

論 文

鑄鉄の凝固過程について\*\*

五十嵐 勇\*・堀籠 健男\*・斎藤 穆\*・神村 賢一\*・菊地 巖\*・奥田 彰\*

SOLIDIFICATION PROCESS OF CAST IRON

I. Igarashi, T. Horigome, K. Saito,  
K. Kamimura, I. Kikuchi and A. Okuda

Synopsis:

Hypoeutectic Fe-C alloys were melted in a reducing atmosphere and their cooling curves were plotted, when their specimens were quenched at a desired temperature. By the aid of the microstructures and the shapes of the cooling curves of these specimens, the solidification process was discussed.

The effects of S, Mn, S, O, W, Cr, and Te were also studied.

I. は し が き

鑄鉄の成分は複雑だから、先ず Fe-C の凝固過程をたしかめ、Fe-C に対する Si, Mn, S, O, W, Cr, Te 等鑄鉄に添加される元素の影響を明らかにして後、鑄鉄の凝固過程を論じたいと思う。ところが古くから研究されつくした鑄鉄ではどうしても今迄の諸説にとらわれて事実を見あやまる恐れがあるので、Fe-C と同様鑄物合金であり、共晶合金であり、しかも鉄に関係のない Al-Si の凝固過程からはじめることにした。

II. 実 験 方 法

エレマ炉を用い還元雰囲気中で溶解し冷却曲線を取りながら所要の点から水冷し顕微鏡組織を見て其の点で凝固していた部分と湯であつた部分とを分ち凝固過程を明らかにした。

III. 実 験 結 果

(1) Al-Si (a) 冷却曲線の初晶々出途中より水冷すれば Al の樹枝状晶と湯であつた。(b) 共晶に達して直ちに水冷すれば樹枝状晶に小枝がついた。(c) 共晶途中から水冷すれば小枝が発達して各々の芯に Si が現われた。(d) 共晶が終つた後に水冷したものは湯がなくて地

が全面 Al になり小枝の芯に出ていた Si が乱雑に針状に残る。Photo. 1—a, b, c, d, はその顕微鏡写真である。

この凝固過程では先ず初晶 Al が樹枝状に出る。次に初晶に小枝が出る。時間の経過と共に小枝の芯に Si が出る。共晶だけれども Al と Si とが同時に出たのではない。そのために普通共晶と称せられる組織とちがつて Si が乱雑な針状を示している。

(2) Fe-C (e) 冷却曲線の初晶々出途中より水冷したものは初晶  $\gamma$  の樹枝状晶と湯 (レブライト) であつた。(f) 共晶の最初で水冷したものは初晶  $\gamma$  の樹枝状晶に笹の葉状  $\gamma$  がくつつく。(g) 笹葉の芯に黒鉛が析出する。(h) 凝固を終つたものでは湯はなくなつて地は全面  $\gamma$  になり笹葉の芯に出た黒鉛が片状に残る。Photo. 1-f, g は夫々の顕微鏡写真である。

Fe-C の凝固過程は Al-Si の凝固過程と全く相似である。亜共晶の場合初晶は  $\gamma$  で共晶になつても Fe と  $Fe_3C$  と同時に晶出するのでなく初晶  $\gamma$  に笹葉状  $\gamma$  が附着して発達し時間の経過と共に笹葉の芯に黒鉛が析出する。

(3) Fe-C-Si (イ) 試料配合は次表の通り。

Com- position	No.						
	03	07	1	2	3	4	5
Si (%)	0.3	0.7	1	2	3	4	5
C (%)	3	3	3	3	3	3	3

