

# 生産効率アップに向けた搬送ライン解析の計画

## Plan of Press Line Simulation for Rise in Manufacturing Efficiency

武藤 高明

**要約** 近年、フロントローディングの考え方が金型業界へ深く浸透する中で、設計データの品質向上による製造現場での工数の削減を目指して、ものづくりがCAEに依存する傾向にある。プレス金型業界では、主に製品パネルの成形性を確認する分野と、プレスラインの生産効率アップに向けた分野でCAEが必要とされている。前者は金型製造プロセスで確立された作業ステップとなっているが、後者は未だ業界全体に普及していない。CAEが金型の全製造工程に業務の一環として普及していくには、CAD設計者にとって簡易的な操作性が求められる。そこで、本稿では、日本ユニシス・エクセリューションズが計画している搬送ライン解析機能の概要と機能を紹介し、その有効性について述べる。

**Abstract** In recent years, the manufacturing has changed to CAE (Computer Aided Engineering) -dependent by aiming for reduction in man-hour in manufacturing scene by quality improvement of design data in movement of front-loading deeply spreading into the mold industry. In the press die industry, CAE is needed mainly in the field of confirming product panel formability and in the field of aiming increased productive efficiency in the press line. The former is work step that is established in die manufacturing process. However, the latter is not yet familiar in the whole industry. For spread of CAE into all die manufacturing processes as the business process, the simple operability is required for CAD (Computer Aided Design) designer. This paper introduces an overview and the function of Press Line Simulation that UEL Corporation plans, and then discusses usefulness of the function.

### 1. はじめに

プレス金型設計分野で、1995年頃から3次元CAD（Computer Aided Design：コンピュータ支援設計）が導入されている。当時の3次元CADの導入目的は、2次元CADの利用と比較して設計工数を削減することもあったが、主に部品の発注、金型の機械加工など購買・製造部門での利用であった。そのため、部品の受発注システムや機械加工設備が整っていた自動車メーカーやプレス金型メーカーはその導入メリットを大いに享受できた。

また、近年ボディ金型の製作リードタイムの短縮<sup>[1]</sup>が叫ばれている中で、戻り作業工数の削減が期待できるフロントローディングの考え方が金型業界に深く浸透しつつある。そのため、工程設計の一部で成形解析システムを導入して戻り作業工数の削減を実現しているが、他の分野でも解析システムを導入して更なる削減を目指している。

本稿では、プレス金型製造現場での戻り工数の削減及び製品パネル量産工場での生産効率のアップを目的に日本ユニシス・エクセリューションズ株式会社（以降、UEL）が開発を計画している搬送ライン解析ソフトウェアについて述べる。2章で現状と課題、3章で課題解決の方策、4章で搬送ライン解析ソフトウェアの機能について説明し、5章で全体を考察する。

## 2. 現状と課題

ダイレイアウト (DL)、型構造設計、NC データ作成、機械加工、トライアウトといったプレス金型設計製造プロセスの中で、最初に DL と呼ばれる工程計画図を作成する。工程計画図には製品パネルを作るための情報 (ドロー、トリム、カムなどの工程分けや各工程での加工内容) と、製品パネルを搬送するための情報 (送り方向、送り高さ) が織り込まれている。また、多くの製品パネルの量産工場では、搬送装置を持つトランスファープレスと呼ばれる設備を導入している。トランスファープレスは一度に複数の金型をセットし、被加工材となる銅板 (製品パネル) をフィンガー等の搬送装置によって金型へ投入取出しするので、生産効率を上げることができる。しかし、パネル搬送時に被加工材と装置が干渉すると、金型の完成時期が遅れて量産開始時期も遅れるので、干渉を防ぐことが重要である。

そのため、DL 設計段階では製品パネルの送り方向や送り高さを検討する時に、干渉を防ぐよう検証している。製品パネルの搬送検討は金型構造に大きく依存する。しかし、DL 設計段階では金型構造は決まっていないので、DL 設計者ができるのは目視 (干渉しそうな箇所をポンチ絵で描く) による確認程度である。また型構造設計段階では、一部の大手自動車メーカーや金型メーカーは複数の金型の中で一つの工程のみの搬送を確認できる「搬送解析ソフトウェア」を利用しているが、他の多くのメーカーは 2D 図面や 3D データに干渉曲線と呼ばれる曲線を配置して目視で検証している。

