

## 技術論文

## ROPS 構造キャブの生産技術 Production Technology of ROPS Cab

野口 敬広  
Takahiro Noguchi  
伊藤 達志  
Tatsushi Itoh

油圧ショベルの運転者事故の内、転倒によるものが多くを占めている。転倒時の運転者の保護は非常に重要であり、コマツでも転倒安全規格（ROPS）に適用したキャブを搭載する為、キャブの強度を大幅にアップする構造が必要となった。それにより重量増、製造方法変更によるコストアップが見込まれる為、設計段階でのサイマル活動、全工程（素材から仕上げ工程）までを見据えた生産技術開発によりコストミニマムの生産システムを構築した。その内容について報告する。

Rollover is responsible for many of the operator accidents of hydraulic excavators. Protection of operators during rollover is very important and a structure that significantly increases the cab strength has been required also for Komatsu to install a cab that meets the Rollover Protective Structure (ROPS) safety standard. This will increase the machine weight and manufacturing cost due to a change in the manufacturing method. This paper describes the production technology developed involving simultaneous actions in the design phase and all processes (from material processing to the finishing process) to build a cost-minimal production system in order to overcome these disadvantages.

*Key Words:* キャブ, ROPS, サイマル活動, 高精度仮組, 溶接自動化, サーチレス, 可視化

### 1. はじめに

転倒時保護構造キャブに関する安全規制については、ブルドーザーなどでは以前より制定されていたが、油圧ショベルについても JCMAS で 2003 年 3 月、ISO で 2008 年 12 月に制定されており、コマツでもそれらの規制に対応する必要があった。設計部門、購買部門と協力して規格を満足できる構造、生産システムを構築できた為、その内容を報告する。

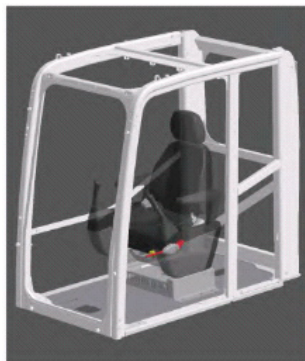


図1 衝突安全ボディー



図2 実車転倒テスト

## 2. キャブの新構造

ROPS 化に伴い、従来の 7 倍の強度が必要となった為、キャブ構造を大幅に変更する必要があった。そこで、従来の板金スポット溶接構造からパイプを骨格としたアーチ溶接構造へと変更となり、重量、溶着量共に大幅に増加した（図 3、4）。

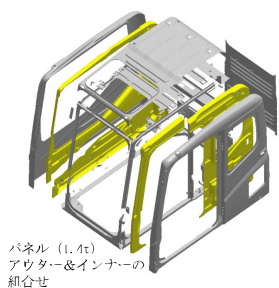


図 3 従来の構造

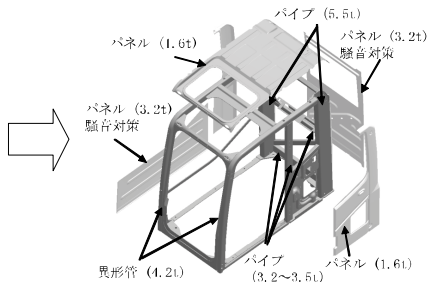


図 4 ROPS 構造

構造の特徴としては、基本的に骨格部で転倒時の安全を確保し、パネルを貼り付けることで、意匠性を確保している。パネル類のほとんどは骨格に直接取り付けられる構造となっており、溶接部位はそのほとんどを可視化し重ね溶接、隅肉溶接ができる構造とした。

## 3. 開発の目標と生産技術課題

上記の機能付加により、コストアップが予測された為、全工程（素材から仕上げ工程）までを見据えたコストミニマムな生産システムを目標とした。各項目に対する目標値を表 1 に示す。

表 1 開発の目標

| 工程  | 部位  | 狙い         | 目標         |
|-----|-----|------------|------------|
| 素材  | パネル | 材料低級化      | 材質 SPCC    |
|     |     | ブランク工程廃止   | 廃止         |
|     | パイプ | 高精度曲げ      | 平面度 2mm 以内 |
|     |     | 高精度 3D 切断  | 隙間 1mm 以内  |
| 溶接  | 骨格  | 高精度仮組      | 隙間 1mm 以内  |
|     |     | 溶接自動化 100% | 自動化 100%   |
|     |     | サーチレス      | サーチレス 100% |
| 仕上げ | 骨格  | 過剰仕上げ廃止    | 廃止         |

