

歯車に魅せられて

メカノマイクロ工学専攻 北條 春夫 研究室

北條 春夫 教授 1951年東京都生まれ。東京工業大学大学院総合理工学研究科精密機械システム専攻修士課程修了。1991年より同総合理工学研究科を担当。同年より、同精密工学研究科助教授、1996年同教授。



古代から現代に至るまでさまざまな機械が発明され、そして利用されてきた。その中には動力を伝えるために歯車が使われているものが多い。そのため、歯車に関する研究は長い間行われてきた。先生の所属する精密工学研究所では戦前から歯車の研究を軸としており、北條春夫先生はこの流れを受け継いでいる。本稿では、北條先生の研究を中心に、歯車に関する研究の変遷を紹介する。

歯車と先生の研究室の歴史

精密工学研究所は、昔から歯車の研究が大きな軸となっていた。北條先生の研究室は精密工学研究所の中にあり、そこで続けられている歯車の研究を受け継いでいる。

現在、さまざまな種類の歯車が存在しているが、それらはそれぞれの使用目的に応じて開発されてきた。例えば、戦争時には大砲の角度調整をするために精密な歯車が必要とされていた。大砲を使用する際、大砲と目標物が離れているため、角度を調整するときに起こるわずかな誤差が目標物のある地点では大きなずれとなってしまう。このずれを小さくするために精密な歯車が必要になった。

精密さが要求される機械には相応の精密な歯車が必要であるが、歯車に求められる機能は精密さだけではない。新幹線で使われている歯車のように、強度が要求される場合には、その強度を満たすだけの丈夫な歯車を作る必要がある。このよう

に、利用方法が変われば歯車に求められる機能も変化していく。産業の発展と同時に歯車の技術も発展してきたのだ。北條先生の研究室もこの発展に大きく貢献している。

現在、この研究室を受け持っているのは北條先生であるが、そこに至るまでには多くの先生が歯車に関する研究を行ない、研究の歴史を築いてきた。その一人が中田孝先生である。中田先生が研究をしていた時代は、第二次世界大戦の前後であり、軍事や工業などの産業の発展に関わる研究の一つとして歯車の研究を行っていた。

歯車は、2つの歯車同士がかみ合うことによって動力を伝えている。中田先生は、軸間距離を変えずに歯数を増減できるような歯車を作りたいと考えた。軸間距離とは、歯車の中心同士の間隔である。そこで、歯の形を工夫することで、歯の数が変わってもなめらかに噛み合うような歯車を作り、現代の歯車に関する研究の基礎を築いた。この歯車は現在、インボリュート歯車と呼ば

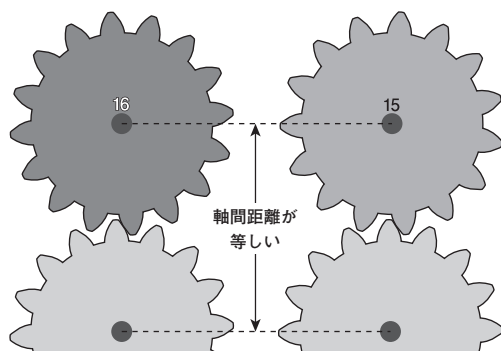


図1 インボリュート歯車

インボリュート歯車は、歯の形が特徴的であり、同じ軸間距離で片方だけ歯の枚数を数枚増減させてもなめらかにかみ合う。ここでは歯の枚数を16から15に変えている。

れている(図1)。中田先生はさらに、歯車同士が力学的にしっかりと噛み合うことが保証されるような歯の形を計算により求める研究をし、その計算方法を確立した。

中田先生の次にこの研究室で研究を行なったのが、石川二郎先生である。先生が研究していた時代は1950年代であり、新幹線が開通する前の時期であった。新幹線では動力源となるモーターから車輪に動力を伝える部分に歯車が使われている。新幹線は当時走っていた電車に比べて格段に速いため、空気抵抗が増えて歯車にかかる負荷も大きくなった。このため、この大きな負荷に耐えられるような歯車が必要となった。

石川先生は、こうした大きな負荷に耐えられるような丈夫な歯車を作る研究をした。丈夫な歯車を作るためには、歯車にどのような力がはたっているかを求める必要がある。歯車にかかる力は、歯の形によって変化する。歯車の歯にかかる力によっては、歯が根元から折れてしまったり、歯車の歯の表面が欠けてしまったりする可能性がある。そのため、歯車の歯の形を正確に測り、歯車にかかる力を調べ、それに耐えられるような丈夫な歯車を作った。

石川先生の次に研究を受け継いだのが、梅澤清彦先生だ。梅澤先生が研究を始めた1960年代は、モータリゼーションが始まり、自動車の大量生産が行なわれていた。自動車には、エンジンからタイヤに動力を伝えるために数多くの歯車が使われている。これらの歯車は、車の速さに合わせてギ

