

合金鑄鉄の製造

—溶解・溶湯処理—

2008年3月17日(月)
於:三重県科学技術振興センター

(株)宇部スチール 品質保証部
博士(工学) 糸藤 春喜

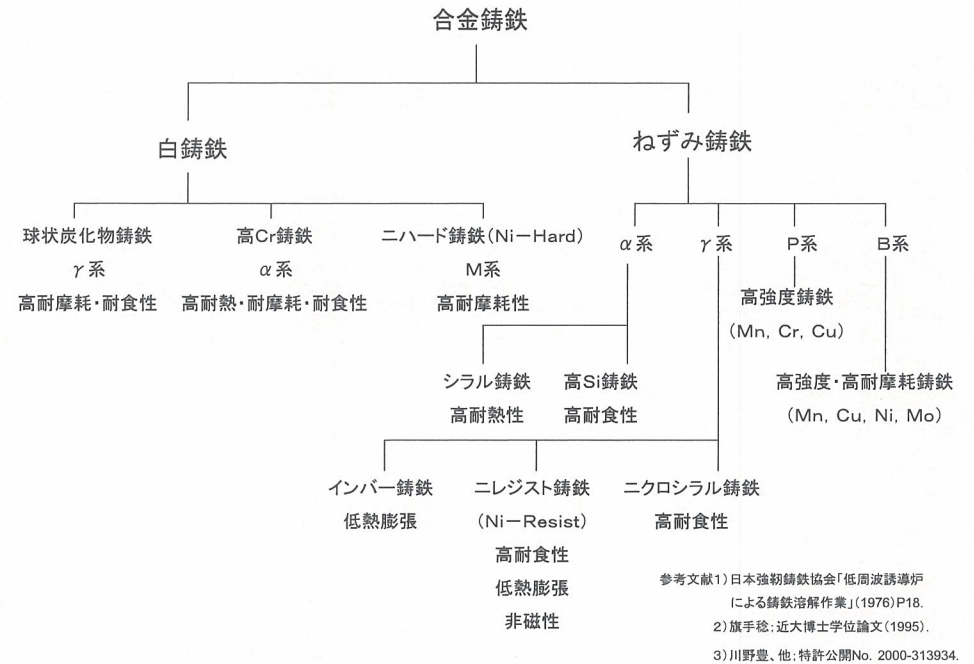


図 合金鑄鉄の分類

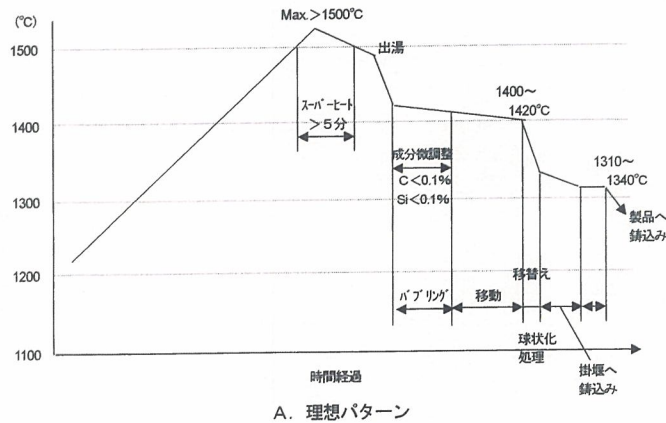


図 アーク炉におけるFCDの溶解・球状化処理・鑄込み

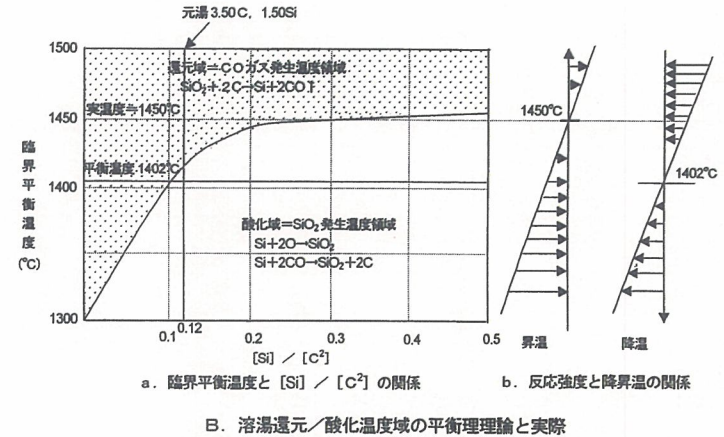
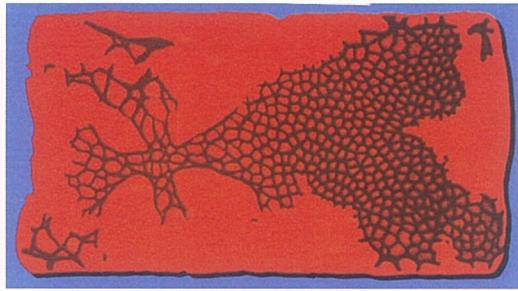


図 アーク炉におけるFCDの溶解・球状化処理・鑄込み標準



10mm

図 鑄鉄溶湯の湯面模様(3.20C, 1.88Si)

藤英章『湯面模様と鑄鉄溶湯の性状』
新日本鑄造協会(2001)表紙.

表 合金乾燥時の吸窒傾向 (mass ppm)

合金	購入形態	乾燥	
		電気炉 1273K×1h	灯油炉 993K×7h
HcFeMn	271	886	356
McFeMn	1320	10400	13000
LcFeMn	167	6970	6500
SLPFeMn	215	750	2700
SiMn袋	14	185	59
SiMn撒	17	624	135
HAIFeSi	1	7	1
LAIFeSi	1	1	1
HcFeCr	1090	9650	6300
LcFeCr	408	366	504
SiCr	662	4090	5660
LcFeMo	58	11800	13100
FeV2	417	551	18800
FeTi-1	1	12	11
FeB	7	16600	16100

