

## 共同研究会報告

### 新技術開発部会・真空冶金分科会報告 第I部

#### わが国鉄鋼真空冶金の現況

遠藤 勝治郎\*・長谷川 正義\*\*

#### Development of the Vacuum Melting Technique in Iron and Steel Industry in Japan.

Katsujiro ENDO and Masayoshi HASEGAWA

#### 1. 緒 言

1958年に鉄鋼技術共同研究会・新技術開発部会に真空冶金分科会が設けられて以来約4カ年を経過したが、この間幾多の曲折を経ながら、委員各社の協力によつて、本委員会はわが国の鉄鋼業における真空溶解技術の発展に対していささかの貢献をすることができた。すなわち設立の初期には、外国の技術の導入、各工場の利害、技術水準の差など、資料の公開や討議に多くの支障があつたことは事実であるが、その後諸外国の技術や文献の詳細が多数公表されるようになり、また関係工場の技術水準の平均化などと相まつて次第に情報の交換や、技術上の問題点の討論も活発となり、操作上あるいは製品品質の改良についても、多くの有益なデータが発表されるにいたり、本分科会の初期の目標である“国内技術の向上”、“国産設備の改善”を強く推進できるようになつたことは、まことに同慶のいたりである。

かくして生産量はともかく、設備数においては一国としてはほとんどアメリカに次ぎ、他の欧米諸国に優る保有台数をほこるまでに進展してきているし、国産機器の性能も飛躍的な向上をしめすにいたつた。

もちろん設備台数をいたずらに誇ることのみが、技術の向上ではない。多くの鋼種、大量の製品に経済的に適用して、製品の品質の改善をはかることが最終の目標であり、そのためには基礎研究はもちろん、多くの開発的研究が必要であることはいうまでもない。本分科会の今後の運営もこの方面を指向することとならう。

本分科会では、1959年10月に“鉄と鋼”誌上に第1回の報告を掲載したが、今回はそれ以後に分科会で発表された各委員会社のデータのみを集録して、第2回の報告を編集したものであるが、その大要は1962年10月本会秋

季講演大会(広島)において鉄鋼技術共同研究会報告として“わが国鉄鋼業の真空溶解技術の進歩”と題して長谷川主査が講演した。

この報告のうち、設備現況のデータには多くの委員外工場の御協力を得るところが多かつた。ここに記して感謝の意を表する。

またこの報告を編集することができたのは、資料の集収、整理、原稿の作製などの一切に関してとくに下記3君の努力のお陰であることを述べて感謝のしるしとした。

関東特殊製鋼株式会社 朝熊利彦君  
日本冶金工業株式会社 渡辺哲弥君  
早稲田大学理工学部 大谷利勝君

なお本報告はこれをⅡ部に別け、第Ⅰ部は「わが国鉄鋼真空冶金の現況」、第Ⅱ部は「鉄鋼真空冶金に関する文献」とした。

本分科会の構成メンバーは下記の通りである。

#### 真空冶金分科会委員

##### 部会長

金属材料技術研究所 遠藤 勝治郎

##### 主 査

早稲田大学 理工学部 長谷川 正義

##### 委 員

東京工業大学 岡本 正三

愛知製鋼株式会社(本社) 岩越 忠和

大阪特殊製鋼株式会社(本社) 荒木 透

昭和37年12月29日受付

\* 新技術開発部会長、金属材料技術研究所、理博  
\*\* 真空冶金分科会主査、早稲田大学理工学部教授、工博

川崎製鉄株式会社 (本社) 今 井 光 雄  
 関東製鋼株式会社 (渋谷) 飛 沢 誠 二  
 関東特殊製鋼株式会社 (本社) 滝 本 石 郎  
 株式会社小松製作所 (本社) 松 浦 次 義  
 株式会社神戸製鋼所 (本社) 高 尾 善 一 郎  
 山陽特殊製鋼株式会社 (本社) 上 杉 年 一  
 住友金属工業株式会社 (本社) 鹿子木 立 郎  
 大同製鋼株式会社 (研究所) 浅 田 千 秋  
 東北金属工業株式会社 (本社) 池 内 駿  
 特殊製鋼株式会社 (川崎) 平 野 昇  
 日本金属工業株式会社 (川崎) 野 積 五 郎  
 日本鋼管株式会社 (技研) 中 村 正 十  
 " (川崎) 北 村 洋 二  
 株式会社日本製鋼所 (本社) 松 本 茂 樹

日本特殊鋼株式会社 (本社) 出 口 喜 勇 爾  
 日本冶金工業株式会社 (川崎) 川 畑 正 夫  
 日立金属工業株式会社 (本社) 山 本 真 之 助  
 富士製鉄株式会社 (本社) 伊 藤 博  
 三菱鋼材株式会社 金 井 良 昭  
 三菱製鋼株式会社 (本社) 小 松 一 男  
 八幡製鉄株式会社 (本社) 太 田 隆 美

### 幹 事

金属材料技術研究所 吉 村 浩  
 早稲田大学 大 谷 利 勝  
 通産省重業局 相 沢 昭  
 日本鉄鋼連盟 飯 島 健 一  
 日本鉄鋼協会 田 鍋 力

表 1.1~1.3 に 1962 年 12 月現在の、わが国における真空脱ガス casting, 真空アーク溶解および真空誘導溶解に関する工業設備の現況をまとめた。

調査の対象は鉄鋼工場における生産用設備に限定したので、研究用のもの、鑄鉄、非鉄製品を主とするものはその対象としなかつたので、若干の調査漏れがあるうし、設備中のもので委員会が公表しないものは含まれてい

ないこと、研究所設置のものでも大容量のものは記載されていることなど統一を欠いた点もある。

表 1.4 に本分科会の過去 4 カ年間の配布資料一覧表を掲げた。欠番のあるものは議事録その他、文献として不要のものである。

なお第 2 章以下に肩番号を付したデータの出典は、すべてこの資料番号をしめすものである。

表 1.1 国内真空脱ガス铸造設備一覽 (1962年12月現在) 順序不同

会社事業所名	八幡製鉄	富士製鉄 (広畑)	日本鋼管 (川崎)	川崎製鉄 (兵庫)	住友金属 (鋼管)	住友金属 (製鋼)	神戸製鋼 (高砂)
型式	Dortmund 式 吸引脱ガス法	真空铸造法	流滴脱ガス	流滴脱ガス	流滴脱ガス	流滴脱ガス	ボフマー式流滴脱ガス
容量	25~30 (取鍋容量)70	4.5 18	3.5 6	5 50	2 12	7 30, 50	40 100
基	1	1	1	1	1	1, 1	1
排気系	ポンプ (基数) RP (l/min) [基数] MB (m <sup>3</sup> /h) [ " ] St, E (m <sup>3</sup> /h) [ " ] DE (l/s) [ " ]	15000 [2] 20000 [1] 5000 [1]	145 kg/h [4]	15000 [3] 20000 [2] 5000 [2]	15000 [2] 5000 [1] 20000 [1]	70 kg/h [1]	
真空度	到達 (mmHg) 操作中 (mmHg)	15×10 <sup>-3</sup> 5	0.4 1.2~0.5	5×10 <sup>-2</sup> 1~7	2×10 <sup>-1</sup> 1~3	6×10 <sup>-2</sup> 5×10 <sup>-1</sup>	
附属機器	水銀マノメーター 一, ガス分析計 吸上量測定装置	ピラニ真空計 ブルトン管 監視装置	NRC 製 α トロン 指示計 YEW 製 α トロン 記録計 Haerous 製 ダイ キフラム型指示計	ピラニ真空計 直読式ダイヤ フラムゲージ	ピラニ真空計 押湯警報装置	ピラニ真空計 [2] ライニスラナー管 マクレネー下計 水銀マノメーター 真空タンク [2]	アルファトロン真空計
自動制御装置		ポンプの始動 バルブの開閉		バルブ開閉 真空ポンプ運動	真空排気系	ナ	ナ
防塵装置	サイクロン	バッグフィルター	サイクロン	逆流型油洗滌	オイルフィルター	ナ	バッグフィルター
設計 (施工) 者		神港精機	日本鋼管 日鶴造船所	川崎製鉄 理研 神港精機 (神港精機) (川崎重工)	神港精機	住友金属 友友機械	Leybold Hochvakuum Anlagen Gmb. H.
完成年月		35. 6					
備考							

(その2)

会社事業所名	日立(安来)	日本製鋼所(室蘭)	日本製鋼所(室蘭)	日本製鋼所(室蘭)	関東特殊製鋼(辻堂)	同左	大同製鋼(築地)
型式	流滴脱ガス	流滴脱ガス	流滴脱ガス	流滴脱ガス	流滴脱ガス法	流滴脱ガス	流滴脱ガス
中間取鍋容量	0.5 10	40 90	60 250	3 20 10	3 20 10	3 20 10	0.8 12
基数	1	2	1	1 3	1 3	1 3	1
ポンプ	1500 [2]	12000 [4]	12000 [4]	13000 [6] 3000 [5]	13000 [6] 3000 [5]	13000 [6] 3000 [5]	15000 [2]
気系	2000 [2] 500 [1]	4500 [2]	4500 [2]	3000 [1] 400 [3]	3000 [1] 400 [3]	3600 [1]	5000 [2]
真空度	1×10 <sup>-2</sup> 1	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-1</sup> ~30	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-1</sup> ~30	4×10 <sup>-2</sup> 5	4×10 <sup>-2</sup> 5	4×10 <sup>-2</sup> 1	10 <sup>-1</sup> 1~5
附属機器	ピラニ真空計	ヘラウメカバアラ柳 真空計 真空計 真空計 真空計	ヘラウメカバアラ柳 真空計 真空計 真空計 真空計	水銀マノメーター	水銀マノメーター	ピラニ真空計	ピラニ真空計 マノメーター パイプ ガス
自動制御装置	運転制御	MB自動停止装置 自動冷却水調整	MB自動停止装置 自動冷却水調整	電磁バルブ自動切換 断水警報器	電磁バルブ自動切換 断水警報器	同左	有
防塵装置	油循環式	バッグフィルター	バッグフィルター	油噴霧式	油噴霧式	同左	油噴霧式
設計(施工)者	神港精機	ライボルト (ライボルト 日鋼)	ライボルト (ライボルト 日鋼)	徳田製作所および自社	徳田製作所および自社	日本真空技術	神港精機
完成年月	34.9			32.9	32.9	36.12	
備考							

(その3)

会社事業所名	特殊製鋼 (蒲田)	三菱製鋼 (長崎)	日本特殊鋼 (大森)	愛知製鋼	日本金屬工業 (川崎)	日本ステンレス
型式	流動脱ガス	同 左	同 左	流動脱ガス 取鍋脱ガス	流動脱ガス	同 左
中間取鍋(t)	0.5~1.5	10, 20	5	5, 1	0.6	0.35
容量	5, 8, 17	30, 120	25	20, 5, 3, 1	1.5	0.35
基数	1, 2, 1	1, 1	1	1, 1, 2, 1	1	1
ポンプ 排気系	15000 [2]	7200 [4] 3000 [2] 7500 [2]	15000 [1] 20000 [1] 5000 [1]	900 [2] 3600 [2]	13000 [1] 3600 [1]	7000 [1] 3450 [1]
St.E DE	[ "/ ]	[ "/ ]	[ "/ ]	[ "/ ]	[ "/ ]	[ "/ ]
真空度	8×10 <sup>-2</sup> 1~3	2×10 <sup>-2</sup> 5×10 <sup>-1</sup>	1×10 <sup>-2</sup> 1.5~3.0	8×10 <sup>-2</sup> 1~2	1×10 <sup>-1</sup> 2~4	
附属機器	ピラニ真空計 マクレオド真空計	αトロニ真空計 マクレオド真空計 空気圧力計	ピラニ真空計	ピラニ真空計 アルファニトロニ真空計 イマージョン パイロメーター	バランス型真空計 サーミスタ真空計	ピラニ真空計 ガス分析装置
自動制御装置	ポンプ切開閉	ポンプ切換		ポンプ始動 バルブ開閉		バルブ開閉
防塵装置	バグフィルター	バグフィルター	同 左	サイクロン樹脂膜		サイクロン バグフィルター
設計(施工)者	神港精機	Leybold- Hochvakuum Anlagen G m b H	日特, 神港精機	日本真空技術	徳田製作所	日本真空技術
完成年月	34. 12			34. 10		
備考						

表 1.2 国内真空アーク炉設備一覽 (1962年12月現在) 順序不同

会社事業所名	住友金属(鋼管)	神戸製鋼所	神戸製鋼所(高砂)	神戸製鋼所(岩屋)	日立金属(安来)	大同製鋼
型式	消耗電極型	同 左	同 左	同 左	消耗電極型	同 左
溶解量 (kg)	900	100	6000	2000	1000	400
基数	1	1	1	1	1	1
各 部 諸 元	電極 (mm)	225φ × 3200	130φ × 1000	480φ × 2000	200φ × 2200	160φ × 1750
	ツボ (mm)	305φ × 1850	200φ × 1000	480φ × 1420	305φ × 1200	220φ × 1500
	イオンゴット (mm)	298φ × 1800	200φ × 400		300φ × 1000	196φ × 1400
	整流器	セレン 7,500A × 2	ゲルマニウム	シリコン	セレン	シリコン
最大出力	60V 15000A	75V 5000A	110V 40000A	80V 17500A	40V 8000A	45V 6000A
動作時間	20~40V10000A	30V 5000A	25~35V 2000~25000A	20~30V 2000~15000A	25V 8000A	26V 6000A
排気系	ポンプ	3000 [2]	3500 [1]	3500 [2]	6000 [1]	3500 [1]
	MB(m³/h)	3540 [1]	1500 [1]	1500 [1]	2040 [1]	
	DP(l/s)	8000 [1]	5000 [1]	5000 [1]	8000 [1]	3000 [1]
	EB(l/s)		5000 [1]			400 [1]
DE(l/s)			8500 [1]	8500 [1]		400 [1]
真空度 (mmHg)	到達 5×10 <sup>-4</sup> 動作時 1×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-4</sup> 2×10 <sup>-3</sup>	2×10 <sup>-4</sup> 1~5×10 <sup>-3</sup>	2×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	2×10 <sup>-3</sup> 1×10 <sup>-2</sup>
設計 (施工) 者	日本真空技術	神戸製鋼所	神戸製鋼所	同 左	日本真空技術	日本特殊機械 新電元工業
完成年月日	35. 10	33. 10	37. 5	36. 2	35. 9	35. 9
備考		自動合金添加装置付 プログラムコントロールによるよ完全自動制御方式				

(その2)

会社事業所名	関東特殊製鋼	特殊製鋼	日本冶金工業 (川崎)	大阪特殊製鋼 (吹田)	関東製鋼	日本ステンレス
型式	同	同	消耗電極型	同	同	同
溶解量 (kg)	1200~4000	6800	3000	1000	700	
基数	1	1	1	1	1	1
各 部 諸 元	電極 (mm)	510φ × 4290	300φ × 2700	70φ × 1400 250φ × 2600	240φ × 2000*	175φ × 2400 250φ × 3300
	ルツボ (mm)	660φ × 3000	400φ × 2000	122φ × 545 340φ × 1650	330φ × 1300*	255φ × 1250 360φ × 1750
	インゴット (mm)	640φ × 2700	400φ × 1600	120φ × 465 330φ × 1440	324φ × 1100	250φ × 1000 350φ × 1400
電源部	シリコン	セレン	シリコン	セレン 2500A × 4	セレン	シリコン
排 気 系 統	出力	75V 20000A 20~40V 20000A	60V 15000A 20~40V 15000A	30V 10000A 25~30V 2500~10000A	70V 8000A 20~30V 8000A	40V 12500A 25~30V 12500A
	RP (l/mn) [基数]	200 [2]	3500 [2]		6500 [1]	6000 [1]
	MP (m <sup>3</sup> /h) [ " ]	6000 [1]	5500 [1]			3450 [1]
	DP (l/s) [ " ]	4500 [1]			4000 [1]	8000 [1]
	DB (l/s) [ " ]				660 [1]	600 [1]
EB (l/s) [ " ]				5000 [1]		
DE (l/s) [ " ]						
真空度 (mmHg)	1 × 10 <sup>-4</sup> 5 × 10 <sup>-4</sup> × 10 <sup>-3</sup>	5 × 10 <sup>-4</sup> 1 × 10 <sup>-2</sup> ~ 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>-3</sup> 2 × 10 <sup>-2</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup> 1 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup> 1 ~ 20 × 10 <sup>-3</sup>	5 × 10 <sup>-4</sup> 3 ~ 5 × 10 <sup>-3</sup>
設計 (施工) 者	N R C NRC 日本真空技術	ヘラウス社 ヘラウス社 (大同製鋼)	日本真空技術	日本特殊機械 新電元工業	同 同	日本真空技術 日本真空技術
完成年月日	35. 10	37. 7	37. 3	35. 3	34. 5	37. 3
備考		磁気増巾自動制御付 (ヘラトロンユニット ローレル) ルツボ旋回 装置				

\* 100 kg 以上の鉄鋼関係炉に限定, 研究用は省く.

順序不同

表 1.3 国内真空誘導溶解設備一覽 (1962年12月現在)

会社事業所名	日本(富山)	住友特殊金属	住友特殊金属	住友特殊金属	住友特殊金属	神戶製鋼	特殊製鋼
型式	半連続	内熱管バッチ式	同左バッチ式	内熱式半連続式	内熱型半連続式	同左	バッチ式
溶解量 (kg)	150	50	100	500	100	100	100
基数	1	1	1	1	1	1	1
電周波最大出力(kW)	150	100	100	300	110	125	125
電周波数(kC)	3	3	3	0.96	0.96	2.5	2.5
電源	400	250	250	800	200	300	300
真空度	$5 \times 10^{-4}$ $10^{-2}$	$4 \times 10^{-4}$ $1 \sim 3 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-4}$ $1 \sim 3 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-4}$ $1 \sim 5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$ $3 \sim 6 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-4}$ $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$ $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-3}$
ポンプ	6000 [2]	35.5 [1] 6000 [1]	35.5 [1] 6000 [1]	3000 [2] 700 [1]	3250 [1] 700 [1]	6000 [1]	6000 [1]
気系	8000 [1] 5450 [2]	1800 [1]	5000 [1]	5000 [3] 3450 [2]	58 [1]	47 [1] 207 [1]	47 [1] 207 [1]
附属機器	ピラニオン真空計 $\alpha$ 半連続添加機構	アルフアートルロンゲージ サーモカップルゲージ 追加入装温度計 浸漬温度計	同左	アルフアートルロンゲージ ピラニオンゲージ 浸漬温度計 冷却水量制御装置	アルフアートルロンゲージ ピラニオンゲージ 浸漬温度計 冷却水量制御装置	アルフアートルロンゲージ ピラニオンゲージ 浸漬温度計 冷却水量制御装置	アルフアートルロンゲージ ピラニオンゲージ 浸漬温度計 冷却水量制御装置
自動制御装置	電圧自動調整	発電機制御(アンプリダイナ)	同左	過電流制御装置 過電圧制御装置 冷却水量制御装置 原料装入室, 铸型室	同左	発電機制御(アンプリダイナ方式)	発電機制御(アンプリダイナ方式)
防塵装置	サイクロンバグ	ナシ	タストキヤッチャー	サイクロン式ダストキヤッチャー バグフィルター(2)	サイクロン式ダストキヤッチャー バグフィルター(2)	サイクロン式ダストキヤッチャー	サイクロン式ダストキヤッチャー
設計(施工)者	日本真空技術	NRC (日本真空技術)	日本真空技術	日本真空技術	日本真空技術	日本真空技術	NRC (設計) 日本真空技術
完成年月	37. 8	30. 8	31. 11	35. 5	35. 9	33. 3	33. 3
備考		電	源	共	通		



(その2)

会社事業所名	三菱鋼材 (大島)	日本冶金工業 (川崎)	日本金属工業	山陽特殊製鋼	東北金属工業	東北金属工業
型式	半連続式	半連続式	バッチ式	バッチ式	バッチ式	半連続式
溶解量 (kg)	100	1000	100	100	50	500
基数	1	1	1	1	1	1
電周波最大出力(kW)	135	660	100	667	167	350
電周波数(kC)	2	1	3	1	1	1
電源コイル最大電圧(V)	500	800	800	800	200	800
真空度	1×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-2</sup>	1×10 <sup>-3</sup> 1×10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-2</sup>	1×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup>
排気系	3000[1] 700[1] 4000 [1] 1500 [1]	6000 [2] 8000 [2] 3500 [2]	3500 [1] 2030 [1] 4000[1] 380[1]	7000 [2] 300 [1]	4000 [1] 500 [1]	3000 [2] 1800 [2] 3000 [2]
附属機器	アルファトロン ピロ油圧器	アルファトロンゲージ 原料装温型 原液鑄	ピラニニア真空計 アルファトロン 半連続式添加バケツ	アルファトロン 熱電対真空計	アルファトロン 熱電対真空計	アルファトロン 熱電対真空計 浸漬温度計
自動制御装置	過電流制御装置 過電圧 冷却水量	過電流制御装置 過電圧 冷却水量	発電機 冷却水量			
防塵装置	ナ	乾式サイクロン [2] バグファイルター [2]	サイクロン式 ダストキヤッチャー バグファイルター			6"サイクロンローケリン ポンプ用ファイルター
設計(施工)者	日本真空技術	日本真空技術	日本真空技術	NRC(設計) 日本真空技術	NRC(設計) 日本真空技術	NRC(設計) 日本真空技術
完成年月	35. 8	37. 6	34. 7	29. 7	29. 7	32. 9
備考						

(その3)

