

高圧製団, 高温還元焼成併用による粉鉄鉱より高還元度ブリケットの製造に関する研究(第7報) : 砂鉄, 製鋼ダスト混用還元ブリケットの製造条件と品質についての考察

その他(別言語等)のタイトル	Studies on Production of Highly-reduced Briquettes from Powdered Iron Ore by Means of High-pressure Briquetting following High-temperature Reducing Firing in Succession (7) : Consideration of Manufacturing Conditions and Qualities of Reduced Briquettes from Mixture of Iron Sand and Steelmaking Dust
著者	田中 章彦, 片山 博, 田中 弘史
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	5
号	2
ページ	971-980
発行年	1966-08-25
URL	http://hdl.handle.net/10258/3292

高圧製団，高温還元焼成併用による粉鉄鉱より高還元度 ブリケットの製造に関する研究 (第7報)

砂鉄，製鋼ダスト混用還元ブリケットの
製造条件と品質についての考察

田中章彦・片山 博・田中弘史*

Studies on Production of Highly-reduced Briquettes from Powdered
Iron Ore by Means of High-pressure Briquetting following
High-temperature Reducing Firing in Succession (7)
Consideration of Manufacturing Conditions and Qualities of
Reduced Briquettes from Mixture of Iron Sand
and Steelmaking Dust

Akihiko Tanaka, Hiroshi Katayama and Hiroshi Tanaka

Abstract

For the purpose of the increasing iron content in the reduced briquettes from iron sand, we studied the variation of the qualities of briquettes by adding steelmaking furnace dust.

Results obtained are summarized as follows :

- (1) Increase in dust addition lowers strength of green briquettes, but with 30 to 40% increase, briquettes are considered to be usable in practice without trouble.
- (2) Addition of dust increases degree of reduction and strength of fired briquettes if the particle sizes of coal and iron sand are suitable.
- (3) An adequate addition of dust is effective in order to prevent the pulverizing of briquettes in the early stage of firing.

I. 緒 言

高圧製団，高温還元焼成併用による高還元ブリケットの製造法^{1)~4)}を製鋼ダストに適用し試験した結果については前報⁵⁾で詳述した。ダストを単味で本法の原料として使用する場合，当然きわめて高品位の経済価値の高い還元ブリケットを得ることができるが，著者らの試験を行なった範囲内では，この工業的生産を実施するにあたり，次の二つの大きな技術上の問題点がある。

- 1) 生ブリケットの強度が相当低く，このハンドリングに特別の配慮が必要である。
- 2) 還元初期に亀裂が生じ易く¹⁾，還元炉内での粉化率が高く，これは損失となるばかりでなく，炉壁に付着し炉材を侵食する。

* 室蘭工業高等学校金属工業科

今後、原料およびその配合、団鉱法の検討により、この幾分かは改善し得る余地が残されているが、本質的にはこれはこの材料につきまとう問題であるように思われる。

一方、砂鉄を原料とした場合は、これらの困難はなく、強度の面では優秀なブリケットが得られるが、砂鉄自体の含鉄品位は低く経済的価値の高い還元ブリケットは得られない。以上この両者の欠点を互いにおぎない、含鉄品位が高く、かつ優秀な性質をもつ還元ブリケットを得る目的で、我々は砂鉄とダストの混用を試みた。以下この二者の混合比による、製品ブリケットの特性の変化を概述する。

II. 実験試料および方法

本研究の主原料である砂鉄およびダストの化学組成は表-1に、また砂鉄の粒度分布は表-2にそれぞれ示される。砂鉄 A, B はともに北海道噴火湾沿岸において採掘磁選されさらに磨砕されたものであり、ダストは富士製鉄株式会社室蘭製鉄所の LD 転炉ダストで、同所の調査では 0.5μ 以下がその主体をなしている。

表-1 原料鉱石の化学組成 (%)

種別 \ 成分	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Mn	S	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Zn
砂鉄 A	52.14	30.18	40.90	9.19	—	0.05	8.27	3.12	1.24	2.87	—
" B	58.32	34.55	44.98	3.87	—	—	9.68	2.80	0.61	3.39	—
LDダスト	65.86	3.37	90.41	0.76	0.98	0.08	—	0.15	1.77	0.18	0.56

表-2 原料砂鉄の粒度分布 (%)

