

溶鋼の真空脱ガスと軸受寿命の改善

山陽特殊製鋼技術研究所 梶川 和 男

1. 緒 言

金属を大気中にて溶解および精錬する場合には、多かれ少なかれ酸素、窒素、水蒸気などの雰囲気ガスの汚染を受ける。これらのガスの吸収は鋼中の酸素のように酸化物の存在によって強度の上がる場合もあるが、特に鋼においては、酸素は介在物や地疵として、また水素は白点の原因となるなど、材質の劣下を招くことが多い。このため今世紀はじめから真空溶解法がとり上げられ、雰囲気による汚染の防止には有効な手段として、現在でもとくに化学的に活性な金属には必要欠くべからざる方法として採用されているが、非常に高級な用途のための軸受鋼、ステンレス鋼、耐熱鋼の製造に用いられているものの、広範囲の鋼種にわたって大量生産するにはいろいろ困難があり、経済的にも高価にならざるを得ないという欠点がある。

これに対して大気中で溶製した溶鋼を造塊時真空処理して脱ガスを行なう方法が、1952年西独 Bochumer Verein 社によって工業的に開発された。当初は真空処理によって溶鋼中の水素をできるだけ減少させ、鍛造用大型鋼塊で特に問題となる白点を防止するのが目的で、真空造塊を適用することにより容易に水素を 1~2ppm に下げることになり、脱水素を目的とした長時間の熱処理工程が省略できたため経済的にも有利に、大型鋼塊の健全性が保障できるようになった。

一方圧延用鋼塊では、特殊鋼の場合 Ni 系合金鋼では白点が出やすいということはあるが、水素を減少させることよりも、酸素を脱酸前に CO_2 として除去することにより、非金属介在物を減少させることの方が重要視されるに至った。その点では軸受鋼は最もその効果の顕著な鋼種であり、米国の General Motors Corporation のベアリング部門の New Departure で脱ガスによって軸受の寿命が顕著に改良されることが報告されて以来、¹⁰⁾各社統々と脱ガス設備の据付に着手し、現在対米向の輸出はすべて脱ガスが仕様として指定されるに至った。なお長年酸性平炉に木炭銑を原料として配合し、品質的に世界の軸受業界をリードしてきたスウェーデン SKF 社も現在脱ガス設備を設置している。

国内では山陽特殊製鋼が軸受鋼の専門メーカーという

意味もあるが昭和39年4段のスチームジェクターを備えた Standard Messo 法による取鋼脱ガスを始めてから各社とも設置を急ぎ、新しい設備ほど真空度も向上しており、ほとんどが脱ガス鋼に置換えられて来ている。そこで脱ガス設備や方法について簡単な説明し、実際に生産されている鋼種の中でも、問題を軸受鋼の脱ガス効果に集中して記述して見たい。

2. 真空脱ガスの方法について

脱ガスの方法としては種々の形式のものがあるが、一括すると原則的に次のように分類出来ると思われる。⁹⁾

- ① 出鋼過程で行なうもの
 - ④ 出鋼脱ガス法 (Tap-degassing)
 - ⑤ 二重 " (Double-degassing)
- ② 取鋼内の溶鋼を脱ガスするもの
 - ③ 取鋼脱ガス法 (Ladle-degassing)
 - ④ 攪拌取鍋 " (Ladle-degassing by stirring)
 - ⑤ 流滴取鍋 " (Stream degassing in Ladle)
 - ⑥ 真空吸上げ " (Vacuum lifter degassing, Partial degassing, Dortmund-Hörder degassing)
 - ⑦ 循環脱ガス法 (circulation degassing, Ruhrstahl-Heraus process)
- ③ 溶鋼を鑄型内に注入時に行なうもの
 - ⑧ 真空鑄造法 (Vacuum casting, Stream degassing in mould)
 - ⑨ Gero 法 (Simple vacuum casting)
 - ⑩ U.S. Steel 法 (Vacuum casting by turn table)
 - ⑪ 台車真空鑄造法 (Vacuum casting by car)
- ④ 鑄型内の溶鋼について行うもの
 - ⑫ 鑄型脱ガス法 (Mould degassing)

(註 磁気攪拌法 (Stokes 法) とガス攪拌法 (Finkl 法) の 2 種類がある。)

現在脱ガス設備で設置されているものすべてを記載するのは、非常に大きな数になるので、軸受鋼の生産に使用されている分のみを表 1 にまとめた。^{6,16)} 多くの方法のうち D-H 法、R-H 法、流滴脱ガス法、とりべ脱ガス法、出鋼脱ガス法の 5 通りの方法が採用されている。つぎにこれらの方法について概説する。^{2,9,7)}

- ① 真空吸上法 (D-H 法)

表1 各社真空脱ガス処理設備（軸受鋼関係）

会社名	所在地	操業開始	とりべ容量 t	脱ガス型式
Crucible Steel Co. of America	Midland (米)	1960	75~180	真空吸上法 (D-H)
English Steel Corp Ltd.	Manchester (米)	1962	16~ 45	"
The Timken Roller Bearing Co.	Canton (米)	1964	40~150	"
Jones & Laughlin Steel corp.	Detroit (米)	1964	35~ 65	"
The Carpenter Steel Co.	Bridgeport (米)	1964	60	"
SKF	Hofors (スウェーデン)	1965	22~ 39	"
The Timken Roller Bearing Co.	Canton (米)	1965	40~150	"
Copperweld Steel Co.	Warren (米)	1965	50	"
Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte mbH	Haidhef (西独)	1965	33~88	"
八幡製鉄株	光 (日)	1966	15~ 65	"
Rheinstahl Hüttenwerke A.G.	Hattingen (西独)	1962	30~100	循環脱ガス法 (R-H)
Red October	Volgograd (ソ)	1964	17~ 20	"
Bethlehem Steel Corp.	Bethlehem (米)	1964	70	"
大同製鋼株	知多 (日)	1965	50~ 70	"
Société d'Electro-chimie, d'Electro Metallurgie at des Acieries Electriques Ugine	Ugine (仏)	1965	10~ 40	"
Acciaierie di Bolzano SPA	Bolzano (伊)	1966	40	"
VEB Stahl-und Walzwerk Grotitz	Grotitz (東独)	1967	20~ 40	"
Stahlwerk UMB	Bucharest (ルーマニア)	1967	50	"
Breda Siderurgica	Milan (伊)	1968	50~ 70	"
山陽特殊製鋼株	姫路 (日)	1968	35	"
Bethlehem Steel Corp.	Bethlehem (米)	1956	7	流滴取鍋脱ガス法
"	"	1957	250	"
"	"	1958	"	"
"	"	1961	2~250	"
Sharon Steel Corp.	Sharon (米)	1961	2~150	"
Republic Steel Corp	Canton (米)	1962	2~ 90	"
日立金属株	安来 (日)	1964	30	"
特殊製鋼株	川崎 (日)	1965	13	"
日本特殊鋼株	大森 (日)	1966	25	流滴真空造塊および取鍋脱ガス
愛知製鋼株	刈谷 (日)	1959	20	とりべ (ガス)
Republic Steel Corp.	Chicago (米)	1962	150	とりべ (磁気)
The Babcock & Wilcox Co.	Beaver Falls (米)	1963	100	" (磁気)
山陽特殊製鋼株	姫路 (日)	1964	65	" (ガス)
Samuel Fox & Co. Ltd.	Sheffield (英)	1964	110	" (ガス)
不二越株	富山 (日)	1967	30	" (磁気・ガス)
日本高周波株	"	1966	13	出鋼脱ガス

