

論文・解説

21

## ボディ部品間の隙・干渉チェック自動化システムの開発 Development of the System which Automated a Check of the Clearance and the Interference between the Body Parts

渡部 哲士\*1      田中 雅之\*2      烏山 義宣\*3  
Tetsuji Watanabe      Masayuki Tanaka      Yoshinori Karasuyama

徳野 礼子\*4      川西 博実\*5      谷口 恵莉\*6  
Reiko Tokuno      Hiromi Kawanishi      Eri Taniguchi

### 要約

マツダは、一括企画プロセスにより最適化したプラットフォームを開発し各車種へ展開している。車体構造の最適化では“多くの車種／車格”で性能評価を行うが、手戻りを防ぐため生産性などの要件を織り込んでおくことが必要になる。ただ、数百ある車体部品間の隙要件確認には膨大な時間を要するため、出図間際で車体形状変更が決まると CAD 出図の延期が常態化していた。そこで、マツダの基幹 CAD である NX では困難な隙要件測定の自動化を外部ツールとの連携で実現し期間を短縮した。

### Summary

Mazda develops the platform which we optimized by a collective plan process and unfolds to each car model. We perform a performance evaluation in many car model / cars case by the optimization of the body work, but it is necessary to interweave requirements such as the productivity to prevent hand return. But the postponement of the figure of CAD release became normalization to need enormous time for the clearance requirements confirmation between the body parts which there was several hundred when a body shape change was fixed at a release brink. Therefore we realized automation of the difficult clearance requirements measurement by the cooperation with the outside tool in NX which was basic CAD of Mazda and shortened a period.

### 1. はじめに

“多くの車種／車格”で目標を達成させる最適構造の車体開発では、一つの車種の評価 NG による形状変更は“多くの車種／車格”で再評価が必要で最適化をやりきるために CAD データ作成は常に期間短縮が求められてきた。

一方、開発のデジタル化は拡大し、CAD データ上の部品間の干渉が CAE 評価の遅れに直結するなどデータ品質に対する要求は厳しくなっている。一括企画開発により期間短縮された量産車開発においても状況は同じである。

ボデーCADGr では、データ作成と要件の織り込み確認に NX のパラメトリック機能や自動化機能を活用して、効率化と期間短縮を実現してきた。しかし、出図間際で最も工数を費やしていた板金部品間の隙要件測定は技術的に自動化が難しく業務上のボトルネックとして残っていた。

そこで、隙測定を複雑化させるサーフェスモデルのソリ

ッド化技術を実用化し、何重もの処理で抽出する測定箇所のカスタマイズ性に優れた外部ツールを活用することで隙要件測定を自動化した。その結果を報告する。

### 2. IU-DPA とは

マツダでは、実車を造る前にコンピューター上で部品の 3D データを使い、実際の組み立て順序どおりに組み立てて、隙・干渉を検証する活動を DPA (Digital Pre Assembly) と呼ぶ。ボデー開発部では、車体開発の DPA の中で、車体を構成する部品間の隙・干渉を検証する活動を IU-DPA (In Unit -Digital Pre Assembly) と呼ぶ。

IU-DPA の IU とは、車体を 1 つのユニットと考え、その中をチェックするという意味で In Unit の頭文字から付けた名称である。

今回は、この IU-DPA の自動化についての報告である。

\*1~4 ボデー開発部  
Body Development Dept.

\*5, 6 エンジニアリングシステム部  
Engineering Systems Dept.

Fig. 1 に、IU-DPA の開発プロセスを示す。プロセスは 2 つある。1 つは、各自が担当する部品に対し、開発の各出図イベントに向けて形状作成の完了と同時に周辺部品との隙・干渉を検証する「造り込み IU-DPA プロセス」(以下 個別検証)である。もう 1 つは、出図イベント前後に隙・干渉を確認する期間を設けて車 1 台分を一齐に検証する「確認 IU-DPA プロセス」(以下 一括検証)である。