種別 \ 粒度区分 (メッシュ)	48~100	100~150	150~200	200~250	250~325	-325
砂鉄 A	0	5.2	6.7	7.0	16.2	64.9
" B	0.6	30.0	23.8	12.2	11.4	22.0

還元剤として使用した石炭は北海道夕張産粘結性炭で、これを粉砕、篩分し 48~100, 100~150 メッシュのものをを用いた。その工業分析値は表-3に示す。この2種の粒度のものをそれぞれ比較使用したが、表に示されるように両者の成分は大きな差があり、粗粒の方は細粒にくらべて固定炭素が少なく、灰分がいちじるしく高いことに注意せねばならない。

表-3 夕張炭の工業分析値 (%)

粒度区分 (メッシュ)	水分	揮発分	固定炭素	灰分
48~100	1.84	33.54	43.54	21.08
100~150	1.29	40.04	50.56	8.11

粘結剤として使用したピッチは JIS 規格ピッチコークス用であり，組成その他詳細は前報⁴⁾に記したので省略する。これも -100 メッシュに粉碎使用した。

以上鉱石，石炭，ピッチの配合比は従来の研究結果より 80:20:3 に一定した。本報ではこの鉱石 80 に砂鉄，ダストを各割合で混じたものを使用し，その影響をしらべた。

成形法は既報とまったく同じで 17 mm×17.4mm φ の円筒状のブリケットを作製した。成形圧はこのブリケット 1 個あたり 5,000 kg で，これは 2,100 kg/cm² に相当する。なお，生ブリケットの強度の測定には比較するため 1,000 kg，3,000 kg の圧をも使用した。

焼成法も既報と同じで，焼成温度は 1,250°C と従来の経験から一定し，焼成時間は 5，15，30，60 min とした。

III. 実験結果および考察

1. 生ブリケットの見掛け密度および強度

工業的生産にあたってその能率や製品歩留を大きく支配するものとして，本法においては第 1 に生ブリケットの強度があげられる。特に前報⁵⁾のダスト単味配合の場合の結果から見てこれは十分検討を要する問題であり，その資料として見掛け密度も測定して見た。

粉体の圧縮成形に関しては最近特に関心がもたれ，多数の研究報告がある。特に本研究と関係のある成形圧，粒度とかさべり度との関係などもいろいろ解析され実験式なども提出されている^{6)~9)}。しかしながら，本実験の場合きわめて解析困難ないくつかの複雑な因子を含んでいる。たとえば成形圧が構成粒子の耐圧限をこえること，ダストのような超微粒子を含むこと，ピッチのように圧縮熱によって軟化する物質を含むこと等々を考えると，圧縮成形の機構は単なる粒子移動による密充填や構成粒子の変形以外にある粒子団の入り，粘着凝集，粒子の圧潰微粉化などもいろいろ考えられる。したがって一部のデータより異なった原料条件，圧縮条件のものと結果を類推することはきわめて困難である。以下特定の原料，配合，成形圧のものと実験結果を示し考察するが，原料のわずかな相違，粒度構成比の差，等によって強度，密度に大きな差を生ずることも考えられる。

図-1 は原料砂鉄，ダストの混合比をいろいろな割合に変じた場合の生ブリケットの見掛け密度と強度の変化を示す。見掛け密度に影響をあたえると思われる密充填度は構成粒子の粒度分布に関連があると考えたので微粒砂鉄の A，粗粒砂鉄の B の各々に石炭も粒度の異なった 2 種を使用し，それぞれの組合せにおいて 4 曲線を得た。砂鉄はダストより真比重が大であるので各曲線ともダスト配合量をまずにつれて見掛け密度が降下するのは当然である。4 曲線ともダストの少量の配合の場合密度はほとんど低下せず 50% 以上から比重差の関係から直線的に降下する。微粒の砂鉄 A を用いた場合特にこの傾向がいちじるしい。このような各曲線の 25~40% の間にあるピークはそれぞれの配合において最密充填された配合であると考えて

よいと思う。ダストと砂鉄、石炭との間には粒度にいちじるしい差があるためにダストは砂鉄、石炭の粒子間の空隙を充填しつくすまでは見掛け密度が低下せずむしろ上昇するのは当然と考えられる。

