

資 料

鑄物用銑鉄「千葉銑」について

Introducing Kawasaki Steel's Foundry Pig Iron

才 野 光 男*

Mitsuo Saino

春 富 夫**

Tomio Haru

栗 原 淳 作***

Junsaku Kurihara

Synopsis :

To produce the foundry pig iron which is a new product of Kawasaki Steel Corp. a thorough investigation was made on quality designing and a manufacturing method which would sufficiently assure such quality.

High purity foundry pig iron having good properties is produced with strict selection of materials, optimum operation of blast furnaces and skillful pig casting practices. Quality assurance is realized with fully systematic process control.

An old pig casting machine was replaced by larger one having two bigger casting machines, with an aim of production increase and quality improvement.

New pig iron thus made has already been used by 50 foundries to make many kinds of cast iron, with great reliance of users placed on the quality.

1. 緒 言

当社では、千葉製鉄所の第1高炉稼動開始後間もなく、知多工場向けに鑄物用銑鉄を吹製し、しばらくの間供給を続けた実績を有している。しかし、その後千葉製鉄所の銑鉄需給バランスや、知多工場における原料地金の構成変化などから、その吹製は中断されていた。

しかるに、昭和46年に至り、諸般の事情から当社の外販製品の中に、新たに鑄物用銑鉄を加えることが決定され、これに基き、昭和47年、各需要家へサンプル銑鉄の提供を行ない、ついで昭和48年1月から正式販売を開始した。

外販に先立って、最近の鑄物用銑鉄に要求されている諸条件について改めて検討を行ない、従来からの設備、技術に抜本的な改善を加え、これに対処した。

販売開始後すでに一年有余を経過し、その評価も固まって需要も順調に推移しているが、この機会に、新製品である鑄物用銑鉄「千葉銑」について紹介したい。

2. 品質設計と製造方法の確立

「千葉銑」の品質設計をするにあたって、筆者らの最初になすべき仕事は、「良い鑄物用銑鉄」とはなにかをはっきりさせることであった。

* 千葉製鉄所管理部製鉄管理課掛長(現製鉄部製鉄課課長代理)

** 千葉製鉄所管理部製鉄管理課課長

*** 千葉製鉄所製鉄部製鉄課課長(現企画部工務課課長)

確かに、最近、鋳物用鋇鉄の定量的な評価方法がいろいろ考案されて¹⁾²⁾、かなり客観的な評価が得られるようになってきたが、鋳物の製造工程に関与する交絡因子が非常に多岐にわたるため、万人が納得できる鋳物用鋇鉄の試験・評価方法は、いまだ存在しないといってよい。“化学成分が同じでも、使ってみると、どこか他の鋇鉄と違う”という表現の仕方に、その辺の事情が凝縮されているように。

一方、原料鋇鉄の製品鋳物への“遺伝”など、完全に解明されていない現象も実際に存在するといわれており、一般的にいうと、使用者側は、新規銘柄の鋇鉄の採用には、とくに保守的にならざるを得ない状況にある。したがって、たとえサンプルであっても、最初の「千葉鋇」が良い評価を得られないと、のちのち販路拡張の面で非常に不利になることが予想され、それだけ鋳物用鋇鉄の良否の判断には慎重さが要求された。

このような背景から、筆者らは需要家からの広範な事情聴取や、確性試験方法などの事前調査に十分な時間をかけたが、これらの調査、検討の結果から、けっきょく最大公約数として、良い鋳物用鋇鉄とは、他の種々の原料地金とともに再溶解した際に、少くともその溶湯性状が安定していて、またその成分と製品鋳物の機械的性質との対応に安定した再現性があること、そしてそれには次のような性状を有することが必要であるとの結論に達した。

すなわち

- (i) 化学成分が適切でバラツキが小さいこと
- (ii) チル化を促す有害な金属元素、および非金属介在物が少ないこと
- (iii) 析出黒鉛の形状が良好で、かつ黒鉛球状化能がすぐれていること
- (iv) 重量が適切でバラツキが小さく、ヒケ、ワレなどの形状不良がないこと

などである。

ところで、次のより重要な問題は、これらの性状を有する鋇鉄の製造方法を確立することであった。具体的には、原料の選択から鋇鉄に至るまでの作業要因と、鋳物用鋇鉄の各性状との因果関係を定量的に把握することであり、これには理論的

考察に基づいて、実際に鋇鉄を製造し、その結果から再び製造方法を改善するという試行錯誤的方法を主として用いた。

これら一連の製造試験により、一応満足できる鋇鉄が得られるようになった段階で、試験品の製造を行ない、これを社内外の工場で実際の鋳物製造に供し、その結果から最終的な修正を行なって、製造技術の確立を図った。製造方法の詳細については次章に述べる。

