



高压製団,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2報):
砂鉄を原料とした還元焼成ブリケットの品質におよ
ぼす原料の種類・粒度の影響

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-06-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 田中, 章彦, 片山, 博 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3228

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2報)

砂鉄を原料とした還元焼成ブリケットの品質に
およぼす原料の種類・粒度の影響

田中章彦・片山 博

Studies on Production of Highly-reduced Briquettes from Powdered Iron Ore by Means of High-pressure Briquetting following High-temperature Reducing Firing in Succession (2) Effect of Various Kinds and Particle Sizes of Raw Materials on the Qualities of Highly-reduced Briquettes from Magnetic Iron Sand

Akihiko Tanaka and Hiroshi Katayama

Abstract

After the investigations in the previous report, the authors studied the effects of various kinds and particle sizes of raw materials on the qualities of the highly-reduced briquettes. The results obtained are as follows: -

- (1) It is necessary to grind the magnetic iron sand in 200 to 250 meshes.
- (2) The coking property of the coal added has slight influences on the degree of reduction. However, briquettes are cracked when non-coking coal is used, while they expand in barrel shapes and form the cavities in the product when coking coal is used.
- (3) It is desirable that the coal is ground in 100 to 150 meshes.
- (4) About 20 pct. of sulfur content in raw materials is removed in the reducing firing.

I. 緒 言

前報において¹⁾、磨砕した砂鉄を原料とし、これに還元剤とわずかな粘結剤を配合し、粉体高圧団鉱と高温還元焼成を併用することにより、きわめて高還元度の焼成ブリケットを製造し得ることを報告した。この方法は従来の各法に比較して実際に工業的に生産し鉄鋼原料として使用する場合、次のような利点を期待することができる。

- 1) 還元剤として低質の国内産石炭が利用できる。
- 2) 還元反応がきわめて迅速に行なわれるため、小規模の設備で大量の生産が可能である。
- 3) 製品が高還元度のため、高炉、電気炉により製鉄を行なう場合、それぞれークス、電力の消費量をいちじるしく節減し、かつ生産性の向上も期待できる。

4) 製品の粒度がそろっており、また相当の強度を有するので、製鉄作業を高能率化することができる。

5) 原料として高鉄含有の粉鉱、低灰分の石炭を使用すれば、直接に製鋼用配合原料としても使用可能である。

以上より、さらにこの方法をあらゆる角度から検討することが必要と思われ、ひきつづいて各種の実験を行なった。

この焼成ブリケットの品質とくに還元度に影響を与える因子としては第一に前報で述べた焼成条件をあげることができるが、これとともに還元反応の速度を支配する原料条件も当然重要であると考えられる。本報告ではこのうち、原料砂鉄の粒度、還元剤として使用する石炭の品質、粒度の影響を考察する目的で行なった二、三の実験結果について述べることにする。

II. 実験試料および方法

原料砂鉄は前報で使用した磨砕砂鉄のほかに、北海道国縫産の未磨砕砂鉄を使用した。それぞれの化学組成および粒度分布は表-1, 2 に示す。

表-1 原料砂鉄の化学組成 (%)

種 別	成 分								
	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	S
未 磨 砕 砂 鉄	56.91	30.40	47.59	6.31	2.73	1.08	2.30	7.57	—
磨 砕 砂 鉄	52.14	30.18	40.90	9.19	3.12	1.24	2.87	8.27	0.051

表-2 原料砂鉄の粒度分布 (%)

種 別	粒 度 区 分 (メ ッ シ ュ)					
	42~100	100~150	150~200	200~250	250~325	-325
未 磨 砕 砂 鉄	19.0	70.0	9.0	1.0	0.4	0.6
磨 砕 砂 鉄	0	7.0	24.6	58.8	6.0	3.6

この両者を比較すると未磨砕砂鉄の方が鉄の品位が高く、この分だけ磨砕砂鉄の造滓成分が大体比例して多くなっている。しかしこの二者から得られた結果の差はほぼ磨砕の効果を示すものとみなし得る。

