



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	走査型電子顕微鏡による片状黒鉛鑄鉄の低温破面の観察
Author(s)	野口, 徹; 菅原, 幸夫
Citation	北海道大學工学部研究報告, 89, 51-58
Issue Date	1978-11-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41503
Type	departmental bulletin paper
File Information	89_51-58.pdf



走査型電子顕微鏡による片状黒鉛鑄鉄の低温破面の観察

野 口 徹* 菅 原 幸 夫**

(昭和 53 年 3 月 31 日受理)

SEM Fractography of Gray Iron Fractured at Low Temperatures

Tōru NOGUCHI Yukio SUGAWARA

(Received March 31, 1978)

Abstract

SEM observation was carried out on pearlitic and ferritic gray irons fractured in low temperature range of $+20^{\circ}\text{C}$ to -196°C , and the correlation of fracture morphology with the strength and stress-strain properties were considered. The feature of a fracture surface was expressed by the fractional area of ductile facet to the whole fractured matrix.

The ductile fracture ratio was almost 1.0 near room temperature, and with the lowering of the test temperature, the ratio decreased by increasing the cleavage area.

The transition temperature of ductile to cleavage in ferritic iron was about 50°C lower than in pearlitic iron. Although the ratio was almost zero at -196°C , ductile fracture was observed to a certain extent in ferritic iron.

The change of fracture appearance, however, was not necessarily correlated to the stress-strain properties. For example, while the fracture was mostly cleavage at -150°C , the fracture strain was the same as that at room temperature. And the fracture, in which cleavage and trans-granular facets were predominant, was followed by the ductile stress strain properties.

1. 緒 言

鑄鉄の低温強度に関してはこれまで主としてじん性の低下が注目され、衝撃試験の結果と金属組織、化学成分等との関係が報告されている^{1),2),3)}。微視破面の観察もこれに関連して行われ、球状黒鉛鑄鉄についての例が多い^{4),5),6)}。一方静的引張強度に関しては低温での測定例は少なく⁷⁾, Rickards^{8),9)} が強度特性と球状黒鉛鑄鉄の微視破面のいくつかの例を紹介しているが、片状黒鉛鑄鉄については系統的な低温強度と破面観察の報告^{10),11)}はない。さきに著者の一人は片状黒鉛鑄鉄の低温における静的強度について報告したが¹²⁾, 本報ではさらにこれを補完する目的で走査型電子顕微鏡により破面を観察し、試験温度による微視的破壊形態の変化を引張強度特性と関係づけて考察した。

* 機械工学第二学科 機械材料科学講座

** 機械工学第二学科 塑性加工学講座

2. 試料および実験方法

供試材はFC 25 およびFC 30 級のパーライト質片状黒鉛鋳鉄各1種類(試料 25 P, 30 P とする), およびそれらの基質を焼鈍によりフェライト化したもの(同 25 F, 30 F) の合計4種類である。供試材の化学組成を表-1に, また顕微鏡組織を図-1に示した。試料は直径30 mm, 長さ250 mm の丸棒に鋳込み, 半数をそのまま試料 25 P, 30 P とし, 他の半数をフェライト化焼鈍して試料 25 F, 30 F とした後, 図-2に示す形状の引張試験片に旋削加工した。

表-1 試料の化学組成 [%]

	C	Si	Mn	P	S
FC 25	2.95	1.52	0.56	0.135	0.041
FC 30	3.30	1.92	0.53	0.135	0.042

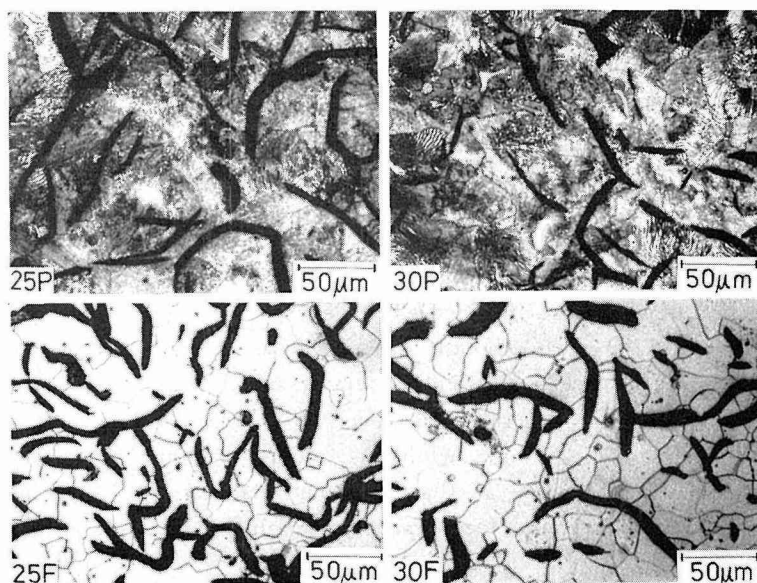


図-1 試料の顕微鏡組織写真(ナイトール腐食)

