

令和元年6月19日現在

機関番号：33108

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06053

研究課題名(和文)原子炉格納容器内の燃料デブリ解体を目的とした小型水中ハツリ装置の開発

研究課題名(英文) Development of compact underwater chipping device for demolishing the fuel debris in the reactor containment vessel

研究代表者

小林 義和 (kobayashi, yoshikazu)

新潟工科大学・工学部・准教授

研究者番号：60277390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：原子炉格納容器内に堆積する燃料デブリの解体を目的とした小型水中ハツリ装置の開発を行った。このハツリ装置は、燃料デブリの周囲にある水をポンプで吸い込み、その水流を動力源として工具を振動させることにより燃料デブリを粉砕する。本研究では試作機を開発し、工具の振動数及び高回転トルクを得るため改良を重ねた。その結果、無負荷時で1800rpmの回転数となり、低負荷時では回転数600rpm、振動数160Hzとなった。しかし、加工に必要な高負荷でハツリ装置を押し付けた際は回転が停止し、加工には至らなかった。更に高回転トルクを得るための改良が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島第一原発の廃炉におけるロードマップには、切削装置によりデブリを小さく加工しロボットハンドで取り出す構想が記載されている。原子炉格納容器内の詳細な状況は現在不明であるが、原子炉容器内の様々な構成部材が溶解し固まった複雑な構成材料がデブリとなっていると考えられる。したがって、デブリの効率的な回収を考えた場合、デブリの材質、大きさ及び形状を考え、様々な加工機械を用い、その加工法に合った加工条件のもとで加工を行う必要がある。また、加工環境は高い放射線のため電子回路を伴う制御装置を設置することは難しいと考えられるため、機械要素のみで構成される新しい加工装置の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：The compact underwater chipping device was developed to demolish the fuel debris accumulated in the reactor containment vessel. This chipping device draws in the water around the fuel debris by feed pump and the fuel debris is crushed by vibrating tool mounted on this chipping device. This vibration is invented by this water flow. In this study, prototype chipping device was developed and improve to obtain the high frequency and rotation torque of tool. As a result, the number of rotations of impeller which connects with a tool are 1,800rpm at unloaded and 600rpm, which means tool frequency is 600Hz, at light loaded. However, when the tool was forced on a specimen at high load to machining, the rotation of impeller was stopped. The further improvement of this chipping device to obtain the high rotation toque is necessary.

研究分野：生産システム

キーワード：廃炉 加工 ハツリ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

福島第一原発の廃炉に向けた燃料デブリ(以下デブリと呼ぶ)の回収方法は、2015年6月に発表された経済産業省「廃炉に向けた工程(中長期ロードマップ)」中に記述はあるが、具体的内容は示されていない。また、デブリ回収のスケジュールは2021年12月以降に実施予定であり、具体的な回収工法は現在検討中の段階と見受けられ、デブリ回収期間も2021年以降30~40年と見積もられている。このような状況を見ると、デブリ回収には様々な工法が用いられ、少量ずつの回収となることが予想される。特に燃料の高熱により溶融し結合したロボットハンドでは取り出せない大きな構造物は、加工装置により小さくする必要がある。そこで、デブリ回収に当たり道路やビルのコンクリート部解体に実績のあるハツリ装置を応用した新しい加工装置を開発し、デブリをロボットハンドで取り出せる大きさに加工し、効率良くデブリを回収することを試みる。

### 2. 研究の目的

福島第一原発の廃炉に向けた試みが進行しているが、格納容器内部の詳細な状況がわからない状況が続いている。一部報道では、燃料の70%以上が溶け落ちたデブリとなって格納容器下部に堆積していると言われている。そのデブリの回収方法として格納容器を水で満たす冠水工法を用い、切削を中心とした加工機によりデブリを加工し取り出す方法が有力な手段として考えられている。また、その装置は、高い放射線の影響により電子回路を伴わない装置が望まれる。そこで、水流を動力源とし、ラチェット機構を振動源とした小型ハツリ装置の開発を目的とした。

### 3. 研究の方法

小型水中ハツリ装置を開発するため、次のような開発・実験を行った。

水流を用いたハツリ装置の開発し、加工実験を行う。その際の実験のイメージは図1の様になる。格納容器に見立てたドラム缶にハツリ装置と水を入れ、排水ポンプにより水を吸い上げることで、ハツリ装置内のインペラを回転させ、ラチェット機構によりその回転を振動に変換し工具を振動させる。その振動を衝撃力として、振動する工具により加工物を粉砕する。本研究ではハツリ装置を含む実験環境の開発をし、主に工具の振動数と回転トルクの向上を目的に改良を行った。

