

中華人民共和國
工場(上海大隆機械廠)近代化計画
調査報告書

1988年12月

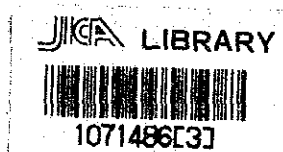
国際協力事業団

工計工
C R (3)
88 - 165

RY

中華人民共和國
工場(上海大隆機械廠)近代化計画
調査報告書

18630



1988年12月

国際協力事業団

国際協力事業団

18630

序 文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国上海大隆機械工場近代化計画策定のための調査を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、大同特殊鋼株式会社 常世田靖一氏を団長とする調査団を編成し、1988年5月14日から5月25日まで中華人民共和国に派遣した。

同調査団は、中華人民共和国及び関係機関と協議しつつ、その協力を得て工場の診断、関係資料の収集等を行った。帰国後工場の診断の結果を踏まえ、関連データの検討、解析等の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が上海大隆機械工場の近代化計画の推進に寄与するとともに、ひいては両国の友好・親善の一層の発展に貢献できれば幸いである。

本調査の実施に当り、多大のご協力をいただいた中華人民共和国政府、在中華人民共和国日本国大使館、外務省及び通商産業省の関係各位に対し衷心より感謝の意を表するものである。

1988年12月

国際協力事業団

総裁 柳 谷 謙 介

柳 谷 謙 介

目 次

序章	-----	1
1. 調査団派遣の経緯	-----	2
2. 調査の目的	-----	2
3. 調査対象範囲と内容	-----	2
4. 調査団の構成と日程	-----	4
5. 主要面談者名	-----	6
第1章 現地本格調査結果による両者の基本的合意事項	-----	8
1. 二次精錬設備	-----	9
2. 生産計画	-----	9
3. 製造工程	-----	9
4. Argon と酸素の供給	-----	9
5. 特に留意すべき技術検討内容	-----	10
6. COST	-----	10
第2章 上海大隆機械廠の概要	-----	12
1. 工場の沿革	-----	13
2. 工場現況	-----	13
第3章 近代化についての技術的提案	-----	26
1. 製品別生産計画	-----	27
2. 二次精錬設備の比較	-----	31
3. AOD法	-----	62
4. 電気炉操業の改善	-----	73
5. 近代化に必要とする製鋼工場設備の仕様	-----	86
6. 鑄鋼工程についての提案	-----	104
7. 生産管理	-----	113
8. 原料管理	-----	133
9. 教育訓練についての提案	-----	138
10. 近代化への実施Schedule	-----	155
11. 経済効果の概要	-----	158

序 章

1.	調査団派遣の経緯	-----	2
2.	調査の目的	-----	2
3.	調査対象範囲と内容	-----	2
4.	調査団の構成と日程	-----	4
5.	主要面談者名	-----	6

序 章

1. 調査団派遣の経緯

中華人民共和国政府は、1982年の党大会において、西暦2000年までに工場の生産を1980年の水準の4倍に拡大する計画を発表し、計画達成の一環として既存工場の近代化を強力に推進しており、わが国に対しても協力を要請してきた。

本調査は、国際協力事業団が中華人民共和国国家経済委員会と1988年3月10日署名した「中華人民共和国工場近代化計画調査実施細則」に拠り、上海大隆機械廠（以下、「機械廠」という）に対し、1988年3月に行われた事前調査に引き続き、大同特殊鋼株式会社からの3名の専門家によって構成された上海大隆機械廠近代化計画日本代表調査団（以下、「調査団」と言う）により、1988年5月14日から25日の間に行われた。

2. 調査の目的

本調査は機械廠に対し、1988年3月に行われた事前調査の結果に基づき、既存設備の利用に重点を置いた生産管理と製造技術に関する近代化計画、特に機械廠の鑄鍛分工場内の製鋼工場へ、AODを中心とした二次精錬技術と設備を採用することによる増産と高品位なステンレス鋼の製造を行うことを骨子とした近代化計画を提案することを目的としている。

また、この調査の実施中に機械廠のカウンターパートに対し調査手法などの技術移転を行う。

3. 調査対象範囲と内容

事前調査で合意された実施細目に基づき、大同特殊鋼株式会社から派遣された3名の専門家による機械廠の現地調査を行い、調査結果を勘案して工場の改善ならびに近代化計画を立案する、というものであり、その詳細を以下に示す。

3. 1 現地調査

機械廠の鑄鍛分工場の製鋼工場その他を対象とし、生産工程としてはScrapなどの原材料管理から造塊および鑄鋼工程の一部（砂落とし、Shot blasting、および焼鈍）までであり、製品としては鋼塊と鑄鋼製品を対象とした。

(1) 工場概要調査

鑄鍛分工場の操業の実状と、近代化のための設備導入SPACE などについて以下の項目を調査した。

- (A) 工場配置 (敷地、原料管理棟、製鋼工場建屋および建屋内設備配置)
- (B) 生産品 (鋼種、規格、化学成分、生産量)
- (C) 製造設備 (公称能力、実際能力、稼働率、劣化度など)
- (D) 生産の実態 (原材料管理、電気炉操業、造塊操業など)
- (E) 組織、人員および教育
- (F) 受注販売方法

(2) 生産工程調査

以下に記す工程に関して生産性の向上および近代化のための実態を調査した。

- (A) 原材料受入れ
- (B) 溶解
- (C) 出鋼
- (C) 造塊

(3) 生産管理の実態調査

鑄鍛分工場を中心とした生産管理状況について以下の項目を調査した。

- (A) 原料・資材調達管理
- (B) 在庫管理
- (C) 工程管理
- (D) 品質管理
- (F) 製造・検査管理
- (G) 教育・訓練

(4) 近代化調査

機械廠が希望する近代化計画について以下の内容を聴取し明確にした。

- (A) 生産計画
生産品目、生産量、品質Level

(B) 実施Schedule
最終目標生産量への達成段階

3. 2 国内分析

機械廠への導入を推奨すべき設備と技術について、日本での実績と、機械廠へ導入のために機械廠が備えるべき諸条件を調査・解析する。

更に次の内容を含めた近代化計画を立案・提示する。

- (1) 近代化計画の内容
- (2) 計画実施Schedule
- (3) 近代化に要する経費
- (4) 近代化計画実施上の留意点

4. 調査団の構成と日程

4. 2 構成

1988年 5月に行われた本格調査のための調査団の構成は次の通りであった。

氏 名	所 属	担 当
常 世 田 靖 一	大同特殊鋼株式会社 海外技術協力部 主査	団長・総括、設備計画
中 山 次 男	大同特殊鋼株式会社 海外技術協力部 主査	生産工程
杉 村 邦 彦	大同特殊鋼株式会社 海外技術協力部 副主査	生産管理、資材調達

4. 2 調査日程

本格調査の日程を次に示す。

	(宿泊地)	(訪問先 調査内容)
5月14日(土)	上海	東京発-----→上海着
15日(日)	上海	機械廠 鑄鍛分工場の概要説明、質問書に対する回答について質疑応答
16日(月)	上海	機械廠 将来計画の聴取、質疑応答
17日(火)	上海	機械廠 二次精錬工程の説明、対象量と要求品質の確認
18日(水)	上海	機械廠 現状の製造コストの確認、電気炉操業の実際を観察、教育方法の現状調査
19日(木)	上海	機械廠 AODを中心とした二次精錬についての講義、工場における自主管理活動と一般教育についての講義
20日(金)	上海	機械廠 団内ミーティング(調査結果集約、会議合意書作成)
21日(土)	上海	(休日)
22日(日)	上海	機械廠 会議合意書の検討、修正および署名
23日(月)	北京	上海発-----→北京着
24日(火)	北京	国家経済委員会および国際協力事業団北京事務所 調査結果報告
25日(水)		北京発-----→東京着

5. 主要面談者名

本格調査に関して面談した人々は次の通りであった。(敬称省略)

国家計画委員会	外事局	副局長	郭 晶
(国家経済委員会)	企業技術改造診断辦公室	副主任	朱 雙
	"	處長	姜 德 群
	"	科長	馬 雁 鳴
	"		鄧 軍
	"		洪 成 男
上海市人民政府經濟委員会	技術改造處	處長	李 旭
	"		江 興
	對外經濟技術合作處	副處長	陸 秉 孫
	"		彭 大 林
DEVELOPMENT & PLANNING DEPT.	上海市機電工業管理局規画處副處長		錢 子 英
上海大隆機械廠	本社工場 廠 長		朱 明 連
	" 副廠長		陳 宝 生
	" 副總工程師		陳 文 駒
	" 副總工程師		劉 振 權
	" 廠長辦公室主任		韓 兆 堯
	" 基本建設科科長		丁 文 一
	" 基本建設科		陳 培 濂
	鑄鍛分工場工場長		陳 志 雄
	" 技術担当副廠長		李 錫 年
	" 製鋼工場技師主任		陳 華 宝
	" 技術辦公室主任		蘆 俊 堯
	" 品質管理主任		黃 守 信
	" 品質管理組長		祭 一 峰
	" 助理工程師		宋 妙 福
	" 助理工程師		鄧 偉 達
	" 動力組組長		王 中 芳
	" (通訳)		范 似 鑫

日本国際協力事業団中華人民共和国北京事務所

所長

田口 定則

神谷 克彦

第1章 現地本格調査結果による両者の基本的合意事項

1.	二次精練設備	-----	9
2.	生産計画	-----	9
3.	製造工程	-----	9
4.	Argonと酸素の供給	-----	9
5.	特に注意すべき技術検討内容	-----	10
6.	COST	-----	10

第1章 現地本格調査結果による両者の基本的合意事項

1. 二次精錬設備

二次精錬設備としては、AOD、VOD、およびLFVを検討対象とする。

2. 生産計画

二次精錬設備の採用後の生産計画の量と鋼種は下表（表-1）の通りとする。

表-1 近代化後の二次精錬対象鋼種

鋼種	INGOT	鋳鋼
00Cr17Ni14Mo	1,000	0
00Cr18Ni10	5,000	0
0Cr13	300	0
35CrMoA	11,600	0
42CrMoA	5,000	0
2-3Cr13	100	500
ZG20CrMo	0	2,500
WCB WCC	0	5,000
ASTM A487(4Q)	0	2,000
1Cr18Ni9Ti	2,000	0
合計	25,000	10,000

3. 製造工程

二次精錬設備の採用後の製造工程およびその歩留は、図-1のPROCESS FLOW SHEETに示されたものとする。

4. Argonと酸素の供給

二次精錬設備採用時に必要とされるArgon（あるいは窒素）と酸素についての供給条件は満たされるものとする。

5. 特に留意すべき技術検討内容

(1) 電気炉生産能力の向上

機械廠鋳鍛分工場の製鋼生産能力は、電気炉(EAF)によって決定されている。二次精錬設備採用に伴い、EAFの生産能力の向上についても検討する。

(2) 原材料(廃鋼)置場

現在「機械廠の廃鋼置場は不足である」と考えられている。このことが溶解能力の不足を来たしている。廃鋼置場についても検討する。

(3) 品質LEVEL

改造計画達成後の、各工程ごとの達成可能な品質LEVELを検討する。また、二次精錬の採用による鋳鋼品の品質向上についても検討する。

(4) 歩留向上

EAFおよび造塊工程の歩留向上対策について検討する。二次精錬工程においても歩留向上対策に関しては十分な配慮をする。

(5) 二次精錬設備配置

二次精錬設備配置の検討に際しては、現状の設備配置、建屋条件、CRANE条件などを考慮し、可能なかぎり設備投資金額を少なくすることを前提とする。

(6) その他技術的条件

本現地調査に先立って日本国際協力事業団より提出された質問書に対する機械廠からの回答書に基くものとする。

6. COST

COSTはすべて元で表示する。1元は40円(日本円)とする。

(1) 設備費用

設備費用は日本港FOB BASEとする。

(2) 工事費用

工事費用については日本の現状に基づいて算出されるものとするが機械廠から提出された資料をできる限り参照するものとする。

(3) 設備償却

設備償却は初期投資金額の7.488 % (定率) とする。

(4) 製造COST

工程毎の製造COSTは図-2に示されている通りとする。

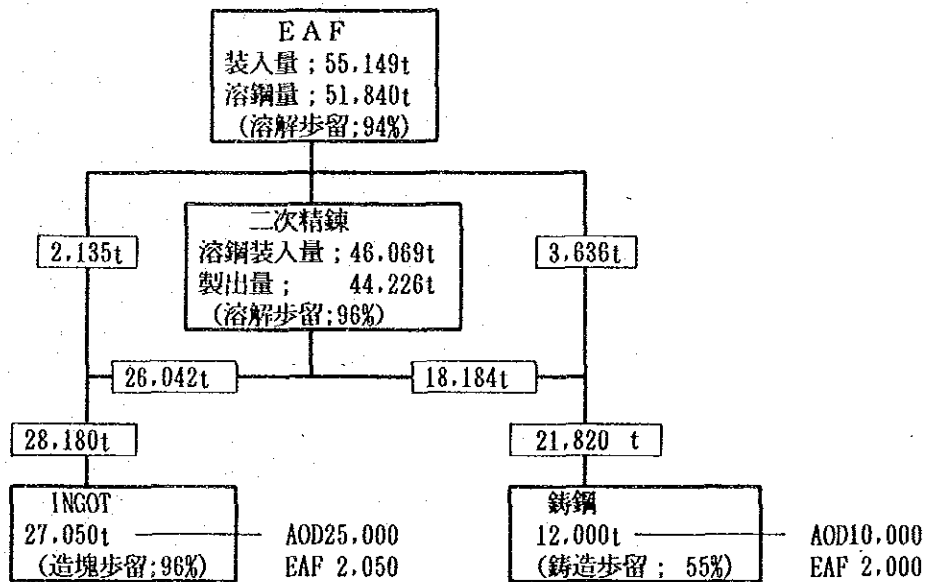


図-1 近代化後のProcess flow sheet

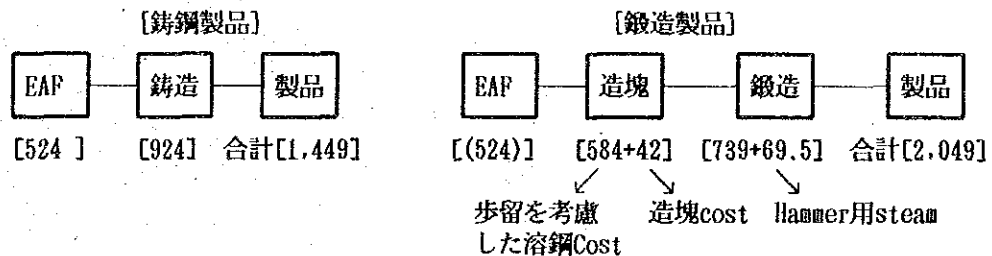


図-2 現状の製造COST

第 2 章 上海大隆機械廠の概要

1. 工場の沿革 ----- 13
2. 工場現況 ----- 13

第2章 上海大隆機械廠の概要

1. 工場の沿革

機械廠は1902年に創立されて以来86年の歴史を有する中国国内では有数な機械メーカーである。上海市内に本工場を有し、最終需要家と接触しやすい状況にあり、需要家との技術的検討に有利な立場にある。その技術水準もかなり高いものとの評判を得ている。

鑄鋼品の製造技術としては40年の歴史を誇っており、その製品規模も最大5tまで製造可能である。石油化学機械設備、高圧容器および高圧ポンプ類の製造に関しては、特有な位置を獲得している。中華人民共和国の建国以来、機械廠は機械-建設工業界では基幹企業の一つに数えられてきた。

製品は中国国内ばかりではなく海外にも輸出されている。

2. 工場現況

2.1 全工場

上海市に本工場（上海光復西路5号）のほかに3つの分工場を有している。これらの分工場は本社工場の管理下にある。

- | | | |
|-----|------------|-----------------|
| (1) | 鑄鍛分工場 | (本社工場から北東約16km) |
| (2) | チェーン分工場 | (本社工場から南西約6km) |
| (3) | 超高圧設備製造分工場 | (本社工場から北約1km) |

工場敷地面積は3分工場合せて、198,820 m²である。また、建屋面積は3工場合せて158,342 m²である。

主なる製品は次の通りである。

- 高圧Pump、超高圧Pump
- 高圧Valve その他Stop valve
- Ammonia pumpおよび高圧Compressor
- 高圧容器
- Roller chain
- 石油および天然Gas 掘削用Housing

2. 2 本社工場

本社工場は他の3工場の総合管理を行うほか、機械工場も有している。その規模は以下の通りである。

総人数：3,000名

職場数：6職場（総合管理部門は除く）

- | | | | |
|-----|-----------|------|------------------------------|
| (1) | 第一機械加工職場 | 400名 | (化学用PumpおよびCompressor) |
| (2) | 第四機械加工職場 | 300名 | (中型Reciprocating compressor) |
| (3) | 熱処理職場 | 150名 | (Chain工場以外の半製品の熱処理) |
| (4) | 工具職場 | 120名 | (Gauge、ねじ加工などを含めた治具加工) |
| (5) | 鑄鉄職場 | 350名 | (全工場向け鑄鉄品の製造) |
| (6) | 設備・動力保守職場 | 120名 | (鑄鍛分工場以外の工場管理) |

2. 3 チェーン分工場

総人数：500名

職場数：1職場（材料調達、部品製造、熱処理、部品組立ておよび製品検査までの全工程）

2. 4 超高圧設備製造分工場

総人数：350名

職場数：1職場（超高圧設備（1,000kg/cm²以上）――Pump、Compressorなどの製造）

他に全工場を対象とした総合職場（本社管理下）としての職場（木型倉庫、木型製作、金属Flame、梱包作業）と全社用倉庫がこの超高圧設備製造分工場構内にある。

2. 5 鑄鍛分工場

調査の対象となった鑄鍛分工場の工場概況について、以下に述べる。

(1) 概要

- (A) 沿革：1979年から1980年にかけて、本社工場内の熱間工場のうち鑄鋼工程と鍛造工程を現在地（呉淞地区）へ移設したことにより、本鑄鍛分工場が発足した。

上海市では電気炉を最初に採用した工場である。電気炉で溶製される鋼種は約100種類である。

1983年と1987年には船舶協会の認定も受けている。

- (B) 総人数：1,500人（内、技師62名、間接管理部門147名）

- (C) 工場敷地面積：72,000 m²
 建屋面積：41,600 m²
- (D) 製鋼工場の溶解量実績
 1987年における製鋼工場の鋼種別溶解量を表-2に示す。

表-2 1987年溶解量

鋼種	INGOT 向け	铸鋼品向け
構造用炭素鋼	10,914	7,993
低合金鋼	7,213	830
軸受鋼	605.4	0
炭素工具鋼	469.1	0
合金工具鋼	211.0	0
ステンレス鋼	140.5	67
合計	19,553	8,890
製品	18,000	5,500

(2) 組織

铸鍛分工場は本社工場の生産系統に属されている。
 铸鍛分工場は工場長および副工場長の下に15の辦公室があり、さらに112のGROUPがある。

製造部門としては製鋼(16 GROUP)、造形(19 GROUP)、精整(10 Group)、および鍛造(13 Group)がある。組織を図-3に示す。

(3) 工場配置

図-4に铸鍛分工場の概略Layout図を示す。

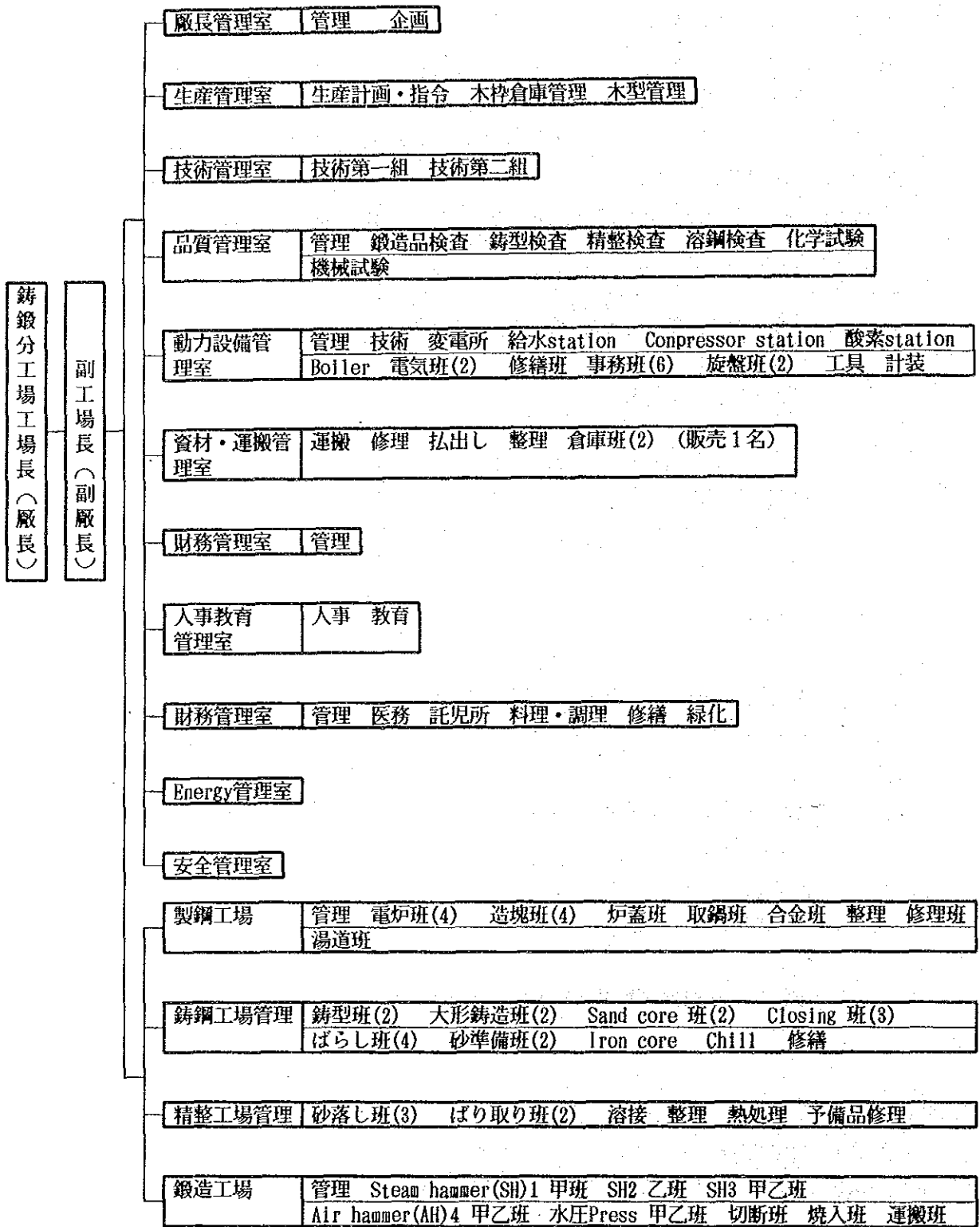


図-3 鑄鍛分工場組織

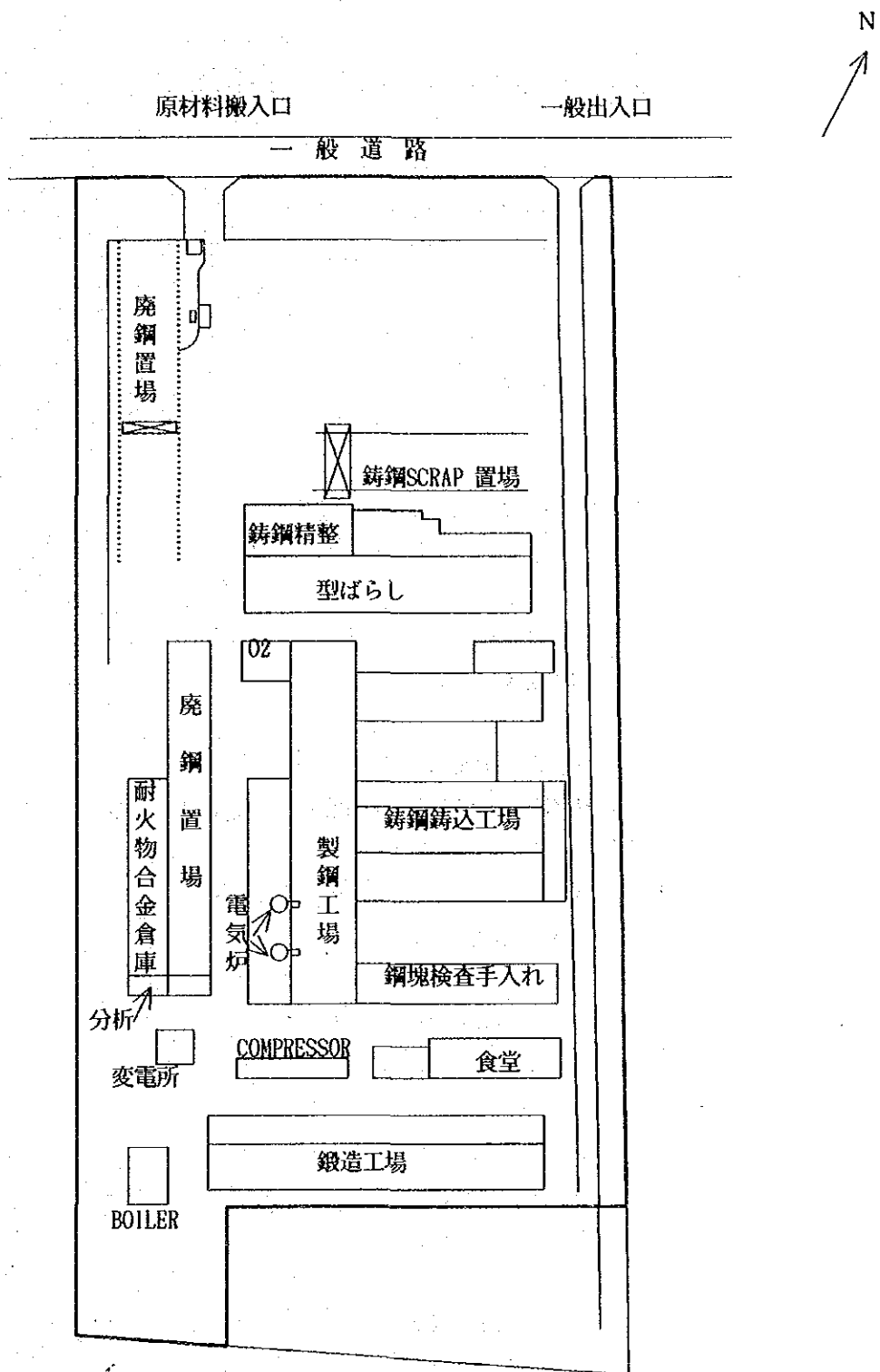


図-4 鑄鍛工場概略Layout図 (主要部分)

