

生型砂特性の統計解析

黒川 豊* 水田豊昭* 矢尾井 潤*
太田英明** 三宅秀和***

Statistical Analysis of Green Sand Properties

Yutaka Kurokawa, Toyooki Mizuta, Jun Yaoi,
Hideaki Ota and Hidekazu Miyake

As a result of Analysis of green sand properties on 100 lines of system sand in 1985 and 1998 respectively, it showed a tendency that green sand, analyzed in 1998, had lower compactability and higher strength compared with those in 1985. Also lower deviation was recognized. So it can be said that green sands in 1998 have changed to higher quality one with better flowability, while they are almost same properties among them. This change corresponds to an improvement of recent molding machine which have higher productivity and better dimensional precision. Green sand properties in 1998 were assorted into each type of molding machine. As a result, it has experienced that they have such properties as higher strength in case of shock wave type of molding machine. Then, green sand control indexes for each molding machine have been obtained. The relationship between green sand properties and additional volume of green materials, used volume of core sand, and sand-metal ratio were checked. As a result, additional volume of each green materials such as bentonite, starch and sea coal has been able to be calculated by remained volume of each materials, used volume of new sand and core sand, and sand-metal ratio. Then, objective standard of judgment for additional volume has been clear by comparing calculated and measured volume.

Keywords : statistical analysis, green sand, system sand, molding machine, shock wave, compactability, strength

1. 緒言

最近の生型鑄造においては、鑄造部品の薄肉軽量化や寸法精度向上が指向されてきている。同様に、国際競争力を上げるための原価低減、生産性向上及び歩留り向上などの課題に対しても解決すべき問題である。このような状況の中で、生型砂の特性をこれらに対応して変えていくことが、生型砂を管理する者にとって責務であると考えられる。

一方では、生型砂特性は造型機や砂処理と密接に関係するため、生型砂特性を論じる際は、造型・混練条件も併せて検討する必要がある。例えば、造型機は1990年ごろより生産性が良い衝撃波を利用したインパクト造型機・インパルス造型機・新静圧造型機等(以下これら造型機をショックウェーブ造型機と称す)やブロッスクイーズ造型機が従来の低圧～中圧のジョルトスクイーズ造型機に置き換わり主力になってきた。また、砂処理は予備混練や熟成タンクの導入が進んできた。さらに、混練時の生型砂特性の制御は自動管理が進み、無人化がなされてきた。このように、造型機や砂処理の変遷は前述した寸法精度や生産性の向上に結びついた動きである。

これらの変遷の中で、生型砂自体もこれらに対応して順

次変化していると考えられる。そこで、本研究では上記造型機やそれら砂処理が普及し、コンピュータ管理の進歩する前後の1985年代と1998年代において、各種鑄物の製造に用いられてきた生型砂の特性を統計調査した¹⁾²⁾³⁾。

また併せて、ベントナイト、でんぶん及び石灰粉である生型添加材料の添加量とそれらの残存量の関係を調べ、残存量から添加量を推定できないか検討した。なお、ベントナイトの残存量は活性粘土分⁴⁾、でんぶんについては残存でんぶん量⁵⁾、石灰粉については炭素質⁶⁾により求めた。

2. 生型砂特性の測定方法

生型砂特性としてJIS Z 2601に定められる湿態抗圧力、湿態通気度、水分、全粘土分、しゃく熱減量及び粒度指数を測定した。その他JIS Z 2601より求まる試験片密度、コンパクトビリティ⁷⁾(以下CBと称す)、表面安定性⁸⁾、メチレンブルー吸着法の活性粘土分⁴⁾、及びシリカプログラム試験⁹⁾にもとづく特性を測定した。併せて、各ラインにおける生型材料の添加量、S/M比、新砂添加率及び中子混入率の関係を調査した。

1998年は鑄鉄製造生型ラインから94試料及び非鉄製造生型ラインから10試料のデータからなる。一方、1985

表1 鑄鉄製造ラインにおける生型砂分析データの平均値と偏差

	1985年		1998年	
	平均	偏差	平均	偏差
コンパクトビリティ vol%	38.0	8.5	35.8	5.5
試験片密度 g/cm ³	1.434	0.050	1.450	0.045
湿態抗圧力 N/cm ²	11.5	3.6	13.9	2.2
湿態通気度	147	43	133	34
表面安定性 mass%	82.7	6.3	84.7	4.8
水分 mass%	3.7	0.9	3.5	0.5
全粘土分 mass%	11.3	2.1	11.2	1.9
活性粘土分 mass%	8.1	2.1	9.1	1.9
しゃく熱減量 mass%	3.3	1.3	3.5	1.5
粒度指数 JIS.FN	115.0	14.2	108.4	12.7
炭素質 mass%	2.8	1.3	3.0	1.5
金属分 mass%	1.3	0.6	1.0	0.3
不活性微粉 mass%	1.7	1.8	1.0	1.3
オリチャック分 mass%	20.4	9.0	19.2	5.4
シリカ分 mass%	65.8	10.0	66.8	6.4