なおこの4種の組合せにおいて砂鉄、石炭ともに粗粒の場合がブリケットの密度最大で、ともに微粒の場合が最小となり、粗粒砂鉄微粒石炭の組合せと微粒砂鉄、粗粒石炭の組合せを比較するとダスト低配合側は前者が後者より密度が高く、約50%以上のダスト高配合側ではこれが逆になっている。これは砂鉄、ダストの粒度、配合比に関連して変化するのでここであまり明確な結論を見出すことはできない。ただ一般的に見られることはダストが超微粒子であるために、砂鉄、石炭は粗粒子の方が密充填され見掛け密度の高いブリケットが得られると思われることである。

耐圧強度は一般にダストの配合比が増すにしたがい低下する。前述の砂鉄石炭の各組合せを比較すると、見掛け密度とは非常に異なった傾向を示す。まず100~150メッシュの粒度の細い石炭を使用した場合、砂鉄粒度には関係なく、ダスト低配合側できわめて高い強度を示し、ダスト量を増すにしたがって急速に低下することが注目される。これに対して48~100メッシュの粗粒炭の場合は砂鉄単味でも非常に強度が低く、全般的に見て砂鉄の粒度には大きな関係をもたない。

以上を考えると生ブリケットの耐圧強度を大きく支配する因子は、大量に含まれる砂鉄の粒度や密充填度ではなく、少量含まれる石炭の粒度であるように思われる。つまり圧力によって迂り破壊する機構を考えると、最も弱い石炭が微粒で均質に鉱石中に散在していることが重要のように思われる。なお微粒砂鉄、粗粒石炭の組合せの強度曲線が密充填度に関連ある見掛け密度曲線に対応していることはきわめて興味がある。なお、石炭の粒度により成分が相違していることも考慮に入れねばならない。

図-1の結果より、ダストの配合量を増すと生ブリケットの強度がいちじるしく低下すること明らかであり、この面からダストの配合許容限は30~40%のように思われるが配合比、配合粒度、粘結剤とその添加量の研究によりさらに改善され得るかも知れない。

次に製団圧と生ブリケットの耐圧強度との関係をしらべると図-2のようである。この図

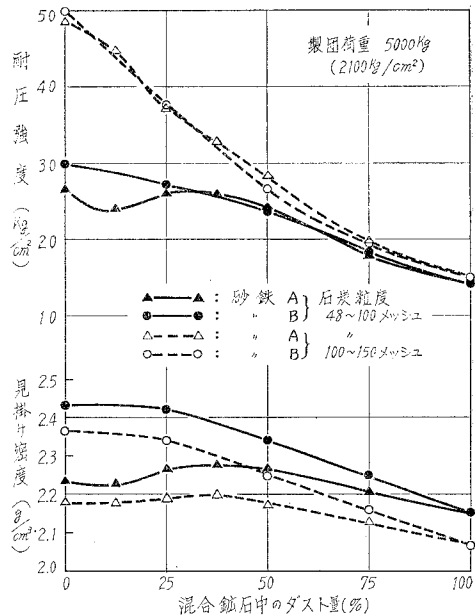


図-1 ダスト配合量による生ブリケットの強度および密度の変化

の数値はダスト配合量 37.5% に一定し，砂鉄は A を使用したものである。いずれの粒度の石炭においても，製団圧を低めると耐圧強度はいちじるしく低下し，2,100 kg/cm² がハンドリングに支障のない生ブリケットを得るに最低の成形圧であることがわかる。

2. 焼成ブリケットの肉眼観察

図-3 は 1,250°C，30 min 焼成した砂鉄ダスト混合ブリケットの外観を示す写真である。配合石炭別に (a) (b) 2 群に分かれるが，双方ともダスト配合量は左から 0，25，50，75，100% である。いずれもダスト配合量が増すにしたがって亀裂が多く，また大きく生成しダスト単味側では変形を示している。また (a) (b) 両者を比較すると，粗粒炭使用のものに比べて微粒炭使用の場合は亀裂，変形がひどくダスト 75% 以上配合した場合は崩壊に近い。焼成過程にできるこのような亀裂は炉中での粉化崩壊を起すことが考えられる。

次にこれらの焼成ブリケットを縦方向に切断し破面を見た写真が 図-4 である。(a) (b) の区別は 図-3 と同じであり，ダスト配合量は左から 0，37.5，75% である。砂鉄単味の場合両

