



新世代の素材加工技術

村上・大竹研究室～機械物理工学専攻



大竹 尚登 助教授

プラスチックの発明が我々の生活を大きく変えたように、優れた新素材の開発や応用は社会に様々な影響をもたらすことがある。

村上・大竹研究室では、工業製品を製造する基礎となる素材加工技術について、民間企業とも連携を図りながら開発を進めている。そのなかには身近な製品に利用されている技術も多く、研究室は現代社会で影響力の大きい環境や経済性といった部分を重要なポイントに掲げている。今回は、そのような最近の研究内容について研究室の大竹助教授にお話を伺った。



プラスチックを強化する

村上・大竹研究室では、様々な素材の性質とその加工技術について研究を行っている。なかでも力を入れている分野の一つに、プラスチックの射出成形という技術がある。

射出成形は、プラスチックの原料である樹脂に高圧をかけて金型に流し込む成形手法だ。この手法にはどのような利点があるのか、研究室で行っているコンパクトディスク(CD)成形の研究を例に説明しよう。CDは、プラスチック製の円盤上に数十億のピット(溝)を刻印することにより情報を記録している。そのため、高品質なCDを安価に生産するためには、CDの原版上の凹凸をいかに高精度で樹脂に転写するかが課題となる。

このために用いられるのが射出成形技術だ。現在のCD成形工程では、原版に数百気圧という高圧で樹脂を流し込み、急激に固まらせる。こうすることで原版の溝に樹脂が押し込まれ、高精度な転写が可能になるのだ。さらに、プレスにかかる時間を短縮し、樹脂の強度も高めるといった効果ももたらす。CDが安価で量産可能な記録媒体として定着したのは、射出成形技術によるところが大きい。

一方、現代では記録されるべき情報量が飛躍的に増え続けている。そして記録媒体に記録する情報量が増え、ピットが高密度化するほど、正確にピットを転写することは困難になる。これは、樹脂が微細なピットに入り込みにくくなるのが原因だ。これは最近のDVDやブルーレイディスクなど、さらに容量の大きい記録媒体を製造する上でも重大な問題である。村上・大竹研究室では、様々な条件で実際にCDを成形し、強度などの力学的性質を調べることで、より高精度な射出成形技術を得るための研究を進めている。

研究室ではまた、射出成形の応用技術として、プラスチックの原料である樹脂に加工を施して素材に新たな機能を付加する研究を行っている。近年、樹脂に付加する物質として集中的に取り組みられて話題を集めているのが、カーボンナノチューブ(CNT)という物質だ。CNTは1991年に発見された物質で、炭素原子が筒状に重合した繊維構造を持つ。単体で鉄の約10倍の引張強さを持つ他、高い導電性や伝熱性を有し、近年は産業界からも注目を集めている。村上・大竹研究室はこの物質に着目した。CNT繊維を樹脂に数%混合して射出

成形することにより、プラスチック素材の強度を大幅に高められると考えたのだ。

そして、実際にCNT含有樹脂で試験片を試作し、引張強さの試験を行った。しかし、CNT含有プラスチックの強度は通常の2～3倍程度で、現在のところ飛躍的に高い強度は実現していない(図1)。

この原因は次のように考えられる。CNT複合の方法でプラスチックの強度を高めるには、CNT繊維の隙間に樹脂を入り込ませることが必要である。ところがCNTは長さ1～10マイクロメートル程度の微細繊維のため、混入させたCNT繊維が樹脂とうまく混合されない。このため樹脂との結合が弱くなり、プラスチックに圧力をかける際、逆に破断を招いている可能性があるのだ。これは樹脂とCNT分子を何らかの方法で結合させることで解決できると考えられ、大竹先生はそのための様々な方途を研究している。

CNTは現在量産されていないため非常に高価であり、CNT含有プラスチックの応用に関する研究はいまだに摸索段階にある。それでもこの素材が注目を集めている理由は、それが従来の素材では困難な場面で利用できる可能性を持っているからだ。例えばNASAでは、宇宙で建造物を造るため

