

形彫放電加工機における電極製作法
と加工システムについて

指導教員 小林和彦教授

知能機械システム工学科

1 0 1 0 2 3 2

渡辺 英式

目次

第 1 章 緒言-----	4
第 2 章 金型の一貫生産システムについて-----	5
第 3 章 実験装置およびグラファイトについて-----	6
3.1 実験に使用した機器	
3.2 グラファイトについて	
3.2.1 グラファイトの主な特長	
3.2.2 切削方向と削り代について	
第 4 章 CAD/CAM での NC データについて-----	12
4.1 CAD/CAM ソフト MS-20 について	
4.2 生成した NC データ	
4.2.1 マシニングセンタにおける NC データの生成	
4.2.2 ワイヤ放電加工における NC データの生成	
4.3 実験結果及び考察	
第 5 章 放電加工法及び切削加工法でのグラファイト電極製作--	15
5.1 ワイヤカット放電加工機でのグラファイト電極加工	
5.2 マシニングセンタでのグラファイト電極加工	
5.3 実験結果及び考察	
5.3.1 グラファイト切削加工の結果	
5.3.2 グラファイト切削加工の失敗要因分析	

第 6 章 グラファイト電極を用いた形彫放電加工について-----20

6.1 形彫放電加工の概要

6.2 歯車とラックの加工

6.3 実験結果及び考察

第 7 章 結言-----23

参考文献及び資料

謝辞

付録

第 1 章 緒言

放電加工機が日本で出現して 40 数年経とうとしているが、それまで金属材料の加工は旋盤やフライス盤などを使って、切削することでの加工であった。しかし放電加工の出現によりいわゆる非切削加工と言われる加工法が認識されるようになった。金型加工を中心に普及しはじめ、難加工材料、難加工形状、あるいは放電加工の特質を生かした多くの用途を生み出している。現在では、多くの加工法の確立に繋がっていると言えるであろう。そのような中で形彫放電加工機に使用する電極には銅、グラファイト、銅タングステン、銀タングステン等が利用されているが一般的には、主に銅電極が利用されている。しかし近年の放電加工分野では、グラファイトの良さに着目し銅電極に代わって、電極材料として使用するケースが多くなってきている。その一つとして考えられることは、グラファイト材料については、近年新しい品種のものが開発されており、欠点であった仕上げ領域における電極消耗の難点も改善の方向に向かっていると言えるであろう。本研究の 1 つは切削加工（マシニングセンタ）と放電加工（ワイヤ放電加工機）におけるグラファイト電極の製作である。

また、現在はパソコンの普及とともにインターネット技術は急速に発展しているが、この適応制御技術がさらに進歩するとともに、ネットワークを活用したモニターリングや生産管理などを行う第 3 世代に入っている。これには、PCNC（パソコン NC）の台頭が大きく貢献しているものであり、これからのネットワーク社会で必要とされているシステムとして、CAD/CAM での NC データを作成後に通信回線によりインターネットを通して機械（マシニングセンタ）に NC データを送信するといった研究を行っている。

第2章 金型の一貫生産システムについて

基本的生産システムの概要

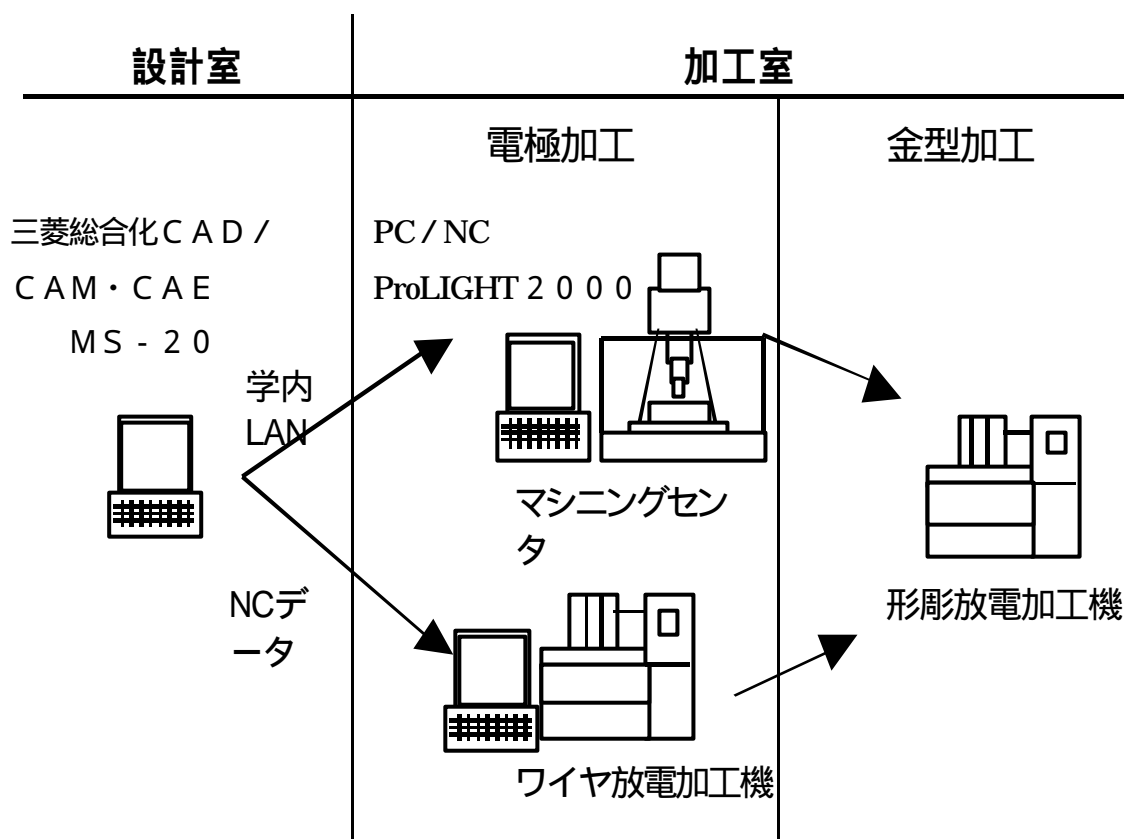


図2.1 金型生産の加工システムの流れ

図2.1のようにまず設計室で三菱総合化CAD/CAM/CAE、MS-20を利用してProLIGHTマシニングセンタ及びワイヤ放電加工機でのグラフィット電極加工のNCデータを生成する。そして、生成したNCデータを、学内LANを利用して加工室にあるマシニングセンタ及びワイヤ放電加工機のPC/NCに送りグラフィット電極を加工する。完成したグラフィット電極を用いて形彫放電加工機で金型を製作する。

