

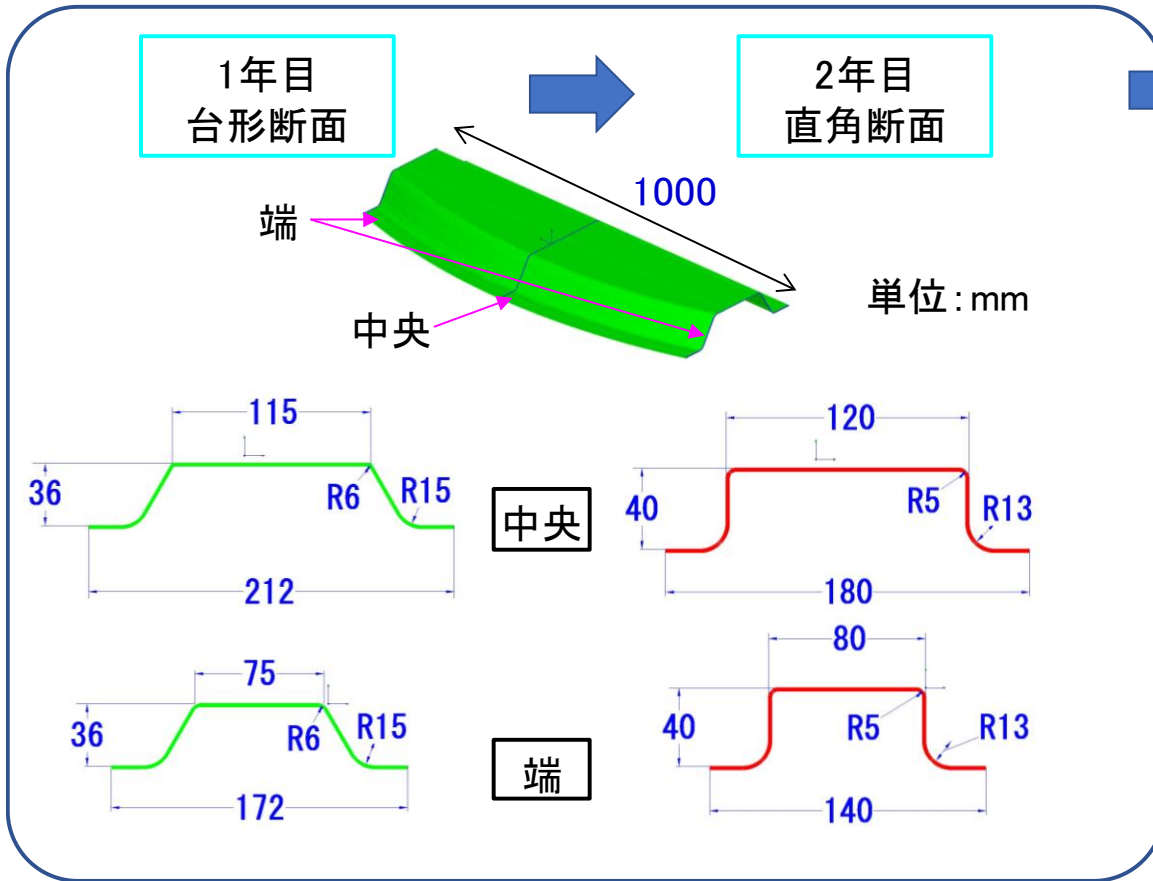
1. プロジェクトの概要及び実施体制



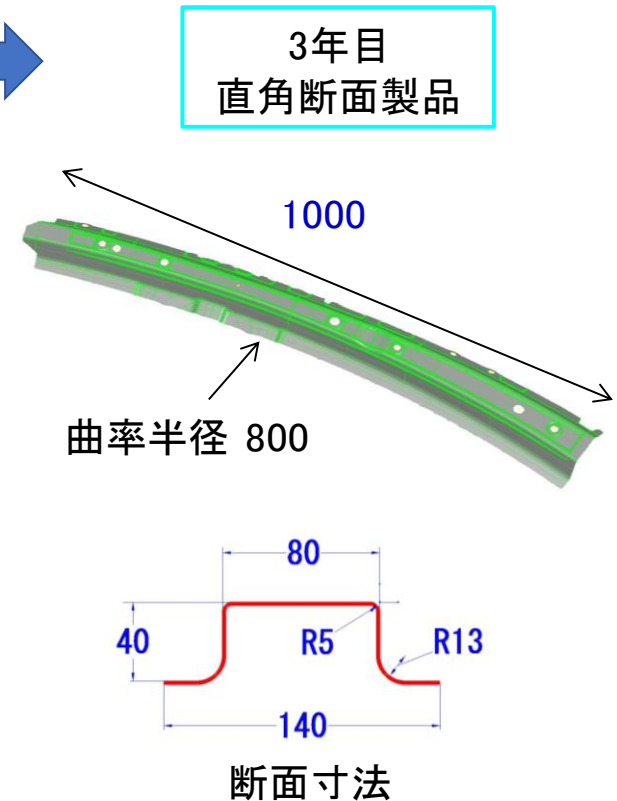
1. プロジェクトの概要及び実施体制

■開発対象形状の過程 難加工へのチャレンジ

モデル形状(要因の特徴を整理)



製品形状 (プロセスの実証)



単純形状での諸因子の効果の明確化 ⇒ 複雑製品形状での最適化

■研究開発の高度化目標及び技術的目標値

(三)精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(4)川下分野特有の事項

4)その他の川下分野に関する事項

a. 自動車分野に関する事項

②高度化目標

ウ. 難加工材・新材料加工対応

オ. 複合加工、部品組立及び工程短縮等を可能とする技術の向上

高度化目標	現状	目標
ウ. 難加工材・新材料加工対応（超ハイテン材用金型の実用水準）	材料強度 980 MPa 板厚 2.0 mm	材料強度 1180 MPa 板厚 1.2 mm（40%軽量化） ※川下製造事業者のニーズによるさらなる軽量化目標
オ. 複合加工、部品組立及び工程短縮等を可能とする技術の向上	（機械加工：2ヶ月） ＋（型修正：2ヶ月） ＝（実加工時間：4ヶ月）	（機械加工：2ヶ月のみ（50%短縮）） ＝（実加工時間：4ヶ月） 型修正レス

1. プロジェクトの概要及び実施体制

【事業管理機関】(一財)地域産学官連携ものづくり研究機構

【アドバイザー(加工技術)】

東京電機大学
教授 松村隆

<役割>

- ・切削加工のアドバイス
- ・加工プロセス開発の評価
- ・技術動向変化等の指摘

【アドバイザー(解析技術)】

岡山大学
准教授 上森武

<役割>

- ・成形解析のアドバイス
- ・解析プロセス開発の評価
- ・技術動向変化等の指摘

【研究実施機関】

鈴木工業株式会社
PL 鈴木修一

解析担当責任者 青木隆之
加工担当責任者 小林勝

<役割>

- ・プロジェクトリーダー(PL)
- ・全体総括
- ・連成解析, 高精度加工
- ・金型製作の実施と評価
- ・成果の事業化

【アドバイザー】(川下事業者)

