





アデレード大学機械工学部の学生と研究者が、通常の運転姿勢だけでなく、頭を下にした上下逆さまの姿勢でも運転できる、いわゆる Diwheel (平行2輪車) を開発しました。その開発および制御プラットフォームとして、dSPACE MicroAutoBox が使用されました。

Down Under:
Diwheel Defies
Gravity

オーストラリアの学生による
Diwheel の開発



図 1 : アデレード大学で開発された EDWARD (Electric Diwheel With Active Rotation Damping : アクティブ回転抑制を備えた電動 Diwheel)

自由に回転できる楽しさ

2009年3月以来、アデレード大学機械工学部の専門課程の学生たちは、EDWARD (Electric Diwheel With Active Rotation Damping) と呼ばれる電動 Diwheel を設計し、実際に車両を組み立ててテストしてきました。Diwheel は、よく知られている 1 輪車と同様に、1 世紀半近くの歴史を持ちます。Diwheel は同軸に配された 2 つの大きな車輪を持ち、こ

れらの車輪はドライバーが搭乗する内部フレームを完全に取り囲みます (図 1)。両車輪の間で支持された内部フレームは、自由に回転することができます。Diwheel の物理学的構造は、セグウェイのような 2 輪の倒立振り子システムと多くの点で共通しています。実際、これら 2 つのシステムは動力学的にはほとんど同じですが、Diwheel のフレーム (振り子の腕) が車輪の半径よりも短いために、フレーム

が地面に衝突することなく完全に回転できるという点で、唯一異なります。

オーバーヘッドロコモーション

外輪は内部フレームから駆動されます。この際、内部フレームの重心が車軸から偏心しているために生じる反作用トルクにより、前進運動が得られます。運転中の Diwheel には、内部フレームの振動によるスロッシングと、内部フレームの完全な

「EDWARD は文字通りロックな楽しい乗り物ですが、ただそれだけではありません。環境にも優しい乗り物です。完全電動式で回生ブレーキも備えるため、減速時にエネルギーを回収します。MicroAutoBox を使用することで、組み込みマイクロコントローラにプログラミングする場合に比べて、大幅に時間を短縮できました。すべての I/O を簡単に接続できるため、異なる制御方式を素早く試すことができました。また、ControlDesk を使用したおかげで、HMI (ヒューマンマシンインターフェース) の開発も楽勝でした」

Jack Parsons、アデレード大学学生

回転による宙返り (ジャープリングとしても知られる) が発生します。このような現象は運転を非常に困難とするため、これまで Diwheel の開発と商業的成功の妨げとなってきました。

