

プロジェクト名：受動要素を利用した機構と制御の同時設計による 人に優しい安全な機械の基盤研究

代表者：成川 輝真（理工学研究科・助教）

1 研究の目的

何らかの要因で機械の制御が所望通りに行われずには安全性の確保が困難となる。機械の安全性を確保するためには機構と制御を包括的に捉えることが有効であると考えられる。受動要素としてばねやダンパを組み込んだ機構設計方法と、それらの特性を十分に生かした制御系設計方法を同時に行うことで人に優しい安全な機械システムの実現を目標とし、その基盤となる知見を得ることが本研究の目的である。

2 研究の進め方

近年、交通事故での乗員保護性能向上のために乗員に対する拘束力を能動的に制御する方法の研究が行われている^①。乗員保護の研究は人に優しい安全な機械を実現するうえで有用である。本研究では、人が機械に衝突した際の傷害を低減するために、乗員保護研究に基づき人体の胸部変形をモデル化した低次元力学モデルを用いて胸部変形の最大値を低減するアクチュエータ発生力を導出する。一般にアクチュエータの移動量や発生力には制約が存在するため、これらの制約を含めて最適化問題を解く。次に、所望の制御が行われる場合と故障などによりアクチュエータが動作しない場合を想定し、受動要素を利用することによる安全性能について検証する。

3 受動要素を利用した衝突安全

人体の胸部が機械に衝突した場合を考え、図1に示すように低次元力学モデルを用いて機械と人体をモデル化する。 m_a はアクチュエータの質量、 k_a と c_a は線形ばねとダンパが並列に配置された受動要素である。人体モデルは胸部を表す質点 m_c 、胸部以外の人体を表す質点 m_b および胸部特性を模擬する線形ばね k_c とダンパ c_c で構成される。人体の質量や胸部のばね定数と粘性減衰係数は、自動車の前面衝突における低次元人体力学モデル^②を参考に表1に示すように決定した。

アクチュエータの変位 x_a と受動要素の変形量 $d_a(=x_c - x_a)$ およびアクチュエータの出力 u を制約内に抑制しつつ、胸部変形量 $d_c(=x_b - x_c)$ の最大値を最小化するアクチュエータの最適発生力 u を導出し、胸部傷害を低減する安全性を獲得する。最適発生力を用いたときの胸部変形量と受動要素変形量の時間応答を図2に示す。図2では故障などの要因でアクチュエータ質量 m_a が固定されたときの応答を併せて示している。受動要素の特性を適切に与えることで、最適化制御入力を与えた場合およびアク

