

製鋼生産設備能力算定方式*

佐野 幸吉**

1. 平炉生産設備能力算定方式について

1.1 平炉生産設備能力算定式の変遷

戦後、平炉の生産能力は、昇圧ガス燃焼方式、酸素製鋼、自動制御などの導入による製鋼能率の上昇、塩基性天井煉瓦の採用、炉修作業・補修作業の機械化などによる稼働率向上などにより、純酸素転炉が製鋼法の主流となるまでは飛躍的な向上をとげた。

平炉の能力算定式は、これまで3回にわたって、製鋼部会より通産省に答申が行なわれているが、図1に示されるように、答申の回を重ねるに従って、同一炉容の平炉の生産能力は向上しており、この間の平炉製鋼技術の向上を物語っているものと考えられる。

これらの答申式は表1, 2, 3に示す通り、生産量と鋼塊t当り酸素使用量とを要因として全国の平炉の実績から求めた経験式である。従って、全国の総生産能力としては精度が高いが、個々の工場については実情と相当な差も見られた。

1.2 新算定式について

新算定式は旧答申式が個々の工場の能力を正確に表現していないという欠陥を是正するため、炉容・酸素使用量以外にも多くの要因をとりあげ、さらに工場ごとに修正係数を採用できるようにした。

1.2.1 算定式適用の基本条件

算定式を適用する設備は昭和38年10月現在の国内全平炉、すなわち21社、34工場、148基の平炉とし、これを溶銑炉、冷銑炉の2グループに大別した。算定式作成のための使用データはこれらの平炉について昭和36年4月~37年9月の工場別、月別の実績で、データ数は溶銑炉465、冷銑炉389である。作業条件がこの実績データから大きく外れる場合は算定式も適用できないの

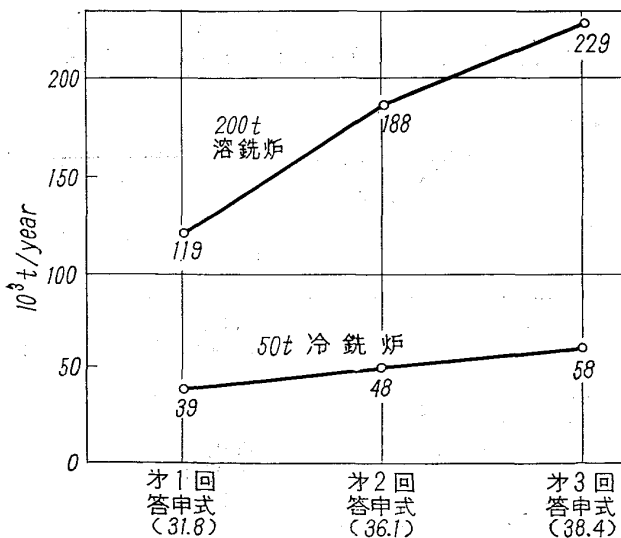


図1 平炉生産能力の向上

表1 第1回答申式 (昭31. 8)

(昭30. の実績による)

溶銑炉	$W \geq 90 : P = (290W + 61,000) C$
	$W < 90 : P = 970W \cdot C$
冷銑炉	$W \geq 90 : P = (280W + 45,000) C$
	$W < 90 : P = 780W \cdot C$
ただし	P : 年間生産能力 (t/year)
	W : 1回当り出鋼量 (t/回)
	C : 鋼塊t当り酸素使用量に関する係数

t当り酸素 (Nm ³ /t)	C
0 ~ 0.1	1.00
0.2 ~ 4.9	1.03
5.0 ~ 9.9	1.08
10.0 ~ 19.9	1.10
20.0 ~	1.16

表2 第2回答申式 (昭36. 1. 26)

(昭34. の実績による)

(一般式)

溶銑炉 : $P = (-1.403 + 0.121W + 0.323F_0) T \cdot \eta$

冷銑炉 : $P = (3.267 + 0.078W + 0.041F_0) T \cdot \eta$

ただし P, W : 表1と同じ

F_0 : 鋼塊t当り酸素使用量 (Nm³/t)

T : 年間暦時間 (hr)

η : 稼働率 $(= \frac{\text{延べ製鋼時間}}{\text{年間暦時間}})$

(基準能力)——一般式に昭35. の全国標準値を代入

溶銑炉 : $P = 710W + 46,200$

冷銑炉 : $P = 480W + 24,000$

(昭35. 全国標準値)

	溶銑炉	冷銑炉
F_0	25	17
T	8760	8760
η	0.666	0.703

で、原則として表4に示される範囲の場合に適用されるものとする。

1.2.2 算定式の基礎的な考え方

転炉は通常2基または3基整備の工場内で1基が常時休止して修理が行なわれ、他が稼働するように、造塊など附帯設備の配置が考慮されていることが多いので、工場単位の生産能力を把握する式が作成されたが、平炉は工場により基数がまちまちであり、また炉容の異なる炉が同一工場内に配置されていることも多く、1工場の能力は個々の炉の能力の総和として求めることとし、ここでは平炉1基の能力を考える。

一般に平炉の生産能力は表5に示す式で表わされる。

* 昭和41年4月5日東京大学において講演

** 鉄鋼生産設備能力調査委員会製鋼部会長

表 3 第 3 回答申式 (昭 38. 4. 23)
(昭 36. 1~37. 8 の実績による)

(一般式)

溶銑炉: $P = (0.300 + 0.143W + 0.3474F_0) T \cdot \eta$

冷銑炉: $P = (4.010 + 0.962W + 0.0697F_0) T \cdot \eta$

ただし P, W, F₀, T, η は表 2 と同じ

(基準能力)—— 一般式に調査期間中の全国標準値を代入

溶銑炉: $P = 834W + 62,600$

冷銑炉: $P = 590W + 28,900$

(全国標準値)

	溶 銑 炉	冷 銑 炉
F ₀	30	10
T	8760	8760
η	0.666	0.700

表 4 算定式の適用される作業条件

作業条件	単 位	溶銑炉	冷銑炉
1 回当り良塊トン数	t / 回	40~220	25~100
溶銑配合率	%	20~85	—
冷銑配合率	%	—	15~60
溶解・精錬時間当り鋼浴酸素量	Nm ³ /t·hr	0~25	0~10
冷材装入速さ	t/hr	25~110	—
キルド鋼生産比	%	0~100	—

表 5 平炉の年間生産能力

$P = p \cdot t \cdot \eta$ (1)

ただし

P: 平炉の年間生産能力 t/year

p: 製鋼 1 時間当り生産能力 t/hr

t: 年間燃料通入時間 hr/year

η: 対燃料通入時間稼働率 = $\frac{\text{製鋼時間}}{\text{燃料通入時間}}$

ここで p は炉の生産能率—製鋼能率を表示するのに用いられる値であり, t は後述のように炉修などによる休止

を除いた操業時間, すなわち燃料通入時間であり, また η はこの燃料通入時間のうち, 補修・床直その他の非製鋼時間を除いた純製鋼時間の割合を示す値であつて, これらはいずれも平炉の作業成績を表す指標として用いられる一般的な数値である.

