

鑄鉄の試料作製方法

はじめに

鑄鉄は炭素が 2.1 ~ 6.67%含有する鉄合金です。鑄鉄は液体状態で鑄造性が良く、インプリントが容易で凝固後の収縮が小さいです。

鉄

元素記号: Fe A
 原子番号: 26
 密度: 7.8
 原子量: 55.8 g.mol⁻¹
 融点: 1538 °C

炭素

元素記号: C
 原子番号 6
 密度: 2.1 - 2.3 (graphite)
 原子量: 12 g.mol⁻¹

鑄鉄

鑄鉄の製造は、コークス (炭素) とともに高炉に供給される鉄鉱石から始まります。鉄は還元によって鉱石から抽出されます。この鉄を「銑鉄」といいます。用途によってはそのままでも、製鋼用としても使用できます。

鉄くずとコークスから鑄鉄を製造する方法は 2 つあります。

プロセスの異なる炉: キュボラ炉、電気炉、回転炉など

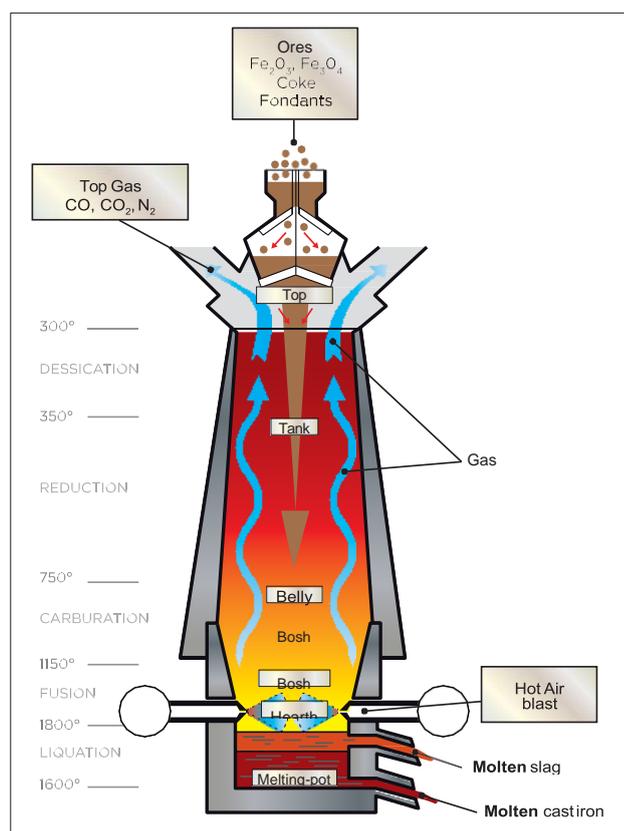


Fig. 1: Diagram of a blast furnace

鑄鉄は炭素含有率で区別できます：

- ・ 亜共晶組成の鑄鉄は炭素含有量が 4.3% 未満
- ・ 共晶組成の鑄鉄は炭素含有量が 4.3%
- ・ 過共晶組成の鑄鉄は炭素含有量が 4.3% 超

右側の Fe-C 状態図 は液体状態からの凝固を説明するのに役立ちます。

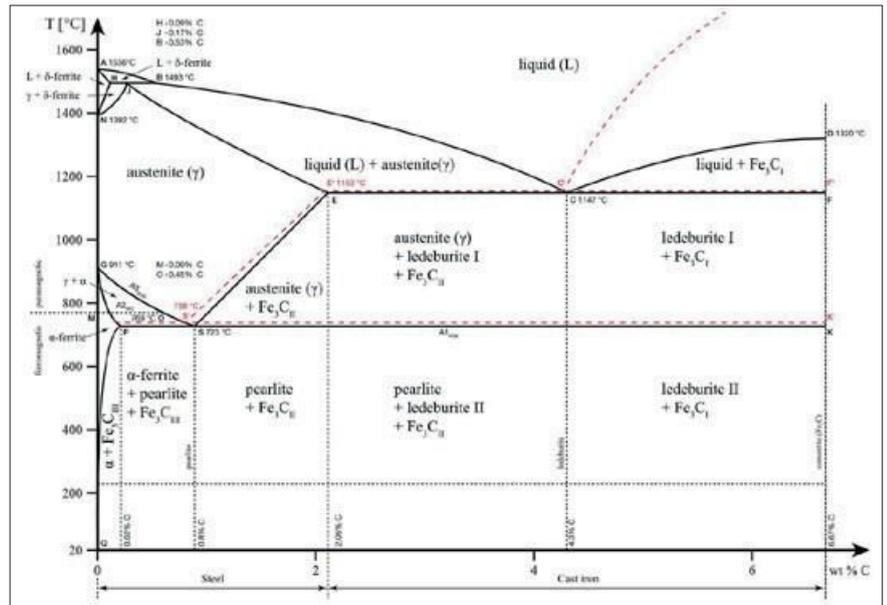


Fig. 2: Fe-C diagram

主な鑄鉄

一般に鑄鉄は主に 2 種類に分類されます：

白鑄鉄

パーライトマトリックスを持つセメンタイト (Fe_3C) 層に炭素はあります。その名前は光沢のある白い破面に由来しています。白鑄鉄はマンガンとの合金鑄鉄です。クロムとモリブデンは白鑄鉄の耐摩耗性、耐蝕性、強度が向上します。この種類の鑄鉄は摩耗や裂けに強いですが、衝撃には弱いです。

ねずみ鑄鉄

炭素は球状、又は片状の黒鉛の形をして現れます。ねずみ鑄鉄にはケイ素 (Si) が多く含まれています。合金元素を追加することで黒鉛の形成を増進して、耐蝕性、耐熱性が向上します。

=> 片状黒鉛鑄鉄はノッチ・エフェクト (応力が集中して壊れやすくなる現象) による黒鉛の形状が原因で脆くなります。引張強度は最適ではありませんが、圧縮作業用途や耐摩耗性が必要な場合に適しています。

