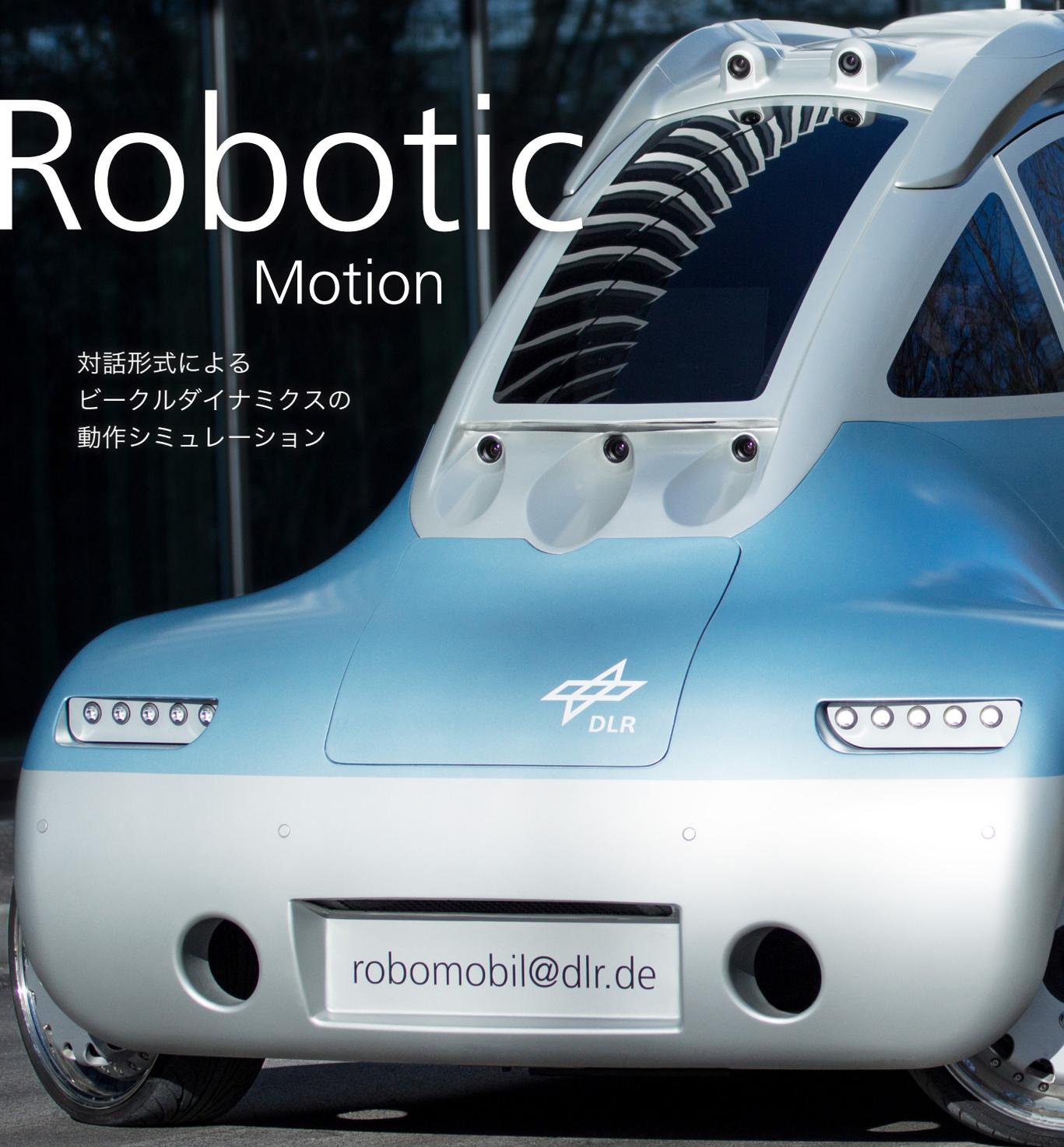


Robotic Motion

対話形式による
ビークルダイナミクスの
動作シミュレーション



未来の自動車を運転するにはどうしたらよいでしょうか。ドイツ航空宇宙センター (DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) では、未来の自動車に適した入力デバイスを開発および評価する際に物理的かつ現実に即したイメージを持てるよう、ロボットモーションプラットフォームを使用しています。



