

# 板金加工ノウハウの形式知化による製造工期短縮

渡邊秀徳\*  
太田祐貴\*  
岡田 龍\*

Reduction of Manufacturing Lead Time by Formalizing Know-hows in Sheet Metal Processing

Hidenori Watanabe, Yuki Ota, Ryu Okada

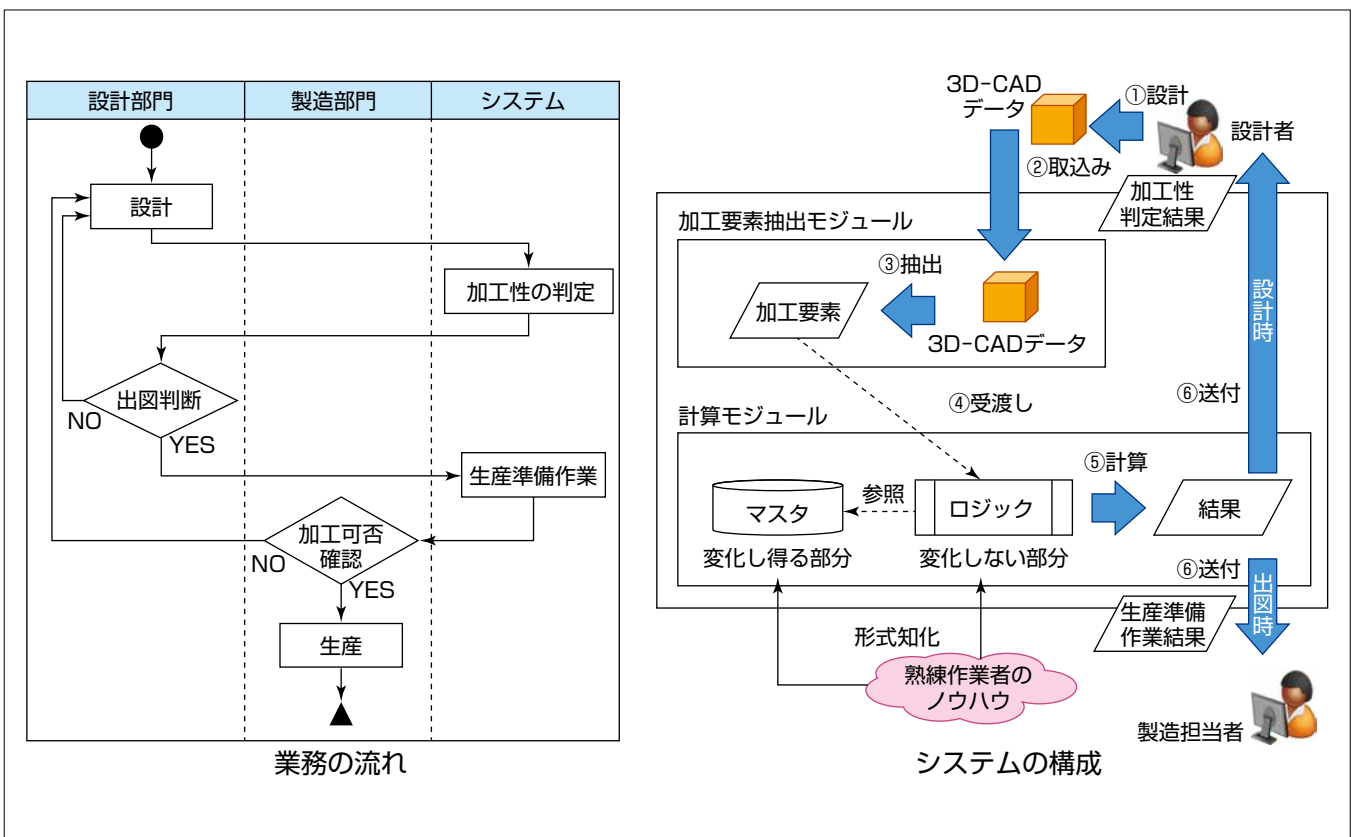
## 要旨

近年、グローバル市場での多様なニーズ、及び、適時納入への対応力強化が求められている。そのため、現地生産・現地供給の体制を整えるとともに、各拠点で高品質・短納期を実現するために熟練作業者のノウハウを形式知化する取組みが必要となっている。

