



すばらしき先達に恵まれて

田島 守*

Have wonderful professors

Mamoru TAJIMA*

出会い

昭和42年、大学に勤めて最初に研究のお世話になったのは、5号館133号室・内燃機関研究室の古浜庄一先生(当時本学非常勤、武蔵工業大学教授、武蔵工業大学長)であった。当時、内燃機関の研究は盛んで、2サイクルエンジンの熱負荷およびピストン温度、ディーゼルエンジンのアイドリングノック、4サイクルエンジンのアルミニウムシリンダーの摩擦磨耗およびオイル消費量の測定、排気ガス分析などを5号館の研究室で実験を行っていた。特に、熱電対によるピストン温度測定技術は、その後の研究に大いに役立った。稼働中のピストン温度を測定するのは至難の業であり、断線すること度々であった。写真は、特殊なピストンリングを考案したロバート・ゲフロイ氏(フランス)が、実際に実験している様子を見学するために訪問した時のものである。中央に立っているのが古浜先生で、右方の4サイクルガソリンエンジンにその



後列中央が古浜庄一先生、左がロバート・ゲフロイ氏
(5号館133号室、内燃機関研究室)

ピストンリングを取り付けて実験を行っていた。排気マニホールドが全負荷連続運転で真っ赤になり、特別に取り付けたブローで冷やしながらの実験であった。当時の測定データは、現在主流であるデジタルデータと異なり全てアナログで、データ収集後の解析に多くの時間を費やした。時々、卒業研究の打ち合わせのため武蔵工業大学の古浜研究室を訪問したが、研究室の広さおよび研究設備のすばらしさに驚かされた。古浜先生には短い期間であったが、内燃機関を通して、研究目的にかなった手作りによる実験器具の作製、実験の直接観察とデータ収集・解析および資料整理の重要性を教わった。

私が材料の研究を開始したきっかけは、昭和50年に恩師牧忠先生(名古屋大学名誉教授、日本機械学会副会長)が教授として本学に着任されたときである。当時私は、手作りの定容燃焼室装置により、様々な空燃比に対する燃焼温度および燃焼後のガス分析の測定を行っていた。牧先生に現在の研究状況を説明したところ、熱力学および伝熱の専門であり、さらに内燃機関などの燃焼に関しても専門であった先生は首を傾げられた。当然のことながら、定容燃焼室内は実験ごとに高温高圧となり、常に



牧忠先生と奥様 (富士見研修所玄関)

* 教授 機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering

危険を伴っている。使用していた熱電対による燃焼温度の測定精度および分析ガス成分の少なさなどから、この研究を継続するには問題があると判断された。

そこで、牧先生は着任後すぐに、東京工業大学の片山功蔵先生(東京工業大学名誉教授、日本熱物性研究会会長)の研究室に私を連れて行き、今後のことを依頼された。海の物とも山の物ともつかない私を、心の広い片山先生は快く受け入れてくれました。その後、独りで片山先生の部屋へ伺ったとき、熱処理に関して研究してはどうかと進められた。さらに、君は大学に勤めているのだから、その分野を幅広く勉強しなければいけないと念を押された。次の日から、私の図書館(現 6 号館)通いが始まり、熱処理に関する論文の雑誌検索に明け暮れる毎日を送った。長い間、内燃機関の実験を通して、それに関する勉強をしていた私にとって大きな変化であった。過去の研究論文を調べていくうちに、熱処理の明らかにされていない分野がおぼろげに分かってきた。片山先生は、「私の指導は、まず研究材料をまな板の上に載せることで、その先は本人の仕事であり、その進み具合を時々聞いて、手綱を上手にさばいて前に進めることである。」と語っていた。時折、ミーティングの後先生の部屋に呼ばれて、冷蔵庫の中の貴重な宝をご馳走になることもあった。先生は、難しい内容もとりとちと溶けるような口調で説明してくださるのが常であった。

