

ダクタイル鋳鉄のピンホールについて

Study on the Pinhole of Ductile Cast Iron

河本 昭 治* 有 村 文 夫*
Haruji Kawamoto Fumio Arimura

内 容 梗 概

ダクタイル鋳鉄のピンホール発生防止のため、鋳物砂の諸性質および熔解条件のピンホールに及ぼす影響を調べた。その結果ピンホール発生を防止するには次の対策が適切であることが判明した。

- (1) 新砂の配合を避け、古砂のみ使用する。
- (2) 鋳物砂にデキストリンおよび石炭粉を添加する。
- (3) CO₂肌砂を使用する。
- (4) 熔湯にテルルを添加する。

またこれらの対策を現場作業に実施してピンホール不良を激減することができた。

1. 緒 言

われわれは、約1年にわたる研究により、塩基性キュポラ単独で材質的に安定したダクタイル鋳鉄を製造できるようになったが、鋳造不良の主要位置をしめるピンホールに対しては経験的な対策しかとっていなかった。このため塩基性キュポラ操作をはじめた第1年目の高湿期に多くのピンホール不良を出して、現場作業にも著しく支障をきたした。

ダクタイル鋳鉄は普通鋳鉄に比較してピンホールを発生しやすい材質であるが、その発生機構がわからないので、根本的な防止方法が確立されていない。

ピンホールの発生要因としては

- (1) 熔解条件
- (2) 鋳物砂の性質
- (3) 方案
- (4) 造型条件
- (5) 注湯条件

が考えられるが、本報告では、主として、熔解条件および鋳物砂の諸性質の影響について検討した結果についてのべる。

2. 実 験 方 法

2.1 熔 解

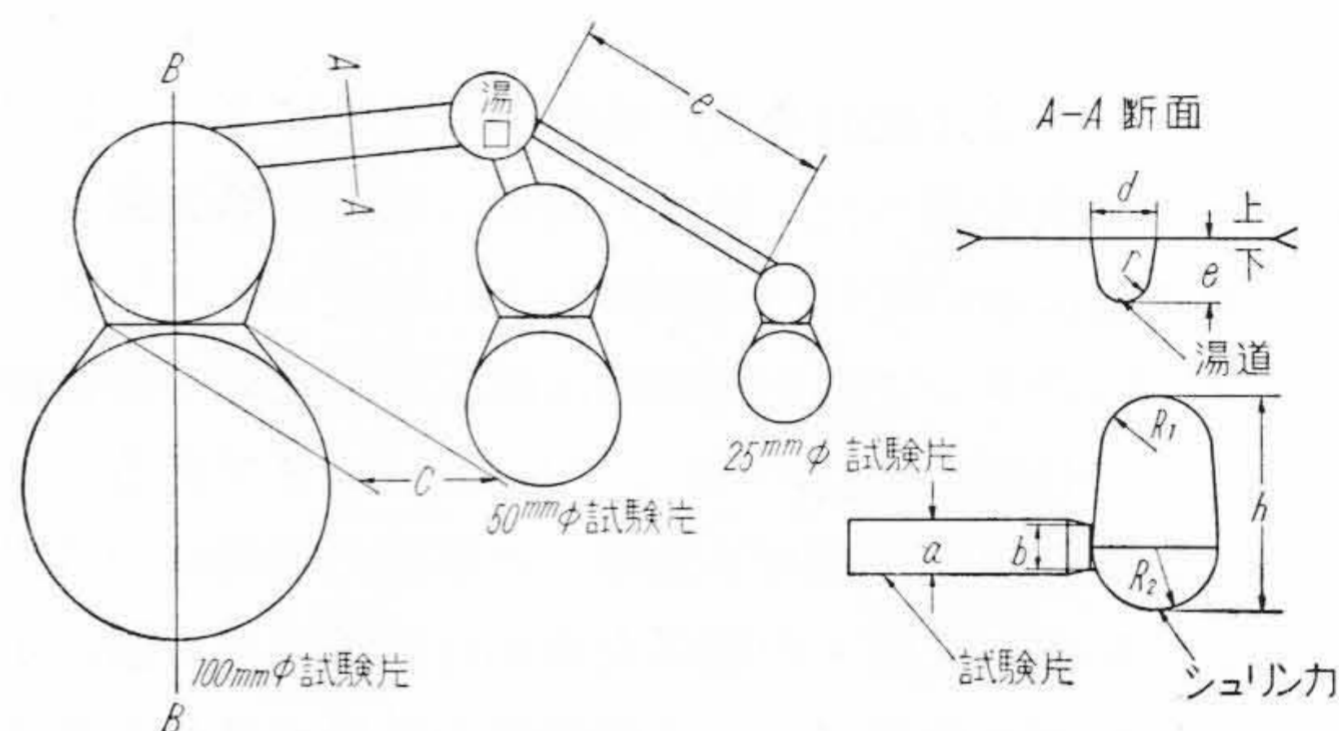
試料の熔解条件を第1表に示す。約3箇月間にわたって実験したので、化学成分は相当広範囲に変動している。大体の成分範囲を示せば次のようである。

C: 3.4~3.9%	S: <0.015%
Si: 2.2~2.8%	Cr: <0.05%
Mn: 0.3~0.4%	Mg: 0.04~0.08%
P: <0.1%	

