

平成26年度
ものづくり中小企業・小規模事業者等連携事業創造促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「厚板高張力鋼板の精密プレス加工を実現する、
自動寸法調整機能を具備するフレキシブル金型技術の研究開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成27年 3月

委託者 中部経済産業局
委託先 国立大学法人 岐阜大学

目 次

第1章 研究開発の概要	4
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	4
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	9
1-3 成果概要	12
1-4 当該研究開発の連絡窓口	16
第2章 本論	17
① 自動寸法調整機構の変形解析及び自動寸法調整ダイの最適化	17
①-1 自動寸法調整機構の解析	17
①-2 自動寸法調整機構の検討	23
② 自動寸法調整機構を具備する金型設計・加工技術の確立	24
②-1 適性材料の選定	24
②-2 高精度・高能率加工技術への対応	28
③ 自動寸法調整機構の評価1	31
④ 自動寸法調整機構の評価2	33
④-1 1 ドロー～3 ドロー成形の最適化シュミレーション	33
④-1-1 工程レイアウトの変更	33
④-1-2 設計案のCAE 解析	35
④-1-3 設計案のCAE 解析まとめ	41
④-2 1～3 ドロー成形の最適化金型トライ	41
④-2-1 ドロー成形の最適金型トライ	41
④-2-2 ドロー成形最適金型トライ結果	42
④-3 新寸法調整金型トライ	42

④- 3- 1	新寸法調整金型トライ 1 t3.2	42
④- 3- 2	新寸法調整金型トライ 2 t3.2	45
④- 3- 3	新寸法調整金型トライ 3 t3.1	46
④- 3- 4	トライ結果まとめ	49
最終章 全体総括		50
1.	研究開発の概要	50
2.	開発の成果	51

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

[特定ものづくり基盤技術の種類]

主たる技術：金型

[川下製造業者等の課題・ニーズ]

ア. 高精度化・微細化

イ. 小型化・軽量化・高強度化

エ. 低コスト化

オ. 短納期化

[高度化指針に定める高度化目標]

ア. 金型技術の高度化

イ. 加工技術の向上

ウ. 成形品の後工程の削減

1) 研究開発の背景

自動車産業においては、資源価格の高騰、排ガス規制の強化、燃費規制の強化及び消費者の環境配慮等の観点から電気自動車やプラグインハイブリッド自動車等の次世代自動車への志向が大きく高まってきている。また、蓄電池の開発状況及び今後の普及見通しからすると、今後においてはこれらの次世代自動車が性能・価格ともに訴求力を高めつつ、普及は大きく進むものと思われる。そして、電気自動車やプラグインハイブリッド自動車等の次世代自動車では、動力用大型モーターが使用されているが、この大型駆動用モーターハウジングは、高出力や低騒音特性を必要とすることから高い精度を求められており、現状では、鋳造やアルミダイカスト等の製品を切削加工で製造している状況である。その結果、コスト高の要因となり、内燃機関車との価格差が解消できない原因となって、川下事業者のニーズである低コスト化や短納期化に対応できないのが実態である。

以上から、本研究開発は、鋳造（アルミダイカスト）＋切削加工で製造されている大型モーターハウジングに関して、厚板高張力鋼板を母材としたプレス成形用金型の研究開発を通じて、従来品に比しての同様の精度と生産性の向上を図りながら低コスト化を実現するものである。特に、大型モーターハウジング等の大物部品に関しては、低騒音特性や高出力化における真円度、

平均径等の高精度化が求められているが、これを厚板高張力鋼板で加工しようとした場合、板材自体に変動（バラツキ）が存在するとともに、精密プレス成形を行うためには、金型用パンチの変芯への対応も重要なポイントとなるところである。パンチの変芯要因としては、①プレス機械自体の課題、②上下ダイセットとの課題、③板材とダイセットとの課題が考えられるが、①及び②の課題に関しては、既に自社の技術確立により解決していることから、本研究開発では板材とダイセットの課題に対して、自動寸法調整機構の研究開発により解決するものである。

具体的には、ロットごとにバラツキのある厚板高張力鋼板に対して、板厚変動を自動的に吸収する自動寸法調整機構を有する金型の研究開発を通じて、高精密・高精度な大型モーターハウジングのプレス加工技術の確立を図るものである。

2) 研究の概要

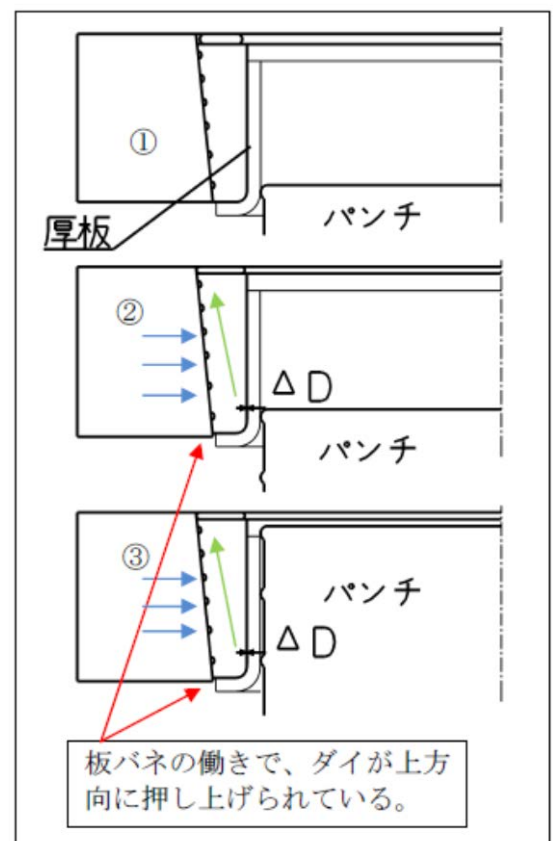
研究開発の概要であるが、自動寸法調整機構の構造は、内径を微小調整するフレキシブルな金型機構であり、パンチ圧入に対してダイが自動的に拡張する構造となっており、この調整機構の確立を図るものである。

自動寸法調整金型の仕組み

- ・寸法調整ダイが補強リングにテーパで挿入されている。
- ・寸法調整ダイの端面を板バネで押さえており、ダイは寸法調整機構溝とテーパで相まって小さくなっている。
- ・板厚が厚い材料を成形すると、板バネが撓んで寸法調整機構が働き、ダイ径が一時的に大きくなる。
- ・ダイが大きくなることで、クリアランスが板厚に対して、適正に保たれる。

このような構造を有する自動寸法調整機構の確立に係る課題は以下のとおりである。

- ① 寸法調整ダイ最適化のためのテーパ角度、板バネ剛性、寸法調整ダイの厚み、補助溝の形状と分布等の各種条件の確立が必要となる。



これに対しては、C A Eによるシミュレーション解析により対応する。

② 設計データに沿って、真円度、真直度等を維持するとともに、調整ダイと補強リングとの摺動面には溝加工や応力集中を防ぐための高精密加工技術の確立が必要なため、高精度加工技術の研究開発で対応する。

以上のように自動寸法調整機構は、板厚の変動に対応して寸法調整ダイが、補強リングにテーパー状に挿入されており、寸法調整ダイの端面を板バネで押さえる構造となっており、板厚の厚い材料をプレス成形する際には、板バネが撓んで寸法調整機構が働き、ダイ径が一時的に拡張して、クリアランスが板厚に対して適正に保たれる構造の確立を図る。

研究開発に関して、3) 実施内容で示すように、自動寸法調整機構の変形解析及び自動寸法調整ダイの最適化から始まって、自動寸法調整機構を具備する金型設計・加工技術の確立及び調整機構の評価まで実施する、研究開発の最終目標値としては、次のとおりである。

区 分	現状（鋳物製品切削加工）	目標値（ハイテン材プレス）
生産性向上	100	300（3倍）
コスト削減	100	50以下（1/2 以下）
品質精度向上	100	100（切削加工と同程度）
金型寿命	—	10,000パンチ

3) 実施内容

① 自動寸法調整機構の変形解析及び自動寸法調整ダイの最適化

①ー1 自動寸法調整機構の解析（研究実施者：久野金属工業(株)、岐阜大学）

ロットごとに異なる板厚の変動に対応して、プレス加工時に、寸法調整機構によりダイ径が一時的に拡張して、クリアランスが板厚に対して適正に保たれる自動寸法調整機構に係る解析をシミュレーションにより実施する計画である。そのため、自動寸法調整機構を確立するための基礎データの構築のために、テーパダイの角度、厚み、溝形状等をパラメーターとして最適な構造と組合せをシミュレーションにより解析し、自動寸法調整機構の最適化に係る研究開発を実施する。

①ー2 自動寸法調整機構の検討（研究実施者：久野金属工業(株)、岐阜大学）

自動寸法調整機構の確立に向けて、シミュレーション解析をもとに、自動寸法調整機構を有する実験用金型（テスト用金型）を製造して、拡張時に生ずる応力の状況及びそれを吸収する「溝」構造や、「テーパ角度」等を検証しながら、必要な各項目の条件設定等の検討を行う。

② 自動寸法調整機構を具備する金型設計・加工技術の確立

②－１ 適性材料の選定（研究実施者：久野金属工業㈱、名古屋市工業研究所）

型材料の選定に関しては、寸法調整ダイは一般金型材料に比して応力の振幅が大きく、補強リングとの摺動面に溝等の高精度加工が必要である。そのため、耐摩耗性と研削性を両立させるために、剛性を「梁の撓み」による測定結果から、耐摩耗性を「ピンオンデスク法」でデータを用いて評価する計画である。剛性、耐摩耗性、加工性を勘案した最適な材料を、応力状態を適正に検討するために、専用の解析ソフトウェアを用いて評価する。フレキシブルな金型の材料の特性としてはスプリング性が強く（調整代が多い）、表面の硬い（耐摩耗性が高い）といった要素を考慮する必要があることから、この点を含めて各種材料の調査・検討した。

②－２ 高精度・高能率加工技術への対応

（研究実施者：久野金属工業㈱、名古屋市工業研究所）

設計データに沿って、真円度、直角度、面粗度を維持しながら、寸法調整ダイと補強リングの内外径同時加工及び溝加工、マイクロディンプル加工等の高精度、超精密加工技術の確立を図った。これらの加工に当たっては、切削と研削の両機能を有する５軸マシニングセンターにより実証しながら、これらのデータを各種測定器で取得した。

各金型部材の精密加工技術確立にむけて、サンプルの加工によりデータ収集を行いながら、５軸マシニングセンター導入後は、これらのデータをもとに、５軸同時加工による内外径同時加工と研削同時加工の検証を進めた。

加工精度目標値	真円度	０．０１以内、	直角度	０．０２以内
	面粗度	１．６Ｚ以内、	同軸度	０．０１以内

【５軸同時研削仕様マシニングセンターの導入目的】

自動寸法調整機構が円滑に機能するためには、金型の真円度、直角度、面粗度を維持しながら、寸法調整ダイと補強リングの内外径同時加工や溝加工の加工技術の確立を行った。

そのため、加工を１段取りで行ないながら、５軸同時加工による内外径同時加工を可能とする

5軸同時研削仕様マシニングセンターを導入することにより複雑高精度、精密加工技術の確立を図った。

③ 自動寸法調整機構の評価 1

③ー1 金型及び成形品の評価（研究実施者：久野金属工業㈱、名古屋市工業研究所）

自動寸法調整機構を有する金型の評価に関しては、①寸法調整範囲の計測②自動寸法調整の有効性確認③金型の破損状況等の評価結果をフィードバックして、調整機構の確立を図った。前提条件と異なる過大な荷重を与えて実験に対する理論計算の対比を行なう専用のソフトウェアを用いたシミュレーションの解析が必要であった。そのシミュレーション解析をもとに、実寸法調整を有する実験用金型により、寸法調整機能の評価を実施する。

④ 自動寸法調整機構の評価 2

④ー1 1ドローから3ドロー成形の最適化シュミレーション

（研究実施者：名古屋市工業研究所、久野金属工業㈱）

当初絞り工程における板厚減少の原因を分析した結果、1,2 工程の絞りにおいて成形高さが足りないため、再絞り時にパンチの肩部で素材を引張りすぎることが分かった。そこで、対策として、1,2 絞りにおける成形高さを増加させ、しわ押さえを底着き構造とすることで、パンチ肩部の張力を軽減させることを狙って絞り金型を再設計することとした。

④ー2 1ドローから3ドロー成形の最適化トライ（研究実施者：久野金属工業㈱）

パンチ肩部の張力を軽減させることを狙って絞り金型を再設計することとした。
上記による1ドローから3ドローまでの最適化シュミレーションの条件を盛り込んだトライ金型を製作した。成形テストを行った結果シュミレーション結果に近い形で板引けを抑えた状態で3ドローまでを成形する事が出来た。

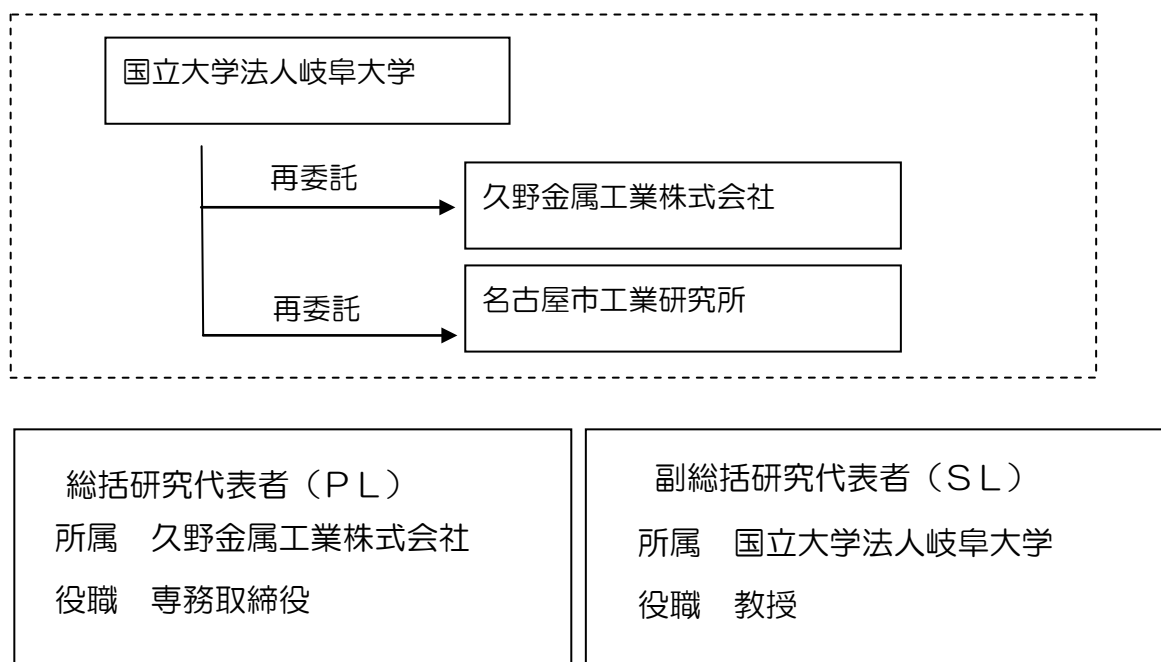
④ー3 新寸法調整金型トライ（研究実施者：久野金属工業㈱）

3ドローまでの最適化された素材を使ってトライを行う寸法調整金型を製作した。トライ結果に基づいて金型を調整して0.1mmの板厚バラツキが発生した際の成形テストを行った。テストの結果、板厚のバラツキがある状態でも安定した寸法精度が得られた。

⑤ 全体総括

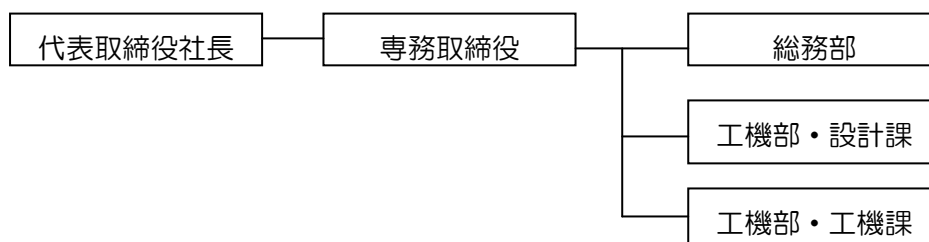
自動寸法調整金型の成果として、0.1 板厚が変化しても目的の寸法精度を満たす事ができた。

1－2 研究体制

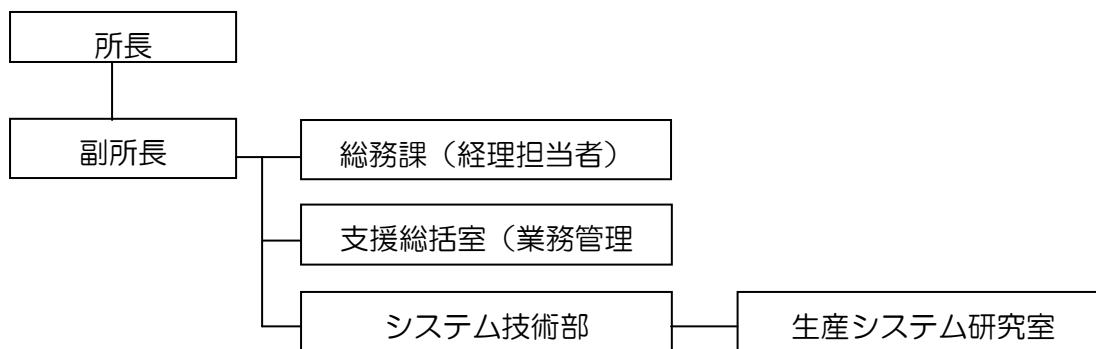


② 再委託先

久野金属工業株式会社



名古屋市工業研究所



【事業管理機関】 国立大学法人岐阜大学

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
馬場 大輔	研究推進・社会連携機構 研究推進部門	プロジェクトの 運営管理
中三川 敏之	特任准教授 学術国際部 社会連携課 課長	

