

プレス金型製作期間短縮を支援する UEL の取り組み (CADmeister/PRESS 機能の紹介)

UEL's Efforts to Help Shorten Press Mold Production Time CADmeister/PRESS Function Introduction

武 藤 高 明

要 約 近年、カーボンニュートラルや安全基準の厳格化により自動車ボディの骨格部品への高張力鋼板（ハイテン材）の採用が増加している中で、金型納期の短縮や熟練技術者の減少等により、プレス金型メーカーを取り巻く外部環境は大きく変化している。これらに対応していくため、プレス金型メーカーはプレス金型設計製作プロセスを見直し、効率改善に取り組んでいる。UEL はプレス金型設計製作プロセスの全工程でモジュール提供している強みや、CADmeister ユーザとの密接なリレーションに基づくニーズの把握、CAE ベンダーとの協業等によって、3D データを正とした新たな金型づくりを提案している。

Abstract In recent years, the adoption of high-strength steel sheets (high-tensile steel materials) for the frame parts of automobile bodies has increased due to carbon neutrality and stricter safety standards. The external environment surrounding mold manufacturers is changing significantly. In order to respond to these demands, press mold manufacturers are reviewing their press mold design and production processes and working to improve efficiency. Having the strength of providing modules for all processes of the press mold design and manufacturing process, close relationships with CADmeister users, and collaboration with CAE vendors, etc., UEL proposes new mold manufacturing based on 3D data.

1. は じ め に

主に自動車ボディ部品向けプレス金型業界で利用されている CADmeister/PRESS 機能は、分業化されたプレス金型設計製作プロセスに沿う形で、各工程でモジュール化され、開発を続けることで成長してきた。

一つの製品を作るときには複数のプレス金型を用いる。そのため、DL（ダイレイアウト）設計者は、プレス金型構造設計製作プロセスの最初の段階で、製品を作るための内容（工程分けと各工程の加工内容）と、製品を搬送するための内容（送り方向、送り高さ）を検討する。その後、型構造設計者がその検討結果である DL 図の内容を折り込み、部品・部位のレイアウトを進めて、型構造データ（3D データ）を作り上げていく。

また、プレス成形した製品を金型から取り出すと、弾性的な回復が発生し、形状が戻る現象のスプリングバックが発生する。そのため近年では、事前にスプリングバックを想定した形状を作成する見込み変形作業の重要性が増している。

特に注目度が高まっているのは、金型撓（たわ）み解析である。金型製作完了後の量産時に、金型が破損するケースは以前から発生しており、それらの解析ニーズが潜在的に存在していた。3D データの普及と、解析の進化により、プレス金型設計製作プロセスの中で、それらの

解析ニーズが顕在化してきたことが挙げられる。

UEL 株式会社（以下、UEL）はプレス金型設計製作プロセスの全工程でモジュール提供している強みや、CADmeister ユーザとの密接なリレーションに基づくニーズの把握、CAE ベンダーとの協業等によって、3D データを正とした新たな金型づくりを提案している。

本稿では、プレス金型設計製作プロセスの各課題と、それに対応する CADmeister へ実装済及び計画中の機能群について説明する。まず 2 章で金型メーカーが抱える課題に触れた後、3 章で CADmeister/PRESS での実装機能を述べ、4 章で DL 設計と型構造設計における 3D データの品質向上を目的とした効率化・自動化対策を、5 章で見込み変形作業への対応、6 章で成形解析結果の精度向上について述べる。

2. 現状の課題

近年、カーボンニュートラルや安全基準の厳格化に対応するため、自動車ボディの骨格部品に、高張力鋼板（ハイテン材）が多く採用されてきた。ハイテン材は強い負荷でも耐えられる強度の高い鋼板であるため、板厚を薄くし軽量化することで燃費の向上に貢献すると同時に、安全性の確保にも対応できる材料である。ただし、一般的には強度が強くなるほど成形性が低下するため、金型メーカーは長年蓄えた金型玉成ノウハウだけでは対応できず、その玉成期間を長く確保する傾向にある。ハイテン材採用部品が増加し、熟練技術者数が減少している中で、OEM メーカーからの納期短縮要求に対応していくため、金型メーカーには新たな取り組みが求められている。

