

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ショット・バレル複合プロセスによる長寿命歯車の加工装置の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 中部科学技術センター

目 次

第1章	研究開発の概要	1 P
1 - 1	研究の目的、概要及び実施内容	
1 - 2	研究体制（研究組織及び管理体制、研究者氏名）	
1 - 3	成果概要	
1 - 4	当該研究開発の連絡窓口	
第2章	ショットピーニング自動化のための付加機能装置設計製作	18 P
2 - 1	研究目的及び目標	
2 - 2	実施内容	
2 - 3	研究成果	
第3章	騒音負荷装置の設計製作	19 P
3 - 1	研究目的及び目標	
3 - 2	実施内容	
3 - 3	研究成果	
第4章	ショット・バレル複合プロセスシステムによる処理加工評価	21 P
4 - 1	研究目的及び目標	
4 - 2	実施内容	
4 - 3	研究成果	
第5章	複合プロセス実用化のための全体評価	22 P
5 - 1	研究目的及び目標	
5 - 2	実施内容	
5 - 3	研究成果	
第6章	騒音評価	24 P
6 - 1	研究目的及び目標	
6 - 2	実施内容	
6 - 3	研究成果	
第7章	事業化の検討	26 P
7 - 1	研究目的及び目標	
7 - 2	実施内容	
7 - 3	研究成果	

第8章 プロジェクトの管理・運営・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27 P

8 - 1 目的及び目標

8 - 2 実施内容

8 - 3 実施結果

第9章 全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 28 P

9 - 1 現状と今後の予定

9 - 2 全体評価と知見

9 - 3 今後の課題等

第1章 研究開発の概要

1 - 1 研究の目的、概要及び実施内容

1) 研究の目的

・自動車産業では近年、燃費と効率向上が望まれている。これを解決するためには、自動車のトランスミッション部の軽量化・コンパクト化に直接関連する歯車強度の向上達成が大きな課題となる。また、建設機械産業、一般動力伝導装置産業においても同様に、歯車の耐久性向上が求められている。

このため、本研究開発では、「歯元部の高強度化」と「歯面性状の円滑化」のできるショットピーニングとバレル技術の複合技術適応及び量産技術の確立を目指し、歯車の耐久性向上による大幅な長寿命化を図り、動力伝達系の高出力化、高機能化、さらには、騒音発生低減による運転環境の快適性等に向上への寄与を目指すことを目的とする。

・研究の目標

これまでの研究開発では、歯元強度を上げるための表面硬化処理が必ずしも、歯面強度も高める効果になっていない。そこで、本研究開発では、新歯車表面加工法として従来技術のショットピーニング技術とバレル技術とを組み合わせ、歯車の歯元及び歯面の双方の強度を大幅に向上させる。

ただし、実用化に向けては、安定した供給が可能な量産機が必要であり、且つ、単品処理と同じロット処理による表面処理品質が保たれることが課題である。

そのため、浸炭歯車にショットピーニングとバレル研磨の複合表面処理を施した新歯面創製法（H A S B (Highly advanced surface barrelling)法）による超高強度歯車の生産システムの開発を行ない、実用化に向け、量産化に耐えうる技術の確立を目指す。

具体的には、前年度導入のショット装置と今年度導入のショット装置への付加機能装置、および既導入済みのロボット装置とその制御装置、バレル装置との組み合わせによる全体複合加工プロセスでのロット処理（バッチ処理）を行い、単品処理と同一の品質確保と生産性アップのためのロボット化（統合制御）ハンドリング採用にて複合プロセス加工装置開発のための技術確立を図る。

[装置開発主達成目標]

- ・量産化 20～30個/h r（モジュール $m = 3 \sim 5$ ）の生産性
- ・歯車最大径 250～300mm加工可能
- ・ショットピーニングとバレル研磨との加工同期性および全体制御同期

- ・単品処置時と同一品質の均一歯面加工処理可能

[主研究項目]

- ・ショット装置設計製作
- ・全体システムでの歯車ロット処理加工
- ・ロット生産時の加工条件と流体特性および品質との相関
- ・生産性アップのためのハンドリング技術
- ・品質管理項目とその特性の明確化
- ・川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）
- ・特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応

(八)動力伝達に係る技術

動力伝達に係る技術において達成すべき高度化目標

(1)自動車に関する事項

ウ．高強度化または長寿命化

- ・燃費向上・効率向上が川下製造業の命題になっている

ア．低騒音化

- ・エンジン、動力伝達系等からの騒音発生を低減、静粛な運転環境により、快適性を向上する。

(2)建設機械に関する事項

ウ．高強度化または長寿命化

- ・動力伝達系等の耐久性の向上により、建設機械の高出力化、高機能化を図る。
- ・高度化目標を達成するため、「歯元部の高強度化」と「歯面性状の円滑化」のできるショットピーニングとバレル技術の複合技術適応及び量産技術の確立を目指す。

[研究開発の背景とこれまでの取り組み]

- ・トランスミッションの耐久性向上のための、浸炭歯車のショットピーニング加工による疲労強度の向上
- ・歯元強度と歯面強度をともに向上するための、ショットピーニング加工とバレル研磨を複合した加工法の開発
- ・複合加工法の量産化に関する特許の取得

[研究開発動向]

- ・歯車の長寿命化を決める重要な要素として、高トルクにも耐えることがきる歯元強度

であることと同時に、高速、高面圧にも耐久性のある歯面強度が挙げられる。歯車強化の研究動向は主に以下が行われている。

研究開発分野	研究方法	強化の効果と問題点
材料	特殊合金系元素を用いた浸炭焼入れ材または浸炭窒化焼入れ材	歯車内部も強化される。但し、相対的な歯元・歯面強化の大幅の向上が難しい
熱処理	真空浸炭焼入れの導入検討 高濃度浸炭	コスト高およびハンドリングの問題 歯元は若干強度向上するものの、歯面強度向上は期待できない。
表面処理 1	浸炭焼入れ後ショットピーニングまたはブラスト処理	ショットにて歯元強度は向上するものの、歯面強度は歯面が荒れたまま残るため上昇しないかむしろ劣化する場合が多い。
表面処理 2	微粒子ショットピーニングの処理、超音波処理、ジェット流噴射処理	一部歯面と歯元強度向上が狙えるが、コストやハンドリングおよび管理技術の問題。
表面処理 3	ホーニングによる面圧強度向上	向上度も大きく無くバラツキが多い。
表面処理 4	表面被覆処理技術、化学研磨	初期なじみ性や焼き付け防止が狙いであり、本質的歯面強度向上や歯元曲げ強度向上とはなっていない。処理物のサイズ制限や処理水と処理環境の問題。

