

水素ガスバーナのアルミニウム合金溶解保持炉への適用*

Application of Hydrogen Gas Burner to Melting-Holding Furnace for Aluminum Alloy

加藤 信悟
Shingo KATO

竹村 幸司
Koji TAKEMURA

上平田 誠
Makoto KAMIHIRATA

Our company has declared its commitment to achieving carbon neutrality by 2035. Diecasting, one of the manufacturing processes for automotive components, involves melting aluminum as the material, injecting it into a die at high speed and high pressure, and then cooling and solidifying it. The aluminum melting process accounts for two-thirds of the total CO₂ emissions in the entire die casting process. Therefore, we are focusing on two key initiatives : reducing CO₂ through energy-saving activities and switching to carbon-free fuels. In this paper, we report on the fundamental evaluation and practical verification results of aluminum melting using hydrogen, one of the carbon-free fuels.

Keywords :

Diecasting, Aluminum, Melting, Hydrogen, Carbon Neutral

1. はじめに

気候変動対策の国際的な枠組みとして、2015 年に国連でパリ協定が採択された。これに則って、日本を含めた 120 以上の国が 2050 年までにカーボンニュートラルを実現すると宣言している。

2020 年、デンソーは 2035 年までに事業活動でのカーボンニュートラルを目指すと言明した。パリ協定で定められた目標よりも前倒しでの達成を目指し、モノづくり・モビリティ製品・エネルギー利用の 3 つの領域に取り組んでいる。モノづくりのカーボンニュートラルでは、まずは「エネルギーの効率化を進めて省エネルギーにする」、そして「化石燃料から CO₂ フリー燃料に転換する」。それでも CO₂ を排出してしまう場合

に「発生した CO₂ を回収しリサイクルする」という 3 つの進め方がある。

デンソーでは、ダイカスト工程における溶解工程の省エネルギー化を目的として、株式会社宮本工業所と共同で、小型・高効率の個別溶解保持炉（商品名：DMF：Diecast Melting Furnace）を 2000 年代後半に開発した。現在までに 92 台が導入され、ダイカスト溶解工程の主力設備として省エネルギーに貢献している。省エネルギー活動は今後も継続していくが、カーボンニュートラルを達成するためにはそれに加えて「化石燃料から CO₂ フリー燃料への転換」により CO₂ 排出量をゼロにする必要がある。

デンソーでは現状、都市ガスを燃料にしてアルミニウム合金インゴットを溶解している。CO₂ フリー燃料はい

ずれも燃料コストやインフラなどの将来動向が不透明であるため、現時点では絞り込まず複数候補を検討している。本稿では水素ガスの活用検討について紹介する。

2. 水素ガスの物性 および 燃焼特性

2.1 水素ガスの物性および工業用水素ガスバーナの特徴

水素ガスの物性を Table 1 に示す¹⁾。また、都市ガスの主成分であるメタンの物性についても比較のため記載する。

水素ガスの特筆すべき特性は、燃焼速度が大きい（メタンガスの約 7 倍）ことや火炎温度が高い（メタンガスより 170℃高い）ことである。このため工業用バーナで利用する際には種々の配慮が必要となる。本評価で使用した中外炉工業社製の水素ガスバーナは、燃焼速度が大きいことで生じる燃焼筒の異常発熱や火炎温度が高いことによる NO_x 値の上昇といった問題をバーナ構造の改善によって解消している²⁾。

他方、水素ガスの単位体積当たりの発熱量はメタンガスの 1／3 以下であるため、同等の発熱量を得るためには 3 倍以上の流量の水素ガスを燃焼させる必要がある。それにより水素ガスバーナの火炎が伸長するため、工業炉で使用する際には対応が必要となる。これについては第 4 章で詳述する。