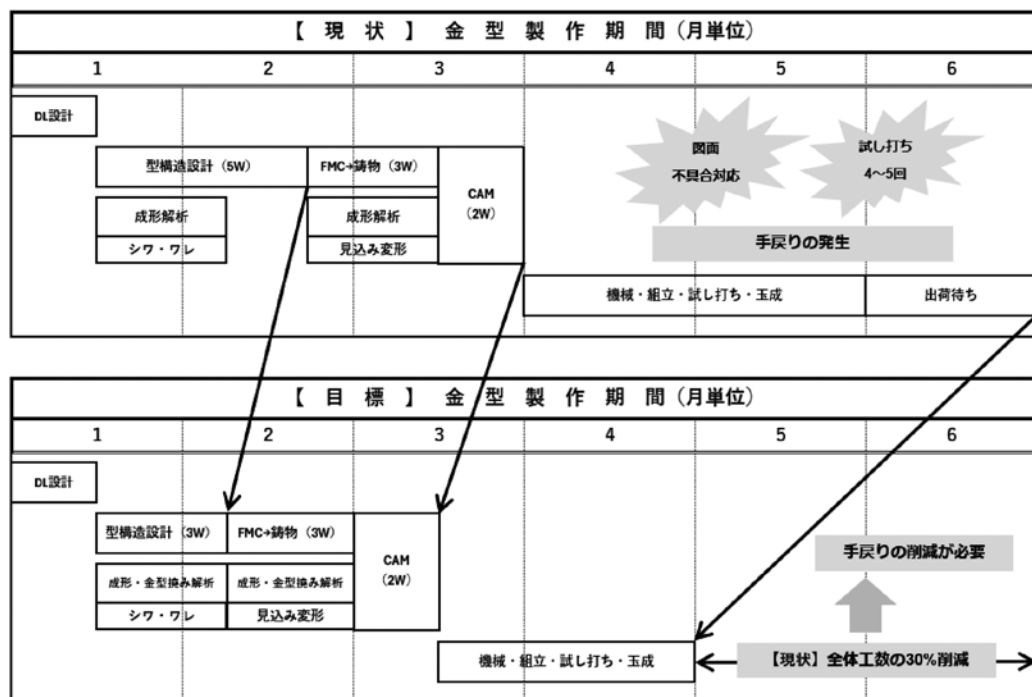


図1 プレス金型製作期間の現状と目標

図1は現状における骨格部品のプレス金型を製作している期間と、目標期間を記載したもの

である。現状では、DL 設計や型構造設計から出力される図面の不具合対応と、トライアウトと呼ばれる試し打ち対応等のため、手戻りが頻繁に発生し、金型製作期間短縮の大きな障害となっている。全体工数の現状比 30% 削減^{*1} という目標を実現するためには、手戻りの削減が必須である。

3. プレス金型設計製作プロセスと CADmeister/PRESS

UEL は、2 章で述べた手戻りの削減について、CADmeister/PRESS ソリューションの観点から支援するため、金型メーカーへのヒアリングや、複数の CADmeister ユーザと技術研究会を通じた意見交換を行い要件整理し、機能実装してきた。

表 1 は手戻りの削減へ寄与できる CADmeister/PRESS ソリューションの実装機能群を、三つの観点で整理したものである。第一は、「3D 設計の品質向上」を目指して、実装している効率化・自動化対策である。第二は「見込み変形作業工数の削減」に向けて、様々な手法を実装したスプリングバック対策への対応である。最後は「解析精度の向上」を目的に、継続的に行っている解析結果＝試し打ち結果に向けた機能改善である。それぞれの方策について、次章以降で詳述する (図 2)。

表 1 手戻りの削減へ寄与できる CADmeister/PRESS ソリューションの実装機能群

手戻りを削減するためには		対象工程	CADmeister/PRESS系ソリューションの実装機能群
1 3Dデータの品質向上	効率化・自動化対策	DL設計	型構造設計の効率化を支援する3DDL
		型構造設計 (3D設計)	3DDLから出力されたデータを活かす半自動設計
		3D検図	熟練技術者の負荷削減を目的とした3D検図 (自動検図)
2 見込み変形作業工数の大幅な削減	様々な手法を実装したスプリングバック対策	見込み変形	変形前後の差分を反映する自動変形
			設計者の意思を直観的に反映する手動変形
			設計変更に対応した変形
3 成形解析結果の精度向上	解析結果＝試し打ち結果に向けた機能改善	金型挽き解析	成形解析結果を参照した金型挽き解析
			デジタルツインを活用した更なる解析精度向上