出典：© DLR

最 新の自動車用ヒューマンマシンインターフェース (HMI) の設計において X-by-Wire テクノLOGYを使用すると、機械的な制限を考慮する必要がなくなるため、開発の新たな可能性が開かれます。ただし、新たな課題も生じます。ドイツ航空宇宙センターでは、この新しく自由な環境を利用してロボット X-by-Wire 研究プラットフォームである ROboMObil を開発しており、独立型の四輪ステアリングの実装や触覚入力デバイスの開発を行っています。新たな HMI コンセプトを開発するうえで重要なのは、ドライバーの操作による車両の加速とそれに伴ってジョイスティックなどのステアリングデバイス上にかかった負荷を物理的に結合したうえで、HMI の堅牢性を評価することです。こうした外乱の影響を HIL (Hardware-in-the-Loop) ベースのラピッドコントロールプロトタイプングプロセスで再現するには、まず ROboMObil をリアルタイムピークルダイナミクスを実装した HIL システムに組み込んで、それを DLR Robotic Motion Simulator (RMS) と連携させ、dSPACE SCALEXIO® 上でシミュレーションを行うことが必要です。エンジニアは、このようなロボット HIL 構成を使用することで、コンポーネントの純粋な機能テストを実施できるだけでなく、ドライバー、車両動作、および入力デバイス間の相互作用を現実的な双方向型のモーションシミュレーションにより検証することができます。この研究の目標は、ドライバーが引き起こす物理的な外乱の影響を確実に抑制するために、入力デバイスや制御変数の生成、フォースフィードバック方式を運動学的に適切に分離させることにあります。 >>

