

鑄鉄の成長について

On the Growth of Cast Iron

三 亀 秀 人*・桑 野 正 司*

Abstract

The degree of growth of several kinds of cast iron, when they were heated in vacuum, was observed with dilatometer.

When they were heated at a constant temperature, 700°C, a little below A_1 transformation point, their growth was nearly proportional to the growth of the graphite in them.

But when they were heated repeatedly between 600°C and 900°C, their growth was not proportional to that of the graphite in them, and also much larger than that caused by the graphitization.

This additional growth seemed to depend on the cracks which were generated in graphite.

Chromium bearing cast iron grew up a little during the first heating cycle, but gradually shrank as the cycles were repeated, probably because of the precipitation of certain carbide or other compounds.

1 ま え が き

鑄鉄を繰り返し加熱すると次第に伸びてくる。これを鑄鉄の成長という。この原因については古くから論じられているが、まだ完全な解答は得られていない。それだけ、この究明には困難がある。われわれは、たまたま、某社の鑄物製品の成長状況を調査する機会を得た。その結果を2, 3の代表的な試料について報告する。

2 試 験 の 方 法

鑄鉄の成長の原因として一般に考えられている事項¹⁾は

- 1) 比重の小さい黒鉛を析出して膨脹するため
- 2) 酸化して体積をますため
- 3) 内部に割れができるため

である。われわれは考察を簡単にするため、上記の原因2を無視できるように真空中で加熱、冷却を繰り返した。また、原因3については、松山教授は真空中で500回繰り返し加熱、冷却しても鉄部には割れが認められないと報告しておられる²⁾。したがって、割れについてはおもに黒鉛についてのみ観察すればよい。残りの原因1の黒鉛の析出には次の3通りの機構が考えられる。

- 1) 冷却に際して、オーステナイトから過飽和の炭素

がAgr線にそって析出する。

- 2) 冷却に際して、 S' 点の組成のオーステナイトが共析変態を起こして変態区間中に黒鉛を析出する。
- 3) A_1 点以下の温度で、準安定なセメントイトが分解して安定なフェライトと黒鉛になる。

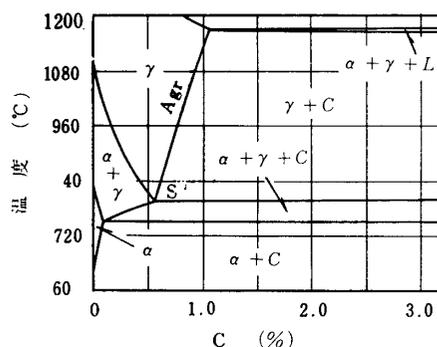


図1 Fe-C-Si 平衡状態図 Si=2.4%

これらの機構のうち、鉄の地の炭素含有量は S' 点以下であるから、機構1については、あまり考えなくともよい。(後で、実験結果から問題になったが)。したがって、共析点以上の温度から共析変態終了までの冷却期間中には、機構2による黒鉛の析出のみが問題になる。そこで、この考察をするため、真空中で試料を600°Cから900°Cまでの間で繰り返し加熱、冷却した。つぎに、機構3による黒鉛の析出を考察するためには別の試料を真空中で700°Cに4時間保持した。

* 機械工学教室

試験の詳細

- 1) 試験装置：熱膨脹計（真空度 10^{-3} Hg）
- 2) 繰り返し加熱，冷却試験：
600~900°C 間を 6 往復，加熱，冷却。
平均加熱速度=平均冷却速度=12°C/分
- 3) 700°C 4 時間保持試験：
自動温度調節器により 700 ± 3 °C に保つ
- 4) 試料の寸法：5 mm ϕ × 30 mm
- 5) 試料の種類とその記号：
普通鑄鉄 FC
ミーハナイト鑄鉄 MC
球状，黒鉛鑄鉄（ダクタイル鑄鉄） DC
低クロム鑄鉄 LC
高クロム鑄鉄 HC
記載を簡略にするために以後は記号を使用する
- 6) 試料の分析値および硬さ：