3. 「千葉鋇」の製造方法

3-1 原料の選択

鋇鉄成分の調整と有害な金属元素の含有率を抑えるため、原料の選択は重要である。

広義の高炉用原料は、主原料としての鉄鉱石、媒溶剤としての石灰石、熱源・還元剤としてのコークス・重油、それに若干の副原料とから成っていて、これは鋳物用鋇鉄吹製の場合も同じである。ところで、主原料である鉄鉱石には、微量ではあるが、各種の金属元素が含まれており、しかも銘柄により成分にかたよりのある。

一方、高炉は強力な還元炉であるため、Crより貴な金属の酸化物はほとんど還元され、また酸化物の自由エネルギーが TiO_2 から MnO の間にはいる金属酸化物は、高炉の熱的状态に依存しながら、部分的に還元されて鋇鉄中にはいつてくる。もっとも、沸点の低いアルカリ金属、Znなどは、鋇鉄中にはいるよりも系外へ排出される割合の方が大きい。

けっきょく、適切な化学成分を有する鋇鉄を得るには、鉄鉱石の化学的特性と、鋇鉄性状に直接影響を与える諸成分の炉内での挙動を勘案して、鉱石銘柄を選択する必要がある。最近、東南アジア系鉄鉱石の入荷が少なくなったため、有害元素を含むものがかなり減ってきてはいるが、鋇鉄中のP, Ti, Cr, V, As, Snなどを低位に保つためには、使用できる鉄鉱石の銘柄数は大幅に制限される。

表1は、鋳物用鋇鉄製造のための鉄鉱石配合例であるが、大部分が豪州、南米系の鉄鉱石から成り、それらの不純物がきわめて低いことがわかる。

表 1 鋳物用鉄製造時の鉄鉱石配合例と銘柄別化学成分

銘柄	割合 (%)	化 学 成 分 (%)												
		Fe	SiO ₂	TiO ₂	Mn	P	Cu	Ni	Cr	As	Su	Zn	V	Pb
豪 州														
A	39.0	64.1	4.04	0.06	0.04	0.038	<0.001	0.002	0.006	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
B	26.6	62.4	4.70	0.13	0.03	0.053	0.002	0.003	0.004	0.001	0.001	0.003	0.003	0.001
南 米														
C	11.7	65.4	4.26	0.10	0.09	0.044	0.001	0.003	0.017	0.001	0.006	0.002	0.004	0.001
D	7.5	65.8	3.80	0.06	0.02	0.025	0.025	0.005	0.002	0.001	0.001	0.006	0.009	0.003
印 度														
E	5.1	65.9	1.87	0.14	0.02	0.038	<0.001	0.003	0.010	0.001	0.001	0.002	0.008	0.003
F	1.7	67.2	1.45	0.05	0.05	0.027	0.001	0.003	0.006	0.001	0.001	0.003	0.005	0.001
アフリカ														
G	4.2	55.3	19.59	0.04	0.02	0.014	0.009	0.005	0.013	0.002	0.001	0.004	0.001	0.003
ソ 連														
H	4.2	56.9	16.30	0.04	0.04	0.025	0.002	0.004	0.015	0.002	—	0.004	0.001	—

3.2 高炉操業

精選された原料鉄石は、高炉で還元、熔融され溶鉄となる。この工程は、鋳物用鉄の主要5成分の内、C, Si, Mn, S を決定するとともに、非金属介在物の量を左右し、鉄性状の大半を決めてしまう最も重要な部分である。

「千葉鉄」吹製用として、炉床径 7.6m、内容積 966m³、羽口16本を有する第1高炉が選ばれたが、鋳物用鉄吹製用としては、適切な規模の高炉である。

鋳物用鉄と製鋼用のそれとの根本的相異は、周知のように、Si 含有量の差にあり、前者の方が製鋼用鉄より2%前後高くなっている。そのため、鋳物用鉄の吹製においては、SiO₂ から Si への還元を促進するために、高炉の熱レベルを大幅に高くする必要がある。さらに非金属介在物、とくに SiO₂ の鉄中への懸濁を防ぎ、また S %を抑えるために、溶鉄温度とスラグ塩基度を高めに保つことが必要であり、けっきょく、高温高塩基度操業が鋳物用鉄吹製の基本となる。このため、当然のことながら燃料消費量は多くなる。

一方、このような熱レベルの高い操業においては、炉内の通気抵抗が増大して、装入物の降下を不安定にし、その結果、鉄成分の変動を招きやすい。それを避けるためには、順調な炉況を維持