このように金型生産を一貫システムで行ってみた。

第 3 章実験装置

3.1 実験に使用した機器

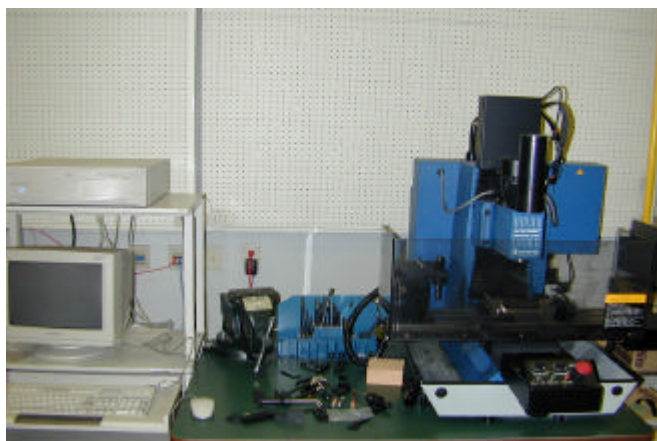
(1) ProLIGHT マシニングセンタ Silicon Light Machines 社製 (米国)

ProLIGHT マシニングセンタは、パソコンから直接制御できる 3 軸デスクトップマシニングセンタであり、制御装置として MS - DOS 互換コンピュータを使用します。コンピュータにロードする ProLIGHT 制御プログラムは、標準 EIA RS - 274D、ISO、そして FanucG&M コード CNC プログラムに対応している。主にプラスチックやアルミニウム、スチールといったいろいろな材質を加工することができ、直線補間・円弧補間・ヘリカル補間は 3 軸全てに対応している。

1 馬力永久磁石スピンドルモータ

主軸回転数：200 ~ 5,000RPM

最大送り速度：3,810mm/min



マシニングセンタ外観写真

(2)形彫り放電加工機 三菱電機社製 DAIAX VX10

最小指令単位 0.1 μm
最小駆動単位 0.1 μm
駆動方式 AC サーボモーター
位置検出方式 ロータリーエンコーダー



形彫り放電加工機外観写真

(3)ワイヤカット放電加工機 三菱電機社製 DAIAX SX10

ワイヤ 沖電線 OB 20P 0.2mm 黄銅ワイヤ
最小指令単位 1 μm 最小駆動単位 1 μm
駆動方式 AC サーボモーター
位置検出方式 ロータリーエンコーダー



ワイヤ放電加工機の外観写真

(4)東京精密製 小型表面粗さ測定器 ハンディサーフ E 35A

測定範囲 X軸:12.5mm Z軸:±160μm

変換器 差動インダクタンス方式

触針先端 ダイヤモンド 90 円錐 5μmR

測定力 4mN(0.4gf)以下

パラメータ(JIS)Ra,Rq,Ry,Rz,Rt,Sm,Pc,tp,Rpk



面粗さ測定器の外観写真

(5)ミットヨ社製 測定顕微鏡 TF 501F

形式 支柱直立型

接眼鏡筒 俯角 30

対物レンズ倍率 ×3,×10

接眼レンズ倍率 ×10

透過照明装置 反射照明装置



測定顕微鏡の外観写真

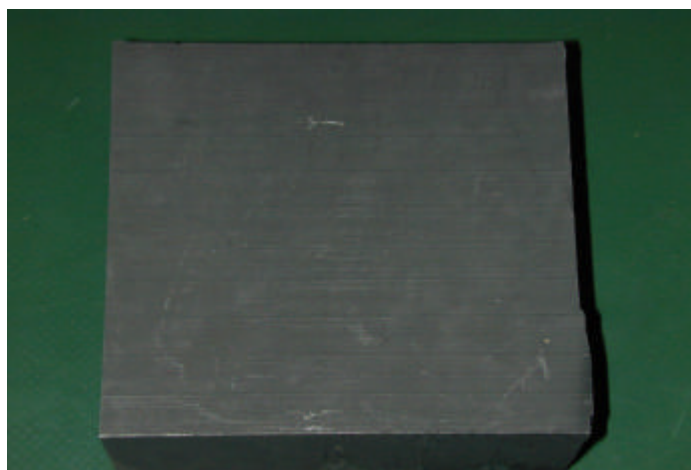
3.2 使用したグラファイトについて

電極材料グラファイト(Gr) 東洋炭素社 ISO 88

曲げ強さ(Kg/cm²)700~850

平均開孔径(μm)0.8~1.8

ショア硬さ 65~80



グラファイトの外観写真

グラファイト(Gr)は、幅広い分野(放電加工用電極、半導体製品用、カーボン治具、原子力用等)で利用が近年急速に高まって来ている。

一般的に炭素工具は、微粉末の骨材を結合材でかため、燃結に30~40日、黒鉛化に2週間と、本来非常に品質コントロールの難しい焼き物の工業でしたが、高まる品質要求のなかで、メーカー各社は独自ノウハウを駆使しながら要求に応じて来たといえる。

放電加工分野では、グラファイトの良さに着目し銅電極に代わって、電極材料として使用するケースが多くなってきている。特に鍛造型やダイキャスト金型では、この傾向が顕著になっていて、これは3.2.1のようなグラファイトの特長が認識されてきたためである。