(株)ユニプレス 技術研究所
生産技術開発センター
部長 林原隆

<役割>

- ・事業化のためのニーズ提供
- ・開発の妥当性評価
- ・市場ニーズ等変化の指摘

【研究実施機関】

群馬県立産業技術センター
博士(工学) 鍋木哲志

<役割>

- ・サブリーダー(SL)
- ・材料特性計測, 振動計測
- ・誤差の可視化

【研究実施機関】

群馬工業高等専門学校
教授 黒瀬雅詞

<役割>

- ・型変形計測, 振動計測
- ・解析条件の最適化と評価

【研究実施機関】

埼玉工業大学
准教授 河田直樹

<役割>

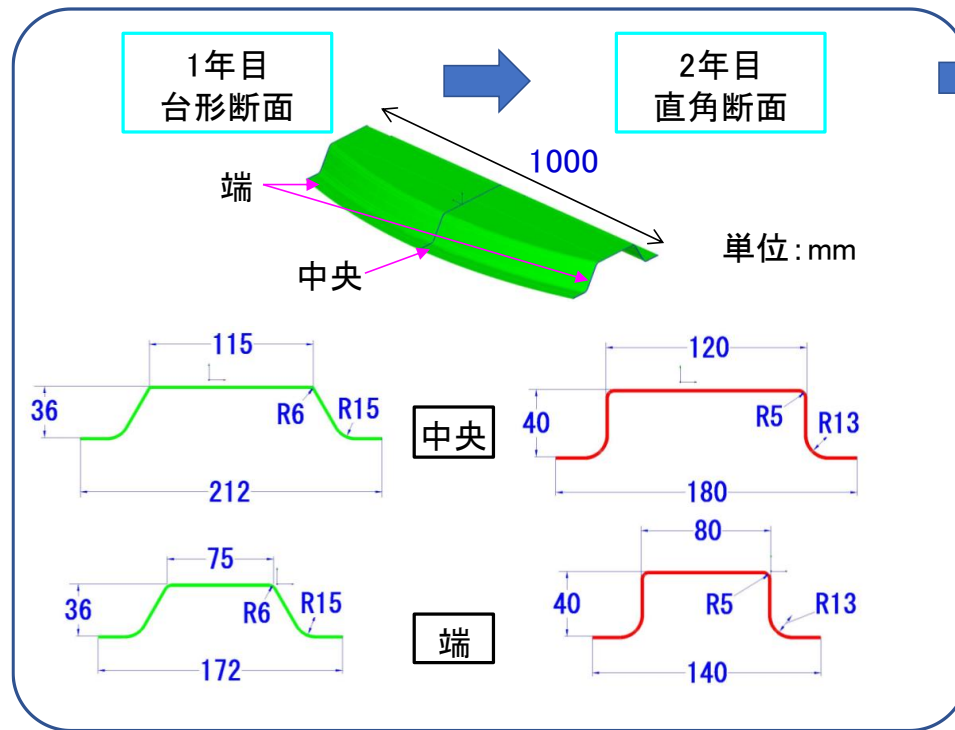
- ・振動波形解析, 誤差推定
- ・加工条件の最適化と評価

【販路】 日産自動車株式会社, トヨタ自動車株式会社, その他 大手自動車メーカー

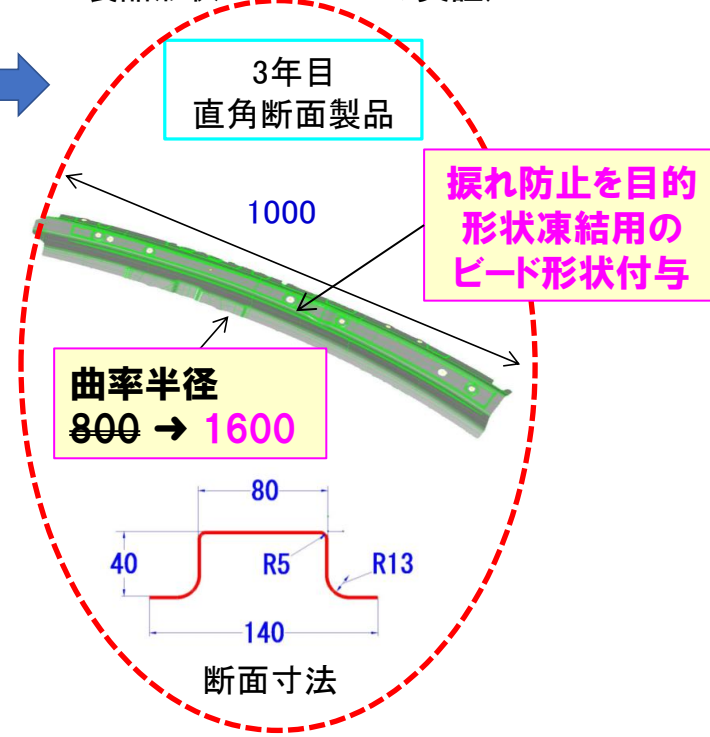
2. 本年度の研究開発報告

■最終年度の目標

モデル形状 (要因の特徴を整理)



アドバイザー(ユニプレス技術研究所)
からの「新たなニーズ」
製品形状 (プロセスの実証)

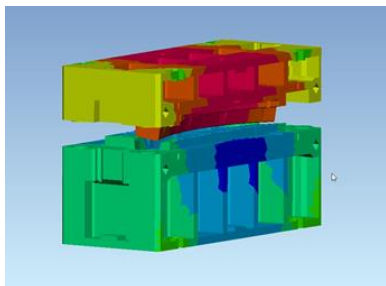


研究課題	目標
1. 連成解析技術の課題への対応	解析精度 ±0.1 mm 以内
2. 高精度加工技術の課題への対応	5軸加工精度 ±0.01 mm 以内

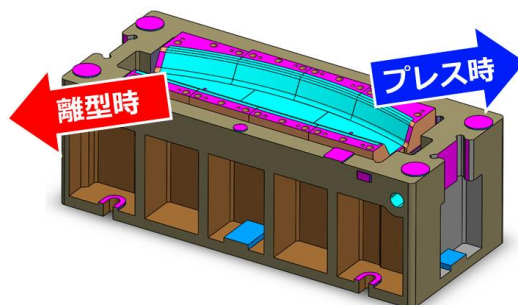
2. 本年度の研究開発報告

■本報告資料(令和3年12月22日時点)の成果の概要

1. 連成解析技術の課題への対応



製品形状金型での
連成解析



製品形状金型での
実機変形計測

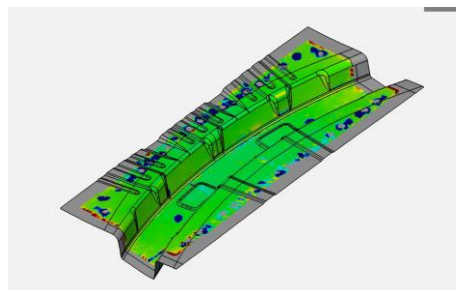
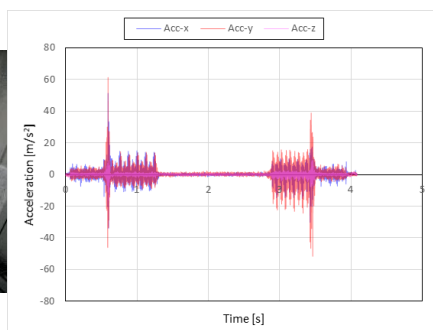


製品形状パネルの
計測

2. 高精度加工技術の課題への対応



加工での振動計測



誤差評価と修正検討



修正加工

2年間の知見を活かし、製品形状金型での検討実施

2. 本年度の研究開発報告

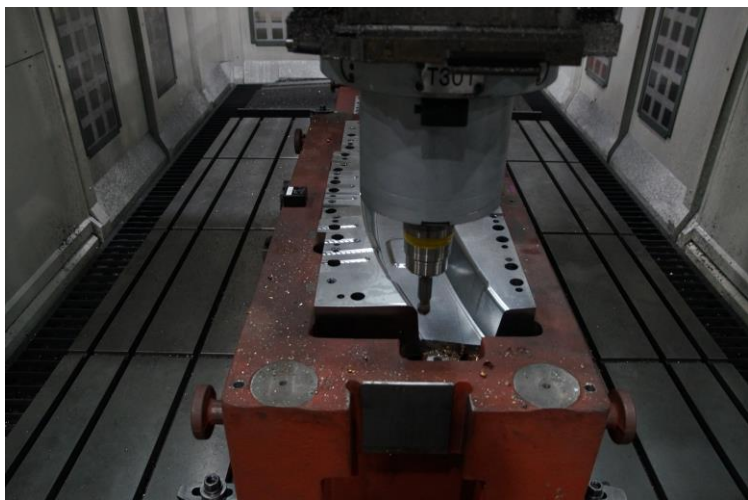
■検討内容の説明(一部動画)



