

## 技術資料

## Technical Data

## 高効率省エネ燃焼システムDINCSの開発

神谷祐樹\*

Development of High-Efficiency Energy-Saving Combustion System  
DINCS

Yuki KAMIYA

**Synopsis**

In this paper, we introduce DINCS, a high-efficiency combustion system for radiant tubes jointly developed by Daido Steel Co., Ltd. and Saint Gobain Co., Ltd., France (formerly SpinWorks Co., Ltd., U.S.A.). DINCS was developed to reduce CO<sub>2</sub> emissions, to address environmental problems. Reduction of CO<sub>2</sub> emissions through reduction of consumed fuel is an important issue for industrial furnaces. The regenerative burner system can be cited as a representative example of existing energy-conservation initiatives. However, while the regenerative burner system is expected to have a large energy-saving effect, it has many problems, such as high initial cost and high maintenance load. On the contrary, the development concept of DINCS is that it should have high energy-saving performance, but small maintenance load and easy introduction. These are realized by using silicon carbide with high thermal conductivity and thermal shock resistance, a complicated shape made by 3D printing, and a simple system configuration similar to the conventional system. As a result of verification using actual production equipment, energy conservation of about 10 % could be realized.

**1. はじめに**

近年、環境問題に配慮したCO<sub>2</sub>排出量削減への取り組みを背景に、消費燃料の削減は工業炉にとって重要な課題となっている。既存の省エネへのとりくみの代表例としてリジェネレイティブバーナシステムが挙げられる。しかし、リジェネレイティブバーナシステムは大きな省エネ効果が期待できる半面、高いイニシャルコストやメンテナンス負荷が増大するなどの多くの問題を抱えている。そのような中、シンプルで高効率な省エネ機器の登場に期待が高まっている。本稿では、大同特殊鋼(株) (以下、当社という)が、仏国 SaintGobain 社 (旧米国 SpinWorks 社) と共同開発した高効率燃焼システム「DINCS」を紹介する。

**2. 従来の燃焼システム**

Fig. 1 に従来のラジアントチューブバーナシステムであるパーキュレータ<sup>®</sup> (当社商品名) システムを示す。炉内雰囲気清浄に保ったまま加熱を行うための、ラジアントチューブと呼ばれる耐熱鋳鋼製の管内でバーナを燃焼させる。発生した燃焼排ガスは排気側に設置したパーキュレータ<sup>®</sup> (当社が開発した高性能なレキュベレータ) を介し、燃焼空気と熱交換を行う。Fig. 2 にパーキュレータ<sup>®</sup> の外観を示す。パーキュレータ<sup>®</sup> は、通気性固体である大同パームとレキュベレータを組み合わせたものである。燃焼排ガスが大同パームを通過する際、ガスの顕熱が放射熱に変換され、炉内および燃焼空気への放射伝熱を促進することを特徴とする。有効熱量

2018年3月29日 受付

\* 大同特殊鋼(株)機械事業部 (Machinery Division, Daido Steel Co., Ltd.)

割合すなわちバーナ燃焼熱量に対する炉内への伝達熱量の割合を Eq. 1, 省エネ率を Eq. 2 で定義すると, パーキュレータ<sup>®</sup>の設置による冷風バーナを基準とした省エネ率は23%に達し<sup>1)</sup>, たかだか18%程度の一般的なレキュペレータ<sup>2)</sup>を大きく上回る. これが当社が従来標準的に採用している排熱回収システムである.

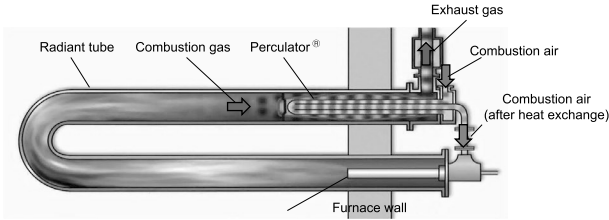


Fig. 1. Perculator<sup>®</sup> System.



Fig. 2. Perculator<sup>®</sup> photograph.

