

第2回関西鑄造懇話会

REの現状とREフリー球状化剤

2011年 9月16日(金)

近畿大学

I²C技研 糸藤春喜

講演の進行

1. REとは

2. REの現状

3. サイト説の紹介

4. 球状化剤中の元素の役割

5. REフリーの影響 ; 25,100mmYブロック

(1988年, 山川産業(株) 易宏治氏実施)

; □600mmブロック

6. まとめ

用語の確認

1. レアメタルとは

- ① Rare Metal; 希少金属
- ① レアメタルは、日本独自の用語。海外ではマイナーメタルと呼ばれる。
- ② Fe, Cu, Zn, Al等のメジャーメタルやAu, Agなどの貴金属を除く、産業に利用されている非鉄金属を言う。

2. レアアースとは

- ① RE=Rare Earth; 希土類元素
- ① レアメタルに属する。
- ② 周期律表3Aに属するSc, Y, Lanthanoid(ランタノイド; La~Lu)を言う。

3. ミッシュメタルとは

- ① Mishmetall(独), Mixed Metals(英)
- ② Ceを中心としたランタノイド金属の混合物を言う。

mass%				
Ce	La	Nd	Pr	他、原子番号61~71
40~50	20~40	≒15	≒5	残

元素の周期律表

	1 (1A)	2 (2A)	3 (3A)	4 (4A)	5 (5A)	6 (6A)	7 (7A)	8 (8)	9 (1B)	10 (2B)	11 (3B)	12 (4B)	13 (5B)	14 (6B)	15 (7B)	16 (0)		
1	H															He		
2	Li	Be									B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	L*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	A*															

L*	ランタノイド	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
A*	アクチノイド	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

レアアース

ミツシュメタル

表 希土類元素(レアアース)の用途

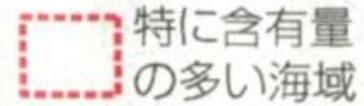
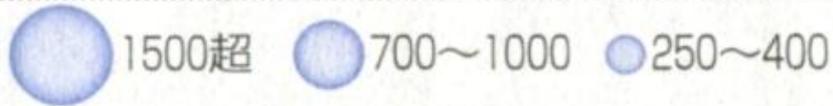
用途	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
磁石材料・磁性体		●	●	◎		◎	●	●	●	●					
光ディスク								●	●	●					
光磁気ディスク								●	●	●					
蛍光体	●	●					●	●	●	●			●		
レーザー			●	●		●			●		●	●	●	●	
光ファイバー											●	●	●		
コンデンサ	●			●											
水素貯蔵合金	●														
超伝導材料				●											
光学ガラス	●	●													
自動車の排ガス浄化	●	●				●									
火傷治療		●													
釉薬・ガラス着色			●								●			●	
蛍光灯グロー放電管					●										
造影剤								●							
X線フィルム									●						
X線線源													●	●	
年代測定															●
β線厚さ計					●										
鉄・非鉄への添加	CeMMとして、●														
ライターの石	CeMMとして、●														
毛髪改善剤	CeMMとして、●														

風力発電
ハイブリッドカー
携帯スピーカー

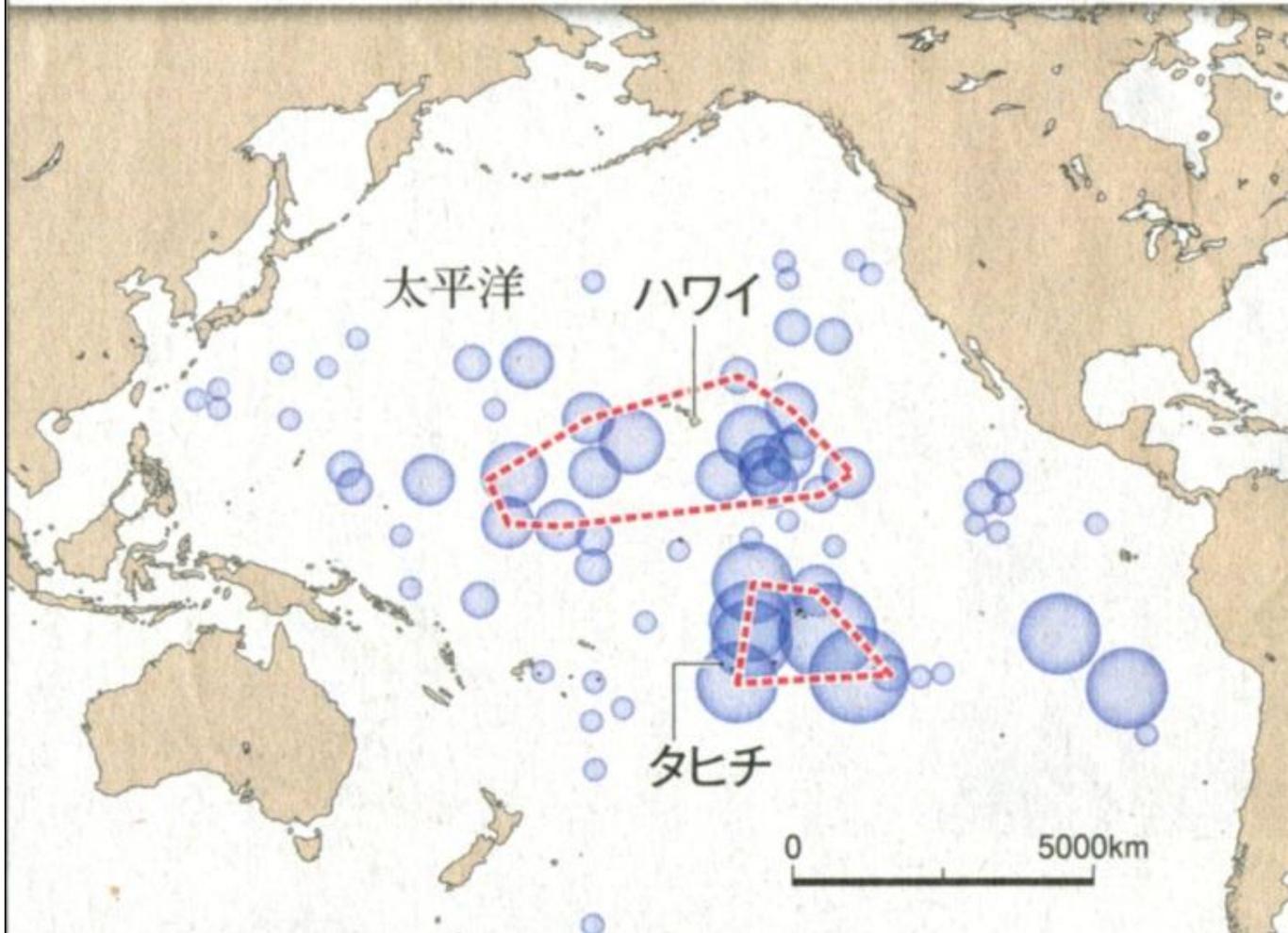
表 RE埋蔵量 2011.7.4読売新聞P1-2

陸地のレア アースの推 定埋蔵量	中 国	5500万トン
	C I S諸国	1900万
	米 国	1300万
	オーストラリア	160万
	イ ン ド	310万
	そのほか	2200万
	合 計	1 億1000万
海で見つか った新鉱床 の推定埋蔵 量	太 平 洋	1000億

レアアースを多く含む泥の分布(試料の分析での判明分)



試料の採取地点。大きさは濃度(ppm)を表す



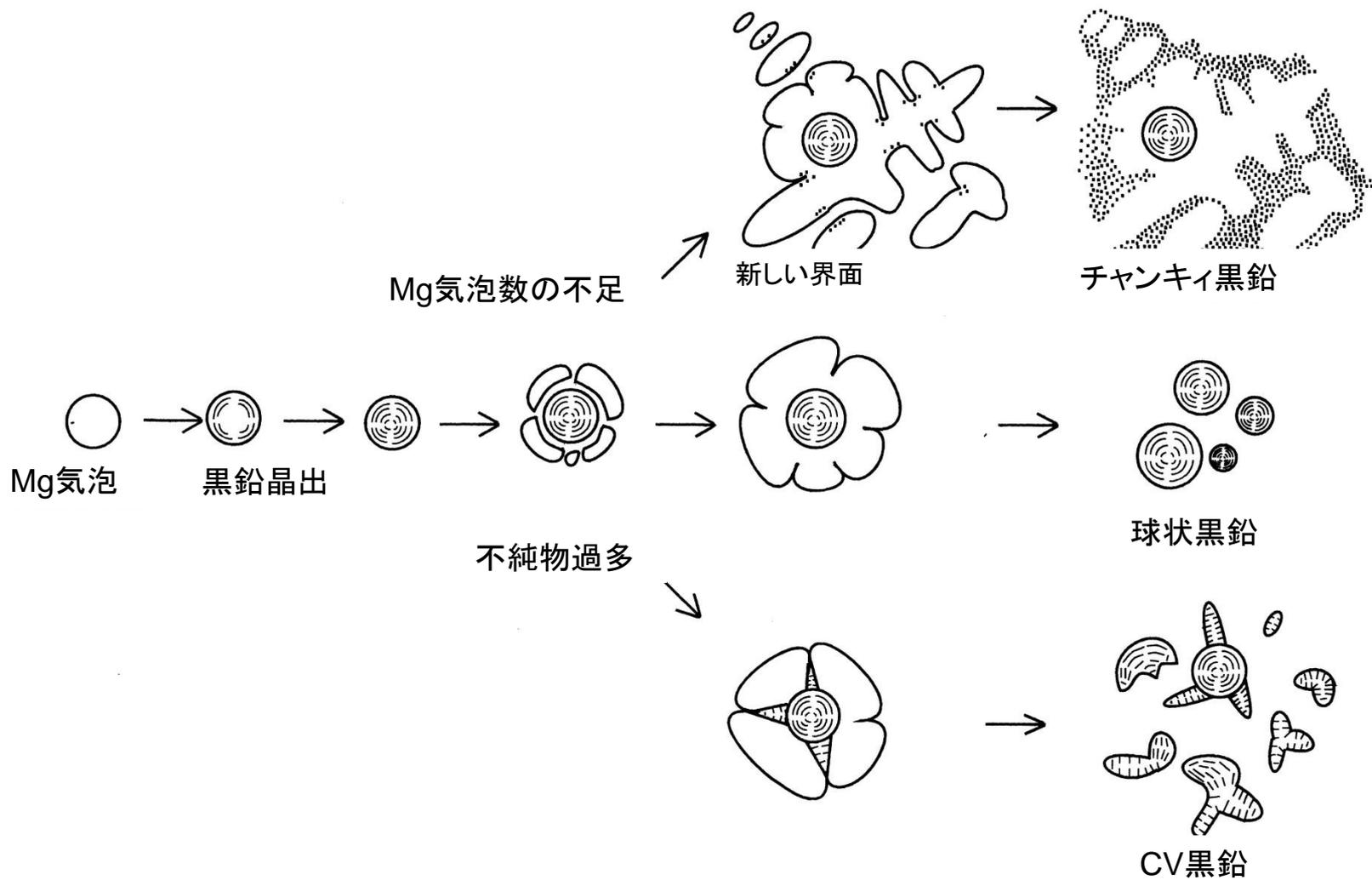
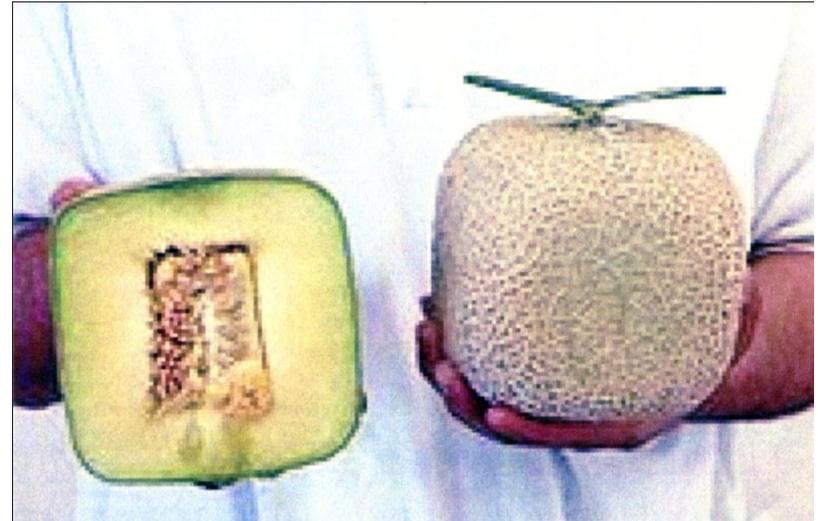


図 サイト説による球状黒鉛生成・成長・退化の模式図



四角いリンゴ hikaru.blogzine.jp



四角いメロン [Wikipedia](https://www.wikipedia.org)

定形の器の中で育てると、
その器の形になる。
でも、味は、丸いまま！



球状黒鉛も同じ。気泡と言う球状の
サイトで成長させるから、球状黒鉛
となる。
でも、黒鉛としての本質は同じ！



ハート形、三角錐、四角いスイカ
primestage.blog118.fc2.com

Mgの物理的性質

1. 原子半径; 1.60 Å
2. 密度; 1.74g/cm³
3. 融点; 659±5°C
4. 沸点; 1103±5°C
5. 溶湯への溶解度≒0
6. 固体鉄への溶解度≒0

