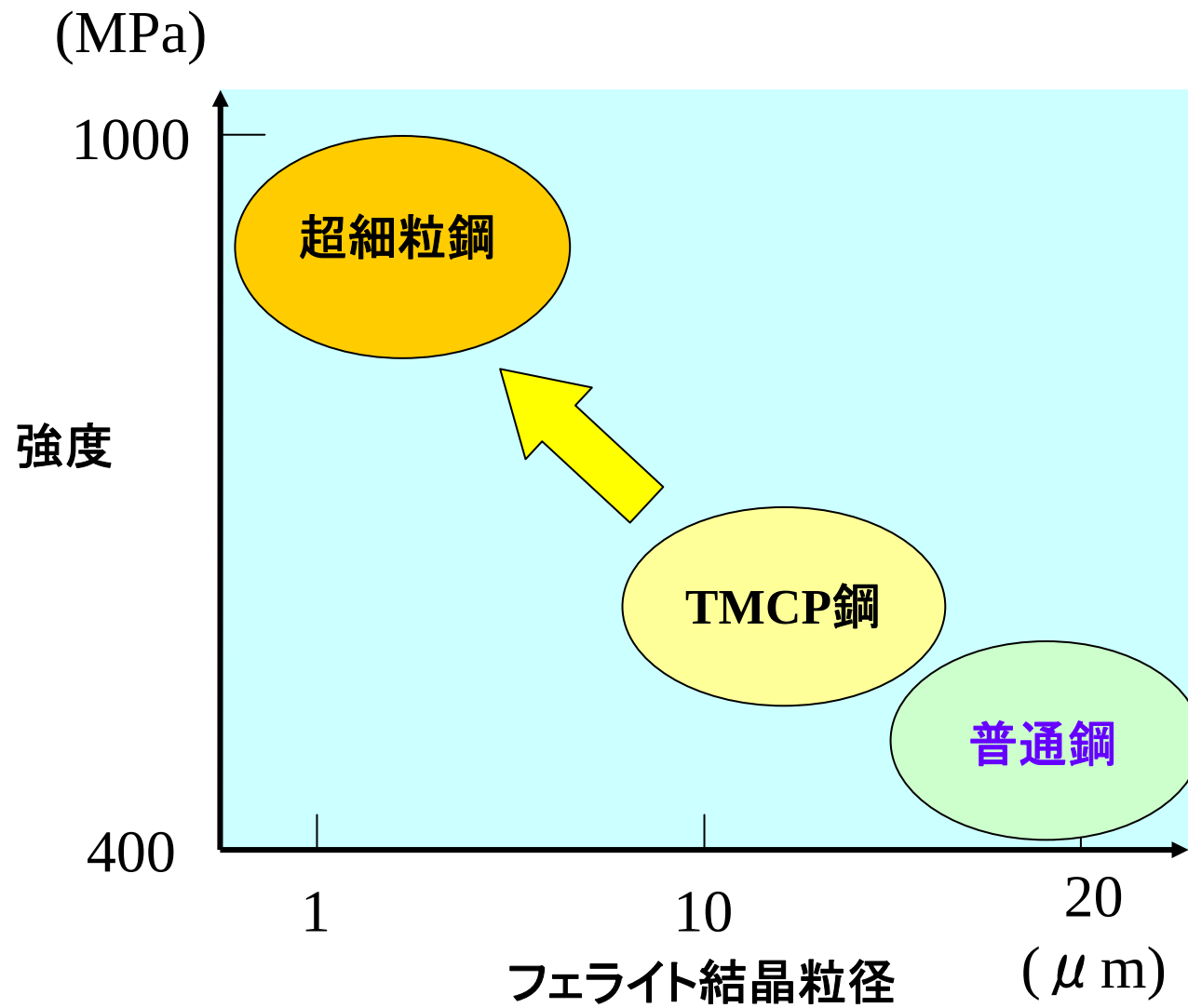
従来鋼(圧延まま)



TMCP鋼



超微細粒鋼



第1図 結晶粒微細化による強度上昇 (模式図)

製造プロセスの定義と要素

- 定義

無限の可能性のある現象の中から、一定範囲の現象を進行させることによって、無限の可能性のある構造の中から一定範囲の構造を実現する

- 要素

物質 : 組成、結晶相、不純物(介在物)

構造 : 多結晶構造、形、大きさ、均一性、厚さ

速度 : プロセスの速度

条件 : 原理、装置、操作、熱管理、計測

4. 講義の全体の構成

第1回：物質製造プロセス 主な例：金属（鉄鋼）

第2回：複合化（デバイス）

主な例：半導体、無機材料

第3回：ソフトマター 主な例：液晶

第4回：地球持続の物質（デバイス）

主な例：燃料電池、バイオチップ

第1回終わり