

ものづくり基礎講座(第35回技術セミナー)

～熱処理技術とものづくり～

熱処理技術の基礎

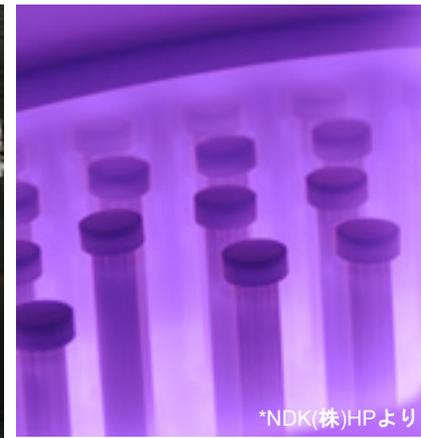
東北大学金属材料研究所関西センター: 千星 聡



アウトライン

1. 熱処理の役割 ～ 組織と特性～
2. 熱処理の歴史
3. 如何に熱処理するか (状態図の利用)
4. 身の回りの熱処理技術 (各種熱処理の紹介)
5. 熱処理の課題と今後の展望

ものづくりを支える熱処理



*NDK(株)HPより



*向井鍛工

何故、熱処理するか？



→【焼入れ】→【焼き戻し】での力学的特性の変化

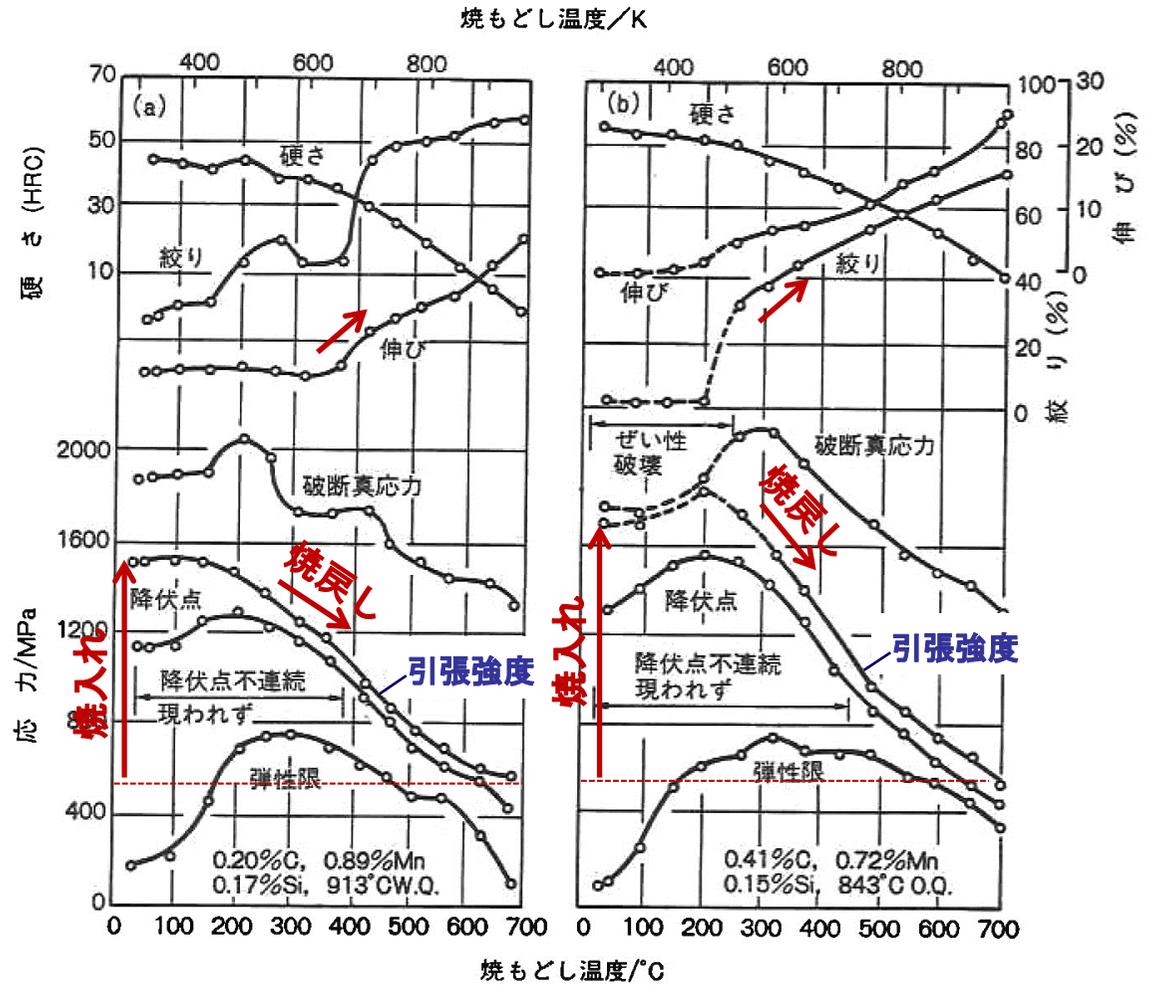


図 7-9 0.2% C 鋼 (a) および 0.4% C 鋼 (b) の焼もどしにともなう機械的性質の変化

何故、熱処理するか？

【特性】

- 力学的特性
- 電気的特性
- 熱的特性
- 磁気的特性
- 光学的特性
- 劣化特性
(化学反応性)

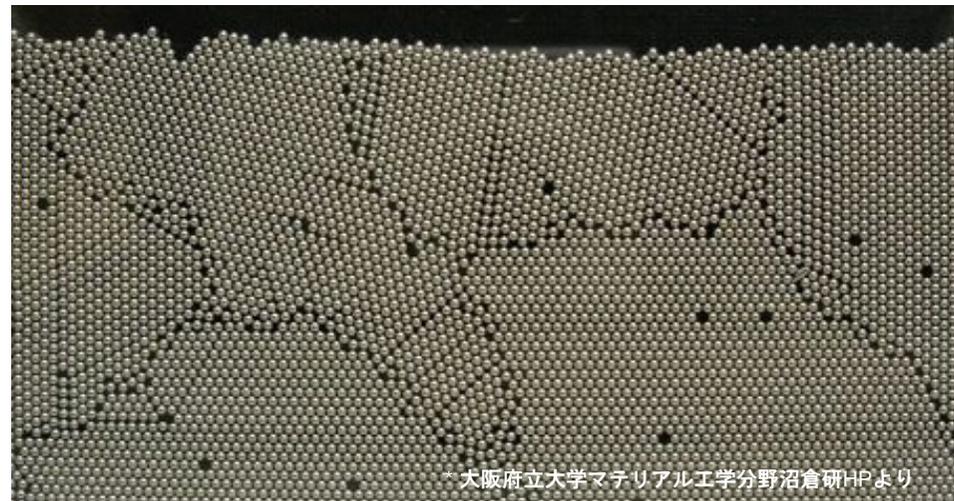


【組織】

- 結晶構造
- 欠陥 (空孔, 転位, 積層欠陥)
- 結晶粒径、方位分布
- 第二相の存在、分布状態



「組成」, 「熱処理」に依存



*大阪府立大学マテリアル工学分野沼倉研HPより

熱処理の役割

【材料の特性を引き出す】



【材料の組織を制御する】

- ① 構成元素(**組成**),
- ② 製造プロセス (加工と**熱処理**)