(4) 主要設備

(A) スクラップ準備設備 (状況を写真-1と2に示す)

① Crocodile 式切断機 (1基)

切断最大径: $\phi 40\text{mm}$

処理能力: 10t/直(8h/直)

② Scrap press (1基)

Press 力: 100t

処理能力: 8t/直(8h/直)

(B) 製鋼設備 (状況を写真-3と4に示す)

① No.1電気炉

公称能力: 5t

実出鋼量: 12t

Trans.容量: 5.000kVA

電極径: $\phi 300\text{mm}$

炉体: (内径) $\phi 2.650\text{mm}$ (外径) $\phi 3.540\text{mm}$

② No.2電気炉

(No.1電気炉と同じ)

③ No.1中周波誘導炉

公称能力: 500kg

実出鋼量: 500kg

出力: 250kW

炉体内径: $\phi 280\text{mm}$

周波数: 1.000Hz

④ No.2中周波誘導炉

公称能力: 150kg

実出鋼量: 150kg

出力: 100kW

炉体内径: $\phi 280\text{mm}$

周波数: 1.000Hz

⑤ 電気炉装入用Crane (1基)

最大定格荷重: 20t

補助巻き能力: 5t

Crane レール高さ: 11m

⑥ 電気炉出鋼用Crane (2基)

最大定格荷重: 30t

補助巻き能力: 5t

Crane レール高さ: 10m

(C) 製鋼周辺設備

① 受配電所

受電容量: 15,000kVA

通電容量: 8,000kVA

短絡容量: 800kVA

② 酸素供給設備

付近のAir separating factoryからPipingで当工場へ搬送している。

供給能力: 600 m³N/h (Air separating factory能力としては1基当たり
6,000 m³N/h x 4基の余裕あり)

Tank容量: 40m³N (未使用)

③ Argon 供給設備

現在はcylinderで購入している。

将来AODなどで大量にArgonが要求される場合は、付近のAir separating factoryからPipingで当工場へ搬送できる。その場合 200m³ N/h が保証されている。

④ Boiler (2基) (写真-5参照)

蒸気発生量: 公称6.5t/h

Accumulator: なし

蒸気使用量: ほぼ6.5t/h

(現在、2基のBoilerをseriesで使用している)

⑤ 集塵装置 (1式)

形式: BAG FILTER式

処理風量: 60,000m³N/h

吸引圧力：245mmAq

(D) 鑄造設備

- 砂処理機 : 55t/h x 1基
- 砂型乾燥炉 : 3基
- 砂落し装置 : 1基
- Shot blaster : 1基
- 焼鈍炉 : 3基 (都市ガス焼き)

(E) 鍛造設備

- 1.600t PRESS : 1基
- 3t、2t、Steam hammer : 各1基
- 250kg、560kg、Air hammer : 各1基
- 連続熱処理炉 : 3基 (都市ガス焼き)
- Batch 炉 : 11基 (都市ガス焼き)

2. 6 生産計画と実績

(1) 受注体制

鑄鍛分工場の生産実績(1987年)は表-2に示されている。これらの生産は表-3に示されている通り、受注形態によって次の4つに区分される。

- ①国家からの生産指令 この指令に対しては基本的には必ず実行する。
- ②本社からの生産指令 この指令に対しても基本的には必ず実行する。
- ③需要家からの直接受注 鑄鍛分工場の品質および価格などを評価した需要家が、機械廠の営業活動を通じないで直接鑄鍛分工場へ注文してくるもの。
- ④本社および鑄鍛分工場が各企業の需要を調査し、営業活動を伴って受注するもの

①と②による生産量はそれぞれの全体に対して、鋼塊用溶解量では44.22%、鑄鋼製品については32.69%を占め、鑄鍛分工場の生産の基本となっている。

また、③と④のように機械廠、あるいは鑄鍛分工場への直接発注によるものは鋼塊用溶解量で55.7% 鑄鋼製品で67.7%にも及んでいる。

鋼塊については営業努力、鑄鋼品については機械廠のこれまでの実績を需要家が高く評価している結果である。

今後の生産量増加を計るためには国家からの生産指令の増加は当然として、機械廠自体の販売努力の要素が非常に大きくなってきている。

表-3 鑄鍛分工場の受注実績 (1987年)

	鋼塊用溶鋼量		鑄鋼製品	
	t/y	%	t/y	%
① 国家からの生産指令	3,600	18.40	1,700	32.69
② 本社からの生産指令	5,051	25.82		
③ 需要家からの直接受注	5,172	26.44	3,000	57.69
④ 営業努力による受注	5,740	29.34	500	9.62
合計	19,563	100.00	5,200	100.00

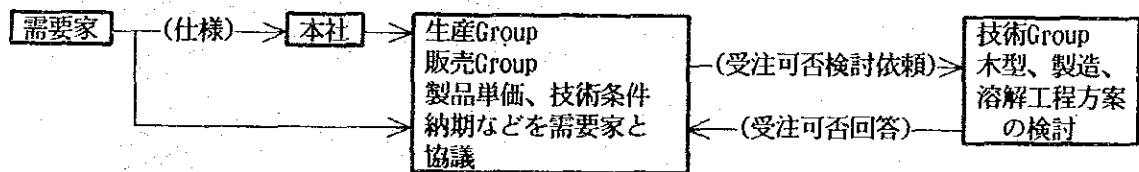
生産実績量について鑄鍛分工場は満足していない。電気炉の能力が原材料の不足（鑄鍛分工場では「置き場面積の不足、多大なCharge数のための準備能力の不足」と考えている）と、操業管理上の問題点（修理時間の長大）等の理由により、十分に発揮されていない。これが十分ならば生産量は電気炉のみで40,000t/y まで増大する、と鑄鍛分工場では考えている。

(2) 受注から出荷までの工程

(A) 鑄鋼品

図-5 に鑄鋼製品の受注から出荷までの工程を示す。

[受注時 (新規注文製品の場合)]



[受注後の工程]

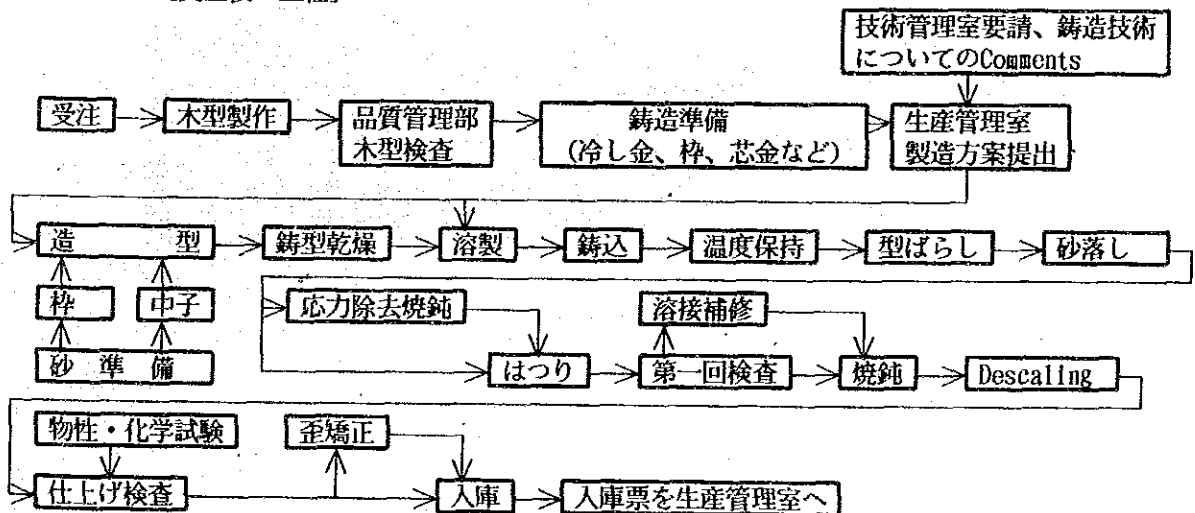


図-5 鑄鍛分工場における鑄鋼製品の受注から出荷までの工程

(B) 鋼塊品

図-6に鋼塊品の受注から出荷までの工程を示す。

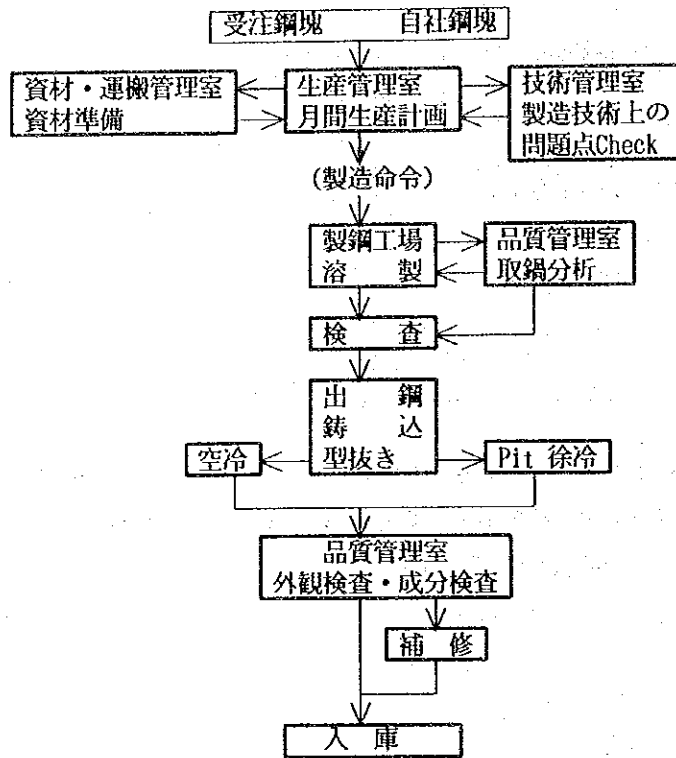


図-6 鑄鍛分工場における鋼塊品の受注から出荷までの工程



写真-1 屋内SCRAP 置場



写真-2 屋外Scrap 置場



写真-3 電気炉前状況



写真-4 電気炉出鋼状況

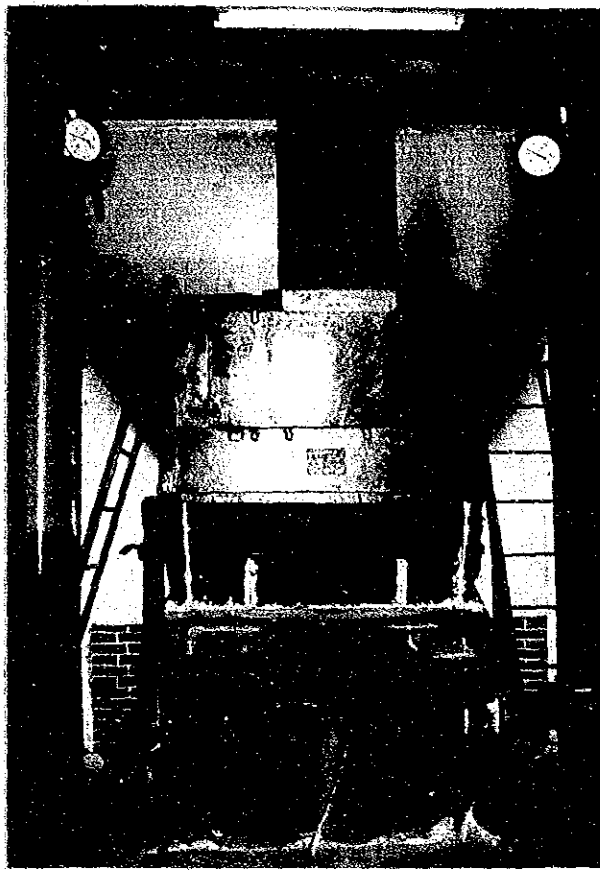


写真-5 Boiler

第3章 近代化についての技術的提案

1.	製品別生産計画	27
2.	二次精錬設備の比較	31
3.	AOD法	62
4.	電気炉操業の改善	73
5.	近代化に必要とする製鋼工場設備の仕様	86
6.	鋳鋼工程についての提案	104
7.	生産管理	113
8.	原料管理	133
9.	教育訓練についての提案	138
10.	近代化への実施Schedule	155
11.	経済効果の概要	158

第3章 近代化についての技術的提案

1. 製品別生産計画

1.1 製品別生産計画

鑄鍛分工場での1987年実績と、二次精錬設備採用後の生産計画(1988年から1992年までの五ヶ年計画完了時)は表-4に示す通りである。

鑄鍛分工場では1987年の溶解量は合計28,443tであった。近代化後は、これを溶鋼量で50,000tに増加させる計画である。

すなわち、二次精錬の採用後は1987年の溶鋼量の1.76倍に達する。

表-4 1987年生産実績と二次精錬設備採用後の生産計画 [溶鋼量(t/y)]

鋼種	1987年生産実績			二次精錬設備採用後			増加率 %
	INGOT 向け	鑄鋼向け	計	INGOT 向け	鑄鋼向け	計	
構造用炭素鋼	10,914	7,993	18,907	1,135	11,274	12,409	-34.4
低合金鋼	7,213	830	8,043	17,091	8,364	25,455	+216.5
軸受鋼	605.4	0	605.4	409	0	409	-32.4
炭素工具鋼	469.1	0	469.1	564	0	564	+20.2
合金工具鋼	211.0	0	211.0	0	345	345	+63.5
Stainless 鋼	140.5	67	207.5	8,636	2,182	10,818	+5,113.5
合計	19,553	8,890	28,443	28,180	21,820	50,000	+75.8

鋼種としては、軸受鋼と比較的低廉な構造用炭素鋼を減少させ、高級な低合金鋼とStainless 鋼の増加が顕著である。

また、二次精錬対象鋼種は10鋼種が予定されている。この10鋼種はStainless系と、比較的炭素含有量の多い低合金鋼の2種類に区分できる。

その成分を表-5に示す。さらに、表-6に二次精錬対象量を鋼種別に示した。

表-5 二次精鍊対象鋼種成分表

鋼種	化学成分%								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
00Cr17Ni14Mo	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤.035	≤.030	12/16	16/18	2.5/3.5	
00Cr18Ni10	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤.035	≤.030	8/12	17/19		
0Cr13	≤0.08	≤0.60	≤0.80	≤.035	≤.030		12/14		
35CrMoA	.32/.40	.17/.37	.40/.70	≤.030	≤.030		.80/1.10	.15/.25	≤.20
42CrMoA	.38/.45	.17/.37	.50/.80	≤.030	≤.030		.90/1.20	.15/.25	≤.20
2-3Cr13	.16/.24	≤0.60	≤.80	≤.035	≤.030	≤.60	12/14		
	(.25/.34) 铸鋼品								
ZG20CrMo	.18/.25	.20/.40	.50/.80	≤.015	≤.005	≤.25	.50/.80	.40/.60	≤.25
WCB WCC	≤.25	≤.60	≤1.00	≤.035	≤.030	≤.50	≤.40	≤.25	≤.45
ASTM A487(4Q)	≤.30	≤.80	≤1.00	≤.030	≤.030	.40/.80	.40/.80	.15/.35	
1Cr18Ni9Ti	≤.12	≤1.00	≤2.00	≤.035	≤.030	8/11	17/19	(Ti: (5x%C -.02) x5 ~.8	

表-6 二次精鍊対象量(鋼種別) (t/y)

鋼種	現状計画量		将来最大見込量		鋼種区分	主な用途
	INGOT	铸鋼	INGOT	铸鋼		
00Cr17Ni14Mo	200	0	1,000	0	Stainless 鋼	Pump本体
00Cr18Ni10	5,000	0	5,000	0	Stainless 鋼	化学工業、計器
0Cr13	300	0	300	0	Stainless 鋼	Turbine 羽根
35CrMoA	3,000	0	11,600	0	低合金鋼	自工場Chain
42CrMoA	500	0	5,000	0	低合金鋼	齒車
2-3Cr13	100	200	100	500	Stainless 鋼	Valve、Pump
ZG20CrMo	0	1,000	0	2,500	低合金鋼	Turbine 本体
WCB WCC	0	500	0	5,000	炭素鋼	低中圧Valve
ASTM A487(4Q)	0	500	0	2,000	低合金鋼	BOP
1Cr18Ni9Ti	0	0	2,000	0	Stainless 鋼	石油化学
合計	9,100	2,200	25,000	10,000	-	-

1. 2 二次精錬対象鋼種の目標品質

現在、鑄鍛分工場で生産されている溶鋼品質については、Blow hole と非金属介在物が多い、などの多くの問題がある。これらの問題点を二次精錬の採用により減少させたい、というのが機械廠の計画である。

機械廠の品質目標は次の通りである。

一般構造用鋼：

中級品としての要求に対応する。

降伏点：50～80kgf/mm²

伸び：18～20%(14A 号試験片)

不純物：0.025%以下

絞り：35～50%

AC(K, c)：250～350kgf/mm^{3/2}

抗腐蝕鋼：

石油化学や污水处理などに適用される耐硫化水素を目的としたもの

抗張力はNACE(National Association of Corrosion Engineers) 規格に合致すること

HCR：22～27

高纯净度：不純物(Pd、S、Sn、Sb、Bi、As、P など) ≤0.005%

表-7に二次精錬対象鋼種の内、特殊な要求がある鋼種の仕様を示した。

表-7 特殊仕様

鋼種	特殊仕様とその理由 (分析値は鍋下)
ZG20CrMo鋼	[H]：≤4ppm Sb≤0.025 S≤0.005 P≤0.005 中国石油工業部からの海洋石油掘削諸設備用の鑄鋼品の注文。 機械的性質と化学成分は次の通りの要求がある。 H ₂ ：≤3ppm O ₂ ：≤40～60ppm N ₂ ：30～75ppm As：≤0.005% Sn：≤0.005% Sb：≤0.005% H ₂ S 腐蝕に耐えること、また、700～1,000kg/cm ² 耐圧であること。
00Cr18Ni10	[H]：≤4ppm [O]：≤50～70ppm [N]：140～250ppm Pb≤0.005% As≤0.005% Sn≤0.0015% Sb≤0.006 S≤0.005 P≤0.005

1. 3 工程流れ図

図-7から図-9に、それぞれの二次精錬設備を採用した場合の、廃鋼・原材料装入から造塊型抜きおよび铸造のための二次精錬炉出鋼までの工程流れ図を示す。

図中の二次精錬工程の歩留値（[] で示した）は、日本国内の特殊鋼製造業界の平均的な値である。

また、電気炉での溶解、造塊および铸造歩留は鑄鍛分工場の近代化後の想定であり、本格調査時に合意された数値である。

AODの歩留が最も優れているため、必要とされる原材料の量はAODの採用の場合が最も少なく、最も歩留が低いLFVと比べて年間463tを節減できるが、どの二次精錬を採用するかの総合的に判断しなければならない。最終的な判断は後の章での比較検討結果に従うものとする。

