



アラカルト

若手研究者・技術者へのメッセージ-9

セレンディピティと2足の草鞋

Serendipity and Two Different Shoes

雀部 実
Minoru Sasabe

千葉工業大学
名誉教授



1 はじめに

筆者が大学教員であった期間の約半分は「失われた20年」といわれる時代だった。そして「今まさに、失われた30年に突入する。」という恐ろしいことをいう人がある。「失われた20年」から脱出する方法は、「明治時代から続く物まね物づくり立国」ではなく「独創的物づくり立国」だ、と筆者はかねてから考えていた。この立場から「失われた30年」が来ないようにするために、筆者がこれまでに取り組んできた高温物理化学と技術史での僅かな経験をお伝えしたいと思う。

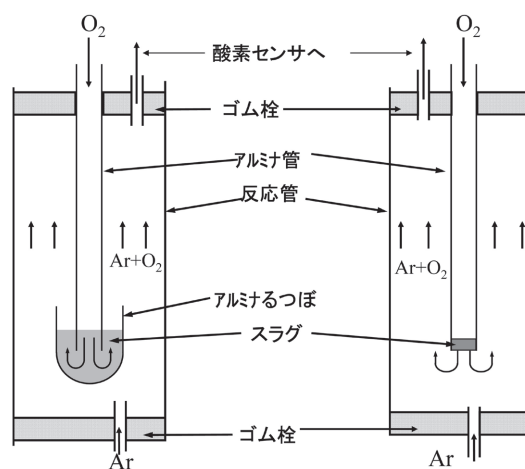
数年前に京都大学名誉教授の小岩昌宏先生が、「セレンディピティ」という興味ある記事を「金属」誌に書かれたことがある¹⁾。セレンディピティとは、「探し物があるとき、一生懸命それを探している間には見つからず、諦めた後でヒョイとそれが見つかること」と解説されていた。この記事に興味を引かれ、Serendipityを手元にある辞書²⁾で引いてみると、1) 求めずして思わぬ幸運にめぐり合う天性、2) 物を見つけ出す不思議な能力、と出ている。辞書の解釈に従えばセレンディピティは一種の能力ということになるが、筆者にはこのような能力は残念ながらなさそうである。しかし、「一生懸命それを探している間には見つからず、諦めた後でヒョイとそれが見つかる」ということに近い体験をしているので、その体験が「独創的なものづくり」に役立つかもしれないので、紹介させていただく。

2 溶融酸化物中の酸素の拡散

筆者が大学教員として研究生活を始めたときにいただいたテーマは「溶融スラグ」と「固体電解質利用の酸素センサ」の2つだった。溶融スラグについても固体電解質についても何も知らなかった筆者は、基礎文献をきちんと勉強しなければならないという不安を持ったが、テーマを下さった先生は

「すぐに実験に取り掛かりなさい」という勢いだったので、実験をしながら基礎的な勉強をするという状況になってしまった。そこで、酸素センサを手作りして、溶融スラグ中に直接投入するということを試みた。これでもセンサかという見るも哀れな姿の酸素センサから、起電力が発生した。筆者にはどういう意味を持つ起電力なのか理解できなかったが、やがてスラグ中の酸素の拡散現象を調べている、ということが理解できるようになった。そして、ここで測定された値がフィックの法則のどのようなパラメータに相当するのかを決められないので、「酸素の透過度」という名称をつけた。この「透過度」と呼んだものは「拡散流速×断面積」という意味を持つものであるということ、後に理解できた。

何回も改良した後にとどり着いた実験方法の概略を、図1に示す。図1の左に示した方法はアルミナ製反応管の中にアルミナをつぼを置き、その中でスラグを溶融している。この溶融スラグ中に両端が開いたアルミナ管を立て、この管を経



改良前

改良後

図1 酸素の透過度測定方法の変遷の概略

由して管内のスラグ上面に純酸素を供給し続ける。スラグ上面に供給された酸素はスラグ中を拡散して、反応管側に排出され、反応管の底部から連続的に供給される純アルゴンと混合して酸素センサに至り、スラグ中を拡散して来た酸素量を知るようになっている。図1左の装置は拡散距離が長すぎて、拡散速度の遅い試料の測定には不向きであることが分かり、図1右のような方法に変更した³⁾。図1右の方法は両端の開いた細いアルミナ管の一端に溶融スラグを付着させたものである。これはシャボン玉を飛ばす時のストローと石鹼液のような関係にある。すなわち、溶融スラグは粘性と表面張力でアルミナ管の底部に融けたまま付着している。

