

柔軟な力制御による ミニショベル掘削作業の 知能化に関する調査研究

「平成24年度建設施工と建設機械シンポジウム」発表
2012年11月7日

研究代表者：立命館大学 玄 相昊
共同研究者：(株)竹内製作所 条内健吾

はじめに

■ 背景

- ショベルは広く普及した万能作業機械
- 高度化の効果は絶大

■ 着目点

- 力仕事には力の直接制御が有効だが、オペレータの手動操作では困難
- 従来のロボット制御技術は産業用も含め、そのほとんどが「高精度位置決め」に注力

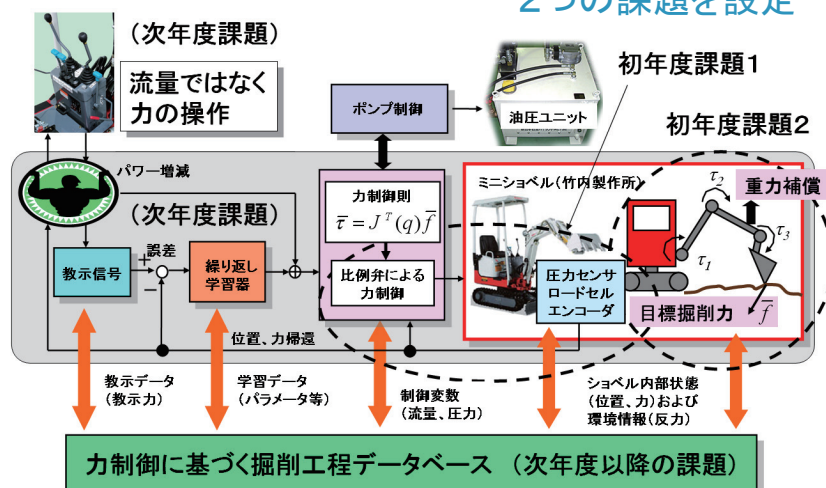
■ 研究目的

- 油圧ロボット制御技術の適用可能性の調査
- 従来システムに力制御を融合する方法の調査
- 力制御の特徴を活かした技能教示方法の調査

全体計画と助成期間中の課題



2つの課題を設定



提案のベースとなる成果



■ 油圧ヒューマノイドロボットの力制御

- 玄, 日本ロボット学会誌 vol.27, no.2, pp.178-187, 2009

■ 同、不整地バランス制御

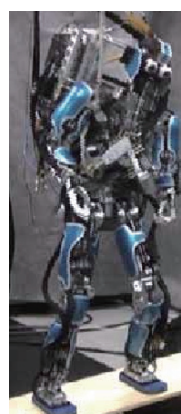
- Hyon, IEEE TRO, vol.25, no.1, pp. 171-178, 2009

■ 同、転倒回避制御

- Hyon, et al, IEEE ICRA, 2009

■ 同、運動教示・学習

- Hyon, IEEE/ASME Mechatronics, vol.14, issue 6, pp.677-688, 2009
- Hyon, et al, IEEE ICRA, 2008



変化する未知路面に適用しつつ
バランスをとる油圧ヒューマノイド
(JST-ICORP「計算脳プロジェクト」
における研究成果)