年は鑄鉄製造生型ラインから125試料及び非鉄製造ラインから7試料のデータである。後者は1979年から1985年にかけておよそ5年間の平均を代表値としている。以下この5年間のデータは1985年データと称す。なお、鑄鉄鑄物にはFC及びFCDを含む。いずれの生型砂もいったんビニール袋に採取保存し、1週間以内に特性を測定した。各ラインについて1週間から1か月に1度測定を行い、1年間の平均値をそれぞれのラインの代表値とした。なお、これらの生型砂特性値は同一の試験室での測定である。生型砂特性を統計的に調査した文献⁹⁾¹⁰⁾は幾つかあるが、同一試験室で年度の異なるものを調査した例は少ない。そこで同一試験室の統計データの比較により、最近の生型鑄造に要求される生型砂特性について検討した。

3. 測定データの解析と考察

3.1 鑄鉄製造生型ラインの生型砂特性比較

表1に1985年(125試料)と1998年(94試料)に採取した鑄鉄製造生型ラインの生型砂分析データの平均値と偏差を示す。それぞれの平均及び偏差の推移から、最近の生型砂特性の変化傾向を読みとることができる。1985年に比べて、1998年ではしゃく熱減量と炭素質を除いていずれの特性値とも偏差は低くなっている。このことは各ラインの生型砂が共通化してきているといえる。すなわち、生型砂管理者の生型砂に対する管理目標が明確になりつつあると考えられる。しゃく熱減量と炭素質の偏差の変化割合がほぼ同程度で、低下していないのはFCとFCDでの石灰粉添加の使い分けが理由の一つであると考えられる。中でも、FCD主体のラインではMgドロス系のピンホール対策として石灰粉の添加量を高め、FC主体では低めの添加量にしている。このため、狙い値が2極化していることで偏差の低下が認められないと推定される。

個々の平均値の推移を検討すると、CBは1985年と比べて1998年で低下しているといえる。CBは充てん性及び流動性の指標となる生型特性であり、CBが低下するこ

とでそれらは増加する。充てん性の良い鑄型では、鑄型壁の移動がなく寸法精度が良好となる。一方、流動性の良い生型砂は鑄型の密度分布を均一化し、抜型後のスプリングバックを少なくして鑄物の寸法精度を向上する。また、搬送性や型ばらし性にも優れ、糊つりやしみつきがないために、生型砂を高速で移動させることが可能となる。

湿態抗圧力及び表面安定性は1998年で上昇している。これらは強度を表す特性である。強度を上げるために、活性粘土分が増加している。強度が高く、かつ充てん性の良い鑄型では鑄造不良が少なく、また寸法精度もよい。

粒度指数は1998年で小さくなり、粗めに移行している。これは1985年では中子砂は6号砂が使用されるシェル鑄型が主流であったが、1998年では5.5号砂が主体のコールドボックス鑄型が増加しているためであると考えられる。コールドボックス鑄型ではブローイングやガッシングを容易にするため、シェル鑄型よりやや粗めのけい砂が一般的には使用されるためである。

金属分や不活性微粉は1998年で低下している。砂処理時に除鉄や集じんが強化されたためであろう。オリチャック分やシリカ分ともあまり変化していないが、偏差は大きく低下している。

