

## カリフォルニア大学における表面科学の研究

—環境・伝統・方法論—

仲澤 真人 / 新日本製鐵(株) 鉄鋼研究所

カリフォルニア大学といえばUCLAのことだと思いの読者がいらっしゃるのではないだろうか。実は9校あるカリフォルニア大学の本校はバークレーにある。フットボールチームの呼び名もCalといえばバークレーであり、UCLAはLA分校である。私は平成2年9月から平成4年8月までこのCalに留学し、表面科学の分野では世界的に有名なSomorjai教授の研究室に客員研究員として在籍した。この間に経験したこと、見聞したことを、表面研究の特徴にポイントをおいて述べさせて頂きたい。

バークレーにはカリフォルニア大学が管轄する国立研究所があり、シンクロトロンの開発でノーベル賞を受賞したローレンスの名を冠して、Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) と呼ばれる。CalではSomorjai教授をはじめ、物理、化学系の教授の多くは大学とLBLの両方に籍を置き、装置や学生も分散させていた。私自身はLBLの装置を使用した関係で、ほとんどの時間をここで過ごした。LBLは大学を見おろす小高い丘の上であり、サンフランシスコ湾、ベイブリッジ、アルカトラス島そして金門橋が一望できる位置にある。大小70ほどの建物が山の中に散在し、循環バスが15分おきに走る。土地柄、夕方や休日には鹿が出る。大袈裟に言えば、都会の喧噪を離れた山の上の別天地であり、温暖な気候と相俟って研究には最適の環境であった。

Somorjai教授の研究室には3つの研究グループがあった。まず、教授自身が指導するグループでメンバーは10人強。研究内容は、固体触媒の反応機構を超高真空中 ( $10^{-10}$  Torr) での金属の単結晶や箔の気相反応としてモデル化しようとするものが中心である。手法としては、彼の考案したFig. 1に示すような超高真空表面解析装置を用いる<sup>1)</sup>。これは装置の真空を破らずにサンプルだけを常圧の反応性気体に暴露するための高圧セルを有し、触媒反応の前後でのサンプルの表面構造変化を解析したり、触媒活性と金属表面構造との関係を調べるのに適する。これまでの主な成果として、白金触媒上でのエチレンの水添によるエタン生成反応の中間体であるエチリダインの発見などがあげられよう。次にLEED(低速電子線回折)の大家、Michel Van Hoveを中心とした6~7人のグループ。彼らの興味は、水、CO、エチレン、ベンゼンなどの比較的単純な分子が金属単結晶上に吸着した際の、吸着物と金属の各原子の正確な位置を求めることで<sup>2)</sup>、吸着物の影響で金属表面原子も位置を変える現象が数多く見つかっている。また、ベンゼンが

金属表面に吸着する際、ゆがんだコンフォメーションをとることも明らかにした。人数こそ少ないが、優秀なポストドクが世界各国から集まり、研究室きっての理論家集団となっている。最後にSTM(トンネル顕微鏡)を扱うMiquel Salmeronらのグループ。研究の興味はLEEDグループと同様だが、原子像を得ることでLEEDの情報を補完する。10人ほどのメンバーで、上述の超高真空用STMのほかに、電気化学STM、生体用STMなどによる研究も行っている。

以上のとおり、この研究室での研究は主として固体触媒の反応機構を分子、原子レベルで解明することを目的としており、鉄鋼メーカーにはそぐわない留学先と思われるかもしれない。しかしながら、私がこの研究室を選んだのは、