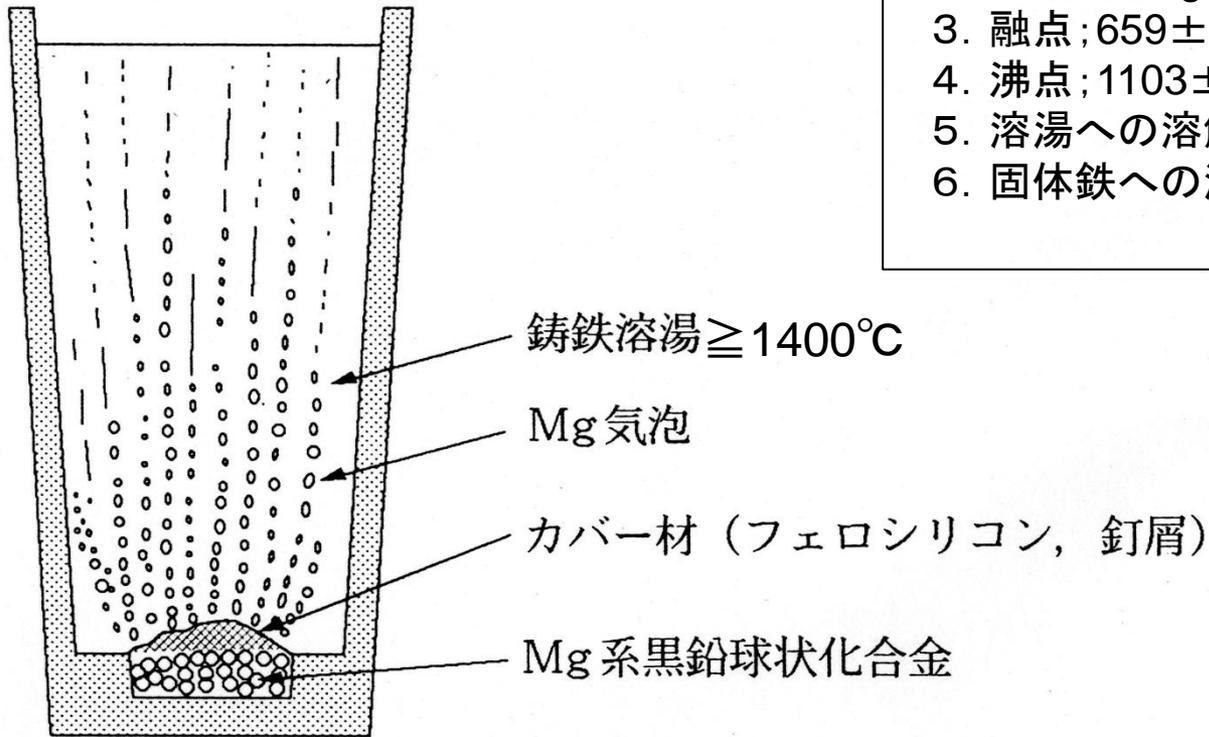


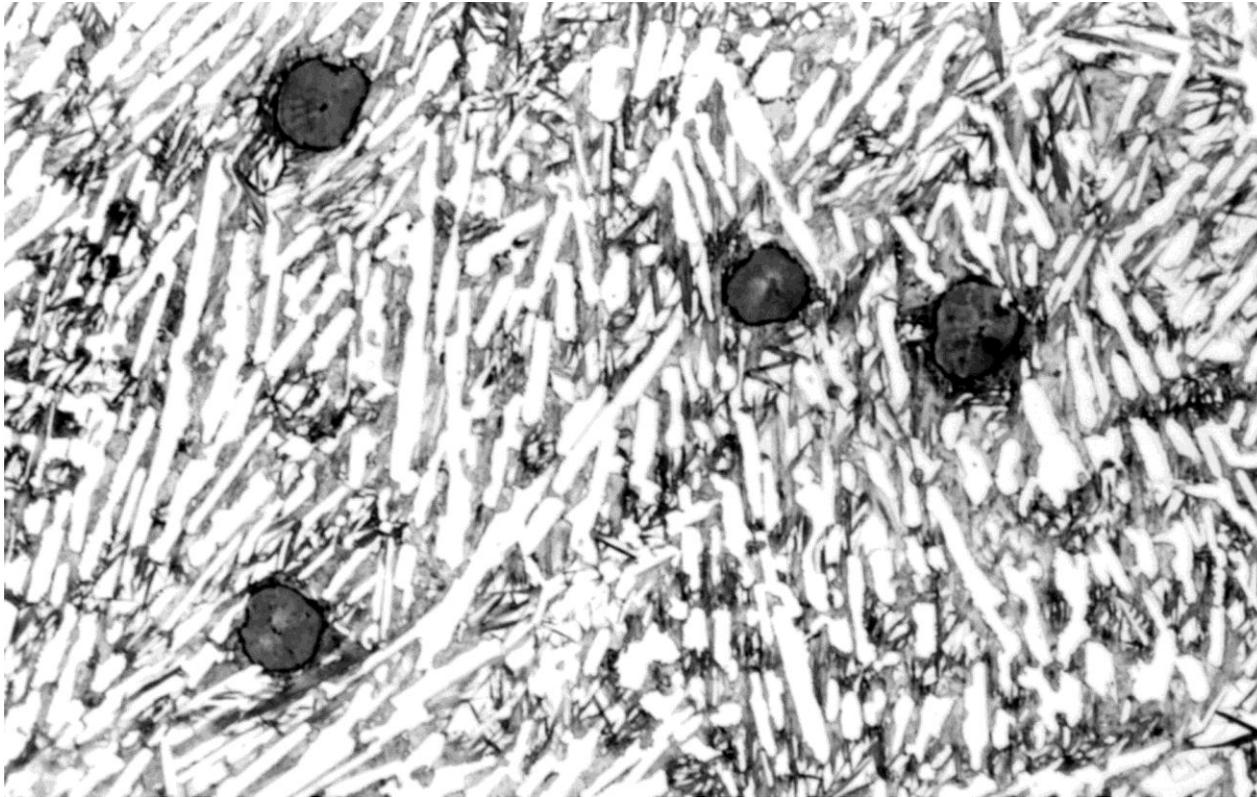
図 1.9 鑄鉄溶湯へのMg添加と気泡の発生

きゅうじょうこくえんちゅうてつ きょうどひょうか
球状黒鉛鑄鉄の強度評価

編著者 原田昭治・小林俊郎

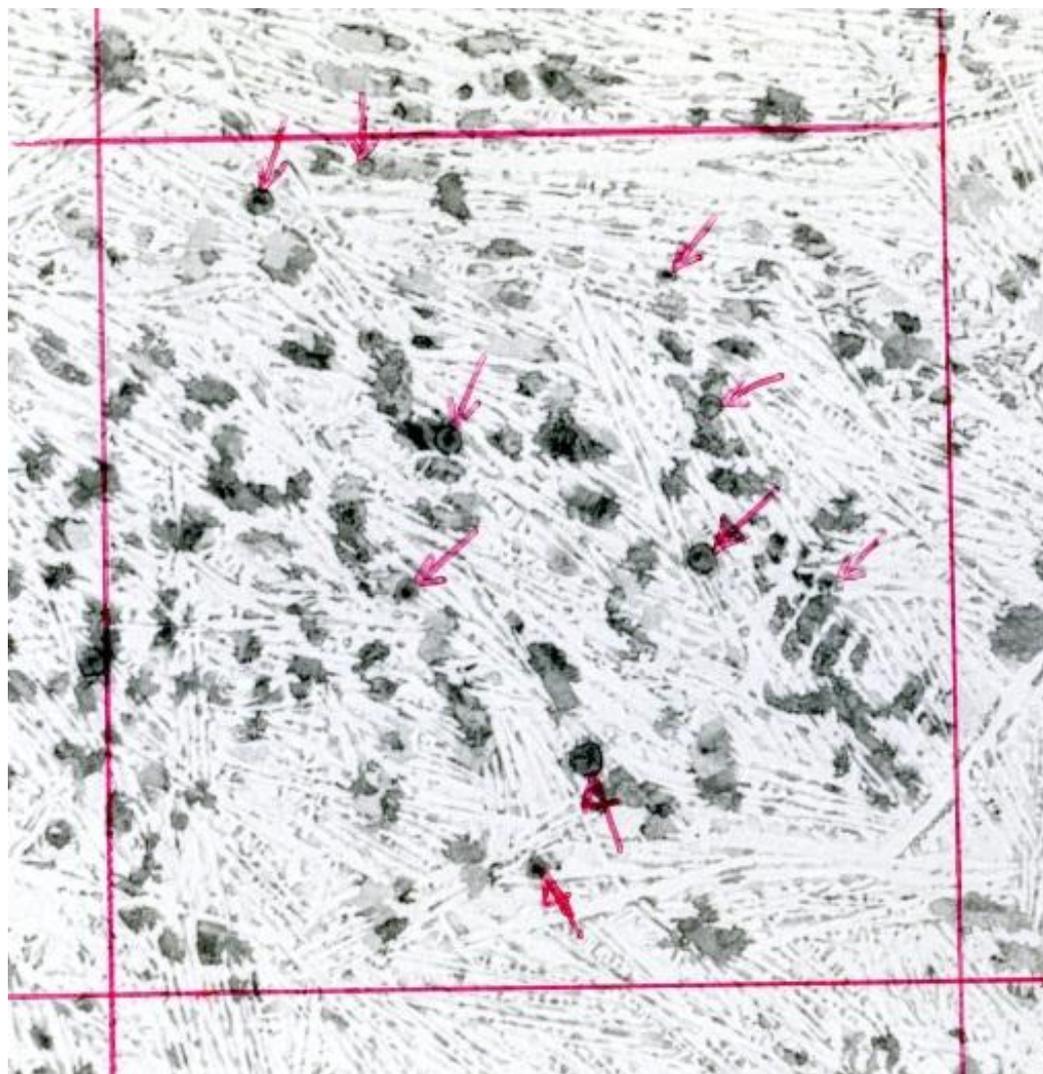
共著者 野口 徹・鈴木秀人・矢野 満

球状黒鉛は，固相黒鉛として，溶湯中に直接生成する.



10 μ m

図 溶湯中に直接晶出した微細黒鉛球(1350 $^{\circ}$ Cで溶湯を水焼入れ);
C-Solution腐食.



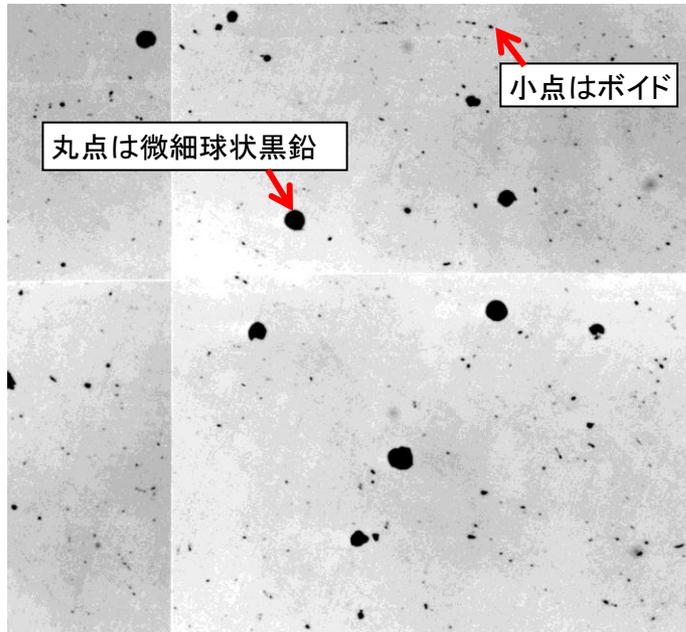
10μm

写真 溶湯中に直接晶出した微細黒鉛球(金型白鉄試料; 0.0500TMg, 0.0425FMg)

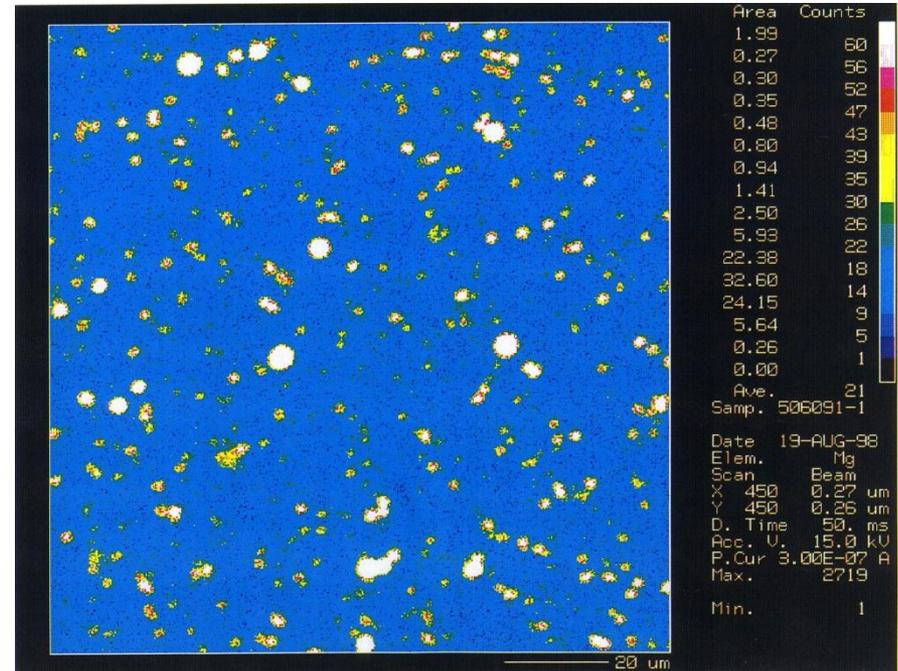
世界初

実証①ボイドからMg検出⇒Mg気泡の検出

②生成初期の微細球状黒鉛からMg検出⇒黒鉛晶出がMg気泡に関与



ミクロ組織(腐食なし)

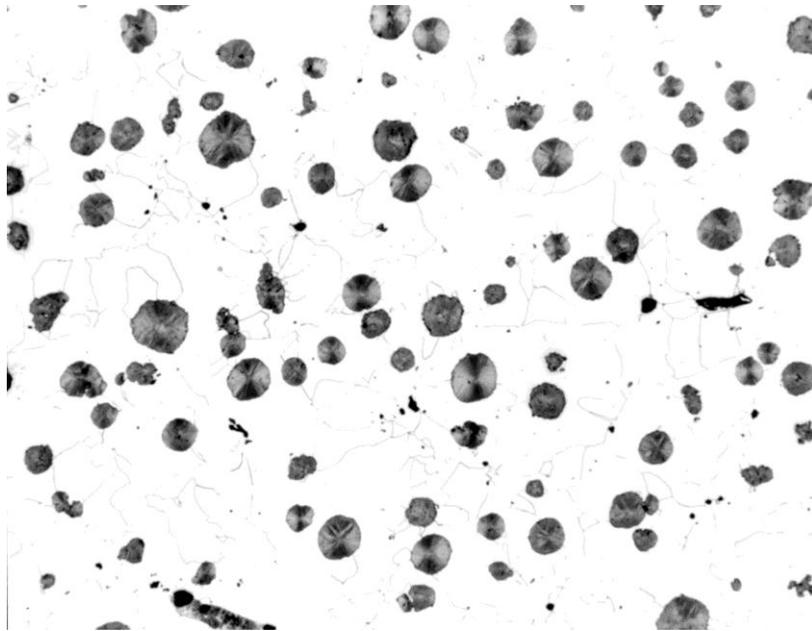


Mgマップ

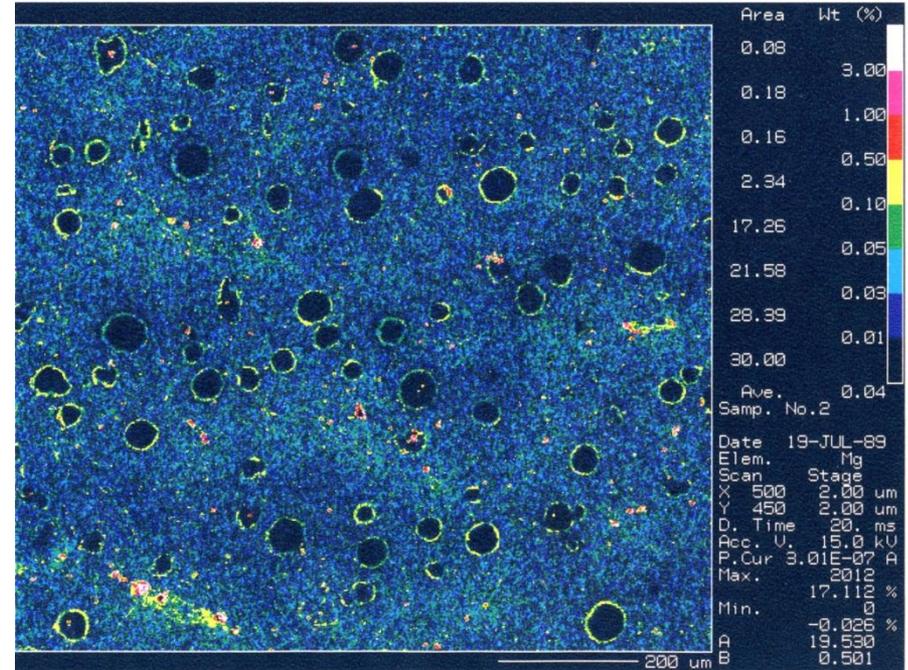
Mg含有白鉄試料のマッピング分析結果(1997.1.16)

世界初

実証; Mg気泡に黒鉛が晶出して球状黒鉛が生成した。
その結果、Mgは、球状黒鉛周囲にハロー状に存在する。

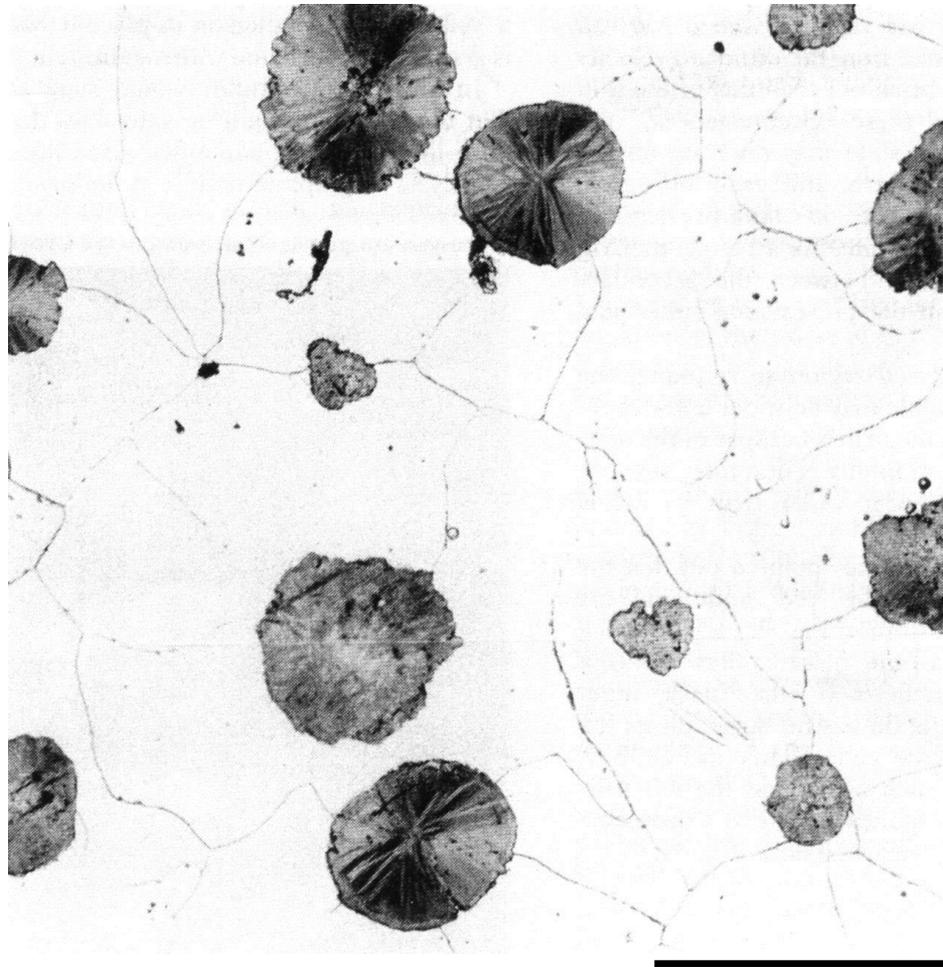


マイクロ組織(光学顕微鏡)



Mgマップ; 光輝な色ほど高偏析(EPMA)

標準倍率の球状黒鉛組織に於けるMgマッピング分析結果

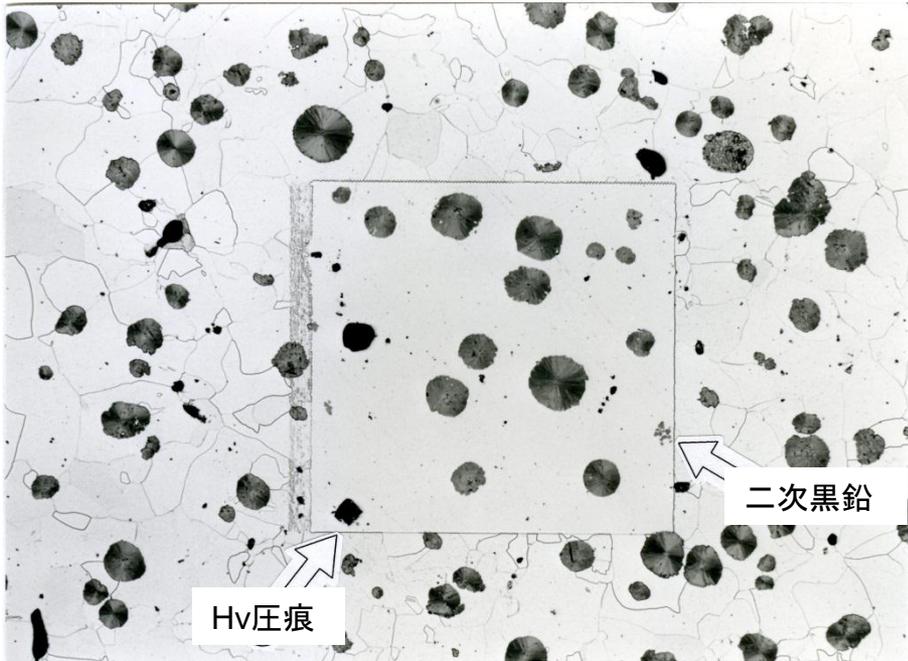


100 μ m

図 Mgハローが存在すると考えられる球状黒鉛～二次黒鉛リング間のサイト

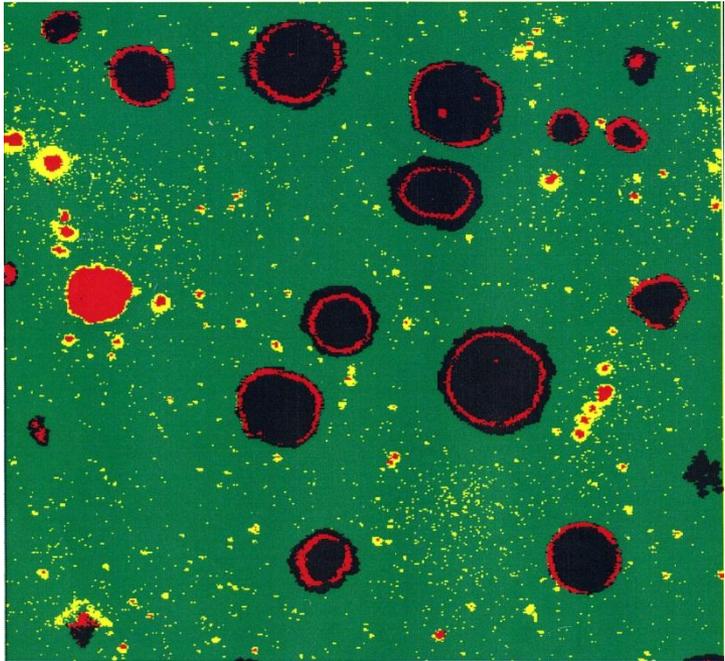
世界初

実証; Mgハローは、1次と2次黒鉛の間に存在する。
一次黒鉛; 凝固時に形成。2次黒鉛; 共析変態時に形成。



ミクロ組織

100μm



Mg-Feマップ

50μm

図 球状黒鉛組織におけるMgハロー(1996.3.22)

表 カント分析用白銑試料のICP分析結果

Sample No.	Mg (Mass%)		
	Total	Inclusion	Free
1	0.0114	0.0076	0.0038
2	0.0185	0.0065	0.0120
3	0.0316	0.0075	0.0241
4	0.0368	0.0059	0.0309
5' (base)	—	—	—
5	0.0500	0.0075	0.0425
6	0.0549	0.0082	0.0467

概要; 黒鉛球状化元素であるMgの介在物に黒鉛が生成理由; 球状黒鉛の中心に, Mg介在物が観察される.