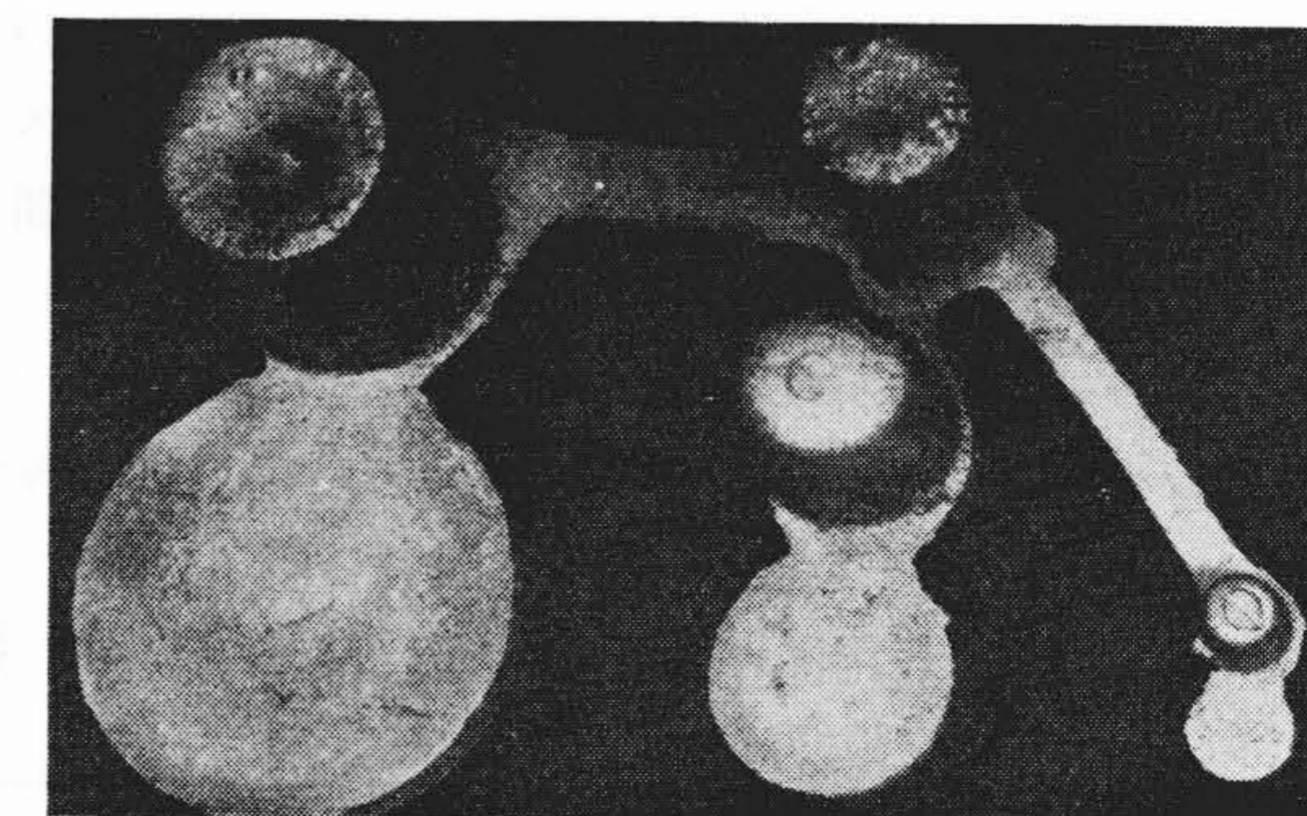
2.2 試 験 片

試験片の寸法および鋳造方案を第1~2図に示す。注

* 日立金属工業株式会社戸畑工場



第1図 ピンホール試験片の寸法および方案

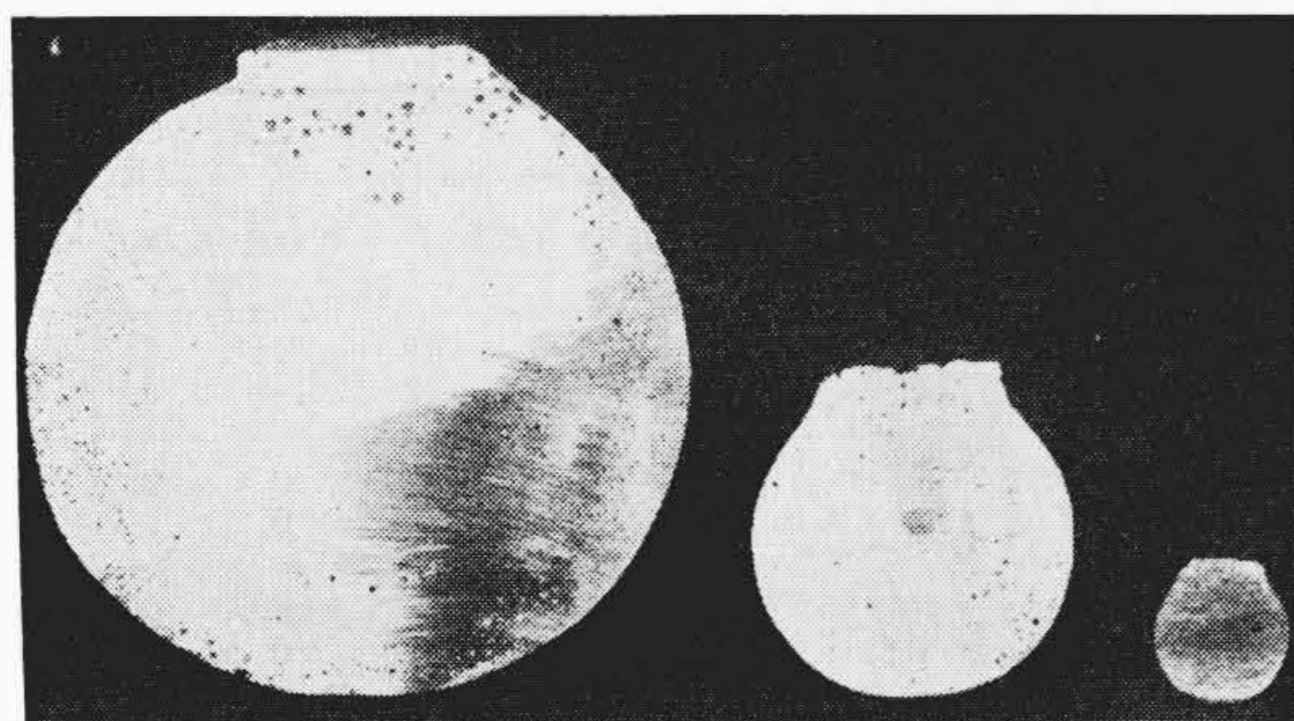


第2図 ピンホール試験片

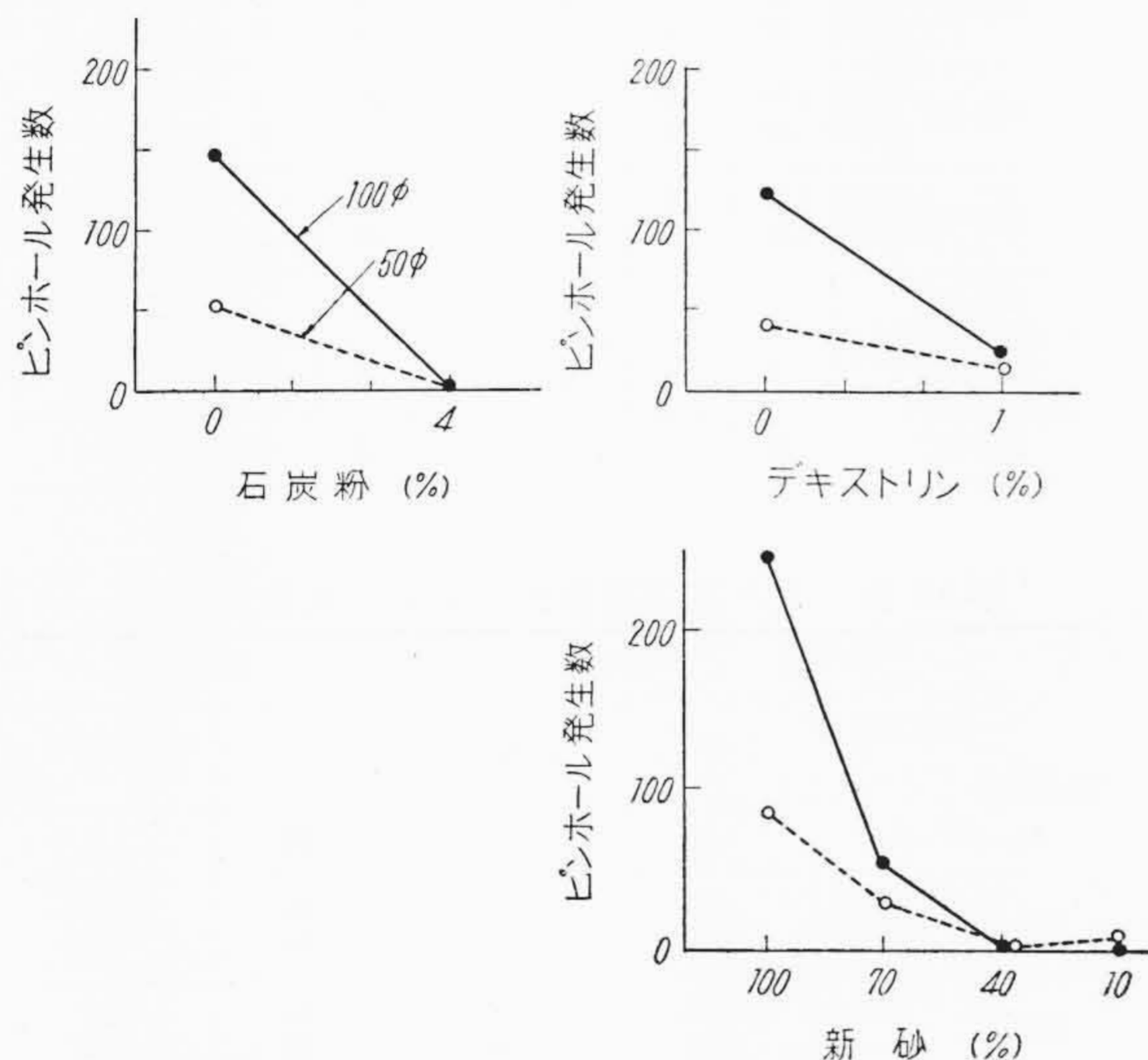
入温度は Pt-Pt・Rh 熱電式高温計で測定して、1,300±20°Cとした。試験片を鋳造後、サンド、ブラストにかけて掃除し、グラインダーで約0.5mm研磨して、ピンホール数を調べた。第3図にピンホールの発生例を示す。

25mmφの試験片には、ピンホールの発生が顕著に現われなかったため以下記録より除いた。

ピンホール発生再現性を調べた結果を第2表に示す。この結果ピンホール発生は再現性のあることおよび



第3図 ピンホール発生例



第4図 新砂配合比石炭粉, デキストリン量の影響

熔湯による相異があることを確認した。

3. 実験結果

3.1 鋳物砂の諸性質の影響について

(1) 水分量およびデキストリン添加量を変えた場合
水分量を4, 7, 10%, デキストリンを0, 1, 2%
に変化させて実験を行った。第3~4表にピンホール
測定結果とその分散分析表を示した。

この実験の結果デキストリンを添加すれば、ピンホール発生を著しく減少せしめうる事がわかった。水分量の影響も有意で、水分量が増すとピンホールが減少する結果が得られた。このことはわれわれの経験にも、また従来の研究結果にも相反するので、同様な実験を行って、水分の影響を再検討したところ水分量の影響は認められなかった。

(2) 鋳物砂の種類を変えた場合

第5~6表にわれわれの工場で使用している各種鋳物砂の配合およびピンホールの測定結果を示した。

ピンホール発生は熔解番号によって相当変動する

第1表 熔解条件

項目	数値
熔解炉	1.5t 塩基性キュボラ
地金配合	
鋼屑	10%
白銑屑	60%
DCI屑	30%
Mg 添加	0.55%
Fe-Si 添加	0.6%

第2表 ピンホール発生の再現性

試験片	熔解番号	ピンホール数		
		100φ	50φ	25φ
100φ	4C-452-4	0	0	0
	452-5	8	2	—
	453-4	7	5	5
	453-5	0	0	—
50φ	4C-452-4	0	0	0
	452-5	4	2	—
	453-4	2	3	3
	453-5	0	0	—

