

わたしたちの研究 (15) 機構運動工学研究室

小森雅晴 (H7/1995卒)

1. 自己紹介と研究室紹介

小森雅晴と申します。私が小学生のときにスーパーカーブームがあり、その後、ロボットアニメブームにはまり、その後もラジコンを趣味にするなどしているうちに自然と機械の分野の仕事をしたいと思うようになりまして、京都大学で勉強するようになりました。1995年に京都大学工学部精密工学科を卒業し、1997年に京都大学大学院工学研究科精密工学専攻修士課程を修了しました。学部生、大学院学生ときは久保愛三先生にご指導をいただきました。

私が修士課程を修了した頃はバブル崩壊後の大不景気で大企業でも倒産するような時代でした。厳しい就職氷河期であり、それが社会問題になっていました。そのような時代であったこともあり、私なりに自分の将来のことを真剣に考えていました。その結果、厳しい世界で自分を成長させたいと思い、経営コンサルティングの会社に就職することにし、東京でビジネスマンとして働き始めました。その頃はクールビズという文化はありませんでしたので、常にスーツを着てネクタイをしていました。夏は大変に苦痛であったことを覚えています。いまはスーツを着る機会が少なくなり、快適な衣服で過ごせるようになりました。さて、ビジネスマンをしていたのですが、ビジネスの世界は当然ながら自然科学の世界とは違うものでした。特に議論のベースとなるデータの信頼性に違いがありました。ビジネスマンをしながら、自然科学のような信頼性の高いデータを基にした議論や仕事をしたいと徐々に思い始めまして、1999年に会社を辞めて博士後期課程学生として京都大学に戻ってきました。その後、縁あって、京都大学の助手として採用され、2004年に助教授、2017年に教授となりました。この間も久保愛三先生には様々なご指導をいただきました。

次に研究室の紹介をします。私の研究室の名前は機構運動工学研究室です。2021年に振動工学という研究室名から今の名称に変更しましたので聞き慣れない名称かと思います。その研究室名の通り、機械の機構や運動の研究、人の動作の研究をしています。現在は教員としては寺川達郎助教がいます。寺川助教は2014年に京都大学工学部物理工学科を卒業し、2016年に京都大学大学院工学研究