製品の設計段階で、製造部門での作りやすさ(以下“加工性”という。)を検討する“生産設計”を実施するが、製造部門の保有設備や作業方法の考慮が必要であり、熟練作業者のノウハウ活用が有効である。製造段階で実施されている生産準備作業でも同様である。この課題は、特に個別受注生産の場合に顕著であり、製造工期を長期化させる要因となっている。

今回、個別受注生産体制が多くとられる薄板板金加工を必要とする製品を対象に、技能によらず短納期で製品を提供するため、熟練作業者のノウハウを形式知化し、加工性の自動判定と生産準備作業の効率化を支援する板金製造支援システムを開発した。

加工性の自動判定は、加工可否判定の自動化による手戻り削減と品質や作業性等の観点から優先構造を評価し、モノづくりの視点を反映した生産設計を可能にする仕組みである。生産準備作業の効率化は、従来、熟練作業者だけが実施可能であった高精度な標準時間設定と、加工の際に難易度が高い構造に対する作業上の注意点を自動出力する仕組みである。



## 板金加工の業務の流れと板金製造支援システムの構成

左側に業務の流れを、右側に板金製造支援システムの構成を示す。従来、熟練作業者のノウハウに依存していた加工性の判定と生産準備作業をシステムで自動処理することで作業工数と設計部門への手戻りを削減した。板金製造支援システムは、設計3D-CADデータから加工要素を抽出するモジュールと形式知化したノウハウを保持する計算モジュールで構成した。

1. ま え が き

近年、グローバル市場での多様なニーズ、及び、適時納入への対応力強化が求められている。そのため、現地生産・現地供給の体制を整えるとともに、各拠点で高品質・短納期を実現するために熟練作業者のノウハウを形式知化する取組みが必要となっている。

熟練作業者のノウハウは、製品の設計段階と製造段階で必要となる。製品の設計段階では、顧客の要求に応える“機能設計”と製造部門での加工性を検討する“生産設計”を実施する。機能設計は設計者単独で実施するのに対し、生産設計は製造部門での保有設備や作業方法を考慮する必要がある。さらに、製造段階でも、作業指示書の作成や計画立案等に使用する標準時間(Time Standard: TS)の算出といった生産準備作業で熟練作業者のノウハウが必要になる。

設計段階で、加工性は、設計部門と製造部門の両者ですり合わせて検討することが主流である。しかし、検討結果が製造部門の担当者のノウハウに左右される、検討に時間を要するといった問題があり、特に個別設計を要する個産製品で製造工期に影響が生じる。製造段階で実施される生産準備作業でも同様である。

本稿では、個別受注生産体制が多くとられる薄板板金加工を必要とする製品を対象に、技能によらず短納期で製品を提供するため、熟練作業者のノウハウを形式知化し、加工性の自動判定と生産準備作業の効率化を支援する板金製造支援システムについて述べる。

2. 板金製造支援システムの構成と業務の流れ

図1に開発した板金製造支援システムの構成を示す。加工要素抽出モジュールでは、3D-CADデータの形状をシステムが認識して解析することで加工要素を抽出する。計算モジュールは、熟練作業者のノウハウを関数化して定義したマスタ部とロジック部で構成され、計算処理を行う。設備更新時や作業改善などによって、関数内で変化し得る係数部分(保有金型情報など)をマスタ部とし、関数内で変化しない部分(金型によるパンチ数の算出式など)をロジック部としている。

図2にシステム導入前と導入後の業務の流れを示す。システム導入前は、設計段階での加工性の判定や製造段階での生産準備作業が人手で行われており、作業工数の増加や設計部門への手戻りが発生していた。システム導入後は、加工性の判定と生産準備作業をシステムが行うことによって、作業工数と手戻り頻度を削減し、製造工期の短縮を達成した。

