

特集 高効率アルミニウムダイカスト溶解炉の開発*

Development of an Energy Saving Melting Furnace for Aluminum Die-Casting

波多野 智之
Tomoyuki HATANO
鈴木 英幸
Hideyuki SUZUKI

肥後 徳仁
Norihito HIGO

西川 浩司
Koji NISHIKAWA

浜田 俊彦
Toshihiko HAMADA

Since 2001, we have been developing an energy-saving die-casting system in order to cope with new environmental protection requirements and global business expansion, and have developed a compact electric-powered die-casting machine and a high-efficiency aluminum melting furnace. The conventional aluminum melting furnace was inefficient; its energy efficiency was about 20%.

We have reduced the molten aluminum temperature and suppressed the furnace wall loss and the exhaust gas loss by improving the structure and control method of the furnace. As a result, we have succeeded in achieving a better balance between high quality manufacturing and energy saving, which hitherto has been very difficult. This article describes the newly developed Energy Saving Melting Furnace.

Key words: Aluminum, Die casting, Melting furnace

1. はじめに

京都議定書でCO₂削減目標を定められている中、プレス、樹脂成形といった素形材加工の内、ダイカストは600℃を超える高温で金属を溶解する。マシンに高い圧力をかけ金型に充てんする加工プロセスを取るため、Fig. 1のように溶解、鑄造工程に多くのエネルギーを要する。例えばアルミニウムを溶解する溶解炉¹⁾では、都市ガスでバーナを焚く、電気ヒータで溶解するといった方法が一般であるが、その効率は高くなく有効に使えるエネルギーは約2割程度である。

ダイカスト加工はこれまでその生産性の高さから拡大してきた加工法であるが、地球環境問題が重要視される昨今においては、CO₂排出の少ないダイカストシステムの構築は、事業展開する上に重要な課題となる。

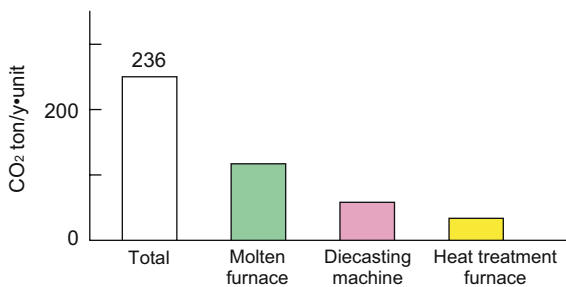


Fig. 1 Energy consumption state of the die casting machine

本報告では“高効率アルミニウムダイカスト溶解炉の開発”として、ダイカストマシンへのアルミニウム溶湯の供給システム、アルミニウム塊の形状、溶解炉構造および溶解炉内のアルミニウム溶湯温度・量の制御システムを確立することで炉内のアルミニウム溶湯温度を下げ、炉外への炉壁損失、排気損失を抑えることで、高品質と省エネを両立させることができたので報告する。

2. 従来の溶解炉の分析

従来のアルミニウム溶解炉の有効エネルギー効率とその効率理由を都市ガス13Aを燃料とするタワー式の直火反射型連続溶解保持炉について調査した。従来のアルミニウム溶解炉は Fig. 2 に示すように溶解室内で