表 1 試料の分析値(%)および硬さ

成分 試料	T・C	黒鉛	Si	Mn	Cr	Cu	Hv.
FC	3.15	2.4					369
MC	3.12	2.2	1.70	0.70			277
DC	3.70	3.1	2.51	0.34			201~343
LC	3.00	1.6	1.40	0.76	0.63	1.19	486
HC	0.84	0	2.41		11.40		276

- 7) 黒鉛の抽出：鑄鉄を稀硝酸に溶かし，黒鉛を濾別し弗化水素水で処理，黒鉛を濾紙から掃きとることが困難で正確な値が得られなかった。
- 8) 試料の顕微鏡組織：写真 I-1~I-5
FC, MC, LC の地はほとんど全部パーライト，FC には不規則な形のステダイトが，また LC には炭化物の光る粒子が見られる。DC の黒鉛の周辺の白色部はフェライト，HC の地はオーステナイト，網目状の組織は初晶の炭化物 ($Fe_8Cr_{15}C_8$) で黒鉛は析出してない。

3 試験結果とその考察

[A] 600°C~900°C 繰り返し加熱，冷却試験

試験結果を表 2，図 2，写真 I-6~I-10 に示す。

1) 成長率は FC が最大で，MC, DC は FC の約半分である。大気中での加熱に強いといわれる球状黒鉛鑄鉄

表 2 600~900°C 間繰り返し加熱試験結果

試料	黒鉛 %	成長率 %		ビッカース 硬さ
		600°C	900°C	
FC	2.9	1.22	1.78	170
MC	2.4	0.54	0.65	222
DC	3.2	0.52	0.59	126
LC	1.7	0.02	0.03	310(612)
HC	0	-0.03	-0.04	~

() は白く光る組織の硬さ

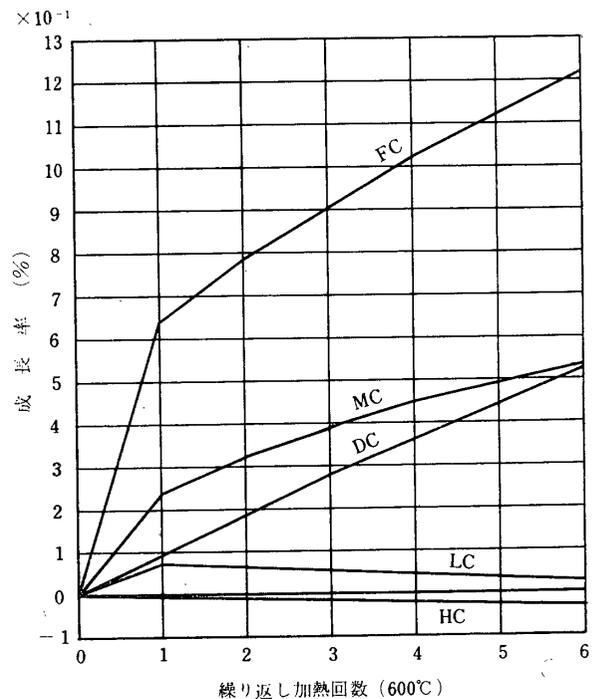


図 2 試料の成長状況

も，耐酸化性を発揮できない真空中ではミーハナイト鑄鉄と大差ない。これは DC には Si が多いが MC には Si が少なく Mn が多いので，セメントライトが安定で分解しにくいからである。さらに Cr を加えてセメントライトを安定にした LC はほとんど成長していない。このことは LC の抽出黒鉛や顕微鏡組織が試験前とほとんど変わっていないことと一致している。

2) LC は第 1 回の加熱では伸びるが，以後は回を重ねるたびに収縮する。第 1 回目の伸びは黒鉛の近くのわずかなセメントライトが黒鉛化したものと思われる。第 2 回目以後の収縮についてはさらに詳しく図 3 に示す。