会社事業所名		小松製作所 (大)		志村化工		日本楽器		三菱電機		金属材料技術研究所	
型式	式	半連続式	半連続式	半連続式	半連続式	内熱型	半連続式	同	左		
溶解量 (kg)	50	1000	100	100	150	150	100	100	100		
基数	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
電源	100 0.96 300	350 0.96 450	100 3 300	100 3 300	150 2.5 250	100 3 800	100 3 800	100 3 800	100 3 800		
真空度	5×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup> ~5×10 <sup>-3</sup>	5×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-2</sup>	5×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-2</sup>	5×10 <sup>-4</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	3×10 <sup>-5</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	3×10 <sup>-5</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	3×10 <sup>-5</sup> 1×10 <sup>-3</sup>	3×10 <sup>-5</sup> 1×10 <sup>-3</sup>		
排気系	RP (l/mn) [基数] DB (l/s) [ " ] MB (m <sup>3</sup> /h) [ " ] DP (l/s) [ " ]	3682 [2] 2123 [2] 3608 [2]	3500 [1] 4000 [1] 2040 [1]	3500 [1] 4000 [1] 2040 [1]	6000 [1] 5000 [1] 3500 [1]	6000 [1] 5000 [1] 3500 [1]	6000 [1] 5000 [1] 3500 [1]	6000 [1] 5000 [1] 3500 [1]	6000 [1] 5000 [1] 3500 [1]		
附属機器	アルフアトロン, プラニ 半連続式添加装置 浸漬温度計 鋳型搬入装置	熱電対型真空計	ピラニオン真空計 αトロン真空計	ピラニオン真空計 αトロン真空計	アルフアトロン(2) ピラニオン真空計	アルフアトロン 水系真空計 ピラニオン真空計	アルフアトロン 水系真空計 ピラニオン真空計	アルフアトロン 水系真空計 ピラニオン真空計	アルフアトロン 水系真空計 ピラニオン真空計		
自動制御装置		過電流制御 過電圧制御	電圧自動調整	電圧自動調整	過電圧制御 冷却水量調節	過電圧制御 冷却水量調節	過電圧制御 冷却水量調節	過電圧制御 冷却水量調節	過電圧制御 冷却水量調節		
防塵装置	油面吸着式 ダストキヤッチャー	なし	サイクロン バッグフィルター	サイクロン バッグフィルター	サイクロン(1) バッグフィルター(2)	サイクロン(1) バッグフィルター(2)	サイクロン(1) バッグフィルター(2)	サイクロン(1) バッグフィルター(2)	サイクロン(1) バッグフィルター(2)		
計設(施工)者	富士電波工業	ストークス	日本真空技術	日本真空技術	日本真空技術 三菱電機	日本真空技術 三菱電機	日本真空技術 三菱電機	日本真空技術 三菱電機	日本真空技術 三菱電機		
完成年月	37. 3	35. 3	35. 8	35. 8	36. 10	36. 10	36. 10	36. 10	36. 10		
備考											

\* 50kg以上の鉄鋼生産用に限定, 小型実験用炉は省略

表 1.4 真空冶金分科会配布資料一覧 (議事録その他は削除)

資料番号 (真冶-No.)	標 題	提 出 者	資料番号 (真冶-No.)	標 題	提 出 者
1	真空溶解設備	東北金属	55	真空鑄造法の研究(I)-真空鑄	愛知製鋼
2	鋼の真空鑄造について I	関東特殊製鋼	56	造設備の概要について	富士製鉄広畑
3	〃	〃	57	真空鑄造設備の概要	山陽特殊製鋼
4	真空鑄造設備	〃	58	真空溶解設備概況	川崎製鉄兵庫
5	真空溶解炉設備概況	特殊製鋼	59	大型鋼塊の真空鑄造および真空	早稲田大学
6	真空造塊設備の概況	大同製鋼	60	鑄造大気鑄造塊の比較	長谷川 正義
7	真空溶解設備の概要	住友金属	61	鉄鋼の真空溶解鑄造に関する文	関東特殊製鋼
8	Fe-Ni-Co 系合金の真空溶解	〃	62	献抄録 I	特殊製鋼
9	Ni 基耐熱合金の物理的性質に	〃	63	真空アーク溶解の品質的観点	川崎製鉄
10	およぼす真空溶解の影響	神戸製鋼	64	(翻訳)	日立金属
11	コンセルアーク溶解法とその製	八幡製鉄	65	鉄鋼工業に用いられる真空溶解	〃
14	品の諸性質	日立安来	66	鑄造設備(翻訳)	〃
15	真空溶解設備概要	〃	67	真空下で鑄込んだ低炭素鋼のボ	〃
16	真空溶解製品の諸性質	〃	68	イリングについて(翻訳)	〃
17	真空溶解せる耐熱合金	〃	69	溶鋼の真空処理による酸素の除	〃
18	Nimonic 80A S816 及 13%	〃	70	去について	〃
19	Cr 不銹鋼の機械的性質につ	〃	71	わが国の鉄鋼真空溶解, 鑄造設	真冶分科会
20	いて, 真空溶解した Cr-Mo 鋼	〃	72	備の現況	〃
21	(SCM2) の諸性質について	〃	73	On a High-Pressure	〃
22	真空鑄造設備の概要	川崎製鉄	74	Melting Furnace in	〃
23	真空溶解炉にて溶製した軸受鋼	金属材料	75	Nitrogen Atmosphere	〃
24	真空度-時間曲線および真空溶	技術研究所	76	消耗電極式真空アーク炉設	〃
25	解せる軸受鋼, ダイス鋼	特殊製鋼	77	備の概要	〃
26	S816 耐熱鋼について	東北金属	78	消耗電極真空アーク炉設備	〃
27	500kg 真空溶解炉の概況	日本電子	79	概要	〃
28	真空アーク溶解炉	光学研究所	80	真空アーク炉設備概況	〃
29	TVA型真空アーク溶解炉	〃	81	真空溶解炉設備概要	〃
30	鋼の真空溶解鑄造に関する研究	〃	82	真空脱ガス装置配置図	〃
31	大型真空鑄造設備の概要	日本製鋼	83	真空アーク溶解炉設備概要	〃
32	316L 型オーステナイト鋼の耐	室蘭研究所	84	真空鑄造法について	〃
33	熱性におよぼす溶製雰囲気の影響	日立製作水戸	85	耐熱鋼の高温特性におよぼす溶	〃
34	誘導式真空溶解での脱ガス研究	東京工大	86	解法の影響	〃
35	真空アーク溶解炉	〃	87	真空内で鋼を精錬せる場合	〃
36	日本真空技術KK資料	〃	88	の諸元素の挙動について	〃
37	鉄共研, 新技術開発部会,	日本冶金川崎	89	(文献)	〃
38	真空冶金分科会報告(鉄と	関東特殊製鋼	90	高真空中の鉄冶金(文献)	〃
39	鋼, 第45巻, 第10号別刷)	日本真空	91	真空鑄造法の研究(I)	〃
40	真空造塊設備の概要(II)	〃	92	流滴脱ガス取鍋注入法の研究	〃
41	真空鑄造法の研究	大同製鋼	93	(I)	〃
42	真空鑄造設備の概要	日立製作所	94	小型消耗電極真空アーク炉	〃
43	真空鑄造装置	特殊製鋼	95	による純鉄, 炭素鋼の溶解実	〃
44	メカニカル・プースター	神港精機	96	験	〃
45	ヤニー型ポンプ	〃	97	アメリカにおける真空アーク炉	〃
46	新しい真空排気系	〃	98	の進歩	〃
47	真空鑄造設備の概要	日立金属安来	99	鉄鋼の真空溶解鑄造に関する文	〃
48	鋼の真空鑄造設備および効	住友金属	100	献抄録第2集	〃
49	果の概要について	〃	101	溶鋼の真空処理のための	〃
50	大型鑄鍛鋼材の真空造塊	神戸製鋼	102	DHUF法	〃
51	真空鑄造法について	日本製鋼所	103	取鍋脱ガス法	〃
52	鋼の真空溶解	神戸製鋼	104	わが国の鉄鋼真空冶金設備の現	〃
53	真空溶解の技術と問題点	住友金属	105	況	〃
54	真空処理鋼の品質について	八幡製鉄	106	真空鑄造法の研究(II)	〃
55	溶鋼の流滴脱ガス法におけ	富士製鉄	107	流滴脱ガス取鍋再注入法の	〃
56	る経験	〃	108	研究(II)(清浄度の改善)	〃
57	真空溶解での種々の元素の挙動	日本冶金	109	10年間の鋼の工業的真空脱ガス	〃
58	について	〃	110	(文献)	〃
59	真空溶解法の解説とその評価	日本製鋼所	111	真空鑄造設備の概要	〃
60	米国における真空冶金の現況図	関東特殊製鋼	112	真空溶解設備とその操業例	〃
61	表	朝熊利彦	113	真空アーク炉の溶解電流と	〃
62	真空溶解炉設備概況	日本金属工業	114	溶解速度との関係	〃
63			115	真空アーク溶解鋼の諸性質	〃
64			116	ステンレス鋼, 耐熱合金の真空	〃
65			117	アーク溶解による効果	〃
66			118	真空アーク溶解鋼における非金	〃
67			119	属介在物	〃

資料番号 (真冶-No.)	標 題	提 出 者	資料番号 (真冶-No.)	標 題	提 出 者
96	60キロハイテン鋼板の焼入れ後の割れについて	富士製鉄広畑	103	低炭素普通鋼材の地疵におよぼす真空造塊の影響	日本鋼管
97	真空鑄造材の酸素および非金属介在物について	特殊製鋼	104	真空アーク溶解中の真空度異常現象について	関東製鋼
98	ステンレス鋼の真空鑄造について	日本金属工業	105	12% Cr 耐熱鋼の真空アーク溶解による成分変動	〃
99	真空用語	神戸製鋼	106	小型実験炉による脱ガス作用の実験	日本冶金
100	D-H 法 (脱ガスおよび合金添加法) (文献)	愛知製鋼	107	(真空アーク溶解法精錬効果に関する研究-I)	〃
102	真空処理を行なつたリムド鋼塊について	富士製鉄広畑		溶鋼の真空処理に関する研究	日本鋼管

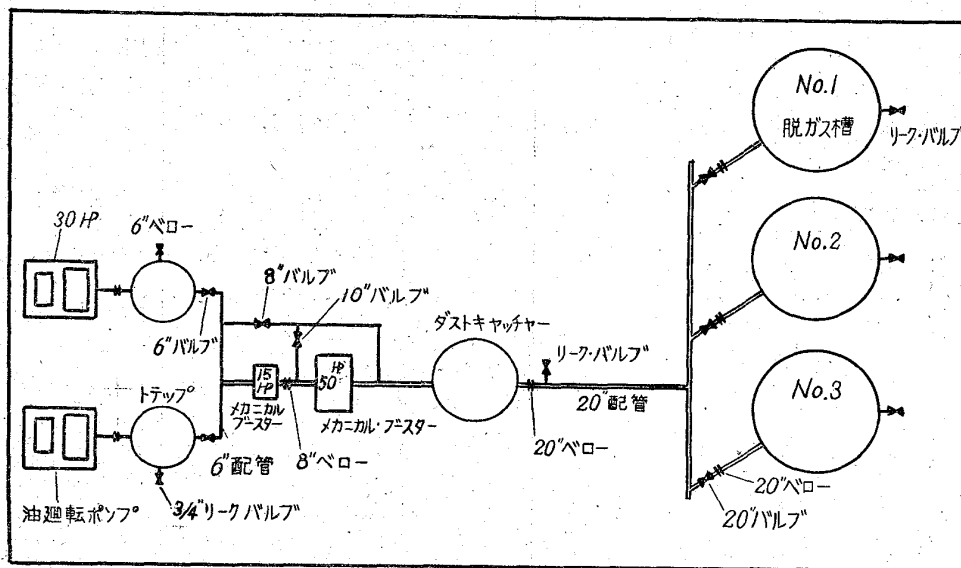


図 2.1 真空脱ガス設備の概要

## II. 真空脱ガス法

### 1. 設備能力

#### 1) レイアイト

わが国の真空脱ガスは会員外の消息は詳らかではないが表 2.1 に掲げるように現在 17 社, 18 工場に実施されている。脱ガスタンクの中に鑄型, または取鍋を置いて中間取鍋を介して注入する流滴脱ガス法が最も広く行

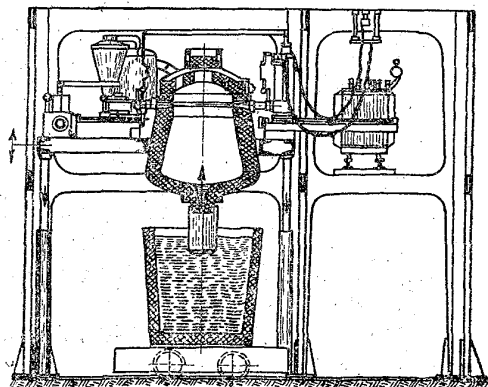


図 2.2 吸引脱ガス装置

われている。  
三菱製鋼, 日本製鋼, 神戸製鋼の 3 社は Bochumer Verein A.G. および Leybold Hoch-Vakuum-Anlagen GmbH より Bochumer 法を八幡製鉄は Dortmund 法の技術を導入し, 真空脱ガスに対して欧米にもまして深い関心が寄せられている。流滴脱ガス法の設備の配置や型式は大同小異で同一溶解より 2 本以上の鋼を脱ガスするか, あるいは鋼塊の大きさに適したタンクを選定する。または次回操業の準備などを考慮して一般に 2 つ以上の真空タンクを真空ポンプに接続し, バルブの切換えによつて使い分ける場合が多い。真空タンクは非常に高いのでピット内に据付けられて

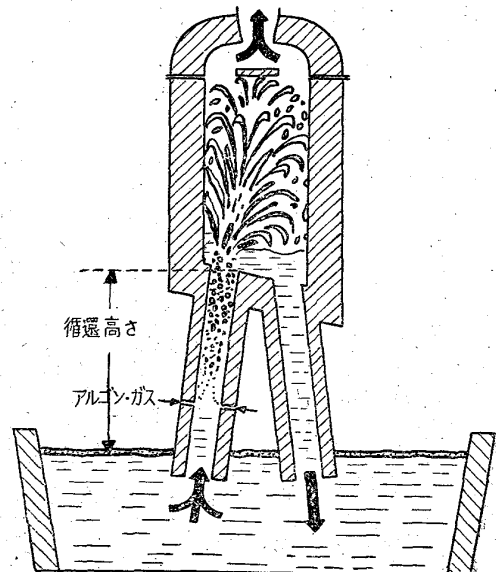


図 2.3 循環脱ガス法

表 2. 1 わが国の真空脱ガス装置 (1) — 真空タンク

会社名	casting amount (t)	diameter (mm)	height (mm)	number	packing	cooling	degassing method	lid movement	completion year/month
関 特	30	3000	4850	1	ネオ プレーン	二重水冷式	真空造塊	移動装置付	32年9月
	20	2700	4500	1					
	10	2000	3500	3					
日立, 水戸	70	4000	7000	1		二重水冷ジャケット	真空造塊		33年10月
川鉄, 兵庫	50 20	3500 —	5500 —	1 1	オーリング	水 冷	流滴脱ガス		33年12月
大同, 築地	12 —	3000 1940	3400 3400	1 3		二重水冷式	流滴脱ガス	移動装置付	34年1月
住金, 製鋼所	30 80	3200 4000	6580 6900	1 1		ジャケット	真空造塊 流滴脱ガス		34年4月
住金, 鋼管	12			1			流滴脱ガス		34年
神 戸	100						流滴脱ガス		34年5月
日鋼, 室蘭	250	5000	7500	1	ゴ ム パ ッ キ ン グ		真空造塊 流滴脱ガス 取鍋脱ガス		34年6月
	75	—	—	2					
	35	4000	5750	1					
	9	2100	3400	1					
三菱, 長崎	120						流滴脱ガス		34年
日立, 安来	10 3	2000 1500	3000 2500	2 3		二重水冷式	流滴脱ガス		34年9月
愛知, 刈谷	20	—	—	1		二重水冷ジャケット	真空造塊 取鍋 流滴脱ガス	移動装置付	34年10月
	5	2500	3500	1					
	3	—	—	2					
	1	—	—	2					
特殊製鋼	17			1			流滴脱ガス		34年12月
	8			2					
	5			1					
富士, 広畑	18	2500	3660	3		水 冷	真空造塊	移動装置付	35年6月
八 幡	25~30						吸引脱ガス		
日金工, 川崎	1.5	2000	1700	1		二重水冷式	流滴脱ガス	移動装置付	
日 特	25			1			流滴脱ガス		
日 本 ステンレス	0.35						流滴脱ガス		
日 本 鋼管 川 崎	6				ネオ プレーン	胴部のみ水冷	真空造塊		36年11月

いる。真空脱ガス設備の構成は鋳型または取鍋を収容する真空タンク、真空タンクに溶鋼を流し込むための中間取鍋、フィルター、真空ポンプ、各種真空バルブ、真空度測定装置などからなりこれらは良好な真空度を維持するための気密保持に考慮が払われている。ポンプならびにバルブは遠隔操作によつて作動され各種計器は集中配置されている。真空脱ガス装置の配置の1例は図2.1のごとくである<sup>56)</sup>。また八幡製鉄において採用された

Dortmund 法 (吸引脱ガス法) については明らかにされていないが図2.2は脱ガス槽の断面図を示し水圧による昇降装置、処理溶鋼の計測器、加熱装置、合金、脱酸剤の添加装置その他の補助装置を持つている。その他技術導入が予想される循環脱ガス法 (Rührstahl-Heraeus 法) では図2.3のごとくサイフォン管をもつた真空室、除塵装置、真空ポンプ、温度、圧力、ガス分析その他の測定装置を備えている。

表 2.2 わが国の真空脱ガス装置 (2) — 真空ポンプ

会 社 名	真空ポンプメーカー	ポ ン プ 種 類	数	ポンプ能力	スチーム使用量
関 特	日本真空技術 徳田製作所	メカニカル・ブースター	1	21000m <sup>3</sup> /h	
		メカニカル・ブースター	1	360m <sup>3</sup> /h	
		油廻転ポンプ	6	13000 l/h	
日 立, 水 戸	Heraeus	メカニカル・ブースター メカニカル・ブースター 水封ポンプ	1 1 1	20000m <sup>3</sup> /h	
川 鉄, 兵 庫	神 港 精 機	メカニカル・ブースター	2	20000m <sup>3</sup> /h	
		メカニカル・ブースター	2	5000m <sup>3</sup> /h	
		油廻転ポンプ	3	15000 l/mn	
大 同, 築 地	神 港 精 機	メカニカル・ブースター 油廻転ポンプ	2 2	5000m <sup>3</sup> /h 15000 l/mn	
住 金, 製 鋼 所	住 友 機 械	3 段ブースター型 6 段スチーム・ エジェクター	1	81000m <sup>3</sup> /h	4200 kg/h
住 金, 鋼 管	神 港 精 機	メカニカル・ブースター	1	20000m <sup>3</sup> /h	
		メカニカル・ブースター	1	5000m <sup>3</sup> /h	
		油廻転ポンプ	2	15000 l/mn	
神 戸	Leybold				
日 鋼, 室 蘭	Leybold	メカニカル・ブースター	2	7500m <sup>3</sup> /h	
		メカニカル・ブースター	2	3000m <sup>3</sup> /h	
		油廻転ポンプ	4	720m <sup>3</sup> /h	
	神 港 精 機	メカニカル・ブースター メカニカル・ブースター 油廻転ポンプ	1 1 2	20000m <sup>3</sup> /h 5000m <sup>3</sup> /h 900m <sup>3</sup> /h	
三 菱, 長 崎	Leybold	メカニカル・ブースター	2	7500m <sup>3</sup> /h	
		メカニカル・ブースター	2	3000m <sup>3</sup> /h	
		油廻転ポンプ	4	7200 l/mn	
日 立, 安 来	神 港 精 機	メカニカル・ブースター	1	20000m <sup>3</sup> /h	
		メカニカル・ブースター	1	5000m <sup>3</sup> /h	
		油廻転ポンプ	2	15000 l/mn	
愛 知, 刈 谷	日本真空技術	メカニカル・ブースター メカニカル・ブースター	2 2	60m <sup>3</sup> /h 15m <sup>3</sup> /l	
	保土ヶ谷化学	ナッシュポンプ	2	4.5m <sup>3</sup> /h	
特 殊 製 鋼	神 港 精 機	メカニカル・ブースター 油廻転ポンプ	2 2	5000m <sup>3</sup> /h 15000 l/mn	
富 士, 広 畑	神 港 精 機	メカニカル・ブースター メカニカル・ブースター 油廻転ポンプ	1 1 2	20000m <sup>3</sup> /h 5000m <sup>3</sup> /h 15000 l/mn	
八 幡	石川島重工				
日 金 工, 川 崎	徳田製作所	メカニカル・ブースター 油廻転ポンプ	1 1	60000 l/mn 13000 l/mn	
日 特	神 港 精 機	メカニカル・ブースター	1	20000m <sup>3</sup> /h	
		メカニカル・ブースター	1	5000m <sup>3</sup> /h	
		油廻転ポンプ	2	15000 l/mn	
日本ステンレス	日本真空技術	メカニカル・ブースター 油廻転ポンプ	1 1	3450m <sup>3</sup> /h 7000 l/mn	
日本鋼管, 川崎	鶴見造船所	2 段ブースター型 4 段スチームエジェクター	1	145 kg/h	1500 kg/h

2) 真空タンク

空真タンクの大きさは処理すべき鋼の量によつて定まる。

表2.1に真空タンクの一覧表を示した(6)36)42)56)72)86)90)。タンクは一般に上蓋と胴体とに分れているが鑄型寸法に応じ高さを調整できるように分割されたものもある。(日立, 水戸, 川鉄兵庫)タンクは溶鋼の重量, 外圧に耐えるよう設計され, 内部は全面また一部を耐火物裏張りして保護する場合がある。リーク・バルブ, 不活性バルブが取り付けられ吸引口によつて真空ポンプにつながる。パッキングとしては一般にネオプレンを用いる。蓋の中央部に注入口があり普通 A1 板によつてシールされるが薄鉄板を用いることもある<sup>55)</sup>。また2~4個ののぞき窓があり鑄込状況を観察する。日立水戸工場では工業テレビを取付けている。愛知, 日立では脱ガス中に合金鉄, 脱酸剤などが添加できる構造としている。上蓋は移動装

置によつて移動する場合が多い。

3) 真空ポンプ

真空ポンプは要求される排出ガス量, 従つて装置の大きさと処理圧力によつて選定される。表2.2は現在用いられているポンプを示し主としてメカニカル・ブースターが用いられ補助ポンプとして油廻転ポンプまたは水封ポンプが用いられている。住金製鋼所, 日本鋼管ではスチーム・エジエクターを採用しそれぞれ住友機械, 鶴見造船所で製作された。後者は建設費は高いが保守が容易であるという利点を持つている。真空機器メーカーとして日本真空技術KK, 神港精機KK, 徳田製作所などがあり, 技術導入した三菱, 神鋼, 日鋼は Leybold 製のポンプを日立水戸では Heraeus 製のポンプを使用している。

