

熔銑爐用送風機の撰擇に就て

昭和 3 年 11 月 29 日 (講述)

三菱神戸造船所鑄造課長 百々初男

熔銑爐に於て、一定の地金に對し、一定の骸炭を配するも、これに適當なる空氣の補給なければ全然熔銑作業を達成する事能はざるは自明の理なるに拘はらず、世上、否、當事者でさへ、往々これを閑却するの嫌ひなきにしも非ず。

乃ち、此の目的を完全に遂行するには、送風機的手段により適當なる空氣の容量を送入すべく、相當なる壓力を以て、これを送り込まざる可からず、この送風機は、熔銑作業にて動力を要する唯一の重要機械にて、所期の目的を達する範圍にて出来る丈け、その動力を減ずることは、該作業の經常費を引下げる所以であつて、亦、鑄物値段に及ぼすところ 尠しとせず、亦、適當なる送風を得ることは、地金の素質を保證爲し得る所以にして、材質上より見るも極めて重要なることである。

以上の何れよりするも、爐の大小、所要地金の種類によりて、送風機の選擇決定は、實に大切なることであつて、吾人の輕々に見做す可きことではない。

先づ、本問題に入るに先だち、一定量の銑鐵を熔解するに (勿論適當なる燃料の補給はあるものとして)、幾何の空氣量を要するやを知る必要がある。

これを理論的に説き起しその決定に及ばんとす。

P. H. Wilson 氏及び W. E. Dennison 氏に據れば、次の結論が得られる。

燃燒式 $C + O_2 = CO_2$ より $12 + 32 = 44$

1. C (炭素) 12 lbs を CO_2 (炭酸瓦斯) に完全燃燒せしむるには、O (酸素) の 32 lbs を要することを知る。

換言すれば、炭素 1 lb に對し、酸素 2.67 lbs を要す。

2. 空氣は重量に於て、酸素の 23.2 % を含有するを以て、炭素 1 lb を完全燃燒せしむるには、 $2.67 \div 0.232 = 11.5$ lbs 即ち 11.5 lbs の空氣を要す。

3. 常溫、常壓に於ける空氣 1 lb は 13.15 cub ft の容積を占む、故に炭素 1 lb を完全燃燒せしむるには

$13.15 \times 11.5 = 151.2$ cub ft 乃ち、151.2 cub ft の空氣を要す。

4. 普通の鑄物用骸炭は、90 % の固定炭素を有す、故に、骸炭 1 lb を完全燃燒せしむるに要する空氣容積は、

$151.2 \times 0.9 = 136.08 \approx 136$ cub ft

5. 前著「骸炭比」に於て、1 kg ton の銑鐵熔解並に加熱に要する骸炭は理論的に 37.24 kg = 81.928 なることを述べたり、故に、理論的空氣量としては

$$136 \times 81.928 = 11,142.2 \text{ cub. ft.}$$

にて可なる譯なり。

然し、前著に於て、理論と實際を加味して、骸炭比は 12 % なることを述べたるを以て、實際所要骸炭量は

$$120 \times 2.2 = 264 \text{ lbs}$$

故に、所要空氣量は

$$136 \times 264 = 35,904 \text{ cub. ft.}$$

となる。

乃ち、普通 1 ton の地金に對し、30,000 cub. ft. 餘と謂はれておるのは當つておる譯であります。

其他、千葉忠一郎氏は、大同電氣製鋼所發行の「電氣製鋼」に於て、一般に熔銑爐操業にありて、1 ton の銑鐵を熔解するに要する空氣の容量を 850 m³ 乃ち、

$$35.317 \text{ cub. ft.} = 1 \text{ cub. meter} \text{ なるを以て、} 35.317 \times 850 = 30,019.45 \text{ cub. ft.} \text{ として居る。}$$

同氏は、送風管中の摩擦等のロスを約 12 % に見込み結局、1 ton の銑鐵を熔解するに要する空氣容量は 950.4 m³ (即、33,565 ft³) なりと論斷しております。

又、J. H. List の如きは、51,520 ft³ と計算しておるも、これは何かの間違なるべし。

結局、先づ、30,000 ft³ と見て差支へなかるべし、而して、これが取りも直さず送風機設計の基本となるのである、次に、キューボラの熔解能力 (毎時の) は、その「大さ」に關係を有することは明かなことであつて、その「大さ」は所要熔解能力を出す可く設計されたものであることも云ふ迄もありません。