\*\* 本論文は 1953年 春期大会に発表したものに、わかり易いように、それ以前の研究を少し加えたものである。

\* 東北大学工学部金属工学科鑄造教室

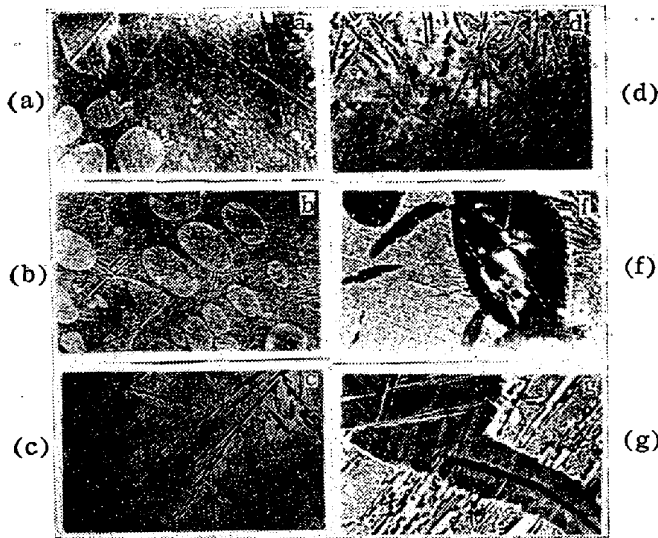


Photo. 1 Micro-structure of Al-Si & Fe-C

- (ロ) 冷却曲線の形状は Fe-C と変りない。
- (ハ) No. 03, 07 の各点に於ける水冷組織は Fe-C 系と変りない。
- (ニ) No. 1~5 では共晶開始直前より水冷すれば黒鉛共晶が球状をなして点在する。(Photo. 2-a). Si の増加と共に黒鉛共晶の量を増し Si 5% に至れば残湯は全部黒鉛共晶として凝固する。(Photo. 2-b).

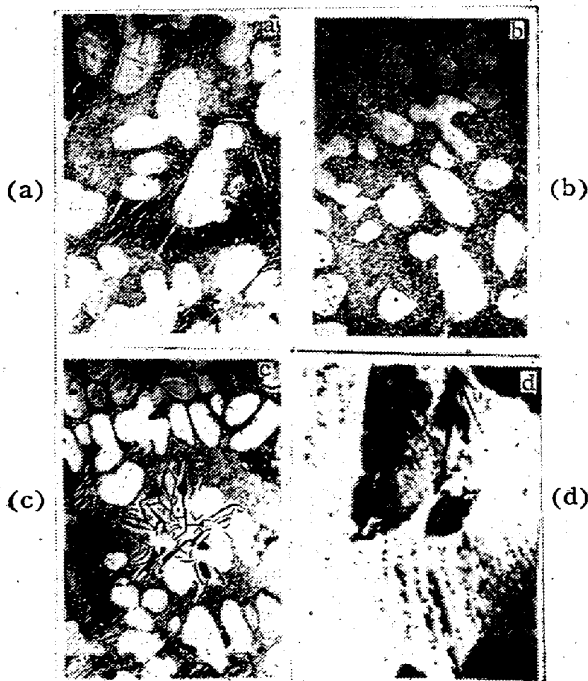


Photo. 2 Micro-structure of Fe-C-Si and Fe-C-W

- (ホ) No. 1~5 を共晶初期より水冷すれば笹葉状 $\gamma$ 集団の周囲に黒鉛共晶が出来、残りの湯はレデブライトとして凝固している。(Photo. 2-c) Si の増加と共にレデ

ブライトの領域は減少し Si 5% になればレデブライトはなくなる。

- (d) (ヘ) No. 1~5 を共晶中期より水冷すれば No. 4, No. 5 でレデブライトはない。
- (f) (ト) No. 1~5 を共晶後期より水冷すれば No. 1 は黒鉛共晶はなくレデブライト, Si の増加と共に黒鉛共晶が増加し No. 4, No. 5 にはレデブライトはない。
- (チ) Fe-C-Cr 試料の配合は次表の通り

No.	1	2	3	4	5	6
Cr (%)	0.1	0.2	0.23	0.25	0.3	0.35
C (%)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8

No.	7	8	9	10	11	12
Cr (%)	0.4	0.45	0.5	0.6	0.8	1.0
C (%)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8