3. 設計段階での加工性の自動判定

熟練作業者のノウハウを形式知化し、設計段階で加工可

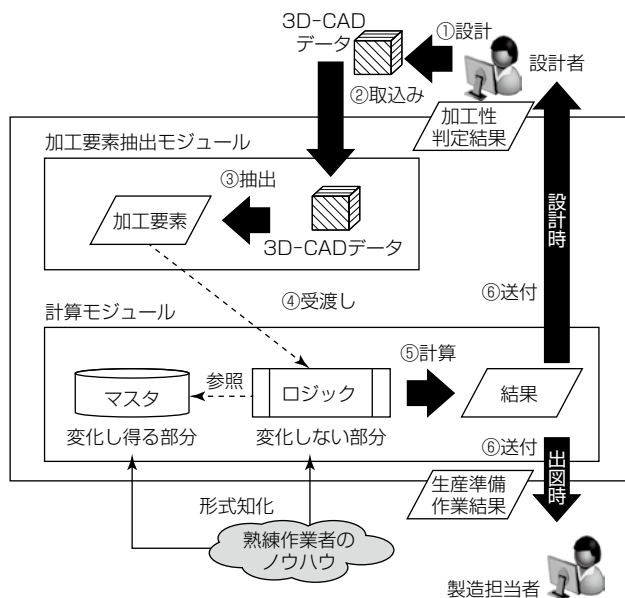


図1. システムの構成

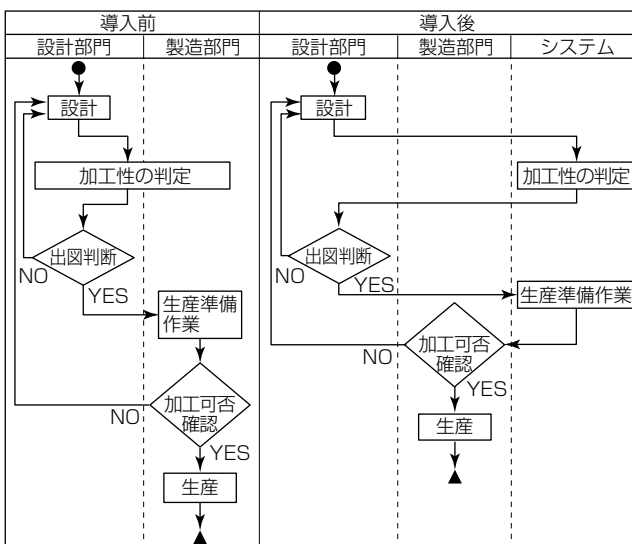


図2. システム導入前と導入後の業務の流れ

否と可能な限り回避すべき構造を自動判定する仕組みを開発した。

3.1 加工可否の判定

板金加工工程の加工制約が設計・製造部門で共有されていない場合、設計者が加工可否を判定できず、手戻りが発生する。二次元三面図を用いた設計DR(Design Review)を実施し、必要に応じて現場で試作を行うことで対処できるが、検討期間が長期化する原因となる。そこで、加工制約を形式知化し、加工可否を自動判定する仕組みを構築した。

板金加工は、設備や金型によって加工制約が異なるため、計算モジュールのマスタ部に設備情報や金型情報、ロジック部に制約情報を登録する必要がある。

例えば、曲げ加工での加工可否の一例にフランジの実加工寸法と金型の許容寸法による可否判断が存在する。曲げ加工は上型(パンチ)と下型(ダイ)で板金を加圧して塑性変形させることで曲げ形状を形成する。図3に立ち上がるフ

