

オースフォーム鋼および高強度鋼の破壊靱性

広島大学名誉教授 中佐啓治郎

1. オースフォーミング(Ausforming)

オースフォーミングとは、下図に示すように、鋼の恒温変態図の準安定オーステナイト領域で圧延などの塑性加工を加え、そのまま焼入れしてマルテンサイト変態を起こさせる加工熱処理である。加工時にオーステナイト中で増殖した転位はマルテンサイトに受けつがれるため、加工硬化とマルテンサイト変態による硬化が重複して起こる。さらに、焼入れ後の焼もどしによって炭化物が微細に析出するため（析出強化）、通常の焼入れ・焼もどし処理を行った鋼よりも、はるかに強靱な鋼が得られる。このオースフォーミングは、1960年代に、アメリカの Zackey らによって盛んに研究され、高強度の鋼を製造する新しい技術として注目されていた。

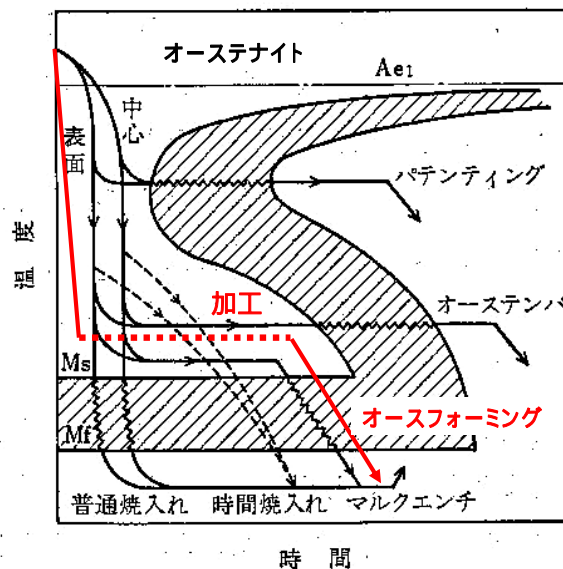


図1 オースフォーミングの模式図

1960年代の日本は、高度経済成長期の真っ只中にあり、鉄鋼業界においても、八幡製鐵、富士製鐵（1970に両社が合併して新日本製鐵となる）、住友金属工業、川崎製鐵、日本鋼管、神戸製鋼所などの鉄鋼各社、日立金属、大同特殊鋼などの特殊鋼製造メーカーが、競って新たな鋼材や加工技術を開発していた。これらの企業で製造された高品質で安価な鉄鋼材料は、海外に多量に輸出されるとともに、日本の自動車・車輻・船舶などの輸送機械、工作機械・建設機械などの産業機械、石油精製装置・化学反応装置、橋梁・大型建築構造物などに用いられ、日本の産業の急速な発展を基盤から支えていたと言える（現代の産業の米は「半導体」と言われているが、当時の産業の米は「鉄鋼」であった）。この時期、日本金属学会と日本鉄鋼協会の学術講演会場（同時期・同一会場で開催）は、金属・鉄鋼関係の研究者・技術者の熱気に包まれていた。オースフォーミングを含む加工熱処理法は、その後の2度のオイルショックを経て、省エネルギー・高生

産性・高品質化の要求に応え，制御圧延（controlled rolling）から熱加工制御プロセス（thermo-mechanically controlled process: TMCP）へと発展し，現在に至っている。

2. 破壊靱性(Fracture toughness)

