

# 特集 アルミダイカスト用省エネルギー溶解保持炉の開発\*

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

肥後徳仁  
Norihito HIGO

西川浩司  
Koji NISHIKAWA

浜田俊彦  
Toshihiko HAMADA

廣瀬雅信  
Masanobu HIROSE

Currently, our company is engaged in the development of new technologies to reduce the negative environmental impact of motor vehicles, and the development of energy-saving production technology that seeks to preserve the global environment in order to facilitate sustainable lifestyles and a society in harmony with the environment. Our mission is to contribute to vehicle production without putting stress on the environment. As part of this effort, we are involved in the development of energy-saving technology for aluminum melting and holding furnaces, in a facility for the manufacture of aluminum die cast parts. We have established a technology to improve heat transmission between the holding chamber and ladling chamber, as well as the flow control of low-temperature molten metal. We have succeeded in simultaneously achieving both high quality and energy conservation.

**Key words** : Aluminum, Diecasting, Melting holding furnace, Melting control

### 1. はじめに

地球レベルでの環境問題に対応するため当社では環境活動指針として「デンソー エコビジョン」を策定し、その中で“2010年度までに生産工場のCO<sub>2</sub>排出量を1990年比10%削減”という高い数値目標を掲げている。この目標はこれまでと同レベルの年率成長が続いたと仮定した場合、2010年度基準で30%削減という非常に厳しい目標であり、全社を上げ目標達成に向けた取り組みを行っている。Fig. 1は当社において特にCO<sub>2</sub>排出量の高い加熱加工設備のCO<sub>2</sub>排出ウェートを示すグラフで、アルミダイカスト加工設備はその中でも最もエネルギー消費量が多く本設備における省エネルギー（以下、省エネ）化を図ることが、全社CO<sub>2</sub>削減目標を達成する上で非常に重要な位置づけにあると考え、高効率なアルミダイカスト加工設備の開発を進めている。

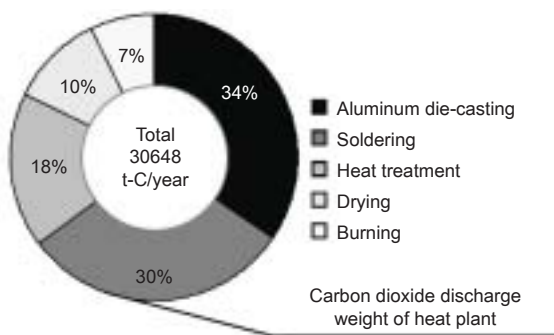


Fig. 1 Carbon dioxide discharge weight of heat plant

### 2. 現状把握および分析

#### 2.1 現状把握

Fig. 2に当社における現状アルミダイカスト加工工程における消費エネルギーの調査結果を示す。本調査結果より溶解工程のエネルギー消費が74%と大きなウェートを占めている上、溶解工程の主役である連続溶解保持炉の熱効率は21%と非常に低い状況にある (Fig. 3)。

#### 2.2 現状分析

そこでまず現状の熱効率悪化要因を探るため現状の都市ガス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詳細調査を実施することとした。当炉はFig. 4に示すように溶解室にて溶解された約585℃の溶湯を保持室にて昇温、汲出口より720±5℃の溶湯を鑄造設備に供給する構成となっている。また構造的長特長として、溶湯の温度安定性を確保するため溶湯保持重量2tと大型の保持室を有するとともに、高い溶湯品質を確保するため保持室と汲出口との間に溶湯内酸化物の流入を防止する溶湯フィルタが設置された構造となっている。

Fig. 5は対象設備における熱収支を示したもので、79%の損失の内その多くは炉壁損失及び排気損失によって占められている。またその損失要因をより詳細に把握するため炉の内部状態や炉の運用状況などを調査したところ、これまでにない知見として保持室内と汲出口との溶湯温度差が106℃もあり、汲出口温度維持

