

西山プロセスによる発熱自硬性鋳型の研究

Exothermic Self-Hardening Molds Made by the Nishiyama Process

西山 太喜夫* 南郷 忠勇** 園 清 視**
Takio Nishiyama Tadao Nangô Kiyomi Sono

内 容 梗 概

昔から鋳造作業にて用いられていた粘土を使った鋳型は、その性能の点また生産性の面において種々支障の多いものであった。

西山プロセス（Nプロセス）はこれらの点を解消するために考案された（特許 232442）新しい造型法である。ケイ砂にケイ酸ソーダ（水硝子）とケイ素粉末（Ca-Si または Fe-Si）を混合すると、発熱反応を生じ、脱水乾燥および硬化する現象を呈する。この現象を応用した造型法であるが、その特長とするところは生産性の高いすぐれた性質をもった鋳型を作ることができる点にある。

本報は西山プロセスの硬化原理、本プロセスによって作られた鋳型の性質ならびに実用化の状況を概略説明したものである。

1. 結 言

鋳造作業において鋳型を製作するために使用する鋳物砂には多種多様のものがある。しかしそれらはその結合材料、方法などの点から考えて第1表の1～6までに示すよう分類することができる。

この分類のうち、粘土系の砂は鋳物砂といえば粘土系の砂を意味するほど広くまた多く使用されているものである。

ところが粘土系鋳物砂を使用した鋳物における大部分の不良が、鋳型に原因しているといっても過言ではないのである。

われわれはその根本的原因は粘土を使用しているからであると信じている。

粘土は耐火性粘結剤として、比較的安価でもあり、決して悪いことばかりのものではないと思うが、しかしながら天然産物であるためその性状が複雑であるとともに安定性を欠き、鋳物砂粘結剤として管理が困難である。さらに鋳型として要求される諸性質に対してかろうじて使用しうる程度で、安全率はほとんどなく、その成否は紙一重というところで使用されていると考えられる。

このような観点から筆者らは粘土系の鋳物砂を使用する限り、その作業は高度の熟練を要し、しかも現在のような不良発生を大幅に改善することはほとんど不可能であると考えていた。そして粘土を使用せずに一般的な鋳物に使用する鋳型を作る方法について執心してきたのである。

粘土系鋳物砂のほかには第1表の2～6までに示すように、特長のあるいくつかの系統の砂がある。しかしながら、それらのうちにはまだ粘土系鋳物砂に置き換えうる砂はないように考えられる。

油や合成樹脂を使用する砂はすぐれた面が多いのであるが、高温性質、発生ガスなどの点において全面的に使用するには問題がある。

セメント砂は一部に賞用されているが、やはり高温性質、発生ガスの点で不十分な点があるようである。

CO₂ガス型法は特長のある方法で、一般に普及しているようであるが、やはり高温性質や発生ガスの点で不満が多い。

これに対して筆者らはケイ砂にケイ酸ソーダ（水硝子）とケイ素粉末（カルシウム・シリサイド、フェロ・シリコンのようなケイ素含有物）を混合すると、発熱反応をおこして、脱水および硬化作用を生じてケイ砂を固く結合することを発見した。そこでこの原理を利用して鋳型を製作する方法（特許 232442）を提案したのである。

第1表 鋳物砂の分類

No.	主 配 合 剤	使 用 状 態	性 質
1	ケイ砂+粘土	天然山砂……生または乾燥 人工砂……生または乾燥	強度不足 } 欠陥生じやすい 流動性不足 } 管理困難 ガスが多い }
2	ケイ砂+セメント	生 また は 乾 燥	高温性質不足。ガスが多い。
3	ケイ砂+油脂類	熱可塑性……加熱 乾性油……乾燥 乾性油+酸化剤……生または乾燥	高温強度不足。ガスが多い。
4	ケイ砂+合成樹脂	シエル型(熱硬化性)……加熱	高温強度不足。ガスが多い。
5	ケイ砂+水硝子+CO ₂	CO ₂ プロセス……生	高温性質やや不十分。ガスが多い。
6	ケイ砂+エチルシリケート	ロストワックス法など……焼成	ほう壊性不足。工程複雑。焼成を要す。大量生産的でない。
7	ケイ砂+水硝子+ケイ素	Nプロセス……乾不要	ガスが少ない。高温性質がやや良い。ほう壊性油砂におよばない。

筆者らはこの方法を「発熱自硬性鋳型の製作法」あるいは「西山プロセス」とか「Nプロセス」とよんでいる。そして本法による鋳型の鋳物砂としての基本的な性質を調査研究した。そのほか実際の鋳造によりその長短を明らかにして、その活用あるいは改善対策などについて研究を続けてきた。

その結果、この新造型法は従来の造型法と比べ画期的と思われる数々の特長を有することが判明した。すなわち

- (1) 粘土を使用しない。
- (2) 反応によって乾燥するので発生ガスが非常に少ない。乾燥作業を必要としないので寸法の狂いが少ない。
- (3) 反応による有害生成物がなく、SiO₂分の増大は高温性質を改善する。
- (4) 混合後の流動性が良いので造型が容易であり、熟練を要しない。
- (5) 鋳型に溶湯がよく充満する。

などがあげられるのであるが、また反面次のごとき不満足な点もある。

- (1) 注湯後の砂のほう壊性が粘土系砂の程度で油砂のようにはよくない。
- (2) 水硝子添加後、反応が最高になるまでの時間(硬化時間)が短い。
- (3) 模型に砂が付着しやすいことおよび模型をいためやすい。

* 日立製作所亀有工場 工博
** 日立製作所亀有工場

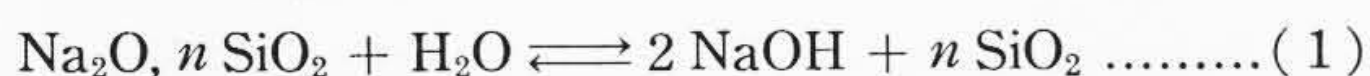
しかしこれらの不満足な点も逐次研究対策を進めてきた結果、実際上では、ほとんど解決しあるいは解決に近い状況に達しており、現に実用化されて、数々の実績をあげている。

本報はこの新造型法「Nプロセス」の硬化原理から実用化の段階までを概略報告するものである。

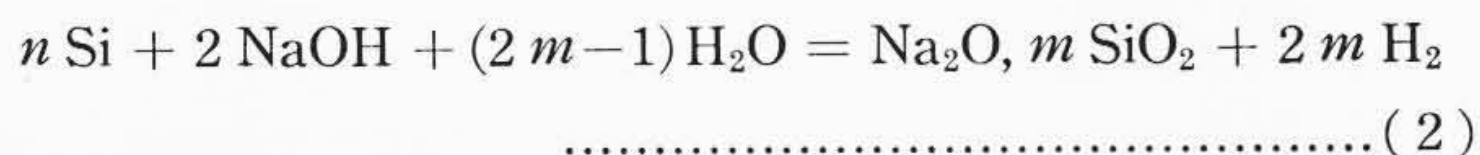
2. Nプロセスの硬化反応について⁽¹⁾⁽²⁾

水硝子すなわちケイ酸ソーダ水溶液とケイ素粉末との反応を次のように推定した。

ケイ酸ソーダ水溶液はその一部が



のように加水分解しており、これにケイ素を加えると



のような反応がおこるのであろう。

この反応は室温ではおそく、少し加熱すると速くおこる。

(2)式の反応がおこるとカ性ソーダを消費するので、(1)式の平衡関係が破れて、反応は右方向に進みケイ酸およびカ性ソーダに分解するので、(2)式の反応は継続する。

これらの反応を総合すると、Siは酸化して SiO_2 となってケイ酸ソーダを形成し、水は分解して水素ガスを発生したことになる。

よって反応系は SiO_2 を反応の進行につれて増加することになる。

これはモル比($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$)の増大を意味するものと考えられ、反応系はモル比の増大と水分の減少と相まって急激に粘度を増大してケイ砂を固く結合するものと考えられる。

これに対し、次のような実験によって推定反応の裏づけを行なった。

(1) 容器中の試料の発生するガスを窒素をキャリアガスとして追い出し、発生ガス中の水素ガスを酸化銅を使用して水とする。

この水を五酸化リンに吸収させて水素を定量したところ発生ガスはほとんど水素のみであることおよび反応系の重量減と発生水素量とはまたほぼひとしいことがわかった。

なお試料の発生ガスを採取して質量分析を行なったところ、やはり発生ガスは水素のみであった。

(2) ケイ素粉末の量に対し比較的多量のケイ酸ソーダを作用せしめた場合におけるpH値をケイ素添加直後より反応停止まで測定した。

その結果pH値は反応の進行につれて徐々に低下することがわかった。

ところでケイ酸ソーダはその濃度が薄くなる場合か、またはモル比が大となるときにpH値が低下する性質のあることにかんがみて、本反応においては水分の減少によって濃度は濃くなるのであるからpH値の低下することはモル比の増大することを示すものと考えられる。

