

目皿付き衝撃型粉砕機の適正電動機出力の推定¹⁾

遠藤 展

Estimating the Optimum Motor Power Output for Crushing of a Screen Hammer Mill

Hiromu ENDOH

Studies were made on the relationship between the electric energy consumption per dry weight E (kWh/kg) of a screen hammer mill and the mean residence time t (h). The electric energy consumption per dry weight was expressed by

$$E = 0.7 \times t.$$

The momentary electric power P (kW) during steady state crushing was expressed by

$$P = F \times 0.7t.$$

Therefore, when the feed is charged at a maximum crushing feed rate, the momentary electric power can be obtained by substituting F_{\max} (kg/h) for F (kg/h) in the above equation. Thus by means of those two equations, we can approximately estimate the optimum motor power output P (kW) for a given crushing capacity.

目皿付き衝撃型粉砕機における、滞留時間 t (h)と原料乾物1kg当たりの動力消費量 E (kWh/kg)との関係について検討した。動力消費量は以下の式で表わされた。

$$E = 0.7 \times t$$

上式から、定常状態においては、瞬時動力 P (kW)は以下の式で表わされる。

$$P = F \times 0.7t$$

したがって、粉砕機がその最大処理能力で運転される場合に必要の瞬時動力 P_{\max} (kW)は、上式において F (kg/h)を最大処理能力 F_{\max} (kg/h)に置き換えることで得られる。

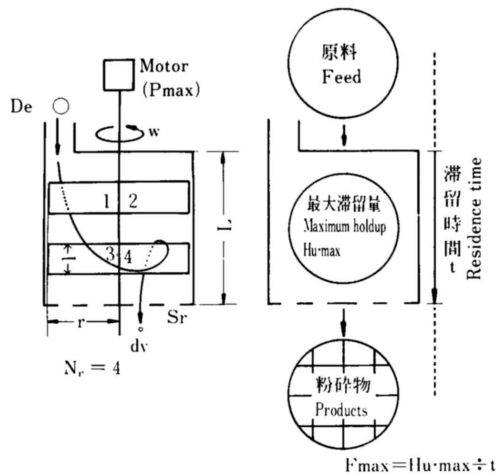
以上の式から最大処理能力に適合した粉砕機の出力がほぼ推定できるようになった。

1. 緒言

第1図に、本研究で取り上げた目皿付き衝撃型粉砕機の模式図を示した。粉砕機に設備した原動機の出力kWが、粉砕機の最大処理能力より大きい場合、その最大処理能力 F_{\max} は、粉砕機の最大滞留量 $H_u \cdot \max$ と原料の滞留時間 t の二つの要素によって決定され

る。しかし、粉砕機が十分な処理能力を有していても、原動機出力がその最大処理能力に較べて小さい場合、その処理能力は原動機大きさによって決定される。したがって、原動機大きさと粉砕機の最大処理能力は一致することが望ましい。

前報^{2,3)}で著者は、滞留時間 t 、最大滞留量 $H_u \cdot \max$ 、



第1図 目皿付き衝撃型粉砕機のモデル
Fig.1. A Model of screen hammer mills

最大処理能力 F_{max} を求めるための実験式(1), (2), (3)を提示した。

$$t = 3.98 \times 10^3 [0.693 - (dv/De)^n] / (dv^{1.3} \cdot \lambda^{-2/3}) \dots \dots \dots (1)$$

$$Hu \cdot \max = 3.95 \times 10^{-2} \cdot N_r \cdot r \cdot Sr^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

$$F_{max} = Hu \cdot \max / t = 9.92 \times 10^6 \cdot N_r \cdot r \cdot Sr^{1/2} \cdot dv^{1.3} \cdot \lambda^{-2/3} / [0.693 - (dv/De)^n] \dots \dots (3)$$

その結果、与えられた粉砕機の仕様とその操作条件、および粉砕する原料の粉砕特性時間を測定することで、その最大処理能力をほぼ推定することが可能となった。しかし、設備すべき原動機の出力については何も分かってはいない。粉砕における単位の重量の粉砕原料を粉砕するための動力 E (kWh/kg) は、原料の物性のみならず、使用する粉砕機の大きさや操作条件によって異なる。従来、この粉砕動力と使用する粉砕機の大きさや操作条件の関係についての検討はほとんど行われていない。本検討の目的は、この関係を検討することで、粉砕に必要な動力を推定し、その粉砕機の最大処理能力に適合した原動機の出力、 P_{max} (kW) を決める方法を提案することである。