研究員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
王 志 剛	工学部・教授	①-1、①-2

【再委託先】

研究員

久野金属工業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
久野 功雄	専務取締役	①-1～2、②-1～2、 ③-1
久野 寛弘	工機部 部長	②-1～2、③-1
古橋 健一	設計課 1 係長	①-1～2、③-1
岩尾 潔	設計課 2 係長	①-1～2、③-1
榊原 雅司	設計課 2 主任	①-1～2、③-1
福安 雄一	工機課 係長	②-1～2
新美 勇人	工機課 担当	②-1～2

名古屋市工業研究所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
西脇 武志	システム技術部 生産システム研究室・主任研究員	②-1～2、③-1
村田 真伸	システム技術部 生産システム研究室・研究員	②-1～2、③-1

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

国立大学法人岐阜大学

(経理担当者) 学術国際部 社会連携課 産学連携係長 阪野 秀和

(業務管理者) 研究推進・社会連携機構 研究推進部門 特任准教授 馬場 大輔

(再委託先)

久野金属工業株式会社

(経理担当者) 総務部部長 都築 克幸

(業務管理者) 専務取締役 久野 功雄

名古屋市工業研究所

(経理担当者) 総務課 事務係長 飯田 満

(業務管理者) 支援総括室 主幹(ものづくり基盤技術支援) 秋田 重人

1-3 成果概要

本研究開発の目的は、ロットごとにバラツキのある厚板高張力鋼板に対して、板厚を自動的に吸収する自動寸法調整機構の金型の研究開発を通じて、高精密・高精度な大型モーターハウジングのプレス加工技術の確立を図るものである。

この自動寸法調整機能を有する金型の構造は次の通りである。

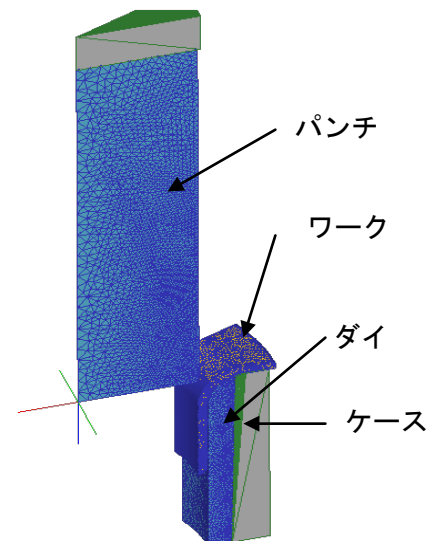
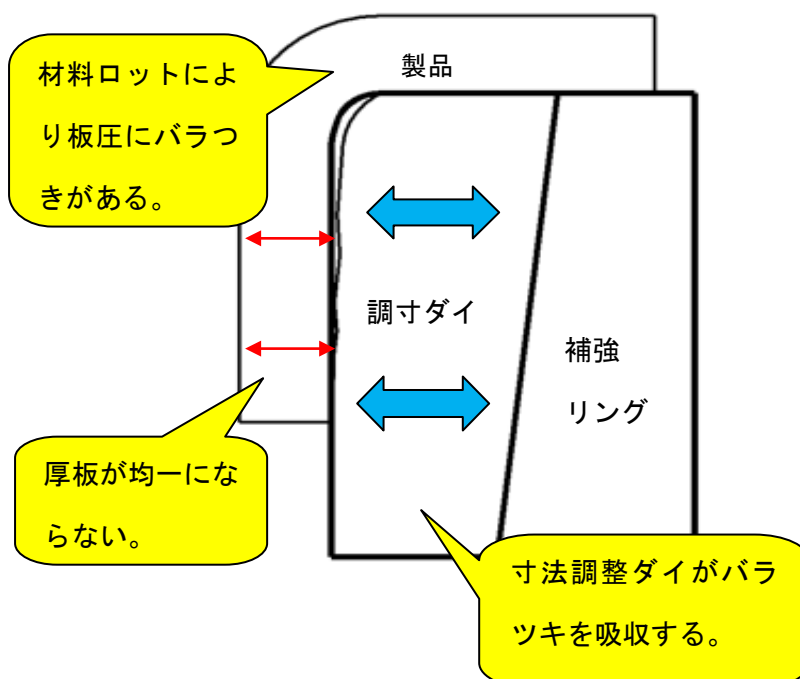
- (1) 寸法調整ダイが補強リングにテーパで挿入されている。
- (2) 寸法調整ダイは寸法調整機構とテーパで相まって小さくなっている。
- (3) 板厚や絞り後のバラつきで製品板厚の厚い部分を成形すると、寸法調整機構が働き、ダイ径が板厚に合わせて部分的に大きくなる。
- (4) ダイ径が大きくなることで、クリアランスと成形圧力が板厚に対して、適正に保たれる。
- (5) 板厚のバラつきに関わらず内径が均一に成形される事で、内径精度が良い製品を加工することができる。



EV 用モーター



モーターハウジング



この自動寸法調整機能を具備するフレキシブル金型技術の研究開発のために、本年度は以下の研究開発を実施した。

① 自動寸法調整機構の変形解析及び自動寸法調整ダイの最適化

①ー１ 自動寸法調整機構の解析（研究実施者：久野金属工業㈱、岐阜大学）

（目的）

自動寸法調整機構を確立するための基礎データ構築のため、テーパダイの角度、厚み、溝形状等をパラメーターとして最適な構造と組合せをシミュレーションにより解析し、寸法調整機構の最適化の研究を実施する。

具体的には

- ・ ロット毎に異なる板厚変化に対応した自動寸法調整機構の解析。
- ・ 実証金型製作のために、シミュレーションにより、テーパダイの角度、厚み、溝形状等をパラメーターとした最適な構造と組合せを解析。

（成果）

厚板の変動を自動的に吸収する自動寸法調整機構が適正に機能するかに関して、シミュレーション解析を行った結果、１６分割モデルにより、当初想定した板バネを用いることなく作動することを確認した。

- ・ 材料の板厚変動を吸収する寸法調整機能の作用を解析で確認。
- ・ 自動寸法調整機構の実証金型製作に必要なパンチダイ径等のパラメーターを確認。

①ー２ 自動寸法調整機構の検討（研究実施者：久野金属工業㈱、岐阜大学）

（目標）

シミュレーション解析結果に基づき実証金型を製造するとともに、この金型により自動寸法調整機構の機能確認と、応力に対するダイの角度や溝構造等の検証を行う。

具体的には

- ・ 実際にテストサンプルを作成する実験用金型の製作。
- ・ 機構拡張時に生ずる応力の状況及びそれを吸収する「溝」構造や、「テーパ角度」等の検証及び研究開発に必要なパラメーターの条件設定等に係る検討。

（成果）

シミュレーション結果に基づき、製品サンプル作成のための自動寸法調整金型の実証金型を製作した。又、寸法調整金型で製品サンプルを製作するための前工程の金型を合わせて製作するとともに、自動寸法調整機構を実現するために必要な各種条件の把握を行った。

- ・前工程製品を作成するため、1 絞り、2 絞り、3 絞りの金型を設計製作
- ・3 絞りを完了したサンプルを加工する自動寸法調整金型の設計製作
- ・本研究開発に必要な各項目の条件設定等の検討。

② 自動寸法調整機構を具備する金型設計・加工技術の確立

②－1 適性材料の選定（研究実施者：久野金属工業㈱、名古屋市工業研究所）

（目標）

材料解析ソフトにより、金型全周に16ヶ所の溝をテーパ状に加工する必要があることから、加工性及び疲労寿命への適性に注目しながら適正材料の選定を行う。

具体的には

- ・自動寸法調整機構に最適な材料の選定。
- ・剛性、耐摩耗性、加工性を勘案した最適な材料に関して、各種試験による評価。

（成果）

自動寸法調整機構を実現するために必要な型材の性能の評価及びコスト面での比較評価を実施。コスト比較結果は次の通りであった。

素材価格 中 CrSKD > SKD11 > SLD-MAGIC

切削コスト 中 CrSKD = SLD-MAGIC > SKD11

その結果、SLD-MAGIC を第一候補としたところである。

- ・シミュレーション結果に基づいたヤング率、強度、硬度、切削性を加味した材料特性により、SLD-MAGIC 材が最適材料であることを確認。

②－2 高精度・高能率加工技術への対応

（研究実施者：久野金属工業㈱、名古屋市工業研究所）

（目標）

切削と研削の両機能を有する5軸マシニングセンターを導入して、真円度、直角度、面粗

度を維持しながら、寸法調整ダイと補強リングの内外径同時加工及び溝加工、マイクロディンプル加工等の高精度、超精密加工技術の確立を図る。特に、各金型部材の精密加工技術確立にむけて、サンプル加工によるデータ収集を行い、これらのデータをもとに、同時5軸加工による内外径同時加工と同時研削加工の検証を進める。

加工精度目標值 真円度 0.01以内、 直角度 0.02以内
 面粗度 1.6Z以内、 同軸度 0.01以内

(成果)

5軸マシニングセンターにより、同時 5 軸加工による自動寸法調整金型の加工を行った。実際に加工したダイの精度は以下であった。

真円度 0.009 直角度 0.003 面粗度 Rz1.3Z 同軸度 0.013

以上から、実際の金型部品で目標値を達成することができた。

③ 自動寸法調整機構の評価

③—1 金型及び成形品の評価（研究実施者：久野金属工業(株)、名古屋市工業研究所）

(目標)

シミュレーション解析により、得られたパラメーターで製作した実証金型によりサンプル製品の製作と評価をおこない、目標精度を達成する。

製品精度目標値 $\Delta D = \pm 0.02$

- ・自動寸法調整金型をテストするための3絞り製品サンプルを製作する。
- ・自動寸法調整金型により3絞り製品サンプルの成形テストを行う。
- ・成形テストサンプルの評価を行い、目標精度を達成する。

(成果)

解析結果を反映した実証金型を製作し、前工程までのテストサンプル製作後、実際にテスト材を自動寸法調整金型で成形した。 評価結果の1回目は目標精度を達成できなかったが、3回目のトライで目標精度を達成できた。

- ・ 自動寸法調整金型をテストするための3絞り製品サンプルを製作した。
- ・ 自動寸法調整金型により3絞り製品サンプルの成形テストを行った。
- ・ 3回のトライで成形テストサンプルの評価を行い、目標精度を達成した。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

国立大学法人岐阜大学

（最寄り停留所：岐阜乗合自動車 岐阜大学・病院線 岐阜大学）

〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1号

担当：研究推進・社会連携機構 特任准教授 馬場 大輔

TEL：058-293-2089 FAX：058-293-2022 E-mail：sapoin@gifu-u.ac.jp

第2章 本論

① 自動寸法調整機構の変形解析及び自動寸法調整ダイの最適化

①ー1 自動寸法調整機構の解析（研究実施者：久野金属工業㈱、岐阜大学）

目的

本研究開発のポイントは、ロットごとに異なる板厚の変動に対応して、プレス加工時に、ダイ径が部分的に拡張して、クリアランスが板厚に対して適正に保たれる自動寸法調整機構であり、これが、実際に機能することを確認する必要がある。

この目的のために、テーパダイの角度、厚み、みぞ形状等をパラメーターとして最適な構造と組合せをシミュレーションにより解析した。

内容

寸法調整機構の最適化の検討を行うための解析シミュレーションに関しては、基礎データの構築を図るために、金型を16分割に設定して、これに対する、テーパダイの角度、厚み、溝形状等をパラメーターとして、最適な構造と組合せに係る解析を実施した。

結果・考察

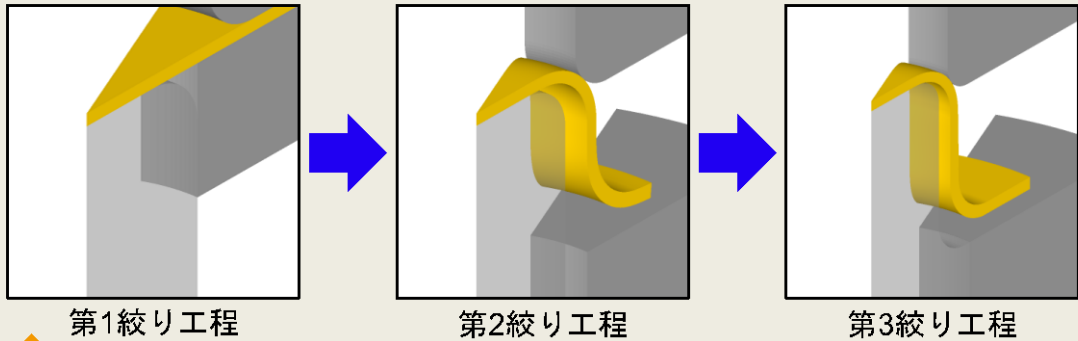
みぞ幅、みぞ角度及びみぞ深さを変化させてシミュレーション解析した結果、みぞ幅の変動に対して寸法調整効果が最も顕著であり、みぞ幅の比率が0.6付近で期待通りの寸法調整効果が現れ、目標寸法が得られたところである。

また、製品の全領域において、目標寸法が得られており、金型の耐久性を支配する引張応力の値が許容範囲にあることも確認されている状況である。

1) シミュレーション解析状況

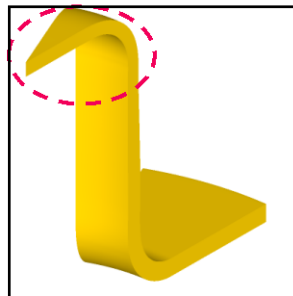
最初に、しごき加工用ワーク形状（内径 53.96mm の円筒）に対して、円板を 3 回絞り解析を行い、底部を取り除き、しごき加工の解析用ワークを作成した。

ワークピース



初期板厚 t_0 は3.1, 3.3mm

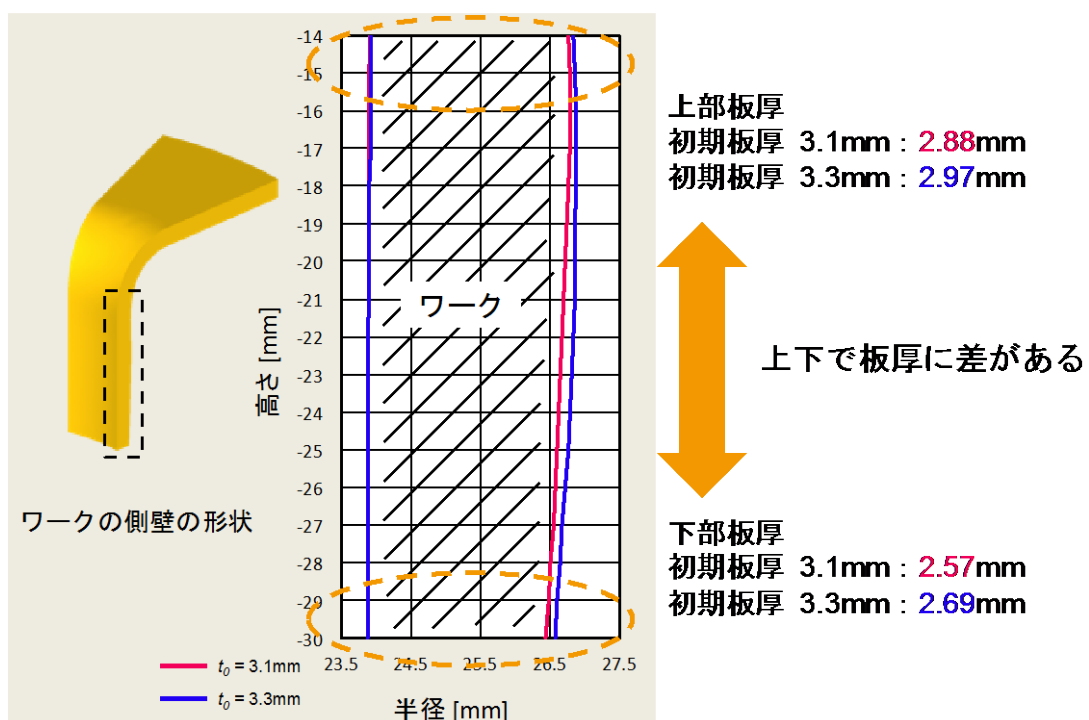
- 実際の加工と同じ金型寸法で解析
- 板厚のばらつきは $3.2 \pm 0.1\text{mm}$ を想定
- ブランク材質は 590MPa級ハイテン