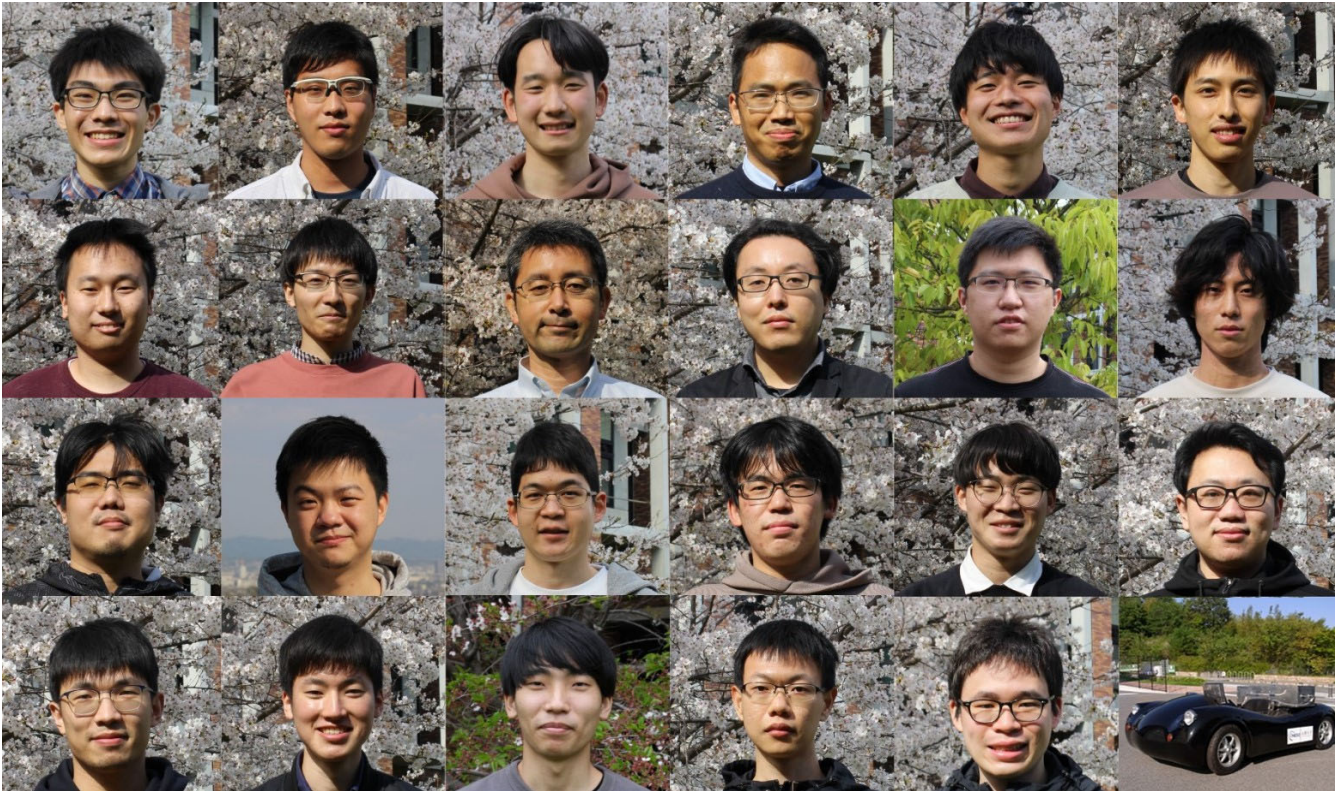


図1 現在の研究室メンバー。
上から2行目、左から3、4番目が小森と寺川助教です。

科機械理工学専攻修士課程、2019年に博士後期課程を修了しています。寺川助教は4回生の研究室配属のときから私の研究室で活躍してくれており、彼が修士学生、博士学生の中から後輩の指導などで研究室に大きく貢献をしてくれています。教員以外のメンバーは、現在は学部生5名、研究生1名、修士課程学生10名、博士後期課程学生4名、研究員1名がいます。以前と比べるとメンバーが多くなり、院生室では学生らの話が弾んでいることも多く、大変にうれしく思っています。

2. 研究紹介

私の研究室では機械の新しい機構、面白い機構を生み出して、その好奇心と学問的興味を追求しつつ、将来的には社会に貢献できればよいなと思って研究をしています。ここではそのいくつかをご紹介します。

2. 1 常時伝達変速システム

私の研究室では乗り物に関する研究を多くしていますが、そのような研究の一つとして常時伝達変速システムの研究を紹介します。地球温暖化防止のため、走行時に二酸化炭素を排出しない電気自動車に期待が寄せられています。しかしな

がら、電気自動車は1回の充電で可能な走行距離が短く、このことが普及の障害となっています。モータは高効率で運転できる回転速度とトルクの領域が限られています。変速機を用いて理想的な変速を行えば、モータの高効率な領域を有効に利用できるようになるため、電力消費の低減につながります。一方で、変速機を用いると速度に応じて変速機内の歯車対を切り替える変速作業が必要となります。変速作業中はモータからタイヤに駆動力が伝わらないため、加速をしたい状況にもかかわらず速度が低下するとともに、体が前後に揺すられることから、運転者や搭乗者に不快感やストレスを与えます。このため、変速時に駆動力が抜けない変速機が必要とされています。



図2 開発した変速システムを搭載した
小型電気自動車エビュート(EVUT)と非円形歯車

そこで私の研究室では、駆動力抜けの無い新しい変速システムを開発しました。通常の変速機では歯車対の切り替えを行う際に動力源と駆動輪の間のトルク伝達を一度切断する必要があります。本技術では、そのタイミングにおいて、非円形歯車によって駆動力を伝達します。図2右側に示すように、非円形歯車は減速比を滑らかに変化させることができる形状をしており、切り替えを行う二組の歯車対の中間的な状況を作り出し、変速中でも駆動力を伝えることができます。これにより、変速の際に速度が低下することを防ぎます。なお、この研究では、図2左側のように、開発した変速システムを搭載した小型電気自動車を製作しました。私

の研究室では、このような自動車のように最終的な形に近い状態の実験装置を製作して、実験をするようにしています。

図2の非円形歯車は2段変速用ですが、乗用車・トラック・バスなどのエンジンを搭載した自動車では、通常、多段の変速機が使用されます。そこで本研究では、図3に示すように、多段変速用の非円形歯車を提案し、それを用いた4段変速システムを構築しました。この多段変速用の非円形歯車はかなり変な形をした歯車です。これが歯車であるということを説明しないと歯車に見えないのではないかと思います。一部の研究者からは、この歯車は芸術的だとか言われます。それを狙ったわけではないのですが。

