

可鍛鑄鉄に及ぼす原材料の影響

山本真之助* 岩瀬昌徳** 正本進二郎***

Effect of Raw Materials Used in the Production of Malleable Iron

By Shinnosuke Yamamoto, Masayoshi Iwase and Shinjirō Masamoto
Tobata Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In the production of malleable irons, it has been observed that the quality and the quantity of pig iron added to the charging material and the method of melting have a major bearing on the quality of the product.

For the melting of the charging materials, the writers used various pig irons as addition such as charcoal pig, coke pig, electric furnace pig iron and cast irons which were melted repeatedly in an electric arc furnace from once to five times. From these heats they got test pieces of white cast iron by means of a high frequency electric furnace melting. And they researched into the annealability and the tensile strength of malleable irons using these white irons. As a result they got conclusions that follow:

- (1) By the use of high percentage of pig iron, which is considered to be of less high-temperature hysteresis character, the graphitization of white cast iron is accelerated, while with the decrease of the percentage of pig iron addition the graphitization becomes difficult.
- (2) The more times melting is repeated, which means much high-temperature hysteresis process, the more difficult becomes the graphitization.
- (3) The nitrogen content in white cast iron which is analysed by Kjehldahl method is closely connected with the above properties.

〔I〕 緒 言

黒心可鍛鑄鉄用の銑鉄としては本溪湖, 鞍山, 兼二浦等の大陸銑のみを専ら使用し, 永年に亘り均質優良なる製品を量産して来た。大陸銑の供給杜絶後は内地の高炉銑又は電気銑を使用しているが, 大陸銑と異り製造過程に於て種々の問題が起つて来た。これは可鍛鑄鉄の製造工程にのみ起る現象ではなく, 普通鑄鉄, 球状黒鉛鑄鉄の製造過程に於ても常に問題となつて種々議論されているのであるが, その本質に就いては未だ完全に解明されていない。

鑄鉄の Heredity なる現象に関する従来の研究を概観するとその主要点は銑鉄中の特殊微量元素の作用と非金属介在物, ガスの問題に帰せられると思う。特殊元素の影響に関しては非常に多くの研究があるが, その中で,

* ** *** 日立製作所戸畑工場

可鍛鑄鉄に関するものとしては菊田氏⁽¹⁾, 沢村氏⁽²⁾, Schwarz⁽³⁾ の報告等があつて, 黒鉛化に及ぼす影響を詳細に実験している。これらを纏めると各元素の黒鉛化に及ぼす影響は, 第1表の如くであつて常に念頭に置いておかねばならぬ問題である。

次に鑄鉄中のガスの挙動に就いてはガス成分を定量的に分析した報告が少いので未だ総合的な結論に達していない。第1表の Al, Si, Ti の如き黒鉛化促進元素⁽⁴⁾は強力な脱酸脱窒剤であるので, これらの元素によつて脱

第1表 各種元素の黒鉛化に及ぼす影響
Table 1. The Effect of Various Elements on the Graphitization

	強 ← 強 度 → 弱
黒鉛化促進元素	Al, Si, Ti, Trace B, Ni, Ca, Sb, Co, Cu, P, Zr
黒鉛化阻害元素	0.1% 以上の B, V, S, Cr, Sn, Zn, Mo, W, Mn

酸脱窒されて、黒鉛化が促進されるのであろうと推論されており、又本間氏⁽⁵⁾は酸素の作用に就いて広範囲な実験をされており、鑄鉄に及ぼす酸素の影響を強調されている。又宮下博士⁽⁶⁾はチルドロール製造の際に木炭鉄の優秀性を認め、この原因は窒素によるものであると報告している。

黒心可鍛鑄鉄用の熔湯としては、鑄造時には完全な白鉄となり、焼鈍工程に於ては黒鉛化が容易に進行することが必要であつて、この要求に合うような原材料の選択及び熔解方法の確立を計らねばならぬ。故に著者等は先づ最初に入手しうる範囲内の各種鉄鉄を用いて、実験的に可鍛鑄鉄用白鉄を熔解し、諸性質を測定し、鉄鉄の特性を判定する基準を求め、鑄鉄の Heredity に関する問題を可鍛鑄鉄製造の立場から追求せんと試みた次第である。

〔II〕 市販鉄の微量特殊元素に就いて

原料鉄の影響に就いて論ずる場合に、先づ第一にその鉄鉄中に含まれている微量元素に就いて調べておく必要がある。代表的市販鉄に就いて分析した結果は第 2 表に示す如くである。概して本邦の木炭鉄には、V, Cr, Mo の如き黒鉛化を阻害する元素が比較的多い。高炉鉄には Cu が最も多く、その平均値は 0.23% に達する。又 Ti

第 2 表 各種鉄鉄中の特殊元素
Table 2. Special Elements Included in Various Pig Irons

		化 学 成 分 (%)						
		Ti	Ni	Co	Cu	Mo	Cr	V
玉	鋼	0.017	Tr	0.005	0.006	Tr	Tr	0.040
木 炭 鉄	S 鉄 (1)	0.092	—	—	0.271	0.060	Tr	0.020
	S 鉄 (2)	0.011	Nil	0.010	0.011	0.001	Tr	Tr
	M 鉄 (1)	0.027	—	—	0.111	0.189	0.048	0.020
	M 鉄 (2)	0.036	0.033	0.006	0.032	0.002	0.011	0.106
	T 鉄 (1)	0.038	—	—	0.145	0.150	0.096	0.023
	T 鉄 (2)	0.182	Tr	0.006	0.012	0.001	0.016	0.281
大 陸 鉄	H 鉄 (1)	0.015	—	—	0.009	Tr	0.019	0.020
	H 鉄 (2)	0.064	0.008	0.003	0.005	0.005	0.005	0.003
	A 鉄 (1)	0.029	—	—	0.009	Tr	Tr	0.016
	A 鉄 (2)	0.006	0.016	0.015	0.204	0.020	0.008	0.010
高 炉 鉄	Y 鉄 (1)	0.091	—	—	0.437	0.039	0.067	0.033
	Y 鉄 (2)	0.047	0.052	0.011	0.234	0.001	0.010	0.011
	K 鉄 (1)	0.109	—	—	0.178	Tr	0.048	0.026
	K 鉄 (2)	0.042	0.010	0.011	0.228	0.004	Tr	0.024
	W 鉄 (1)	0.057	—	—	0.180	0.185	0.019	0.043
	W 鉄 (2)	0.015	0.015	0.003	0.094	0.004	0.015	0.036
電 気 鉄	N 鉄 (1)	0.143	—	—	0.349	0.018	0.013	0.013
	N 鉄 (2)	0.028	0.043	0.030	0.330	0.001	0.001	0.019
	K 鉄	0.013	—	—	0.280	Tr	Tr	0.025

も比較的多い。電気鉄に就いても同様で Cu が比較的多い。大陸鉄のみは、これらの特殊元素は非常に少く、純度の良いことが分る。鉄鉄中の微量元素は製鉄原料によるものであつて、これが鑄鉄の性質を左右する一要因となりうる。可鍛鑄鉄を製造する場合に、V, Cr は 0.05% 以下に抑えなければ黒鉛化が遅くなることは衆知の事実であつて、この点よりみて木炭鉄には不適なものがある。Cu は僅かに黒鉛化を促進する元素であるが、その作用は⁽⁷⁾ Si の 1/10 位であつて高炉鉄電気鉄の含有量からみて、可鍛鑄鉄製造の場合に特に問題となるとも考えられない。

しかし乍ら、キュポラと電気炉を併用する二重熔解法で可鍛鑄鉄を製造する際に、大陸鉄を使用した場合と内地鉄を使用した場合とを比較すると、その黒鉛化速度及び抗張力等に相当の差があることが知られている。例えば、第 3 表に示す材料を使用して熔解し、焼鈍後の抗張試験を行うと、第 4 表の如き結果を得た。この平均値の差の検定を行うと、抗張力、延伸率共に差のあることが認められ、大陸鉄を使用した場合の方が抗張力、延伸率共に良好であることがはつきりしている。これは鉄鉄中の微量元素だけを考慮して解決される問題ではなく、何かもつと本質的な原因を含んでいることを示すものである。

第 3 表 使用材料の分析値及び配合割合
Table 3. Analysed Value and the Rate of Mixture of Materials Used

	化 学 成 分						配合割合 (%)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	
A 鉄 (A)	3.80	2.09	0.64	0.161	0.069	Tr	45.9
A 鉄 (B)	3.65	2.07	0.64	0.161	0.049	Tr	
N 鉄	3.47	3.29	0.55	0.166	0.004	Tr	34.6

第 4 表 抗張試験結果
Table 4. Results of Tensile Strength Test

大陸鉄を使用したとき		内地鉄を使用したとき	
抗張力 (kg/mm ²)	延伸率 (%)	抗張力 (kg/mm ²)	延伸率 (%)
38.4	12.0	32.4	6.5
35.1	12.5	34.9	7.5
38.0	9.0	36.1	11.5
36.4	10.0	33.2	8.0
35.4	14.0	34.3	10.0
36.5	11.0	36.0	11.0
36.6	10.5	37.4	12.5
39.7	10.5	37.1	12.5

〔III〕 原料鉄の影響に就いて

(1) 実験の方法

第5表 原料鉄の種類及びその化学成分
Table 5. The Kind and Chemical Composition of Raw Material Irons

銘柄	化学成分 (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
S 木炭鉄 (A)	4.40	1.08	0.57	0.048	0.016	Tr
S 木炭鉄 (L)	3.95	1.62	0.48	0.046	0.013	Tr
T 木炭鉄	3.55	2.28	0.043	0.216	0.011	0.009
A 高炉鉄 (B)	3.41	3.72	0.68	0.140	0.080	0.014
A 高炉鉄 (D)	3.40	1.52	0.30	0.144	0.098	0.009
H 高炉鉄	3.98	2.02	0.77	0.086	0.036	0.017
Y 高炉鉄	4.00	2.34	0.75	0.132	0.022	0.017
K 高炉鉄 (B)	3.90	2.50	0.69	0.198	0.033	0.043
K 高炉鉄 (C)	4.00	2.46	0.34	0.209	0.030	0.030
N 電気鉄 (A)	2.60	1.94	0.58	0.065	0.250	Tr
N 電気鉄 (B)	2.80	3.84	0.79	0.236	0.380	0.017
Y 電気鉄	3.10	1.70	0.45	0.052	0.082	0.031
白鉄戻し	2.56	1.25	0.40	0.131	0.086	0.022

従来より木炭鉄, 高炉鉄, 電気鉄ではその性質が異ると報告されているので, これらの各種鉄鉄を使用したか, [II]で述べたように特殊元素を多量に含んでいるために, これの影響を考慮せねばならぬような鉄鉄は除外し, 第5表に示す8種類の鉄鉄を採用した。可鍛鑄鉄を製造する場合には, 必ず戻し屑を50~60%使用し, これに新鉄及び鋼屑を配合するのであるから, 新鉄の配合割合をどの程度にするかは大きな問題である。故に試料を作製するには, 新鉄及び戻し屑の配合割合を第6表の如く3種類にかえて実験した。試料の溶解には35kVA

