

第 Ⅲ 章

調査内容 および

工場近代化の為の改善策

Ⅲ. 調査内容および工場近代化のための改善策

1. 溶湯精製

問題点を大きく分ければ二つある。第一に溶湯品質の良否が鋳物の品質を大きく左右させるので、良質の溶湯を作るために原材料の品質および溶解にどのような注意をしているか、第二に必要な量の溶湯を作るために材料の使用、エネルギーの消費、溶解作業労力が有効であるかなど生産の経済性を主眼にして調査した。

1.1 調査内容

1.1.1 原材料

- (1) 溶解原料はすべて純金属を用い、母合金は使用されていない。純金属は純アルミニウム、珪素、銅、マグネシウム、マンガン、ニッケルを用い、各々に純度の違いによる等級が決められており、極度に純度の低い原料は用いられていない。
- (2) 溶解時に配合される材料は純アルミニウム地金と各成分の金属塊の他に場内回転材・不良廃却品および切粉再生地金が用いられる。
- (3) 純アルミニウム地金および切粉再生地金は軌道上を台車に乗せ、地金倉庫から溶解炉の投入口近くまで人手により運搬される。場内回転材、不良廃却品、原料はリフトカーにより運ばれる。
- (4) 原材料の保管・取扱いについてみると、場内回転材、不良廃却品および秤量された純金属塊など、容器に入れず、外気の影響を直接受ける炉の投入口附近の床の上に直接置かれている。

また、溶解作業場は粉じんが多く、これらも同時に炉内へ入る恐れもある。

- (5) 原料の保管は一部の純金属は入荷時の鉄製容器に入れられたまま、屋外に置かれている。他の純金属の保管されている原料倉庫内においても個々の原料と材料の置場に明確な区別がなく、また明示もされていない。
- (6) 原材料の炉内投入はすべて人手により行われている。地金は10kg塊で1本ずつ人手により投げ込まれ、金属珪素と場内回転材などはショベル(schovel)により炉内に投入される。

(7) 溶解作業はその大部分が一人で行なわれており、1日3交代で操業される。

溶解順序はまず純アルミニウム地金を、足りないときは場内回転材を、全溶湯量(2.5トン)の2/3を投入し溶解をする。次いで溶湯中に金属珪素を添加、粥状になったところで、銅・ニッケル・マンガンなどを投入し、さらに、場内回転材、不良廃却品、切粉再生地金などを投入・昇温する。溶湯温度が700～750℃になったところでマグネシウム塊を添加・攪拌する。最後に酸化防止のためフラックス(Flux)を溶湯表面に散布して所定温度(750～800℃)に昇温する。

(8) フラックス(Flux)は酸化防止のため加熱昇温時、溶湯表面に散布して、被覆する方法で用いられ、その材質は表4.2.2-3に示した溶剤の#3が用いられる。

(9) 集中溶解をしていない異種アルミニウム合金材を用いた少ロットの縛物は1回の溶解量は少ないので、保温炉で直接溶解される場合がある。

1.1.2 設 備

- (1) 溶解炉は2.5トンの容量で、625kg/Hの溶解能力を持つ固定式反射炉である。燃料は比重0.848のディーゼル油を使っている。出湯はタップホール(tap hole)で行われる。
- (2) 溶解炉は3基あり、このうちの2基で交互に溶解と出湯を行う。他の1基は改修時などに使用する予備炉であり、平常は使用されていない。また、使用中の炉は自社製で、1985年に製造され約1年に1回の割合で改修が行われる。
- (3) 反射炉は原材料の投入とバーナーなど炉体のほとんどは屋外(屋根付)に位置し、出湯口のみ屋内にある。
- (4) 表1.1.2-1に当該工場で使用されている耐火断熱材料を示す。
炉壁材はこの中の耐火煉瓦のみで断熱材料はほとんど使用されていない。
- (5) 炉は開放部が多く、バーナータイル(burner tile)がないため、冷気を吸い込む構造となっている。バーナー(burner)点火時、爆発的に着火し、その衝撃で炉体に損傷を与えることも考えられ、また安全上からも問題になる。
バーナー調節は人手によるため、操作ミス(mistake)で黒煙をあげ、無駄に燃料を使い、作業環境を悪くしている。このことが炉を屋内へ設置することを困難にしている原因の一つとなっている。
- (6) 配湯に使われる取鍋は予備加熱や保温が行われておらず、固化したアルミニウム塊や滓の付着が多く、溶湯の汚染の一因ともなっている。
- (7) 溶解作業場は半ば屋外ともいえる所であり、床は鉄の板が敷かれているが、平坦ではない。また粉じんが多いため、作業環境を悪くし、汚染による溶湯品質の低下も考えられる。

表1.1.2-1 構造物に使用されている耐火・断熱材料

	名 称	形 状	使用目的	耐火度 SK ℃	使 用 箇 所		
					溶解炉	保温炉	取 鍋
1.	粘土耐火煉瓦	定形	耐火	1,700	○	○	
2.	珪酸アルミニウム繊維	不定形	断熱	1,100		○	
3.	コークス粉	不定形	断熱	1,600			○
4.	耐火粘土	不定形	断熱	1,600			○

1.1.3 技術

- (1) 溶解炉内に滓の堆積がいちじるしく、十分な攪拌と除滓が行われていないようである。
- (2) 次の溶解までの時間が長く、出湯後炉を休止させるため炉体温度が低下する。次の溶解時に再び炉体への吸熱が起り、無駄に加熱している。
- (3) 地金の投入は1本ずつ、また、場内回転材はショベル(schvel)で投入しているために、原材料の投入の時間が長く、この間加熱していないので、炉温の低下が進む。
- (4) 溶湯攪拌および除滓を人手で行っているが、高熱作業であるため十分な作業を困難にしている。
- (5) 溶湯の成分分析は溶解炉で行われず、保温炉へ配湯後にサンプリング(sampling)して行われている。
- (6) 成分分析は化学分析(湿式)で行われており、1回の分析は合金元素の4種類(Si, Cu, Mg および Ni あるいは Mn) と不純物元素の1種類(Fe)のみである。
- (7) 成分分析は化学分析であるので、分析に時間を要し、溶湯の合金成分量や不純物量の良否の判定は行われていないことになり、確認だけの分析となっている。
- (8) 図1.1.3-1および図1.1.3-2にそれぞれ ZL108 および ZL110 合金のこの3ヶ月間における溶湯の成分分析値の分布を示す。
合金元素の Si, Cu, Mg の量が規格より外れる場合がある。
- (9) 溶湯の温度制御が人の勘による操作のため、溶湯の過熱が起きることがある。調査時に測定した一例を図1.1.3-3に示す、2回の測定値を示すが、1回は出湯時 940℃であった。

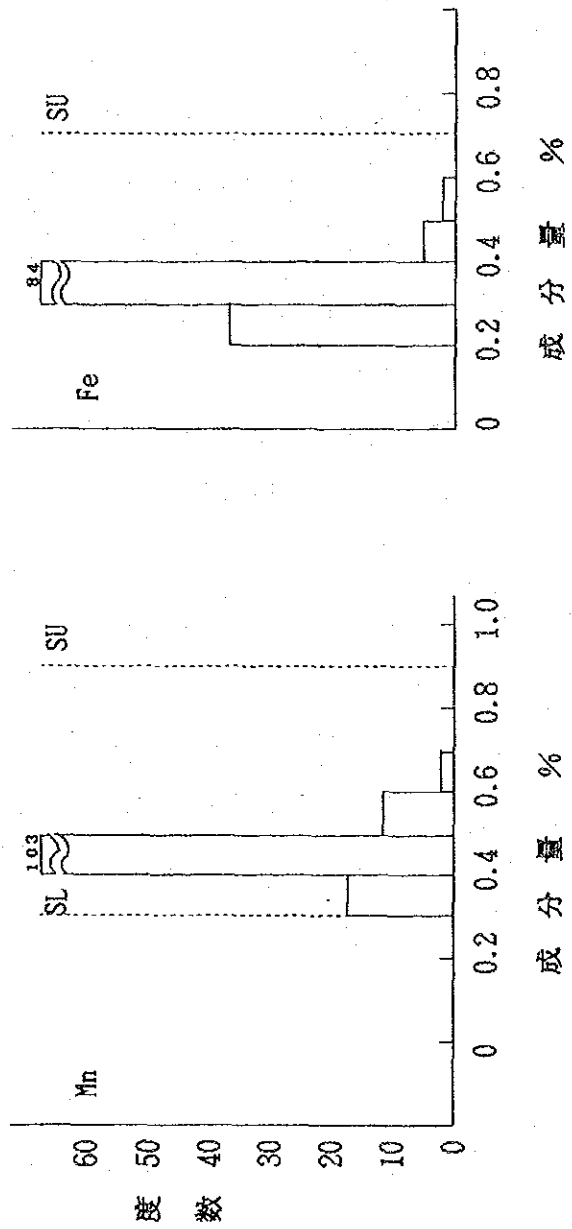
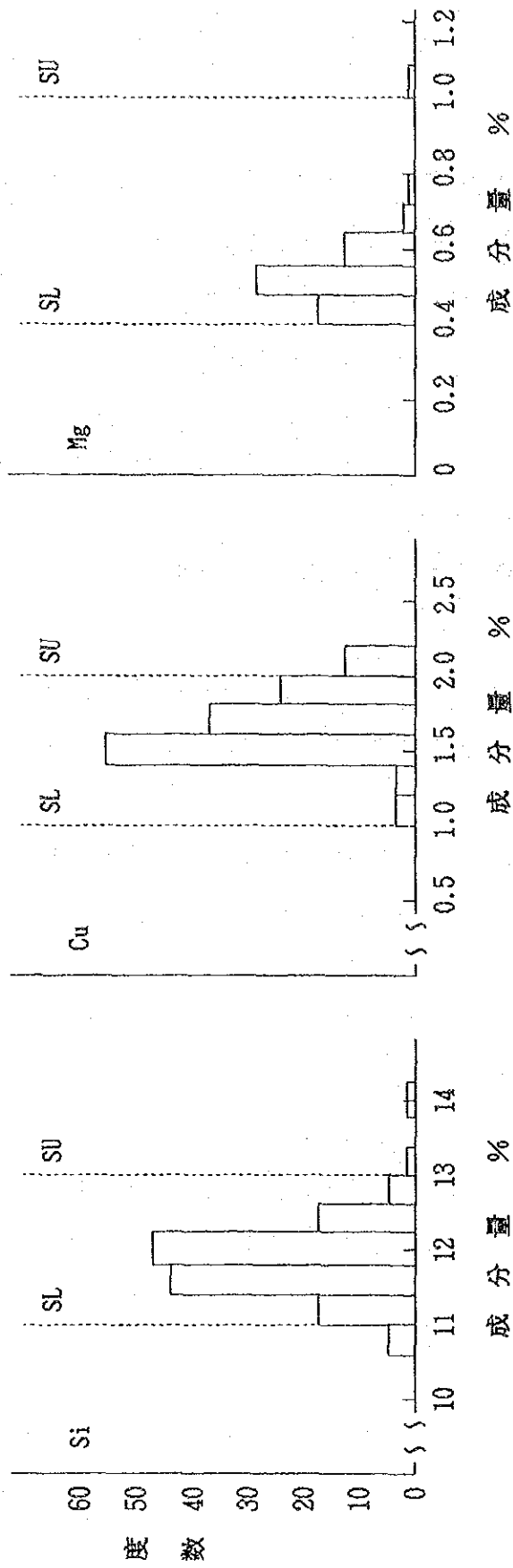


図1.1.3-1
ZL108 合金溶湯の3箇月
間の成分分析値

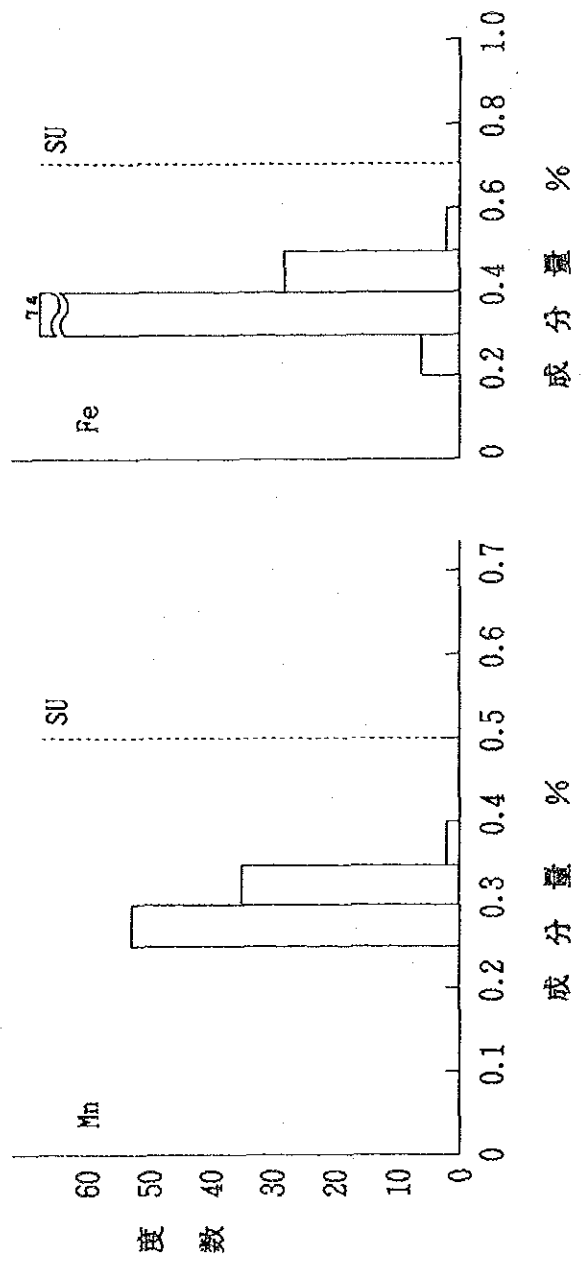
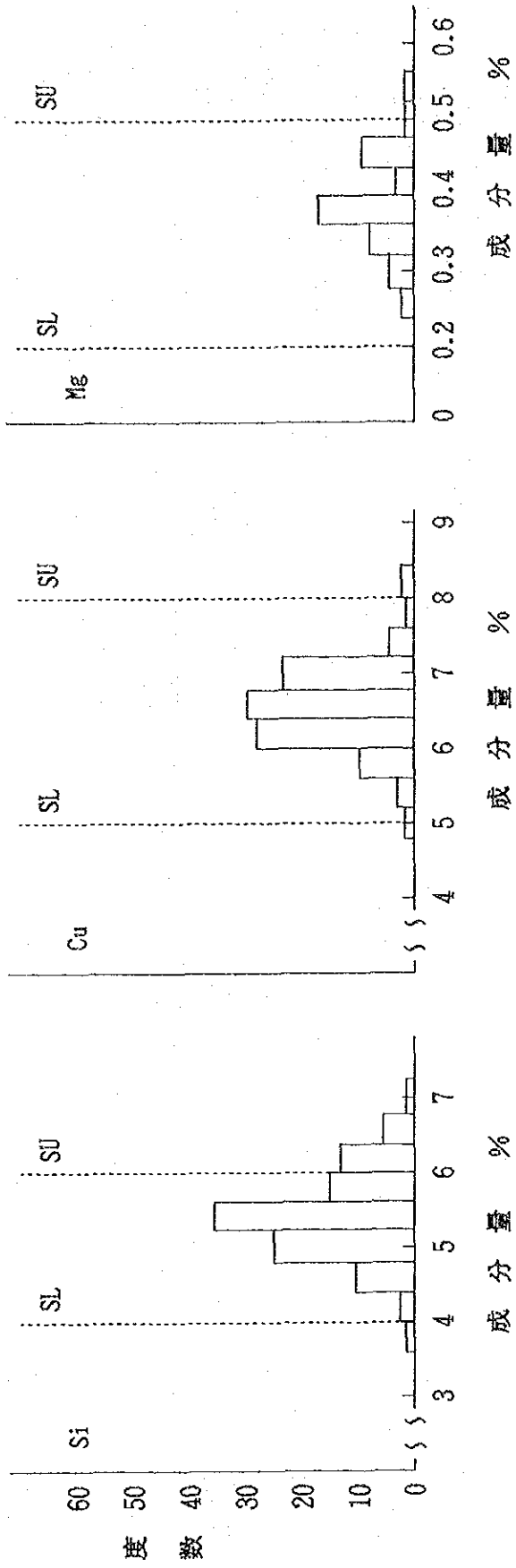


図1.1.3-2

ZL110 合金溶湯の3箇月間の成分分析値

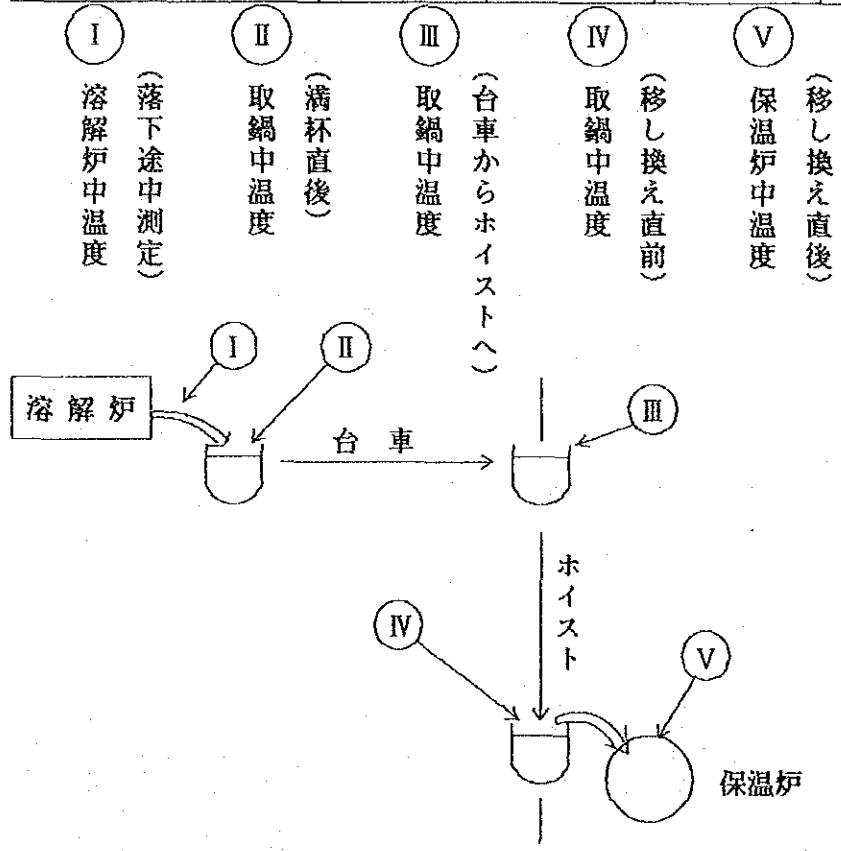
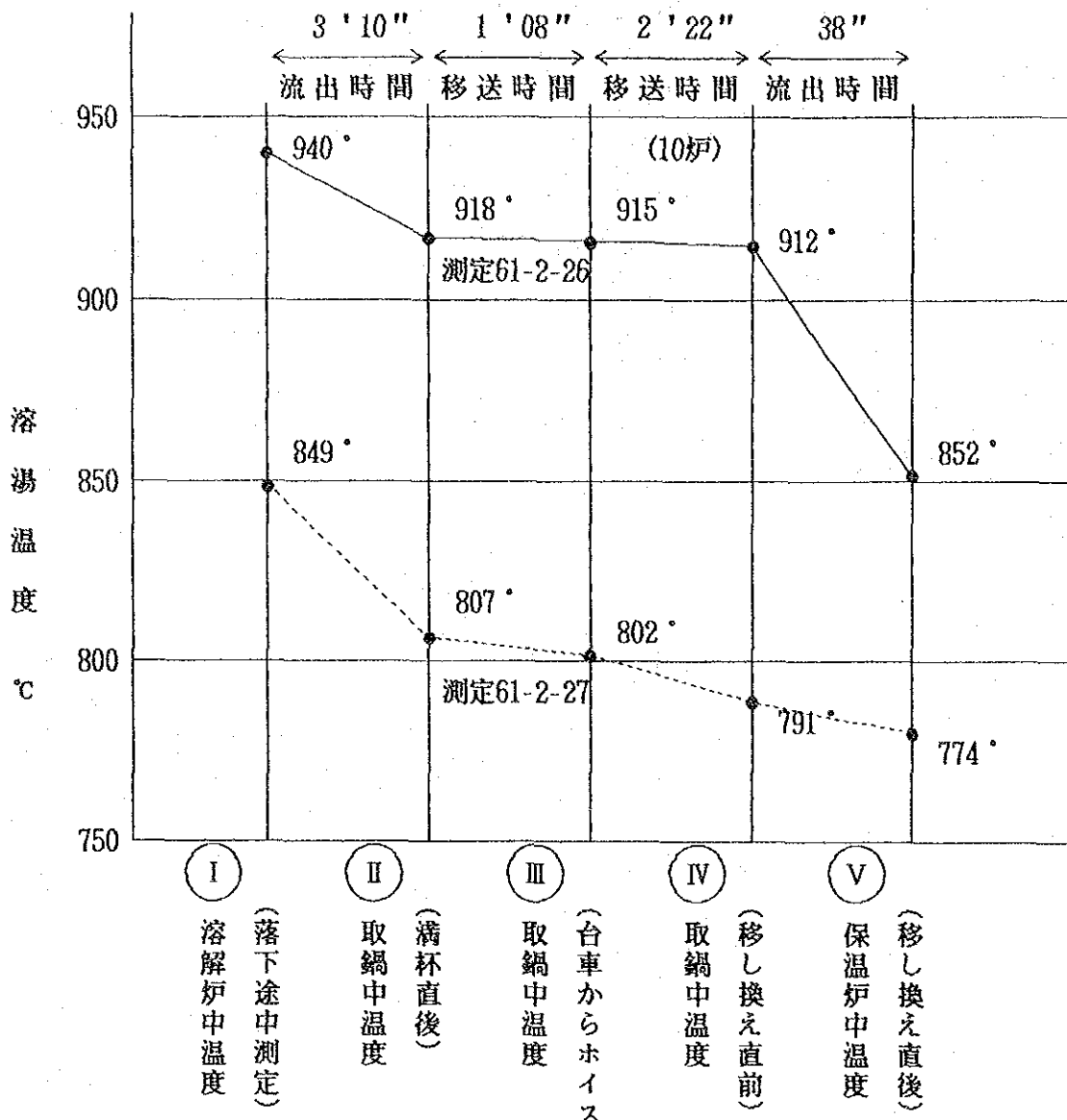


図1.1.3-3 配湯途中の溶湯温度変化

1.1.4 その他

- (1) 調査時に溶解炉の休止がよく観察されたので、溶解炉の操業状況について調査した。

年間のアルミニウム合金溶解量および1回の溶解の量から計算して、1日の溶解回数は溶解炉2基で4～5回である。

したがって、1回の溶解・保持の時間は

9.6～12時間/回である。このうち、4時間は溶解時間であるので、

残りの5.6～8時間は保持時間となる。

2.5トンの溶解量は6基の保温炉に対して2回分の量である。したがって出湯1回でまず1/2の溶湯を出し、残りの溶湯は4時間(以内)保持後に出湯される。

そうすると、残りの1.6～4時間は空の状態にあり、炉は停止状態におかれることになる。

このように、現状の設備の能力は必要溶解量に対して過剰の状態となっており、断続的に操業しなければならず、エネルギーを有効に利用できないことが分かる。

- (2) 溶解炉の燃料は溶解と保持に消費されるが、図4.1.2-1に示すようにアルミニウム合金1トン当り平均173kgが使われる。この燃料の消費が仮に溶解のときにすべて起るとして溶解の熱収支を計算すると表1.1.4-1に示すように、燃料の15.7%が溶解に使われたことになる。

- (3) 1つの炉について溶解時の流量を測定した結果、20分間で44.76ℓであった。2.5トンの溶湯を作るために約4時間加熱を続けなければならないので、単純に熱収支を計算すると15.0%が地金の溶解に使われたことになる。一般的な重油反射炉の熱効率は(40%にも達するといわれる省エネルギータイプ(energy type)の炉を除いて)15～25%といわれ、現状の設備は重油反射炉としては低い位置にある。

(4) 切粉再生の実態について

切粉屑の再生は自社内で行われており、以前は簡単な反射炉タイプの炉で溶解されていたようであるが、現在は坩堝による溶解が行われている。

切粉再生によるアルミニウム合金の回収率は例えば

1984年度

切粉投入量	回 収 量	回収率
277,371 kg	208,028 kg	75.0%

であり、効率よく回収されていない。

また、回収に伴う化学成分の変動は記録からは酸化消耗するマグネシウムが減少しており、マグネシウムの残存量は ZL108, ZL109合金が0.25%, ZL110合金が2%となっている。珪素、銅およびマンガンは再溶解によって変動することはほとんどないが、不純物の鉄量の増大が認められないのは不思議である。ここに示されたデータは以前の反射炉タイプの炉で溶解されたときの結果と考えられる。

このほかの切粉再生の溶解作業の実態についてみると、

切粉を保管する建屋があり、合金別に分けられてはいるが、生産量の多い合金の切粉は収納しきれず大半は屋外に積まれている。

溶解により発生した滓もまたすべて屋外に置かれている。屋外に置かれていることにより、切粉や滓の粉じんや湿気による汚染が考えられる。

溶解に鉄坩堝を用い、燃料にはコークスを用いており、静置したままゆっくりと溶解している。このことから溶湯附近の切粉は酸化が進行し、酸化ロスによる回収率の低下が考えられる。

1回の溶解量は300kgである。鉄坩堝容量が250kgであるので、まず250kgを溶かし、50kgを取出して固め切粉再生地金とし、そのあと、溶湯に50kgの切粉を追加して溶解するのが1回の工程である。

表1.1.4-1 溶解炉の熱収支計算

	合金溶解量 ton	溶解熱 (A) ×10 ³ Kcal	柴油消費量 kg	燃焼熱 (B) ×10 ³ Kcal	ton 当り油 消費 kg/ton	(A) / (B) × 100 %
1 月	260.15	70,864.9	45,578	455,780	175.2	15.5
2 月	288.3	78,532.9	51,317	513,170	178	15.3
3 月	233.62	63,638.1	39,248	392,480	168	16.2
4 月	295.6	80,521.4	49,010	490,100	165.8	16.4
5 月	257	70,006.8	43,433	434,330	169	16.1
6 月	260.1	70,851.2	44,867	448,670	172.5	15.8
7 月	151.1	41,159.6	29,011	290,110	192	14.2
8 月	163.5	44,537.4	29,643	296,430	181.3	15.0
9 月	313.2	85,315.7	51,114	511,140	163.2	16.7
10 月	269.25	73,343.7	45,476	454,760	168.9	16.1
11 月	261.5	73,232.6	47,724	477,240	182.5	14.9
12 月	245.3	66,819.7	43,663	436,630	178	15.3
合計 及び 平均	2998.62	816,824.1	520,084	5,200,840	173.44	15.7

溶解熱の計算 : 重量 × { 93 + 0.23 (800-20) }

柴油発熱量 10,000 Kcal/kg

溶解熱 93 cal/gr 比熱 0.23 cal/g .°C 溶解温度 800 °C

1.2 改善策

1.2.1 改善点の総括

溶湯精製における操業について

将来、ピストンの生産個数を年産 200万個とする計画がある。図1.2.1-1に示すように生産されるピストンを機関別に分けると50%はディーゼル用ピストンであり、次いで、33%は自動車用ピストンである。この2者を合わせると全体の80%以上を占める。

この2種類の機関のピストンに使用されるアルミニウム合金鋳物用材料はZL108あるいはZL109G合金であり、この2種類の材料の使用量が将来大巾に増えると予測される。

年産 200万個体制の操業時には同じ合金の鋳物が集中的に生産され、同じ合金が連続的に溶解されるとして設備を見直すことにする。

また、現状の年間の溶解量は図4.1.2-1で示すように約 3,000トンであるが、年産 200万個体制下では 5,000~6,000 トンの溶湯が必要であるとして考察する。

稼働日数を年間 280日とすると1日の溶解量は21.4トンとなり、2.5トン炉2基で賄うとして、1日の溶解回数は 8.6回、1回の溶製時間は 5.6時間となる。したがって、溶解時間を4時間とすると 1.6時間で配湯、炉内清掃および材料投入を行うことになる。

そこで、調査を通じて判明した溶湯精製工程における現在抱えている問題点の総括と必要な改善策は以下の通りである。

(1) 機動力の活用

まず、現状でも問題であり、将来さらに大きな問題となるのは作業のほとんどが人力によることである。溶解工程における作業は高熱の環境下で行われる。高熱下では、作業者の体調により作業の確実性が大きく左右され、ひいては品質のバラツキを大きくすることになる。

したがって、高熱作業の労働負担を軽くすること、すなわち、機動力を充分に活用することによって作業の省力化を図ることである。

具体的な方策としては表1.2.1-1に示すように溶解作業における運搬・秤量・投入・攪拌・除滓、配湯の各作業を1台のリフトカー（lift car）と各作業専用治工具を組合わせることによって達成することができると思う。

(2) 切粉再生の回収率向上

第二に生産量増大に伴う切粉処理の問題である。表1.2.1-2に日本国のある切粉再生工場における1年間の回収率の実績を示したものである。

合金Aにおいては約80%、合金Bにおいては87%の回収率である。合金Bは乾式切削の切粉であるのに対し、合金Aは水溶性切削油を含む切粉である。7%の回収率の差は切粉が水分を多く含むかどうかの差により生じたものと考えられる。

合金A・Bともに溶解前の積極的な乾燥はしていない。

当該工場における75%と合金B87%の場合の相違点をみると、下記のとおりである。

- a. 急速溶解であること
- b. 昇降・可逆回転する攪拌装置を用いていること
- c. 溶湯と切粉を混練し、こまめに切粉補充をしていること
- d. 懸濁状態で満杯にし、その後昇温していること
- e. 溶湯処理で生じた滓はただちに灰しぼり機にかけ、溶湯を回収していること

合金Bの回収率87%は当該工場の目標とする90%にはわずかにおよばないが、列記した相違点事項を実施すれば87%レベルへは容易に到達できる。さらに回収率を向上させるには切粉の充分な乾燥と異物混入防止、例えば鉄屑の除去などがある。

以上、回収率向上のための改善点をまとめると次のとおりである。

1. 切粉の乾燥 → 乾燥装置の設置
2. 鉄屑除去 → 磁選機 *
3. 迅速な溶解 → 急速溶解炉 "
4. 酸化防止 → 混練装置 "
5. 溶湯回収 → 灰しぼり機 "

