

平爐噴出口より噴出する火焰の角度に就て

廣 瀬 政 次

目 次

第I編	緒論	第1章	實際設計に使用せし平爐の寸法及製鋼方法の概要
第II編	平爐噴出口より噴出する火焰の角度	第2章	基準角度を用ゐて設計せる噴出口及其操業成績
第1章	平爐に於ける熱の傳播	第3章	火焰角度に公式を用ゐて設計せる噴出口及其操業成績
第2章	平爐噴出口より噴出する火焰角度決定の基礎的條件	附	實驗公式の算出法
第3章	火焰の基準角度		
第4章	火焰角度の實驗公式		
第III編	平爐設計に應用せる實例及其操業成績		

第I編 緒 論

平爐々床の設計に於て最も重要な部分は (1) 爐床の大きさ (2) 噴出口の角度及大きさなり、爐床の大きさは装入物が熔解して生ずる鋼浴の容積より計算して之を設計し得るを以て其の方法比較的簡明なり、之に反し噴出口は平爐の熱平衡より設計の基準を求めざるべからざるを以て其の方法を決定する事は蓋し容易ならざるべし噴出口の設計に關する文献としては Gronme Grjimailo 氏の“Flow of gases in furnaces”⁽¹⁾ は最も有名にして此の方面の研究に一新紀元を劃せるものなり、即ち同氏の研究は噴水の理論を熱瓦斯に應用せるものにして噴出口に於ける各要素の關係を示す式は次式の如し

$$H = \frac{v^2 \sin^2 \delta}{2g} \times \frac{273 + t_i}{t_m - t_i}$$

此の場合 H = 噴出口土臺よりの爐の深さ v = 噴出口より噴出する

火焰の速度 δ = 火焰の角度 t_m = 火焰の溫度 t_i = 爐内の溫度 g = 重力 然れども此式平爐をの設計に使用せんとする場合には H を既知とするも尙 v 及 δ の二つの數値のうち何れか一方を知る必要あり依て著者は茲に噴出口を出る火焰の角度(前式の δ)に就て研究し先輩學者の蒐集になる實例を以て實驗公式を確定し Grjimailo 氏の研究に於ける不備を除き設計の基礎を與へたるものにして尙著者は之を使用して設計したる爐を實地に操業して其の應用の可能なる事を確め得たり以下章を分ちて之を詳述すべし。

第II編 平爐噴出口より噴出する火焰の角度

第1章 平爐に於ける熱の傳播 平爐に於て火焰と鋼浴との間に熱が如何なる現象に依りて傳播するかは平爐の設計に重大なる關係を有す然れども未だ此の點に關する確定説なきが如し今最近數年間の獨乙「鋼と鐵」誌上に散見する諸説を綜合すれば次の如し。

從來平爐火焰と鋼浴との間の熱の傳播に關しては次の二説あり (1) 傳導説 (2) 輻射説之なり。

(1) 傳導説と云ふは熱量を有する瓦斯體が直接鋼浴表面に衝突して熱傳導に依りて鋼浴面に熱を傳播するとなすものなり、熱が主として此の説に依りて傳播すると云ふ事は實際家の間に唱へらるゝ所にして其の論據は鋼浴表面に火焰を出来るだけ完全に密着せしめたる時熱の傳播が最も良好なりと云ふ日常の觀察に依るなり「モル式噴出口」の提案者たる Moll 氏の主張は其の代表的の例なるが同氏は輻射の作用を認むると同時に傳導に依り熱の傳播することを重大視して其の理由を次に示す如き火焰の渦卷運動に歸せり。⁽¹⁾

即ち傳導に依る直接の熱の傳播は火焰と鋼浴との間の温度の差に依る他に尙火焰の速度及速度が關係をもつ所の渦卷運動に依る即ち此の渦卷運動に依つて新しき瓦斯體が常に急激に鋼浴と接觸して自身の熱を與ふる爲なり此の渦卷は重要なり如何となれば瓦斯は熱の傳導率が非常に不良なればなり故に余輩は適當なる寸法の通路に依りて火焰に高速度を與へ又稍急なる角度にて鋼浴に衝突せしめて運動のエネルギーが制せられて強力なる渦卷に轉化せらるゝ様にすと述べたり然れども同文中にも述べられたるが如く傳導に依る熱の傳播は計算上非常に小にして Bansen 氏⁽²⁾ 又 Schack 氏⁽³⁾の計算に依れば其の量は全體の熱量の10%以内なり。

(2) 輻射説と云ふは瓦斯自身及天井四壁の輻射に依り鋼浴が熱せらるゝとなすものにして古く 1885 年に既に Friedrich Siemens 氏が平爐の作用は全然輻射のみを應用する主義に依るものなりと説明せり Bansen 氏⁽⁴⁾は全く之と同一意見に基きて瓦斯の燃焼を促進する意味に依り直線的(水平的の意味に解せらる)の瓦斯及空氣噴出口を提案し瓦斯を渦卷かしむる事に就ては普通の爐に於ては使用し得ざる高壓の瓦斯と空氣とを使用せざるべからざるべしとして其効果を否定せり。

然れども同氏の提案につきては有力なる反對説多く申にも Herzog 氏⁽⁵⁾は批評文中に次の如く述べたり。

極めて順調に操業せられたる平爐に於ては沸騰期後鋼浴表面と天井との間に於ては實際上殆ど温度の差は無くして實際天井の内面の温度が鋼浴表面の温度以下なる事は稀ならず他方若し燃焼區域が餘り短き時に於ては熔解室内が燃焼瓦斯を以て一様に充たさるゝ所の引き側に於て、天井の温度は著く高く鋼浴表面の温度は之に反して非常に低くして此の場合天井より鋼浴體への輻射の係數は今日迄考へられ居たるものの $\frac{1}{100}$ が正當なるものなるべき結論に到らしむる程の温度の差が現るゝことが認めらる。

此の事よりして平爐に於ける天井の輻射は何等實際的の意味を持ち得ざることが云ひ得ると同時に又平爐内の輻射の作用に對しては今日迄見逃されたる効果を有する一要素が存在すべし即ち火焰體が一方鋼浴表面の或る面積に他方天井内面の同大面積に輻射する所の空間角度なり今鋼浴上にある燃焼區域より火焰體 dV を取れば之は鋼浴上に密接に存在するが故に此の火焰體は其下に存在する鋼浴表

面の小面積 df に非常に大なる空間角度を以て輻射し此の角度は極限に於て半球に相當し dV の全輻射の半分を受く之に反して天井内面の同大面積に對しては天井迄の距離大なる爲に非常に小なる空間角度のみにて輻射し従て全體の輻射の一小部分を放散するのみなりと論ぜり其の後 Herzog⁽⁶⁾ 氏は彼自身の論文に於て輻射と傳導との兩説に付きて詳説し次の如く結論せるが蓋し現在に於て最も正鵠を得たる所論なり。

即ち最近の爐内の溫度を測定せる Wilhelm 及 Rotter の報告を見るも或時期に於て鋼浴表面が他の何れの部分よりも高熱なる場合もある事實により爐壁を通しての間接に熱の傳播する事は之迄吾人の想像せるが如き重大なる役目をなすものに非ずと結論せられざるべからざるものなるが之には二つの論據あり第一には天井と鋼浴との熱交換が大なりとすれば此の熱交換に關係する輻射係數は餘りに高く假定せられざるべからず、不幸にして此の天井よりの輻射定數の實際の値は今日尙確實に與へられず。

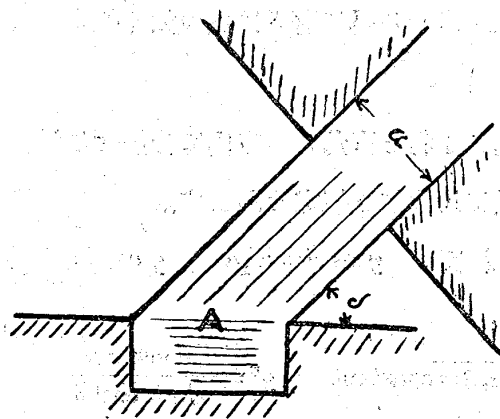
第二に瓦斯層は天井四壁と鋼浴間の輻射交換を非常に害するものなり、瓦斯が黑色體として輻射しそれに應じて射落する凡ての線を吸収するが如き極限の場合には爐體各部間の熱交換は完全に隠さるべしと述べて熱は全部瓦斯自身の輻射に依り傳播するものなりと論じ引きつづきて火焰と鋼浴表面との間の距離が小なれば小なる程空間角度が大となること及熱の傳播を妨ぐる層を防ぎ得る理由よりして燃焼瓦斯より鋼浴への熱の傳播が輻射に依り行はるゝの事實にも關らず火焰は鋼浴表面に接觸する事が缺くべからざる事の説明を與へたり以上諸家の論文を綜合するに平爐鋼浴上に對する熱の傳播は次の如く考へらる。

四壁天井よりの輻射に依る熱の傳播は最近に於ける溫度測定の結果より問題とならず瓦斯の直接傳導に依りて傳はる熱量も計算上より餘り多量なりとは考へ得ず従て鋼浴に傳はる熱量の大部分は瓦斯自身の輻射に依るものなりと結論さる、然れども火焰は出来るだけ鋼浴面に接近して噴き付けざるべからざる事は爐操業の實際より動かす可からざる事實なるが此の間の説明に就ては Herzog 氏の空間角度説に依るを以て最も適當なりと考へらる。

第2章平爐噴出口より噴出する火焰角度決定の基礎的條件

前章に詳説せる如き理論に依れば火焰を出来るだけ鋼浴表面に廣く且密接する如く噴き付けることは平爐設計に於て最も大切なる要點なりとす、而して其の方法としては噴出口より噴出すべき火焰の角度を適當ならしむる事最も必要なり。

今火焰角度の基礎的條件として或形狀の噴出口より火焰流の放射形狀に相似形なる鋼浴表面に火焰を噴き付ける場合につきて火焰角度の關係を考察するに火焰の噴出口の面積を a 鋼浴表面積を A とすれば a が A に等しきか又 A より大な



る場合に於ては鋼浴表面が火焰流に直角の方向に置かれたる時最も有効に作用すべし如何となれば若し傾斜せし場合に於ては A よりも少き $A \sin \delta$ (δ を火焰流と鋼浴面とのなす角度とす) の面積に於ける火焰流のみが鋼浴表面に落下すべきを以てなり、然れども a が A より小なる場合にありては此の關係は逆となる可し即ち A が大なれば大なる程角度を傾斜せしめたる時に鋼浴表面に火焰流は一樣に噴き付けられ有効に作用せしめ得べく A が非常に大となりたる場合に於ては火焰は水平に近かざるべからず。

平爐の實際は $a < A$ の場合なるを以て火焰を傾斜せしめざるべからざる事は明瞭なるべく火焰角度は主として A の面積に關係を有すべし。

故に若し單位體積の鋼浴體に對して一定時間に一定體積火焰を噴き付けるものとすれば鋼浴體の表面積と深さとの關係に於て鋼浴表面積を大ならしむる程火焰角度を大ならしむるを要す今角度の關係をあらはすに火焰を熱流とし其の水平及垂直分流を以て示すとすれば此の2分流は鋼浴體の寸法と密接なる關係を有するものと考ふる事を得べし。

