

# 43 年間の研究生活を振り返って

小幡 文雄  
鳥取大学大学院工学研究科機械宇宙工学専攻

My Research Life Memories in 43 Years

Fumio OBATA

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Graduate School of Engineering  
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan  
E-mail: obata@mech.tottori-u.ac.jp

**Abstract:** During the first 20 years research at Okayama University, it was clarified that the scoring of cylindrical gears is prevented by reducing the specific sliding. At Tottori University, I have challenged various themes on the secondary refining, the thermal crack of sintered carbide tool, slide way, tool holder, the thermal deformation of machine tool, press working, and corrugated cardboard.

**Key Words:** Gear, Lubrication, Scoring, Specific Sliding, Secondary Refining, Slag, Sintered Carbide Tool, Thermal Crack, Slide Way, Friction Coefficient, Tool Holder, Chatter Vibration, Machine Tool, Thermal Deformation, Press Working, Die, Corrugated Cardboard, Quality Engineering, Parameter Design, Optimum Design

## 1. はじめに

学園紛争が全国的に激化しつつあった1969年3月岡山大学工学部機械工学科を卒業、政治や経済、金融面などで世界的に不安定さが増しつつある2012年3月定年退職する。いろいろな面での成果が問われなくなる退職後は、社会科学や人文科学など理工学以外の分野にも興味の対象を広げ自由な発想を楽しんでみたいと思っている。

43年間の機械工学に関する研究を振り返ってみる前に、大学卒業後の略歴を紹介する。

わずかに約5ヶ月という短期間ではあったが岡山県内の工作機械メーカーに入社し、ものづくりに対して貴重な経験を積むことができた。当時は数値制御工作機械が国内に普及し始めたころであり、大学4年生の時にマシニングセンタの製造を始めて間のない新鋭工場を見学した際、数値制御で動く工作機械に感動を覚えて応募を決意した。現在手掛けている工作機械の熱変形に関する研究のきっかけはここにあったといえる。高度経済成長期のはしりであった当時、同級生の多くは大企業に入社した。私は大企業に興味はなく、資本金2000万円、従業員約150人の中小企業を選択した。入社当時から高精度に対するこだわりは強く、現在でも精度に対する世間の評価は極めて高い。入社後の仕事は設計がメインであったが、自動プログラミングソフトウェア APT の他に特許に関する

仕事も課せられ講習会にも出席した。そのころ工作機械の主軸の変速は歯車列で行われており、1970年の国際工作機械見本市に出展を予定していた工作機械の主軸歯車列の設計を新入社員の私がすることになった。自信はなかったが、大学4年生後期の設計製図で転位歯車の設計法を学んだこともあって、どうにかできた。

会社の仕事に対して別段不満はなかったが、中学生のころから抱いていた研究者に対する憧れが捨てきれず、入社後間なしの5月、会社に辞職願を提出した。辞職が認められるまでに3ヶ月を要したものの、1969年8月岡山大学助手工学部機械工学科に採用された。12年後の1981年7月、九州大学から工学博士の学位が授与された。学位論文は「平歯車潤滑における潤滑油の挙動と潤滑油の耐負荷能に関する研究」であった。1987年4月岡山大学助手大学院自然科学研究科(後期3年博士課程)に配置換えとなった。約18年間の長きにわたる助手時代、理解ある教授の下で思う存分研究に打ち込むことができた。その後、1987年9月農林水産省所管水産大学校助教授機関学科、1991年4月鳥取大学教授工学部機械工学科、1997年12月鳥取大学教授大学院工学研究科情報生産工学専攻生産環境システム講座(博士後期課程)と異動を繰り返しつつ今日に至った。

本稿は、平成23年度に定年退職する教員に対し、これまでの仕事を総説としてまとめるように

との工学研究科研究報告編集委員会からの依頼により執筆したものである。内容は学術論文や学会誌の解説では記述できないものとした。また、図の掲載は必要最小限にとどめた。内容の概略は以下のとおりである。

最初に、1969年から約20年間、おもに岡山大学で行った動力伝達用円筒歯車の潤滑に関する研究について述べる。づきに、1991年から現在まで鳥取大学で取り組んできた様々な研究を紹介する。つづいて、研究に対する大きな意識改革をもたらした品質工学について説明する。おわりに、教育・研究面での工学部・工学研究科の今後のあり方について私見を述べる。

## 2. 研究が軌道に乗るまでの5年間

1969年8月から岡山大学工学部機械工学科工作機械講座藤田公明教授の助手としての研究生生活が始まった。藤田教授は国鉄技術研究所の主任研究員として山陽新幹線の動力伝達装置を開発し、私が4年生になった1968年4月に着任した。

助手になってからの1年半は、卒業研究で行った「クラウニング歯車の歯元応力計算法」の研究をつづけ、成果をまとめて日本機械学会論文集に投稿した<sup>[1]</sup>。なお、クラウニング歯車とは、平歯車における片当たりを防止するために歯すじ方向に丸みをつけた歯車のことである。藤田教授から、クラウニング歯車によって国鉄の列車や連絡船に使用されている歯車の折損事故の激減、歯幅の約30%縮小、歯車箱の小型化ができたと聞いた。

大学教官として生きていくためには博士の学位は必須である。藤田教授は多くのことを語らない方であった。そのことは、人に指図されることが嫌いな私にとっては非常にありがたかった。記憶に残っている研究に関する指示といえば、ある日、(株)日立製作所中央研究所主任研究員で歯車のピッチングに関する研究をしている人の日本機械学会論文集掲載論文別刷10報分を手渡し、10年間で学位を取得すること、学位取得後に論文が書けなくなるいわゆるドクターストップにならないこと、毎年一編以上の論文を出し続けることくらいである。その際、現在でも心に留めている話を聞かされた。それは、研究初心者の中には、研究テーマを見つけるために数多くの文献を読んだ結果、自分が考えたことはすでに研究されているという者がいるということであった。私は、人が違えば発想も異なると思っており、新しい研究テーマに今でもたいした抵抗もなく取り組むことが

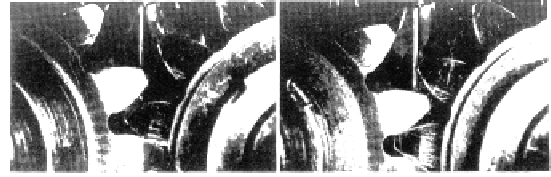


図1 かみ込み側からの高速噴射潤滑

できる。むしろ、わくわくする。研究の内容や進め方などで藤田教授との定期的な打ち合わせはなく、学会投稿論文の原稿を持参し締切日に間に合うようにコメントをお願いするだけであった。なお、藤田教授はこよなくお酒を愛された方で、月に一度、助教授と一緒に飲み会に誘われた。

最初の数年間は、自分なりの研究テーマを見出すため、歯車のスコーリングに関する国内外の文献の精読、鋼球の温度上昇の理論解析、および藤田教授が整備した歯車試験機と四球試験機を用いた、平歯車の潤滑や平歯車のスコーリング、潤滑油の耐焼付き能に関する基礎的研究を行った。スコーリングに関する投稿論文が学会誌に初めて掲載されたのは、助手になってからほぼ4年目の1973年5月であった<sup>[2]</sup>。研究テーマを見出し研究が軌道に乗るのに約5年を要した。その後は、学位の取得と、自分の年齢を超える論文を自ら作成することを目指して研究に日々いそしんだ。

## 3. 動力伝達用円筒歯車の潤滑に関する研究

### 3. 1 噴射した潤滑油は歯面にどのように供給されるのか<sup>[3]</sup>

動力伝達用歯車には摩擦軽減のために潤滑油が供給される。潤滑方法には種々あるが、かみあいピッチ円周速度が100 m/sを超える歯車では噴射潤滑が一般的である。しかし、私が研究を始めて間なしの1970年代初期、噴射した潤滑油がどのように歯面に供給されているかは不明であった。

図1は、かみ込み側からかみあいピッチ点に向けピッチ円周速度で噴射した潤滑油の平歯車歯面への供給状態を示す。右が駆動歯車、左が被動歯車、中央付近にある白い直線状のものが噴射潤滑油である。左側の写真のように、かみあいピッチ円周速度以上で潤滑油を噴射した場合、潤滑油の先端は被動歯車の作用歯面に到達する。ただし、右側の写真のように、駆動歯車歯先面によって潤滑油の進行が妨げられるため、噴射した潤滑油のすべてがかみあい歯面に供給されるわけではない。

それではかみあいピッチ円周速度よりも遅い



図2 かみ込み側からの  
低速噴射潤滑

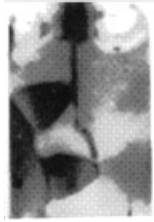


図3 弧状をなす低速  
噴射潤滑油

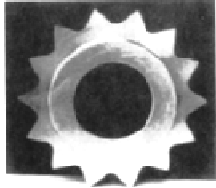


図4 歯先とがり歯車



図5 歯先とがり歯車にお  
ける低速噴射潤滑油

速度でかみ込み側から潤滑油を噴射した場合はどうなるであろうか。図2は、その様子を示す。潤滑油の先端は左側の被動歯車の作用歯面に到達することはできないが、何やら潤滑油の先端と被動歯車歯先との間に弧状をなす潤滑油が認められる。立体写真ではないのでわかりにくいですが、これは、駆動歯車と被動歯車の作用歯面の間にあった噴射潤滑油先端部分が被動歯車歯先面と接触したとき、噴射潤滑油先端と被動歯車歯先面との間で生成された扇状の潤滑油膜である。したがって、かみ込み側から給油する場合、弧状の潤滑油膜が作用歯面に供給されるため、被動歯車の作用歯面に直接到達できる速度で潤滑油を噴射する必要はない。100 m/s を超える速度で潤滑油を噴射させるにはかなりの高圧が必要となる。このことは省エネルギー観点から好ましいことではない。