4) 中間取鍋

中間取鍋は普通の取鍋と同じであるが気密を保持し得

表 2.3 わが国の真空脱ガス装置 (3) — 附属機器

会社名	附属機器	自動制御装置	防塵装置
関 特	ピラニー真空計, 水銀マンオメーター, ガイスラー管 断水警報器, 押湯警報装置	ポンプの始動 バルブ開閉	油 噴 霧 式
日 立, 水 戸	アルファトロン真空計, ダイアフラムゲージ, 工業テレビ		サイクロン
川 鉄, 兵 庫	ピラニー真空計, 湯面警報装置, 直読式ダイアフラムゲージ	バルブ開閉, ポンプ始動	逆流型油洗滌
大 同, 築 地	ピラニー真空計, 油マンオメーター, ガイスラー管		油 噴 霧 式
住 金, 製鋼所	ピラニー真空計, マクレオド真空計, 水銀マンオメーター, ブルドン型真空計, 非常警報装置	な し	な し
住 金, 鋼 管	ピラニー真空計, 押湯警報装置	真空排気系	油 噴 霧 式
神 鋼	アルファトロン真空計		バッグ・フィルター
日 鋼, 室 蘭	ヘラウス真空計, カメラ真空計, バランス・リング 真空計, アルファトロン真空計, 柳式真空計	ポンプ自動切換 自動冷却水調整	バッグ・フィルター
三 菱, 長 崎	アルファトロン真空計, マクレオド真空計, 空気圧力計	ポンプ切 換	バッグ・フィルター
日 立, 安 来	ピラニー真空計	運 転 制 御	油 循 還 式
愛 知, 刈 谷	アルファトロン真空計, ピラニー真空計, イマージョン・パイロメーター	ポンプの始動 バルブの開閉	サイクロン
特 殊 製 鋼	ピラニー真空計, マクレオド真空計	ポンプ切 換 バルブ開閉	バッグ・フィルター
富 士, 広 畑	ピラニー真空計, ブルドン管, 押湯警報装置	ポンプの始動 バルブ開閉	バッグ・フィルター
八 幡	水銀マンオメーター, ガス分析計, 吸上量測定装置		サイクロン
日金工, 川 崎	バランス型真空計, サミスター真空計		油スプレー式
日 特	ピラニー真空計		バッグ・フィルター
日本ステンレス	ピラニー真空計, ガス分析装置	バルブ開閉	サイクロン バッグ・フィルター
日本鋼管, 川崎	アルファトロン真空計, ヘラウス真空計, 水銀マンオメーター, 蒸気流量計, 海水流量計, 蒸気圧力計, 押湯警報装置		サイクロン

る構造でなければならない。鑄造開始後取鍋の耐火物を通して空気が侵入するから外気の漏洩を遮断する方法が講ぜられる<sup>44)</sup>。中間取鍋と脱ガス槽の間の密閉空間は注入開始直前に排気を行う。

#### 5) その他の補助装置, 計測器

真空計: 真空計としてはアルファトロン, バランス型真空計, サミスター真空計, ピラニー真空計, ダイアフラム真空計, ブルドン型真空計, ガイスラー管, マクレオード, 水銀マンオメーターなど種々の真空計があり一般に2種類以上の真空計によつて真空度の測定, リークの検出を行つている。

ダスト・キャッチャー: 真空脱ガス時溶鋼から多量のガスが放出されると同時にダスト, フェームなどが排気ポンプに発生するので真空ポンプを保護するために排気回路中に適当なフィルターを押入する必要がある。ダスト・キャッチャーとしてはバッグ・フィルター, オイルセパレーター, サイクロンなどがあるが真空脱ガス用としてはそれぞれ一長一短があり完全なものはない。

その他: 湯面警報装置によつて注入鋼量の調節に便ならしめる。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は自動的に停止される。またスチーム・エジェクターでは復水器, 冷却水巡回装置が必要である。表 2.3 に各社の補助装置, 計測器を示した<sup>6)36)42)56)72)86)90)</sup>。

## 2. 工業的真空脱ガス法

溶鋼の真空脱ガスに関して種々の方法が開発された。これらの方法をまとめるとつぎのごとくとなる。

### 1) 取鍋脱ガス法 (図 2.4)

溶解炉より受湯した取鍋を真空タンクに移し排気すると真空度の上昇するに従い, 激しい沸騰とともに溶鋼からガスが放出される。圧力はポンプ能力や装置によつて異なるが普通 0.9~30 Torr である。この方法には 3

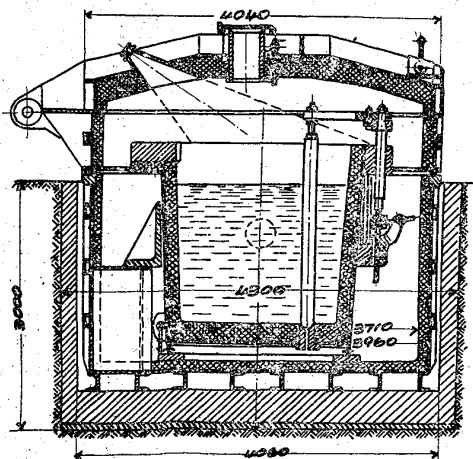


図 2.4 取鍋脱ガス

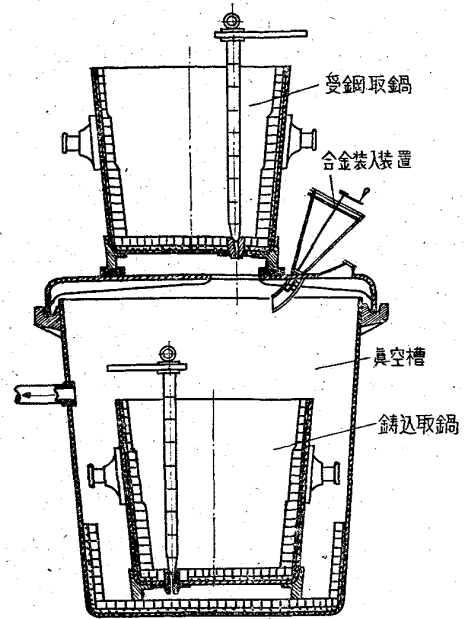


図 2.5 取鍋流滴脱ガス

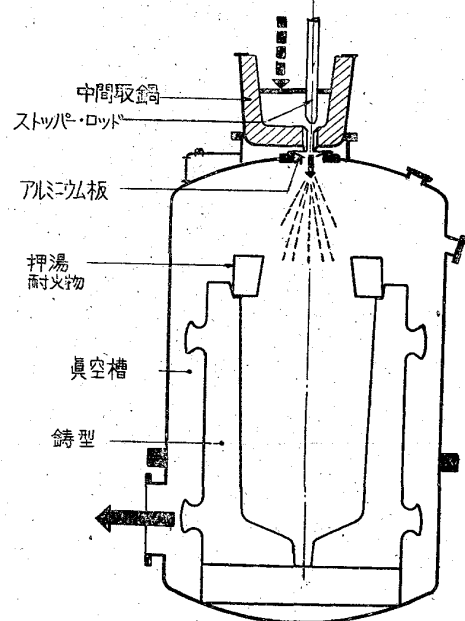


図 2.6 真空造塊

つの欠点がある。(1) 攪拌しなければ取鍋下部の溶鋼に界面反応がおよばないから脱ガス効果が少い。そこで取鍋近くに誘導攪拌装置を置いて無直方向の動きを与える。ヘリウムその他の不活性ガスを吹込むなどの方法が考えられている。(2) しかし取鍋内の激しい溶鋼の沸騰により取鍋内張が損傷する。(3) 脱ガス鋼をふたたび空中に戻して鑄込むため部分的に汚染される。

### 2) 取鍋流滴脱ガス法 (取鍋一取鍋脱ガス法) (図 2.5)

排気した真空タンク内の空鍋中へ溶鋼を移し変え鋼流を脱ガスする方法でこの方法の欠点は大気鑄込をしなければならないこと, 鑄込速度が速いため脱ガス効果が



充分でない。熱損が非常に大きいなどである。熱損失を補うため真空タンク上部に加熱容器を備える。また合金鉄の添加装置を設ける場合がある。

3) 真空造塊法 (図2.6)

真空造塊は最も有利な方法と言えよう。溶鋼は親鍋から中間取鍋を経て直接鑄型に注入される。取鍋脱ガスに対して大きな利点は直接真空中で鑄込むことで今日 200 t 以上の大型鋼塊にも適用される。脱ガスは 0.3~20 Torr 程度の圧力下で行われる。

4) 吸引脱ガス法 (図 2.2)

Dortmund-Hörder-Hütten union A. G. から大量の真空処理法として真空吸引脱ガス法が開発された。真空槽中に溶鋼を吸上げて脱ガスを行うもので真空度は 0.1~1 Torr である。溶鋼 80 t の場合、約 18mn を要する。この方法の欠点は温度降下が大きく (80°C)、このため全操作中、真空タンク内を電氣的に加熱する。さらにこの方法では溶鋼が大量の耐火物と繰返し接触し鑄込は大気中で行わなければならない。しかしこの方法は量産のために開発されたものであるから後者の欠点はそれほど重大ではなく脱ガス後、合金を添加しえる利点がある。

5) 循環脱ガス法 (図2.3)

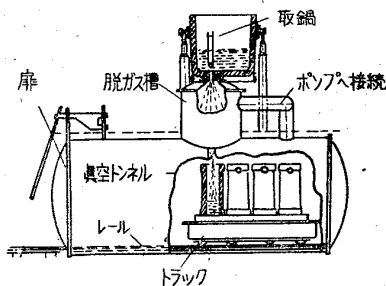


図 2.7 連続真空脱ガス

吸引脱ガス法と同様な原理で Ruhr-Stahl A. G. と FIRMA W. C. HERAEUS の共同研究によつて開発された。溶湯中に 2 本のパイプを挿入し、一方にアルゴン・ガスを吹込むことによつて溶湯の循環を容易にする。最初の 1mn で 10 Torr 以下になり最終圧力は 2 Torr である。37~90 t の溶鋼の脱ガスに 12~20mn を要する。真空タンクは 1200°C に加熱されているがなほ 30°C の温度降下があると言われる。この方法は吸引法よりもさらに激しく溶鋼が真空タンクの裏張煉瓦に反応し大気中で鑄込まねばならない。吸引脱ガス法と同様、脱ガス後、合金、脱酸剤を添加することができる。

6) その他の真空脱ガス法

真空造塊法を变形して種々の方法が考案されている。真空トンネル内の台車の上の鑄型に鑄込む方法(図2.7)、多段式脱ガス法(図 2.8)、直接鑄型に真空鑄造する方法(図 2.9)、があり、また深絞り鋼に適用した下注ぎ法

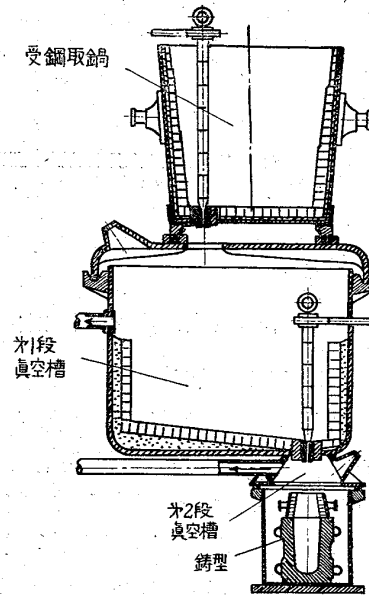


図 2.8 多段式脱ガス

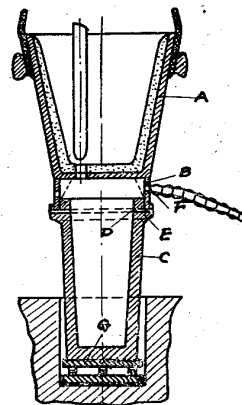


図 2.9 直接鑄込による真空脱ガス

(図2.10), などがある。その他、とくに少量の溶鋼では熱損失がいちじるしいので誘導加熱装置のついた、るつぽに注入し適当な温度で循環脱ガスを適用する方法がある。同じ目的で通常の方法により溶解後加熱された真空誘導炉に溶鋼を注入し、真空炉で脱ガスする二重法もある。

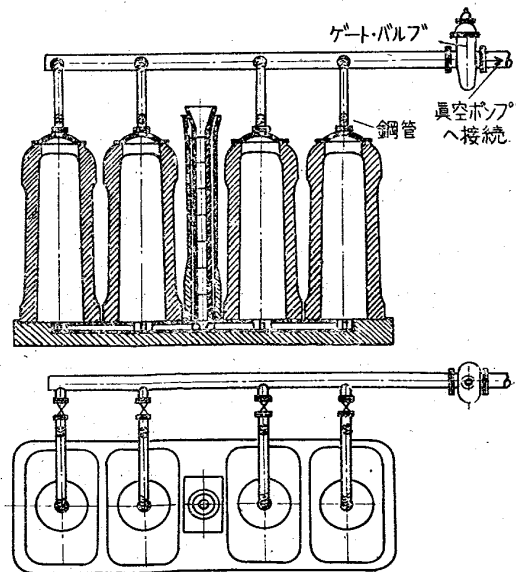


図 2.10 下注ぎ法に適用した真空脱ガス

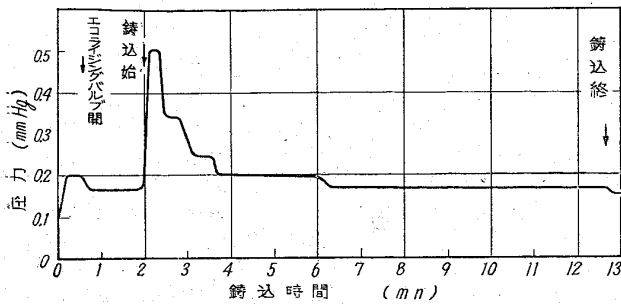


図 2.11 鑄込中真空度の変化 [住友金属]

### 7) わが国における真空脱ガス法

わが国の真空脱ガスは 1957 年頃より真剣に採り上げられた。理化学研究所で古くから排気鑄造法が研究され 1, 2 の会社で鑄物および鋼塊に適用しているほか大多数は独自にその生産規模に応じて開発した。前述のように日鋼, 神鋼, 三菱の 3 社は大型鋼塊製造のゆえに Bochumer より技術導入し, 八幡では処理目的, 鋼種から Dortmund 法を採用している。取鍋脱ガスを行っているところもあるが大部分は真空造塊であつて八幡製鉄, 日本鋼管, 日立製作所, 住金, 神戸製鋼, 石川島, 関東特殊製鋼, 三菱造船, 理研, 昭和電線電纜, 日本真空技術, 神港精機, 徳田製作所などの特許に見られるような方法, 装置などに種々の改良が加えられている。

### 3. 真空脱ガスにおける現象および反応

溶鋼の真空タンク内における現象は空気中における普通鑄造といろいろの点で異つており, これが多くの特長を生む結果となつている。

#### 1) 鋼流の酸化防止

溶鋼が空気中を落下する時, その容積の 20~30 倍以上の空気と接触しそれと当量の酸素が反応するとすれば 1.4~4 kg/t の酸化物を造り, 同時に空気中から 0.001~0.002% N<sub>2</sub> が吸収されることになる。しかし真空タンク内には酸素がほとんど存在しないから鑄込過程における溶鋼の酸化は防止される。大気鑄込の場合に経験するように溶鋼表面に酸化スカムを生ずるようなことはない。

#### 2) 滴下溶鋼の微細化

溶鋼が真空室に入ると静圧と瞬間的の圧力降下によつ

て微細な小滴に飛散し相当の広がりをもつて落下する。流滴の大きさは鋼束中心部では 10mm φ 内外の大きさであるがその周辺は砂状程度となつている。広がりには溶鋼のガス量, ノズルの形状, 室内の真空度, 流動性によつて左右され円錐体を形成する。真空度 10mmHg 以下において(項角) 60°~70° の範囲に最も多量に落下し全範囲は約 90° となることを認めた<sup>45)</sup>。これは空気中における造塊ではきわめて好ましくない状態であるが真空造塊においては溶鋼の表面積を増大させ脱ガスに役立つ。しかしこのような利点がある反面, 鋼塊の表面層がスポンジ状となるのそれがある<sup>89)107)</sup>。

#### 3) 真空タンク内の圧力, ガスの変化

真空鑄込中の圧力変化の一例が図 2.11 に示される<sup>43)</sup>。注入開始時, やや上昇し鑄込中はほとんど一定の真空度を維持している。真空鑄造中タンク内およびタンク配管より採取した排気ガスの変化は表 2.4 のごとくで鑄込操作中, 放出ガス成分はかなり変化することを示す<sup>26)</sup>。

#### 4) 溶鋼の沸騰

鑄型内を上昇する溶鋼は激しい沸騰を起しスカム, 非金属介在物の浮揚に役立つ。溶鋼面は沸騰のため約 300 mm 上昇し鑄造が終つて大気圧を回復すると沸騰は停止しふたたび湯面の下降するのが観察され<sup>2)</sup>, 鑄型内においても脱ガスが行われていることが説明される。

#### 5) 脱ガス

真空中での鋼の脱ガスは圧力を低下すると平衡状態が変化することを利用して。真空脱ガスにおける最も大きな機能は水素その他のガスを低減することにある。前述のごとく造塊の際溶鋼と空気との接触によるガスの吸収を防止するほか鋼中のガスを積極的に除去することができる。

##### (1) 脱水素

鋼の水素溶解度におよぼす圧力の影響として周知の Sievert の法則がある。

$$[H] = K \sqrt{P_{H_2}}$$

図 2.12 のごとく真空脱ガスによつてえられる最終水素量は 1600°C における溶鉄の平衡解度にほぼ一致し, この短時間の真空処理によつてきわめて効果的に脱水素

表 2.4 排気ガス分析例 (%) (日立, 水戸)

鑄造経過時間 (mn)	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
0	22.6	tr	3.3	tr	16.5	57.6
5	5.0	39.2	45.3	1.2	1.2	8.1
10	4.5	32.8	48.5	tr	4.8	9.4
20	4.0	22.9	56.6	0.8	3.7	12.0

鋼種: 普通鋼, 60 t 鋼塊

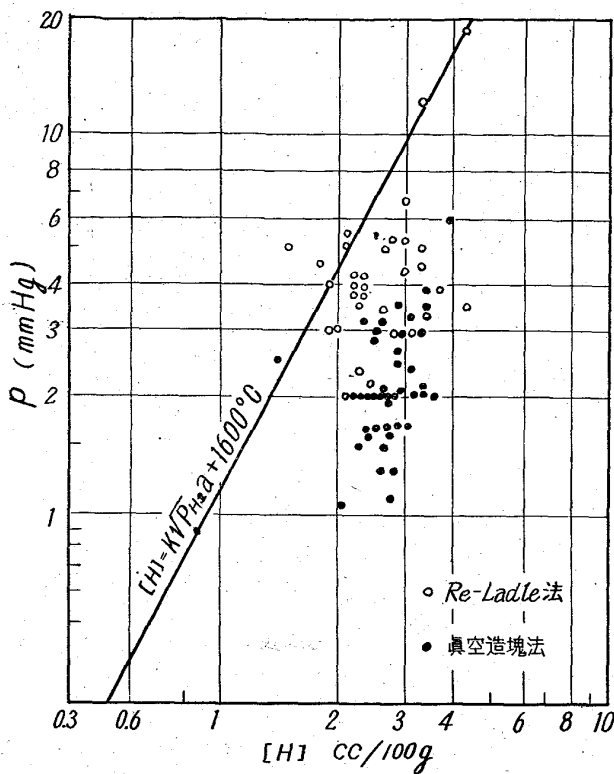


図 2.12 処理真空度と水素量 [大同製鋼]

の行われていることがわかる<sup>74)</sup>。ただし真空処理時の分圧により鋼中水素値を打点しているが正確には水素分圧により鋼中水素値を検討すべきであろう。1~10mmHgにおいて理論的水素平衡に大略近付くことが可能で、これより低い含有量は $10^{-3}$ ~ $10^{-5}$ mmHgにおいて数時間の処理をした真空溶解によつても一般にえられず、ドイツでは3ml/100g (2.7 ppm) 以下の水素含有量は白点解消に充分であるとの見解をとつておりわが国でもこれを踏襲している所が多い。一方アメリカにおいては水素脆性を起さない鋼を造るためには、または鍛造材の中心部の靱性を向上させるためには凝固鋼中の水素含有量を1.5 ppm以下にする必要があるとしている<sup>49)</sup>。

### (2) 脱窒素

水素と同様鋼中窒素量は外圧と温度によつて支配され、次式で示される<sup>107)</sup>。

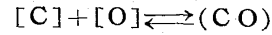
$$[N] = K\sqrt{P_{N_2}}$$

$$\log [N] = -1611/T + 3.183 + 0.5 \log P_{N_2}$$

圧力を減ざると鋼中窒素の減少することを表わしている。相当量の窒素が減少するという報告があるが窒素はAl, Crのごとき合金元素と強く結合していることと、拡散速度が小さいので脱窒素効果を上げるには相当高真空度を必要とするので窒素の減少は鋼種によつて変化するとしても一般に窒素含有量は真空脱ガスではほとんど減少しないと考えるべきであろう。

### (3) 脱酸

真空脱ガスにおける脱酸反応は次式に示される。



$$[\%C] \cdot [\%O] / P_{CO} = K$$

溶鋼表面、COの分圧すなわち真空度が脱酸効果に大きく影響してくることになる。溶鋼の真空処理によつてどの程度まで酸素が除去されるかについてはC-O反応の平衡状態のほかC-O反応の反応速度から求めねばならない。上式より圧力を下げることにより[C]・[O]の積が小さくなることは明らかでC, O含有量, 脱ガスタンク内の圧力, 脱ガス表面の面積, 時間などを含む反応速度は次のごとくである<sup>63)</sup>。

$$dVt/dt = K_{CO} \cdot F \cdot [C] \cdot [O] - K_C \cdot P_{CO}$$

$K_{CO}$ : 反応に対する速度恒数

$F$ : 脱ガス表面積  $m^2/t$

$K_C$ : C-O 反応平衡恒数

この式から脱ガス表面積 $F$ , C含有量 $[C]$ , 酸素含有量 $[O]$ および圧力 $P_{CO}$ によつて単位時間内に発生するCOガス量 $dVt/dt$ が求められる。脱ガス速度を大きくするためにはカッコ内の値を大きくすることならびに脱ガス表面積を大きくすることは明らかである。しかしC・O・%以上の溶鋼の脱ガスの際には $[C] \cdot [O]$ の積に対して $K_C \cdot P_{CO}$ は小さく無視することができる。従つて脱ガス速度は単に溶鋼組成および溶鋼と気相の界面の大きさによつて決定され、脱ガスはほとんど圧力と無関係に進行するので強力なポンプを用いて作業時圧力をさらにも下げて脱ガス速度はもはや増大しない。0.1% C以上のCを有する場合には10mmHg程度の圧力であれば反応速度は圧力0mmHgの際とほとんど同じ大きさである。しかし実際鋼中にはC以外に多くの元素が溶解しているのできわめて複雑である。鋼中における酸素の反応力、従つてCOとして放出される可能性は合金元素によつて影響される。例えばCr鋼の場合、Crは鋼中に溶解しているOの活量を下げるのでCOの形成は炭素鋼の場合よりも困難になる。図2.13はOの存在下における合金元素含有量による鉄中酸素溶解量の変化を示したものである。合金元素の添加によりO含有量は該当する曲線まで下り、その間に合金元素の一部は滓化する。Cの平衡線は圧力を下げれば非常に低下し例えば0.01 atm.のCO圧力の場合にはAlの存在する場合の平衡値よりさらに下にありMn, Cr, Si, Alなどの酸化物は還元される。SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の場合には勿論時間が短いので還元作用がわずかであるがCr酸化物の場合には速やかである<sup>63)</sup>。短時間にこの平衡が完全に実現されると