=> 球状黒鉛鑄鉄は、炭素が球状に結晶化するように冷却を遅くした鑄鉄です。黒鉛の形状により機械加工性が向上し、機械的特性は鋼に近くなります。延性があり可鍛性のある鑄鉄を生成します。鑄鉄にマグネシウムを追加すると、硫黄の存在が減少します。従って、グラファイトは片状ではなく球状に形成されます。白鑄鉄から熱処理を施すことにより、球状黒鉛鑄鉄を作ることができます。

合金鑄鉄では：

- ・ クロムは機械的特性を向上させます
- ・ モリブデンは耐衝撃性を向上させます
- ・ リンは鑄鉄の鑄造性を向上させます

混合物の化学組成は得られる鑄鉄の種類を決定するパラメーターの 1 つです。

冷却速度は鑄鉄の形成に影響を与えます。

- ・冷却が速い場合はセメンタイトの形成が促進され、白鑄鉄が生成されます。
- ・冷却が遅い場合は炭素が黒鉛として集まる時間があり、ねずみ鑄鉄が生成されます。

鑄鉄の規格

鑄鉄は NF EN 1560-1 に従って標準化された規格があります。

その規格は常に EN-GJ で始まります (G は鑄物に対応し、J は鉄に対応します)。

黒鉛の構造に対応する文字は規格に続きます。

- L 片状
- S 球状
- M 焼きなましされた黒鉛 (可鍛性)
- V バーミキュラ
- Y 特殊構造
- N 黒鉛なし

通常、この後に必要な最小引張強度と最小伸び (%)、又は高合金鋼と同じ規格が続きます。

例:

EN-GJS-400-15: 片状黒鉛鑄鉄、強度 R_{min} 400 MPa、伸び率 A 15%。

EN-GJN-X 300 Cr Ni Si 9-5-2: カーボン 3%、クロム 9%、ニッケル 5%、シリコン 2% の黒鉛フリー鑄鉄 (白鑄鉄)

⇒ 耐衝撃性、耐摩耗性、鑄造性の良さから鑄鉄は幅広い用途に用いられています。

アプリケーション

鑄鉄は一般に、下水道のマンホール、ストーブ、自動車部品などの大きな物に使用されます。



金属組織観察用試料の作製

試料材質に関係なく、検査面を取得するために以下の作業を順番に行います。

- ・「切断」:検査対象の生産物の切り出し(必要な場合)
- ・「埋込」:切り出した試料の形状の標準化(必要な場合)
- ・「研磨」:試料の表面状態の改善
- ・ 試料の特性評価:「金属組織学エッチング」(必要な場合)と光学顕微鏡観察、又は電子顕微鏡によって試料の微細構造を明らかにする。