破壊靱性は，き裂をもつ高強度材料（一般には脆性材料）のき裂伝ばに対する抵抗を表すもので，破壊力学的に定義される応力拡大係数 K またはエネルギー解放率 G の限界値（き裂先端の応力がそれ以上に大きくなると，き裂が不安定伝ばして脆性破壊する）と定義される。破壊力学の出発点は，Griffith の理論（1921 年）に遡るが，き裂先端の応力場を応力拡大係数 K で表現した 1950 年代の Irwin らの研究が，設計への適用を容易にしたといえる。機械・構造物には，表面疵や介在物などの欠陥，溶接部のき裂などがあり，運転・使用中にも疲労き裂，応力腐食割れなどによるき裂が発生する。したがって，台風や地震などで構造物に突然大きな負荷が加わる場合はもちろん，小さな繰返しあるいは静的な応力であっても，それらが機械・構造物に長時間加わると，き裂が次第に進展し，その材料の破壊靱性値に達して脆性的な破壊が起こることがある。そこで，き裂をもつ機械・構造物の安全設計を行うには，それまでの設計で用いられていた降伏応力や引張り強さではなく，材料定数としての破壊靱性値をあらかじめ試験により求めておき，破壊力学に基づいて（き裂の存在を前提として）安全な使用応力を決めなければならない。また，き裂の有無・進展の程度を定期的に検査して，事故を未然に防ぐ必要がある。

以下に示す我々の論文の内容は，オースフォーミング処理，オースフォーミング後の時効処理，高温からの焼入れ（残留オーステナイトの存在），繰返し焼入れ（結晶粒微細化），焼戻し温度（低温焼戻し脆性），疲労蓄積，試験片板厚などが，破壊靱性値にどのような影響を及ぼすかを調べた結果であるが，すでに 40 年が経過し，研究結果は古いものになってしまったので，ここでは説明を省略する。興味のある方は，J-stage の「日本金属学会誌」：

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jinstmet/-char/ja/>

をご覧ください（文献 9～11 は，J-stage には，掲載されていません）。

論文リスト

1. **オ - ス フ ォ - ム**した 9%W-2.5%Cr 工具鋼の高温強度について，日本金属学会誌，第 32 巻，第 12 号，pp.1270-1275，(1968)（武井英雄，中佐啓治郎，吉永芳豊，笹木寛訓，山崎敦通）
2. **オ - ス フ ォ - ム**した 9%W-2.5%Cr 鋼の**破壊靱性**について，日本金属学会誌，第 33 巻，第 12 号，pp.1343-1349，(1969)（武井英雄，中佐啓治郎，吉永芳豊）
3. **オ - ス フ ォ - ム**した 9%W-2.5%Cr 鋼の**破壊靱性**におよぼす動的ひずみ時効の影響，日本金属学会誌，第 34 巻，第 9 号，pp.977-982，(1970)（武井英雄，中佐啓治郎，小塩智章）
4. Ni-Cr-Mo 鋼の**破壊靱性**におよぼす疲労の影響，日本金属学会誌，第 35 巻，第 6 号，pp.599-603，(1971)（武井英雄，中佐啓治郎，岡本昭宏）

5. Cr-Mo マルテンサイト鋼の破壊靱性におよぼす熱処理および加工焼入れの影響, 日本金属学会誌, 第 35 巻, 第 11 号, pp.1067-1072, (1971) (武井英雄, 中佐啓治郎)
6. 高強度鋼の引張諸性質と平面ひずみ破壊靱性値の関係, 日本金属学会誌, 第 36 巻, 第 10 号, pp.935-943, (1972) (中佐啓治郎, 武井英雄, 石尾泰博)
7. 鋼の低温焼戻し脆性と破壊靱性値, 日本金属学会誌, 第 37 巻, 第 7 号, pp.754-763, (1973) (中佐啓治郎, 武井英雄, 石尾泰博, 若岡俊介)
8. 高強度鋼における破壊靱性値の板厚依存性, 鉄と鋼, 第 62 巻, 第 12 号, pp.1523-1531, (1976) (中佐啓治郎, 武井英雄)
9. The Sheet Thickness Dependency of Fracture Toughness in High Strength Steels, Trans. ISIJ, Vol.18, No.1, pp.25-32, (1978) (Keijiro Nakasa, Hideo Takei)
10. 高強度鋼の破壊じん性値と熱処理, 第 19 巻, 第 5 号, pp.279-285, (1979) (中佐啓治郎)
11. 限界 COD による塑性加工性の評価, 塑性と加工, 第 16 巻, 第 171 号, pp.319-327, (1975) (武井英雄, 中佐啓治郎, 石尾泰博, 湊正則) *高強度鋼が対象ではありません

