

面振れ自動計測装置の開発と技術移転型 能力開発セミナーの実施

東北ポリテクカレッジ 小林 崇
(東北職業能力開発大学校)

1. はじめに

近年、国内の製造業の多くが海外に生産拠点を移しつつあるなかで、自動車産業は依然として国内に生産拠点を有しわが国の重要な基幹産業の1つである。この自動車産業が将来にわたって発展するためには、燃料電池自動車などにみられるように次世代自動車の開発が必要不可欠であり、その場合駆動源の開発だけでなく自動車部品全般にわたる技術革新と生産性の向上が求められる。特に動力を伝達する部品については安全性を確保する意味から厳しい品質管理が求められる。

平成14年、トヨタ自動車関連会社よりIPC社（古川市工業会）に、部品の品質保証の向上のために、トヨタ自動車の次世代自動車の部品で、動力伝達用特殊歯車の回転面の振れ（面振れ）を高精度で短時間に計測する自動化装置の開発依頼があった。その後、本装置開発について協力を求められた東北職業能力開発大学校では、雇用・能力開発機構本部より事業主団体研究開発事業の指定を受け、共同で同装置の開発を行うこととなった。

その後、数々の課題を克服して同装置の開発に成功し、開発の際の新技術等については、長時間の能力開発セミナーを大学・大学院と連携した社会人の高度で実践的な120時間セミナーとして実施し、新技術の移転を行った。

本稿は、この自動化装置の完成と実用化の結果を踏まえ、開発に至る経緯から装置の仕様までを解説するとともにその開発を利用して高度で実践的な能

力開発セミナーを実施したことに関する報告である。

2. 事業主団体研究開発事業の重要性と開発の経緯

近年、わが国においては製造業の海外移転が進行し産業の空洞化現象が起こっているとされている。しかしながら、資源に乏しいわが国では、依然として工業製品を輸出することによってエネルギーや食料品等国民の生存と生活に不可欠な物資を調達しつづけねばならない。このことからものづくり産業（製造業）は今世紀においてもわが国の生命線ともいべき経済力の源泉であることは間違いのないことである。

わが国が今後とも技術立国として、この重要な製造業を発展させていくためには、製造業における構造改革が必要であるとされている。この製造業における構造改革とは、付加価値の低い製品の生産の海外へのシフトはある程度やむを得ないが、高付加価値製品は一貫して国内で生産すべきであり、高付加価値製品を生み出す国内企業を国が支援するというものである。

雇用・能力開発機構では、中小企業の製品の高付加価値化や新分野展開のために、職業能力開発大学校等が保有する先端的設備や研究機能を生かし、事業主団体および傘下企業に対する技術援助制度すなわち事業主団体研究開発事業（F方式）が存在することや、基礎的な研究よりは既存の高い技術力や技能を生かして、実際に企業で使用される実機の開発

まで目指すのが特徴である。いずれにしても本事業の推進によって多くの中小企業において高付加価値製品を生み出すことができれば、わが国の製造業の復活につながることになり、多大な評価を得ることができるかと推測される。

一方、平成14年1月に、トヨタ自動車の関連会社よりIPC社（古川市工業会）に、部品の品質保証の向上のために、トヨタ自動車の次世代自動車の部品で、動力伝達用特殊歯車の回転面の振れ（面振れ）を高精度で短時間に計測する自動化装置の開発依頼があった。同年2月に本装置開発について協力を求められた東北職業能力開発大学校では、著者が中心となって相談援助を行い、開発の可能性を探るとともに、同年4月に雇用・能力開発機構本部に前述の事業主団体開発事業の申請を行った。同年7月に機構本部より承認され、東北職業能力大学校 本間基文校長をリーダーとするプロジェクトが発足し、共同で実機までを目指した開発を行うこととなった。

3. 供試歯車と構造の決定

図1に測定する供試歯車の図を、図2に写真を示す。歯車は内外面に歯車をもつ内外歯車で内歯車部分は、はすば歯車（77歯）から、外歯車部分は台形歯車で構成されており、材質は焼結金属である。両歯車の側面が加工面となっており、歯車を1回転させたときこの加工面の最大値と最小値を計測すれば面振れとなる。したがって、装置の主用構造としては供試歯車を台座に固定して1回転させ、側面上部から変位測定センサにより変位を測定する構造となる。