還元剤としては北海道幌内産非粘結性炭および同じく夕張産粘結性炭を使用した。それぞれの粒度の影響をしらべるためにこれを篩分し、48~100, 100~150, -150メッシュの3粒度のものを還元剤として使用することとした。それぞれの工業分析値は表-3に示す。

この両炭種および各粒度のものそれぞれ成分に大きな差があり、炭種、粒度の影響を比較する際に十分考慮しなければならない。

表-3 石炭の工業分析値 (%)

成 分	幌内産非粘結性炭			夕張産粘結性炭		
	48~100	100~150	-150	48~100	100~150	-150
水分	4.20	3.86	3.78	1.84	2.36	2.07
揮発分	42.97	42.51	39.65	33.54	32.01	32.29
固定炭素	43.39	42.21	37.82	43.54	40.05	40.08
灰分	9.44	11.42	18.75	21.08	25.58	25.56
硫黄	—	0.255	—	—	0.216	—

粘結剤としては第1報と同一のピッチを使用した。

以上3者の配合比は前報の結果から砂鉄80，石炭20，ピッチ3を主体として大半の実験を行なったが，前述のように炭種および粒度によって成分の差が大きく，また砂鉄も鉄の品位にいくらか相違があるので上記以外の配合比のものについても実験し考察の対象とした。

製団法，焼成法は前報とまったく同じであり，各原料の変化にともない焼成条件も変化せしめ数多くの実験を行なった。

III. 実験結果および考察

1. 炭種の影響

幌内産の非粘結性炭を配合したブリケットは前報で述べたようにすべての条件において亀裂が発生したが，夕張粘結性炭を配合したものは亀裂が発生せず，ほとんど原形を保ったまま焼成収縮し強度の高い還元ブリケットが得られた。これはもちろん，成分の相違によるものと考えられるが，最近の実験結果から粘結性の有無が重大な影響を及ぼすことが知られている。すなわち，挿入直後の急激なる揮発分の逸出と膨張に対する両炭種の抵抗力の差にもとづくものと思われる。

重量変化および全鉄量はこれらの両者において大差はないが，表-3に示されるように夕張炭は各粒度とも灰分が高いため，いずれも幌内炭配合のブ

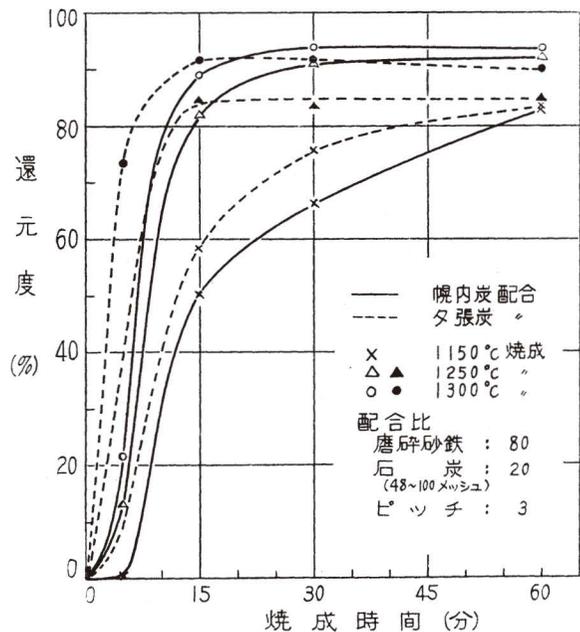


図-1 還元度におよぼす炭種の影響 (I)

リケットより数パーセント低い値を示した。

図-1は48~100メッシュの両石炭を配合した各ブリケットの還元の進行状態を示したものである。この図より明らかなように、夕張炭を配合したブリケットは初期に還元がすみやかに進行し幌内炭配合のブリケットより高い還元度を示し、かつ短時間で最高値に達する。しかし30分以後の最高到達還元度は幌内炭配合が幾分高く示された。

