

## 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉の開発

### Development of Energy-Savings Type High-Performance Continuous Carburizing Furnace

南口雅紀 M. MINAMIGUCHI 斎藤敏和 T. SAITOU

Koyo Thermo Systems Co.,ltd. and JTEKT Corporation have jointly developed an energy-savings type high-performance continuous carburizing furnace with the aim of achieving energy conservation and high functionality. Regarding energy savings, measures to reduce the amount of heat energy dispersed from various furnaces areas (frame surface, inner passageways), and in regard to improved functionality, flow speed within the furnace was improved by studying an optimal inner structure utilizing a 3D fluid simulator, and by adopting a new temperature control method (multi-control), variations in in-furnace temperatures and ambient concentrations were reduced. These measures resulted in the following advantages over conventional furnaces.

**Key Words:** carburizing, continuous carburizing furnace, energy saving, productivity improvement, high performance

#### 1. はじめに

近年、中国・インドなどの新興国の発展に伴うエネルギー問題や、世界サミットで主要テーマとして取り上げられている地球温暖化などの環境問題に対して、世界的な関心が高まりつつある。この情勢の中、当社を含め製造メーカーの使命は、来るべき低炭素化社会の実現に向けて、従来の化石燃料に替わるクリーンエネルギーの開発や消費エネルギーの削減にある。

これらに対応するため、当社でも各工程でさまざまな取り組みを実施している。その中でも熱処理工程、特に浸炭処理での消費エネルギーが大きな割合を占めており、対応が必要である。この浸炭処理は一般的な表面硬化熱処理方法であり、国内外で広く導入されている最も成熟した熱処理の1つであるが、その一方、高温長時間処理での消費エネルギーが多いなど解決しなければならない課題も多い。

本報では、これらの課題克服のために、徹底した省エネルギー化と高性能化による熱処理リードタイム短縮を狙いに、光洋サーモシステム株式会社と当社で共同開発した、省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉について紹介する。

#### 2. 開発炉の概要

浸炭処理の主力設備として使用されている連続タイプのガス浸炭炉は、最も消費エネルギーが多く、省エネルギー化や熱処理リードタイムの短縮が実現すれば大きな効果が期待できる。この連続ガス浸炭炉を対象として、省エネルギーかつ高性能な連続ガス浸炭炉を開発した。この開発炉の外観を図1に、概略構造を図2に、基本仕様を表1に示す。



図1 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉の外観  
Appearance of energy-savings-type-high-performance continuous carburizing furnace

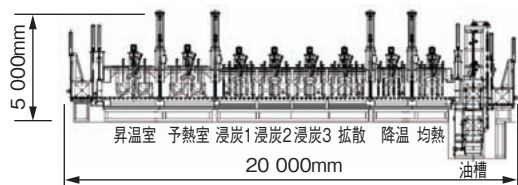


図2 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉の概略  
Outline drawing of energy-savings-type-high-performance continuous carburizing furnace

表1 基本仕様  
A basic specification

有効寸法	幅 610mm × 長さ 8 540mm × 高さ 610mm	
加熱源	昇温室	W タイプリジエネガスバーナ
	浸炭室～	電気抵抗加熱 (最高使用温度 980℃)
搬送方式	ローラ	
最大装入質量	250kg/ トレイ	

### 3. 開発内容

#### 3.1 省エネルギー化

浸炭処理で消費されるエネルギーとしては、熱処理炉の放散熱と蓄熱に消費される炉体放散熱量、工作物と治具、および雰囲気ガスを浸炭温度まで加熱させる昇温エネルギー、大気雰囲気から工作物を保護する役割の雰囲気ガス量とに分別される。図3は従来炉における消費エネルギーの内訳比率を示す。