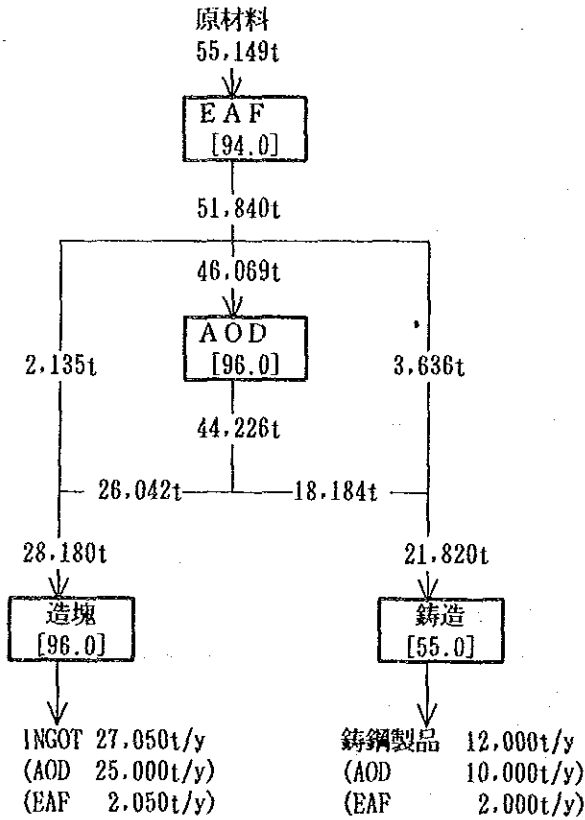
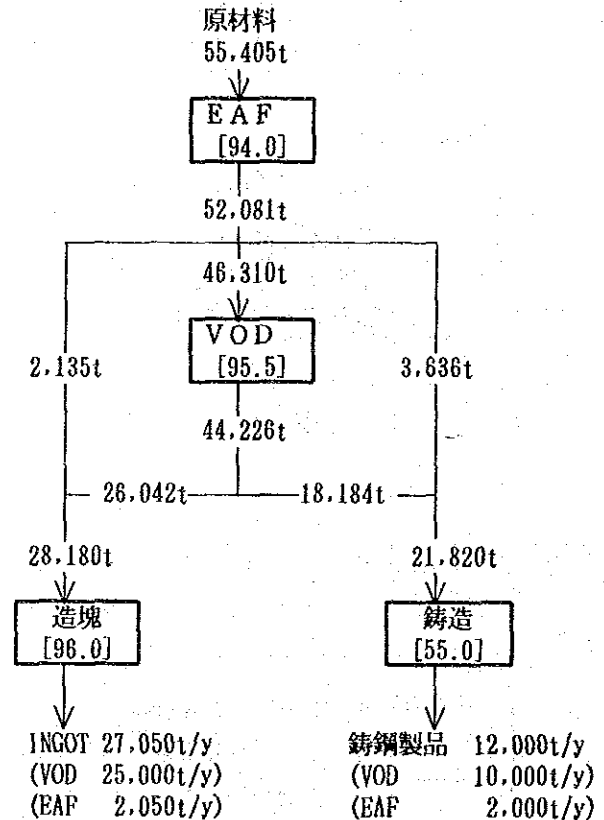


図-7 AOD法採用時の工程流れ図



注：VOD法の場合、低合金鋼処理はVOD法ではなくVODの真空Tankを利用したLadle degassing法による処理になる。

図-8 VOD法採用時の工程流れ図

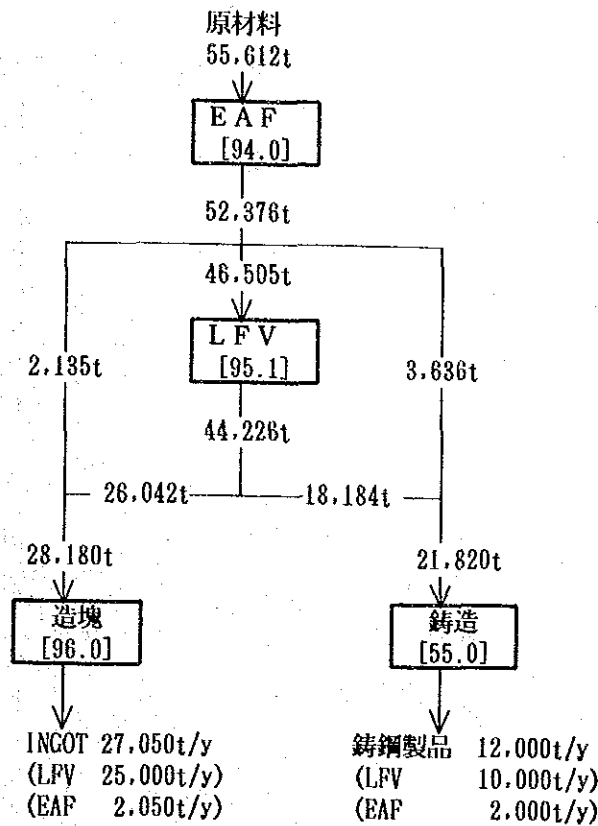


図-9 LFV法採用時の工程流れ図

2. 二次精錬設備の比較

2.1 二次精錬法の概要

1940年代から今日まで、二次精錬法は飛躍的に発展した。それまでは溶解炉で行っていた精錬を、二次精錬炉で専門的に行うことにより、生産能率が向上した。DH、RH法は大量生産に適しており、その脱ガス処理中の温度降下も少なく、脱ガス効率も良いため、既に長い期間採用されている方法である。

脱ガス処理には温度降下のため処理時間に制限があるが、温度降下を補償する発想から出現したのが電極加熱機構を備えた取鍋精錬炉である。これら加熱機構を有した取鍋精錬法には、電磁攪拌装置を持つASEA SKF法、真空下での加熱を考えたFINKE-VAD法、また、Ar gasによる攪拌を採用したDAIDO-LF法などがある。温度補償が可能となったため、自由な脱ガス処理が可能となりGas含有量の低減が実現した。さらに、電極加熱であるため造滓精錬が可能であり、脱硫と介在物の低減に著しい効果を示している。これら取鍋精錬炉は主に高合金鋼や極低硫鋼の製造に用いられている。

一方、Stainless 鋼用としてのAOD およびVOD 法の発展も著しい。

いずれの方法も脱炭反応によって生ずるCO Gasの分圧を低下させて脱炭を促進させる方法である。

CO Gasの分圧低下の方法としてAOD はAr gas希釈、VOD は真空を使用する。

電気炉と組合わせた二次精錬法を図-10に示した。

表-8に二次精錬法とその特徴を示した。

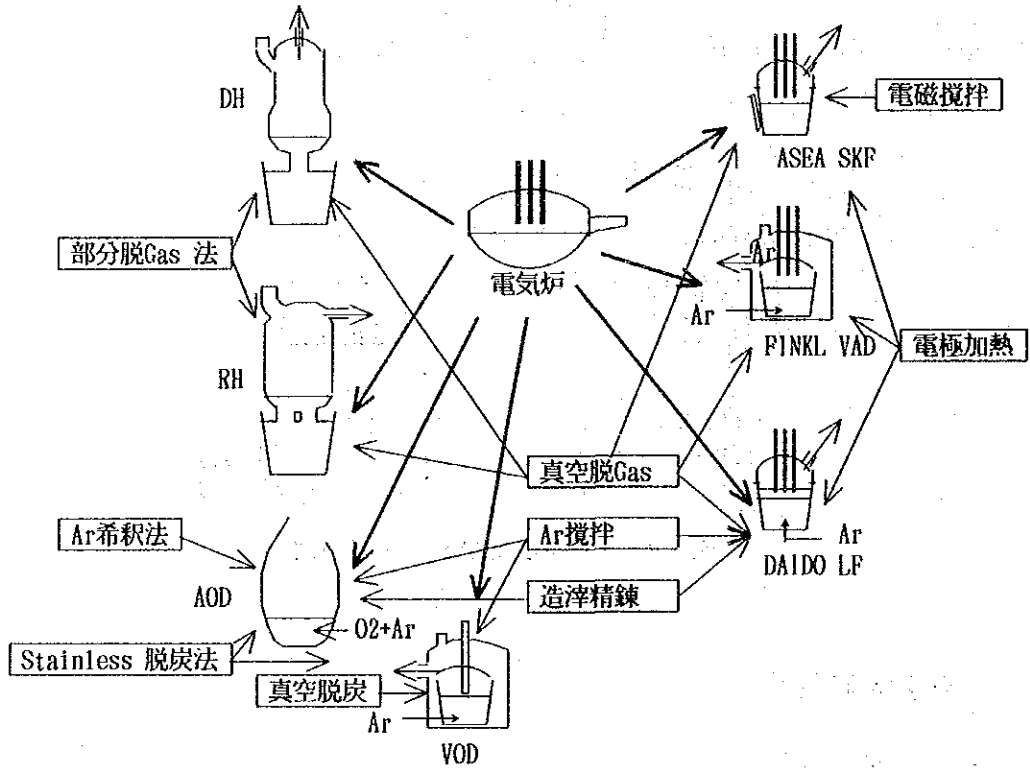


図-10 二次精錬（炉外精錬）法の機能

表-8 二次精錬法とその特徴

○ 優れている △やや優れている

名称	精錬機能						特徴
	脱水素	脱酸	脱炭	脱硫	酸化物還元	温度制御	
DH法	○	○					迅速、効果的な脱Gas 大量処理 温度降下小 確実・容易な合金添加
RH法	○	○					
VOD法	○	○	○		○		極低炭Stainless Cr歩留向上 電気炉の生産性向上
AOD法	△	○	○	○	○		
PINKL VAD法	○	○	△		○	○	自由度が大きい真空精錬 脱酸、介在物の低減 成分調整と温度制御が容易
ASEA SKF法	○	○	○	○	○	○	
DAIDO LF法	○	○	○	○	○	○	

Stainless 鋼の二次精錬（炉外精錬）に適する方法は、表-8で明らかのようにVOD法あるいはAOD法である。

また、低介在物、低水素および低硫黄が要求される合金鋼の精錬にはASEA SKF法あるいはDAIDO LF法（以下、LFV法という）が適している。ただし、LFV法に比べASEA SKF法は脱硫速度が遅く、脱硫時間がLFV法の5～8倍かかる。よってここではLFV法のみを取上げる。

鑄鍛分工場における近代化後の二次精錬対象としての、Stainless 鋼はIngotが8,400t/y、鑄鋼品が500t/yである。また、炭素鋼を含めた低合金鋼はIngotが16,600t/y、鑄鋼品が9,500t/yである。この製品量を二次精錬対象量に置換えると図-11に示されるようにStainless 鋼系統が9,659t/y、低合金鋼系統が34,564t/yとなる。

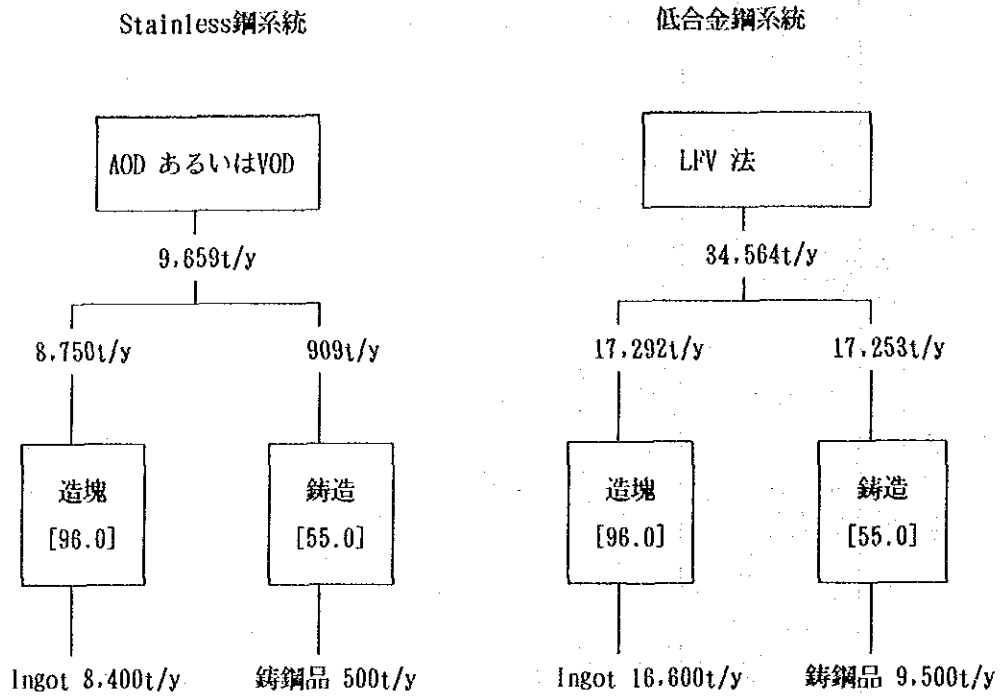


図-11 二次精錬対象鋼種の基本的精錬方法別区分

上記の図は基本的な考え方によるものであり、一概に低合金鋼がLFV法のみしか、またはStainless鋼はAODのみでしか処理できない、という意味ではない。

以降、AOD法、VOD法、およびLFV法と、機械廠の二次精錬対象鋼種とを比較検討し、最適な二次精錬法を推奨する。

2. 2 二次精錬法の設備機能と工程

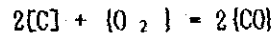
(1) AOD 法

(A) 概要

AOD (Argon Oxygen Decarburization)は1968年USA のUnion Carbide 社によって開発され、同年Joslyn Steel社において最初にStainless 鋼の生産のために実用化された。この二次精錬炉は、前述のように、Stainless 鋼の多量生産に適したものであり、電気炉などの溶解炉で原料を溶解した後、AOD に溶鋼を移し、ここで脱炭、脱硫、成分調整などを効率的に行うものである。

現在、AOD は全世界で90基以上が稼働している。

AOD Process の脱炭反応の基本原理は下記の式において、Arまたは窒素によって、反応生成物であるCO Gas濃度を希釈することにより金属の酸化を防止し、Cの選択酸化を促進させるものである。



(B) 設備構成

AOD Process の設備機構は次のものから構成されている。

- Vessel
- Gas (Ar、N₂、O₂) 貯蔵Tank
- Valve Stand
- 計装制御装置
- Vessel予熱装置
- 副原料投入装置
- 集塵装置

図-12にAOD Vessel周辺の設備を示す。

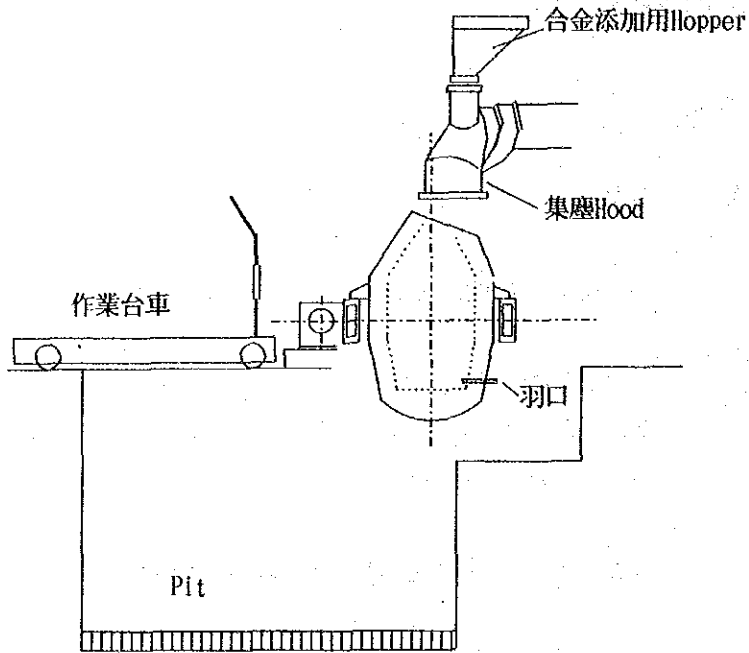


図-12 AOD Vessel周辺設備 (概要)

(C) 溶製Pattern

AODによるStainless鋼と低合金鋼の溶製の基本Patternは図-13の通りである。

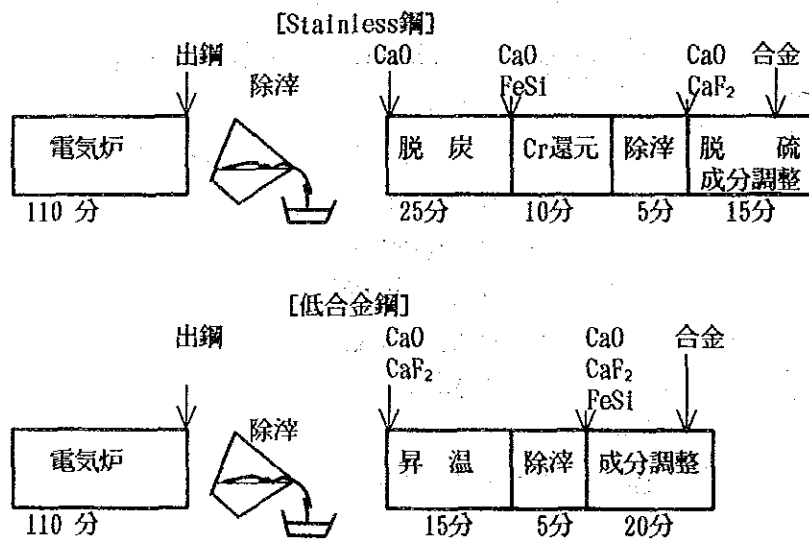


図-13 AOD法による溶製の基本Pattern

(D) 成分Control

AOD炉は金属の酸化損失を最小限にとどめ、脱炭反応を効率的に促進させることに特徴がある。

この反応を有効に行うために、羽口を通して多量のArを炉底部より炉内に吹込む。炉内ではAr gasにより強力な攪拌が行われる。

この強力な攪拌は、高塩基度Slagの条件下で、超低[S]の溶製を可能としており、また、S分配率(S)/[S]を200以上にすることも可能である。

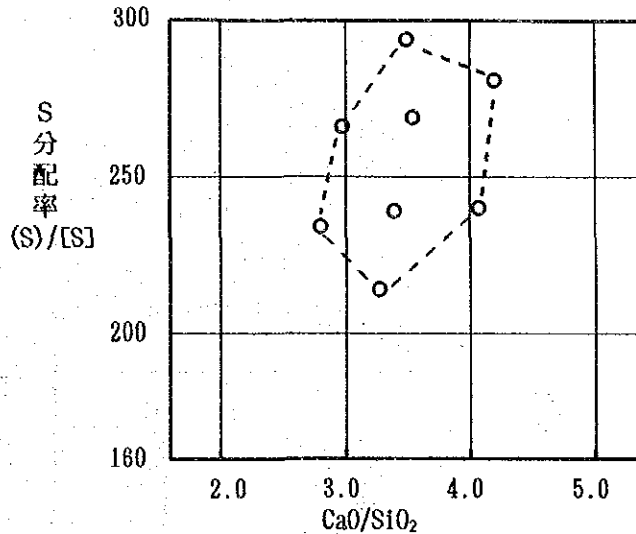


図-14 高塩基度SlagでのAODのS分配率

AODが有する強力な攪拌力は、炉内の溶鋼成分の偏析を防止し、バラツキの少ない成分Controlを可能にしている。

(2) VOD法

(A) 概要

VOD ProcessはWutten法とも呼ばれ、1965年にWest GermanyのEdelstahl Wutten社によって開発され、現在は世界各国で60基以上が稼働している。

このProcessは真空Tank内の取鍋中の溶鋼に酸素を吹込むことによって、金属の酸化を抑制しながら、脱炭反応を促進させるものである。

(B) 設備構成

VODは主に次の設備によって構成されている。

- 真空Tankおよび真空装置
- 酸素Gas吹込み装置
- 取鍋
- 合金およびFlux添加装置

図-14にVODの設備の概略構成を示す。

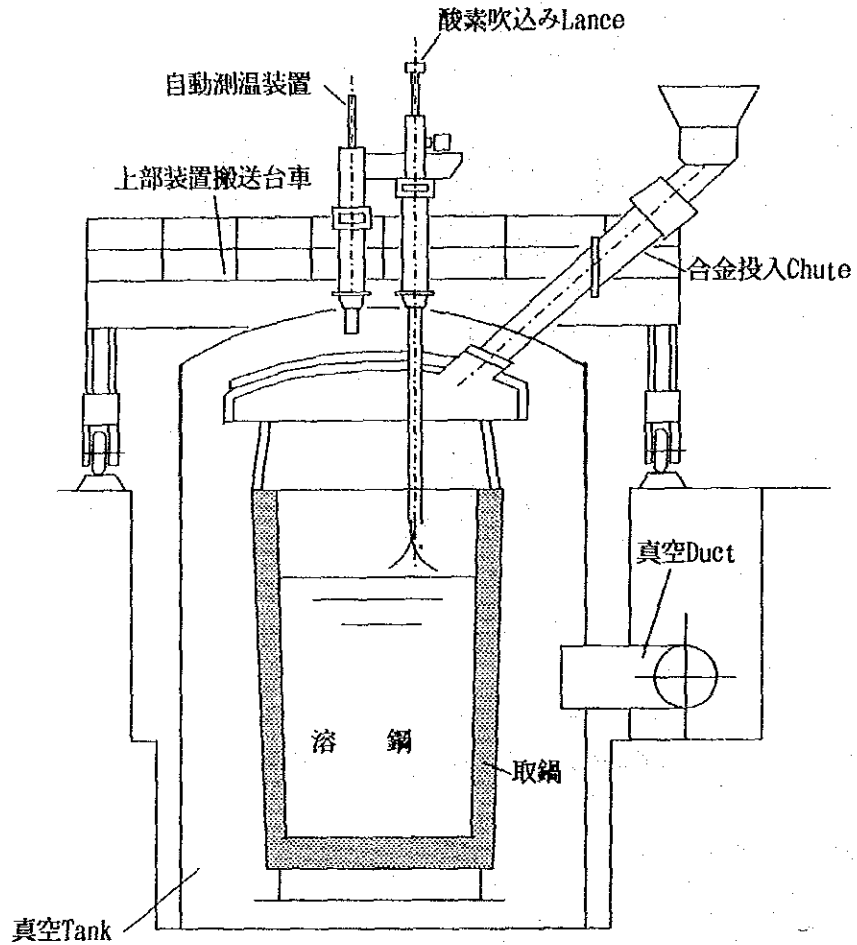


図-14 VODの設備の概略構成

AOD法が脱炭生成物であるCO GasをAr (あるいは N_2) によって希釈するのに対し、VOD法はCO Gasを真空によって希釈し、脱炭反応を進行させる方法である。

脱Hおよび脱Nに対してはVOD法は有効なProcessであるが、AOD法は高塩基度Slagによって脱S反応が効果的に促進されるのに対し、VOD法ではSlag量が少ないために脱Sは不利である。

(C) 溶製Pattern

VOD 法によるStainless 鋼と低合金鋼の溶製Pattern を図-15に示す。一般的にはVOD による二次精錬時間はAOD 法よりも長い。

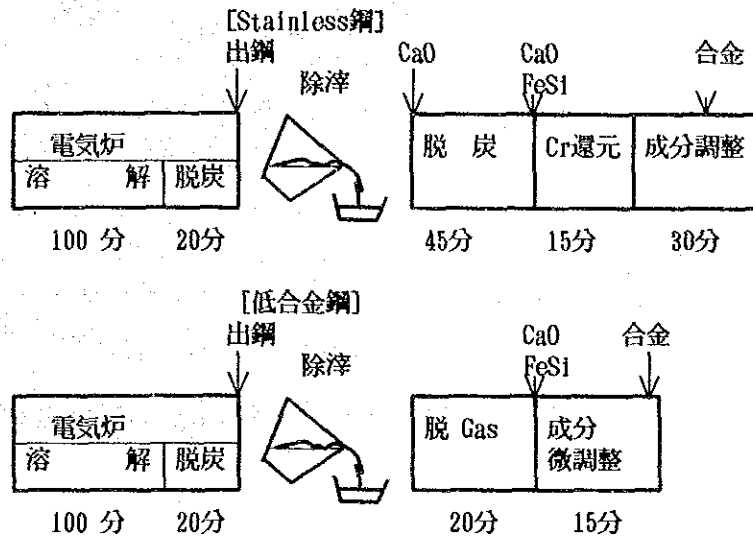


図-15 VOD 法の溶製Pattern

(D) 成分Control

VOD 法による成分調整の特徴は、AOD やLFV の2つの方法と比較して、窒素の除去が比較的容易にできることである。

すなわち、AOD 法の脱NはAr気泡による吸着除去であり、脱N効率が低い。

また、LFV 法ではVOD 法と同じ減圧下での脱Nであるが、真空処理後の加熱期における空気の炉内への進入による窒素のPick-up のため溶鋼中のNは増加してしまう。

