

Higher, Faster, Further

回転梯子用アクティブ減衰制御
(シュトゥットガルト 大学 /
IVECO MAGIRUS 社)





現在、回転梯子には、より高く、より速く、より遠くまで届くこと、そしてより安全であることが求められています。これらの目標を実現するには、軽量の構造が重要になります。新型の軽量梯子が課題とする曲げ振動の発生に対し、ドイツのシュトゥットガルト大学システムダイナミクス研究所では、dSPACE ツールを使用して、IVECO MAGIRUS Brandschutztechnik 社向けのアクティブ減衰制御システムを開発しました。

回転梯子は、火災現場の救助や消火活動に使用される最も特徴的な装置であり、作業高さが最大 55m に達することもあります。梯子のベースがいったん設置されたら、最短時間で救助高さに梯子が達することが要求されます。最新型の車両の場合、所用時間はドイツで一般的に使用されている 30m の梯子に適用される 180 秒という基準時間よりずっと短時間で済みます。この梯子は伸張可能で、油圧式の回転台上に設置され、2 つの油圧シリンダによって上昇と傾斜を行うことができます。30m の伸縮自在な梯子の到達距離は水平方向で 17m を超え、最大 300kg の積載量をカゴで移送することができます。回転梯子は、軽量の構造と十分な長さが必要となるので、その曲げ剛性の制限を受けます。このため梯子の移動時に、曲げ振動が誘発されます。救助カゴ内の作業者に起因する荷重の変化や風などの外力も、振動を引き起こす原因となります。この影響を抑える通常の方法は、

移動速度を大幅に減速することですが、この方法は緊急救助における要求とはかけ離れてしまいます。さらに、ゆっくりとたわむ動きにより、梯子の安全性と快適性が損われます。

システムダイナミクス研究所と IVECO MAGIRUS 社による 共同研究プロジェクト

このような状況を受けて、この曲げ振動をアクティブに減衰することが研究プロジェクトの主な焦点となっています。このプロジェクトは 1998 年以來、システムダイナミクス研究所と IVECO MAGIRUS 社の間で密接に協力しながら、継続的に行われてきました。アクティブ減衰制御は、2001 年以來、新しい CS 梯子シリーズ (CS = computer-stabilized、コンピュータによる安定化) の標準機能の 1 つとなっており、メモリ機能と組み合わせることで、CS モデルが非常に成功した主な理由の 1 つとなっています。アクティブ減衰制御



は、IVECO MAGIRUS 社製の CS 梯子の優れたセールスポイントになっています。現在世界中で、その名称に CS の付いた車両が 700 台以上稼動しています。そして、システムダイナミクス研究所は、IVECO MAGIRUS 社と協力を続けながら、より効果的な制御を実現するために研究開発に取り組んでいます。現在、第三世代が生産レベルに達したばかりであり、振動の基本周波数だけでなく、調和振動数もアクティブに減衰するようになっています。

梯子の動作

梯子の動作は、オペレータが車両またはカゴに設置されている操作盤から制御します。曲げモーメントは、2 つの別個のセンサシステムにより取得されます。センサシステムの一方は、その取り付け位置からあまり離れていない梯子上に設置された複数の歪みゲージで構成されています。これらのセンサシステムが、梯子の曲げによって発

「ControlDesk ソフトウェアには、さまざまな試験、セットアップ、および計測信号をドラッグ&ドロップを行うだけで編集、管理できる多数のオプションが用意されています」

Nico Zimmert、シュトゥットガルト大学システムダイナミクス研究所

生する部材の歪みを検出し、縦方向と横方向の伸びを出力します。もう一方のシステムは、梯子の先端に設置された複数のジャイロスコープで構成されています。これらのジャイロスコープが、梯子の位置（正確には、3次元の各方向の角速度）の変化を測定します。梯子の垂直方向と水平方向のたわみとねじりも、これらの2つの測定システムから、モデルベースの分析に基づき取得されます。仰角と回転角の測定には、各回転軸上のインクリメンタルエンコーダが使用されます。また、梯子の現在の長さも、イ

ンクリメンタルエンコーダにより確かめられます。プロセッサは、これらのセンサから回転梯子のすべての状態を直ちに取得し、取り込んだデータを要約および評価して、モデルベースのコントローラモジュールを介して、油圧駆動に適した制御信号に変換します。これらの処理はすべて瞬時に行われます。梯子の動作は、基本的にはオペレータの入力に従いますが、同時に、梯子の曲げ振動も、オペレータがほとんど認知できない緩やかな対抗制御を用いて、油圧駆動によってアクティブに抑制されます。