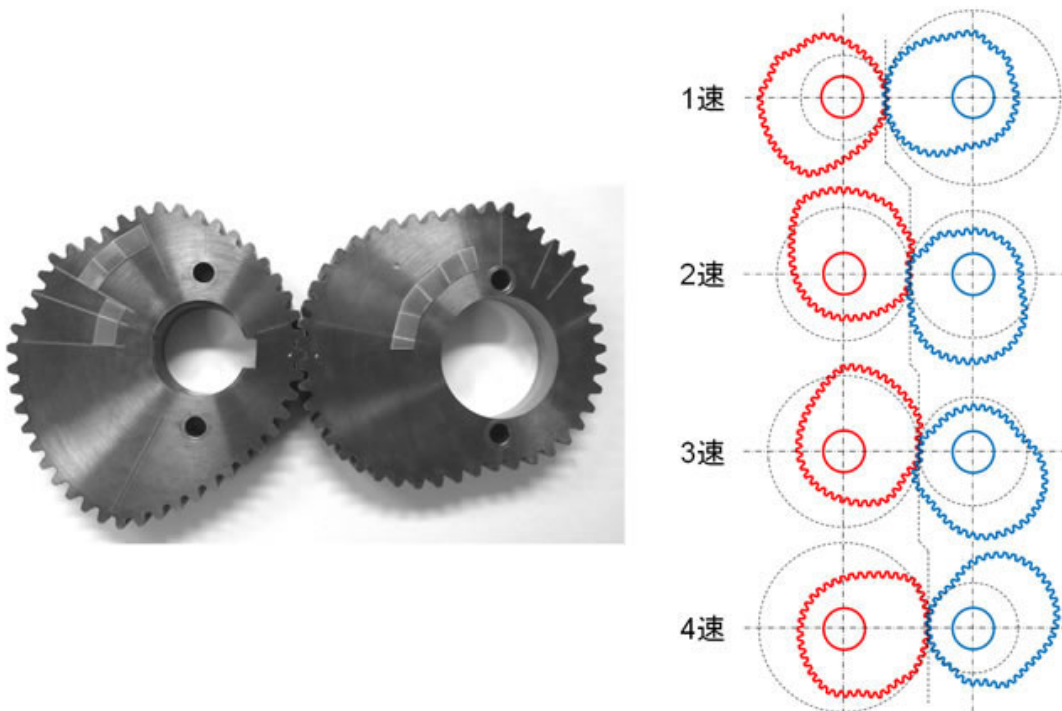


図3 多段変速用非円形歯車

2. 2 全方向駆動車輪

乗り物の研究をもう一つ紹介します。近年、一人用の移動装置であるパーソナルモビリティへのニーズが高まっています。特に、高齢者や足の不自由な方にとっては、一人乗りの移動装置が生活の中で重要な役割を果たしています。現在、一人用の移動装置として車いすや高齢者用電動移動装置などが販売されていますが、これらの移動装置は前後移動や向きを変えながら斜め方向に移動することは可能ではあるものの、真横に移動することはできません。病室でベッドのすぐそばに移動したいときや、オフィスにおいて机に向かったまま横に移動したいときなど、真横に移動したい場面は日常生活の中に多く存在しています。しかしなが