依て平爐の操業に必要な熱量を y とし火焰が鋼浴表面となす角度を δ とすれば $y \cos \delta$ 又は $y \sin \delta$ なる熱量が鋼浴體の表面積及深さと或簡單なる關係にありと假定することに依りて角度の基準を求むる事を得べし。(以下此の方法に依て算出せる角度を基準角度と稱す) 或は平爐の容量を裝入量に依りてあらはし之を x とすれば y は變數 x が増加するに従つて増加すべき函數なれば兩者の關係は次式の如く置くことを得べし $y = A + Bx + Cx^2 + \dots$ (A, B, C, \dots は係數) 更に $y \sin \delta$ 及 $y \cos \delta$ につきても同様に考ふれば $y \sin \delta = A' + B'x + C'x^2 + \dots$ $y \cos \delta = A'' + B''x + C''x^2 + \dots$ と置く事を得べきを以て實例によりて此等の係數を求むる事を得れば火焰角度の實驗公式を決定する事を得べし。

茲に火焰角度が噴出口の角度と如何なる關係にあるやにつきては groune grjmaillo 氏の "average angle"⁽¹⁾ を以て火焰角度と假定せんとす、之は噴出口が片側に空氣瓦斯各 1 個夫々上下に配置さるゝ如き極めて普通の場合に於て噴出口の角度を角度とし長さを速度と瓦斯及空氣の重量比との積に取りて平行四邊形を描きたる場合に其の對角線の方向が "average angle" を示すものとなすものなり。

第3章 火焰の基準角度 前章に述べたる火焰の基準角度を求むる爲に著者は次の如く假定す火焰が鋼浴表面となす角度を δ とす。

而して火焰が鋼浴體に及ぼす效果に就て其の熱流を鋼浴表面に平行と直角との方向に分解せる場合水平分流は鋼浴表面の長さ及幅に比例し垂直分流は深さの自乗に比例すと假定せんとす。

然る時は鋼浴體の長幅及深さを夫々 a, b, c とし熱流を y とすれば $y \cos \delta = K_1 a$ $y \cos \delta = K_2 b$
 $y \sin \delta = K_3 c^2$ (K_1, K_2, K_3 は定數)

鋼浴體を單位體積とすれば $abc = 1$ 依て $y^2 \cos^2 \delta \sqrt{y \sin \delta} = \text{constant}$ $y^5 = \frac{\text{constant}}{\sin \delta \cos^4 \delta}$

故に $\sin \delta \cos^4 \delta = Y$ が極大なるが如き α を求むれば y が極小なる値即ち火焰が最も有効に作用す

る場合の δ に対する基準を與ふるものと想定する事を得べし。即ち $Y = \sin \delta \cos^4 \delta$ を微分して零とお

けば $\frac{dY}{d\delta} = \cos^4 \delta - 4 \cos^3 \delta \sin \delta = 0 \quad \tan^2 \delta = 1/4 \quad \tan \delta = 1/2$

此の値は $\frac{d^2 Y}{d\delta^2} < 0$ ならば Y は極大なり。故に斯くして求めたる $\delta = 26^\circ 34'$ は火焰の基準角度なり。

第4章 火焰角度の實驗公式

次に著者は平爐の火焰角度の平均値を實例より求むる爲に Hugo Bansen 氏の abmessungen und Leistungen Deutcher Siemens Martin Oefen⁽¹⁾ に擧げられたる數字により熱量的關係を求め火焰角度の實驗公式を最小自乗法により算出せり實驗公式の求め方次の如し。

(1) 平爐の装入量と所要熱量の關係を示す實驗公式を求むるために著者は最初 Bansen 氏の論文 Tafel 14 に記載しある Heiz wert Einsaz am gas Ventil (12) と Einsaz Gewicht (6) との關係を最小自乗法により求めたり其の結果 $y = \text{Heiz wert Einsaz am gas Ventil } 10^6 \text{ WE/st} \quad x = \text{Einsaz gewicht } t$ とすれば x と y との關係は次式に依てあらはさる

$$y = 0.20523x - 0.000638x^2 \dots (1) \text{ (解法附實驗公式算出法其一参照)}$$

(2) 次に Tafel 14 の aus tritts quers chnitt des gas zuges (42) \times aus tritt ges chwindigkeit des gases (20) 及 aus tritts querschnitt des Luftzuges (43) \times aus tritt-ges chwindigkeit der Luft (19) によりて示さるゝ通りの容積の瓦斯及空氣が Neigung der Züge (147 及 148) に示さるる角度を以て銅溶に噴き付けらるるものと想定せる場合の火焰角度を grjmailo 氏の方法⁽²⁾ によりて作圖的に求め其の角度の直線上に y なる量をとりにて之を火焰角度 δ の餘弦に分解することによりて $y \cos \delta$ を圖上より求めたり。(此の場合著者は蓄熱室の影響を一時除外して溫度を 0°C と假定せり)

然る時 $y \cos \delta = Z_1$ とおけば x との關係は次の如し $Z_1 = 0.19258 x - 0.000654x^2 \dots (2)$ (解法は附實驗公式算出法其二参照)

(3) 同様の方法に於て $y \sin \delta$ と x との關係を求めたり $y \sin \delta = Z_2$ とおけば $Z_2 = 0.05637x + 0.000097x^2 \dots (3)$ (解法は附實驗公式算出法其三参照)

(4) 今此の3式の關係を考察するに x が夫々 20, 40, 60, 80 及 100 なる場合の y, Z_1, Z_2 を表示すれば次表の如し。

x	20	40	60	80	100	而して之等の値は $y^2 = Z_1^2 + Z_2^2$ なる關係を満足せざるべからざるものなるが y を此式より算出せる結果は表の最後の列に示す如くにして (1) 式との關係は計算上の誤差と認め得べき程正確なる事を示せり。
y	3.8494	7.1884	10.0170	12.3252	14.163	
Z_1	3.5900	6.6568	9.2004	11.2208	12.718	
Z_2	1.1662	2.4100	3.7314	5.1304	6.607	
$\sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}$	3.78	7.08	9.93	12.33	14.32	

(5) 故に火焰の角度の實驗公式は次の如し $\cos \delta = \frac{Z_1}{y} \dots (a) \quad \sin \delta = \frac{Z_2}{y} \dots (b)$
 $\tan \delta = \frac{Z_2}{Z_1} \dots (c)$

(6) 但この3式の關係は (1) (2) (3) 式が可成り正確なるにも拘らず x が小なる場合に於ては若干の差違($x=10$ のとき約 4°) あるも (a)式は前章の基準角度に最も近き結果を示すを以て實際設計には(a) 式に依らんとするものなり即ち $\cos \delta = (0.19258 - 0.000654x) / (0.20523 - 0.000638x) \dots$ (4)が求むる實驗公式なり。

(7) 次に此の式を以て計算せる場合の δ の値と前述の基準角度との關係を求むれば次表に示す如く x が小なる場合には基準角度より少しく小にして x が大となるに従ひて漸次に基準角度と一致する事を知る、この關係は爐の寸法の割合が爐の容量に依りて異なる事より生ずるものにして爐の容量小なるものは爐の幅に比して爐の長さ短きため火焰速度を同一とすれば火焰角度小にて可なる事より生ずるものと思はる。

x	δ	δ	基準角度との差
20	.9328	$21^\circ - 7'$	$6^\circ - 27'$
40	.9260	$22^\circ - 10'$	$4^\circ - 24'$
60	.9183	$23^\circ - 17'$	$3^\circ - 17'$
80	.9104	$24^\circ - 26'$	$2^\circ - 8'$
100	.8980	$26^\circ - 6'$	$0^\circ - 28'$

(8) 此等の實驗公式の應用に當り特に注意すべきは蓄熱室の關係を全然除外せる事なり然れども著者は次の諸點より考察して本文に取りたる方法は公式の算出及應用に際して蓄熱室を考慮せる場合に比して簡明至便なりと考へたるを以て敢て此の假定によりたるものなり其の理由次の如し。

(a) 實驗公式 (1) に於ける熱量は瓦斯が蓄熱室に入る前に於て有する熱量にして噴出口に於て鋼浴に作用すべき全熱量にはあらざるも Bansen 氏の諸例に於て個々に溫度を想定することは困難なる上實際設計に當りても蓄熱室より出る瓦斯の溫度を想定することは困難なれば正しき意味の全熱量を求むる事は公式の算出及應用を非常に複雑ならしむべし。

(b) 同様の理由よりして實驗公式 (2) 及 (3) の算出に用ふべき速度を求むる場合にも 0°C の状態に於ける容積と噴出口の面積とより算出せるを以てこれも亦實際の速度とは可成り異りたる數字を示すべきも一方噴出口に於ける溫度が瓦斯及空氣共同一なりと假定すれば火焰の角度は 0°C の場合と變化なかるべきを以てなり。

参考文献 (1) St u Eisen 1925: Nr 14 (2) The flow of Gases in Tarnaces p 69 (3) Lehr buch der Eisen hutter kunde II von Osann p426 を見るも空氣溫度 $1,300^\circ$ 瓦斯の溫度 $1,250^\circ\text{C}$ にて殆ど同一なりと考ふることを得、著者の實測の結果も亦殆ど同一なり。

第 III 編 平爐設計に應用せる實例及び其の操業成績

第 1 章 實際設計に使用せし平爐寸法及製鋼方法の概要

著者は東京鋼材株式會社 10 匁酸性平爐に於て前編に述べたる火焰角度を平爐設計に應用し其の操業成績を調査し得たるが其の結果は非常に良好にして充分實際設計に應用し得るものなることを確認し得たり同工場の平爐の寸法及製鋼方法の概要は次の如し。

平爐の寸法 平爐の寸法の概要は次の如し(噴出口の形狀は別記す) (1) 種類 酸性 10 匁裝入 (2) 爐床の大きさ $4.900 \times 2.150 = 10.535\text{m}^2$ (3) 空氣蓄熱室の大きさ一室 17m^3 (4) 瓦斯蓄熱室の大きさ一室 12m^3

操業の大要 當平爐工場に於ける製品は主として高炭素鋼なるが炭素含有量 0.5%以上 1%迄の鋼を工用具及發條用鋼として製鋼し之を下注法により主として 250kg 型 2 本立の鑄型に鑄造するものなり。原料の配合は當平爐は酸性にして磷分の除去を爲し得ざるため之を出来るだけ少量に止めしむる目的を以て銑鐵の使用を出来るだけ制限し主として良質の鋼屑を使用す已むを得ず使用する銑鐵につきては本邦産普通銑鐵中最も磷分少き本溪湖銑鐵を配合するものにして平均装入量 15%最大 20%を限度とせり。

從て鋼屑は出来るだけ良質ならしむる目的を以て常に磷の分析を行ひ撰別に苦心す、而して装入に際して木炭或は骸炭を以て炭素の不足を補ひ時には硅素鐵をも装入す、之等原料の装入は全部手装入にして約 1 時間半乃至 2 時間を要す其他作業時間の大要は装入後熔解迄約 2 時間半乃至 3 時間 熔解後出鋼迄約 1 時間半乃至 2 時間半即ち装入開始より出鋼迄の全製鋼時間は 6 時間乃至 7 時間なり出鋼後は酸性平爐に於ては爐底燒付のため鹽基性に比して比較的長時間を必要とする例なるが當工場に於ても約 1 時間 15 分を普通とす。