冷却曲線の例を Fig. 1 に示す。No. 1 は灰鉄, No. 2~8 は斑鉄, No. 9~10 は白鉄である。灰鉄試料は普通の冷却曲線であるが斑鉄試料には二つの共晶点が見られる。Cr の増加と共に第一次共晶の領域は減少し第二次共晶の領域が増加する。Cr 0.5% に到れば第二次共晶のみとなり組織は白鉄となる。第一次共晶では灰鉄として凝固し、第二次共晶では白鉄として凝固し、共存する場合は斑鉄として凝固する。

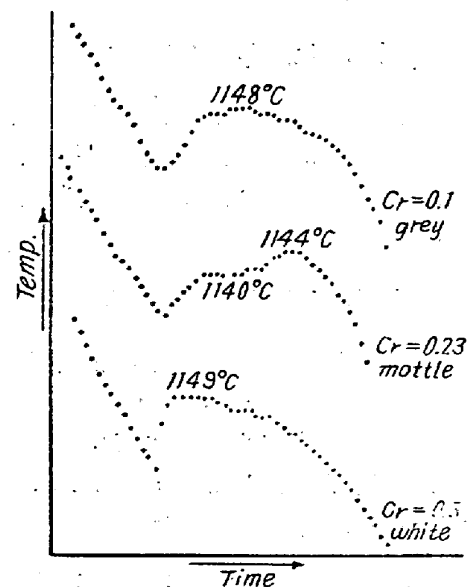


Fig. 1 Cooling curves of Fe-C-Cr alloys.

- (5) Fe-C-W 試料の配合は次表の通り,

No.	Composition					
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
W (%)	0.0	14.0	0.0	5.0	0.0	5.0
C (%)	3.8	3.8	3.0	3.0	2.0	2.0

A, B, C の 1, 2 を適当に配合して W の量を変化した。冷却曲線の例を Fig. 2 に示す。組織は前例と同じく一次共晶のみは灰鉄、一次二次共晶共存は斑鉄、二次共晶のみは白鉄である。

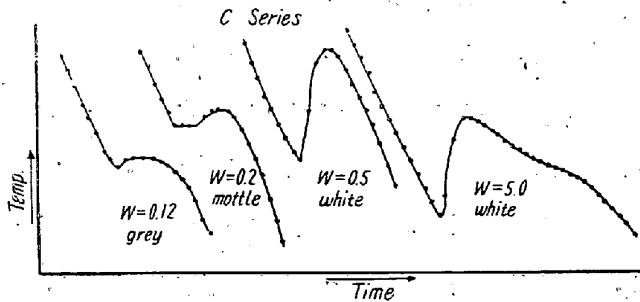


Fig. 2 Cooling curves of Fe-C-W alloys.

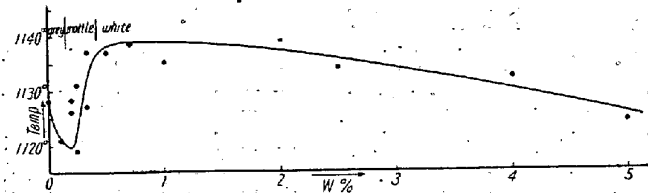


Fig. 3 Eutectic points Fe-C(2%)-W alloys.

試料 C 系について W の量と共晶点との関係を図示すれば Fig. 3 のようになる。W の増加と共に一次共晶点は降下し、二次共晶が出はじめると二次共晶点は急昇し、二次共晶のみになると W の増加と共に共晶点は徐々に降下する。一次共晶で水冷した笹の葉には異状はないが二次共晶にかかつて水冷すれば黒鉛は笹の葉オーステナイトの尖端から突出する。一次共晶で出来た笹の葉が二次共晶（白鉄凝固）の為温度が上昇するので笹の葉のとけ易い部分は再びとけるかもしれない。もしそうだとすれば当然黒鉛は顔を出すことになる。Photo. 2-d は笹の葉が破れたと見た方が適当と思われる写真である。