図-2(a)は100~150メッシュの石炭を配合した場合の還元度の焼成温度による変化を示したものである。1250℃付近でいずれの石炭の場合もほぼ同一の還元度を示しているが、それより低温で焼成した場合夕張炭配合のものが幌内炭に比べて還元反応の進行は

早く、高温焼成では逆に幌内炭の方が高還元度に達している点が注目される。図-2(b)はさらに焼成温度に対して粒度別に示したものである。この図は後述の石炭粒度の影響に関するものであるが、明らかに各粒度とも(a)と同様の傾向を示している。

この両炭種の固定炭素量は表-3に示されるように大きな差がみられぬにもかかわらず、還元の進行状態にこの差が現われるのは粘結性以外に揮発性成分(揮発分+水分)および灰分の種類、量の相違が影響したものと思われる。すなわち、幌内炭の方が約12%も揮発性成分が高いため短時間焼成ではその気化熱により焼成温度に達するのが遅れ、さらに低温ではその影響が長く存続する。一方、還元反応がある程度進行すると夕張炭配合のブリケットは灰分が高く、これが砂鉄中の造岩鉱物と結びつき半溶融状の鉱滓となって還元反応の進行を妨げ、また早期に還元生成鉄と半溶融鉱滓から成る緻密な外殻を形成し、内部生成ガスの逸出を妨げ還元反応の進行を抑圧することも考えられる。実際、高温で焼成した夕張炭配合のブリケットのうちいくつかは樽型にふくらみ内部に空洞が形成されていた。これに対して非粘結性炭では焼成直後に亀裂が発生するため高温でも生成ガスの逸出は容易であり、また灰分が少ないため鉱滓量が少なく反応の進行をあまり阻害しない。しかし幌内炭の場合も亀裂を形成した状態で十

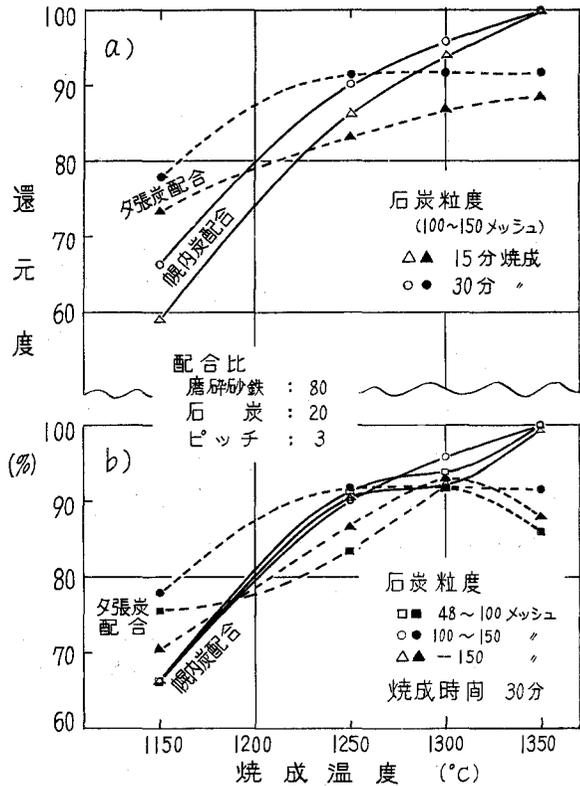


図-2 還元度におよぼす炭種の影響 (II)

分焼結しており，その使用に際して強度上の問題はほとんどない。また比較的低温から徐熱するか，あるいは粗粒の原料を配合することによってこの亀裂の発生はある程度防止することができる。

次に原料石炭中に含まれる硫黄がどの程度製品ブリケット中に残留するかを知ることは炭種を選定する上に，また製品ブリケットの品質を推定する上に重要である。このために各条件で焼成したブリケットの硫黄を定量し，原料中の硫黄と比較しその残留率を求めてみた。

表-4は焼成ブリケットの炭種による硫黄含有量を示す。夕張炭配合のブリケットがわずかではあるが一般に低く，また焼成条件による変化もみられる。

表-4 焼成ブリケットの硫黄含有量 (%)