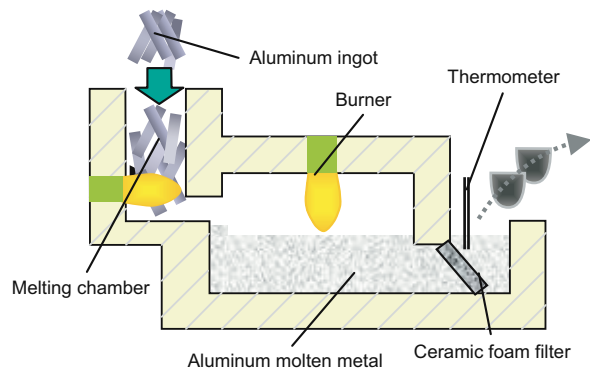


Fig. 2 Structure of the current melting furnace

* 2009年9月28日 原稿受理

ガスバーナを用いてアルミニウム塊を溶解し、保持室で温度保持し、汲出し口よりラドルと呼ばれるひしゃく式給湯装置でダイカストマシンに汲出される構造となっている。調査した溶解炉においては鋳造する製品に合わせ、汲出し口のアルミニウム溶湯温度が720±5℃を確保する条件であった（本設定は材料、製品種類、条件によって異なるが温度保持精度としては±5℃程度にコントロールするのが一般である）。アルミニウム溶解炉の仕様は、アルミニウム溶湯保持量として2 t（温度精度を確保するために保持量を上げている）、炉内で発生した酸化物、介在物がダイカストマシンに巻き込まれず高い溶湯品質を確保するため²⁾保持室と汲出し口間にセラミック製の溶湯フィルタ³⁾⁵⁾が設置された構造となっている。

Fig. 3 は従来のアルミニウム溶解炉の熱収支を示すが、44%が炉壁損失、31%が排気損失と約75%が炉外への熱放出によるロスが発生している。その損失要因をより詳細に調査したところ、汲出し口のアルミニウム溶湯を上記条件に維持するために、保持室内の温度を汲出し口に対し高く上げ Fig. 4 示すように保持室と汲出し口とのアルミニウム溶湯温度差が106℃あることが確認された。保持室が非常に高温に保持されることで、熱放出による有効エネルギーロスとともに温度上昇に伴う酸化物の発生増加を引き起こしていることが確認されたため、これら課題を防止すべくアルミニウム溶解炉の構造見直しを実施した。

3. 開発目標の設定

アルミニウム溶解炉で求められる機能は、きれいなアルミニウム溶湯を作る、アルミニウムを溶解する効

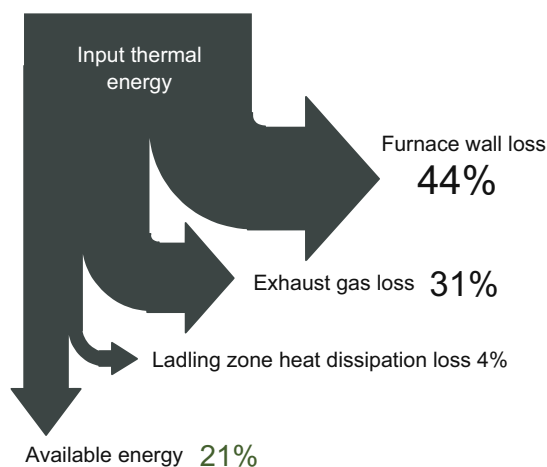


Fig. 3 Energy consumption breakdown of the current melting furnace

率・出力が出せること、安定した温度でダイカストマシンにアルミニウム溶湯を供給できることである。今回の開発目標としては上記CO₂削減目標を達成するためタワー式連続溶解保持炉の業界最高水準の熱効率を目指すとともに、弊社のダイカスト部品に求められるアルミニウム溶湯品質、展開性等を考慮し以下のように設定した⁶⁾

- (1) 効率目標 : 熱効率 40%以上
(稼働率: 70%, 溶解量 250 kg/h)
- (2) 給湯温度精度 : 現状と同レベル
(± 5℃以内)
- (3) アルミニウム溶湯内介在物: 現状と同レベル
(K10 値 = 0.6 以下^{*1)})
- (4) アルミニウム溶湯内ガス量: 現状と同レベル
(0.4 cm³/100 gAl 以下^{*2)})
- (5) メタルロス削減量 : 1 t/年・台以上
- (6) 設備サイズ : 現状の 1/2 以下
(アルミニウム溶湯量の 1/2 以下)

