

# グリーンペレットの生成機作に関する研究 (第1報)

## 磁鉄鉱-水-グアールガム系

和田正美\* 土屋 脩\* 岡田 茂\*

Studies of the Mechanics of Green Pelletization. (I) Magnetite-Water-Guar Gum System. By Masayoshi WADA, Osamu TSUCHIYA and Shigeru OKADA.

The size distribution of agglomerates formed in the process of green pelletization was analysed by means of the size function, as the growing resistance of green pellets, introduced by defining,

$$\mu_{S_i} = \frac{1}{N_{S_i}} \frac{dN_{S_i}}{dS_i} \dots\dots\dots (1)$$

where  $S_i$  is the specific surface of the pellet of  $i$ th species and  $N_{S_i}$  the corresponding number of pellets.  $\mu_{S_i}$  is assumed to be a function of the specific surface of the pellets and other factors as follows:

$$\mu_{S_i} = \frac{1}{(aS-b)^c}, \quad b \leq aS, \quad \dots\dots\dots (2)$$

where  $a$  and  $b$  are the constants and  $c$  is a parameter.

The size distribution of green pellets formed in a laboratory pelletizing drum was found to be in good agreement with the formula obtained by integrating equation (2) by putting  $c=2$ .

From the results of experiments the following conclusions were drawn:

(1) Guartec T-1 was found to be an effective reagent in producing green pellets of uniform quality, the amount of addition of the reagent being 0.1%.

(2) The sintered pellets with 0.1% Guartec T-1 and 0.1% CaO were found to be sufficient for smelting. (Received Nov. 21, 1966)

### 1. 緒 言

グリーンペレットは鉄・非鉄金属、石炭、セメント、その他の粉体を取り扱う工業において広く用いられており、これらに関する研究も多数発表されている<sup>1)~4)</sup>。特に鉄鉱石に関しては高品位の塊状鉄石の供給不足、粉状鉄石の利用、その他の操業上の要請により、ペレタイジングの技術が今後ますます発展するものと予想される。しかし鉄鉱石のペレタイジングは焼結法に比べかなり高価であり、操業規模の拡大が不可欠とされているが、我が国においては原料の入手難の関係上、多数銘柄の鉄石の混合処理、操業の自動化、その他の問題が重要視されている。

本研究は焼成ペレットの性状に少なからぬ影響を及ぼすと考えられているグリーンペレットの生成機作に関する二三の知見を得るため、磁鉄鉱-水-グアールガム系について、小型のボーリングドラムを用いて実験を行ったものである。

著者等は、グリーンペレットの成長を促進し、その強度を大にするためには、空隙の飽和度は

選鉱製錬研究所報告 第462号 昭和41年9月金属関係学協会東北支部連合第4回研究発表会で講演。

\* 東北大学選鉱製錬研究所

1) D. M. Newitt, & T. M. Conway-Jones : Trans. Inst. Chem. Engrs., **36** (1958), 422.

2) U. N. Bhrany, R. T. Johnson, T. L. Myron, & E. A. Pelczarski : Aufbereitungs-Technik, **4** (1963), 199.

3) P. C. Kapur, & D. W. Fuerstenau : Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs., **229** (1964), 348.

4) 和田正美, 下飯坂潤三, 松岡 功, 岡田 茂, 鴻巣 彬 : 日鉱, **81** (1965), 675.

出来るだけ大きく、塑性剤の鋳粒に対する接触角は小さく、その粘性は大きくすることが効果的であり、焼成に際しては、高分子凝集剤の作用によりグリーンペレットの低温強度を保持し、溶融剤によりその高温強度を増大せしめ、ひいては溶融剤の成分をそのコロイド性とは無関係にその製錬性に基づいて決定することが可能であり、焼成ペレットの品質を向上せしめることを示した。またグリーンペレットの成長過程を確率的に考察し、グリーンペレットの粒度分布を表わす粒度関数を導入した。

## 2. 粒 度 関 数

グリーンペレットの成長過程において、丁度  $S_i$  なる単位体積当りの表面積（以下比表面積と略記する）に達したグリーンペレットを  $(S_i)$  に依って表わすものとする。今  $(S_i)$  の比表面積  $S_i$  が単位表面積を減少する確率を  $p_{S_i}$  またその比表面積が単位表面積以内を減少する確率を  $q_{S_i}$  とすれば、成長と停止が両立し得ない事象であるため、

$$p_{S_i} + q_{S_i} = 1 \dots\dots\dots (1)$$

である。

同様に  $(S_i)$  の比表面積が少なくとも  $n$  単位表面積を減少する確率を  $p_{S_i-S_n}$ 、また  $n$  単位表面積以内を減少する確率を  $q_{S_i-S_n}$  とすれば、