ここで、弧状の潤滑油膜生成に被動歯車歯先面が役立っていることを実験的に証明した写真を紹介する。図3は、被動歯車単独でも歯先面があれば弧状の潤滑油膜が生成できることを示す。しかし、図4に示した歯先とがり歯車では、図5のように弧状の潤滑油膜は生成されない。

以上、かみ込み側から噴射した潤滑油の歯面への供給状態を例示した。弧状の潤滑油膜はストロボスコープを用いて歯面への給油状態を調べているときに偶然発見したもので興奮した覚えがある。そのとき、現象をつぶさに観察することの重要性を感じた。なお、平歯車のスコアリング強さの向上には、かみ込み側からかみあいピッチ点に向けての噴射潤滑よりも、駆動歯車の中心方向に歯底

まで到達するように噴射潤滑の方が作用歯面全体に給油できることから有効である<sup>[4]</sup>。

### 3.2 円筒歯車の耐スコアリング負荷容量を飛躍的に増大させるには

#### 3.2.1 円筒歯車の代表的損傷

平歯車やはずば歯車といった、動力伝達に用いられている円筒歯車の代表的損傷としては、折損、ピッチング(スポーリングを含む)、スコアリング(スカフリング、焼付きともいう)がある。折損は繰り返し作用する歯元応力によって歯が折れる損傷、ピッチングは繰り返し作用する歯面荷重によって歯面が剥離する損傷である。これらはいずれも歯車材料の疲れ強さに関係するものであり、応力の観点から種々の強さ計算式が提案されている。一方、スコアリングは潤滑膜が破断して歯面が瞬時に溶融する損傷であり、歯車設計に不備があれば使用初期に発生し、動荷重の増大で最終的には歯が折損する。

ガスタービンや蒸気タービンなどに使用される高速・高負荷円筒歯車減速装置で問題となるスコアリングの研究は、1960年代から1970年代にかけて西ドイツで盛んに行われていた。当時のスコアリング発生限界に関しては、PV値やPVT値を用いる説、歯車本体温度説、歯面最高温度説など種々あったが、いずれもある一定値を超えるとスコアリングが発生するというものであった。

私が動力伝達用円筒歯車のスコアリングを研究対象に選んだのは助手に採用されて半年経過した頃で、その理由は発生限界が不明であること、実験と数値解析の両面から研究ができることであった。当時のスコアリング防止策といえば、潤滑油膜が破断して歯面が高温になったときに歯面にすばやく保護膜を生成することができる、化学反応性が高い極圧油を用いることであった。地球環境保全が重要視されている現在、化学反応性が高い極圧油の使用は極力避けなければならない。ここに、極圧油に頼らないで円筒歯車のスコアリングを簡便に防止できる歯形設計法を見出すまでの約20年間の研究がスタートした。

#### 3.2.2 スコアリングを支配する滑り率

歯車の歯形には種々あるが、ここでは動力伝達用歯車の歯形としてもっぱら使用されているインボリュート歯形に限定する。

図6は、平歯車のかみあい状態を示す。図6中の点Aで始まったかみあいは作用線上を移動し、

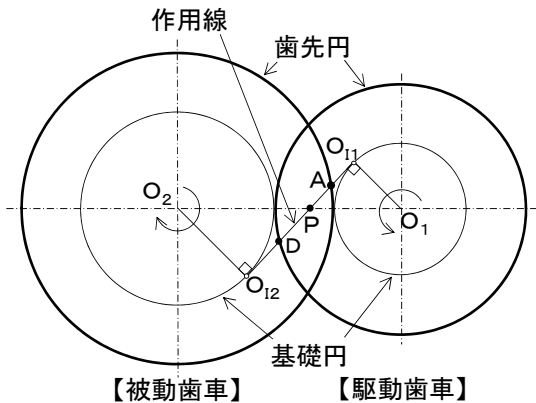


図6 平歯車のかみあい

点Dで終了する。図6中の点P(かみあいピッチ点)を除いて、駆動歯車と被動歯車がかみあう点では摩擦熱に繋がる滑りが常に存在し、しかもその速度は点Pから遠ざかるほど高くなる。このことを反映して、前述のような種々のスコアリング発生限界説が生まれてきた。

スコアリングの研究を歯車そのもので行うのもよいが、それには大きな問題点がある。それは、歯車の場合、かみあい位置によって滑り速度や滑り率、歯面荷重、曲率半径などが大きく変化するため、スコアリングの支配因子を特定しにくいことである。そこでよく用いられるのが図7中に示す、平歯車のかみあいを図6中の瞬間中心 $O_{11}$ と $O_{12}$ をそれぞれ中心とする低速側円筒と高速側円筒の接触に置き換えた二円筒試験機である。二円筒試験機を使用すれば滑り速度や滑り率、表面粗さなどを変えた実験が容易にできる。私も主として二円筒試験機を用いて潤滑油の耐焼付き能に関する研究を進めた。

ところで、潤滑油の粘度は温度上昇によって大きく低下する。そこで、運転中の歯面温度が高くなる高速・高負荷円筒歯車では潤滑油膜の形成が不十分となってスコアリングが発生するのではないかと考えられていた。西ドイツやわが国における歯車のスコアリングに関する当時の研究は、歯面温度上昇に直接影響する滑り速度に注目し、かみあい始めやかみあい終わりの滑り速度が異なる歯形の歯車を用いたものが多かった。それに対して私は、四球試験機や二円筒試験機を用いてギヤ油基油および極圧油の耐焼付き能に及ぼす滑り速度や滑り率、潤滑油粘度、表面粗さ、変動荷重の影響を詳細に調べた。図7中で滑り速度 $V_s$ は $V_2 - V_1$  ( $V_2 \geq V_1$ )、高速側円筒滑り率 $S_h$ は $V_s / V_2$  ( $= 1 - V_1 / V_2$ ;  $S_h = 0 \sim +100\%$ )で与え

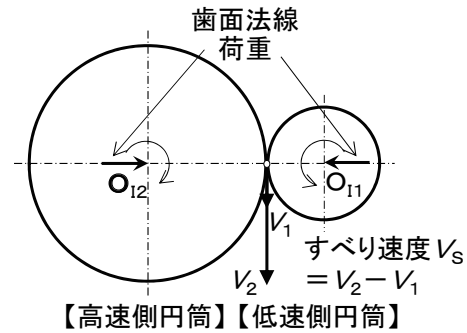


図7 二円筒試験

られる。研究の結果、同じ滑り速度でも潤滑油の耐焼付き能は滑り率の低下によって著しく上昇し、表面粗さ、潤滑油の粘度、動荷重に影響されなくなることがわかった<sup>[5]-[8]</sup>。その原因は、低滑り率では、極圧被膜を生成する添加剤が含まれないギヤ油基油の場合でも、接触面に潤滑作用のある酸化膜が生成されるため、潤滑油膜の形成が困難な境界潤滑状態での運転が可能となることにあった。動力伝達用高速・高負荷円筒歯車で歯車本体温度が453 K (180 °C)を超えて使用されることはめったにない。しかし、二円筒試験結果によれば、VG10 という低粘度ギヤ油基油であっても、 $S_h = +30.1\%$  という低滑り率では表面温度が500 K (227 °C)を超えても焼付かず、耐焼付き能はVG220の高粘度ギヤ油基油の $S_h = +78.2\%$ の場合の6倍を超えた<sup>[7]</sup>。ちなみに、新幹線車両の動力伝達用はすば歯車の滑り率は、当初+70%を超えていたが、いつしか+30%台に設計変更された。2010年3月5日、山陽新幹線西明石-新神戸間を走行中の博多発東京行き「のぞみ56号」の車内で白煙が充満する事故があった。その原因は、アルミ製歯車箱のベアリングが破損し、その部品が歯車と歯車箱の内側に挟まって歯車箱が壊れたことによる油漏れであった。JR西日本から後日提供した写真では、壊れた歯車箱内の歯車に致命的な欠損やスコアリングは認められなかった。

以上のように、潤滑油の耐焼付き能に及ぼす滑り率の影響が究明された結果、低滑り率の歯形設計によって、従来用いられている化学反応性の高い極圧油に依存することなく、動力伝達用円筒歯車の耐スコアリング負荷能を飛躍的に向上させることができるようになった。岡山大学では円筒歯車のスコアリングに関する研究は私ひとりが携わっていたため、この結果を見出すのに約20年を要した。今の時代、工学の分野ではこの様な気の長い研究はなかなかできないであろう。

