



ORIST

## 浸炭における新しい雰囲気制御法の提案

キーワード：浸炭、制御、大気汚染防止、省エネルギー、省資源、炭素濃度分布

### 概要

これまでの浸炭法では大気汚染対策や省エネルギー・省資源はどちらかと言えば二次的な問題として取り残されてきました。しかしながら最近の環境保護や資源問題に対する関心の高まりを背景として、これまでの主流であったガス浸炭法に対して、その改良やプロセスそのものが根本的に異なった浸炭法の出現が強く求められています。本研究では上記課題に対処するため、あらゆる方式の浸炭に適用できる解析モデルを考案し、その解析結果を制御機器と連結させ、炭素濃度分布を監視指標としたリアルタイム制御システムを構築することと、新しい浸炭プロセスの開発や処理パターンを改良する際の支援システムを確立することを視野に置いています。ここではRXガス浸炭法への応用例を紹介します。

### 現在のガス浸炭法における問題点の背景

これまでの浸炭法では、例えば、0.8 mass%の  $C_p$  値をもった雰囲気中で加熱・保持すると、いつかは鋼の表面炭素濃度が 0.8 mass% で内部に向かって漸減する濃度分布が得られるという考え方に基づいています(図 1 参照)。具体的には、まず炭化水素系ガスと空気を混合したものを変成炉で  $CO$ 、 $H_2$ 、 $N_2$  を主とするベース雰囲気(RX ガス)に変成し、それを別の浸炭炉に搬送し、エンリッチ・ガスを加えて所定の浸炭能力(カーボン・ポテンシャル:  $C_p$ )を有した雰囲気を構成させます。この  $C_p$  を所定値に維持するために、浸炭反応によって発生した酸化性ガスをエンリッチ・ガスで浸炭性ガスに再生するわけですが、その際、エンリッチ・ガスとの反応により炉内ガスの体積が増量しますので、余分な炉内ガスを燃焼・廃棄しなくてはなりません。また  $C_p$  は微量な酸素によって大きく変動しますので、大気が炉内

に侵入するのを防ぐため、材料挿入扉などの隙間から炉内ガスを噴出・燃焼させています。このようなプロセス原理上、大量のエネルギーや原料ガスを無駄に消費しており、某企業の試算によると鋼へ侵入する炭素は原料ガスの 1 割にも満たないと言われています。

### 浸炭挙動を表す解析モデル

鋼中の炭素の拡散現象は次式で表されます。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (1)$$

ここで  $C$  は炭素濃度、 $t$  は浸炭時間、 $D$  は鋼中における炭素の拡散係数です。

この式を解くには鋼と雰囲気との境界での反応挙動を知らなくてはなりません、本質的には次の表現で与えられます。

$$-D \frac{\partial C}{\partial x} = F \quad (2)$$

$F$  は炭素が雰囲気から鋼中へ流入する速度ですが、浸炭プロセスが異なるということは  $F$  の表現が異なるということにほかなりません。

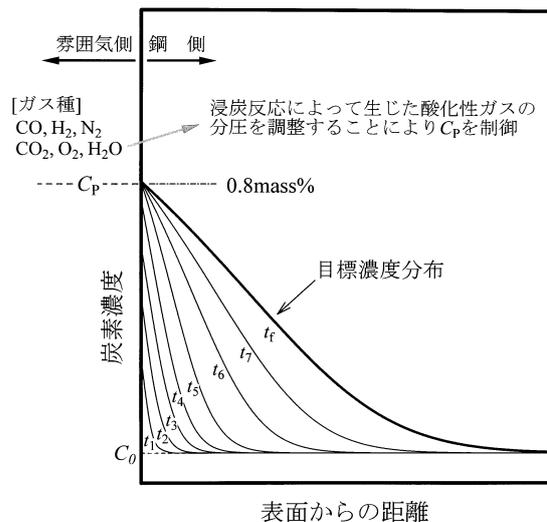


図1 現在のガス浸炭における炭素濃度分布の制御方法

## 実用性に対する検証

従来法と本解析法との実用性を比較、検討するために、マッフル構造の箱形バッチ式生産用炉を用い、ブタン変成のRXガスによって行った浸炭に対する解析事例を紹介いたします。