Table 1 Properties of Fuels

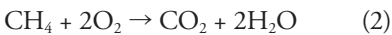
Property \ Fuel	Hydrogen H ₂	Methane CH ₄
Flame speed (m/s)	※ 2.65	0.4
Flame temperature (°C)	※ 2045	1875
Net calorific value (MJ/m ³)	10.8	35.9
Specific gravity	0.0695	0.55
Diffusion coefficient (m ² /s)	※ 6.1×10 ⁻⁵	1.6×10 ⁻⁵
Combustion range (vol%)	※ 4.0~75.0	5.0~15.0
Ignition temperature (°C)	※ 572	580
Minimum ignition energy (mJ)	0.02	0.28
Explosion energy (MJ/m ³)	9.3	32.3

※ Value in Air

2.2 水素ガスの燃焼特性

水素ガスおよびメタンガスを燃焼させた時の化学反応式は、式 (1) と式 (2) である。燃焼後の雰囲気に着目すると、メタンガスの燃焼生成物は CO₂ と H₂O（水蒸気）であるが、水素ガスの場合は H₂O のみである。燃焼生成物（H₂O、CO₂）と燃焼に使用されなかった N₂ の分

圧から炉内雰囲気の水蒸気分圧を簡易計算すると、メタンガスの場合は 182hPa、水素ガスでは 334hPa となる。燃焼生成物が水蒸気のみである水素ガスの方が高く、約 1.8 倍である。

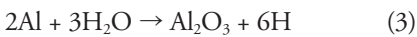


3. 水素ガスバーナ適用時の課題および評価項目

水素ガスバーナ適用検証時の評価項目を、品質 (Q)・納期 (D)・コスト (C)・安全 (S)・環境 (E) の観点で列挙した。これを Table 2 に示す。

前述のとおり、水素ガスバーナでは都市ガスバーナと比較して火炎が伸長するため、溶解棚上のインゴットの温度分布に影響を及ぼす懸念がある。そこで火炎温度分布を同等にすることに取り組んだ上で、実機での溶解能力および溶解効率を評価した。

式 (3) に示すように、溶湯は水蒸気と反応して酸化物と水素ガスを生成する。溶湯表面で生成された酸化物および水素ガスは溶湯中に取り込まれ、その溶湯で作られた铸件はポロシティなどの鑄造欠陥を有する可能性が高い。前述のとおり、水素ガスへの燃料転換により燃焼後の水蒸気分圧が高くなるため、鑄造欠陥の増大が懸念される。



水蒸気量が溶湯中の酸化物量および水素ガス量に及ぼす影響について調査し、実機での成立性について評価した結果について第 6 章で紹介する。

Table 2 Evaluation Items

	Evaluation Item
Q	Molten metal quality (Oxide amount / Hydrogen gas amount / Chemical composition)
D	Melting capacity
	Melting efficiency
C	Fuel cost
	Equipment investment
S	Safety specifications/ Operational rules
E	Environmental impact gas emissions (NO _x , SO _x etc.)

*（社）日本鑄造工学会の了解を得て、「鑄造工学 第 95 巻（2023）第 6 号」No.274-280 より一部加筆して転載

4. 火炎温度分布

DMF では、溶解バーナの火炎が溶解棚上に広がってインゴットを溶かす。さらに、火炎と溶解棚の距離を最適化することでインゴットを高温かつ均一に急速加熱・溶解することを可能にしている。前章で述べたように水素ガスバーナは都市ガスバーナと比較して火炎が伸長するため、火炎温度分布が変わる可能性が高い。そのため、溶解棚上に広がる火炎の温度分布を測定し、都市ガスバーナ同等の火炎温度分布を水素ガスバーナで再現することに取り組んだ。

4.1 実験方法

(1) バーナ燃焼方法

DMF の溶解バーナを都市ガスバーナから水素ガスバーナに交換して実験を行った。両バーナはアタッチメントが共通であるため、容易に取り換えが可能である。屋外に設置した水素ガスカードルから水素ガス取扱用の安全機器類を経由して、水素ガスをバーナへ供給した。都市ガスと同等の発熱量を得るために水素ガス用に流量制御設定を行い、空気比 1.1 で燃焼させた。