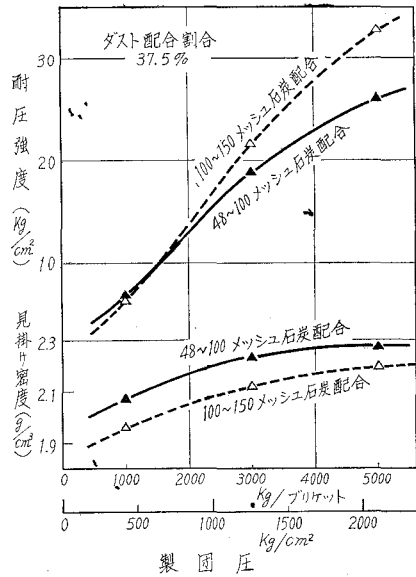
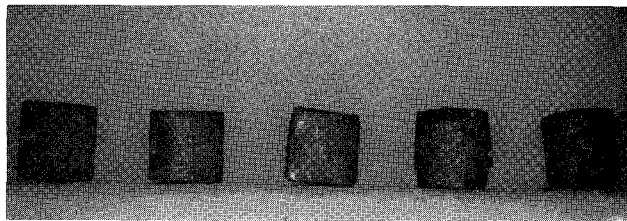
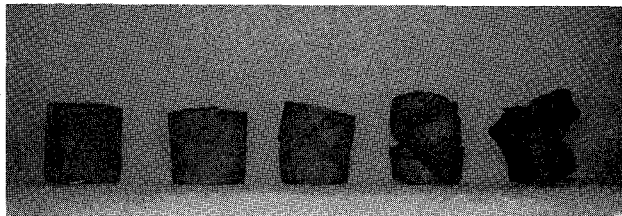


図-2 成形圧による生ブリケットの強度および密度の変化



a) 48~100 メッシュ石炭配合



b) 100~150 メッシュ石炭配合

図-3 ダスト配合による焼成ブリケットの形状変化
焼成条件； 1,250°C，30 min 使用砂鉄； B

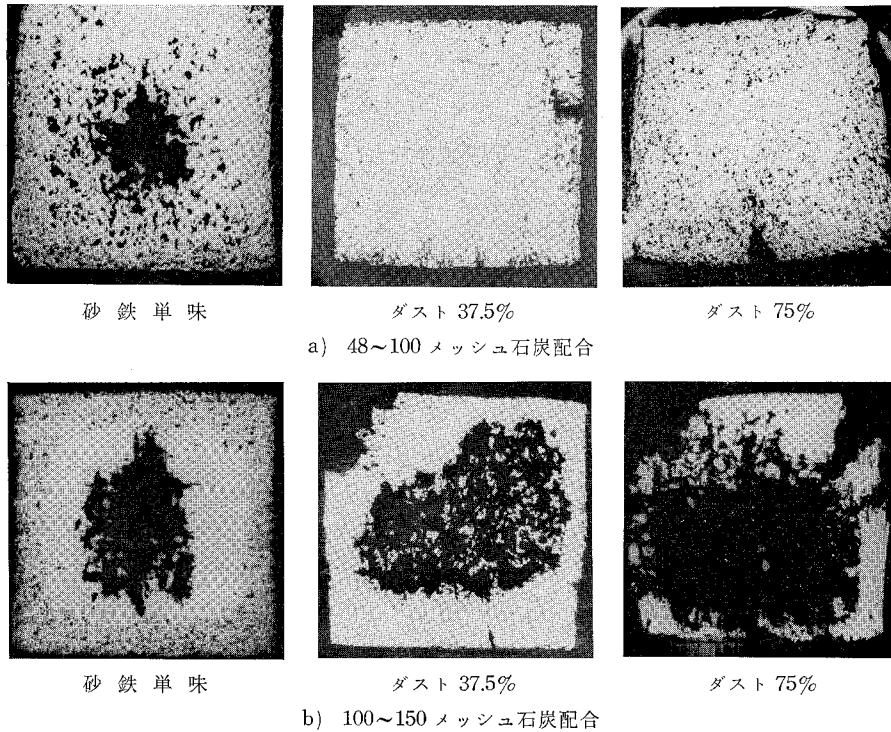


図-4 ダスト配合ブリケットの内部組織
(使用砂鉄および焼成条件は 図-3 と同じ)

炭種とも内部に空洞を生成している。(a) の場合はダスト量を増加するとこの空洞は次第に消失し、内部に向う程緻密な全鉄の組織を示す。(b) の場合はダストの配合量がますますしたがって空洞はさらに大きくなり、約 75% をこえると外部からの亀裂と連絡し崩壊するのが見られる。なお、この空洞内に砂鉄単味配合以外は多量の炭素を残留しているのが注目された。