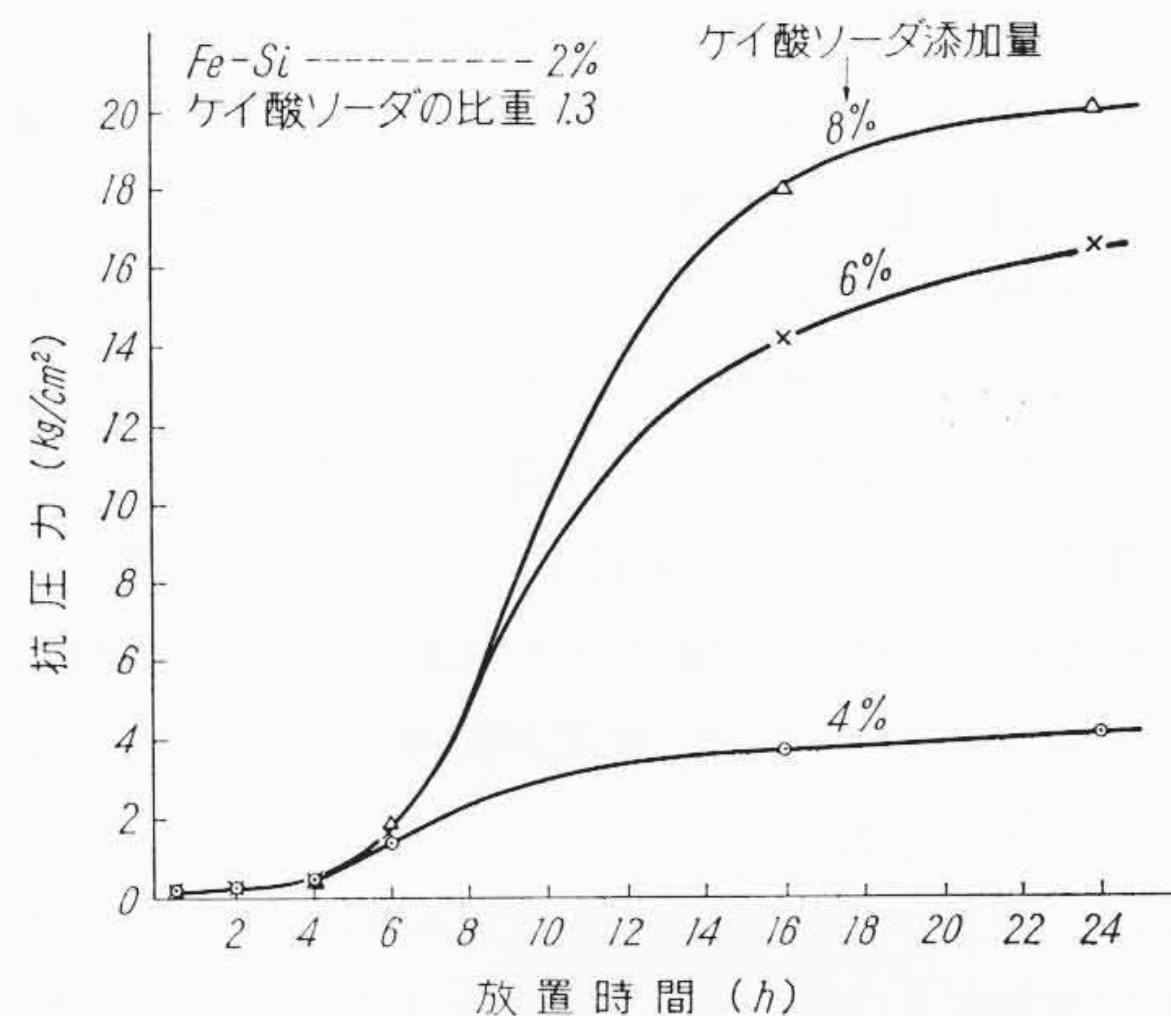
次に反応前後における粘度を測定した結果、反応後は明らかに粘度が増大していることを示した。

ケイ酸ソーダはその濃度が濃くなったとき、またはモル比が増大したとき、その粘度が増大する性質に照らして、反応後粘度が増大することは濃度が濃くなりモル比が高くなったことを意味するものと考えられ、これはpH値の低下の意味するところと一致するものである。

(3) 反応生成物にもし新しい結晶質のものがあればX線回折によって確かめることができるので、ケイ酸ソーダとケイ素粉末のみを反応せしめたものにつき粉末法によりX線回折写真を撮り調べたところ新しい結晶生成物のないことがわかった。

第2表 筑摩6号砂の粒度分布

メッシュNo.	30	40	50	70	100	150	200	270	Pan.
%		0.4	8.7	27.6	38.4	17.4	5.1	1.5	0.4



第1図 試験片放置時間と抗圧力の関係

以上のような事項は推定反応を裏がきする有力な事実と考えられる。

3. Fe-Siとケイ酸ソーダを粘結剤とした⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 発熱自硬性鋳型の性質について

入手しやすい実用的なケイ素含有物は、カルシウム・シリサイド(Ca-Si)とフェロ・シリコン(Fe-Si)である。そこでまずCa-Siにつきケイ砂に対する配合率、ケイ酸ソーダの濃度および配合率などを变化した配合砂の常温ならびに高温における鋳型としての諸性質を研究した⁽³⁾⁽⁴⁾。その結果鋳型としての実用的価値の高いことを確認した。

次にCa-Siよりさらに安価でかつ実用性に富むと考えられるFe-SiについてCa-Siの場合と同様に詳しく実験を行なった。

この報告ではFe-Siを使用した場合について報告する。

この実験に使用した材料は特に示されている場合を除き次に示すものである。

ケイ酸ソーダはJIS 1号品(モル比約2, 比重約1.7)を種々の濃さに水で希釈した。

Fe-SiはJIS 2号品(Si 75%)の粉末を使用した。

ケイ砂は第2表に示すような粒度分布の筑摩6号砂を使用した。

3.1 抗圧力および通気度

ケイ酸ソーダJIS 1号品を水で希釈して比重を1.5, 1.3, 1.15にしたものをケイ砂に対し1.5~1.37%の範囲に変化し、Fe-Si粉末を1~4%に変化したものを組み合わせて標準試片を作り、成型後より24時間までの種々の時間室温(22~26°C)に放置した後抗圧力および通気度試験を行なった。

(1) 反応はCa-Siより相当おそく50mmφ×50mmの標準試片では混合後3, 4時間後から反応がみとめられるようになり、約15時間前後で大部分の反応を終わった。

しかし強度は一般にCa-Si系の場合より大である。

(2) ケイ酸ソーダの比重が1.15で添加量が1.5%以下, 比重1.3で添加量が1.7%以下, 比重1.5で添加量2%以下では混合直後の生強度が小さくて試片の成型が困難である。

(3) 成型後24時間放置後の抗圧力

(a) Fe-Siの添加量を増加すると抗圧力を増大する。しかしケイ酸ソーダの濃度および添加量によって増大する程度は異なる。

(b) ケイ酸ソーダの添加量を増すと、はじめは抗圧力を増大

し、ある添加量で最大値を示し、それ以上では低下するものと、増大を続けるものとがある。Fe-Si 1~2% に対してケイ酸ソーダの比重 1.3 および 1.5 では添加量 6~8% 付近が抗圧力最大を示して適量である。

(c) ケイ酸ソーダの濃度の影響は濃度を増すほど、すなわち比重の大なるほど抗圧力を増大する。しかし Fe-Si 量が少なければ濃度を高くしても効果はない。

(d) ケイ酸ソーダの効率はその比重 1.3 で Fe-Si 4% の場合が最も良く、ついで比重 1.5 で Fe-Si 4% の場合である。

Fe-Si の効率はケイ酸ソーダの濃度の影響が大きく、ケイ酸ソーダの濃度の大きなるほど効率は高くなる。ケイ酸ソーダおよび Fe-Si の両者の効率はケイ酸ソーダの添加量が 7% 付近で多くの場合に高い値を示すので 7% 付近が実用的添加量である。

(4) 通 気 度

通気度は、成型後の時間経過とともに高くなり、ケイ酸ソーダの添加量の増加にしたがってやや低下するが、140~240 の範囲にわたっている。

以上のことから JIS 1 号のケイ酸ソーダを比重 1.5~1.3 に水で希釈したものをケイ砂に対して 6~8%, Fe-Si は 2~4% 配合したものが実用的であろうと考えられる。なお第 2 図に Fe-Si 添加量とケイ酸ソーダの比重と抗圧力の関係を示した。

3.2 熱膨張および高温強度、残留強度

Ca-Si の場合と同じ試験方法により、ケイ酸ソーダは JIS 1 号品を重量で 1.5~4 倍に希釈し、Fe-Si 添加量を 1.5~4 に変化した配合により試片を作り、成型後 24 時間放置後のものを試験に供した。

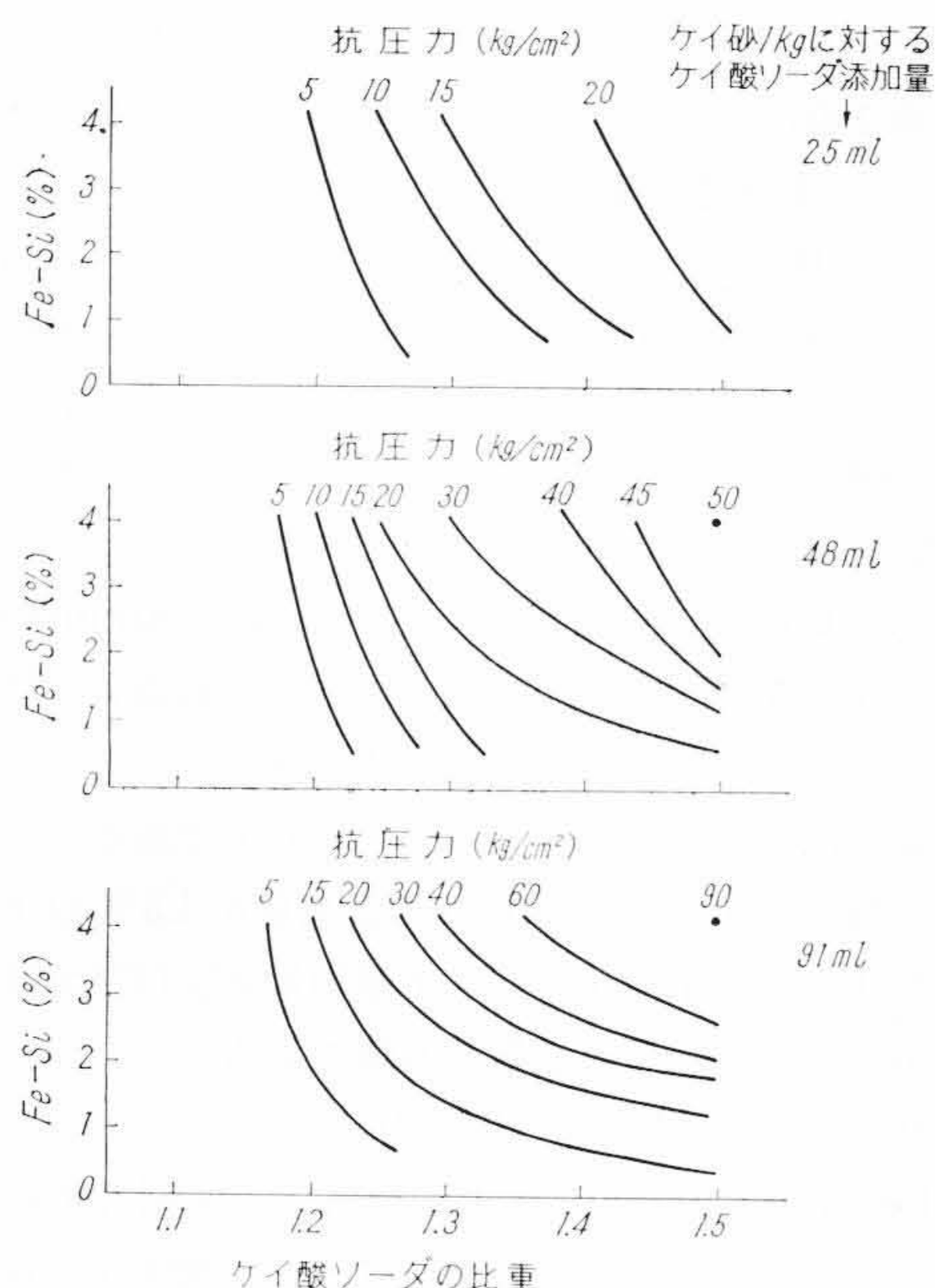
その結果を要約すると、

(1) 熱 膨 張

配合を変化した各試料とも大体同じ傾向を示しており、その値も大同小異である。なお Ca-Si の場合には 680°C 付近の加熱のさい伸率最大を示す山が現われたが、Fe-Si の場合にはこのような異常膨張は示さなかった。