図-16にVOD の開始時における[C%]と最終[N]量との関係を示す。

図-16によれば、VOD 開始時の[C%]が0.3%の場合と0.6%の場合では、VOD 処理終了段階でのN成分は平均90ppm と85ppm であり、25ppm の違いが生ずる。

通常の操業における[C%]水準は約0.5%~0.6%の範囲である。

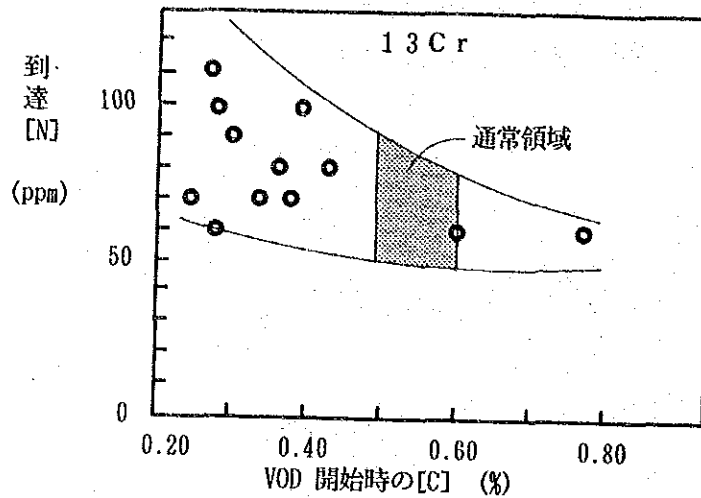


図-16 VODの開始時における[C]と最終[N]量との関係

(3) LFV 法

(A) 概要

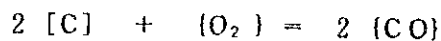
LFV 法とは、DAIDO LF法に真空機能を付加したProcessでLadle Furnace with Vacuumの省略である。

前に述べたAOD 法とVOD 法はStainless 鋼の溶製Processとして開発されたものであるが、LFV 法はすべての鋼種に対して、有害元素の除去、成分および铸造温度のControlを容易に、かつ、厳密に行うために開発されたものである。

LFVの精錬機能の主なものは次の4つである。

- 1 Ar gasによる強力な溶鋼の攪拌
- 2 無酸化雰囲気での精錬
- 3 塩基性Slagの使用
- 4 Submerged arcによる加熱

Stainless 鋼の脱炭のために、VODと同じように真空下で、次の反応で生じたCO gasを真空によって希釈することによって脱炭反応を促進させるものである。



(B) 設備構成

LFV の主な設備の構成としては、次の4つの部分から成っている。Sliding nozzleは溶鋼を精錬し、長時間保持するために必要である。

- 除滓設備
- 溶鋼加熱設備（電極、Transformer などを含める）
- 取鍋と溶鋼攪拌設備（Ar 吹込み装置など）
- 真空脱Gas 設備

図-17にLFVの主要設備構成を示す。図-17はLFVの加熱時における概念を示している。脱炭、脱Gas時には取鍋を脱Gas stationに移行するか、あるいは、LF加熱用上蓋を移動し、真空用上蓋を取鍋に被せる。

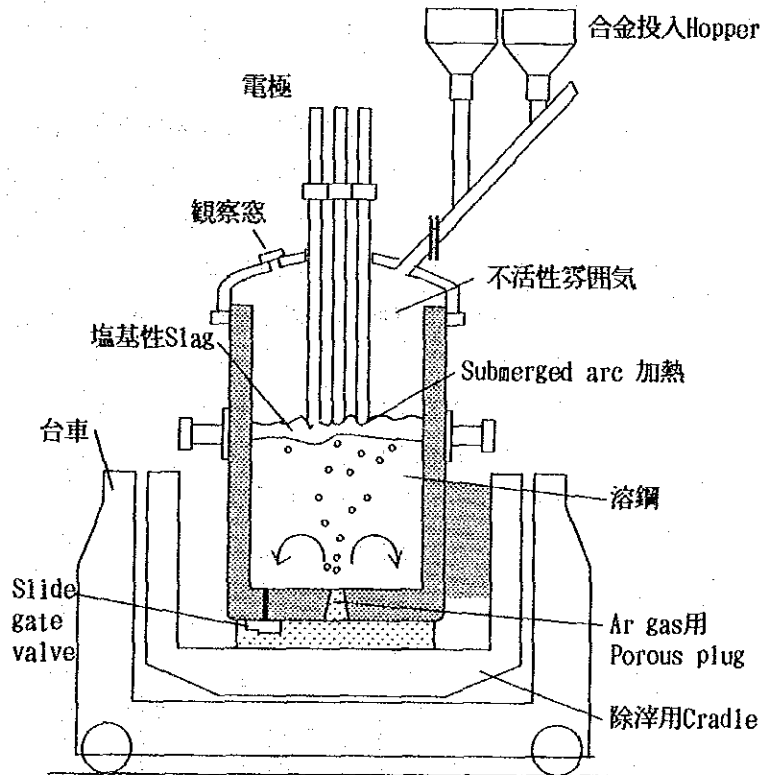


図-17 LFVの主要設備構成

(C) 溶製Pattern

LFV法によるStainless鋼と低合金鋼の代表的なPatternを図-18に示す。

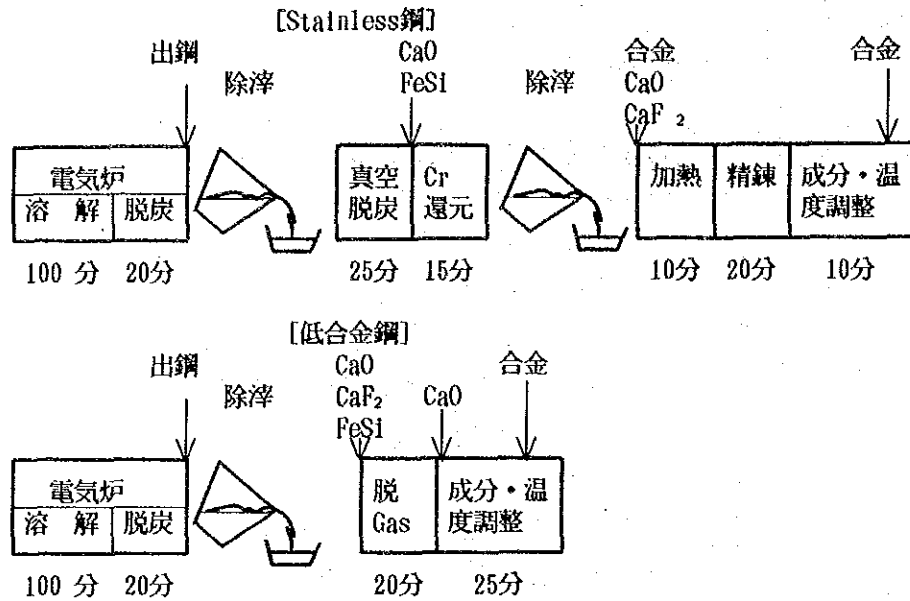


図-18 LFV法の溶製Pattern

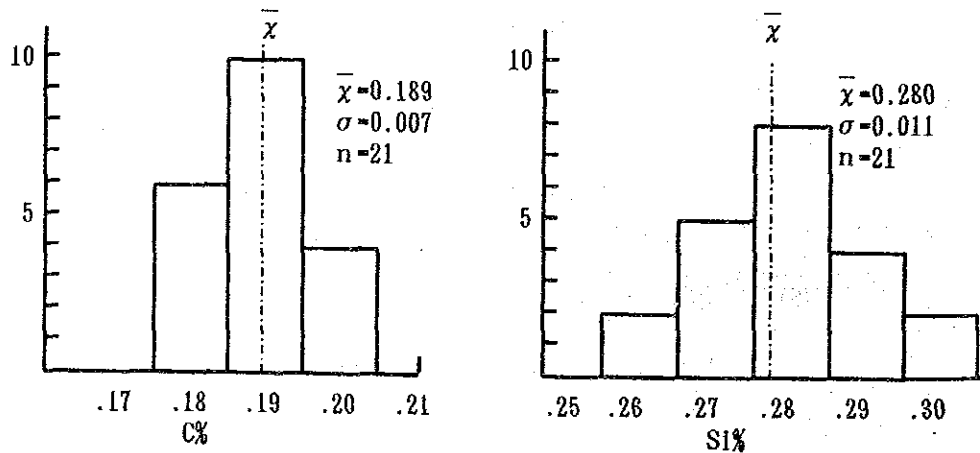
(D) 成分Control

高塩基性Slagを用い、還元性雰囲気中で溶鋼を強力に攪拌することにより極低S鋼の溶製が可能となる。また、同じ理由から成分も非常に狭い範囲内に制御することができる。

下図(図-19)に示されているように、LFV法による成分値のパラツキは非常に小さい。すなわち、

- C% : 0.03% 以内
- Si% : 0.05% 以内
- Mn% : 0.05% 以内
- Cr% : 0.05% 以内

が可能である。



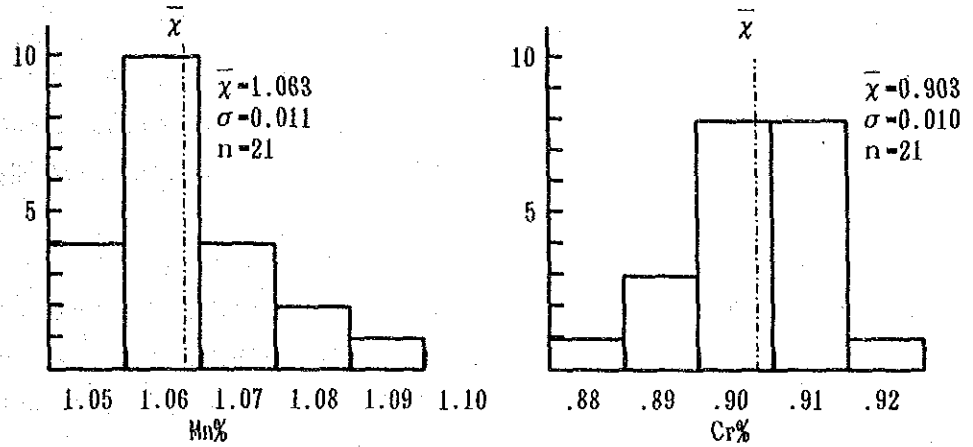


図-19 LFV法におけるC、Si、Mn、Crのバラツキ

(E) 温度調整

鋼の品質はP、S、H、O、Nなどの不純物の他に表面の性状や内部の空孔発生も大きな要因の一つである。

製品の表面の性状や内部の空孔は溶鋼の鋳込時の温度条件に強く影響されるため、品質管理の上で厳密な温度調整を行うことは極めて重要なことである。

図-20に日本のD社のC工場における鋳込温度の目標値と実績との差を示した。

EAF(電気炉)とRH脱Gas設備の組合わせよりも、EAFとLFおよびRH脱Gas設備の組合わせの方が $\pm 5^\circ\text{C}$ の範囲内に調整されている割合が12%も多くなっている。

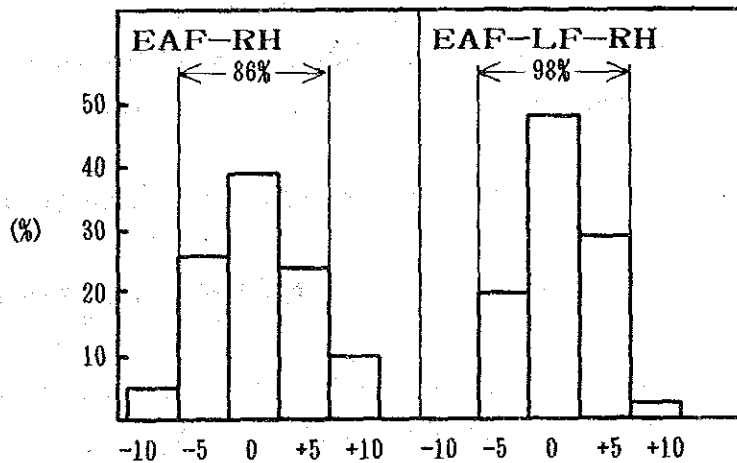


図-20 LFを用いた温度調整

2. 3 Process と品質

溶製される鋼の品質はAOD、VODあるいはLFVのどれを採用するかによって異なる。

ここではそれぞれのProcessによる品質をNi-Stainless鋼、Cr-Stainless鋼および低合金鋼について述べる。

(1) 酸素

鋼中の酸素は製品の物理的性質のみでなく、酸化物系介在物を生成させるため、品質管理上極めて重要な元素である。

表-9に、Ni-Stainless鋼、Cr-Stainless鋼および構造用鋼のProcess別の処理後の酸素量を示す。

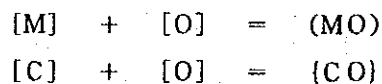
表-8 Process別の処理後の酸素量 (ppm)

	Ni-Stainless鋼	Cr-Stainless鋼	低合金鋼
AOD	50~100 $\bar{x} = 65$	40~100 $\bar{x} = 60$	30~60 $\bar{x} = 40$
VOD	50~100 $\bar{x} = 70$	40~80 $\bar{x} = 65$	30~50 $\bar{x} = 35$
LFV	50~80 $\bar{x} = 65$	30~60 $\bar{x} = 60$	15~30 $\bar{x} = 20$

これら3つのProcessにあっては、見掛の上では鋼中の酸素量減少に対してLFVが最も優れており、AODが最も劣っている。

鋼中の脱酸は基本的にはAl、Siなどの脱酸剤あるいはCによって行われる。

反応としては、酸素と金属元素の反応と、酸素と炭素の反応の2つの場合がある。



特にstainless鋼の場合、Cr濃度の増加に伴って[O]活量が低下するため一般鋼に比較して脱酸は困難である。

また、[C]による脱酸の場合は、高炭素鋼種では脱酸が容易であるが、低炭素鋼種では最終[O]を低Levelまで下げることは真空下であっても期待できない。

一方、Alなどの[O] との化学的親和力が強い脱酸剤を用いることによって、[O] の \bar{x} を低Level まで下げることが可能であるが、脱酸について3つのProcess を比較する場合、Process の固有の性質の差異よりもAl、Si、C 値がどの程度まで許されるか、という鋼種要因による差の方が大きい。

脱酸を促進する方法としては、脱酸剤の使用のほかに、高塩基度Slag操業がある。上記の金属の酸化反応は、高塩基度Slag下においては $\text{CaO} \cdot (\text{MO})_n$ の化合物が生成され、脱酸反応の生成物である(MO)の活量が低下するためこの反応は進行する。

したがって、表-8に示された残留酸素の \bar{x} 値はそれぞれのProcess に適用される鋼種の差であり、原理的な差は少ない。

(2) 水素

脱水素の機構は物理的なものである。すなわち水素は次の式によって示される。

(A) 真空下における脱水素

$$[\text{H}] = 1/2 (\text{H}_2)$$

$$K = (\sqrt{p\text{H}_2}) / [\text{H}]$$

$p\text{H}_2$: 水素Gas の分圧

$$[\text{H}] = K \sqrt{p\text{H}_2}$$

K : 平衡定数

溶鋼中の[H]濃度は真空下の H_2 分圧の平方根に比例する(Sievertsの法則)ことにより、VODおよびLFVの真空度が大きく影響する。また、真空処理時間も大きな影響を与える。図-21に示すように、実操業においては0.3Torrの真空度で20分間の真空処理を行えば[H] \leq 1ppmが可能である。

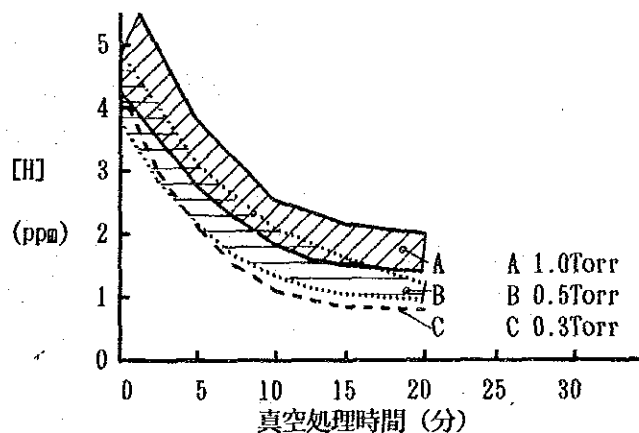


図-21 溶鋼中の[H]と真空度および真空処理時間の関係

(B) Arあるいは N₂ Gasの吹込みによる脱水素

溶鋼中にArあるいは N₂ Gasの吹込むことにより、その気泡に水素Gasを吸着させて脱Gasを行う方法である。この方法は昔から広く行われてきた溶鋼の脱Gas方法の一つである。

AOD法の脱水素はこの方法によるものである。これは真空による方法と比べると消極的な方法であり、効果も少ない。

処理最終値としての鋼中水素量をProcessと鋼種別に比較すると表-9のようになる。

表-9 鋼中水素量比較 (PPM)

	Ni-Stainless鋼	Cr-Stainless鋼	低合金鋼
AOD	3~7 $\bar{X}=4.0$	2~5 $\bar{X}=3.5$	2~4 $\bar{X}=3.0$
VOD	2~3 $\bar{X}=2.5$	1.5~3 $\bar{X}=2.0$	1~2 $\bar{X}=1.2$
LFV	2.5~3.5 $\bar{X}=3.0$	2~3 $\bar{X}=2.5$	1~2 $\bar{X}=1.5$

上表で明らかなように脱水素については、AOD法は他の方法に比べて効果的ではない。特に、AOD方では多量の石灰を使用するため、石灰中の水分、すなわち、Ca(OH)₂については十分な注意を払わなければならない。

(3) 窒素

鋼中の窒素は酸素や水素の場合と異なり、結晶粒度の微細化や抗張力の改善などに窒素が役立つ場合もあり、わざわざ窒素を添加することもあるため、一概に有害元素として取扱えない。しかし、一方では、鋼の展延性を阻害する元素としても知られている。

図-2.2 に鋼中の窒素量と鋼の伸び率の関係を図示した。

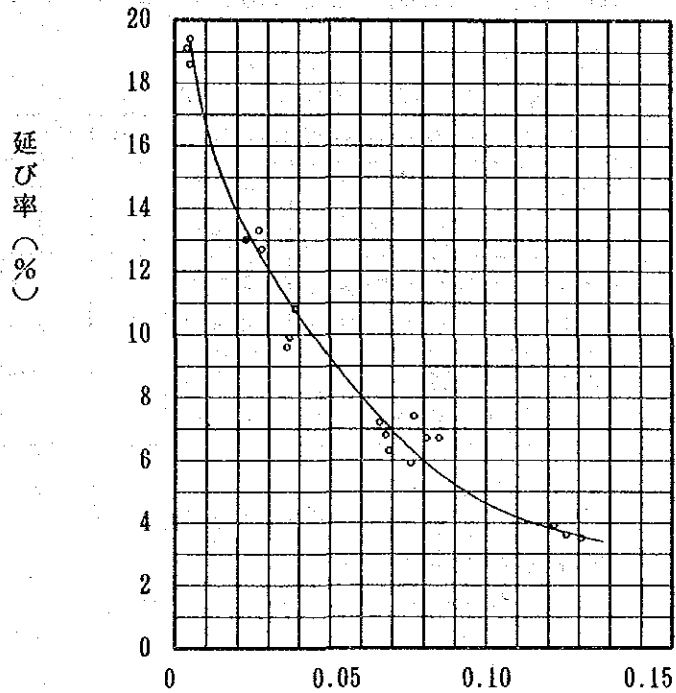


図-2.2 鋼中の窒素含有量と伸び率

鋼の窒素溶解度は鋼種によって著しく異なり、Ti、Al、Crなどを含有する鋼種では溶解度は大きい。

炭素鋼の窒素の溶解度は次の式で示され、[%C]と[%Si]が高いほど、また、[%Mn]が低いほど[%N]は小さい。

$$\log[\%N] = \frac{100}{T} - 0.86 - 0.06[\%Si] - 0.24[\%C] + 0.015[\%Mn]$$

T: 絶対温度

現在一般的に行われている鋼中の脱窒素方法は、脱水素の場合と同様、真空下で行う場合と、Ar、O₂ Gas による強力な攪拌によってAr gasとCO gasに吸着させる方法である。

製鋼作業では窒素の除去と併せて、空気中からの窒素の溶鋼への侵入・吸収に対しても十分な対応が必要である。

処理最終値としての鋼中窒素量をProcess と鋼種別に比較すると表-10のようになる。

表-10 鋼中窒素量比較 (ppm)

	Ni-Stainless鋼	Cr-Stainless鋼	低合金鋼
AOD	100 ~350 $\bar{x} = 200$	80~230 $\bar{x} = 160$	70~130 $\bar{x} = 100$
VOD	60~100 $\bar{x} = 80$	55~90 $\bar{x} = 75$	50~70 $\bar{x} = 65$
LFV	60~130 $\bar{x} = 90$	60~100 $\bar{x} = 80$	55~80 $\bar{x} = 70$

