

アルミ溶解炉の最適燃焼制御技術

村松 慶亮
Keisuke Muramatsu
小林 秀章
Hideaki Kobayashi

深見 尚男
Hisao Fukami
野島 哲男
Tetsuo Nojima

概要

地球環境への負荷「ゼロ」をめざして、西尾ダイカスト工場では、CO₂排出量の多い溶解工程に対して多様な省エネルギー技術開発に取り組んでいる。本稿では、タワー型アルミ溶解炉の溶解バーナーを、従来のON/OFF制御から設備状況に応じた可変出力制御としたことで溶解効率が向上し、CO₂排出量削減が実現できたため報告する。

1. はじめに

2015年に採択された、よりよい世界を目指す国際目標SDGs(Sustainable Development Goals:持続可能な開発目標)において、当社では7つの優先課題を選定している。その課題の一つに目標12「つくる責任つかう責任」がある。この目標の目指す姿は、地球環境への負荷「ゼロ」をめざしたCO₂排出量の削減により、循環型社会への移行に貢献することである。この目標に対し、当社では2035年までに生産カーボンニュートラル達成を掲げており、西尾ダイカスト工場では、2030年までに▲50%以上(2013年度比)のCO₂削減を目標値として掲げている。西尾ダイカスト工場におけるCO₂排出量の内、アルミを溶かす溶解工程での排出が4割を占めている。中でもLNG(Liquefied Natural Gas:液化天然ガス)を使用するバーナーの燃焼時に発生するCO₂の影響が大きく、西尾ダイカスト工場には全18基の溶解炉があるため、この工程のCO₂排出量削減は上記目標達成のためにも必須である。

今回、西尾ダイカスト工場の最新工場である南棟を対象として、溶解炉の溶解バーナー燃焼制御により、溶解効率が向上し、CO₂排出量削減が実現できたため報告する。

2. アルミ溶解炉の概要

ダイカストとは、溶けた金属(溶湯)を高速高压で金型へ充填し、製品を成形する工法である。溶解炉はこのダイカスト工程の一部であり、インゴットや成形時に発生する端材を材料として溶湯を生成している。

図1に南棟の概要図を示す。南棟には、溶解炉7基、ダ

イカストマシン(DCM)14台がある。溶解炉2基でDCM4台を対応しており、材料を溶解炉で溶解し、配湯樋で各DCMに自動で溶湯を供給するシステムとなっている。

南棟の溶解炉は、図2に示すようなタワー型アルミ溶解炉であり、材料を溶解室上方から投入し、下方にある溶解バーナーで加熱溶解する。溶解されると隣接する保持室へ溶湯が流れ、保持バーナーで一定温度に保たれる。

本溶解炉の特徴は、溶解バーナー燃焼時に発生する排ガスが材料間を流れることで、排ガス熱が材料の予熱に有効に利用できる点である。

また従来、溶解バーナーは、保持室の溶湯量が満湯となったときや排ガス温度が設定値を超えたとき、材料が溶解室上方から投入されるとき以外は常にON(100%出力)で燃焼するON/OFF制御であった。

