

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「三次元形状の歯車加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
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）	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 歯車の設計	6
2-1 研究目的及び目標	6
2-2 実施方法	6
2-3 研究成果	6
第3章 加工機の開発	7
3-1 研究目的及び目標	7
3-2 実施方法	7
3-3 研究成果	8
第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発	9
4-1 研究目的及び目標	9
4-2 実施内容	9
4-3 研究成果	12
4-4 評価	13
第5章 机上補正システムの開発	14
5-1 研究目的及び目標	14
5-2 実施内容	14
5-3 研究成果	15
第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の開発	18
6-1 研究目的及び目標	18
6-2 実施内容	18
6-3 研究成果	19
第7章 全体総括	23

## 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

自動車産業分野においては、近年、NVH（騒音、振動、乗り心地）が顕在化し、更なる快適性の追求等から、動力伝達装置の伝達効率向上・騒音低減へのニーズが高まってきたことから、歯車伝達の効率化及び耐久性の向上並びに歯車の高精度化・高機能化が求められている。

本研究開発では、高精度の歯車を加工する上で必須となるマスターギヤーの製造のため当該マスターギヤー製造用の加工機に係る研究開発を行った。

マスターギヤーを一般歯車の測定精度の基準として、また、測定器の検証として使用するには、一般歯車の形状精度に比して1～2ランク上の高精度形状が求められる。そのため、本研究開発では机上計測機能を組み込むことにより、再現性に優れた機械特性の限界までのワーク加工精度を狙えるようにし、具体的には新 JIS 1 級相当の歯車加工を可能とする加工機械の開発を行った。

#### 円筒歯車に係る最終的な技術目標値

	現状 (JIS 規格 B1702-1)	目標値 (JIS 規格 B1702-1)
単一ピッチ誤差 (F p t)	精度等級 4 級 ± 4.1 μm	精度等級 1～2 級 ± 1.5～2.1 μm
累積ピッチ誤差 (F p)	精度等級 4 級 13.1 μm	精度等級 1～2 級 4.7～6.5 μm
全歯形誤差 (F a)	精度等級 4 級 ± 5.5 μm	精度等級 1～2 級 2.0～2.8 μm
全歯すじ誤差 (F b)	精度等級 4 級 ± 7.0 μm	精度等級 1～2 級 2.5～3.5 μm

#### 円筒歯車加工時間に係る最終的な目標値

	現状	目標値
小型歯車 (径 100、M2)	約 1 時間	45 分以内
中型歯車 (径 300 以上)	約 2～3 時間	1/2 以下

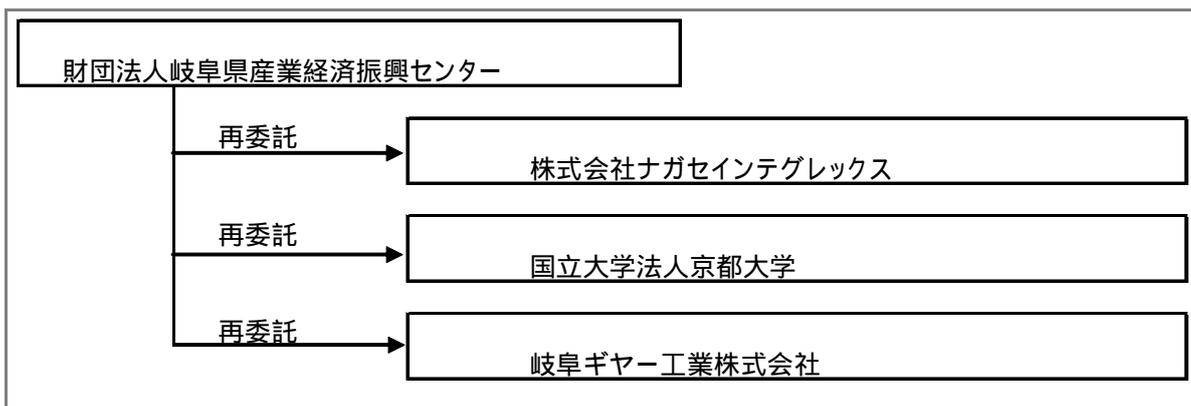
本研究開発は大別して2分類できる。1つめは、「歯車加工機械の加工・研削機構への対応」である。加工機械の摺動、軸受け機構に非接触油静圧技術を採用して、摺動面、軸受けの摩擦低減の研究を行い、運動追従性と高剛性及び再現性を追求した加工機械を開発した。また併せて、砥石精度の安定化のために次世代電着ドレッシング機能に関する研究を行い、同機能に対応するツーリング装置等搭載可能な加工機械の開発を行った。その他、必要な箇所のみを追加修正加工を想定した非単純形状加工技術の研究開発を行った。

2つめは、「歯車・砥石形状計測機能への対応」である。加工ワークと研削砥石の取り付け取り外しに伴い発生する誤差を解決するため、機上での計測及び補正加工技術の研究開発と高精度マスターギヤーによるトレーサビリティ保証法を確立した。以上の研究開発成果を統合した歯車加工機械を開発した。

1 - 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1. 研究組織及び管理体制

(1) 研究組織（全体）

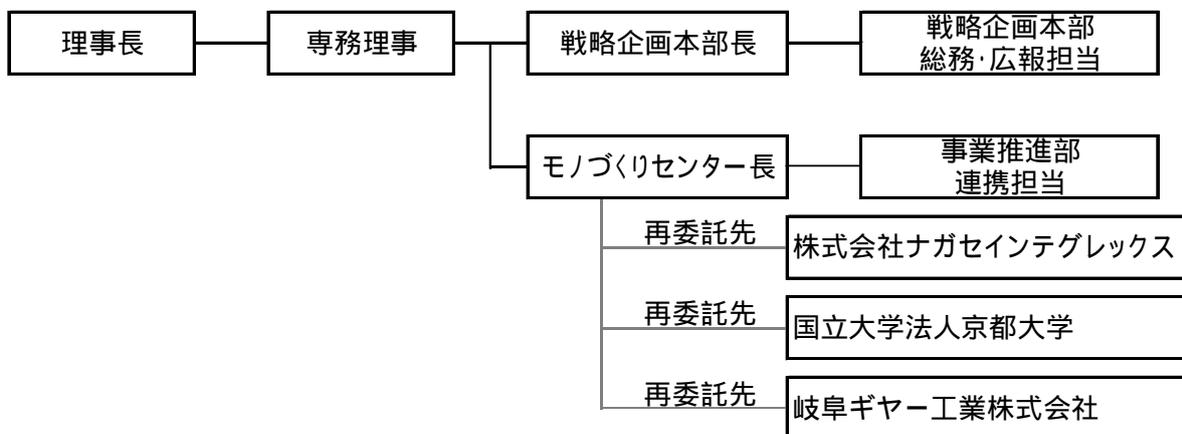


総括研究代表者(PL)  
 所属: 株式会社ナガセインテグレックス  
 役職: 取締役製造部長 氏名: 野口典孝

副総括研究代表者(SL)  
 所属: 国立大学法人京都大学  
 大学院 工学研究科 機械理工学専攻  
 役職: 准教授 氏名: 小森雅晴

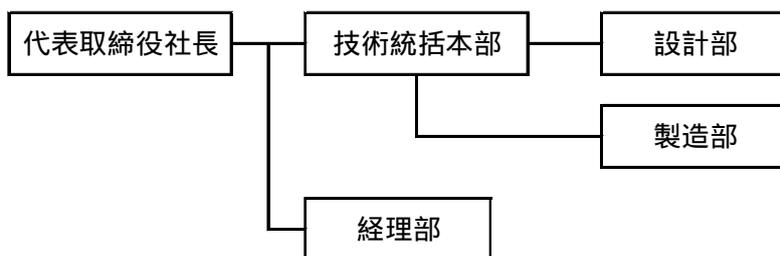
(2) 管理体制

1) 事業管理者 財団法人岐阜県産業経済振興センター

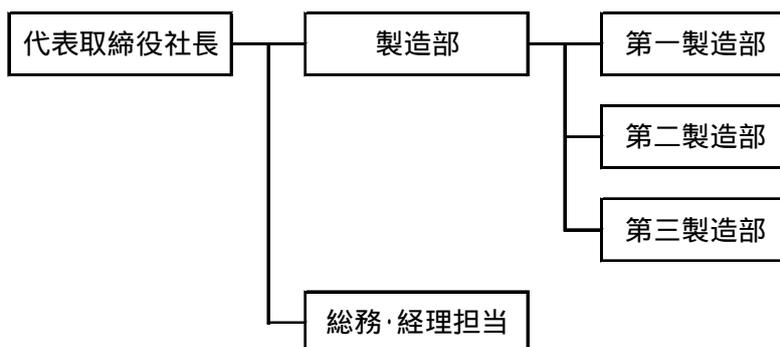


## 2) 再委託先

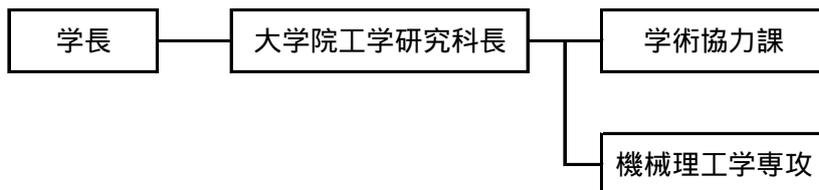
### 株式会社ナガセインテグレックス



### 岐阜ギヤー工業株式会社



### 国立大学法人京都大学



## (3) 管理員及び管理体制

### 1) 事業管理者

#### 財団法人岐阜県産業経済振興センター

氏名	所属・役職	実施内容
砂田 博	理事兼モノづくりセンター長	プロジェクトの管理運営
服部 清	事業推進部長	
朝原 力	事業推進部主任調査役	
野村 貴徳	事業推進部主査	
小川 誠	事業推進部主査	