この方法を初めて試みたとき、次のような失敗をした。アルミナ管のつぼに融解しているスラグ中に両端が開いているアルミナ管を差し込んで先端にスラグを付着させようとしたが、管の先端に付着しないのである。付着しない原因は常温のアルミナ管を溶融スラグ中に差し込んだことにあった。室温の管を差し込んだので管の周囲のスラグがたちまち凝固し、管の内面を濡らさなかったのである。管を予熱して溶融スラグ中に差し込むと、期待通りにスラグは管の先端に付着した。スラグの付着した管を反応管に戻し、図1の右の図の状態にした。この方法によりスラグの厚さをかなり薄くすることができたので、酸素が拡散し難いスラグでも測定できるようになった。しかし、この方法は先輩や同僚からは不評だった。管の先端に付着しているスラグの表面に酸素ガスを吹き付けているので、測定中にスラグの形状がシャボン玉のように膨らんでいる恐れがある、スラグ中に対流が起きている、などの理由で実験結果は信用できない、というものであった。このような疑問は筆者も持っていて、言われるようなことは発生していないということを、実験的に確認していた。このとき、いろいろの意見をいただくことは有難いがその中には無責任なものがある、ということを実感した。

この方法で溶融CaO-SiO₂-Al₂O₃系スラグの酸素の透過度の測定を始めた。測定をはじめると、ときどき桁違いに大きい透過度を得ることがあった。装置の不良を疑って点検したが、どこにも不良箇所は見当たらなかった。そうこうするうちに、測定を担当していた学生が、「試料が少し青みを帯びているときに大きな値になる」ということに気が付いた。CaO-SiO₂-Al₂O₃酸化物は透明である。これが着色したということは、不純物が混入したということを示唆している。その色から、混入不純物は酸化鉄ではないかと推定された。不純物混入の経路は、鉄製のつば挟みの先端が酸化して、その酸化物が剥がれ落ちて試料上にこぼれた、という推論をした。そこでCaO-SiO₂-Al₂O₃系スラグに意識的に少量のFe₂O₃を添加してみると、酸化鉄を加えない場合の10ギガ倍(10¹⁰倍)も大きい透過度を示した。この試料の酸化鉄含有量を分析して

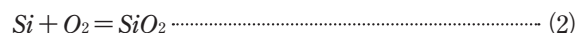
もらったところ、FeOとして0.2mass%添加されていたことが分かった。このように僅かな不純物の混入が、予期していなかった効果を示すということが分かった。「探し物があるとき、一生懸命それを探している間は見つからず、諦めた後でヒョイとそれが見つかる」ということに近い体験でもあった。

3 TiSi₂の生成

セレンディピティ的体験がもう一つある。窒素吸収能の高い連铸用フラックスを作ろうとして、フラックスのナイトライドキャパシティを測定していたときのことである。ナイトライドキャパシティは次のように定義されている。

$$C_N = (\text{mass}\%N) P_{O_2}^{\frac{3}{4}} P_{N_2}^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

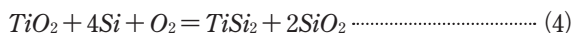
ここで、 C_N はナイトライドキャパシティ、 $(\text{mass}\%N)$ はフラックス中の窒素濃度、 P_{O_2} は雰囲気中の酸素分圧、 P_{N_2} は雰囲気中の窒素分圧である。 P_{O_2} と P_{N_2} を一定に保って系を平衡に保ち、フラックス中の窒素を分析すればフラックスのナイトライドキャパシティは分かる。この測定で難しいのは雰囲気中の P_{O_2} を低い値の一定値に保つことにあった。気相の P_{O_2} を一定に保てばよいのであるが、その値が低いので平衡に到達するまでに時間がかかる。そこで次の平衡反応を利用してフラックス中の P_{O_2} を一定に保つことを考えた。



