

須佐匡裕・林幸研究室

環境性能に優れた鉄鋼プロセスの提案

URL <http://www.susalab.mtl.titech.ac.jp>



須佐匡裕 教授



林幸 准教授



渡邊玄 助教



遠藤理恵 助教

はじめに

「いい鉄を効率よくつくる」このことを目指して、当研究室では熱力学・熱物性という学問を基調として、環境との調和を保ちながら人類の発展に役立つ鉄鋼生産プロセスを探っています。

高度に発展してきた私たちの生活は、大量のエネルギー消費の上に成り立っています。エネルギー白書によると、産業部門のエネルギー消費は日本の最終エネルギー消費の4割以上を占め、中でも鉄鋼分野は化学分野に次いでエネルギーを大量に消費しています。このことは鉄鋼材料が私たちの生活を支えていることを意味しています。人類はこれまでに大量の鉄を生産してきましたが、全世界的には鉄鋼生産量は増加の一途を辿り、今でも毎年10億トン以上の鉄を生産しています。したがって、エネルギー消費もそれに伴って増えることとなります。このようなことを背景に、鉄鋼生産プロセスでは、環境に負荷をかけずに生産量を増やすこと、すなわちプロセスの高効率化が求められています。鉄鋼生産は高温のプロセスであるため熱を自在に操る必要があります。そのため、当研究室では熱力学と熱物性を基礎として、上の問題にアプローチしています。

鉄鋼生産プロセスについて

鉄鋼製品は、図1に示すようなプロセスで製造されています。原料調整から始まり、高炉、溶銑予備処理、転炉、二次精錬と製精錬を行って目的の組成を持つ鋼を作り、連続鋳造によりスラブ、ブルーム、ビレットが製造されます。これらは、熱間圧延工程などを経て、製品となります。いずれの工程においても環境負荷低減は問題であり、様々な取り組みがなされています。

研究テーマについて

1. 原料調整～熔融シリケートの物性値と構造との関係

近年、鋼には高品質化が求められる反面、鉄鉱石などの原料の品質は低下しています。これらの原料は世界中から輸入されており、産地によって不純物が異なります。原料調整段階では、後工程の安定操作のために、鉱石中の不純物の影響も考慮した調整が求められています。そのためには鉱石に含まれる熔融シリケートの物性値や構造への不純物の影響を理解しておくことが重要です。私たちは、様々な熔融シリケートの熱力学および物性値データを測定・整備するとともに、構造解析も行い、それらの関係性の解明に取り組んでいます(図2)。

