

◀1900年代初めの最先端で高効率なポベットバルブ式蒸気機関と、それにつながれた大型のDC（直流）発電機。このうるわしき老獣はいま博物館で余生を過ごしていますが、かつては——発電機を動かすために強力な高速蒸気機関が必要とされた時代には——世界を結ぶ架け橋として活躍していました。



蒸気機関 (スチームエンジン)

Steam Engines

蒸気機関（スチームエンジン）は今までに存在したなかで最高の機械であり、将来もずっとその地位は揺るがないでしょう。機械というものの本質を最も純粋に、最も美しく、最もエレガントに、そして最も崇高に体現しているのが蒸気機関です。

巨大で、油っぽくて、その雄姿にふさわしい匂いがします。音もしかり。電気モーターは静かすぎ、ガソリンエンジンはうるさすぎますが、蒸気機関は完璧です。シュッシュッと息を吐き、バルブ（弁）で音楽を奏でます。回転する部分があれば、往復運動をする部分もあります。今は他にもっと実用的な機械がいくらでもありますが、お腹の中の炎が作る蒸気や煙を吐きながら滑らかに動く蒸気機関ほど、人をわくわくさせるものはありません。

博物館やアマチュアの愛好家たちが蒸気機関を今も動かせるように整備し、時折新たに作ってくれさえるおかげで、私たちがどれほど恩恵を受けていることか。そうした「蒸気時代」ファンがいなければ、蒸気機関という美しき獣たちは過去のものとして葬られていたことでしょう。ただ、悲しいかな、蒸気機関は、後の方の章で紹介する後代のエンジンほど実用には向いていません。

さて、ロマンを語るのはこのくらいにして、蒸気機関の仕組みについて学びましょう。まずは基礎からスタートします。なぜなら、蒸気機関の基本を理解することが、その後に続く内燃機関（ガソリンエンジンやディーゼルエンジン）というずっと広大な世界を理解するための土台になるからです。

伝統的蒸気機関の 最高峰

可能な限り最高に効率の高い蒸気機関用バルブを作る探求には、きりがありません。そして実際に、人々はその果てしない夢を追いかけました。1849年に特許を取得したコーリス蒸気機関は、効率の点で大きな前進でした。バルブは1つではなく4つあり、タイプの違う蒸気供給バルブと排出バルブがそれぞれピストンの両側に付けられています。これは非常に複雑な（従って製造コストの高い）設計でしたが、少ない燃料と水でも大きな出力が得られるため、コストに見合うメリットがありました。

それがどういう仕組みで動くかを理解するために、これまでの模型でバルブが蒸気をシリンダーの片側から反対側に切り替える瞬間を考えてみましょう。バルブが閉じると、それまでシリンダー内と供給パイプ内にあった高圧の蒸気がすべて、たちまち外部に放出されます。つまりシリンダー1本分の蒸気がお払い箱になり、その蒸気を

作するために使われた燃料の大半も無駄になります。ガバナーで減圧させて蒸気機関の動きを減速させる場合にも、各ハーフサイクルの終わりの時点で残っていた蒸気の圧力が無駄になることに変わりはありません。

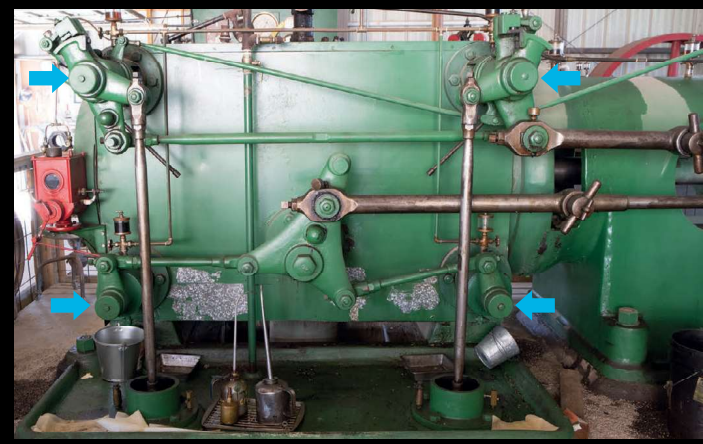
コーリスの設計では、蒸気は常に全圧でシリンダーに供給され、蒸気機関の回転数は蒸気供給口のバルブの開口時間を調整することで制御されます。負荷が低い時には、ストロークの最初にコンマ何秒かだけバルブが開き、その後はシリンダー内で蒸気がひとりでに膨張します。そして、ストロークが終わる頃にはシリンダー内の圧力はだいぶ低くなっていますから、蒸気排出口が開いた時の無駄は少なくなります。