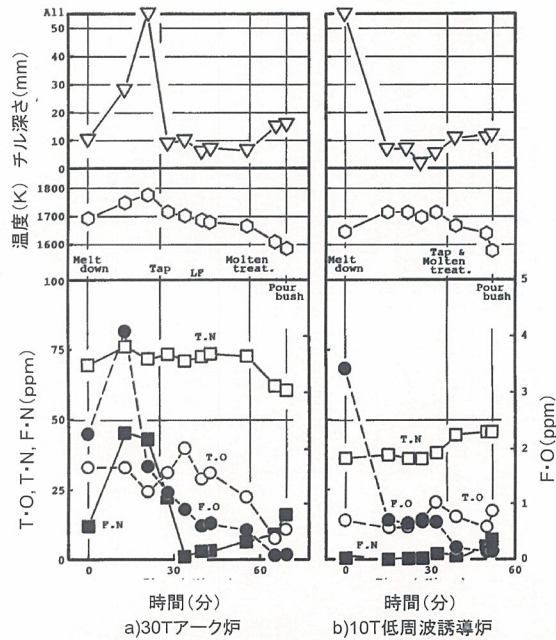
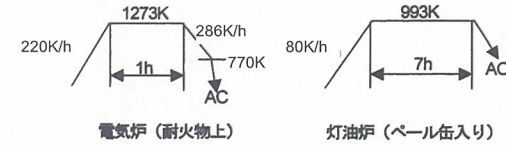
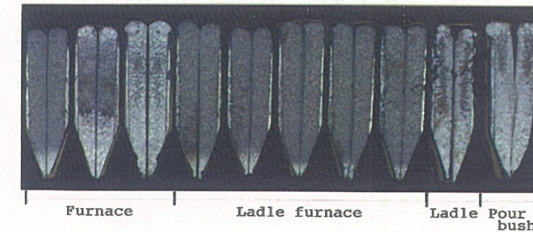
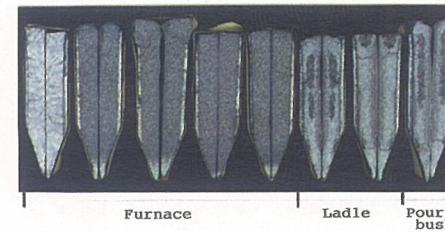


図 溶解～鑄込み工程におけるFCD450溶湯の性状変化



a) Arc furnace



b) Induction furnace

図 溶解～鑄込み工程におけるFCD450溶湯のチル深さ変化

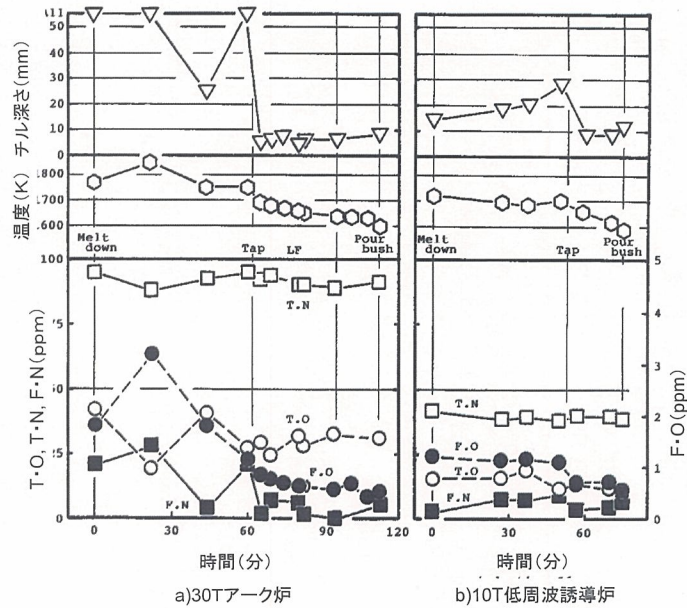


図 溶解～鑄込み工程におけるFC250溶湯の性状変化

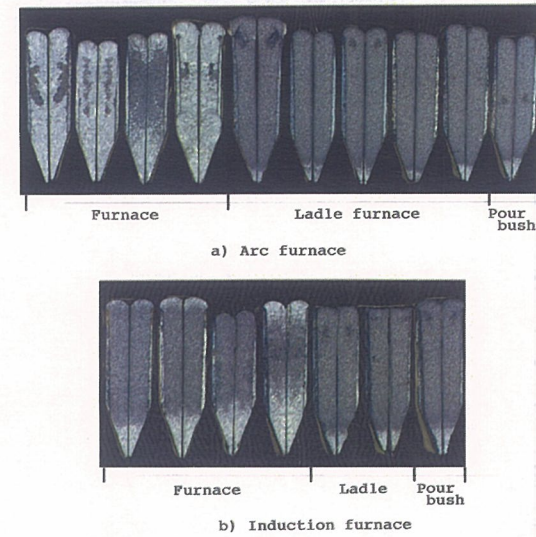


図 溶解～鑄込み工程におけるFC250溶湯のチル深さ変化

表1 FCDの材質記号と強度調整元素

別鑄込み供試材による場合		本体付供試材による場合	
FCD350-22	Si, Mn	FCD400-18A	Mn
FCD350-22L	Si, Mn, P	FCD400-18AL	Mn, P
FCD400-18	Mn	FCD400-15A	Mn
FCD400-18L	Mn, P	FCD500-7A	Mn, Cu
FCD400-15	Mn	FCD600-3A	
FCD450-10	Mn		
FCD500-7			
FCD600-3	Mn, Cu, Mo		
FCD700-2			
FCD800-2			