(2) 火炎温度の測定方法

Fig. 1 に示すように熱電対を具備した治具を溶解タワー内にセットし、溶解棚上に広がった火炎の温度を測定した。一度に 6 箇所を測定することが可能であり、治具をスライドさせて 2 度に分けて測定することで 12 箇所の火炎温度データを取得した。また、水素ガスバーナの火炎と溶解棚の距離を都市ガスと同等に調整するため、水素ガスバーナを後方にオフセットさせて取り付けることが可能な調整治具を用意した。

4.2 実験結果

火炎温度の測定結果を Fig. 2 に示す。これはバーナを点火して十分時間が経過した後の温度をマッピングしたものである。(b) 水素ガスバーナでは 1,100℃を下回る箇所も発生し、(a) 都市ガスバーナと比較して平均温度が約 120℃下がってしまった。火炎伸長分の 200mm を後方にオフセットさせて水素ガスバーナを取り付けた場合、全箇所 で 1,100℃以上となり、平均温度も都市ガスと同等にすることができた。

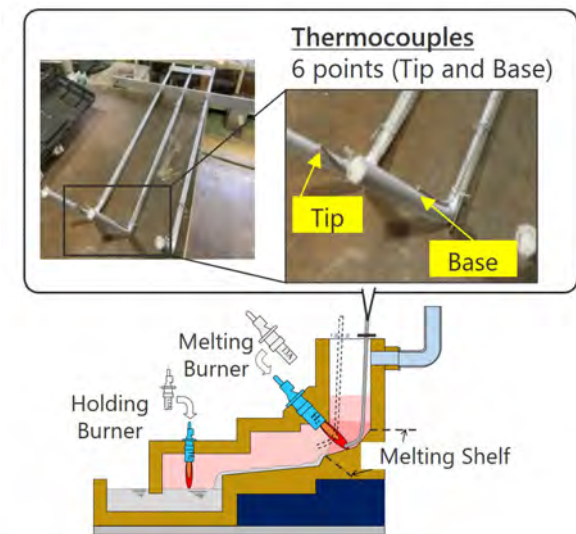


Fig. 1 Jig for Measuring Flame Temperature

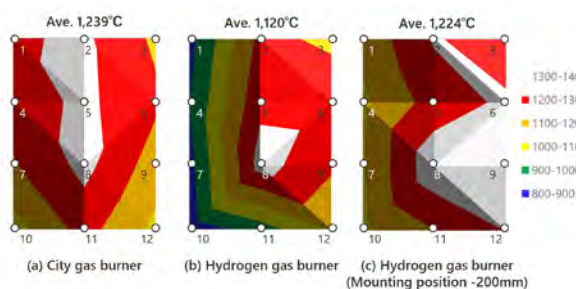


Fig. 2 Flame Temperature Comparison

5. 溶解能力および溶解効率

5.1 実験方法

本実験はダイカストマシンに接続せずに DMF 単体で行ったため、手作業で溶湯を汲み出して連続溶解し、溶解能力および溶解効率を算出した。

合金種は ADC12 とし、“テトラ材”と呼ぶ約 100g／個の四面体のインゴットのみを使用した。

5.2 実験結果

687kg のインゴットを 200min. で溶解したため溶解能力は 206kg/h である。また、ガス使用量は 104.2m³であったため、式 (4) を用いて算出した溶解効率は 60% である。

$$\text{溶解効率 (\%)} = \frac{\text{溶解に必要な熱量} \times \text{溶解量}}{(\text{ガスの発熱量} \times \text{ガス使用量}) \times 100} \quad (4)$$