其處で、キューボラの「大さ」即ち、熔解能力に應じたる所要空氣量を算定するの要がある。

それには次の如き算式が用ゐられる、

$$(a) \text{ F. T. Cook 氏に従へば、} (0.9 \sim 0.7) W = \frac{Q\sqrt{P}}{127} \text{ より } Q = \frac{120 \times 0.8 W}{\sqrt{P}}$$

Where Q = Air quantity lbs/min P = Air pressure oz W = Melting Capacity ton/h

$$(b) \text{ 千葉氏に従へば、} \underline{950.4 \text{ cub m/ton of iron}}$$

(c) Kent's Mechanical Engineer's Pocket Book に従へば、

$$\text{lbs of Air per lb of Coal} = 1.5 \times \{11.52C + 34.56(H - \frac{1}{2}O)\}$$

$$\text{Where } \frac{C\%}{100} \quad \frac{H\%}{100} \quad \frac{O\%}{100}$$

茲に、自分の工場に於て使用してある Cupola Coke の Mean Carbon Content 91.08 % を上式に挿入すれば、次の如くなる。

$$1.5 \times \{11.52 \times 0.9108 + 34.56 \times 0\} \quad 1.5 \times 11.52 \times 0.9108 = 15.55 \text{ lbs of air/lb. of coke}$$

之れを換算すれば、 12.2 cub m/ kg of coke

次に、鉄鐵 1kg を熔解するに要する coke の量率は $K = \frac{600A}{W}$ (Buzek 氏に據る)

Where $K = \text{Consumption of Coke kg/hr}$ $W = \text{Melting Capacity kg/hr}$

$A = \text{Area of Cupola Section m}^2$

依て 1kg ton の鉄鐵を熔解するに要する空氣量は $Q = 12.2 \times K \times 1,000 \text{ cub.m/hr}$

以上の3式に據り、送風量を見出し、其の平均をとって、これに相應する送風機の決定に移ります。

(1) 1 ton キューポラに就て。(附録、熔鉄爐表中○印の部参照)

$$(a)' \quad Q = \frac{120 \times 0.8W}{\sqrt{P}} = \frac{120 \times 0.8 \times 1.5}{\sqrt{8}} = 51 \text{ lbs/mi}$$

$$P = 7 \text{ oz} \sim 8 \text{ oz} \div 8 \text{ oz} = 705 \text{ cub.ft/mi}$$

$$W = 1.5 \text{ ton} = 20 \text{ m}^3 / \text{mi}$$

$$(b)' \quad Q_1 = 950.4 \times \frac{1.5}{60} = 23.8 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$(c)' \quad Q_2 = 12.2 \times K \times 1,000 \times 1.5 = 12.2 \times \frac{600 \times (0.47)^{\frac{3}{4}}}{1500} \times 1,000 \times 1.5$$

$$= 842 \text{ m}^3 / \text{hr} \times 1.5 = 1260 \text{ m}^3 / \text{hr} = 21 \text{ m}^3 / \text{mi}$$

(2) 1.5 ton キューポラに就て。

$$(a)' \quad Q = 20 \text{ m}^3 / \text{mi}$$

$$(b)' \quad Q_1 = 23.8 \text{ m}^3 / \text{mi}$$

$$(c)' \quad Q_2 = 12.2 \times \frac{600 \times (0.56)^{\frac{3}{4}}}{1,500} \times 1,000 \times 1.5$$

$$= 1800 \text{ m}^3 / \text{hr} = 30 \text{ m}^3 / \text{mi}$$

(3) 3 ton キューポラに就て、

$$(a)' \quad Q = \frac{120 \times 0.8W}{\sqrt{P}} = \frac{120 \times 0.8 \times 3}{\sqrt{10}} = 91.0 \text{ lbs/mi}$$

$$= 1,130 \text{ cub.ft/mi} = 32 \text{ m}^3 / \text{mi}$$

$$(b)' \quad Q_1 = 950.4 \times \frac{3}{60} = 47.5 \text{ m}^3 / \text{mi}$$

$$(c)' \quad Q_2 = 12 \cdot 2 \times \frac{600 \times (0.559)^2 \frac{\pi}{4}}{3,000} \times 1,000 \times 3 = 1,800 \text{ m}^3/\text{hr} = 30 \text{ m}^3/\text{min}$$