$$p_{S_i-S_n} + q_{S_i-S_n} = 1 \dots\dots\dots (2)$$

が成立する。

$(S_i)$  の比表面積が  $(n - 1)$  単位表面積を減少し、次の単位表面積を減少するまでに成長を停止する確率を  $q_{S_i-S_{n-1}}$ 、更に一般に  $(S_i)$  が  $n$  単位表面積を減少し、次の  $m$  単位表面積を減少するまでに成長を停止する確率を  $q_{S_n-S_m}$  により示せば、

$$q_{S_i-S_{n-1}} = p_{S_i-S_{n-1}} - p_{S_i-S_n} \dots\dots\dots (3)$$

$$q_{S_n-S_m} = p_{S_i-S_n} - p_{S_i-S_{n+m}} \dots\dots\dots (4)$$

である。

今  $(S_i)$  の個数  $N_{S_i}$  を基本数にとれば、この数が十分大ならば Bernouille-Laplace の定理により、この中から逐次単位表面積を減少して行くグリーンペレットの最も確からしい数を順次計算することが出来る。すなわち、

$$\left. \begin{array}{l} N_{S_i} \\ N_{S_i-S_1} = N_{S_i} \cdot p_{S_i} \\ N_{S_i-S_2} = N_{S_i-S_1} \cdot p_{S_i-S_1} \\ \dots\dots\dots \\ N_{S_i-S_n} = N_{S_i-S_{n-1}} \cdot p_{S_i-S_{n-1}} \\ \dots\dots\dots \\ N_{S_0} = N_{S_0+S_1} \cdot p_{S_0+S_1} \\ N_{S_0-S_1} = 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $S_0$  は最小の比表面積を示す。

また  $(S_i)$  の比表面積が単位表面積を減少するまでに成長を停止するグリーンペレットの個数を  $M_{S_i}$  で表わせば、

$$\left. \begin{aligned}
 M_{S_i} &= N_{S_i} \cdot q_{S_i} \\
 M_{S_i-S_1} &= N_{S_i-S_1} \cdot q_{S_i-S_1} \\
 &\dots\dots\dots \\
 M_{S_i-S_n} &= N_{S_i-S_n} \cdot q_{S_i-S_n} \\
 &\dots\dots\dots \\
 M_{S_0} &= N_{S_0} \cdot q_{S_0} \\
 M_{S_0-S_1} &= 0
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

$N$  と  $M$  との間には,

$$\left. \begin{aligned}
 M_{S_i} &= N_{S_i} - N_{S_i-S_1} \\
 M_{S_i-S_1} &= N_{S_i-S_1} - N_{S_i-S_2} \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

などの関係がある。これらの関係を用いて上記の  $p$  および  $q$  を  $N$  および  $M$  で書き表わせば,

$$p_{S_i} = \frac{N_{S_i-S_1}}{N_{S_i}} \dots\dots\dots (8)$$

$$q_{S_i} = \frac{M_{S_i}}{N_{S_i}} \dots\dots\dots (9)$$

$$p_{S_i-S_n} = \frac{N_{S_i-S_n}}{N_{S_i}} \dots\dots\dots (10)$$

$$q_{S_i-S_n} = \frac{N_{S_i} - N_{S_i-S_n}}{N_{S_i}} \dots\dots\dots (11)$$

$$q_{S_i-S_{n-1}} = \frac{M_{S_i-S_{n-1}}}{N_{S_i}} \dots\dots\dots (12)$$

$$q_{S_i-S_{n+m}} = \frac{N_{S_i-S_n} - N_{S_i-S_{n+m}}}{N_{S_i}} \dots\dots\dots (13)$$

などの式が得られる。

(13) 式において  $S_n = A$ ,  $S_m = \Delta A$  とおけば,  $N$  を比表面積  $A$  の解析関数であると仮定して,

$$\left. \begin{aligned}
 q_{S_i-(A+\Delta A)} &= \frac{N_{S_i-A} - N_{S_i-(A+\Delta A)}}{N_{S_i}} \\
 &= \frac{1}{N_{S_i}} \left( \frac{dN_{S_i}}{dS_i} \right)_{S_i-(A+\epsilon\Delta A)} \Delta A, \\
 &\quad 0 < \epsilon < 1
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

