

延性鑄鉄の第二段黒鉛化機構について

— おもに Ni および Cu の影響 —

川 井 昂* 小 南 博**

Study on the Second Stage Graphitization of Ductile Cast Iron

— Chiefly on the Effect of Cu and Ni —

By Takashi Kawai and Hiroshi Kominami
Tobata Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Magnesium mother alloys used in the production of ductile cast iron are usually contain such several elements as Ni, Cu, Fe, Si, Al, etc. These elements will be gradually enriched in the ductile iron scraps by the magnesium treatment. The writers investigated the effects of nickel and copper on the second stage graphitization of ductile cast iron.

In the preceding investigations on the mechanism of second stage graphitization of ductile cast iron, it was found that there were two kinds of processes as follows:

- (1) Austenite (γ) — Ferrite (α) + Graphite (G)
- (2) Austenite (γ) — Pearlite ($\alpha + C$) — Ferrite (α) + Graphite (G)

The former reaction was termed by the writers the direct decomposition of austenite, and the latter, the indirect decomposition of austenite.

This time, the writers employed the high temperature quenching method, using two lead baths, which were kept at high or low temperature. The writers analyzed quantitatively the effect of copper and nickel on the direct and indirect decomposition of austenite independently. The results may be summarized as follows:

- (1) If the temperature stays unchanged, nickel prompts the decomposition of pearlite but retards the direct decomposition of austenite.
- (2) Copper retards considerably the ending time of direct decomposition of austenite.
- (3) Copper slightly retards the beginning time of pearlite reaction.
- (4) Copper retards severely the decomposition of pearlite.

In conclusion, the writers advocate the importance of determination of the influence of various elements on the direct decomposition of austenite.

〔I〕 緒 言

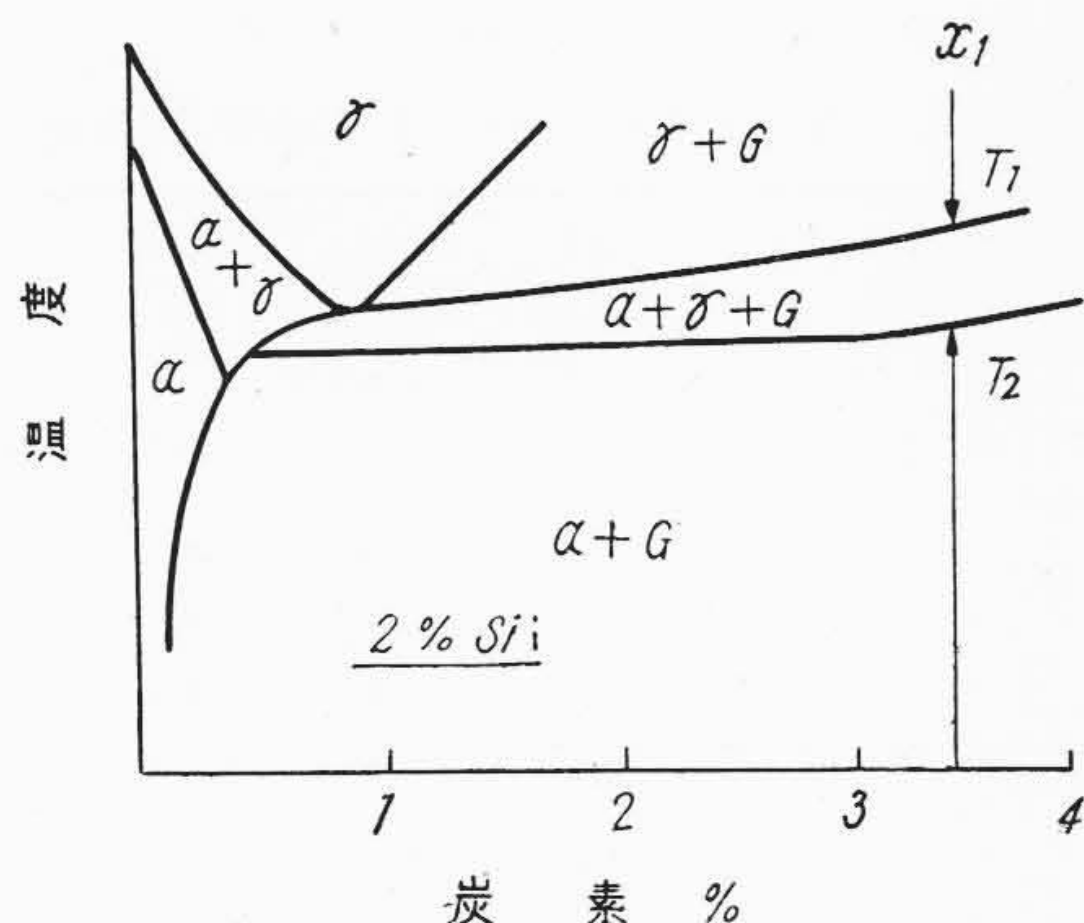
延性鑄鉄製造の際に用いられるマグネシウム添加合金はおもに Ni, Cu, Fe, Si, Al などの合金である。したがって、これらの合金元素は必然的に延性鑄鉄に合金化され、返材の使用によつて次第に母材中に蓄積されてゆく。これまでも延性鑄鉄に対するこれら混入金属の影響については球状化能、機械的性質など各面からの多く

の研究結果があるが、本研究では第二段黒鉛化におよぼすこれら金属、特にニッケルおよび銅の影響をあきらかにした。

マレブル用白鉄の第二段黒鉛化機構についての杉、塩谷両氏の研究⁽⁶⁾においてすでに指摘されたように、グラフaitの析出反応には二種の過程が考えられる。

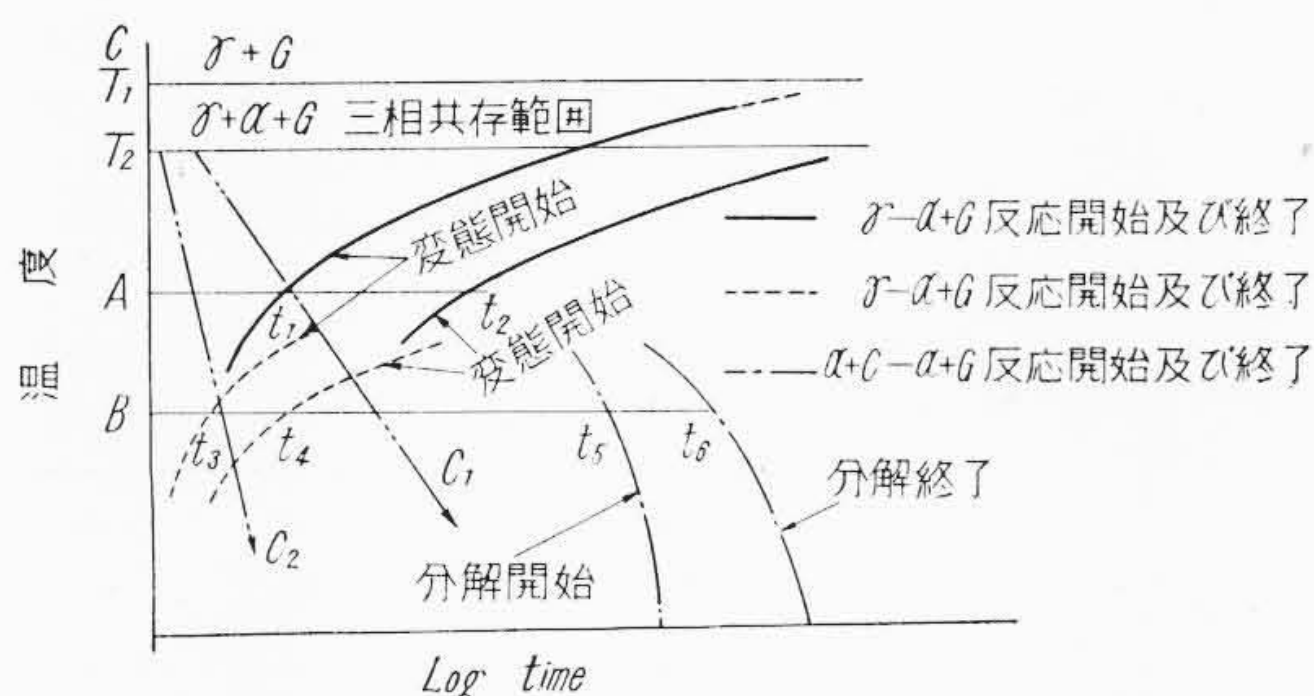
- 1) オーステナイト (γ) → フェライト (α) + グラファイト (G)
- 2) オーステナイト (γ) → パーライト ($\alpha + C$) →

* ** 日立製作所戸畑工場



第3図 Fe-C-Si 系 切断状態図

Fig. 3. Section Diagram for Fe-C-Si Alloy at 2% Silicon

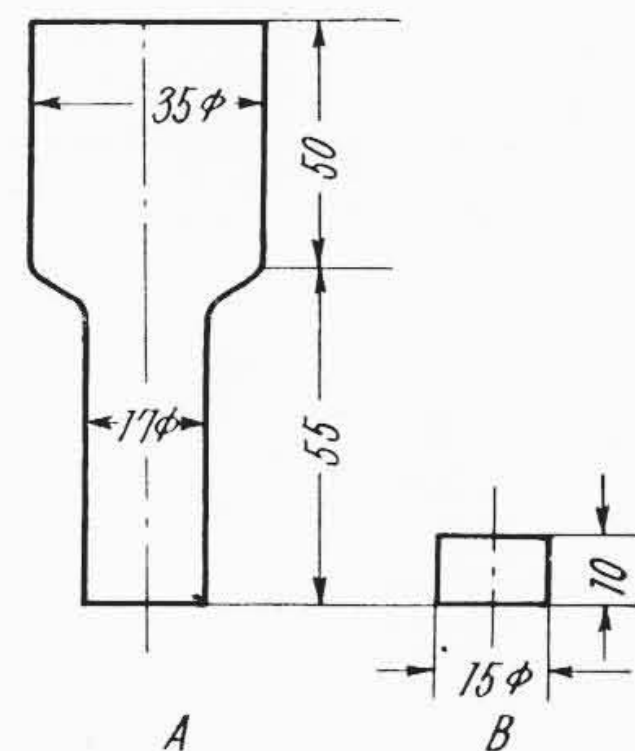


第4図 第二段黒鉛化の「温度-時間-変態」曲線

Fig. 4. "Time - Temperature - Transformation" Curve of Second Stage Graphitization

化が問題になる。この問題に対して米国の Brown および Hawkes は第4図に示すような温度-時間-変態曲線「T-T-T」曲線を呈出している。これは三種の変態の進行過程を温度および時間の函数として表現したもので、鋼における「S」曲線と同様の意義を持っている。

温度 C より温度 A の鉛浴に焼入れると t_1 時間の後に $\gamma \rightarrow \alpha + G$ の反応が始り t_2 時間の後には γ は無くなり $\alpha + G$ のみの組織となり反応は完了する。また温度 B に焼入れたときには t_3 時間の後に $\gamma \rightarrow \alpha + C$ (パーライト) 反応が始り t_4 時間の後にオールパーライトの組織となる。このパーライトは t_5 時間経つとふたたび分解を始め t_6 時間の後にはじめて $\alpha + G$ のオールフェライトの組織になる。実際鑄物を鑄造した際には第4図 C_1 あるいは C_2 などの冷却曲線を経た結果、 C_1 の場合にはオーステナイトからブルスアイ組織として直接フェライトを発生し、この反応の終了を待たずに残部のオーステナイトはパーライト反応によつてパーライト化する。このパーライトは冷却速度が極端に遅くない限り、さらに分解することなくその儘常温まで冷却され、その結果鑄造組織は鮮明なブルスアイ組織を呈するのである。また C_2 のよ



第5図 試験片寸法

Fig. 5. Size of Specimen for the Heat Treatment

第1表 試料の化学成分

Table 1. Chemical Analysis of Test Specimen

No.	C	Si	Mn	P	S
521	3.45	2.37	0.42	0.020	0.008

うな場合にはオーステナイトから直接フェライトを発生することなくオーステナイトはすべてパーライトに変態し鑄造組織はオールパーライトになるのである。

以下の実験はこのような変態機構の確認と時間温度の定量化ならびにこれらのいわゆる恒温変態曲線によぼす Ni および Cu の影響を定量化するためのものである。

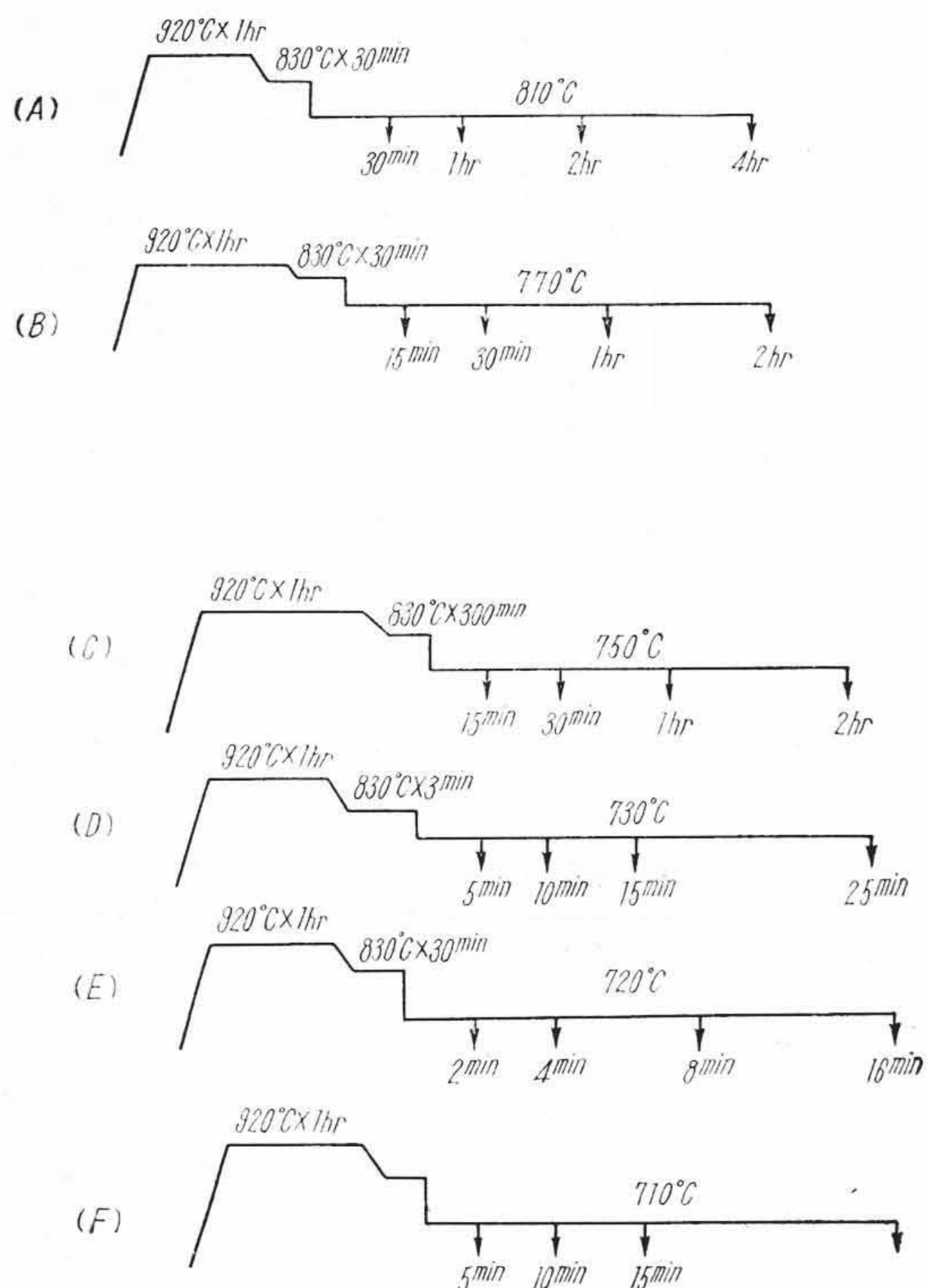
(1) オーステナイト→フェライト+グラファイト反応およびオーステナイト→パーライト反応について