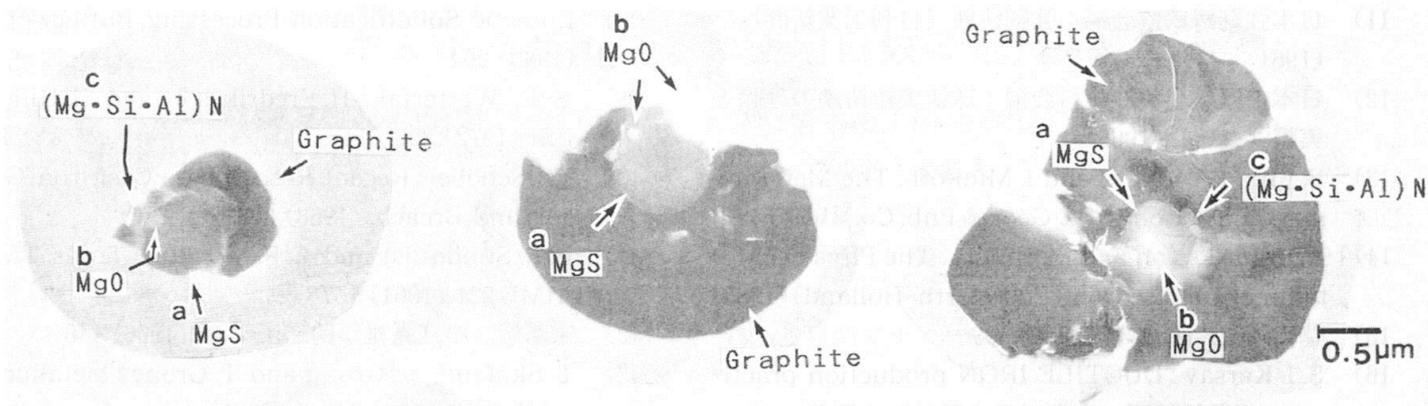


図 11 球状黒鉛の MgS への核生成と成長過程

中江秀雄, 五十嵐芳夫; 鑄造工学, Vol. 74(2002)

球状黒鉛生成理論として根強い人気の核説

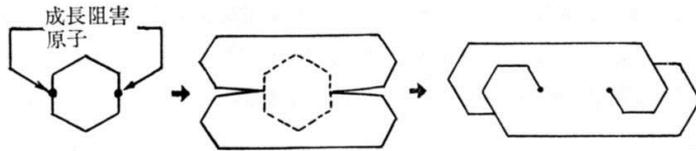


図 5 他原子の吸着による黒鉛の枝分れ成長機構の概略

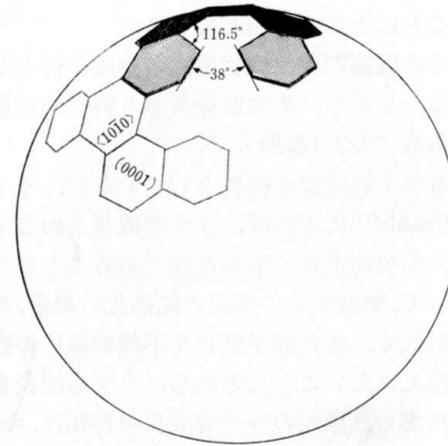


図 7 球形を与える多数の $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ 軸のまわりの多重回転双晶

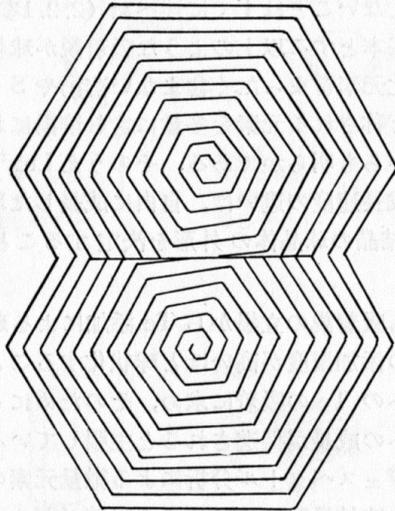


図 6 ラセン転位の不一致

直感をイラスト！
実証は不十分

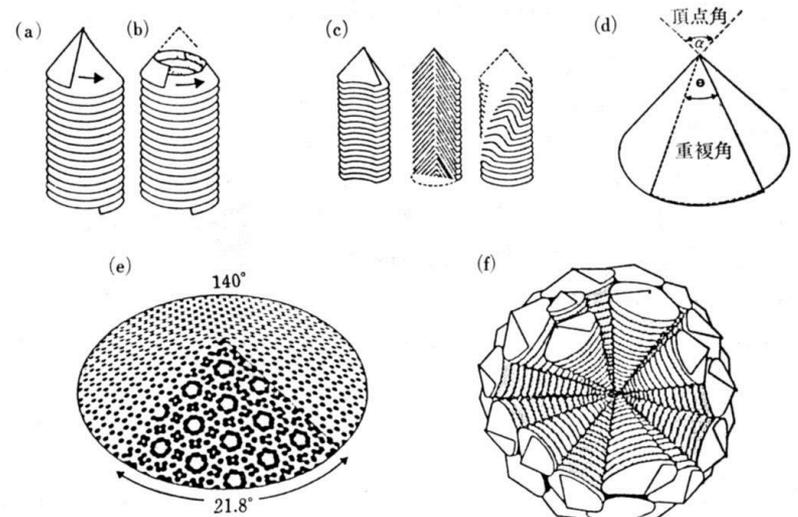


図 9 コーン-ヘリックス説 (cone-helix model) の概略

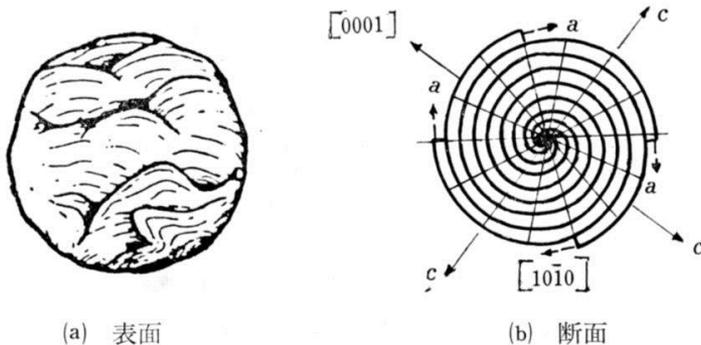
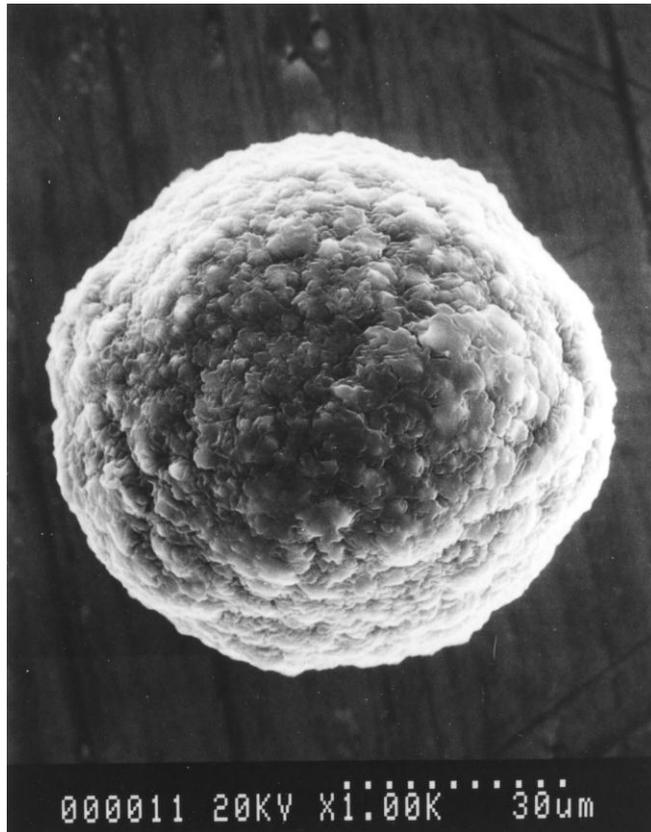


図 8 周囲回転成長説 (circumferential growth model) の概略

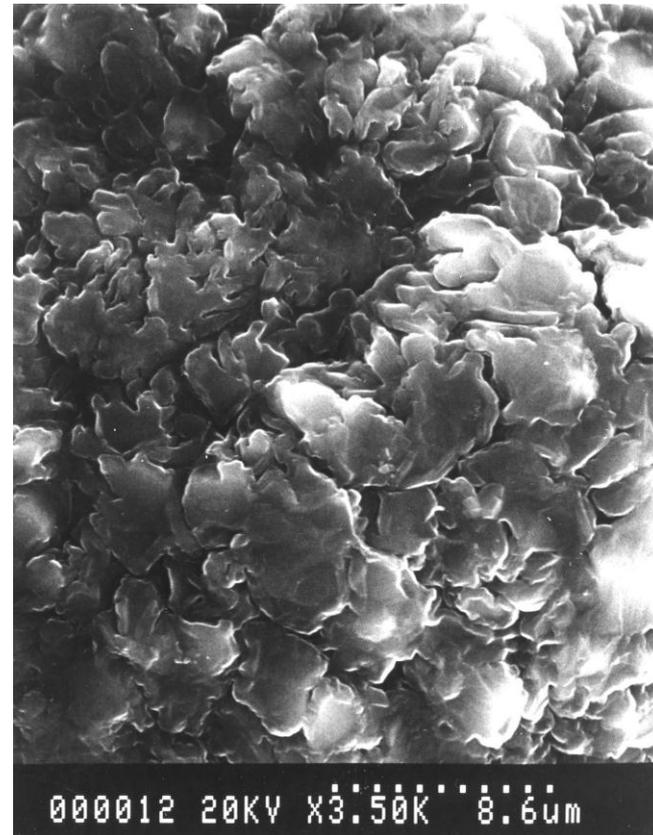
諸説による球状黒鉛成長の模式図

張博、他「球状黒鉛鑄鉄」アグネ(1983)PP276~290.

実証;単に, 黒鉛片が重なって見える.



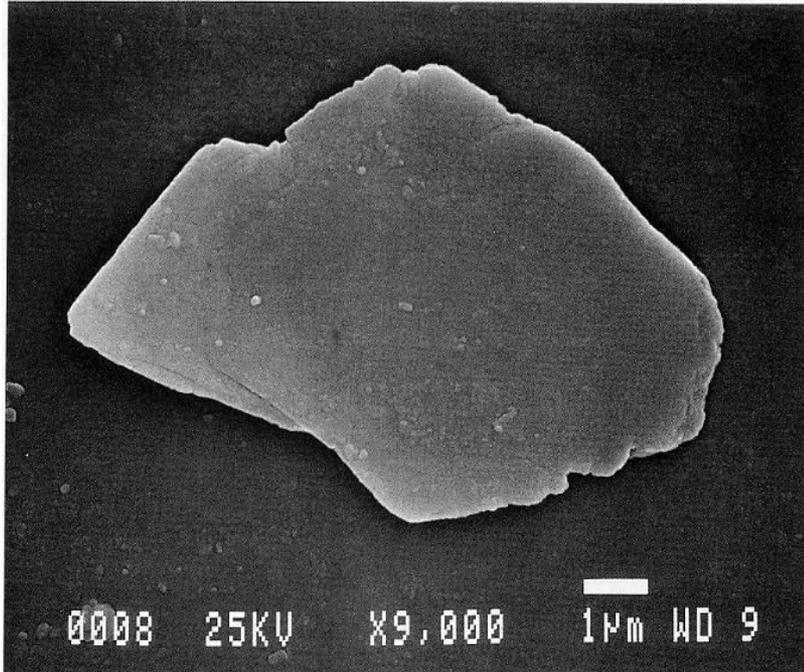
a. セル全体



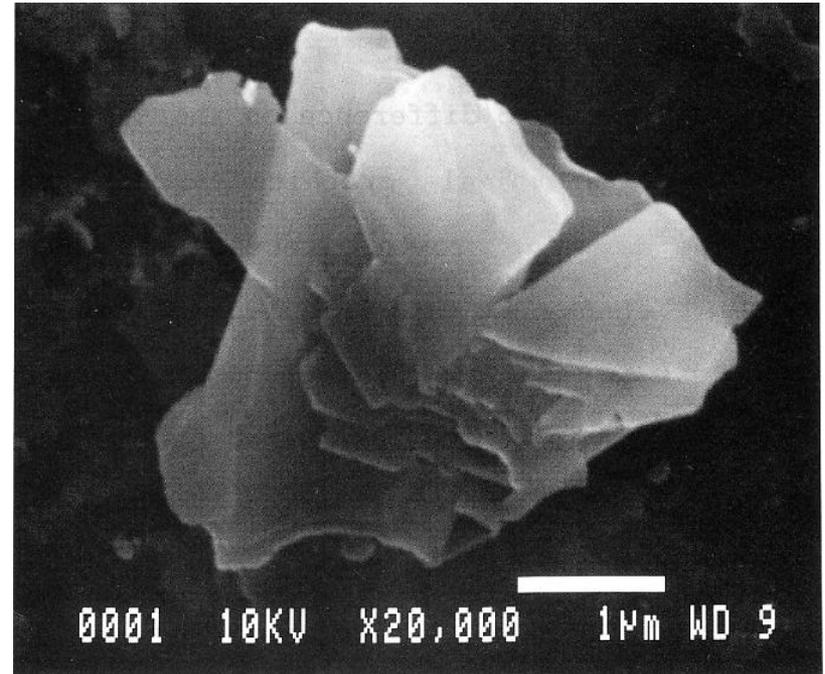
b. 表面を拡大

図2 基地から抽出した球状黒鉛のSEM像 ³⁻⁵⁾

実証;他研究者が主張するような, 特殊な成長挙動はない.
黒鉛片, 及び その積層が観察される.



a. 一枚の薄板黒鉛片



b. 複数枚の薄板黒鉛片

図5 超音波振動で分解した球状黒鉛のSEM像^{3, 4)}

必要条件; 液体金属にあって液相である事.
 日常事例; 2液ドレッシングを振ったら, 一方が球状になる.

黒鉛は, 固相の形態で晶出する.
 「介在物に黒鉛が生成」では, 球状ではなく、片状となる.