2. 基本的関係

粉砕における動力の消費量 E (kWh/kg) と、粉砕機

への原料の供給速度 F (kg/h) , 設備すべき原動機の出力 P (kW) の間には次式の関係がある。

$$P = F \times E \dots \dots \dots (4)$$

粉砕機をその最大処理能力 F_{max} で操業させるためには、原動機の設備動力は次式で示される設備動力 P_{max} でなければならない。

$$P_{max} = F_{max} \times E \dots \dots \dots (5)$$

したがって、粉砕における動力の消費量 E (kWh/kg) と、原料の物性、使用する粉砕機の大きさや操作条件との関係が分かれば、設備すべき原動機の出力を決めることができる。本報告ではこれらの関係について検討を行った。

3. 実験方法

粉砕における動力の消費量 E (kWh/kg) については回分方式の粉砕において、粉砕原料を粉砕機が停止しない程度の量を粉砕機に一度に投入し測定した。その積算動力 (kWh) は瞬時動力を積算して求めた。定常

第1表 粉砕原料の形状と密度

Table 1. Dimensions and densities of the particles used

種類 Species	De (mm)	n	密度 Density * (g/cm ³)
木炭 Charcoal	8.7 3.5	6.9 0.8	0.28
石炭 Coal	6.2 3.4	1.2 1.2	1.24
砂 Sand	1.1	1.9	2.61
カラマツ Japanese Larch	17.9 15.4 12.5	10.0 10.0 3.5	0.39
	8.2 5.2 4.9 3.2 2.5	4.2 3.3 2.0 1.6 1.6	
シラカンバ Birch	12.3	3.5	0.436
シナノキ Bass wood	15.8 14.4 8.1	10.0 10.0 5.5	0.305
トドマツ Fir	15.3 9.0 4.9 4.6 2.8 0.9	10.0 3.3 1.8 1.3 1.4 1.7	0.326
ミズナラ Oak	16.8 13.1 8.5	10.0 10.0 5.0	0.646
トドマツ樹皮 Bark of fir	4.3	1.0	0.390

乾燥重量基準
* Based on oven-dry weight

状態での瞬時動力(kW)の測定は、定量供給機により原料を粉砕機に一定速度で定量供給、連続粉砕し求めた。その瞬時動力(kW)は定常状態の動力から求めた。実験に用いた原料は第1表に、粉砕機は第2表に示した。

4. 実験結果と考察

第2図には、式(1)から求めた滞留時間と、回分粉砕における乾物原料1ton当たりの積算動力E(kWh/ton)との関係を示した。粉砕特性時間τは、前報^{2,3)}

と同様の方法で求めた。同図の関係より乾物原料1kg当たりの積算動力E(kWh/kg)と、滞留時間tとの間に次式の関係が見い出された。

$$E = 0.7 \times t \dots\dots\dots(6)$$

(4), (6)式から定常状態に粉砕における瞬時動力は次式で示される。

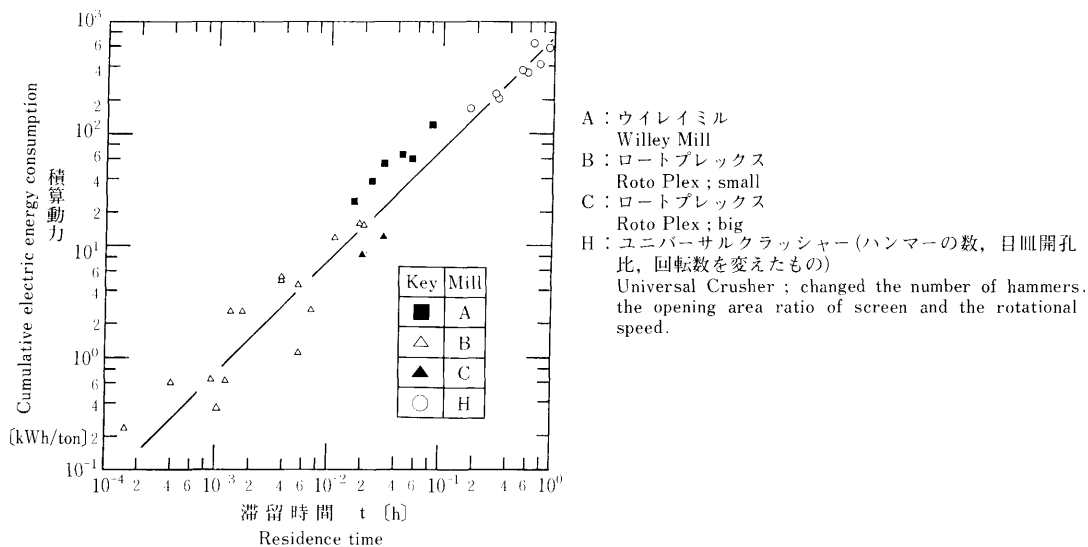
$$P = F \times 0.7 t \dots\dots\dots(7)$$

