

仮想力覚に基づくヒューマンインタフェース評価

木村文彦 山根尚人

工学系研究科精密機械工学専攻

概要

実製品の試作無しに製品機能を事前評価する仮想設計生産においても、製品のヒューマンインタフェースは、人が実際に操作して評価しなければならない。プロダクトモデルによる対象製品の挙動シミュレーションに基づき、製品操作に対応する仮想力覚提示によりヒューマンインタフェースを評価する手法を述べ、事例により有効性を検証する。

1 はじめに

仮想設計生産技術により計算機内に対象製品のモデルを構築し、実製品の試作無しに製品機能の事前評価を可能とする技術が普及してきた。しかし、製品のヒューマンインタフェースは、仮想の世界のみで評価することは困難であり、人が実際に操作して評価しなければならない。本研究は、力覚によるインタラクションを対象とする。

本研究の目的は、プロダクトモデルによる対象製品の挙動シミュレーションに基づき、製品操作に対応する仮想力覚提示によりヒューマンインタフェースを評価する手法を述べ、事例により有効性を検証することである。実用的な評価を可能とするためには、このような仮想環境においても、人が直接操作するインタフェース装置は、実製品と類似の実環境を用意することが必要である。例えば、自動車の運転席の実試作モデルは必要だが、そのハンドルやシフトレバーの操作感覚は、その背後にある機構を模擬するプロダクトモデルにより仮想的に与えられる。

このような仮想評価は、製品の挙動シミュレーションの進歩により可能となってきた。ヒューマンインタフェースの評価のためには、製品挙動の非常に精緻なシミュレーションが要求される。例えば、操作の硬さ、粘り、滑らかさ、振動など、さまざまな感覚を再現する必要がある。さらに、使用に従って、このような感覚が変化し、また劣

化していく様相を予測できれば、製品設計には極めて有効である。

仮想環境に関する研究は、VR(Virtual Reality)研究として従来から広範に行われてきた[1]。視覚あるいは触覚に関するさまざまな仮想デバイスが開発され、仮想的あるいは遠隔の環境を体験する研究開発が行われてきた。多くのVR研究は、視覚や触覚の再現技術に力点がおかれていたため、本研究の目的にとっては、その背後にある対象物のモデリングやその挙動の再現は不十分であった。本研究に類似の研究として、人が好むギアシフト感覚の設計を支援する試み[2]などがあるが、背後のプロダクトモデリングについては十分追求されていない。

2 基本的な考え方

仮想製品開発において重要な考え方は、仮想現実融合(Virtual-Real Fusion)である。製品開発の始まりにおいては、ほとんどの製品要素が仮想的である。開発が進むにつれ、従来要素を利用する部分などが現実化され、製品のモデルは、実物と仮想モデルの融合となる。例えば、開発された新規エンジンを仮想的に多くの車台に搭載して評価することなどが行なわれる。

ヒューマンインタフェース設計も同様の枠組みで考えることができる。ヒューマンインタフェースの人間に近い部分は、初めから現実である。設計が進むにつれ、インタフェースの内部が徐々に現実化される。ある部分はソフトウェアとして、仮想のまま製品化されるかもしれない。仮想力覚を提示する力覚デバイスは、開発の当初は、現実のインタフェース、例えばハンドルやシフトレバーを駆動する一般的なセンサー・アクチュエータ装置である。開発が進むにつれ、これらは現実的なメカトロニクス機構に置き換えられていく。