## 4. 開発内容

### 4.1 素材

コストミニマムな生産システムを構築する為には、素材の精度向上が、まず始めに取り組むべきことである。特に、溶接工程に影響が大きい部材は管理が重要となる為、重点的に取り組んだ。その内容について報告する。

#### 4.1.1 パネル材料低級化とブランク工程廃止

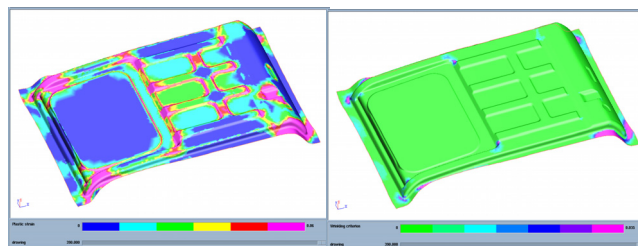
キャブの外装パネルは従来、複雑形状であり絞り深さを深く設計している為、プレス工程において割れ、しわが発生しやすく成形が困難である。対策として、ブランク工程の追加、高級材の使用等により成形限界を向上させる取り組みを実施しているが、いずれも工程数の増加、材料費アップに繋がり、コストアップする要因となっている。

本件ではキャブパネル材料の低級化、ブランク工程の廃止を目的として①キャブの構想段階から生産性を考慮したパネル構造設計、②金型方案の工夫を実施した。その内容と取り組んだ結果について下記に示す。

#### (1) 生産性を考慮したパネル構造の設計

材料低級化、ブランクレスを達成する為には、できるだけ簡単な形状にして成形難易度を下げる必要がある。設計方案を検討する上で、培ったノウハウに加えて成形シミュレーション解析（図 5）と実物トライを併用した。その際の開発コンセプトについて下記に示す（図 6）。

- ① パネルの構造検討により絞り深さを低く設定。
- ② エンボス等の小 R 部の成形の際に割れ、しわが発生する為、成形可能な R 形状とする。
- ③ プレス方向を一本化できる形状にする事でカム金型を用いた成形を最小限に抑える。



張り

しわ

図 5 シミュレーション解析例

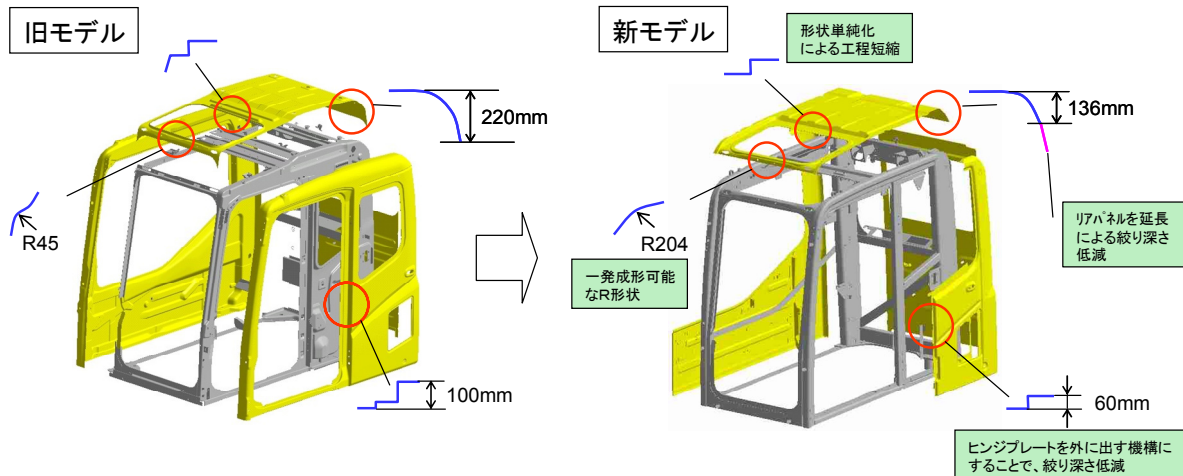


図6 パネル構造比較

(2) 金型方案の検討

上記の通り生産性を考慮してパネル構造を検討するのは重要な項目であるが、設計制約内の変更に限られるため、それと同様に重要なのは、成形性のいい金型方案をつくり込むことである。金型方案については、金型メーカーと協力して最適な金型形状を作り込んだ(図7)。