1955年 Dortmund-Hörder Hüttenunion 社で発表され、¹⁷⁾ 2年後に工業化された。図1のように取鍋の上部に真空容器を取付け、容器内を真空排気して、約1.4m溶鋼を吸上げて後、容器を持上げて溶鋼を取鍋内にもどす操作を周期的に繰返して脱ガスする。通常は25~30回の上下運動により、取鍋内溶鋼の約3倍を吸上げる。

脱ガスは容器内で薄く広がった溶鋼表面から行なわれ、溶鋼が上下する間の攪拌作用でさらに効果を増す。普通1tの溶鋼を処理するには8m²の表面積と2.5秒の処理時間で済むとされているので、大量の溶鋼を処理するのは容易である。合金元素や脱酸剤の添加は容器内で可能である。

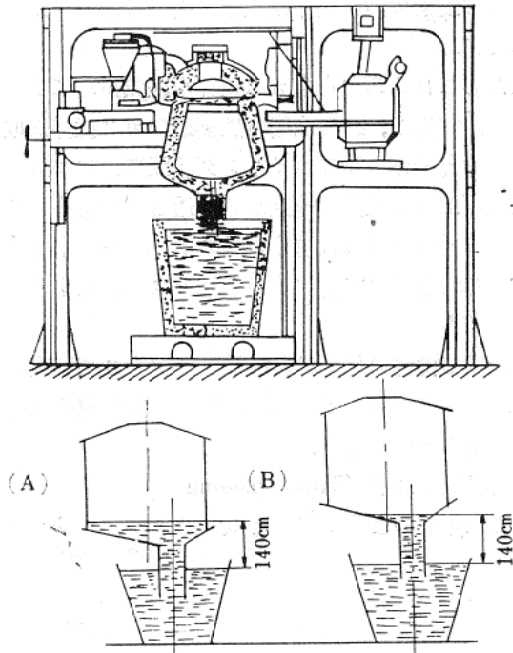


図1 Dortmund社の真空吸上げ脱ガス装置

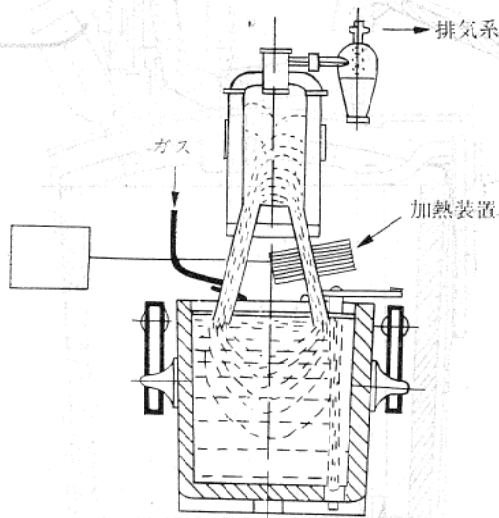


図2 Ruhrstahl社の循環脱ガス法

②循環脱ガス法 (R-H法)

Heraus社で開発され、⁵³⁾ 1958年頃から Ruhrstahl社で実施された方法で、シュノーケルという真空容器を取鍋上部に取付け、2本の管の一本から溶鋼を吸上げ、他方から還流し循環させて脱ガスする。吸上時の作動にはアルゴンガスを導入する。通常の作業では溶鋼の流速は2m/sec迄、容器内の通過量は8~12t/min 最大20t/min アルゴン所要量10~30l/t程度である。合金元素などの添加は真空容器の容積と構造の都合上、取鍋内の溶鋼へ加えねばならないが、排出管からの溶鋼流により取

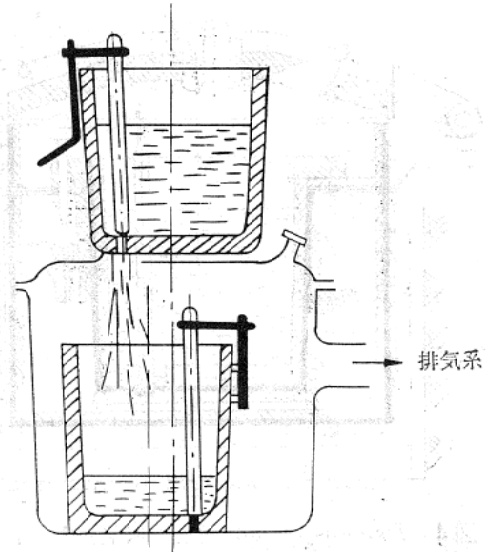


図3 流滴取鍋脱ガス法

鍋底に達し、また対流で攪拌され成分の均一化が達せられる。

③ 流滴脱ガス法 (Stream degassing in Ladle, Reladling degassing) これは真空タンク内に空の取鍋を入れて、タンク内をあらかじめ排気しておき、その蓋の上に溶鋼を受けた取鍋を取り付けてストッパーを開き、溶鋼をタンク内に注入する際の流滴表面から脱ガスを行なう方法である。⁶²⁾この方法は取鍋が同時に2ヶ必要なのが欠点で、そのため操業費も高くなる。しかしタンク内の排気にはそれ程強力な排気系を必要とせず、その間に取鍋耐火物中の水分も除去されるという利点もある。

脱ガス効果は溶鋼の流出速度が大きく10t/minにも達するが、粒滴の表面積が極めて大きいために十分で、取鍋内での運動も激しいため攪拌効果も大きい。なお真空封じにはAl板を用いる。合金元素、脱酸剤などの添加剤はタンク内の取鍋に入れる。

④とりべ脱ガス法

この方法は図4のように取鍋に溶鋼を受けてから、真空タンク内に設置し、蓋をして系内を気密にして排気し脱ガスする方法である。当初この方法は Bochumer Verein社で工業化され、大型鋳鍛鋼品の溶鋼の脱水素に適用されかなりの実績を修めたが、最近真空脱ガスの目的が脱水素からさらに酸素や非金属介在物の減少も目的とするに及んで、単なるとりべ脱ガス法では不十分となり、磁気攪拌やガス攪拌を伴った方法へと変わってきている。