アボックスで噛み合う歯車の組み合わせを変えているのだ。当時は、平歯車という、歯の溝の方向が軸の向きに平行な歯車が基本的に使用されていた。しかし、平歯車は噛み合う歯が次々と段差的に切り替わりながら変化していくため、振動が大きくなってしまった。そこで、歯車のうち、今噛み合っている部分の歯がなめらかに切り替わるように歯を斜めにした。そうすることで、なめらかに回転でき、振動が小さい歯車が作られた。この歯車は、はすば歯車と呼ばれている(図2)。この時代から、自動車の動力伝達系などに用いられるのは、はすば歯車が主流になった。

梅澤先生は、はすば歯車の強度に関する研究を行なった。車は加速や減速が多いため、そのときの力に耐えられる歯車が必要となったからである。

高度経済成長の時期になると、環境問題が話題になり始めた。環境問題の一つに騒音という問題がある。騒音の原因はいくつかあるが、その原因の一つにエンジンの排気音がある。エンジン開発の研究が進み、エンジンの音を小さくすることが可能になった。しかし、今まで聞こえなかった歯車の振動による音が目立つようになってしまった。そのため、歯車の音を小さくする必要が出てきた。ところが、歯車の音が小さくなると、今度はエンジンの音が目立つようになる。

このように、歯車とエンジンの研究開発はいたちごっこである。梅澤先生は、この騒音の原因である歯車の音を小さくするため、歯車の振動の原因を突き止める研究をした。北條先生が研究室に配属されたのは、梅澤先生がこのテーマの研究をしているときだった。北條先生の研究生生活はここから始まったのだ。

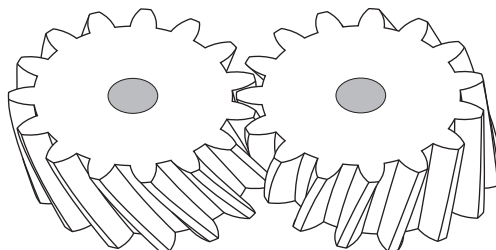


図2 はすば歯車

はすば歯車は歯が斜めになっており、噛み合う歯の数がなめらかに切り替わることが特徴である。

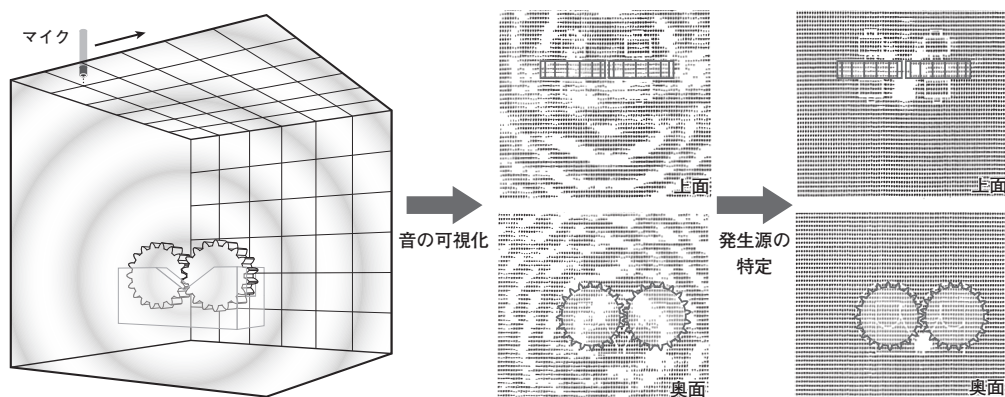


図3 ホログラフィーを利用した音響解析

左の実験装置で音を測り、音の様子を可視化し、その図から音の発生源を特定する一連の流れを示した図である。音の発生源は、右の投影図の白抜きになっている部分である。

歯車の音の原因を調べる

歯車がかみ合って回っているとき、歯車から音が発生している。北條先生は、歯車の音がどこから出ているのか疑問に思い、研究を始めた。

音の様子を調べる方法はいくつかあるが、音を可視化できるとその広がり具合が視覚的に理解できるため、その方法を模索した。音を可視化する手段の一つにホログラフィーを利用した音響解析がある（図3）。ホログラフィーとは、3次元の波を2次元の平面上に記録する技術である。光のホログラフィーを利用すると、平面上に立体の図を描くことができる。その技術を音にも応用した。

まず、正面と真上からの2つの平面上でマイクを使って音を測る。このとき、基準となる周波数の一つ決めて、その周波数の音の情報を記録する。このように記録したものは干渉縞のようになるため、調べた干渉縞の様子から音が伝わる様子が3次元的にわかる。この方法を利用した結果、音の発生源を特定することができた。

また、先生は歯の音が発生する仕組みの一つを突き止めることにも成功した。歯のかみ合いが始まる時に歯の溝の部分の体積が小さくなり、空気が押し出される。そして、歯のかみ合いが外れる時に歯溝の体積が大きくなり、空気が入りこむ。歯溝の空気の出入りは瞬間的に起こるため、その部分で空気の振動が起こり、音が発生することがわかった（図4）。