焼成温度 (°C)	幌内炭				夕張炭			
	5	15	30	60	5	15	30	60
1150	0.099	0.110	0.111	0.112	0.095	0.103	0.103	0.104
1250	0.099	0.109	0.112	0.111	0.099	0.103	0.106	0.108
1300	0.084	0.102	0.096	0.090	0.083	0.096	0.105	0.103

配合比；磨砕砂鉄 80：石炭 20：ピッチ 3

次に原料中の全硫黄量に対するブリケットの硫黄残留率を計算し 図-3 に示した。この計算式は次のようである。

$$\text{硫黄残留率}(\%) = \frac{\text{焼成ブリケット中の硫黄}(\%)}{\text{生ブリケット中の硫黄}(\%)} \times \frac{\text{焼成ブリケットの重量}}{\text{生ブリケットの重量}} \times 100$$

なお生ブリケット中の全硫黄量は配合原料から計算すると，80：20：3 配合で幌内炭配合の生ブリケットは 0.100%，夕張炭配合では 0.092% となる。

図-3 から，1250°C 以下で焼成した場合と 1300°C 焼成とでは曲線の傾向がいちじるしく異なっていることがわかる。すなわち，低温では焼成の初期に硫黄が除去され，30 分以後はほぼ一定となるのに反し，1300°C では 5 分までに急激に低下した後上昇し，幌内炭では 15 分，夕張炭では 30 分をピークとして再び低下する。この原因は 1300°C ではブリケットの表面が半溶融状態にあるため，いったん発生したガス状の硫黄が雰囲気から比較的容易

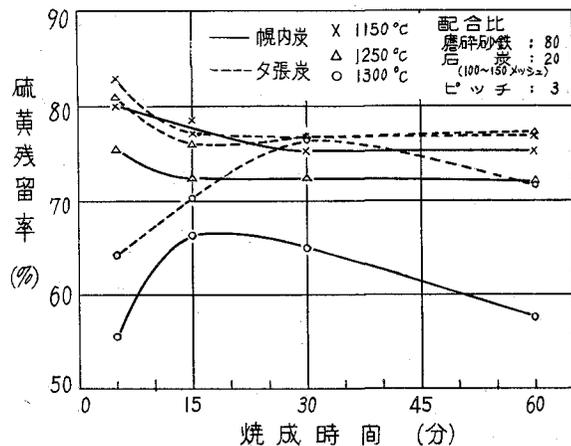


図-3 炭種および焼成条件による硫黄残留率の変化

に復硫するものと推定される。したがってこれをガス気流中で焼成する場合には相当脱硫されることが期待される。また30分以後の再低下についてはボートにかなりの量の滓分が付着していたことより、これに硫黄が濃縮され、除去されたためと推定される。

両石炭を比較すると一般に幌内炭を配合したブリケットの方が硫黄残留率は低値を示している。すなわち脱硫度が高くなっているが、これは両石炭の灰分および揮発分の分析値がいちじるしく異なることより、揮発性の有機硫黄分の差にもとづくものと思われる。いずれにせよ、配合原料中の硫黄分の60~80%が還元ブリケット中に残留するので、とくに低硫黄のブリケットを必要とする場合は鉍石、石炭、ピッチ中の硫黄量ができるだけ低いことが望ましい。

また同様にして磷の残留量も求めたが、原料中の磷はほとんど全部還元ブリケット中に残留している。

2. 石炭粒度の影響

V. Ya. Miller 等による微粉精鉍とコークス末の混合物からメタライズドペレットを製造する実験においては²⁾、コークス末の粒度は還元度にあまり大きく影響しないことが観察されている。本実験では還元剤として石炭を用い、高圧製団法を採用しており、上述と異なる結論が得られることも十分考えられるので、各焼成条件のもとにこの影響をしらべる実験を行なった。その結果は図-4に示す。