◀米国イリノイ州フリーポートのシルヴァークリーク博物館にある、巨大なクーバー・コーリス蒸気機関。

天井の高さの計算を間違えたせいで、梁をカットしなければなりませんでした。

コーリス蒸気機関は、蒸気機関の改良の終着点ではありませんでした。内燃機関が技術として確立された後も、新たに改良された蒸気機関が作られ続けました。ちょうど、電気自動車の普及率がどんどん上がりつつある今でもガソリンエンジン車が走り続けているのと同様に。蒸気自動車には、内燃機関の自動車に比べて有利な点がありました。たとえば、ゼロ回転から大きなトルク（回転力）を出せるため、変速機（トランスミッション）がありません。音も内燃機関より静かですし、少なくとも一時期は、内燃機関の車より速く走れました。しかし、長い年月の中で見ると蒸気機関は内燃機関に追い越され、第2章で紹介するように、内燃機関が20世紀を制したのでした。



◀コーリス蒸気機関のバルブの模型

▶実際の蒸気機関でも、シリンダー両端上下に4つのバルブがあります（矢印）。



◀1925年製ダブルE20蒸気自動車。蒸気を再利用するので、水の補給は不要です。この車には、水・燃料・油の供給ポンプを動かす電気モーターと、ボイラーの燃料の制御装置も備わっています。そのうえ、ガソリンでも走れます！

4ストロークエンジン

4ストロークエンジンは、2ストロークエンジンよりも機械としての構造は複雑ですが、動作の各段階が2ストロークと比べて明確に分かれているため、仕組みを理解しやすいと思います。ですから、最初に4ストロークエンジンを見ていきましょう。

連続的に動き続けるエンジンを作るには、それぞれのシリンダーが、燃料と空気を吸入し、それを圧縮し、点火して膨張させるといった複数の段階からなるサイクルで動作する必要があります。膨張が終わったら、排ガスを外に送り出して、新

しい空気と燃料を入れる準備を整えなければなりません。

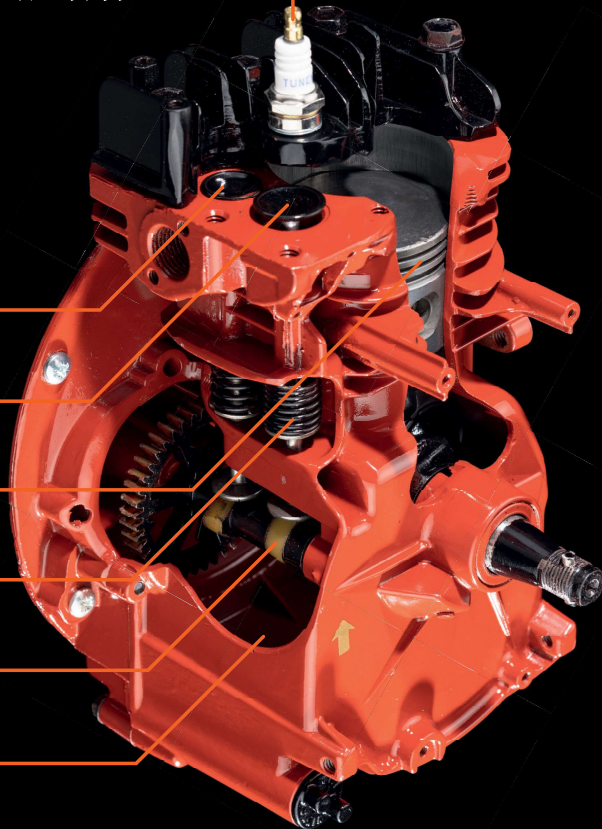
4ストロークエンジンという名前は、ピストンの1回のストロークごとに、吸気、圧縮、燃焼、排気の4つの作業のうち1つが行われることに由来します。(1ストロークとは、ピストンがシリンダーの片方の端からもう片方の端まで、つまり上から下または下から上へ、移動することです。) 4ストロークからなる1サイクルでは、ピストンは上がって下って上がって下がるので、クラン

