平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「複雑形状部品の冷間鍛造ネットシェイプ技術開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 国立大学法人静岡大学

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	1
1 – 2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	1
1 – 3	成果概要	2
1 — 4	当該プロジェクト連絡窓口	4

第2章 本論

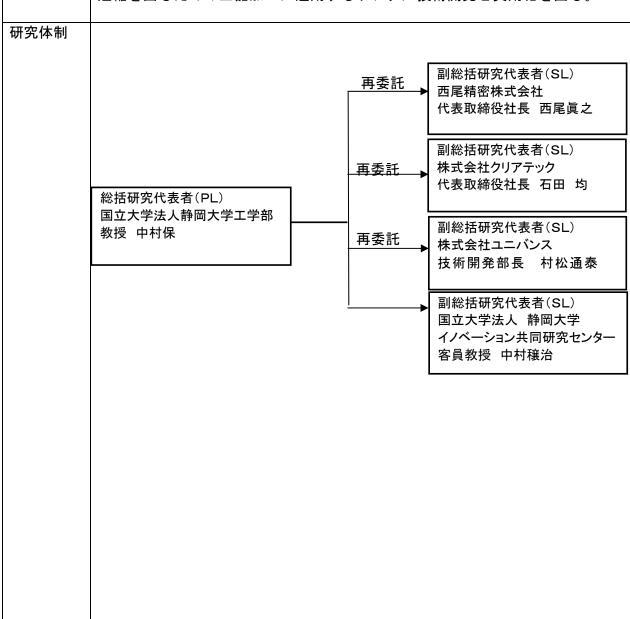
2 – 1	小型・軽自動車のハイブリッド・HEV・EV 化対応モータ駆動システムの設計技	技術開発 5
2-2	冷間鍛造による中空インプットシャフトの設計・製作技術開発	12
2-3	冷間鍛造のネットシェイプ化によるヘリカルギアの設計・製作技術開発	13
2-4 3	D-CAD/CAM/CAE/CA のデジタル技術の開発	16

プロジェクト名 複雑形状部品の冷間鍛造ネットシェイプ技術開発(平成20・04・01 関東会第31号) 研究背景 研究目的 及び目標 輸送用機器産業に対する社会的背景が急速に変化しつつあり、これを受ける 当産業に関連する企業において時代の要請を先取りした取り組みが必要となってきている。「冷間鍛造技術」は加エロスが少ないものづくりで有るが、これを一段と高度化し、且つ地球環境対応ものづくりの構築等により、時代を発展しまり、またまますることが出来る。近秋地域の特色である産業を

輸送用機器産業に対する社会的背景が急速に変化しつつあり、これを受けて当産業に関連する企業において時代の要請を先取りした取り組みが必要となってきている。「冷間鍛造技術」は加工ロスが少ないものづくりで有るが、これを一段と高度化し、且つ地球環境対応ものづくりの構築等により、時代を先取りするものづくり力を実現することが出来る。浜松地域の特色である産業集積の利点を活かし、川下製造業の課題とニーズを先取りする高度な加工技術を確立することが出来れば当地域の多くの中小企業に見られた下請け型から脱却でき、グローバルに対応できる先進的ものづくりと製品が創出され、また先進的ものづくり拠点とも成り、持続的発展が可能であり産業の空洞化にも対処できる。

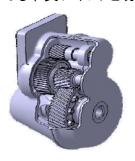
【研究目的及び目標】

本研究開発では、「小型・軽自動車のハイブリッド化、EV化に対応できるモータ駆動システムに適した冷間鍛造ネットシェイプ技術による軽量・高機能部品の研究開発」を行うことを目的とし、小型・軽自動車のハイブリッド化、HEV、EV化に対応できるモータ駆動システムに適した軽量・高機能部品を開発するために、新しい冷間鍛造ネットシェイプ技術開発を行い、新構想長寿命金型を用いた加工法を開発し中空化製品や同軸度精度の高い高機能製品の開発を行うと共にリードタイム短縮を図るための上記加工に適用するデジタル技術開発と実用化を図る。