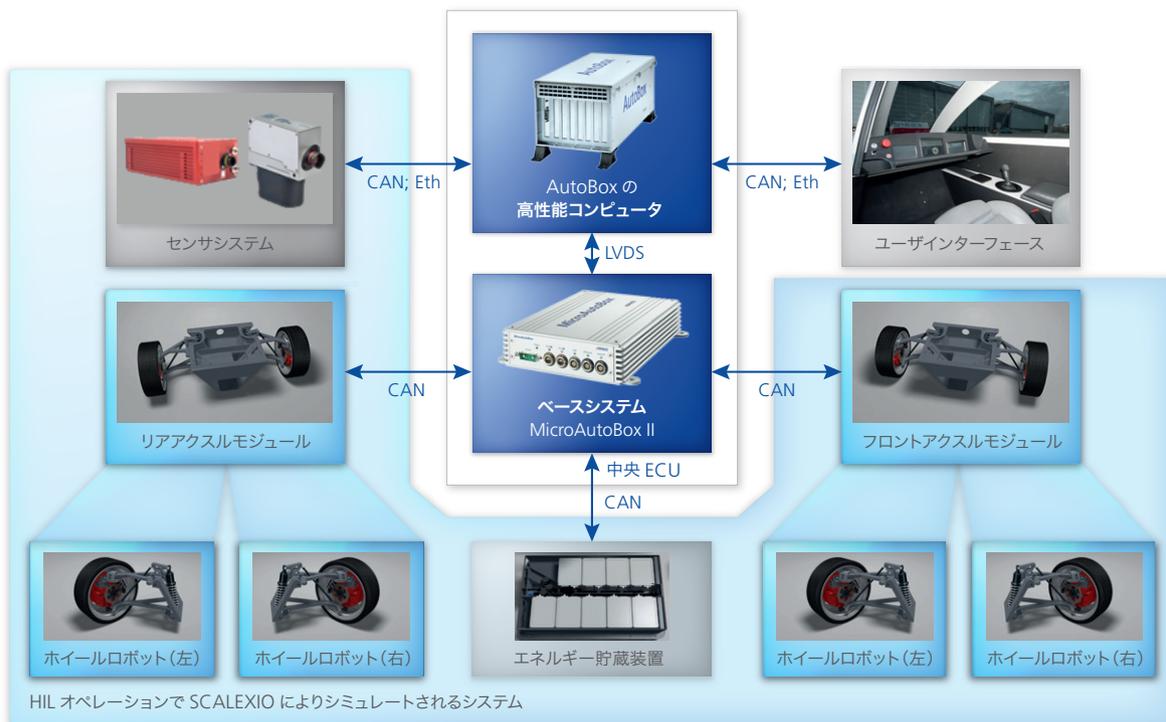


図 1：ROboMObil のコンピュータネットワークの構成 (Eth = Ethernet 接続)。リアルタイムビークルダイナミクスシミュレーションにより仮想的に表現されるコンポーネント、上図では SCALEXIO でシミュレートされるコンポーネントが氷色で示されています。

ROboMObil 研究プラットフォーム

宇宙ロボット工学から着想を得た DLR の ROboMObil は、電動ドライブトレインを搭載した X-by-Wire 研究プラットフォームであり、構造上同一の高度に統合された 4 台の「ホイールロボット」を搭載しているため、極めて高い操作性を備えています。ROboMObil の X-by-Wire アーキテクチャはホイールロボットにより実現されており (図 1)、コックピット制御、遠隔操作制御、半自動または完全自動走行などの操作モードを含むさまざまな車両レベルのアプリケーションを実装することができます。このため、ROboMObil は、ビークルダイナミクス制御、自律走行、ヒュー

マンマシンインターフェースのさらなる開発など、幅広い研究タスクに対応可能な優れたプラットフォームとして機能します。また、ROboMObil は、根本的に異なる 3 つの動作モード、すなわち縦方向の運転、横方向の運転、および回転軸を中心とした車両の旋回を行うことができる高い操作性を備えています。それぞれの動作タイプの制御には個別の HMI コンセプトが必要であり、その制御方式はロボット HIL 構成で解析されています。ROboMObil の現行の入力デバイスは、3 自由度を有するフォースフィードバック型ジョイスティックです。この HMI の開発における技術的な課題は、3 つの水平自

由度を持つ車両のコントローラに対して、動作モードごとにジョイスティックの 1 つの回転自由度および 2 つの並進自由度を人間工学に基づいてどのようにマッピングするかということです。

リアルタイムのビークルダイナミクスシミュレーション

DLR では、ビークルダイナミクス制御の開発および妥当性確認における重要なツールとしてシミュレーションツールを使用しています。そのため、DLR の仮想設計およびテスト環境には、オブジェクト指向モデリング言語の Modelica をベースとした詳細なマルチボディダイナミクスモデルが

「プログラミング可能なインターフェースを使用すると、SCALEXIO HIL システムを Robotic Motion Simulator などの dSPACE 以外のシステムに容易に接続することができます。さらに、それを双方向型のビークルダイナミクスシミュレーション環境に統合し、モーションシミュレータとして使用することもできます」

Peter Ritzer 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、オーバーフアッフェンホーフェン