実験に供した試料は 100 kg 塩基性アーク炉で安来鉄を母材として溶製したもので、Ni-Mg (80:20) 1% でマグネシウム添加 Fe-Si で接種したもので、第5図Aに示す落込試験棒を乾燥型に鑄込み、同試験棒 17mmφの箇所から同図Bに示す焼入用小試験片を削り出した。試料の化学成分を第1表に示す。試料は表記成分以外に Ni および Mg を含むが、本研究を通じて、すべて Ni-Mg 1% による Mg 処理を採用したので、約 0.6% の Ni と 0.09% 程度の Mg は全試料に共通の影響を与えているものと仮定した。Ni-Mg 合金を使用したのは Mg 歩留を可及的に揃えるためである。

鉛浴中で恒温変態せしめるに先だつて 920°C に 1 時間保持して初晶セメンタイトの分解を行い、さらに 830°C に 30 分間保持して過共析セメンタイトの分解およびオーステナイト中の炭素濃度の均一化を期した。830°C の温度は第3図 T_1 の温度を目標に決定したものである。

第6図(次頁参照)に6段階の熱処理サイクルを温度ならびに時間とともに示してある。

これらの処理によつてえられた試料の顕微鏡組織のう



第 6 図 熱 処 理 サ イ ク ル
Fig. 6. Heat Treating Cycles for
 $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction

ち代表的な組織および条件を第 7 図写真 A-1→F-1 に示した。組織変化に見られる特長を要約する。

(A) 温度の高くなるに伴い $r \rightarrow \alpha + G$ 反応は遅くなり、810°C においては 4 時間後に至るも全くフェライトを発生しない。

(B) $r \rightarrow \alpha + G$ 反応で生成するフェライトは高温ではオーステナイト粒界に成長する傾向が強く、低温になり過冷程度の烈しくなる程、黒鉛核の周囲を球状にとりまく傾向が強くなる。

(C) 720°C において $r \rightarrow \alpha + G$ 反応と同時に $r \rightarrow \alpha + C$ (パーライト) 反応が始り、 $r \rightarrow \alpha + C$ 反応は $r \rightarrow \alpha + G$ 反応に較べてより急速に進行する。パーライトの成長状況は写真 E-1→E-5 に見られるようなもので、写真 E-4, E-4', E-5 においてはフェライト、マルテンサイト、パーライト、グラファイトの四相が共存している。

(D) 710°C においてはパーライト反応は急速に進行し、5 分間で完全に終了している。

さらに、これらの写真より各相の占める面積の割合を測定して第 2 表を作成した。反応の進行速度はほぼ時間の対数に比例するという仮定にもとづいて各温度における反応の開始時間ならびに終了時間を作図(第 8 図(次頁

第 2 表 各 相 の 100 分 率

Table 2. Area Percent of Each Phase

鉛浴温度	マルテンサイト	100	100	100	100
	パーライト	0	0	0	0
810°C	フェライト	0	0	0	0
	保持時間	30 分	60 分	120 分	240 分
	マルテンサイト	100	100	98.8	96.8
770°C	パーライト	0	0	0	0
	フェライト	0	0	1.2	3.2
	保持時間	15 分	30 分	60 分	120 分
	マルテンサイト	100	78.6	94.2	82.6
750°C	パーライト	0	0	0	0
	フェライト	0	21.4	5.8	17.4
	保持時間	15 分	30 分	60 分	120 分
	マルテンサイト	100	78.8	87.2	50.1
730°C	パーライト	0	0	0	0
	フェライト	0	21.2	12.8	49.9
	保持時間	5 分	10 分	15 分	25 分
	マルテンサイト	100	98	89.9	22
720°C	パーライト	0	0	5.1	75
	フェライト	0	2	3.0	3.0
	保持時間	2 分	4 分	8 分	16 分
	マルテンサイト	0	0	0	0
710°C	パーライト	98	96.3	96.7	97.5
	フェライト	2	3.7	3.3	2.5
	保持時間	5 分	10 分	15 分	20 分

参照)) によつて求め、この結果を打点して第 9 図(次頁参照)に示す延性鑄鉄の「温度-時間-変態」曲線を描いたが、数値のバラツキが大きい点、および測定値の数の不足から満足な結果がえられなかった。

(2) パーライト→フェライト+グラファイト反応について

既述の実験に用いたものと同様の試料を用い、まずオールパーライトの組織をうるため第 10 図(次頁参照)に示す高温焼入処理を行つた。つぎに、これらの試料を用いて第 11 図(次頁参照) A より E に示す処理を行つてパーライトの分解速度を調べた。