## 4. 鳥取大学における研究活動

### 4. 1 鳥取大学に異動した当初

1991年4月に農林水産省所管水産大学校助教授から鳥取大学教授に異動したのは鳥取大学大学院工学研究科に博士後期課程を設置するための一員としてであった。3年後の1994年4月、待ち望んでいた博士後期課程が3専攻でスタートした。一学年の定員16人に対し、第1期生は社会人を含めて39人であり、私も1人の社会人を受け入れた。博士後期課程の担当授業科目は表面工学特論、所属する工学部機械工学科および工学研究科博士前期課程の主たる担当授業科目は機械加工学と機械加工学Iであった。

1997年12月からは、工学研究科博士後期課程情報生産工学専攻にリフレッシュ教育対応講座として新設置された、一学年の学生定員6人の生産環境システム講座に異動した。なお、当時、大学院工学研究科教官選考規定がなかったため、急遽制定された。当初の教官定員は教授1名、助教授1名であったが、博士後期課程の講座であることからその後2年間で助手2名の定員が認められた。ただし、そのうちの1名は機械工学科の教官定員削減に充当した。工学研究科にとって教官定員が増加することは好ましいことであったが、生産環境システム講座の教授1人で毎年6人の学生を受け入れていくことは不可能であった。そこで、研究科委員会において、全専攻で6人の学生定員増をカバーしていくことが認められた。なお、博士後期課程の一学年の学生定員は、それまでの16人から22人(現、21人)に増加した。

### 4. 2 教授として心掛けたこと

今日、大学には教育、研究、それに加えて社会貢献という三つの使命が課せられている。私は、教授にはこれらすべてをこなす義務があると思いでやってきた。

教育面では、機械工学に関する授業科目であれば何でも担当するという考えから、それまでの専門とは異なる授業科目を多く担当してきた。例えば学部では、精密工学、ロボット工学、制御工学、計測工学、システム工学、ベクトル解析、実験計画法である。なお、岡山大学では助手になった当初、機械要素設計演習および機械力学演習を通年で担当した。水産大学校では所属していた機関学科の熱力学を通年、情報通論を半期、漁業学科の

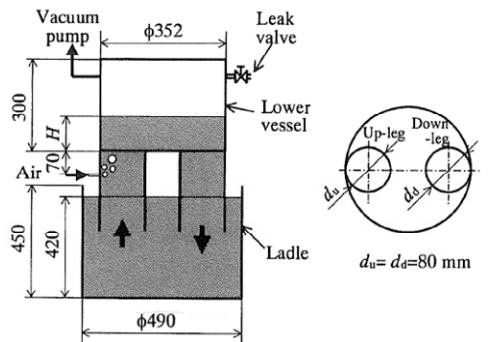
機械工学概論を半期でそれぞれ担当した。

鳥取大学に異動後の研究については後ほど紹介するが、生産環境システム講座に異動する以前は機械加工工学研究室の教授として機械加工学に関する研究環境の充実を図った。

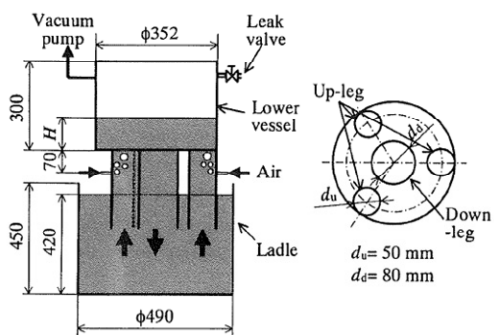
社会貢献面では、鳥取大学着任当時、鳥取県が機械加工の高度化に関する委員会を立ち上げたこともあって機械加工に関連する企業との共同研究が始まり、その後、県内外の多くの企業と連携してきた。現在の私があるのは、それまでの歯車の潤滑に関する研究とは異なる機械加工というものづくりの分野に携わり、鳥取県内の企業および公設試験機関の方々との交流ができたおかげと感謝している。これからの大学には地域活性化のための存在感が今まで以上に求められると思う。

1993年鳥取大学地域共同研究センターが設置された。その運営委員として広島で開催された委員会にたびたび出席し、中国地方産業界活性化のために中国経済産業局などがどのような施策を検討しているかを40歳半ばで知ることができた。それが、(財)中国技術振興センター(現、(公財)ちゅうごく産業創造センター)を管理法人に、鳥取大学、および鳥取県、岡山県、広島県の企業、津山工業高等専門学校、ならびに鳥取県商工労働部産業技術センターをメンバーとして、平成17~18年度に採択された、経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業「接合面・摺動面の表面制御による高性能難削材加工機械の研究開発」に繋がったと思う。このことは、中国地域との連携を深めることの重要性を示唆している。

2011年9月20日~22日に金沢大学で開催された2011年度精密工学会秋季大会において、金沢工業大学学長 石川憲一氏の特別講演『「教育付加価値日本一を目指して」~金沢工業大学の実践と展開~』があった。石川学長は、50歳から現在までの15年間、学長として金沢工業大学の教育改革を積極的に推進してきた著名な方である。講演の中で、今後の大学のあり方を考える上で参考となる印象深いことが二つあった。ひとつは、学長自ら教員採用の最終面接を行ない、教育50%、研究30%、社会貢献20%のエフォート率を承諾しない場合は採用しない方針。もう一つは、父兄に対して教員としての適格性の説明責任を果たすために、学位に加えて教育士取得の義務化。なお、教育士には1~5級まであり、管理職には5級を要求しており、すでに半数を超える141名の教員が立場に応じた級の教育士を取得しているとのことであった。全国的に見て、この達成率は群を抜いていた。



(a) 従来型 2 足環流管モデル



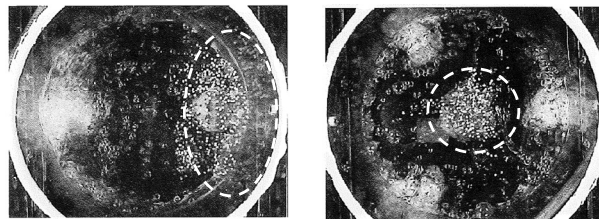
(b) 新型 4 足環流管モデル

図 8 RH脱ガス装置の水モデル

### 4. 3 研究紹介

鳥取大学着任後は従来の研究をそのまま継続することはなく、特に生産環境システム講座に51歳で異動してからは、地球環境保全を意識しつつ、機械工学に関する研究に幅広く取り組んだ。特定の分野ではなく機械工学に関する研究なら何でも挑戦していこうと心掛けるようになったきっかけは、53歳の1999年に新潟県工業技術総合研究所を訪問した際、後述する品質工学に関する案内に接したこと、またその足で先程紹介した金沢工業大学学長である石川憲一教授の研究室を訪れ、助教から、三つの異なる専門分野を持ってと教授に言われていると聞いたことである。それ以来、機械工学の一専門分野だけではなく、機械工学全般にわたる洞察力を身に付けたいと思うようになった。その背景には、岡山大学の前任が国鉄技術研究所の主任研究員であった藤田教授が技術士の資格を有し、機械工学のみならず電気工学に対する造詣も深かったこともある。

鳥取大学で21年間行ってきた研究テーマは、工作機械・直動案内・ツーリング、切削加工・スライディング・工具、溶鋼精錬、歯車潤滑、プレス成



(a) 従来型 2 足環流管モデル (b) 新型 4 足環流管モデル

図 9 下部槽水面上粒子の浮遊状態

形、表面改質、段ボールなどに関するものである。これらの研究を推進するため、文部科学省を始めとして科学技術振興機構、経済産業省、中小企業総合事業団、ちゅうごく産業創造センター、鳥取県、および民間の財団から公的資金を導入するとともに、鳥取県、岡山県、広島県、遠くは北海道の民間企業との共同研究を積極的に行った。また、得られた成果は、学会発表すると同時に、工学に携わるものとして当然である特許出願を心掛けた。以下、主な研究の概要を紹介する。

#### 4. 3. 1 溶鋼二次精錬用脱ガス装置の長寿命化

鋼板は連続铸造で製造されている。RH脱ガス装置はその工程で用いられている、溶鋼の二次精錬で脱炭や成分調整等を行なう重要な反応器である。近年、地球環境保全の観点から、RH脱ガス装置の長寿命化が注目されるようになった。装置内壁は溶鋼で損傷ないように耐火煉瓦で覆われているが、精錬時に発生するスラグによって耐火煉瓦は溶損する。そこで、1997年度から3年間、国内の耐火煉瓦メーカーと協同して、スラグによる溶損が発生しにくいRH脱ガス装置の構造を研究した。

溶鋼の粘度は水と同じぐらいであるため、溶鋼の環流特性を調べるのに図8に示したような水モデルがよく使用される。図8(a)は、下部槽底面に、溶鋼が上昇してくる上昇管と下降していく下降管をそれぞれ1本配置した従来型2足環流管モデルである。スラグがたまりやすい場所は、下部槽にある溶鋼の上面の内壁側で下降管の上部に相当する箇所である。一方、図8(b)は、考案した、下部槽底面の外周部に上昇管3本とその中央部に下降管1本をそれぞれ配置した新型4足環流管モデルである<sup>[9], [10]</sup>。図9は、スラグに見立てた、直径3mmで水と同じ密度に調整した粒子の浮遊状態を示す。粒子は、図9中に白の破線で囲んだ部分に停留している。このことから、4足環流管にすれば下部槽内壁へのスラグの接触が避けられ、装置の長寿命化に繋がることが予想された。得ら

