研究所紹介 研究室

エンドミルに魅せられ，その切削機構の解明と高速・高精度加工の実現を目指して

新潟大学大学院自然科学研究科材料生産システム専攻　製造工学研究室（岩部研究室）
Manufacturing Laboratory, Advanced Materials Science and Technology, Graduate School of Science and Technology, Niigata University
〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐２の町 8050
TEL : 025-262-6722　FAX : 025-262-6722
URL : http://www.eng.niigata-u.ac.jp/~iwabe/　E-mail : iwabe@eng.niigata-u.ac.jp

1. は　じ　め　に

新潟大学工学部は，1923（大正 12）年に設置された長岡高等工業学校に始まり，1949（昭和 24）年新制大学の発足と同時に新潟大学に包括されている．その後，1984（昭和 59）年に発祥の地長岡市から，新潟市の五十嵐キャンパスに移転し，現在に至っている．自然科学研究科は，理系の３学部（工学部，理学部，農学部）の博士前期および後期課程の学生に対する教育・研究組織であり，岩部は 2002（平成 14）年に工学部から同研究科材料生産システム専攻に移籍している．当研究室の名称は故藤井義也教授の命名によるもので，切削加工に関する研究を継続して行っている．故藤井教授が新潟大学に着任した 1968（昭和 43）年ごろより数値制御工作機械が普及・発展し，NC フライス盤やマシニングセンタによる加工精度に関する研究を開始しているが，現在ではこの種の工作機械に多用されている各種のエンドミルによる切削機構，切削特性や有効利用の方法に関する研究課題へと展開している．

2009 年度の研究室構成は，岩部洋育准教授，博士後期課程２名（社会人），博士前記課程６名（2 年生３名，1 年生３名），学部生６名である（**図 1**）．

2. 研　究　紹　介

ねじれ刃エンドミルとの関わりは修士課程の研究題目「数値制御工作機械による輪郭加工精度に関する研究」を恩師に与えられたときからである．その後博士論文「エンドミルによる加工精度に関する基礎研究」をまとめてからもこの工具に魅せられ，35 年以上が経過した今も関連する研究を続けている．

図 1　研究室メンバーの集合写真（後列右より３人目が岩部准教授）

以下に，ねじれ刃エンドミル加工の基本となる加工面創成機構とその特性に基づいて，1980 年代半ばより普及した高速加工機の有効利用法として提案している，実用的な高速・高精度加工法を紹介する．また，三次元 CAD を活用し，複雑な切れ刃形状をもつボールエンドミルによる切削機構，切削特性の解明に関する研究についても紹介する．

2.1　ねじれ刃による加工面創成機構

ねじれ刃エンドミル（**図 2**）の側刃で平面を仕上げる場合，工具の回転と送りによって理想的加工面は円筒面の一部を連ねた形状となる．ねじれ刃を送り方向より投影すると正弦曲線となり，その頂点は右ねじれ刃の場合工具の回転により下面より上面に移動し，平坦な加工面が仕上げられる．しかし，通常は切削力の発生が避けられず，片持ちはり状態のエンドミルの中心軸は刃数の周期で振れまわる．加工面の垂直方向には遥動することになるが，工具は同時に回転しており，切れ刃の頂点（加工面創成点）は波打つような軌跡をたどることになる．詳細は文献 1）に譲るが，その軌跡が加工面に転写され，板厚方向にはテーパ形状，中くぼみ形状，中高形状等に仕上げられる．

2.2　高速・高精度加工法

主軸回転数が毎分数万回転，送り速度も毎分数十 m の高速加工機の開発と普及に伴い，高能率加工が実現している．さらに高速加工機を有効活用し，高精度加工をも実現するため，実用的な３つの加工法を提案している．すなわち，（1）切削条件を均一にする方法，（2）単一切れ刃による方法および（3）切れ刃の高精度化による方法である．

（1）の方法は，コーナ部の内面加工のように急激な切削条件の変化する場合に，ループ経路を指令して数回の加工を行ったり，空調機用部品で**図 3** に示すように加工面の曲率半径が連続的に変化するスクロール部品の加工におい