爐修繕の狀況につきては當平爐は容量小なるため修繕比較的簡單にして爐天井の如きも數ヶ月毎に其の 1 部を修繕すれば足れり、又噴出口の如き極めて丈夫にして數 100 回出鋼後に於ても著しき變化を見ず只僅に裏壁或は前壁を補修すれば可なる程度にして 1 ケ年の修繕日數は極めて僅少なり、但し本實驗期間に於ては大正 15 年 9 月に於ては築爐不完全なりしたため爐底より熔鋼流出せる故障に依り爐底を取出し空氣蓄熱室天井を積替へたるため又昭和 2 年 5 月に於ては瓦斯蓄熱室天井を積替へたるため比較的多大の日時を要したるものなり。

之等操業の詳細につきては第 1 表乃至第 3 表に示す如くにして大正 15 年 1 月より昭和 3 年 4 月に至る期間を修繕期間に應じて 3 區分し其の成績を詳記せり。

即ち第 1 期は爐形圖面なきため噴出口の形狀不明なる點は遺憾なるも要するに本設計を採用せし以前第 2 期は基準角度に依り設計せる期間。

第 3 期は公式角度に依り設計せる期間にして其の成績が第 4 表に總括せし如く順次に良好に向へる事は本設計法の特色なりと信ずるものなり。以下章を追ひて設計の詳細と共に之を記述せんとす。

第 2 章 基準角度を用ゐて設計せる噴出口及其操業成績 前章に述べたる平爐に於て噴出

瓦斯成分	各成分の發熱量	100 の瓦斯の發熱量	各成分の重量	100 calm の瓦斯の重量	酸 素 所 要 量
%	cal/m ³	cal	kg/m ³	kg	m ³
CO ₂ 2.8	—	—	1.97	5.5	—
CO 27.2	3,000	81,600	1.25	31.0	13.6
CH ₄ 4.2	8,600	36,120	0.71	3.0	8.4
H ₂ 14.0	2,640	36,960	0.09	1.2	7.0
N 51.8	—	—	1.25	64.7	—
100.0	—	154,680	—	108.4	29.0

口を火焰の基準角度を用ひて設計したる結果につきて其の設計の詳細及操業成績を述べれば次の如し (1) 石炭消費量 370kg/h (2) 1kg の石炭より發生する瓦斯量 100 cub meter 中に合まるゝ炭素の量 = (2.8 + 27.2 + 4.2) × 0.536 = 18.33kg

1kg carbon より發生する瓦斯量 = $100/18.33 = 5.455$ 石炭中の全炭量 = 65% (分析實例 65.54%)

1kg 石炭より發生する瓦斯量 = $5.455 \times 0.65 = 3.546$

(3) 完全燃燒に對して必要な空氣量 酸素量 = $29/100 \text{ m}^3 \text{ of gas}$ 空氣量 = $138.1 \text{ m}^3/100 \text{ m}^3 \text{ of gas}$

(4) 瓦斯量 (平爐噴出口より 1 秒間に噴出する) $370 \text{ kg} \times 3.546 = 1,312 \text{ m}^3/\text{h} = 360 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($0^\circ 760 \text{ mm}$.)

(5) 平爐に使用されたる瓦斯の熱量 = $3.5 \times 1,500 \times 370 \text{ kg} = 1.94 \times 10^6 \text{ WE/sec}$ 前編第 4 章公式 (1) より之を求むる時は $1.78 \times 10^6 \text{ WE/sec}$ となり殆んど一致す。

(6) 空氣量 (平爐噴出口より 1 秒間に噴出する). $360 \times 1.381 = 497 \text{ m}^3/\text{sec}$, 故に此の場合の瓦斯及空氣の重量比を取れば 38:62 なり或は若し Bansen 氏の諸例にある如く此の比を 40:60 とすれば空氣量は瓦斯の 1 m^3 に對して 1.26 m^3 即ち 空氣量 = $1.26 \times 36 = 454 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる

但 (2) 項の計算による數字は必ずしも平均を示すものにあらざるを以て本設計には後者に依る事とせり。

(7) 瓦斯及空氣噴出口角度及火焰角度 air port の角度 = 38° (pawloff 氏實例に依る⁽¹⁾) gas port の角度 = $15^\circ - 30^\circ$ (同上) 火焰角度 = $26^\circ - 30^\circ$ (基準角度)

(8) 火焰速度の計算 火焰速度 = $\sqrt{\frac{5 \times 9.81 \times 1000}{7.986 \times 1073}} = \sqrt{57.24} = 7.57$ (公式 $H = \frac{v^2 \sin 2\delta}{g} \times \frac{273 + t_i}{tm - t_i}$)

$H = 5 \text{ meter}$ 噴出口間の距離 $t_i = 800^\circ \text{C}$ (Williams 氏の想定に依る⁽²⁾) $tm = 1,800^\circ \text{C}$ (右同)

$\delta = 26^\circ - 30'$ (基準角度)

(9) 作圖により瓦斯及空氣の速度を求む $\hat{BAX}' =$

$26^\circ - 30'$ $Y\hat{B}C = 38^\circ$ $C\hat{A}X' = 15^\circ - 30'$ AB

$= 7.57$ $BC = 3.75$ $AC = 3.95$ \therefore 瓦斯の速度

$= \frac{3.95}{.40} = 9.88 \text{ m/sec}$ 空氣の速度 = $\frac{3.75}{.60} = 6.25 \text{ m/sec}$

(10) 瓦斯及空氣噴出口の面積 瓦斯噴出口の面積 = $\frac{.36(1 + \alpha t)}{9.88} = .170$ ($t = 1,000^\circ \text{C}$) 空氣噴出口の面積 = $\frac{.454(1 + \alpha t)}{6.25} = .325$

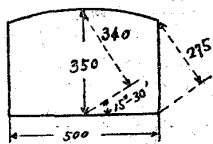
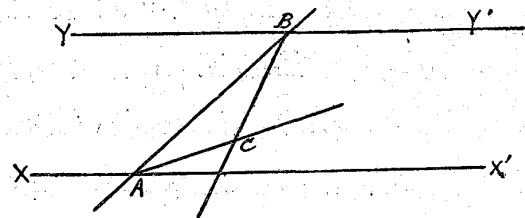
($t = 950^\circ \text{C}$) 依て噴出口の形を圖の如く決定す

其の他の寸法につきては瓦斯及空氣噴出流の中心線の交點より圖の如く決定す

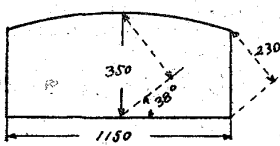
本設計に於ける注意すべき要點をあぐれば次の如し

(1) 空氣及瓦斯噴出口の角度を Pawloff 氏の例より取り

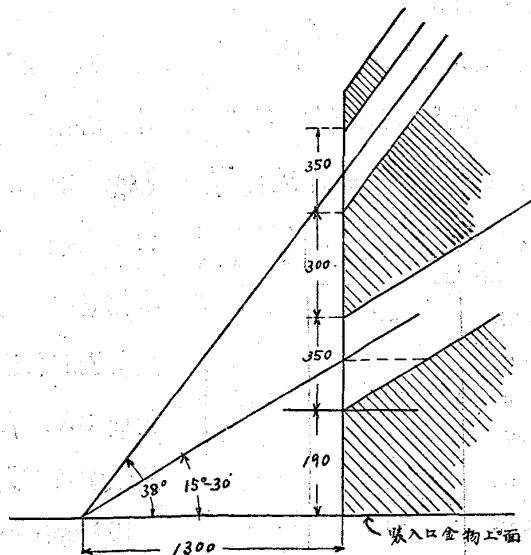
たる結果 火焰の速度に關する作圖に於て瓦斯及空氣噴出流の強さをあらはすべき平行四邊形の二



面積 = 162 sqm



面積 31 sqm



たる結果 火焰の速度に關する作圖に於て瓦斯及空氣噴出流の強さをあらはすべき平行四邊形の二

邊が約同様の値となれり。

(2) Average velocity を求むる公式 grjmailo 氏の著者には $H = \frac{v^2 \sin^2 \delta}{2g} \times \frac{273 + t_i}{tm - t_i}$ によつて H を爐の深さに取りて算出する事を述べたるも著者は爐の深さよりも爐の長さを取る方一般に正確なるを以て此の式を前記の如く變更せり但 $tm = 1,800$, $t_i = 800$ に取る事につきては William 氏の想定に従へり但 t_i を 800°C に取りたる根據は爐底燒付の場合として想定されたるものなるが實際作業に當りては t_i は少くとも $1,200^\circ\text{C}$ 或は $1,400^\circ\text{C}$ に取るを可とするを以て此の點より考察するときは本計算は $1,200^\circ\text{C}$ 或は $1,400^\circ\text{C}$ と假定せる場合に對して速度を 1.34 或は 2 倍大きく即ち面積をそれだけ少く取りたる事となる。

(3) 瓦斯及空氣の噴出口の溫度につきては實測値の最低によれり(實測値瓦斯 $1,160^\circ\text{C} - 1,010^\circ\text{C}$ 空氣 $1,140 - 980^\circ\text{C}$ なり。)

操業成績 本修繕は大正 15 年 10 月に行はれたるものなるが其の作業成績は第 4 表に示す如く製鋼時間は 6 時間 50 分石炭消費量は良塊噸當り 370 kg にして本設計以前の成績に比すれば著しく良好となれり詳細は第 1 表乃至第 4 表に示す如くにして尙本期間に於て成績最も良好なりし 1 週を取り操業の状態を示せるものは第 5 表の如し。

尤も本平爐は酸性なるが爲に出鋼と裝入との間に燒付時間を約 1 時間以上必要とする事及裝入が全々機械に依らず手裝入なるを以て比較的長時間(約 2 時間)を必要とする事の爲に操業上比較的不利の立場にあるものなるがしかも上述の如き好成績を挙げ得たることは設計の良好なりし事の證とする事を得べし。

但本爐の操業に當り著者は次の如き缺點あることを知れり即ち作業當初より常に煙突より黒き焰の逸出するを見る事なり分析の結果も排氣瓦斯中に CO 約 4—2 % 含めり(排氣瓦斯分析表第 6 表参照)然も瓦斯加減辨によりて瓦斯を調整する時は著しく熔解の時間を延長する恐れありたるを以て已むを得ず其儘出鋼を續けたるものなるが今其理由を按ずるに設計に使用せる火焰角度が大に過ぎたるに起因するものゝ如し。

第 6 表 排氣瓦斯分析表

試料採取月日	爐の狀況	發生爐瓦斯分析表				煙突より出る排氣瓦斯の色	排氣瓦斯分析表		
		CO ₂	CO	CH ₄	H		CO ₂	CO	O
元年 12 月 30 日	熔 解 時	2.0	23.4	4.6	14.0	稍白色	10.8	3.6	0
"	出 鋼 直 前	—	—	—	—	"	12.2	2.4	0
"	裝入後 2 時間	4.0	24.8	4.2	16.0	灰黑色	12.0	4.0	0
"	熔 解 時	—	—	—	—	灰白色	11.8	4.0	0
2 年 1 月 12 日	熔 解 時	2.8	27.2	4.2	14.0	稍 黒	12.0	2.2	0
"	精 煉 期	—	—	—	—	灰白色	12.0	2.2	0
"	出 鋼 時	—	—	—	—	白	16.4	0.2	0