成果概要

- ●本研究開発により、次のような成果を得ることができた。
- ① 小型・軽自動車のハイブリッド・HEV・EV化対応モーター駆動システムの設計開発 (ユニバンス)
- 1) 小型・軽自動車に適したハイブリッドエンジン、電気自動車(HEV,EV)用のモータ駆動システムとして、図1のようなトランスミッションギアボックスの設計を行った。
- 2) このギアボックスのシャフトとギアは、図2のように中空シャフトと鍛造ギアの組み合わせとして設計した。
- 3) 中空シャフトは中実軸と同等以上の性能を維持し、中空シャフトと鍛造ギアの組合せによる変形を考慮した部位毎の肉厚と形状を設計した。
- 4) 中空シャフトと中実シャフトの曲げ剛性を評価した。
- 5) ギアボックスに中実シャフトと中空シャフト、切削歯車と鍛造歯車をセットし、音・振動試験を行った結果、音・振動レベルともに中空シャフトと鍛造歯車の組合せでも中実シャフトと切削歯車の組合せと同等であることを確認した。



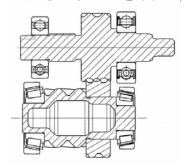


図 1 小型・軽自動車に適したギアボックス

図2 鍛造ギアと中空シャフト

② 冷間鍛造による中空シャフトの設計・製作技術開発(西尾精密)

- 1) 冷間鍛造により中空シャフトの製作を実現するため、図3に示すように前年度とは異なるシャフト中空化のための鍛造加工方案を考案した。
- 2) 新たに提案した鍛造工程の変形過程の実現性を検討するため、これらの成形工程のシミュレーションを行い、薄板バネ鋼板の締付け構造の新構想金型の開発・設計・製作を行った。
- 3) 上記鍛造工程に従って中空シャフトの鍛造を行った結果、図4に示すように中空シャフトの製作に成功した。中実シャフトに比較して、軽量化率は 23%程度であった。

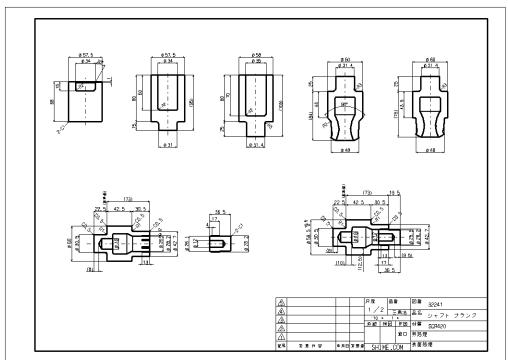


図3 中空シャフトの多段鍛造工程方案



図4 完成した中空シャフト(軽量化率 23%)

- ③冷間鍛造ネットシェイプ化によるヘリカルギアの設計・製作技術開発(クリアテック)
- 1) 図5に示すような工程により、鍛造歯車を製作した。
- 2) とくに図6に示すような弾性変形を活用した新構想金型を製作し、図7に示すようなクラウニング付きはす歯歯車の高精度冷間鍛造ネットシェイプ加工を行った。



図5 クラウニング付き鍛造ヘリカルギア成形工程



図 6 鍛造金型



図7 クラウニング付き鍛造ヘリカルギア

- 3) 冷間鍛造歯車と切削歯車の耐久強度の比較評価を行った。
- (1)切削歯車の場合

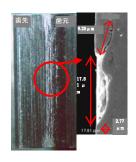
試験条件として、回転数: 4000rpm, 油温: 82.5°C, 油量: 80ml/minで、107回の回転を与えた場合、駆動歯車トルク: 150Nm, 従動歯車トルク: 191Nmまでは、従動・駆動歯車共にピッチング量は少ないが、駆動歯車トルク: 200Nm, 従動歯車トルク: 254Nmでは、2X107回試験を繰り返した場合には、図8に示すようにピッチング量がやや増加した程度であった。

(2) 鍛造歯車の場合

試験条件として、回転数: 4000rpm, 油温: 82.5°C, 油量: 80ml/minで、107回 試験を繰返した場合、鍛造歯車精度を 1 級程度まで上げた歯車について耐久試験を行った結果、回転数: 4000rpm, 油温: 82.5°C, 油量: 80ml/minで、2x107回 試験を繰返した場合でも、図 9 に示すようにピッチングはほとんど生じないことを確認した。