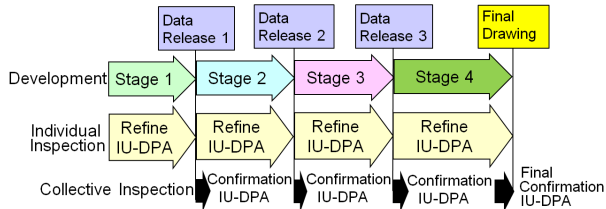


Fig. 1 IU-DPA Development Process

設計者は、個別検証及び一括検証において Fig. 2 に示すような部品間の整合を取り品質を保証して出図している。

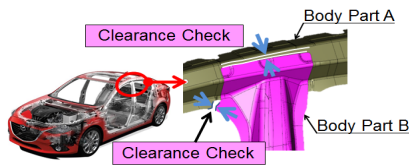


Fig. 2 IU-DPA Outline

3. IU-DPA の概要

3.1 検証内容

Fig. 3 は、車体の隙・干渉を検証する箇所を 1 つの断面に集約した絵である。検証内容は、A, B, C, D1~3, E, F の 8 項目ある。中でも青丸で囲んだ箇所は目視では探ることが難しかったり、見えにくかったりするため見逃す可能性の高い部位である。特に項目 E は、部品間の微小な三日月状の隙間のため探しにくく計測にも手間が掛かる。これらは Table 1 に示した内容を保証するために必要となる。

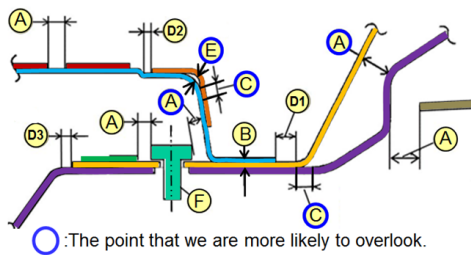


Fig. 3 IU-DPA Evaluation Contents

Table 1 は、Fig. 3 の項目 A~F の検証要件を定義した表である。2 つの視点から要件を定義している。1 つは部品

同士を組み付けた時に干渉や隙不足などの不具合を発生させないことで、項目 A~D1 と F で検証する。もう 1 つは防錆や防水に必要なシールを無駄なく効率的に塗布できる車体構造を保証することで、項目 D2, D3, E で検証する。

Table 1 IU-DPA Requirement Details

Item	Requirement	Purpose	Confirmation Item
A	Securing of Necessary Clearance	Assembly	No Interference
B	Coincidence	Assembly	Spot Welding
C	Securing of Necessary Clearance	Assembly	Distance between R End and R End
D1	Securing of Necessary Clearance	Assembly	Distance between Part End and R End
D2	Securing of Necessary Clearance	Painting Seal	Distance between Part End and R End
D3	Securing of Necessary Clearance (Too Tiered Doll Stand Clearance)	Painting Seal	Distance between Part End and R End
E	Securing of Necessary Clearance	Painting Seal	Clearance of the Crescent Moon
F	Axis Coincidence	Assembly	Fastening

例えば、車体を構成する板金プレス部品は、Fig. 4 のように曲面部 (以下 R) と平面部で構成される。R と平面部の境界を R 止まり、部品の端部を部品止まりと呼ぶ。各部品の R 止まり間や、R 止まりと部品止まりが干渉しない隙や、重なる R 部の形状バラツキによる組み付け不具合とシーล切れを発生させない隙を確保することを定義している。

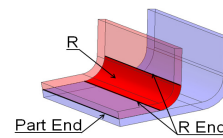


Fig. 4 Contents of the R & R Stop & Part Stop

3.2 検証プロセス

Fig. 5 は、Fig. 3 を検証するプロセスを示す。具体的には、「周辺部品選定→ソリッド化 (オフセット) →計測箇所を探す→計測→判定」である。マツダでは、ボディー部品の 3D データをサーフェスマデルで作成しており、3D モデルの面を板厚分オフセットしてから計測を行う。

