

# アルミダイカスト ハイブリッド溶解炉の開発

## Development of Hybrid Melting Furnace for Aluminum Die Casting

熊野希一 K. KUMANO 松浦祐介 Y. MATSUURA 漆谷勇人 H. URUSHIDANI

We have developed a hybrid melting furnace for the purpose of raising fuel efficiency and reducing CO<sub>2</sub> within the melting process of aluminum die casting. Conventional melting furnaces used a gas burner to supply the necessary heat for the melting, temperature raising and holding processes, however the newly developed hybrid melting furnace uses a gas burner for the melting process which requires heating over a short period of time, and an electric heater, which is heat-efficient, for all other processes. In addition, the new furnace cuts heat radiation by downsizing the furnace body, achieving a much higher fuel efficiency and reduced CO<sub>2</sub>. This has resulted in a 50% decrease in CO<sub>2</sub> emissions and 71% decrease lowering cost of molten metal.

**Key Words:** Aluminum die casting, melting furnace, hybrid, electric heater, CO<sub>2</sub>

### 1. はじめに

アルミダイカストとは金型鋳造法の一つで、溶融したアルミニウム合金を金型内に充填し、高い寸法精度の鋳物を短時間に生産する工法である。アルミニウム合金の溶融には、一般的に溶解炉が使用されている。

自動車業界では地球温暖化問題に対して、CO<sub>2</sub> 排出量削減への取り組みが加速しており、アルミダイカスト工程においても、そのニーズは年々高まっている。そこで、本報ではハイブリッド溶解炉（開発炉）の開発によるアルミダイカスト溶解工程でのCO<sub>2</sub> 排出量削減について、その開発内容と開発結果を紹介する。

### 2. 開発の狙い

溶解炉においてCO<sub>2</sub> 排出量を削減するには、溶解、昇温、保持のそれぞれの工程におけるエネルギー消費を低減させる、すなわち溶解炉の燃費を向上させる必要がある。そこで、まず、これまで設備メーカー任せとなっていた溶解炉の放熱量について、当社独自の測定方法を考案した。次に、この方法を使用しエネルギーごとの効率とCO<sub>2</sub> 排出量の比較、および溶解工程ごとの必要熱量から使用エネルギーの最適化（使い分け）を実施した。

従来の溶解炉（従来炉）では、溶解・昇温・保持工程に必要な熱源を全てガスバーナで供給していた。溶解炉

内の溶解工程は、アルミニウム合金インゴット（アルミ合金）を投入し、溶解室のガスバーナでアルミ合金を約580℃で溶解する。その後、昇温室のガスバーナで設定温度680℃～700℃以上に昇温させ、保持室のくみ出し口より給湯機を経由してダイカストマシンへ溶湯を供給していた（図1）。

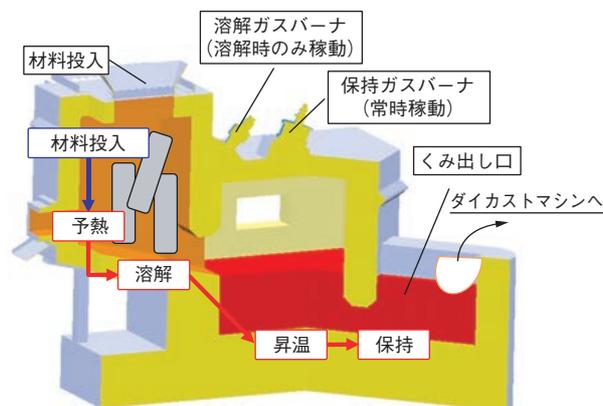


図1 溶解炉の工程  
Process of melting furnace

この従来炉の構造における特徴は、熱源となるガスバーナの熱は材料および溶湯を直接加熱し、そこで放熱した熱の一部は炉内の天井や側壁で反射して反射熱となり溶湯に熱を与える。いわゆる、典型的な反射炉である。反射炉を燃費という観点から考えてみると、排ガス放熱と炉体放熱の二つの問題がある。

