

真 空 鑄 造 法 の 研 究

— 大形真空鑄造設備の建設と操業について —

Studies on the Vacuum Casting Process
— On the Construction and Operation of Large-scale
Vacuum Casting Equipment —

竹 入 信*	藤 本 裕*	門 瀬 益 雄*
Tadashi Takeiri	Yutaka Fujimoto	Masuo Kadose
渡 辺 準 平*		
Junpei Watanabe		

内 容 梗 概

近時、真空鑄造法の製鋼作業への応用が急速に行われつつある。日立製作所水戸工場では、鋼材の白点毛割欠陥の防止、靱性値の向上、鍛造熱扱い工程の短縮などの効果に着目して真空鑄造設備の建設に着手し、1958年10月上旬よりわが国最初の大形設備として操業することができた。本稿では設備の概略と試験鑄造結果が報告されている。

1. 緒 言

金属材料の製造において熔融状態で真空脱ガスすればその性能が著しく向上することは周知のことである。大気の影響を遮断するために真空容器内で熔解鑄造する、いわゆる真空熔解法は、規模、操業経費などの制限から小形高級材料の処理に限られるのが現状である。

真空鑄造法は、大気中で普通の熔解炉により金属を熔解精錬し、これを鑄造する際に真空脱ガス処理するもので、真空熔解法に比較して熔解炉を真空系に持たないため、設備費、操業経費が安価で処理量に制限がない。もちろん、真空熔解法ほど徹底した真空処理効果をうることはできないが、鋼に応用すれば、たとえば鋼中の有害ガス元素を減少することにより、白点毛割欠陥の防止、機械的性質の向上、工程の短縮など従来の大気中熔解鑄造法では望めない種々の効果が得られるもので、機械的性質については、ガス元素のみならず非金属介在物の低減などにより、伸び、絞りを増加し特に高温および低温の脆性を改善すると予想される。近年欧米で稼動している真空鑄造設備の諸報告もこれを裏書している。

今までの普通の熔解鑄造法によると、信頼度の高い大物鑄鍛鋼品を製造するには高度の製鋼技術を必要とし、たとえば、装入材料の厳選、媒熔材料および添加合金鉄類の加熱乾燥、熔解、鑄造諸工程の管理、さらに湿度の高い日には重要製品の熔解をさけるなどの諸注意を払い、かつまた、鍛造熱処理工程においても脱水素処理のため長期の工程を必要とした。しかしこれらの対策にもかかわらず鋼材の内部欠陥、特に白点毛割欠陥を絶滅することは至難であった。

今回日立製作所水戸工場においては、真空鑄造法の

* 日立製作所水戸工場

応用により鋼材内部欠陥を防止し超音波探傷試験そのほかの材料検査において完全な鋼材を製造して、大形重電機または産業機器の性能向上に資するとともに、作業能率向上、不良率の低下により短納期で良質の鋼材を製造するために新たに高性能の真空鑄造設備を建設したので、この設備の概略と試験鑄造結果の一端を報告する。

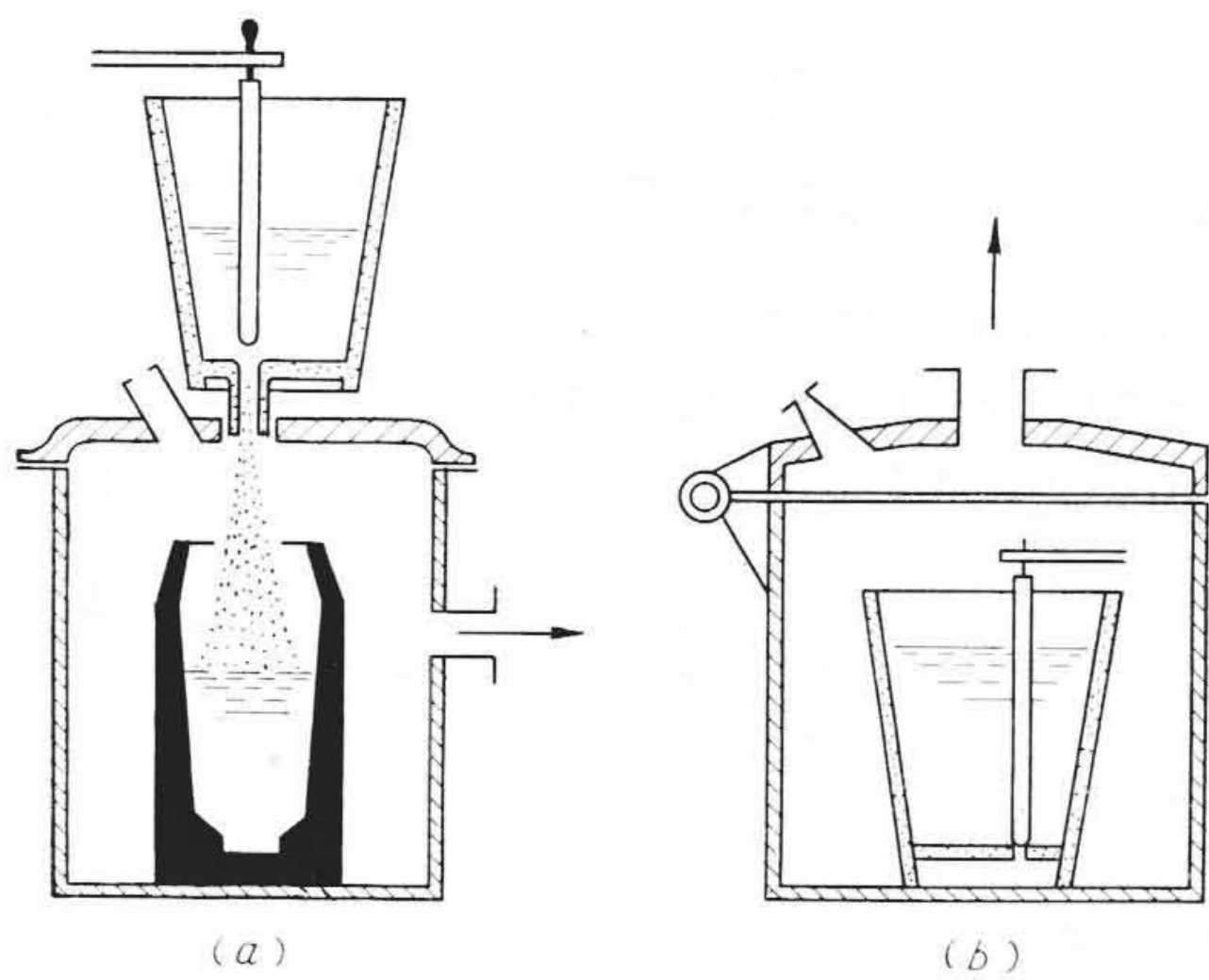
2. 真空鑄造法の展望

真空鑄造法の着想は古くからあるもので、それが近年急速に普及しつつある理由は、戦後の真空技術特に大容量真空ポンプの発達に負うものである。鋼の真空鑄造法を大別すると、

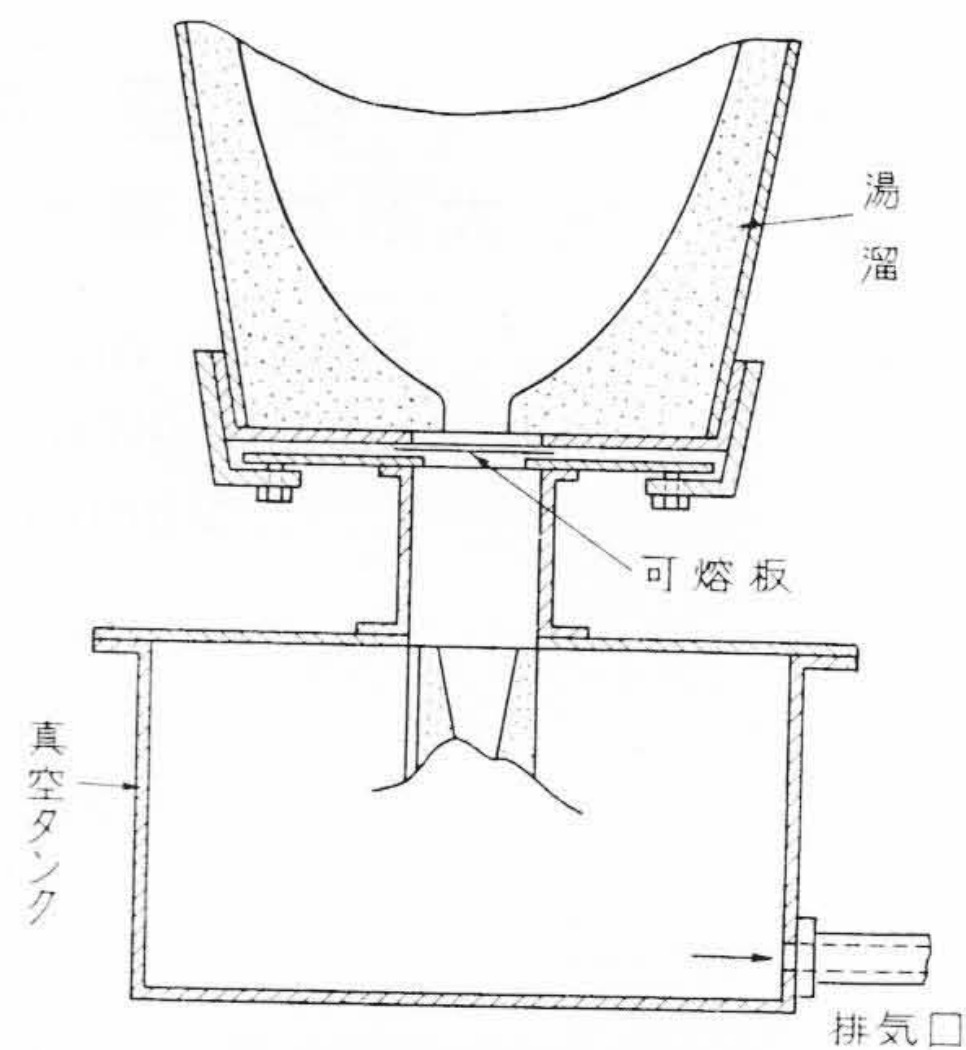
- (1) 真空容器内に鑄型や取なべを収容してこれに熔鋼を鑄込むもの。
 - (2) 大気中の取なべにある熔鋼を真空処理タンクで吸引して脱ガスするもの。
 - (3) 真空処理タンクを経由して鑄込むもの。
- の三種に分類できる。

2.1 Bochumer Verein, U.S. Steel, および Bethlehem 法
真空タンク内に鑄型または取なべを収容して、あらかじめ密閉排気して置き、その真空を保ちながら真空タンク鑄込口より熔鋼を鑄込むもので、急速に真空タンク内に流入する熔鋼は細かく飛散滴下するため落下過程のごく短時間にもかかわらず有効に脱ガスできる(第1図(a))。また熔鋼の入った取なべを真空タンクに密閉して真空に排気する方法もあるが、この方法は熔鋼静水圧のため深部の脱ガスが困難であり、あまり採用されない(第1図(b))。

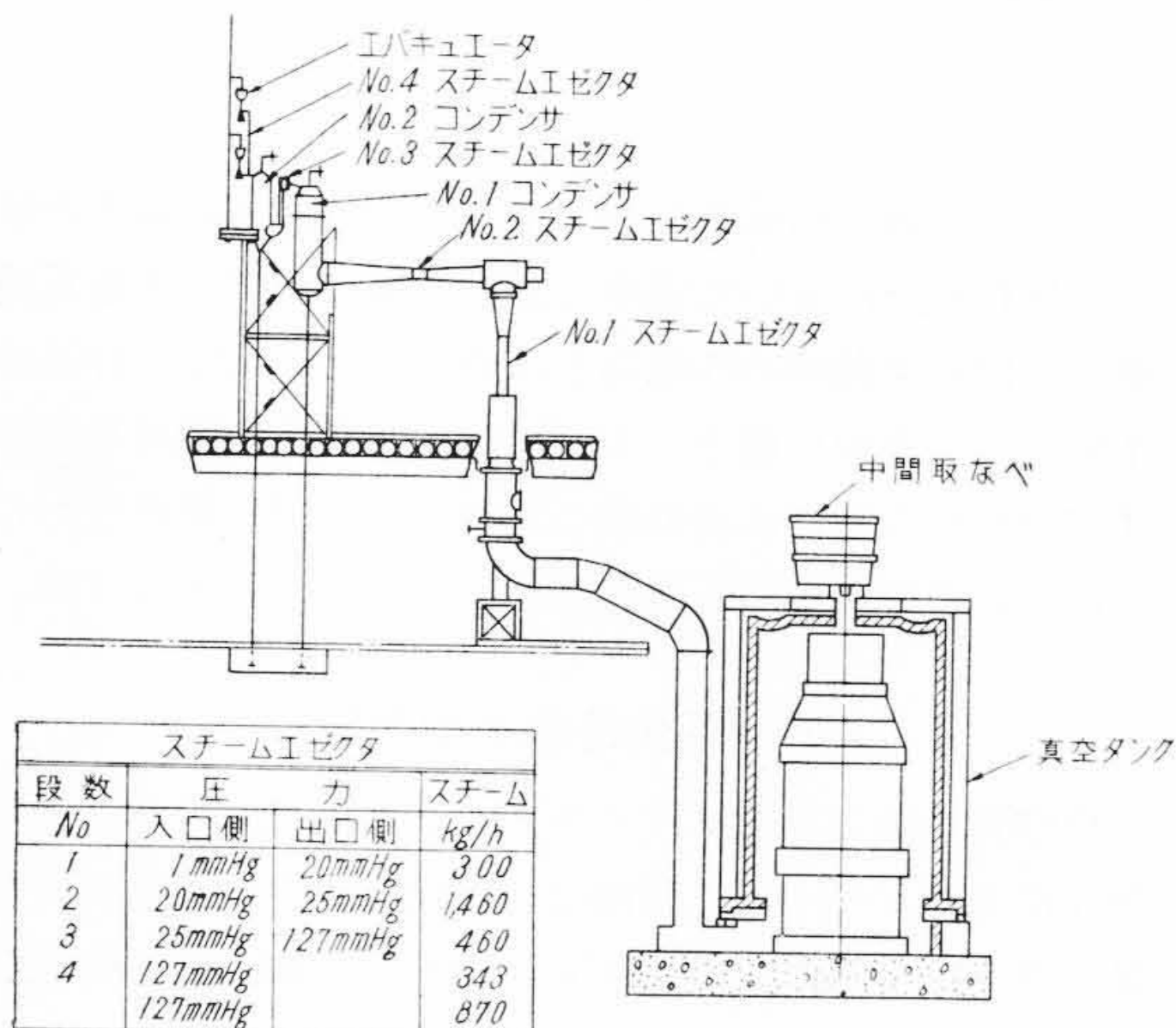
前者は西ドイツおよびアメリカで広く行われている方法であって現在真空鑄造法の主流をなすものである。後者はわが国でも小形の鑄鉄や非鉄金属に応用されたもの