第3図には、測定した定常状態における瞬時動力Pmと(1), (7)式によって得られた瞬時動力Pcとの関係を示した。瞬時動力Pcは、測定した瞬時動力Pm

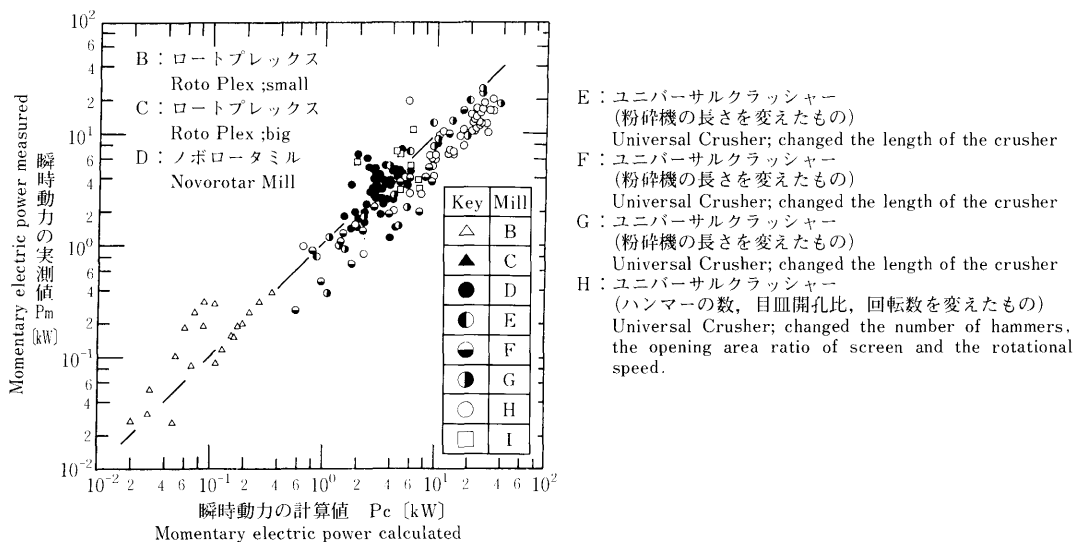
第2表 実験に用いた衝撃型粉砕機の仕様
Table 2. Specifications of hammer mills examined

粉砕機 Mill	動力 Motor (kW)	直径 Diameter (m)	長さ Length L (m)	回転数 Rotational speed: ω (rad/Sec)	ハンマーの長さ Distance: r (m)	ハンマーの幅 Width: l (m)	ハンマーの数 Number of hammers: Nr	目皿の直径 Open-size of screen (mm)	目皿の開孔比 Opening area ratio of screen: Sr (%)
A	0.4	0.14	0.05	104	0.07	0.048	4	2.1	32.5
								1.05	25.7
B	1.5	0.195	0.08	157	0.0825	0.075	2	0.55	22.8
								9.95	38.2
								5.3	45.0
C	3.7	0.210	0.098	149	0.1	0.098	3	1.4	13.9
								7.8	33.4
D	11	0.3	0.24	148	0.15	0.123	56	5.8	28.7
								10.0	27.1
E	22	0.68	0.45	178	0.34	0.123	39	10.0	41.7
								20.0	42.6
F	22	0.68	0.56	178	0.34	0.123	28	50.0	42.5
								10.0	41.7
G	22	0.68	0.68	178	0.34	0.123	39	10.0	41.7
								10.0	41.7
H	22	0.68	0.79	178	0.34	0.123	52	10.0	41.7
								38	
I	18.5	0.62	0.11	755	0.31	0.11	26	6.0	38.0
								26	25.0
								14	17.2
								8	10.8
								52	5.0
								22	41.7
								84	
								126	
								210	
								520	
								351	