\* (財)省エネルギーセンターの了解を得て、「平成16年度省エネルギー優秀事例東海地区発表大会前刷集」No.1より、一部加筆して転載

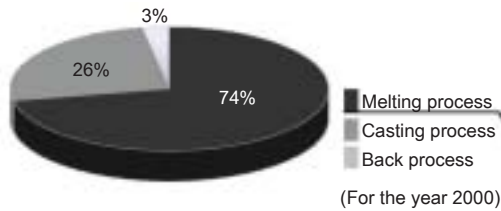


Fig. 2 Energy consumption breakdown of die-casting

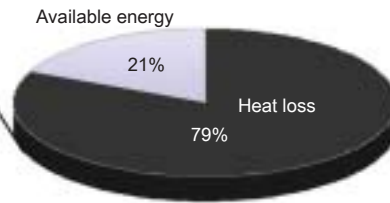


Fig. 3 Thermal efficiency of melting and holding furnace

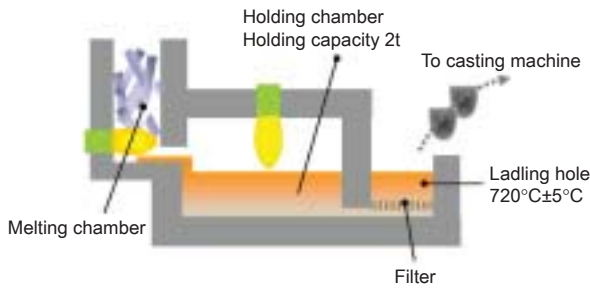


Fig. 4 Composition of melting and holding furnace

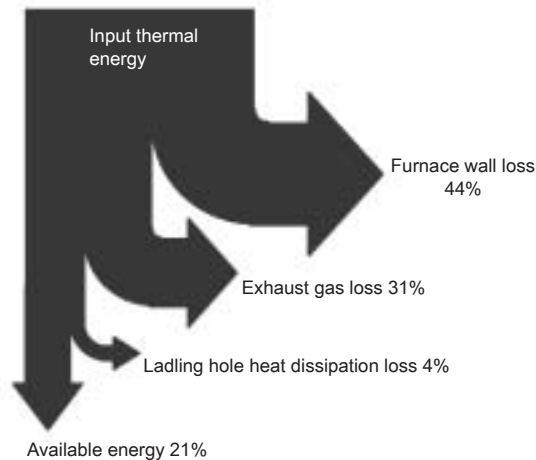


Fig. 5 Energy consumption breakdown of melting and holding furnace

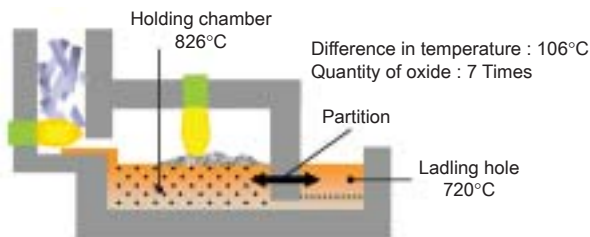


Fig. 6 Results of investigation in a furnace

の必要性から現状保持室内が非常に高温状態になっていることと保持炉内の溶湯酸化量が非常に多い状態にあることが分かった (Fig. 6).

### 3. 開発目標の設定

今回の設備開発目標としては上記CO<sub>2</sub>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総合熱効率を目指すとともに、車載部品加工設備に求められる溶湯高品質に対する要求や開発後の展開性等を考慮し以下のように設定した。

- (1) 効率目標：総合熱効率40%以上（稼働率：70%、溶解量：250kg/h）
- (2) 給湯温度精度：現状と同レベル（±5°C以内）
- (3) 溶湯内酸化物：現状と同レベル（K10値：0.6以下）
- (4) メタルロス削減量：1 t/年・台以上
- (5) 投資回収年数：3.5年以内

### 4. 問題点と課題検討

車の安全性・信頼性の観点から車載部品に対しては至上要求として高品質の確保が求められる。この点から炉の省エネを進めるにあたっては、溶湯清浄度や溶湯温度精度といった溶湯品質性能を落とすことなく高効率を実現する必要がある。しかしこれまで上記溶湯品質を確保する手法として以下のような考え方に基づき炉体設計が行われてきた。

- (1) 溶湯清浄度の確保：保持室／汲出口の間にフィルタを設置し保持炉内酸化物の流入を防止
- (2) 溶湯温度精度の確保：保持量を増やすことで温度安定性を向上

そのために(1)の及ぼす影響として、フィルタの設置にともない保持室と汲出口間の障壁を構造上深くしなければならず (Fig. 7)、保持室/汲出口の熱伝達性が低下しその結果、2.2節の現状分析で示したように保持室内湯温が上昇し熱損失の増大要因となっている上、この湯温上昇の影響によって溶湯内酸化物の増加を招く結果となっている。また(2)の及ぼす影響として、保持量の増大にともない炉体の外表面積が増え(1)と同じく熱損失の増加を招く要因となっている。