ここにおいて  $\Delta A \rightarrow 0$  とすれば  $\lim_{\Delta A \rightarrow 0} q_{S_i-(A+\Delta A)}$  は  $(S_i)$  が  $S_i - A$  なる比表面積に達した次の瞬間に成長を停止する確率を示す。更に  $A = 0$  とおけば, (14) 式は  $(1/N_{S_i}) (dN_{S_i}/dA) \cdot dA$  となり,  $(S_i)$  が  $S_i$  なる比表面積に達した次の瞬間に成長を停止する確率を示す, これを比表面積  $S_i$  における瞬間成長停止確率と名づけ,  $\mu_{S_i} dA$  あるいは  $\mu_{S_i} dS_i$  により表わす。 $\mu_{S_i}$  は瞬間成長停止力であり, その定義方程式は,

$$\mu_{S_i} = \frac{1}{N_{S_i}} \frac{dN_{S_i}}{dS_i} \dots\dots\dots (15)$$

である。

グリーンペレットの生成過程において,  $\mu_{s_i}$  の性質を先験的に知ることは出来ないが, 与えられた条件のもとでは任意のグリーンペレットは, ある瞬間にその成長を停止するものと考えることが出来れば,  $S_i$  に無関係な一つの数  $\delta$  があり,

$$\mu_{s_i} \geq \delta > 0, S_i > 0 \quad \dots\dots\dots (16)$$

なる関係が成立する.

今グリーンペレットの成長停止は, 一般的にグリーンペレットの比表面積  $S$  とグリーンペレットに一樣に作用する条件とに依るものと推論し,

$$\mu_s = \frac{1}{N_s} \frac{dN_s}{dS} = \frac{1}{(aS-b)^c}, b \leq aS \quad \dots\dots\dots (17)$$

なる粒度関数を与えることが出来る. ここに  $a$  および  $b$  は定数であり,  $c$  は媒介変数である. グリーンペレットが成長を停止する究極においては  $\mu_{s_0 \rightarrow \infty}, (aS-b) \rightarrow 0$  なる関係があるから,

$$S_c = (S_0)_{\mu_{s_0 \rightarrow \infty}} = \frac{b}{a} \quad \dots\dots\dots (18)$$

となり,  $S_c$  を与えられた条件下におけるグリーンペレットの臨界比表面積と称する.

(17) 式を積分するため最も簡単に  $c = 1$  と仮定し, 区間  $N_s = N_{s_0}, S = S_0$  および  $N_s = N_s, S = S$  について積分すれば,

$$f_s = \frac{N_s}{N_{s_0}} = \left( \frac{aS-b}{aS_0-b} \right)^{1/a} \quad \dots\dots\dots (19)$$

となる. ここに  $f_s$  はグリーンペレットの理論度数を表わす. (18) 式において, もし  $a$  の値が理論的考察から推定することが可能ならば,

$$f_s^a = \left( \frac{N_s}{N_{s_0}} \right)^a = \frac{aS-b}{aS_0-b} \quad \dots\dots\dots (20)$$

なる直線関係が得られる.

さらに  $c = 2$  と仮定し, 同様に積分すれば,

$$f_s = \frac{N_s}{N_{s_0}} = e^{(S-S_0)/(aS_0-b)(aS-b)} \quad \dots\dots\dots (21)$$

あるいは,

$$\frac{S-S_0}{\ln f_s} = \frac{S-S_0}{\ln(N_s/N_{s_0})} = (aS_0-b)(aS-b) \quad \dots\dots\dots (22)$$

なる直線関係が得られる.

しかし実際的にはあらかじめ  $a$  の値を推定することは困難であり, 現在の場合 (21) 式あるいは (22) 式について検討することが妥当であると考えられる.

### 3. 実験装置および実験方法

#### 1) 試料

試料としては, 釜石鉱山産磁鉄鉱の特粉精鉱を, 用水は蒸留水を, グアールガムは General Mills 社製の Guartec T-1 を, ベントナイトは和光純薬工業社製試薬を用いた.

第1表は特粉精鉱の化学分析値を示す.

第2表は Quartec T-1 の化学分析値を示す。

第1表 釜石鉱山産特粉精鉱の化学分析値

成 分 (%)					
T. Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
62.5	31.0	55.0	6.2	3.7	3.2

第2表 Quartec T-1 の化学分析値

成 分 (%)					
水 分	タンパク質	脂 肪	繊維質	灰 分	ゴ ム
10~12	9~12	0.9~1.5	2~5	1~3	70~75

(General Mills 社による)