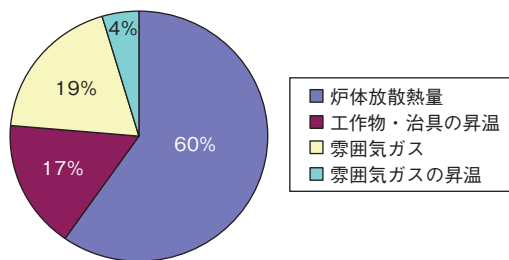


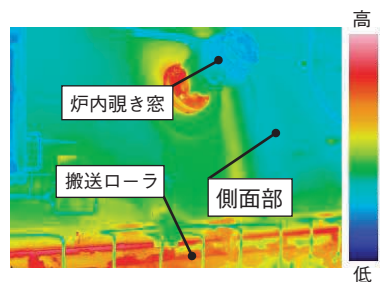
図3 消費エネルギーの内訳比率  
Each energy consumption ratio

これらのうちで、炉体放散熱量の消費エネルギーが最も大きく全体の60%を占めている。この炉体放散熱量は、工作物の浸炭に全く寄与しないエネルギーであり無駄なエネルギーの1つである。これをいかに抑えるかが重要な課題である。

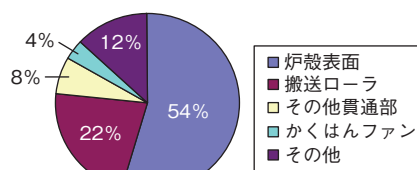
##### 3.1.1 現状調査と方向付け

まず現状把握のため開発炉と同タイプの従来炉の炉体放散熱量を調査した。調査方法については、炉稼動時の使用電力量およびガス消費量を測定し全体のエネルギー

消費量を算出した。また、炉体各部の表面温度を接触温度計および放射温度計により実測することで、部位単位別に詳細な炉体放散熱量を算出した(図4)。



(a) 放射温度測定結果 (炉体側面部例)



(b) 炉体放散熱量内訳

図4 従来炉の炉体温度測定結果

Temperature measurement result of conventional furnace body

この結果より、炉殻表面と搬送ローラで放散熱が特に大きいことが判明し、それらを重点的に対策した。

##### 3.1.2 対策内容

放散熱量の削減対策として、炉殻表面と搬送ローラについて以下に紹介する。

###### 1) 炉殻表面

炉殻表面の放散熱量を削減するためには、炉内断熱層の放散熱量を減少させることが必要である。図5に開発炉と従来炉の断熱材構成の比較を示す。

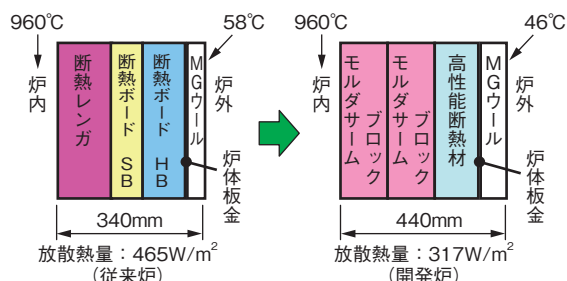


図5 断熱材構成および放散熱量の新旧比較

Comparison developed with conventional about heat insulation structure and heat loss of radiation

開発炉の断熱材構成の特徴は、高断熱かつ軽量の低蓄熱性に優れた光洋サーモシステム株式会社製のモルダサ

ーム（セラミックファイバー）ブロックと高性能断熱材の採用である。この結果、従来のレンガによる断熱材構成よりも放散熱量を30%削減できた。また、外部への熱伝導を極力少なくするために、断熱材を固定するスタッドピンの本数を削減するなどの設計を見直した。このような炉内断熱材構成の見直しに加え、従来から使用のMGウール断熱材による炉殻表面の保温も併せて実施している。

2) 搬送ローラ

炉殻表面に次いで放散熱量が多い箇所は搬送ローラである(図4)。搬送ローラにおける熱伝導を考えた場合、炉内から搬送ローラの軸部を伝わり外部へ熱が放散することが問題である。そこで開発炉では、軸部に従来よりも熱伝導率の低い材料を選定するとともに軸受部周辺の断熱を強化することで軸端部からの放熱を防ぐ構造とした。

今回実施した搬送ローラ部構造の概略を図6に示す。また、熱解析による効果検討結果を図7に示す。

本構造の採用によって軸端温度が従来炉よりも低く抑えられていることが確認できる。

3.1.3 炉体放散熱削減効果

前項は炉体放散熱削減の具体策の一例であり、他にも炉内かくはんファンベアリングの冷却方式変更(空冷仕様)や炉内貫通部の断熱強化など徹底的な対策を行った。

これらの削減対策によって得られた効果を図8に示す。

開発炉では従来炉と比較して34%の炉体放散熱量を削減できた。また、CO<sub>2</sub>排出量も37%削減でき、省エネルギー面でも大きな効果を得ることができた。