* 同じ材料でも異なった性質

→ 材料を如何に活かすかは「**熱処理**」次第

アウトライン

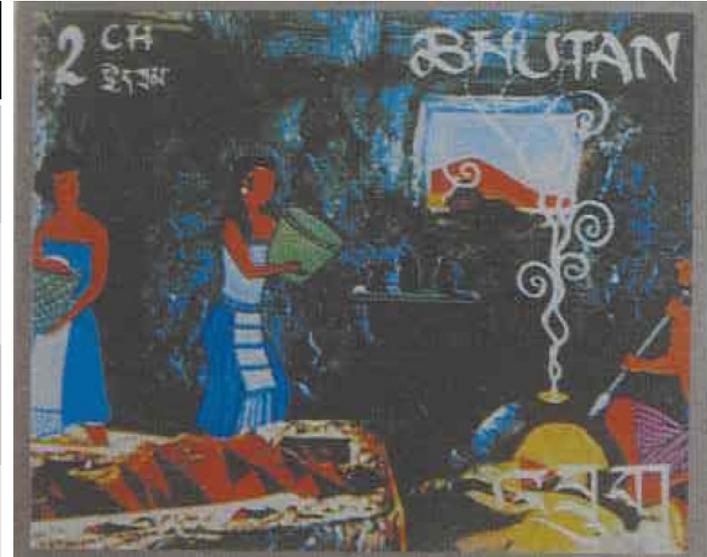
1. 熱処理の役割 ～ 組織と特性～
2. 熱処理の歴史
3. 如何に熱処理するか (状態図の利用)
4. 身の回りの熱処理技術 (各種熱処理の紹介)
5. 熱処理の課題と今後の展望

熱処理技術の歴史①

◆ 鉄と熱処理技術の歩み

年代	トピックス
BC5000	メソポタミア サーマツサー遺跡から鉄器発見
BC1400	ヒッタイトで鉄武器使用 (* この頃には熱処理技術が!)
BC1000 -600	欧州、エジプトなどで鉄器時代
AD800 -	たたら製鉄が開始
AD1500 -	固体浸炭が開始
AD1850 -	熱処理技術が学問体系化 → 熱処理技術の進歩
1920 -	ガス窒化、ガス炭化が開始
1930 -	鉄鋼生産全盛期、高機能・高強度化

* ヒッタイトの製鉄-切手(よくわかる「鉄」の基本と仕組みより)



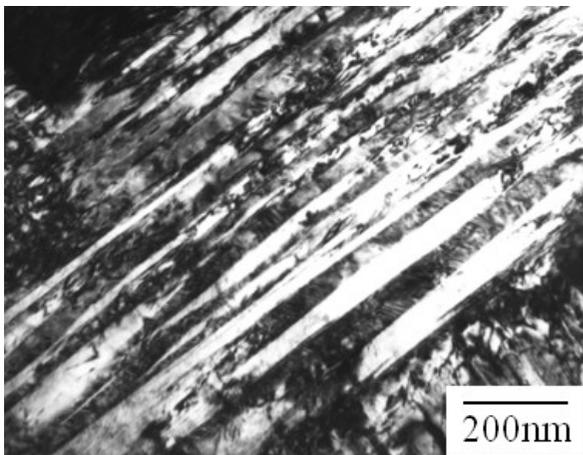
* 全国で唯一、砂鉄から和鋼を量産する「日刀保たたら」
(鳥取金属熱処理協業組合 HPより)

熱処理技術の歴史②

◆ マルテンサイト



Adolf Martens (1850-1914)



高炭素鋼の針状マルテンサイト組織

1800年代には化学分析法の進歩により、鋼の性質の違いは化学組成で説明できるようになるだろうと予想されていた。しかし、実際には同じ組成でも熱処理によって全く違う性質を示すことが明らかになった。

1800年代後半、光学顕微鏡法が発展した。1890年頃、A. Martens (ドイツ)は強い鋼ほど針状の組織をたくさん含んでいることを発見した。この組織は後に'**martensite**' (**マルテンサイト**)という名前が付けられた。

- * オーステナイトは 'W.R. Austen' (イギリス)
- * ベイナイトは'E.C. Bain' (アメリカ)

熱処理技術の歴史③

◆ ジュラルミンの発見

1906年にドイツ人Wilm は高温の鋼を水に漬けて急速に冷却すると硬くなることの類推から、アルミニウムを硬くする目的で銅を加えたアルミニウム合金を高温で加熱した後水中に急冷した。

しかし、合金は硬くならなかった。Wilmは念のために2日後に硬さを測り直した。驚いたことに合金は著しく硬くなっていた。

これが、ジュラルミンと呼ばれる強靱なアルミニウム合金の第一歩。後に、GuinerとPrestonによって、合金の強化は溶体化処理-時効処理による析出強化機構に基づくことが解明された。

* 予期せぬ偶然に基づく幸運な出来事
(セレンディピティ)



Alfred Wilm (1869-1937)



Wilmの特許



アウトライン

1. 熱処理の役割 ～ 組織と特性～
2. 熱処理の歴史
3. 如何に熱処理するか (状態図の利用)
4. 身の回りの熱処理技術 (各種熱処理の紹介)
5. 熱処理の課題と今後の展望

如何に熱処理するか ～状態図の利用～

【材料の特性を引き出す】



【材料の組織を制御する】

- ① 構成元素(**組成**),
- ② 製造プロセス (加工と**熱処理**)



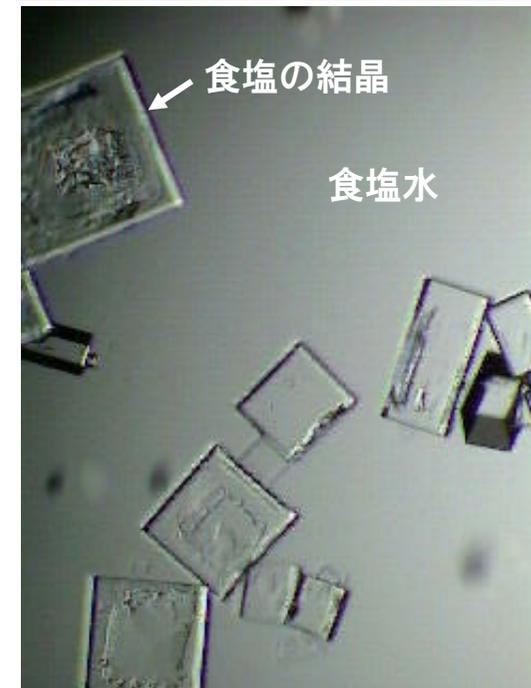
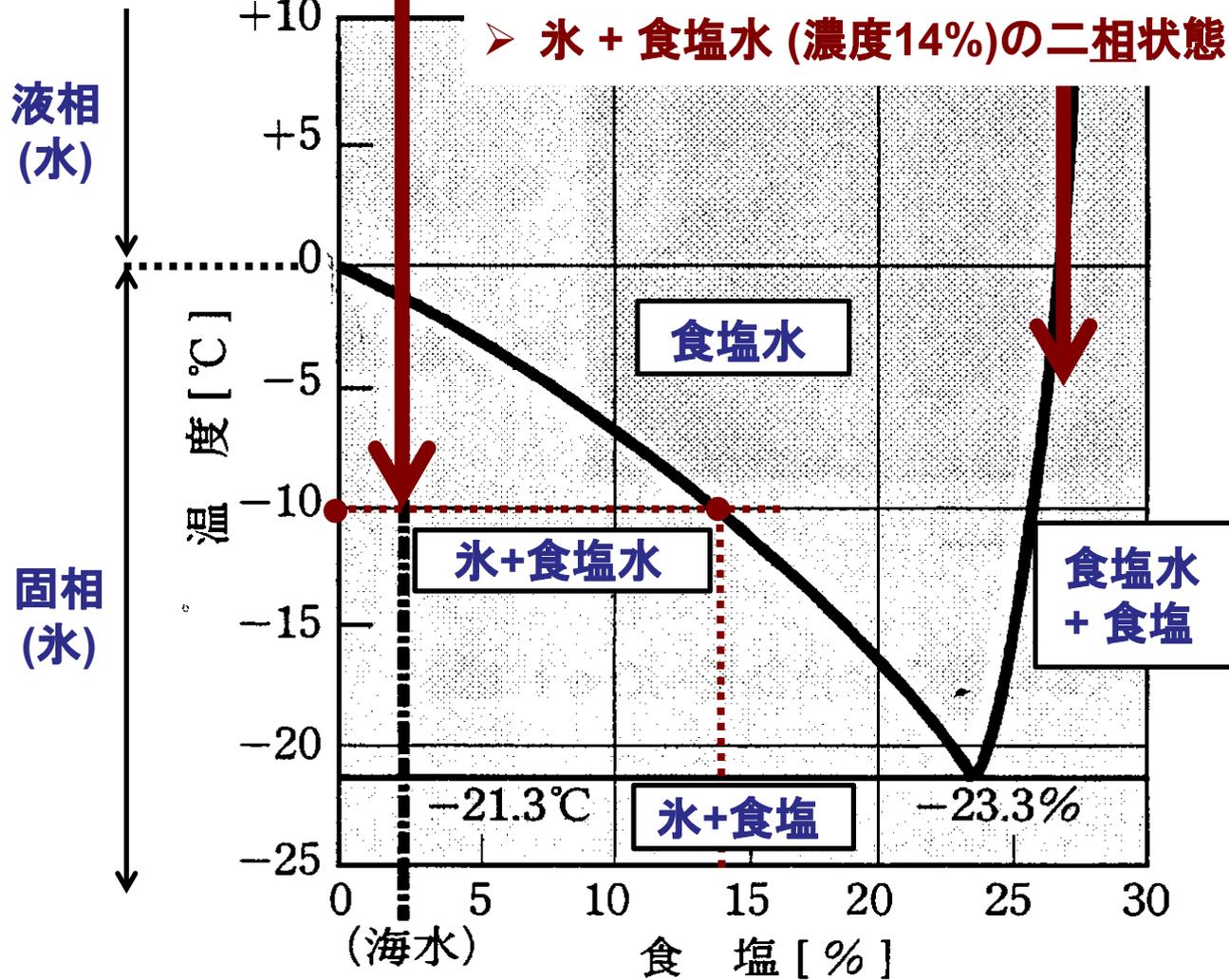
「状態図」：組成や温度による物質の状態を表す図