本研究の範囲を図1に示す。CAD(Computer Aided Design)システムにより、製品のモデルが

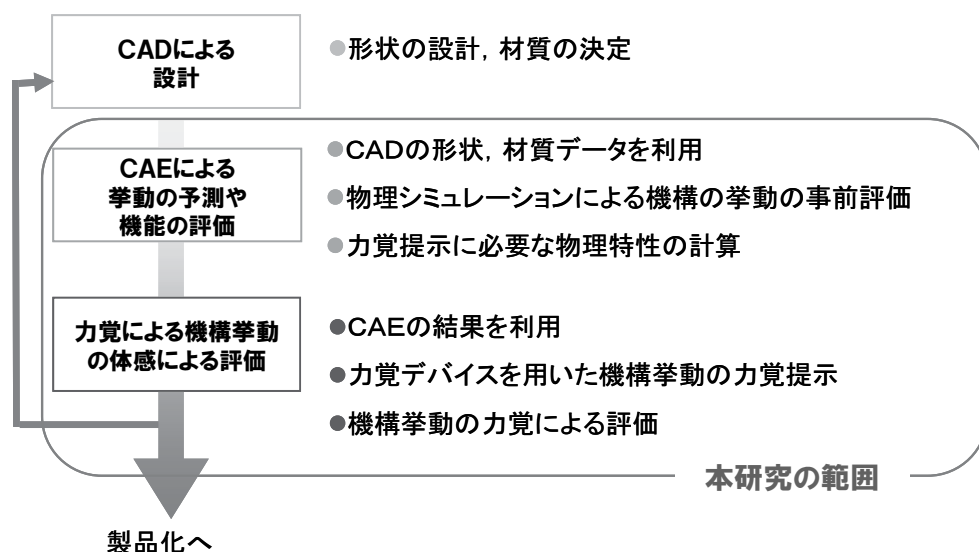


図1 仮想力覚によるヒューマンインタフェース評価

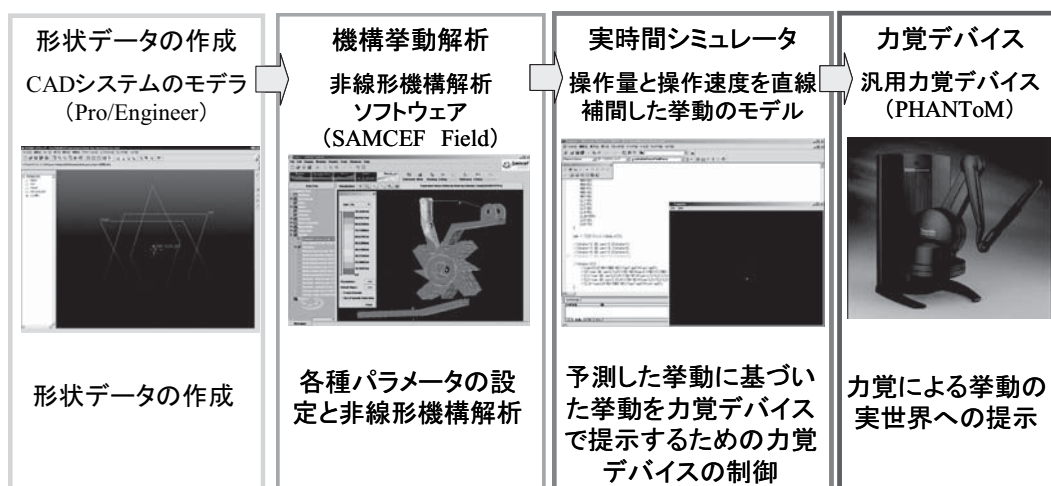


図2 プロトタイプシステムの概要

与えられ、CAE(Computer Aided Engineering)により挙動解析シミュレーションが行なわれる。ヒューマンインタフェース評価のために、力覚デバイスを介して製品のインタフェース挙動が提示され、評価結果を製品設計へフィードバックする。挙動解析については次節で概説する。

考え方を具体的に検証するために、図2に示すようなプロトタイプシステムを構築した。CADシステムとしては Pro/Engineer[3]を用い、挙動解析は、SAMCEF Field[4]を基礎として、必要な拡張を加えて用いた。力覚デバイスは、位置や力学的関係を忠実に再現できる基本的な汎用デバイスを構築すべきだが、本研究ではプロトタイプングの便宜のため、既存のデバイス PHANToM[5]

を利用した。

本研究が目的とするヒューマンインタフェース評価のためには、対象製品挙動の精緻なシミュレーションが必要となり、解析には時間がかかる。一方、仮想力覚提示のためには、実時間で力覚デバイスを駆動する必要がある。本研究では、図3

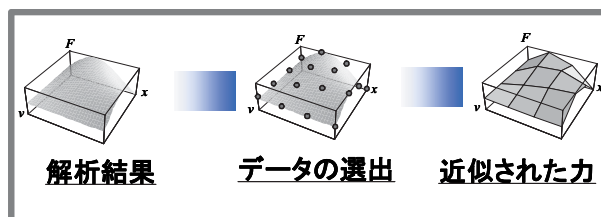


図3 解析結果の迅速な再現

に示すように、あらかじめ得られた解析結果を、インタラクションに関係する操作量をパラメータとして応答曲面として近似し、迅速に解析結果を再現することにより、実時間応答を可能とした。解析の高速化と併せ、近似曲面の構成法についても多くの課題が残されている。

3 機構挙動解析

本研究では、対象製品挙動の動力学解析の基礎として、汎用の解析ソフトウェアを利用した。特に、衝突などにより部分要素間の接触関係が動的に変化する様子を、できる限り忠実にモデル化することが重要である。製品の微妙な挙動の変化や使用劣化による不具合発生などは、部分要素間の接触関係の変化により発現することが多いからである。