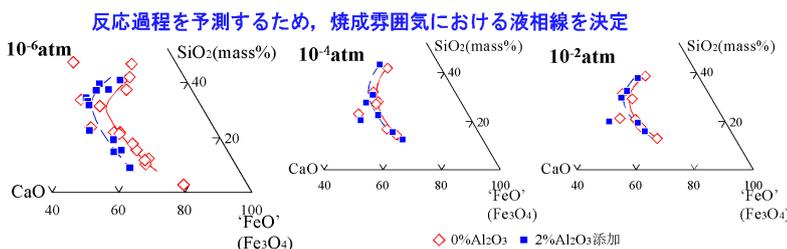


図2 焼結鉱生成時の酸化鉄融体の熱力学～状態図の作成

原料から製品へのフロー

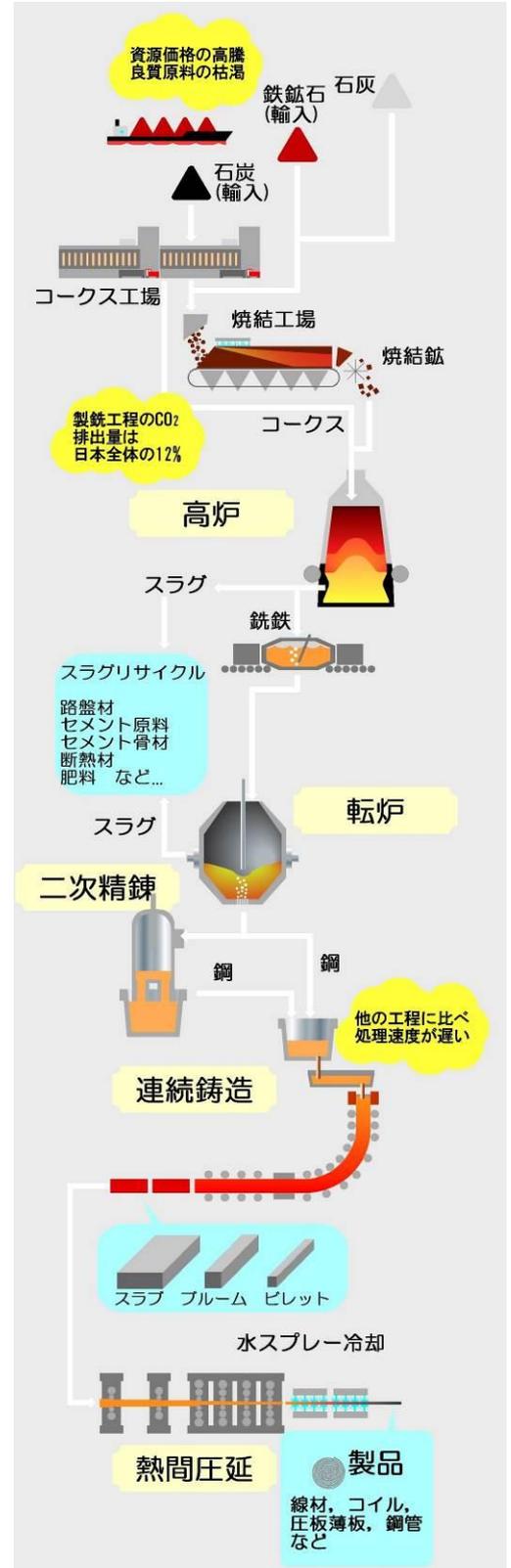


図1 鉄鋼製造プロセスの概略図

2. 高炉プロセス～高炉内鉱石還元・溶融挙動の解明

鉄鋼業の CO₂ 排出量割合は日本全体の約 14%であり、その大部分は高炉でのコークスの燃焼によるものです。高炉では、鉄鉱石をコークスの燃焼により生成する CO で還元し銑鉄を得ていますが、コークスは還元材であるとともに、原料の加熱源、さらに高温ガスの通気を確保する隙間を作るための構造材の役割も果たしています。私たちは、コークス使用量を下げることにより生じる通気の問題を解決するため、通気の妨げとなる鉱石の反応・溶融挙動に着目し、通気性を損なわない焼結鉱の開発のための基礎研究に取り組んでいます(図 3)。

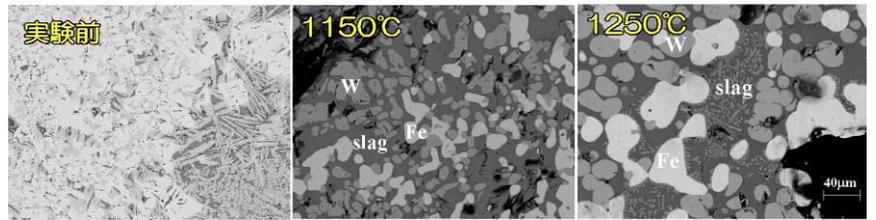


図 3 高炉内雰囲気での焼結鉄の還元と溶融相形成過程の観察

3. 連続鋳造～溶鋼からの抜熱評価とモールドフラックスの開発

連続鋳造はその前の工程よりも時間がかかり、その高速化が鉄鋼製造全体の生産性向上に重要となります。しかしながら、連続鋳造の高速化はそれほど簡単な話ではありません。単に鋼の引抜速度を上げると、冷却速度が速くなりすぎ、鋼の表面が割れてしまいます。割れを防ぐためには、溶鋼と鋳型の間にあるモールドフラックスの組成や構造を制御してその抜熱特性を設計し、高速でも適度な速さで冷却可能なモールドフラックスを開発する必要があります(図 4)。近年の研究からは、モールドフラックスを結晶化させて鋼の抜熱速度を遅くすることが重要であることが分かっています。このような背景の下、以下のような実験・研究を通してモールドフラックスの開発を行っています。