(3) 歯車耐久試験結果の比較

表 1 に示すとおり、鍛造歯車の歯面損傷レベルは、切削歯車に比較しても低く、最も耐久性が高いことを確認した。



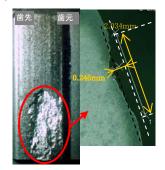


図8 切削歯車の耐久試験結果

図 9 鍛造歯車の耐久試験結果

表 1 鍛造歯車と切削歯車の耐久試験結果

No.	試験分類	ERNo.		結果	歯面損傷レベル※
1	切削品実力確認	108996	マイクロピッチンク゛	(クラックへの進展あり)	2
2	鍛造品実力確認	109000	スポーリングの発生	(歯面の30%以上の大きさ)	4
3	鍛造歯ブレ修正	109452	マイクロピッチンク゛	(クラックへの進展なし)	1
4	浸炭深さ変更(鍛造)	109535	スポーリングの発生	(歯面の30%以下の大きさ)	3
5	浸炭窒化	109561	スポーリングの発生	(歯面の30%以下の大きさ)	3
6	歯研後熱処理(切削)	109562	歯元折損/割れ発生		5

※歯面損傷レベル:歯面の損傷程度を結果欄の如く5段階に分類

④3D-CAD/CAM/CAE/CA のデジタル技術の開発 (静岡大学)

中空シャフトの鍛造工程について、剛塑性有限要素解析を用いて、成形シミュレーションを行い、想定した鍛造加工が合理的に実施可能かどうか等について、検証した。

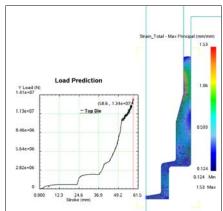


図 10 剛塑性有限要素解析による中空シャフトの成形シミュレーション一例

連絡窓口

国立大学法人静岡大学 (牧澤久光)

連絡先 tel 053-478-1757

fax 053-478-1005

E-Mail ttoyaiz@ms.ipc.shizuoka.ac.jp

第2章 本論一(1) 2 - 1小型・軽自動車のハイブリッド・HEV・EV化 対応モーター駆動システムの設計開発

(株)ユニバンス

モーター駆動システム用の部品及び組み合わせ特性に関する機能展開

- ・部品単体に対する機能性能の要望(①、②の機能性能の実現)
 ・モーター駆動システム用の部品として、シャフトとギアの組合せ特性の維持向上(③の機能性能の実現)
 ・モーター駆動システムに導入し総合特性を確認、評価後①、②、③の項目にフィードバック

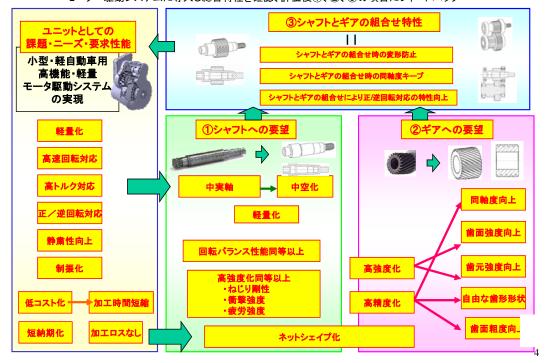
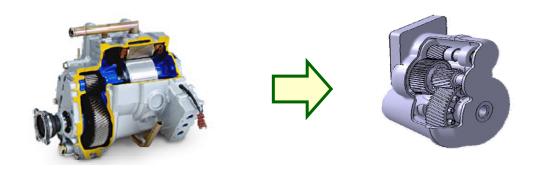