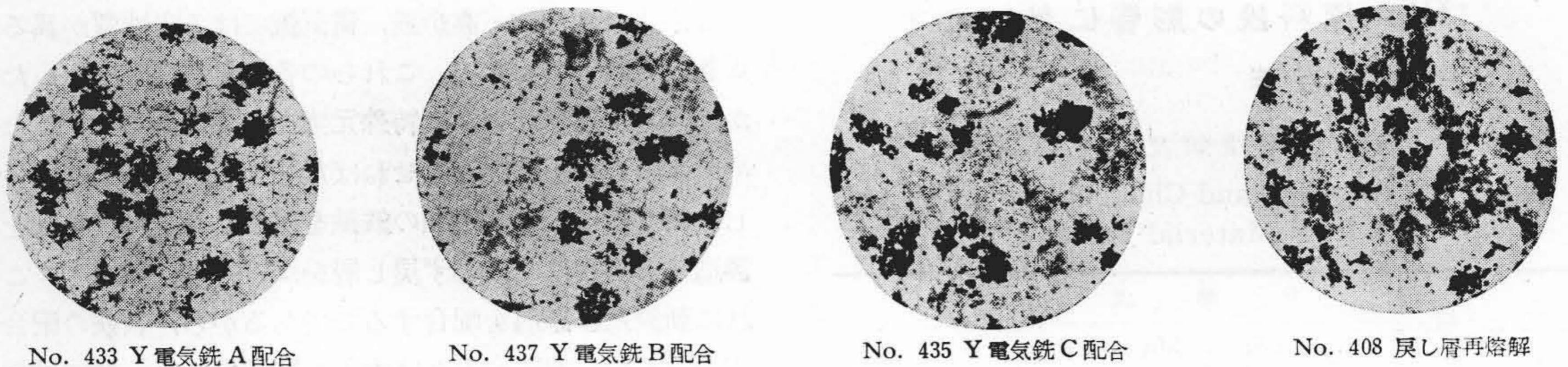
第6表 試料の配合割合による区分
Table 6. Classification of Test Pieces by the Rate of Mixture

配合の種類	鉄鉄 (%)	戻し屑 (%)	鋼屑その他 (%)
A	約 50	0	残り
B	約 35	約 35	残り
C	約 15	約 75	残り

第7表 試料の配合及び化学成分

Table 7. Mixing Rate and Chemical Composition of Test Pieces

鉄鉄銘柄	試料番号	配合区分	地金配合 (%)					調材配合 (%)			化学成分 (%)					
			新鉄	戻し屑	鋼屑	高素鉄	鋼加炭	Fe-Mn	Fe-P	S	C	Si	Mn	P	S	Cr
S 木炭鉄	428	A	50	0	39	9	2	—	0.25	0.08	2.56	1.10	0.43	0.114	0.084	0.009
	426	B	35	35	20	5	5	0.08	0.20	0.06	2.72	1.07	0.46	0.124	0.105	0.023
	427	C	15	70	8	4	3	—	—	—	2.68	1.03	0.40	0.100	0.095	0.026
T 木炭鉄	429	A	52	0	30	—	18	0.40	—	0.08	2.72	1.13	0.38	0.125	0.105	0.034
	421	B	36	35	19	—	10	0.20	—	0.05	2.64	1.05	0.25	0.123	0.109	0.014
	388	C	16	75	5	—	4	0.11	—	0.01	2.72	1.06	0.31	0.126	0.100	0.030
A 高炉鉄	430	A	55	0	38	—	17	0.07	—	0.05	2.70	0.98	0.32	0.091	0.106	0.005
	390	B	35	35	15	—	15	0.06	—	0.04	2.72	1.09	0.31	0.096	0.110	0.039
	391	C	15	70	5	—	10	0.06	—	0.02	2.68	1.11	0.32	0.105	0.104	0.039
H 高炉鉄	392	A	57	0	35	—	8	—	0.16	0.10	2.68	1.12	0.57	0.104	0.121	0.039
	393	B	39	37	20	—	4	—	0.15	0.07	2.74	1.15	0.33	0.112	0.127	0.039
	394	C	19	75	6	—	0	—	—	0.01	2.72	1.11	0.40	0.086	0.105	0.030
Y 高炉鉄	395	A	49	0	37	—	14	—	0.10	0.10	2.76	1.10	0.57	0.093	0.087	0.043
	396	B	34	35	23	—	8	—	0.05	0.06	2.66	1.11	0.46	0.090	0.088	0.039
	397	C	17	71	9	—	3	—	—	0.07	2.68	1.08	0.39	0.098	0.093	0.034
K 高炉鉄	423	A	49	0	35	—	16	0.14	—	0.08	2.68	1.15	0.51	0.121	0.085	0.014
	424	B	33	35	22	—	10	0.06	—	0.05	2.62	1.12	0.48	0.127	0.098	0.031
	400	C	17	71	8	—	4	—	—	—	2.60	1.10	0.34	0.122	0.087	0.034
N 電気鉄	404	A	50	0	76	—	34	—	0.23	—	2.73	1.18	0.58	0.111	0.147	0.053
	405	B	35	35	9	—	21	—	0.15	—	2.73	1.22	0.41	0.088	0.122	0.034
	406	C	16	73	3	—	8	0.03	—	—	2.68	1.14	0.40	0.094	0.138	0.034
Y 電気鉄	433	A	63	0	21	—	16	0.07	0.25	—	2.68	1.23	0.49	0.127	0.098	0.039
	437	B	42	38	12	—	8	0.03	0.15	—	2.66	1.06	0.34	0.119	0.086	0.022
	435	C	19	72	5	—	4	—	0.07	—	2.64	1.10	0.37	0.121	0.110	0.034
戻し屑再溶解	403	—	—	100	—	—	—	—	—	—	2.50	1.01	0.35	0.112	0.098	0.031
	409	—	—	100	—	—	—	—	—	—	2.56	0.97	0.35	0.116	0.093	0.031



第1図 銑鉄の配合量による第2段黒鉛化速度の変化 (×50)

Fig.1. Change of the 2nd Stage Graphitization due to the Percentage of Pig Iron Used (×50)

第 8 表 第 1 段黒鉛化完了時間

Table 8. Time Required for Completion of 1st Graphitization

銑鉄の種類	配合の種類		
	A 配合	B 配合	C 配合
S 木炭銑	3° ~ 05'	4° ~ 20'	8° ~ 30'
T 木炭銑	3° ~ 35'	5° ~ 15'	6° ~ 40'
A 高炉銑	5° ~ 15'	9° ~ 05'	7° ~ 05'
H 高炉銑	4° ~ 00'	5° ~ 30'	5° ~ 20'
Y 高炉銑	4° ~ 30'	5° ~ 15'	5° ~ 05'
K 高炉銑	4° ~ 05'	3° ~ 30'	4° ~ 35'
N 電気銑	5° ~ 25'	5° ~ 20'	6° ~ 20'
Y 電気銑	2° ~ 35'	5° ~ 00'	6° ~ 10'
戻し層再熔解	—	—	9° ~ 25'
戻し層再熔解	—	—	8° ~ 05'

第 9 表 第 2 段黒鉛化速度の比較

Table 9. Comparison of the Speed of 2nd Graphitization

銑鉄の種類	残留パーライト中のセメント量 (%)		
	A 配合	B 配合	C 配合
S 木炭銑	0.08	0.28	0.17
T 木炭銑	0.05	0.19	0.30
A 高炉銑	0.18	0.43	0.28
H 高炉銑	(0.40)	0.28	0.40
Y 高炉銑	(0.33)	0.16	0.20
K 高炉銑	0.15	0.17	0.28
N 電気銑	(0.35)	0.28	0.28
Y 電気銑	0.06	0.15	0.19
戻し層再熔解	—	—	0.58
戻し層再熔解	—	—	0.50

酸性高周波電気炉を用い、一回の熔解量は 5.5 kg 熔解温度は、1,450°C とし、黒鉛化速度測定及び抗張試験用の試料を作製した。試料を熔製する際には、鋼をピッチコークスで加炭した材料、高硅素銑 Fe-Mn, Fe-P 及び棒状硫黄を使用して、出来る限り 5 元素に変動のないように努めた。試料の配合及び化学成分を第 7 表 (前頁参照) に示す。

(2) 実験結果

(A) 黒鉛化速度

白銑の第 1 段黒鉛化速度の比較のために、8mmφ、長さ 90mm の試験片を乾燥型にて採取し、これを本多式熱膨脹計により 920°C に保持して、その黒鉛化完了時間を求めた。又第 2 段黒鉛化速度の比較は、屈曲試験片より切出した試料を電気炉で同時に焼鈍して、第 1 段黒鉛化を完全に終らせて後、600°C まで 10 hr かけて炉冷し、その時の顕微鏡組織を比較すると共に試料に残留しているパーライト中の化合炭素量を定量してその多少により第 2 段黒鉛化の難易を決定した。この顕微鏡組織の 1 例を第 1 図に示す。第 8 表及び第 9 表にその結果を示す。第 9 表中括弧内に示しているものは、配合上やむおえず Mn が高くなつた試料で、このために第 2 段黒鉛化が遅くなつたと明らかに判断されたものである。こ

の測定値を通覧すると黒鉛化速度は銑鉄の種類によつても勿論異つて来ているが、これにも増して新銑の配合量による影響が最も大きいことが明瞭に認められる。即ち新銑を多量に使用して戻し層を配合していないものゝ黒鉛化は最も早く、新銑の量を減ずるに従つて黒鉛化は遅くなり、戻し層を再熔解したものが最も遅くなつている。特に第 2 段黒鉛化に於ては、その差は顕著である。

新銑を沢山配合した場合には、銑鉄中の特殊元素がそれだけ余計に入りこれが黒鉛化に影響しているのではないかと考えられるので、特に考慮せねばならない特殊元素を分光分析により定性的に調べた。その結果は第 10 表に示す通りであつて、各試料の黒鉛化速度の変化はこれらの特殊元素の変化に基因するのみでないことが明瞭であつて、他に原因があると考えられる。戻し層という物は何回も繰返し熔解されている材料であつて、高温熱履歴の多いものである。これに高温熱履歴をうけていない新銑を配合するに従つて、黒鉛化が早くなるということは頗る興味ある現象である。

