

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「歯車等の接触・非接触ハイブリッド形状測定システムの研究開発」

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 株式会社スペースクリエーション

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

(1) 研究開発の背景

自動車の開発・製造現場においては、動力伝達装置の高速回転化・小型軽量化が進められ耐久性向上の要求が高まる一方、低燃費化のためフリクションロスの低減や、乗り心地や快適性追及のため、静粛性や振動低減が求められている。

歯車やスプライン部品については、それらの実現のため、素材や熱処理・歯車加工技術の改善が図られる一方、それら改善成果を確実に検証して、安定して製造工程に織り込むため、短時間で高精度に、かつ安価に形状測定する技術の実現が待ち望まれている。また、外国人労働者の増加や2007年問題に代表される熟練技能者の減少により、作業者の違いによるバラツキをなくすことも、併せて高品質安定製造のための重要課題となっている。

特に歯車（スプライン）の歯面計測は、軸外径や穴内径・溝幅計測とは異なり、複雑な三次元幾何形状の計測が中心となるため、従来は高度熟練技能者による手動計測や高価で煩雑な操作性を有する外国製の接触式専用測定装置によるオフライン抜取り計測が中心となり、この部分の自動化やインライン計測が待ち望まれている。

加えて、製造工程管理や品質管理などの標準化や計測結果の川下顧客へのディスクロージャの観点から、記録保管の重要性が叫ばれており、IT技術を活用した計測データの蓄積と統計的手法による分析が強く要求されている。

(2) 研究目的

そこで、本研究開発は、戦略的基板技術高度化支援事業において、(六) 動力伝達に係る技術のうち、主に自動車に関し、キ. 歯車等の形状精度の測定技術の向上に寄与する目的で、接触・非接触ハイブリッド構成の歯車形状測定システムの実用化を目指すものであって、広測定範囲・高速・高精度・安定計測を実現し、かつ統計分析を備え、耐環境性に優れるインライン向けの低価格システム構成を特徴とする。

具体的には、歯車（スプライン）の寸法諸元計測において、作業者の技量に依存せず、簡単に精度よく高速安価に歯車計測すべく、CADデータと連動して、また光計測技術を応用して、接触式と非接触式の長所を組み合わせ、ミクロンオーダーで歯面全面をスキャン可能な歯厚・歯みぞフレ・歯形・歯筋・傷・打痕などを計測するハイブリッド計測システムの開発を目指す。

本年度は、歯車形状計測システムの基礎理論（計算方式）構築と、構成する個々のユニットについて個別施策開発をおこない、精度・分解能・計測スピードなどを満足すべく要素技術を確立させた。手順としては、基本構想・計画・設計・部品試作・組付け・調整・試運転・精度確認・データ取りの順に進めていった。

(3) 目標

① 研究開発の高度化目標

オ. 測定技術又は品質管理技術の向上

歯車等の計測において、下記の目標を実現し、測定技術の向上に寄与する。

- ・ **広い測定範囲**：最小限の段取り替えにおいて、自動車業界にて動力伝達部品として一般的に使用されている歯車等の寸法範囲を網羅する測定範囲を有すること。
- ・ **高速計測**：インライン計測を意識して、対象加工物 1 個当たりの計測時間を製造ラインの製造タクトに合わせること。
- ・ **高精度計測**：自動車業界にて動力伝達部品として一般的に使用されている歯車等級の精度を計測できること。
- ・ **安定計測**：自動計測にて作業者の計測誤差を排除できること。
- ・ **低価格**：計測ユニットとしてはインライン計測に抵抗なく使えるレベルとし、全自動計測装置として従来品の半額以下。
- ・ **その他**：インラインでの仕様を前提として、耐環境性に優れること。

さらに、品質管理に貢献できるよう自動統計分析が可能なこと。

② サブテーマ毎の技術的な目標

- 【1】基礎計測理論の確立（歯車に関する CAD 理論確立と計測アーキテクチャの構築）
- 【2】計測センサの開発（実用化に移行可能な具体的センサの完成）
 - 【2-1】接触式歯厚計測センサ
 - 【2-2】非接触式歯形・歯筋計測センサ
- 【3】計測モジュールの開発（センサと駆動機構の組合せによりモジュールの完成）
 - 【3-1】歯車基本諸元計測モジュール
 - 【3-2】歯車歯形・歯筋 3D 計測モジュール
- 【4】自動計測装置の開発（歯車製造および川下メーカーにて実用可能な装置の完成）
- 【5】自動計測システムの開発（製造ラインにて成果をだせるシステム完成）
 - 【5-1】2D 図形入力技術
 - 【5-2】自動計測制御プログラミング技術
 - 【5-3】3D 可視化技術
- 【6】自動計測システムの実地検証（ユーザによる評価と試作品の改良）
 - 【6-1】標準歯車ゲージによる精度検証および操作性確認とその結果フィードバック
 - 【6-2】川下メーカーによる精度検証および操作性確認とその結果フィードバック

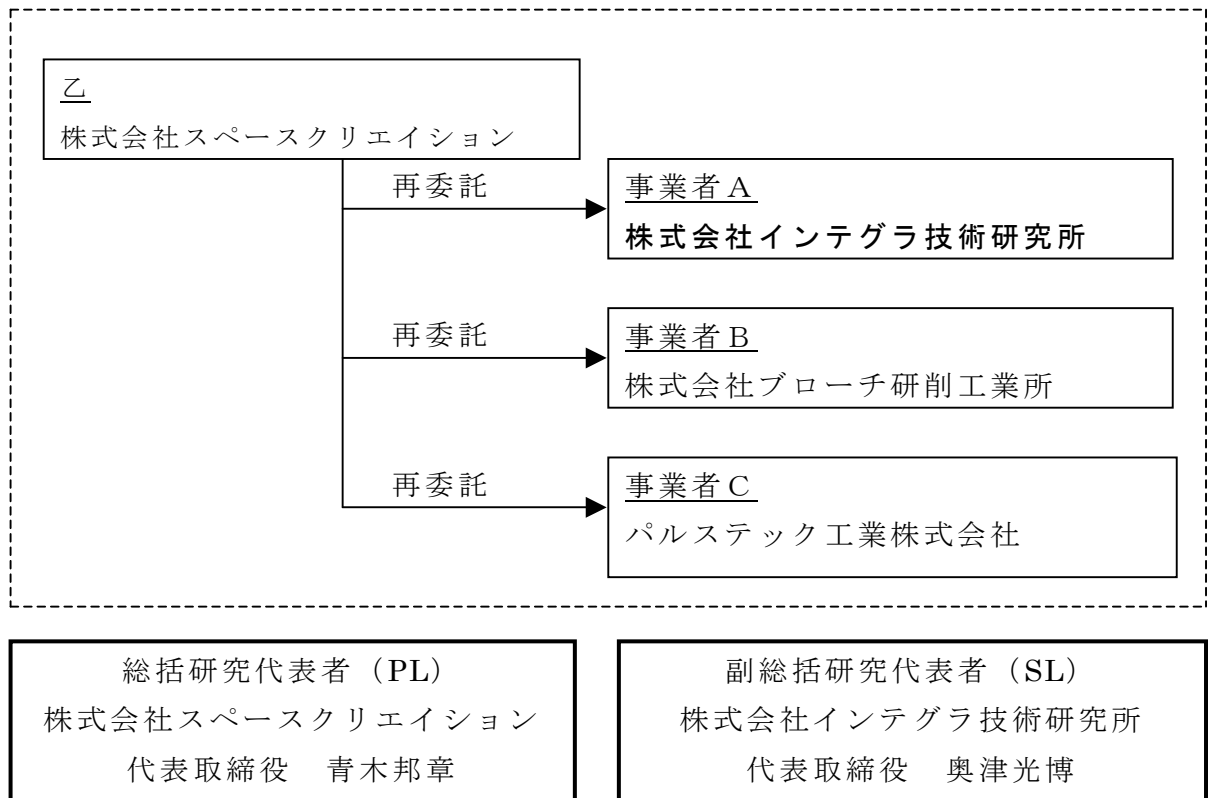
③ 研究開発の技術的目標値

(システム目標)