(4) 5 噸キューボラに就て (實能力 4 噸)

$$(a)' \quad Q = \frac{120 \times 0.8 \times 4}{\sqrt{10}} = 52.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$(b)' \quad Q_1 = 950 \cdot 4 \times \frac{4}{60} = 62.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$(c)' \quad Q_2 = 12 \cdot 2 \times \frac{600 \times (0.635)^2 \frac{\pi}{4}}{4,000} = 58 \text{ m}^3/\text{min}$$

(5) 6 噸キューボラに就て、

$$(a)' \quad Q = \frac{120 \times 0.8 \times 6}{\sqrt{10}} = 64 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$(b)' \quad Q_1 = 95 \cdot 04 \times \frac{6}{60} = 95 \cdot 04 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$(c)' \quad Q_2 = 12 \cdot 2 \times \frac{600 \times (0.991)^2 \frac{\pi}{4}}{6,000} = 94 \text{ m}^3/\text{min}$$

(6) 10 噸キューボラに就て、

$$(a)' \quad Q = \frac{120 \times 0.8 \times 10}{\sqrt{10}} = 106.5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$(b)' \quad Q_1 = 950 \cdot 4 \times \frac{10}{60} = 158.4 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$(c)' \quad Q_2 = 12 \cdot 2 \times \frac{600 \times (1.067)^2 \frac{\pi}{4}}{10,000} = 66 \text{ m}^3/\text{min}$$

之等の結果は、絶對的のものであるといふことは出来ないが、大體に於て平均をとれば次の如く送風量を決定し得る。

	Volume of Air required/min					
	1ton 爐	1½ton 爐	3ton 爐	5(4)ton 爐	6ton 爐	10ton 爐
m ³ /min	21.6	24.6	36.5	57.7	84.3	110.3
ft ³ /min	765	870	1,290	2,030	2,980	4,000

以上の如くにして送風量決定したる上は、要する風量を送り込むに必要な正味馬力の算定に移る。
乃ち

Formula I. (Foundryman's Hand Book) $HP = \frac{P_1 \text{ lbs/} \square'' \times V}{200}$

Where $V =$ Volume in cub. ft/min

$P_1 =$ Pressure of Compression in absolute lbs/□''

上式を前掲各爐に當て嵌むれば、次の如し。

1 Ton Cupola $HP = \frac{0.5 \times 765}{200} = 1.93$

1.5 " " $HP = \frac{0.435 \times 870}{200} = 2.1$

3 " " $HP = \frac{0.625 \times 1,290}{200} = 4.03$

5(4) Tns Cnola $HP = \frac{0.625 \times 2,030}{200} = 6.35$

6 " " $HP = \frac{0.625 \times 2,980}{200} = 9.3$

10 " " $HP = \frac{0.625 \times 4,000}{200} = 12.5$

Formula II. (F. H. B) $HP = \frac{VP \left[\left(\frac{P_1}{P} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}{11,000}$

Where $V =$ Volume of Air ft³/min

$P_1 =$ Pressure of Compression absolute in lbs/ft²

$P =$ Pressure of Atmosphere absolute in lbs/ft² (=212 lbs/ft²)

此の式を前同様各爐にあて嵌むれば、

1 Ton Cupola $HP = \frac{212 \times 765 \left[\left(\frac{218}{212} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}{11,000} = 1.47$

1.5 " " $HP = \frac{212 \times 870 \left[\left(\frac{275}{212} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}{11,000} = 1.5$

3 " " $HP = \frac{212 \times 1,290 \times \left[\left(\frac{302}{212} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}{11,000} = 3.23$

5 (4) " " $HP = \frac{212 \times 2030 \times \left[\left(\frac{302}{212} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}{11,000} = 5.1$

$$6 \text{ Ton Cupola } HP = \frac{212 \times 2,980 \times \left[\left(\frac{302}{212} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}{11,000} = 6.8$$

$$10 \text{ " " } HP = \frac{212 \times 4,000 \times \left[\left(\frac{302}{212} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}{11,000} = 10$$