(B) 機械的性質

一般に可鍛鑄鉄の抗張試験は黒皮のまま行うのが普通であるが、試験片の鑄造時及び焼鈍時の微少な表面状態の不同に基因する測定値の誤差を除くために、20mmφ

第 10 表 試料中の特殊元素
Table 10. Special Elements Contained in Test Pieces

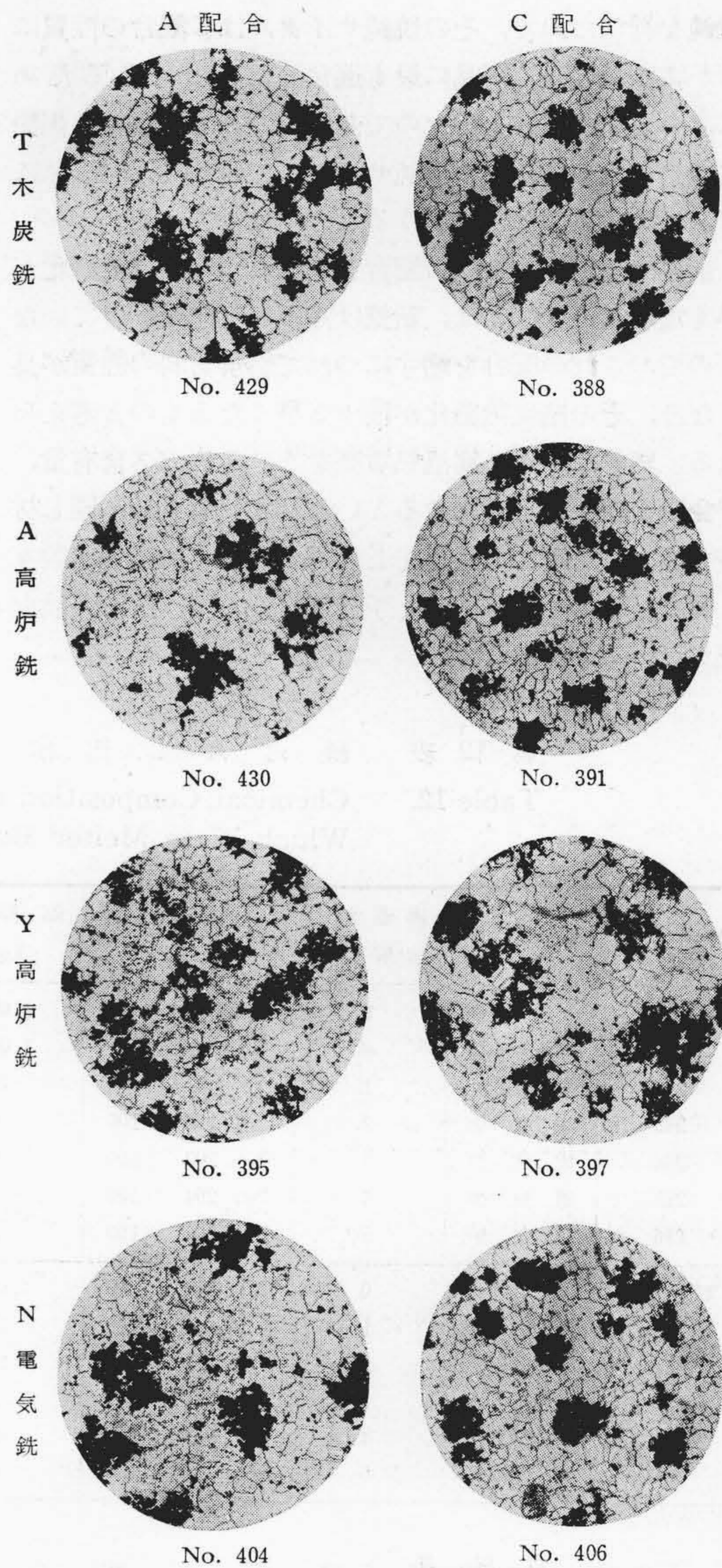
鉄名	試料番号	配合区分	Ti	Al	Ni	V
S 木炭鉄	428	A	++	+	+	+
	426	B	+	+	-	-
	427	C	+	+	-	-
T 木炭鉄	429	A	++	+	+	+
	421	B	+	+	-	+
	388	C	+	-	-	+
A 高炉鉄	430	A	+	+	+	-
	390	B	+	-	-	-
	391	C	+	-	-	-
H 高炉鉄	392	A	+	-	-	-
	393	B	+	-	-	-
	394	C	+	-	-	-
Y 高炉鉄	395	A	+++	-	-	-
	396	B	++	-	-	-
	397	C	+	-	-	-
K 高炉鉄	423	A	+++	++	-	-
	424	B	+++	++	-	-
	400	C	++	-	-	-
N 電気鉄	404	A	+	-	+	-
	405	B	+	-	+	-
	403	C	+	-	+	-
Y 電気鉄	433	A	+	+	+	-
	437	B	+	+	+	-
	435	C	+	+	+	-
戻し屑再溶解	408	-	+	-	+	-
	409	-	+	-	+	-

(備考) (1) 火花放電による定性分析の結果
(2) 表中の記号は次の如し
(-) 痕跡, (+) 稍弱, (++) 弱, (+++) 稍強

第 11 表 抗張試験結果
Table 11. Results of Tensile Strength Test

鉄の種類	A 配合		B 配合		C 配合	
	抗張力 (kg/mm ²)	延伸率 (%)	抗張力 (kg/mm ²)	延伸率 (%)	抗張力 (kg/mm ²)	延伸率 (%)
S 木炭鉄	29.1	10.2	29.4	8.3	33.4	17.0
T 木炭鉄	28.8	8.8	33.6	15.5	34.2	15.9
A 高炉鉄	31.8	15.9	33.8	16.7	34.5	17.2
H 高炉鉄	29.1	10.6	32.2	15.7	33.3	16.1
Y 高炉鉄	27.5	7.7	27.1	7.1	24.6	9.4
K 高炉鉄	25.8	4.7	28.8	9.1	29.0	9.6
N 電気鉄	26.8	5.3	27.6	6.3	33.7	15.5
Y 電気鉄	26.7	7.3	31.4	13.3	31.8	9.3
戻し屑再溶解	-	-	-	-	34.5	16.3
戻し屑再溶解	-	-	-	-	34.4	20.2

の丸棒より JES 4 号型試験片を削り出して、抗張試験を行つた。測定値は 2 本の試料の平均値であつて、その結果を第 11 表に示す。この結果も前述の黒鉛化速度と同



第 2 図 各種鉄鉄を用いて熔製した可鍛鑄鉄の組織 (×50)

Fig. 2. Micro-Structure of Malleable Iron, Used in Various Pig Irons (×50)

じように新鉄の配合割合による影響が頗る顕著であつて、新鉄を多量に配合して黒鉛化の早いものは抗張力、延伸率共に悪く、黒鉛化の遅い C 配合の方が抗張力、延伸率共に良好である。この試験片の組織を調べてみると、黒鉛化の早いものはその焼鈍炭素が比較的星状に発達しており、黒鉛化の遅いものではその形が球状に近づいている。このために抗張試験の結果は前者が悪く、後者が良くなつているものと思われる。顕微鏡組織の数例を第 2 図に示す。この試験片は現場の製品と共に普通の

焼鈍を行つたので、その焼鈍サイクルはC配合の性質に似かよつた現場の製品に最も適合したものであるために、かような結果を得たのであつて、A配合の如き黒鉛化の早いものに最適の焼鈍サイクルで焼鈍した場合には、自から異つた結果をうるものと期待される。

前述せる如く、新銑の配合を増すにつれて、黒鉛化が早くなるということは、新銑は高温熱履歴をうけていないので、これの配合を増すにつれて熔解材料の性質が良くなり、その結果黒鉛化が段々と早くなるものと考えられる。鑄鉄は一般に高温熱履歴をうける程ガス含有量、非金属介在物等が増加するといわれている。故に同じ材料を電気炉で何回も繰返えし熔解すると、黒鉛化は段々と遅くなるのではないかと予想されるので、次の実験を行つた。

〔IV〕 繰返えし熔解の影響に就いて

(1) 実験の方法

実験材料としては、A高炉銑をフルミナ炉（重油焚回転炉）で冷材熔解して作つた可鍛鑄鉄用白銑と、日常の現場作業によりキューボラと電気炉を併用する二重熔解法にて熔製している可鍛鑄鉄用白銑との2種類を用いた。即ち前者は前の実験のA配合に相当するものであり、後者はC配合に相当するものである。この各々を小型エル一式電気炉で再熔解して、電気炉を1回通つた母材を作り、この内の一部を実験用に残し、残りは再び熔解して電気炉を2回通つた母材を作つた。かくの如くして、これを5回繰返えし毎回母材を採取して実験に供した。第12表に材料及び母材の化学成分を示す。この材料及び母

第12表 繰返えし熔解を行つた材料及び母材
Table 12. Chemical Composition of Material Irons and Added Pig Irons Which Were Melted Repeatedly

熔解番号	熔解炉	繰返えし 熔解回数	装入材料 (%)	熔解量 (kg)	化 学 成 分 (%)					
					C	Si	Mn	P	S	Cr
F~101	フルミナ炉	0	A高炉銑 75	1,000	2.42	1.09	0.20	0.129	0.085	Tr
F~102	フルミナ炉	0	A高炉銑 75	1,000	2.21	1.39	0.19	0.107	0.092	0.044
292	電気炉	1	F~101 60 F~102 40	100	2.42	1.25	0.16	0.141	0.089	0.013
293	電気炉	2	No. 292 100	80	2.39	1.34	0.15	0.120	0.087	0.009
294	電気炉	3	No. 293 100	60	2.33	1.40	0.11	0.130	0.083	0.022
295	電気炉	4	No. 294 100	40	2.40	1.35	0.11	0.141	0.087	0.009
296	電気炉	5	No. 295 100	20	2.33	1.18	0.08	0.134	0.084	0.009
4E-2052	キューボラ 電気炉	0	Y高炉銑 15	4,000	2.58	1.17	0.43	0.105	0.102	0.039
361	電気炉	1	4E-2052 100	120	2.58	1.16	0.37	0.109	0.101	0.039
362	電気炉	2	No. 361 100	100	2.48	1.06	0.36	0.111	0.097	0.026
363	電気炉	3	No. 362 100	80	2.44	0.95	0.33	0.119	0.100	0.037
364	電気炉	4	No. 363 100	60	2.44	0.86	0.25	0.103	0.104	0.048
365	電気炉	5	No. 364 100	40	2.33	0.88	0.23	0.103	0.104	0.035

第13表 試料の配合及び化学成分
Table 13. Chemical Composition and Mixing Rate of Test Materials

試料番号	使用材の 繰返えし 熔解回数	配 合 (%)					化 学 成 分 (%)					
		装入材料	A高炉銑	鋼 屑	鋼 加 炭	C	Si	Mn	P	S	Cr	
298	0	F~101 60 F~102 10	16	7	7	2.51	1.08	0.37	0.141	0.092	0.018	
299	1	No. 292 70	10	7	13	2.54	1.02	0.30	0.133	0.090	0.022	
300	2	No. 293 70	8	7	15	2.55	1.04	0.31	0.128	0.094	0.022	
301	3	No. 294 70	5	6	19	2.64	0.96	0.32	0.117	0.085	0.018	
302	4	No. 295 70	8	7	15	2.59	1.02	0.32	0.123	0.090	0.022	
303	5	No. 296 70	12	6	12	2.54	0.94	0.28	0.129	0.091	0.013	
366	0	4E-2052 85	5	5	5	2.60	1.02	0.32	0.101	0.107	0.031	
367	1	No. 361 85	5	5	5	2.65	1.10	0.34	0.096	0.105	0.039	
368	2	No. 362 85	8	2	5	2.56	1.01	0.28	0.104	0.109	0.035	
369	3	No. 363 85	11	—	4	2.46	1.07	0.27	0.106	0.112	0.035	
370	4	No. 364 85	14	—	1	2.60	1.00	0.32	0.106	0.109	0.031	
371	5	No. 365 83	14	—	3	2.57	1.07	0.29	0.102	0.102	0.031	