(2) 高 温 強 度

温度上昇とともに抗圧力を増して最大となりそれより 1,000°C まで低下する。一般に Ca-Si 系の場合より高温強度が高い。



第2図 ケイ酸ソーダの比重および Fe-Si 添加量と抗圧力の関係 (24 時間後)

(a) ケイ酸ソーダ添加量の影響

抗圧力の最大値はケイ酸ソーダの添加量の増加にしたがって大となり、最大強度となる温度はケイ酸ソーダの添加量の増加につれて低温側に移る。たとえば Fe-Si 2%, ケイ酸ソーダ希釈率 2 の場合ケイ酸ソーダ 4% では 32 kg/cm²—700°C, 7% では 78 kg/cm²—600°C, 8% では 84 kg/cm²—500°C であった。

(b) ケイ酸ソーダの濃度の影響

濃度の影響は顕著で抗圧力の差がはなはだしい。Fe-Si 2% ケイ酸ソーダ 6% 添加の場合において、ケイ酸ソーダの希釈が 1.5 倍では最大抗圧力 100 kg/cm² 以上—300~400°C, 2 倍では 64 kg/cm²—700°C, 2.5 倍では 9 kg/cm²—800°C, 3 倍では 6 kg/cm²—1,000°C であった。

(c) Fe-Si 添加量の影響

Fe-Si 添加量の増加とともに最大抗圧力はやや増大し、それを示す温度は Fe-Si が多くなるとわずかに低下するようである。

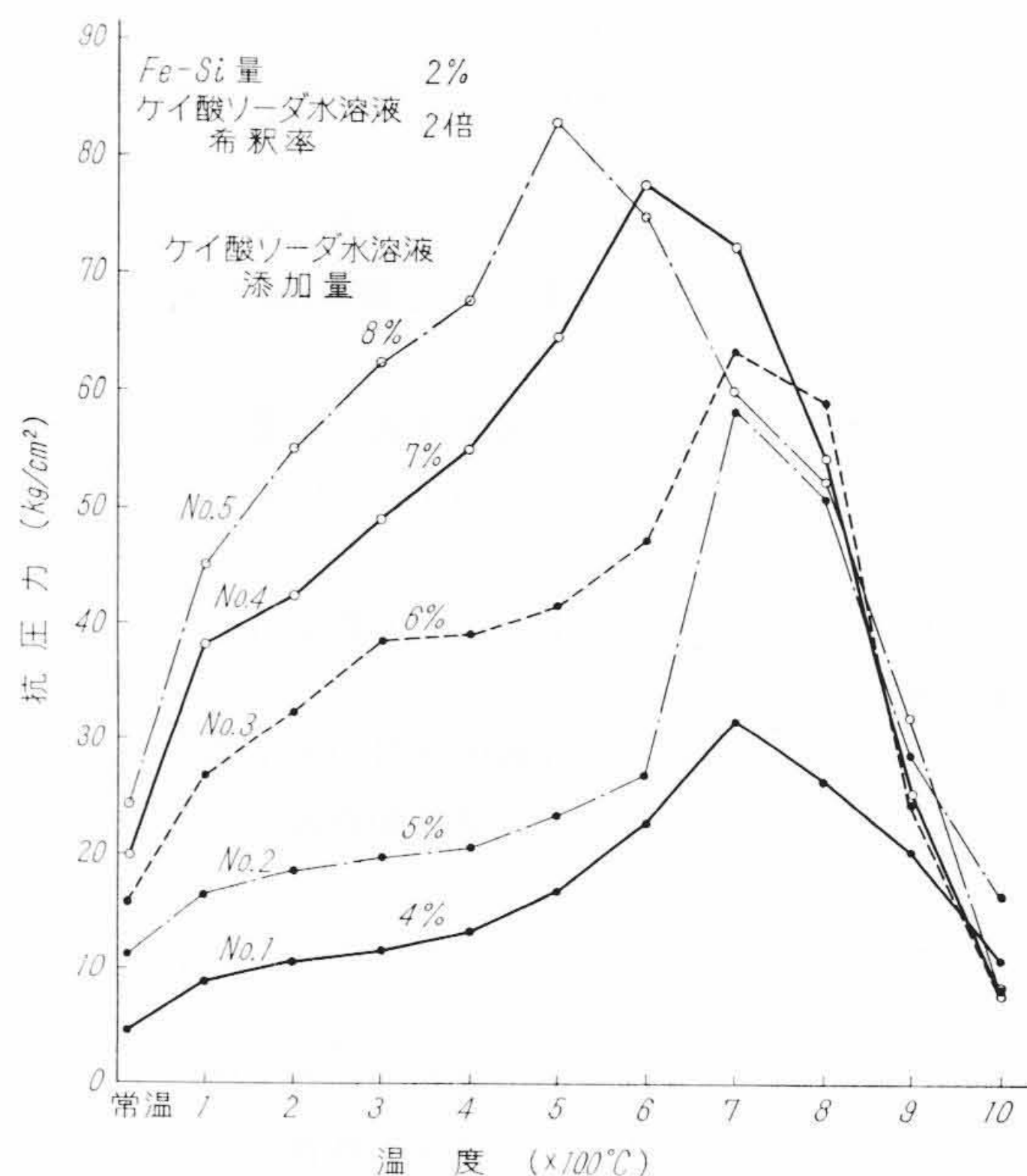
しかし Fe-Si 添加量の影響は小さいといえる。

(3) 残 留 強 度

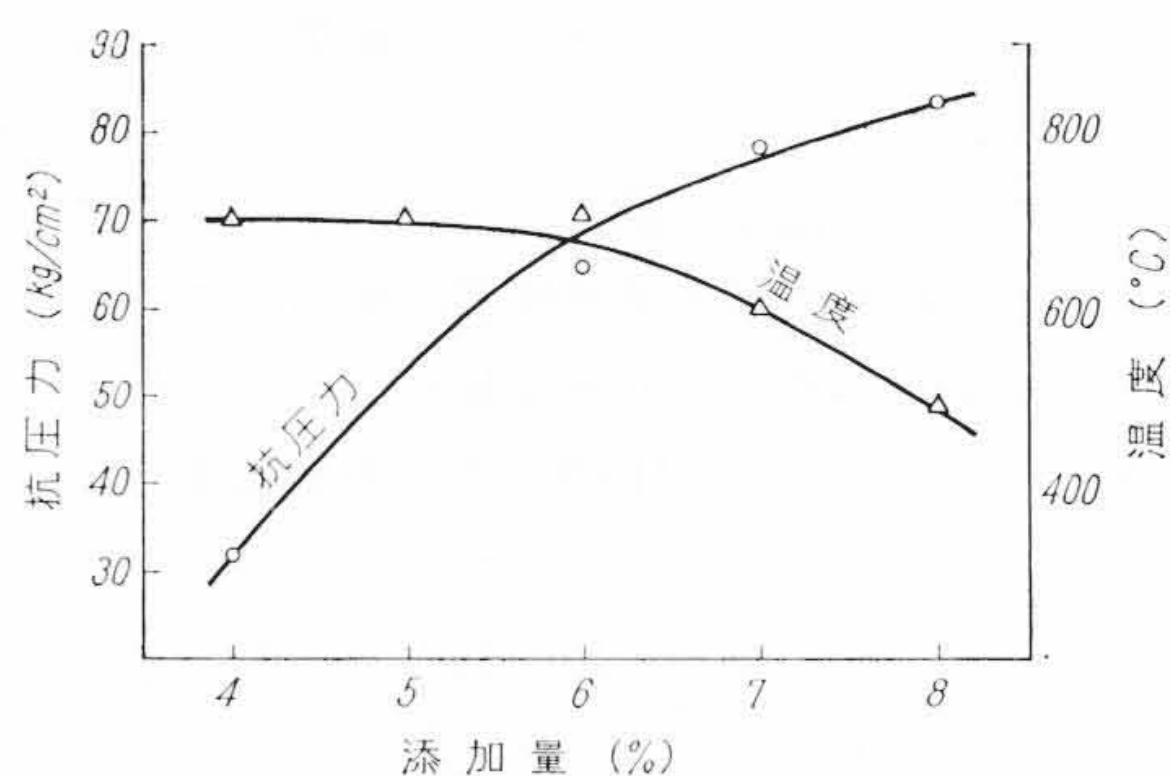
温度の上昇とともに残留抗圧力を増大し 100~300°C で最大となり、それ以上の温度では 900°C ぐらいまで低下を続ける。