第3表 水分およびデキストリンの影響

試験片	100φ			50φ			鋳物砂配合 (%)
	水分 %	デキストリン %	デキストリン %	水分 %	デキストリン %	デキストリン %	
4	440	0	20	300	7	5	白銀砂7号 91~89 ベントナイト 7.2 石炭粉 1.8 デキストリン 0~2
	550	9	20	155	4	12	
7	515	2	4	150	0	0	石炭粉 1.8
	525	4	2	233	8	1	
10	70	16	0	15	2	0	デキストリン 0~2
	100	30	0	30	15	0	

第4表 分散分析表

要因	100φ			50φ		
	変動	自由度	分散比	変動	自由度	分散比
デキストリン(A)	511,960	2	255,980	81,442	2	41,721
水分(B)	76,467	2	38,234	16,357	2	8,177
A×B	163,228	4	40,807	31,677	4	7,919
繰返誤差	6,592	9	732	14,215	9	1,579
全変動	758,247	17		143,691	17	

第5表 各種鋳物砂の配合

成分%	A	B	C	新砂 100%
新砂	刈田砂 24	黒井砂 72	黒井砂 18 尾崎砂 18	白銀砂7号 90
古砂	64.5	18	55	
粘土	2.4	6		
ベントナイト			4.5	7.2
石炭粉	7.6		4.5	1.8
大豆粉		2.4		
サンサルエキス		1.6		
デキストリン	1.5			1.0
計	100	100	100	100

第6表 鋳物砂の影響

試験片 熔 砂 種 番 号	100φ					50φ				
	A	B	C	CO ₂ 肌砂	新砂 100%	A	B	C	CO ₂ 肌砂	新砂 100%
4C-457-6	0	—	0	0	6	0	—	0	0	5
458-4	0	—	0	0	0	0	—	0	0	0
459-6	0	—	0	0	34	0	—	0	0	7
462-4	—	2	0	—	3	—	0	0	—	2
463-4	—	4	0	—	32	—	0	0	—	12
464-6	—	—	0	—	54	—	—	0	—	36

第7表 鋳造日, 新砂配合比, 石炭粉, デキストリン量の影響

列 番	1	2	3	4	5	6	ピンホール発生数			
要 因	鋳 造 日	新 古 砂 砂		石 炭 粉 (%)	デキストリン (%)	100φ 試験片		50φ 試験片		
		(%)	(%)			第 1 回	第 2 回	第 1 回	第 2 回	
水 準	0	第1日	100	0	0	0	第 1 回	第 2 回	第 1 回	第 2 回
	1	第2日 第3日 第4日	70 40 10	30 60 90	4	1	第 1 回	第 2 回	第 1 回	第 2 回
1	0	0	0	0	0	0	880	800	320	250
2	0	0	0	1	0	1	70	120	120	60
3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
5	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
7	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
10	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
11	1	1	0	1	0	1	80	150	20	20
12	1	1	0	0	0	0	200	85	40	30
13	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
14	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
15	1	0	1	0	0	1	0	0	20	3
16	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0

第8表 分散分析表

要 因	100φ				50φ			
	変 動	自 由 度	不変分散	分散比	変 動	自 由 度	不変分散	分散比
鋳 造 日	318,541	3	106,180	4.97	41,053	3	13,684	6.25
新砂配合比	264,544	3	88,181	4.04	33,102	3	11,034	5.05
石 炭 粉	177,759	1	177,759	8.18	21,788	1	21,788	9.93
デキストリン	69,958	1	69,958	3.20	8,944	1	8,944	4.08
誤 差	501,264	23	21,794		50,538	23	2,197	
全 変 動	1,332,066	31			155,425	31		

が、いずれの場合も、新砂配合量の少ない鋳物砂AおよびCはピンホールを発生しにくいことがわかった。CO₂肌砂は新砂のみを使用して、古砂はまったく配合していないけれどピンホールをきわめて発生しにくい。

(3) 新砂配合量および石炭粉, デキストリン添加量を変えた場合

要因として新砂と古砂の配合比, デキストリン, 石

第9表 テルル添加の効果 (鋳物砂Cを使用)

試験片 テ ル ル 添 加 量 % 熔 解 番 号	100φ				50φ				
	0	0.001	0.003	0.005	0	0.001	0.003	0.005	
4C-492-3C	1回 2回	20 12	0 —	1 0	0 0	18 11	0 —	3 0	0 0
493-4C	1回 2回	45 50	1 0	0 0	12 3	15 0	0 0	0 1	0 0
497-4C	1回 2回	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
496-3C	1回 2回	35 41	0 0	0 0	0 0	25 10	0 0	0 0	0 0
500-4C	1回 2回	10 10	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
502-4C	1回 2回	120 50	10 2	0 0	— —	20 5	3 2	0 0	— —
503-4C	1回 2回	130 150	20 5	0 0	— —	30 45	0 2	0 0	— —
506-4C		12		6		5		5	
507-4C		0		0		0		0	
508-4C		25		0		5		0	

第10表 テルル二重添加の効果 (新砂100%*)

試験片 テ ル ル 約 添 加 量 % 熔 解 番 号	100φ		50φ	
	0	0.003	0	0.003
4C-517-4C	10	0	10	5
552-4C	1回 2回	800 800	650 650	100 60 50 60
531-4C	1回 2回	200 200	150 200	10 50 50 15
533-4C	1回 2回	350 350	200 180	65 120 100 90
533-5C	1回 2回	50 40	0 0	60 35 40 40
534-4C	1回 2回	600 500	180 500	170 200 150 200

* 鋳物砂配合 ベントナイト 7.2%
白銀珪石7号 91% 石炭粉 1.8%

炭粉の添加量および鋳造日を取り上げて、2⁴形直交形配列法(H₂, 16表)によってピンホール試験を行った。第7~8表に試験結果を示す。第4図は各要因とピンホール数の関係を示したもので、古砂配合量の増加, デキストリン, 石炭粉の添加によりピンホールが著しく発生しにくくなることがわかる。また鋳造日によるピンホール発生の変動がきわめて大きいがこの点については後述する。