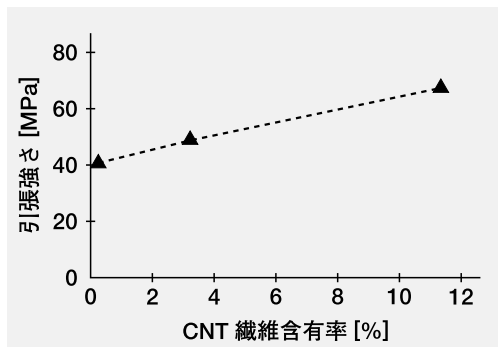


図1 CNT含有率と強度の関係

の建築資材としてCNT含有プラスチックを使用する構想を持っているという。炭素系の物質は金属に比較して軽量なため、運搬に要するエネルギーを節約できるからだ。また、再利用が可能であるなど環境への負荷も軽いとみられる。

CNT含有プラスチックの実用化を見据えて、大竹先生はその応用を考えている。CNTの導電性を活かし、携帯電話やパソコンのボディに使用して電磁波をシールドする。また、鉄に代わる軽量素材として自動車工業の分野に導入するなどだ。将来的にCNT含有技術が実用化されれば、このような産業への期待が高まっていくだろう。



炭素膜コーティングの広がり

最近、ペットボトル製品にホットのお茶が登場するようになった。ホット製品のボトルは蓋の色が変わっていて、お茶の酸化を防ぐためにボトルの内壁がコーティングされていることを示している。ここに使われているのは、実はダイヤモンドに類似した分子構造を持つ炭素の膜なのだ。そしてこの膜はまた、機械の耐久性を飛躍的に高める可能性も持っているのである。

機械の部品表面では摩耗や劣化が絶えず進行している。その結果、大半の機械類は数年で修理が廃棄をされなければならない、その費用による経済的損失は世界で年間数十兆円ともいわれる。そのため、摩耗や劣化をできるだけ防ぐことが機械科学のテーマとして挙げられる。その際に重要となる技術がコーティングだ。

コーティングの素材には、硬さと摩擦の少なさ、そして加工のしやすさを備えていることが求

められる。1980年代に人工ダイヤモンドの合成が成功したことで、その硬さを活かして耐摩耗コーティングに利用するというアイデアが生まれた。そして、1990年代初頭にはダイヤモンド状炭素膜(DLC)という新しい素材による耐摩耗コーティングが実用化されたのだ。

DLCについて説明する前にまず、人工ダイヤモンドの合成方法を見ていこう。ダイヤモンドは気相合成法と呼ばれる製法で作られる。細かく分ければいくつかの方法があるが、原理は同じである。まず、原料のメタン(CH₄)気体にマイクロ波や放電を加えて電離させる。このプラズマ気体を高温にしてターゲットの物体に吹き付けると、表面にダイヤモンドの微結晶が形成されるのだ。

この微細な結晶群をそのまま薄い膜状に成長させることで、物体表面のコーティングができるのではないかとというのが、人工ダイヤモンド膜によ

るコーティングの基本的なアイデアであった。

ところで、上記の方法で合成したダイヤモンド膜のなかには、純粋なダイヤモンドの結晶構造を持たないものがある。いわば失敗作として得られたこのような膜はダイヤモンド状炭素膜(DLC)と呼ばれ、研究の結果、純粋なダイヤモンド膜よりもコーティング素材として優れていることが判明した。その理由は、まず表面がダイヤモンド膜に比べて非常に滑らかであるからだ(図2)。これによって機械の接合部における摩擦を減らすことができる。他の利点は、その硬度がダイヤモンドの1/3程度で、表面加工が比較的容易であるという点だ。実用的にもこれは十分な硬度である。