昇降機と救助カゴの装備点検が完了した
IVECO MAGIRUS DLK 55 CS

アクティブ減衰制御の利点

アクティブ減衰制御ソフトウェアを使用すると、システム全体の剛性が向上し、救助位置へのより迅速かつ安全な到達が可能になります。曲げと重量の低減により動的荷重も減るので、動作速度を速くすることができます。さらに、体系的な軽量設計により、車両の総重量が低下します。これは、同じベースからの到達距離をより長くできることを意味します。

救助カゴには3～4人しか搭乗できないため、同じ救助ポイントから複数の人を救助するために、メモリ機能が開発されました。オペレータは、ティーチン操作中に地上と救助ポイント間の軌跡を指定します。この軌跡は、プリセットされた許容範囲内を最大速度で繰り返すことができます。オペレータは、軌跡を最大速度で繰り返すかそれより遅い速度で繰り返すかを、いつでも指定できます。オペレー

タは、梯子を任意の場所で停止させ、その軌跡の方向を逆向きにすることもできます。これにより、救助場所における作業の柔軟性が向上します。

モデルベース開発

アクティブ減衰制御は、モデルベース設計により開発されました。制御法則はすべて分析形式で利用可能です。これは、梯子の長さや最大積載量などのパラメータを変更した場合でも、アルゴリズムは常に適用できることを意味します。制御の自由度は2です。つまり、フィードフォワード制御とフィードバック制御を別個に設計できます。フィードフォワード制御は、梯子の曲げと振動を最小限に抑えるように設計されます。フィードバック制御では、外乱などが原因でフィードフォワード制御にかかわらず発生する曲げ振動をセンサデータを使用して相殺します。新世代のアク