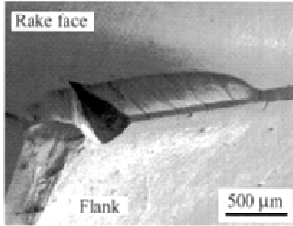


図10 超硬工具に発生した熱き裂

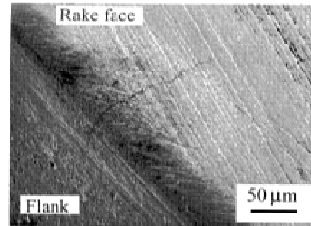


図11 パルス状CO<sub>2</sub>レーザービーム照射による熱き裂

れた成果の実用化を図るため、耐火煉瓦メーカーと一緒に当時の日本鋼管福山製鉄所を訪問し、開発した4足環流管モデルについて説明した。出席した副所長も興味を示してくれたが、川崎製鉄との合併が検討されていた時期でもあり、共同研究には至らなかった。

#### 4.3.2 超硬工具の熱き裂の防止

3.2 節で、動力伝達用円筒歯車の耐スコリング負荷容量の飛躍的増大は、低滑り率の歯車を設計することで簡単に達成できることを紹介した。これは、従来のように極圧油を使用するという化学的観点ではなく、滑り率という機械工学的観点から問題を解決した例である。機械工学的観点から問題解決したもう一つの例が超硬工具の熱き裂の防止である。つぎに、それを紹介する。

切削工具の分野では、超硬工具を用いてフライス加工のような断続切削をする場合、切削条件によっては図10に示したような熱き裂が発生する。熱き裂の対策は、従来、耐熱衝撃性の高い超硬母材やコーティング膜の開発に主力が置かれていた。それに対して私達は、超硬工具のすくい面にパルス状CO<sub>2</sub>レーザービームを照射すれば断続切削と同様な熱き裂が発生すること(図11)、またレーザービーム照射後熱き裂が発生するまでに時間遅れがあること(図12)をつきとめ<sup>[11]</sup>、後者のことをヒントに、非切削時間をコントロールするという切削条件から簡単に熱き裂の発生を防止できるということを見出した<sup>[12]</sup>。

#### 4.3.3 高位置決め精度・低浮上量滑り直動案内の開発

工作機械のベッドや主軸台などを支えている直動案内は工作機械の運動基準として多用されており、その運動精度や位置決め精度、静剛性、動剛性が工作物の加工精度に直接影響する。直動案内方式には、滑り案内、転がり案内、静圧案内、磁気浮上案内などがあり、それぞれ長所と短所が

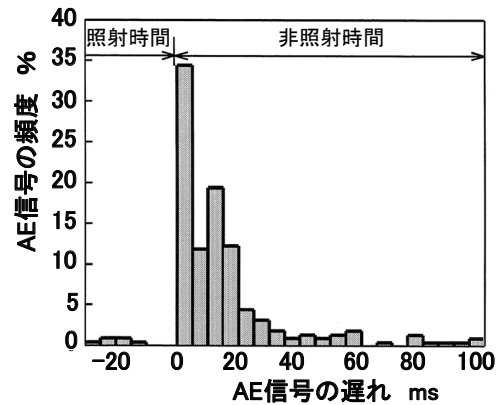


図12 パルス状CO<sub>2</sub>レーザービーム照射により発生したAE信号

ある。現在最も多く利用されているのは、安価でしかも摩擦係数が小さいために位置決め精度が高い転がり直動案内である。しかし、転がり直動案内には、負荷を点接触や線接触で受けるため、面接触である滑り直動案内と比較して静剛性が低くかつ振動減衰性も悪いという短所がある。

アンモントン-クーロンの摩擦法則によれば、①摩擦力は摩擦面に働く垂直荷重に比例し、みかけの接触面積には依存しない、②動摩擦力は滑り速度に依存しない、③静摩擦力は動摩擦力よりも小さい<sup>[13]</sup>。この法則によれば摩擦係数は一定となる。しかし、潤滑油を使用する滑り直動案内では、摩擦係数は滑り速度に大きく依存する。それは、滑り速度の増大にともなって摺動面の潤滑状態が境界潤滑から混合潤滑、さらに流体潤滑へと変化するためである。このことが、滑り直動案内の位置決め精度の低下と流体潤滑油膜の形成による浮上量の増大の原因となって加工精度の悪化をもたらすため、滑り直動案内の高速運転をする高精度工作機械への適用を阻害している。

そこで私達は、平成10年度から、工作機械メーカーと連携して、付加価値の高い難削材の高精度切削加工に不可欠な高静剛性・高振動減衰性という特性を活かしつつ、高静摩擦係数、低くかつ一定の動摩擦係数、低浮上量滑り直動案内の開発をスタートさせた。平成17,18年度には経済産業省の「地域新生コンソーシアム研究開発事業」に応募し、「接合面・摺動面の表面制御による高性能難削材加工機械の研究開発」の研究テーマ名で採択された。企業との共同研究でそれまでに得られていた成果に基づいた滑り直動案内を試作し、それを搭載したマシニングセンタを開発した。

最近、案内材料、摺動面の仕上げ、摺動面の微視的・巨視的構造などの設計パラメータを最適化

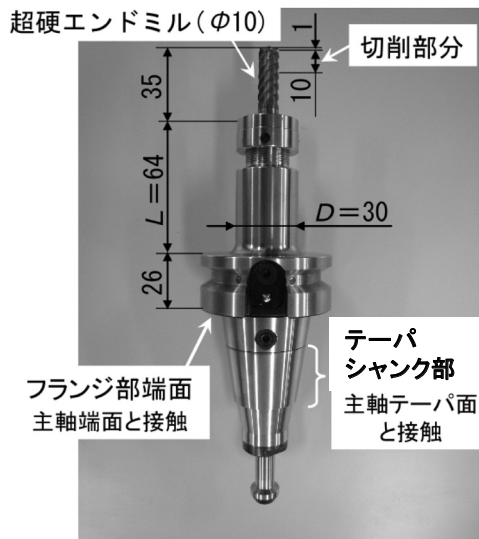


図13 BTシャンクツールホルダ(BT40)

することにより、前述の性能を持つ滑り直動案内を開発できる見通しが得られた。現在、工作機械メーカーおよび津山工業高等専門学校と共同開発している。なお、滑り直動案内に関しては、すでに特許取得しているものが4件<sup>[14]-[17]</sup>、特許公開のものが1件ある。

#### 4.3.4 ツールホルダの耐びり性向上

マシニングセンタやフライス盤、複合加工機などの回転主軸を持つ工作機械で切削加工を行なうには、図13に示したようなツールホルダが必要となる。切削工具を先端に把持したツールホルダは、図13中に示したテーパシャンク部を工作機械の主軸に装着して使用する。

近年、加工能率の向上を図るため、主軸を例えば毎分数万回転させて金属材料を高速切削する傾向にある。その場合、ツールホルダに関する大きな問題点は、主軸高速回転時に主軸先端部が遠心力で拡張し主軸のツールホルダ保持力が小さくなることである。その結果、ツールホルダの静曲げ剛性が減少してびり振動が発生しやすくなり、加工精度・加工能率は低下する。

図13に示した、現在多用されている7/24テーパのBTシャンクツールホルダは、通常主軸端面とフランジ部端面との間に1mm程度の隙間を設けて使用する。しかし、このことは高速回転時の静曲げ剛性低下に繋がる。そこで、この問題を解決するため、テーパシャンク部とフランジ部端面がともに主軸と接触する2面拘束BTシャンクツールホルダが開発されている。さらに、BTシャンクとは異なるテーパや構造の2面拘束ツールホ

ルダも存在する。

付加価値が高い難削材を高精度・高能率に切削加工するには、静剛性と振動減衰性がともに優れた工作機械が不可欠である。しかし、図13に示したツールホルダで最も静剛性が小さい部分は切削工具把持部、つぎに主軸テーパ面と接触するテーパシャンク部である。前者に関しては、(財)ちゅうごく産業創造センターに応募して採択された、平成22年度産学官連携新産業創出研究会「工具把持部の構造最適化による高耐びり性・高切削工具把持力ツールホルダの研究開発」で検討した。後者に関しては、普及しているBTシャンクツールホルダのテーパシャンク部を対象に、主軸高速回転時に静曲げ剛性が低下しないツールホルダを考案し、特許出願の準備をしている。なお、私達はすでに、ツール保持部の切削工具取付側に制振部を設けた、高耐びり性ツールホルダをツーリングメーカーと共同で開発し、特許を取得している<sup>[18]</sup>。

従来、工作機械の主軸は工作機械メーカーが、ツールホルダはツーリングメーカーがそれぞれ独自に開発している。それでは、主軸高速回転時のツールホルダの耐びり性を効果的に向上させることは困難である。そこで私達は、主軸とツールホルダを合わせた研究開発を行なうため、ツーリングメーカーと一緒に2009年度の科学技術振興機構「地域イノベーション創出総合支援事業 重点地域研究開発推進プログラム(地域ニーズ即応型)」に応募し、2年間の研究開発が認められた。