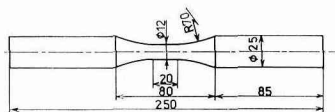


図-2 試験片寸法

引張試験は, 室温 (+20°C), -50°C, -100°C, -150°C および -196°C の各温度で行った。試験装置を図-3に示した。つかみ部に直接とりつけた冷却槽に冷却剤をみだし, 試験片を所定の試験温度の±2°Cに保持した。冷却剤は, -196°C では液体窒素, -150°C では液体窒素とイソペンタン, -100°C および -50°C では液体窒素と石油エーテルの混合液である。試験片両側に極低温用ひずみ

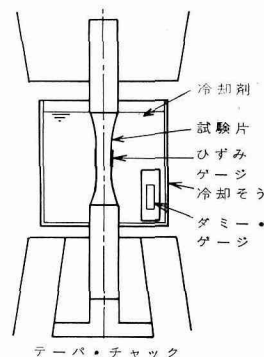


図-3 実験装置

ゲージを貼付し、破断までのひずみを測定した。ひずみはデジタル型静ひずみ計にて読みとり、応力は荷重を原断面積で除した値とした。用いた試験機はロードセルタイプの10 t 万能試験機で、クロスヘッド速度を0.2 mm/min. とした。

破断後の低温試験片はアルコール中に保存し、室温で破面近傍を精密切断機により切断し、金蒸着を施してSEM 観察用試料とした。

3. 機械的性質および応力-ひずみ特性

各温度における引張試験の結果を図-4 および 図-5 に示した。引張強さは温度の低下に伴って上昇する¹³⁾。その傾向はパーライト質の試料よりもフェライト質の試料において著しい。いずれの試料も -196°C で最大の引張強さを示した。破断ひずみと温度の関係は明瞭でないが、温度低下とともにおおむね減少する傾向がある。しかし 30 F では -100°C において室温より約 40% 大きいひずみ値を示すこと、および 30 P, 30 F, 25 F において -150°C でもなお室温と同程度のひずみ値を示すことが注目される。 -196°C ではいずれの試料もきわめて小さいひずみ値で破壊した。

応力-ひずみ特性の温度における変化を図-5 に示した。応力-ひずみ関係はいずれもなめらかな曲線状であるが、低応力では弾性的挙動を示す。弾性範囲は FC 25 より FC 30 の方が、また各々フェライト質よりパーライト質の方が大きく、いずれも温度の低下に従って上昇し、曲線が高応力側へたち上がる傾向を示し、 -150°C と -196°C の間で特に著しい変化が認められた。 -196°C における弾性率は室温に比べて約 5% 増加し^{12), 13)}、応力-ひずみ曲線は、パーライト質の試料ではほとんど直線状である。フェライト質の試料も -150°C と大きく異なり高応力側に移動するが、明瞭なわん曲部、すなわち、塑性変形を示した。つまり -196°C においてパーライト質 鋳鉄はきわ