[項目毎の技術的目標]

【 1 - 1 】 装置基本設計 (複合処理装置の概念設計)

・歯元強度、歯面強度ともに 4 割の強度向上が得られるための実験条件が、実機でも反映できるように基本設計する。

【 1 - 2 】 装置詳細設計

・目標値

1. 位置決め制御 ± 0.1 mm (歯車モジュール 3 ~ 5 以上に対応)
2. 最大加工物 最大径 250 ~ 300 mm のハイポイド歯車でモジュール 5 が 3 個 以上同時加工する。
3. タクトタイム 複合加工のそれぞれのリードタイムを考慮し、バッチ処理による量産化を図る。
4. 加工条件の自由度 ショットピーニングのボール径 (0.1 mm ~ 1 mm)
 ショットピーニングの噴射圧力 (~ 0.3 MP a 可変)

バレル研磨の砥石径 (0.1 mm ~ 10 mm)

バレル研磨の加工物最大回転速度 (90 r p m まで可変)

バレル研磨槽外径 (1.5 m ~ 2.0 m)

【 2 - 1 】 装置製作 (ショットピーニング加工装置の運転性能)

・ショットノズルの噴射角度 (± 0.5 度) 噴射位置 (± 0.1 mm) の精度を目標とする。

【 2 - 2 】 装置製作 (バレル研磨装置の運転性能)

・バレル槽の砥粒流れを検証するセンサーを組込む。

【 2 - 3 】 装置製作 (複合加工装置の運転性能)

・量産化の目標として、平歯車サイズ $m = 3 \sim 5$ 未満で 20 個 ~ 30 個 / 時間、 $m = 5$ 以上で 10 ~ 15 個 / 時間の処理が可能となる加工装置の開発を目標とする。

【 2 - 4 】 騒音測定設計検討

・複合加工装置で製造した高強度歯車についての低騒音化を検討する。

【 3 - 1 】 品質評価・装置改良検討

・基本研究において、達成された歯元強度、歯面強度ともに 4 割の強度向上、疲れ限度の 4 割向上 (寿命の向上) が、開発量産装置でも再現されることを目標とする。

【 3 - 2 】 騒音計測評価

・本加工装置により高強度化を達成した歯車と、従来の歯車との騒音計測評価を行い、低騒音化または従来との差のない騒音特性であることを目標とする。

2) 研究の概要

[本研究開発の従来との相違点]

これまでの研究では、歯元強度を上げるための表面硬化処理が必ずしも、歯面強度も高める効果になっていない。

本研究で採用される新歯車表面加工法では従来技術のショットピーニング技術とバレル技術との組合わせにて、歯車の歯元、歯面共に、強度を大幅に向上させることが可能である。

量産化することにより、従来の浸炭ショット時と同レベルのコストにて処理可能となり、研削時の十分の一以下のコストおよび一個あたりの処理時間も短くなり強度も浸炭時よ

り4割歯面歯元強度が向上する。

また、ショットおよびバレル装置を近接して配置可能であり、制御装置との組合わせにて効果的に生産可能である。加えて、従来の加工法の歯車を含め、表面被覆処理材等殆どの歯車処理材へ適用可能である。

ただし、実用化に向けては、安定した供給が可能な量産機が必要であり、且つ、単品処理と同じロット処理による表面処理品質が保たれることが課題である。

そのため、浸炭歯車にショットピーニングとバレル研磨の複合表面処理を施した新歯面創製法（H A S B (Highly advanced surface barrelling)法）による超高強度歯車の生産システムの開発を行ない、実用化に向け、量産化に耐えうる技術の確立を目指す。

具体的には、今年度は、前年度導入のショット装置と今年度導入のショット装置への付加機能装置、および既導入済みのロボット装置とその制御装置、バレル装置との組み合わせによる全体複合加工プロセスでのロット処理（バッチ処理）を行い、単品処理と同一の品質確保と生産性アップのためのロボット化（統合制御）ハンドリング採用にて複合プロセス加工装置開発のための技術確立を図る。

[装置開発主達成最終目標]

1章の1-1 1)項に研究の目標を記述しているが、再度下記して示す。に

- ・量産化 20～30個/hr（モジュール $m = 3 \sim 5$ ）の生産性
- ・歯車最大径 250～300mm加工可能
- ・ショットピーニングとバレル研磨との加工同期性および全体制御同期
- ・単品処置時と同一品質の均一歯面加工処理可能

[主研究項目]

- ・ショット装置設計製作
- ・全体システムでの歯車ロット処理加工
- ・ロット生産時の加工条件と流体特性および品質との相関
- ・生産性アップのためのハンドリング技術
- ・品質管理項目とその特性の明確化

3) 実施内容

(技術的背景)

本加工処理方法（既述のH A S B [商標登録]処理）を用いると、従来の表面硬化歯車に

無い高強度(歯元曲げと歯面強度を同時に)大幅に向上可能である。併せて表面円滑化にて低騒音化が可能と予想される。本手法は従来技術を生かした応用と組み合わせで構成されており、これらの加工の中で特定条件を設定することにより従来より大幅な強度向上が達成できることを見出した。(記述の引用文献等)

このように単体歯車に対して上記のように手法を用いると、歯車の歯元歯面強度向上が同時に図れる方法を明らかにしてきた。

初年度に当該複合プロセス装置の基本となる、バレル装置と制御装置の設計製作を行い、研磨槽の回転制御、シーケンシャル動作などの基本性能を満足することを確認した。

昨年度の2年目には、残りの主要装置であるショットピーニング装置の設計製作を行い、処理時のショット球の漏れ防止、一定条件下での投射可能など基本性能を満足することを確認した。また、バレル処理に関する性能評価テストをバレル装置と制御装置にて実歯車を用いて実施し、加工速度であるバレル槽や歯車回転速度の影響、加工位置および個数等の影響等、量産加工品質に関する知見を得ることができた。更に、歯車の加工処理において、必ず求められる軸付きピニオン歯車に対し、ロットにてショット・バレル加工が可能となるピニオン付加装置、および、 $m=3$ 以下の小モジュール歯車バレル微細加工において、小径サイズ砥石を用いて加工可能となるバレル槽付帯装置を設計製作した。これらは現装置に付加することによりショット・バレル複合プロセス体制が整った。騒音に関しては既設の負荷装置を活用し、本加工処理での振動騒音に関する、基礎調査を実施した。