表 2 鉄種別による高炉操業の比較

項 目	鉄 種 別	鋳 物 用 鉄	製 鋼 用 鉄
第 1 高 炉	内 容 積	966m ³	
	炉 床 径	7.6m	
	羽 口 数	16	
出 鉄 量 (t/d)		1283	1868
燃 料 比 (kg/t)		590	491
送 風 量 (m ³ /min)		1380	1490
送 風 温 度 (°C)		1009	1080
送 風 圧 力 (g/cm ²)		1105	1173
通 気 抵 抗 (—)		0.772	0.759
溶 鉄 温 度 (°C)		1520	1486
[Si] (%)		2.39	0.77
[S] (%)		0.027	0.037
[Ti] (%)		0.072	0.135
スラグ塩基度 $\frac{\text{CaO}+\text{MgO}}{\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3}$		0.96	0.94
休 風 (min)		40	0

することが是非とも必要であり、高炉操業に細心の注意と高度の技術が要求される。この点から生産性もある程度犠牲にされる。

表 2 に、鋳物用と製鋼用の両鉄の高炉操業を

比較して示した。これは上記の特徴をよく表わしており、前者が後者に比して、エネルギー消費が鋇鉄tあたり $780 \times 10^3 \text{kcal}$ (燃料比で約 100kg) 多く、かつ生産性が30%程低いことを示している。これが良質の鋳物用鋇鉄を製造するための高炉での出費増ということになる。

3.3 鋳鋇作業

高炉で製造された溶鋇は、鋳鋇機により、所定の型に鋳込まれ最終製品となるが、この工程は、型鋇の顕微鏡組織に影響をおよぼし、また重量のバラツキや肌の美醜など、最も一般的な商品価値に直接的に関係する。

これらの点とさらに能力をも考慮して、「千葉鋇」の外販を開始するにあたり、既設の鋳鋇機を廃棄し、新たに大型の鋳鋇機2基を設置した。これは、設備概要(表3)に示すように、機長65.4m、2基交互稼働時、最大月産5万tの能力を有するわが国最大級のものである。

表3 新設鋳鋇機の設備概要

(1基当り)

項 目	仕 様
型 式	ステーションナリローラ型
機 長	スプロケットホイール間 65.4m
傾 斜	7°10'
モールド速度	10~18m/min コントローラ制御方式
モールド数	226 (5kg 8ヶ取) × 2 連
電 動 機	33kW × 2
注 湯 樋	上段：移動式、下段：固定
鍋 傾 動 装 置	径660mm、捲上げ速度max. 8m/min
そ の 他	冷却・散水装置、塗型材攪拌吹付装置、天井クレーン、電動台車およびキャブスタン、集中給油装置、集塵装置など

溶鋇は、傾転された鍋から鋳鋇機に流し込まれる途中で、浮上している析出黒鉛とスラグを、十分に除去したのち、各モールドに等分に注湯される。重量のバラツキは、この段階で決るので作業には熟練が要求される。

一方、溶鋇の熱分析の結果から、後に述べるような形状の単重5kgの型鋇は、自然放冷した場

合、凝固終了までに約3minを要することがわかったので、これを考慮してモールドに注湯された溶鋇は、3.5min放冷されたあと注水冷却される。これにより、黒鉛形状の良好な組織が得られ、また型鋇の割れや亀裂が防止される。

モールドの塗型材には、従来から消石灰系のものが使用されているが、筆者らの調査結果では、消石灰の分解開始温度が350°Cと予想以上に高く、通常の乾燥方法では水分の除去が困難で、これが鋇鉄中へのガス吸着や肌荒れの原因になると考えられたので、塗型材を黒鉛系のものに変更し、消石灰の量を半減するとともに吹付量を可能な限り少なくした。また、均一な吹付けを確保するために、黒鉛の粒度管理を行なっている。

4. 工程管理

千葉製鋇所は、本来粗鋼年産650万tの規模を有する一貫製鋇所であり、鋇鉄生産も18000t/dayに達している。したがって、原料手当てから溶鋇輸送までの広義の製鋇工程は、この規模を念頭においたものであり、この中で1200t/day程度の小量異種の鋇鉄を製造することは、必ずしも容易なことではない。しかも、鋳物用鋇鉄は製鋼用のそれと異なり、外販用の最終製品であるので、品質保証の面から、工程管理上に十分の配慮が必要である。

具体的には、

- (i) 製鋼用鋇鉄製造工程との交錯による品質劣化の防止
- (ii) 一部工程の滞りにより惹起される生産性低下と、品質劣化の防止
- (iii) 多種にわたる規格別仕訳け作業での間違いの防止