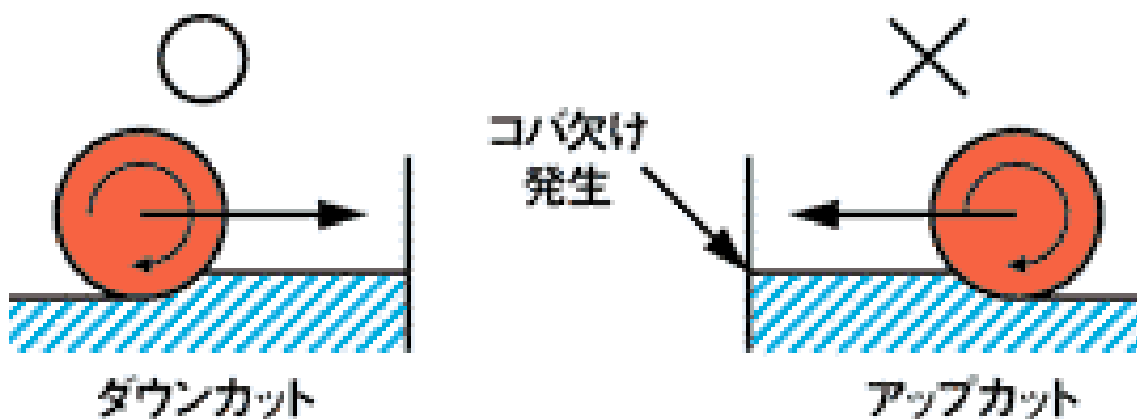
3.2.1 グラファイトの主な特長

銅電極との比較

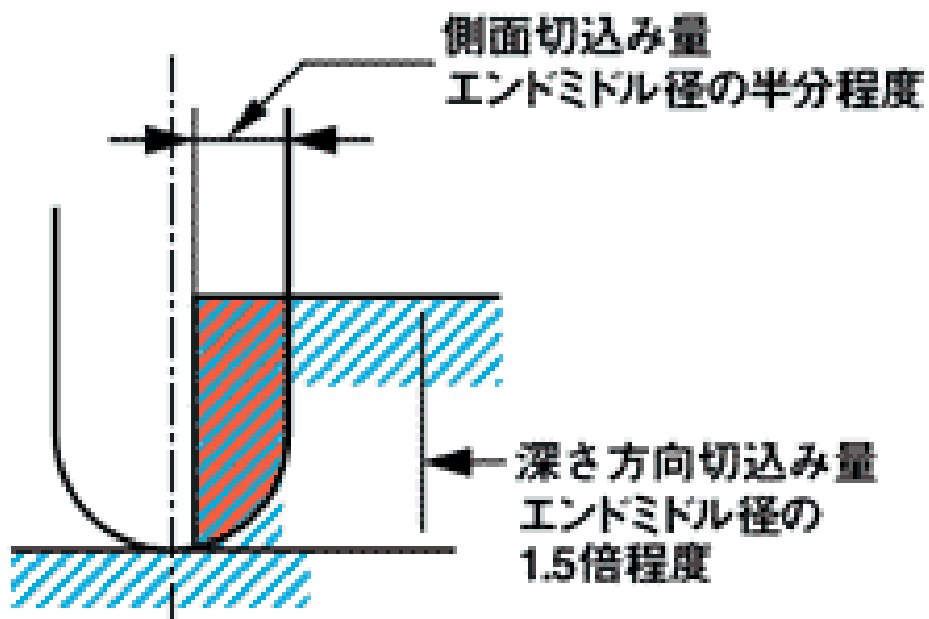
特徴	理由
荒加工性能が優れている	電流が高いほど加工速度、電極消耗ともに優れている（1.5～3倍）
機械加工性が良い	切削抵抗が小さく加工スピードのアップ。
熱膨張が少ない	熱膨張係数が1/4と小さいので熱による歪みが少ない
軽量である	比重が1/5と軽い大型電極の場合効果がある。
融点が高い	昇華点の3500に達すると徐々に消耗するが軟化しにくい。
放電加工特性	微細面粗さの加工にやや劣る。 アーク放電に移行しやすい。
電極製作時の短所	切削加工時、刃物の切れ味が悪いとエッジ部がカケやすい。
電極の接着が可能	導電性接着剤が市販されている。

3.2.2 切削方向と削り代について

電極をエンドミルで切削成形するとき、抜けぎわでコバ欠けの発生を防止するため、ダウンカットを用いる。



削り代（切り込み量）は、荒加工の目安として下図のような切り込みが一般的とされており、仕上げ加工では浅い切り込み、速い送りの方法が良いとされている。



第4章 CAD/CAMでのNCデータについて

4.1 CAD/CAMソフトMS-20について

今回利用したCAD/CAMソフトは、三菱金型CamMagicMS-20というもので、主な特徴として2次元でも3次元でも、切削加工法でも放電加工法でもオールラウンドでCAD/CAMができるというものであり、穴加工、領域加工、2.5軸加工、曲面加工、3次元（ソリッド、サーフェイス）定義、によってマシニングセンタ、ワイヤ放電及び形彫放電加工機のNCデータを生成できる。安定したトレラントCADと独自のアルゴリズムによる高精度CAM機構をもっている。荒取り加工から仕上げ加工まで一貫した加工定義が可能であり、加工工程の流れが一目で確認できます。全ての工程を一括自動計算によって行い、作業効率が高く、現場指向の加工を行うことができるものである。

