

プログラム名：タフ・ロボティクスチャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：フィールド評価試験・安全・シミュレーション

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

極限環境シミュレーションプラットフォーム Choreonoid の開発

研究開発機関名：

国立大学法人大阪大学大学院工学研究科

研究開発責任者

杉原 知道

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

課題3. 大変形する物体との相互作用計算 (H27/7~H28/8)

- (1) 変形する物体を剛体系近似する方法の開発 (H27/7~H27/12)
- (2) 近似剛体系の可動部における受動力発生メカニズムのモデル化 (H27/12~H28/4)
- (3) 境界条件の下で受動力と変形を同時に計算するアルゴリズムの開発 (H28/4~H28/8)

課題4. 破断・切断を伴う物体の振舞計算 (H28/2~H28/6)

- (1) 剛体内部の応力分布を近似計算するアルゴリズムの開発と実装 (H28/1~H28/2)
- (2) 応力分布に基づく物体の破断・切断判定アルゴリズムの開発と実装 (H28/1~H28/2)
- (3) 破断・切断箇所に関節を自動追加する構造可変剛体系としてのモデル化 (H28/2~H28/6)

課題5. 順動力学アルゴリズムの高速化 (H28/10~H29/3)

- (1) 剛体系の拘束力と接触力を統一表現する運動方程式の再定式化 (H28/10~H29/11)
- (2) 剛体ごとの拘束力・接触力同時計算アルゴリズムの開発 (H28/11~H28/12)
- (3) 物体間接触グラフの自動生成アルゴリズムの開発 (H28/10~H28/12)
- (4) 上記アルゴリズムに基づく剛体系順動力学計算アルゴリズムの開発 (H28/12~H29/3)

課題6. 実際の現象との比較検証による精度評価 (H28/2~H29/3)

- (1) 単一物体の自由運動と衝突実験、シミュレーションとの比較 (H28/2)
- (2) 複数物体の衝突実験、シミュレーションとの比較 (H28/2~H28/4)
- (3) 試験用柔軟物体の作成、運動実験、シミュレーションとの比較 (H28/4~H28/8)
- (4) ロボットマニピュレータの運動制御実験、シミュレーションとの比較 (H28/9~H28/12)
- (5) 脚型ロボットの運動制御実験、シミュレーションとの比較
 - (ア) 平坦地上歩行実験 (H29/1)
 - (イ) 不整地上歩行実験 (H29/2)
 - (ウ) 砂礫上歩行実験 (H29/3)

課題7. 事例ベースのアルゴリズム検証と改良 (H27/6~H29/3)

- (1) 実際の(ロボットによる作業が期待され得る)災害現場のモデル化 (H27/6~H27/7)
- (2) 事例シナリオの作成 (H27/7~H27/8)
- (3) シナリオに沿った長時間作業のシミュレーション、評価検証 (H27/9~H27/10)
- (4) 問題点の洗い出し、アルゴリズム改良 (H27/10~)
- (5) (1)~(4)の追加 (H27/10~H29/3)

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

課題3. 大変形する物体との相互作用計算 (H27/7~H28/8)

建設ロボット開発グループに対する希望調査結果から、具体的に移動ロボットと地盤との相互作用計算を優先すべきと判断した。多数の粒塊から成る地盤を、まず個別要素法によりモデル化する方法を実装した。空間パーティショニングや並列計算を行うことで、計算効率向上を図った。今まで行えなかった、土の上を歩行するロボットの運動をシミュレートすることが可能になった。一方で、剛体運動計算が1ms離散時間幅で行えていたのに対し、本計算方法では1 μ s程度にする必要があることが分かった。従って、この方法のみでは実時間の数倍程度で計算を行うという要求を満たせない。現在は、地盤を連続体で近似し、剛体侵入部の局所的な形状計算から相互作用力を計算する方法の併用を考え、実装を進めている。

課題4. 破断・切断を伴う物体の振舞計算 (H28/2~H28/6)