目的	項目	目標値	参考	対応サブ テーマ
①高精度	分解能	0.1 μm	最小実行目盛	【1】
	繰返し精度	1 μm	オーバピン径計測	【2】
②広測定範囲	対象計測物長さ	10～600mm	シャフト全長	【1】
	対象計測物外径	10～200mm	ギヤ外径	【2】
	計測箇所	16箇所以下	計測ギヤ・シャフト	【3】
③高速計測	1箇所計測時間	3sec以下	オーバピン径計測	【3】
	1部品計測時間	40sec以下	シャフト1本計測	【4】
④安価	ユニット価格	60万円以下	オーバピン径計測	【3】
	システム価格	1500万円以下	フルスペック計測	【4】
⑤耐環境性 良好	切削液付着状況	簡易エアブロー後	通常工場レベル	【3】
	装置設置温度	10～50℃	室内常温レベル	【4】
	装置設置雰囲気	湿度20～85%	結露ないレベル	
⑥インライン 適合	ローダ・アンローダ チャック・センタ	簡単装着可 標準装備		【4】
⑦データ分析	データ記録	記録と検索性向上	PCによる一元管理	【5】
	統計的分析	自動統計分析	平均値・標準偏差等	【6】

1-2 研究体制

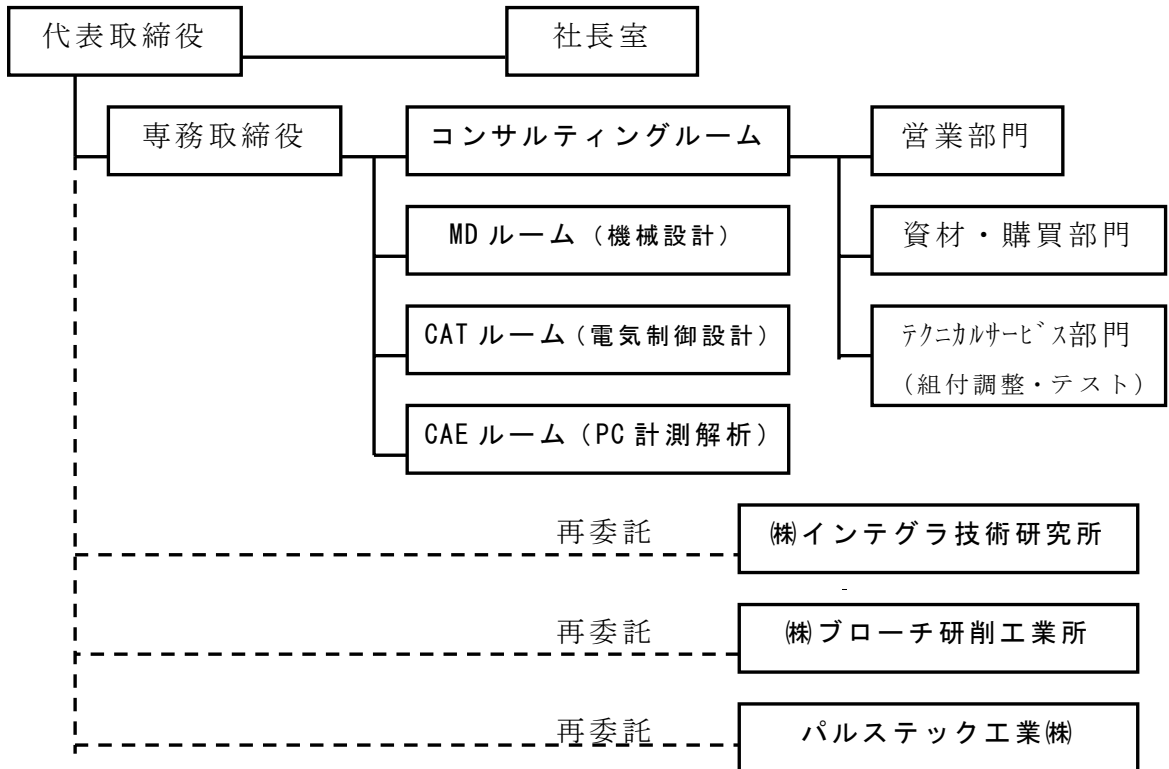
(1) 研究組織



(2) 管理体制

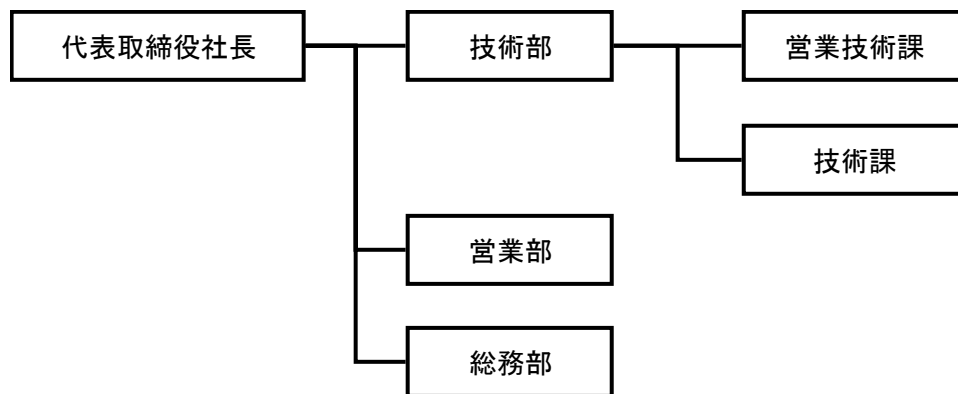
①事業管理者

[株式会社スペースクリエーション]

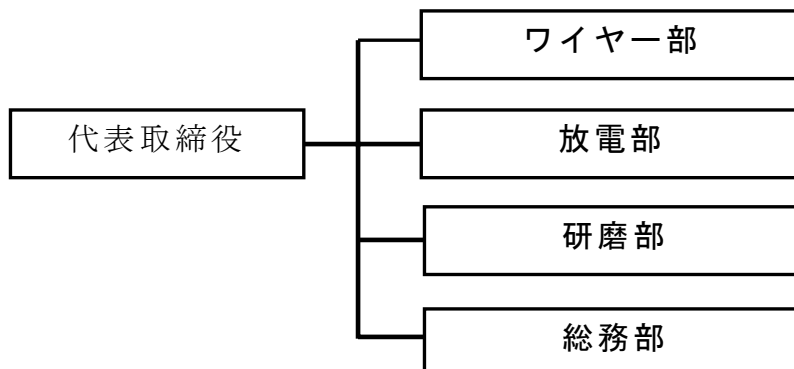


②(再委託先)

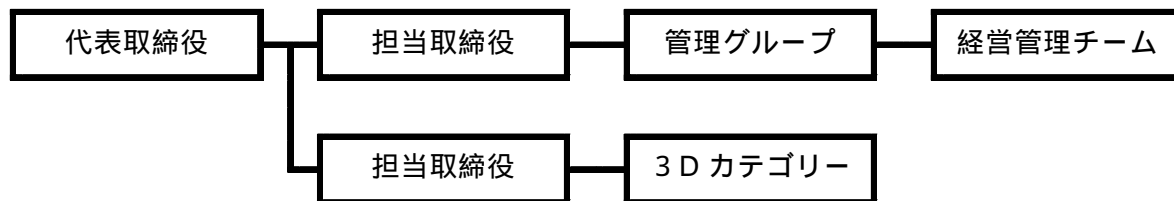
[株式会社インテグラ技術研究所]



[株式会社ブローチ研削工業所]



[パルステック工業株式会社]



(3) 研究者氏名

【事業管理者】

氏名	所属・役職
青木 邦章	代表取締役
首藤 淳	MDルーム テクニカルマネージャ
伊藤 喜章	MDルーム シニアエンジニア
黒田 清継	テクニカルサービスルーム テクニカルマネージャ
逢坂 悟	テクニカルサービスルーム プライマリエンジニア
向井 進	テクニカルサービスルーム プライマリエンジニア
近藤 彰	テクニカルサービスルーム シニアエンジニア
杉山 和紀	CATルーム テクニカルマネージャ
相曾 慎一	CAEルーム テクニカルマネージャ
太田 徳幸	CAEルーム シニアエンジニア
大杉 寛一	CAEルーム シニアエンジニア

【再委託先】

株式会社インテグラ技術研究所

氏名	所属・役職
奥津 光博	代表取締役社長
横山 昌弘	取締役 技術部 部長
山下 真人	技術部 営業技術課 課長
山田 尚史	技術部 技術課 課長
佐々木 康夫	技術部 技師
高田 洋司	技術部 技術課
古橋 佳未	技術部 技術課

株式会社ブローチ研削工業所

氏名	所属・役職
夏目 恭利	ワイヤー部 主任
井出 善久	ワイヤー部 副主任
村松 雅則	研磨部 主任

パルステック工業株式会社

氏名	所属・役職
高井 利久	3Dカテゴリー カテゴリーオーナー
寺田 久晃	3Dカテゴリー チームリーダー
村越 素和	3Dカテゴリー チーフ
下位 直弘	3Dカテゴリー チーフ
杉山 智彦	3Dカテゴリー 主任
野末 大作	3Dカテゴリー 担当
渡瀬 陽介	3Dカテゴリー 担当
西尾 拓朗	3Dカテゴリー 担当
金原 昌秋	3Dカテゴリー 主任