この方法の欠点は取鍋の移動と真空処理操作に時間を要し、そのため溶鋼の温度降下が大きいためである。また溶鋼の沸とう現象が上部ではよく行なわれるが

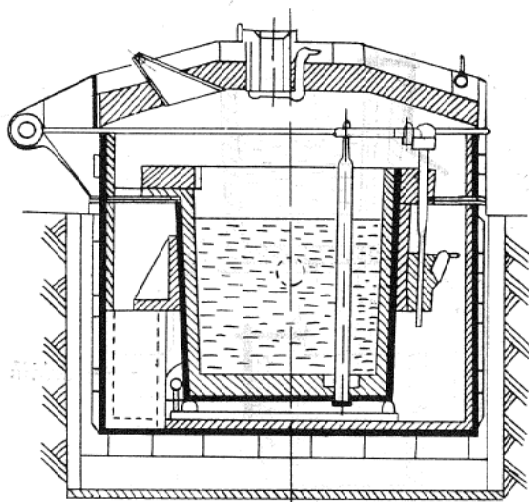


図4 Dneprospetsstal 工場の取鍋脱ガス装置

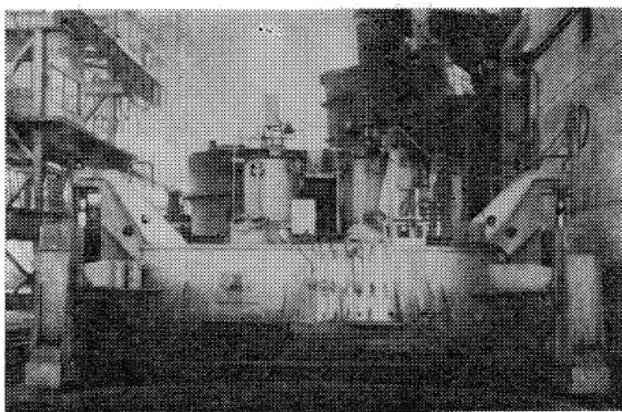


写真1 取鍋脱ガス設備全景

手前がタンクで上方の取鍋を収めてから蓋が、摺動して来て密閉後、脱ガスが開始される。上部に合金添加装置がついている。スチームエジェクターは、タンクの後方にある。

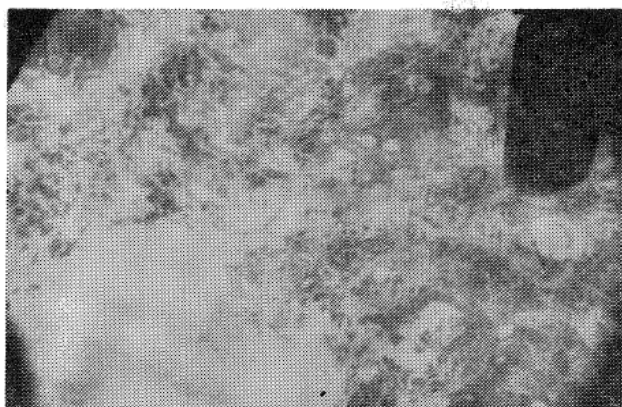


写真2 脱ガス時のボイリング状況

明るい部分が取鍋内の溶鋼で右上の棒状のものはストッパー、黒いしわ状のものは溶鋼が脱ガスでボイリングをしている状態。左下方白色のものはスラグである。

下部では溶鋼の静圧効果が大きく均一に脱ガスが行なわれにくい。

ただしこれらの欠点もガス攪拌や磁気攪拌により解決された。写真1, 2 は山陽特殊製鋼のガス攪拌式取鍋脱ガス装置と脱ガス時のボイリング状況で、アルゴンガスを取鍋下部の多孔質の煉瓦から浸透させて攪拌している。この他に耐火性の導入管またはストッパーに小さな気孔をあけそれを通じて攪拌用不活性ガスを流入する方法もある。^{63,64)}

また磁気攪拌の場合は非磁性ステンレス鋼製取鍋を使用し、タンク内のコイル磁場内に置いて溶鋼を攪拌しながら真空処理を行なう。

⑤出鋼脱ガス法 (Tap degassing)

これは図5のように気密な取鍋の上にストッパー付き

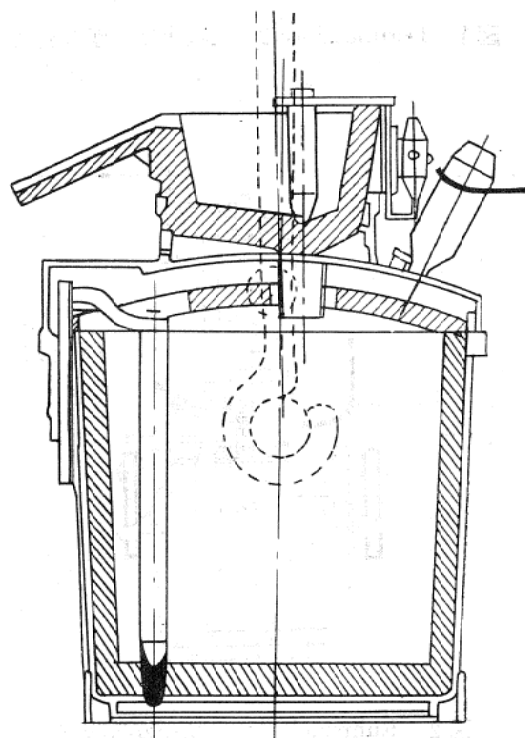


図5 出鋼脱ガス用の真空取鍋

の中間取鍋または中間樋を取付けた装置で、取鍋内を排気しておき、傾動式の炉から中間取鍋内に出鋼し、そこから流滴脱ガスしながら真空取鍋内に注入される。出鋼、鑄込後中間取鍋は外され、直ちに造塊に移されるので、温度降下も問題でなく、また処理時間も短かくて済む点は有利である。以上の種々の方法を念のため、表2にまとめた。

