須佐匡裕・林 幸 研究室

カーボンニュートラル社会に向けて

http://www.susalab.mtl.titech.ac.jp/

教授 須佐匡裕　准教授 林　幸

はじめに

当研究室では鉄鋼生産プロセスを研究対象とし．カーボンニュートラル社会に向けて人類の発展に役立つ高温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応じて増えることになります．このような背景のもと，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と化学反応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．

共同研究～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．原料調整に始まり，高炉，溶銑予備処理，転炉，2 次精錬と製精錬を行って目的の組成を持つ溶鋼を作り，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．その後，熱間圧延工程などを経て，製品となります．どの工程でも環境負荷低減は問題となっていますが，実は関連する材料の微細な性質が操業に効いてきます．当研究室では国内外の企業・研究機関・大学と共同して，高温プロセスの問題に取り組んでいます．

研究テーマについて

1．原料調整（焼結鉱の組織制御）

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，産地によって酸化鉄の濃度や不純物の構成が異なります．原料調整段階では，後工程の CO_2 排出量削減のために，原料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．当研究室では原料調整に関連して以下のような研究を行っています．

- 鉱石に含まれる溶融シリケートの構造解析
- 溶融シリケートの熱力学および物性値測定
- 高炉での CO_2 排出量を削減する焼結鉱の組織制御

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 CO_2 排出量割合は日本全体の約 14% であり，その大部分は高炉由来のものです．高炉では，コークスの燃焼により生成する CO で鉄鉱石を還元し，銑鉄を得ています．この過程で CO_2 が排出されます．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．当研究室で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・溶融挙動を解明し高炉プロセスにおける CO_2 排出量削減に取り組んでいます．

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

連続鋳造工程の生産速度がはやくなると，製鉄所全体の生産性が向上すると言われています．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