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_c} \times 100$$

$$= \frac{Q_c - Q_e}{Q_c} \times 100$$

$\eta$ : Efficiency of system %  
 $Q_c$ : Combustion rate of burner J/h  
 $Q_n$ : Net heat quantity J/h  
 $Q_e$ : Sensible heat of exhaust gas J/h

Eq. 1. Efficiency of system.

$$\delta = \frac{\eta_s - \eta_b}{\eta_s} \times 100$$

$\delta$ : Energy saving rate %  
 $\eta_s$ : Efficiency of energy saving system %  
 $\eta_b$ : Efficiency of basic system %

Eq. 2. Energy saving rate.

### 3. DINCSの紹介

#### 3. 1 DINCSの開発コンセプト

「DINCS」は「Daido Innovative Neo Combustion System」の頭文字とったもので文字通り従来の殻を破った, 革新的で新しい高効率燃焼システムである. DINCS 開発のコンセプトを以下に示す.

- 1) リジェネレイティブバーナシステムに肉薄する省エネ性能
- 2) メンテナンス負荷の小さいシンプルなシステム構成
- 3) 従来バーナシステムとの高い互換性

リジェネバーナレイティブシステムが既存の数ある燃焼システムの中でも最も優れた省エネ性能を誇ることは周知の事実である. DINCS 開発コンセプトのひとつは, これに勝るとも劣らない省エネ性能を有するシステムを開発することである. また従来のバーナシステム同様のシンプルなシステム構成を保つこと, すなわち従来のバーナシステムよりメンテナンス負荷が大きくなること, 加えて従来のバーナシステムとの互換性を重視し, 現行の設備に容易に適用可能であることを開発コンセプトとした.

Fig. 3 に DINCS のシステム構成を示す. DINCS を構成する要素はバーナ, 高放射材, 高効率熱交換器の3つに大別される. Fig. 1 に示した従来のバーナ (パーキュレータ<sup>®</sup>) システム構成からの変更点は熱交換器の形状と高放射材の追加に留め, DINCS はシンプルなシステム構成を継承している. 高放射材と高効率熱交換器がラジアントチューブ排気側に内蔵されているため, 外部取り付けタイプの熱交換器と比較して放熱によるロスが非常に少ない. またバーナについてはパイロットバーナを含め, 従来のものを流用できるよう配慮した.

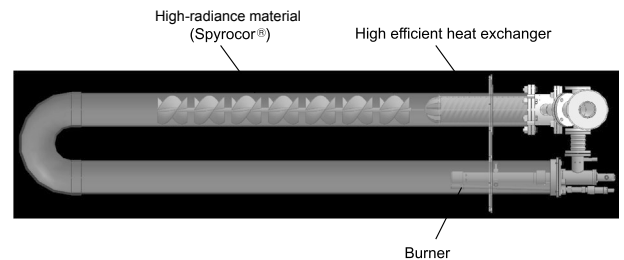


Fig. 3. DINCS configuration.

### 3. 2 高放射材について

Fig. 4 に DINCS を構成する要素の一つである高放射材 (スパイロコア<sup>®</sup>) の外観を示す。スパイロコア<sup>®</sup> の特徴は炭化けい素を素材としていることで、高放射性質を有している点である。この性質により、ラジアントチューブバーナの排気側に設置することで、排ガス顕熱をチューブ側に輻射伝達し、従来のシステムと比較して排ガス顕熱として系外に捨てていた熱を効率的に炉内に伝達することを可能とする。また、高い熱衝撃性も有しているため、急激な温度変化があっても破損の心配が少なくメンテナンスもほとんど必要としない。



Fig. 4. High-radiance material photograph.