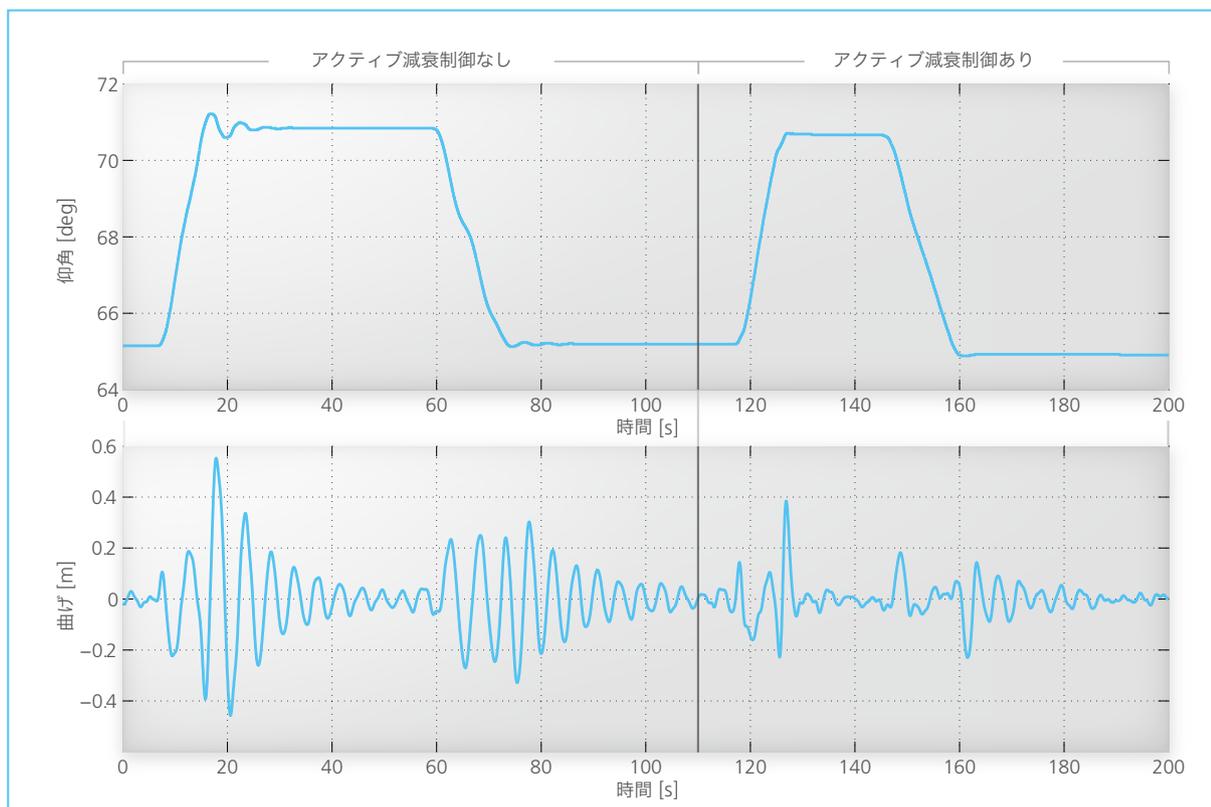
アクティブ減衰制御の利点：

- 曲げ振動などの各種振動の低減による、人と機械にとっての安全性向上
- 梯子動作の高速化（特にメモリ機能を使用した場合）
- 位置決めの高精度化
- 軽量化による到達距離の延長と安定性の向上
- 快適性の向上

ティブ減衰制御では、梯子の比較的高い固有振動数もアクティブに減衰されます。

テストシステムのセットアップ

私たちは、アクティブ減衰制御の設計フェーズで、DS1103 PPC Controller Board をベースにした dSPACE プロトタ



アクティブ減衰制御を使用した場合と使用しない場合の比較 (DLK 55 CS の梯子の長さを約 50 m まで上昇させたときの梯子先端でのたわみと仰角)

昇降機と救助カゴの装備点検が完了した
IVECO MAGIRUS DLK 55 CS

イーピングシステムを使用しています。このボードは、CAN バスを介して車両の ECU と通信し、必要なすべての計測データを読み出します。dSPACE RTI CAN Blockset を使用すれば、CAN 通信のセットアップを迅速かつ簡単に行うことができます。

dSPACE の ControlDesk ソフトウェアには、さまざまな試験、セットアップ、および計測信号をドラッグ&ドロップを行うだけで編集、管理できる多数のオプションが用意されています。これらのオプションを使用して、静的変数と動変数を取得する試験を実行し、モデルベースの制御設計用パラメータを特定することができます。その後、MATLAB®/Simulink® 環境で制御アルゴリズムを開発し、種々のシミュレーションを通して、その機能と初期設計を検討します。

次のステップでは、DS1103 を使用して、実際の車両でアルゴリズムをテストします。操作盤からのハンドレバー信号が読み取られ、適切に処理され、CAN バス経由で ECU に送信されます。この手順を使用すると、集中的なテストの実行、制御の微調整、新しいコントローラコンセプトの実装を迅速かつハードウェアの調整をほとん



使用した dSPACE 製品:

- DS1103 PPC Controller Board : 開発時における車両制御のコントローラモジュールとして使用
- Real-Time Interface : バスと追加の計測デバイスを識別時に統合するために使用
- RTI CAN Blockset : 車両 CAN との通信に使用
- ControlDesk : アクティブ減衰制御を用いた試験に使用
- TargetLink : 制御アルゴリズムを自動コード生成してマイクロコントローラハードウェアに移植するために使用
- 自動スケーリングツール : 固定小数点計算の自動的なスケーリングに使用

「dSPACE プロトタイピングシステムを使えば、アクティブ減衰制御を迅速に開発してテストすることができます」

Nico Zimmert、シュトゥットガルト大学システムダイナミクス研究所

ど行わずに実行することができます。車両の ECU にアルゴリズムを実装するには、TargetLink 量産コード生成ツールを使用します。ECU 内のマイクロコントローラは固定小数点演算を採用しているため、TargetLink は自動的に ANSI-C の固定小数点ソースコードを生成します。自動スケーリングツールは、MIL (Model-in-the-Loop) シミュレーションによる浮動

小数点演算と SIL (Software-in-the-Loop) シミュレーションによる固定小数点演算の両方でアルゴリズムをシミュレーションする機能と連携し、設計フェーズの初期段階でアルゴリズムを検証することができます。また、拡張されたシミュレーションの機能を用いて、複雑な数学的計算のスケーリングが簡単に行えます。dSPACE の統合されたツールチェーンに

より、MATLAB/Simulink 環境から ECU への高速で一貫性のあるアルゴリズムの移植が保証されます。

まとめ

この研究プロジェクトは、大学の研究機関と企業間における協力の成功例となっています。システムダイナミクス研究所は、技術開発における役割を果たすだけでなく、プロトタイプや量産前の車両から量産車両に至るまで、プロジェクト全体を通じたサポートも提供しています。このように両方の側で、量産に関連するイノベーションを迅速に、効率よく、成功裏に設計することができます。