研究回顧

オースフォーミングの研究のきっかけ

上記のオースフォーミングの研究は、私が昭和 42 年(1967 年)に、広島大学大学院工学研究科修士課程機械工学専攻を修了し「工学部精密工学科」材料および加工」研究室の助手になり、武井英雄教授の指導で行ったものである。武井先生は、私が助手になる数年前から、すでに工具鋼のオースフォーミングの研究を行っておられ、私はこの研究に途中から参加したことになる。

私は、学生時代には、機械工学科(機械工学専攻)の材料力学研究室(寺内喜男教授、住廣克己講師、宮尾義治助手、大下日出夫技官)に属し、鉄鋼材料の疲労破壊の研究をしていたが、精密工学科に勤めてからは、金属関係の勉強を始めた。金属工学の分野は、機械工学の分野ほどは広くはないが、金属物性・金属化学、結晶構造・相変態・熱処理、プロセス・加工(精錬、鑄造、塑性加工、粉末冶金、溶接)、力学特性・強度(結晶塑性、疲労、クリープなど)と、物理・物性および化学の基礎的学問に深く結びついており、あらたに勉強しなおさなければならない。精密工学科も機械系の学科に属するから、自然と熱処理・加工によってもたらされる金属組織と機械的性質の関係を研究することになった。同じ研究室には、塑性加工を研究テーマとされている助教授がおられ、別の研究室には、鑄造・粉末冶金、機械加工、蒸着・スパッタ薄膜の研究者がおられた。また、理学部には物性学科・微晶研究施設があり、結晶構造解析、格子欠陥、磁性体などの研究が行われていた。同じ金属学会や鉄鋼協会に属するこれらの研究者が、中国四国支部

の役員会や研究会で情報交換しながら研究するという体制に、私も参加することになった。

さて、私は、最初はオースフォーミングの研究を無我夢中で行ったが、しばらくしていろいろな問題にぶつかった。その一つは、武井先生は、オースフォーミングした工具鋼について、すでにさまざまな機械的性質（引張り・衝撃・疲労・ばね・摩耗特性）を調べておられ、私が途中で参加した高温強度・クリープ特性の研究が終われば、研究が一段落すると思われたことである。同じ加工熱処理である、「アイソフォーミング」の研究も行ったが、強度と延性の組合せが格別によくなることはなかったので、この種の研究が、広がりのあるテーマになるとは思えなかった（実際には、もう少ししていねいに研究すれば、その後盛んになった、TMCPの研究ともつながった可能性はあるが）。当時の広島大学工学部には、修士課程ができたばかりで博士課程はなく、私が博士の学位をもらうためには、あるテーマについてまとまった研究を行って、どこかの大学（旧帝大あるいは東工大）に論文を提出して審査にパスしなければならない。学位がなければ、一人前の研究者として認めてもらえない。このままでは、研究がまとまらないのではなかろうか、という心配があった。

もう一つの重大な問題は、金属学会・鉄鋼協会の講演会に参加して発表を聴いているうちに、金属材料の開発研究には、材料製造装置（たとえば、真空溶解炉、真空熱処理炉）や実験で得られた結果を分析するのに必要な装置（たとえば、走査型および透過型電子顕微鏡、X線回折装置（ディフラクトメータ）、各種の元素分析装置）が必要であるが、精密工学科・機械工学科には、平面カメラのついたX線回折装置やスーパースコープと呼ぶ小型の透過型電子顕微鏡（レプリカをとって蒸着し、電子線を透過させて破面形状や凹凸調べる装置）を除いては、それらが全くなかったことである。熱処理・加工に必要な装置（電気炉、圧延機）や機械的性質の評価装置（引張り試験機、捩り試験機、衝撃試験機、硬度計、摩耗試験機など）はあり、疲労試験機やクリープ試験機は研究室の吉永吉豊技官と一緒に手造りしたが、このままでは、いわゆる旧帝大の金属・鉄鋼の研究者や、大手鉄鋼各社の研究所に属する研究者の研究水準に追いつくことさえ難しい。現に、京都大学の田村今男先生のグループは、オースフォーミング鋼の組織を世界で初めて電子顕微鏡で観察されたことを発表しておられた。材料関係の研究者にとっては、自分たちがいかに優れた材料やプロセスを開発できるかに関心があり、評価技術は、自分たちが開発した材料の特性を確認する手段に過ぎない。ましてや、金属学的な分析・考察が少ない我々の強度評価についての論文に対する関心度は低いであろう。このままでは、自分は、将来、材料分野の研究者としてやっていけるのだろうか、という漠然とした不安を感じていた。