この図でわかるように，600°C では収縮しても 900°C では常に伸びている。そこで，この収縮を起こす可能性

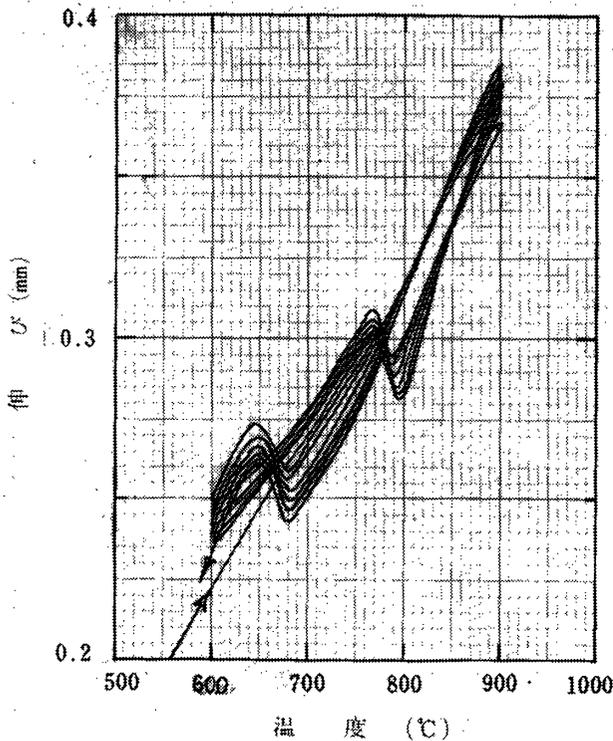


図3 繰り返し加熱、冷却試験 (試料LC)

として、次の4項目の推測を挙げて検討したがまだ確証を得ていない。

a. セメントタイトの球状化

LCの顕微鏡組織を見ると、パーライト中のセメントタイトがかなり球状化している。もしセメントタイトの球状化がわずかな収縮を伴うものなら、球状化が進むにつれてA₁点以下の600°Cでは収縮し、A₁点以上の900°Cではセメントタイトがγ鉄中に溶けるので、他の例と同じように膨脹するはずである。しかし、球状化によって収縮するという文献をまだ見いだしていない。

b. 膨脹係数の大きい物質の析出

図3を見ると、膨脹量は、加熱の場合は約840°C、冷却の場合は約320°Cで常にほぼ一致しているが、その膨脹曲線の傾きは回を重ねるにつれて大きくなっている。これは、820~340°Cでは鉄の比重と等しいがその膨脹係数が鉄より大きい物質がしだいに蓄積されるためであるとも考えられる。

c. σ相の析出

σ相(FeCr)ができれば大きく収縮する³⁾。しかも、σ相は810°C以上では分解するので900°Cではσ相の影響はなくなり、他の例と同じように膨脹するはずでLCの820~840°C間の現象と一致している。もちろん、0.6%くらいのCrは600°Cではα鉄に溶けてσ相はあられ

ないはずであるが、念のため、もっとCrの多い手持ちのHCで試験を試みた。HCはまた、A₁変態をしないのでσ相の出没を調べるのに好都合である。

しかし予期に反して600°Cでも900°Cでも、わずかながら収縮して膨脹は認められなかった。さらにLCとHCを1000°Cで2時間加熱してσ相を分解し、焼入後700°Cに4時間保持してみたが、HCはわずかに収縮したがLCは逆にわずかに伸びてσ相の析出は認められなかった。

d. 炭化物の析出

σ相でなくとも、ちみつな炭化物が析出すれば収縮する⁴⁾。LCの顕微鏡組織には白く光る相が所々にある。この硬さは地の部分よりかなり硬い。たぶん炭化物と思われるが、この炭化物のわずかな増量を測定することは困難である。

3) 図2でわかるようにFC, MC, LCは第1回目の冷却で大きく成長し、以後の成長は緩慢である。このことは第1回目の成長と、第2回以後の成長が多少趣を異にしていることを暗示している。

今一度機構2について考えて見よう。第1回目のAr₁変態区間を冷却中に、黒鉛周辺のオーステナイトは可能な限り黒鉛を既出の黒鉛上に析出し、黒鉛を析出する余裕のなかった、すなわち黒鉛から遠く離れた所のオーステナイトはパーライトになる。そして、第2回目の加熱ではこの残留パーライト及び、先に析出した黒鉛の一部は再びγ鉄中に溶解するが、次の冷却で、溶けた黒鉛は容易に再び黒鉛の表面に析出するだろう。しかし溶けたセメントタイトは、もし全く拡散が行なわれていなければ、そして第1回目と同一条件で冷却されるなら、再びそのまま先の位置にパーライトとして析出し、(写真I-6~8参照)黒鉛の析出量は第1回目と変りはない。ただ、拡散して黒鉛に近づいたセメントタイトのみが黒鉛化するに過ぎない。このことは加熱冷却を何度繰り返しても同じで、第2回目以後はほとんど黒鉛の増加を伴わない。これは松山教授の実験で実証されている²⁾。