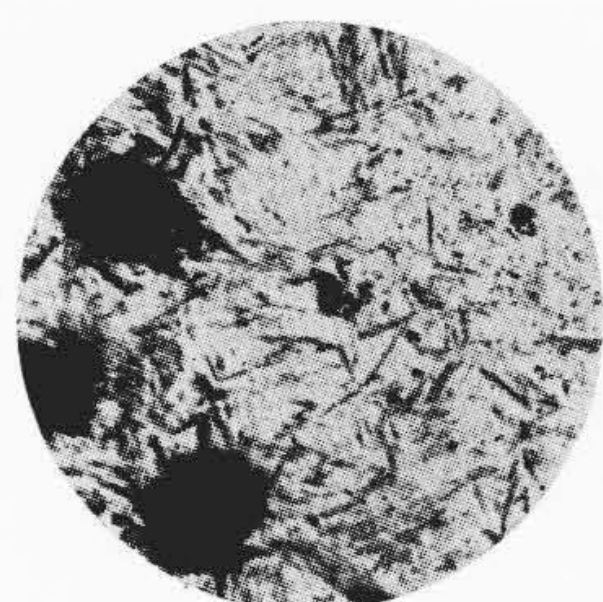
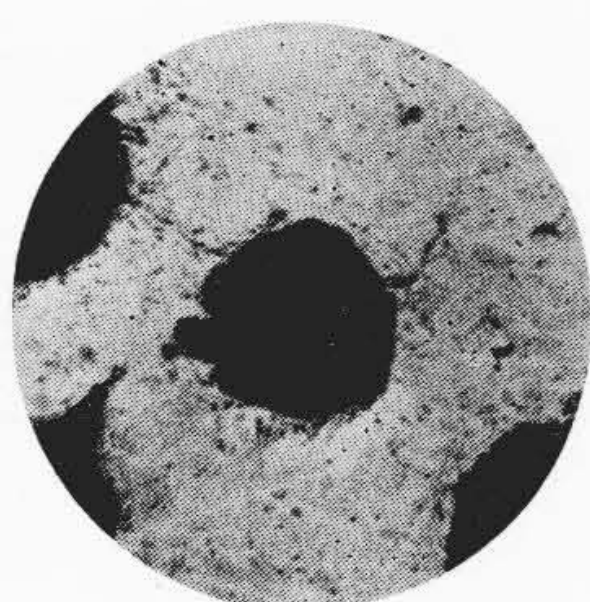
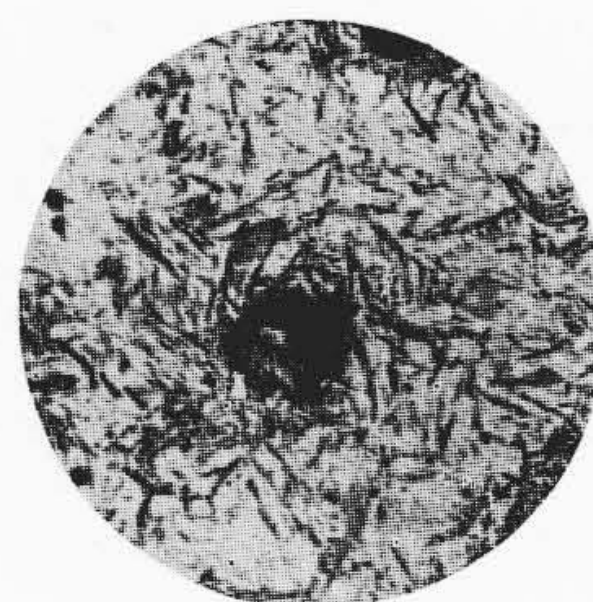
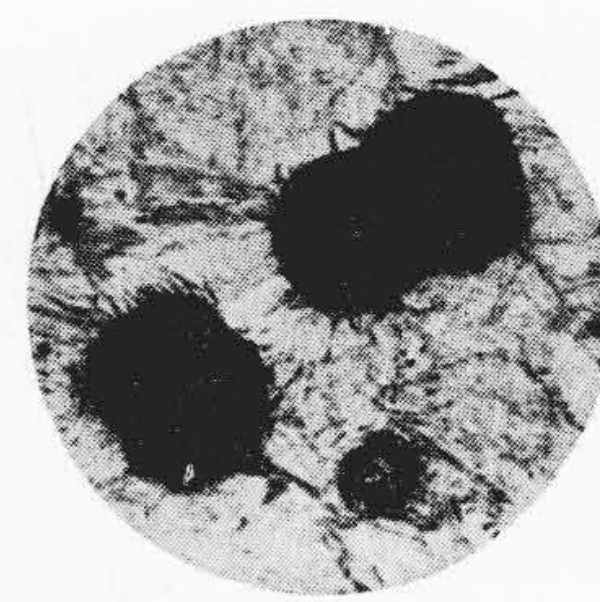
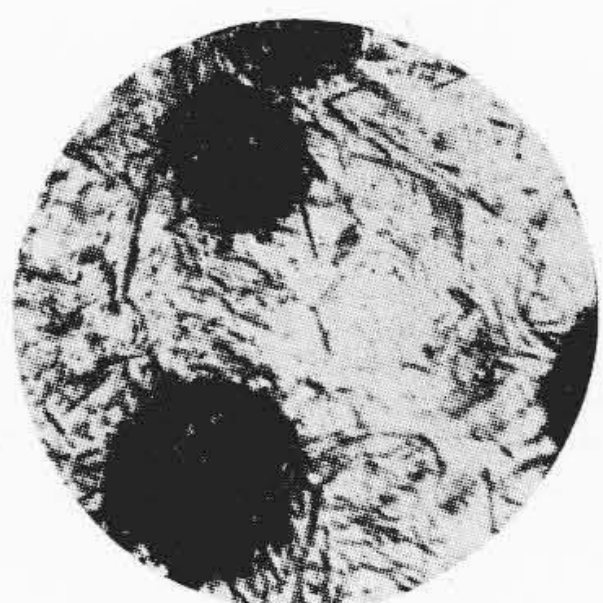
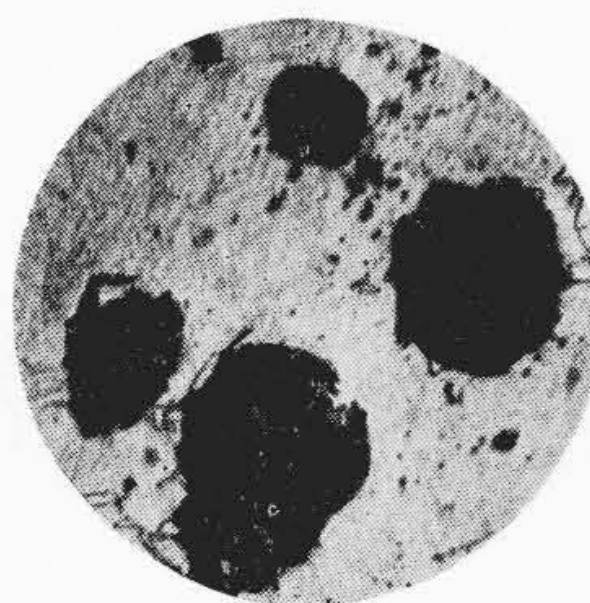
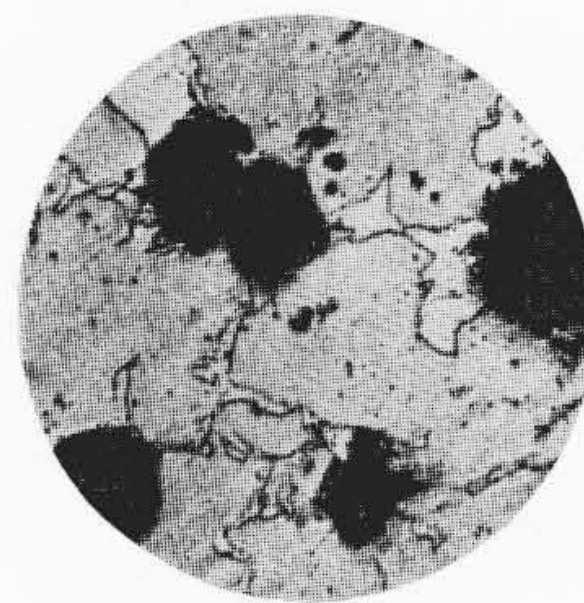
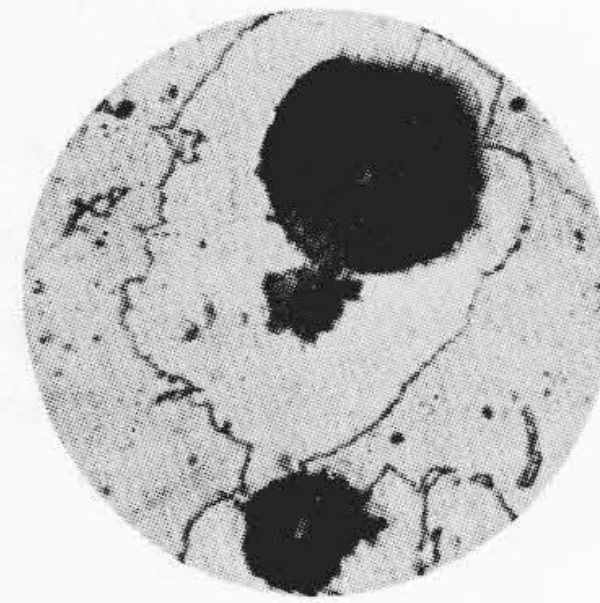
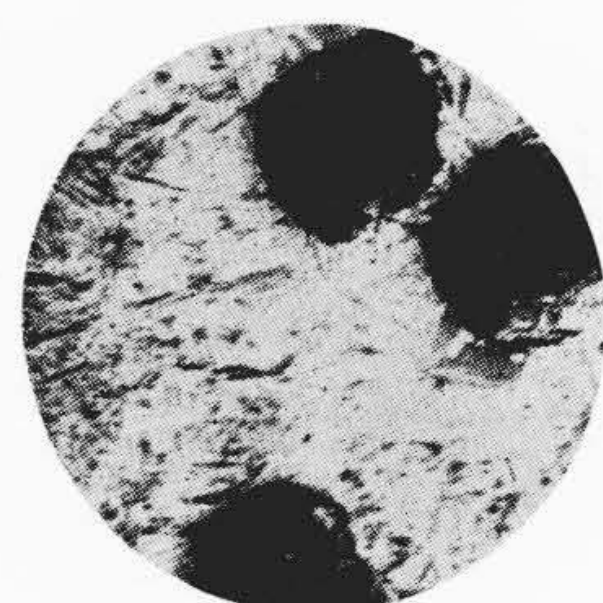
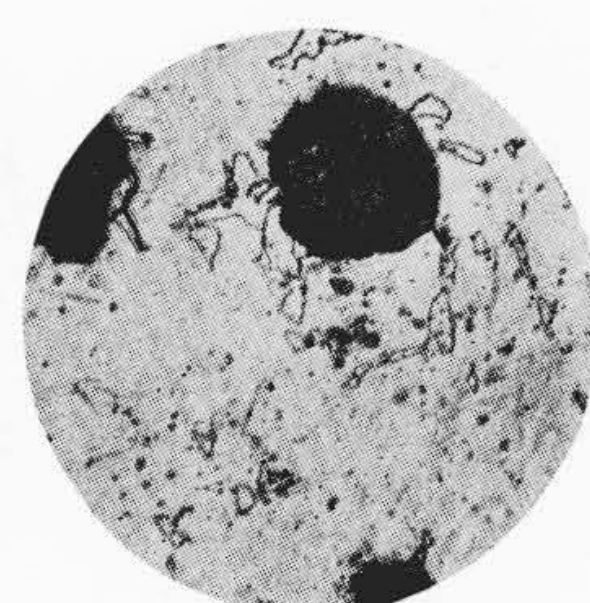
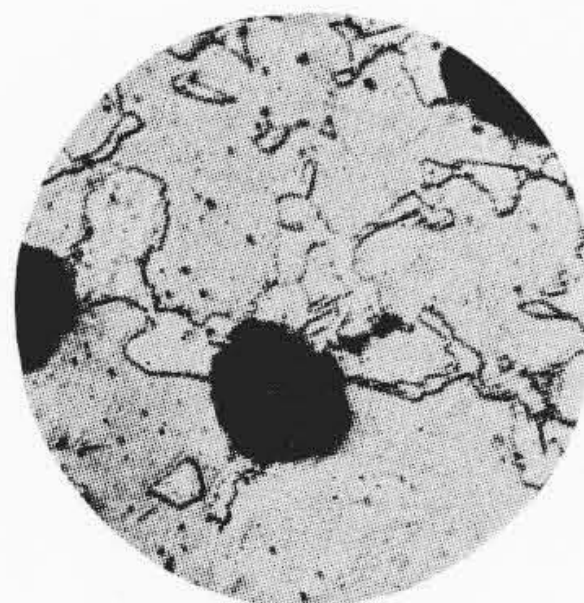
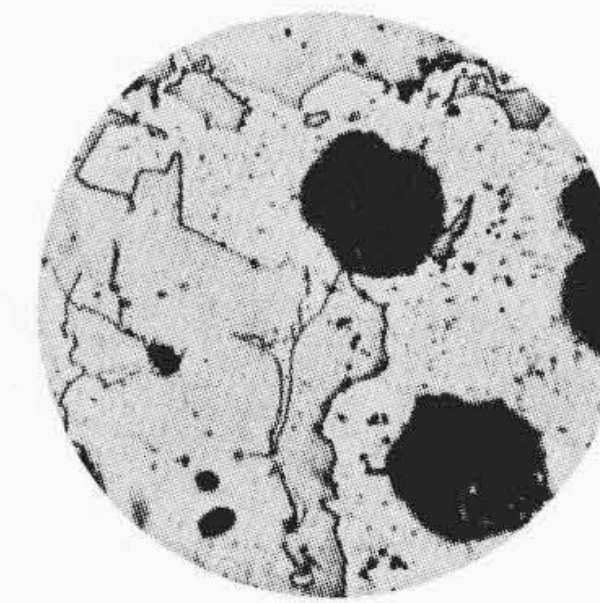
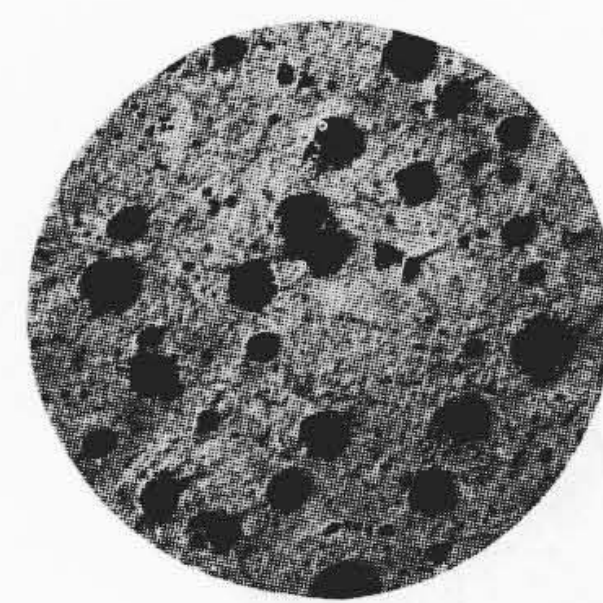
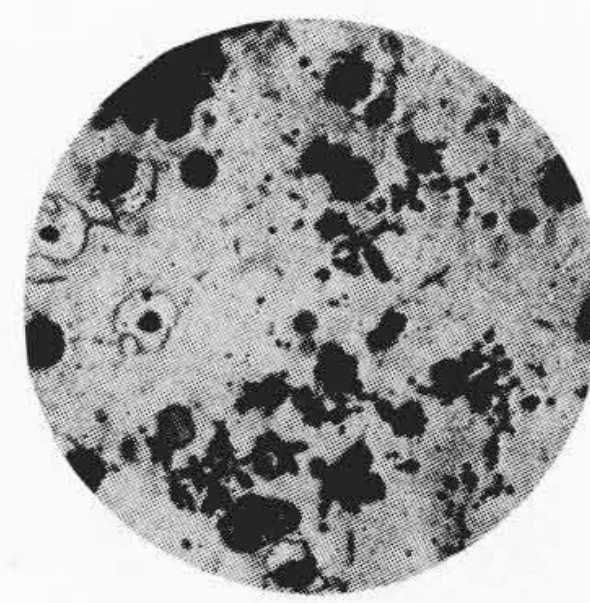
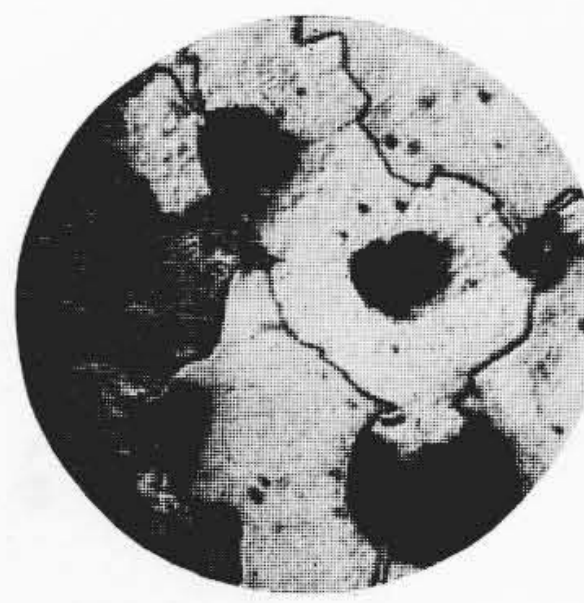
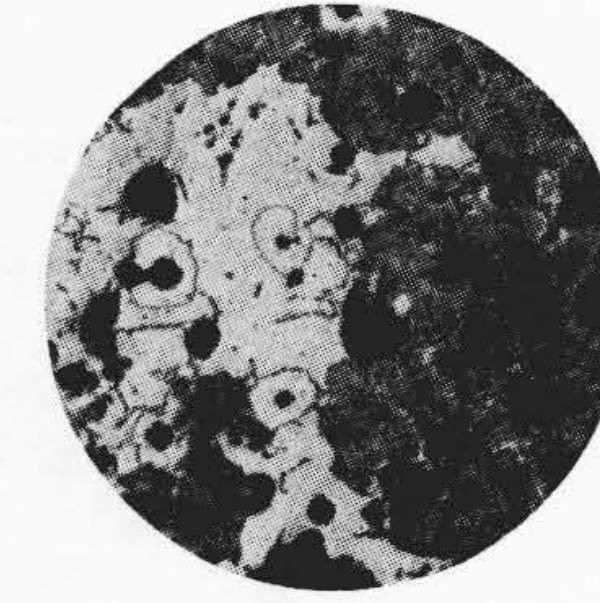
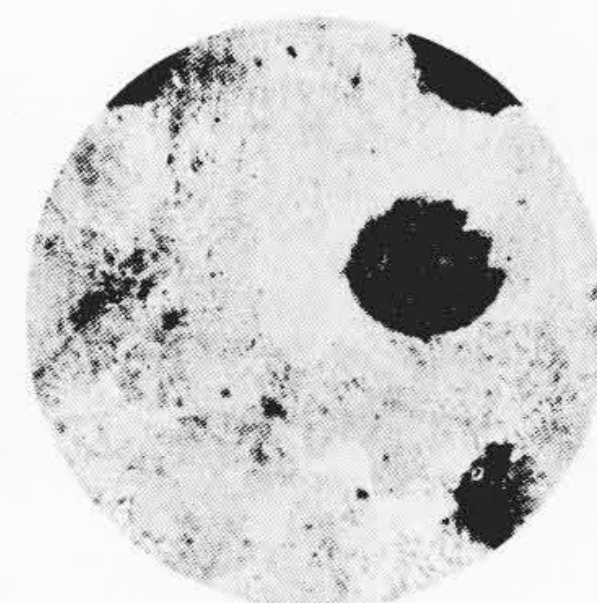
第 12 図(次頁参照)に代表的な組織および条件を示すが、パーライトとフェライトとの境界は明瞭でなく、組織の上からパーライトの分解進行程度を決定することは不可能であつた。

第 12 図に示した組織の特長を要約する。

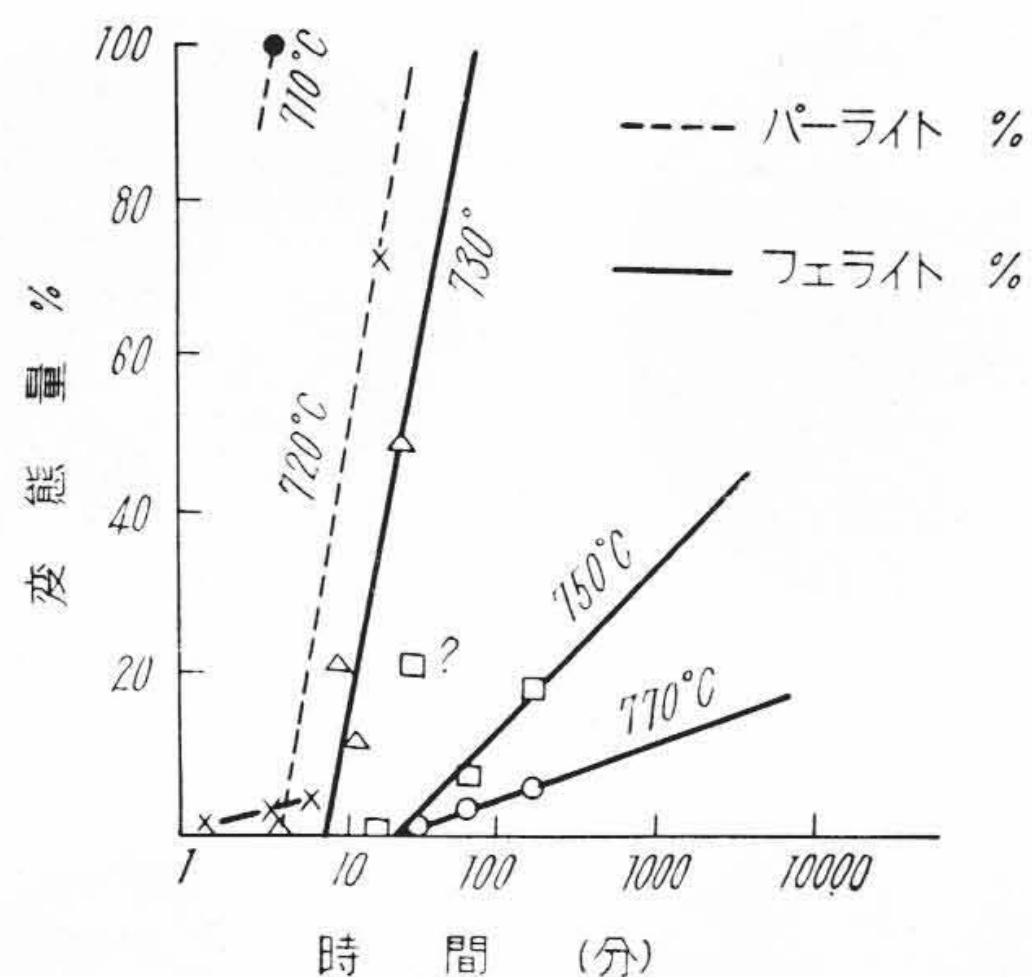
(A) 810°C では 15 分間で完全にオーステナイト化しその後変化しない。