引用文献: JIS G 5502-01

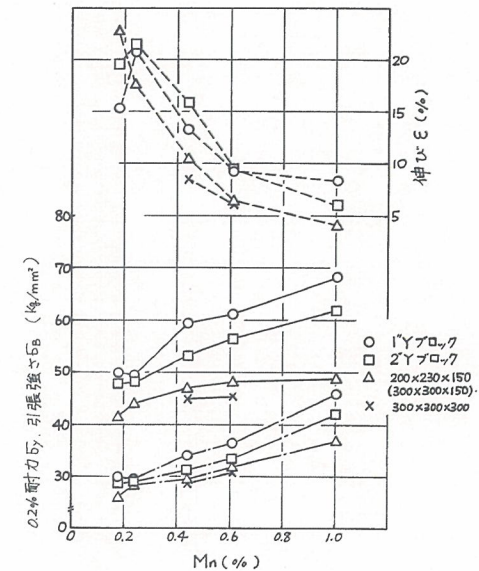


図 機械的性質に及ぼすMnの影響

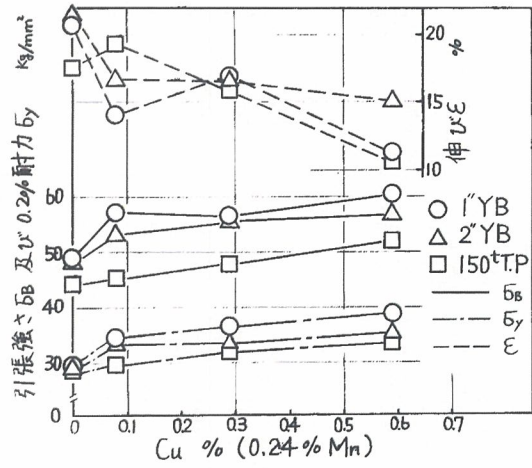


図 機械的性質に及ぼすCuの影響

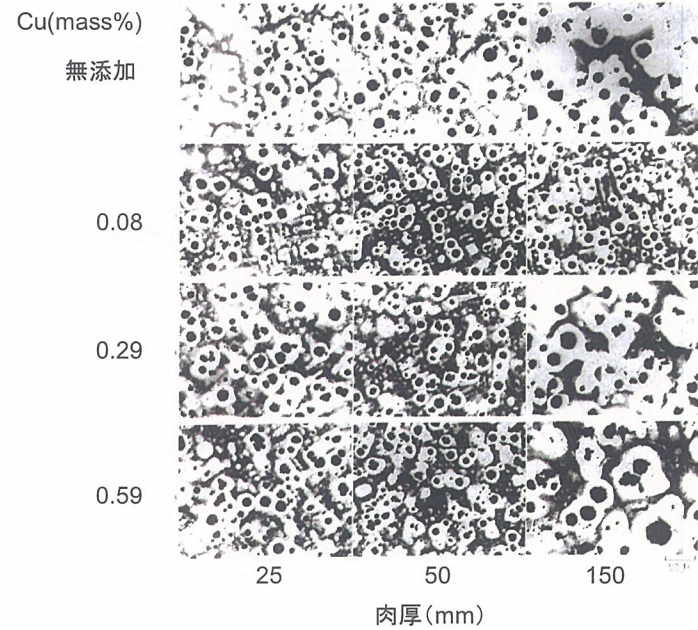


図 ミクロ組織に及ぼすCuと肉厚の効果

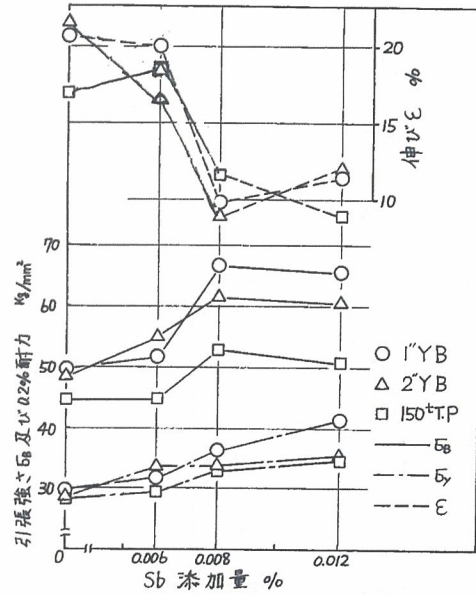


図 機械的性質に及ぼすSbの影響

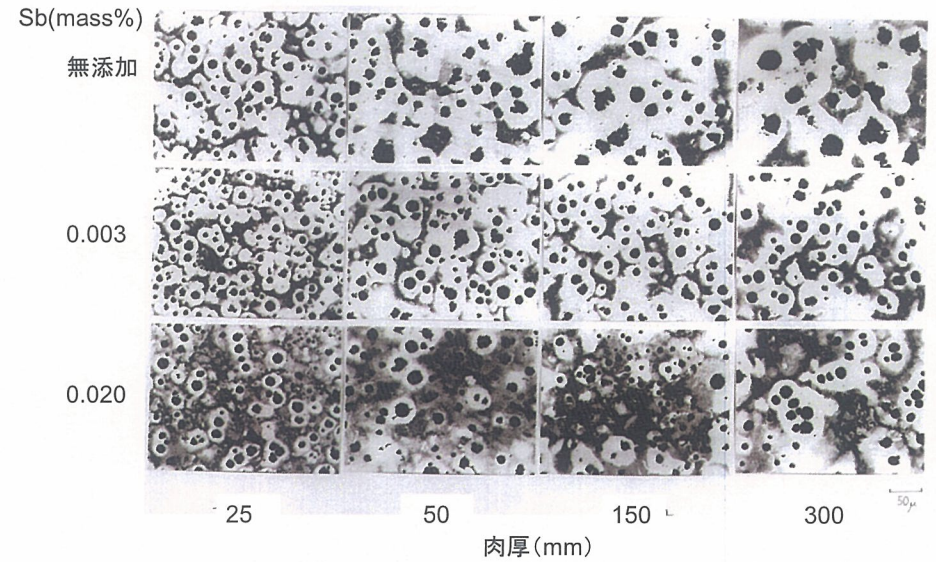


図 ミクロ組織に及ぼすSb添加量と肉厚の影響

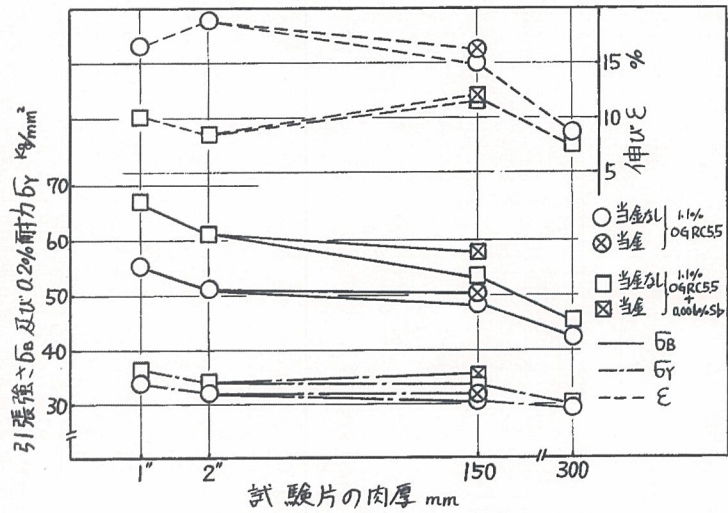


図 機械的性質に及ぼすSbと当金の影響

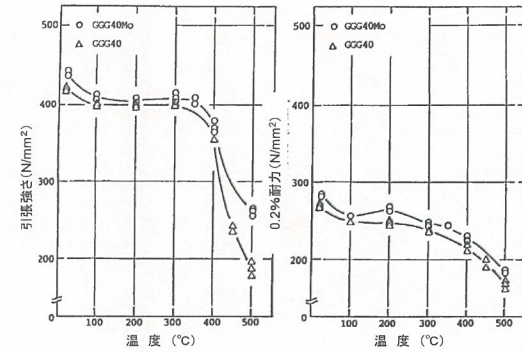


図 GGG40MoとGGG40の高温引張強さの比較

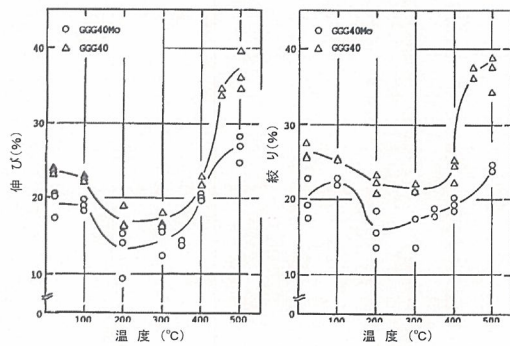


図 GGG40MoとGGG40の高温引張強さの比較

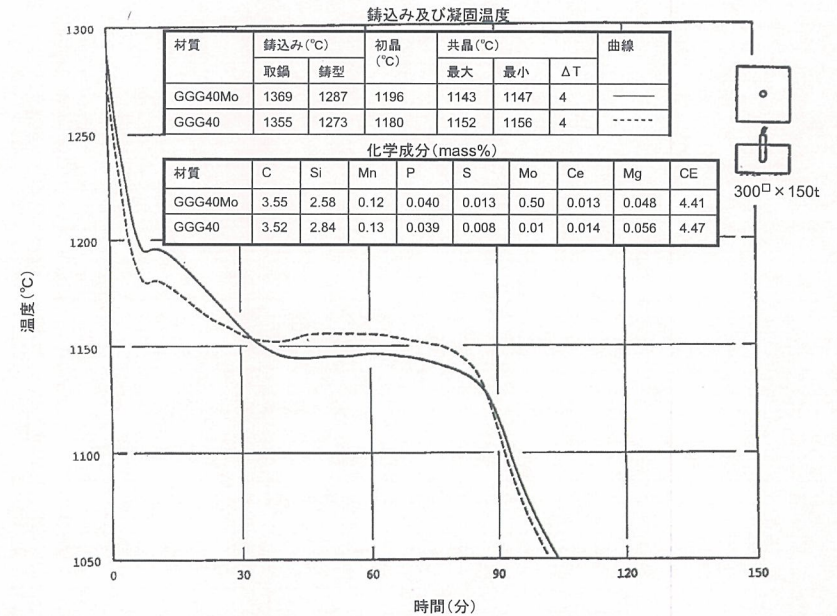


図 GGG40MoとGGG40の凝固冷却曲線の比較

表 ロッカーレバー本体の機械的性質(FCD600)

熱処理	供試材	引張特性			HB硬度 10/3000	
		0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)		
鑄放し	Yブロック*	B	452	666	5	218