(a) ケイ酸ソーダ添加量の影響

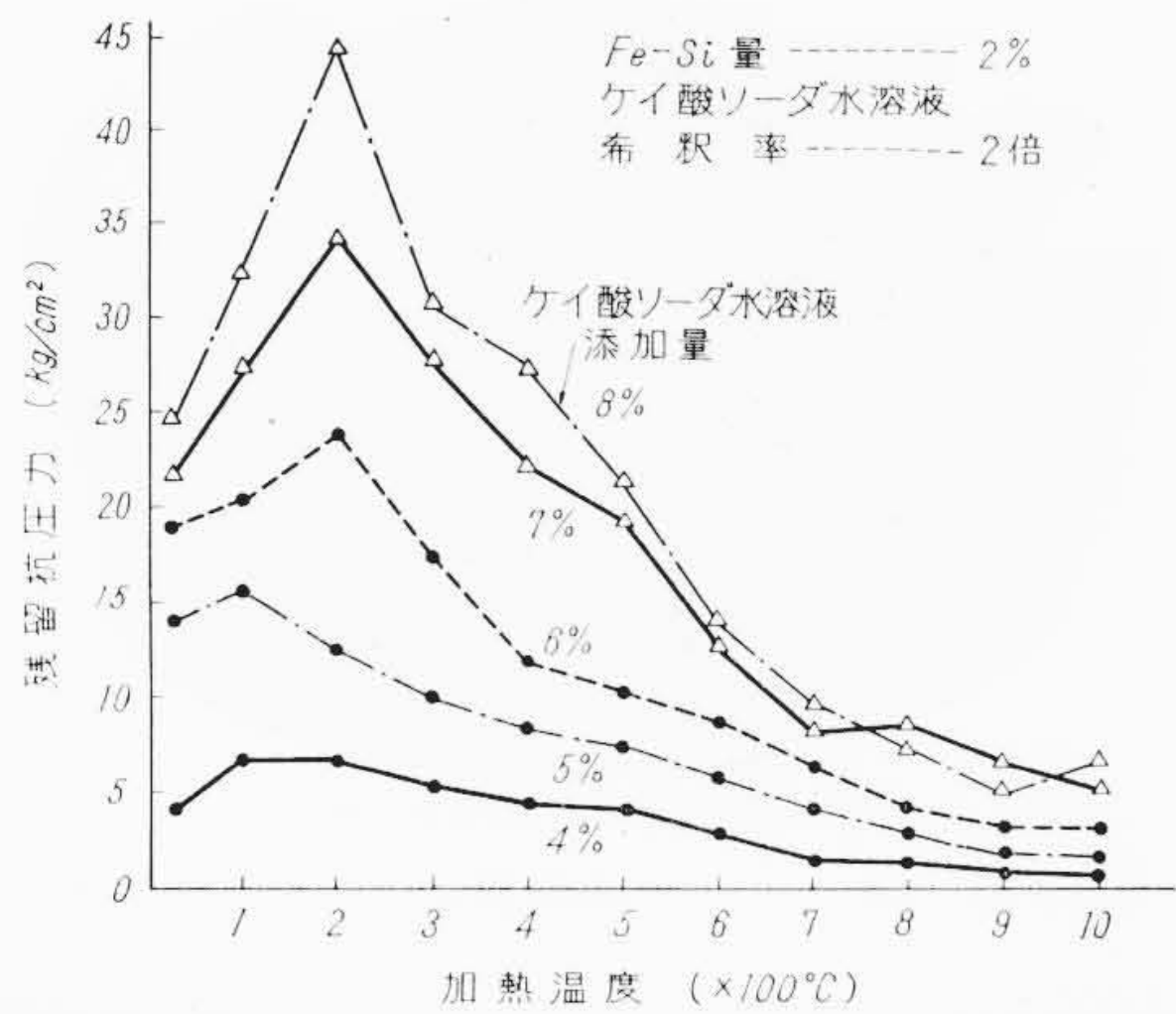
最大抗圧力は第 5 図に示すようにケイ酸ソーダ添加量の増加とともに増大する。たとえば Fe-Si 2%, ケイ酸ソーダ希釈率