Formula II による結果の Brake Horse Power は Formula I よりも少し小なる値を示したが、之等の結果により大體に於て、所要風量を、所要壓力によりて送入すべき送風機の實馬力を推定し得られる次第です、即ち此の二つの値より次の如くに定める。

但し、小爐に要する馬力は幾分餘裕をとることとする。

1 ton 爐	1½ ^T 爐	3 ^T 爐	5(4) ^T 爐	6 ^T 爐	10 ^T 爐
2 HP	2.5 HP	4 HP	6.5 HP	9.5 HP	12.5 HP

但し、之等は、實馬力であるから、原動機 (Metor, Engine, Turbine 等) の軸馬力は之等より尙ほ、大なること云ふ迄もなし。

扱て次は送風機の撰擇であるが、これに先立ち、現今、送風機として普通に使用せられておるものを類別すれば次の如し。

(イ) Sirroco Fan (ロ) Centrifugal Fan (ハ) Roots Blower (ニ) Turbo Blower

以上各種送風機が熔銑爐送風用として、如何に撰擇せらるゝか、又、如何に將來使用價値を存するかを論ずるに當り、大體之等各々の種類とか性能とかを一應擧げることが必要であります。

(イ) シロツコ、フワン 之れは、Multiple Fan の一種であつて、著名な製作者は American Blower Co. であります。現在は、我國にも立派なものが出来ます。これは、Boiler の Forced Draft 或は Heating Ventilating 等に廣く用ゐられて、良結果を得て居るのであるが、最も Efficiency のよい pressure は 0~3oz の間にあつて、Cupola 送風には殆んど、利用され得ないものと考へられます。

(ロ) セントリフューガル、フワン 之れは、從來、極めて、一般的に使用されておるもので、熔銑爐にも其の使用範圍が及んで居るものと見てよい。其の歴史が古い丈け、その種類も亦、多い譯である。之等を構造的に分類すれば

- | | |
|-----------------------------------|---|
| (1) Cast Casing Puddle Wheel Fan, | (2) Cast Iron and Steel plate pressure Fan, |
| (3) Steel-plate planing Mill Fan, | (4) Steel plate paddle wheel Fan, |
| (5) Steel plate Cone Fan, | (6) Propeller Fan, 其他, |

又、製作者發明者又は其他の固有名を以て分類すれば、

- | | |
|----------------------------------|------------------|
| (1) "Tromb" 即ち、水流の落差を利用せる一種の送風機, | (2) Lloyd's Fan, |
|----------------------------------|------------------|

- (3) C. Schiele's Fan, (4) Sturtevant's Fan,
 (5) H. Aland's Fan, (6) Keith-Blackman Fan,

此等の用途は、Forge, oil furnace, Light dust Collecting, Gas producer, Booster, Forced draft, heating, Ventilating, Cooling, Drying,

Conveying Materials such as refuse from wood Working Machinery, Shoes Machinery, buffing & Emery Wheels, and Cupola, 等

であつて、其の Efficient pressure といふか、又は Used pressure といふか、最も使い易い適合したる壓力は 6oz. 前後であつて、設計上よりいふも、10oz.~12oz. 即水柱 17~20' は、不利益であると謂はれておる。従て、熔銑爐用としては従來の慣習上、又は買段値の點より使用はされておるが使用壓力の點で理想的のものではない。

由來、これを以てすると熔銑爐羽口に抵抗等を生じたる場合、充分の送風が出来ないといふ様な俗言の出るのはかういふ點からであらうと思はれる。

(ハ) ルーツ、ブローア— 此の機械は、舊來主としてキューボラ送風用として使用し來たものであつて、非常に「俗受け」のしておるものであります。即ち其の特徴とするところは構造上、確實に送風が出来るといふに他ありません。其他の點即ち動力、効率、据付場所の面積、騒音等の缺點は見逃しにされておる譯です。而し近來、獨逸邊りでは舊型を破り、新型が出現しておりますが、働きの點、價格の點でどうかと思ひます。茲に本機の様式を擧げて見ます。

- (1) Ordinary Roots Blower, (2) Samuelson's Roots Blower,
 (3) J. G. Baker's Roots Blower, (4) Piftin (Morris & Bastert) Blower,
 (5) R. Laidlaw & Son Blower, (6) Präzisionskapselgebläse der Firma Jäger.