3.2 溶解条件の影響について

(1) テルルを添加した場合

テルルを0, 0.001, 0.003, 0.005%添加して、その効果をしらべた。テルルはマグネシウム添加後、取鍋に出湯中、Fe-Siと同時に添加した。テルル添加からピンホール試験片注入まで約5分経過している。第9表にピンホールの測定結果を示した。溶解番号により

第11表 送風脱湿の効果 (鋳物砂Cを使用)

熔解番号	送風脱湿の有無	湿度 g/m ³	全ガス量 cc/100g	ガス量 ppm			ピンホール数	
				H	O	N	100φ	50φ
4C-468-3a	無	20.5	6.4	1.8	10	37	—	—
3c	無	20.5	5.1	1.3	9	31	80	20
4a	有	8	6.8	1.5	10	47	—	—
4c	有	8	4.6	1.6	12	20	20	8
469-3a	無	18	7.4	1.4	9	88	—	—
4a	有	6.5	4.8	1.5	10	22	—	—
4c	有	6.5	4.4	1.4	13	13	0	0
471-3a	無	22	10.4	2.2	22	59	—	—
4a	有	9.5	8.3	2.1	11	54	—	—
4c	有	9.5	4.0	1.5	9	13	0	0
512-3a	無	20	5.9	2.6	12	15	0	0
4c	有	9	2.4	1.6	7	14	0	0
520-3a	無	15	6.0	3.0	10	14	—	—
4a	有	9	5.5	1.5	10	30	—	—

注： 熔解番号の項でaはMg添加前，cはMg添加後の試料を示す

ピンホール発生傾向は相当変動しているが，ピンホールが発生しやすい場合でも (たとえば 4C-502-4C)，0.001%のテルル添加によって，ピンホール数は激減し，0.003%の添加で完全にピンホールは発生しなくなっている。

第9表は鋳物砂Cについての試験結果であるが，第10表は新砂100%配合の肌砂について試験した結果で，テルルを0.003%取鍋添加した場合と，さらに18kgの杓に取鍋より湯を入れる際テルルを0.003%添加(テルルの二重添加)した場合とのピンホール数を比較したものである。テルルを杓添加してピンホール試験片を注入するまでの所要時間は1分以内である。この試験結果より，ピンホールが発生しやすい新砂100%配合の鋳物砂の場合は，テルル添加によるピンホール防止は余り期待できないことがわかった。

(2) 送風を脱湿した場合

現在ダクタイル鋳鉄熔解用キュポラは，シリガゲルで送風を脱湿している。送風の湿度とピンホール発生との関係をしらべるため，送風を脱湿した場合と，脱湿しない場合とのピンホール発生数を比較した。第11表にその試験結果および真空熔融法(1,400°C抽出)によるガス分析結果を示す。熔解番号468~471はガス分析試料採取後約2週間後に分析したのでやや正確さに欠けるが，熔解番号512, 520は採取翌日分析した。この結果送風脱湿により，ピンホールに関係があると

いわれている水素含有量は減少している。しかし試験を行った範囲内では，ピンホール発生に対する送風脱湿の効果は認められなかった。

3.3 日常作業におけるピンホール発生の変動

第12表は6/15~9/18までの約3箇月間のピンホール発生数を示したものである。同一配合の砂を用いた場合でも，日によりまた同一日でも取鍋によってピンホール発生傾向が異なっている。この理由をしらべるために，鋳型条件(水分，通気度)，熔解条件(送風温度，スラッグの塩基度，熔湯の化学成分，熔解時Si損失，送風湿度，大気湿度)とピンホール発生数の関係をしらべたが，ピンホール発生と直接関係をもつ要因を見出すことはできなかった。

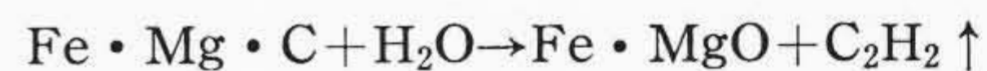
4. 考 察

以上の試験により次のことがわかった。

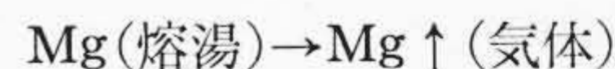
- (1) 鋳物砂にデキストリン，石炭粉を添加すればピンホールが発生しにくくなる。
- (2) 鋳物砂の新砂配合量が多いほどピンホールが発生しやすい。
- (3) CO₂肌砂はピンホールを発生しにくい。
- (4) テルルを添加すればピンホールが減少する。

ダクタイル鋳鉄は普通鋳鉄に比較してピンホールを発生しやすいが，その理由として次の点が指摘されている。

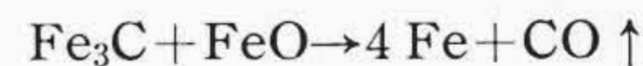
- (1) 溶湯中の複雑なFe-Mgの炭化物と鋳型中の水分が反応してアセチレンを生じ，このアセチレンが高温で水素と炭素に分解するために生ずる。



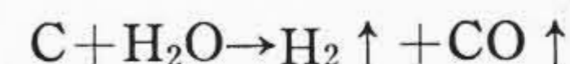
- (2) 溶湯中のマグネシウムがその溶解度の減少とともにガスとして出てくるために生ずる。