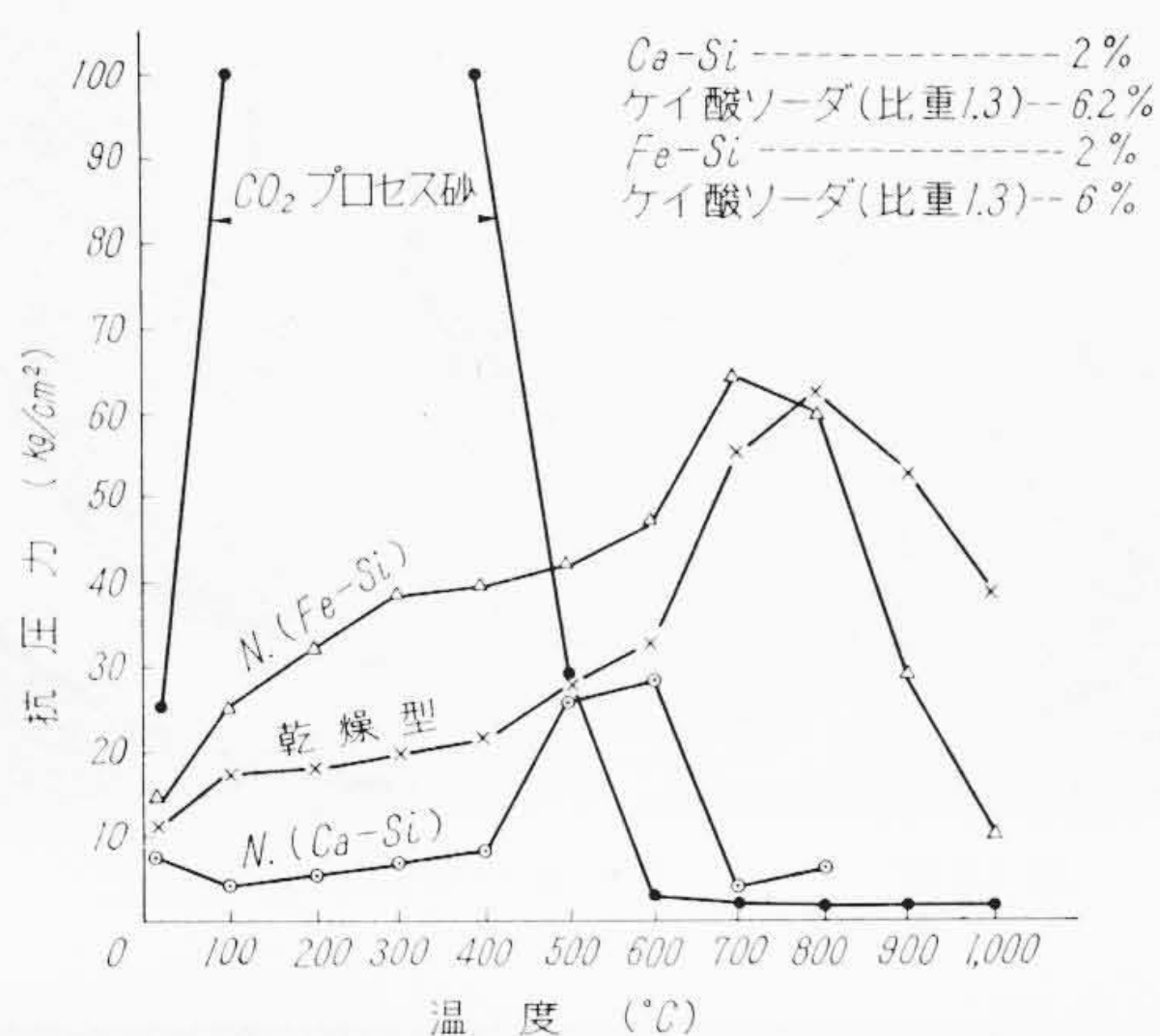
第3図 高温抗圧力とケイ酸ソーダ水溶液添加量



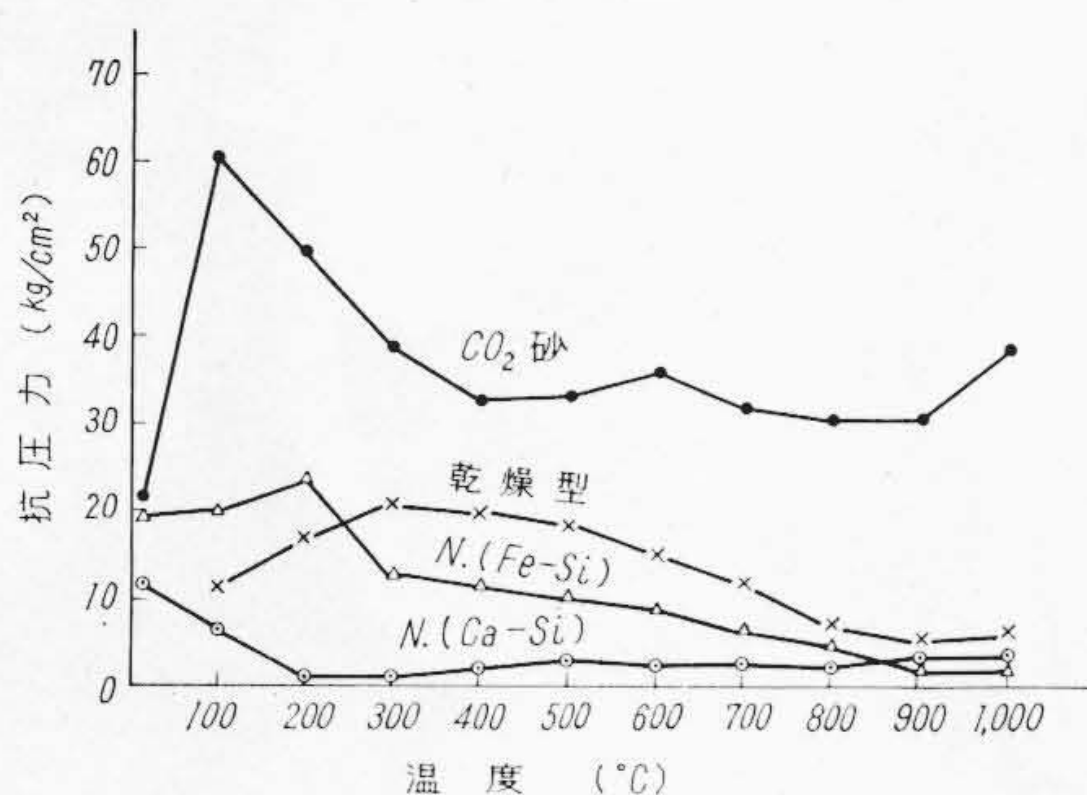
第4図 最高高温抗圧力およびその温度とケイ酸ソーダ水溶液添加量



第5図 残留抗圧力に対するケイ酸ソーダ水溶液添加量の影響



第6図 高温強度の比較



第7図 残留強度の比較

2倍(比重約1.3)の場合において、ケイ酸ソーダ添加量が4%では7 kg/cm²、6%では24 kg/cm²、8%では44 kg/cm²であった。

(b) ケイ酸ソーダの濃度の影響

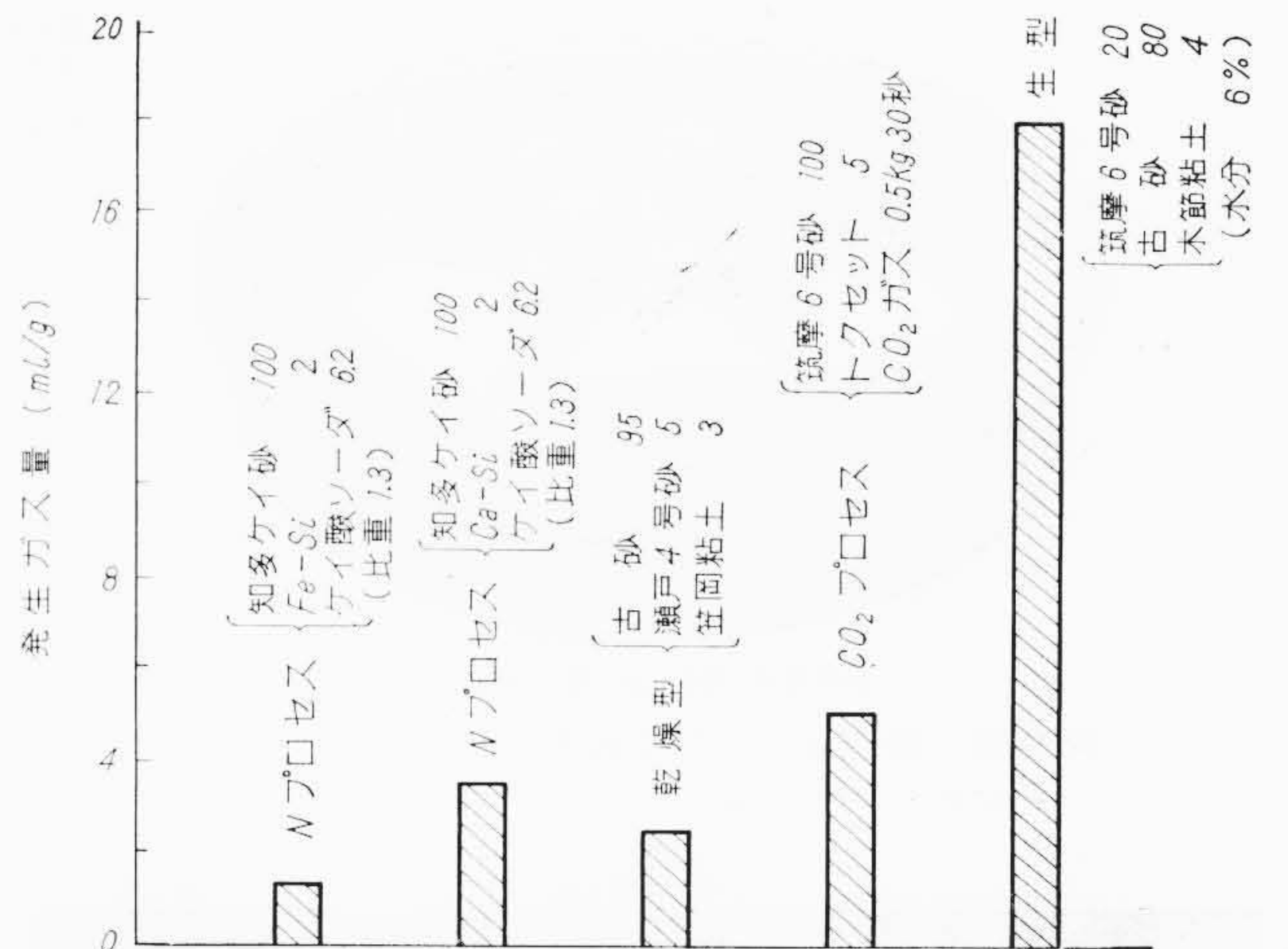
ケイ酸ソーダの濃度の影響は大である。これは常温強度に対する影響の大なることから考えても当然であろう。

たとえばFe-Si 2%、ケイ酸ソーダ添加量6%一定のとき最大抗圧力はケイ酸ソーダの希釈3倍(比重約1.1)では5 kg/cm²、5倍では約10 kg/cm²、2倍では約25 kg/cm²、1.5倍では約70 kg/cm²であった。

(c) Fe-Si添加量の影響

Fe-Si添加量の影響は明確ではないが少ないようである。しかし最大抗圧力を示す温度はFe-Si添加量を増加すると高くなる。

(4) 高温強度、残留強度をCa-Si系N砂やCO₂砂および粘土系乾燥型砂と比較するため実用的配合の一例を第6図および第7



第8図 1,000°C急熱により砂1gより発生する全ガス量の比較

図に図示した。

高温強度は低温側においてCa-Si系N砂や乾燥型砂よりも高く、最大抗圧力は700°C付近で乾燥型と同程度であるが800°C以上でFe-Si系N砂の方が低値を示すが、Ca-Si系N砂、およびCO₂砂よりも強いことを示している。

残留強度はCa-Si系N砂よりやや強いが、CO₂砂や乾燥型砂より低値である。これらの性質はやはりFe-Si系N砂が高温性質においてCO₂砂や粘土系乾燥型砂よりも鋳物の収縮に対するなりよりおよび砂落としなどについて有利であると考えられる。

3.3 高温急熱によるガス発生量

知多ケイ砂に対しFe-Si粉末を1.5~4%、ケイ酸ソーダを水で1.5~3倍に希釈したものを4~8%添加の組み合わせによる試料につき試片成型後24時間後にCa-Siの場合と同じ方法で試験した。

その結果を要約すると、

- (1) ガス発生量は少ないが、ケイ酸ソーダ添加量の増加および希釈率を増すにしたがって急激にガス量が増大し、Fe-Si添加量の増加にほぼ比例してガス量を増大する。
- (2) 乾燥型、CO₂型、生型砂とNプロセス型とのガス発生量を比較したものを第8図に示した。比較した砂はそれぞれの一例にすぎないため、それぞれを代表する性質のものといえるかどうか疑問であるが参考になると思う。

Fe-Si系Nプロセス砂は他の砂に比し非常にガスが少ない。これは鋳物の不良を低減するために有利な性質である。

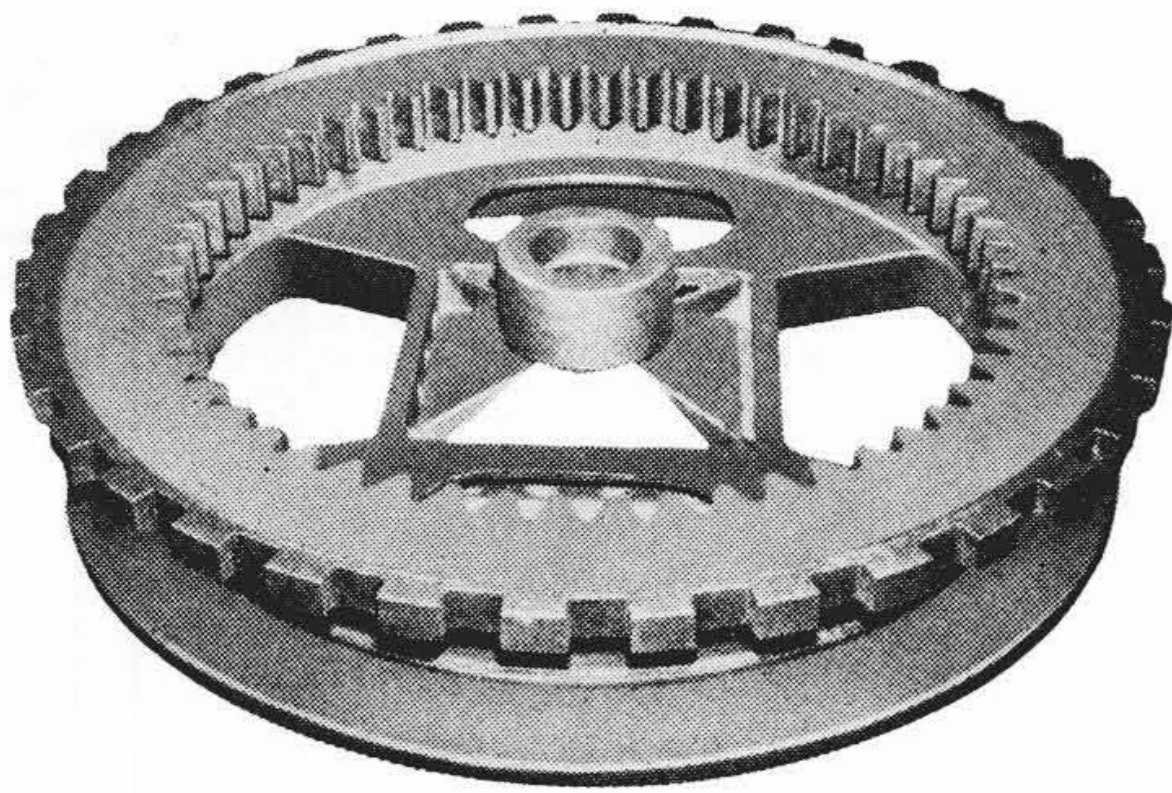
3.4 硬化反応に伴う膨張収縮

試験片の長さを成型後から時間経過とともに測定すると、脱水によると考えられる収縮がおり、次で硬化反応によるガス発生に伴う膨張が現われる。その後ふたたび収縮に転じて反応終了後は収縮を示す。24時間後ではケイ酸ソーダの添加量4%で約0.09%、8%では約0.124%程度であった。