48~100メッシュの石炭を配合したブリケットは焼成の初期における還元度が低く、時間の経過につれて他の粒度の曲線に接近し、さらに1150°C、60分の焼成では逆に高還元度になっている。-150メッシュのものは焼成の初期では48~100と100~150メッシュとの中間の還元度を示すが、15~30分以後は最低になる。全体的に100~150メッシュが最も良好な結果を示す。

石炭が粗粒であるほど焼成初期における還元反応の進行が遅いことは砂鉄と石炭との接触面積の小さいことから容易に説明できるが、-150メッシュのものが予想外に低値を示すのは他の粒度に比べて固定炭素が低く灰分がかなり高いためであると推定される。この間の事情は表-5にみられるように、細粒の石炭を配合したブリケット

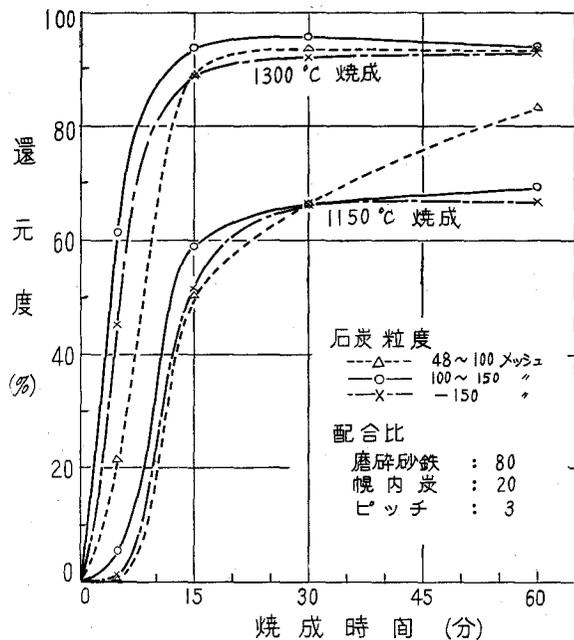


図-4 還元度におよぼす石炭粒度の影響

と推定される。この間の事情は表-5にみられるように、細粒の石炭を配合したブリケット

表—5 焼成ブリケットの石炭粒度別残留炭素量 (%)

焼成条件 石炭粒度 (メッシュ)	1150°C		1250°C		1300°C		1350°C	
	15分	30分	15分	30分	15分	30分	15分	30分
48~100	—	1.37	1.27	0.84	0.98	0.77	—	0.65
100~150	2.06	0.83	0.78	0.75	0.80	0.66	0.70	0.54
-150	—	—	0.23	0.16	0.18	0.06	—	—