クシャフトは2回転します。

ここから72ページまでの図解は、ガソリンエンジンにもディーゼルエンジンにも同じようにあてはまります。唯一の違いは燃料の点火方法です。ガソリンエンジンはスパークプラグで燃料に点火するのに対し、ディーゼルエンジンはシリンダー内で空気を圧縮することにより高温にし、そこに燃料を噴射して自然発火させます。

▶この単気筒4ストロークエンジンは、ボディの一部が切り取られて、内部の重要な部品が見えるようになっています。下の透明アクリル製模型と見比べて、頭の中で実物の部品と模型の部品の関係をつかんで下さい。たいていの機械は中がどうなっているかが見えずにイライラさせられるものですが、エンジンもその例に漏れません。ですから、実際に目で見ることでできない内部の部品の動き方をどうやってイメージすればいいかを学ぶ必要があります。

燃料に点火する
スパークプラグ



新鮮な空気と燃料を取り入れるために開く吸気バルブ

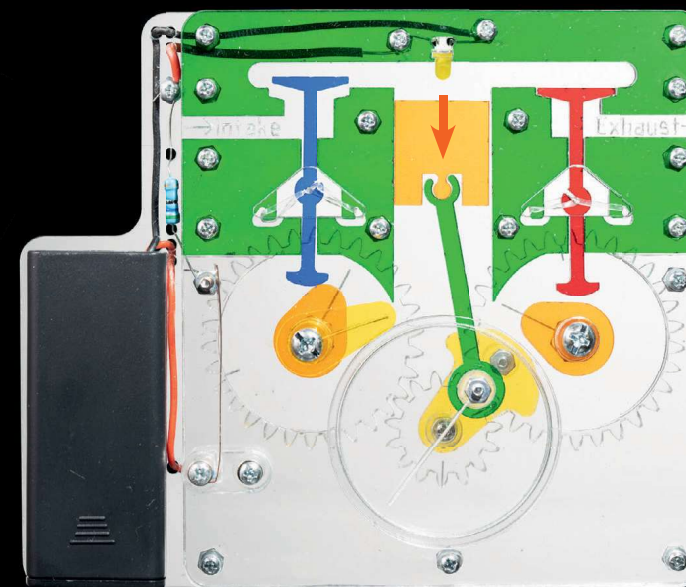
燃焼後のガスを排出する際に開く排気バルブ

シリンダー内でスライドするピストン