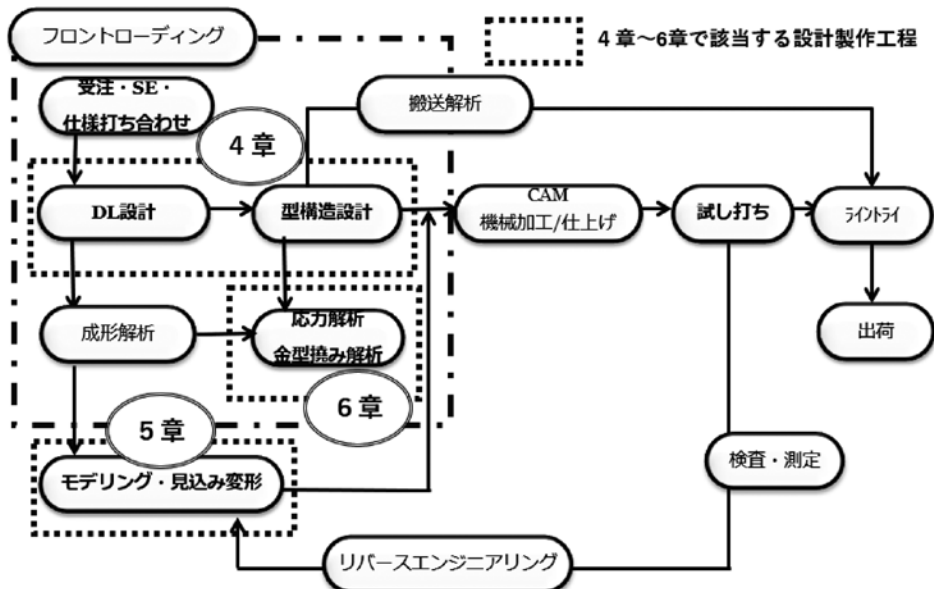


図 2 設計製作工程 (金型設計製作プロセス)

4. 3D データの品質向上を目的とした効率化・自動化対策

プレス金型設計製作プロセスの前工程である DL 設計と型構造設計は、3D データの生成起点である。後工程ではこの 3D データを活用して、業務の効率化及び自動化を推進していくため、この段階で生成される 3D データ（以下、3DDL）の品質は非常に重要である。

本章では、DL 設計と型構造設計における 3D データの品質向上を目的とした効率化・自動化対策について説明する。

4.1 DL 設計：型構造設計の効率化を支援する 3DDL

DL 設計はプレス金型設計製作プロセスの中で、実質的に最初の工程である。DL 設計者は、製品を作るための内容（工程分けと各工程の加工内容）と、製品を搬送するための内容（送り方向、送り高さ）について 3D 上で検討する。アウトプットの 3D データは、後工程の型構造設計で活用できる。それらの機能群について説明する。

4.1.1 製品を作るための内容：プレス方向定義

プレス金型は、プレス加工設備の上下運動のみによって、鋼板をシワ・ワレのないように成形させて、不要な箇所は切り離すなど、製品化するためのツールである。そのプレス金型に、鋼板（＝製品）をどの方向で配置するかについては、様々な項目を検討しなければならない。

「プレス方向定義」という機能の中では、あたりタイミング、アンダーカット、トリムコンディション、穴評価（ピアスコンディション）という様々な項目について、製品の配置方向を回転しながら検討できる（図 3）。そのため、効率的にプレス方向を決められる。

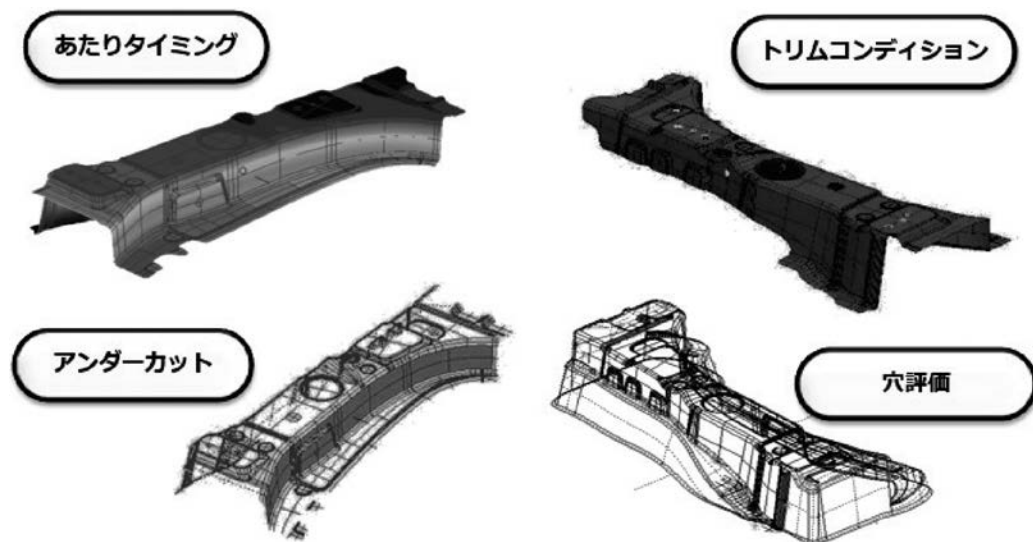


図 3 プレス方向定義の中で検討する項目例

4.1.2 製品を搬送するための内容：レイアウト検討

鋼板から製品をつくり上げるためには、複数のプレス金型の工程を経ていく。一般的には、ドロー工程（又は成形工程）→トリム工程→ピアス工程（又は成形工程など）の流れで、3～4 工程のスタンピングをしている。一つの工程でスタンピングされた鋼板は、搬送装置又はロ