- 1 ショットピーニング自動化のための付加機能装置設計製作

担当メンバー：橋本技術士事務所；橋本宗到

株式会社パーカーコーポレーション；佐古伸之

杉山電機工業株式会社；杉山芳男

昨年度は平歯車の歯元・歯面を均一にショットピーニング可能とする装置の導入を行った。最終年度の今年度は当初目標業種分野の自動車産業4輪車のSUV車や一般産業用装置に多く用いられているハイポイド歯車等の立体歯車に対し、ロット処理時に均一、且つ自動にてショットピーニング可能となるショット付加機能ロボット装置を設計製作する。具体的には現ショットピーニング装置にノズル部を遠隔にて設定し、シーケンシャルに自動にて、ノズルが3次元方向へ移動可能で且つチルト機構をもつ装置である(主な仕様などは以下の表のとおり)。この方法にて複雑な形状の歯車であるハイポイド歯車、かさ歯車等含めた、任意

形状の歯車ロットの歯元歯面へ均一にショットピーニング処理が行えることにより、エンドユーザーからのあらゆる歯車形状の歯面へロット自動処理対応が可能となる。

ショット付加機能ロボット装置の基本設計、詳細設計、製作を行った。

主仕様	詳細
対象歯車	ハイポイド歯車、かさ歯車、ウォーム歯車等
対象サイズ	外形max 300mm
最大圧力	0.5MPa
ノズル設定	遠隔操作による初期設定可能
ノズル移動	半径方向と縦方向（円筒座標系任意位置移動）の組み合わせ移動を可能
チルト機構	縦方向動作を可能
条件設定項目	ノズル移動速度、距離、繰返し回数、圧力等の設定が可能
設定	移動設定含め、タッチパネル方式
プログラミング	シーケンシャル方式条件設定可能

- 2 騒音負荷装置の設計製作

担当メンバー：橋本技術士事務所；橋本宗到

株式会社パーカーコーポレーション；佐古伸之

名古屋市工業研究所；児島澄人、奥村陽三、山内健慈

前年度の複合プロセス加工条件にて実施した騒音測定結果を踏まえ、HASB処理を行った歯車の静音性を最適に評価するため歯車専用負荷装置を設計製作する（主な仕様などは以下の表のとおり）。

主仕様	詳細
負荷面圧	max 3000MPa
潤滑	強制潤滑フィルター付き
速度	0~max 1500rpm
作動時間	max 5min
負荷検出方式	インバーターモーター駆動方式の機械的負荷による2試験体摺道接触口-ドセル検出方式
システム	手動設定オープンシステム
試験体形状	幅10mm 外形約 50~60mmローラー試験体

1 ショット・バレル複合プロセスシステムによる処理加工評価

担当メンバー：橋本技術士事務所；橋本宗到

株式会社パーカーコーポレーション；倉富正則、鳥谷部和浩、佐古伸之

ア．平歯車・ハイポイド歯車加工評価

平歯車およびハイポイド歯車のロットにて一連のH A S B処理（ショットピーニング、バレル処理、および全体移動）を行い、各個別単体処理時との総合比較を行う。また全体を通した加工処理条件の最適化、さらに事業化を目指した最適加工処理条件を検討し、各装置の制御へ反映させる。

イ．軸付きピニオンロット加工評価

自動車産業や一般産業用装置に多く用いられている軸付き平歯車やハイポイドピニオンの一般形状である軸付きピニオンのロット処理時の表面粗さの評価試験を行い、 $R_z 1 \sim 2 \mu m$ 程度の粗さを求めるための最適条件の知見を得るとともに、各装置の制御へ反映させる。

ウ．小モジュール歯車加工評価

モジュール $m = 3$ 以下、特に1から1.5サイズの小歯車の歯元部までのバレル加工を行うには、小サイズの砥石を用いても削食量が小さいため、微細加工が必要である。微細加工に対応するため、バレル槽全体を回転させる層流方式にて行う必要がある。具体的には、昨年度に追加付加装置として製作し、テストにて加工処理可能であることが分かった金網付きバレル槽を用いて評価試験を行い、生産のための限界条件や最適条件を見出すとともに、現装置の強制循環方式による処理仕上げ状態との比較検討を行い、その結果を各装置の制御へ反映させる。

- 2 複合プロセス実用化のための全体評価

担当メンバー：橋本技術士事務所; 橋本 宗到

株式会社パーカーコーポレーション; 倉富正則、鳥谷部和浩、佐古伸之

名古屋市工業研究所; 児島澄人

あらゆる形状やサイズの歯車ロットにて対応可能とするため、上記 - 1の(1)~(3)の評価試験及び分析を通し、事業化に向けショットピーニング処理加工、バレル処理加工各装置での最適条件を見出すとともに、移動を含め全体を通した生産効率最適化のための条件や問題点を明らかにし、その結果を各装置の制御へ反映させる。

騒音評価

担当メンバー：名古屋市工業研究所; 児島澄人、奥村陽三、山内健慈

橋本技術士事務所; 橋本宗到

H A S B 処理歯車と未処理歯車の騒音および音響への違いを、 - 2 において製作した騒音負荷装置にて負荷をかけ、音響インテンシテイ測定装置を用いて評価及び分析し、H A S B 加工仕上げ条件による騒音への効果を明らかにするとともに加工条件へ反映させ、評価手法の確立を目指す。この評価を用いて、エンドユーザーに対し当該加工処理による高機能特性付加のアピールを行うことが可能となり、当該加工適用領域の拡大へ繋げていく予定である。