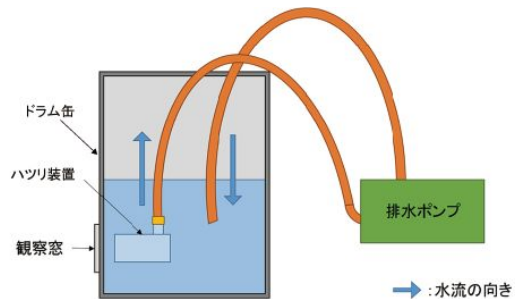


図1 実験イメージ



図2 実験システム

### 4. 研究成果

#### (1) 実験装置の試作

図1の実験システムを図2に示す写真のように実現化した。また、ドラム缶内に設置するハツリ装置(H29年度改良版)を図3に示す。装置左の吸込み口からインペラを経由して、右のホース接続部の筒の方向へ水が流れていく構造を想定して設計した。インペラケースの内径は87mm、ホース接続部の面積は1385.49mm<sup>2</sup>で、吸込み口の面積は914mm<sup>2</sup>になっている。また、内径15mmのベアリングに合わせて作成した円筒状のスペーサーを、止めネジで回転軸に固定して、ベアリングに差し込んでいる。また、止めネジはベアリング固定部品を上下から押さえるように止まっているため、軸方向への抜け防止にもなっている。

インペラはラチェット機構と軸で接続されており、水流でインペラが回転することでラチェットも回転する。今回のラチェットは図3右上の様に16個の爪で構成されており、1回転することでドリルチャック(工具)は16回振動する。

実験装置の各部品の材料は、回転軸にステンレス鋼、インペラケースにはアクリルパイプを切り出したものを使った。アクリルパイプの厚さは、太いパイプは

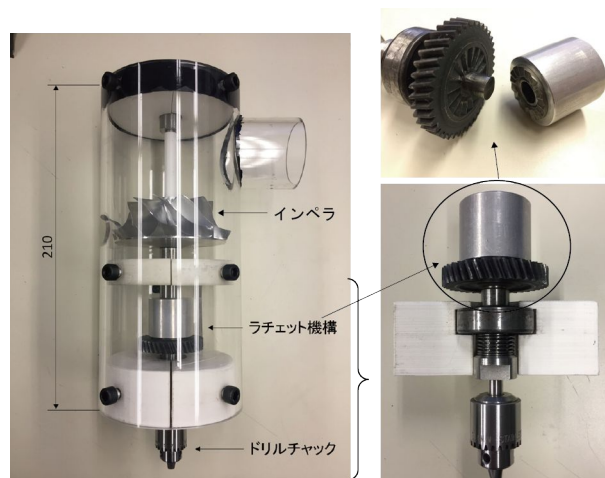


図3 ハツリ装置

4 mm、細いパイプは 3 mmである。ベアリングを固定する部品は、3DCAD で設計を行い、3D プリンターを用いて PLA で造形した。インペラの上にある黒い帯状のものは、寸法を合わせて水漏れを防止するために巻いたゴムシートである。

排水ポンプは TERAL 製 SP3 型自吸式渦巻きポンプを使用する。仕様は吐出し量 200L/min、電動機回転速度は 1500rpm、ポンプ径 40mm となっている。電源はコンセントから操作盤を通じて電動機に供給し、排水ポンプを動かす。

実験の様子は観察窓からビデオ撮影することで観察した。その中の様子を図 4 に示す。図 3 で示した初号機は、電源を切って排水ポンプが止まるまで、インペラは約 2 分間安定して回転を続けた。回転数は、240fps のスローモーション撮影を行い割り出した結果、ラチェット機構がかみ合っていない無負荷状態で 1,800rpm 程度だった。

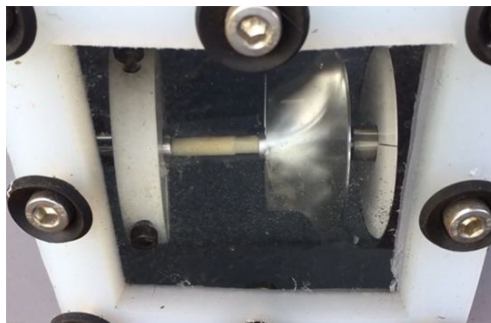


図 4 実験を観察窓から撮影

## (2) 加工実験

図 3 の装置を用いて加工実験を行った。ラチェット機構がしっかりと噛み合っていない状態ではインペラが回転し、ラチェット同士が音を立てながら装置が稼働した。しかし、ドリルチャックの先端に取り付けられた工具を加工物に接触させ、ラチェット機構を噛み合わせた瞬間、インペラの回転が止まり、実験装置は稼働しなくなった。ラチェット機構のかみ合わせを解いたところ、インペラは再び回転し、実験装置は稼働を再開した。また、排水ポンプの吐出量に著しい変化は見られず、ホースからの水漏れなどは確認できなかったため、実験装置以外の設備には問題はなかった。インペラの回転トルク不足が主な要因と考えられる。