なお、溶解に必要な熱量は 983kJ/kg、水素ガスの発熱量は 10.8MJ/m³ とした。

都市ガスの場合、溶解能力 200kg/h、溶解効率 59 ～ 64% であるから、溶解能力および溶解効率の観点にお

いては水素ガスへの燃料転換が可能なが示された。

6. 溶湯品質

6.1 水蒸気量が溶湯品質に及ぼす影響の調査

6.1.1 実験方法

(1) 供試材

ADC12 (Al-Si-Cu 系合金) と ADC6 (Al-Mg-Mn 系合金) の 2 種類で実験を行った。ADC6 は、車体フレーム等への適用で今後需要拡大が予想される Al-Mg-Si 系合金や Al-Si-Mg 系合金と同様、Mg 量が多い合金種である。詳細は後述するが、Mg 量が多い合金種では溶湯の酸化が起きやすく、今回の水素ガスへの燃料転換による影響を受けやすいと考えた。ADC6 でも評価を行い、ADC12 以外の幅広い合金種での成立性について確認した。

使用したインゴットは“テトラ材”である。インゴットメーカーによる化学成分の分析結果を Table 3 に示す。

Table 3 Chemical Composition of Alloy Ingots

	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Pb	Be	Ca	Al
ADC12	2.05	11.23	0.30	0.45	0.76	0.22	0.06	0.03	0.02		29	balance
ADC6	0.01	0.62	3.77	0.04	0.76	0.52	0.01	0.00	0.00	35	21	balance

(2) 溶解方法

電気抵抗炉内に無塗装の 10 番黒鉛るつぼを設置し、インゴット 2kg を溶解した。脱ガス処理として Ar ガスを 1L/min. で 2 分間吹き込んだ。続けて脱滓処理としてフッ化物系フラックスを添加して攪拌した後、形成されたドライな滓を除去した。いずれの水準でもこの状態を保持時間 0h と呼ぶことにする。その後、720℃で溶湯を保持し、1 時間後・2 時間後・4 時間後にサンプリングを行った。

(3) 雰囲気湿度の調整方法

溶湯保持において、溶湯の表面が接触する雰囲気湿度を変化させるために 2 台の加湿器を使用した。1 台は溶湯表面に緩やかに吹き付けるように設置し、もう 1 台は実験室内を加湿させた。

湿度は以下の方法により 3 水準に調整した。

- 高湿度 [約 50g/m³] : 加湿器 2 台 (溶湯表面 + 室内)
- 中湿度 [約 30g/m³] : 加湿器 1 台 (室内)
- 低湿度 [約 10g/m³] : 加湿器なし

なお、燃料燃焼下の雰囲気湿度は、都市ガスで 38.6g/m³、水素ガスでは 70.8g/m³ と算出される。

(4) 測定方法

溶湯中の酸化物量は、株式会社 MRDC が開発した“網八³⁾”で測定した。一辺が 10cm 四方のステンレス網を溶湯に浸漬し、増加した重量を測定した。

溶湯中の水素ガス量は、炉前分析として DI (Density Index) 法⁴⁾を使用した。DI は、大気圧下と 5kPa 下で凝固させた鋳塊の密度差を大気圧下の密度で除して算出した値である。なお、鋳塊はチラーを使用して無制御一方向凝固させた。ドイツ鋳物協会は良い鋳物を得るための溶湯の DI として、ダイカストの場合に 5% 以下、重力鋳造の場合に 3% 以下を推奨している⁵⁾。

化学成分は、発光分光分析により評価した。

溶湯表面部の酸化皮膜をそのままの状態で採取するためいわゆる“プリン採り”を行った。その鋳塊表面の断面部を切り出し、ミクロ組織を観察した。

6.1.2 実験結果および考察

(1) 溶湯中の酸化物量

Fig. 3 は湿度が溶湯中の酸化物量に及ぼす影響を示している。両材料とも溶湯処理直後 (0h) における増加重量は 5 ～ 6g であり、溶湯中に若干の酸化物が残留していたことを示す。1 時間の溶湯保持を行うと、いずれの湿度においても若干の低下が見られた。これは溶湯処理後に残留していた酸化物が沈降したためと推測される。よって、これ以降の挙動が各湿度環境下での溶湯保持の影響を示すものと思われる。