DLCはどのようにして生じるのだろうか。先程の人工ダイヤモンドの製造過程で、電離させたプラズマ気体に高電界をかけることを考えてみよう。分子イオンはそれぞれ加速されてターゲットに衝突する。このとき、分子はダイヤモンド結晶を作ろうとするが、強く加速された分子が衝突することによりその一部がグラファイト結晶に転移する。炭素単体の最も安定な構造はグラファイトなので、ダイヤモンド結晶は高温などの強い作用を受けるとグラファイトに変性してしまうのだ。

このようにしてできた炭素膜は、ある特定の条件下において、ダイヤモンドとグラファイトの結晶構造が複雑に入り組んだアモルファス(非晶体)構造を取ることになる。これがDLCと呼ばれるものだ。

DLCの実験上の耐摩擦性能は高く、鉄の表面にコーティングした場合で未コーティング時の約100倍という耐久性を記録している。

DLCコーティングは10年前に開発され、低コ

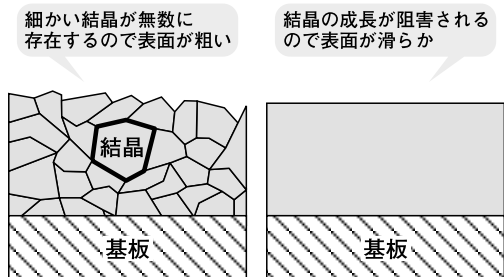


図2 ダイヤモンド膜(左)とDLC膜(右)

ストで効果が高いことから既に多方面への利用が進んでいる。冒頭で紹介したペットボトルの他、摩耗が激しいパソコンのハードディスクや自動車の部品、カメラ・眼鏡のレンズなどが代表的だ。

1980年代から人工ダイヤモンドの研究を続けてきた大竹先生もこの技術に興味を持ち、現在の主要な研究対象の一つとして研究を進めている。研究の成果として、先生が新しく開発したDLC合成手法について伺った。

DLC合成には強い電界を必要とするため、狭い穴の中など、微細な凹凸部にコーティングを施すことは困難であった。研究室ではこの問題の解決に取り組んだ。その結果、DLC合成にパルス高電圧を使う手法によってこれを解決したのである。

これを説明したのが図3である。まず瞬間的に強い電界を作り、気体を電離させる。そして再び電界をかけてやると、瞬間的に加速された粒子が穴の中に入り、コーティングが行われる。この手法はペットボトルなど、電界をかけにくい不導体にも応用できる。

この技術は思わぬ場面で応用を生んでいる。自動車の排気ガス浄化に使われるフィルタには無数

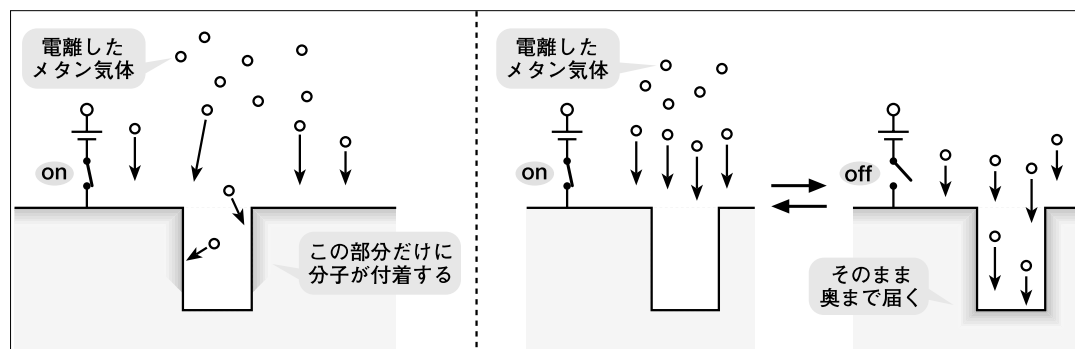


図3 従来の手法(左)及びパルス高電圧法(右)による凹凸部のコーティング

の濾過孔がある。この孔は金属製の口金に原料を通すことで成形する(図4)が、フィルタの原料がセラミックスであるために口金の磨耗が激しいという製造上の問題があった。そこで口金の内側の細かい部分にコーティングを行ったところ寿命が延び、フィルタの量産が容易になった。