カムの動作に応じてバルブを押し閉じるバルブスプリング

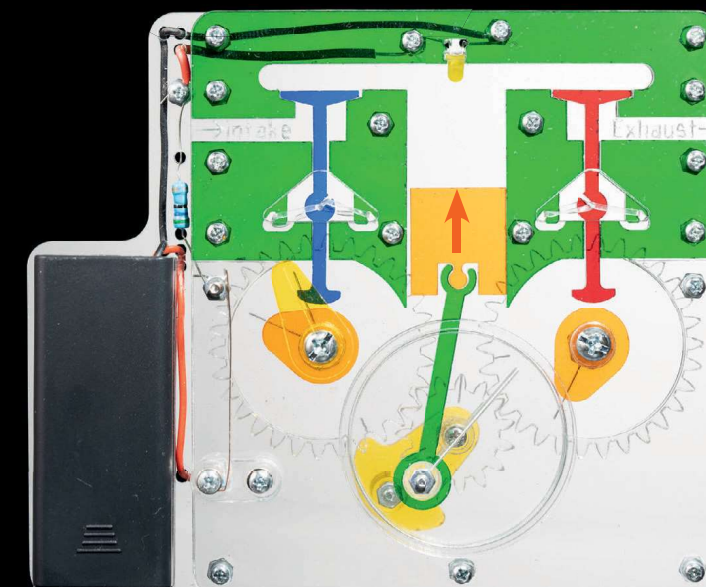
バルブを押し開閉させるためのカムが付いたカムシャフト

クランクシャフト用の潤滑油が入ったクランクケース



吸気行程△

吸気行程では、ピストンが下がる間に、空気あるいは空気と燃料の混合ガスが吸気バルブを通して吸い込まれます。吸気バルブは、ピストンが下降する間ずっと開いています。



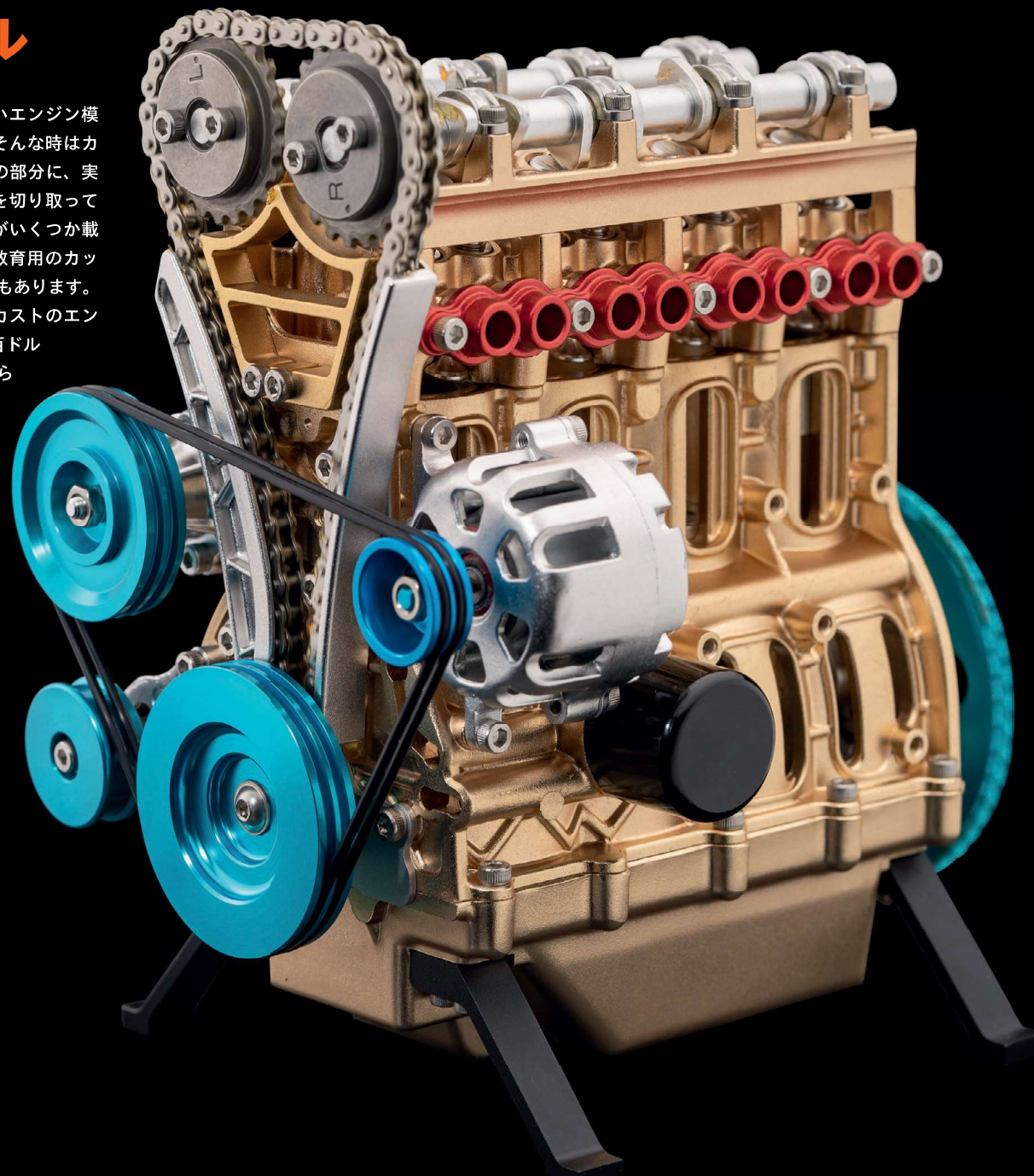
圧縮行程△

圧縮行程では、両方のバルブが閉じることでシリンダー内にガスが閉じ込められ、ピストンの上昇によってガスが圧縮されて、体積が劇的に減少します。

カットモデル

全体が金属でできた、満足度の高いエンジン模型が欲しい、でも内部も見たい——そんな時はカットモデルの出番です。本章の最初の部分に、実物のエンジン（小型のもの）の一部を切り取って内部が見えるようになっているものがいくつか載っています。大きなエンジンには、教育用のカットモデルとして特別に設計された模型もあります。