(4) 協力者

国立大学法人 東京大学

工学系研究科 精密機械工学専攻 高増潔 教授

国立沼津工業高等専門学校

制御情報工学科 藤尾三紀雄 教授

1-3 成果概要

(1) ハイブリッド形状計測システムの精度検証

- ・ 前年度試作開発した形状計測システムの精度・計測スピードを検証
- ・ トータル精度向上のため、メカ機構の精度出し検証を実施。
 - ① 円柱測定：センサ繰返し精度 $2\ \mu\text{m}$
 - ② マスタ歯車測定：センサ繰返し精度 $2\ \mu\text{m}$ 、歯先部繰返し精度 $1\ \mu\text{m}$
 - ③ メカ含む総合精度： $50\ \mu\text{m}$ と悪い。(センサ要因・メカ要因の両者による)

(2) 計測システムの改良・精度向上

- ・ 要求目標に達していない部分については、改良を施し、再評価をおこなう。
- ・ コラムを鋳物製に変更、エンコーダ廻りの構造変更、補正マップソフト搭載
 - ① 光学系機構改良 (レンズ・フィルタ)
 - ② メカ機構改良 (モータ・送りネジ・リニアガイド)
 - ③ 電子基板改良 (ノイズ低減・分解能向上)
 - ④ 解析ソフト改良 (ソフトによるノイズ処理)
 - ⑤ 駆動装置全体でのマッチング (振動低減)

(3) 計測システムのグループ内実地検証

- ・ 改良を施した計測システムを実地検証評価する。
- ・ 手動計測器具・既存接触式歯車計測装置とのベンチマーキング比較評価。
- ・ 全体的に操作性のよい装置に仕上がったが、現状では精度的に不満足。

(4) 計測システムの川下メーカーによる実地検証

- ・ 輸送機器メーカー (研究部ギヤ研究グループ) による実地検証評価。
- ・ 自動車部品メーカーによる実地検証評価。

(5) 研究総括・報告書まとめ

- ・ 研究成果報告 (計測データ) まとめ。
- ・ ハイブリッド形状計測システムの最終仕様まとめ。
- ・ 知財等の検討と出願準備。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

管理法人

株式会社スペースクリエイション 本社 (最寄り駅: JR 東海道線高塚駅)

〒432-8062 静岡県浜松市南区増楽町1341番地の1

TEL 053-447-2755 FAX 053-447-2833

第 2 章 ハイブリッド形状計測システムの精度検証

2-1 接触式センサの精度検証

A. 光スケール式 OP/BP 計測センサ

25 歯スプライン（モジュール 1）のワークを
5 歯毎（72° 毎）に繰返精度測定を行った。
測定順は①→②→③→④→⑤→①→・・・とし、
計 10 周測定して繰返性の評価を行っている。

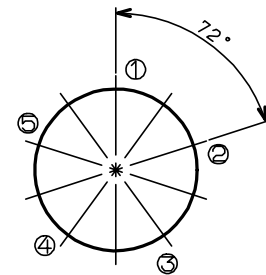


表. 2-1

単位：

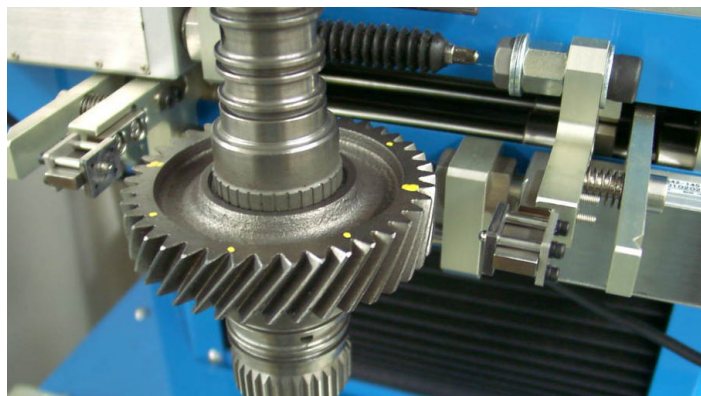
測定データ

μm

位置	①		②		③		④		⑤		
	No.	測定値	Ave 基準	測定値	Ave 基準	測定値	Ave 基準	測定値	Ave 基準	測定値	Ave 基準
1		-35287	-0.4	-35291	0.5	-35292	0.6	-35287	0.2	-35291	-0.8
2		-35286	0.6	-35292	-0.5	-35292	0.6	-35288	-0.8	-35290	0.2
3		-35288	-1.4	-35291	0.5	-35293	-0.4	-35287	0.2	-35290	0.2
4		-35286	0.6	-35291	0.5	-35293	-0.4	-35287	0.2	-35291	-0.8
5		-35286	0.6	-35292	-0.5	-35293	-0.4	-35288	-0.8	-35290	0.2
6		-35286	0.6	-35292	-0.5	-35293	-0.4	-35287	0.2	-35290	0.2
7		-35286	0.6	-35291	0.5	-35293	-0.4	-35286	1.2	-35289	1.2
8		-35287	-0.4	-35291	0.5	-35292	0.6	-35287	0.2	-35290	0.2
9		-35287	-0.4	-35292	-0.5	-35293	-0.4	-35288	-0.8	-35291	-0.8
10		-35287	-0.4	-35292	-0.5	-35292	0.6	-35287	0.2	-35290	0.2
Max		-35286	0.6	-35291	0.5	-35292	0.6	-35286	1.2	-35289	1.2
Min		-35288	-1.4	-35292	-0.5	-35293	-0.4	-35288	-0.8	-35291	-0.8
Ave		-35287	0.0	-35292	0.0	-35293	0.0	-35287	0.0	-35290	0.0
3 σ		2.1	2.1	1.6	1.6	1.5	1.5	1.9	1.9	1.9	1.9

結果：3 σ 値にて 2 μm 程度と良好な結果が得られた。

この結果から、本計測方法による自動 OP/BP 測定が精度的にも有効であることが分かった。

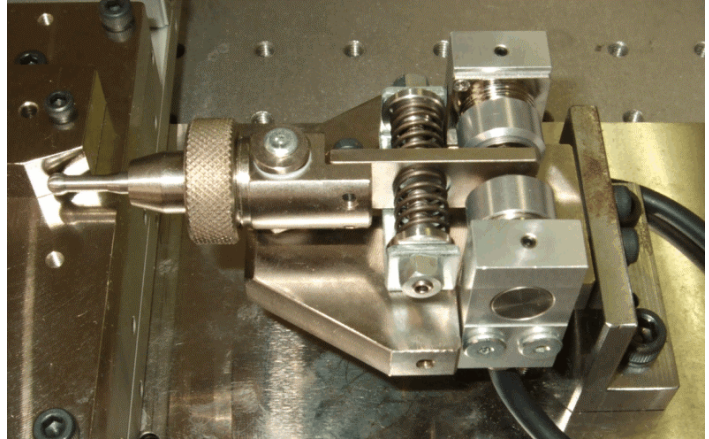
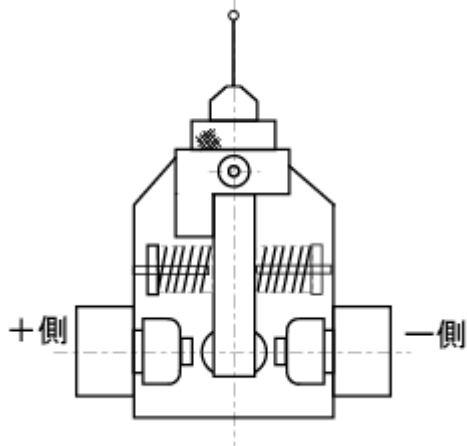


OP / BP 測定

B. タッチプローブユニット

・ 構造および原理

図示のようにタッチプローブユニットはプローブを挟み込むように2個のタッチセンサ（スイッチ）を配置して、プローブがタッチした時のON信号を検出する構成となっている。