表2 真空脱ガス法の比較

方 法	設 備	操 業 実 績	利 点	欠 点
取鍋脱ガス法	真空タンク	転炉軌条鋼 5~10mmHg 転炉リムド鋼 15~20mmHg	連铸に適用可能	1. 操業, 真空処理に時間が かかる 2. 温度降下大 3. 脱ガス効果が小さい
ガス攪拌取 鍋脱ガス法	真空タンク 攪拌ガス系	軸受鋼 0.2mmHg	1. 真空脱酸が可能 2. 真空処理時, 後, 合金元素 添加可能 3. 脱ガス効果良好 4. 攪拌効果かなり大 5. 連铸に適用可能 6. 大形鍛鋼品, 圧延用鋼塊 に適する	1. 操業, 真空処理に時間が かかる 2. 温度降下がやや大きい
磁気攪拌 取鍋脱ガス法	真空タンク 磁気攪拌装置 ステンレス鋼張 りとりべ			
流滴取鍋 脱ガス法	真空タンク 中間取鍋 鑄込取鍋	1~10mmHg (西独) <1mmHg, 3~10t/min (米)	1. 真空処理時, 後, 合金元素 添加可能 2. 脱ガス効果かなり大 3. 連铸に使用可能 4. 大形鍛鋼品, 圧延鋼塊に適	1. 取鍋を2ヶ必要 2. 温度降下大
真空吸上げ 脱ガス法	真空容器 同昇降機構 同加熱装置 予備真空容器	2~10mmHg 80~100t/ /15~30min 上下25~30回	1. 操業いたって簡単 2. 真空処理時, 後, 合金元 素添加可能 3. 脱ガス効果かなり大 4. 攪拌効果あり 5. 真空脱酸可能 6. 連铸に適用可能 7. 多数の小中型鋼塊圧延用 鋼塊に適	構造がやや複雑
循環脱ガス法	真空タンク 中間取鍋	1~5mmHg 40~120t/10~20 min	1. 操業は吸上げ脱ガス法より 簡単 2. 真空処理時, 後, 合金元 素添加可能 3. 脱ガス効果大 4. 攪拌効果大 5. 真空脱酸可能 6. 連铸に適用可能 7. 多数の小中型鋼塊, 圧延 用鋼塊に適	
出鍋脱ガス法	中間とりべ(樋) 真空とりべ	<5mmHg <1mmHg	1. 真空脱酸若干可能 2. 真空処理時, 後, 合金元 素添加可能 3. 処理時間が短い 4. 温度降下小 5. 起重機一台で操業 6. 連铸に適用可能 7. 大型鑄鍛鋼, 小中大型鋼 塊に適	
出鍋脱ガス法 (磁気攪拌式)	中間とりべ(樋) 真空取鍋 真空タンク (ステンレス鋼 張り) 磁気攪拌装置	<1mmHg 50~100t/30min ただし真空脱酸 合金添加時間を含 む	1. 真空脱酸可能 2. 真空処理時, 後, 合金元素 添加可能 3. 攪拌効果大 4. 脱ガス効果大 5. 起重機1台で操業 6. 連铸に適用可能 7. 大型鑄鍛鋼, 小中大型鋼 塊に適	
二重脱ガス法	中間とりべ(樋) 真空とりべ 真空タンク	(1)<5mmHg <1mmHg (2)<0.5mmHg	1. 真空脱酸, 若干可能 2. 真空処理時, 後, 合金元素 添加可能 3. 真空処理時間が短い 4. 温度降下が少ない 5. 脱ガス効果が大きい 6. 鋼塊表面状況良好 7. 大型鍛鋼材用鋼塊に最適	

3. 真空脱ガスの効果(軸受鋼の場合)

3.1 高炭素クロム軸受鋼について

脱ガス鋼の諸性質については、いろいろと調査されており、大型鍛造品については脱水素による白点の生成防止、偏析の減少、硫化物の分布の均一化、¹⁷⁾また熱間加工後の機械的性質の方向性が減少する⁶²⁾などの利点が報告されている。

軸受鋼については使用上問題となるのはまづ寿命であるため、いずれも寿命試験が行なわれているが、いままでのところ、10%破損寿命(B₁₀ life)または50%破損寿命(B₅₀ life)において、約3倍までの改良効果が報告されている。

すなわち磁気攪拌装置付トリベ脱ガス法によって脱ガスした52100の溶鋼から米国 Republic Steel corp が製造したチューブを Ford motors Corp. のベアリング部門である New Departure Div. でリングに加工し、試験したところ標準品に比して、脱ガスと熱処理上の改良により B₁₀ life が3倍にも延びるという結果が得られた。¹⁰⁾脱ガス材を鍛造し熱処理上の改良を加えた場合はさらに2倍すなわち標準品の6倍もの寿命が得られた。図6は Weibull plot という方法にてデータを整理したグラフである。

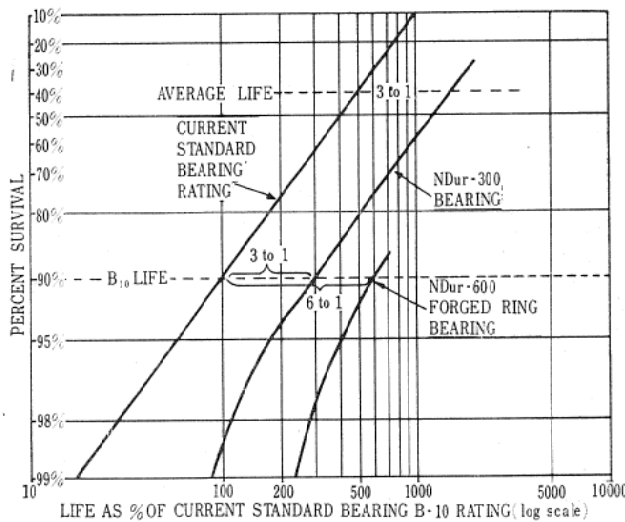


図6 New Departure Div. での磁気攪拌取鍋脱ガス軸受鋼 SDE (52100) の寿命改善効果

国内では脱ガス軸受鋼の製造メーカーで得られたデータとしては、60 Φ レクトロメルト式塩基性電気炉から出鋼した溶鋼をガス攪拌式取鍋脱ガス法で、4段スチームエジェクター、0.5~0.2 Torr の条件にて脱ガスした結果、ガス含有量、清浄度、地疵などに表3~表5のようなきわめて顕著な改良効果が認められた。⁶⁵⁾特に非金属材料のうちでも転動寿命に有害な作用を及ぼすと思わ

表3 ガス含有量に対する脱ガス効果

	脱ガスによる減量	成品中含有量
水素	60%	2cc/100g以下
酸素	60%	25ppm 以下
窒素	30%	70ppm 以下

表4 清浄度に対する脱ガス効果 (TIIS)

	dA	dB	dc	PA-B-C
脱ガス材	0.017~0.050	0~0.008	0~0.012	<0.060
非脱ガス材	0.025~0.12	0~0.025	0~0.050	<0.20

表5 地疵に対する脱ガス効果 (100 \times 100mm換算, D-4)

	0.5~1.0	1.0~2.0	>2.0
脱ガス材	0.4	0.2	0.0
非脱ガス材	2.0	0.7	0.15

れるアルミナ系酸化物を 60mm² にわたって顕微鏡にて綿密にその個数を調べた結果は、半分以下に減少していることが認められた。

なお写真4に見られるスラストベアリング型寿命試験機によって、Herz の最大接触応力 max 455kg/mm²、回転数 600rpm の試験条件にて、脱ガス材5チャージ、非脱ガス材6チャージについて試験した結果は、図7の