6. 切粉汚染防止 → 野積み前に回収

* 耐摩環切粉は磁石につかないので除去はできない。

なお、燃料消費の低減については 1.2.2 項で、溶湯品質の向上については 1.2.3 項で述べる。

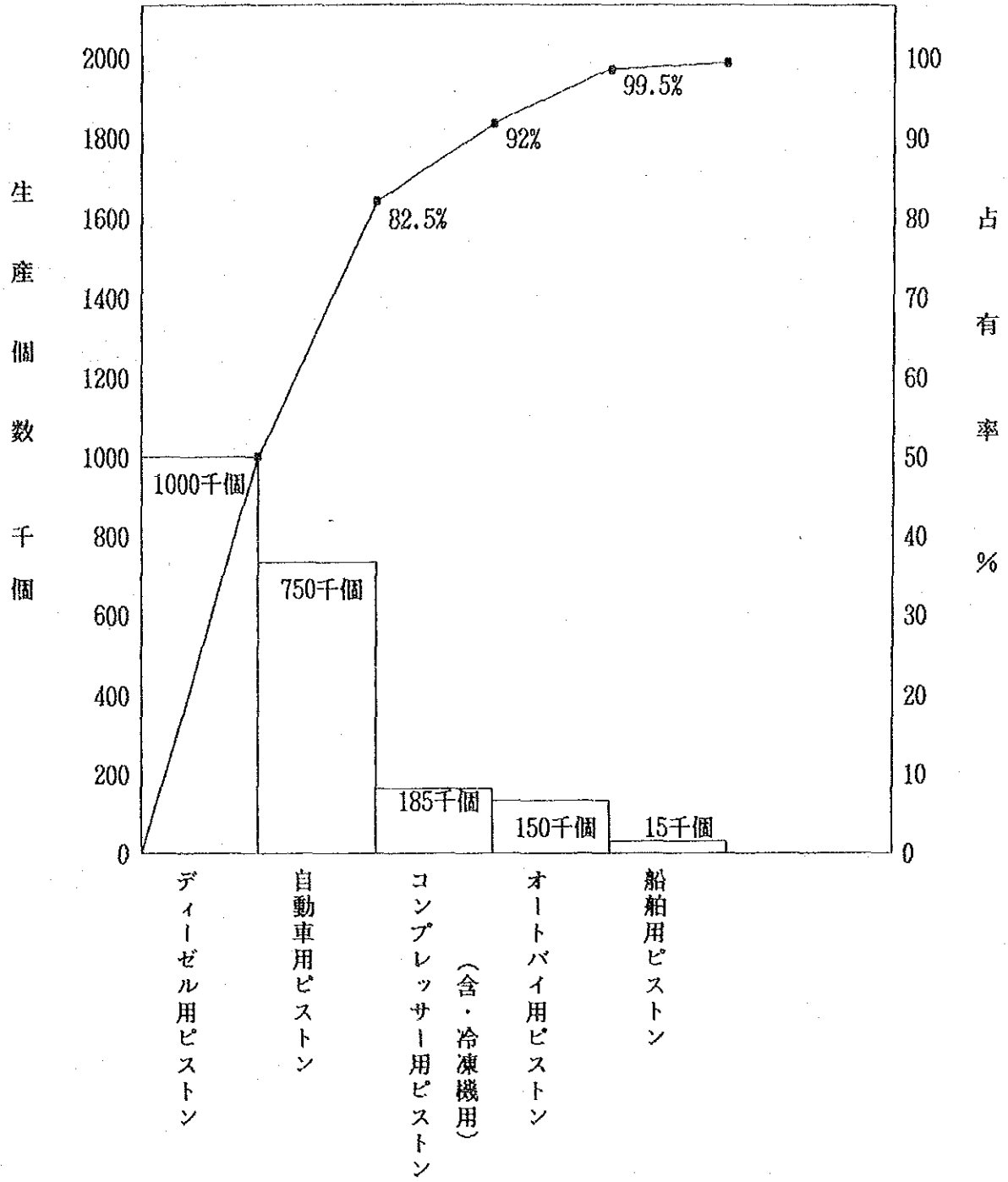


図1.2.1-1 機種別ピストンの生産予測

表1.2.1-1 溶湯精製工程における機動力の活用

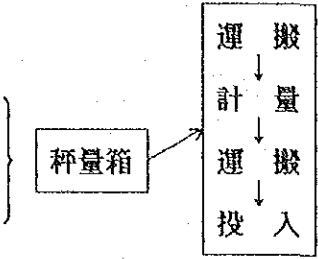
	機動力適用箇所	機械化方法	有効性
1	<p>原材料の投入作業</p> <p>地金 原料 場内回転材 不良品</p> 	<p>リフト カー 一台 および 個別 治 工 具</p>	<p>確実な計量</p> <p>安全な運搬</p> <p>迅速な投入作業</p>
2	<p>攪拌作業</p> <p>珪素添加後における マグネシウム添加後における</p>		<p>酸化消耗防止</p> <p>溶湯成分の均質化</p> <p>迅速・確実な作業</p>
3	<p>除滓作業</p> <p>マグネシウム添加、攪拌後における 溶湯処理後における 出湯後における</p>		<p>迅速・確実な作業</p> <p>配湯溶湯への流出 防止</p>
4	<p>配湯</p> <p>取鍋運搬</p>		<p>保温炉配置の 自由度が大である</p> <p>配湯時間の短縮</p> <p>ピット(pit) 不要による 安全性向上</p>

表1.2.1-2 ある切粉再生工場におけるアルミニウム合金の回収率

月	回収率 %	
	合金 A	合金 B
1	81.2	87.2
2	79.3	87.1
3	78.4	87.4
4	74.4	87.3
5	80.6	87.2
6	79.8	87.1
7	80.9	87.4
8	80.7	87.1
9	81.0	87.2
10	80.3	87.1
11	79.2	86.7
12	79.6	87.1
\bar{X}	79.6	87.2
R	6.5	0.7

重油坩堝炉

500 kg 黒鉛坩堝

攪拌装置付

灰しぼり機使用

1.2.2 燃料消費の低減

(1) 連続操業による低減

燃料を有効に使うことを考えたとき、1.1.4項で指摘したように炉の休止時間を無くして連続操業ができれば炉体の再加熱のための余分の燃料を使わなくてすむ。

連続操業の可能性について検討してみた。

将来、年産 200万個への倍増が計画されている。この時の溶解・配湯パターンの例を図1.2.2-1に示す。この例からわかるように2基の炉を用いて1日8回の溶解を必要とする。このため、現状のような配湯後の休止時間はなくなる。

また、確実に連続溶解をすることによって、平常、遊休となっている予備炉は不要となる。常時使用する溶解炉において突発の故障による停止をなくす努力がたえずなされ、溶解炉の信頼度も高くなる。突発故障がなくなることによってまた、定期的な改修や補修の計画を立てることができるようになる。長期休日を利用して年2回程度の局部補修、3～4年に1度の大改修をすることによって、平常時の稼働率を向上させることができる。

(2) 信頼性の高い高効率溶解炉

したがって、溶解炉としては、まず、信頼性の高い炉であることが必要であり、高効率の炉であるためには

- 炉体を通して逃げる熱を減らすために、断熱材を有効に利用して保温を図ること
- バーナー口からの冷気の吸い込みをなくするためバーナータイルを設けること
- 炉内圧の調整ができるように煙道ダンパーを設置すること
- 溶湯反応の少ない高アルミナ耐火煉瓦を炉底や炉壁に用い、滓の付着を防止する

(3) 機動力の利用

原材料の投入、溶湯攪拌および除滓作業時の長時間のバーナー停止、炉蓋開放の時間の短縮を図る。これは外気流入から生じる温度の低下を少なくするためであり、リフトカーなどの採用により機動力を活かすことによって作業時間の短縮を図るのである。

(4) 排熱利用

燃焼熱の50%は排ガスと一緒に放出される。この排熱を地金、場内回転材、不良廃却品など冷材の予熱用として有効利用する。また、レキュペレーター（recuperater）を用いて燃焼用空気の予熱をして、熱効率の向上を図る。

(5) 計測器の活用

燃焼熱を有効に利用するには計測器を用いて的確にコントロールすることである。

溶湯の無駄な過熱の防止、燃料消費量の正確な把握による異常発生防止、原料の正確な秤量による成分調整をくり返すことの防止などに適用できる。

これには手軽に正確な温度測定のできる測温装置、容易に計測できる場所への燃料流量計の設置、正確な秤量計と計量容器の採用などによって達成することができる。

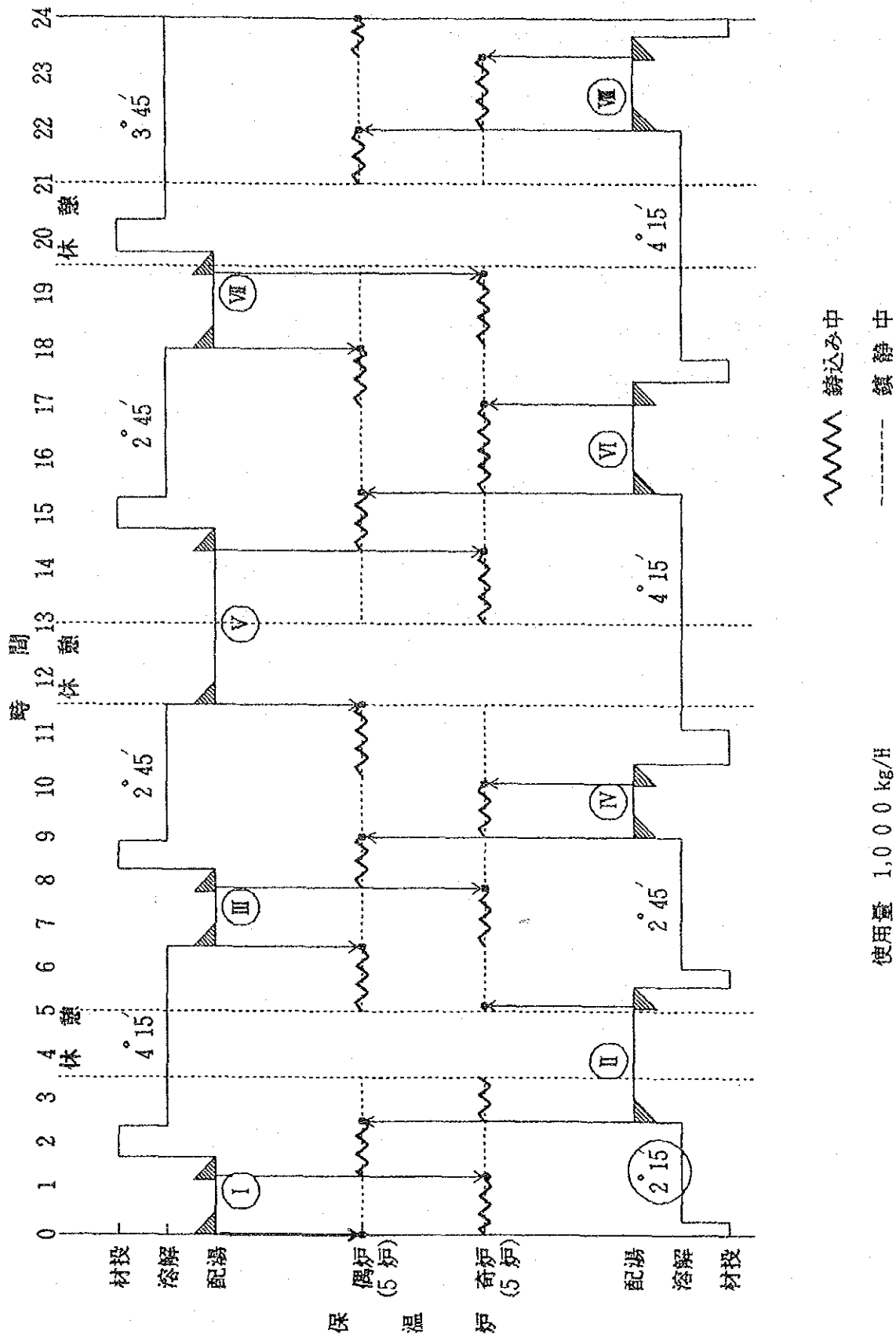


図1.2.2-1 ピストン年産200万個時の溶解・配湯パターン例

1.2.3 溶湯品質の向上

(1) アルミニウム合金の購入

溶製された溶湯の品質がこれを使って鑄造された鑄物の品質に大きな影響を与える。したがって、溶製された溶湯を次工程の鑄造に対しいかに品質保証するかということは大変重大なことと認識しなければならない。現在、日本国ではピストンメーカーは地金メーカーが品質保証した地金を購入し、厳重な受入れ検査をして合格したものを使っている。

したがって、この地金を作業標準に従って再溶解し、鑄込むことにより安定した品質の鑄物を得ている。

当該工場においても、今後同一材質の材料が大巾に増大する方向にあるので、将来アルミニウム精錬メーカーにおいて、合金化をした材料を購入することを提案したい。

(2) 炉前分析の実施

当該工場にて合金化するに際しては使用される原料は品質の明確なものである。まず正確な配合をすることは重要なことである。

しかし、さらに重要なことは今、溶製している溶湯が成分規格を満足しているかどうか、満足していなければたぐちに成分調整をして規格を満足させる。このようにして品質の保証できる溶湯をまず作る必要がある。

現状においては1.1.3項で述べたように、製品規格を満足させていない。これは炉前分析を実施していない結果と考える。

したがって、原料配合により合金化する以上は必ず炉前分析を行うことが必要である。

炉前分析を実施するにはカントメーターあるいはカントバックを導入し、サンプリング後5分以内に分析結果が得られる体制にすることを提案する。

(3) 溶湯の過熱防止

次に大きな改善点としては溶湯の過熱防止がある。溶湯温度が高くなるほど溶湯のガス(gas) 吸取量が多くなり、酸化が促進され、滓の発生が多くなる。現状では1.1.3項で述べたように溶湯温度が900℃を越えることがあり、人の勤による制御から、計測器による制御への転換が必要である。

(4) 溶湯の加熱温度を下げる

溶解温度は標準として750~800℃とされている。しかし、実際には保温炉における温度が750℃(調査時)であり、約60℃の配湯途中における温度低下があるので、出湯時の温度は最低で810℃である必要がある。

このように、溶解温度を低く設定することは有意義であるが、現実には守ることは困難である。

そこで、溶解温度を低くするにはまず第一に配湯途中の温度低下を小さくする、すなわち保温性の良い取鍋を使って、迅速に配湯することである。

第二に保温炉の保持温度が下げられないかということである。これは後述の2.1.1項で述べるように保持温度を20~30℃下げることが可能であるので、保持温度を下げることによって標準の750~800℃を守ることができる。

(5) 計測器の利用

次いで、溶解温度の750~800℃にいかにかに制御するかということである。計測器による溶湯温度の測定を容易にするにはアルミニウム溶湯に対し耐久性のある熱電対保護管が必要である。

良質の炭化珪素(SiC)保護管を用いることにより、溶湯への断続浸漬でも十分に耐えるので、計器測定が可能である。機械的衝撃による破壊への対策をすることにより、半年以上の使用実績を得ている。

(6) その他の改善事項

この他の溶湯の品質を確保するための改善事項を以下に示す。

○ 原料の取扱い

原料置場の改善： 粉じんあるいは雨水による汚染防止
原料名や置場の明記による混入防止

配合原料の入れ物の使用：

(あるいは計量容器) 粉じん等の汚染からの防止
混入防止
計量精度の向上が図れる

○ 作業環境

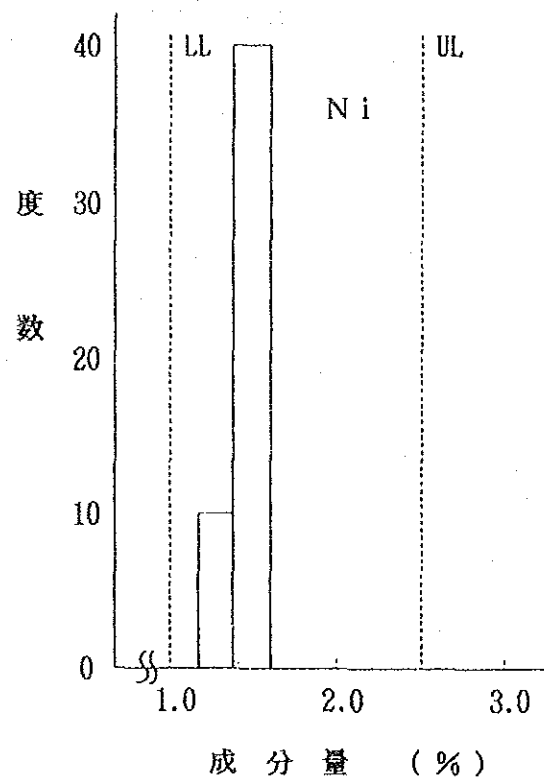
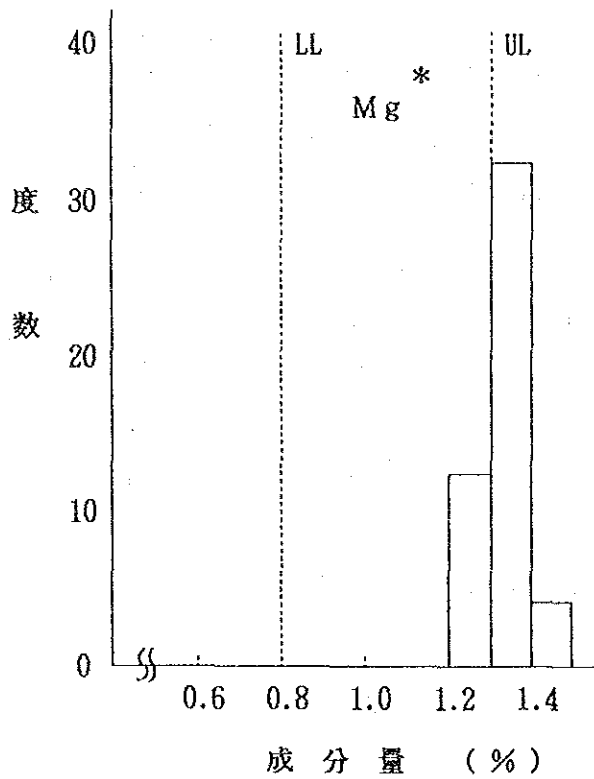
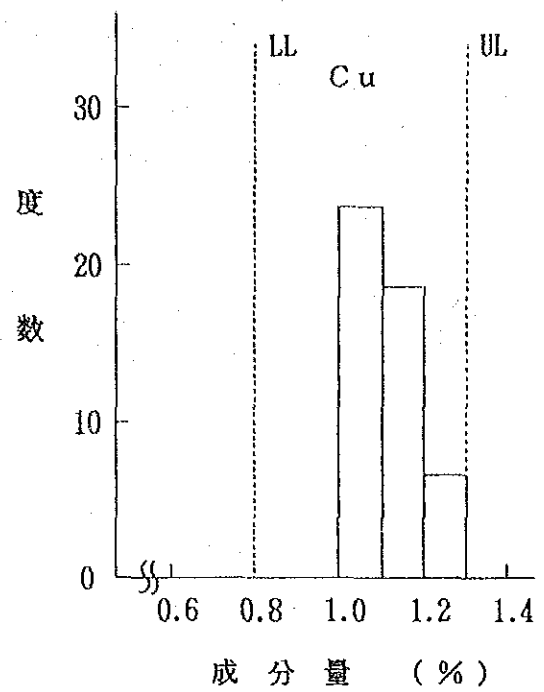
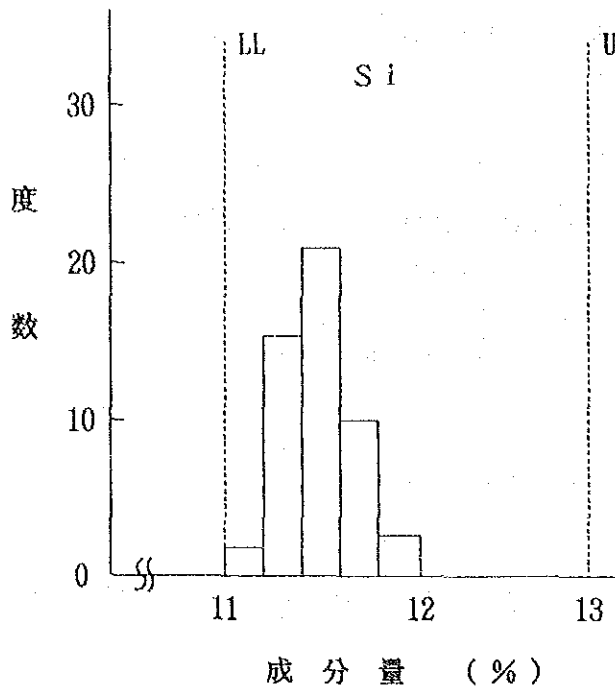
溶解作業を屋内作業に： 気象条件に左右されない安定した操業が可能
となり、品質の安定化が図れる。

○ 溶湯攪拌作業

十分な攪拌： 配合原料の均一化
溶湯処理における溶湯反応の促進
取鍋精練の利用

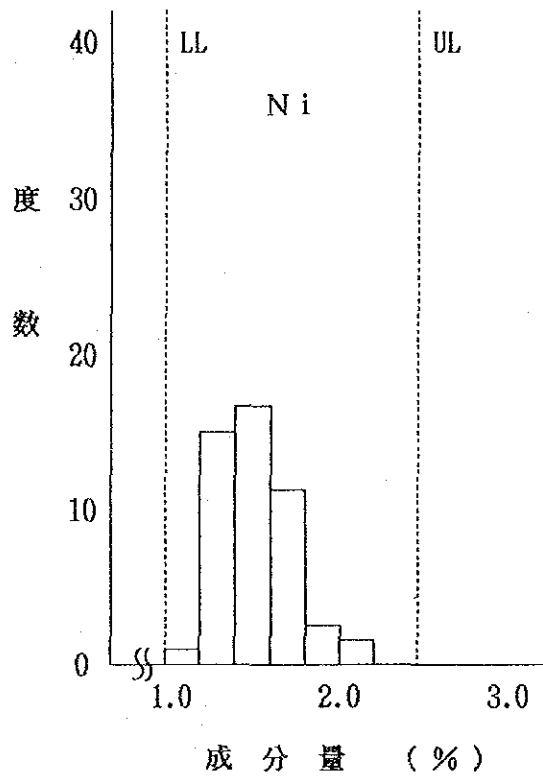
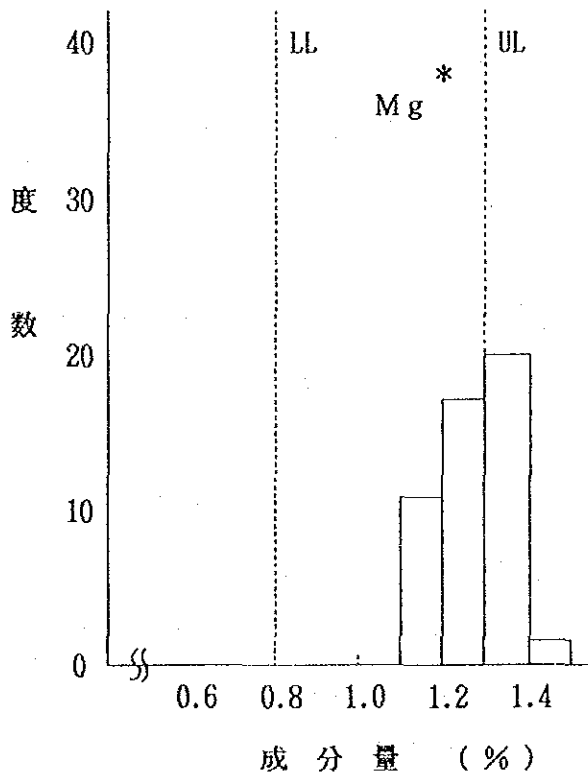
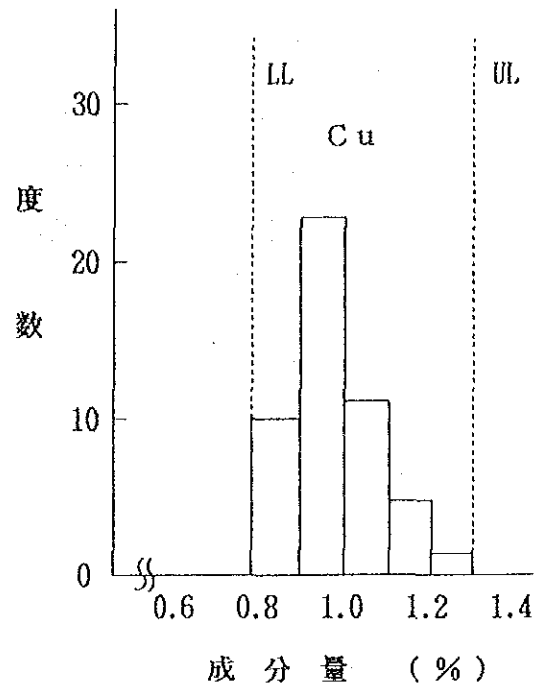
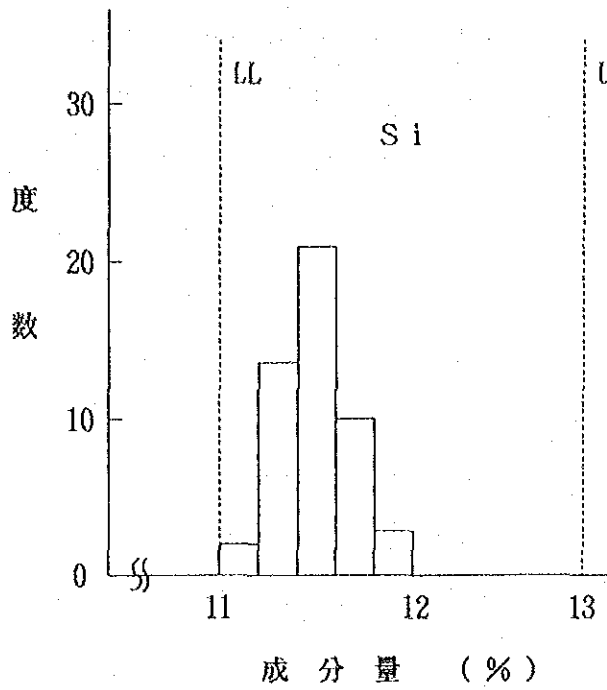
○ 除滓作業

確実な除滓： 残渣の後工程への流出防止



* Mg は溶解による消耗分 0.3%を上乗せして配合されている。

図1.2.3-1 アルミニウム合金地金 (C8AV) の入荷地金の成分量 (N=50)



* Mg は溶解による消耗分 0.3%を上乗せして配合されている。

図1.2.3-2 アルミニウム合金地金 (C8AS) の入荷地金の成分量 (N=50)

1.3 参考資料

以下に示す資料は本文中で引用した表・図・写真の表題をまとめたものである。これらは現地調査に先立ち、計画書に付した質問状に対する回答、現地調査時に提出された資料と現地で採取したデータ（data）、関連する文献、他工場の資料からの引用データ・参考資料である。

- ① 表1.1.2-1 構造物に使用されている耐火・断熱材料
質問状の回答資料を記す。
- ② 図1.1.3-1 ZL108 合金溶湯の3箇月間の成分分析値
- ③ 図1.1.3-2 ZL110 合金溶湯の3箇月間の成分分析値
②, ③は現地調査時に提出された記録を整理して示す。
- ④ 図1.1.3-3 配湯途中の溶湯温度変化
現地調査での測定データを記す。
- ⑤ 表1.1.4-1 溶解炉の熱収支計算
現地調査時に提出された資料のまとめとそのデータに基づいて算出した結果を記す。
- ⑥ 図1.2.1-1 機種別ピストンの生産予測
現地調査時に提出された資料に基づいて作成した。
- ⑦ 表1.2.1-1 溶湯精製工程における機動力の活用
現地調査の結果に基づいて作成したまとめを記す。
- ⑧ 表1.2.1-2 ある切粉再生工場におけるアルミニウム合金の回収率
先進工場における記録を参考資料として記す。
- ⑨ 図1.2.2-1 ピストン年産200万個時の溶解・配湯パターンの例
現地調査の結果に基づいて作成したまとめからの例として記す。
- ⑩ 図1.2.3-1 アルミニウム合金地金(C8AV)の入荷地金の成分量
- ⑪ 図1.2.3-2 アルミニウム合金地金(C8AS)の入荷地金の成分量
⑩, ⑪は先進的工場での使用地金について参考として示す。

2. 鑄造、熱処理

2.1 調査内容

2.1.1 鑄造設備と生産性

- (1) 鑄造に必要な主な生産設備としては溶湯保温炉と鑄造機および湯口切断機がある。

溶湯保温炉は容量 250kg のセラミック (ceramic) 系ヒーター (heater) による電気抵抗坩堝炉であり、14 台保有する。平常使用される炉の数は 9 台で、残りの炉は坩堝乾燥あるいは遊休となっている。

鑄造機としては機械化された鑄造機 (自動鑄造機) が 1 台と溶湯鍛造機が 2 台あるが、主として使われているのは手込方式 (手動鑄造機) であり、12 台保有する。

自動鑄造機で鑄造されるピストンの機種が少なく、調査時は量産ピストンの鑄造が計画通り終って他機種の鑄造試験に使われていた。

溶湯鍛造機は 2 台とも遊休機であった。

手動鑄造機は 9 台が 3 交代でフル (full) に使われていた。

- (2) 鑄造作業場における設備の配置について調査した。(第 II 章図 4.2.1 - 1 参照)

14 台の溶湯保温炉は一行に並べて配置されている。これは配湯取鍋を運搬する電動ホイストが直線的に移動するためである。

また、溶湯鍛造機、自動鑄造機、手動鑄造機のすべての鑄造機は炉の片側に一行に配置されている。

鑄造機と保温炉の間には保温炉に近接してコンクリート製の壁があり、鑄込作業者はこの壁を背にして作業をするように配置されている。

コンクリート壁は炉の熱を作業から遮断するためと思われる。しかし、複数の作業者が同時に湯汲み作業しなければならないときがあるが、同時に湯汲みすることは困難な構造になっている。

- (3) 手動鑄造機におけるピストンの鑄造方案は頂部が下で、スカート (skirt) 部を上にした方法 (倒立方法と呼ぶことにする) で鑄造される。
- (4) 手動鑄造機における金型の構造は次の通りである。

下型はピストン頭部を形成する金型であり、鑄造機のベース(base)に取付けて固定される。この上に左右に開閉する2分割の主型が乗る。主型の中にくっかに分割された(95系列ピストンでは7片)中子型が組み込まれて一つの金型となる。

(5) 下型は型温の上昇を抑制するために水冷構造となっている。

中子型のサイドコア(side core)とフリッチコア(frizz core)は作業者の手で水に浸漬して冷される。主型は強制冷却をしていない。

(6) 調査時に測定した金型温度を図2.1.1-1に示す。湯口と押湯間の(I)の箇所の型表面温度は注湯直後に測定した値が平衡時で400℃を超えている。このことから、押湯部の凝固は製品部に比べ必要以上に遅くなっていると考えられる。

(7) 手動鑄造機による95系列ピストンの鑄込時の諸条件の実測値を次に示す。

(注湯時間)

金型へ注湯を始めてから完了するまでの時間を同一作業者について、5回測定した結果は次の通りである。

6.15～6.62秒 平均 6.44秒

この注湯時間は作業標準(7～9秒)に大略従っているが、流入溶湯の乱流防止の観点からは注湯速度を遅くし、作業標準に合わせることが望ましい。

(凝固時間)

注湯を完了してから型開きを始めるまでの時間を凝固時間として、同一鑄造機で連続5ショットを測定した結果は次の通りである。

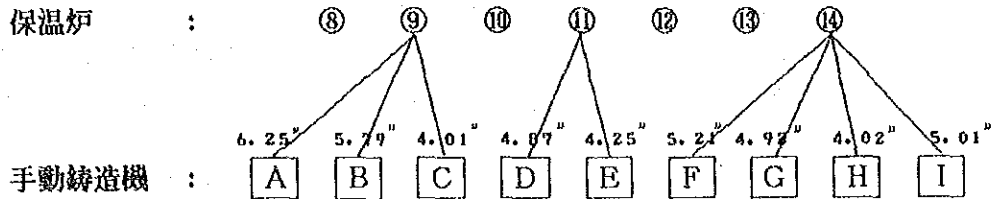
31.75～36.71秒 平均 33.74秒

手動鑄造機においては、金型を冷却していることと塗型剤として熱伝導の良い黒鉛粉を用いているために凝固時間が短い。

凝固時間がショットごとに変動するのは、押湯部の凝固の進行状況を見て型開きをしているためである。

(湯汲み時間)