ツールホルダに関する特許は現在数件出願しており、高耐びり性ツールホルダの簡便な方法による実現を目指して研究を続けている。

#### 4.3.5 工作機械熱変形低減法および熱源熱量推定法の援用による工具刃先変位の推定

数ミクロンからサブミクロンの高精度切削加工ができる工作機械の実現する上で大きな問題点の一つは、工作機械機体の熱変形である。熱変形の原因となる熱源は多く、内部熱源としては、発熱量が最大である主軸駆動用ビルトインモーターやその他モーター、切削加工部、直動案内、軸受、切削液などが、また外部熱源としては室温、輻射熱などがある。これらの熱源のため、工作機械機体温度は上昇し、かつ一様とはならない。また、室温下の長さ1mの鋳鉄棒は1Kの温度上昇で約11ミクロンも膨張する。これらのことが、工作機械の熱変形問題の解決を困難にしている。

工作機械の熱変形に関する学術講演は数年前



までは活発になされていたが、現在は、問題が解決したわけでもないのに、ほとんどない。工作機械メーカーは、工作機械機体内部を強制空冷する、あるいは機体の測定温度から熱変位を補正するなどして加工精度を高めようとしている。それに対して私達は、以下に示す三つの考えに基づいて工作機械の熱変形問題に対処しようとしている。

- ① 工作機械機体を構成する各ユニットは可能な限り熱的に孤立させる。
- ② 熱源からの熱はできるだけ拡散させないで除去する。
- ③ 熱源から拡散した熱はユニット全体に速やかに拡散させる。

私は特許を意識した研究を心掛けている。したがって、公知となる学会発表以前に特許出願している。②に関しては、最近、特許取得した<sup>[19]</sup>。①と③に関しては、特許公開となっている。なお、研究は、4.3.3項で紹介した経済産業省「地域新生コンソーシアム研究開発事業」の受託研究、(財)工作機械技術振興財団「第29次試験研究」の「偏熱源を受ける非対称構造工作機械の熱変形低減法」、および企業との共同研究で進めてきた。

従来の熱変形による加工精度低下の防止策は、使用する工作機械をあらかじめ運転して求めた、工具刃先変位と工作機械機体の特定部位の温度上昇との関係式から工具刃先の位置を補正するものである。しかし、その方法では機体の熱変形状態が反映されず、また工作機械の運転状態が異なれば補正できない問題がある。

そこで私達は、工作機械機体の熱変形の原因は熱源での発熱であるという根本に立ち返ることにした。具体的には、各ユニットの熱源熱量をその測定温度上昇と数値シミュレーションによる温度上昇を用いた逆解析から求め、その熱量をもとに機体の熱変形を数値シミュレーションで解析し、工具刃先の位置を補正する方法を考えた。この方法によれば、機体の構造が反映された熱変位補正が可能となる。工作機械機体の熱変位補正に関しては、2件の特許公開と1編の論文<sup>[20]</sup>がある。

工作機械の熱変形に関する私達のこれまでの研究は、定常状態が対象であった。今後は、研究対象を非定常状態まで広げ、工作機械の熱変形問題に対処していきたいと思っている。

#### 4.3.6 プレス成形用金型寸法の自動探索法

物の加工法には、除去加工、非除去加工、付加加工がある。金型を用いて行なう金属板のプレス成形は大量生産に適した非除去加工の一つである。

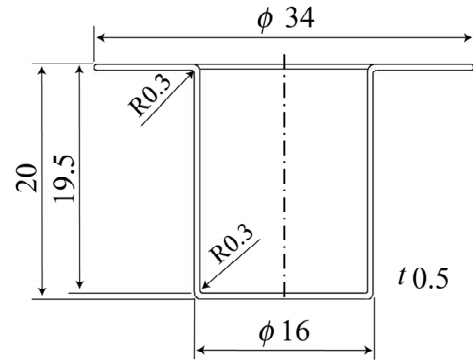


図14 フランジ付き円筒

図14は、板厚0.5mmの冷間圧延鋼板(SGCC)製フランジ付き円筒である。これをプレス成形するためには4工程が必要であるが、金型設計者は経験と勘に基づいて工程数と金型寸法を決定している。近年は、プレス成形数値シミュレーションで成形品の破断の予測を行い、金型を修正している。それに対して私達が最近開発したシステムは、フランジ付き円筒をプレス成形するのに必要な工程数と各工程における金型の寸法を、プレス成形数値シミュレーションと遺伝的アルゴリズムを援用して自動的に探索できる。プレス成形の成否は、従来、第1主ひずみと第2主ひずみからなる成形限界線図で判定しているが、多工程の破断予測にそれを使用することはできないといわれている。プレス成形で問題となることは、板厚の減少による破断や、しわの発生である。私達のシステムを用いれば、主ひずみあるいは成形限界線図を用いなくて、許容範囲内の板厚および形状誤差でプレス成形できる工程数と金型寸法が求められる。そのため、金型設計・製造における経験や勘への依存度が小さくでき、短納期・低コスト化に繋がる。

物体同士が接触する面には必ず摩擦力が作用する。そこで私達は最近、多工程円筒深絞り加工の成形性に及ぼすblankと金型が接触する各部位の摩擦係数の影響を、プレス成形数値シミュレーションを用いて、しわ抑え圧力を考慮しつつ、実験計画法の分散分析で検討した。その結果、フランジ部に発生するしわを防止するのに必要なしわ抑え圧力が見出された。また、成形性に及ぼす摩擦係数の影響は部位によって大きく異なり、ダイ肩部の摩擦係数は低い方が良かったのに対し、パンチ肩部はその逆であった。これらの結果から、少ない塑性仕事で精度良くプレス成形できるしわ抑え圧力と各部位の摩擦係数が明らかにされた。

以上の成果はまとめて特許出願しており、学会にも論文投稿している。現在は、開発したシステ

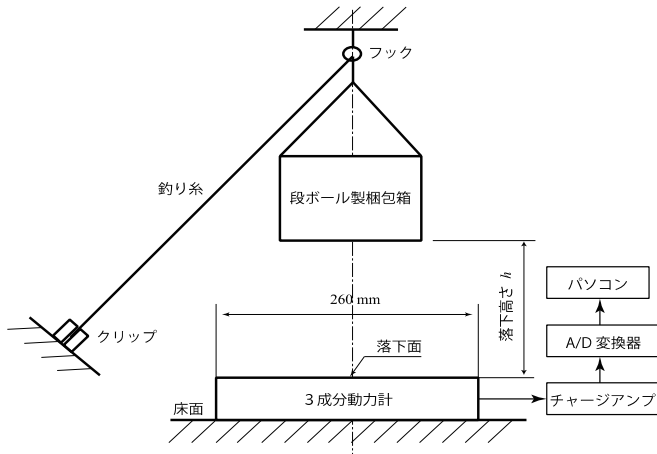


図15 自由落下実験装置の概略図

ムを角筒や任意形状の深絞り成形品にまで拡張すべく研究を進めている。

#### 4.3.7 低容積・高耐衝撃性オール段ボール製梱包箱の構造設計法

段ボールは種々の商品の梱包に広く用いられている。段ボール市場の年間売上高は、工作機械業界の年間売上高を上回り、1兆2500億円程度である。

梱包箱の落下は通常、荷役中に起き、梱包した商品の破損もその時に発生しやすい。商品の破損を防止するために緩衝材としてまだ発泡スチロールやプラスチックが利用されているが、それらは外装用段ボールと比較してリサイクル性が悪い。段ボール原紙を含めた板紙全体での古紙利用率は92%に達している。段ボール製梱包箱の従来の緩衝設計に関しては、文献[21]に紹介されている。中身の商品に対して不必要に大きな容積の段ボール箱は、トラックに積載できる個数が少なくなるため、1個あたりの輸送エネルギーの増大を招く。このことは、地球環境保全上好ましくない。そこで私達は、平成18年度から3年間、「鳥取県環境学術研究振興事業」の助成を得て、オール段ボール製梱包箱のCAE設計システムの開発を目指して研究を行なった。

システムの開発に先立ち、図15に示した方法で梱包箱の落下実験を行なった。なお、梱包箱の衝撃力は、商品の重量に対する最大衝撃力の比すなわちG値で示される。その許容値は商品によって異なり、例えば家電製品の場合、冷蔵庫は25G、洗濯機は60G、携帯電話は100G以上である。

図16に示した段ボール製梱包箱の中は図17のような構造になっており、段ボール製の仕切りや

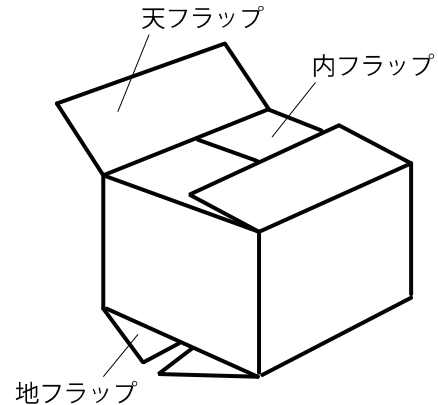
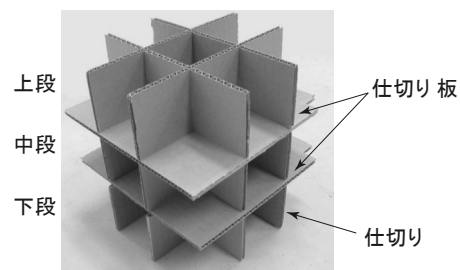
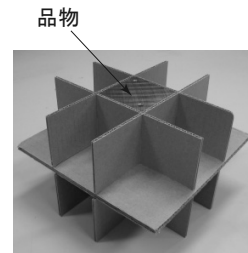