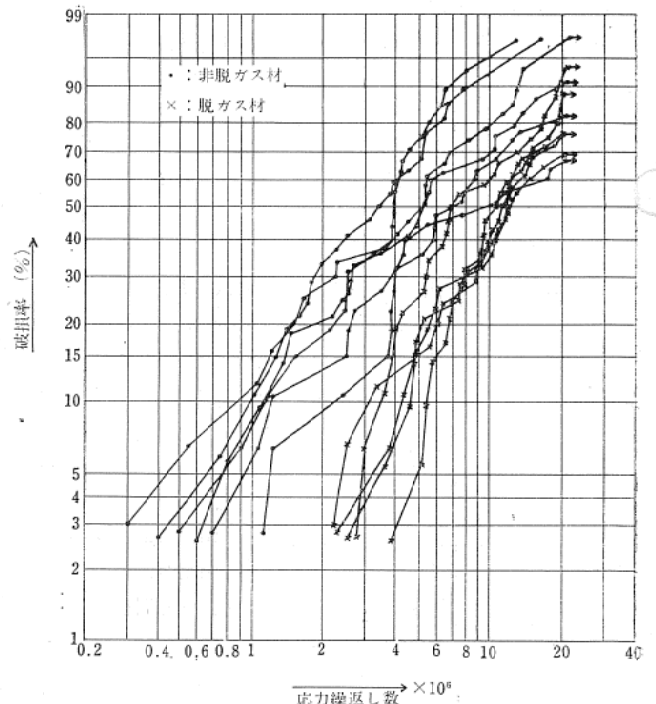


図7 脱ガス材と非脱ガス材軸受鋼寿命試験結果

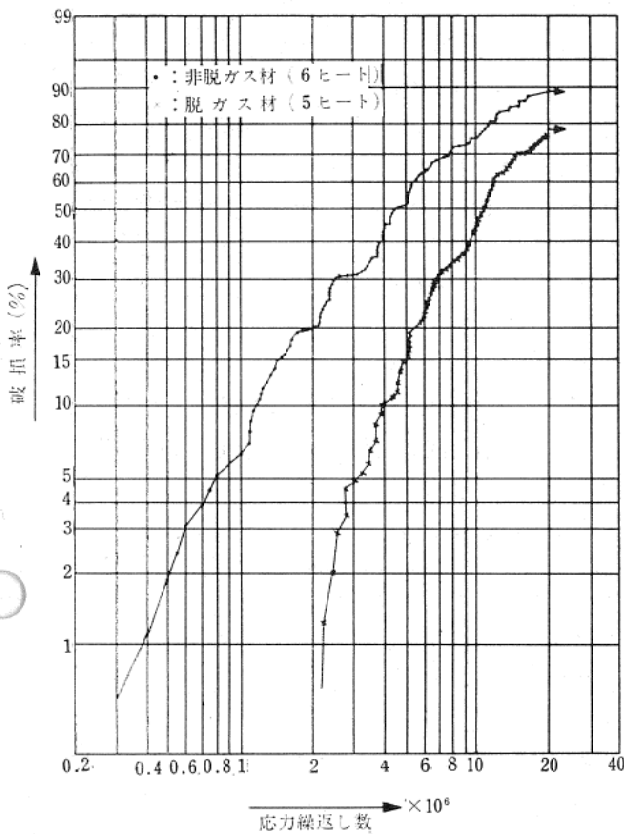


図8 脱ガス材と非脱ガス材軸受鋼の寿命試験結果

ようであり、それをまとめると図8のようになって10%破損寿命で3倍、50%破損寿命で2倍に長くなっている。

DH法によるデータ²⁴⁾はやはり60 Φ 塩基性電気炉鋼を脱ガス処理したのちユージン法による熱間押出工程で軸受鋼管としたものについて調査したもので、表6に示すごとく、3種類の脱酸法について検討した結果、水素酸素の減少と、地疵については管理限界外れと地疵総長さの減少という改良効果を認めている。スラスト型寿命試験の結果も地疵や酸素量の少ない程良好である。(図9~11)。

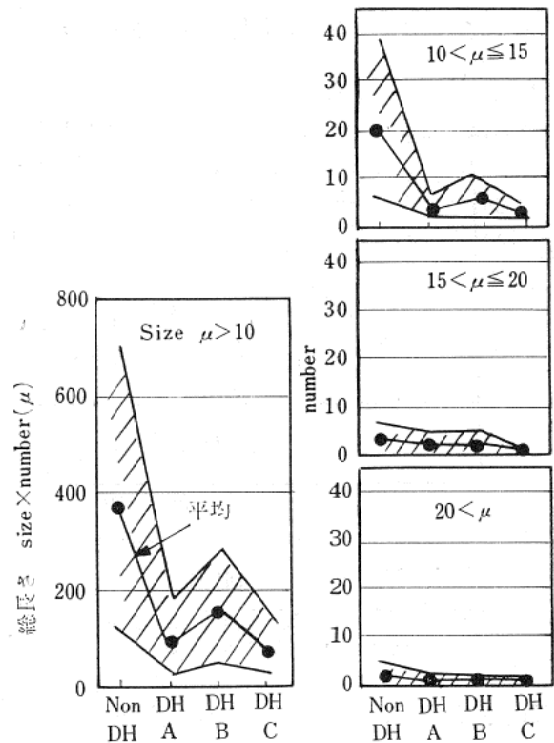


図9 ASTM法の(B+D)型介在物についての処理と非処理鋼の比較

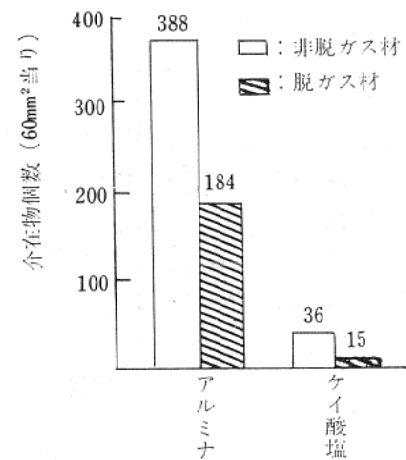
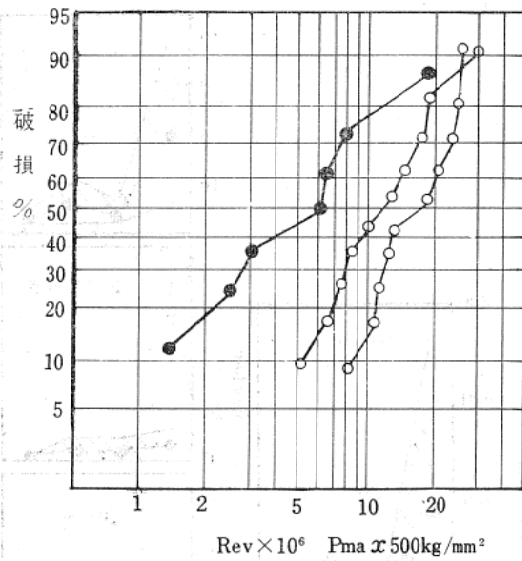