※ 1 溶湯介在物 K10 値: 平板鋳型にアルミニウム溶湯を流し固め破断し、その破面に見られる酸化物数を数える評価法

※ 2 アルミニウム溶湯内ガス量: 100 g のアルミニウム中に含まれるガスを、溶解抽出し測定する評価法

4. 高効率なアルミニウム溶解炉の構造検討

前述のように溶解炉で求められる機能は、きれいなアルミニウム溶湯を作る、効率良くすばやくアルミニ

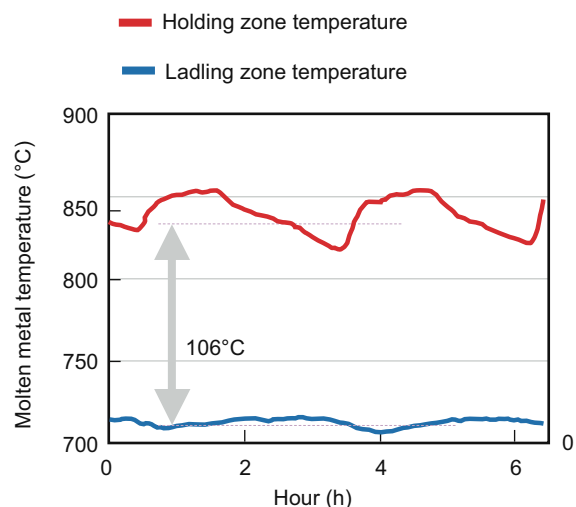


Fig. 4 Molten aluminum temperature in the melting furnace

ウム塊を溶解する、ダイカストマシンに汲出す温度を安定化することである。この課題に対し従来は、酸化物を炉内のフィルタで濾過することできれいにする、高出力のバーナを用いてアルミニウム塊の温度を上げ急速溶解する、アルミニウム溶湯の保持量を増やし温度を安定化するという方法を用いていたが、これら方法は設備の大型化、エネルギー効率の悪化を招くため、今回は以下に述べる方法で開発を進めた。

4.1 直接給湯装置によるアルミニウム溶湯の酸化物発生防止と混入防止

溶解炉の汲出し口はダイカストマシンに溶湯供給するため、アルミニウム溶湯が空気に直接接触することを防止することは難しい。これまで溶解炉の汲出し口に不活性ガスでカバーリングする、汲出し口の面積をできる限り小さくするといった取り組みは進めてきたが十分とは言えなかった。今回はこの課題に対し、空気に触れる溶解炉汲出し口の開口面積低減と溶解炉汲出し口のアルミニウム溶湯表面に発生する酸化物混入防止技術として以下に示す直接給湯装置を開発した。

直接給湯装置の構造を Fig. 5 に示す。直接給湯装置構造は、セラミック管、電磁コイル、ヒータ、断熱材から成り、大きさφ400×1200で溶解炉の汲出口に設置される構造となっている。駆動時は、溶解炉汲出し口のアルミニウム溶湯に内径φ30のセラミック管の一端を浸漬し、アルミニウム溶湯を電磁コイルがつくる磁界の強さによってアルミニウム溶湯の移動速度を決め、通電時間で汲出量を定める。従来のラドル（ひしゃく式給湯装置）では溶解炉の汲出口面 500 mm × 500 mm が空気にさらされていたが、直接給湯装置では汲出し

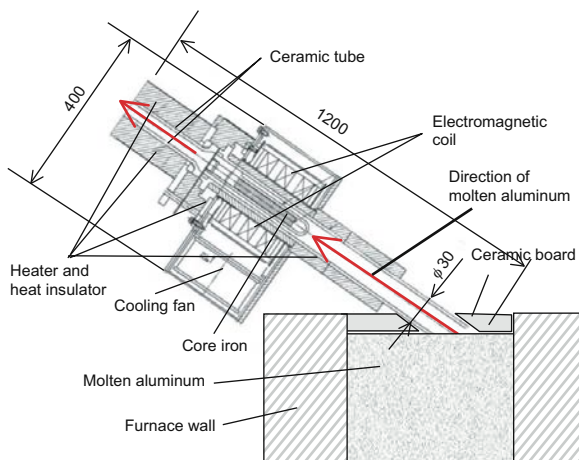


Fig. 5 Structure of the direct pouring system

口に空気接触しないようにセラミックボードで蓋をしてφ30のセラミック管だけをアルミニウム溶湯に接触させているため、空気接触を防ぎ酸化物発生が少ない構造を実現できた。

また酸化物は空気にアルミニウム溶湯が触れる溶湯表面で発生するため、アルミニウム溶湯表面を巻き込まないようにアルミニウム溶湯の内部から汲出す本装置を用いれば表層の酸化物の影響も受けずきれいなアルミニウム溶湯をダイカストマシンに供給することができた。