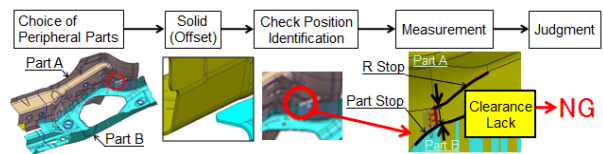


Fig. 5 IU-DPA Inspection Process

今回、この検証プロセスに対して以下 3 点の自動化技術を組み込んだシステム開発に取り組んだ。具体的には、

- 部品同士の検証項目と検証箇所を漏れなく探す技術
- 検証箇所を最短距離だけでなく網羅的に計測する技術
- 要件隙に対して OK/NG を正確に判断する技術

である。上述した技術を適用することで、これまで担当者任せとなっていた相手部品の選定や検証項目の決定、更には OK/NG の判定を自動で行う。そして Fig. 6 に示すような人による検証部品や検証項目の漏れや OK/NG の判定ミ

スを回避し品質のバラツキを払拭した。

Target Part	Partner Part	Inspection Item							
		A	B	C	D1	D2	D3	E	F
1	2		NG	OK	OK	Omission of Inspection			
	3	OK							
	4	OK	OK	OK	OK	NG	OK	OK	
	5		OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	6	OK			NG	OK	OK	OK	OK
	7	OK	OK	NG	OK	Misjudge			
	8								

Fig. 6 Inspection Result of IU-DPA

### 4. 開発のねらいと効果

#### 4.1 設計品質の向上

本システムは、上述したようにこれまでの人間系による確認不足や判断ミスを払拭し、出図後に発覚していた Fig. 7 のような不具合の未然防止をねらい開発を始めた。

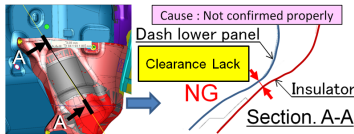


Fig. 7 Example of a Defect

また、Fig. 8 に示すように、車体の構造から部品の形状を決めるプロセスを性能解析を含めて小サイクルで回すことにより、机上検証活動を充実させ不具合の早期発見、早期修正につなげて形状確定度を高めた出図が期待できる。

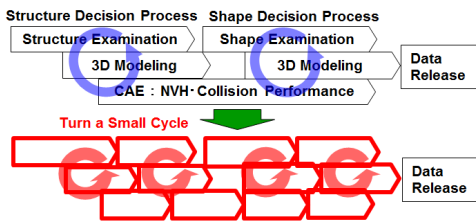


Fig. 8 Shape Decision Process

#### 4.2 机上検証活動の効率化

効率面においても、本システムを Fig. 5 の検証プロセスに適用すれば Fig. 9 に示すような省力化が期待できる。

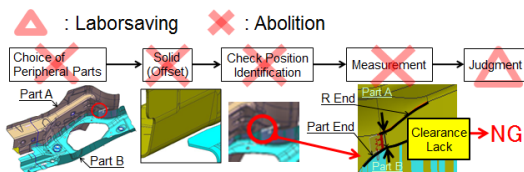


Fig. 9 Efficiency of IU-DPA Inspection Process

Fig. 9 により個別検証の省力化ができ、また、個別検証

時に同時に実施するため、出図前後に期間を設けて実施していた一括検証を廃止する (Fig. 10)。更に、波及効果として Fig. 8 による確定度の高い形状の造り込みで出図後の不具合を極小化し設計変更への対応工数を回避できる。

この効率化した工数を車体品質の更なる造り込みに活用し机上検証活動を充実させ量産品質の早期化が期待できる。

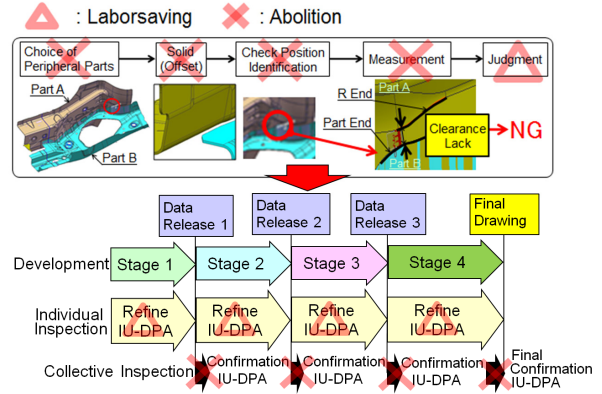


Fig. 10 Efficiency of IU-DPA Work Process

### 5. システム開発

#### 5.1 IU-DPA 自動化構想の整理

まずは、システム化に向けてやりたいことの良い理想の形をユーザー目線で Fig. 11 に示す業務の流れとして整理した。目的は、実現に向けた各項目における課題の抽出と解決策検討を効率良く行うことにある。なお、赤枠部が今回自動化した業務に当たる。以下に具体的な構想を説明する。