備考 試料は空氣蓄熱室より採取せり

即ち實驗公式により算出せる角度は $20^{\circ}-20'$ にして基準角度との差は約 6° あり角度大なる場合には其割合を以て火焰速度を計算すれば噴出口大に過ぎる結果を持ち來すべし而して之を瓦斯加減辨により調整せんとする時は火焰速度の減少を來し熔鋼に對する作用力に不足を生ずべく以上の結果は全く此點の不備に起因するものと考へらる依て

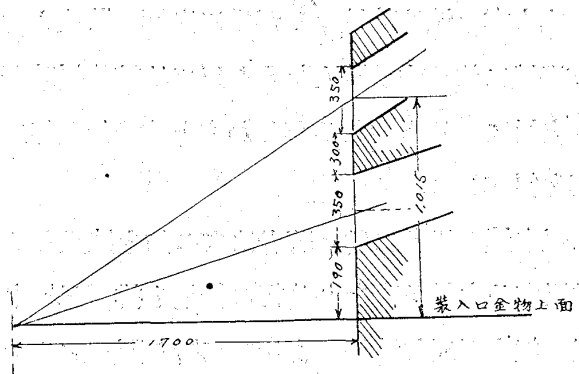
昭和2年6月修繕を期として火焰角度を公式角度に変更せしに此の現象は其の跡をたつに至り其の成績基準角度を用ひし場合より一層良好となれり。

参考文献 (1) St. u. Eisen 1911 20 Juli (2) Flow of Gases in Furnaces p. 259

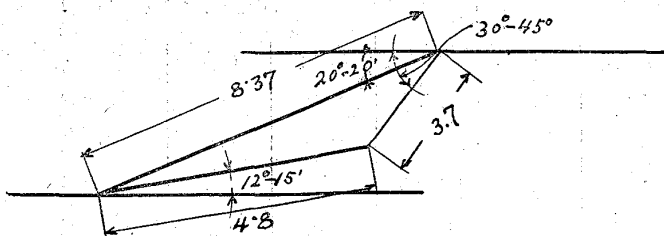
第3章 火焰角度に公式を用ゐて設計せる噴出口及び其の操業成績 前章に於て火焰角度に基準角度を用ひて設計せる平爐の操業成績を述べたるが其の結果基準角度を用ふる時は火焰角度大に過ぎ其のために排氣瓦斯中に不燃焼瓦斯が逸出する事を知れり此の現象よりして偶然にも角度が爐の形狀と密接なる關係を有する事即ち爐容が小なる場合には爐床は幅に比して長さ短く従つて火焰角度を小ならしむるべき當初の推定が正しき事の證となれり、依りて昭和2年爐の改修に際しては火焰角度を公式角度に依る事とし噴出口の設計を下記の如く變更せり。

其の要領は次の如し。

- (1) 石炭消費量 = 370kg/h
- (2) 瓦斯量 = $360\text{m}^3/\text{sec} @ 0^{\circ}\text{C } 760\text{mm}$
- (3) 空氣量 = $454\text{m}^3/\text{sec} @ 0^{\circ}\text{C } 760\text{mm}$
- (4) 瓦斯及空氣噴出流の中心線の交點を噴出口より 1,700cm (爐長の約 $1/3$ の點) 裝入口金物上面の高さの點に取り次の如く定む
然るとき噴出口角度は夫々 $12^{\circ}-15'$ (瓦斯) $30^{\circ}-45'$ (空氣) となる。



- (5) 火焰角度の計算 $v = \sqrt{\frac{5 \times 9.81 \times 1,000}{6517 \times 1,073}} = 8.37 \quad t_m = 1,800 \quad t_i = 800 \quad \theta = 20^{\circ}-20'$ (公式角度)



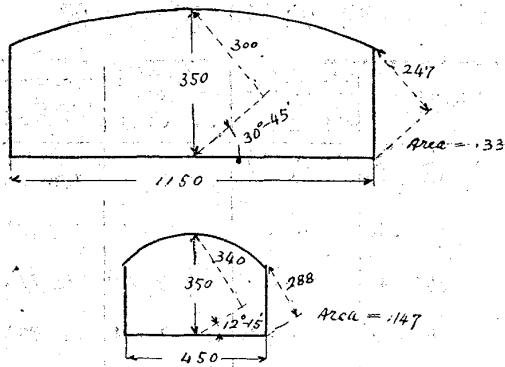
- (6) 瓦斯及空氣の噴出速度 作圖に依り求む
瓦斯の速度 = $\frac{4.8}{.4} = 12.00 \text{ meter/sec}$ 空氣の速度 = $\frac{3.7}{.6} = 6.2 \text{ meter/sec}$

(7) 噴出口の面積 瓦斯 = $\frac{.36(1+\alpha t)}{12.0} = .140$

(7) 噴出口の寸法を圖の如く定む
($t=1,000^{\circ}\text{C}$) 空氣 = $\frac{454(1+\alpha t)}{6.2} = .328$ ($t=950^{\circ}\text{C}$)

本設計に對して注意すべき要項は次の如し。

- (1) 第2章に述べたる設計の場合には空氣及瓦斯噴出口につきては Pawloff 氏の例に依りたるもの



なるが本例に於ては最初に空氣及瓦斯噴出流の中心線の交點を定め角度を決定せり、但此の場合には作圖によりて求めたる空氣及瓦斯の噴出流の速度を如何にとるかによりて瓦斯及空氣の噴出口角度及交點の適宜變更を必要とするものなるが第2章の設計に於て空氣量が瓦斯量に比して小に過ぎたる實驗上の結果より考察して假に瓦斯噴出流の速度を空氣噴出流の速度の約2倍(1.8~2)と想定して設計をなせり(瓦斯噴出

流は速度を大にとりたる理由は瓦斯噴出口の面積を小に取りたる意味にて第2章の場合に於ける此の比は1.56倍に當る)。

(2) 尙實際設計を施行するに際し設計者と現場員との間に錯誤あり本設計に於ては瓦斯噴出口の高さを前章同様装入口金物より煉瓦平3枚(190mm)の計算になしおきたるものなりしが實際は平2枚(120mm)に積上げたり其點は甚だ遺憾なりしも其影響につきては大差なきものと信するものなり。

操業成績 本爐は昭和2年6月改築されたるものにして其の操業成績は第1表乃至第4表に示す如く極めて順調にして製鋼時間平均6時間22分石炭消費量は良塊1噸當360kgなり本期間に於て成績最も良好なりし1週をとりて操業の状態を示せるものは第7表の如し。

尙煙突より上昇する排氣瓦斯も全く改善され分析上よりもCOなし(第8表排氣瓦斯分析表参照)最後に當平爐工場の過去につきて大正15年1月以降の成績を一瞥するに大正15年10月本設計を施行以來急劇に能率増進せる事は明白なりと同時に生産増加に對する従業員諸君の努力につきては設計者として深く感謝に堪へざる次第なり終りに臨み本研究完成の機會と發表の自由を與へられたる東京鋼材株式會社幹部各位に深く感謝の意を表す。

第8表 排氣瓦斯分析表

試料採取月日	爐の狀況	發生爐瓦斯分析表				煙突出る排氣瓦斯の色	排氣瓦斯分析		
		CO ₂	CO	CH ₄	H		CO ₂	CO	O
2-12-1	熔解時	—	—	—	—	無色	14.3	0	3.0
"	精鍊期	2.3	28.0	4.0	10.0	"	14.2	0	2.8
2-12-1	熔解時	2.0	29.0	4.0	8.0	"	14.0	0	3.0
"	精鍊期	2.2	29.0	4.0	8.0	"	14.2	0	2.8
2-12-2	熔解時	2.2	29.0	4.0	8.0	"	14.0	0	3.1
"	精鍊期	2.2	29.0	4.0	8.0	"	14.2	0	3.2

第 1 表

酸性 10 匁平爐

月	作業すべき日數	爐修繕に要せし時間	日曜掃除作業に要せし時間	其他の事故により作業を中止せし時間	瓦斯通入時間	製鋼時間	修繕前後の床流及焼付時間其他	出鋼後装入開始に至る時間	發生爐石炭消費量
大正	日 時 分	日 時 分	日 時 分	日 時 分	日 時 分	日 時 分	日 時 分	日 時 分	噸
15.1	23~17~00	—	3~45	220~30	351~10	152~55	152~30	45~45	106.194
2	28	2~0~25	12~50	—	600~25	427~10	67~30	105~45	177.264
3	31	6~23~30	7~40	—	579~35	304~45	115~40	159~10	184.740
4	30	11~50	8~00	—	692~00	464~30	16~10	211~20	217.684
5	31	—	9~40	—	732~55	518~50	—	214~05	242.634
6	30	6~8~50	1~50	—	571~40	364~25	73~35	133~40	172.830
7	31	—	8~00	—	737~30	561~35	—	175~55	247.070
8	31	6~9~30	9~35	—	578~20	339~25	125~50	113~05	191.730
9	26~9~30	—	5~10	—	625~50	500~35	1~40	123~35	209.166
計	262~2~30	22~6~05	2~18~30	9~4~30	227~21~25	151~10~10	22~23~15	53~12~00	1,749.312
9	3~14~30	3~14~30	—	—	—	—	—	—	—
10	31	23~9~00	—	—	189~55	75~25	100~20	14~10	82.111
11	30	—	8~45	—	699~50	572~20	—	127~30	253.670
12	31	12~30	12~55	—	722~05	564~25	19~20	138~20	240.774
1	31	4~22~00	7~50	—	618~35	430~10	96~00	92~25	209.925
2	28	1~23~00	6~00	—	620~25	475~05	35~30	109~50	220.646
3	31	—	8~40	4~15	729~00	602~50	—	126~10	257.550
4	30	1~23~00	5~35	5~55	666~10	500~55	48~00	117~15	255.120
5	21~11~15	16~05	5~00	—	489~45	374~50	26~50	88~05	186.710
計	237~1~45	37~1~05	2~6~45	10~10	197~7~45	149~20~00	13~14~00	33~21~45	1,706.506
5	9~12~45	9~12~45	—	—	—	—	—	—	—
6	30	7~16~30	3~45	—	536~35	347~45	108~30	80~20	231.465
7	31	—	7~45	—	737~10	577~40	26~50	132~40	281.040
8	31	—	12~10	—	725~00	497~25	96~10	131~25	270.640
9	30	5~9~35	5~30	—	588~40	392~45	95~40	100~15	187.290
10	31	—	12~20	4~45	723~15	586~25	—	141~50	268.580
11	30	2~5~10	6~25	—	656~25	457~10	83~25	115~50	243.920
12	31	9~20	10~15	—	724~25	572~25	11~40	140~20	267.350
1	31	5~16~30	5~20	—	602~10	424~20	95~00	82~50	170.670
2	29	—	10~40	—	685~20	553~05	—	132~15	255.140
3	31	2~5~25	5~50	—	684~45	491~05	40~10	153~30	257.600
4	19~19~00	—	5~20	—	469~40	362~40	28~55	78~05	169.150
計	334~7~45	33~3~15	3~13~20	4~45	297~20~25	219~6~45	24~10~20	53~17~20	2,602.845