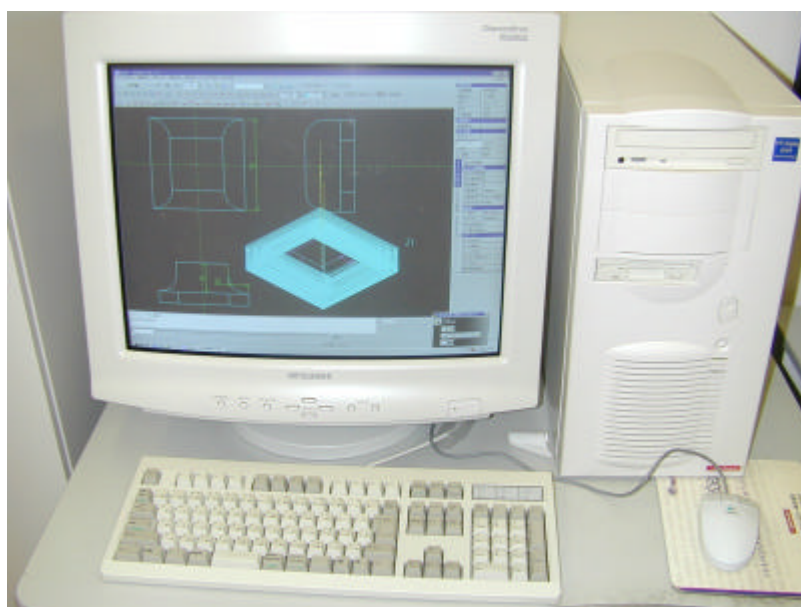


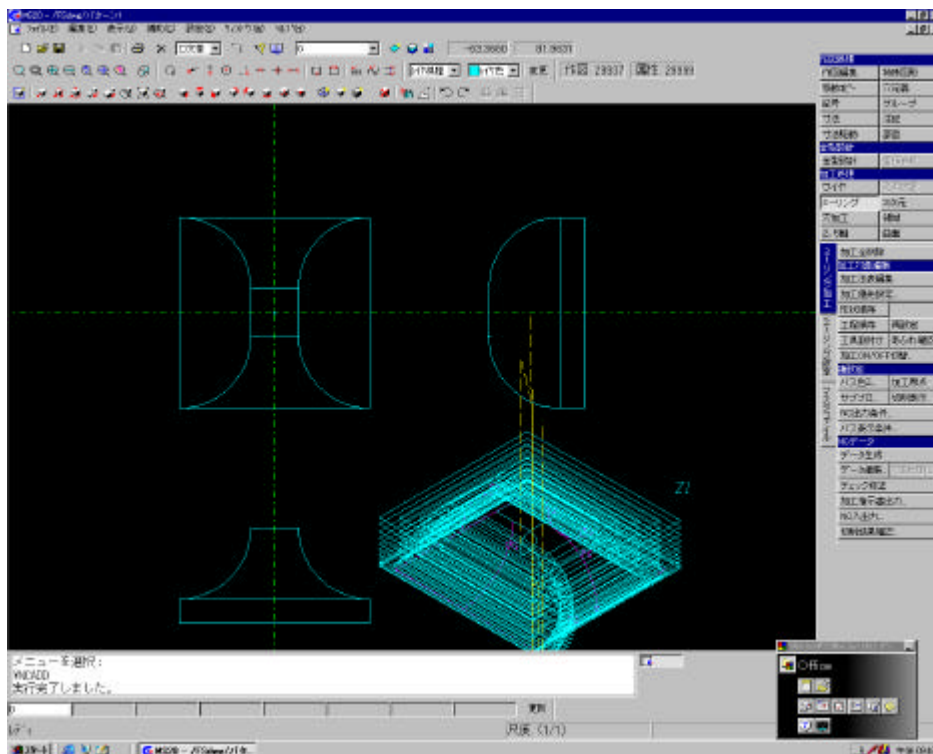
図4.1 CAM/CADソフトMS-20の外観図

4.2 送信する NC データの生成

CAD/CAM で生成した NC データを、切削加工法（マシニングセンタ）及び放電加工法（ワイヤカット放電加工機）へ送り加工するにあたってマシニングセンタには、領域加工及び 2.5 軸加工での合成データで曲面形状にした。また、ワイヤ放電加工機には、ワイヤの特性を生かした歯車形状にしてみた。

4.2.1 マシニングセンタにおける NC データの生成

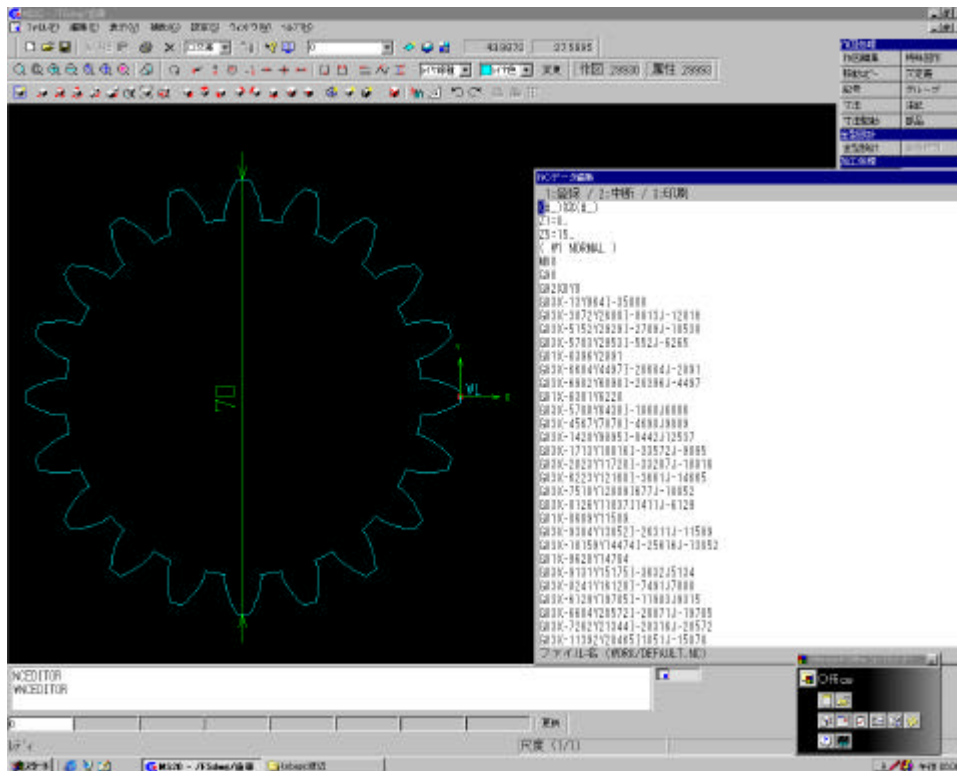
マシニングセンタでは、領域加工、2.5 軸加工を用いた合成データを生成してみた。まず領域加工を用いて荒加工をし、そして 2.5 軸加工をもちいて仕上げ加工といったような合成データでの方法にしてみた。



