ラピッドプロトタイピング

Rapid Prototyping / Takeo-NAKAGAWA

ファインテック(株) 中川威雄

1. 試作品づくり迅速化の背景

"Rapid Prototyping"とは、試作づくり(Prototyping)を迅速(Rapid)に行なうことをいいます。最近の製造業は生産のグローバル化が進むと共に、企業間の競争は一層厳しくなり、それに応じて新製品開発競争も激化してきました。この新製品競争では、開発期間の短縮が至上命令となっています。製品企画から発売までの期間が長いと、賞味期限が切れた新製品となる危険があるのです。迅速に開発された新製品も、ライバル会社の製品に見劣りすれば売行きに影響を与えますし、発売後に欠陥が見つかったのでは、リコールなど大変なことになります。そのため、開発の短期化にもかかわらず、試作品をつくって十分なチェックをして、製品を熟成することが必要なのです。

大量生産に使われる多くの機械部品は、金属材料は鋳造やプレス加工、樹脂材料では射出成形といった方法で製造されますが、これらの方法ではいずれも型を使っています。製品の設計が終わって製造を始める時、いちばん時間と費用がかかるのがこの型づくりなのです。試作品づくりにまでわざわざ型をつくっていたのでは、時間も金もかかり迅速な新製品開発というわけにはいきません。その間に設計変更されることも多いので、量産にはまた新たな型を準備しなければなりません。そのため試作品づくりには簡易な型を使った成形や、切削加工や接着・溶接を組合わせて手づくりで行なうなど、時間と費用を節約する色々な工夫がなされています。そうした中で今から20年程前にRapid Prototypingという新しい試作品づくりの手法が出現しました。

2. 型を使わない新しい生産手法

機械部品を製造するには、材料の塊りを切削加工のように切取って除去するか、材料を型に沿わせて変形させ造形するのがこれまでの主な手段でした。新しく登場した手法は、材料を付着させて造形する付加加工と呼ばれる方法です。基本的な原理は、立体形状の機械部品を薄い層状物を積み重ねたものとみなし、何らかの手法で異なる形状の薄層をつくり、一層ずつ重ねて積み上げていく“積層造形”とよばれる手法です。立体地図をつくるのに、等高線に沿って切取った厚紙を重ねていく方法がありますが、それと同じ方法と見なすことができます。

このような立体造形法はこれまで手作業でした。しかしこれが完全に自動的に行われ、機械部品の生産技術として確立された点が新しいのです。それには機械部品の設計がCAD化されたことが大きな影響を与えました。つまりこの造形法では立体形状が3次元CADを使って表現され、そこから薄くスライスしたデータがつくられることを前提としています。造形装置はそのデータを使用して自動的に薄層を作り、さらに積層していく機能を備えています。

このスライスデータから薄層を作る工程は、プリンタ技術の応用に近いものです。そのためこの造形装置には近年大いに発展したコピー機やFAXの印刷用のプリンタ技術が随所に活用されています。これらのことから積層造形は、3次元CADの普及とともに発展したIT化時代の新しい機械部品の製造法といえるのです。

3. 各種の積層造形法

積層造形法には図1のように数多くの手法が開発されています。その手法の差はどのような材料の薄層をどのように製

図1 各種積層造形法

*レーザー光加熱の代わりにインクジェットノズルより接着剤を滴下して粉末を固める方法もある

図2 光硬化性樹脂を用いた積層造形（光造形）

作し、どのように付着させ積層させていくかです。以下にその主なものを紹介しましょう。

3.1 光硬化樹脂法

高分子材料の中には、通常は液体ですが紫外光を照射すると硬化し固体となる光硬化性樹脂があります。図2に示すようにこの液体の薄い層をつくり、その液面に紫外光のビームを照射し、このビームをスライスデータに沿って走査することにより、所要形状の薄層を固化させることができます。その後固体化した薄層部分を液中に沈めて固化部分の上に前回と同様な液層を構成し、再度ビームを照射して次の層形状を固めます。これを繰返すことにより、スライスデータを積重ねた階段状の立体形状を造形することができます。オーバハング部をそのままでは造形できませんので、下からの支え部分をあらかじめ設計し同時に造形しておく必要があります。

この方法は積層造形法の中で、最初に開発された方法で微細な形状から大物部品まで比較的精度の高い造形ができることもあり広く活用されています。光ビームの照射によってのモノづくりということで特に光造形法とも呼ばれます。