図16 供試オール段ボール製梱包箱



(a) 仕切りおよび仕切り板の配置



(b) 品物の配置

図17 供試オール段ボール製梱包箱の内部構造

仕切り板で梱包箱内中央部にある品物を支持している。図17に示した内部構造のオール段ボール製梱包箱に作用する衝撃力が小さくなる設計条件を見出すため、仕切りのフルートの向きや紙質など八つの設計パラメータを選び、それらを直交表 $L_{18}$ に割り付け、200、400、600 mmの落下高さで実験した。剛体の場合、それに作用する衝撃力は落下高さに比例する。しかし、実験の結果、弾塑性体と考えることができるオール段ボール製梱包箱の場合、G値が小さくしかも落下高さに依存しない設計条件が存在した。現在は、この結果に関心を示した広島県内段ボールメーカーと鳥取県内のソフトウェア会社とで(公財)ちゅうごく産業創造センターの「平成23年度新産業創出研究会」を構成し、協同して「CAE援用による省資源

化オール段ボール製梱包箱設計支援システムの構築」という研究テーマに取り組んでいる。

## 5. 品質工学との出会い

品質工学は、世界的には、創始者で実験計画法の大家でもある田口玄一(九州大学 理学博士)にちなんでタグチメソッドといわれているもので、技術品質を効率的に評価し、設計するシステムを構築する技術の体系である。品質工学の適用により、従来の試行錯誤的であった技術開発を効率的に行うことができる。なお、田口には、多数の著書と藍綬褒章を始め多くの受賞歴がある。田口は、1989年の本田宗一郎、1994年の豊田栄二につづいて1997年、日本人として三人目の米国自動車殿堂入りを果たした。また、1998年米国機械工学会(ASME)名誉会員となった。

私が品質工学に出会ったのは1999年に新潟県工業技術研究所を訪れた際、品質工学に関するチラシをロビーで目にした時であった。それまでの私の研究方法は、ご多分にもれず、他の変数の値を一定にして特定の因子の影響を調べるいわゆる1因子実験であった。1因子実験の場合、本当の最適条件が見出されていないため、実験室の結果が実際の現場ではうまくいかないという問題が発生しやすい。工学の分野に携わっていたにもかかわらず、技術開発に強い関心もなく、また、技術の評価手法すら習得していなかった。

品質工学では、研究効率が悪すぎることから因果関係による研究や疲労試験、信頼性試験は行わない。システム(目的を達成するために構成された要素の組み合わせ)に対して、目的機能(システムの目的を得るための働き)、基本機能(システムの目的機能を実現するための、技術的手段となる働き;例 システムの開発において技術者が利用しようと考えた、物理・化学的な法則、エネルギーの入出力関係)、理想機能(標準使用条件のもとでシステムの目的機能あるいは基本機能に期待される働き)、入力と出力、制御因子(設計パラメータ)、そして品質工学の特徴であるノイズ(システムの機能あるいは入出力関係を乱す要因)を積極的に与え、SN比で機能性(機能のばらつきの程度)を評価する。SN比が高いほどノイズに強いシステム、技術であるといえる。品質工学に関する書籍は、品質工学会ホームページの図書室に、入門レベルから上級レベルまで数多く紹介されている。参考文献には、そこに紹介されていない最近の書籍の何冊かを挙げた<sup>[22]-[28]</sup>。

## 5. 1 品質とは

品質には2種類ある。ひとつは、商品品質であり、消費者が関心を持つ、商品の機能や外観などである。例えば、車の商品品質を挙げれば、燃費がよい、振動や騒音が少ない、排気ガス中の有害成分が少ないなどである。もうひとつは、技術品質である。これは消費者が望まないものであり、商品の故障や機能のばらつき、コスト、公害などがある。品質工学で扱う品質は技術品質であり、その定義は、「システムが技術的に望ましくない項目によって社会に与える損失」である。技術的に望ましくない項目としては、機能のばらつき、使用コスト、公害などの弊害項目などが挙げられる。

### 5.1.1 四つの品質

田口は、品質を下流、中流、上流、源流の四つ分類している<sup>[29]</sup>。下流は消費者の望む品質すなわち商品品質である。中流は生産時の品質である。上流は設計での品質である。源流は技術開発の品質であり、動的SN比で評価する。技術開発に求められることは、先行性、汎用性、再現性である。再現性とは、大学や研究所などでモデルを用いて開発した技術が、実製品に対する大規模生産条件や、出荷後の市場条件でそのまま成立することである。再現性の確認には直交表を用いる。品質工学で推奨するのは、直交表 $L_{18}$ である。その理由は、文献[28]の第8章が参考になる。

### 5.1.2 科学と技術の違い

一般に科学技術というが、最近では科学と技術を区別して用いるようになりつつある。

2007年開催の”品質工学15周年 品質工学便覧発行記念シンポジウム”の招待講演「日本における技術イノベーションの課題 -日本の科学技術政策-」<sup>[30]</sup>において、元文部科学省科学技術・学術政策局長で、当時(独)科学技術振興機構 社会技術研究開発センター長の有本建男は、策定に携わった「第3期科学技術基本計画」から科学と技術を分離した考えになっていると明言した。そのことは、2008年に開催した”第1回品質工学技術戦略研究発表大会 品質工学をあらためて問う”の招待講演「科学・技術・品質工学 -第4期科学技術基本計画のいくつかの課題-」<sup>[31]</sup>の題名に反映されていた。

上述の招待講演の中で有本建男は、2008年6月にその報告書が出た「科学技術の智プロジェクト」(<http://www.science-for-all.jp/>)を紹介

した。本プロジェクトの目的は、これまで人類が蓄積してきた智を踏まえた上で、21世紀を心豊かに生きるにあたり、“持続可能な民主的社会”を構築するために万人が共有してほしい科学技術の智を検討し成文化することであった。本プロジェクトは、平成18～19年度科学技術振興調整費「重要政策課題への機動的対応の推進」調査研究として「日本人が身に付けるべき科学技術の基礎的素養に関する調査研究」によって行なわれ、約150名の科学者、教育者、技術者、マスコミ関係者等が参加した。報告書は、総合報告書と七つの専門部会報告書からなる。総合報告書の要約で、科学技術の智(科学技術リテラシー)を「すべての大人が身に付けてほしい科学・数学・技術に関係した知識・技能・物の見方」と定義している。また、新鮮なのは、既存の学問あるいは教科の枠組みを超えて、新たな智の枠組みとして七つの領域を提案していることである。それらは、

数理科学、生命科学、物質科学、情報学、  
宇宙・地球・環境科学、人間科学・社会科学、  
技術

である。さらに、“科学技術の智においては、いわゆる物理・化学・生物・地学という従来の固定的な専門分野にこだわっていないだけでなく、技術を一つの領域とし、さらに、情報学、人間科学・社会科学をも含めた。ただし、これら七つの専門分野は決して独立した存在ではなく、総合的な科学技術の智を目指すための七つの入り口に過ぎない。”と記している。

紹介した報告書の内容は、「智と実践の融合」を表明している鳥取大学の今後の教育あり方を検討する上で大いに参考になるのではないかと思う。報告書の一読を勧める。

話を元に戻すが、品質工学では、科学と工学、技術を次のように区別している<sup>[32]</sup>。科学の目的は真実の探求(現象の解明)であるのに対し、工学の目的は現象の活用(技術の創生)である。技術の目的は目的の達成であり、それには効率と経済性が求められる。なお、科学と技術に関して、文献[33]、[34]も参考にしてほしい。

## 5.2 品質工学の全体像

以下に示す全体像<sup>[35]</sup>からわかるように、品質工学は適用範囲が広い汎用性のある評価技術といえる。

- ・ **オフライン品質工学** (研究開発の効率化)  
製造設計、生産技術の最適化、

生産システムの設計

- ・ **オンライン品質工学** (損失関数による評価)  
製造工程の管理、市場におけるトラブル、公害、廃棄問題
- ・ **MTシステム** (パターン認識)  
医学・薬学の診断、企業経営の評価、経済予測、人的能力の評価、各種将来予測
- ・ **ソフトウェア評価** (ソフトウェアの設計評価)  
欠陥の検出

私達は、品質工学としては新たな試みである学生の学力予測を、MTシステムを適用して行なおうとしている。

## 5.3 田口玄一語録

田口玄一の有名な言葉は数多く、著書<sup>[36]</sup>もあり、文献[37]にも紹介されている。ここではその一部を紹介する。意外な言葉と思われるであろうが、的を射ている。

- ・ **早く失敗して早く成功する**

人間はどうしても失敗を恐れる。しかし、早く失敗することは、その方法が間違っていることを早く知ることである。それには気付けば、むしろ早く成功することができる。

- ・ **品質が欲しければ品質を測るな**

品質、つまり結果だけにとらわれると、それを良い方向に調整しようとひたすら無駄な時間を費やすことになる。悪い結果には必ず小さな原因がたくさんあるが、それにこだわるよりも、その源にこそ解決すべき抜本的な問題が隠れている。