		C	—	—	—	209
		D	333	592	12	216
		4in.	326	564	12	214
	本体	①	306	406	5	170
		②	299	414	6	169
③		300	415	5	161	
焼ならし	Yブロック*	B	—	—	—	279
		C	—	—	—	269
		D	427	789	6	263
		4in.	434	752	5	259
	本体	①	414	509	2	237
		②	408	516	2	239
③		427	619	3	236	

化学成分 (mass%); 3.35C, 2.25Si, 0.35Mn, 0.029P, 0.013S, 0.57Cu, 0.009Ce, 0.044T・Mg
*JIS G 5502別鑄込み供試材

製造条件

CH. No.: 40C/21-3
 添付品: 10石用湯釜
 添付品: OGRC-N, 1%添加
 焼入れ: Fe-75Si (カルバイド) 0.4%添加
 焼入れ: 浸漬式, 同時焼入れ
 焼入れ温度: 1320℃
 焼入れ時間: 53 sec
 冷却速度: 9 km
 焼入れ後: 235C, 2.25Si, 0.35Mn, 0.029P, 0.013S, 0.57Cu
 焼入れ後: 1, 2, 3, 4 in. Y-B

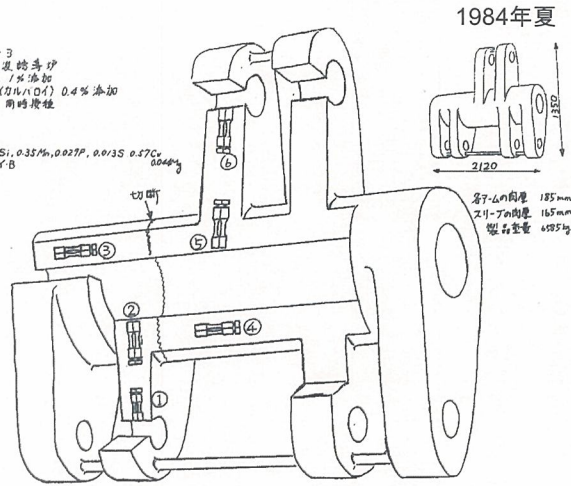


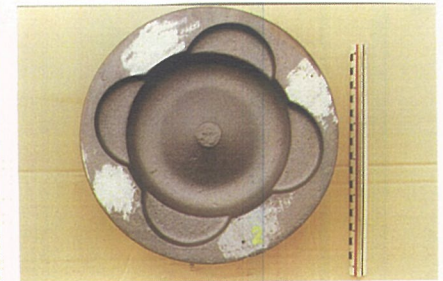
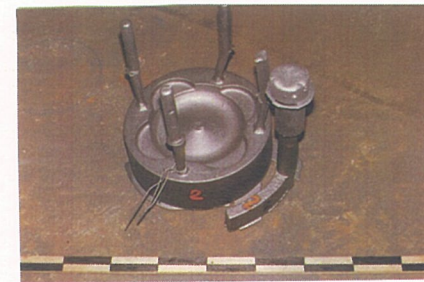
図 ロッカーレバーの概要及び試験位置

1997年10月28日

表 円筒状ロールの化学成分及び機械的性質(FCD600)