保温炉より溶湯を汲み上げてより注湯を始めるまでの時間を測定した結果は次の通りである。



4.01～6.25秒 平均 4.93秒

注湯のために2台の炉を一对にして交互に使用しているが、この時のように残湯量の違いによって遠くより湯汲みをする場合もあって時間は一定ではない。

(1人の作業者の鑄造サイクルタイム (cycle time))

平常作業時において次の注湯開始までの時間を鑄造の1サイクルとして、連続5ショットを測定した結果は次の通りである。

87.92～94.36秒 平均 90.53秒

(9台の鑄造サイクルタイム)

9台の手動鑄造機のいずれにおいても95系列ピストンが鑄造されていた。この9台について鑄造のサイクルタイムを測定した結果は次の通りである。

79.78～90.53秒 平均 85.23秒

このように鑄造サイクルタイムは鑄込み作業が作業者の勘によって行なわれるため、どうしても変動巾が大きくならざるを得ない。

(8) (7)の実測値をもとにした95系列ピストンの鑄込み工程とまとめ(図2.1.1-2)は次の通りである。

(手動機による95ピストンの鑄込み作業順序)

(型組み)

1. 主型閉じ(仮締め)
2. 左サイドコア (side core) 組付け
3. 右サイドコア組付け

(型ばらし)

1. ピン (pin) 中子2片取出し
- 水冷槽へ浸漬
- 塗型槽へ浸漬

- | | |
|---------------------------|-----------------|
| 4. センタコア (center core) | 2. センターコア取出し |
| フリッチコア (frizz core) 取付け | 3. フリッチコア取出し |
| 5. 主型閉じ (本締め) | 4. 左サイドコア 2片取出し |
| 6. 湯口からキャビティ (cavity) | 水冷槽へ浸漬 |
| 内エア (aire) 吹き | 塗型槽へ浸漬 |
| | 5. 右サイドコア 2片取出し |
| | 水冷槽へ浸漬 |
| | 塗型槽へ浸漬 |
| | 6. 主型開き |
| | 7. 製品取出し |

(9) 保温炉における溶湯の温度について測定した結果を表 2.1.1-1 に示す。

4 台の炉について、経過時間による温度変化と、再度の配湯後の温度についても調べたものである。

標準としては 730~750 °C とされており、大半は満足しているが、750 °C を超える場合を生じている。

また、どの炉も時間と共に次第に温度が上昇する傾向がある。

炉により温度が異なるのは図 1.1.3-3 で示すように溶解炉から出湯する溶湯温度によって決ってくるからである。

(10) 鑄造サイクルタイムから鑄込みの稼働状況を推定してみた。平均の鑄造サイクルタイムを 1.5 分とすると 9 台の鑄造機で 1 時間につき 360 個生産できるが第 II 章の表 4.2.2-1 の 95 系列ピストンのデータと対比すると約半分の稼働となっている。

2.1.2 鋳造歩留り

- (1) 当該工場における主要製品の鋳放し重量に対する素材(鋳放し品から湯道、押湯、揚りを除いたもの)重量の比は、95系列ピストンについては65%、6120、8AS-10、8AS12.5、61020、6100BQ、6110Aなどのピストンにおいては約30%、その他のピストンでは45%である。
- (2) また、鋳放し品に対する製品の重量比については表2.1.2-1に示す。
機種別に歩留りをみるともっとも生産量の多い95系列ピストンは50%を超えている。
他機種はすべて50%以下であり、30%程度のものが比較的多い。
傾向としては大型のピストンが歩留りが良く、小型のピストンは悪いようである。
- (3) 図2.1.2-1に鋳造方案の例を示すがいずれの場合も頭部を下にした倒立と称している方法で鋳造されている。そのためすべてピストンの側面の両側あるいは片側に必ず押湯を付ける必要がある。
頭部を上にして鋳造するときには、頭部に押湯が付けられる場合があるので、このような機種においては倒立では歩留りが悪くなる。

2.1.3 鋳物の品質

(鋳造不良とその内容)

- (1) 第Ⅱ章 表4.2.2-1の中に代表的なピストン10機種についての鋳造の不良率と不良内容について示しているが、8AS-12.5の2.62%のように低い不良率のもの、19.5%の6120のように高い不良率のもの機種によって不良率が大きく変っている。

不良内容についてみると、巻込みによる不良がいずれの機種においても多い。次いでピンホールによるものが多く、しかもどの機種も全不良の約30%がピンホール発生による不良品となっている。

巻込み不良とピンホールによる不良で全体の60~90%を占める。したがって、この2者を対策することによって全般的に大きく不良率を下げる事が可能である。

第三番目に不良率が高いのは引け巣によるものである。この欠陥は機種によって大きく発生率が異なり、6120ピストンのように引け巣発生防止対策が成功すれば大巾に不良率を下げられるものもある。

- (2) 次に生産量の多い3機種のピストンについて鋳造不良内容、発生場所および発生割合を図2.1.3-1に示す。

欠陥の種類は加工面に現われる巻込不良とゲート (gate) 附近に発生するピンホール (pin hole) でこの2種類の欠陥で不良の90%を占める。

- (3) さらに代表的な量産ピストンである95系列ピストンについて最近3箇月間の不良発生状況の調査結果を図2.1.3-2に示す。使用不可能な鋳造不良品は月によって多少異なるが5~7%である。逆に修正も必要としない良品の割合は70~90%で、合格率は低く、品質が安定していないことがわかる。

- (4) 確認のため、95系列ピストンについて50箇の不良品について不良発生原因を分類した結果が図2.1.3-3である。

また、これらの欠陥の発生場所を図2.1.3-4に示すが、1mm以下のピンホールが無数に分布する箇所は湯口側の押湯が付いていた場所に集中している。巻込みによる欠陥は1mm以上の単独の気泡、黒色の膜状のものが絡み合ったもの、あるいは耐火物などの小片が混在したものであり、その分布は切削加工面全域

にわたっている。ピン穴に発生する巻込みは頂部側が多い。

(溶湯中のガス)

(5) 保温炉の溶湯中の吸収ガス(gas) 量について、当該工場における検査要領を表2.1.3-1に示す。鑄鉄製の容器に判定しようとする溶湯を注入し、凝固に至るまでの溶湯表面の変化をみて、検査員がガス量の多少を判定して、合否の決定を下す。

(6) 次に、溶湯中のガス量について調査した。ガス量の判定方法は断熱煉瓦に作ったφ45、深さ5mmの窟に注湯し、凝固に至るまでの溶湯表面に現われる気泡の有無・多少により判定する。その結果を次に示す。

○ 炉別の吸収ガス量

9 炉 凝固直前に無数の気泡を発生

10 炉 気泡発生せず

11 炉 凝固直前に無数の気泡を発生

12 炉 気泡発生せず

○ 時間経過によるガス量の変化

(11 , 12 炉において 30 分間後に再調査)

11 炉 凝固直前に無数の気泡を発生

12 炉 気泡発生せず

○ 保温炉へ溶湯を補給後に調査

11 炉 気泡の発生数は少ない

12 炉 凝固直前に無数の気泡を発生

○ 溶湯温度と吸収ガス量の関係

調査結果を図2.1.3-5に示す。

この結果から、保温炉における溶湯温度が高くてもガス吸収量は少ない場合もあり、逆に9炉(I) 11炉(I, II)のように温度は低いところにあっても吸収ガスが多い場合がある。

以上から、保温炉中で保持している間にガスの吸収が起ったとは考え難く、配湯される溶湯での吸収ガス量に左右されているようである。

吸収ガス量の増加は溶湯温度の過熱によるところが大きい。1.1.3項で既に

述べたように溶解炉中の溶湯温度が 900℃を超えることが起っているので、過熱を防止する対策がある。

参考として、文献に出ているアルミニウムの水素溶解量について図 2.1.3-6 に示すが、このように溶湯温度が上昇すれば抛物線的に水素の吸収量が増大することがわかる。したがって、ガス吸収を抑えるには溶湯温度をできるだけ低くするように対抗しなければならない。

(改良処理)

- (7) 溶湯の微細化処理について調査した。一般に、微細化処理には共晶珪素の結晶微細化(改良処理)、初晶珪素の微細化および肉眼結晶粒(マクロ(macro)組織)の微細化がある。

当該工場において実施しているのは改良処理と初晶珪素の微細化である。

- (8) 改良処理は改良処理剤井 1 を用い、処理方法は溶湯表面に約 1%の処理剤を散布し、凝結を待って溶湯中へ押し込んで反応させる。

改良処理の良否の判定は表 2.1.3-2 に示した要領で行なわれる。

調査時、舟型铸件(テストピース(test pieces))を採取した。改良処理後の 11 炉の溶湯について、まず注湯から凝固までの間、自由凝固面を観察する。

注湯後溶湯表面は青白色を呈し、ナトリウム(Na)の存在が確認できる。また凝固後の自由凝固面は曇肌を呈し、改良処理が有効に行われたことを示す。

また、テストピースの破断面を観察すると微細な破面を呈し、十分な改良(微細化)が行われている。10, 12 炉においても同様であった。結論として、当該工場における改良処理は適切に行われており、溶湯の使用が約 30 分のときは問題はない。

(初晶珪素の微細化)

- (9) 初晶珪素の微細化については ZL108, ZL109 合金に行われ ZL108G, ZL109G として材質の表示がされる。

処理方法は処理剤を溶湯に押し込み、均一に混ざるように攪拌して行う。

処理剤としては赤燐あるいは燐を含むフラックスが用いられ、それぞれ 0.025~0.03%および 0.1%添加する。ZL108G 合金の初晶珪素の大きさを光学顕微鏡下で調査した結果、いずれも 30 μ m 以下の大きさと満足できる。

微細化処理に赤燐粉末を使う場合において、巻込みが多くなる傾向がある。今回の調査で、欠陥として現われているとは断言できないが、赤燐粉末を直接溶湯に押し込み、反応させると、溶湯中でバブリング (bubbling) が起って滓を多量に生成する傾向がある。

(坩堝材質)

(10) 保温炉に使用される坩堝は鑄鉄製と黒鉛製の2種類ある。黒鉛製は高価ということで、鑄込温度の高いアルミニウム合金で使用している。

鑄鉄製の坩堝は溶融アルミニウムに直接接触すると容易に反応して鉄がアルミニウム溶湯中に溶入し、坩堝を侵蝕する。

反応防止のために塗布材を坩堝内面に塗布する。塗布材は第Ⅱ章の表4.2.2-4に示した#2あるいは#3の塗布材を用いる。比較的厚く塗る必要があるため刷毛塗りし、厚さは2~3mmとする。充分乾燥してから使用する。48時間毎に塗り換えている。

高品位の鑄物を得ようとするれば鉄の溶入および塗布剤からの不純物の混入が考えられ、鉄坩堝では達成困難である。

(製品の化学成分と組織)

(11) 材質別にピストンの化学成分量と光学顕微鏡組織について調査した。化学成分量を表2.1.3-3に、組織写真を写真2.1.3-1に示す。

化学成分値の中で鉄量がいずれも0.4%以上あり、溶湯時より増えている。これはやはり鉄坩堝や溶解器具から溶入したためと考えられる。

組織写真からは ZL108-T6 合金は改良処理により共晶珪素が微細となり、初晶 α Alの樹枝状晶が明瞭に現われており、改良組織を呈している。ZL108G-T6 および ZL109G-T6合金はいずれも初晶珪素が認められ、微細化されている。共晶珪素は ZL108-T6 合金に比べ大きく、他の金属間化合物も大きく晶出している。初晶珪素の大きさに ZL108G-T6合金は規定の30 μ mより小さく微細化は充分であるが、ZL109G-T6 合金はやゝ大きい規格は満足している。

ZL110-T5合金は亜共晶合金で改良処理も燐処理もしていない。

(耐摩環入りピストン)

(12) 鑄鉄耐摩環入りピストンの鑄造について調査した。1985年に約500個のピスト

ンが生産されているが、不良率は20%でピストン全体の不良率からみても大変高い。

欠陥としてはニレジスト鋳鉄耐摩環とアルミニウム間の融着不良によるものであり、また、酸化物や空気などの巻込みによる欠陥が多い。

巻込みによる不良品発生は他の鋳物と同様であるので、溶湯品質および鑄造方案を改善する方向で解決できる。

耐摩環の融着不良の原因を調べるため鑄造作業の実態を調べた。

アルフィン(ALFIN) 処理した耐摩環を溶湯から取り出し、金型へセット(set)し、溶湯を注湯するまでの時間を調査した。もっとも短い時間で23秒、長くかかった場合は50秒かゝっている。10回測定で約 34.98" 範囲は 30.69"であった。

原因の一つは金型へ耐摩環を装着するのが困難であるためであり、装着できずに失敗をひんばんに起している。

図 2.1.3 - 7に耐摩環の融着不良品について融着不良の発生した位置を示す。融着不良を起している場所は図のB側に集中している。

2.1.4 熱処理加熱時間線図

- (1) 当該工場において多く使われるアルミニウム合金鋳物の熱処理方法については、第Ⅱ章 図4.2.2-2に示した。
- (2) ZL108, ZL108G, ZL109 および ZL109G、あるいは高珪素アルミニウム合金についてはT6処理である。
ZL110 合金や耐摩環入ピストンなどは JIS T5 処理に相当するT1処理を行う。
- (3) ピストンが大きくなるほど、溶体化時間と焼きもどし時間を長くし、焼きもどし温度をわずかに高くする。
- (4) 焼処理された ZL108G, ZL109G 合金は ZL108, ZL109 合金に比べ焼きもどし温度を15℃高くしている。
- (5) 高珪素アルミニウム合金の場合、焼きもどし温度を5~10℃高くしている。
- (6) ピストンの大きさにより熱処理条件を変え、材質によっても変えているが、熱処理作業場に熱処理中の条件が明示されておらず、何をどのような条件で熱処理中なのか分らない。
- (7) 標準として決められている熱処理温度についてみると、T6処理時の溶体化処理温度は、 515 ± 5 ℃であるが、JIS H5202 で推奨している温度は約 510℃である。しかし、ピストンメーカーにおいて温度を下げて 500℃前後の温度を用いている。
焼きもどし温度は 205 ± 5 ℃を標準としている。
JIS で推奨する温度は約 170℃である。
ピストンメーカーでは 180~210℃で行っており、 205 ± 10 ℃は適当と考える。
(JIS H5202 については付属資料参照の事)

2.1.5 熱処理炉内温度分布

溶体化処理および焼もどし時の各炉内における温度分布を実測調査した。

- (1) 生産量の多い代表的ピストンである95系列ピストン素材を用いた。95系列ピストン素材のT6処理条件は次の通りである。

溶体化温度 : 510℃ 保持時間 : 5時間

焼もどし温度 : 205℃ 保持時間 : 8時間

この時の熱処理用バスケット (basket) は第Ⅱ章 図4.2.1-3に示したものをを用いる。

(溶体化炉)

- (2) 溶体化炉について調査した結果を示す。設定された温度と時間の条件下で、ピストン素材の温度を炉内6箇所測定した。温度測定は熱電対を用い、自動記録した。その結果を図2.1.5-1に示す。

この結果、合金元素の溶体化に必要な温度である415℃以上の温度での加熱時間はわずかではあるが、5時間に足りない箇所(図の4の位置)がある。

- (3) ピストン素材の加熱される速さ、たとえば、415℃に到達するまでの時間は場所によって約50分の遅れがある。

- (4) 素材温度は溶体化処理時間中わずかずつではあるが、温度上昇がどの場所においてもみられ、平衡状態に達していない。

- (5) 場所による温度の違いは焼入れ直前の温度でみると、図の5の場所がもっとも低く492℃であり、3の場所がもっとも高く517℃である。この間には25℃の差がある。

また、条件の510±5℃に対しては温度の低い方でははずれている。

- (6) 図2.1.5-2に炉内温度分布測定時の温度調節計で記録したデータ (data) を示す。

この結果からは510℃～520℃にあり、炉内雰囲気温度は設定温度に対し5℃ほどやや高めである。処理時間は充分満足している。

(時効炉)

- (7) 次に時効炉について調査した結果を示す。

設定された温度と時間の条件下で、ピストン素材の温度を炉内の6箇所測定

した。

その結果を図2.1.5 - 1に示す。

- (8) 上段と下段の箱型バスケット内の昇温速度に大きな相違がある。上段は約30分で平衡状態に入るのに対し、下段は2~2.5時間後にようやく平衡状態に達する。
- (9) 平衡状態に達した後の上段の温度は 図の1.3.5の場所のいずれも $200^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ の中で17~18分間隔で上下している。一方下段においては2.4.6いずれの場所も温度の上下をくり返さず、ゆっくりと温度上昇して平衡に達している。下段においては場所による温度差が約 10°C あり、4の場所の温度は 190°C どまりとなっている。設定温度 205°C からは 15°C 低い。
- (10) 焼もどし時間については上段は 200°C で必要時間8時間を満足している。下段については焼もどしの最低温度を 170°C としても7.5時間でわずかに不足している。
- (11) 図2.1.5 - 3に炉内温度分布測定時の温度調節計で記録したデータを示す。設定温度は 205°C である。8時間保持の間、最終的には 205°C に達しているが、 200°C から時間とともに徐々に温度が上昇する傾向がある。
- (12) 調節計の温度とピストン素材の温度とは、図の4の場所を除いてほぼ一致している。

2.1.6 硬度のバラツキ

- (1) 標準として定められているピストン硬度は T5, T6 処理いずれも ブリネルかたさ (HB) で95~140 である。
- (2) 図2.1.6-1に1ヶ月間の記録を示す。
いずれのピストンにおいても HB 95~140 の範囲にあり、満足している。
- (3) 同一機種 例えば95系列ピストンである◎印についてみると HB119~131 である。同一機種のピストンが同じ設定条件で熱処理されていると考えるとバラツキが大きい。
- (4) 2.1.5 項で炉内温度分布調査時に用いた95系列ピストンについて、硬度を測定した結果を図2.1.6-2に示す。
試料No.1と2が硬度が低く、No.3が高い。この間の硬度が HB117~132 で量産品の結果と一致する。
- (5) No.1, 2のピストンの硬度が低い理由は焼入れ時、冷却水が沸騰し、焼入れが的確に行われなかったためと考えられる。

2.1.7 引張強度

(1) アルミニウム合金ピストンの機械的性質の規格値と実測値を表2.1.7-1に示す。例えば、JIS AC8A合金T6処理材は 28kg/mm^2 以上であり、T5処理材は 20kg/mm^2 以上である。

このことから、室温引張り強さが 20kg/mm^2 以上と規定されているのは T5 処理を含めて決められていると考えられる。ZL109G合金の実測値 28kg/mm^2 はT6処理材の強度に相当する。

(2) 硬度を含む機械的性質の規格値は T5, T6 処理材いずれも満足させることを考えて決められているので、将来は T5 と T6 処理に分離して定めることが望ましい。T5処理品とT6処理品では本質的に強度は異なるので、品質を十分に管理していくには分けることが必要である。

(3) 次に高温引張り強度を調べた結果を表2.1.7-2に示す。また、このとき用いた試料の化学成分量の分析結果を表2.1.7-3に示す。

室温における引張り強さは舟金型鋳物のテストピース (test pieces) でみると、ZL108-T6, ZL109G-T6, AC8A-T6 いずれもほぼ同じである。

高温 ($300\text{ }^\circ\text{C}$) においては ZL109G-T6合金が ZL108-T6 合金よりわずか高い値を示した。参考に図2.1.7-1に試験時の荷重-時間線図を示すが、ZL108-T6合金は ZL109G-T6, AC8A-T6 合金に比べ室温ではその傾向はわずかに出ているが、高温では明瞭に伸びが大きく表われている。(試験片では大きく絞られている)

このように、高温においては ZL108合金は強度の低下がみられ、変形もしやすい材料と考えられる。したがって、ガソリンエンジン用のピストン材としてはZL108 合金を使えるが、ディーゼルエンジン用ピストン材としては ZL109合金が適していると考えられる。

2.1.8 熱膨張

(1) 使用されているピストン用アルミニウム合金の熱膨張率は次の通りである。

ZL108合金 $21 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

ZL109 " $20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Al-17%Si " $19 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

JIS AC8A 合金は、 $21 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ($20-300^\circ\text{C}$) であり、妥当な値である。

(2) エンジン中においてピストンが高温に加熱されたときピストンは膨張し、ふたたび温度を下げてももとの寸法に戻らず、わずかに膨張したままとなる。これをこゝでは永久変形(永久成長ともいわれる)と称することにする。250°C ± 5°C で4時間保持した後の永久変形量を図2.1.8-1に示す。

舟金型鋳物より切出したテストピースを用い、加熱前後の寸法は20°Cで測定した。

この結果からは ZL108-T6 合金がもっとも永久変形量が大きく、0.033%である。ほぼ同一成分の ZL109G-T6と AC8A-T6合金はそれぞれ0.021%、0.013%で変形量は小さい。この結果からは材質の違いで永久変形量が変わると考えられ、より高温下で使用されるディーゼルエンジン用としてはやはり ZL109G-T6合金が適していると考えられる。

同質材といえる ZL109G-T6合金と AC8A-T6合金で差が認められるのは、磷処理の有無の相違点もあるが、不明である。

当該工場で経験している0~0.03%の永久変形量は一つには材質の違いによって巾があると考えられる。

(3) この他、永久変形量を大きく左右する要因として熱処理時の加熱温度と保持時間の影響が大きい。寸法安定化のための処理として焼もどし温度を一般に高くしたT7処理と称する熱処理が行われる。当該工場においても205°Cの焼もどしが行われこの考えはすでに実践されている。

したがって、永久変形量に大きな巾があるのは熱処理時の温度が炉内において一定でないために生じたと考えられる。

- (4) 以上から、永久変形量を小さく制御するためには、合金の成分量が溶解ロットごとに大きく変わること(図 1.1.3-1 および-2)および炉内の温度が場所によって異なること(図 2.1.5-1)が影響していると考えられ、これらの管理および改善が必要である。

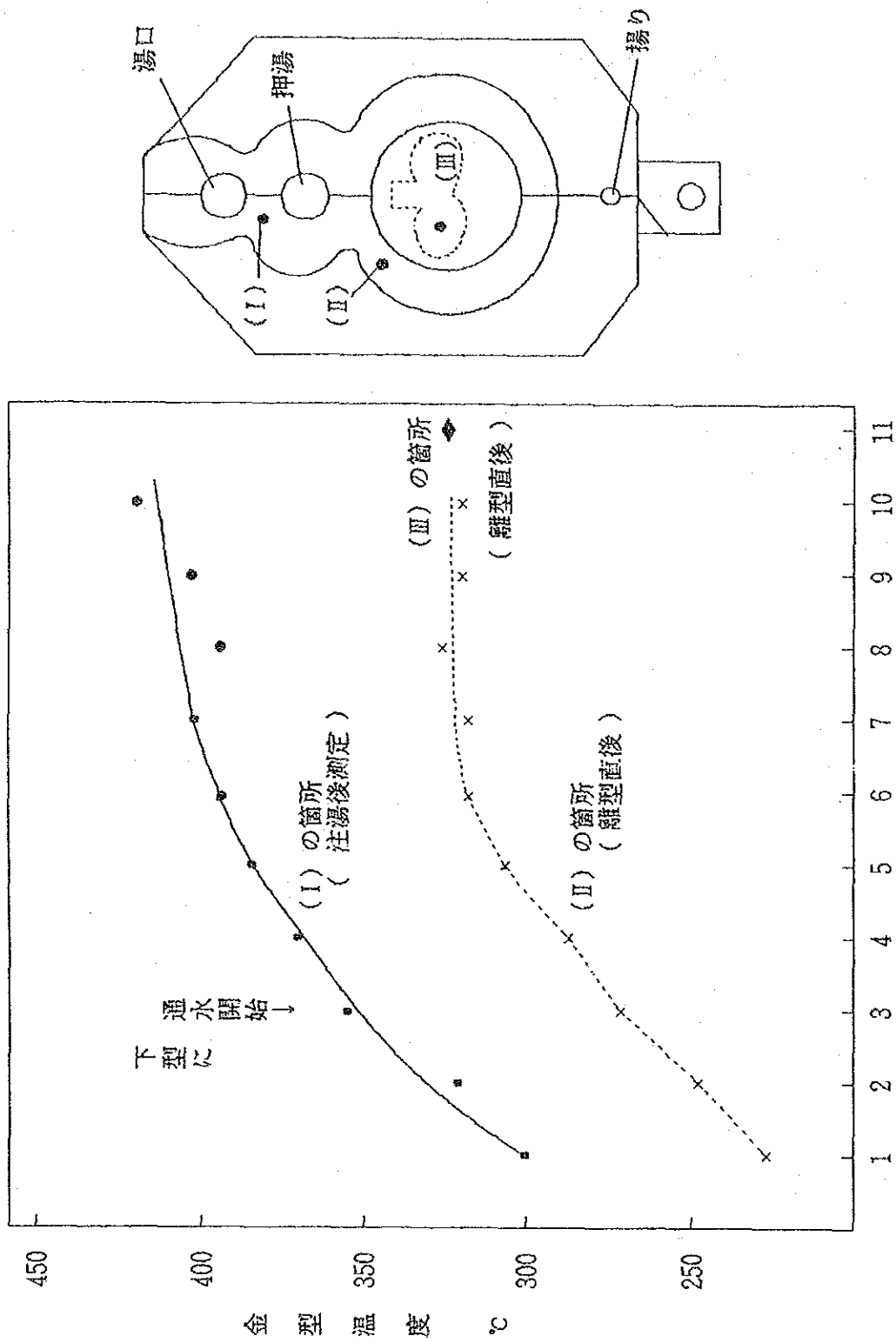
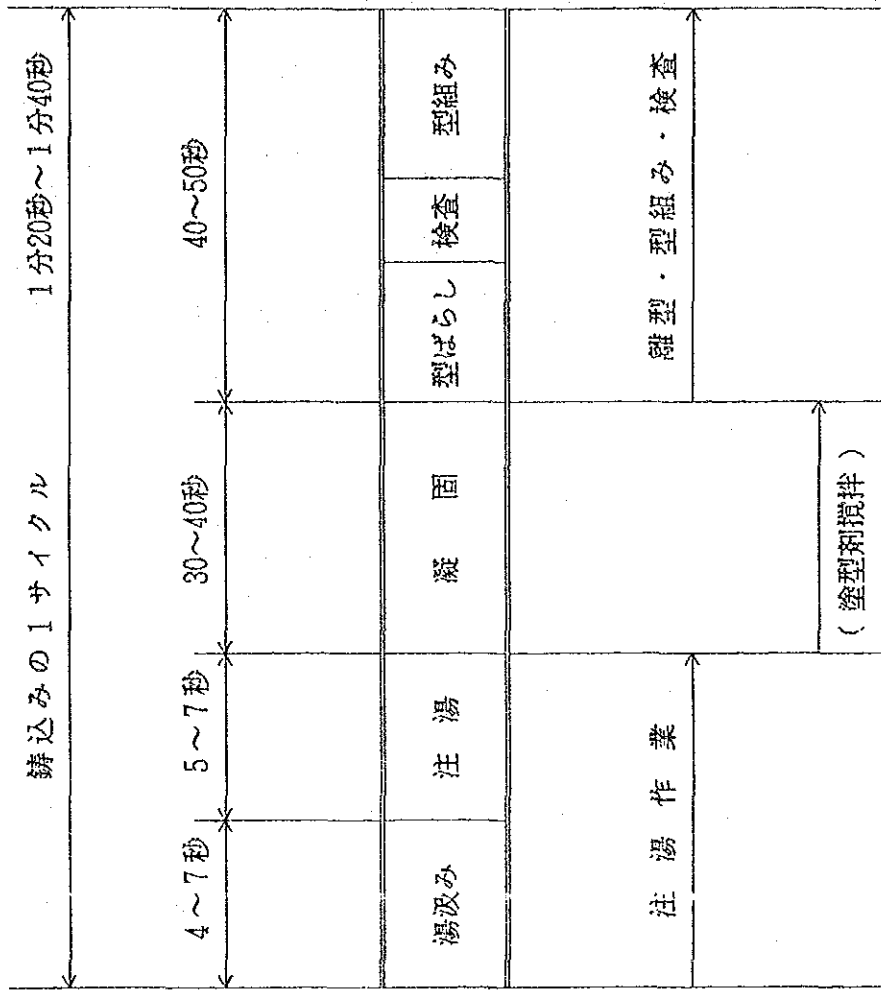


図 2.1.1-1 95 系列ピストン鑄込時の金型温度



所要時間：

工程：

作業者：

作業

待機

図 2.1.1-2 95系列ピストンの鑄込みと時間

表 2.1.1-1 保温炉溶湯温度の測定

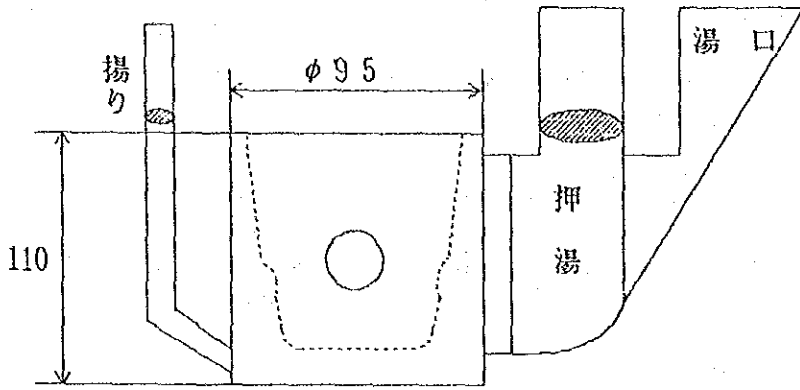
測定	炉番	温度	時間
一回目	# 9	722→723℃	(約20分間) さらに20分後730℃
	# 10	750→745℃	(10")
	# 11	715→720℃	(10") " 25分後727℃
	# 12	750→770℃	(10")
二回目	# 9	725→770℃	(30分間)
	# 10	727→737℃	(")
	# 11	736→750℃	(")
	# 12	735→745℃	(20分間)