- ・ **残業をしたらペナルティを取れ**

時間がかかるのは、仕事の進め方に問題があるからである。残業するよりも、進め方を改善する方が先である。

- ・ **火事でないことを研究せよ**

異常な事態を調べようとしてもきりが無い。むしろ、正常な状態がどういうものなのかを考えることによって解決策が見えてくる。

- ・ **理論は正しくない、正しいのは現実である**

品質工学の根本にある考えである。西洋的な論理偏重から脱して、現実社会を直視する大切さを物語っている。

- ・ **寿命試験はムダだ**

いくら長時間の寿命試験を行なっても問題は起こる。また、使用者の使い方はさまざまであり、さまざまな試験条件ですべて試すこ

とはできない。

#### ・誤差原因を調べるな

原因が見つかって、その原因を直したとしても、必ず別のところで問題を起こす。すなわち、一方を直したことが他方に影響して、他方の不具合の原因となる。製品を開発したり、設計したりする立場では行なってはならないことである。

### 5. 4 現在の研究の進め方

工学の研究は産業上利用できるものでなければならぬと思っている。企業の現場には、私にとって興味深い技術課題が山積している。そこで私は、特許を意識して、機械工学に関する多様な研究および技術開発を民間企業と連携しつつ進めている。ただし、多様な研究テーマそれぞれに対して実験設備を整えるのは不可能である。また、現在の技術開発にはスピードが求められる。そこで、技術開発のための研究は数値シミュレーションと最適化手法を援用して行なっている。

大学では大きなシステムを直接扱うことはできない。そのため、私達は大きなシステムを実現するのに基盤となる研究および技術開発を地道に進めている。技術開発はその技術を用いた具体的な製品がない段階で行なう。したがって、技術開発はモデルで実施している。ただし、開発した技術には実製品での再現性が保証されなければならない。そこで、私達は、再現性を保証するために品質工学のパラメータ設計を援用している。

本章の最初の部分で述べたように、品質工学に接するまでの研究は1因子実験が主体であった。しかし、品質工学を学ぶようになってから12年経過する現在、やっと、技術開発の対象をシステムとして捉え、入力、出力、および入力と出力の理想関係を乱す市場でのノイズを積極的に考えて研究できるようになった。4.3節で紹介した研究のうち、4.3.3項以降はすべて品質工学の考え方を取り入れて行なっている。品質工学に関する研究成果は未だわずかであるが、現在二つの論文がある<sup>[38], [39]</sup>。

### 5. 5 品質工学適用の手順

品質工学を学ぶことによって、開発する技術の本質を考えるようになった。そのため、従来の1因子実験を主体とする研究には興味が持てなくなった。その理由は、その研究成果が入力と出力の

理想関係を考慮し、かつ市場でのノイズを積極的に取り入れた評価結果ではないためである。市場での再現性が保証されていない研究成果は、製造現場には取り入れてもらえない。それでは、工学の研究をしている意味がない。

ここで、品質工学適用の手順<sup>[40]</sup>の概略を紹介する。(1)~(6)は大学における研究に適用できる。

- (1) 研究目的の明確化
- (2) 技術内容の明確化
- (3) 基本機能と誤差因子の明確化
- (4) 制御因子(設計パラメータ)の選択と直交表  $L_{18}$  への割付け
- (5) パラメータ設計と要因効果図の作成
- (6) 最適条件の推定と確認実験
- (7) 得られた結果の経済効果の検討
- (8) 許容差設計と許容差決定
- (9) 製造工程への展開

最近、品質工学を用いて技術開発を行う際に参考となる、四つの戦略についての解説<sup>[41]</sup>があったので、簡単に紹介する。

- ① 技術テーマの戦略  
市場で用いる製品機能のプロジェクトを考え、それをサブシステムに分解する。
- ② コンセプトやシステムの創造  
信頼性を高くできる複雑なシステムを考えて、パラメータ設計をする。複雑なシステムほど制御因子が多くなるので、ロバスト設計に有利になる。
- ③ パラメータ設計のための評価  
機能性評価はSN比で、下流への再現性のチェックは直交表により行う。
- ④ 様々なツールを用意する  
有限要素法、回路計算法などのシミュレーションツールを用意する。

### 6. おわりに

前章までは、43年間における研究内容の変遷と工学に関する研究態度に大きな変革をもたらした品質工学について述べた。本章では、本学研究科の将来を担う方々に対し、教育・研究面での工学部・工学研究科の今後のあり方について私見を述べる。

少子高齢化にともなって、いずれ教育機関としての大学に大きな改革が求められるであろう。私は、本学の工学部および工学研究科は技術者の養成を主たる目的にすべきであると思っている。真理の探究が目的である科学と異なって、工学の目

的は、科学で得られた成果を基に、人間社会にとって有用な、自然界に存在しないものを創造することであって、現象を解明することでない。したがって、技術者には、新しいものを創造できるという大きな楽しみがある。その点をうまくアピールできれば、理工系離れの現在、工学部志望の学生が増加に繋がるのではなかろうか。

## 6. 1 教育について

学部および工学研究科博士前期課程の教育は工学の基礎レベルであり、必要とされる授業科目は裾野の細分化された専門科目ではなく、その上位に位置する根本的なものである。したがって、大講座の教員は各自の専門とは無関係に工学の基礎教育を担当すべきである。5.1.2項で、すべての大人が身に付けてほしい科学・数学・技術に関係した知識・技能・物の見方である21世紀の科学リテラシーについて述べ、新たな智の枠組みである七つの領域を示した。工学は科学の成果を活用する学問分野であることを考えれば、それを参考にして授業科目を設定するのもよい。

技術者に強く求められるのは、課題を見出し、それを分析して解決策を考え、自然界に存在しない新たなものを創造していく能力であって、現象解明能力ではない。工学教育を受けた者には問題解決能力が身に付いていると思っている人もいるかもしれないが、それは間違っている。学生の研究指導をしていて感じているのは、断片的な知識はあっても、それを活用して問題を解決する能力は極めて低いことである。しかし、それはそのための基礎教育を受けていない学生の責任ではない。私は、国立大学法人化した平成16年度から鳥取大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー(現、イノベーション科学センター)でMOT(技術経営)教育に携わっているが、社会科学系の人の方が問題を論理的に分析し解決していく能力が高いのではないかと感じている。

## 6. 2 研究について

鳥取大学大学院工学研究科の各専攻は大講座制をとっている。さらに大講座の中は、運用上、教育研究分野に分かれている。各教育研究分野にはその分野に関係する専門の教員が配置され、全学共通科目や専門科目を担当するとともに、学生の研究指導を行なっている。私は常々、これは古い体制だと思っている。

大学における研究は自由でなければならない。研究業績の評価をその人が所属する教育研究分野に制限することは、教員の自由な発想を阻害し、科学技術創造立国を目指している日本の将来にとってプラスにならない。経済的に世界一流国となった日本に現在求められていることは、欧米をお手本にするのではなく、新たなビジネスモデルや技術を自ら開発し全世界に発信して行くことである。ロケット博士で有名な糸川英夫は、創造性組織工学に至るまで、10年ごとにまったく異なる新しい分野に挑戦したと聞いている。私が4.3節で紹介したような機械工学に関するさまざまな研究テーマに取り組めたのは、講座名からして多様な研究テーマがありそうな生産環境システム講座に異動したからである。ここで提言したいのは、現在の教育研究分野を廃止し、教育と研究を分離することである。教育は、その教員が関係する学科および所属する専攻の目的、目標を達成するために、自分の専門分野とは無関係に担当しなければならない。

若いときは、研究業績を積み上げるために、特定の研究分野、研究テーマに専念すればよい。しかし、予想しているような結果が得られるようになったらその研究テーマが終焉に近づきつつある証なので、その研究テーマをやめて新たな研究テーマに挑戦しなければならない。工学の目的は、技術の創生である。現象の解明に取り組むのみで、問題の解決を目指さないような研究は、工学の研究とは言えない。一つの研究分野を真にマスターしているのであれば、他の研究分野を手掛けるのに躊躇する必要はない。研究の素人であった学生が、学部卒業後5年もすれば博士の学位を取得するのである。研究の進め方が身に付いている教員の場合、新たな研究テーマに挑戦しても数年あれば成果が上がるはずである。私は近頃つぎのことを感じている。対象に真摯に取り組めば、相手が解決のヒントを与えてくれる。また、直線思考や平面思考ではなく、立体思考を心掛ければ、問題の本質が早く見えてくる。

科学研究費補助金のキーワード一覧を見れば、驚くほど多くの系、分野、細目名があることがわかる。従来、教員の多くは、細目名に関係する一分野を生涯にわたって研究対象としている。第3章で、私が若いとき約20年間行なった研究の内容を紹介した。特定の研究テーマを続けることは、あまり苦労もなく研究業績を増やすには好都合であった。しかし、それは自分にとってだけであって、世の中にとってはどうだったのか。工学には、