配合比；磨砕砂鉄 80：幌内炭 20：ピッチ 3

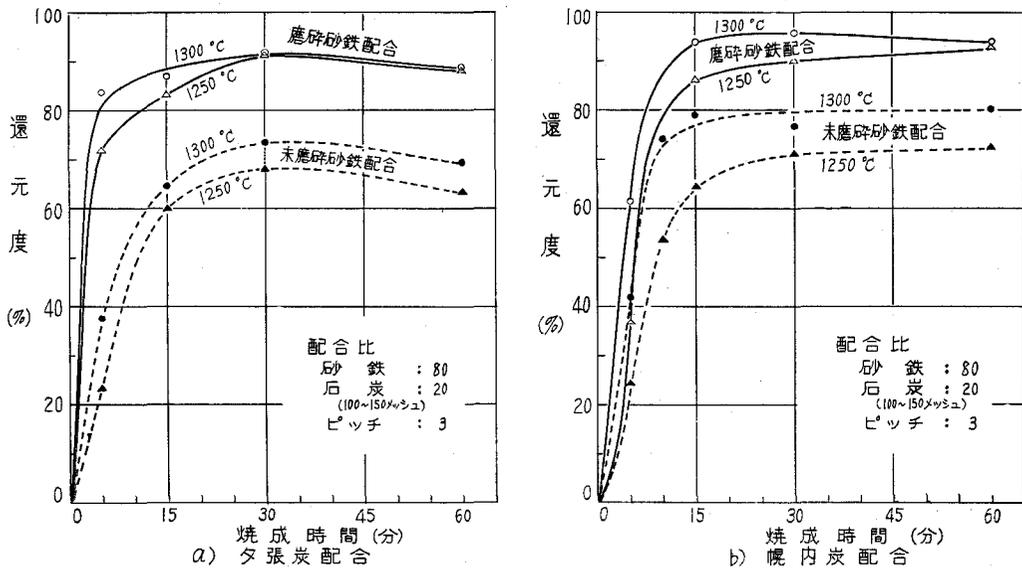
ほど残留炭素量が低いことからもうかがうことができる。

還元反応の律速因子としては多くのことが考えられるが，本実験のように高圧成形したブリケット内では，前にも触れたように生成ガスの逸出の難易もかなりの影響を及ぼすものであり，原料の粒度があまりにも微細になると反応の進行が抑圧されることになる。また細粒の石炭を配合したブリケットほど表面の熔融が比較的早く起ることが観察されているので，この抑圧作用も考慮すべきである。したがって石炭のみならず配合原料全体の粒度組成が問題であり，配合鉱石の粒度に応じて適当な石炭の粒度を考慮すべきものと考えられる。

3. 砂鉄粒度の影響

図-5 a) および b) は磨砕，未磨砕砂鉄配合のブリケットを同一条件下で焼成したときの還元の進行を示すもので，a) は夕張炭，b) は幌内炭配合の場合である。

a) においては 5 分焼成において磨砕砂鉄は未磨砕砂鉄に比べてきわめて高い還元度を示



図—5 還元度におよぼす砂鉄粒度の影響

し、その後 30 分まで継続的に上昇しこの時間で最高に達し、以後再酸化によってわずかな低下を示す。

b) の幌内炭配合の場合、5 分焼成の到達還元度は低い、その後の曲線の傾向はほとんど同じである。

いずれの場合も未磨砕砂鉄の還元度は磨砕砂鉄に比べてかなり低く、砂鉄磨砕の効果を顕著に示している。これは当然磨砕による炭素—鉱石接触面積の増大に主因があると考えられるが、また磨砕による砂鉄の新鮮な面の露出も効果があると考えられる。

なおここで注意すべきは両砂鉄の鉄品位の差による配合石炭量の過不足の問題である。ころろみに幌内炭 100~150 メッシュの 1300℃ 焼成の場合の残留炭素量を定量した結果は 図-6 に示される。この残留炭素量は生成鉄中に溶け込んだ炭素も含むものであるが、未磨砕の方がきわめて低い結果を示し必要炭素量の不足が考えられたので、石炭の配合比を増減してさらに実験を行なった。その結果は 図-7 に比較した。

未磨砕砂鉄のブリケットは石炭配合比の増加と共に還元度が上昇し、石炭配合量の増加が到達還元度の上昇に効果あることを示した。しかしながら理論的に計算した未磨砕砂鉄の 100% 還元に必要な石炭配合比は磨砕砂鉄より約 1.8% しか高くなく、この差を考慮してもなお両者にはかなり大きな還元度の相違があり、前述の理由による磨砕効果がきわめて大きいことを示すものと考えられる。このように未磨砕砂鉄の到達還元度の低いことは換言すれば石