2) 実 験 装 置

試料の粉碎には、横山工業社製振動ミルを用いた。実験条件は下記のごとくである。

ポット：鉄製，120mmφ×80mm

試 料：装入量 500g

ボール：鋼球，12mmφ，装入量 2,130g

振 動：電動機回転数 1,470rev/min，振巾 6mm×5mm

粉碎時間：2 hr

粉碎は乾式で行った。

粉碎産物のフルイ分けには、Tyler 標準フルイを用い、フルイ分けは湿式で行った。粉碎試料の粒度は、粒度分布指数<sup>5)</sup>によって表わした。

粉碎産物の比表面積は、島津製作所製直示平均粒度計と称する定速通気式空気透過法により測定した。

第1図は実験に使用した造粒装置を示す。

実験条件は下記のごとくである。

ドラム：アクリル樹脂製  
160mmφ×72mm

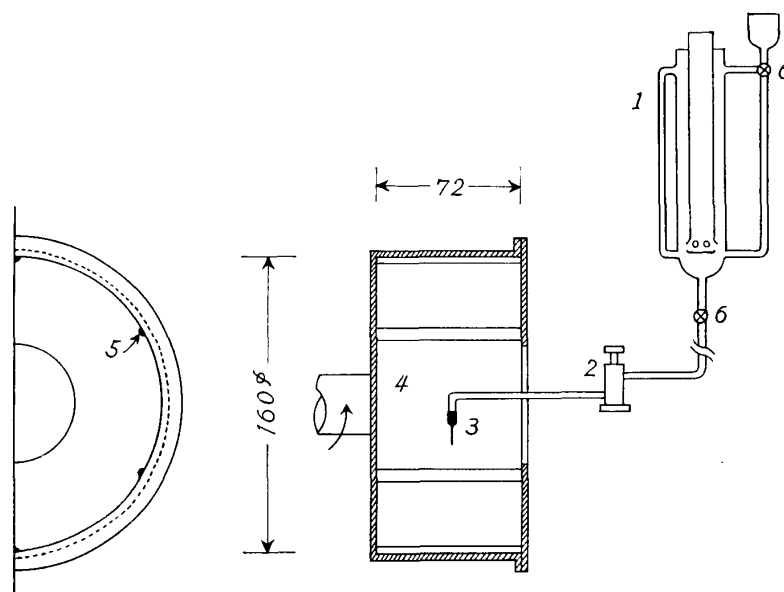
回 転：

回転速度 42rev/min

周速度 15.82m/min

試 料：装入量100g

粒度分布指数<sup>5)</sup>  $\bar{D} = 1.13 \times 10^{-2} \mu^{-1}$



第1図 造粒装置の略図

- 1 恒 圧 装 置
- 2 ニードルバルブ
- 3 注 射 針
- 4 ペレタイジングドラム
- 5 リ フ タ ー
- 6 三 方 コ ッ ク

5) M. Wada, & A. Ohba : Ninth Latin American Congress of Chemistry, San Juan, (1965).

比表面積  $2.5 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{g}$ , 平均粒径  $5.1 \mu$

アクリル樹脂製のドラムは、装入物が内面に粘着せず好都合であるが、ペレットの成長に必要な回転または転動を促進するためドラムの内面にアクリル樹脂製のリフターを取り付けた。

実験条件を一定に保つため、最初乾燥した試料をドラム内に装入し十分混合した後、注射針を用いて一定速度で一定量の水分を添加した。水分の添加量の調節はニードルバルブを用いて行った。

生成したグリーンペレットの粒度は、パーニアキャリパあるいはヤシカカメラ社製 Polaroid Land 180型カメラ（オートアップ# 2付き）による撮影により測定した。

グリーンペレットの強度は、自製のストレージゲージを応用したロードセルおよび記録計を用いて測定した。測定範囲は 5 kg である。

グリーンペレットの焼成には、燃焼管の内径  $60\text{mm}\phi$  の堅型シリコニット電気炉を用いた。

焼成ペレットの強度は、昭和測器社製 PT-2 型圧潰強度試験機により測定した。

### 3) 実験方法

造粒装置のドラムは、水平に取り付けこれに乾燥試料 100g を装入し、グアールガムは 0.1%、ベントナイトは 0.5% 相当量を添加し、約 5 min 間ドラムを回転して良く混合した後、所定の回転速度でドラムを回転しながら、約  $0.3 \text{cc}/\text{min}$  の速度で注射針の先端から水分を滴下した。ドラムを所要時間回転させた後停止し、生成したグリーンペレットを直ちに取出し、パーニアキャリパを用いて個々のペレットの直径を測定した。

グリーンペレットの焼成条件は、下記のごとくである。

焼成温度： $1,300 \pm 10^\circ \text{C}$

保持時間：1 hr

グリーンペレットの試料はニクロム製のバスケットに装入し、徐々に炉内に降下せしめた。昇温速度は約  $40^\circ \text{C}/\text{min}$  である。

## 4. 実験結果および考察

### 1) 実験結果

第2図は、磁鉄鉱試料に塑性剤として水を用いて、造粒時間を変えて実験した結果を(21)式の粒度分布関数に当てはめて図示したもので、細粒部と粗粒部との間に折点が見られるが、いづれも良い直線性を示している。

第3表 グリーンペレットの粒度分布  
(造粒時間30min, 水分8%)