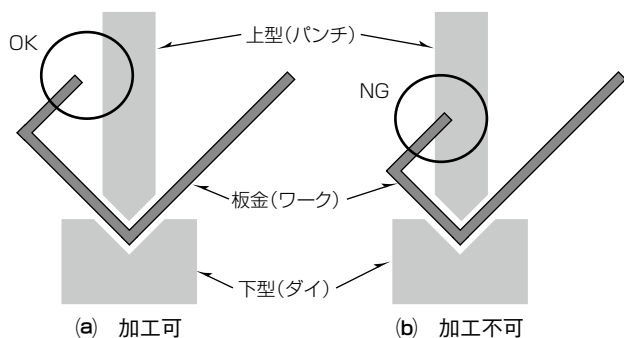
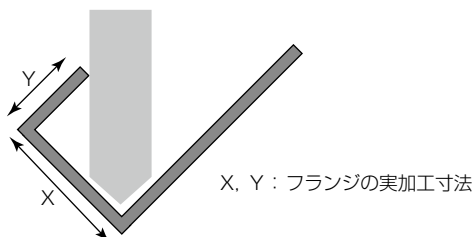


図3. 曲げ加工でのフランジの加工可否



ロジック部：許容寸法の計算式の定義  
 $a_i X + b_i$   
 マスタ部：金型の形状を洗い出して近似することで算出した係数 $a_i, b_i$ の一覧表  
 曲げ加工可否判定： $Y < a_i X + b_i$ なら、加工可  
 $Y > a_i X + b_i$ なら、加工不可

図4. 曲げ加工でのフランジの加工可否判定方法

フランジが金型に干渉しない場合と干渉する場合を示す。フランジが金型に干渉する場合は、加工不可となる。

図4に示すように、フランジの長さX(実加工寸法)とマスタ部に設定されている該当する金型の係数 $a_i, b_i$ からロジック部に定義されている計算式( $a_i X + b_i$ )で許容寸法を計算して、フランジの長さY(実加工寸法)と比較することで曲げ加工可否の判定結果を得る。この判定結果を設計段階で確認することによって、設計手戻りが削減できる。

### 3.2 回避すべき構造の判定

3.1節の仕組みで加工可能と判定された形状には、コスト(材料歩留り等)や品質(寸法精度等)の悪化を招く構造など、加工可能だが可能な限り回避すべき構造が含まれる。この構造の判定は、製造担当者に属人化されたノウハウに依存しており、設計にフィードバックされることは少なく、品質悪化や製造工期の長期化を招くことがある。そこで板金構造を洗い出し、加工要素をコスト・品質・安全・作業性の観点で重み付けして優先構造を定義することで、構造判定のノウハウを形式知化し、判定する仕組みを構築した。

例えば、種々の曲げ形状の中からどの曲げ形状を選択すべきかという問題がある。図5に曲げ構造の例を示す。構造①(90度曲げ)や構造②(鈍角曲げ)は標準金型で加工できるため段取りが不要で作業性が良い。構造③(鋭角曲げ)や構造④(金型ありのR曲げ)は特殊金型で作業を行う必要があるため、金型段取りが発生する。構造⑤(金型なしのR曲げ)は、ストロークと曲げ線のピッチを調整して送り曲げを行うことでR形状を形成するため、作業性が悪

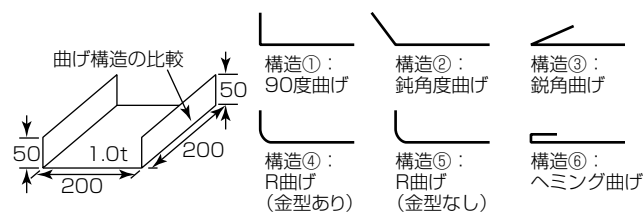


図5. 曲げ加工構造の例

表1. 曲げ加工構造ごとの優先構造の定義例

構造	加工費	重み付け係数				合計 <sup>(注1)</sup>	優先構造
		コスト	品質	安全	作業性		
①	250	1.0	1	1	1.0	1.0	◎
②	250	1.0	1	1	1.5	1.5	○
③	300	1.2	1	1	2.0	2.4	×
④	300	1.2	1	1	2.0	2.4	×
⑤	375	1.5	2	1	3.0	9.0	×
⑥	350	1.4	2	1	3.0	8.4	×