ら、従来の移動装置では直接には真横に移動できないため、移動に苦労することが多くありました。このため、真横に移動可能な一人乗りの乗り物が必要とされていました。

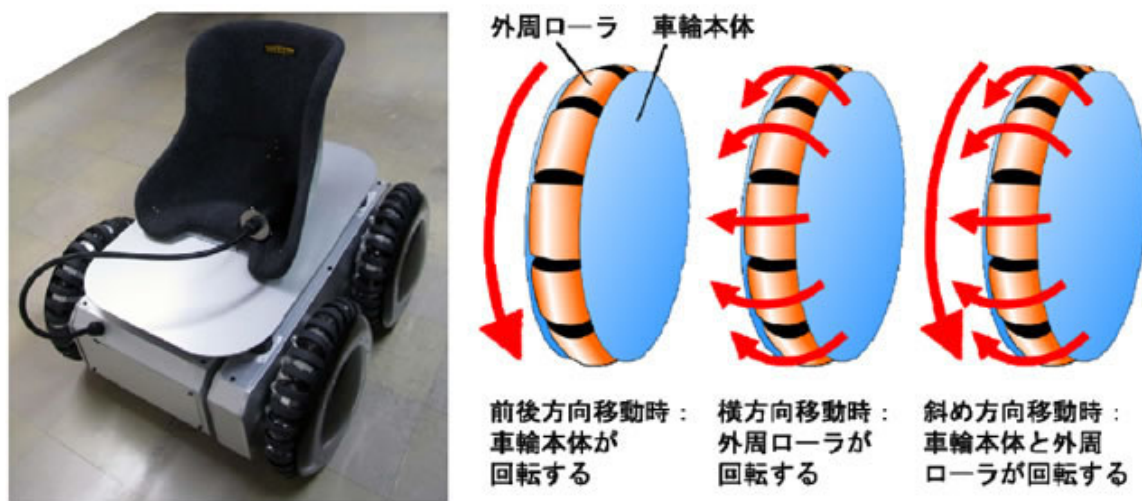


図4 全方向移動装置パーモビー（Permover）と全方向駆動車輪

そこで私の研究室では、図4右側に示すように、車輪本体と車輪の外周部に配置された外周ローラをそれぞれ別々に駆動し回転させることが可能な全方向駆動車輪を開発しました。全方向駆動車輪は車輪本体が回転すると前後方向に、外周ローラが回転すると横方向に、車輪本体と外周ローラがともに回転すると斜め方向に移動します。この動きは、差動歯車機構という機構を利用することで実現しています。この車輪を用いて、図4左側に示すように、全方向移動装置パーモビー（Permover）を開発しました。パーモビーは真横への移動が可能であるとともに、斜めへの移動も、その場で回転して向きを変えることも可能です。このため、狭い空間内でも任意の方向への移動を容易にできます。この技術は産業分野への応用も可能だろうと思っています。工場や倉庫では無人搬送車やフォークリフトなどの搬送車両が多く用いられていますが、これらが真横に移動することができれば、移動が便利になります。

全方向移動機構についてはさらに研究を進めています。例えば、図5の移動装置は、前後左右に移動可能な省モータ2輪駆動型移動装置クイスビー（KUISVHE）です。2つのモータで前後左右旋回の移動を実現できます。全方向駆動車輪とクラッチ機構を組み合わせて利用することでこのような機能を実現しています。