内部フレームと外輪

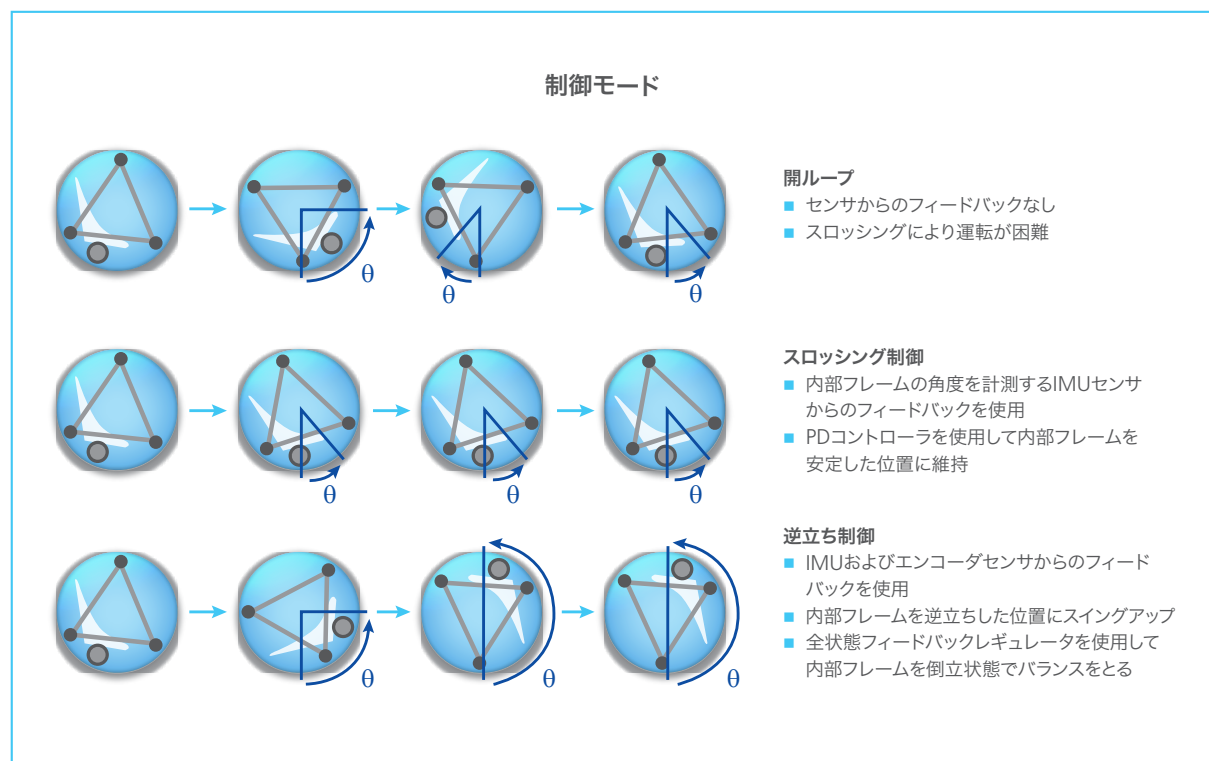
外輪には曲げて溶接したステンレス管を使用し、その外周表面にゴム帯を接着し

ました。内部フレームは外輪の内側で回転し、ドライバーは 5 点式シートベルトで内部フレームに固定されます。各外輪は、それぞれ 3 個のナイロン製遊動輪を備え、これらは各サスペンションアームを介して内部フレームと結合されます。これらのサスペンションアームは、緩衝効果だけでなく、遊動輪と外輪の間の接触力を一定に保つ役割も持ちます。

MicroAutoBox で開発した制御プラットフォーム

2 つの 4kW ブラシ付き DC モーターは、それぞれスプロケットとチェーンを介して、各外輪の内側に接触する小径のモーターサイクル用ホイールを駆動します。したがって、両方のモーターに同じ電圧を印加すると車両を前進/後退でき、左右で異なる電圧を印加す

図 2 : 各種制御モードの概要図 (開ループ、スロッシング制御、スイングアップ/逆立ち制御)



「なぜジェットコースターみたいな乗り物を開発したのかとよく質問されます。答えは面白いから。EDWARD の運転が非常に楽しいのはもちろんですが、そこには、まじめな教育的目的も込められています。つまり、工学部の学生が大卒エンジニアとして働く際に使うことになる最新のシステム設計と制御技術の手法を教えることができるからです」

Dr. Ben Cazzolato, アテレード大学准教授

ると車両の方向を左右に振ることができ、ドライバーは、ジョイスティックを介して、ドライブバイワイヤー方式で車両を制御します。機械式のハンドブレーキで駆動輪のブレーキキャリバを操作することにより、電気系に問題が生じた場合の安全性を確保しています。車両の制御には3種類のオンボード計測システムを使用します（ピッチングレートの計測用に半導体ジャイロスコープで構成された慣性計測ユニット (IMU)、ピッチ角の状態推

定用に DC カップリングの半導体加速度計、内部フレームと外輪間の角速度差の計測用に2つのインクリメンタルエンコーダ（各駆動輪に1つずつ）を使用）。dSPACE MicroAutoBox は開発および制御プラットフォームになります。ドライバーの前方に設置したタッチスクリーンは、車両の状態（ピッチ角、前進速度、バッテリー充電状態等）を表示するとともに、ドライバーによる制御モードの変更を可能にします。