事業化の検討

担当メンバー：橋本技術士事務所；橋本宗到

株式会社パーカーコーポレーション；倉富正則、鳥谷部和浩、佐古伸之

名古屋市工業研究所；児島澄人

エンドユーザーから、実用化に求められる技術的要素やコスト面などからサンプル製品の評価をとおり、当該加工プロセス装置や加工処理済み歯車の事業化を検討する。

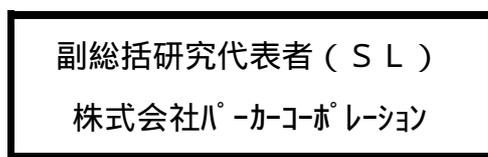
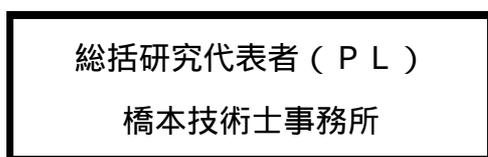
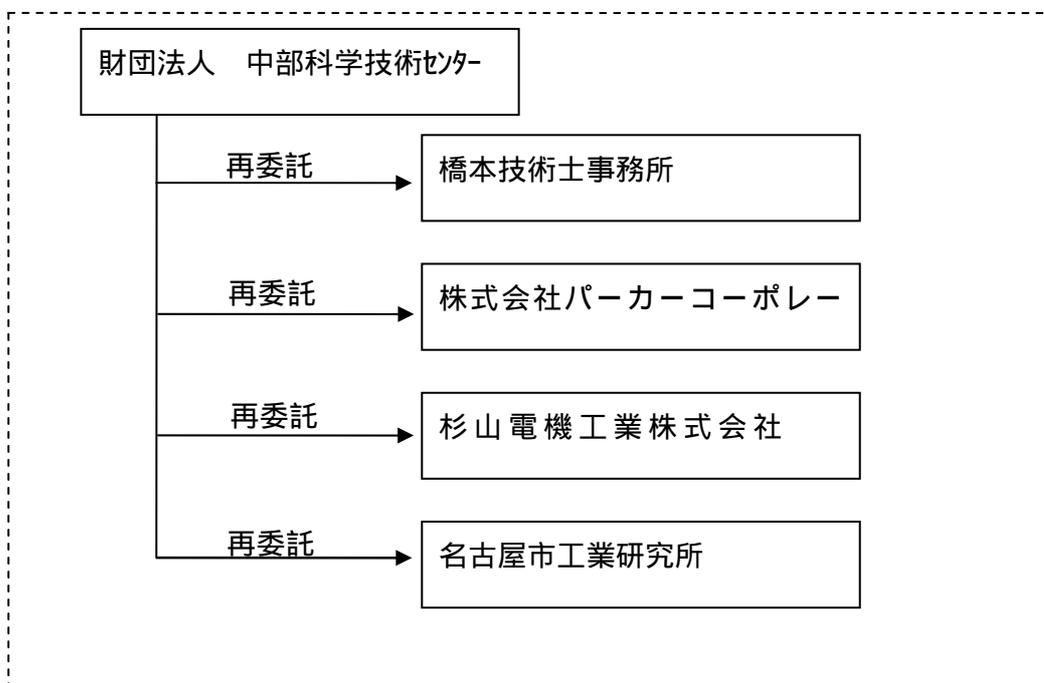
プロジェクトの管理・運営

担当：財団法人中部科学技術センター；平澤 進

本研究の円滑な推進を図るため、委員会の運営、各研究開発項目の課題抽出、検討、研究成果の評価等プロジェクトの管理・運営を行った。

1 - 2 研究体制（研究組織及び管理体制、研究者氏名）

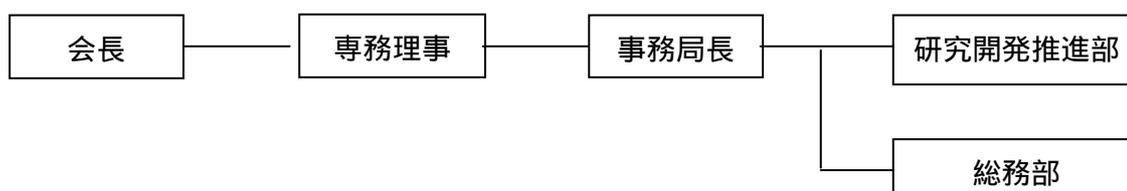
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

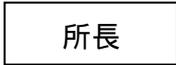
【事業管理者】

財団法人 中部科学技術センター

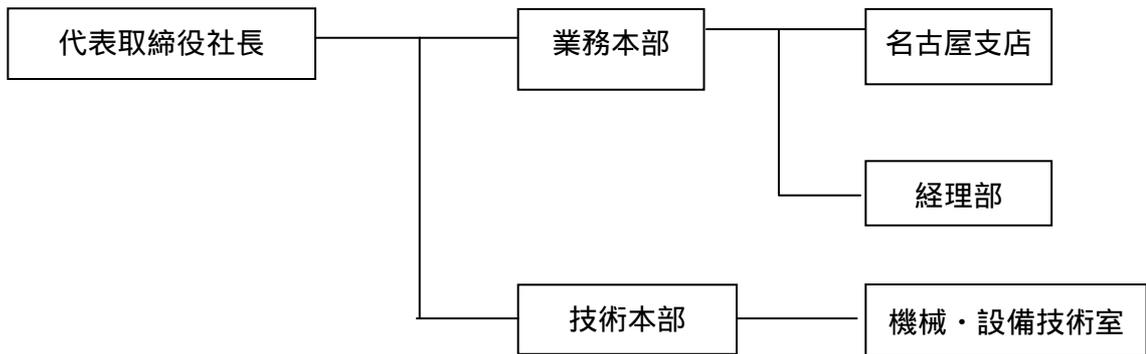


【再委託先】

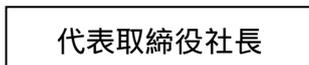
橋本技術士事務所



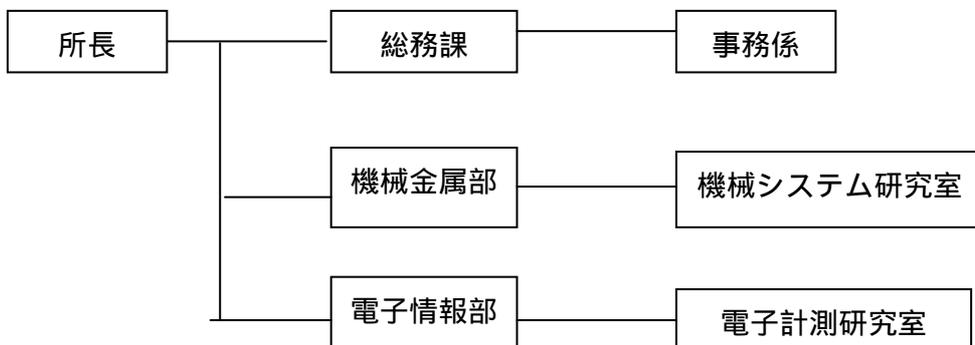
株式会社パーカーコーポレーション



杉山電機工業株式会社



名古屋市工業研究所



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】

管理員

財団法人中部科学技術センター

氏名	所属・役職	実施内容
永田達也	研究開発推進部長	
福嶋 昭	研究開発推進部 担当部長	
大沢秀敏	研究開発推進部 担当部長	
平澤 進	研究開発推進部 主幹	
宮島和恵	研究開発推進部 主任	
高須容功	研究開発推進部 主任	

