

報告番号	※ 甲 第 10741 号
------	---------------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 加工力解析に基づく切削／切断加工プロセスの高度化に関する研究

氏 名 加賀 忠士

### 論 文 内 容 の 要 旨

様々な文明の産物を作ることに欠かすことのできない工作機械技術と工具技術はすべての産業において使用されており、これら切削加工技術の発展は現代文明の発展と密接に関連している。そして現在でも、産業界において、新しい技術を導入する場合、同時に必要になってくるのが切削加工技術であり、依然として切削加工技術開発が非常に重要な位置を占めている。しかし、従来の技術、例えば延性金属材料の切削加工といった加工技術が国外へ流出している現状において、国内では新たな切断加工の取り組みや異方性をもつ材料の切削加工といった特別な加工が残されている状況である。そして、これらの特別な加工技術を高度化していくことが日本の製造業の存続に繋がると言っても過言ではない。そのためには、新たな加工方法を検討するにあたって、そのプロセスメカニズムの理解に立ち返り、加工プロセスを高度化していくことが重要と本研究では考えている。ここで、切削／切断加工に影響を与えるパラメータを列挙してみると、工作物の材質、工作物の形状、工作物の把持の方法、工具の材質、工具のコーティング、工具の形状、工具の姿勢、加工の軌跡、回転数、切込み量、送り量、切削液使用の有無等とその数は多く存在する。そして、これらのパラメータが複雑に絡み合っ、加工結果の良し悪しが決まる。しかし、上記パラメータのすべての影響を考慮してプロセスメカニズムを理解していくことは困難である。本研究では、加工力の被加工材に対する作用と、加工結果への加工パラメータの影響を考慮し、加工時の力を中心としたプロセスメカニズムを理解することで、工具形状と姿勢および送り量の加工パラメータを適切に選択可能となり、加工プロセスを高度化できることを2つの具体例を通じて示す。

ここで上記2つの具体例を示す。一つ目は自動車の燃料用タンク材料である高密度ポリエチレンを中心としたプラスチック材料に対するナイフ状刃物を用いた切断による穴あけ加工を例に取り上げる。この加工では、タンク自身の低剛性による加工時のタンクの変形や刃物の折損の問題がある。そこでまず、加工時の力を中心としたプロセスメカニズムの理解に取り組んだ結果、加工力は切れ刃側面が被加工材を押しつぶす力と、その面に作用する摩擦の合力となっていること、切れ刃と被加工材の関係は、切れ刃通過後に加工部近

傍の被加工材が弾性回復するため、一度は開いた加工部先端部の一部は閉じ、それ以外の加工部の幅も切れ刃の幅に比べて若干狭くなっているといったプロセスメカニズムを理解した。この理解から刃物の背分力方向に見た断面積を減少することで背分力を小さくし加工時のタンクの変形を抑えるコンセプトを示し、続いて、切れ刃の内側の側面と外側の側面に加わる力を打ち消しあうようにすることで刃の折損を防ぐコンセプトを示した。そして、工具形状や加工時の工具姿勢を上記コンセプトに沿って適切に選択することで問題を解決していく改善指針を打ち出だした。これが一つ目の加工プロセスを高度化できた例である。

二つ目は航空機の機体材料である CFRP に対するエンドミルを用いたトリミング加工を例に取り上げる。この加工では、仕上げ面の剥離、低い加工能率、工具寿命の問題がある。そこでまず、加工時の力を中心としたプロセスメカニズムの理解に取り組んだ結果、CFRP 積層面に対し他の層に支えられない表層を引剥がす向きに切削力を働かせる削り方では剥離が生じること、一方、表層を押さえつける向きに切削力を働かせる削り方では剥離が生じないといったプロセスメカニズムを理解した。この理解から表層を押さえつける向きに切削力を働かせる削り方を行うことで剥離を防ぐコンセプトを示した。そして、このコンセプトを実現するための 2 分割傾斜加工方法を提案し、加工実験によりエンドミルの送り量を従来条件に比べ数 10 倍の向上、工具寿命は 10 倍程度延長する成果を得た。これが二つ目の加工プロセスを高度化できた例である。