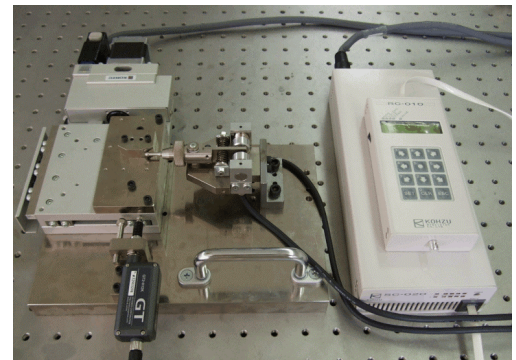
タッチプローブ拡大図

・ 信号検出精度の検証結果

一軸の精密ステージを利用した写真の様な構成で接触信号入力時のリニアゲージの読み取り値を評価した。

最初の読み取り値を原点としてN30の繰り返し計測を行って誤差を調査した。

下表はN30誤差の標準偏差と6σ値をまとめたものである。



測定組立状態

対リニアゲージの測定誤差

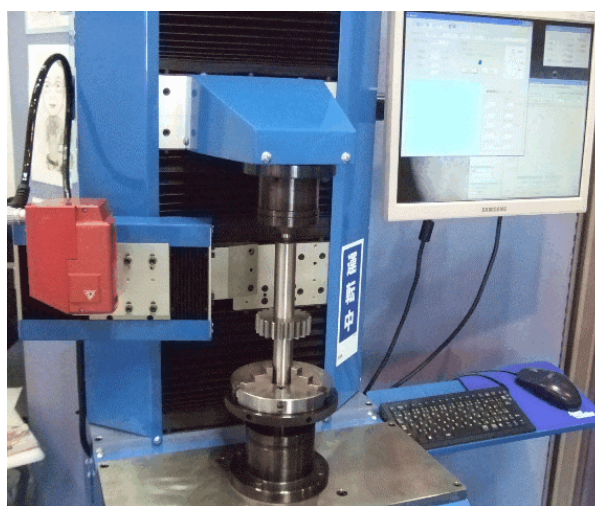
ターゲット角度	アプローチ速度 mm/sec	+方向		-方向	
		標準偏差(mm)	6σ(mm)	標準偏差(mm)	6σ(mm)
0°	0.03	0.00010	0.0006	0.00053	0.0032
	0.05	0.00020	0.0012	0.00007	0.0005
	0.1	0.00050	0.0027	0.00051	0.0038
	0.2	0.00093	0.0006	0.00097	0.0058
10°	0.03(1)	0.00015	0.0009	0.00033	0.0020
	0.03(2)	0.00022	0.0013		
	0.05(1)	0.00023	0.0014	0.00017	0.0010
	0.05(2)	0.00014	0.0008		
	0.1	0.00050	0.0030	0.00052	0.0031
	0.2	0.00104	0.0062	0.00091	0.0055
20°	0.03	0.00022	0.0013	0.00011	0.0007
	0.05	0.00010	0.0007	0.00027	0.0017
	0.1	0.00063	0.0038	0.00051	0.0030
	0.2	0.00096	0.0057	0.00083	0.0050
30°	0.03(1)	0.00029	0.0017	0.00014	0.0008
	0.03(2)	0.00019	0.0011		
	0.05	0.00065	0.0039	0.00012	0.0007
	0.1	0.00044	0.0026	0.00060	0.0036
	0.2	0.00097	0.0058	0.00091	0.0055

2-2 非接触式センサの精度検証

A. 3Dレーザスキャナセンサ

パルステック社のTDSを実際に歯車を搭載して10回繰返精度評価を行った。データの取得については、3Dセンサ機能のうち2Dスキャン走査でのデータ取得とした。3Dデータ取得も可能であるが、2Dスキャンでのデータ処理のほうが格段に精度の検証が行いやすいこと、実機に搭載する場合、測定機の校正をするのにボール形状のものを用意して複雑な校正処理を行わなくても済むこと、さらに本センサ評価時点でこれらの校正に必要な3軸の静止精度が十分に確保されていなかったことから判断して検証作業を進めている。

また、測定タクトを考慮した場合2Dでも十分に高速な測定ができることが計算されていたので、センサ機能を縮小しても十分センサのメリットを評価できるとの考えの元に評価を行っている。



測定中風景

10回測定してその繰返性を評価した結果の代表値は以下のようなものである。



測定歯形拡大図

上図測定機に搭載したTDSは、昨年度からの評価機で上掲グラフのように歯車の歯先で $25\mu\text{m p-p}$ のばらつきを持っている。

また、歯車の歯面フランク部ではさらに精度は悪く $100\mu\text{m p-p}$ のばらつきを持って測定されていた。これでは、JIS精度をカバーするための目標装置精度、 $\pm 2\mu\text{m}$ と比べはるかに悪く歯車測定機としての搭載は困難である。

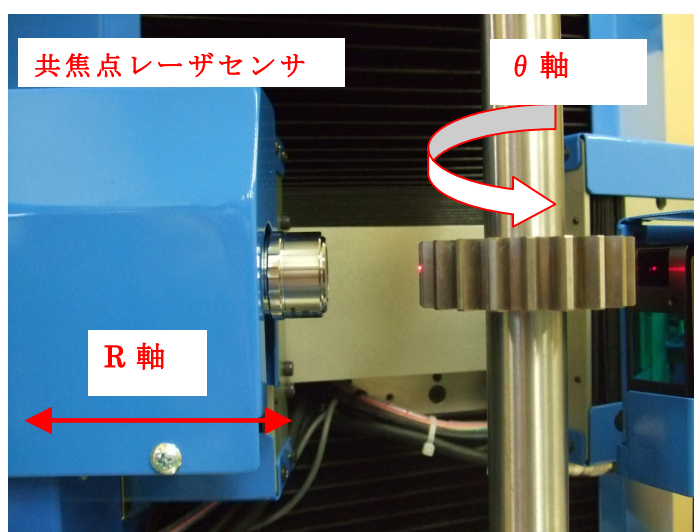
B. 共焦点式レーザセンサ

本装置に組み込んだ共焦点式レーザセンサは歯車測定においては、ピッチ点の位置検出のみを行なうようにするものとして位置付けて評価を行っている。

共焦点式レーザセンサは1点測定ごとにオートフォーカスしてセンサ自体を移動させるために、位置検出までに4sec程度の時間を必要としている。そのため歯形、歯筋のような広い測定範囲には、共焦点式レーザセンサは適していない。

測定方法としては、別のセンサにて大まかな歯車形状を取得して、その測定データから演算してピッチ点の位置を求める。その位置まではR, θ 軸のアクチュエータを使用してセンサを移動させる。その位置からオートフォーカスを開始して、ピッチ点の位置を検出する。

共焦点式レーザセンサの精度検証の方法としては、オートフォーカスセンサ制御による位置決め誤差と光学スケールの読み取り誤差による測定精度を検証するために1箇所(1ポイント)の30回繰り返し測定を行った。



共焦点式レーザセンサ精度検証実験風景

測定結果を下の表示に示す。AFS形状測定装置でも同様の測定を行なった。

表 1箇所(1ポイント)の30回繰り返し測定結果

	P.P(μ m)	3σ (μ m)	測定時間(sec)
AFS形状測定装置	1.9	1.88	9.5
ハイブリッド形状測定装置	0.82	0.65	3.7

AFS形状測定装置と比較すると繰り返し精度と測定時間が向上している。繰り返し精度についてはR軸の機械精度が向上したためだと考えられる。

また、測定時間については、オートフォーカス制御のアルゴリズムの変更により大幅に改善されたと考えられる。

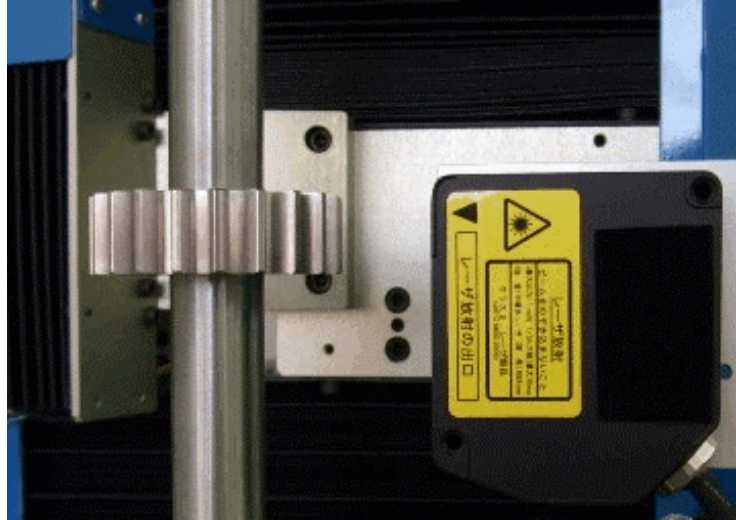
歯車精度が4、5級の歯車測定において繰り返し精度としては十分であると言える。測定時間については生産ライン等で使用する目的での測定には満たされていないと思われる。