絞りカップの底部を削除し、しごき用ワークを作成

絞り工程後のワーク形状

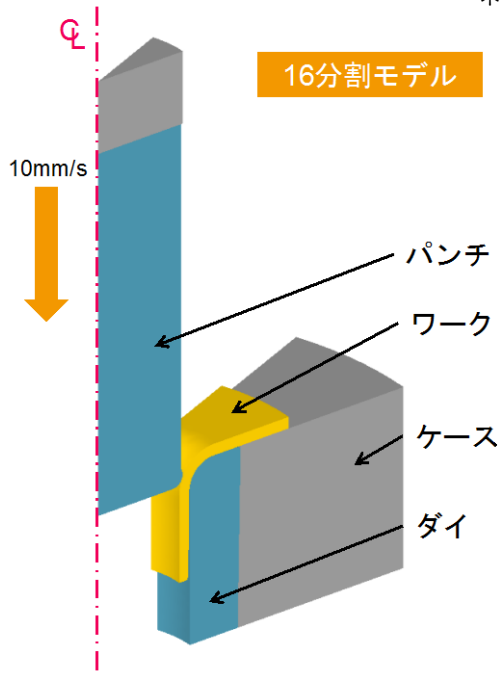
絞り加工後はワーク内径の上下で板厚差が大きい事が分かる。



シミュレーションの条件

このワークに対するシミュレーション解析の条件等は次のとおりである。

* 解析には DEFORM-3D ver. 10 を使用



設定条件

パンチ・ダイ：弾性体

ワーク：剛塑性体

ケース：剛体

要素数

パンチ・ダイ・ワーク：50,000

材料特性

パンチ・ダイ：ヤング率 $E = 210\text{GPa}$

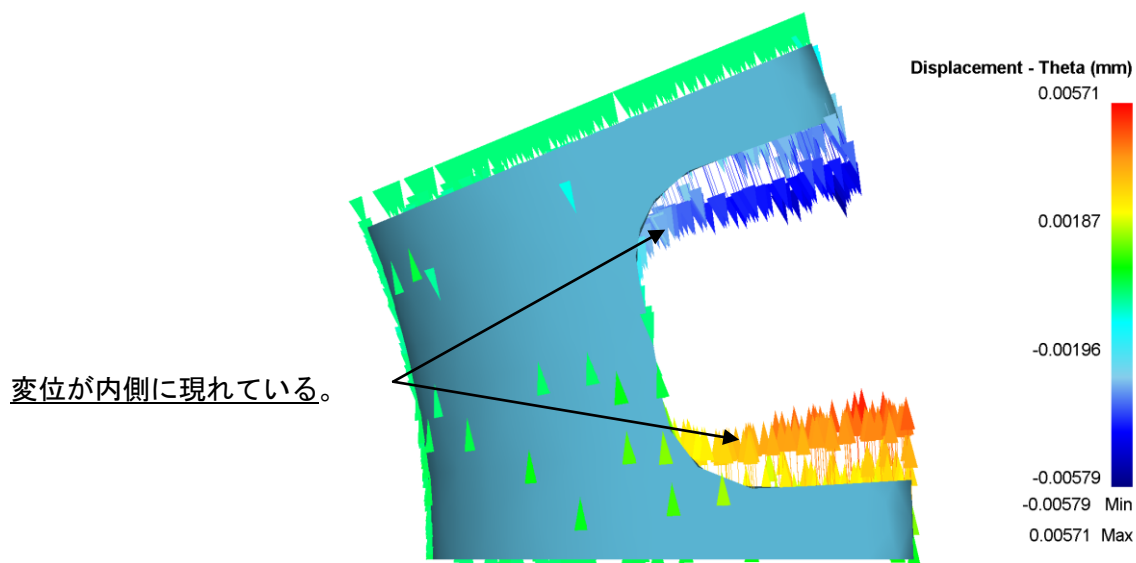
ポアソン比 $\nu = 0.33$

ワーク： $s = 1000e^{0.2}$

摩擦係数： $\mu = 0.1$

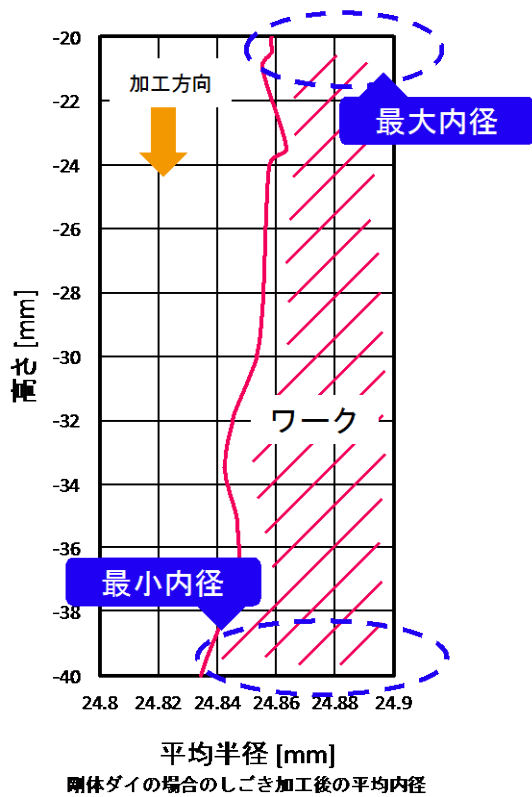
ダイの円周方向変位

ダイ内径の変位は溝の内側の変位となって現れている。



剛体ダイでしごいた場合の内径差

剛体ダイでしごいても内径差は目標値を満足できない。



加工始めで**最大**、終わりで**最小**の内径となる

始めと終わりの内径の差（高さ20mm間）で
自動調整機構の評価する

$$\text{内径差 } \Delta D = \text{しごき始めの内径} - \text{しごき終わりの内径}$$

しごき前の内径差

$$t_0 = 3.1 \text{ mm} : 71.66 \text{ mm}$$

$$t_0 = 3.1 \text{ mm} : 104.21 \text{ mm}$$

剛体ダイでしごいた場合の内径差

$$t_0 = 3.1 \text{ mm} : 48.12 \text{ } \mu\text{m}$$

$$t_0 = 3.3 \text{ mm} : 82.71 \text{ } \mu\text{m}$$

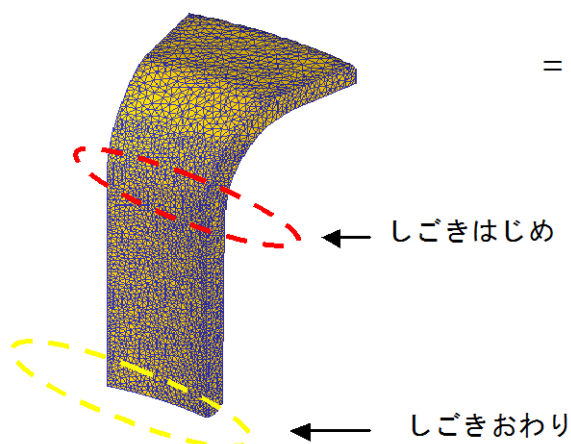
解析目標：±10μm以内

ワークの内径差 ΔD の算出方法

目標のワーク内径差 ΔD の算出方法は以下の通りである。

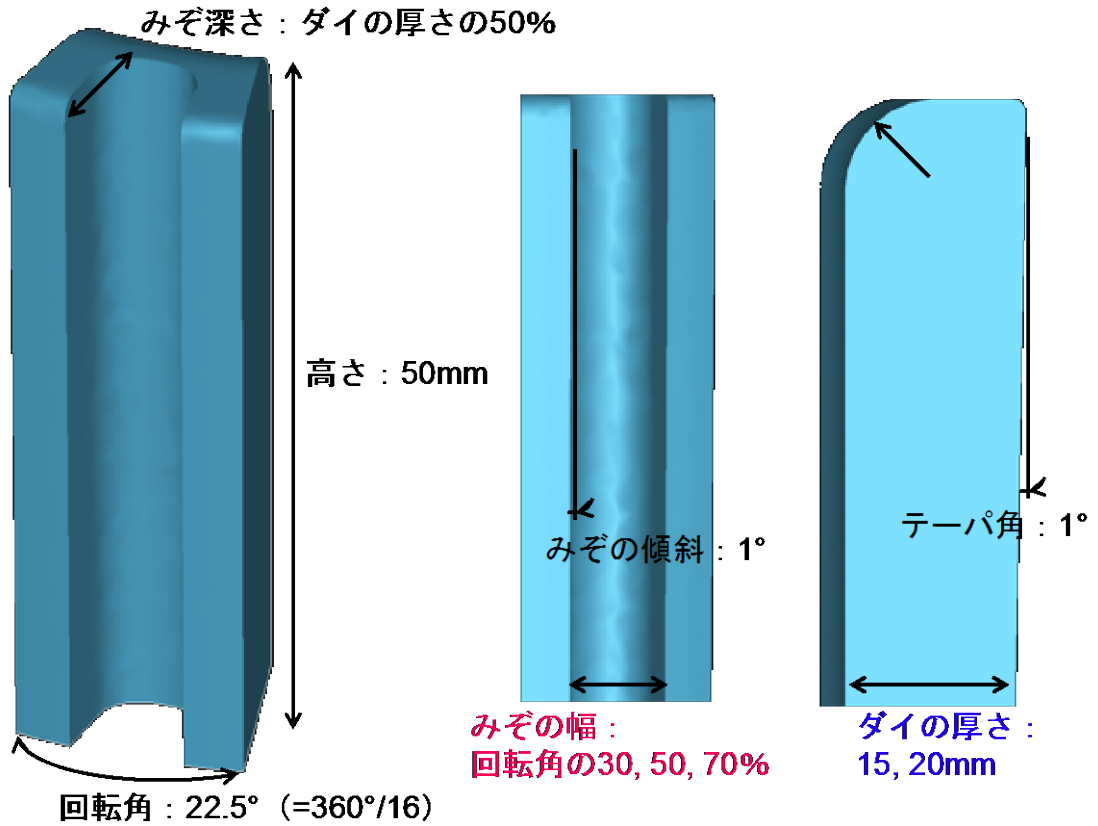
(しごき始めの内径の平均値) - (しごき終わりの内径の平

$$= \text{内径差 } \Delta D$$



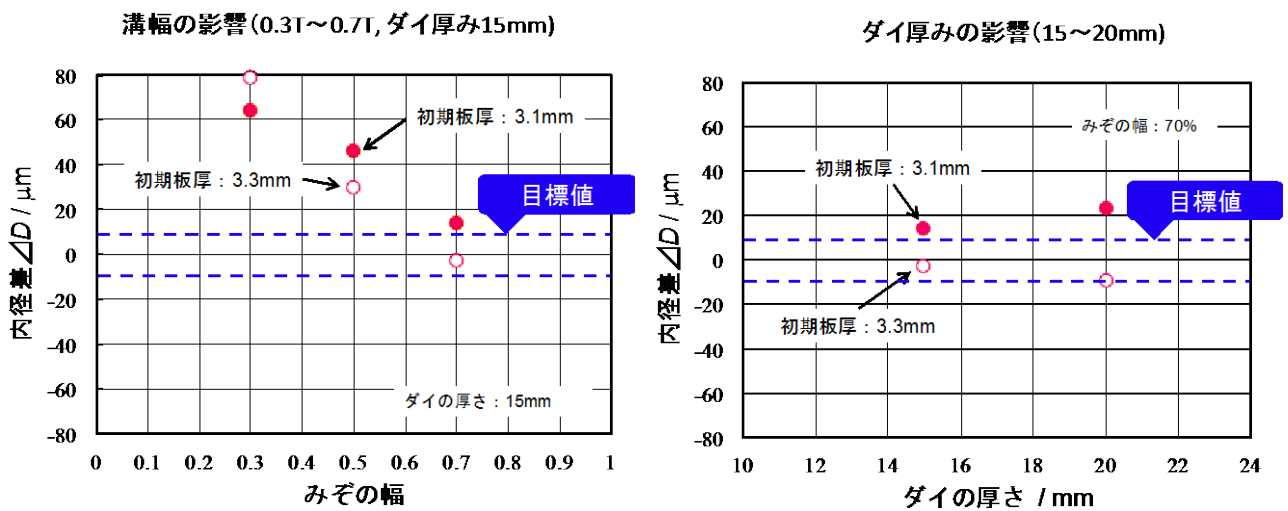
調寸ダイの詳細

調寸ダイの寸法の詳細は下図のようにになっている。



製品内径寸法のシミュレーション結果

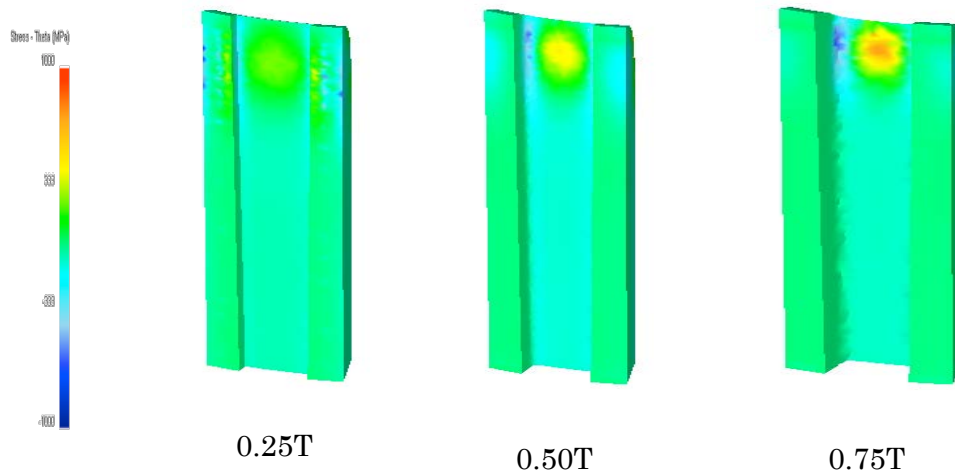
各寸法を変更したときの製品内径差（ ΔD ）のシミュレーション結果は以下である。



上記により、溝幅 0.7T、ダイ厚さ 15 で金型を製作する事とした。

耐久性確認：円周方向応力分布（みぞ厚さ変更）

溝幅 0.7、ダイ厚さ 15 でダイにかかる応力分布の確認を行った。



2) シミュレーション解析結果

F E M解析の結果、自動寸法調整金型は下記条件により、目標とする $\Delta D = \pm 0.01 \text{ mm}$ 以内で成形できる事が確認できた。

しごき加工の条件

板厚のバラつき：2.57～2.97 mm
ダイ内径：53.96 mm
パンチ径：48.96 mm
しごき代：0.07～0.47 mm
（しごき率：3～16 %）

みぞの形状

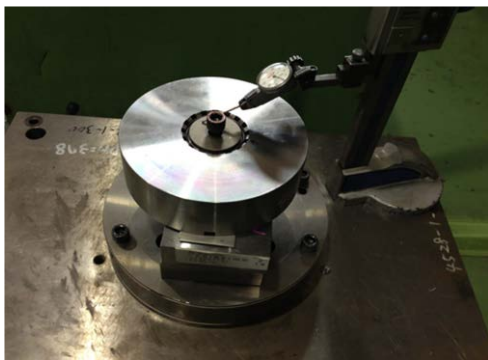
ダイの厚さ：15 mm
みぞ深さ：7.5 mm
みぞの幅：11.5 mm (70%)

①ー2自動寸法調整機構の検討（研究実施者：久野金属工業㈱、岐阜大学）

目的

自動寸法調整機構の確立を図るために、シミュレーション解析をもとに自動寸法調整機構を有する実験用金型（テスト用金型）を製造して、拡張時に生ずる応力の状況及びそれを吸収する「溝」構造や、「テーパ角度」等を検証するとともに、自動寸法調整機構の確立に必要な各項目の条件設定等の検討を行う。

下記実験用金型により、基本原理の確認ができた。



製作した実験用金型

内容

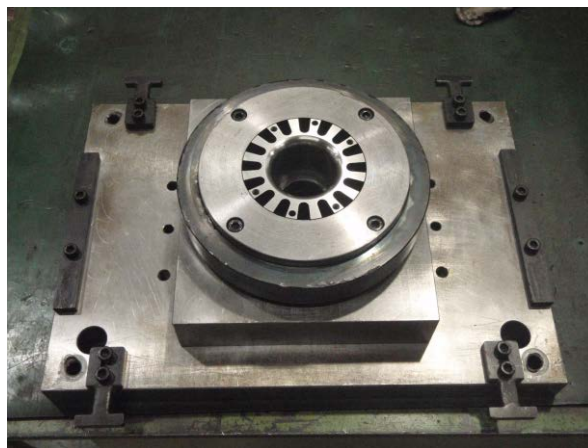
具体的には、左図のように実験用金型を製造して以下の検証を行った。

- 1) 寸法調整ダイの内側にパンチを挿入。
- 2) テーパー構造で内圧をかけることにより、パンチ径を徐々に変化させて、ダイの寸法を計測。

結果・考察

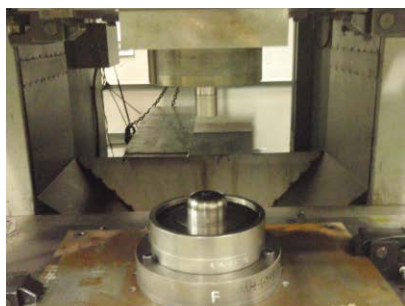
パンチ径を順次拡大させた場合における、ダイホルダー外径の変化を測定したところ、変化がほとんどない状況であるとともに、自動寸法調整ダイが拡張するという基本原理を確認することができた。

テスト材である SPH590 材 t3.2 に合わせて更に FEM 解析を行った結果を金型に反映することで、自動寸法調整金型の実証金型を作成した。



また、実証金型をテストするための前工程サンプルを作成するために、1 絞り、2 絞り、3

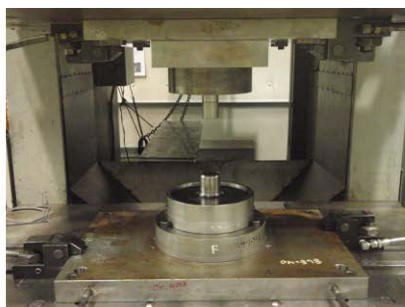
絞りの金型を設計製作した。



1ドロー



2ドロー



3ドロー

結果・考察

自動寸法調整金型で成形を行うための、1絞、2絞、3絞の金型とシミュレーション解析結果による調寸金型の製作の完了により成形トライサンプルを作成できた。

② 自動寸法調整機構を具備する金型設計・加工技術の確立

②-1 適性材料の選定（研究実施者：久野金属工業㈱、名古屋市工業研究所）

目的

本研究開発で使用する寸法調整ダイの特性は、一般金型材料に比して応力の振幅が大きく、また、補強リングとの摺動面に溝等の高精度加工が求められていることから、耐摩耗性と研削性を満たす材料であることが必要となる。そのため、これらの条件を満たす材料の選定を、冷間工具鋼を対象として実施する。