(B) 790°C ではオーステナイト中に微粒のフェライトを残す組織となり、2 時間後も変化しない。三相共存範囲に入つたものと考えられる。

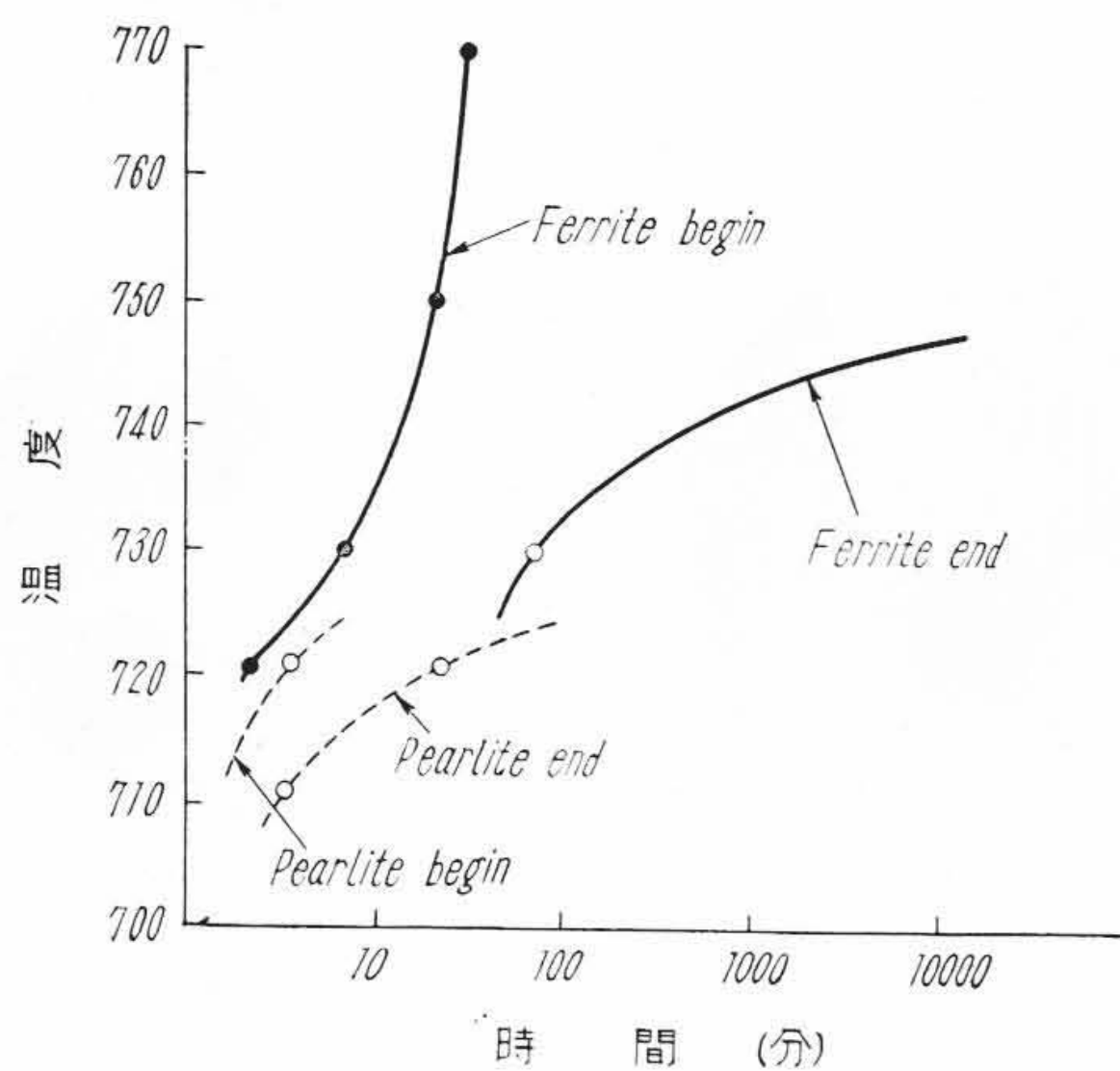
(C) 770°C ではたゞちにパーライトの分野が始るが、2 時間の後にはパーライトとフェライトの境界

(A-1) 810°C×30 min
(350 倍)(B-1) 760°C×30 min
(350 倍)(C-1) 750°C×15 min
(350 倍)(D-1) 730°C×5 min
(350 倍)(A-3) 810°C×120 min
(350 倍)(B-3) 760°C×120 min
(350 倍)(C-3) 750°C×60 min
(350 倍)(D-2) 730°C×10 min
(350 倍)(A-4) 810°C×240 min
(350 倍)(B-4) 760°C×240 min
(350 倍)(C-4) 750°C×120 min
(350 倍)(D-4) 730°C×25 min
(350 倍)(E-1) 720°C×2 min
(120 倍)(E-4) 720°C×8 min
(120 倍)(E-4') 720°C×8 min
(350 倍)(E-5) 720°C×16 min
(120 倍)(F-1) 710°C×5 min
(350 倍)

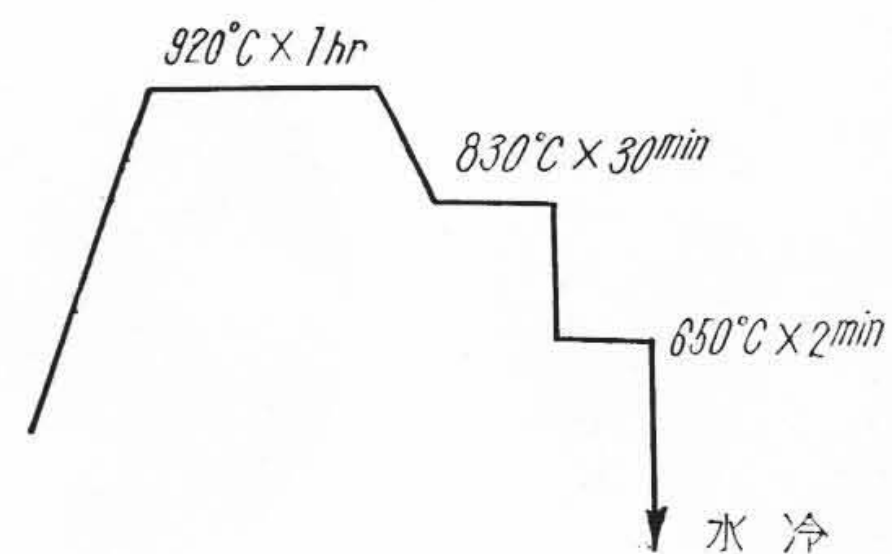
第7図 $\gamma \rightarrow \alpha + G$ $\gamma \rightarrow \alpha + C$ 反応の進行状況
Fig.7. Transformation Process for $\gamma \rightarrow \alpha + G$ and $\gamma \rightarrow \alpha + C$ Reaction
(nital etch)



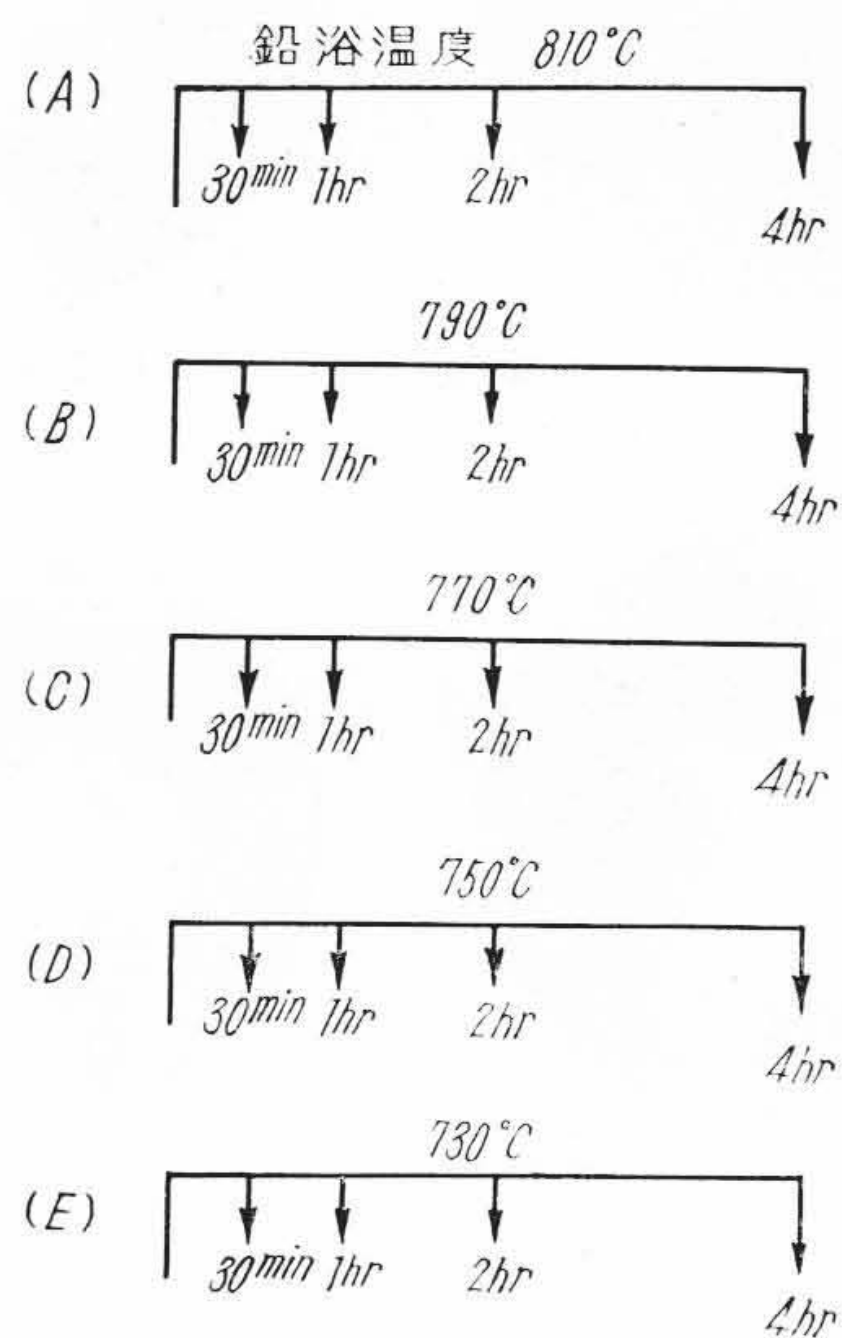
第8図 各温度における時間と変態量
Fig.8. Relation between log Time and Transformation at Various Temperature



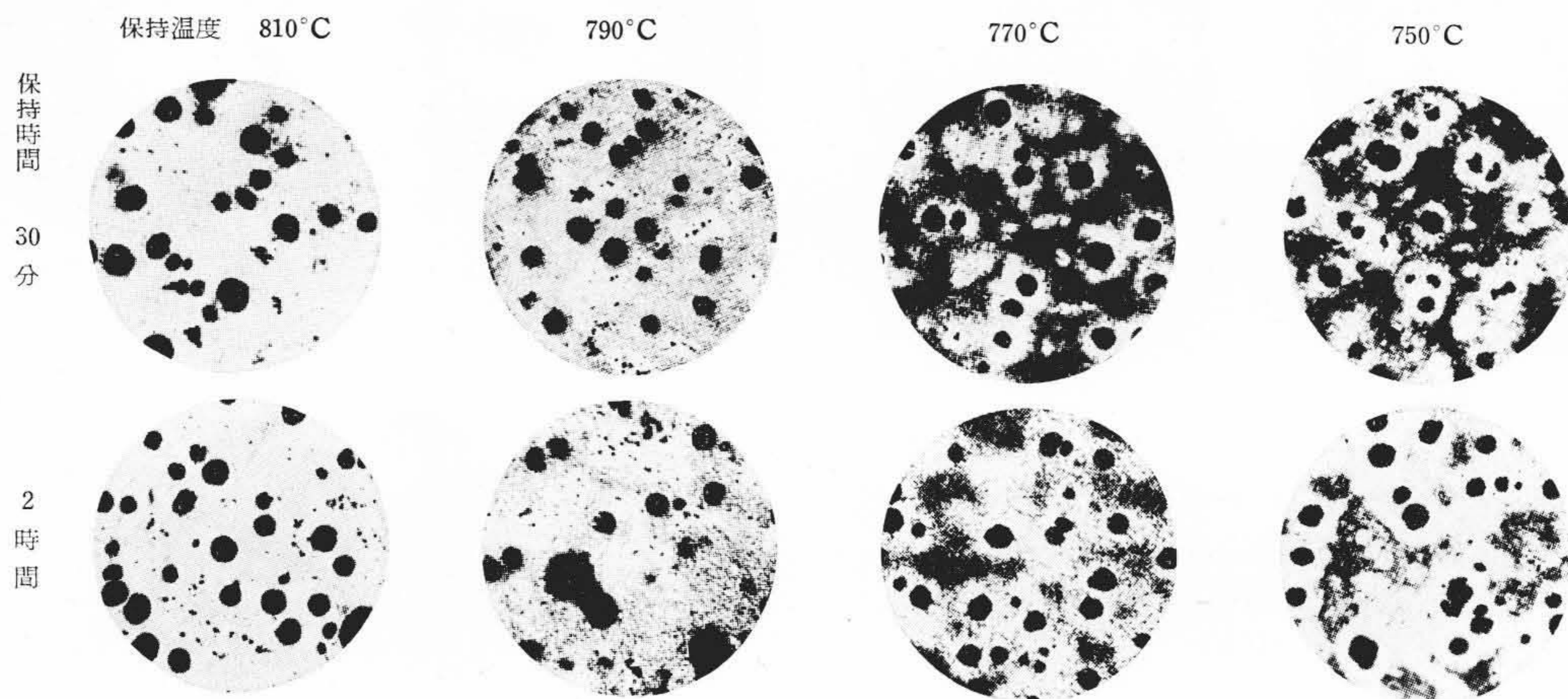
第9図 延性鋳鉄の「温度-時間-変態」曲線
Fig.9. "Time - Temperature - Transformation" Curve for Ductile Cast Iron