=> 上記の工程は厳密に行う必要があります。先のステップが不十分な場合は次のステップに移れません。

切断

切断の目的は、ステンレス鋼の物理化学的特性を変えずに、検査に適した表面を得るために、生製品の正確な部分を切り出すことです。

言い換えれば、歪みによる硬化の原因となる可能性のある過熱や変形を避けることが不可欠です。切断は、次に続く試料作製条件と検鏡に影響を与える基本的な作業工程です。

プレスは中型および大型の湿式高速切断機及び小型精密切断機まで幅広い製品ラインアップを有しています。切断する試料のサイズ、個数、精度に適した切断機をご提供します。



Fig 3: メカトーム T202



Fig 4: メカトーム T330

切断機ごとにそれぞれカスタマイズした消耗品と付属品があります。クランプシステムと切断砥石、防錆冷却剤の選択は金属組織学の切断を成功させるための重要な要素です。

=> クランプ、試料を保持することは必須です。試料が適切に保持されていないと、切断が失敗する可能性が生じます。切断砥石、試料、切断機に害を及ぼす恐れがあります

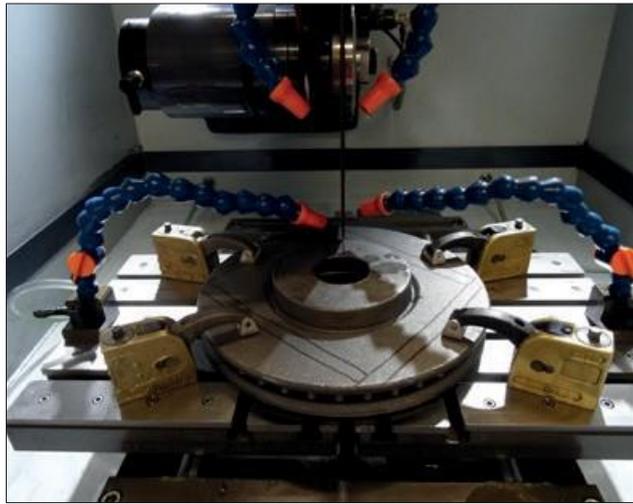


Fig. 5: ブレーキディスク - EVO 400

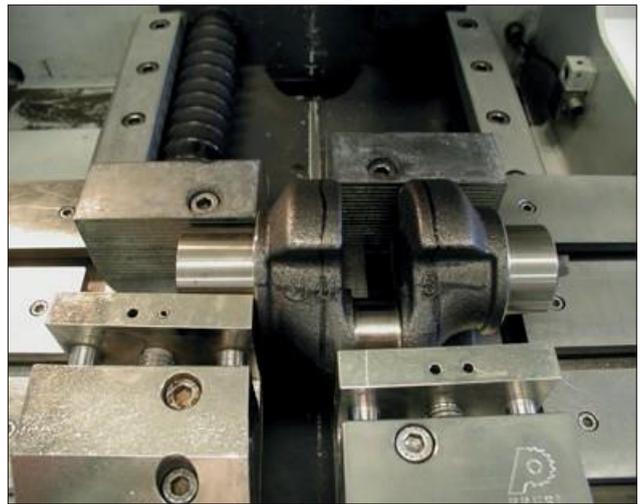


Fig. 6: クランクシャフト - メカトーム T330

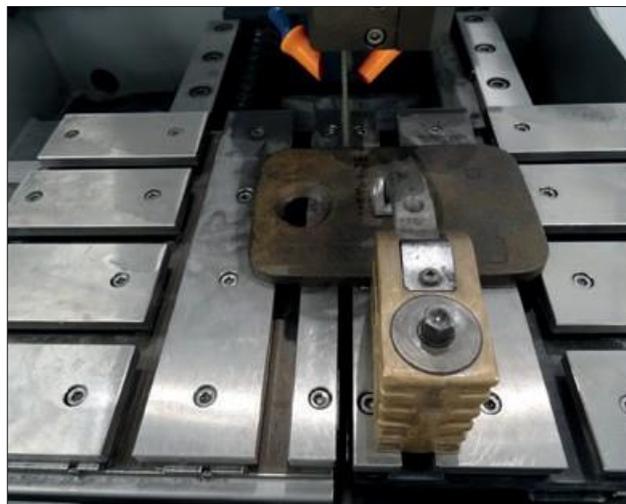


Fig. 7: 鋳鉄板 - メカトーム eST310

消耗品

試料の切断面を過熱させずに、焼けの無い切断面を得るためには、切断機の循環冷却システムに水と防錆冷却剤を混合した冷却水を使用します。防錆冷却剤は試料と切断機を腐食から保護します。



	ねずみ鋳鉄	白鋳鉄
精密切断機	S (Ø 180mm) UTW	S (Ø 180mm) AO CBN
中型切断機	F MNF AO	F AO CBN
大型切断機	MNF AO	AO

Table 1: Choosing the right cut-off wheel type

=> 切断面の不良、切断砥石の過度の摩耗や破損を避けるために、適切な切断砥石を選択する必要があります。切断砥石は試料の材質、硬さで決まります。

埋込

試料が複雑な形状、壊れやすい、又は、サイズが小さいため、取り扱いが難しい場合があります。埋込みは形状と寸法を標準化し、壊れやすい材料を保護するので、試料の取り扱いが容易になります。良好な研磨結果と分析結果を得るには、高品質な埋込みが不可欠です。