破壊靱性研究のきっかけ

上述のように、私が、今後取組むべき研究テーマ、実験装置の不備、自分の立居地に不安を感じていたある日、私の机の上に一編の解説記事が置いてあるのを見た。それは、東大の荒木透教授が書かれた長文の解説記事「超強力鋼」（鉄と鋼、Vol.52（1966）、pp.163-186）で、その中で、高強度鋼の使用に当たっては「破壊靱性値」と「遅れ破壊（水素ぜい性）」が重要な問題になっていて、アメリカでは、この分野の研究が盛んに行われている、と書いてあった。武井先生は、自分の興味のある論文や解説記事があると、余分にコピーして私にも下さっており、その解説記事は、それらのうちの一つであった。「遅れ破壊」という現象は少しばかり知っていたが、「破壊靱性」は初めて耳にした言葉であった。この記事を読み、「破壊靱性」と「遅れ破壊」は、

オースフォーム鋼の当面の研究テーマになりうるし、オースフォーム鋼に限らず、すべての高強度鋼の「破壊靱性」と「遅れ破壊」を、金属学および力学の両面から研究すれば、将来の研究の展望（学位の取得を含む）が開けるのではなからうか、と思った。早速、武井先生と相談して、この方面の研究に着手することにし、破壊力学と破壊靱性についての外国文献の調査を始めた。

[遅れ破壊](#)の研究については、2. 鉄鋼材料・チタン合金の環境強度 A. 高強度鋼の水素脆化割れ（遅れ破壊）をご覧ください。

大学紛争の勃発

私が助手になって2年後の昭和44年（1969年）、各地で大学紛争が起こり、広島大学でも学生と大学側とで相当激しいやりとりがあった。詳細は省くが、工学部でも、学生の主張とは別に、自己改革の機運が盛り上がり、いろいろな委員会ができた。私も、工学部内では、四層（教授、助教授・講師、助手、事務官・技官）連絡会議の委員、カリキュラム改定小委員会委員、工学部助手会委員、全学の助手連絡協議会工学部代表委員、などを務めた。これは、好んで務めたのではなく、早く研究を進めなければと思いながらも、成行き上そうしなければならなかったためである。学部・修士課程学生と、6年間大学に在籍すれば大学内の多くの矛盾を体験したし、助手になっても（武井先生には、個人的には大変よくしていただいたが）、制度上、これは、と思うことが何度かあった。しかし、私は、大学の意思決定機関（教授会）、人事制度、選挙制度、研究体制（講座制）、教育体制、助手という身分、などについて、まだ十分実体が把握できていなかった。これらのことについて本格的に考えたこともないままで、混乱の渦に投げ込まれ、溺れながら考えた、というのが実情であった。その後の経過も省略するが、この大学紛争をきっかけとして、広島大学が広島市から東広島市に統合移転することになり、我々の研究環境と生活環境は大きく変わった。また、教養部が総合科学部になり、助手にも学長選挙の選挙権が与えられるようになった、という制度上の変化はあったが、一方で、我々が当時議論し、期待したように大学の中身が大きく変わる、ということにはなかった。それどころか、しばらくすると、かつての権威主義が、そのまま、あるいは形を変えて戻ってきたように思えることが多かった。

大学紛争を、簡単に総括することはできないが、大学紛争は、大学の旧体制に少なからず影響を与え、大学の構成員にも何かを考えさせたことは間違いない。我々が紛争のさなかで議論し考えたことを、その後、私が大学の制度改革に生かす努力をしたか、私の研究・教育活動で実践したか、というと、それには自信がない。しかし、まだ研究者になって間もない私にとっても、大学紛争に出会ったことは、決して無駄ではなく貴重な体験の1つであったと思う。もともと、助手は教授のいうままに研究を進めればよい、とは思っていなかったが、まずは、弟子入りしていろいろ学ぶべきことは学ばねばならない。助手といっても、年齢の多い方もおられ、考えも教授との関係も、千差万別であったが、大学紛争を通じて私が感じたことの1つは、早く研究者として自立し、自分の考えを確立しながら研究を進める必要がある、ということである。