基本的な機構要素に対して、典型的な変形・劣化要因を識別し、対応する属性値の変化や形状変化をモデルに付加して、擾乱下での製品の挙動品質の評価を行ってきたが[6,7]、これらの研究成果は、本研究へ直接的に適用可能である。

本研究の範囲では、以下のようなモデリングを行なった。

- 運動解析の対象は、3次元空間内の物体とする。物体はCADシステムによりソリッドモデルで形状を作成し、これを有限要素分割することで解析に用いる。
- 物体は弾性体として扱い、物体の衝突、接触による変形を考慮する。
特に衝突。接触による変形を考慮する必要が無く、機構の挙動に影響を与えない物体に関しては剛体として定義を行い衝突・接触による変形を考慮しない。
- 剛体、梁要素として定義する物体は、各節点を組み合わせて表現する。
- 衝突は頂点と頂点、辺と辺、頂点と辺、または頂点と面との間で起こるものとする。衝突による撃力は衝突点に加わるものとする。
- 摩擦は、摩擦力が垂直抗力に比例するというCoulombのモデルを用いる。摩擦の物性値として摩擦係数を用いる。
- 部品の物性値はヤング率、ポアソン比、比重を用いる。
- 機構の部品に与える拘束条件は完全拘束、1自由度の回転要素(Hinge)、1自由度の並進要素(Prismatic)、2自由度の回転要素(Universal)、3自由度の回転要素(Spherical)、回転並進要素(Cylindrical)、バネ要素(Spring)、粘性要素

素(Damper)を用いる。

機構の挙動に大きな影響を与える属性を明確にし、対象となる機構の運動を解析することが可能な機構モデルを構築する。ここで用いる機構解析プログラムでは、機構要素を代表する節点間の関係を定義する要素を組み合わせる。各節点を組み合わせて表現される剛体要素、梁要素などのほか、運動の自由度を拘束する1自由度の回転要素、バネ要素、並進要素、粘性要素などを組み合わせる。

4 事例評価

具体的に考え方を検証するために、図4に示すようなスイッチ[8]を例として、仮想力覚によるヒューマンインタフェース評価の実験を行なった。

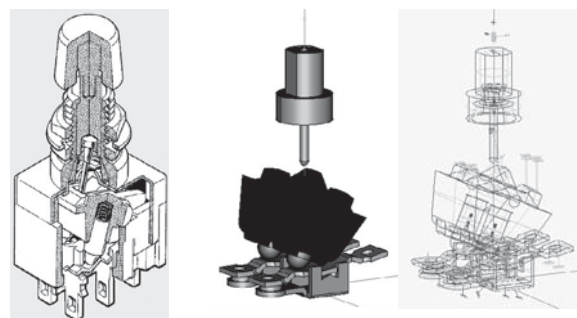


図4 スイッチのモデリング

図4のような押込型のスイッチでは、スイッチのオン・オフに対応する押込力の変化の様子が、確実なスイッチ操作を行なうヒューマンインタフェースとして重要である。このスイッチの構造は単純であるが、接触片やバネなどの接触状態により微妙に押込力が変化し、挙動シミュレーションによる再現は単純ではない。要素部品の実測による属性値の推定などを元に、基本となる有限要素モデルと接触のモデルを構築した。

図5にスイッチの押込速度をパラメータとして、挙動シミュレーションにより、押込量に対応するスイッチの反力を算出した結果を示す。同様の条件で、実スイッチの動作を測定した結果を図6に示す。解析モデルの物性値が不確実であるので定量的な精度は低い、反力の変化の様相はよく再現できていることがわかる。なお、本研究においては、スイッチ反力測定のため、リニアモータによる電動シリンダとロードセルによる試験計測装置を試作した。

力覚デバイスに実時間で応答信号を送るために、予め解析した結果を、力覚デバイスとの整合

のための補正を加えて図7に示すような応答曲線として表現した。この応答曲線に対応して、力覚デバイスにより実際に提示された反力を図8に示す。モデルを変化させつつ、人による操作テストを行なったが、スイッチ操作感覚として評価可能であると判断された。

5 おわりに

製品開発の効率化を目指して、仮想化が困難なヒューマンインタフェースの評価を、仮想力覚により実現する手法を試み、プロトタイプシステムによりその有効性を検証した。プロダクトモデルに基づく仮想力覚のインタフェースの変化を実現し、基本的な方式の妥当性は評価できたが、実用化には多くの課題が残されている。より精緻で大規模な挙動シミュレーション、多様な応答を可能とする力覚デバイス、力覚評価法の確立、などである。

参考文献

[1] Lu, S.C.-Y., Shpitalni, M., Bar-Or, R., Gadh, R., 1999, Virtual and Augmented Reality

Technologies for Product Realization, Annals of CIRP, 48/2, 471-496.