## 2) 再委託先

### 株式会社ナガセインテグレックス

氏名	所属・役職	実施内容
長瀬 幸泰 山口 政男 野口 典孝 板津 武志 吉田 英高 加納 美代子	代表取締役社長 専務取締役・技術統括本部本部長 取締役・技術統括本部製造部長 技術統括本部設計部副部長 技術統括本部製造部電気設計係長補佐 技術統括本部製造部	・ 非単純形状歯車の加工ソフトの開発 ・ 机上補正システムの開発 ・ 高精度マスターによる高精度検査トレーサビリティ保証の確立

### 岐阜ギヤー工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
松波 俊宣 松波 信之 長屋 英彦	代表取締役社長 製造部長 第一製造部リーダー	・ 高精度マスターによる高精度検査トレーサビリティ保証の確立

### 国立大学法人京都大学

氏名	所属・役職	実施内容
小森 雅晴	大学院工学研究科機械理工学専攻准教授	・ 高精度マスターによる高精度検査トレーサビリティ保証の確立

### 1 - 3 成果概要

本研究開発では、高精度の歯車を加工する上で必須となるマスターギヤの製造のため当該マスターギヤ製造用の加工機に係る研究開発を行った。

マスターギヤを一般歯車の測定精度の基準として、また、測定器の検証として使用するには、一般歯車の形状精度に比して1～2ランク上の高精度形状が求められる。そのため、本研究開発では机上計測機能を組み込むことにより、再現性に優れた機械特性の限界までのワーク加工精度を狙えるようにし、具体的には新 JIS 1 級相当の歯車加工を可能とする加工機械の開発を行い、目標を達成できた。

2 つめは、「歯車・砥石形状計測機能への対応」である。加工ワークと研削砥石の取り付け取り外しに伴い発生する誤差を解決するため、机上での計測及び補正加工技術の研究開発を行い、加工後の計測と補正をワークを取り外さず行うことが出来るようになった。

3 つめは高精度マスターギヤによるトレーサビリティ保証法を確立した。この結果机上計測の信頼性を確認し、2  $\mu\text{m}$  程度の信頼性が有ることが判明した。また高精度マスターギヤによるトレーサビリティを確認するため、高精度マスターギヤに対応した歯車測定器用ソフトを歯車測定器に搭載し $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 程度の信頼性を確認した。

4 つめは、3次元形状の歯車形状の加工の可能性を求めるため、バイアス修正加工を行い、歯形形状、歯すじを制御できることを確認した。

### 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人岐阜県産業経済振興センター事業推進部 小川 誠

所在地：岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

電話：058-277-1093 FAX：058-273-5961

E-mail：[ma-ogawa@gpc-gifu.or.jp](mailto:ma-ogawa@gpc-gifu.or.jp)

## 第2章 歯車の設計

### 2 - 1 研究目的及び目標

かみ合い時の歯車の変形を予測した歯車の設計を行い、歯車ピッチ・歯形・歯すじの誤差を検証し、その結果を歯車加工機械の開発に応用する。

### 2 - 2 実施方法

102mmの大きさの歯車を想定し、そのかみ合い時の弾性変形をも予測して歯車の歯形、歯すじ、ピッチなどを種々検討した。その結果を歯車加工機の開発設計の基準とした。

### 2 - 3 研究成果

種々検討の結果、歯車基本諸元を下記のようにすることとした。

歯車基本諸元

歯先円直径	102
モジュール	3
圧力角	20°
歯数	32
歯形	インボリュート歯形をベース
歯幅	50mm

### 第3章 加工機の開発

#### 3 - 1 研究目的及び目標

設計した変形形状歯車のデータを応用し加工機を設計する。機構面では機械的な運動精度に加えて、運動追従性と高剛性及び再現性を追求するため、摺動面・軸受けに非接触油静圧技術を用いて、摩擦低減の研究開発を行い、加工機の機械的な課題解決を図る。

また、第4章から第6章と関連するが、歯車計測機構を加工機へ組み込むための設計及び製作並びに計測・補正ソフトウェアの仕様確定及び製作着手を行う。その上で加工したマスターギアを機上で計測し、評価を行う。

#### 3 - 2 実施方法

現在の各種歯形研削盤のノウハウ・知見を活用しながら、次のような内容を盛り込んで加工機を設計した。

- 1) 機械的な運動精度に加えて、運動追従性と高剛性及び再現性を必要とするため、非接触油静圧技術(図1)を採用した。これにより摺動面・軸受けの剛性を高め、その部分の摩擦を低減する等の効果が期待できる。
- 2) 次世代電着砥石ドレッシング機能を加工機に統合できる内容とした。そして同一の加工機で、多種の砥石に対応可能なツルージング機能等を搭載可能とした。

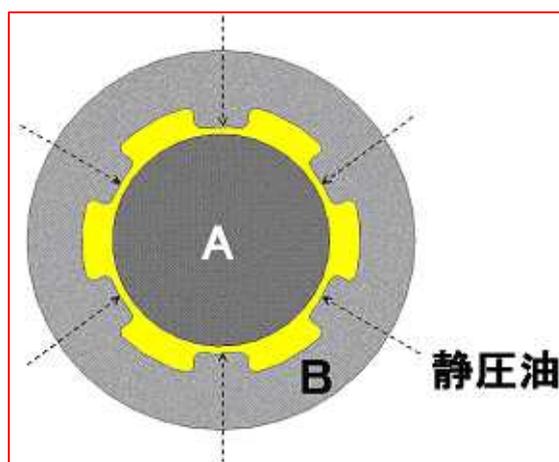


図1 非接触油静圧技術模式図

- 3) ドレッシング後における砥石形状計測機能を統合できる内容とした。

4) 三次元修正加工を実現するため、油静圧技術と微小位置決め技術及び加工ソフトの干渉計算技術を組み合わせることにより、微細な曲面の三次元加工を可能とした。微小な位置決めと、滑らかな補間機能を両立させた形状への対応を可能とする内容とした。従来工法では、「加工データの作成」「歯車加工」「精度測定」がそれぞれの工程で行われており、それぞれの分野で独自の技術開発が進んでいるために、トータルでの技術開発が行われていない。これらを有機的に結びつけることをねらいとした。

### 3 - 3 研究成果

歯車加工機（SUG-300）は、油静圧軸受けインデックス（歯車の割り出し用）、油静圧軸受け砥石軸等を盛り込み、加工ソフトは、後述の計測ソフトへの拡張性を持つタイプとしている。