表 2.5 真空脱ガスにおけるダストの分析

社 名	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	Sn	Cu	Pb	C	Zn
大 同 <sup>74)</sup> 日 立 <sup>85)</sup> 関 特 <sup>2)</sup>	64.6	2.01	4.39	2.02	2.14	1.29	0.066	tr	0.027	0.21	5.12	3.10	tr
	74.8	0.57	4.63	0.95	4.48	3.98	tr	tr	tr	0.22	2.41	1.95	4.08
	51.35	26.56			2.26				0.08	1.31	0.68	0.56	4.96
	17.62	42.42		8.86	12.42		0.06						
	51.40	23.14		tr				14.17	2.85	1.66			

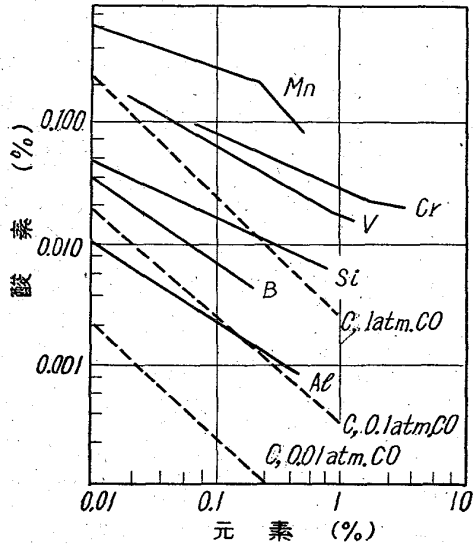


図 2.13 鋼中酸素の溶解度におよぼす各種元素の影響

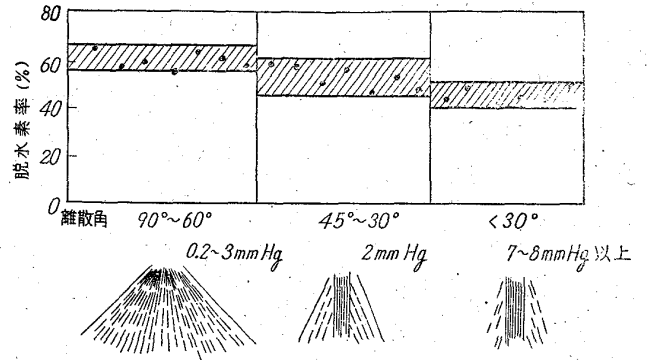


図 2.14 鋼流の散散角と脱水素量との関係 [日本製鋼所]

は思われないが真空脱ガスの結果からこの反応が相当迅速かつ完全に進行することがわかる。

6) 不純元素の蒸発

金属蒸発量は圧力, 温度, 時間の函数である. Pb,

表 2.6 真空脱ガスにより得られる水素量

会 社 名	脱ガス法	操作圧 Torr	铸込速度 t/mn	水 素 (ppm)		脱水素率 (%)	鋼 種
				処理前	処理後		
日本鋼管, 川崎	真空造塊	2~3	0.6~1.0				炭素鋼
愛知, 刈谷	取鍋流滴脱ガス	1~3	1	4.2 3.3	2.3 0.6	48 82	S U P 4 炭素鋼
日立, 水戸	真空造塊	3	5~4	3.3~6.5	1.2~2.1	65	炭素鋼 特殊
日鋼, 室蘭	真空造塊 取鍋脱ガス	0.4 1		5.5~6.5 6.0~6.5	2.0~3.0 2.3~2.5	58 62	
住金, 製鋼所	真空造塊	0.2~0.5		1.7~6.7	0.5~2.0	70	
住金, 鋼管	真空造塊	1~2					
日立, 安来	真空造塊	1					
川鉄, 兵庫	真空造塊	2		3.8	1.5	60	炭素鋼
富士, 広畑	真空造塊	1.5~2.5		5.1	2.5	50	ハイテン鋼板
日金工, 川崎	真空造塊	2~3	1.5~0.75	7.3	3.2	56	ステンレス (Ni-Cr)
大同, 築地	取鍋流滴脱ガス	1~5	1.2~2.2	6.6~9.8	2.2~4.0	59~68	合金鋼 ステンレス
関 特	真空造塊	1.5~3	2	4.8	1.9	60	特殊鋼
特殊製鋼	真空造塊	1~3					
神 戸	真空造塊			2.83	1.49	47	炭素鋼 特殊 鋼
				2.88	1.43	50	

Mn, Cu, CrなどはFeよりもかなり大きい蒸気圧を持つている。真空脱ガスにおけるごとき比較的高圧範囲における揮発性元素の除去はわずかである。しかしダストの分析結果は表2.5のごとくで比較的蒸気圧の高い不純元素が蒸発しているのが見られる。

4. 品質改善の効果

1) 脱ガス

(1) 水素

大型鍛造用鋼のメーカーは白点の対策として水素を除去するために真空脱ガスを適用し効果をあげている。表2.6に真空脱ガスによりえられる水素の値を集約して示したが一般に60%程度の水素が除かれる。これらの値は、鋼種、試料採取法、分析法などが一定していないが処理圧力と水素の値にかなり明瞭な関係が認められる<sup>45)</sup>(図2.14)。また水素の値が少くなるばかりでなく鋼塊内の水素の分布も均一になる。

(2) 窒素

未脱酸のリムド鋼および合金鋼では約40%の脱窒素が行われるとの報告もあるが広畑におけるリムド鋼の真空処理では差は認められない<sup>102)</sup>。キルド鋼、合金鋼では窒素はあまり有害でないので水素の除去ほど一般に興味を持たれない。多いところで17%程度であり<sup>26)58)</sup>水素、酸素に比しわずかで窒素の多くは窒化物となつて溶鋼中に含有されていて容易に解離されないと考えられ、窒素はほとんど変化がない<sup>98)</sup>か、または除去が困難である<sup>2)35)43)44)45)</sup>。表2.7に真空処理における窒素量を示す。

(3) 酸素

1)表2.8に真空処理によつて得られる酸素量を示したが

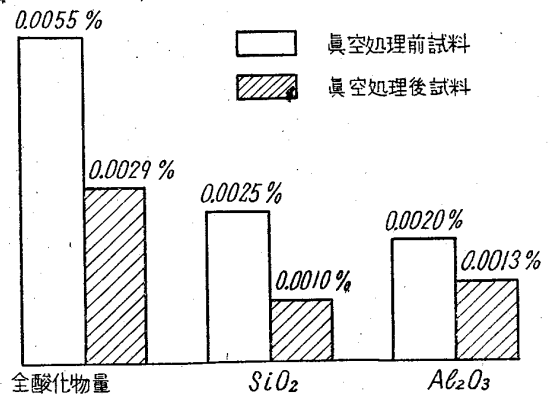
表 2.7 真空脱ガスにおける窒素量

会社名	鋼種	真空処理前または大気铸造 (ppm)	真空処理鋼 (ppm)	脱窒素率 (%)
日立, 水戸	Low-C	79	64	18
	Low-C, Cr-Mo	87	91	—
	High-C, Cr-Mo	64	58	9
	Cr-Mo-V	81	86	—
	Ni-Mo-V	58	55	5
	Ni-Cr-Mo	73	65	11
				Arg. 12
川鉄, 兵庫	S F	79.5	66.2	17
神 戸	S F Cr-Mo	44	42	5
		53	64	—
関 特	Ni-Cr	110	100	9
日 鋼		70~80	60~70	Arg. 12

表 2.8 真空脱ガスによつて得られる酸素量

会社名	鋼種	真空処理前または大気铸造 (ppm)	真空処理鋼 (ppm)	脱酸素率 (%)
日立, 水戸	普通鋼	91	34	63
	Low-C, Cr-Mo	105	48	54
	High-C, Cr-Mo	93	45	52
	Cr-Mo-V	50	42	16
	Ni-Mo-V	82	49	52
	Ni-Cr-Mo	75	52	31
関 特	Cr C Ni-Cr-Mo Cr-Mo	41	26	37
		42	24	44
		37	24	35
		36	14	38
愛 刈	* 知谷 S F 〃	49	29	41
		56	39	30
川鉄, 兵庫	S F	107	78	27
特殊製鋼	C Cr-Mo	61.7	40	35
		57	32	43
神 戸	S F Cr-Mo	76	33	57
		63	29	54
富士, 広畑	リ ム ド	195	85	56
日鋼, 室蘭		40~80	20~50	Arg. 35
任金, 製鋼所		50~80	30~50	Arg. 40

\* 取鍋流滴脱ガス法を適用したもの。脱酸剤を添加しないで出鋼し真空処理後 Fe-Si, Al を添加した。



30~50%程度の酸素が減少している。

2) 非金属介在物

真空脱ガスにより【O】が減少するので従つて酸化物介在物も減少する。非金属介在物の低減状況SiO<sub>2</sub>, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の減少が顕著で<sup>3)33)43)44)45)58)97)103)</sup> SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の場合は図2.15に示す通りである。取鍋流滴脱ガスにおいてもAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の激減が報告されている<sup>79)87)</sup>。表2.9はリムド鋼のスカムの比較で大気铸造をしたものに比べ

表 2.9 リムド鋼のスカムの比較

処 理	MnO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	T.Fe (%)	FeO (%)
真空処理	39.3	5.4	23.4	13.5	
大気鑄造	43.99		18.73		27.88

表 2.10 非金属介在物の変化

住 金, 製鋼所	SiO <sub>2</sub> 系 30% 減, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 不変
川 鉄, 兵 庫	サンドは 24% 減, SiO <sub>2</sub> の減少最も大きく 35%
日 鋼, 室 蘭	非金属介在物は 1/2 に減少, SiO <sub>2</sub> 系介在物は 60%, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系介在物は 35% 低下し, 砂疵発生を防止する.
神 戸	とくに SiO <sub>2</sub> , (MnO) complex 量に顕著な差が認められる.
関 特	全サンド 30% 減少する.
愛 知, 刈 谷	取鍋流滴脱ガスにより SiO <sub>2</sub> は大きな差はないが, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> は約 1/3 となった. 真空処理後 Si, Al を添加したものは SiO <sub>2</sub> 系介在物が大部分であり, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系のものほとんど見られない.

FeO が少く還元されているのがわかる<sup>102)</sup>.

[C]% と介在物増減率の関係を求めると [C]% の低いほど介在物の減少率が大きく, [C]% の低い溶鋼ほど大気鑄造では空気による酸化汚染が多く, 介在物が増加すると考えられる<sup>97)</sup>. 表 2.10 に真空処理による非金属介在物の変化を集約して示した.

清浄度については JIS 点算法による結果 および旧学振法による測定でも真空処理鋼は良好である<sup>3)33)43)79)87)</sup>. 一例を図 2.16 に示す<sup>79)</sup>. リムド鋼においてもややすぐれている<sup>102)</sup>. しかしステンレス鋼について若干劣るといふ報告<sup>99)</sup>があり今後研究すべき課題であろう.

3) 地 疵

地疵試験の結果は必ずしも一致していない. むしろ効

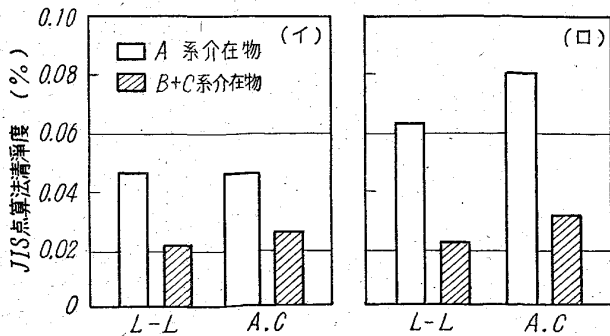


図 2.16 非金属介在物試験 (SUP 4)

L-L: 取鍋流滴脱ガス鋼

A.C: 大気鑄造鋼

[愛知製鋼]

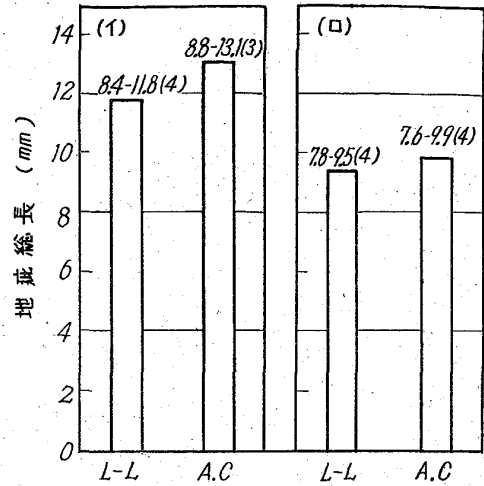


図 2.17 地疵試験結果  
[愛知製鋼]

果がないとする報告がある. ステンレス鋼について地疵個数および地疵合計長さとも真空鑄造材は大気鑄造材に比して多い傾向を示す<sup>98)</sup>. 前述のごとく真空造塊においては溶鋼が微細な鋼流となるため, または鑄型内で溶鋼が沸騰しているため鋼塊の表面層がスポンジ状を形成し外周部にはかえつて多くの地疵を残す<sup>33)</sup>. しかし総体的に見れば真空処理鋼は普通鋼よりも清浄である. 一方効果があるという報告として次のごときものがある. 真空流滴脱ガスを行つたものを行わないものの地疵試験の結果, 両者の間に大差はないがわずかに前者の方が良好である<sup>79)</sup>. (図2.17) また低炭素管材を対象として真空造塊法が鋼材の地疵生成におよぼす影響を調査した結果<sup>103)</sup> (1) 鋼塊内における地疵の分布傾向は変わらない. (2) 鋼番間における地疵のばらつきは軽減される. (3) 最大地疵の大きさには大差はない. (4) 地疵量は軽減される. (5) 地疵組成は何れもアルミナ系70%, シリケート系30%程度で大差は認められない. などが明らかにされ真空造塊を行へば相対的に鋼材の地疵を軽減する効果があることが確認された. しかし絶対値においてはなほ不十分の場合もあり白点に対する効果ほど絶対的ではない. ゴーストに原因する地疵は真空処理によつて軽減されると言われる<sup>33)45)</sup>.

4) 機械的性質

真空処理による効果は降伏点はやや低い<sup>33)87)</sup>, 差がない<sup>44)</sup>, 3~7%向上する<sup>58)</sup>のごとく一致しない. 抗張力についても同様に 5~10% 向上する<sup>45)74)</sup>という報告がある一方差がない<sup>33)44)58)</sup>, 低い<sup>87)</sup>と一致を欠いている. しかし伸びでは 2~10% 向上し<sup>44)45)58)74)87)</sup>, 絞りは 10~20%程度増加し<sup>33)44)45)58)87)</sup>(図2.18), 衝撃値は12~35%程度改善される<sup>33)58)</sup>.

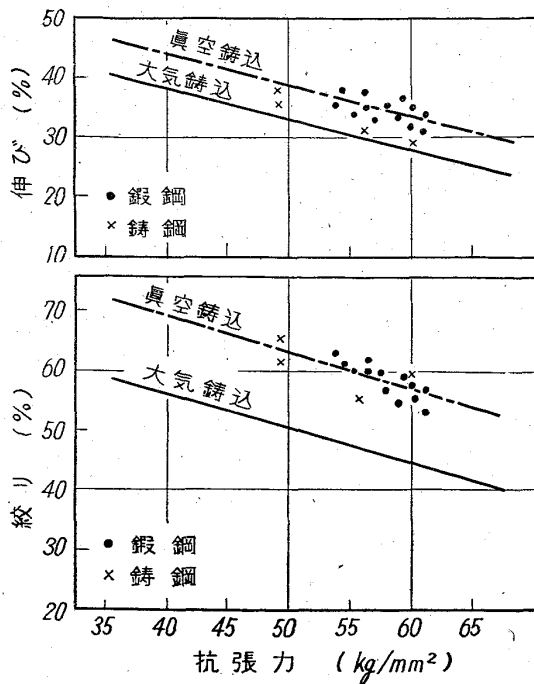


図 2.18 炭素鋼の機械的性質の比較

また横方向の材力を向上する<sup>33)45)</sup>。真空処理によつて鋼中の水素および酸素量が低減しかつそれらの偏析が少くなるので機械的性質の面においてもかなりの向上が期待されるが若干の向上に留りいちじるしく向上せしめることはできない。むしろ普通鋼に比較して均一化された結果がえられる<sup>44)</sup>。ことに意義があるように思われる。リムド鋼の冷延製品<sup>102)</sup>について降伏点はトップ側、ボトム側何れも真空鑄造機が小さくこの傾向はトップ側ほど大きい。抗張力はボトム側では両者の間にはつきりした差は認められないがトップ側では明らかに真空処理材の抗張力が小さくなっている。硬度はトップ側で真空処理材はやや軟いがこれは組織の差に基くと考えられ、エリクセン値は真空処理機の方がすぐれた値を示す。

5) 高温変形能

ステンレスにつき真空鑄造材と大気鑄造機の高熱捻回試験の結果、高温変形能は高温側において前者はすぐれている<sup>98)</sup>。(図2.19)

6) 組織

マクロ組織は顕著な差は認められない<sup>44)58)74)</sup>と言われ一方次のごとき観察がある。樹枝状組織はきわめて微細である<sup>79)87)</sup>。樹枝状晶の大きさは同程度であるが真空鑄造鋼ではチル層以外に15~20mmの擬似チル層が存在する<sup>55)</sup>。柱状晶がやや深い<sup>45)</sup>、軸心部の等軸晶も若干細くなる<sup>45)</sup>。また取鍋流滴脱ガスを行つたものにピット発生量が多い<sup>79)87)</sup>などの報告があり一定した効果は認め難い。

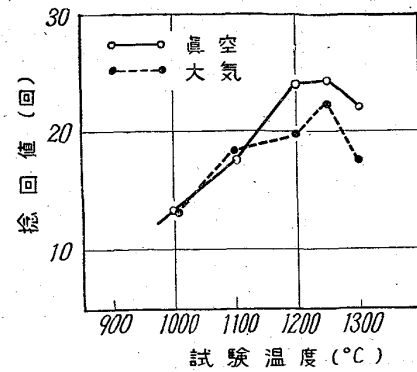


図 2.19 高温捻回試験結果 [日本金属工業]

7) サルファプリント

サルファプリントは大差は認められない<sup>44)74)</sup>という報告に対しV偏析はほとんど消失し、逆V偏析線はかなり内側に入つてしかもかなり軽減されるという報告<sup>45)</sup>がある。リムド真空処理材<sup>102)</sup>ではS濃厚偏析線が全く認められない。またリム層の厚さをサルファプリントから測定すると真空処理材で22~37mm、比較材で105~135mmと大きな差がある。

8) オーステナイト結晶粒度

差は認められない<sup>44)58)</sup>。リムド鋼においても斉粒、混粒の傾向の差は認められない。<sup>102)</sup>

9) 腐食試験

ステンレスについて真空鑄造材と大気鑄造機の5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>による腐食試験では腐食減量には差は認められなかつた<sup>98)</sup>。

10) 白点感受性

前に述べた脱水素効果の結果より白点感受性が低減することは当然で白点防止焼鈍として実施されていた長時間にわたる熱処理を短縮することができる<sup>3)33)44)45)60)</sup>キロ・ハイテン鋼板は焼入れ後の放置により内部に割れが発生する。水素が重要な働きをしていると考えられ、真空鑄造を行い2.5ppm前後の水素含有量に低下させた鋼塊を圧延した結果、焼入れ後の放置により割れの発生を防止することができた<sup>96)</sup>。

11) 超音波試験

内部欠陥は非常に少くなり健全で超音波試験成績はいちじるしく改善される<sup>3)33)43)44)45)74)</sup>。大気鑄造材に時として認められる偏析帯部における割れ疵のような欠陥は認められない<sup>3)33)44)</sup>。従つて製品の超音波試験成績は向上し廃却率は低下する<sup>3)33)45)</sup>。表2.11に真空鑄造による不良品発生率の減少を示す<sup>74)</sup>。

12) ポロシティ

真空処理材のポロシティの大きさは0.5mmφまたは

表 2.11 超音波探傷成績 (34.9~35.8)  
[大同製鋼]

鋼 種	大 気 鑄 造			真 空 鑄 造		
	検 査 Ch.	不 合 格 品 発 生 Ch.	不 合 格 率 (%)	検 査 Ch.	不 合 格 品 発 生 Ch.	不 合 格 率 (%)
炭 素 鋼	656	15	0.2	99	0	0
Ni-Cr	83	6	7.2	28	0	0
Cr-Mo	10	2	20.0	48	0	0
Ni-Cr-Mo	46	12	26.0	33	1	3.1

(但し 1 Ch. 中 1 個でも不良品が出れば 1 Ch. として数えている.)

それ以下である<sup>45)</sup>.

### 13) 鋼塊の性状

押湯部の凝固形状は大気鑄造鋼塊はV状をなすが真空鑄造鋼塊は凹形である<sup>74)</sup>. 鋼塊の表面層はスポンジ状を呈している<sup>33)74)</sup>.

### 14) 偏析

#### (1) 成分の偏析

キルド鋼では両者間に本質的の差を認め難い<sup>33)74)</sup>. 真空処理リムド鋼はコア部の状況がセミキルド鋼のそれに類似している. すなわち鋼塊頭部には下方に走る大きな管状気泡とその下方に小さな収縮孔が点存しこの辺一帯が濃厚偏析帯を形成している. またかなりのΔ偏析も認められるが此等は何れも軽度でありコア部の偏析状況は脱ガス処理によりいちじるしく好転される. 最大偏析度を比較すると次表のごとくとなる<sup>102)</sup>.

表 2.12 リムド鋼の偏析 [富士製鉄]

	真空処理鋼塊	比較鋼塊
Cの最大偏析度*	0.77	1.21
Sの最大偏析度	4.22	12.7

\* max. [C]/ladle [C]  
max. [S]/ladle [S]

Cの偏析の差は両者であり大きくはないがSの偏析の程度は真空処理鋼塊では比較材の1/4で効果が顕著に現われている.

#### (2) 酸素および介在物の偏析

小型鋼塊の真空処理では酸素の分布に差は見られ<sup>87)</sup>. 大型鋼塊においてはトップが低く、ボトムがいちじるしく高い傾向を有するが真空鑄造ではボトムのOの偏析が減少しておりボトムの介在物性欠陥防止に好影響があると思われる<sup>88)</sup>. 図 2.20 に示すごとく真空材は全般的に見て大気材に比しばらつきが少くとくに中央部においては表面と中心部との差が僅少であり大気材は頭部

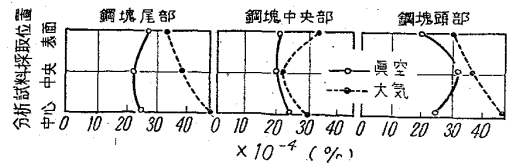


図 2.20 真空と大気材内Oガス偏析  
(SNC 2) [特殊製鋼]

と底部については中心部のOが多く真空材との差がいちじるしい. なお脱酸素率は頭部において 37%, 中央部では 22%, 底部では 40% 程度で全体としては約 34%を示している<sup>87)</sup>. 介在物の分布も小型鋼塊では大差ない<sup>87)</sup>が大型鋼塊においては前述の鋼中酸素の底部偏析と全く同様の傾向がここでも見られ<sup>88)</sup>, 偏析も少なくなっていることが認められる<sup>44)87)</sup>.