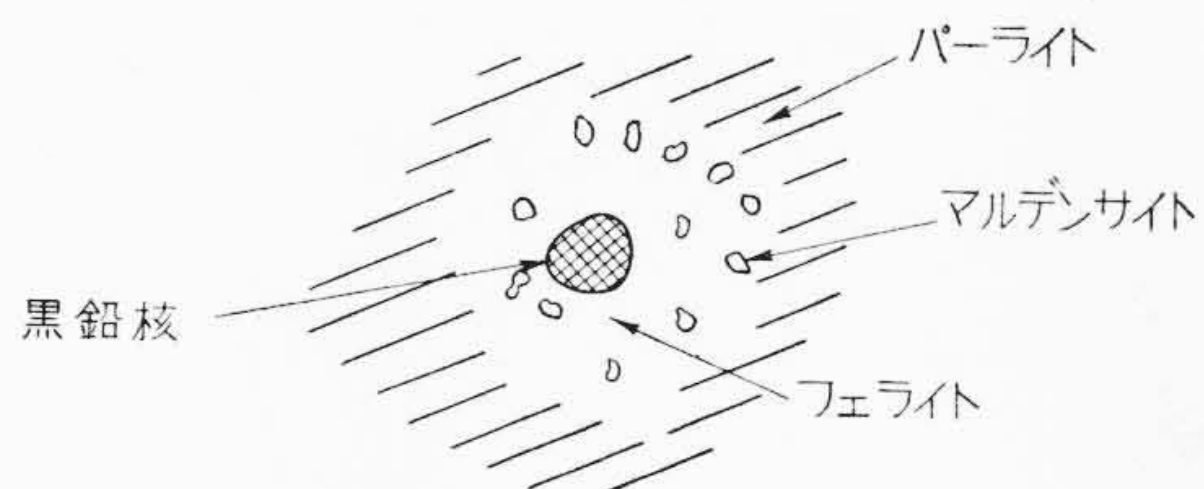
第10図 パーライト処理
Fig.10. Cycle for Pearlite Treatment



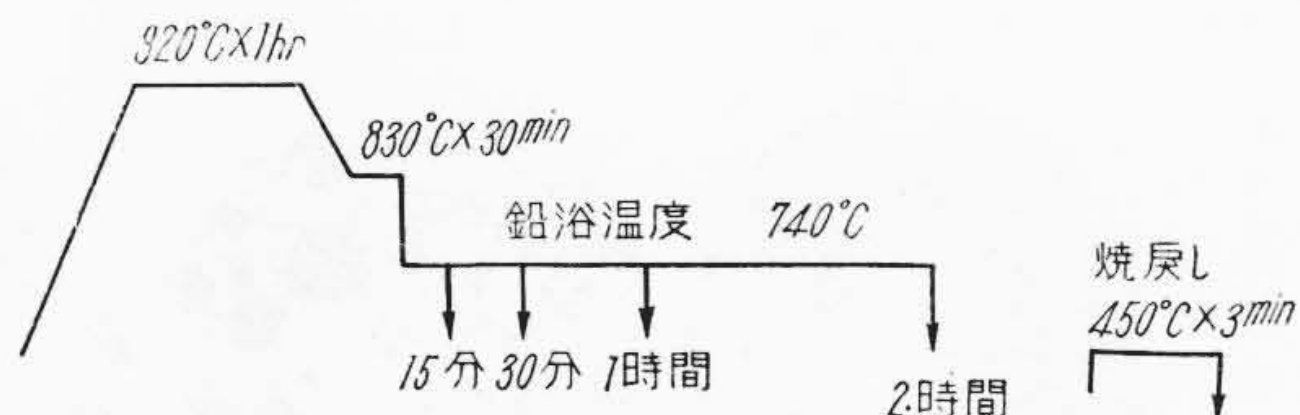
第11図 熱処理サイクル
Fig.11. Heat Cycles for Pearlite Decomposition (Treating)



第12図 $\alpha + C \rightarrow \gamma$ および $\alpha + C \rightarrow \alpha + G$ 反応
Fig.12. $\alpha + C \rightarrow \gamma$ and $\alpha + C \rightarrow \alpha + G$ Reaction at Several Temperatures

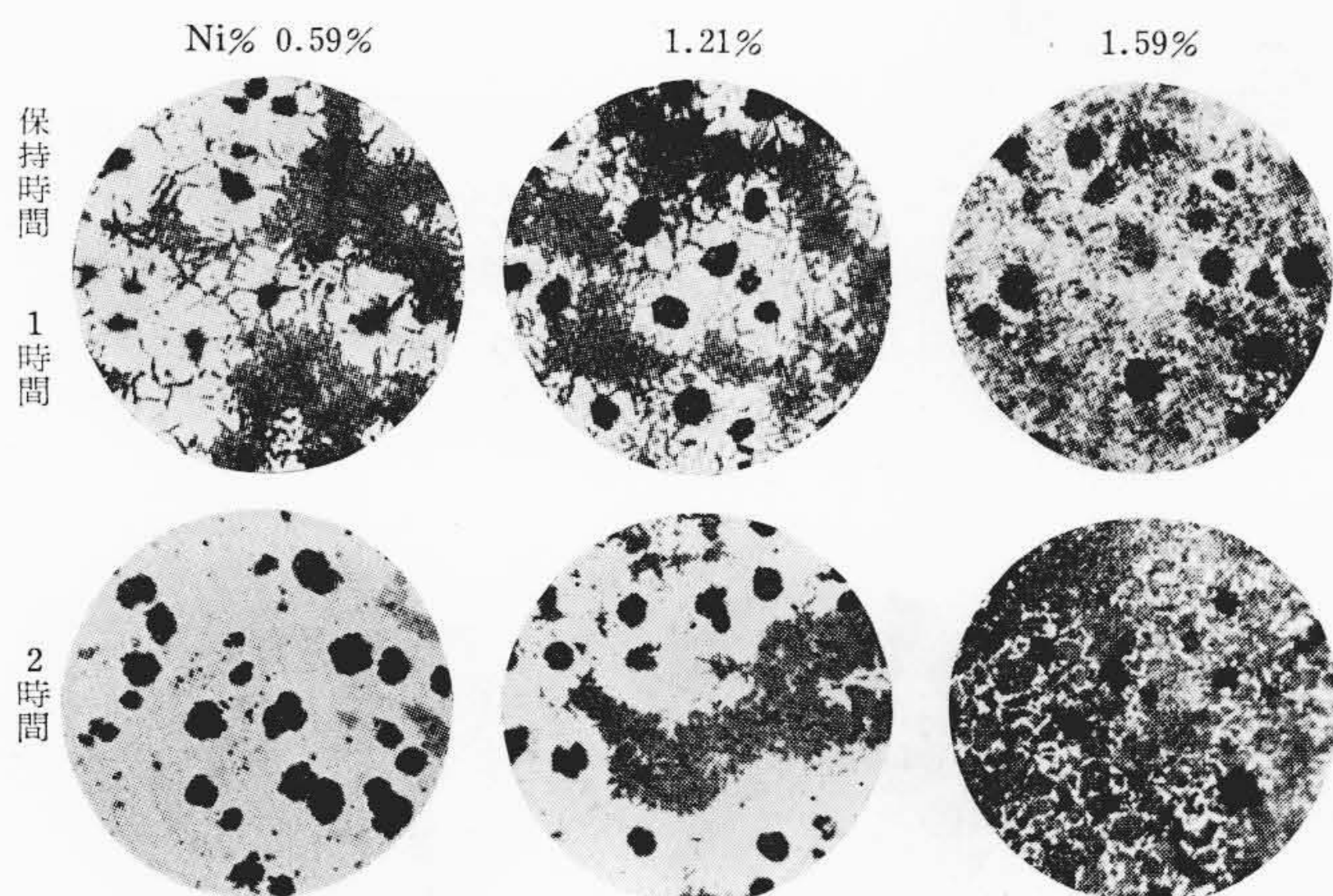


第13図 770°C 恒温変態 2 時間後
Fig.13. Structure Appeared at 770°C After 2 h

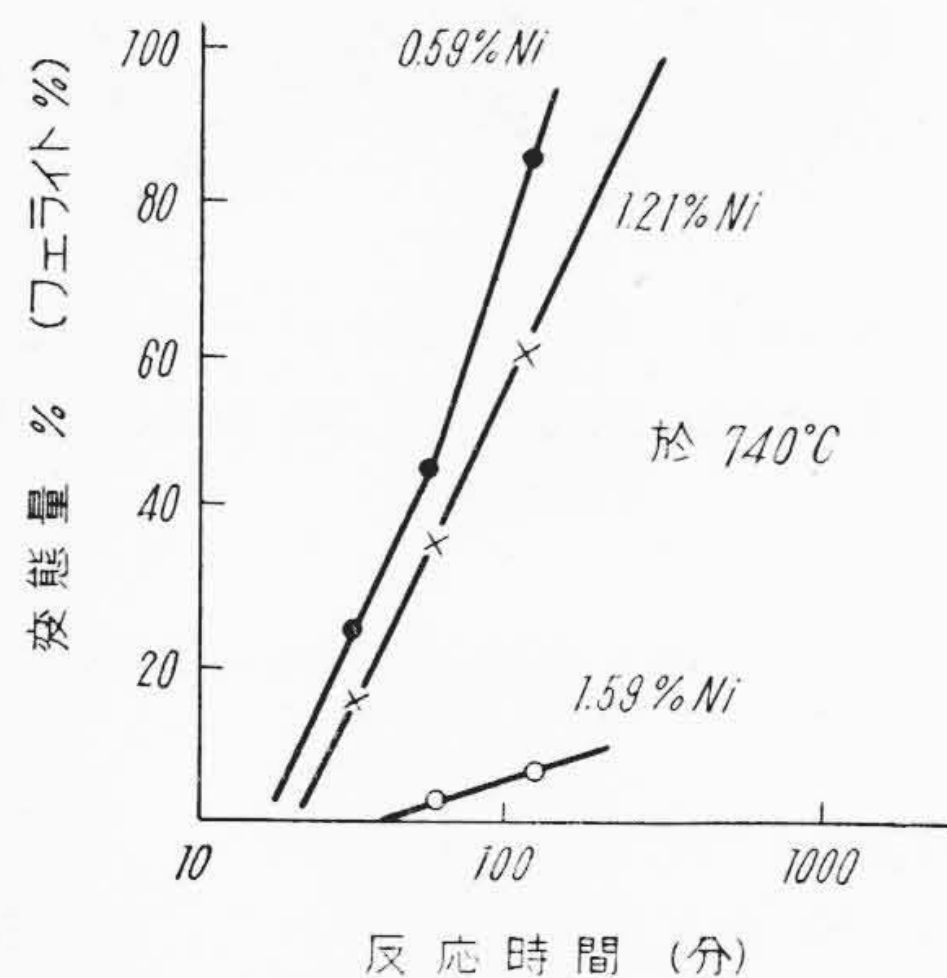


第14図 熱処理サイクル ($r \rightarrow \alpha + G$)

Fig.14. Heat Treating Cycles for $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction



第15図 $r \rightarrow \alpha + G$ 反応に対する Ni の影響
Fig.15. Effect of Ni on the $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction



第16図 Ni 含有量と変態速度
Fig.16. Relation between $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction Velocity and Ni Content

第3表 化学成分
Table 3. Chemical Analysis

No.	C	Si	Mn	P	S	Ni
506	3.30	2.16	0.38	0.038	0.017	0.59
507	3.30	2.35	0.35	0.050	0.016	1.21
508	3.30	2.28	0.37	0.036	0.013	1.59

附近に微粒のオーステナイトを生ずるようになる。
(第13図)

(D) 750°C 以下では時間とともにパーライトとの分解が進むのみであるが、進行速度はより低温における $r \rightarrow \alpha + G$ 反応に較べると遅い。

[IV] ニッケルの影響

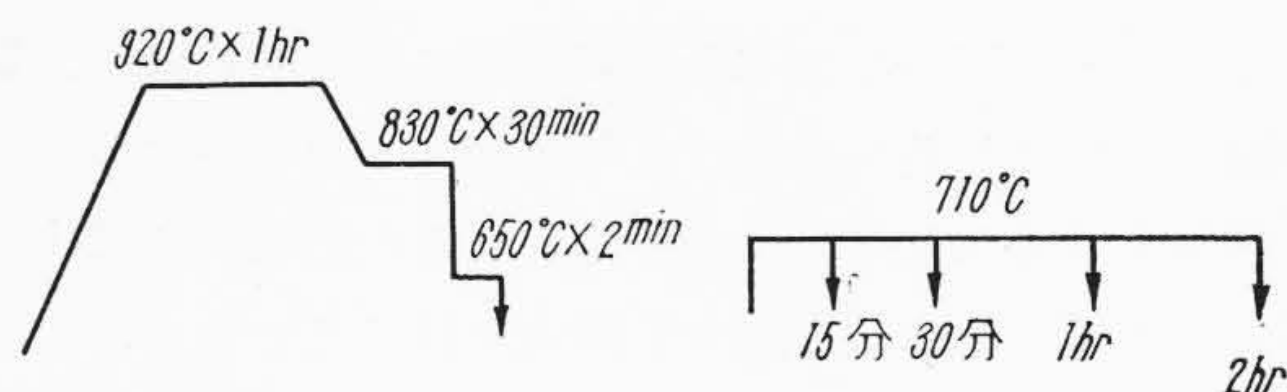
安来鉄を母材とし、第3表に示す化学成分の延性鑄鉄試料を溶製した。ニッケル含有量の調整には粒状ニッケルを使用した。

(1) オーステナイト→フェライト+グラファイト

第14図に示すように恒温変態温度を740°Cに選り No. 506, 507, 508 の三種の試料を同時に恒温変態せしめた

第4表 保持時間とフェライト%(740°C)
Table 4. Relation between Ferrite Percent and Keeping Time at 740°C

