

OVERSEAS REPORT

ミシガン工科大学と周辺における表面界面研究

西岡 一水

徳島大学工学部 〒770 徳島市南常三島町 2-1

(1981年4月9日 受理)

Michigan Technological University and the Vicinity

Kazumi Nishioka

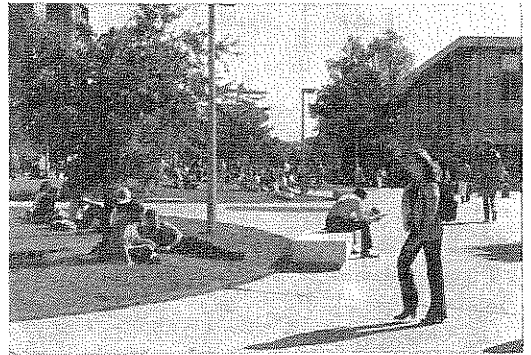
Faculty of Engineering, Tokushima University, 2-1 Minamijosanjima-cho, Tokushima 770

(Received April 9, 1981)

A unique feature of the research activities at Michigan Technological University is the large number of interdisciplinary research projects. One of these, "Interphase Boundary Initiated Fracture Project", in which the author participated for a year, is introduced in some detail. This project has more than thirty members, including thirteen regular faculties, and covers metallurgy, mechanical engineering, physics, chemistry, geology, and mining. Some of the research activities at University of Wisconsin of Madison, Ohio State University, and Carnegie-Mellon University are also introduced.

ミシガン工科大学はスペリオル湖に突き出た半島の中ほど、森と湖とに囲まれた辺境にあり雪と自然とを抜きにしては学生生活を語れない。州立大学として州内、特にデトロイト近辺の工鉱業に携わる技術者養成を主な使命とし、しっかりした学部教育によって高い評価を得ている。教官の中には企業での経験を持つ者も多く教育には卒業後の応用を頭においた実学への指向が強く感じられる。在学中は専攻分野によらず電子計算機をかなり自由に使用する機会が与えられ、各自の専門の外に電子計算機に慣れ親しんで卒業してゆく。キャンパスには女子学生が目立つが、事実機械工学、土木工学といった分野へも女性の進出が著しい。

研究活動は鉱山、冶金の分野によって代表されるが、これは本学が近辺の銅山、鉄鉱山の開発に寄与する目的で1885年に設立された歴史による。冶金工学科では16名の教官、13名の客員教官と研究員、8名の技官それに博士課程12名、修士課程27名の大学院生を加え50近くのテーマについて活発な研究が行なわれている。金属関係の二大会であるASM、TMS-AIMEの会長がそれぞれR.L. Smith前学長、D.F. Stein現学長と共に本学の冶金学者によって占められていることも本学科で



Early summer at Michigan Technological University. Many women engineers graduate from here.

の盛んな研究活動を象徴している。特筆すべきものとして全学で20におよぶ大型学際研究プロジェクトがあり、これらは幾つもの専門分野にわたる研究上の交流をもたらし大学の研究活動を活発にしている。

これらのうち金属関係では「鍛造の騒音低下」と「相境界に起因する破壊」の二つがあり、それぞれ年間11万ドル、32万ドルの研究費ですすめられている。後者の

場合研究費は NSF によって賄われ、冶金、機械、物理、化学、地質および鉱山の分野にわたる 13 名の教官、4 名の客員教官と研究員、数名の技官そして 15 名の大学院生が携わっており、理論と実験、基礎から応用まで幅広い研究が行なわれている。私も 1979 年秋から約一年間この研究グループに加わり破壊の微視的理論を分担した。このプロジェクトに属する 30 名余りのメンバーは月一度の割で研究会を開いて各自の研究経過と今後の方針について発表し全員で討論する。この機会に実験方法に関する助言とか研究のゆき詰まりを打開するヒントが得られることも多い。しかしながら研究会が各自の研究計画遂行への圧力となっていることも確かである。個々の研究が一段落するごとに全学に公開のセミナーで発表し成果をまとめた形で他のメンバーに知らせると共に結果について批判を受け討論する機会をもつ。セミナーでは町一番のベーカーリーから取り寄せたドーナツとコーヒーとが出ることもあって毎回盛況である。

次にこの学際研究プロジェクトの内容について紹介しよう。実用材料は多結晶でありしかも不純物を含むので粒界への偏析による強度の低下が機械材料として問題となる²⁾。また近年多相合金をはじめとする複合材料が普及しているが、この場合にも相境界に起因する破壊が問題である。それでは多結晶金属又は多相合金に外力を加えてゆく過程で界面の果たす役割について考えてゆこう。まず応力が弾性限以下のときには結晶の弾性異方性および界面における変位の連続性の条件によって応力場は非常に複雑なものとなる。応力が臨界値に達すると臨界剪断応力に達したすべり系の作用によって降伏するが、この過程および以下に述べる応力集中の解析は機械工学科の W. W. Predebon, C. R. Vilmann らのグループと冶金工学科の T. H. Courtney のグループとの協力で行なわれ解析的方法に加えて有限要素法が用いられている。塑性変形に伴って界面への転位の集積が生じ応力集中が起るがその緩和の度合は界面の構造に依存する。界面構造に関しては計算機シミュレーションが用いられているがこの際問題となるのは採用すべき原子間ポテンシャルで、特に多相合金の場合にはほとんど未解決である。また二体ポテンシャルそのものの正否にも問題が多い。これらの問題は冶金工学科の J. K. Lee と物理学科の P. Jena とのグループによって取り組まれている。