製造現場では干渉が発生することが多く、現状の干渉確認には限界がある。搬送解析ソフトウェアも、複数の金型の中で一つの工程のみの搬送しか確認できない。それに対し、同時に複数工程の搬送を確認すること (本稿では搬送ライン解析と呼称する) ができれば、金型製造現場での戻り工数の削減及び製品パネル量産工場での生産効率のアップにつながる。

まず本章では、干渉曲線と搬送解析ソフトウェアを利用する搬送確認の現状と課題について述べる。

### 2.1 干渉曲線を利用した搬送確認の現状と課題

2D 図面や 3D 設計のいずれで金型設計を進める場合でも、干渉曲線を図面や 3D データの中に配置して、干渉曲線と構造部との関係を見る。干渉曲線とは、プレスのスライド\*1 ストロークに対するトランスファークランプ、フィードストロークの関係を表したもので、型逃しの寸法をこの曲線からの隙 (距離) で設定するために使用する。隙の量は 20mm や 30mm 等メーカー毎に異なる。

図 1 の干渉曲線を図面に配置して、干渉確認を行う。干渉確認の主な対象は、上型とフィンガー、上型と製品パネル、下型とフィンガー、下型と製品パネル等がある。複数ある干渉曲線を、2D 図面の場合には平面図、長手断面 (矢視)、短手断面 (矢視)、3D データの場合には XY ビュー、YZ ビュー、XZ ビューに配置して、干渉確認をしていく。

一箇所の干渉確認をするのに平面図または各断面 (矢視) だけでは判断できないため、図 2 のように平面図と各断面 (矢視) に、それぞれの干渉曲線を配置する必要がある。具体的には、上型とフィンガーが平面図で干渉しているからといって、各断面では干渉しないこともあるため、各断面 (矢視) で干渉の有無を確認する必要がある。

型構造設計者 (以降、型設計者) または検図者は複数の図面を見て干渉を判断するスキルが求められる。また、システムが自動的にチェックするのではなく、型設計者による目視である