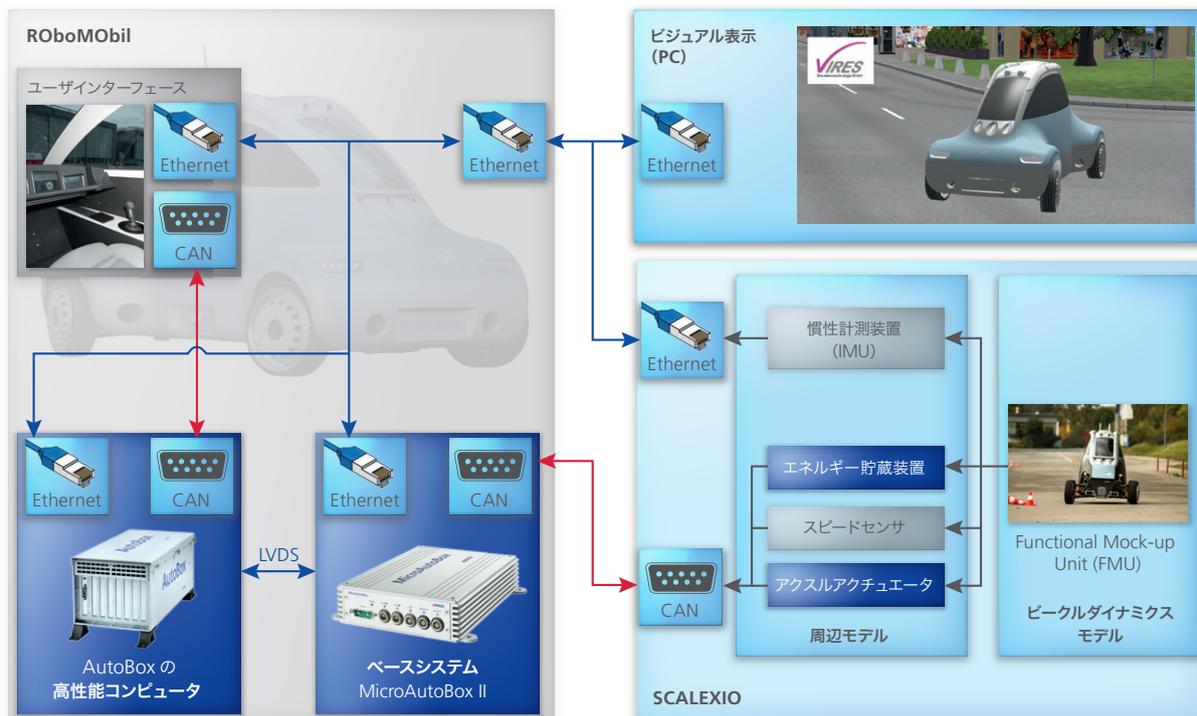


図 2 : ROboMObilの実機を必要としないHILオペレーションにより、オペレーティングソフトウェアおよびコントローラを安全にテストします。

実装されています。これらのモデルには、マルチボディダイナミクスのほか、機械装置、電気系統、油圧機器などのさまざまな領域を1つのモデルに融合するためのセンサや電気機械アクチュエータも含まれています。新たなビークルダイナミクス制御の開発では、Functional Mock-up Interface (FMI) 規格に基づき、リアルタイムで実行できる完全な車両モデルの協調シミュレーションをSimulink®で行います。テスト段階では、MicroAutoBox IIおよびAutoBoxで構成されたネットワークであるROboMObilの中央電子制御ユニット (ECU) にアルゴリズムを実装し、SCALEXIOベースのHILシステム上で検証します。このシステムでは、図1に水色で示されている通り、マルチボディビークルダイナミクスモデルや接点を含むタイヤ、さらにはROboMObilのあらゆる周辺デバイスもカバーするリアルタイムビークルダイナミクスシミュレーションが実行されます。エンジニアは、図2に示されたHILアーキテクチャを使用することにより、FMIベースの設計プロセスで使

用する手法を制御ソフトウェアの妥当性確認プロセスでも再利用することができます。また、SCALEXIOシステムを通じて、Dymola (Modelicaモデル向けのモデリングおよびシミュレーション環境) から生成したFunctional Mock-up Unit (FMU)を実装することができます。そのため、DLRの設計およびテスト環境から既存のModelicaライブラリを取得することができ、ビークルダイナミクスのリアルタイムシミュレーションにおける開発作業の短縮が可能になります。

Robotic Motion Simulator (RMS)