合成データによる NC データ生成時の状況図

4.2.2 ワイヤカット放電加工における NC データの生成

ワイヤCAMを利用してワイヤカット放電加工の大きな特徴の1つである歯車形状のNCデータ生成にしてみた。



ワイヤCAMでのNCデータ生成時の状況図

4.3 実験結果及び考察

マシニングセンタで加工となる曲面形状では、2.5軸加工、領域加工での合成データでの生成方法を利用したが、非常に有効にNCデータの生成ができたと言える。一旦図面を作成していればある程度状況変化にも対応ができ効率的であると言える。

ワイヤ放電加工で加工となる歯車形状では、ワイヤCAMがワイヤ放電専用のCAMであり非常に簡単にNCデータの生成ができ効率的であると言える。

第 5 章 放電加工法及び切削加工法でのグラファイト電極製作

グラファイトを加工する方法として考えられるものは、切削加工法、研削加工法、放電加工法等が考えられるが、今回は、切削加工法（マシニングセンタ）と放電加工法（ワイヤ放電加工）を用いた。

5.1 ワイヤカット放電加工機でのグラファイト電極加工

ワイヤ放電加工で行う最大の特徴は、ワイヤの径及びクリアランスの寸法差は出るもののダイとパンチを一体加工することによって製作時間を短縮することが可能である。

また、以下のような加工条件での加工となった。SKD - 11 と比べるとグラファイトを加工する際は、VG（V）がかなり上がることと加工速度が40%まで減少するといった状況になった。

加工条件

材質	SKD 11	Gr
VO(ノッチ)	12	16
IP(ノッチ)	9	8
OFF(ノッチ)	1	1
SA(ノッチ)	3	1
SB(ノッチ)	9~11	14
WS(ノッチ)	12	12
WT(ノッチ)	8	6
PT(ノッチ)	14	14
LQ(ノッチ)	2	2
LR(ノッチ)	9	9
VG(V)	37~41	54
FA (mm/分)	2.6	1.1
実加工速	100%	40%

5.1.1 完成した歯車加工用電極

加工後のダイを製作した電極固定治具に取り付け放電加工機の電極として用いるようにした。

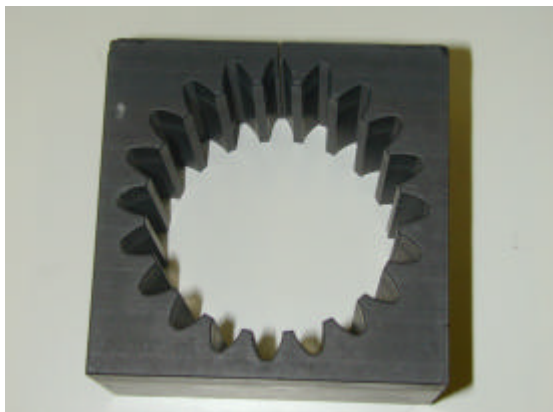


写真 5.1

5.1.2 完成したラック加工用電極

加工後のパンチ及び市販の放電加工機用治具にM10のネジを切り取付けたものをラック加工用電極として用いる。



写真 5.2

5.2 マシニングセンタでのグラファイト電極加工

今回、グラファイトを切削加工するという事でグラファイトの切削加工条件を資料で調べてみた結果、以下のような加工条件があり利用してみた。まず、軟材であるロウを加工することでのテスト加工で加工プログラミングが正確に動くかを試してみた結果、正確に動いていることが確認できた。また、同じ条件で、グラファイトを加工してみた結果、加工開始時は非常によく加工ができていたが加工時間が経過するにつれマシニングセンタの振動と異常音が激しくなり、またグラファイト欠けが発生し加工を途中で断念せざるをえなかったと言える。