- ・ 組織の主要な要素である「安定相」が「組成」, 「温度」にどのように依存するかがわかる。
- ・ 合金組成や熱処理条件の選定に有効な知見を与える。

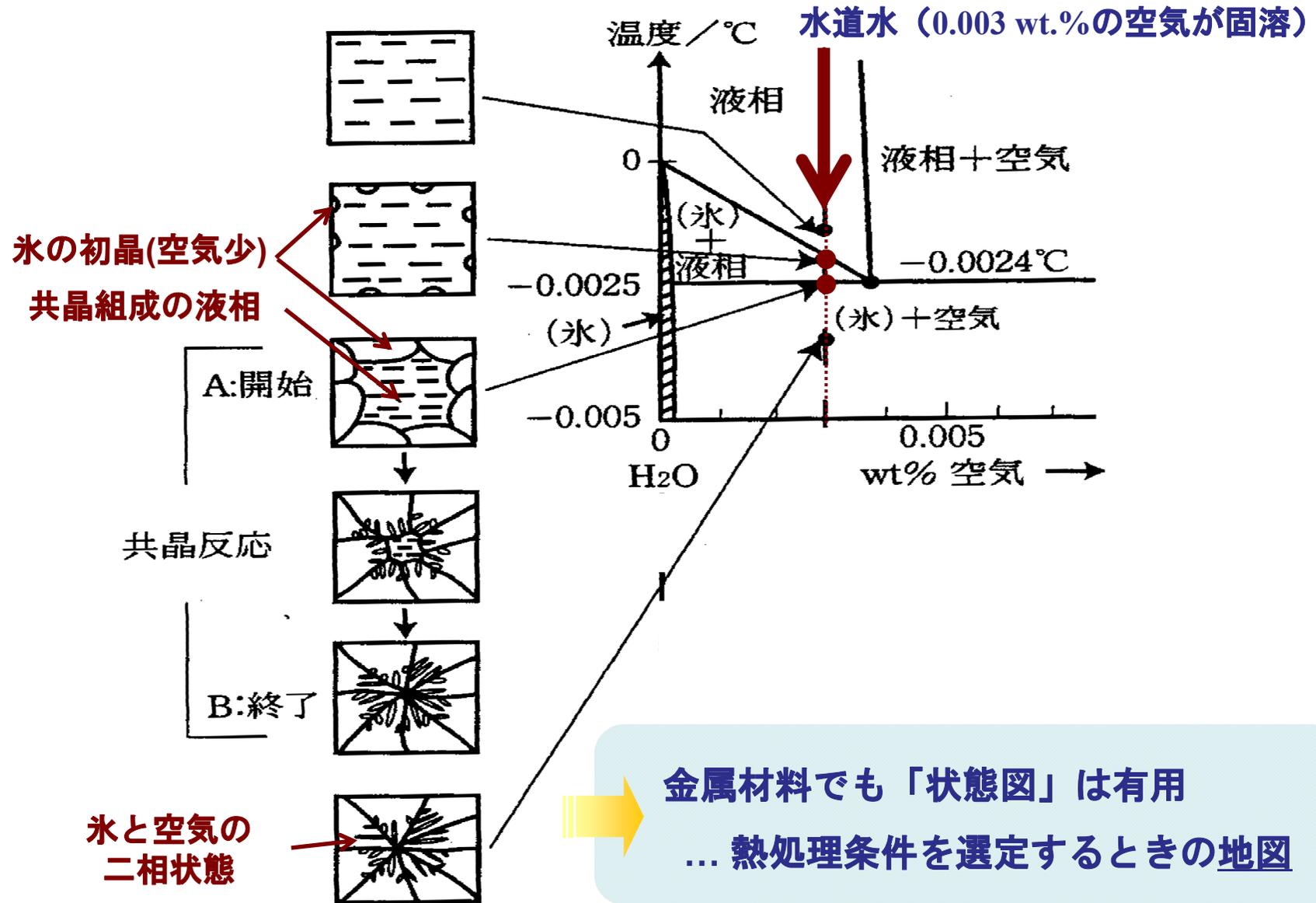
状態図① (水-食塩系)

海水(濃度3%)を-10℃まで冷却すると...

➤ 氷 + 食塩水 (濃度14%)の二相状態



状態図②(水-空気)



アウトライン

1. 熱処理の役割 ～ 組織と特性～
2. 熱処理の歴史
3. 如何に熱処理するか (状態図の利用)
4. 身の回りの熱処理技術 (各種熱処理の紹介)
5. 熱処理の課題と今後の展望