その際の開発コンセプトについて下記に示す。

- ① 絞り金型の中にスリット刃を追加し、絞る直前に材料を切り込むことで、材料を流れやすくする。
- ② 最適 R 形状を作り込み、材料を流れやすくする。(製品と関係ない部位)
- ③ ビード形状を加え、適度に張力を与える。

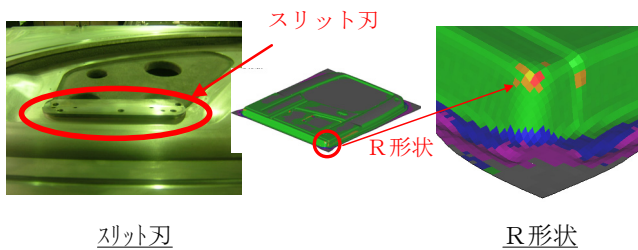


図7 金型方案

(3) 研究結果

上記取り組みの結果、表2に示す通り目標であったキャブパネル材料の低級化、ブランク工程の廃止を達成でき、パネル材料のコスト低減に繋がった。

表2 研究結果

| 対象部材 | 左後ろパネル | 右後ろパネル | ルーフパネル |
|------|--------|--------|--------|
| 形状   |        |        |        |
| 目標材質 | SPCC   | SPCC   | SPCC   |
| 達成材質 | SPCC   | SPCC   | SPCC   |
| ブランク | 無      | 無      | 無      |

4.1.2 Aピラーの高精度曲げ技術

キャブのAピラーは異形鋼管であり、複雑な断面をしている為、精度よく曲げることは容易でない。仮組時にキャブ部材の多くはAピラーに挟まれる構造となっている為、Aピラーの曲げ精度を向上させることは非常に重要であった。Aピラーの曲げ形状については、図8に示す通りであり、小R曲げ、大R曲げそれぞれの曲げ技術について取り組んだ結果について下記に示す。

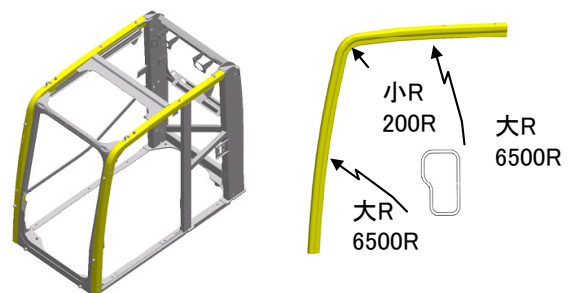


図8 Aピラー形状

(1) 小 R 曲げ技術の開発

小 R 曲げ (200R) の手法としては、最も成形性が良い回転引き曲げを選定した (図 9)。一般的に異形鋼管を曲げる場合、鋼管の径 D に対して成形する曲げ曲率 R が  $R=2.5D$  以上必要とされているのに対し、今回の設計値は  $R=1.7D$  の曲げを要求されている為、成形難易度が高い。シミュレーションによる事前検討を実施した後 (図 10)、様々な加工条件にてトライ&エラーを重ねた。成形のポイントを下記に示す。

- ① 金型とパイプのクリアランスを無くすことで成形中のパイプの扁平を防止する。
- ② 成形中に後方よりバックブラスターを用いて適正な軸圧縮力を付加することでパイプの減肉を防止する。

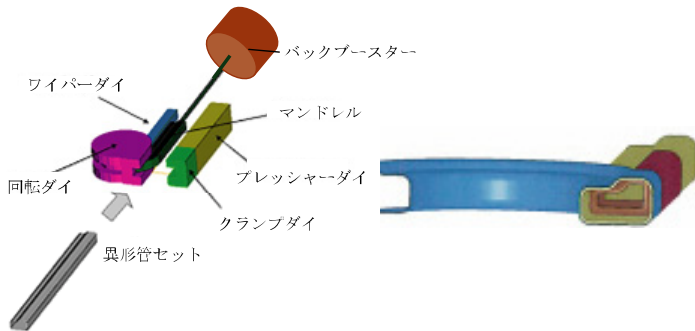


図 9 回転引き曲げ機構

図 11 に各加工条件が曲げ品質に与える影響についてまとめた。適正な加工条件を選択することで、加工が可能であるが範囲が狭く、条件を厳しく管理する必要があることがわかる。