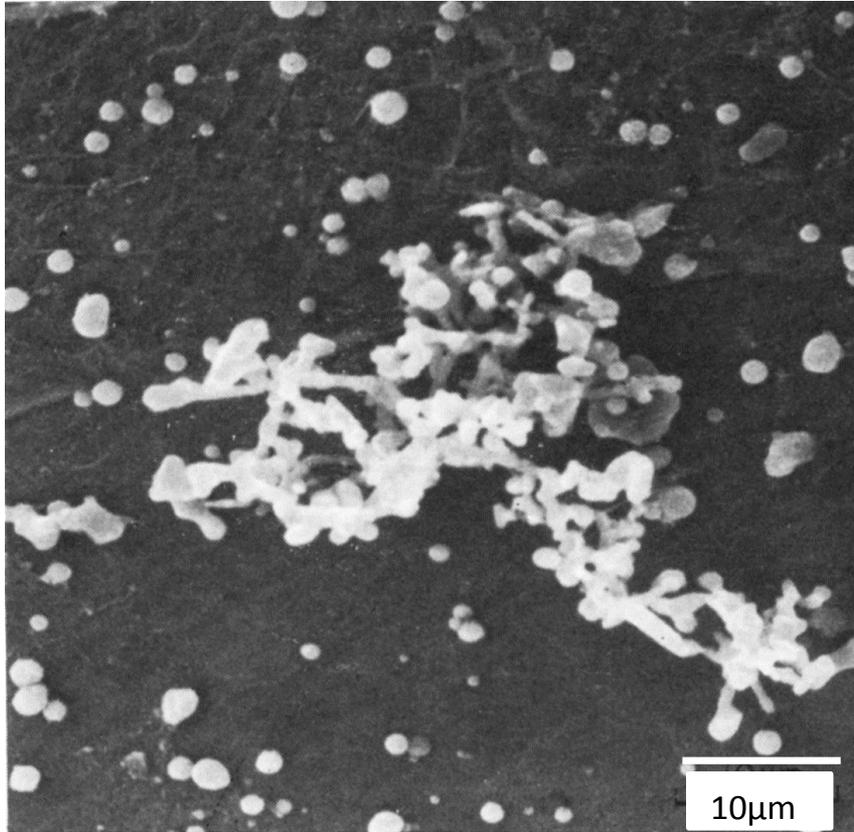
表 液体金属に形成する球状物質事例

文献No.	材料	球状物質	溶液中での形態	球状の形態が取れる要因
1~3	球状黒鉛鑄鉄	金属Mg	気相	溶湯中で気化, 溶湯中に溶解度が殆どない
		黒鉛	固相	凝固時, Mg気泡に黒鉛晶出
				* 溶湯に接する場合, 球状ではなく, 片状となる
4	鑄鋼	Mnシリケート	液相	溶鋼より低融点
5		12CaO・7Al ₂ O ₃	液相	溶鋼より低融点
6		偏晶MnS	液相	偏晶反応; 二液分離、主相より低融点
7	青銅	偏晶Cu ₂ S	液相	偏晶反応; 二液分離、主相より低融点

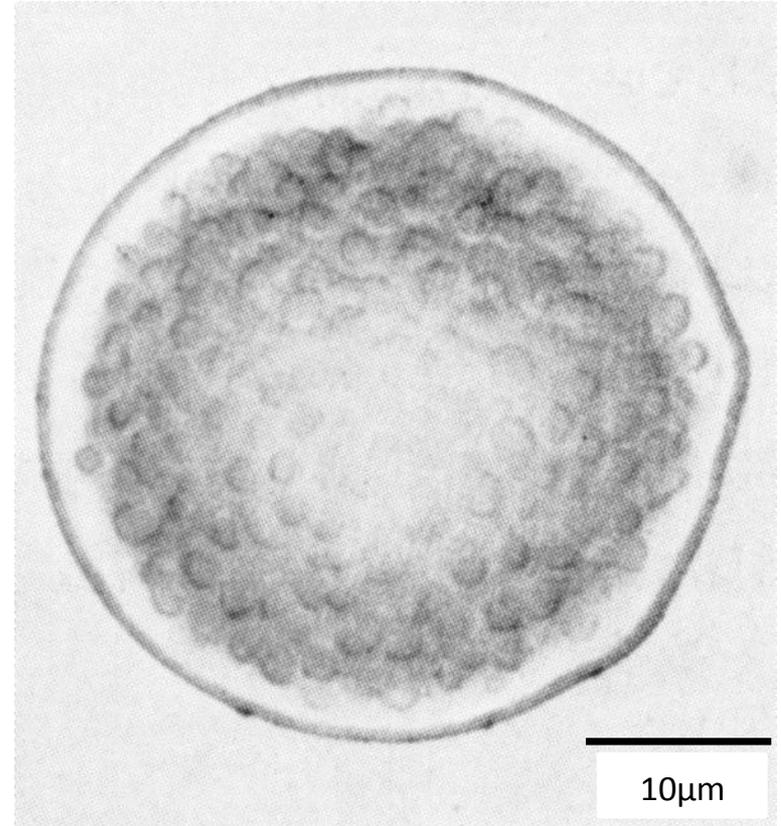


20 μ m

図 鋼中の非金属介在物; Mn珪酸塩



Al脱酸後, Ca-Si添加前 ; 樹枝状 Al_2O_3

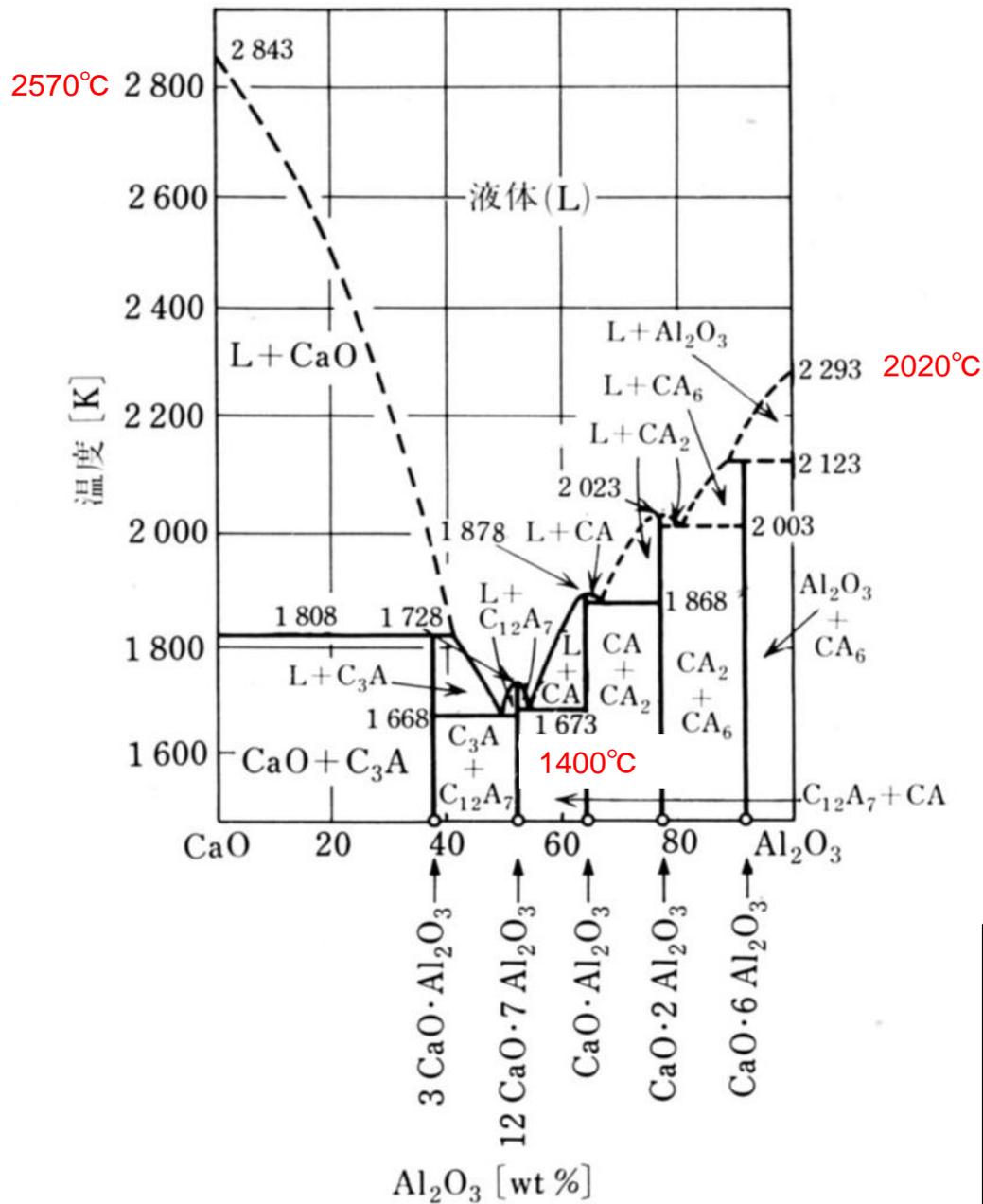


Ca-Si添加後 ; 球状 $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$

図6 鋼中Al介在物の形態制御事例^{7,11)}

文献 7) 「金属組織写真集 鉄鋼材料編」日本金属学会(1979)P12.

11) 音谷登平、形浦安治「カルシウム鋼」丸善(1981)P44.



カルシウム鋼
清浄化と介在物制御

丸善(1981)

音谷 登平
形浦 安治

図 5・7 CaO-Al₂O₃ 系状態図⁵⁾

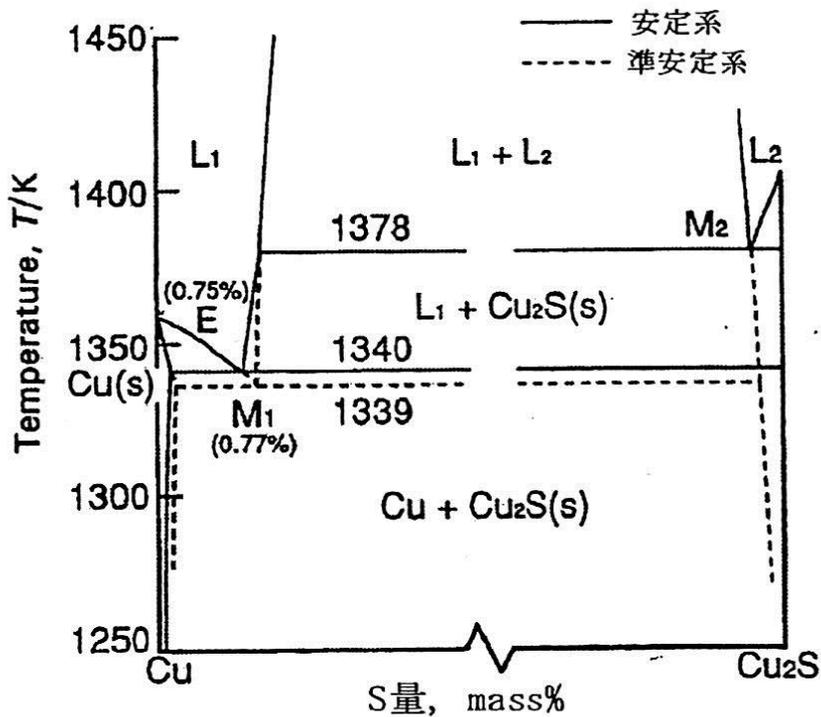
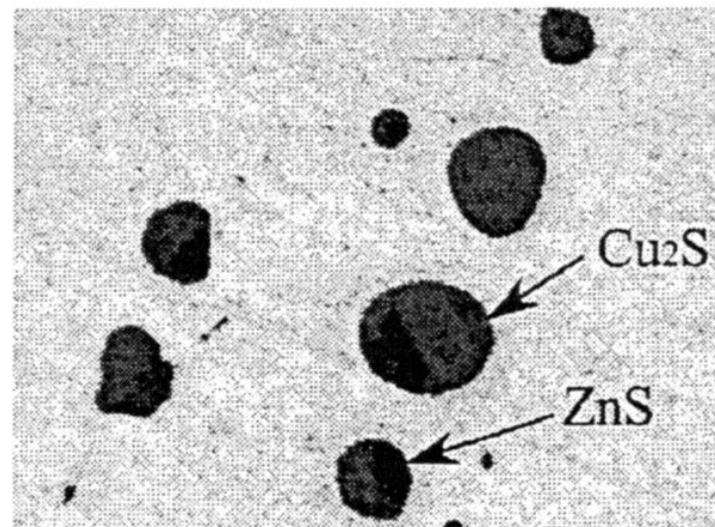


図4 模式図によるCu-Cu₂S二元状態図



(B) 硫化物粒子の構成状況

小林武; H23年度中国四国支部講演会資料(2011)4月23日

* 球状Cu₂S; 偏晶反応で液相L₂が球状分離⇒球状固化

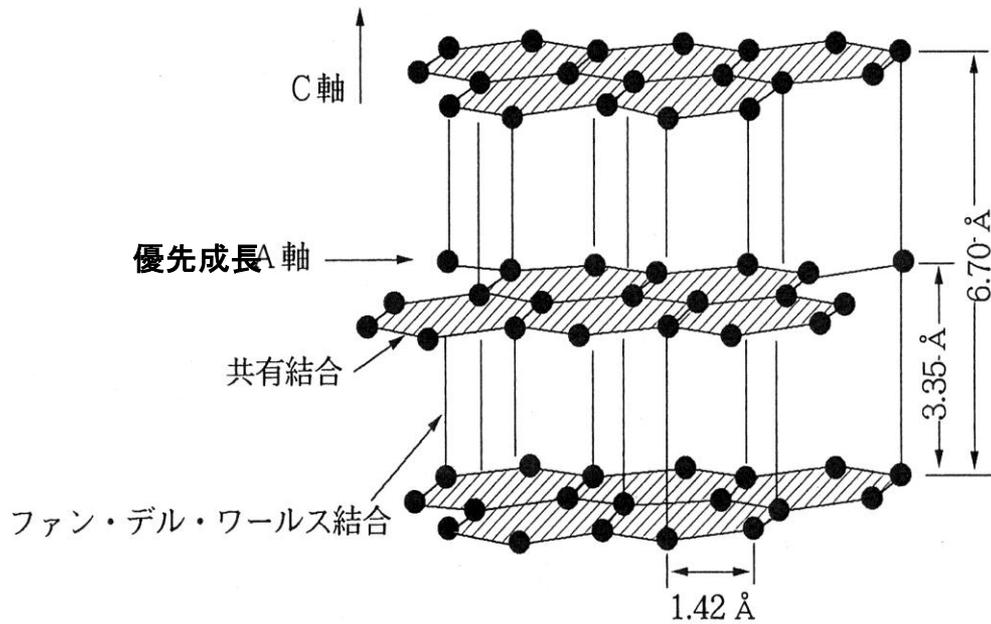


図 黒鉛の基本結晶構造

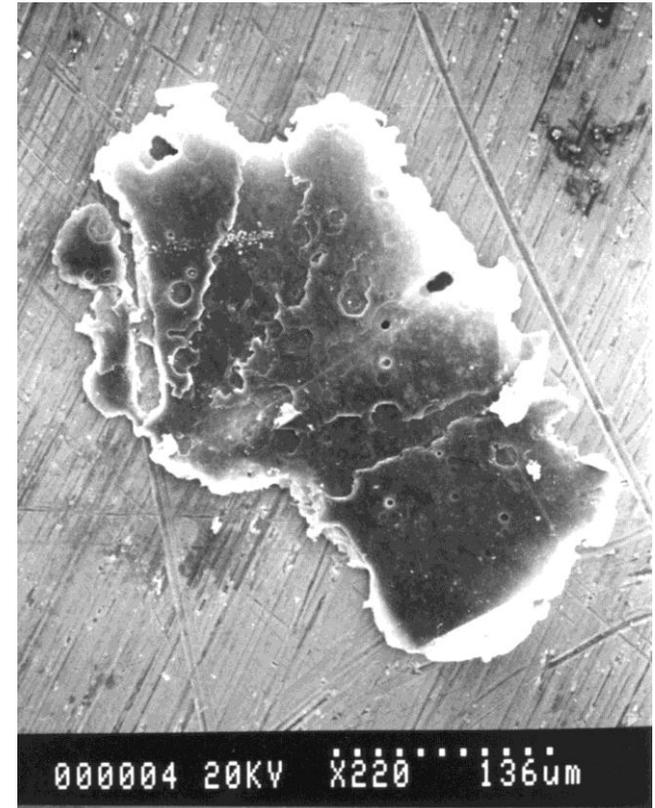


図 キッシュ黒鉛; A軸への優先成長が保証される液相で形成

- * 介在物がMg気泡に捕捉され、その気泡に黒鉛が晶出する。
- * その結果として、黒鉛粒の中に介在物が観察される場合がある。

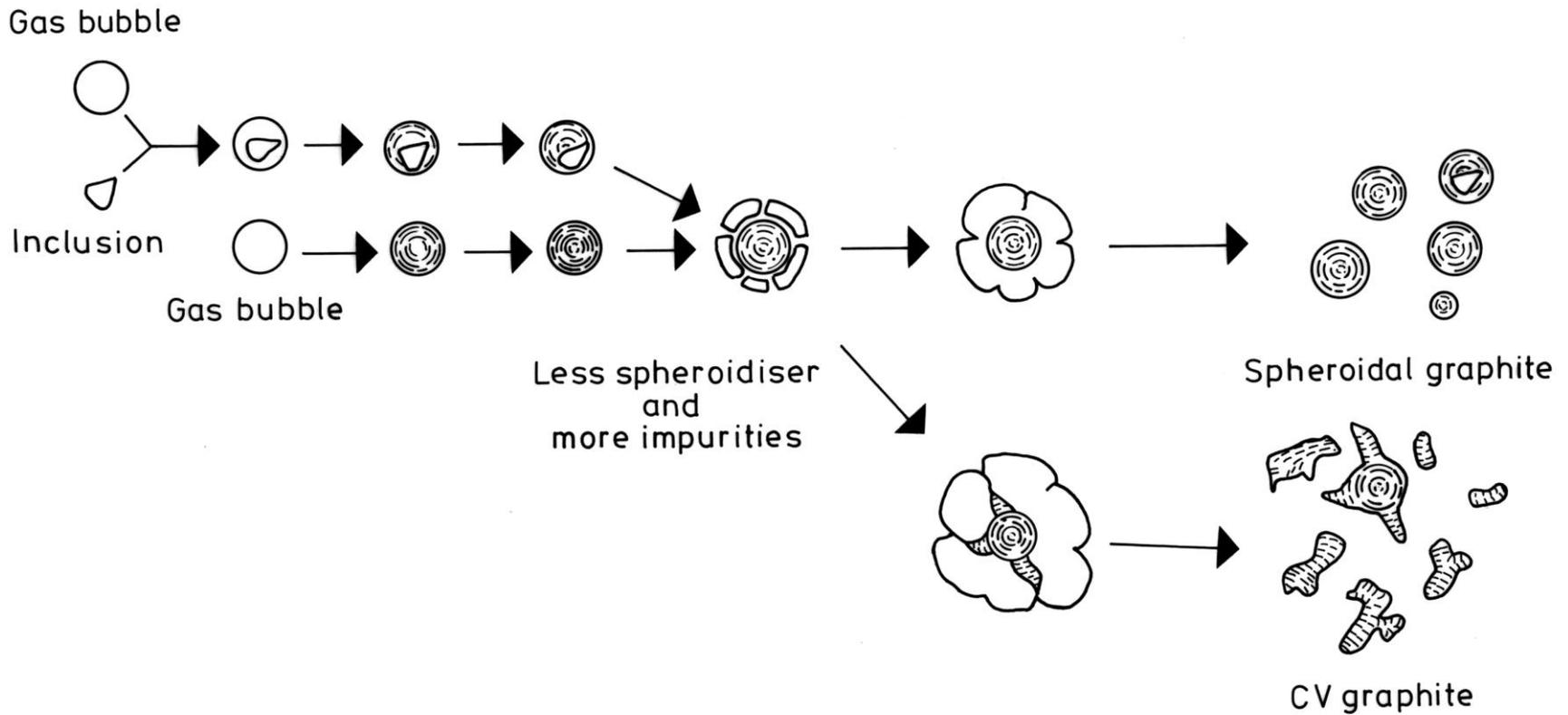


図 介在物が黒鉛球状化に関与した場合に考えられるメカニズム

表 Fe-Si-Mg合金成分の黒鉛球状化への役割

構成元素		想定形態	処理時の役割・作用	黒鉛球状化への役割	
				薄肉鋳物	厚肉鋳物
意図的 配合	Fe	FeSi、FeSi ₂	②高密度化、合金浮上防止	—	—
	Si	Mg ₂ Si、Si	①Mg反応を緩和・歩留り向上	Si濃度斑によるSG粒増	
	Mg	Mg ₂ Si	①FMgが気化、Mg気泡形成	Mg気泡が黒鉛生成・成長サイトを提供	
	RE	RESi ₂	①脱FN	①接種効果=チル減、SG粒増	—
			②黒鉛球状阻害元素を相殺 Al,As,Bi,Pb,Sb,Sn,Ti等	②相殺効果小	②相殺効果大 チャンキ黒鉛誘発
			③吸蔵Hが気泡形成	②H気泡が 黒鉛生成・成長サイトを提供	—
Ca	CaSi ₂	①脱FN=接種効果	①接種効果=チル減、SG粒増	—	
		②Caが気化、Ca気泡形成 Ca沸点1480~1490°C	②Ca気泡が 黒鉛生成・成長サイトを提供	①チャンキ黒鉛誘発	
		③Mg難燃化・歩留り向上 Ca多い⇒ドロス多い	—	—	
混入	C	Mg ₂ C ₃ 、MgC ₂	①Mg反応緩和・歩留り向上	—	—
	Al	Al ₂ O ₃	①不純物、Al多い⇒ドロス多い	—	—
	N	Mg ₃ N ₄	①不純物	—	—
	O	Mg ₂ SiO ₄	①不純物	—	—