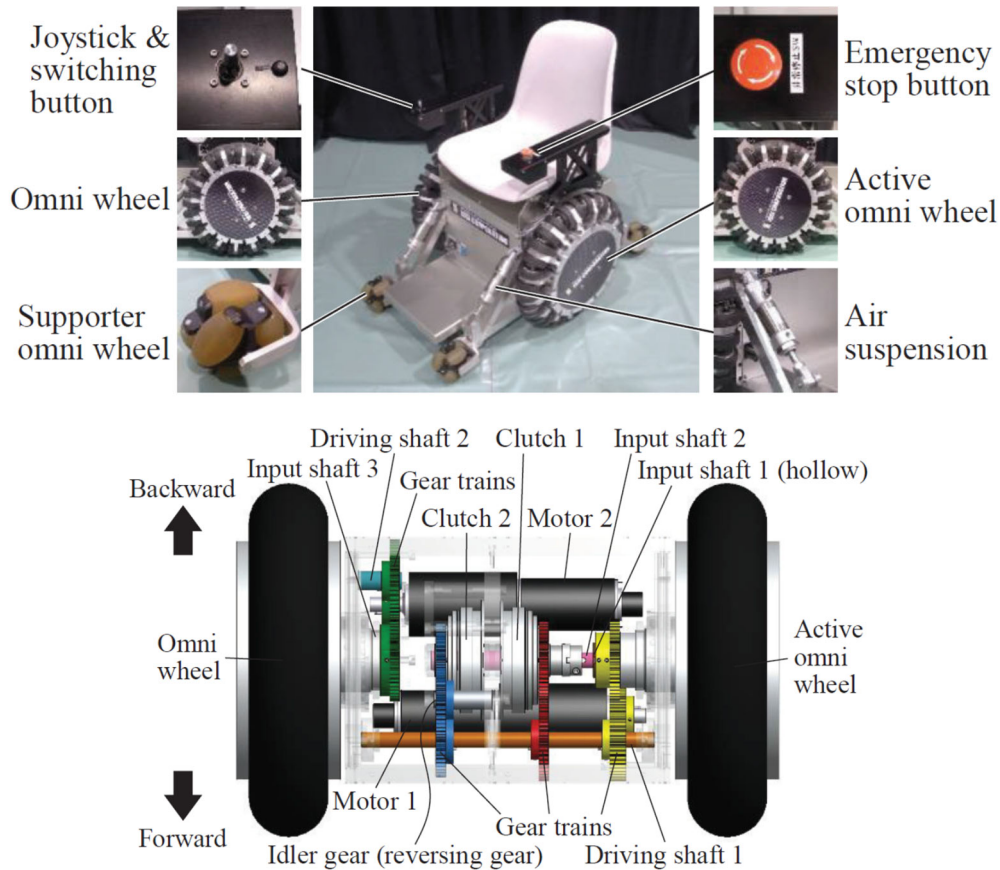


図5 前後左右に移動可能な省モータ2輪駆動型移動装置クイスビー (KUISVHE) とその内部構造 [1]

2. 3 全方向移動装置SWOM

一方、寺川助教が積極的に進めてくれている研究が全方向移動装置SWOM (slidable-wheeled omnidirectional mobile robot) の研究です[2] [3] [4]。図6はその構成です。受動直進ジョイントを介して接続された車輪が3組あります。直進ジョイントのレールは基礎部に等間隔に固定されていて、SWOM の本体を構成しています。直進ジョイントのスライダと車輪から駆動ユニットが構成され、駆動用モータと操舵用モータにより車輪の回転と操舵を能動的に行うことができます。

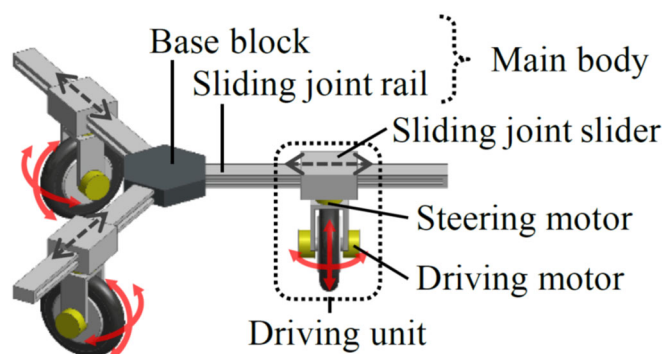


図6 全方向移動装置SWOMの構成 [2]

駆動ユニットが床面上を走行するとその運動に従って直進ジョイントが相対移動し、SWOM 本体に対する駆動ユニットの相対位置が変化することになります。説明は省略しますが、SWOM は普通の車輪を用いて全方向移動を実現できます。通常、全方向移動では特殊な構造の車輪機構を利用することが多いのですが、普通の車輪を用いるSWOM は振動性能や耐荷重性などの面で有利と言えます。図7はSWOMの実験装置です。