### 3. 3 高効率熱交換器について

DINCS を構成する要素の一つである高効率熱交換器はラジアントチューブ排気側に設置するパーキュレータ<sup>®</sup>に置き換わる熱交換器で、排ガスと燃焼空気との熱交換により、排ガス顕熱を回収するという機能はパーキュレータ<sup>®</sup>と同じである。

高効率熱交換器の設計コンセプトは以下の通りである。

#### 3. 3. 1 高効率熱交換器構造

Fig. 5 に高効率熱交換器の構造イメージを示す。青色の矢印は熱交換前の燃焼空気の流れを、黄色の矢印は燃焼排ガスの流れを示す。紫色、赤色の矢印は、青色の矢印で示す燃焼空気が燃焼排ガスと熱交換するに伴い、温度が上昇していくことを表す。燃焼空気と燃焼排ガスは螺旋状の熱交換エリアを対向流で通過し、その際に隔壁を介して熱交換を行う。3D プリンティングで製作することにより、高効率熱交換器は従来の加工法では製作困難であった複雑な形状を実現している。そのためコンパクトでありながら、広い熱交換面積、螺旋流による高い熱伝達率およびリーズナブルな圧力損失を兼ね備える熱交換器として理想的な形状となっている。さらに、向流式熱交換器であるため、熱交換後の空気が熱交換後の排ガスより高温となるのが可能である。実物は Fig. 6 に示すような外観をしている。

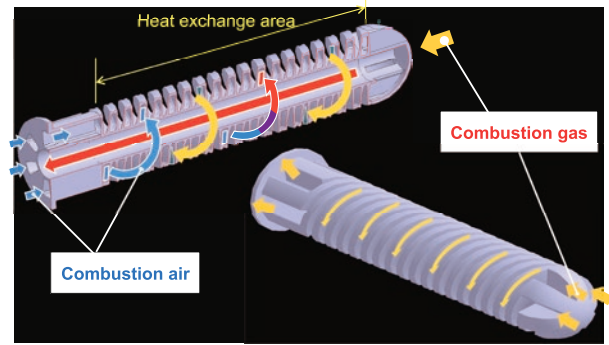


Fig. 5. High-efficiency heat exchanger structure.



Fig. 6. High-efficiency heat exchanger photograph.

#### 3. 3. 2 高効率熱交換器材質

高効率熱交換器の材質は、スパイロコア<sup>®</sup>と同じく炭化けい素である。炭化けい素が有する高い熱伝導率が高効率な熱交換を可能としている。また、高い熱衝撃性を有しているため、熱衝撃により破損することもなく、メンテナンスをほとんど必要としないという点もスパイロコア<sup>®</sup>と同様である。

#### 3. 3. 3 互換性

Fig. 7 にパーキュレータ<sup>®</sup>システムおよび DINCS における外観イメージを示す。DINCS は燃焼空気導入用、バーナとの接続用、ラジアントチューブへの接続用フランジの位置関係がパーキュレータ<sup>®</sup>システムと同じとなるよう配慮している。そのためバーナ、燃焼空気配管、ラジアントチューブは現行設備のものをそのまま流用することができる。また 3. 3. 1 項記載のように圧力損失もパーキュレータ<sup>®</sup>と大きく変わらないため、燃焼送風機も現行設備を流用可能である。すなわち、既設バーナに DINCS を導入する場合においてもラジアントチューブ排気側の熱交換器交換および排気ダクト管の交換以外の工事が不要であることを意味する。

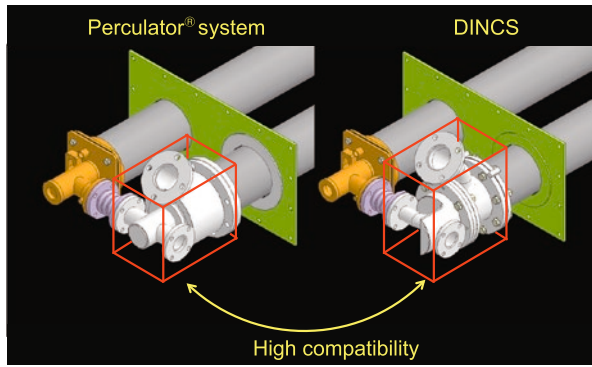


Fig. 7. System compatibility.