試料を埋込む前に、例えば、切断時のバリを除去するために、粗い研磨紙で試験片のバリ取りを行う必要があります。エタノールでの洗浄（超音波洗浄はさらに効果的です）もお勧めです。バリ取り、アルコール洗浄（脱脂）によって、試料と埋込樹脂の密着性が向上します。

埋込樹脂の収縮は試料と樹脂の境界に隙間をつくります。その隙間に入った砥粒、研磨屑が後の工程で研磨クロス上に落ちると、試料の研磨面に傷が付く心配があります。隙間のある試料には、各工程間の超音波洗浄機による洗浄をお勧めします。

埋込みには選択肢が 2 つあります:

試料のエッジ観察の目的、又は、硬さ試験の準備として金属組織学的試料作製が行われる場合は加熱加圧埋込(熱間埋込)が推奨されます。加熱加圧埋込には埋込機(埋込プレス)が必要です。



Fig 8: メカプレス 3

加熱加圧埋込に必要な埋込機はメカプレス 3 です。:

- ・自動埋込機(埋込プレス)
- ・使いやすい: 埋込条件のメモリと調整
- ・時間短縮: 成型時間が短い
- ・モールド径: 25~50mm まで
ミリとインチの 6 種類の型径を選択可能

+ POINT

メカプレス 3 による成型試料の上面と底面は完璧な平行です。

常温硬化埋込(冷間埋込)が推奨される場合は:

- ・試料が壊れやすい/圧力に弱い場合
- ・試料がハニカム構造などの複雑な形状をしている場合。
- ・試料数が多く、一度にたくさん埋込みたい場合

常温硬化埋込用機材:



Fig 9: プレッシャーベセル



Fig 10: 真空含浸装置ポリバック

+ POINT

樹脂収縮抑制、透明度向上、樹脂含浸などで埋込試料の品質が大幅に向上します

+ POINT

真空中でエポキシ樹脂を多孔質材料に含浸させる装置です。

常温硬化樹脂は液体のメニスカス(界面張力によって表面が凹状の曲面になる)のために、上面の平坦性を損ないます。研磨作業の前に研磨紙でメニスカスを除去します。この作業で埋込成型品の両面(上面と底面(研磨側))を確実に平行にすることが大切です

消耗品

ユーザーのニーズを満たすために、PRESI はいろいろな種類の冷間埋込用成型型を提供しています。ミリ、インチの直径で 20 ~ 50 mm の範囲で用意しています。透明アクリル樹脂、シリコンゴム、テフロン、ポリエチレンなどの異なる材質の成型型があります。円筒形以外では、長方形の埋込成型型があります。