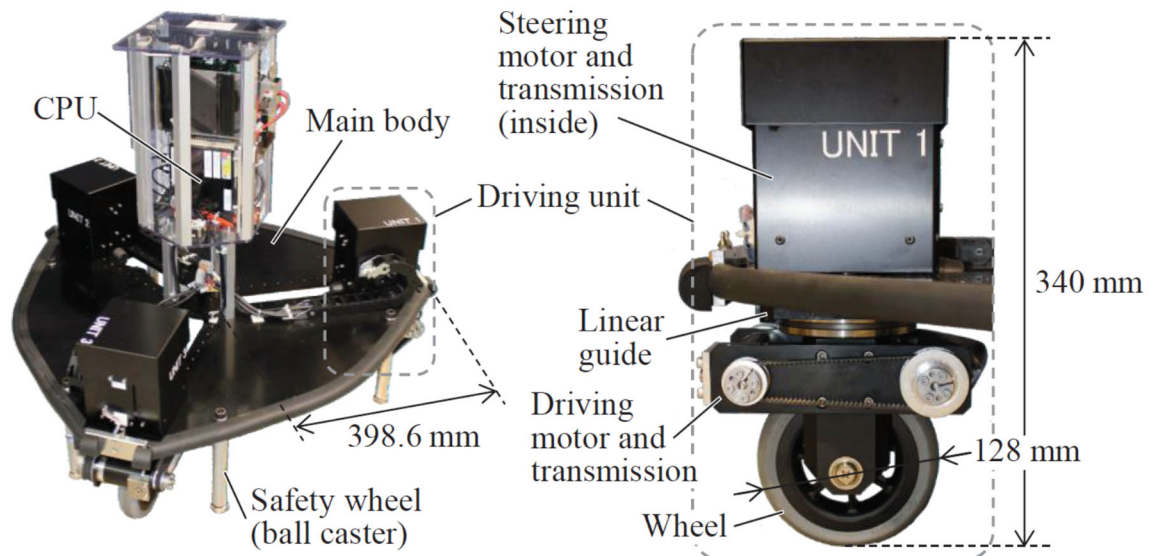


図7 SWOMの実験装置 [3]

2. 4 減速機構内蔵モータ

モータに関する研究を行っています。モータにはしばしば高精度の位置決めと高いトルクの両方が要求されます。モータ単体ではこれを実現することが難しく、その場合には減速機とモータを組み合わせ使用することが多くあります。しかしながら、減速機は一般に大きくて重いものが多いので、モータと組み合わせると全体も大きく重いものになってしまいます。この問題を解決するために新しい減速機構内蔵モータを提案しています。この機構では波動歯車装置の原理を利用して機能を実現しています。図8上側はこの減速機構内蔵モータの構成であり、下側は実験装置の写真です。