上表で明らかなように、低窒素鋼を溶製するProcess としてはVOD が最も適しており、AODは脱窒素を得意としていない。

(4) 機械的性質

図-23にNi Stainless鋼、Cr Stainless鋼および低合金鋼の機械的性質について、電気炉のみによる溶製と二次精錬を採用した場合とで比較した。

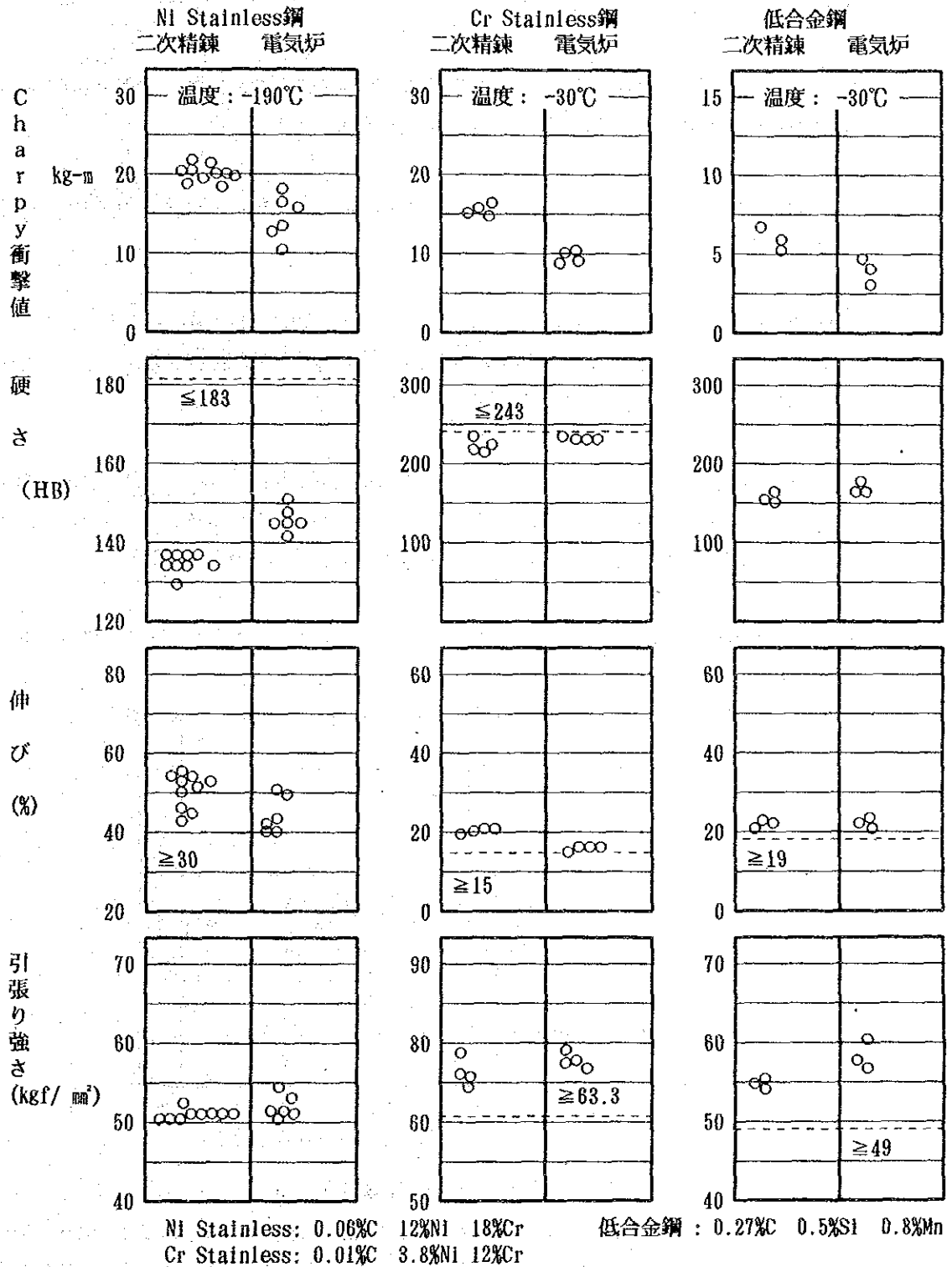


図-23 二次精錬と電気炉法の機械的性質の比較

図-23によると、Ni Stainless鋼ではCharpy値、硬さ、伸びについて有意差が認められる。Cr Stainless鋼と低合金鋼についてはCharpy値が不純物の低減によって改善されていることが良く表れている。

2.4 溶解歩留と原単位の比較

Ni Stainless鋼(AISI 304)、Cr Stainless鋼(AISI 403)および低合金鋼(JIS SCM440)の3鋼種について溶解歩留、原単位および製造Costを比較した結果を表-11に示す。

表の作成に当たって、機械廠より与えられた価格を基に計算したが、不明なものについては日本における平均的な価格を採用した。

比例費の中で特に注意しなければならないことは、AODと取鍋の耐火物Costである。

Stainless鋼の溶製では、Vessel内の溶鋼は高温で長時間保持され、かつ、強力な攪拌精錬が行われるため、耐火物の損傷が著しい。

AOD Vesselは溶製と溶製の途中の冷却によって、Spallingが発生し易く、また、目地の開きも生じやすいためAOD Vesselの寿命は極端に短縮される。このため、AODの操業Costの低減は、如何にしてTap to tap時間の短縮し、また、如何にして連続操業を行うかに懸かっている。

図-24はAODと取鍋の寿命とCostの関係を指数で示したものであり、表-11の耐火材料Costは指数1.0で算出したものである。

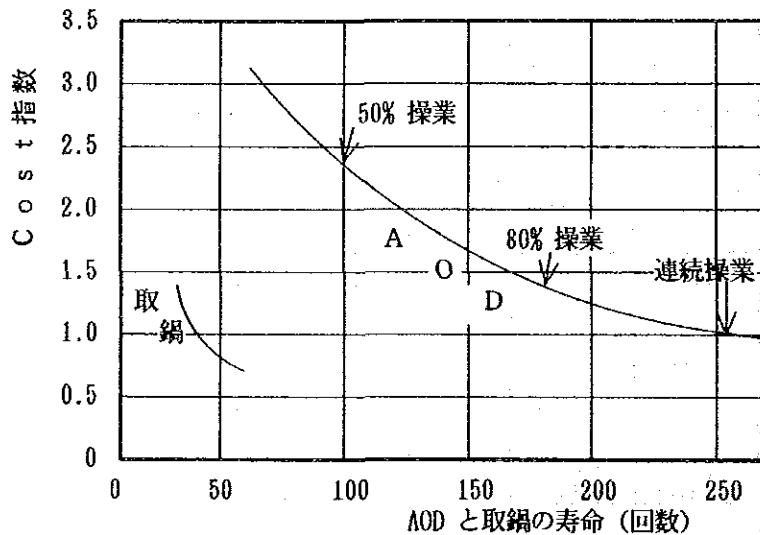


図-24 Vesselと取鍋寿命とCost

図-24で明らかなように、AODの稼働率が50%の場合と連続操業の場合ではCost比率が1:2.4になり、如何に操業方法がCostに大きな影響を与えるかが判る。図-24のCost指数曲線は耐火物の材質によって、多少変化するが傾向は材質にかかわらず同じである。

表-11 電気炉二次精錬Process 別原料費と製造比例費比較 (日本D社の実績値からの想定)

	原材料・ 資材単価 (元)	A O D						V O D						L F V						
		Ni Stainless鋼		Cr Stainless鋼		低合金鋼		Ni Stainless鋼		Cr Stainless鋼		*低合金鋼		Ni Stainless鋼		Cr Stainless鋼		低合金鋼		
		原単位	原単価	原単位	原単価	原単位	原単価	原単位	原単価	原単位	原単価	原単位	原単価	原単位	原単価	原単位	原単価	原単位	原単価	
電力	0.159/kWh	440	70.0	520	82.7	625	99.4	479	76.2	566	90.0	688	109.4	527	83.8	623	99.1	688	109.4	
電極	8.0kg	3.6	28.8	4.2	33.6	5.1	40.8	4.2	33.6	4.9	39.2	5.6	44.8	4.6	36.8	5.4	43.2	5.6	44.8	
Gas	O ₂	0.178 /Nm ³	27.8	4.9	22.2	4.0	25.0	4.5	16.4	2.9	13.1	2.3	30	5.3	16.4	2.9	13.1	2.3	27.0	4.8
	Ar	7.08 /Nm ³	4.7	33.3	13.8	97.7	10.9	77.2	0.3	2.1	0.3	2.1	-	-	0.7	5.0	0.7	5.0	0.7	5.0
	N ₂	0.09 /Nm ³	12.6	1.1	-	-	-	-	0.6	0.1	0.6	0.1	-	-	0.6	0.1	0.6	0.1	0.6	0.1
LNG (燃料)	0.275 /kg	4.1	1.1	4.1	1.1	4.1	1.1	1.2	0.3	1.2	0.3	1.2	0.3	1.2	0.3	1.2	0.3	1.2	0.3	
溶解材料	CaO	0.06/kg	67.9	4.1	57.7	3.5	68.9	4.1	58.9	3.5	47.1	2.8	35.0	2.1	70.7	4.2	56.5	3.4	56.5	3.4
	CaF ₂	0.11/kg	8.8	1.0	7.5	0.8	15.2	1.7	1.9	0.2	1.6	0.2	2.1	0.2	3.5	0.4	3.1	0.3	3.1	0.3
	FeSi (75%)	2.55/kg	13.0	33.2	11.0	28.1	10.3	26.3	11.3	28.8	10.4	26.5	7.0	17.9	11.3	28.8	10.4	26.5	7.0	17.9
	Al	8.2/kg	3.8	31.2	3.2	26.2	1.5	12.3	5.0	41.0	4.0	32.8	0.6	4.9	5.0	41.0	4.0	32.8	1.5	12.3
	加炭材	0.14/kg	9.1	1.3	7.7	1.1	26.0	3.6	-	-	-	-	15.0	2.1	-	-	-	-	15.0	2.1
(小計)	-	-	70.8	-	59.7	-	48.0	-	73.5	-	62.3	-	27.2	-	74.4	-	63.0	-	36.0	
耐火材料	電気炉	[2.9/kg]	4.1	[12.0]	4.1	[11.9]	4.1	[11.9]	12.4	[36.0]	12.4	[36.0]	6.2	[18.0]	12.4	[36.0]	12.4	[36.0]	4.1	[11.9]
	AOD	[9.0/kg]	4.0	[36.0]	3.1	[27.9]	2.6	[23.4]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	取鍋	[4.0/kg]	6.0	[24.0]	6.0	[24.0]	6.0	[24.0]	18.0	[72.0]	14.4	[57.6]	6.0	[24.0]	23.4	[93.6]	18.7	[74.8]	14.8	[59.2]
	移送鍋	[4.9/kg]	1.2	[5.9]	1.2	[5.9]	1.2	[5.9]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(小計)	-	-	77.9	-	69.7	-	65.2	-	108.0	-	93.6	-	42.0	-	129.6	-	110.8	-	71.1	
真空用蒸気	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	-	10.4	-	5.0	-	12.0	-	10.4	-	5.0	
(比例費合計)	-	287.9		348.5		386.2		308.7		300.3		234.0		344.9		334.2		276.5		
原材料費	-	[3,835.9]		[1,370.5]		[839.8]		[3,835.9]		[1,370.5]		[839.8]		[3,835.9]		[1,370.5]		[839.8]		
(比例費+原材料費)	-	4,123.8		1,717.0		1,176.0		4,144.6		1,670.8		1,073.8		4,180.8		1,704.7		1,116.3		
溶解歩留 (%)	-	96.4		96.3		96.8		95.8		95.4		96.0		95.8		95.4		96.0		
溶鋼 t 当り単価 (元/t)	-	4,277.8		1,785.0		1,214.9		4,326.3		1,751.4		1,118.5		4,364.1		1,786.9		1,162.8		

[]: 日本国内単価を参考にして算出した。

*: VOD を採用した場合、低合金鋼はVOD では処理できず、電気炉→Ladle Degassing によって処理される。したがって、VOD の場合のみ電気炉→Ladle Degassing 費用を示した。
 なお、Ladle Degassing (LD)法とは、電気炉で精錬と最終成分調整をした溶鋼を、取鍋へ出鋼し、溶鋼が入った取鍋をVOD の真空Tank内におき、真空処理を行って[H]、[O] および[N] の除去をするProcess である。

2. 5 要員比較

(1) 設備別要員数

現在、鑄鍛分工場では7人/班の編成で電気炉を操業している。

近代化計画によって二次精練設備が採用されると、電気炉の機能は〔溶解〕〔昇熱〕〔脱磷〕だけになり非常に単純化される。したがって、近代化後の電気炉操業は5人/班の編成になる。また、二次精練での合金やFluxの投入を自動化することにより、二次精練操業は2人/班の編成で対応できる。すなわち、現在の7人/班以上の要員を増加することなく電気炉と二次精練設備の操業が可能である。

表-12に近代化後の鑄鍛分工場の製鋼の要員と日本のD社の製鋼の要員を示す。

表-12 近代化後の製鋼要員 (人数/班)

	電気炉	二次精練設備			合計
		AOD	VOD	LFV	
鑄鍛分工場	5	2	2	2	7
日本D社	3	2	2	2	5

二次精練設備の操業は、いずれの二次精練Processを採用するにしても2人/班になる。電気炉の5人/班と併せて7人を1つの班とし、二次精練を必要としない鋼種の溶製に対しては7人/班で電気炉操業を行うものとする。

また、二次精練を採用した後の真空装置のためのBoiler、また/あるいは酸素・Ar・Com-
ressureの運転保守に対する要員も現状の人数を増加させる必要はない。

(2) 労務費

二次精練を採用しても7人/班の要員数は変わらない。労務費を表-13に示す。

表-13 近代化後の月間労務費

	電気炉	二次精練設備	合計
要員数	5	2	7
労務費(元)	1,104	442	19,546

労務費はWorkerの平均労務費 2,650元/1人・年を用いた。

表-15に示されている二次精錬設備の設備費は表-14に示されている設備概略仕様に基づいて算出されたものである。

また、設備費は設備本体設計、製作、工用資材、据付け工事費を含めて日本国内Baseで算出し、輸出に関わる一切の費用は含まれていない。

鑄鍛分工場の特種事情による費用（例えば、近隣のAir separation工場からの直接配管による酸素・Arの移送のための費用、もし、必要がある場合の取鍋Craneの増強のための費用など）は設備費に含まれていない。

表-14 設備概略仕様

項目	AOD	VOD	LFV
公称能力(t)	10	10	10
最大容量(t)	13	13	13
最少容量(t)	6	6	6
主電源変圧器 二次電流 電極径	3相60Hz 150kVA — —	3相60Hz 100kVA — —	3相60Hz 5.000kVA 14.000A 10 inch
真空排気装置	—	2段Booster 付き 3段Booster、 6段Ejector	2段Booster 付き 3段Booster、 6段Ejector
蒸気使用量 真空排気能力 真空排気時間 最低真空度	— — —	7t/h 7kg/cm ² 0.5Torr、150kg/h 10Torr まで 5分 0.3Torr	7t/h 7kg/cm ² 0.5Torr、150kg/h 10Torr まで 5分 0.3Torr
Ar供給 酸素供給 窒素供給 Ar Tank 酸素Tank 窒素Tank	15m ³ /min 23m ³ /min 15m ³ /min 10m ³ (液化Ar) 10m ³ (液化酸素) 10m ³ (液化窒素)	— 2m ³ /min — — 5m ³ —	0.2m ³ /min — — — (Cylinder) — —
Hopper	8-hopper (CaO、CaF ₂ 、Fe-Si、SiMn 低炭素Fe-Cr、高炭素Fe-Cr、Coke、予備)		
集塵装置	Bag filter 1,300Nm ³ /min	— —	— —
Package boiler	—	16t/h	16t/h
Crane 負荷	40t	30t	30t

表-15 概略設備費用 (元)

	項 目	設備費FOB	工事費用			合計
			工事用資材	人工 人x日	人件費	
A	AOD 本体	2,500,000	750,000	4X7+5x10	30,000	3,280,000
	AOD 駆動装置	1,750,000	40,000	3X5	6,000	1,796,000
	Valve stand と配管	650,000	130,000	4X15	23,000	803,000
	電気・計装	1,100,000	200,000	6x15	34,000	1,334,000
	O Hoodとその付帯設備	250,000	20,000	3x4	5,000	275,000
	Gas 貯蔵・供給設備	1,250,000	63,000	5x10	19,000	1,332,000
	合金投入装置	1,000,000	(設備に含まれる)			1,000,000
	D 集塵装置	5,000,000	(設備に含まれる)			5,000,000
	Vessle予熱装置	50,000	10,000	5x7	13,000	73,000
	基礎工事 設計	- 2,000,000	(工事用資材+人件費)			750,000 2,000,000
	[合計]				17,643,000	
V	VOD 本体	1,375,000	413,000	5x15	17,000	1,795,000
	Tank台車	1,625,000	488,000	5x20	38,000	2,151,000
	電気・計装	1,000,000	180,000	6x10	23,000	1,203,000
	O Hoodとその付帯設備	400,000	(設備に含まれる)			400,000
	酸素貯蔵・供給設備	(既存設備使用)	35,000	3x7	8,000	43,000
	Package Boiler	2,000,000	50,000	3x19	21,000	2,071,000
	(本体)	(1,250,000)	(10,000)	(3X4)	(4,500)	
	(電気・計装)	(500,000)	(15,000)	(3X5)	(6,000)	
	(配管・その他)	(250,000)	(25,000)	(3X10)	(10,500)	
	D 合金投入装置	1,000,000	(設備に含まれる)			1,000,000
真空系統	1,500,000	650,000	4x15	23,000	2,173,000	
基礎工事	-	(工事用資材+人件費)			500,000	
設計	625,000				625,000	
	[合計]				11,961,000	
L	LFV 本体	1,625,000	500,000	5x10	19,000	2,144,000
	Tank台車	1,625,000	488,000	5x20	38,000	2,151,000
	電気・計装	2,750,000	500,000	6x15	35,000	3,285,000
	F Hoodとその付帯設備	400,000	(設備に含まれる)			400,000
	合金投入装置	1,000,000	(設備に含まれる)			1,000,000
	真空系統	1,500,000	650,000	4x15	23,000	2,173,000
	V 基礎工事	-	(工事用資材+人件費)			600,000
	設計	1,000,000				1,000,000
		[合計]				12,753,000

表-15の通り、最も設備費が少額なProcessはVODでありAODが最も高価である。

VODの建設費用11,961元を(100)とすれば、他のProcessのその比率はAOD(148)、LFV(107)である。

鑄鍛分工場には6t/h能力のBoilerが2基あり、このうち1基は予備として使用されていない。この予備のBoilerを使用し、蒸気容量が不足する分をAccumulatorで補足すればBoiler本体費用2,000,000元に置き変わり、Accumulator費用750,000元となり、1,250,000元の節減となる。

(現状のBoiler1基とAccumulator1基の組み合わせでは蒸気量は不足である)

ただし、鑄鍛分工場の説明によると「Boiler1基は必ず予備として保有しなければならない」とのことであるため、表-15の設備費用を採用せざるを得ない。

2. 7 最適二次精練設備

鑄鍛分工場に最も適切な二次精練設備を、品質、生産性および製造Costの面から考察する。

(1) 品質

鑄鍛分工場への二次精練設備導入の目的の一つである不純物の減少に関して考察する。

(A) 酸素

表-16に鑄鍛分工場の酸素要求仕様と各Processで可能な酸素Levelとを比較する。

表-16 酸素要求仕様と各Processで可能な酸素Level

鋼種	0018CrNi10		ZG20CrMo	
対象量	5,000t/y (Ingot)		2,500t/y (鑄鋼製品)	
目標[O]値	50~70ppm		40~60ppm	
到達可能 酸素Level	AOD	50~100ppm \bar{x} = 65ppm	30~60ppm \bar{x} = 40ppm	
	VOD	50~100ppm \bar{x} = 70ppm	30~50ppm \bar{x} = 35ppm	
	LFV	50~80ppm \bar{x} = 65ppm	15~30ppm \bar{x} = 20ppm	

0018CrNi10鋼(Ni-Stainless鋼)は海洋石油掘削用として特に低酸素を要求されている。表-16によれば、到達可能な酸素LevelはすべてのProcessで不満足である。

ただし、この表の到達可能な酸素Levelは、一般的な操業方法における結果であり、2.3項の(1)で述べたように脱酸剤としてのAlの添加およびSlag controlによって要求酸素Levelの50~70ppmは可能である。

したがって、Stainless鋼の精練で脱酸剤としてのAlの添加およびSlag controlが可能であるAOD法とLFV法が、この鋼種については適性であり、VOD法では困難である。

要求酸素Levelが最も低いZG20CrMo鋼(40~60ppm)は低合金鋼であり、そのCr%は0.50~.80%に過ぎないため、表からも明らかなように40~60ppmまでの脱酸はすべてのProcessで、かつ、一般的な操業で可能である。

(B) 水素

水素について最も厳しい鋼種は表-17に示したZG20CrMo鋼と0018CrNi10鋼である。

表-17 水素要求仕様と各Process で可能な水素Level

鋼種	0018CrNi10		ZG20CrMo	
対象量	5,000t/y (Ingot)		2,500t/y (鋳鋼製品)	
目標[N] 値	≤4ppm		≤4ppm ≤3ppm 海洋石油掘削設備用	
到達可能 水素Level	AOD	3~7ppm $\bar{X}=4.0\text{ppm}$	2~4ppm	$\bar{X}=3.0\text{ppm}$
	VOD	2~3ppm $\bar{X}=2.5\text{ppm}$	1~2ppm	$\bar{X}=1.2\text{ppm}$
	LFV	2.5~3.5ppm $\bar{X}=3.0\text{ppm}$	1~2ppm	$\bar{X}=1.5\text{ppm}$

VOD とLFV 法では要求水素Level を満足することができる。しかし、AOD 法では0018CrNi10鋼と、ZG20CrMo鋼の海洋石油掘削設備用の要求水素Level を満足することはできず、水素Level が外れる場合がある。

水素のみを考慮すればVOD 法かLFV 法の採用が望ましい。

(C) 窒素

窒素要求Level の厳しい0018CrNi10鋼とZG20CrMo鋼についての到達可能な窒素Level を表-18に示した。

表-18 窒素要求仕様と各Process で可能な窒素Level

鋼種	0018CrNi10		ZG20CrMo	
対象量	5,000t/y (Ingot)		2,500t/y (鋳鋼製品)	
目標[N] 値	140 ~250ppm		30~75ppm	
到達可能 窒素Level	AOD	100 ~350ppm $\bar{X}=200\text{ppm}$	70~130ppm	$\bar{X}=100\text{ppm}$
	VOD	60~100ppm $\bar{X}=80\text{ppm}$	50~70ppm	$\bar{X}=65\text{ppm}$
	LFV	60~130ppm $\bar{X}=90\text{ppm}$	55~80ppm	$\bar{X}=70\text{ppm}$

0018CrNi10鋼に対しては各Process とも平均値では問題はないが、バラツキを考慮するとAOD 法では上限の250ppm以上の窒素になる場合がある。

しかし、低窒素対策を行うことにより、かなりの窒素を低減することが可能である。

VOD 法とLFV 法では下限値が外れる恐れがあるが精錬期での窒素添加により目標範囲に入れることができる。

ZG20CrMo鋼に対してはAOD 法では目標窒素範囲に入れることはできないと考えられる。LFV 法でも脱窒素のために特別な対策を採用しなければならない。

表中2鋼種の要求窒素Level を満足させるためにはVOD 法の採用が必要である。

(D) 微量元素

表-19 微量元素に対する要求仕様

鋼種	0018CrNi10		ZG20CrMo	
			一般	海洋石油掘削用
対象量	5,000t/y (Ingot)		2,500t/y (鑄鋼製品)	
目標値 (%)	[Pb]	≤0.005	—	—
	[As]	≤0.005	—	≤0.005
	[Sn]	≤0.0015	≤0.025	≤0.005
	[Sb]	≤0.006	≤0.005	≤0.005

若干の[Pb]は各Processとも脱炭精錬時に除去することは可能であるが、その他の微量元素は原料の成分によって影響される。

したがって、微量元素規格の厳しい鋼種を溶製する場合は、成分が明らかな原材料を使用することによって対応しなければならない。

(E) 硫黄

最も[S]の規格が厳しい鋼種は0018CrNi10鋼とZG20CrMo鋼であり、その値は0.005%である。

脱硫は高塩基度で、かつ、強力な攪拌精錬を特徴とするAOD法とLFV方によって0.005%以下の[S]は得ることは可能である。

しかし、VOD法では特別な脱硫法を採用しなければ0.005%以下まで[S]を下げることは困難である。

(F) 磷

最も[P]の規格が厳しい鋼種は、やはり0018CrNi10鋼とZG20CrMo鋼であり、その値は0.005%である。

AOD法はStainless鋼の脱炭と強力な還元攪拌が本来の機能であるが、炉底部の羽口からGasの吹込みによる強力な攪拌と高塩基度Slagによる効率的な脱磷が行われる。

目標値である0.005%以下の[P]はAOD法では可能であるが、他の2つのProcessではAOD法ほどの強力な攪拌を行うことができないため、このLevelまでの脱磷は不可能である。