このページと次ページ左下のダイカストのエンジン模型は、中国の会社が作って数百ドルで販売しています。膨大な数の部品から成り、組み立て方の詳しい説明書も付いています。これは模型の価値においては重要なことです。というのも、自分で組み立てることで、完成品が動くところを見るのと同じくらい、あるいはそれ以上に、勉強になるからです。

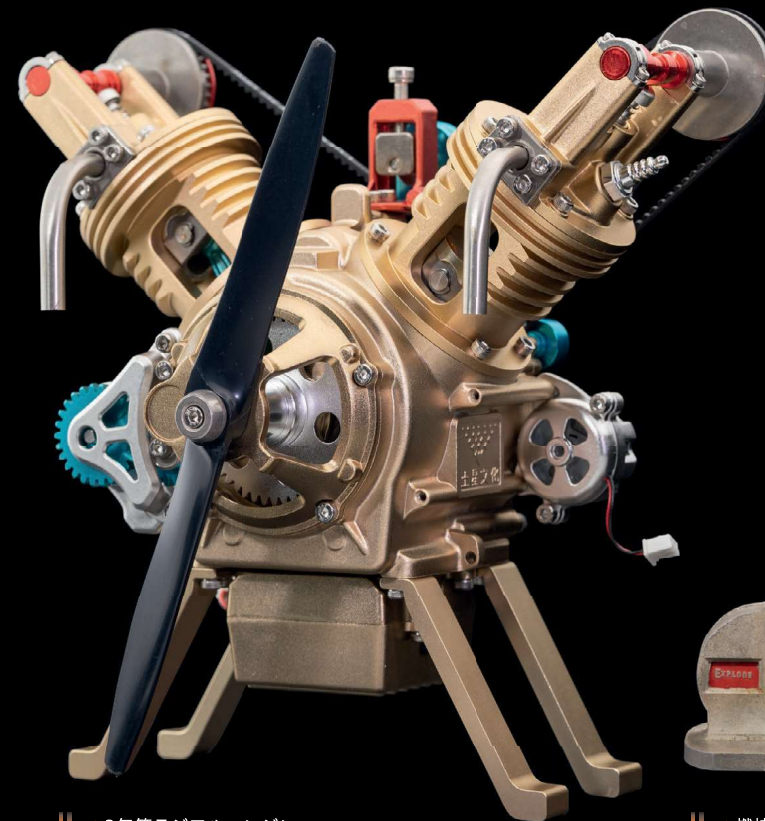


▶4気筒16バルブのエンジンの金属製カットモデル。

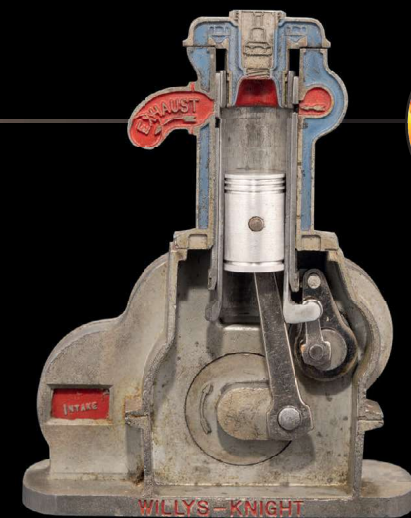
本章に登場するすべての4ストロークエンジンは、ポペットバルブと呼ばれる、押し下げることでシリンダーに開口部を作るバルブを使っています。これは、ほぼすべてのエンジンが共通して採用しているバルブです。しかし、ポペットバルブより前に、スリーブバルブと呼ばれるバルブが広く使われていた時期がありました。スリーブバルブは機械として単純で、バルブスプリングを使いません。ピストンを囲む位置にある2つの同心円状のスリーブ（筒状部品）が上下にスライドし、シリンダー側面にある吸気ポートと排気ポートを開閉します。正しくポートを開閉するには、2つのスリ