操業統計表

出鋼回数	装入鐵全量	良塊出鋼噸數	摘 要
18	146.091	127.074	1日より7日まで臨時休業、7日午前7時より乾燥作業にとりかゝる。16日午前11時30分瓦斯通入す。
47	516.667	439.016	{16日午前3時~17日午後5時25分、前壁修繕[276KG] {26日午前零時~同日午後10時 後" [1,830KG]
38	370.774	326.310	16日午前9時30分~23日午前9時噴出口及前後壁修繕[4,710KG]
74	599.048	538.400	{14日午後5時30分~同日午後10時20分、後壁修理[210KG] {25日午前9時~同日午後4時、 上昇部 " [600KG]
74	598.664	511.664	
51	448.568	382.020	5日午後10時20分~12日午前7時10分、噴出口及後壁修理 [7,269 KG]
89	808.051	714.874	
46	424.141	349.713	16日午後10時30分~23日午前8時、後壁及蓄熱室修理[6,633 KG]
76	747.037	629.923	27日午前9時30分瓦斯止め。
513	4,659.041	4,018.994	
—	—	—	27日午前9時30分修理開始。
11	111.098	95.360	24日午前9時修理終了。爐底、壁、噴出口、天井、空氣蓄熱室天井、及同ギッターの入替 [78,039 KG]
89	897.345	799.534	
88	887.768	786.953	{25日午後4時45分~26日午前11時15分、大正天皇崩御のため瓦斯を通じ乍ら休む。 {31日午前11時30分修理開始。
57	577.815	494.029	5日午後10時修理終了、天井の1部及後壁修理 [2,685 KG]
66	667.990	555.191	7日午前8時~9日午前7時、天井の1部、後壁及鋼滓室修理 [978 KG]
88	889.496	767.943	變更辨修理のため瓦斯を止める。
76	764.921	664.921	16日午前1時~18日午前零時、前後壁修理 [2,100 KG] 變更辨修理。
51	515.125	444.824	3日午後9時~4日午後1時5分、鋼滓室の1部修理 [495KG]22日午前11時15分瓦斯止める。
526	5,311.558	4,608.755	
—	—	—	22日午前11時15分修理開始。
54	514.745	476.314	18日午後4時30分修理終了。壁、噴出口、天井、瓦斯蓄熱室天井、及ギッター入替 [77,088 KG]
86	869.004	742.228	16日午前4時30分~17日午前7時20分、ウラボンのため瓦斯を通じ乍ら休む。
72	726.721	627.645	{2日午後1時~午後3時45分、17日午前5時15分~午後3時35分} 起重機修理のため瓦斯 {21日午後零時~24日午後7時、29日午後1時~午後4時45分} 斯を通じ乍ら休む。
58	585.601	497.396	11日午前7時50分~16日午後5時25分、空氣噴出口、天井及前後壁修理 [3,888KG]
94	948.555	824.788	變更辨及蒸氣管修理
76	767.057	677.969	3日午前3時50分~5日午前9時、前壁及天井中央部修理 [3,025 KG]
99	999.785	885.157	31日午後3時40分、瓦斯止める。
72	726.930	635.681	5日午後4時30分、瓦斯通入す、前後壁及天井中央部修理 [3,843 KG]
91	919.775	795.981	
73	737.875	620.310	11日午前1時45分~13日午後10時30分、空氣蓄熱室格子積替 [14,100 KG]
51	515.132	438.289	11日午前1時40分~午後11時、職工觀櫻會のため瓦斯を通じ乍ら休む。20日午後7時瓦斯止める。(5月2日午後3時20分修理終了瓦斯通入す [52,944 KG]
826	8,341.180	7,221.758	

第 2 表 鋼 種 別 出 鋼 回 數 表

月	最硬鋼	硬鋼	半硬鋼	軟鋼	極軟鋼	不良鋼	合計	摘 要	月	最硬鋼	硬鋼	半硬鋼	軟鋼	極軟鋼	不良鋼	合計	摘 要
大正15	1	5	12	—	1	—	18	各鋼質の炭素含有量は下記	4	61	12	3	—	—	—	76	
	2	5	35	2	3	—	47	の標準に依る	5	42	8	1	—	—	—	51	
	3	15	20	3	—	—	38		計	269	201	13	3	39	1	526	
	4	50	18	—	1	5	74		5	—	—	—	—	—	—	—	
	5	3	22	2	5	42	74	最硬鋼 60以上	6	1	52	1	—	—	—	54	
	6	1	12	7	13	17	51	硬鋼 40—60	7	25	52	—	4	4	1	86	
	7	23	58	6	1	1	89	半硬鋼 28—40	8	4	48	14	—	6	—	72	
	8	5	24	10	2	4	46	軟鋼 12—28	9	5	52	1	—	—	—	58	
	9	5	34	4	20	13	76	極軟鋼 12以下	10	7	73	16	—	3	1	94	
	計	111	237	35	45	61	4	513	11	4	63	9	—	—	—	76	
	9	—	—	—	—	—	—		12	3	63	33	—	—	—	99	
	10	3	6	2	—	—	11		昭和 3	1	1	61	5	5	—	72	
	11	73	14	1	1	—	89		2	4	50	34	3	—	—	91	
	12	47	38	1	—	2	88			41	3	28	—	—	1	73	
昭和	2	1	4	34	—	1	18	—	4	37	1	11	2	—	—	51	
	2	25	18	2	1	19	1	66	計	126	518	152	14	13	3	826	
	3	14	71	3	—	—	—	88									

第 3 表 原 料 使 用 内 譯 表

月	銑 鐵	屑 鐵	硅素鐵	滿俺鐵	装入鐵全量	月	銑 鐵	屑 鐵	硅素鐵	滿俺鐵	装入鐵全量		
大正15	1	21·260	123·310	·377	1·144	146·091	4	99·796	658·000	2·315	4·810	764·921	
	2	63·407	448·365	·946	3·949	516·667	5	78·200	432·170	1·495	3·260	515·125	
	3	45·247	321·936	·720	2·871	370·774	計	773·836	4,491·663	12·204	33·855	5,311·558	
	4	53·000	539·730	1·502	4·816	599·048	5	—	—	—	—	—	
	5	57·147	535·019	1·032	5·466	598·664	6	84·900	455·100	1·265	3·480	544·745	
	6	46·711	397·226	·603	4·028	448·568	7	139·120	722·200	2·144	5·540	869·004	
	7	88·439	712·201	1·941	5·470	808·051	8	120·400	600·081	1·635	4·605	726·721	
	8	51·265	368·535	·861	3·480	424·141	9	102·200	478·300	1·286	3·815	585·601	
	9	105·415	635·300	·847	5·475	747·037	10	160·000	779·668	2·121	6·766	948·555	
	計	531·891	4,081·622	8·829	36·699	4,659·041	11	132·000	628·010	1·865	5·182	767·057	
	9	—	—	—	—	—	12	168·000	822·329	2·590	6·866	999·785	
	10	16·700	93·530	·208	·660	111·098	昭和 1	1	124·600	595·400	2·135	4·795	726·930
	11	112·590	777·568	1·587	5·600	897·345	2	149·330	761·120	3·223	6·102	919·775	
	12	116·850	763·875	1·543	5·500	887·768	3	65·000	661·400	2·895	5·530	737·875	
昭和	2	1	88·000	484·820	1·010	3·985	577·815	4	48·500	461·692	1·486	3·454	515·132
	2	100·380	561·300	1·600	4·710	667·990	計	1,294·050	6,968·300	22·645	56·185	8,341·180	
	3	161·320	720·400	2·446	5·330	889·496							

第 4 表

10 珪酸性平爐作業成績綜括

	第 一 期	第 二 期	第 三 期	摘 要
期 間	自大正 15 年 1 月 至大正 15 年 9 月	自大正 15 年 10 月 至昭和 2 年 5 月	自昭和 2 年 6 月 至昭和 3 年 4 月	
作 業 す べ き 日 数	262	237	334	
作 業 せ し 日 数	208	186	277	作業せし日数は
出 鋼 回 数	513	526	826	第 1 表に於ける
作業せし日数 1 日當り出鋼回数	2.47	2.83	2.98	日曜掃除製鋼時
出鋼 1 回當り瓦斯通入時間	10°~41'	9°~01'	8°~39'	間及出鋼後装入
平均製鋼時間	7°~05'	6°~50'	6°~22'	開始に至る時間
1 回 の 平均 装 入 量 (吨)	8.993	10.010	10.003	の和とす。
装 入 物 の 割 合				
銑 鐵 %	11.5	14.7	15.6	
屑 鐵 %	88.5	85.3	84.4	
計	100.0	100.0	100.0	
1 回 の 平均 装 入 鐵 全 量 (吨)	9.082	10.098	10.098	
良 塊 生 産 總 量 (吨)	4,018.994	4,608.755	7,221.758	
出 鋼 1 回 當 り 良 塊 生 産 量 (吨)	7.834	8.762	8.743	
良 塊 歩 留	86.3%	86.8%	86.6%	1 ケ年出鋼想定
石 炭 消 費 量 (吨)	1,749.312	1,706.506	2,602.845	回数は作業すべ
良 塊 1 吨 當 り 石 炭 消 費 量 (吨)	435	370	360	き日数 1 日當り
作 業 す べ き 日 数 1 日 當 り 出 鋼 回 数	1.96	2.22	2.48	出鋼回数に 365
1 ケ 年 出 鋼 想 定 回 数	715	810	905	を乗じたるもの
				なり。

第 7 表

自 昭 和 2 年 10 月 23 日

装入番號	時 間				原				
	装 入 始	装 入 終	熔 解	出 鋼	銑鐵	製鋼層	製品層	購入層	Fe-Mn
オ 1875	^{23日} P.m. 7''-50'	P.m. 8''-30'	P.m. 11''-45'	^{24日} A.m. 2''-20'	1.700	500	2.000	5.300	65
オ 1876	^{24日} A.m. 3''-30'	A.m. 5''-00'	A.m. 7''-45'	A.m. 9''-25'	"	"	"	5.800	"
オ 1877	A.m. 10''-40'	A.m. 11''-40'	P.m. 2''-40'	P.m. 4''-25'	"	"	"	"	"
オ 1878	P.m. 5''-40'	P.m. 7''-00'	P.m. 9''-35'	P.m. 10''-40'	"	"	"	"	"
オ 1879	P.m. 11''-50'	^{25日} A.m. 1''-15'	A.m. 3''-45'	A.m. 5''-50'	"	"	"	"	"
オ 1880	A.m. 7''-00'	A.m. 8''-45'	A.m. 11''-10'	P.m. 0''-35'	"	"	"	"	"
オ 1881	P.m. 1''-50'	P.m. 2''-45'	P.m. 6''-00'	P.m. 8''-20'	"	"	"	"	"
オ 1882	P.m. 9''-30'	P.m. 11''-00'	^{23日} A.m. 1''-30'	A.m. 2''-40'	"	"	"	"	"
オ 1883	A.m. 3''-50'	A.m. 5''-15'	A.m. 8''-40'	A.m. 10''-05'	"	"	"	"	"
オ 1884	A.m. 11''-20'	P.m. 0''-50'	P.m. 3''-20'	P.m. 4''-25'	"	"	"	"	"
オ 1885	P.m. 5''-40'	P.m. 7''-15'	P.m. 9''-45'	P.m. 11''-00'	"	"	"	"	"
オ 1886	^{27日} A.m. 0''-15'	A.m. 1''-45'	A.m. 4''-15'	A.m. 5''-35'	"	"	"	"	"
オ 1887	A.m. 6''-50'	A.m. 8''-25'	A.m. 11''-00'	P.m. 0''-05'	"	"	"	"	"
オ 1888	P.m. 1''-20'	P.m. 2''-30'	P.m. 4''-50'	P.m. 6''-10'	"	"	"	"	"
オ 1889	P.m. 7''-25'	P.m. 9''-10'	P.m. 11''-35'	^{28日} A.m. 1''-05'	"	"	"	"	"
オ 1890	A.m. 2''-20'	A.m. 4''-20'	A.m. 6''-30'	A.m. 8''-25'	"	"	"	"	"
オ 1891	A.m. 7''-40'	A.m. 11''-20'	P.m. 1''-55'	P.m. 3''-00'	"	"	"	"	"
オ 1892	P.m. 4''-00'	P.m. 4''-50'	P.m. 8''-00'	P.m. 9''-15'	"	"	"	"	"
オ 1893	P.m. 10''-30'	^{27日} P.m. 0''-05'	A.m. 2''-30'	A.m. 3''-35'	"	"	"	"	"
オ 1894	A.m. 4''-50'	A.m. 6''-50'	A.m. 9''-00'	A.m. 10''-10'	+ 50 "	"	"	"	"
オ 1895	A.m. 11''-20'	P.m. 1''-20'	P.m. 3''-10'	P.m. 4''-20'	"	"	"	"	"
オ 1896	P.m. 5''-35'	P.m. 7''-00'	P.m. 9''-30'	P.m. 10''-35'	"	"	"	"	"
オ 1897	P.m. 11''-50'	^{30日} A.m. 1''-50'	A.m. 4''-00'	A.m. 5''-05'	"	"	"	"	75
オ 1898	A.m. 6''-20'	A.m. 7''-40'	A.m. 10''-45'	A.m. 11''-50'	"	"	"	"	65