## (3) 考察と装置の改良

実験の結果から、インペラが水流から得る回転力よりも、ラチェット機構が噛み合わさる抵抗の方が大きく、インペラが回転できずに、装置が稼働できないと考えられる。また、ラチェットが噛み合っていない状態では稼働できたので、インペラ側面から水流を受けるという基本的な構造には問題はないと推測できる。

これでは、燃料デブリを粉砕することは難しいので、インペラが回転する力を大きくする必要がある。排水ポンプの吸込み量か、もしくは吸込み口の面積やインペラケース内部の空間などの実験装置の形状に改良の余地があると考えられる。

装置の性能実験から得られた結果とその原因の考察をもとに、図 3 の装置をベースに改良した実験装置を製作した。今回は 吸込み口面積を大きくしたケースと 水流を調整したケースの 2 つの実験装置を試作した。

### 吸込み口面積を大きくしたケース

ケースの吸込み口の面積が狭いために、吸込み量が少なくインペラの回転が十分ではないと推測した。そのため、インペラをより強く回転させるために、さらに多くの水を吸込めるように、ケースに開ける吸込み口を 3 方向に開けることにした図 5 に実験装置を示す。吸込み口は、図 3 の 1 か所から 90° 毎に配置した 3 か所に変更した。吸込み口の合計面積は 3347mm<sup>2</sup> である。

この装置を用いて加工実験を行った結果、排水ポンプを運転させても、インペラが停止したままで、実験装置は稼働できなかった。ラチェット機構がしっかりと噛み合っていないくても、インペラが回転しなかった。排水ポンプやホースの水漏れなど、その他の実験設備に異常はなかった。これらの結果から、吸込み口はあまり大きくしても意味はなく、また吸込み口の位置によってインペラの回転を妨げる可能性もあるということが分かった。

### 水流ガイドにより水流を調整したケース

また、吸込み口の変更とは別に、インペラケースの内部形状を変更した実験装置の製作も行った。それはラチェット機構をかみ合わせると図 3 の装置では回転が止まったため、一部の水流がインペラを経由しないため力の伝達ロスが発生し、回転トルクが上昇しないためと予想した。その推測をもとに、吸込み口からホースまでが傾斜になっている水流ガイド付きのインペラケースを製作した。

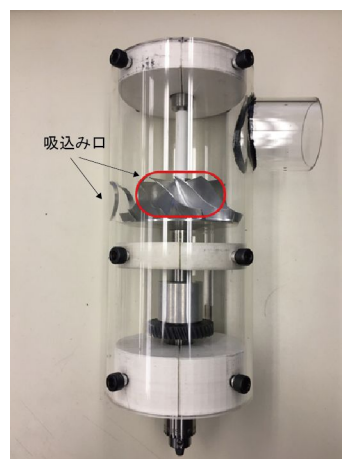


図 5 改良したハツリ装置

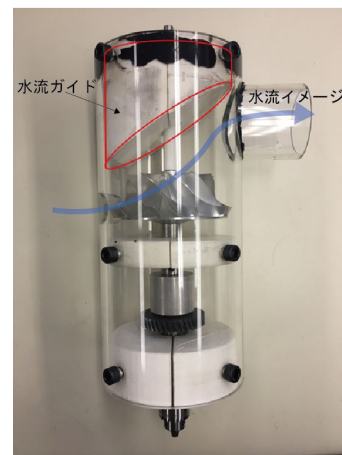


図 6 改良したハツリ装置

水流ガイド付きの実験装置を図6に示す。この水流ガイドは、装置上部のベアリング固定部品に傾斜をつけて、3Dプリンターで再び造形し直したもので、ベアリング固定部品と一体型になっている。この水流ガイドを取り付けることで、吸込み口からホース接続部分まで、水がインペラを避けることなく流れていくことを想定して製作した。吸込み口の面積は1115mm<sup>2</sup>である。

加工実験を行った結果、ラチェットが噛み合っていない無負荷時では回転数は1,800rpm、工具を少し押し付けた低負荷時では回転数600rpm、振動数160Hzとなった。しかし、加工に必要な高負荷で工具を押し付けた際は回転が停止し、加工には至らなかった。更に高回転トルクを得るための改良が必要である。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表](計3件)

ガンバータル ニヤマジアルガル、小林 義和、マイクロテクスチャリングにおける工具経路の検討、日本設計工学会2017年度秋季研究発表講演会、2017年10月8日、新居浜工業高等専門学校(愛媛県)

石黒 隆太郎、小林 義和、可変形 Infill による3Dプリント造形物の作製、2018年度精密工学会秋季大会学術講演会、2018年9月7日、函館アリーナ(北海道)

石黒 隆太郎、小林 義和、ボクセルモデルを用いた3Dプリント造形物の内部形状設計、2018年度精密工学会 北陸信越支部学術講演会、2018年11月10日、信州大学工学部(長野県)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。