2 時間後および 4 時間後の増加重量は湿度に関らず上昇しており、溶湯中の酸化物量が増加したことを示す。但し、湿度と酸化物量の関係は不明瞭であり、湿度が高いほど溶湯中の酸化物量が増加するような傾向は見られなかった。

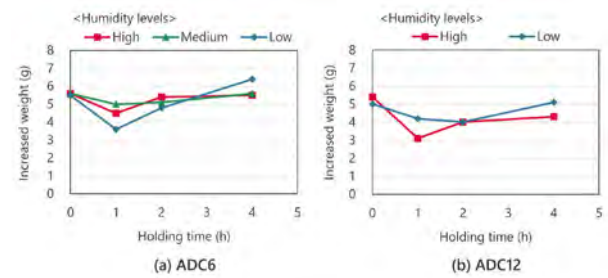


Fig. 3 Effect of Humidity on Oxide Amount in Molten Metal

(2) 溶湯中の水素ガス量

Fig. 4 は湿度が溶湯中の水素ガス量に及ぼす影響を示している。(a) ADC6 の場合、溶湯処理直後(0h)の DI は 1% 前後と低い値であった。これを低湿度で 4 時間保持しても DI は 0.6 とほとんど変化しなかった。しかしながら、中湿度・高湿度では 4 時間後の DI は上昇し、湿度が高いほど DI も高くなる傾向が見られた。(b) ADC12 は、ADC6 と同様の溶湯処理を実施したが溶湯処理直後の DI は ADC6 よりも高かった。低湿度の場合、4 時間後の DI は溶湯処理直後よりも低くなった。これは溶湯中の水蒸気量が雰囲気の水素分圧に平衡したためと推測される。4 時間後において、湿度が高いほど DI が高くなる傾向は ADC6 と同様であった。両材料を 4 時間溶湯保持した際、低湿度でのみ DI<5 という目安を満足したが、中湿度・高湿度の場合は満足しなかった。水素ガスへの燃料転換で炉内の水蒸気分圧が高くなった場合、溶湯中の水素ガス量が増加し鋳物品質が悪化する可能性が示された。したがって、水素ガスへの燃料転換には、溶湯中の水素ガス量の増加を抑制する必要がある。

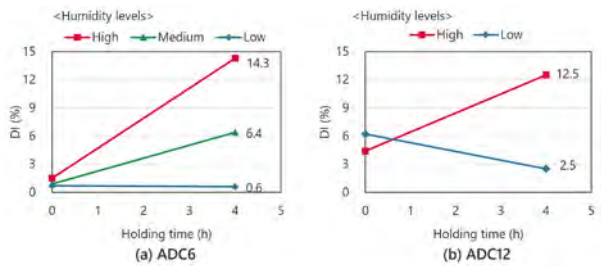


Fig. 4 Effect of Humidity on Hydrogen Gas Amount in Molten Metal

6.2 溶湯中の水素ガス量低減手法の検討 および 評価

6.2.1 水素ガス量低減手法の検討

燃料燃焼によって生成する水蒸気にさらされるのは保持室内の溶湯表面であるため、この保持室内の溶湯表面に緻密な酸化皮膜を形成させて炉内の水蒸気から溶湯を保護するアプローチをとる。以下で酸化皮膜の種類と性状に関する検討および具体的な手法の立案を行った。

