

バリ取り工程のコストを削減する サーボ式パイプ切断機の研究開発

近畿職業能力開発大学校 谷 道 昭 弘
塩 練 俊 一
羽 賀 馨*
亀 山 寛 司**
高 田 寛
政 宗 克 美
大 園 宏 幸
魚 住 謙一郎

Research and Development of a Servo Type Pipe Cutt-Off Machine
to reduce Costs of Deburring Process

Akihiro TANIMICHI, Toshikazu SHIONERI, Kaoru HAGA, Kanji KAMEYAMA,
Hiroshi TAKADA, Katsumi MASAMUNE, Hiroyuki OOZONO and Kenichirou UOZUMI

要約 ナニワ企業団地協同組合に属する共同グループ^{注1)}(以下、同グループと記す)は、パイプ類の切断時に発生する金属バリが極力出ないようにする方法について検討を行い、バリを減少させる切断工程とそれを実現するサーボ式パイプ切断機を考案した。しかし、同グループ内ではサーボ機構を制御するソフト開発力が不足していたため、平成13年4月当大学校に相談が持ち込まれ、事業主団体開発研究事業(F方式)として、当大学校と共同で研究開発を行うこととなった。当初、1年間の予定でスタートしたが、一から製作するということが金属加工分野では未解決のテーマともいえるバリについての研究は、1年間の取り組みでは困難であり、開発は2年間に渡り行われた。

本稿は、金属切断時のバリに着目し極力バリの発生を抑える自動切断機の開発について、同グループと当大学校ワーキンググループ(上記、大学校著者メンバー)の共同研究における2年間の成果をまとめたものである。

はじめに

金属製のパイプは、鋸刃を持つ切断機により定尺(標準長5.5m)ものを任意の長さにカットして、電線管・ガス管等として使用される。また、汎用切断機であれば金属製の丸棒も切断でき、薄く切断して機械部品として使用されることも多く、写真1に示すように量産用に自動化された切断機も広く普及している。

しかし実際上の問題として、それらを切断した際、切断面には必ずバリが生じる。このバリは部品としての商品価値を損ね、その後研磨等の機械加工が別工程として施される。このため、金属製パイプや丸棒の切断加工を請け負う工場では、工程が2工程となり、コストがかさんでしまうというのが現状である。

そこでナニワ企業団地協同組合に属する共同グループ^{注1)}は、切断時に極力バリが出ないようにする方法

がないかと考えた結果、サーボ式パイプ切断機の開発に行き着いた。ところが、同グループ内ではサーボ機構を制御するソフト開発力が不足していたため、当大学に相談が求められ、事業主団体開発研究事業（F方式）の一つとして選定し、平成13年度より協力して研究開発を行うこととなった。

今回共同研究を行ったナニワ企業団地協同組合（以下、同組合と記す）は、大阪市南西部に位置し、機械金属系製造業を中心とした異業種製造業から成り会員企業数260社、総従業員数1499人で構成されている。団体のかかえる課題として、グループ内での新製品開発への取り組み、事業後継者の確保、高度技能継承とそのためのシステム構築等がある。

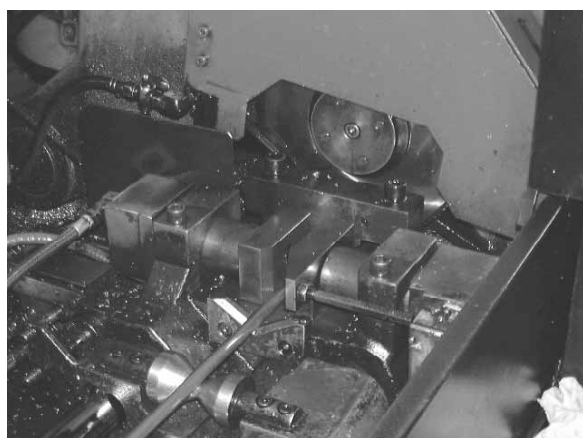


写真1：自動式パイプ切断機（一例）



写真2：パイプ切断面に発生したバリ

初年度の取り組み

2.1 バリについて

現在、同組合内で使用されている自動式パイプ切断機は、金属材質にあわせて鋸刃の回転数を予め指定する。鋸刃は指定された回転数で一定回転し、鋸刃の一定送りにより金属パイプを切断する。また、連続的に