## 第4章 非単純形状歯車の加工ソフトの開発

### 4 - 1 研究目的及び目標

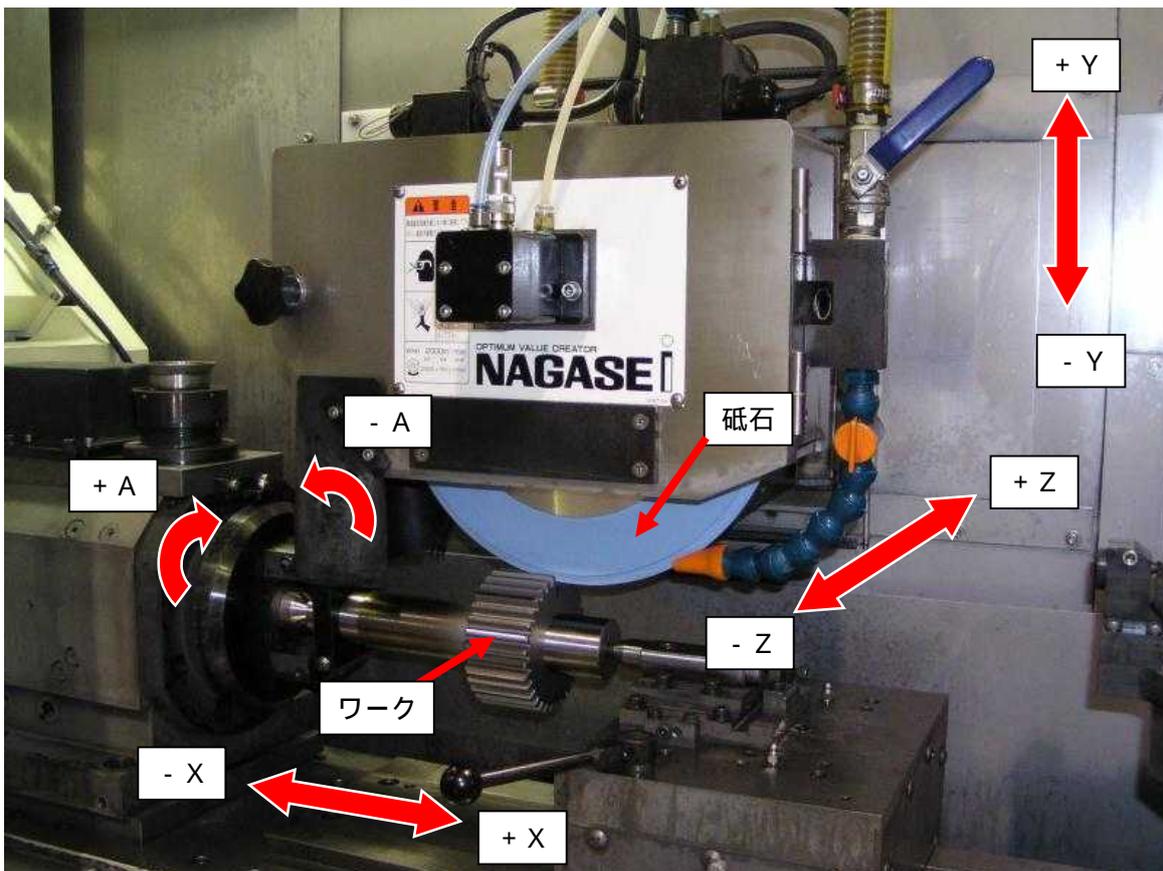
非単純形状歯車においてニーズが高いバイアス修正機能を開発した。伝達効率向上、消音化等を目的として、ヘリカルギアにおいて、歯筋をクラウニング形状にする場合があるが、この時歯形形状が入り口、中央、出口で圧力角が変化してしまう。これを圧力角が変化しないようにあるいは任意の圧力角になるように修正することをバイアス修正という。このために、3軸以上の同期運転で修正するための加工機能をソフトウェアに追加した。

【圧力角】・・・A歯車とB歯車の2つの歯車がかみ合った時に、A歯車がB歯車を押す時の力の働く方向、すなわち圧力のかかる方向の事を圧力角という。

### 4 - 2 実施内容

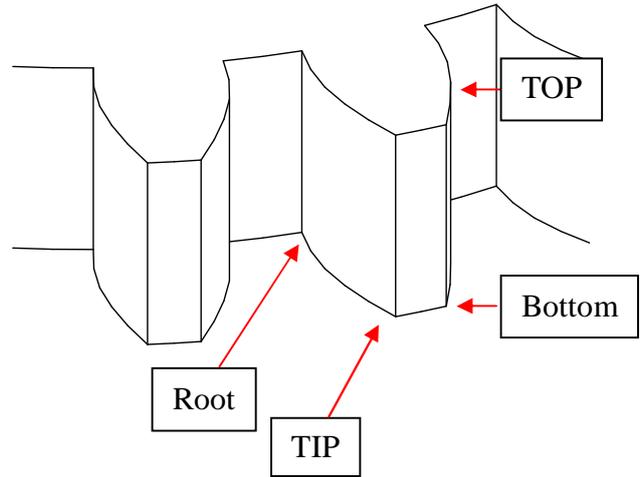
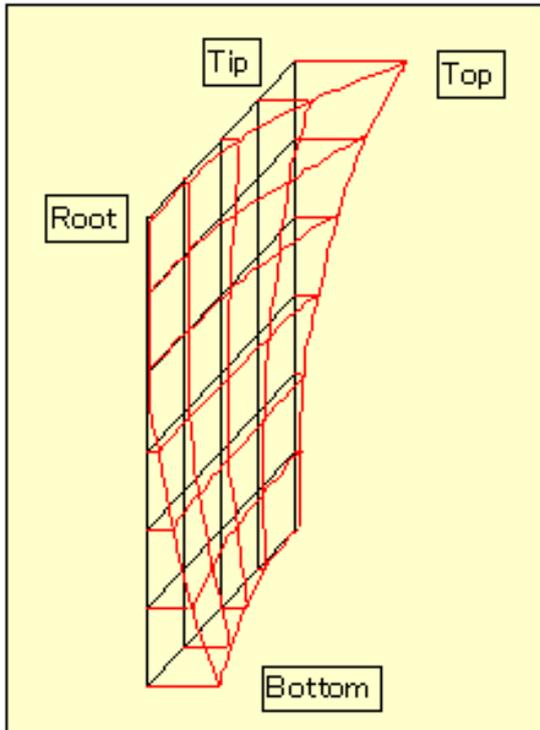
正規の諸元で加工したワークに対して、任意に設定した値のバイアス修正を行い、理論値通りの修正が出来るかを評価する。

バイアス修正を行う為に、左右軸（X）、上下軸（Y）、前後軸（Z）、割出軸（A）での4軸同期運転を行う。



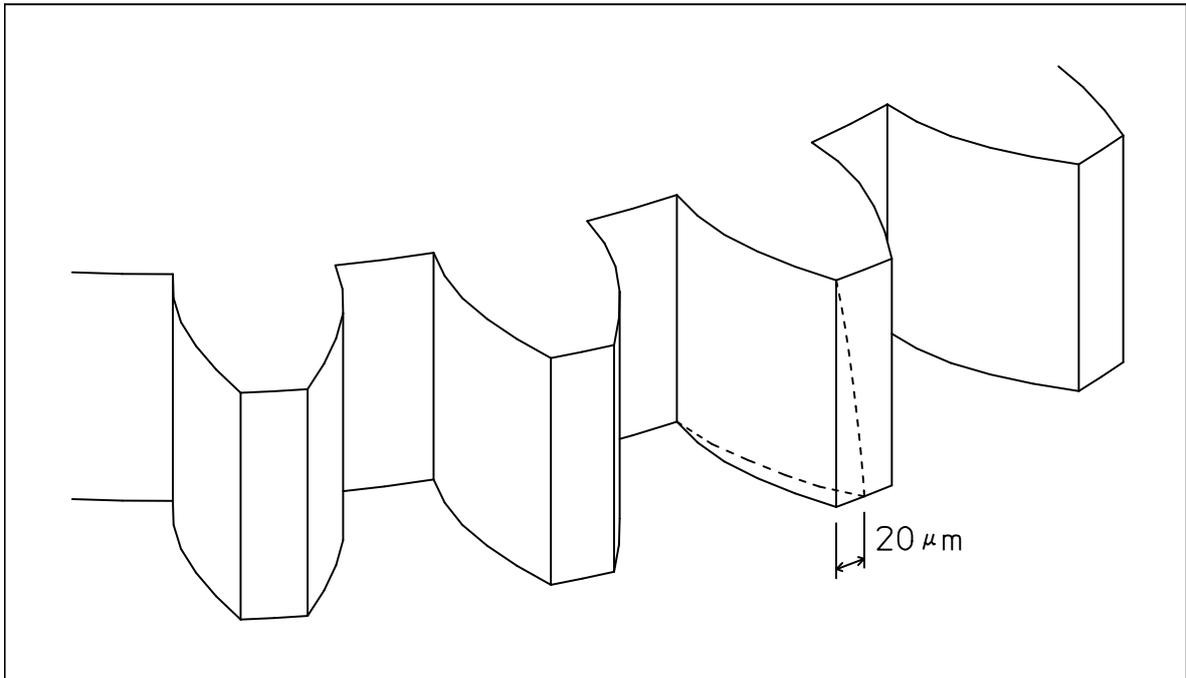
正規に加工した歯面に対して、バイアス修正を行う。

<バイアス修正後の歯面イメージ



Root・・・歯車の歯底側を表しています。  
Tip・・・歯車の歯先側を表しています。  
Top・・・計測装置に乗せた状態での上側  
Bottom・・・計測装置に乗せた状態での下側  
加工はTop側から開始します。

今回は、歯面に20 μmのバイアス修正を行い評価する。



任意のバイアス修正を行う為の加工機能をソフトウェアに追加する。

バイアス修正用の運動データを出力し、それをNCで動作させる為の加工プログラムに変換するソフトの開発を行う。

(歯車諸元)

mn=3mm,z=32, =20deg, =0deg, b=50mm ,インポリュート並歯  
(データの並び)  
X,Y,Z,A,B

上記諸元での  
座標データ設計

(右歯面用 加工座標データ)

Xデータ	Yデータ	Zデータ	Aデータ	Bデータ
2.700000	0.001009	-0.024862	0.027614	0.000000
2.700000	0.001005	-0.024796	0.027543	0.000000
2.700000	0.000963	-0.024020	0.026697	0.000000
2.700000	0.000906	-0.022896	0.025472	0.000000