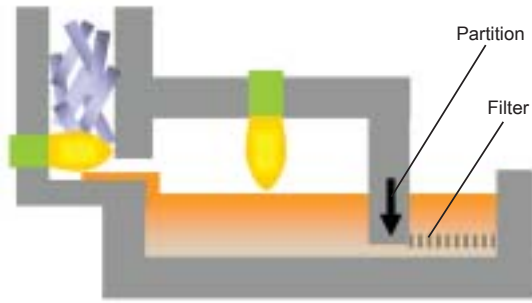


Fig. 7 Internal structure of furnace

以上の点からこれまでの設計思想では品質要求と省エネとを両立することが難しく新たな発想が必要と判断し、以下の点を重点検討課題と設定し詳細検討を進めることにした。

検討課題(1) 溶湯清浄度を確保しつつ炉内低温化を実現すること。

検討課題(2) 溶湯温度精度を確保しつつ保持量を削減し炉体を小型化すること。

## 5. 対策の内容

### 5.1 溶湯清浄度と炉内低温化

上で述べた分析から発想を逆転し、酸化物を除去するためのフィルタを廃止するとともに、それを支えるための障壁突き出し量を小さくすることができれば、問題点の本質である汲出口と保持室の熱障壁がなくなり、汲出口の管理温度（720℃）と保持室の温度を同等（826℃→720℃近く）に低温化でき、その結果として炉壁損失の低減や酸化物の低減等大きな効果を生むことができるのではないかと考えた。

そこでこの考えを確認するため(1)障壁深さと保持室温度(2)保持室温度と酸化物生成量との関係を調べたのがFig. 8, Fig. 9である。結果、予想どおり障壁深さを50mm以下にすることによって、保持溶湯温度が目標値以下に抑えられる（Fig. 8）とともに、酸化物生成量も低減でき（Fig. 9）結果として溶湯品質であるK10値が当初の2.1から0.5と大幅に低減することが見出された。しかしこのような炉を実現するには、溶湯高さの変動を抑え、Fig. 10のように間違っても溶湯表面に生成する酸化物が直接汲出口に流れ込まないように「溶湯レベルの高度なコントロール技術」の開発が不可欠である。