一般的な六脚型のシステムとは異なり、DLR Robotic Motion Simulator (図3)にはリニア軸と結合した産業ロボットが搭載されているため、通常よりはるかに大型で動的な操作スペースを比較的低コストで確保することができます。この操作スペースの改良により、粘着限界付近の動的な運転操作といった危険なシナリオでも動的にシミュレートすることができます。DLRでは、そのようなシナリオに対応する

ため、リアルタイム軌道計画アルゴリズムを現在開発しています。このアルゴリズムでは、現実的な動作を双方向的かつ動的に生成することが可能です。RMSは、地上車および航空機向けのヒューマンマシンインターフェースの研究でも活用されています。RMSはモジュール型の構成となっているため、さまざまな用途に柔軟に対応できます。そのため、計器や車室全体を容易に変更したり、シミュレーションシナリオに応じて制御方法をステアリングホイールやペダル、あるいはジョイスティックにすばやく切り替えたりすることが可能です。

完全なロボットHILシステム

ソフトウェアやハードウェアの機能性を確認する場合は、静止した車室で運転をシミュレートする従来のHILコンセプトで十分対応できるのに比べ、新たな触覚型HMIの検証にはより多くの手間がかかります。このような場合、純粋な機能テストに加え、ドライバーの行動と車両動作間の相互作用を適切に検知する必要があります。DLRでは、図4に示されている通り、

>>



出典：© DLR

図3：DLR Robotic Motion Simulator (RMS) ではリニア軸が採用されており、操作スペースの拡張が可能になっています。

複数のサブシステムを組み合わせることでこれを実現しました。この構成を活用すると、ドライバーによって生み出された偶力による外乱がHMIに与える影響を検証することができます。試験の際は、ドライバーはRMSの室内に座り、仮想的な風景の中でROboMObilを双方向的に運転します。この複雑な構成のHILシステムでは、ドライバーには室内のプロジェクタから視覚的なフィードバック（バーチャルリアリティ）が提供され、さらにはRMSでシミュレートされた車両の動作も再現されます。

今後の展望：ユーザ研究

DLRでは、ロボットHILを活用することにより、今後さらなるユーザ研究を実施して、新たに開発した制御インターフェースとステアリングホイールやペダルを使用した従来のシステムを比較する予定です。ロボッ

トHILを使用してこのようなHMIコンセプトの科学研究を行うことの大きな利点は、さまざまなHMIハードウェアを手軽に交換できることや、一貫した環境で比較研究ができることにあります。DLRのRobotics and Mechatronics Center (RMC)では、ユーザ研究に加え、さまざまな車両アーキテクチャの個別のニーズに対応できるROboMObil HMIコンセプトのさらなる開発にも取り組んでいます。ここでは、ROboMObilの3つの水平自由度のすべてに対応できる制御インターフェースだけでなく、経路追従制御や隊列走行などの将来的な支援システムで必要となるシンプルなインターフェースの実現も必要となります。このRMC研究プロジェクトによる半自律機能と触覚チャンネルの相互作用に関する研究は、DLR Institute of Transportation Systemsが

DLRプロジェクト「Next Generation Car (NGC)」の中の自律走行分野で行った開発作業でも役立っています。■

Peter Ritzer 氏、Michael Panzirsch 氏、Jonathan Brembeck 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、オーバープファッフェンホーフェン

「設計段階で使用したFMIベースのプロセスを、妥当性確認フェーズでそのまま使用することができます。DymolaのFunctional Mock-up UnitをConfigurationDeskに統合すれば、開発部門がHILシミュレータを使用して物理環境を再現する際の労力を大幅に削減することができます」

Jonathan Brembeck 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、オーバープファッフェンホーフェン