座標データをNCプログラムに変換しNCメモリへ転送するソフトを製作



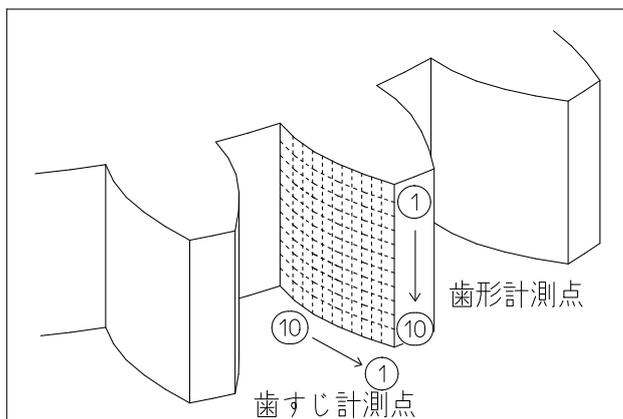
座標データより作成された  
NC プログラム



```
%  
O9910(BIASR-R.TXT)  
(BIAS ADJUSTMENT)  
G91G01X2.700000Y0.001009Z-0.024862A-0.027614F#9  
G91G01X2.700000Y0.001005Z-0.024796A-0.027543F#9  
G91G01X2.700000Y0.000963Z-0.024020A-0.026697F#9  
G91G01X2.700000Y0.000906Z-0.022896A-0.025472F#9
```

### 4 - 3 研究成果

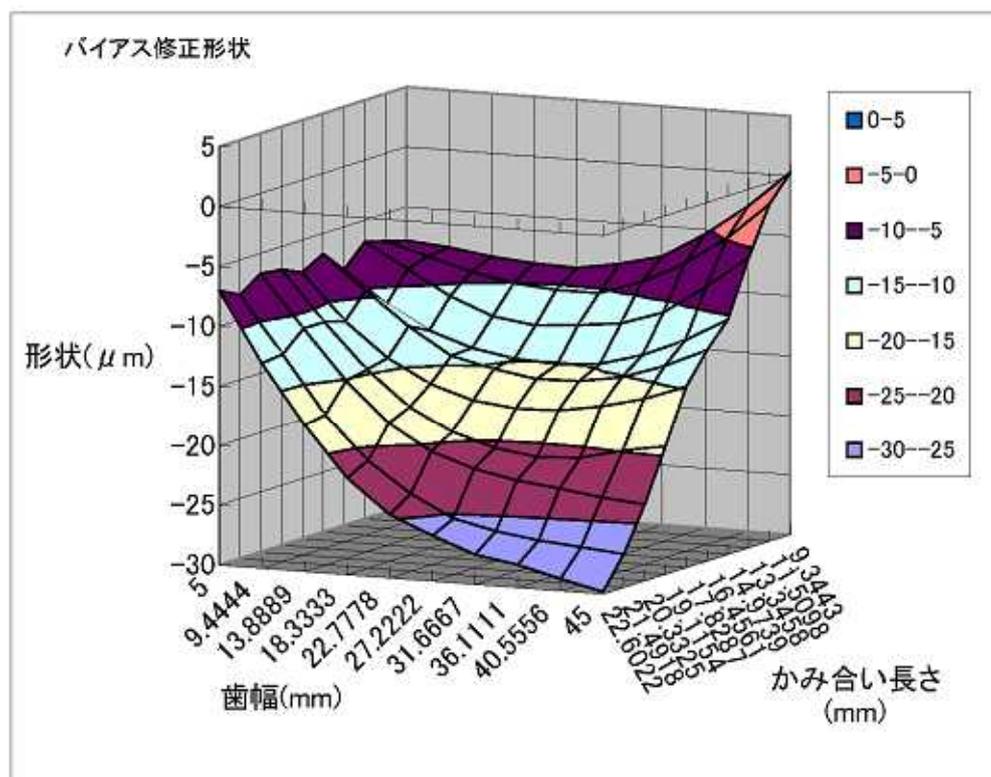
バイアス修整後、歯形、歯すじ共に1つの歯面に対して10分割して計測することで、微少な歯面の変化を確認することとする。



#### <バイアス修正後計測結果形状>

<バイアス修正形状>

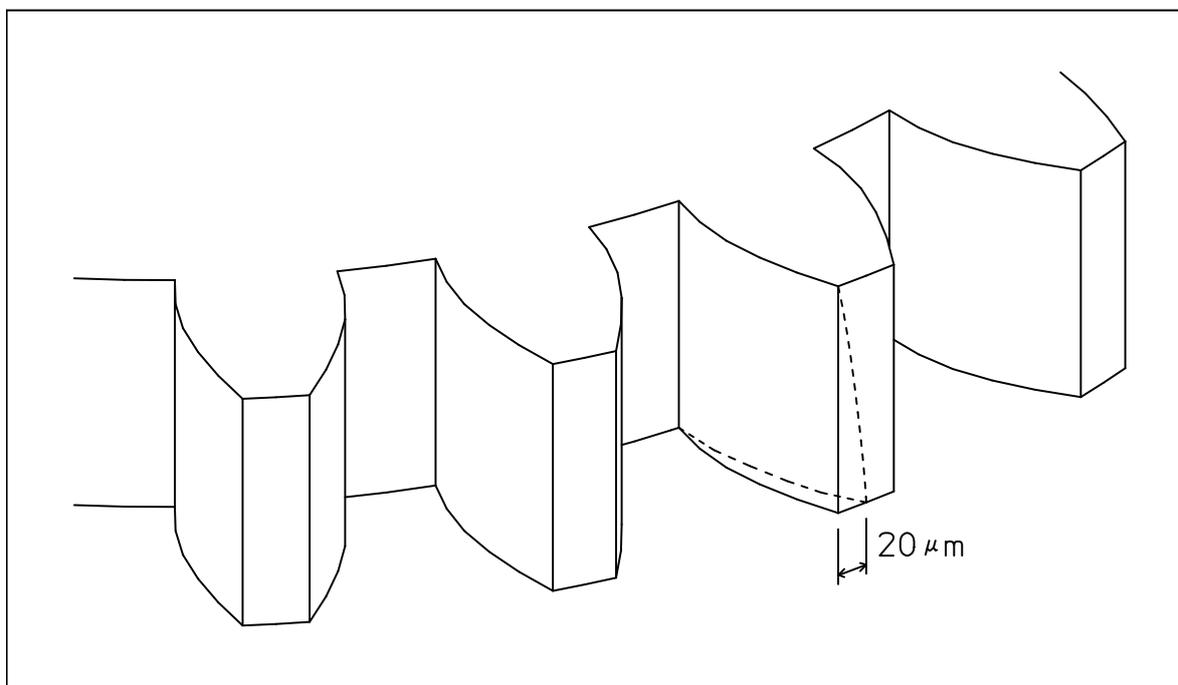
かみ合い長さ 歯幅位置	22.6022	21.4918	20.3325	19.1154	17.8287	16.4561	14.9739	13.3458	11.5098	9.3443
5	-7	-7.9	-6.7	-6.9	-7.7	-6.7	-8.6	-6.8	-7.3	-7.8
9.4444	-12.8	-12.6	-11	-11	-11.5	-9.5	-11.2	-8.8	-8.3	-8.1
13.8889	-17.7	-17.4	-15.1	-14.7	-14.3	-12.2	-13.1	-10.8	-9.3	-8.6
18.3333	-21.9	-21	-18.4	-17.6	-16.2	-14.4	-14.3	-12.2	-10	-8.9
22.7778	-24.7	-23.5	-20.5	-19.4	-17.3	-15.2	-14.9	-12.7	-10.3	-9
27.2222	-26.2	-25.3	-21.7	-20.5	-17.7	-15.8	-15.1	-12.4	-10.3	-8.4
31.6667	-27.5	-26.1	-22.4	-21	-17.6	-15.7	-14.8	-12	-9.1	-7.5
36.1111	-28.1	-26.6	-22.8	-20.8	-17	-15.1	-13.8	-10.8	-7.3	-5.4
40.5556	-29	-26.9	-23.3	-19.9	-16.1	-13.9	-12.3	-8.4	-4.9	-2.8
45	-29.8	-27.2	-23.6	-19.3	-14.8	-12.3	-10.3	-5.7	-1.8	0.3