セメントタイトが黒鉛化するための膨脹は、各組織の比重から計算される。今、各組織の比重を

$$\begin{aligned} \text{Fe}_3\text{C} &= 7.66 & \text{フェライト (Si 2\%)} &= 7.75 \\ \text{グラファイト (結晶)} &= 2.55 & \text{鑄鉄} &= 7.25 \end{aligned}$$

とすると¹⁾⁵⁾、1%の黒鉛の析出に対して鑄鉄の伸びは約0.59%になる。この値を600°CのFC, MC, LCにも適用されるとして伸びに対する黒鉛の増加量を計算すると、第1回目の伸びに対する黒鉛の増加量のみで全試験期間中に実際に析出した黒鉛量の約倍に及んでいる。

これ等のことから、繰り返し加熱による成長はある原因によるものであり、第1回目だけは更に黒鉛の析出に

写真 I

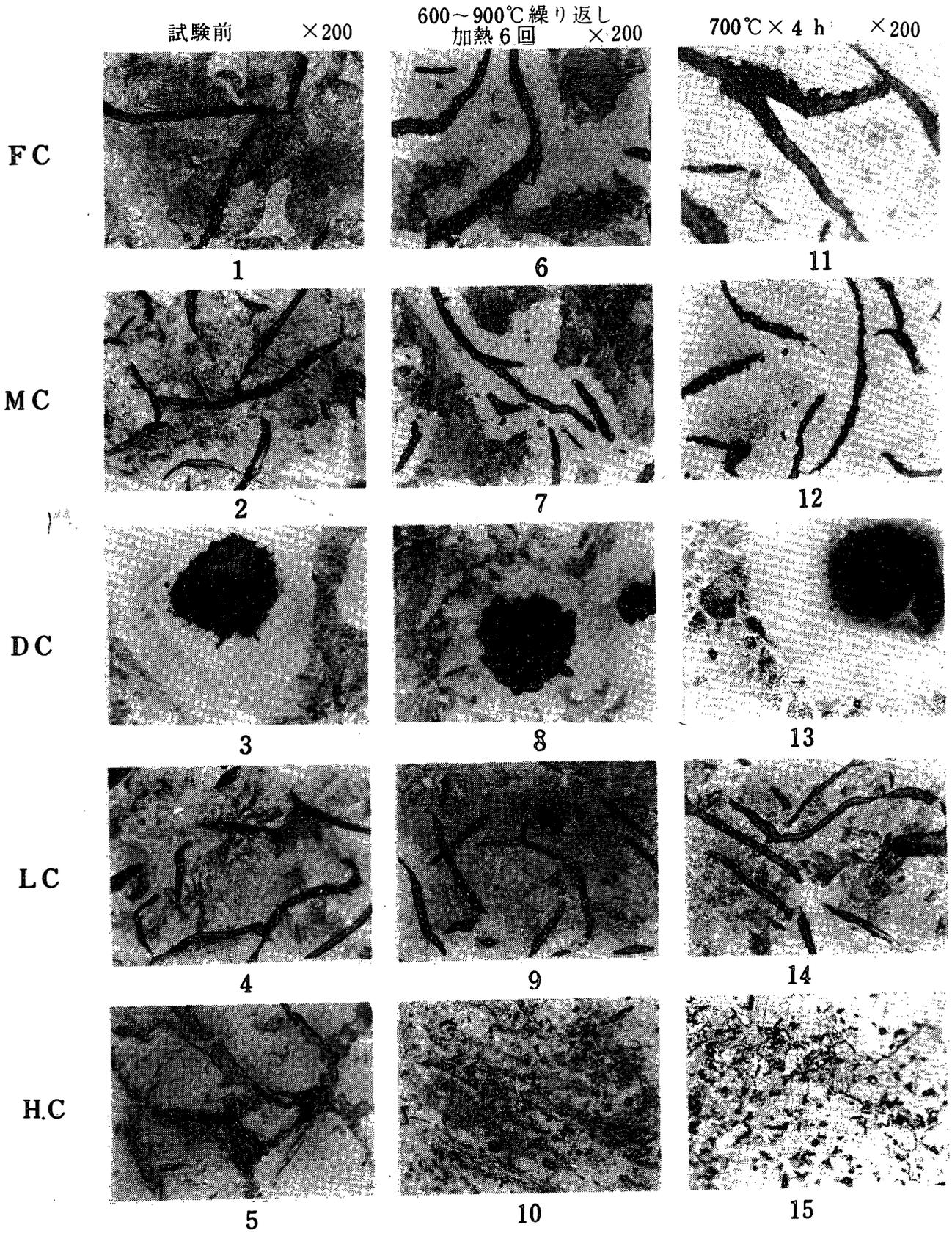


表 3 繰り返し加熱試験の
第 1 回目の成長と黒鉛析出量

試料	第 1 回目の 成長率(%)	黒鉛の析出量(%)	
		計算値	分析値
FC	0.63	1.1	0.5
MC	0.23	0.4	0.2
LC	0.08	0.2	0.1
FC※1	0.57	1.0	0.6※2

※1 松山教授の実験値より推計した値

※2 1100°C で繰り返したときの第 1 回目の黒鉛析出量

よる成長が重複していると考えられる。そして、これが図 3 の FC, MC, LC の成長曲線が第 1 回目 で折れている理由である。DC の成長曲線が折れていないのは、最初の試料から第 1 回目の冷却による黒鉛化を完了した組織になっているからである (写真 1—3 参照)。

では、黒鉛の析出を伴わない成長の原因は何であろうか。酸化が行なわれていないから割れ以外に考えられない。