切断を行う場合は、ワーク送りの長さを指定しておくことで、長尺ものでも連続的に指定された長さにカットできる。

実際に切断された部品は、大小の差こそあれ写真2に示すように必ずバリが発生している。このバリをよく観察すると、円周上のある一部分で起きている。これは、切断時の最終段階において発生したものと考えられる。

2.2 バリ減少の仮説

ここで、金切り鋸でパイプを切断するとしよう。必要な長さを決めたらその位置にけがき線を入れ、切断位置付近をバイス等で固定し、けがき線をなぞるようにして金切り鋸で切断を始める。そしてパイプの肉厚部分を過ぎた辺りで、切断する速度を速めて一気に切り込む。やがて肉厚部分にさしかかる頃、ゆっくりと切り込み切断が完了する。これは理に叶った切断であり、寸法誤差が少なく、またバリを最小限に抑えられる方法のように思われる。

今回、この方法を自動式切断機の工程に適用させることでバリを最小限に抑えることができるのではないかと推測した。

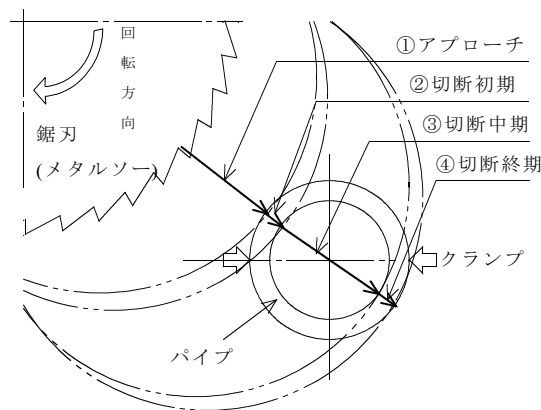


図1：バリを減少させる切断工程

具体的には、鋸刃（メタルソー）の送り速度について、パイプへの接近早送り段階（図1 - アプローチ）、切り込み初期の低速段階（図1 - 切断初期）、肉厚を切った後円弧の部分切断する中速段階（図1 - 切断中期）、また肉厚部分にさしかかる頃ゆっくりと切断する極低速段階となる（図1 - 切断終期）。

2.3 サーボ式パイプ切断機

世の中にあるほとんどの自動式パイプ切断機は、材質による速度変更はできても、切断工程による速度変更には対応していない。そこで、バリを減少させる

サーボ式パイプ切断機の製作を試みた。図2のシステム構成に示すように一連の切り込み動作の制御内容は、鋸刃の回転数をインバータで速度制御し、鋸刃送りを AC サーボで位置制御する。システム全体の制御は PLC で行った。なお、長尺ものからワークを連続的に切り出すためのワーク送りサーボについては、今回は機構部の製作は行わず拡張性を持たせた状態に留めた。