4.2 溶解炉内の隔壁を減らすことによる溶解炉内のアルミニウム溶湯温度低温化

Fig. 2 に示したように溶解炉構造は、酸化物除去のためのセラミックフィルタの付与、溶解室内の炉内雰囲気温度低下防止のための隔壁構造などがあるが、これらは酸化物除去、炉内雰囲気温度低下防止といったそれぞれの機能に対しては有効であるが、溶解炉内のアルミニウム溶湯に温度分布が発生し放熱ロスなどの原因となる。Fig. 6 に溶解炉内の障壁深さと障壁前後のアルミニウム溶湯の温度差を示す。今回の障壁は溶解室と汲出し室を分ける炉壁であり、Al₂O₃とSiO₂を混ぜ合わせた材質等が用いられる。溶解炉の障壁深さとともに障壁前後のアルミニウム溶湯温度差が増し、隔壁が100 mm があると約40℃の温度差が発生する。アルミニウムはADC12のような合金でも約100 W/m℃程度の熱伝導率を持ち、比較的熱伝導は良い金属ではあるが耐火材のような熱伝導度の低い材質が介在すると大きく熱伝導を阻害することが確認された。セラミックフィルタについても同様であり、溶解炉内の介在物のろ過効果としては認められるものの、溶解炉内のアル

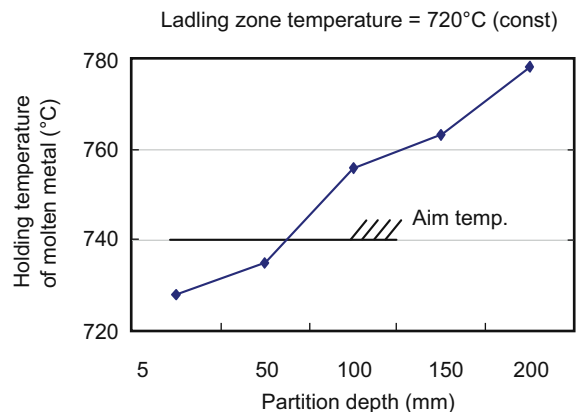


Fig. 6 Influence of the partition depth on the molten metal temperature

ミニウム溶湯温度が上昇するという背反を持ち、Fig. 7 に示すようにアルミニウム溶湯温度が上昇することによる酸化物の発生増加を招く。この結果を鑑み、溶解炉内の隔壁を可能な限り小さくする、セラミックフィルタを用いない構造で設計した。

4.3 アルミニウム塊の小型化による溶解効率向上

従来の溶解炉では約 700 × 100 × 40 の大きさの 5 kg アルミニウム塊を溶解するのが一般的であったが、溶解炉での溶解効率を上げるためにアルミニウム塊の単位重量当りの表面積を上げ、溶解炉内の溶解室での熱交換率を上げる取り組みを行った。今回は Fig. 8 に