成果報告の内容

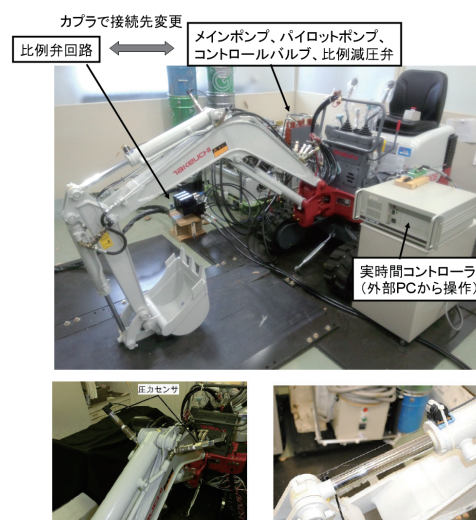


1. 実験環境の構築
2. 力制御と実験結果
3. オペレーター操作との融合方法の提案

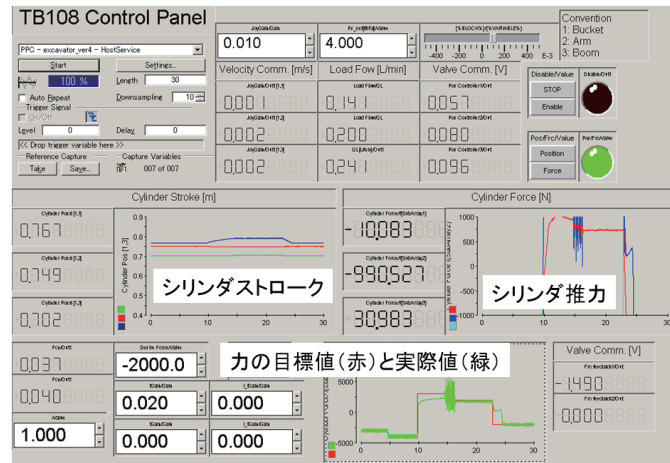
実験環境の構築



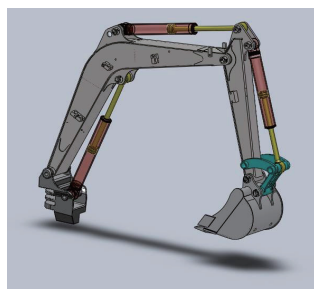
- ショベル本体
 - 竹内製作所TB108
 - フロントのみ利用
- 外部油圧ポンプ
 - 出力: 5.5 kW
 - 最高圧力: 14 MPa
- バルブ
 - 比例弁 × 3
- センサ
 - ポテンショメータ × 3
 - 圧力センサ × 6
- コントローラ
 - dSPACE社コントローラ



操作GUI



動力学シミュレータ



CADモデル



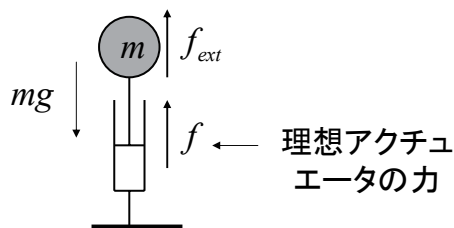
シミュレーションモデル

力制御について



■ 簡単な例

$$m\ddot{r} = f - mg + f_{ext}$$



■ 目標する挙動

$$m\ddot{r} = f_{ext}$$

or

$$\bar{m}\ddot{r} = f_{ext}$$

外部環境との自然な相互作用が可能

■ そのための発生力

$$f = mg$$

or

$$f = (m / \bar{m} - 1)f_{ext} + mg$$

力の計測が必要

2つの実装方法

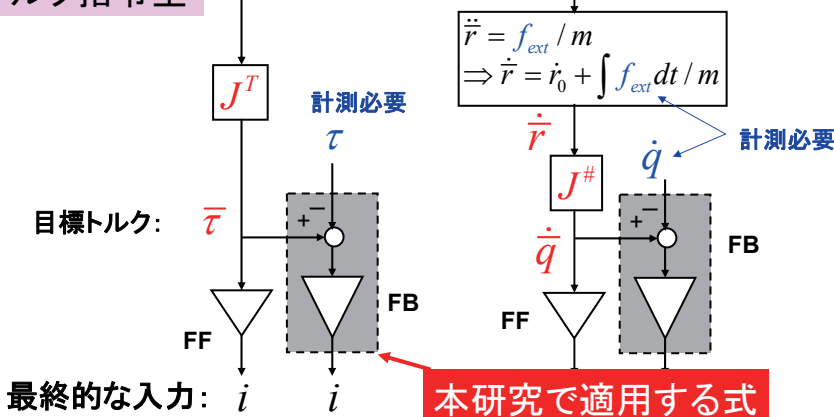


目標とする発生力

$$\bar{f} = mg$$

速度指令型

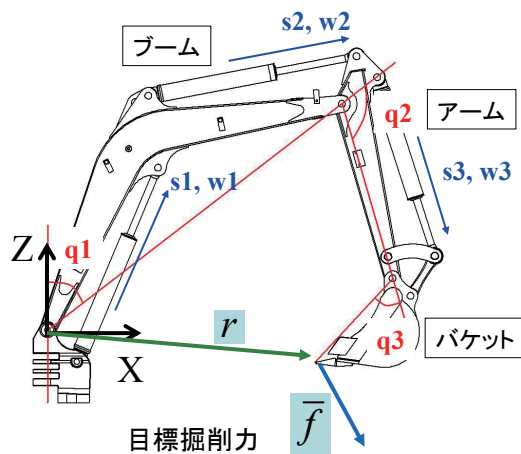
トルク指令型



力制御の制御則



■ 座標系



■ 制御則

目標関節トルク:

$$\bar{\tau} = G + J^T \bar{f}$$

ここで

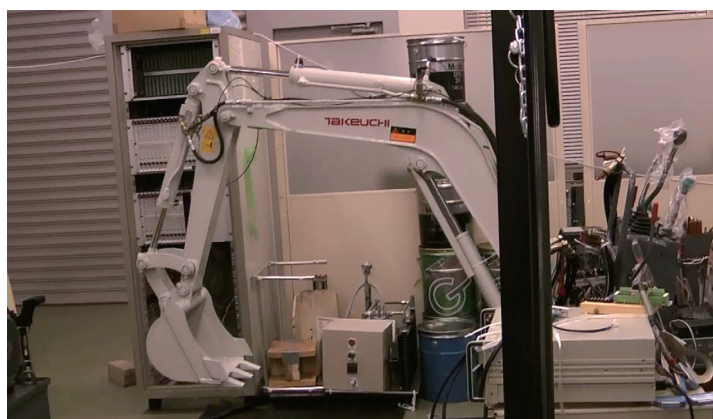
G : 重力トルク

$J = \frac{\partial r}{\partial q}$: 手先ヤコビ行列



前頁の実装方法で実現
(トルクは圧力から推定)

