

## 仙台市地下鉄東西線と直動機構

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2016-11-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 熊谷, 正朗 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://tohoku-gakuin.repo.nii.ac.jp/records/625">https://tohoku-gakuin.repo.nii.ac.jp/records/625</a>

## 仙台市地下鉄東西線と直動機構

昨年12月に仙台市地下鉄の新路線である東西線が開業しました。私もその路線近くに住んでおり、電車通勤に切り替えました。最寄り駅は日本の地下鉄駅で最も標高の高い駅です。隣駅は東北大学の青葉山キャンパスにあり、これも山の上の駅ですが、その次の駅は山を下ったところにあります。この間の標高差は約70m、傾斜は最大で57%（1kmあたり57m）と鉄道としてはきつい数値です（有名な碓氷峠で67%）。その対策として、車両の推進にリニアモータが採用されました。

リニアモータは文字通り、リニア＝直線状のモータです。普通のモータは軸周りに回転するものですが、それを切り開いて直線状にします。回転式のモータは何らかの力で固定側と回転側のすき間に回す方向＝円周方向の力を発生させ、それによって回転させます。この円周方向の力を直線方向の推力として使います。リニアモータにはいくつかの方式があります。電磁式のモータでは、永久磁石を用いる交流モータや、用いない三相誘導モータなどを伸ばしたものがあり、超音波モータでも直動するものがあります。地下鉄に用いられるものは誘導型のリニアモータで、車体側に進行する磁界を発生させる電機子（コイル＋鉄芯）を置き、レールの間にはリアクションプレートという、一般的な誘導モータでは回

転する側に当たる、鉄とアルミ（もしくは銅など）の板を設置します。車体側電機子に交流電流を流すことで、その電流や周波数などに応じた推力が、プレートに対して直接発生します。鉄道での利点は、この直接的な推力にあります。一般的な鉄道は、車輪をモータで回し、その車輪とレールとの摩擦で推進するため、車輪が滑るような状況では使用できません。リニアモータを用いれば車輪の摩擦に頼らないため、傾斜がきつくともモータの推力さえ出せば滑らず上下りできます。もう一つの利点としては、薄型化しやすいため車高を下げられ、全体をコンパクトにしてトンネルの工事費を下げられると聞きます。

一方、工事が始まったリニア中央新幹線は、車体側に永久磁石代わりの超伝導電磁石、軌道側に駆動用のコイルを置く同期式の交流モータであって、同じリニアの文字がつきますが方式は異なります。こちらは高速鉄道として浮上させることにしたため、リニアモータで駆動する必然がありました。「リニア」はそもそも「直線状の」という意味でしかないのですが、これの影響で「リニア＝浮く」というイメージが非常に強く、仙台市の地下鉄でも計画段階で（いまでも）浮くという誤解がありました。

さて、産業用の各種装置でも直線的な動作を

**熊谷正朗**—KUMAGAI MASAOKI—

東北学院大学 工学部 機械知能工学科 教授

東北学院大学工学部 教授/仙台市地域連携フェロー(ロボットメカトロ系担当)。2000年東北大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、同大助手。03年東北学院大学講師、助教授、准教授を経て、現在に至る。ロボメカ系開発を専門とし、メカの設計からマイコンやサーバのソフト開発までを行う。「基礎からのメカトロニクス講座」や地域企業訪問も実施中。



する箇所は多く、そのために多くの手段が用いられています。大まかな分類としては、それ自体が直線出力をするリニアアクチュエータと、回転式のモータ+直線運動に変換するためのメカの組み合わせです。

リニアモータは前者の一例です。コストなどの点から採用は限定的ですが、永久磁石を用いる同期式を中心に使用例があります。また、それほど負荷が大きい単なる往復にエアシリンダがよく用いられていますが、これもリニアアクチュエータです。これらの利点は、直線運動が直接作られることです。構造がシンプルであり、かつ追加の機構によるガタなどが発生しにくいいため、軽量かつ応答の良い装置を実現しやすくなります。欠点はアクチュエータ自身が目的の力・速度を出すのにマッチしている必要があることです。直線運動をコンパクトに加減速するメカは難しく、アクチュエータをそのまま目的の動作に使う必要があるためです。

これに対して、広く用いられる方法が、回転式のモータとネジ機構やベルトを用いて、回転運動を直線運動に変換する方法です。この方法の利点は実績が多いことと、機構の選定で減速比を比較的自由に調整できることです。たとえば、ネジのピッチやベルトの駆動プーリの直径などで速度・力を変えられ、モータの選定幅が広が

ります。一方で、部品が多めになること、伝達の途中でガタが入りやすく往復運動をさせたいときの誤差になりかねないことが欠点です。

直動というと、ネジやベルトのような、モータの回転と直動が比例する機構がまず考えられますが、クランクスライダも直動を作る機構です。クランクスライダの一例はエンジンのピストンとクランク軸で、軸の回転と往復の直動が対応しますが、その関係は三角関数も絡む複雑なものです。同じ速度で軸を回しても、クランクの角度によって、直動の速度が速かったり、ほぼ動かないタイミングがあったりします。一見すると使いにくそうなのですが、その特性には使い道があります。軸の回転速度と直動の速度の関係は減速比に当たるもので、その逆数は力の増加比率になります。直動が遅くなる場所は、直線で押し引きする力が強くなることを意味します。これをうまく活用すれば、すっと移動してぎゅっと押し込むという動作を作れます。また、クランクスライダは低コストに作れ、ロスもガタも少なくできるという点でも有望です。

なお、一般に、直線運動を支持するための構造が課題になりやすく、設計製作には気を使います。直動機構で装置構成することは、動作を考えるのは楽ですが、回転関節だけで済ませる可能性を考えることも良いと思います。