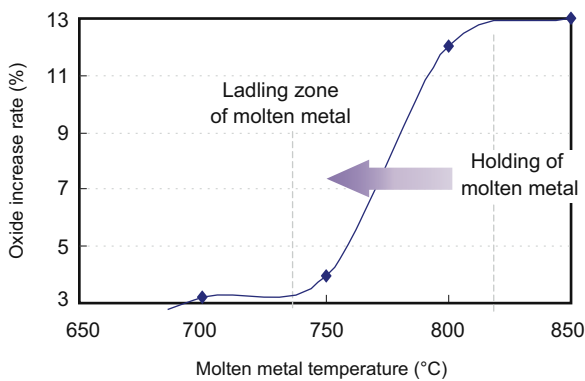


Fig. 7 Relationship between temperature and dross formation

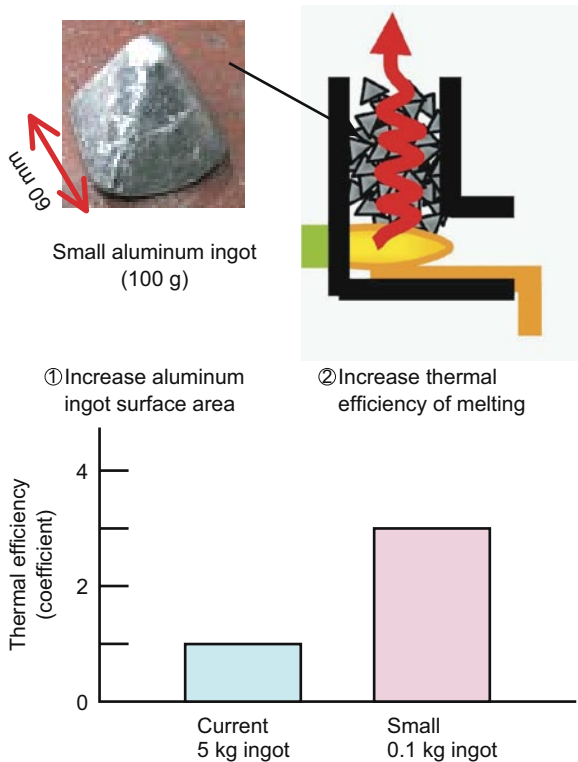


Fig. 8 Effectiveness of new small ingots

示すようにアルミニウム塊の形態を 0.1 kg の小型アルミニウム塊（一片の大きき 60 mm のテトラ塊）に変えることで単位重量当りの受熱面積が 2 倍とできることに着目して検討を行った。本形態のアルミニウム塊は鋳鉄の材料成分調整用のアルミニウム母合金として用いられており、その形態を模しダイカスト用アルミニウム合金とした。従来は 700 mm もあるアルミニウム塊であったため溶解炉内での充填効率があまら上がらなかったが、一つひとつのアルミニウム塊の形状が小型化されたことにより Fig. 8 に示すように溶解炉内への充てん率が 1.5 倍とすることができた。これまでの溶解炉では排気ガスとして大気開放されていた熱量が炉内でアルミニウム塊と熱交換され排気ガスによる予熱効率が上がり、単位重量あたりの受熱効率の向上と合わせて 3 倍の効率向上を実現した。受熱効率が向上した分、溶解炉の溶解室を小型化することが可能となり、大きさとしても従来の 2/3 の 1.8 m 以下の小型高効率な構造を成し得た。

4.4 アルミニウム溶湯量の定量制御によるアルミニウム溶湯温度の安定性確保

温度の安定性に対しては、鋳造ショット毎に使用したアルミニウム溶解量を正確に測定し、4.2 で説明した小型アルミニウム塊を少量ずつ溶解する、溶解炉のバーナ出力をコントロールすることで、溶解炉内の温度ばらつきが小さくなるように構成した。今回の溶解炉では、汲出し口のアルミニウム溶湯位置を正確に測定するため、Table 1 に示すアルミニウム溶湯湯面の高さ測定技術について事前検討した。アルミニウム溶湯の存在する高温雰囲気で行うことができ、アルミニウム溶湯表層が光って拡散反射するような環境でも安定的に測定できる、CCD レーザによる非接触タイプの高精度湯面センサを用いた。Fig. 9 はアルミニウム塊

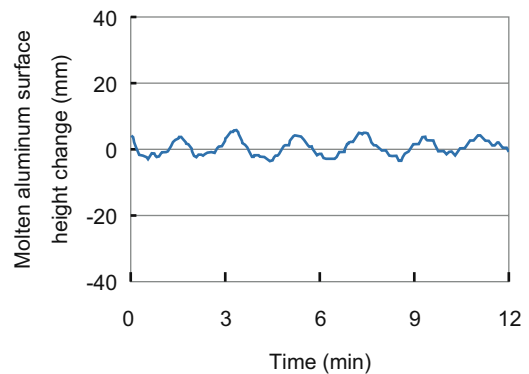


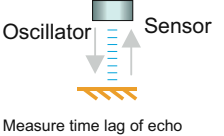
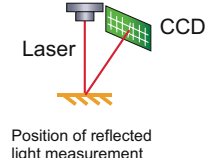
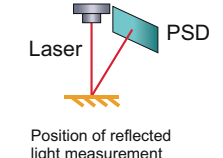
Fig. 9 Automatic feedback control system