しかし現状は作業者が溶湯レベルを目視にて定期的にチェックし材料溶解量を調整しているため、汲出量と溶湯量とのバランスが崩れ、湯面が許容値である

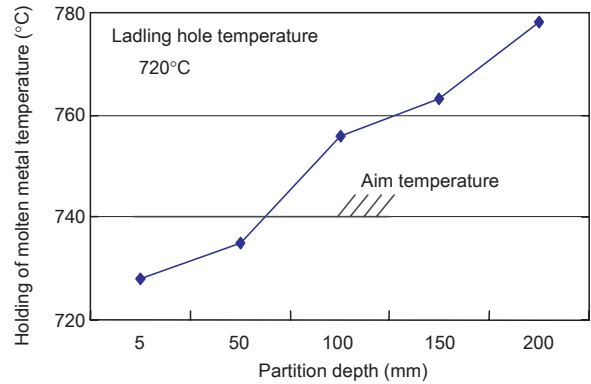


Fig. 8 Effect of partition depth

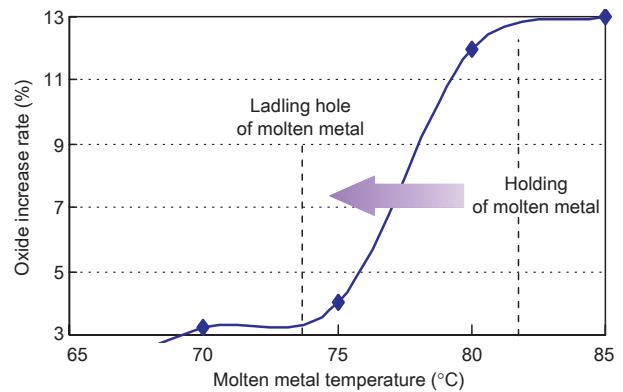


Fig. 9 Temperature characteristics of oxide release

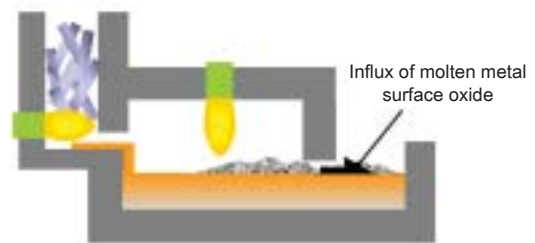


Fig. 10 Influence of bath surface height change

50mm以上変動することがしばしばあることが分かった。そこで対策指針として常に汲出された分だけ遅れなく自動的に溶解することができれば湯面変動を劇的に安定化させることができると考え、汲出口に湯面レベルセンサを設置し常に湯面高さの変位を把握し、それをもとに汲出された分だけを溶解するFig. 11のような溶解自動フィードバック制御法を考案した。Fig. 12は制御系を組込んだテスト炉にて湯面の制御安定性を確認した結果である。その結果10mm以内と非常に高精度で湯面高さを安定化させられることが分かった。

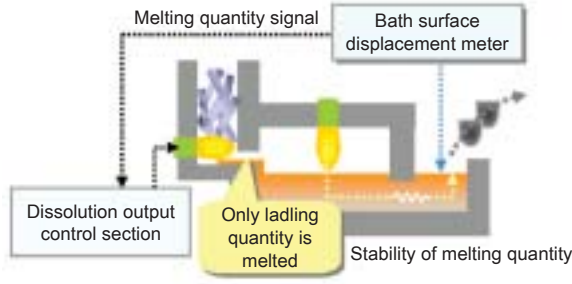


Fig. 11 Automatic feedback control of melting and stability of melting quantity

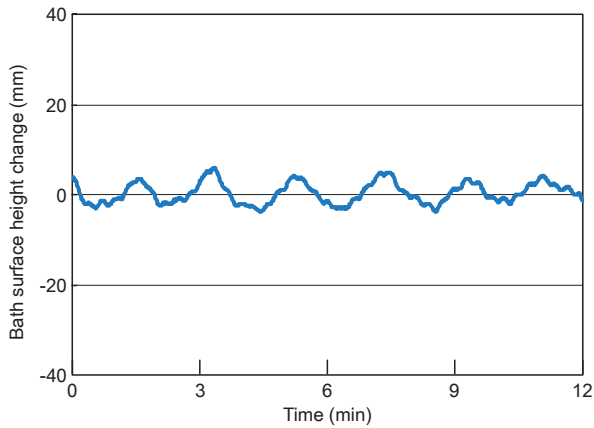


Fig. 12 Automatic feedback control system

次にこの構想を実現する上で最も重要であった湯面高さセンシング方法についての検討結果を紹介する。なお検討にあたっては以下の点を考慮した。

- (1) 汲出口の高温対流雰囲気環境を考慮し500mm以上離れた位置からの測定が可能であること。
- (2) アルミ溶湯の高侵食性を考慮し非接触測定が可能であること。
- (3) 面の波打ちによる光の拡散反射の影響がないこと。

Table 1は上記条件を満足しそうなロングレンジタイプの非接触センサを比較したもので、表の検討結果より高温対流雰囲気や液体拡散反射環境下においても測定精度が安定しているCCDレーザ方式を採用することとした。

### 5.2 溶湯温度精度と炉体小型化

溶湯温度精度と炉体小型化を両立させるためには制御性を向上させることが不可欠である。現状では上記にて説明したように作業者が保持量を目視にて定期的にチェックし材料溶解量を調整しておりその結果、湯面高さの変動と合わせタワーから流れ込む低温溶湯の流入量が変動するため、高い温度精度を必要とした場合、保持量を増大させ対応する構図となっていた。その対策としては溶解量の変動を抑えればよく (Fig. 13)、これはまさに上記の溶解自動フィードバック制御による対策そのものであり、この制御法を適用すれば、炉内低温化とともに大幅に保持量を削減しても湯温の制御安定性を確保することができる。その効果をテスト炉にて確認したところ、現行比1/5の400kgまで低減しても給湯温度精度±5℃を確保することが可能である結論を得た。

Table 1 Comparison of sensor of bath surface height change

Comparison method	Ultrasonic system	※1 CCD-laser system	※2 PSD-laser system
Comparison item			
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