【再委託先】

研究員

橋本技術士事務所

氏名	所属・役職	実施内容
橋本 宗到	所長	- 1、 - 2、 - 1、 - 2、

株式会社パーカーコーポレーション

氏名	所属・役職	実施内容
倉富 正則	業務本部名古屋支店長	- 1、 - 2、
鳥谷部和浩	化学品一部名古屋化学品一課	- 1、 - 2、
佐古 伸之	技術本部機械設備技術室技術課課長代理	- 1、 - 、 - 1、 - 2、

杉山電機工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
杉山 芳男	代表取締役社長	- 1

名古屋市工業研究所

氏名	所属・役職	実施内容
児島 澄人	機械金属部機械システム研究室室長	- 2、 - 2、
奥村 陽三	電子情報部電子計測研究室	- 2、
山内 健慈	電子情報部電子計測研究室	- 2、

4) 実施場所

事業管理者

財団法人中部科学技術センター（最寄り駅：名古屋市営地下鉄鶴舞線大須観音駅）

〒460-0011 愛知県名古屋市中区大須一丁目35番18号 一光大須ビル7F

研究実施場所

橋本技術士事務所（最寄り駅：JR鉄道東海道線 大府駅）

〒474-0011 愛知県大府市横根町羽根山234の2

株式会社パナコーポレーション名古屋支店（最寄駅：名古屋市営地下鉄桜通線国際センタービル）

〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅3-20-1 サンシャイン名駅6F

株式会社パナコーポレーション テクニカルセンター（最寄駅：営団地下鉄東西線 木場駅）

〒135-0051 東京都江東区枝川3-1-8

杉山電機工業株式会社（最寄り駅：名古屋鉄道本線 有松駅）

〒455-0054 愛知県名古屋市緑区若田3丁目7-15番地

旭千代田工業株式会社 瀬戸暁工場（最寄り駅：名古屋鉄道瀬戸線 尾張瀬戸駅）

〒489-0071 愛知県瀬戸市暁町3-50（暁地区工業団地）

名古屋市工業研究所（最寄り駅：市営地下鉄名港線 六番町駅）

〒456-0058 愛知県名古屋市熱田区六番三丁目4-41

1 - 3 成果概要

1 - 3 - 1 複合プロセス装置関連

本装置は主にショットピーニング(以下S Pと略記する)装置、バレル装置、ロボット装置及びその制御装置から構成されている。

S P装置についてはハイポイド等の立体歯車の歯面、歯元へ均一にS Pする為、S Pノズル移動が可能な専用のロボット装置の導入を行った。

この付加されたS P装置はチルト機構がついており、3次元的に移動可能である。

バレル装置については砥石の層流を生じやすくする為砥石全体を金網籠に投入しこの籠全体を回転させる。

加工方法の中でその遠心力を生かして回転ワークにあて、その衝突する際のエネルギー利用での研削を行う方法である、いわゆる遠心バレル法が可能となった。

既設の方法はバレル槽自体を回転させそれに伴って内部の砥石を回転させその回転力でワークを研削する方法いわゆる流動フロー法である。これら2方法による研削力の違いを比較できるようにした。砥石流れを計測解析した結果と歯車の仕上がり状態を比較検討した結果、各方法には特性があり、エンドユーザーの要求に従い使い分ける必要があることが分かった。

ロボット装置についてはワークセットから今年度追加したS P、バレル加工の1連の動きがシーケンシャルプログラムで動作するかどうかの確認を行った。

このことにより当該複合プロセスシステムによる一連の加工処理の体制が整った。

複数個ロットでの上記一連のH A S B加工研究は今後の課題である。

付加したショットピーニング装置を含むH A S B装置の全景を写真1に示す。



写真 1

1 - 3 - 2 計測関連

流体計測及び解析システムを導入し砥石の流体を計測し解析できた。
流動フロー法と遠心バレル法の比較が出来た。
表面粗さ計を導入し現場にて容易に測定可能となった。

1 - 3 - 3 加工処理

200～300程度のハイポイド歯車の複数個処理（3個）×2箇所処理を行った。
加工自体は可能であるがワーク取り付け位置による表面粗さの違いが生じた。ワーク間
隔及び深さ等影響については今後の課題である。
軸付きピニオンの加工は実施できなかった。
当該装置の仕様条件では最大径 300までであるが流動フロー法を用いれば 500
サイズのハイポイドギヤ歯車でも処理可能であることが判った。
外形 280のハイポイドギヤ・ピニオンの加工処理前後の状況を写真2に示す。



写真 2

1 - 3 - 4 騒音評価試験

当該処理による騒音の影響を調べる為騒音負荷装置を設計製作した。

この装置を用いた騒音評価試験の結果、従来の加工法（機械加工、SP）と比較しバレル加工を用いれば低騒音化の傾向を示すことが判った。

今年度の成果等の一覧を次表に示す

表 1 今年度成果等一覧

項目	計画	成果内容	未達内容
ショットピーニング装置	立体歯車ロット処理	加工処理準備が整った。	
	軸付き複数ピニオン処理	専用治具が整備された。	実施せず。
バレル装置	籠網付きバレル槽による加工（遠心バレル法）	従来法（流動フロー法）と比較可能となった。	
ロボット装置関連	H A S B 処理の量産自動化	自動運転が可能となった。	
計測関連	バレル砥石の流体計測	砥石の流れ計測解析が可能となった。	
	表面粗さ計による現場計測	立体歯車を含め計測可能となった。	
全体	複数個立体歯車の H A S B 処理と品質評価	ショット・バレル複合プロセスによる歯車加工システムの基盤体制が整った。	ロットでの H A S B 処理できず。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