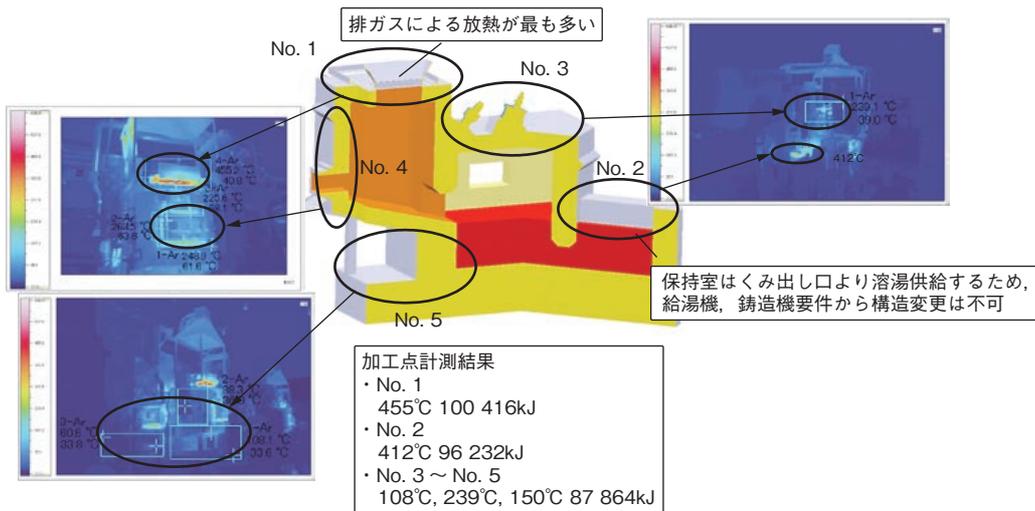


図2 従来炉の放熱計測結果

Results of measurement of heat radiation from conventional furnace

ガスバーナによって発生する排ガスを炉内に閉じ込めて熱効率を高めたいが、保持室を密閉すると、やがて排ガスは溶湯を加圧して、くみ出し口より溶湯がオーバーフローしてしまう。したがって、保持室内を加圧しないために排ガスを炉外へ逃がす通気口が必要となり、その結果、排ガス放熱の増加により燃費が低下する。

反射炉としての効率を高めるためには、たとえば炉を船のような形状（広く浅く）にすることで、反射熱を効率良くアルミニウム溶湯に伝えることができる。しかし、広く浅い形状では炉体サイズが大きくなってしまいうため、それに伴う炉体放熱の増加により燃費は低下してしまう。

そこで、従来炉の排ガス放熱量と炉体放熱量を加工点計測を用いて実測（図2）し、放熱計算で得られた理論値（表1）との比較検証を実施した（表2）。その結果、図3・図4より、排ガス放熱および炉体放熱のエネルギーは全体の約66%を占めていることが分かった。また、ガスバーナによるエネルギー効率は平均で約15%と悪い（図5）。よって、開発炉では排ガス放熱・炉体放熱の低減により、燃費を向上させ、CO<sub>2</sub>排出量削減を目的とした。

また、溶解室の溶解方法について比較を行い、開発炉の溶解室は従来炉と同様にガスバーナでアルミ合金を溶解する溶解方法とした（表3）。

表1 従来炉の炉体放熱量

Amount of heat radiation from conventional furnace

放熱部位	放熱量 kJ
上方向放熱	18 828
垂直方向放熱	47 279
下方向放熱	14 644
湯面放熱	39 116
総放熱（合計）	119 867

表2 比較検証結果

Comparative results

	放熱量 kJ	
	理論値	実測値
炉体放熱	119 867	87 864

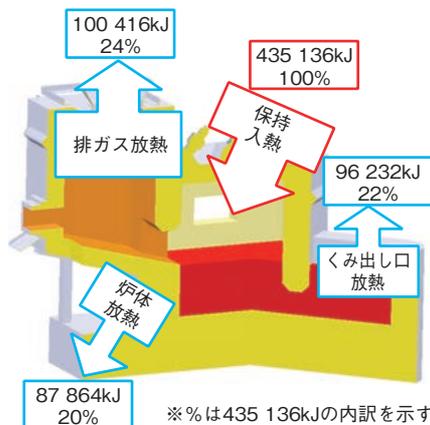


図3 溶解炉放熱の模式図

Schematic diagram of melting furnace heat radiation

表3 溶解方法の比較  
Comparison of melting methods

加熱方式	ガスバーナ		電気ヒータ		電磁誘導加熱 (IH)	
	直接加熱	評価	間接加熱	評価	直接加熱	評価
効率	直接加熱で効率が高い	○	間接加熱で効率が低い (空気の熱伝達が低い)	△	・アルミ合金は透磁率が低く、表皮深さが深くなる ・周波数を高くして表皮深さを浅くすると効率が低い	×