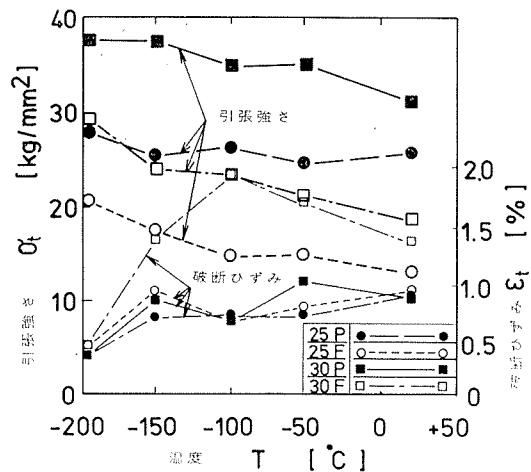


図-4 引張強さ及び破断ひずみ

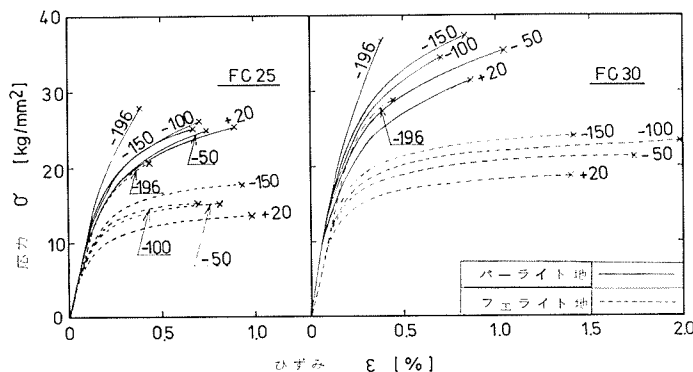


図-5 応力-ひずみ曲線

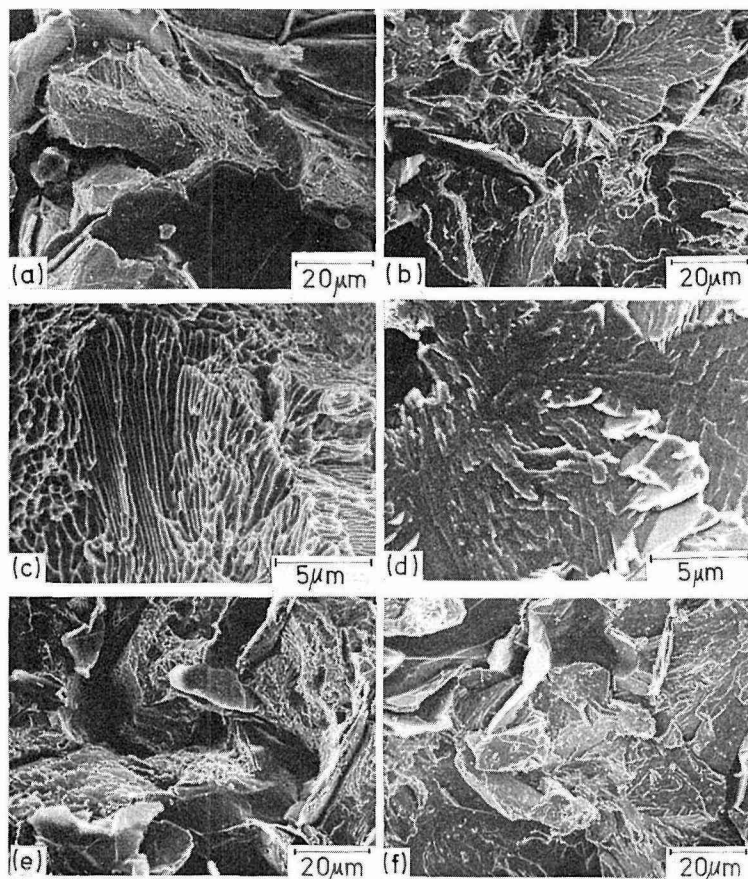
めて脆性的であるが、フェライト質鑄鉄はなおいく分延性的挙動を示すといえる。

4. SEM による破面の観察

4.1 パーライト質鑄鉄

引張りにより破壊したパーライト質鑄鉄の微視破面の代表例を図-6(a)および(b)に示した。(a)は試料 30 P の室温における破面である。写真中央部は延性的に破壊した基質のパーライトであり、上部および下半部の葉脈状の筋のある部分は片状黒鉛の自由表面である。一方(b)は同じ試料の -100°C の破面であり、ほとんど全面が脆性的に破壊したパーライトである。小破面には明瞭な川模様が見られ、へき開型の破面である。図-6(c)および(d)はこれらを高倍率で観察した延性およびへき開型の破面である。(c)ではパーライトが層状のディンプルを形成しており、また(d)ではパーライト特有のリバー・パターンが認められ、擬へき開破面である。いずれも 30 P, -150°C において観察された例であるが、これらの特徴は他の温度でも同様である。以上のような延性型およびへき開型破面の特徴に基づく各試料の破面の温度による変化は以下のようにまとめることができる。

試料 30 P の室温の破面は図-6(a)に示すように大部分が黒鉛面であり、基質のほとんどはディンプル・パターンを呈する延性破面であるが、へき開型の破面がわずかに観察される。 -50°C



図—6 試料: 30 P 試験温度 (a): $+20^{\circ}\text{C}$, (b): -100°C , (c), (d), (e): -150°C , (f): -196°C .