1.2.3 製鋼能率 p

製鋼能率については, 表 6, 7 のように技術的に相関があると考えられる 8 つの因子をとつて相関を求め, その中から寄与率の高いものを取り, パラツキが小さくなるように考慮して相関式を得た. (2), (3) 式により p を算定する基礎数値は, 各工場から提出される推定値をもとに算定する必要があるが, また, 両式とも付記したような標準偏差 σ を持つていることを考慮する必要がある.

1.2.4 燃料通入時間 t

年間燃料通入時間は, 年間暦時間から年間の炉修時間と操短などによる休止時間とを差引いたものであるから表 8, (4) 式のように表わすことができる. 炉修日数 dr は炉容, 操業条件, 炉修方法, 労働事情, 市況など多くの要因によつて変動するので, 全国平均値に対するこれらの条件による補正係数 α を用いて表示することとした. 一方, ds は市況, 各社の政策により任意に変動し, また付帯設備の制約のため故意に休止することもあり, 算定の都度, 工場ごとに査定する必要がある.

1.2.5 対燃料通入稼働率 η

一般に平炉の稼働状況を示す指標としては (燃料通入時間/暦時間) と (製鋼時間/燃料通入時間) の 2 つがある. 前者は前項で検討した t/365 で表わされ, 後者はここで述べる η で, 表 9 のごとく補修時間・床直時間などによつて変動する. すなわち, 補修・床直時間は補修設備, 操炉技術などにより変動し, また付帯設備の制約による待時間は保熱時間に影響するので, これらを各工場の個有条件と考え, 全国平均値とこれらの条件による補正係数 β とで (5) 式のごとく表示した. β については前項の α 同様, 算定の際に工場ごとに査定しなければならない.

1.2.6 算定式の構成

(1) 式に (2)~(5) 式を代入し, 表 10 の平炉設備能力算定式 (6), (7) を得ることができる. この算定式に

表 6 溶銑炉の製鋼能率 p (t/hr)

因 子	符 号	単 位	t/hr に対する寄与率		上位 5 因子と t/hr·W			
			%	順位	係 数	寄与率		
							%	順位
1 回当り良塊トン数	W	t / 回	55.7	1	-0.000629	37.4	2	
溶銑配合率	R _H	%	4.1	5	0.000041	0.0	3	
冷銑配合率	—	%	0.8	6				
製鋼時間当り, トン当り入熱量	—	10 ⁴ kcal/t·hr	-10.9	8				
冷材, 溶銑装入時間当り, トン当り助燃酸素量	—	Nm ³ /t·hr	-2.3	7				
溶解・精錬時間当り, トン当り鋼浴酸素量	F	Nm ³ /t·hr	20.8	2	0.00901	45.7	1	
冷材装入速さ	S	t/hr	8.3	4	0.000046	-0.5	4	
キルド鋼生産比率	K	%	8.5	3	0.000202	-5.1	5	

$p = (-0.000629W + 0.000041R_H + 0.00901F + 0.000046S + 0.000202K + 0.2326)W$ (2)

$\sigma = 0.02826W$

表7 冷銑炉の製鋼能率 p (t/hr)

因子	符号	単位	t/hr に対する寄与率		上位3因子と t/hr			
			%	順位	係数	寄与率		
						%	順位	
1回当り良塊トン数	W	t/回	55.7	1	0.12333	60.0	1	
溶銑配合率	—	%	—	—	—	—	—	
冷銑配合率	R _C	%	8.2	2	0.0621	6.8	3	
製鋼時間当り, トン当り入熱量	—	10 ⁴ kcal/t·hr	5.6	4	—	—	—	
装入時間当り, トン当り助燃酸素量	—	Nm ³ /t·hr	0.0	6	—	—	—	
溶解・精錬時間当り, トン当り鋼浴酸素量	F	Nm ³ /t·hr	6.8	3	0.1714	7.5	2	
冷材装入速さ	—	t/hr	2.1	7	—	—	—	
キルド鋼生産比率	—	%	0.7	5	—	—	—	

$$p = 0.1233W + 0.0621R_C + 0.1714F + 0.2885 \dots (3)$$

$$\sigma = 1.493$$

表8 年間燃料通入時間 t (hr)

$$t = 24 \times [365 - (dr + ds)] \dots (4)$$

ただし dr: 年間炉修日数 (day/year)

ds: 年間操短・休止日数 (day/year)

$$dr = (\text{平均値}) \times \alpha \dots (4')$$

(dr 実績値)

	dr		α の範囲
	範囲	平均値	
溶銑炉	24.2~92.3	57.8	0.42~1.60
冷銑炉	17.6~90.5	33.8	0.52~2.68

表9 対燃料通入時間稼動率 η

$$\eta = \frac{\text{製鋼時間}}{\text{燃料通入時間}}$$

製鋼時間

$$= \frac{\text{製鋼時間} + \text{補修時間} + \text{床直時間} + \text{保熱・昇熱時間}}{\text{燃料通入時間}}$$

$$\eta = (\text{平均値}) \times \beta \dots (5)$$

(η 実績値)

	η		β の範囲
	範囲	平均値	
溶銑炉	0.743~0.928	0.845	0.88~1.10
冷銑炉	0.700~0.917	0.865	0.81~1.06

よれば生産能力は、設備条件としての1回当り良塊トン数、冷材装入速さ、原料条件としての溶銑配合率、冷銑配合率、操業条件としての鋼浴酸素量、製造品種としてのキルド鋼生産比率、その他炉修日数、操短・休止日数稼動率係数などの諸条件を与えることにより、平炉1基当りの生産能力を算定することができる。これらの条件は実績を勘案した各社の提出数値を査定する必要がある。

2. 転炉生産設備能力算定方式

2.1 緒言

転炉は平炉に比して歴史も浅く現在その技術は日進月歩の状態である。新工場建設に当って各種附帯設備能力は主として建設時点での技術水準で決定されているため

表10 平炉生産設備能力算定式 (昭39. 12. 答申)

$$\text{溶銑炉: } P = 20.28(-0.000629W + 0.000041R_H + 0.00901F$$

$$+ 0.000046S + 0.000202K + 0.2326)$$

$$\times W[365 - (57.8\alpha + ds)] \beta \dots (6)$$

$$\text{冷銑炉: } P = 20.76(0.12333W + 0.0621R_C + 0.1714F + 0.2885)$$

$$\times [365 - (33.8\alpha + ds)] \beta \dots (7)$$

ただし P: 平炉1基当り年間生産能力 t/year

W: 1回当り良塊トン数 t/回

R_H: 溶銑配合率 %

R_C: 冷銑配合率 %

F: 溶解・精錬時間当り, トン当り鋼浴酸素量 Nm³/t·hr

S: 冷材装入速さ t/hr

K: キルド鋼生産比率 %

α: 炉修日数係数

ds: 操短・休止日数 day/year

β: 稼動率係数

吹錬技術水準、煉瓦品質などの最近のいちじるしい進歩に必ずしもマツチしているとはいえない。また転炉鋼が良質かつ安価であるため各社共平炉鋼の生産をおきえて転炉鋼の増産を行なっている。従つて一部設備の小規模な改造や操業上許す範囲内での重装入などによつて生産増強を行なっている工場も多く、実績値が必ずしも基準能力といい難い面がある。また製造鋼種も最近特殊鋼分野にまで拡大し、このため各種の特殊な吹錬技法も行なわれている。