本論文は全 4 章から成り立っている。第 1 章では、「緒論」として本研究の背景と目的について述べる。既に従来の加工技術が国外へ流出し、国内製造業の空洞化は避けられない状況になっている現在、国内製造業は、高度な生産技術力を活かした特別な加工に対応していくことが重要であることを述べる。次に、切削／切断加工において新たな加工方法を検討するにあたっては、そのプロセスメカニズムの理解に立ち返り、加工プロセスを高度化していくことが重要であり、これまでに行われてきたプロセスメカニズムの理解に関する研究と技術開発例をまとめる。そして、本研究では、加工力の被加工材に対する作用と、加工結果への加工パラメータの影響を考慮し、加工時の力を中心としたプロセスメカニズムを理解することで、工具形状と姿勢および送り量の加工パラメータを適切に選択可能となり、加工プロセスを高度化できることを 2 つの具体例を通じて示すことを目的とする。なお、2 つの具体例は広く適応できる可能性を示すために、産業も違い、かつ抱えている問題も違う課題として、自動車の燃料用タンク材料である高密度ポリエチレンを中心としたプラスチック材料のナイフ状刃物を用いた切断による穴あけ加工、航空機の機体材料である CFRP のエンドミルを用いたトリミング加工の 2 課題を選択したことを述べる。

第 2 章では、自動車の燃料用タンク材料である高密度ポリエチレンを中心としたプラスチック材料に対するナイフ状刃物を用いた切断による穴あけ加工について、タンク自身の低剛性による加工時のタンクの変形や刃物の折損の問題を示す。次に、この問題点に対し、簡便に加工力の大きさと方向を概算するとともに、切断プロセスメカニズムを理解し、ナイフ状刃物による加工の改善指針を導き、加工プロセスを高度化できたことを示す。具体的には、加工実験と解析結果を通じて、加工力は切れ刃側面が被加工材を押しつぶす力と、その面に作用する摩擦の合力となっていること、切れ刃と被加工材の関係は、切れ刃通過後に加工部近傍の被加工材が弾性回復するため、一度は開いた加工部先端部の一部は閉じ、

それ以外の加工部の幅も切れ刃の幅に比べて若干狭くなるといったプロセスメカニズムの理解を示す。次に、これらの理解から刃物の背分力方向に見た断面積を減少することで背分力を小さくし加工時のタンクの変形を抑えるコンセプト、また、切れ刃の内側の側面と外側の側面に加わる力を打ち消しあうようにすることで刃の折損を防ぐコンセプトを示す。そして、工具形状や加工時の工具姿勢を上記コンセプトに沿って適切に選択することで問題を解決していく改善指針を打ち出した。

第3章では、航空機の機体材料であるCFRPに対するエンドミルを用いたトリミング加工について、異方性を持つ材料を切削加工するときの仕上げ面の剥離の問題および加工能率と工具寿命の問題を示す。次に、この問題に対し、加工力を中心とした切削プロセスの理解から、剥離を防ぐ方向に力が働くような工具姿勢を選ぶことで、加工能率と工具寿命を飛躍的に向上する手法を提案し、加工プロセスを高度化できたことを示す。具体的には、加工実験と解析結果を通じて異方性を持つ材料の切削加工特性の理解から、CFRP 積層面に対し他の層に支えられない表層を引剥がす向きに切削力を働かせる削り方では剥離が生じること、一方、表層を押さえつける向きに切削力を働かせる削り方では剥離が生じないといったプロセスメカニズムの理解を示す。そして、表層を押さえつける向きに切削力を働かせる削り方を行うことで剥離を防ぐコンセプトを示し、このコンセプトを実現するための2分割傾斜加工方法を提案し、加工実験によりエンドミルの送り量を従来条件に比べ数10倍の向上、工具寿命は10倍程度延長する成果を得た。

第4章では、「結論」として、本研究により得られた成果のまとめを示す。本研究では、加工力の被加工材に対する作用と、加工結果への加工パラメータの影響を考慮し、加工時の力を中心としたプロセスメカニズムを理解することで、工具形状と姿勢および送り量の加工パラメータを適切に選択可能となり、加工プロセスを高度化することを本研究の柱として進めてきた。そして、2つの具体例を通じて、切削/切断加工の新たな加工方法を検討するにあたって、本研究の柱に従うことで、加工プロセスを高度化できることがわかった。工作機械市場が世界的に拡大する中で、世界市場における製造業の競争は激しさを増しており、部品生産の短納期、低コストを指向した生産技術は急速な変化を遂げつつある。そして、自動車、家電、コンピュータなど、従来の技術で対応できるような量産製品は中国、タイなどの海外生産が加速しており、国内製造業の空洞化は避けられない状況になっている。そして、国内では、新たな加工の取り組みや特別な加工が残されているのみとなっていることから、日本の製造業が存続するためには、新たな加工技術や特別な加工技術を高度化していくことが重要である。本研究では、自動車産業と航空機産業といった我が国の代表的な2つの機械産業が抱える2課題を選定して、加工プロセスの高度化の適用を論じてきたが、これら以外の機械産業が抱える課題においても加工プロセスの高度化に広く適用できるものと考えている。本研究のアプローチは、今後日本の製造業の存続に繋がる各種加工技術の高度化に貢献できることへの期待・将来展望を示し、本研究を締めくくる。