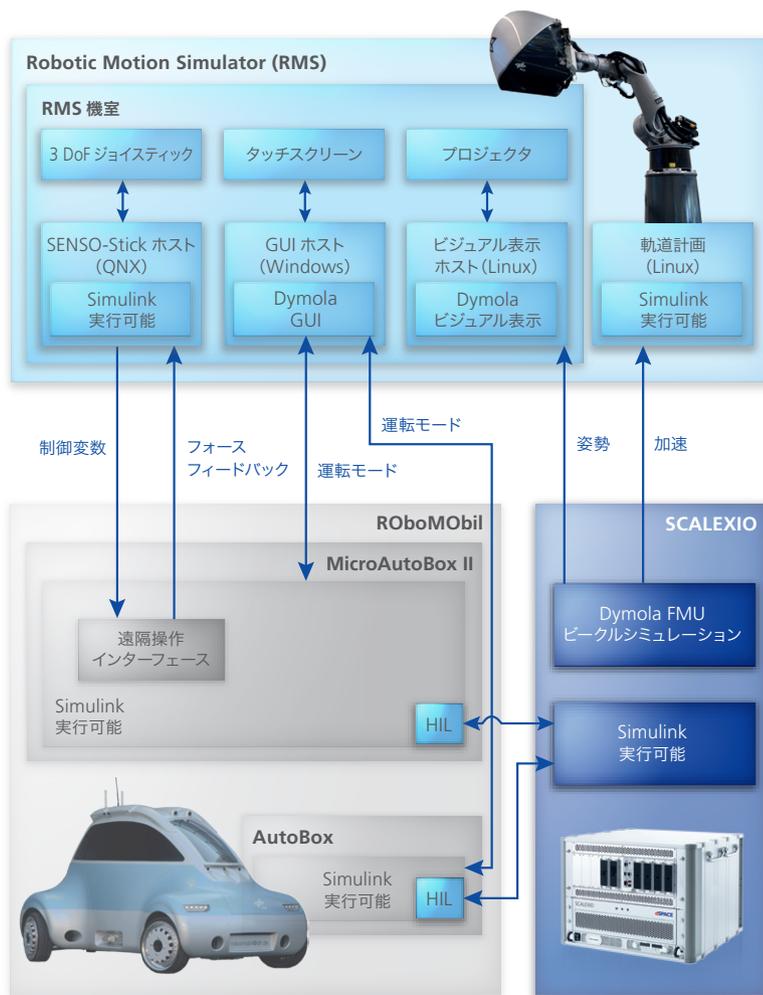


図 4：システムの全体構成：この特別な HIL アプリケーションは、現実的な既知のラボ条件のもとで革新的な HMI コンセプトを検証することを目的に構成されています。

謝辞：

モバイル HIL インフラストラクチャの構築に関し、モーションシミュレータの統合および調整を担当された Tobias Bellmann 氏、Andreas Seefried 氏、Miguel Neves 氏 (Robotic Motion Simulator Team)、および 3D ビジュアル表示を担当された Christoph Winter 氏 (ROboMObil Team) のご支援に感謝の意を表します。また、本記事に関してご協力頂いた Tilman Bunte 工学博士にも感謝申し上げます。

ROboMObil の動作については、

下記を参照してください：
www.dspace.jp/go/dMag_20161_DLR



ROboMObil の詳細情報：

<http://www.dlr.de/rmc/sr/robomobil>

Peter Ritzer 氏

Institute of System Dynamics and Control, Robotics and Mechatronics Center (RMC) 研究員、DLR (ドイツ、オーバーフリップフェンホーフェン)



Michael Panzirsch 氏

Institute of Robotics and Mechatronics, Robotics and Mechatronics Center (RMC) 研究員、DLR (ドイツ、オーバーフリップフェンホーフェン)



Jonathan Brembeck 氏

ROboMObil のプロジェクトマネージャ兼自動車用 Vehicle Systems Dynamics 部門責任者、Institute of System Dynamics and Control (SR)、Robotics and Mechatronics Center (RMC)、DLR (ドイツ、オーバーフリップフェンホーフェン)