加工での切削抵抗・振動測定



01 CAMにおける機上計測(※世界初の機能)

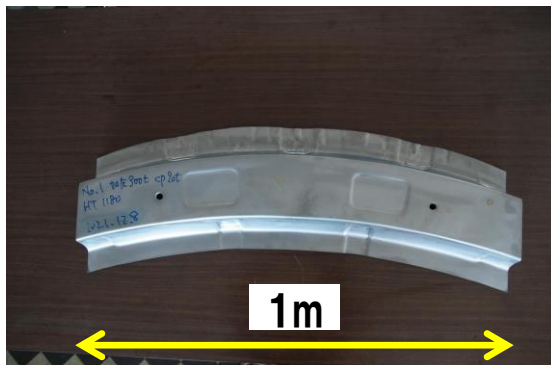


修正加工

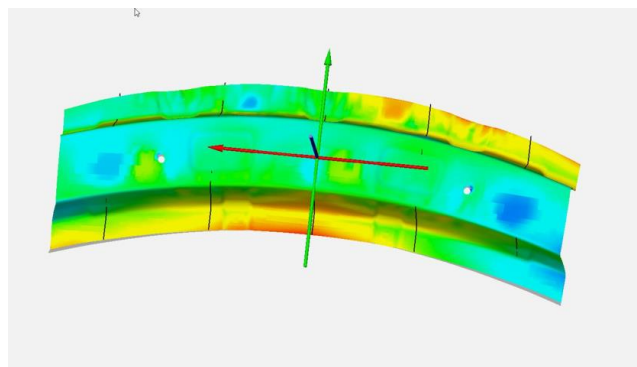


02 金型(製品形状)の変形測定

2. 本年度の研究開発報告



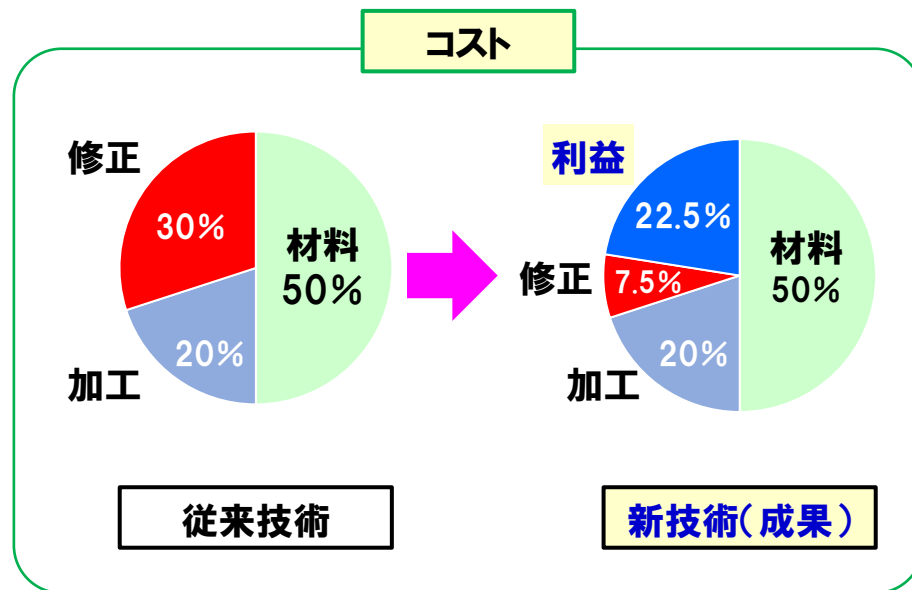
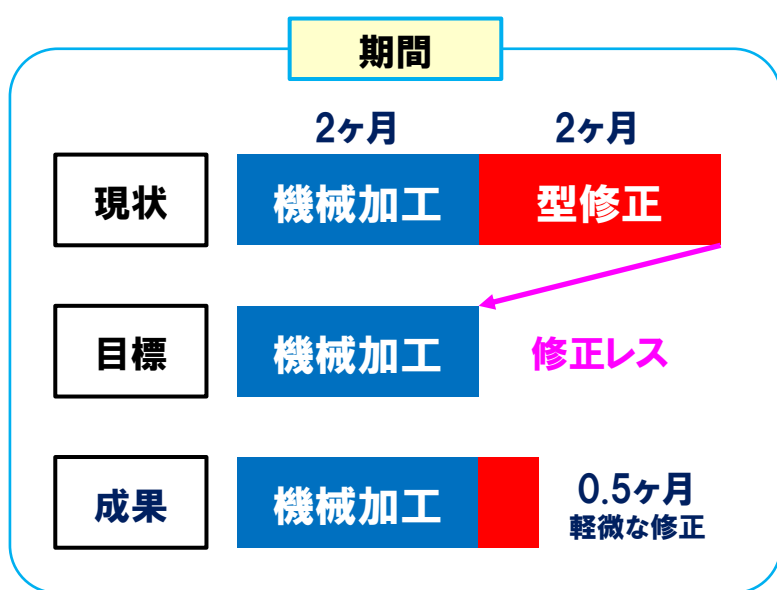
目標: $\pm 0.3\text{mm}$
 成果: $\pm 0.28\text{mm}$



目標: $\pm 0.1\text{mm}$
 成果: $\pm 0.09\text{mm}$



目標: $\pm 0.01\text{mm}$
 成果: $\pm 0.0092\text{mm}$



【期間】軽微な修正1回へ改革 ⇒ 【コスト】修正コストを削減・利益創出 ※事業化可能な水準

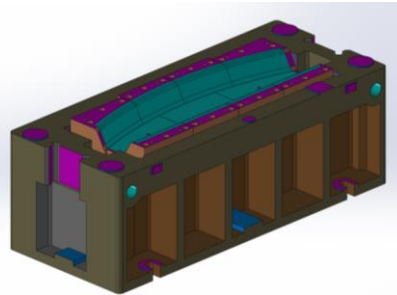
2. 本年度の研究開発報告

1. 連成解析技術の課題への対応

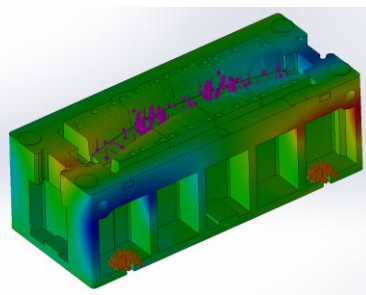
研究課題	【1-3】金型設計方法の最適化
研究目標	スプリングバック量の予測精度について、各形状モデルにて±0.1 mmを達成する
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> ・製品形状モデル用金型で弾性床板上での変形解析実施 ・スプリングバック計算値との検証
達成率 100%	<ul style="list-style-type: none"> ・製品形状モデルの変形をプレス台の剛性と金型の変形解析の結果からスプリングバック計算値との0.001mmオーダーでの検証を行った ・製品形状モデルでの解析結果と計算結果は完了した

■ 製品形状での弾性床板支持を含めた連成解析結果

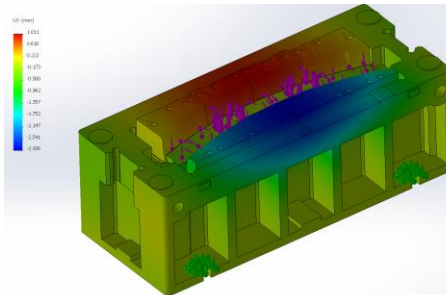
$$\therefore \frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{M}{EI}\rho = 3 \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{Y\rho}{Et} \right)^2 \right\} \frac{Y\rho}{Et}$$



最終製品形状



長手方向変位



短手方向変位



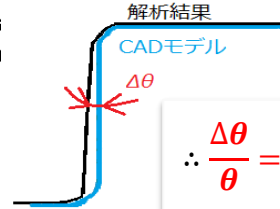
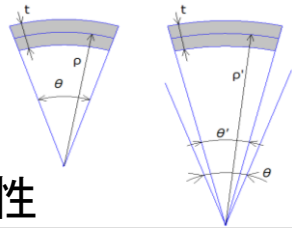
計算上のスプリングバック角0.0412deg

現状：床板の剛性を変えて、金型の変形形状を解析
金型の変形形状から曲率を求め、スプリングバックを推測

最終的な製品形状モデルでの実験段階

2. 本年度の研究開発報告

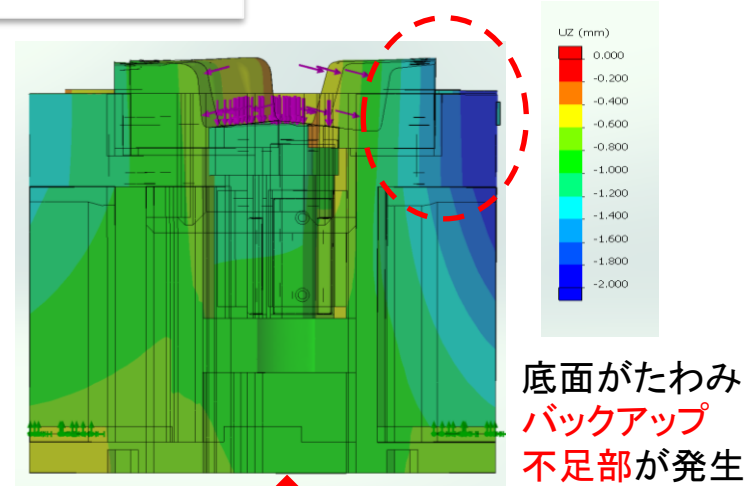
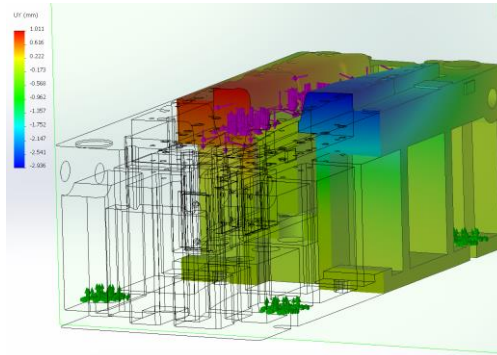
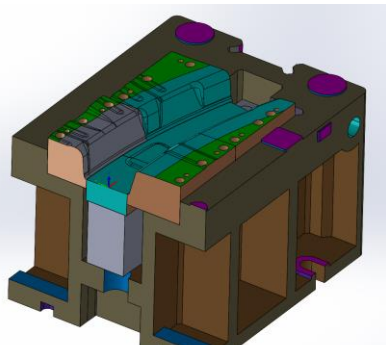
■スプリングバックの実験式



$$\therefore \frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{M}{EI\rho} = 3 \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{Y\rho}{Et} \right)^2 \right\} \frac{Y\rho}{Et}$$