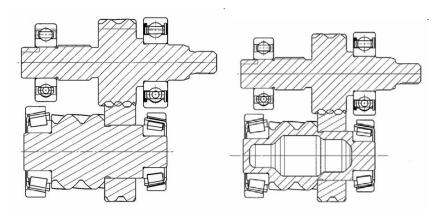
図 2-1-1 モーター駆動システムの機能展開



現状ギアボックス

小型・軽自動車に適した ギアボックス

図 2-1-2 小型・軽自動車に適したギアボックス



従来構造断面

中空構造断面

図 2-1-3 ギアシステム構造 ギア: 600g ギア: 600g 25%軽量化

図 2-1-4 中実シャフトと中空シャフト形状

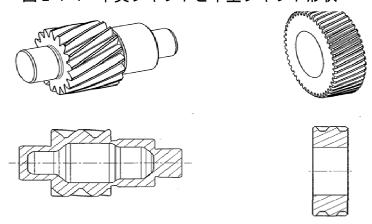


図 2-1-5 中空シャフトおよび鍛造ギアの設計形状

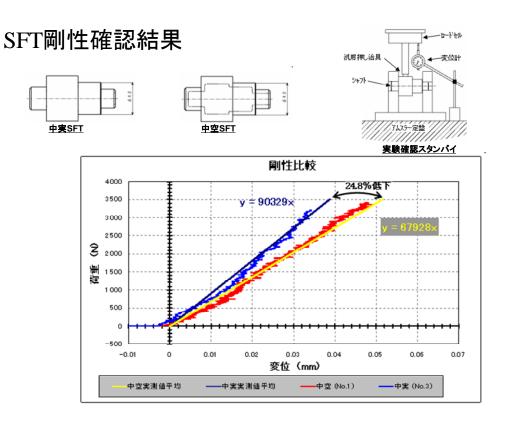
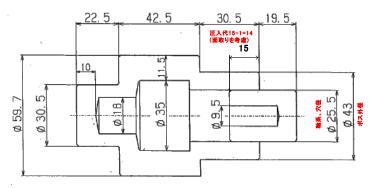


図 2-1-6 シャフト曲げ剛性評価試験



【仕様】

項目	設計変更案	備考
軸径寸法 [mm]	φ 25.50	図面値
穴径寸法 [mm]	φ 25.40	締代0.1 mmとして
1-2ギア比	1.211	
入力トルク	80Nm	音振実験測定トルク
MAXトルク	180Nm	実際のギアボックスMAX

【判断条件】

- 抜きトルク安全係数を1以上に設定する。

【結論】

入力トルク80Nmにおいて、安全率1.93を有しており圧入部の抜け無し。 音振測定の効果確認として使用できると判断。

本形状で試作を進めていく。

しかし本来のギアボックスのMAXトルクに対しては圧入力が不足しているので (入力MAXトルク180Nm)今後一体化等の形状変更検討を行う必要がある。

【入力項目】

軸寸法	穴寸法	ポス寸法		縦弾性	圧入時の
軸径	穴径	ポス外径	圧入代	係数E	摩擦係数
dsft [mm]	dhole [mm]	D [mm]	[mm]	[N/mm ²]	μi
			面取りを考		
φ 25.50	φ 25.40	43.0	14.0	207760	0.12

【計算結果】

ホ゛ス	締め代	抜き時の	面圧Pm	最大	必要荷重	抜きトルク
肉厚比	∆d [mm]	摩擦係数	[MPa]	応力	[N]	[Nm]
k		μο		σtmax		
0.59	+0.1000	0.124	266.3	551.7	36,806	467

入力 トルク [Nm]	軸にかか る トルク		抜きトルク/軸にかかるトルク	安全率
80	96.9	467	4.82	1.93
180	218.0	407	2.14	0.86

【検討結果】

トルク	項目	単位	検討項目	備考
80Nm	安全率 判断		1.93 OK	1.0以上
180Nm	安全率 判断		0.86 NG	1.0以上

図 2-1-7 圧入部強度評価試験

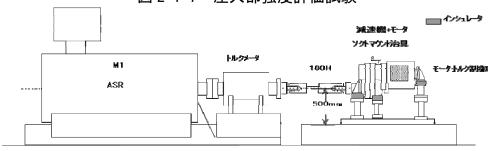


図 2-1-8 音振動測定装置

図 2-1-9 音振動測定装置概観図

- 目的

先回鍛造キアのノイス、測定にて、切削キアに対しノイス・レヘ・ル大であった(SAPO-012)ため、鍛造キアの精度向上を行ったため、ノイス・レヘ・ルの効果確認を行う。

・歯溝のフレ測定結果・・・15.4←24.7μm(こ向上

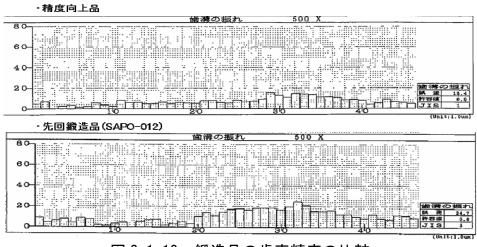


図 2-1-10 鍛造品の歯車精度の比較

鍛造品歯形精度向上による結果のまとめ

- ・3D データより精度向上品でも噛合い成分にサイドバンドが見られるが、先回鍛造品よりレベルが小さい
- ・騒音レベル、振動レベルとも、精度向上品と先回鍛造品は同等レベル →歯溝のフレ向上の効果が出ていない
- ・シャフトとのサブ Assy での歯車測定にて、精度向上品で
 - · 累積ピッチ誤差
 - 歯溝のフレ