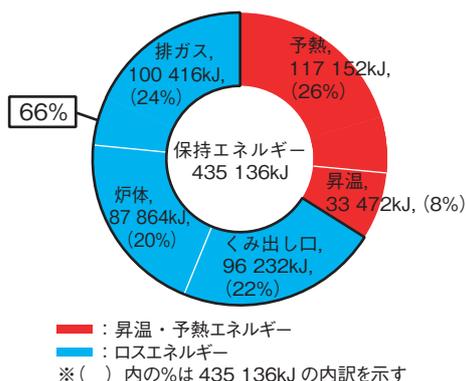
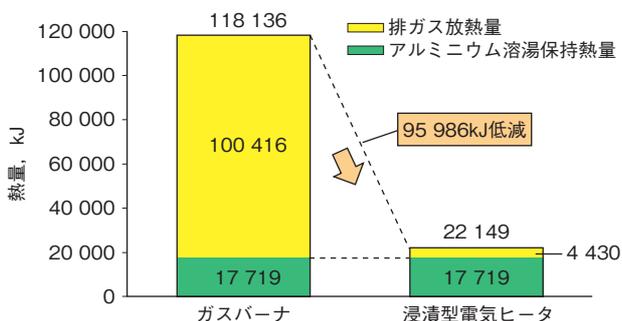


図4 エネルギー効率の内訳  
Breakdown of energy efficiency



【条件】  
 ・ガスバーナ効率：15%  
 ・浸漬型電気ヒータ効率：80%  
 ・排ガス放熱（図4より）：100,416kJ  
 ・アルミニウム溶湯保持に必要な熱量：(100,416÷85%)×15%=17,719kJ  
 ・浸漬型電気ヒータの排ガス放熱量：(17,719÷80%)－17,719=4,430kJ

図5 熱源の違いによる排ガス放熱量比較  
Comparison of exhaust gas heat radiation with different heat source

### 3. 開発炉の仕様と設計

#### 3.1 排ガス放熱の低減

排ガス放熱を低減させる方法としては、効率の低いガスバーナを新しい熱源に変更し、排ガスを大幅に低減することである。そこで、開発炉では昇温・保持に新しい熱源として浸漬型電気ヒータを検討した。図5より、浸漬型電気ヒータに熱源を変更することで、ガスバーナの排ガス放熱量 100,416kJ と浸漬型電気ヒータの排ガ

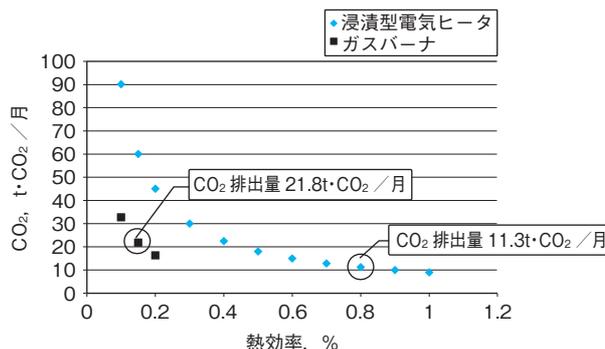


図6 ガスバーナ・浸漬型電気ヒータ効率とCO<sub>2</sub>排出量  
Efficiency and CO<sub>2</sub> emissions of gas burner/immersion-type electric heater

ス放熱量 4,430kJ の差 95,986kJ が低減できるといえる。CO<sub>2</sub> 排出量は図6より浸漬型電気ヒータの効率 80% で 10.5(21.8 - 11.3)t・CO<sub>2</sub>/月の削減が可能である。また、浸漬型電気ヒータへ熱源を変更することで炉体サイズを小型化でき、燃費を向上させることができる。よって、昇温・保持の熱源は浸漬型電気ヒータに決定した。