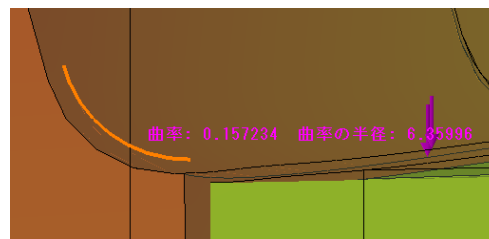
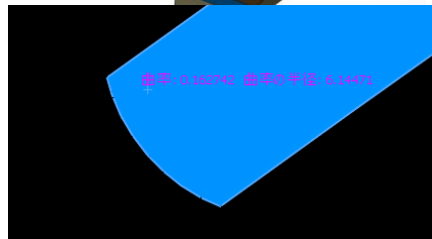
M: 曲げモーメント, I: 断面二次モーメント, E: ヤング率, Y: 降伏応力, t: 板厚, ρ: 曲率半径, ρ': スプリングバック後の曲率半径, θ: 曲げ角度, Δθ: スプリングバック角

弾性床板剛性
13MN/mmの場合



底面がたわみ
バックアップ
不足部が発生

中央底面で1mm変形 ↑

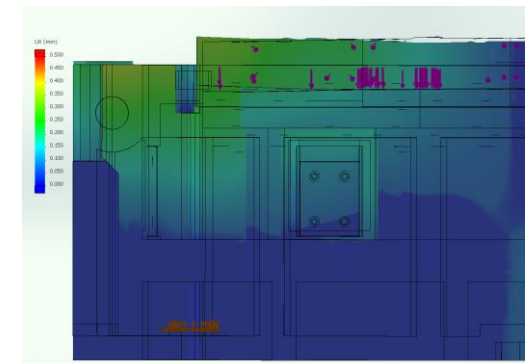


設計時
推定スプリングバック角
0.0412deg

連成解析結果
推定スプリングバック角
0.0450deg

8.4%誤差が発生

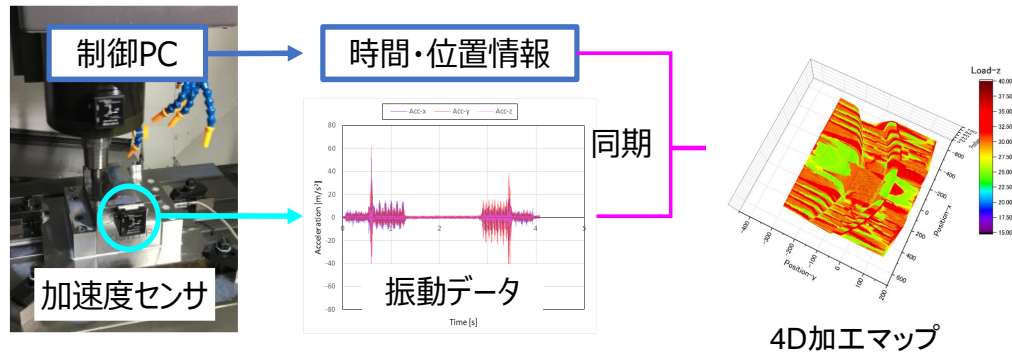
長手方向も
開きが発生



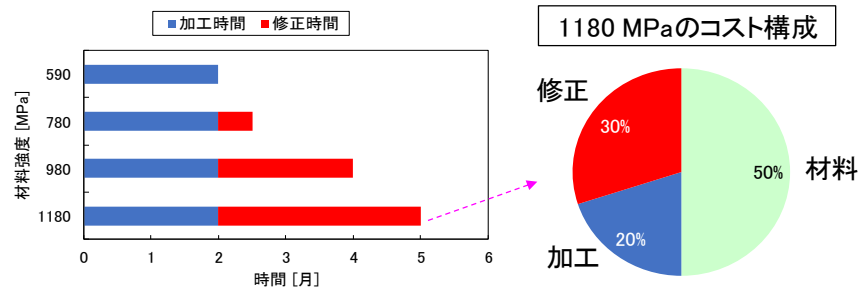
超ハイテンでの材料強度向上 ⇒ スプリングバック量の予測が不可欠

2. 本年度の研究開発報告

■令和3年12月22日時点の状況

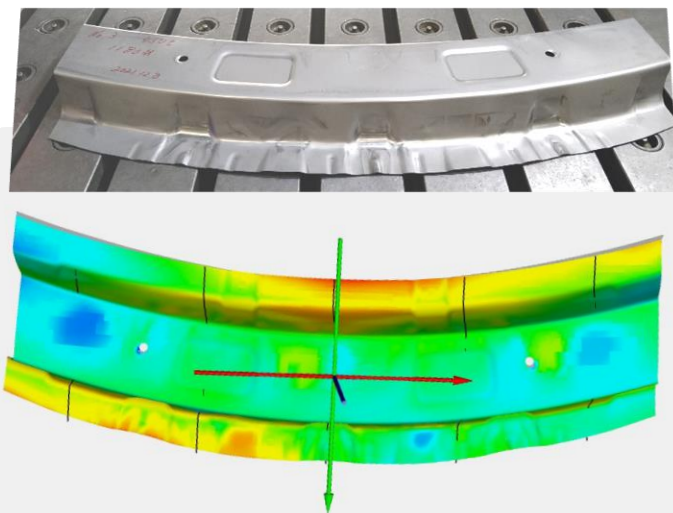


03 プレス変形実験を行い、結果のまとめ中



<問題> 高強度化が大幅な修正時間増をもたらす

フランジの先端や、上面へこみの位置の差異が見られるが、このレベルであれば、軽微な修正を1、2回行えば修正可能なレベルになった
 左図のコストに占める修正の比率も30%から10%以下にすることは十分に可能なレベルになった

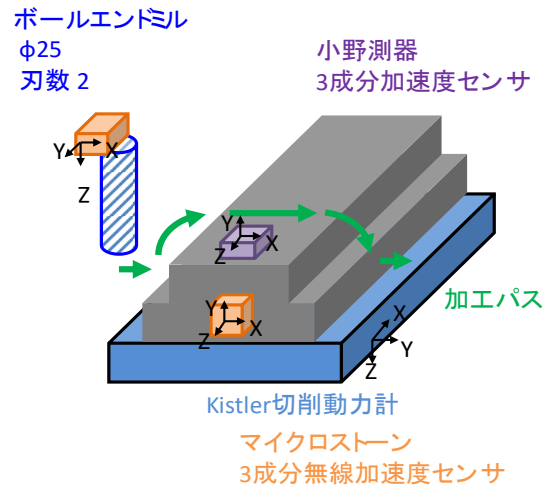


解析結果と、プレスした製品パネルとの比較

2. 本年度の研究開発報告

2. 高精度加工技術の課題への対応

研究課題	【2-4】加工条件の最適化
研究目標	振動振幅の平均とばらつきの最小化を目的として最適化するための指標を明確化する 加工精度0.01 mmを実現する振動振幅の閾値を製品形状モデルについて決定する
実施内容	・非線形動解析により工具とワークにかかる応力変動をRMS解析
達成率 100%	・最適化のための線形性領域を分析し、RMS解析による特徴量の抽出



異なる加工条件での
各データ取得完了

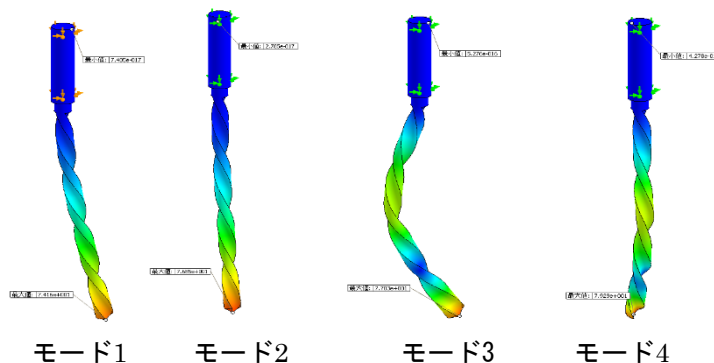
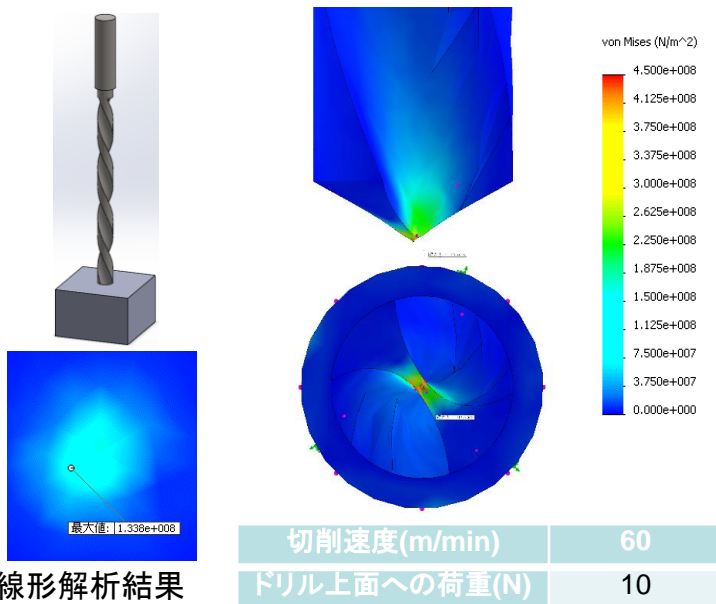
最適化に向けた
基本機能の検討



