

令和 5 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02099

研究課題名(和文)サイバーがれきフィールド：レスキューロボット性能評価と操作訓練の統合環境の構築

研究課題名(英文)Cyber GAREKI Field: Development of Integrated Environment for Rescue Robot Performance Evaluation and Operation Training

研究代表者

小野里 雅彦(Onosato, Masahiko)

北海道大学・情報科学研究院・教授

研究者番号：80177279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、仮想空間内に、地震動などで倒壊した家屋が並ぶサイバーがれきフィールドを構築した。家屋には木造平屋から、総二階、テラスハウス、2階建てアパート(文化住宅)など、多様な構造を持つものを用意している。これを用いてがれき内の複雑な空間構造理解、レスキュー機器の操作性確認、余震等による倒壊進行の危険などをユーザに提示できる。また、津波による家屋の破壊・移送・堆積のプロセスを仮想空間内で模擬することを行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的価値は、これまで真理を探究する自然科学と、価値の増大を志向する工学のいずれからも研究対象とはみなされてこなかった「がれき」を、研究することの必要性と、サイバーフィールドによる研究方法論を提示したことにある。また、社会的意義は、普段の生活の中では目にする事のない「がれき」というものを、仮想のがれきとVR等のユーザインタフェースにより体験できることにある。

研究成果の概要(英文)：In this study, I constructed a cyberGAREKI(debris) field in which houses collapsed due to seismic motion are lined up in virtual space. Houses with various structures are prepared, such as a wooden one-story house, a total two-story house, a terrace house, and a two-story apartment (cultural housing). Using this, it is possible to understand the complicated spatial structure in the rubble, check the operability of rescue equipment, and present the danger of collapse progression due to aftershocks to the user. In addition, we simulated the process of destruction, transfer, and deposition of houses by tsunami in virtual space.

研究分野：システム工学

キーワード：がれき 地震 仮想 シミュレーション レスキューロボット サイバーフィールド

1. 研究開始当初の背景

我が国の自然災害に対する防災・減災において、大規模地震での家屋倒壊による人命被害の防止・軽減は最も重要な課題である。1995年1月の阪神淡路大震災での経験と反省を契機に、救助用機材の開発や建造物の耐震化に関する研究は大きく進展した。しかしながら救命救助活動の中心的な場である倒壊家屋（がれき）については、十分な学術的関心が注がれていない。地震災害において救命救助活動を遂行する倒壊家屋による「がれき」に関する知見を国内外において共有し、深めていくことを情報技術により支援できる基盤としてのサイバーがれきフィールドの構築を計画した。

2. 研究の目的

本研究では、実がれきの持つ形態的・力学的構造を反映した仮想がれき環境を構築し、実一想を双対化したがれきのサイバーフィールド環境を実現することにより、がれきに関する数理的性質の分析や、レスキューロボットの走行性能、レスキュー隊員を想定した操縦者にとっての可操作性などを定量的に分析・検討する効果的な手段を提供し、レスキューロボットの開発や操作スキル向上に貢献することを目指す。この目的に対して、具体的には以下を目的とする。

- (1) 地震による被害が想定される老朽木造家屋の詳細な仮想がれきを生成し、利用できるサイバーがれきフィールドの構築
- (2) レスキューロボット実機を、がれき上で走行させて性能データを収集し、仮想環境での物理エンジンによる走行シミュレーション結果と比較して実と仮想の等価性を評価するための模擬がれきテストフィールドの構築
- (3) 高い臨場感で倒壊した木造家屋が立ち並ぶ「がれき街区」を体験できる統合型ユーザインタフェースの構築

3. 研究の方法

- (1) サイバーがれきフィールドを実現するアプローチは、実家屋と同じ構成・構造を記述した仮想の家屋のモデルに、地震動の波形を参考に作成された変位データにより振動を加え、それにより家屋構造を破壊し、倒壊させる。倒壊のプロセスは物理エンジンを用いて剛体同士の衝突を検出・評価をして、構造体の結合要素を無効化することにより、破壊を模擬する。（図1参照）
- (2) 模擬がれきフィールドの構築に関しては、規格化された複数の種類の直方体要素を乱雑に積み重ね、模擬がれきを形成する。このがれきを持つ空間構造を、レーザ計測装置などの3次元点群から導出してリアルタイムでモデル化し、レスキューロボットの走行によるがれきの崩れなど影響を評価する。
- (3) サイバーがれきフィールドの直観的なユーザインタフェース実現手段として、人間計測デバイスやVR提示デバイスなどの入出力装置を含んだ、統合オペレーション環境を、各種のハードウェア、ソフトウェアを連携させて構成する。



図1 デジタルがれき生成の流れ

4. 研究成果

本研究により得られた成果を以下に示す。

- (1) サイバーがれきフィールド用プラットフォーム”Collapse Simulator Ver.3”の開発。木造家屋の倒壊したがれきを仮想空間に生成するもので、内部ではNVIDIA社が提供するPhysX 4（参考情報1）を物理演算エンジンとして利用している。本システムはGPUを用いることで計算の高速化を実現し、木造家屋一件分のがれきに対して、仮想空間でのレスキューロボットの走行を10fps程度の画面更新での実行を可能とした。