至 30 日 平 爐 裝 工 表

料		装入木炭 及骸炭		製 出 鋼			作業中炭 含有量			製 品 分 析 結 果					鋼 質	摘 要
Fe-Si	合 計	木炭	骸炭	良塊	製鋼 屑	合 計	溶解 時	出鋼 時	加炭 該炭	C	Si	Mn	P	S		
20	9,585	—	20	8,120	600	8,720	76	49	10	55	27	40	047	034	硬	23日 AM.8°-30' 瓦斯止めPM2°- 15' 瓦斯とる蒸 氣管不良のため 3°-20' 瓦斯止め 4°-10' 再度瓦斯 とる Al は 1.2 或 1.8 kg 毎回投入
20	10,085	—	20	9,560	400	9,960	64	45	20	56	16	42	048	033	〃	
15	10,080	—	20	8,760	500	9,260	70	50	—	53	17	40	054	032	〃	
15	10,080	—	20	8,976	〃	9,476	67	50	10	56	16	37	055	040	〃	
10	10,075	—	20	9,372	〃	9,872	81	43	20	53	16	35	038	040	〃	
20	10,085	—	20	9,152	〃	9,652	61	53	—	56	20	42	050	046	〃	
15	10,080	—	20	8,888	〃	9,388	81	49	10	56	19	40	058	029	〃	
20	10,085	—	—	9,020	〃	9,520	60	47	15	52	19	37	051	026	〃	
20	10,085	—	10	9,108	〃	9,608	61	50	10	55	23	42	050	024	〃	
25	10,090	—	—	8,800	〃	9,300	46	41	30	55	12	32	056	030	〃	
20	10,085	—	—	8,844	〃	9,344	56	51	5	53	16	39	056	030	〃	
15	10,080	—	—	9,020	〃	9,520	65	43	10	52	14	39	053	034	〃	
25	10,090	—	—	9,064	〃	9,564	51	42	30	55	19	40	056	040	〃	
40	10,105	—	—	8,976	〃	9,476	44	40	30	54	23	33	063	043	〃	
10	10,075	—	10	8,844	〃	9,344	54	53	5	52	14	35	058	038	〃	
20	10,085	—	10	9,202	〃	9,702	70	52	15	53	16	33	062	034	〃	
30	10,095	—	—	9,152	〃	9,652	57	43	10	53	18	42	055	016	〃	
20	10,085	—	—	9,240	〃	9,740	72	50	5	52	17	35	056	022	〃	
20	10,085	—	10	8,756	〃	9,256	70	57	—	50	16	35	058	019	〃	
30	10,145	—	—	8,756	〃	9,256	51	47	30	56	19	39	063	043	〃	
30	10,095	—	10	9,108	〃	9,608	66	46	20	55	22	35	062	046	〃	
35	10,100	—	10	8,840	〃	9,340	65	47	12	53	21	35	057	042	〃	
25	10,100	—	10	8,480	〃	8,980	66	61	—	55	24	40	061	040	〃	
20	10,085	—	15	9,040	〃	9,540	62	58	—	55	15	32	063	029	〃	

gas 止 30 日 P.M.
0°-15'

第 5 表 自大正 15 年 10 月 5 日至 11 日 平爐裝工表

裝入 番號	時		間		原		料		裝入木炭 及廢炭		製出鋼		作業 要素含有量		製品分析結果					鋼 質	摘 要					
	裝入始	裝入終	熔	解	出	銑鐵	製鋼 層	購入 層	Fe- Mn	Fe- Si	合計	木炭 廢炭	良塊	製鋼 層	合計	溶解 時	出鋼	中炭 量	加炭 量			C	Mn	P	S	
827	五日 P.M. 6-20	8-00	11-30	7-15	六日 A.M. 1-00	本後滿 7-200	2,000	6,800	60	15	10,075	78	60	9,120	500	9,620	80	70	20	20	.79	.39	.040	.035	最硬	5 日午後 1 時 50 分瓦 斯通入 A.I. は每回 1.8kg を加 入す
828	A.M. 2-10	4-15	7-15	3-45	8-50	1,350	〃	〃	〃	20	10,230	65	〃	9,310	600	9,910	57	37	60	60	.59	.30	.040	.040	硬	
829	〃 10-30	P.M. 12-50	3-45	〃	4-45	1,200	〃	〃	〃	15	10,075	〃	〃	8,968	500	9,468	88	85	〃	〃	.83	.42	.049	.038	最硬	
830	P.M. 5-55	7-30	11-0	〃	A.M. 0-0	1,200	〃	〃	80	〃	10,095	〃	〃	9,044	800	9,844	74	65	22	22	.79	.39	.036	.035	〃	
831	A.M. 1-20	3-40	6-05	〃	7-10	1,500	2,000	6,000	60	25	10,085	〃	〃	8,778	500	9,278	53	44	30	30	.52	.33	.068	.059	硬	
832	〃 8-20	10-25	PM. 1-15	〃	2-45	1,500	2,000	〃	〃	15	10,075	13	〃	8,892	〃	9,392	72	56	〃	〃	.51	.30	.056	.050	〃	
833	P.M. 3-45	5-20	9-00	〃	9-55	1,200	1,500	7,300	70	〃	10,085	65	〃	9,158	〃	9,658	75	72	30	30	.79	.42	.040	.043	最硬	
834	〃 11-10	八日 A.M. 1-10	4-00	〃	5-10	1,200	〃	〃	60	〃	10,075	〃	〃	9,006	〃	9,506	84	73	30	30	.83	.32	.040	.037	〃	
835	A.M. 6-25	8-05	11-20	〃	P.M. 0-20	1,200	〃	〃	〃	〃	10,075	〃	〃	9,234	〃	9,734	81	75	〃	〃	.79	.35	.043	.043	〃	
836	P.M. 1-40	3-25	六日 6-10	〃	7-40	1,200	〃	〃	〃	30	10,090	〃	〃	9,234	〃	9,734	66	60	50	50	.78	.39	.042	.042	〃	
837	〃 8-50	十日 10-25	九日 A.M. 1-30	〃	2-25	1,200	〃	〃	〃	15	10,075	78	〃	9,135	〃	9,635	69	65	25	25	.79	.40	.043	.029	〃	
838	A.M. 3-10	5-10	8-25	〃	9-35	1,200	〃	〃	〃	〃	10,075	〃	〃	9,540	400	9,940	72	66	35	35	.82	.40	.034	.042	〃	
839	〃 10-50	P.M. 1-00	4-00	〃	5-05	1,500	2,000	6,000	〃	〃	10,075	13	〃	9,044	500	9,544	70	59	〃	〃	.56	.37	.056	.042	硬	
840	P.M. 6-20	7-40	十一日 11-05	〃	A.M. 0-05	1,200	1,500	7,300	〃	〃	10,075	78	〃	9,310	〃	9,810	75	69	〃	〃	.71	.40	.040	.030	最硬	
841	A.M. 1-20	3-30	5-50	〃	6-40	1,500	2,000	6,000	〃	20	10,080	13	〃	9,120	〃	9,620	53	43	30	30	.56	.25	.062	.043	硬	
842	〃 7-55	9-35	P.M. 0-45	〃	2-00	1,200	1,500	7,300	〃	10	10,070	78	〃	9,158	520	9,678	80	73	10	10	.79	.40	.032	.034	最硬	
843	P.M. 3-15	* 4-45	7-50	〃	10-20	1,200	〃	〃	〃	15	10,075	52	〃	9,576	400	9,976	63	33	〃	〃	.32	.26	.039	.039	軟	
844	十一日 A.M. C-0	1-30	4-20	〃	7-15	1,200	1,200	7,600	90	〃	10,090	〃	〃	9,090	500	9,590	53	12	〃	〃	.12	.16	.042	.034	極軟	
845	〃 8-30	10-10	P.M. 1-30	〃	4-25	1,400	〃	〃	80	〃	10,280	39	〃	9,152	〃	9,652	20	12	〃	〃	.12	.18	.037	.037	〃	
846	P.M. 5-50	8-00	10-45	〃	11-55	1,500	2,000	6,000	60	20	10,080	〃	〃	8,932	〃	9,432	57	46	20	20	.55	.16	.059	.040	硬	
847	十二日 A.M. 1-15	3-15	5-55	〃	6-55	1,500	2,000	〃	60	20	10,080	26	60	9,006	〃	9,506	51	40	30	30	.58	.13	.064	.048	〃	12 日午前 7 時 50 分 瓦斯止め