昨年度既に達成した。

課題5. 順動力学アルゴリズムの高速化 (H28/10~H29/3)

内部で使用しているベクトル・行列演算を見直し、関数呼び出し時のオーバーヘッドを極力削減するようコードリファクタリングしている。主要な計算部はほぼ修正完了し、実際に計算時間が削減されたことを確認した。

また、剛体ごとの拘束力・接触力同時計算アルゴリズムの開発に着手した。これまでは剛体運動計算とリンク系運動計算を区別せずに同一のアルゴリズムで行っていたが、前者を効率の良い反復計算で行うアルゴリズムを実装中である。実働している学生の事情により進捗は遅れており、未完了である。同じ理由で、物体間接触グラフの自動生成も未着手である。

課題6. 実際の現象との比較検証による精度評価 (H28/2~H29/3)

開発物であるシミュレーションソフトウェア(物理計算エンジン)の単体試験と評価を行っている。事例数はまだ十分ではないが、幾つかの典型的な剛体運動について実物の挙動とシミュレーション結果とを比較している。ただし、多点接触する剛体の衝突計算は初期値鋭敏性を持ち、わずかな条件の違いでその後の振舞が大きく変わるのが常であるため、単一の軌跡誤差を調査するのではなく、統計的に精度を評価する方法を今後検討していく。

ロボットの運動制御実験との比較は、優先度を下げたため未実施である。

課題7. 事例ベースのアルゴリズム検証と改良 (H27/6~H29/3)

同事業に参加している脚ロボット開発グループおよび建設ロボット開発グループから、シミュレーションシナリオ、ロボットモデルファイル、環境モデルファイルおよび制御ソフトウェアの提供を受け、シミュレーション実行が可能であることを確認している。長時間作業のシミュレーションにはシナリオの改変が必要だが、シミュレータ本体の開発が計画よりも遅れているため、そちらを優先的に進めている。

以上の当初計画項目に加え、形状計算のロバスト化と相互作用力計算のロバスト化が必須かつ優先的に進めるべきであると判断した。前者については、**Minkovski Portal Refinement**法を実装し、これまで採用していた**GJK**法よりもロバストに干渉判定が行えることを確認した。後者については、無制約非線形計画問題の勾配法による解法群を改良した。反復計算の各ステップにおける勾配方向最小化に用いる直線探索法を改良することで、非線形性の強い問題に対して成功率が向上したことを、ベンチマーク試験により確認した。

2-2 成果

課題3．大変形する物体との相互作用計算

ロボットとの相互作用による地盤の大変形が、個別要素法によりシミュレート可能になった。

課題4．破断・切断を伴う物体の振舞計算

昨年度既に達成した。

課題5．順動力学アルゴリズムの高速化

ベクトル・行列演算の実装合理化を進め、計算時間削減した。

剛体ごとの拘束力・接触力同時計算アルゴリズムの開発に着手した。

課題6．実際の現象との比較検証による精度評価

幾つかの典型的な剛体運動について実物の挙動とシミュレーション結果とを比較した。

課題7．事例ベースのアルゴリズム検証と改良 (H27/6～H29/3)

脚ロボット開発グループおよび建設ロボット開発グループから提供して頂いたシミュレーションシナリオ、ロボットモデルファイル、環境モデルファイルおよび制御ソフトウェアを用いてシミュレーション実行可能であることを確認した。

Minkovski Portal Refinement法によるロバストかつ効率的な立体干渉判定を実装した。

無制約非線形計画問題の勾配法による解法群を改良し、求解成功確率を向上した。

2-3 新たな課題など

課題3において、連続体近似による地盤変形の高速な計算方法を開発し、個別要素法と併用して計算効率と計算精度の双方を向上する。また遅れている課題5を進める。

課題6について、統計的方法で初期値鋭敏性の影響を低減し、精度評価する方法を検討する。

3. アウトリーチ活動報告

2016年10月19日～21日 危機管理産業展（於：東京ビッグサイト）にて、災害対応ロボットシミュレータのデモおよびパネル展示を行った。