	白鉄と灰色鉄
加熱加圧埋込	フェノリック、アリリック、エポキシ
常温硬化埋込	KM-U

Table 2: 適切な埋込樹脂を選定

研磨

試料作製プロセスの最後の重要な工程は研磨です。原理は単純です。各ステップは前の砥粒よりも細かい研磨剤を使用します。目的は平坦な表面に仕上げて、顕微鏡分析、硬さ試験、微細構造又は寸法検査などの金属組織管理の検査を妨げる条痕、残留欠陥を排除することです。

プレシ社は粗研磨から超精密仕上げまで、少量から大量の試料個数まで対応する幅広い製品ラインアップの中からお客様のニーズに最適な手動研磨機と自動研磨機を提案しています。



Fig 11: ミニテック 300 SP1



Fig 12: メカテック 300 SPC

手動研磨機ミニテックシリーズは最先端の技術が組み込まれています。

使いやすく、信頼性が高く、頑丈で、あらゆるニーズに対応できます。

自動研磨機メカテックシリーズは手動研磨と自動研磨の両方できます。プレシ社の全ての知識、経験、技術が集約されています。高機能・高品質の自動研磨機メカテックは試料数、試料サイズに応じて最適な仕上がりを提供します。

消耗品と研磨条件

以下のすべての研磨条件は最も一般的な自動研磨用です (手動研磨の場合は Head Speed(試料回転機の回転速度) のパラメーターは考慮しないでください).

研磨条件の最初の工程(No.1)はすべて「面出し」と呼ばれ、試料 (および埋込樹脂) の表面を平らにするために材料を迅速に除去することから成ります。以下に示すものは標準ですので、必要に応じて変更してください。

適用する圧力は試料 サイズによって異なりますが、一般的に次の条件が適用されます。研磨前のステップでは、埋込直径 10 mm あたり 1 daN (例: Ø40 mm = 4 daN) で、工程が進む毎に 0.5 daN ずつ力を減らします。

ダイヤモンド研磨剤はサスペンションを使用しています。

鋳鉄の一般的な研磨条件(1)

N°	Support	Suspension / Lubricant	Platen Speed (RPM)	Head Speed (RPM)	Rotation direction platen / head	Time
1	P320	Ø / Water	300	150	⇒	1'
2	TOP	9µm ADS poly / Lub ADS	150	135	⇒	4'
3	STA	3µm ADS poly / Lub ADS	150	135	⇒	3'
4	TFR	1µm ADS poly / Lub ADS	150	135	⇒	1'

注意：金相用の試料切断機によって切断した試料の面出し研磨は耐水研磨紙 P320 からのスタートで十分です。もっと多くの材料を研磨で除去する必要がある場合は、P320 より粗い番手を使用する必要があります。

粗研磨では研磨盤とヘッドの回転方向を逆にしないでください。逆にすると平坦性に悪影響を及ぼす可能性があります。ただし、大量の材料を除去する必要がある場合は、逆回転方向が役立ちます。