ケイ酸ソーダの添加量が多いほど、またその濃度が濃いほど収縮が増す。鋳鉄用生型砂も成型後24時間では約0.12%程度の収縮を示すのでこれと同程度と考えられる。

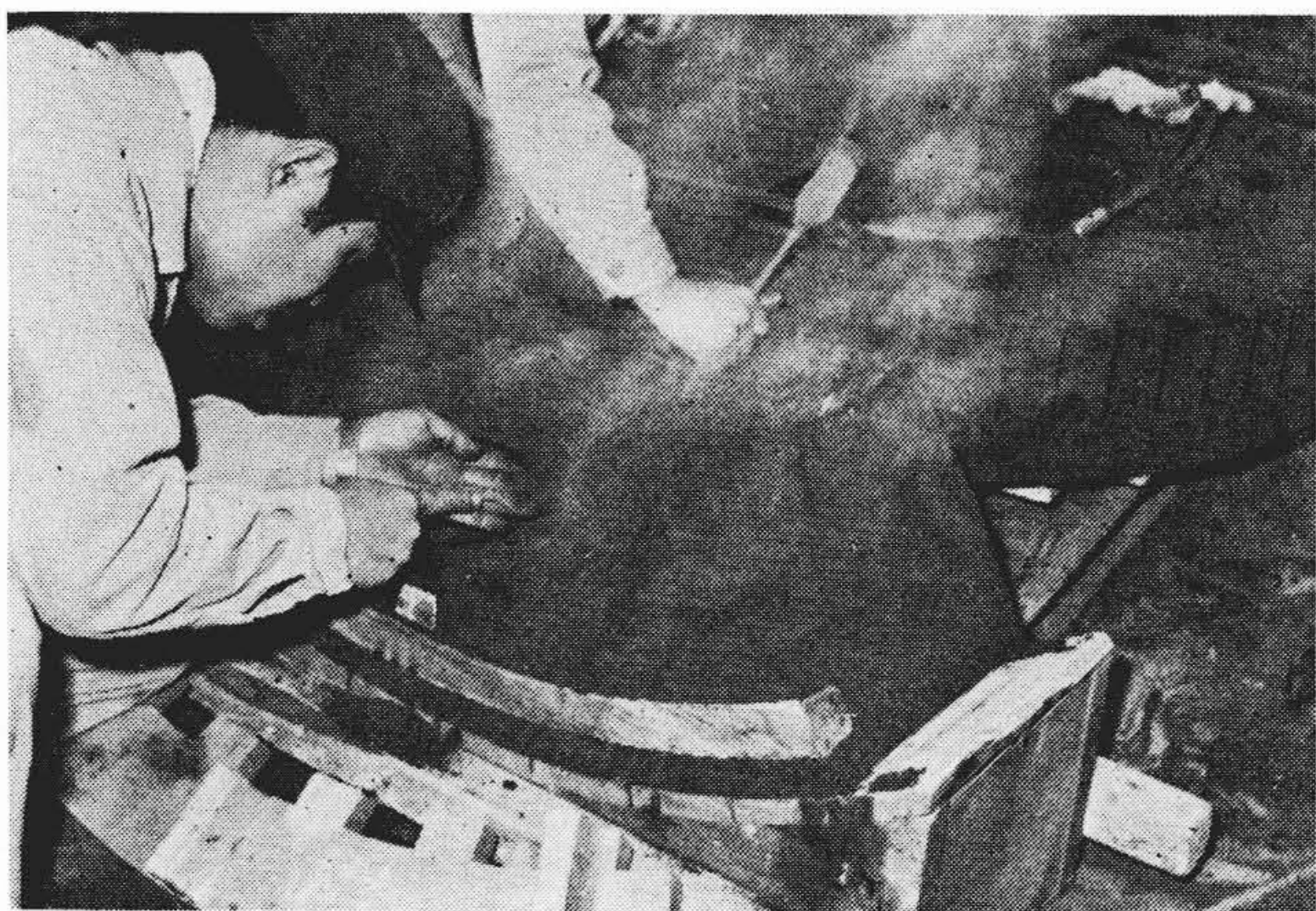
以上のようにケイ酸ソーダをケイ砂に混合した鋳物砂の基本性質をほぼ明らかにした。Fe-Siの場合はCa-Siの場合より反応がおそいこと、同様の配合では強度がFe-Siのほうが高いこと、また高温強度、残留強度においてもやや高いが、ガス発生量はきわめて少ない。

これらの諸性質は従来の鋳型砂に比べてやはり鋳造上有利であると考えられる。

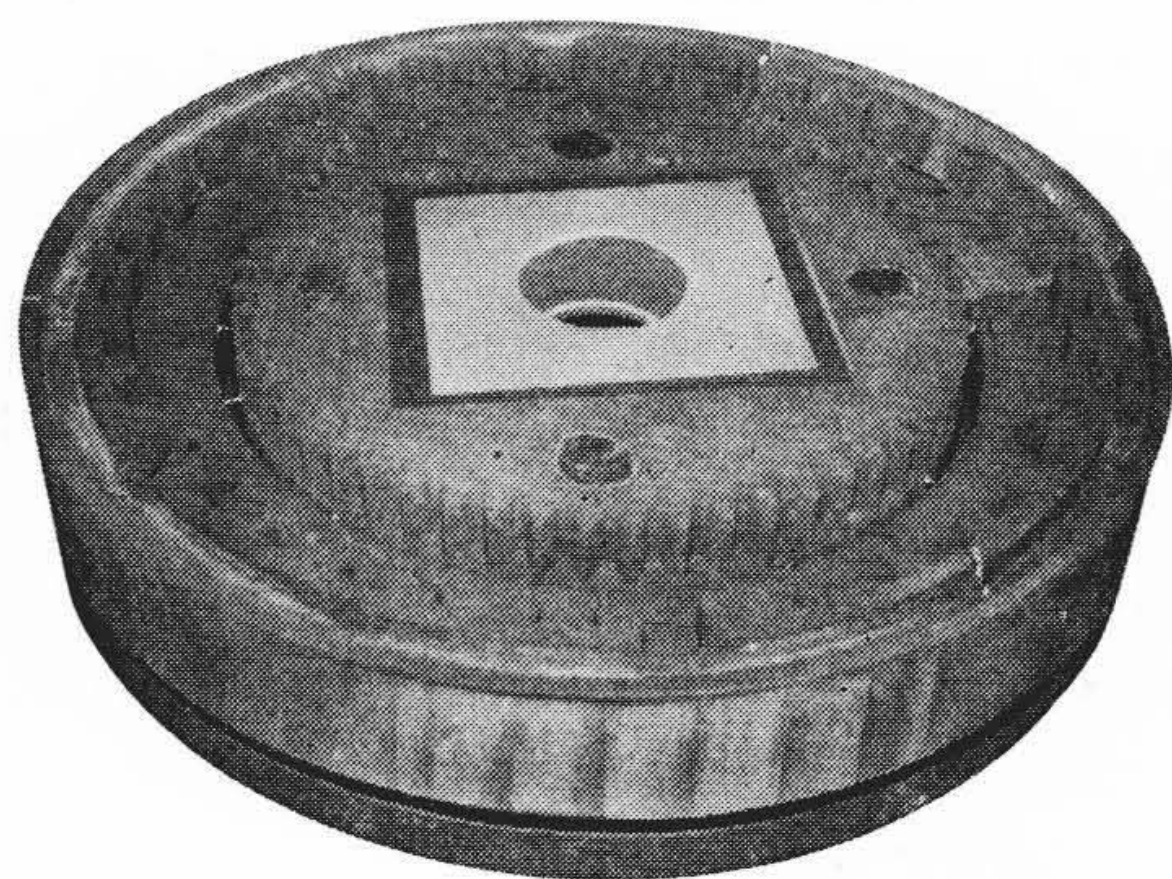


鋳物重量 850 kg (荒引加工後)

第 9 図 鋳鋼製品 (U 106 形パワーショベルのセンターフレーム)



第 10 図 センターフレーム中子の造型中
(反応により蒸気を発生している)



第 11 図 センターフレーム下型の中子組立中

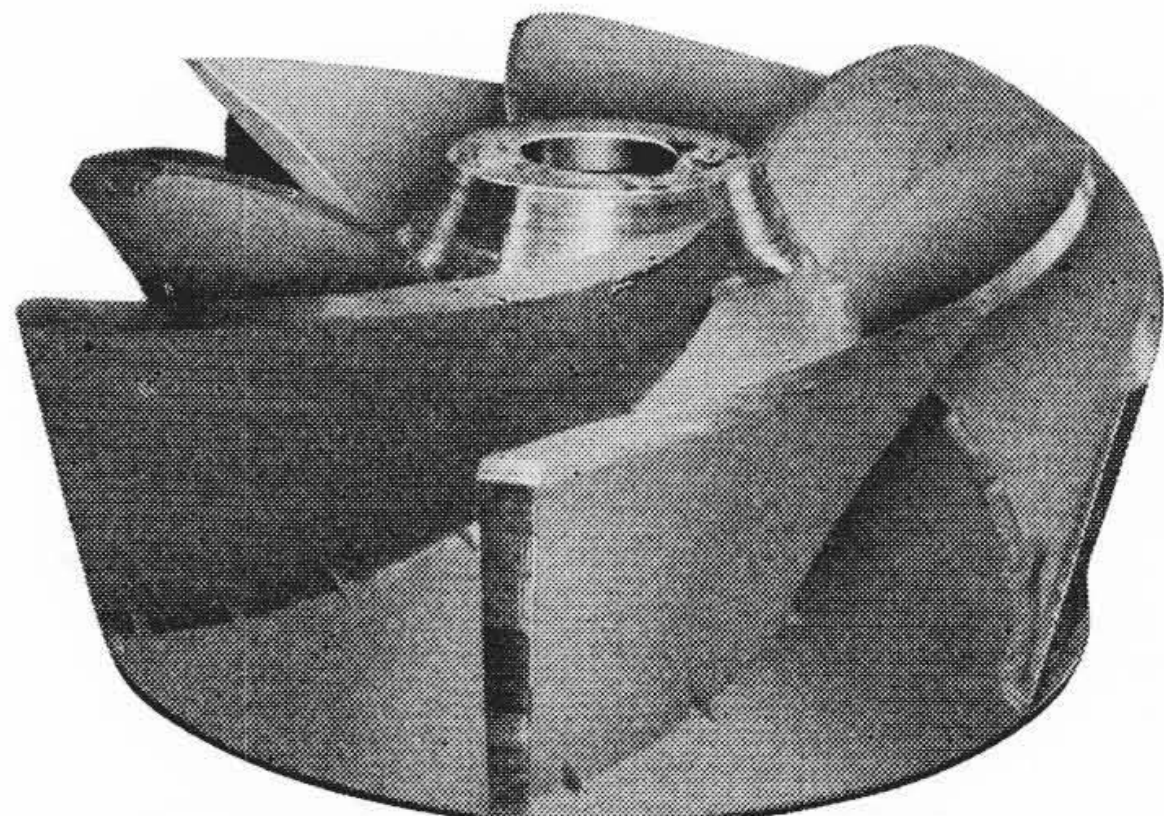
一般の鋳物に対しては、ケイ酸ソーダの濃さは Ca-Si の場合に述べたと同様の理由により JIS 1 号品を水で約 2 倍に希釈して比重 1.3 ぐらいとしたものをケイ砂に対して 5~7% および Fe-Si 粉末 2~3% を配合したものが実用的であると考えられる。