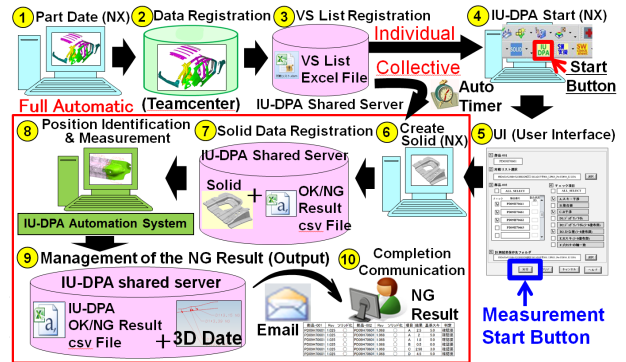


Fig.11 IU-DPA Automation Flow

#### (1) 事前準備 ①～③

個別検証及び一括検証ともに共通のプロセスである。具体的には、システムを起動する前に担当部品と隙・干渉チェックが必要な相手部品の 3D データ及び対戦部品の組み合わせ情報を整理した『対戦リスト』を準備する。

以降は個別検証と一括検証でプロセスが分かれる。

## (2) 個別検証 ④～⑩

ねらいは、Fig. 8 で示すように各自が担当する部品に対し、形状作成を完了したと同時に周辺部品との隙・干渉をタイムリーに漏れなく検証し、不具合の早期発見、早期修正につなげ形状確定度を高めることにある。

特に⑤UI (User Interface) は、ユーザーの業務シーンを細かく分析し、検証項目や隙の基準値など自動計測に必要な情報を、ユーザーの思いどおりに入力できるように使い勝手の良さを追求した。

## (3) 一括検証 ⑥～⑩

ねらいは、Fig. 10 で示すようにこれまで出図前後に期間を設けて行っていた車 1 台分の一括検証を廃止し、週末を利用したプロセスに変革することである。具体的には、週末の夜、システムに設定した自動タイマーがシステムを起動させ、休日を利用して車体全部品間の隙・干渉をチェックする。そして休み明けには結果を設計担当者へメールで配信し、NG 箇所への設計者の迅速な対応を可能にする。

## 5.2 計測ツール選定に向けた取り組み

Fig. 11 の実現に向けて社外メーカー3 社様の 3D 計測ツールのベンチマークを行った。Fig. 12 に、ツールの評価から決定までの流れを示す。以下に詳細を説明する。

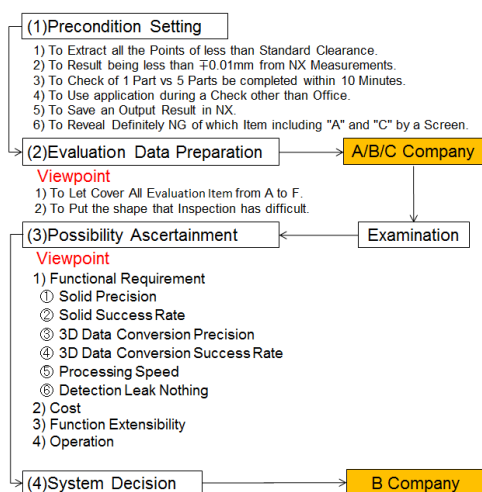


Fig. 12 Decision Process of the 3D Measurement Tool

### (1) 前提条件の設定

まずシステム化に必要な条件以下 6 項目を設定した。

- ・基準値未満の箇所を全て漏れなく抽出すること
- ・結果が NX 測定値から $\pm 0.01\text{mm}$  未満であること
- ・評価を行う相手部品 5 部品に対してのチェックが 10 分以内に完了すること
- ・結果を NX で保存できること
- ・チェック中に Office 等他のアプリが使用できること
- ・Table 1 のどの要件が NG か画面で明確に分かること