第1図 普通の真空鑄造法



第3図 林田氏の方法



第2図 アメリカ U. S. Steel 社の設備概略

で、戦後ソ連で大規模に操業されていると伝えられる。

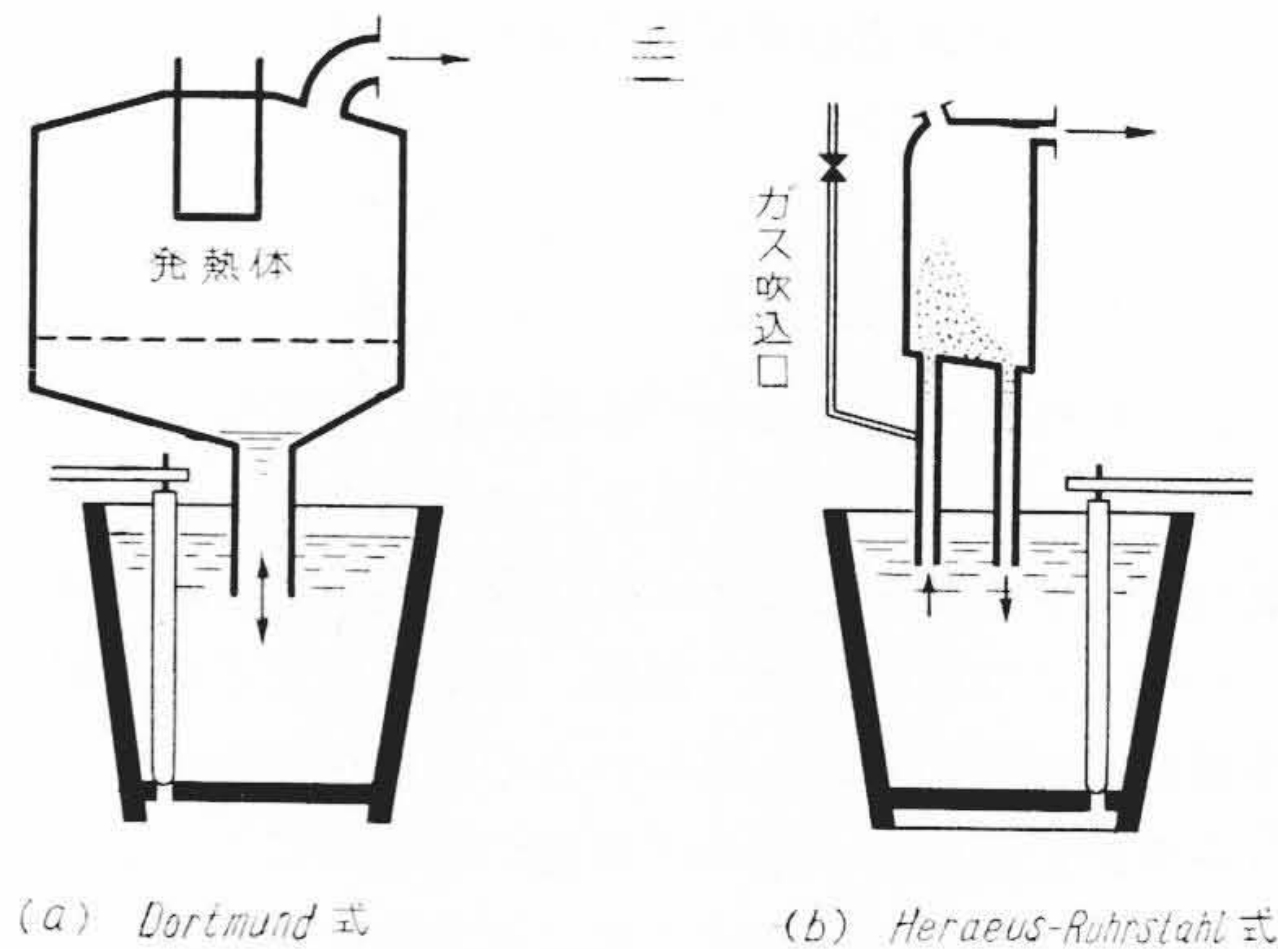
排気ポンプ系として、西ドイツでは回転ポンプ、アメリカではスチームエゼクタを採用している。アメリカ U. S. Steel 社の設備概略を第2図に示す。

回転ポンプとスチームエゼクタの優劣は一長一短があり、設備費、操業費などを考えると小形設備では回転ポンプ、大形設備ではスチームエゼクタが有利であろう。

次にこれらの真空鑄造設備の基礎的な着想として、明治38年日本特許第8709号林田氏の方法を第3図に示す。

本図において鑄込前には湯だまりと真空タンクは可熔板により密閉され真空タンクのみ排気される。湯だまりに熔鋼を鑄込めば、熔鋼は可熔板を破って真空タンク中の鑄形に鑄込まれる。鑄込中真空タンクの真空は湯だまり中の熔鋼により維持される。

林田氏の発明は当時の真空技術がこれに伴わなかったために大なる発展がなされなかったが、戦後大容量真



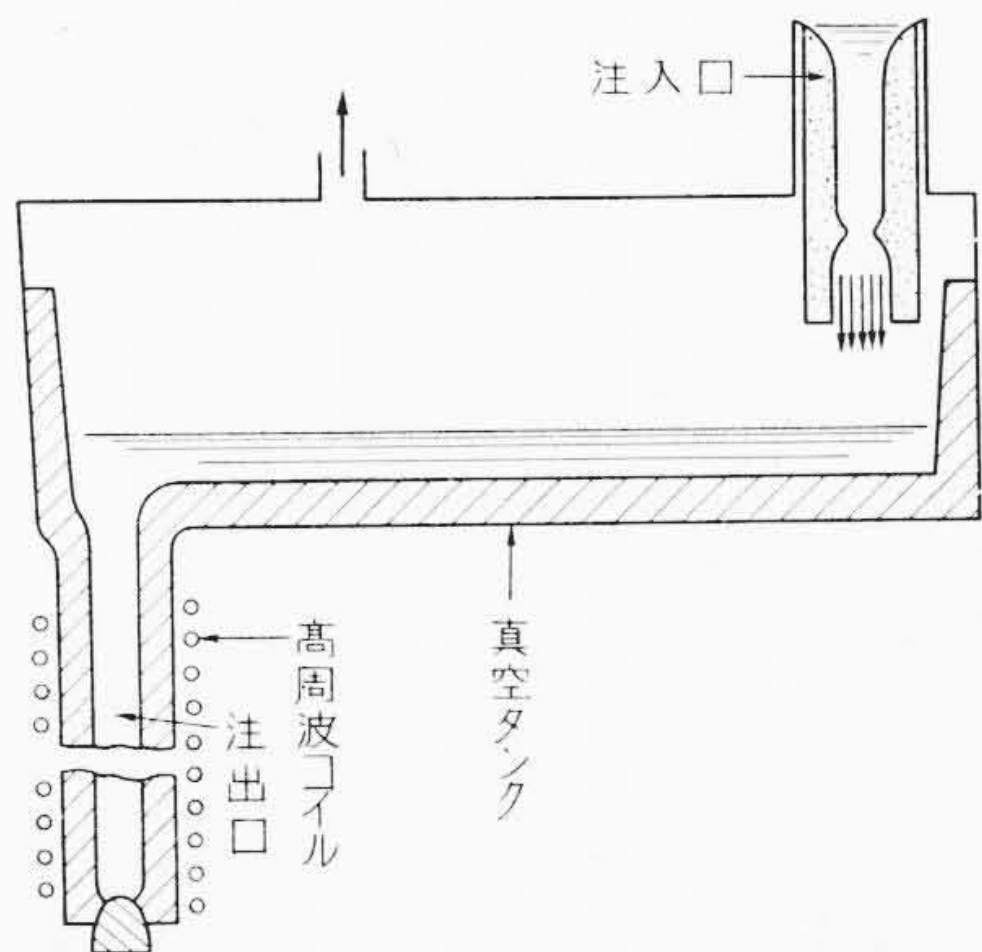
第4図 吸引脱ガス法

空ポンプの発達により、真空鑄造法の実用化が急速に発展し、現在、西ドイツでは回転ポンプにより 1~20 mmHg、アメリカではスチームエゼクタにより 0.5~1 mmHg の真空度にて操業されるに至った。

2.2 Dortmund および Heraeus-Ruhrstahl 法

この方法は、西ドイツにおいて、Bochumer Verein 法に続いて開発された方法である。熔鋼を真空中で吸引すれば約 1.5m 吸い上がり、吸入吐出を繰返し取なべ内の熔鋼を漸次脱ガスすることができる。第4図にて(a)は真空タンク内に熔鋼を吸引して、真空タンクまたは取なべのいずれかを上下動すれば、見掛上真空タンク内の熔鋼面は昇降し、吸入吐出を繰返すことができる。この方法では、処理時間が比較的に長いので真空タンク内に抵抗発熱体を入れて熔鋼の温度低下を防止している。(b)はこの改良方式であって、真空タンク下部に、吸入および吐出口を設け、吸入口中間部よりアルゴンなどの不活性ガスを吹き込んで熔鋼を循環させるもので、真空タンク、取なべは固定したまま短時間に真空脱ガスができる。

これらの方式の特長は、取なべまたは鑄型を収容する大形真空タンクを必要としないことであるが、普通20t容



第5図 科学研究所の方法

量以下の小形取なべでは処理中の温度降下が大きく不適であるといわれている。また真空タンクの内張耐火材料の熔損による砂きず発生危険とか処理後大気中で鋳型に鋳込むので、ガスの再吸収の恐れなどに問題があろう。排気系にはすべてメカニカルブースタを使用している。

2.3 その他

科学研究所（現在、理化学研究所）による特許出願公告昭31-2307号の方法を第5図に示す。真空容器注入口の気密は注入される熔湯で維持する。真空脱ガスは真空タンク中を流動する間に行われ、高周波コイルで加熱された長い注出口は、真空タンク内の熔湯がその比重に応じ自然流出するだけの適当な長さとする。また特許第223730号では第5図の注出口を短縮して、ストッパ装置を設け、真空処理後真空タンク内を常圧にもどして、ストッパを開き熔湯を流出できる構造としている。これらに類似する方法として連続鋳造法に応用した Irving W. Rozian の方法などもある。