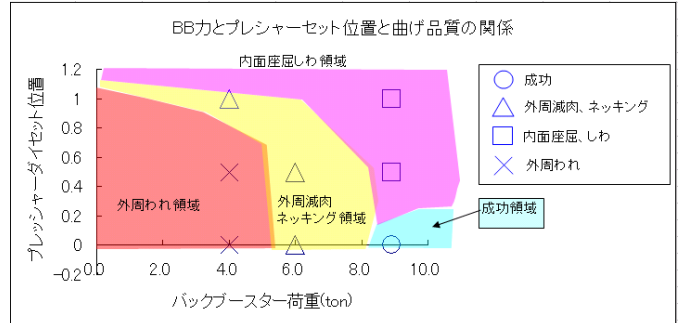


図 11 各加工条件が曲げ品質に与える影響

(2) 大 R 曲げ技術の開発

大 R 曲げ (6500R) の手法としては、ストレッチバンド機構を選定した (図 12)。端部を引張りながら金型に押し付ける機構の為、2つの大 R が一度に成形できる点に加え、前工程の歪みをキャンセルできる点が特徴である。成形のポイントを下記に示す。

- ① 素管を軸方向に引張りながら確実に金型に沿わず。
- ② 曲げ半径は、あまり小さくできない。

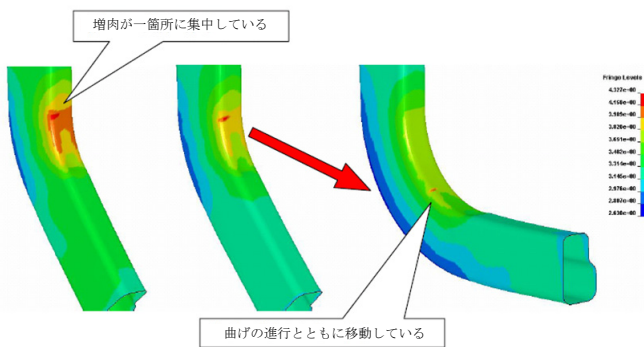


図 10 シミュレーション解析

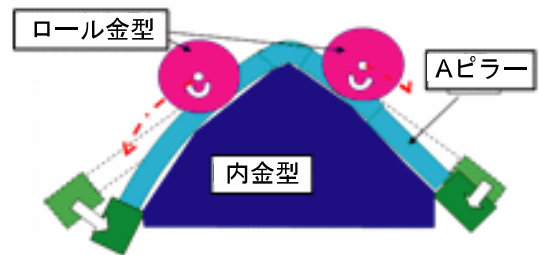


図 12 ストレッチバンド工程

(3) Aピラーの高精度曲げ技術研究結果

上記取り組みの結果、開発初期では平面度が目標の2mm以内を確保できず、矯正工程の追加が必要であったが、最終的には目標の平面度を確保できた(図13)。

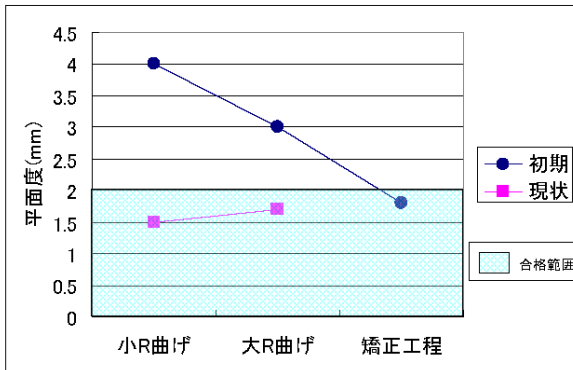


図13 Aピラー平面度

4.1.3 パイプの高精度3D切断

キャブのパイプ同士の接合は、従来はパイプを直切りして穴埋め部材を溶接にて取り付けた後に相手材と接合する作業が必要であり(図14)、部品点数、工数共に無駄の多い作業となっていた。本件ではパイプを自在に切断可能な3Dパイプ切断機を採用して、パイプR部に締結する新しい溶接継手設計とすることで、隙間が無くなりそのまま溶接できる構造となった。これが実現できれば、取り付け部材廃止、溶接、G仕上げ工程の廃止が可能となる(図15)。