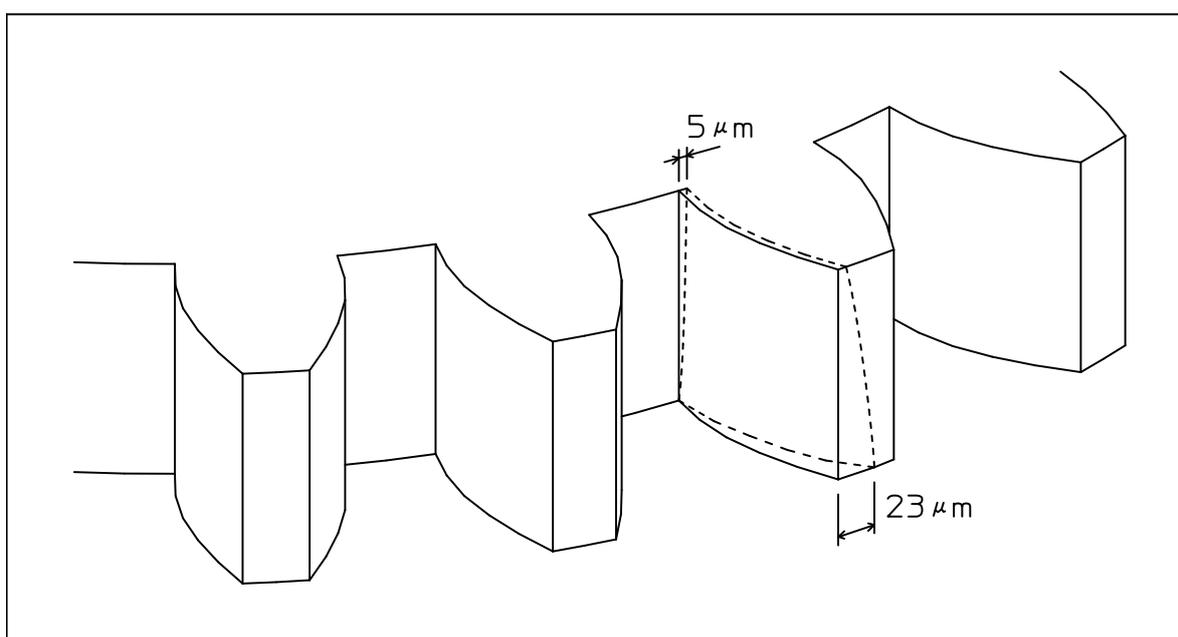
#### 4 - 4 評価

通常であれば、左右軸（X）、割出軸（A）、回転軸（B）の3軸同期運転でバイアス修正を行うのだが、回転軸（B）を使用せず、代わりに上下軸（Y）、前後軸（Z）を用いることで20  $\mu\text{m}$ 程度のバイアス修正を行うことが出来ることが確認出来た。

今回行ったバイアス修正の歯面イメージ。



実際のバイアス修正後の歯面イメージ。



## 第5章 機上補正システムの開発

### 5 - 1 研究目的及び目標

機上補正システムを開発し、既存のマスターギヤーによってその動作検証を行い計測・補正機能の向上を目指した。具体的には、歯車の加工・機上計測・補正加工を行い、補正パラメータ等の適正化を図った。このシステムを使用して、当初の目的の歯車精度のマスターギヤー完成を目指した。