測定時間については、オートフォーカスの開始位置をよりピッチ点に近い位置からオートフォーカスを行なう事により測定時間の短縮が出来る。そのためには別センサ最初に歯車形状を正確に、短時間で測定を行なう必要がある。

また、それに伴い位置決め精度も重要となるので各アクチュエータの精度ならびに軸の機械的精度の向上が必要となってくる。

C. HL式拡散反射式レーザーセンサ

LK式と同様な評価を行い機械誤差含めた総合測定精度を評価している。
各軸走り精度向上のための軸走り面キサゲ追加工、直線性補正、エンコーダ補正などによりセンサ自体の基本精度は測定機組み込み状態で $\pm 2 \mu\text{m}$ を確認できた。



HL組込測定状態

用意した各種の歯車を測定していくと、図示のような測定点がどうしても飛んでしまう歯車データがそくていされた。
これにより、測定精度に大きく影響することが明らかになったので、その対策として第3章に記述するようなシフト測定アルゴリズムを導入して測定の改良を行った。

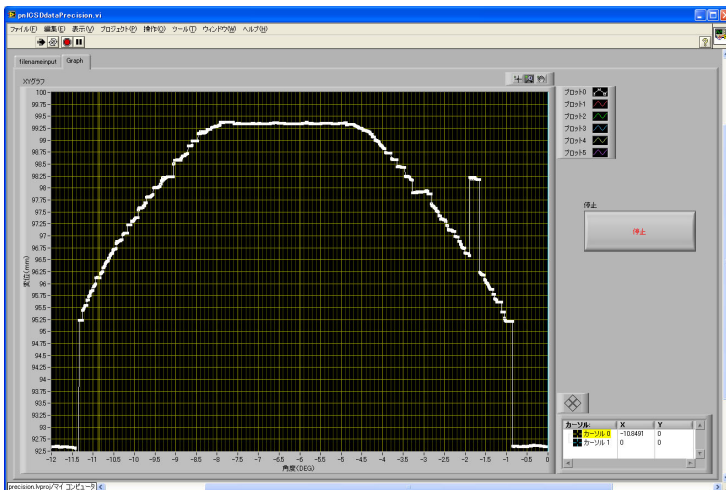


図. 2-16 歯車測定値 (飛びデータあり)

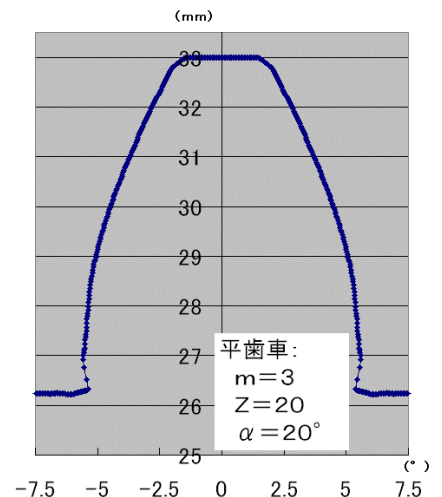


図. 2-17 シフト測定歯車合成図

アルゴリズム導入の測定により図示のような良好な歯形が用意した全歯車で測定できることを確認している。

第3章 計測システムの改良・精度向上

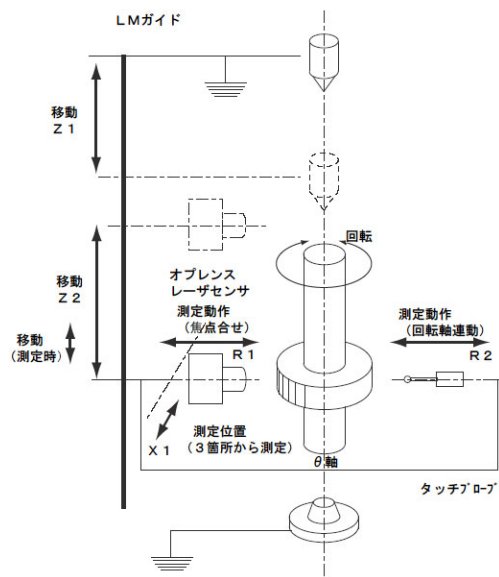
3-1 メカ機構改良

① 本体軸精度の検証と改良

本体の軸構成は図示の通りである。

<Z1、Z2軸>

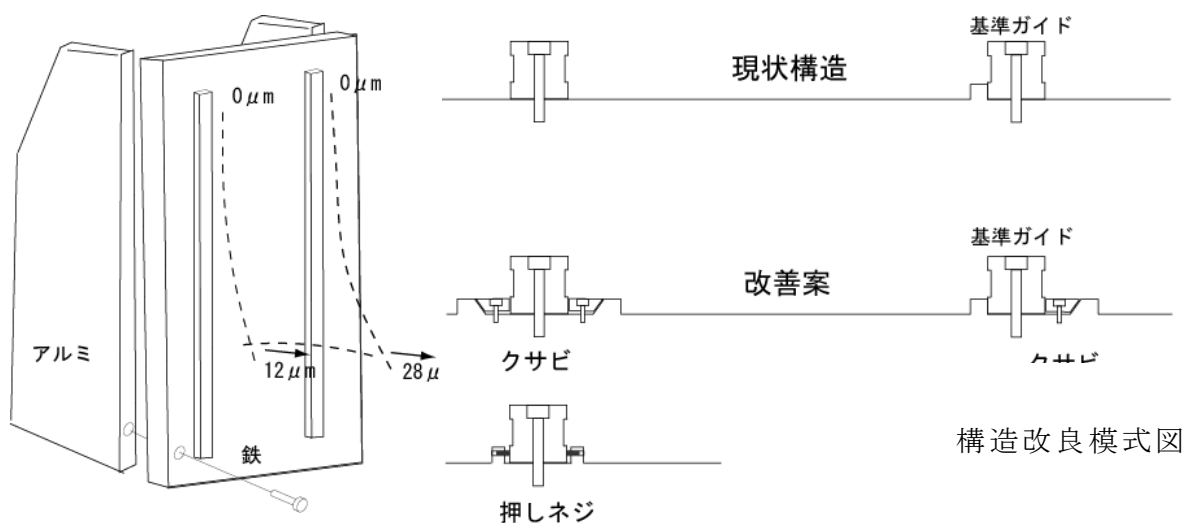
ワークを保持するZ1軸と測定軸Z2は同じ摺動面を移動するため、軸移動の真直性は基本的には同じ動きとなるはずであるが実際は次ページのグラフに示すように同じ方向性を示していなかった。



装置軸構成図

この理由を解明するため軸の走り精度を確認した結果、左右のリニアガイド取り付け面の平行度が出ていないのが原因と判明した。

これらの原因を確認する為、現状のコラムを再加工して真直精度向上にトライ



し、同時にリニアガイド取り付け部形状についても横押し機能を追加して試験した結果、次ページのグラフのような改善効果が見られた。

平行度不良の原因としては背中にアルミ板を接合した薄板構造のコラムの構造と、リニアガイド取り付け部の構造が原因であると結論し、熱対称な石塔形状でキサゲによる精度調整の可能な鋳物製コラムに変更することにした。

最終的に鋳物コラムではリニアガイド取り付け後の走り精度はZ1、Z2軸共にピッチ、ヨー、ロールで1～2 μm以内を達成出来た為、歯車測定機として使用可能な精度レベルとなった。

3-2 解析ソフト改良

・エンコーダ校正

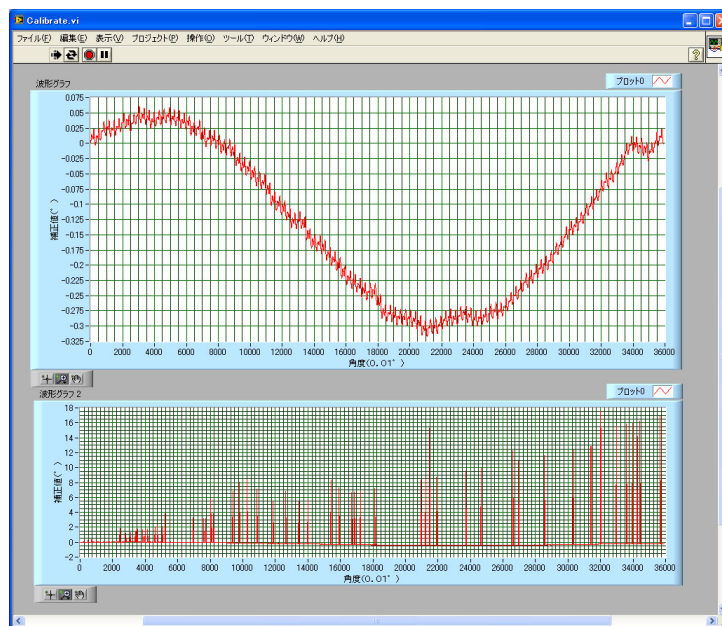
昨年度までのエンコーダでは分解能が不足して、 $\phi 200$ の歯車を測定する際にピッチ誤差に分解能による角度誤差が乗ってしまっていた。本年度は誤差の低減化を狙いエンコーダの高分解能化を実施するとともに校正を行っている。