$$K = \frac{a_{SiO_2}}{a_{Si}P_{O_2}} \dots\dots\dots (3)$$

ここで K は(2)式の反応の平衡定数、 a_{SiO_2} はフラックス中のSiO₂の活量、 a_{Si} はフラックス中のSiの活量である。フラックスの組成を決めると a_{SiO_2} は一定の値になり、 K は温度が決まれば一定値であるから、溶融前の粉状フラックスに粉状Siを混合してこの混合粉末を溶融すると $a_{Si}=1$ となるので、溶融フラックス中の P_{O_2} は一定値になるはずである。Tiにはナイトライドが存在するのでTiO₂に窒素吸収力があるかもしれないと考え、CaO-SiO₂-Al₂O₃系をマスターフラックスとして、これにTiO₂を添加してナイトライドキャパシティを測定した。ナイトライドキャパシティ測定装置の概略を図2に示す⁴⁾。この装置が(2)式で示す平衡を得ているかどうかを確認するため、上部から間歇的に酸素センサを投入するようにした。そして、この酸素センサで測定された酸素分圧と(3)式に関する熱力学データ⁵⁾から予測される酸素分圧とを比較した。そうすると熱力学データから予測される P_{O_2} と実測された P_{O_2} とはかけ離れていることが分かった。反応後のるつ

ぽを半裁したしたところ、図3に示すように、スラグ相に囲まれた金属相(図3では合金相としている)が存在した。この金属相をEPMAで分析したところTiSi₂であることが分かった。筆者はこの金属相はSiである、とはじめから決め付けていた。その根拠は標準生成自由エネルギーから推測すると、TiO₂はSiでは還元できないはずだからである。しかし、この研究では投入したSiはTiO₂と反応しTiSi₂を生成したのである。酸素センサで測定した酸素分圧は



という平衡反応の平衡酸素分圧に近い値だった。

これは塩素やマグネシウムを使用せずにSiだけでTiO₂を還元できる、ということを示している。ただし、生成するも

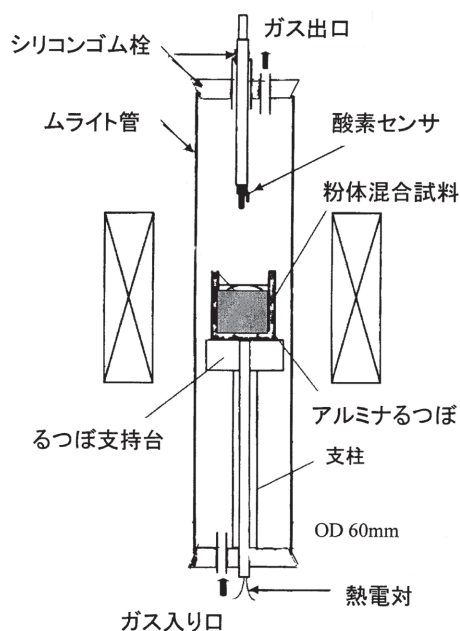


図2 ナイトライドキャパシティ測定装置の概略

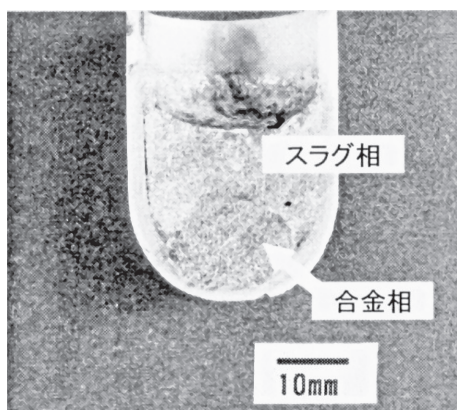


図3 ナイトライドキャパシティ測定後の試料断面

のは金属Tiではなくシリサイドである。この研究では、全く予期していなかった事柄を見つけた、という爽快な気分を味わうと共に、提案に固執しないことが大切であることを知った。

4 鋼中不純物元素の精錬限界濃度

以上は「高温物理化学」における経験であるが、次に「鉄の技術史」での経験を紹介する。技術史の専門家でない方が技術史に興味をもっている理由は、いろいろあるようだ。その理由を大きく分けると、「歴史にはロマンがある」と「温故知新のため」、という2つの流れがある。筆者の場合はそのどちらでもなく、偶然の面が大きい。かつて、鉄鋼協会の中に鉄鋼科学技術史委員会があり、そこに列席するチャンスを得ていた。また同じ頃、西山記念技術講座の企画委員に加えていただいた。技術講座委員になって最初のテーマが「鋼中不純物元素の低減とその効果」だった。このテーマの複数の講師を委員会は選定し、著名な方々にお引き受けいただいた。ところが一旦講師を引き受けくださった中のお一人が、都合により後日辞退された。別な方を選定しなければならなかったが、日時が迫っていたので委員会は筆者に穴の空いた講演を担当するよう要請した。周囲の状況を見ると断るわけにも行かず、引き受けてしまった。そこで不純物の低減状況を調べることにし、鉄鋼一貫メーカー各社に精錬限界濃度が低減した年とその濃度、精錬限界濃度を下げたことを要求したニーズとそのニーズに応えた技術を教えていただいた。このデータを整理している時、将来の精錬限界濃度はどこまで下がるのだろうか、という興味がわいた。そうすると、低減した精錬限界濃度の対数と西暦が直線関係にあることを見出した。この直線関係を利用することで、将来何らかのニーズに応えるために不純物の精錬限界濃度を下げなければならないことが生じた時、その濃度は西暦を指定すれば数値としてある程度推定できる、ということが分かった⁶⁾。