概評的にいへばルーツ、ブローア—は最早舊式に屬するもので、其の構造上、翼體が、旋盤で仕上げられない爲、エイヤタイトにすること困難であるから、幾分のリーケージは止むを得ない上に、羽根軸受の摩耗の爲、運轉の危険を誘致することが往々あります。且つ、ギヤリング等煩多であつて、摩擦面多く、動力を要すること大なる上、廻轉數を上げる譯に行かぬから電動機のサイズ大となり従て、据付場所を多大に占む等、缺點が多々あります。

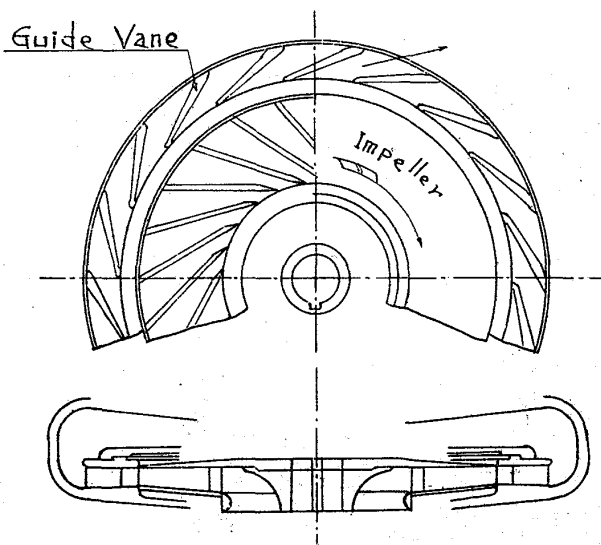
(ニ) タルボ、ブローア— 近年、機械工業中特にロータリー、マシンの設計工作の進歩につれ、より經濟的送風を得る爲、このタルボ、ブローア—が用ゐられるはじめました。タルボ、ブローア—は構造上ラト— (Rateau) 型が尤も注目されておる。Bernhard Osann の著者より一例を云へば、Rothe Erde 製鋼所ではキューボラ—にこのタルボ、ブローア—を使用し始めてより 10 年になるが非常に結果が良く、現在大小を問はず、鐵冶金上、その送風に使用して、良結果を得ておるといふことである。普通キューボラの送風には一段式であつて 3,000/min (1,300~5,000) 回轉のものが電動機に直結使用せられる。又、Firma Kühnle の報告によれば、タルボ、ブローア—を推奨してラト—型ブローア—の

Volumetric efficiency は 100%であり、使用中に減損する様な事はない、然るにルーツ、プロアーにあつては、その Volumetric efficiency 90%は使用と同時に低下するものである、尙大きな利點は廻轉が非常に圓滑であること、効率を變ずることなくして Load (Blowing) を變ずることが出來、又、羽口を掃除するために壓力を上げる事も出來、正しく送風が出来る。

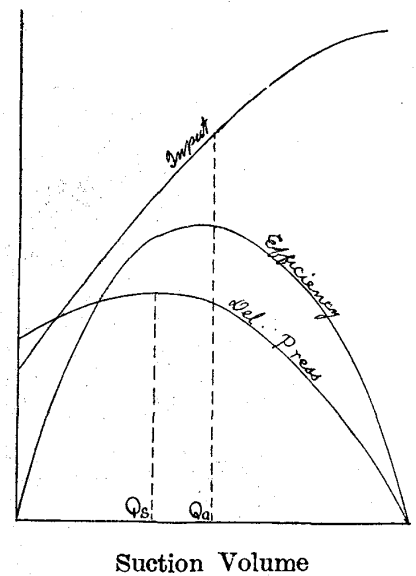
尙ほ、一層利點とするところは僅少のルーム、スペースで足りること、土臺の廢止と共に、配置据付が簡單であること、そして他の送風機の様には喧騒でないこと等である、電力の節約は多きに至つては 40% に達すると。而も、本機はルーツ、プロアー等に比し製作原價、從て、購買價格も低廉である筈である。

本機の型式は前述のラトー式に一定なるを以て、分類の要なけれど、その大體の構造並に性能曲線を次に圖示すると共に、その用途なり製作者を擧ぐるも無益でないと思ふ。

第 1 圖
Turbo Blower



第 2 圖
Characteristic Curve of Turbo Blower



其の用途 Scavensing of Diesel Engine, Scavensing for Tunnel, Pressure Transmission of H_2 , SO_2 , CO_2 , General Gas, and Melting Furnace 等

