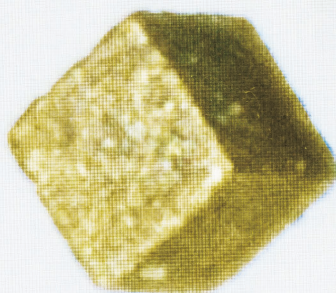


微細切削加工で挑んだ

0.3 mm角の サイコロ



肉眼では確認することのできな
い0.3 mm角の驚異!
サイコロの右に映っているのは
スケールの目盛部分。

2004年9月、立方体の1辺が0.3 mmという世界最小(当時)の

真鍮製サイコロが日本で製作された。

それまで誰もなし得なかった精密微細加工技術はどのようにして生まれたのか。

企画・開発に携わった人間は何を考え、いかにしてそこに辿り着いたのか。

「MC造形システム」というオンリーワンの技術力を武器に

ものづくりの新領域を開拓し続ける姿を追った。

ものづくりに革命を起こす MC造形システムの開発

肉眼では容易に確認することのできない0.3 mm角のサイコロの製造を手掛けたのは、埼玉県入間市に本社・工場を置き、自動車、航空宇宙、医療機器などの分野を得意とする精密部品メーカー、株式会社入曽精密である。

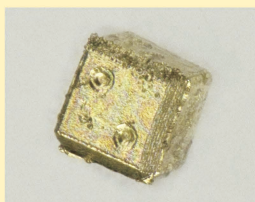
同社は1995年から1997年にかけて、3D CAD/CAMソフトで製作した大容量の加工データを、マシニングセンター機（MC機、多種類の加工を連続で行うことができる数値制御工作機械）に接続したデータサーバにネットワーク経由で伝送し、それまで不可能とされていた複雑形状の金属部品を高精度かつ安定的に作り出す製造システムを独自に開発した。データサーバに付与されたIPアドレスを活用することで、ワークステーション、データサーバ、MC機が同一ネットワーク上でシームレスに接続することができ、MC機で削り出されるワークの形状自在性と加工時間の短縮化と、MC機が作り出すワークの飛躍的な高付加価値化を実現した。

サブミリ（1 mm以下）の切削加工にも革新をもたらすこのシステムを、同社の斎藤清



MC機による独自の精密切削技術で世界最高峰の製品を次々と生み出している（株）入曽精密の工場。

0.3 mm角のサイコロ作製に係るデータ(図1)



- ・材質=C3604(快削黄銅)
- ・一辺の長さ=0.300 ± 0.002 mm
- ・2～6の賽の目の一つの大きさはφ0.05 mm
- ・重さ=0.00016 g(埼玉県産業技術総合センターで計測)
- ・角の面取り形状(C面12カ所)=C0.008(元の辺を各0.008 mm切削)
- ・使用工作機械=NVD4000DCG(森精機)
- ・使用工具=BE φ0.06 mmR0.03(日進工具)

世界初の製品を産み出した オンリーワンの技術力

和代表取締役社長は「MC造形システム（ミニマムグリッドコントロール・マニファクチュアリング：MGCM）」と名付けた。

MC造形システムは、微細で精緻な切削加工の際に生じる工作機械と切削工具とワークの位置合わせ誤差や切削による歪みや振動など、様々な外乱要因を適切に管理して、その影響を極小化し、また、1台のコンピュータに複数台のMC機を接続して同時加工を可能にした。1996年当時、IPアドレスを使用してMC機とコンピュータをネットワーク接続するシステムは画期的であり、その独自性や先端性、効率の良さ、地域や地球環境との調和などが認められ、2005年度「日経ものづくり大賞」を受賞した。

MC機による 微細加工の限界に挑戦

MC造形システムは、MC機による加工の限界に挑戦したいという斎藤社長の想いから実現したものであり、0.3 mm角のサイコロ（図1）は、複雑形状の微小な加工物の精度に誤差を生じさせることなく管理できるこのMC造形システムによって生まれた。

サイコロをモデルに選んだのは、以前に12 mm角のサイコロを3D切削加工で製作した実績があったからだ。また、サイコロでは6面体の各面には規則を持った形状加工があり、例えば2と3の賽の目の向きは決まっている。しかも天地の目の数の和が7になら

なければならないなど、細かな条件をクリアする必要があり、これがチャレンジ精神に火を付けた。さらに、サイコロには歴史があり、世界中の人に知られているツールだったことも選択理由の一つであった。材料には、アルミニウムよりも硬く熱膨張率が低い真鍮が用いられた。