さらに応力が増すと界面近傍の結晶内部又は界面に沿ってき裂の生成が起るが、これら二つの過程のうちどちらが起るかは界面の結合力に依存する。界面への不純物の偏析によって結合力は大きく変わるが、偏析の定量はオージェ電子分光が用いられ、界面に沿って破壊した試料に対して不純物濃度のプロファイルを得る研究

が冶金工学科の D. F. Stein, J. A. Heldt らのグループによってなされている。モデル系として Co-CoAl が選ばれ、種々の不純物の影響とそれに加えて水素が共存する場合について結合力の低下が測定されている。また理論的側面からは偏析のモンテカルロシミュレーションも J. K. Lee のグループによってなされている。き裂の生成と伝播に関する理論としてはこれまで転位論に基づく考え方とかグリフィス流の巨視的な考え方が支配的であったが、原子の非調和振動に基づく格子不安定の立場からこれらを統一的に理解しようとする試みが J. K. Lee の協力のもとで筆者によってなされた。この考え方の正否は今後の研究に待つべきであるが、破壊の機構を微視的な立場から明らかにする方向へ一歩踏み出したものといえよう。

破壊は鉱石の粉碎との関連から鉱山工学においても重要で、NiO-CaO をモデル系に選んで多角的な研究が行なわれている。冶金工学、機械工学からの協力の他に化学科の B. C. Cornilsen のグループによってラマン分光による点欠陥の同定、状態図、相変態速度の研究がなされている。またプロジェクト全体を通じて TEM, SEM に関連した研究は冶金工学科の B. J. Pletka のグループによってなされている。上述のように広範囲の研究者の協力と相互啓発とに基づく学際研究がこのプロジェクトの特色であり、NSF からの研究費もこの点を評価されて得られたといわれる。学際研究チームの成否はリーダーの統率力によると思われるが、冶金工学科の T. H. Courtney 教授がその包容力のある人柄と全範囲の研究を理解し評価しうる広範囲な学識とによって良くまとめている。

1980年春には核生成理論の講演に招かれてミシガン周辺の大学を訪問した。ウィスコンシン大学マディソン校では J. H. Perepezko が金属液体の過冷却実験で興味ある結果をえていた。金属液体を微粒化することにより不純物を隔離する方法を用いて 0.3~0.4 Tm にまで過冷却し、その結晶化に際して種々の準安定相が得られることを見出しそれらの熱力学的性質を測定している。この方法は急冷却法と比較して実験条件が明確であるという長所を持ち金属の物性研究に重要な貢献をなすものと思われる。一連の結果はまた核生成理論への挑戦という意味でも重要である。この学科には表面科学関係では M. G. Legally がいて吸着原子の二次元相変態に関する興味ある実験研究を行なっている。オハイオ州立大学では J. P. Hirth がギブスの吸着式を界面破壊との関連において定式化していた。界面破壊に際して界面は自由表面へと変わるので不純物の化学ポテンシャルも変わり、グリフィス流の破壊理論との関連で種々の微妙な考察が

必要となる。

カーネギーメロン大学では J. S. Langer, R. F. Sekerka らによって凝固中の固液界面の安定性に関する理論研究が精力的に行なわれている。R. F. Sekerka は 40 才前後で若々しい青年といった感じであるが、既に数年前から材料科学科主任の重責を担っているときき驚いた。C. L. Bauer らは薄膜状の二種金属界面での拡散と化学反応の研究、薄膜状双結晶を用いて格子像による粒界構造の研究、NaCl 基板に照射された電子線によるエピタキシャル成長への影響が表面に生じた空孔によることなど薄膜に関連して多方面の研究を行なっている。他に D. E. Laughlin による二相境界構造の TEM による解析、C. S. Tsai らの Acoustic Microscope による界面の研

究、H. I. Aaronson らの massive 変態における核と母相との界面構造の研究などが表面科学に関連している。

約一年間の滞米を通じて強く感じたのは大学教官が研究費獲得のために多大の時間をさいている点で、研究テーマの選択にさえ研究費をとり易いかどうかという基準が支配的であるのは問題であろう。一方研究費申請書を作る段階で研究テーマについて詳細に煮詰める点は筆者の様にともすれば安易に研究を開始する者にとっては学ぶべきといえよう。

文 献

- 1) 西岡一水：鉄と鋼 **66** (1980) 1441.
- 2) 岡田秀弥, 井上 泰：表面科学 **1** (1980) 108.