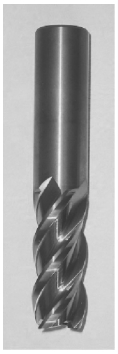

図 2　ねじれ刃エンドミル（4 枚刃）

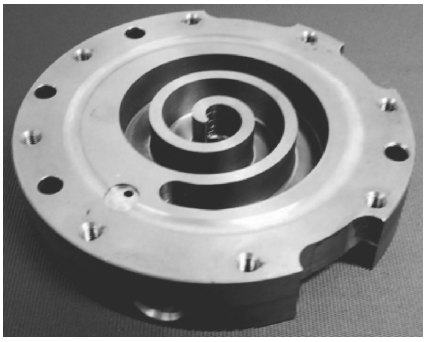

図 3　スクロール部品

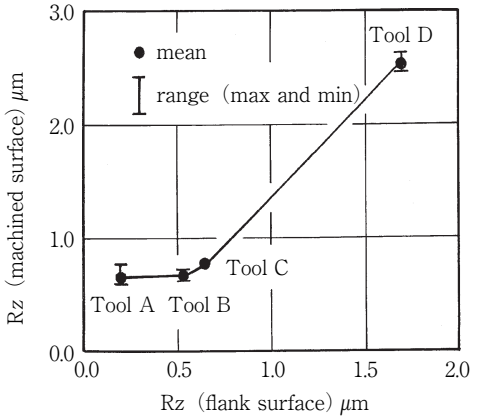

図 4　仕上げ面粗さに及ぼす逃げ面の粗さ

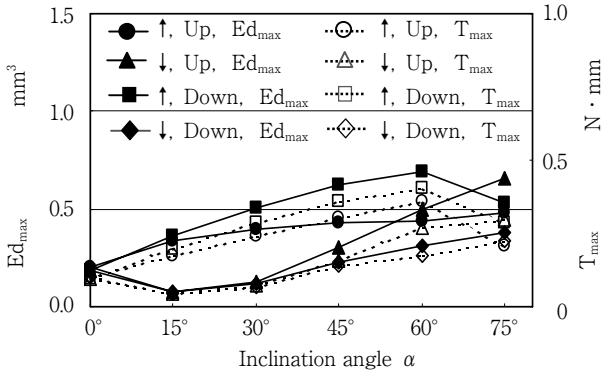

図 6　評価値による切削特性の推定

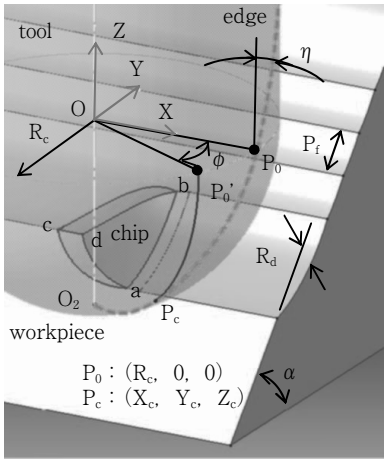

図 5　三次元 CAD による切削モデル

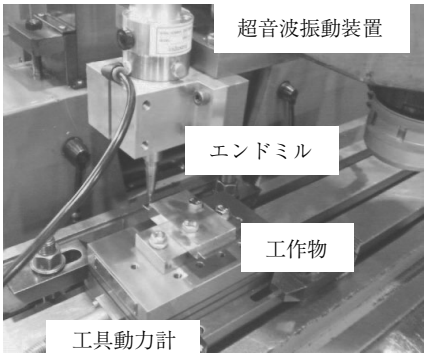

図 7　超音波振動加工実験装置

ては，最大切削面積を一定にするように送り速度や主軸回転数を制御する方法である．(2) の方法は工作物の剛性が低い薄壁の加工に有効で，工具先端部の一部の切れ刃を使用する加工法であり，微小切り込みや軸方向送りを繰り返して加工を行う．この加工法は工具経路が非常に長くなって加工時間の増大が避けられず，最終の仕上げ加工に用いることが望ましい．一方，仕上げ面は**図 4** の工具 D のように工具逃げ面の粗さの転写による影響を受けるが，(3) で提案した逃げ面の高精度化（工具 A～C）によって，仕上げ面の粗さを図 4 に示すように大幅に改善している[2]．

2.3　三次元 CAD 活用による切削機構・特性の解明

三次元輪郭形状の加工にボールエンドミルは不可欠な工具として多用されているが，切れ刃形状が複雑であり，その切削機構や切削特性を解明することは容易ではない．しかし，三次元 CAD を活用し，**図 5** に示すように工具，切れ刃および工作物のモデリングを行うとともに，両者の干渉により切削に伴って変化する切削面積やその重心位置を高速・高精度で計算することが可能となる．

図 6 は傾斜面を等高線方式で加工する際の切削面積とその重心までの距離の積に基づいた評価値 Ed の最大値と，実験により求めた切削トルク T の最大値を比較したものである．なお，図中の記号↑および↓はピックフィードを上方向および下方向に与えたことを意味し，図 5 は後者の例である．図 6 より，両者の良い対応関係から評価値 Ed を用いて簡易的に切削特性の予測が可能なことおよび $\alpha = 15°$，ピックフィードを下方向に与える条件で良好な切削特性が期待できることを明らかにしている[3]．

3. お　わ　り　に

エンドミルには上記以外に，テーパエンドミル，不等リード・不等ピッチエンドミル，ラフィングエンドミル，楕円エンドミル，ラジアスエンドミル等，多くの種類が市販されており，解明すべき課題は多い．今後もこれらの工具の特性や特徴，有効利用の方法等を明らかにすべく，基礎研究を継続する必要があると考えている．

一方，スクロール部品の最終加工においては非回転のヘール工具の適用，FEM 解析および検証実験に基づいて高い要求精度の達成を目指している．また，主軸の軸方向の超音波振動をねじれ刃を介して回転方向に変換した新たな加工法の開発（**図 7**）にも取り組んでおり，さらなる高速・高精度加工の実現を目指して努力したい．

参　考　文　献

1）藤井義也，岩部洋育，鈴木雅晴：精密機械，**43**，7（1977）807-813.
2）岩部洋育，大瀬戸隆之，後藤隆夫：日本機械学会論文集（C 編），**68**，666（2002）650-656.
3）岩部洋育，清水啓輔，佐々木三宣：日本機械学会論文集（C 編），**72**，713（2006）247-254.