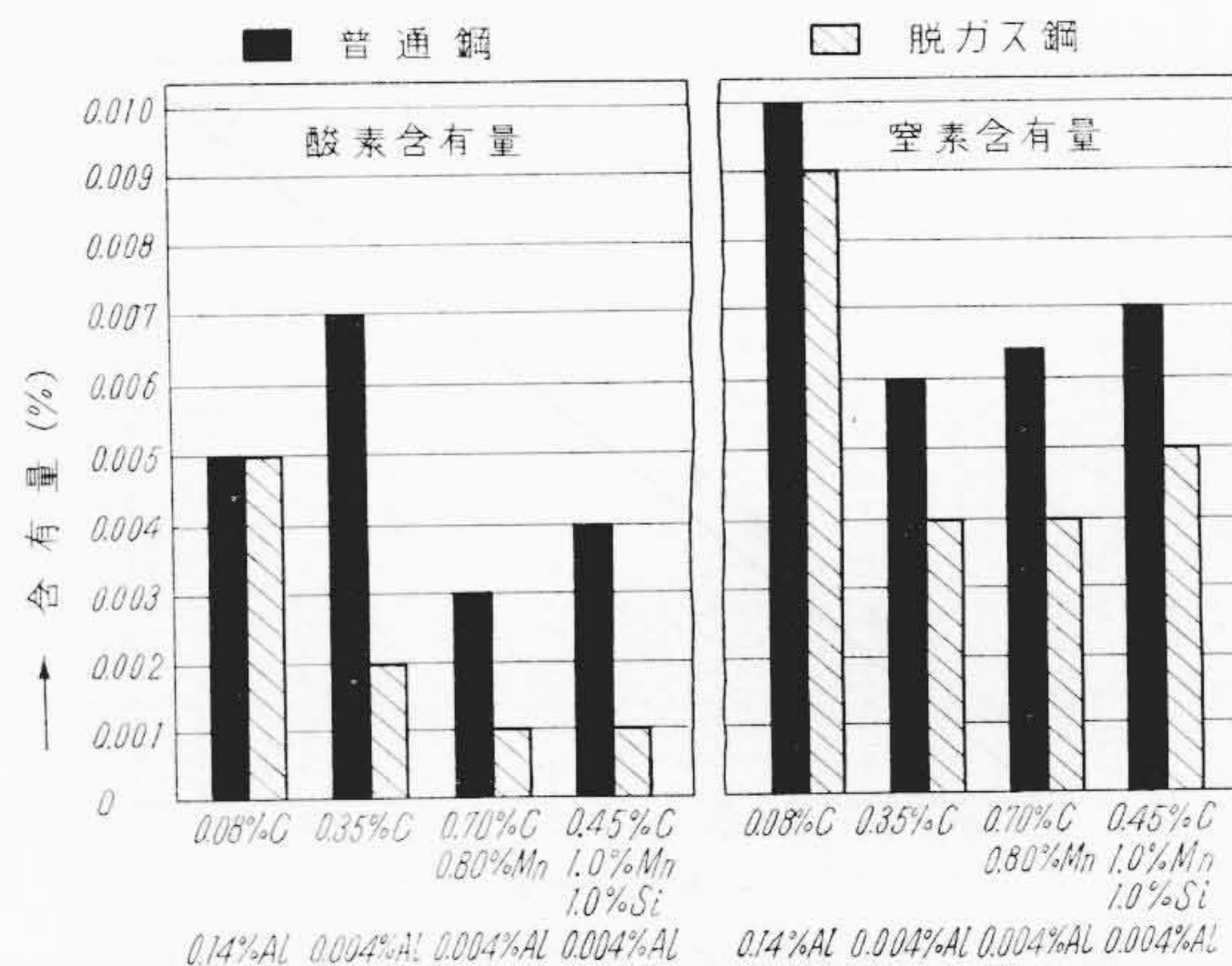
3. 熔鋼よりの放出ガス量について

真空鋳造設備を設計する基礎数値として熔鋼よりの放出ガス量を推定する。

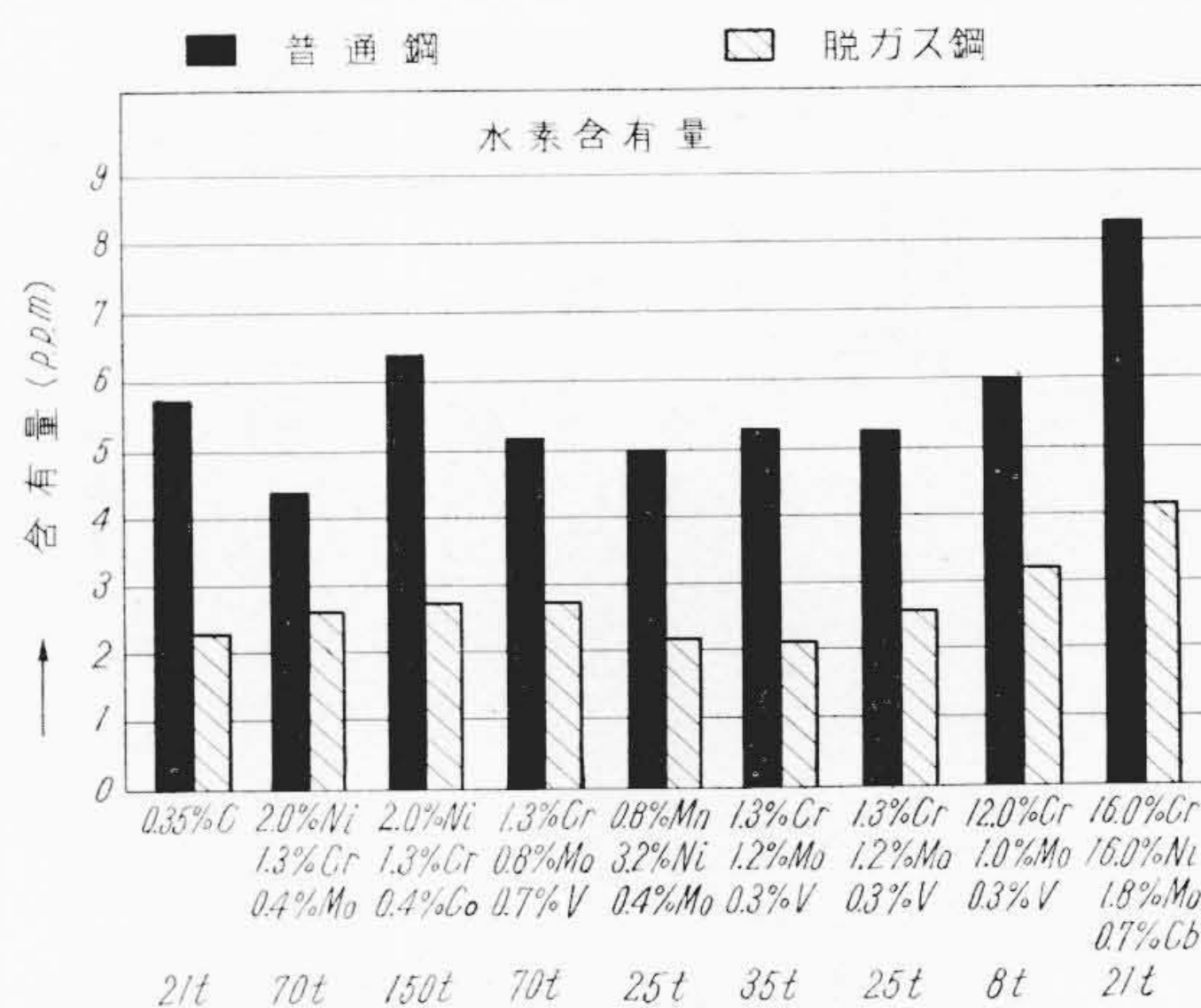
第6図および第7図は真空鋳造鋼と大気鋳造鋼のガス含有量の比較を示す。これらのデータから放出ガス量を計算すると

$$\begin{aligned} -\Delta[N] &< 30 \text{ PPM} \div 1.1 \text{ mol } N_2 \\ -\Delta[O] &< 50 \text{ PPM} \div 1.6 \text{ mol } O_2 (\div 3.2 \text{ mol } CO) \\ -\Delta[H] &< 50 \text{ PPM} \div 2.5 \text{ mol } H_2 \end{aligned}$$

したがって、標準状態では、合計 5.2 mol の窒素、酸素、水素ガスの混合気体が放出される。実際には、酸素の大部分は熔鋼中の炭素と反応して一酸化炭素となるので、窒素、一酸化炭素、水素、の混合ガスとして 6.8 mol すなわち常温常圧にて熔鋼 1 t 当たり約 0.150 m³ のガスが放出されると推定される。文献中には放出ガス量につい



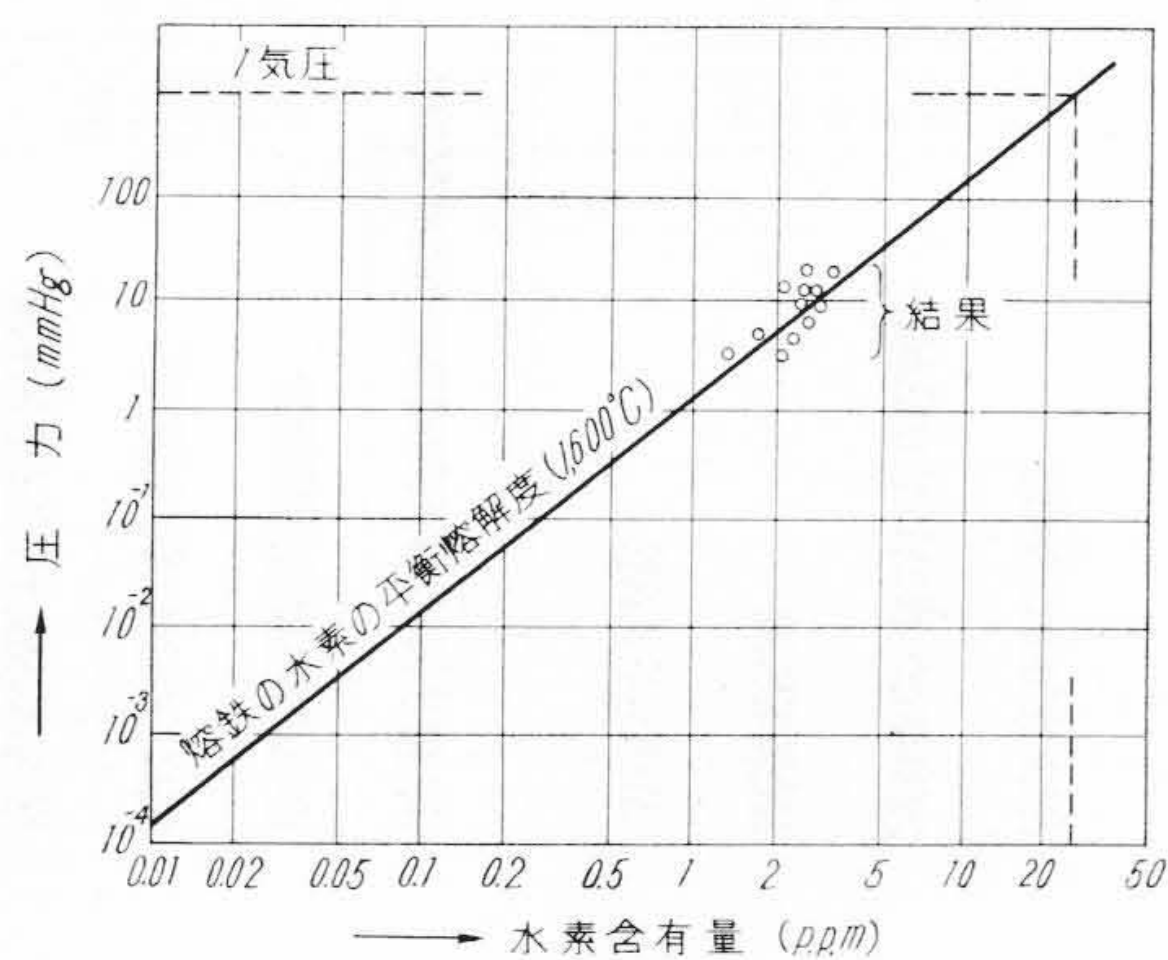
第6図 普通の鋼と真空鋳造した鋼の酸素および窒素含有量の比較



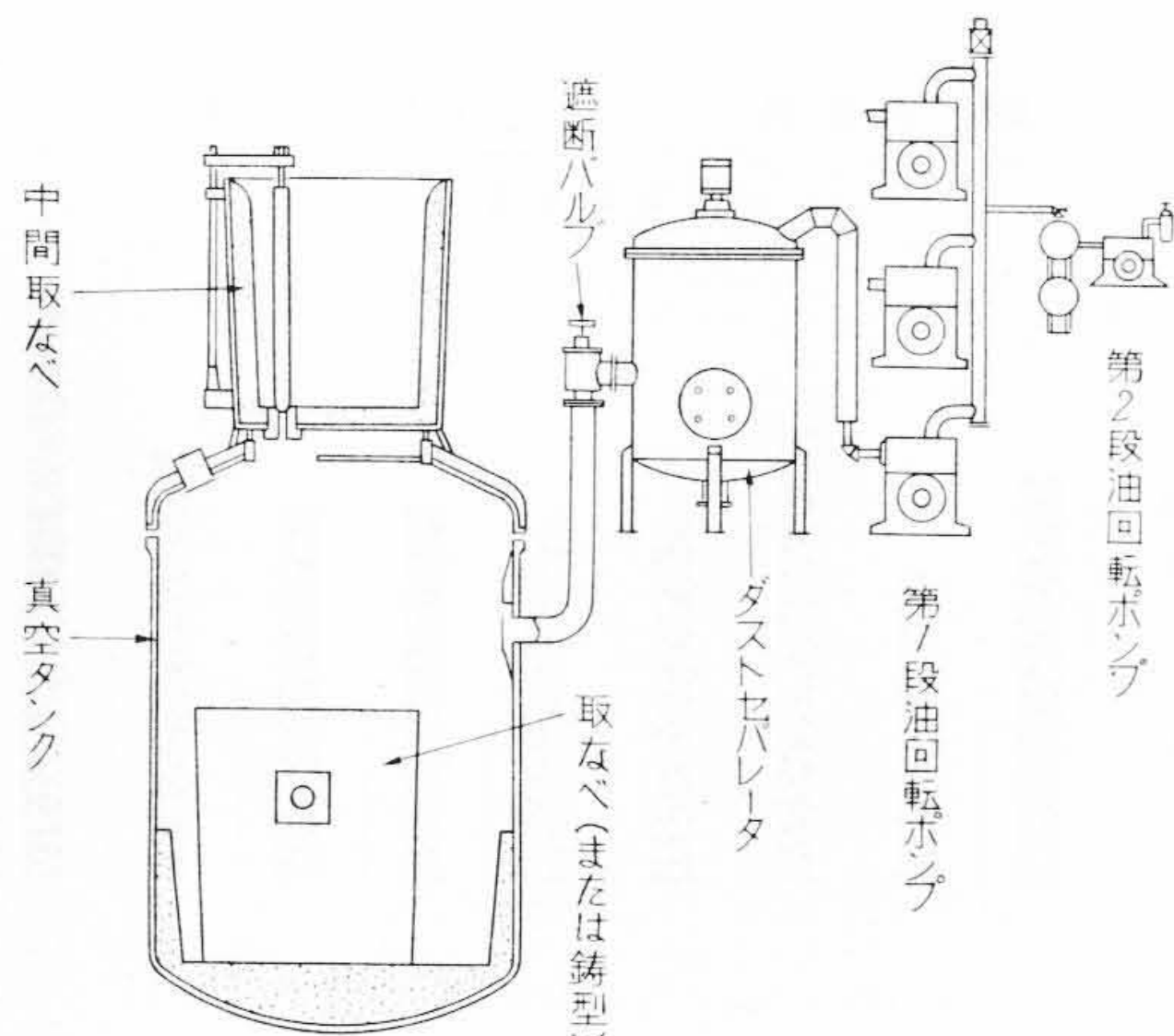
第7図 真空鋳造法による脱水素効果

て「抽出ガス量は一気圧において鋼塊容積とほぼ同一体積である。」と記載されていることとおよそ一致している。

また排気ガスの成分分析の一例では、25t Cr-Mo 鋼塊の処理により、40%CO, 3.8%CO₂, 23%H₂, 33.2%N₂, である。前記計算値の放出ガス成分では排気ガス分析値は、47%CO, 37%H₂, 16%N₂, となるべきで N₂ 量にはなはだしい差異が生ずる。この原因は、分析の誤差、外気のもれ、真空タンク内容物からの放出ガス、などであろうが、熔鋼よりの計算放出ガス量に対して常温常圧の空気約 0.060 m³ を加算すれば排気ガス分析実例とほぼ一致する。したがって、真空ポンプの容量を決定する基礎数値としては、熔鋼 1 t 当たり 0.150 m³ + 0.060 m³ = 0.200 m³ に見積ればよいと考える。もちろん、上記計算の 0.060 m³ の空気が熔鋼の鋳込速度と比例的に増減するかどうかは不明であり、これをたとえば外気のもれと考えれば、真空タンク的设计製作に注意を払えばほとんど無視でき