でも室温と同様で、延性破面が主体であり、ほかにへき開型破面が観察された。また室温に比べて黒鉛片の占める面積が減少した。−100°Cでは延性破面とへき開型破面がほぼ等量に混合する状態である。図-6(b)はそのへき開型破面の部分である。−150°Cではへき開型破面が主体となるが図-6(c)および(e)に示すような延性破面もいくらか観察される。−150°Cでもこのように明瞭な延性破面が観察されることは、破壊にかなりの塑性変形を伴うことを示すものであるが、この事実は強度試験による破断ひずみが室温と同程度であることにより理解される。−196°Cでは図-6(f)に示すようにほとんどへき開型破面であり、延性破面は認められない。

試料 25 P の場合も試料 30 P とおおむね同様である。室温の破面は黒鉛片面積が大きく基質部分は延性破面が主体で、わずかにへき開型破面が観察された。図-7(a)は両者の混合破面である。中央部および右上部にディンプル・パターンが、また中央右部に明瞭なへき開型破面が観察される。試験温度が−50°Cの場合も延性破面とへき開型破面の混合である。しかし室温に比べて、また同温度の 30 P の場合に比べてへき開型破面の割合が大きい。これは 30 P の場合、破断ひずみが−50°Cでむしろ増大しているのに対し、25 P では減少していることに対応する。−100°Cでは図-7(b)に示すように延性破面・へき開型破面がほぼ等量に混合した破面であるが、試料 30 P の同温度の場合より延性部分が多い。−150°Cではへき開型破面が主体となり、ディンプル・パターンがわずかに観察される程度であった。−196°Cでは図-7(c)に示すように破面はへき開型であり、ディンプル・パターンは観察されなかった。

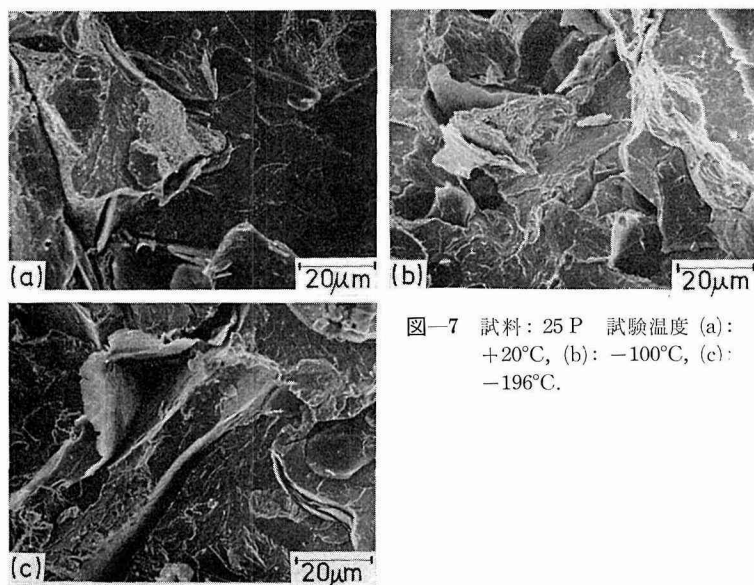


図-7 試料: 25 P 試験温度 (a): +20°C, (b): −100°C, (c): −196°C.

4.2 フェライト質鋳鉄

フェライト材についてもパーライト材の場合と同様にディンプル・パターンを呈する延性破面と、川模様を呈するへき開破面によって全破面を特徴づけることができる。フェライト材の場合にはさらに図-8(c)の一部に見られるようなロックキャンデー状の粒界破面が観察される。

試料 30 F の破面を図-8(a)~(d)に示した。室温ではパーライト材の場合と同様に黒鉛片の面積が大きい。基質の部分は典型的なフェライトのディンプル・パターンである。室温ではへき開型の破面は認められない。へき開破面は−50°Cでわずかに観察されたが、写真(b)に示す

ように -100°C でもほとんどが延性破面である。 -150°C ではへき開破面が延性破面とほぼ等量になり、さらに顕著な粒界破面が観察された。 -196°C では写真(c)に示すようにへき開破面が主体で、粒界破面も観察される。しかし依然として明瞭な延性破面が観察され、この温度においても破壊がかなりの塑性変形を伴うことが破面からも示された。写真(d)は -196°C における延性破面の例である。