内容

剛性、耐摩耗性、加工性を勘案した最適な材料は、スプリング性が強く（調整代が多いため）、表面が硬い（耐摩耗性が高いため）といった要素を考慮する必要がある。

そのため、これらの条件を勘案しながら技術データ分析及び解析ソフトにより、各種材料にかかる調査・分析を行い、コスト性を加味して検討した。

自動寸法調整機構に必要な型材の性能

自動寸法調整ダイ : 耐摩耗性、低ヤング率、高強度・硬さ、切削性

ダイケース : 耐摩耗性、高強度・硬さ、切削性

結果・考察

耐摩耗性と低ヤング率、高硬度と切削性は相反する性質であることから、そのバランスが重要なポイントとなる。

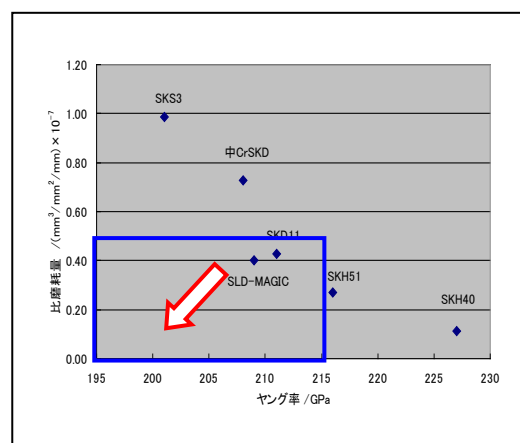
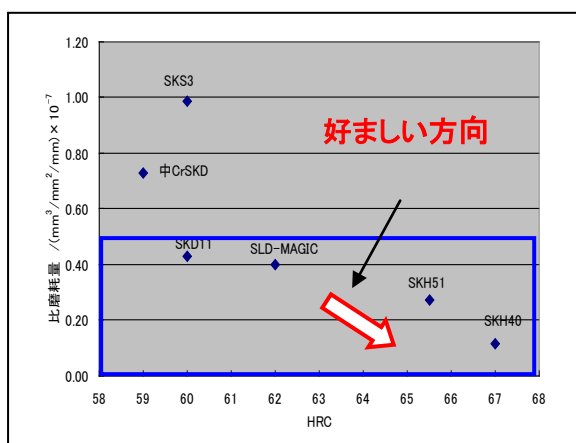
また、金型サイズが大きいことから、材料価格はもとより、切削コストも重要となる。

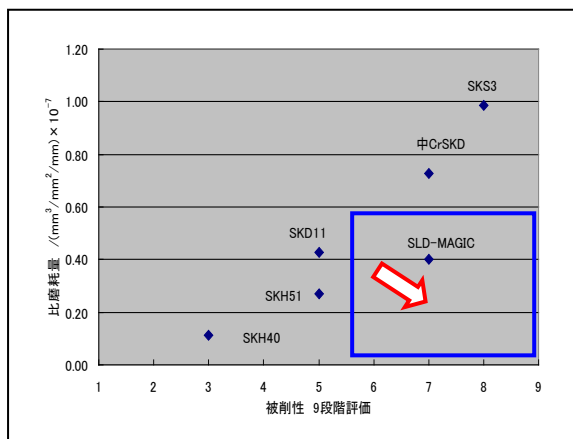
これらの点を考慮して、評価・分析を行った結果、冷間工具鋼の SLD-MAGIC が最適材料と判断した。

1) 冷間工具鋼を対象として、技術データに係る調査状況

技術データ調査結果における性能の評価

記号	HRC	磨耗量 ($\text{mm}^3/\text{mm}^2/\text{mm}$) $\times 10^{-7}$	ヤング率 GPa	切削性評価
SKS3	60.0	0.99	201	8
SKD11	60.0	0.43	211	5
中 CrSKD	59.0	0.73	208	7
SKH51	65.5	0.27	216	5
SKH40	67.0	0.11	227	3
SLD-MAGIC	62.0	0.40	209	7

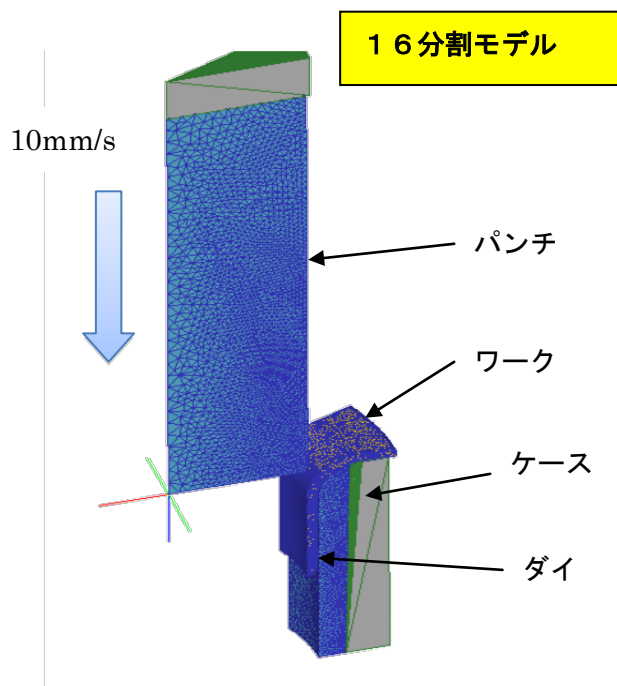




この結果からすると

SLD-MAGIC が性能面かすると最も適した材料であることが理解できた。

2) 疲労寿命及び摩耗量に係る解析状況



設定条件

パンチ・ダイ：弾性体

ワーク：剛塑性体

ケース：剛体

要素数

パンチ・ダイ・ワーク：50,000

材料特性

パンチ・ダイ：

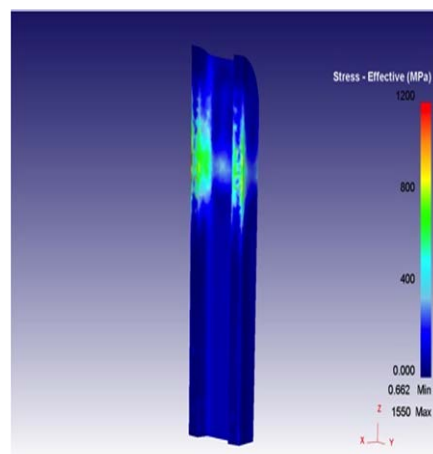
ヤング率 $E = 210\text{GPa}$ ポアソン比 $\nu = 0.33$

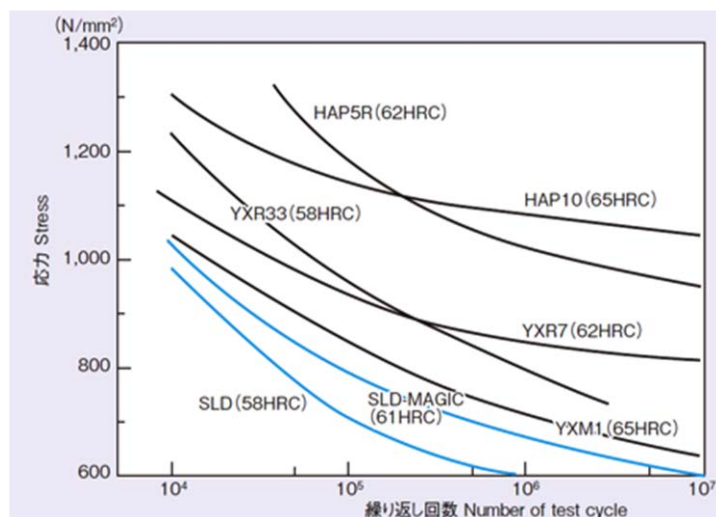
ワーク： $s = 1000e.0.2$

摩擦係数： $m = 0.1$

疲労寿命に係る解析結果

区分	HRC	予測寿命
SKS3	60.0	－
SKD11	60.0	5 万回
中 CrSKD	59.0	－
SKH51	65.5	20 万回
SKH40	67.0	破壊しない
SLD-MAGIC	62.0	10 万回

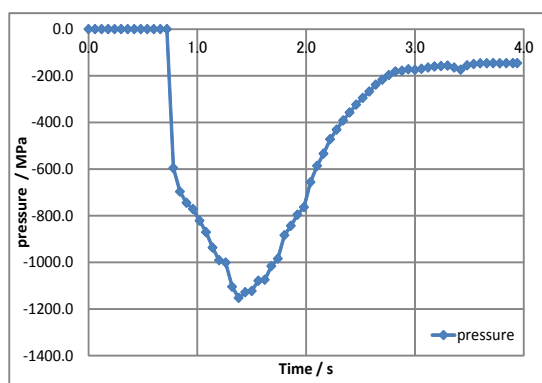




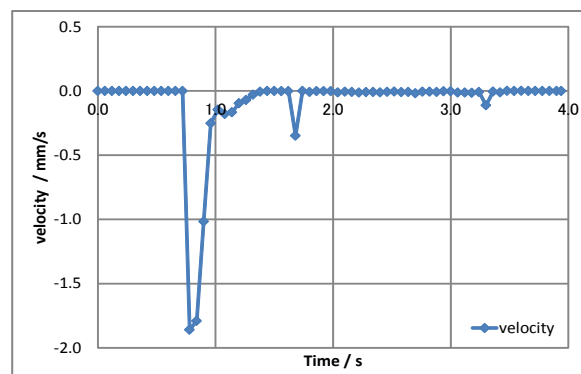
成形中のダイの相当応力分

この解析結果からすると、
相当応力の最大値は 800MPa 以下
となり、SLD-MAGIC で 10 万回
の疲労寿命と予測した。

摩耗量の推定方法は、解析結果の接触面圧、すべり速度から積分項を計算して実施した。



接触面圧 (MPa)

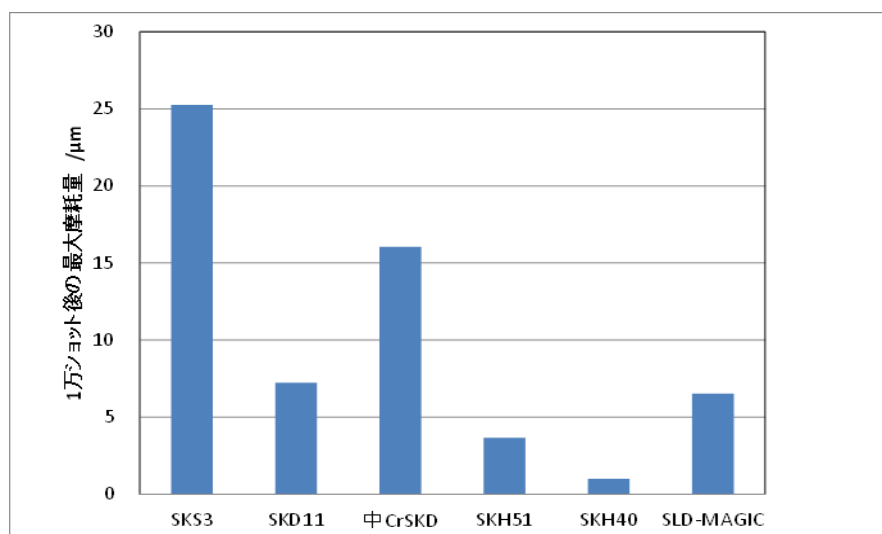


すべり速度 (mm/s)

比摩耗量の計算

区分	磨耗量 (mm ³ /mm ² /mm) × 10 ⁻⁷	摩 耗 痕 の 幅 (推定) mm	比摩耗量 × 10 ⁻⁹ mm ² /N	1 万ショット後 の最大摩耗量 μm
SKS3	0.99	2.18	9.60	25
SKD11	0.43	1.43	2.75	7
中 CrSKD	0.73	1.87	6.10	16
SKH51	0.27	1.14	1.39	4
SKH40	0.11	0.74	0.38	1
SLD-MAGIC	0.40	1.39	2.48	7

1万ショット後における摩耗量



上記より、摩耗量については1万ショットでも6 μ m程度の予想となり、油やコーティング等も勘案すると問題ないと思われる。

②ー2 高精度・高能率加工技術への対応

(研究実施者：久野金属工業(株)、名古屋市工業研究所)

目的

自動寸法調整機構が円滑に機能するためには、金型の真円度、直角度、同軸度、面粗度を高精度に加工する必要があることから、この加工技術の確立を図る必要がある。

内容

加工技術確立に当たっては、寸法調整ダイと補強リングの内外径同時加工や溝加工、マイクロディンプル加工といった、各分野における微細・高精度な切削・研削技術が求められることから、段取りを一回で行ないながら、同じ段取り内で5軸同時加工による内外径同時加工と研削同時加工を可能とする5軸同時研削仕様マシニングセンターを導入する計画で実施してきた。シミュレーションによる各パラメーターの最適条件から計算されたデータを元に調寸ダイの加工を同時5軸加工により、内外径同時加工を実施した。

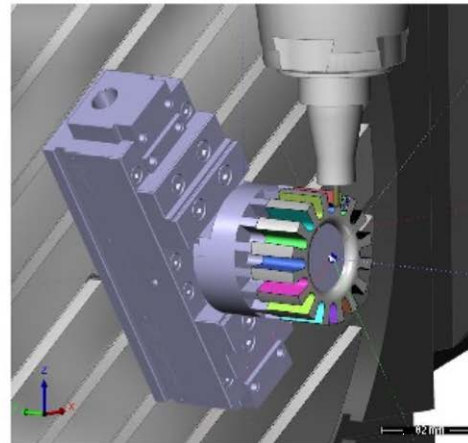
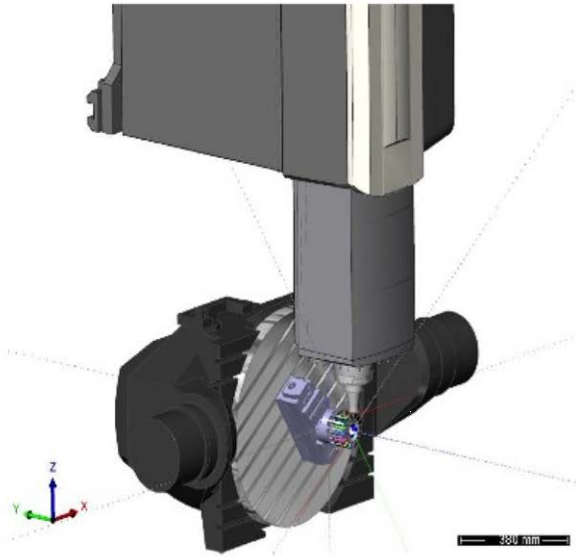
目標値

計画した目標値は次の通りであった。

加工精度目標値	真円度	0.01以内、	直角度	0.02以内
	面粗度	1.6Z以内、	同軸度	0.01以内

内容

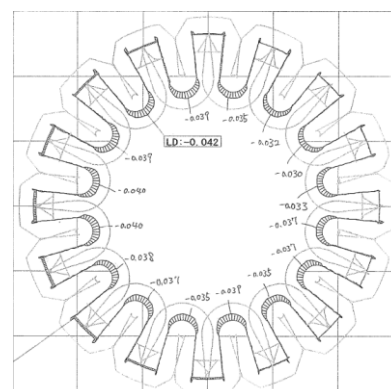
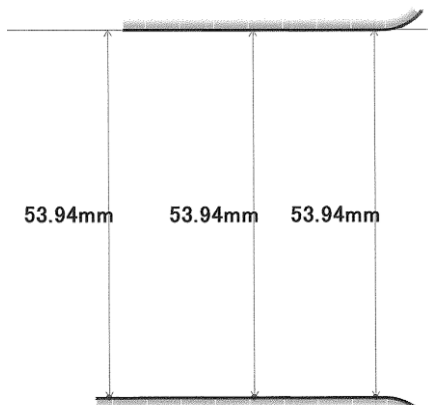
5 軸加工機用 CAD/CAM により加工シミュレーションを行い、同時 5 軸プログラムを
 工具及び機械干渉なく加工する事ができた。



機上測定を行う事でワークを取り外す事なく加工精度確認と追加工を行った。



ダイの内径寸法と輪郭形状測定を大型形状測定機と三次元輪郭計測プローブで行った。



結果・考察

導入後における加工精度は、測定した結果以下の状態で、目標値を達成することができた。

真円度： 0.009

直角度： 0.003

面粗度： Rz1.3Z

同軸度： 0.013



5軸同時研削仕様マシニングセンター

下記条件により、寸法調整ダイを固定するプレートに対する切削加工のテストも行った。

	工程	工具	工具径	切削速度	回転速度	送り速度		切込み	加工時間
			mm	m/min	min ⁻¹	mm/min	mm/rev	mm	
N1	外径荒	エンドミル	12	120	3185	1274	0.4	0.5	2分12秒
N2	内径荒	エンドミル	12	120	3185	1274	0.4	0.5	1分9秒
N3	外径仕上	エンドミル	12	150	3980	800	0.201	0.1	57秒
N4	内径仕上	エンドミル	12	150	3980	800	0.201	0.1	23秒
N5	内径テーパ荒	ボールエンドミル	12	120	3185	1274	0.4	7.323	14分12秒
N6	内径テーパ仕上	エンドミル	30	80	850	170	0.2	0.1	1分1秒

合計加工時間： 19分54秒

	外径 [mm]	内径 [mm]	外径真円度 [mm]	内径真円度 [mm]
図面寸法	φ180±0.01	φ63.35+0.02	0.01	0.01
測定値	179.990	63.357	0.00359	0.00417
	外径面粗度 [μm]	内径面粗度 [μm]	テーパ部面粗度[μm]	同心度 [mm]
図面寸法	-	-	-	0.01
測定値	Rz1max 5.23	Rz1max 4.90	Rz1max 6.66	0.0037