- ・ 溶鋼/モールドフラックス/鋳型間の伝熱モデルの構築
 - ・ 伝熱モデルによる解析と必要な物性値(熱伝導率、光学特性)の計測
 - ・ ホットサーモカップル装置の開発とフラックスの結晶化速度の測定
- 当研究室では、これらの研究・開発を日本の鉄鋼会社やアメリカ・ドイツの研究者と共同研究して行っています。

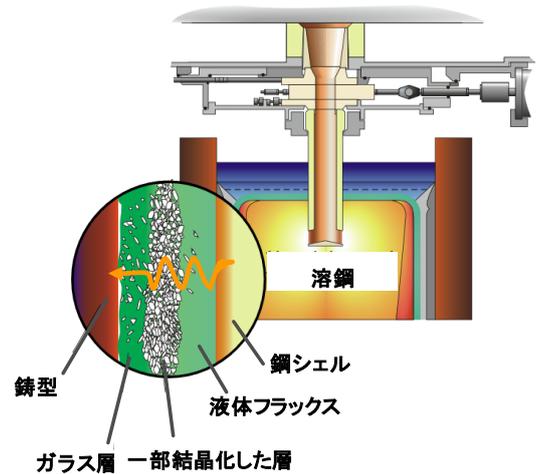


図 4 連続鋳造の鋳型付近の模式図

4. 圧延工程～酸化スケールの役割

鋳造された鋼は圧延工程を経て水冷されます。この冷却速度にムラがあると、鋼の性質が場所によって異なってしまいます。均一冷却のためには、鋼の表面に生成するスケールがキーとなっていて、その熱物性値の測定が喫緊の課題となっています。スケールとは FeO、Fe₃O₄ および Fe₂O₃ から形成される酸化物層で、その全体の厚さは数 10～100 μm です。また、実際のスケール内の温度勾配は 15000 K/mm にも達します。このような条件下における熱物性値の測定は、既存の装置で測定できるものではありません。このために当研究室では、図 5 に示すように、ブンゼン型水熱量計の原理を利用して、擬定常ホットプレート法という熱伝導率測定法を世界で初めて開発するとともに、国内の研究機関と協力して、以下のような方法でもスケールの熱物性値の測定を行っています。

- レーザーフラッシュ法と 2 層解析による熱拡散率測定
- ホットストリップ法による熱浸透率測定

さらに、鋼の冷却速度は、核沸騰、膜沸騰という水の沸騰形態に大きく依存することが知られていますが、沸騰形態が何に依存して変化するかは今なお明らかになっていません。当研究室では、図 6 に示すようにスケール付き鋼板の水冷却を模擬できる実験装置を開発して、鋼板冷却に対する影響因子の解明にも取り組んでいます。

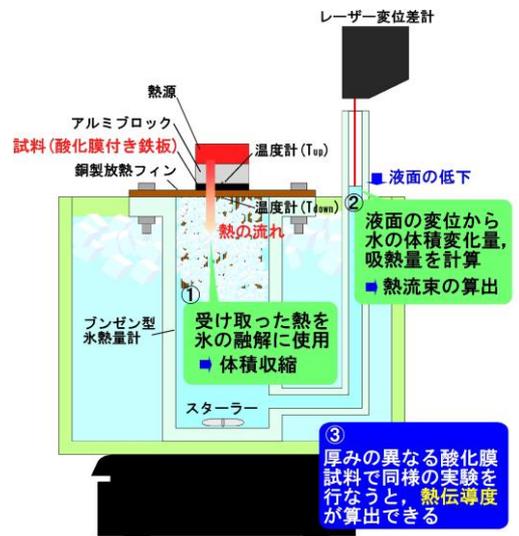


図 5 擬定常ホットプレート法装置



図 6 スケール付き鋼板の水冷却模擬実験: 抜熱流束を水の質量変化から測定している。