比表面積 $S(\text{cm}^{-1})$	実測度数 $N$	理論度数 $N_{\text{cal}}$
3.12	1	1
3.70	6	5.9
4.41	10	10.9
5.24	14	13.6
6.24	15	15.8
7.41	16	17.5
8.82	21	18.8

$a=0.84$   $b=2.26$   $S_c=2.68$

標準偏差  $s_N=0.3$

圧潰強度および空隙率を示す。

第3表および第4表は、(21)式から計算した粒度関数の定数および理論度数と実測度数との標準偏差の値を示す。

第3図は、同様に磁鉄鉱試料に塑性剤として水の他にグアールガムおよびベントナイトを添加し、一定の造粒時間で実験した結果を図示したもので、この場合にもきわめて良い直線性が得られた。

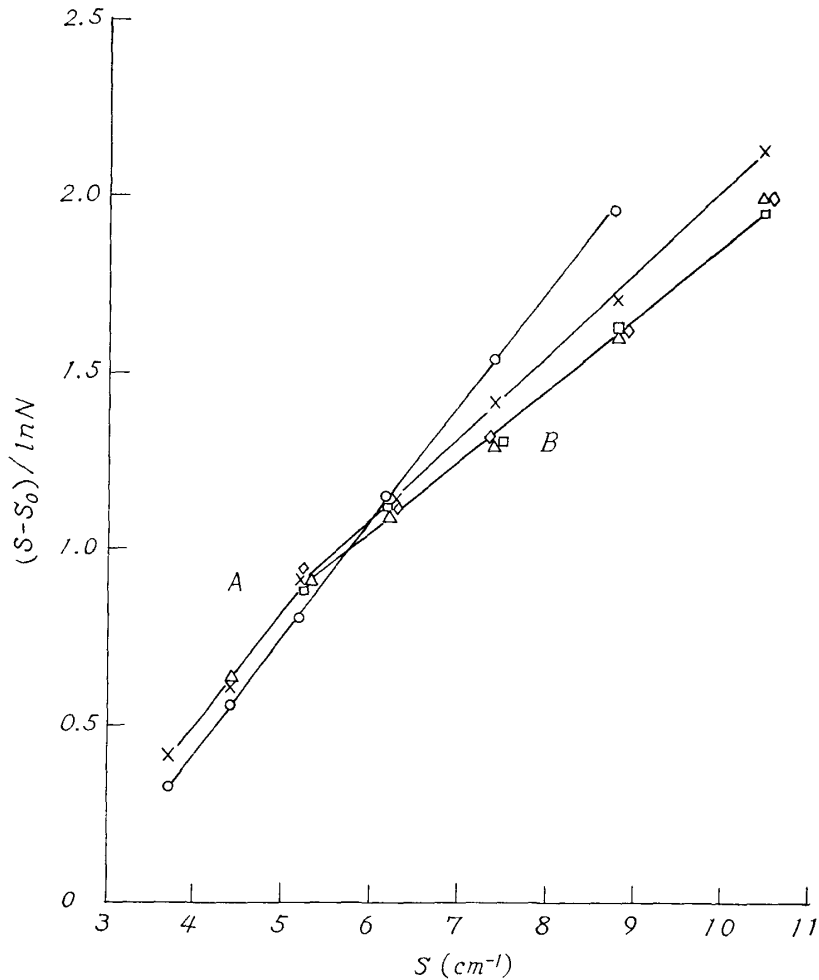
第5表は、同様に(21)式から計算した粒度関数の定数および理論度数と実測度数との標準偏差の値を示す。

第6表は、上記実験で得られたグリーンペレットの圧潰強度を、第7表は、同上焼成ペレットの常温における

2) 考 察

i) 粒 度 分 布

グリーンペレットの粒度分布に関しては、従来ほとんど研究が行われていない<sup>1),6)</sup>.