上記加工条件により、5軸同時研削仕様マシニングセンターによる金型部材に対するテスト加工は全て良好で、目標である加工精度目標を達成した。

③ 自動寸法調整機構の評価 1

③-1 金型及び成形品の評価 1（研究実施者：久野金属工業㈱、名古屋市工業研究所）

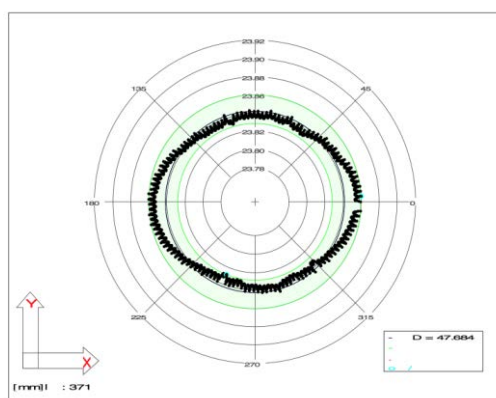
目的

シミュレーション解析により、得られたパラメーターで製作した実証金型によりサンプル製品の製作と評価をおこない、目標精度を達成する。

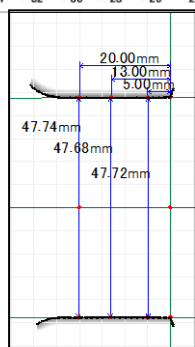
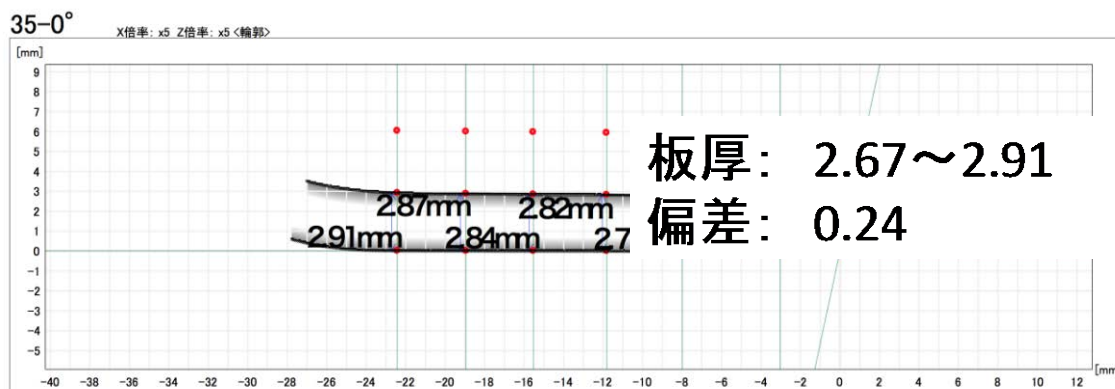
製品精度目標値 $\Delta D = \pm 0.02$

内容

自動寸法調整金型をテストするための3絞り製品サンプルを製作した。作成した製品の真円度、板厚、内径偏差等の計測を行った。



真円度: 0.05
平均内径: $\phi 47.684$

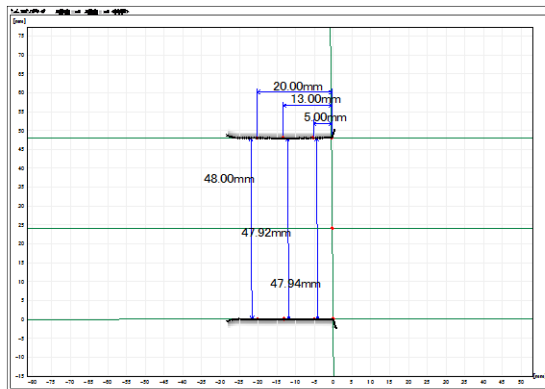


内径データ: 47.68~47.74
偏差: 0.06

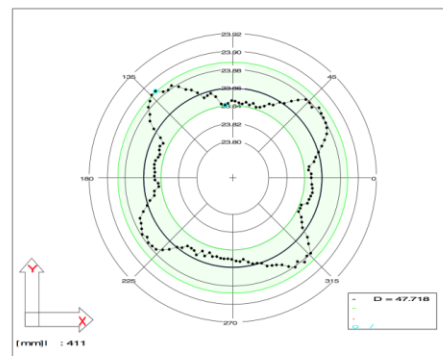
厚板の SPH590 ハイテン材としては、想定以上に内径精度のレベルは高いものができた。

自動寸法調整金型により3絞り製品サンプルの調寸金型成形テストと評価を行った。

調寸ダイによるトライ１ （ダイ径Φ53.38）

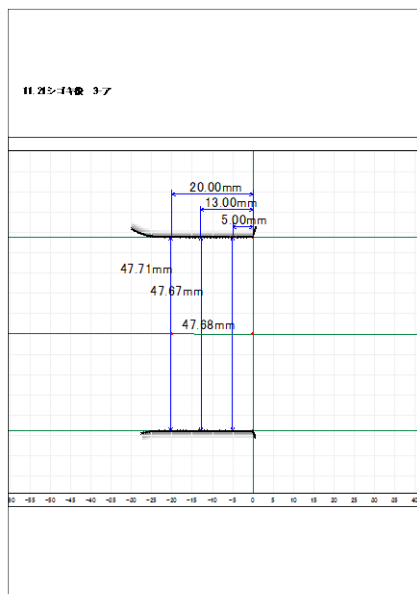


Φ48.00～47.94 偏差0.06

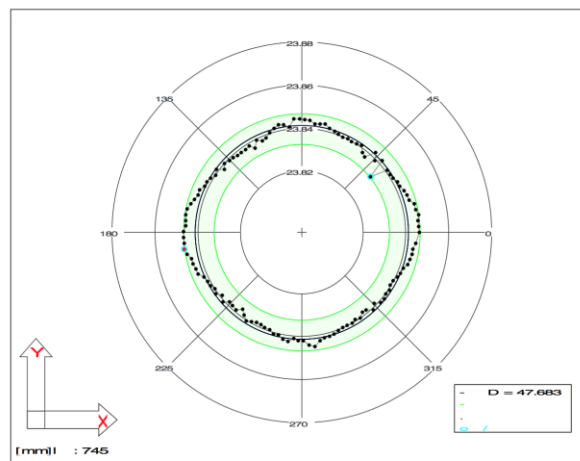


真円度 0.048

内径偏差、真円度共に目標に届いていない。 シゴキ量の調整が必要と思われる。更にダイ径を現象対策として大きくしていき、最終トライでは ダイ径Φ53.60 となり、下記結果となった。



Φ47.68～47.71 偏差0.03



真円度 0.014
 上側公差 0.005
 下側公差 -0.009
 点数 129
 最小 / 最大点 15 / 69

結果・考察

解析結果による溝形状、深さ、厚み等を採用した金型で金型を作成し、しごき条件（ダイ径）を変化させてトライした結果、内径偏差 0.03、真円度 0.014 となり、目標精度を達成することができた。しかし、素材板厚を計測した結果として板引けが想定以上に大きい事が判明した。そこで絞り成形からシュミレーションを行い再度評価を行う事とした。

④ 自動寸法調整機構の評価 2

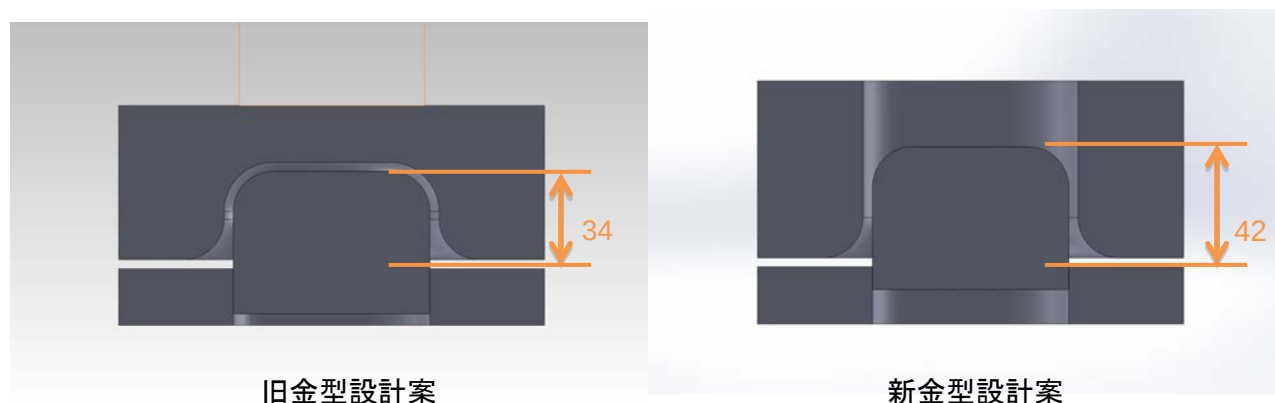
④- 1 1 ドローから 3 ドローの最適化シュミレーション

（研究実施者：名古屋市工業研究所）

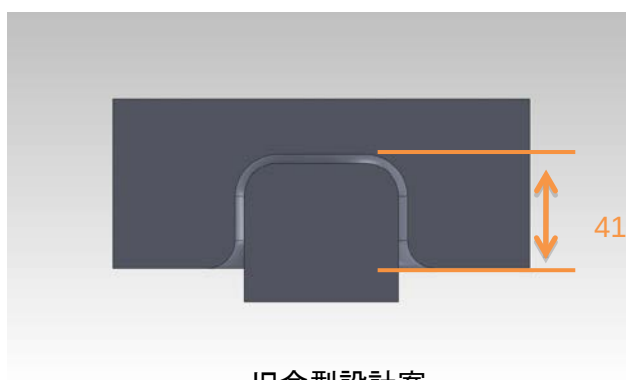
評価 1 で一定の成果が得られたが、板厚減少が大きかったことから絞り成形後の板厚減少率を向上させる事とした。当初絞り工程における板厚減少の原因を分析した結果、1,2 工程の絞りにおいて成形高さが足りないため、再絞り時にパンチの肩部で素材を引張りすぎることが分かった。そこで、対策として、1,2 絞りにおける成形高さを増加させ、かつしわ押さえを底着き構造とすることで、パンチ肩部の張力を軽減させることを狙って絞り金型を再設計することとした。

④- 1-1 工程レイアウトの変更

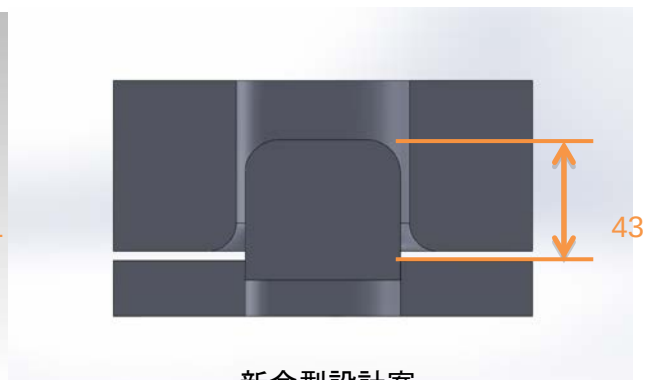
図 1 に 1 工程目の新旧設計案を示す。新設計案では、成形高さを 34mm から 42mm へ変更した。また、図 2 に 2 工程目の新旧設計案を示す。新設計案では、成形高さを 41mm から 43mm へ変更した。また下死点位置でしわ押さえが底付きする構造とした。図 3 に 3 工程目の新旧設計案を示す。新設計案では、成形高さをそのまま、下死点位置でしわ押さえが底付きする構造とした。



図④- 1- 1 1 絞り工程の設計案（下死点位置）

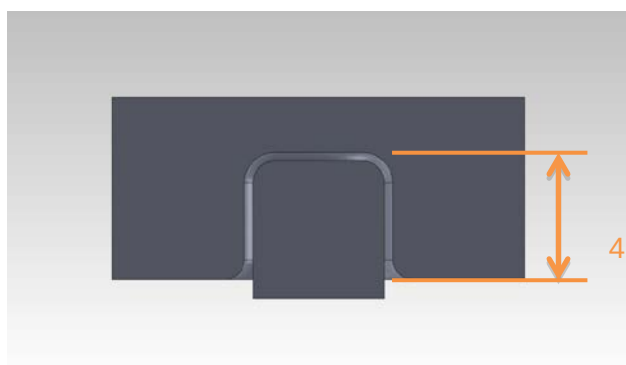


旧金型設計案

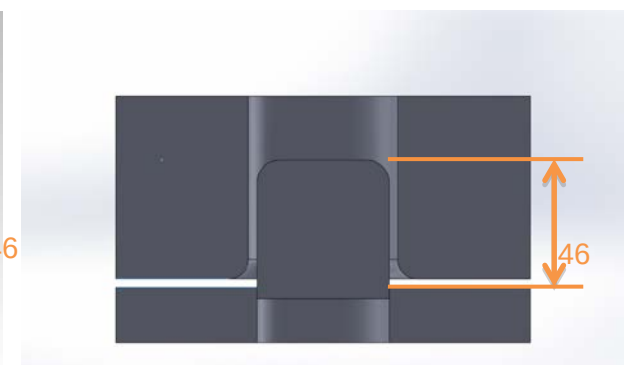


新金型設計案

図④- 1- 2 2 絞り工程の設計案（下死点位置）



旧金型設計案



新金型設計案

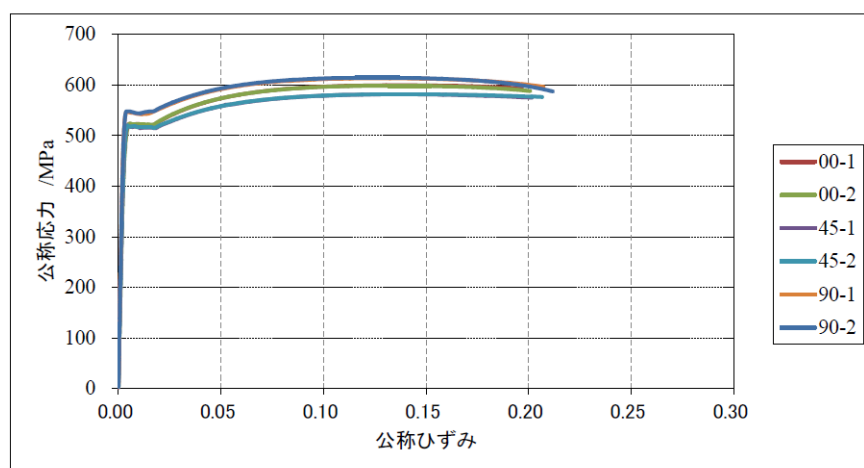
図④- 1- 3 3 絞り工程の設計案（下死点位置）

④- 1- 2 設計案の CAE 解析

(1) 解析条件

板厚減少の改善効果を確認するため、深絞り成形のシミュレーションを行った。成形解析には JSTAMP/NV を用いた。金型は剛体とし、ブランクのみ弾塑性体として完全積分のシェル要素を用いた。金型とブランクの摩擦はクーロン摩擦を用い、摩擦係数は全て 0.12 とした。

ブランク寸法はφ140mm、板厚 3.2mm とし、対称性を考慮して 1/4 のみモデル化した。また、解析に先立ち、引張試験を実施し、機械的特性値と r 値の測定を行った。引張試験結果を図 4 に示す。引張試験によって得られた応力-ひずみ曲線を Swift 則で近似し、材料パラメーターを同定して成形解析に用いた。また材料モデルは Hill の異方性降伏関数を使用し、面内の異方性を考慮した。



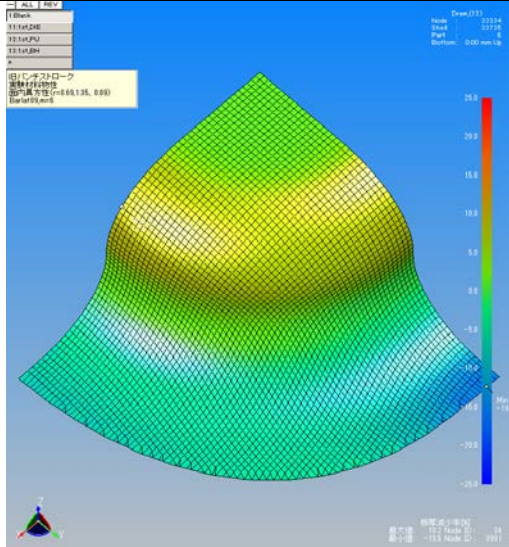
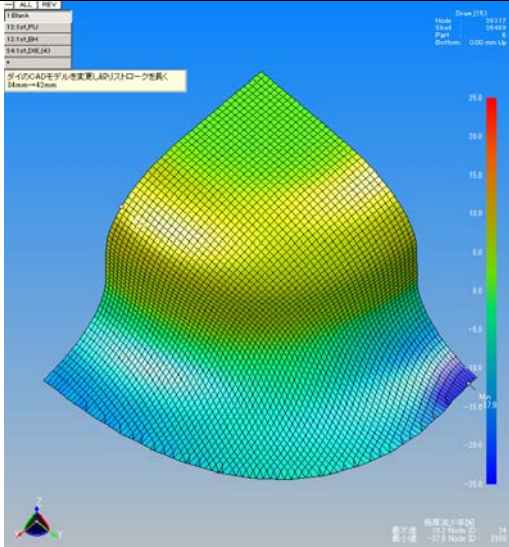
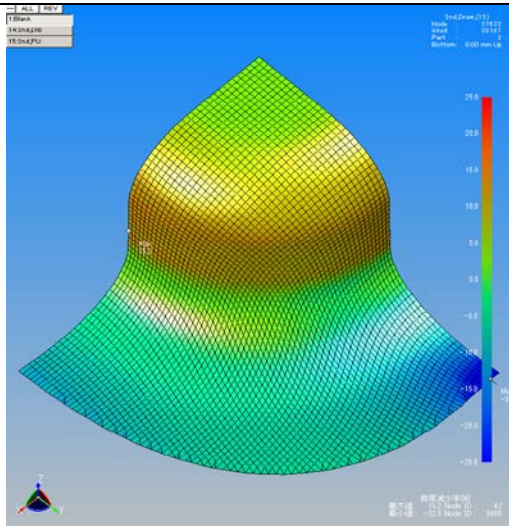
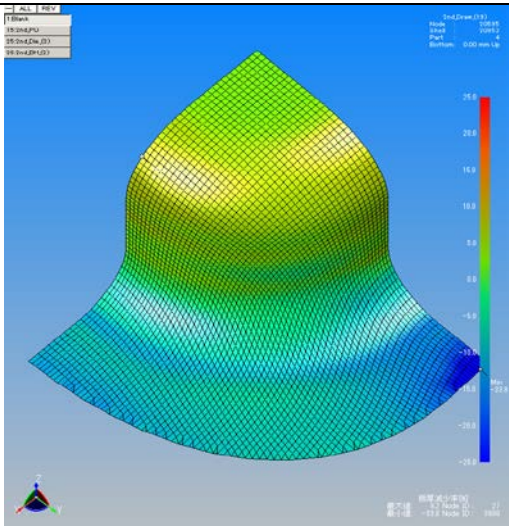
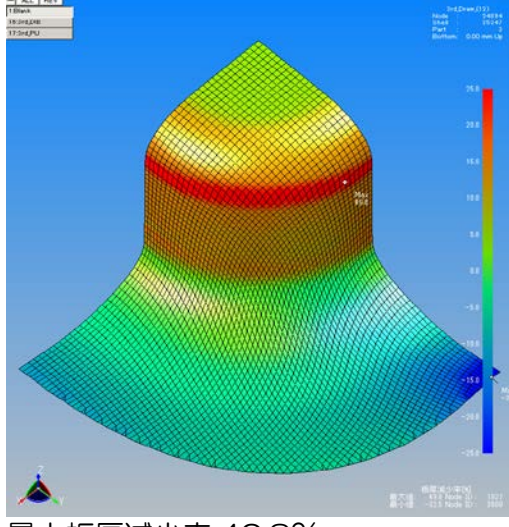
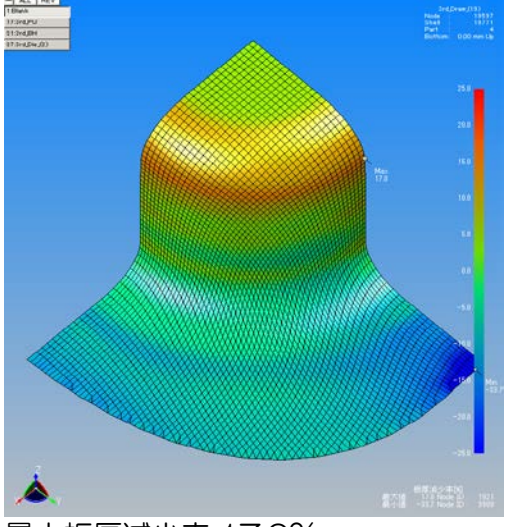
	YP(MPa)	TS(MPa)	n値	k値(MPa)	平均n値	平均k値	r値(12%)	平均r値	r_var	Δ r
00-1	504	600	0.13	886	0.13	883	0.72	0.69	0.85	-0.56
00-2	502	599	0.13	879			0.66			
45-1	497	582	0.12	852	0.12	853	1.38	1.35		
45-2	502	582	0.12	853			1.32			
90-1	525	613	0.11	883	0.11	881	0.82	0.89		
90-2	524	615	0.11	878			0.96			