附實驗公式の算出法

其一、實驗公式 (1) の算出法

平爐裝入量に對する全熱量の實驗公式を求めんとす

函數の形は所要熱量は裝入量の増加するに従ひ常に増加する如き函數なるを以て拋線形なりと考ふる事を得べく

$$y = \text{所要熱量} \quad x = \text{裝入量とすれば}$$

x と y との關係は $y = A + Bx + Cx^2$ を以て表す事を得べし。此の式に y と x との觀測値を入るゝ時は觀測等式は次の如し。

Laufende Nr.	y	x	A	+	$B X$	+	CX^2	-	y	=	0
9	4	35	A	+	$B \cdot 35$	+	$12 \cdot 25$	-	4	=	0
11	4.85	26.5	A	+	$B \cdot 26.5$	+	$7 \cdot 02$	-	4.85	=	0
12	6.65	30	A	+	$B \cdot 30$	+	$9 \cdot 00$	-	6.65	=	0
13	9.55	35	A	+	$B \cdot 35$	+	$12 \cdot 25$	-	9.55	=	0
14	5.14	34.5	A	+	$B \cdot 34.5$	+	$11 \cdot 90$	-	5.14	=	0
15	5.14	34.5	A	+	$B \cdot 34.5$	+	$11 \cdot 90$	-	5.14	=	0
18	6.22	40	A	+	$B \cdot 40$	+	$16 \cdot 00$	-	6.22	=	0
20	6.68	45	A	+	$B \cdot 45$	+	$20 \cdot 25$	-	6.68	=	0
21	9.4	45	A	+	$B \cdot 45$	+	$20 \cdot 25$	-	9.4	=	0
22	6.95	60	A	+	$B \cdot 60$	+	$36 \cdot 00$	-	6.95	=	0
24	8.56	40	A	+	$B \cdot 40$	+	$16 \cdot 00$	-	8.56	=	0
25	9.05	65	A	+	$B \cdot 65$	+	$42 \cdot 25$	-	9.05	=	0
26	14.7	65	A	+	$B \cdot 65$	+	$42 \cdot 25$	-	14.7	=	0
27	7.68	47.5	A	+	$B \cdot 47.5$	+	$22 \cdot 56$	-	7.68	=	0
28	7.5	40	A	+	$B \cdot 40$	+	$16 \cdot 00$	-	7.5	=	0
29	8.12	54	A	+	$B \cdot 54$	+	$29 \cdot 16$	-	8.12	=	0
34	7.7	48	A	+	$B \cdot 48$	+	$23 \cdot 04$	-	7.7	=	0
36	9.71	65.4	A	+	$B \cdot 65.4$	+	$42 \cdot 77$	-	9.71	=	0
37	11.35	55	A	+	$B \cdot 55$	+	$30 \cdot 25$	-	11.35	=	0
40	10	67.5	A	+	$B \cdot 67.5$	+	$45 \cdot 56$	-	10	=	0
41	12.1	80	A	+	$B \cdot 80$	+	$64 \cdot 00$	-	12.1	=	0
44	10.15	58	A	+	$B \cdot 58$	+	$33 \cdot 64$	-	10.15	=	0
45	12.52	60	A	+	$B \cdot 60$	+	$36 \cdot 00$	-	12.52	=	0

備考 觀測等式を求むる場合計算を簡單にする爲に $10x = X$ と置きかへたり。

次に正等式を求むれば次の如し(注参照)

$$23A + 113.09B + 600.3C - 193.72 = 0 \quad 113.09A + 600.3141B + 3404.9118C - 1014.7549 = 0$$

$$600.3A + 3,404.9118B + 20,401.6748C - 5,686.2122 = 0$$

Laufende Nr.	and lritiges chwin digkeit des gases (m/sek)	aus tritt querschnitt des gas zuges (cm ²)	gas menge (m ³ /sec)	aus tritt geschwindigkeit der Luft (m/sek)	aus tritt querschnitt des Luft zuges (cm ²)	Luft menge (m ³ /sec)	Neigung des Luft-zuges	Neigung des Gaszuges	Gewicht der Luft (kg/sek)	G. wicht des Gases (kg/sek)
9	5.56	1,600	.889	1.48	7,500	1.11	12	9	1.43	96
11	6.03	1,792	1.08	1.48	9,000	1.334	25	17	1.72	1.16
12	6.07	2,200	1.470	1.48	12,300	1.82	30	17	2.35	1.59
13	10.15	2,100	2.13	8.4	3,150	2.65	28	20	3.42	2.30
14	8.3	1,378	1.14	3.58	3,968	1.42	25	18	1.83	1.23
15	6.82	1,679	1.14	3.24	4,330	1.42	24.5	15	1.83	1.23
18	4.17	3,300	1.38	3.06	5,600	1.715	30.0	10	2.21	1.49
20	6.83	2,160	1.48	3.65	5,020	1.835	24.5	15	2.37	1.60
21	11.6	1,800	2.09	8.65	3,000	2.60	Wage necht	15	3.35	2.26
22	7.2	2,140	1.54	2.95	6,500	1.92	30.5	18 ³ / ₄	2.48	1.66
24	7.43	1,200	.890	2.8	8,520	2.39	28	11	3.08	.97
25	4.02	5,000	2.01	3.12	8,000	2.50	25	10	3.22	2.17
26	13.4	2,450	.329	6.47	6,300	4.075	32	20	5.26	3.55
27	8.86	1,930	1.71	3.12	6,800	2.12	17	11	2.73	1.84
23	7.5	2,240	1.68	4.62	4,500	2.08	33	12	2.68	1.81
29	6.0	3,000	1.80	2.71	8,250	2.24	40	15	2.89	1.94
34	6.85	2,500	1.715	1.74	12,200	2.12	32	17	2.73	1.85
36	6.16	2,945	1.81	2.02	13,300	2.685	"	13	3.46	1.95
37	9.0	2,800	2.52	3.44	9,100	3.13	30	23	4.04	2.72
40	9.45	1,680	1.59	1.26	21,980	2.77	22	14	3.57	1.72
41	6.6	2,400	1.585	2.86	11,550	3.30	35	16	4.26	1.71
44	9.4	1,900	1.785	2.56	11,000	2.82	45	30	3.64	1.93
45	8.15	1,500	1.225	2.92	11,000	3.21	30	11	4.14	1.32

Gesamt Gewicht	Gewicht % der Luft	Gewicht % des Gases	Gewicht % X Geschwindigkeit der Luft	Gewicht % X Geschwindigkeit des Gases	$y \sin \delta$	$y \cos \delta$	art des Gases.
2.39	60	40	.888	2.27	.69	3.95	Generator gas od misch gas
2.88	60	40	"	2.415	1.60	4.60	Generator gas
3.94	60	40	"	2.43	2.32	6.22	"
5.70	60	40	5.04	4.07	3.93	8.70	"
3.06	60	40	2.15	3.325	1.84	4.80	"
3.06	60	40	1.945	2.73	1.68	4.87	"
3.70	60	40	1.835	1.67	2.18	5.84	"
3.97	60	40	2.19	2.73	2.22	6.30	"
5.61	60	40	5.18	4.64	1.19	8.32	"
4.14	60	40	1.77	4.88	2.60	6.44	"
4.05	62	38	1.93	1.53	2.93	8.02	Generator gas & Koks ofengas
5.39	60	40	1.875	1.61	2.80	8.62	Generator gas & Hoch ofen gas
8.81	60	40	3.88	5.275	6.26	13.36	Generator gas
4.57	60	40	1.875	3.55	1.76	7.47	Generator gas od misch gas
4.49	60	40	2.78	3.	2.83	6.93	Genrerator gas
4.83	60	40	1.625	2.4	3.48	7.36	"
4.58	60	40	1.045	2.74	2.79	7.17	Generator gas od misch gas
5.41	64	36	1.29	2.22	3.28	9.15	Generator gas and Koks ofen gas
6.76	60	40	2.065	3.60	4.90	10.25	Generator gas
5.29	68	32	.885	3.025	2.76	9.63	Generator gas & misch gas
5.97	72	28	2.06	1.85	5.30	10.93	misch gas.
5.57	66	34	1.69	3.20	5.85	8.32	Generator gas & misch gas
5.46	76	24	2.22	1.955	4.4	11.42	Generator gas & Koks ofen gas

之を解けば $C = -0.0810$ $B = 2.2363$ $A = -0.4592$ $\therefore y = -0.4592 + 2.2363X - 0.0081X^2$

然るに $X = 10x$ なる故に 求むる實驗公式は $y = -0.4592 + 22.363x - 0.00081x^2$

然るに此の曲線は $x = 0$ の時は $y = 0$ ならざるべからざるものにて前記の計算に此の假定を入るる事とするも實驗公式に大なる誤差を生ぜざる事は前式より見て明白なり。

故に此の假定を用ひて計算を簡単にすれば觀測等式は次の如し。

Bx	+	Cx^2	-	y	=	0	Bx	+	Cx^2	-	y	=	0
3.5 B	+	12.25 C	-	4	=	0	6.5 B	+	42.25 C	-	14.7	=	0
2.65 B	+	7.02 C	-	4.85	=	0	4.75 B	+	22.56 C	-	7.68	=	0
3.0 B	+	9.0 C	-	6.65	=	0	4.0 B	+	16.0 C	-	7.5	=	0
3.5 B	+	12.25 C	-	9.55	=	0	5.4 B	+	29.16 C	-	8.12	=	0
3.45 B	+	11.90 C	-	5.14	=	0	4.8 B	+	23.04 C	-	7.7	=	0
3.45 B	+	11.90 C	-	5.14	=	0	6.54 B	+	42.77 C	-	9.71	=	0
4.0 B	+	16.0 C	-	6.22	=	0	5.5 B	+	30.25 C	-	11.35	=	0
4.5 B	+	20.25 C	-	6.68	=	0	6.75 B	+	45.56 C	-	10.0	=	0
4.5 B	+	20.25 C	-	9.4	=	0	8.0 B	+	64.0 C	-	12.1	=	0
6.0 B	+	36.0 C	-	6.95	=	0	5.8 B	+	33.64 C	-	10.15	=	0
4.0 B	+	16.0 C	-	8.56	=	0	6.0 B	+	36.0 C	-	12.52	=	0
6.5 B	+	42.25 C	-	9.05	=	0							

備考 $10x = X$ と置きかへたり。

次に正等式を來むれば次の如し。

$$600,3141B + 3,404,9118C - 1,014,7549 = 0 \quad 3,404,9118B + 20,401,6748C - 5,686,2122 = 0$$

之を解けば $B = -0.0638$ $C = 2.0523$ $\therefore y = 2.0523X - 0.0638X^2$ 然るに $X = 10x$ 求むる實驗公式は $y = 20.523x - 0.000638x^2$ なり。

其二實驗公式(2)の算出法 最初に $y \cos \delta$ 及 $y \sin \delta$ を作圖上より求むれば次表の如し。(作圖省く)

観測等式次の如し。(此の場合に於ても前述せるが如き理由に依り $A'=0$ と假定せり) と假定せり)

$Z_1 \delta$ $y \cos$	x	$BX + CX^2 - Z_1 = 0$
3.95	35	$35 \cdot B + 12.25C - 3.95 = 0$
4.60	26.5	$2.65B + 7.02C - 4.60 = 0$
6.22	30	$3.0 B + 9. C - 6.22 = 0$
8.70	35	$3.5 B + 12.25C - 8.70 = 0$
4.80	34.5	$3.45B + 11.9 C - 4.80 = 0$
4.87	34.5	$3.45B + 11.9 C - 4.87 = 0$
5.84	40	$4.0 B + 16. C - 5.84 = 0$
6.30	45	$4.5 B + 20.25C - 6.30 = 0$
8.32	45	$4.5 B + 20.25C - 8.32 = 0$
6.44	60	$6. B + 36. C - 6.44 = 0$
8.02	40	$4. B + 16. C - 8.02 = 0$
8.62	65	$6.5 B + 42.25C - 8.62 = 0$
13.36	65	$6.5 B + 42.25C - 13.36 = 0$
7.47	47.5	$4.75B + 22.56C - 7.47 = 0$
6.93	40	$4.0 B + 16. C - 6.93 = 0$
7.36	54	$5.4 B + 29.16C - 7.36 = 0$
7.17	48	$4.8 B + 23.04C - 7.17 = 0$
9.15	65.4	$6.54B + 42.77C - 9.15 = 0$
10.25	55	$5.5 B + 30.25C - 10.25 = 0$
9.63	67.5	$6.75B + 45.56C - 9.63 = 0$
10.93	80	$8.0 B + 64. C - 10.93 = 0$
8.32	58	$5.8 B + 33.64C - 8.32 = 0$
11.42	60	$6.0 B + 36. C - 11.42 = 0$