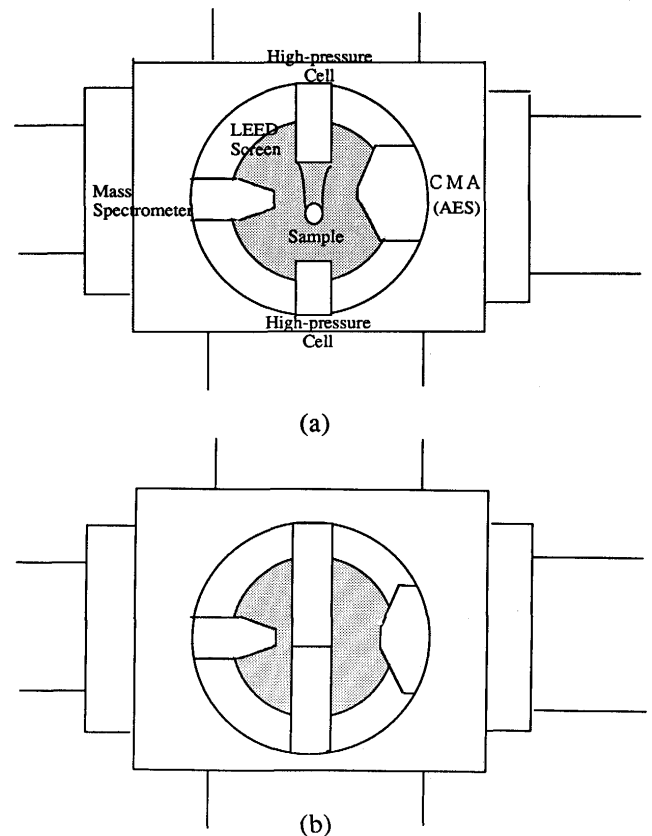


Fig.1. The ultra-high vacuum (UHV) chamber with the high-pressure cell. (partial view)  
 (a) The high-pressure cell is open. The chamber and the sample are kept under UHV.  
 (b) The high-pressure cell is closed. The reaction gas circulates within the high-pressure cell and reacts with the sample. The reaction products are analyzed in-situ by gas chromatography.

研究のアプローチのしかたが私の関わってきた鉄鋼表面処理の研究に合うと考えたためである。表面分析が表面処理研究で重要な要素技術の一つであることは誰も認めよう。しかし、ルーティーン分析で鉄鋼材料そのものを分析しても、得られる情報には限りがあり、分子、原子レベルでの確度の高い情報は期待できない。にもかかわらず、我々はしばしば表面処理に伴う種々の界面反応を分子、原子レベルで議論する。この矛盾を解決するために、この研究室で実績のある超高真空中でモデル反応を解析する方法を利用しようというのである。

研究の進め方にはいくつかのオプションがあった。ただし制約条件として、研究手法の性格上、装置をゼロから組み上げる場合には、それだけで最低1年は要することを考慮する必要があった。従って、例えば日本になるべく多くの技術を持ち帰ることを重視するのであれば、すでにできあがった装置で研究中の学生やポスドクのいわば研究助手として手法を学ぶ方法もあり得た。特に留学期間が短い場合には有効な方法である。一方、装置をゼロから組み上げれば、ハード面も含めた技術の習得が可能であり、この目的から博士過程の学生で真空装置を扱う者にはこれが義務づけられていた。手順は以下の通り。ある学生が卒業すると、他の学生やポスドクが自分の装置を補強するために必要なもの（例えばX線銃、リークバルブ、ジョイント）を彼の装置から持って行ってしまふ。こうして被害に遭った装置を新しい学生に与え、まず立ち上げさせ、さらに自分の目的に合うように作り直すところから始めさせる。もちろん必要な部品は購入する。一見、金と労力の無駄のようであるが、装置の老朽化を防ぐ効果もあるし、何よりも一度これを経験すれば、今後よそへ行っても、自分の目的に合った新しい装置を組むことができるようになる。また、自分の装置を持つことは主体的に研究できることを意味する。私は留学期間が2年間ということもあり、この方法を選んだ。

与えられた装置は半年間停止したままで真空も破れており、しかもどこかに小さなリークがあるらしく、前任者はどうしても $10^{-9}$ Torrまでしか真空を上げられなかったという。調べてみると高圧セル内はすす状の物質で汚れており、かなりラフな使い方をしたらしい。この状態から出発して、テクニカルスタッフの手も借りながら、リークを見つけ高圧セルをはずし、最終的にFig. 2に示すような装置に改造して、金属酸化物(FeO, ZnO)上への有機化合物の吸着実験ができるようになるのに1年、意味のあるデータが出るようになるのに半年かかった。留学中に3報の論文<sup>3)~5)</sup>に相当するデータが出たが、それはすべて残り半年の成果であった。