Nico Zimmert, Oliver Sawodny 教授
(シュトゥットガルト大学システムダイナミクス研究所)
Reinhard Keck, Christoph Lauterjung
(IVECO MAGIRUS Brandschutztechnik GmbH、ウルム、ドイツ)

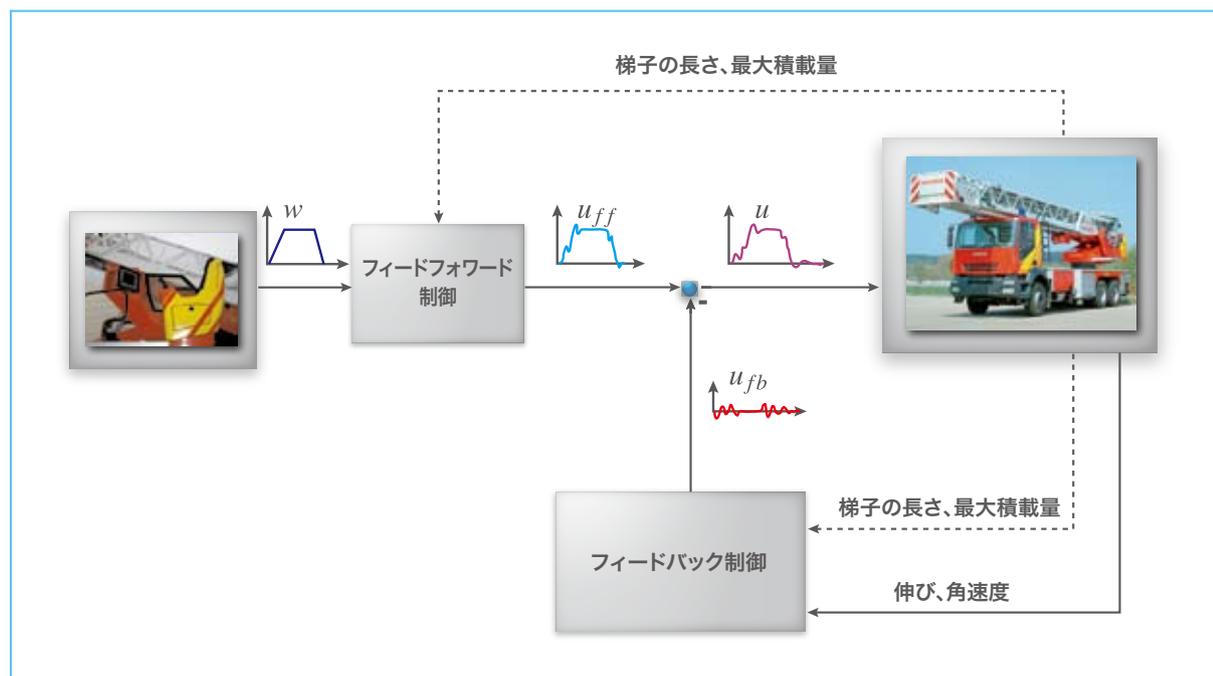
システムダイナミクス研究所

シュトゥットガルト大学の同研究所では、主に、システムダイナミクスの分析に取り組んでいます。研究者は、システム理論、モデル化、シミュレーション、制御エンジニアリング、および最適化をもとにした種々の手法を使用しており、こうした方法のさらなる開発を進めています。また、メカトロニクス、プロセスエンジニアリング、交通法規、生物学など、さまざまな分野のシステムも研究しています。そのため、あらゆる分野の科学を統合する学際的な研究として成果を上げています。開発手法の基礎的な研究を実施するだけでなく、自動化エンジニアリングのさまざまな実装手法を詳しく調査することもこの研究所の特徴です。

IVECO MAGIRUS

Brandschutztechnik 社

IVECO MAGIRUS 社は、ヨーロッパに 6 箇所の拠点をもち、防火および災害対策用の各種車両および装置を製造しています。同社は、年間 1,300 台以上の車両ユニットを販売しており、同セクタにおける世界最大のメーカーの 1 つとなっています。MAGIRUS ブランドは、回転梯子車のグローバルマーケットリーダーです。



2-DOF (2 自由度) 制御の動作のしくみ：梯子の長さ最大積載量は時間と共に変化し、制御を調整するのに使用されるパラメータです。