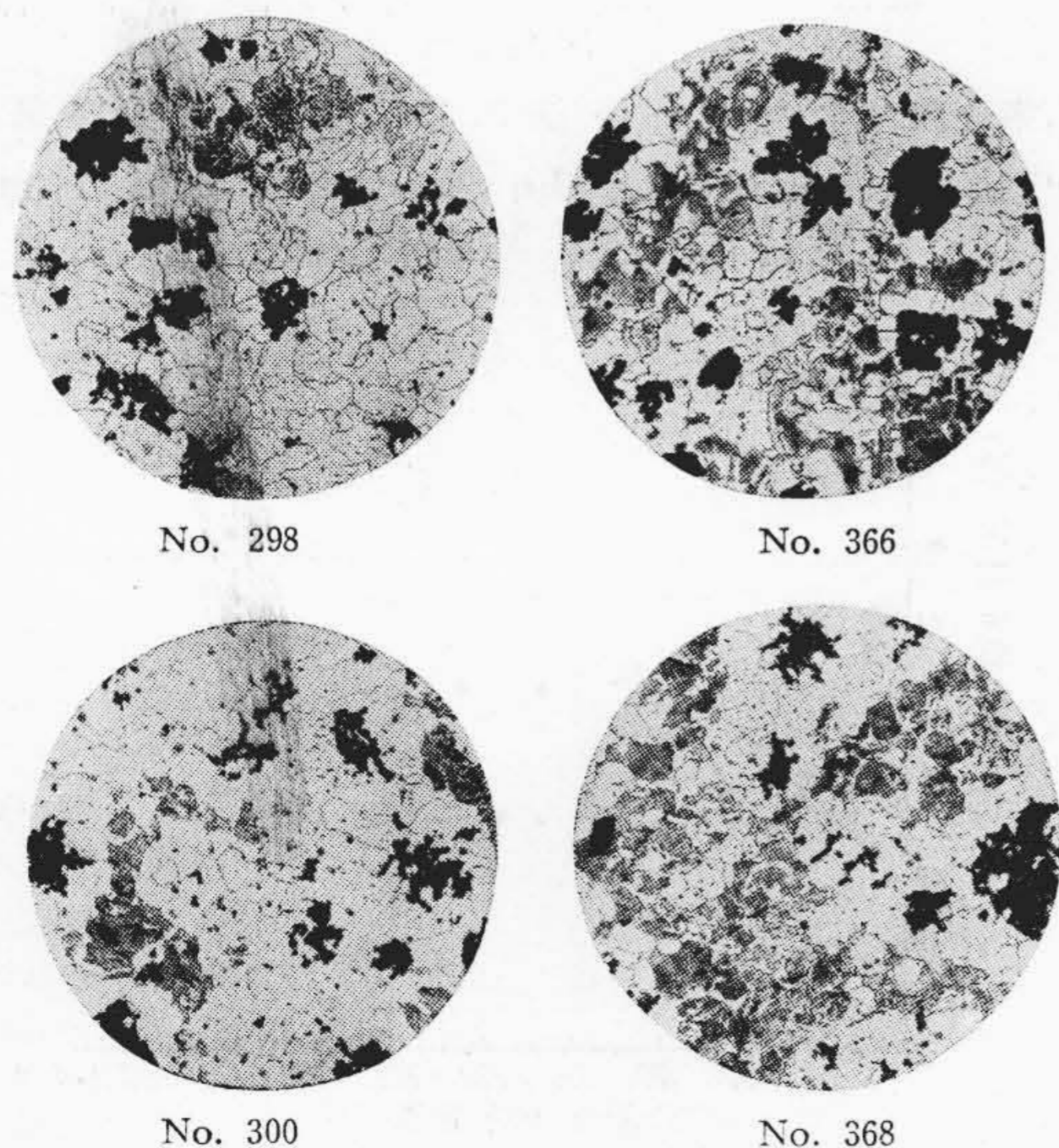
材を前と同じく、高周波電気炉で溶解して試料を作製した。溶解の方法及び採取した試料は前の実験と全く同じである。第13表に試料の配合及び化学成分を示す。

(2) 実験結果

黒鉛化速度の比較及び抗張試験は、前述の実験と全く同じ方法で行った。この結果を纏めて第14表に示す。尚、第2段黒鉛化速度の比較を行つた試料の顕微鏡組織を第3図に示す。黒鉛化速度は使用した母材の履歴により、

第14表 黒鉛化速度及び抗張試験結果
Table 14. Results of the Rate of Graphitization and Tensile Strength Test

試料番号	使用母材の繰返し溶解回数	第1段黒鉛化完了時間 (測定温度 920°C)	第2段黒鉛化 化合炭素量 (%)	抗張試験	
				抗張力 (kg/mm ²)	延伸率 (%)
298	0	5° ~ 35'	0.15	32.6	16.4
299	1	8° ~ 40'	0.44	32.2	13.2
300	2	9° ~ 10'	0.48	31.6	10.5
301	3	12° ~ 00'	0.62	30.0	10.1
302	4	9° ~ 10'	0.36	30.6	10.7
303	5	7° ~ 40'	0.44	30.4	11.7
366	0	6° ~ 40'	0.69	31.4	18.8
367	1	8° ~ 00'	0.78	30.8	11.5
368	2	9° ~ 20'	0.82	28.7	11.6
369	3	12° ~ 50'	1.53	29.5	13.3
370	4	11° ~ 00'	0.78	29.7	13.1
371	5	5° ~ 00'	0.35	31.0	15.5



第3図 繰返し溶解を行つた試料の第2段黒鉛化速度の比較 (×50)

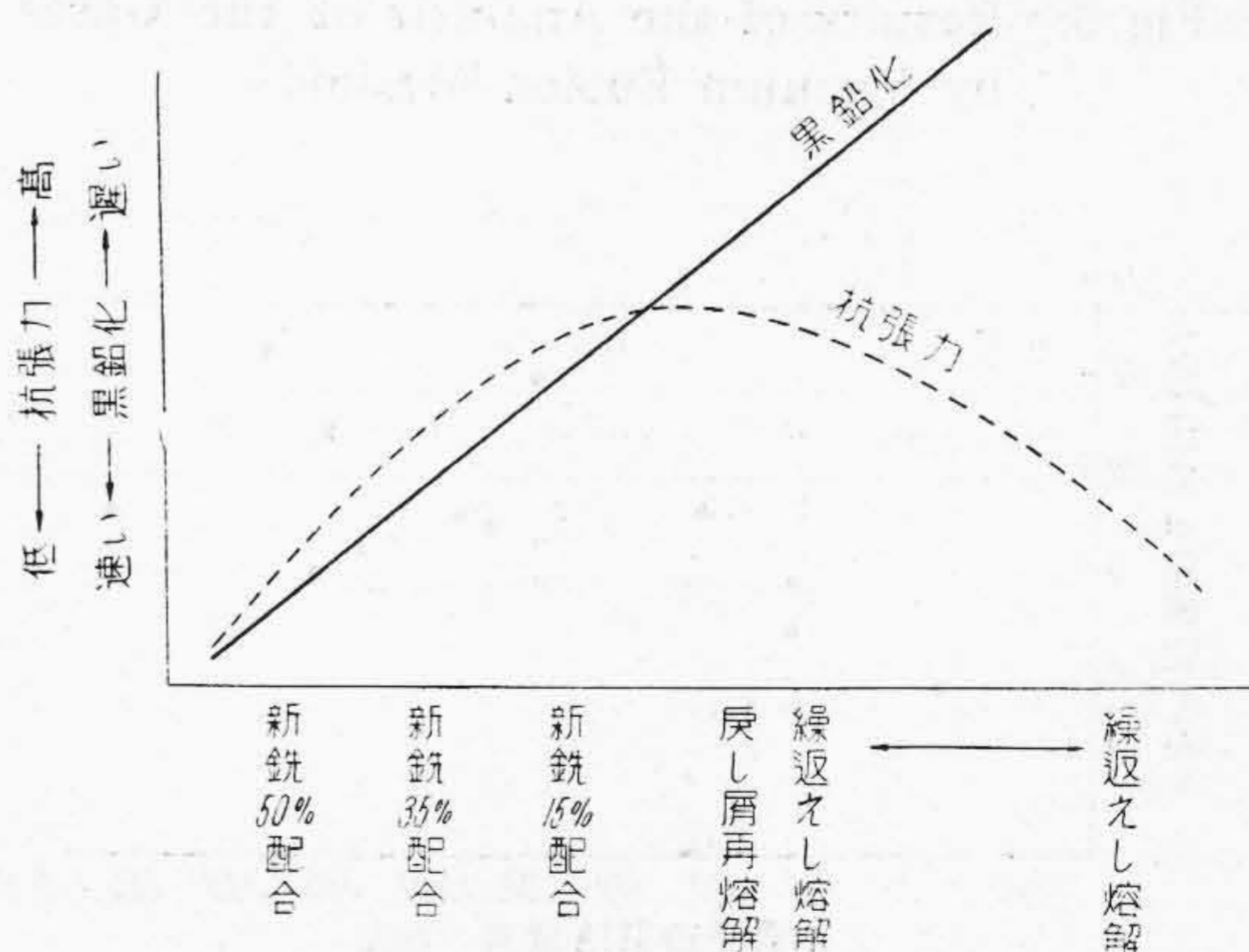
Fig. 3. Change of the 2nd Stage Graphitization due to the Times of Repeated Melting (×50)

相当大幅に異つて来ることが明瞭である。No. 298, No. 366 の如く、始めの材料をそのまま使用した場合が最も容易に黒鉛化し、電気炉で繰返し溶解されるに従つて段々と黒鉛化しにくくなり、3回繰返し溶解されたものが最も困難となつている。尚4回、5回と繰返し溶解した母材を使用して作製した試料の黒鉛化は、かえつて早くなつている。電気炉で繰返し溶解すると、始めの2回、3回までに急激にガス等が増加し、それ以後は余り増加しないように考えられる。故に4回、5回と繰返し溶解した母材を使用する場合には、成分を調整するために配合する鉄鉄の量の影響が大きくあらわれて来て、このような結果をえたものと考えられる。

この実験の黒鉛化速度と、[III]で述べた原料鉄に関する実験の黒鉛化速度とを比較すると、本実験のものが全般に遅く、特に第2段黒鉛化に於ては、その差は著しい。

原料鉄に関する実験の結果により、繰返し溶解するとガス、非金属介在物等が増加して、黒鉛化を阻害するのではないかと考えられていたのであるが、実験の結果予想通りであることが判明した。結局新鉄の如きものはガス、非金属介在物等が少なく、繰返し溶解されたものではこれらが多くなり、黒鉛化に影響して来るものと考えられる。抗張試験の結果は、始めの材料をそのまま用いた No. 298, No. 366 が抗張力、延伸率共に最良で繰返し溶解するにつれて段々と悪くなつている。