さらに転炉の増産に対応して、原料、造塊の附帯設備は常時改造が行なわれまた2基設備工場で将来1基増設を前提として原料造塊設備などを事前に拡張しているところもある。この間にあつてその能力を適確に把握することはきわめて難かしいが算定式は理論的に構成するよう努力した。

各工場の操業実績のとりまとめはアンケートによつたが当時稼動していた表11の13工場をその適用対象とした。その他10t以下の転炉を有する工場が3工場あり、また試験設備を有する会社もあるがこれらはいずれも特殊事情から方定式の適用から除外した。

2.2 算定式の解説

表 11

会社名	工場名	会社名	工場名
尼日住八富日	川小洞戸広水	神日富八川住	神鶴室戸千和
崎本友幡幡士本	崎崎倉岡1畑江	戸本土幡崎友	鋼管製製製金
製鋼金製製製鋼		製鋼製製製金	鋼管鉄鉄鉄属
鉄管属鉄鉄鉄管			
			戸見蘭2葉山

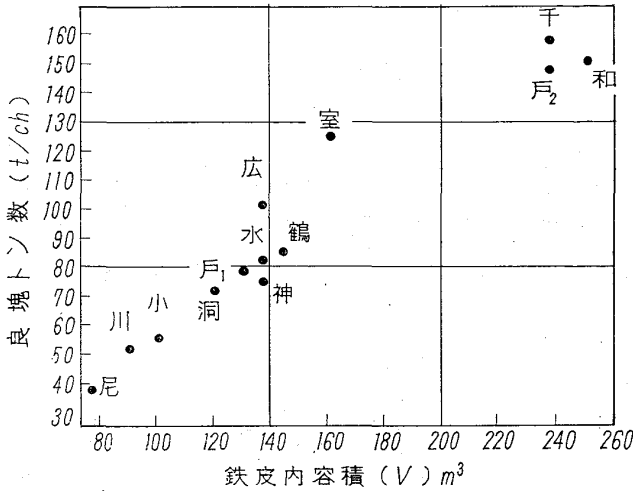


図2 t/chとVの関係

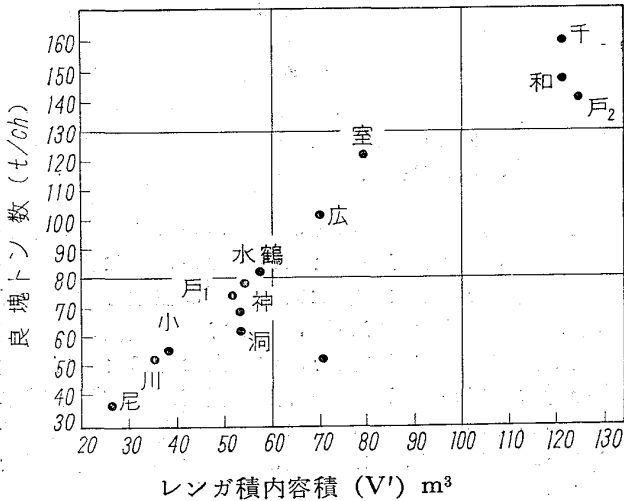


図3 t/chとV'の関係

2.2.1 能力算定式決定の方法

転炉工場の年間能力は次式をもつて示すことができる。

$$P = V \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \epsilon$$

ここに

- P 年間生産能力 (t/year)
- V 鉄皮の内容積 (m³)
- α 鉄皮内容積と1回あたりの良塊t数との関係を示し、V・αが1回あたりの良塊t数となる。(t/ch・m³)

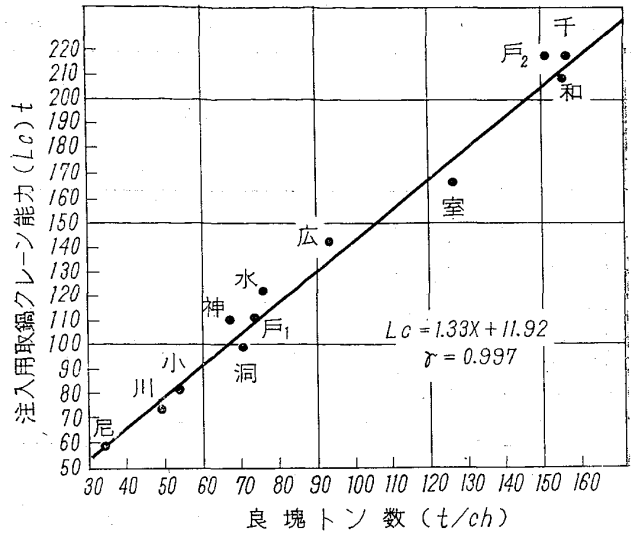


図4 良塊トン数と注入クレーン能力の関係

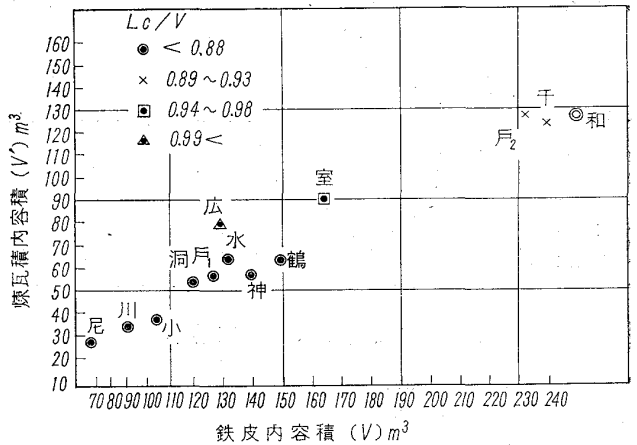


図5 鉄皮内容積と煉瓦積内容積の関係

- β 1日あたりの出鋼回数(標準鋼種) (ch/day)
- γ 年間稼働日数 (day)
- δ 操業基数に関する係数
- ε 鋼種別換算係数と鋼種別出鋼比率から求められる鋼種関係の修正係数