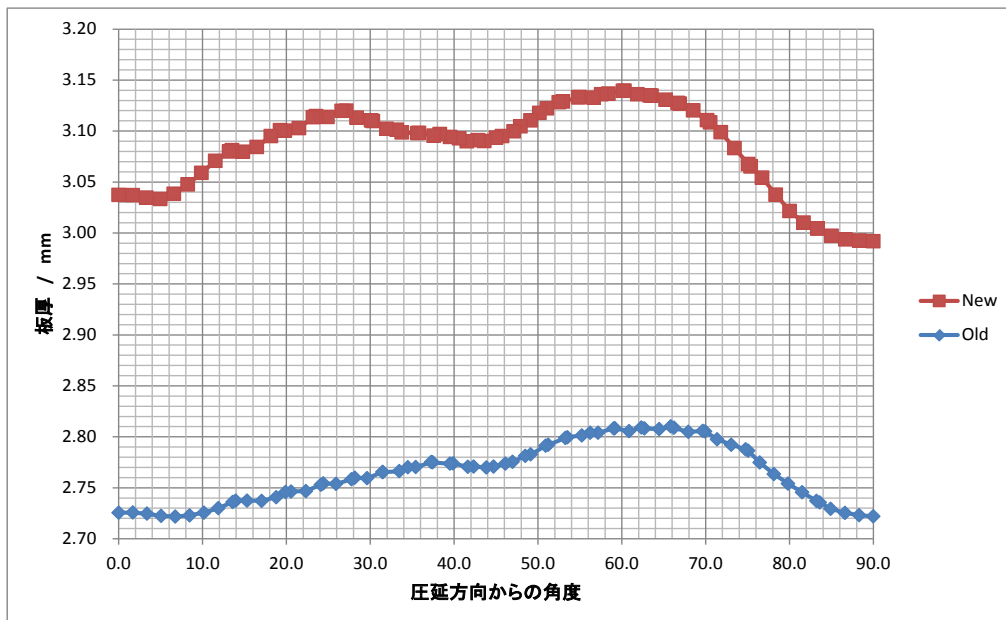
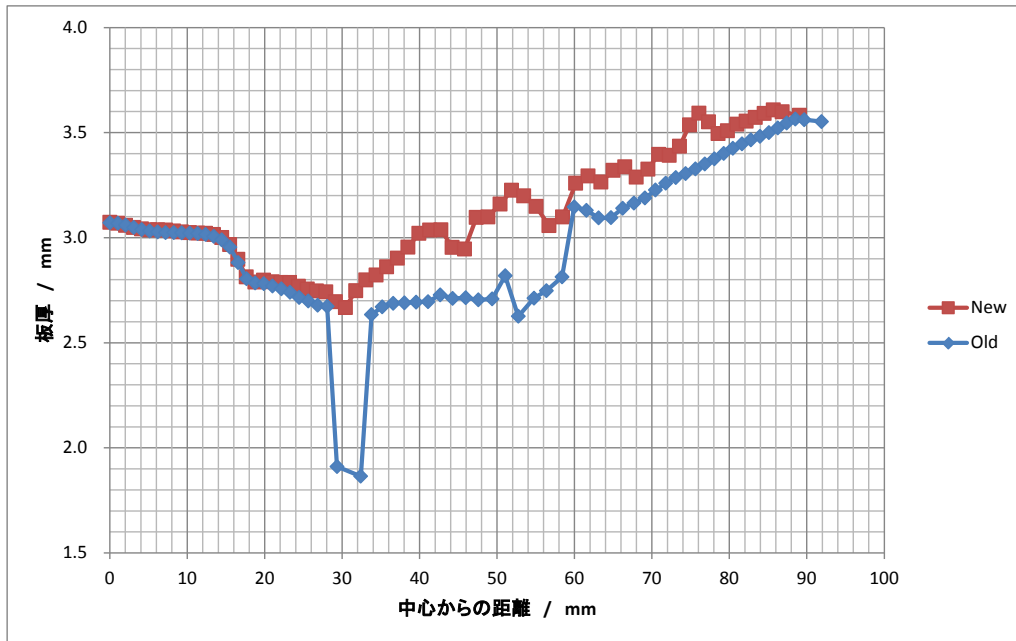
図④- 1- 4 熱延高張力鋼板の引張試験結果

（２）解析結果および考察

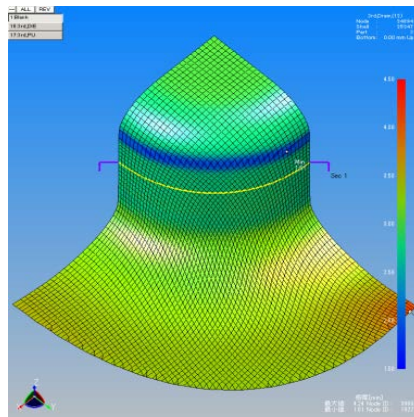
新旧 3 工程の解析結果を表 1 に示す。 最大板厚減少率を比較すると 2 工程目および 3 工程目では、新設計案は旧設計案に比べ大幅に板厚減少が改善されている。特に旧設計案は 3 工程目で破断と判断されるほどの板厚減少を生じているが、新設計案では最大でも 17%しか板厚減少していない。また、3 絞り後の成形解析結果の縦壁部の板厚分布を図 5 に示す。新設計案では 縦壁部の板厚減少が改善されている。図 6 に 3 絞り後の成形解析結果の円周方向の板厚分布を示す。新金型設計案の方が板厚は厚くなった。 ただし、新金型設計案でも円周方向の分布は生じている。

表 ④- 1- 1 絞り成形解析の板厚分布結果

	旧金型設計案	新金型設計案
1 工程	 最大板厚減少率 10.2%	 最大板厚減少率 10.2%
2 工程	 最大板厚減少率 15.2%	 最大板厚減少率 9.2%
3 工程	 最大板厚減少率 49.8%	 最大板厚減少率 17.0%



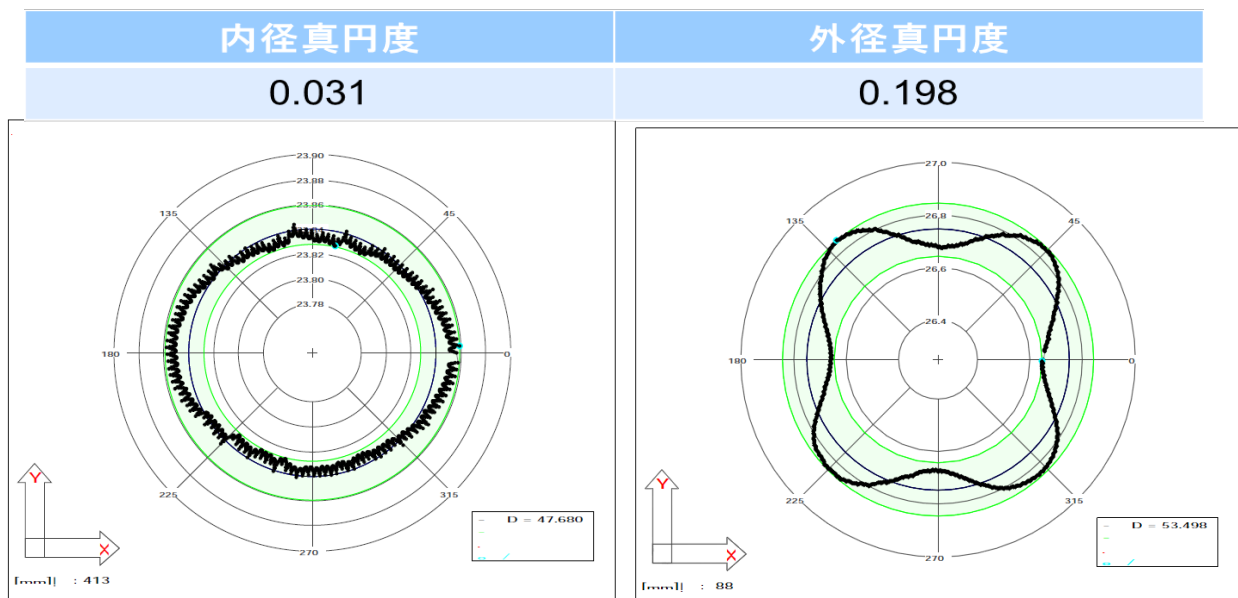
図④- 1- 5 3 絞り後の成形解析結果の縦壁部の板厚分布



図④- 1- 6 3 絞り後の成形解析結果の円周方向の板厚分布

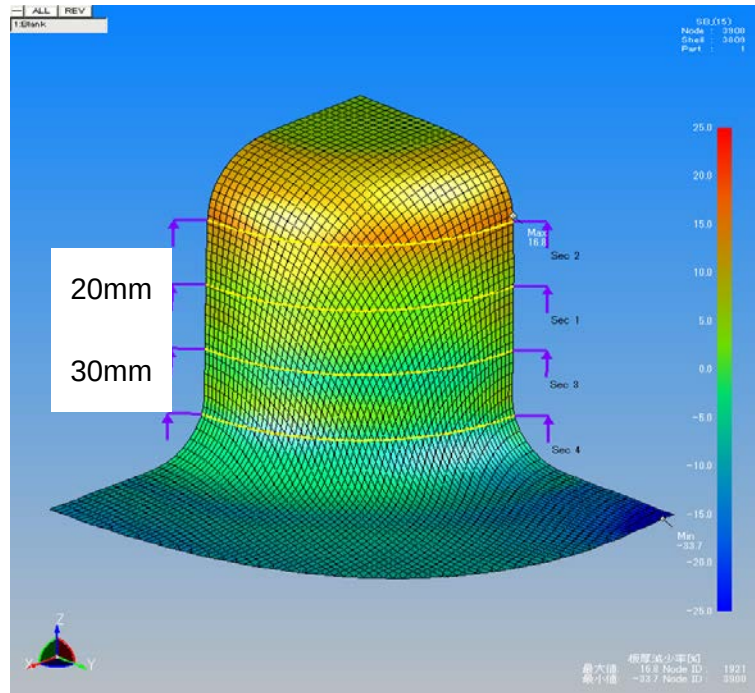
(3) スプリングバック解析による内径および外径寸法精度の確認

旧設計での成形品は、板厚差が著しいという問題点があったが、成形後の内径の真円度は図 7 に示すように良好であった。新設計案では半径方向の張力を減らす思想での設計案のため、内径精度が悪化しないか確認する必要がある。そこで、成形解析の後に、スプリングバック解析を行い、形状の変化を解析して真円度の評価を実施した。



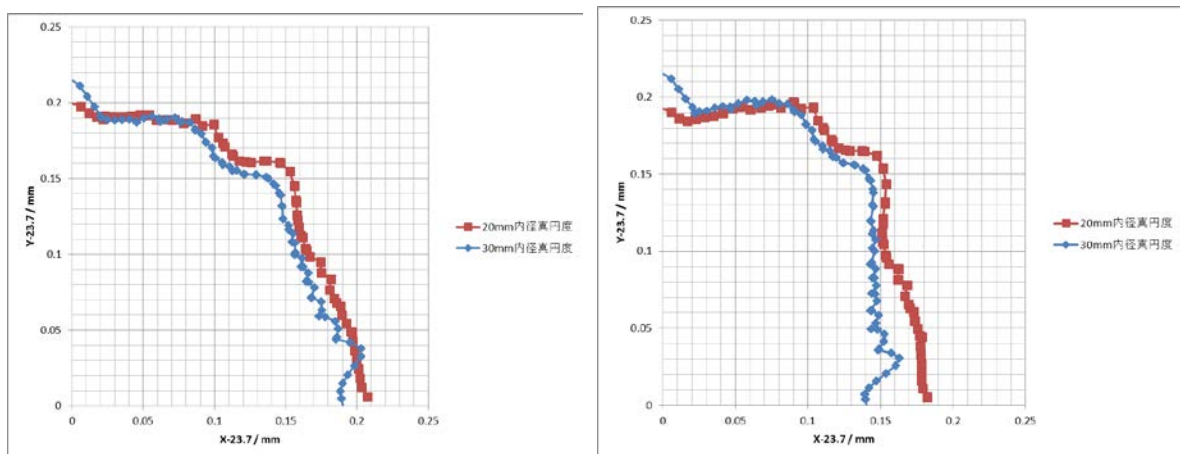
図④- 1- 7 旧設計での成形品の真円度測定結果

スプリングバックの解析後、成形品の上部から 20mm と 30mm の位置の中立面から、シェル要素の板厚分をオフセットして、内径断面と外径断面を作成した。図 8 に真円度の評価位置を示す。

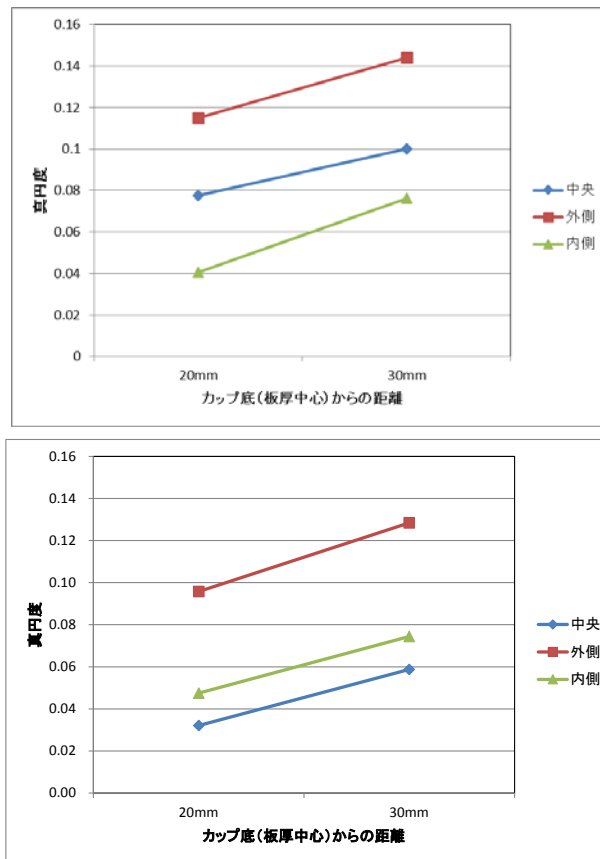


図④- 1- 8 真円度の評価位置

また、成形品の形状は図 9 に示すように、成形後の残留応力によって金型の離型前後で形状が変化する。徐荷後の形状は徐荷前に比べると断面がやや潰れ、真円度は悪化している。そのためスプリングバック解析は必要である。新旧設計の真円度の比較を図 10 に示す。新設計案の真円度は内径および外径とも旧設計案とほとんど変わらず、同等の寸法精度といえる。



