

名誉会員からのメッセージ

私の夢と若い人へのお願い

My Dream and Message to Young Researchers

北海道大学
名誉教授

井口 学



大学の教員となって研究を開始してから、間もなく半世紀を迎えようとしています。この間、製鋼プロセスに関する研究一筋に來られたのは、大阪大学名誉教授美馬源次郎先生、近江宗一先生、森田善一郎先生、北海道大学名誉教授石井邦宜先生、篠原邦夫先生をはじめとする恩師の先生方、共同研究にご参画いただいた先生方ならびに企業の皆様方、そして学生諸君のお陰です。この場をお借りしまして、厚くお礼申し上げます。

私の主たる研究内容は、製鋼プロセスにおける輸送現象（流動、熱伝達、物質移動）を解明し、既存のプロセスの効率向上はもとより新しいプロセスの開発に資する資料を提供することにありました。周知のように、製鋼プロセス内の流れ場は次のような特徴を有しています。

- (1) 溶鉄・溶鋼は不透明であり、温度は1500℃を超えている場合が多い。
- (2) 溶鉄や溶鋼には攪拌のために吹き込まれた気体の他に精錬剤が存在することから、流れは通常非常に大きな乱れを伴う気液固三相流である。
- (3) 反応容器内の流れは非定常的な性質を帯びている場合が多い。
- (4) 反応容器内では冶金反応に加えて、熱および物質移動が同時に起こっている。

このような高温で複雑な流れ場は他の工学分野で扱う流れ場に比べて圧倒的に複雑であり、測定はもとより、数値計算も容易ではありません。

最初の約10年間は、流れ場に振動や脈動などの非定常性を与えることによって、熱伝達や物質移動がどの程度促進されるのかに関する基礎的研究をしていましたが、その後は実際の製鋼プロセスを対象とした研究を始めました。ところが、上記のような高温で複雑な流れ場を直接取り扱う際には非常に困難を伴います。流動現象だけに関しても、1500℃を超える流体の流速はもとより、気泡の動的挙動を捕らえることのできるセンサーがありませんでした。熱および物質移動に

特に大きな影響を及ぼす乱れの測定についてはもちろん不可能でした。当時、輸送現象に関して正確な測定値が得られるのは、温度だけではなかったでしょうか。

そこで、この分野の先駆者の先生方にならって、水を用いたモデル実験（水モデル実験）に着手しました。水と溶鉄・溶鋼の動粘度（粘度を密度で除した値）はよく似ていますので、水モデル実験は反応容器内部の流れ場を予測するには非常に有用です。ただし、溶鉄や溶鋼の表面張力に比べて水の表面張力の値は約20分の1ですので、ウェーバー数などの無次元数を実機とモデルで合わせることは容易ではなく、表界面近傍の現象を正確に捕らえることは難しくなります。表界面現象の解明には、表面張力が溶鉄や溶鋼の1/3程度の水銀やウッドメタルを用いた、いわゆるコールドモデル実験を行いました。研究を進めるにつれて実機内の現象を把握するには、やはりモデル実験においても溶鉄や溶鋼を用いなければならないとの感を一層強くしました。ところが、上述のように使用できるセンサーがほとんどありません。そのときから、実機における溶鉄・溶鋼用の流速計と気泡の動的挙動（ガスホールドアップ、気泡頻度、気泡形状と寸法、上昇速度、分裂・合体など）測定用のセンサー（電気探針）を開発することが私の夢となりました。

モデル実験を進めながら、これらのセンサーの開発に取り組んできましたが、力及ばず、30年来の夢は実現していません。ただ、流速計に関してはヘレウス・エレクトロナイト（株）さんならびに旧住友金属工業（株）さんとの共同研究によって、連続鑄造鑄型内の表面流速を測定可能なカルマン渦流速計を開発しました。ところが、溶鋼中に円柱を浸漬しますので、試験操業では用いられましたが、実操業での実績はありません。電気探針は、当時大阪大学工学部の技官をされていた川端弘俊氏の多大なるご尽力によって、小型モデル容器内の1600℃の溶鉄中を上昇するアルゴン気泡群の上昇特性把握に成功し、欧州の某社からの受注依頼もありました。ただし、当時電気探針の寿命が15分程度と短く、実機に適用する

ことはできませんでした。

最近、人工知能 (AI) は驚異的な進歩を遂げており、ひと昔前なら思いもしなかった囲碁や将棋の分野でも人智をしのいでいます。もちろん船舶の運航を始め工業分野への適用も進んでいます。例えば飛行機の運行で最も危険なのは離陸と着陸時ですが、離陸・着陸も AI の支援を得て行なうことが考えられています。気温、気圧、飛行高度・速度、風向・風速、フラップの角度、エンジン出力などを瞬時に精度よく測定でき、AI に学習させるために必要な多くの運行データを用意できることがその理由でしょう。AI 運行支援システムの開発によって、安全で効率のよい飛行が期待できます。ところが、製鋼プロセス分野への適用は、産業技術短期大学の樋口善彦教授が力説されておられますように、はるかに遅れています。AI を用いるには反応容器内の温度分布、溶鉄や溶鋼

の速度と乱れの分布、不純物の濃度分布、非金属介在物や精錬剤の分散状況、気泡の動的挙動、冶金反応の進行状況などに関する学習用の膨大なデータが必要ですが、上述のように計測機器の開発はそれほど進んでいません。残念ながら、製鋼プロセス分野における AI 操業支援システムの利用は、一朝一夕には実現しないようにも思われます。

溶鉄・溶鋼用計測機器開発に関する夢は、古稀を迎えた今では夢のままで終わってしまいそうな感じがしています。若い人に私の夢を引き継いで頂き、AI に振り回されてはなりません。安全でさらに効率の良い製鋼プロセスを実現してくださることをお願いして、この拙文を閉じさせていただきます。

(2018年10月24日受付)