3.2 粉末焼結法

液状樹脂の代わりに微細な粉末材料を使う方法もあります。粉末は液体と同じように流動するので、まず薄い圧粉層をロールを押し付けてつくるのですが、その後の粉末を互いに接着する方法がこの造形法の鍵となります。接着するにはレーザー光を加熱ビームとして照射し、粉末の粒を溶融させるか粒子間を接着または焼結して固体層とする方法が取られます。このとき加熱時には下の層との接合も同時に行います。最後は圧粉体の中から造形品を取出すのですが、オーバハング部があっても特別なサポートを造形する必要がないことも利点の1つです。

また、この粉末接合方法では色々な粉末材料が使用できるのも利点とされ、量産時と同質の樹脂粉末を使えば、高強度な試作品も造形できます。また耐熱性のある鋳物砂を樹脂コーティングしておき、コーティング剤を介して砂粒を焼き固め

図3 積層造形サンプル（自動車エンジン用インテークマニホールド）
提供：アスペクト

れば、金属鑄造用の鑄型としても利用できます。さらに原料に金属粉末を使うこともできますが、今のところ多孔質の金属造形品となり、強度を増すため空孔を穴埋めする必要があります。

3.3 インクジェット滴下法

粉末を固める手法として、インクジェットノズルより印刷インクの代わりに接着剤の粒を滴下させても粉末同士を接合できます。通常印刷用プリンタで使われる多数並べたノズルを流用すると、比較的安価な装置で高速度に造形できる利点があります。

インクジェットノズルから接着剤ではなく、後で固まる液状の樹脂を滴下しても造形できます。例えば光硬化性樹脂を落とし、紫外光を照射して固めることはできます。また加熱溶融した低融点のワックスや樹脂を滴下して造形品を得ることができます。このうちワックス造形品はロストワックス鑄造品のモデルとして使い、金属部品に転換できます。

3.4 樹脂押出し法

細いノズル穴から溶融樹脂を押出し、この押出し線材を走査して平らな薄層を創出し、それを積層し造形することも可能です。この場合もオーバハング部にはサポートの造形を必要とします。この方法の利点は、最も多い造形対象部品がある熱可塑性樹脂と全く同じ材質の樹脂が使用できる点にあります。試作となると強度や手触りの感触といったものを評価するので、同一材質の利点は大きいのです。そのためあつて各種積層造形法の中では、販売台数からみると最も普及している方式とみられています。

3.5 切断シート積層法

薄いシート材料をレーザーや刃物で切断し、それを自動積層接着すれば同じように立体造形が可能です。実際には積層した後で切断する方式がとられます。この場合シート材として

図4 CTデータからの積層造形 提供：アスペクト

は紙や樹脂シートが使用されます。この方法で中空の形状の造形をする場合には、分割した状態で造形し中味を取出す必要があります。

4. 積層造形品の用途

冒頭にも述べましたが、積層造形法は図3のような試作品づくりの方法として生れた新しい加工法です。さらに3D CADデータの形状確認用の実体モデルづくりにも普通に用いられるようになりました。そのため積層造形は3次元プリンタとも呼ばれています。これらの3次元プリンタとしての用途には比較的安価な造形装置が用いられています。

2次元画面の中でいくらCADデータに影をつけたり回転させて見ることもできても、実体化されたモデルを眺めたり、手で触れることには及ばないところがあります。このモデルを活用することによって、機械部品の設計や、金型設計、CAMデータづくりといった作業が、より容易にかつ確実にできることも多いのです。このように積層造形は単に試作品を迅速に製作するだけでなく、生産システムがCADを中心とするIT化が進む中で、リバースエンジニアリングやコンカレントエンジニアリングには欠かせないものとなっており、Rapid Manufacturingの重要な役割を占めています。

さらに、積層造形モデルは営業用などのプレゼンテーション資料や教育用資料作成にも力を発揮することがわかっています。また、医療用に患部などのCTやMRIの立体スライスデータより、図4のような人体の複雑な立体形状情報を得て、必要部分を造形することも行われています。この造形品は外科手術のシミュレーションやインプラント製作に活用されています。

5. 積層造形の技術的課題

積層造形法も良いことばかりではありません。積層造形では薄層を積重ねるため表面に段差残るので、高い形状精度を得るためにできるだけ薄い層を使う努力がなされています。

しかしどんなに薄くしてもこの段差は生ずるので、後の仕上げ工程において手みがきで平滑化しなければならず、またサポートの除去などある程度の手作業は残り、完全に自動化とはいきません。それでも従来の切削法による試作品づくりに比べれば、大幅な簡略化が可能となりました。