黒鉛が突出しているから黒鉛が先きに凝固したと見るのは凝固過程全体から見て当たらないと思う。

(6) Fe-C-Te

C=4% の鉄炭素合金に次表の通り Te を配合した。

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Te%	0.01	0.025	0.04	0.05	0.055	0.066	0.10	1.00

Fig. 4 に二、三の冷却曲線を例示する。この合金も Te のすくないうちは一次共晶のみで灰鉄だが Te が増加す

ると二次共晶が現われ同時に斑鉄が出てくる。Te 1% 以上では二次共晶のみとなり白鉄となる。顕微鏡写真は略する。

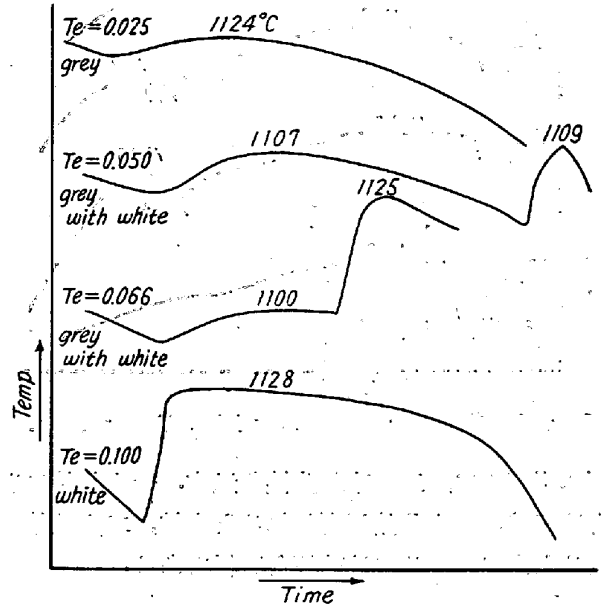


Fig. 4 Cooling curves of Fe-C-Te alloys.

(7) Fe-C-O

C=4.3% の鉄炭素合金 45g に化学用四三酸化鉄を次表の通り配合した。

No.	1	2	3	4	5
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (g)	0	2	2.5	3	4

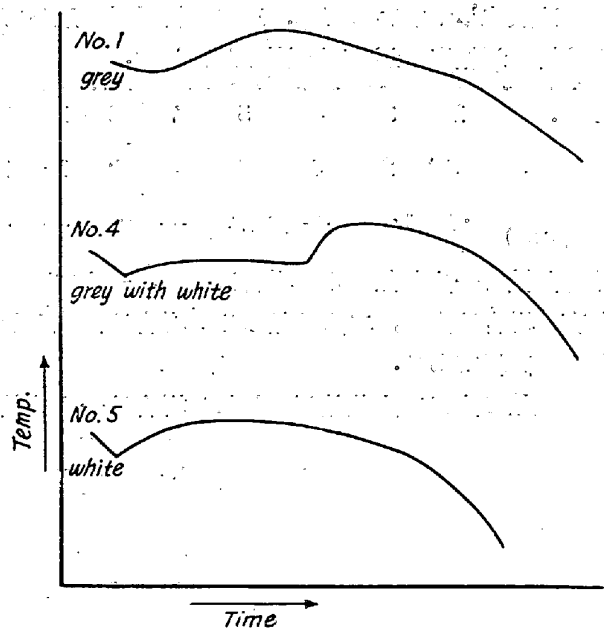


Fig. 5 Cooling curves of Fe-C-O alloys.

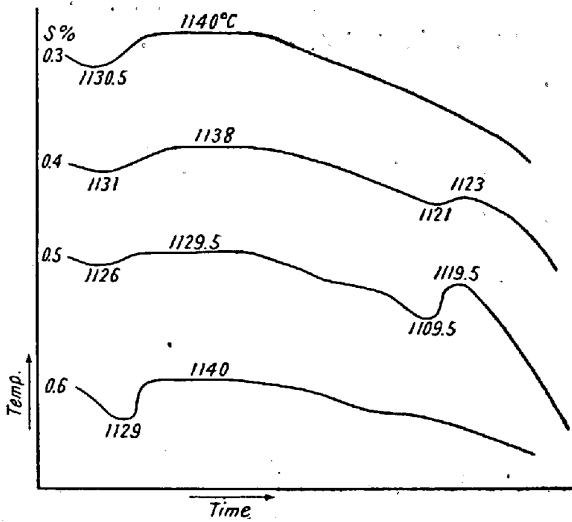


Fig. 6 Cooling curves of Fe-C-S alloys.