直径×長さ×肉厚 (mm)	化学成分(mass%)								降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %	絞り %	硬度	
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	T・Mg					HB (TP)	HS (実体)
φ1400×L2230×130	3.44	2.28	0.32	0.061	0.013	0.97	0.34	0.059	510	749	5	4	255	32
"	3.43	2.28	0.31	0.064	0.015	0.92	0.34	0.053	548	783	4	4	262	36
"	3.44	2.28	0.31	0.064	0.015	0.92	0.34	0.053	548	783	4	4	262	37
φ1320×L2230×135	3.51	2.30	0.36	0.046	0.012	1.05	0.38	0.044	625	742	5	6	241	31-32
"	3.44	2.38	0.39	0.054	0.010	1.02	0.33	0.041	516	762	7	6	255	31-32
"	3.51	2.41	0.32	0.051	0.011	1.12	0.34	0.062	497	724	5	4	248	32
"	3.55	2.38	0.31	0.052	0.008	0.97	0.34	0.052	554	790	5	4	248	32
"	3.50	2.36	0.33	0.051	0.012	0.98	0.34	0.051	625	781	4	4	255	35
"	3.48	2.40	0.34	0.066	0.013	1.03	0.35	0.051	574	803	5	4	255	35
φ1320×L2230×135	3.50	2.34	0.32	0.055	0.010	1.07	0.34	0.047	548	770	5	6	262	37
"	3.48	2.47	0.31	0.060	0.010	0.90	0.34	0.064	484	739	5	4	248	37
"	3.52	2.27	0.30	0.059	0.009	0.97	0.35	0.047	548	793	7	6	269	39

*引張、HB硬度の供試材は、同CH.別鑄込みのJIS G 5502, B号Yブロック。



RW : 38Kg
 揚がり : 4Kg
 湯道、他: 5Kg
 合計 : 47Kg
 歩留り : 78%

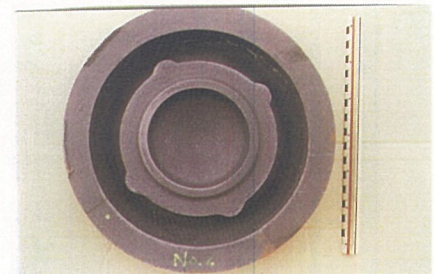


図 ピストン・クラウン(FCD600)

表 ピストン・クラウン及び供試材の化学成分 (FCD600)

mass%									
C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Ce	T・Mg	
3.67	2.61	0.21	0.029	0.011	1.08	0.31	0.017	0.046	

表 ピストン・クラウン用別鑄込み供試材の引張特性

試験片	供試材 JIS G 5502-01		引張特性				
			0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	破断位置
準JIS4号 (φ6mm)	B号Yブロック	1	423	649	11	7	A
		2	432	657	9	6	A
		3	429	656	9	5	A
		Ave.	428	654	10	6	—
	C号Yブロック	1	403	622	11	6	A
		2	422	639	8	4	A
		3	404	629	11	7	A
		Ave.	410	630	10	6	—
JIS4号 (φ14mm)	B号Yブロック	1	394	662	8	5	A
		2	399	657	10	9	A
		3	403	648	6	3	A
		Ave.	399	656	8	6	—
	C号Yブロック	1	393	618	6	4	A
		2	408	603	4	2	B(巢)
		3	395	622	8	5	A
		Ave.	399	614	6	4	—

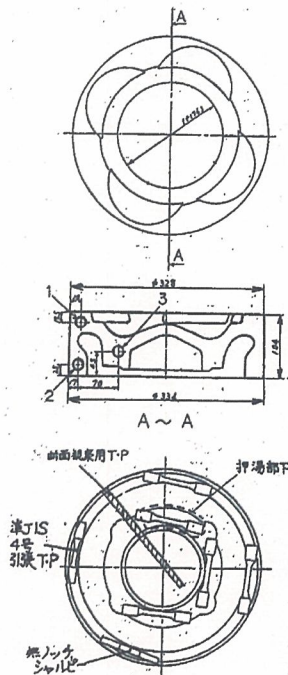


図 ピストン・クラウン本体からのTP採取位置

表 ピストン・クラウンの実体引張特性

供試材 No.	引張特性				
	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	破断位置
1-1	394	586	13	9	A
1-2	396	585	11	8	A
1-3	395	579	—	7	C
Ave.	395	583	12	8	—
2-1	407	596	13	8	A
2-2	391	563	12	8	A
2-3	388	558	17	12	A
Ave.	395	572	14	9	—
3-1	404	568	5	3	A
3-2	406	570	6	4	A
3-3	402	591	10	7	A
Ave.	404	576	7	5	—

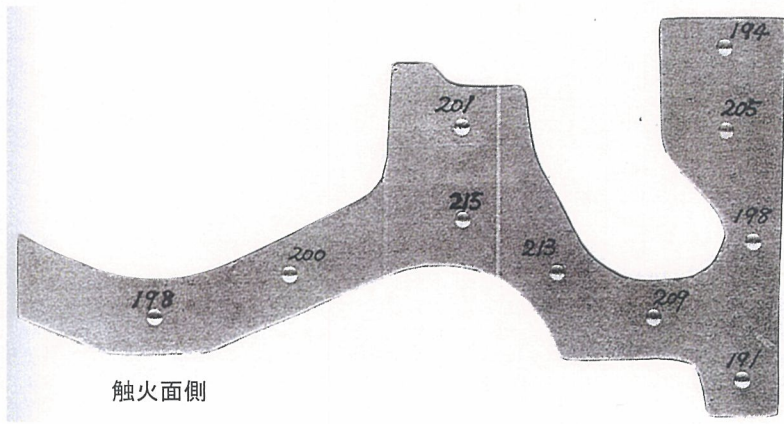


図 ピストン・クラウンの実体断面硬度[HB(10/3000)]