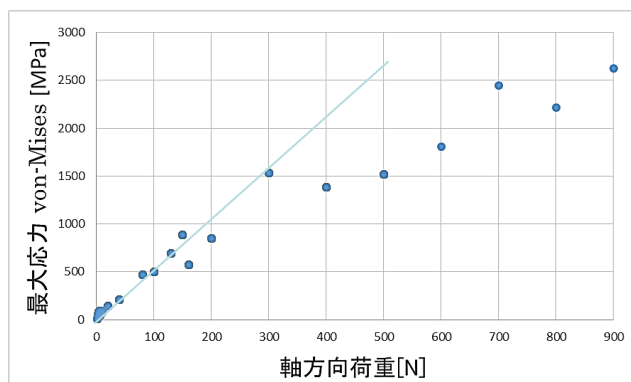
加工機構の考察
確認実験による検証

試験片での振動と切削抵抗の関係から加工の最適化の検討を開始

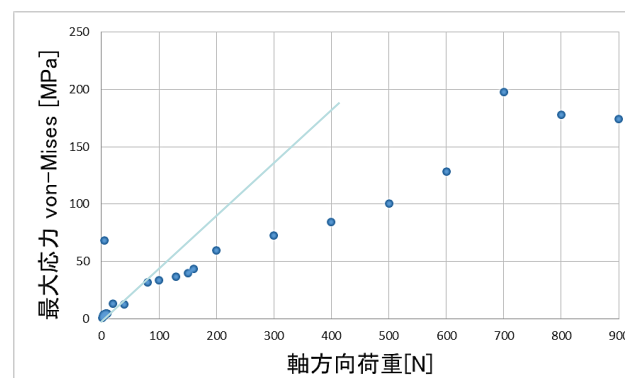
【2-4】加工条件の最適化



回転数により先端部のブレ方が異なる



軸方向応力と最大応力の関係(ドリル側)



軸方向応力と最大応力の関係(ワーク側)

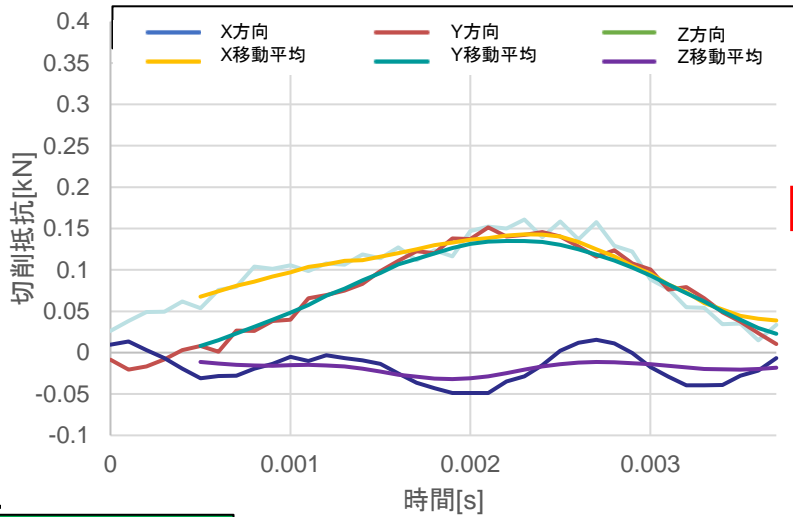
非線形動解析では作用荷重に対し振動モードにより線形性が崩れる荷重がある

2. 本年度の研究開発報告

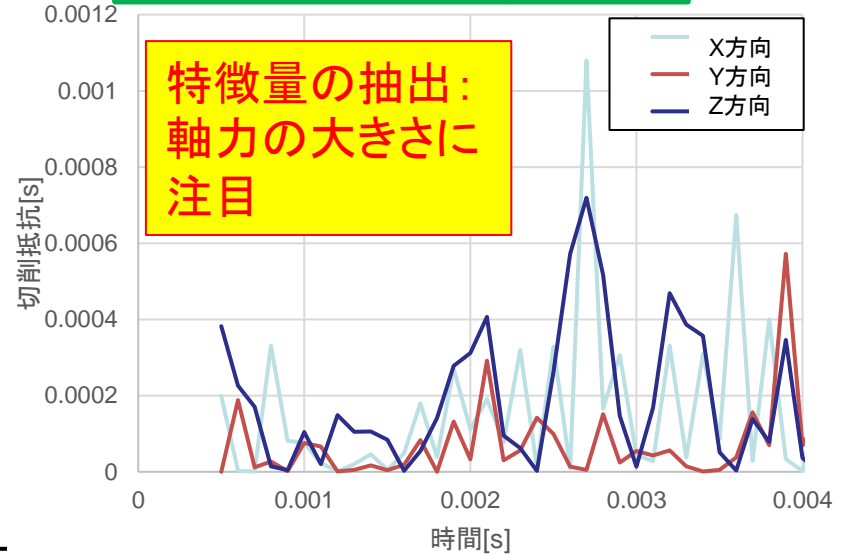
新たな知見: RMS解析の有効性

【2-4】加工条件の最適化

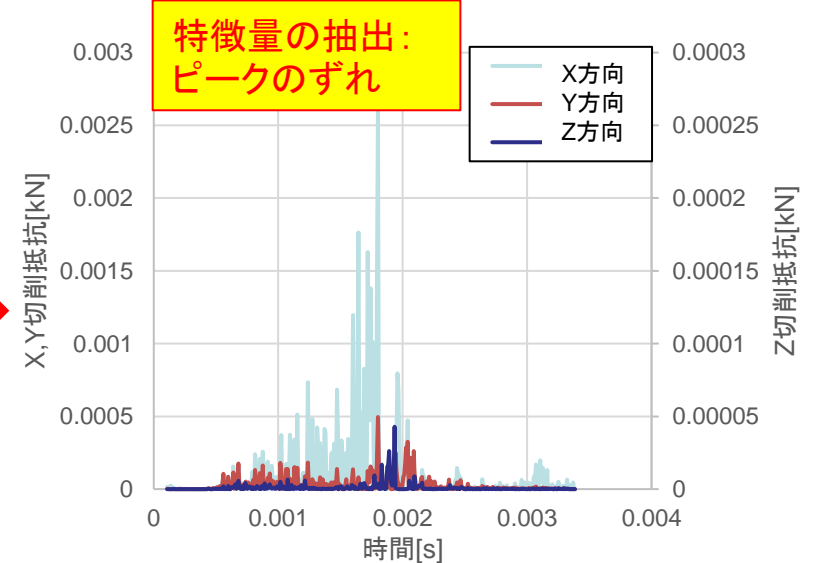
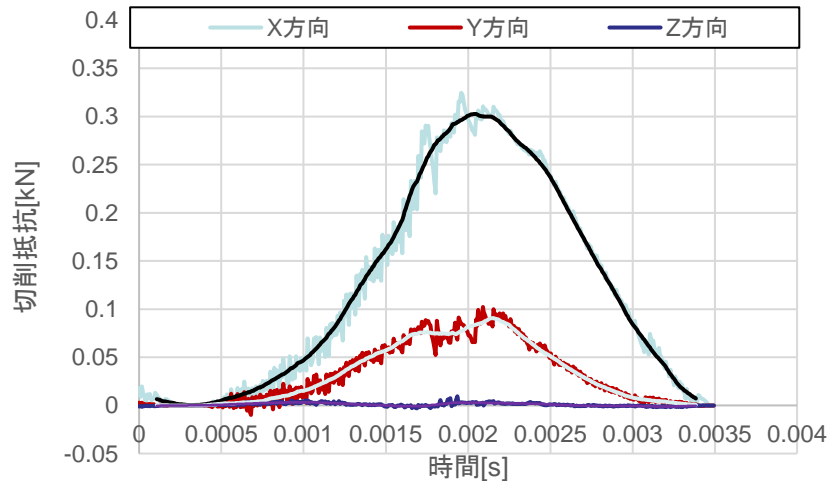
実験波形



$$\text{定義式 } \text{RMS}[x] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)^2}$$