#### (3) 水素の偏析

大気鑄造鋼塊では鋼塊中心部より逆V偏析帯の方が水素が高く鋼塊内では水素は表面より中心に向つて次第に多くなるのではなく鋼の組織に影響され偏析帯に集る傾向が認められる. 真空鑄造鋼塊ではかかる水素の偏析はわずかでその値もほとんど 1 ppm 以下となつて分布が安定している<sup>58)</sup>.

#### (4) 窒素の偏析

窒素の分布については余り明瞭ではないが一般にやや良好である<sup>44)</sup>.

#### 15) 製品の歩留

真空鑄造材の製品歩留は全鋼塊に対し 70~71% で大気鑄造材のそれは約 60% であることより真空鑄造を適用することにより鋼塊歩留向上を計ることができる<sup>44)</sup>.

## III. 真空アーク溶解法

### 1. 国内設備の概況

現在国内各社において設置された鉄鋼生産用真空アーク溶解設備の諸元は表 1.2 に示してある<sup>86)</sup>. 真空アーク溶解炉による鉄鋼材料の生産に先鞭をつけたのは神戸製鋼(株)であるが<sup>10)</sup>, その後本溶解法の高級材料の生産手段としての優秀性が認識され, 昭和36年以降各社において建設がすすめられている<sup>30)68)69)70)73)</sup>. 仕様条件は各社一様ではないが鋼塊重量 500~1000 kg, 整流器容量出力 8000~10000 Amp 程度のものがもつとも普及している. また炉体の容量にゆとりをもたせ, モールド交換あるいは整流器, 排気系などを増強することにより将来の溶解量増加を企図した仕様条件で設計されたものもある.

真空アーク溶解炉の容量の表示は, 造塊可能な最大鋼塊重量, 直流電源容量, 排気ポンプ容量などで示される



が各社の溶解対象鋼種，最終製品の形状，あるいは技術的な理由から，鋼塊直径/長さ比，鋼塊直径に対する最高電流出力，排気系ポンプの種類あるいはその組合せなど必ずしも一様でない。表 3.1 に 400~6000 kg 規模の設備仕様諸元の一列を示した。

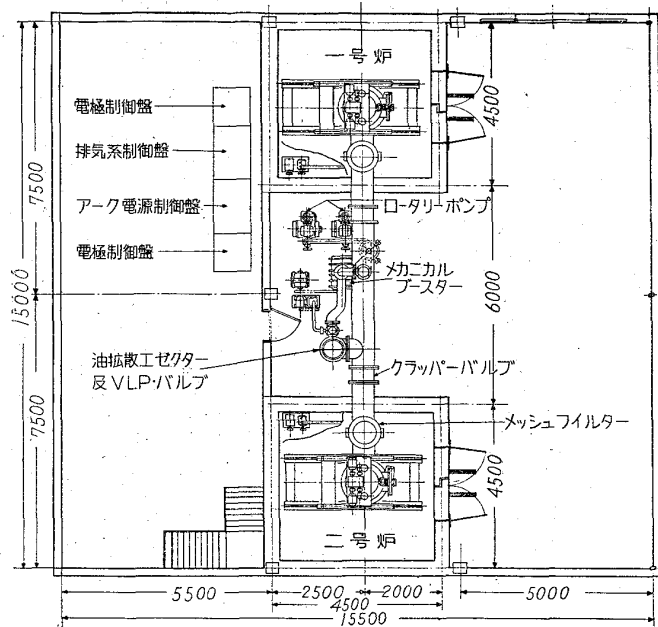
2. 真空アーク溶解炉の設備構成

真空アーク溶解設備の構造は大別して(イ)真空タンク，(ロ)水冷モールド，(ハ)排気系，(ニ)電極駆動系，(ホ)アーク電源設備，(ヘ)付属装置から構成される。図 3.1 にわが国の代表的な真空アーク溶解設備として 1500 kg 溶解炉の配置図の一列を示した。以下設備構成の諸元についてのべる。

1) 真空タンク

1500 kg 真空アーク溶解炉の炉体，モールド，駆動系などの構造図の一例を図 3.2 に示した<sup>30)</sup>。

真空タンクは通常一般構造用圧延鋼材製で内面はサンドブラストあるいはニッケル鍍金など表面処理がほどこされる。また補助設備としては溶解電極の調芯器具，アーク監視用覗窓，遠隔監視用望遠鏡用覗き窓などの補助装置がとりつけられている。電気的にはタンクは絶縁されておりモールドに (+) 極が接続される。



配置平面図 (一階)

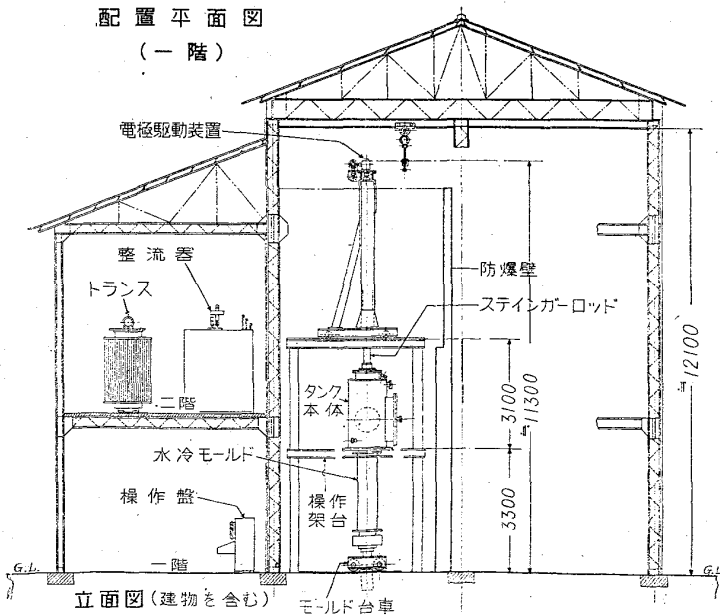
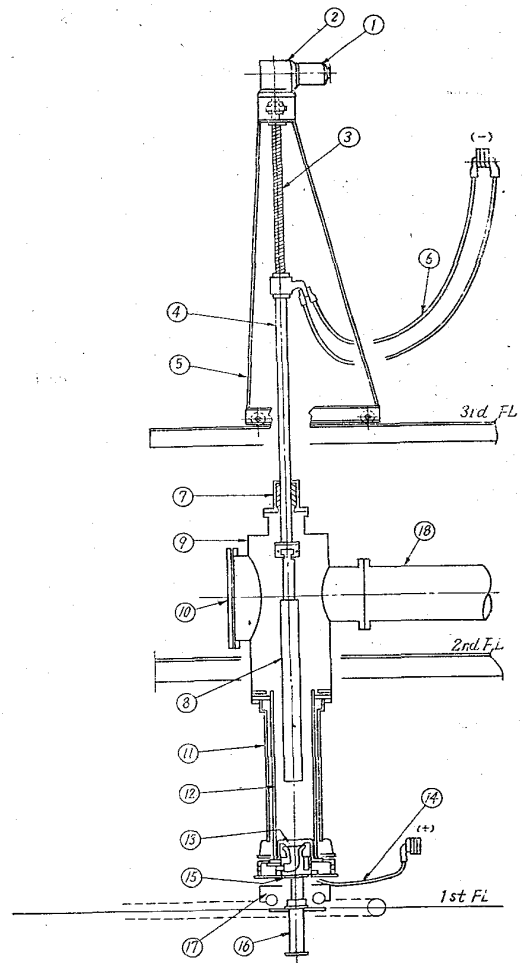


図 3.1 1500 kg 真空アーク溶解炉配置



- ① 消耗電極昇降用モーター
- ② 減速装置
- ③ 回転ねじ棒
- ④ 消耗電極昇降用ロッド(スティンガーロッド)
- ⑤ 電極昇降装置ドリー
- ⑥ (-)極用アーク電流供給リード
- ⑦ スライドシール
- ⑧ 消耗電極
- ⑨ 真空タンク
- ⑩ マンホール
- ⑪ 水冷ジャケット
- ⑫ 水冷銅モールド(ライナー)
- ⑬ 水冷銅モールド(スツール)
- ⑭ (+)極用アーク電流供給リード
- ⑮ 水冷銅モールド挿上テーブル
- ⑯ 油圧ジャッキ
- ⑰ 水冷銅モールド移
- ⑱ 真空排気孔

図 3.2 1500 kg 真空アーク溶解炉構造図

表 3.1 各種容量の真空アーク溶解装置の設備仕様の一例

溶解量 (kg)	400	700	1000	1500	3000	6000	
モールド最大寸法 (mm)	255 $\phi$ × 1250 h	305 $\phi$ × 1500 h	360 $\phi$ × 1750 h	410 $\phi$ × 2000 h	510 $\phi$ × 2500 h	620 $\phi$ × 3600 $\phi$	
インゴット寸法 (mm)	250 $\phi$ × 1000 h	300 $\phi$ × 1200 h	350 $\phi$ × 1400 h	400 $\phi$ × 1600 h	500 $\phi$ × 2000 h	605 $\phi$ × 3000 h	
電極寸法 (mm)	160 $\phi$ × 3000 h	200 $\phi$ × 2800 h	250 $\phi$ × 2900 h	300 $\phi$ × 2600 h	400 $\phi$ × 3400 h	500 $\phi$ × 4500 h	
排気系	油拡散噴射ポンプ (in)	14	14	20	20	20, 2台	20, 2台
	メカニカル・ブラスター (m <sup>3</sup> /h)	2000	2000	2000	3500	2000, 2台	2000, 3台
	油廻転ポンプ (l/s)	3000	3000	6000	6000	6000, 2台	6000, 3台
直流電源 (A)	5000	7500	10000	15000	20000	25000	
電極駆動源 (HP)	1/2	1	2	2	3	5	
総電力	3300 V (kVA)	325	510	680	1010	1350	1680
	200 V (kW)	35	60	75	85	140	200
冷却水量	モールド 4kg/cm <sup>2</sup> (t/h)	8.5	12	15.5	2	4.5	6
	タンクその他 2kg/cm <sup>2</sup> (t/h)	2.0	2.5	2.5	4	5	8
	ポンプ系 2kg/cm <sup>2</sup> (t/h)	1.8	2.0	3	3	12	14.5
溶解時間 (含ホット・トップ) (mn)	≈170	≈200	≈220	≈230	≈330	≈520	

2) 水冷モールド<sup>30)</sup>

ルツボは大型炉の場合には一般に無酸素銅板を溶接して作られる。水冷方式は通常ウォーター・ジャケットで肉厚は 1/2"~3/4" の薄いものと 1 1/2"~2" 程度の厚いものがあるが、銅の熱伝導度は銅より冷却水への熱移動より早いから肉厚の方が温度上昇がゆるやかで作業上の安全度は向上するが、製作費のかねあいから 3000 kg 鋼塊 (500mm  $\phi$ ) の場合 3/4" 程度、200~500 kg (200~250mm  $\phi$ ) の場合 1/2" 程度が標準になっている。また鋼塊の長さは鋼塊の抜きとりを支障なく行わせるために直径の 5 倍が限度であるといわれている。モールドのジャケットの外周には、溶融プールに攪拌作用をあたえるためのスターリング・コイルを巻きつけた構造にすることが一般に行われている。

3) 真空排気系<sup>30)</sup>

排気系の設計は真空アーク溶解の精錬効果の上のみならず、溶解

の安全操作の見地から極めて慎重に考慮すべき点である。設計基準としては溶解中に電極材から放出されるガス量を勘案して決定される。溶解中に真空度が劣化すると、アークの安定性が劣化しグロー放電に移行する。この危険圧力は電極組成、溶解電流値により若干移動する。

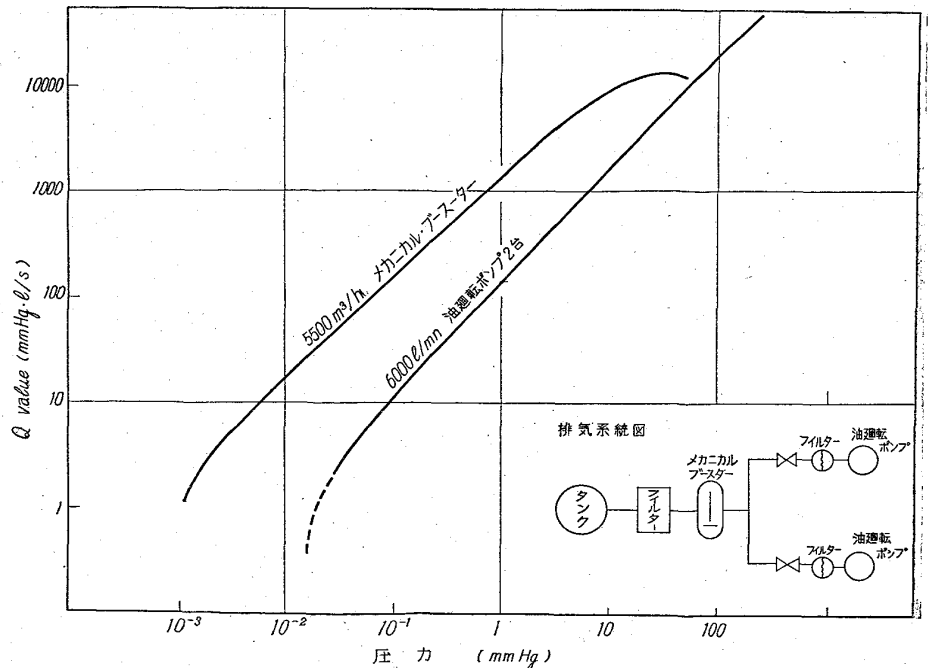


図 3.3 1500kg, 15000 Amp 真空アーク炉の排気特性 [日本真空技術]

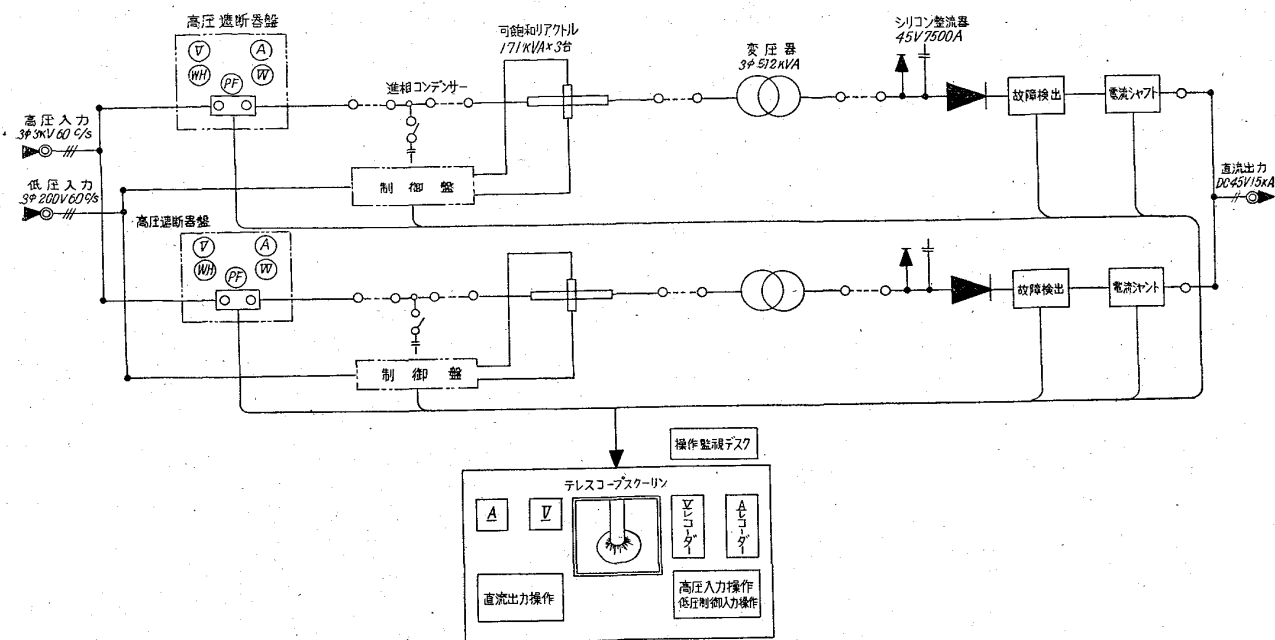


図 3.4 1500 kg 真空アーク溶解炉電源系統図 [日本真空技術]

が 100 μHg 程度であるといわれ、この圧力範囲で排気速度の早いポンプが最適である。ルーツ・ポンプ単独、ルーツ・ポンプ+拡散噴射ポンプなどの組合せが一般に行はれる。図 3.3 に 15000 Amp, 1500 kg (モールド径 400mm φ) 真空アーク溶解炉の排気系統図および排気特性図を一例として示した。

4) 電極駆動系

電極駆動系とは消耗電極を自動または手動で下降させ、溶解時のアーク・ギャップ (従つてアーク電圧) を一定にするための駆動および制御機構である。電極を一定電圧に保つて駆動する方式としては、(イ)電子管制御方式、(ロ)磁気増巾器とアンプリダインによる方式、(ハ)磁気増巾器と特殊交流モーターによる方式など種々の方式があるが最も一般的に用いられる方法は(ロ)の方式で、アーク電圧と標準電圧との差を磁気増巾器、アンプリダインにより増巾した後電極駆動用の直流モーターを制御する方式である。

5) アーク電源設備

アーク電源設備は高圧変圧器、過飽和リアクトル、整流器の各部から構成される。図 3.4 に 15000 Amp 真空アーク溶解炉の電源設備系統図の一例を示した。

整流器としてはセレン、ゲルマニウム、シリコンの 3 種類が使用される。従来セレンが多く使用されてきたがシリコンに移行しつつある。シリコン整流器はスペースをとらない、寿命が長い、効率がよい、運転温度の許容限が高いなどの有利な操業特性を有する。

6) 付属設備

その他付属装置としてはバルブの開閉、モールドの設定移動などに使用する油圧器、ステインガーロッド、モールドに電力を供給するためのフレキシブルリード、溶解中のアークの状態および湯面を遠隔監視するために用いられるテレスコープあるいは工業用テレビジョン、爆発事故などの場合に作業員を防護するための防爆壁、各種冷却回路の水量、水温の危険警報器、安全弁などの安全保障装置、真空計などが付属する。

7) 電力および水量

表 3.2 1500 kg 真空アーク溶解設備の所要電力および水量

電	項	目	電源電圧 (V)	所要量	数
	電	直流アーク電源		3300	550 kVA
メカニカル・ブ			200	30HP	1
スター			200	15HP	2
油廻転ポンプ			200	2HP	1
油圧ポンプ			200	10kVA	1
電極駆動モーター、			200	15kVA	2
制御系			200	10kVA	1
気	アーク電源、排気系、		200	15kVA	2
	制御系		200	10kVA	1
	スターリング電源その他		200	10kVA	1
水	項	目	所要水量 (m <sup>3</sup> /h)	所要水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	
	モールド		60	4	
	ステインガー・ロッド	}	5	2~3	
	炉タンク			2~3	
水冷パワーリード		2~3			
真空ポンプ		1.2	2~3		

表 3.2 に 1500 kg アーク溶解設備の場合を例にとり所要電力および水量を示した。所要電力の大部分はアーク電源設備であり、水量の大部分はモールド冷却用である。また停電などの突発事故の際にも2時間以上の通水が必要であるのでそれに要する予備貯水槽なども必要である。

### 3. 溶解作業

#### 1) 電極<sup>30)69)70)</sup>

真空アーク溶解に作用する電極は普通空气中溶解された鋼塊を鍛造するか、あるいは鋳造のままの状態で行われる(電極材の品質が製品の品質に影響することは一般にみとめられている<sup>104)106)</sup>) 鋳造電極を用いれば経済的であるが電極の鋳造には直径に対し異状に長い鋳型を必要とする。また幾本かの鋳造電極を溶接してもよい。このように成型した電極は真空溶解前に酸洗、機械加工による皮削り、ショット・ブラスト等の方法で表面を清浄にすることが必要である。また電極にクラックがあると溶解中にそこから脱落し故障の原因となるから溶接補修などの設置も必要となる。電極径とルツボの大きさの関係は両者の間隔があまりせますぎると放出ガス、電極の曲り、ガイドの誤りなどの点からサイド・アークの危険があり、一方間隔が大きすぎると電極の長さを長くする必要があり、かつ鋼塊肌は劣化する。一般にはこの間隔を35~60mm程度にとる。電極の装着は補助電極を炉外で溶接したものを使用する場合と電極をルツボの上にあらかじめ調芯して設置し、ステインガーロッドにとりつけた補助電極との間で真空溶接を行う場合とがある。いずれの場合にせよ補助電極のロッドと電極面が十分に接触していることが必要である。

#### 2) 溶解工程<sup>30)</sup>

溶解は溶融プールと電極間の距離いわゆるアーク・ギャップが1吋に保たれるように操業する。アーク・ギャップ1吋あたりの電圧は電極の化学成分、溶解雰囲気によりきまる特有な値であり、この値を設定値として電極を駆動する。溶解電流はモールド径1吋あたり500~1000 Amp程度の値がとられる。これはルツボの冷却能力から勘案された値であるが適用電流値は鋼塊の性質に大きな影響をあたえるから、慎重に選択する必要がある。

溶解にあつてのスタートは溶解電流の30~50%程度の低電流で開始する。スタート後数分間はアーク電圧は不安定であるので手働で電極を駆動し電圧設定のめやすをつける。その後電流値を徐々に上昇し溶湯が底部に充分満ちた後溶解電流を目標値まで上昇する。また溶解の最終段階には漸次溶解電流値を下げ溶融プールを浅くし収縮パイプを小さくするためホット・トッピングを行う。このようにホット・トッピングを行つても事実上収縮こうはさげられない。図 3.5 に AISI-304 の鍛造機電極を用いた場合の真空アーク溶解の操業例を示した。

3) 真空アーク溶解における技術的問題<sup>30)</sup>

#### (1) アークの安定

消耗電極式アーク溶解炉の最も重要な要素としてはアークの安定性が最も強調される。その制御に対しては次の諸点に考慮を払わねばならない。

(i) 真空中でアークの安定性を保持するためにアーク・ゾーンに金属ガスを作らねばならない。この問題は高電流とショート・アークによつて容易に解決される。

(ii) 真空タンク内の圧力は溶解開始時通常  $10\mu\text{Hg}$  を越えてはならない。高真空は電極とルツボ間に生じ易いサイド・アークを防止する。