## 4. 性能試験

社内テスト炉にて DINCS の有効熱量割合および省エネ率を測定する試験を行った。

### 4. 1 試験条件

Fig. 8 に試験を行った燃焼システムの簡略図を示す。燃料ガスはプロパンを使用し、バーナ燃焼量を定格燃焼、空気比を 1.1 とし、炉温変化に対する予熱空気温度、系外へ排出される排ガス温度の測定を行った。

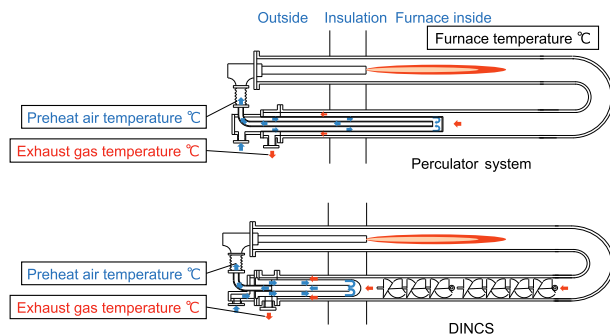


Fig. 8. Test system outline.

### 4. 2 排ガス温度測定結果

Fig. 9 に排ガス温度の測定結果を示す。横軸を炉温、縦軸を排ガス温度とし、各燃焼システムの測定結果をプロットしたものである。紫色線がパーキュレータ®システム、赤色が DINCS を示す。また参考として青色で冷風バーナ（熱交換器を設置していないバーナ）、緑色で一般的なレキュペレータの値を示す。2項で定義したように、バーナ燃焼熱量のうち、系外に排出された排ガス顕熱以外の熱量が効果的に炉内に伝わったと仮定すると、排ガスの温度が低いということはすなわちバーナ燃焼熱量がより効率的に炉内に伝わっていることを意味する。パーキュレータ®システムでも一般的なレキュペレータ

と比較すると排ガス温度が低くなるが、DINCS はそれよりも更に低い排ガス温度となる。鋼の球状化焼鈍において代表温度である炉温 750 °C にて比較すると、パーキュレータ®システムの排ガス温度が 479 °C であるのに対し、DINCS では 383 °C と、100 °C 近く低下していることが分かる。

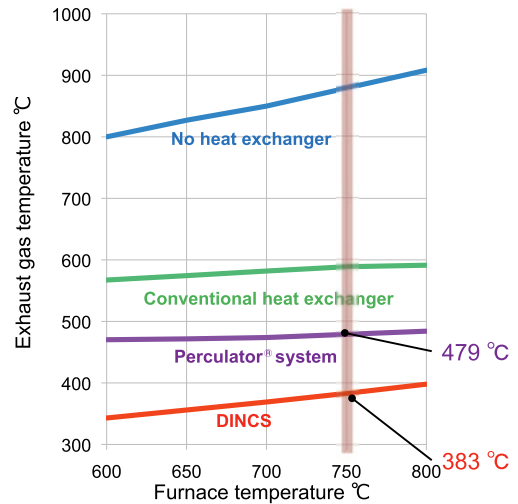


Fig. 9. Furnace temperature °C—Exhaust gas temperature °C.

### 4. 3 予熱空気温度測定結果

Fig. 10 に予熱空気温度の測定結果を示す。横軸を炉温、縦軸を予熱空気温度とし、各燃焼システムの測定結果をプロットしたものである。鋼の球状化焼鈍において代表温度である炉温 750 °C にて比較すると、パーキュレータ®システムの予熱空気温度が 408 °C であるのに対し、DINCS では 523 °C と、100 °C 以上上昇している。4. 2 項の排ガス温度測定結果と合わせると DINCS の熱交換器が高効率な熱交換を行っていることが分かる。

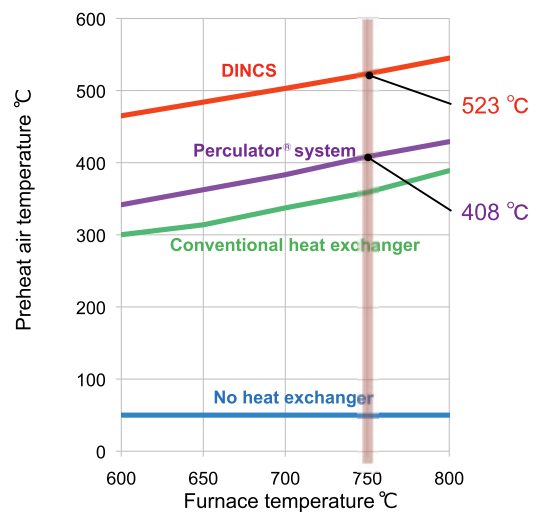


Fig. 10. Furnace temperature °C—Preheat air temperature °C.