である。

2.1.2 各要因の解析結果

(1) Vならびαについて

1チャージあたり良塊トン数 (t/ch) は一般的にはVが大となれば増加する。図2にこの関係を示す。またt/chと煉瓦積内容積 V' の関係を図3に示し次式が成立する。

$$V \cdot \alpha = t/ch = A \cdot V'$$

V' : 煉瓦積後初回の内容積 (m³)

A : t/ch と V' に関する係数 (t/ch・m³)

しかし、現状では t/ch は V' に対して必ずしも比例的に増加せず、実際には t/ch は注入クレーン能力 (Lc) と高度の相関関係にあり、(図4参照)直接 t/ch と Lc の関係で表わすことが出来る。

すなわち

$$Y = 1.33X + 11.92$$

$\gamma = 0.997$

Y : Lc 能力 X : t/ch

図2, 3, 4から明らかな通り現状では t/ch はVのいかに拘らず, 注入クレーン能力の許す範囲まで増加させる傾向にあり, t/ch に適合した V' となるように煉瓦積を決定しているわけである. 言いかえれば t/ch はVに対し煉瓦積を薄くして V' を増加させることにより増加させ得るが, その限度は Lc によつて制約を受けることになる. 図5にVとV'の関係を示した. これを Lc/V の値により4段階に層別すると, この関係は次式で示すことが出来る.

$V' = BV + C$

B : 恒数

C : V と Lc に関する係数

Cは実績調査結果によれば表12の値を示した. ここで洞岡, 戸畑1水江は表12および図5の通り $V = 101 \sim 150$ $Lc/V < 0.88$ に属する他工場と比較してVに対しV'がやや大きな値を示し, これら3工場が3基設備2基稼働工場であることに特徴がある.

表12 鉄皮内容積と煉瓦積内容積に関する係数Cの値

Lc/V	V			
	100以下	100超 150迄	150超 200迄	200超
0.88以下	尼崎 川崎 -7.12 -7.85	神戸・鶴見 小倉 洞岡・戸畑 水江 -3.07 ~-8.51	-	和歌山 3.89
0.88超 0.93迄	-	-	-	戸畑2千葉 9.07 ~10.56
0.93超 0.98迄	-	-	室蘭 11.85	-
0.98超	-	広畑 12.24	-	-

このため表13の定数Cの補正項をもつてこれを修正した.

表13 1/2基工場に対する2/3基工場のC補正值

V : 100 超 150 迄, Lc/V : 0.88 以下
+ 3

以上の検討結果により, α と V との関係は(3)式および(5)式から次の通り表わされA, B, およびCの値は表4, 表5の通り定めた.

$t/ch = V \cdot \alpha = A(BV + C)$

(2) β について

β は2基設備1基稼働工場で標準鋼種だけを生産する場合の1日当りの出鋼杯数である.

操業基数と鋼種別出鋼比率が変つた場合の1日あたりの出鋼杯数は, δ と ϵ で修正した $\beta \cdot \delta \cdot \epsilon$ で与えられる.

β は準備, 待ち, 故障休止時間ならびにその他の休止時間が皆無で理想的な場合の1日あたりの標準鋼種の出鋼杯数を β_0 とおき, この β_0 に

稼働率 $\eta = \left(\frac{\text{製鋼時間}}{\text{作業すべき時間}} \right)$

を乗じて求めることが出来る.

すなわち $\beta = \eta \cdot \beta_0$

$\beta_0 = \frac{1440(\text{min})}{\text{製鋼時間}(\text{min})}$

ここに製鋼時間は

製鋼時間 = 装入時間 + 吹錬時間 + 出鋼時間

と定義する.

(i) 装入時間 (tc) について

装入時間は設備の様式および能力により決定され各社の実績は表14の通りであり, 標準値として表15の値を定めた.

表14 装入方式により分類した tc の値

装入方式	tc の実績値 (min)
1 シュート 1 鍋装入	1.5~3.8
2 シュート 1 鍋装入	3.9~5.5
2 シュート 2 鍋装入	5.6

表15 装入時間 tc の値

装入方式	tc
1 シュート 1 鍋装入	3.1
2 シュート 1 鍋装入	4.5
2 シュート 2 鍋装入	5.6

(ii) 吹錬時間について

吹錬時間は理論的に次式から求めることができる.

吹錬時間 (min) = $\frac{t/ch \times O_2 \text{ Nm}^3/t, \text{ steel}}{O_2 \text{ Nm}^3/\text{min}}$
 $= \frac{t/ch \times O_2 \text{ Nm}^3/t, \text{ pig}}{O_2 \text{ Nm}^3/\text{min}} \times \frac{\text{pig Ratio}}{\text{良塊歩留}}$

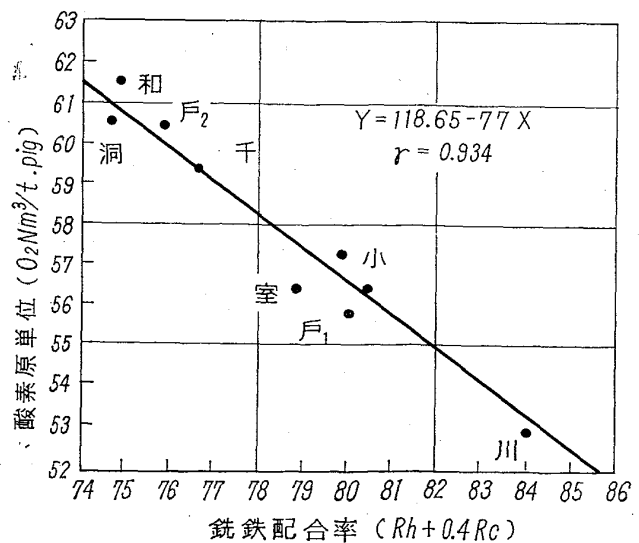


図6 $O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig}$ と鉄鉄配合率の関係

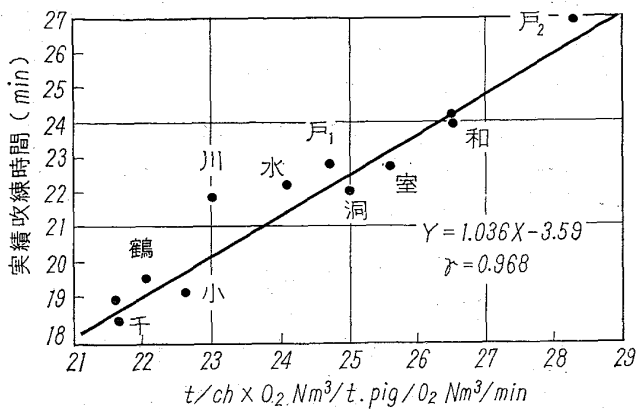


図7 実績吹錬時間と $\frac{t/ch \times O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig}}{O_2 \text{ Nm}^3/\text{min}}$ の関係