原料鉄に関する実験結果と、繰返し溶解に関する実験結果とを総合して定性的に考えると、第4図の如く材料の履歴との関係が明らかに認められる。

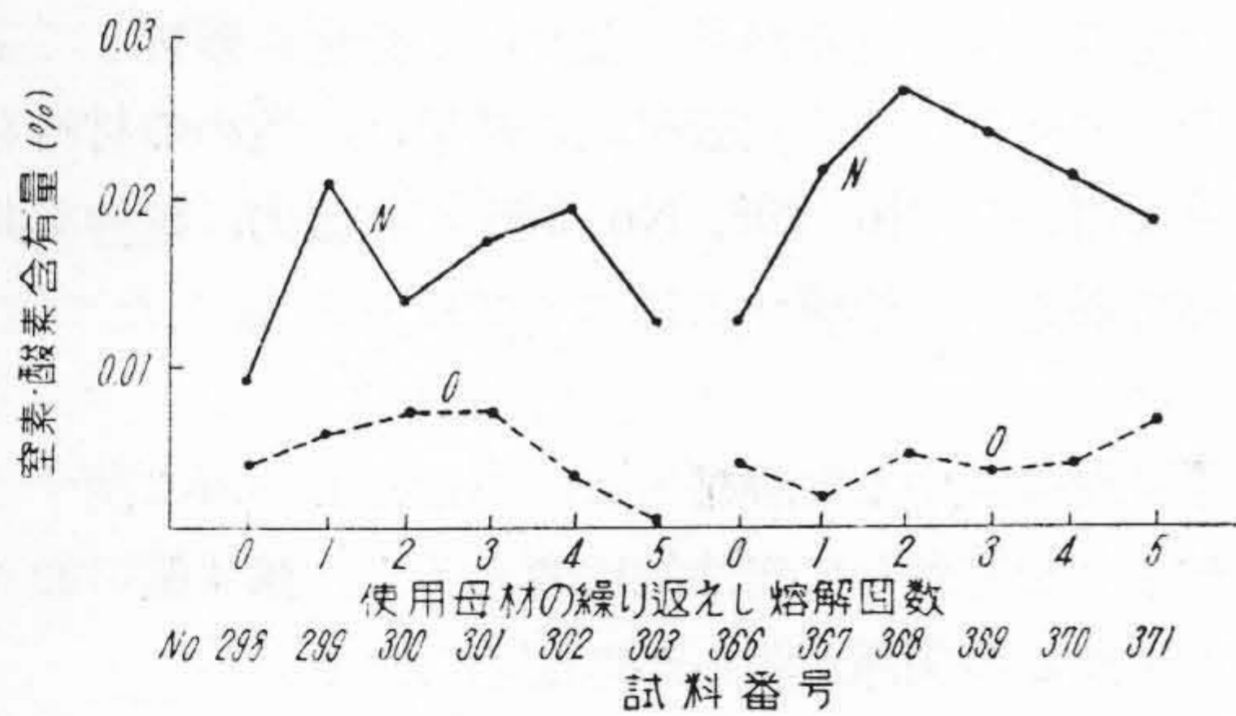


第4図 材料の履歴と黒鉛化速度及び抗張力との関係

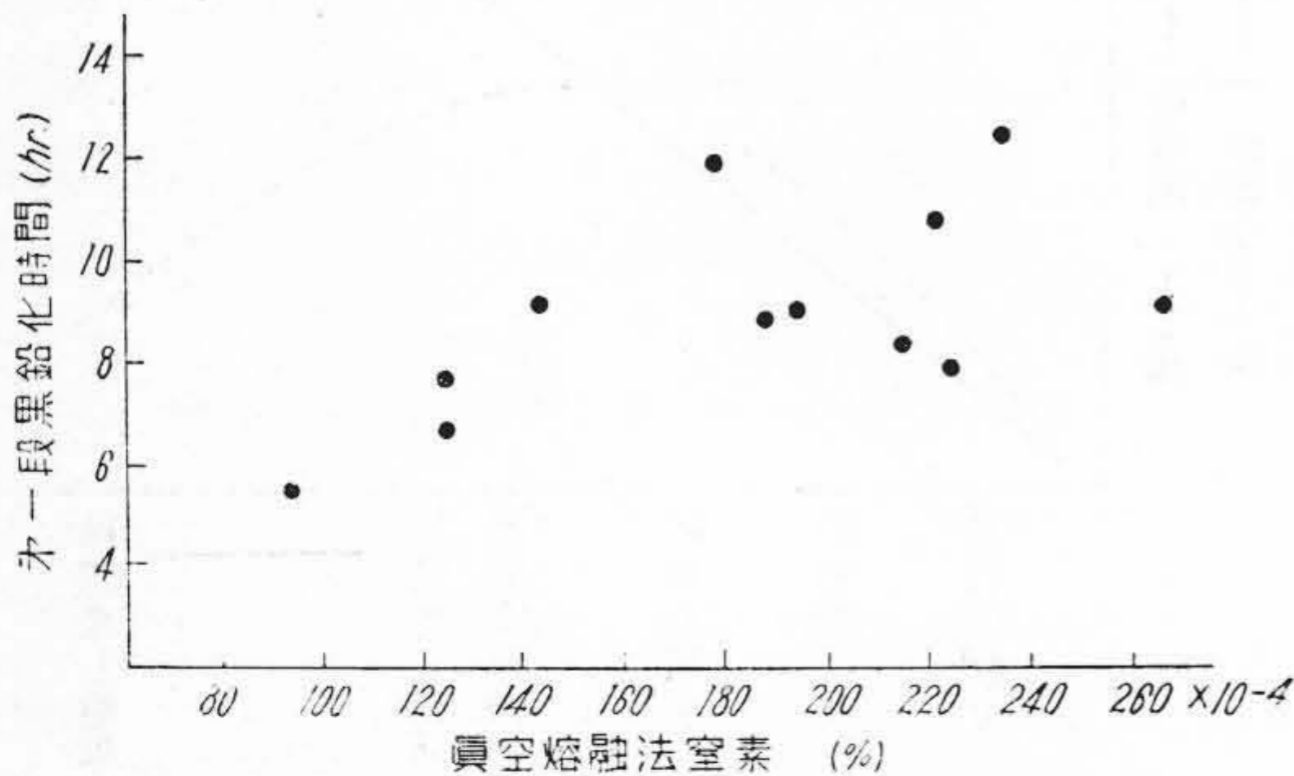
Fig. 4. Change of the Graphitization and Tensile Strength due to the High Temperature Hysteresis of Raw Materials

〔V〕 材料の履歴とガス成分との関係

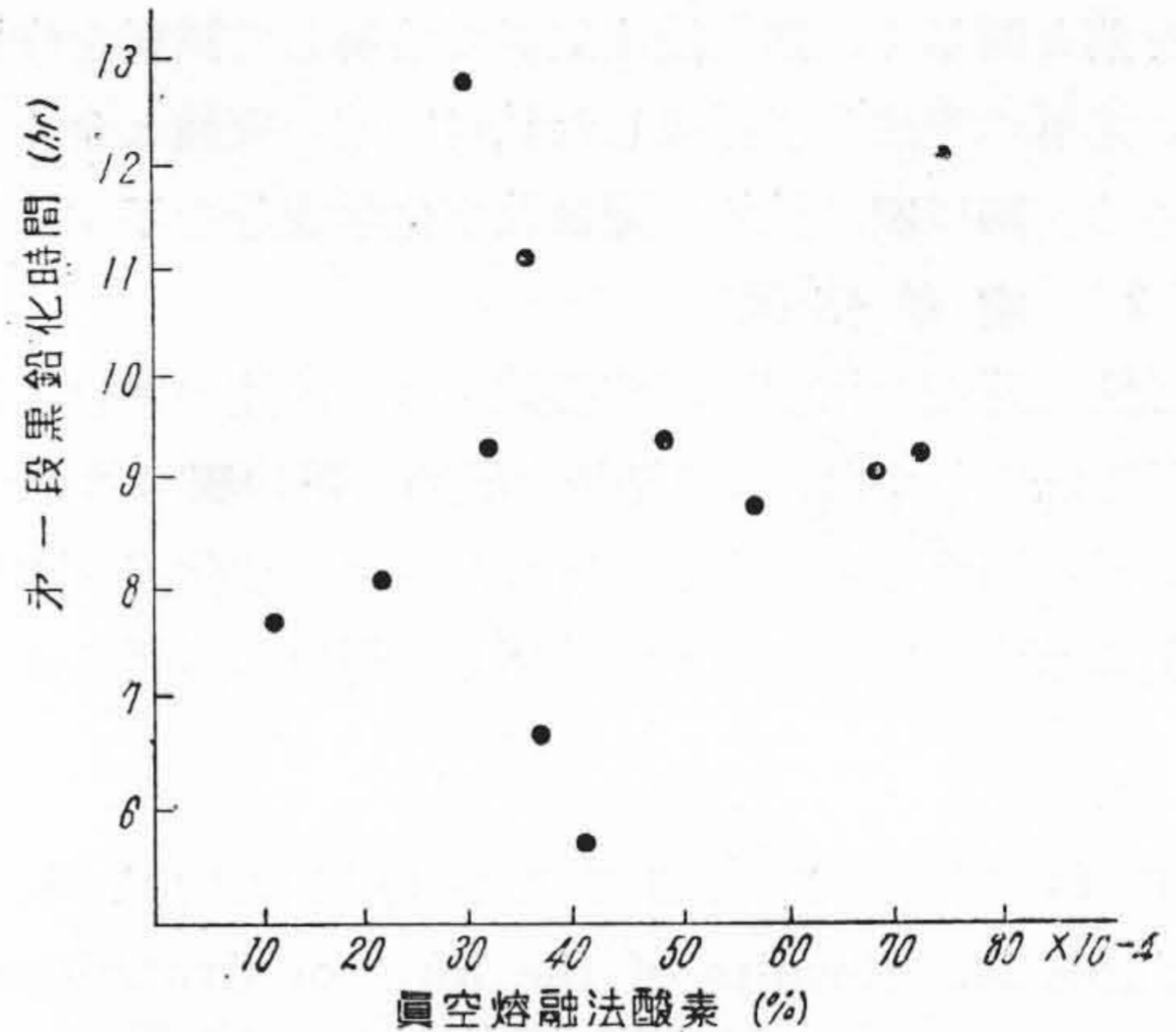
材料の履歴として考えねばならぬことは、微量特殊元素とガス成分である。両者を同時に検討することは困難であるので、微量特殊元素に就いて考える必要のない繰返し熔解を行つた試料のガス成分を測定して検討した。ガス成分は真空熔融法(1,350°C)による測定値で、これを第5図に示す。この結果と第13表の測定結果とに就いて考察してみると、窒素と黒鉛化時間との間には第6図に示す如く可成り明らかな関係を認めうるが、酸素との関係は第7図の如く全然認められない。又窒素は酸素に比して相当含有量も多く、且つ黒鉛化にも影響しているので、窒素に就いて検討を加えるのが至当であろうと考えられる。故に同じ試料を学振のケルダール法によつて可溶性窒素と、残渣中に残つている不溶性窒素とを定量した。その結果は第8図の如くで、材料の履歴に応じて、窒素成分が順次変化していることが分る。黒鉛化速度との関係は、第9図及び第10図に示す如くであつて、可溶性窒素成分との関係が最も大きいことが判明した。



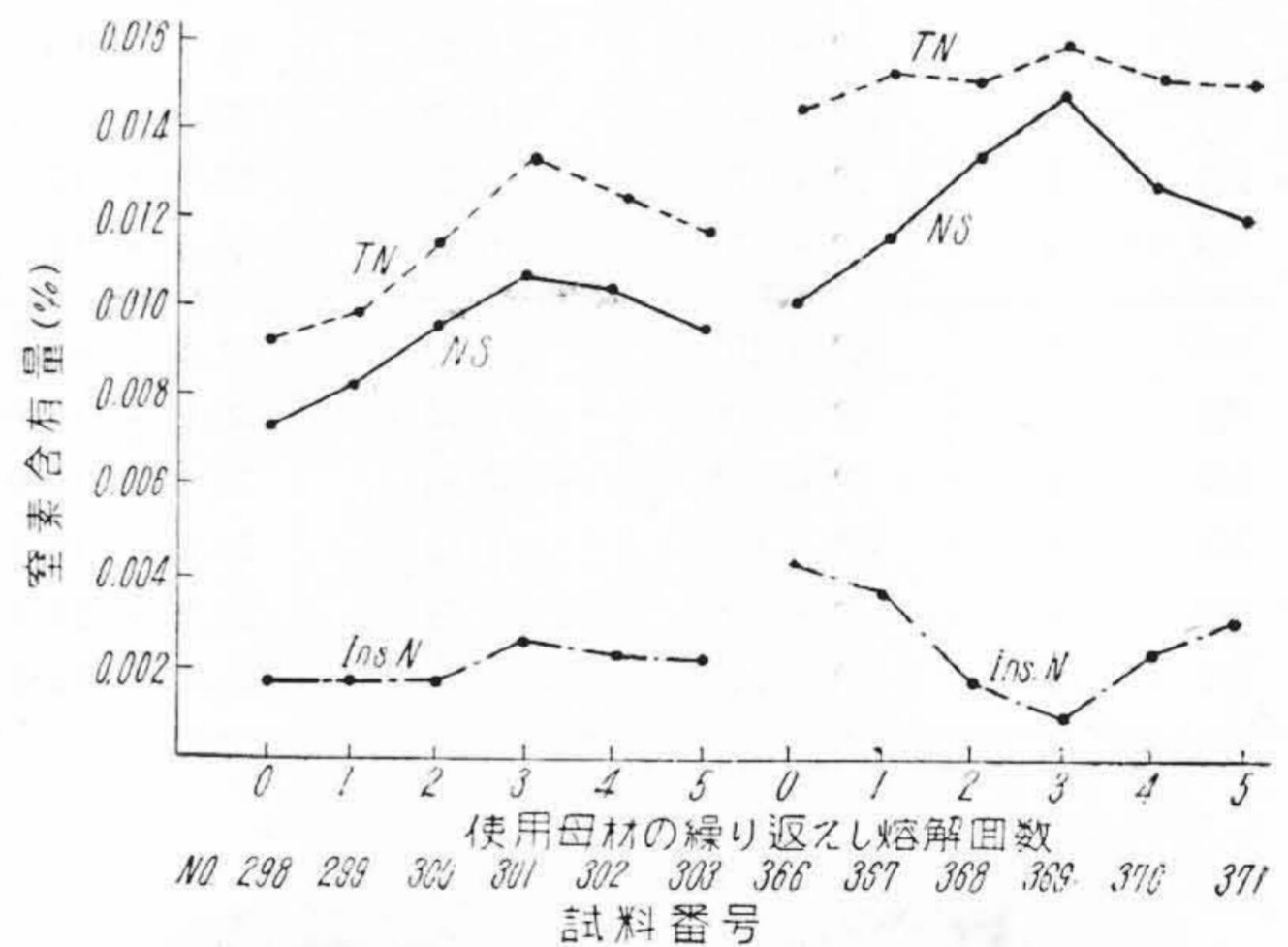
第5図 真空熔融法によるガス分析結果
Fig.5. Results of the Analysis of the Gases by Vacuum Fusion Method