この方法はCADで設計できるものはどんな形状でも、時には実際に加工不可能な形状まで造形できる利点があります。一番の問題はそれぞれの手法ごとに使用可能材料に制約があることで、形状確認用には問題はなくても、試作品として強度試験に使用できないことも多いのです。

6. 金属直接造形と型への応用が今後の課題

機械部品には鋳造、鍛造、プレス品など金属製部品が非常に多く使われています。しかし既存の積層造形法では、まだ完全に緻密な金属造形品を直接製造することができないことが課題となっています。金属造形は金属粉末から造形する方法が採られます。一番の技術的な困難さは、金属粉末をレーザー光などで高温熔融するのですが、表層の熔融層が冷却するとき大きな内部応力を発生させ、造形品を変形させてしまうのです。この解決策として高温槽内で造形したり、切削で歪分を削取りながら造形する方法などが考案されていますが、まだ広く使われる技術までには育っていません。

金属積層造形の用途で、今後最も大きく期待されている用途は、Rapid Toolingといわれる金型製作への応用です。そのために金属材料の積層造形技術に大きな期待がかかっており、世界中で多くの研究者がその開発に取り組んでいます。金属積層造形が完成すれば、世の中の製造技術に大きく貢献すると思われます。

7. 特許騒動とベンチャー起業

積層造形法は最近登場した新しい技術ですので、ベンチャーの起業も相次ぎ、また多くの特許係争も生じました。今後の参考のためここで起こったことを振り返ってみたいと思います。

1. 最初に誕生した光造形法は名古屋市工業研究所の小玉秀男氏の個人発明なのですが、本人は不幸にも実用開発が進んでいることに気づかず、申請特許の審査請求を怠り無効となりました。また少し遅れて日米の研究者2人の特許も出されていました。
2. 光造形法はその後、別の米国人のC.W.Hull氏からも世界中に特許申請され、実際に装置メーカーとして実用化をやり遂げたのですが、特許申請内容は広範囲にわたり、ライバルメーカーは特許料の支払いや業務の停止に追い込まれることとなりました。
3. その他の各種の積層造形法の発明は、主に米国で短期間の内に競うようになされ、総じてわが国は基本特許の取得で敗退しました。そのためもあって装置メーカーとして米国企業の活躍が目立っています。

4. 粉末焼結法も米国でいち早く特許申請が出されたのですが、外国出願をしなかったため米国以外は自由に使用できる状態となりました。類似のことは最初の特許を含め、日本の研究者の発明にも多く見られます。
5. 大学や研究機関から幾つかの新造形法や実用技術が生れ、それを基に主に米国で大学発ベンチャーが誕生しました。
6. 日本での公的研究機関での職務発明や特許申請の制度が整備されていない時期であったため、実際の実用化となると所有権の帰属など微妙な問題も含んでいました。
7. そろそろ 20 年が経過し最初の頃の基本特許は切れつつあります。しかし周辺特許などで固められており、当分は新たな参入はできない状況が続いています。
8. 各種の造形法はその特徴を生かした形で活用されていますが、相互の競争の中で栄枯盛衰が見られ、衰退し消えつつあるものもでてきます。
9. 造形装置メーカーや造形事業にはベンチャー企業が多く、厳しい競争の中で合併や M&A が繰返され、今も大変なグローバルな開発競争の中にあります。
10. 日本では主に光造形法に多数メーカーの参入が見られ、小さなパイを分け合って競争が厳しく、その分装置の質は向上しているものの経営的には苦しい状況が続いていま

す。

これらを通じて米国の特許戦略の強さと巧妙さ、ベンチャー企業の波乱に富んだ発展と、係わり合った人材の流動が見られました。その中に明らかな日米の企業経営のやり方と技術熟成の差が見えてくるのは興味深いものでした。

8. おわりに

長い歴史を持つモノづくり技術には、積層造形のようなまさに画期的ともいえる技術は滅多に生れてはこないものです。この技術が初めて登場して 20 年、装置はすでに世界中で約 2 万台が使われています。新製品開発が重要な先進工業国では不可欠なモノづくり手段としての確たる地位を占めるに至っています。同時に日本の得意とする熟練技能者の匠の技の価値も一部減ずることになっています。モノづくり技術は横着な顧客に都合の良いように発展するのですが、同時にその技術を開発するものにとっては決して楽を与えてはくれない宿命を持っていることを痛感します。

参考文献

- 1) 中川威雄・丸谷洋二編：積層造形システム，工業調査会（1996）
- 2) 中川威雄：金型がわかる本，日本実業出版（2006）
- 3) Terry Wohler： Wohler's Report 2006