

成形加工プロセスの技術革新

— 航空機ボディの完全自動成形技術の確立 —



航空機の「顔」とも言えるフロント部分の外板。滑らかな美しい3次元曲面を描くこの金属板は、長さ8m、厚み0.3～5mmという薄く巨大なフラット板を金属成形加工技術「シートストレッチャ」によって自動成形したもの。従来、熟練作業者が経験をもとに手動で行ってきた成形加工を機械による完全自動化へ。その挑戦の道のりをご紹介します。



木村 剛
Tsuyoshi Kimura

技術開発本部
システム技術開発センター
生産技術開発部 第二課
主席研究員
技術士（機械部門）

川崎重工にとって初となる 成形加工プロセスへの挑戦

さまざまな形をした数多くの金属部品からなるKawasaki製品において、各部品をいかに「高精度・短納期・低コスト」で作るかは、製品の競争力の向上に大きく影響する重要なポイントです。技術開発本部ではかねてより、そうした観点から金属加工分野の技術革新に取り組んできましたが、その一つが「成形加工」です。成形加工は、熱や圧力、機械力などを用いて金属材を変形させる方法で、他の加工方法に比べて高い生産性が得られる一方、技術向上においては難度の高い課題を多く抱えたプロセスと言えます。

最初に手がけたのは、高圧水を用いた「ハイドロフォーミング」と呼ばれる成形加工技術の開発です。ターゲットにしたパーツは従来、複数の金属材を溶接して設計形状に仕上げる「接合加工」によって製造していた部品です。これらを、管材に高圧水を送り込むことによって一体成形し、性能向上とコストダウンの両方を可能にする最適形状を実現するという試みです。ただし、この技術は当社でも初め

でのチャレンジとなるため、技術的な知見がない中で、さまざまな試行錯誤を繰り返しながら技術を確立していきました。

基盤技術となるのは、高圧水をうまくコントロールする「高圧技術」、そして実機と同じ環境を再現したコンピュータ上で仮想成形実験を行う「成形シミュレーション技術」です。実は前者の「高圧技術」については、入社当初に高圧水を用いて部品を切断加工する「ウォータージェット」という技術の開発に携わっていたことから、その経験をここで大いに役立てることができました。また逆に後者の「成形シミュレーション技術」については、ここでいろいろと試行錯誤した経験が、後の研究開発テーマでも活躍する重要な技術知見となりました。こうして、二輪車やガスタービンに用いる一部の部品について hidroforming による成形に成功し、複数部品の一体成形を実現するなど、一定の成果を得るに至りました。

成形技術のポテンシャルの高さを実感した後、次に着手したのが「ストレッチフォーミング」です。高圧水を用いる hidroforming に対し、ストレッチフォーミングは文字通り形材を引っ張りながら金型に巻き付けていく成形方法です。手がけたのは、リニア鉄道車両の構体フレームと呼ばれる部品で、形材をゆるやかな曲線を描くように曲げながら成形します。形材を引っ張る方向や力、タイミングといった各種条件の設定如何では、ねじれやしわが発生してしまうため、さまざまな条件設定でシミュレーションすることにより、設計通りの形状を得られる設定を導き出していきました。これらの開発プロセスを通して、ストレッチフォーミングの基礎技術を蓄積していったと言えます。

革新的プロジェクトの始動 そして見えてきた難課題

そしていよいよ2010年、これまでの開発成果を大きく飛躍させるミッションに携わることとなりました。航空機ボディのシートストレッチ加工プロジェクトです。航空機ボディは薄い金属板でできていますが、もちろんそれぞれの箇所に求められる理想の形状があります。従来は、熟練した作業者がストレッチャ機を完全手動で操作することにより成形していましたが、それでは量産に対応できません。より低コスト・スピーディ・高精度に製造するために、新型ストレッチャ機の導入により完全自動のストレッチ加工を実現すること、それが本プロジェクトのミッションでした。

ところが、越えなければならないハードルは極めて高いものでした。まずは扱う素材ですが、対象となる板材は長さも厚みもさまざまで、それぞれに異なる成形技術が求められます。次に設計形状で、以前に手がけた車両リニア構体フレームでは単一方向に曲げるシンプルな成形でしたが、航空機ボディは複雑な形状のままに3次元曲面ですので、成形難度は格段に高まります。板材となる最も大きな金属板は長さ最大8m、板厚わずか2mm、巨大で極薄のこの金属板を引っ張りながら金型に巻き付ける——、それは、ひっくり返したサラダボウルに食品ラップをしわ無く巻き付けるようなものです。しかもそれを、機械で自動的に行う…。この難プロジェクトに、シートストレッチャ機を製造する川崎油工(株)と航空宇宙カンパニー、そして技術開発本部のスペシャリスト達を集めたチームで臨むこととなりました。