図10 脱ガスによる介在物の減少

表6 DH法による軸受鋼の改良効果

処理法	脱酸法	チャージ数	H ₂ 量 (ppm)		O ₂ 量 (ppm)		地疵試験				
			脱ガス前	脱ガス後	脱ガス前	製品(鋼管)	管理限界外れ		全長さ		
							本数	%	本数	長さmm	
DH	A	Al+Si, 容器中に添加せず	12		39	15	141	4.2	79	4.2	
	B	Al+Si, 容器中にAl	28	4.1	1.7	54	14	719	3.1	506	2.9
	C	低Si, 容器中にAl+Si添加	7			40	9	330	5.8	160	4.4
非脱ガス	Al+Si	40	4.2	—	—	20	998	11.4	734	5.5	



(a)Non DH (b)DH B (c)DH C
 図11 DH 脱ガス鋼と非脱ガス鋼のスラスト寿命試験結果

RH 法の結果は、⁴²⁾ 高炭素クロム軸受鋼については脱水素率55%,脱酸素率75%,脱窒素率25%でサンド分析の結果も酸素含有量の減少に応じて減少することが報告されている。ただ JIS の清浄度の判定でA型介在物は硫化物が大部分でその他珪酸塩とされているが、[S]レベルが同じであっても、硫化物系介在物の面積率が脱ガス鋼では大きくなるらしく、またこの事実がどの脱ガス方法でも共通に認められていることは注目値する。

次に Ladle to Ladle の流滴脱ガス法の結果を紹介すると、塩基性20 Φ 電気炉より出鋼取鍋—中間取鍋—脱ガス取鍋へと溶鋼が注入され、注入速度は平均 3.2t/min, 脱ガス処理は 0.2~0.4Torr で約10分行ない、前後の操

作時間を含めて普通鑄造より15分程長くなるようで、その間の温度低下は100~125℃あるため、出鋼温度は50~70℃高目が必要ということである。効果については、水素は処理前 2.0~4.5ppm が処理後 0.8~2.5ppm で減少率は平均60%, 窒素は処理前 45~60ppm, 処理後 30~40ppm で減少率は平均30%である。酸素は、45~60ppmが10~12分で 23~18.5ppm となり57%の減少率である。なお介在物などについては表12~13に結果を示す。出鋼脱ガスについては残念ながら具体的な報告例はないようである。

3.2 脱ガス方法の優劣

これまでに紹介した各種の脱ガス方法の成果について、それではどの方法が最も軸受鋼に適しているかという問題が当然考えられる。

しかし、発表された範囲では操業開始初期の十分熟練していない時期のものもあり、また脱酸方法の操作そのものが非常に大きく影響すること、脱ガス方法の選択が各社の社内事情の制約を受け、同一会社内で各種の方法の比較を行なうことが出来ないことなどのために厳密に不可能である。

今のところそのような試験はやはり、Ford Motors Corp. からのみ発表されていて、⁶⁰⁾磁気攪拌式取鍋脱ガス法、流滴脱ガス法と、D-H 法の3種類について、軸受鋼の管または棒材から切り出した板状試験片について、曲げ試験が行なわれている。

12図はそれら3種の脱ガス材と大気溶解材の B₅₀ life および四角でその90%信頼限界を図示したもので、やはり脱ガス材の寿命は大気溶解材の2倍になっている。つぎにそれら3種の脱ガス方法別に Weibull plot を行なったのが13図であって、この結果から脱ガス方法間の優

表12 非金属介在物量とサンド分析値 (ppm)

	dA	dB+c	Totbl Sand	SiO ₂	Al ₂ O ₃
非処理材	0.001	0.025	75.3	17.3	57.5
脱ガス材 (Alなし)	0.030	0.015	30.2	6.3	21.8
” (Al添加)	0.028	0.020			

表13 地 疵 (100×100mm²換算)

	0.5~1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0
非 処 理 材	3.33	0.62	0.36	0.01	0
脱 ガ ス 材	1.62	0.41	0	0	0

