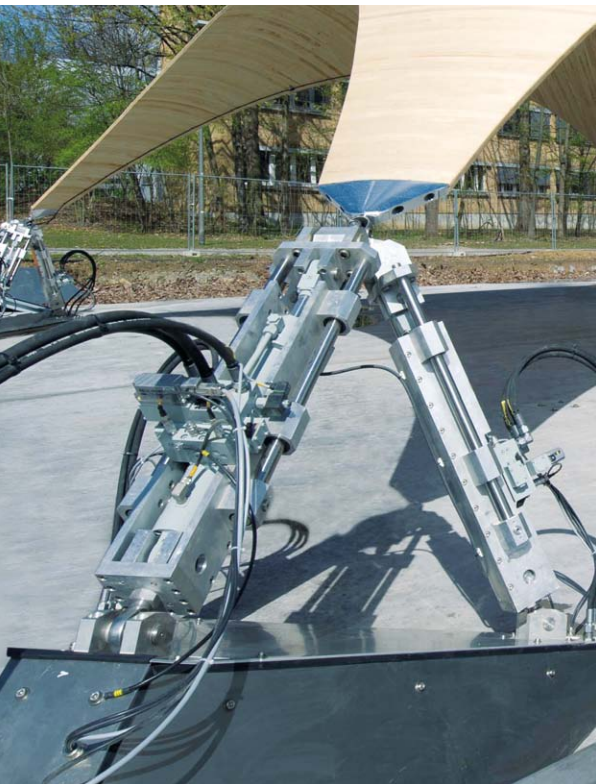


シュトゥットガルト大学のファイヒンゲンキャンパスに設置されているStuttgart SmartShell (写真: © Bosch Rexroth) は、構造物への極端な負荷を補正する油圧シリンダを備えています。



軽量、安全、持続可能、資材の節約—ビルや橋などの現代の建築物は、これらのすべての特性を備えていなければなりません。また、雪や風などの静的な応力にも耐える必要があります。シュトゥットガルト大学の研究者たちは、外的な負荷に応答して適応する軽量構造物の開発に取り組んでいます。

図2: Stuttgart SmartShellの3箇所油圧装置で構成されたアクティブ支持装置 (写真 © Bosch Rexroth)

超軽量構造物用の制御コンセプト

Architecture with Brains

超軽量適応型構造物

建造物に加えられる日常的な負荷は、交通、雪、風などによるものです。一方、地震や「これまでで最悪の冬」などのような極端な事象は非常に稀ですが、建造物はこれらにも耐えられるように設計する必要があります。このことは、ほとんど必要とされない安全域のマージンを確保するために、大量の資材を消費することを意味します。未来の建造物は、資材の使用量を減らしたうえで極端な事象に対応する必要があります。そのために、シュトゥットガルト大学は、広い範囲のさまざまな負荷を補正するインテリジェントな油圧機器を使用した、超軽量適応型構造物の研究を行っています。

静的適応とアクティブ制振

シュトゥットガルトの研究者たちは、建造物に加えられる静的な力と動的な力の両方および、それらの効果を研究しています。静的な力は雪などによるものであり、動的な力(振動)は突風などによるものです。この応力を小さくするために、まず、センサを使用して負荷の状態を捕捉する必要があります。次に、この計測値を使用して制御アルゴリズムにより、外的負荷に対応して建造物の調整を行うアクチュエータの最適制御を計算します。静的な力に対しては、建造物が静的に適応します。ただし、振動を減衰する必要がある場合は、センサによる応力の捕捉を連続的に行って、アクチュエータを動的に制御する必要があります。このようにすれば、負

荷を支持するエレメントを小型化および軽量化することができます。建設時に節約した構造物の質量を短期間のエネルギー入力で代替します。

Stuttgart SmartShellプロトタイプ

制御コンセプトのテストのために、シュトゥットガルト大学は、Bosch Rexroth社と協同で、世界初の適応型負荷支持シェル構造物である、Stuttgart SmartShellプロトタイプを建設しました。このプロトタイプの構造材は、薄板を4層に積層した木製パネルで、その厚さはわずか40 mmしかありません。従来のパッシブ方式によって建設された同等の構造物の場合、数倍の量の資材が必要となります。シェルの重量は1.4トンで、4箇所のサポートで支