図1に1985年と1998年の生型砂特性の代表例を度数分布グラフとして示す。図1(A)はCBの推移を示したもので、1985年では2ピークの度数分布であったものが、1998年では1ピークになっている。これは1985年代はCBの狙い値が鑄造現場で低圧造型機では40 vol %、中圧及び高圧造型機では30 vol %前後であったことによると考えられる。1998年では低圧造型機が少なくなったため、低圧用の狙い値が減少したことに起因している。なお、本稿のCBはビニール袋で保存した後のCBであるために、熟成効果¹¹⁾により鑄造現場の値よりも若干低下していることが予測される。図1(B)は湿態抗圧力の推移を示したもので、1998年ではピークが高強度側に移行し、偏差が小さくなっている。図1(C)は水分の推移を示したもので、CBの場合と同様の理由で2ピークの度数分布であったものが1ピークに変化している。図1(D)は活性粘土分の推移を示したもので、1998年ではピークが高くなることも偏差が小さくなっている。図1(E)はオリチャック分の推移を示したもので、大きな差はないが、1985年は明らかなピークが認められない。このことから、種々のオリチャックの生型砂が使用されていたことが分かる。1998年は鮮明なピークが認められており、オリチャック分が各生型砂で共通化していると考えられる。なお、このオリチャック分は基礎砂補正⁹⁾をしていないので、けい砂中の長石類とベントナイト焼結によるオリチャックが合わさった値である。

以上、鑄鉄鑄物製造ラインにおける生型砂の特性をまとめると、以下のようである。(1)偏差の低下により管理値が共通化している。(2)CBが低下し湿態抗圧力や上昇していることから、高強度でかつ流動性及び充てん性の良い

平成11年10月15日 原稿受理

- (株)ツチヨシ Tsuchiyoshi Co., Ltd.
- ** 中部科学技術センター Chubu Science Technology Center
- *** 関西大学工学部 Kansai University, Faculty of Engineering

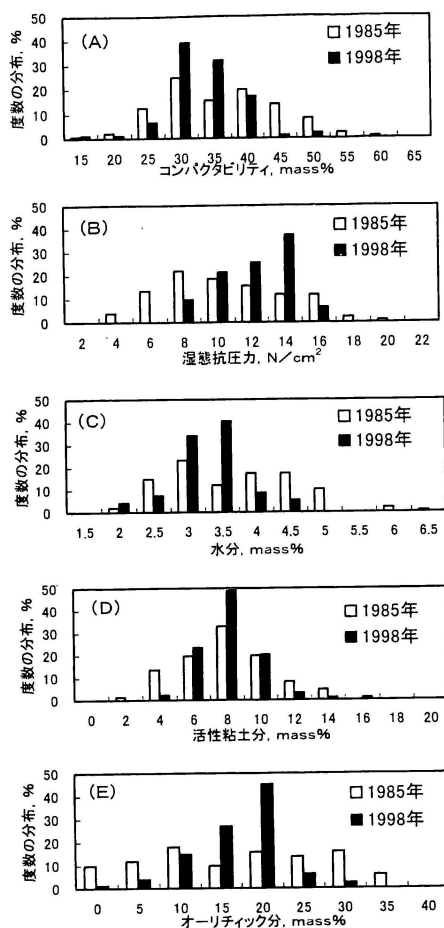


図1 1985年と1998年の生型砂特性の度数分布。(A) コンパクタビリティ (B) 湿態抗圧力 (C) 水分 (D) 活性粘土分 (E) オーリチック分

生型砂になっている。このことは鋳型壁の移動が少なく寸法精度の良い薄肉軽量の鋳物が生産できることを示している。

表2に非鉄製造生型ラインの1985年(7試料)と1998年(10試料)の生型砂特性を示す。非鉄鋳物の場合はN数が少ないためにはっきりしたことは分からないが、このような統計データはあまり見あたらないので示した。1985年では一部山砂を混合した半合成砂と呼ばれる生型砂を使用している手始めのラインが含まれる。1998年では自動化が進み、生型砂特性は鋳鉄用のものと近似してきて

表2 非鉄製造ラインにおける生型砂分析データの平均値と偏差

	1985年		1998年	
	平均	偏差	平均	偏差
コンパクタビリティ vol%	29.0	9.4	39.2	8.3
試験片密度 g/cm³	1.551	0.073	1.505	0.039
湿態抗圧力 N/cm²	12.5	5.0	13.0	3.8
湿態通気度	7.1	1.9	8.6	3.7
表面安定性 mass%	84.9	5.1	88.1	5.9
水分 mass%	3.5	0.8	3.7	1.1
全粘土分 mass%	10.5	1.6	11.7	3.8
活性粘土分 mass%	7.2	3.1	7.4	2.1
しゃく熱減量 mass%	2.2	0.6	2.4	1.0
粒度指数 JIS FN	158.5	29.1	113.3	32.8
炭素質 mass%	1.6	0.6	2.4	1.0
金属分 mass%	2.0	1.3	1.1	0.5
不活性微粉 mass%	4.6	2.4	3.8	4.2
オーリチック分 mass%	22.2	10.1	15.3	4.0
シリカ分 mass%	64.6	10.0	70.6	7.3