(C) 品質面での比較のまとめ

以上(A)～(F)まで含有成分の面から、各Processの比較をしてきた。これをまとめたものが表-20である。

表-20 各Processによる品質比較

	[O]	[H]	[N]	[Pb]	[S]	[P]
AOD	○	△	△	△	◎	◎
VOD	○	◎	◎	△	X	X
LFV	○	◎	◎	△	◎	X

◎ 全鋼種に対して目標成分値を得ることができる。

○ 一部の鋼種の操業方法を変更することで目標成分値を得ることができる。

△ 一部の鋼種に対しては、操業方法を変更することで目標成分値を得ることができない。

X 全く不適當である。

品質目標値をすべて満足するProcessはない。しかし、品質面から見るとXがないAODが最も適していると言える。

(2) 溶解・精錬費用(原材料費と比例費)

溶鋼1t当りの溶解・精錬費用(原材料費と電力、Gas費用などの比例費)についてProcess毎、鋼種毎に比較した表-11をまとめたものが表-21である。

表-21 原材料費と比例費 (元/溶鋼t)

	AOD			VOD			LFV		
	Ni系 stain- less	Cr系 stain- less	低合 金鋼	Ni系 stain- less	Cr系 stain- less	低合 金鋼 注	Ni系 stain- less	Cr系 stain- less	低合 金鋼
製造費用	4.277	1.785	1.214	4.326	1.752	1.119	4.364	1.787	1.163

注: VODの場合では低合金鋼はVODで処理せず、電気炉→Ladle Degassing処理によって生産する。

機械廠の将来計画での、二次精錬対象鋼種別溶鋼量は表-22に示す通りである。

表-22 鋼種別二次精錬溶解量

	Ingot	鋳鋼品	二次精錬溶解量		
			造塊歩留	铸造歩留	合計
			96.0%	55.0%	
Ni系Stainless 鋼	8,000t/y	-	8,333t/y	-	8,333t/y
Cr系Stainless 鋼	400t/y	500	417t/y	909t/y	1,326t/y
低合金鋼	16,600t/y	9,500	17,292t/y	17,273t/y	34,565t/y

表-21の溶解費用と表-22の溶解量を積算すると表-23の二次精錬別原料費、製造比例費の年間金額が得られる。

表-23 二次精錬方法別溶解費用 (元)

	Ni系Stainless 鋼	Cr系Stainless 鋼	低合金鋼	合計金額
AOD	35,646,907	2,366,910	41,973,018	80,006,835
VOD	36,048,558	2,323,152	38,678,235	77,049,945
LFV	36,366,045	2,369,562	40,192,182	78,927,789

表-23は各Processによる溶解費用に大きな差はないことを示している。

最も金額の少ないVODを100とするとAODは104、LFVは102である。

ただし、AODは連続操業を行った場合の溶解費である。間欠操業を行えばAODの耐火物費用が激増し、溶解費用はさらに高くなる。

(3) 労務費

前述の通りいずれの二次精錬を採用しても操業に要する作業者の人数は2人である。電気炉と二次精錬設備の直接労務費は表-24の通りである。

表-24 電気炉と二次精錬設備の直接労務費

	要員数	労務費 (元/月)
電気炉	15人(5人/直 x 3直)	3,312.5
二次精錬設備	6人(2人/直 x 3直)	1,325.0
合計	21人(7人/直 x 3直)	4,637.5

労務費を溶鋼1t当りに換算すると;

$$\frac{4,637.5 \text{ (元/月)} \times 12 \text{ (月)}}{50,000 \text{ (t/年)}} = 1.1 \text{ (元/t)}$$

である。

(4) 設備費

二次精錬各Processの設備費と設備償却費は表-25の通りである。設備原価償却は7.488%の定率法であり、これを初年度の月間償却額で示した。

また、二次精錬の月間対象量3,686tの1t当りの設備償却額も示した。

表-25 設備費と設備償却費

	設備費	月間設備償却額	二次精錬対象溶鋼 1t当り設備償却額
AOD	17,643,000元	110,092元	29.9元
VOD	11,961,000元	74,637元	20.2元
LFV	12,753,000元	79,579元	21.6元

(5) 推奨する二次精錬法

機械廠鑄鍛分工場に最も適切であると考えられる二次精錬設備を、品質とCostおよび生産性の観点から推奨するために、いままで述べた事柄を以下にまとめる。

(A) 品質

前述のように、品質に関してはいずれのProcessも全ての項目を満足することはできない。しかしながら、その中でAODが最も具備すべき条件を供えている。

したがって、品質面からはAODを推奨する。

(B) Cost

溶鋼Cost(比例費、原材料費、労務費および設備償却費)について、二次精錬設備導入後の初年度について比較する。

表-26 Process別溶鋼Cost比較 (元/t)

	AOD	VOD	LFV
溶製Cost	1,809.1	1,742.3	1,784.7
労務費	1.1	1.1	1.1
設備償却費	29.9	20.2	21.6
合計	1,840.1 (104.3)	1,763.6 (100)	1,807.4 (102.5)

上表から明らかなようにProcessによる溶鋼Costにはほとんど差がない。最もCostが高いAODと最も安いVODとの差は僅か4.3%である。

しかしながら、Stainless 鋼のみを対象とするならば、AOD の溶製Costが 3,935.6 元/tに対し、VOD では3,972.6 元/tであり、その差がAOD のほうが37元/t有利となる。設備費の差9.7 元/tを考慮にいれてもCostの総計ではAOD の方が 27.4元/t低くなる。

(C) 生産性

2.2 項で述べた各Process での一般的な操業Pattern から、電気炉+二次精錬設備での操業時間を表-27にまとめる。

表-27 各Process 別操業時間(min/heat)及び年間生産量(T/Y)

	Stainless 鋼	低合金鋼	年間生産量(T/Y)
電気炉+AOD	110 + 55=165	110 + 40=150	45,500
電気炉+VOD	120 + 90=210	120 + 35=155	41,700
電気炉+LFV	120 + 80=200	120 + 45=165	41,700

明らかにAOD 法における操業時間が短く 1炉あたりの年間生産量は多い。

(73 ページを参照)

以上のことから鑄鍛分工場へ導入する二次精錬設備としてはAOD を推奨できる。

次にAOD 導入に際して留意すべき点を述べる。

AOD の導入によって品質は従来の電気炉法に比べ改善される。しかし、Costは鋼種によってむしろ高くなる場合がある。

すなわち、AOD 法は溶解歩留が向上する反面、Gas、耐火物などの比例費は増加する。このため、原材料費の高価なNi系Stainless 鋼は溶解歩留の向上によって、比例費のCost増加を補うことができるが、低合金鋼では補い切れない。

因みに低合金鋼では電気炉法と比べ、電気炉+AOD 法では比例費と原材料費が約25% 増加する。

また、実操業において、Ni系Stainless 鋼の直後にCr系Stainless 鋼や低合金鋼の溶製を行うと、Niによる汚染が生ずる、という問題がある。Heat Schedule に際して十分に配慮しなければならない。

3. AOD法

AOD (Argon Oxygen Decarburization)は1968年USA のUnion Carbide 社によって開発され、1968年 Joslyn Steel社が15t-AOD 炉で最初にStainless 鋼の生産を開始した。

その後、Stainless 鋼の増産に伴って、世界各国にAOD は導入され、1987年には全世界で90基以上が稼働している。

現在、USA が34基、Europeでは24基、日本では13基が稼働している。

3. 1 AOD 法の特徴

溶鋼中の脱炭反応は $2[C] + (O_2) = 2[CO]$ の式で表される。

この反応が促進する条件として次の項目が挙げられる。

- ① CO Gasの分圧が低いこと
- ② 酸素Gas の吹込み量が多いこと (酸素Gas の分圧が高いこと)
- ③ 溶鋼温度が高いこと

特にStainless 鋼の脱炭では、Cr含有量が多いために溶鋼中の炭素および吹込まれる酸素の活量が低下するため、脱炭反応は進行し難い。

このため、従来の電気炉におけるStainless 鋼の溶製では、溶鋼の温度を1800℃以上に上昇させ、さらに脱炭前のCr含有量を減少させ、脱炭を行った後で高価な低炭素FeCr (低炭素FeCrの価格は高炭素FeCrの約2倍である)を添加する方法を採用していた。

したがって、Stainless 鋼の原材料Costが高額になり、かつ、高温精錬であるために耐火材の原単位が大巾に悪化していた。

AOD はこれらの問題点を解決するために炉底部よりAr (あるいは N₂) Gas を吹込み、脱炭反応の生成物であるCO Gasの分圧を低下させ、溶鋼温度の上昇を抑制しながら低炭素Stainless 鋼を溶製するものである。

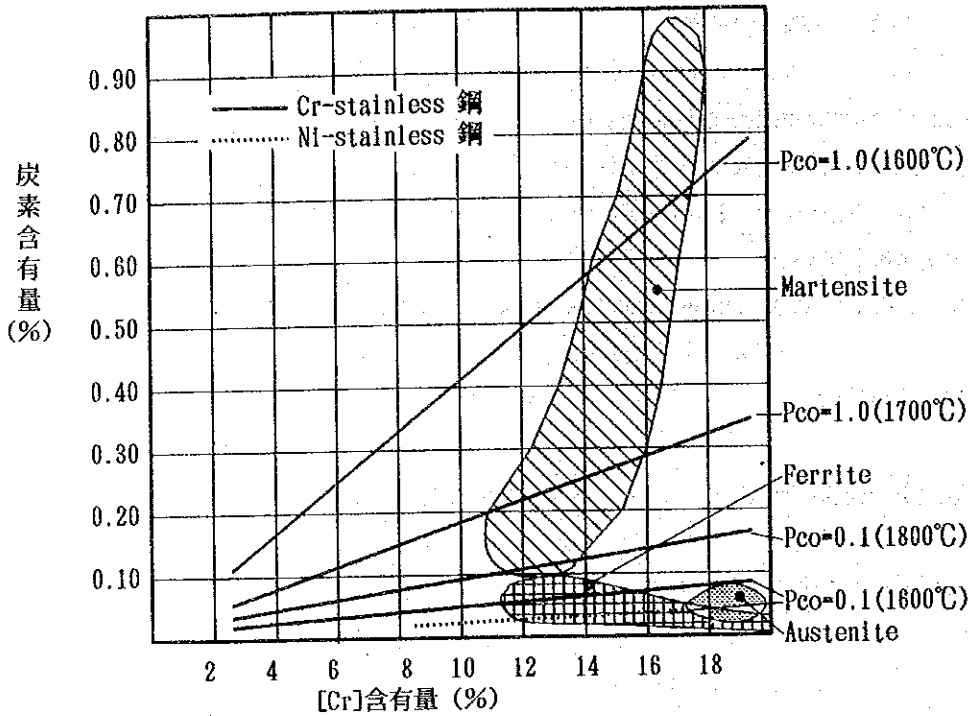
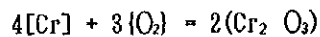


図-25 stainless 鋼の[%C]と[%Cr] の関係

図-25にはStainless 鋼の[%C]と[%Cr] の関係を示した。[%C]と[%Cr] の間には次の関係式が成立する。

$$\log \frac{P_{CO} \cdot [\%Cr]}{[\%C]} = \frac{13800}{T} + 8.76 + 0.016[\%Ni]$$

上式と図-25から明らかなように、従来の電気炉法ではAISI304 ([%C]=0.07、[%Cr]=17.5、[%Ni]=8.0)を溶製する場合には大気圧($P_{CO}=1$)では溶鋼温度を1800°Cまで上げて溶鋼中の[%C]を0.07%に維持するためには[%Cr]は8.0が限界である。例えば、8.0%以上のCrを溶鋼中に添加して、酸素吹込みによる脱炭を行っても溶鋼浴中では脱炭は促進されず、



の反応のみ(脱Cr)が進行する。

一方、AODでは前述の脱炭反応の生成物であるCO GasがAr(あるいはN₂) Gasによって希釈され、分圧が $P_{CO}=0.5$ まで低下すると1750°Cでも0.07%の[%C]を保持する時の溶鋼中の[%Cr]は16%で平衡する。

AODのもう一つの特徴は、高塩基度Slagによる強攪拌操作が可能であることであり、Slag中の(CrO)は還元期においては理論的平衡値に近い値まで還元され、Cr歩留が向上することである。

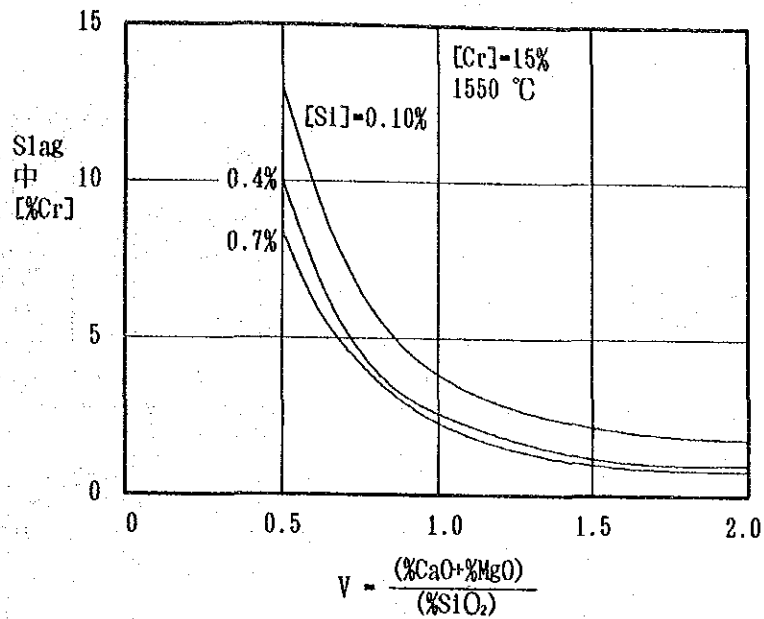


図-26 Slag中のCr量と塩基度の関係

図-26にはAOD Processでの還元期におけるSlag中の(%Cr)とSlagの塩基度の関係が示されている。この関係は次の式で表せれる。

$$\log(\%Cr) = 4.887 - \frac{8.866}{T} + 0.341\log(\%Cr) - 0.191\log[\%Si] - 1.721\log V$$

ただし、 $V = \frac{(\%CaO + \%MgO)}{(\%SiO_2)}$

3.2 AOD Processの操業例

AOD ProcessにおけるStainless 鋼の0Cr18Ni10と0Cr13および低合金鋼の35CrMoAの3鋼種の概略の操業方法を例として示す。

(1) 鋼種0Cr18Ni10

この鋼種の計画生産量は5,000t/yであり、Ni系Austenite 鋼の代表的なものの一つである。

化学成分は次の通りである。

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.0/12.0	17.0/19.0

図-27に操業Patternを示す。

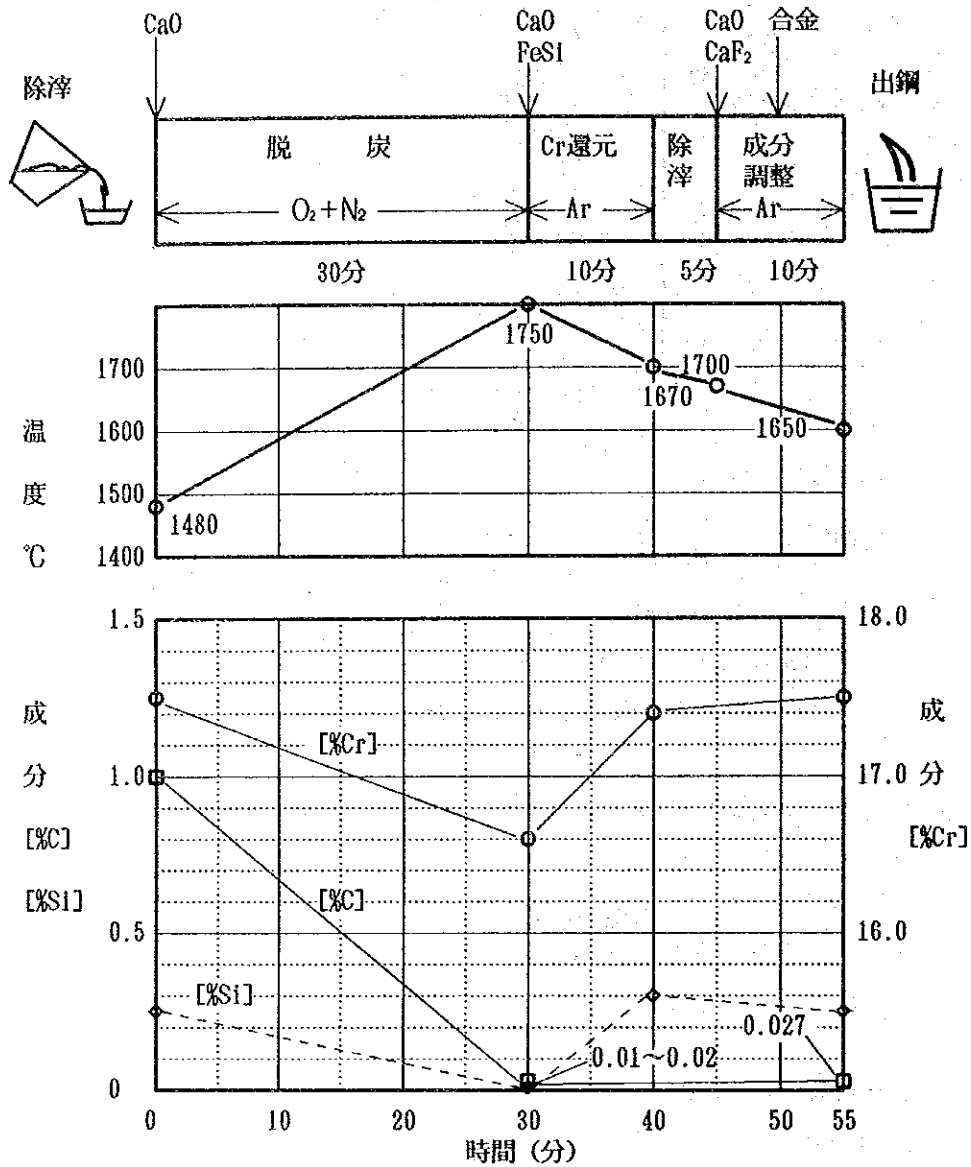


図-27 AODによる00Cr18Ni10の精錬Pattern

図-27に示されている脱炭期における O_2 と N_2 の比率とその時間は[%C]と温度により決定される。

(2) 鋼種0Cr13

この鋼種はCr系Ferrite Stainless 鋼の代表的なものの一つであり、機械廠ではTurbine 用のBlade 材として300t/yの生産を計画している。

化学成分は次の通りである。

C	Si	Mn	P	S	Cr
≤0.08	≤0.60	≤0.80	≤0.035	≤0.030	12.0/14.0

図-28に操業Patternを示す。

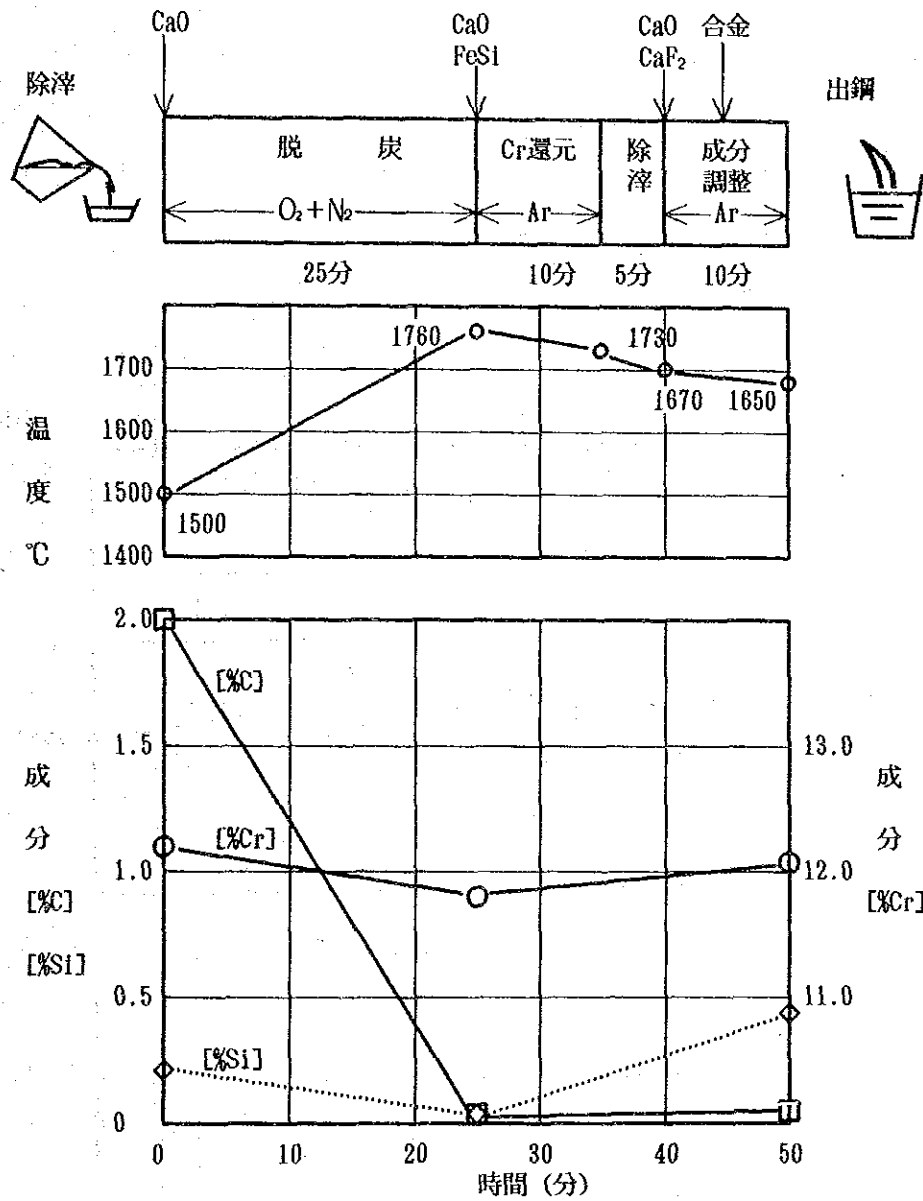


図-28 AODによる0Cr13の精錬Pattern

(3) 鋼種35CrMoA

この鋼種はChain 用として将来11,600t/y の生産計画であり、鋳鍛分工場としては最も多量生産する鋼種である。

化学成分は次の通りである。

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu
0.32/0.40	.17/.37	.40/.70	≤.030	≤.030	≤.80/1.10	.15/.25	≤.20