の溶解量制御した溶解炉汲出し口のアルミニウム溶湯高さを測定した結果である。従来は約 20 ~ 30 mm 程度のばらつきを持っていたが、今回の高精度フィードバック制御で溶解炉内に貯蔵するアルミニウム溶湯量を安定化することを実現した。4.2 で示した小型アルミニウム塊の使用と合わせてアルミニウム溶湯の汲出し口湯面高さを 10 mm 以下にコントロールすることを実現した。前述のように従来は溶解炉内のアルミニウム溶湯保持量を上げてアルミニウム溶湯温度を安定化させてきたが、今回の湯面フィードバック (=アルミニウム溶湯保持量のばらつき低減) を行うことで温度の安定化を実現できたためアルミニウム保持量につい

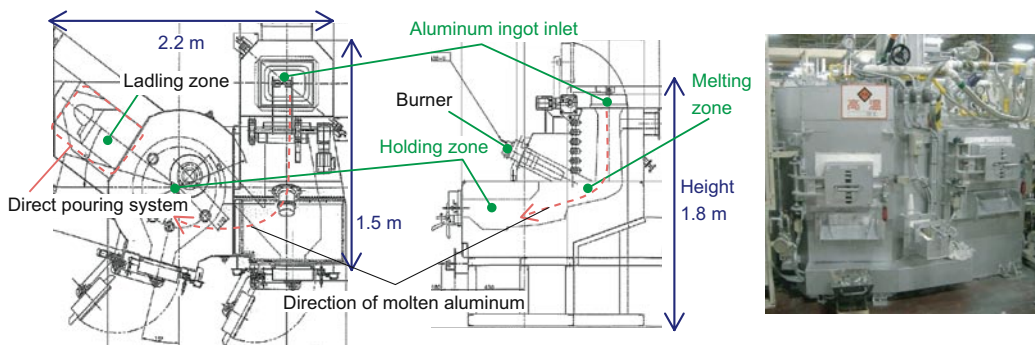
ても従来の 2000 kg から 400 kg に低減することができた。

開発した小型高効率溶解炉の全体構成と効果を Fig. 10 にまとめる。溶解能力が 200 kg/h の溶解炉で従来のサイズは 7.4 m² × 高さ 2.6 m であったが、開発炉のサイズは 2.2 m × 1.5 m × 1.8 m となり、大幅な小型化 (1/3) を実現できた。また、溶解炉内のアルミニウム溶湯清浄度の指標であるアルミニウム溶湯中介在物量、水素ガス量は従来炉と同等以上のレベルを維持できた。また、燃焼効率をあげたことや、開口面積を減らしたことでエネルギー効率も Fig. 11 に示すように有効エネルギーは従来炉では 21% 程度であったのに対し小型高

Table 1 Comparison of the sensing system for detecting the surface level of the molten metal

Comparison item	Comparison method	Ultrasonic system	※1 CCD-laser system	※2 PSD-Laser system
Structure/Principle				
Measurement distance		○	○	○
High-temperature convection atmosphere		✗ Speed of sound changes with temperature	○	○
Liquid diffusion reflection		○	○	✗ Measured value changes under the influence of waves

※1 Charge Coupled Device
 ※2 Position Sensitive Device



		Conventional furnace	Developed furnace
Performance	Saze	Dimension	7.4 m ² × Height 2.6 m
		Capacity	2,000 kg
	Energy-saving	Thermal efficient	21%
		Energy using	1,403 kW/ton-Al
	Contamination	Oxide contamination	0.8 以下 (K10 value)
		Gas content	0.3 cm ³ /100 gAl
	Melting power	200 kg/h	190 kg/h
	Molten metal temprature accuracy	700 ± 5.0°C	700 ± 3.0°C

Fig. 10 The compact and efficient furnace

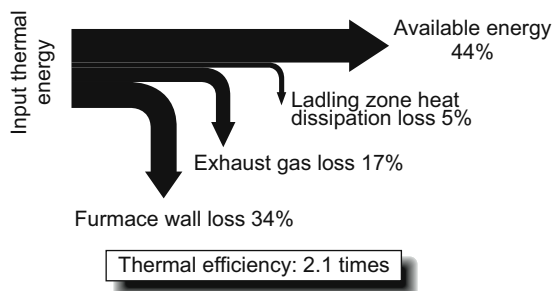


Fig. 11 Energy consumption breakdown of the new melting furnace

効率溶解炉では44%まで効率を上げることができ、省エネ効果も劇的な成果が得られた。従来の必要熱量は1403 kW/ton-Alであったが、開発炉では580 kW/ton-Alと1/2の効率化を実現できた。