この 図-3, 図-4 の場合 (a) (b) の現象の相違は単に粒度差のみに帰せられるものではなく、表-3 に示すごとき石炭成分の相違も考えねばならぬ問題であるが微粒の場合反応生成ガスがブリケット内に閉塞され還元反応が遅滞することが考えられる。

3. 焼成ブリケットの全鉄、還元度、残留炭素量

ダスト配合量の変化による焼成ブリケットの全鉄の変化は 図-5 に示される。この焼成条件は 1250°C, 30 min である。ダストは表-1 に示されるように砂鉄にくらべて含鉄品位が相当高いので、ダスト高配合になるほど全鉄量がますますのが当然であり、到達還元度が等しいならば、直線的に上昇すべきである。図より石炭が微粒の場合はほぼ直線の上昇を示すが、粗粒の場合にはダスト高配合側で幾分低い値を示している。これは 図-6 でのちに示すように還元が遅れることを意味するものと思う。砂鉄の粒度の影響はダスト高配合になると少なくなるが 75% でも相当の差が見られることは注目される。

次に同じ焼成条件におけるダスト配合量の変化による還元度，残留炭素量の変化を図-6に示す。この図できわめて興味あることは還元度が高いものが残留炭素も高くなっていることである。ダスト低配合部は粒度があらいために石炭は反応初期に急速に燃焼消費され，還元度，残留炭素ともに低値を示す。ダストが30~50%の前述の密充填域は配合炭の早期消失をある程度抑制し，配合石炭が有効に還元作用に利用され，還元度が高くまた炭素も多く残留する。ダスト高配合側で特に灰分の多い粗粒炭の場合，還元度が低下するのは単に石炭粒度のためばかりでなく，灰分が作用するものと考えている。すなわち，ダストは微粉で化学的に比較

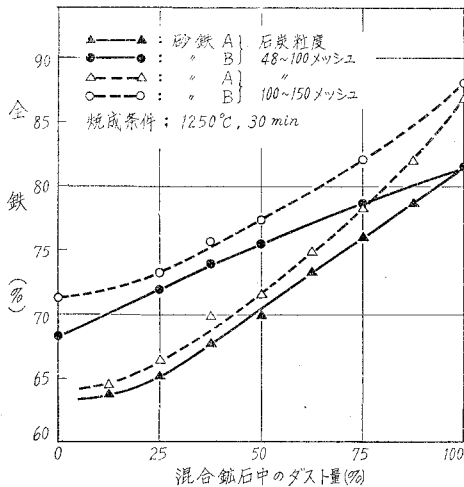


図-5 ダスト配合量による全鉄量の変化

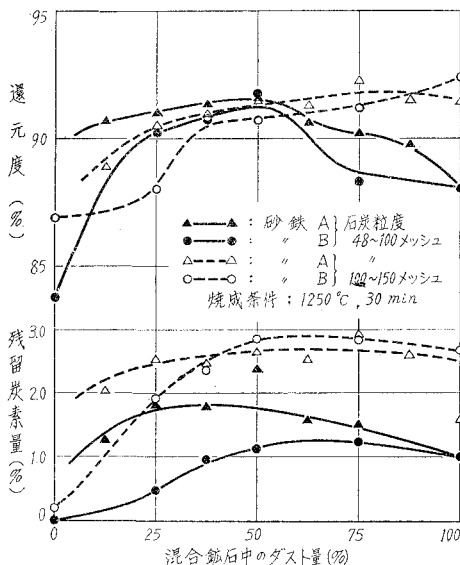


図-6 ダスト配合量による還元度および残留炭素量の変化

的活性であり，これが石炭中の灰分と結合し低融のスラグを作り，これが酸化鉄と反応ガスとの間の接触を妨げることが考えられる。以上よりダスト配合量が多ければ到達還元度は一般に高まるが灰分の多い石炭を使用すると逆に低下しこの場合は30~50%において最高の還元度を示すといえることができるように思われる。

生ブリケットの強度が許容範囲内にあり全鉄分を高め，かつ還元度も上昇するダスト配合域は上述の諸結果から30~40%程度と思われるので，ダスト配合量をこの域内で一定させ，1,250°Cで焼成した場合の焼成時間の進行にと