### 4. 4 有効熱量割合の比較

Fig. 11 に各燃焼システムの有効熱量割合を示す。横軸を炉温、縦軸を有効熱量割合とし、各燃焼システムの測定結果をプロットしたものである。これは2項で示した有効熱量割合の定義式 (Eq. 1) および4. 2項の排ガス温度測定結果から算出されたものである。また参考としてリジェネレイティブバーナシステムの値を黄色の線で示す。DINCS が高い有効熱量割合を有しており、リジェネレイティブバーナシステムに肉薄する性能であることを示している。

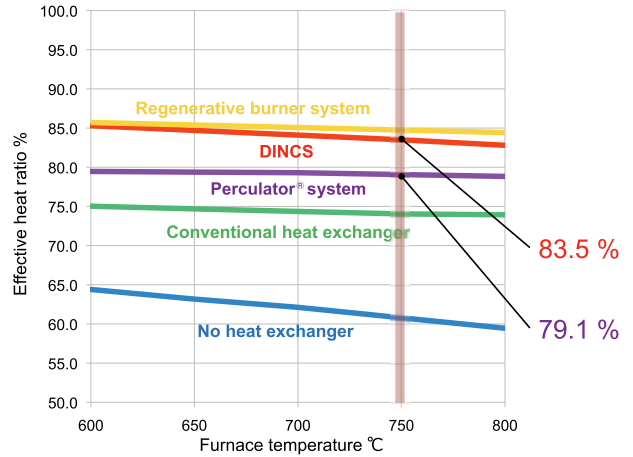


Fig. 11. Furnace temperature °C – Effective heat ratio %.

### 4. 5 省エネ率の比較

Fig. 12 に冷風バーナを基準とした各燃焼システムの省エネ率を示す。横軸を炉温、縦軸を省エネ率とし、各燃焼システムの測定結果をプロットしたものである。これは2項で示した省エネ率の定義式 (Eq. 2) および4. 3項の有効熱量割合から算出したものである。また参考としてリジェネレイティブバーナシステムの値を黄色の線で示す。同じく鋼の球状化焼鈍において代表温度である炉温 750 °Cにて比較すると、パーキュレータ®システムが 23.1 % と一般的なレキュペレータと比較すると高い省エネ性能を示しているが、DINCS はそれを更に上回り、27.2 % とリジェネレイティブバーナシステムに肉薄する省エネ性能を示している。

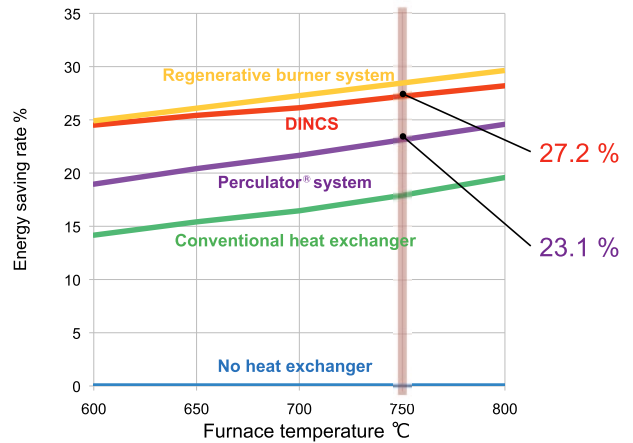


Fig. 12. Furnace temperature °C – Energy Saving rate % (Based on No heat exchanger).