ーブが異なるタイミングで動く必要があります。両方のスリーブの孔が揃った時に初めてポートが開きます。

2ストロークエンジンのポートが開閉する仕組み（92-95ページ）と似ていますが、あちらは、位置を計算して配置されたポートをピストン自体がふさいだり開けたりする設計で、スリーブは不要です。2ストロークエンジンは現在もポートを使用していますが、右の写真のような複雑なダブルスリーブ設計は、信頼性が低すぎて廃れました。



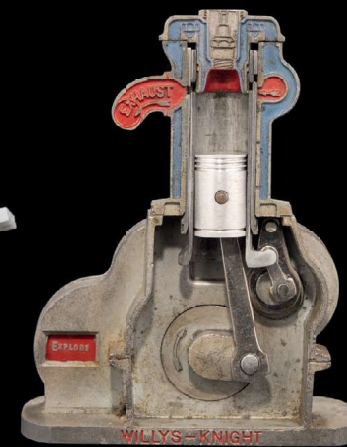
▲2気筒ラジアルエンジンのカットモデル。



◀吸気行程。吸気ポートが開き、排気ポートは閉じています。



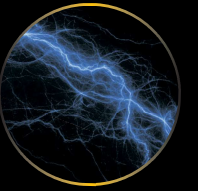
◀圧縮行程。両方のポートが閉じています。



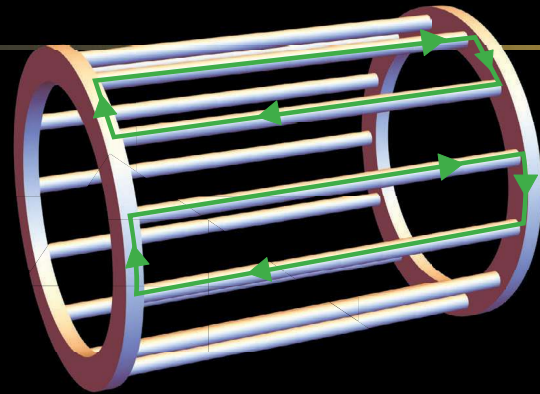
▲燃焼行程（この模型では「爆発行程」）。両方のポートが閉じています。



▲排気行程。吸気ポートが閉じ、排気ポートが開いています。



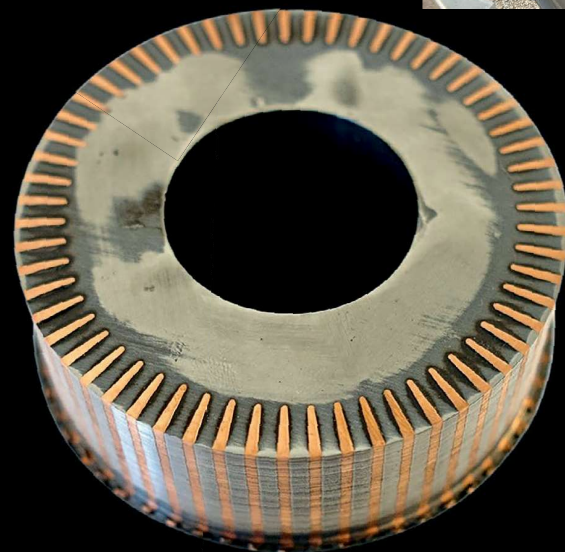
▶普通はかご型誘導電動機の内部を見ることはできませんが、この図のような、銅またはアルミニウム製のかご型導体が入っています。両端が開いているので、中にものを入れても底から落ちてしまっ、かごとして使うことはできません。けれども、電流は底から逃げたりせず、図のようにループを描いて流れます。