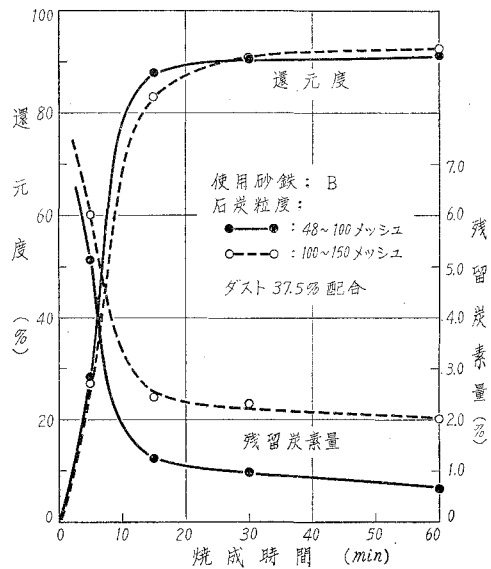


図-7 ダスト配合ブリケットの焼成時間による還元度および残留炭素量の変化

もなり還元度、残留炭素の変化を見ると 図-7 のようである。この配合のブリケットはきわめて迅速に還元が進行し 15 min でほぼ最高値 90% に達する。微粒石炭の場合は粗粒石炭より初期は幾分還元の進行がおくれ 30 min 以上で還元度は逆に粗粒炭のものを上回る数値に達する。残留炭素は還元度と対応し 15 min までに急速な下降を示し、以後は大きな変化はない。この場合微粒炭の方が粗粒炭より炭素を多く残留する。これは固定炭素量の差、初期に亀裂の発生が少なく炭素の冗費量が異なることなどが主因のように思われる。

4. 焼成ブリケットの耐圧強度

ダスト配合量による焼成ブリケットの耐圧強度の変化は 図-8 に示される。使用砂鉄は A、石炭粒度は 48~100 メッシュ、焼成条件は 1,250°C, 30 min である。これによりダスト配合量を増すととも強度は 25~30% まで急激に降下し、その後はダスト量をましても大きな変化がないことがわかる。焼成ブリケットとして最低 500 kg/cm² 以上の強度をもつので実用上は大きな問題がないと思われる。

次に粗粒砂鉄 B を使用した場合、これは 図-8 の微粒の場合に比べて相当低い強度を示す。特に微粒石炭を使用した場合、強度はきわめて低く高ダスト配合では炉内ですでに崩壊しほとんど使用に耐えない。これらの変化は 図-9 に示される。また 図-3, 図-4 の写真においても表面が崩れ、内部も大きな空洞を生成していることから、その理由もうかがえるところである。粗粒石炭の場合は微粒石炭にくらべてはよほど高い値を示し特に低ダスト配合ではダストの配合量の増加がかえって強度を高めている。すなわちダストの配合によって、粗粒の砂鉄や石炭の空隙をうずめ組織を緻密化する結果と思われる。

一般に高ダスト配合の場合、強度低下を示すのはヘマタイトからマグネタイトの変化にと

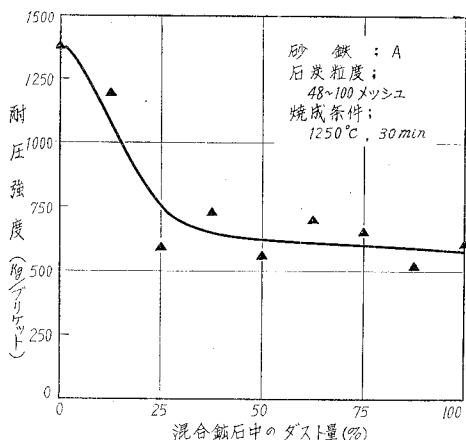


図-8 ダスト配合量による焼成強度の変化 (I)

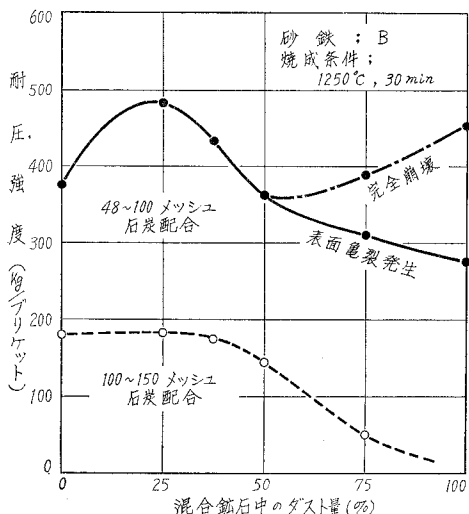


図-9 ダスト配合量による焼成強度の変化 (II)