第8図 Bochumer Verein 社の操作圧力と水素含有量の関係

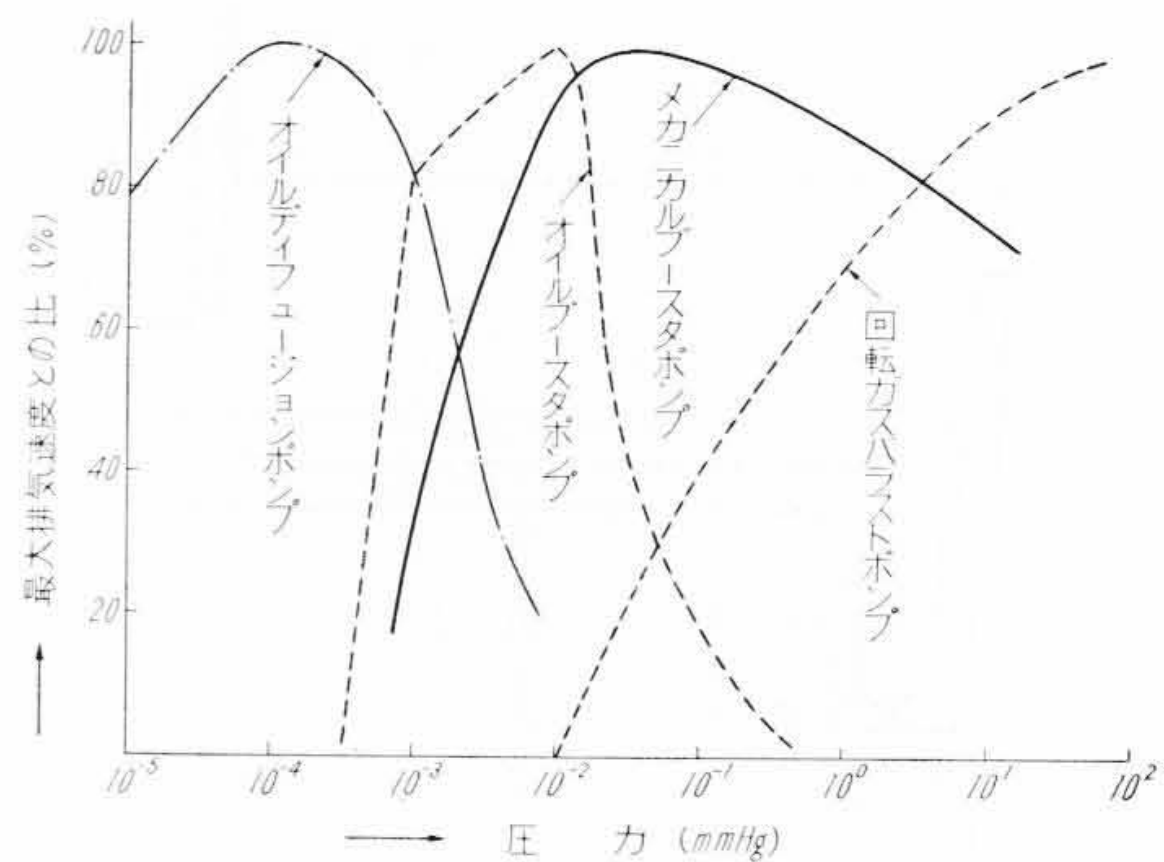


第9図 B. V. 社の真空鑄造概略配置図

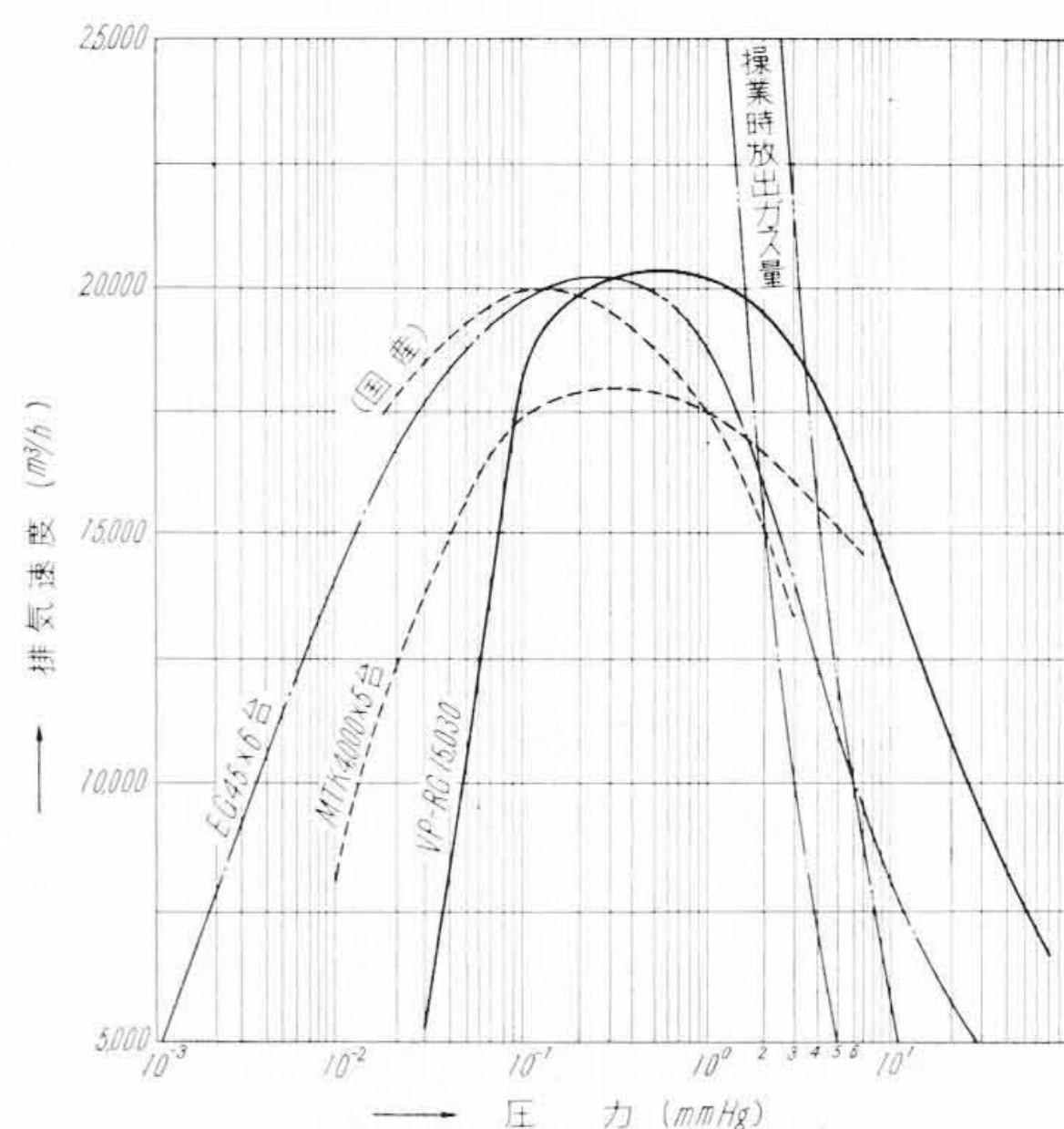
る程度となるはずである。また Bochumer Verein のデータでは、処理する熔鋼は鎮静鋼であって、真空処理前に十分脱酸された状態にある。したがって半鎮静鋼または非鎮静鋼を真空処理する場合は、熔鋼よりの放出ガス量はさらに増加するものと考えられる。

文献の真空鑄造操作圧力を第8図に示すが、最大処理圧力は 20 mmHg、この場合の鑄込速度は 10t/min といわれる。この設備の真空排気能力は、5,000 m³/h といわれているが、ポンプ系は Leybold 社製油回転ポンプ S-600 (排気量 600 m³/h) の 8 台並列運転となっている。第9図は Leybold 社のカタログによる真空鑄造概略配置図を示すもので、真空タンク、ダストセパレータ、ガスバラスト油回転ポンプの並列運転などの様子がわかる。第1表は各種容量の真空鑄造排気系の能力を示すもので、文献データは Streamdrop degassing 5~50 t 用 4,800 m³/h の排気系によるものと考えられる。

実際の鑄造作業では、配管の抵抗およびポンプの効率低下により有効排気速度は 4,000 m³/h 程度に減少する



第10図 各種真空ポンプの性能比較



第11図 各種メカカルブースタの性能比較

ものと想像されるが、以上の数値から放出ガス量(常温常圧)を推定すると、

$$(\text{放出ガス量}) \times \frac{760}{20} \times 10 \times 60 = 4,000 \sim 4,800$$

$$\text{放出ガス量} = 0.176 \sim 0.210 \text{ m}^3/\text{t}$$

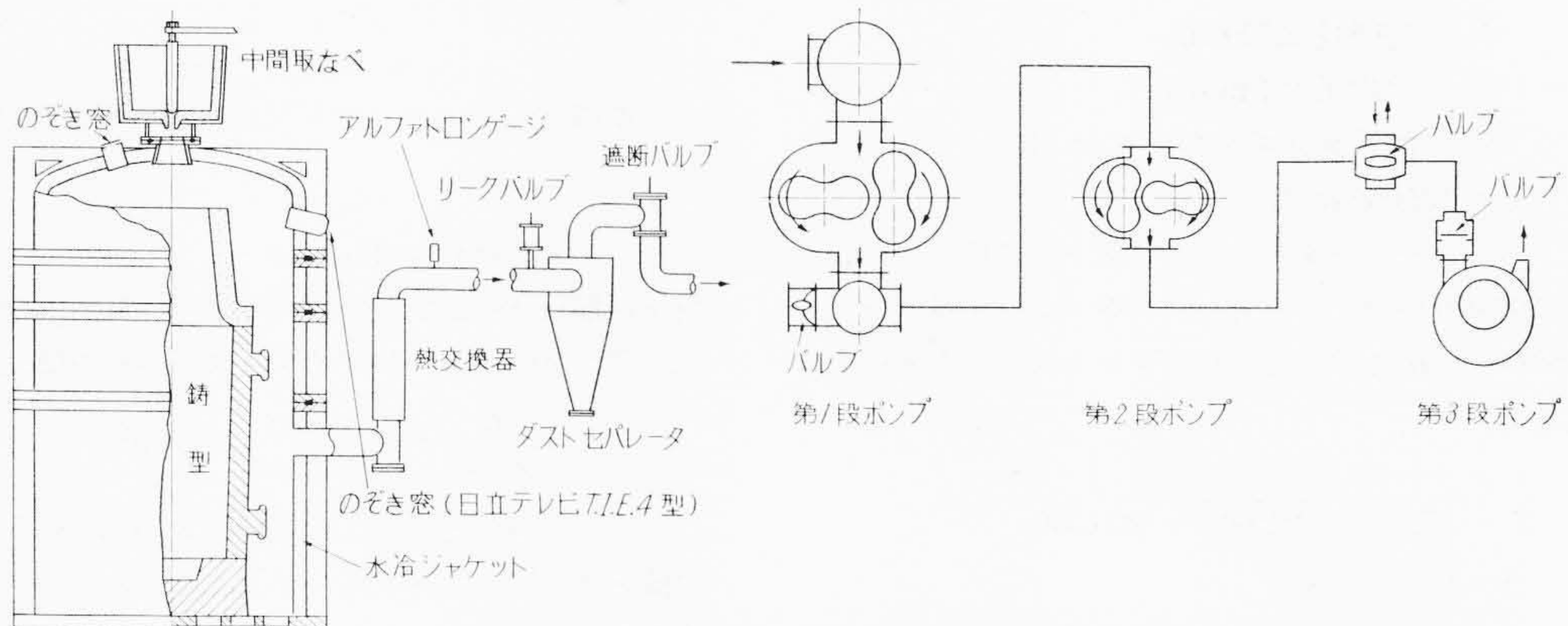
したがって設計値としては、やはり 0.200 m³/t (常温常圧) のガスが 1 t の熔鋼から放出されるとして妥当であろう。