第2図 グリーンペレットの粒度分布と造粒時間との関係

A:粗粒部, B:細粒部

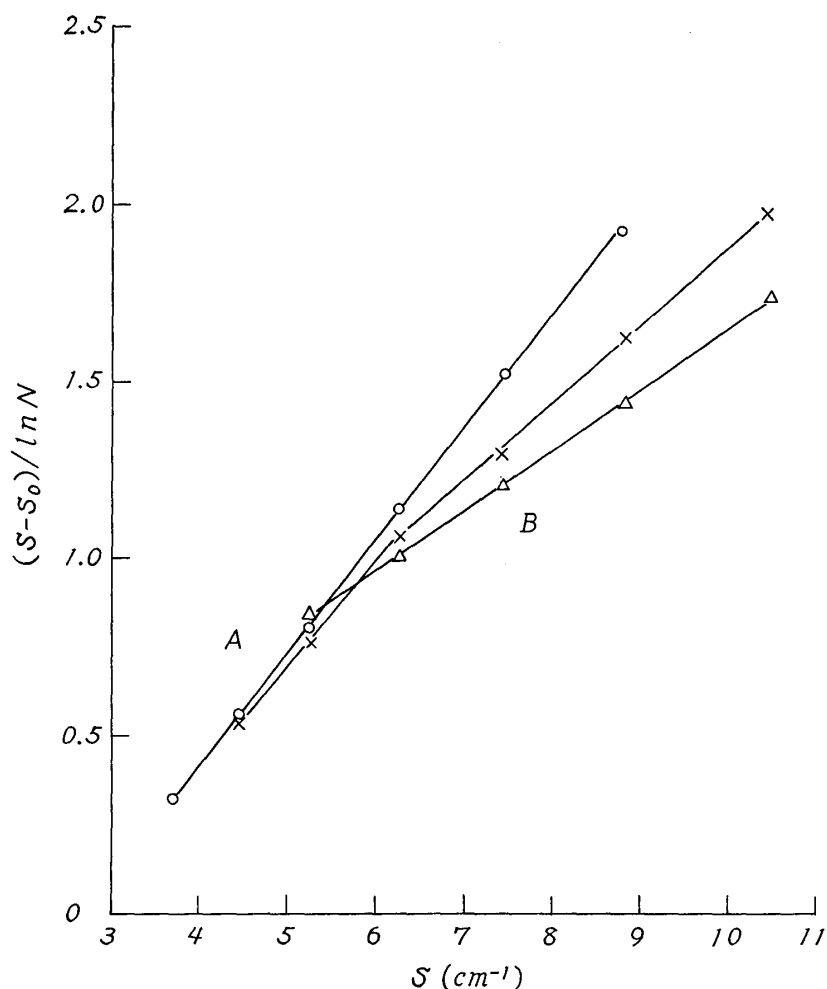
◇ 造粒時間 15min    □ 造粒時間 18min    △ 造粒時間 21min  
 × " 24min    ○ " 30min

第4表 グリーンペレットの粒度分布と造粒時間との関係

造粒時間 (min)	細 粒 部 (A)				粗 粒 部 (B)			
	a	b	S <sub>c</sub>	s <sub>N</sub>	a	b	S <sub>c</sub>	s <sub>N</sub>
15	0.28	0.15	0.52	1.9				
18	0.29	0.19	0.65	1.7				
21	0.33	0.38	1.14	1.4	0.61	1.39	2.28	0.0
24	0.35	0.43	1.23	1.1	0.64	1.52	2.37	0.6
30	0.84	2.26	2.68	0.3	0.84	2.26	2.68	0.3

6) P. C. Kapur, & D. W. Fuerstenau : Ind. Eng. Chem., 投稿中.

本研究では, グリーンペレットの成長過程を一つの確率過程と考え, グリーンペレットの瞬間



第3図 グリーンペレットの粒度分布に対する添加剤の影響  
(造粒時間30min, 水分8%)

A:粗粒部, B:細粒部

○ 添加剤なし × ベントナイト 0.5% △ Guartec T-1 0.1%

第5表 グリーンペレットの粒度分布に対する添加剤の影響

(造粒時間30min, 水分8%)

添 加 剤	細 粒 部 (A)				粗 粒 部 (B)			
	$a$	$b$	$S_c$	$s_N$	$a$	$b$	$S_c$	$s_N$
Guartec T-1 0.1%	0.24	0.64	0.26	0.8				
ベントナイト 0.5%	0.35	0.45	1.33	0.9	0.58	1.34	2.32	0.0
な し	0.84	2.26	2.68	0.3	0.84	2.26	2.68	0.3

成長停止力を定義し, これがグリーンペレットの比表面積とグリーンペレットに一樣に作用する条件とに依存するものと考え, 粒度関数を導入した. 粒度関数の媒介変数  $c$  は, 理論的に推定することが困難であり,  $c = 1$  として求められる (19) 式では, 定数  $a$  をあらかじめ推定出来なければ, 実験値を解析することは出来ない. しかし  $c = 2$  として求められる (21) 式は解析が可能であり, 第2図, 第3図に示すごとく一般に細粒および粗粒部分に対する曲線の傾斜を異



にするが、比較的良く実験値に適合することが明らかとなった。第3表は造粒時間 30min, 水分

第6表 グリーンペレットの圧潰強度  
(造粒時間30min, 水分8%)

添 加 剤	圧潰強度(g/cm <sup>2</sup> )
Guartec T-1 0.1%	198±11
ベントナイト 0.5%	171±13
な し	143±25

第7表 焼成ペレットの圧潰強度および空隙率  
(造粒時間30min, 水分8%)