使用工具：FEM ハイス鋼 10mm

加工条件

切込み量 側面：4mm
深さ：15mm

スピンドル回転：5000rpm

送り速度：2.5mm/min

回転方向：ダウンカット

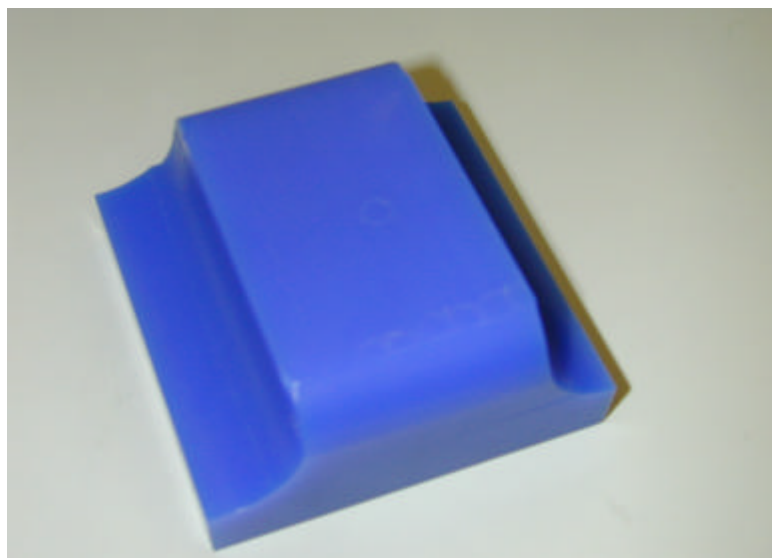


写真 5.3 ロウでのテスト加工後写真

5.3 実験結果及び考察

5.3.1 グラファイト切削加工の結果

写真 5.4 のように加工面は非常に粗くなりコバ欠けが発生している状況である。加工時間が経過するにつれ非常に切削量が減り、異常音が激しくなった。

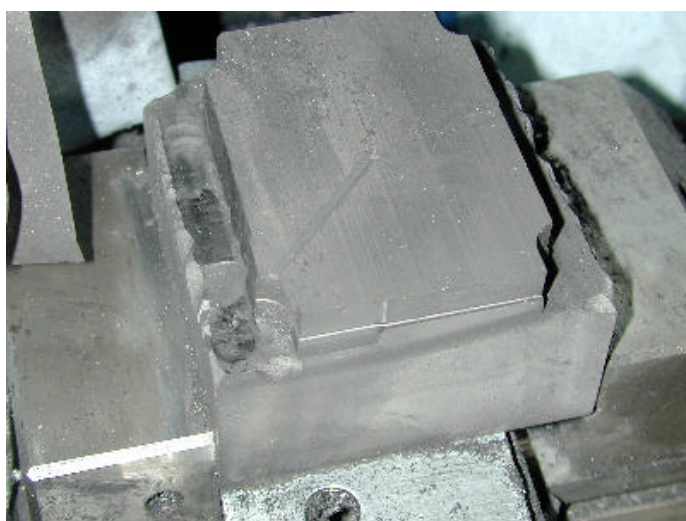


写真 5.4 失敗したグラファイト状態写真

10mmのハイス鋼が 8.15mmまで磨耗してしまった状況である。

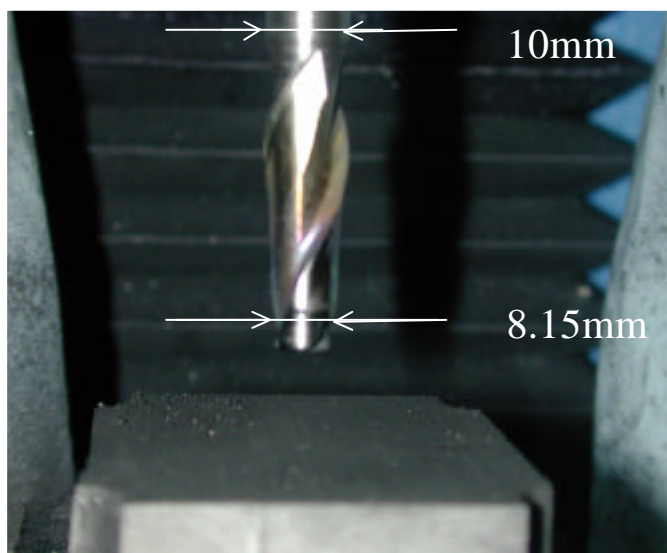


写真 5.5 磨耗したエンドミル

5.3.2 グラファイト切削加工の失敗要因分析

今回のグラファイト切削加工で失敗した原因として考えられるものは、まずエンドミルが磨耗してしまったことが大きく影響したのではないかと考えられる。エンドミルが磨耗するにつれ切れ味を無くしてしまいグラファイトのコバ欠けにも影響したと考えられる。磨耗した原因として切削したグラファイト粉が研磨剤としての働きをしてしまったのではないかと考えられ、今回の加工では粉塵対策として吸引機を利用して吸引しながらの加工ではあったが、さらにエアの吹きつけが必要であったと考えられる。また、切り込み量を側面：4mm 深さ：15mm と大きくとりすぎたのも問題でありハイス鋼ではなくダイヤモンドカッターや超鋼を利用すべきだったと考えられる。

考えられる原因

エンドミルの磨耗が激しくグラファイトが欠けてしまった。
加工条件の選定ミス。
グラファイトが研磨剤としての働きをしてしまった。

対策及び考察

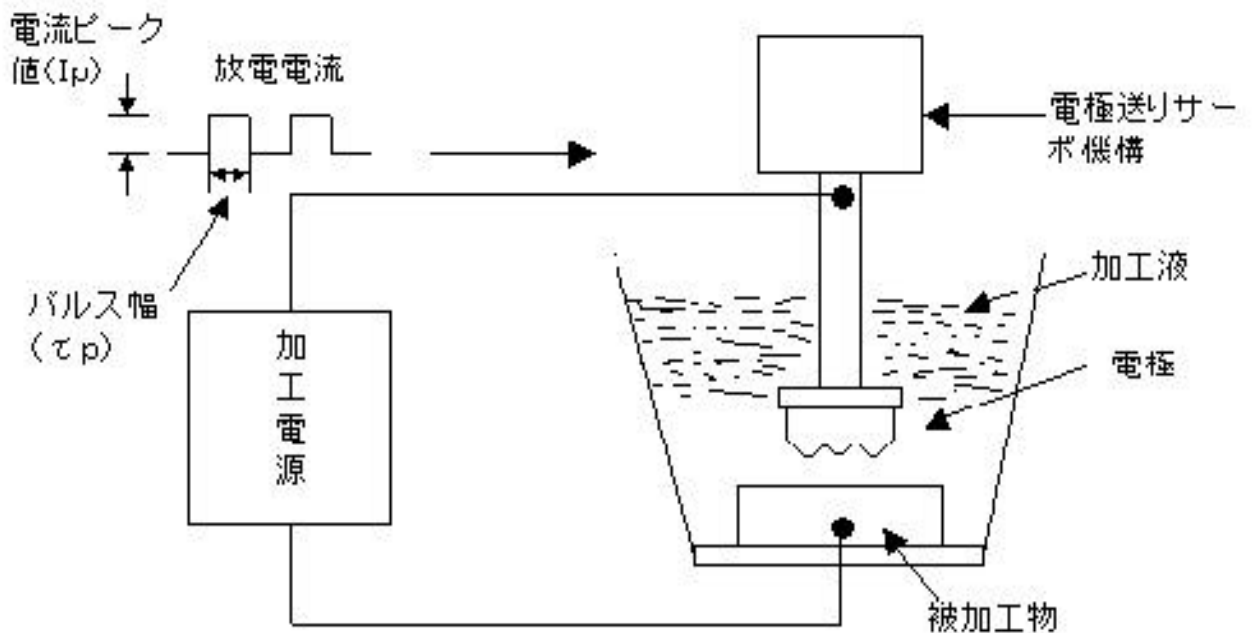
ハイス鋼ではなく超硬又はダイヤモンドカッターを使用する。
新たな加工条件を求める必要がある。
切りくずの排出ように集塵機を使用したがる、さらにエアの吹きつけが必要である。

第6章 グラファイト電極を用いた形彫放電加工について

6.1 形彫放電加工の概要

一般に形彫放電加工機とは、図1.1に示すように銅、グラファイト、などの比較的加工し易い導電性材料を工具電極とし、鋼、超合金などの被加工物材料との間に60～300V程度のインパルス電圧を印加しながら、間欠的火花放電を行わせ、その際に発生する異常消耗現象を利用した加工法である。電極と被加工物の対向する極間隙長は非常に狭く、5～50 μm であり、その間隙にはケロシン（灯油）や水などの絶縁液（加工液）を介在させる。気中のままでは加工が進まない。加工の進行とともに極間隙長は増加するので、その分だけ電極を相対的に送ってやる必要があり、図1.1におけるサーボ機構がその役割を担っている。

