

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2007 ～ 2009
 課題番号： 19760157
 研究課題名(和文) 人間と関わる機械システムの性能と安全を両立する非定常運動制御手法の研究
 研究課題名(英文) Study on Nonstationary Motion Control Methods Realizing High Performance and Safety of Human Related Mechanical Systems
 研究代表者
 原 進 (SUSUMU HARA)
 名古屋大学・大学院工学研究科・講師
 研究者番号： 40329850

研究成果の概要(和文)：本研究においては、人間と関わる機械システムを対象として、動作の状況や環境に基づいて、高い性能と安全性が実現できる非定常的な運動制御手法を提案し、人間-機械系機器ならびに他の一般的な機械構造物への応用を図ることを目的とした。主な結果として、自動搬送からパワーアシストを伴う手動位置決めに切り換えるモード切り換え型の制御手法を提案し、モード切り換え前の安全確認型リーチングモニタリングなどを実現した。

研究成果の概要(英文)：For human related mechanical systems, this study aims to propose nonstationary motion control methods realizing high performance and safety based on control conditions and/or environments and apply these methods to man-machine systems or general mechanical structures. As a main result, this study proposed a control method switching from automatic transfer to manual motion with power assist and realized safety-preservation oriented reaching monitoring before the mode switching.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 1,700,000 | 0 | 1,700,000 |
| 2008 年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2009 年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 480,000 | 3,780,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：制御工学，運動制御，人間-機械系，非定常制御，機能安全，振動制御，モード切り換え

1. 研究開始当初の背景

最近の生産工程では、作業者の高齢化を考慮し、やりがいなどの意識を高く維持したまま、作業に必要なパワーをアシストするパワーアシストシステムの利用が注目され始め、例えば一部の国内自動車メーカーでは実ラ

インへの導入が進んでいる。このような人間-機械系機器では人間の安全確保が重要であることはいうまでもない。しかしながら、疑わしければ緊急停止という現状の機械安全の方策のみに頼っては、いわゆるチョコ停の多発で、生産性の低下が懸念される。すな

わち、経済性が考慮されていない安全システムでは産業界から望まれない。同様の事例は人間-機械系機器に限らず、クレーンなど運動制御に関わる幅広い問題で見られる。

一方、研究代表者は時変の制御器を用いる非定常的な制御手法の運動制御問題への応用に関して多くの実績がある。研究代表者は、このような人間が存在する環境下における機械システムの運動制御問題に対し、安全性の確保と性能の維持を両立させるためには、時々刻々の状況に応じてどちらを重視するのかが変化する非定常的な制御手法を適用すべきとの着想に至った。具体的な実現方法としては、従来のハードウェア的な最低限の安全策は残すものの、その上位にあたるソフトウェアに、通常の制御と並行して安全関連の制御が機能する機能安全制御系を構築する。そして、この制御系に非定常的な制御手法を導入する。機械システムの安全性確保に関わる従来の研究において、安全性と性能の重みづけを非定常的に変化させて両立しようとする研究は見られなかった。

2. 研究の目的

パワーアシストシステムのような人間-機械系機器を始めとした、人間と関わる機械システムを主対象として、動作の経過点や状況の認識、判断に基づいて、性能確保と安全性確保が両立できる非定常的な運動制御手法を提案し、人間-機械系機器ならびに他の一般的な機械構造物への応用を図ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究代表者がそれまでに提案してきた自動搬送からパワーアシストを伴う手動位置決めに切り換えるモード切り換え型の制御手法に関し、従来とは異なり力覚センサレスでも可能となるようにアルゴリズムの改善を図った。この力覚センサレスアルゴリズムにより、従来の力覚センサ使用アルゴリズムと並列に使用する2重系を構成することで、オペレータの操作ミスや力覚センサの故障等により発生する危険な状態を避けることが可能となり、システムの機能安全性を大幅に向上できる。さらに、研究代表者が別の研究で提案した、制御対象のパラメータ変動に容易に対応できる適応的非定常制御手法も導入することで、適応的非定常サーボ搬送制御から力覚センサレスパワーアシスト制御へのなめらかな切り換えを実現した。