DLC技術の優秀性は既の実証済みだが、実用化から日が浅いため、機械の長寿命化にどの程度貢献しているかの検証はこれからである。今後の研究によって改良が進めば、機械の保守作業のコストを大幅に低減するメンテナンスフリー化の実現もそう遠くはないかもしれない。

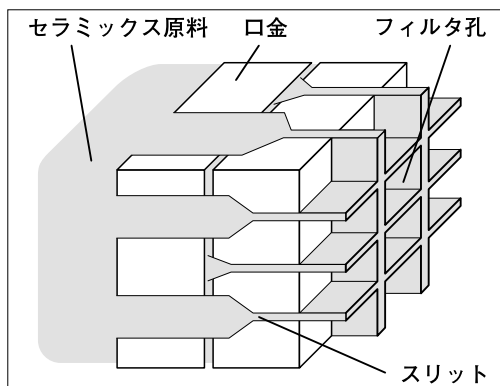


図4 排気ガスフィルタの成形



これからの「大学の研究」

先駆的な技術が経済の発展に不可欠であるという認識が高まり、高度な技術力を持つ企業の評価が高まる一方、大学で行われる研究の価値に対して厳しい評価の目が注がれている。こうした状況下では、大学の研究者も社会に向けて研究の存在意義をアピールしていく必要がある。

また、環境問題への対応など、科学者に対して社会的な要求が強まっている。このような問題に現実的な解決策を示して実行に移す場合、大学内の研究だけでは対応しきれない部分が多い。

村上・大竹研究室では、民間企業と協力した研究活動を積極的に行っている。これは一般的な共同研究とは少し異なり、双方が別の側面から研究開発を行うものだ。このような研究は多くの場合、以下のような形態をとる。まず、企業側が新しい素材や製法のアイディアを提案する。研究室は企業からの相談に応える形で素材の物性などを調査し、理論的・定量的にその有効性を検討する。

このような研究活動には、企業を介して研究成果を実用に繋がられるメリットがある。それだけではなく、現在抱えている問題を学問的アプローチで追究できるという点で意義があるのだ。大竹先生は「現在のやり方では何故このような不良が出るのか。その原因の解明が大学としてやるべき

ことだと思う」と語る。現在は主に射出成形の分野で共同研究を行っているという。

その一方で、基礎研究にとどまらず研究室の側から実用化の提案をすることもある。一例として、研究室のメンバーと大田区内の企業によって設立された地域コンソーシアムの話を知った。

この事業は、DLCに関係した研究室の研究成果が元になっている。柔らかい素材に対して普通にDLCコーティングを行うと、素材が変形して剥がれやすい。そこで発想を変え、DLC保護膜に一定の間隔で溝を彫ることによって剥離を防ぐアイディアが出た。実験した結果、この考えが有効であることが分かり、実用化する構想が出てきた。この技術は既に特許を取得しており、経済産業省の推進プロジェクトに採択された。今後は、これらの技術の業界へのアピールを狙っていくという。

大竹先生は、製品が環境に与える負荷を可能な限り減らす方向で開発を進めていきたいと語る。本文で紹介した、環境負荷の低減に適する炭素系素材の開発や企業との連携は、いずれもこのような先生の目的意識の現れである。このような村上・大竹研究室の活動は、大学の専門性を活かした産学連携の試みの例として興味深い姿であると感じられた。

取材を通じ、大竹先生が研究のあり方について明快な哲学を持っていることが感じられた。

最後になりましたが、お忙しい中快く取材に応

じて下さった大竹先生はじめ研究室の方々にお礼を申し上げるとともに、今後の村上・大竹研究室の発展をお祈り致します。(村松 雅弘)