表 2.1.2-1 鑄造歩留り

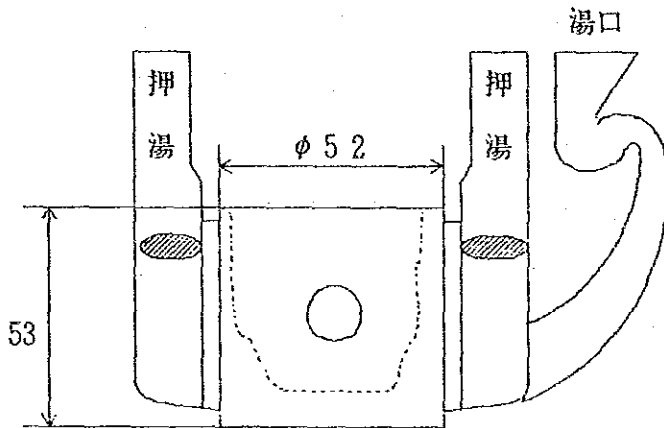
ピストン名	鑄放し重量 gr	製品重量 gr	比率 %
95	1,700	880	51.8
CA-10C	2,140	820	38.3
BJ-212	1,930	570	29.5
6160	11,160	5,250	47.0
6120	6,700	2,040	30.4
CA-10気泵	410	120	29.3
8AS-17	9,350	4,100	43.9
6FW-7B	920	290	31.5
8AS-12.5	4,190	1,560	37.2
EQ-140	560	180	32.1

$$\text{比率} = \frac{\text{製品重量}}{\text{鑄放し重量}} \times 100$$

(1) 95ピストン



(2) CA-10気泵



(3) BJ-212

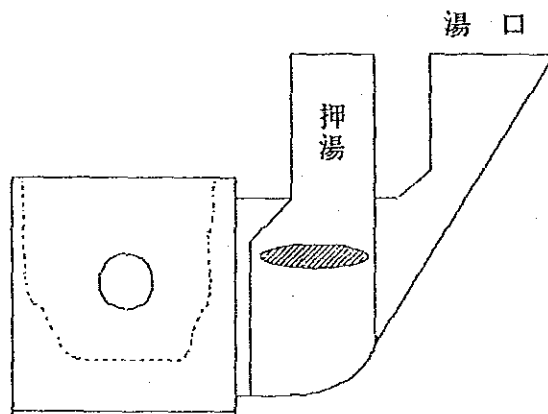


図 2.1.2-1 代表機種種の鑄造方案例

95-4ピストン

CA-10気泵ピストン

BJ212ピストン

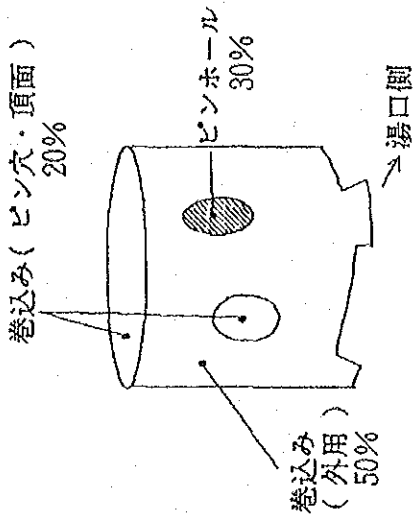
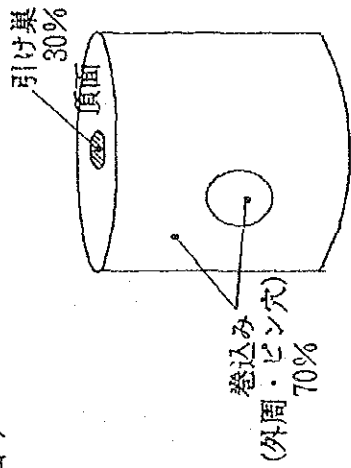
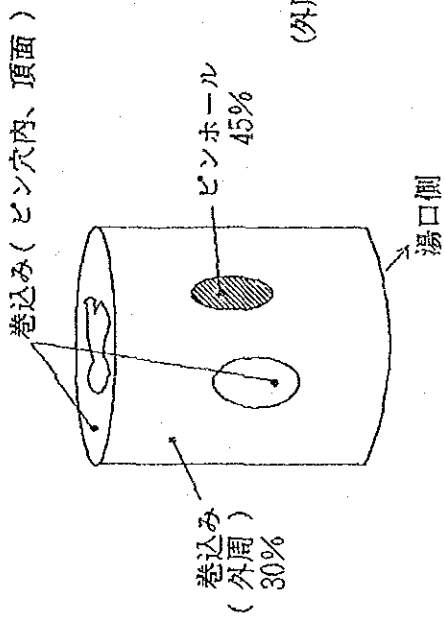
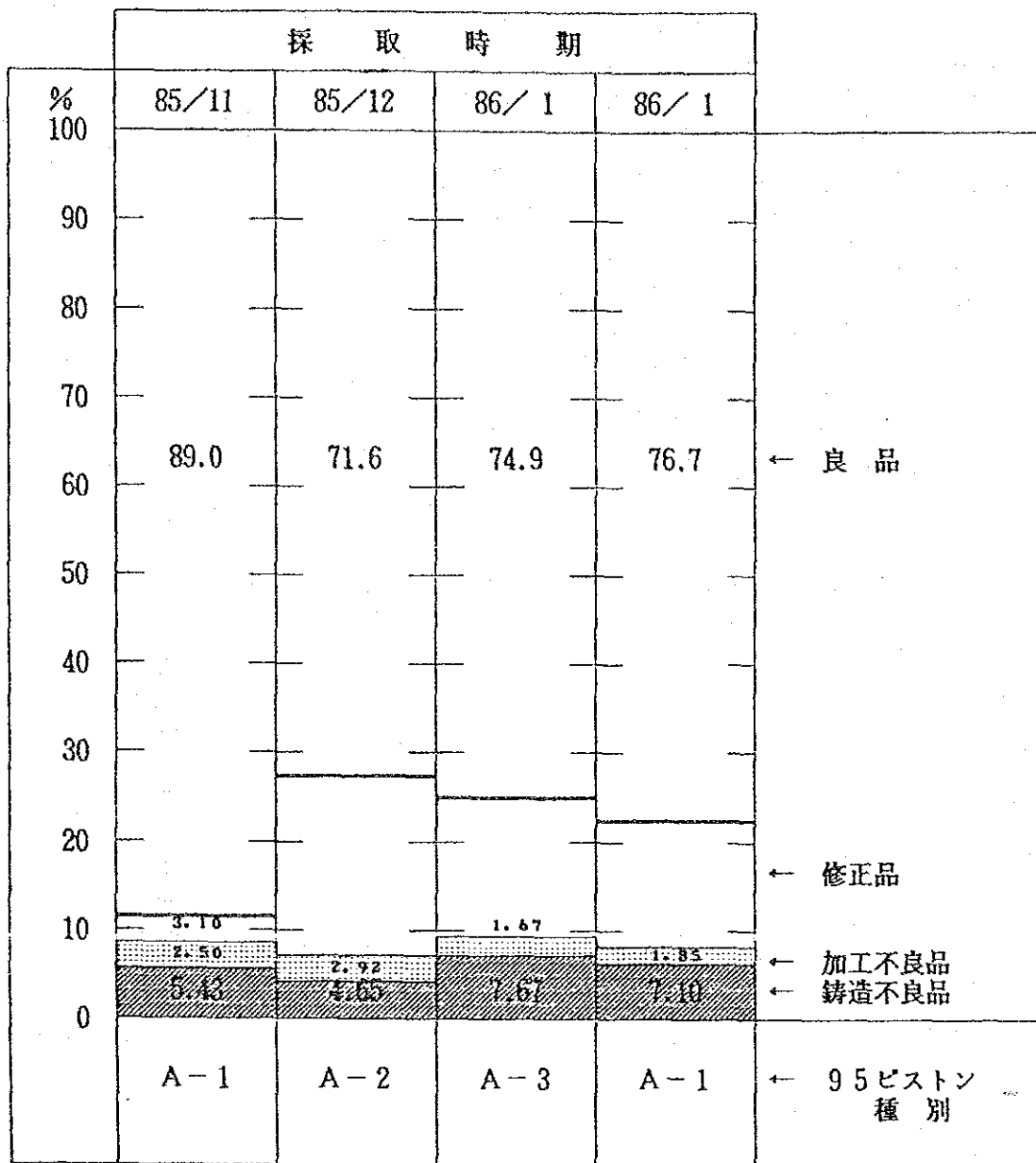


図 2.1.3-1 代表機種の種類不良内容・割合・発生場所



A-1, -2, -3は寸法形状の異なるもの

図2.1.3-2 95系列ピストンの3箇月間の品質

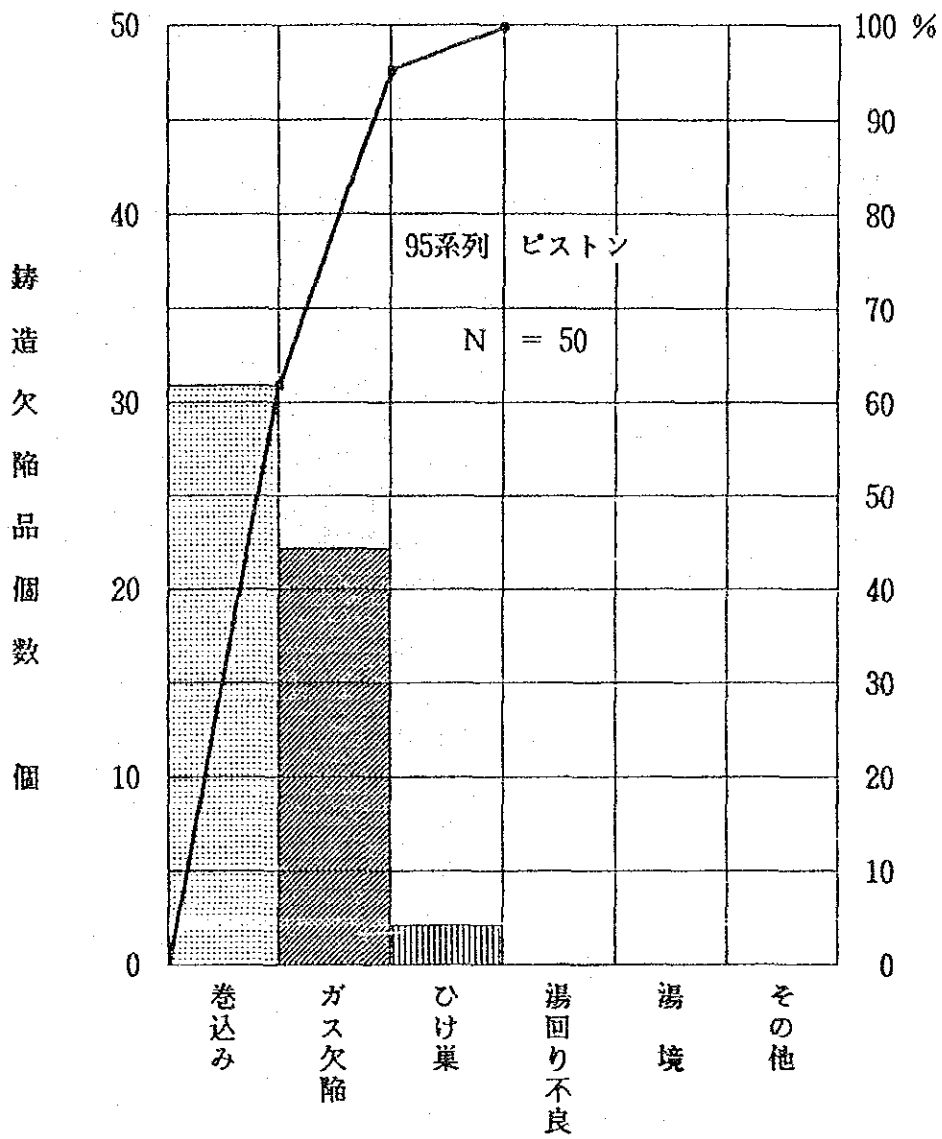
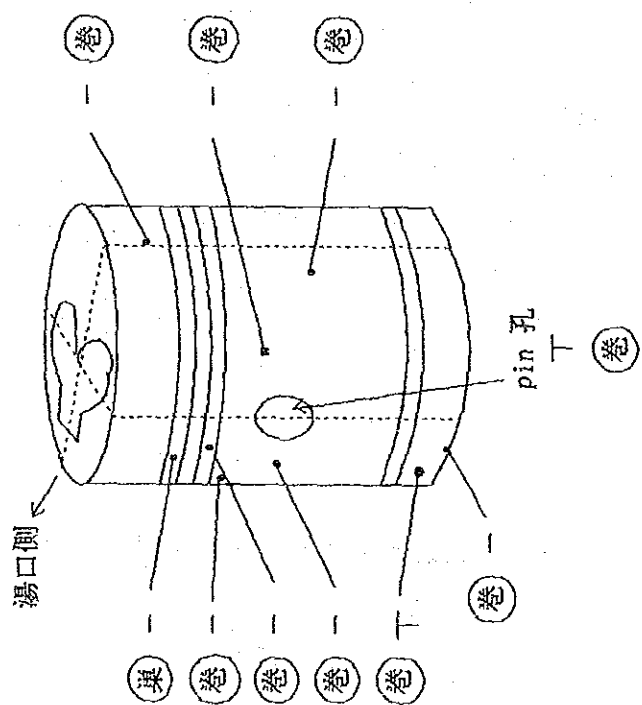
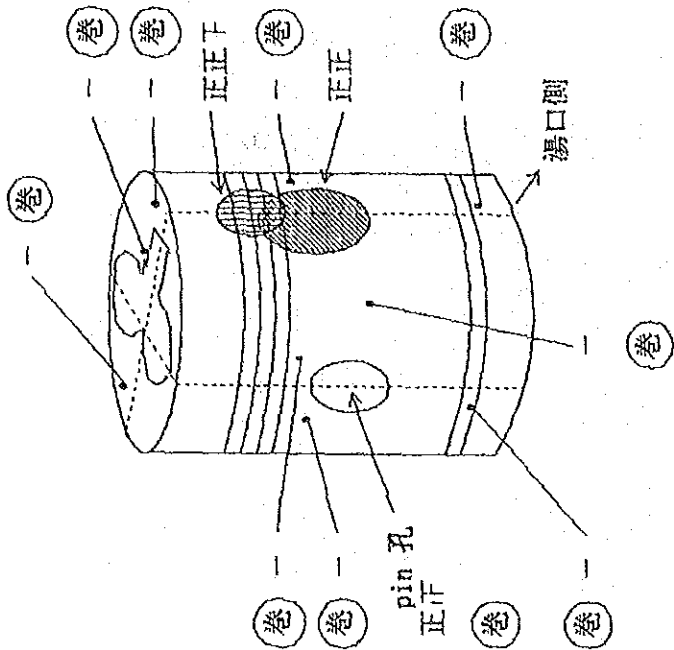


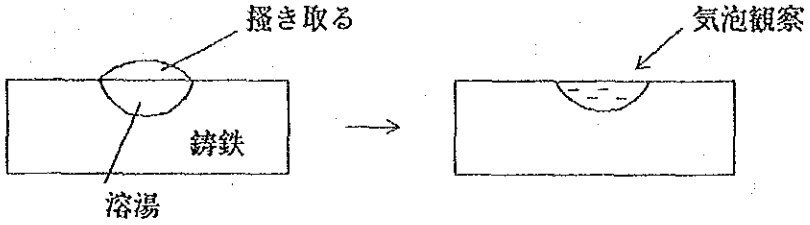
図 2.1.3 - 3 95系列ピストンの鑄造不良品の不良内容



- 1mm以下のピンホールが無数に分布
- 巻き込み (気泡および酸化物など)
- 巣
- 引け巣

図 2.1.3-4 95系列ピストン鑄造不良品の欠陥の種類と発生場所

表 2.1.3-1 吸収ガス量の検査要領

溶湯検査	吸収ガス量
<p>1. 検査方法</p> <p>保温炉前にてテスト金型に溶湯を注入し、 凝固に至るまでの期間を自由凝固面を観察する</p> 	
<p>2. 検査時期</p> <p>脱ガス処理後</p>	
<p>3. 判定基準</p> <p>気泡と凝固表面を観察</p> <p>気泡少ないとき、表面きれいな状態のとき 合格</p> <p>気泡が多く、表面が白くなるとき 不合格</p> <p>(注) 検査員が実施 限度見本は無い</p>	
<p>4. 異常時の処置</p> <p>再度脱ガス処理 検査員が指示する</p>	

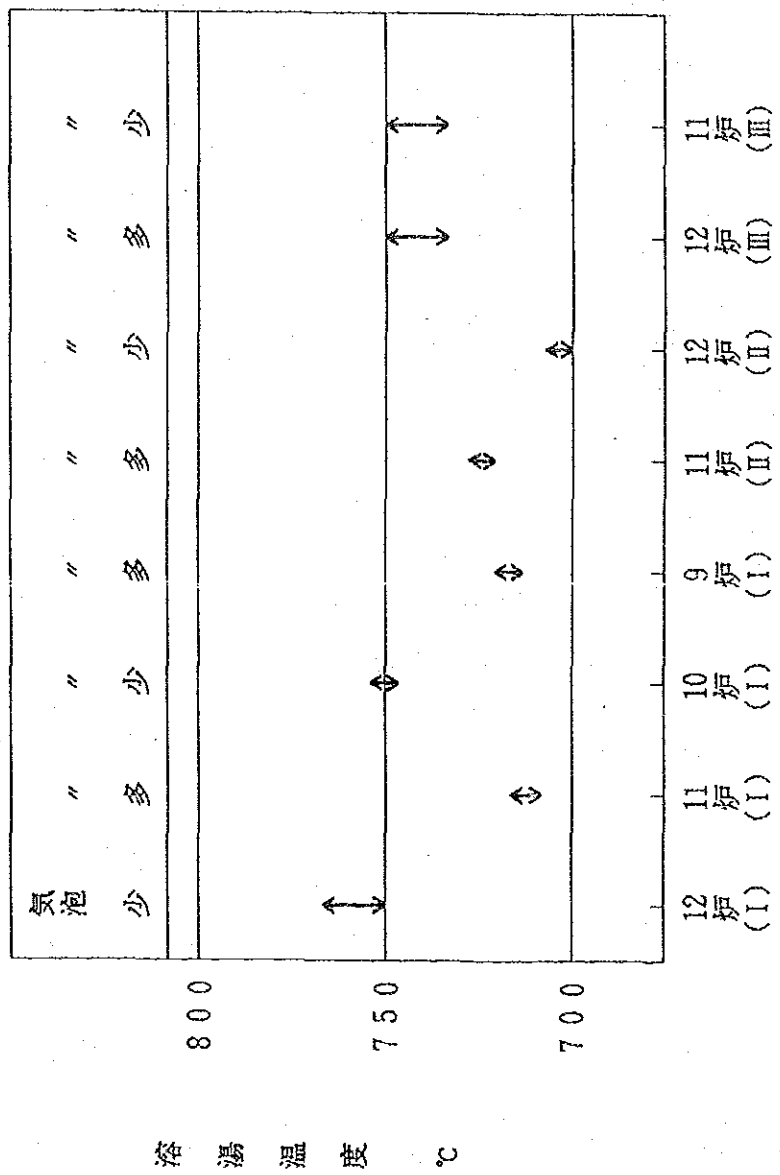
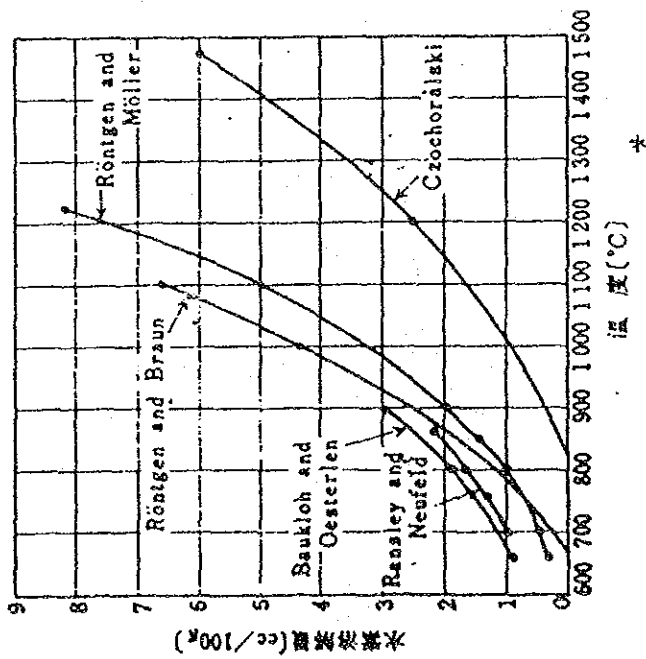
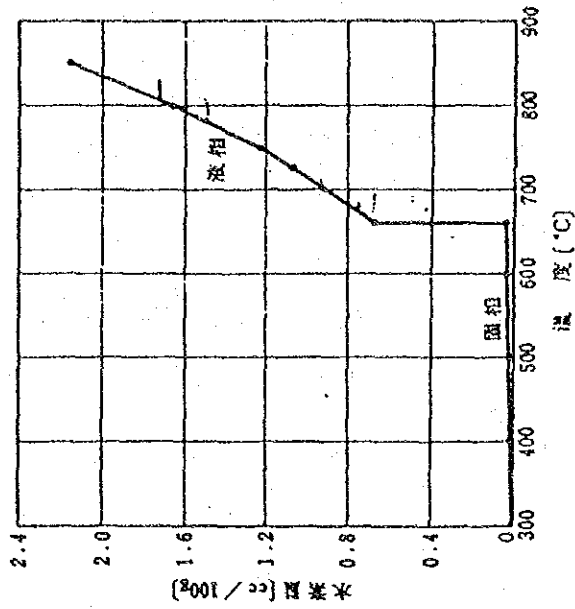


図 2.1.3-5 吸収ガス量と溶湯温度の関係



* 溶解アルミニウムの水素溶解量



* アルミニウムの水素溶解量

* L.I.Sokol'skaya Gases in Light Metals, (1961)

図 2.1.3-6 アルミニウム溶湯の水素溶解量
軽合金鑄物便覧(日本綜合鑄物センター編)より

表 2.1.3-2 改良処理の検査要領

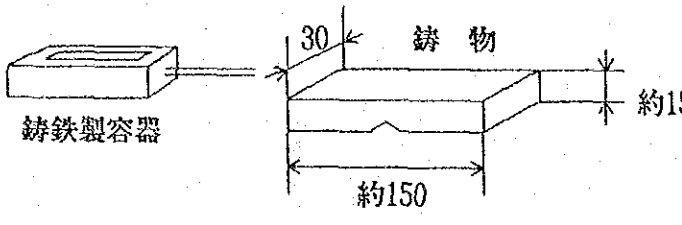
溶湯検査	微細化 Na 改良処理
<p>1. 検査方法</p> <p>破面検査</p>  <p>鑄物のノッチ (notch) 部から破断、破面の微細化具合より判定する。</p>	
<p>2. 検査時期</p> <p>溶湯処理後</p>	
<p>3. 判定基準</p> <p>検査員が判定</p> <p>限度見本は無い</p>	
<p>4. 異常時の処置</p> <p>再処理実施</p> <p>検査員が指示</p> <p>(註) : 改良処理後の溶湯は1~2時間以内に使用すること</p>	

表 2.1.3-3 材質別ピストンの成分分析結果

写真 2.1.3-1 と対応

材質 : ZL108 - T6

化学成分 : (分析結果)

Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Mn	Zn	Ti	Ca	Na
11.70	1.40	0.55	—	0.43	0.42	—	—	—	—

熱処理条件 :

容体化处理	
510 °C	
5 Hr	

焼入れ処理	
水	60 °C

焼戻し処理	
205 °C	
8 Hr	

材質 : ZL108G - T6

化学成分 : (分析結果)

Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Mn	Zn	Ti	Ca	Na
11.60	1.40	0.60	—	0.40	0.45	—	—	—	—

熱処理条件 :

容体化处理	
510 °C	
5 Hr	

焼入れ処理	
水	60 °C

焼戻し処理	
205 °C	
8 Hr	

材質 : ZL109G - T6

化学成分 : (分析結果)

Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Mn	Zn	Ti	Ca	Na
11.55	1.17	1.00	1.03	0.45	—	—	—	—	—

熱処理条件 :

容体化处理	
510 °C	
5 Hr	

焼入れ処理	
水	60 °C

焼戻し処理	
205 °C	
8 Hr	

材質 : ZL110 - T1

化学成分 : (分析結果)

Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Mn	Zn	Ti	Ca	Na
5.70	6.90	0.27	—	0.48	0.30	—	—	—	—

熱処理条件 :

容体化处理	
— °C	
— Hr	

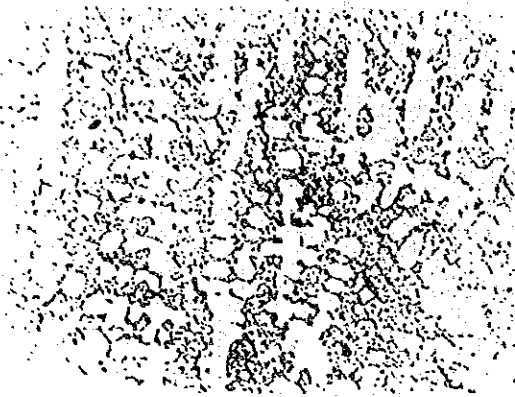
焼入れ処理	
— °C	

焼戻し処理	
205 °C	
8 Hr	

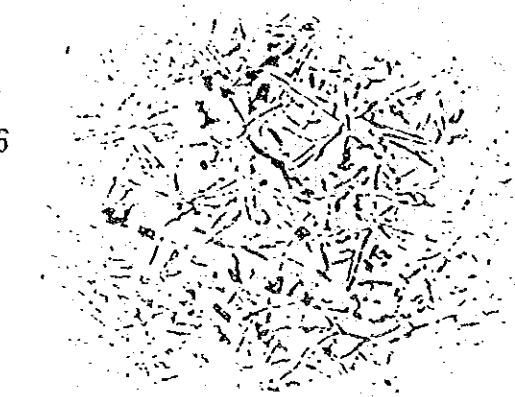
X 100

X 250

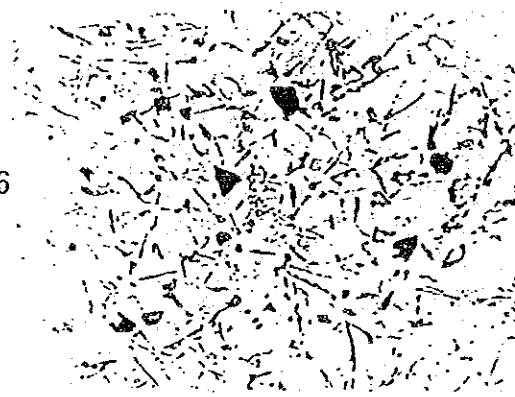
ZL108-T6



ZL108G-T6



ZL109G-T6



ZL110-T5

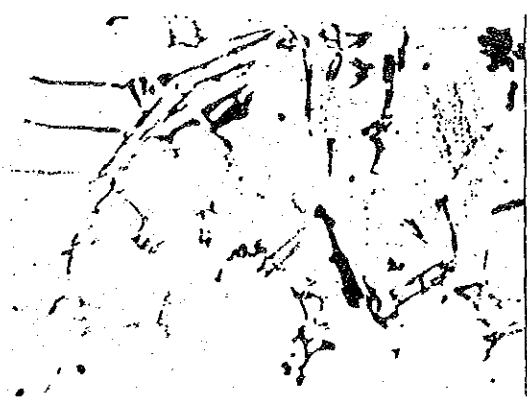
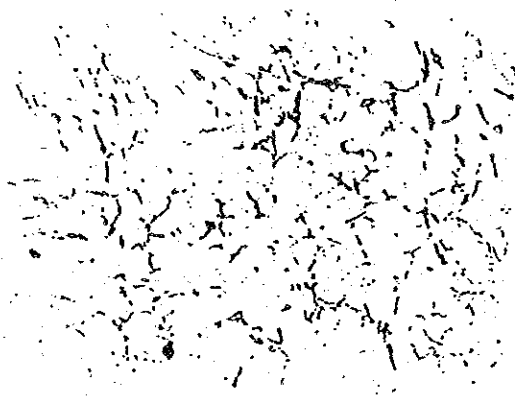


写真 2.1.3-1 材質別ピストンの光学顕微鏡組織 表2.1.3-3と対応

試料 No.

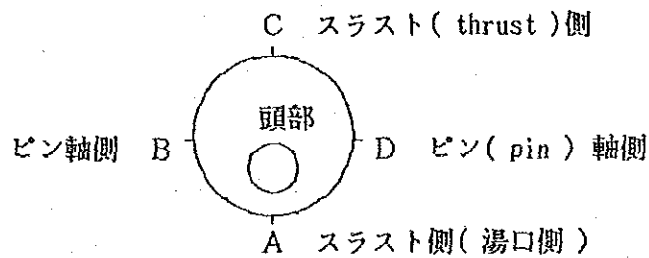
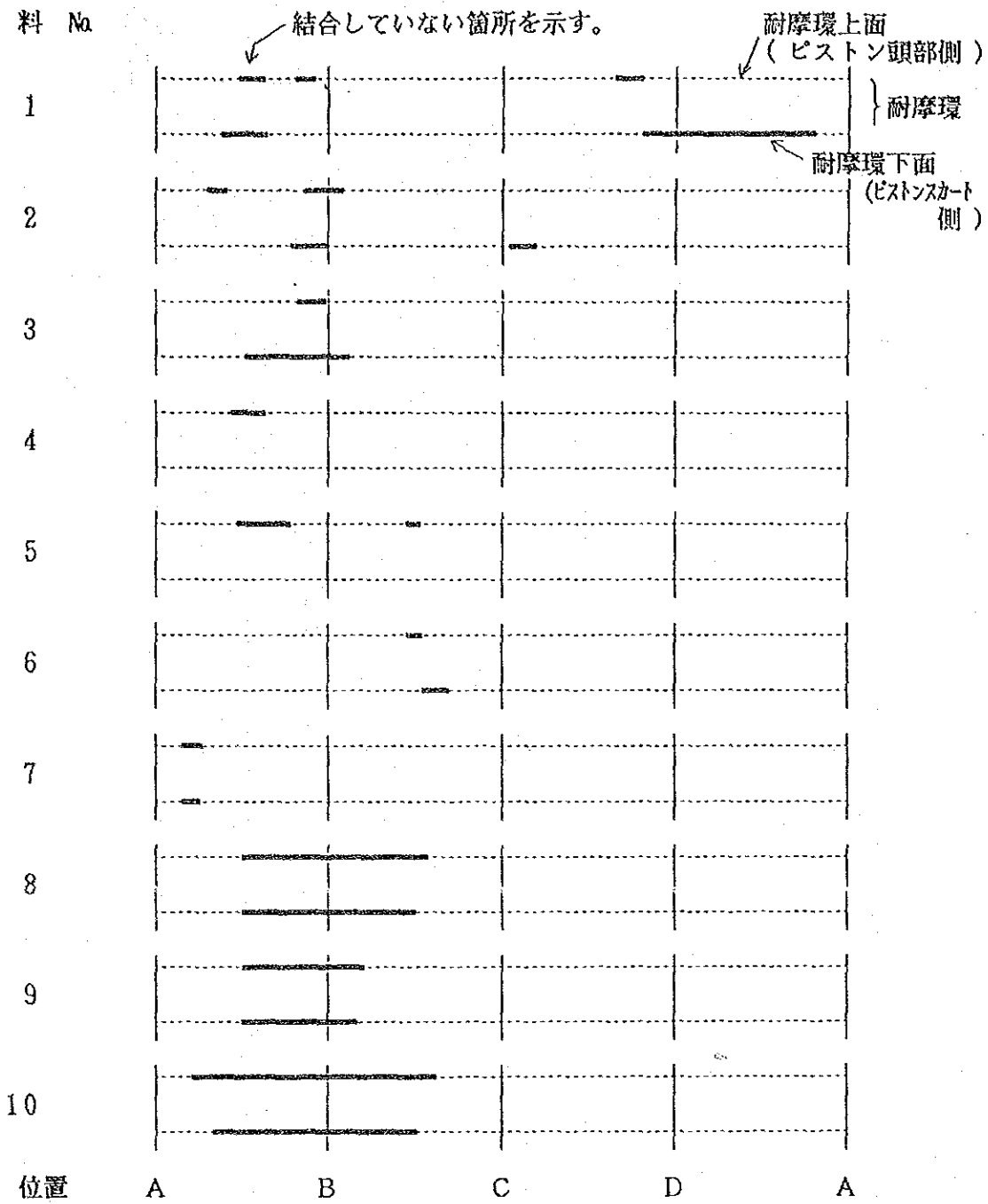
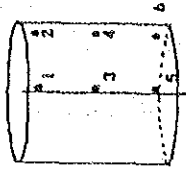