3.2 高性能化による熱処理リードタイムの短縮

重要課題の1つである熱処理リードタイムの短縮については当社でもさまざまな取り組みを実施してきた。すでに量産展開している高温浸炭、高濃度CO ガスを使用した高速浸炭などでは大きな効果を得ており、熱処理リードタイムの短縮だけでなく低コスト化にも大きく貢献している。さらに今回は、炉内温度・雰囲気濃度のばらつきに着目した。現在の浸炭処理は工作物を治具に積載し、一括して処理するロット処理が一般的である。このロット内での炉内温度・雰囲気濃度のばらつきが表面炭素濃度や有効硬化層深さなどの熱処理品質のばらつきに影響を及ぼす。したがって、昇温および浸炭拡散期での

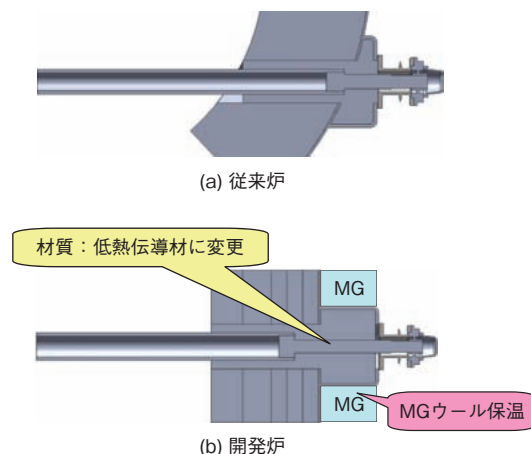


図6 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉の搬送ローラ断熱対策の概略

Summary of heat insulation measures of transportation roller in energy-savings-type-high-performance continuous carburizing furnace

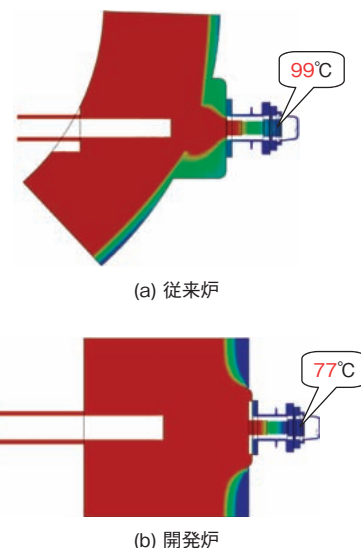


図7 熱解析による搬送ローラ軸端部周辺の温度分布の比較

Temperature distribution comparison around transportation roller axis edges by heat analysis

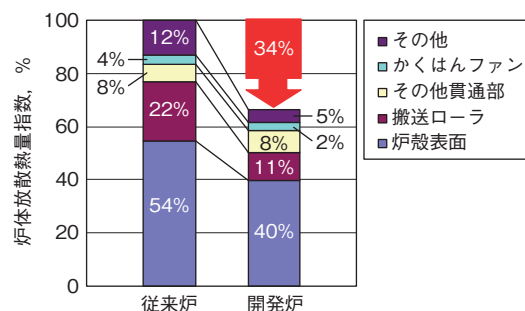


図8 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉と従来炉の各炉体放散熱比較

Breakdown of heat radiation comparison between energy-savings-type-high-performance continuous carburizing furnace and conventional one

炉内温度・雰囲気濃度のばらつきを小さくすることができれば、有効硬化層深さを狙い通りに設定することが可能となり、熱処理リードタイム短縮の効果が期待できる(図9)。

### 3.2.1 炉内構造の解析

炉内温度・雰囲気濃度のばらつきを小さくするためにはいかに炉内のガス流速を早め、かつ均一にするかが課題である。この課題を対策するために、既知の要素技術(炉内かくはんファン的高速回転化など)を参考に三次元流体シミュレーションを活用し、最適な炉内構造を検討した。図10に開発炉および従来炉のガス流速分布比較を示すが、開発炉は従来炉よりも炉内ガスを積極的に循環していることが確認できる。

