

工業プロセスの現象解明を目指して

工学研究院物質工学系 准教授 齋藤 泰洋



1、はじめに

初めまして。2018年9月より工学研究院物質工学系准教授となりました齋藤泰洋と申します。出身は山形県村山市で、大学および前職場が宮城県仙台市でしたので、初めての九州での生活を送っております。私の専門分野は化学工学で、主に移動現象論と呼ばれる熱や物質の移動に関する研究を行っております。特にコンピュータを利用した数値シミュレーションに関する研究に携わり、数値流体力学における有限体積法に基づくシミュレーションプログラムの開発やオープンソース型ソフトウェアや商用ソフトウェアを利

用した解析を行っています。また、粒径分布・流速などの流体特性や粘度・表面張力・密度といった液体物性を計測可能な機器を利用した流体実験を行う環境を整備し、数値シミュレーションと一体となった実験を行い、実験と数値解析の両輪で移動現象に関する研究を実施しています。

私は、化学と工業を結びつける学問体系である化学工学分野における化学プロセスの最適化を目指す研究室としてプロセス解析工学研究室を立ち上げ、工業プロセスの効率化に貢献したいと考えております。現在、工業塗装および製鉄に関連する研究に取り組んでおり、本稿ではその研究の背景やこれまでの取り組みについて紹介いたします。

2、工業塗装

自動車の塗装は防さびや美観などの機能を付加するために多岐にわたる塗装を行い、電着塗装・シーラー塗装・本塗装・品質検査の工程を経

ます。「ホンダ 工場見学 クルマができるまで」で検索し、塗装の項目を選択すると、動画でご覧になれます。自動車の製造ラインは約3キロメートルといわれており、その3分の2が塗装に関係します。本塗装の工程は、自動車の発色や光沢に関係するため、重要度は高いです。余談ですが、車の購入にあたって塗装の品質で購入を決める人はいないと思います。ステイタス性が重視されますので、車には高品質でかつ10年程度で塗装が剥がれないような高い耐候性が求められています。さて、本塗装には回転霧化静電塗装機を利用し、塗料を高速回転するベルカップで遠心力によって液膜・液柱・液滴へと微粒化し、後ろから空気流を吹きつけ、塗料自体に負電圧をかけ、車体をアースすることによって塗料の付着性を高めています(図1)。

この塗装方法は高品質な塗膜を短時間でかつ広域に形成することができ、色替えが行いやすいという利点があります。その一方で、噴霧する塗装法に共通する欠点として付着性が高くないことが問題となっています。噴霧して車体に塗着しなかった塗料は、ロボットアームなどに付着した

り、別の車体に付着することで塗装欠陥を引き起こす可能性があるため、塗装ブースの上部からダウンフローで巻き起こしを抑制し、ブースの下部で回収しています。現場での塗着効率は、40〜60%といわれており、塗着効率を高めるためには、塗装システムの現象解明が必要であります。その研究の一例として、常時3万RPMで回転するベルカップ上で極めて薄い液膜(約20〜60マイクロメートル)が形成される挙動を光学的な新規の測定方法を開発するとともに気体と液体を区別して流れを解く自由表面流れの数値解析により超高速回転場における極薄膜厚の定量に成功しました。また、液膜厚さを無次元数の新たな組み合わせで整理