図 2.1.3-7 耐摩環入りピストンの結合不良の発生位置

ピストン名
95活塞

測定位置

溶体化



焼戻し

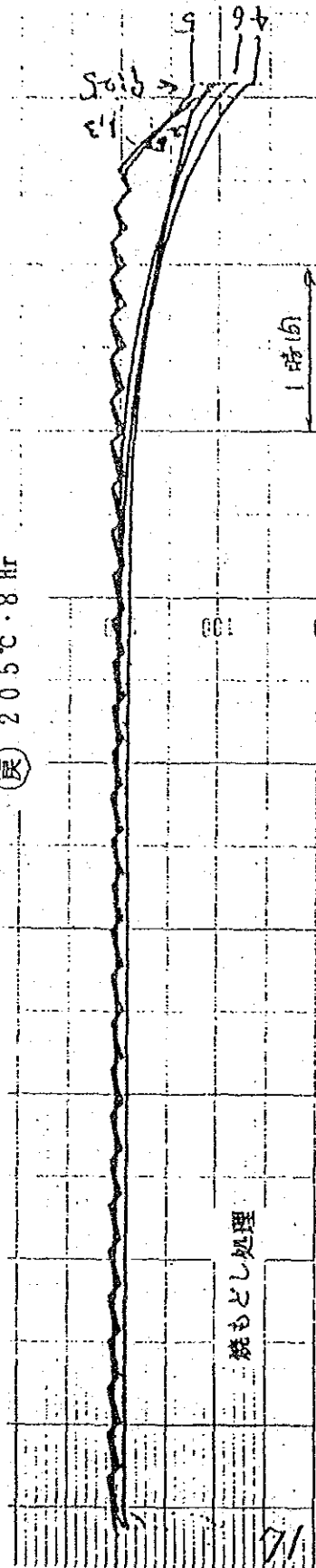
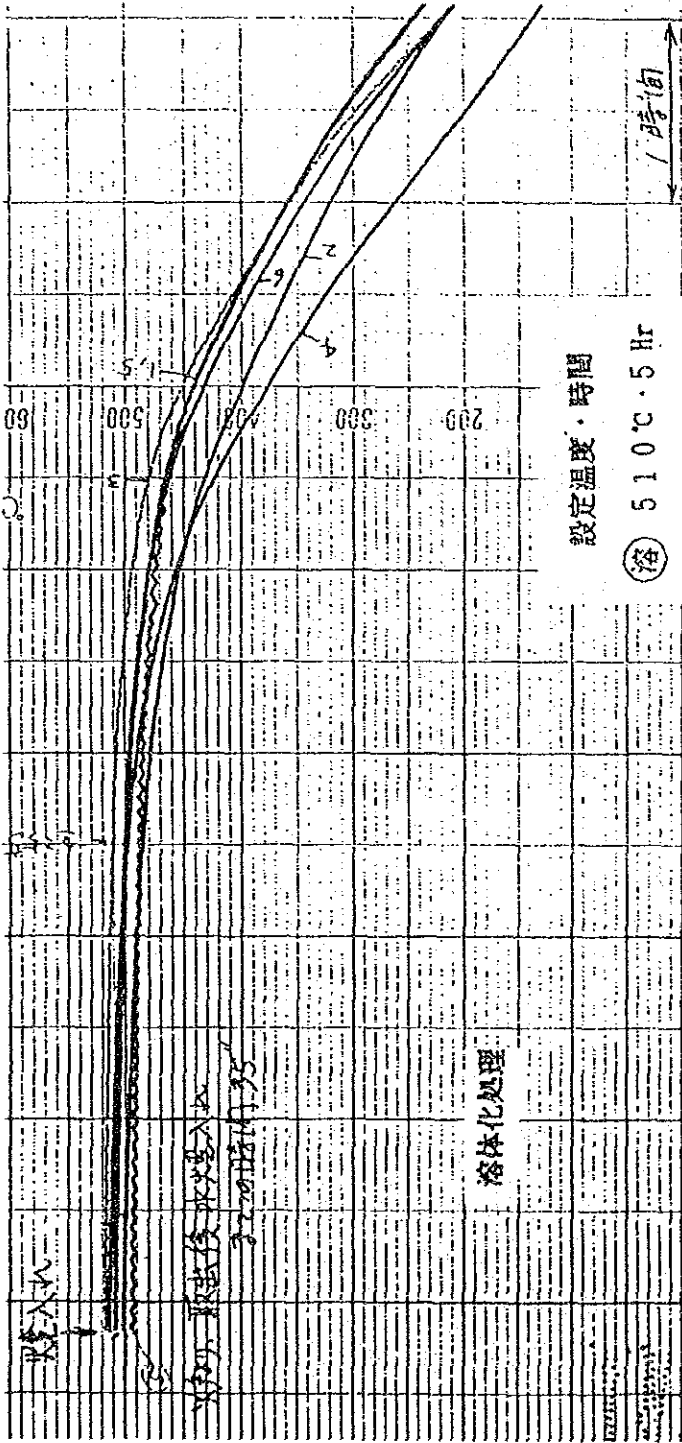


図 2.1.5-1 溶体化炉と時効炉の炉内温度

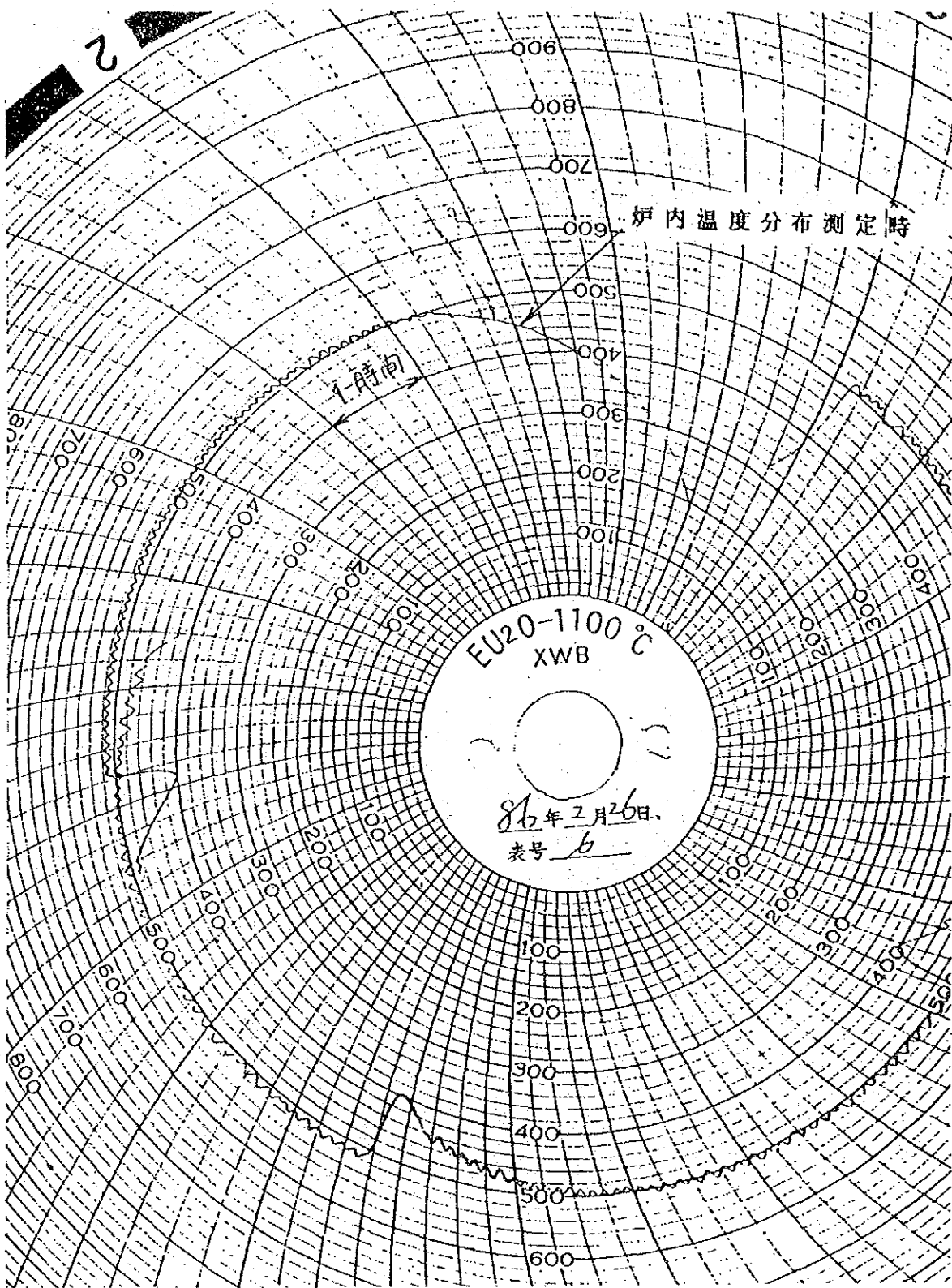


図 2.1.5-2 炉内温度分布測定時の炉の温度調節温度記録 (熔体化炉)

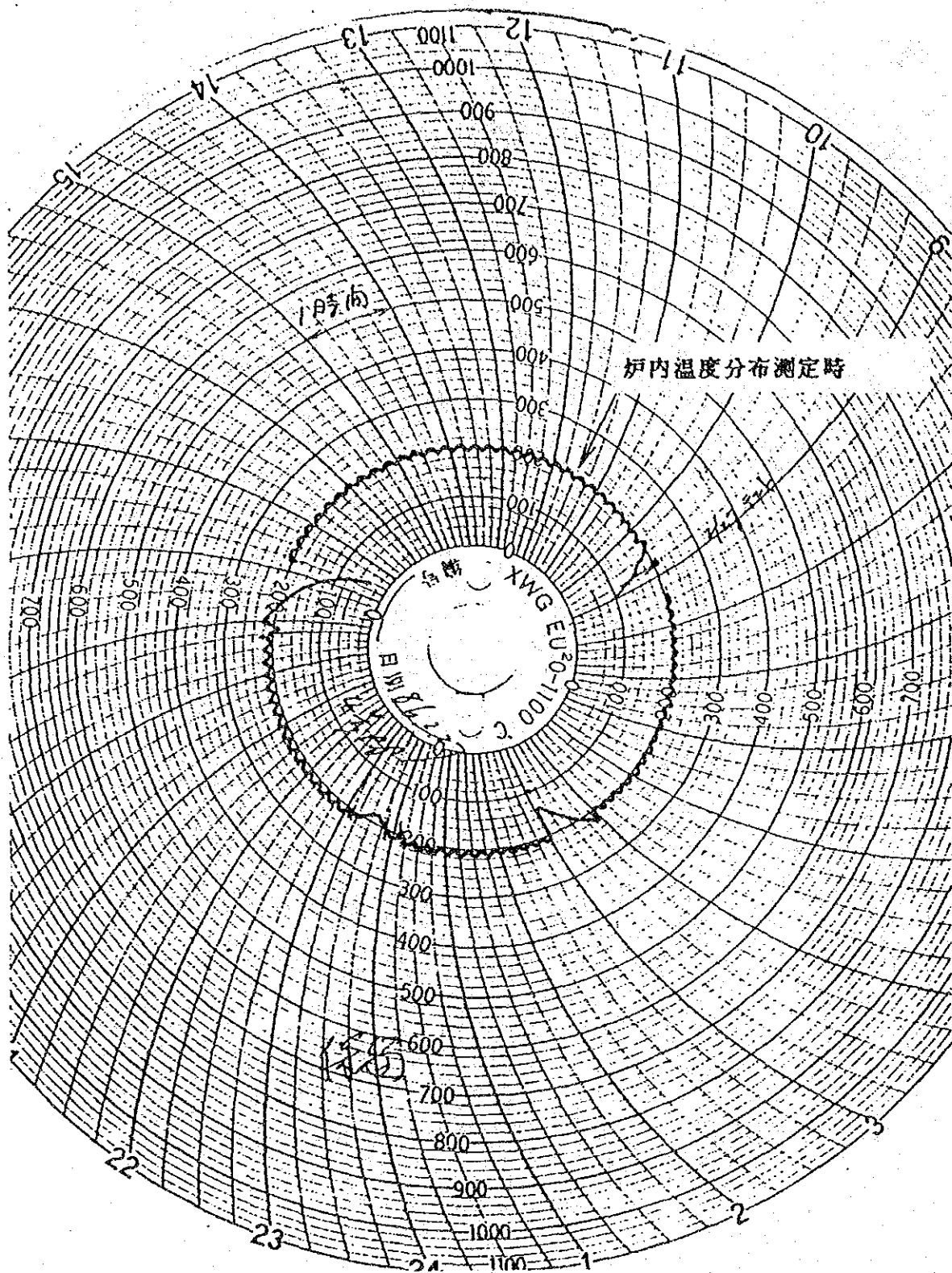


図 2.1.5 - 3 炉内温度分布測定時の炉の温度調節温度記録 (時効炉)

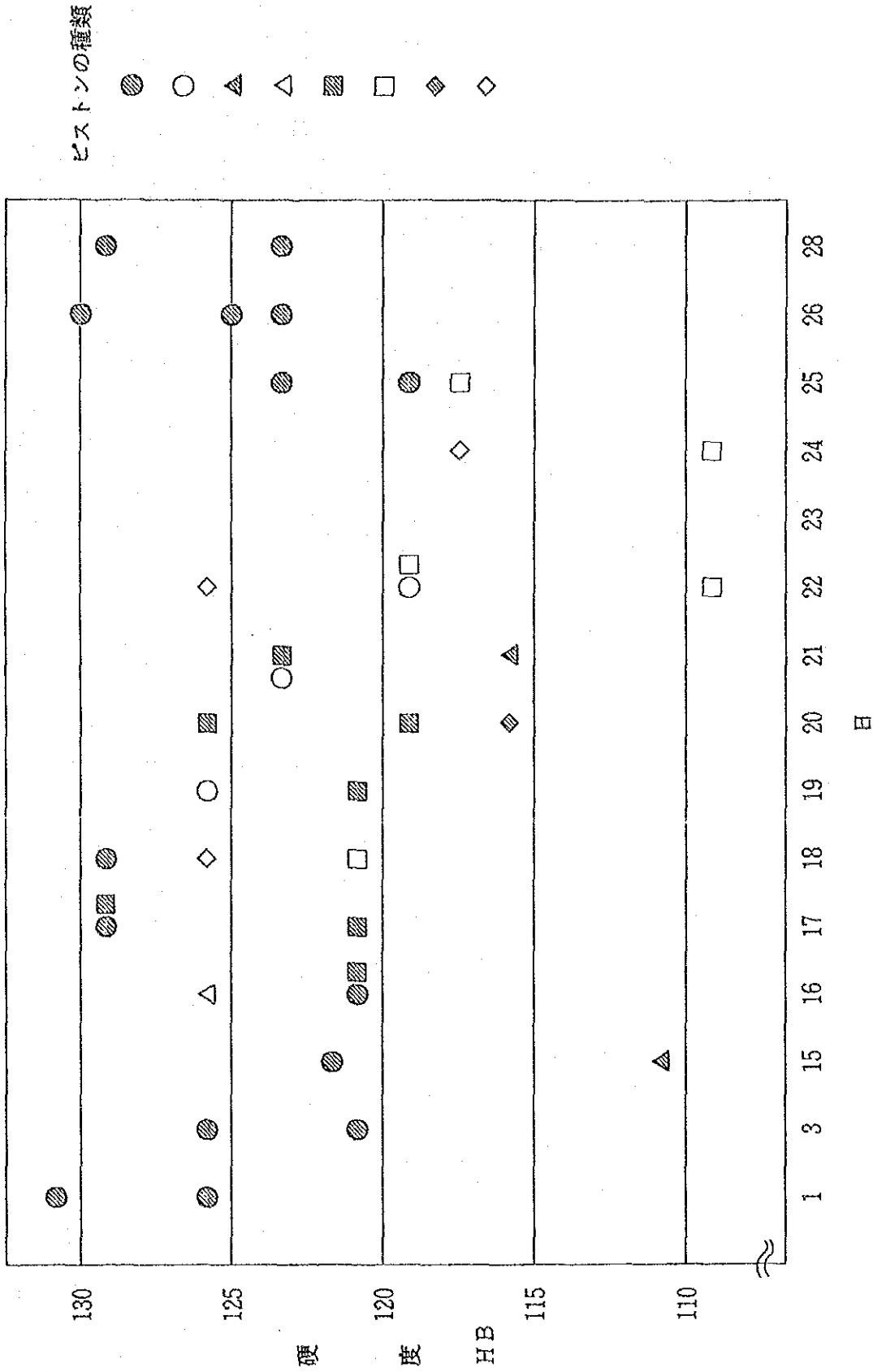
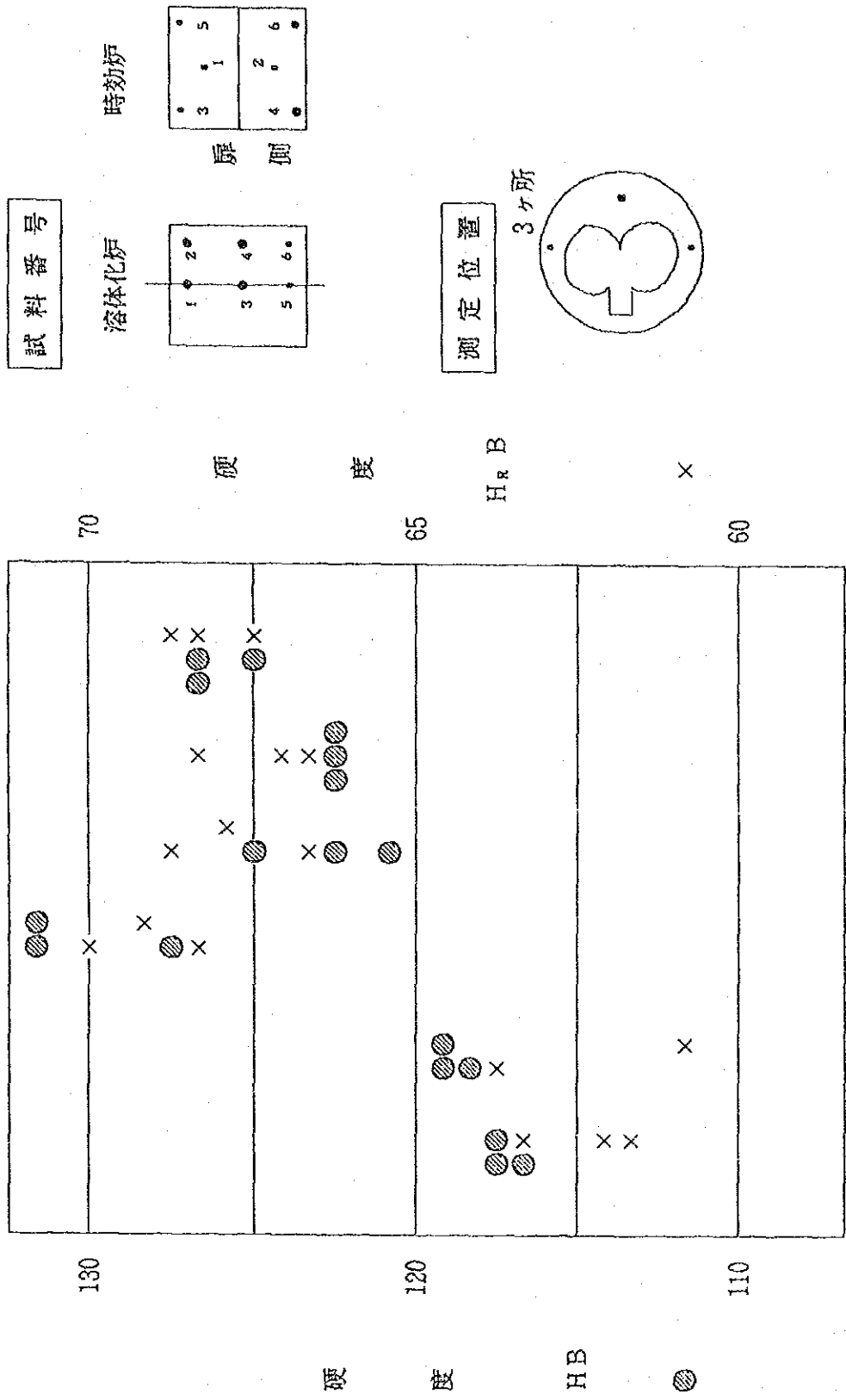


図 2.1.6-1 1箇月間の置産ビストンの硬度チェック記録



試料 No. (炉内温度分布測定位置と対応)

図 2.1.6-2 φ9.5ピストン硬度

表 2.1.7-1 ピストン用アルミニウム合金の機械的性質

材 質	硬 度 (HB)	引 張 り 強 さ (kg/mm ²)	
		室 温	300℃
ZL108	規格値	≥ 20	≥ 7
	実測値	27	≥ 9.5
ZL109G	規格値	≥ 20	≥ 7
	実測値	28	≥ 9.5
ZL110	規格値	≥ 17	—
	実測値	25	≥ 9.5

表 2.1.7-2 アルミニウム合金鑄物の高温引張強度

(単位 kg/mm²)

試験温度	300℃ ± 5℃				室温	
	実測 引張強さ (破断強度)	平均 引張強さ (破断強度)	実測 引張強さ (破断強度)	平均 引張強さ (破断強度)	実測 引張強さ (破断強度)	平均 引張強さ (破断強度)
舟型鑄物	ZL108-T6	14.7 (0.0)	14.1 (0.0)	30.7 (30.6)	30.9 (30.8)	
		13.5 (0.0)		31.0 (30.9)		
	ZL109G-T6	15.5 (13.0)	16.1 (14.3)	31.7 (31.7)	31.1 (31.1)	
AC8A-T6		16.7 (15.6)		30.5 (30.5)		
		16.8 (15.2)	15.8 (13.6)	32.1 (32.1)	32.0 (32.0)	
ピストン頂部		14.8 (12.0)		31.8 (31.8)		
	ZL108-T6	15.7 (0.0)	15.1 (0.0)	31.2 (31.2)	31.4 (31.4)	
		14.5 (0.0)		31.6 (31.6)		
ZL109G-T6		15.0 (12.1)	15.8 (13.0)	31.0 (31.0)	30.0 (30.0)	
		16.5 (13.8)		28.9 (28.9)		

(註) 高温引張りは300℃で10分間保持後その温度で引張り試験を行う

表 2.1.7-3 高温引張り・永久変形量測定テストピースの化学成分量

	化 学 成 分 量 (w t %)							
	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Ni	Ti
ZL108	1.72	0.35	10.85	0.10	0.34	0.46	0.08	Tv
ZL109G	1.22	0.54	10.88	0.04	0.05	0.44	1.16	Tv
AC8A	1.05	0.38	11.36	0.07	0.05	1.04	1.46	0.13

J I S 舟型鋳物より採取

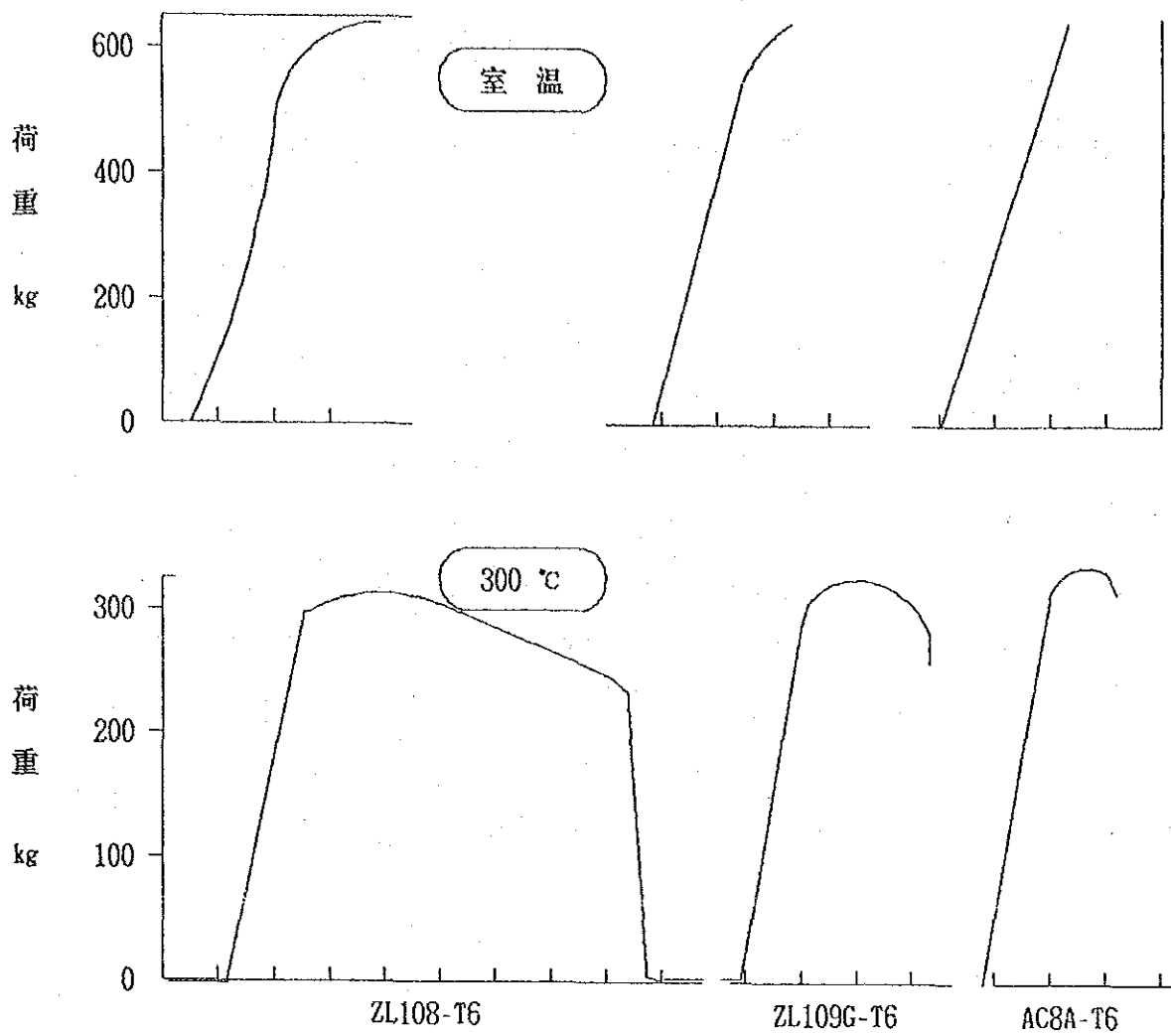


図 2.1.7-1 材の室温と高温の引張り荷重-時間線図 (舟型鋳物)

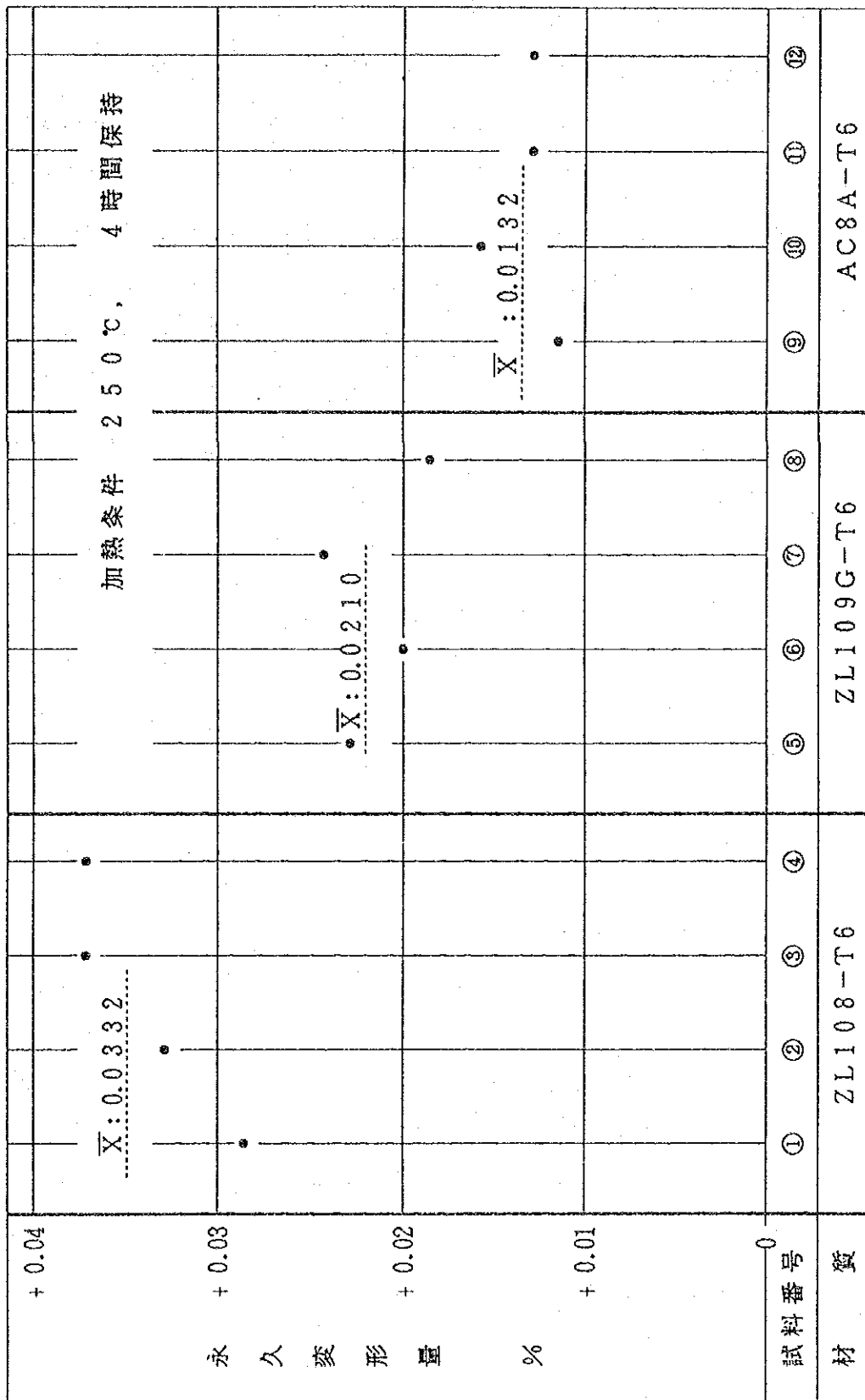


図 2.1.8-1 テストピースによる材質別永久変形量

2.2 改善策

2.2.1 鋳物の品質および歩留りの向上

現状の鋳物不良率は14.9%といわれ、図2.2.1-1に1年間の鋳造不良率の推移を示すが、10~20%の範囲で高い水準で推移している。この現状から改善によって、不良率を3.5%に下げることが目標になっているが、これを達成するには現状の設備・技術・操業方法を大巾に改善しなければならない。

以下にいくつかの改善策を述べる。

- (1) 2.1.3項で述べたように不良の30%はピンホールとなったガス欠陥であり、その対策はすでに1.2.3項で述べたように溶解時に溶湯がガス吸収しないようにすることである。ガス吸収の防止は溶湯を過熱しないことであり、温度が上がり過ぎないように絶えず監視し、加熱調整することが必要である。もし、過度のガス吸収が起きると、脱ガス処理ではガスが除去できなくなり、一旦凝固させる必要が生じる。
- (2) 断熱性塗型剤を採用して、鋳込温度を下げる。熱伝導性の良い黒鉛系の塗型剤を使用しているため、充填中の溶湯は急速に熱を奪われ、凝固が早く起る。このため、肉厚の薄い部分には溶湯の不回りを生じやすいので、鋳込温度を高くしなければならないのが現状である。

JISAC8A合金(ZL109合金相当)は溶融する温度が535~590℃であり、590℃で完全に溶融する。重力鋳造では一般に鋳込温度は溶融温度+100℃が用いられるので、AC8A合金では鋳込温度は最低で690℃であればよい。過熱による溶湯のガス吸収や酸化を抑制し、鋳物の品質を確保するには鋳込温度を低く抑える必要があり、一般に690~720℃で鋳込まれる場合が多い。当該工場での鋳込み温度はこれより20~30℃高く、下げることが望ましい。鋳込温度を低く抑えて肉厚の薄い箇所まで十分に湯回りを良くするには、断熱系の塗型剤が用いられる。