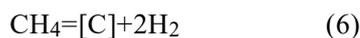
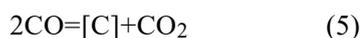
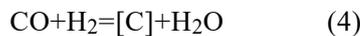
ガス浸炭における $F$ について、従来の多くは次のような形で与えています。

$$F = \beta \rho (C_p - C_s) \quad (3)$$

$C_s$ は鋼の表面炭素濃度、 $\beta$ は有効反応速度定数、 $\rho$ は鋼の密度です。図2の破線は式(3)を境界条件として炭素濃度分布を解析した結果です。 $\beta$ の推奨値は $2 \times 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ですが、炉内雰囲気の流れ状態に応じて $\pm 2$ 桁のオーダーで変化するとされています。しかしその範囲はあまりにも広く、計算値は実測値と大きく相違しています。またこの解析法は雰囲気変動を利用した新プロセス法の開発にはまったく寄与できません。さらに雰囲気組成における不測の変動に対する対応も不可能です。

これに対して、本研究では雰囲気組成を境界条件に組み入れることによって雰囲気変動にも追従可能な解析法を検討しています。

浸炭には次に示すような種々の反応が関与しています。 $[C]$ は鋼中に固溶した炭素です。



したがって雰囲気から鋼中への炭素流入は上記の複数の反応を通じて行われていると考えるほうが合理的です。その場合、 $k_i$ を各浸炭反応の速度定数、 $p_X$ をガス種 $X$ の分圧とすると、境界条件は次の形で与えられます。

$$F = \sum_i^n k_i f_i (p_{\text{CO}}, p_{\text{H}_2}, p_{\text{CO}_2}, p_{\text{H}_2\text{O}}, p_{\text{O}_2}) \times \left( \frac{a_g - a_s}{a_s^{m_i}} \right) = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (7)$$

式(7)による解析精度は、図2と図3の実線で示すように、式(3)の精度をはるかに上回っています。今回は $C_p$ 値の経時変化のみをデータとし、それからガス組成を逆算する方法で解析しましたが、現用炉は $C_p$ を監視・調整するためのガス分析装置を保有していますので、その分析値を

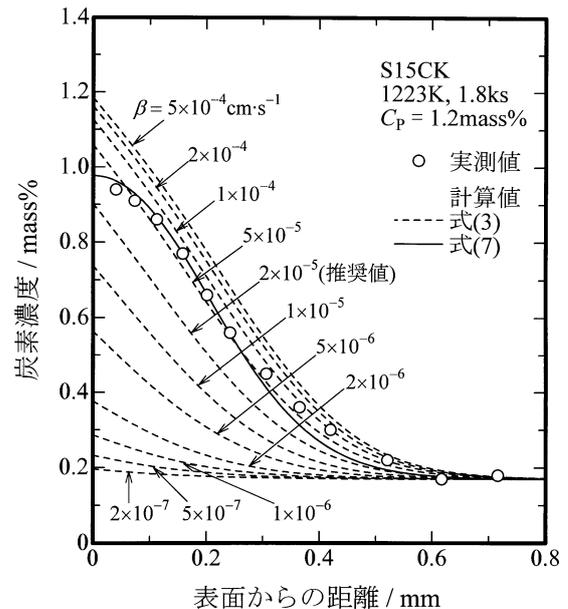


図2 炭素濃度分布に対する式(3)と式(7)の解析精度

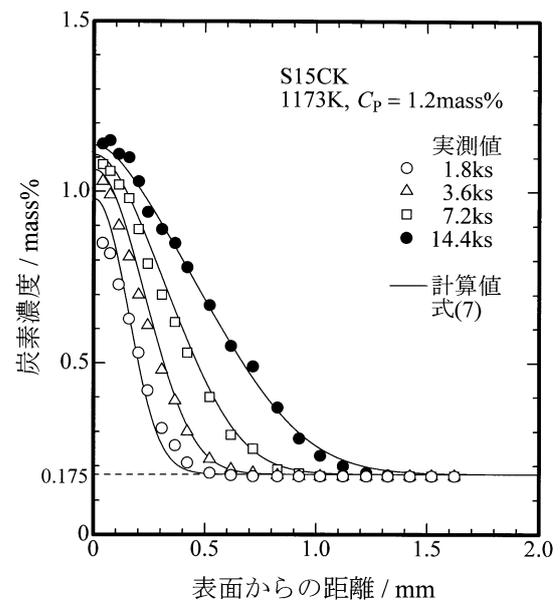


図3 炭素濃度分布の実測値と式(7)による計算値の比較

式(7)に逐一投入しながら解析すれば精度はさらに向上し、しかもリアルタイム制御への応用が可能ならずです。また大気汚染対策や省エネルギー・省資源に対しては、従来とはまったく異なったプロセスの浸炭法の開発も必要ですが、その際にも、本解析法は有効な支援技術になります。

現用浸炭炉の改良や新しいプロセスの浸炭法の開発をお考えの方は是非ご連絡下さい。

発行日 2002年2月15日

問い合わせ先 金属材料研究部 高機能素形材研究室 横山 雄二郎 (作成者 石神 逸男)