表 主要元素の黒鉛球状化への役割

構成元素	想定形態	処理時の役割・作用	黒鉛球状化への役割	
			薄肉鋳物	厚肉鋳物
Mg	Mg ₂ Si	①Mgが気化、Mgが気泡形成	Mg気泡が黒鉛生成・成長サイトを提供	
RE	RESi ₂	①脱FN	①接種効果=チル減、SG増	—
		②黒鉛球状阻害元素を相殺 Al,As,Bi,Pb,Sb,Sn,Ti等	②相殺効果小	①チャンキ黒鉛誘発
		③吸蔵Hが気泡形成	②H気泡が 黒鉛生成・成長サイトを提供	—
Ca	CaSi ₂	①脱FN	①接種効果=チル減、SG増	—
		②Caが気化、Ca気泡形成 Ca沸点1480~1490℃	②Ca気泡が 黒鉛生成・成長サイトを提供	①チャンキ黒鉛誘発
		③Mg難燃化・歩留り向上 Ca多い⇒ドロス多い	—	—

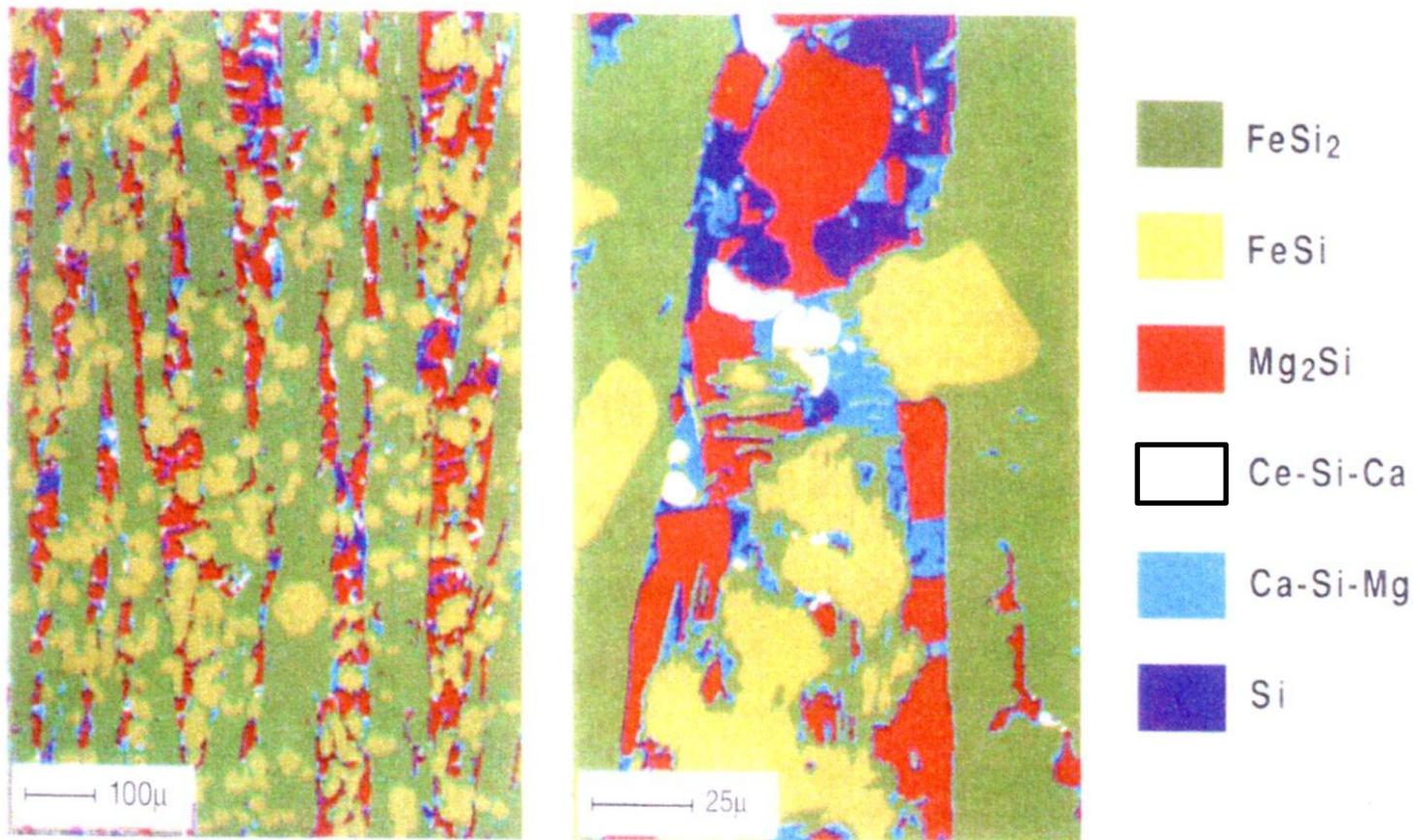


図 Mg球状化剤のMap分析結果(Elkem社資料, 三宅氏より入手)

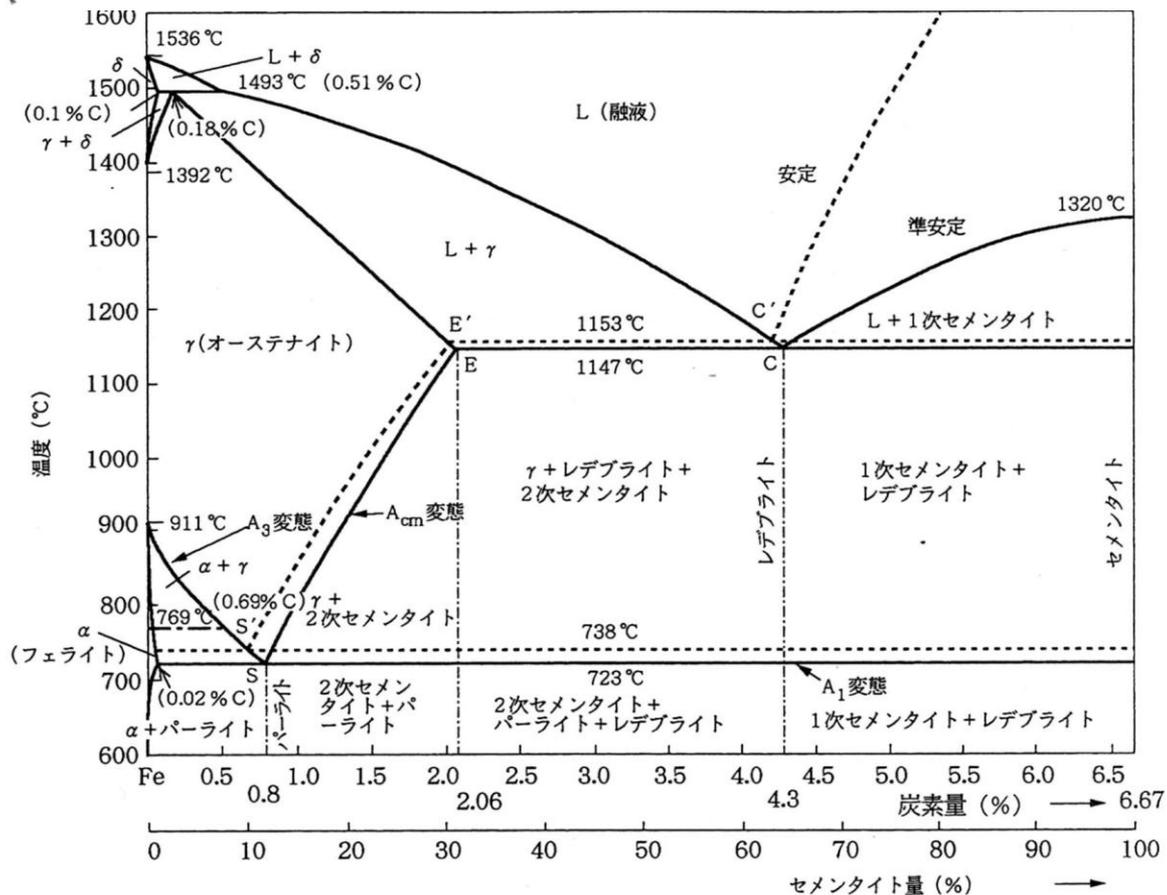
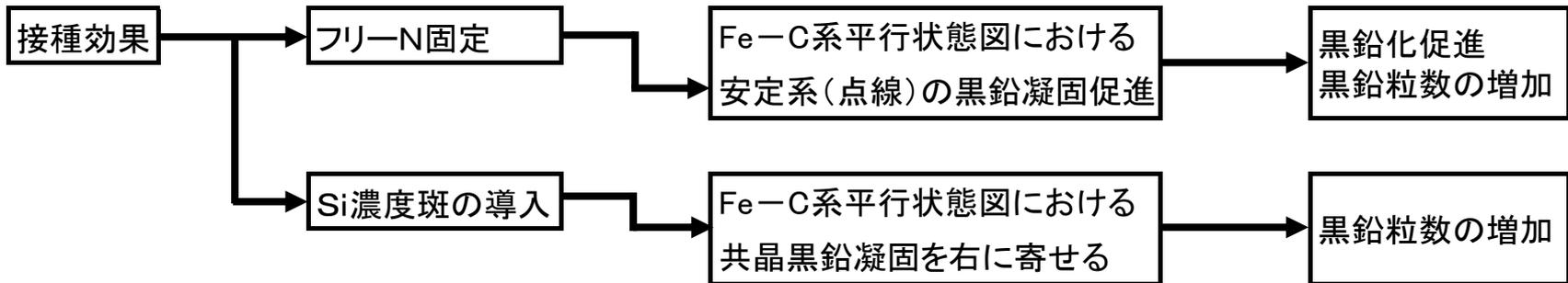
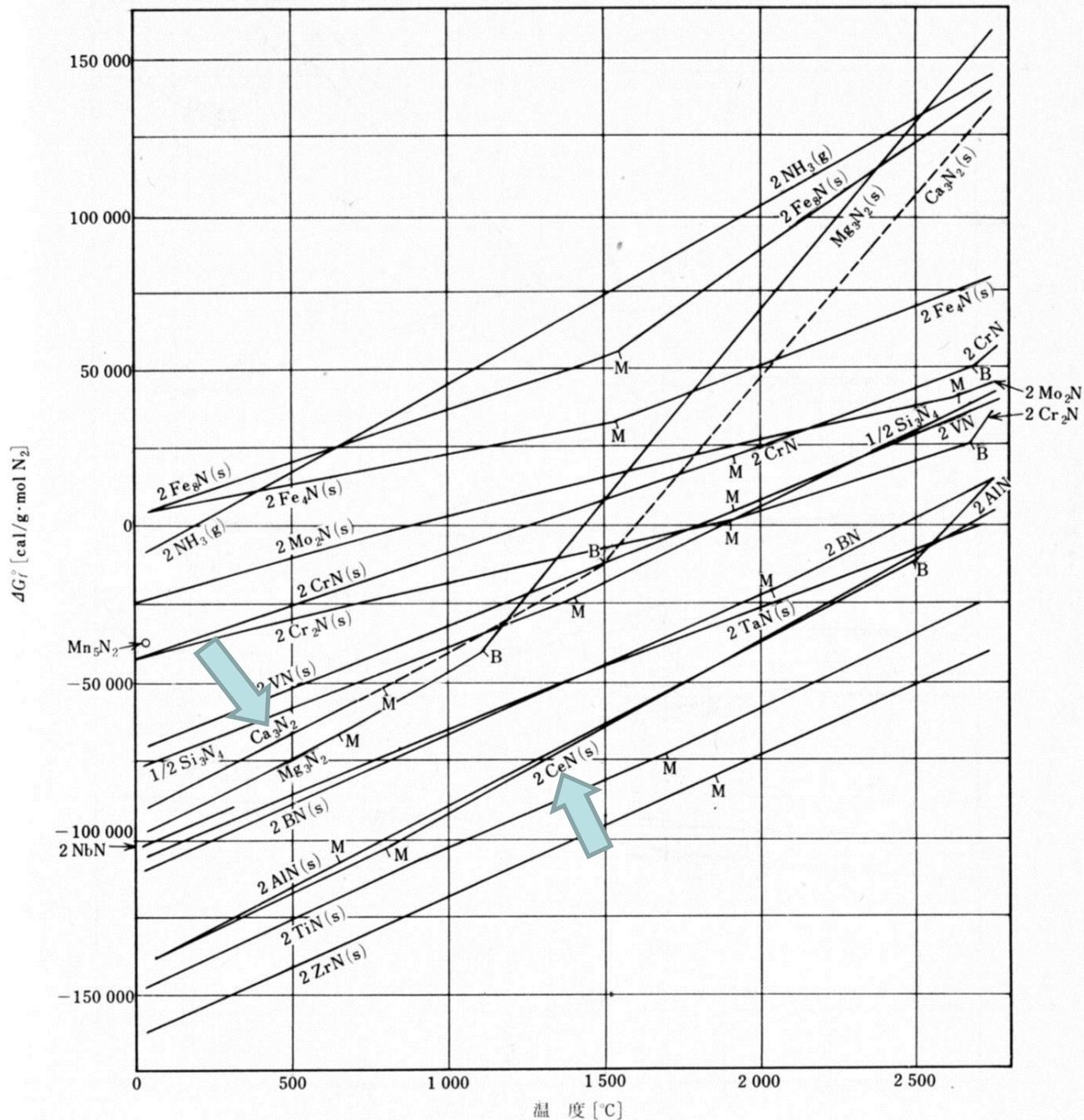
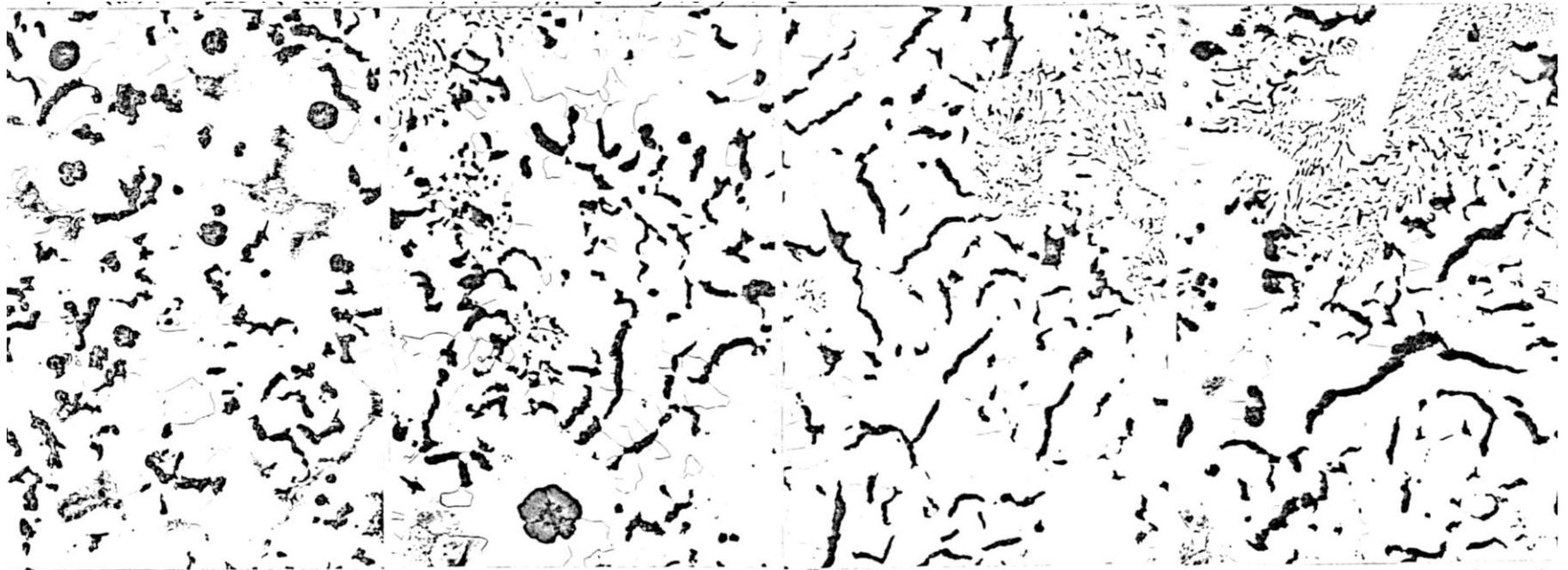


図 1.1 安定 Fe-C (破線) および準安定 (実線) Fe-Fe₃C 系 2 元状態図¹⁾

c. 窒化物の標準生成自由エネルギー-温度図



金属データブック;
日本金属学会(1974)