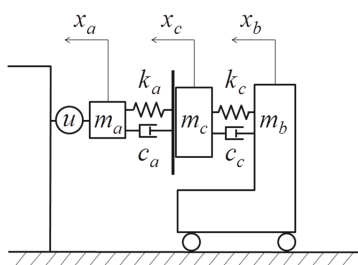


図1 低次元力学モデル

表1 パラメータの値

Label	Units	Value
m_a	kg	5
m_b	kg	72
m_c	kg	3
k_c	N/m	75700
c_c	Ns/m	300

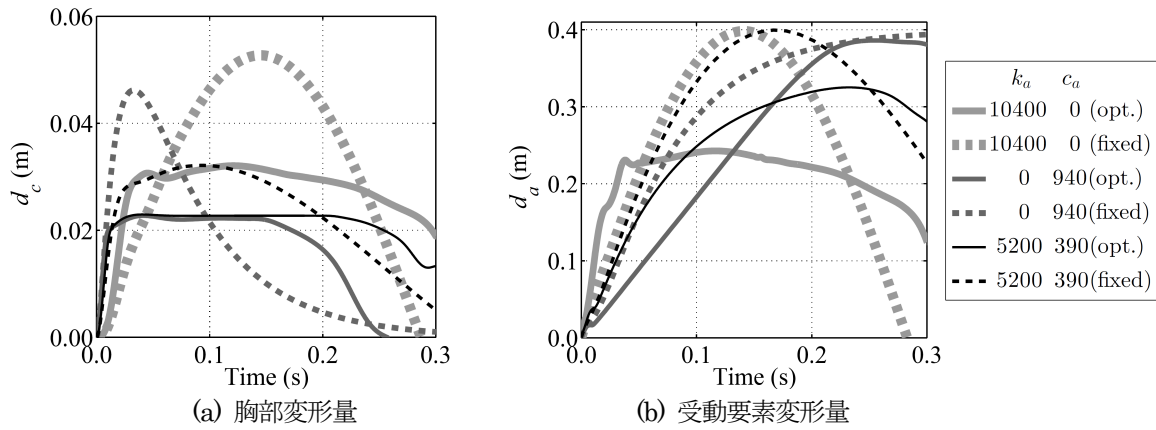


図2 受動要素特性を変化させたときの時間応答

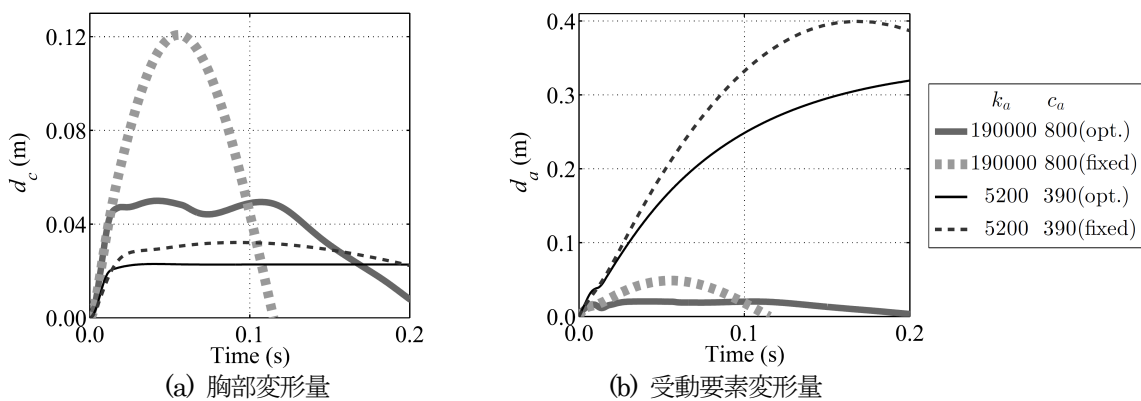


図3 受動要素を利用した衝突安全性能

アクチュエータ質量が固定された場合ともに胸部変形最大値を低減できる。

図3では自動車のインストルメントパネルに相当する $k_a=1.9 \times 10^5$, $c_a=800$ ⁽¹⁾を与えたときと受動要素を用いたときの胸部変形量と受動要素変形量を比較した。図3より、受動要素を利用することで胸部変形量が大幅に低減できることがわかる。

4 研究の成果

人に優しい安全な機械システムを実現するための基盤となる知見を得るために、人体の胸部が機械に衝突した場合を想定して、受動要素を利用した機構・制御系設計方法について検討した。ばねとダンパを組み込んだ機構を用いて人体胸部の変形量最大値を最小化するアクチュエータ出力を導出し、胸部変形量が大幅に低減できることを示した。また、受動要素のパラメータを適切に設定することで、故障などの要因でアクチュエータが動作しない場合においても衝突安全性能が十分に得られることを示した。

参考文献

- (1) 加藤誠, 西村秀和, 天野洋一, 下郷太郎, “アクティブニーボルスターによる乗員下肢の損傷低減制御”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No.736 (2007), pp. 3185-3192.
- (2) 成川輝真, 西村秀和, 伊藤優一, 本澤養樹, “人体 FE モデルに基づく車両前面衝突時の胸部変形に着目した低次元力学モデルの構築”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 795 (2012), pp. 3677-3688.