日本のみならず世界にとって重要な問題を解決する技術の開発が求められる。そのことを忘れてはならない。研究成果だけではなく、多様な研究テーマに挑戦していることを評価することも重要である。

### 6. 3 特許について

工学に携わる者にとって、特許は重要な関心事であるに違いない。国立大学法人化後、各大学の特許に対する評価は大きく変わっていると思われる。例えば京都大学の場合、法人化によって特許出願が急激に増加した。4.2 節で述べたが、大学の三つの使命は、教育、研究、社会貢献であり、最近は大学で得られた研究成果の社会への還元が強く求められている。特許は、知的創造物であり、業績として積極的に評価されるべきである。一度、他大学の特許の評価を調査してみようか。

特許には新規性と進歩性が求められる。このことは学術論文と同様であるが、特許には産業として実施できることが前提条件である。なお、特許出願以前に公知となっていると新規性がなくなり、特許とはならない。それは国益にも反することである。実際にそうなった例はいくつもある。そこで私達は、特許出願後に学会発表や論文投稿するようにしている。

特許庁が作成した平成 11 年度の「特許ワークブック」に、つぎのような記述があった。

“特許を生まない研究活動は、およそ「研究」とは言えず、極端に言えば単なる「実験」にすぎません。”

ここで、申し添えておきたいことがある。学術論文の場合、投稿から掲載までの期間が1~2年程度であるのに対し、特許の場合は出願から公開まで1年6ヶ月、さらに審査請求して特許庁の専門分野の審査官による審査を経て特許査定となるまでに2~3年も要する。

### 6. 4 謝意

教授になったからには、教育や研究以外に、工学部・工学研究科あるいは鳥取大学に対して何か役に立ちたいものである。私は、つぎの二つのことで奉仕できたと思っている。ひとつは、平成 8 年度に道上工学部長の下で全国に先駆けて実施した工学部の外部評価において、自己評価委員会委員長として評価資料の取りまとめに携われたことである。その結果は、平成 9 年 2 月「外部評価報

告書」として文部科学省に提出した。もう一つは、国立大学法人化した平成 16 年 4 月に設置された鳥取大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリーの立案時の委員長を務め、その後ラボラトリー長として若手研究者の研究支援と MOT(技術経営)教育に尽力できたことである。このような貴重な機会が与えられたことに対し、ここに改めて感謝の意を表したい。

鳥取大学には 21 年間大変世話になった。本稿が、鳥取大学の将来を担う方々の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- [1] 藤田公明, 小幡文雄, 宮西希一: クラウニング歯車の歯元応力計算法, 日本機械学会論文集(第 3 部), 39 巻, 322 号, pp.1968-1976, 1973.
- [2] 藤田公明, 小幡文雄: 平歯車のスコ어링強さに及ぼす潤滑油の影響, 潤滑, 第 18 巻, 第 5 号, pp.383-393, 1973.
- [3] 藤田公明, 小幡文雄, 松尾浩平: 平歯車のかみあいにおける潤滑油の挙動—かみ込み側から噴射潤滑する場合—, 潤滑, 第 19 巻, 第 6 号, pp.437-447, 1974.
- [4] Fujita, K., Obata, F., and Mastuo, K.: Instantaneous Behavior of Lubricating Oil Supplied onto the Tooth Flanks and Its Influence on the Scoring Resistance of Spur Gears, Trans. ASME J. Eng. Ind., Vol.98, No.2, pp.635-644, 1976.
- [5] 藤田公明, 小幡文雄: 潤滑油の焼付き限界に及ぼす表面あらさの影響(第 1 報, 無添加ギヤ油の場合), 日本機械学会論文集(C 編), 49 巻, 445 号, pp.1521-1529, 1983.
- [6] 小幡文雄, 竹平昭暢, 松尾浩平, 佐伯 親: 精密研削面における鉱油基油の耐焼付き能, 日本機械学会論文集(C 編), 58 巻, 554 号, pp.3108-3115, 1992.
- [7] 小幡文雄, 竹平昭暢, 松尾浩平, 佐伯 親: 焼付きに及ぼす潤滑油粘度の影響, 日本機械学会論文集(C 編), 58 巻, 547 号, pp.903-909, 1992.
- [8] 小幡文雄, 藤田公明, 藤井正浩, 松田 浩, 松尾浩平: 平歯車のスコ어링に関する研究(第 3 報, かみあい始め側歯形摩耗による耐スコ어링負荷容量の向上), 日本機械学会論文集(C 編), 53 巻, 486 号, pp.444-

- 450, 1987.
- [9] 小幡文雄, 若 良二, 上原一剛, 伊東克則, 河田洋祐: 多足環流管をもつRH脱ガス装置水モデルの環流特性, 鉄と鋼, 86巻, 4号, pp. 225-230, 2000.
- [10] 小幡文雄, 若 良二, 佐藤 光邦: 特許第4054865号 溶鋼環流式脱ガス設備構造, 2007.
- [11] 小幡文雄, 山口顕司: パルス状CO<sub>2</sub>レーザービーム照射による脆性工具の耐熱衝撃性評価(超硬工具における熱き裂発生状況), 日本機械学会論文集(C編), 65巻, 640号, pp. 4882-4889, 1999.
- [12] 山口顕司: 脆性工具の耐熱衝撃性向上に関する研究, 学位論文(鳥取大学), 2002.
- [13] 日本機械学会: 機械工学事典, p. 331, 丸善, 2007.
- [14] 小幡文雄, 上原一剛, 岡本尚機: 特許第4228078号 すべり案内及び同すべり案内を備えた工作機械, 2008.
- [15] 小幡文雄, 上原一剛: 特許第4235734号 ハイブリッド型直動案内装置, 2008.
- [16] 小幡文雄, 上原一剛, 井上謙一: 特許第4362612号 すべり案内装置, 2009.
- [17] 小幡文雄, 上原一剛, 小西大二郎: 特許第4512831号 すべり直動案内装置, 2010.
- [18] 小幡文雄, 上原一剛, 岡本尚機: 特許第4353710号 ツールホルダ, 2009.
- [19] 小幡文雄, 上原一剛: 特許第4792581号 熱変形を低減するための放熱構造を備えた機械装置, 2011.
- [20] Kazutake UEHARA and Fumio OBATA: Heat Flux Estimation at Heat Sources of Machine Tools by Solving Inverse Problems, JSME Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.4, No.5, pp. 849-857, 2010.
- [21] 東レリサーチセンター調査研究部門: 緩衝設計と緩衝包装の最新動向, 東レリサーチセンター, 2008.
- [22] 田口玄一, 横山巽子: ベーシック 品質工学へのとびら, 日本規格協会, 2007.
- [23] 田口玄一, 横山巽子: ベーシック オフライン 品質工学, 日本規格協会, 2007.
- [24] 田口玄一 監修: 品質工学便覧, 日刊工業新聞社, 2007.
- [25] 田口玄一, 横山巽子: ベーシック オンライン 品質工学, 日本規格協会, 2009.
- [26] 金本良重, 丸山洋一郎, 渡部義晴: 早わかり タグチメソッド用語集, 日科技連, 2009.
- [27] 矢野 宏: 品質工学概論, 日本規格協会, 2009.
- [28] 矢野 宏: 技術者力を高める 新版 品質工学入門, 日本規格協会, 2011.
- [29] 田口玄一: 品質工学応用講座 技術開発のための品質工学, p. 55, 日本規格協会, 1998.
- [30] 有本建男: 日本における技術イノベーションの課題 -日本の科学技術政策-, 品質工学会15周年 品質工学便覧発刊記念シンポジウム資料, pp. 77-106, 2007.
- [31] 有本建男: 科学・技術・品質工学 -第4期科学技術基本計画のいくつかの課題-, 第1回品質工学技術戦略研究発表大会論文集, pp. 75-87, 2008.
- [32] 文献[28], pp. 50-51.
- [33] 矢野 宏: 品質工学の科学と技術への挑戦, 標準化と品質管理, 61巻, 6号, pp. 4-14, 2008.
- [34] 有本建男, 矢野 宏: 対談 科学と技術の開発の課題, 標準化と品質管理, 61巻, 6号, pp. 15-25, 2008.
- [35] 矢野 宏: やさしい「タグチメソッド」の考え方, pp. 42-48, 日刊工業新聞社, 2003.
- [36] 田口玄一 監修: タグチメソッドの源流を探すー田口玄一語録ー, 日本規格協会, 2010.
- [37] 矢野 宏: やさしい「タグチメソッド」の考え方, pp. 15-42, 日刊工業新聞社, 2003.
- [38] 上原一剛, 小幡文雄: 溶鋼二次精錬用脱ガス装置におけるガス吹込み方法の最適化, 品質工学, 16巻, 6号, pp. 79-86, 2008.
- [39] 上原一剛, 小幡文雄: 数値シミュレーションによる金属製反転ばねのオフライン設計法に関する研究, 品質工学, 18巻, 1号, pp. 122-132, 2008.
- [40] 矢野 宏: 品質工学入門ー技術を変革する新しい考え方ー, pp. 231-233, 日本規格協会, 2003.
- [41] 近岡 淳: 連載 品質工学リレー討論 第12回 技術開発戦略としての品質工学, 標準化と品質管理, 64巻, 5号, pp. 83-89, 2011.

(受理 平成23年10月28日)