試料 25 F の破面を図-9 に示した。室温では写真(a)に示すように基質フェライトの延性破面と大きな黒鉛片が観察され、へき開破面は観察されない。これは 30 F と同様である。 -50°C でも延性破面がほとんどでへき開破面は試料 30 F の場合よりもさらに僅かであった。 -100°C で

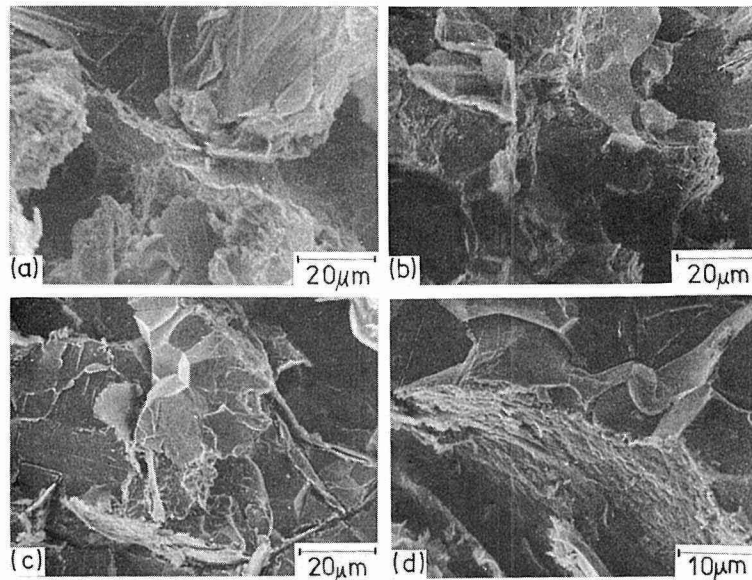


図-8 試料: 30 F 試験温度: (a): $+20^{\circ}\text{C}$, (b): -100°C , (c), (d): -196°C .

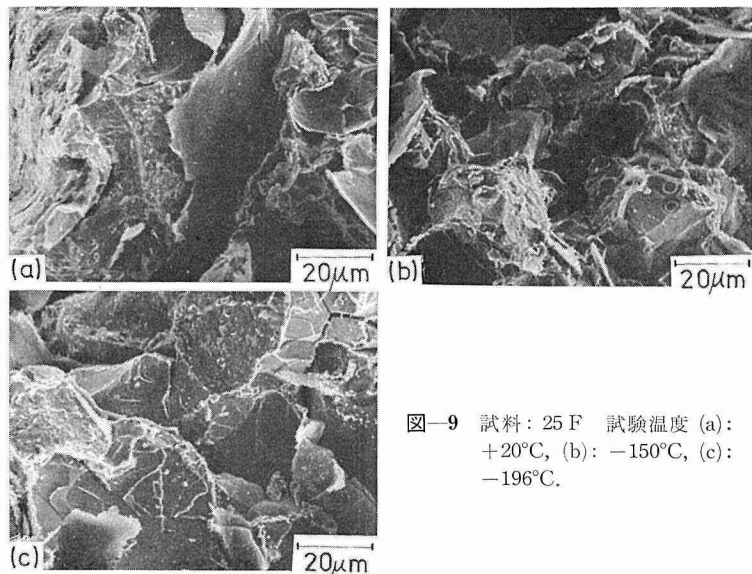


図-9 試料: 25 F 試験温度 (a): $+20^{\circ}\text{C}$, (b): -150°C , (c): -196°C .

はへき開破面がいくらか増加するが、主体は依然として延性破面である。 -150°C ではへき開破面が増加し、延性破面とほぼ等量となった。また粒界破面も観察された。 -150°C の破面を写真(b)に示した。 -196°C では写真(c)に示すようにへき開破面が主体になるが、なお延性的な破面が観察された。

フェライト材の破面はパーライト材と比較して、いずれの温度においても凹凸が激しく、またその程度は25Fより30Fの方が著しい。この特徴は破断ひずみの値とよく対応し、破面の凹凸の激しい試料ほどひずみが大きいといえる。