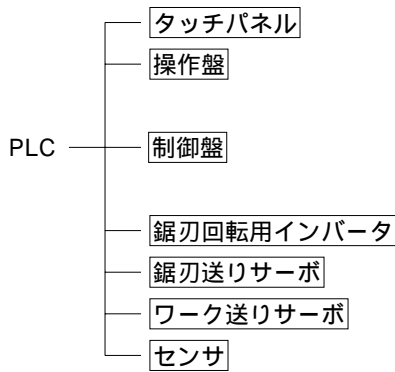


図2：サーボ式自動切断機のシステム構成

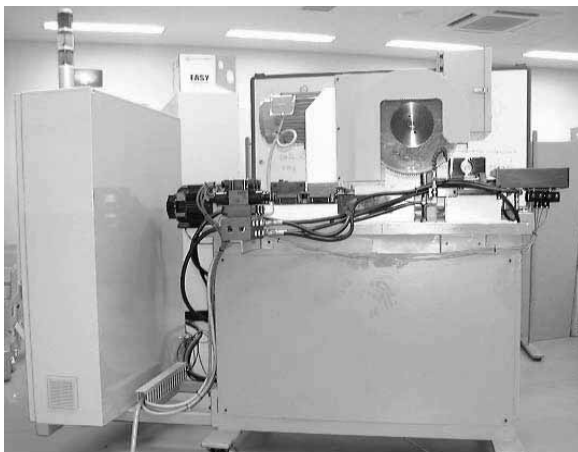


写真3：サーボ式パイプ切断機（平成13年度版）

製作したサーボ式パイプ切断機は、写真3にあるように上部にパイプ切断部を持ち、下部に切削油のタンクと油圧ポンプが置かれている。また、シャーシを一体化し、切断部の反対側には制御盤が搭載されている。なお操作盤が切断部の脇に設けられている。操作盤については、写真4に示すタッチパネルを使用し小型化とユーザーインターフェースの向上を目指した。もちろん、油防止のための耐油シートを上から被せた。主な機器仕様を表1に記す。

表1：主な機器仕様

鋸刃回転用モータ	3φ200V, 2.2kW
鋸刃回転用インバータ	0 ~ 400Hz
鋸刃送りモータ	3φ200V, 1.5kW
鋸刃送りサーボ	2048pulse/回転

2.4 試作機（平成13年度版）の成果と課題

初年度の成果として、鋸刃の進行方向に内バリと外バリが生じることが判明した。また、鋸刃の低速回転時トルク不足、パイプ切断時の振動現象が確認され、課題として残った。

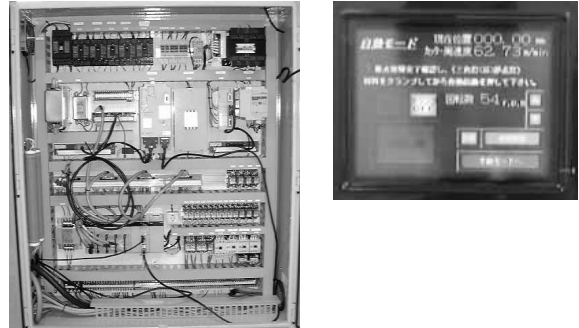


写真4：制御盤（左）と操作盤（右）

2年目の取り組み

初年度の課題と将来実用化するための必要項目として、後述の3点について取り組んだ。以降違いが分かるよう初年度製作したものを試作機、2年目に試作機を改造したものを改造機として説明する。

3.1 トルク不足の解消

試作機は、同組合の工場で実際に使用されている汎用自動切断機と同等のものを想定し、鋸刃の大きさφ315 [mm]とし、切断する材料により14~32 [rpm]の鋸刃回転数が設定できるものとした。材料S45Cの場合、25 [rpm]程度の鋸刃回転数が適当とされている。

試作機は1/20のウォームギヤのみを減速機として用いるため、極数4の誘導機で25 [rpm]を実現するには、インバータの設定周波数をおおよそ18 [Hz]にする必要があった。しかし、今回使用したV/f方式のインバータでは、図3に示すように60 [Hz]（基底周波数）より小さい周波数領域において、その固有特性（定トルク領域）から平均電圧が低下し十分にトルクが確保できない。事実、試作機による第一回目の切断実験では、パイプを噛み込んだまま切断することなく停止してしまった。

そこで、改造機ではモータ（誘導機）を写真5のような1/3のギヤ付きモータとすることで、ギヤ比を上げ、インバータの運転が60[Hz]付近で安定しトルクが出せるように改造した。