一方銑鉄トン当り酸素所要量 $O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig}$ は副材料や吹錬方法などの変化により若干異なるが近似的には銑鉄配合率の関数と考えられる。

銑鉄配合率は、溶銑配合率に対する冷銑配合比の係数として熱的な理論と各社の実績から見て妥当と考えられる0.4を用いて $(Rh+0.4Rc)$ で表わした。

図6に $O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig}$ と換算、銑鉄配合率の関係を示した。

(ただし、富士、広畑は $O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig}$ が他社に比して、へだたりが大きいため除いた。)

この関係は次のごとくなる。

$$O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig} = 118.65 - 77(Rh + 0.4Rc)$$

$$\gamma = 0.934$$

ここに Rh 溶銑配合比

Rc 冷銑配合比

吹錬時間は理論的には $\frac{t/ch \times O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig}}{O_2 \text{ Nm}^3/\text{min}}$ の関係として表わすことが出来る。図7に各社の実績値の関係を示した。

この関係式は次のごとくなる。

$$\text{吹錬時間 (min)} = \frac{1.036 \times t/ch \times O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig}}{O_2 \text{ Nm}^3/\text{min}} - 3.59$$

$$\gamma = 0.968$$

$t/ch = A(BV + C)$, $O_2 \text{ Nm}^3/t. \text{ pig} = 118.65 - 77(Rh + 0.4Rc)$ から、送酸速度の単位を (Nm^3/hr) とすると、次式を得る。

$$\text{吹錬時間} = \frac{62.16}{Br} \cdot A(BV + C) \times \{118.65 - 77(Rh + 0.4Rc)\} - 3.59$$

ここに Br は送酸速度 (Nm^3/hr) を示す。

なお送酸速度は設備の一義的関数として決定することは、実際的にも理論的にも不可能なので、算定にあつては別に、各社の提供した数値を与えることにした。

(iii) 出鋼時間 (tk) について

出鋼時間は吹錬終から試料採取、測熱、鎮静などの鋼浴調整、出鋼を経て排滓を終了するまでの時間である。

2基稼動ではラップ吹錬の制約もあつて1基稼動に比較して、生産能力への影響も少ないので、調査結果より表14の結果を標準値として定めた。

表14 稼動基数により分類した tk の値

操業基数	tk 実績値
2基設備 1基稼動	8.4~11.3
2基設備 2基稼動	9.1
3基設備 2基稼動	9.9~12.0

出鋼時間(吹錬終より排滓完了までの時間) tkの値	
操業基数	tk
2基設備 1基稼動	9.1
2基設備 2基稼動	9.1
3基設備 2基稼動	10.9

(iv) β_0 の算定式

以上の調査に基き次のごとき β_0 の算定式を得た。

$$\beta_0 = \frac{1,440}{tc + (62.16/Br) \cdot A(BV + c) \{118.65 - 77(Rh + 0.4Rc)\} - 3.59 + tk}$$

(v) 稼動率 (η) について

稼動率 η は作業すべき時間に対する製鋼時間の比であり、次式の通りである。

$$\eta = \frac{\text{装入時間} + \text{吹錬時間} + \text{出鋼時間}}{\text{装入時間} + \text{吹錬時間} + \text{出鋼時間} + \text{準備時間} + \text{待ち時間} + \text{故障およびその他の休止時間}}$$

ここで

準備時間 炉補修、炉頂地金除去、出鋼孔巻替および補修、湯面測定、炉下滓除去、ランス取替などの諸準備作業時間

待ち時間 屑鉄待ち、排滓待ち時間

故障およびその他の休止時間

転炉工場および付帯設備の故障による休止時間

η は稼動基数によつて異なる値を示すものであり表15の様に変動するが2基設備1基稼動の場合は0.912とし稼動基数関係の修正では後述する δ によつて行なう。

表15 稼動基数により分類した η の値

稼動基数	η の実績値 ($\times 10^2$)
2基設備 1基稼動	88.72~91.82
2基設備 2基稼動	93.85
3基設備 2基稼動	81.03~90.29

(3) γ について

γ は年間稼動日数で365日から定期的休止日数ならびに不定期の計画休止日数をさし引いた日数である。

このうち、定期的な休止日数は交代休止日数(定期修繕)とし、稼動基数のいかに拘らず1週1回8時間とした。

従つて定期休止日数を除いた日数 γ_0 は、

$$\gamma_0 = 365 - \frac{365}{7} \times \frac{8}{24} = 347.6(\text{日})$$

となり

$$\gamma = \gamma_0 - \gamma' = 347.6 - \gamma'$$

とおくことができる。

ここに γ' は不定期計画休止日数を示す。

γ' は一般的には、

- γ_1' 官庁検査による休止日数
- γ_2' 溶銑不足 //
- γ_3' 酸素不足 //
- γ_4' 造塊能力不足 //
- γ_5' その他 //

の総和または部分和を構成され、年間能力におよぼす γ' の影響は決して小さいものではないが $\gamma_1' \sim \gamma_5'$ の検討にはいろいろの問題が残されている。

そこで γ' については次のごとくまとめることとする。

(イ) $\gamma' = 0$ とした場合の算定能力トン数に対する実績トン数比(適当な期間の月別実績値をとる)を求める。

(ロ) この比が0.95以上であれば一応諸設備はバランスしているものと考え $\gamma' = 0$ とする。

(ハ) この比が0.95未満の場合は別途 γ' を策定する必要があるものとの考えるが、これは当事者間の協議により決定されるべきものとする。

(4) δ について

稼働基数に応じた δ の値は、実績生産量より次の式で求めることにした。

$$\delta^{2/3} =$$

3基設備2基稼働工場の標準鋼種換算実績生産量

3基設備2基稼働工場の生産量を $\delta = 1.0$ で

計算して得た鋼種換算算定生産量

2基設備2基稼働工場も同様にして $\delta^{2/3}$ を求めた。得られた結果は表16の通りである。

表16に基き標準値として表17を定めた。

表16 設備稼働基数の係数

稼働基数	$\delta^{2/3}$ 実績算出値
2基設備2基稼働	1.15
3基設備2基稼働	1.83~1.95

表17 操業基数係数 δ の値

操業基数	δ
2基設備1基稼働	1.00
2基設備2基稼働	1.15
3基設備2基稼働	1.90

(5) ϵ について

ϵ は鋼種別換算係数 mi と鋼種別出鋼比率 ni から次のように求められる。

$$\epsilon = \frac{1}{\sum mini}$$

鋼種換算係数 mi は低炭素リムド鋼、低炭素キャップド鋼を1.0として各鋼種の係数はアンケート結果に現われた平均値表18を考慮し、暫定的に表19を決定した。

(6) 能力算定式の構成

以上により算定基本式

$$P = V \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \epsilon$$

の各構成要素は2-(1)~(5)よりおのおの次の通りとまとめられる。

(i) $V \cdot \alpha = A(BV + C)$

(ii) $\beta = \eta \cdot \beta_0$

表18 鋼種換算係数 mi

鋼種	mi の実績値	平均値
低炭素リムド, キャップド鋼	1.0	1.0
中炭素リムド, セミキルド, キャップド鋼	1.0~1.3	1.11
低炭素キルド鋼 (アルミキルド鋼を含む)	1.0~1.2	1.15
低合金鋼 (Si-Mn系)	1.3	1.30
極低炭素鋼, 中炭素キルド鋼	1.2~1.8	1.42
高炭素鋼		
低合金鋼 (Si, Mn系を除く)	2.5	2.5