寸法精度が悪い R精度が悪い 金型段取りが増加

(注1) 合計=コスト係数×品質係数×安全係数×作業性係数

くR精度が出にくい。構造⑥(ヘミング曲げ)は特殊な金型を複数使用して形状を成型するために通常より加圧する必要があり、品質悪化や設備消耗を招く。

表1に曲げ加工構造ごとにコストや品質の良し悪しを決める要素を洗い出して重み付けをし、優先構造を定義した例を示す。これによって、コストや品質の評価結果を設計段階で把握できるようになり、代替構造への変更を検討することで、モノづくり視点を反映した設計を実現した。

## 4. 製造段階での生産準備作業の効率化

熟練作業者のノウハウを形式知化し、生産準備作業を自動化する仕組みを開発した。この章では、生産準備作業のうち、TSの設定と曲げ作業指示の作成について述べる。

### 4.1 TSの設定

TSは、部品の抜き穴個数や曲げ回数といった加工要素に係数をかけることによって算出する方法があるが、精度の高いTS値を得るためには、計算された値に熟練作業者のノウハウを加味する必要がある。そこで今回、TS値を得るため、熟練作業者のTS見積り方法を形式知化し、加工要素から抜き工程と曲げ工程のTS値を高い精度で自動計算する仕組みを構築した。

例えば、曲げ工程では抜き工程で切断した板金を上型と下型で加圧し、複数個の曲げ形状を得る。曲げ工程のTS値は、従来曲げ線の本数に係数をかけることで算出されていたが、実際の加工では、曲げ作業と次の曲げ作業の間にワークの上下を入れ替える反転作業や、前後を入れ替える回転作業が発生する(図6)。改善後のTS値は、反転作業や回転作業の発生を考慮して算出する。部品の反転・回転作業の発生有無は、曲げ順序と曲げ線の方向(山・谷)、曲げ線の配置領域を用いて判定する。図7にその判定条件を示す。反転作業は、曲げの前後工程の曲げ方向が同一の場合