研究室全体の活動にも触れておく。毎週金曜の午後は研究報告会であった。発表者は1人のみで時間は1~2時間。発表内容は各人の研究進捗、学生の口頭試験の練習、教授

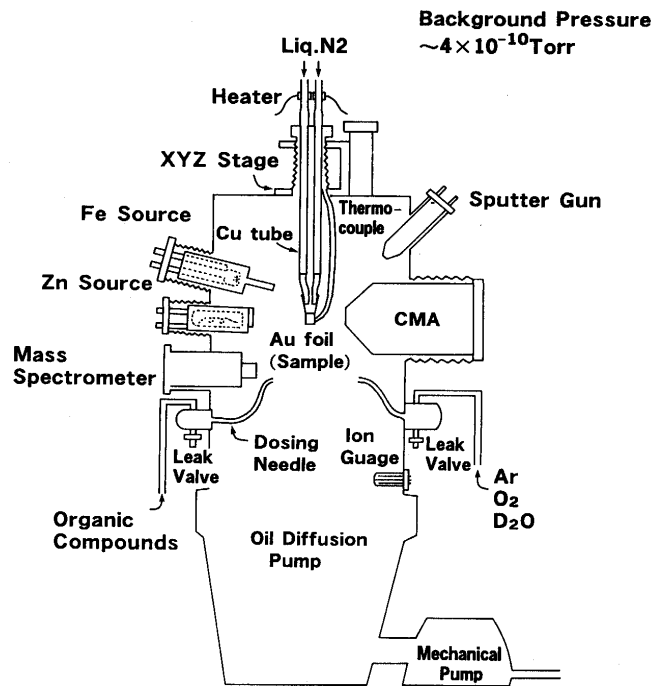


Fig.2. The UHV chamber constructed to study the adsorption of organic molecules on ZnO and FeO overlayers deposited on gold foil.

や各グループリーダーのこれまでの研究総括などである。またこれとは別に、月に2~4回、内外の表面科学関係の専門家を招いて1時間ほどの講義が行われた。いずれの場合も、質疑応答を聞いていると、学生やポスドクの興味の幅が意外に狭いことが分かる。そのかわり専門知識のレベルは高い。学会活動としては、表面科学の国際学会が留学中にLBLで開かれ、Max-PlanckのErtl, CambridgeのDavid Kingといったこの分野の主だった研究者が集まった。また、2年目の春には全米化学会がサンフランシスコで開かれ、その中でSomorjai教授の功績を称えるセッションが設けられて、全米から卒業生や教授の友人が集まった。これらの出来事から教授の知名度と人脈の広さがうかがわれた。研究室には各国からsabbaticalで来る大学教授も多く、2年もこの研究室に居れば、こと表面科学に関する限り世界の動きが分かってしまう。そういう求心力のある研究室であった。

最後に2点ほど、留学全般を通じて感じたことを申し添えたい。まず、専門性と英語力について。結論から言うと、このどちらが欠けても、学生やポスドクから信頼され尊敬される研究者たりえない。アジア人は概して英語が苦手であるが、ヨーロッパ人、特にドイツ人は英語の堪能な人が多かった。それが基準になってしまう。したがって、学術的にレベルの高い話を年齢相応の正しい英語で論理的に話せること無くしては、相手を説得したり、互角に議論したり、信頼されて相談をもちかけられたりということは起こらない。言葉は知性を反映するからである。我々日本人には厳しい要求かもしれないが事実である。次に、日本から

CalやLBLに来られた方々の生活ぶりについて。まさに千差万別であった。レジャーに徹する人、日本そのままにworkaholicな人、半年で帰る人、LBLに就職する人。従って一概には言えないが、私のように企業から2年程度派遣される人に限定すれば、この間にもし何らかの研究成果をあげるつもりならば、かなりの自己主張が必要だと感じた。自分がここに来て何をやりたいか、成果として何を期待しているかを初めからはっきり言って、それ相応の研究の道具立てを手に入れることが、限られた時間で目的を達成するための第一歩だと痛感した。