10年の長きにわたり毎週午後、片山研究室のミーティングと院生の輪講に定期的に参加し、研究に対する先生の指導および討論を間近で経験することができた。この間、研究室の服部賢先生(長岡技術科学大学教授、長岡技術科学大学学長)および斎藤彬夫先生(東京工業大学教授)には、研究に関する様々な内容を丁寧に教えていただいた。もう一人の斉藤明宏先生(新潟工科大学教授)には、研究装置の設計や試料の作製および測定機器の選定など、ハードに関する内容を教えていただいた。



左から二人目が片山功蔵先生(右上顔写真)
(第10回日本熱物性研究会シンポジウム功労者表彰)

研究室の夏の合宿にも数回参加する機会があり、楽しき語らいの中にも貴重な経験を積むことができた。これらの経験は、その後の私の研究生生活に計り知れない影響を与えた。

牧先生が本学に着任されて間もなく、一つのことを10年研究すれば物になると言われた。単純な私は、その言葉を素直に信じて片山研究室のミーティングに毎週参加し、熱処理の研究に邁進し、没頭していった。結果的には10年でかなわなかったが、13年目に目標を達成することができた。牧先生および片山先生には、研究に関して、細部にわたって口出しすることは簡単であるが、忍耐強く待つことの大切さを教わった。故人となられた両先生にとって、最後にとんでもない不肖の弟子を持ったと、あちらで杯を交わしながら苦笑しているのではと何時も思っている。

鋼の焼入れ¹⁻⁷⁾

鋼は、強いという特徴を持っていることから、金属の中でもあらゆる分野に使われている重要な材料である。この鋼を熱処理することにより、硬くて強い性質あるいは粘り強い性質を付与することが可能となり、他の金属の追随を許さないものとなっている。加熱と冷却の組合せ操作による代表的な熱処理として、焼ならし、焼なまし、焼入れおよび焼戻しなどがある。これらは、いずれも固相内の相変態を巧みに利用して、その目的を達成しようとするものである。

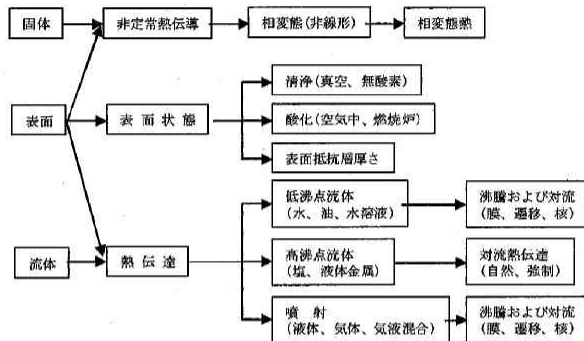
熱処理を伝熱学的見地から眺めて、興味あるものは焼入れである。焼入れの目的は硬くすることおよび機械的性質の改良にあり、これらを達成するために高温に熱した鋼を急冷却しなければならない。急冷却により材料の表面と内部に大きな温度分布ができ、それに伴う焼入れ



前列左2人目からそれぞれ斉藤明宏先生、
服部賢先生、斎藤彬夫先生
(平成12年東京工業大学、熱科学研OB会、一部分拡大)

ひずみが発生し、また熱応力および変態応力に伴う残留応力も発生する。焼入れに伴うひずみや残留応力を予測しあるいはその軽減対策を立てるためには、焼入れ冷却曲線の予測が必要とされる。

焼入れの伝熱をまとめてみたのが以下の図である。材料内部では相変態を伴う非線形非定常熱伝導であり、表面と流体の間では熱伝達の複合伝熱であることが分かる。



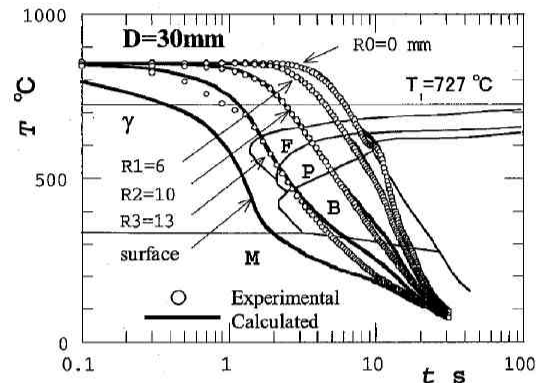
我々の年代は、電子計算機の見ざましい進歩と共に歩んできた。このため、従来解析できなかった現象が可能となり、この焼入れもその中の一つであり、国内外を問わず多数の人々によって研究がなされている。