技術指標と時代を技術史の一部と見るならば、技術史は将来を予見するのに使えるものと考えた。このことを前述の鉄鋼科学技術史委員会で発言したところ、主査から「歴史が予見性を持つということはあるにない。」とご注意をいただいた。主査は著名な製鋼技術者でしかも技術史家でもあり、かねてから尊敬していた方だったので、そのようなものかな、とその場は引き下がった。

5 粗鋼の年間生産量

1970年代の半ばに石油危機がおこり、鉄鋼の生産量は大きく減少し右肩上りでなくなった。しかも1980年代の終わり頃にはバブル経済がはじけ、日本の産業が空洞化し始めた。

この先の鉄鋼生産量はどのようになって行くのかを、考えるようになった。鉄鋼生産量変化にも何らかの法則性があるのではないかと考えた。1980年代終わり頃からパソコンが手軽に使用できるようになり、粗鋼生産量の変遷を数式で記述できないかと考えるようになった。そしてあれこれやっているうちに、成長曲線をロジット変換した直線が使えることに気がつき、この関係を各国の粗鋼生産量の変化に適用した^{7,8)}。2008年に発生したリーマンショックの前後に適用した例を図4、5、6に示した⁹⁾。図4は全世界、図5はアメリカ合衆国、図6は中国について示したものである。これらの図の縦軸はロジット変換した粗鋼年間生産量であり、横軸は西暦である。この図では明確になっていないが、ロジット変換生