4. 実 用 結 果

鋳鋼および鋳鉄鋳物の鋳型につき、まず中子から実用をはじめ、ついで外型に及ぼし、かつ小物から大物へと拡大してきた。

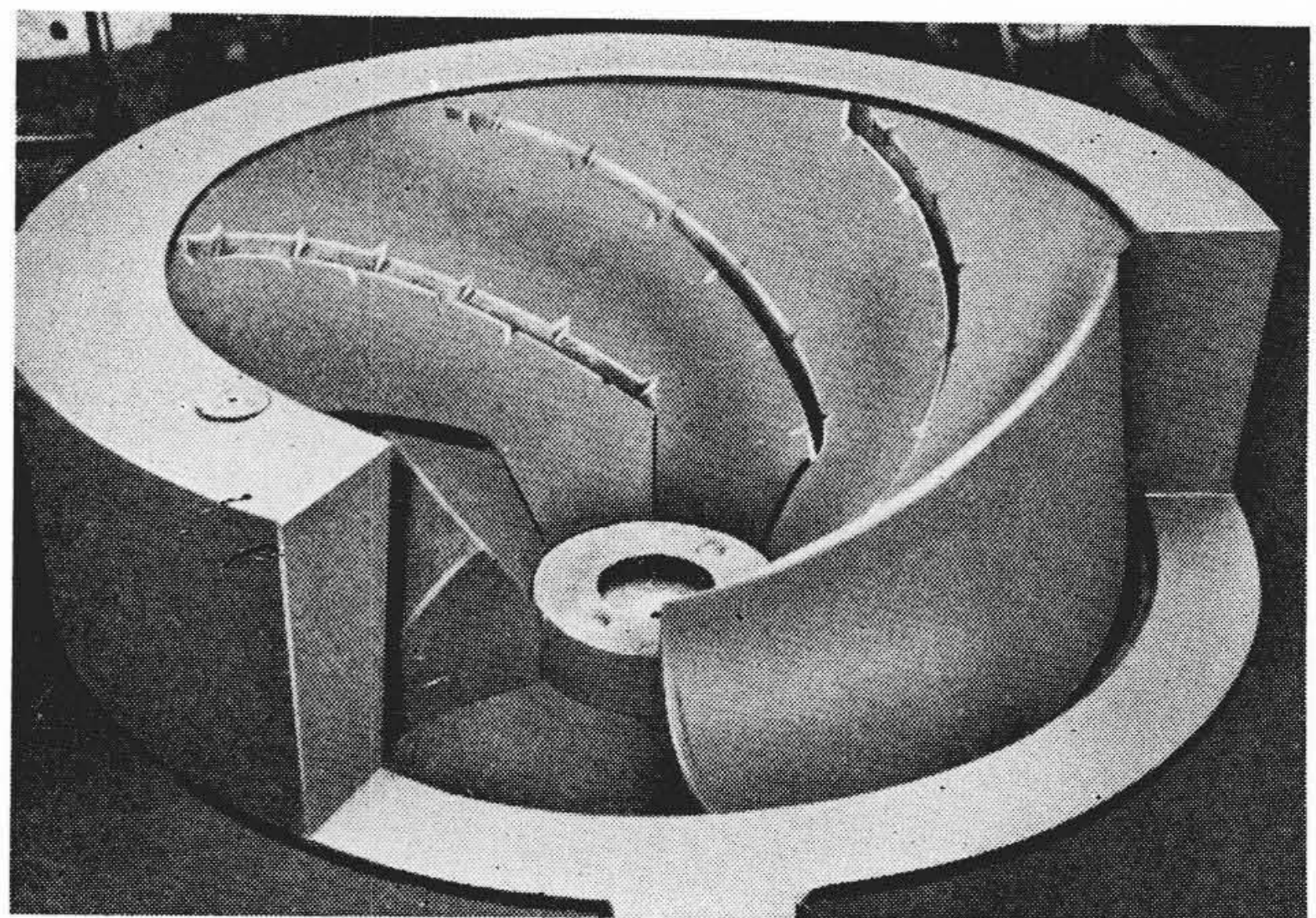
第 9 図は本法による鋳鋼製品の一例である。インターナルギヤおよびクラッチ部は鋳放し黒皮で使用するの寸法精度の厳しいものである。

従来から全体を中子の組立式で鋳型を作り能率を向上していたものであるが、N プロセスに転換することにより、さらに 35% の工数低減が達成された。そのうえ吹かれ、焼着き、すくわれ、砂入りなどの不良が激減した。また従来機械加工中に発見される欠陥が相当あって、その手直しに多大の工数を費していたが、それも激減し

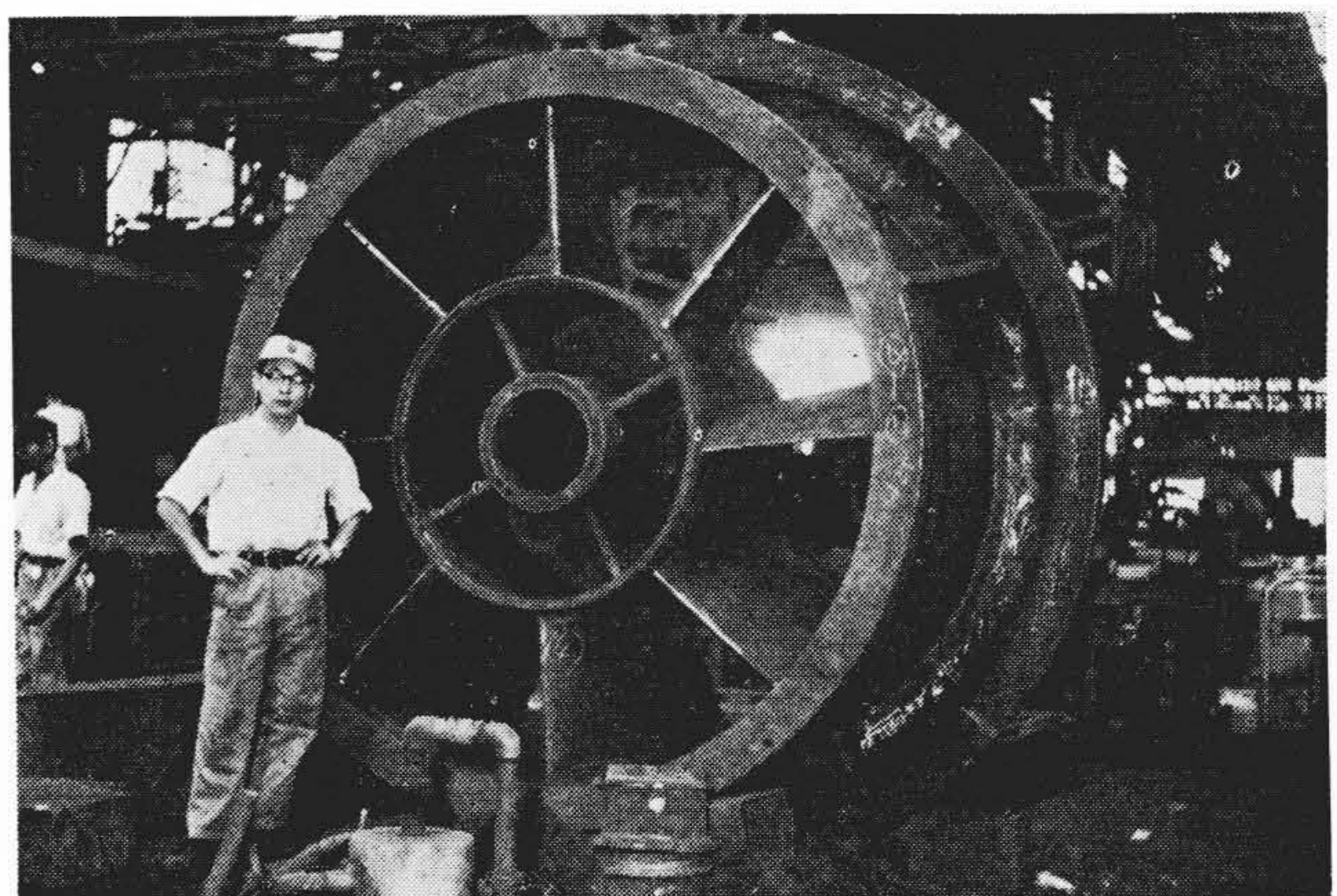


鋳物重量 850 kg (荒引加工後)

第 12 図 13 クローム鋳鋼製品 (ポンプ羽根車)