鋳鉄のバフ研磨は単結晶ダイヤモンドサスペンション (アルコールベース) を使用して行うことで、仕上げ研磨工程で試料の研磨面に水による錆が発生かるのを防ぎます。

ステップ間で試料を洗浄する場合は流水で洗浄した後に圧縮空気で水気を迅速に吹き飛ばして乾燥させるか、エタノールで洗浄することをお勧めします。

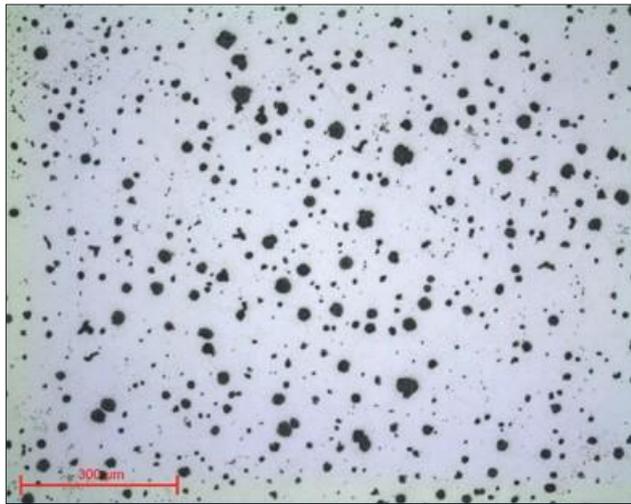


Fig. 13: Cast iron GS lens x10

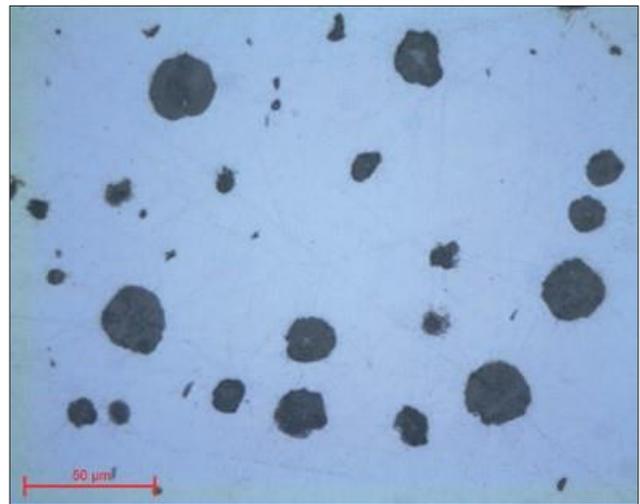


Fig. 14: Cast iron GS lens x50

鋳鉄の一般的な研磨条件(2)

N°	Support	Suspension / Lubricant	Platen Speed (RPM)	Head Speed (RPM)	Rotation direction platen / head	Time
1	I-Max R 54μm	∅ / Water	300	150	→ →	3'
2	MED-R	9μm super abrasive MED-R	150	135	→ →	4'
3	STA	3μm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	3'
4	TFR	1μm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	1'

鋳鉄の一般的な研磨条件(2)では研磨紙の代わりに 54μm の I-Max R を使用して面出し研磨を行います。硬質金属材料の研磨に適したレジン ボンドの ダイヤモンド ディスク I-MAX R は良好な平坦性を維持し、耐水研磨紙数百枚分相当の寿命があります。

第 2 ステップでは MED-R を使用します。表面が樹脂製のパッド上に MED-R 用のスーパーアブレッシブサスペンションを噴霧して研磨します。研磨クロスと比較して研磨面の平坦性が良く、しかも長寿命です。

最終仕上げには ADS サスペンションを使用します。錆びにくい鋳鉄の場合は LDP 多結晶サスペンションの方が適しています。

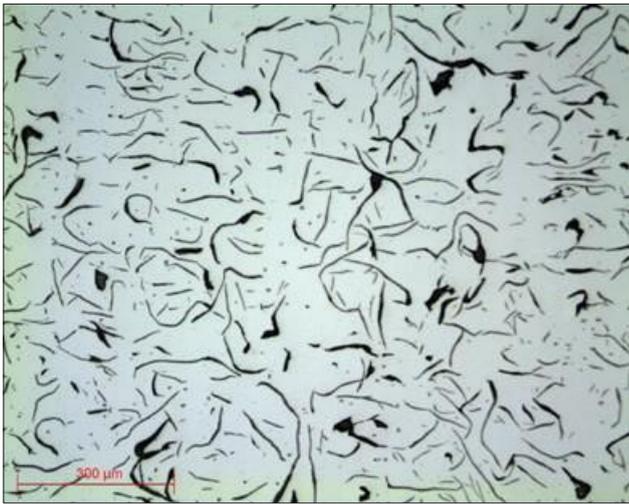


Fig. 15: Cast iron GL lens x10



Fig. 16: Cast iron GL lens x50

顕微鏡検査

鑄鉄の組織はさまざまなエッチング試薬を使用して現出させることができます。

・ナイトール試薬 4% ・ピクラル試薬 ・シャトリエ試薬

例示したエッチング液で全てを網羅しません。鑄鉄の組織は鋼の組織に近いため、一部のエッチング液は鑄鉄と鋼の両方に共通しています。例示したすべての顕微鏡写真はプレシ社の PRESI VIEW ソフトウェアを使用して作成しました。