- A : ウィレイミル Willey Mill
- B : ロートプレックス小 Roto Plex : small
- C : ロートプレックス大 Roto Plex : big
- D : ノボロータミル Novorotat Mill
- E : ユニバーサルクラッシャー (粉砕機の長さを変えたもの) Universal Crusher; changed the length of the crusher
- F : ユニバーサルクラッシャー (粉砕機の長さを変えたもの) Universal Crusher; changed the length of the crusher
- G : ユニバーサルクラッシャー (粉砕機の長さを変えたもの) Universal Crusher; changed the length of the crusher
- H : ユニバーサルクラッシャー (ハンマーの数、目皿開孔比、回転数を変えたもの) Universal Crusher; changed the number of hammers, the opening area ratio of screen and the rotational speed.
- I : ウルトラプレックス Ultra Plex



第2図 滞留時間 t と積算動力 E との関係
Fig.2. Relationship between cumulative electric energy consumption per dry weight E and residence time through mill t



第3図 瞬時動力の計算値 (P_c) と実測値 (P_m) との関係
Fig.3. Relationship between momentary electric power measured P_m and calculated P_c

よりも若干大きい値を示している。この理由は、回分粉砕における動力の消費は、連続定常粉砕よりも急激に原料を投入することと、粉砕が終了しても急激には動力はゼロにならないため、連続粉砕に比較してその消費動力が大きくなると思われる。しかしながら、同図より測定値は計算値とほぼ等しいといえよう。粉砕

機の最大処理能力に適合した原動機の瞬時動力は式(7)において、供給速度 F に、(3)式によって得られる最大処理能力 F_{max} を代入することによって得られる。

記号

E : 原料乾物 1 kg 当たりの粉砕動力 (kWh/kg)

t : 原料の平均滞留時間 (h)	Hu : hold-up in mill, kg
F : 乾物原料の平均供給速度 (kg /h)	Hu·max : maximum hold-up in the mill, kg
Fmax : 最大乾物処理能力 (kg /h)	τ : breakage characteristic time, h
Pmax : 最大処理能力における瞬時動力 (kW)	dv : 50% diameter of the Rosin-Rammler distribution of product, mm
Hu : 粉砕機内の乾物原料滞留量 (kg)	De : diameter of the absolute size constant of the Rosin-Rammler distribution of feed, mm
Hu·max : 最大乾物原料滞留量 (kg)	n : distribution constant of feed in the Rosin-Rammler distribution diagram
τ : 原料の粉砕特性時間 (h)	ω : rotational speed of hammer, rad/s
dv : 粉砕物の Rosin-Rammler 粒度分布における50%重量径における球相等径 (mm)	L : length of mill, m
De : 原料の Rosin-Rammler 粒度分布における粒度特性数における球相等径 (mm)	ρ_b : bulk density of feed which was loosely packed, kg /m ³
n : 原料の Rosin-Rammler 粒度分布における分布定数	N _r : number of hammers
ω : 粉砕ハンマーの回転角速度 (rad/s)	r : distance from the top of the hammer to the center of the rotational axis of the mill, m
L : 粉砕室の長さ (m)	l : width of hammer in the rotational direction, m
ρ_b : 原料を外力を加えないで充てんした場合の乾物かさ密度 (kg /m ³)	Sr : opening area ratio of screen, %
N _r : 粉砕ハンマーの数	
r : 粉砕ハンマー先端と回転軸までの距離 (m)	
l : 粉砕ハンマーの回転方向の幅 (m)	
Sr : 目皿の開孔比 (%)	

LIST OF SYMBOLS

E : cumulative electric energy consumption per dry weight of feed, kWh/kg
t : mean residence time through mill, h
F : feed rate, kg /h
Fmax : maximum crushing capacity, kg /h
Pmax : motor electric power output matching to the feed rate of maximum crushing capacity, kW

文 献

- 1) H.Endoh : Estimation of motor power output for crushing by screen hammer mills. Advanced Powder Technol. **4**(1), 71-77 (1993)
- 2) H.Endoh : Estimation of maximum crushing capacity of hammer mills. Advanced Powder Technol. **3**(4), 235-245 (1992)
- 3) 遠藤展 : 林産試験場報, **7**(1), 10-13 (1993)

—技術部 機械科—
(原稿受理 H 5. 9. 14)