この三次元流体シミュレーションによって得られた結果は次の通りである。

- (1) 炉殻形状は丸型よりも角型の方がガスの流れがよい。
- (2) 炉床部にスキッドレールやチェーンブロックの付帯物があるとガスの流れを阻害する。

(3) 炉天井部に整流板を取り付けることで炉内流速の向上への効果は大きい。

(4) ガス流れを積極的に早めるには、炉内かくはんファンの最適形状の見極め、大口径化、および高速回転化が有効である。

これらの結果を検証するために開発炉での炉内風速を実測した(図11)。

図11には参考として開発炉と同タイプの従来炉(炉殻、ファン形状が異なる)で測定したときの結果も併せて示した。実測の結果、同一回転速度の場合、平均風速は開発炉の方が従来炉よりも2倍、ファン回転速度を1000min<sup>-1</sup>へ上げるとおよそ4倍に向上することが確認された。

### 3.2.2 温度制御の改善

前項では炉内構造を最適化することでガス流れを改善したが、さらに温度ばらつきを小さくするために温度制御についても検討した。今回のような連続タイプのガス浸炭炉では、隣り合うゾーンで炉内温度が異なる箇所が

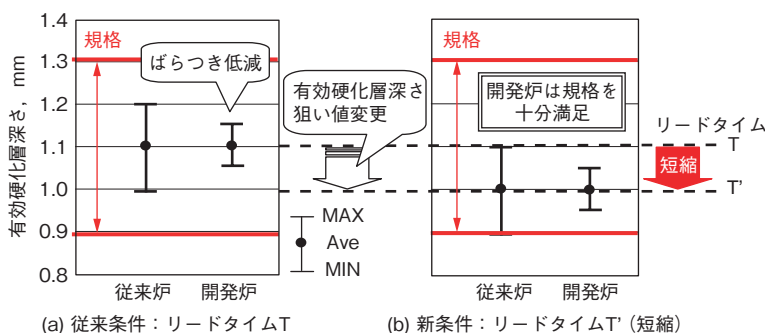


図9 有効硬化層深さ狙い値変更による熱処理リードタイム短縮化  
Shortening of lead time in heat treatment by changing target of effective case depth

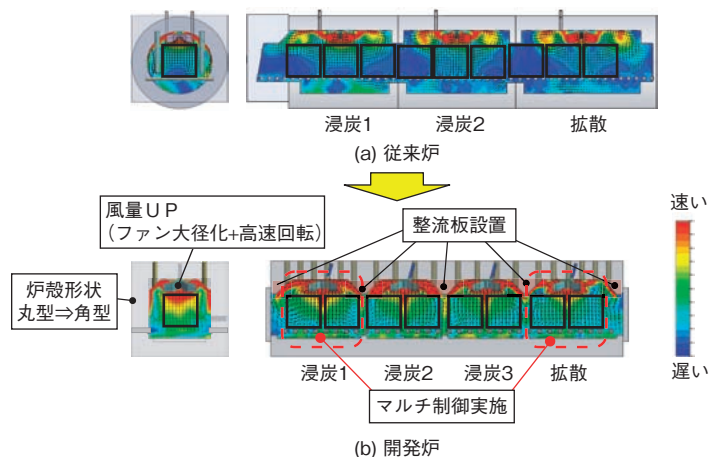


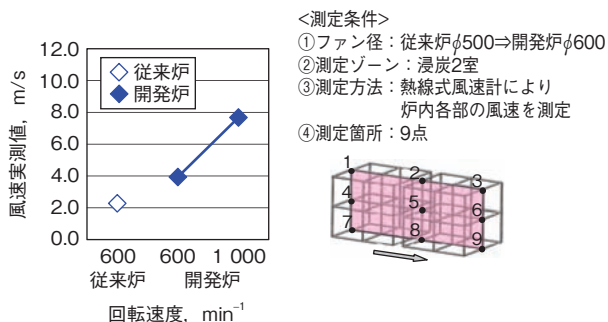
図10 三次元流体シミュレーションによる各炉の炉内流速分布解析  
Gas flow velocity distribution analysis in each furnace by three-dimensional fluid simulation