ともに大

→この組立誤差も音振性能への感度が小さくなっている

中空シャフト中実シャフトと鍛造歯車セットの 音・振動測定結果のまとめ

- ・中空シャフト ← 中実シャフト で捩り固有値の影響が若干見られるが、 ギア噛合い成分に過大な影響は与えていない
- 中空シャ가 回生 直上500mm 騒音

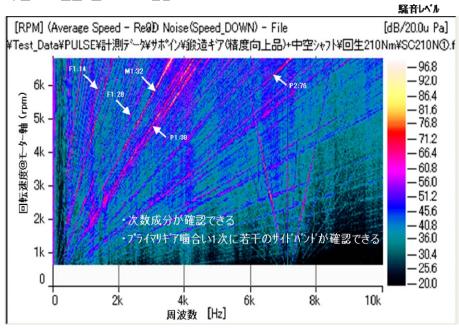


図 2-1-11 測定結果

3D (放射音: フルトルク (210Nm) 条件)

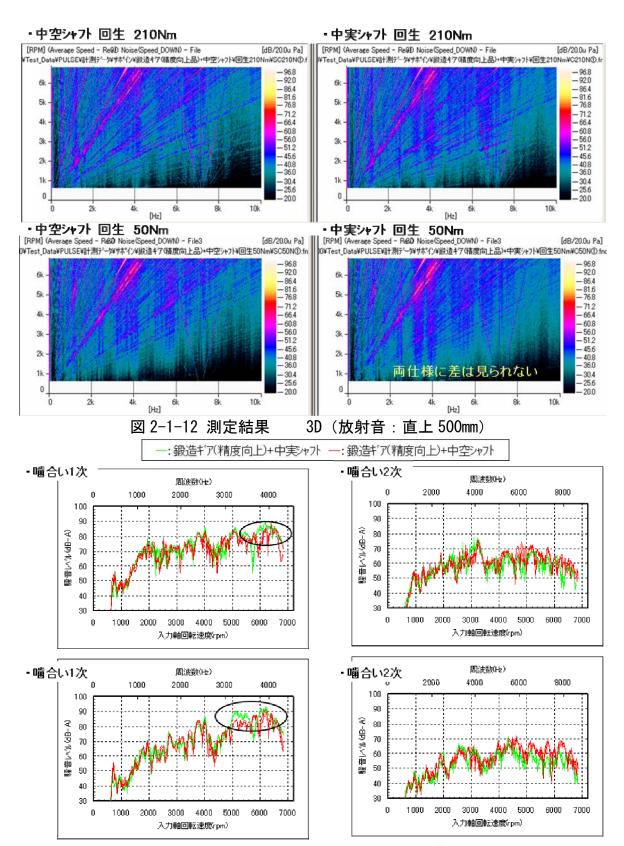
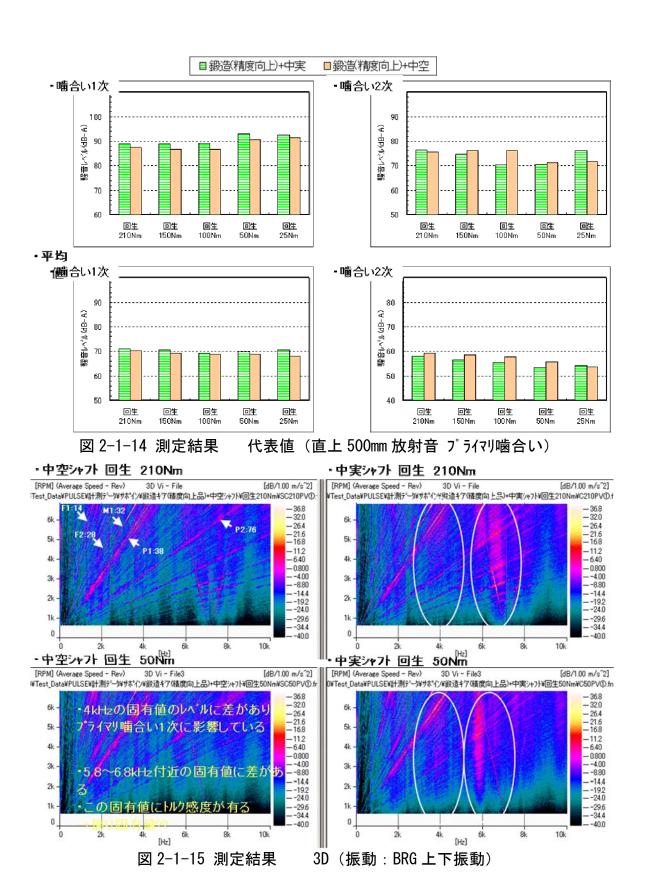
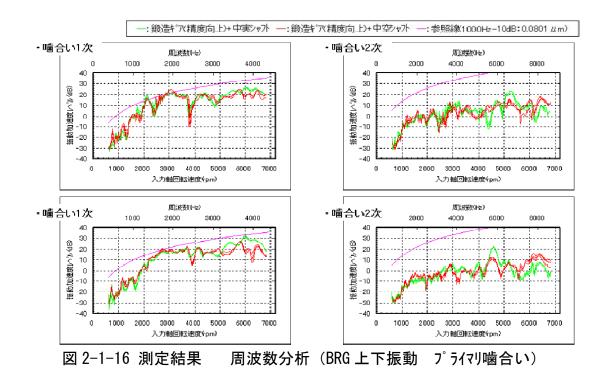