表19 鋼種換算係数 mi の値

鋼種	mi
低炭素リムド, キャップド鋼	1.0
中炭素リムド, セミキルド, キャップド鋼	1.1
低炭素キルド鋼(アルミキルド鋼を含む)	1.2
低合金鋼 (Si, Mn系)	1.3
極低炭素鋼, 中炭素キルド鋼, 高炭素鋼	1.4
低合金 (Si, Mn鋼系を除く)	2.0

$$1313 \cdot 28$$

$$= \frac{tc + (62 \cdot 16 / Br) A(BV + C) \{118 \cdot 65 - 77(Rh + 0 \cdot 4Rc)\} - 3 \cdot 59 + tk}{}$$

(iii) $\gamma = \gamma_0 - \gamma' = 347 \cdot 6 - \gamma'$

(iv) δ

(v) $\epsilon = 1 / \sum mini$

これより次の算定式を得る。

$$P = A(BV + C)$$

$$\left[\frac{1313 \cdot 28}{tc + (62 \cdot 16 / Br) A(BV + C) \{118 \cdot 65 - 77(Rh + 0 \cdot 4Rc)\} - 3 \cdot 59 + tk} \right]$$

$$\times (347 \cdot 6 - \gamma') \cdot \delta \cdot 1 / \sum mini$$

2.3 あとがき

能力の算定は、設備固有の能力を用いて普遍的に決定出来るように構成されることがもつとも望ましい。

今回の転炉生産設備能力はきわめて最近の実績値を用い、付帯設備能力をも含めて理論の根拠にもとづいて算定すべく努力を傾注したが、結果として多くの操業要因が算定式に含まれることとなった。今後いつそう機会を求めてゆくこととしたい。また現状の転炉生産はかなり高水準で行なわれているが設備改造、吹錬技術の向上テンポはきわめて早く、さらには機械部門炉材部門など他部門の進歩は目覚しく転炉の能率向上に大きく寄与しているので本算定に採用された諸係数は今後必要に応じて検討を重ねることが望ましい。転炉操業は開始されてからまだ日が浅く現在発展を遂げつつある段階にあり、その能力を一義的に決定するには影響する要因のすべてが理論的背景に基いて決定されるべきであり、今後の検討がこの線にそつて行なわれることが切望される。

3. 電気炉生産設備能力算定方式について

溶解用弧光式電気炉には現在公称能力1トン程度から250トンまで種々あり、その保有台数も10トン前後のものもつとも多く容量が大きくなるに従つてその基数が

少くなっている。昭和 32 年頃 (前回の査定時) よりはかなり大型化されており付帯設備においても改善が行なわれているので、算定式と実績を比較すると平均実績が約 20% 上廻っているようである。

従来の算定式は基準年間能力は鋼浴容積を主体とし、実際年間能力は標準出鋼量を主体として計算されているが、鋼浴容積はライニングの仕上、炉壁の消耗によりかわるし標準出鋼量は非常に不安定な要素である。

今回は設備および作業に関係ある事項を調査し設備能力との関連を追求してみた。その項目は次の通りである。

- (イ) 標準出鋼量
- (ロ) トランス容量
- (ハ) 最高二次電圧
- (ニ) 製鋼時間 (鋼種別)
- (ホ) 装入時間
- (ヘ) 稼働率
- (ト) 炉修時間
- (チ) 休止時間 (原因別)
- (リ) 公称容量
- (ヌ) 計算重量 (鋼浴容積×比重)
- (ル) 炉殻径
- (オ) 酸素使用量
- (ワ) 装入方法

3.1 算定式適用に際しての基本的条件

同じ大きさの炉を使用しても、溶かす鋼種やその技術ならびに作業方法により製鋼能率が相当ちがうので、一律算定式の作製が困難であつたが、以下の基本的条件のもとでの適用を前提とし固定しうる数値を基準とすべく作業した。

3.1.1 算定式適用対象設備

本算定式は公称容量 8 トン (シエル内径 3,000 mm, および変圧器容量 3,500 kVA) 以上のものに適用する。

3.1.2 対象鋼種

鋼種としては

- (1) リムド鋼 (普通鋼および One Slag 法による一般炭素鋼, 機械構造用炭素鋼)
- (2) 炭素鋼 (two slag 法による一般炭素鋼, 機械構造用炭素鋼)
- (3) 低合金鋼 [構造用合金鋼, バネ鋼, 軸受鋼, 快削鋼, 高抗張力鋼, 炭素工具鋼, ピアノ線および合金工具鋼 (ただし SKD を除く)]
- (4) 高合金鋼 (高速度鋼, ステンレス鋼, 耐熱鋼, および合金工具鋼中の SKD)

以上の 4 つに分類した。

3.1.3 算定式適用の根拠とした作業条件

電力事情, 人員不足による休止時間などを考えない状況における連続作業とした。

3.1.4 操業基準

スクラップを主原料としトップチャージによる炭素鋼を基準としたが, 鋼種別換算係数および設備上のアンバランスによる換算係数を別途定めた。従つて本算定式により求められた年間生産能力は良塊トン数をもつて表示される。

3.2 能力算定式および諸係数表

年間能力 (t/year) の算定に当つて, もつとも Popular, な次の式を採用した。

年間能力算定の一般式

$$P = \alpha \times \beta \times \gamma \times \frac{W}{T} \times \frac{A - (E + F + G + I)}{A} \times A \times \eta \dots\dots\dots (1)$$

次にそれぞれの項目につき解説する。

3.3 算定式の解説

算定式の作製にあつて, まづ公称能力 8 t/Ch¹以上の炉につき昭和 37 年 7 月より昭和 38 年 6 月までの実績を鉄連加盟の各社にアンケートした。しかし, 作業量が少く対象とするに問題のある炉もあつたので, トップ