(2) 研究の目的において説明しているモード切り換え型の制御手法はパワーアシストシステムの生産性の向上につながるものの、オペレータの近傍にまで自動的に接近する

際に、機器側が安全確認のためオペレータのリーチに関するモニタリングを常実施し、衝突の可能性が大きい場合には衝突ハザードを事前に予測することが望ましい。そこで（独）産業技術総合研究所が所有するスキルアシスト（図1）を対象とし、モード切り換え型制御問題に関し、スキルアシストに設置された複数のレーザーレンジセンサによるオペレータまでの距離情報検出とその情報の隠れマルコフモデルを用いた処理により、安全確認型リーチングモニタリングと衝突ハザード予測を行った。

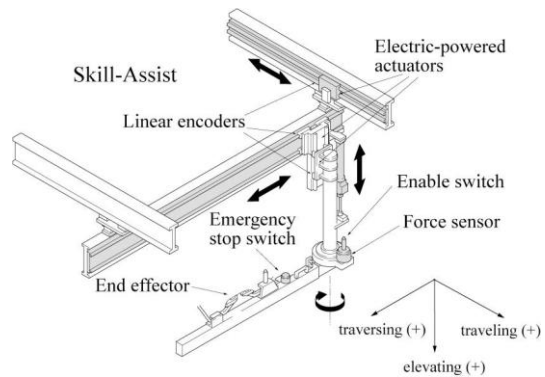


図1 スキルアシスト

(3) 人間-機械系機器以外の機械構造物の運動制御問題に対する新しいモード切り換え型制御手法の検討も実施した。中心となる対象は、研究代表者が従来から取り組んできた振動系の位置決め制御問題であり、本問題に対し、それまでに本研究で採用した適応的非定常制御手法の新しい適用方法について検討した。具体的には、位置決め（アクセ

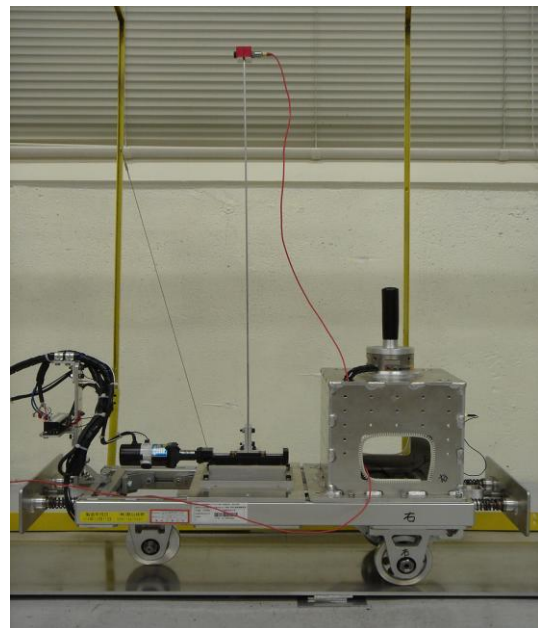


図2 振動系を搭載した自走台車装置

ス)は主に簡単なフィードフォワード制御で実現し、整定直前の適切なタイミングで最適レギュレータによる位置整定と残留振動抑制のための制御に切り換える制御手法である。ここでいう「適切なタイミング」とは、制御入力 of 連続的な切り換えによるなめらかなモード切り換えを実現できるタイミングを意味する。本手法は実装用計算機の負担が少なく、かつ制御対象の振動している部分を直接フィードバックする確実な振動抑制が実現できる。具体例として、図2のような振動系を搭載した自走台車の位置決めおよび振動の制御問題を取り上げた。この内容は人間-機械系機器においても、その作業効率向上のために導入されてきた自動搬送モードの性能向上や、今後の適切なモード切り換え手法の基礎と成り得る。