橋本技術士事務所 所長 橋本 宗到

T E L 0562-44-3916(FAX も同じ)

E -メール munetoh@rio.odn.ne.jp

(株)パーカーコーポレーション名古屋支店 支店長 倉富 正則

T E L 052-583-7100 FAX052-583-7109

E -メール kuratomi@parkercorp.co.jp

(財)中部科学技術センター 研究開発推進部 平澤 進

T E L 052-231-6723 FAX052-204-1469

E -メール s.hirasawa@cstc.or.jp

第2章 ショットピーニング自動化のための付加機能装置設計製作

2 - 1 研究目的及び目標

昨年度は平歯車の歯元・歯面を均一にショットピーニング可能とする装置の導入を行った。今年度は当初目標業種分野の自動車産業4輪車のSUV車や一般産業用装置に多く用いられているハイポイド歯車等の立体歯車に対し、ロット処理時に均一、且つ自動にてショットピーニング可能となるショット付加機能ロボット装置を設計製作する。

2 - 2 実施内容

ショット付加機能ロボット装置の基本設計、詳細設計、製作を行う。

具体的には現ショットピーニング装置にノズル部を遠隔にて設定し、シーケンシャルに自動にて、ノズルが3次元方向へ移動可能で且つチルト機構をもつ装置である（主な仕様などは以下の表のとおり）。この方法にて複雑な形状の歯車であるハイポイド歯車、かさ歯車等含めた、任意形状の歯車ロットの歯元歯面へ均一にショットピーニング処理が行えることにより、エンドユーザーからのあらゆる歯車形状の歯面へロット自動処理対応が可能となる。

2 - 3 研究成果

ショットピーニング（SP）装置

旧SP装置にチルト機構及び移動機能を付加するため専用のロボット装置を追加した。

ロボット装置の主機能を以下に示す

機能：ノズル径9、圧力 $m a \times 0.5 M P a$ 、3次元移動可能（移動距離500mm）

動作確認の結果プログラムプロセスに応じたシーケンシャル的動作が可能であり歯車の立体加工が可能となった。

第3章 騒音負荷装置の設計製作

3 - 1 研究目的及び目標

前年度の複合プロセス加工条件にて実施した騒音測定結果を踏まえ、H A S B 処理を行った歯車の静音性を最適に評価するため歯車専用負荷装置を設計製作した。

3 - 2 実施内容

(主な仕様などは以下の表のとおり)。

主仕様	詳細
負荷面圧	m a x 3000MPa
潤滑	強制潤滑フィルター付き
速度	0 ~ m a x 1500rpm
作動時間	m a x 5min
負荷検出方式	機械的負荷による2試験体摺道接触口-ドセル検出方式
システム	手動設定オープンシステム
試験体形状	幅10mm 外形約30mm ローラー試験体

3 - 3 研究成果

今年度設計製作した騒音負荷評価試験装置を図3 - 1に示す。この装置にテストピース(第6章に後述)を取り付け、仕様の動作を確認した。その結果、上記、仕様が達成できることを確認した。しかし、仕様とは別に試験装置の駆動モータからの騒音が大きいため、新たに遮蔽カバーを装着した。



図3 - 1 騒音負荷評価試験装置 左：外観 右：測定部

図3 - 1の黄色の遮蔽ケースの中に駆動モータがある。右図の中央にある1対の円板がH A S B処理をしたテストピースであり、右の円板が駆動モータに直結している。左の従動円板を駆動円板に近づけ、接触し、伴周りさせる。そのまま、矢印の方向から負荷をかけて、摺動音を調べる。図には音響インテンシティ測定装置の集音マイクも併付する。

第4章 ショット・バレル複合プロセスシステムによる処理加工評価

4 - 1 研究目的及び目標

ア．平歯車・ハイポイド歯車加工評価

平歯車およびハイポイド歯車のロットにて一連のH A S B処理（ショットピーニング、バレル処理、および全体移動）を行い、各個別単体処理時との総合比較を行う。また全体を通した加工処理条件の最適化、さらに事業化を目指した最適加工処理条件を検討し、各装置の制御へ反映させる。

イ．軸付きピニオンロット加工評価

自動車産業や一般産業用装置に多く用いられている軸付き平歯車やハイポイドピニオンの一般形状である軸付きピニオンのロット処理時の表面粗さの評価試験を行い、 $R_z 1 \sim 2 \mu m$ 程度の粗さを求めるための最適条件の知見を得るとともに、各装置の制御へ反映させる。

ウ．小モジュール歯車加工評価

モジュール $m = 3$ 以下、特に1から1.5サイズの小歯車の歯元部までのバレル加工を行うには、小サイズの砥石を用いても削食量が小さいため、微細加工が必要である。微細加工に対応するため、バレル槽全体を回転させる層流方式にて行う必要がある。具体的には、昨年度に追加付加装置として製作し、テストにて加工処理可能であることが分かった金網付きバレル槽を用いて評価試験を行い、生産のための限界条件や最適条件を見出すとともに、現装置の強制循環方式による処理仕上げ状態との比較検討を行い、その結果を各装置の制御へ反映させる。

4 - 2 実施内容

ハイポイド歯車 200 ~ 300の複数個処理 3個 × 2箇所（計6個）の同時処理の結果、取り付け位置の違いにて若干表面粗さの違いの影響が出た（ $R_z 1 \mu m$ 程度）。従って、ワーク取り付け距離や加工深さの影響を明らかにする必要がある。軸付きピニオンの複数処理は出来なかった。

4 - 3 研究成果

ハイポイド歯車の加工は設計仕様上、径 300までで有るが今回流動フロー法を用いれば径 500のギヤ歯車も処理可能である事が判った。

第5章 複合プロセス実用化のための全体評価

5 - 1 研究目的及び目標

あらゆる形状やサイズの歯車ロットにて対応可能とするため、評価試験及び分析を通し、事業化に向けショットピーニング処理加工、バレル処理加工各装置での最適条件を見出すとともに、移動を含め全体を通した生産効率最適化のための条件や問題点を明らかにし、その結果を各装置の制御へ反映させる。