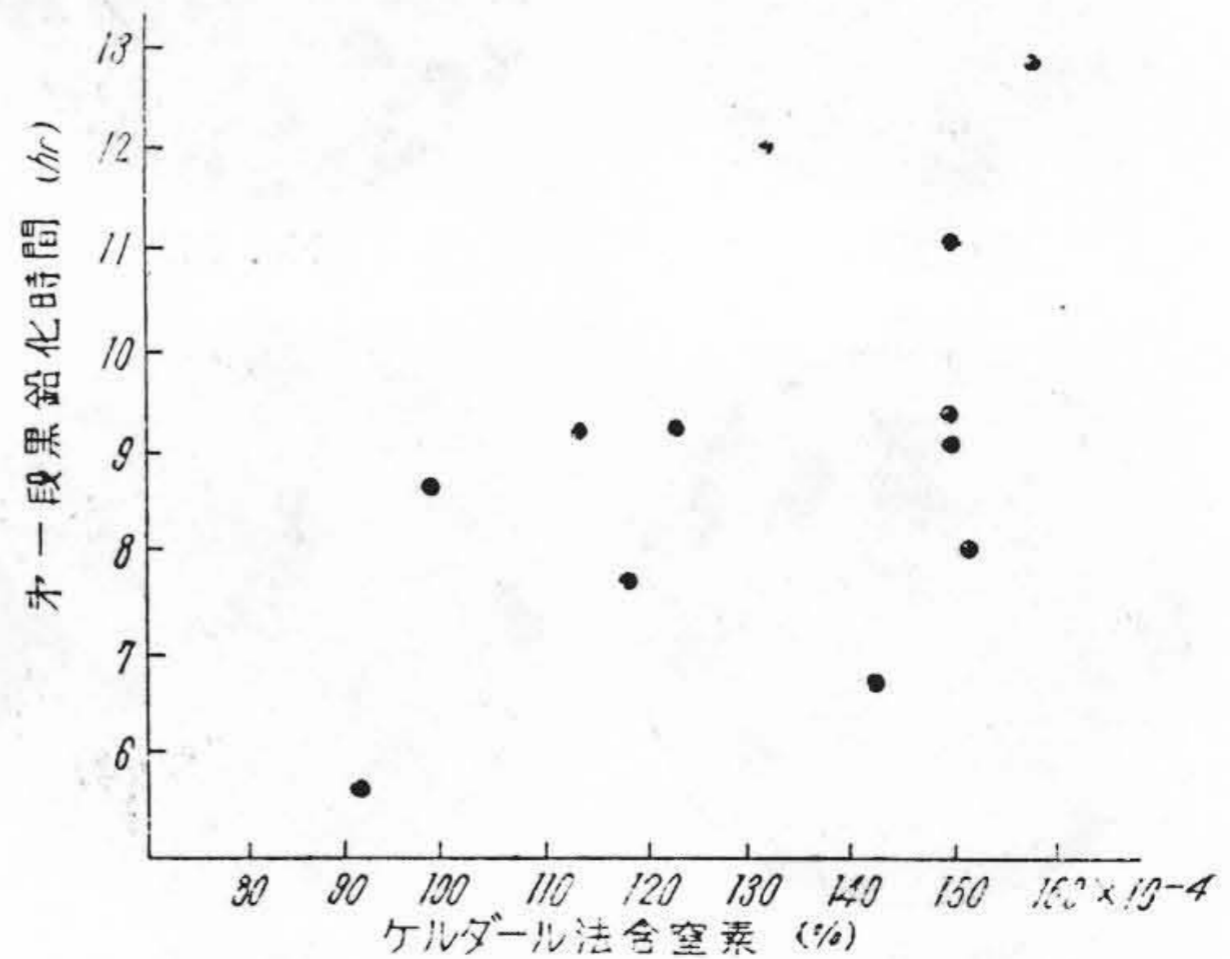
第6図 真空熔融法による窒素と第1段黒鉛化速度との関係
Fig.6. Relation between Nitrogen (Vacuum Fusion Method) and the 1st Stage Graphitization



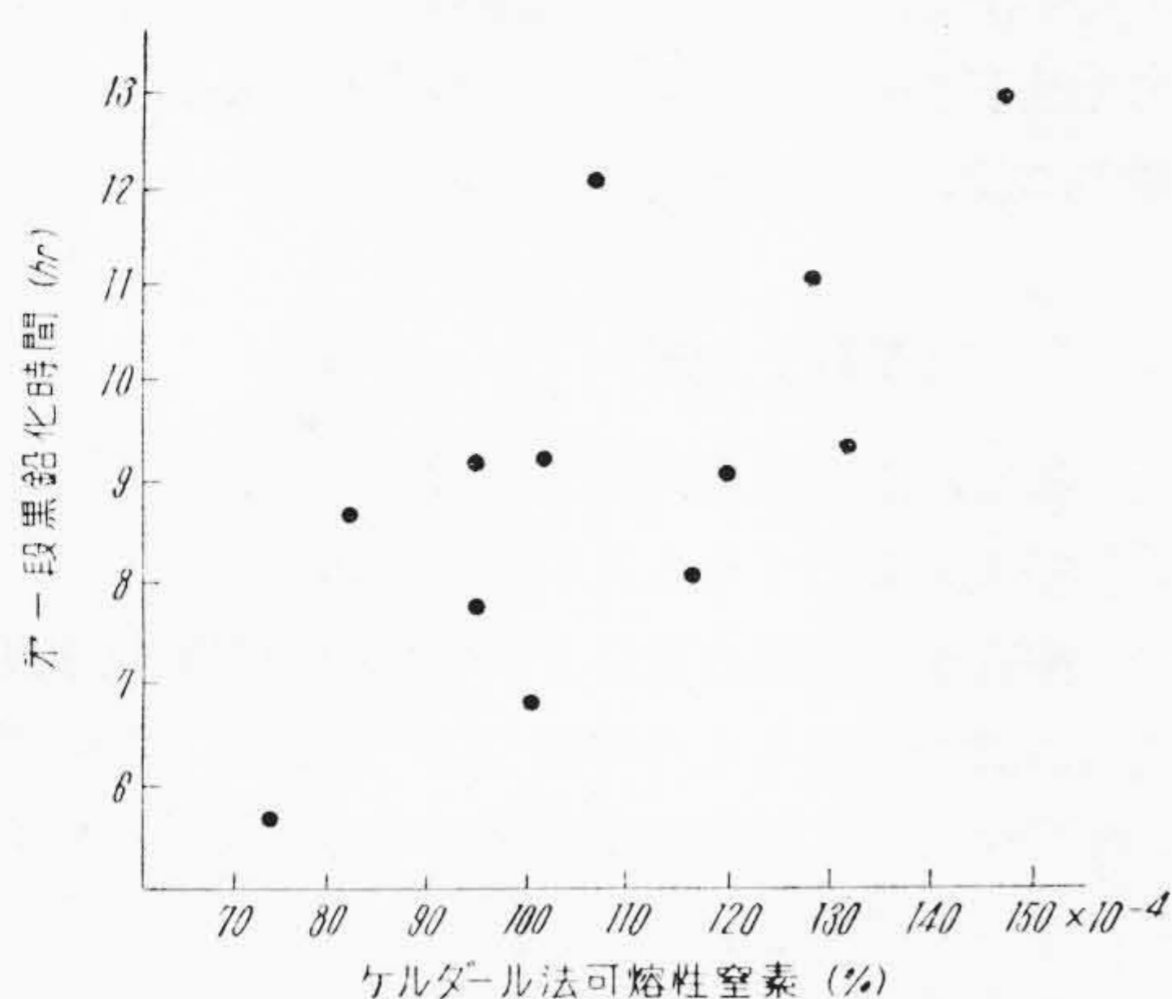
第7図 真空熔融法による酸素と第1段黒鉛化速度との関係
Fig.7. Relation between Oxygen (Vacuum Fusion Method) and the 1st Stage Graphitization



第8図 ケルダール法によるガス分析結果
Fig.8. Results of the Analysis of Nitrogen by Kjeldahl Method