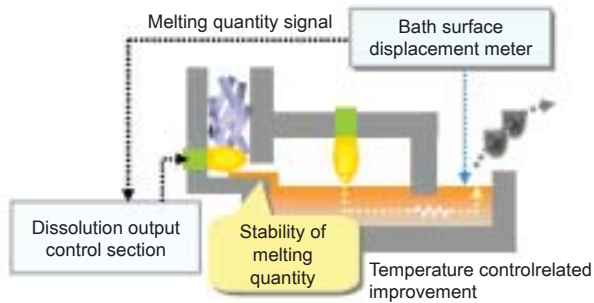


Fig. 13 Automatic feedback control of melting and stability of melting quantity

### 5.3 その他の省エネアイテム

さらに省エネ効果の向上を図るため、その他の省エネアイテムとして上記の重点検討結果と合わせ以下の技術を導入した。

#### (1) ダイカストマシンとの連動制御

炉側でダイカストマシンの稼働状況に合わせて炉の運用状態を省エネモードに切替えるようにした。具体的にはマシンが生産停止したことを認識したら、自動的に汲出口の蓋をするとともに溶解バーナーの停止および保持バーナーの出力ゲインを抑えるモードへ切替えるようにした。

#### (2) 自動低温保持と自動復帰モード

1日の生産終了段階で自動的に保持温度を低温設定に切替えるとともに、次の日の生産開始スケジュールに合わせて自動的に保持温度を稼働時の温度設定に復帰させる機能を追加した。

#### (3) 熱リーク部の断熱化

炉内メンテナンス用の扉部やバーナー周辺部等、これまで直接耐火材と鉄のケーシングが接していた部分すべてに断熱層を設け熱リークに伴う熱損失を低減するようにした。

#### (4) 高精度空気比管理

バーナーを高ターンダウン化することにより燃焼制御性を向上させるとともに、高ターンダウン条件下でも高精度な空気比管理を実現するため燃焼制御部にはEBC自動空気比制御システムを導入した。

### 5.4 省エネ連続溶解保持炉の全体構成

上記の検討結果を踏まえ省エネ連続溶解保持炉の構成をFig. 14ようにした。

## 6. 対策後の効果 (Table 2)

### 6.1 溶湯温度と溶湯品質

溶解自動フィードバック制御および保持室/汲出口間の障壁を浅くした対策効果により、Fig. 15のように汲出口の溶湯温度精度を維持したまま保持炉内溶湯温度を113℃低減することができた。また溶湯内酸化物についても対策前と同等以上の清浄度を確保することができた。

### 6.2 省エネ効果

溶湯保持量の削減、保持炉内低温化等の対策によりFig. 16のように現行21%であった熱効率を44%まで向上、これによりエネルギー使用量を現行比53%低減することができた。

### 6.3 その他の付帯効果

本取り組みによる付帯効果として、保持室内の低温化により酸化物生成そのものが減少しメタルロス量を削減することができた。また保持量の削減、フィルタレス化により日常および定期的メンテナンス工数を大幅に削減することが可能となり、大きなランニングコストメリットを生み出すことができ、これらのうれしさによって新規設備導入時においても投資回収3.2年を実現した。

## 7. まとめ

アルミダイカスト用省エネ連続溶解保持炉の開発において

- (1) 溶解溶湯の流入制御と保持/汲出室間の伝熱性向上が溶湯品質性能と省エネを両立させるキーワードであることを見出し、それを実現するため湯面高さによる溶解量FB制御技術を考案確立した。
- (2) この技術により溶湯高品質を維持しつつ業界最高水準の熱効率44%を達成した。
- (3) また保持量削減・炉内低温化による付帯効果としてメタルロス的大幅な削減と保守性向上により高い投資効果を実現することができた。