### (2) 検討用データの準備

次に計測ツールによる自動化構想の実現性を把握するため評価用データを作成した。データは計測精度の実力を知るため検証項目 A～F を網羅し、かつ、チェック箇所の探索や隙・干渉に時間が掛かる複雑な形状とした。

### (3) 実現性の見極め

各社に対し準備した検討用データを提供して上記(1)の前提条件に対する評価を依頼した。その後、提示いただいた評価結果をもとに適用判断に向け検証活動を行った。

しかし、前提条件だけでは正確な判断が難しいため、判断に必要なより詳細な仕様を機能要件として再設定した。

## 5.3 自動化の仕様決定

実現性見極めに向け以下機能要件 6 項目を再設定した。また、これらの要件に加え、コストや拡張性、運用面も合わせ総合的な評価を行った。具体的には、以下である。

### ・検出精度 (NG の検出漏れゼロ)

最も重要な要件である。特に検証項目 A は、最短距離だけではなく網羅的に結果を出すこと。

### ・ソリッド化精度 (誤差 0.01mm 以下)

基準値に対して 0.01mm を超えた場合は NG と判定すること。

### ・ソリッド化成功率 (100%)

計測結果を正しく抜け漏れなく出力すること。

### ・データ変換精度 (誤差 0.01mm 以下)

基準値に対して 0.01mm を超えた場合は NG と判定すること。

### ・データ変換成功率 (100%)

計測結果を正しく抜け漏れなく出力すること。

### ・処理速度 (1 分/件)

前提条件の 1 部品対 5 部品の検証を 10 分以内で完了すること。これは車一台分のチェックを一括検証で完了するのに必要な処理速度である。

以上機能要件 6 項目に加え、コストについては、開発費用やライセンス費用、保守費用など必要な費用と投資対効果が見合うこと、また、拡張性については、計測機能や蓄積した技術がボディー以外の部品や隙・干渉チェック以外の業務への活用の可能性があること、更に運用については、Fig. 10 で示す自動化構想が実現可能なレベルであることを条件とした。そして上記の要件で評価した結果、エリジオン社製の DFM Studio を選定した。

## 5.4 アウトプットの仕様決定

エリジオン様とシステムの具体化に入る前にアウトプットの仕様を決めた。具体的には、以下 2 点である。

### (1) 検証項目 A～F のアウトプット仕様

#### 1) 検証項目 A について (Fig. 13)

NG 箇所を点群のカラーマップで網羅的に表示させること。なお、点群の密度やカラーについては、システムの評

値結果とユーザーニーズから適正な値と色にすること。

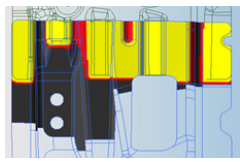


Fig. 13 Inspection Item A

2) 検証項目 B について (Fig. 14)

SW 溶接する面同士の離れと干渉を抽出すること。

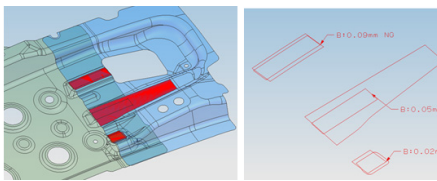


Fig. 14 Inspection Item B

3) 検証項目 C について (Fig. 15)

部品同士のチェック対象とする各面のエッジごとに R 止まりとの最小値を抽出して表示すること。

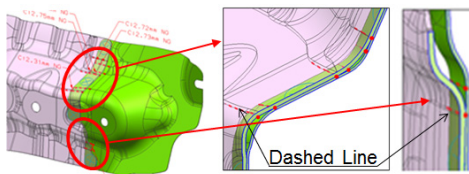


Fig. 15 Inspection Item C

4) 検証項目 D1~D3 について (Fig. 16)