いる。

3.2 造型機別の生型砂特性比較

造型機で最も多いのはトップブロッスクイズの垂直割りの無枠造型機(N=26)である。これは更新時期になった際に、同形式の造型機に更新されることが多い。2番目に多いのは、ジョルトスクイズ造型機(N=22)である。この造型機は順次、ショックウェーブ造型機やトップブロッスクイズ造型機に更新されることが多い。3番目に多いのは、ショックウェーブ造型機(N=22)であり、1980年代後半に始めて実用化されたものである。4番目に多いのは水平割りの有枠造型機のトップブロッスクイズ(N=19)であり、最近徐々に増加しているようである。そのほかの造型機については、N数が少なく参考までに示した。

表3に1998年の鋳鉄製造ラインを主体に、造型機タイプ別に生型砂特性の平均値を示す。造型機の総数は111台である。ラインは94であるが、1ラインで複数台の造型機を有することがある。

その結果、ショックウェーブ造型機のCBは低CBである。低CB生型砂は前述したように流動性及び充てん性がよい。造型機自体の生産性及び寸法精度が良好であるので、低CBの生型砂と相まって、それらの効果が高まっていると考えられる。これと反対に、従来から用いられているジョルトスクイズ造型機のCBは高い。無枠造型機では湿態抗圧力、活性粘土分及びシリカ分が高い。この場合は無枠であるために鋳型の強度を高める必要があり、活性粘土分を高め、強度の発現しやすい高純度の砂を使用している。

3.3 生型粘結材料の添加量とそれら残存量の関係

生型粘結材料(以下、生型材料)として、主粘結材はベントナイトが使用され、2次粘結材としてでんぷん和石炭粉が使用される。それぞれの残存量との関係を表1に併記している。表4に生型材料の混練・造型条件として各種添加量の平均値と偏差を示す。また併せて、新砂添加率、中子混入率及びS/M比などを示す。以上のことから、生型材料の添加量が個々のラインにおいて歩留り良く使用さ

表3 造型機別生型砂特性の比較一覧表(1998年)

	N数	比率 %	コンパクタビリティ vol%	試験片密度 g/cm³	湿態抗圧力 N/cm²	湿態通気度	表面安定性 mass%	水分 mass%	全粘土分 mass%	活性粘土分 mass%	灼熱減量 mass%	粒度指数	炭素質 mass%	金属分 mass%	不活性微粉 mass%	オーリチック分 mass%	シリカ分 mass%
無枠(垂直分割)	26	23.4	36.1	1.454	14.9	108	84.6	3.5	11.3	9.8	3.12	115.1	2.49	0.96	0.61	15.9	70.3
ジョルトスクイズ	25	22.5	38.7	1.459	13.7	138	86.3	3.8	12.3	9.5	3.43	105.5	2.98	0.88	1.60	19.7	65.4
ショックウェーブ	22	19.8	33.6	1.457	14.0	144	84.5	3.4	11.0	9.1	3.66	104.3	3.21	1.04	0.97	19.7	66.4
トップブロッスクイズ	19	17.1	36.0	1.426	12.4	148	82.8	3.5	10.8	8.2	4.03	105.9	3.36	1.09	1.36	22.8	63.5
トップブロッスクイズ	6	5.4	36.9	1.431	13.5	136	83.5	3.4	10.6	8.5	3.40	106.7	3.17	1.05	1.02	22.1	64.5
高圧ジョルトスクイズ	5	4.5	34.7	1.455	12.2	148	82.8	3.3	10.4	7.8	4.06	104.7	4.07	1.05	1.51	20.9	65.3
スクイズ	5	4.5	39.2	1.437	14.0	132	86.5	3.7	11.5	9.1	2.80	115.1	2.28	1.18	1.01	22.0	64.1
サイドブロッスクイズ	3	2.7	33.0	1.429	14.9	152	86.2	3.9	13.1	10.9	3.17	106.7	2.73	0.85	0.00	24.3	60.2

表4 混練・造型条件

	N数	平均	偏差
ベントナイト添加量 mass%	54	0.495	0.253
でんぷん添加量 mass%	51	0.046	0.032
石炭粉添加量 mass%	50	0.072	0.085
でんぷん/ベントナイト	52	10.5	8.0
石炭粉/ベントナイト	50	17.2	18.6
新砂添加率	45	0.29	0.40
中子混入率	45	0.82	1.05
(新砂+中子)比率	43	1.17	1.01
S/M比	48	8.4	2.3
ライン砂保有量 t	38	116	87
ライン回収率 %	41	3.0	1.8
1ヶ月の総混練量 t/月	46	7811	12382

