

# 第6回環太平洋ウォータージェット技術国際会議 (6th Pacific Rim International Conference on Water Jetting Technology)

東京大学 大学院工学系研究科 産業機械工学専攻

講師 割澤伸一

(平成 12 年度国際会議等参加助成 AF - 2000029)

キーワード: ウォータージェット加工, 加工状態認識,  
切削力情報

開催日時: 2000 年 10 月 9 日 (月) ~ 11 日 (水)

開催地: オーストラリア, シドニー市

## 国際会議報告

第 6 回環太平洋ウォータージェット技術国際会議 (6th Pacific Rim International Conference on Water Jetting Technology) が 2000 年 10 月 9 日から 11 日の 3 日間, シドニーのマンリー・パシフィック・ロイヤル・ホテルで開催された。環太平洋ウォータージェット技術国際会議は, 1987 年の北京での第 1 回会議以来, 第 2 回がシンガポール, 第 3 回が台湾, 第 4 回が日本, 第 5 回がインドでそれぞれ開催されてきたもので, いずれも日本ウォータージェット学会がその開催の主導的役割を果たしている。今回は開催地であるオーストラリアの CMTE (The Centre of Mining Technology and Equipment) が主催し, 日本ウォータージェット学会が共催するという形となった。本国際会議はウォータージェット産業の生産性, 環境, 並びに安全性を向上させるためにウォータージェットに関する新しい技術の開発とインプリメントを主眼に置いている。

なお, ウォータージェット技術に関する国際会議は, BHRG (英国流体力学研究協会) により主催される噴流切削技術国際シンポジウムが 1972 年以來 2 年ごとに開催されるものとこの環太平洋ウォータージェット技術国際会議が代表的な国際会議である。したがって, 世界各国からこの研究領域の第一人者が集まっており, そこでの研究成果の公表は非常に重要であるとともに, 貴重な情報交換を行うことができた。

今回の会議参加者は 138 名で, 日本からは 37 名の参加が報告されている。特に, 日本からは学生を含む若手研究者の参加が目をつくものであった。会議では, 6 編の基調講演のほか, 2 つの会場を利用したパラレルセッションの形式で 49 編の論文が発表された。基調講演では, ウォータージェット技術の研究領域で世界的に有名な Mohamed Hashish 氏, 日本を代表する幾世橋広氏の両氏の講演が含まれており, その意味でも参加の意義は大きかった。また, 会場の外には別

途当該技術に関わる企業や研究機関の展示ブースが多数設営され, 単なるコーヒーブレイク的な役割のみならず最新鋭の機器や設備を間近に見ながら情報交換できた点は評価できるものであった。

申請者は, 本会議初日の午後に産業応用のセッションで “Autonomous Water Jet Cutting System Based on Cutting Force Information” (切削力情報に基づくウォータージェット自律加工システム) なる題目で研究発表を行った。独自に開発した 3 軸力センサー, 加工状態認識手法, 実時間性, 砥粒の加工作用の検出の可能性について質問があった。

発表した研究の概要を以下に示す。

## 発表研究題目

“Autonomous Water Jet Cutting System Based on Cutting Force Information” (切削力情報に基づくウォータージェット自律加工システム)

### 1. 研究背景

ウォータージェット加工技術は, 材料によらず適用可能であること, 加工熱が比較的小さいため材料への影響が少ないことなどから, 特に複合材料, セラミクス, アモルファス金属など先端材料の加工技術として期待されている。しかしながら, 水圧, ノズル送り速度, 砥粒流量, 砥粒材質, ノズル径, 工作物材質など多くの加工条件が相互に影響しながら加工精度を決定するため, 最適な加工条件を決定する指針や具体的データベース蓄積に関して解決すべき問題が指摘されている。

上記問題に対して, 水噴流の流体力学的挙動や高圧水噴流の微視的構造解明の観点[1]や切削機構及び切削性能の観点[2,3]から多くの研究成果がある。また, 縞目模様(後述)の周波数特性解析[4]やそのモデル化とシミュレーション[5]が報告されている。

本研究は, 切削力情報によって加工中の状態を実時間判定する手法, 加工条件設定手法, データベース構築手法を柱とする自律加工システムの構成を提案して, 上記問題の解決を図るものである。

### 2. ウォータージェット自律加工システムの構成

ウォータージェット自律加工システムに必要な基本

構成は以下の通りである。

- (1) システムを能動的に実時間制御し、加工中に発生するさまざまな物理現象を獲得するハードウェア
- (2) 獲得した情報に基づいて加工状態を認識する機能
- (3) 認識結果にしたがって加工条件を決定・修正する機能
- (4) 獲得した膨大な情報を加工に関する知識として効率良く蓄積する手法