例えば、塗型剤として

滑石粉	15%
水ガラス	1%
水	残部

などを用いるか市販されている、たとえばアチソン (Acheson) 社製のダッグ (Dag) 分散体 No.395 などが用いられる。

鑄込温度を下げることは 1.2.3 項で述べたように溶解温度を下げることであり、溶湯品質の確保ができる。また、型温も低くなり、凝固時間を短くすることにもなる。

なお、金型の保温材として使われる石綿粉は日本国労働安全衛生法施行令別表第三の特定化学物質等第二類物質の中に取り上げられており、また特定化学物質等障害予防規則第38条の7および8に石綿等に係る措置として掲げられているので、取扱いには十分な注意を必要とし、できれば他材料に替えて石綿は使用しないことが望ましい。

- (3) 注湯に際し乱流を層流に変える鑄造方案の改善をして、空気や酸化物の巻き込みを防止する。その方法としては基本的な考え方として、溶湯の衝突を軟らげること、すなわち、湯道を傾斜 (例えば約 60° の角度) させ、流れ込む溶湯が湯道底部に強く当たらないようにすることである。

次いで、湯だまりを設計、溶湯の流れを緩やかにすること。

最後に湯だまりより製品部のキャビティ (cavity) に層流で流入するようにセキ (gate) を絞ること。例えばセキ巾を $1 \sim 2 \text{ mm}$ とする。

キャビティ内に流入した溶湯は空気や酸化物を含まず、静かに底部より上部に向かって充填する。

この他の方法としては可傾式鑄造がある。キャビティへの溶湯流入初期において溶湯落差を小さく、溶湯の流れを緩やかに保つことができる方法である。

- (4) 鉄鍋より鉄分の溶入を無くすため、黒鉛坩堝を用いる。

アルミニウム溶湯と鉄材とは溶湯温度が高くなると急速に反応が進むことはよく知られている。ダイカスト (high pressure die casting) のように $650 \sim 670^\circ\text{C}$ の低い溶湯温度で操業するような場合には鉄坩堝がよく用いられる。しかし、重力金型鑄造 (gravity die casting) では一般に 700°C 以上の溶湯温度で操業する。このような、高い溶湯温度でしかも鉄量の増加を嫌う重力金型鑄造では黒鉛坩堝が一般に使われる。

鉄坩堝ではライニング (lining) の亀裂や剝離の危険性が絶えないため、充分なチェックを要し、なおかつ短時間で定期的に (1 ~ 2 日毎) に塗り替えることが必要である。鉄坩堝のコスト (cost) は安価ではあるが、寿命が短かく、かつ塗布作業を絶やすことができず、総合的に見れば決して安価とは言い難い。

この点、黒鉛坩堝は鉄坩堝に比べ数倍の高価なものであるが、最近では品質が良くなり、連続操業で半年以上の寿命を持つ。とくに、重油炉より電気炉での寿命はさらに長い。

このように黒鉛坩堝ではライニングの必要もなく、数ヶ月の連続使用ができ手間はかからない。しかも、鉄の溶入の心配はなく、鑄物の品質を高め、安定させることができる。

- (5) 持続性のある改良処理剤の採用により、長時間 (4 時間以内) の溶湯保持を可能にし、改良効果を安定化させる。

改良処理剤のナトリウム (Na) は、溶湯表面より酸化消費して短時間 (30 分程度) でその効果を失う。このため、一般に改良処理をした溶湯は改良処理後 5 分から 30 分の間に使用してしまわなければならない。しかも、30 分以内といえども時間経過とともにその効果は次第に薄れる。

そのため、鑄物が大型化すると凝固速度が遅くなり、微細な改良組織を得るためにはさらに短時間のうちに使ってしまうなければならない。

改良処理に必要なナトリウム量は 70 ~ 80 ppm あればよいが、これ以上過剰にナトリウムを含有すると、溶湯の流動性が悪くなり、ガス吸収の増加をもたらすので、必要以上にナトリウム量を増やすことはできない。

最近、改良処理効果の持続を狙って種々の研究がなされているが、実用的なものを紹介する。固形のナトリウム改良処理剤を用いる方法で、溶湯表面に浮べ、溶湯と、ゆっくり界面反応を起させ、表面附近の溶湯にナトリウムを溶入させる方法である。市販されている改良処理剤の一例でのナトリウム残存量の変化を図 2.2.1 - 2 に示す。

- (6) 赤磷粉末の使用を廃し、磷化合物による初晶珪素の微細化を図る。

高温のアルミニウム合金溶湯中に赤磷粉末をフォスフォライザー (phospho-

rizer) を用いて押し込むと激しく気化し、アルミニウムと反応して磷化アルミニウム(AlP)となる。この反応時同時に酸化物などを生成し、溶湯中に残留し、巻込み不良の原因となることがある。溶湯との反応を促進させ、生成した酸化物などの非金属介在物を分離させる目的で塩化物などを混ぜたフラックス(flux)が用いられることもある。また、大量に溶解する場合はCu-P(8%P)合金が一般に使用される。

しかし、200~300 kg容量の坩堝炉のように処理量が少ない場合には、市販されている磷酸化合物のフラックスを溶湯表面に散布し、被覆鎮静して磷処理を行う方法が良い。このフラックスの効果を図2.2.1-3に示す。

磷の初晶珪素の微細化効果を阻害する元素にナトリウム(Na)とカルシウム(Ca)がある。ナトリウムは改良処理剤として、あるいは溶湯を清浄にする目的で使用されるフラックスの中に含まれている。カルシウムは金属珪素中に不純物として含まれており、アルミニウム合金溶湯中に珪素と同時に溶入する。

微細化効果に対するナトリウムとカルシウムの許容量は0.001% Na、0.004% Ca以下といわれるので、ナトリウムを含むフラックスの使用を避け、塩素ガスによって脱カルシウムを図ることが重要である。

(7) 耐摩環入りピストンの鑄造作業を安定化させ、金属融着検査を実施することにより、不良品の流出を防止する。

耐摩環入りピストンの不良の大きな原因は融着不良と巻込みによることは2.1.3項で述べた。

ここでは融着不良防止の改善策を検討する。融着不良を起す原因には次の5つがある。

- a. 耐摩環とアルミニウム溶湯の界面反応が起らなかったため(合金層の生成がない)
- b. Fe-Al界面反応をさせた後、耐摩環に付着したアルミニウム溶湯が早く凝固したため(耐摩環被覆アルミニウムと鑄造アルミニウムの間で融合がない)
- c. 上記被覆アルミニウム表面に酸化物など非金属介在物や気泡が付いた

まま被包まれてしまったため

- d. 熱処理時の急冷による耐摩環とアルミニウム合金の熱膨張の差から生じる界面(Fe-Al合金層)のクラック
- e. 切削加工時切削抵抗熱による熱膨張差からくる界面(Fe-Al合金層)のクラック

この中で、2.1.3項の調査のときに判明したことは、耐摩環とアルミニウム合金との剥離面から b項の耐摩環被覆アルミニウムと鋳造アルミニウムの間で融合がないことがもっとも大きな原因となっていることである。

この融合をうまく行わせるには、アルミニウム溶湯から耐摩環を取り出して金型へ装着し、注湯するまでの時間の一つの目安として約20秒以内を守ることである。

今回の調査では平均35秒かかっており、耐摩環被覆アルミニウムは凝固がかなり進行していたと考えられる。

さらに、未融着部が円周上のはぼ定位置に発生する傾向があり、この位置は金型へ先に耐摩環を装着する側であることから、金型に接することにより急速に耐摩環被覆アルミニウム溶湯が凝固したためと考えられる。

したがって、金型へ耐摩環の装着が容易に行え、装着後短時間で注湯できることが重要である。その方法としては鋳造機を自動化し、型組みを短時間に確実に行うようにすること。耐摩環の装着は上部より耐摩環受台に落とし込み、上部より型締めをして固定する方法をとることが良策である。

また、耐摩環浸漬炉は鋳造機の近くに設置し、装着時間の短縮を図る必要がある。また、浸漬用の溶湯は多量の必要はなく、図2.2.1-4に示したような容量50kg程度の浸漬炉の導入を推奨する。また、この炉と耐摩環浸漬装置を取付け、浸漬部を定置化できる。なお、浸漬部のフック(hook)にはセラミック製を用いることによって半年以上の連続使用ができ、また、鉄の溶入も抑えることが可能である。

- (8) X線探傷装置の導入により内部欠陥鑄物の後工程への流出を防ぐ。

鑄物の内部欠陥は加工工程で表面を切削して始めて欠陥の存在が判る。このため、不良品加工による損失が大きい。

とくに、鑄造方案や鑄造条件が未確定の新規立上りの製品の場合、素材のまま内部欠陥の存在有無を知ることにより、方案および条件の決定を迅速に行うことが可能となる。

量産品の中で鑄造条件のわずかな変動により内部欠陥を生じる製品もあり、特定の鑄造ロットが壊滅状態になることがある。このようなとき、ロットごとに抜取りないし全数を非破壊で内部欠陥のチェックができればこのような重大な損失を未然に防止することができ、ひいては計画生産の精度がより確実なものとする事ができる。

- (9) 鑄物の鑄造歩留りの現状については、2.1.2項で述べたように、一般に30～50%で、もっとも良い95系列ピストンで65%である。これを80%以上に改善することが検討課題である。歩留り向上のために考えられる方法を表2.2.1-1に示す。

歩留りを上げるための考え方の一つとして、重力鑄造においては下部より上部に向けて指向性凝固を行うことである。

ピストンの場合、薄肉のスカート部より凝固が開始し、厚肉の頭部に向けて指向性凝固を行わせ、さらに、ピストン頭部直上が最終凝固部となる方法が歩留りを向上させる良い方法と考える。表のb. に示したのは頭部に鑄肌部がある場合でも、頂面に加工される箇所があればどこへ押湯を付けることが基本的な考え方であることを示したものである。

溶湯はピストン側面より流し込み、下部より充填させるための湯道が必要である。このbの方式では、少くとも60%以上の歩留りを得ることが可能であろう。

さらに歩留りを上げるためには湯道を廃止することが考えられる。b'の方法は可傾式の鑄造機を用い、型を起しながら押湯から溶湯を流入させる方法である。この方法では一台の鑄造機で2個鑄造することは困難である。

歩留りが90%を超える方法としては低圧鑄造 (low pressure die casting) と直接法溶湯鍛造がある。

これらの欠点としては低圧鑄造では鑄造サイクルタイムが長いこと、溶湯鍛造法では中子の分割ができないため、複雑な形状にできないことである。

以上の点から、量産ピストンで歩留りを向上させる現実的な方法としては、まずbの正立鑄造方式を推奨する。

2.2.2 鑄造作業能率(生産性)の向上

- (1) 現状人員のままで生産数を倍増するためには、2台操作が1つの方法である。現状の鑄造では鑄造サイクルタイムは、80~100秒で製品1個が作られている。作業者は凝固時間の30~40秒の間だけ手待時間ができるが全体の約1/3であり、2台の鑄造機を持つことは困難である。
- (2) また、別の方法としては鑄造機1台で製品を2箇鑄造する方法である。手動鑄造機においては型組み、型ばらしがすべて手作業であるため2箇同時に行うことは困難である。
- (3) 次に、手動鑄造機を用いて一人当りの生産数を増す手段としては鑄造サイクルタイム(cycle time)を短縮することが考えられる。

現状の鑄造では湯汲み、注湯の時間は大巾な短縮はできない。時間を短縮できる可能性のあるのは凝固時間と離型・型組みの時間である。

凝固時間については押湯部の凝固時間が律速となるが、下部よりの水冷による凝固の促進を的確に行わせることが必要である。そのためには注湯後ただちに急速に冷却し、凝固完了と共に停止させる。連続注水は金型温度を過度に下げため、湯まわり不良を起すので好ましくない。品質を安定させるには注水時間は正確に制御しなければならないので、タイマー(timer)などにより機械的に行う必要がある。

次に型組み、型ばらしの時間短縮であるが、作業者の作業はすでに熟練されたものであり、これ以上動きを早くすることは困難である。

以上のように手動機においては限界に近く、生産数を大巾に増やすことは難しい。

- (4) 現状の人員を変えずに生産数を倍増する方策は
 - a. 鑄造機1台につき2個の製品を鑄造する。(多数個取り)
 - b. 1人の作業者が2台以上の鑄造機を扱う。(多台操作)

c. 手待ち時間を有効に活かして他工程を持つ。(多工程持ち)
が考えられる。

- (5) 手動鑄造機においては(4)の a, b, c. を実行することは困難であることはすでに述べた通りである。したがって、これらを達成するには鑄造機を自動化することである。

型組み、型ばらしを機械化したときの機械作業と人手作業の一例を図2.2.2-1に示す。人手作業としては注湯・金型修正・鑄物検査があり、人手作業時間は全鑄造サイクルタイムの10~20%にすぎない。残りの80~90%は手待ち時間となる。

- (6) また(4)の a, b, cを含む作業の一例を図2.2.2-2に示す。この図は1人の作業者が2個取りの金型を持つ鑄造機2台を用い湯口切断をして、熱処理用バスケットに素材を並べるところまでを行うことを示している。

作業者は手動鑄造機での型組み、型ばらし作業のかわりに、凝固時間内で湯口切断のための鑄物の取付けと取り外し作業と素材をかごに詰めることを行うのである。

2.2.3 生産能力の増大

年間ピストン生産数を 200万個とし、必要な鋳物素材の生産数を 220万個とする。また年間の稼働日数を 280日とすると、1日の鋳造必要数は 7,857個となる。1日の稼働時間を18時間とすると、時間当たり 437個作ればよい。

図2.2.2-1のように鋳造サイクルタイムを 150秒とすると、1台の鋳造機(2個取り)で時間当たり48個であるので、鋳造機は少くとも10台は必要である。

保温炉については2台の鋳造機に使う溶湯を1台の炉で賄うとすれば、1個当たりの溶湯使用量は 1.7kgとすると 163kgとなる。この使用量は溶解からは1台1時間当たり 250kgの配湯があるので充分にこの範囲内にある。

湯口切断を鋳込み作業者が行う場合には、湯口切断機は鋳造1サイクルの間に2個の切断が完了しておればよく、その時間は75秒以内であればよい。

以上をまとめると、年産 200万個(鋳物 220万個)を達成するには、

自動鋳造機	10台
金型	2個取り
(湯口切断機	10台)
鋳込作業者	5名(鋳造機2台持ち)

を必要とする。

図2.2.3-1に自動鋳造機およびその他の設備の配置を示す。生産要員については現状人員を表2.2.3-1に示すように配置したい。

2.2.4 時効処理炉の改造

- (1) 2.1.5 項で述べたように、時効炉の昇温速度が炉の上部と下部とで大きく異なっている。また扉側下部は到達温度も低い。この差は個々の熱処理品の機械的性質や物理的性質を変えていると考えられる。したがって、炉内作業域のいずれの場所においても同じ温度であるように、炉体改造および加熱方法の改善を必要とする。
- (2) また、改造の必要性は次の点からも検討する必要がある。溶体化炉と時効炉のそれぞれの熱処理用バスケット (basket) の形状が異なるため、焼入後のピストン素材を焼もどし用バスケットに移し換えなければならない。このとき問題になるのはピストン素材の移し換え作業の無駄と移し換え時に製品に打痕や変形を発生させていることである。
- (3) 以上の(1)、(2)の理由により、溶体化炉の温度分布が良好なことから、小ロット (lot) 製品を対象にしたときは丸型のバッチ (batch) 炉を時効炉として用いることが望ましい。同タイプ (type) の炉にすることによって熱処理用バスケットの共通化ができ、ピストン素材の移し換える無駄を除き、かつ製品の品質の維持ができる。
- (4) 丸型バッチ炉においては昇温速度を上げ、また、炉内各部の温度が同じになるように炉内雰囲気攪拌を強化する。
- (5) さらに、炉内温度を均一にするために、加熱領域を現状の2段から3段に分けて、各段で温度が制御できるようにする。
- (6) また、炉の放熱を少なくし、炉内温度をすみやかに均一にするために炉壁各部へセラミックファイバー (ceramic fiber) などの軽量断熱材料を用いて炉体の保温を図る。保温により炉の消費電力の節減ができる。

図2.2.4-1にセラミックファイバーを炉壁材に使用した場合と従来の耐火断熱煉瓦などと比較したときの効果を示す。

セラミックファイバーは高純度のアルミナ (alumina) とシリカ (silica) から作られており、これを用いたとき放散熱量を同じとしたとき、他のものより壁厚を薄くでき、しかも蓄熱量が小さくて済むことがわかる。

以上の考えを入れた丸型バッチ炉の例を図2.2.4-2に示す。

- (7) 溶体化処理時にピストン素材を整然と並べることは素材用の空間が一定の割合で確保でき、熱風の流通が均一になるので、個々のピストンの品質を均等にできる。したがって、焼もどしの時もそのままの状態で焼もどしができるので、同じ理由で加熱状態が良くなり、品質を確保できる。

2.2.5 焼入れ水槽の改造

- (1) 現在使用されている焼入れ水槽はコンクリート製の角型で、水の容量は一回のピストン素材の焼入れ量からみて充分過ぎる量である。
- (2) 当該工場の標準の焼入れ水の温度は30～100℃と決められている。小さいピストンは水温は低く、大きなピストンは高温の水に焼入れすることが定められている。
- (3) このため、それぞれの温度を確保するには第一の改善点として水温をコントロール(control)する加熱装置の設置が必要である。
- (4) 現在の焼入れ水は静止状態で使用するため、過大に水量を多くしている。したがって、このままでは水温を効果的にコントロールすることは困難である。
- (5) そこで、第二の改善点としては水温の調節を容易にするために水槽の容積を最少必要量にし、焼入れ水は循環させるようにして、水槽に付属した加熱・冷却装置を用いて、水温調節を実施することである。
- (6) 焼入れ時の水温についてはバスケット底部の水温は適温であっても、バスケット上部の水は沸騰する。このため、作業者がホイストでバスケットを上下させて水の攪拌をしている。
- (7) しかし、左右への移動はほとんどないので、バスケット上部のピストン素材は沸騰点に達した熱水に曝され、冷却は極度に緩慢であると考えられる。場所による焼入れ速度の相違により、2.1.6項で示したように硬度のバラツキが生じている。
- (8) このため、第三の改善点としては、焼入れ時に水中のバスケットに対し、前後左右より水を噴出させ、強制循環を行わせることである。

2.2.6 熱処理の多量生産への対応

- (1) 将来、生産量の倍増が計画されており、現状人員で対応することを考えると、作業者の労働負担を軽減することが必要である。
- (2) 労働負担の軽減を図ると共に、同一熱処理条件の大量のピストン素材を熱処理する場合に有効な方法として連続熱処理炉を推奨する。
- (3) 連続熱処理炉では自動化が可能である。タイマー（timer）による自動操作で熱処理用バスケットの挿入・取出しおよび焼入れができる。
- (4) 自動化により作業者の安全が確保される。熱処理において危険な作業である焼入れ作業を無人で行える。
- (5) 操作がすべて機械化されると、操作時間が一定になり、バスケットごとの熱処理条件がまったく同じになるので、安定した品質のピストンが得られる。
- (6) また、このとき湯口切断後のピストン素材を切断作業現場で熱処理用バスケットに詰め、バスケットとリフトカーにより熱処理作業場へ運び、熱処理炉の挿入軌道に乗せる。熱処理済み品は熱処理用バスケットに入れたまま、機械加工現場まで運び、加工が済んで空になったバスケットを湯口切断作業場へ返すことによって詰め替え作業の省略を図ることができる。
- (7) 湯口切断後から機械加工のために取り出されるまで、ピストン素材を詰め替えることがなくなるので、詰め替え作業工程（湯口切断品置場から焼入れ用バスケットへ、焼入れ用バスケットから焼もどし用バスケットへ、焼もどし用バスケットから運搬用リフトの容器へ、リフトの容器から加工現場へ降す）で生ずる打痕などによる不良の発生がなくなる。
- (8) 以上、熱処理作業を自動化し、作業者の作業区分と熱処理用バスケットの流れを図2.2.6-1に示す。
- (9) 連続熱処理による熱処理の能力についてみると、熱処理用バスケットのピストン素材収容数を200～300個とし、1時間おきに処理され、24時間稼働とすると、自動化熱処理炉1ラインにつき、次のようになる。

日当り処理数 4,800～7,200個

年間処理数 1,344,000～2,016,000個
（280日/年）

多量生産品の主なものはこの熱処理設備1ラインで対応ができる。

- (10) 連続熱処理設備の設置は設備の大きさから1ラインで約500㎡の床面積を要すると考えられ、設置場所として熱処理工場の北側の現在原料倉庫である建屋が使える。副資材などの原料は地金倉庫の建屋の中の現在使用していないガスステーション(gas station)に移転すると原材料が集中でき、好都合と考える。

連続熱処理ラインの設置による要員についてはバッチ炉の方で移し換え作業を必要としなくなり、運搬作業も機械化されるので人員の増加は必要なく、現状の1直2名の3交代 合計6名で充分である。

連続熱処理炉の導入が品質保証面で望ましいが、中方工場の諸般の事情で導入が困難ならば、現状の仕様を一部改善した丸型バッチ炉の代替でも可能である。

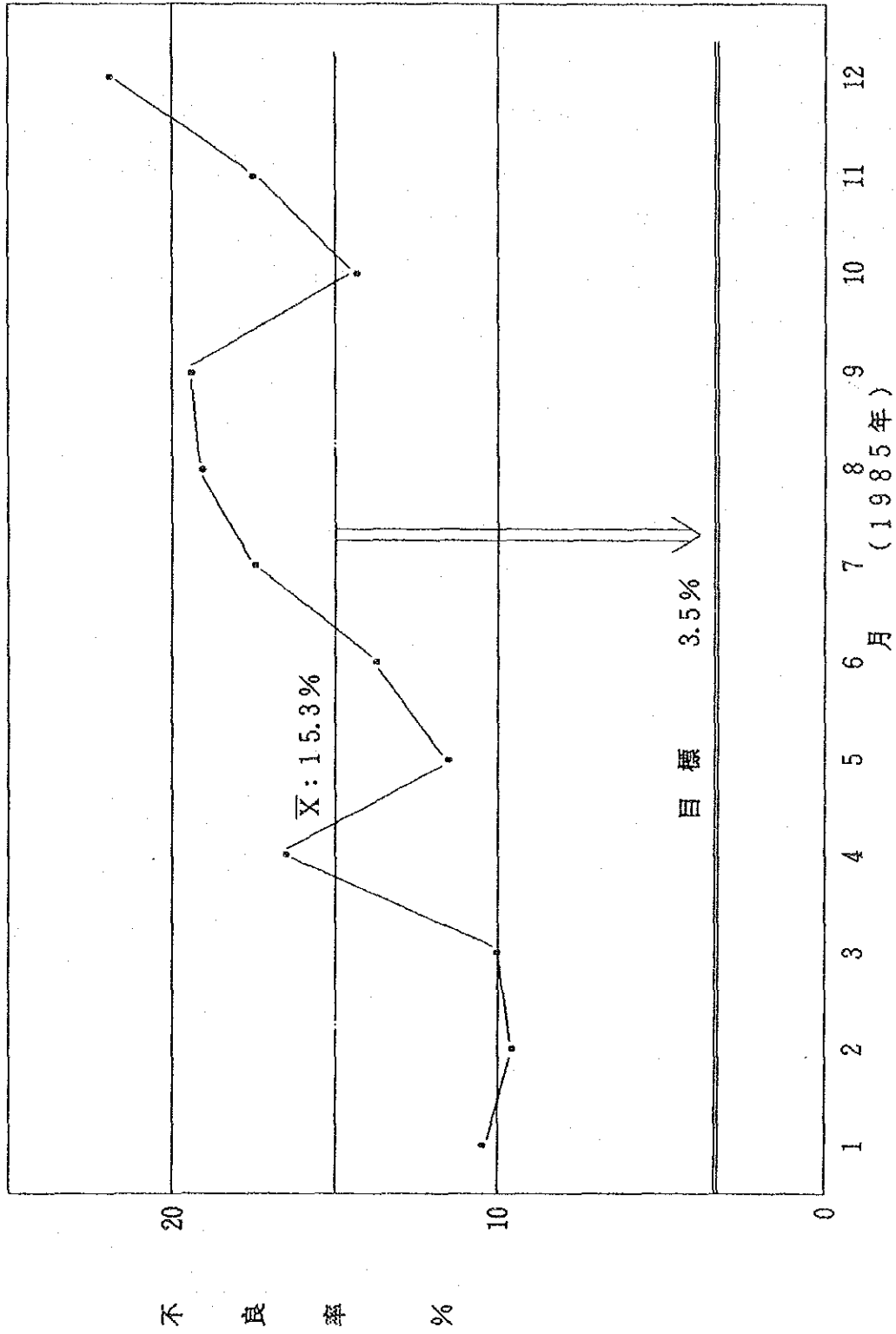


図 2.2.1-1 鑄造不良率の推移と改善目標

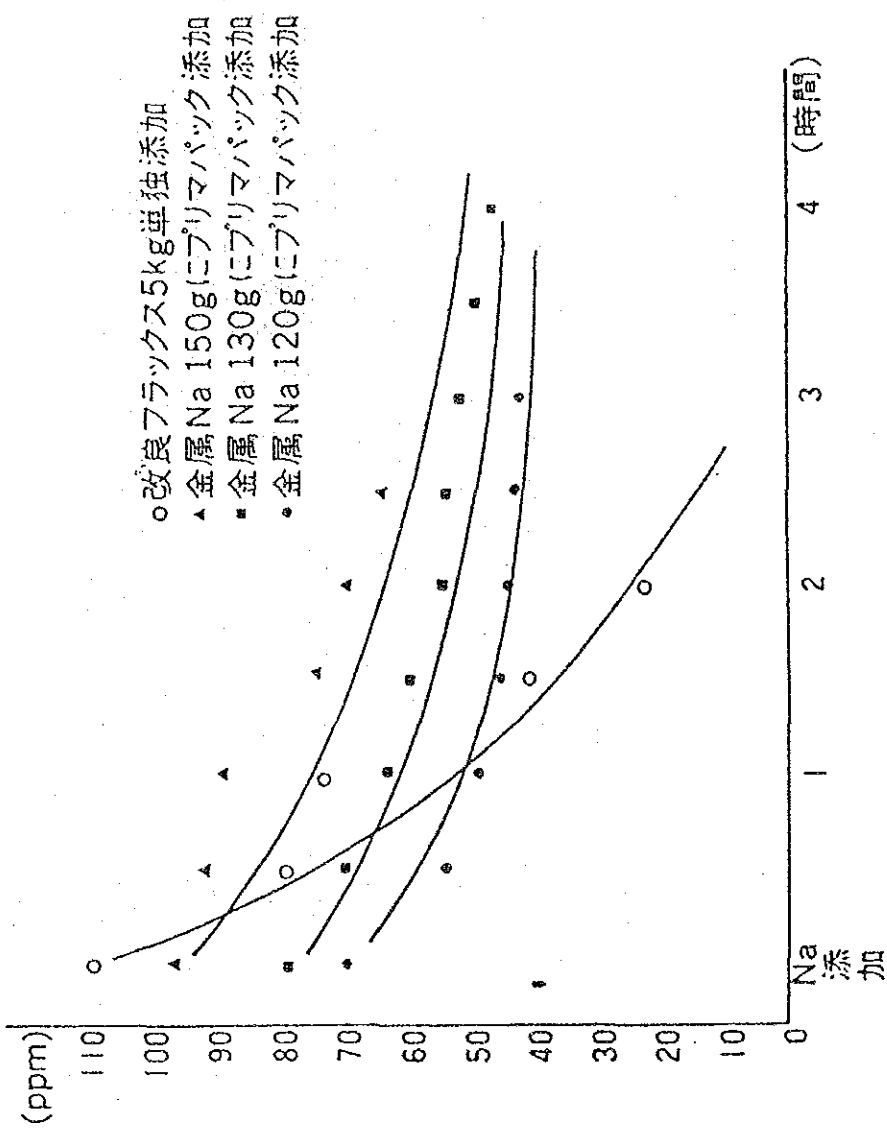


図2.2.1-2 プリマバック添加の時間経過による Na 残存量 処理条件
 (使用地金; AC4C 溶解量; 500 kg 溶解温度 720°C プ
 リマバック添加量 1 kg (wt, 0.2%))

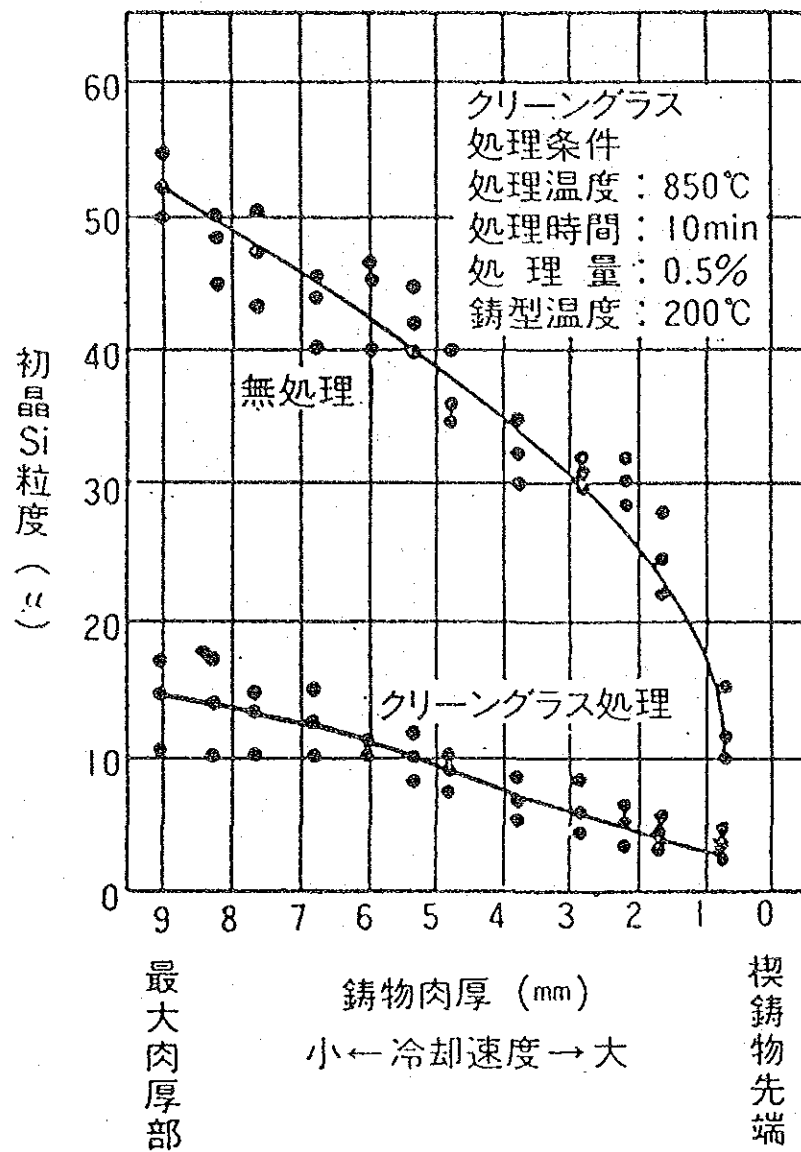
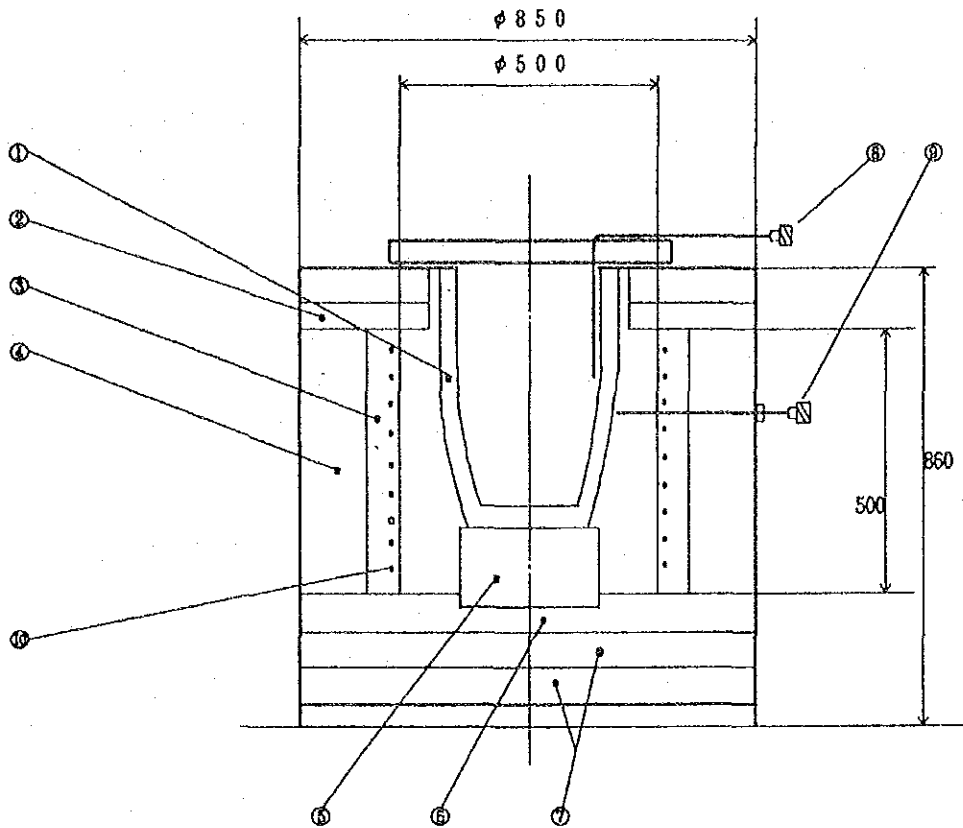