図-29に操業Patternを示す。

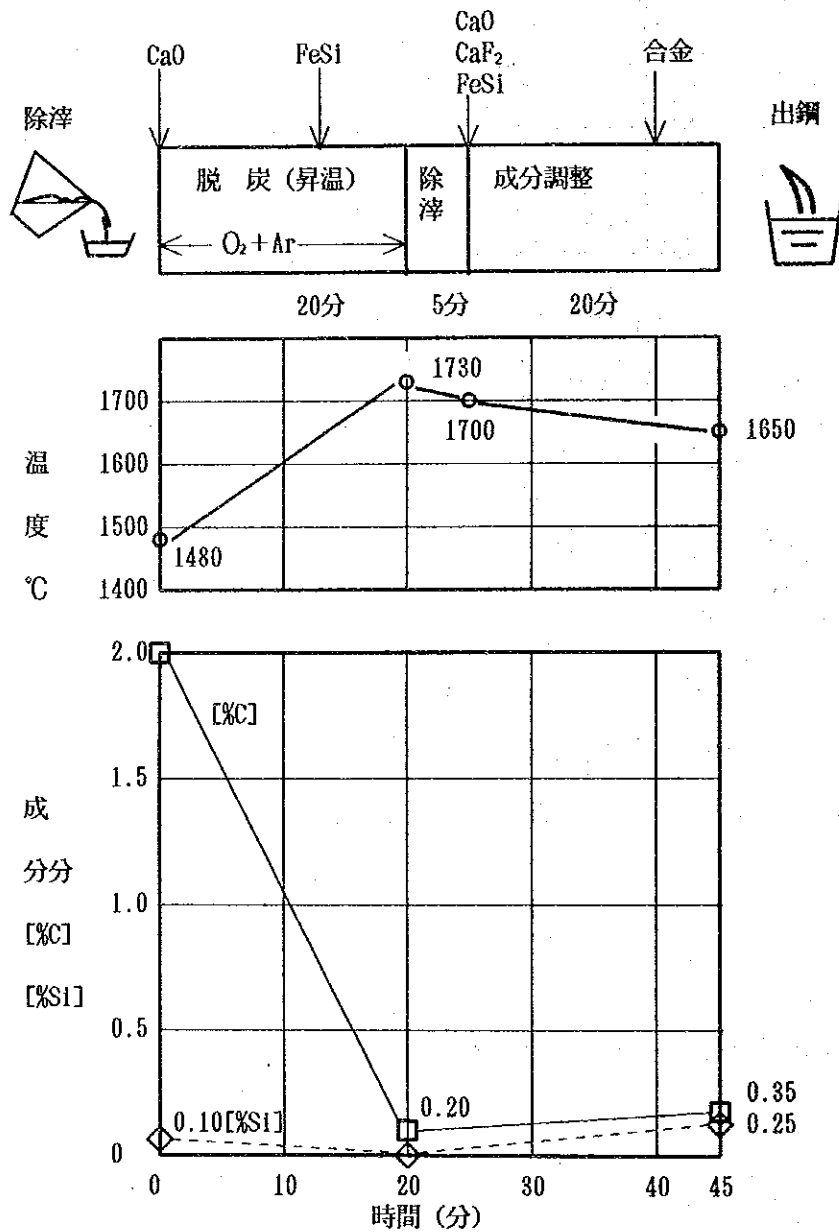


図-29 AODによる35CrMoAの精錬Pattern

3. 3 設備の構成とその機能

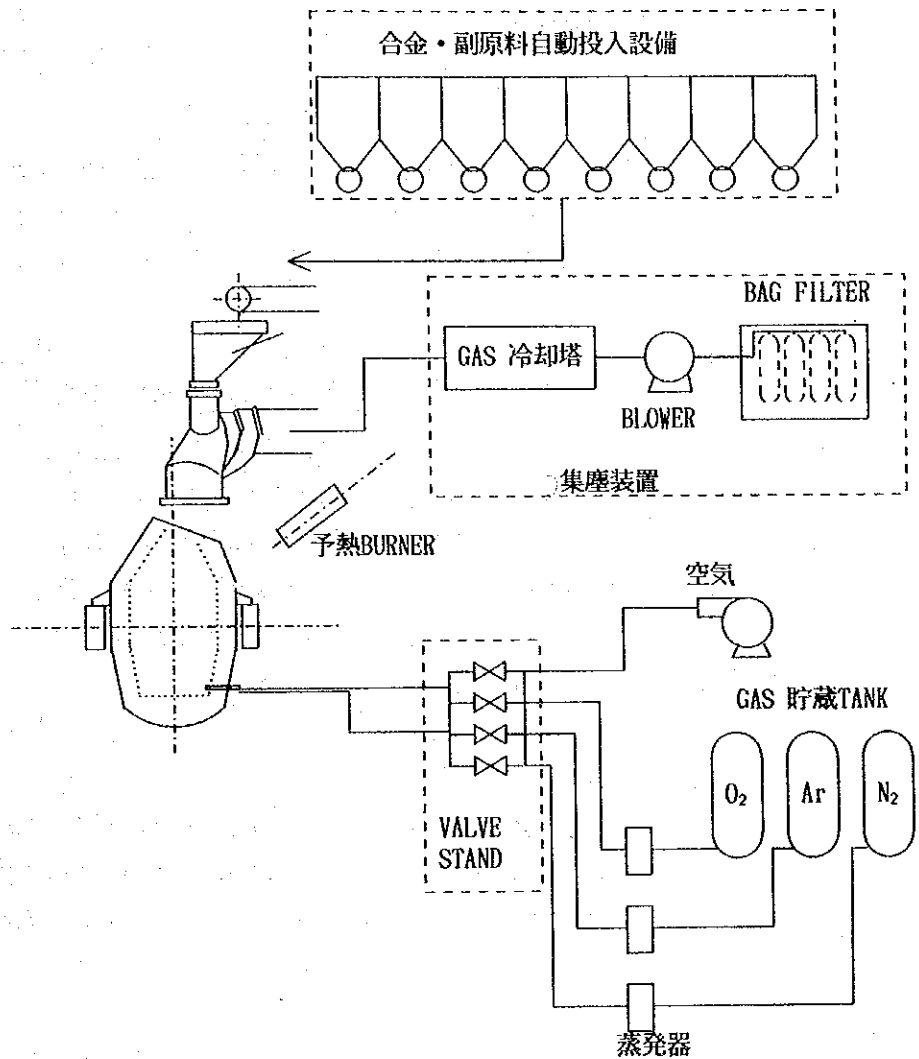


図-30 AOD 概略設備構成

(I) AOD 本体

(A) 炉体 (Vessel)

Vesselは塩基性煉瓦 (Magnesia-Chrom系またはDolomite系) に内張りされている。精錬時は溶鋼温度が1800℃に達し、かつ、強力な攪拌を伴うために耐火度と耐磨耗性に優れた煉瓦が要求される。

ただし、この煉瓦はSpallingが発生しやすいため、Vesselの急激な昇温、冷却を繰り返すことは避けなければならない。Vesselの使用前とAODの休止時にはBurnerによる予熱、温度保持が必要となる。

強力な攪拌による目地部の溶損を防ぐために、煉瓦の施工時にはMortarを使用しない「空目地」の方法が採用されている。

(B) 羽口

AOD の炉底より酸素とArgon gas あるいは窒素を吹込むために、羽口は二重Pipe構造になっている。

概略構造を図-31に示す。

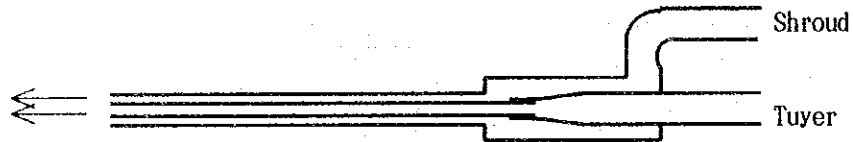


図-31 羽口の概略構造

Vesselに溶鋼が存在しているときには、内管 (Tuyer という) は酸素単独、あるいは酸素+Ar (または N_2) の混合Gas を、外管 (Shroudという) は羽口冷却用 Gas としてAr (または N_2) を炉内に吹込むためのものである。

Vessel中に溶鋼がない場合はTuyer とShroud共、冷却用として空気が流される。

通常、羽口は一つのVesselに2本装備され、炉底表面から150mm ~200mm 位置に設置される。攪拌効果の面からは出来得るかぎり炉底に接近しているほうが良いが、炉底部の煉瓦を損傷し易くなる。また、羽口位置が高過ぎると攪拌効果が減少する。

(2) Gas 関係

(A) Gas 貯蔵・供給設備

AOD Process では多量の O_2 、Ar、および N_2 Gas を溶鋼中に吹込み、脱炭と精錬が行われる。AOD 操業中にGas の供給が停止したり、Gas の供給圧力が著しく低下するようなことがあれば、正常な脱炭・精錬が行われないばかりか、炉体に損傷を与えるような大きな事故に繋がる恐れがある。

通常、Gas 貯蔵・供給設備は液化Gas tankと液化Gas を気化するための蒸発器とで構成される。

AOD に吹込まれるGas は、一般的には表-28のように5段階に区分されている。

表-28 O₂ とArの吹込み量 (Tuyer)

	O ₂		Ar	
	%	(Nm ³ /min)	%	(Nm ³ /min)
1st step	75%	(11.3)	25%	(3.7)
2nd step	67%	(10.0)	33%	(5.0)
3rd step	33%	(5.0)	67%	(10.0)
4th step	25%	(3.7)	75%	(11.3)
5th step	0%	(0.0)	100%	(15.0)

Arの代わりに N₂ が使用される場合もある。また、O₂+N₂=15 Nm³/minは12t 容量のAOD の場合を想定したものである。

表-28から明らかなように、O₂ の最大流量率は11.3 Nm³/minであり、Arの最大流量率は15 Nm³/minである(最近では精錬時間の短縮を計るためにこの値の1.5 倍程度まで流量を殖やす場合がある)。

これらの最大流量率は常に維持されなければならない。このためには、安定したGas 供給が行えるだけの容量を有したTankと蒸発器を備えなければならない。

例えば、Ar gasの供給源として、150kg/cm²G - 7m³のCylinderを用いた場合、1本のCylinderがAr gasを5.5Nm³/min放出し続けるものとして(実際には順次放出量は減少し、圧力が20kg/cm²のときは0.8Nm³/minとなる)必要Cylinder数を計算すると次のようになる。

Cr系Stainless 鋼を溶製する場合には、溶鋼1t当り13.8 Nm³ (表-11参照)のAr gasを使用する。したがって12t の溶鋼では165.6Nm³のArを1回の溶製(約55分間)で使用する。これをCylinder数に換算すると165.6 ÷ 5.5 ≒ 30 本のAr cylinderが必要となる。

このように多量のCylinderをAOD の操業毎に、常時用意することは、実操業においては現実的ではない。したがって、Arは供給元から配管を通して供給されるか、またはTank lorryにより供給され、貯蔵Tankを経由してAOD へ送るべきである。

(B) Valve Stand

AOD Process で使用されるGas の種類と流量はVessel内の溶鋼の状態により変化され、また、测温・Samplingなどのために精錬を中断して、Vesselを傾動させる場合などは全てのGas を空気に切替えるなど、それぞれの状況により正確に制御されなければならない。

Valve stand では制御室からの信号やVesselの傾動角信号などを受信して、自動的に各Gas の種類選択、流量調整を行うためのStand である。

図-32に一般的なValve standのFlow-sheetを示す。

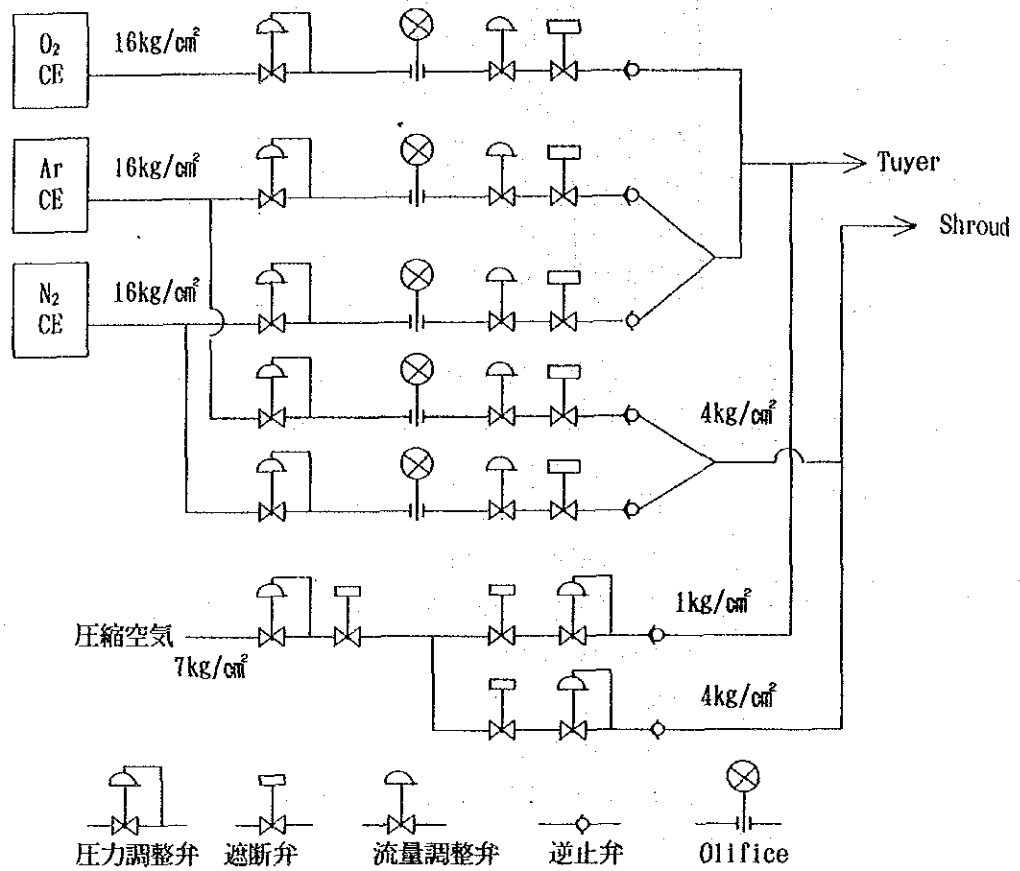


図-32 一般的なValve standのFlow-sheet

(C) 合金自動投入装置

AODの精錬時間を短縮するために秤量機を備えた合金・副原料hopperをAOD炉の近接位置に設置し、AOD操作室にて原料の種類選択・重量指定、および投入を遠隔操作する必要がある。

図-33に合金自動投入装置の概念を示す。

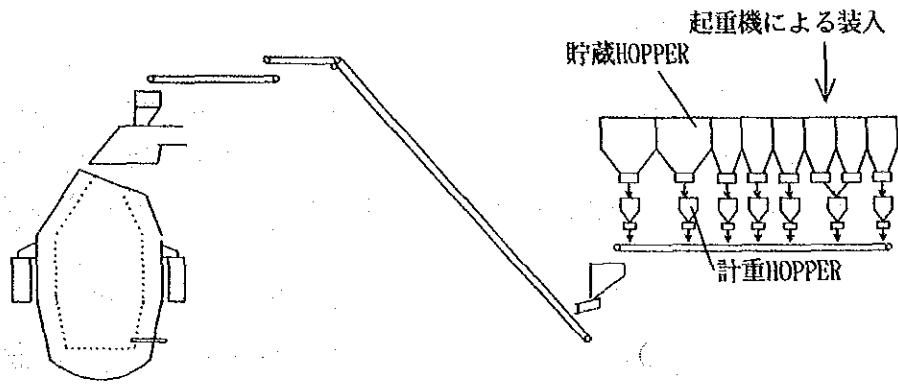


図-33 合金自動投入装置の概念

(D) 集塵装置

AOD process では多量のGas 吹込みを行うため、多量の排Gas を発生する。作業環境の維持、および公害防止のため集塵装置が必要である。

(E) Vessel予熱装置

前述のようにAOD Vesselの耐火物はその温度の急激な変化に伴う熱衝撃によりSpallingを生じ易い。

一方、AOD の耐火物は製造Costの大きな部分を占めるためその寿命短縮は重要な問題となる。さらに耐火物の寿命短縮は生産性の低下にも繋がる。

これらを防止するために、受鋼時にはAOD Vessel温度を予熱装置を用いて、1200℃以上に保持する必要がある。

予熱装置はVesselの上部に設置され、必要に応じて自動的に上昇・下降できる機構を有している。

4. 電気炉操業の改善

4. 1 現状と近代化後の電気炉操業

鋳鋼分工場の近代化完了後の製鋼工程は図-34のようになる。

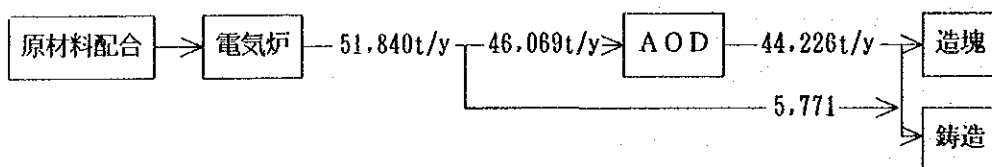


図-34 近代化完了後の製鋼工程

電気炉操業の現状と近代化後の操業条件は表-29の通りである。

表-29 電気炉の操業の現状と将来

項目	1987年実績	近代化後
稼動日数(d/y)	358	358
稼動週数(w/y)	52	52
年間計画作業時間(h/y)	7,728	7,728
実働率(%)	83.25	90.00
実年間作業時間(h/y)	6,434	6,955
Tap to tap 時間(min)	215	-

電気炉では年間51,840tの溶鋼を生産しなければならない。現状の Tap to tap 時間のまま近代化後も電気炉操業を続けると、その溶鋼生産量は次のようになる。

$$\frac{6,955\text{h/y} \times 60\text{min/h}}{215\text{min/heat}} \times 12\text{t/heat} = 23,291$$

すなわち、電気炉1基で年間約24,000tの溶鋼しか溶製できない。2炉で溶製しても、年産約48,000tの生産になり3,840t/yの不足になる。さらに、現状では1炉操業であり、使用中の電気炉が故障・修理の場合は他の炉を予備として使用しているが、将来は2炉を完全に稼働させなければならない。このため、近代化後はTap to tap時間を193分以内にしなければならない。

$$\frac{6,955\text{h/y} \times 60\text{min/h}}{x\text{min/heat}} \times 12\text{t/heat} \times 2 = 51,840\text{t/y}$$

$$x \text{ min/heat} = 193 \text{ min/heat}$$

さらに、AODを導入した場合、AODの処理時間は、最も長時間のNi系Stainlessでも55分である。AOD操業は、連続操業が前提であるため、電気炉は2炉を稼働させそのTap to tap時間は110min (55min x 2) でなければならない。

このように、鑄鍛分工場の近代化を実現させるための重要な点の一つは、電気炉のTap to tap時間を110分以内に短縮することである。

4. 2 電気炉操業技術の基本的考察

鑄鍛分工場の製鋼工場の電気炉は電力、電極、耐火物など多額の比例費を要しており、Tap to tapの短縮の他にもこれらの改善は大きな課題である。

これらの比例費とTap to tap時間について鑄鍛分工場の実績と、同規模の電気炉を持っている日本のA社の実績を比較したものが表-30である。

表-30 電気炉の原単位と操業時間の比較
(t=装入重量)

項目	鑄鍛分工場 ^{注1}	日本のA社 ^{注2}
電力 (kWh/t)	709	559
電極 (kg/t)	11.85	5.2
酸素 (N m ³ /t)	31.9	18.8
(補修材(kg/t))	22.4	5.33
(取鍋煉瓦(kg/t))	3.73	3.29
Tap to tap時間(min)	215	125

注1 1987年実績

注2 日本A社の設備仕様

公称能力 : 10t

実能力 : 17.3t

変圧器容量 : 5MVA (電極径 ; 10 インチ)

炉殻内径 : 3.350mm

表-30に示されているように、鑄鍛分工場の比例費は日本のA社と比較して非常に高い。また、Tap to tap時間も長い。

以下、これらの原因と対策について述べる。

(1) 電気炉特性

電気炉の熱効率を改善することは、電力原単位の改善だけではなく、それに付随して電極原単位と生産性を改善させるものである。

電気炉の最適送電条件を選択するためには、先ず、その電気的特性を知らなければならない。

図-35 に一般的な電気炉の電気特性図を示す。

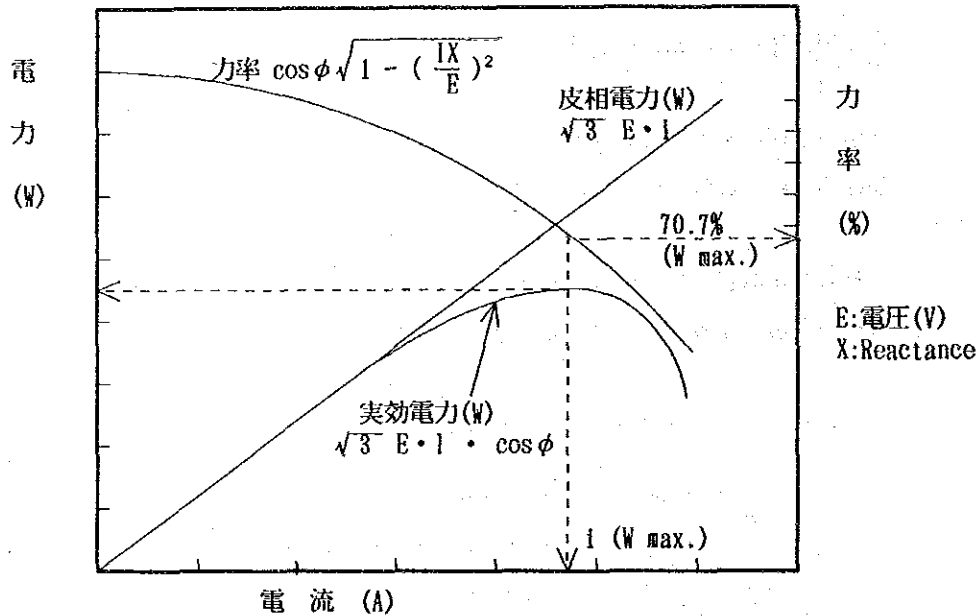


図-35 電気炉の電気特性図

図-35 中の実効電力は次の式で示される。

$$W = \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot \cos \phi$$

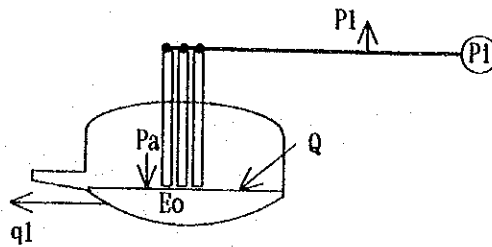
$$\cos \phi = \sqrt{1 - (IX/E)^2}$$

一定電圧E(V)において最大の出力を得るためには力率(Cos φ)は45°のとき、すなわち力率70.7%の場合である。

しかしながら、これらの特性値は変圧器の出力側(二次側)の場合であり、実操業では電極の先端 ArcのEnergy特性について考察しなければならない。

実際の Arc電力は、電気炉設備のBusbar支腕-把持器-電極で構成される回路の抵抗(R)と Reactance (X)が付加される。さらに、実操業ではReactanceの変動もあって、実際の最大出力はi(Wmax.)よりも低い電流値になる。すなわち、力率は70.7%よりも高いところで得られる。

実際の電気炉操業では静的特性よりも動的特性を把握しなければならないが、鑄鍛分工場では以下に要求されるDataが不明であるため一般的な概念についてしか述べられない。



P_1 : 二次側電力 P_a : Arc 電力 P_1 : 導体損失
 Q : 電力以外のEnergy q_l : 炉体からのEnergy損失
 E_o : 溶鋼顕熱 P_1 : 導体からのEnergy損失