(iii) ソレノイドによる溶融プールの攪拌効果はアークの安定をよくするかもしれない。

(iv) アーク長に対するアーク電圧変化  $\Delta V/\Delta l$  は大気中では  $10\sim 30\text{V}/\text{inch}$  であるのに対し真空中の場合は  $1\text{V}/\text{inch}$  となる。すなわち真空中の場合アーク長が取つてもアーク電圧の変化は微小であるから電圧のみによつてアーク長を制御することは技術的に困難である。仮にアーク長の自動調整が正しく行はれたとしても、電極の長さは溶解中同一ではなく溶解が進み電極の長さが減少すれば抵抗変化にもとづいて電圧は上昇する。また電極の温度は溶解中に上昇し抵抗増加の原因となり、電圧降下は一定の

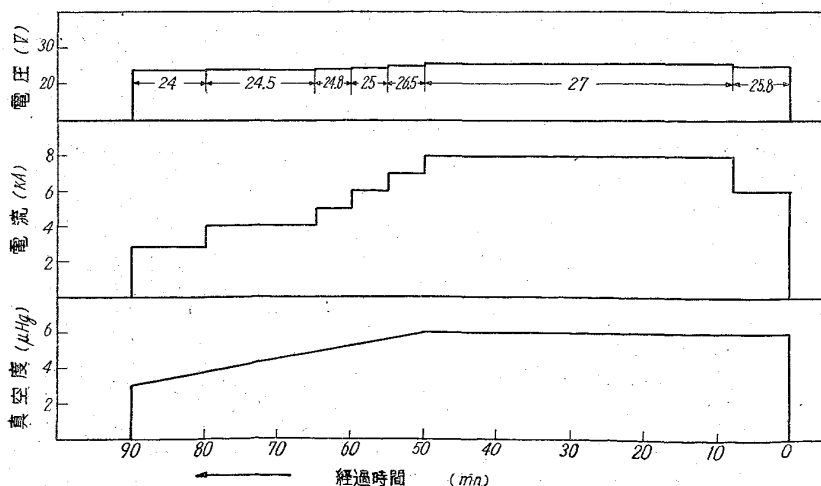


図 3.5 真空アーク溶解作業の操業例 [日本冶金]  
電極材: AISI-304 (鍛造品)

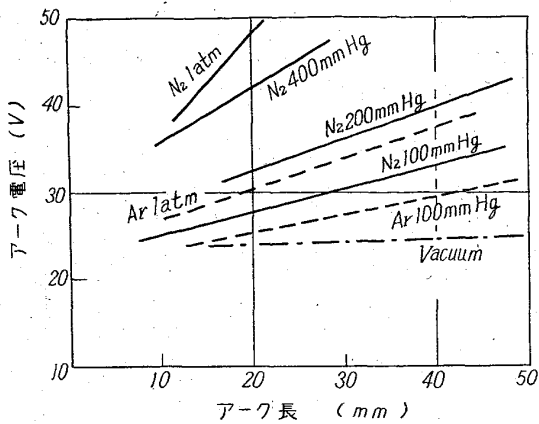


図 3.6 種々の雰囲気中におけるアーク長とアーク電圧の関係 [日本冶金]

長さの電極に対しては増加する。

上述のサイド・アークの発生防止には真空度劣化，冷却水の温度上昇に対し警報信号を出すような安全装置により受協している。適正アーク電圧による電極の駆動に対しては Dipping 操作によりアーク長の確認を行うことができる。Dipping 操作とは一定の周期でアーク検出電圧を下げてやりふたたび元の設定電圧に戻す操作でこれにより溶解中の標準値を少しずつ矯正してゆくことができる。Dipping 操作はこのように設定電圧を矯正するためのみではなく，電極中にとくに蒸気圧の高い金属が含まれている場合に生ずるグロー放電を防止するためにも行われることがある。ソレノイドによる磁気攪拌はアークの安定性を改善するためには有効であるとされているが鋼塊の性質におよぼす影響に対しては定説がない。

(2) 雰囲気ガス中のアーク<sup>106)</sup>

高蒸気圧元素を多量に含む合金，あるいは窒素のようなガス成分を合金元素として含有する電極材のアーク溶解の場合真空中で行うことは技術的に困難である場合が多い。このような場合雰囲気ガス中のアーク溶解が行はれる。図 3.6 は AISI-304 について 2000 Amp の実験用装置を用い窒素，アルゴンガス中の雰囲気中の場合と真空中の場合のアーク溶解におけるアーク長とアーク電圧の関係を実験した結果を示したものである。前項で述べたように真空中のアークは  $\Delta V/\Delta l$  は極めて小さいが，雰囲気ガス中ではアーク長の変化に対する電圧変化が極めて大きく，とくに窒素雰囲気下の場合アーク電圧は極めて高い。また含窒素耐熱合金 LCN-155 を Ar 1~1/4 atm 下の雰囲気中でアーク溶解を行った結果電極材中の窒素含有量を保持し良好な作業性がえられたことを報告している。

(3) 溶解電流と溶解速度の関係<sup>92)</sup>

表 3.3 溶解電流と溶解速度の関係 [日立金属]

溶解電流 (A)	溶解電圧 (V)	溶解速度 (kg/mn)	溶解速度 (kg/mn kA)
8,000	26.3	5.24	0.655
7,000	26.0	4.46	0.637
6,000	25.8	3.34	0.556
5,000	25.0	2.70	0.540
4,000	24.8	1.59	0.400
3,500	24.5	1.56	0.450

表 3.4 1500 kg 真空アーク溶解炉の作業時間および所要人員 [関東特殊製鋼]

	作業時間	所要人員		
(1) モールドの取付 (2) 消耗電極の取付 (3) 排気 (4) 溶接	30mn	2人		
(5) 溶解 (6) 冷却 (7) モールド取外し (8) 電極取外し (9) インゴット取外し			Hot topping を含む 200mn 30~60mn 15mn 15mn 15mn	1人 放置 2人 1~2人 2人
(10) タンク内 クリーニング (11) モールド クリーニング			20mn	2人
以降 (1) に帰還				

アーク溶解にあたって溶解電流と溶解速度の関係は従来溶解電流値に関係なく単位電流値あたり一定効率の溶解速度がえられるものと考へられていたが，適用電流値で溶解効率が変化することが報告されている。日立金属の報告によればステンレス鋼 SUS-2 を 8000 Amp 真空アーク溶解炉により溶解した場合（電極径 200mm  $\phi$ ，鑄型内径 305mm  $\phi$ ）溶解速度と溶解電流の関係を測定し表 3.3 に示すような結果を報告している。これからあきらかなように溶解電流を高くした場合溶解効率は向上しそれだけ溶解時間を短縮することができ，溶解スケジュールの設定にあたっては電流値の増加による溶解速度の向上を考慮しなければならない。

4) 真空アーク溶解炉の溶解効率<sup>30)31)</sup>

真空アーク炉の生産量は溶解準備時間の短縮によりいちぢるしく変ってくる。実際の溶解時間は全作業時間の 40~50% にすぎない。普通の場合の溶解速度は 0.5~1.0 kg/K Amp/mn であり，高電流値で溶解すれば溶解時間はかなり短縮するが，電極の取付け，取外し，排気，鋼塊の冷却などの補助操作のしめる時間がかかなり多い。表 3.4 は 1500 kg 炉溶解スケジュールの場合の所要人員所要時間の一例を示した。生産量の増大，溶解休止時間

表 3.5 真空アーク溶解前後の化学成分 (%) [大同製鋼]

鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	As	Sn
SNC1	前	0.30	0.21	0.76	0.020	0.010	1.80	0.75	0.20	0.050	0.036	0.022
	後	0.31	0.20	0.66	0.021	0.008	1.81	0.76	0.19	0.048	0.034	0.020
SAE4320	前	0.20	0.28	0.63	0.015	0.013	1.77	0.49	0.25	0.050	0.033	0.026
	後	0.20	0.26	0.52	0.016	0.011	1.79	0.49	0.25	0.044	0.030	0.019
SUJ2	前	1.05	0.25	0.33	0.019	0.009	0.13	0.10	1.41		0.024	0.024
	後	1.04	0.24	0.26	0.019	0.007	0.12	0.10	1.41		0.018	0.023

の低減, 溶解態勢整備の迅速化のためにルツボを2コ用意し凝固待ちの時間を節約すること, あるいは排気系, 電源を共用した炉体を2コ用意し, 一炉の溶解が完了したら直ちにつぎの溶解作業に移行できるようにし, 電極のとりつけ, 鑄型の交換時間を短縮することなどが考慮されている。

#### 4. 精錬反応および精錬効果

真空アーク溶解の精錬機構の特徴として次のものが挙げられる<sup>106)</sup>。

(i) 金属ルツボ中で溶解が行われるため, 耐火材料による汚染がない。

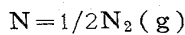
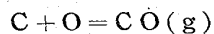
(ii) 酸化物, 窒化物などの電極材に含有される介在物のアークプラズマ中における熱解離, あるいはこれ等の浮揚精錬による除去。

(iii) 溶融プール中における減圧下の  $C-O$  反応による脱酸反応。

(iv) 微量不純物の蒸発による除去

真空アーク溶解では溶融状態にある時間が短いため平衡に達しにくい。蒸発による除去は真空高周波溶解の場合ほど顕著ではない<sup>95)106)</sup>。

精錬反応は溶融プール中での



などによる平衡反応, アークプラズマ中での熱解離によるもの, および電極材中の介在物の浮揚によるものがある。含Tiクロム鋼および  $C < 0.02\%$  の低炭素鋼などは主として浮揚作用により, 比較的精錬度の高い純鉄, クロム鋼, 含窒素オーステナイト鋼などは主として平衡反応や熱解離による<sup>106)</sup>。

元素別にみるとMnの減少が最もいちじるしく<sup>98)94)105)</sup>, Cu, As, C, Cr, Alなどがこれに次いでおり, Si, Ni, Vについては若干増加する。Sについては減少するという報告と<sup>98)</sup>, 脱硫は認め難

表 3.6 空气中溶解電極とコンセルアーク材のガス含有量 [神戸製鋼]

鋼 種	種 別	ガス含有量 (ppm)		
		O	N	H
AISI 304	電 極 材	177	290	4
	コンセルアーク材	41	290	tr
AISI 316L	電 極 材	319	440	tr
	コンセルアーク材	11	140	tr
17-7PH	電 極 材	51	200	1
	コンセルアーク材	10	140	tr
ニモニツク80	電 極 材	76	112	5
	コンセルアーク材	23	41	tr
SAE 4340	電 極 材	43	97	tr
	コンセルアーク材	16	65	tr

い<sup>95)</sup>という報告があり一致していない。Cの減少は脱酸反応によるものとしている。表3.5は成分変化についての報告の一例である。

ガスについてみると酸素および窒素についての報告があるが, 一般に酸素は大巾に減少し, 窒素はわずかに減少する。図3.7はSCM3, SNCM1, 4320, SUJ2について, また表3.6はAISI 304, AISI 316L, 17-7PH, NIMONIC 80, SAE 4340 についての真空アーク溶解

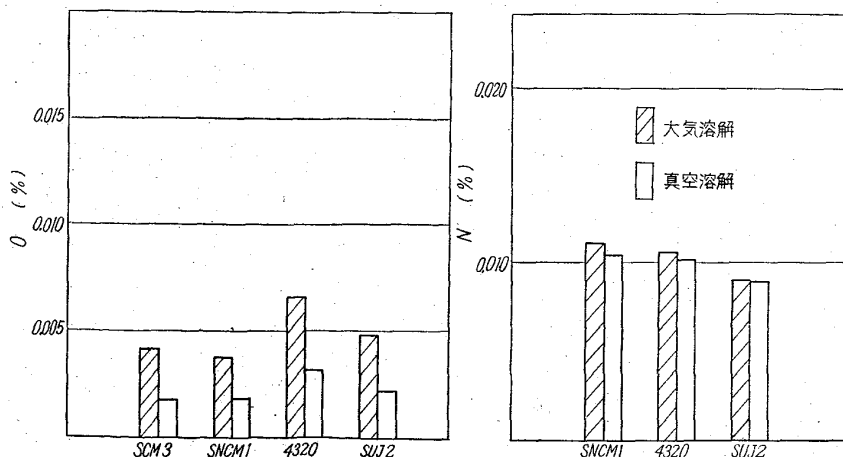
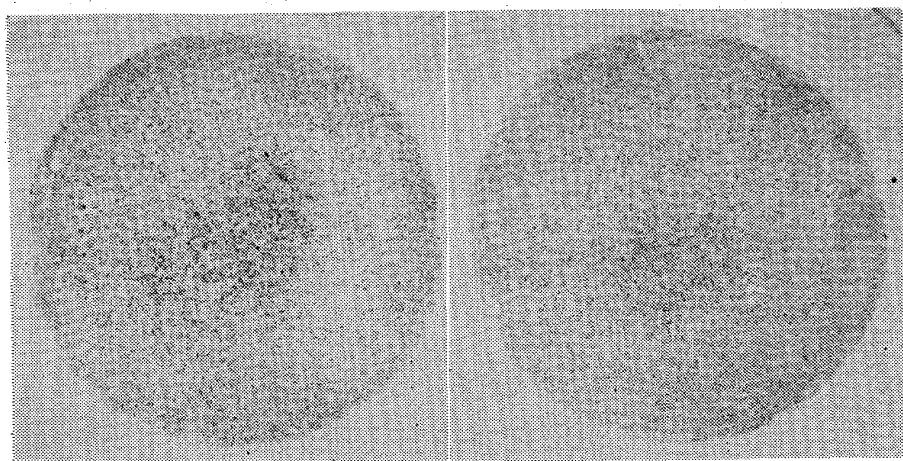


図 3.7 真空アーク溶解によるガス量の変化 [大同製鋼]



M (中央部) 拡大

B (底部) 拡大

写真 3.1 SAE 4320 のサルファプリント [大同製鋼]

喰い込みもあつて良好な組織ではない。この層を通して柱状晶が中心部に向つて発達している。中心部の溶融プールに相当する部分は自由晶で細かい dendrite 組織よりなり鋼塊 top より約 100mm 下に hot top を行つているにもかかわらず収縮孔がありその近傍は loose structure となつている。大気溶解材の方は真空溶解材に比していちじるしく粗く中心部の自由晶部分では Macro Crack の発生がみとめられる。

## 3) 地 疵

真空アーク溶解では前述のごとく汚染の源泉が除かれ脱酸、分解、浮揚精煉作用などにより工業的に最も清浄な鋼がえられ、地疵はいちじるしく減少する<sup>95)</sup>。表 3.7 は各種の鋼についての地疵試験結果である。構造用鋼や軸受鋼では非常に良好な結果を示している。またステンレス鋼では SUS 22 (1)~(3) (枠内)のごとく悪い結果も出ているが溶解条件を調節することにより SUS 22-(4)~(7)のごとく良好な結果をえている。

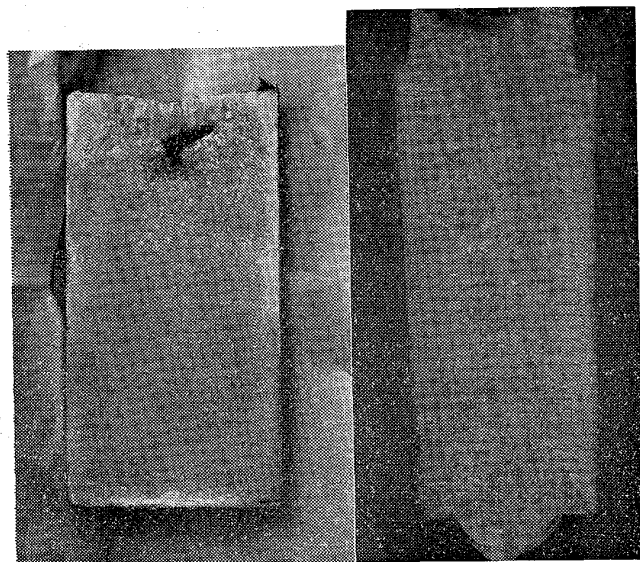
## 4) 非金属介在物

真空アーク溶解では不安定な化合物は低圧と高温により分解し、溶融金属よりも比重の小さい安定な Ti、窒素化合物などは浮上する<sup>95)</sup>。表 3.8 は真空アーク溶解鋼と大気溶解鋼の清浄度の比較で<sup>95)</sup>真空溶解により硫黄は除去されないが酸素および酸化物は極めて少くなる。鋼の非金属介在物の 70~80% は硫化物であるので清浄度品位よりすれば飛躍的向上はない。図 3.8 はサンドの比較で真空アーク溶解によりサンドの減少が大きくとくに MnO と Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の減少が顕著である。

## 5) 機械的性質

一般に真空アーク溶解により抗張力、降伏点などはほとんど変わらず、伸び、織りが若干向上し、クリープ強度高温靱性、加工性などが良くなる。図 3.9 は 4320, SNCM 1 鋼についての機械的性質におよぼす真空溶解の影響であるが織り以外はほとんど変化がない。図 3.10 は衝撃遷移温度におよぼす真空アーク溶解の影響であるが、真空アーク溶解することにより衝撃遷移温度が 15°C 程低温側へ移行する。表 3.9 はステンレス鋼の機械的性質を示すものであるが織りが若干大きくなつてはいる以外は真空アーク溶解による変化はない。

表 3.10 は A-286 鍛造丸棒のラプチュア試験結果であるが真空アーク溶解により破断時間が長くなり伸び織りが大となつている。

真空アーク溶解鋼塊 A-286 400 kg 大気溶解鋼塊  
写真 3.2 鋼塊縦断面マクロ組織 [日本冶金]

によるガス量の変化を示すものである。

合金成分のバラツキは真空アーク溶解により Ti, O はそのバラツキが小となり, Mn はバラツキが大となる。

## 5. 真空アーク溶解鋼の特性

## 1) 偏析

一般に電極材および溶解条件に左右されるところが大で一致した結果を得ていない。溶解条件によつては S の偏析がやや大で問題となつている<sup>93)</sup>。写真 3.1 は SAE 4320 鋼の真空アーク溶解材のサルファプリントであるが、Middle の中心部に S 濃化の傾向が認められる。

## 2) マクロ組織

マクロ組織も溶解条件とくに溶解電流、磁気攪拌の影響が大である。写真 3.2 は A-286 鋼の鋼塊縦断面マクロ組織である。(溶解電流 8000A) 真空アーク溶解材の方は鑄型外周部より約 10mm 程度アーク溶解中の skull に相当する層が認められ、この部分に鑄肌凹凸の



表 3.7 三段地キズ試験結果 [大同製鋼]

鋼 種	寸 法	加工比	第 一 段	第 二 段	第 三 段
SNCM 1-a	60φ	13.6	A 0	A 0	1.7~1.7 (1)
SNCM 1-b	60φ	13.6	A 0	A 0	A 0
4320	60φ	13.6	A 0	A 0	A 0
SCM21	60φ	7.0	A 0	A 0	A 0
SUJ 2-(1)	80φ	7.6	A 0	0.9~0.9 (1)	A 0
〃 -(2)	〃	7.6	A 0	A 0	A 0
〃 -(3)	60φ	13.6	A 0	3.9~3.9 (1)	A 0
〃 -(4)	〃	13.6	A 0	A 0	A 0
SUJ 2-(5)	80φ	7.6	0.7~0.7 (1)	A 0	A 0
SUS 21	60φ	13.6	A 0	(0.5×1)	A 0
SUS 22-(1)	80φ	7.6	0.7~0.7 (1)	5.4~8.1 (2)	16.9~53.3 (6)
〃 -(2)	85φ	6.8	1.8~6.0 (5)	2.7~2.7 (1)	(0.5×1)
〃 -(3)	85φ	6.8	A 0	11.7~20.4 (4)	10.8~21.6 (5)
SUS 22-(4)	85φ	6.8	0.6~0.6 (1)	(0.5×1)	(0.5×3)
〃 -(5)	〃	6.8	0.6~0.6 (1)	A 0	(0.5×1)
〃 -(6)	〃	6.8	A 0	A 0	A 0
〃 -(7)	85φ	6.8	(0.5×4)	(0.5×1)	A 0
SUS 27-(1)	60φ	13.6	(0.5×1)	(0.5×2)	A 0
〃 -(2)	60φ	13.6	0.9~0.9 (1)	1.3~1.3 (1)	(0.5×4)

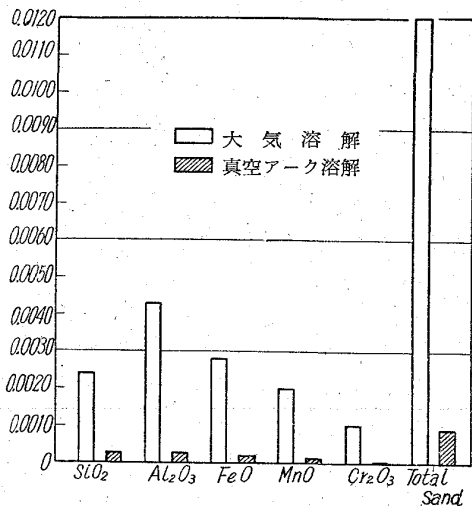


図 3.8 大気溶解鋼と真空アーク溶解鋼のサンドの比較

表 3.11 は Timken 16-25-6 についての機械試験結果であるが、常温における機械試験では抗張力および耐力がわずかに向上し、絞りはかなり向上している。また高温でのラプチャー試験では破断時間がいちじるしく長くなっている。

その他真空アーク溶解により方向性が減少し、加工性が向上することが報告されている。

IV. 誘導真空溶解法

1. 設備能力

1) わが国稼働設備の概況

現在国内各社において設置された生産用真空誘導炉設備の諸元は前項表 4.1 に示した<sup>86)</sup>。50~1000 kg 程度ま

表 3.8 空中溶解材と真空アーク溶解材の清浄度の比較 [関東特殊製鋼]

溶解番号	鋼 種	A 類		B 類	
		清浄度	平均厚 (μ)	清浄度	平均厚 (μ)
26	V (Cr-Steel)	1.50	2.50	1.94	4.20
	A (〃)	2.08	2.60	2.08	4.30
28	V (〃)	1.55	2.50	2.06	4.00
	A (〃)	1.58	2.50	2.50	4.40
34	V (〃)	1.80	2.70	2.00	4.00
	A (〃)	1.84	2.50	2.00	4.40
04	V (〃)	1.55	2.55	2.24	4.30
	A (〃)	2.22	2.60	2.24	4.30
12	V (〃)	2.06	3.00	1.80	4.00
	A (〃)	2.06	2.60	2.16	4.40
6	V (SNCM 8)	2.00	2.70	2.16	4.20
	A (〃)	2.10	2.55	2.20	4.20
17	V (Cr-Steel)	1.90	2.60	2.24	4.10
20	V (〃)	1.82	2.55	2.20	4.00
5	V (SNC 2)	1.80	2.65	2.08	4.20
10	V (SNCM 2)	1.60	2.50	1.98	4.00
24	V (〃)	1.85	2.50	2.30	4.50