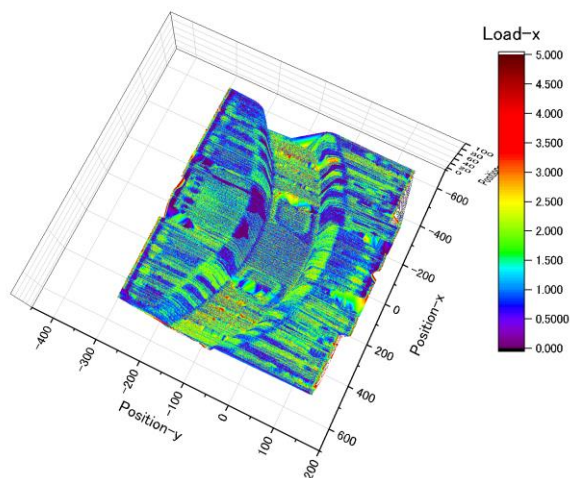


解析波形

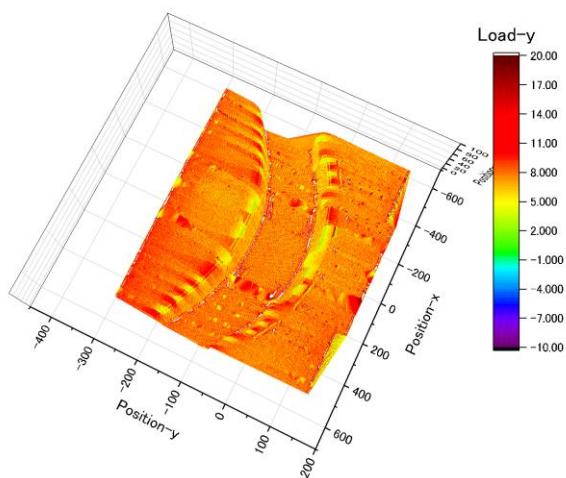


【2-4】加工条件の最適化

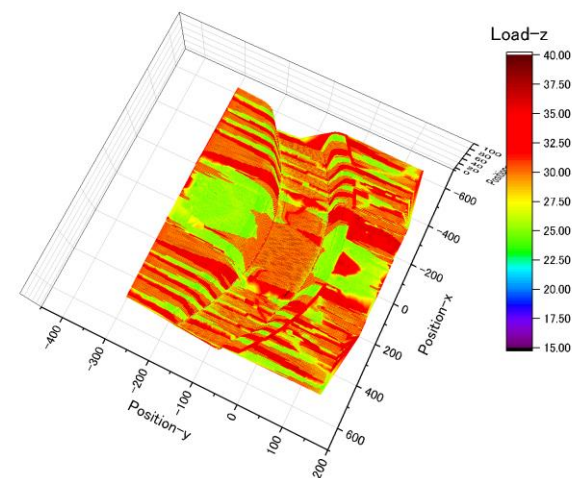
3分力計測加工



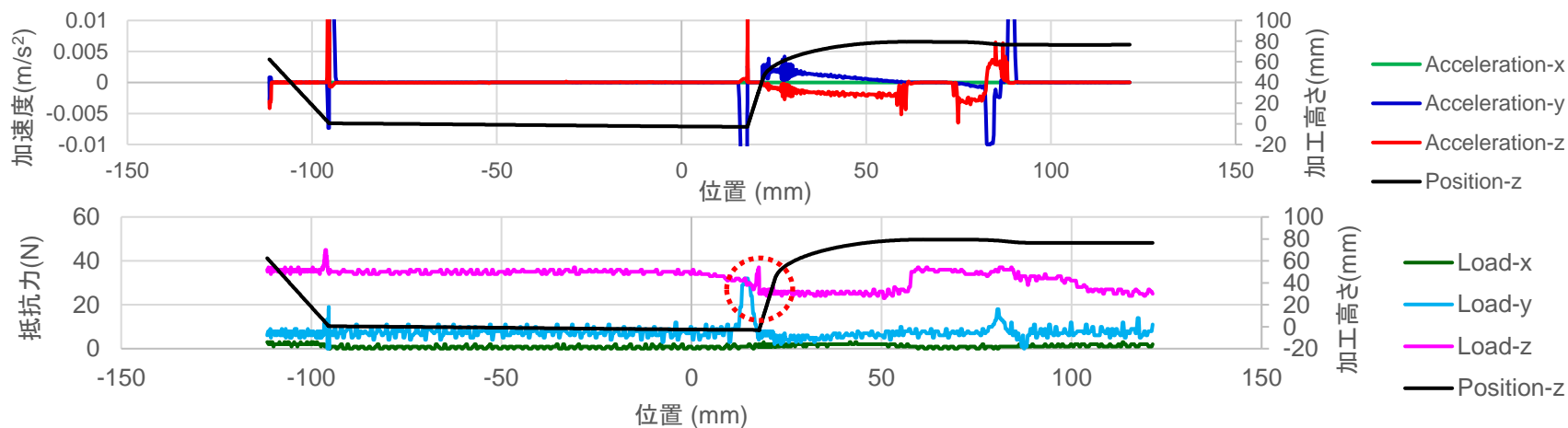
送り方向抵抗力分布



切削方向抵抗力分布



軸方向抵抗力分布



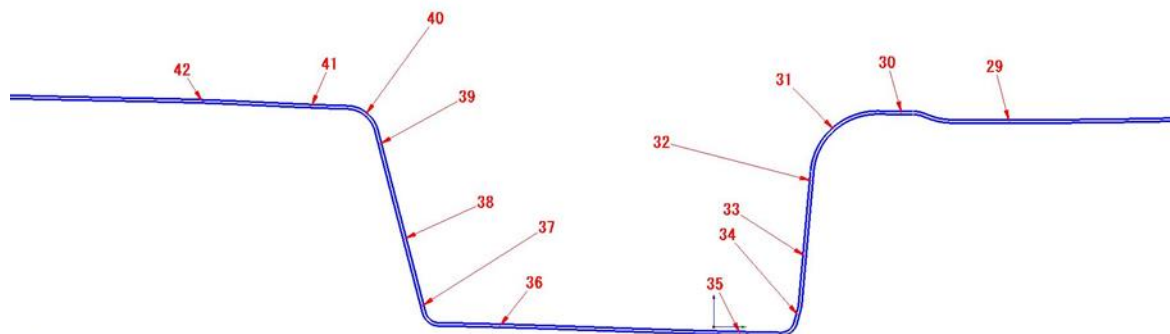
工具径の負荷はR部でz(工具)軸方向が大きくなる
Y(切削)方向の分力はR部前で高くなる



加工精度は切削方向分力を検出し、軸力が小さくなるように移動速度を調整した

【2-4】加工条件の最適化

机上計測中央部断面



NO	中仕上げ (0.2mm残し) 誤差				仕上げ 誤差				修正加工後 誤差			
	X	Y	Z	面直	X	Y	Z	面直	X	Y	Z	面直
29	0.0016	0.0002	0.4434	0.4434	0.0001	0.0000	0.0089	0.0089	0.0001	0.0000	0.0089	0.0089
30	0.0005	0.0023	0.2434	0.2434	0.0002	0.0001	0.0066	0.0066	0.0002	0.0001	0.0066	0.0066
31	0.0006	-0.1910	0.2187	0.2904	0.0001	-0.0083	0.0066	0.0092	0.0001	-0.0083	0.0066	0.0092
32	0.0006	-0.2830	0.0251	0.2841	0.0001	-0.0069	0.0017	0.0052	0.0001	-0.0069	0.0017	0.0052
33	0.0005	-0.2802	0.0247	0.2813	0.0001	-0.0052	0.0021	0.0053	0.0001	-0.0052	0.0021	0.0053
34	0.0010	-0.4350	0.1189	0.4509	0.0007	-0.2489	0.0679	0.2580	0.0002	-0.0035	0.0061	0.0043
35	0.0012	0.0053	0.2415	0.2415	0.0002	0.0003	0.0087	0.0087	0.0002	0.0003	0.0087	0.0087
36	0.0024	0.0065	0.2342	0.2343	0.0001	0.0000	0.0008	0.0008	0.0001	0.0000	0.0008	0.0008
37	-0.0005	0.4476	0.1174	0.4627	-0.0005	0.2389	0.0625	0.2469	-0.0003	0.0096	0.0051	0.0092
38	-0.0004	0.2641	0.0689	0.2730	-0.0001	-0.0024	-0.0008	-0.0025	-0.0001	-0.0024	-0.0008	-0.0025
39	-0.0004	0.2655	0.0690	0.2743	0.0000	-0.0006	-0.0002	-0.0007	0.0000	-0.0006	-0.0002	-0.0007
40	-0.0004	0.1560	0.1906	0.2464	-0.0001	-0.0013	-0.0040	-0.0080	-0.0001	-0.0013	-0.0040	-0.0080
41	-0.0004	0.0096	0.2452	0.2454	-0.0002	0.0001	0.0076	0.0077	-0.0002	0.0001	0.0076	0.0077
42	-0.0001	0.0081	0.2392	0.2393	-0.0001	0.0002	0.0043	0.0043	-0.0001	0.0002	0.0043	0.0043

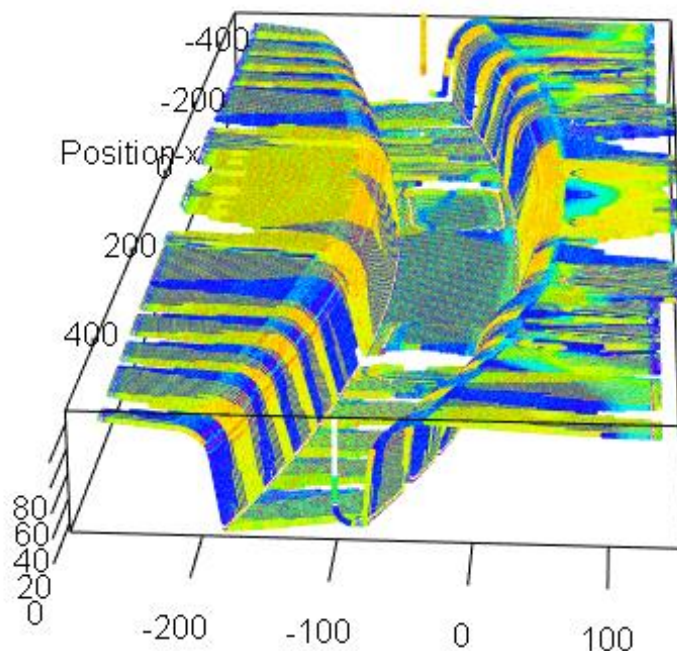
中仕上げ加工での残り代が多い部分(No34.37)では、仕上げ加工後も削り残しが多い傾向になる
修正加工後は、すべての場所で目標値0.001mm以下となり、目標達成