Dortmund 法では、熔鋼の放出ガス量は 0.300 m³/t であり排気ガス分析値は、80%CO, 15%H₂, 5%N₂, といわれている。この方法では処理熔鋼が不完全鎮静鋼の状態処理され、強制脱酸剤は真空処理中に添加されるため、放出ガスも酸素が多く、したがって排気ガス分析値では一酸化炭素量が多いのである。

Pfeiffer 社 "Millitor" High Vacuum Pump カタログによれば、熔鋼よりの放出ガス量を 0.2 m³/t とし操作圧 1 mmHg、熔鋼鑄込速度 0.2 t/m では 1,800 m³/h の排気量をもつポンプが必要と述べている。

第 1 表 各種容量の真空鋳造設備排気系

	Ladle degassing		Stream drop degassing		Vacuum ingot casting				
取 な べ 形 式	—		STG,STZ		" "				
真 空 タ ン ク									
容 量 t	1~8	5~50	5~50	10~100	1~8	5~50	40~150		
高 さ m	3	5	5	7	3	3	7		
直 径 m	2.5	4	4	4.5	2.5	4	4.5		
ボ ン プ 系									
メ イ ン ボ ン プ (ガ ス バ ラ ス ト)	3×S600	8×S600	6×S600	8×S600	10×S600	3×S600	4×S600	4×S600	6×S600
容 量 m³/h	1,800	4,800	3,600	4,800	6,000	1,800	2,400	2,400	3,600
前 段 ボ ン プ (ガ ス バ ラ ス ト)	S150	S600	S300	S600	S600	S150	S300	S300	S300
容 量 m³/h	150	600	300	600	600	150	300	300	300



第 12 図 日立製作所水戸工場の真空鋳造設備概略

Heraeus 社 “Roots Pump in Vacuum Metallurgical Technology” カタログでは、平均ガス含有量 0.200 m³/t と仮定している。

4. 真空ポンプの選定

真空ポンプの排気速度は、今熔鋼の最大鋳込速度 10 t/m、放出ガス量 0.200 m³/t、最大操作圧力 10 mmHg、とすれば、 $0.2 \times \frac{760}{10} \times 10 \times 60 \div 9,120 \text{ m}^3/\text{h}$

そこで、若干の余裕および各種損失を考慮すれば、約 12,000 m³/h の排気能力を必要とする。

第 10 図は各種真空ポンプの性能を比較したもので、真空鋳造用途としてはメカニカルブースタが好適のものである。第 11 図は各種メカニカルブースタの性能を示すもので、われわれの設備では、高圧となっても排気速度の低下がきわめて少なく、かつ大容量の 3 段 1 系列である Heraeus 社の VPRG-15030 真空ポンプを採用することにした。

5. 真空鋳造設備

日立製作所水戸工場における真空鋳造設備の構成は、第 12 図に示すように、鋳型または取なべを収容する真空タンク、真空タンクに熔鋼を流し込むための中間取なべ、

配管を兼ねた熱交換器、ダストセパレータ、真空ポンプ系、各種真空バルブおよび真空度測定装置などよりなる。

5.1 真空タンク

真空タンクの大きさは内径約 4,000 mm、高さ約 7,000 mm、鋳込寸法に応じて高さを調節できるよう四分割とし、真空タンク容積は 70~80 m³ である。真空タンクの構造は図に示すように二重水冷ジャケット方式とし、外圧容器として、補強のない場合に胴板はつぶれ圧力 7 kg/cm²、鏡板は最大使用圧力 3 kg/cm² として設計し、さらに中間取なべの荷重約 30 t にたえるよう周辺 24 箇所に補強が入っている。

水冷ジャケットの水量は鋳込末期の鋳型内熔鋼裸面の輻射熱量が約 $1.4 \times 10^5 \text{ kcal/h}$ であり、鏡板部の所要冷却水は温度上昇 20°C として約 7 t/h の水量を必要とする。また鋳込後、鏡板を除去して大気中で鋳型を放冷する場合、鋳型の輻射熱量 $8.4 \times 10^5 \text{ kcal/h}$ 伝導熱量 $7.1 \times 10^2 \text{ kcal/h}$ 、対流熱量 $9 \times 10^3 \text{ kcal/h}$ 、冷却水の温度上昇 20°C として 43 t/h、したがって、およそ 50 t/h の冷却水が必要である。

真空タンク鏡板部には直径 150 mm の石英のぞき窓 3 個を取り付け工業テレビ(日立製作所製 TIE-4 型)により内部を観察できるようにした。また添加材料投入窓を

設け、必要に応じて各種材料を真空タンク内に投入できる構造とした。

5.2 真空配管系

5.2.1 真 空 配 管

真空配管は、300 mmφ ガス管、全長約 16 m である。この配管系による真空ポンプの排気能力の低下を概算すれば、いま途中の屈曲、真空バルブなどの抵抗を考慮して配管長 25 m として計算すれば、真空鑄造の操作圧力範囲では、粘性流域であるので、

$$C = 0.1798 \frac{D^4}{L} P$$

D : 配管径 30 cm

L : 配管長 2,500 cm

P : 平均圧力 1 mmHg

C : 配管コンダクタンス (m^3/h)

$$C = 212,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

またダストセパレータのコンダクタンスは明確でないが約 200,000 m^3/h と仮定し、真空ポンプの排気能力を 15,000 m^3/h とすれば、真空タンク入口の有効排気能力 S は、

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{15,000} + \frac{1}{212,000} + \frac{1}{200,000}$$

$$S = 13,100 \text{ m}^3/\text{h}$$

したがって、有効排気能力は 87% に低下することとなる。

5.2.2 熱 交 換 器

放出ガスの温度や熱交換器の吸収熱量について、概略の考察をすれば次のようになる。熔鋼温度を 1,600°C としてまず操作圧 10 mmHg とすれば常温常圧下で 0.200 m^3/t の放出ガス量は 76 倍に急膨脹する。これらのガスが断熱膨脹するとすれば、放出ガスの温度 T は、

$$T = 1,873 \left(\frac{1}{76} \right)^{k-1}$$

$$k = \frac{C_P}{C_V} = 1.4$$

$$T = 332 \text{ K} \approx 60^\circ\text{C}$$

となり、特殊の冷却設備は必要としないであろう。

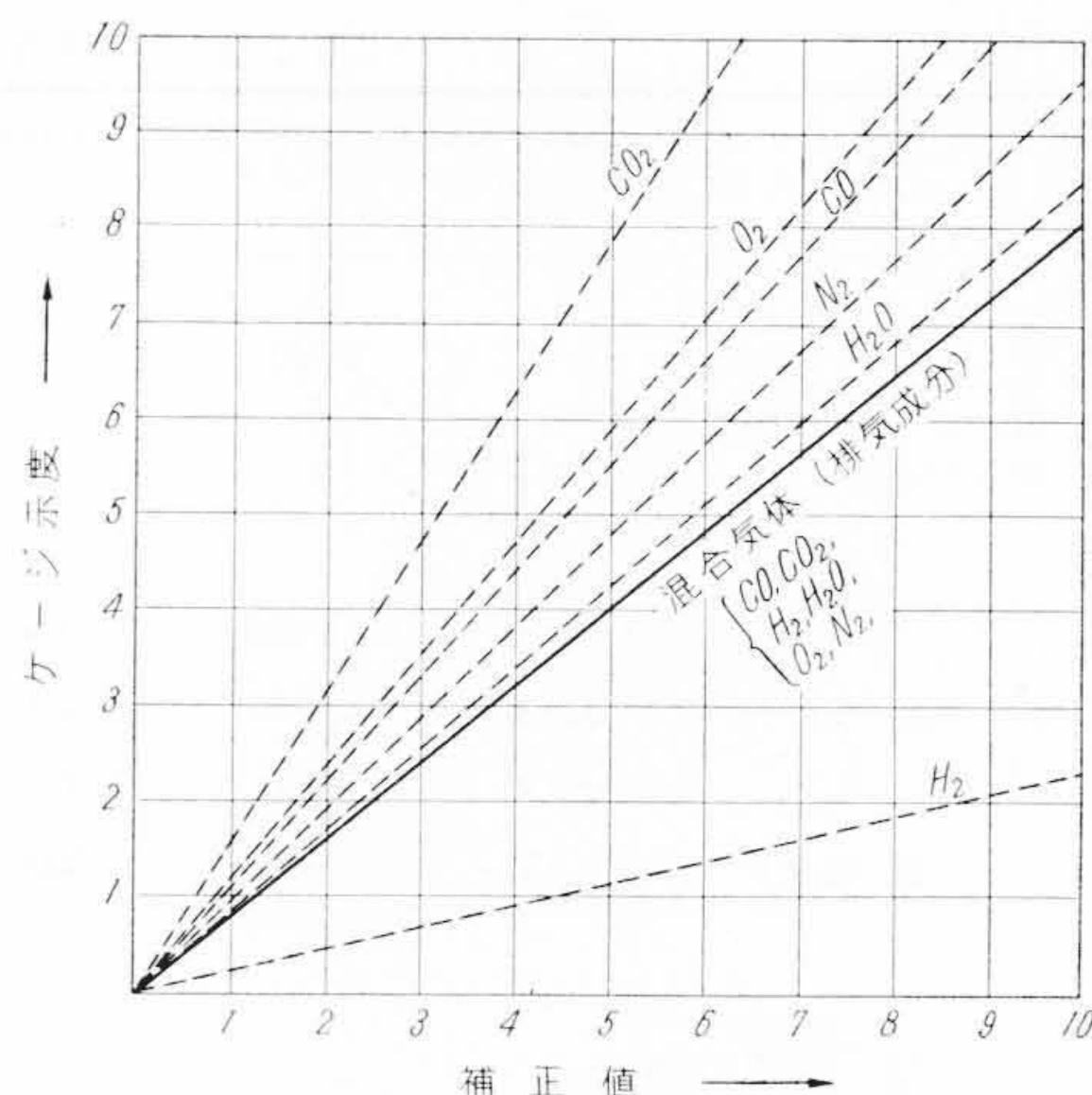
次に、特殊の条件（たとえば真空タンク内に取なべを収容して鑄込む場合）で、操作圧力が 100 mmHg 前後となる場合には、同様の計算で

$$T = 830 \text{ K} = 557^\circ\text{C}$$

となり、なんらかの冷却器を必要とするであろう。

そこで、熔鋼鑄込速度を 10 t/m、放出ガス量 0.2 m^3/t とし、空気の比熱を 8.7 kcal/kmol、冷却後のガス温度を 50°C とすれば、冷却すべき熱量 Q は、

$$Q = 60 \times \frac{10 \times 0.2}{22.4} \times 8.7 \times (557 - 50)$$



第 13 図 アルファトロン真空計の補正曲線

$$= 23,600 \text{ kcal/h}$$

空気と銅板壁の熱伝達係数 (h) を 1.6 kcal/ $\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、空気と壁の温度差を 540°C とすれば、冷却面積は、

$$A = \frac{Q}{h \cdot \Delta t} = \frac{23,600}{1.6 \times 540} \approx 27 \text{ m}^2$$

したがって、熱交換器は、冷却面積 26.6 m^2 重量 700 kg の積層ガス管を配管中につり下げることとし、また外筒を水冷ジャケットとした。

5.2.3 ダストセパレータ

真空鑄造用のダストセパレータとしては、バグフィルター、オイルダストセパレータ、サイクロンダストセパレータなどの方式が考えられるが、大形真空鑄造用としては、それぞれ一長一短があり、本設備に採用したサイクロン方式も決して完全なものではないが、この方式はすでに Dortmund 法において採用されており、本設備に採用したサイクロン寸法により推定すると、常温常圧の空気が約 8 m/s の速度で流入し、ダストの真密度が 1~5 g/cc 程度であれば、分離限界粒子径は 8~2 μ であり、この程度のダストならばメカニカルブースタのクリアランスを流通して排出できるものと考えた。