100μ

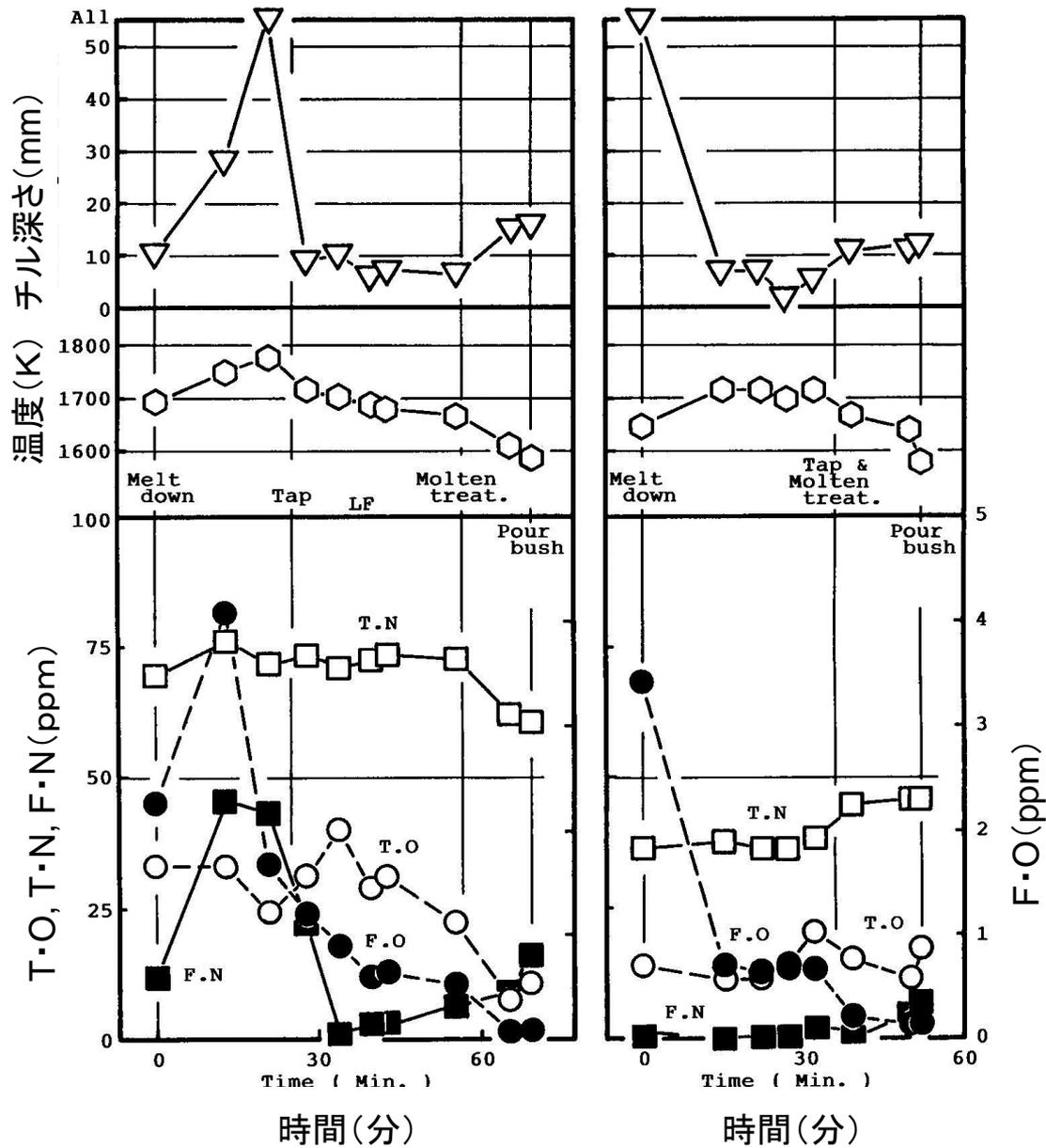
試験片肉厚	<u>1"Y7ロッド</u>	<u>2"Y7ロッド</u>	<u>150x300x300試験片</u>	<u>300x300x300試験片</u>
引張強 ^t (kgf/mm ²)	37.7	33.8	32.3	30.0
耐力 (kgf/mm ²)	30.0	27.1	28.3	25.7
伸び (%)	6.5	4.3	1.5	1.5

図1. Ce-MM法によるCV黒鉛鑄鉄の顕微鏡組織に及ぼす肉厚の影響。(3% Nital 蝕)
 (3.62%C, 2.55%Si, 0.20%Mn, 0.041%P, 0.006%S, 0.024%Ce)

守武伸, 中安晃, 山田肇, 糸藤春喜; 日本鑄物協会、
 中国四国支部講演大会(1983)12月

文献まとめ; 無チル金型FCDの溶解～鋳込みのポイント

チル化抑制項			李 鏞河	堀江 皓	橘堂 忠	山口正敏	川原正弘	桃野 正	中本光二	
			京都大学	岩手大学	大阪産総研	Honda	岩手県工試	室蘭工大	栗本鐵工	
			1980~1986	1985~2007	1988~1993	1993~1995	1993~2000	2005~2007	2006	
1	成分	Si	3.54~4.33	2.60	2.00~3.20	2.70~3.40	3.00	2.10~2.40	1.70	
		TMg	0.015~0.025	0.030~0.040	0.013~0.019	0.015~0.030	—	(0.030)	0.040	
2	溶解	溶解炉	クリプトル・真空	12kw高周波炉	30kg高周波炉	3t高周波炉	高周波炉	高周波炉(真空)	—	
3	前処理	Super Heat °C	1450	1530	>1500	—	—	1550	—	
		合金	種類	純Ca + 純Al	RE-Si	無	保持炉	Ca-Si-Ba-Al	CaC ₂ 脱酸	GFコンバータ
			添加wt%	0.5 + 0.3	RE/S≒4.4	無		1	0.5~2.0	
		Arバブリング	ポーラスプラグ	—	—	—	—	—	—	
4	鋳型	プロセス	φ 10, 20, 30金型	^t 3,6,9CO ₂ 型	φ 20, 25,30金型	自動車金型	t5金型	^t 1~15生砂	遠心金型	
5	溶湯処理	Mg	合金	Mgコークス	6~8Mg-RE・Ca	1.5~9Mg-RE・Ca	3Mg-不明	Ca-Si-Mg-RE	6Mg-無	純Mg
			温度°C	1450	1500~1530	1400	1380~1430	1450	1550	—
		接種	合金	Fe-50Si	Fe-75Si	Ca系Fe-75Si	Fe-75Si	—	Fe-70Si	Fe-50Si-1~4Bi
			要領	湯面	湯面	湯面	—	—	(湯面)	—
7	鋳込み	フェーディングsec	10~15	推<10	10~15	30~50	推<10	推<10	—	
ポイント; 低N溶解 脱フリーN 低吸N処理 低吸N鋳込み			脱FN ; 減圧溶解	臨界粒数Nの確保	低Mg剤ほど良	Mg処理/品	脱O・N・H	減圧溶解		
			Al, Ca添加	RE,Ca,Sの添加	RE・Ca含有			CaC ₂ 脱酸		
			バブリング		1400°C Mg処理			Fe-Si-RE添加		
			最少Mg		0.013~0.019Mg					
					高Si化					



a)30Tアーク炉

b)10T低周波誘導炉

図 溶解～鋳込み工程におけるFCD450溶湯の性状変化

表 Fe-Si-Mg系球状化剤の使用経緯

分類 No.	Fe-Si-Mg合金；●含有、X無		実績；○使用、X使用せず							
			～1982		1982～1988		1988～1997		1997～	
	Ca	RE	小物	大物	小物	大物	小物	大物	小物	大物
I	●	●	○	○	○	X	○	X	X	X
II	X	X	X	X	X	○	X	X	X	X
III	●	X	X	X	X	○	X	○	○	○

表 球状化剤及び接種剤の化学成分

RE	メーカー	合金	化学成分 (Mass %)						
			Mg	Ca	RE	Si	Al	Ba	Fe
無	A社	球	6.04	0.96	0.00	45.3	1.30	—	Bal.
		接	—	1.55	—	69.8	2.42	1.14	Bal.
	B社	球	5.86	1.93	0.00	45.6	0.34	—	Bal.
		接	—	2.26	—	72.6	2.36	1.54	Bal.
有	A社	球	5.43	1.92	2.09	44.3	1.09	—	Bal.
		接	—	1.55	—	69.8	2.42	1.14	Bal.
	B社	球	5.76	2.00	1.71	46.7	0.38	—	Bal.
		接	—	2.26	—	72.6	2.36	1.54	Bal.

表 代表的な元湯の化学成分 (mass%)

五元素					合金元素				球状化元素			
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ca	Ce	T・Mg	F・Mg
3.41	1.58	0.24	0.045	0.011	0.04	0.06	0.09	0.01	—	0.001	0.001	—

不純物元素										
Ti	V	Al	Sn	B	Sb	Zn	Pb	As	Bi	Nb
0.013	0.007	0.015	0.003	—	0.002	0.005	0.001	0.000	0.000	0.011

溶解炉; 10t低周波炉

一回目の溶解量; 10,800kg

溶解材; SB..... 9%

ダクタイル銑鉄..... 14%

電磁鋼板屑..... 77%

二回目の溶解量; 10,700kg

溶解材; 残湯..... 44%

ダクタイル銑鉄..... 0%

電磁鋼板屑..... 56%

表 溶湯処理～鑄込み記録

球状化剤		出湯			添加率	Mg反応			Mg 歩留り (%)	鑄込み		
		温度 (°C)	LD/湯 量 (t/t)	時間 (s)		球/接 (%)	開始 (s)	持続 (s)		酸化煙	反応後 (min)	温度 (°C)
RE	メーカー											
フリー	A社	1422	10/6.1	≒60	1.1/0.4	直後	110	大 差 無	83	≒8	1345	≦20
	B社	1447	5/2.5	≒30	1.1/0.4	直後	102		70	≒3	1357	≦20
含有	A社	1423	5/2.5	≒30	1.1/0.4	直後	135		74	≒3	1321	≦20
	B社	1478	10/6.1	≒60	1.1/0.4	直後	136		69	≒8	1358	≦20

表 球状化・接種溶湯の化学成分

球状化剤		化 学 成 分 (mass %)								
		五元素					球状化元素			
RE	メーカー	C	Si	Mn	P	S	Ca	Ce	T・Mg	F・Mg
フリー	A社	3.54	2.44	0.21	0.038	0.010	—	0.002	0.055	—
	B社	3.56	2.30	0.22	0.030	0.012	—	0.003	0.045	—
含有	A社	3.54	2.31	0.22	0.030	0.012	—	0.011	0.044	—
	B社	3.54	2.50	0.22	0.030	0.011	—	0.010	0.044	—

球状化剤		合 金 ・ 不 純 物 元 素 (mass %)				
RE	メーカー	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti
フリー	A社	0.01	0.02	0.11	0.01	0.014
	B社	0.01	0.02	0.08	0.01	0.014
含有	A社	0.01	0.02	0.08	0.01	0.014
	B社	0.01	0.03	0.08	0.01	0.015

表 RE有無における機械的性質及び黒鉛組織の対比

RE	YB (mm)	メーカー	引張特性			硬度 HB (10/3000)	衝撃値 CVN ₂₃ (J/cm ²)	黒鉛組織	
			$\sigma_{0.2}$ (Mpa)	σ_B (Mpa)	ϵ (%)			SG* (%)	粒数 (ヶ/mm ²)
フリー	25	A	345	529	17	179	14	92	76
		B	319	480	20	167	19	93	67
	100	A	314	466	19	148	16	93	44
		B	287	422	24	140	23	95	59
含有	25	A	309	450	22	156	24	90	91
		B	313	456	22	156	22	92	79
	100	A	290	421	24	143	19	88	34
		B	299	421	24	140	20	79	35

* JIS G 5502-1995 球状黒鉛鑄鉄品解説

ISO球状化率=4.58+1.05(NIK球状化率)