表20 式 (1) に採用した係数表

表 現 事 項	代表記号	単位記号	数 値	備 考
年 間 生 産 能 力	P	t/year		
鋼 種 別 換 算 係 数	α			炭素鋼を基準としたリムド鋼, 低合金鋼, 高合金鋼の換算係数である。
リムド鋼換算係数	α_1		1.04	
低合金鋼換算係数	α_2		0.88	
高合金鋼換算係数	α_3		0.86	
装 入 方 法 別 換 算 係 数	β			トップチャージを基準とした装入方法別の換算係数である。
サイドチャージ換算係数	β_1		0.77	
設 備 換 算 係 数	γ		1~0.75	設備のアンバランスによる換算係数である。起重機 ^の 能力鋼塊重量, 鋼塊本数, 鋼塊形状の多岐によるもの等があるが数値は各社適宜決定する。
標 準 出 鋼 量	W	t		チャージ当りの平均出鋼量
製 鋼 時 間	T	hr		連続作業時の tap to tap 時間
歴 時 間	A	hr	8,760	年間合計歴時間
炉 修 時 間	E	hr	543	年間合計大・中・炉修時間
休 日 時 間	F	hr	1,104	年間合計休日時間
そ の 他 時 間	I	hr	88	
稼 働 率	$\frac{A - (E + F + G + I)}{A}$		0.76	生産調整のない最大稼働率
歩 留	η		0.96	造塊歩留 (良塊トン/出鋼トン)

チャージによる炭素鋼を年間 50Ch 以上作業した炉を抽出して公称容量別に層別して、関係する要因の設定を次の項目について行なった。

- (1) 鋼種別換算係数 α について
- (2) 装入方法別換算係数 β について
- (3) 設備換算係数 γ について
- (4) 製鋼能率 W/T について
- (5) 稼働率について
- (6) 歩留について

調査結果の概要を次に説明する。

(1) 鋼種別換算係数 (α)

鋼の種類によつて同一の炉で操業しても、出鋼量を製鋼時間で除した値が異なるので、鋼種別換算係数 (α) を設定すべく、次の方法で算出した。すなわち炭素鋼を 1 とし、リムド鋼、低合金鋼、高合金鋼の公称容量別の出鋼量をその製鋼時間で除したものを相当する炭素鋼のそれで除した値を加重平均で求めた。その結果を表 21 に示した。

従来の算定式では一般特殊鋼を 1 とし、普通鋼は 4% 増し、高合金鋼では 4% 減としている。

(2) 装入方法別換算係数 (β)

装入方法の製鋼時間におよぼす影響をトップチャージとサイドチャージに区分して比較し換算係数 (β) を求

めた。なおサイドチャージは炉の基数も少ないので機械、シュート、人力の区分はせず一律で考え、サイドチャージによる炭素鋼の公称容量別出鋼時間で割つた値を相当するトップチャージによる炭素鋼のそれで除した値を加重平均してもとめた。

表 22 にこの値を示した。

(3) 設備換算係数 (γ)

起重機の容量不足や、鋼塊本数、形状の多岐にわたる場合など、関連設備のアンバランスが作業に影響すると考えられるので、設備換算係数 (γ) を設けた。この数値の決定は困難なので、(γ) をはずした本算定式による計算と該当会社の実績とを比べてみると 1~0.75 の範囲に分布しているので、一応この数値を採用し、調査表に記入する場合はこの範囲で各社適宜決定するものとした。

(4) 製鋼能率と変圧器容量およびシエル内径との関係

製鋼能率 (W/T) の算定を今回の重点とした。

電気炉に於て設備上固定される数値は変圧器容量とシエル内径である。理論的意味は別として、この固定された数値の組合せにより、製鋼能率との相関を調査するため、アンケートから表 23 を作成した。

表 21 鋼種別換算係数

リムド鋼	低合金鋼	高合金鋼
1.04	0.88	0.86

表 22 サイドチャージの換算係数

サイドチャージの換算係数 β_1
0.77

表 23 製鋼能率算定式作製に使用した数値

公称容量	基数	製鋼能率	標準出鋼量	変圧器容量	シエル内径	(シエル内径) ³	変圧器容量 × シエル内径	変圧器容量 × (シエル内径) ³	変圧器容量 ÷ シエル内径	変圧器容量 ÷ (シエル内径) ³
t	n	t/hr	t	1000 kVA	m	m ³	1000 kVA × m	1000 kVA × m ³	kVA ÷ mm	kVA ÷ m ³
8	5	3.514	9.140	3.825	3.254	35.13	11.684	134.034	1.183	115.122
9	1	2.865	10.478	4.500	3.353	37.69	15.088	169.605	1.342	119.395
10	16	3.628	12.858	4.675	3.761	54.27	17.447	245.762	1.260	93.721
15	17	4.641	15.981	5.833	3.886	64.24	22.685	356.355	1.509	102.446
20	6	5.053	18.908	6.500	4.044	66.37	26.101	421.915	1.619	100.931
25	2	6.548	25.468	8.750	4.185	72.51	36.535	630.925	2.096	121.530
30	12	9.225	31.827	18.833	4.646	100.45	58.529	1,268.360	2.841	125.460
35	1	8.695	38.698	15.000	4.340	81.75	65.100	1,276.250	3.456	183.486
40	5	11.705	39.031	14.500	4.942	121.02	71.703	1,757.305	2.933	120.369
50	1	14.930	56.000	15.000	5.182	139.18	77.730	2,087.700	2.894	107.774
60	1	13.556	68.595	20.000	5.847	199.89	116.940	3,997.800	3.420	100.055
70	2	17.000	68.000	22.000	5.791	194.20	127.402	4,272.000	3.798	113.282
80	1	17.830	82.500	25.000	6.096	216.33	152.400	5,408.250	4.101	115.564

表 24 製鋼能率と各変数との相関々係

変数 (X)	資料数	相関係数	標準偏差	関係式
変圧器容量 (kVA)	70	0.9812	0.821	$y = 0.680X + 0.69 \dots (2)$
変圧器容量 × シエル内径 (1000kVA × m)	70	0.9712	0.732	$y = 0.119X + 1.97 \dots (3)$
変圧器容量 × (シエル内径) ³ (1000kVA × m ³)	70	0.9267	1.555	$y = 0.328X - 3.75 \dots (4)$
変圧器容量 × シエル内径 (kVA/mm)	70	0.9686	0.968	$y = 4.428X - 2.12 \dots (5)$

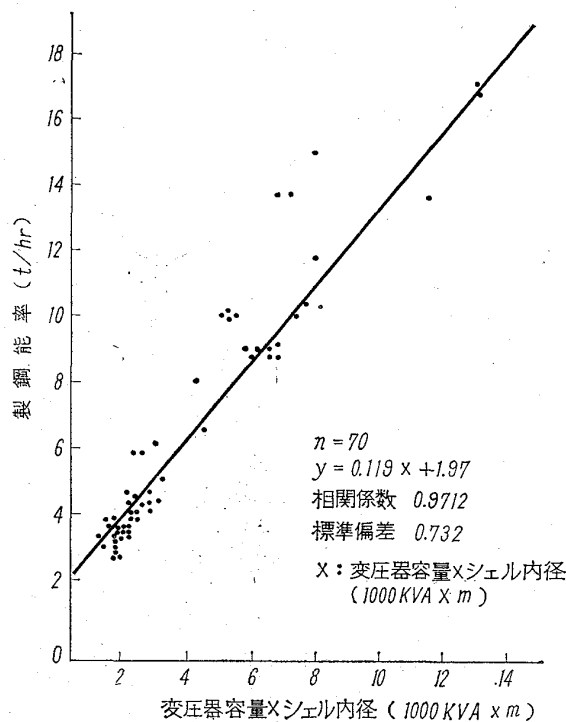


図8 製鋼能率と変圧器容量×シェル内径との関係

この表で、アンダーラインの前後の数値が一連の関係を乱れているので、単独の数値よりは、2個の乗除でみるべきと考え右側にある数値を計算した。最小自乗法を用いてそれぞれの場合の相関を求めたものをまとめると表24のごとくである。