れているのか、もしくはロスがあるのか判断できる。

図2(A)~(C)に各生型材料の添加量と残存量との関係を示す。それぞれの相関係数は1%以下の危険率で有意であり、更に相関係数を上げるための方策を検討した。

各生型材料の添加量(ベントナイト添加量: B_1 、でんぷん添加量: S_1 、石炭粉添加量: S_2)は各生型材料の残存量(活性粘土分: AC 、残存微粉量: RS 、炭素質: RC)、新砂添加率、中子砂混入率及びS/M比より求める熱消耗率(H_L)などと関係がある考え、以下の式を導入した。ここで、生型材料の添加量とは(1)残存量が新砂及び中子砂で希釈された上で熱消耗するものに対して添加する量(対熱消耗添加量と称す)、(2)新砂及び中子砂に対して添加する量(対けい砂添加量と称す)の合計であると考えた。

さらに、ダストとなって系外に排出されるものや、混練効果や熟成効果などによって添加量が変化すると考えられるので、補正項 b を導入した。また、熱消耗率 H_L はS/M比の逆数で表され、けい砂添加率 S は新砂添加率と中子混入率の合計から求まると仮定した。

$$B_1 = AC \cdot H_L \cdot (1 - S) + AC \cdot S + b \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$S_1 = RS \cdot H_L \cdot (1 - S) + RS \cdot S + b \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$S_2 = RC \cdot H_L \cdot (1 - S) + RC \cdot S + b \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$H_L = a / SM \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$S = (NS + CS) / 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、SM: S/M比

NS: 新砂添加率, mass%

CS: 中子混入率, mass%

a, b: 定数

(4)式を(1)式、(2)式及び(3)式に代入し、(6)式、(7)式及び(8)式を得た。

$$B_1 \cdot AC \cdot S = a \cdot AC \cdot (1 - S) / SM + b \quad \dots\dots\dots (6)$$

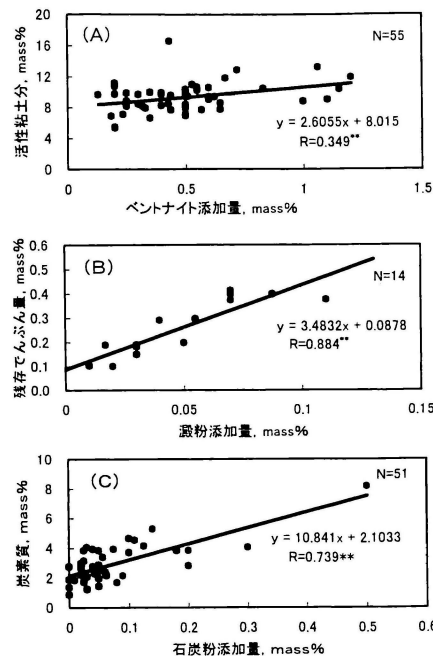


図2 生型材料添加量と各材料の残存量の関係。(A) ベントナイト添加量と活性粘土分 (B) でんぷん添加量と残存でんぷん量 (C) 石炭粉添加量と炭素質

$$S_2 \cdot RS \cdot S = a \cdot RS \cdot (1 - S) / SM + b \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$S_2 \cdot RC \cdot S = a \cdot RC \cdot (1 - S) / SM + b \quad \dots\dots\dots (8)$$

(6)式、(7)式及び(8)式のa, bは未知数で、ほかは既知である。そこで、回帰式を求めることでa, bを推定した。ベントナイト添加量、でんぷん添加量及び石炭粉添加量の場合の回帰式及び散布図を図3(A)~(C)に示す。ただし、石炭粉については対けい砂添加量に対する項を設けると、回帰式の相関係数が低下した。そこで、相関の高い石炭粉添加量と対熱消耗添加量の回帰式を採用して図3(C)に示した。それぞれの回帰式を整理し、各生型材料の添加量は残存量、S/M比及びけい砂添加率より以下に求まる。