エンコーダ校正に際しては、静岡理工科大学の益田教授指導のもと、Nikonの光学エンコーダを使用して装置に採用した磁気式エンコーダの補正MAP

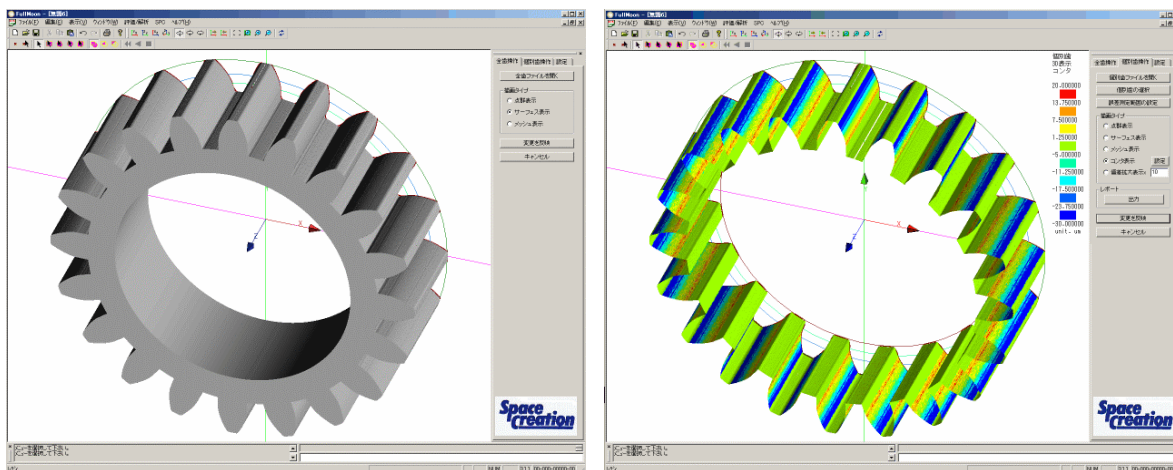
を作成、プログラムに組み込んでいる。以下にエンコーダ補正の測定値を示す。

・3Dソフト

昨年度末に完成させた3Dソフトを検証するために、上述エンコーダ補正により得られた測定機の総合誤差低減化された測定データによりJIS等級データとの比較を行いながらソフト表示の検証を行っている。



エンコーダ補正值



3Dソフト表現（サーフェス表現、歯形コンター）

第4章 計測システムの川下メーカーによる実地検証

4-1 自動車メーカーによる実地検証比較

・クリンゲルンベルク測定機評価

前章でベンチマーキング比較した測定機を示す。

ヤマハ発動機株式会社殿、ギア研究部門にある測定機で測定を行っている。

測定を行ったのはKLINGELNBERG P-26。

本装置はオプション付きで4,500万円で、測定精度はサブミクロンを保証している。

実際に測定を行った際にも、繰返性は十分認められ今回の測定項目については下記掲載の数値から1 μ m数値が動くことはあったがほぼ同じ値を示している。ただし、測定子は ϕ 1のものを使用しており、差動トランスから変位を得ていると思われ、接触位置も3次元的に検知するメカニズムを持っているとのことだが、原理的に高精度を維持することは困難であることが推測される。



P-26 測定機

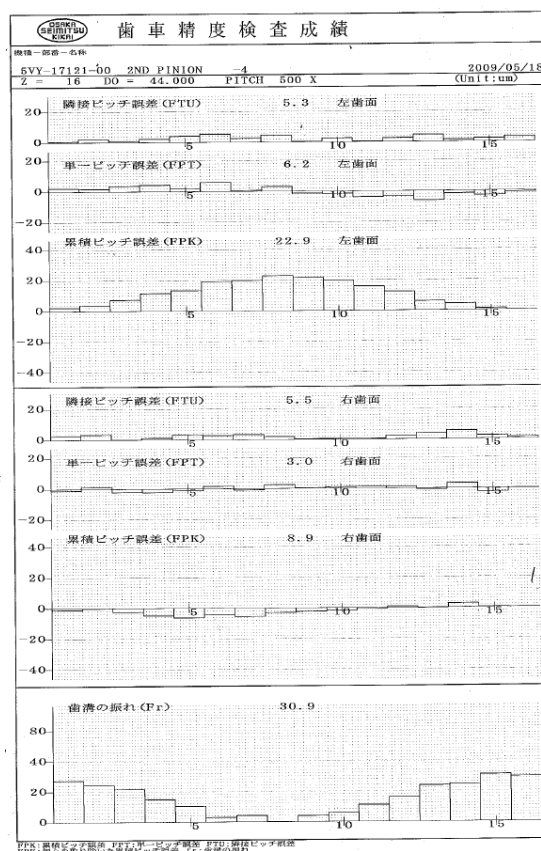
4-2 自動車部品メーカーによる実地検証比較

・大阪精密製測定機評価

歯車測定機の日本メーカートップである大阪精密製の測定機で、 $m = 3$ 、 $Z = 16$ の試作歯車を測定した結果を示す。

歯車緒元入力画面作成の参考とするとともに、測定シーケンスを確認、接触式測定に対して、本研究で採用している非接触方式が測定タクトで優位性を持つ方式について検討した。

本研究装置が精度的に十分検証されていない段階での比較であったので数値的な優劣については確認までは出来ていなく、今後完成時に再度訪問して比較検討することを予定している。



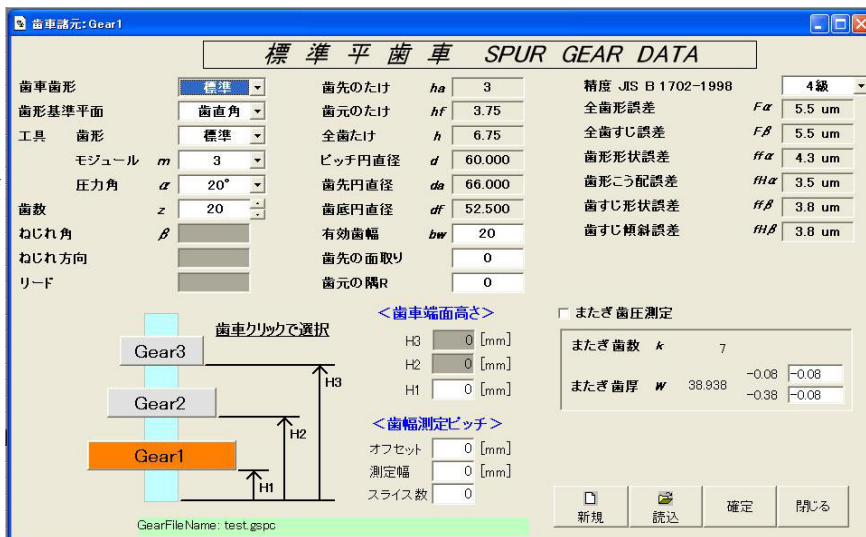
第5章 今年度研究総括・報告書まとめ

5-1 計測機ソフト入出力画面

- ・ 歯車諸元入力画面

測定開始時の平歯車諸元入力画面を示す。

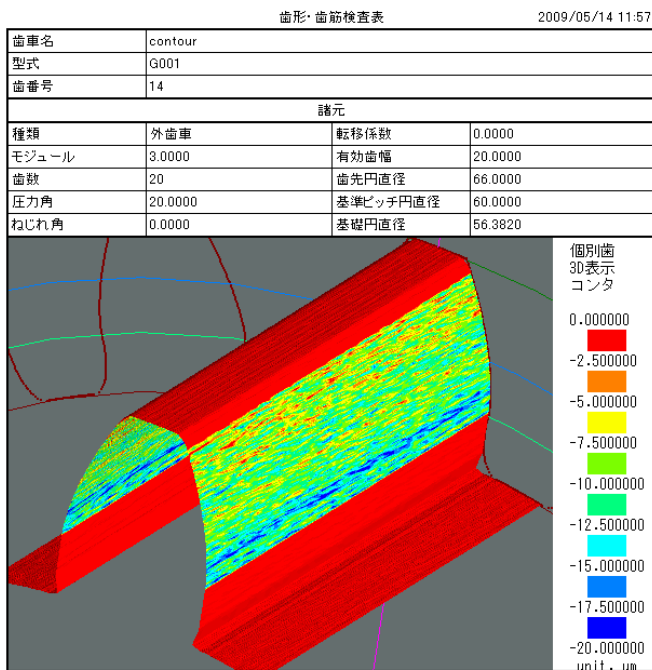
白抜きテキストボックスが数値入力欄でグレイアウト欄は白抜きに応じての理論値を表示、非接触機能を活用した干渉ティーチング不要な扱い易さとなっている