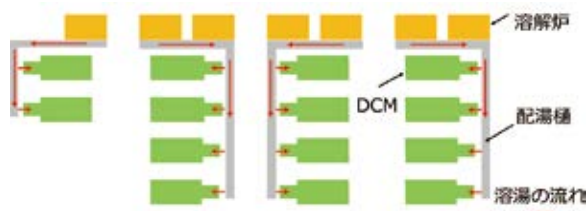


図1 南棟の概要図

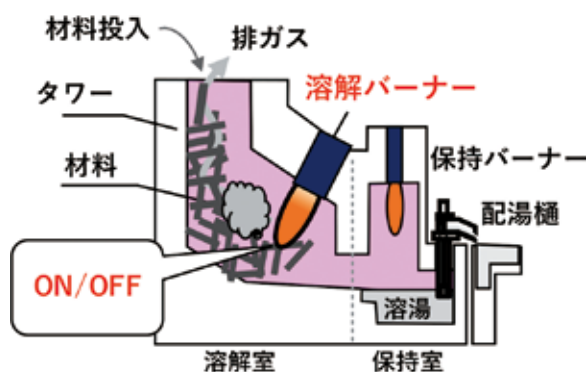


図2 タワー型アルミ溶解炉概要図

3. 目標値の設定

CO₂排出量削減の指標として溶解原単位という数値を設定した。この指標の単位は、Nm³/t-Alと表記され、アルミ1tonあたりの溶解に必要なLNG量を表している。このLNG量を低減できれば、その燃焼によって発生するCO₂排出量も削減できることになる。溶解原単位の目標低減率を設定するため実績を調査した。図3は2018年9月の南棟の溶解原単位の推移である。月平均値(Ave)に対し、日ごとにバラツキがあるが、最も良い最小値(Min)を目指し、溶解原単位の目標低減率を▲10%とした。



図3 南棟の溶解原単位実績

4. 仮説

タワー型アルミ溶解炉では、排ガス熱が材料の予熱に使用されるが、その後流れ出た排ガス熱はロスとなる。そのため、排ガス熱をいかに効率的に利用できるかが溶解原単位低減において重要と考えられる。図4に直当りの材料投入量と溶解原単位の分布を示す(1日を昼勤、夜勤の2つに分けたときの各勤務帯を直としている)。材料投入量が8,000kg/直以下のとき、溶解原単位のばらつきが大きくなっていることがわかる。このうち、同程度の材料投入量において溶解原単位が悪いときと良いときのLNG流量の推移の一部を抜粋したものが図5,6である。図5では、溶解バーナーのON/OFFが頻発しているのに対し、図6では、OFFしない状態(5~38min)が確認できる。溶解バーナーがOFFする条件と

して、“保持室の溶湯量が満湯となったとき”、“排ガス温度が設定値を超えたとき”の大きく2つがあるが、ON/OFF制御でのONのときは100%出力で燃焼するため、必要以上の溶解による満湯や、投入量に対して過度な燃焼による排ガス温度の過昇温が発生しやすく、OFFが誘発されやすくなる。そして、OFFしたことで予熱された材料温度が下がり、予熱効果が低下し、溶解原単位が悪くなったと推測した。