部品同士のチェック対象とする各面のエッジごとに最小値を抽出して表示すること。

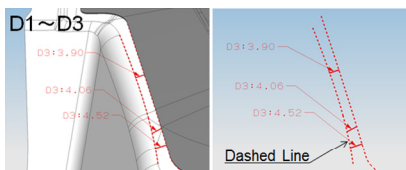


Fig. 16 Inspection Item D1~D3

5) 検証項目 E について (Fig. 17)

構造の違う 2 パターンを認識し部品同士のチェック対象とするエッジと面との最大値を抽出して表示すること。

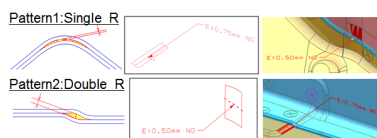


Fig. 17 Inspection Item E

6) 検証項目 F について (Fig. 18)

部品同士のチェック対象とする穴の座標軸と中心点の値を抽出し軸ズレの距離と角度を計測して表示すること。

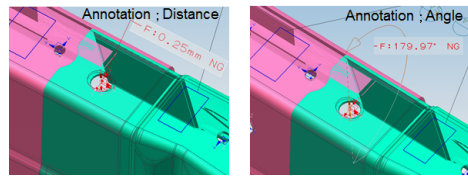


Fig. 18 Inspection Item F

(2) 計測結果のアウトプット仕様

Table 2 は、計測した NG 結果を出力したリストである。フォーマットは設計者の使い勝手を考慮し、日頃見慣れたエクセルの表形式とした。リストに出力する内容は、検証を行うにあたってのインプット情報となる検証を行う相手部品の番号、データ改暦、ソリッド化の成否結果と結果として得られた計測値、そして OK/NG 判定の根拠とする基準隙値を明記する。

Table 2 NG Result List

Part No.	Date Rev.	Solid	Part No.	Date Rev.	Solid	InspectionItem	Result
Y	1.025	○	Z	1.068	○	A	2.5
Y	1.025	○	Z	1.068	○	A	2
Y	1.025	○	Z	1.068	○	A	1.8
Y	1.025	○	Z	1.068	○	B	0.5

### 5.5 自動化の考え方

上述したアウトプットの実現に向け、Fig. 19 に示す考え方のもと開発を進めた。その考え方とは、自動化するには、現状の業務を作業レベルで可能な限り細分化して、コンピューターでの置き換え可否を見極めることが重要であること。具体的には、まずは①人が目視や手で行う作業を見える化する。次に②見える化した作業の規則性を見出し定型化する。ここで大切なのは、想定する業務シーンに応じて全てパターン化することである。そして③全てのパターンをつなぎロボスタ性を高めたプログラムにすることである。

今回、特に悩んだのが検証部位の特定方法で、いかに漏れなく特定させるか、その仕様の決定に苦労した。次の章にて、検証部位を特定する考え方について説明する。

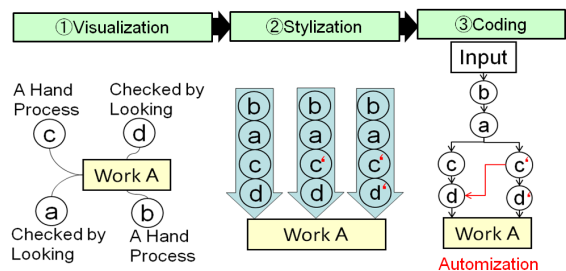


Fig. 19 Way of Thinking of the Automation

5.6 検証部位の特定方法

5.5 の考え方のもとプログラムを作成する前に、担当者が検証項目 A~F の部位をどのように探して特定しているのか調査しフロー化した (Fig. 20)。その中で赤字の L1~L10 は、特定した箇所を担当者が計測に必要な要素を、どのように見つけ出し計測しているのか、その作業を細かく見える化してロジックに落とし込んだフローになる。また、各部位を特定する作業の規則性を見出してパターン化し、それぞれを関連付けたことでロボスト性を改善した。このフローをもとにシステム的具体化を開始した。