(4) それまで人間-機械系機器における制御対象は剛体を前提としており、振動が問題となる柔軟物を扱った研究は行っていない。柔軟物が対象となる場合には、他の典型的な機械制御問題同様、運動制御と振動制御のトレードオフや、残余振動モードが励起されるスピルオーバー不安定など、高性能で安全な操作を実現する上で障害となる重大な問題が発生する。そこで、制御対象が柔軟物(振動系)である場合のパワーアシスト制御手法について検討した。高性能な振動制御を実現するためには、パワーアシストのアクチュエータとは別に振動制御用のアクチュエータを設けたほうが、アシスト制御と振動制御の間



図3 1.0 Hzの振動系を搭載した
パワーアシスト台車実験装置

のトレードオフを回避する立場からは都合が良い。一方、さまざまな制約から、このように二種類のアクチュエータを設けられない事例もあり得る。本研究ではこの両ケースについて、性能と安全を両立するパワーアシスト制御手法を検討した。特に、前者の二種類のアクチュエータを用いるケースでは、研究代表者が従来(例えば図2のような)扱ってきた固有振動数 2.5 Hz の振動系に加えて、図3の実験装置のような 1.0 Hz の振動系を用いたトレードオフが顕著な事例においても両制御の両立が可能となることを数値計算と実験により示した。

4. 研究成果

(1) 研究の方法(1)に記載の内容を実施した結果、力覚センサレス型パワーアシストシステムのモード切り換え型制御手法を確立した。また、適応的非定常サーボ搬送制御から力覚センサレスパワーアシスト制御へのモード切り換え型制御でも同様の性能を得られることを示した。力覚センサレス型パワーアシストシステムの研究は従来から多く見られるが、本研究で特に推進しているモード切り換え型制御での実現はほとんど見られず、重要な知見と考えられる。

(2) 研究の方法(2)に記載の内容を実施した結果、スキルアシストのモード切り換え型制御問題における安全確認型リーチングモニタリングと衝突ハザード予測の手法を確立した。本内容は現在、国内自動車メーカーで採用されている実機であるスキルアシストを対象に実現されている点に意義があり、IEEE の Trans. ASE に採択されるなど高い評価を得ている。

(3) 研究の方法(3)に記載の内容を実施した結果、機械構造物の位置決めおよび残留振動の制御問題に関し、制御入力 of 連続的な切り換えを保証する簡易なモード切り換え型制御手法を提案できた。現在、そのさらなる改良法の検討にも着手している。さらに、今後、本知見の人間-機械系機器のモード切り換え型制御問題への応用も予想される。

(4) 研究の方法(4)に記載の内容を実施した結果、パワースペクトル密度の測定からパワーアシスト制御と振動制御の周波数帯域が明らかに重なっていると確認できた対象(1.0 Hz の振動系を搭載したパワーアシスト台車)についても、両制御の両立が可能であることを示した。このような柔軟物が対象となるパワーアシスト制御手法の発展は、単なる柔軟物のみならず、微細な物品や危険物を手動で搬送する際のアシスト技術としても応用が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Suwoong LEE, Susumu HARA and Yoji YAMADA, A Safety Measure for Control Mode Switching of Skill-Assist for Effective Automotive Manufacturing, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 査読有, 掲載決定
- ② Susumu HARA, Yoji YAMADA and Suwoong LEE, Positioning Control Experiment Switching from Adaptive Nonstationary Servo Control to Force Sensorless Nonstationary Impedance Control, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.4, pp.303-305, (2009), 査読有

[学会発表] (計1件)

- ① Suwoong LEE, Susumu HARA and Yoji YAMADA, Safety-Preservation Oriented Reaching Monitoring for Smooth Control Mode Switching of Skill-Assist, 2008 IEEE International Conference on

Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2008), 2008年10月12日-15日, Suntec Singapore International Convention and Exhibition Centre

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 操作インタフェースを含む部分が操作者に対して移動可能な装置を制御するための技術

発明者: 李 秀雄, 山田陽滋, 原 進

権利者: (独) 産業技術総合研究所, トヨタ自動車(株), 豊田工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2008-140430

出願年月日: 20年5月29日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 進 (SUSUMU HARA)

名古屋大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号: 40329850