Fig. 5 に二、三の冷却曲線を示す。一次共晶のみの場合には灰鉄、二次共晶が現われると斑鉄、二次共晶のみとなると白鉄となるのは前例と同様である。

(8) Fe-C-S

C=4% の鉄炭素合金に次表の通り S を配合した。

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S%	0.1	0.3	0.4	0.45	0.5	0.52	0.55	0.6	1.0

Fig. 6 に二、三の冷却曲線を示す。

一次共晶のみは灰鉄、一次共晶二次共晶共存は斑鉄組織、二次共晶のみは白鉄である。

(9) Fe-C-Mn

C=0.4% の鉄炭素合金に次表の通り Mn を配合したが Mn は酸化しやすいので二、三の分析結果を示して配合と分析とが相当ちがう事を明らかにした。

No.	1	3	4	5	7	8	10	11
Mn (charged)	0.5	2	4	6	8	9	10	11
Mn (analysed)	0.46	1.38	—	3.25	—	3.21	—	—

冷却曲線で一次共晶のみの場合には灰鉄、一次二次両共晶共存の場合は斑鉄、二次共晶のみの場合には白鉄となることは前同様である。

一次共晶の次に二次共晶が現われる場合は一次共晶で

出来た笹の葉が一部とけて笹葉が破れ芭蕉を思わせるような形となることも前同様である。

Mn の増加とともに一次共晶灰鉄の領域は減少し二次共晶の領域を増しつについては白鉄となる。又一次共晶の温度は低下し二次共晶の温度は上昇する。

(10) Fe-C-Mn-Si

C=3%, Si=1% の鉄炭素珪素合金に次表の通り Mn を配合した。Mn の分析結果も附記しておく。

No.	1	2	4	6	7	9	10
Mn (charged)	1	3	5	6.9	7.6	9	10
Mn (analysed)	1.88	2.71	4.83	5.63	7.31	—	7.48

冷却曲線と組織との関係は前同様であつた。

IV. 結 論

1. 亜共晶鑄鉄では先ず  $r$  の樹枝状晶が晶出する。
2. 共晶点で初晶  $r$  に笹の葉状の C 過飽和の  $r$  が晶着し笹の葉の中心線に沿つて C が現われる。
3. Si を添加しても凝固過程に変わりはない。Si を多く添加すれば急冷によつて黒鉛共晶が現われる。Si のすくない場合でも  $r$  が晶出するにつれてその周囲の Si は増加し之を急冷すれば  $r$  の周辺に黒鉛共晶を見るが徐冷すれば Si は湯の中に拡散するので黒鉛共晶は出ない。
4. Cr, W, Te, O, S, Mn 等を添加すれば或る濃度以上で冷却曲線に二つの停止点が現われる。第一の停止点では笹の葉が出来その芯に黒鉛が現われ第二の停止点でレデライトが晶出する。(斑鉄)。添加濃度を増すに従い第一の停止点の時間は減少し第二の停止点の時間が増す。尚濃度を増すと第二の停止点のみとなり組織は白鉄となる。即ち添加量に従つて鼠鉄、斑鉄、白鉄とかわる。斑鉄の場合第二の停止点の温度が高いために第一の停止点で晶出した笹の葉はとけ易い部分が一部とけてセメントタイトとして凝固する。従つて笹の葉は破れ芭蕉の葉のような形となり黒鉛が  $r$  より突出したような有様となる。このように凝固の順序を追つてしらべて見ないで最後の結果だけを見れば C が先きに晶出したかのように誤りやすい。(昭 29—9 月寄稿)