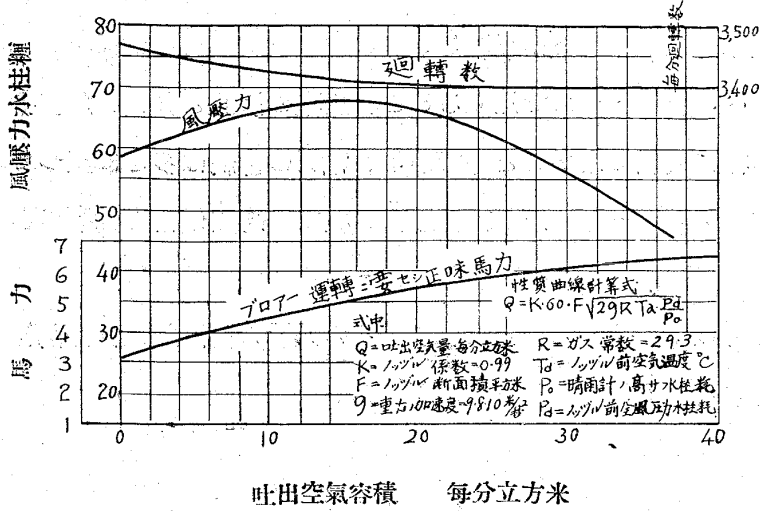
其の製作者 三菱造船株式會社神戸造船所、日立製作所

以上述ぶるところに依り、前掲各種送風機に就て大體のアイデア 2 を得られた事と推測すると共に、何れが近代的として、撰定さる可きであるかといふ事も大體御判りの事と思ふ。自分の工場に於て、先年、擴張をした際、2 ton (實能力を 1.5 T とせり) 熔銑爐に 7.5 馬力 (實際使用 6 馬力) タルボ、プロアーを裝備し、それ以來、非常なる好成績を以て操業しております。