などにとくに留意した。このためには、分析回数増加などで増大した情報を、適確に間違いなく処理することが肝要であり、したがって頻繁な情報伝達と、その作業の標準化を強力におし進めるとともに、規格判定やその連絡には、コンピュータを導入するなどしてこれに対処し、工程管理に万全を期した。

5. 「千葉鉄」の品質

5.1 規 格

「千葉鉄」の規格は、JIS G 2202 に準じて表 4 のように定めている。しかし、JIS に比して、P、S%は低くおさえてあり、一方、C%を上げるなど、大幅な品質向上を図っている。

また、型鉄の単重は5kgとし、その形状については、そのハンドリングをいまだ人手に頼っている小工場もあることを考慮し、つかみやすさの点を配慮した(図1参照)。

5.2 確性試験結果

確性試験は、当然のことながら、鉄鉄自体につ

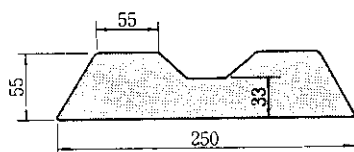
いてと、その鉄鉄を配合して溶解した溶湯と、それから得られた試験片および铸件製品について行なわれた。

表5は鉄鉄の微量成分の分析例である。鉄鉄性状に関係するといわれる微量成分の合計 $\Sigma T^{(3)}$ は0.100%程度であり、この純度の高さは、ダクタイル用鉄鉄に匹敵するものである。また、熱分析曲線も図2に示すように特異点のない典型的なものであり、鉄鉄性状にクセのないことを示している。

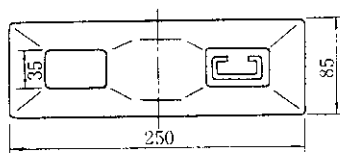
一方、写真1は「千葉鉄」の顕微鏡組織であるが、黒鉛の均一な析出と発達を観察される。これをタンマン炉で再溶解し、ホスホライザーで、Mg 0.2% 添加処理して黒鉛を球状化したものが写真2である。これも高い球状化率が得られており、鉄鉄純度の高いことを裏付けている。

表 4 「千葉鉄」の規格

種 類		化 学 成 分 (%)					
		C	Si	Mn	P	S'	
1 種	1 号	A	3.70以上	1.40~1.80	0.30~0.90	0.150以下	0.040以下
		B	〃	1.81~2.20	〃	〃	〃
		C	〃	2.21~2.60	〃	〃	〃
		D	〃	2.61~3.50	〃	〃	〃



断面図



平面図

図 1 「千葉鉄」の形状

表 5 「千葉鉄」の微量元素分析値

(%)

試料	Ti	Cu	Cr	Ni	As	Mo	V	Pb	Sn	Zn	Al	Sb	ΣT^*	O	H	N
A	0.072	0.003	0.011	0.009	0.002	Tr.	0.010	Tr.	0.002	Tr.	0.002	0.001	0.100	0.0034	0.00011	0.0040
B	0.071	0.006	0.017	0.013	0.003	0.001	0.015	Tr.	0.001	Tr.	0.003	Tr.	0.107	0.0042	0.00014	0.0031

* $\Sigma T^{(3)} = Ti + Cr + As + V + Pb + Sn + Zn + Sb$

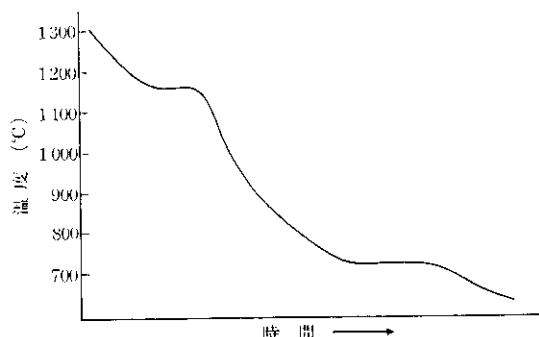


図2 「千葉鋇」の熱分析曲線



研磨のまま(×100)

成分 1 重-1 号-B

写真1 「千葉鋇」の顕微鏡組織



Mg 0.2%処理(×100)

成分 1 重-1 号-B

写真2 黒鉛球状化処理後の組織

そのほか、鋇鉄を単味溶解して溶湯性状や機械的性質などを調査し、品質の正常であることを確認した。

ついで、この鋇物鋇を他の原料と配合して実際に製品鋇物を造り、その過程で各種の調査がなされた。これらは、より実用的な意味を持たせるため、実験室の方法によらずに、自社、関連会社それに需要家の各工場で、実際の鋇物製品を製造し、その結果に基づいて、それぞれの方法によりその性状が調査された。製造された鋇物もFC15からFC35まで、多くの品種が網羅された。