図 2-1-13 測定結果 周波数分析(直上 500mm 放射音 プライマリ噛合い)





2-2 冷間鍛造による中空インプットシャフトの設計・製作技術 開発

西尾精密 (株)

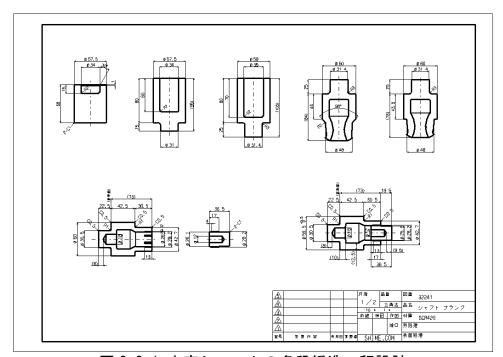


図 2-2-1 中空シャフトの多段鍛造工程設計

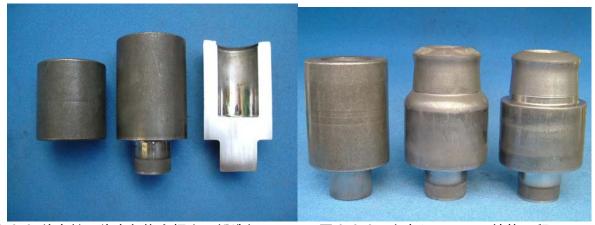


図 2-2-2 前方軸・後方缶複合押出し鍛造加工

図 2-2-3 中空シャフトの縮管工程



図 2-2-4 中空シャフトの軸受部圧入工程(1) 図 2-2-5 中空シャフト断面

2-3 冷間鍛造のネットシェイプ化による ヘリカルギアの設計・製作技術開発 (株) クリアテック



図2-3-1 クラウニング付き鍛造ヘリカルギア製造工程

測定データ(歯形・歯すじ)



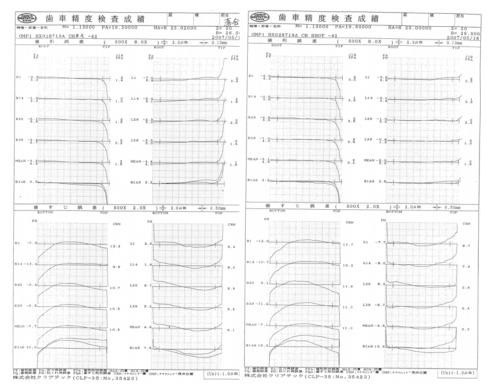
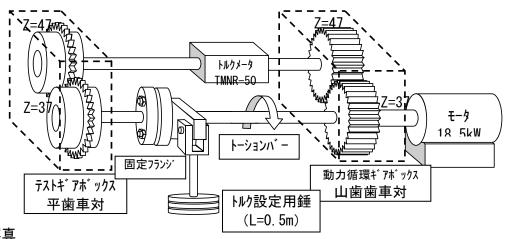