主な特徴としては、特徴形状の電極を用いて、その形状を投影加工する加工方式であり、逆に言えばどれだけ精度の良い電極を作製するかが大切であると言える。



6.2 歯車とラックの加工方法

ワイヤカット放電加工機で加工したグラファイト電極を製作した軸に固定して形彫放電加工機に取り付けての加工となった。まず、揺動加工を利用してZ軸を送る加工での歯車加工してみた。揺動加工とは、図6.2の示すように電極のサーボ送りをX・Y・Z軸多方向に移動・制御する方法である。この方法によりスラッジなどを特定箇所へ滞留するのを防ぐので、加工液を噴出・吸引するための穴を工作物にあげられない場合や、加工形状が複雑でスラッジなどの排出がきわめて困難な場合に、良好な加工結果が得られる。揺動加工を行うことで2～10倍程度の加工時間の短縮が期待できる。

ラックの加工は、NC形彫放電加工機の中でも特殊な加工法をもちいての加工となった。図6.3の示すようにC軸を回転させるのと同時に横移動(X軸)を相対的に動かすといった加工法を利用した。

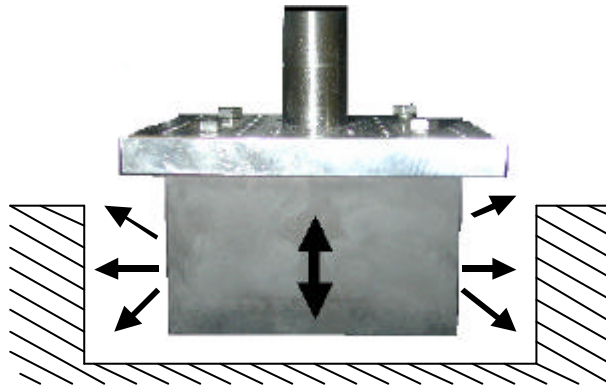


図6.2 揺動加工

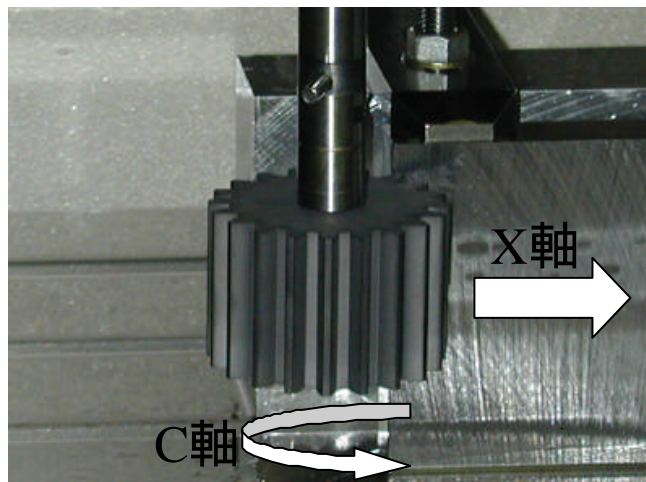


図6.3 C軸利用加工

6.3 実験結果及び考察

三菱電機形彫放電加工機のF A P機能を利用した加工を行ってみた結果、歯車を加工する際、製作した電極固定治具に多数の穴を設けていた為、スラッジの排出には非常に有効であったと言える。また、揺動加工を利用していた為さらに良く排出ができたと言える。

C軸とX軸との同時移動を利用したラック加工は、加工面積が一定しない事と加工対象物と電極とのギャップが遠い事により加工不安定状態に陥りやすく、この事により結果として加工表面が粗くなり加工量が減少したと言える。しかしながら複雑形状を加工するにあたっては、加工時間はかかるものの有効な加工法ではないかと考えられる。

第7章 結言

一貫した金型の生産システムを行ってみた結果、CAM で生成した NC データを ProLIGHT マシニングセンタで加工する前にアイソメビュー等で人間が確認し互換確認する必要があるが、その他の流れでは大きな問題がないと言え非常に時間短縮となり優良な方法になったと考えられる。

製作した電極を形彫放電加工機の軸に固定するために製作した固定治具は、電極の大きさの変化にも対応ができ非常に使用範囲が広がったと言える。

グラファイト材を加工するにあたって、ワイヤカット放電加工機及びマシニングセンタを利用しての加工となったが、ワイヤカット放電加工機での加工は、加工時間が SKD 11 と比べると 40% まで減速するが、加工面は Ry が $2.02\mu\text{m}$ と非常に良くグラファイト材をワイヤカット放電加工機で加工するということは、非常に有効であると言える。

また、マシニングセンタでのグラファイト加工も今回は、エンドミルの磨耗が激しく加工を中断したが、一般的には、超硬・ダイヤモンドカッターで浅い切込み、速い送りが効率的で粉塵対策として集塵機やエアの吹き付けが良いとされている。以上のようなことからグラファイト材をマシニングセンタで加工するということは、カッターの切れ味が非常に大切であり、その他の方法をとれば加工は非常にうまくいくと考えられる。

完成したグラファイト電極を利用しての形彫放電加工機での加工は、揺動加工での歯車加工では、優良な加工ができたといえる。また、C 軸と X 軸との同時進行でのラック加工は、加工面積が一定しなかったため加工時間がかかったが加工ができうまくいったと言えるであろう。

CADCAM ソフト CAMMAGICMS-20 を利用しての NC データの生成は、様々な方法手段があり今回は 2.5 軸加工、領域加工、ワイヤ加工等を使って生成したがこの時点で後々の加工手段に影響があり金型を製作するにはかなりの重要な工程であったと考えられる。

参考文献及び資料

- 1) 監修 向山芳世：放電加工マニュアル 大河出版
- 2) 富本直一：放電加工 日刊工業新聞社
- 3) 三菱電機(株)著・監修/斎藤長男：図解放電加工のしくみと 100%活用法、技術評論社
- 4) 眞鍋明、葉石雄一郎：機械加工現場診断シリーズ 5 形彫放電加工、日刊工業新聞社