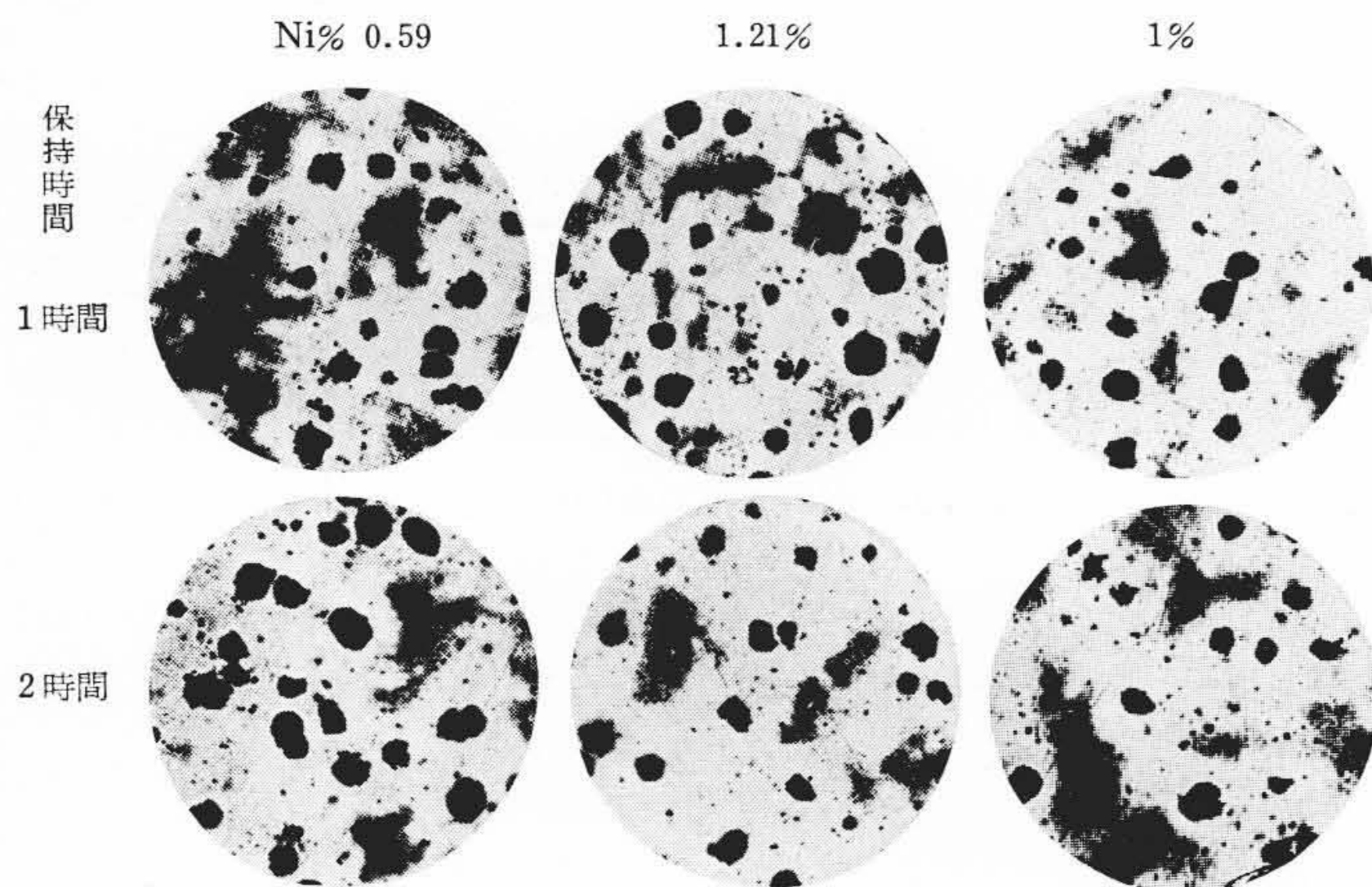
保持時間 Ni %	15 分	30 分	1 時間	2 時間
0.59	1	25.5	44.0	85.0
1.21	0	16.1	35.2	59.6
1.59	0	0	2.0	6.2



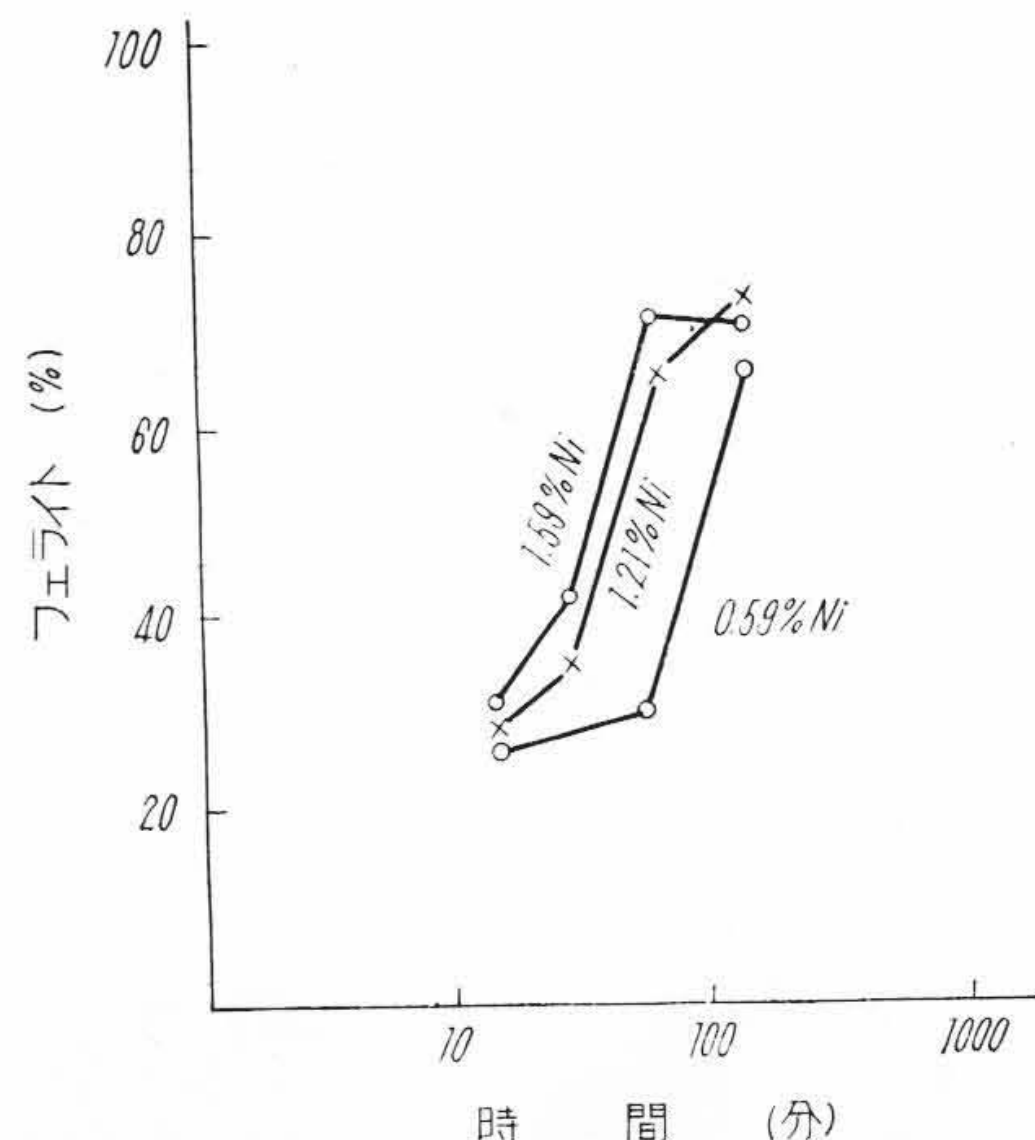
第17図 熱処理サイクル ($P \rightarrow \alpha + G$)

Fig.17. Heat Treating Cycle for Pearlite Decomposition

後、430°C に3分間焼戻してマルテンサイトをトロースタイトとなし、腐蝕の際にフェライトとの境界を明瞭ならしめた。第15図に代表的組織を示し、第4表に組織解析の結果を示す。第16図は時間の対数を横軸にとり変態



第18図 Ni 含有量とパーライトの分解速度 (710°C)
Fig.18. Effect of Ni on the Decomposition of Pearlite



第19図 Ni 含有量とパーライトの分解
Fig.19. Relation between Pearlite Decomposition and Ni Content

率と時間との関係を各ニッケル%の試料について示したものである。

組織変化の特長を要約する。

(A) Ni 含有量の増加につれて、反応速度は遅くなり、Ni 1.59% では 740°C 2時間後においてもほとんどフェライトを発生しない。

(B) Ni 含有量の最も多い No. 509 の2時間後の組織は比較的高温度におけるフェライトの発生が主としてオーステナイト粒界に起ることを示している。

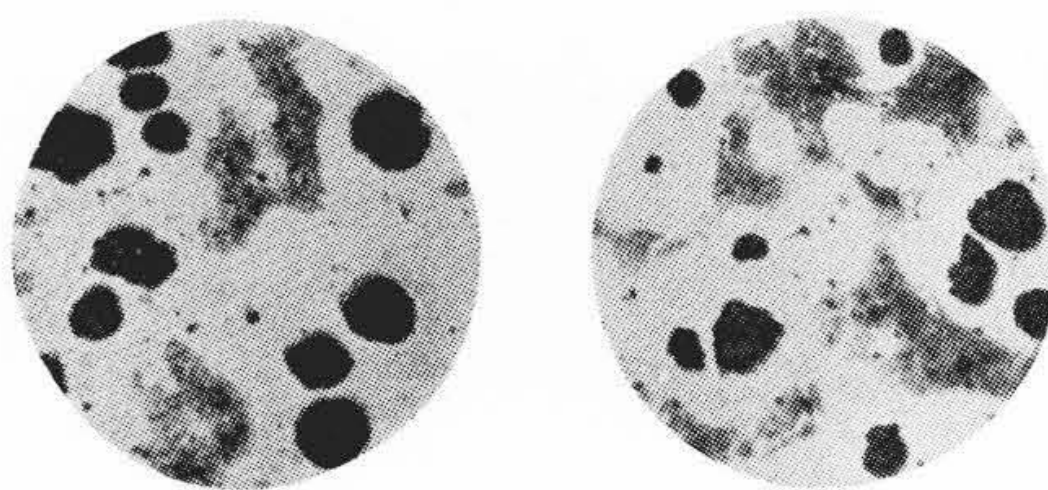
(C) 第17図(前頁参照)からもわかるように Ni 1.59% を含むものでは 740°C 恒温的に変態を完了せしめることはほとんど不可能であるが、これに対して Ni 1.2% あるいは 0.59% を含むものでは比較的短時間に変態を完了せしめうるのであつて、これは後に述べるようにおもに、Ni の変態温度範囲を降下せしめる効果によるものである。

(2) パーライト→フェライト+グラファイト反応

第17図に示すサイクルによつてパーライトの分解によぼす Ni の影響を調べた。第18図に代表的組織を、第19図は時間の対数を横軸にとり、各ニッケル%に対する分解率を図示したものである。これらの結果から Ni はパーライトの分解を促進する傾向を持つているが、それ程顕著ではない。

(3) 等速冷却

前述1および2の実験結果から $r \rightarrow \alpha + G$ 反応は Ni 含有量がある量を越すと同一温度においては極端に遅くなることがわかり、またパーライト $\rightarrow \alpha + G$ 反応は同一温度では Ni 含有量の増加につれて多少速かになることがわかつた。同一温度において Ni が $r \rightarrow \alpha + G$ 反応を遅くする機構に二つの原因が考えられる。



No. 506 100°C/h 等速冷却 No. 508 100°C/h 等速冷却

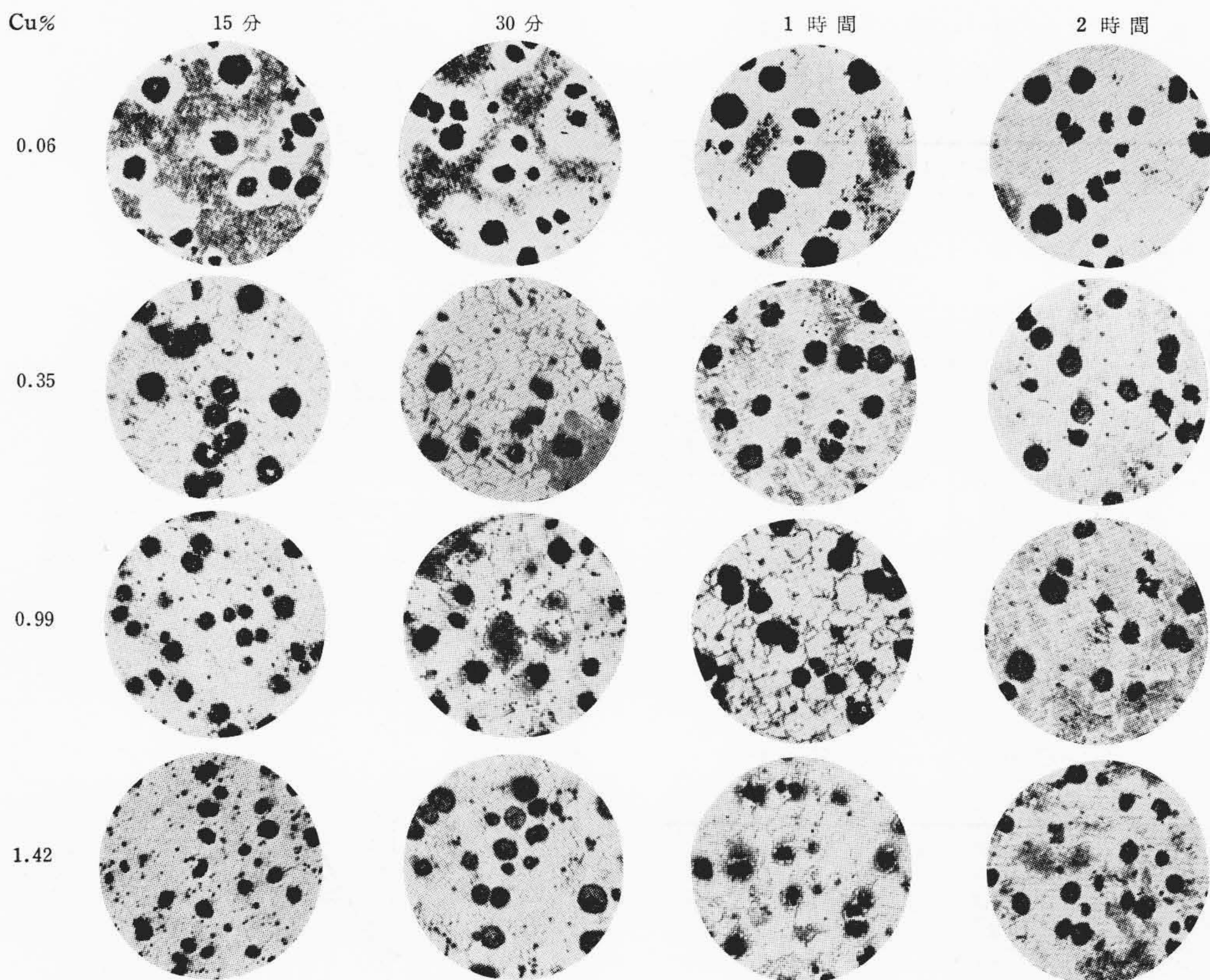
第20図 等速冷却

Fig.20. Structure of Ni Containing Specimen at the Constant Velocity Cooling

(A) Ni が変態温度範囲をさげるため「 $T-T-T$ 」曲線が下方に移動し、そのためこの曲線の形(高温になる程反応が遅い)から同一温度における変態速度が遅くなる。