また、鋸刃回転数を連続的に調整できるようPLCにアナログユニットを追加した。

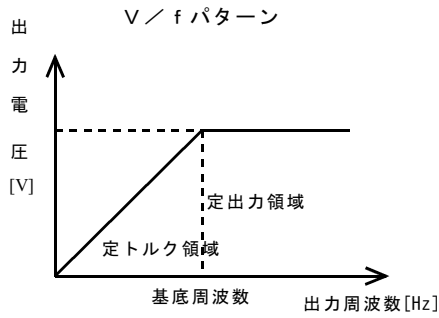


図3：インバータのV/fパターン



写真5：ギヤ付きモータ

3.2 振動の低減

試作機の切断実験において、トルク不足と併せて振動による異音も問題となった。

振動は、切断時における鋸刃の切削抵抗が間欠的な反作用としてギヤを介し、ウォームに伝わっているようにも思えた。当初、鋸刃のピッチは8 [mm]ピッチのものを使用した。同様な能力を持つ切断機の鋸刃としては大きい方で、鋸刃先端と被切断物の衝突による振動が懸念された。

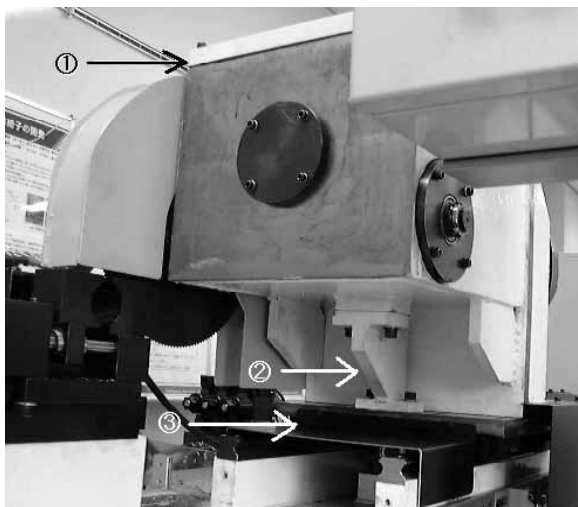


写真6：改造機の改造箇所

そこで、小さめの3 [mm]ピッチの鋸刃に切り替えたところ、今度は切れ刃の間に目詰まりを起こし刃の欠損が起きた。結局、鋸刃メーカーと相談して6 [mm]ピッチのものを以降使用した。加えて、写真6に図示するように機械剛性を高めるため ウォームギヤ上蓋の重量化、ウォームギヤ支持部の補強、摺動ベース板の拡張を施し対策を行った。その結果、切断時に起きていた全体に広がる振動は、鋸刃付近に限定された振動へと変化した。

3.3 制御プログラムの開発

開発当初、鋸刃の送り速度について検討してきたが、実験を重ねることで鋸刃回転速度が必要であることが分かってきた。さらに、鋸刃メーカーとの質問のやりとりから、鋸刃直径や鋸刃ピッチによって決まる一刃当たりの送り量がより重要であることが判明した。これらの関係について式(1)として示す。