そこで、ONのとき100%出力で燃焼するON/OFF制御では効率が悪いと仮説を立て、検証を実施した。

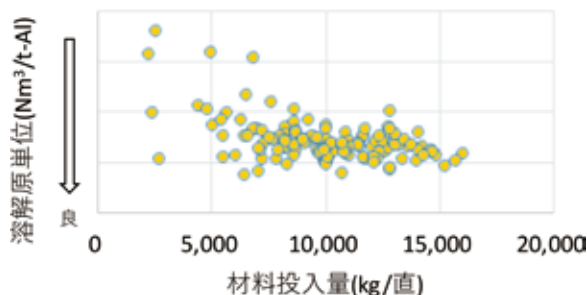


図4 材料投入量と溶解原単位の分布

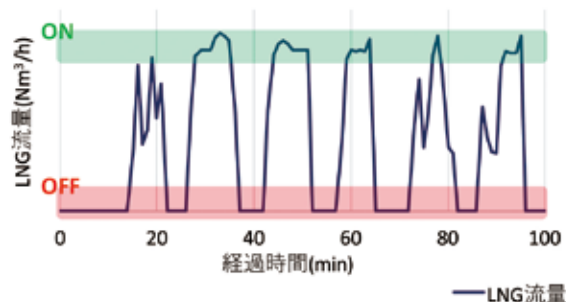


図5 溶解原単位が悪いときのLNG流量の推移

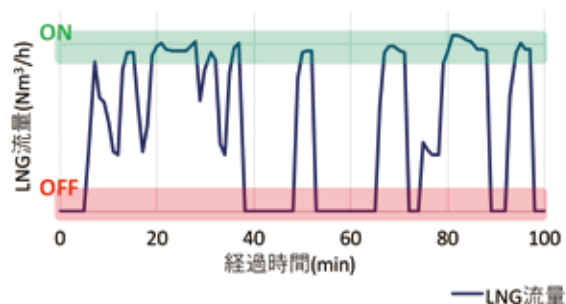


図6 溶解原単位が良いときのLNG流量の推移

5. 検証

5.1 仮説検証

バーナー出力を変化させることでON/OFF状態とOFF抑制状態を再現し、溶解原単位の評価を実施した。表1は出力変化の条件である。少量の溶解量に対して条件①では100%出力とすることで従来のON/OFFを、条件②では75%出力とすることでOFF抑制状態を再現している。なお、溶解量は500kg、各条件N=3で実施し平均値にて評価した。

図7に各条件の溶解原単位の結果を示す。条件①を100としたときの指数で表している。図7から条件②の方が溶解原単位は低減し、溶解効率が良いことが分かる。この点について図8,9に示した各条件のLNG流量および溶解量の推移を確認すると、条件①では、図8から12minにバーナーがOFFし、15minに再びONしているが、図9から溶解量の増加は15min以降停滞していることが分かる。一方、条件②では、図8からバーナーがOFFすることなく燃焼し続け、図9から停滞することなく溶解量が増加しており、20min時点で溶解量が条件①よりも多いことが分かる。以上より、条件①はOFFによって材料温度が低下し、再昇温に熱が消費されたため効率が悪化したが、条件②のように低出力でOFFすることなく燃焼し続けると材料温度の低下を抑制でき、効率が良くなると考えられる。