5 - 2 実施内容および研究成果

5 - 2 装置関連

5 - 2 - 1 H A S B 装置の設計

H A S B 装置の基本設計・詳細設計を行った。

5 - 2 - 2 ショットピーニング (S P) 装置

S P 装置の設計に基づきショットピーニング (S P) 装置を製作した。

この装置にチルト機構及び移動機能を付加するため専用のロボット装置を追加した。

S P 装置の主機能を以下に示す

機能

圧力方式ノズル径 9 φ、圧力マックス 1 M P、3次元移動可能 (移動距離 500mm)

動作確認の結果プログラムプロセスに応じたシーケンシャル的動作が可能であり歯車の立体加工が可能となった。

5 - 2 - 3 バレル装置

基本設計に基づきバレル装置 (流動バレル方式) を製作した。

および 2 1 年度に籠つきバレル槽を設計製作し、遠心バレル法も可能となった。

5 - 2 - 4 多軸ピニオン加工治具

多数個ピニオン処理用加工治具を設計製作した。

5 - 2 - 5 ロボット装置

H A S B 装置が自動で多数個処理が可能となるようロボット装置を導入し、ワーク回転が可能となるようにロボット先端に、インバーターモーターを取り付け、回転制御できるようにした。

また、S P 装置の付加状況下でも全体プロセスの動作が可能であるようにプログラムを追加し、動作確認を行った。

5 - 3 計測関連

5 - 3 - 1 流体計測

C C Dカメラ付き流体計測システムを設置可能となり砥石流れの解析が可能となった。その結果遠心バレル法では層流が生じやすく流動フロー法ではワークの近くで急な流れが生じやすく乱流となる場合があることが判った、従って均一な表面研削加工が必要な場合は遠心バレル法が有用である。円筒物や円盤など単純形状の表面を研削する場合や加工時間を短縮する場合は流動フロー法が有用である。

つまりエンドユーザーの要求やワーク加工目的に応じ使い分ける必要がある。

5 - 3 - 2 表面粗さ計

立体歯車でも現場計測が可能であることが判った、但し形状によっては保持が困難で別途治具が必要な場合がある。

5 - 4 加工処理

ハイポイド歯車 200 ~ 300の複数個処理3個×2箇所(計6個)の同時処理の結果、取り付け位置の違いにて若干表面粗さの違いの影響が出た(Rz 1.μm程度)。従って、ワーク取り付け距離や加工深さの影響を明らかにする必要がある。軸付きピニオンの複数処理は出来なかった。

ハイポイド歯車の加工は設計仕様上、径 300までで有るが今回流動フロー法を用いれば径 500のギヤ歯車も処理可能である事が判った。

第6章 騒音評価

6 - 1 研究目的及び目標

H A S B 処理歯車と未処理歯車の騒音および音響への違いを、 - 2 において製作した騒音負荷装置にて負荷をかけ、音響インテンシティ測定装置を用いて評価及び分析し、H A S B 加工仕上げ条件による騒音への効果を明らかにするとともに加工条件へ反映させ、評価手法の確立を目指す。

6 - 2 実施内容

6 - 2 - 1 騒音評価試験

騒音評価負荷装置に円板状試験片を二個一組で取り付け、押し合うように荷重を負荷した状態で一方を回転駆動し、他方を追従回転させたときの音を、音響インテンシティ測定装置により測定する。

6 - 2 - 2 騒音評価テストピース

上記、1 対の形状の円板試験片を使用した。試験片の素材は S C M 4 2 0 浸炭鋼である。2 つの試験片の円周面について、研削仕上げ後、本研究の H A S B 処理を行い、同じ処理をした面同士で摺動負荷をかけて、騒音を評価した。

表 6 - 1 テストピースの表面状態

	円周面の最終加工
1	研削仕上げ面
2	ショットピーニング
3	バレル研磨（粗）
4	バレル研磨（細）

試験片は表 6 - 1 に示した最終加工条件の異なる 4 種類である。

6 - 3 研究成果

6 - 3 - 1 試験片の円周面の表面粗さの影響

表 6 - 1 の 2 , 3 , 4 の表面粗さの測定の結果、バレル仕上げすることで、ショットピーニング後の突起部が平滑され、表面粗さがよくなっている。

ローラー試験体では研磨砥石が仕上げ用のものと粗仕上げ用で表面粗さに差が見られない。

騒音はS P後バレル処理にて表面粗さが良くなるとともに低速、高速ともに低減する。しかし研削時ほど良くならなかった。また今回バレル仕上げで粗仕上げ用砥石と仕上げ用砥石では最終表面粗さに差がなかったが、騒音レベルも顕著な差が見られなかった。これらの要因解明は他の影響因子含め、今後の検討課題である。

6 - 3 - 2 まとめ

今回の測定の目的は、表面仕上げの違いによる円板試験片の摺動音の違いを考察しようとしたことであるが、実際の測定時では、試験片を取り付けた軸の軸受からの振動が軸から逆に試験片に伝わるなどの、表面精度以外に起因した摺動音も測定値に影響を与えていた。それも加味して、表面仕上げの違いによるトータル的な騒音評価について、以下のことがわかった。

- 1．HASB 処理を行う場合、ショットピーニング処理後の評価試験で生じる騒音レベルは、次のプロセスのバレル研磨処理後、低減された。
- 2．高回転の評価試験では、HASB 処理前の研削仕上げ後よりも処理後の方が 2.5kHz を超える周波数帯で騒音レベルが大きくなる傾向があった。
- 3．しかし、低回転の条件では、HASB 処理前後の騒音レベルはほぼ同じであった。表面精度だけでなく、端面部の仕上げ形状などの影響が考えられる。これらの原因究明は今後の課題である。

第7章 事業化の検討

7 - 1 研究目的及び目標

エンドユーザーから、実用化に求められる技術的要素やコスト面などからサンプル製品の評価をとおし、当該加工プロセス装置や加工処理済み歯車の事業化を検討する。

7 - 2 実施内容

現在、エンドユーザーが明確になっている案件が確定しているものも含め4～5件ある。この中で都市交通システムの駆動部動力源用大径ハイポイド歯車の加工を実施し、耐久性や品質の評価をユーザーにて実施中である。結果次第では実用化の可能性が高い。耐久性はクリアしており、騒音や歯車歯当たり等の品質評価中である。本案件が事業化に一番近い。また一般乗用車向け 200 程度の中型ハイポイド歯車について加工を実施し、ユーザーにて歯車品質や加工精度の品質評価中である。さらに一般産業向け動力伝動装置の歯車として小型ハイポイド歯車と平歯車の加工を実施中である。その他にはレジャーボート等の船外機向けハイポイド歯車の加工を実施し、エンドユーザーにて歯車の品質評価中である。工作機械向け高精度歯車としてウォーム歯車の加工案件もあり近日加工予定である。これら最後の3案件はエンドユーザーの評価次第では実用化の可能性が高い。