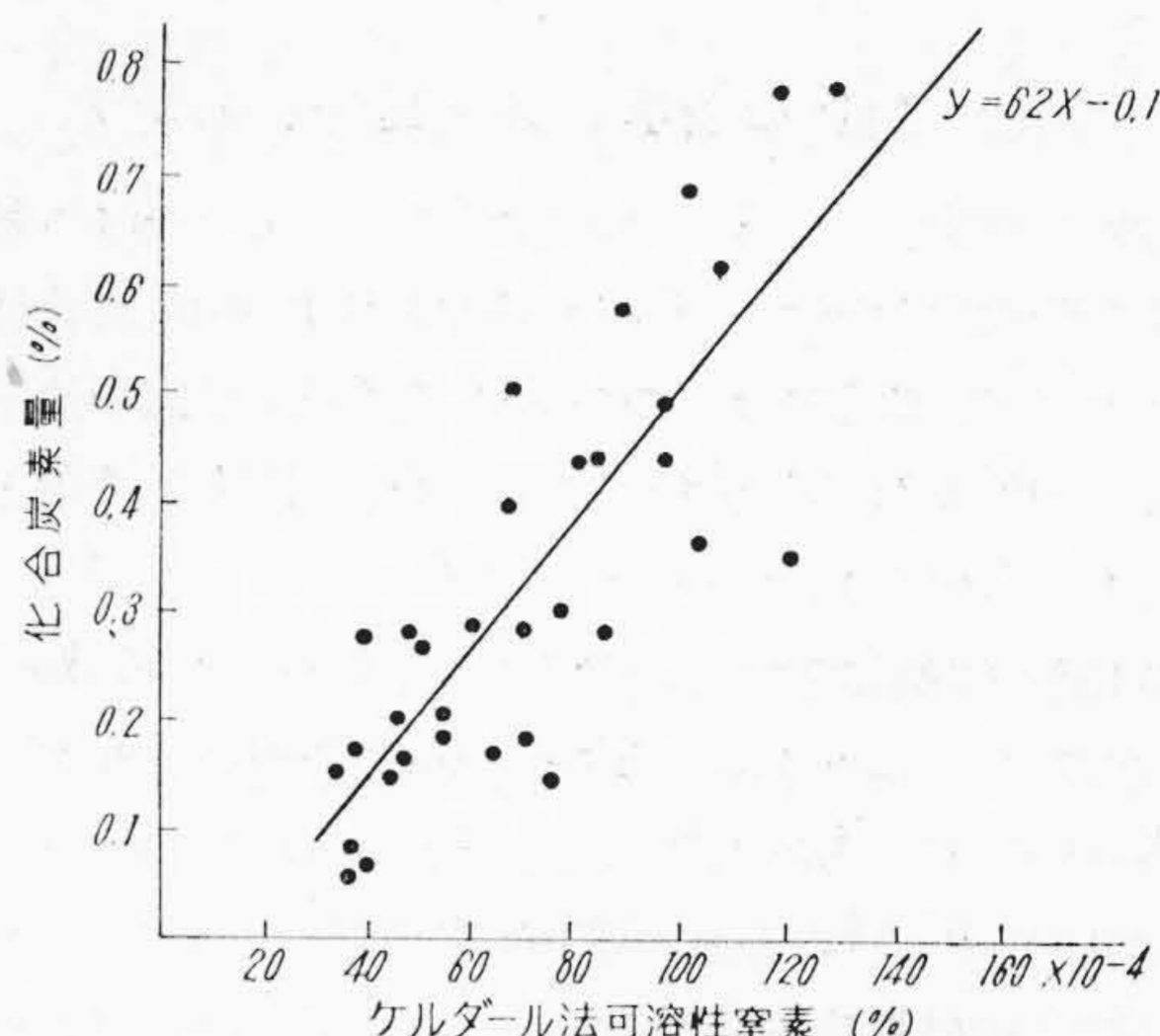


第9図 ケルダール法全窒素と第1段黒鉛化速度との関係
Fig.9. Relation between Total Nitrogen (Kjeldahl Method) and the 1st Stage Graphitization



第10図 ケルダール法可溶性窒素と第1段黒鉛化速度との関係

Fig. 10. Relation between Soluble Nitrogen (Kjeldahl Method) and the 1st Stage Graphitization

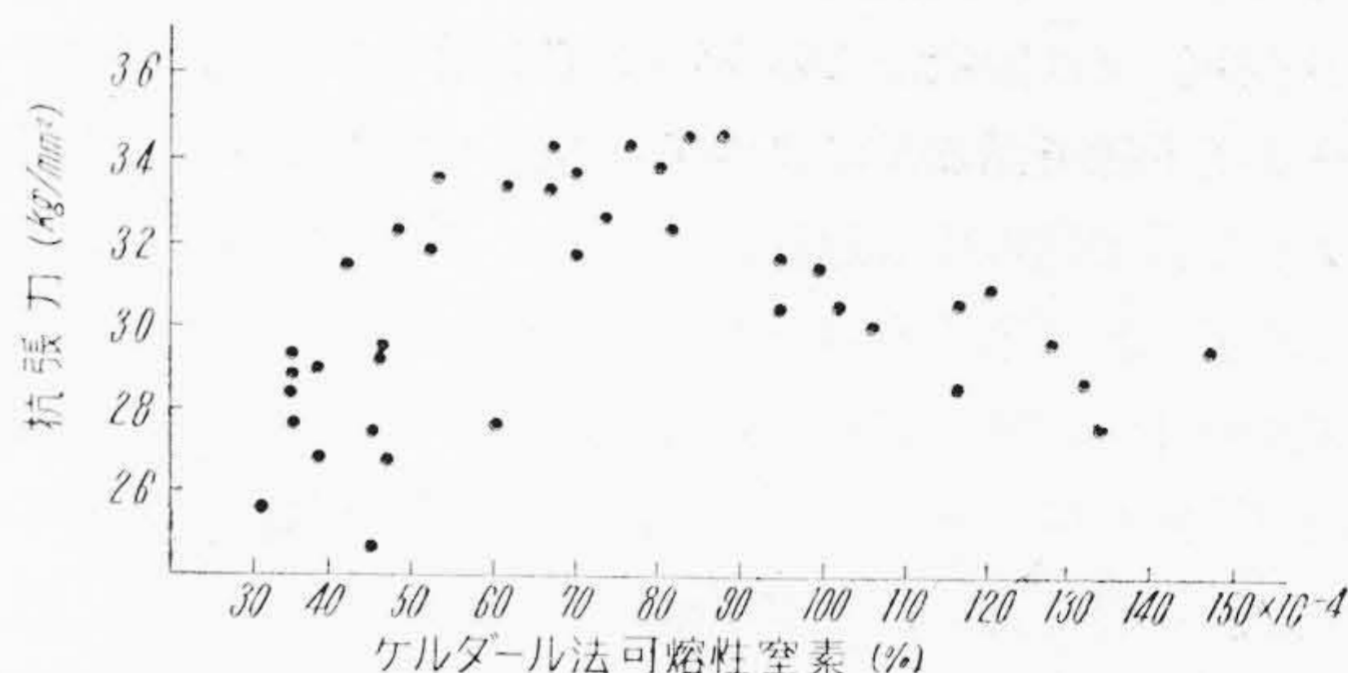


第12図 ケルダール法可溶性窒素と第2段黒鉛化速度との関係

Fig. 12. Relation between Soluble Nitrogen (Kjeldahl Method) and the 2nd Stage Graphitization

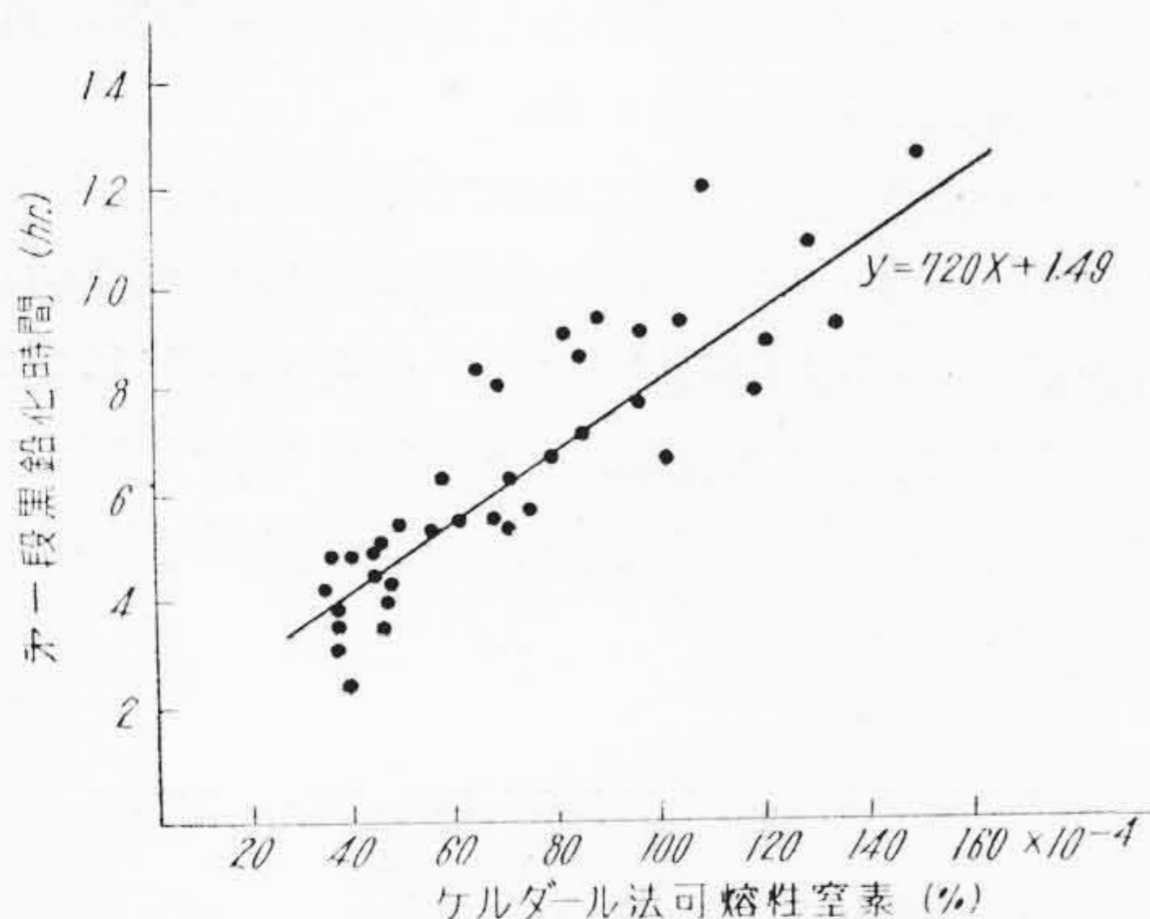
第15表 ケルダール法可溶性窒素測定値 (%)
Table 15. Measured Value of Fusible Nitrogen by Kjeldahl Method (%)

	A 配合	B 配合	C 配合
S 木炭鉄	0.0035	0.0046	0.0062
T 木炭鉄	0.0035	0.0053	0.0077
A 高炉鉄	0.0070	0.0080	0.0084
H 高炉鉄	0.0046	0.0049	0.0067
Y 高炉鉄	0.0035	0.0045	0.0045
K 高炉鉄	0.0032	0.0035	0.0039
N 電気鉄	0.0046	0.0060	0.0070
Y 電気鉄	0.0038	0.0042	0.0053
戻し層再溶解	—	—	0.0088
戻し層再溶解	—	—	0.0067



第13図 ケルダール法可溶性窒素と抗張力との関係

Fig. 13. Relation between Soluble Nitrogen (Kjeldahl Method) and the Tensile Strength



第11図 ケルダール法可溶性窒素と第1段黒鉛化速度との関係

Fig. 11. Relation between Soluble Nitrogen (Kjeldahl Method) and the 1st Stage Graphitization

故に原料鉄に関する実験の試料に就いても、可溶性窒素を測定して検討することにした。その測定値は第15表の通りであつて、新鉄の配合量に応じて可溶性窒素が変化していることが分つた。この可溶性窒素成分と第1段黒鉛化速度、第2段黒鉛化速度並びに抗張力との関係を求めると、第11図～第13図の如くであつて、相関関係のあることが明らかに認められる。

〔VI〕 実験結果に対する考察

第1段黒鉛化の進行過程としては、先づオーステナイト中へ Fe_3C が溶解込み、この溶解込んだ炭素がオーステナイト中を拡散して、黒鉛核の周囲に析出して焼鈍炭素を形成すると考えるのが至当であつて、この3段階のうちで最も遅いものに黒鉛化時間は支配されるのである。先づ第1に問題となるのは、黒鉛核の分布であつて沢山分布している程炭素の拡散距離が短かくて、黒鉛化時間が短縮されることは周知の事実である。しかし乍ら

黒鉛核の分布状態が同じ場合には、黒鉛化速度はオーステナイト中の炭素の拡散速度に左右されて来る。この拡散速度に影響して来るものとしてはオーステナイト地自身の性質及び黒鉛核の周囲と Fe_3C の周囲の炭素濃度差、即ち濃度勾配との 2 つであつて後者は反応の途上に於ては、 Fe_3C の溶解速度と黒鉛の析出速度との差として考えねばならぬ。

第11図及び第12図はこの拡散速度がケルダール法の可溶性窒素と比例的関係にあることを示すものである。ケルダール法で窒素を定量するとき、不溶解残渣として残っている窒素は非常に安定な窒化物であつて、この拡散速度には影響せず、唯可溶性窒素のみが問題になつて来るのであつて、可溶性窒素の少い程オーステナイト中の炭素の拡散が早くなつて、黒鉛化が促進されるものと考えられる。