### 3. ハードウェアシステム

(株)スギノマシン製アクアジェットポンプ (AJP-35020) を使用し、ウォータージェットが吐出するアプレシブヘッドを XY 直交 2 軸に組んだボールネジ組込形直動案内に取り付け PC により外部制御する。加工中に発生する物理現象として工作物に作用する力に着目し、申請者が製作した歪ゲージ式 3 軸力センサによって検出する。

切削力情報を取得して加工状態を判定しその結果にしたがって加工条件を修正するフィードバックシステム構成となっている。

### 4. 加工状態判定手法

さまざまな加工条件で実験を行い、(i) 工作物終端での分離不良状態、(ii) 水噴流の工作物貫通状態、(iii) 縞目模様発生状態の 3 つの加工状態の実時間認識が可能となった。

縞目模様とは加工面のうねりをさしており、ウォータージェット加工やレーザ加工のようなエネルギービーム加工に特有の現象である。これは加工精度を著しく低下させる大きな原因となっている。縞目模様の定量的評価法として切削力情報の分散値に相当する新たなパラメータを定義し、加工表面うねりとの対応が可能であることを示した。これは第 5 章の状態パラメータとなる。

### 5. 多次元加工状態空間

多次元加工状態空間とは、「1 つの加工状態を表す状態パラメータ  $S$  と  $n-1$  個の制御パラメータ  $u_k$  ( $k=1, \dots, n-1$ ) で構成される  $n$  次元空間」を表す。状態パラメータ  $S$  を  $n-1$  個の制御パラメータの関数として記述あるいはプロットしたとき、これを「加工状態超曲面」と呼ぶ。さらに、所望の加工条件を実現する閾値  $S_0$  を状態パラメータ  $S$  に対して設定するとこれは超平面として表される。

加工条件決定及び修正プロセスは、加工状態超曲面上において閾値を表す超平面との交線を探査するプロセスとなる。また、センサ情報を加工状態パラメータに変換してデータベースとして蓄積すれば多次元加工状態空間を構成できる。

### 6. 加工条件自動設定実験

多次元加工状態空間の概念にしたがって、要求表面うねりを満たす加工条件を自動的に決定させる実験を行った。これは、第 4 章で提案した実時間加工状態認識機能によって工作物の分離不良や貫通不良が発生しないように監視しながら、縞目模様の状態を評価して自動的に加工条件を決定するものである。

表面うねりの目標値を  $15 \mu\text{m}$  と設定したところ、加工開始 2 秒ほどで、水圧 200MPa、ノズル送り速度 2.6m/s の条件が自動決定された。また、測定の結果、表面うねりは  $16.1 \mu\text{m}$  であり良好な結果が得られた。

### 7. 結論

将来的なウォータージェット加工の自動化・知能化に向けて、ウォータージェット自律加工システムの構成を提案した。さらに、その構成上重要な多軸力情報に基づいた加工状態認識手法と多次元加工状態空間の概念を提案し、実験医よりその有効性を確認した。

### 謝辞

最後に本研究成果を発表するにあたり、財団法人天田金属加工機械技術振興財団より国際会議参加助成を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- [1] 松山欽一, 上野秀治, アプレシブウォータージェットの噴流構造の観察 (第 1 報) 片持ち梁法を用いた噴流動圧分布測定のための新しい観察方法, 噴流工学, Vol.13, No.1, pp.33-39 (1996)
- [2] Ansari, I. and Hashis, M., Effect of Abrasive Waterjet Parameters on Volume Removal Trends in Turning, Trans. of the ASME J. of Engineering for Production, Vol.117, pp.475-484 (1995)
- [3] Ramulu, M. and Arola, D., The Influence of Abrasive Waterjet Cutting Conditions on The Surface Quality of Graphite/Epoxy Laminates, International J. of Machine Tools Manufacturing, Vol.34, No.3, pp.295-313 (1994)
- [4] Hashish, M., Characteristics of Surfaces Machined with Abrasive-Waterjets, Trans. of the ASME J. of Engineering Materials and Technology, Vol.113, pp.354-362 (1991)
- [5] 福西祐, 小林陵二, 内田幸太, ウォータージェット加工における縞目模様粗さ発生の数値シミュレーション, 日本ウォータージェット学会研究発表論文集, Vol.9, pp.23-27 (1994)