もなう容積変化¹⁰⁾による亀裂の生成にもとづくもので、ヘマタイト量すなわちダスト量の多いものほど低下はいちじるしい。しかしながら還元取縮をおこしたものの実質は比較的強度高く、圧をうけると最初表面の亀裂がさけて落ち、内部の実質は更に高い圧をかけてはじめて完全崩壊する。図-9の実線のもの高ダスト側にこの経過を示している。これを見るとダストが高配合になる程、表面亀裂はさけ落ちやすくなるが、実質はかえって強度が上昇しているのがわかる。

次にダスト37.5%配合の生ブリケットを1,250°Cで焼成した場合、焼成時間による強度変化をしらべた結果は図-10で示される。使用砂鉄は粗粒のBである。すべてのこの種のブリケットと同様に焼成初期5minに粘結剤の燃焼消耗にもとづく脆弱期がある。しかしダスト配合により密充填された結果、燃焼が急速でなく、また圧力による粒子相互の密着力が強いためか、この脆化はいちじるしくない。特に粗粒石炭を配合した場合、灰分の高いことにもよるが、この脆化期の強度は生ブリケットの強度をわずかに下廻る程度で

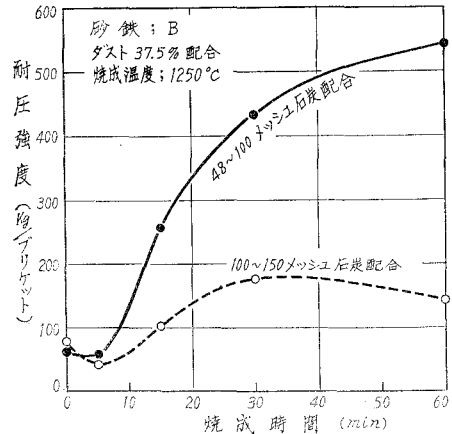


図-10 ダスト配合ブリケットの焼成時間による強度の変化

この点むしろある程度のダストの添加が、焼成初期脆化を改善するものと考えられる。

IV. 結 言

砂鉄を原料とする還元ブリケットの鉄品位を向上させる目的で製鋼ダストをいろいろな割合に配合し、製造工程および焼成ブリケットの品質にいかに関与するかを調査した。得られた結果を要約すると次のようになる。

1. ダストを配合すると一般に生ブリケットの強度を低下する。しかし40%程度までの添加は注意してあつかえば、大きな支障はないように思われる。
2. 40%程度までのダストの配合は焼成ブリケットの品位を高めるとともに、到達還元度を向上し、また配合炭の種類、粒度により焼成ブリケットの強度をも高め得る。
3. ある限度までのダストの配合は焼成初期の脆化を緩和する効果がある。

以上よりダストの30~40%の添加は生ブリケットが幾分脆弱になる不利をしのぐことができ、焼成ブリケットの品質の向上に有利であると考えられる。ただ砂鉄ならびに石炭の粒度、品質がこれらの性質に大きな影響をあたえることが明白であるので、実際にあたっては、この点十分検討を要するものと考えている。

本研究に協力され援助をいただいた各方面に末筆ながら謝意を表する。

(昭和41年4月30日受理)

文 献

- 1) 田中章彦・片山 博：室工大研報, **5**, 35 (1965).
- 2) 田中章彦・片山 博：室工大研報, **5**, 47 (1965).
- 3) 田中章彦・片山 博・田中弘史：室工大研報, **5**, 57 (1965).
- 4) 田中章彦・片山 博：室工大研報, 本号.
- 5) 田中章彦・片山 博：室工大研報, 本号.
- 6) 川北公夫：粉体および粉末冶金, **10**, (2), 71 (1963), **10** (6), 236 (1963).
- 7) 若林隆夫：粉体および粉末冶金, **10**, (3), 83 (1963).
- 8) 川北公夫・津々見雄文：材料, **14**, (144), 707 (1965).
- 9) 武内延浩：材料, **14**, (144), 704 (1965).
- 10) J. O. Edström: J. Iron and Steel Institute, **175**, (11), 289 (1953).