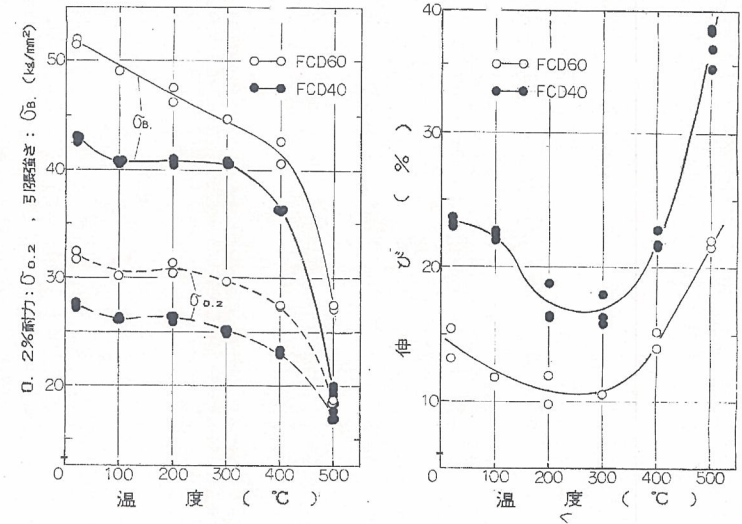


図 ピストン・クラウンの高温引張特性



RW : 62Kg
 揚がり : 6Kg
 湯道、他: 13Kg
 合計 : 81Kg
 歩留り : 77%

図 ピストン・スカート

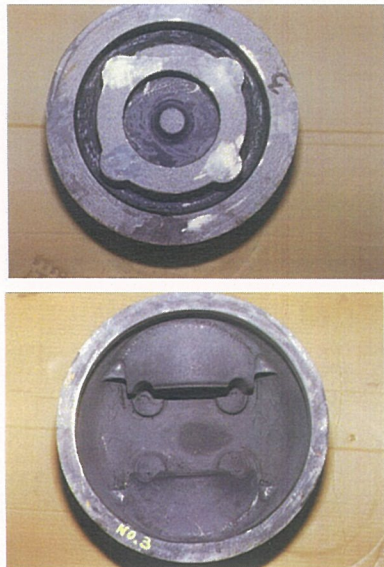
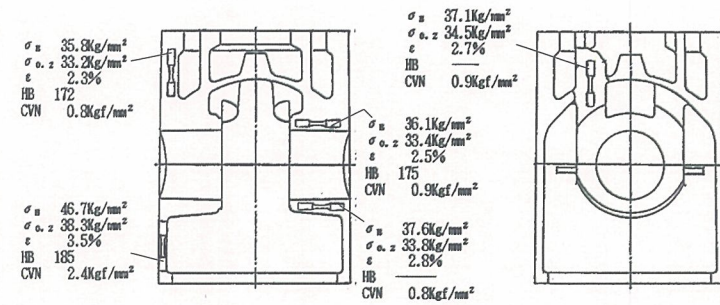


表 FCV45及びFC45の化学成分(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Ce
FCV45	3.75	2.39	0.21	0.037	0.011	1.17	—	—	0.30	0.029
FC45	3.34	1.45	0.70	0.028	0.083	1.21	0.35	0.71	0.34	—

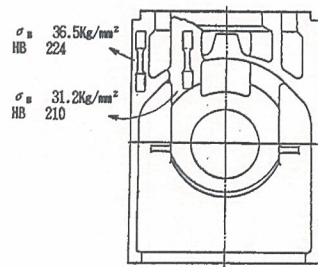
表 ピストン・スカート用別鑄込み供試材の機械的性質(FCV450)

試験片	供試材 JIS G 5502-01		引張特性				HB (10/3000)	CNN (J/cm ²)
			0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸 び (%)	破断位置		
準JIS4号 (φ6mm)	B号Yブロック	1	352	397	3	A	—	—
		2	346	397	3	A	—	—
		3	357	399	3	A	—	—
	Ave.	352	398	3	—	—	—	
	C号Yブロック	1	338	370	2	A	—	—
		2	341	373	2	A	—	—
3		346	377	—	C	—	—	
Ave.	342	373	2	—	—	—		
JIS4号 (φ14mm)	B号Yブロック	1	324	419	3	A	198	—
		2	334	426	3	A	197	—
		3	324	399	2	A	198	—
	Ave.	327	415	3	—	198	18	
	C号Yブロック	1	306	376	2	A	193	—
		2	315	385	2	A	195	—
3		309	319	1	A(巢)	184	—	
Ave.	310	360	2	—	191	8		



FCV45 (準JIS4号)

図 実体強度試験結果



FC45 (JIS8号)

図 実体強度試験結果

表 ピストン・スカートの実体機械的性質(FCV450)

供試材	引張特性				HB (10/3000)	CNN (J/cm ²)
	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸 び (%)	破断位置		
1-1	327	351	2	A	—	—
1-2	323	346	2	A	—	—
1-3	328	357	3	A	—	—
Ave.	326	351	2	—	172	8
2-1	334	370	3	A	—	—
2-2	339	353	2	A	—	—
2-3	342	370	—	C	—	—
Ave.	338	364	3	—	—	9
3-1	328	351	3	A	—	—
3-2	325	357	2	A	—	—
3-3	331	353	2	A	—	—
Ave.	328	354	2	—	175	9
4-1	326	370	4	A	—	—
4-2	335	370	2	A	—	—
4-3	332	366	2	A	—	—
Ave.	331	369	3	—	—	8
5-1	377	474	4	A	—	—
5-2	369	425	3	A	—	—
5-3	380	477	4	C	—	—
Ave.	375	459	4	—	185	24

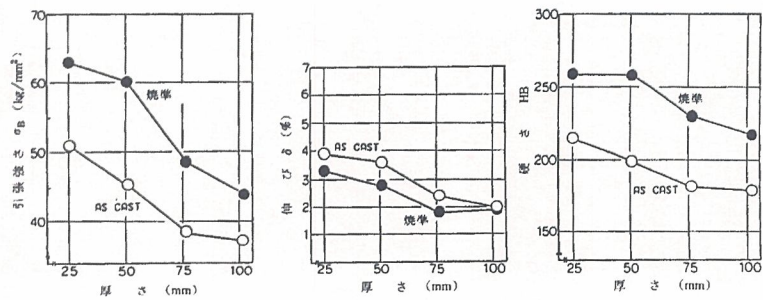
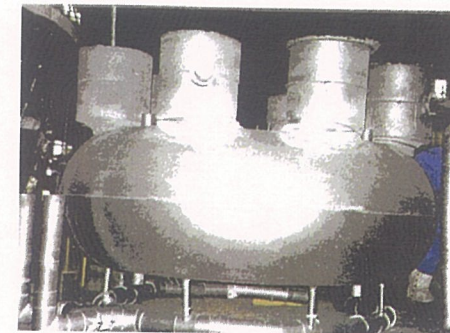