- (3) マグネシウムを触媒として溶湯中のFe₃CとFeOが反応して生ずる。



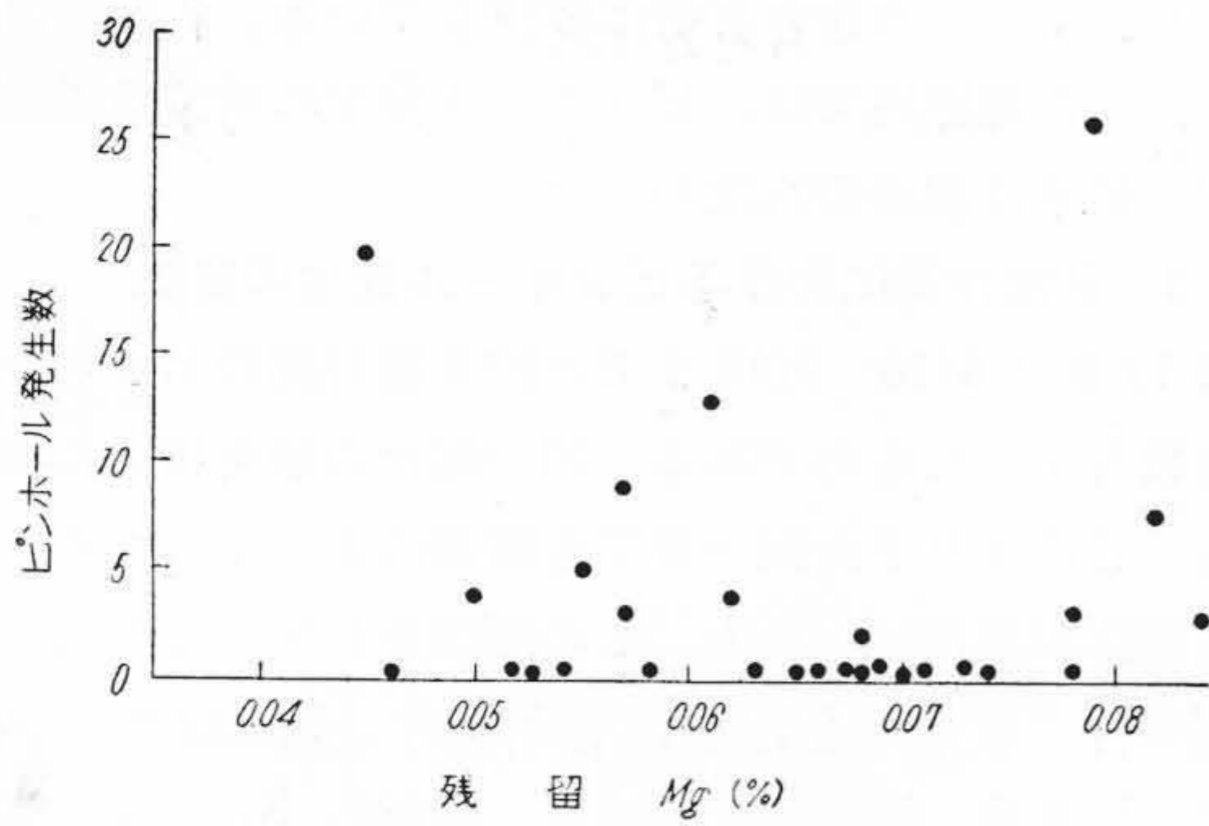
- (4) マグネシウムの触媒によって溶湯中の炭素と鋳型中の水分が反応して生ずる。



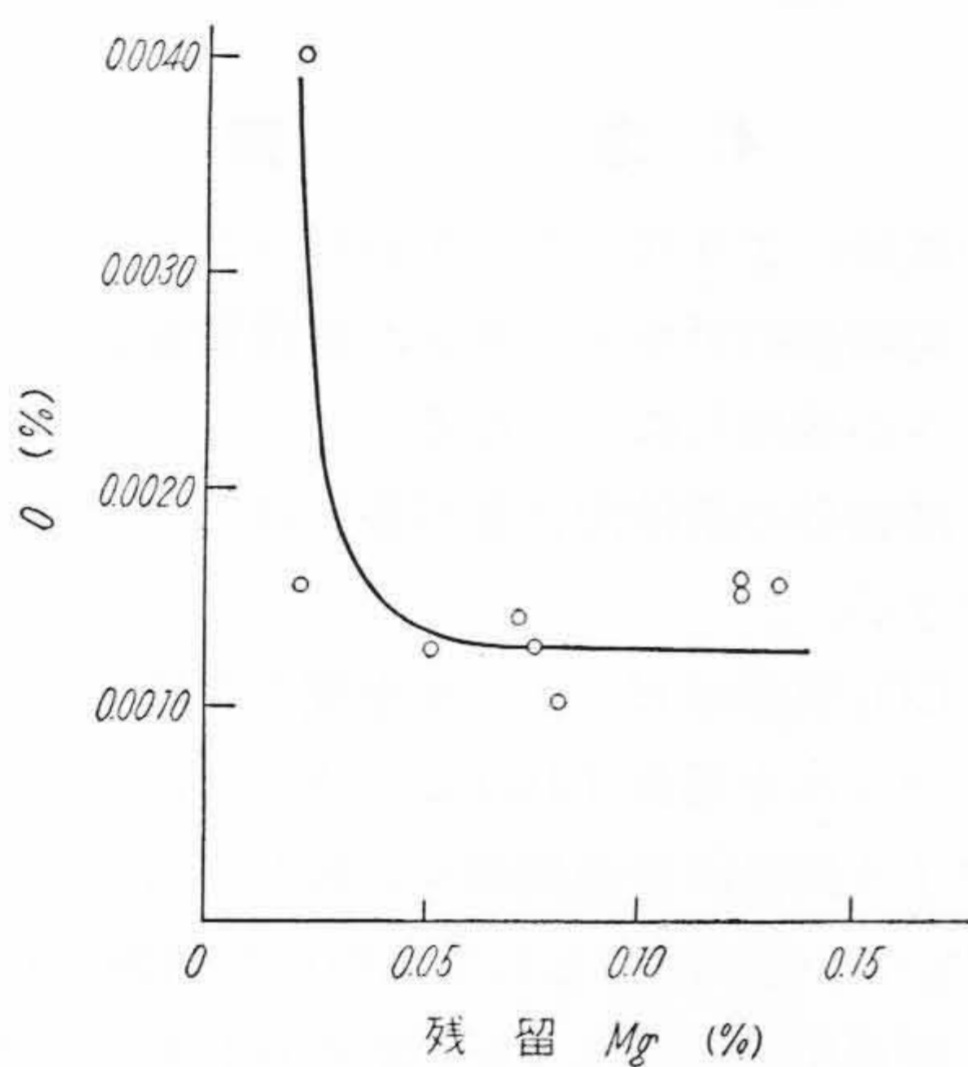
これらの説によればMg残留量が多いほどピンホール

第12表 ピンホール発生記録 (鋳物砂C, 100φ試験片)