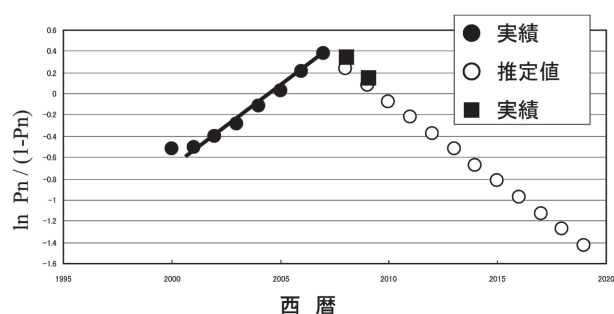


図4 ロジット変換した世界の粗鋼生産量と西暦の関係

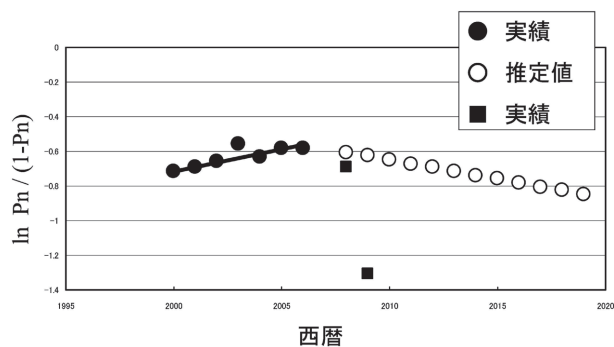


図5 ロジット変換したアメリカ合衆国の粗鋼生産量と西暦の関係

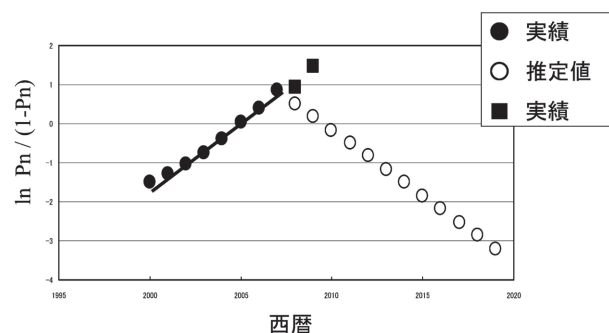


図6 ロジット変換した中国の粗鋼生産量と西暦の関係

産量と西暦の関係は鋸刃状の直線の繰り返しで構成されており、景気の良い時は右上がりの直線、景気の悪い時は右下がりの直線になっている。そして右上がりの直線と右下がりの直線は鏡面对称を構成している。この鏡面对称性を利用すると、景気が悪い時の行き先が景気の良い時の直線の鏡面对称性から推定できることが多い。これらの図の●が実績生産高であり、○が黒丸から構成される直線の鏡面对称直線を示している。そして■はリーマンショック以後の実績生産高である。全世界 (図4) の場合は、リーマンショック以前のデータを直線化して鏡面对称線をつくとリーマンショック以後のデータが鏡面对称直線に載っていることを示している。アメリカ合衆国 (図5) の場合は、リーマンショック以後はそれまでにない急降下を示しており、鏡面对称性を利用して先を予測することはできないことを示している。中国 (図6) はリーマンショック以後も成長が従来の延長線上で続いている。

ロジット変換生産量と西暦の関係の鏡面对称性を越えた変動を引き起こす原因を歴史的大事件ということにすると、この歴史的大事件は戦争や大恐慌である。2008年のリーマンショックはアメリカにとっての歴史的大事件であるが、中国にとっては歴史的大事件ではないことになる。図を示していないが、日本、ロシア、EUも大きな影響を受けている。中国以外にインドが影響を受けていないグループに入っている。3枚の図面から言えることは、リーマンショックの影響を強く受けている国とほとんど影響されていない国があり、ショックを受けた国と受けない国が相殺して、全世界のデータがこれまでどおり鏡面对称性を示し続けていると読み取れる。

不純物精錬限界濃度変化の研究と粗鋼生産量の年次変化の研究により、技術史は先見性を持つ部分があるものだ、という気持ちを筆者は今でも持っている。そして技術史が先見性を持つためには、歴史的データを正確に書き残していただき、後世の人々が正しく利用できるようにしておいていただきたい、と思っている。そして、先を読むのは歴史家ではなく、歴史を利用する人だと思っている。蛇足になるが、技術的指標と西暦の関係を数学式で記述できる時、歴史的慣性がある、と筆者は呼んでいる¹⁰⁾。

6 まとめ

ここまでで紹介した筆者の経験から、若い研究者・技術者の方にお伝えしたいことをまとめると次のようになる。

- 1) 思いついたアイデアは、人の目を気にせずに積極的に提案した方がよい。提案に対していろいろの批判が出るだろうが、批判が多い提案は多くの可能性を持った良い提案であると己惚れてもよい。

- 2) 提案を実行した時に、期待とは違った結果が出たとしても、がっかりする必要はない。そういうときにはセレンディピティを体験できるかもしれない。
- 3) セレンディピティは特殊な能力ではなく、誰でも経験できるものである。遠慮のない提案をいくつもしていれば、そのうちの何回かでセレンディピティあるいはそれに近いことを経験できるだろう。
- 4) 技術史は懐古趣味ではなく予見性のある学問である。予見性は歴史家が作るものではなく、その学問を利用する側が工夫して作り出すものである。
- 5) 物づくりの研究者・技術者の方々は将来を展望しなければならない立場にいつかは立たれるだろう。大局観を持って展望するために、技術史を活用されるとよい。そのときに備えるため、物づくりというご自分の専門と技術史との、2足の草鞋を常に履いていることをお勧めする。

参考文献

- 1) 小岩昌宏：金属（アグネ技術センター），73（2003），565.
- 2) 岩崎民平 監修：現代英和辞典，研究社，（1976）
- 3) 雀部実，木下豊：鉄と鋼，64（1979），1727.
- 4) 雀部実，山下智司，塩見純雄，田村剛，細川弘人，佐野謙一：鉄と鋼，87（2001），727.
- 5) I.Barin：Thermochemical data of pure substances 3rd Ed., VCH Verlag, (1995)
- 6) 雀部実：第90・91回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編，（1983），21.
- 7) M.Sasabe and A.McLean：STEEL GRIPS，5（2007），326.
- 8) M.Sasabe and A.McLean：ISIJ Int., 49（2009），1975.
- 9) 雀部実：日本鉄鋼協会社会鉄鋼工学部会 歴史を変える 転換技術研究フォーラム，2010年2月12日
- 10) 雀部実：ふえらむ，15（2010）9, 562.

（2010年7月20日受付）