図 FCV60の引張特性の肉厚感受性

表 耐摩減用鑄鉄

種類	化学組成 (mass%)								シヨア硬さ Hs (鑄放し)	
	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Mo	V		
白鑄鉄	高炭素	3.2~3.8	0.4~0.8	0.3~0.7	<0.2	—	—	—	—	61~70
	低炭素	3.0~3.4	0.9~1.3	0.6~1.0	<0.2	—	—	—	—	55~66
ニハード		2.7~3.2	0.5	0.3~0.5	<0.4	3.0~5.0	1.5~2.0	—	—	67~76
		3.3~3.6	0.5~0.8	0.3~0.5	<0.4	2.5~4.5	1.5~2.0	—	—	70~78
12~18%クロム鑄鉄		3.0~4.0	0.4~1.0	0.5~0.9	<0.1	—	12~18	—	—	74~81
		3.0~4.0	0.4~1.0	0.5~0.9	<0.1	—	12~18	2~4	—	81~88
30%クロム鑄鉄		2.5~2.9	0.3~0.6	0.6~0.8	<0.1	—	28~33	—	—	48~61
球状炭化物鑄鉄		0.6~4.0	0.2~4.5	0.2~1.5	0.01~0.15	4~15	13~30	—	8~12	>38



RW : 5900Kg
 押湯 : 2690Kg
 湯道、他 : 610Kg
 合計 : 9200Kg
 歩留り : 64%

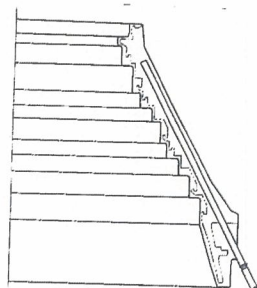
図 20Cr鑄鉄製タイヤの外観

表 20Cr鋳鉄の実体機械的性質

供試材		引張強さ (N/mm ²)	衝撃値 (J/cm ²)	ヤング率 (×10 ⁴ N/mm ²)	回転曲げ 疲労強度 (N/mm ²)	シヨア硬度 Hs
リブ部	内	383	4	—	22	83~88
	中	405	4		23	
	外	460	4		23	
リブ間	内	435	4	240	22	84~87
	中	420	4		20	
	外	462	4		22	
Yブロック (mm)	t20	872	6	—	—	—
	t127	601	4	—	—	—

実体概寸(mm) ; φ2100×H740, t127(芋虫状)

実体重量(kg) ;5900



形状・寸法: φ3100/2100×H1400mm

平均肉厚 :130mm

RW :4300Kg

実線 :鑄放し形状(鑄ぐるみ32本)

破線 :正加工形状

材質 :GGG-SiMo3.08

図 高シリコンFCD適用の厚肉ガスタービン部品

表 ニハード鋳鉄の実体機械的性質

供試材		引張強さ (N/mm ²)	衝撃値 (J/cm ²)	ヤング率 (×10 ⁴ N/mm ²)	回転曲げ 疲労強度 (N/mm ²)	シヨア硬度 Hs
リブ部	内	326	3	21	—	79~82
	中	337	3	19		
	外	291	3	21		
リブ間	内	354	4	21	235	78-84 (表面→内部)
	中	350	4	21		
	外	357	4	20		
Yブロック (mm)	t20	520	4	21	—	—
	t127	365	4	19	—	—

実体概寸(mm) ; φ2100×H740, t127(芋虫状)

実体重量(kg) ;5900

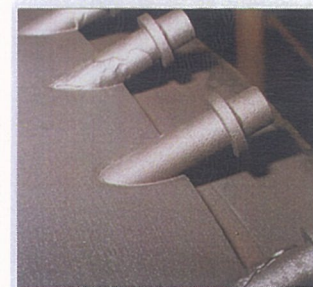
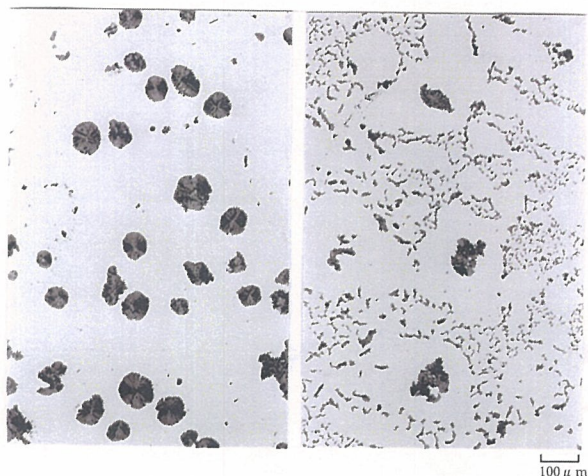


図 高シリコンFCDガスタービン部品の外観



球状黒鉛部(凝固制御)

チャンキ黒鉛部(非凝固制御)

図 t130mm厚肉供試材のマイクロ組織

表 本体付供試材(肉厚70mm)の引張特性

供試材No.	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
規格	≥350	≥490	≥8	≥8
1	357	507	20	20
2	420	547	19	20
3	363	505	18	14
4	366	521	18	18
5	342	500	17	17

表3 オーステナイト(γ)系球状黒鉛鑄鉄の化学成分

種類の記号	化学成分(mass%)					
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu
FCDA-NiMn 13 7	3.0以下	2.0~3.0	6.0~7.0	12.0~14.0	0.2以下	0.5以下
FCDA-NiCr 20 2	3.0以下	1.5~3.0	0.5~1.5	18.0~22.0	1.0~2.5	0.5以下
FCDA-NiCrNb 20 2	3.0以下	1.5~2.4	0.5~1.5	18.0~22.0	1.0~2.5	—
FCDA-NiCr 20 3	3.0以下	1.5~3.0	0.5~1.5	18.0~22.0	2.5~3.5	0.5以下
FCDA-NiSiCr 20 5 2	3.0以下	4.5~5.5	0.5~1.5	18.0~22.0	1.0~2.5	0.5以下
FCDA-Ni 22	3.0以下	1.0~3.0	1.5~2.5	21.0~24.0	0.5以下	0.5以下
FCDA-NiMn 23 4	2.6以下	1.5~2.5	4.0~4.5	22.0~24.0	0.2以下	0.5以下
FCDA-NiCr 30 1	2.6以下	1.5~3.0	0.5~1.5	28.0~32.0	1.0~1.5	0.5以下
FCDA-NiCr 30 3	2.6以下	1.5~3.0	0.5~1.5	28.0~32.0	2.5~3.5	0.5以下
FCDA-NiSiCr 30 5 2	2.6以下	4.0~6.0	0.5~1.5	29.0~32.0	1.5~2.5	—
FCDA-NiSiCr 30 5 5	2.6以下	5.0~6.0	0.5~1.5	28.0~32.0	4.5~5.5	0.5以下
FCDA-Ni 35	2.4以下	1.5~3.5	0.5~1.5	34.0~36.0	0.2以下	0.5以下
FCDA-NiCr 35 3	2.4以下	1.5~3.0	0.5~1.5	34.0~36.0	2.0~3.0	0.5以下
FCDA-NiSiCr 35 5 2	2.0以下	4.0~6.0	0.5~1.5	34.0~36.0	1.5~2.5	—