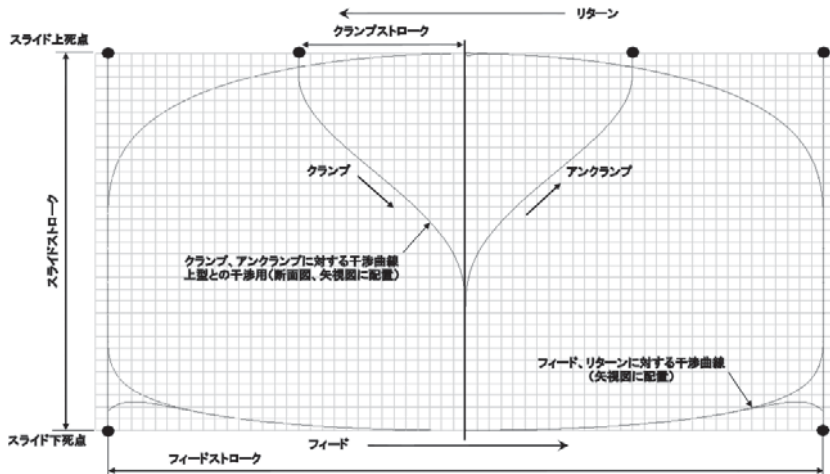


図1 干渉曲線（フィンガータイプ）

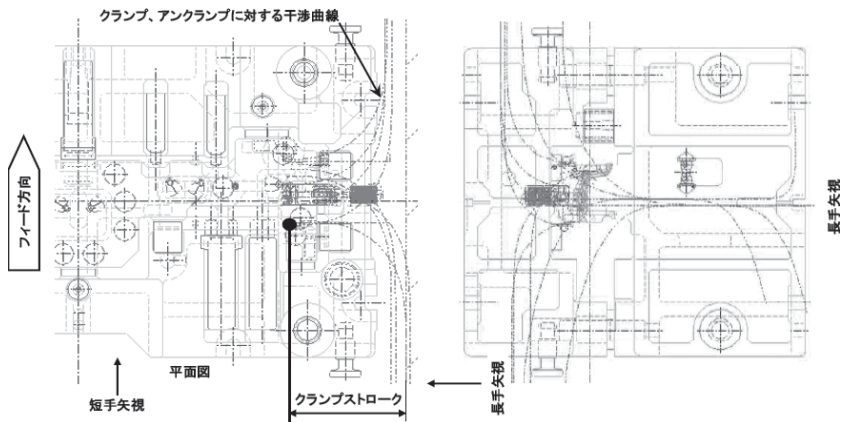


図2 平面図（左側）及び長手矢視（右側）に配置された干渉曲線の例

ため、干渉チェック漏れを起こす可能性が大いにある。これらが、干渉曲線を利用した搬送確認の課題である。干渉チェックに漏れがあると、金型設計の不具合が量産工場での搬送テスト時に初めて発見されるので、不具合修正のために手戻りが発生することになる。

## 2.2 搬送解析ソフトウェアを利用した搬送確認の現状と課題

前節で述べた課題を解決する目的で UEL がシステム化したのが 2008 年にリリースした搬送解析ソフトウェアの SOLIDAIDmeister（以降、SAM）である。搬送解析ソフトウェアが複数の金型の中で一つの工程のみの搬送を確認するのに対し、複数工程の搬送を確認するのが搬送ライン解析ソフトウェアである。本稿で搬送ライン解析ソフトウェアの開発を詳述するにあたり、本節では基本的な考え方を踏襲できる SAM を中心に、その現状と課題を説明する。

トランスファープレスの搬送装置の動きはプレスの機械仕様によって異なっており、その動きを表現しているのがモーション線図（図3）である。前節で説明した干渉曲線はプレスのスライドストロークに対するトランスファークランプ、フィードストロークの関係を表したもので、搬送装置の動作を正確に表現しているのはモーション線図である。モーション線図はプレ

スのクランク角度（図3の右上表における#ANG列）に対するプレスのスライドと搬送装置の位置を示している。そのため、搬送解析ソフトウェアの中で実際の動きを表現するにはこのモーション線図を取り込む必要がある。SAMでは数値化したモーション線図をCSVファイル化して取り込む。

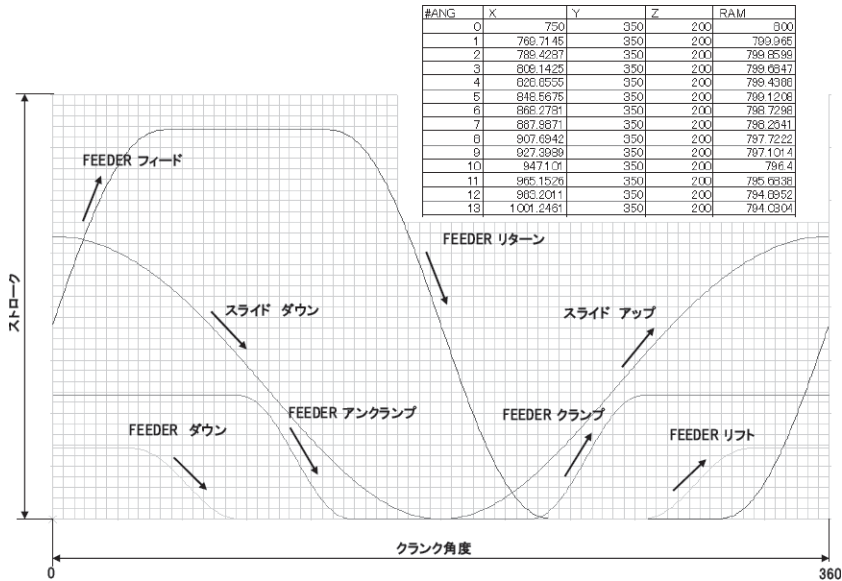


図3 モーション線図自体と数値化したもの（右上の表）

搬送解析ソフトウェアはCAE（Computer Aided Engineering：コンピュータ支援解析）に分類されるが、同ソフトウェアを操作するのは専門の担当者ではなく、型設計者であると想定した。そのため、成形解析ソフトウェアに必要な複雑なパラメータ入力ではなく、型設計者の視点に立った簡易な操作感が求められる。SAMはそのような操作感を実現したCAEソフトウェアである。