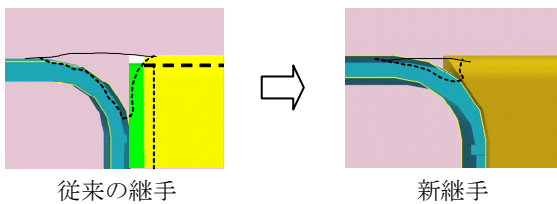


図14 パイプ継手

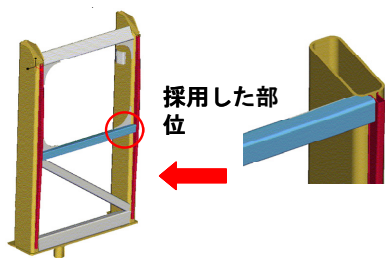


図15 採用した部位の一例

(1) 高精度パイプ3D切断の開発

3D切断形状を溶接継手として採用する為には、管端切断の要求精度は高い。特に部位によっては異形鋼管を複雑な3次元形状に切断する必要がある為、従来の切断機では困難であった。そこで、11軸のNC軸を持ち、長尺鋼管を切断可能なレーザー切断機を採用した(図16)。特徴としては高出力レーザー出力機を持ち、鋼管の搬入出、移動、トーチ合わせて11軸を持っている為、前工程の切断無しに機械に投入することで、完品まで加工可能である。この機械を用いて高精度に成形する為のポイントを下記に示す。

- ① パイプ素管の断面形状、ねじれ量の精度を一定範囲に管理する。
- ② 切断時にパイプの断面形状ズレ、ねじれを補正する

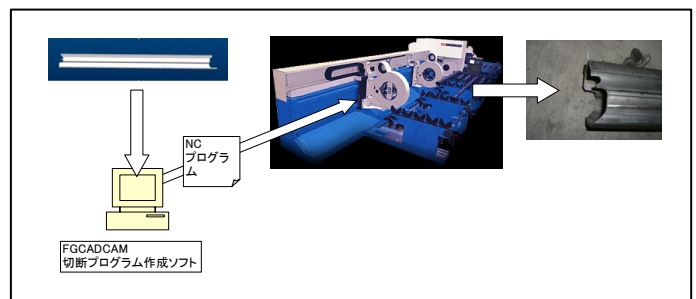


図16 3D切断機

4.2 溶接工程

キャブの新構造の特徴として、スポット溶接からアーク溶接に変更となり溶着重量が大幅に増加した。通常のロボット溶接ではサーチセンサ・アークセンサを適用するが、薄板であり、短い溶接線のため、サーチシフト機能は適用しにくく、かつ適用しても極端に効率を下げる事となる。コストアップを最小限に抑制する為、ロボット溶接の自動化100%とサーチレス溶接の実現を狙った。これを達成する為には、①高精度な仮組、②最適な溶接姿勢を取れるロボットシステムの構築が必要であった。

#### 4.2.1 高精度仮組システム

サーチレス溶接では、ワークを高精度に仮組することが必要である。上記の通り部材については、高精度に加工する技術を開発した為、仮組治具の工夫も重要となる。仮組治具の構造として従来のシリンダを用いて無理な拘束にてワークを歪ませながら仮組する方法を見直し、高精度な部材を基に無理な拘束無く仮組してそのままクランプにて拘束する方法を提案した (図 17)。

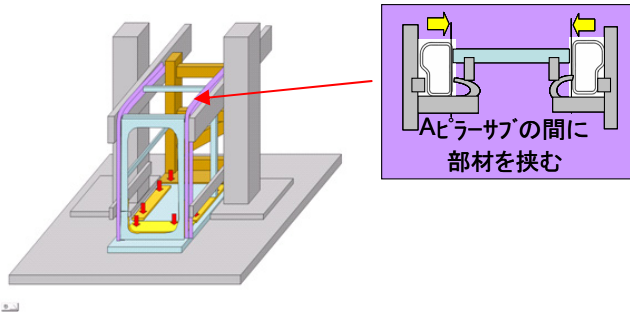


図 17 高精度仮組システム

図 18 に溶接ロボットにセットした際のワークの隙間とティーチングズレ量を測定した結果を示す。仮組完の状態、隙間、ティーチングズレ量共に 1mm 以内で確保できることがわかった。これによりサーチレス溶接の実現が可能となる。