図-36 電気炉の熱の収支

上図における熱の収支には次の関係がある。

$$E_o = P_1 \cdot t + Q - (P_1 + q_l) \cdot t$$

ここで理論的な溶解時間(t) および電力原単位(W/t) は次の式で表せられる。

$$t = \frac{E_o - Q}{P_1 - P_1} = \frac{E_o - Q}{P_a - q_l}$$

$$W = \frac{P_1 \cdot t}{M} = \frac{E_o - Q}{M} \cdot \frac{P_1}{P_a - q_l}$$

M: 溶鋼量

$$P_1 = P_a + P_1$$

$$P_1 = 3I^2 r_o$$

$$P_1 = \sqrt{3} IE \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{IX}{E/\sqrt{3}}\right)^2}$$

$$x_o = f(i) \cdot X$$

$$f(i) = \frac{d}{(I/I_o)^2} + (1 - d)$$

x_0 : 短絡Reactance
 x : Reactance
 d : Scrap 係数 ($d \approx 0.1$)
 r_0 : 短絡抵抗

$$t = \frac{E_0 - Q}{\sqrt{3} \cdot I \cdot E \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{f(I) \cdot x_0}{E/\sqrt{3}}\right)^2} \cdot I^2 - 3I^2 r_0 - qI}$$

$$W = \frac{\frac{1}{M} (E_0 - Q) \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot E \sqrt{1 - \left(\frac{f(I) \cdot x_0}{E/\sqrt{3}}\right)^2} \cdot I^2}{\sqrt{3} \cdot I \cdot E \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{f(I) \cdot x_0}{E/\sqrt{3}}\right)^2} \cdot I^2 - 3I^2 r_0 - qI}$$

図-37はこの式を概念的に示したものである。

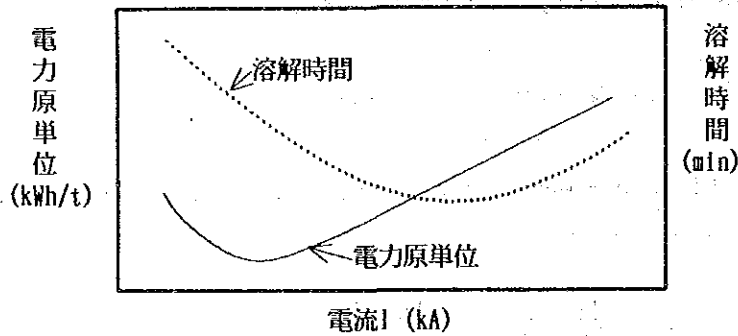


図-37 電力原単位と溶解時間に対する電流の関係

導体からの熱損失はJouleの法則に従って

$$\Delta H = k \cdot I^2 R$$

で示され、導体からのEnergy損失は電流 I の二乗に比例する。

- さらに、電流の増大は電力原単位を悪化させ、また、電極では電流の増加に伴って赤熱されるため電極原単位も悪化させる。

以上の観点から、電力原単位および電極原単位の低減に主眼をおいた操作方法としては、高電圧・低電流操作が望ましい。

(2) 酸素富加操作

電力原単位の低減とTap to tap 時間の短縮の手段としては、前述の送電条件の改善のほかに、Q の増大、すなわち、酸素富加操作が有効である。

溶鋼中に酸素を吹込むことによる酸化熱により、溶鋼の昇温を図るものである。図-38には酸素の使用量と電力原単位の関係を示した。

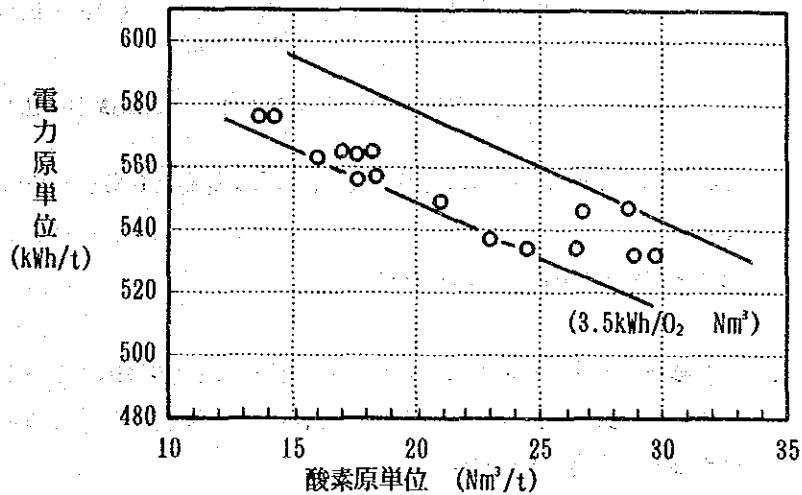


図-38 電力原単位と酸素原単位の関係

溶鋼中に酸素を吹込むことによって、[C] およびFeを酸化燃焼させ、その発熱量により電力原単位の低減を図るものである。

図-38のように1Nm³/tの酸素吹込みによって約3.5kWh/tの電力原単位の低下が達せられる。しかし、吹込み酸素量が過大の場合はSlag中の(FeO)の増加によって溶解歩留が低下する。

図-39にはSlag中の(FeO)と溶鋼中の[C]量の関係を示した。これによると溶鋼中の[C]量が0.10%以下になるとSlag中の(FeO)は極端に増加し、溶解歩留を低下されることが判る。

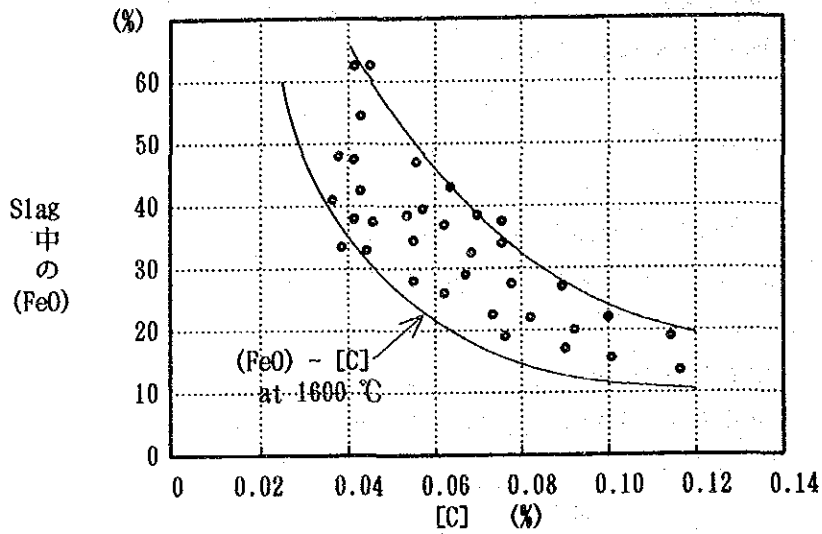


図-39 Slag中の(FeO)と溶鋼中の[C]の関係

このため、酸素吹込み時の[C]の限界は歩留を悪化させないために0.10%以上にすべきである。

(3) Carbon Injection (C-Injection)

4.2 項(A) で述べたように、高電圧・低電流送電は導体損失と電極原単位低減の有効な手段であるが、Long Arc化によってArcが露出し、輻射熱が炉壁を通して外部に放出されたり、炉壁煉瓦の損傷にもつながる。

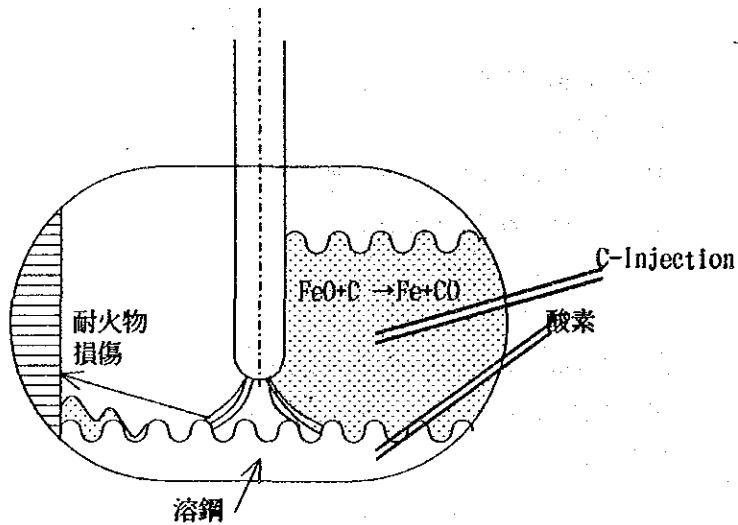


図-40 C-Injectionの概念図

このようなLong Arcによる欠点を補うために、原料の溶解後の湯面平滑期にSlagと溶鋼の界面にC-Powder Injectionを行う。

(FeO) とC-Powderとが反応してCO Gasの気泡が多量に発生する。泡立ったSlagによってArc は完全に覆われるためArc 熱は効果的に溶鋼へ伝達される。

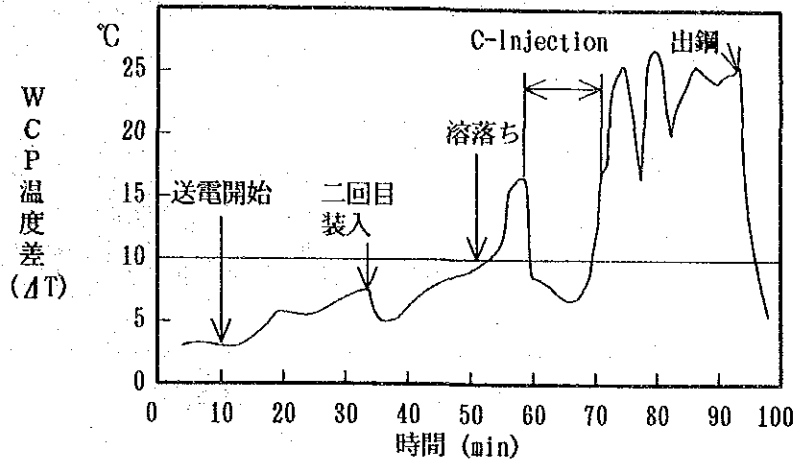


図-4 1 WCP の水温差の変化

図-4 1はWCP (Water Cooled Panel)の入口温度と出口温度の差の変化を示している。

C-Injection によって、水温は10°C下がっている。

これは、先に述べたように湯面平滑期に露出していたArc から炉壁に放射していた熱が、C-Injection によって生じた泡沫SlagによってArc が覆われ、熱放射が防止されていることを示している。日本のA社の経験では、湯面平滑期の熱効率が42%程度であったものが、C-Injection を採用することにより72% まで向上した。

C-Injection は熱効率の改善と炉壁耐火物の溶損防止に役立つだけでなく、酸素富加操作によって増加したSlag中の(FeO) を減少させる効果もあり、溶鋼歩留の改善の面からも現在の製鋼法の中では最も優れたProcess である。

4.3 鑄鍛分工場の電気炉操業についての考察

鑄鍛分工場の現状の電気炉操業方法とその原単位について考察する。

前にも述べたが、鑄鍛分工場の電気炉の主な仕様を再び以下に示す。

Arc 式電気炉

公称能力：5t

実出鋼量：12t

変圧器容量：5,000kVA

電極径：φ300mm

炉体：(内径) φ2,650mm (外径) φ3,540mm

(1) 現状の操業Pattern

調査団による電気炉の操業の観察結果と、聴取したDataによる現状の操業Pattern を図-42に示す。

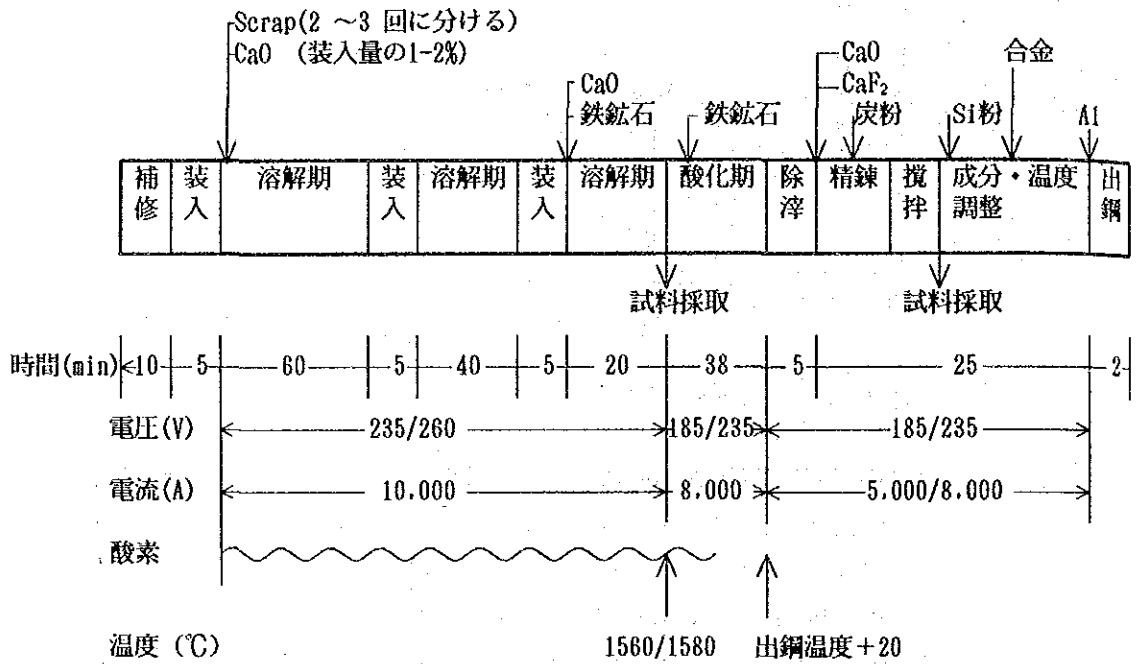


図-42 鑄鍛分工場の電気炉操業Pattern の一例

(2) 電気炉の原単位と能率

表-30で示したように、鑄鍛分工場の電気炉の原単位とTap to tap 時間について日本のA社と比較するとかなり劣っている。

また、Tap to tap 時間の内訳についても同様に比較したものが表-31である。

これらの原因として次のことが考えられる。

- ① 電気炉の操業が複雑化しており、このためTap to tap 時間が長引くことによって各種の原単位が悪化している。
- ② 送電条件が適切でない。

表-31 Tap to tap 時間内訳比較
(min/heat)

作 業	鑄鍛分工場	日本A社
補修	10	18
装入	5	
溶解期	120	78
酸化期	38	
除滓	5	29
還元・精錬	25	
出鋼	2	
合 計	215	125

図-43には日本における製鋼能率と(変圧器容量/装入重量)の関係を示す。

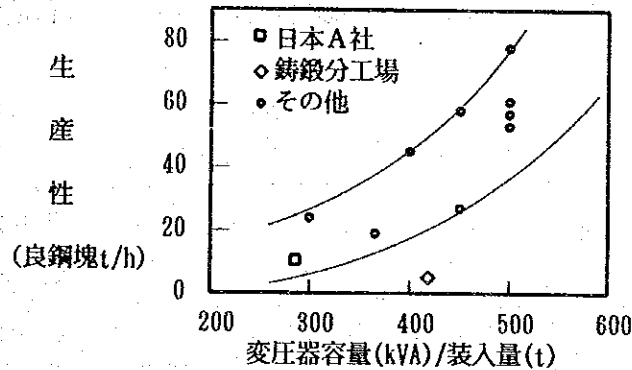


図-43 電気炉生産性と変圧器容量の関係

図-43のように鑄鍛分工場の電気炉はTap to tap 時間が長く、また、電気炉容量が小さいためその生産性は低い位置にある。

(3) 電気炉の操業方法の改善

今まで述べてきた事柄に基づいて、鑄鍛分工場の電気炉の操業方法の改善策について述べる。

(A) 送電条件の選択

前述の如く、電力と電極の原単位を低減させるためには高電圧・低電流操業が望ましい。

鑄鍛分工場は電気に関する詳細Dataを保有していないため、ここでは細部に亘っての検討はできないが、現状の変圧器容量と電気炉設備だけから電圧と電流について考察する。

電気炉の最大電圧は炉壁が受ける熱負荷によって決定される。

熱負荷を示す指標(Index)として、耐火物損耗指数(Rf)を用いることが一般的であり、その式は次の通りである。

$$Rf = \frac{1/3 \times P \times E / \sqrt{3}}{L^2}$$

Rf: 耐火物損耗指数
 P: 電力(kW) $1/3$ は電極1本を示す
 E: 電圧(V) $1/\sqrt{3}$ はArc電圧を示す
 L: Arcから炉壁までの距離(cm)
 $L = (1/2) \times (D - PDC - 0.8d)$
 D: 電気炉内径(cm)
 PDC: 電極Pitch circle (cm)
 d: 電極径(cm)

10~15t 電気炉でのRfはWCPのない状態では50程度、WCPが設置されている電気炉では80~100とされている。図-44の鑄鍛分工場の電気炉の寸法から計算した値を適用すると、鑄鍛分工場の電気炉では最大300Vまで電圧を増加することができる。

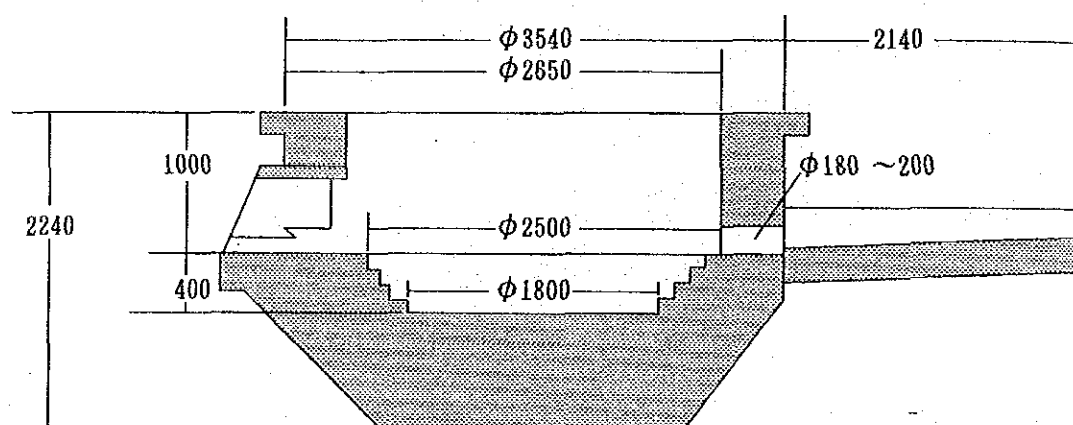


図-44 鑄鍛分工場 電気炉概略図 (公称5t)

(B) 電気炉操業Pattern

近代化後の鑄鍛分工場の電気炉の操業Patternは次の二通りになる。

- ① 溶解、精錬、成分・温度調整を全て電気炉で行うPattern
- ② 溶解だけを電気炉で行い、精錬、成分・温度調整はAODで行うProcess

①のPatternについて以下に述べる。②のPatternは①の溶解期だけを考慮すれば良いのでここでは省略する。

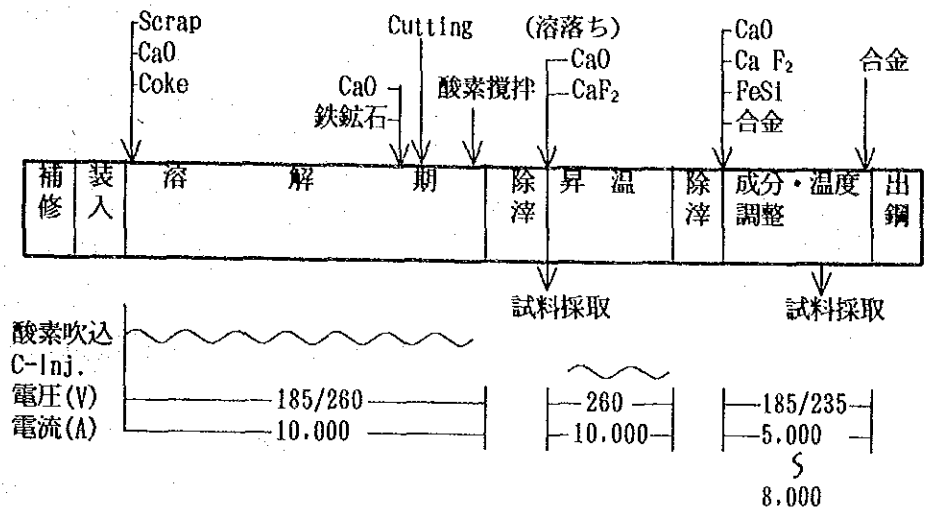


図-45 推奨する基本的操業Pattern

(a) 送電

送電開始時は炉壁煉瓦の保護のため電圧は185Vにし、電極の先端に湯面ができた時点で260Vに上げる。

Scrap の追加装入の場合も同様に行う。

(b) 酸素吹込み

送電開始時5分後、出滓扉の孔からLance pipeを炉底部に差込んで酸素吹込みを行う。

吹込み圧力は5kg/cm²以上であること。

Lance pipeは1 inchの呼び径のものを使用し、1本で行う。

Scrap が約80% 溶解した時点で酸素によるCutting を行う。

酸素吹込みは昇温期でも続行する。

(c) C-Injection

酸化期（昇温期）送電開始から3～4分後にC-Injection を開始する。

C-Injection の様子を図-46に示す。

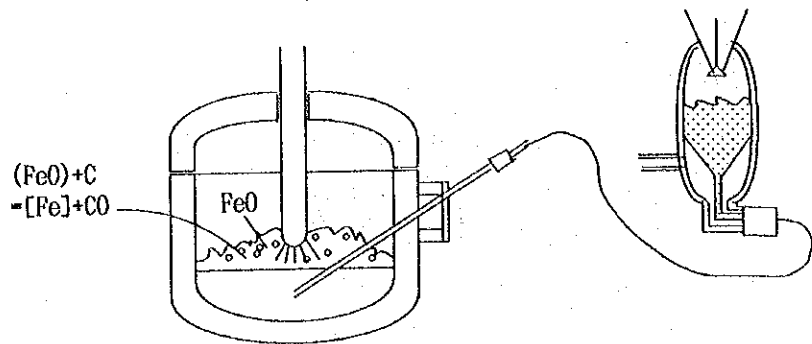


図-46 C-Injection 概念図

炭素の吹込み量は溶鋼中の $[C]$ によって制御し、溶鋼歩留を悪化させないために $[C]$ が低すぎることがないように留意しなければならない。

C-Injection は成分調整期においても加炭の目的で行われる。

(d) 脱磷

鋳鍛分工場での鋼種35CrMoの溶落ち時の $[\%P]$ は図-47の通りである。

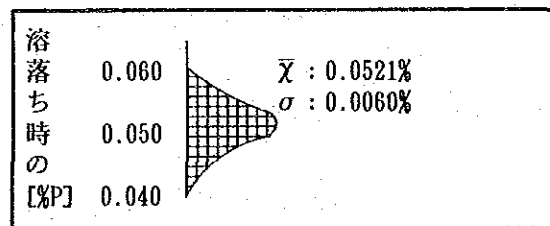


図-47 溶落ち時の $[\%P]$ (鋼種35CrMo)

図-47で明らかなように、 $P \leq 0.03\%$ の要求値に対して全てHeatの $[\%P]$ 値は規格を満足していない。

全鋼種に対しても脱磷処理を行う必要がある。このために最終装入 Bucketに適量のCaO および鉬石、または、Mill scaleを添加する。さらに、溶落ち後、酸素による攪拌を行い、溶鋼温度が上昇する前に除滓することが必要である。