A: Air Melt V: Vacuum Melt

	A類		B類	
	清浄度	平均厚	清浄度	平均厚
V平均	1.77	2.61	2.10	4.13
A平均	1.98	2.64	2.20	4.33



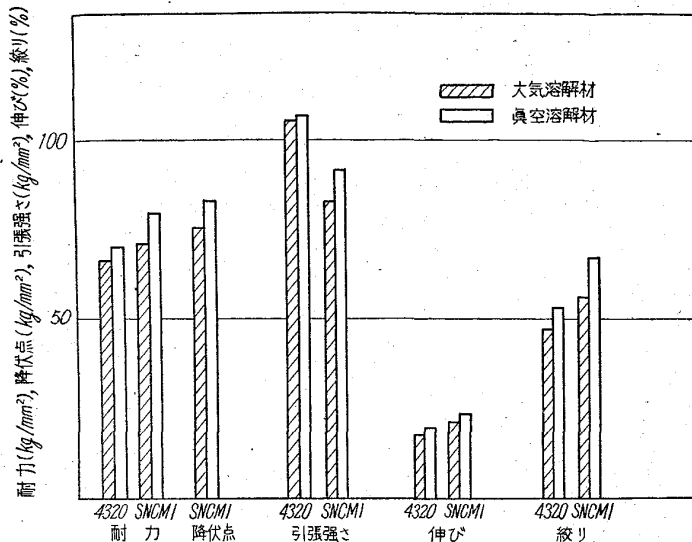


図 3.9 機械的性質の比較 [大同]

での規模のもので 100 kg 程度のものが普及している。真空誘導炉は米国においては主として航空機用耐熱材料の需要増大とともに発展してきた。わが国の場合は米国の場合と事情がことなり、溶解鋼種の多くは磁性材料などの電気材料が主体となっている。

2) 真空誘導溶解炉設備の内容容<sup>81)</sup>

構造から大別すると、バッチ式と半連続式に分類される。バッチ式は1回の溶解完了ごとに真空を破つて、鋳型準備、材料の装入などを行はねばならないので炉の運転効率が低いため、最近設備された炉は 100 kg 程度の比較的小容量の装置の場合も半連続式タイプをとっている。図 4.1 に 500~1000 kg 程度の比較的大きな容量のもの半連続タイプの場合の概要図を示した。

表 4.1 に 50~1000 kg までの規模の真空誘導炉の電氣的諸元を示した。コイル端子電圧は、初期に設置された炉は真空放電を防止するため、300 V 以下に押へて設計されていたが、最近ではコイルの絶縁技術が進歩し発電機電圧の最高 800 V まで使用している。周波数

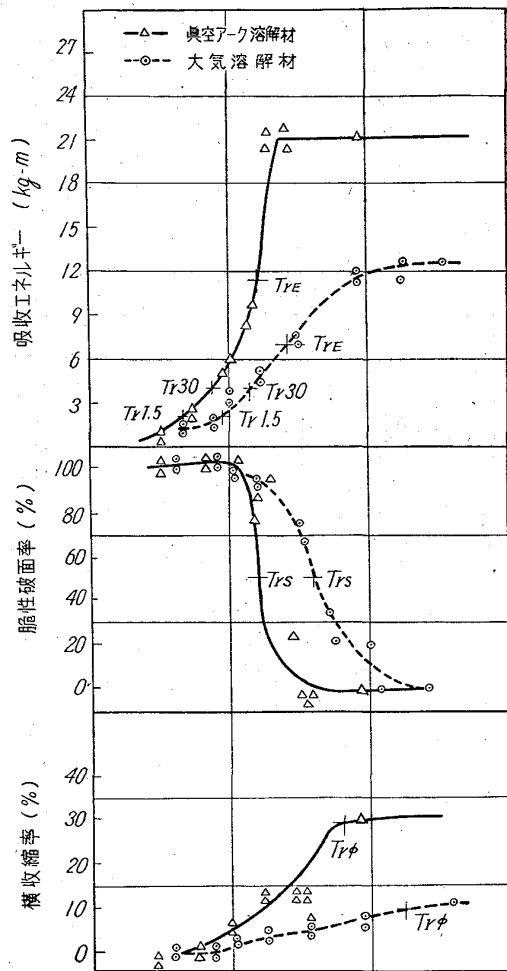


図 3.10 電極材とVA材のシャルピー試験結果 [早大]

誘導電動機出力の選定は大気炉の場合とほぼ同一である。出力制御は負荷変化に応じて高周波トランスでタップを切換へることにより行われる。

真空と大気中誘導炉の溶解能率を比較してみると、初期のコイル電圧を 300 V 以下に押へて設計された当時は、発電機電圧を高周波トランスで低下せしめるため

表 3.9 各種ステンレス鋼の常温抗張性質 [神戸製鋼]

鋼種	種別	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	0.2% 耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び G.L.=50mm (%)	絞り (%)
AISI 304	空气中溶解材	67.8	22.0	60.4	68.6
	コンセルアーク材	70.5	22.8	59.3	73.3
AISI 316L	空气中溶解材	54.5	21.0	44.3	62.0
	コンセルアーク材	51.6	17.8	45.7	66.2
AISI 347	空气中溶解材	50.3	26.7	64.2	73.0
	コンセルアーク材	50.3	23.9	60.0	76.5
E 312	空气中溶解材	74.7	58.2	31.6	57.5
	コンセルアーク材	73.4	51.2	37.6	63.2

表 3.10 A-286 丸棒のラプチュア試験結果 [日本冶金]

	溶 番	試 片 種 類	破 断 時 間		伸 び (%)	絞 り (%)	粒 度	硬 度 前 (H.V.)	硬 度 後 (H.V.)
			65000 P.S.I.	48h後 70000 P.S.I. に 応 力 増 加 後					
真空 アーク 溶 解 材	27719B	平 滑	48°00' 後破断せず 48°00' //	80°40' 75°25'	4.17 4.17	3.6 6.8	6.4 6.6	309 309	313 310
		切 欠	48°00' // 48°00' //	55°25' 112°30'	— —	— —	6.5 6.0	312 314	315 311
大気 溶 解 材	27719A	平 滑	22°00' // 19°30' //		0.8 0.9	3.3 2.6	6.6 6.4	322 313	331 318
		切 欠	10°35' // 12°10' //		— —	— —	6.2 6.1	317 311	314 309

表 3.11 真空アーク溶解した Timken 16-25-6 [神戸製鋼]

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	O	H
電 極 材	0.085	1.43	0.35	0.016	0.016	16.78	25.05	5.92	0.12	0.020	0.0010
コンセル アーク材	0.095	1.26	0.35	0.016	0.017	16.80	25.18	6.10	0.12	0.0038	0.0005

(1)

処理法	種 別	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	0.2%耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	絞 り (%)
h.C.W.	空 気 中 溶 解 材	92.2	75.7	18.6	29.2
	コンセル アーク材	94.3	77.7	24.9	38.9
時効処理	空 気 中 溶 解 材	76.3	41.4	29.1	39.0
	コンセル アーク材	79.0	42.1	28.9	44.0

(2)

種 別	応 力 (kg/mm <sup>2</sup> )	破断時間 (h)	伸 び (%)	絞 り (%)
空 気 中 溶 解 材	35	42.1	25.7	42.4
	27	299.5	33.7	54.8
	23	1176.0	15.0	34.7
コンセル アーク材	35	120.7	25.0	45.1
	27	524.4	—	56.7
	23	1800申止	—	—

電流増大を図らねばならずそのため抵抗損失や、高周波トランスの損失をみこまねばならなかつたが、最近のものは前述のごとく発電機電圧をそのまま加熱コイルに供給しているので能率低下はきたさない。また真空槽材料を非磁性のオーステナイト鋼にすることにより鉄損失は防止される。ガス対流による熱損失が減少すること

や、真空誘導炉の操業特性として溶解を徐々に行い脱ガスを行はせる操業をとるため必ずしも急速溶解を要求されないことなどから総合的には真空誘導炉の場合の効率低下は現在では大きな問題とはなっていない。

排気系は通常原料無装入常温および脱ガス完了の状態、それぞれ  $1 \times 10^{-3}$  mmHg,  $1 \times 10^{-2}$  mmHg 以下を目標とされている。このため油拡散噴射ポンプ、ルーツ・ポンプの系列のものが作用される。真空誘導炉の場合の排気系にかかる負荷条件は溶解操業条件(装入材料の汚れの程度, 組成, 溶解速度, 脱酸法など)によつてことなつてくるので一概には規格化できないが、標準的な場合として図 4.2 に各容量についての排気ポンプの使用系列をあげた。

耐火材料は真空下という条件のもとでは空气中溶解の場合よりはるかに苛酷な使用条件となるため高度の純粋性と耐火度が要求される。多く用いられるのは純マグネシヤで特殊な場合ではジルコニヤ, ベリリヤなども用いられる。100 kg 程度までのものはあらかじめ成型焼成されたルツボを使用するが 300 kg 以上の容量の大きなものではスタンプにより築炉される。現在ルツボ耐火材料は各社とも主として輸入品によりまかなつているのが現状である。

その他の付属装置としては棚落し棒, 分析試料採取装置, 浸漬式湿度計, 少量合金元素添加機構など空气中溶解と全く同様の諸機能が行はれるような配慮と, 操業上

表 4.1 高周波真空誘導溶解炉の高周波電動発電機諸元

	5 kg 溶解炉	10 kg 溶解炉	30 kg 溶解炉	50 kg 溶解炉	100 kg 溶解炉	150 kg 溶解炉	300 kg 溶解炉	500 kg 溶解炉	1000 kg 溶解炉
MG 諸元 誘動電動機	60/50 25 kW 3φ 200V	60/50 45 kW 3φ 200V	60/50 75 kW 3φ 3300V	60/50 75 kW 3φ 3300V	60/50 75 kW 3φ 3300V	60/50 120 kW 3φ 3300V	60/50 200 ~250 kW 3φ 3300V	60/50 400 kW 3φ 3300V	左 同
発電機	10k C 15 kW 1φ 200V	10k C 30 kW 1φ 400V	3k C 50 kW 1φ 800V	3k C 50 kW 1φ 800V	3k C 100 kW 1φ 800V	1k C 150 kW 1φ 800V	1k C 150 ~200 kW 1φ 800V	1k C 800V 1φ 300 kW	左 同
型式	縦型 全閉水冷	横型 左 同	左 同 左 同	左 同 左 同	左 同 左 同	左 同 左 同 (開放型)	左 同 左 同	左 同 左 同	左 同 左 同
励磁方式	他励式	他励式	他励式	他励式	定電圧装置 付 他励式	左 同	左 同	左 同	左 同
定格	連続	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同
型式	単巻水冷 屋内型	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同
容量	16.5 kVA	33 kVA	55 kVA	55 kVA	110 kVA	165 kVA	165~220 kVA	330 kVA	左 同
変圧比	200V/ 100~200V 1φ 5tap	400V/ 150~250V 1φ 5tap	800V/ 150~300V 1φ 5tap	800V/ 150~300V 1φ 5tap	800V/ 150~300V 1φ 5tap	800V/ 150~300V 1φ 5tap		800V/ 800~500V 1φ 7tap	左 同 左 同
Min. adj.	2 μF	2 μF	5 μF	5 μF	5 μF	5 μF	10 μF	10 μF	左 同
Total cap. spare 込み	168 μF	300 μF	600 μF	750 μF	1200 μF	3500 μF	2300 μF	1330 μF	1820 μF
起動型式	起動補償	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同
制御盤	デスク型	左 同	キュービ クル型	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同	左 同

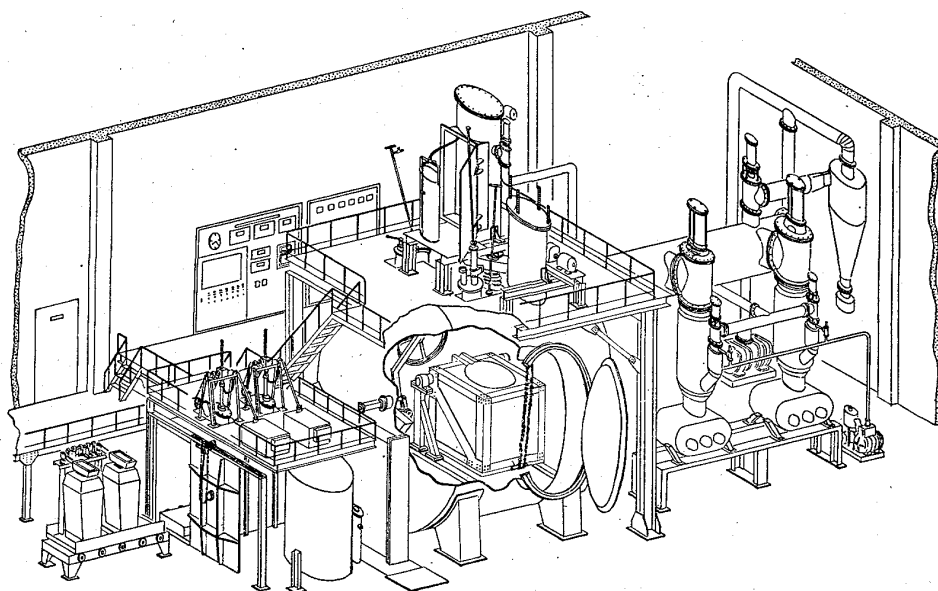


図 4.1 大型誘導式真空溶解設備の概要図 [日本真空技術]

の安全装置として過電流，過電圧制御装置，加熱コイルなどに対する冷却水量制御装置などが付属している。

2. 溶解作業および精錬反応

1) 溶解作業の経過<sup>29)</sup>

真空誘導炉の精錬目的は減圧下という条件を利用し

て，大気圧下では達成しえないレベルまでに脱酸，脱ガスを行うと同時に真空下に溶鋼をさらすことにより，蒸発性の不純物を除去し，材料の純粋性を向上することである。使用原料は溶解鋼種により相違はあるが多くの場合極めて純粋な電解材料が使用される。精錬目標はこの

記号の説明

PEL-10	10' 拡散ポンプ	3000 L/S
PBL-04	4' 拡散エゼクター	300 L/S
PBL-06	6' "	600 "
PBL-10	10' "	1800 "
PBL-14	14' "	4000 "
PBL-20	20' "	8000 "
PMB-010	メカニカルブースター	1030 M <sup>3</sup> /H
PMB-020	"	2040 "
PMB-035	"	3450 "
PMB-055	"	5480 "
PKS-007	回転ポンプ	700 L/M
PKS-014	"	1400 "
PKS-030	"	3000 "
PKS-060	"	6000 "
PVD-060	"	60 "
PVD-300	"	300 "

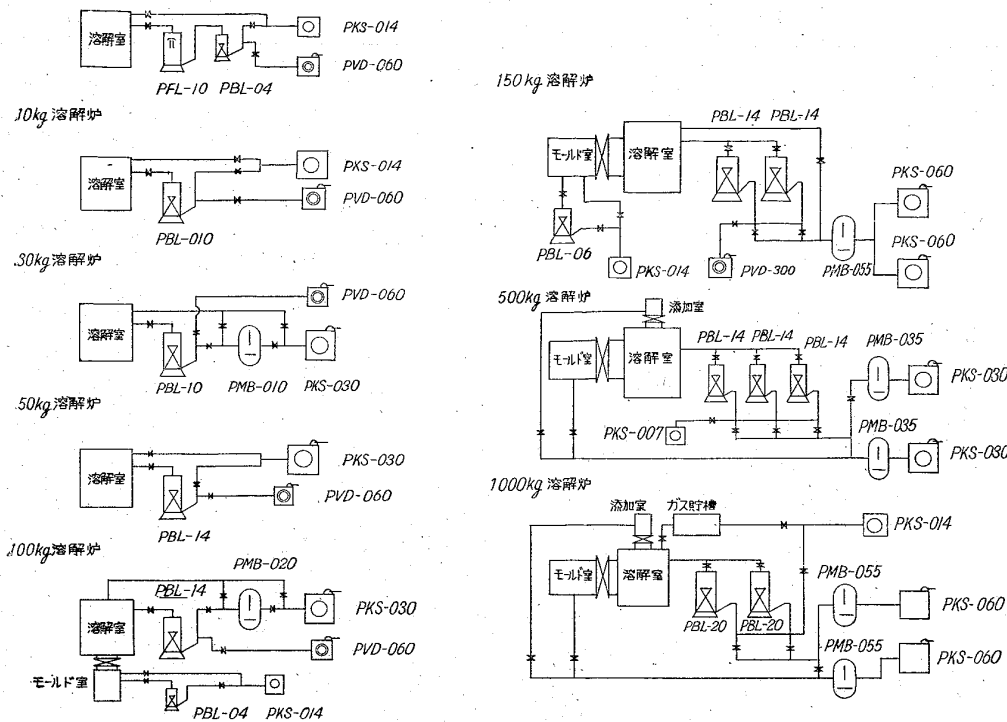


図 4.2 各種容量の真空誘導炉の排気ポンプ使用例 [日本真空技術]

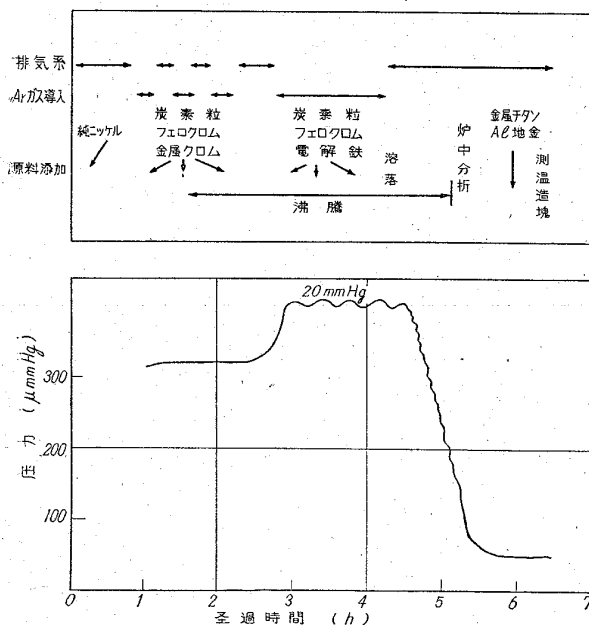


図 4.3 ニッケル合金の 500 kg 真空誘導炉 操業経過例 [日本冶金]

ような原材料から導入されるガス不純物や、ルツボ耐大材から解離導入される酸素、あるいは高蒸発性の不純物などの除去を目標に充分な時間をかけ徹底的な脱ガスおよび純化作用を行なわせ、溶鋼からのガス放出がみとめられなくなるまで継続される。脱ガスが完了したら Ti, Al などの活性元素を添加し出鋼する。この際これら元素は空気による酸化の影響をうけることなく適確な歩留

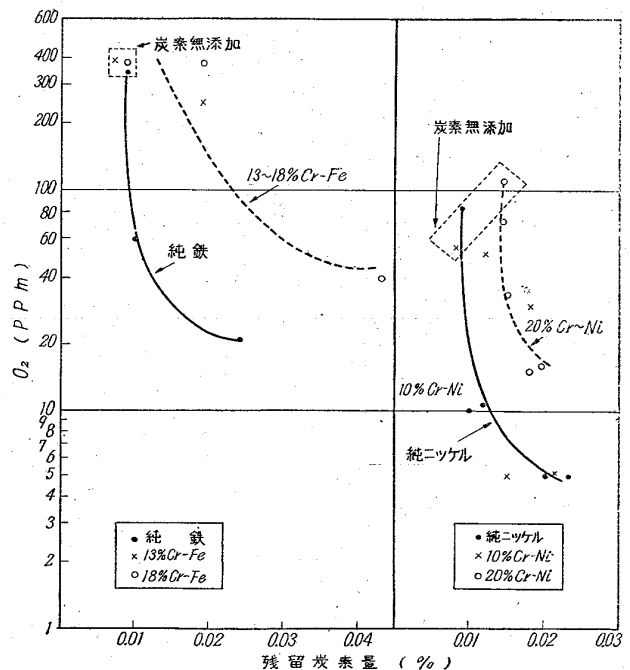


図 4.4 Fe-Cr, Ni-Cr 系合金の真空中における炭素の脱炭効果 [日本冶金]

で合金化することができる。図 4.3 にニッケル基合 500 kg 金溶解の操業経過の一例を示した。不活性ガスを使用するのは急激な沸騰を制御するためである。

2) 脱炭, 脱ガス反応

誘導式真空溶解は脱炭生成物をガス体として排気除去し脱炭を行うことができるので、非金属介在物の極めて

少い酸素の低い鋼を製造することができる。普通この目的のために炭素添加による脱酸方式がとられる。10kg程度の実験室的規模の真空誘導炉を用い、Fe基、Ni基にCrを添加したステンレス鋼、耐熱鋼の基本組成に炭素による脱酸効果を示すと図4.4のごとき結果がえられる<sup>29)</sup>。また乾燥H<sub>2</sub>ガスを鋼浴上に吹精した場合の効果も同時に実験しH<sub>2</sub>ガスによる方式は、純Fe、純Niなどの組成以外は脱酸効果はあまり期待できないと報告している。N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>などの脱ガスはSievertsの法則に従って除去される。従って単に溶鋼を真空下にさらすことにより脱ガスの目的が達せられるわけである。しかしながら誘導式真空溶解で列達しうる脱酸、脱ガス限界値は、理論的に到達しうるガス量よりはるかに高い値であり、この原因としては、ルツボ材からの酸素の導入、真空槽中の微少リークによる酸素分圧による酸化、CO気泡核の生成条件など速度論的制約などがあげられよう。

実用合金の場合の真空溶解の脱ガス効果の一例としてFe-Ni-Co合金の同材質大気中溶解材とのガス量、清浄度の比較試験結果を表4.2に示した<sup>9)</sup>。ガス量は大気溶解材の約1/10~1/3に低下し清浄性もいちぢるしく向上する結果が示されている。真空誘導炉の場合真空製造法に比しO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>とも良好な脱ガス効果が行えられることは前者の場合は溶鋼を長時間真空中にさらし充分な脱ガス精錬時間が与えられるのに反し後者の場合は脱水素を主目的とし、拡散速度の早いH<sub>2</sub>を取鍋から鑄型に溶鋼が落下する短時間に除去さんとするもので、処理方

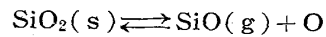
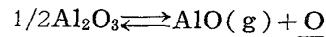
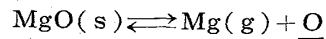
表 4.2 Fe-Ni-Co 合金の真空溶解  
【住友金属】