備考 $10x = X$

次に正等式を求むれば次の如し

$$600.3141B' + 3404.9118C' - 934.4124 = 0$$

$$3404.9118B' + 20.401.748C' - 5226.5107 = 0$$

之を解けば $C' = -0.0654$ $B' = 1.9258$

$$\therefore Z_1 = 1.9258X - 0.0654X^2$$

然るに $10x = X$

$$\therefore \text{求むる実験公式 } Z_1 = 1.9258x - 0.000654x^2$$

其三 実験公式 (3) の算出法

観測等式は次の如し。

(此の場合に於ても前述せるが理由により $A''=0$

Z_2 $(y \sin \delta)$	x	$B''X + C''X^2 - Z_2 = 0$
69	35	$3.5 B'' + 12.25C'' - 69 = 0$
1.60	26.5	$2.65B'' + 7.02C'' - 1.60 = 0$
2.32	30	$3.0 B'' + 9.0 C'' - 2.32 = 0$
3.93	35	$3.5 B'' + 12.25C'' - 3.93 = 0$
1.84	31.5	$3.15B'' + 11.9 C'' - 1.84 = 0$
1.68	34.5	$3.45B'' + 11.9 C'' - 1.68 = 0$
2.18	40	$4.0 B'' + 16. C'' - 2.18 = 0$
2.22	45	$4.5 B'' + 20.25C'' - 2.22 = 0$
1.19	45	$4.5 B'' + 20.25C'' - 1.19 = 0$
2.60	60	$6.0 B'' + 36. C'' - 2.60 = 0$
2.93	40	$4. B'' + 16. C'' - 2.92 = 0$
2.80	65	$6.5 B'' + 42.25C'' - 2.80 = 0$
6.26	65	$6.5 B'' + 42.25C'' - 6.26 = 0$
1.76	47.5	$4.75B'' + 22.56C'' - 1.76 = 0$
2.83	40	$4.0 B'' + 16. C'' - 2.83 = 0$
3.48	54	$5.4 B'' + 29.16C'' - 3.48 = 0$
2.79	48	$4.8 B'' + 23.04C'' - 2.79 = 0$
3.28	65.4	$6.54B'' + 42.77C'' - 3.28 = 0$
4.90	55	$5.5 B'' + 30.25C'' - 4.90 = 0$
2.76	67.5	$6.75B'' + 45.56C'' - 2.76 = 0$
5.30	80	$8.0 B'' + 64. C'' - 5.30 = 0$
5.85	58	$5.8 B'' + 33.64C'' - 5.85 = 0$
4.4	60	$6.0 B'' + 36. C'' - 4.4 = 0$

備考 $10x = X$

次に正等式を求むれば次の如し。

$$600.3141B'' + 3,404.9118C'' - 371.4124 = 0$$

$$3,404.9118B'' + 20,401.6748C'' - 2117.1867 = 0$$

之を解けば

$$C'' = +0.0097$$

$$B'' = .5637$$

∴

$$Z_2 = .5637X + .0097X^2$$

然るに $10x = X$

∴ 求むる実験公式

$$Z_2 = .05637x + .000097x^2$$

(注)観測等式及び正等式

未知量の既知函数がある観測値を有する事を表はす等式を観測等式と云ふ、以下述ぶる所の方法により未知量を求めるには観測等式は一次形ならざるべからず 即ち

$$l_1 = a_1x + b_1y + c_1z + \dots$$

$$l_2 = a_2x + b_2y + c_2z + \dots$$

$$l_3 = a_3x + b_3y + c_3z + \dots$$

こゝに於て l_1, l_2, l_3, \dots は観測値

$a_1, b_1, c_1, \dots, a_2, b_2, c_2$ は常數

xyz, \dots 未知數

今 xyz, \dots 等の未知量の數を μ

観測等式を n とす

若し $\mu = n$ ならば x_1, y_1, z_1, \dots は只一方法にて求めらる。

然れども一般に $\mu < n$ なるを以て最小自乘法により xyz, \dots を求めざる可らず。

x_0, y_0, z_0, \dots を xyz, \dots の或是値 (Probable value) とせば

$$v_1 = a_1x_0 + b_1y_0 + c_1z_0 + \dots + l_1$$

$$v_2 = a_2x_0 + b_2y_0 + c_2z_0 + \dots + l_2$$

$$v_n = a_nx_0 + b_ny_0 + c_nz_0 + \dots + l_n$$

こゝに於て殘差は

$v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = [v \cdot v] =$ 最小なる條件を満足せざるべからず。

x の或是値 x_0 を求めるには $[v \cdot v]$ を x_0 につき微分して零と置くべし。

$$\text{即ち } v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_0} + v_2 \frac{\partial v_2}{\partial x_0} + v_3 \frac{\partial v_3}{\partial x_0} + \dots + v_n \frac{\partial v_n}{\partial x_0} = 0$$

$$(1) \text{式より } \frac{\partial v}{\partial x_0} = a_1 \frac{\partial v_1}{\partial x_0} = a_2 \frac{\partial v_2}{\partial x_0} = \dots = a_n \frac{\partial v_n}{\partial x_0}$$

$$\begin{cases} \text{或は } [av] = 0 \dots \dots \dots x_0 \text{ に対して} \\ \text{同様に } [bv] = 0 \dots \dots \dots y_0 \text{ に対して} \\ [cv] = 0 \dots \dots \dots z_0 \text{ に対して} \end{cases} \quad (2)$$

此の (2) 式を正等式と呼ぶ。

次に観測等式

$$v_1 = a_1x_0 + b_1y_0 + c_1z_0 + \dots + l_1$$

$$v_2 = a_2x_0 + b_2y_0 + c_2z_0 + \dots + l_2$$

$$v_n = a_nx_0 + b_ny_0 + c_nz_0 + \dots + l_n$$

に順次に $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ を乗じ相加ふれば

$$[av] = [aa]x_0 + [ab]y_0 + [ac]z_0 + \dots + [al] = 0$$

$$\text{同様に } [bv] = [ab]x_0 + [bb]y_0 + [bc]z_0 + \dots + [bl] = 0 \quad (3)$$

$$[cv] = [ac]x_0 + [bc]y_0 + [cc]z_0 + \dots + [cl] = 0$$

此の如き正等式の數は未知量の數に同じ即ち μ 個あり之を解けば x_0, y_0, z_0 等を求めらる。

正等式の形の照査

観測等式の未知量の係數及び絶對項を加えたる

ものを s_1, s_2, \dots, s_n とせよ 即ち

$$a_1 + b_1 + c_1 + \dots + l_1 = s_1$$

$$a_2 + b_2 + c_2 + \dots + l_2 = s_2$$

$$a_n + b_n + c_n + \dots + l_n = s_n$$

(4) 式の各式に順次 a_1, a_2, \dots, a_n を乗じ相加ふれば

$$[aa] + [ab] + \dots + [al] = [as]$$

同様にして

$$[ab] + [bb] + \dots + [bl] = [bs]$$

$$[al] + [bl] + \dots + [ll] = [ls]$$

(5) 式が満足せらるゝ時は正等式は正しきものなる事を示す。

正等式を解くに先つて必ずかくの如き照査をなす事を要す。

$[aa], \dots$ の計算

實驗公式 (1) の場合に於ける $[aa]$ の數値の計算例は次表の如し之より直に正等式を求める事を得べし。實驗公式 (2)(3) の場合につきても同様にし得べく繁雜なる爲こゝには省略す。

a a	a b	a c	a l	b b	b c	b l	c c	c l	s	a s	b s	c s
1	3.5	12.25	4	12.25	42.875	14	150.0625	-47	12.75	12.75	44.625	156.1875
1	2.65	7.02	4.85	7.0225	18.603	-12.8525	49.2804	-34.047	5.82	5.82	15.423	40.8564
1	3.0	9.00	6.65	9	27	-19.95	81	-59.85	6.35	6.35	19.05	57.15
1	3.5	12.25	9.55	12.25	42.875	-33.425	150.0625	-116.7875	7.2	7.2	25.2	89.2
1	3.45	11.9	6.14	11.9025	41.055	-17.733	141.61	-61.166	11.21	11.21	38.6745	133.399
1	3.45	11.9	5.14	11.9025	41.055	-17.733	141.61	-61.166	11.21	11.21	39.6745	133.399
1	4.0	16	6.22	16	44	-24.88	256	-99.52	14.78	14.78	59.12	236.48
1	4.5	20.25	6.68	20.25	91.125	-30.06	410.0625	-135.28	19.07	19.07	85.315	386.1575
1	4.5	20.25	9.4	20.25	91.125	-42.3	410.0625	-190.35	16.35	16.35	73.575	331.0875
1	6.0	36	6.95	36	216	-41.7	1,296	-250.2	36.05	36.05	216.3	1,297.8
1	4.0	16	8.56	16	64	-34.24	256	-136.96	12.44	12.44	49.76	199.04
1	6.5	42.25	9.05	42.25	274.625	-55.825	1,785.0625	-382.3625	40.7	40.7	284.55	1,719.575
1	6.5	42.25	14.7	42.25	274.625	-95.55	1,785.0625	-621.075	35.05	35.05	227.825	1,480.8625
1	4.75	22.36	7.68	22.3625	107.16	-36.48	608.9536	-173.2608	20.63	20.63	98.9925	465.4128
1	4.0	16	7.5	16	64	-30	256	-120	13.5	13.5	51	216
1	5.4	29.16	8.12	29.16	157.464	-43.848	850.3056	-236.7792	27.44	27.44	148.176	800.1504
1	4.8	23.04	7.7	23.04	110.592	-36.96	530.8416	-177.408	21.14	21.14	101.472	487.0656
1	6.54	42.77	9.71	42.7716	279.7158	-63.5034	1,829.2729	-415.2967	40.6	40.6	265.524	1,736.462
1	5.5	30.25	11.35	30.25	166.375	-62.425	915.0625	-343.3375	25.4	25.4	139.7	768.35
1	6.75	45.56	10	45.5625	307.53	-67.5	2,075.7136	-455.6	43.31	43.31	292.3425	1,973.2036
1	8.0	64	12.1	64	512	-96.8	4,096	-774.4	60.9	60.9	487.2	3,897.6
1	5.8	33.64	10.15	33.64	195.112	-55.87	1,131.6496	-341.446	30.23	30.23	175.682	1,018.9576
1	6.0	36	12.52	36	216	-75.12	1,296	-450.72	30.48	30.48	182.88	1,097.28
23	113.09	600.3	-193.72	600.3141	3,404.9118	-1,014.7549	20,401.0748	-5,686.2122	542.67	542.67	3,103.5610	18,720.6744

照 査

$$23 + 113.09 + 600.3 - 193.72 = 542.67$$

$$113.09 + 600.3141 + 3,404.9118 - 1,014.7549 = 3,103.5610$$

$$600.3141 + 3,404.9118 + 20,401.0748 - 5,686.2122 = 18,720.6744$$