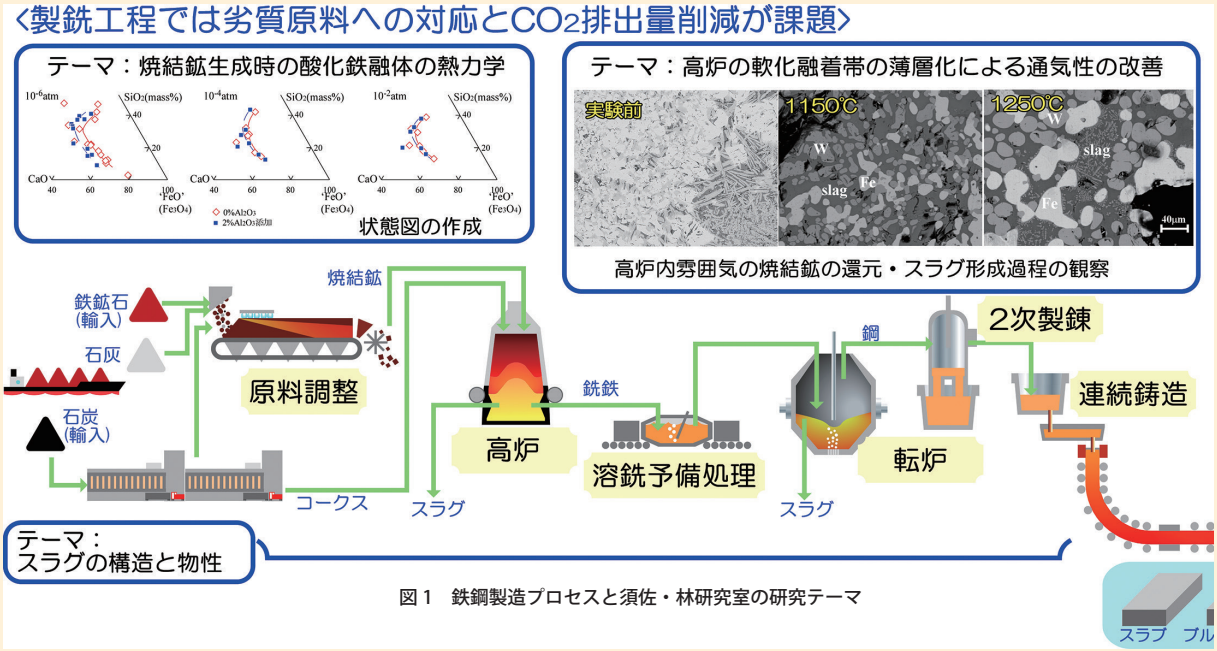


図 1　鉄鋼製造プロセスと須佐・林研究室の研究テーマ

助教
渡邊　玄

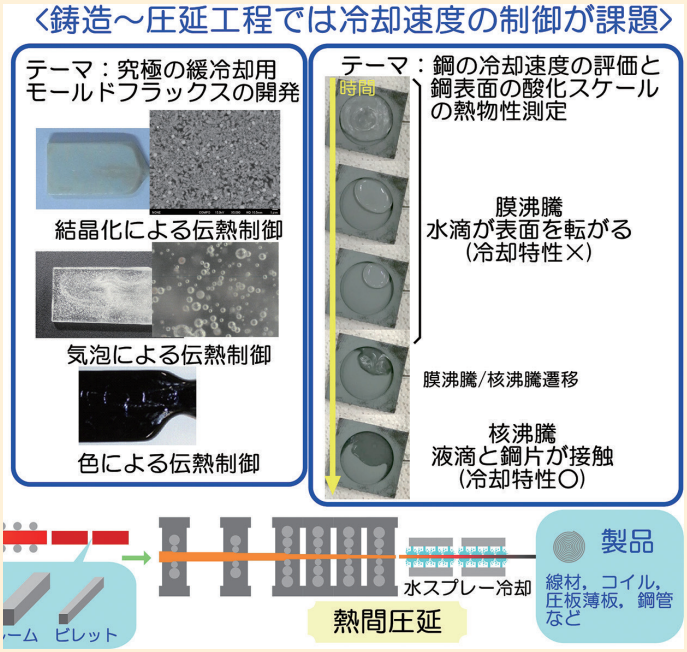
助教
遠藤理恵

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．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．（図 1 中のテーマ「究極の緩冷却用モールドフラックスの開発」）

- 溶鋼 / モールドフラックス / 鋳型の間の伝熱モデルの構築
- 伝熱モデルによる解析に必要なパラメータ（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および状態図作成

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なっています．酸化スケールとは FeO，Fe_3O_4 および Fe_2O_3 など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．実際のプロセスでの鋼の冷却速度は非常に速いため，熱力学的には不安定な相でも実際には酸化スケール宙に見出されることがあります．このような状況を再現して熱物性値を測定するために，図 2 に示す光 - 通電ハイブリッド加熱法を利用しています．これは産業技術総合研究所との協力によるものです．その他にも以下のような方法を使い分けて，酸化スケールの熱物性値の測定を行っています．



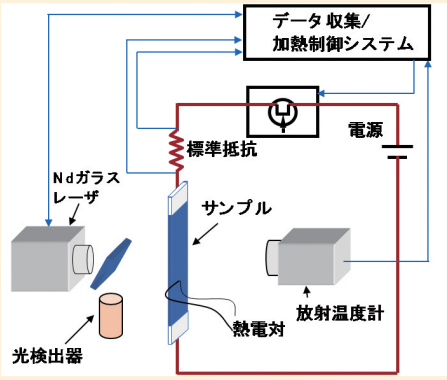


図 2　光 - 通電ハイブリッド加熱法の装置

- 熱伝導率 : 擬定常ホットプレート法
- 熱浸透率 : ホットストリップ法，
  表面加熱・表面検出レーザフラッシュ法，
  パルス光加熱サーモリフレクタンス法

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．しかし，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 1 中のテーマ「鋼の冷却速度の評価と鋼表面の酸化スケールの熱物性測定」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．

5．航空宇宙分野への展開

以上のような鉄鋼生産プロセスに関する研究から得た技術・知見を航空宇宙分野へも展開しています．高温の化学反応・熱物性の観点から，JAXA や茨城大学とも協力して以下のような研究に取り組んでいます．

< タービンブレードに用いられる遮熱コーティング >
- 火山灰との遮熱コーティングの反応性評価
- 遮熱コーティングの熱物性評価手法の開発

< ポストはやぶさ 2 >
- 砂粒の熱物性評価～探査機の着陸のために

研究室の活動・メンバー・就職先など

学会活動は，日本鉄鋼協会・日本熱物性学会が中心です．

2020 年度のメンバーは，教職員 5 名（須佐，林，渡邊，遠藤，事務支援員），修士課程学生 12 名，学部生 4 名，海外からの研究員 1 名，研究生 1 名です．ヨーロッパ等からの短期の留学生も受け入れ等，海外との交流も積極的に行っています．

直近の 4 年間における卒業生の就職先は，日産自動車（5 名），日野自動車（2 名），日本製鉄（2 名），日揮（2 名），AGC（以下 1 名），サンディスク，産業技術総合研究所，JFE スチール，住友重機械工業，東京製鐵，巴川製紙所，日本郵船，野村アセットマネジメント，野村総合研究所，ブリーチ，本田技研工業，マツダ，三菱電機，三菱マテリアル，ファーウェイ，長春一汽，美的集団です．