ボットにより、次の工程へ移動され、スタンピングされる。その繰り返しにより、最終工程のスタンピング後に、製品となる。プレス部品を量産しているスタンピングメーカでは、プレスと搬送装置の動きが連動しているトランスファープレスを導入しているケースが多い。トランスファープレスでは、ドロー工程のプレスに装備されているクッションピン圧を利用し、鋼板を変形させている。

「レイアウト検討」では、トランスファープレスに金型をセットするためのクッションピン検討、工程検討、フィードバー内幅検討、部品配置検討、搬送検討を 3D 上で行う (図 4)。

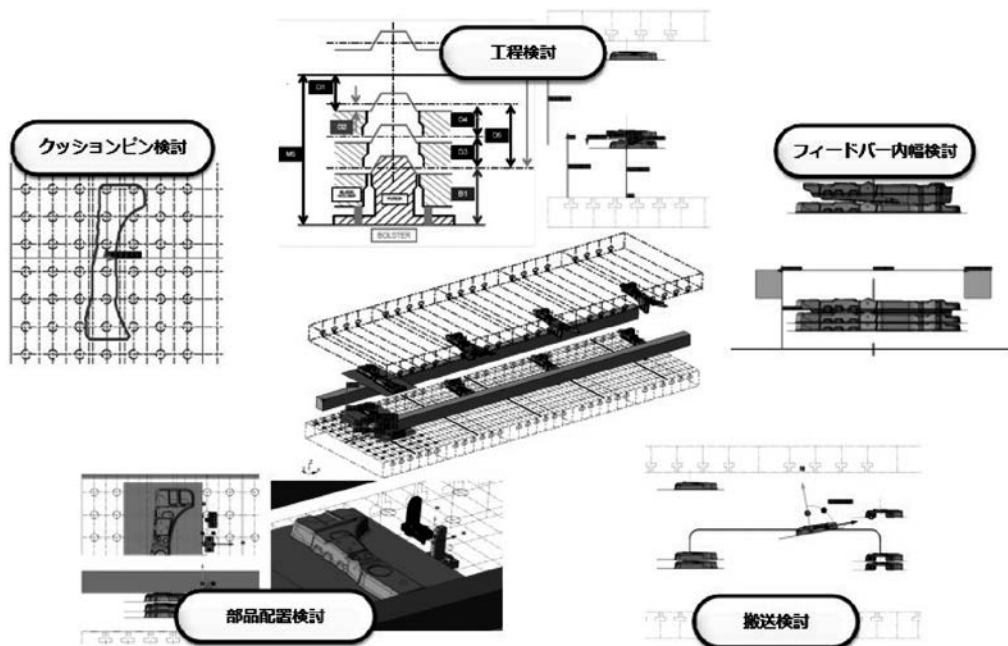


図 4 レイアウト検討項目

4.2 型構造設計：3DDL から出力されたデータを活かす半自動設計

本節では型構造設計の自動化対策について述べる。

4.2.1 ピアス自動配置

DL 設計者が検討した製品を作るための内容（工程分けと各工程の加工内容）については、DL 図（2D 図面）を出力する。各工程の型構造設計者は、DL 図に記載された担当工程の加工内容を折り込む形で、型構造設計を進めていく。ピアス（穴開け）に関する加工内容については、加工工程、穴径、上下限の公差（記載なしの場合もあり）が DL 図に記載されている。

型構造設計者は、DL 図に記載されたピアスに関する加工内容、設計仕様書に明示された材質・板厚クリアランス表、金型部品メーカのカatalogを参照しながら、ピアスを構成する各部品のサイズ選定をしている。ピアス部品は、下型に設置されるボタンダイと、主に上型に設置されるピアスパンチ及びリテーナから構成される。一つの製品に数多くのピアスがあるような場合には、型構造設計者は、ピアス部品のサイズ選定から配置完了まで、多くの工数を費やすことになる。

そこで、DL 設計者が 3DDL ヘピース情報を付加しておけば一括でピース部品の配置完了までを行う「ピース自動配置」を実装し、半自動化及び型構造設計者の大幅な工数削減へ貢献している（図 5）。