Table 4 は本実験の溶湯温度に近い 727℃での各種酸化物生成の平衡酸素分圧を示している。平衡酸素分圧の値が低いほど酸化物が生成しやすいため、ADC12

や ADC6 の規格元素である Si・Cu・Mg などよりも Be や Ca が先に溶湯表面に酸化皮膜を形成することがわかる。

酸化被膜が保護性を有するか否かは、PB 比^⑥と呼ばれる酸化物と金属の体積比の影響が大きいことが知られている。Be は PB 比 1.68 であるから、Be から BeO に変化した際に体積膨張する。そのため BeO 皮膜は圧縮状態となり、溶湯表面が酸化皮膜で閉じられた状態になるため、溶湯を水蒸気から保護すると考えられる。一方、Ca は PB 比 0.64 であるから CaO に変化した際に体積収縮し、溶湯表面に形成された CaO 皮膜は分断される。分断部では新生面が現出し、これを繰り返すため水蒸気から溶湯を保護することができないと考えられる。

以上のことから、保護性の低い CaO 皮膜が溶湯表面に形成されないように溶湯中の Ca を除去し、一方で保護性の高い BeO 皮膜を積極的に形成させるために溶湯中に Be を含有させることを具体的手法とした。

Table 4 Equilibrium Oxygen Partial Pressure for Oxide Formation (727° C)

Reaction	Equilibrium Oxygen Pressure (atm)
$2\text{Cu} + \text{O}_2 = 2\text{CuO}$	1.2×10^{-7}
$2\text{Mn} + \text{O}_2 = 2\text{MnO}$	2.5×10^{-33}
$\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$	8.6×10^{-39}
$4/3\text{Al} + \text{O}_2 = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$	4.6×10^{-48}
$2\text{Mg} + \text{O}_2 = 2\text{MgO}$	8.4×10^{-53}
$2\text{Be} + \text{O}_2 = 2\text{BeO}$	2.3×10^{-53}
$2\text{Ca} + \text{O}_2 = 2\text{CaO}$	1.5×10^{-56}

6.2.2 実験方法

脱 Ca 処理を行う水準では、脱 Ca フラックスを添加し攪拌を行い、形成された滓を除去した。続けて脱ガス・脱滓処理を行った後、Be を添加する水準の場合、Al-2.5%Be 母合金を使用して増加量が 30ppm になるように添加した。それ以外の実験方法は 6.1.1 項に記載した内容と同様である。

6.2.3 実験結果 および 考察

(1) 溶湯中の水素ガス量

Fig. 5 は ADC6 溶湯を高湿度で保持した際の脱 Ca 処理および Be 添加が DI に及ぼす影響を示している。

Ca を含む溶湯に Be を添加しても DI=12.7 と高いままであった。これは、Be よりも Ca の方が酸化物を形成しやすいため保護性の低い CaO 皮膜が溶湯表面に形成してしまい、水素ガスを吸収したためと考えられる。一方で、脱 Ca 処理を行った水準では、Be 添加の有無に関らず、高湿度でも $\text{DI} \leq 0.5$ の低い値を示した。これは ADC6 インゴットに元々 Be が含まれており (Table 3 参照)、インゴット溶解後に新たに Be を添加せずとも溶湯表面に保護性の高い BeO 皮膜が形成されたためと考えられる。

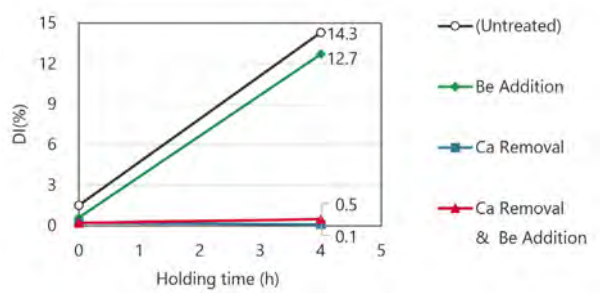


Fig. 5 Effect of Ca Removal and Be Addition on Hydrogen Gas Amount (ADC6, High Humidity)