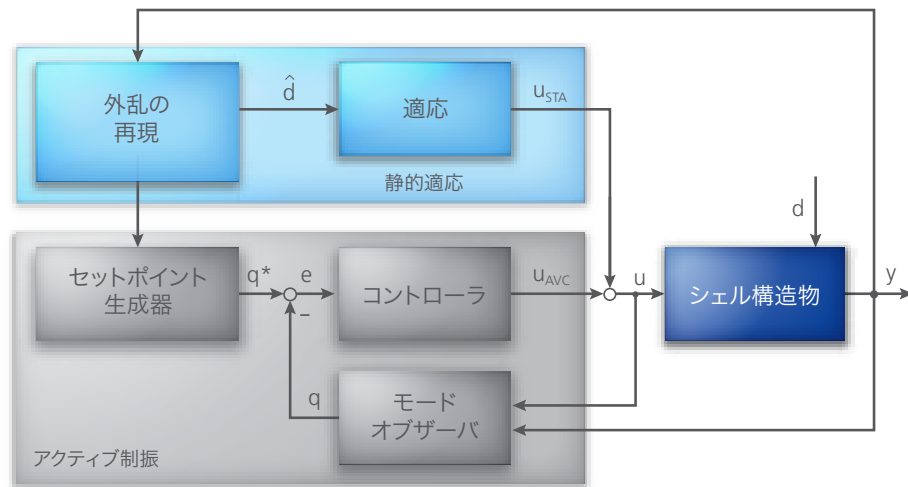


図3: 静的適応およびアクティブ制振の制御コンセプト

持され、その内の3箇所は油圧シリンダによって動かすことができます。このアクティブ方式のサポートのそれぞれが、3次元空間に自由に位置決めできる、三脚式のアクチュエータ(図2)に取り付けられています。三脚型に配置された3本の油圧シリンダの長さサポートの位置の運動学上の関係が、常時オンラインで計算されています。システムの状態の計測には、さまざまなセンサが使用できます。たとえば、油圧シリンダには、高分解能変位センサとフォースセンサが組み込まれています。シェル構造物に組み込まれたストレインゲージは、所定の計測点での歪みを捕捉します。

制御コンセプト

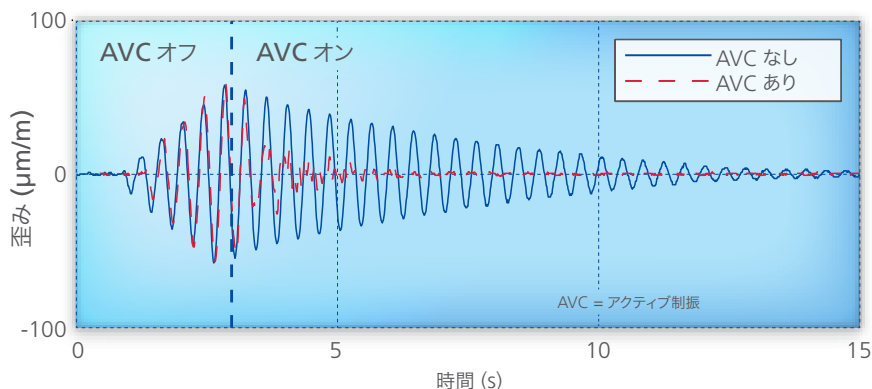
まず、シミュレーションモデルを使用して、必要な静的適応を決定します。このモデルは、さまざまな負荷を与えたときの構造物の挙動を表し、3か所のサポートの最適な位置を計算します。次に、振動を最高の効率で減衰させるために、動的挙動の記述がモデルに追加されています。動的挙動モデルと、このモデルから計算したフィードバック制御をベースにした振動減衰の制御コンセプトが、このStuttgart SmartShellに使用されています。フィードバック制御は分析的なモデル記述から直接導かれます。そのため、静的負荷状態や支持ポイント位置決め用セットポイ

ントなどの、シェルの時変パラメータに、フィードバック制御を適応させることができます。このフィードバック制御は、制御における減衰特性を最適化するとともに、制振に必要なエネルギーを最小化するように設計されています。静的適応のためのセットポイントとアクティブ制振(図3)を組み合わせることにより、この2つの適応要件を同時に満たすことができます(図4、6)。

プロトタイプの実装

Stuttgart SmartShellの制御システム(図5)には、下記の機能が必要となります。

図4: 制振なしの振動(青色のカーブ)とアクティブ制振を行った場合の振動(赤色のカーブ)の比較。減衰制御が3秒の時点で開始され、振動持続時間が80%短縮されています。