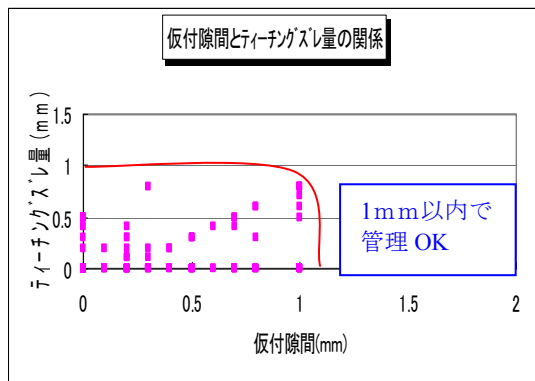


図 18 隙間とティーチングズレ量の関係

#### 4.2.2 ロボットシステム

溶接ロボットについてはワークと溶接機の位置関係を維持でき、最適な溶接姿勢取りができるようにポジション・ロボット 1 体型溶接システム、さらにケーブル内臓型ロングアームロボットを採用した (図 19)。これにより全姿勢において下向き溶接が可能になり、これまで特に難しかったキャブ内側や下側の溶接線についてもロボット溶接可能となった。

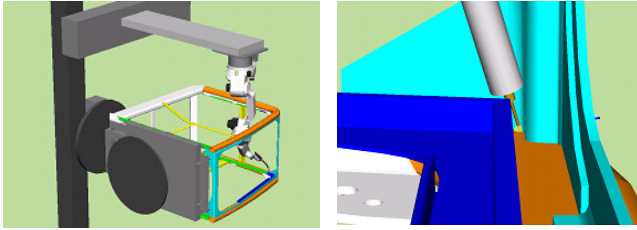


図 19 ロボットシステム

#### 4.2.3 溶接線の構造

溶接自動化 100%を達成する為には、上記システムの開発はもちろん重要であるが、前提にあるのはキャブ構造が自動溶接できる構造になっていることが最も重要なことである。設計段階からそれをコンセプトとし、溶接部位はそのほとんどを可視化し、重ね溶接、隅肉溶接ができる構造とした。特に注意したポイントについて下記に示す (図 20, 21)。

- ① 全溶接線が可視状態の骨組構造。複合工順の廃止と溶接部検査の 1 工程化
- ② トーチ干渉部の廃止構造構築
- ③ 1 チャック構造構築により干渉を回避した治具構想とし、干渉部位は溶接廃止とする。



干渉により溶接廃止部位

図 20 干渉回避イメージ



図 21 フロア側溶接

### 4.3 仕上げ工程

キャブ全工程の中で、工数の多くをしめるのは、仕上げ作業である。コストミニマムな生産システムを構築する為には、仕上げ作業の低減は重要課題となる。仕上げ工数を低減する為には、最も早い解決策は無駄な仕上げを低減することである。その為、設計部門、品質保証部門と協力して、過剰な仕上げを廃止する取り組みを実施した。例えば、仕上げの多いキャブ前面部のフレア溶接部の品質について、人の目の高さより上方を上位ランク、その高さより下方を下位ランクと基準を変え、上位ランク部を連続溶接化、下位ランク部を断続溶接とすることを各部門と承認をとり、仕上げレスとした。

## 5. 技術の達成状況

上記取り組みの結果、達成状況としては、ほぼ当初の目標通りとなった(表3)。サーチレス溶接が未達の理由としては、骨格を溶接した際の歪み量のバラツキが1mm以上であり、意匠パネルを溶接する際にサーチが必要となった為であるが、今後の課題とする。

表 3 達成状況

| 工程 | 部位    | 狙い        | 目標       | 達成度     |
|----|-------|-----------|----------|---------|
| 素材 | パネル   | 材料低級化     | 材質SPCC   | SPCC ○  |
|    |       | ブランク工程廃止  | 廃止       | 廃止 ○    |
|    | パイプ   | 高精度曲げ     | 平面度2mm以内 | 2mm以内 ○ |
|    |       | 高精度3D切断   | 隙間1mm以内  | 1mm以内 ○ |
| 溶接 | 骨格    | 高精度仮組     | 隙間1mm以内  | 1mm以内 ○ |
|    |       | 溶接自動化100% | 自動化100%  | 100% ○  |
|    | サーチレス | サーチレス100% | 95% △    |         |
|    | 仕上げ   | 骨格        | 過剰仕上げ廃止  | 廃止 ○    |

## 6. その後の取り組み状況

上記の通り、転倒時の安全性を確保でき、コストミニマムな生産システムを構築できた。しかし、柱構造部材は厚肉化し、各支点は補強リブ等の追加で強化している為、キャブ重量が従来の約2倍に増加していることは既に述べた通りである。特にリアのCピラーに使用される角鋼管は強度を確保するのに最も重要な部材であり、厚肉になるほど購入コストも高くなる。そこで、Cピラーを中心とした合理的な補強方法について検討した。