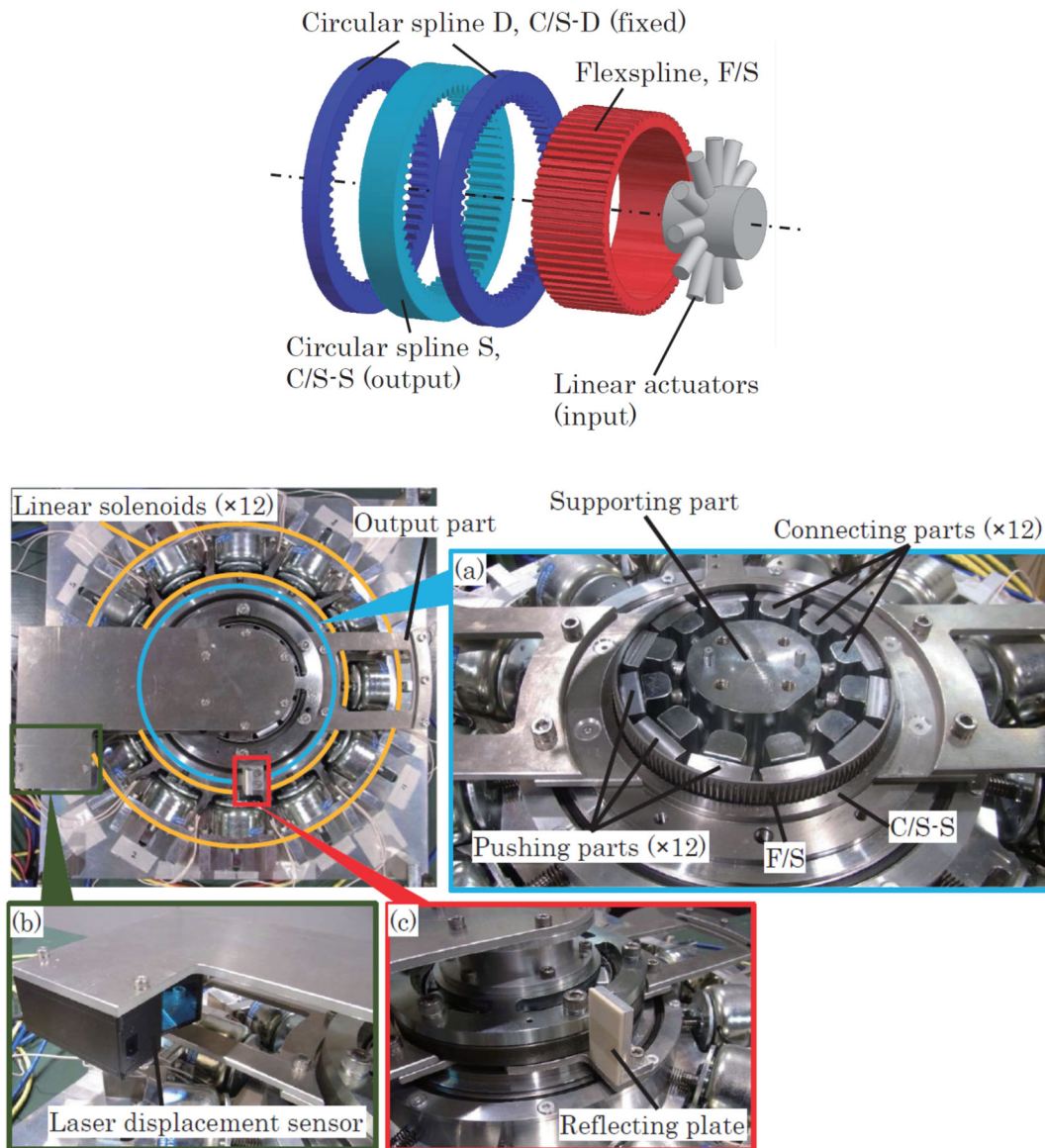


図8 減速機構内蔵モータの構造と実験装置 [5]

2. 5 直感的操作実現システム、ロボット操作、人の身体の動作特性

私の研究室では人の動作による操作についても研究をしています。操作者が身体を動かし、それによって操作対象物（画面やロボットアームなど）を操作するシステムが一般にあります。そのようなシステムは、図9左側に示すように、操作対象物に操作者の動作と同じ動作を忠実にさせる、という発想で開発されています。しかし、人が動作をする場合、必ずしも意図したとおりに実際の動作をするわけではありません。例えば、操作者は手を直線状に動かしたと思っけていても、実際は円弧状の曲線状の動作になっていることがあります。この場合、操作者の実際の動作と同じ動作を操作対象物にさせる従来の操作システムでは、操作者の意図する動作と操作対象物の動作が異なってしまうという課題があります。そこ

で、[図9](#)右側のように、操作者の意図する動作と実際の動作の違いを考慮してロボットに指令を出力する操作方法を開発しました。このような技術によって、より操作のしやすい操作システムを実現したいと考えています。