其の性能試験曲線、裝備見取圖及び寫眞を次に御示し致します。

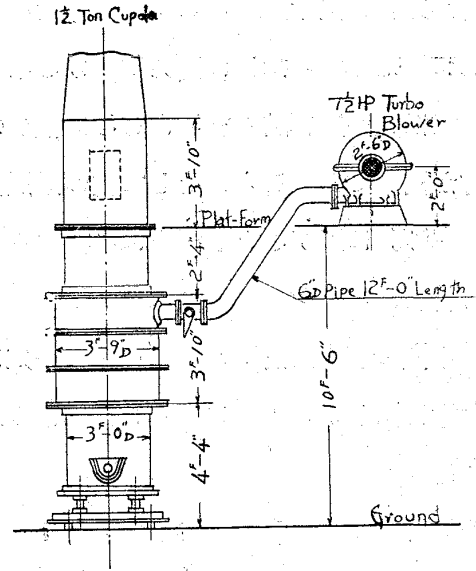
第 3 圖

7 HP 「ターボブローア」機械的性質曲線

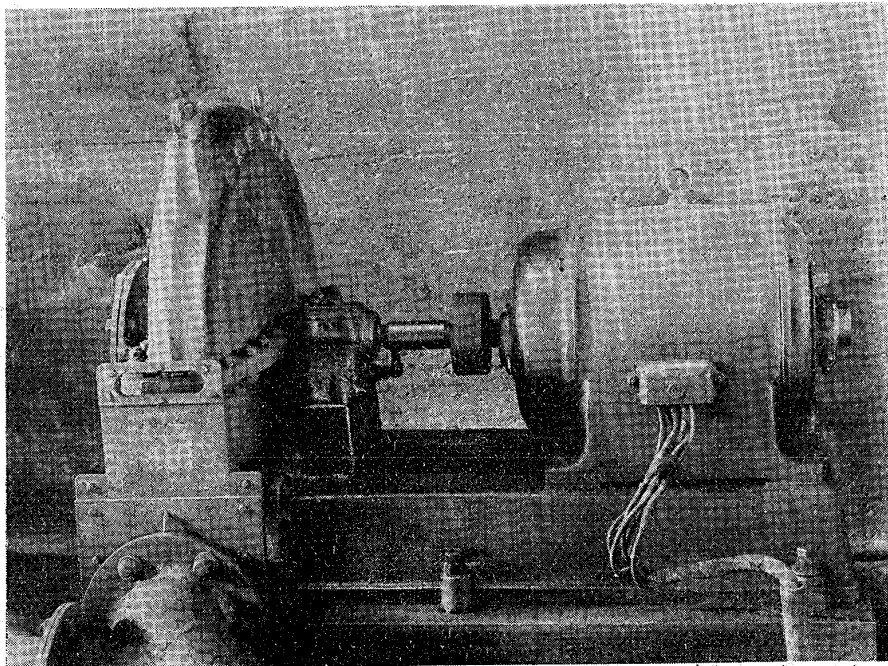


第 4 圖

「ターボブローア」を「キューボラ」に装置したる見取圖 (1½ Ton Cupola)



寫 眞



以上を要するに、(イ) シロツコ、フワンは吐出壓力低きものなるによりキューボラ操業に適せず、(ロ) セントリフューガル、フワン及び(ハ) ルーツ、ブローアは従來主として用ゐ來りたるものなれども其の性能なり構造を仔細に調査すれば、あまり適當のものといふを得ない。乃ち(ニ) タルボ、ブローアなる新銳の出現は、之等に代りて、充分なるのみならず凡ての點に於てより優秀なるものである。乃ち、これを設計し、又は注文するに當りては、前述せし、キューボラーに必要な送風量なり、馬力に應じ、機械效率の最も良き點を擇ぶ可きである。

座長 百々氏の御講演に對し御質問はありませんか。

田中君 Cupola Tayer に抵抗を生ずる場合 Turbo-blower では充分の送風が用來ぬことはないか。

百々君 充分出來ます、獨逸の Osann 博士の著書に於て Firma Kuhnle は羽目を掃除する爲め壓力を上げることも出來非常に便利であると云つて居る詳細は雑誌に掲載します。

座長 最早御質問がなければ之を以て此部會を閉じます。尙ほ之れから齋藤博士の御挨拶があります。(時に午後 8 時なりき)

閉 會 の 辭

委員長 齋 藤 大 吉

昨今兩日然かも長時間に亙る此部會に於て諸君の有益なる研究の發表及質問討議によつて鐵鑄物に關する智識の開発上豫期以上の成績を收めて此部會を終了するに至りましたことは過去數ヶ月間準備萬端に携はりました私共としては誠に欣快に堪へない次第であります。

偕て昨日鑄鐵規格統一の議事に於て座長の指名により 22 名の委員を選んで議事を進めることになつたことは諸君御承知の通であります。其後の経過に就て一言諸君に御報告申上げて置くことは私の義務であると信じます。先づ鑄鐵の試験法として抗張試験及抗折試験の何れを主とすべきかに付て議論が百出致しましたが結局殆ど全會一致で抗折試験を主とし使用者の注文によつては抗張試験をも併せ行ふと云ふことに決定しました。次に抗折試験片の數及寸法並に鑄込みの寸法及方法等に付ては大略の決定を見ました、夫れで時間が午後 10 時半に至りましたので議事を中止して後日に譲ることになりました尙其詳細は協會誌上で御覽を願いたいと思ひます。

又昨日松村博士は午前 9 時半から午後 10 時半に至る 13 時間の長きに亙り座長として議事を纏められ又小野、濱部及砂谷の 3 博士は種々有益なる意見を發表下さいまして會員一同を指導啓發されましたことに對し私は諸君と共に深甚なる謝意を表したいと思ひます。

次に昨今兩日に亙り多年御研究の結果を御講演下さいまして會員一同に多大の利益と感動とを與へられた百々、井口、山田、堀切、松浦、平岡及池下の諸氏に對し私は會員一同を代表して深厚なる謝意を表します。又本日の會議に於て座長として議事を纏めて下さいました井口及三島の兩博士及昨今兩日に亙り記録掛と云ふ匿れたる大役を御引受け下さいました澤村博士及其他の諸君に對しても同様感謝の意を表します。

終に私は會員諸君に一言したいと思ひますが此長時間に亙る部會中諸君が講演の傾聽及質問討議等に致された眞摯なる態度に對し私は茲に滿腔の敬意と感謝の念とを表するを禁じ得ないものでありま