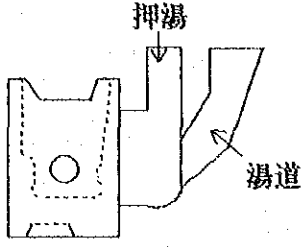
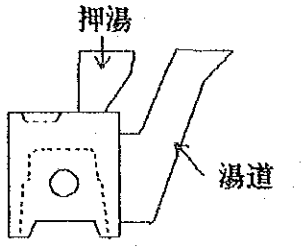
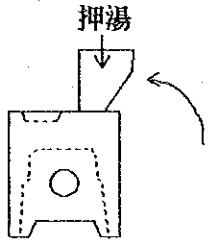
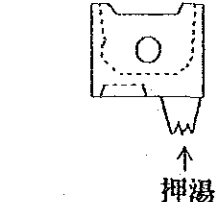
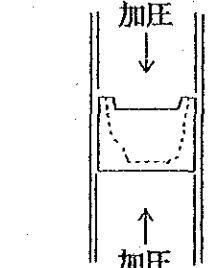
図2.2.1-3 Al-20% Si合金の初晶Si粒度と冷却速度の関係



- | | |
|--------------------------|---|
| ① 風 鉛 坩 埚 井 150 | ⑥ 断 熱 煉 瓦 (B 5) |
| ② 保 温 材 (セラミックボード) | ⑦ 断 熱 保 温 煉 瓦 (B 3) |
| ③ 熱 板 (アルミナ 50% 焼 結 環) | ⑧ C A 熱 電 対 (保 護 管 付 き) |
| ④ 保 温 材 (セラミック フェルト) | ⑨ C A 熱 電 対 (インコネル 被 覆)
(Inconel) |
| ⑤ 坩 台 (高アルミナ質) | ⑩ 発 熱 体 (カンタル丸線スパイラル)
(kanthal) (spiral) |

図 2.2.1-4 耐 摩 現 浸 漬 炉 の 例

表 2.2.1-1 各種鑄造法の歩留り

	鑄造法	鑄造方案	歩留り	特徴
a	倒立鑄造 (現状)		約50%	押湯はかならず ピストン側面に 付く
b	正立鑄造		約60%	正立鑄造の標準 的な方案であり、 2個取りができる
b	可傾式 正立鑄造		約70%	多数個取りは難しい
c	低圧鑄造		約90%	鑄造サイクルタイム が長い。
d	溶湯鍛造 (直接法)		約90%	頂面は加工が必要 ピン孔は鑄抜不可 中子形状は制約される

(時 間)	(工 程)	(機 械 動 作)	(作 業 者 動 作)
~10"	型 組 み	型 閉 じ 開 始	
	注 湯	型 閉 じ 完 了	注 湯 開 始
~10"			注 湯 完 了
60~90"	錠 固		(錠 物 外 観 検 査)
1 サイクル 150"		型 開 き 開 始	
	型 ば ら し	型 開 き 完 了 アローダ (unloader) 下 降	
~10"			
~15"	錠 物 取 出 し	取 出 し 完 了	
0~15"	塗 型 修 正		塗 型 子 エ ッ ク

図 2.2.2-1 自動鑄造機を用いたときの機械と作業者の作業と時間

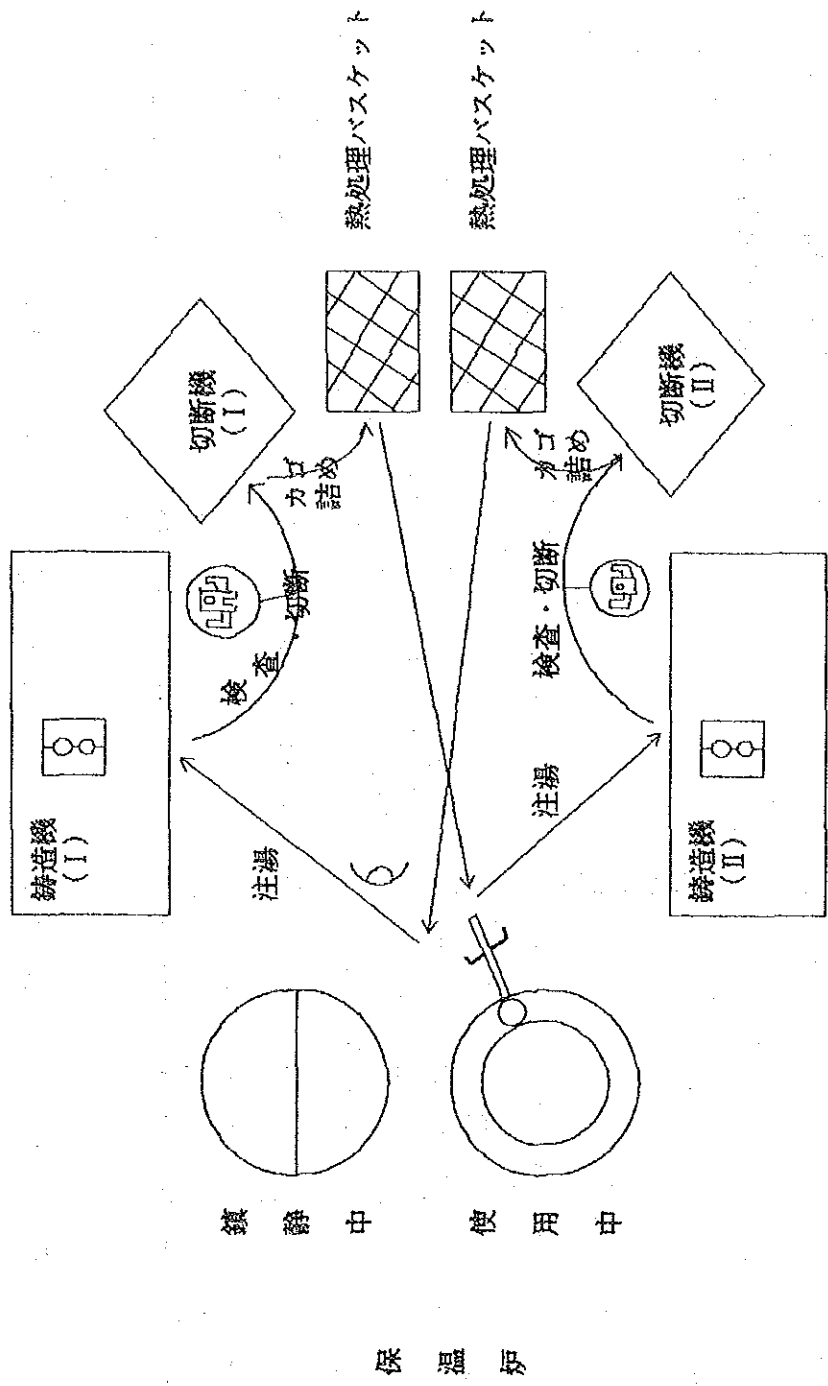


図 2.2.2-2 自動铸造機を用いた铸造作業、設備とその配置の例

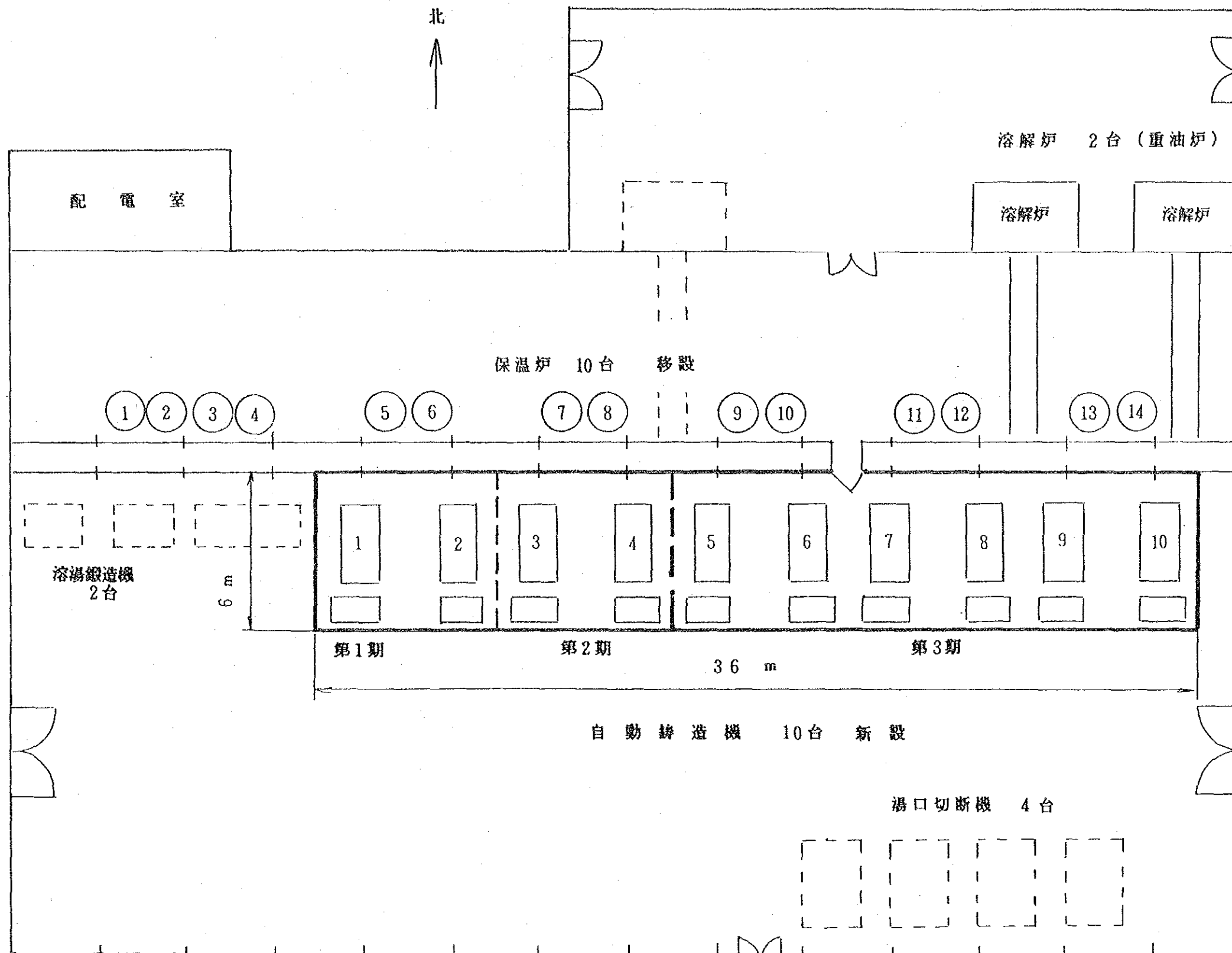


図2.2.3-1 溶解・鑄造作業場の新設設備配置の例

表2.2.3-1 溶解・鑄造の人員配置

工 程	現 状	将 来		
溶 解	4名×3直	3名×3直	△3	溶湯品質の向上のため
処 理	—	2名×3直	+6	
鑄 込	10名×3直	(5+1)名×3直	△12	鑄物品質の向上のため
検 査	—	1名×3直	+3	
保全・準備	—	2名×3直	+6	円滑な生産のため
要員合計	42名	42名	±0	

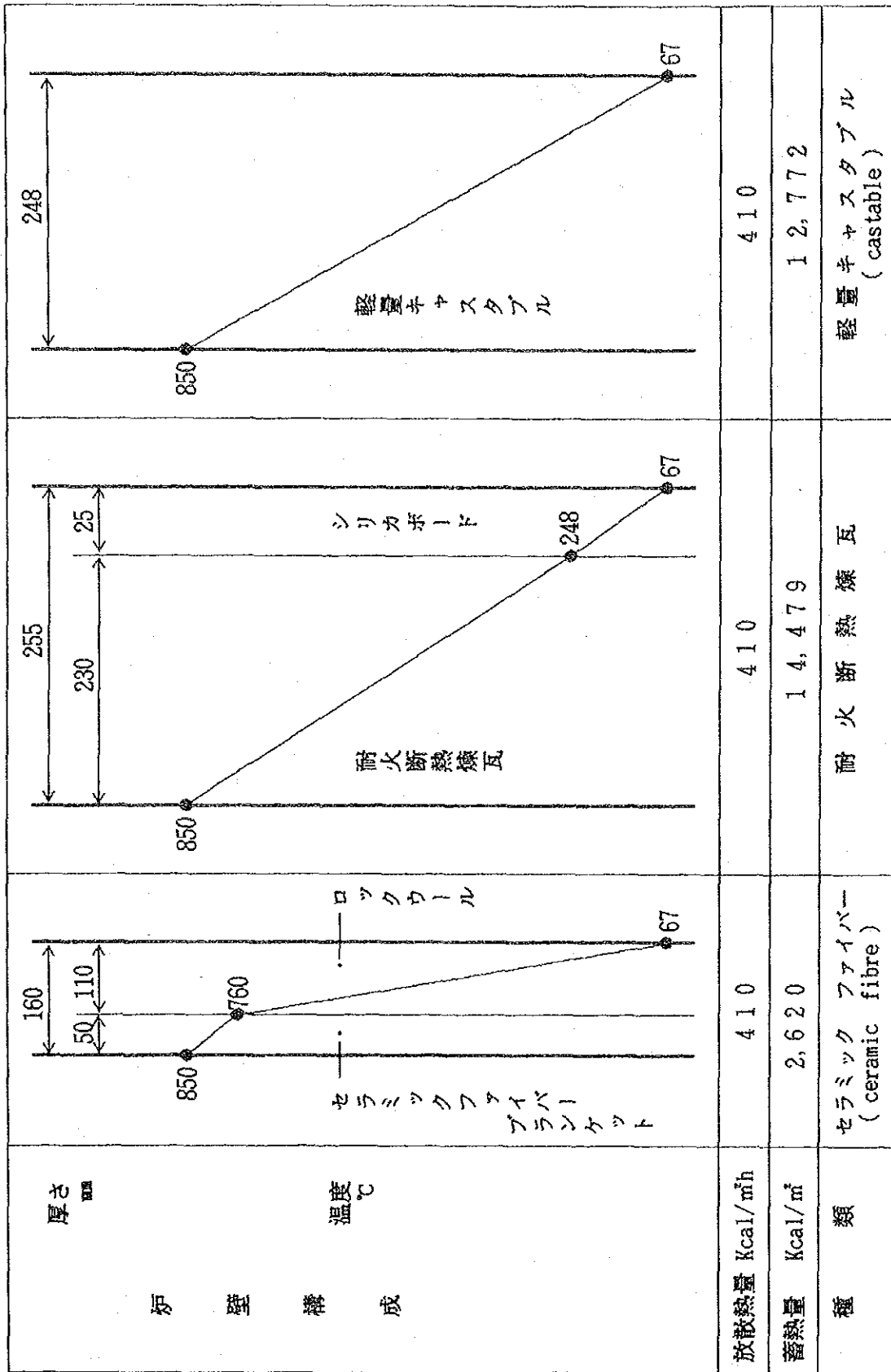


図 2.2.4-1 セラミックファイバーを使用した炉壁

- ① 帯線ヒーター (FCH-2)
- ② CA 熱電対 (インコネル被覆)
- ③ 断熱材 (ファイフレックス1300フェルト)
- ④ 保温材 (№5090 ファインフェルト)
- ⑤ 保温材 (MGフェルト #60)
- ⑥ 耐火断熱材 (B3煉瓦)
- ⑦ 保温材 (MGフェルト)
- ⑧ 保温材 (スーパーテンポボード)

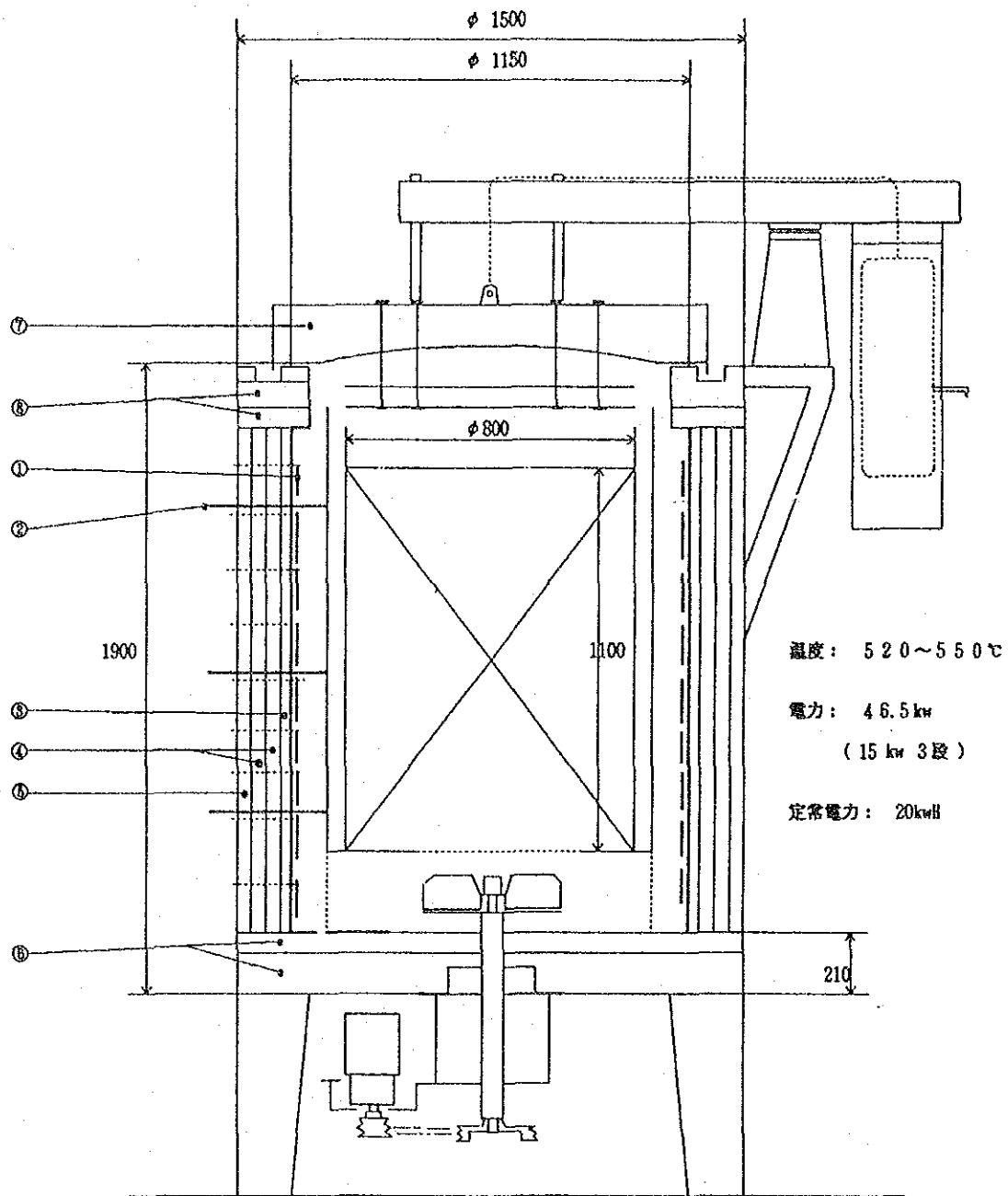


図 2.2.4-1 経済性を考慮した丸型バッチ炉の例

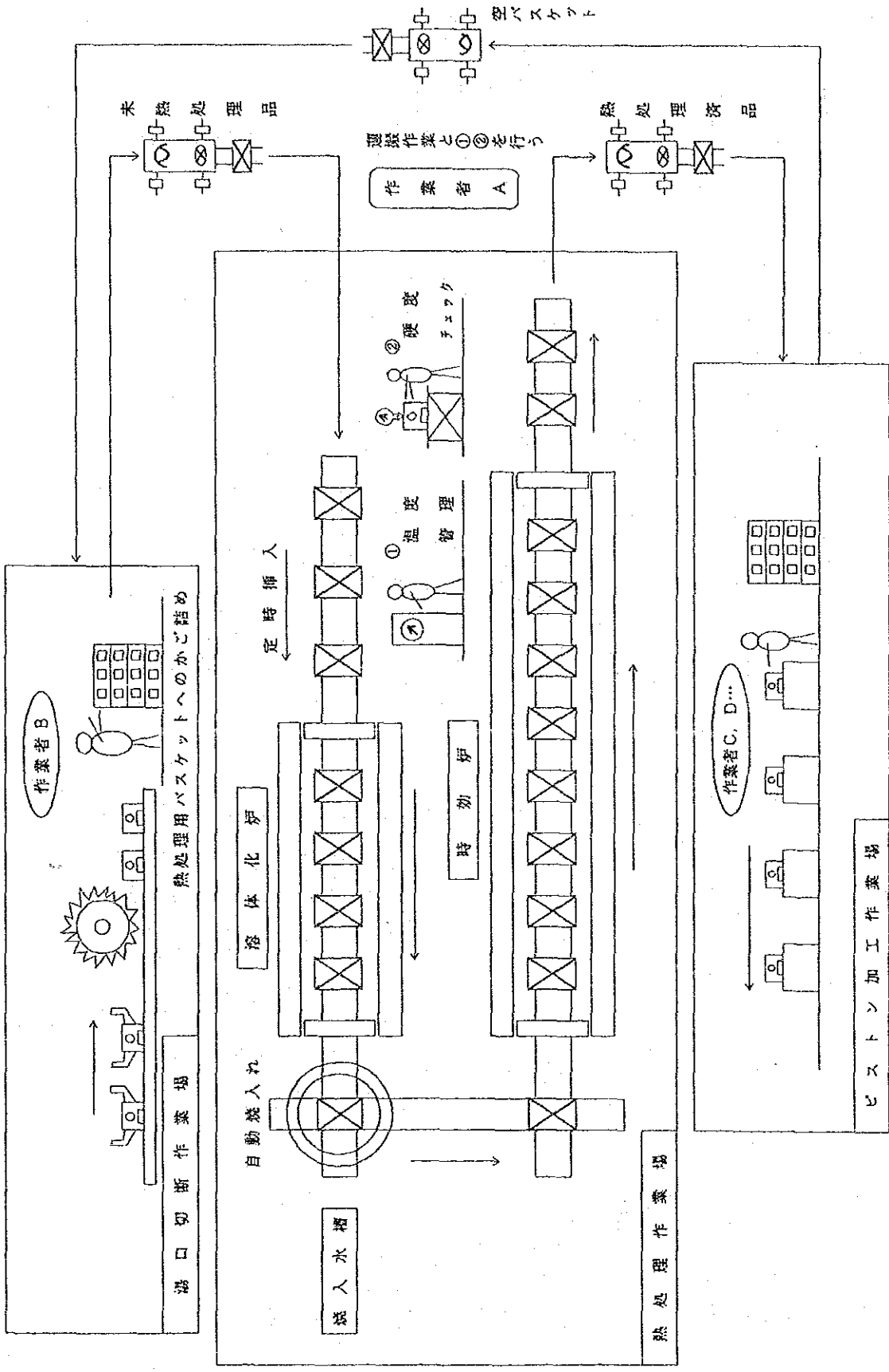


図 2.2.6-1 熱処理作業の自動化と作業区分およびバスケットの流れ

2.3 参考資料

以下に示す資料は本文中で引用した表・図・写真の表題をまとめたものである。これらは現地調査に先立ち、計画書に付した質問状に対する回答、現地調査時に提出された資料と現地で採取したデータ（data）、関連する文献、他工場の資料からの引用データ・参考資料である。

- ① 図2.1.1-1 95系列ピストン鑄込時の金型温度
現地調査での測定データを記す。
- ② 図2.1.1-2 95系列ピストンの鑄込みと時間
現地調査での測定データのまとめを記す。
- ③ 表2.1.1-1 保温炉溶湯温度の測定
現地調査での測定データを記す。
- ④ 表2.1.2-1 鑄造歩留り
質問状の回答資料に基づき作成した。
- ⑤ 図2.1.2-1 代表機種 of 鑄造方案例
質問状の回答資料を記す。
- ⑥ 図2.1.3-1 代表機種 of 鑄造不良内容・割合・発生場所
質問状の回答資料を記す。
- ⑦ 図2.1.3-2 95系列ピストンの3箇月間の品質
現地調査時に提出された記録を整理して記す。
- ⑧ 図2.1.3-3 95系列ピストンの鑄造不良品の不良内容
現地調査時の測定データを記す。
- ⑨ 図2.1.3-4 95系列ピストン鑄造不良品の欠陥の種類と発生場所
現地調査時の測定データを記す。
- ⑩ 表2.1.3-1 吸収ガス量の検査要領
質問状の回答資料を記す。
- ⑪ 表2.1.3-5 吸収ガス量と溶湯温度の関係
現地調査時の測定データに基づき作成した。

- ⑫ 図2.1.3-6 アルミニウム溶湯の水素溶解量
文献より引用して参考資料として記す。
- ⑬ 表2.1.3-2 改良処理の検査要領
質問状の回答資料を記す。
- ⑭ 表2.1.3-3 材質別ピストンの成分分析結果
質問状の回答資料に基づき作成した。
- ⑮ 写真2.1.3-1 材質別ピストンの光学顕微鏡組織
質問状の回答資料に基づき作成した。
- ⑯ 図2.1.3-7 耐摩環入りピストンの融着不良の発生位置
現地調査時の測定データを記す。
- ⑰ 図2.1.5-1 溶体化炉と時効炉の炉内温度
現地調査時の測定データを記す。
- ⑱ 図2.1.5-2 炉内温度分布測定時の炉の温度調節温度記録(溶体化炉)
現地調査時の工場設備による記録を記す。
- ⑲ 図2.1.5-3 炉内温度分布測定時の炉の温度調節温度記録(時効炉)
現地調査時の工場設備による記録を記す。
- ⑳ 図2.1.6-1 1箇月間の量産ピストンの硬度チェック記録
現地調査時の提出された資料を記す。
- ㉑ 図2.1.6-2 95系列ピストンの硬度測定
現地調査時の測定データを記す。
- ㉒ 表2.1.7-1 ピストン用アルミニウム合金の機械的性質
質問状の回答資料を記す。
- ㉓ 図2.1.7-1 ピストン材の室温と高温の引張り強さ
現地調査時の鑄造試料について測定した結果を記す。
- ㉔ 図2.1.8-1 テストピースによる材質別永久変形量
現地調査時の鑄造試料について測定した結果を記す。
- ㉕ 図2.2.1-1 鑄造不良率の推移と改善目標
現地調査時に提出された資料により作成した。

- ⑳ 図2.2.1-2 プリマバック添加の時間経過によるNa残存量
文献より引用して参考資料として記す。
- ㉑ 図2.2.1-3 Si-20%Si合金の初晶Si粒度と冷却速度の関係
文献より引用して参考資料として記す。
- ㉒ 図2.2.1-4 耐摩環浸漬炉の例
先進工場で使用されている炉の例を示す。
- ㉓ 表2.2.1-1 各種鑄造法の歩留り
先進工場の計測値に基づいて作成した。
- ㉔ 図2.2.2-1 自動鑄造機を用いたときの機械と作業者の作業と時間
先進工場の計測値に基づいて作成した例を記す。
- ㉕ 図2.2.2-2 自動鑄造機を用いた鑄造作業、設備とその配置の例
先進工場の計測値に基づいて作成した例を記す。
- ㉖ 図2.2.3-1 溶解・鑄造作業場の新設設備配置の例
現地調査時に提出された資料に基づき作成した例を記す。
- ㉗ 図2.2.3-2 溶解・鑄造の人員配置
- ㉘ 図2.2.4-1 セラミックファイバーを使用した炉壁の温度
文献より引用して参考資料として記す。
- ㉙ 図2.2.4-2 経済性を考慮した丸型バッチ(batch)炉の例
先進工場で作られた製品例として記す。
- ㉚ 図2.2.6-1 熱処理作業の自動化と作業区分およびバスケットの流れ
現地調査時に提出された資料に基づき作成した例を記す。

3. 機械加工

3.1 調査内容

3.1.1 機械設備と生産性

(1) 各ラインの工程別機械設備

① 端面内径粗加工工程

#195、#140加工ライン(line)は、ボーリング(boring)加工方式の内径切削専用機であり、かつまた空圧シリンダー(cylinder)により、加工品を基準位置まで移動する搬入装置付である。搬入装置のシリンダー設定圧力は5 kg/cm²である。機械動作中、設定圧力が、4 kg/cm²以下になることがあり、圧力が4 kg/cm²以下になると加工品寸法(燃焼室までの高さ)が安定せず、生産要員は選別作業を行っている。#160加工ラインは、端面内径粗加工とピン孔粗加工が同時加工できる3ステーションボーリング(3 station boring)加工方式の内径切削専用機であり、かつ加工品の能力は最大160mm である。#125、#175加工ラインは、旋盤加工方式機械である。また両ライン共刃物を加工品まで手動で移動し、切削を行う普通旋盤と同じ作業動作である。

② 外径、溝、頭部粗加工工程

#195、#140、#125、#175加工ラインの機械は、油圧切削送りである。しかしながら、頭部加工用スライドに刃物戻り装置がない。したがって加工品頭部にツールマーク(tool mark)が付いている。

#160加工ラインは、機械送りの専用機である。

③ 油孔加工工程

#195、#140加工ラインは、搬入搬出装置付自動多軸穿孔専用機である。加工品は一機種専用であり、他の機種には使用しない。他の加工ラインは卓上ボール盤(bench drilling machine)設備であり、作業は手動動作である。