出湯番号	月日	6/15	17	20	21	22	27	28	29	7/1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	16	17	18	19	8/5	6	7	9	20	21	22	23	24	26	28	29	9/12	13	14	16	17	18		
1		0	6	0	0	2	3	13	0	0	3	0	20	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	19	0	0	0	0	0	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		8	0	0	0	4		3	0		15	0	0	0	0	0	26	0	0	5	0	0	0	0	8	15	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3					0	4		9	0		8	9		3			0	0	0						0	10																			



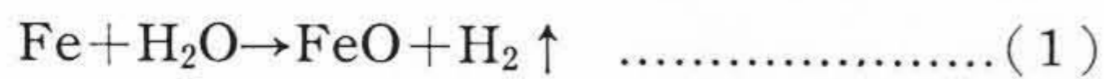
第5図 残留マグネシウムとピンホールの関係
(鑄物砂C, 100φ試験片)



第6図 残留 Mg と O の関係

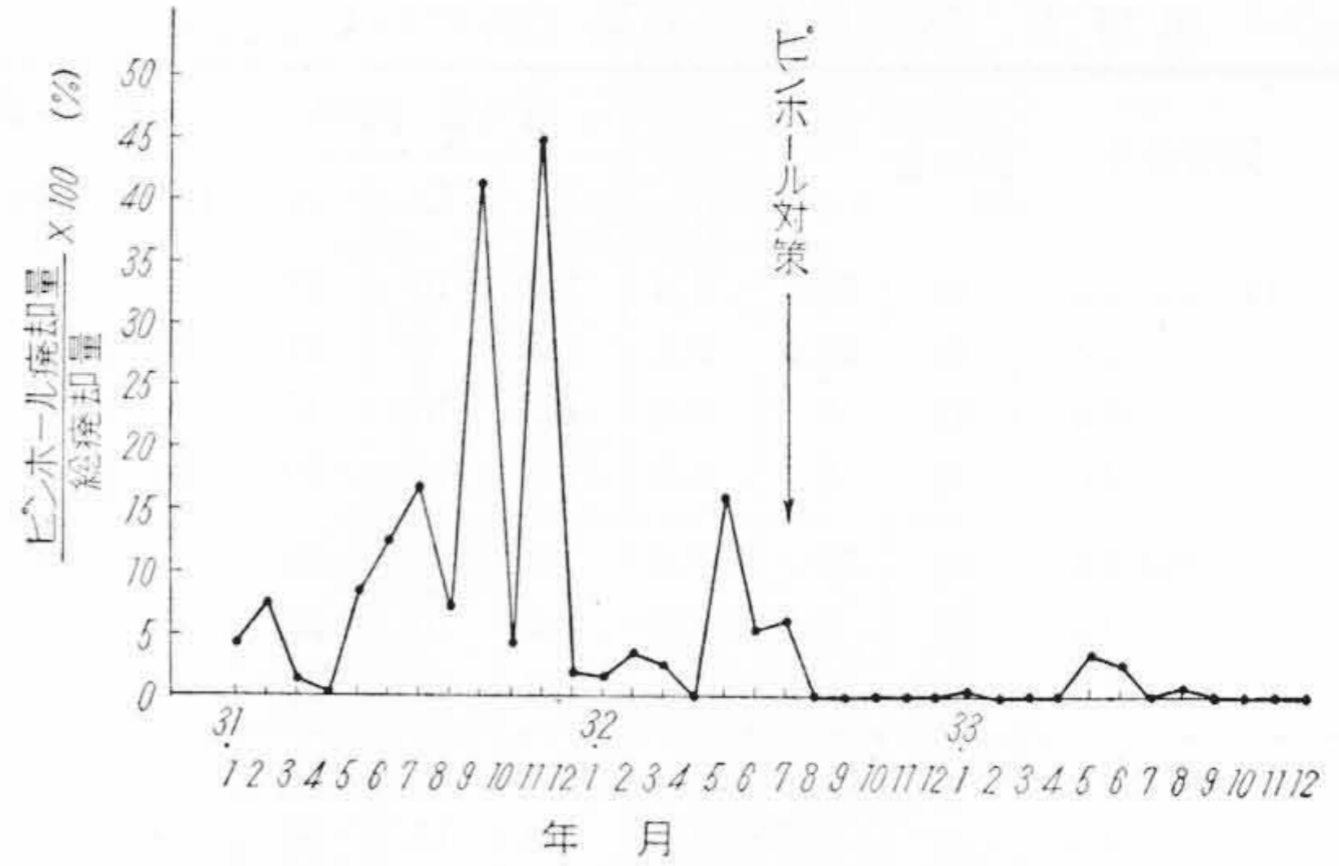
が発生しやすくなるわけであるが、われわれの実験によれば第5図に示すように残留マグネシウム量とピンホール数との関係は認められなかった。

池野らによれば、普通鑄鉄のピンホール生成を鑄型より発生した水蒸気と溶湯の反応(モールド・リアクション)によって説明し、(1)式の反応によって生じた水素によってピンホールを生ずるといっている。この説によれば、マグネシウムを添加して脱酸すれば、(2)式より、 P_{H_2} の値が大きくなり、したがってピンホールを生じやすくなるわけである。



$$P_{H_2} = \frac{P_{H_2O} \cdot [Fe]}{[FeO]} \dots\dots\dots(2)$$

第6図は G. Derge⁽²⁾ の試験結果を示したものである。残留マグネシウム量の増加により溶湯中の酸素は著しく減少するが、マグネシウムの残留量が0.05%で酸素量は一定の値を示している。したがってマグネシウム残留量が0.05%以上の範囲では P_{H_2} の値も一定になり、溶湯のピンホール発生傾向も一定になる。この結論は第5図をよく説明できる。