成形解析のような製造業でよく利用されているCAEソフトウェアでは、解析を実行する前に多くのパラメータ設定を必要とする。そのため、結果を得るのに多くの時間が必要になる。SAMに必要な入力情報は、DLに記載されている情報や、型設計で決めた情報だけである。図4に挙げたのは、3DデータをSAMで搬送設定する時の入力パラメータである。Aはプレス機械仕様書、BはDL図、Cは型設計図を見て確認できる情報で、設定時はそれぞれの情報をSAMで入力するだけとなっている。

製品パネル量産工場で複数の金型をセットすることが可能なトランスファープレスを導入する目的は生産効率の向上である。つまり、搬送解析ソフトウェアの中で、複数工程の金型をセットするデジタルファクトリーを実現すれば、生産効率の更なる向上に繋がる。

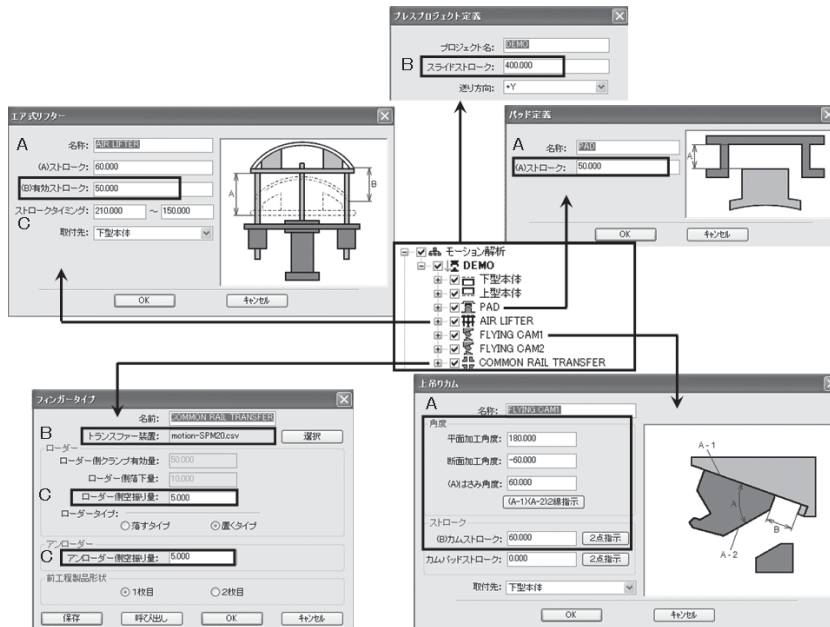


図 4 SAM における搬送設定

### 3. 課題解決に対する考察

本章では、SAM の操作感や設定ロジックを取り入れて、複数工程での解析作業を実現するための課題について考察する。SAM は複数の金型の中で一つの工程の搬送しか確認しないが、現在検討している複数工程の搬送を確認する「搬送ライン解析ソフトウェア」との大きな違いは解析可能な工程数であり、搬送の基本的な考え方は SAM を踏襲する。

SAM は下死点状態で設計された 3D データを、簡単な作業で搬送解析設定できる操作感を実現している。型構造設計が完了した 3D データには、上下の型本体以外に、プレス加工前の投入時パネル形状 (Panel for Loader)、プレス加工後の取出時パネル形状 (Panel for Unloader)、搬送用フィードバー、投入用フィンガー (Finger for Loader)、取出用フィンガー (Finger for Unloader)、ボルスター<sup>\*2</sup>、スライド等搬送上必要な部品群が配置されている。複数工程での解析作業を想定していない SAM では、一つの 3D データ内に配置されたそれらの部品について、相対的な位置関係から搬送の解析をしている。つまり、3D データの原点に依存することなく、解析作業ができる。具体例としては、図 5 に記載しているように、現在のユーザの設計方法では 3D データの原点 (0, 0, 0) は、設計上のイージーミスの削減を考慮して DL の基準点を利用しているものもあれば、一次機械加工における NC データの活用を考慮して下型の底面を利用しているものもある。各メーカーの目的用途によって 3D データの作成仕様が異なっているという現状の中で、SAM の設定ロジックは 3D データの原点の決め方に依存しないので、多くの 3D データに対応できる。