### 6.1 補強方法の考え方

ROPS試験時の変形モードとしては、Cピラーの座屈が先行してエネルギーを吸収する構造となっている為(図22)、この座屈を抑えることができれば、現状と比較してCAB全体で効率よくエネルギーを吸収できる構造となる可能性がある。図23に理想とする変形形態のイメージを示した。

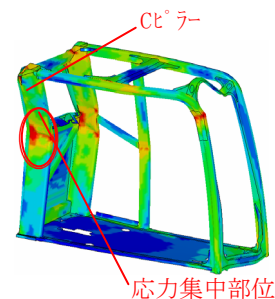


図 22 ROPS 解析

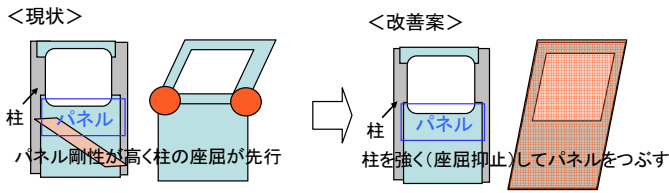


図 23 EOPS 試験時の変形モード

## 6.2 部分補強方法

### (1) 構造検討

部分補強の方法としては、生産性が高く、強度バリエーションが広いことから、リブ挿入案を選択した。工程としては、図 24 に示す通りである。これにより C ピラーを約 30% 薄肉化できる構造ができた (図 25)。

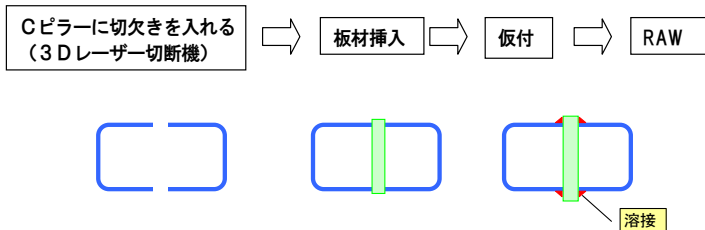


図 24 リブ挿入案製造工程

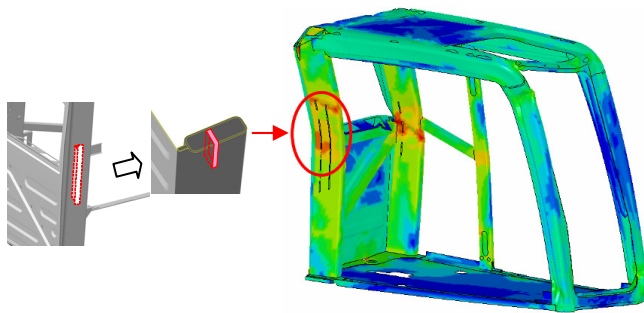


図 25 合理化案

### (2) EOPS テスト結果

上記の合理化案について側方押し、後方押し、上方押し共に目標吸収エネルギー値を変位可能内にて達成した。

## 7. おわりに

油圧ショベルの運転者の保護を目的として、転倒安全規格に適用したキャブを開発し、コストミニマムの生産システムを構築できた。現在、この技術を油圧ショベル以外のキャブにも適用中であり、キャブの製造工程の統一化を図っているところである。今後は、更なる理想的なキャブ構造、製造方法の追及に加えて、キャブ以外の部品にも展開することで、本研究の価値を高めていきたい。

### 筆者紹介



Takahiro Noguchi

野口 敬広 2004 年、コマツ入社。  
現在、生産本部 生産技術開発センタ所属。



Tatsushi Itoh

伊藤 達志 1984 年、コマツ入社。  
現在、生産本部 生産技術開発センタ所属。

### 【筆者からのひと言】

近年、自動車を中心に安全や環境への規制、ニーズはますます大きくなってきています。企業としてそれに応える為には、規制に満足することはもちろんですが、コストアップを最小限に抑える努力が必要になります。今回のケースのように品質の要求に対して、設計段階からのサイクル活動から始まり、全工程（素材から仕上げ工程）までを見据えた物作り改革が実を結んだ事例は、今後コマツの開発に大きな影響を与えると考えており、生産技術開発センタでも、同様の取り組み方で溶接構造物全体の SVC 改善に寄与できるように活動していきたいと思いをします。