存在（予熱室と浸炭1室，拡散室と降温室および降温室と均熱室）しており，その箇所での温度ばらつきが大きいことが分かっている．このようなゾーンは扉を設けて相互の温度干渉を極力減らすようにしているがそれだけではばらつきは十分に抑えられていない．そこで，1室につき1系統で温度管理する従来の制御方法に対し，開発炉では1室を2系統に分けて制御するマルチ制御を考案し，適用した．開発炉では，特に温度差が生じやすいゾーンである浸炭1室と拡散室および均熱室にこの制御を採用した．**図12**は従来制御とマルチ制御とで温度制御に有意差があるかどうか実際に開発炉にて検証した結果を示す．

ロット内9点の温度を測定し，その温度ばらつきRを比較した．処理室によって効果に差はあるが，いずれの処理室においてもマルチ制御をすることにより，温度ばらつきが低減できていることを確認した．

### 3.2.3 炉内温度分布結果

開発炉では **3.2.1** と **3.2.2** 項より得られた最適な炉



**図11** 炉内かくはんファン回転速度変更時における炉内風速平均値（空炉時）

Average wind velocity in furnace when rotational speed of furnace agitation fan is changed (when vacant in furnace)

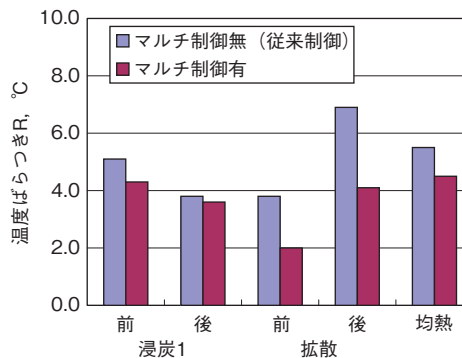
内構造と温度制御を新規に採用し，実機で炉内温度分布を測定した．その結果を**図13**に示す．

**図13**では開発炉と従来炉の浸炭1から拡散室での炉内温度分布を比較した．従来炉の浸炭室内温度の最大ばらつき幅±6.5℃に対し開発炉の最大ばらつき幅は±2.4℃となり，従来の1/2以下に改善された．

## 4. 開発炉による量産効果

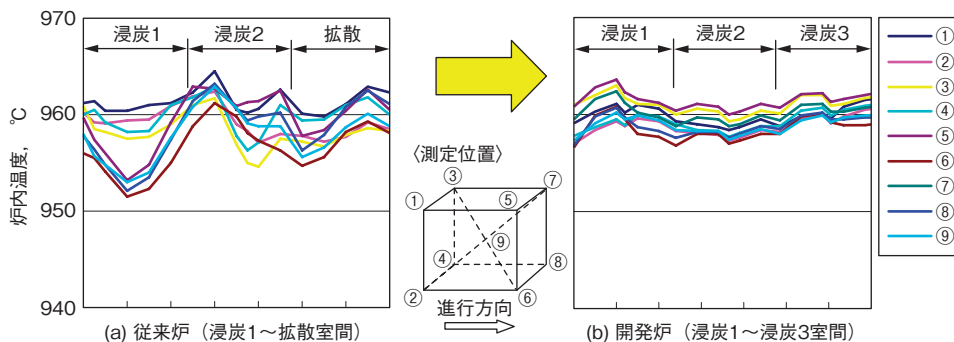
開発炉の本設備はすでに量産稼動しており，その効果は従来炉と比較してエネルギーコストで26%の削減効果が得られている（**図14**）．

熱処理品質面では，表面炭素濃度において従来炉でのばらつきが±0.10%に対し，開発炉では±0.04%となり，炉内温度のばらつき同様1/2以下に削減できた．有効硬化層深さについては現在評価中ではあるが，ばらつき低減効果は十分に得られており（**図15**），さらに5～10%の熱処理リードタイムの短縮が可能である．



**図12** マルチ制御有無による各ゾーンでの温度ばらつき比較

Comparison between temperature multi-control and conventional one by temperature dispersion at each zone