#### 3.2 炉体放熱の低減

炉体放熱を低減させる方法としては、炉体サイズを小型化して炉体放熱を低減させる方法と、断熱性能の向上により炉体放熱を低減させる方法の二つがある。

また、炉体サイズを決定づけるのはアルミ合金溶解容量ではなく、熱源である。

そこで、炉体サイズの小型化は3.1項で述べたように、昇温室と保持室の熱源を浸漬型電気ヒータに変更することで可能であり、燃費を向上させることができる。そこで、ガスバーナ燃焼空間を削減および炉体断熱材を高断熱で薄い仕様に見直し、浸漬型電気ヒータの発熱長から湯面高さを決め、保持溶湯量 700kg、炉体サイズ 2,950mm × 2,271mm × 1,800mm に決定した。この効果を検証するため、放熱計算を行って炉体放熱量を算出した(表4)。

表4 開発炉の炉体放熱量

Amount of heat radiation from developed furnace

放熱部位	放熱量 kJ
上方向放熱	11 966
垂直方向放熱	18 728
下方向放熱	6 673
湯面放熱	39 116
総放熱 (合計)	76 484

効果として、表1・表4より炉体放熱量を43 383 (119 867 - 76 484) kJ低減することが可能であることが分かった。また、保持溶湯量700kgにおいて、溶解は従来と同様であることから、溶解室は約580℃で溶解されたアルミ合金を昇温室に供給する。昇温室は680~700℃であり、保持室には熱源がない。そのため、昇温室から保持室に溶湯を供給すると、溶湯温度の降下が生じる。そこで、昇温室、保持室の両方に浸漬型電気ヒータを配置し、保持室にも熱源を確保することで、溶湯温度の降下を防止した。

断熱性能の向上については、一般的な溶解炉の断熱コーティング(耐熱シルバー)は耐熱温度が250℃以下であり、耐熱温度を超えて使用すると断熱用のコーティングが剥がれてしまう。また、炉体温度は炉体放熱が多い部位ほど高温となり、その高温部は耐熱温度を超えてしまうため、この断熱コーティングはアルミダイカストの溶解炉には不向きである。そこで、開発炉では耐熱温度600℃を有する断熱コーティング(サーモレジン)を採用することとした(図7)。表4の炉体放熱量計算結果に対して炉体外壁にサーモレジンを施工した場合の炉体放熱量を算出した(表5)。

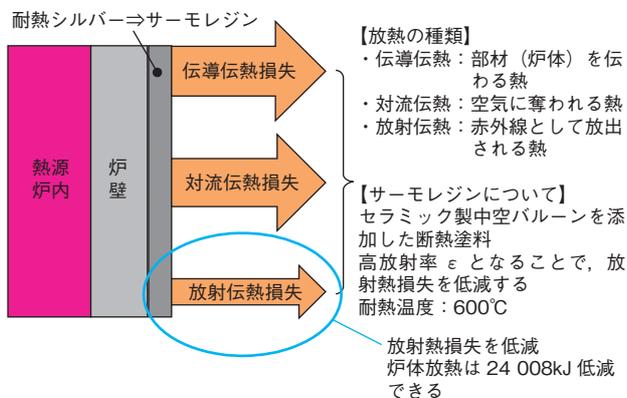


図7 断熱コーティング  
Heat-insulated coating

表5 開発炉・断熱コーティング施工時の放熱計算結果

Results of calculation of heat radiation from developed furnace/heat-insulated coating during operation

放熱部位	放熱量 kJ
上方向放熱	4 473
垂直方向放熱	7 196
下方向放熱	1 515
湯面放熱	39 292
総放熱 (合計)	52 476

効果として、表4・表5より炉体放熱量24 008 (76 484 - 52 476) kJの低減が可能となった。浸漬型電気ヒータに必要な熱量は表4・図5より、118 359 [(76 484 + 22 149) ×安全率1.2] kJ以上であるため、その熱量に合う様に21 600kJ × 3本を昇温室に、21 600kJ × 3本を保持室に設置し、合計6本219 600kJとした。