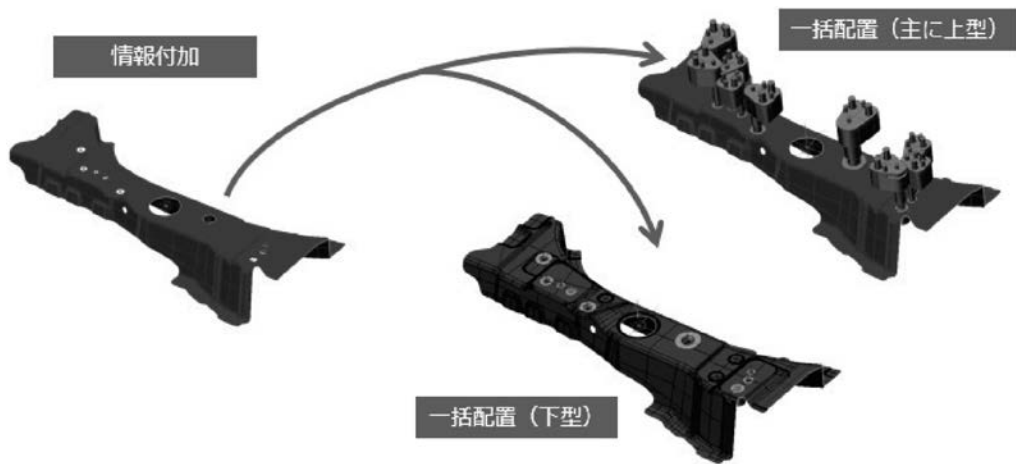


図 5 ピース自動配置の仕組み

4.2.2 セクダイ・鋼材刃作成

セクダイ・鋼材刃とは、型構造設計者が DL 図に記載したプロファイルラインを利用して作成される切り刃である。セクダイ・鋼材刃作成は、2D 設計で行う場合と比較して面倒なモデリング作業となる。その反面、2D 設計ではわかりにくい完成状態を視覚的に捉えることができる。

現状では、入力変数や操作手順を簡素化した型構造設計専用機能として実装している。将来的には、前項の「ピース自動配置」と同様に、DL 設計者が 3DDL ヘプロファイルライン情報を付加することで、一括でセクダイ・鋼材刃作成までを行う「セクダイ・鋼材刃自動作成」の実装を計画している（図 6）。

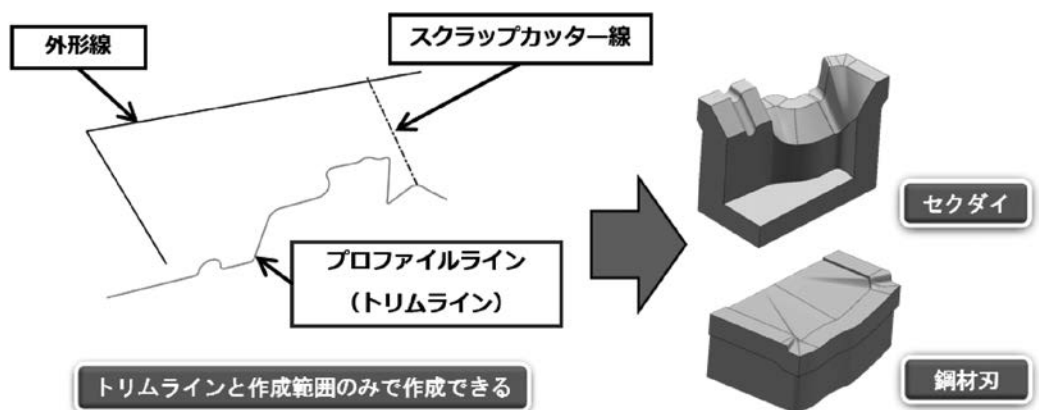


図 6 計画中のセクダイ・鋼材刃自動作成

4.3 3D 検図 (自動検図) : 熟練技術者の負荷削減を目的とした 3D 検図

本節では型構造設計の検査方法 (検図) の自動化対策について述べる。

4.3.1 3D 検図 (自動検図) の開発背景

3次元 CAD システムによる型構造設計は 3D データの活用範囲の拡大とともに増加傾向にあるが、その検査方法は、従来から変わっていない。

3D データの検査方法は、データのみを対象とした専用解析機能による検査と、データと帳票を対象に一般計測機能を利用する検査に大別される。専用解析機能はコマンドを実行し、その結果を待つだけなのに対して、一般計測機能は部位単位に検査を行うため、検図者は多くのコマンド操作を強いられる。検査箇所が多くなるほど、その手数も増加する。

計測による検査対象は、ダイセット部位、安全部品、一般購入部品で、検図者のスキルに依存することなく、客観的な基準により検図作業を実施できるため、人数が減りつつある熟練技術者の負荷削減を期待できる。これらの検査項目数は多く、万が一ミスを見逃すと、製造現場で重大な不具合を引き起こす恐れがある。そこで、CADmeister では計測による検査を自動化する専用機能を 2023 年に実装した^[1]。