(B) Ni がオーステナイトを安定化し、「 $T-T-T$ 」曲線が右方に移動し、そのため同一温度における変態速度が遅くなる。

これらの原因のいずれによるものか決定する目的で、前記試料を 830°C より 100°C/h の速度で等速冷却し、640°C から水冷した試料を作つた。組織を第20図に示したが、組織上パーライトとフェライトの境界は比較的鮮明であり、この組織はおもに $r \rightarrow \alpha + G$ 反応および $r \rightarrow \alpha + C$ 反応の二反応でできたと考えられる。第15図の写真に見られるような極端な Ni の影響は表われていない。このような現象から判断して実験1における Ni の $r \rightarrow \alpha + G$ 反応妨害作用はおもに変態温度範囲の降下に原因がある。Ni 含有量 1% の増加によつて約 25°C 変態温度範囲は降下し、したがつて No. 508 Ni 1.59% の試

第21図 730°Cにおける $\gamma \rightarrow \alpha + G$ および $\gamma \rightarrow \alpha + C$ 反応Fig.21. Effect of Copper on the $\gamma \rightarrow \alpha + G$ and $\gamma \rightarrow \alpha + C$ Reaction at 730°C

料は No. 506 に較べて約 25°C 変態温度範囲が降下しており, 740°C においてすでに γ, α, G 三相共存範囲に入っているものと考えられる。したがって Ni 1.59% の試料を 740°C で完全黒鉛化することは不可能であるが, しかしより低温度で恒温変態を行わしめれば Ni 1.59% を含んだ試料も相当急速に黒鉛化するはずである。

〔V〕銅の影響

Cu 合金を Mg 添加合金として使用すれば, Cu は返材のうちに次第に蓄積され, 1% を越すことも珍らしくない。Cu はマレプル用白鉄においては黒鉛化の促進材と考えられているが, 延性鑄鉄では Cu を含むものの鑄造の儘の組織はフェライトを発生しにくく, 相当の肉厚部においてもオールパーライトの組織を呈することが多い。また Cu は延性鑄鉄を完全焼鈍する際, 焼鈍時間を非常に延長するものであるといわれている。この間の事情をあきらかにするため, すでに述べて来た実験方法によりオーステナイトの直接分解, パーライト反応, パーライトの分解の三反応に対する Cu の影響を別々に研究した。試料の化学成分を第5表に示す。Cu の調整には電解銅を使用した。

第5表 化学成分

Table 5. Chemical Analysis

No.	C	Si	Mn	P	S	Cu
521	3.45	2.30	0.41	0.040	0.007	0.06
523	3.30	2.40	0.42	0.038	0.009	0.38
524	3.20	2.40	0.42	0.042	0.009	0.99
525	3.60	2.44	0.42	0.038	0.010	1.42

(1) オーステナイト→フェライト+グラファイト反応およびオーステナイト→パーライト反応について

恒温変態温度を 750°C, 730°C, 710°C の温度に選び反応時間は 15 分, 30 分, 1 時間, 2 時間であり, えられた組織のうち代表的なものとして 730°C で恒温変態を行って試料の顕微鏡組織を第21図に示す。第6表～第8表(次頁参照)に各温度における組織の解析結果を示すが, Cu 0.38% 以上含む試料ではフェライトが網状に析出するためフェライト量の正確な測定は困難であった。

各温度における組織変化の特長を要約する。

(A) Cu 0.38% の含有によつて $\gamma \rightarrow \alpha + G$ 反応の終

第6表 750°C 恒温変態

Table 6. $r \rightarrow \alpha + C$ and $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction at 750°C

Cu 含有量	組 織	時 間			
		15 分	30 分	1 時間	2 時間
0.06%	フ エ ラ イ ト	0	35.2	63.0	70.4
	マルテンサイト	100	64.8	37.0	29.6
	パ ー ラ イ ト	0	0	0	0
0.38%	フ エ ラ イ ト	0	0	少 量	13.1
	マルテンサイト	100	100	ほとんど	86.9
	パ ー ラ イ ト	0	0	0	0
0.99%	フ エ ラ イ ト	0	0	少 量	4.4
	マルテンサイト	100	100	ほとんど	95.6
	パ ー ラ イ ト	0	0	0	0
1.42%	フ エ ラ イ ト	0	0	少 量	少 量
	マルテンサイト	100	100	ほとんど	約 50
	パ ー ラ イ ト	0	0	少 量	約 50

第7表 730°C 恒温変態

Table 7. $r \rightarrow \alpha + C$ and $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction at 730°C

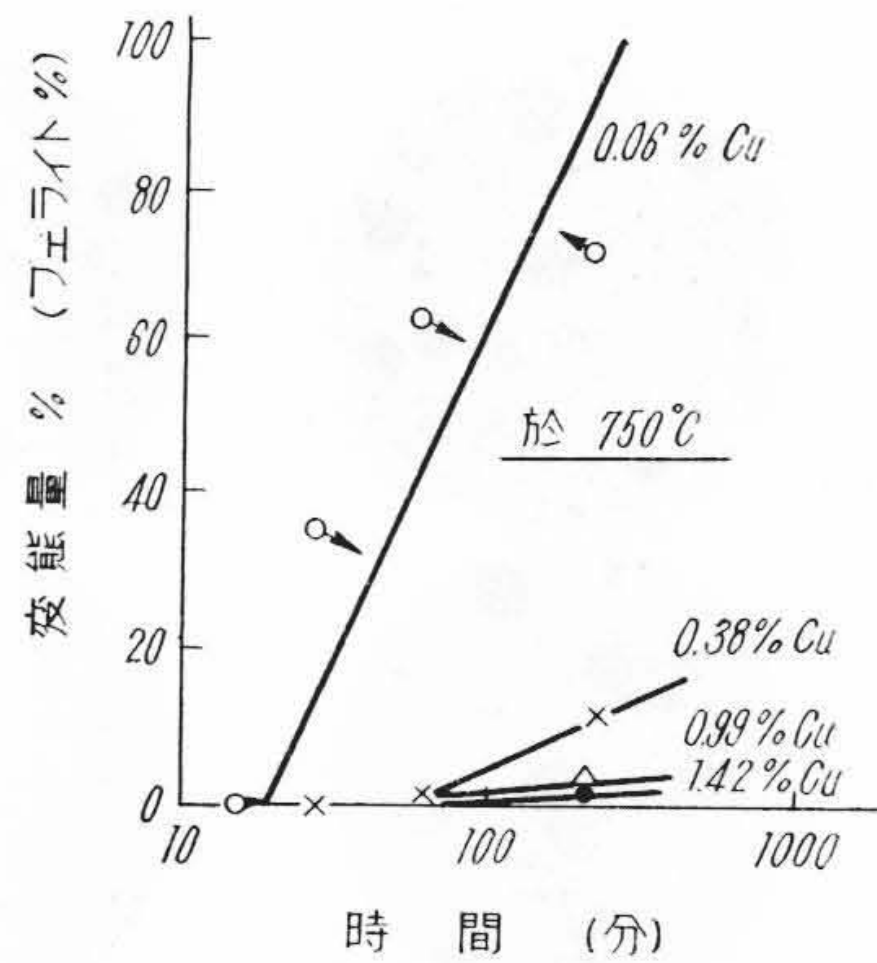
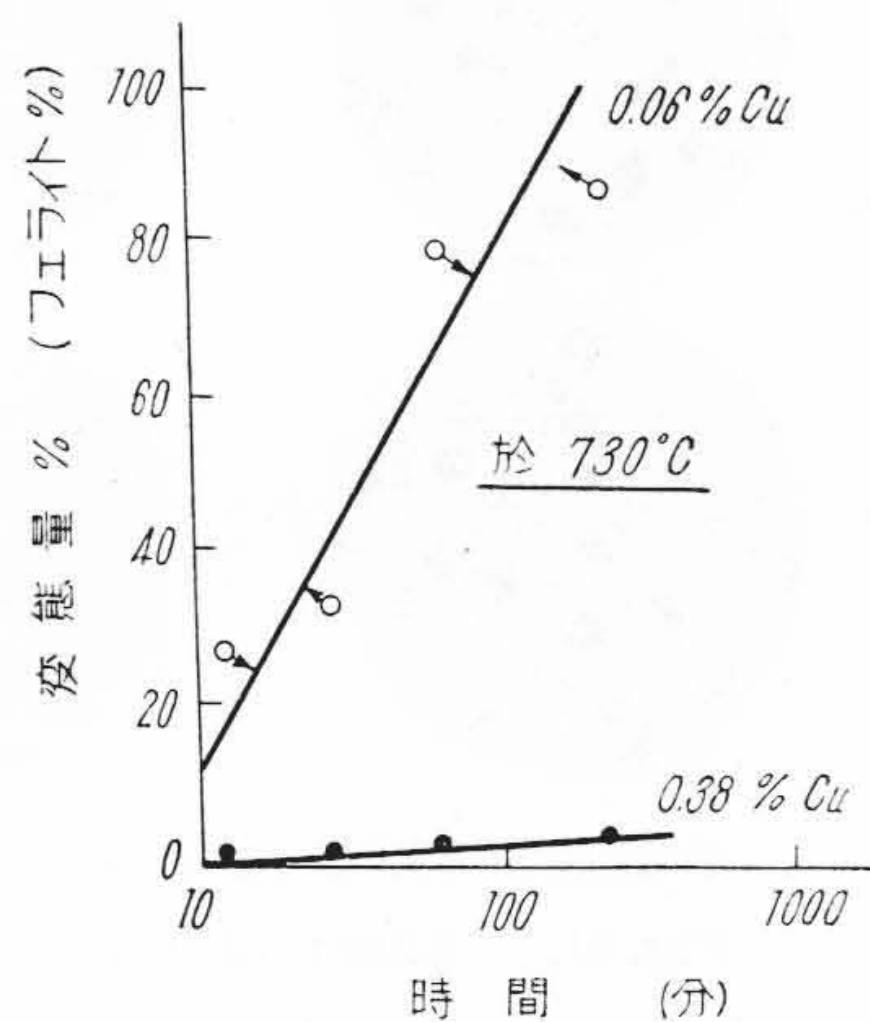
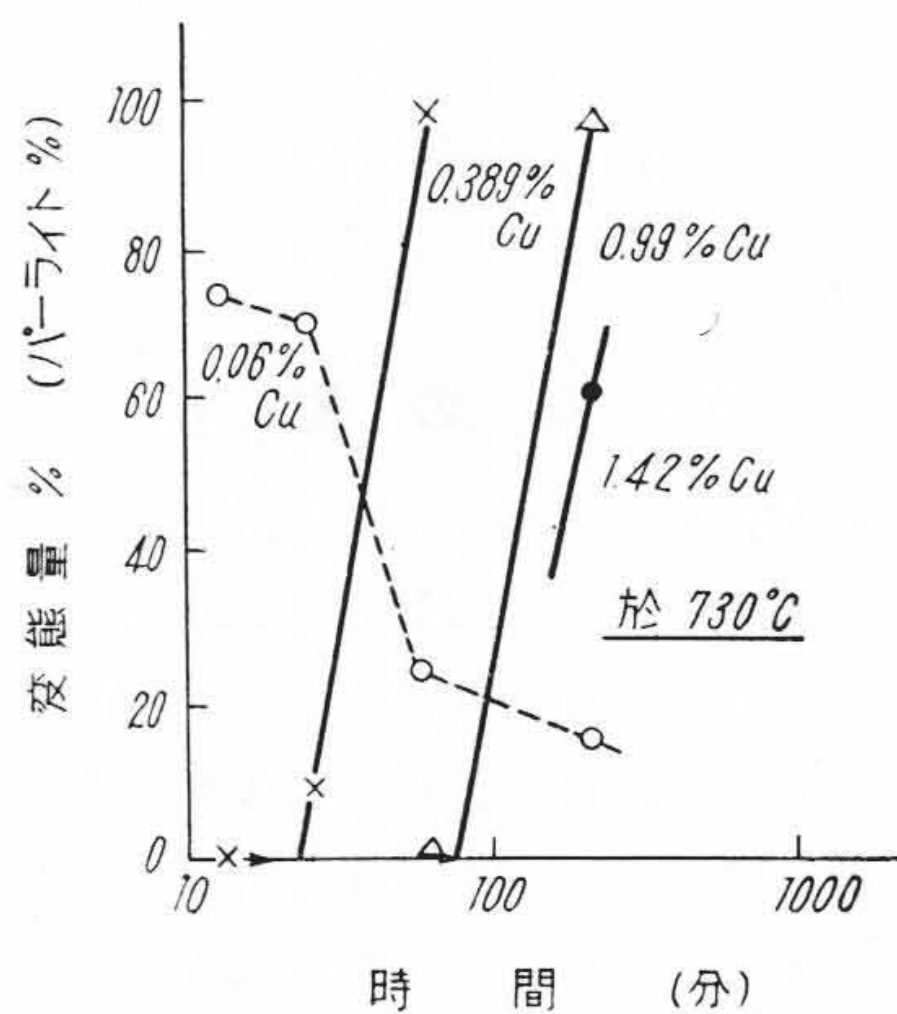
Cu 含有量	時 間	15 分	30 分	1 時間	2 時間
	組 織				
0.06%	フ エ ラ イ ト	26.1	30.1	76.1	84.7
	マルテンサイト	0	0	0	0
	パ ー ラ イ ト	73.9	69.9	23.9	15.3
0.38%	フ エ ラ イ ト	0	少 量	1.7	2.4
	マルテンサイト	100	約 90	0	0
	パ ー ラ イ ト	0	9.2	98.3	97.6
0.99%	フ エ ラ イ ト	0	少 量	少 量	2.9
	マルテンサイト	100	ほとんど	ほとんど	0
	パ ー ラ イ ト	0	少 量	0	97.1
1.42%	フ エ ラ イ ト	0	0	2.1	2.3
	マルテンサイト	100	100	97.9	約 37.7
	パ ー ラ イ ト	0	0	0	約 60