[2] M.Tideman, M., et al, 2004, Design and Evaluation of a Virtual Gearshift Application, 2004 IEEE intelligent Vehicle Symposium.
 [3] Pro/ENGINEER, Parametric Technology Corporation, <http://www.ptc.com/>
 [4] SAMCEF Field, Samtech, <http://www.samcef.com/>
 [5] PHANToM, GHOST, SensAbleTechnologies, <http://www.sensable.com/>
 [6] Kimura, F., Hata, T., Suzuki, H., 1998, Product Quality Evaluation Based on Behaviour Simulation of Used Products, Annals of CIRP, 47/1, 119-122.
 [7] Kimura, F., Hata, T., Kobayashi, N., 2004, Reliability-Centered Maintenance Planning based on Computer-Aided FMEA, CIRP Journal of Manufacturing Systems, 33/5, 477-482.
 [8] Nihon Kaiheiki 総合カタログ 2003, 2002.12, 日本開閉器工業(株)発行, 318.

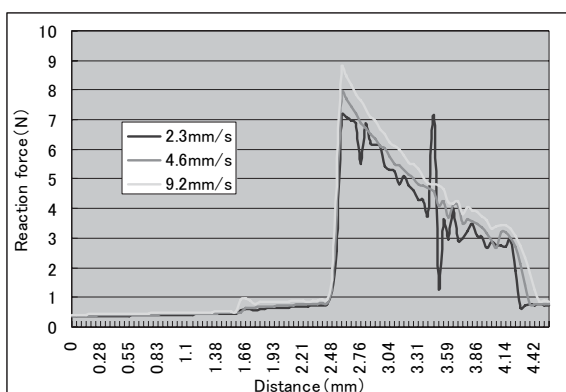


図5 スwitchの押込量と操作力の解析結果

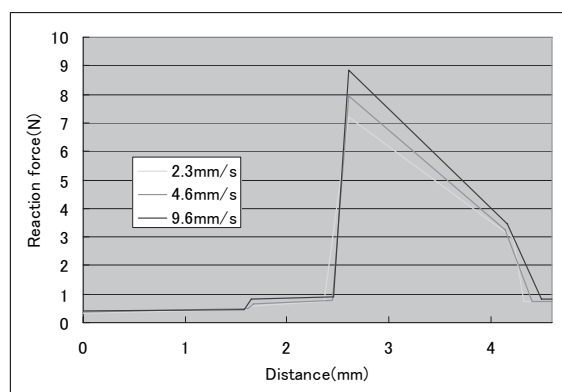


図7 迅速な再現のための解析結果の近似

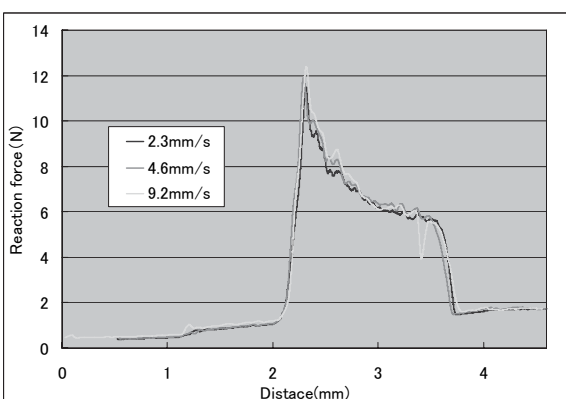


図6 実Switchの押込量と操作力の関係

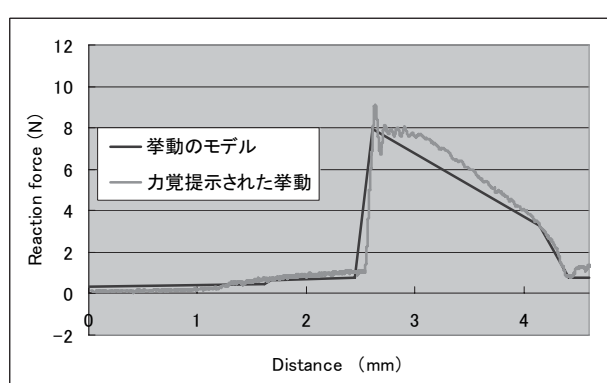


図8 解析結果と提示力覚の比較