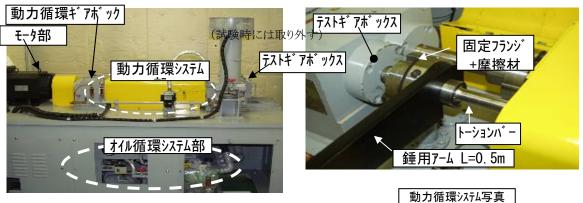
図 2-3-2 クラウニング付き鍛造ヘリカルギアの歯形精度

歯車の歯面強度評価試験

(1) スタンバイ概要 DOWA サーモテック株式会社殿所有の動力循環式歯車試験機



(2) スタンバイ写真 テスター外観



試験機概要写真

1.目的

『複雑形状部品の冷間鍛造ネットシェイプ技術開発』として、冷間鍛造にて作製した歯ブレ精度良品歯車の強度耐久性を、前回実験の鍛造品(ER-10900)と切削品(ER-108996)と比較する。

【確認事	【供試品】			
項】:冷間鍛	部品番号	CT3-TG4 (評価用)	C3T-TG3	
造歯ブレ精	材質	SCr420H	SCr420H	
度良品の耐	種類	駆動側	従動側	
久終了後の	加工法	鍛造	切削	
歯面損傷状	n数	3	3	
, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	歯数	37	47	
況を前回の				

【実験条件】							
	[数値は評価歯車(Z=37;駆動側)上の値]						
回転速度	(rpm)	4000					
循環トルク	(Nm)	200					
油種		ATF D-3					
潤滑油量	(c m³/min)	8000					
油温	(℃)	82.5 ± 2.5					
耐久サイクル		11×10^7					
間がクトリイクル		2×10^7					
【備考】本条	件は歯面ピッ	チング発生を狙ったもので、UVC					

【備考】本条件は歯面ビッチング発生を狙ったもので、UVC 所有 S-N 線図より歯元折損を起こさない条件

鍛造品と切削品と比較。

2. 結果のまとめ

- ・鍛造歯ブレ精度良品は、歯面にススポーリングは発生せず、クラックも見られない。
- ・鍛造品、切削品と比較すると、歯面の破損も少なく良化している。(ER-108996、ER-109000 参照)
- ・以上の結果より、鍛造品歯ブレ精度良品は前回の鍛造品、切削品よりも耐久性が勝る。

3.結果概要 1×10⁷ サイクル終了品比較

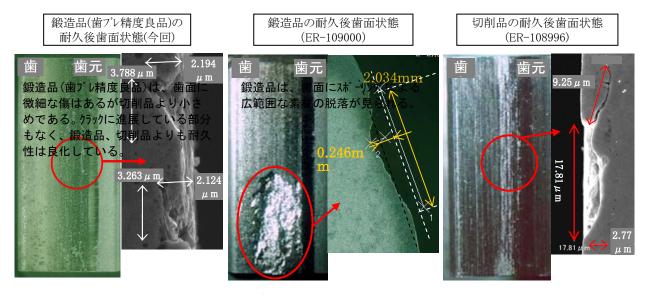


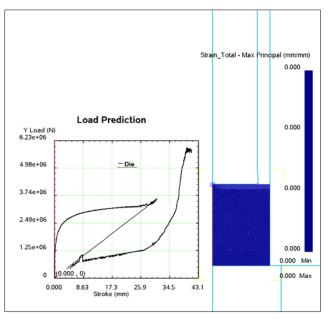
図 2-3-3 鍛造歯車と切削歯車の歯面強度試験結果

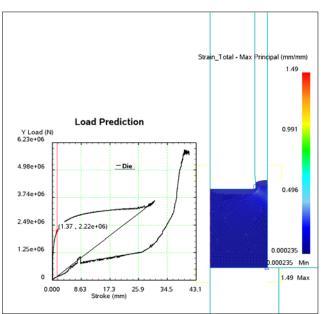
耒	2-3	\ _1	歯面損傷」へ゛」	L
48	_ \	, ,	小 日 1日 勿レい /	v

No.	試験分類	ERNo.		結果	歯面損傷レベル※
1	切削品実力確認	108996	マイクロピッチンク゛	(クラックへの進展あり)	2
2	鍛造品実力確認	109000	スポーリングの発生	(歯面の30%以上の大きさ)	4
3	鍛造歯ブレ修正	109452	マイクロピッチンク゛	(クラックへの進展なし)	1
4	浸炭深さ変更(鍛造)	109535	スポーリングの発生	(歯面の30%以下の大きさ)	3
5	浸炭窒化	109561	スポーリングの発生	(歯面の30%以下の大きさ)	3
6	歯研後熱処理(切削)	109562	歯元折損/割れ発生		5