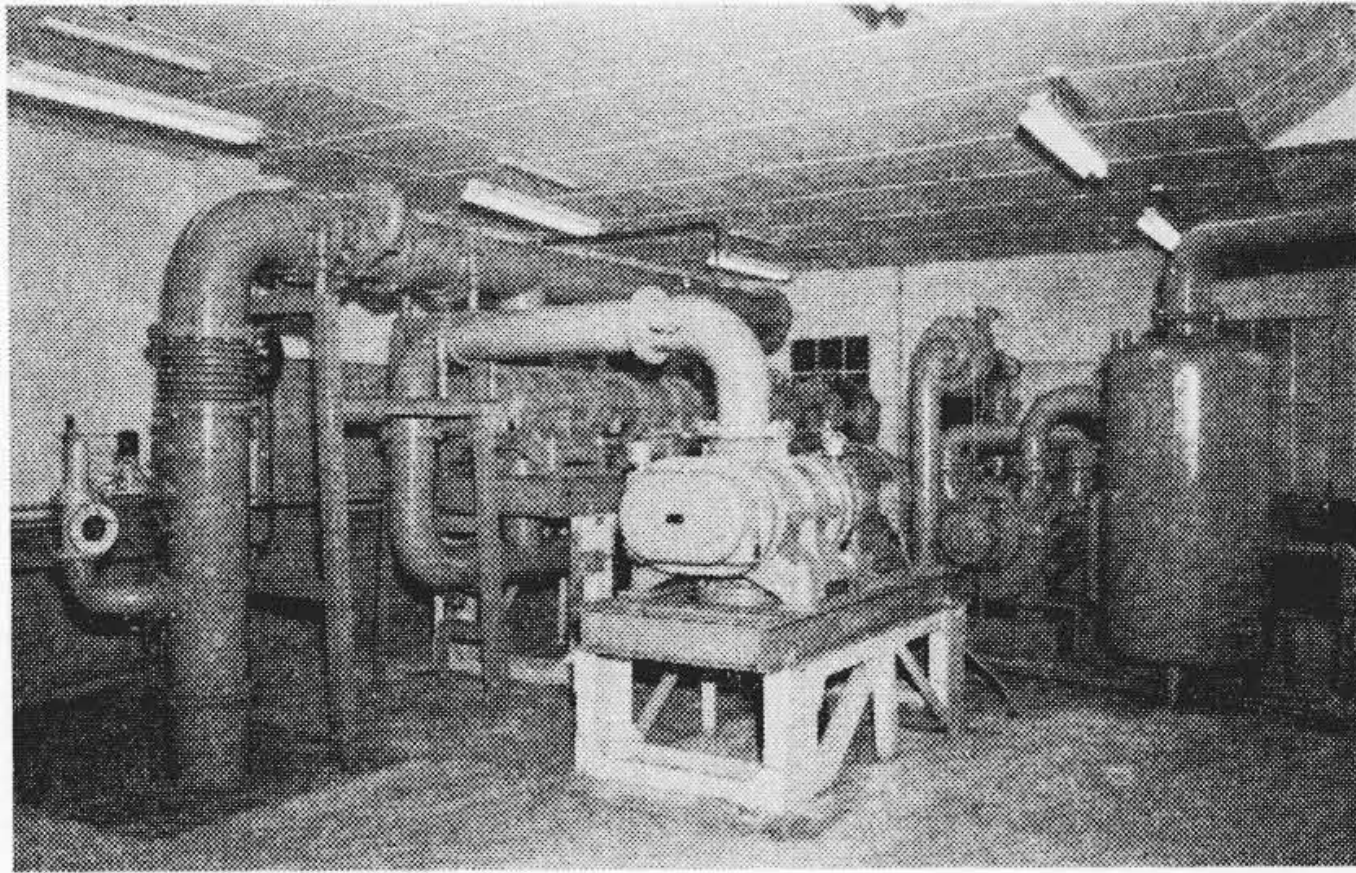
5.3 真 空 計

真空鑄造の操作圧力ではアルファトロン真空計がもっとも便利である。本設備では真空タンクの真空度をアルファトロン真空計、真空ポンプの吸入口を Heraeus 製ダイヤフラムゲージで測定する。

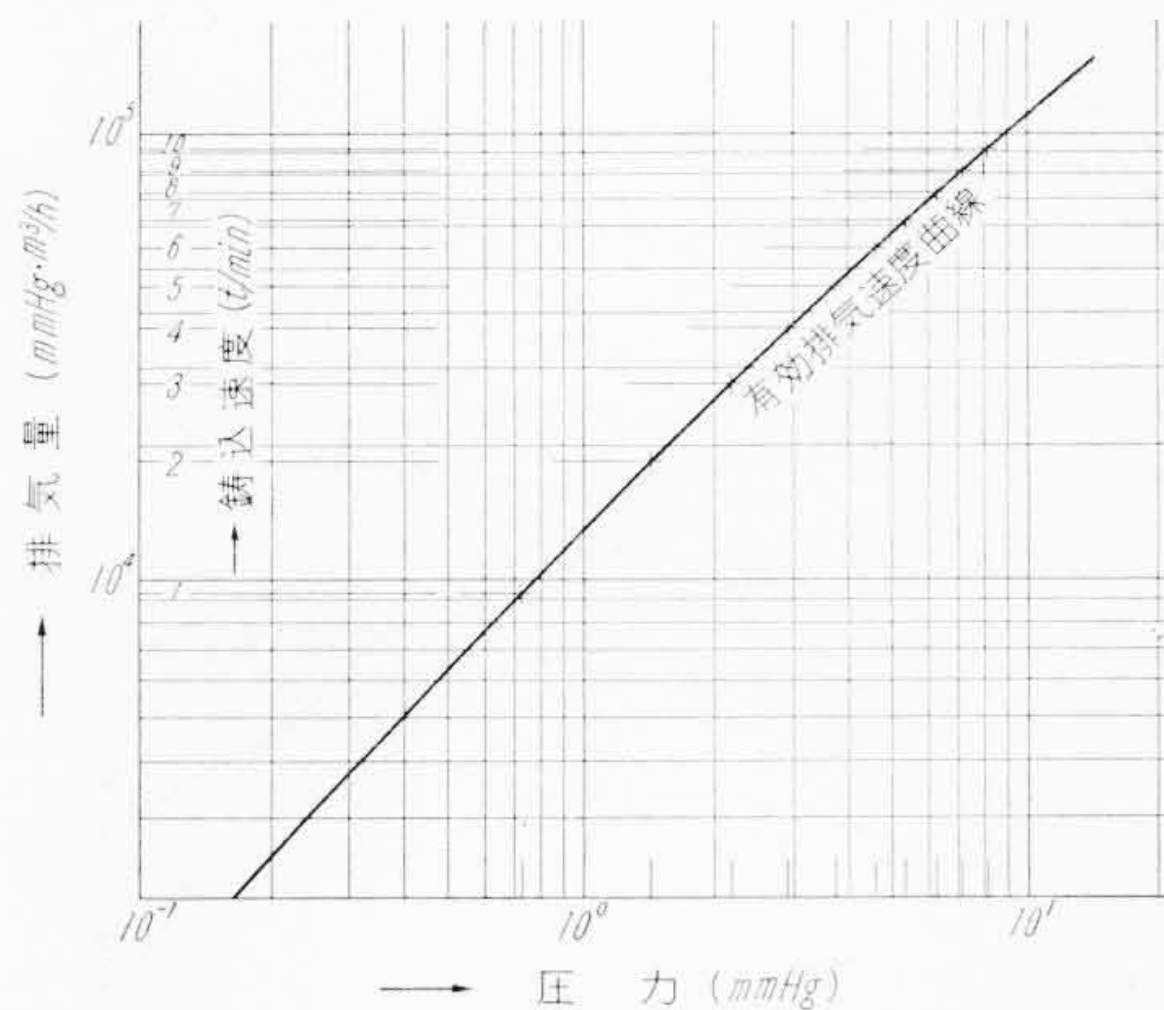
アルファトロンはアメリカ NRC 製、記録計は Honeywell 製である。第 13 図にアルファトロン真空計の各種気体に対する補正曲線を示す。

5.4 真空ポンプ

第 1 段および第 2 段メカニカルブースタポンプはい



第14図 真空ポンプ外観



第15図 有効排気速度曲線

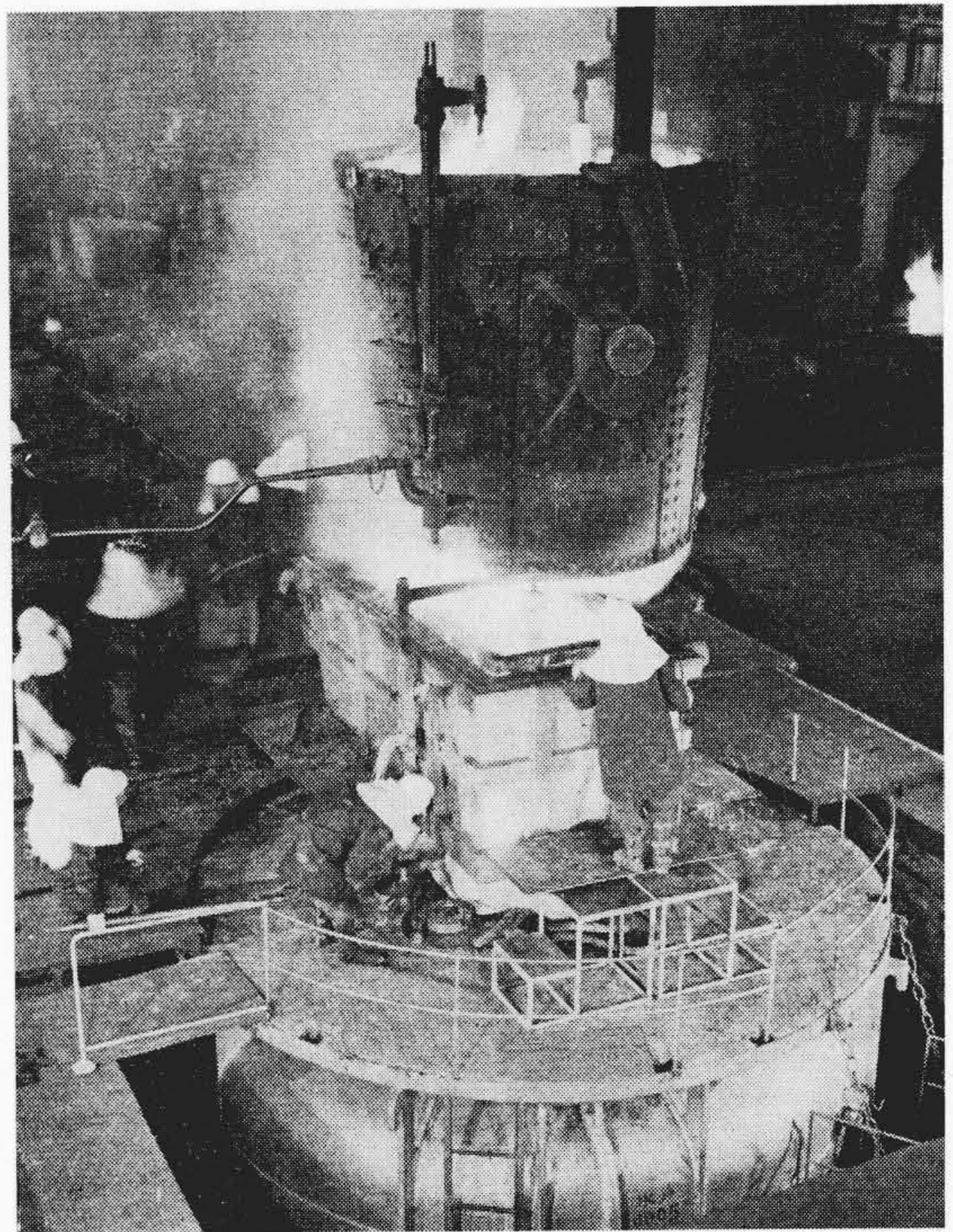
わゆるルーツブロワを真空用途に応用したものであって、第12図に示すように8字形のロータ2個が相互に逆回転して排気する。第1段メカニカルブースタはトルクコンバータを経て電動機と連結し、大気圧から運転できる。第2段メカニカルブースタは、圧力スイッチにより自動運転される。第3段ポンプはウォーターリングポンプである。付属装置としては、第1、2段間の過圧をさける過圧バルブ、および運転停止時に第3段ポンプの流体の逆流を防止する迅速圧縮空気動バルブ、および背圧バルブがある。

各メカニカルブースタは排気効率をあげるため高圧排気側はすべて水冷されている。第14図に本真空ポンプ系の外観を示す。

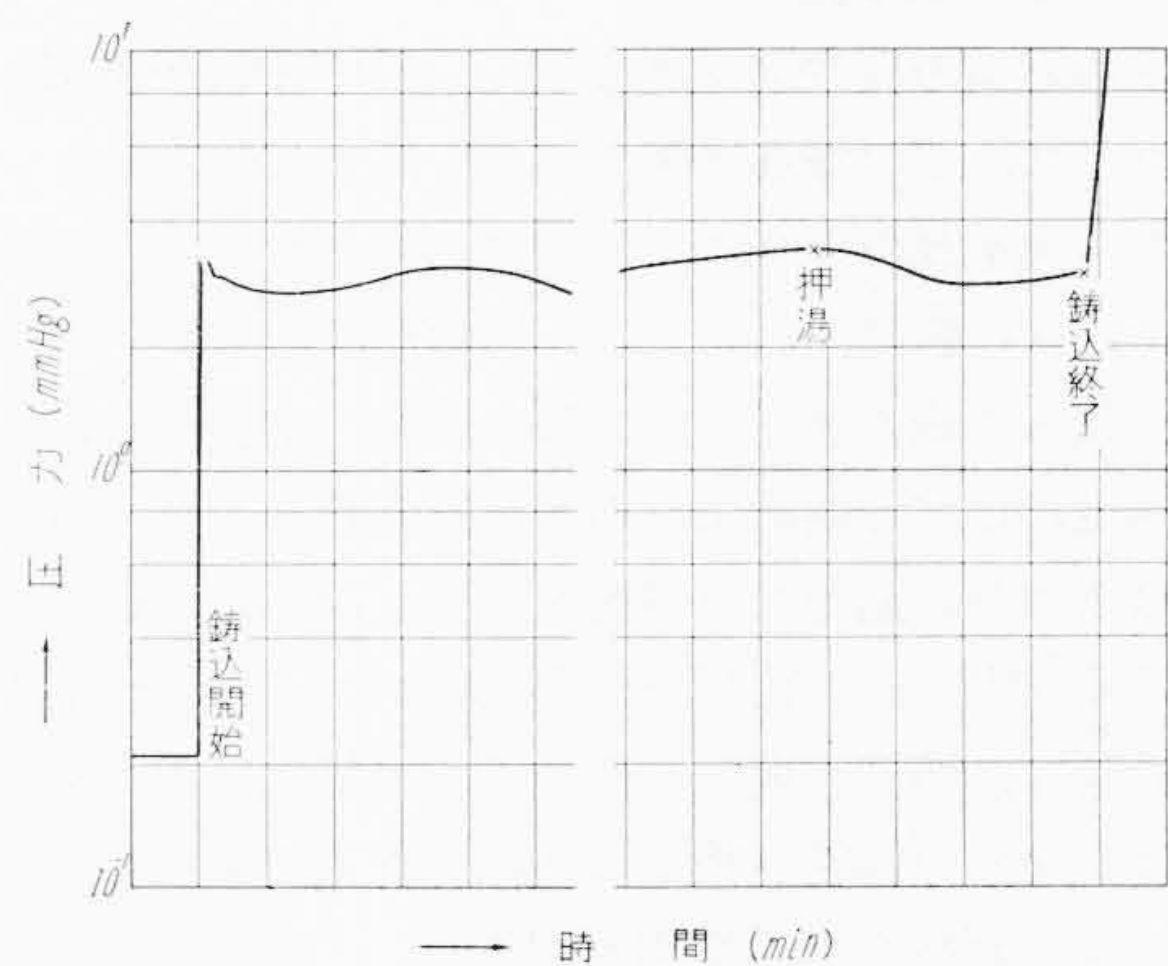
配電系統は相互にインターロックされ、断水、停電時には真空ポンプ系は自動的に停止する。またメカニカルブースタの回転数警報ブザーがあり過速をさけるよう考慮されている。したがって、本ポンプの運転は、作業員一名にて十分であり特別の熟練を要しない。