$$f = \frac{F}{Z \cdot N} \tag{1}$$

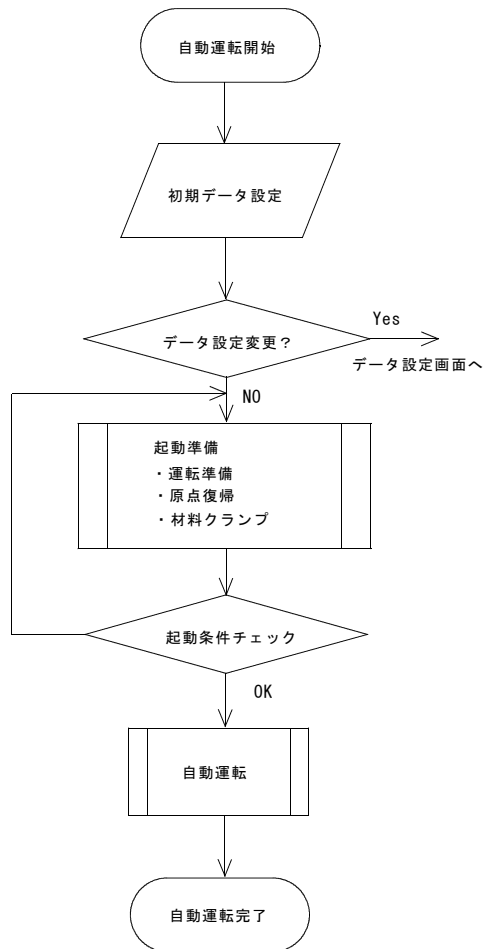


図4 (a)：自動運転のフロー

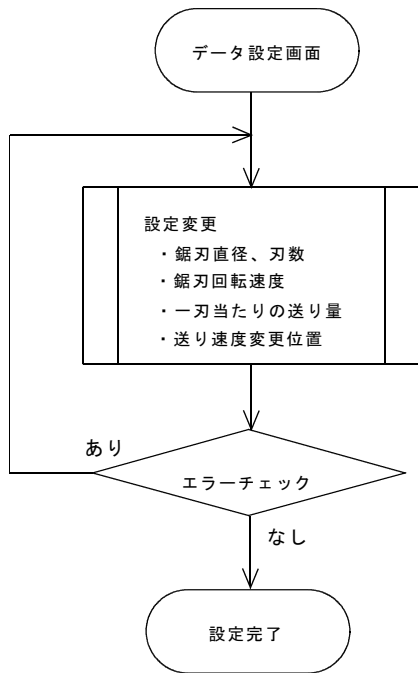


図4 (b) : データ設定画面のフロー

なお、 f : 一刃当たりの送り量 [mm / 刃]、 F : 鋸刃送り速度 [mm / min]、 Z : 鋸刃の刃数 [枚]、 N : 鋸刃回転速度 [rpm] である。

制御プログラムの開発にあたっては、様々な条件で切断実験が行えるように、タッチパネルのデータ入力画面より、鋸刃の直径と一刃当たりの送り量を入力できるようにした。

また、一刃当たりの送り量から鋸刃回転用モータの外周速度と鋸刃の送り速度が確認できるような制御プログラムとした。加えて、パイプ外径の違いによって変更が発生する切断初期 - 切断中期 - 切断終期の速度が切り換わる位置についても設定できるようにした。

作成したプログラムの一部ではあるが、自動運転とデータ設定画面のフローを図4 (a)・(b)に載せる。

3.4 切断条件の調整

本切断実験では、一刃当たりの送り量と鋸刃の回転速度を調整することで、バリの発生を低減できる条件を実験的に求めた。表2はS45C、φ50パイプを切断した時の比較的良好な条件の一例である。通常使用される一刃当たりの送り量は、メーカー目安値の0.02 [mm / 刃] を参考とした。

表2 : 切断条件例

	f : 一刃当たりの送り量 [mm / 刃]	F : 鋸刃送り速度 [mm / min]
切断初期	0.014	57.5
切断中期	0.028	115
切断終期	0.010	41

回転速度25 [rpm] 一定、湿式切断



写真7 : (a) 汎用機によるパイプ切断サンプル



(b) 改造機によるパイプ切断サンプル

まとめ

現段階において、改造機を用いたパイプ切断では写真7に示すようにバリが減少したことが分かっている。しかし、本切断実験において設定した一刃当たりの送り量と鋸刃の回転速度が最適条件かどうかは不明である。例えば、前記条件で切断した場合には、写真8のようなひげ状バリがパイプから剥離することが多かったが、10回中2~3回程度はひげ状バリがパイプに付着した状態が観察された。このため、最適切断条件に関しては、さらに検討が必要であると考えられる。



写真8 : ひげ状バリ

実際への応用面から、本研究で検討した速度以外の要因として、切断対象材料や鋸刃の材質・刃先形状や摩耗量も考慮しなければならない⁽¹⁾。これらの要因も含めて切断実験を重ねデータを積み上げ、バリを低減できる条件を求めることが今後の課題である。

おわりに

2年間のF方式を行うにあたり、ご協力戴いたナニワ企業団地共同組合共同グループの皆様方、当大学の先生及び職員の方々に深く感謝申し上げます。

[注]

(注1) 大貴エンジニアリング、(有)山下製作所、栄和電器製作所、河野鉄工所のグループ。

[参考文献]

- (1) 資料600000 - 01 バリに関する研究
(財)機械振興協会技術研究所