第7図 ピンホール不良の変遷

新砂配合量をませばピンホールが発生しやすくなり、同じ新砂100%配合の場合でもCO₂肌砂は著しくピンホールを発生しにくい。この理由は今後の研究によって解明しなくてはならない。

5. 現場作業におけるピンホール不良の減少

以上の試験結果をもとにして、次のようなピンホール対策をとった。

(1) 鑄物砂に対する対策

- (a) 古砂100%配合にする。
- (b) デキストリンおよび石炭粉を適量添加する。
- (c) 特にピンホールが発生しやすい製品にはCO₂肌砂を使用する。

(2) 熔湯に対する対策

- (a) 出湯時テルルを添加する。
- (b) 送風を脱湿する。

第7図はピンホール発生率の変遷を示したものである。このようにピンホール対策を現場作業に実施して高温期におけるピンホール不良を激減できた。

6. 結 言

ダクタイル鑄鉄のピンホールの発生と鑄物砂の諸性質、熔解条件の関係をしらべて次の結果を得た。

- (1) 鑄物砂にデキストリンおよび石炭粉を添加するとピンホール発生を減少できる。
- (2) ピンホールの発生は鑄物砂の種類によって異なるが、新砂配合量の多い鑄物砂ほどピンホールを発生しやすい。新砂100%配合の鑄物砂でも、CO₂肌砂は非常にピンホールを発生しにくい。
- (3) 熔湯にテルルを添加すればピンホールの発生を防止できる。しかしピンホールが非常に発生しやすい鑄物砂(新砂100%)の場合は余りその効果は期待できない。
- (4) 送風を脱湿すれば溶湯中の水素量が減少するが、ピンホールに対する効果は確認できなかった。実

験数が少ないので、送風脱湿の効果については再検討する必要がある。

(5) ピンホールの発生は熔解日および同一熔解日でも取鍋によって変動する。

以上の結論をもとにして、次のようなピンホール対策をとって高温期におけるピンホール不良を激減することができた。

(1) 古砂 100% 配合にして、デキストリンおよび石炭粉を適量添加する。

(2) 特にピンホールを発生しやすい製品にはCO₂肌

砂を使用する。

(3) 送風を脱湿シテルルを添加する。

終りに本研究に御指導下さった日立金属工業株式会社戸畑工場塩谷次長、牧野課長および川井、高橋の両氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 池田, 岩永, 小野: 鋳物 28, 11 (昭31-1)
- (2) Rehder: Foundry 79, 122 (1951)
- (3) 西山, 谷口, 片桐, 相沢: 有研 289, 1 (昭29-8)

日立製作所社員社外寄稿一覧表

(その3)

(第91頁より続く)

(昭和33年12月受付分)

寄稿先	題 目	執筆者所属	執 筆 者
日本分析化学会	リンバナドモリブデン酸メチルイソブチルケトン抽出によるリンの吸光々度定量	中央研究所	北川 公夫 柴田 則夫
日本機械学会	Optimum Nonlinear Control in Retarded Systems	中央研究所	三卷 達夫
日本機械学会	近似非線形最適制御のアナログ計算機による検討	中央研究所	三卷 達夫
日刊工業新聞社	トランジスタ(その2)製法, 特性	中央研究所	伴野 正美
高分子学会	高分子の酸化の研究(第8報)	中央研究所	新井 旭治
エレクトロニクス	ポリエチレンの加熱による酸素吸収と構造変化	中央研究所	川松 俊治
電子顕微鏡学会	サーミスタの計測への応用	中央研究所	二木 久夫
東大工学部	永久磁石, 電磁石併用励磁電子レンズ系	中央研究所	木村 博一
総合試験所	Permanent Magnet Lens Systems and Their Characteristics	中央研究所	木村 博一
日本化学会	Dimention Critique du Celloide	中央研究所 (東大)	牟田 明德 (岡田 重文)
日本金属学会	時効硬化性 Cu-3.0% Ti 合金の金属組織学的研究(第1報)	中央研究所	土井 俊雄
日本金属学会	時効硬化性 Cu-3.0% Ti 合金の金属組織学的研究(第2報)	中央研究所	土井 俊雄
電波新聞社	随 筆	中央研究所	菊田 多利男
電気試験所	振動容量型増幅器の展望	中央研究所	阿部 善右エ門
放射線研究室	音波によるプラズマ加熱法	中央研究所	百々 太郎
日大理工学部	質量分析計による鉛同位体存在比の測定	中央研究所	岡本 潤一 津山 一実 角田 実
核融合文献センター	電子レンズの磁束密度と非点収差の関係	中央研究所	片桐 信二郎
阪大理学部	高性能電気集塵装置	日立研究所	諫早 典夫
質量分析編集部	煤煙防止の方法	日立研究所	諫早 典夫
電気試験所	電子管計数装置を用いた精密定速度制御装置	日立研究所	前川 敏明
オーム社	重水製造用恒容多段式水電解槽	日立研究所	川島 夏樹
労働科学研究所	熔 接	日立研究所	小野 健二 渡辺 潔一
オーム社	日立の小形アナログコンピュータ	本 社	池沢 慎一
日本化学会	一酸化炭素検出装置	本 社	椿 健三
日刊工業新聞社	笠戸工場紹介	本 社	河合 輝
小峯電子工業株式会社	年 頭 所 感	本 社	橋本 真吉
日本電機工業会	昭和33年の日立の業績を顧みて	本 社	工藤 五郎
ブリジストンタイヤ株式会社	水道用ポンプ設備の自動運転について	本 社	神津 修二
電波タイムス社	随 筆	本 社	田口 武夫
日本電機工業会	標準電動機業界の見通し	本 社	佐久間 知三
水道産業新聞社	日立製作所における計数形電子計算機の現状	本 社	田口 武夫
電通経済			
電気新聞社			
電気通信協会			