熱処理技術の分類

バルク(全体)熱処理

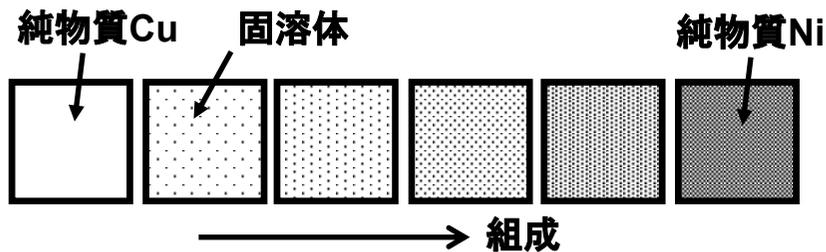
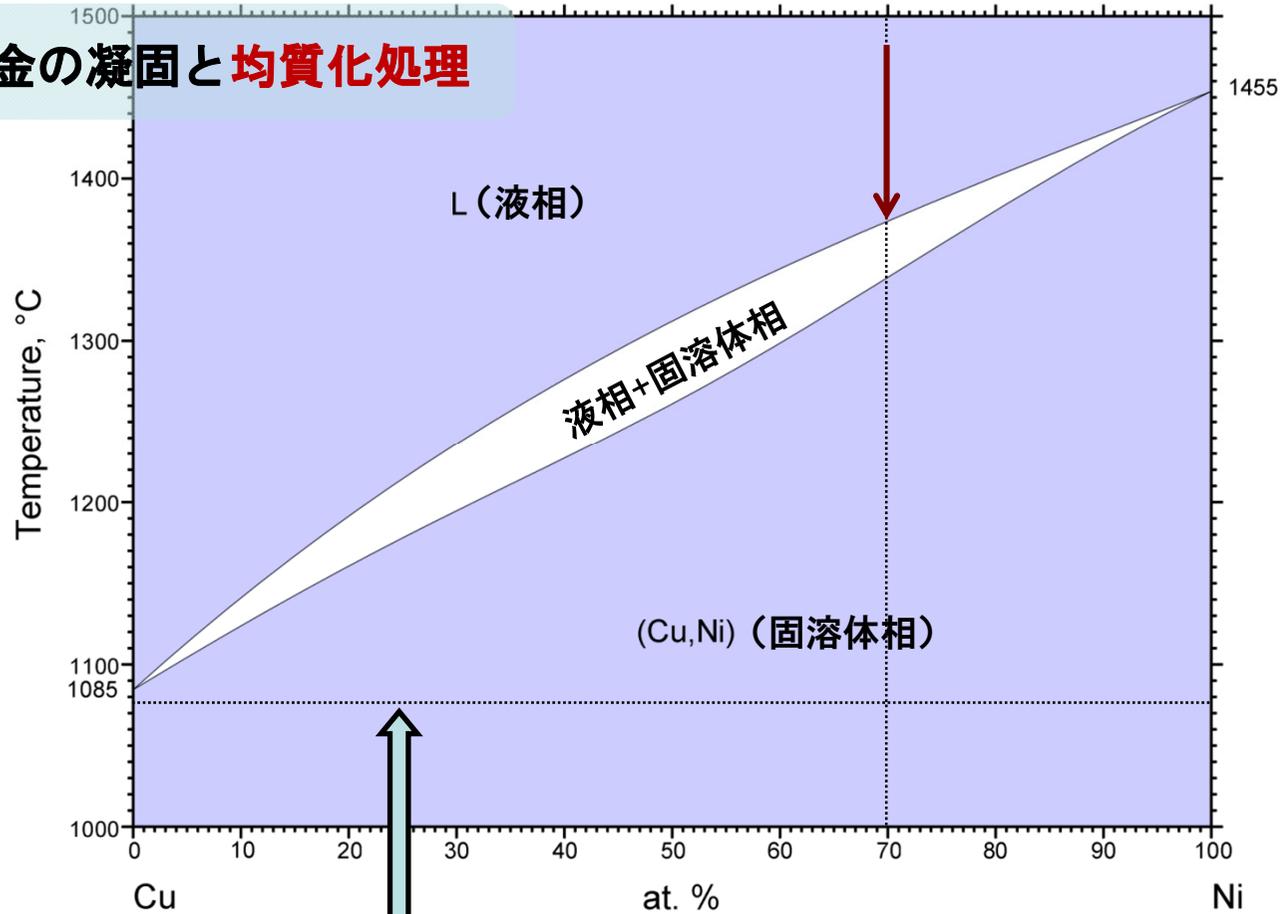
- 焼き鈍し
 - 焼きならし
 - 焼入れ・焼き戻し(調質)
 - サブゼロ処理
 - 安定化处理
-
- 熱間圧延/鍛造
 - 応力除去焼きなまし
 - 均質化处理
 - 溶体化処理
 - 時効処理(析出強化処理)

表面熱処理

- 浸炭焼入れ・焼き戻し
 - 高周波焼入れ・焼き戻し
 - 窒化、軟窒化、プラズマ窒化
-
- ショットピーニング
 - 蒸着

鑄造組織と均質化処理

<例> Cu-Ni合金の凝固と均質化処理



鑄造組織と均質化処理

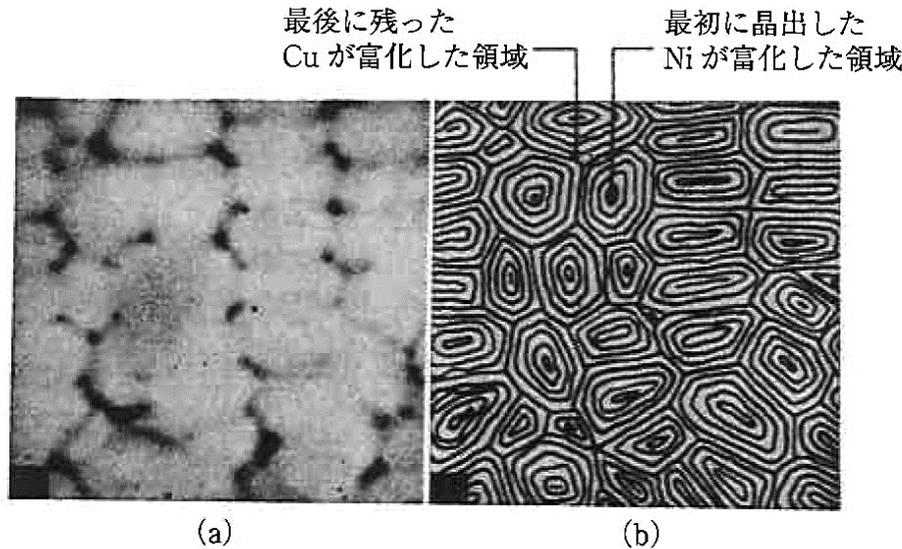
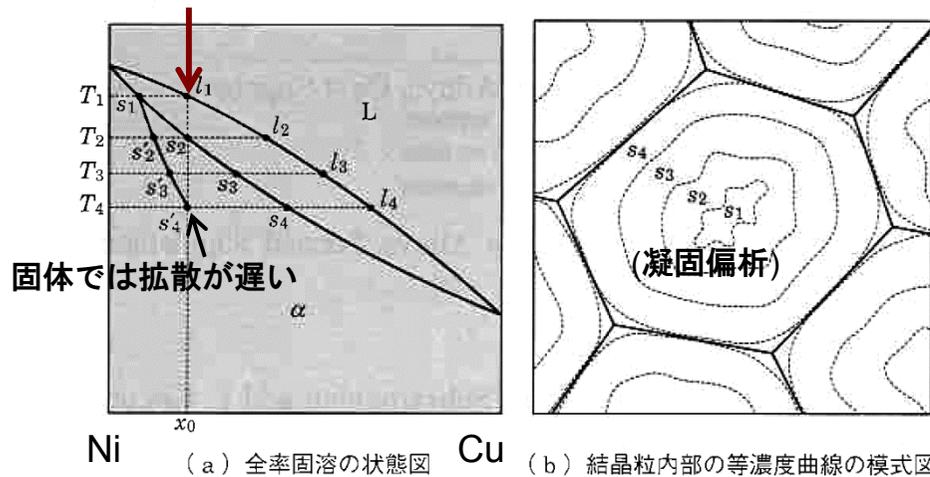


図 3.6 (a)70 Ni-30 Cu 2 元合金の鑄造組織 (×100) と (b)有芯構造の模式図



◆ 凝固偏析をなくすためには

⇒ 均質化熱処理

$$\begin{cases} D = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right) \\ x \cong \sqrt{Dt} \end{cases}$$

D : 拡散係数

D_0 : 定数

ΔH : 活性化エネルギー

R : 気体定数

T : 熱処理温度(K)

x : 拡散距離

t : 熱処理時間

熱処理の効果 $\propto \sqrt{t}$, e^T

溶体化/時効処理

<例> Al-Cu合金*の 溶体化/時効処理

*通称‘ジュラルミン’

Al-Cu合金 (Cu: ~4wt.%)