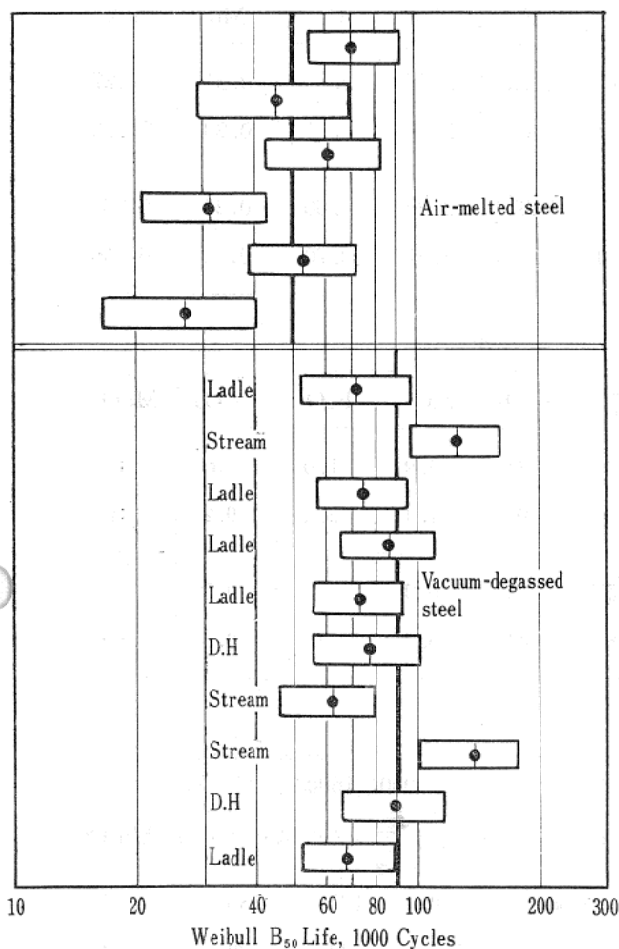


図12 各種脱ガス材の B₅₀ 寿命と90%信頼限界の比較

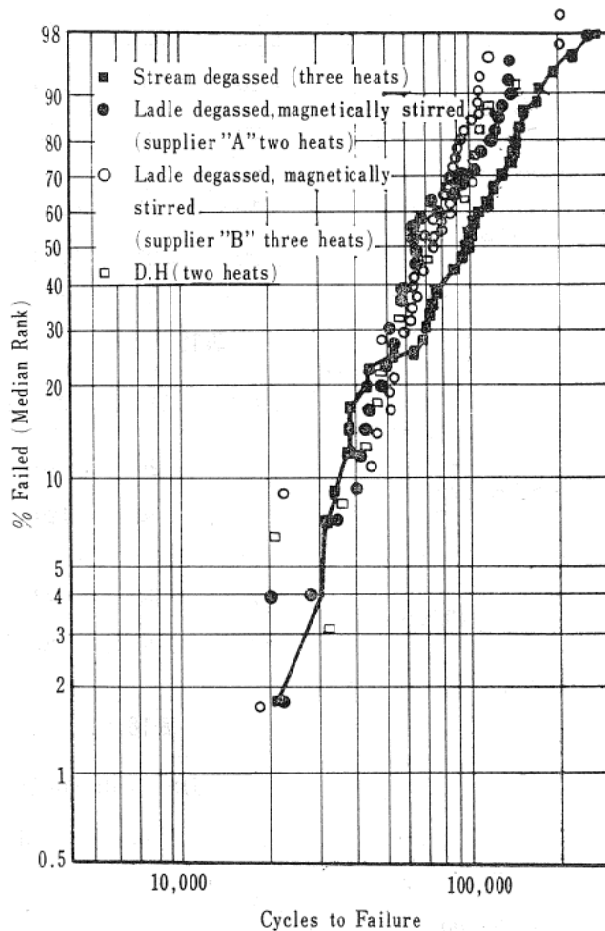


図13 各種脱ガス材の Weibull plot

劣は認められないとしている。

現在国内では山陽特殊製鋼でガス攪拌式取鍋脱ガス装置の他に、RH法の設備が稼働しはじめているので、両者の比較の結果がやがて発表されると思われる。

3.3 肌焼鋼についての脱ガス効果

通常軸受鋼といえば1% C-1.5% Cr鋼すなわち SUJ-2を指すが、圧延機のロールネックなど、衝撃荷重のかかる部分の軸受はすべて肌焼鋼から製造されており、米国では鉄道車輛用の軸受にも材料として肌焼鋼が指定されている。

肌焼鋼の場合、製鋼メーカー側として問題になるのは高炭素クロム軸受鋼に比較して低炭素のために融点が高く、脱ガス処理時の温度降下がその後の造塊作業に影響することである。温度降下を見越して出鋼温度を高くすることは、炉や取鍋の煉瓦の寿命に大きく影響する。

しかしベアリング各社からの脱ガス材への切替についての要望は非常に強く、当社でも現在一部をガス攪拌式取鍋脱ガス法にて処理しているの、それについての調

査結果を紹介する。

供試材は SAE 4320 と当社で 4322 S と呼んでいるどちらも Ni-Cr-Mo 鋼である。表14~16に化学成分、ガスおよびサンド分析結果および非金属介在物を示すが、酸素量の減少とB、C系介在物の減少は高炭素クロム軸受鋼とどうようである。なお浸炭粒度を保障する必要があるので、Nの量をN入り Fe-Mn で添加するか、ガス攪拌のさいに Ar の代りに N₂ を使用するなどの配慮が必要である。上記材はいずれも 925, 950, 975, 1000°C で各6 hの浸炭粒度が ASTM 粒度番号7程度であった。

スラスト型寿命試験による結果では、4322 Sでは B₁₀ life でやはり脱ガス材は非脱ガス材の1.7倍の寿命を示した。なお寿命に最も関係のあるアルミナ系介在物と B₁₀ life の関係を図示すると図9のようになり、アルミナの減少によって直線的に寿命が向上するのが認められる。肌焼鋼ではおなじ介在物の量でも高炭素クロム軸受鋼より良好な寿命を示しているが、これは表面の浸炭層に圧縮残留応力があることに起因すると考えられる。

表14 供試材の化学成分

	脱ガス	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	SolAl
SAE 4320	有	0.20	0.28	0.58	0.010	0.016	1.67	0.48	0.21	0.027
	無	0.20	0.31	0.59	0.022	0.017	1.74	0.51	0.20	0.033
4322	有	0.19	0.21	0.49	0.011	0.018	2.20	0.66	0.29	0.031
	無	0.20	0.27	0.54	0.010	0.013	2.21	0.70	0.30	0.036

表15 ガスおよびサンド分析結果 (ppm)

	脱ガス	O	N	Total Sand	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO
SAE 4320	有	26	110	48	45	0.9	1.6	tr	tr
	無	50	120	99	95	1.4	2.4	0.2	tr
4322 S	有	29	59	45	38	6.0	—	0.9	—
	無	45	82	48	41	6.1	—	0.5	—

表16 非金属介在物量

	脱ガス	JIS (400倍60視野)				1000倍1600視野当り個数			
		dA	dB	dc	dA+B+C	硫化物	アルミナ	スピネル	Ti ₄ Mn ₂ O* [*]
SAE4320	有	0.071	0.004	0.013	0.088	1100	165	185	5
	無	0.100	0.017	0.033	0.150	1195	380	320	0
4322 S	有	0.148	0.000	0.002	0.150	1148	298	226	2
	無	0.052	0.004	0.010	0.066	884	432	178	2

* 赤色角状のものでX線で同定の結果 Ti₄MnO₄ によく似ている介在物

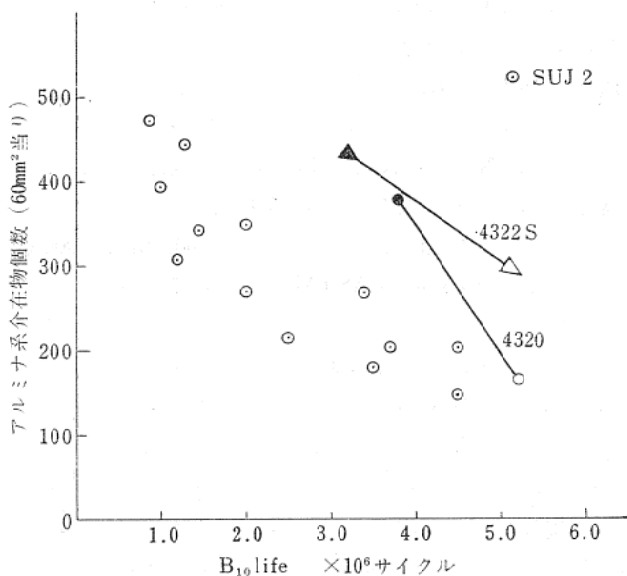


図9 アルミナ系介在物と10%破損寿命の関係

4. 結 言

これまで真空脱ガス法が採用されるに至った動機とその効果、真空脱ガスの方法の概説、それから特に真空脱ガスによって材質の向上が認められた軸受鋼について具体的な例をひいて、効果を説明してきた。製鋼メーカー側では溶鋼の攪拌、溶鋼中の炭素の脱酸、耐火物の寿命、さらに連続铸造との関連性など問題であるが、それはこの論文の目的でもないので、数多の文献を参照されたい。また使用者側では今後次第に、これらの試験結果から設計の問題すなわち安全率とか切欠効果などの点が脱ガス材の使用によって、変わっていくものと思われる。何かの参考になれば望外の幸である。