**図13** 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉と従来炉の浸炭室温度分布の比較

Temperature distribution at carburizing zone comparison between energy-savings-type-high-performance continuous carburizing furnace and conventional furnace

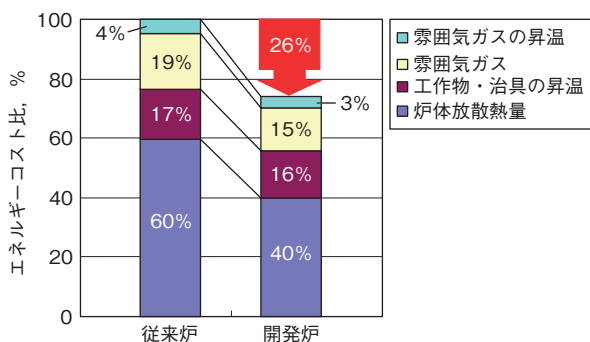
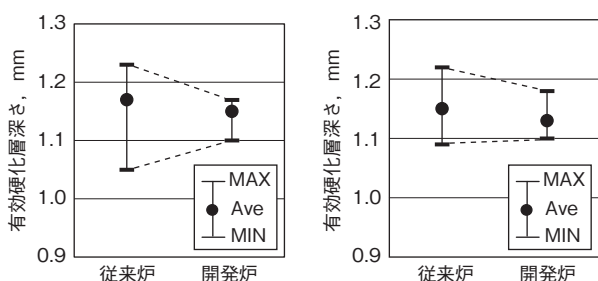


図14 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉と従来炉のエネルギーコスト比較

Energy cost comparison between energy-savings-type-high-performance continuous carburizing furnace and conventional one



(a) 外径φ45円筒リング(肉厚5mm) (b) 外径φ65円筒リング(肉厚4mm)

図15 省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉と従来炉の有効硬化層深さばらつき比較

Comparison of dispersion of effective case depth between energy-savings-type-high-performance continuous carburizing furnace and conventional one

また、量産稼動において、これらの効果が十分に発揮されているかどうかを確認するためにCO<sub>2</sub>モニタシステム(図16)を新規に導入した。

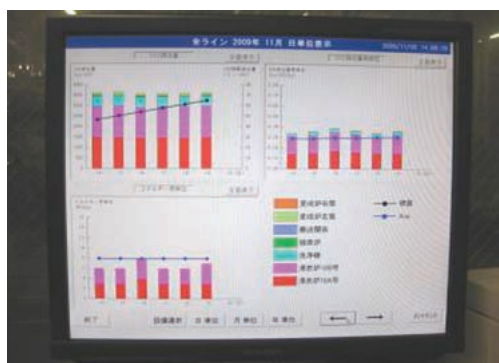


図16 CO<sub>2</sub>モニタシステム  
CO<sub>2</sub> monitor system

このモニタシステムは、各設備のガスと電力の消費量をモニタし、毎日CO<sub>2</sub>排出量を自動換算して、即時に、見える化できる。これにより、毎日のCO<sub>2</sub>排出量の増減を管理し効率良く稼働できているかどうかの確認と設備の突発的異常の早期発見の手助けになることを期待している。

## 5. おわりに

今回、省エネルギーと生産性向上への取組み事例の1つとして光洋サーモシステム株式会社と共同で開発した省エネルギータイプ高性能連続ガス浸炭炉を紹介した。前章で紹介したように実際の量産ラインへの適用で大きな効果を示しており、今後の連続浸炭炉の標準となることを期待している。また、今回の開発で得られた知見を既存設備にも横展開するとともに、さらなる革新設備および革新工法の開発を推進して地球環境保護と熱処理技術の向上に貢献していきたい。

## 参考文献

- 1) 宗 真臣：省エネルギーのための連続高速浸炭焼入れ炉の開発, Koyo Engineering Journal, no. 162(2002) 22.
- 2) 南口雅紀, 高 在学：高性能連続ガス浸炭炉の開発, 工業加熱, vol. 47, no. 4(2010)1.

## 筆者



南口雅紀\*

M. MINAMIGUCHI



斎藤敏和\*\*

T. SAITOU

\* 光洋サーモシステム株式会社 商品開発部

\*\* 生技・生産・物流部門 生産技術開発部