6. 真空鋳造設備の総合

総合的に、有効排気速度曲線を第15図に示す。また



第16図 真空鋳造作業



第17図 真空鋳造作業中の圧力変化

同図において縦軸の排気量を熔鋼1t当り放出ガス量0.200 m³として熔鋼鋳込速度に換算した尺度を縦軸に併記した。

この図表からみれば、たとえば鋳込速度2 t/minならば、操作圧力1.4 mmHg、鋳込速度4 t/minならば、操作圧力2.9 mmHg、となるであろう。

7. 試験鋳込結果について

真空鋳造法において、ノズルより真空タンクに流入する熔鋼は70~90度の飛散角度で分散滴下する。第16図

第2表 排気ガス分析例

鑄造経過時間 (min)	排気ガス分析値 (%)					
	H ₂ O	H ₂	CO	CO ₂	O ₂	N ₂
0	22.6	t _r	3.3	t _r	16.5	57.6
5	5.0	39.2	45.3	1.2	1.2	8.1
10	4.5	32.8	48.5	t _r	4.8	9.4
20	4.0	22.9	56.6	0.8	3.7	12.0

鋼種、普通鋼 寸法 60 t 鋼塊

第3表 真空鑄造によるガス量低下の代表例

鋼種	鋼塊寸法 (t)	真空処理前後の熔鋼ガス含有量 (p.p.m)					
		処理前			処理後		
		N	O	H	N	O	H
炭素鋼	50	78	91	3.9	64	34	1.4
低炭素クローム、モリブデン鋼	20	87	105	6.5	91	48	2.1
高炭素クローム、モリブデン鋼	10	64	93	6.1	58	45	1.5
クローム、モリブデン、バナジウム鋼	10	81	50	3.8	86	42	1.3
ニッケル、モリブデン、バナジウム鋼	70	58	82	3.6	55	49	1.2
ニッケル、クローム、モリブデン鋼	10	73	75	3.3	65	52	1.8

は真空鑄造作業中の様子を示すもので、代表的な真空鑄造作業記録を第17図に示す。

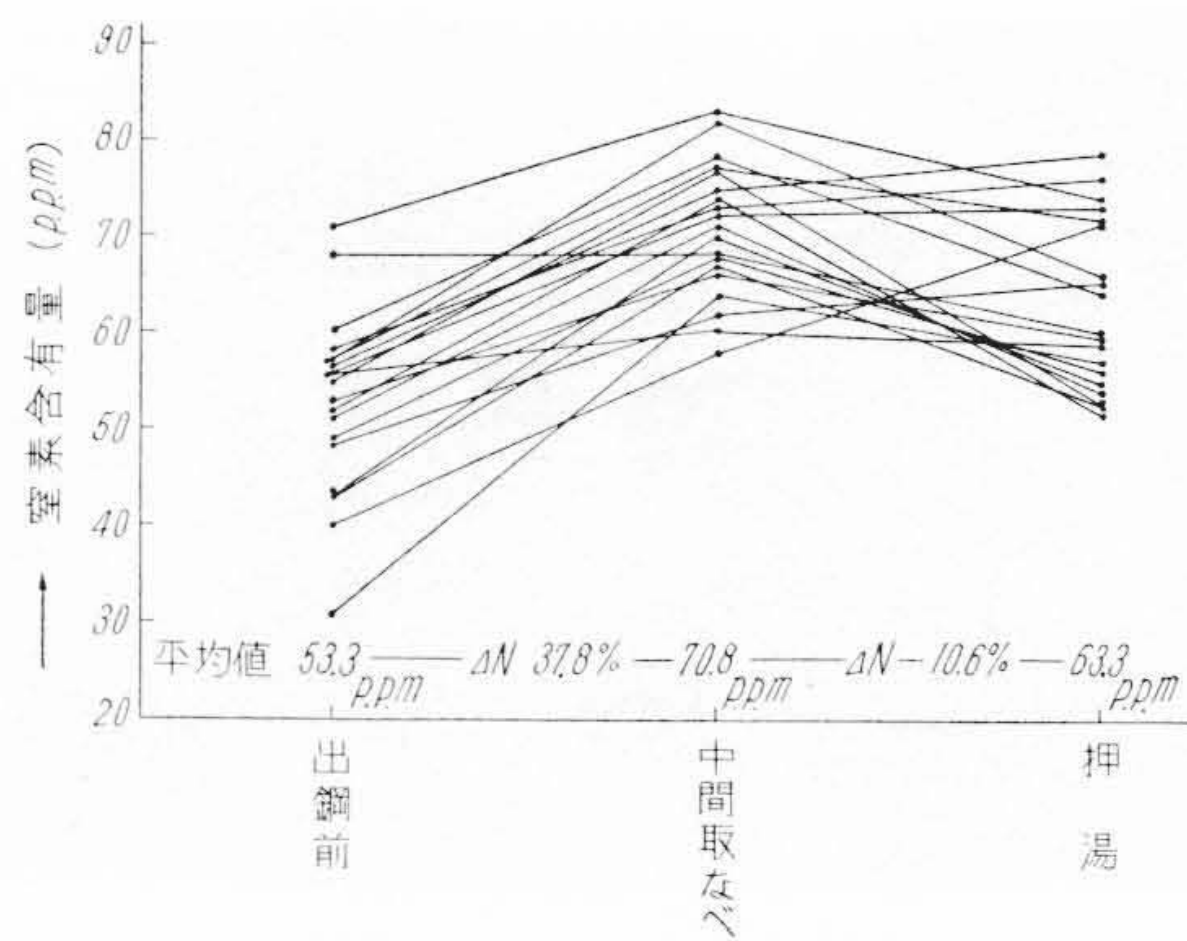
熔鋼鑄造前の真空タンクは、およそ0.2~0.5 mmHgまで排気され、この際真空タンクのもれまたは真空タンク内容物の異常放出ガスによる圧力上昇の有無などの予備点検を行う。鑄込開始により、熔鋼が真空タンクのシール板を破って流入すると、急激に圧力が上昇し、以後は鑄込速度に応ずる熔鋼よりの放出ガス量と、真空ポンプ排気量により、適当な真空度を維持しながら鑄込作業が進行する。押湯わく、鑄型または真空タンクの乾燥不十分の場合には、鑄込の進行に伴って、次第に圧力が上昇することがある。鑄込み終了と同時に外気をもらして、大気圧に復し真空タンクを開放する。

鑄込作業中の熔鋼の鑄込状況および鑄込量の監視は、石英のぞき窓より肉眼および工業テレビにより行う。全般の作業指示は無線拡声器により伝達される。作業中の真空度、真空ポンプの運転、冷却水の通水、真空バルブの開閉、外気漏えい、などはすべて鑄込作業場の標示盤に指示される。