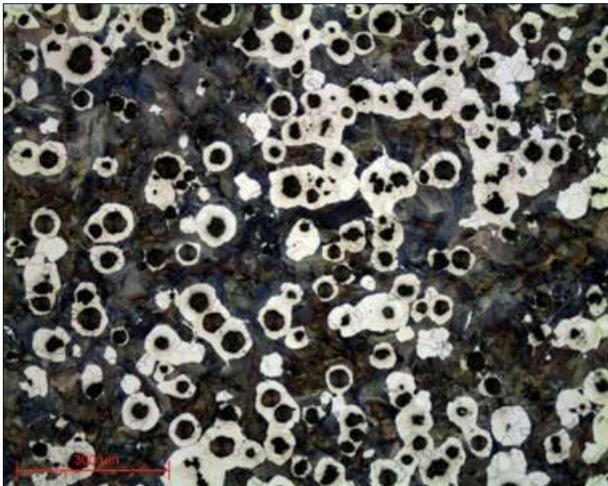


Fig. 17: Cast iron GS lens x10



Fig. 18: Cast iron GS lens x100



Fig. 19: Cast iron GL core lens x10

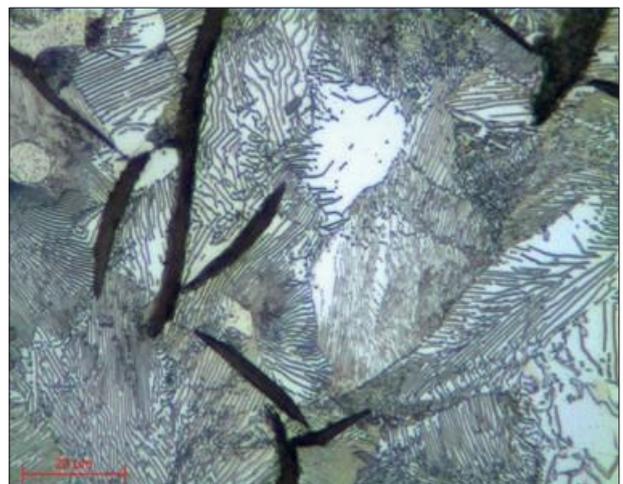


Fig. 20: Cast iron GL core lens x100

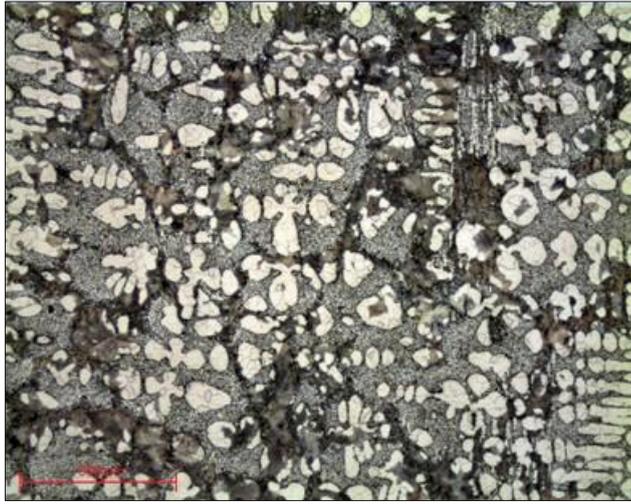


Fig. 21: Cast iron GL edge lens x10

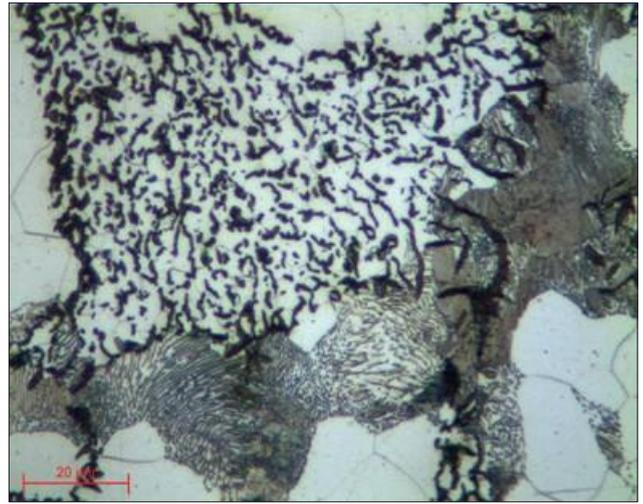


Fig. 22: Cast iron GL edge lens x100

=> Fig. 7 ~ 22 に表示されているすべての組織は 4% ナイタル試薬を使用して現出しました