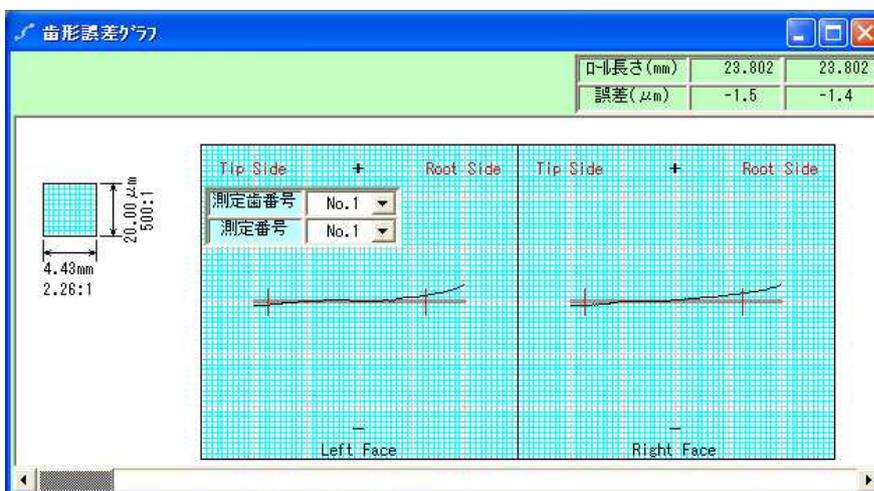
### 5 - 2 実施内容

機上補正システムの計測・補正機能の開発を行い、それを活用してマスターギアの高精度化を図った。

パラメータの最適化を行った機上補正システムで計測・補正を行い、当初の目的の歯車精度のマスターギヤ製作を行う。

## 機上補正システムでの歯形形状補正

### < 計測データ >



### < 修正データ >



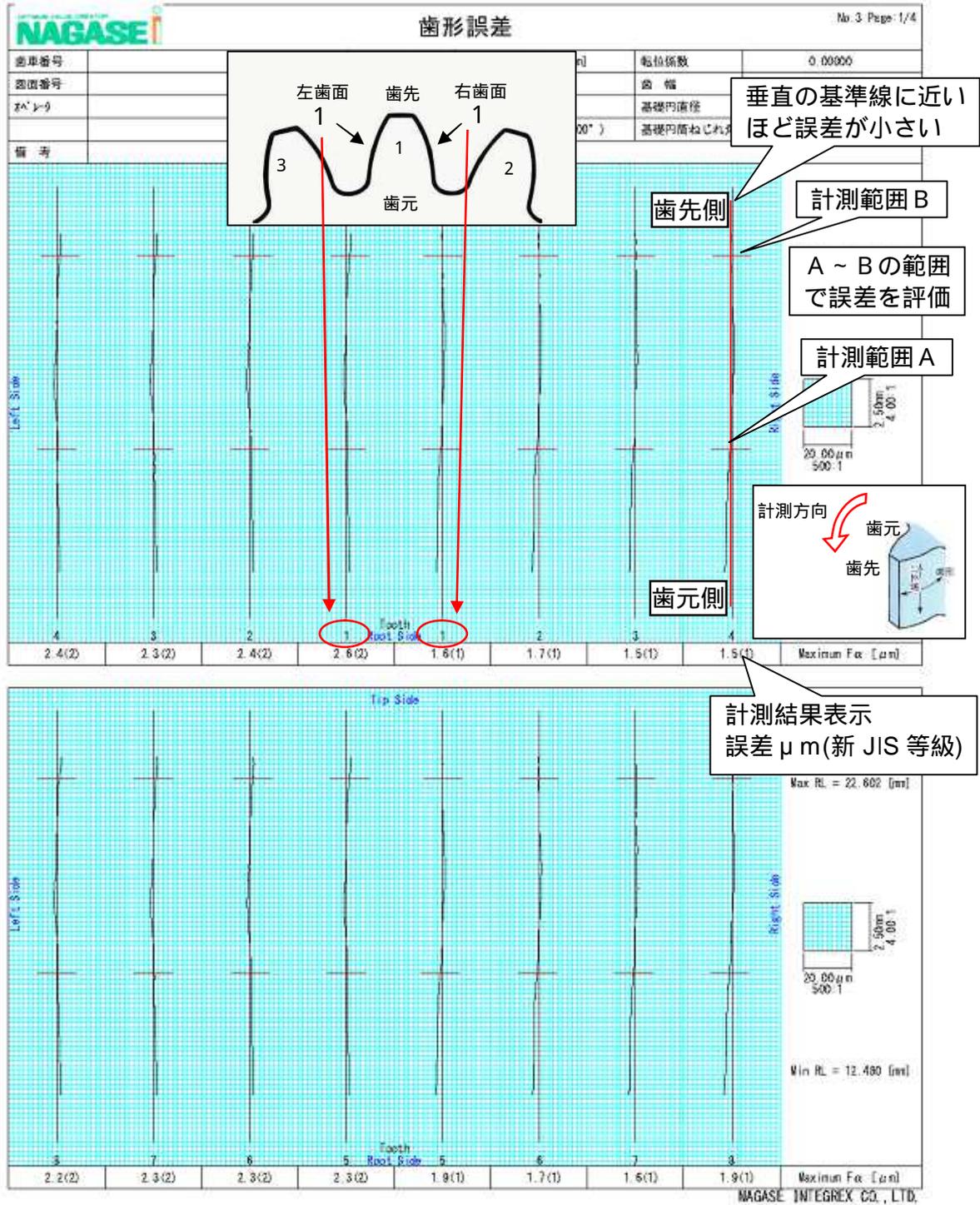
作用線長上での修整量を入力する  
標準は全歯の平均値で補正を行う

5 - 3 研究成果

機上補正システムでのマスターギヤ製作結果

< 歯形精度 1 ~ 8 歯 >

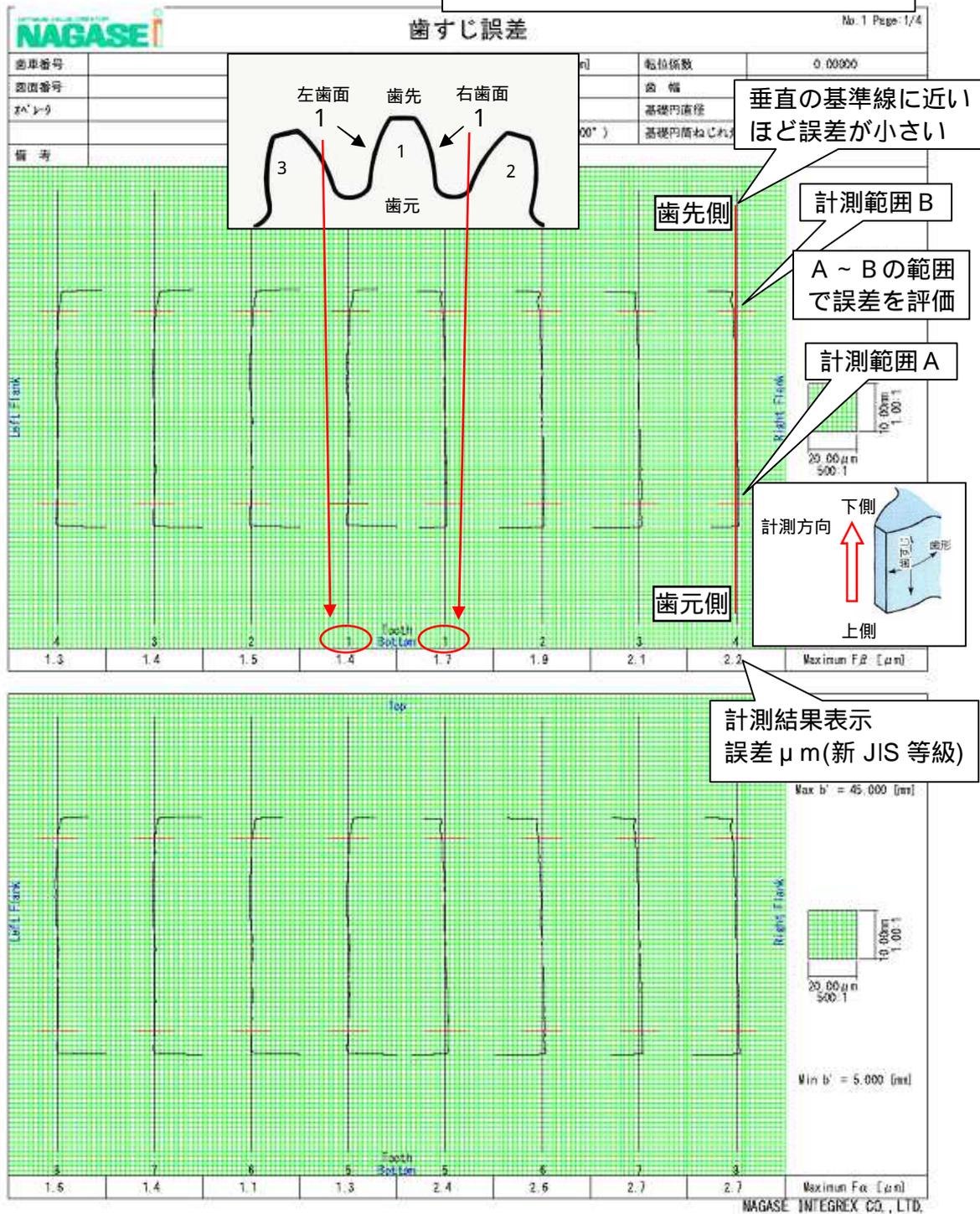
機上計測結果は1ページに8歯ずつ評価  
( 1 ~ 8 歯 / 32 歯 )



機上補正システムでのマスターギヤ製作結果

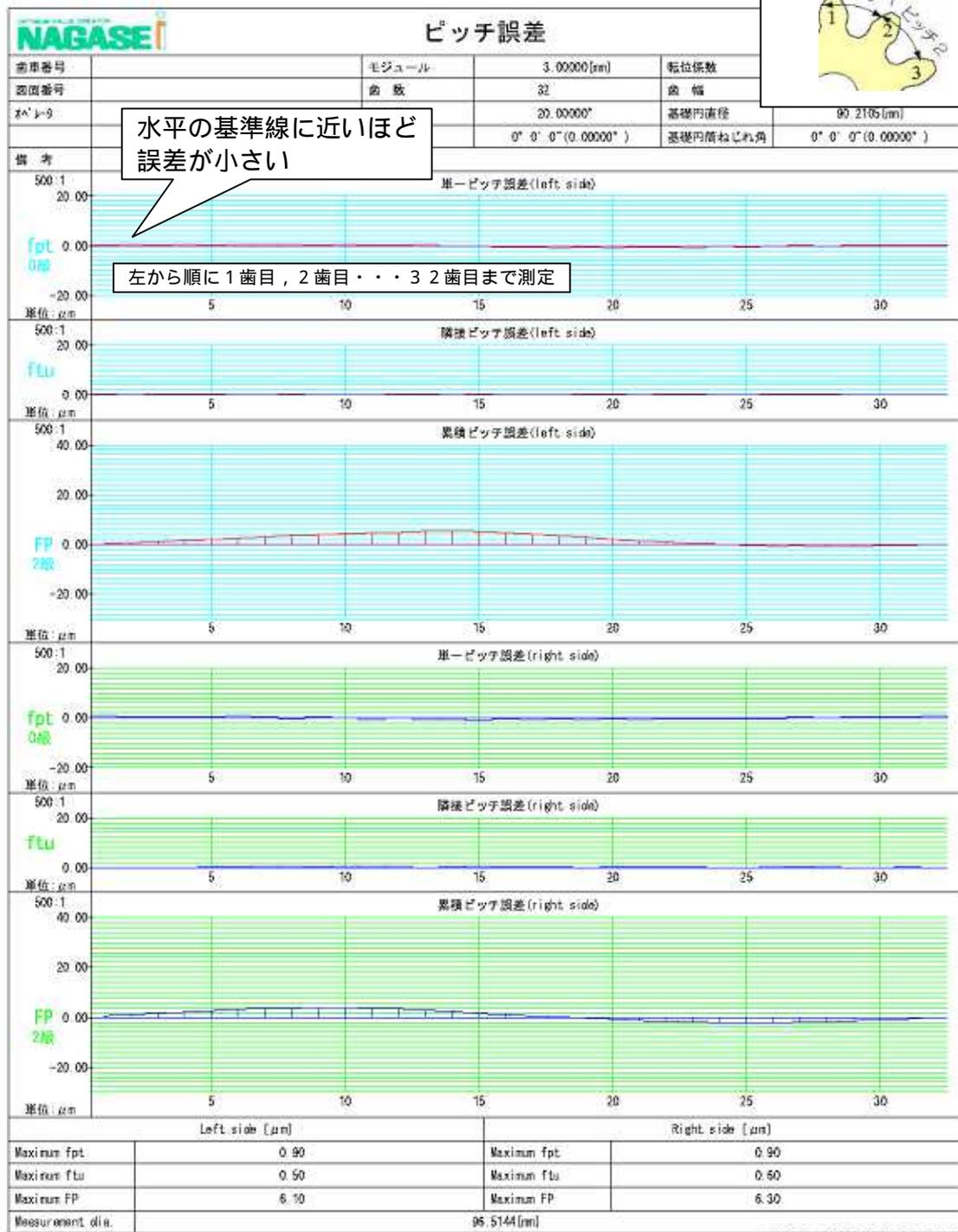
< 歯すじ精度 1 ~ 8 歯 >

機上計測結果は1ページに8歯ずつ評価  
(1 ~ 8 歯 / 32 歯)



機上補正システムでのマスターギヤ製作結果

<ピッチ精度(単一ピッチ,隣接ピッチ,累積ピッチ) 1~32歯>



水平の基準線に近いほど  
誤差が小さい

左から順に1歯目, 2歯目... 32歯目まで測定

## 第6章 高精度マスターによる高精度検査・トレーサビリティ保証法の確立

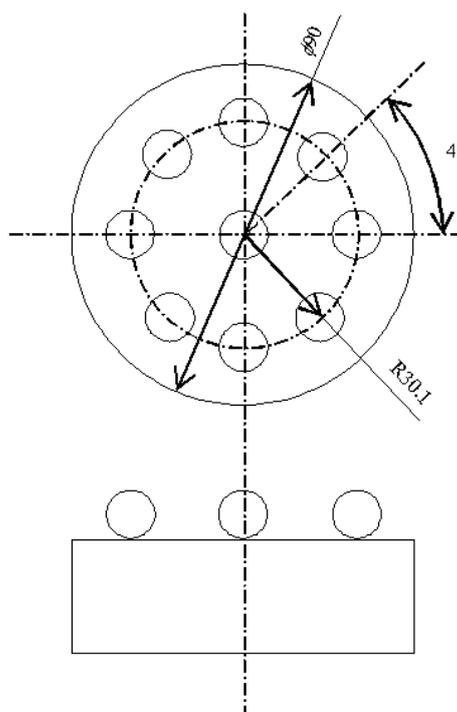
### 6 - 1 研究目的及び目標

研究実施者において考案した球等を用いたマスターによる機上補正システムの計測機能検査法の詳細検討を行い、続いて高精度マスターを製作し、その精度評価(校正)を行って、歯車加工機械に適用することで、開発した機上補正システムの計測機能検査法の有効性の実証を行った。

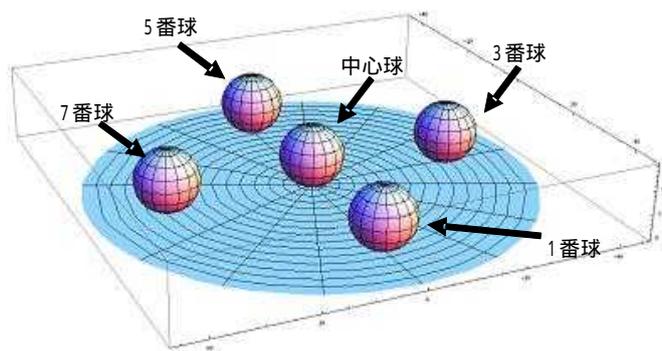
さらに、機上補正システムの計測結果と、歯車検査用ソフトウェアでの測定結果の比較をして、計測の信頼性の確認を行った。