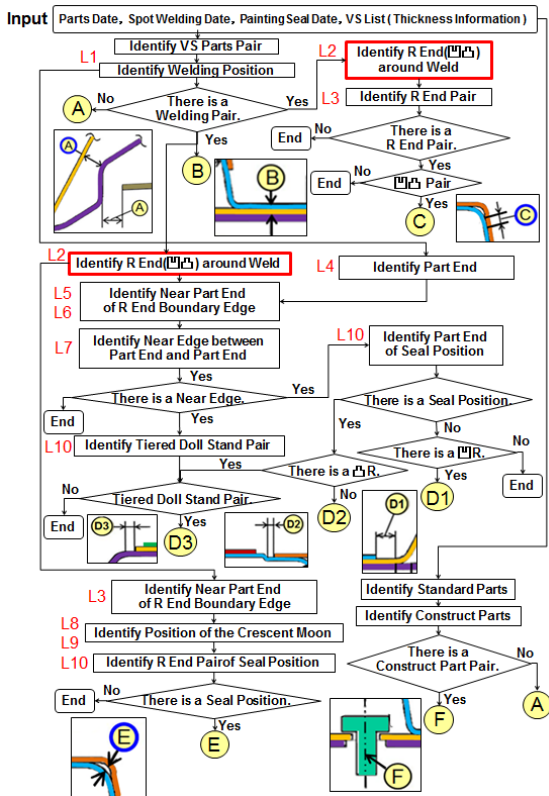


Fig. 20 Inspection Part Identification Flow

なお、Fig. 20 に示す凹凸 R の凹 R は板金を折り曲げた時の内側の R、凸 R は外側の R を意味する (Fig. 21)。

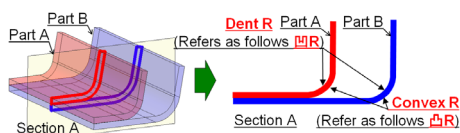


Fig. 21 Definition of 凹凸 R

今回、Fig. 20 の中でも特に頭を悩ませた部品間の R 止まりを特定するロジック L2 (赤字) を紹介する (Fig.22)。これは部品 A と B の SW 面に接する R 面をそれぞれ探し、SW 面に接するエッジを R 止まりと認識するものである。具体的には、①部品 A の SW 面に接する凸 R のエッジにサンプル点を発生させる。②サンプル点上の法線方向

と直交する方向を求める。③サンプル点を法線方向とは逆方向に一定量オフセットする。④オフセットした点から②で求めた方向に無限直線を引く。⑤無限直線と凹 R が接点を持つ場合は検証対象 R と認識する。⑥その R と SW 面に接するエッジを R 止まりと特定する。

このように人が思考したり目視で行っているプロセスから上述したような手順を見出し、プログラム化することで漏れなく検証部位を特定する技術を確認した。

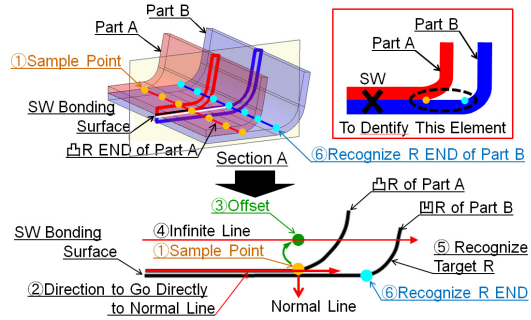


Fig. 22 Way of Thinking to Identify R END (凹凸)

6. おわりに

今回報告したボディー部品間の際・干渉チェック自動化システムの開発にあたり、社外メーカー(株)エリジオン様、(株)電通国際情報サービス様には多大なご協力をいただきました。その結果、これまで人がチェック箇所を目で探し計測して OK/NG を判断していた非効率な作業を改善することができた。特に NG 箇所を自動で漏れなくタイムリーに抽出する技術は、車体品質の造り込み活動の効率化に貢献できたと考える。今後は、実務適用する中で更なる使い勝手の良さを追求し、引き続き改善に取り組む所存である。

■ 著 者 ■



渡部 哲士



田中 雅之



烏山 義宣



徳野 礼子



川西 博実



谷口 恵莉