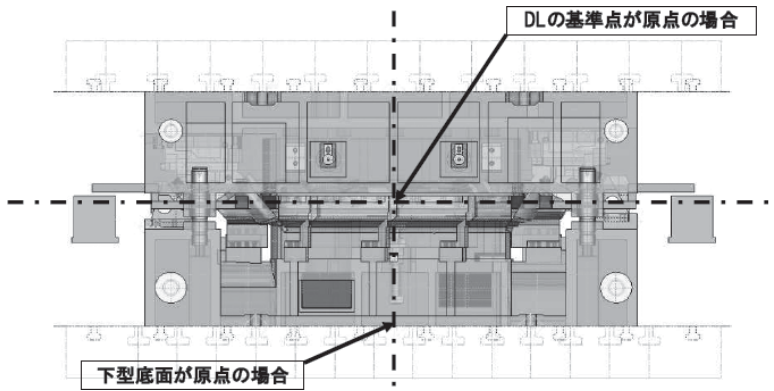


図5 3Dデータの原点位置

ただ、トランスファープレスにセットされる複数のプレス金型は、成形性やスクラップ落下等の理由から、工程間でプレス方向（Z軸方向）におけるDLの基準点から下型底面までの距離（以降、基準点高さ）が異なっていることが多い。また、搬送ライン解析作業には基準点高さの異なった複数工程の3Dデータをまとめて配置する必要があるため、相対的な位置関係から全ての部品の解析が可能なSAMの場合とは異なる。そのため、相対的な位置関係から解析可能な部品と解析が難しい部品に整理した（表1）。

表1 相対的な位置関係から解析可能な部品（SAM設定ロジック）

解析可能な部品	解析が難しい部品
下型本体、上型本体、パッド カム、（リフター）	フィンガータイプ クロスバータイプ

フィンガータイプやクロスバータイプといった搬送装置以外の部品は、SAMの搬送解析設定の方法をそのまま搬送ライン解析システムに使える。ただしリフターは動くタイミングによって、製品パネル搬送時の干渉確認に影響するため、複数工程の解析ソフトウェアを実現するには検討する必要がある。

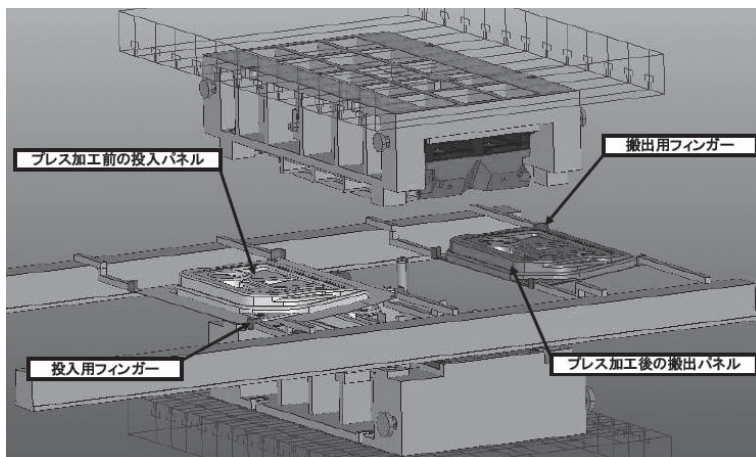


図6 投入用・搬出用の製品パネルとフィンガー

他に、搬送ライン解析作業を SAM の設定ロジックで実現する上で大きな課題となるのが、OBJECT 構造（搬送に関連する部品（OBJECT）が複数配置された構造。詳細は 4.1 節で述べる）と製品パネルの動きである。複数工程になると、単工程と比べて OBJECT 構造は複雑になる。複数のデータを取り込み、管理・運用していく上でシンプルな OBJECT 構造を構築することが重要である。また、図 6 で投入用・搬出用の製品パネルとフィンガーを示したが、フィンガーはモーション線図（実際にはモーション線図を数値化した CSV ファイル）によって動きを制御される一方、製品パネルはプレスと搬送装置の動きを示すモーション線図やリフター等の製品パネルを動かす部品によって制御される。そのため、搬送ライン解析ソフトウェアの場合、それらの動きをどのように織り込むかが、システムを実現する上で重要になる。