### 6 - 2 実施内容

高精度マスターの寸法は使用時の歯車諸元に対応するように設計される必要がある。このため、まず、高精度マスターの設計を行った。基礎円直径60mmの歯車に対応する高精度マスターを設計した。作成した高精度マスターの概要を下記に示す。



高精度マスター概要図



高精度マスターの球の相対位置

各球は中心球を中心  
に45°おきに配置

### 6 - 3 研究成果

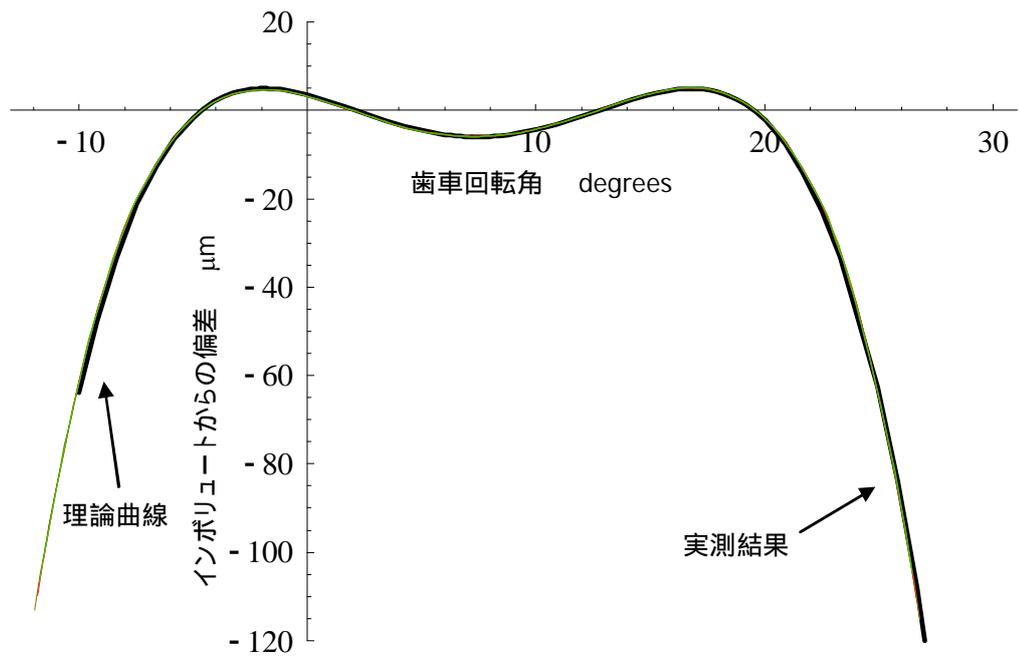
次に、岐阜ギヤ工業株式会社において高精度マスターによる歯車測定機性能評価実験を行った。測定に使用した歯車測定機の写真を下記に示す。この歯車測定機により、高精度マスターの3番球の側面を基礎円直径60mmのインポリュート左歯面と見なして歯形測定を行った。



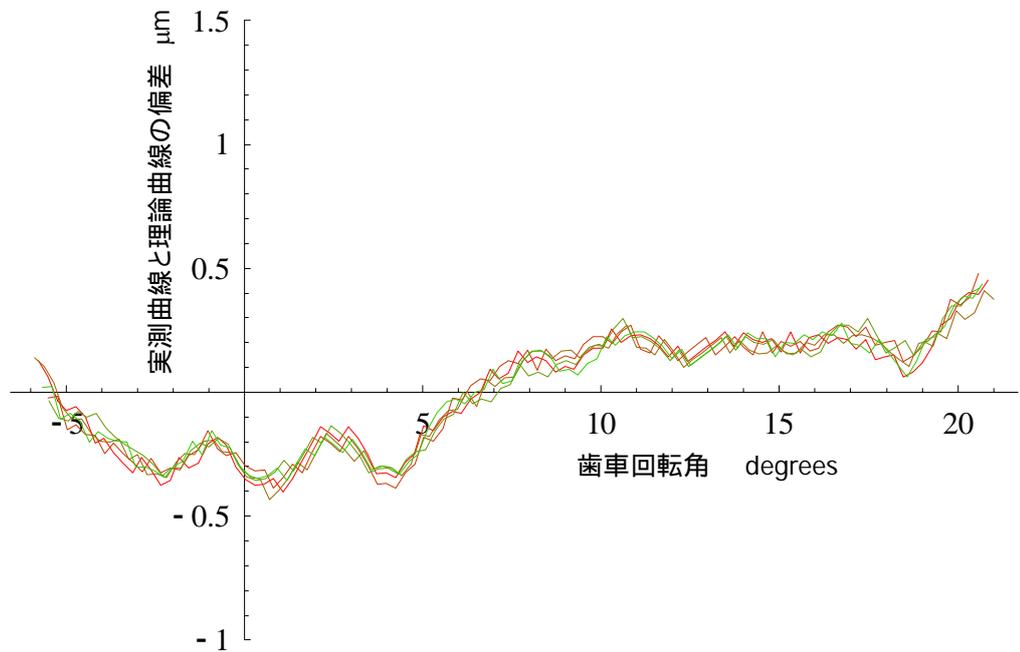
測定に使用した歯車測定機

歯車測定機性能評価実験での高精度マスターの歯形測定

測定に使用する 2 のルビー球プローブを歯車測定機に取り付ける。次に、高精度マスターの偏心傾き調整を行い歯形測定を行った。高精度マスターの3番球の側面を基礎円直径60mmのインポリュート左歯面と見なして歯形測定を行った。図Aの黒線は高精度マスターを、誤差のない歯車測定機で測定した場合の仮想的な測定結果を計算機上で算出した曲線(理論曲線)である。すなわち、理論曲線と測定結果の偏差が使用した歯車測定機の誤差を示唆することとなる。図Bは理論曲線と測定結果の偏差である。偏差は、評価範囲(歯車回転角-6度から21度の範囲)では概ね $\pm 1 \mu\text{m}$ 以内に収まっている。また、5回の測定結果はよく一致しており、測定の再現性が高いことが確認された。