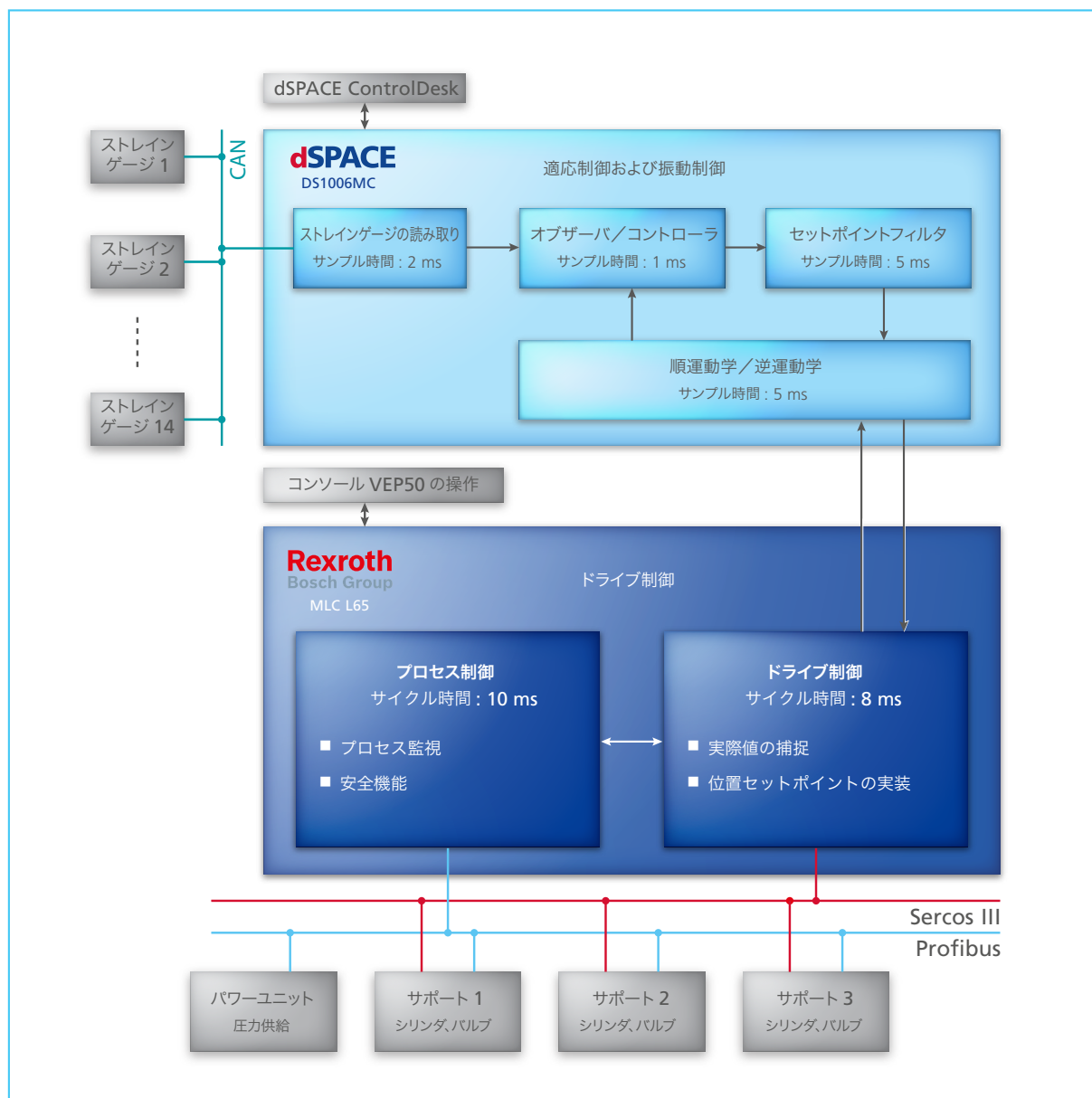




「dSPACEのプロトタイピングシステムを使用して、超軽量構造物の適応コンセプトを短時間で実装できました」

Martin Weickgenannt氏、シュトゥットガルト大学

図5: 静的および動的適応の実装に必要なソフトウェアおよびハードウェアの構成



結論

dSPACEコントローラボードとRexroth Motion Logic Control (MLC) を組み合わせて使用することにより、ラビッドプロトタイピングシステムとプロセスECUの両方の長所の相乗効果が得られています。これは、Stuttgart SmartShellのタスク、つまり、静的および動的なセットポイントの生成とプロセス制御を効率的に実装できることを意味します。