- (2) 上記のシステムは高性能な GPU を搭載した高速なワークステーションでの利用を前提にしているため、より多くの人々が利用できる仮想がれきの環境として、Python 言語を用いてプログラムが書かれたサイバーがれきフィールド VirtualGarekiBPy を開発した。このシステムでは物理演算エンジンとして PyBullet(参考情報 2)を用いており、PhysX と同様に剛体相互の干渉を計算し、結合部の破壊判定を行う。(図 2 参照)
- (3) グレーチングプレートの上に規格化された木材柱を積み上げ、上方 1 か所及び側方 4 か所に設置されたデプスカメラ (Microsoft Kinect2, Intel Real Sense C515) により計測された点群を統合することで、死角のない模擬がれきのテストフィールドを構築した。(図 3 参照)
- (4) 建設機械等の走行機構に広く使用されているクローラベルト型レスキューロボットの旋回性能を、クローラ間隔が可変なプロトタイプにより走行と実験を行い、上で述べた模擬がれきテストフィールドで走行状態を収集し、がれきの不安定性を物理演算エンジンで求めた評価値と照合する。
- (5) 地震により倒壊する木造家屋モデルの整備を行い、戸建て住宅と集合住宅のモデル生成プログラムを計 7 種類用意した。それぞれのプログラムはパラメータを変えることで構造や寸法、強度などのバリエーションを付けることが可能である。また、各家屋モデルを配置して、電柱や道路、壁、側溝などを有した「街区」を定義でき、地震発生後の道路閉鎖などの状況を模擬できる。
- (6) 当初の研究計画になかった研究成果として、「津波がれき」への拡張を試みた。これは地震動によって構造に損傷を負った家屋に、その後、津波による浸水が発生し、浮力、水流の力、浮遊物の衝突などにより、破壊が進行し、遡上海水の流れにより移動して、堆積する一連の過程を物理演算エンジンで計算している。これによって形成されるがれきの空間構造と、地震動により形成されるがれきの空間構造の比較を今後、行っていく。
- (7) 当初の研究計画の修正を余儀なくされた点として、利用する物理演算エンジンのバージョンと COVID-19 感染拡大の問題がある。前者については、当初、NVIDIA 社から PhysX の最新版の PhysX 5 の SDK が公開される予定であったが、公開予定日を 2 年経過しても提供されず、同社のプラットフォーム Omniverse のひとつのモジュールとしてのみ提供された。そのため、最新版の PhysX を使用するには、Omniverse を使用する形へとプログラムの移植が必要となった。(その後、NVIDIA 社から 2022 年に PhysX 5.1 の SDK 提供が開始されている。) COVID-19 に関しては、国内外での会議参加や出張を伴う調査研究等の実施が抑制されたことがあげられる。

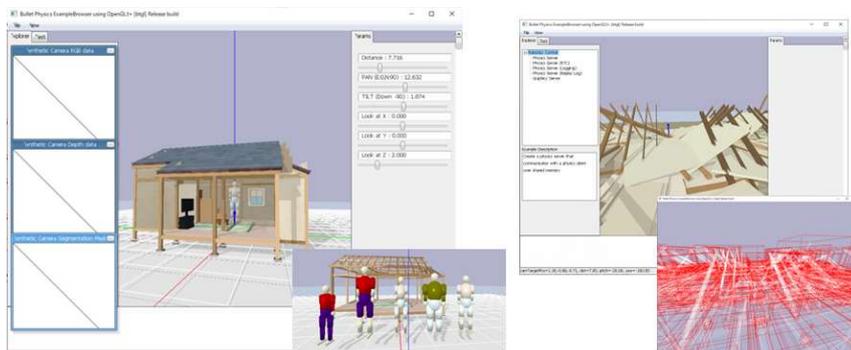


図 2 VirtualGarekiLabPyB3 の表示画面例 (左: 家屋モデル, 中央: ダミヤ, 右: 倒壊家屋)

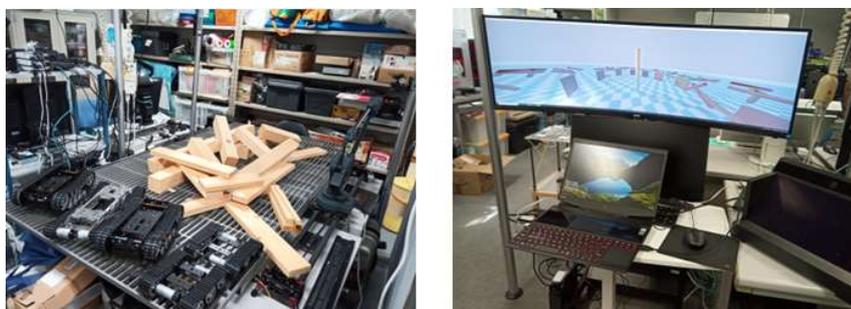


図 3 模擬がれきテストフィールド (左) と統合型ユーザインタフェース操作卓 (右)

参考情報

- NVIDIA: "Open Source Simulation Expands with NVIDIA PhysX 5 Release",
<https://developer.nvidia.com/blog/open-source-simulation-expands-with-nvidia-physx-5-release/> (2022.11.8)
- PyBullet: "a Python module for physics simulation for games, robotics and machine learning",
<http://pybullet.org>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 土谷卓也, 小野里雅彦, 田中文基
2. 発表標題 がれきモデル生成のための木造家屋モ詳細化詳細化－瓦屋根構造の導入－
3. 学会等名 2020年度精密工学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 園部一真, 小野里雅彦, 田中文基
2. 発表標題 レスキューロボットのがれき走行シミュレーションに関する研究
3. 学会等名 2020年度計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土谷卓也, 小野里雅彦, 田中文基
2. 発表標題 がれきモデル生成のための家屋倒壊シミュレーションの安定化
3. 学会等名 2021年度日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 園部一真, 小野里雅彦, 田中文基
2. 発表標題 物理エンジンを用いたクローラ型ロボットの仮想評価用モデルの構成法に関する研究
3. 学会等名 2019年度精密工学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

がれき工学入門

<https://sites.google.com/eis.hokudai.ac.jp/gareki/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------