シミュレーションからリアルタイム制御システムへ

プラントの動力学と制御システムを MathWorks 社の Simulink® でシミュレートするために、一般的な Diwheel の完全連成微分方程式を導出しました。シミュレーション内で良好に動作する制御法則を開発した後、物理システムのリアルタイム制御を行うために、MathWorks の Real-Time Workshop® を介して、その制御を dSPACE MicroAutoBox に移植しました。

図3は、EDWARD プラットフォームの機能的動作の信号フローを示しています。このプラットフォームは、ドライブバイワイヤー技術および制御理論を使用して、車両運転中のドライバーを支援します。このような技術により、従来の Diwheel の運転性を阻害していた特有の性質、すなわち運転中の内部フレームの回転（前後へのスロッシング、図2）を回避します。また、スリルを味わいたいドライバーは、この乗り物のユニークな動力学を生かして、内側のフレームを逆さまにした状態（つまりドライバーの頭を下にして逆立ちした状態）で運転することもできます（図4）。

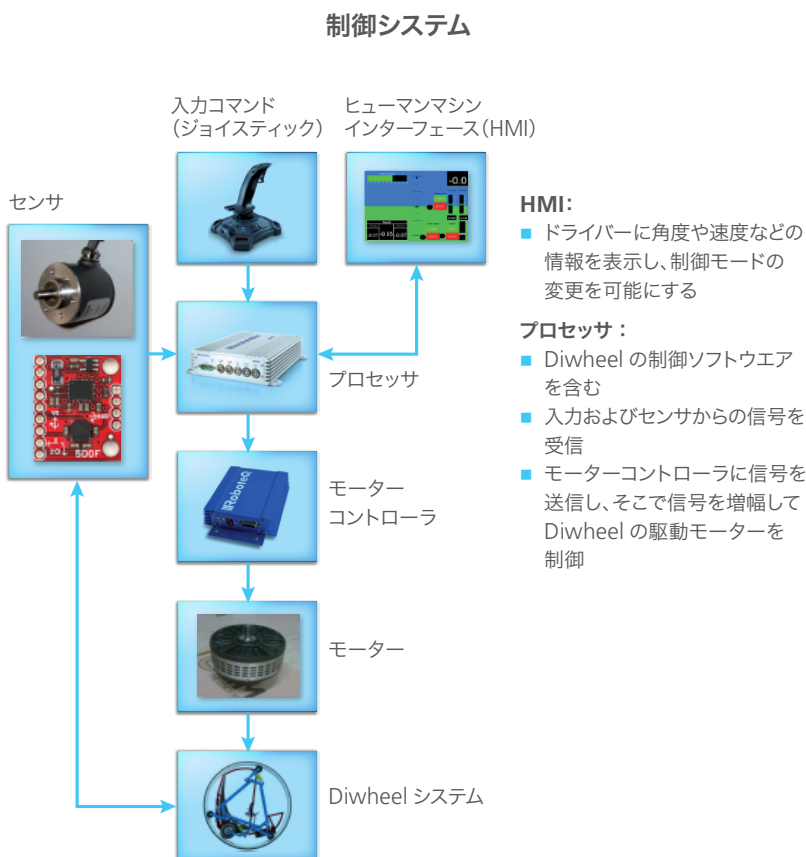


図3：電子制御システムと HMI の概要図

将来の展望

レース専用シートとシートベルトで固定されたドライバーは、数 G の強烈な加速度にも耐えられ、どのような姿勢でも運転できます。今回は、Diwheel の完全な数学的モデルをはじめて導出しました。これにより、ボタン 1 つで極端な運転操作や曲芸まがいの操作が可能となります。2011 年度の専門課程の学生たちは、そのような操作をソフトウェアにコーディングする予定です。■

Dr. Ben Cazzolato
アデレード大学



左のコードをスキャンすると Diwheel の動画をご覧になれます。

Dr. Ben Cazzolato

同氏は、アデレード大学の准教授として、動力学と制御分野での教育および研究に携わっています。



図 4 : フィードバック制御により上下逆さまの状態での運転中の Jack Parsons (学生)