④ 端面内径仕上加工工程

#195加工ラインは、搬入搬出装置付自動内径切削専用機である。また#195、#140加工ラインは油圧切削送りで、かつ油圧チャック(chuck)を使用している。

#125、#175加工ラインはカム(cam)機構送りの内径切削専用機である。

センター穴(center hole) 加工を行うため、手動チャック(chuck) を使用している。

#160加工ラインは油圧送りの内径切削専用機である。しかしながら、センター穴加工を行うため、手動チャックを使用している。

⑤ ピン孔粗加工工程

#195加工ラインは、搬入搬出装置付中ぐり専用機である。#140、#125、#175加工ラインは加工品を刃物位置まで手動で移動し、切削完了後、再び手動で原位置に戻す機械送りの中ぐり専用機である。

⑥ 溝仕上加工工程

#195加工ラインは、搬入搬出装置付自動溝加工専用機であり、かつ油圧切削送りである。

#140、#125、#175、#160加工ラインは、カム(cam) 機構送りの溝加工専用機である。各ライン共、切削油装置付である。

⑦ 外径仕上加工工程

#195加工ラインは、外径と頭部仕上加工する油圧送りの外径切削専用機である。しかしながら、頭部加工用刃物の切込み送りおよび戻しは、機械的に行なわれている。その構造は、切削送り用スライド(slide) の前後に固定金具が取り付けられていて、スライド(slide) の前進および後退時に、刃物台の送り用レバー(lever) が、固定金具に当り、旋回する。その旋回により、刃物台を移動させ、切込み送りおよび戻しを行う構造である。したがって送りネジ(screw) 精度は刃物の切込み位置を変化させる要因がある。加工寸法安定化のため送りネジ(screw) 精度の維持が必要である。

#140、#125、#175、#160加工ラインは、倣い装置付外径切削専用機である。また機械送りのため、手動で原位置に刃物を移動させる普通旋盤と同じ作業動作である。

⑧ ピン孔仕上加工工程

全加工ラインはピン孔オフセット(off set) 調整装置が設置されていない油圧送りの自動中ぐり専用機である。したがって、治具と機械精度により、ピン孔オフセット(off set) 寸法を維持している。

⑨ クリップ(clip)溝加工工程

#175加工ラインは、手動の内径溝切削専用機である。他の加工ラインは油圧送りの自動専用機である。

⑩ 外径研削加工工程

全加工ラインは切込み送り手動の外径研削盤である。研削作業のため、立体的外径形状加工は、困難である。

⑪ バニッシング(burnishing)加工工程

#195加工ラインは、横型バニッシング(burnishing)専用機、#140、#175加工ラインは、直立ボール盤であり、かつ手動作業である。バニッシングツール(burnishing tool)は、自社製品である。

(2) 各ラインの生産性

- ① 各ライン 1人 機械1台の作業である。
- ② 各ライン工程間に、製品の仕掛が 240~2000個ある。
- ③ 各ラインの生産個数

1日の実動時間の75%を正味稼働時間とすると、各ラインの工程別生産個数は、表3.1.1-1~表3.1.1-5に示す通りである。各工程の生産個数は、アンバランス(unbalance) であり、かつまた各ラインは流れ作業でない。工程間のサイクルタイム(cycle time)の同期化が必要と思われる。

表3.1.1-1 井195加工ライン工程別生産個数 (機種: 95-3A)

工程順	加工部位	機械台数	生産個数 個/日
01	端面内径粗加工	1	1440
02	外径、溝、頭部粗加工	2	1544
03	溝油孔、ピン油孔加工	1	1543
04	端面内径仕上加工	1	1394
05	ピン孔粗加工	1	655
06	溝仕上加工	1	1029
07	外径、頭部仕上加工	1	800
08	ピン孔仕上加工	2	2620
09	クリップ(clip)溝	1	1270
10	ピン孔内面取加工	1	4320
11	バニッシング加工	1	2700
12	外径研削加工	1	540

表3.1.1-2 #125加工ライン工程別生産個数(機種:8AS125)

工程順	加工部位	機械台数	生産個数 個/日
01	端面内径粗加工	1	675
02	外径、溝、頭部粗加工	1	584
03	溝・油孔加工	1	772
04	ピンボス油孔加工	1	1662
05	ピン孔粗加工	1	600
06	端面内径仕上加工	1	584
07	溝仕上加工	1	569
08	外径仕上加工	1	432
09	ピン孔仕上加工	1	675
10	クリップ(clip)溝加工	1	491
11	外径研削加工	1	450
12	燃焼室粗加工	1	540
13	燃焼室仕上加工	1	426

表3.1.1-3 井175加工ライン工程別生産個数(機種:40F)

工程順	加工部位	機械台数	生産個数 個/日
01	端面内径粗加工	1	2057
02	ピン孔粗加工(I)	1	982
03	外径、溝、頭部粗加工	1	831
04	ピンボス油孔加工	1	1234
05	端面内径仕上加工	1	1200
06	溝仕上加工	1	939
07	外径仕上加工	1	1200
08	ピン孔粗加工(II)	1	800
09	ピン孔仕上加工	1	1080
10	クリップ(clip)溝加工	1	1137
11	回り止めピン孔加工	1	1200
12	回り止めピン入れ作業		1440
13	バニッシング加工	1	3086
14	外径研削加工	1	514
15	頭部仕上加工	1	830
16	ピストン端面加工	1	1200

表3.1.1-4 井160加工ライン工程別生産個数(機種:6160)

工程順	加工部位	機械台数	生産個数 個/日
01	端面内径、ピン孔粗加工	1	300
02	外径、溝、頭部粗加工	1	185
03	溝油孔加工	1	193
04	斜油孔加工	1	193
05	端面内径仕上加工	1	480
06	溝仕上加工	1	514
07	外径仕上加工	1	270
08	ピン孔仕上加工	1	260
09	クリップ(clip)溝加工	1	617
10	ピン孔内面取加工	1	864
11	外径盗み加工	1	129
12	外径研削加工	1	158
13	頭部仕上加工	1	176

表3.1.1-5 井140加工ライン工程別生産個数(機種:95G)

工程順	加工部位	機械台数	生産個数 個/日
01	端面内径粗加工	1	1270
02	外径、溝、頭部粗加工	1	772
03	斜油孔加工	1	675
04	溝油孔加工	1	864
05	油孔かり取り(chamfering)作業		2160
06	端面内径仕上加工	1	1270
07	ピン孔粗加工	1	900
08	溝仕上加工	1	900
09	外径仕上加工	1	584
10	ピン孔仕上加工	2	2468
11	クリップ(clip)溝加工	1	831
12	ピン孔内面取加工	1	4320
13	バニッシング加工	1	2700
14	外径研削加工	2	1138
15	頭部仕上加工	1	772

各ラインの1日完成品個数は

井195加工ライン	540個/日
井125加工ライン	426個/日
井175加工ライン	514個/日
井160加工ライン	129個/日
井140加工ライン	584個/日

である。

また各ラインの1日1人当りの生産個数は、表3.1.1-6に示す通りである。
1人当りの生産個数を高めるため、生産要員と、機械受持ち台数の検討が必要と思われる。

表3.1.1-6 1人当りの生産個数表

ライン名	人員	1日1人当りの 生産個数 個/人
#195加工ライン	13	42
#125加工ライン	13	33
#175加工ライン	17	31
#160加工ライン	13	10
#140加工ライン	16	37

④ 各加工ラインの工程別加工時間

各加工ラインの工程別に手作業時間と機械自動運転時間を測定した結果は表3.1.1-7～表3.1.1-11の通りである。1人機械1台作業のため手待ち時間が非常に多い。現状は、この手待ち時間を加工寸法の計測作業と加工品の積み上げ作業等に活用している。しかし、これらの作業を考え合せて手待ち時間の有効活用を考えるべきである。

表3.1.1-7 井195加工ラインの手作業時間と機械運転時間表

(機種：95-3A)

工程順	工程名 (加工箇所)	人員	1サイクルタイム (秒)			作業手待ち時間の比率
			手作業時間	機械自動運転時間	合計時間	
01	端面内径粗加工	1	5	10	15	67%
02	外径溝頭部粗加工	0.5	14	14	28	0
	外径溝頭部粗加工	0.5	14	14	28	0
03	溝油孔、ピンボス油孔加工	1	—	14	14	100%
04	端面内径仕上加工	1	7.5	8	15.5	51.6%
05	ピン孔粗加工	1	10	23	33	69.6%
06	溝仕上加工	1	8.5	12.5	21	59.5%
07	外径頭部仕上加工	1	10	17	27	62.9%
08	ピン孔仕上加工	1	8	25	33	75.7%
	ピン孔仕上加工	1	8	25	33	75.7%
09	クリップ溝加工	1	5	12	17	70.5%
10	ピン孔内面取加工	1	5	—	5	0
11	バニッシング加工	1	8	—	8	0
12	外径研削加工	1	12	切込み手送り 28	40	0

作業手待ち時間の比率とは

$$\text{作業手待ち時間の比率} = \frac{\text{機械自動運転時間}}{\text{合計時間}} \times 100$$

である。

表3.1.1-8 井125加工ラインの手作業時間と機械運転時間表

(機種: 8AS125)

工程順	工程名 (加工箇所)	人員	1サイクルタイム (秒)			作業手待ち時間の比率
			手作業時間	機械自動運転時間	合計時間	
01	端面内径粗加工	1	16	16	32	50%
02	外径溝、頭部粗加工	1	17	20	37	54%
03	溝油孔加工	1	28	—	28	0
04	ピンボス油孔加工	1	13	—	13	0
05	ピン孔粗加工	1	17	19	36	52.7%
06	端面内径仕上加工	1	17	20	37	54%
07	溝仕上加工	1	24	14	38	36.8%
08	外径仕上加工	1	12	38	50	76%
09	ピン孔仕上加工	1	15	49	64	76.5%
10	クリップ溝加工	1	44	—	44	0
11	外径研削加工	1	15	切込み手送り 33	48	0
12	燃焼室粗加工	1	10	30	40	75%
13	燃焼室仕上加工	1	10	41	51	80.3%

表3.1.1-9 #175加工ラインの手作業時間と機械運転時間表

(機種: 40F)

工程順	工程名 (加工箇所)	人員	1サイクルタイム (秒)			作業手待ち時間の比率
			手作業時間	機械自動運転時間	合計時間	
01	端面内径粗加工	1	6.5	4	10.5	38%
02	ピン孔粗加工(I)	1	10	12	22	54.5%
03	外径溝頭部粗加工	1	15	11	26	42.3%
04	ピンボス油孔加工	1	7.5	手送り 10	17.5	57.1%
05	端面内径仕上加工	1	8	10	18	55.5%
06	溝仕上加工	1	10	13	23	56.5%
07	外径仕上加工	1	8	10	18	55.5%
08	ピン孔粗加工(II)	1	13	14	27	51.8%
09	ピン孔仕上加工	1	14	26	40	65%
10	クリップ溝加工	1	6	13	19	68.4%
11	回り止めピン孔加工	1	13	手送り 5	18	0
12	回り止めピン入れ作業	2	15	—	15	0
13	バニッシング加工	1	7	—	7	0
14	外径研削加工	1	13	切込み手送り 29	42	0
15	頭部仕上加工	1	10	16	26	61.5%
16	ピストン全長端面加工	1	10	8	18	44.4%

表3.1.1-10 井160加工ラインの手作業時間と機械運転時間表

(機種： 6160)

工程順	工程名 (加工箇所)	人員	1サイクルタイム (秒)			作業手待ち時間の比率
			手作業時間	機械自動運転時間	合計時間	
01	端面内径粗加工	1	(10)	72	72	86.1%
02	外径、溝、頭部粗加工	1	19	98	117	83.7%
03	溝油孔加工	1	29	手送り 83	112	0
04	斜油孔加工	1	13	手送り 99	112	0
05	端面内径仕上加工	1	29	16	45	35.5%
06	溝仕上加工	1	26	16	42	38.1%
07	外径仕上加工	1	26	54	80	67.5%
08	ピン孔仕上加工	1	18	65	83	78.3%
09	クリップ溝加工	1	14	21	35	60%
10	ピン孔内面取加工	1	15	10	25	40%
11	外径盗み加工	1	36	132	168	78.5%
12	外径研削加工	1	22	切込み手送り 115	137	0
13	頭部仕上加工	1	27	96	123	78%

表3.1.1-11 #140加工ラインの手作業時間と機械運転時間表

(機種：95G)

工程順	工程名 (加工箇所)	人員	1サイクルタイム (秒)			作業手待ち時間の比率
			手作業時間	機械自動運転時間	合計時間	
01	端面内径粗加工	1	8.5	8.5	17	50%
02	外径溝頭部粗加工	1	14	14	28	50%
03	斜油孔加工	1	32	—	32	0
04	溝油孔加工	1	25	—	25	0
05	油孔のカエリ取作業	(1)	10	—	10	0
06	端面内径仕上加工	1	7	10	17	58.8%
07	ピン孔粗加工	1	11	13	24	54.1%
08	溝仕上加工	1	11	13	24	54.1%
09	外径仕上加工	1	14	23	37	62.1%
10	ピン孔仕上加工	1	8	27	35	77.1%
	ピン孔仕上加工	1	8	27	35	77.1%
11	クリップ溝加工	1	6	20	26	76.9%
12	ピン孔内面取加工	1	5	—	5	0
13	バニッシング加工	1	8	—	8	0
14	外径研削加工	1	12	切込み手送り 26	38	0
	外径研削加工	1	12	切込み手送り 26	38	0
15	頭部仕上加工	1	10	18	28	64.2%

3.1.2 加工機種の切換え時間

① 各加工ラインの工程別機種切換え時間は表3.1.2の通りである。

表3.1.2 工程別機種切換え時間表 単位：時間

ライン名 工程名 (加工箇所)	#125ライン	#175ライン	#160ライン	#140ライン
端面内径粗加工	8	8	16	8
ピン孔粗加工(I)	/	12	/	/
外径、溝、頭部粗加工	12	12	16	8
油孔明加工	6	4	2	4
端面内径仕上加工	8	8	4	8
ピン孔粗加工	12	8		8
溝仕上加工	16	16	16	8
外径仕上加工	12	12	8	8
ピン孔仕上加工	16	20	8	8
クリップ(clip)溝加工	8	8	4	4
ピン孔内面取加工	/	/	2	/
外径研削加工	16	16	8	8
頭部仕上加工	12	8	8	8
外径盗み加工	/	/	4	/

したがって各ラインの機種切換え時間は、

 #125加工ライン 126時間

 #175加工ライン 132時間

 #160加工ライン 96時間

 #140加工ライン 80時間

である。

- ② 外径仕上工程の機種切換え時、生産要員が粗加工の治具を加工機械に取り付けた後、ピストン取付基準径の加工を行っている。
- ③ ピン孔工程では、治具と治具取付面の間に、銅板を入れて高さ調整を行っている。
- ④ 全加工ライン 生産要員が、刃物の形状を研削している。

3.1.3 加工品の品質

① 切削条件は、加工品の生産性に関係すると同時に品質にも影響がある。したがって各工程の切削条件を調査した。

各加工ラインの工程別切削条件は表3.1.3-2～表3.1.3-6の通りである。その結果、各加工ラインの工程別切削速度は表3.1.3-1の通りである。

表3.1.3-1 工程別切削速度表 単位：m/min

ライン名 工程名 (加工箇所)	#195	#140	#125	#175	#160
端面内径粗加工	212	186	210	179	473
外径、溝、頭部粗加工	269	270	320	265	337
端面内径仕上加工	373	227	267	166	432
ピン孔粗加工(1)				85	
ピン孔粗加工	170	155	152	64	179
溝仕上加工	447	433	548	353	653
外径仕上加工	388	433	476	327	753
ピン孔仕上加工	219	198	158	81	345
クリップ(clip)溝加工	81	77	75	34	130
頭部仕上加工	388	433	507	265	753

各加工ラインの切削速度 300 m/min以上ある工程は、

- ＃195加工ライン 3工程
- ＃140加工ライン 3工程
- ＃125加工ライン 4工程
- ＃175加工ライン 2工程
- ＃160加工ライン 7工程

である。切削速度は、刃物の摩耗および寿命に大きく影響し、かつ、加工品の品質（面粗度、寸法）に影響がある。したがって切削条件の検討が必要と思われる。

表3.1.3-2 #195加工ライン工程別切削条件表

機 番 号	工 程 名 (加工箇所)	主軸の交速 回 転 数	切 削 送 り 量 mm/回 転	切 り 込 み 量 mm	切 削 送 り 方 法	備 考
016-69	端面内径粗加工	800 rpm	0.2	0.75	油圧送り	
016-51	外径、溝、頭部粗加工	900 rpm	0.8	1.00	油圧送り	切削油 有
023-04	溝油孔、ピンボス油孔加工	2830 rpm			油圧送りと カム機構	
016-76	端面内径仕上加工	1400 rpm	0.15	0.25	油圧送り	
016-77	ピン孔粗加工	1600 rpm	0.40	1.00	油圧送り	
016-74	溝仕上加工	1500 rpm	0.06		油圧送り	切削油 有
016-73	外径、頭部仕上加工	1300 rpm	0.2 (溝山径) 0.4 (外径)	0.25 0.40	油圧送り	
029-19	ピン孔仕上加工	2000 rpm	0.08	0.50	油圧送り	
016-11	クリップ溝加工	700 rpm			油圧送り	
031-13	外径研削加工	砥石速度 50m/秒		0.07	油圧送り	切削油 有

表3.1.3-3 井140加工ライン工程別切削条件表

機番号	工程名(加工箇所)	主軸の変速回転数	切削送り量 mm/回転	切り込み量 mm	切削送り方法	備考
016-70	端面内径粗加工	700 rpm	0.2	0.75	油圧送り	
016-49	外径、溝、頭部粗加工	900 rpm	0.8	1.00	油圧送り	切削油 有
023-05	溝油孔、ピンボス油孔加工	2830 rpm			油圧送りとカム機構	
016-03	端面内径仕上加工	850 rpm	0.15	0.25	油圧送り	
026-12	ピン孔粗加工	1450 rpm	0.4	1.00	機械送り	
016-54	溝仕上加工	1450 rpm	0.06		機械送り	切削油 有
016-10	外径仕上加工	1450 rpm	0.2	0.25	機械送り	
026-21	ピン孔仕上加工	1800 rpm	0.08	0.5	油圧送り	
016-72	クリップ溝加工	700 rpm			油圧送り	
031-10	外径研削加工	砥石速度 50m/秒		0.07	油圧送り	切削油 有
016-07	頭部仕上加工	1450 rpm	0.4	0.4	機械送り	

表3.1.3-4 #125 加工ライン工程別切削条件表

機 番 号	工程名 (加工箇所)	主軸の変速 回 転 数	切削送り量 mm/回転	切り込み量 mm	切削送り方法	備 考
016-31	端面内径粗加工	710 rpm	0.1	0.75	機械送り	
016-50	外径、溝、頭部粗加工	1000 rpm	0.8	1.00	油圧送り	切削油 有
	溝油孔加工	3200 rpm			手動送り	
026-04	ピン孔粗加工	1800 rpm	0.4	1.00	機械送り	
016-32	端面内径仕上加工	900 rpm	0.1	0.25	機械送り	
016-39	溝仕上加工	1730 rpm	0.06		機械送り	切削油 有
016-34	外径仕上加工	1500 rpm	0.1 (溝山径) 0.3 (外径)	0.25	機械送り	
026-20	ピン孔仕上加工	1800 rpm	0.07	0.5	油圧送り	
016-26	クリップ溝加工	800 rpm			油圧送り	
031-03	外径研削加工	砥石速度 50m/秒		0.07	油圧送り	切削油 有
016-33	頭部仕上加工	1600 rpm	0.15	0.4	機械送り	

表3.1.3-5 #175 加工ライン工程別切削条件表

機番	機号	工程名 (加工箇所)	主軸の変速 回転数	切削送り量 mm/回転	切り込み量 mm	切削送り方法	備考
016-75		端面内径粗加工	1200 rpm	0.1	0.75	機械送り	
026-07		ピン孔粗加工(I)	2000 rpm	0.4	1.00	機械送り	
016-41		外径、溝、頭部粗加工	1300 rpm	0.5	1.00	油圧送り	切削油 有
		ピンボス油孔加工	3200 rpm			手動送り	
016-37		端面内径仕上加工	1100 rpm	0.1	0.25	機械送り	
016-23		溝仕上加工	1730 rpm	0.06		機械送り	切削油 有
019-16		外径仕上加工	1600 rpm	0.1 (溝山径) 0.3 (外径)	0.25	機械送り	
026-09		ピン孔粗加工(II)	1500 rpm	0.15	0.5	機械送り	
026-10		ピン孔仕上加工	1850 rpm	0.04	0.3	油圧送り	
016-16		クリップ溝加工	740 rpm			手動送り	
031-11		外径研削加工	砥石速度 50m/秒		0.07	油圧送り	切削油 有
019-15		頭部仕上加工	1300 rpm	0.15	0.4	機械送り	

表3.1.3-6 #160 加工ライン工程別切削条件表

機番	工程名 (加工箇所)	主軸の変速 回転数	切削送り量 mm/回転	切り込み量 mm	切削送り方法	備考
042-01	端面内径粗加工 ピン孔粗加工	1040 rpm 1040 rpm	0.1 0.3		機械送り	
016-46	外径、溝、頭部粗加工	670 rpm	0.5		機械送り	切削油 有
	溝油孔加工	4100 rpm			手動送り	
	斜油孔加工	3150 rpm			手動送り	
016-48	端面内径仕上加工	950 rpm	0.1	0.25	油圧送り	
016-63	溝仕上加工	1300 rpm	0.06		機械送り	切削油 有
016-47	外径仕上加工	1500	0.15	0.25	油圧送り	
026-18	ピン孔仕上加工	2000 rpm	0.07	0.6	油圧送り	
016-30	クリップ溝加工	750 rpm			油圧送り	
016-68	外径盗み加工	620 rpm	0.2		機械送り	
031-09	外径研削加工	砥石速度 50m/秒		0.07	油圧送り	切削油 有
016-35	頭部仕上加工	1500 rpm	0.2	0.4	機械送り	

- ② 加工品の品質状態を把握するため、各工程の寸法測定を行い、かつ工程能力を調査した。各加工ラインの工程別工程能力は表3.1.3-8～表3.1.3-12の通りである。その結果各加工ラインの工程能力のあるなしを判断した工程数は表3.1.3-7の通りである。

表3.1.3-7 工程能力の判断結果表 単位(工程数)

※ 工程能力指数(Cp)	ライン名 #195	#140	#125	#175	#160	備 考
$1.33 \leq C_p$		1	4		2	工程能力は十分である。
$1.00 \leq C_p < 1.33$	2			1		工程能力は十分といえない。 全数検査
$C_p < 1.00$	8	8	6	8	2	工程能力は不十分である。

$$\text{※ 工程能力指数 (Cp)} = \frac{\text{規格の幅}}{\text{工程能力 (process capability)}}$$

全体的に各加工ラインの工程能力は十分ではない。
機械の精度、切削条件等の検討が必要と思われる。

- ③ 刃物の形状は、生産要員自身の判断で、研削を行っている。
刃物の形状(ノーズ(nose)半径)と切削送りは、加工品の面粗度に関係するため、刃物管理の見直しが必要と思われる。

表3.1.3-8 井195加工ラインの工程別工程能力指数表

機 械 番 号	工程名 (加工箇所)	測 定 箇 所	規格値中 間	工程能力 指 数	寸法のバ リエーション 中 間
016-69	端面内径粗加工	内 径	0.054	0.528	0.07
		燃焼室までの高さ	0.08	0.290	0.15
016-51	外径、溝、頭部粗加工	外 径	0.10	0.771	0.08
		全 長	0.06	1.008	0.04
016-76	端面内径仕上加工	内 径	0.03	0.747	0.02
		全 長	0.06	1.331	0.03
016-77	ピン孔粗加工	孔 径	0.10	1.234	0.06
		高 さ	0.06	1.343	0.03
016-74	溝 仕 上 加 工	溝直角度	0.14	1.325	0.07
016-73	外径、頭部仕上加工	外 径	0.05	0.898	0.04
		頭部外径	0.07	2.060	0.03
026-19	ピン孔仕上加工	孔 径	0.008	0.870	0.007
016-11	クリップ(clip)溝加工	溝 径	0.30	1.544	0.10
		溝と溝の距離	0.30	0.744	0.22
016-80	バニッシング加工	孔 径	0.01	0.940	0.006
031-13	外径研削加工	外 径	0.03	0.429	0.045
		テーパー (Taper)	0.02	0.456	0.035

表3.1.3-9

#140加工ラインの工程別工程能力指数表

機 番	機 号	工程名 (加工箇所)	測 定 箇 所	規格値中 mm	工程能力 指 数	寸法のば つキ中 mm
016-70		端面内径粗加工	内 径	0.054	0.783	0.03
			燃焼室までの高さ	0.07	1.392	0.04
016-49		外径、溝、頭部粗加工	外 径	0.10	0.637	0.09
			全 長	0.05	0.764	0.06
016-03		端面内径仕上加工	内 径	0.03	0.609	0.03
026-12		ピン孔粗加工	孔 径	0.10	1.556	0.04
			高 さ	0.06	0.394	0.07
016-54		溝仕上加工	溝直角度	0.14	1.767	0.07
016-10		外径仕上加工	外 径	0.05	0.605	0.06
			頭部外径	0.07	0.693	0.09
026-17		ピン孔仕上加工	孔 径	0.0076	0.746	0.008
016-72		クリップ(clip)溝加工	溝 径	0.30	3.074	0.06
			溝と溝の距離	0.30	0.951	0.20
021-03		バニッシング加工				
031-10		外径研削加工	外 径	0.03	0.688	0.03
			テーパー (Taper)	0.02	0.568	0.017

表3.1.3-10

#125加工ラインの工程別工程能力指数表

機 番	械 号	工程名 (加工箇所)	測定箇所	規格値巾 mm	工程能力 指数	寸法のバラ ツキ巾 mm
016-31		端面内径粗加工	内径	0.054	2.099	0.01
			燃焼室までの高さ	0.20	1.724	0.05
016-50		外径、溝、頭部粗加工	外径	0.10	0.528	0.10
			全長	0.10	1.084	0.05
026-04		ピン孔粗加工	孔径	0.10	0.669	0.10
			高さ	0.05	1.545	0.02
016-32		端面内径仕上加工	内径	0.035	0.997	0.015
			全長	0.10	0.884	0.06
016-39		溝仕上加工	溝直角度	0.14	1.393	0.06
016-34		外径仕上加工	外径	0.10	1.393	0.04
			頭部外径	0.11	1.483	0.04
026-20		ピン孔仕上加工	孔径	0.008	0.606	0.009
016-26		クリップ(clip)溝加工	溝径	0.14	6.427	0.01
031-03		外径研削加工	外径	0.06	1.362	0.02
			テーパ (Taper)	0.02	0.608	0.03
		バニッシング加工	孔径	0.01	0.804	0.009

表3.1.3-11 井175加工ラインの工程別工程能力指数表

機 番	械 号	工程名 (加工箇所)	測 定 箇 所	規格値中 mm	工程能力 指 数	寸法のバラ ツキ中 mm
016-75		端面内径粗加工	内 径	0.039	0.752	0.04
			燃焼室までの高さ	0.40	1.604	0.14
016-41	外径、溝、頭部粗加工	外 径	0.10	0.483	0.12	
		全 長	0.10	0.427	0.12	
016-37	端面内径仕上加工	内 径	0.027	0.443	0.03	
		全 長	0.10	0.364	0.12	
016-23	溝 仕 上 加 工	溝直角度	0.14	0.837	0.089	
019-16	外径仕上加工	外 径	0.07	1.942	0.02	
		頭部外径	0.07	0.855	0.05	
026-09	ピン孔粗加工	孔 径	0.05	0.593	0.05	
		高 さ	0.06	2.432	0.03	
026-10	ピン孔仕上加工	孔 径	0.012	0.401	0.019	
016-16	クリップ(clip)溝加工	溝 径	0.24	1.121	0.18	
031-11	外径研削加工	外 径	0.03	0.844	0.025	
		テーパー (Taper)	0.02	0.445	0.03	

表3.1.3-12

#160加工ラインの工程別工程能力指数表

機 械 番 号	工程名 (加工箇所)	測 定 箇 所	規格値中 mm	工程能力 指 数	寸法のバラ ツキ中 mm
016-48	端面内径仕上加工	内 径	0.04	0.513	0.04
016-63	溝 仕 上 加 工	溝直角度	0.14	1.710	0.05
		高 さ	0.40	3.202	0.09
026-18	ピン孔仕上加工	孔 径	0.018	0.867	0.016
031-09	外径研削加工	外 径 A	0.05	2.019	0.01
		外 径 B	0.05	1.675	0.018

④ 各加工ラインの工程別機械加工不良率は表3.1.3-13に示す通りである。

表3.1.3-13 工程別機械加工不良率 単位：%

ライン名 工程名 (加工箇所)	ライン名					不良率 合計
	#195	#140	#125	#175	#160	
端面内径粗加工	15	5	0	3.5	12	35.5
ピン孔粗加工 (I)	/	/	/	0	/	0
外径、溝、頭部粗加工	5	6	2	2.7	6	21.7
溝油孔加工	0	2.3	0	0	1	3.3
端面内径仕上加工	0	0	0	0	3.3	3.3
ピン孔粗加工	0	5	0	0	0	5.0
溝仕上加工	5	3.4	0	0	3.4	11.8
外径仕上加工	10	2.3	5	1.3	5.9	24.5
ピン孔仕上加工	2.2	1.3	4	0.8	3.4	11.7
クリップ(clip)溝加工	0	0	0	3.7	0	3.7
ピン孔内面取加工	0	2.3	/	/	0	2.3
外径研削加工	4	4.6	2.8	0.98	0	12.38
バニッシング加工	0	0	/	2.1	/	2.1
頭部仕上加工	/	3.9	3.1	4	0.3	11.3

上記表の結果、不良率の高い工程順位は、

- 1番 端面内径粗加工 全体不良率の 23.9%
- 2番 外径仕上加工 全体不良率の 16.5%
- 3番 外径溝頭部粗加工 全体不良率の 14.6%
- 4番 外径研削加工 全体不良率の 8.3%
- 5番 溝仕上加工 全体不良率の 7.9%
- 6番 ピン孔仕上加工 全体不良率の 7.8%

であり、かつ、全体不良率の7.9%を占めている。したがってこの6工程を改善すれば不良率の減少を図れると思われる。

⑤ 製品に対して重要性の高い工程の品質

1) ピン孔仕上工程

各加工ラインのピン孔径および寸法のバラツキ幅は表3.1.3-14に示す通りである。

表3.1.3-14

単位：mm

加工ライン名	ピン孔径寸法	規格値幅	寸法バラツキ幅
#195加工ライン	35	0.008	0.007
#140加工ライン	35	0.0076	0.008
#125加工ライン	28	0.008	0.009
#175加工ライン	14	0.012	0.019
#160加工ライン	55	0.018	0.016

規格値を満足する工程は、#195、#160加工ラインの工程である。また、ピン孔径 28mm、35mm の工程は、寸法のバラツキ幅 0.01mm 以内であり、14mm、55mmの工程は 0.01mm 以上である。

各加工ラインの真円度、円筒度のバラツキ状況は表3.1.3-15および表3.1.3-16に示す通りである。

表3.1.3-15

真円度

単位：個

加工ライン名 真円度 mm	#195	#140	#125	#160
0	1		9	
0.0005				15
0.001	21	24	12	10
0.0015	2	4	4	
0.002	2		2	
0.0025			1	