(2) 溶湯表面部のマイクロ組織

Fig. 6 は高湿度で 4 時間の溶湯保持を行った後の ADC6 鋳塊のマイクロ組織である。脱 Ca 処理を行わない水準 (a)(b) においては、ポロシティが散見される。これは溶湯表面で生成した酸化皮膜が沈降したことにより形成されたと考えられる。一方、脱 Ca 処理を行った水準 (c)(d) においては、ポロシティ量が顕著に減少している。この傾向は溶湯中の水素ガス量と一致しており、溶湯表面に形成される酸化皮膜の種類および性状による差と考えられる。

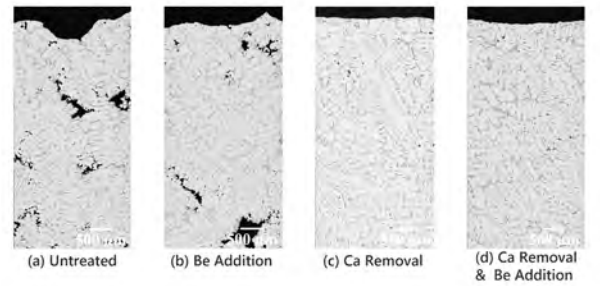


Fig. 6 Microstructure After 4-Hour Holding of ADC6 Molten Metal (High Humidity)

(3) 化学成分

ADC6 の各水準の化学成分の分析結果を Table 5 に

示す。

【Ca】脱 Ca 処理を行わない水準 (a)(b) においては、溶湯処理後の保持時間 0h では 10ppm および 9ppm であった。4 時間後は 2ppm まで低下しており、7～8ppm の Ca が溶湯表面で酸化皮膜を形成し溶湯中から持ち出されたものと考えられる。一方、脱 Ca 処理を行った水準 (c)(d) では保持時間 0h 時点で 1ppm であったため 4 時間後の Ca 減少量は小さく、溶湯表面での CaO 皮膜の形成が抑制されたと推測される。

【Be】脱 Ca 処理を行わない水準 (a)(b) においては、4 時間後での Be 減少量は 1ppm 程度であった。一方、脱 Ca 処理と Be 添加を行った水準 (d) においては 7ppm 減少した。これは、CaO ではなく BeO 皮膜が溶湯表面に形成され、溶湯中の Be が持ち出されたことを示している。

以上の結果より、保護性の高い BeO を溶湯表面に形成することで溶湯中の水素ガス量を低減できたと結論付けることができる。

Table 5 Chemical Composition Before and After Holding

Units : % (Be, Ca : ppm)									
	Holding time (h)	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Be	Ca
(a) Untreated	0	0.01	0.69	3.75	0.04	0.81	0.49	39	10
	4	0.01	0.68	3.70	0.04	0.81	0.50	38	2
(b) Be Addition	0	0.01	0.68	3.71	0.04	0.77	0.49	73	9
	4	0.01	0.68	3.68	0.03	0.80	0.50	73	2
(c) Ca Removal	0	0.01	0.69	3.84	0.03	0.74	0.48	36	1
	4	0.01	0.69	3.72	0.03	0.76	0.48	36	0
(d) Ca Removal & Be Addition	0	0.01	0.69	3.69	0.04	0.84	0.50	57	1
	4	0.01	0.67	3.50	0.03	0.83	0.49	50	0

6.3 溶解保持炉での実機検証

前節までで基礎評価での脱 Ca 処理による溶湯中の水素ガス量の低減効果について説明した。本節では DMF にて水素ガスバーナを用いて溶解・保持し、溶湯品質の成立性を確認したので紹介する。

6.3.1 実験方法

(1) 供試材

ADC6 のテトラ材を使用した。インゴットメーカーによる化学成分の分析結果を Table 6 に示す。

Table 6 Chemical Composition of ADC6 Ingot

Units : % (Be, Ca : ppm)												
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Pb	Be	Ca	Al
ADC6	0.02	0.60	3.85	0.04	0.84	0.52	0.00	0.00	0.00	37	79	balance