ストレッチフォーミングを適用した航空機（固定翼哨戒機：P-1）



板材を力制御により巧みにつかむジョー（把持機構）

課題攻略への道を開いた 熟練作業者との対話

筆者らの担当は、成形加工条件の選定で、いわば設計通りの成形を実現するために、どのようなプログラム設定で機械を動かすかを検討する役割です。まず着手したのは、金型の調査です。工場の各所に点在する600を超えるすべての金型を形状測定し、一つ一つデータベース化しました。次の課題分析では、現行のストレッチャ機を用いて手で成形加工する際に発生している課題をすべて洗い出し、それらを特徴別に分類しました。中でも最も大きな課題となった事象が「しわ」の発生でした。板材を引っ張る機械のアームが思うように動かないことによって発生する「端部しわ」、そして、引っ張る強さやタイミングなど機械の動かし方が原因で発生する「縦しわ」です。新たに導入した新型機で、これらの課題をどう克服するか、試行錯誤の始まりです。

用いたのは、ハイドロフォーミングの開発時代から知見を蓄積してきた成形シミュレーション技術です。ところが検討を開始すると、実機試験では確かに現出したしわが、シミュレーションでは発生しません。つまりは、実機環境がシミュレーション上に正しく再現できていないということです。そこで、材料特性や摩擦設定など各種パラメータをすべて見直し、両者の環境の合わせ込みに徹底的に取り組みました。その結果、ようやくシミュレーション上でも同様のしわが発生するようになりました。あとは、そのしわが発生しない条件を見つけ出せばいいわけですが、これが最も困難な課題となりました。板材の各所を引っ張る方向や強さ、タイミングといった諸条件が複雑に絡み合い、



複雑な動作をするストレッチ加工の状況

なかなか最適解に近づけませんでした。

シミュレーションを進める一方で、実はプロジェクト開始当初より、熟練作業者たちへのヒアリング調査を重ねていました。完全手動の機械操作で、いかに目的の3次元曲面を作り出しているのか、その優れた技術ノウハウを解明するためです。しかし話を聞いて返ってくるのは「板材がこういう肌合いになった時に…」などといった、経験に裏打ちされたまさに職人の感覚世界の言葉でした。なかなか肝心のノウハウがつかみきれずにいましたが、それでもヒアリングを繰り返すうちに、ようやく言わんとすることが理解できるようになってきました。熟練作業者が、現場で板材と向き合いながら、長い時間をかけて試行錯誤を繰り返した後にたどり着いた「感覚的なノウハウ」のポイントは、「食品ラップ」と形容できる板材の薄さにありました。強引に力でねじ伏せるように金型に巻き付けても、どこかで無理が生じてしわが発生してしまいます。そうではなく、食品ラップをふわりと優しく皿にかぶせるような感覚で金型に巻き付けていく、その感覚的なイメージにこそしわ攻略のヒントが隠されていたのです。

熟練作業者との対話からヒントを見出して、「ふわっと」巻き付けながらも、しわが発生しないようピンと引っ張るイメージで、シミュレーションをもとに各種条件を割り出し、機械の設定を調整していきました。そしてついに、しわのない美しい3次元曲面をシミュレーション上に描き出すことができました。続いて、実機試験にも成功して、新型シートストレッチャ機による航空機ボディの完全自動成形加工を実現するに至りました。

さらに広くさらに高度に 究極の目標はワンプレスの成形

成形加工技術は、設計段階で描いた理想の形状を実現する基盤技術の一つで、その出来次第で性能にも大きく影響する、まさにものづくりそのものといえます。また、接合や切削といった加工に比べ、成形加工は不要材料を出さないエコな加工技術であり、寄せられる期待も大きいと感じています。しかしながら、これまでさまざまな成形加工技術を開発してきましたが、それが適用できている製品は、まだごく一部に過ぎません。さらに適用範囲を広げる必要があるとともに、今後、「より軽く、強く」というニーズの高まりの中で、対象がさらに扱いきれない材料になっていくことを考えれば、ますます高度な成形加工技術が求められることになるでしょう。

そうした中で、当社製品のものづくりを手がけているという自負のもと、高性能・低コスト・低環境負荷のものづくりに向け、これからも研究開発を進めていく考えです。究極の目標としては、たとえば今は手作業で作っていますが、非常に複雑な形状である新幹線の先頭車両のボディなどを、シートストレッチャ機によるワンプレスで成形加工することでしょうか。それも決して夢物語ではないと考えています。川崎重工の成形加工技術の進展をけん引するメンバーの一員として、ぜひ実現させたいと願っています。



開発者たち