軸や歯車などの鋼製部品の焼入れ冷却曲線を精度よく予測できるようにするためには、高温相と低温相との熱伝導率や比熱などの熱物性、相変態に伴って発生する潜熱、これらを熱伝導方程式の中にどのように組み込むかが重要である。文献の熱物性値は準平衡状態におけるものであり、鋼の場合相変態温度付近で比熱にピークが現れる。この過渡現象における相変態付近の熱物性利用の検討が、当時十分なされていない。

相変態に関しては、焼入れのような非常に早い冷却を必要とする場合の潜熱測定が現状の測定器では無理であることから、相変態熱の影響が顕著に現れる円柱試験片の中心に着目し、水焼入れ冷却曲線および冷却速度曲線を用いて相変態熱を求めた。得られた相変態熱を熱容量に含める見掛けの熱容量を使って非定常熱伝導の数値計算を行い、さらに文献の値と比較して定性的および定量的考察を行い、相変態熱に関する新しい考え方を示した。

境界条件として沸騰曲線を用いる場合がほとんどであるが、特に、水焼入れにおいて必要とされるサブクール度(水の飽和温度－水温)が大きい場合の沸騰曲線の文献値が不十分のため、その必要性が痛感された。そこで、試験片として熱伝導の良好な金および銀円柱を用いて、サブクール度 0～80Kまでの過渡プール沸騰曲線を求め、その特徴を明らかにした。さらに、直径の効果が良く調

べられている水平円柱飽和膜沸騰熱伝達率を参考にして、測定で得られた沸騰曲線に直径の効果を組み入れたモデルを作成し、冷却曲線の数値解析と実験結果とを比較して良い一致を得ることができた。一例として、S45C 炭素鋼、直径 30mm の水焼入れ冷却曲線の実験結果と数値解析との比較を図に示した。特に、相変態を伴う非線形部分が、良く表現されているのが特徴である。



金属材料の相変態熱⁸⁻¹⁰⁾

その後、焼入れのような非常に早い冷却中の相変態熱の測定が現状の測定器では無理であることから、示差走査熱量計を用いて、加熱および冷却における相変態温度および相変態熱の測定を開始した。材料として、純鉄、炭素濃度 0.1%から 4.44%までの亜共析鋼と過共析鋼、鋳鉄、さらに、鉄および鋼の合金元素として重要なニッケル、クロム、モリブデンの各濃度を変化させた場合、および実用鋼合金などについて幅広くデータを収集し、基礎的な内容を報告してきた。

最後に、本文に登場しなかった多くの先達、機械工学科および工学部の諸先生方ならびに本学関係者に日々助けられて、今日を迎えることができたことを深く感謝し、紙面を借りて御礼申し上げる次第です。

主要な報告論文

- 1) 日本機械学会論文集, 50-460,B(1984-12),3033-3040.
- 2) 日本機械学会論文集, 53-495,B(1987-11),3383-3388.
- 3) 日本機械学会論文集, 54-508,B(1988-12),3491-3496.
- 4) 日本機械学会論文集, 54-508,B(1988-12),3497-3500.
- 5) 日本機械学会論文集, 55-512,B(1989-4),1181-1187.
- 6) 日本機械学会論文集, 56-529,B(1990-9),2774-2778.
- 7) 日本機械学会論文集, 58-555,B(1992-11),3407-3412.
- 8) 熱処理, 38-6 (1998-12),322-326.
- 9) 鉄と鋼, 84-8 (1998-8),547-552.
- 10) 鉄と鋼, 90-10 (2002-10),807-811.