3.1項から3.2項により、開発炉の構造および仕様を決定することができた。開発炉は溶解室の熱源をガスバーナで行い、昇温室および保持室の熱源を浸漬型電気ヒータで行うことから、ガスと電気ハイブリッド溶解炉に決定した。開発炉の構造を図8に、従来炉と開発炉の仕様比較を表6に示す。

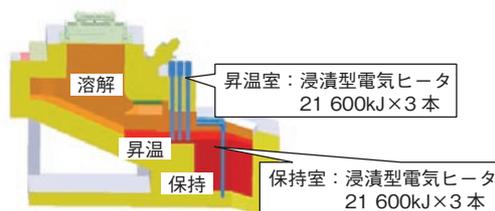


図8 開発炉の構造

Structure of developed furnace

表6 従来炉と開発炉の仕様比較

Comparison of specifications of conventional furnace and developed furnace

	従来炉	開発炉
溶解能力	200kg/h	200kg/h
溶解室	ガスバーナ 836 800kJ	ガスバーナ 836 800kJ
保持溶湯量	1 000kg	700kg
炉体サイズ	3 870mm × 2 595mm × 3 311mm	2 950mm(▲23.8%) × 2 271mm(▲12.5%) × 1 800mm(▲45.6%)
保持能力	700℃ ± 10℃	700℃ ± 3℃
昇温室	ガスバーナ 502 080kJ	浸漬型電気ヒータ 64 800kJ
保持室	—	浸漬型電気ヒータ 64 800kJ

## 4. 実機での効果

3項で設計した開発炉を生産ラインへ導入し、2016年5月から2017年4月までの1年間、開発効果の検証を実施した。

### 4.1 CO<sub>2</sub> 排出量削減効果

従来炉のCO<sub>2</sub> 排出量に対して、開発炉はCO<sub>2</sub> 排出量を50%削減することができた。CO<sub>2</sub> 削減効果を図9に示す。

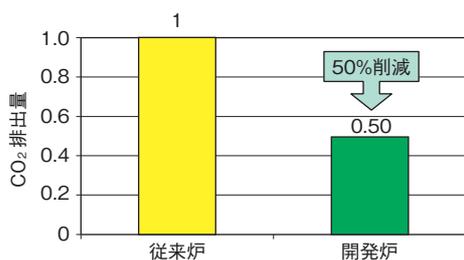


図9 CO<sub>2</sub> 排出量削減結果

Results of reduction of CO<sub>2</sub> emissions

### 4.2 溶湯原単位低減効果

従来炉の溶湯原単位に対して、開発炉は溶湯原単位を71%低減することができた。

溶湯原単位低減効果を図10に示す。

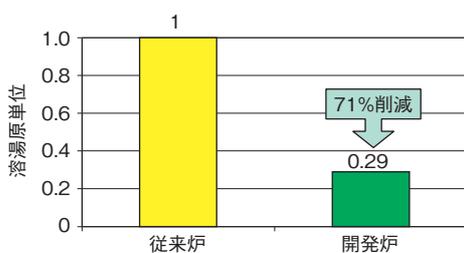


図10 溶湯原単位低減結果

Results of lowering cost of molten metal

## 5. おわりに

今回の開発の結果、浸漬型電気ヒータによる排ガス放熱の低減および炉体サイズの小型化と断熱コーティングによる炉体放熱の低減により、CO<sub>2</sub> 排出量を50%、溶湯原単位を71%、ともに削減することができた。

開発炉を設計・製作し、効果検証していくためには、理論計算による事前検討だけでは予測できないことも数多くあった。しかし、独自に考案した加工点計測を活用することで定量的な判断が可能となり、最適な炉体構造

や仕様を効率良く決定することができた。

本報で開発した技術である、浸漬型電気ヒータや断熱コーティング（サーモレジン）は、既設の従来炉に横展開が可能であり、更新炉においてはすべての技術を展開できる。今後、ますます重要視される環境問題に貢献していきたい。

## 筆者



熊野希一\*  
K. KUMANO



松浦祐介\*  
Y. MATSUURA



漆谷勇人\*  
H. URUSHIDANI

\* 生産技術本部 鋳鍛造生技部