従って相関度が高く標準偏差の少ない上、計算も容易な変圧器容量×シェル内径を採用することとし、その関係を図8に示す。

この結果(1)式のW/Tを(3)式で表すことにする。ただし計算の結果の有効数字を三桁とする。

(5) 稼働率について

表25 稼働率と炉修時間比および休止時間比の実績

項 目		実績年間歴時間比
稼働率	51.4%	
炉修時間比	4.2%	
休止時間比	12.6%	
機械故障	2.8%	
生産調整	28.3%	
その他	0.7%	
小計	44.4%	

表26 生産調整のない場合の稼働率と炉修時間比および休止時間比

項 目		計算式	歴時間比
稼働率	76.0%	D/A	
炉修時間比	6.2%	E/A	
休止時間比	12.6%	F/A	
機械故障	4.2%	G/A	
生産調整	0%	H/A	
その他	1.0%	I/A	
小計	17.8%		

稼働率はアンケートより求めた公称容量別実績平均値を算術平均して求めた。実績炉修時間比、休止時間も同様にして求めた。これを表25に表す。

設備能力としては生産調整のない状況で算出する考え方で生産調整28.3%を配分し直すと稼働率は(6)式のようになる。この稼働率を現在予想される最大稼働率として考える。

$$\begin{aligned}
 \text{最大稼働率} &= (100 - 12.6) \times \frac{51.4}{100 - 12.6 - 28.3} \\
 &= 76\% \dots \dots \dots (6)
 \end{aligned}$$

最大稼働率と同様な考え方で生産調整のない場合の炉修時間比、休止時間比を再計算すると表26のようになる。

表27 電炉の稼働率の実績値

公称容量	基数	稼働率 (%)										休止炉
		0~10	10.1~20	20.1~30	30.1~40	40.1~50	50.1~60	60.1~70	70.1~80	80.1~90	90.1~100	
8t	21	3	2	1	2	1	1	6	4	1		(1)
9t	1							1				
10t	44	5	3	2	6	3	5	7	9	4		(4)
15t	30	2	1		5	4	3	4	10	1		(2)
18t	1		1									
20t	10	1		1	1		3	2	2			(1)
25t	4					1	2	2	1			
30t	19	1			2	2	3	7	3	1		(1)
35t	1								1			
40t	5					1		1	2	1		
50t	2				1						1	
60t	3		1	1						1		
70t	2										2	
80t	2					1	1					
250t	1				1							
計	146	12	8	5	18	13	18	28	32	11	1	(9)

る。

従つて

年間歴時間(A): $360 \times 24 = 8,760$ 時間をもととして炉修時間, 休日, 機械故障時間, その他時間を求めると。

炉修時間(E)は $8760 \times 6.2/100 = 543$ 時間

休日(F)は $8760 \times 12.6/100 = 1,104$ 時間

機械故障(G)は $8760 \times 4.2/100 = 368$ 時間

その他(I)は $8760 \times 1.0/100 = 88$ 時間

となる。

参考に昭和37年7月より昭和38年6月までの公称容量別の稼働率について調査した結果を表27に示す。

(6) 歩留について

良鋼塊のトン数を出鋼トン数にて除して求めた造塊歩留 η を各鋼種一律に算術平均して求めた。

$$\eta = 96\% \dots \dots \dots (7)$$

(7) 総括

以上の関係から製鋼能率(W/T)を

変圧器容量(1,000kVA)×シエル内径(m)

で表わし, (3), (6), (7)式を(1)式に代入して導かれた

$$P = 6.39 \times \alpha \times \beta \times \gamma \times (0.119X + 1.97) \times 10^3 \dots \dots \dots (8)$$

(8)式は最大年間能力の算定式となる。

ここに

α 鋼種別換算係数

β 装入方法別換算係数

γ 設備換算係数

X 変圧器容量×シエル内径(1,000kVA×m)

である。

もし稼働率の点で相当のくいちがひがある場合は協議の上決定すべきである。

実際の計算例を示せば次のようになる。

3.4 計算例

変圧器容量 6,250kVA (= $6.250 \times 1,000$ kVA)

シエル内径 3,660mm (= 3.660 m)

トップチャージ $\beta = 1.00$

以上の設備で下記の鋼種を製造するときの年間設備能力の計算例を示す。

(1) two slag 法により炭素鋼のみ製造する場合

$$X = 6.25 \times 3.66 = 22.9$$

$$0.119 \times 22.9 + 1.97 = 4.70$$

$$\text{鋼種別換算係数 } \alpha = 1.00$$

$$\text{設備換算係数 } \gamma = 1.00$$

$$(8) \text{式より } P = 30,000 \text{ ton/year}$$

(2) 低合金鋼のみ生産する場合

$$\alpha = 0.88 \quad \gamma = 1.00$$

$$(8) \text{式より } P = 26,400 \text{ ton/year}$$

(3) two slag 法による炭素鋼を70%, 低合金鋼を30%の生産比率にて製造する場合, 上記比率による平均換算係数は

$$\alpha = 1.00 \times 0.70 + 0.88 \times 0.30 = 0.96$$

起重機設備のアンバランスによる換算係数

$$\gamma = 0.90 \text{ のとき}$$

$$(8) \text{式より } P = 25,900 \text{ ton/year}$$

(3)項の鋼種平均換算係数 α の計算は誤差が少ないので簡略式により行なつた。

3.5 あとがき

今回は市況変化の多い時期のデータをもととしたので必ずしも十分とは思われない。特に昭和32年以降は大型化, 能率化が行なわれそれ以前とは相当のちがひがあるので, これらを一元的な算式として統一しようとしたところに多少の問題があるように思われる。今後とも将来のあり方をよく観察し豊富なデータをもととしてよりよき算定式を作るよう努力したい。

今後特に検討を要すると考えられる問題は

(1) オーバーチャージ, オーバーロードの取扱い

(2) 新旧炉の算定式の取扱い

(3) 今後の製造技術の進歩に対応する製鋼能率(W/T)の理論的解析などがある。

なお現状では50トン以上の大型炉のデータが少ないのでデータの集り次第本算定式を修正する必要があると思われる。