引用文献: JIS G 5510-99

表5 オーステナイト(γ)系球状黒鉛鑄鉄の機械的性質

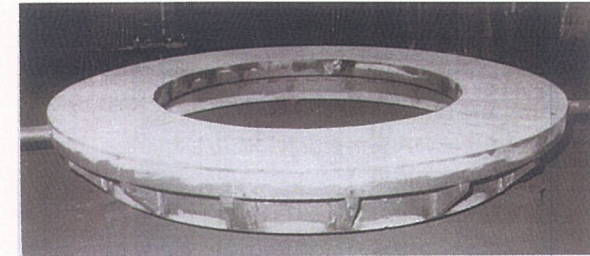
種類の記号	引張強さ N/mm ²	0.2%耐力 N/mm ²	伸び %	シャルピー吸収エネルギーJ 3個の衝撃試験の平均値	
				Vノッチ	Uノッチ
FCDA-NiMn 13 7	390以上	210以上	15以上	16以上	—
FCDA-NiCr 20 2	370以上	210以上	7以上	13以上	16以上
FCDA-NiCrNb 20 2	370以上	210以上	7以上	13以上	—
FCDA-NiCr 20 3	390以上	210以上	7以上	—	—
FCDA-NiSiCr 20 5 2	370以上	210以上	10以上	—	—
FCDA-Ni 22	370以上	170以上	20以上	20以上	24以上
FCDA-NiMn 23 4	440以上	210以上	25以上	24以上	28以上
FCDA-NiCr 30 1	370以上	210以上	13以上	—	—
FCDA-NiCr 30 3	370以上	210以上	7以上	—	—
FCDA-NiSiCr 30 5 2	380以上	210以上	10以上	—	—
FCDA-NiSiCr 30 5 5	390以上	240以上	—	—	—
FCDA-Ni 35	370以上	210以上	20以上	—	—
FCDA-NiCr 35 3	370以上	210以上	7以上	—	—
FCDA-NiSiCr 35 5 2	370以上	200以上	10以上	—	—

引用文献: JIS G 5510-99

表9 オーステナイト(γ)系球状黒鉛鑄鉄の物理的性質(参考)

	密度 Mg/m ³	線膨張係数 (20-200K) m/(m·k) × 10 ⁻⁶	熱伝導率 W/(m·K)	電気比抵抗 Ω・mm ² /m	透磁率 μ (H=8kA/m での値)
FCDA-NiMn 13 7	7.3	18.2	12.6	1.0	1.02
FCDA-NiCr 20 2	7.4	18.7	12.6	1.0	1.04
FCDA-NiCrNb 20 2	7.4	18.7	12.6	—	1.04
FCDA-NiCr 20 3	7.45	18.7	12.6	1.0	1.05
FCDA-NiSiCr 20 5 2	7.35	18.0	12.6	—	—
FCDA-Ni 22	7.4	18.4	12.6	1.0	1.02
FCDA-NiMn 23 4	7.45	14.7	12.6	—	1.02
FCDA-NiCr 30 1	7.45	12.6	12.6	—	—
FCDA-NiCr 30 3	7.45	12.6	12.6	—	—
FCDA-NiSiCr 30 5 2	7.45	15.1	12.6	—	—
FCDA-NiSiCr 30 5 5	7.45	14.4	12.6	—	—
FCDA-Ni 35	7.6	5.0	12.6	—	—
FCDA-NiCr 35 3	7.7	5.0	12.6	—	—
FCDA-NiSiCr 35 5 2	7.45	12.9	12.6	—	—

引用文献: JIS G 5510-87



主要肉厚: 130mm 鑄放し重量: 7000kg
歩留り : 74% 冷し金重量率: 26%

図3-2-1 オーステナイト系ステータ押え板(FCDA-NiMn13 7)

糸藤、清中; 鑄造工学、Vol.80
(2008)2、P113-119.

表3-2-1 オーステナイト系ステータ押え板(FCDA-NiMn13 7)
の機械・物理的性質(2点平均)

供試材	引張特性			硬度	比透磁率	吸収エネルギー	
	$\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	ϵ (%)	HB (10/3000)	μ (8 KA/m)	CVN ₂₀ (J)	
JIS G 5510-1999	≥210	≥390	≥15	130-170	≈ 1.02	>16	
実体付	鑄放し	244	358	6	165	1.20-1.60	17
	γ処理	278	568	38	164	1.01-1.02	36
トレパン*	鑄放し	215	315	14	132	1.02-1.05	—
	γ処理	259	484	23	162	1.01-1.02	—

*トレパリングドリルで採取した実体試験片

糸藤、清中; 鑄造工学、Vol.80
(2008)2、P113-119.

secondhp

UBE 株式会社宇部スチール

品質保証部 HARUKI ITOFUJI
博士(工学)糸藤 春喜 Doctor of Engineering
Tel : 0836-35-1320 Quality Assurance Dept.
Fax : 0836-35-1332 UBE UBE STEEL CO., LTD.
E-mail: h-itofuji@mx5.tiki.ne.jp

おいでませ! あなたのアクセスをお待ちしております。 Welcome! I am just waiting for your

06537

(Open on July 5, 2002 / Renewed News Jan.16, 2008)

1/1 ページ

■ ニュース News

■ 連載講座 Serial Lecture
チャンキイ黒鉛 Chunky Graphite

■ セオリー ダクタイル Theory Ductile

豊富な経験と球状化理論の融合により誕生!

■ 技術情報 Academic & Technical Information

■ 論文紹介 Papers on the Site Theory

■ サイト説 What's the Site Theory

■ ダクタイル入門 Entrance of Ductile Iron



■ Super Joule

カッタ君