溶体化

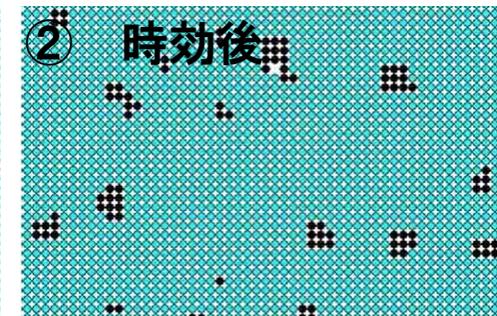
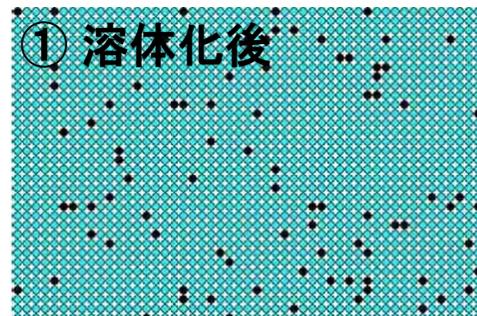
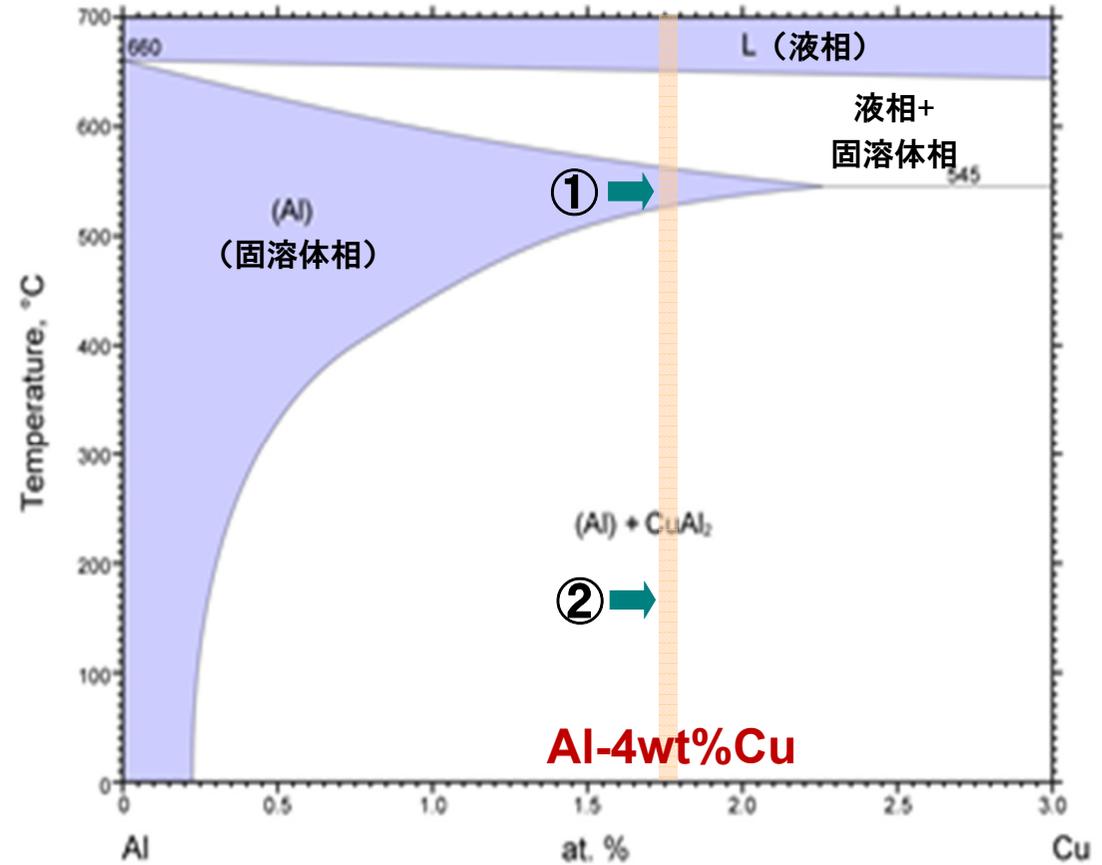
*高温①で保持/急冷

時効

*中温②で保持

第二相(CuAl₂)が析出

高強度化



溶体化/時効処理

<例> Al-Cu合金の 溶体化/時効処理

*通称‘ジュラルミン’

Al-Cu合金 (Cu: ~4wt.%)

溶体化

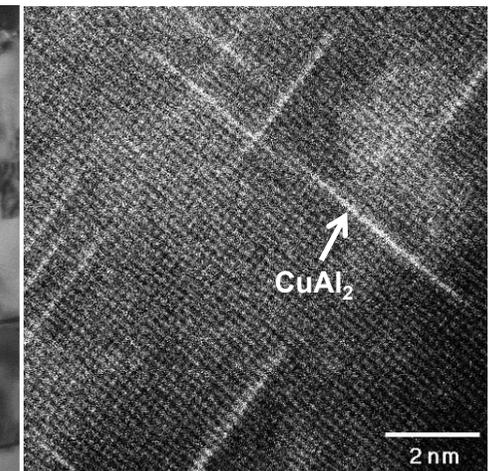
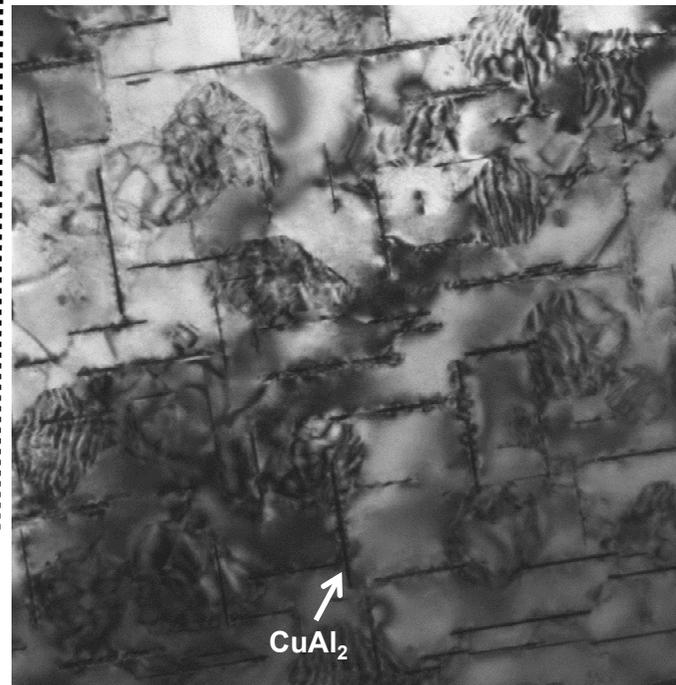
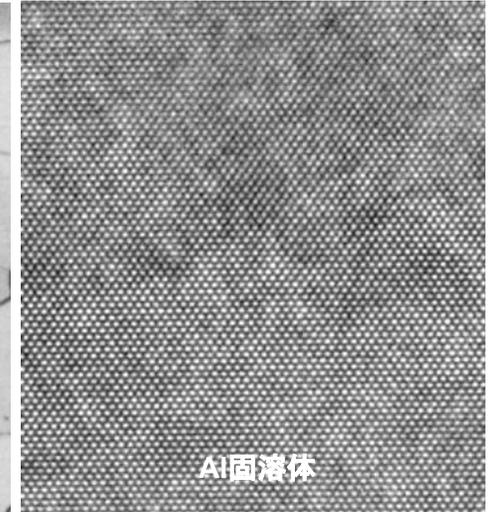
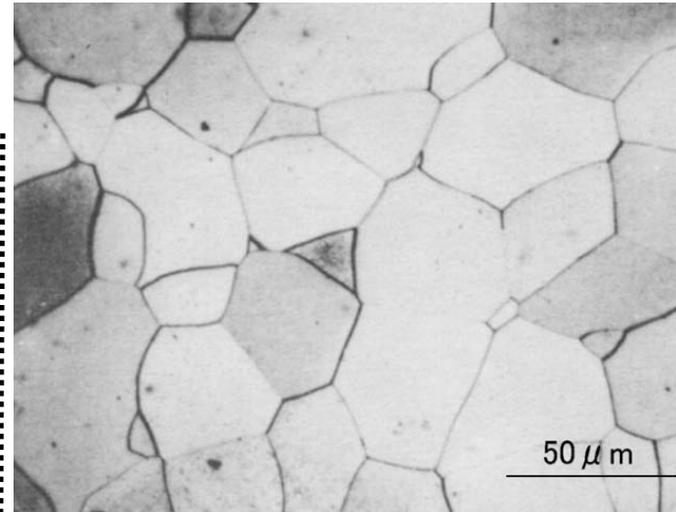
*高温①で保持/急冷