日本における当時の破壊力学，破壊靱性に関する研究の状況

戦中・戦後にかけて，大型船舶の沈没事故が頻発したが，その原因は，溶接部分のき裂が伝ばして脆性破壊をひき起こすためであった。船舶の安全設計に，破壊力学をいち早く導入されたのは，東大の吉識雅夫（1982年文化勲章受賞）・金沢 武先生らのグループである。先生らのグループは，昭和32年（1957年）ころから，温度勾配をつけた二重引張り試験片を用いてき裂伝ば停止挙動を調べられ，船舶の事故を未然に防ぐための設計手法を提案された。その後，クラックアレスタの設置，鋼板の品質改善（延性 脆性遷移温度の低下），溶接法の改善，二重底の採用などで，現在では，脆性破壊による大きな事故は聞かなくなった。

一方，機械関係の分野では，破壊力学の導入はかなり遅れていたが，私が破壊靱性の研究を始めた昭和43年（1968年）ころには，すでに機械学会でも破壊力学の研究が盛んになっていた。アメリカでは，1950年代にIrwinらの研究成果を基にした破壊力学の研究が広く行われていたにもかかわらず，なぜこのような遅れが生じたかの理由と材料強度研究のあり方（ミクロとマクロの結合，境界領域的な研究の重要性，Fractographyの提案など）については，東北大学の横堀武夫教授（国際破壊会議ICFの創始者，平成12年文化功労者）が，先生の主宰されていた「材料強度と破壊国内総合シンポジウム」で，たびたび指摘されていた。私は，昭和43年（1968年）の第13回シンポジウムに初めて出席したが，駆け出し研究者の私は，会場の後ろで，有力大学の権威がこのシンポジウムで行う講演とその後の激しい議論の応酬に圧倒されながら，しかしやや興奮して聴いていた。ただ，自分たちが行っている破壊力学を用いるアプローチは，日本ではまだ新しいものであり，これからの研究にも役立つであろうとの確信はもてた。

さて，上記のような研究の盛り上がりから，機械学会の第一企画部会材料力学委員会は，破壊力学に関するシンポジウムを開催していた。私は，昭和46年（1971年）に箱根湯元温泉で泊りがけで開催された第3回のシンポジウム「破壊力学の応用と拡張」（東大：北川英夫・宮本 博，両先生がお世話された）に参加したが，力学主体の講演募集であると考えて，講演発表の申し込みはしなかった。参加者の中には，私と同年輩の若手研究者もいたし，材料力学の有名な研究者の方々が多数おられたが，名前は知っていても，殆ど話をしたことのない人達ばかりであった。もともと社交性のない私は，期間中，数人の方と話をしただけであったが，誰とどのような話をしたかは，今でも記憶している。

その後の，日本における破壊力学研究の発展は目覚しかった。機械系学科の材料力学関係の研究室（大きな大学には複数の研究室がある）は，教授・助教授・助手・大学院学生と，研究室あげてこの方面の研究を推進した。純粹に力学的な研究（応力拡大係数の理論解析，FEMを用いた数値計算，J積分など）もあれば，各種破壊現象（疲労破壊，クリープ破壊，衝撃破壊，脆性破壊など）に破壊力学を適用した研究もある。弾性力学，塑性力学，材料力学などの力学関係の研究を行っていた多くの研究者にとって，破壊力学は格好の研究手段・研究テーマであり，互いに競い合って，この方面の研究を行っていた。その後，材料学会でも，阪大の大路清嗣先生の提唱で，昭和53年（1978年）に「破壊力学部門委員会」が発足し，私も委員として参加させていただいた。