## 8. 今後の計画

- (1) 全社アルミダイカスト連続溶解保持炉への横展開を図る。
- (2) 今回得られた知見を他の設設備へ適用展開を進める。

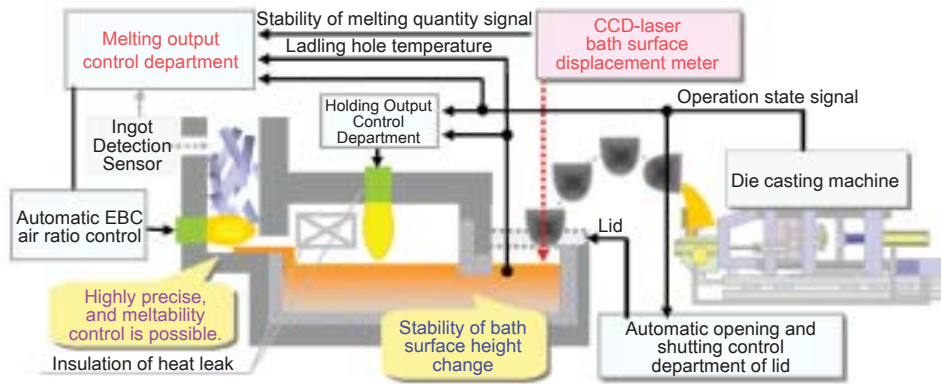


Fig. 14 Total composition of an energy saving melting and holding furnace

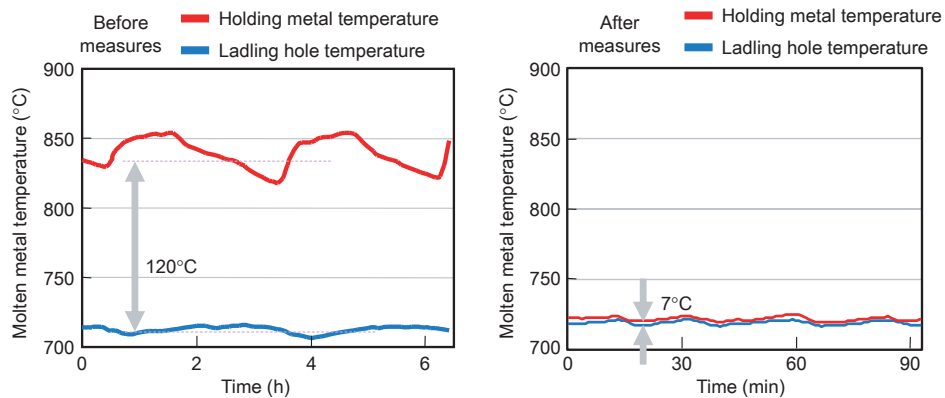


Fig. 15 Comparison result of molten metal temperature

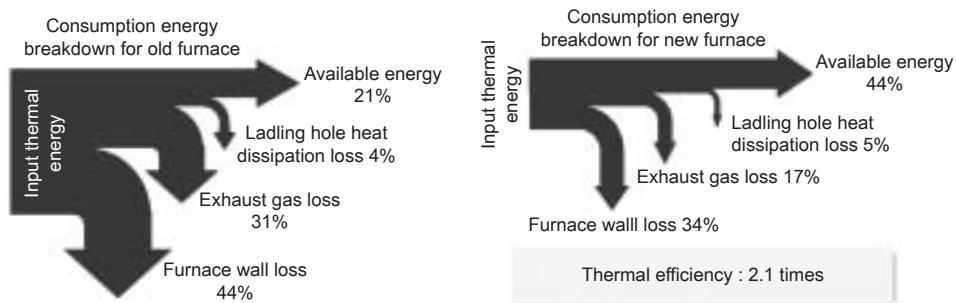


Fig. 16 Comparison result of the consumption energy breakdown

Table 2 The conclusion of a development result

Requirements	Old furnace	Development target	Development result	Judgment
Thermal efficiency of melting	21%	Above 40%	44%	○
Quality of melting	Molten metal temperature precision	±5°C	±3.7°C	○
	Molten metal oxide	0.6 (K10 value )	0.6 (K10 value )	○
	Gas content	0.5cc/100g	0.3cm <sup>3</sup> /100g	○
Quantity of metal loss reduction	1t/year	Less than 1t/year	2.8t/year	○
Maintenance cost	————	2/3	1/3	○
Time until recovery of investment	————	3.5 years	3.2 years	○

<参考文献>

- 1) アルミニウム鋳鍛造技術便覧編集委員会：アルミニウム鋳鍛造技術便覧，カロス出版（1991）
- 2) 軽金属の生産技術教本編集部会：軽金属鋳物ダイカストの生産技術，素形材センター（2000）
- 3) 日本工業炉協会：工業炉ハンドブック，省エネルギーセンター（1997）
- 4) 日本バーナー研究会：会報No.94技術資料，日本バーナー研究会（2000）
- 5) 和田重孝：構造用セラミックスガイドブック，TIC（2001）



<著 者>



肥後 徳仁  
(ひご のりひと)  
生産技術開発部  
省エネルギー加工技術の開発，  
適用化に従事



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



廣瀬 雅信  
(ひろせ まさのぶ)  
生産技術開発部  
省エネルギー加工要素技術の  
開発・適用化に従事