このように実用化案件を早急に達成し、残された研究課題クリアと同時並行して事業化の目途を立てたい。また共同体内部にて受注実用化に向けた調整を図り、装置開発と製作、歯車加工と分担協業して効率的に事業化を進めていく予定である。

7 - 3 研究成果

当初の目的である量産実用中のほぼすべての歯車種のショット・バレル複合プロセスによる加工処理が可能な装置が完成した。今後はエンドユーザーのニーズを取り入れ加工精度の向上、量産効果を確認し、量産加工の目途を立て、且つ今後の装置開発設計へ反映していく。当該装置にはSP処理のみでも他にない特徴である歯面均一処理が可能である。またバレルも記述のごとくホン装置にて2方法にて処理可能で機能を有している。

これらの特性は各装置単体としての装置機能特性として十分加えることができる。

歯車単体処理としての歯車特性が複数個処理でも同様に得られ、一部の試験では耐久性の効果も出つつあり基礎試験結果と同等の評価を得ている。今後はハイポイド歯車の複数個処理等の課題を研究開発を通して克服し、信頼性を上げていく予定である。

第8章 プロジェクトの管理・運営

8 - 1 目的及び目標

本研究の円滑な推進を図るため、委員会の運営、各研究開発項目の課題抽出、検討、研究成果の評価等プロジェクトの管理・運営を行う。

8 - 2 実施内容

研究開発委員会を開催し、アドバイザーとして川下企業、装置メーカー等の出席の下活発な討議を行なった。

なお、アドバイザーには下記の方々に委嘱した。

ヤマハ発動機株式会社	研究開発統括部	小池	俊勝氏
株式会社ゼンノリタケ	営業統括部長	野嶋	一平氏
旭千代田工業株式会社	技術部長	植田	武臣氏

8 - 3 実施結果

研究開発目標を達成するため、必要な管理・運内を行なった。

第9章 全体総括

9 - 1 現状と今後の予定

事業化展開

現在進めているH A S B処理都市交通システム向けの歯車実機適用が有望視されている。また、自動車用ハイポ、船外機用ハイポ、一般産業用動力伝動用ハイポ、工作機械向けウォームギヤ等の加工処理を進めており、実機評価を通してエンドユーザーの要求に合致した歯車加工およびH A S B装置の拡販を進めていく予定である。その他2輪メーカへも情宣予定である。

現在進行中の対象歯車エンドユーザー一覧

メーカ	ギヤ適用分野	ギヤ種類
A社	都市交通システム用動力源	ハイポイド
B社	自動車用ミッション	ハイポイド
C社	一般産業用動力伝動装置	ハイポイド・平
D社	船外機	ハイポイド
E社	工作機械	ウォーム

9 - 2 全体評価と知見

研究開発の3年間は主に装置の設計製作とその各単体装置の評価が大部分であった。当該初期狙いの複合プロセスのシステムが出来上がった点の成果は大きい。これらの研究開発を通して量産時の加工課題、装置設計課題も浮かび上がってきた点の成果もある。各装置には他にない特徴つまり加工特性や加工機能がある。これら各単体の装置特徴を生かして事業化を促進したい。量産加工については後記する課題が残っているが特にロット処理での加工精度と品質の安定性の維持の困難さ、たとえばハイポイド歯車の複数個処理時の問題点や課題がある。しかし本研究課題を通し、300以上のハイポイド歯車の加工処理方法、バレル加工方法による研削量と加工精度の違いなど新たに得られた知見も多い。

9 - 3 成果(20~22年度)

20年度の成果を下表に示す。

項目	成果
装置全体	H A S B 装置基本設計、詳細設計完了
ショット装置	H A S B 装置基本設計、詳細設計完了
バレル装置	H A S B 装置基本設計、詳細設計完了、製作完了
バレル付加装置	設計製作を行った。遠心バレル用
ロボット装置	H A S B 装置基本設計、詳細設計完了

21年度の成果を下表に示す

項目	成果
装置全体	第一段階完了
ショット装置	第一段階ショット装置製作完了
バレル装置	多軸ピニオン処理用治具の設計製作
ロボット装置計測	ロボット装置製作完了

22年度の成果を下表に示す

項目	成果	課題
装置全体	H A S B 処理の体制が整った仕様、500 までバレル処理可能	複数個処理での品質安定性と加工時間との関係等の評価が必要である
ショット装置	複数個同時処理が可能	大型歯車 300 以上では専用装置が必要
バレル装置	2 加工方式（遠心バレル法と流動フロー法）が処理可能である	ショットとの工数バランスに応じたバレル装置の設置検討
ロボット装置計測	流体計測装置を用いて砥石流れの解析が可能になった	砥石流れの加工精度への詳細検討
表面粗さ	現場計測が現設計仕様歯車サイズでは計測可能	加工精度に関連する歯形歯すじ計測が必要である。

9 - 3 今後の課題等

主な課題は9 - 2項に示しているが特に重要な点に関し下記して示す。

課題まとめ

- ・一連のH A S B処理を通し特にハイポイド歯車での加工精度と品質評価を行い、影響因子を明らかにしていく。
- ・バレル処理では単部の研削量が予想より大きい。これは単体処理時と異なり加工槽が大きく、ワークが大きいことも要因の一つと考えられる。今後この研削量、加工条件と歯車大きさと形状の相関を種々の形状サイズの歯車に対して明らかにしていく必要がある。
- ・また複数個処理の処理数限界と加工精度との関係、特にハイポイドでは砥粒流れの影響の解明が必要である。
- ・当該装置での複数個処理の量産限界と加工精度との関係、特にハイポイドではロットでのワーク間隔と設定位置と数に応じた砥粒流れの影響の解明を行い実機装置の設計や量産加工へ反映していくことが重要である。