研究の自己評価

我々の最初の研究論文の掲載（日本金属学会誌）は昭和44年（1969年）であり、日本では、かなり早い時期に破壊靱性の研究にとりかかった。しかし、機械学会・材料学会に属する力学関係の研究者が、金属学会誌を見ることはなかったであろうし、当時の機械学会では、材料力学の研究者は多数いても、機械材料・加工の分野の研究者は小勢力に過ぎなかった。つまり、我々の論文には、金属組織学的な考察が少ないので、金属学会では「機械的特性の解明」という分野の論文としてもあまり評価されず、機械学会ではその存在が知られない、という位置づけになっていたと思う。また、ロケット開発などで早くから高強度材料を必要としていたアメリカでは、すでにこの研究分野は相当に進んでいたし、我々が対象とした工具鋼（SKD5）についても、アメリカではH11鋼（JIS規格のSKD6相当）を中心として、すでにいくつかの論文が出されていた。したがって、我々の論文は、細部ではあらたな事実を明らかにしているが、世界水準の先駆性・オリジナリティーという点では、あまり自慢できるものではなかったと思っている。

破壊靱性の研究のその後

私は、上記2～7の論文その他を、博士学位論文「高強度鋼の破壊靱性に関する研究」としてまとめ、武井先生のお世話で、先生が卒業された東京工業大学に提出し、昭和50年（1975年）に学位をいただいた。これについては、主査の中村正久先生（金属工学科）を始めとして、副査の先生方には、大変感謝している。また、実験装置を造っていただいた吉永芳豊技官、実験に協力してくれた多くの学生にも感謝している。さらに、理学部・物性学科の小村幸友教授、藤井博信先生（のちに総合科学部教授）には、磁気分析装置でマルテンサイト中の残留オーステナイト量を測定していただいたし、工学部共通講座の西 正任教授（のちに呉高専校長）、西山文隆技官には、ディフラクトメータの使用法を教えてください X線回折法により残留オーステナイトを測定した。これらの方々にも大変感謝している。

当時は、パソコンやワープロなどはなく、印刷費用も高いから学位論文原稿はすべて手書き、描画ソフトもないから、図表は一枚ずつレタリング（ロットリングという道具で墨入れ）して写真に撮り、印画紙に焼いて原稿に貼りつけなければならない。修正部分があると原稿や図表の書き直しになるから、論文を作成するのに相当の時間がかかる。また、まとめの打合せ・予備審査・公聴会で、何回か東京まで行かなければならない、など、いろいろなことがあったが、目的があれば何事も苦にはならない。

実は、のちに広島大学にも博士課程が設置され、私が、主査あるいは副査として学位論文の指導と審査をするようになったとき、とくに外部の研究者の学位論文を見るときには、大変な労力が必要であることが分かった。思えば、まとまりのない私の学位論文の原稿をていねいに見ていただいた、東工大の先生方には、あらためて感謝である。外国には、いわゆる「課程博士」の制度があるのみで、自分の研究をまとめてどこかの大学に学位論文を提出して審査を受ける、という「論文博士」という制度はない。日本でも、現在では、殆どの大学に博士課程ができていて、社会人を対象とした博士課程もある。理工系の「課程博士」の場合、「論文博士」の場合とは異なり、公表論文の数は少なくてもよいから、学位を取得するのは比較的楽であると言える。しかし、いろいろな事情でルールに乗れない人のために、「論文博士」という制度も残しておいてほしいものである。

さて、私は、その後、「破壊靱性」の研究は続けなかった。き裂先端の塑性変形が大きい場合（非

線形破壊力学)のき裂伝ば抵抗評価パラメータである,き裂開口変位 COD や,エネルギー解放率に相当する J 積分を用いた研究も少し行ったが,遅れ破壊(水素脆性)に研究の軸足を移した。その理由は,COD や J 積分は,高強度材料ではなく,主として古典的な中・低強度材料を対象とするから,材料側の面白みは少ない。また, J 積分を用いる評価は新しいが,すでに行った応力拡大係数 K を用いる「破壊靱性」評価の延長が主体で,評価手法としての発展性に限界があるように思えた。もちろん,実験を行わない力学的評価パラメータそのものの理論解析は 私には難しくてできない。また,当時盛んになっていた大型コンピュータを用いたき裂問題の有限要素解析・境界要素解析を,材料関係の何かのテーマに応用しようとしても,私のプログラム能力の不足では,研究がはかどらなかったと思う(実際には,これらの手法を材料の分野に適用して大きな成功をおさめられた研究者もたくさんおられる)。

