

なぜだろうの積み重ね

荒井 正行

荒井研究室は本年度で 10 周年を無事迎えることとなりました。これまでに膨大な数の論文を発表するとともに、学会からも多くの賞を受賞することができました。このような偉業もこれまでに在籍してきた学生諸君の切磋琢磨によるものと感謝しております。そのなかでもとりわけ大きな賞は日本機械学会から表彰頂いた 2020 年度（令和二年度）日本機械学会賞（論文）「Brick model for nonlinear deformation and microcracking in thermal barrier coating」です。これを受けて、日本機械学会誌に編集担当者から若手研究者に向けた記事を執筆するよう依頼されたものを本年度は固体力学に紹介したいと思います。この記事から、ひとつの研究を執念深く長年取り組んできた一人の研究者が身近にいることを理解してもらいたいと思います。

以下、記事内容：

「さて本稿は受賞対象論文に関して記事をまとめることで若い研究者の方々に参考となるようにと編集担当者の方から依頼を受けたものです。このような機会に感謝いたします。

私がガスタービンの研究を始めたのは 1997 年ごろになります。この頃、遮熱コーティング（TBC）の存在価値にはやや疑問が持たれていた時代でした。Ni 超合金の熱疲労についてはすでに多くの研究者が取り組んでいたために、「この分野で研究するのはキツイな」と思ったのを記憶しております。このため、アウトサイダーな位置づけであった TBC にでも注目してみるか、といった感じで研究を始めたのでした。私の専門分野は材料力学ですので、まずは TBC 付き基材を二層はり問題とみなして応力解析を行い、TBC のき裂発生強度を求めればよいと思っていました（間違いの始まり。そして、研究の始まり）。このために TBC 付き試験片を曲げ試験し、TBC にき裂が発生するときの応力を求めてみました。その結果、とんでもない高い強度が得られた！材料力学で説明できないはずはないと思い込んで、残留応力を二層はりに考慮してみたりと、色々と工夫してみましたが「全敗！」。これがはじめに出会った「なぜだろう」でした。

この「なぜだろう」を解決するには、TBC を単純に材料力学モデルとみなしてはダメだな。というわけで TBC の成膜プロセスをしっかりと理解する必要があると思ったわけです。そこから、千葉県船橋市のトーカロ株式会社にお世話になりました。プラズマで粉末を溶かして、基材表面に吹き付ける。これを見て、これまで机の上で考えていた二層モデルではダメな理由がはっきりしました。そして、これがつぎの「なぜだろう」が生まれることになります。これに気が付くのにはすでに数年かかっていたと思います。

この「なぜだろう」を克服するためには TBC がどのような理由で変形し、破壊するのか

調べてみる必要があるな、と考えました。そこで、電子顕微鏡のチャンバー内で連続観察できるような材料試験機を作ってみました。この結果、TBCの組織は「思っていたよりも汚らしい組織だな」、すなわち、熔融した粒子が不規則に堆積するとともに、その界面にはたくさんなき裂が存在していること、このようなTBCに曲げ荷重を作用させると、熔融粒子界面で粒子が相互に滑り出したこと、微小なき裂がたくさん発生する様子が観察されました。驚くことにTBCの応力—ひずみ曲線を見てみると、セラミックスであるにも関わらず非線形に変形することもわかりました。これを見て、「大きな金鉱を探し出したぞ！」と声をあげました。今でもこの感動を忘れません。これを契機にTBCのための数理モデル化のアイデアが次から次へと湧き出し始めました。

まずはマイクロクラックが分散した弾性体によりTBCをモデル化する試みから始めました。そして、このころに現在所属する大学へ転籍しました。このおかげで、多くの学生の力を借りてTBCの非弾性構成式の定式化とプログラミングに熱中できました。しかし、同時にになにかがまだ足りないな、これではまだ不完全だなと感じてしまいました。これが最後の「なぜだろう」です。こんな中途半端な気持ちの中、自宅でゆったりと色々な分野の雑誌を読んでいると、モルタルレンガ構造体の変形・応力解析に関する論文に目が留まりました。これを見たときに、「これだ！まさにTBCの微視的組織そのものじゃないか」と感じたわけで、あとは机に向かって一目散に式変形とアイデアを練り始めました。そのころ丁度、私の研究室に配属されたある優秀な学生（本論文の筆頭執筆者）に私のアイデアを説明しました。彼は完全に私のアイデアを理解し、1年で結果をまとめて卒業論文として提出したものが今回の受賞論文となります。

この研究にもまだたくさんの「なぜだろう」が残っています。問題が解決されるたびに新しい「なぜだろう」が生み出されていきます。研究生活30年。いまだに「なぜだろう」のなかで生活しています。」

荒井,「研究ストーリー,“なぜだろうの積み重ね”」,日本機械学会誌, Vol. 124, No. 1232 (2021), PP.40.