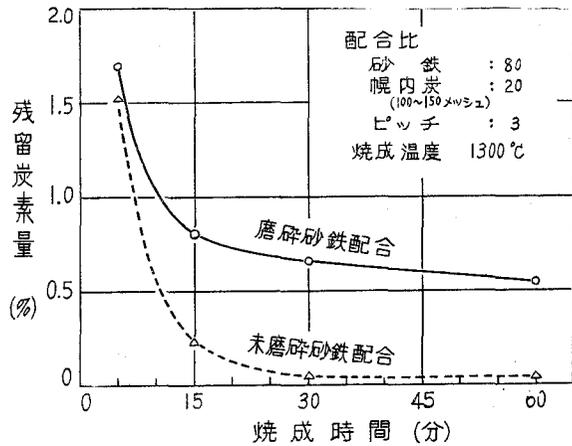


図-6 残留炭素量におよぼす砂鉄粒度の影響

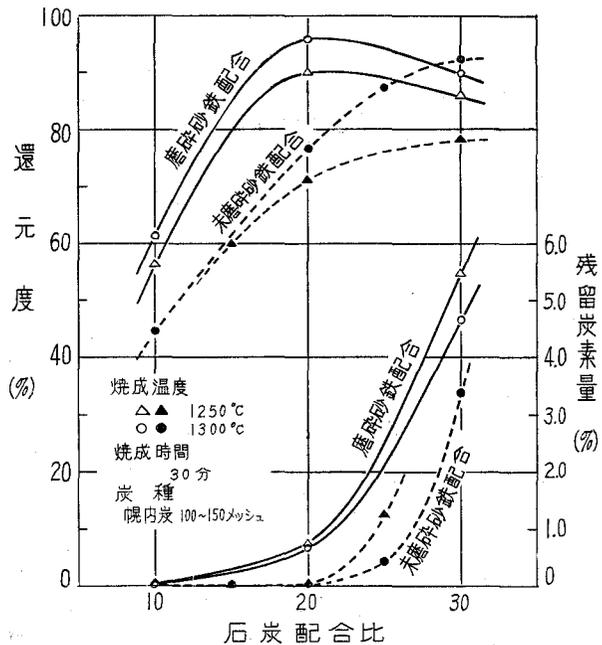


図-7 還元度および残留炭素量におよぼす砂鉄粒度の影響

炭の冗費を意味するものであり，考慮すべき問題である。また鉱石粒度が焼成ブリケットの強度にも大きい影響を与えることは第3報において詳述する。

以上のように還元度の上昇，石炭の冗費および強度等を考慮すると，砂鉄は200～250メッシュ程度に磨砕することが望ましいが，未磨砕砂鉄でも溶鉱炉または電気製鉄炉装入物としてはなお十分な強度を有しており，還元度もさほど上昇させる必要もなく，工業的には磨鉱する方が有利か否か，また磨鉱するにしてもどの程度までの粒度とすべきかをさらに検討する必要がある。

IV. 結 言

第1報にひきつづいて，本法による還元焼成ブリケットの性状におよぼす砂鉄の粒度，石炭の種類，粒度の影響を明らかにする目的で行なった諸実験の結果より，つぎのことがわかった。

1. 原料砂鉄は250メッシュ程度に磨砕することが，90%以上の高還元度のブリケットを得るためには絶対に必要な条件である。採掘，選鉱されたままの100～150メッシュ程度のもものでは他の条件が最良であっても最高到達還元度は80%程度でかなり低い。

2. 石炭の粘結性は1250～1300°Cの高温焼成では還元度に大きな影響がない。ただ粘結性炭の場合ブリケットは樽型にふくらみ中に空洞を生じ，非粘結性炭の場合は鉱石粒度が小さいと多数の亀裂を発生しともに強度を劣化するが製鉄，製鋼原料として使用するには支障のない程度の強度は保有する。

3. 高還元度，高強度のブリケットを得るためには石炭は100～150メッシュに整粒することが望ましい。これより粗くても，また細かくても還元度は低下する。本実験では粒度別に灰分その他の工業分析値に相当の差があったがこの結論にはそれ程影響されぬものと思う。

4. 本実験のようなほぼ密閉に近い雰囲気中では原料中の硫黄は焼成過程に20%程度しか除去できない。しかし流気中ではさらに硫黄の除去が可能であると思われる。

本実験のために協力援助いただいた各氏，各社に末筆ながら深く感謝する。

(昭和40年4月30日受理)

文 献

- 1) 田中章彦・片山 博：室工大研報，本号。
- 2) V. Ya. Miller, L. I. Leont'ev and V. A. Utkov: Stal in English, Feb. 1961, p. 80.