いずれにしても,破壊力学を研究手段にするならば,金属・鉄鋼協会だけでなく,機械学会や材料学会にも出席し,研究会などを通して,自分の研究を知ってもらい,自分も勉強しなければならない。そこで,私は,破壊力学を,上述の高強度鋼の遅れ破壊(水素脆性)や腐食疲労などの環境強度の問題に適用し,自分の立場・オリジナリティーをアピールすることにした。自分の立場をアピールする,と言えば聞こえはよいが,破壊力学パラメータそのものの解析では,有力大学で伝統的に材料力学・計算力学を行っている研究者たちには勝てないし,破壊力学を破壊現象に適用する研究では,何世代にもわたって優秀な弟子を残して養成し,疲労破壊を研究している有力大学の研究者たちに交じって独自性を出せる自信はなかった。また,自分の所属する研究室「材料および加工」からかけ離れた力学主体の研究を行うこともできない。一方,疲労破壊ほどの実用的重要性はないが,破壊力学の適用対象を「遅れ破壊(水素脆性)」とするならば,これを,表面の腐食反応による水素の発生,金属組織と水素の相互作用,水素の拡散挙動と水素集積の駆動力となるき裂先端の応力場,あるいはき裂先端の塑性変形との関係で議論できる。研究結果は,遅れ破壊(水素脆性)の研究者が多い金属学会・鉄鋼協会で発表できるし,遅れ破壊を高強度鋼の腐食疲労と関係づけるならば,材料学会・機械学会でも発表できる。つまり力学・材料・環境がすべて関係していて(水素は通常的分析手段では見えないから,電子顕微鏡などの分析機器がなくても研究ができる),機械工学分野(機械系学科)における材料研究者(材料研究室)としての立場が保てるのではなからうか,研究のオリジナリティーが出せるかもしれない,と漠然と考えたのである。

私が,破壊力学を用いた研究を行っていた頃,武井先生は「超塑性」の研究を始められた。最初は私もお手伝いしたが,超塑性を専門とされる新しい助手の先生が来られて,私は,遅れ破壊(水素脆性)や腐食疲労の研究に専念することになった。この研究やその後の私の研究は,もちろん材料学に基づく強度の研究ではあるが,一方で,新規の材料・プロセスの開発という材料研究者の主要な役割を果たすことはできなかった(これがのちに,一種の口実として,特定の方面から非難されることになるとは夢にも思わなかったのであるが)。しかし,材料・プロセス開発については,結果的には,私の研究生生活の後半において,表面処理・スパッタエッチングの研究として,何とか実現できたと思っている。紆余曲折はあったが,私の長い研究生生活を通して考えると,材料の強度評価・破壊機構解明の面白さと,材料・プロセス開発の面白さの両方を,不十分ながら味わうことができたと思っている。

大学における自分の研究について考えたこと

私が研究者を目差して助手になったといっても、大学の研究の果たす役割や現状、大学と企業の研究の違いなどについて深く考えたこともなく、また、すぐには分からなかった。大きな企業に入った同級生が、私に、広島大学工学部の設備は貧弱で（実際、大部分の研究室が、前時代的な装置を用いて実験していたのであったが）、企業の研究設備の方がはるかに整っている、と言った。また、ある企業の研究者は、1人当たりの1年間の研究費は、装置購入費を含めて2,000万円くらいある（その頃の工学部の通常研究費は、一研究室あたり200万円位以下であったと記憶している）、ただし、研究テーマの設定については、上司の許可が必要で、研究成果は1年単位で問われる、と言っていた。