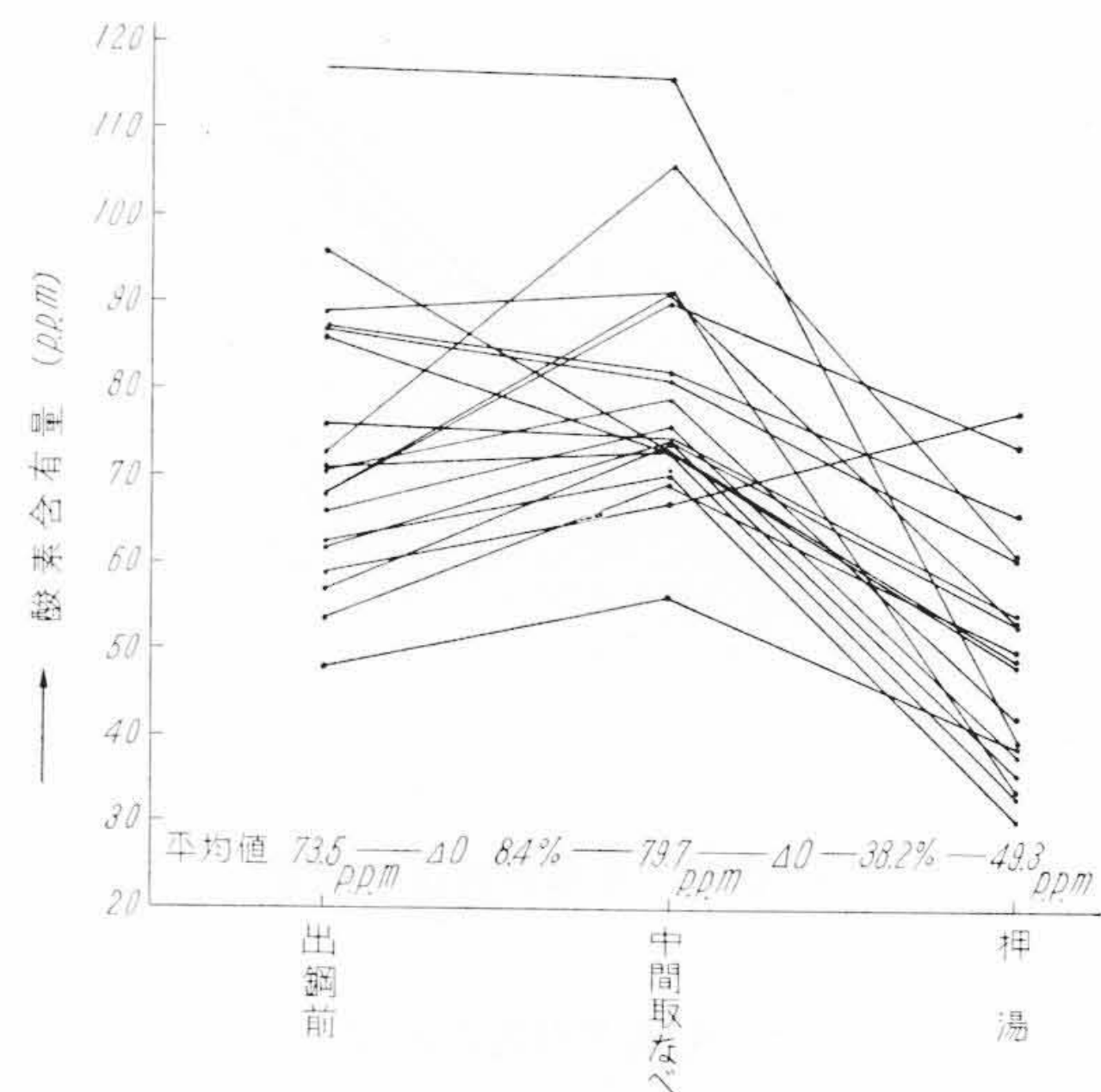
7.1 排気ガス分析および発生ダストについて

排気ガス試料は、第1段ポンプの高圧および低圧側の圧力差を利用して乾式採取を行い、鉄鋼ガス分析装置により分析を行った。第2表に一例を示す。

真空鑄造中の発生ダストは、主として熱交換器とダストセパレータに沈積する。分析値の一例としては、SiO₂



第18図 窒素含有量の変化



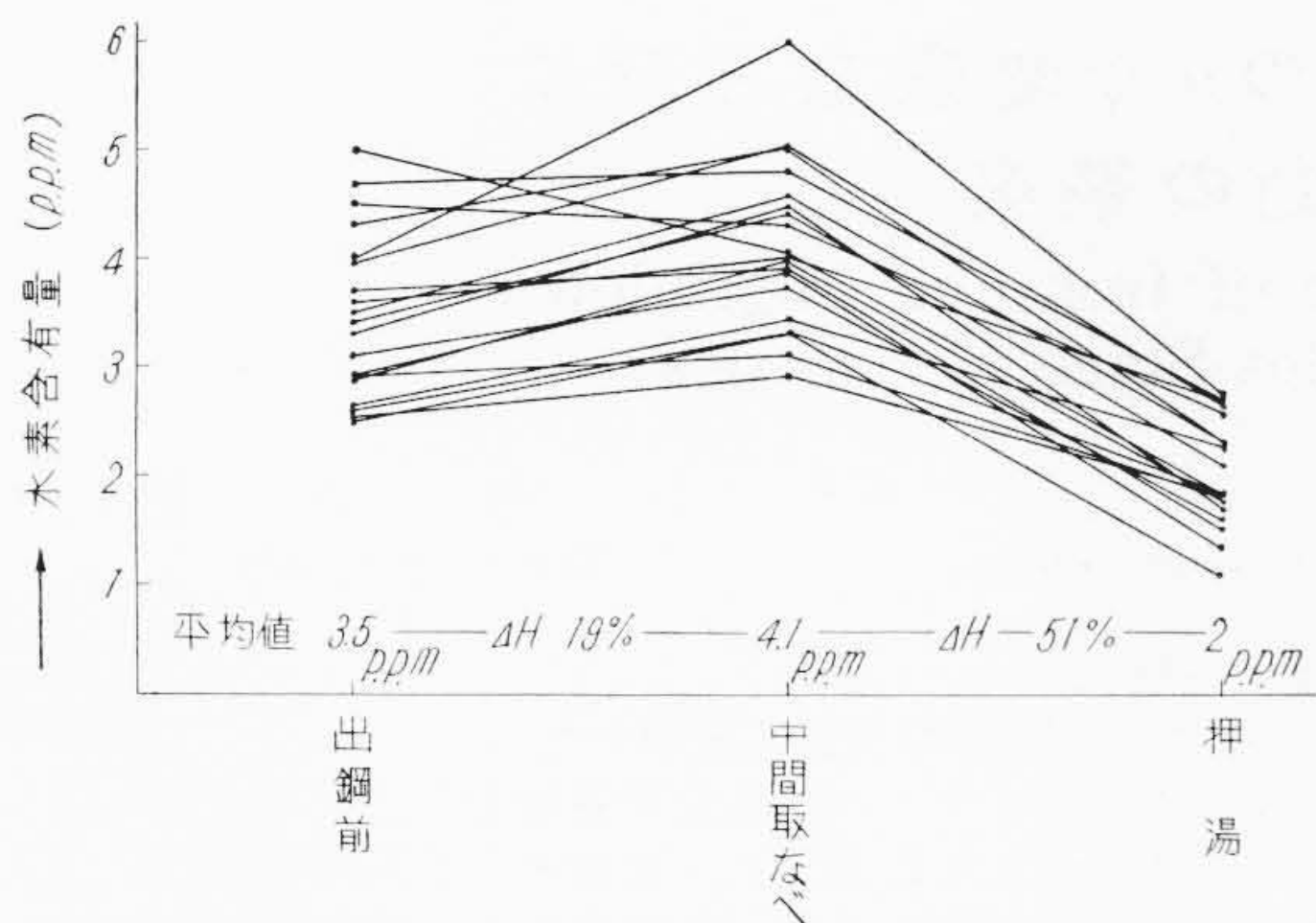
第19図 酸素含有量の変化

2.26%, FeO 26.56%, MnO 51.35%, Zn 4.96%, Cu 1.31%, Sn 0.08%, Pb 0.68%, C 0.56% のように、比較的蒸気圧の高い不純金属元素が蒸発している。

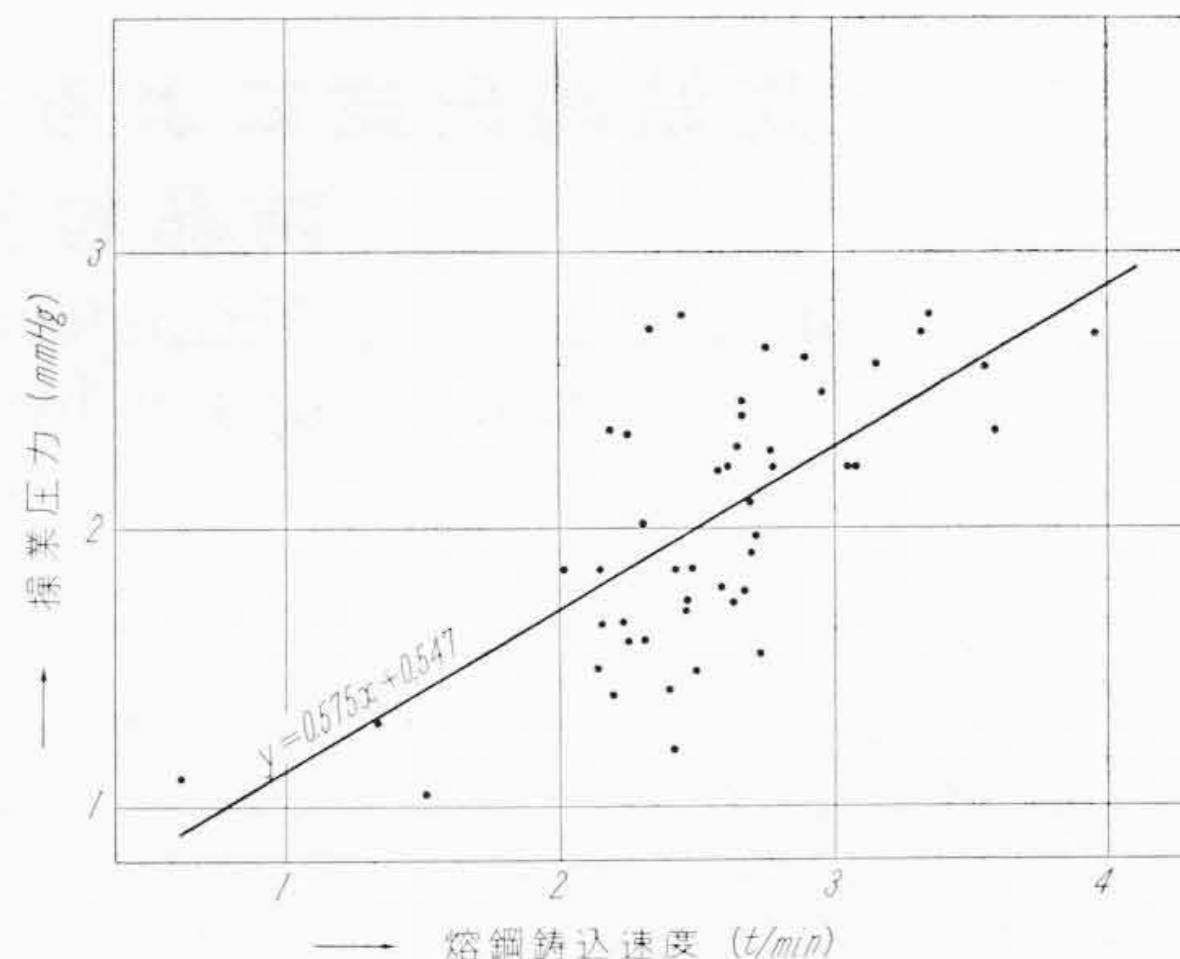
7.2 真空鑄造による脱ガス効果

塩基性電弧炉により製造した熔鋼について、出鋼直前試料、鑄込中の中間取なべ試料(真空処理前)、押湯試料(真空処理後)などを採取し真空溶融法により、鋼中の窒素、酸素、水素を分析した。

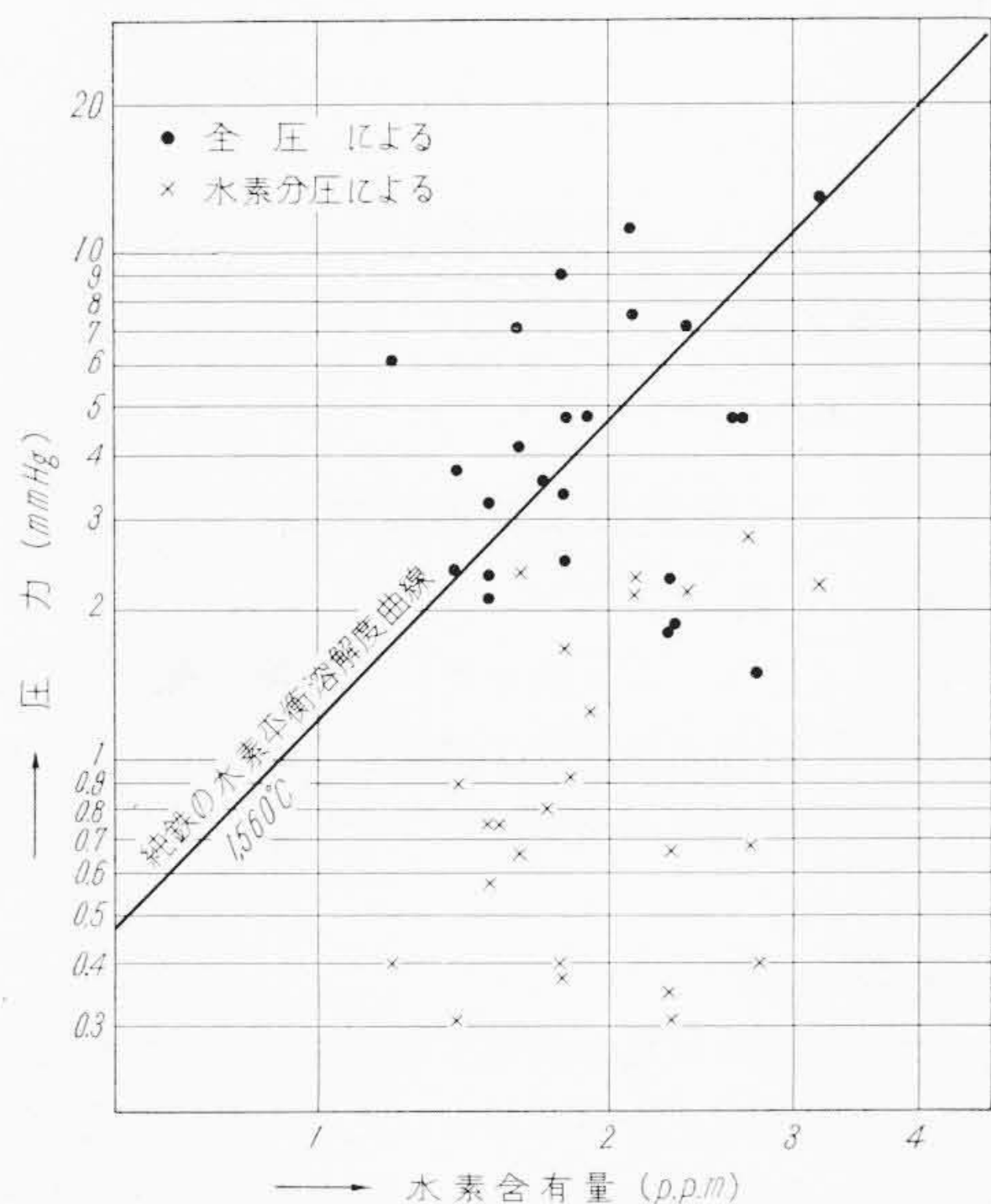
第18~20図は普通炭素鋼の脱ガス曲線を示す。また第3表は代表的鋼種の真空処理前後のガス分析値を示す。Bochumer Vereinのデーター第8図では、真空処理時の全圧により鋼中水素値を打点しているが、Sievertの水素平衡溶解度曲線との対比は水素分圧により鋼中水素値を検討せねばならない。第21図は操作圧力(全圧)と水素値および前述の排気ガス分析値より求めた水素分圧と水素値の関係を示す。これによると、純鉄の水素平衡溶解度曲線とのずれがわかる。



第20図 水素含有量の変化



第22図 鑄込速度と操作圧力の関係



第21図 純鉄の水素平衡溶解度曲線と実績水素含有量の関係

7.3 熔鋼鑄込速度と操作圧力との関係

設計による鑄込速度と操作圧力の関係は第15図に示したとおりである。

実際の鑄込作業においては、押湯わく、鑄型および真空タンク内面の脱湿そのほかの因子が影響して、はなはだしい場合には鑄込開始後、時間の経過にしたがって操作圧力は高圧となることがある。

鑄込速度と実績操作圧力との相関を第22図に示す。設計値と若干のずれはあるが、ほぼ一致した結果を示している。

8. 結 言

以上、文献データーを解析して設計製作した大形真空鑄造設備において、

- (1) 鑄込作業中の操作圧力はほぼ熔鋼鑄込速度に応ずる設計圧力を維持できた。
- (2) 真空鑄造法による熔鋼の脱ガス効果は窒素の除去は困難であるが、酸素および水素は著しく減少できる。また水素について真空鑄造結果と純鉄の水素平衡溶解度曲線とのずれを示した。
- (3) 冷却水の温度上昇、発生ダストによる障害などについては、なんら異常なく操業できた。
- (4) わが国最初の大形真空鑄造設備として、真空タンクをはじめ据付工事そのほかを自家で行った。また真空鑄造技術を独自に開発し、真空排気ポンプとして大容量メカニカルブースタを採用した。

本設備の操業により熔鋼中のガス含有量特に水素は低減できるが、この真空脱ガス効果によって白点毛割欠陥の絶滅はもちろん、機械的性質の向上、鍛造熱処理工程の短縮など総合的な製鋼作業上の効果を確認せねばならない。本報告に続いて、今後これらの問題を報告するつもりである。

終りに、本設備の大形真空タンクの製作に尽力された日立製作所日立工場関係の各位ならびに真空ポンプの試運転および性能試験をご指導いただいた日立製作所中央研究所の各位に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) A. Tix: AIME Vol. 13 (1955) Iron Steel Div., : Stahl u. Eisen 76, S. 1721 (1956)
: J. Metals, April. p. 420 (1956)
- (2) J. H. Stoll Blast Furnace and Steel Plant, Vol. 149, No. 6 p. 595 (1958)
- (3) N. Hornak: J. Metals July. p. 471 (1958)
- (4) Nöller: Symposium on Vacuum Technology, p. 57
- (5) Leybold Hochvakuum Anlagen カタログ
- (6) "Millitorr" High Vacuum Pumps カタログ
- (7) Leybold: Mechanical Booster カタログ
- (8) F. Harders: Stahl u. Eisen 76, S. 1721 (1956)