文 献

- 1) G.A.Somorjai: Surf. Sci., **299/300**(1994), p. 849
- 2) M.A.Van Hove and G.A.Somorjai: Surf. Sci., **299/300**(1994), p. 487
- 3) M.Nakazawa and G.A.Somorjai: "Adsorption of Substituted Benzenes on Polycrystalline Gold and on Zinc Oxide and Iron Oxide Overlayers", Appl. Surf. Sci., **68**(1993), p. 517
- 4) M.Nakazawa and G.A.Somorjai: "A Study on the Adsorption of Selected Organic Molecules to Model the Adhesion of Epoxy Resins", Appl. Surf. Sci., **68**(1993), p. 539
- 5) M.Nakazawa and G.A.Somorjai: "Coabsorption of Water and Selected Aromatic Molecules to Model the Adhesion of Epoxy Resins on Hydrated Surfaces of Zinc Oxide and Iron Oxide", Appl. Surf. Sci, submitted

(平成6年5月12日受付)

## 高窒素オーステナイト鋼の七不思議

友田 陽 / 茨城大学工学部

「鉄はまだまだ強くなる！ 我々は理論強度の20%くらいしか利用していない」という呼びかけに「なるほど」と思って鉄鋼協会特基研「鉄鋼の高強度化部会（牧正志部会長）」に参加させてもらった。原子結合から見積もった引張強さとせん断強さに対して現実の強度が著しく低いという事実から線形破壊力学と転位論が生まれた歴史がある。欠陥をもつ材料の強さがどこまで理論強度に迫れるのかという改めての問いかけを新鮮に感じた。鉄鋼といえばbcc系が主体で過去にあまりにも多くの研究がなされている。そこで筆者はfcc鋼の高強度化を勉強し比較してみようと考えた。オーステナイト鋼の最高強度は高窒素添加鋼で図1のように年々更新されつつあり現在は3.4GPaあたりまできているらしい（M. O. Speidel: Stainless Steels '91, (1991), p. 25, ISIJ）。その強化機構はどうなっているのか？ どこまで強くできるのであろうか？

窒素は $\gamma$ 形成元素および強化元素としてよく知られている。高濃度固溶状態で利用される代表例はリテーニング用の18Mn-18Cr-0.5N鋼である。最近では、製鋼技術の発展に伴い種々な鋼種がいろいろな分野で注目され始めたようである。不勉強のせいもあるが窒素添加オーステナイト鋼には新素材並に不思議に思うことが下記のようにいくつもあり、夢がある。

①窒素による固溶強化はFe-Cr-Ni系でもFe-Cr-Mn系でも著しく大きい。オーステナイトステンレス鋼の合金元素添加による固溶強化については、D. J. Dyson - B. Holmesの図（J. Iron Steel Inst., 208 (1970), p. 469）が有名である。C, W, Nbなど添加量1at%あたりの0.2%耐力の増加

量と格子定数の変化の間に良い相関がみられる。ところがNのみは著しくはずれて強化量が大きい。なぜだろうか？置換型固溶原子との相互作用（IS結合）や短範囲規則化など有力な示唆がなされているものの真相はいまだ不明である。

②強度が増大しても靱性が低下しない。高度強化すると一般に靱性が低下して使えなくなる。延性・靱性を低下させずに強度を上げられる手法は組織の微細化のみであるとよく教わる。図2（M. O. Speidel：前記文献）をみるとオーステナイト鋼に窒素を添加して常温の強度を上げた場合

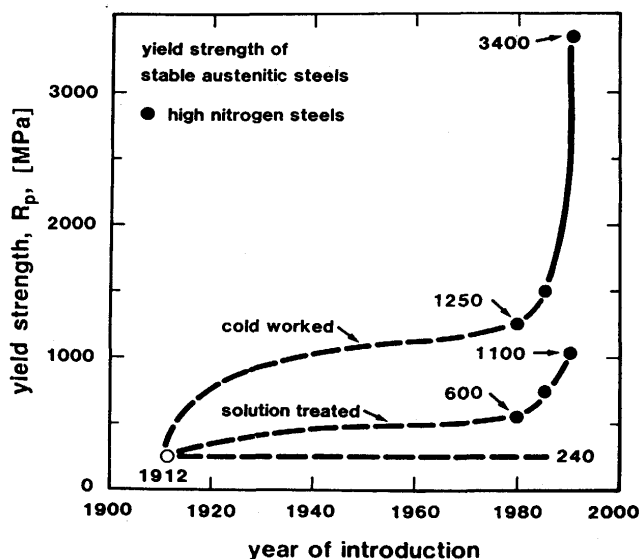


図1 高窒素オーステナイト鋼の高強度化 (Speidel)