C	Si	Mn	Co	Ni	Fe
0.05	0.10	0.30	17.0	29.0	残
性 質		真空溶解	大気中溶解		
ガス含有量 (%)	O	1.4	8.2		
	H	0.014	0.049		
	N	0.21	0.89		
非金属介在物	A	0	0.04		
	B	0	0		
	C	0.09	0.14		
	計	0.09	0.18		
機械的性質					
引張強サ (kg/mm <sup>2</sup> )		53~54	55~60		
伸 び (%)		32~35	21~31		
エリクセン値		8.6~9.0	7.7~8.7		
ブリネル硬サ		72~77	85~90		
深絞り加工性 実際操業の良品率 (%)		97.6	77.7		

式の根本的な相違に原因するものといえよう。

3) ルツボ反応<sup>29)</sup>

誘導式真空溶解においては耐火材料は真空中で解離し例えば次式のような手衡を保っているものと考えられる。



Mg, SiO, AlO などのガス生成物が連続的に排気除去される条件下においては、これらの反応はルツボ材から解離した酸素を吸収し飽和の方向にすすむ。これは誘導式真空溶解法の大きな欠点でありまた特徴でもあり今後この方面の基礎的研究、解明が期待される。

4) 不純物の蒸発反応

誘導式真空溶解においては合金成分または不純物として含有する成分がそれぞれの成分の蒸発割合と溶媒元素としてのFeの蒸発割合に応じて減少または濃縮する。真空溶解精錬の純化作用はこの反応を利用したものである。日本冶金の実験によれば<sup>26)</sup>溶鉄中に合金元素あるいは不純元素を添加したFe基二元合金を真空中で保持した場合、誘導式真空溶解で蒸発により除去可能な成分はMn, Cu, Pb, Agなどであり、微量のAs, S, P, Sn, Sbなどは除去困難あるいは不可能であると結論している。真空溶解にあつての蒸発現象を正確に評価するには合金中における活量あるいは共存元素の影響、または蒸発速度論的な基礎研究がさらに必要であろう<sup>30)</sup>。

5) 精錬反応についての総括

以上真空誘導炉で行われる精錬反応の概略を述べたが、この溶解法の特徴をさらにここで総括すると、

(i) 減圧中における炭素の脱酸力を増加せしめた状態で充分な精錬時間をかけ徹底的な脱酸、脱ガスを行うことができる。

(ii) Si, Mnなどのいわゆる金属脱酸剤を使用しないで溶解できる。従って清浄性は極めて良好となる。

(iii) Ti, Alのような活性元素を空気による酸化の影響をうけることなく多量適確に合金化できる。

(iv) しかしながらルツボ材料の真空中における解離反応のための汚染がある。

以上のような精錬上の特徴から誘導式真空溶解の最も適合した鋼種としては、成分が厳格に調整された高純度金属または合金、あるいは多量の活性金属を含む鉄基、ニッケル基各種耐熱合金など純度あるいは組成に極めて敏感な材料の製造手段として適切なものであるといえる。

3. 真空誘導炉による材料の特質

誘導式真空溶解材の工業的な特性は前章の精錬上の特質からあきらかなごとく、従来の空气中溶解では純度あるいは合金組成の点から製造不可能であつた各種高合金耐食耐熱材料、高性能電磁気材料の製造が可能になつたこと、そしてこの結果として材料の性能を向上したことである。対象鋼種は軸受鋼、純鉄、純ニッケル、コバルトなど各種真空管用電気材料、ステンレス鋼、ニッケル基、鉄基各種高合金耐熱材料など多岐にわたつている。電気材料についての誘導式真空溶解法の効果については前回の部会報告<sup>(14)(33)</sup>で述べたので割愛し、軸受鋼、高合金耐熱鋼、ステンレス鋼などを中心に本溶解法を適用した場合の効果のみを概括した。

1) 軸受鋼・ダイス鋼

米国においては誘導式真空溶解の対象鋼種として軸受鋼があげられている。しかしながら上野らは市販軸受鋼を 50kg 真空誘導炉で再溶解し SKF 鋼と非金属介在物、早時寿命試験機による性能比較試験を行い図 4.5 に示すような結果を報告している<sup>(18)</sup>。すなわち真空溶解により清浄度、ガス量はいちぢるしく低下したにもかかわらず、平均寿命値はあまり改良されず、バラツキはむしろ真空材の方が大きく、軸受鋼の耐久性に非金属介在物が非常に悪い因子であるという従来の概念に疑問をあたえている。この場合は真空溶解により達せられる効果よりもむしろ他の材料学的な因子が大きな影響をあたえ、真空溶解による性能向上への効果は二義的な意味しか有しなかつたと解釈すべきであろう\*。

また特殊製鋼の提出資料によれば<sup>(19)</sup>、高炭素クロム軸受鋼 (SUJ-2) ダイス鋼などについて 100kg 真空誘導炉による材料と空气中溶解材とを比較試験を行い図 4.6、表 4.3 に示す結果を報告している。いずれの場合においても真空溶解によりガス含有量、介在物は減少し軸受鋼の場合は圧壊強度は空气中溶解材に比し約 1.5

\* 誘導式真空溶解により軸受鋼の早期寿命試験値が大気中溶解材の 1.5 倍に向上したとの他の報告もある。

倍向上し、ダイス鋼の場合は真空溶解材は焼入後の残留オーステナイト量は減少し、焼入硬度も高目になるという金相学的な相違をあげている。

このようにこれら鋼種は材料自体の性能の評価条件により真空溶解材の特徴もことなつた観点から認識されねばならないことを示唆している。

2) 高合金・耐熱鋼

誘導式真空溶解の最も大きな工業的な貢献をあたえたものの一つは耐熱鋼の分野であろう。その一例をあげれば耐熱鋼の開発過程を展望すれば極めて明瞭に評価することができる。すなわちその製造手段として大気溶解の

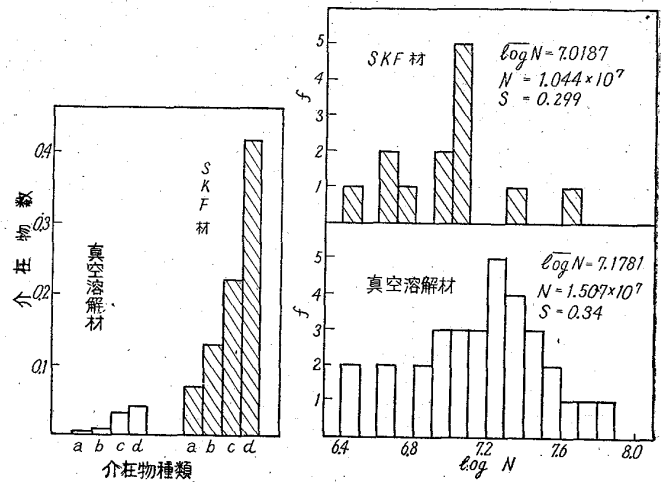
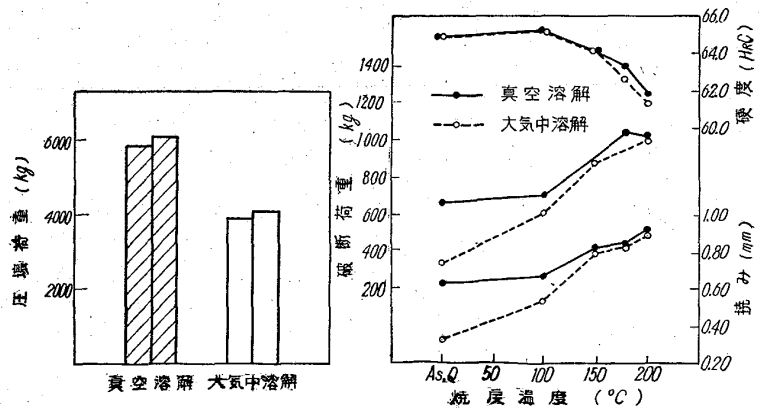


図 4.5 真空溶解した軸受鋼 [金材技研]



圧壊値におよぼす真空溶解の影響 破断荷重、撓みにおよぼす真空溶解の影響  
図 4.6 SUJ 2 (クロム軸受鋼) の真空溶解 [特殊製鋼]

表 4.3 高炭素クロム軸受鋼 (SUJ-2) の真空溶解材の酸素および非金属介在物

[特殊製鋼]

溶解条件	ガス含有量(%)		非 金 属 介 在 物 (%)					A系介在物		B系介在物	
	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Total sand	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	清浄度	平均厚	清浄度	平均厚
大 気 中	0.010	0.0029	0.008	0.00005	0.0061	0.00019	0.00007	1.0	2.8 μ	2.3	2.5 μ
真 空 中	0.012	0.0014	0.004	0.00035	0.00078	0.0016	0.00052	0.7	2.5 μ	1.0	1.3 μ

手段しかとられなかつた 1950 年頃の材料はその使用温度の最高許容限は 800°C をでなかつた。1953 年頃工業的現模の真空溶解法が開発されて以降その使用温度許容限は上昇し現在では 900°C を越えている<sup>81)</sup>。これは真空中における精煉条件により従来の大気中の精煉方式では製品化することができなかつた高度の合金組成のもの製造が可能になつたことにほかならない。

真空誘導炉の実質的な効果の一つとしてはまず熱間加工性の改善効果あげられる。航空機用のタービン材料などに用いられる耐熱合金の製造上の障害の一つは熱間加工性が極めて悪く製造歩留が極めて低いことである。これら合金の多くは Ti, Al などの活性元素の合金量が極めて高いために大気中溶解で製造された鋼塊では Ti 窒化物、カーボナイトライド、酸化物などのストリンガーが存在し熱間鍛造が困難であつたが真空溶解炉の開発により経済的な基盤で製造されるようになった。これは真空溶解によりガス成分が効果的に除去され合金の純度が向上し熱間鍛造性が改善されたものと説明される。写真 4.1 は実験室的規模の真空および大気溶解で鍛造した耐熱合金 M-252 の据込鍛造試験片を 1 叩ハンマーで鍛造試験を行い熱間加工性を比較したものであるがその差は極めて顕著である。

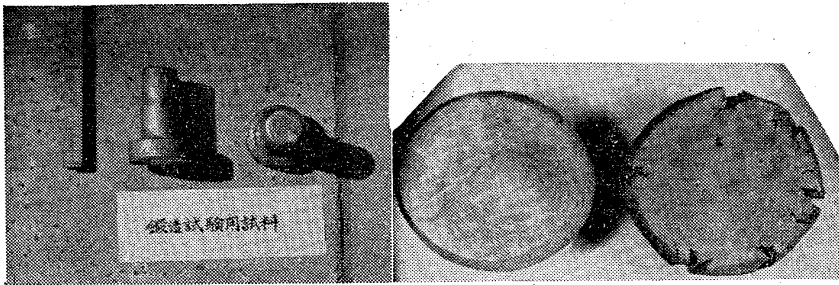


写真 4.1 超合金 M-252 の真空溶解材と大気溶解材の熱間鍛造性の比較 [日本冶金]

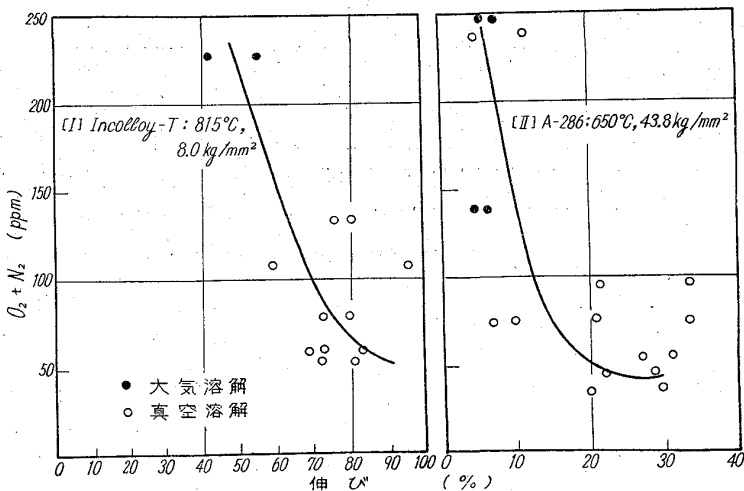


図 4.7 鉄基耐熱合金のガス含有量とラプチャー試験破断時の伸びの関係 [日本冶金]

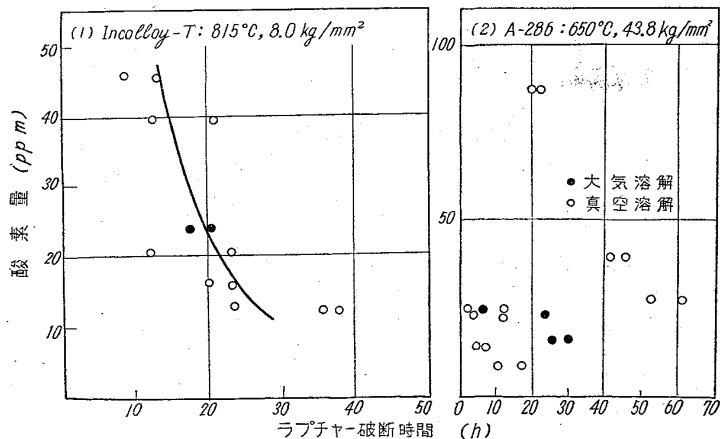


図 4.8 鉄基耐熱合金のガス含有量とラプチャー破断時間の関係 [日本冶金]

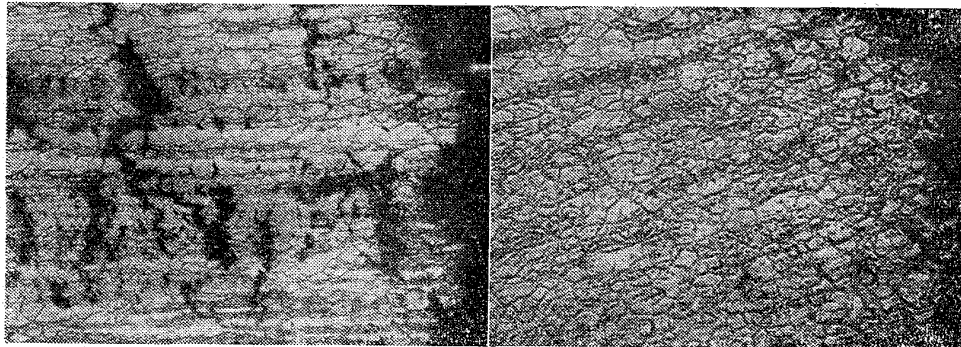
誘導式真空溶解は高度の還元反応であるので溶解中にルツボ材は還元作用をうける。Mg は高蒸発性のため溶鋼に残らないが、ジルコニヤ耐火物や耐火物中に含まれる B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> から微量の B, Zr が鋼溶中に導入され、このような微量元素が合金の高温強度に極めて大きな影響をあたえることが真空誘導炉の操業から発見された。このような微量元素の B, Zr がどのような機構で材料強度的な影響をあたえるかは現在では充分わかつていないが、溶解条件をととのえ B, Zr のような微量元素の合金量を正確に管理することは極めて重要なことである<sup>47)</sup>。

真空溶解材の高温特性にわたる効果については、高温靱性の改善には常に効果をもたらすが高温強度の改善には常に効果をもたらすとはかぎらないと主張している報告もある<sup>75)</sup>。すなわち誘導式真空溶解法の特質は真空溶解による靱性改善効果を利用してさらに強化元素を添加し高温強度を改良せんとするところに意義があるものとしている。鉄基耐熱合金 Incolloy-T, A-286 の 2 鋼種について実験室的現模で真空誘導炉、大気溶解で製造した試料を用い溶解法と高温特性の関係を研究した。図 4.7, 8 にガス含有量とラプチャー破断時間および破断時の伸びの関係を示した。Incolloy-T の場合については真空溶解により高温強度、靱性ともに向上しているが A-286 の場合は高温靱性の改善は顕著であるが、高温強度に対し



ては改善効果がえられなかつたことをあげ、真空溶解の高温時性、とくに高温強度におよぼす効果は合金の個々の特性によりことなつた効果をあたえるものではないかと考えている。写真 4.2 に Inco loy-T の場合についてラプチャー試験後の顕微鏡組織を示した。ガス量の多い大気溶解材は粒界に多くのマイクロ・クラックを発生しており、粒界破断の形態を示すのに反し、真空溶解によりガス量を低下した材料は粒界のマイクロ・クラックの発生は少く、粒内破断に近い傾向を示している。このこ

とは溶解法の差による合金の純度が粒界強度に影響をあたへたものと主張している。また住友金属<sup>9)</sup>の提出資料によれば Nimonic, Inconel 系各種ニッケル基耐熱合金について真空溶解、大気溶解により製造した試料について耐熱特性の比較試験を行い図 4.9 に示すごとく、真空溶解によりクリープ破断応力が向上することを報告している。同様に日立金属によれば Nimonic-80, S-816 などの耐熱合金について真空溶解による高温機械的性質ラプチャー強度、および耐酸化性が改善され真空溶解の効果をみとめている<sup>16)</sup>。



大気溶解材, 粒界破断  
破断時間 172°45'

真空溶解材, 粒内破断  
断時間 1109°10'

写真 4.2 鉄基耐熱合金 Inco loy-T の溶解条件とラプチャー破断形態  
[日本冶金]

以上のべたように高合金耐熱鋼の分野における誘導式真空溶解法の貢献は製造技術上の障害、とくに熱間加工性を顕著に改善の製造条件を容易にしたのみならず、金属材料学的な性能特に高温特性の向上に対して極めて有効であることが強調される。

最後に真空誘導炉の特殊な使用例として小松製作所の casting 真空誘導炉の操業例を紹介する<sup>9)</sup>。同社の報告によればとくに鋳物用に設計された炉を用い、真空中で溶解した溶湯を Ar 封入中でロストワックス法による鋳型に鋳込み、精密鋳造品の試作に成功している。写真

4.3 に同社試作品の耐熱精密鋳造品 Nimo cast-258 の

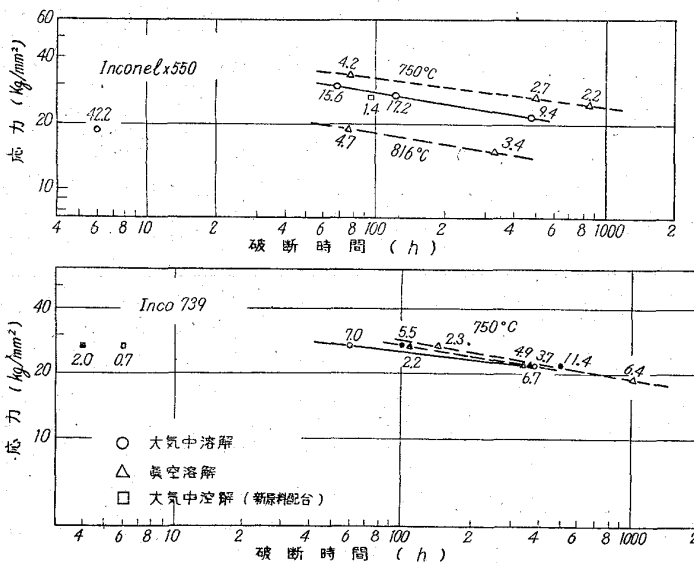


図 4.9 真空溶解した耐熱合金<sup>9)</sup> [住友金属]  
(数字は破断時伸び)

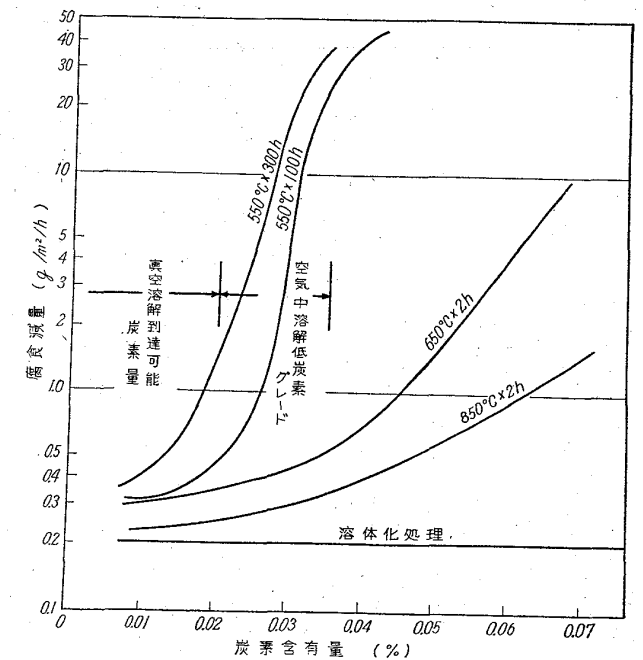


図 4.10 AISI-304 の炭素含有量の沸騰 65% HNO<sub>3</sub> 試験におよぼす影響 [日本冶金]

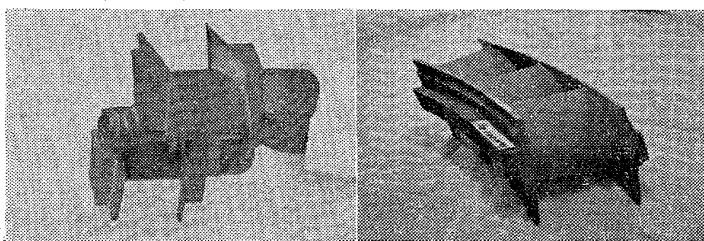


写真 4.3 耐熱精密鋳造鋳物タービン用単翼および複翼  
[小松製作所]



タービン用単翼および複翼の外観写真を示した。

### 3) ステンレス鋼

ステンレス鋼の分野においては工業的な意味で真空誘導炉の特徴が充分發揮されているとはいえない。もちろん真空溶解により耐食性、あるいは清浄度の向上、クロム系ステンレス鋼の脆化遷移温度の改善などの実質的な効果は報告されているが<sup>16)33)</sup>主として経済的な理由から工業的規模の生産が普及化しないものと思われる。もちろん真空誘導炉の精煉上の特徴を利用して微量元素を制御し、大気溶解材では製造しえない高純度組成にした場合、種々の特性がえられ新しい鋼種が開発される可能性はある<sup>29)</sup>。耐食鋼の分野における真空溶解の効用はとくにわが国ではまだ充分に開発されたとはいえないが、ス

テンレス鋼中の微量不純物例えば炭素と粒界腐食感受性の関係をみると、現在大気中溶解により市販されている低炭素グレードのオーステナイト系ステンレス鋼は C 0.03% max であるが、この程度の炭素量では溶接のような短時間の熱影響には免疫であるが極めて苛酷な熱影響条件では保証されない。真空溶解により C < 0.01% に低下した場合粒界腐食に対する完全な免疫性がえられる。図 4.10 に炭素量と種々の Sensitize 条件下の 65% 沸騰硝酸による腐食度の関係を示した。また原子炉構造材料として原子核工学上有害と見做される Co あるいは中性子経済上有害である Mn をその高蒸発性を利用して痕跡まで低下して純化した材料もその将来性が期待される。