4.3.2 3D 検図の仕組み ～「部品部位サイズ検証」とは～

「部品部位サイズ検証」は、正解となる検図データを 3D データに自動配置して検査する仕組みである (図 7)。CADmeister で作成した検図データ以外に、様々な CAD システムで設計した 3D データも検査できる。検査項目は、図形サイズ (部品部位の外形サイズ)、空間確保 (部品部位設置に要する周辺空間)、安全寸法確保 (部品設置基準に沿った鋳物領域)、原点座標値 (3D データ配置時における検図データ原点の座標値) となる。

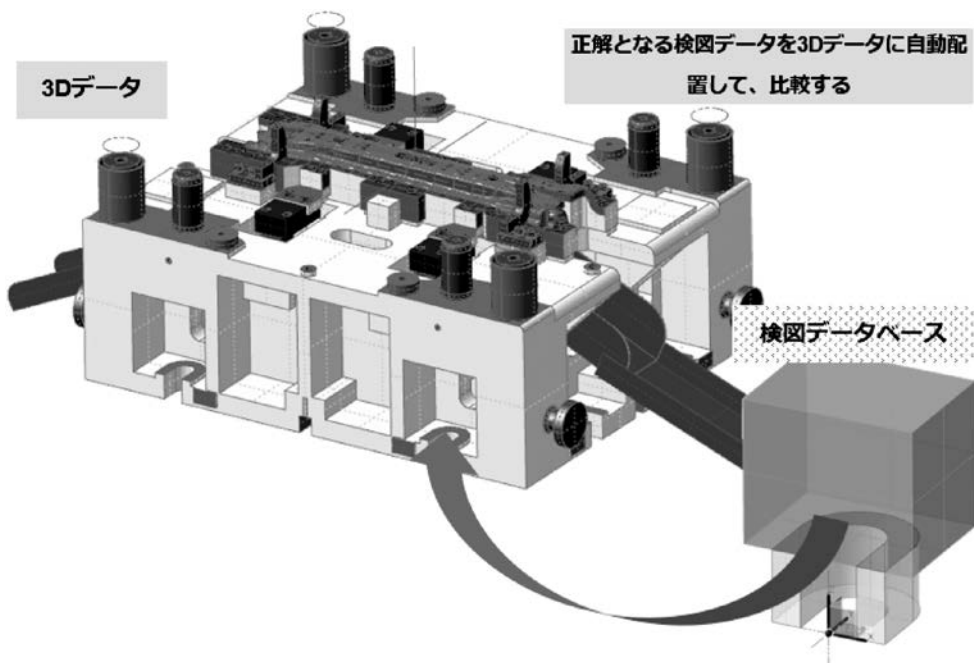


図 7 「部品部位サイズ検証」の仕組み

4.3.3 Excel 連携機能を用いた自動検図の仕組み

部品表は Excel で作成しているケースが多い。CADmeister には Excel の画面から CADmeister の機能を実行し、その結果を Excel へ出力する Excel 連携機能があり、その機能を用いて検図自動化を実現した。

部品表には部番、部品名、材質、規格名、材料寸法等が記載されている。部品表に記載された規格名を基に、Excel 連携機能を利用して、「部品部位サイズ検証」へ自動入力し、その結果を Excel へ出力するという一連の流れを繰り返すことにより、短時間で全ての対象部品を確認するフローの自動化を実現した（図 8）。