▶このかご型導体は珍しいタイプで、ダイカストではなく、銅の環とバー（棒）を組み合わせて作られています。写真が撮れたのはそのおかげです。バーがとても太く、数百アンペアの電流を流すのに十分な太さである点に注目して下さい。この回転子は、ヨーロッパのReFreeDriveプロジェクト（レアース磁石を使わない電動機の開発を目指すプロジェクト）の一環として、電気自動車に必要な出力重量比の誘導電動機を作るために設計されました。実用化されれば、現在の電気自動車の電動機に使われているネオジム磁石に取って代わることが想定されています。ネオジムは希土類（レアース）と呼ばれる元素のひとつで、実際にはそこまで「レア（希少）」ではありませんが、すべての自動車を永久磁石電動機を使った電気自動車にするとなると、世界のネオジム供給が大きく圧迫されてしまいます。銅の回転子を使う誘導電動機ならより低コストですし、供給に問題の生じかねないネオジムに依存せずに済みます。



▶かご型導体は、アルミニウムではなく銅でダイカストすることもできます。銅はアルミより電気を通しやすい点で優れた素材ですが、融点がアルミよりずっと高いため、加工の難度が上がります。銅をダイカストしたこのかご型導体は、上述のReFreeDriveプロジェクトのためにドイツのプロイクマン社が作ったものです。写真は、銅のバーの形が見えるように、鉄心を削り取ってあります。さて、銅よりも優れた素材はないのでしょうか？ あります！ 銅以上に高い導電性を誇る、銀という金属が！ しかし、残念ながら銀は価格が高すぎます。それ以上の電気伝導率を得るには、超伝導素材を使うしかありません。超伝導回転子コイルを使った電動機も作られています。今のところ試作品がテスト段階で、しかも非常に大型（1000馬力以上）です。



▶これは、穀物サイロ（トウモロコシや大豆を貯蔵する巨大穀物倉庫）の側面にある乾燥ファンを駆動するための電動機で、やはりかご型誘導電動機です。前ページの電動機とよく似ていますが、サイズは一回り大きく、銘板によれば、定格出力は50馬力、重量は280kgです。この電動機は驚くほど堅牢で、過酷な環境下でも信頼性が高いのですが、その理由は、半導体回路がなく、可動部品も中央の回転子だけだからです。このような電動機には、ほとんど不具合が起こりません。



もっと大きな誘導電動機

乗用車やバスくらいのサイズがある超大型誘導電動機では、通常は、回転子の内部にかご型導体ではなく実際に巻線されたコイルが収まっています。コイルの両端はスリップリングにつながれ、それによって電動機の外部と接続されます。スリップリング同士を互いに短絡させると、回転子はかご型導体と同じように動作します（かごのバー同士が端絡環で短絡しているように、コイル同士が短絡するという事です）。この種の電動機は、まさにこの「スリップリングを短絡させた状態」で運転されるのが普通です。けれども、始動の時は話が別です。

誘導電動機の電源を入れた時点では、回転子は動いていません（それまで電源が切られていたので、当然です）。

しかし、電源が入った途端に、回転子の周囲では磁界がフル回転します（一般的な60ヘルツの電動機で毎分1800回転）。つまり、磁力線がものすごいスピードで回転子のコイルを横断し、回転子に大電流を誘導するという事です。すると回転子に強力な磁界が発生し、電動機を始動させるための巨大なトルクが生み出されます（これがゴールドスタートと呼ばれる大きな始動トルクになります）。

これは一部の用途（電気自動車や電気機関車など）にはとても適していますが、工場用の5000馬力の電動機だと、あまりに大量の電流が流れて、工場の電気系統への過負荷になりかねず、電動機を焼損させる可能性もあります。そこで、

解決策として、スリップリング接続によって回転子のコイルにある大きさの電気抵抗を直列につなぎ込むのです。そうすれば、電流の大きさがある範囲内に抑えられます。電動機の回転数が上がるにつれて、抵抗値を徐々に減らすこともできます。最終的に抵抗をゼロにすると、コイルは短絡します。電動機がフルスピードで運転している時には、回転子は周囲の回転磁界とほぼ同じ速さで回っており、回転子コイルに流れる電流は、電動機を動かすのに必要な量のみになります。

▶スリップリング付きの巻線型誘導電動機は、概して非常に大型です。回転子だけで乗用車数台分の重さがあります。