文 献

真空脱ガス一般

- 1 Iron & Steel Engineer, Jan. 1968 D41~44
- 2 A.M. Sage Steel Times Annual Review 1967 p 135~146
- 3 F. Oeters at alii Revue de Metallurgie Sept. 1967 p711~719
- 4 R. F. Bunshah et alii J. of metals Oct. 1967 p35~39
- 5 C.E. Osterholtz et alii J of metals Sept. 1967 p65~68
- 6 J.I.S.I Dec 1965 p1205~1211
- 7 A.M. Samarin Vacuum metallurgy p 269~275
- 8 J. C. C. Leach Steel Times Annual Review & centenary Number 1966 p197~208
- 9 成田, 神戸製鋼技報 S40.7 p200~223 & S40.10p261~279
- 10 Technical Topics No 7 New Departure
- 11 F.H. Venable J of metals Apr. 1966 p495~497
- 12 J. R. Lakin at al. Steel Times Jan, 21, 1966. p83
- 13 J.C.C. Lcach Steel International July 1966 p 53~58
- 14 A.A. Conrad S.A.E 会議資料 Sept. 13~16, 1965
- 15 J.H. Flux J.I.S.I Dec. 1965 p1194~1204
- 16 第29回特殊鋼部会資料

D-H 法関係

- 17 F. Harders, H. Knüppel, K. Boltzmann st. u. Ei. 76 (1956) p 1721
- 18 WM. P. Herbert Iron & Steel Engineer Dec. 1966 p 131~133
- 19 Helmut Knuppel Archiv f.d. Eisenhüttenw. 37J. H8. Aug. 1966 S621~632
- 20 八幡製鉄第30回特殊鋼部会提出資料 S41.11.10
「最近の DH 真空処理の一傾向」
- 21 同上
「溶鋼の減圧下における脱ガスについて」
- 22 松岡, 加藤 鉄と鋼 52 (1966) P446~448
- 23 牛島, 池田 同上 P448~451
- 24 松田, 大場他 同上 P451~454
- 25 江口 金属材料 vol 6 No3 p97~100
および vol 6 No4 p97~100
および vol 6 No5 p97~100
- 26 E. G. Schempp Iron & Steel Engineer Apr. 1967 p89~94
- 27 R. L. Hatschek American Machinist Feb. 26.

- 1968 p 103~104
- 28 Schaefer J of metals Jan. 1966 p 69~71
- 29 Fogleman J of metals may 1966 p 623~627
- 30 川本, 松岡他 住友金属 vol 18 No2 別冊 p 54~61
- 31 Raymond Shah Iron Age Metalworking International Apr. 1966
- 32 A.J. Parke at alii J of metals Aug 1965 p 897~901
- 33 森, 谷沢他 鉄と鋼51 (1965) 10 P218~221
- 34 J.C.C. Leach et al J.I.S.I Feb. 1965 p 116~122
- 35 W. Sorby Steel & Coal Oct. 18. 1963 p 752~753
- 36 C.D. Preusch Metal Progress June 1962 p80
- 37 W. Sieckman Iron & Steel Engineer May 1963

R-H 法関係

- 38 渡辺, 浅野他 鉄と鋼53 (1967) 3 p 297~300
- 39 " " " " p 300~302
- 40 宮川, 野村他 " " p 302~304
- 41 江口 特殊鋼16 (1967) 5 p 29~34
- 42 G. B. Forster J of metals May. 1966 p 628~633
- 44 E.D. Scherrer " Aug. 1966 p 977~981
- 45 J.D. Sharp Iron & Steel June. 1965. p 334~336
- 46 R. Hirata J of metals May. 1967 p 617~622
- 42 大同製鉄第30回特殊鋼部会提出資料 S41.3.10
- 48 田地川 鉄と鋼 51 (1965) 8P1527~1535
- 49 松井, 中山他富士製鉄技報 vol 13 No4 p597~613
- 50 渡辺, 渡辺他 鉄と鋼50 (1964) 3P456~458
- 51 大槻, 服部富士製鉄技報 vol 16 No. 3~4 p 224~230
- 52 渡辺, 浅野他 " vol 16 No. 2 p 89~103
- 53 H. Tielmann, H. Mass St. u. Ei 79 (1959) p 276

その他の方法

- 54 守川, 池見他 鉄と鋼 52 (1966) 3 P443~446
- 55 日立金属第28回特殊鋼部会資料 S41.3.10
- 56 住友金属 " S41.3.10
- 57 特殊製鋼 " "
- 58 日本高周波鋼業第29回特殊鋼部会資料 S41.7.5
- 59 A. Sickbert Neue Hutte 11 J. H12 Dez. 1966 S726~729
- 60 G. K. Petukhov Stal Apr 1963 p 327~328
- 61 A. M. Samarin Jernkont. Ann. 151 (1967)2 p 113~125
- 62 A. Tix St. u. Ei. 76 (1956) p 61
- 63 A. Mund J.I.S.I. Oct (1962) p 804
- 64 Iron Age Aug 13 (1959) p 86
- 65 結城, 梶川, 山口 鉄と鋼51 (1965) 11 p 2071
- 66 E. R. Mantel & G. H. Robinson Metal Progress Nov. 1967 p 65
- 67 結城, 梶川, 坂上, 山口 鉄と鋼53 (1967) 10 p 289

P 8 よりつづく

参 考 文 献

- 1) Proceedings of the International Symposium on "Hypotensive Peptides" edited by E. G. Erdös, N. Back, F. Sicuteri, Springer-Verlag, New York (1966)
- 2) Proceedings of the International Symposium on "Vaso-Active Polypeptides" edited by M. Rocha e Silva, H. A. Rothschild, III International Pharmacological Congress and Soc. Bras. Farmacologia e Terapeutica Experimental, Sao Paulo (1967)
- 3) Annals of N. Y. Acad. Sci., "Structure and Function of Biologically Active Peptides: Bradykinin, Kallidin, and Congeners", edited by E. G. Erdös, 104(1963)
- 4) 岩永, 鈴木; 生化学, 39, 137 (1967)
鈴木; 化学と生物, 5, 322 (1967)
- 5) 中島; 代謝, 5, 15 (1968)
- 6) 矢野; 代謝, 5, 21 (1968)
- 7) 橋本; 代謝, 5, 28 (1968)
- 8) 鈴木, 長沢; 蛋白質核酸酵素, 12, 201 (1967)
- 9) 鈴木, 林; 蛋白質核酸酵素, 12, 211 (1967)
- 10) M. Rocha e Silva (矢野光夫訳); 化学と生物, 6, 185(1968)