装置ソフト歯車緒元入力画面

- ・ 3D歯形誤差表現、レポート画面

3Dによる豊富なデータとそのコンター処理により以下のように直感的にわかりやすい歯形の表現を可能とした。歯車測定機として標準となる歯形、歯筋の2D表現レポート画面を備えて提供する。

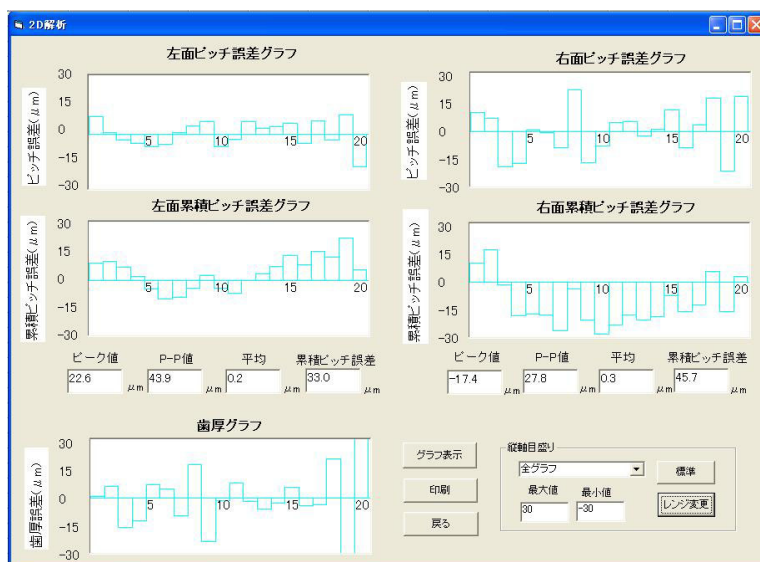


株式会社スペースクレイション
歯形コンタ拡大図

歯車名	shape								
型式	G001								
諸元									
種類	外歯車	転移係数 0.0000							
モジュール	3.0000	有効歯幅 20.0000							
歯数	20	歯先円直径 66.0000							
圧力角	20.0000	基準ピッチ円直径 60.0000							
ねじれ角	0.0000	基礎円直径 56.3820							
左歯面 歯形 右歯面									
歯元	左歯面	歯先 歯元	右歯面	歯先					
01									
02									
03									
04									
05									
06									
07									
08									
09									
10									
断面x: 0. 歯元 28.2500[mm] (<=>) 歯先 32.7500[mm]									
歯番号	0	4	9	14	歯番号	0	4	9	14
誤差(um)	20.5	19.2	16.2	18.1	誤差(um)	19.8	20.6	18.4	21.0
左歯面			歯筋		右歯面				
下側	左歯面	上側 下側	右歯面	上側					
01									
02									
03									
04									
05									
06									
07									
08									
09									
10									
下側 0.0000[mm] (<=>) 上側 17.6500[mm]									
歯番号	0	4	9	14	歯番号	0	4	9	14
誤差(um)	8.3	10.3	9.7	10.2	誤差(um)	9.2	9.2	9.0	10.9

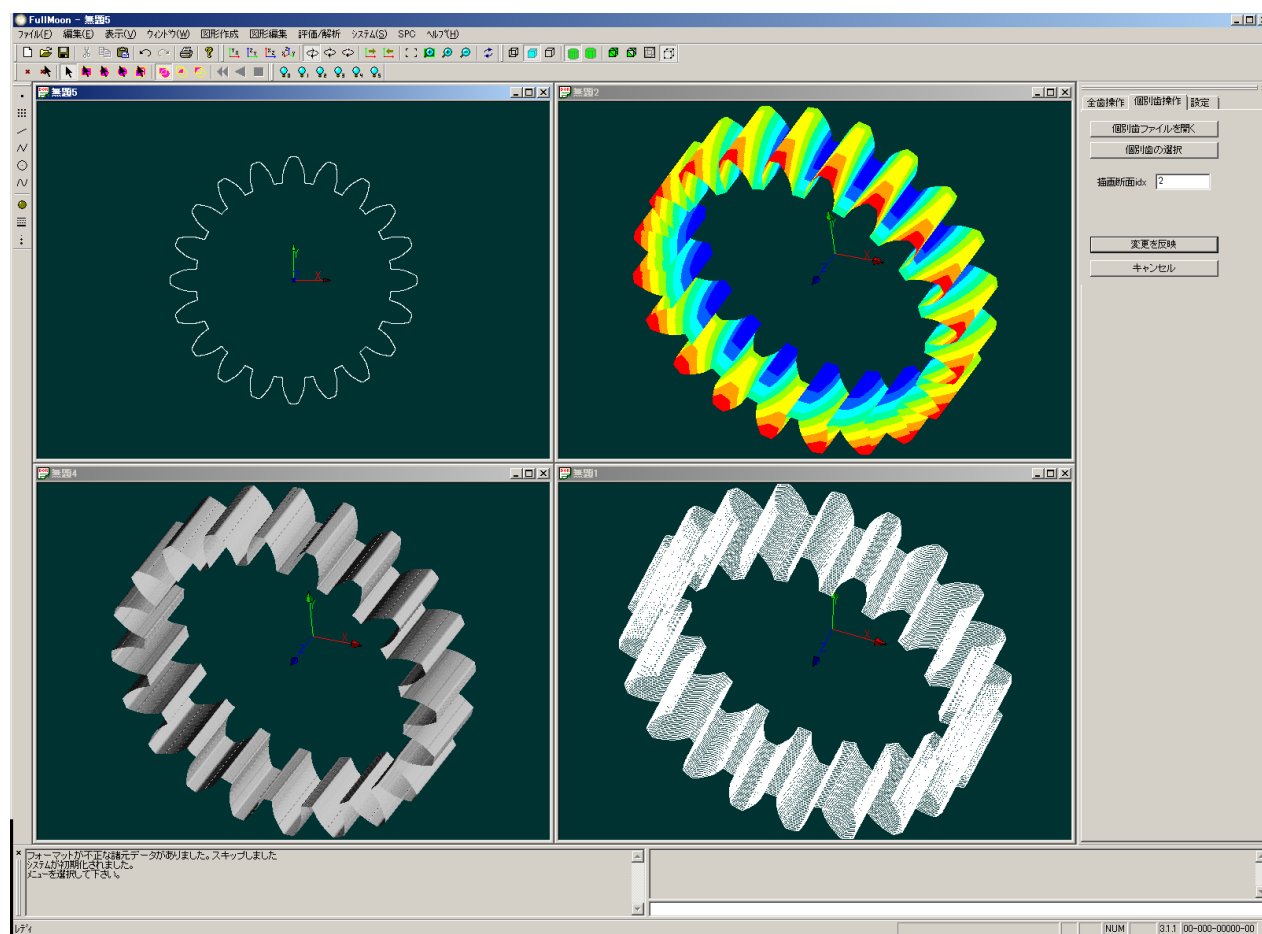
歯形、歯筋レポート

- ・ ピッチ誤差結果画面
ピッチ誤差についても同様に標準的な画面を備えている。



ピッチ誤差表現画面

- ・ 3D形状データインターフェース
図示のようにCADへのデータエクスポートへの展開を考えたインターフェースをアプリケーション下層に備えたフレームワークで開発している。