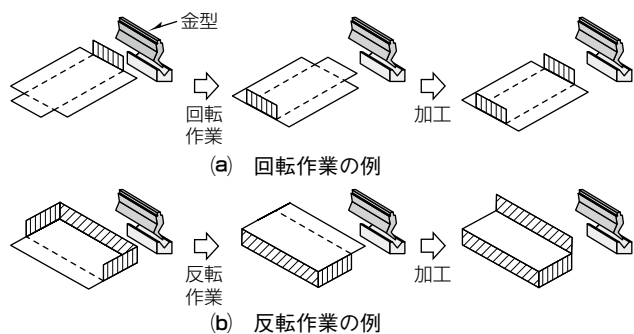


図6. 曲げ作業での反転・回転作業の例

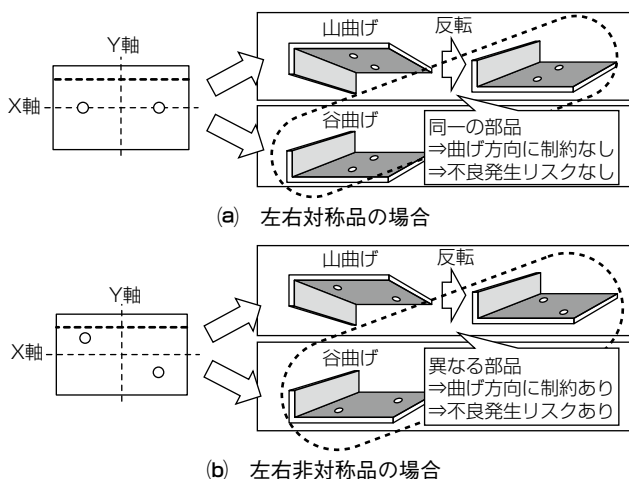


図8. 曲げ方向間違い不良の発生理由

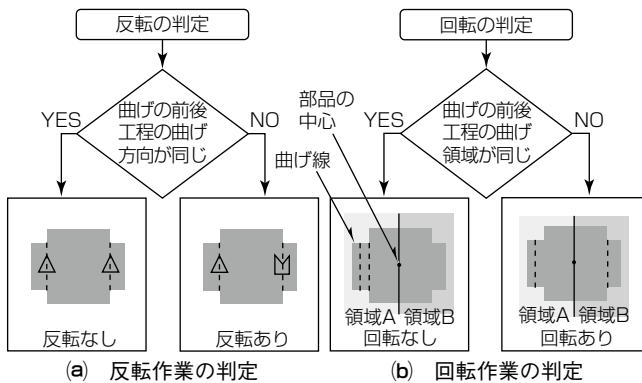


図7. 曲げ作業での反転・回転作業の判定条件

合は反転なしとし、異なる場合は反転ありとする(図7(a))。一方、回転作業は、曲げの前後工程の曲げ線の配置領域が同じ場合は回転なしとし、異なる場合は回転ありとする(図7(b))。

反転作業や回転作業の有無を考慮することによって、高精度なTSを自動計算し、TS設定の所要時間を9割短縮させた。

#### 4.2 曲げ作業指示の作成

曲げ加工の作業指示は、3D-CADデータを解析することで自動作成可能である<sup>(1)</sup>。しかし、実際には、3.2節で述べたとおり、可能な限り回避すべき構造が存在するが、設計制約上、そのような構造に限定される場合がある。その場合、出図後に製造部門の担当者が図面を読図し、作業上の注意点を作業指示書に記入する。今回、製造担当者が記入している作業上の注意点を形式知化し、自動出力する仕組みを構築した。

例えば、曲げ方向(山・谷)間違い不良の発生リスクがある部品か否かの判定がある。図8に曲げ方向間違い不良の発生理由を示す。展開図の形状が左右対称の場合は、曲げ方向に制約が発生せず不良発生リスクはないが、左右非対称の場合は、曲げ方向に制約が発生して不良発生リスクがある。

今回作成したロジックでは、曲げ方向間違い不良発生リスクの有無を自動判定する。図9にその判定ロジックを示す。部品の中心を原点とした座標系を定義し、展開図の各

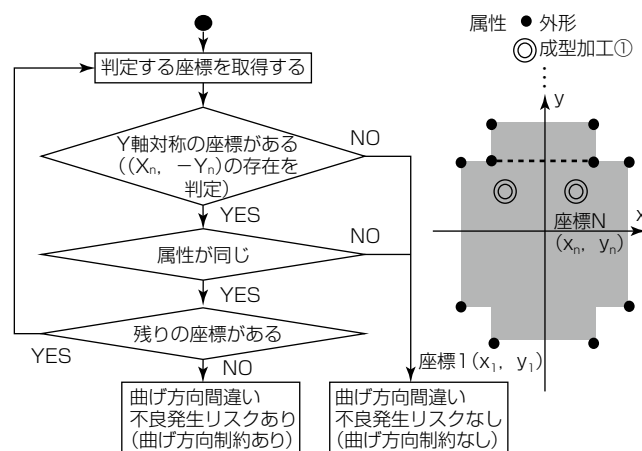


図9. 曲げ方向間違い不良発生リスク有無の判定ロジック

座標に対して、Y軸対称の反対領域に同じ属性の座標があるか判定する。全ての座標に対して、同じ属性の座標が存在する場合は曲げ方向間違い不良の発生リスクあり(左右対称)、存在しない場合は曲げ方向間違い不良の発生リスクなし(左右非対称)とする。

このロジックによる判定結果を作業指示書に自動出力することで、曲げ方向間違い不良を撲滅した。

### 5. むすび

個別受注生産体制がとられる薄板板金加工を必要とする製品を対象に、熟練作業者のノウハウの形式知化による加工性の自動判定と生産準備作業の効率化を支援する板金加工支援システムについて述べた。

今後は、営業活動や部材調達、物流などのSCM(Supply Chain Management)軸を対象に熟練技術者のノウハウの形式知化を進めることで、更なる短納期化を目指す。

#### 参考文献

- (1) 真下尚久, ほか: 板金製造のIT化による生産性向上, 三菱電機技報, 84, No.12, 689~692 (2010)