(2) 溶解および溶湯保持方法

DMF の溶解・保持バーナを水素ガスバーナに交換し、300kg のインゴットを溶解した。脱 Ca 処理を行う水準では、脱 Ca フラックスを保持室と汲出口に分けて添加し攪拌した後、形成された滓を除去した。脱ガス処理として、ランスパイプを用いて窒素ガスを汲出口から吹き込んだ。続けて脱滓処理としてフッ化物系フラックスを保持室と汲出口に分けて添加して攪拌した後、形成されたドライな滓を除去した。Be を添加する水準の場合、Al-2.5%Be 母合金を使用して、増加量が 30ppm になるように添加した。

溶湯保持試験中はインゴットを投入せず、保持バーナのみ点火し、水素ガスを燃焼し続けて溶湯温度を 730℃で保持した。試験開始時を保持時間 0h とし、以降 20 分毎に評価用サンプルを採取し、保持時間 3h までサンプリングを繰り返し行った。基礎評価と同様、酸化物量（網八法・K モールド法）・化学成分についても評価を行ったが、本稿では水素ガス量についてのみ紹介する。

(3) 溶湯中の水素ガス量の測定方法

TYK 社製の溶融アルミニウム用水素濃度測定装置（商品名：NOTORP）を用いた。溶湯処理後にセンサプローブを汲出口から挿入し、保持室内部の溶湯の水素ガス量を測定した。

6.3.2 実験結果

保持時間経過に伴う溶湯中の水素ガス量の推移を Fig. 7 に示す。脱 Ca 処理および Be 添加を行わない水準においては、時間経過に伴い水素ガス量の上昇が見られた。一方、脱 Ca 処理と Be 添加を行った水準では水素ガス量の増加は見られず、基礎評価と同様に溶湯中の水素ガス量の抑制効果が得られた。

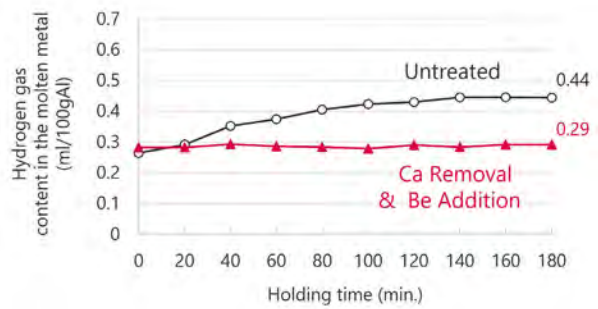


Fig. 7 Time Variation of Hydrogen Gas Amount in Molten Metal

7. おわりに

水素ガスバーナでインゴットを溶解する評価を行い、溶解能力・溶解効率および溶湯品質の観点において現行の化石燃料と同等レベルを満足する見込みを得た。DMF においてはバーナ交換対応で炉を更新する必要がないため、大きな設備投資や工場レイアウトの変更をすることなく溶解工程のカーボンニュートラルに繋げることが可能となる。有力な CO₂ フリー燃料候補として引き続き開発を続けていく。

参考文献

- 1) 佐藤：安全工学, vol.44, No.6(2005), p.378
- 2) 中外炉工業(株)：中外炉サーモテックニュース vol. 3(2020)
- 3) 豊田, 他：鑄造工学, vol.89, No.4 (2017), p.182
- 4) 森中, 他：鑄造工学, vol.91, No.7 (2019) p.446
- 5) BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GIESSEREI-INDUSTRIE (BDG)：BDG-Richtlinie P230“Unterdruck-Dichteprüfung Bestimmung des Dichte-Index für Aluminiumgusslegierungen” (2016)
- 6) 腐食防食協会編：金属材料の高温酸化と高温腐食（丸善）(1982)

著者



加藤 信悟

かとう しんご

部品加工開発部

ダイカストの要素技術開発に従事
(原文執筆時)



上平田 誠

かみひらた まこと

部品加工開発部

ダイカストの要素技術開発に従事



竹村 幸司

たけむら こうじ

部品加工開発部

ダイカストの要素技術開発に従事
(原文執筆時)