第 13 図 ポンプ羽根車の羽根中子の組立



材質 FC 20 重量 7,700 kg

第 14 図 2,100 φ ポンプケーシング鋳物

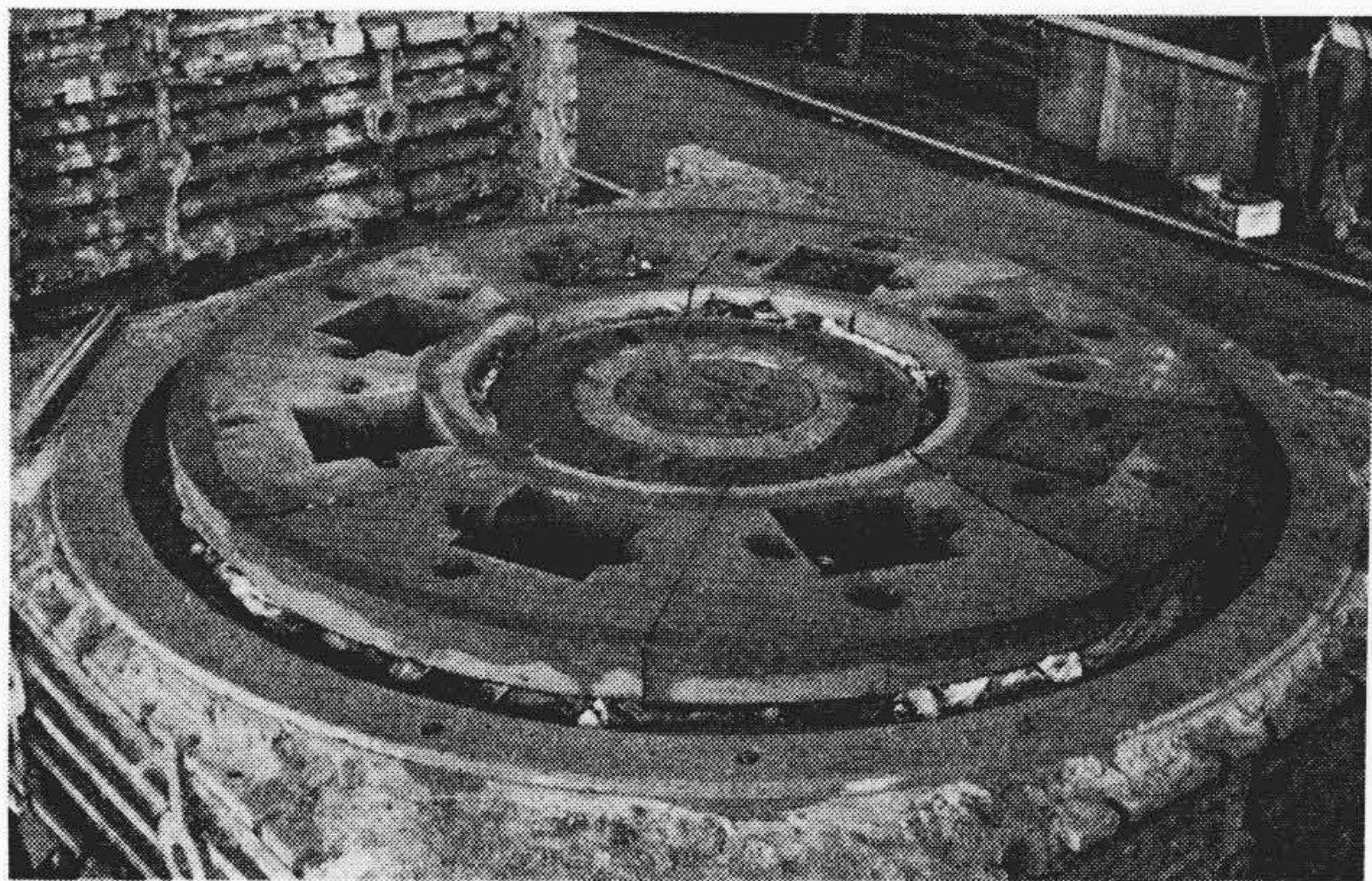
た。

第 10 図はその中子の製作中、盛んに反応が進んでいる状態である。また第 11 図は組立の終わった下型部分を示すものである。

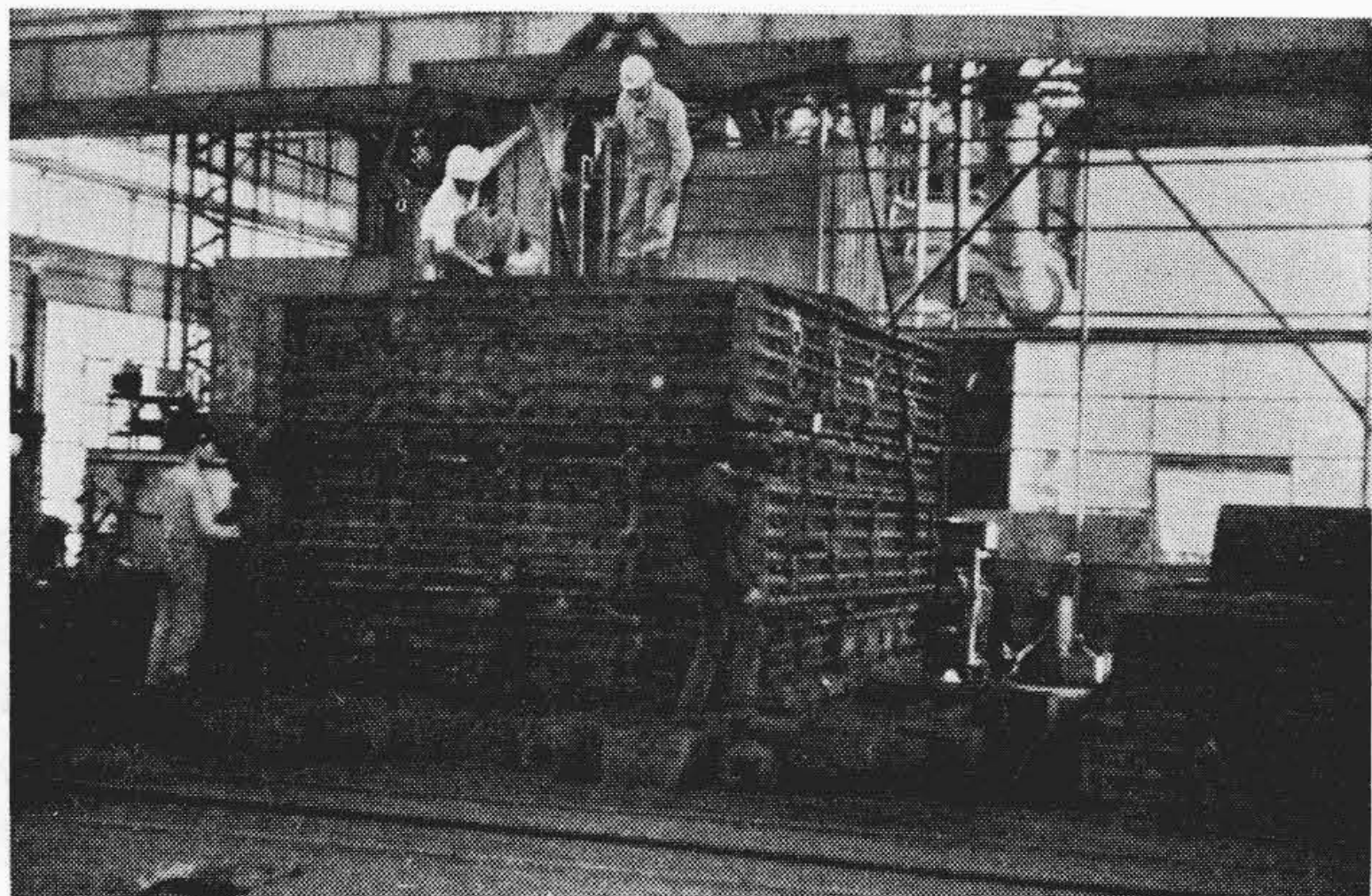
第 12 図は特殊鋳鋼製のポンプ羽根車である。羽根部分が長いので、従来の型では中子の変形が多く、組み立ての際の修正に多大の工数を要していた。N プロセスによれば変形が少ないので、そのまま簡単に組み立てられる。またこの中子のように形状の複雑なものは、従来の型では、その心金や乾燥までの形状保持に多くの資材と労力を要したものであるが、本法ではその負担は著しく減少し、中子の造型に 2 倍以上の能率をあげることができた。

第 13 図は中子の組立中の状況を示したものである。

第 14 図は鋳鉄製ポンプケーシングの例である。中子および外型に適用したものである。このような大物になるほど工数の低減は大きく、また心金の節約も大きい。大物工場では従来月当たり 15 トンの



第15図 2,100 φ ポンプケーシング鋳型の組立中



第16図 ポンプケーシング上下型の合せ作業中

心金を吹いていたが、それが3トンに減少させることができた。

大物におけるNプロセスの造型能率は混砂能力と砂を鋳わくに充てんする能力に支配される。それらの能力を大きくすればNプロセスの能率はさらに向上し、工数の低減率も向上することが可能である。

これらの成果は予想以上のものであった。その主なる点は

- (1) 配合が簡単であり、また管理が容易である。
- (2) 造型が容易で、熟練を要しない。
- (3) 乾燥は全く不要である。また大物の中子も中心まで完全に反応するので、なんらの不安がない。
- (4) 鋼鋳物では普通のものは塗型が不要である。
- (5) 強い型が得られるので、心金類も著しく節約できる。

など種々の長所がある。工数も著しく低減でき、30~50%の低減は容易である。なお使用法に熟達すれば、さらに効果があがると考えられる。

そのほか、燃料や心金などの副資材の節約や乾燥炉の不要なこと、運搬作業の節約、工期の短縮など有形無形の利益があげられる。

そしてNプロセスによる鋳型への注湯後については

- (1) 砂落しが比較的容易である。
- (2) 吹かれ、すくわれ、焼着き、砂入りなどの鋳型に起因する不良が著しく減少する。
- (3) 加熱乾燥を行なわないので、型の変形が少なく、鋳物の寸法精度が向上する。
- (4) 鋳肌が良い。
- (5) 湯が型によく充満する。

などの好結果が得られる。特に不良の減少は、均一な鋳型が熟練を要せずに得られることの結果と考えられ、鋳型としての大きな進歩を意味するものである。

5. 結 言

ケイ砂にケイ酸ソーダおよびケイ素粉末を添加した発熱自硬性鋳型では、その反応生成物として残留するものが鋳型の主材料であるケイ砂と同質の SiO_2 のみである。水分は自らの反応によって失われる。

この2点は他の鋳物砂に例をみない特長である。

この特長が本発熱自硬性鋳型の最大の魅力であり、このすぐれた特性を十分生かして使用しなければならぬと考えている。

ケイ素含有物としてCa-SiおよびFe-Siを用いた砂の鋳型としての基本的性質も幸いに他のものにすぐれている。

最も実用的なFe-Siを使用した場合について、鋳鋼、鋳鉄鋳物に実用化した結果は、その使用法にまだ十分に精通したとはいえないにもかかわらず、予期以上の成果をあげることができた。

近い将来において、このNプロセスは、鋳物砂より粘土を駆逐して、全般の鋳物に広く普及することと信ずる。そのときには成型に特殊な技術を要しないため鋳造様式の決定にあたる少数の技術者のみにて、造型は誰でも簡単に一定の性質のものを製作できるようになる。またそれとともに不良の激減、能率の向上にも著しい成果のあがることが期待できる。

なお本法に適した鋳物工場の機械化が採用されたときには、工場の様子は一変するとともに高能率化が果たされるであろう。

終わりに臨み、本研究に対し種々ご指導ご援助を賜った日立製作所中央研究所ならびに亀有工場の関係各位に、また本法を積極的に採用し急速に実用化された各工場の関係者のかたがたに深甚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 西山：鋳物，34，4 別冊（昭37-4）
- (2) 西山：鋳物，34，8（昭37-8）
- (3) 西山：鋳物，32，3 別冊（昭35-3）
- (4) 西山：鋳物，34，11（昭37-11）
- (5) 西山：鋳物，32，9 別冊（昭35-9）
- (6) 西山：鋳物，34，4 別冊（昭37-4）