最小の切削工具で狙う 最小のサイズ

製造工程の構築に際し、MC造形システムで加工可能な最小の部品を作ろうということは決まっていたが、サイズの決定は切削に使用する機械の性能や工具を選定することから始まった。

工作機械には、同社が保有するMC機の中から、1 μm単位の最小移動量を持ち、かつ高精度位置決め機能を装備している機種を選定した。切削工具（刃物）には、非売品の刃径φ0.06 mmボールエンドミル（BE）を使用した（図2）。

当時市販されていた最小サイズのBEはφ0.1 mmR0.05（刃径0.1 mm、曲率0.05を意味する）だったが、工具メーカーに問い合わせたところ、φ0.06 mmR0.03のBEを作

ボールエンドミルの例 (写真は刃径φ0.05 mmのもの)(図2)

回転させながら先端部分で材料の表面を切削する工具。実際の加工は髪の毛の細さほどの刃径φ0.06 mmが使用された。





斎藤清和社長（左）と加工に携わった野口和俊さん（右）。

12 mm角と0.3 mm角の
各サイコロ作製時の切削条件の違い(表1)

サイズ	12 mm	0.3 mm
BE直径	φ2.5 mm	φ0.06 mm
対比	1	1/40
パスピッチ	0.12 mm	0.003 mm
切削深さ	0.2 mm	0.005 mm

製できることが判明した。このことから、以前の12 mm角サイコロに使用したBEサイズと最小径BEサイズとの比（40分の1）が決まり、0.3 mm角というプロダクトデザインにおけるサイズが決定した。またサイコロの一面を削るパスの往復回数を最初から100回と決めていたのでパスピッチが0.003 mm、賽の目の彫りの深さは12 mm角のサイコロとの比によって0.005 mmに決定した（表1）。パスピッチが0.003 mmというのは、0.3 mm幅の表面や賽の目の中に100本のツールマーク（切削痕）が形成されていることを意味している。このツールマークが乱れなく整然と形成されていることこそが、MC機の精度の高さと加工条件の設定が適切であったことを実証している。

なお、サイコロの表面だけでなく、賽の目や角の面取りの切削加工においても刃径φ0.06 mmのBEを用いた。

0.3 mm角のサイコロ製作において 鍵となった独自設計の治具

0.3 mm角のサイコロは、次のような製造工程によって生まれた。

まず、MC機に設置する細長い四角柱を作り、その先端を細く削り出して0.3 mm角のサイコロの5面（賽の目2〜6）を作る。その後、5面の部分を切り落とし、切り口を上にして2つの部品がぴったり合わさる治具に挟み、賽の目の1の面を切削する。

工作機械、切削工具、製造工程、治具の段取りといった、0.3 mm角のサイコロを作るためのレシピは、斎藤社長によってわずか3週間で完成した。しかも、そのレシピを基に実際の加工に携わったのは、入社2年余りの若手技術者だった。斎藤社長があえてベテラン職人に任せなかったのは、MC造形システムを使えば世界の常識を破る微細加工を誰もができることを実証したかったためである。

「社長からレシピを渡され、刃物も治具も用意されたものの、いきなり0.3 mm角のサイコロを作れと言われた時はさすがに戸惑った。途中で、これは厳しいなと思ったこともあったが、治具を社長の指示通りに変えたことが成功への鍵となった。不可能だと思っていたことが可能になり、やればできるという自信につながった」。技術者の野口和俊さんが16年前を振り返ると、斎藤社長はそれを「意識革命だ」と続けた。

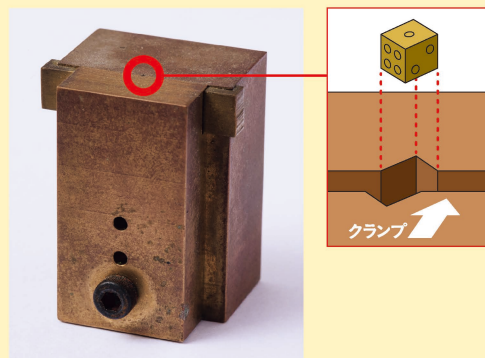
最終工程の面を切削する際の治具は当初、四角い溝にサイコロを入れるものだったが、

これではサイコロが微妙に動いてしまうため、寸法の誤差が生じた。そのため、サイコロの隣り合う2辺をV字で両側から押さえる特殊治具を製作したところ、ガタつきを解消することができた（図3）。また、サイコロを掴む最適なクランプ力や締め付けるねじの位置も、12 mm角のサイコロの場合に対して40分の1になるように工夫した。それでも0.3 mm角という大きさは肉眼での確認が困難であるため取り扱いに時間がかかり、1個を加工するのに15時間を要した。