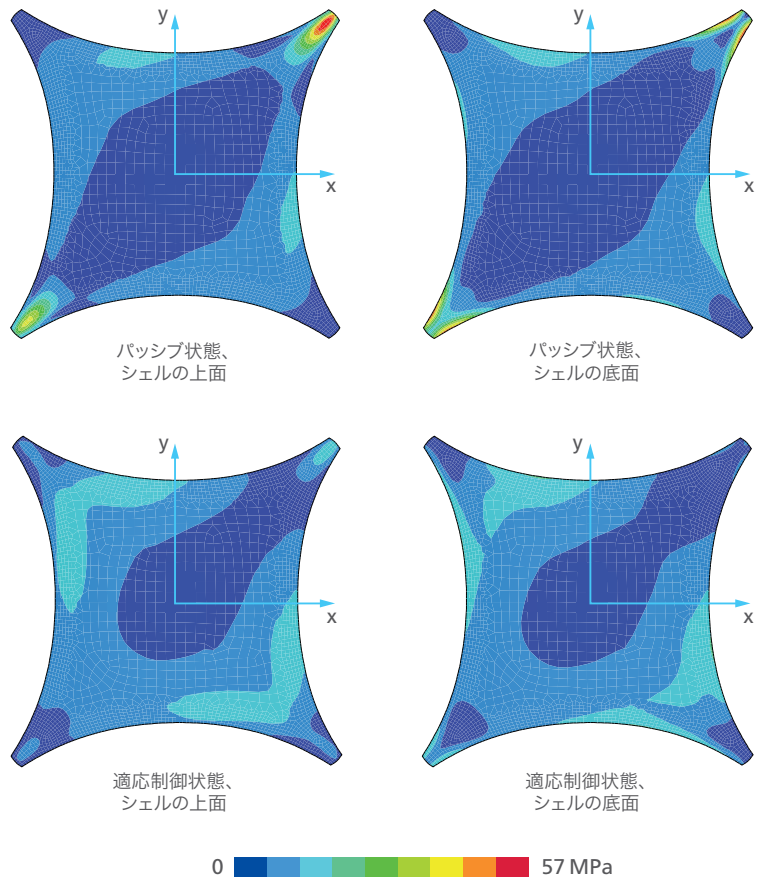


図6: 典型的な外部負荷による応力の分布。適応制御により応力のピークが66%減少しています。

- 油圧機器の制御
- 状態と安全性の周期的監視
- シリンダおよびストレインゲージからの計測値の読み取り
- 振動状態の評価と静的負荷の再構成
- 静的適応および制振のためのセットポイント生成
- アクチュエータ高精度制御の実行

これらの複雑なタスクを実行するシステムは、dSPACE DS1006 Processor Boardと、Bosch Rexroth社製のMotion Logic Control (MLC) ユニットで構成されています。MLCは油圧システムのタスクを制御し、それぞれの油圧装置に位置と力の制御入力を送

ります。DS1006は状態の評価を行い、静的および動的なセットポイントを生成します。また、DS1006は、順運動学と逆運動学の計算にも使用されています。これらは、支持点の位置と力のためのセットポイントを、それぞれの装置のローカルセットポイントに変換するために使用されます。支持点の位置と力のための現在値は、その支持点のローカルな測定値から取得され、グローバルの座標系に変換されます。高度で複雑な運動学の計算と非常に短い5 msのサイクルタイムのために、大きな計算負荷が発生します。このような場合に、DS1006の柔軟な設定オプションが特に役立ち、簡単にそれぞれの



このシェル構造材の厚さはわずか40 mm。

プロセッサコアに計算処理を分散させることができるため、処理能力を最適条件で使用することができます。DS1006とMLC間の、転送速度12 MBit/sのPROFIBUS接続により、セットポイント、測定値、および制御コマンドの高速通信が可能です。歪みセンサは、独立した3系統のCANネットワークを通じ、サンプリングレート200 HzでDS1006に接続されます。RTI CAN MultiMessage Blocksetを使用して、CANインターフェースを即座に、また簡単にセットアップすることができます。最後に、試験ソフトウェアのControlDeskを使用して、それぞれの油圧装置のセットポイントなどの項目を指定し、さまざまな制御ストラテジを簡単に切り換えて試験することができます。■

Martin Weickgenannt
Stefan Neuhäuser
Werner Sobek
Oliver Sawodny
シュトゥットガルト大学

Stefan Neuhäuser氏

シュトゥットガルト大学の軽量構造物および概念設計研究所の研究員です。



Martin Weickgenannt氏

シュトゥットガルト大学のシステムダイナミクス研究所の研究員であり、現在はDürr Systems GmbH社に在籍しています。



Werner Sobek氏

シュトゥットガルト大学の軽量構造物および概念設計研究所の所長であり、Werner Sobekグループの創設者です。



Oliver Sawodny氏

シュトゥットガルト大学のシステムダイナミクス研究所の所長です。



Stuttgart SmartShellの動作を動画でご覧ください。
www.youtube.com/watch?v=vDb2h1-7LA0