## 5. 実生産設備への適用

4項の社内試験を経たのち、当社ユーザーの協力を得て、実生産設備にDINCSを導入し、実生産における省エネ性能評価を目的として燃料ガス原単位の変化を計測した。

### 5. 1 適用対象炉

Fig. 13 にDINCS設置対象とする実生産設備のイメージを示す。線材コイルの焼鈍を目的としたローラハウス式バッチ炉で、1チャージの処理重量は24 t/ch、ラジアントチューブバーナを24式有している。この24式のラジアントチューブバーナ全てがパーキュレータ®システムであった既設炉に対して、24式全てをDINCSとする改造を行った。

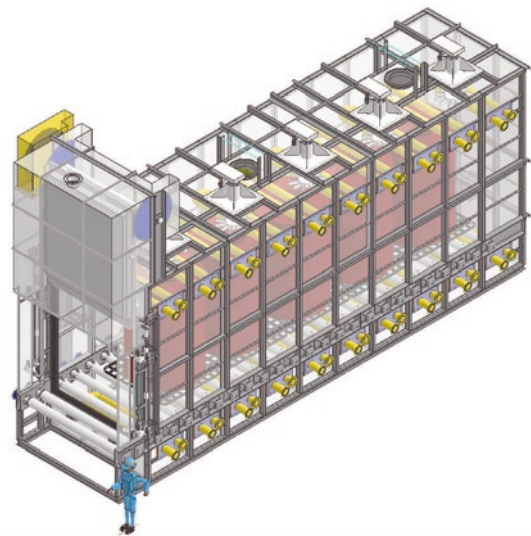


Fig. 13. Production furnace outline.



## 5. 2 実生産設備での燃料ガス原単位

Fig. 14 に DINCS 導入前後の燃料ガス原単位を示す。縦軸を燃料ガス原単位とし、青色のグラフがパーキュレータ<sup>®</sup>システムの、赤色のグラフがDINCSの値を表す。それぞれの値はDINCS設置前後の40日間の燃料ガス原単位である。パーキュレータ<sup>®</sup>システム使用時の燃料ガス原単位が $34.03 \text{ m}^3\text{N/t}$ であるのに対し、DINCS適用時には $30.56 \text{ m}^3\text{N/t}$ と、10.2%の省エネ効果が得られたことが分かる。当然、燃料ガス原単位はヒートパターンや燃焼コンディション、処理材・ステム質量などにより大きく左右されるため、あくまで参考例とはなるものの、球状化焼鈍のように比較的高温の処理を行うバッチ炉において $30.56 \text{ m}^3\text{N/t}$ という燃料ガス原単位は絶対値として非常に優秀な値であるといえる。

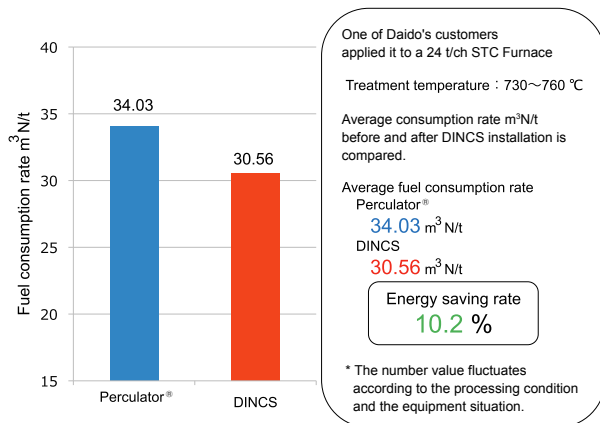


Fig. 14. Performance test on a production furnace.

(文献)

- 1) 大同特殊鋼(株), PERCULATOR Patent No.1430517
- 2) 仲町一郎: 工業炉の基礎講座 燃焼及び燃焼機器(その4) 省エネルギー技術(2008)



神谷祐樹

## 6. おわりに

本稿で紹介した新型省エネバーナシステム「DINCS」は、リジェネレイティブバーナシステムに肉薄する省エネ性能を有し、なおかつ従来の熱交換器システムと変わらないシンプルな構造と良好なメンテナンス性を保持している。また当社のバッチ式焼鈍炉「STC<sup>®</sup>炉」のみならず連続式焼鈍炉などのラジアントチューブにも容易に適用可能な燃焼システムである。