斎藤社長は、出来上がったサイコロを走査型電子顕微鏡（SEM）で確認してもらうために埼玉県産業技術総合センターに持参した。すると、SEMによって映し出された画像が精密工学を専門とする東京大学の元教授であった樋口敏郎氏に送られた。そこで初めて「あなたは世界中の大学の研究所ができないことを実現した」と、この0.3 mm角のサイコロが切削加工物としては世界最小の作品であることを告げられたという。また、サイコロの表面にφ0.06 mmのBEによるスピンドル（回転軸）の痕跡が観察されたことから、このサイコロが成型加工されたもので

0.3 mm角のサイコロの切削加工に実際に用いられた治具(図3)

赤枠内にサイコロが挟み込まれている。
寸法：横幅25 mm×厚さ25 mm×高さ35 mm



不可能が可能になるという 「意識革命」

スケールの目盛と0.3 mm角のサイコロの大きさの比較。吹けば飛んでしまうような0.3 mm角のサイコロを撮影した際には、思わず息が止まる。

はなく、MC機によって切削加工によって作られたことが証明された。

精密切削のレベルをどこまでも上げ続けて

その後も、(株)入曽精密は切削工作機器や3DおよびIT技術を駆使して、自社の強みである超微細切削技術の可能性を飛躍的に広げている。

2017年には、MC機の主軸に装置し、ワークを取り付けた状態で様々な角度から観察できるWiFi接続ワイヤレスデジタル顕微鏡セット「AMATERASU」を開発した(特許取得)。これを用いて、世界最小の0.1 mm角のサイコロを誕生させた。また2018年に

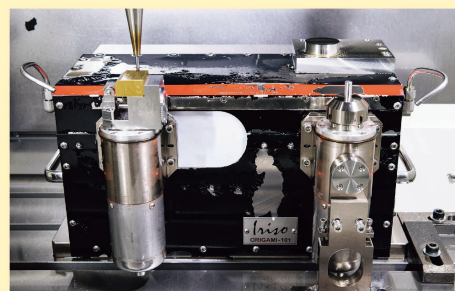
は、両手首型の持ち替え機能によって加工プロセス内での繰り返し精度(ばらつき)を最小化し、高精度小物部品の全方位切削加工を自動化する「ORIGAMI」の製造販売も開始している(図4)。

斎藤社長は、「技術の天井の高さが決められていたのでは技術者が腕を振るおうとする気持ちがなくなり、結局は価格競争になってしまう」と言い、常に世界最高峰の精密切削技術を追求し続けている。その挑戦は留まることを知らない。

(取材協力：株式会社入曽精密)

全方位切削加工の位置決めプロセスを自動化した「ORIGAMI」(図4)

左右2箇所到手首型の加工ユニットを持ち、第1ユニットでの加工終了後、第2ユニットに自動的に製品を持ち替えて加工を行い、最終的に6面加工を実現する。



INTERVIEW

ものづくりの面白さを伝えたい

MC造形システムを確立したことで、他では難しい加工でも、製作できるようになった。0.3 mm角のサイコロはそれを実証するためのものであり、始めから世界初や世界一を目指したわけではない。これは私たちが開発したシステムではあるが、他の工場でも導入できるようになってほしいと思う。産業界全体が活性化しなければ、そこで生計を立てている我々も将来の展望を描くことができなくなってしまうからだ。

ものづくりで重要な概念に「グリッド(格子)」があり、そこには必ず空間がある。空間を塗りつぶしてしまったらグリッドではなくなる。その空間の部分を「妙」といい、妙の世界のものづくりをしているのが日本人ではないだろうか。ヨーロッパではグリッドで物を考えるが、私は妙の部分とグリッドの両方を知っていることが大切だと思っている。格子

の交点を数値にして物を作るだけでなく、それをさらに良くするために、点と点の間の空白の部分に想いを入れる。その想いは、数値では判断できない職人の感性である。今後はMC造形システムが世界のスタンダードになり、妙の部分で差別化をするのが当たり前になるようにしたい。さらに、妙の部分で、格子が新しい知見を実現することが、MGCMの目的であり進化につながる。

最大の目標は、若い人たちにものづくりは面白いと思ってもらうことだ。私は「情熱は飛び火する」という言葉が好きである。自分一人では何もできないが、飛び火して賛同者が現れれば、若い人たちにものづくりの楽しさや可能性をもっと理解してもらえと思う。我々が先輩から受け継いだものを若い人たちの目や耳といった五感に響く形で見せていくことが、これからの自分に与えられた使命だと思っている。



斎藤 清和 さん

株式会社入曽精密
代表取締役社長