時効

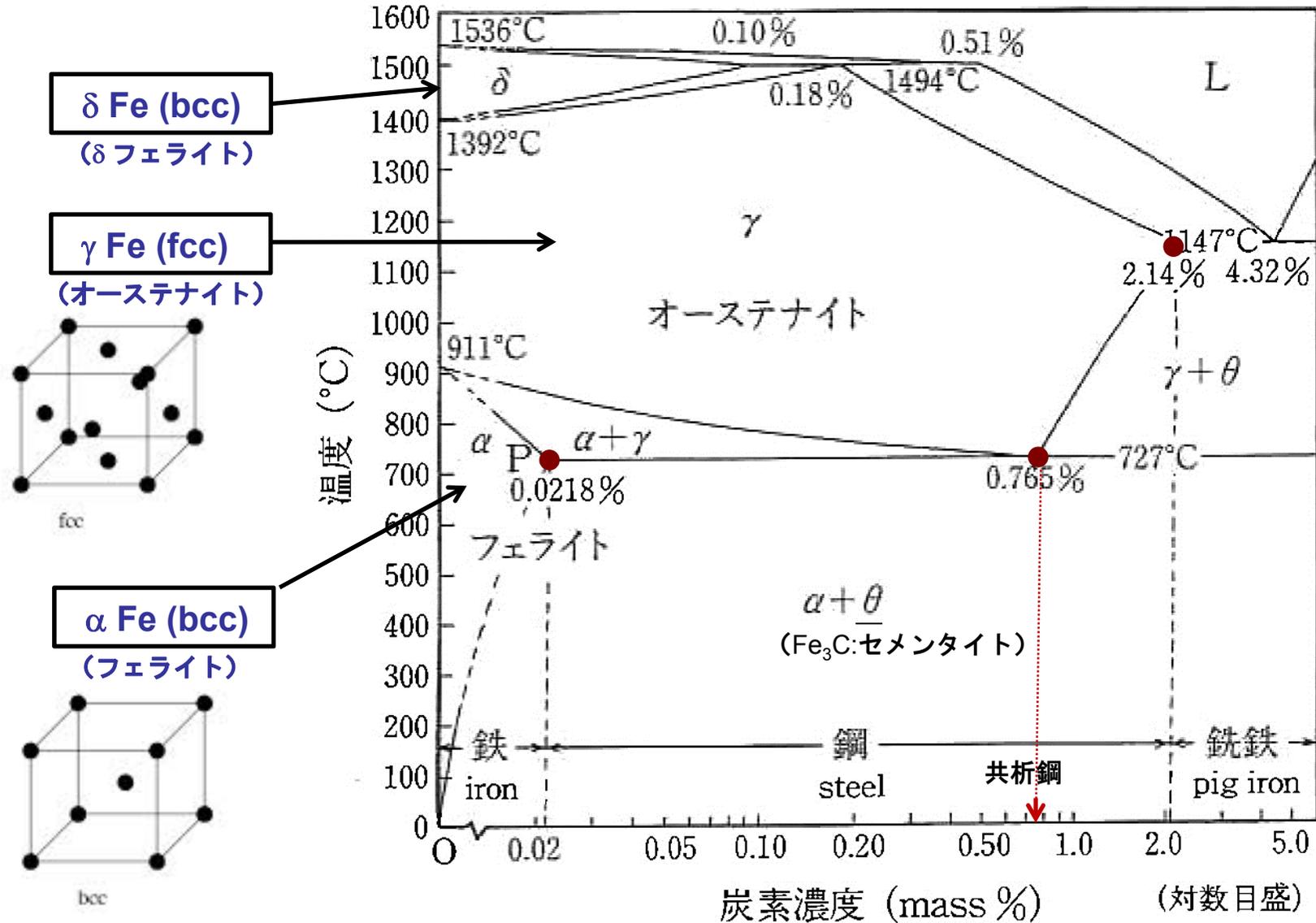
*中温②で保持

第二相(CuAl_2)が析出

高強度化

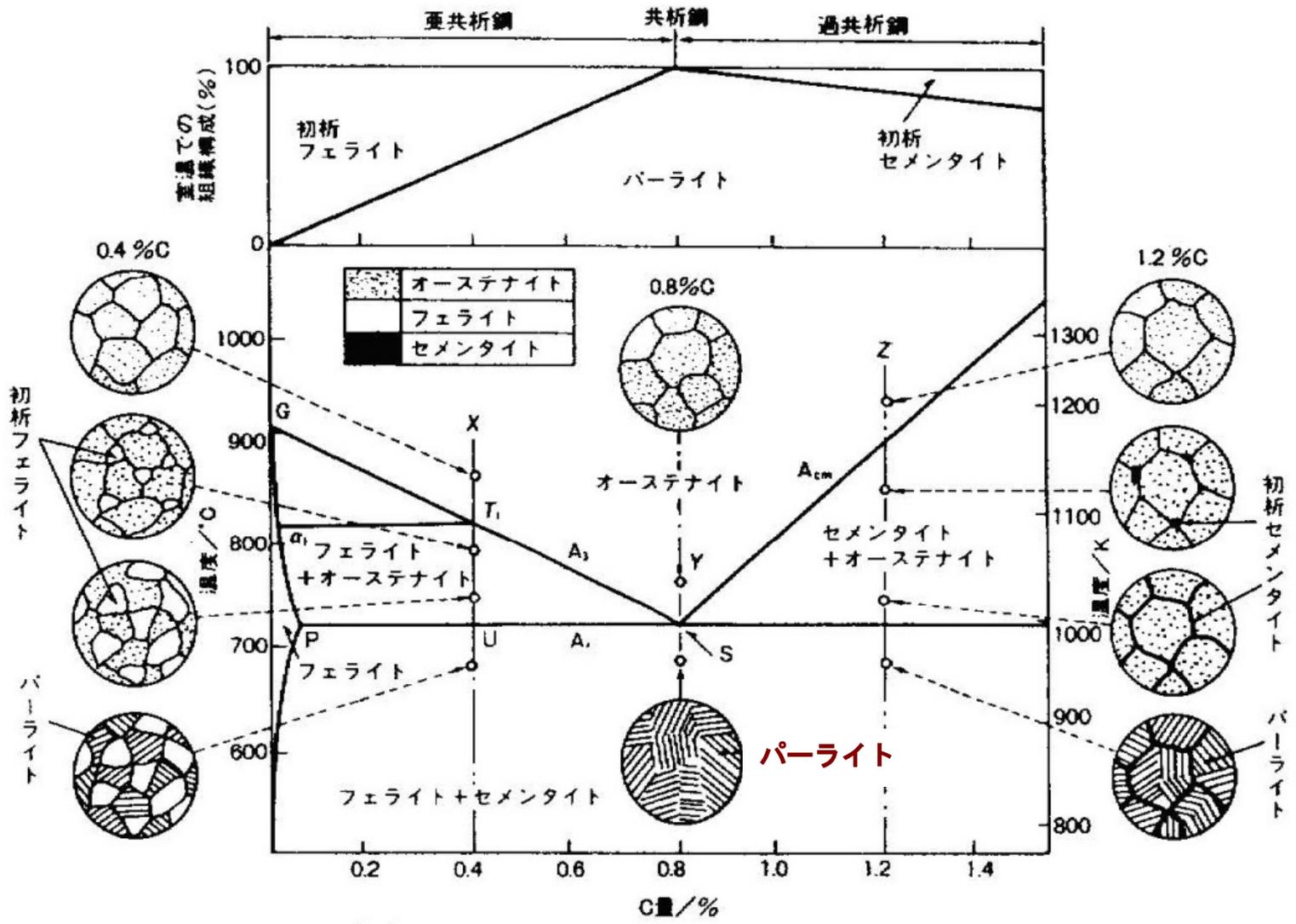


鉄(Fe)-炭素(C)系の状態図

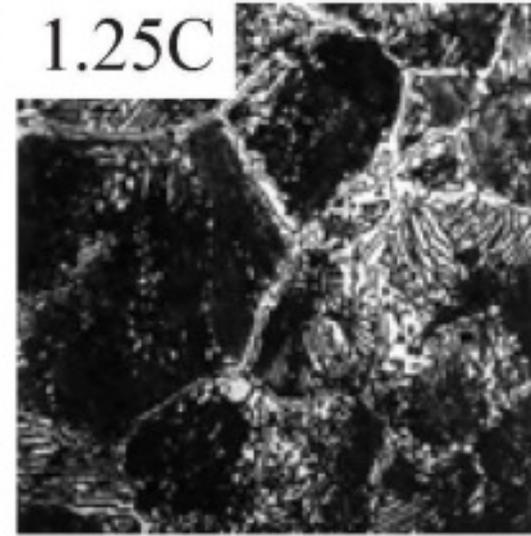