添 加 剤	空隙率(%)	圧潰強度(kg)*
Guartec T-1 0.1%+CaO 0.1%	30.5	150±20
ベントナイト 0.5%	28.2	142±22
な し		130±24

\* 測定ペレット 16~18mmφ

8%の条件で造粒したグリーンペレットの実測度数と理論度数との比較を示す。

定数 *b* および *a* の比は、与えられた条件下における最大粒度のグリーンペレットの臨界比表面積を示し、重要な定数であると考えられる。

グリーンペレットの粒度分布におよぼす造粒時間の影響は、第2図および第4表に示すごとく、造粒時間が長くなるほど細粒部分の曲線の傾斜が急となり、定数 *a* および *b* の値が増大する。グリーンペレットの粒度分布におよぼす添加剤の影響は、第3図および第5表に示すごとく、細粒部における曲線の傾斜は、Guartec T-1 0.1%, ベントナイト 0.5%, 添加剤なしの順に急となり、臨界比表面積の値は顕著に増大している。Guartec T-1 0.1% とベントナイトの 0.5% との細粒部における造粒作用を比較すれば、定数 *a* は前者が小さく、定数 *b* は反対に後者が小さいことから、任意の比表面積 *S* に対しては (17) 式の右辺の分母の値が前者が小さく、瞬間成長停止力が大きいことを示している。

ii) 添加剤の影響

造粒機内においては、一般に固-液-気 3相が存在する状態において混合・造粒が行われるものであり、造粒過程で生成するグリーンペレットは、水分によって局部的に飽和された粉体系と考えることが出来る。このような粉体系におよぼす内部応力に関しては、Bishop<sup>7)</sup>の式が与えられている。

今、グリーンペレット内の任意の点において任意方向に作用する全応力を  $\sigma$  とすれば、グリーンペレットの体積および強度の変化を支配する有効応力  $\sigma'$  は、

$$\sigma' = \sigma - \{u_g - \chi(u_g - u_l)\} \dots\dots\dots (23)$$

によって表わされる。ここに  $u_g$  はグリーンペレットの空隙内の気体圧、 $u_l$  は液体圧、 $\chi$  は空隙の飽和度に関する媒介変数である。すなわち、グリーンペレットの強度を大ならしめるためには、空隙の飽和度  $\chi$  および  $\Delta u = u_g - u_l$  を出来るだけ大きくする必要がある。

グリーンペレット内部の空隙を一種の毛管と考えれば、この毛管内の気-液界面の内外に作用する圧力差  $\Delta u$  は、

$$\Delta u = \gamma \left( \frac{\cos \theta_1}{r_1} + \frac{\cos \theta_2}{r_2} \right) \dots\dots\dots (24)$$

ここに  $\gamma$  は液体の表面張力、 $r_1$  および  $r_2$  は毛管の断面における直角方向の曲率半径、 $\theta_1$  および  $\theta_2$  はそれぞれ対応する接触角である。

(24) 式において  $\Delta u$  を大にするには、表面張力  $\gamma$  を出来るだけ大きく、接触角  $\theta_1$  および  $\theta_2$ , 毛管の曲率半径  $r_1$  および  $r_2$  を小さくする必要がある。液体の表面張力  $\gamma$  と接触角の余弦

7) A. W. Skempton : *Pore Pressure and Suction in Soils*, (1961), 4, Butterworths.

$\cos \theta$  との積は, 液体の固体に対する浸潤張力を表わし,  $r$  が大きく  $\theta$  が小さい場合には浸潤張力は大である. 空隙の平均曲率半径を  $\bar{r}$  とすれば, 粒子の粒度がほぼ一様で密度が均一の場合には空隙率  $P$  との間に,

$$\frac{\bar{r}}{b'} = e^{0.019P} \dots\dots\dots (25)$$

なる関係式が Traxler および Baum<sup>8)</sup> により与えられている. ここに  $b'$  は粒子の種類および平均粒度により変化する定数である. すなわち毛管の曲率半径は空隙率を減少させることにより指数関数的に減少する.

また, グリーンペレットの体積変化にともなう空隙内の液の流動圧  $\Delta u'$  は, Kozeny<sup>9)</sup> により,

$$\Delta u' = \frac{\eta}{K} v \Delta x \dots\dots\dots (26)$$

のごとく与えられている. ここに  $\eta$  は液の粘性係数,  $v$  は流速,  $\Delta x$  は流体の移動した距離,  $K$  は透過定数である. グリーンペレットの強度を大にするためには,  $\Delta u'$  したがって  $\eta$  の値を大にする必要がある.