それも、地の鉄部に割れが認められなければ黒鉛内部に割れができたとは考えられない。加熱に際して、黒鉛がオーステナイト中に溶解するとき体積が減少して黒鉛内部に割れができ、次の冷却でオーステナイトから黒鉛が析出しても、その割れは塞がれないのではあるまいか。これを裏づけるかのように、900°C に長時間保持して黒鉛を溶解しても、わずかに収縮するに過ぎないが、A₁ 点以上で繰り返し加熱しても大きく成長した。

[B] 700°C に 4 時間保持試験

表 4 700°C に 4 時間保持試験結果

試料	黒鉛量 %	成長率 %	推定黒鉛析出量%		ビッカース硬さ
			成長率より計算	分析値より計算	
FC	3.1	0.65	1.1	0.7	161
MC	2.3	0.05	0.1	0.1	187
DC	3.2	0.07	0.1	0.1	197
LC	1.6	0.02	0	0	301
HC	0	-0.03	—	—	241

黒鉛の析出量は鑄鉄の成長率からの計算値に近く、鑄鉄の成長はほとんど黒鉛の析出によるものであることを示している。これは A₁ 点以下の加熱では黒鉛の溶解を伴わないので、黒鉛に割れができないからであると考えられる。

残留セメントは全面に拡がり、明りようなパーライトを形成していない。ただ、セメントが安定な LC と、黒鉛粒子間隔が広い DC の場合には黒鉛化が困難で、パーライト状にセメントが残り、従って成長量も微量である。

また LC には収縮は起こらず、HC にわずかな収縮が起こる。

4. むすび

酸化を伴わない鑄鉄の成長は、A₁ 点以下の定温加熱ではセメントの黒鉛化によるものがおもであるが、A₁ 点を越して繰り返し加熱、冷却した場合には黒鉛化以外の原因による成長の方が大きい。この原因は黒鉛粒子内の割れであると推測される。

クロームを含む鑄鉄はほとんど成長しないばかりか、収縮する場合さえある。

5. 参考文献

- 1) 日本金属学会：鑄鉄 等
- 2) 松山英太郎：日本金属学会誌 Vol 18 P.208
- 3) 美馬・井本：日本金属学会誌 Vol.17 P.549等
- 4) 福元：日本金属学会誌 Vol. 22 P.199
横山，松倉：〃Vol. B—14, 2号 P.63
- 5) 日本鑄物工業会：鑄鉄の材質 P.128

(昭和41年12月26日受理)