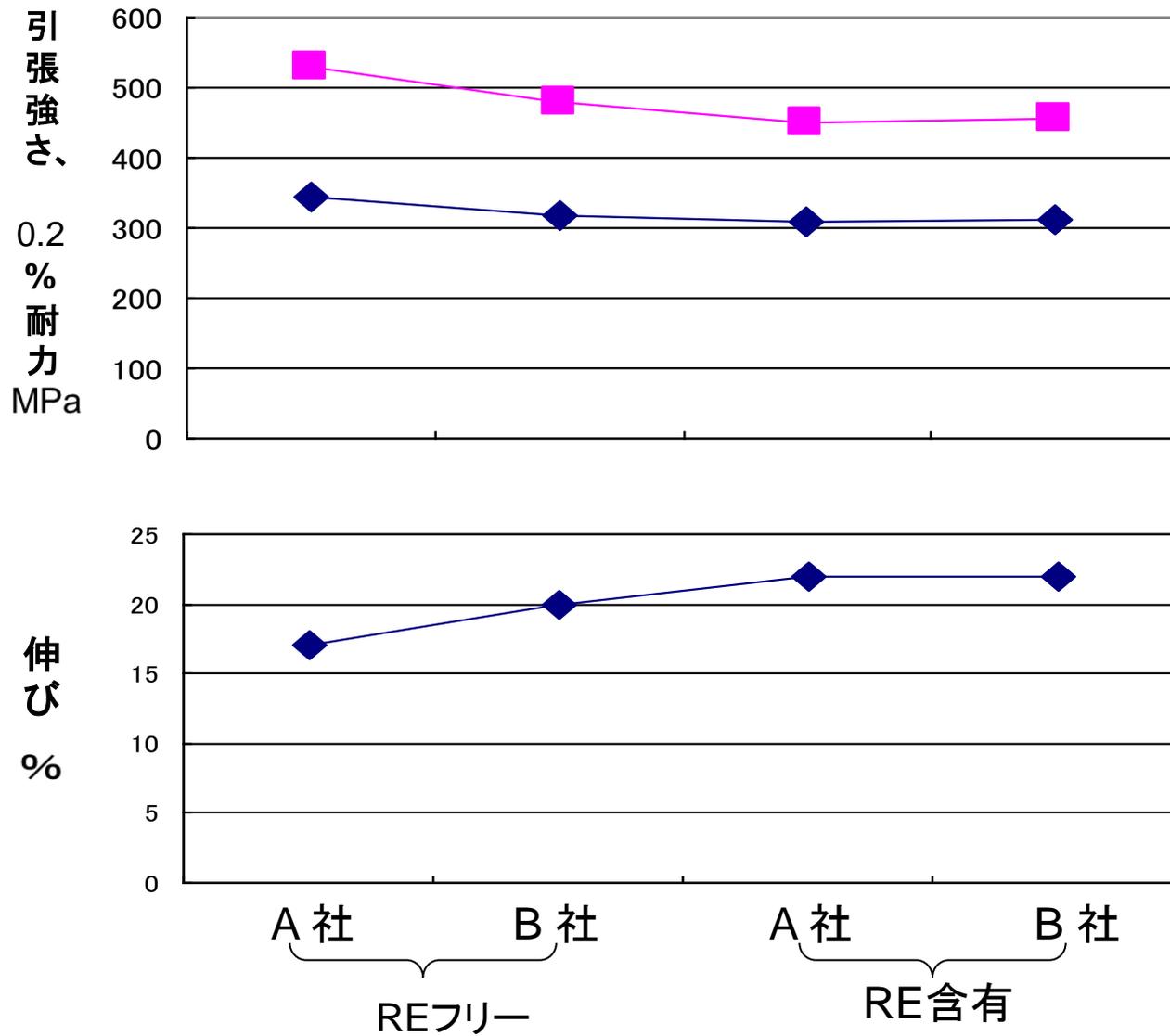


図 25mmYBにおける機械的性質の対比

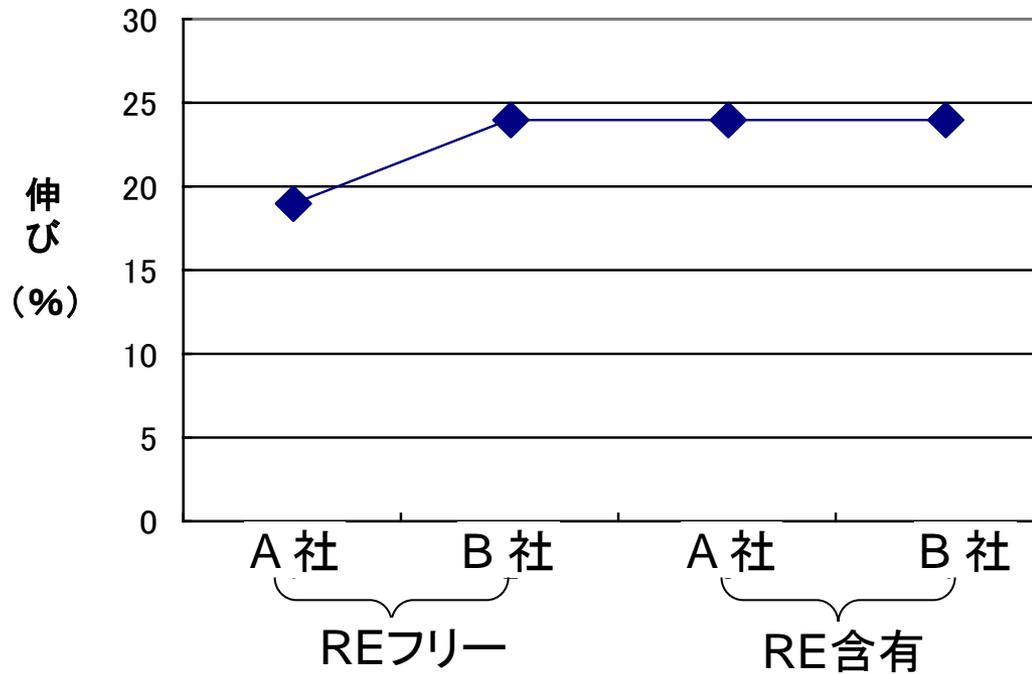
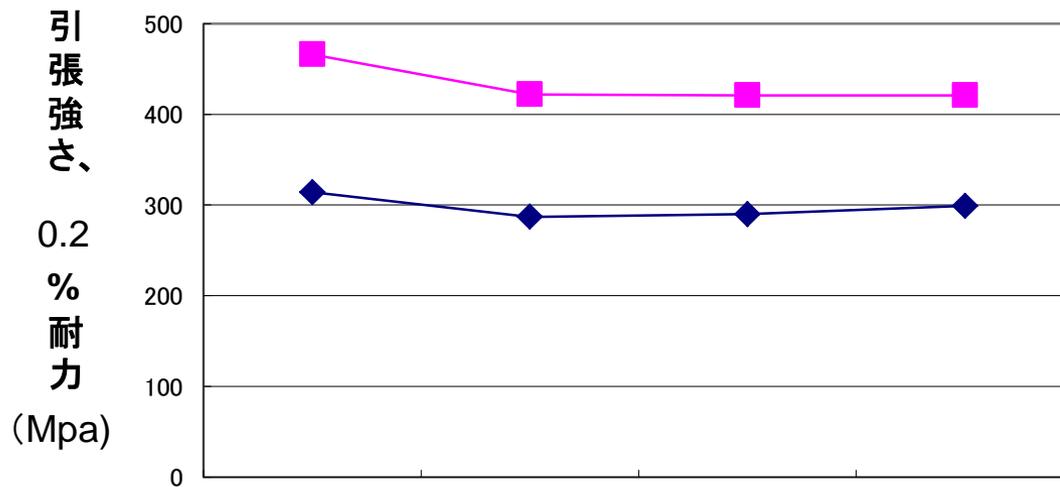
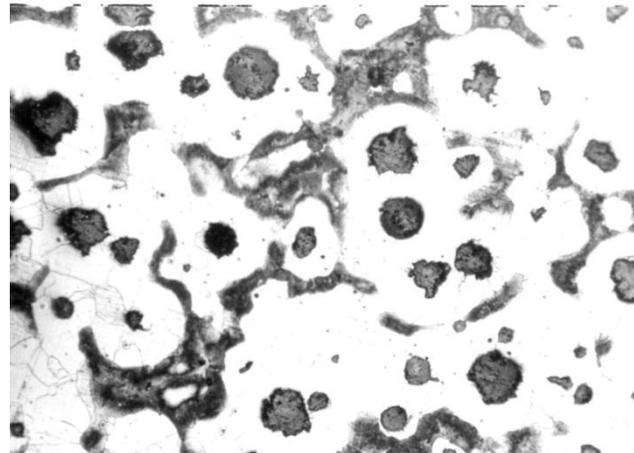
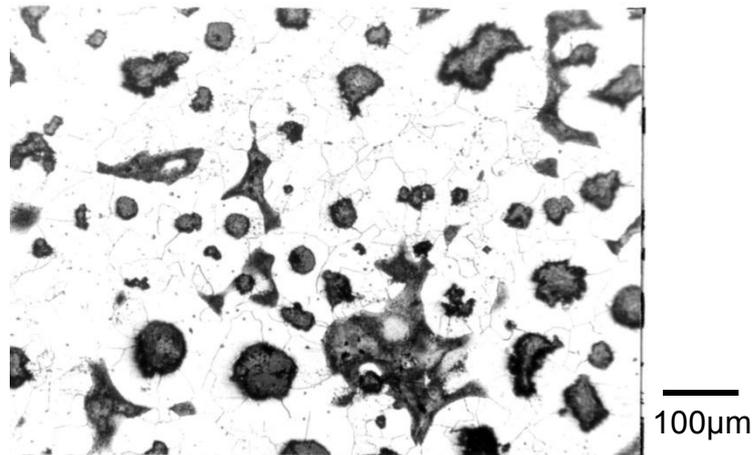
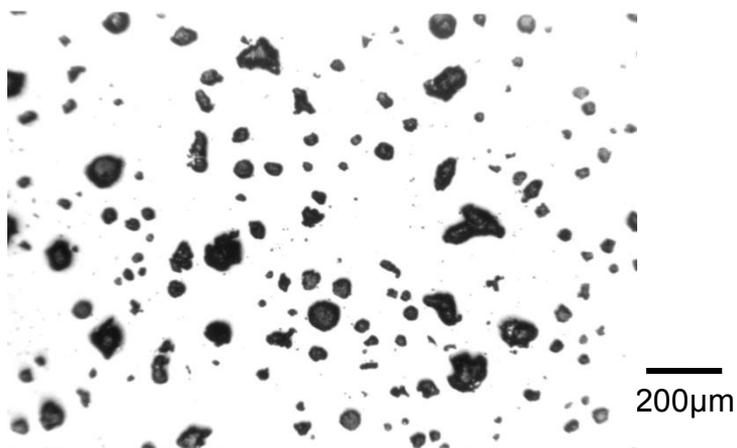


図 100mm YBにおける機械的性質の対比

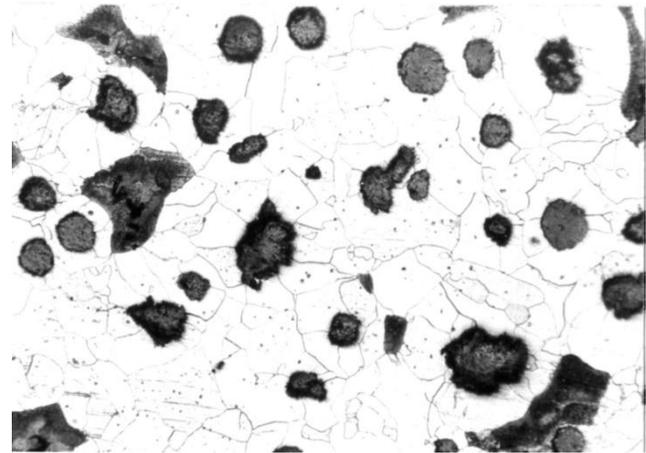
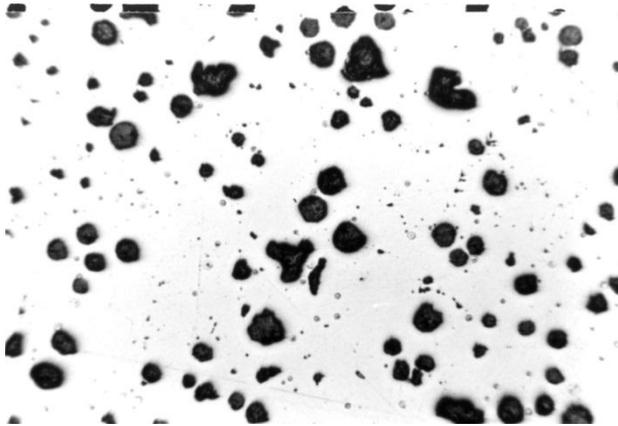


上段;REフリー (SG率93%、SG数67ヶ)

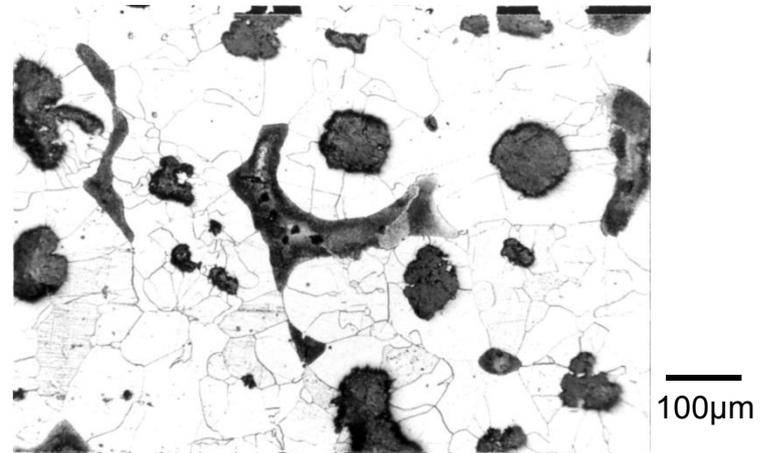
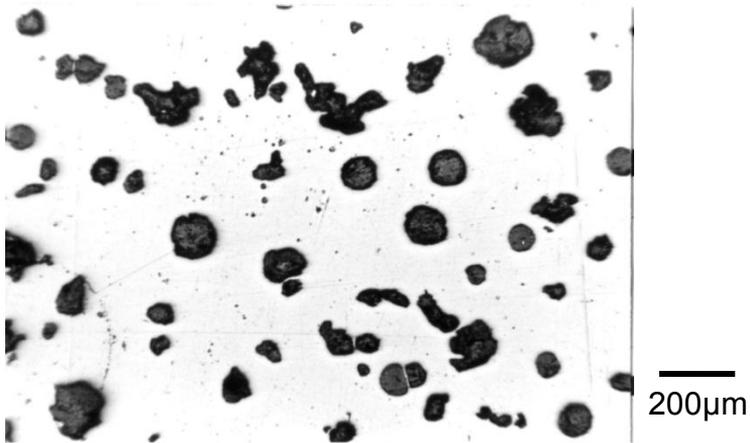


下段;RE含有 (SG率92%、SG数79ヶ)

図 B社の球状化剤による溶湯処理;25mmYBのミクロ組織(3%ナイトール腐食)



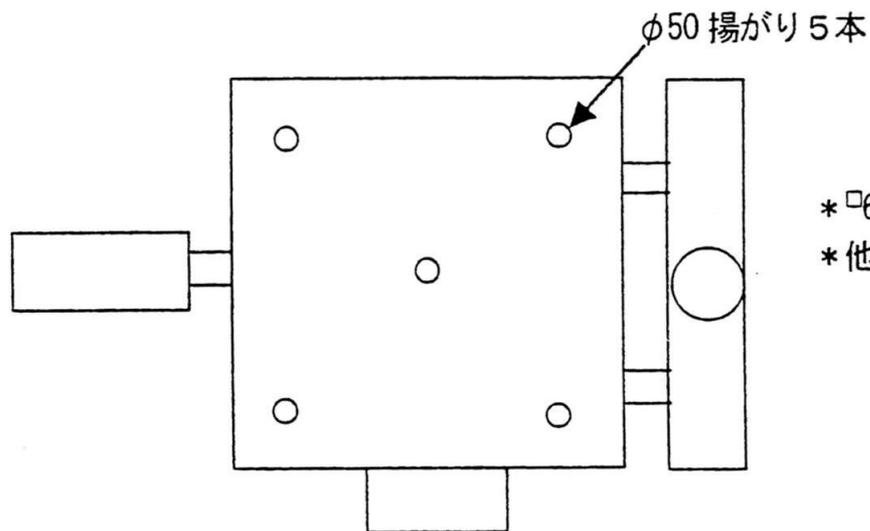
上段;REフリー (SG率95%、SG数59ヶ)



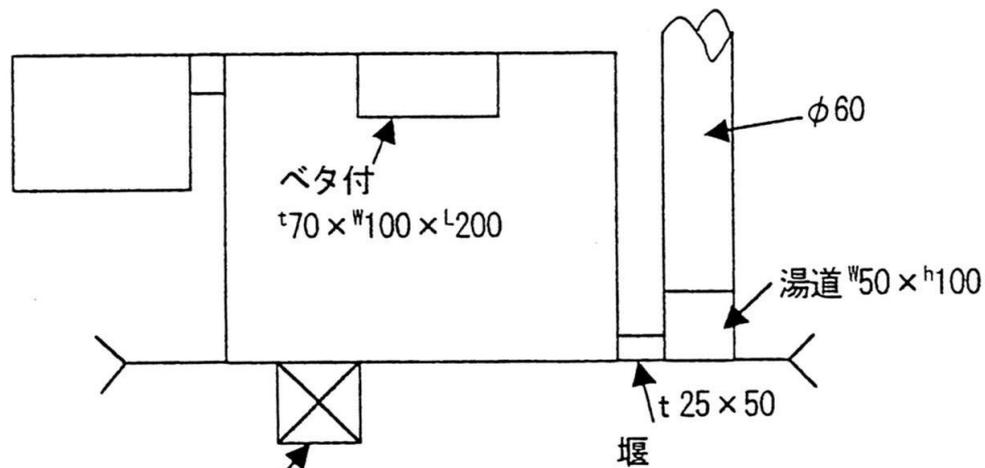
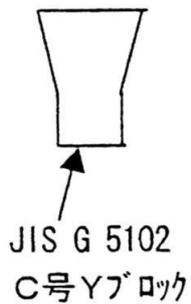
下段;RE含有 (SG率79%、SG数35ヶ)

図 B社の球状化剤による溶湯処理;100mmYBのミクロ組織(3%ナイトール腐食)

(1) □600立方体・・・3セット

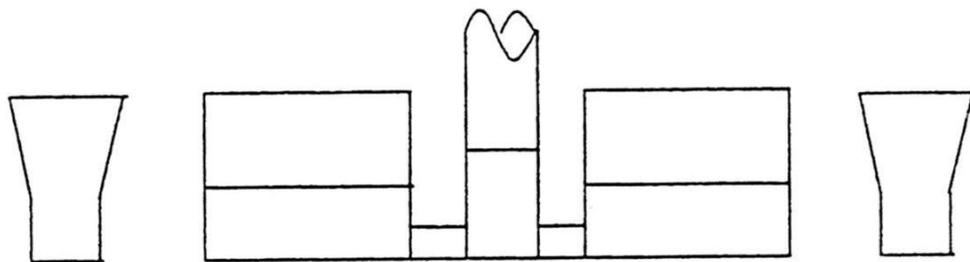
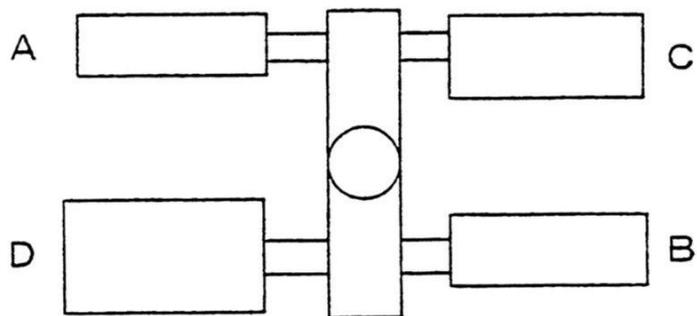


- * □600 在庫有
- * 他、新作要
- Yブロック・・・3ヶ
- ベタ付……………3ヶ



全面冷金；面積率 50%
体積率 60%

(2) JIS G 5102 A~D Yブロック.....3セット



*ポリ現新作要

A号.....3ヶ

B号.....3ヶ

C号.....3ヶ

D号.....3ヶ

表 REフリー球状化剤で処理する元湯の化学成分 (mass %)

五元素					合金元素				球状化元素			
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ca	Ce	T・Mg	F・Mg
3.39	1.41	0.34	0.044	0.018	0.02	0.02	0.06	0.00	0.0002	0.000	0.005	0.000

不純物元素									
Ti	V	Al	Sn	B	Sb	Zn	Pb	As	Bi
0.011	0.001	0.017	0.002	0.0014	0.0004	0.010	0.000	—	—

表 メーカー毎のREフリー球状化剤及び接種剤の化学成分

メーカー	合金	化学成分 (Mass %)						
		Mg	Ca	RE	Si	Al	Ba	Fe
T社	球	5.82	1.73	≤ 0.001	44.78	0.62	—	Bal.
	接	—	1.16	—	71.25	1.29	1.12	Bal.
D社	球	5.98	1.61	≤ 0.01	46.57	0.81	—	Bal.
	接	—	1.80	≤ 0.01	73.41	1.18	0.73	Bal.
O社	球	5.80	1.86	≤ 0.01	45.09	0.3~0.5	—	Bal.
	接	—	1.72	≤ 0.01	74.45	1.90	0.97	Bal.

表 REフリー球状化剤による溶湯処理～鑄込み結果

球状化剤 メーカー	出湯			添加率	Mg反応			Mg歩留 り (%)	鑄込み		
	出湯温 度 (°C)	LD/湯 量 (t/Kg)	時間 (s)	球/接 (%)	開始 (s)	持続 (s)	酸化煙		反応後 (min)	温度 (°C)	所要 (s)
T	1,417	5/2,500	≒30	1.3/0.2	10	106	黄煙、多い	56	≒5	1,333	123
D	1,420	5/2,500	≒30	1.3/0.2	5	97	白煙、比較的多い	60	≒7	1,323	113
O	1,420	5/2,500	≒30	1.3/0.2	5	120	白煙、少ない	71	≒5	1,321	101

表 REフリー球状化剤で処理した溶湯の化学成分

球状化剤 メーカー	化 学 成 分 (mass %)								
	五元素					球状化元素			
	C	Si	Mn	P	S	Ca	Ce	T・Mg	F・Mg
T	3.35	2.20	0.34	0.048	0.011	0.0006	0.000	0.043	0.042
D	3.39	2.34	0.33	0.047	0.008	0.0011	0.000	0.047	0.045
O	3.38	2.29	0.33	0.048	0.014	0.0058	0.000	0.054	0.050