一方, グリーンペレットの内部の空隙における液の浸透速度  $v$  は, 空隙を半径  $r$  の毛管と仮定すれば,

$$v = \frac{r}{8\eta} \frac{2r \cos \theta - r\rho g x}{x} \dots\dots\dots (27)$$

なる式<sup>10)</sup>で与えられる. ここに  $\rho$  は液の密度,  $g$  は重力の加速度である.

以上の考察から, 塑性剤としては浸透力が大きく, 粘性が高いことが要請されるが, (27) 式から明らかなように液の浸潤張力と粘性とは浸透速度に対して背反的の関係にあり, 塑性剤の選定に当っては, 造粒の最適条件を満足するように配慮しなければならない. 従来使用されているベントナイトは, モンモリロン石を主成分とするコロイド状の粘土であり, その層状格子間に容易に水を吸着し, 著しく膨潤してゲル化する. したがって水に添加した場合は見掛けの粘性を増大するが, 液の浸透力を高めるものとは考えられない.

本実験に使用したグアールガムは, インド原産の Leguminosae と称する豆科植物の内胚乳を粉碎したもので, 冷水および温水中に分散され, デンプンの 5~8 倍の濃縮力を有する保護コロイドである<sup>11)</sup>. その主成分のゴムは高分子多糖類の混合物質と考えられ, 水にとかすとコロイド溶液を作り, 著しく膨潤する. 保護コロイドは一般に親水性であり, それ自身疎水性粒子に吸着しこれを親水性にする性質がある. しかしこの種のコロイドは気-液界面には吸着せず, 液の表面張力を低下せず, 浸潤張力を増大し得るが, 一般の界面活性剤は固-液界面よりもむしろ気-液界面に優先的に吸着するため, 液の表面張力を低下し, 浸潤張力の増大に寄与することは少い. また上記保護コロイドはコロイド性が高く, ベントナイトと同様に膨潤性があり, かつ液の粘性を高める性質がある. したがってグアールガムのような保護コロイドは造粒条件を効果的に制御する上に適当した塑性剤であると考えられる.

- 
- 8) R. N. Traxler, & A. H. Baum : *Small Particle Statistics*, 2nd ed., edited by G. Hardan, (1960), 190, Butterworths.  
 9) T. Kozeny : *Small Particle Statistics*, 2nd ed., edited by G. Hardan, (1960), 196, Butterworths.  
 10) M. Wada : *Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ.*, A-2, (1950), 648.  
 11) *The Merck Index of Chemicals and Drugs*, 7th ed., (1960), 502.

グアールガムには、グリーンペレットの焼成に際してベントナイトのように鉱粒とスラグボンドを形成する性質がないため、石灰のような適当な溶剤を併用する必要がある。この場合溶剤の成分を製錬上の条件に適合するように選定することが可能であり、焼成ペレットの品質向上に寄与し得る利点がある。

第5表は、グリーンペレットの粒度分布に対する添加剤の影響を示したもので、一定時間および一定水分の造粒条件のもとでは、添加剤の影響が顕著にグリーンペレットの粒度分布に影響をおよぼすことを明らかにしている、しかし成長速度は逆に添加剤なしの場合が最大である。これに関しては添加剤の性質および造粒条件が関与するものと考えられ、今後の詳細な研究に待つべきものである。

第6表は、グリーンペレットの圧潰強度におよぼす添加剤の影響を示したもので、一定時間および一定水分の造粒条件のもとでは、添加剤なし、ベントナイト0.5%、Guartec T-1 0.1%の順に圧潰強度を増大し、そのバラッキは逆に Guartec T-1 が最小の値を示している。すなわち、Guartec T-1 を添加剤として使用することにより、均質なペレットを作り得ることが明らかとなった。

第7表は、Guartec T-1 0.1% に石灰 0.1% を加え造粒したグリーンペレットの焼成強度を示し、ベントナイト 0.5% のそれに遜色ないことが明らかとなった。

## 5. 総 括

- (1) グリーンペレットの成長過程を確率論的に考察し、粒度関数を導入した。
- (2) 粒度関数を用いて、グリーンペレットの粒度分布と造粒時間との関係を考察した。
- (3) 添加剤としての Guartec T-1 とベントナイトとの造粒効果を粒度関数およびグリーンペレットの圧潰強度により比較した。
- (4) 添加剤として、Guartec T-1 0.1% と石灰 0.1% を用いた場合とベントナイト 0.5% を用いた場合の焼成ペレットの圧潰強度および空隙率を比較した。

本研究は当所における昭和41年度共同研究の一つである「粉鉄鉱石の塊状化に関する研究」の一環として行われたもので、実験上の便宜を与えられ、研究上の討論に参加された三本木研究室ならびに和田研究室の方々に深謝致します。

また特粉精鉱を寄贈された日鉄鉱業株式会社釜石鉱業所ならびに Guartec T-1 を寄贈された日本香料薬品株式会社に深謝致します。