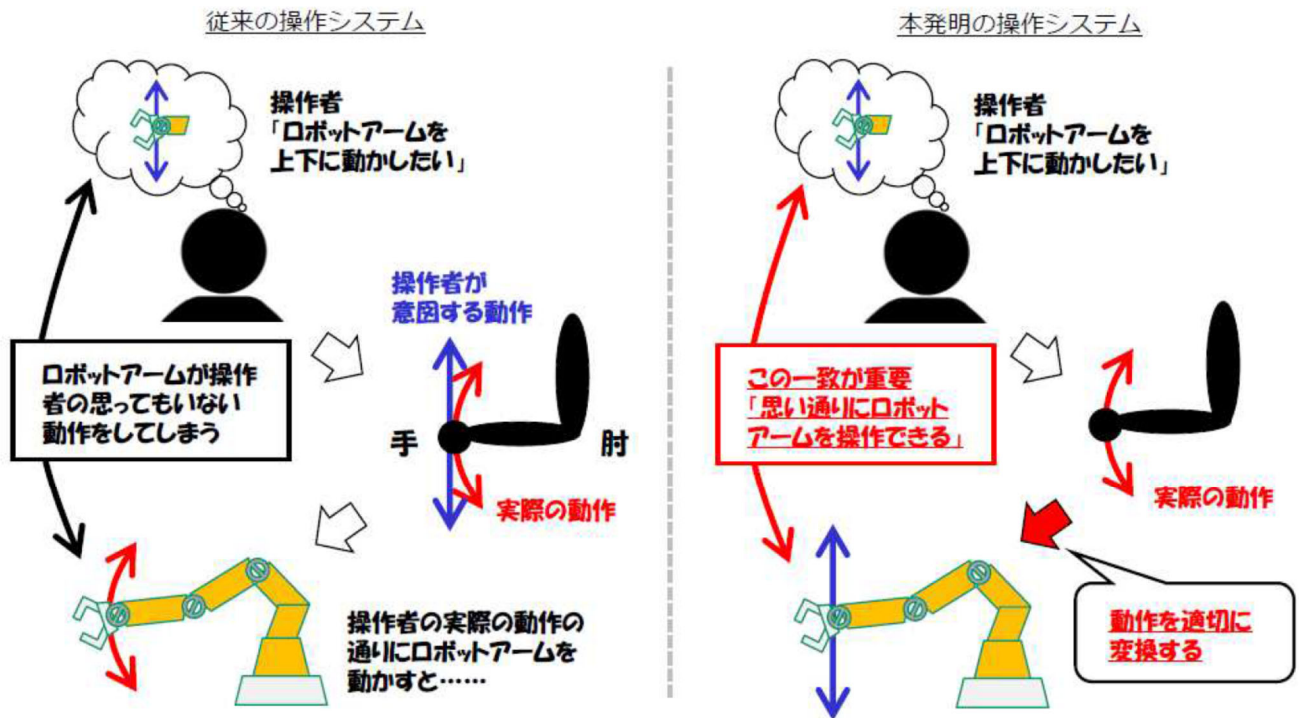


図9 直感的操作実現システム [6]

2. 6 ライディングロボティクス

近年は小さい乗り物を対象としたライディングロボティクスという研究分野での取り組みをしています。搭乗型モビリティ、搭乗型ロボット、ライディングロボット、パーソナルモビリティ、スマートモビリティ、ビークル／乗り物、ライディング、移動ロボットなどが関連するキーワードであり、学術講演会でオーガナイズドセッションを立ち上げて関連する研究者らが議論できる機会を作りにしています [7]。

3. さいごに

子供の頃から自動車ブームやロボットアニメの影響を受けて機械が好きとなり、そのまま機械の分野、特に機械が動く状態がそのまま見える機構の分野に進みました。研究者というのは自分のアイデアでオリジナルなことを実現できる魅力的な職業だなと日々思っております。また、学生と一緒に、どのような機構であればそれを実現できるか、どのように研究を進めるべきかを議論することは

大変に刺激的な活動です。研究者や大学教員を希望する学生が増えるといいなと思っています。

また、私は平成24年頃から京都大学デザインスクールというプログラムに関与しています。これは工学、情報学、教育学、経営管理の4つの部局が協力して立ち上げた大学院連携プログラムです。異なる分野の専門家との協働によって社会のシステムやアーキテクチャをデザインできる博士人材を育成することを目的としています。また、これと関係して、京都大学デザインイノベーションコンソーシアムという組織があり、こちらにも参画しています。こちらは、学生や社会人を対象としてデザイン学を学ぶ機会を提供しています。コロナウイルスなどいろいろな面から不確実な時代となっています。このような時代にこそ自分の領域とは異なる領域の専門家との協働が重要となるかと思います。京都大学デザインスクール、京都大学デザインイノベーションコンソーシアムの活動にご興味をお持ちいただければ幸いです。

参考文献

- [1] Tatsuro TERAKAWA, Masaharu KOMORI, Mitsuru SAKAMOTO, Yuji KAWATO, Yuya MORITA and Yugo NISHIDA, Two-wheel-drive Vehicle That is Movable in the Longitudinal and Lateral Directions with a Small Number of Motors, Journal of Japan Society for Design Engineering, Vol.54, No.2 (2019-02), pp.145-160.
- [2] Tatsuro TERAKAWA, Masaharu KOMORI, Kippei MATSUDA, and Shinji MIKAMI, A Novel Omnidirectional Mobile Robot with Wheels Connected by Passive Sliding Joints, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.23, No.4 (2018-08), pp.1716-1727.
- [3] Tatsuro TERAKAWA, Masaharu KOMORI and Kenji FUJIMOTO, Control of an Omnidirectional Mobile Robot with Wheels Connected by Passive Sliding Joints, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, No.1 Vol.13 (2019-1).
- [4] 寺川達郎, 普通の車輪のみを用いて構成される全方向移動装置, 日本機械学会機素潤滑設計部門ニュースレター, 39, (2020-8), p.7.
- [5] 寺川達郎・小森雅晴・森田悠也, 波動歯車装置の原理を利用した減速機構内蔵

モータ, 設計工学, Vol.52, No.11 (2017-11), pp.683-694.

- [6] 直感的操作実現システム, 関西発 選りすぐり大学技術集2015 ~ロボティクス分野~, 経済産業省近畿経済産業局 地域経済部 次世代産業課, (2015-9).
- [7] 小森雅晴, ライディングロボティクス, ロボティクス・メカトロニクス講演会2020講演論文集, (2020-5).