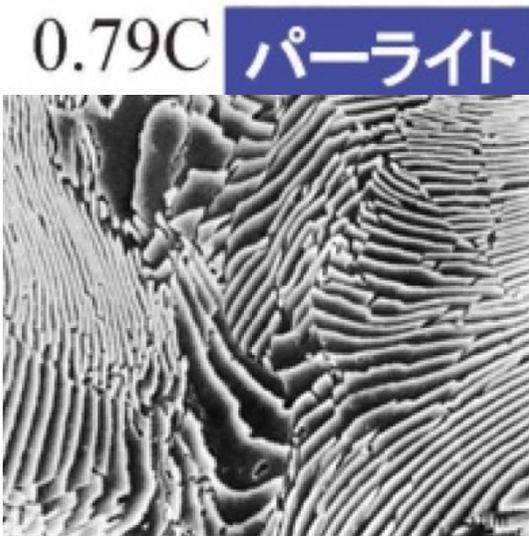
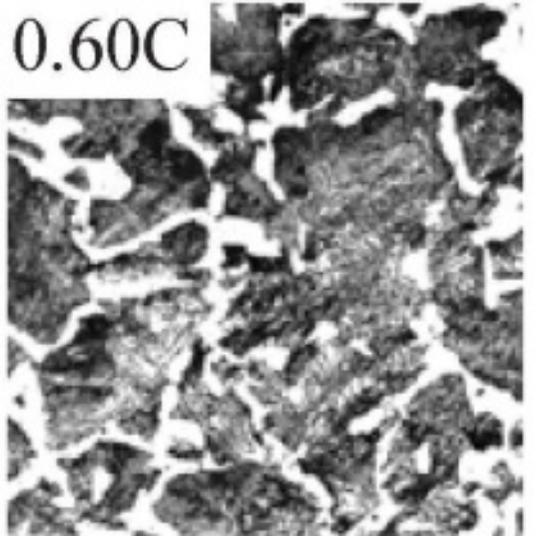
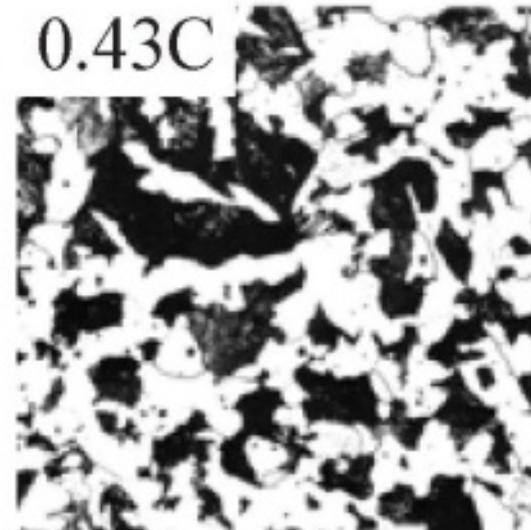
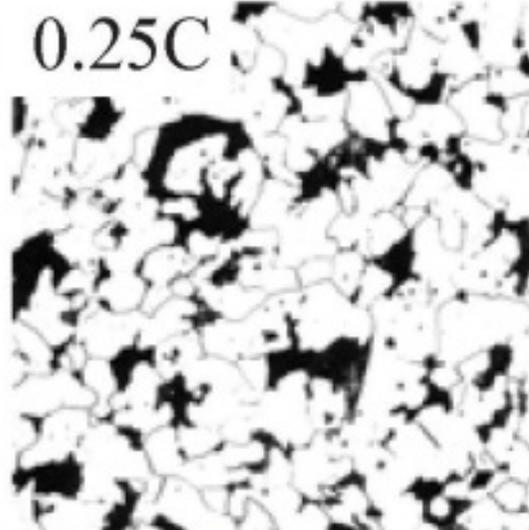
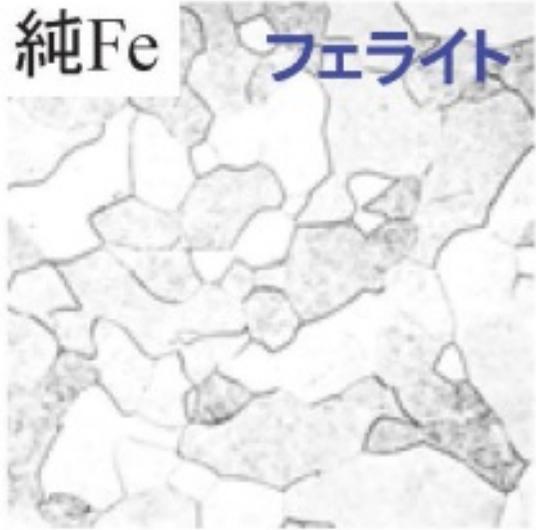