重力補償実験の結果



圧力は4MPa固定

自重を補償することで外力にしなやかに追従

研究目標の追加

■ 当初の目標

- シリンダの力制御
- 重力補償
- バケット先端の力制御

} 達成



■ 追加目標

- 上記に加え、**操縦者の指令**にできるだけ追従



■ 方策

- 力制御はコンピュータが担当
- 力制御と干渉しない空間に操縦者の入力を射影

解決方法(一例)

ロボティクスで良く知られた「冗長ロボット」の制御方法

$$\bar{\tau} = J^T \bar{f} + N(J^T) \tau_u$$

↑
任意のユーザー指定トルク

ただし、 $N(\cdot)$ は零化行列、 $\#$ は擬似逆行列操作

(参考)

速度制御の場合: $\bar{\omega} = -J^\# \dot{\bar{r}} + N(J^\#) \omega_u$

↑
任意のユーザー指定角速度

シミュレーション課題

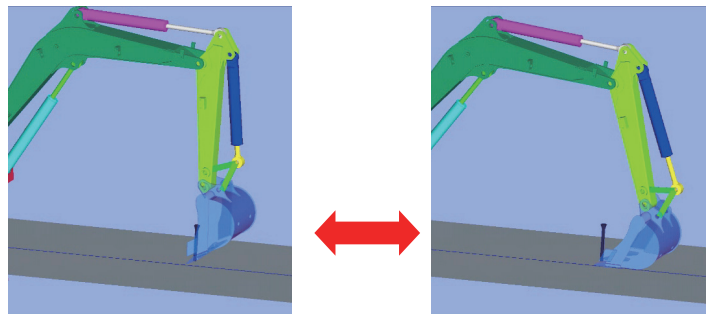


■ 課題

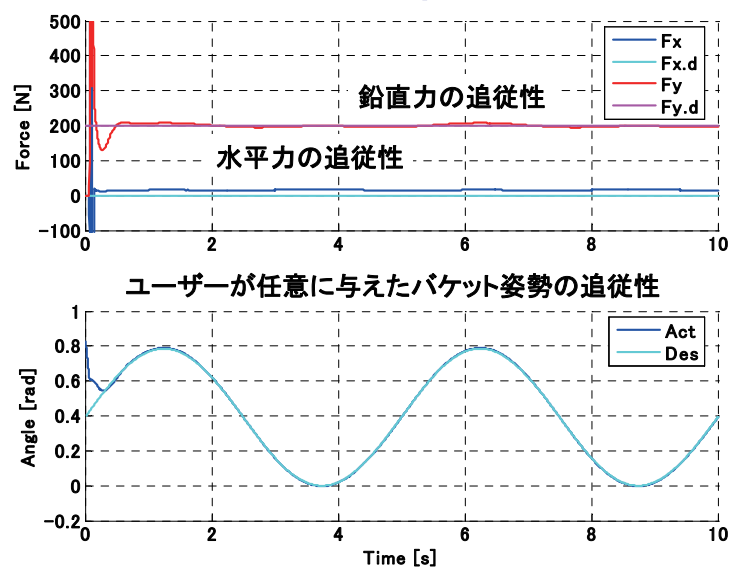
- バケット爪から鉛直真下に200Nの目標作用力
- ユーザーがバケットの姿勢を入力(SIN波とする)

■ シミュレーション条件

- 1msのルンゲクッタ法
- ヘルツの接触力モデル
- 実機で関節トルク制御可能と仮定



シミュレーション結果



まとめ



■得られた成果

- ショベル高度化研究の環境を構築
- 圧力センサを用いた力制御を実装
- 重力補償と掘削力制御に成功
- オペレータ操作との融合方法を提案

■今後の課題

- 力制御を援用したショベル高度化のためのアルゴリズム開発と実証実験
- 安価なシステムへのダウンサイジング
- 不整地重作業支援ロボットへの応用

謝 辞



本研究は日本建設機械施工協会の助成を受けて行われた研究です。深く感謝いたします。

また、研究にご協力いただきました

株式会社竹内製作所様、

ダイキン工業株式会社油機事業部様

に深く感謝いたします。