企業の研究は、基礎研究もあるが、利益追求という企業の論理で行われるから、研究費が多い代わりに、研究テーマも実用的なものが多く、その成果も短期間で問われるのは当たり前である。これに対し、大学の研究には、かなりの自由がある。しかし、自由があっても研究費がないから、研究テーマを何に設定したらよいか悩む。一方で、成果が出なくても、あまり文句は言われないから（学生の教育という逃げ道がある）、ぬるま湯的な悪循環に陥りやすい。理論的な研究は別として、先端的な実験研究は、先端的な実験装置と優れた研究者がそろっていないとできないことは昔も今も変わらない。先端的な装置がそろっていただけでは駄目な例はいくらでもある。先端的な装置と優秀な研究者（+ 学生）の両方がそろわないといけない。「大学では、どんな研究をしてもよい」と、言われた大家があられたが、若い研究者には、そんな自由と余裕はない。教授が研究設備をそろえてくれるのを待つ訳にもいかない。博士課程をもつ有力大学や附置研究所に比較すると、広島大学のように修士課程ができたばかりの新制大学の研究費は少ないし、科学研究費を獲得できる可能性も低い。特別設備購入費の順番が回ってくるのは、一学科あたり10年に一度で、それがもし回ってきても、教授が決めた研究室の順番があって、自分が欲しい装置が買えるとは限らない。しかし、研究費が少ないとか、設備がない、とかに、成果が出せない責任を転嫁することはできない。設備を借りながら、その研究施設との共同研究という形で、業績をあげている研究者もあられた。研究者にとって大切なことは、研究テーマの設定と、それを実現する道筋をどのようにつけるか、ということであろう。学生時代の恩師である寺内喜男教授（のちの工学部長、機械学会副会長）は、研究は「アイデア」でするものだ、と言ってあられた。「アイデア」は「思いつき」と違って、さまざまな情報、過去の失敗例、思考実験などが熟成したときに出てくると思うが、アイデアは理論でも実験でも必要であり、先生は、両方で大きな業績をあげてあられた。アイデアには、大きなものと小さなものがある。大きなアイデアを実験により実現するためには、多額の研究費が必要であるが（現在では、若手研究者のアイデアや夢を実現する大規模研究費の募集がある）、小さなアイデアあれば、研究費や設備がなくても実現できるから、オリジナルなテーマを探し、自分のできる方法を探すしかない。破壊力学の大道を進もうとして石に躓いて歩けなくなるよりも、枝道に入って迷うかもしれないが、材料がらみの研究、あるいは人のやらない研究で独自性を出せばよいのではなかろうか。いずれにしても、成果を発表しておかないと、人に自分が行っている研究を知ってもらえないし、学内での自分の立場も危うくなる。いささか「マイナー志向」ではあったが、以上が、そのころ、あるいはその後、自分の置かれていた環境から、一部は強く意識しながら、一部は他大学の研究者の話の聞き

たり記事を読んだりしながら，漠然と考えていたことである。

ただし，その後，私の研究が，他人の後追いではなくオリジナルな形で，あるいは具体的に工業的に役立つ形で，あるいは効率的な形で，実現できたかということ，それは全く別問題である。むしろ，その後なかなか「アイデア」が浮かばず，研究テーマの設定に迷い，研究費不足を託ち，自分の力量不足を痛感しながら，ときにはプレッシャーとあせりを感じ，ときには少しの喜びを感じながら研究を続けた，というのが実情である。

終わりに，「オースフォーム鋼および高強度鋼の破壊靱性」および，これに関連する一連の研究に協力していただいた，当時の修士課程学生：笹木寛訓君（彼にオースフォーミングの作業を教えてくださいました），山崎敦通君（故人），小塩智章君，岡本昭宏君，石尾泰博君，若岡俊介君，湊 正則君，下江洋生君，および学部学生：沢田俊英君，中村孝宗君，池田寛治君，山下 肇君，竹岡健治君，荒槇 淳君，岡本法明君，福永正博君，村田文也君，石見 清君，岩永健二君，谷口春生君，角南英二君，原田隆生君，高橋正美君，中枝牧夫君，中浜義訓君，横町栄治君，村上泰司君，沖村政則君，山本正典君に感謝します。

ホームページに戻る

<http://www006.upp.so-net.ne.jp/nakasa/>