2. 本年度の研究開発報告

【2-4】加工条件の最適化

合力表示

軸力によるストライプが特徴的



工具径の負荷はR部底で値が高くなっているが、上面肩部の値がもっと高い



形状凍結はR部の曲率に依存するため、高精度加工ではR底を重要視
肩部は軸力が大きくなっても形状を抑えるように工具の剛性が必要になる

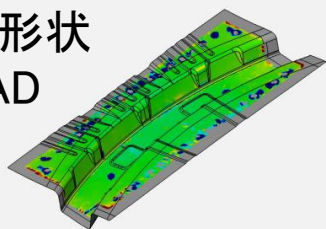
高精度加工の
要件

2. 本年度の研究開発報告

3. 評価技術の課題への対応

研究課題	【3-1】成形精度に及ぼす影響因子の特定
研究目標	製品断面形状モデルにて初度の成形トライで±0.3 mm以内を実現する
実施内容	<ul style="list-style-type: none">・開発した解析プロセスおよび加工プロセスを実際の製品形状モデル金型製作に適用し、その効果について検証した・製作した金型にて製品形状モデルを成形し、成形品の寸法精度(成形精度)を確認した
達成率 99%	<ul style="list-style-type: none">・連成解析結果から金型の形状を見込み、金型を削り出し、加工時の信号をとらえながら切削方向送り負荷が高くなるよう金型を成形した。・連成解析を基にした解析形状金型によって、スプリングバックを解消して初度トライで±1.0mm以内を実現した

型形状
CAD



切削加工



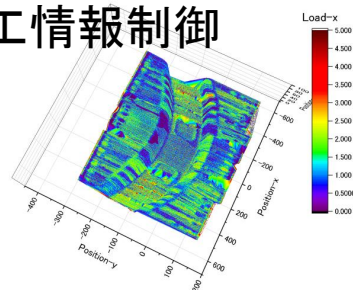
変形精度実験



初年度成形形状



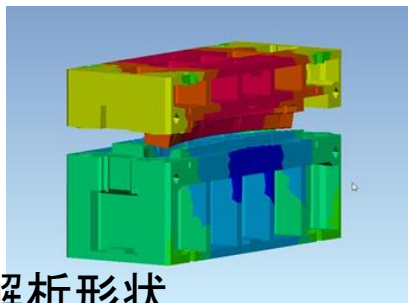
加工情報制御



今年度成形形状



解析形状



2. 本年度の研究開発報告

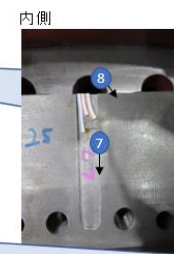
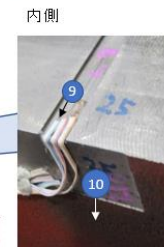
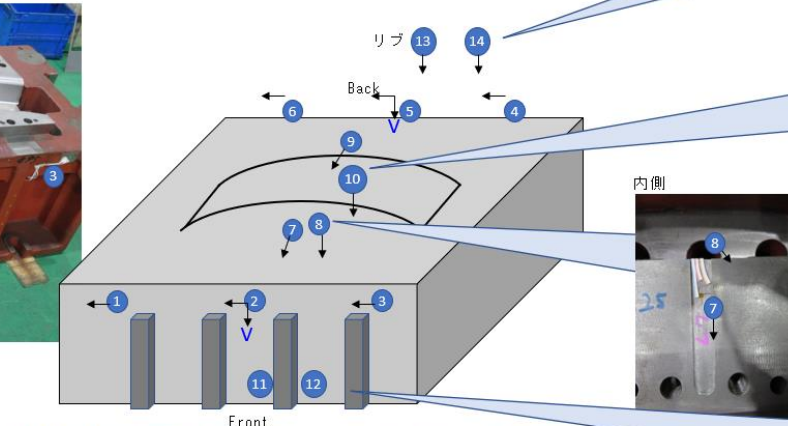
【3-1】成形精度に及ぼす影響因子の特定

プレス成形実験

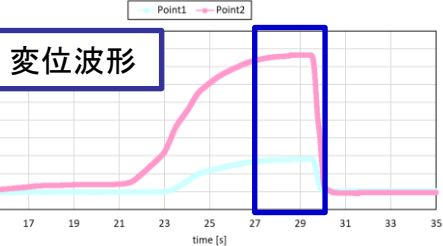
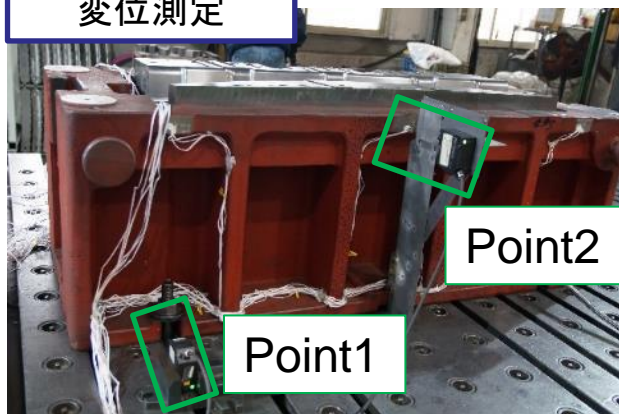
ひずみ測定