図④- 1- 9 除荷後の真円度変化（内径，旧設計） 左：徐荷前、右：徐荷後



図④- 1- 10 新旧設計の真円度の比較 上：旧設計、下：新設計

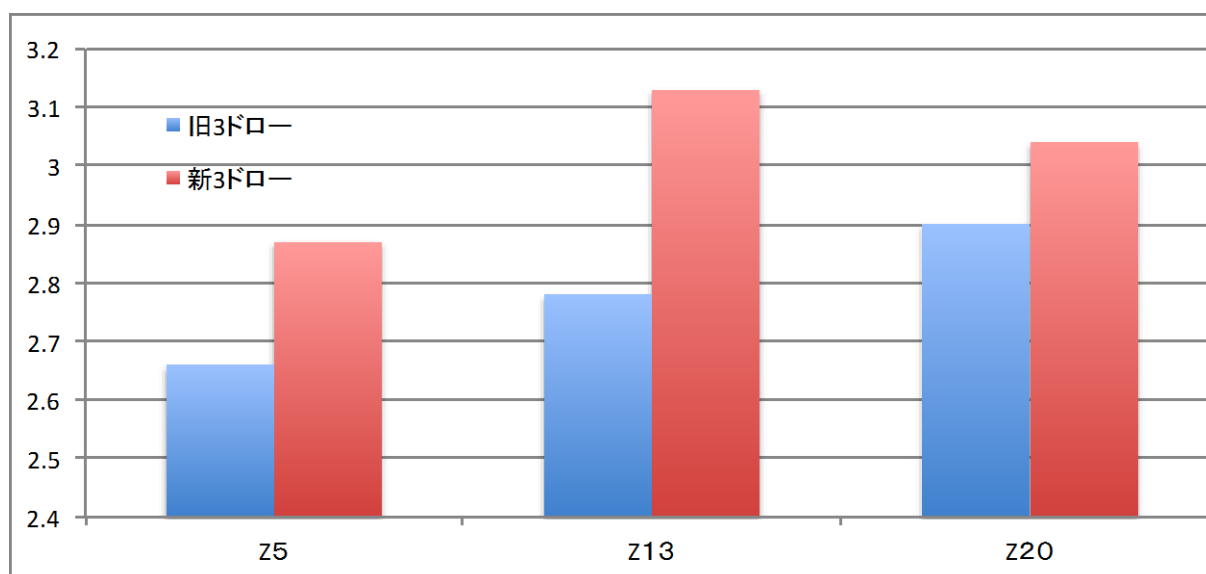
④- 1- 3 CAE 解析まとめ

板厚減少の少ない絞り金型の新設計案を提示し、設計案の CAE 解析を行って板厚減少が抑制できることを確認した。また、寸法精度についても解析後の形状から真円度を計算し、新設計案の真円度は旧設計案と同等であることが明らかになった。

④- 2 1～3 ドロー成形の最適化金型トライ

④- 2- 1 絞り成形の最適金型トライ (研究実施者：久野金属工業株式会社)

上記による1ドローから3ドローまでの最適化シュミレーションの条件を盛り込んだトライ金型を製作し、成形テストを行った。図④- 2- 1は高さZを絞り先端より5mm、13mm、20mmで製品板厚を計測したデータである。絞り先端は板厚が薄くなる傾向であるが、総じて板厚が増加している事が分かる。



図④- 2- 2 新旧3ドロー後の製品板厚（Z5、Z13、Z20）

④- 2- 2 ドロー成形最適金型トライ結果 （研究実施者：久野金属工業株式会社）

新しいレイアウトの成形では旧 3 ドローレイアウトと比べて板厚が 0.14~0.31 増加しており、CAE の結果に近い形で成形できた。 3 ドロー成形後の製品精度についても前回の成形と同等であった。 新しい 3 ドロー成型品にて調寸金型トライを進める事とした。

④- 3 新寸法調整金型トライ

新しくドロー成形を変更した製品で寸法調整金型のトライを行った。 トライ 1 は調寸ダイ形状はストレートで板厚 3.2、トライ 2 はダイ形状を成形の板厚変化に合わせて序変させた形状、トライ 3 ではトライ 2 で使用したダイを板厚 3.1 にて行った。

④- 3-1 調寸金型トライ 1 (t3.2)

シュミレーションにより最適化された溝幅、溝幅、溝幅と傾斜角度を元に調寸金型を製作した。 パンチダイ径とクリアランスの条件は下記である。

	パンチ径	ダイ径	クリアランス
3 絞り後	47.76	54.16	3.20
調寸ダイトライ 1	47.79	53.96	3.09

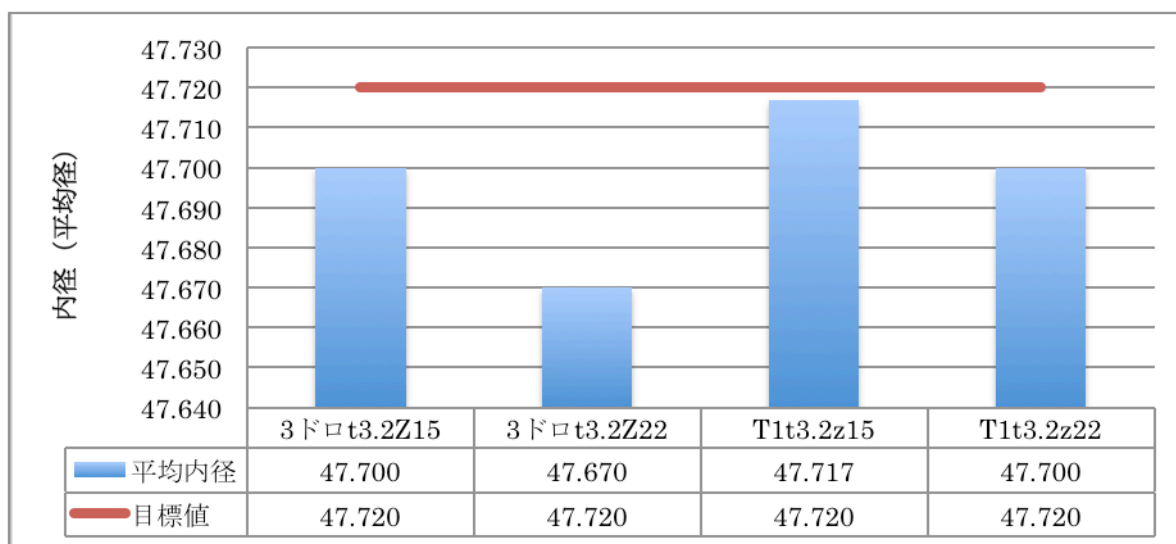
表④- 3- 1

金型のダイ厚さ、溝深さ、溝幅、溝傾斜、溝数で製作した。 金型で使用した各パラメータの数値を表④- 3- 2 に示す。

ダイ厚さ	溝深さ	溝幅	溝傾斜	溝数
15mm	7.5mm	11.5mm	10	16

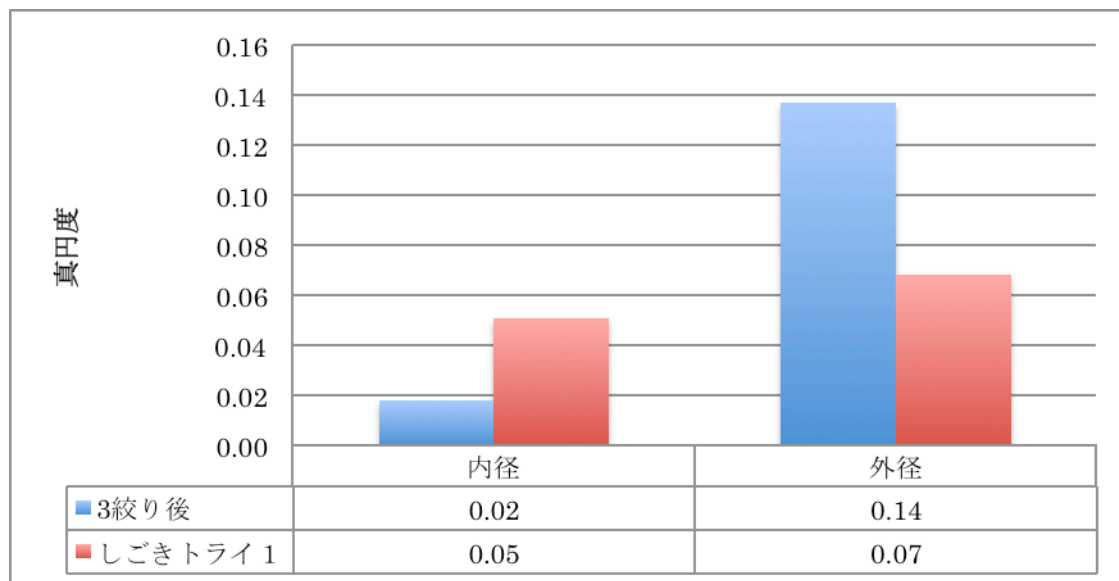
表④- 3- 2 調寸ダイトライ2 パンチダイ寸法とクリアランス

調寸ダイトライ1では板厚 3.2 の素材を使用して調寸ダイ 53.96 とパンチ 47.79 でトライをおこなった。 反フランジから Z15 の位置ではほぼ目標寸法となったが、Z22 の位置では目標の平均値であるΦ47.72 より 0.02 小さい値となった（図④- 3- 1）が、Z15 の部位と Z22 の部位の内径差は 0.03 から 0.017 へと小さくなった。



図④- 3- 1 3 ドロー後と調寸トライ 1 の平均内径比較

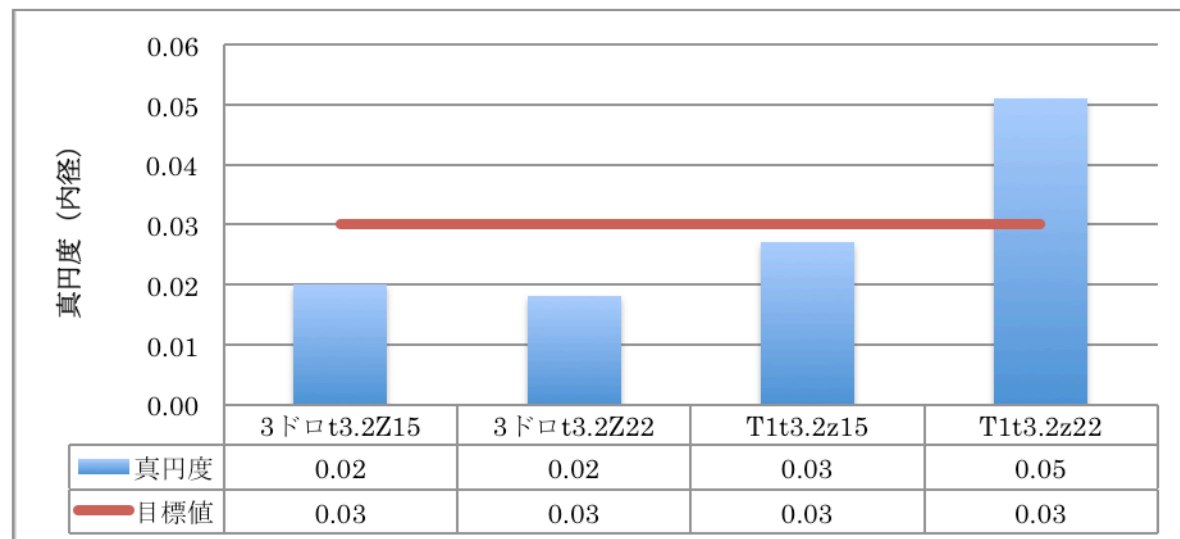
次に内径と外径の真円度を計測した。 真円度は板厚が厚くなる Z22 では目標値である 0.03 に対してトライ1後は 0.05 と目標値を達成できていない。（図④- 3- 2） 原因として外径の真円度が素材の異方性により 3 ドロー後 0.14 と大きな値になっているが板厚のシゴキを掛ける事により、外径の真円度は向上するが、内径の真円度が悪化している。



図④- 3- 2 3 ドロー後と調寸トライ 1 後の内外径の真円度比較(Z22)

素材の異方性が強い場合は板厚の周方向での変化が大きく、外径の影響を受けやすい事が分かった。次に内径のトライ 1 前後の真円度を Z15 と Z22 の 2 ポイントで比較した。

(図④- 3- 3) 前記の様に t3.2 の Z22 では真円度が 0.05 まで悪化している。



図④- 3- 3 3 ドロー後と調寸トライ 1 の内径真円度比較

真円度悪化原因として考えられる事として、Z15 部の素材板厚が薄くなっており、結果としてダイで受ける面が小さくなることで素材の変形が大きくなり、真円度が悪くなると想定されるので、絞りによって変化する板厚を調寸ダイの形状である程度合わせる検討をおこなう事とした。

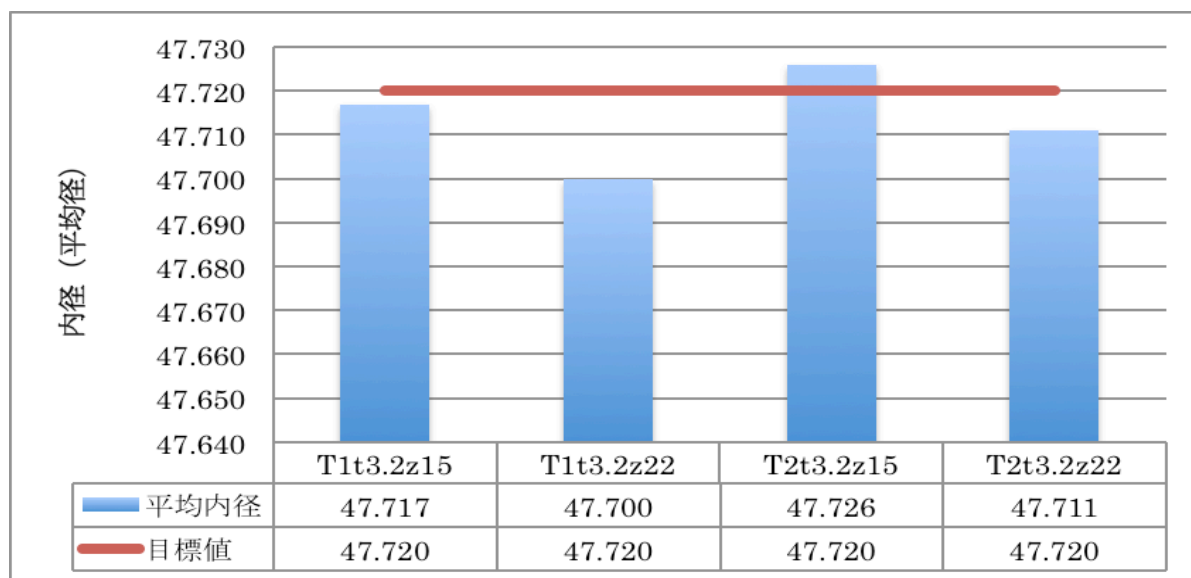
④- 3-2 調寸金型トライ 2 (t3.2)

調寸金型トライ 2 では絞り成形により変化する板厚の影響を少なくする為に調寸ダイを再制作した。調寸ダイの表面形状を序変させることにより平均径や真円度に与える影響を確認する。調寸ダイトライ 2 で製作した金型のパンチダイ寸法とクリアランスを表④- 3- 3 に示す。

	パンチ径	ダイ径	クリアランス
3 絞り後	47.76	54.16	3.20
調寸ダイトライ 2	47.79	53.66~53.96	2.94~3.09

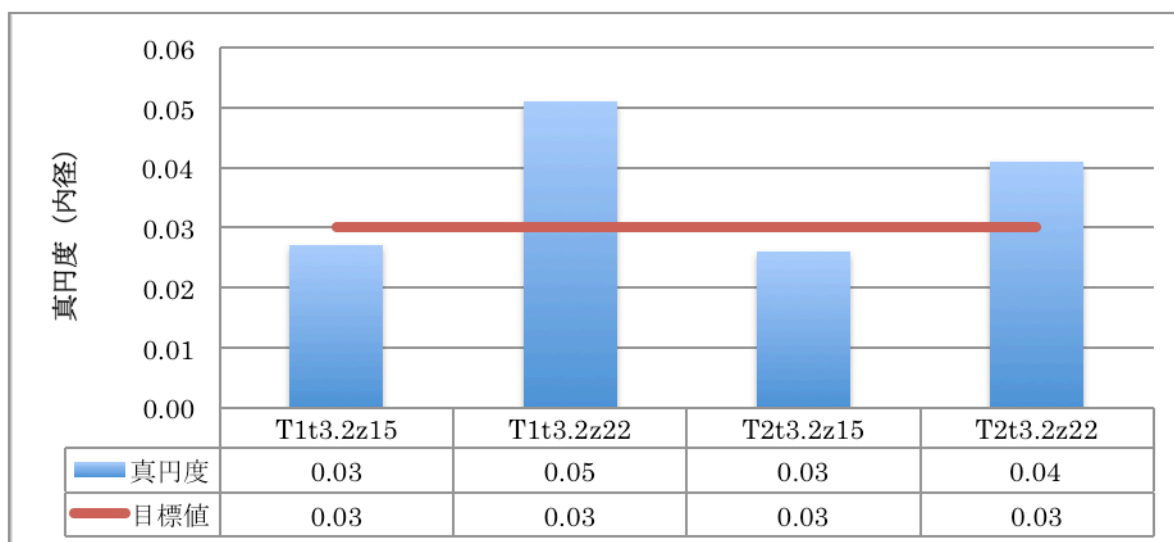
表④- 3- 3 調寸ダイトライ 2 パンチダイ寸法とクリアランス

製作した調寸金型を使用して製品の絞り形状に合わせた成形を行った。トライ 1 と比べてトライ 2 目標寸法に近づき、Z15 と Z22 の寸法差も 0.015 に抑える事ができた (図④- 3- 4)。



図④- 3- 4 内径 (平均径) 調寸ダイトライ 1 とトライ 2 比較

真円度について、トライ 2 では Z15 で目標値の 0.03 を達成したが、Z22 では目標値より 0.02 悪い結果となった (図④- 3- 5) が、トライ 1 より真円度を向上する事ができた。