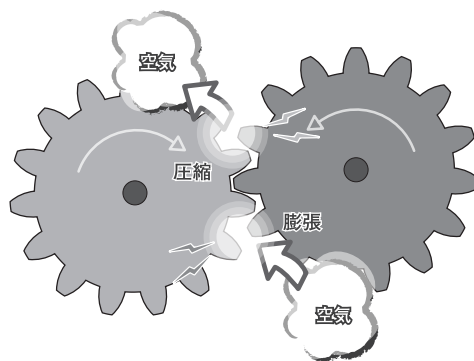


図4 実験からわかった音の発生する仕組み

歯車が回転するときに空気の出入りが瞬間的に起こるため、音が発生する。

歯車周辺の熱を取り除くために

北條先生は、歯車がかみ合う時に発生する摩擦熱に関する研究もしている。歯車が回転するときにかみ合う部分で摩擦熱が発生し、歯車の温度が上昇する。歯車は温度が上昇すると、強度を維持できなくなったり、歯車の歯が壊れたりすることがある。このような異常が起こる可能性があるため、歯車の温度上昇は避けなければならない。

摩擦熱による温度上昇を防ぐ方法は2つある。1つ目は摩擦係数を小さくすることで、これにより摩擦熱の発生量を減らすことができる。2つ目は、発生した摩擦熱を発生源で取り除くことである。こうすることにより、温度上昇を最小限に抑えることができる。

歯車に潤滑油を入れると、摩擦係数を小さくするとともに、摩擦熱を取り除くことができる。発生した熱はできるだけ素早く取り除く方がよく、そのためには、潤滑油を効率よく熱の発生源の周囲に供給しなければならない。そのためには、歯車周辺の空気中での流体の流れを知る必要がある。

北條先生は、最初に歯車周辺の空気中での流体の流れを直接観測しようとした。かみ合わせた歯車を回転させ、そのかみ合い部分に煙草や線香などの煙を入れ、その動きによって流れを調べた。しかし、煙の動きが速く、その動きを捕捉することができなかった。そこで、水中で歯車を回し、流体の流れを調べることにした。流体の空気中での挙動と水中での挙動には相似性があるといわれており、先生は水中での流体の流れを調べることによって空気中での流体の挙動を知ることができると考えたのだ。

そこで、2つの透明な歯車を水槽の中に入れ、水中でかみ合わせて回転させ、その水槽の中にポリスチレンや金属の粒子を入れた(図5)。この実験により、粒子の動きを立体的に観察することができ、流体の流れを3次元的に理解することが可能となった。

次に、水中の挙動と空気中の挙動の相似性を確認するための実験を行なった。水中での粒子に対応するように、空気中に油滴を自作の装置を使って歯車に飛ばした(図6)。これは、油滴を飛ばすときの空気の流れや油滴が飛び出す部分の長さを変えることで、油滴の直径や飛び出す速度を自在に操ることができる装置である。油滴の軌跡と水中

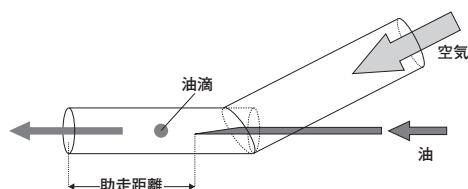


図6 自作の油滴装置

空気中に油滴を飛ばすための装置である。助走距離を変えることで油滴の飛び出す速さを、送り込む空気の変えることで油滴の大きさを変えることが可能である。

の粒子の軌跡がほぼ一致していたため、空気中での流体の挙動と水中での流体の挙動が一致していることが確認できた。これによって、潤滑油を使って歯車の温度上昇を効率よく防ぐ方法の大きな手掛かりを見つめることができたのだ。

先生や研究室の様子

北條先生の研究室は実験が多く、実験設備においてもさまざまな工夫をしている。実験で使った油滴装置や透明な歯車といったものも、先生や学生が試行錯誤を重ねて作ってきたものである。このように工夫しながら実験し、研究できるのは、先生が実験をしたり実際にものを作ったりすることを楽しみとし、大切にしているからである。

先生は、実験に対してワクワクする気持ちを持ち続け、常に遊び心をもって研究し、その上で社会の役に立つことを目標としている。この研究分野はさまざまな研究者が長年研究してきた分野であるため、新しい発見をするのも一筋縄ではいかない。それでも、新しい発見をしようと楽しんで研究を行なっている。先生の研究室は歯車を支え、私たちの日々の生活を支え続けている。

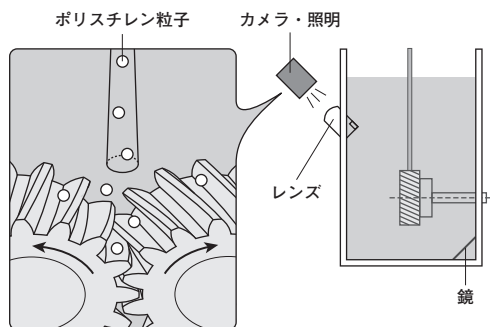


図5 水の流れを知る実験装置の概要

透明な歯車を水中で回転させ、ポリスチレン粒子を入れることにより、水の流れを調べる実験装置である。

執筆者より

歯車という、さまざまな機械の根幹となるものに関する、面白く興味深い話を北條先生から伺い歯車というものをより深く知ることができ、また、その奥深さを感じることもできました。最後になりますが、取材に快く応じていただいた北條先生に御礼申し上げます。

(川村 誉志也)