5. まとめ

京都議定書でCO₂削減目標を定められている中、“高効率アルミニウムダイカスト溶解炉の開発”として、ダイカストマシンへのアルミニウム溶湯の供給システム、アルミニウム塊の形状、溶解炉構造および溶解炉内のアルミニウム溶湯温度・量の制御システムを確立することで高品質と省エネを両立させるアルミニウム溶解炉を開発した。その要素技術としては、

- (1) 空気に触れる溶解炉汲出し口の開口面積低減と溶解炉汲出し口のアルミニウム溶湯表面に発生する酸化物混入防止技術としてアルミニウム溶湯を溶解炉からダイカストマシンに電磁コイルの力を用いた直接給湯装置を開発した。
- (2) 溶解炉内のアルミニウム溶湯温度の低温化とばらつき低減を実現するためにセラミックフィルタを用いず、溶解炉内の隔壁低減した溶解炉構造を提案した。
- (3) 溶解炉の溶解効率向上を実現する0.1 kgの小型アルミニウム塊（一片の大きさ60 mmのテトラ塊）に変えることで、溶解炉内への充てん率が1.5倍とする、は排気ガスとして大気開放されていた熱量が炉内でアルミニウム塊と熱交換され排気ガスによる予熱効率が上がる、単位重量あたりの受熱効率の向上と合わせて3倍の効率向上を実現した。
- (4) アルミニウム溶湯量の定量制御によるアルミニウム溶湯温度の安定性確保のため、CCDレーザによる非接触タイプの高精度湯面センサを用い、従来は約20～30 mm程度の汲出し口アルミニウム溶湯高さのばらつきに対し、10 mm以下にコントロールす

ることを実現した。その結果、溶解炉のアルミニウム保持量についても従来の2000 kgから400 kgに低減することができた。

- (5) 溶解能力が200 kg/hの溶解炉で従来のサイズは7.4 m²×高さ2.6 mに対し、2.2 m×1.5 m×1.8 mの大幅な小型化(1/3)を実現できた。アルミニウム溶湯中介在物量、水素ガス量は従来炉と同等以上のレベルを維持し、有効エネルギーも従来炉では21%程度であったのに対し小型高効率溶解炉では44%まで効率を上げることができた。

<参考文献>

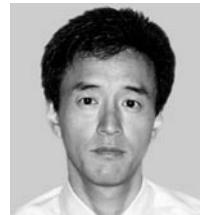
- 1) アルトピア4 (1997) 25.
- 2) Y. Osame, K. Toyoda, Y. Tsumura, M. Suzuki, S. Furuya and K. Nagayama: 軽金属 36 (1986) 813.
- 3) Y. Yang, H. Nomura and M. Takita: IMONO 67 (1995) 807.
- 4) M. Takita, Y. Tachi, S. Yokoyama, Y. Yang and H. Nomura: J. JFS 71 (1999) 511.
- 5) Y. Xu, Y. Maeda and H. Nomura: J. JFS 68 (1996) 398.
- 6) T. Hatano, H. Takagi and M. Inagaki: J. JFS 75 (2003) 415.



<著 者>



波多野 智之
(はたの ともゆき)
生産技術開発部
ダイカストおよび樹脂成形加工の
生産技術開発に従事



肥後 徳仁
(ひご のりひと)
熱エレクトロニクス開発部
電動コンプレッサの開発に従事



西川 浩司
(にしかわ こうじ)
部品エンジニアリング部
ダイカスト加工の生産技術開発に
従事



浜田 俊彦
(はまだ としひこ)
部品エンジニアリング部
ダイカスト加工の生産技術開発に
従事



鈴木 英幸
(すずき ひでゆき)
生産技術開発部
ダイカスト加工の生産技術開発に
従事