図④- 3- 5 真円度 調寸ダイトライ 1 とトライ 2 比較

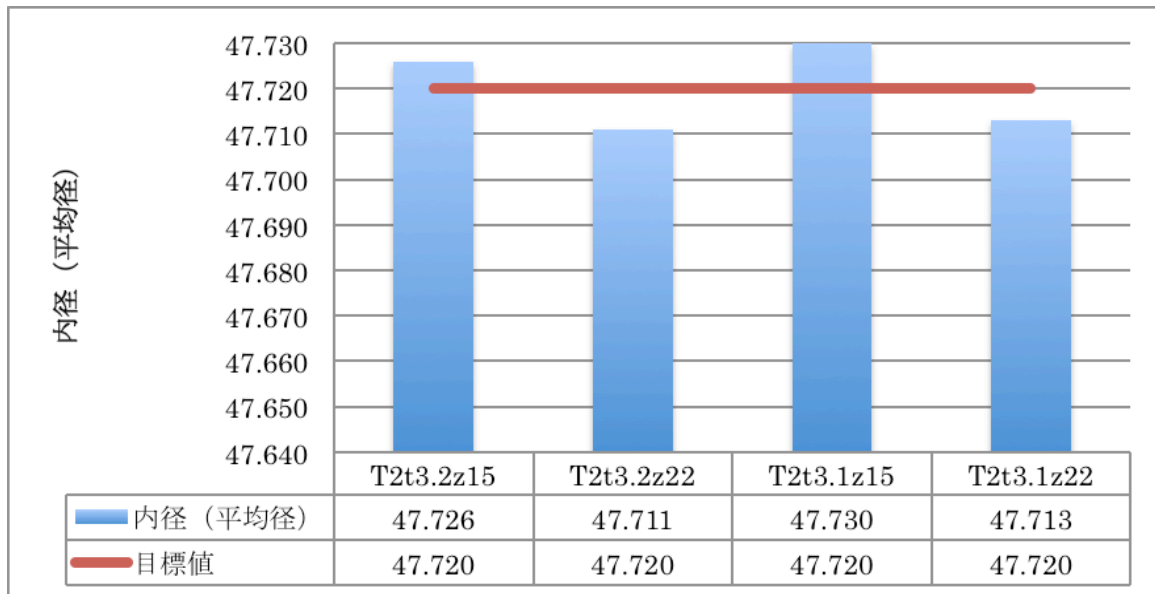
④- 3-3 調寸金型トライ 3 (t3.1)

寸法調整金型の本来の目的である板厚変化に追従する金型である事を確認するために板厚 3.2mm の素材を 0.1mm 研磨して 3.1mm の材料を作成した。この材料を用いて同条件の成形を行う事により、素材の板厚バラツキを吸収する機構が機能するか確認をおこなう。成形に用いるパンチダイ径は表④- 3- 4 に示す通りトライ 2 と同じである。

	パンチ径	ダイ径	クリアランス
3 絞り後	47.76	54.16	3.20
調寸ダイトライ 3	47.79	53.66~53.96	2.94~3.09

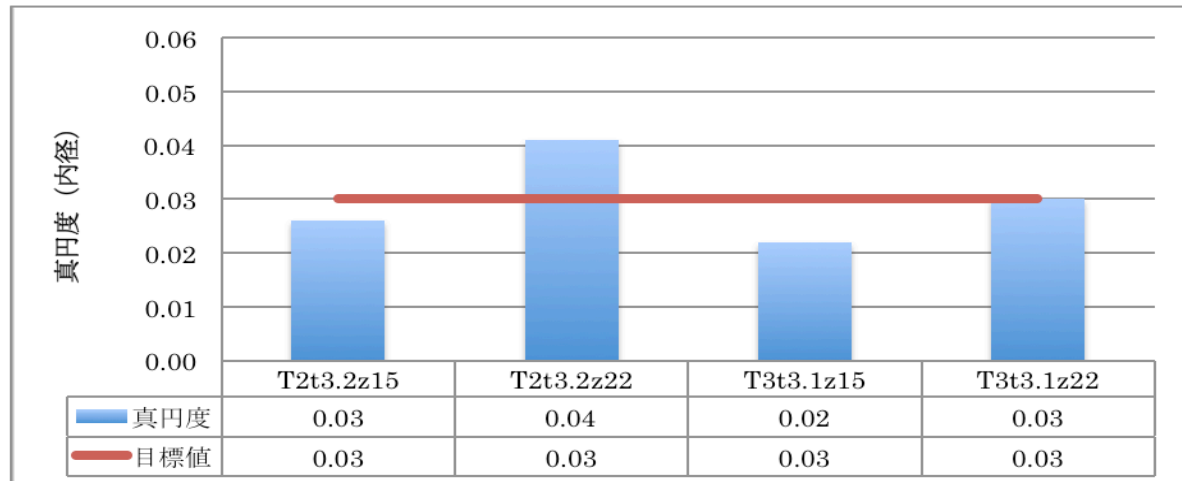
表④- 3- 4 調寸ダイトライ 3 パンチダイ寸法とクリアランス

通常のシゴキ成形では素材板厚が 0.1mm 変わるとシゴキ代が大きく変化して製品の寸法が大きく変化する。トライ 3 では素材の板厚変化に対して同じ調寸ダイで素材を成形し、製品寸法がどの程度変化するか確認を行った。内径寸法（平均径）を Z15 と Z 2 2 の 2 ポイントで計測した結果は図④- 3- 6 の様になり、素材寸法が 0.1mm 薄いにも関わらず、ほぼ同等の成形結果が得られた。



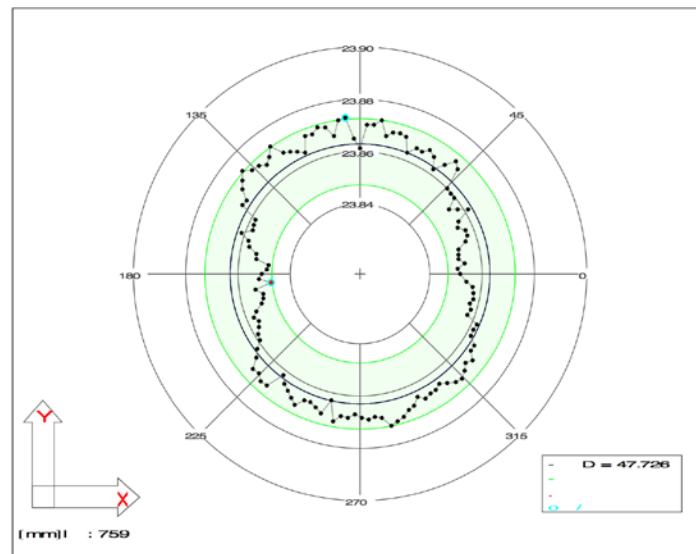
図④- 3- 6 内径（平均径）調寸ダイトライ2とトライ3比較

真円度について、トライ3ではZ15で0.03から0.02となった。Z22の位置では真円度が0.01向上して0.04から0.03となった(図④- 3- 7)。



図④- 3- 7 内径（平均径）調寸ダイトライ2とトライ3比較

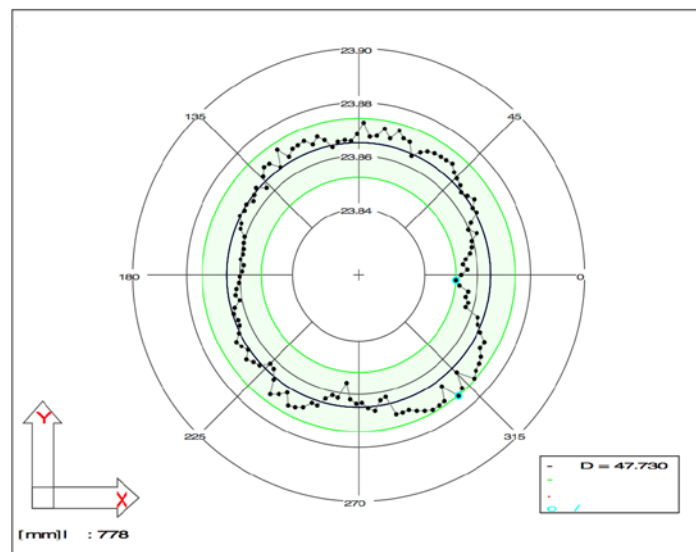
トライ3のZ15における板厚3.2と3.1の場合の真円度と平均径の計測データを図④- 3- 8と④- 3- 9に示す。真円度を精密に計測すると素材の異方性の影響と思われる内径寸法のい変化が見られた。X方向は径が小さく、Y方向が大きい、いずれも目標精度を達成した。



52

	上限公差	下限公差	点数
	0.010	-0.016	131
真円度	標準偏差 * 4		最小 / 最大点
0.026	0.027		69 / 36

図④- 3- 8 トライ 3・t3.2・Z15 真円度と平均径



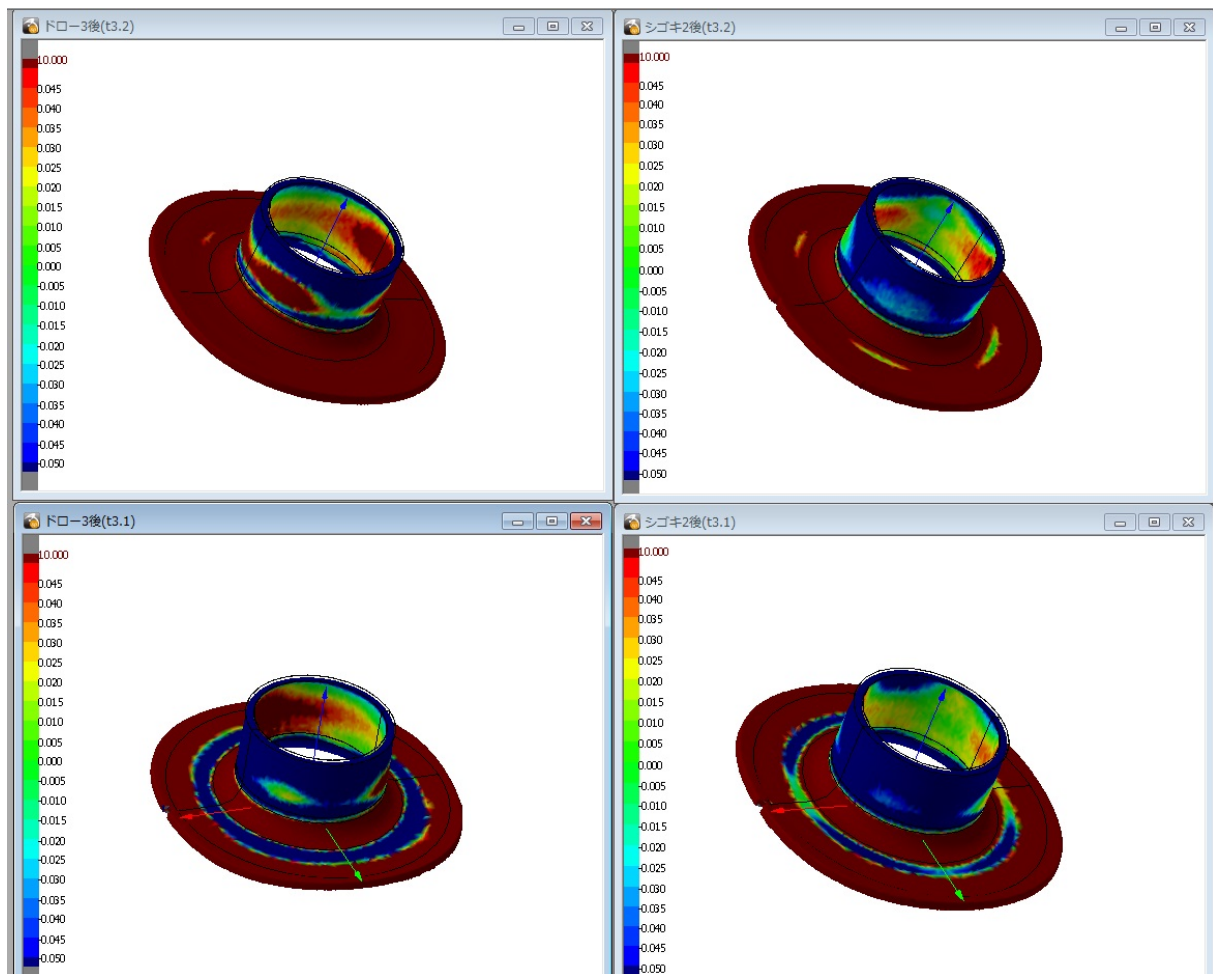
52

	上限公差	下限公差	点数
	0.009	-0.013	131
真円度	標準偏差 * 4		最小 / 最大点
0.022	0.019		131 / 114

図④- 3- 9 トライ 3・t3.1・Z15 真円度と平均径

断面の状態の確認では目標精度が確保されたが、本開発における最終目標は円筒形状全体で高精度な成形を目指す事であることから、製品全体を高精度 3D スキャナーで計測、カラーマッピングを行い全体形状の比較を行った(図④- 3- 10)。 3 ドロー後の形状と比べ

て調寸ダイ成形後は精度が向上している事が分かるが、板厚 3.2 と 3.1mm を比較すると 3.2 の方が円筒の中心で局所的な精度異常が判明した。



図④- 3- 10 板厚 3.2 と 3.1mm のドロー3 後と調寸ダイ成形後のカラーマッピング

④- 3-4 トライ結果まとめ

自動寸法調整金型を用いて 3 ドロー、トライ 1、トライ 2、トライ 3を行う事により、以下の結果が得られた。

- 1) 自動寸法調寸金型でシゴキ成形を行うと素材板厚が 0.1mm 変化しても高い精度の製品が成形できる。
- 2) 絞り成形による板厚変化に合わせて調寸ダイに形状見込み付けると精度が向上する。
- 3) 円筒形状全体を 3D スキャンすると局所的に精度が悪い箇所があり、今後改善の余地がある。

1 研究開発の概要及び研究成果

本研究においては以下の研究開発を実施した、それぞれ当初予定した成果を得ることができた。

- 自動寸法調整機構の変形解析及び最適化に係る研究開発を、金型を1/6分割したモデルで、DEFORM-3D 解析により実施した結果、板厚変動を吸収する寸法調整機能と最適な溝幅や角度を検証した。更に実際のテスト材である SPH590 の板厚 3.2 で解析を進めた。その結果、解析上想定通りの自動寸法調整機構が機能することが確認できた。
- シミュレーション解析結果をもとにして、拡張時に生ずる応力の状況及びそれを吸収する「溝」深さや、「テーパ角度」等の検証と、自動寸法調整機構の確立に必要な各項目の条件設定等の検討を行い試験を行うための実証金型を製作した。
- これらの研究開発と並行して、金型材料の選定を、冷間工具鋼を対象として、切削性等の技術データ分析と疲労寿命をDEFORMによる解析により実施した。これらの分析の結果金型材料としては、「SLD-MAGIC 材」が最も適した材料と判断した。
- 自動寸法調整機構を適切に稼働させるためには、金型を構成する各部材の真円度、直角度、面粗度の高精度部品加工が前提となる。そのため、金型部材の精密・高能率加工技術を確立するために、同じ段取り内で5軸同時加工による内外径同時加工を可能とする5軸同時切削仕様マシンングセンターを導入する等により高精度な金型部品を作成し、当初設定した精度目標値を達成することができた。
- 解析結果と適正材料選択の結果に基づいた金型で材質 SPH590・板厚 3.2 のテスト材において、1 絞り、2 絞り、3 絞り後に調寸ダイによる成形を行ったところ、目標とする製品精度を達成する事ができたが、板引けが発生していた。
- 板引けを抑えた成形シュミレーションを再度行い、最適な絞り条件を選定した。
- 最適な前工程の絞り条件で金型を製作してテストした結果、板引けが抑えられて寸法精度も良好であった。
- シュミレーション結果に基づいた寸法調整金型でトライを行った結果、0.1 板厚が変化しても目標の寸法精度が満たせることが分かった。

本研究で実施した研究開発は、金型16分割したモデルによるシミュレーション解析を基に製作した実証金型により、板厚変動を吸収する寸法調整機能と最適な溝幅や角度を検証した結果、想定通りの自動寸法調整機構が機能することが確認できた。研究開発の目標である素材板厚のバラツキに対して同じレベルの精度を確保しなくてはならないため、素材板厚のバラツキについての検証を進めた結果、板厚が0.1変化しても同等の高い精度が得られた。実証金型によるプレス加工製品の評価及び金型の長寿命化の検討が今後の課題としてある。

2 開発の成果

研究開発の内容

- ・内径 $\phi 50.00$ の板厚を0.1変化させた場合における構造と組合せ等に係るシミュレーション解析を実施して、目標の精度を達成した。

解析上の目標製品精度：内径 $\phi 50 \pm 0.01$

結果： $\phi 49.99 \sim 50.01$ 目標達成

- ・5軸加工機により、5軸内外径同時切削＋同時研削を行う事により、ダイ表面の面粗度向上を図る事で、事業化に向けて金型の超寿命化を図る。

ダイ内径の目標精度：ダイ内径寸法 ± 0.01 面粗度目標値：1.6Z

結果：真円度：0.009 直角度：0.003 面粗度：Rz1.3Z 同軸度：0.013

で目標を達成した。

- ・製作した実証金型によるトライをおこないながら、板厚のバラツキに対する自動寸法調整機構の有効性確認や金型部品及びプレス部品の評価を実施し、その結果をフィードバックしながら自動寸法調整機構の最適化を図った。又、製品全体の形状を把握するため、三次元非接触デジタイザーで成形したサンプルの計測とシミュレーション形状との比較確認を行った。

目標製品精度：製品内径精度 $\phi 47.72 \pm 0.02$ （材厚バラツキ0.1）

テスト製品精度：製品内径精度 $\phi 47.711 \sim 47.730$ （板厚バラツキ0.1）

で目標を達成したが、製品全体の形状を確認すると局部的に精度が悪い箇所がある事が分かったので、今後の研究でレベルアップを行う予定である。

本開発の目的である大型モーターハウジングの高精度化要求が複数の自動車メーカーから

出てきており、研究の成果を生かして試作受注に繋いでいく。 研究開発をスタートしてから 3 年ほどになるが、その間にハイブリッド自動車のシェアが大きく増え、FCV 等の次世代自動車の実用化された。 モーターの高出力や低騒音特性を高い精度で実現する本研究の価値が益々高まっている。 同様の部品が今後多数使用される事から、今後は本技術の水平展開が期待される。