試験、調査項目は、

(i) 溶解特性

5成分の挙動、歩止り、出湯温度など

(ii) 溶湯性状

初晶温度、流動性、チル特性、ヒケ、接種効果など

(iii) 機械的性質

引張強さ、硬さ、伸び、タワミ、抗折力など

(iv) 顕微鏡組織

など広範囲にわたるが、さらに、その工場の製品に特有の試験も当然のことながら実施された。

これらの調査の過程で、サンプル吹製した鋇物鋇の一部に、比較硬さを若干高める傾向が認められたので、高炉での吹製温度やスラグ塩基度の上昇と、モールド塗型材の変更などを行ない、鋇鉄製造方法に修正を施した。

図3(a)(b)に、これらの調査で得られた結果のうち、機械的性質について、鋇物の材質を良く表しているといわれる炭素飽和度 Sc^w と引張強さ、および引張強さと硬さとの関係をまとめて示した。これらは、それぞれ異なった工場で得られた数値でありながら、化学成分に対する機械的強度の対応性はよくとれており、また、成熟度や比較硬さも良好で原料鋇鉄の品質が良好であることを間接的に裏づけている。

本格販売を開始してから、この鋇物用鋇鉄は、すでに50以上の工場で使用されているが、当初、重量のバラツキと、使いなれに起因すると考えられる若干のトラブルについて報告があったほかは、品質上とくに問題はなくその性状は信頼され

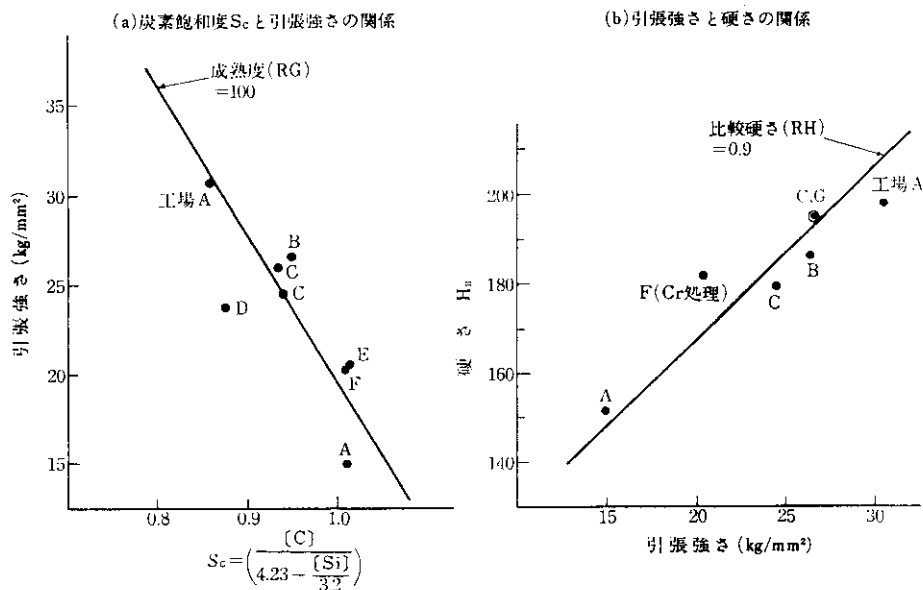


図 3 「千葉銑」を用いた鋳物の機械的性質

ている。

6. 結 言

鋳物用銑鉄「千葉銑」の製造方法とその性状について紹介した。その品質については需要家の信頼を得ている。

銑鉄鋳物は、将来さらに発展することが予想されているが、その製造方法、規模、品種、品質な

どの面における構造的変化は、原料銑鉄への要求を多様化させるものと思われる。高炉の操業は本来、連続かつ大容量の特性があり、多品種小量生産には向かないが、その制約の中で応分の努力はしなければならない。

「千葉銑」開発の過程で、協力と助言をいただき、貴重なデータを提供していただいた需要家の工場関係者各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 谷村, 兎玉, 斧, 高野, 佐藤, 筋田: 製鉄研究, (1963) 242, 77, 105, 119
- 2) (財) 総合鋳物センター: 鋳物用銑鉄性状調査報告書—銑鉄の選び方とその溶解法—, (1971), 44
- 3) 千田: 球状黒鉛銑鉄用原料銑のあり方 (昭和46年度日本鋳物協会技術賞受賞講演前副) 13
- 4) W. Patterson: Giesserei, 46 (1959) 11, 289