鋼の熱処理①

焼き鈍し ... 赤めた鋼(800°C程度)をゆっくり冷やす



焼き鈍し材の組織

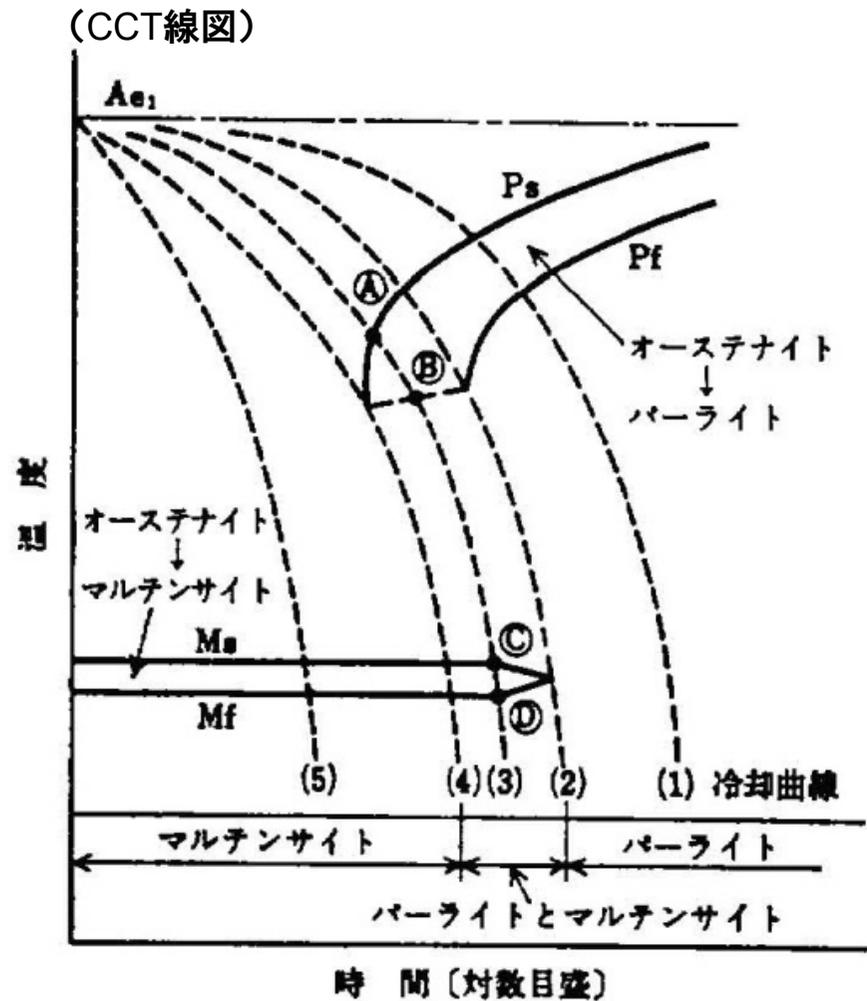


5μm

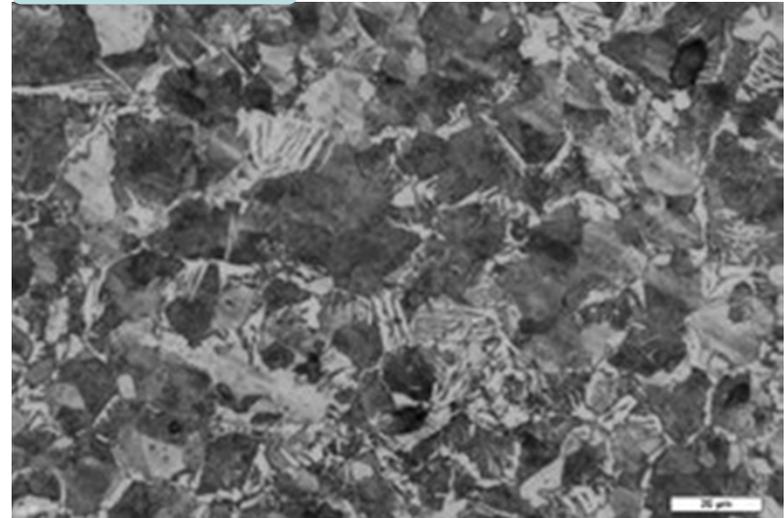
鋼の熱処理②

焼きならし ... 赤めた鋼を中程度で冷やす

焼き入れ ... 赤めた鋼を急冷する



焼きならし フェライト+パーライト

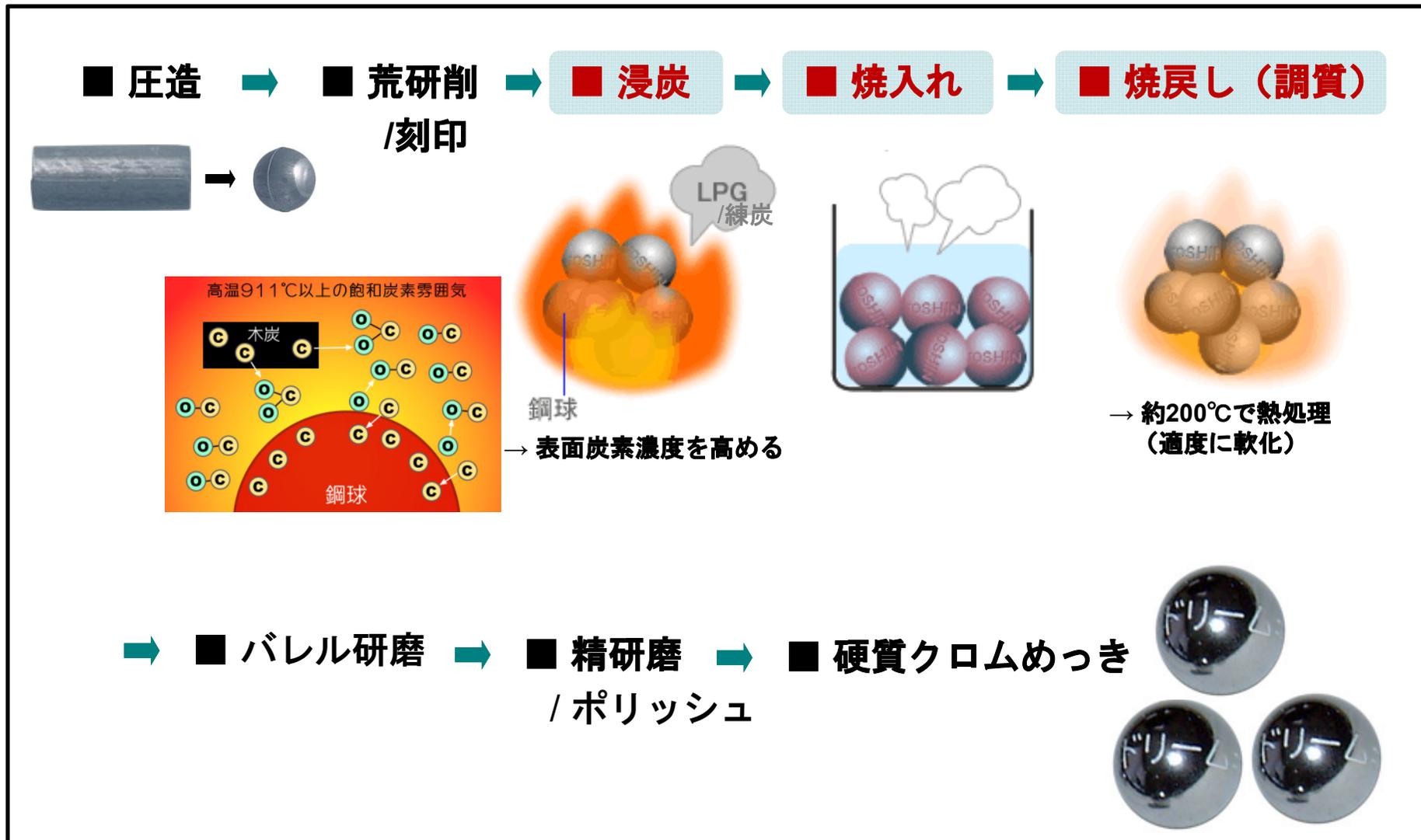


焼き入れ マルテンサイト



浸炭焼き入れ・焼き戻し

パチンコ玉の製造工程



アウトライン

1. 熱処理の役割 ～ 金属材料の組織と特性～
2. 熱処理の歴史
3. 如何に熱処理するか (状態図の利用)
4. 身の回りの熱処理技術 (各種熱処理の紹介)
5. **熱処理の課題と今後の展望**

熱処理トラブル

よくある問題

- 条件不適合 (結晶粒粗大化、硬さ不足、焼戻脆性、焼きムラ)
- 変形 (焼入れ変形、そり、焼曲り)
- 割れ (焼割れ、研磨割れ)
- 表面変質 (酸化、脱炭、過炭)
- 粒内酸化、ボイド、表面層剥離、ムラ、過剰炭化/窒化



開発の方向

- 低ひずみ化の冷却技術、コンピュータシミュレーション
- 熱処理温度、雰囲気の高精度制御
- 熱処理条件の最適化、複合化
- 省エネ化、コンピュータ管理...

A large crowd of people is gathered at what appears to be a festival or event. In the background, a rainbow is visible against a hazy sky. The crowd is dense, and many people are wearing colorful clothing or accessories. The overall atmosphere is festive and lively.

「熱処理なくして材料の発展なし」

「鉄は熱いうちに打て！」

***Thank you
for your kind attentions!***