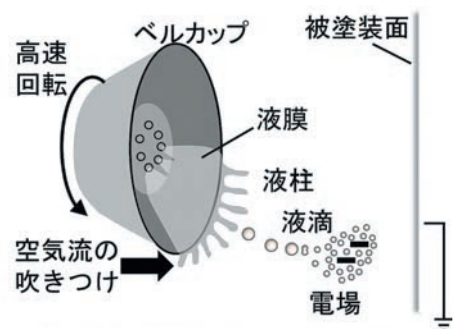


図1 高速回転ベルカップ噴霧塗装機まわりにおける流動現象

できることを見出し、提案した液膜厚さの予測式が古典理論よりも実験結果を再現するに至りました。

3、製鉄

北九州市は鉄の街として知られ、1901年に操業を開始した八幡製鉄所は歴史の教科書に記載されていますので、ご存じの方が多いと思います。鉄は、安価で比較的加工しやすく、入手しやすいため、最も利用価値の高い金属と言え、産業の米とも呼ばれています。鉄は酸化鉄を還元すれば得ることができですが、自動車だけでなく、建物、橋や線路など国を支える材料であり、その需要は大きく、鉄の生産量は日本で毎年約1億トンといわれています。これは、小倉駅から岡山駅までの距離(300キロメートルと仮定)の間に直径7メートルの鉄柱を一本通すイメージです。これが世界全体で毎年15本作られています。鉄を作るための高炉は、日本で25基程度あり、直径約30メートル×高さ60メートルという巨大な反応器となっています。その反応器のなかには、鉄鉱石を粉砕し、石灰石を混ぜて焼結した焼結鉱(直径10〜30ミリメートル)と石炭を乾

留して得られたコークス(直径50ミリメートル)のみを層状に投入します。つまり、高炉の中には焼結鉱とコークスしか存在せず、焼結鉱は鉄源として、コークスは熱源と還元材の役割の他に高炉内の反応を制御するスペーサーの役割があります。余談ですが、操業を開始した八幡製鉄所は、当初良質なコークスが得られなかったことから、出銑までに2〜3年掛かったといわれています。それから110年余り、鉄鋼研究が進められています。未だに研究が必要とされているのは原料炭の質が大きく変わったことが原因です。

冶金用コークスを製造するのに適した石炭のことを原料炭といい、一般炭と違い、乾留過程において粘性を示し、乾留中に石炭は揮発分を放出しながら、軟化溶解し、気孔が形成され、再固化し、強固な炭素質のコークスとなります。以前までは強粘結炭と呼ばれる高品質な原料炭が使用されてきましたが、資源枯渇の影響で価格が不安定化し、より安価な微粘結炭や非粘結炭を混ぜ合わせて使用されています。このような劣質炭を使用すると、コークスの強度が低下し、高炉の安定操業に支障

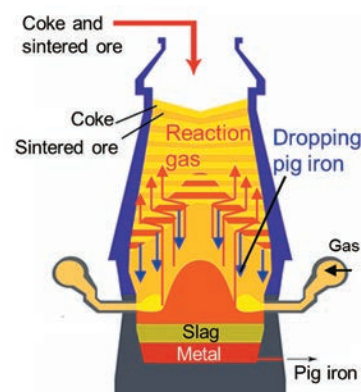


図2 高炉(焼結鉱とコークスから銑鉄を得るプロセス)

をきたすこととなります。そこで現在の研究では、劣質炭から高強度コークスを製造するプロセス開発が中心となっています。

その研究の一例として劣質炭から製造されたコークスの強度を予測するためにRBSM(剛体ばねモデル)という手法を利用して劣質炭配合コークスの破壊解析を行いました。劣質炭を配合した際に生じる接着不良の存在割合の増加にともないコークス強度が低下し、接着不良が少量でも存在した際にコークス強度が大きく低下するのは、接着不良が応力集中部位に存在したときに破断の起点となるためであることを示しました。

4、おわりに

本稿では、自己紹介と現在進めている研究の背景と過去の研究の一例

を紹介しました。現在は、粉体の数値シミュレーションや流体実験など九州工大での新しい研究にチャレンジしており、今年配属された一期生と日々格闘しております。もし本稿の内容でご興味がありましたら、あるいは数値計算でお悩みのことをごございましたら、お気軽にお尋ねいただければ幸いです。まずは研究室を立ち上げ、目の前の課題解決に向けて邁進していきますので、ご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いたします。



図3 応用化学科内ソフトボール大会のときの山村研との合同チームの集合写真(優勝と3位)