本章で考察した搬送ライン解析システムを開発する上での課題を整理すると、複数工程の 3D データ原点位置とその整合性のとり方、OBJECT 構造、製品パネルの動きとなる。

#### 4. 搬送ライン解析機能

搬送ライン解析機能は複数の 3D データ（プレス金型）を配置し、製品パネルの搬送途中の動きをチェックするものである。本章では、解析ソフトウェア開発に向けた課題と対応策を整理しながら説明する。

##### 4.1 OBJECT 構造

型設計は通常、搬送に関連する部品（OBJECT）を全て配置し、かつ、工程別に設計を進めるため、前工程から送られてくる投入時パネル形状と、後工程へ送る搬出時パネル形状を配置しておく必要がある。それは前工程の型設計でも後工程の型設計でも同じことである。つまり、一連のプレス工程全体の 3D データは、同じ OBJECT 構造、つまり前工程の搬出時パネル形状 = 自工程の投入時パネル形状、自工程の搬出時パネル形状 = 後工程の投入時パネル形状になっている。全く同じ動きを持った部品を複数配置していることは、部品構造を複雑にするだけである。

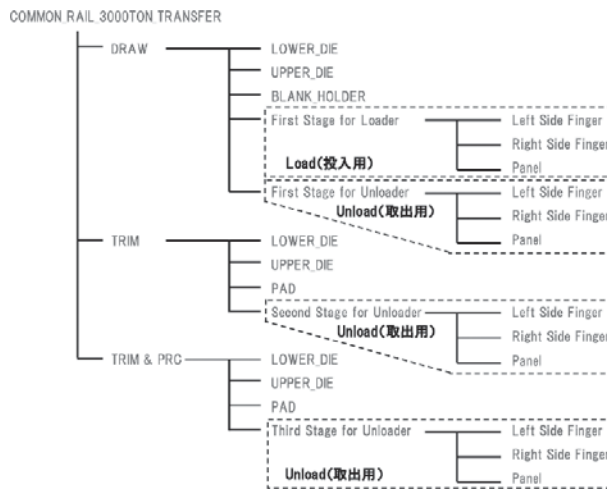


図 7 複数工程用として検討している OBJECT 構造 (3 工程の場合)

また、型設計者が搬送ライン解析作業を兼務することが多いと想定しているので、プレス工程全体の3Dデータとほぼ同じ部品構造が望ましい。そこで、各工程の搬出時パネル形状を基準として、搬送ライン解析作業用の部品構造を作成するよう定めた。その場合、第一工程は投入時パネル形状と搬出時パネル形状が必要になるが、それ以外の工程は搬出時パネル形状のみとなり、全く同じ動きを持った部品が複数配置された部品構造ではなくなる。図7は3工程で構成されるOBJECT構造の例である。

#### 4.2 3Dデータの配置基準点

各工程の3Dデータの原点には、DLで指示された基準点を充てる場合が多い。ただ、基準点のプレス方向の座標値（Z軸方向）に関しては、DLで指示された基準点を使う場合と下型底面を使う場合の二つが主流であり、また、金型製作及び機能上の理由から各工程で基準点高さが異なることが多い。前章で説明したように、これは今回の搬送ライン解析ソフトウェアを開発する上での課題の一つである。

搬送ライン解析作業は各工程の下型底面を揃え、また、各工程の3Dデータがある一定の距離ピッチ（フィードストロークと呼ばれる）で配置する必要がある。そのため、配置する3Dデータと、3Dデータが配置されるプレス3Dデータ（ボルスター）の双方に配置基準点を設置し、その配置基準点を利用することとした。3Dデータの配置基準点は下型底面、プレス3Dデータの配置基準点はステージ<sup>\*3</sup>1センター上に設置し、ステージ1に配置する3Dデータは同じ座標軸方向で配置基準点同士を一致させる。また、ステージ2以降に配置する3Dデータに関してはモーション線図をCSVファイル化した数値情報からフィードストロークを割り出し、それに沿って自動配置する（図8）。