上型 2か所
ボルスター、プレス機 1か所

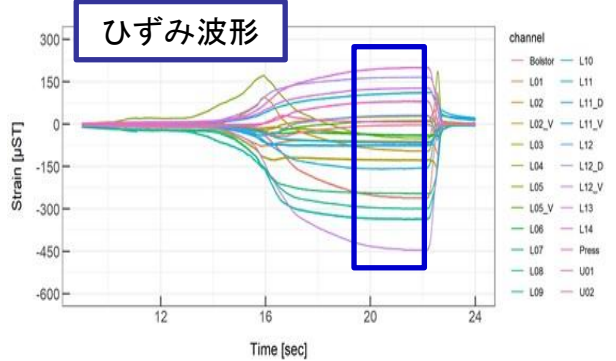
下型



変位測定



ひずみ波形

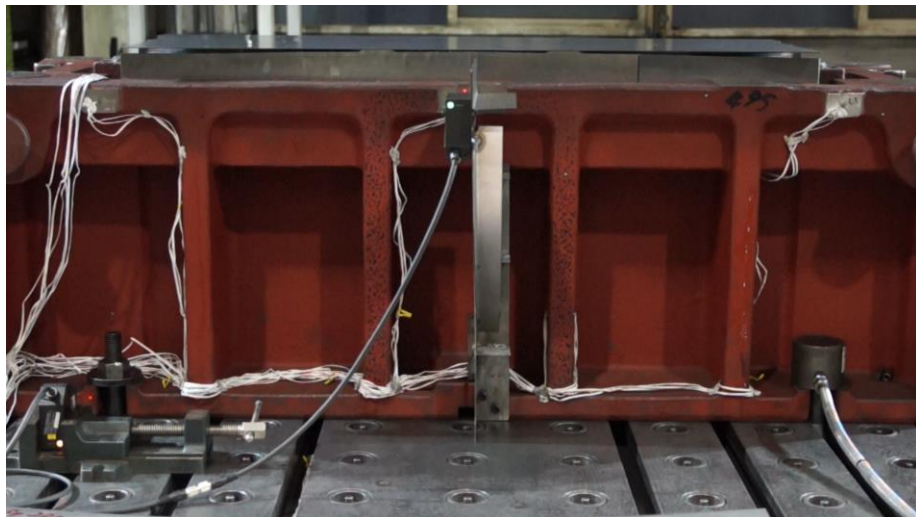


- Point1は基準点としてボルスターの変位相当
- Point2は相対点として金型の変位相当

2. 本年度の研究開発報告

【3-1】成形精度に及ぼす影響因子の特定

プレス成形実験



ポイント

- ・金型にゆがみを設けている(非対称)
- ・基準点からの相対ひずみ分析
- ・プレス機に依存しない金型のゆがみを検出



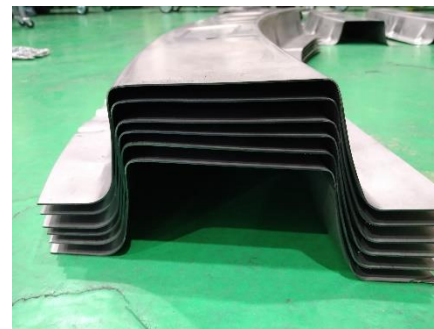
800t

700t



ポイント

- ・ブランクの吸い込まれ方にしわが発生していないか
- ・金型が振動していないか
- ・成形音に留意



800t

700t

600t

500t

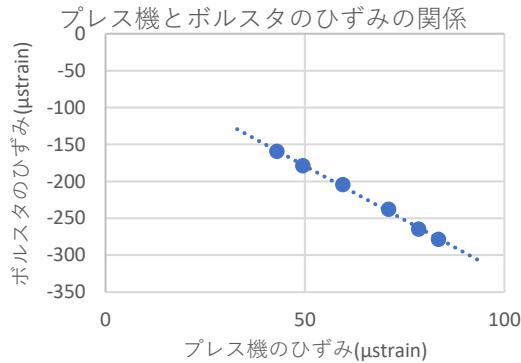
400t

300t

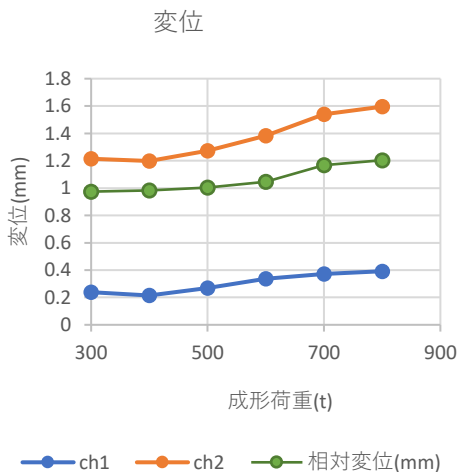
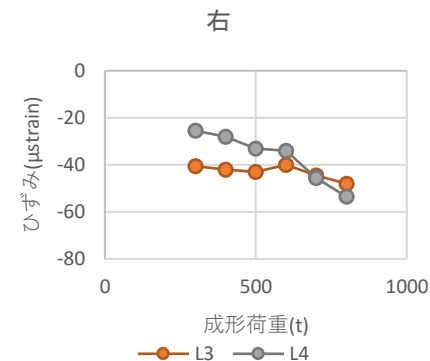
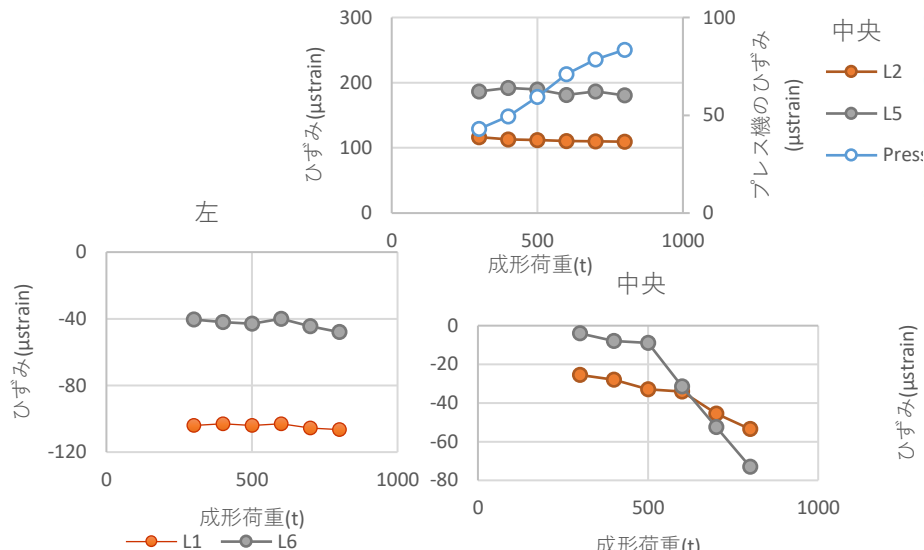
成形成功

2. 本年度の研究開発報告

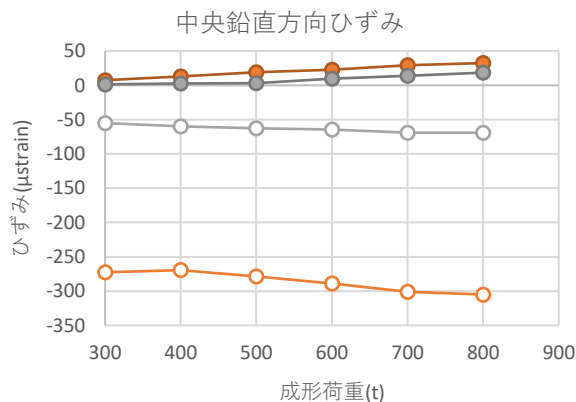
【3-1】成形精度に及ぼす影響因子の特定



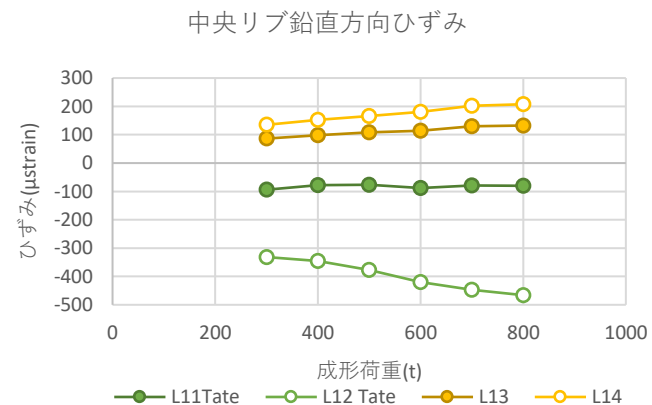
・ボルスターは成形荷重に比例
弾性変形解析で連成解析可



・成形荷重に比例してひずみが上昇
・金型は700t以上で大きく変形



・金型の変形挙動を把握
・金型のひずみは左が大きい

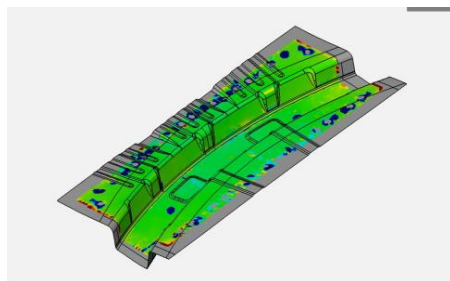


・荷重が上がると右が大きくなる
・金型の動きが初期型から減少
(僅かな反時計回転)

2. 本年度の研究開発報告

3. 評価技術の課題への対応

研究課題	【3-2】製品の妥当性評価方法の確立
研究目標	製品断面形状モデルにて初度の成形トライで±0.3 mm以内を実現する
実施内容	<ul style="list-style-type: none">・開発した生産プロセスにより製作した金型および成形品をアドバイザーである(株)ユニプレス技術研究所に提示して評価を受けた・開発内容および試作開発プロセスの評価を受け、評価結果を開発プロセスに反映した
達成率 100%	解析形状を見込んで金型を修正し、加工時の負荷を調整しながら加工することで、より短納期で高精度なハイテン材の成形が可能となったことから、本事業の生産プロセスを事業化可能な水準に到達させられるとの評価を得た



解析結果とCAD形状の
比較



解析結果から
ブランク形状決定

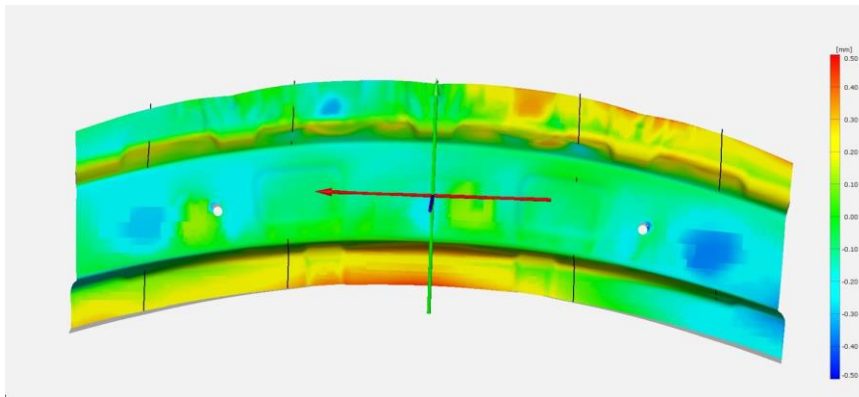


解析形状どおりの成形結果

メリット

- ・型修正工数を大幅に削減、軽微な修正のみを要する水準
- ・製造期間の大幅短縮、コスト削減に貢献

【3-2】製品の妥当性評価方法の確立



成形品(実機)と解析結果の差異

成形形状

- ・解析結果との差異が生じる箇所は、フランジの先端や、上面へこみの部位
- ・ハイテン材のねじれの特徴も解析で再現
- ・解析での検討で型修正をほぼ完結
- ・修正レスの実現は困難であるが、軽微な修正のみで完了
- ・実用化の点で十分に妥当な水準に到達

コスト

- ・修正期間: 従来2ヶ月→0.5ヶ月
- ・コスト: 従来30%→7.5%以下
- ・事業化可能な水準に到達