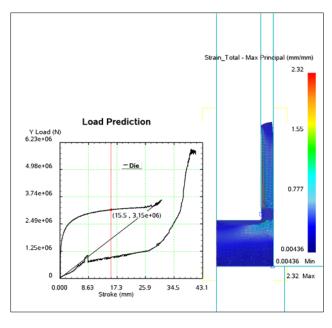
※歯面損傷レベル:歯面の損傷程度を結果欄の如く5段階に分類

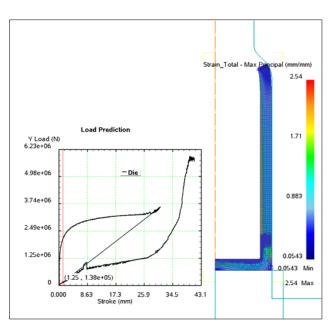
2-4 3D-CAD/CAM/CAE/CAのデジタル技術の開発 (担当 静岡大学)



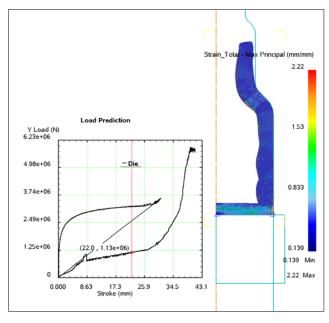


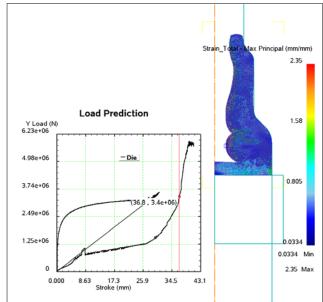
Step 1 Step 2





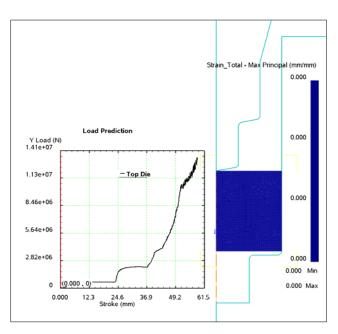
Step 3 Step 4

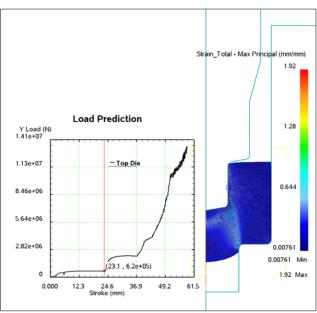




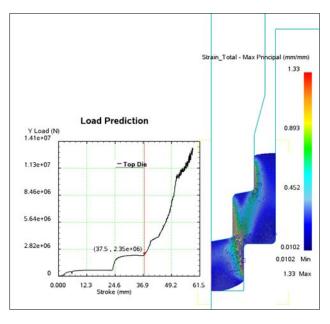
Step 5 Step 6

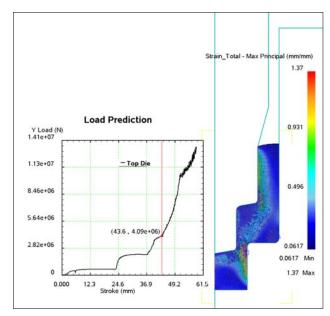
図2-4-1 中空シャフトの多段鍛造工程設計 設計案 (その1)



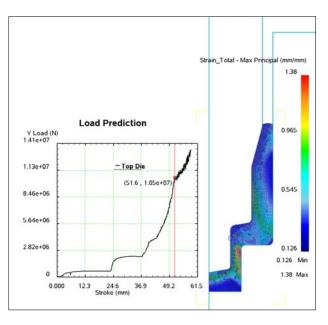


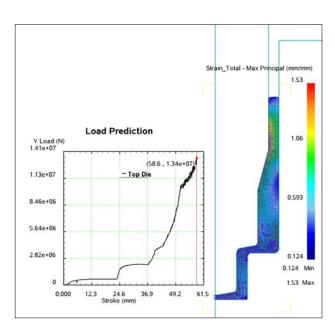
Step 1 Step 2





Step 3 Step 4





Step 5 Step 6

図2-4-3 中空シャフトの多段鍛造工程設計 設計案 (その2)