つまり、ONのとき100%出力で燃焼するON/OFF制御はバーナーOFFを誘発するため、仮説の通り効率が悪くなることが分かった。

表1 出力変化の条件

条件	出力(%)	バーナー状態
①	100	ON/OFF
②	75	OFF抑制

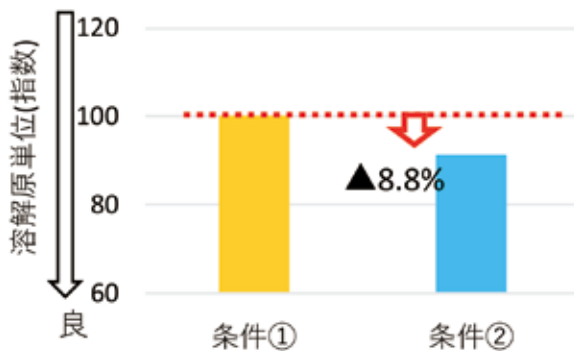


図7 溶解原単位の結果

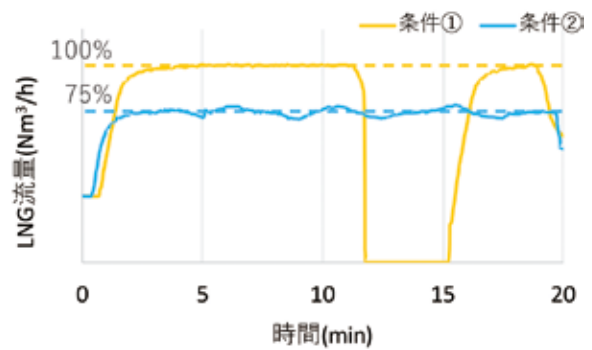


図8 LNG流量の推移

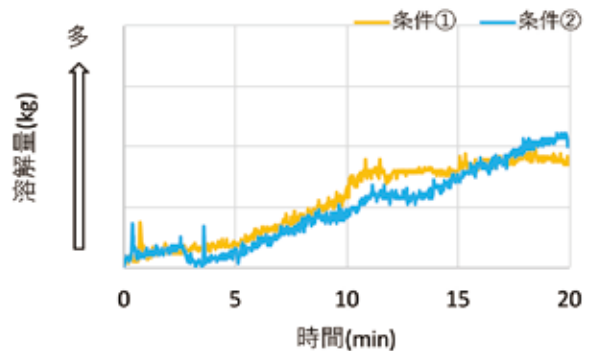


図9 溶解量の推移

5.2 設備状況による出力制御

バーナーOFFを抑制するために制御因子の検討とその因子による検証トライを実施した。

まず制御因子の検討を満湯防止と排ガス温度過昇温防止の観点から行った(図10)。満湯防止は、後工程であるDCMの生産状況に合わせて溶解することで抑制できると考え、DCMの「稼働台数」を因子の一つ目とした。排ガス温度過昇温防止は、「排ガス温度」と「材料充填信号」を2つ目、3つ目の因子とした。「排ガス温度」では高温に推移し始めたLNG流量を抑えることで過昇温防止を狙い、「材料充填信号」では、タワー内の材料が少ないときにLNG流量を抑えることで排ガス熱のロスを抑え、過昇温防止を狙っている。

次に上記で挙げた因子による制御検証を行った。検証は、従来および各条件にて1時間溶解し、溶解原単位の変化を確認した。表2に各因子の制御条件を示す。流量出力は100%と75%の2段階とし、因子①では4台のときと3台以下のときで変化させ、因子②では500℃を境に、因子③ではタワー内の材料充填信号のON/OFFによって変化させた。なお、因子②,③ではDCM稼働台数が4台のときに検証を実施した。

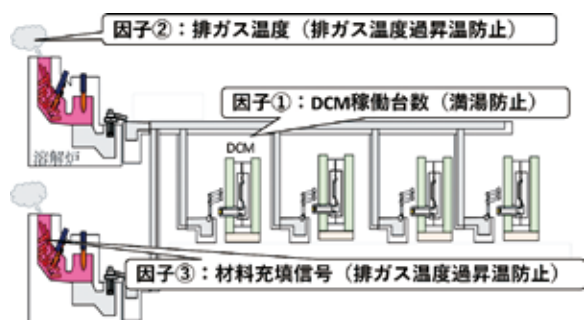


図10 制御因子の検討

表2 各因子の制御条件

因子	従来	①DCM稼働台数		②排ガス温度		③材料充填信号	
制御	—	4台	3台以下	500℃未満	500℃以上	ON	OFF
条件	100%	100%	75%	100%	75%	100%	75%

※因子②、③はDCM稼働台数4台の時に実施

図11に従来の溶解原単位を100としたときの各因子の検証結果を示す。全ての因子において溶解原単位が低減する結果となった。2段階制御ではあったが排ガス温度過昇温防止の点では狙い通り検証中一度も過昇温することがなかった。また、満湯防止の点では、数回発生したもののバーナーOFF時間が短縮する傾向が見られ、これらが溶解原単位低減に寄与したと考えられる。

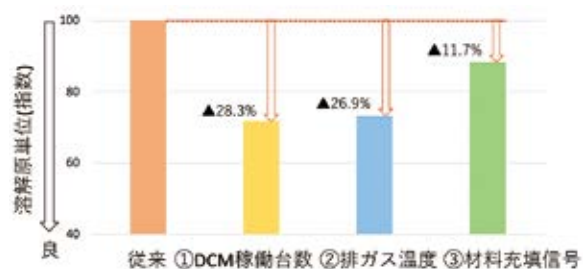


図11 検証結果

5.3 制御方法の検討

5.1及び5.2の結果を踏まえて、制御方法を検討した。大前提として、時間当たり溶解量が少なくなり、DCMへの溶湯供給が不足してはならず、また満湯状態も抑制する必要があるため、DCMの全台稼働したときの最大生産量から必要なLNG流量の見極めを行った。

そして、排ガス温度過昇温を防止するため、同じ稼働台数でも排ガス温度やタワー内材料充填信号の状況に応じて出力を変化させた。

この考え方の下、図12（数値は例）のように各因子を組み合わせることで40パターン（例）の出力を割り付け、設定した。パターンは稼働台数を基本とし、排ガス温度条件は実績値から算出した。

パターン	稼働台数	排ガス温度	材料充填信号	出力
1	4	***~	ON	80
2			OFF	65
3		***~***	ON	90
4			OFF	85
5		***~***	ON	80
6			OFF	75
7		***~***	ON	70
8			OFF	60
9		~***	ON	50
10			OFF	40
20	20	***	ON	***
30	30	***	ON	***
40	40	***	OFF	***