謝辞

本卒業研究及び研究論文は、高知工科大学小林和彦教授のご指導のもとに行われ、完成するに至りました。終始ご指導いただいた同教授に厚く御礼申し上げます。

また本研究の実験に関し、数々の御助力を頂いた高知工科大学特殊加工研究室の方々には、心より感謝申し上げます次第である。

付録

1. マシニングセンタでのグラファイト加工面

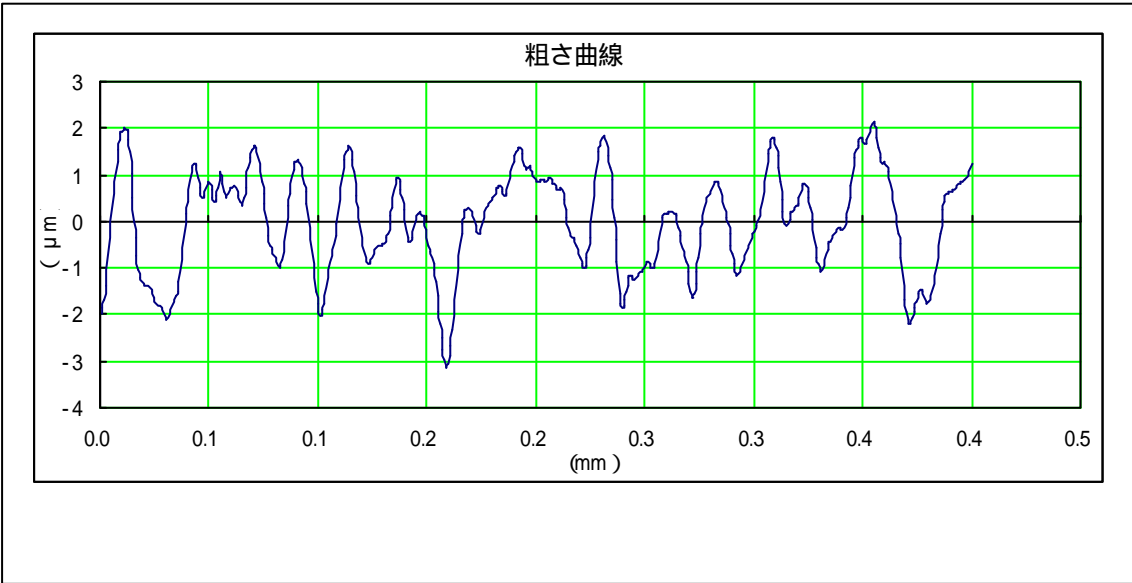
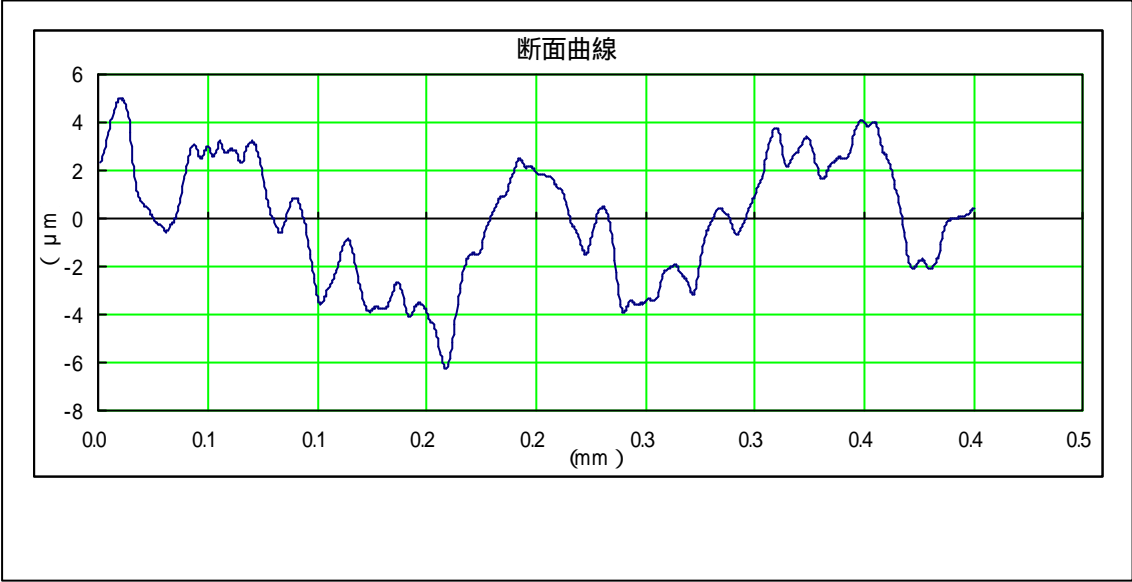
ワーク名	グラファイト	作成日	2002/2/28
図番	SUR0001	測定日	2001/7/1
測定機名	HandySurf E-35A	測定者	渡辺英式

測定条件

算出規格	(JIS'94)	カットオフ種別	Gaussian
測定長さ	0.4 mm	カットオフ波長	0.08 mm
単位系	mm	測定レンジ	20 um

測定結果

Ra	0.90	Rk	3.03
Ry	4.31	Rpk	0.44
Rz	3.19	Rvk	1.21
Sm	33.8	Mr1	7.3
Rq	1.08	Mr2	80.5
Rp	1.88	Vo	0.0118
Rt	5.26	K	0.4
Pc	15		
tp	8.8		



2. ワイヤ放電加工でのグラファイト加工面

ワーク名	グラファイト	作成日	2002/2/28
図番	SUR0001	測定日	2001/7/1
測定機名	HandySurf E-35A	測定者	渡辺英式

測定条件

算出規格	(JIS'94)	カットオフ種別	Gaussian
測定長さ	0.4 mm	カットオフ波長	0.08 mm
単位系	mm	測定レンジ	20 um

測定結果

Ra	0.39	Rk	1.44
Ry	2.02	Rpk	0.36
Rz	1.38	Rvk	0.54
Sm	23.4	Mr1	10
Rq	0.48	Mr2	84.4
Rp	0.94	Vo	0.0042
Rt	2.55	K	0.37
Pc	23		
tp	6.6		