可鍛鋳鉄の抗張力は表面層の組織が大きな要因をなすものであつて、表面層が内部と同様な標準の組織をしているか、又は脱炭によるフェライト縁であるか、又はパーライト縁であるかによつて、大きく異つて来る。このような表面層の生成過程は、主として焼鈍の難易によつて決定されて来るものである。故に本実験の如く黒鉛化速度の非常に異なる試料を同時に焼鈍した場合には、表面層の組織が種々変化して来て、抗張力に影響を与えるのでこれを除くため、黒皮を削除した試験片に就いて、抗張試験を行つた。表面層の組織の差を除いたのであるから、抗張力を左右する因子としては、焼鈍炭素の分布及びその形状、フェライト結晶粒度及びその性質並びに非金属介在物の量が問題となつて来る。南波氏⁽⁸⁾は同一熔湯の白鉄の焼鈍方法をかえて実験した結果、焼鈍炭素の分布は細い程又その形状は球形に近い程、抗張力は増大すると報告している。今井氏⁽⁹⁾は炭素鋼の抗張力は N_2 0.001% の増加によつて約 $0.35\sim 0.40 \text{ kg/mm}^2$ 増加すると報告しているので、可鍛鋳鉄の場合にもフェライト地の強度に就いてはこれを考慮しておかねばならぬ。又非金属介在物が増加すると、フェライト地及び粒間の強度が弱くなり、抗張力は低下することは当然予想される。これらを総合したものが第13図に示してある抗張力とケルダール法の可溶性窒素との関係であつて、窒素の低い所では黒鉛化が早いために焼鈍炭素が星型に発達し窒素が多くなるにつれて焼鈍炭素の形状は球状に近づくが、非金属介在物等の増加のために、抗張力は低下するものと考えられる。又窒素の増加と共に、フェライト地自身の強度も増加し、その結果として窒素 0.006~0.008% 附近の抗張力が最もよくなつているものと考えられる。但し本実験は各種の黒鉛化速度をもつた試料を同一温度及び時間で焼鈍したために、黒鉛化の早い試料には焼鈍

温度が高すぎて、そのために焼鈍炭素の變形が増して、抗張力を低下させたのではないかと考えられるので、この問題に就いては今後研究を続ける必要がある。

〔VII〕 結 言

以上の如く、酸性高周波電気炉で可鍛鋳鉄を実験的に熔製した結果を要約すると次の如くである。

- (1) 配合する新鉄の量によつて、その黒鉛化速度は相当に異つて来るものであつて、新鉄を 50% 程度も配合すると、黒鉛化は非常に早く、焼鈍炭素は星形に発達して来る。
- (2) 新鉄を 15% 程度配合すると、黒鉛化はやゝ遅くなり、焼鈍炭素は球形に近づいて来る。
- (3) 新鉄を用いずに、戻し屑のみを再溶解したものゝ黒鉛化は、最も遅くなつて居る。
- (4) この戻し屑を弧光炉で繰返えし溶解して行くと、黒鉛化は一層困難となる。
- (5) 抗張力は新鉄を 15% 程度配合したものが最も良好である。
- (6) この原因を調べるために、特殊微量元素、真空熔解法による酸素窒素及びケルダール法による窒素の分析を行つた結果、ケルダール法による可溶性窒素と相関関係のあることが判明した。

以上の如く白鉄中の窒素はその黒鉛化速度及び抗張力に大きな影響を与えるものであるので、可鍛鋳鉄製造の際の白鉄の性質を判断するための一つの基準としうることを確めた。現場の熔解作業は 50~60% 戻し屑を常に配合して居り、この戻し屑は常に繰返えし溶解されている。繰返えし溶解を行えば、材料の性質が悪くなることは本実験に於て示した通りである。故に材料の性質を悪化させないためには絶えず新鉄を補給して、適當なる性質を保持せしめるように努めると共に、熔解方法に就いても検討を進めなければならぬ。

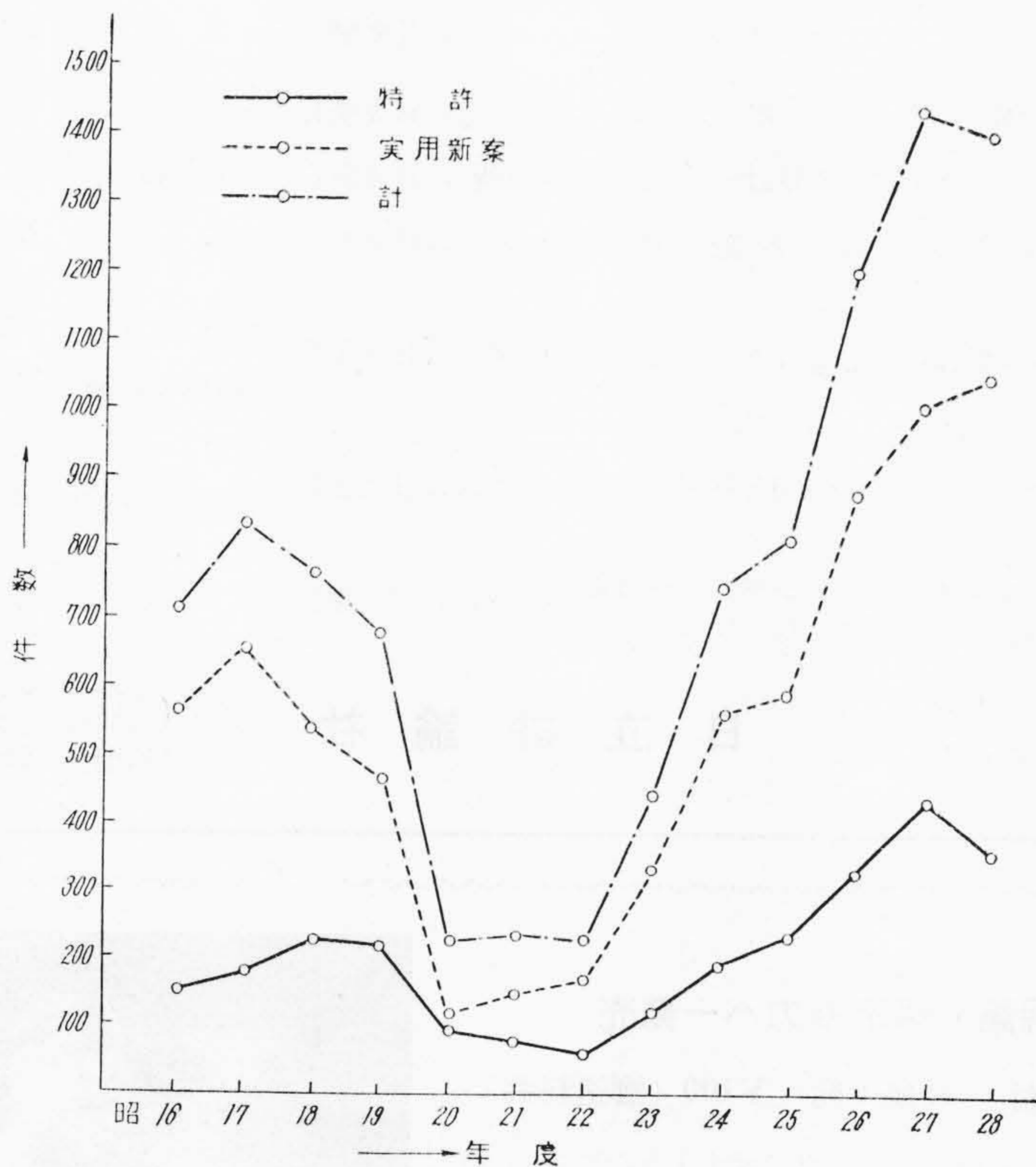
本研究は日立製作所戸畑工場前工場長宮下博士の御指導により行つたものであつて、実験に際し種々御援助賜つた日立製作所戸畑工場塩谷課長、研究室の諸氏に厚く感謝すると共に、真空熔融法のガス分析を行つて頂いた日立製作所中央研究所北川氏、米田氏に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 菊田： 鋳物本質論 (昭 11-9)
- (2) 沢村： 鋳鉄の研究 (III) (昭 25-3)
- (3) H.A. Schwarz: Chemical Composition of Malleable Iron A.F.S. (1946)
- (4) R.W. Heine: Some Effect of Doxidation

- Treatment on Graphitization of White Cast Iron A.F.S. (1946)
- (5) 本間： 鑄鉄に及ぼす酸素の影響 金属学会誌 Vol. 16 No. 9~12 (1952); Vol. 17 No. 1 (1953)
- (6) 宮下： 木炭銑の研究 鉄と鋼 Vol. 21 No. 1, 5 (1935); Vol. 23 No. 2 (1937)
- (7) C.H. Larig: Effect of Copper in Malleable Iron A.F.S. (1935)
- (8) 南波： 焼鈍炭素の形状に就いて 日立評論 Vol. 33 No. 9 (昭 26-9); 鑄物 Vol. 24 No. 4
- (9) 今井, 石崎： 鋼に対する合金元素としての窒素 金属学会誌 Vol. 16 No. 7

日立製作所に於ける昭和16年乃至昭和28年の年度別出願件数



昭和16年乃至昭和28年の年度別出願件数一覧表

年度	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
特許	157	179	227	214	96	77	58	115	182	229	324	436	360
実用新案	562	653	538	465	119	148	162	328	562	582	880	1,001	1,040
計	719	832	765	679	215	225	220	443	744	811	1,204	1,437	1,400

第36卷 日立評論 第4号

- ◎ 東北電力株式会社納沼沢沼揚水発電所用
ポンプのウォーターハンマーに対する研究(続報)....日立製作所・亀有工場 小堀 威
- ◎ 実物フランス水車の羽根車出口の水の流動状態の測定..日立製作所・日立研究所 {山崎卓爾
手島友亮
- ◎ 抵抗線歪計を使用したギブソン法による水車の性能試験..日立製作所・日立研究所 {山崎卓爾
田尻茂治
- ◎ 発電機の巻線保護と高速保護継電器.....日立製作所・日立国分分工場 {清水勝良
渡井三夫
- ◎ HTD型自動電圧調整装置.....日立製作所・日立国分分工場 広吉秀高
- ◎ 対向釣合型圧縮機.....日立製作所・川崎工場 鮎沢弘
- ◎ 最近の日立バッテリープラント.....日立製作所・笠戸工場 {嶋井澄
大谷巖太郎
- ◎ 可変方向結合器.....日立製作所・戸塚工場 南野幸雄
- ◎ 真空管工業に於ける低圧ガス流量計とその応用(第3報)..日立製作所・茂原工場 山本徳太郎
- ◎ 二重電圧蓄電器電動機の起動特性解析.....日立製作所・多賀工場 島田四郎
- ◎ 絶縁用塩化ビニル混和物としてのクレーに関する研究....日立製作所 {日立研究所 {中戸川武
日立電線工場 {人見男胤
吉川充雄
川和田七郎
- ◎ 日立サーモセトワニスの耐熱性及び耐油性....日立製作所 {日立工場 白井章
日立絶縁物工場 {松島喬
才川日出夫
- ◎ 低タングステンモリブデンバナジウム高速度鋼の
熱処理と切削耐久力に就いて....日立製作所・安来工場 {小柴定雄
永島祐雄

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冊分	¥100	〒12
	6冊分	¥430	(送料共)
	12冊分	¥840	(送料共)

「日立評論」綴込みカバー発売

(上製綴込み紐付) 特價1組 ¥100 (郵送料共)

「日立評論」の綴込み用として写真に示すような堅牢美麗な綴込みカバーを発売致しております。

御希望の方には特に実費にてお頒ち致しておりますから、直接下記に御申込み下さい。

日立評論社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地

(新丸の内ビルディング7階)

振替口座 東京 71824