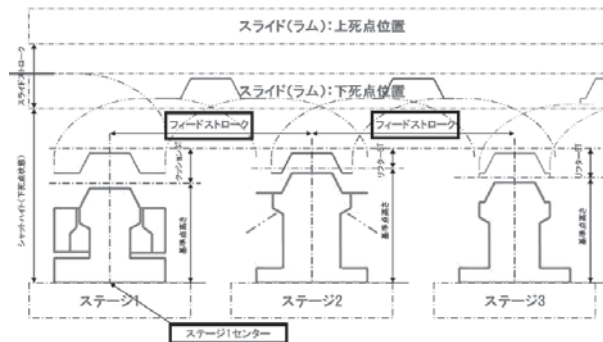


図8 3Dデータの配置基準点

#### 4.3 製品パネルの動き

製品パネルの動き（位置の変化）は、プレスと搬送装置の動きを示すモーション線図やリフター等の製品パネルを動かす部品によって制御されるが、製品パネルを制御する対象要素の切り替えはプレスのクランク角度（モーション線図をCSVファイル化した数値情報の一部で、図3の右上表における#ANG列）によって行う。プレスのクランク角度はプレスの上下運動を360度の回転運動として表現する。製品パネルの位置を数値化したモーション線図（CSVファイル）と、リフター等の動きを表現する計算式とをリンクさせることが重要である。また、



各工程の取出時パネルを基準とした場合、自工程の取出時パネル形状を次工程の投入時パネルとして扱うため、基準点高さの違いも考慮する必要がある。

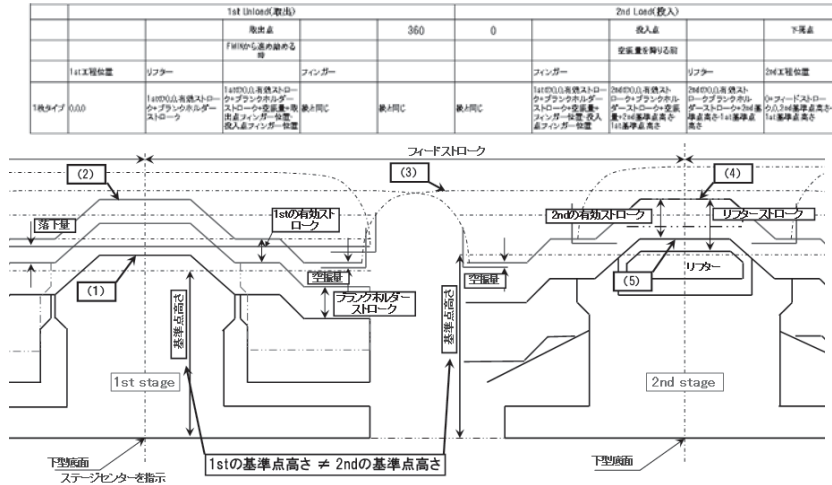


図9 製品パネルの動きに影響を与えるパラメータ

図9は製品パネルの動きに影響を与えるパラメータである。以下に、製品パネルの動きを、時系列(1st stageの3Dデータに配置されている取出時パネルが2nd stageの3Dデータに投入されるまでの流れ)に示す。

- 1) 1stの3Dデータ上の原点(0, 0, 0)に配置されている(1stの3Dデータの下死点状態)
- 2) 1stの3DデータがZ軸のプラス方向へ移動する時(プレス上昇時)に、1stのリフター有効ストローク+ブランクホルダーストローク+空振量+取出点フィンガー位置-投入点フィンガー位置として指示された数値まで取出時パネルを一緒に移動させる
- 3) 取出パネルを、数値化されたモーション線図(CSVファイル)に沿って移動させる
- 4) 2ndの3DデータがZ軸のマイナス方向へ移動する時(プレス下降時)に、2ndのリフター有効ストローク+ブランクホルダーストローク+空振量+2ndの基準点高さ-1stの基準点高さとして指示された数値まで、取出時パネルを2ndの投入時パネルと一緒に移動させる
- 5) 2ndの3Dデータの下死点位置(0, フィードストローク, 2ndの基準点高さ-1stの基準点高さ)まで移動させる。

製品パネルの動きは、1)から2)までは1stに配置されているリフター等の動き、3)は数値化されたモーション線図(CSVファイル)、4)から5)までは2ndに配置されているリフター等の動きにより制御される。