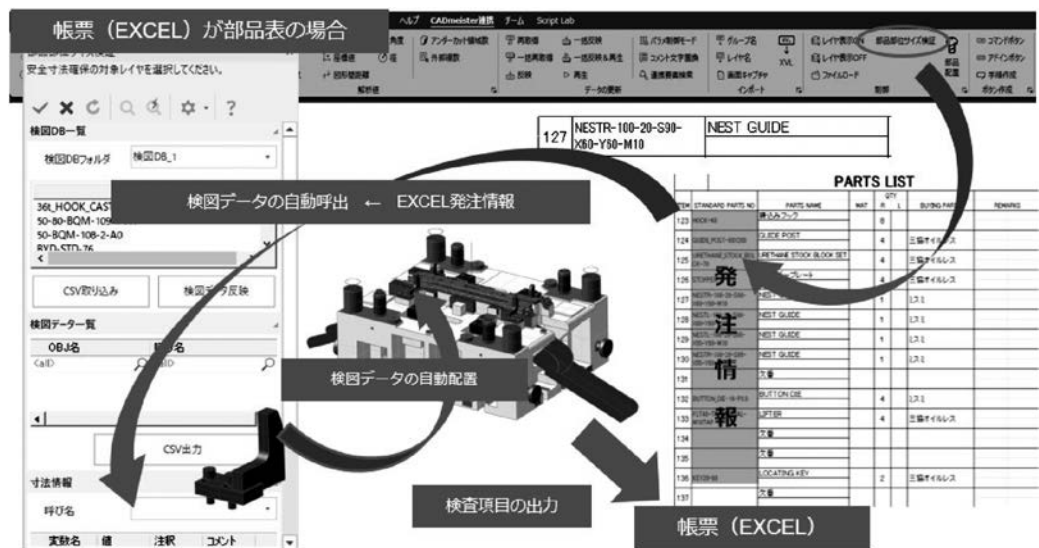


図 8 Excel 連携機能を用いた自動検図の仕組み

5. 見込み変形作業工数の削減を目的とした様々なスプリングバック対策

金型設計製作プロセス（3 章の図 2）に示した通り、製品の見込み変形形状では、4 章で述べた DL 設計や後続の成形解析結果（フロントローディング）を主なインプットとして、試し打ち（トライアウト）の結果を利用した見込み（リバースエンジニアリング）から得た情報も活用している。ただし、その作成基準及び手法は金型メーカーによって異なるため、金型メーカーが CAD システムに求める機能要件も様々であり、CAD システムにはそれらを網羅した機能実装が求められる。本章では、その中でも代表的な見込み変形の手法について説明する（図 9）。

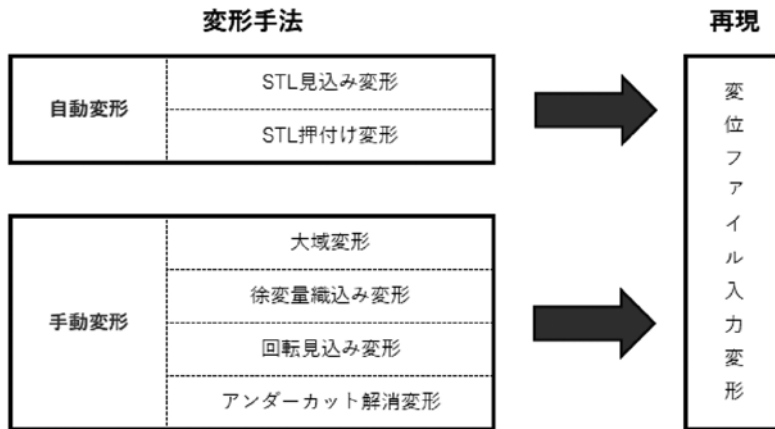


図9 見込み変形の手法

5.1 見込み変形：変形前後の差分を反映する自動変形

DL 設計が終了すると、成形解析ソフトウェアを利用して解析を実行する。解析結果として、スプリングバックが発生している場合には、見込み変形作業を行う。成形解析ソフトウェアから、STL（ポリゴンを用いた3次元形状）を出力できるため、変形前の STL、スプリングバックが発生している STL 及び変形前の CAD 面を CADmeister に入力することによって、見込み変形後の CAD 面を自動生成する機能を実装している。これは、STL の差分量を変形前の CAD 面へ折り込むことによって、変形前の CAD 面を自動変形させて、見込み変形後の CAD 面を生成する機能（STL 見込み変形）である。

また、金型の試し打ちによって、スプリングバックが発生している場合にも、同じく見込み変形作業を行う。スプリングバックが発生している鋼板を、3D 測定機で計測し、それを STL 化して、CADmeister へ取り込む。取り込んだ STL と変形前の CAD 面を利用して、見込み変形後の CAD 面を自動生成する。これは、取り込んだ STL と変形前の CAD 面との差分量を、変形前の CAD 面へ折り込んで、面生成させるものである。これらは玉成作業と言われ、金型納品時の品質精度にするには複数回のループ作業及び多くの工数を要することから、金型メーカーの大きな課題となっている。

5.2 見込み変形：設計者の意思を直観的に反映する手動変形

設計者は金型設計製作プロセスによって得られた見込み変形に関するノウハウを直観的に、製品形状へ折り込んでいくため、CADmeister には多様な要件に対応する複数の手動変形機能群を実装している。5.1 節の自動変形で生成した面を、微調整で変形する場合に、利用するケースが多くなっている。手動変形の代表的な四つの機能は以下の通りである^[2]。

(1) 大域変形

対象となる要素（点/線/面/STL）を拘束条件として指定して、変形した要素を作成する。

(2) 徐変量織込み変形

基準面と徐変面の差分を計算し、変形対象面に差分を加えて変形させた面を作成する。

(3) 回転見込み変形

指示形状を、回転基準線回りに指定角度で回転させた、スプリングバックの見込み形状を

作成する。

(4) アンダーカット解消変形

対象となる要素（複合面/STL）、プレス方向、アンダーカット判定角度を指示してアンダーカット部分がなくなるように変形した要素を作成する。

5.3 見込み変形：設計変更に対応した変形

自動車ボディ向けプレス金型では製品形状の変更（設計変更）が頻繁に発生し、設計変更後の新形状は OEM メーカーから金型メーカーへ送付される。その後、金型メーカーは新形状に、旧形状へ見込んだ情報を再度折り込むことになる。しかし、自動変形と手動変形による見込み変形作業を繰り返し行うことは非常に労力と工数を要する。