図12 制御パラメータイメージ

6. 効果

図13に制御なし、制御ありで溶解した時の溶解原単位を示す。燃焼制御により溶解原単位が▲17.1%低減したことが確認でき、当初の目標値を達成することができた。この低減効果による年間のCO₂排出量は、▲156t-CO₂/基、南棟溶解炉7基で▲1,092t-CO₂/年となる。そして、図14に燃焼制御したときの直当りの材料投入量と溶解原単位の分布を示すが、図4と比較し、投入量が8,000kg/直以下でもばらつきが小さくなっており、溶解原単位が低減できたことが分かる。

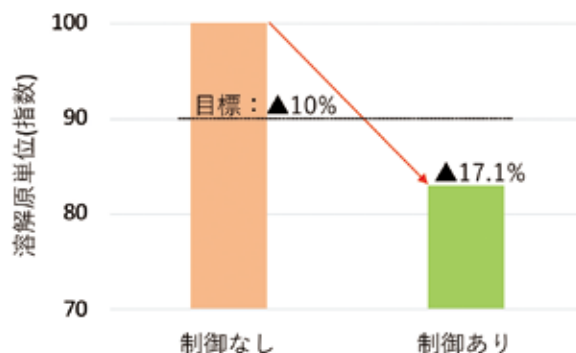


図13 溶解原単位の比較

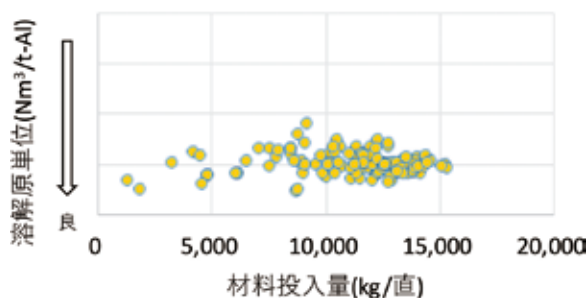


図14 材料投入量と溶解原単位の分布

7. 技術の展開

図15に従来工場の概要図を示す。従来工場では、溶解炉2基でDCM11台を対応しており、溶湯の供給システムは南棟と同様である。また、溶解炉2基のうち1基が図2に示したタワー型アルミ溶解炉であるため、本技術の展開を実施した。

南棟と同様にデータ収集網の構築から実施し、2022年4月に導入が完了した。本技術の適用の結果、CO₂排出量▲165t-CO₂/年の削減効果を確認できた。

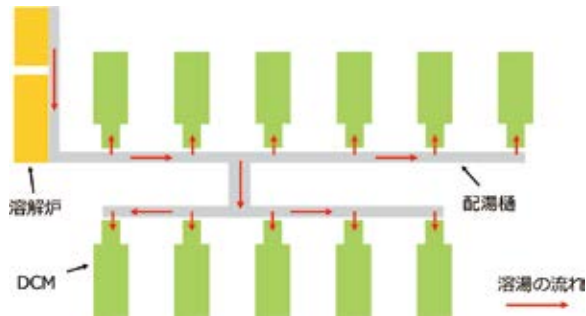


図15 従来工場の概要図

8. おわりに

溶解炉の溶解バーナー燃焼制御により、CO₂排出量の削減に貢献することができた。現在、溶解炉に材料のIH予熱制御を盛り込んだハイブリッド溶解の開発が進行中であり、本制御も並行して技術のアップデートを進めていく計画である。

今後も循環型社会への移行に向けて、さらなるCO₂削減に継続して取り組んでいく。

筆者



村松 慶亮

軽合金生技部 開発推進室
CO₂削減技術開発に従事



深見 尚男

軽合金生技部 第2铸造計画生準室
CO₂削減技術開発に従事



小林 秀章

軽合金生技部 開発推進室
CO₂削減技術開発に従事



野島 哲男

軽合金生技部 開発推進室
CO₂削減技術開発に従事