### 5. 考察

今回の搬送ライン解析ソフトウェアを型設計者が操作できるCAEソフトウェアの一つという位置づけで検討しているため、その観点で考察する。

一般的に型設計を行う場合、各工程の主要部品単位(DRAWの場合、LOWER DIE, UPPER DIE, BLANK HOLDER)で進めていくため、3DデータのOBJECT構造も主要部品

単位で作成する。また、搬送ライン解析の OBJECT 構造も同じような構造になるので、同じ主要部品単位で搬送設定を進めることができる。搬送設定時に必要となる数値情報や基準位置は、前工程である DL で決められるものなので、搬送ライン解析ソフトウェアに入力情報を設定する作業者は金型設計スキルに依存せずに、表 2 に記載した情報だけを入力すればよい。

表 2 搬送ライン解析設定時に必要な情報の入手先

設定情報	入手先	解析ソフトウェアでの入力方法
スライドストローク、フィードストローク、クランプストローク、リフトストローク	プレス仕様書 (モーション線図)	CSVファイル入力
基準点高さ 有効リフターストローク 落下量、空振量	ダイレイアウト (流れ図)	キーイン入力
各主要部品のストローク カム角度 リフターストローク	型データ	キーイン入力

各工程の型データには、前工程から搬送されてくる投入時パネル形状と後工程へ搬送する取出時パネル形状が配置されている。搬送ライン解析ソフトウェアでは、それらの工程間の基準点高さが異なっても、それを意識せずに搬送パネル形状を設定することができる。

図 10 は搬送ライン解析ソフトウェアの入力画面イメージである。入力する情報をできるだけ少なくしているため、簡易な操作で解析できる CAE ソフトウェアという位置づけで、多くの設計者に利用されるシステムであると考えている。

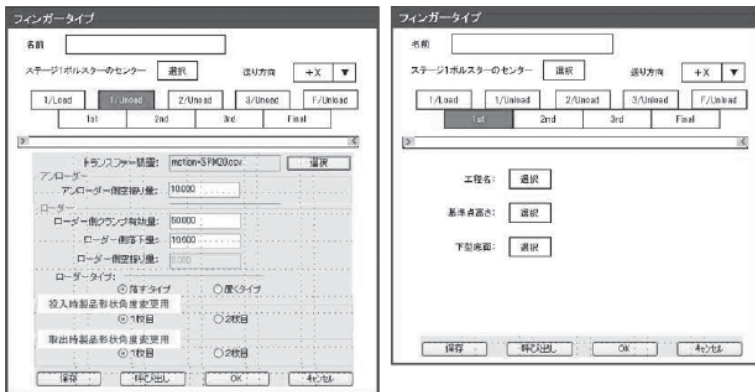


図 10 搬送ライン解析の入力画面イメージ (フィンガータイプ)

## 6. おわりに

今回、「生産効率アップに向けた搬送ライン解析機能の計画」というテーマで執筆したが、この計画の目的は顧客の生産性の向上である。海外との競争が激化する中で、更なる生産性の向上を目指すために、今後、ものづくりはますます CAE に依存していくと思われる。

搬送ライン解析によって、パネルの搬送性を事前に確認できれば、確実に生産性は向上する。また、搬送パネルの自重たわみ解析、トリム型のスクラップ落下解析、金型の強度解析等の

CAE システムと組み合わせれば、更なる生産性の向上を見込めると判断している。そのため、ものづくりに携わっているユーザのニーズを更に深掘して、計画を進めていきたい。

- 
- \* 1 プレス機械の部品で上下運動をする。上型を設置する。
  - \* 2 プレスヘッドの上に取り付けられている厚い上板で、下型を設置する。
  - \* 3 同一のプレス（例：トランスファープレス）内を移動して作業する場合の個々の工程のこと。

**参考文献** [1] 「デザインの数値化を図り妥協なき形状を追う」、日経ものづくり特別編集版、日経BP社、2012年6月、P66～69

**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) にて主に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年よりプレス金型向け商品企画業務に従事し、現在はメカニカルシステム事業部eカスタマーリレーション営業部商品企画グループに所属している。