3Dデータ操作画面概観

5-2 ハイブリッド形状計測システムの最終仕様まとめ

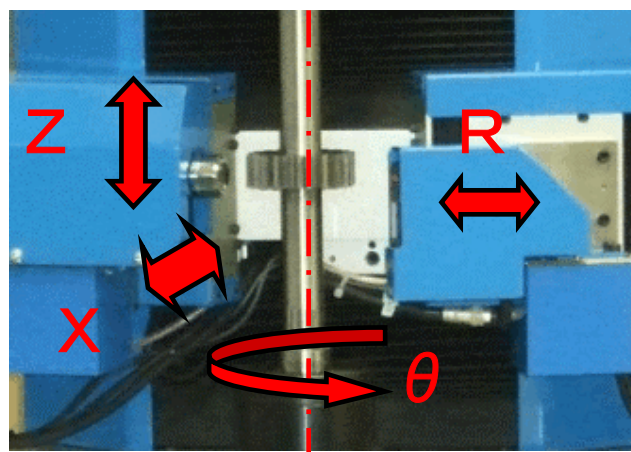
(1) 測定精度

- ・ 歯厚 $2 \mu\text{m}$ 以内 (繰返し精度)
- ・ ピッチ誤差 $2 \mu\text{m}$ 以内 (繰返し精度)
- ・ 歯みぞフレ $2 \mu\text{m}$ 以内 (繰返し精度)
- ・ 歯形 $2 \mu\text{m}$ 以内 (繰返し精度)
- ・ 歯筋 $2 \mu\text{m}$ 以内 (繰返し精度)
- ・ 傷 深さ $5 \mu\text{m}$ 以上のモノを判別可能
- ・ 打痕 直径 0.5mm 以上のモノを判別可能

(2) 機械仕様

装置	寸法	W mm	850
		D mm	600
		H mm	2,000
	重量 kg	300	
供試体	支持方法		センタ
	最大径 mm	$\phi 200$	
	最大長 mm	500	
移動量	センタ mm		500
	センサ	Z 軸 mm	550
		R 軸 mm	75
		X 軸 mm	10

θ	分解能 sec	1.39	
	絶対精度 sec	3 以下	
最大速度	センサ mm/sec	100	
	R 軸 mm/sec	30	
精度	Z 軸	平行度 μm	10 以下
	R 軸	平行度 μm	5 以下
		位置 μm	2 以下
	X 軸	位置 μm	1 以下



5-3 知財等の検討と出願準備

防衛特許含め、歯車計測機を総合的に知財調査することを進めている。

なお、非接触ハイブリッド、接触+非接触ハイブリッド歯車測定機について、その高精度化手法と主点に特許申請原案を作成中。また、高精度化手法を適用する派生装置特許も考えている。(計測方法に関する特許を2件、出願にむけて準備中)

第6章 全体総括

6-1 3年間の研究開発まとめ

3年間の研究開発において、初年度は基礎計測理論の確立と、個別要素技術としてのセンサユニットの開発を中心におこない、次年度はそれら各ユニットの精度検証・改良・性能向上と、それらを基にしたハイブリッド形状計測システムの設計・試作をおこない、最終年度にシステムの精度検証・改良・性能向上と実地検証をおこなった。

それぞれの年度において、若干のトラブル・スケジュール遅延があったものの、ほぼ当初の目標を達成しつつある状況であり、数点の継続研究・改良を加えれば、当初目標を達成できる見通しである。事業化についても数ヶ月後には販売 PR 開始をおこなう予定である。

これまでの研究開発において、4種の接触式センサと、3種のレーザセンサを開発・比較検討し、さまざまな組合せにおける優劣比較をおこなった。また、それらのうちの理想的な組合せにおける複合計測システムをまとめ上げることができた。さらに、計測した点群データについても、従来の歯形・歯筋やピッチ誤差のグラフ表示にとどまらず、機能として3Dコンターマップの作成までも付加することができ、計測結果を視覚的にとらえる面で有効なシステムを開発することができた。

〔計測システム〕

本研究においては下図のような装置を開発している。

<接触型形状計測>



CSD-20

<非接触型形状計測>



CSD-30

CSD-40

<ハイブリッド形状計測>



CSD-50

これらの研究開発により、単に歯車形状計測にとどまらず、センサの選択組合せにより、さまざまな立体形状物の形状測定が可能となった。

6-2 ハイブリッド形状計測システムの市場性

動力伝達装置の測定技術又は品質管理技術の向上という観点で、自動車・輸送機器産業を中心に、本研究開発の用途範囲を考察すると、以下のような各種計測装置が考えられる。

- ① 歯車自動形状計測装置
- ② スプライン自動計測装置
- ③ カムシャフトプロファイル自動計測装置
- ④ ピストンプロファイル自動計測装置
- ⑤ タービン翼形状自動計測装置
- ⑥ 金型形状三次元計測装置

これらの計測装置は、平均的価格でそれぞれ1,000～2,000万円程度と考えられ、それぞれ国内だけでも、年間10～20台程度の需要は見込めるものと言える。

従って、市場規模としては年間10～20億円程度の国内市場、海外も含めると50～100億円程度の市場規模があると考えられる。

それぞれ、国内外ともに歴史を有し、知名度もある既存メーカーが存在するので、どの程度のシェアを獲得できるかは不明であるが、数年経過した段階では5～10億円程度の年商となる可能性は十分あると判断できる。

従って、本事業終了後も引き続き、開発商品の性能・完成度を向上させ、早期に市場投入し、販売促進にまい進する計画である。

6-3 今後の事業展開

前述のとおり、本委託事業完了後も引き続き販売に向けて、順次事業展開を進める予定である。

(1) 製品化展開

- ・生産試作初号機完成 : 本年5月15日完成目標
- ・バリエーション展開 : その後、順次、応用機種開発

(2) 事業化展開

- ・展示会出展 : 自動車技術展(5/19～21)デビュー
「人とくるまのテクノロジー展」パシフィコ横浜
- ・営業展開 : 6月～ 商社連携にて、販売PR開始

(3) 売上げ見込み

- ・初年度売上げ目標 : 3台/半年(4,500万円)を目標
- ・5年後の売上げ目標 : 10台/年(15,000万円)を目標

6-4 本事業のまとめ

3年間の事業推進を通じ、有形・無形問わず多くの成果を獲得することができ、またあらたな商材を獲得することもできた。今後は、速やかに生産・販売に結び付けられるよう補完研究開発と生産向けの生産設計試作を実施し、事業化を促進していきたい。

(1) 技術的成果

・技術獲得 : 各種レーザ計測・精密位置制御技術

レーザセンサについては、レーザ光の特性より、計測対象物への照射角度・計測対象物の表面性状・面粗度・反射率などにより、精度が大きく変動する傾向があるが、本研究を通じてそれぞれの最良調整点を見出すことができ、また光学フィルタやデータのソフト演算処理により精度を安定化させる技術を種々修得することができた。

さらに、計測装置としての精度は、単にレーザセンサの性能のみならず、センサ駆動機構や供試体のハンドリング機構のガタ・渋り・円滑な移動性・リニアリティなどの複合要素により、大きく変動する。この点についても、種々の改良を通じ、高精度に位置制御する技術を獲得することができた。

・知財獲得 : 2件出願準備中

本受託事業に先立って先行開発していたOP計測については、出願していた特許が権利化できた。

©特許 第 4417338 号「オーバーピン径計測装置」

H18.3.13 出願 出願人 (株)スペースクリエイション

本受託事業に関しては、非接触ハイブリッド、接触+非接触ハイブリッド歯車測定機について、その高精度化手法を主眼に特許申請原案を作成中で、近々に出願する予定である。

(2) 事業成果

・事業化実施時期 : 2010年6月～ 販売PR開始

今後、補完研究により精度を向上させ、また生産設計試作を施し、5月の展示会発表後に販売PRを開始する。

(3) 地域経済波及効果

・自動車(部品)産業の技術向上

歯車の精密計測を簡単・安価に実現することにより、設計・製造品質の向上に寄与し、自動車の燃費向上・静粛性向上・安全性向上を図り、当地域の主力産業である輸送機器(特に自動車)産業の発展に貢献する。

- ・ 対外的差別化・需要促進

日本経済全体を俯瞰しても輸送機器産業は重要な産業のひとつであるが、近年、自動車開発・製造について、一日の長がある欧米との差別化に苦勞し、また厳しい新興国の追い上げに対してもさまざまな対応を迫られており、品質性能面でさらなる差別化を図ることは喫緊の課題である。

この点についても、自動車の主要機構である動力伝達機構(とりわけ歯車)の性能向上が重要な鍵となり、この点でも間接的ではあるが、日本製自動車の需要促進に大きく貢献するものと考えている。

- ・ 計測機売上げによる雇用期待

前述のとおり、本事業に関連する計測装置の市場規模はそれなりに大きなものであり、当社だけではなく、装置部品製作メーカーや関連計測機器商社の雇用も含めると、当地域の雇用促進に貢献できるものと考えている。

[むすびに]

本受託事業の研究開発推進により、当社をはじめとして、コンソーシアム参加メンバーそれぞれが多くの研究成果を獲得でき、また開発型中小企業として、それぞれ大きく成長できたと言える。

これもひとえに研究開発の機会を提供いただいた経済産業省、懇切丁寧に技術支援いただいた大学・公的研究機関をはじめとする多くの支援機関のおかげと深く感謝して、本報告の結びとしたい。