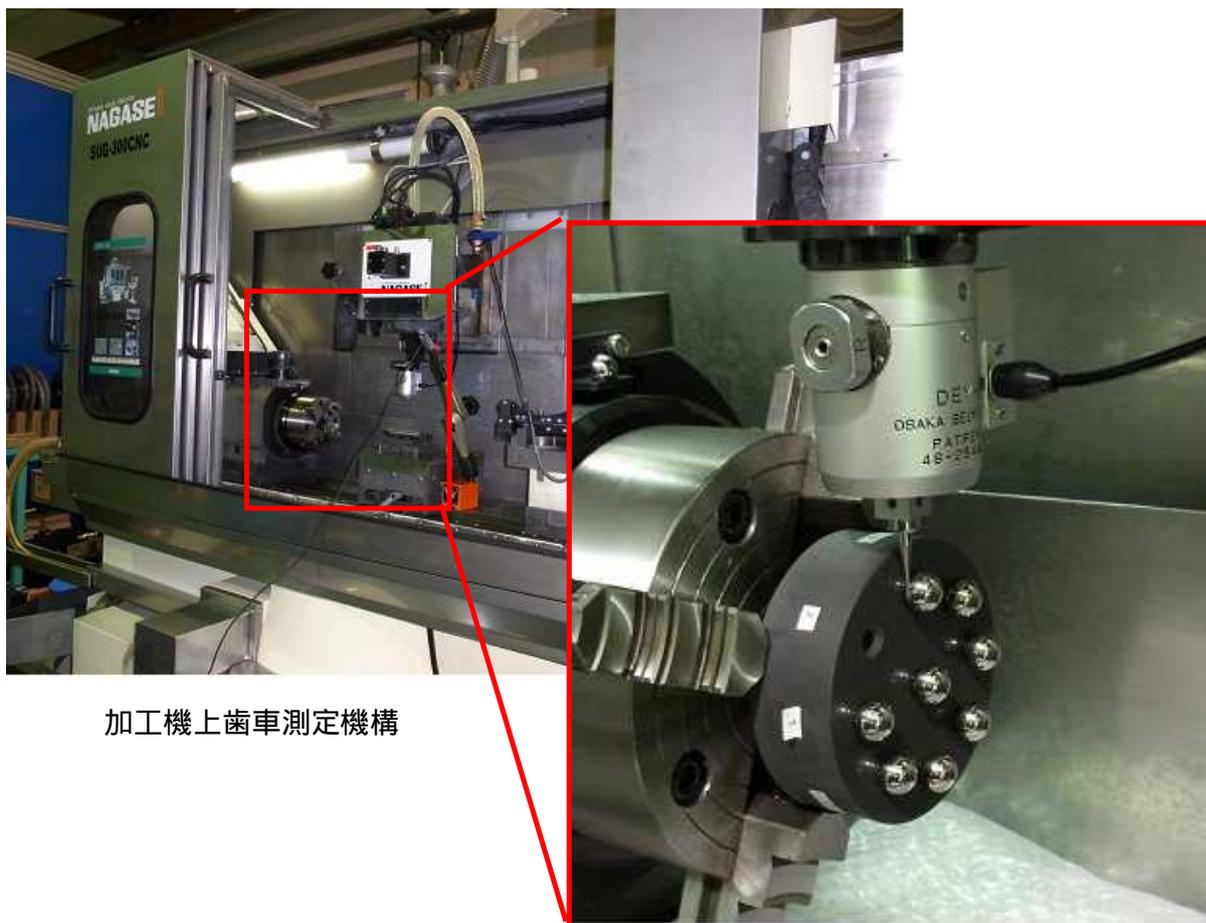


図A 歯車測定機性能評価実験での測定結果（実測曲線と理論曲線）



図B 歯車測定機性能評価実験での実測曲線と理論曲線の偏差

次に、本研究で開発した加工機上歯車測定機構による高精度マスターの測定を行う。



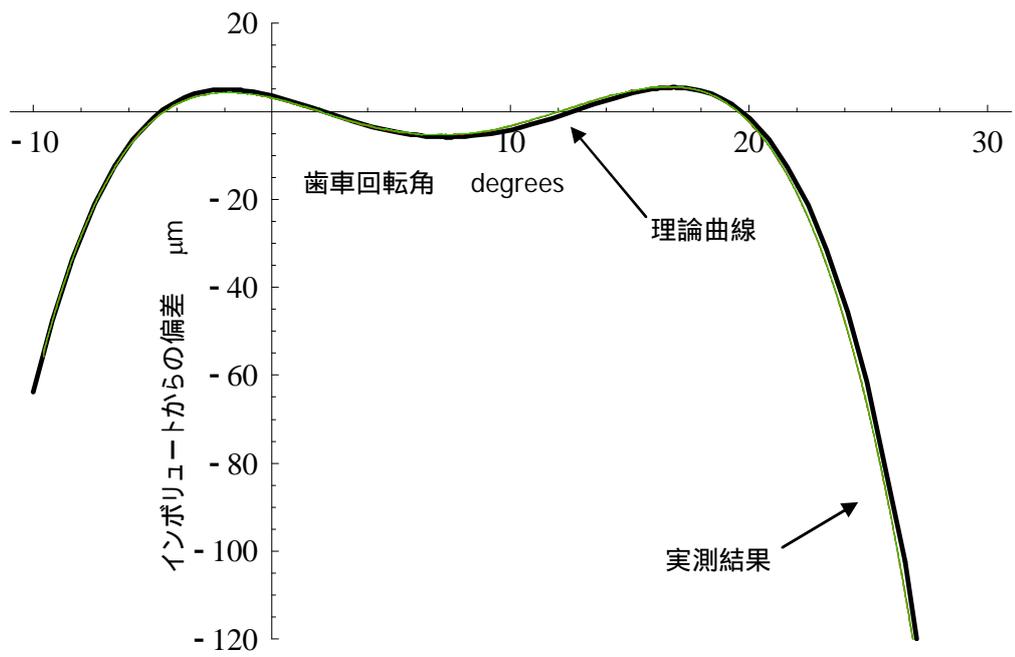
加工機上歯車測定機構

加工機上歯車測定機構での高精度マスターの歯形測定

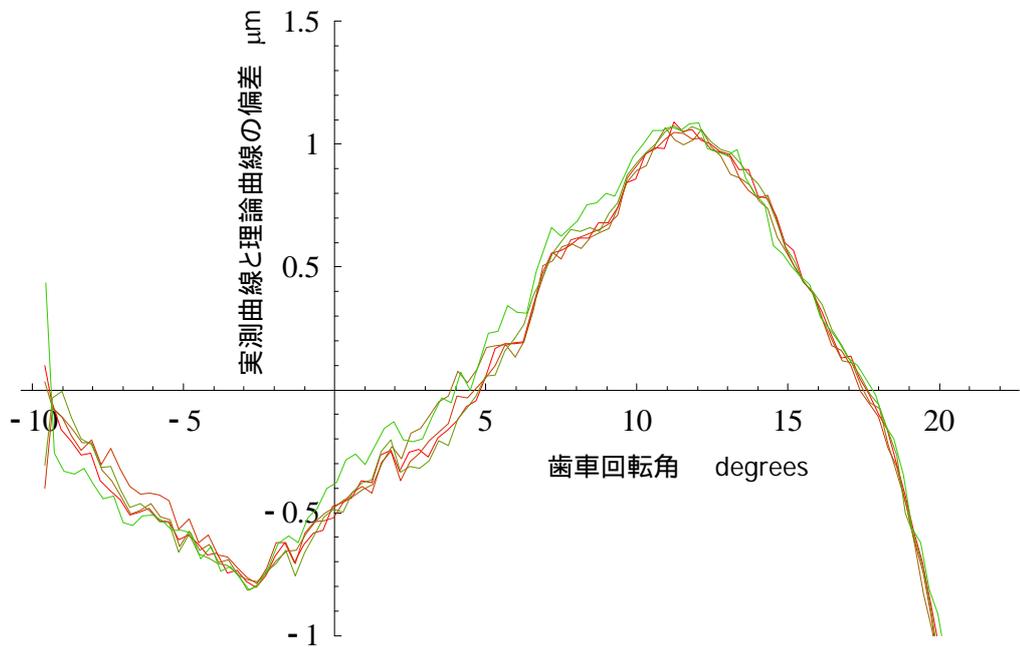
まず、測定に使用する 2 のルビー球プローブを歯車測定機構に取り付け、被測定物取付け用チャックに高精度マスターを取り付けた。

次に、岐阜ギヤ工業株式会社での測定と同様に、偏心傾き調整を行い歯形測定を行った。

高精度マスターの 3 番球の側面を基礎円直径 60 mm のインポリュート左歯面と見なして歯形測定を行った。歯形測定の様子を図 C に、5 回の歯形測定を行った結果を図 D に示す。図 D は理論曲線と測定結果の偏差である。偏差は、概ね  $-1.0 \mu\text{m}$  から  $1.3 \mu\text{m}$  以内に収まっており、理論曲線と実測結果がよく一致していることが分かる。また、5 回の測定結果はほぼ一致しており、測定の再現性が高いことが確認された。



図C 加工機上歯車測定機構での実測曲線と理論曲線



図D 加工機上歯車測定機構での実測曲線と理論曲線の偏差

## 第7章 全体総括

自動車産業分野等において、近年、NVH（騒音、振動、乗り心地）が顕在化し、更なる快適性の追求等から、動力伝達装置の伝達効率向上・騒音低減へのニーズが高まってきたことから、歯車伝達の効率化及び耐久性の向上並びに歯車の高精度化・高機能化が求められている。

本研究開発では、高精度の歯車を加工する上で必須となるマスターギヤーの製造のため当該マスターギヤー製造用の加工機に係る研究開発を行った。

マスターギヤーを一般歯車の測定精度の基準として、また、測定器の検証として使用するには、一般歯車の形状精度に比して1～2ランク上の高精度形状が求められる。そのため、本研究開発では機上計測機能を組み込むことにより、再現性に優れた機械特性の限界までのワーク加工精度を狙えるようにし、具体的には新 JIS 1 級相当の歯車加工を可能とする加工機械の開発を行い、目標を達成できた。

2 つめは、「歯車・砥石形状計測機能への対応」である。加工ワークと研削砥石の取り付け取り外しに伴い発生する誤差を解決するため、機上での計測及び補正加工技術の研究開発を行い、加工後の計測と補正をワークを取り外さず行うことが出来るようになった。

3 つめは高精度マスターギヤーによるトレーサビリティ保証法を確立した。この結果機上計測の信頼性を確認し、2  $\mu\text{m}$  程度の信頼性が有ることが判明した。また高精度マスターギヤーによるトレーサビリティを確認するため、高精度マスターギヤーに対応した歯車測定器用ソフトを歯車測定器に搭載し  $\pm 0.5 \mu\text{m}$  程度の信頼性を確認した。

4 つめは、3次元形状の歯車形状の加工の可能性を求めるため、バイアス修正加工を行い、歯形形状、歯すじを制御できることを確認した。

今後の事業展開としては、1) 計測機能付き高精度歯車加工機の製造販売、2) 3次元形状歯車作成ソフトの販売、3) 高精度マスターによる歯車精度のトレーサビリティ保証システムの販売の3パターンが考えられる。

- 1) については開発実証テストまで完成しているため、今後1～2年の間に、システム販売にこぎつけたい。(販売用の実務設計・製作が必要)

- 2) については、実業界での実際のワークに適用し、NVHの効果を検証した後（1～2年間）方針を決定する予定である。この検証には本研究のアドバイザー等との協力をお願いする予定である。
- 3) については一般的な歯車のトレーサビリティ保証というにはさらなる検証が必要なのと、国家規格（JIS等）との関係も明確にする必要があり、産官学の連携をしないと本格的な活用には無理があると思われる。世の動向を見据えながら、長い目で事業化の可能性を探っていきたいと思う。