第8表 710°C 恒温変態

Table 8. $r \rightarrow \alpha + C$ Reaction at 710°C

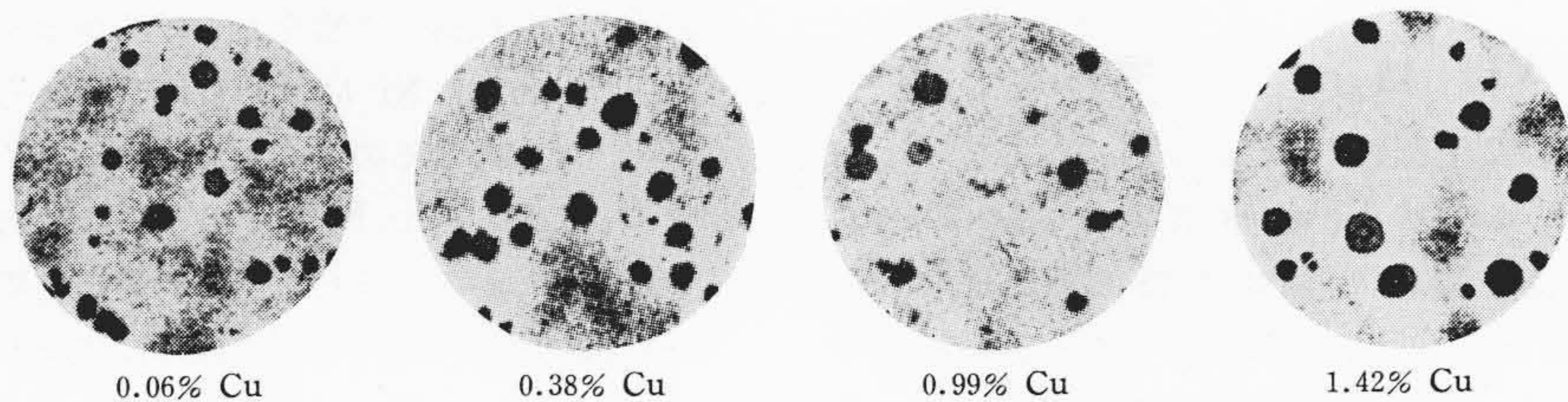
Cu 含有量	時 間		15 分	30 分	1 時間	2 時間
	組 織					
0.06%	フ エ ラ イ ト	34.7				
	パ ー ラ イ ト	65.3				
0.38%	フ エ ラ イ ト	9.3				
	パ ー ラ イ ト	90.7				
0.99%	フ エ ラ イ ト	13.0				
	パ ー ラ イ ト	87.0				
1.42%	フ エ ラ イ ト	少 量				
	パ ー ラ イ ト	ほ と ん ど				

了時間は各温度において極端に遅くなり、したがって Cu 0.38% 以上含むものでは $r \rightarrow \alpha + G$ 反応のみで黒鉛化を終了せしめることは非常に困難である。

第22図 750°C における $r \rightarrow \alpha + G$ 反応Fig. 22. $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction at 750°C第23図 730°C における $r \rightarrow \alpha + G$ 反応Fig. 23. $r \rightarrow \alpha + G$ Reaction at 730°C第24図 730°C における $r \rightarrow \alpha + C$ 反応Fig. 24. $r \rightarrow \alpha + C$ (Pearlite) Reaction at 730°C

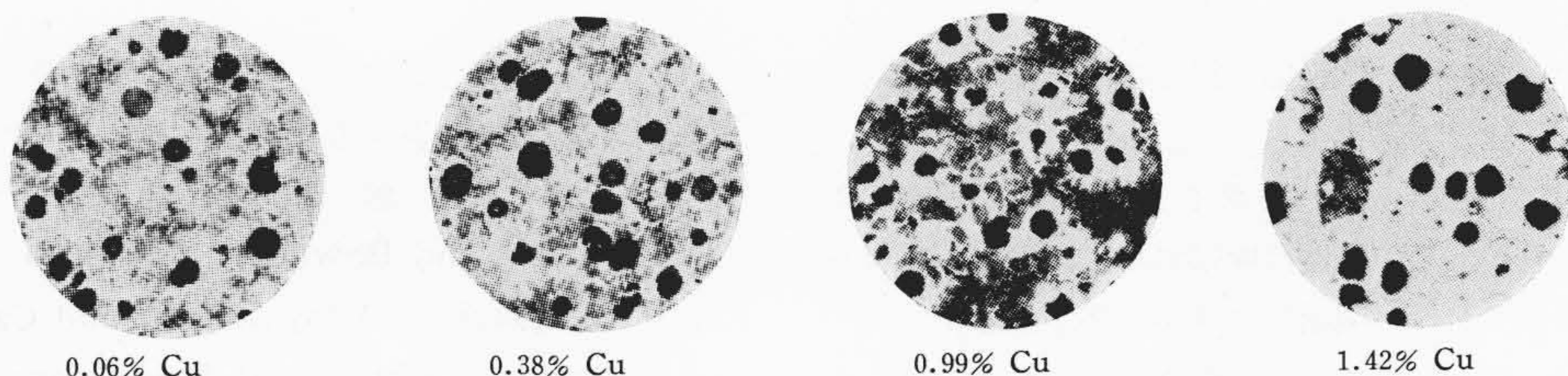
すなわち Cu は「温度-時間-変態」曲線の $r \rightarrow \alpha + G$ 反応終了線を著しく左方に移動すると考えられる。

(B) $r \rightarrow \alpha + C$ (パーライト) 反応の反応開始時間を遅らせるが、その程度は烈しくなく、したがって 730



第25図 パーライトの分解とCu含有量

Fig. 25. Effect of Copper on the Decomposition of Pearlite



第26図 Cu含有試料の等速冷却

Fig. 26. Effect of Copper on the Ferrite Percent at the Constant Cooling Velocity

°C 附近では $r \rightarrow \alpha + G$ 反応があまり進行しないうちに、残部のオーステナイトはパーライト化してしまう。

(C) 710°C では 15 分間で全試料がパーライト化する。

第22図および第23図はそれぞれ 750°C および 730°C における $r \rightarrow \alpha + G$ 反応の進行状況を図示したものである。第24図は 730°C におけるパーライト反応の進行状況を図示したもので Cu 含有量の増加につれて反応開始時間は多少遅れるが、反応開始後の進行速度は Cu 含有量にかかわらず急速である。図中点線で示されたものはパーライトの分解を意味している。

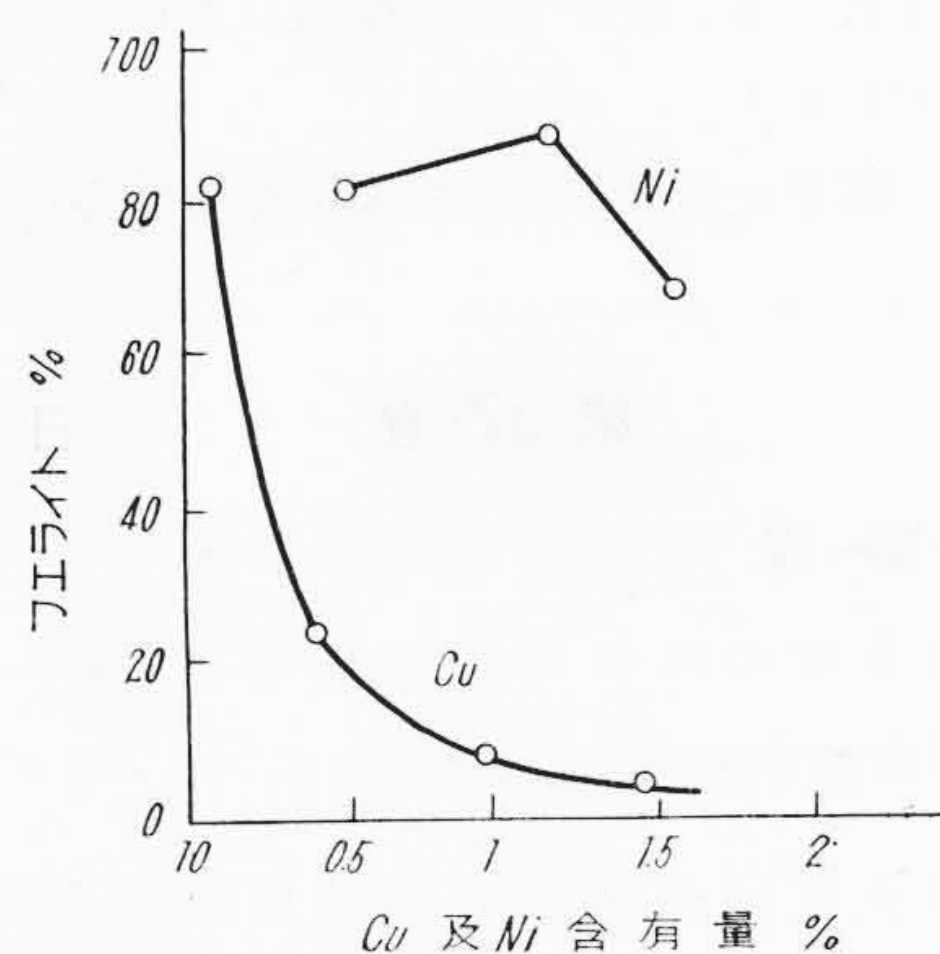
(2) $\alpha + C$ (パーライト) $\rightarrow \alpha + G$ 反応について

実験 1 と同様の試料を 650°C 2 分間の焼入処理でパーライト化し、これを種々の温度 (700, 720, 740, 760°C) に保持した鉛浴中に投入し 15 分, 30 分, 1 時間, 2 時間ごとに取出して組織を調査した。組織の性質上パーライトとフェライトの境界は不鮮明でパーライトの分解量を正確には把握しかねた。一例として 740°C 1 時間後の組織を第25図に示すが, Cu の少量の混入もパーライトの分解速度をきわめて遅延せしめる。

(3) 等速冷却

100°C/h の速度で等速冷却した際の組織を第26図に、またフェライト量と Cu 含有量の関係を第27図に示す。第26図には比較のため Ni 含有試料の等速冷却によるフェライト量の変化も打点してある。

組織上、これらの試料にはパーライトの分解はほとん



第27図 等速冷却におけるフェライト量と Ni および Cu 含有量

Fig. 27. Relation between Ferrite Percent and Ni and Cu Content at Constant Velocity Cooling

ど起つておらず、フェライトの大部分は $r \rightarrow \alpha + G$ 反応で発生したものと考えられる。Cu は Ni と同様オーステナイト領域拡大型の元素であるが、 $r \rightarrow \alpha + G$ 反応に対しては Ni が主として「T-T-T」曲線を下方に移動するのに対して、Cu は「T-T-T」曲線の $r \rightarrow \alpha + G$ 反応終了線を大きく右方に移動させる。この点についてはすでに述べてきたが等速冷却組織においても Cu 含有量の増加につれて著しくフェライト量を減ずることがわかった。これらの結果からもわかるように Cu の $r \rightarrow \alpha + G$ 反応妨害作用は各温度において著しいものである。

〔VI〕 結 言

以上の諸実験の結果を要約する。

- (1) Brown および Hawkes によつて提出された第二段黒鉛化に関する「温度-時間-変態」曲線を標準成分の延性鑄鉄において確認することができた。
- (2) Ni はパーライトの分解速度を促進するが、同一温度における $r \rightarrow \alpha + G$ 反応を遅延せしめる。この $r \rightarrow \alpha + G$ 反応遅延の原因はおもに Ni 変態温度範囲を降下せしめることにある。
- (3) Cu は $r \rightarrow \alpha + G$ 反応の終了時間を極端に延長する。
- (4) Cu は $r \rightarrow \alpha + C$ (パーライト) 反応の開始時間を遅らせるが、その程度は極端でなく、また Cu 含有量が高くても反応開始後は速かに終了する。
- (5) Cu はパーライトの分解速度をきわめて遅くする。この事実はマレブル用白鉄における一般の結論と異り、他元素との共存効果があると考えられる。
- (6) 等速冷却の結果においても Cu を 0.38% 程度含有するとフェライトの発生量がきわめて減少することがわかる。

これらの結果から Ni および Cu が延性鑄鉄の黒鉛化

にどのような機構で影響をおよぼすかはあきらかになつた。すなわち、Ni および Cu はそれぞれ異つた仕方で黒鉛化に影響するのであつて、パーライトと分解速度に対する影響のみで Ni あるいは Cu の影響を判断できないことがわかる。また、第二段黒鉛化焼鈍サイクルとして変態点附近の除冷を行う操作は工業的に広く採用されているが、この操作では $r \rightarrow \alpha + G$ 反応が特に重要な役割を果たしていると考えられる。この意味からも $r \rightarrow \alpha + G$ 反応に対する諸元素の影響を測定する必要性は大きい。

終りに望み研究に当つて種々御指導を賜つた塩谷課長に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) Brown and Hawkes: AFS-1950
- (2) S. Epstein: Alloy of Iron and Carbon 1936
- (3) Greiner, Marsh and Stoughton: Alloy of Iron and Silicon, 1933
- (4) 岩瀬慶三: 鑄鉄黒鉛化問題の検討
- (5) 南波栄吉: 日立評論, 25, 22 (1943)
- (6) 杉, 塩谷: 日立評論, 27, 305 (1945)
- (7) Schwartz: AFS-1936

第37巻

日立評論

第8号

- | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ◎ 一家一言 智的動力源の涵養 | 京都大学教授
照明学会会長 | 松田長三郎 |
| ◎ 復水管の拡張部の疲れ強さ | 日立製作所・日立工場 | 大内田久
楠本 部 |
| ◎ 東京電力株式会社常盤台ユニット・サブステーション | 日立製作所・日立国分分工場 | 丹池秀太郎
田正一郎 |
| ◎ 日立電流環流式表示線保護継電装置 | 日立製作所
日立国分分工場
日立研究所
多賀工場 | 中山敬造
奥健三
渡井 夫 |
| ◎ 可飽和リアクトル型定電圧自動移相器 | 日立製作所・日立研究所 | 小野田芳光 |
| ◎ 遠心清浄機の動揺運転 | 日立製作所・多賀工場 | 川崎光彦 |
| ◎ 最近の高電圧コイル絶縁ワニスについて | 日立製作所・日立工場 | 菊地彌十郎
磯部 昭二 |
| ◎ フェノール樹脂積層板の沿層絶縁抵抗について | 日立製作所・多賀工場 | 松井千
山方建雄 |
| ◎ 磁気回路の解析 (第1報) | 日立製作所・戸塚工場 | 二見二郎 |
| ——円壱磁極空隙パーミアンスの計算—— | | |
| ◎ メッセンジャワイヤ付通信ケーブルの一次定数 (続報) | 日立製作所・日立電線工場 | 八田達
山路賢吉 |
| ◎ 電力ケーブル鉛被の寿命を延ばすための布設法の検討 | 日立製作所・日立電線工場 | 山大路賢
大島 芳
高橋 昭
大和田 長一郎
清 |
| ◎ ケーブル被覆用鉛の結晶成長におよぼす各種元素の影響 | 日立製作所・日立電線工場 | 山大路賢
大島 芳
北川 昭
川 賢司 |
| ◎ 酸化物陰極の生成条件とエミッションおよび寿命の関係 | 日立製作所・茂原工場 | 鈴木音次郎
小林 年夫 |
| ◎ 低Mn系高抗張力鋼の溶接性に関する研究 | 日立製作所・笠戸工場 | 鈴木音次郎
小林 年夫 |

東京都千代田区丸の内1ノ4
(新丸の内ビルディング7階)

日立評論社

誌代 { 1箇月分 ¥100 千12
6箇月分 ¥430(送料共)
12箇月分 ¥840(送料共)