5. 鑄鉄の微視破面の温度による変化

前節の破面の観察結果を、延性破面、へき開破面の面積比率に着目して整理したのが図-10である。縦軸は基質部分の微視的破面における延性破面の割合を示し、微視的延性破面率とよぶ。破面率は観察面数視野の目測平均値である。延性破面のみでへき開破面が観察されない場合を1.0とし、逆の場合を0とした。また延性破面とへき開破面の割合がほぼ等しい場合が0.5である。したがって数値的には必ずしも精確ではない。図-10によればパーライト材の破面は、室温および -50°C ではほとんど延性型でわずかの脆性型を含むが、 -196°C ではへき開型のみである。延性、へき開型の割合がほぼ等しくなるのは -100°C 近傍である。一方フェライト材は、室温の破面は延性型のみであり、 -196°C でもなお延性型の破面が含まれる、延性、へき開の割合がほぼ等量なのは -150°C 近傍である。

応力-ひずみ特性曲線の上では、 -150°C までの変化は比較的緩慢であり、 -150°C と -196°C の間で急激な変化があるけれども、微視的破面の上からはこれより高い温度範囲で破壊形式の急激な変化がある。いずれの試料においても -150°C で応力-ひずみ曲線の形状は室温と同様であり、破面ひずみも室温と同程度であるが、破面は室温と著しく異なることになる。応力-ひずみ特性における巨視的に大きな塑性変形に微視的破面のわずかな延性破面が対応する場合があります、逆にへき開型の破面は必ずしも応力-ひずみ特性の変化に現われない。またいずれの温度においても微視延性破面率はフェライト材の方が高く、低温強度に対するフェライト基質の有効性が示唆された。

6. 結 言

以上、片状黒鉛鑄鉄の低温における引張強度特性と微視破面の関係について述べた。室温において延性破面が主であり低温になる程へき開破面が増加する傾向は予測された通りであるが、この傾向は破断ひずみとして現われる巨視的延性とは必ずしも直接対応しない。試料30Fでは、 -100°C でへき開型の破面が観察されるにもかかわらず、室温より40%も大きな延性を示し、またパーライト質鑄鉄では -150°C で破面のほとんどがへき開型であるにもかかわらず、破断ひずみは室温と同程度である。

鑄鉄は一般に室温でも脆性的に破壊する材料として知られるが、実際には微視的な延性破壊

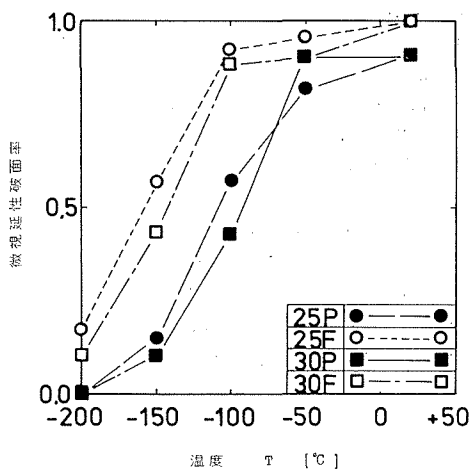


図-10 微視延性破面率の温度による変化

の集合であることが指摘されている¹⁴⁾。さらに本報で明らかにしたように、へき開破壊・粒界破壊等異なった機構による破壊の場合にも巨視的に同程度の延性・応力-ひずみ特性が得られることは、鋼など他の金属とは異なる特性であり、鑄鉄の強度を理解するうえで重要であると考えられる。

文 献

- 1) Angus, H. T.: Cast Iron. (1976), 278, Butterworth.
- 2) Henke, F.: Giesserei Praxis. 9/10 (1976), 131.
- 3) 日本鑄物協会研究報告： 鑄鉄の衝撃特性に関する研究 (1977).
- 4) 西 成基, 小林俊郎ほか： 鑄物, **48** (1976), 3, 132.
- 5) 池永 明, 岡林邦夫： 鑄物, **49** (1977), 7, 411.
- 6) 高瀬孝夫ほか： 鑄物, **48** (1976), 7, 419.
- 7) 倉井和彦, 小野 豊ほか： 鑄物, **46** (1974), 6, 493.
- 8) Rickards, P. J.: Cryogenics, **9** (1969), 6, 465.
- 9) Rickards, P. J.: J. of the ISI, March. (1971), 190.
- 10) 黒田義郎, 高田浩義： 鑄鉄鑄物破面写真集 (1968), 日刊工業新聞社.
- 11) 有井 満, 多嶋孝一： 材料, **26** (1977), 287, 767.
- 12) 野口 徹, 長岡金吾： 鑄物, **50** (1978), 9.
- 13) Rickards, P. J.: Cryogenics, **9** (1969), 3, 186.
- 14) 横堀武夫： 材料強度学 (1965), 106, 岩波全書.