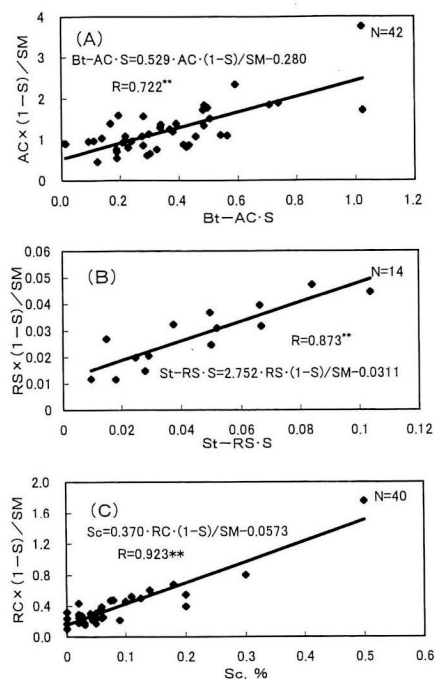


図3 各生型材料の添加量の推定式。(A) ベントナイト添加量, (B) でんぶん添加量, (C) 石炭粉添加量

$$B_t = 0.529 \cdot AC \cdot (1-S)/SM + AC \cdot S - 0.280 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$S_t = 2.725 \cdot RS \cdot (1-S)/SM + RS \cdot S - 0.0311 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$S_c = 0.370 \cdot RC \cdot (1-S)/SM - 0.0573 \quad \dots\dots\dots (11)$$

図2に示した回帰式の相関係数と図3に示した(9)式~(11)式を比較すると、ベントナイト添加量と石炭粉添加量の場合は増加している。したがって、ベントナイト添加量と石炭粉添加量については対熱消耗量添加等で補正することが有効である。でんぶん添加量の場合は相関係数がほぼ同じで変わらないことはN数が少ないことに理由があり、(10)式は妥当であると考えた。

以上のことから、(9)式、(10)式及び(11)式を用いて、個々のラインの残存量、S/M比及びけい砂添加率から各生型材料の添加量を計算し、実際の添加量と比較すること

で、生型材料が有効に使用されているかどうか客観的に判断することができると考えられる。例えば、実際の添加量が計算値よりも少なければ、生型材料は有効に使用されていることになる。また、実際の添加量が多ければ、ラインに問題点があり、原価低減の余地が十分にあると考えられる。これにより各生型材料添加量の標準が明確になり、個々のラインの添加量を客観的に判断でき、原価低減を進める上での一助になると考えられる。

4. 結 言

生型鑄造工場より生型砂を採取し、1985年と1998年の生型砂特性を統計データとしてまとめた。また、併せて造型機のタイプや生型材料の添加量などについても検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 最近の生型砂は低CBかつ高強度であり、寸法精度が良く、共通化が進んでいると考えた。また、薄肉軽量な鑄物の製造に適していると考えられる。この生型特性への指向は今後も拡大されていくと考えられる。
- (2) 造型機の型式別に生型砂特性を分類した。その結果、生型砂の管理値指標が得られた。
- (3) 無枠造型機では鑄型強度が高く、ショックウエーブ造型機でCBが低くなる傾向を明らかにした。
- (4) 各生型材料の添加量を各材料の残存量、SM比及びけい砂添加量から計算した。この計算値と実際の添加量を対比することで、添加量の客観的な判断基準が明確となり、原価低減対策に有効であると推察した。

文 献

- 1) 黒川豊, 熊野章一, 太田英明: 鑄物 57 (1985) 491
- 2) 黒川豊, 山下孝, 熊野章一: こしき 8 (1985) 33
- 3) 黒川豊, 池内昌弘: JACTNEWS 467 (1995) 14 865
- 4) 生型砂の管理の現状: 日本鑄物協会東海支部無機砂型研究部会報告書 I (1981) 91
- 5) 生型砂の管理の現状: 日本鑄物協会東海支部無機砂型研究部会報告書 I (1981) 95
- 6) 生型砂の管理の現状: 日本鑄物協会東海支部無機砂型研究部会報告書 I (1981) 100
- 7) 生型砂の管理の現状: 日本鑄物協会東海支部無機砂型研究部会報告書 I (1981) 68
- 8) 生型砂の管理の現状: 日本鑄物協会東海支部無機砂型研究部会報告書 I (1981) 70
- 9) F. Hofmann, F. Statmar: AFS Trans. 88 (1980) 177
- 10) 足立昌義, 新野秀子, 坂内尚美, 二木邦夫: 鑄物講演概要集 118 (1989) 42
- 11) 日本鑄物協会: 研究報告 38 (1985) 27