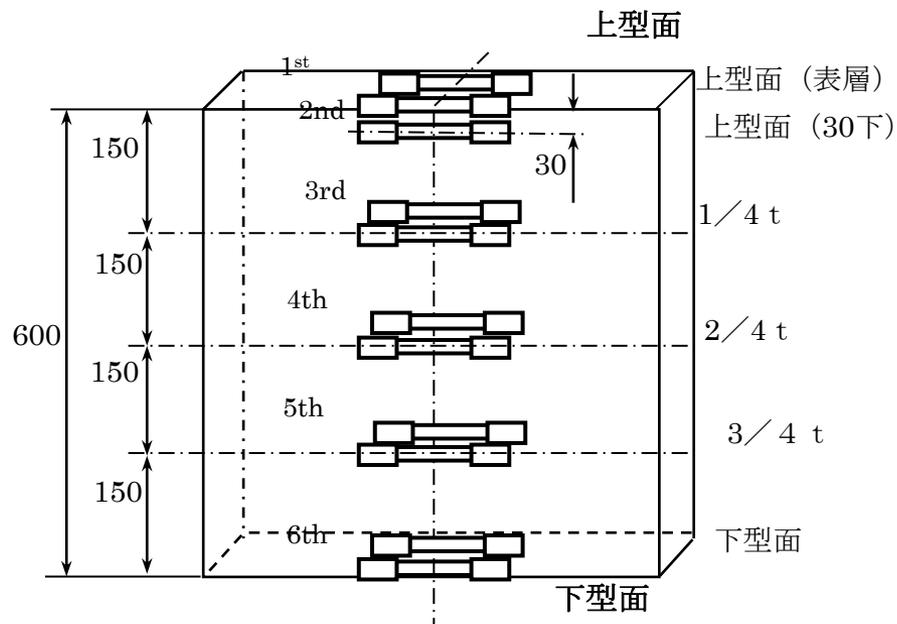
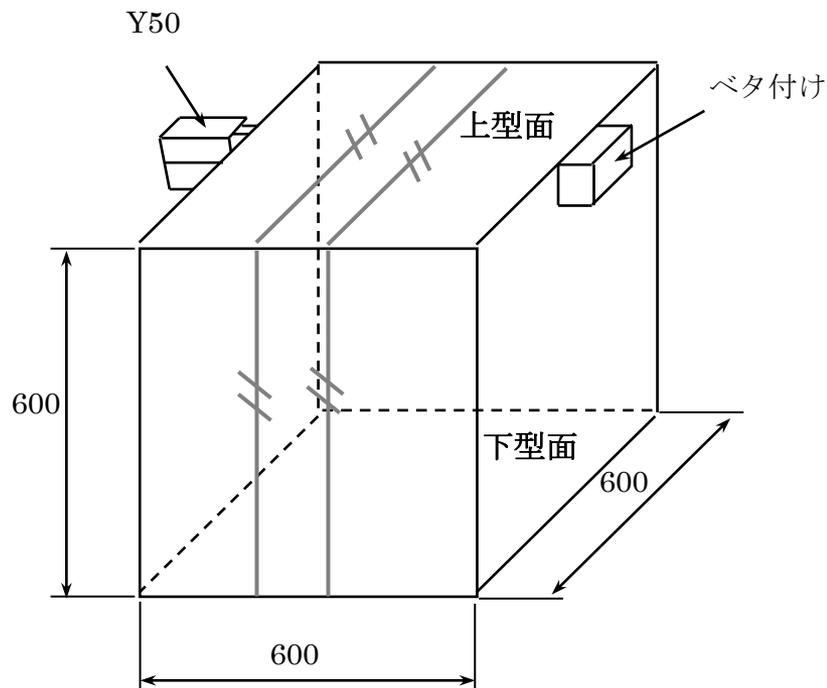
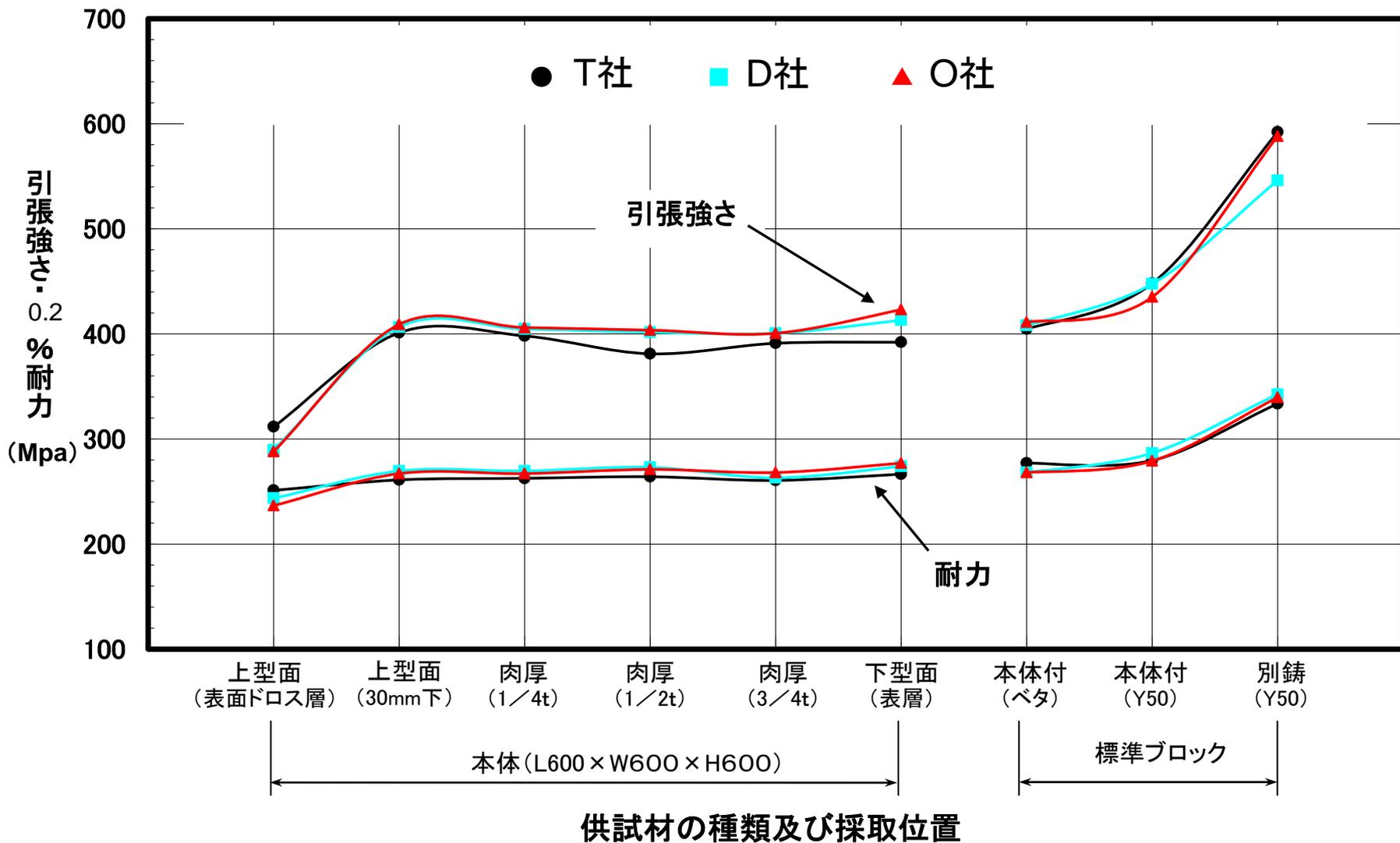
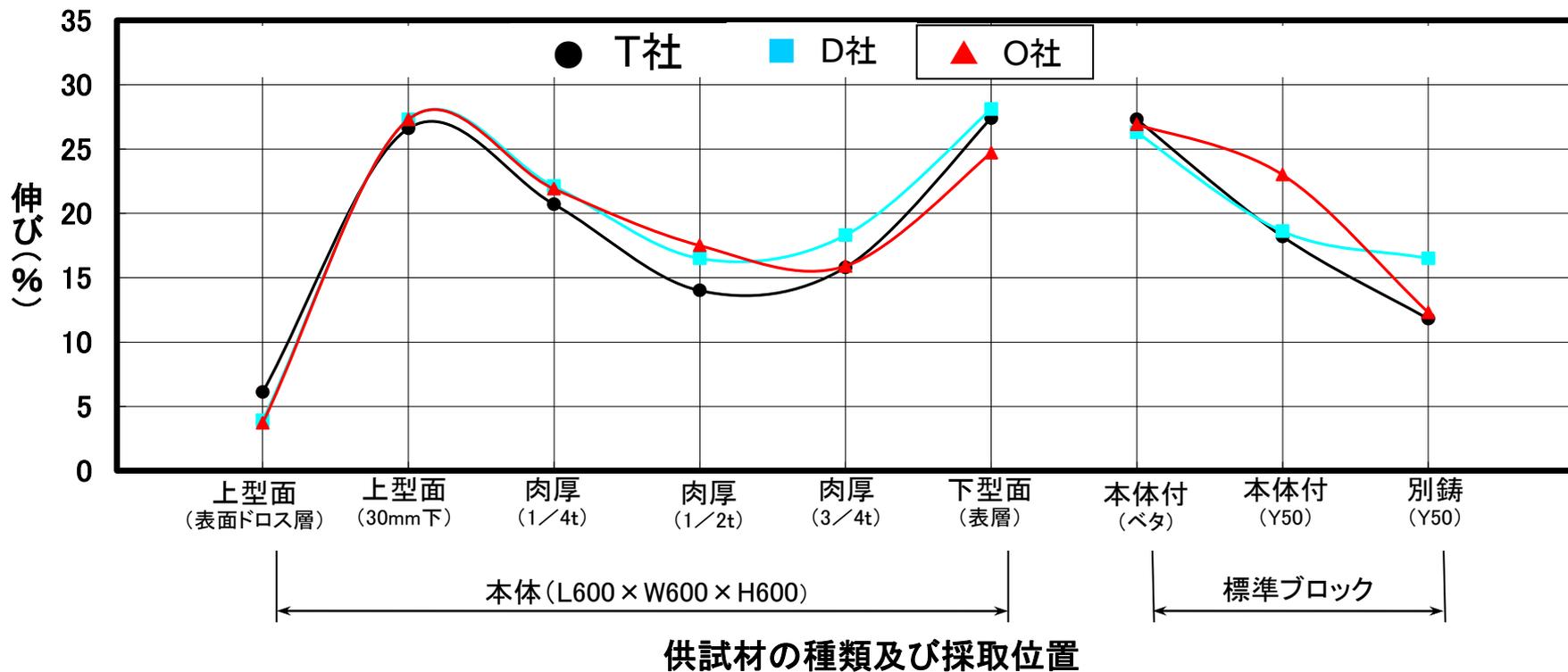


図 600mm立方体ブロックからの引張TP採取要領





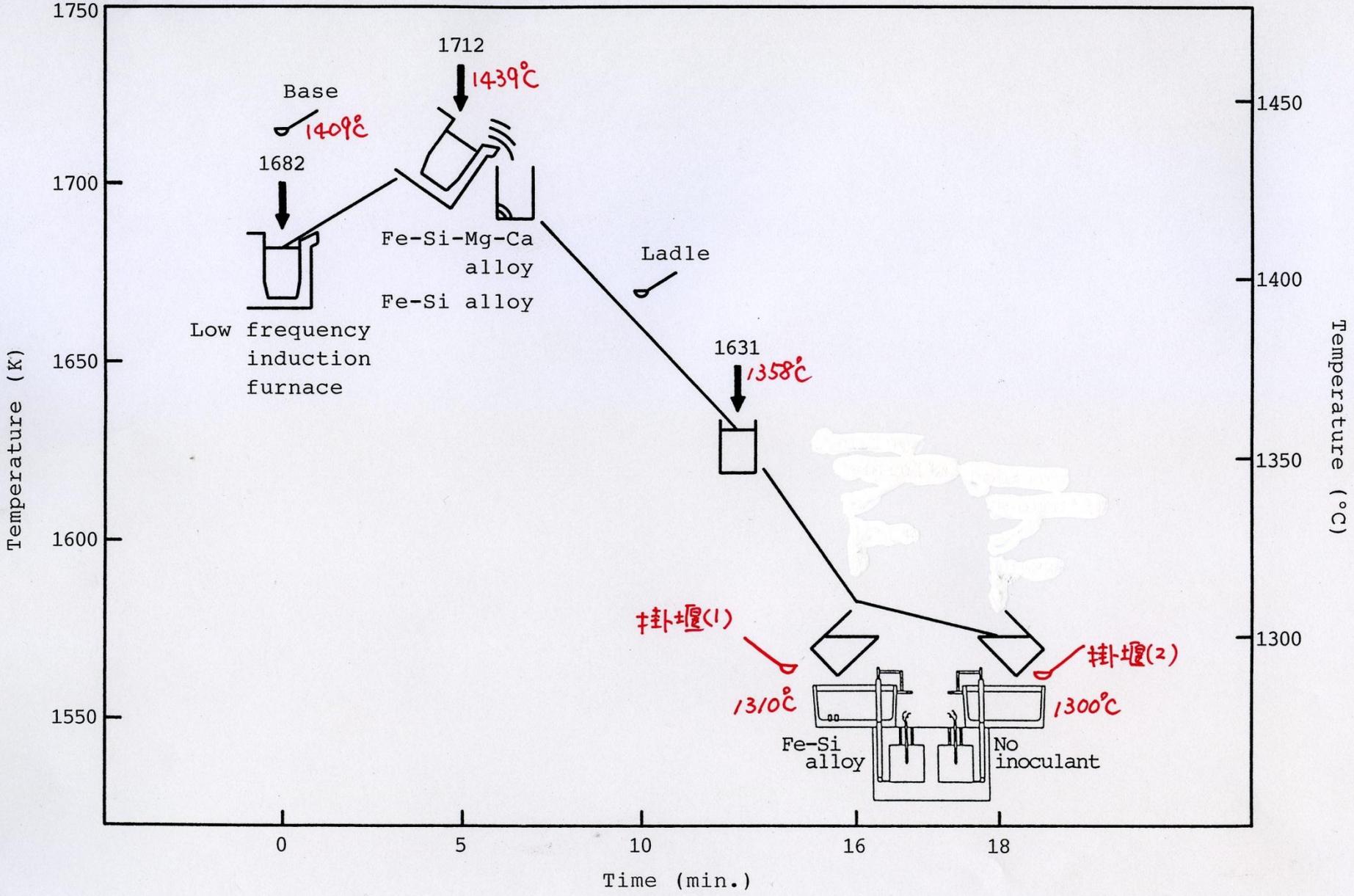
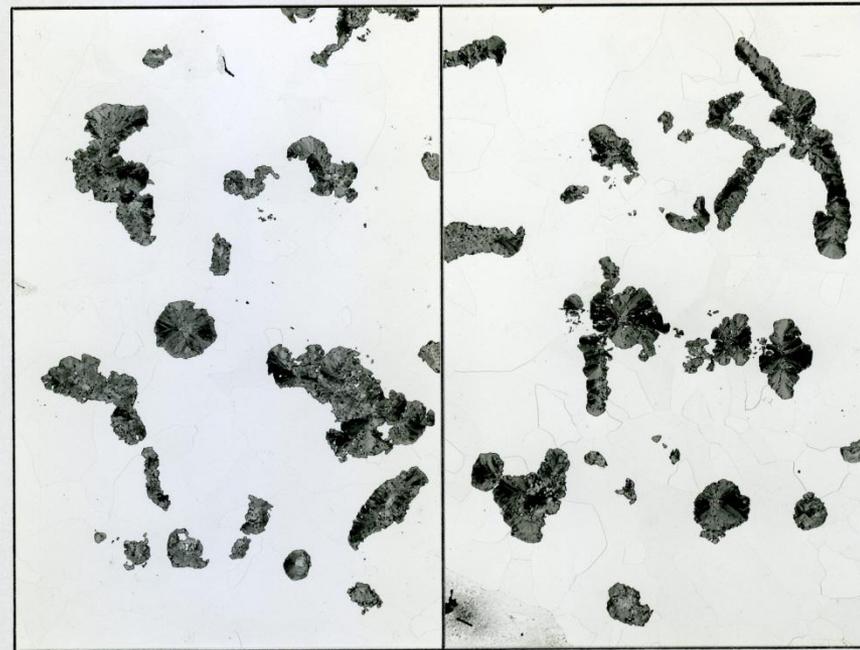


Fig. Transition of molten preparation for post inoculation



Post inoculation

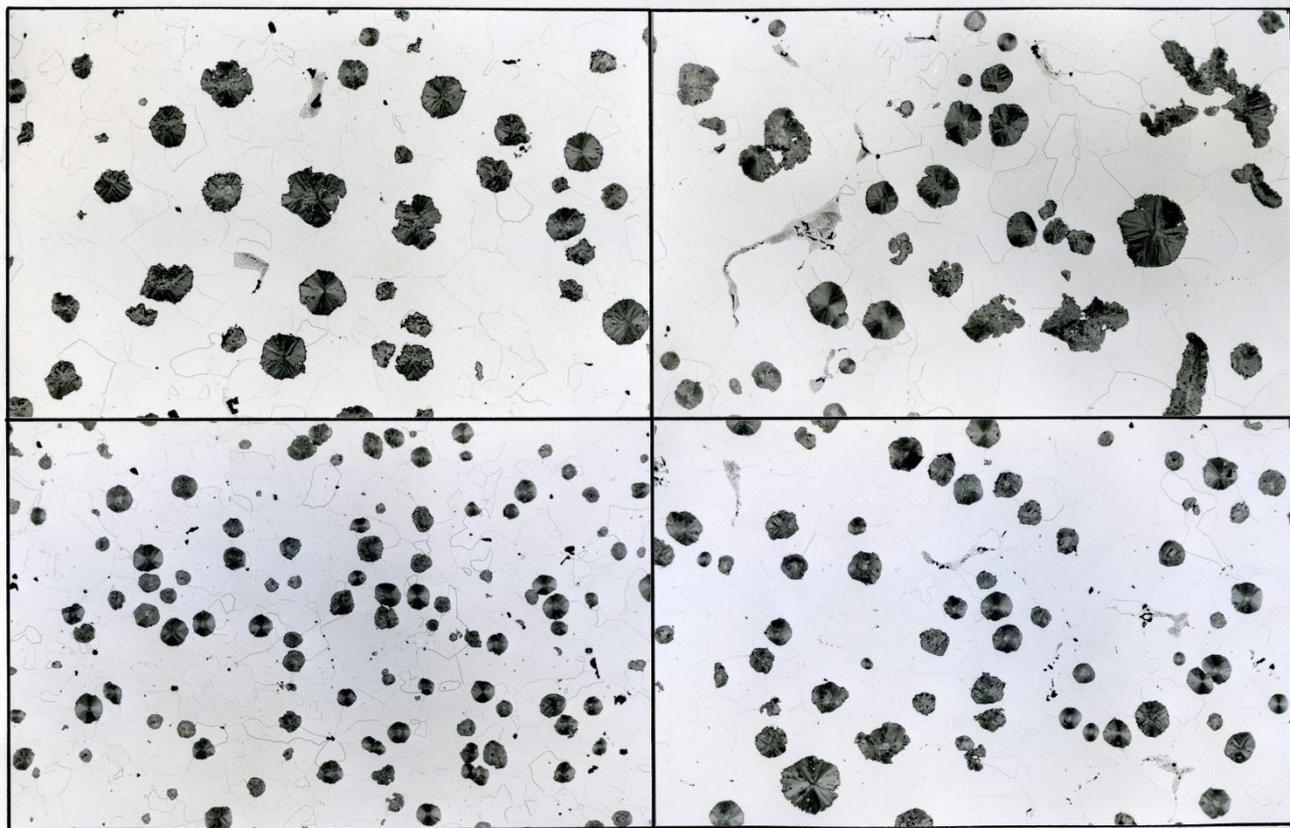
No inoculation

100 μm

図 600mm立方体中心のミクロ組織(冷し金無し)

中心

表層



200μm

2次接種有り

2次接種無し

図 600mm立方体中心のマイクロ組織(冷し金重量率40%)

まとめ

1. '80年代より現場に適用しているが、REフリーに起因の品質問題は、生じてない.
2. 厚肉では、むしろ高品質に繋がる.