そこで、自動変形と手動変形で行った見込み変形作業を再現する「変位ファイル入力変形」という機能を実装している。自動変形と手動変形の実行時には、変位ファイルの出力オプションにより変異ファイルを出力することができる。再現時に変位ファイルを利用することで変形作業の負担を軽減できる。

6. 成形解析結果の精度向上（解析結果＝試し打ち結果）を目的とした機能改善

成形解析ソフトウェアによる解析結果を利用して、見込み変形面の生成、金型の製作、試し打ちを行った結果が、及第点を大幅に下回るケースが増加している。その原因の一つとして考えられているのが、成形解析を計算する上での前提条件「金型は剛体ではない」である。本章では成形解析結果の精度向上のための機能改善について述べる。

6.1 金型撓み解析

近年、車ボディ骨格部品への採用が増加しているハイテン材を成形する金型では、金型の撓みが成形に影響をおよぼすことが指摘されており、金型の撓みと同じ条件で成形解析ソフトウェアの解析が求められている。そのため、成形解析結果を考慮した金型撓み解析と、金型撓み解析結果を考慮した成形解析の連携が望まれている。

CADmeister の金型撓み解析では、一部の成形解析ソフトウェアから出力された計算結果を取り込むデータ連携を実現している（図 10）。今後は、その適用範囲の拡大を計画している。

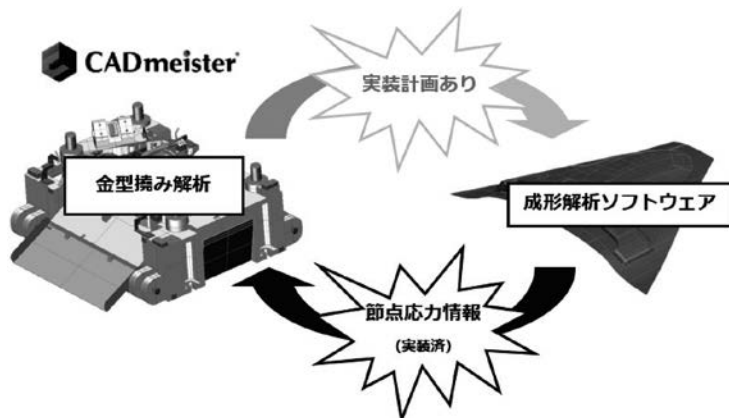


図 10 成形解析と金型撓み解析との連携

6.2 デジタルツインを活用した更なる解析精度向上

金型撓み解析を組み合わせることによって、成形解析結果の精度向上（解析結果＝試し打ち結果）を目指すことを述べたが、金型撓みの実物（金型自体）と解析結果との差異が大きければ、金型撓み解析を計算する意味がない。そこで、CADmeister では IoT-Visualization を提供しており、実物の金型撓みを計測・見える化し、解析結果との差異を比較し、解析の入力条件を微調整するという手法で、デジタルツインを活用した更なる解析精度の向上を目指している。

7. お わ り に

本稿では、プレス金型メーカーが抱えているプレス金型設計製作プロセスの各課題と、それに対応する CADmeister へ実装済及び計画中の機能群について説明した。今後はプレス金型を利用しているスタンピングメーカー目線でのソリューション検討も進めていきたい。

最後に、本稿執筆に際して、ご協力・ご指導していただきました全ての皆様に対して、感謝を申し上げます。

* 1 CADmeister ユーザとの技術研究会でヒアリングした結果、UEL が整理した目標値。

- 参考文献** [1] 武藤高明, 「3D 型設計データを対象にした検図の自動化」, 型技術第 38 巻第 11 号, 日刊工業新聞社, Vol.38 No.11, 2023 年 10 月 1 日, P.26 ~ P.29
[2] CADmeister2023 オンラインヘルプ (大域変形, 徐変量織込み変形, 回転見込み変形, アンダーカット解消変形)

執筆者紹介 武 藤 高 明 (Takaharu Mutou)

2005 年日本ユニシス・エクセリューションズ(株)入社。ソリッドエイドセンター (SAC) に配属され、プレス金型メーカーに対する 3D 設計立上げ業務に取り組む。2009 年より主にプレス金型向け商品企画業務に従事し、現在は企画統括本部商品企画部に所属している。2022 年 4 月に UEL 株式会社へ商号変更している。