供試歯車を固定する方法として、当初内面のはすば歯車の部分を上下2段のクランプで固定し、図3に示すように供試歯車の軸の振れを強制的に補正し、直接的に面振れ量を測定する方法を採用し試作機を作製した。試験的に面振れ量の計測を試みたところ、供試歯車内面形状が $\pm 0.2\text{mm}$ 以上の範囲でいびつになっており、クランプがどの歯面に当たるかで測定結果のばらつきが大きく測定機として成立しなかった。そこで、図4のように測定部の構造を決定した。すなわち供試歯車の外周をクランプで固定し、内歯

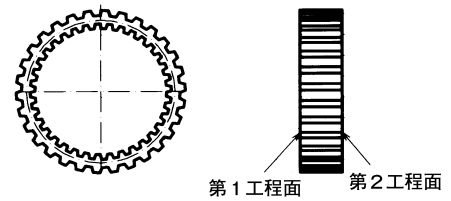


図1 供試歯車



図2 供試歯車の写真

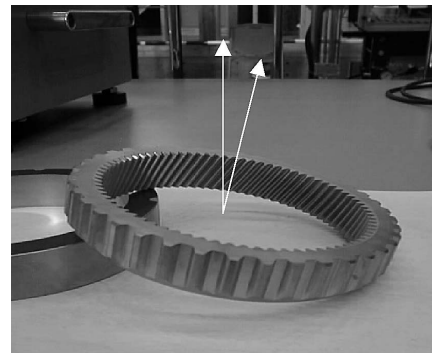


図3 軸の振れベクトルの強制補正

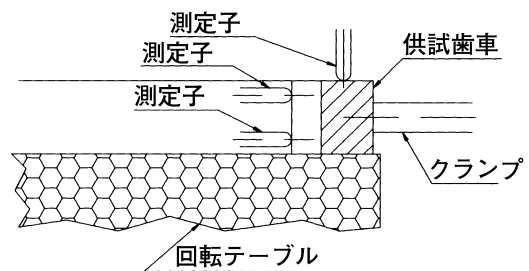


図4 測定部の構造

車の刃先部分上下に半円形の測定子をあてて77箇所の刃先の極座標位置を測定し、同時に上面から測定子をあてて測定し、その値を補正して面振れ量を算出する方法である。

4. 測定原理

図5に測定原理を示す。まず、上下面について測定した極座標から77角形の図心を求める。

次に、算出した上下面の図心から軸の振れ方向の3次元ベクトルを求める。この3次元ベクトルをおのおのの面の振れ測定点を含むx-z平面に投影する。おのおのの面振れ測定点を含むx-z平面において、投影された2次元ベクトルと同じ方向を持ち測定点を通る直線を求める。この直線に垂直でx-z面原点を通る直線を求め、この直線と面振れ測定点との垂直距離を求め最小距離の点を最小点、最大の距離を最大点とし、最小値を0、最大値を最大値と最小値の距離とした。

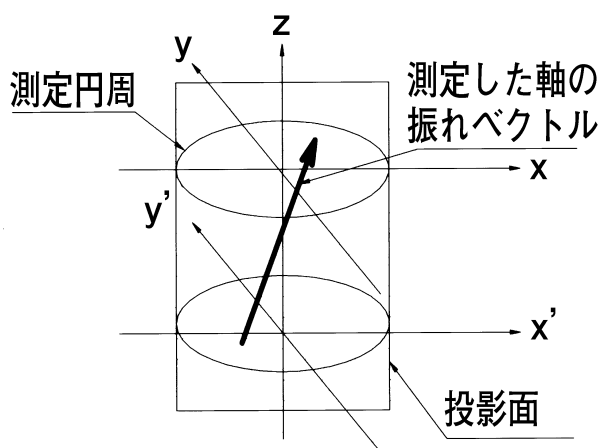


図5 測定原理

5. 設計と製作

前述の測定方法等の決定から自動化装置として以下のような設計と製作を行った。その手順を示す。

- (1) センサ・アクチュエータ・コントローラの選定
- (2) 装置の設計・製図
- (3) 装置の加工・組み立て
- (4) 制御用アルゴリズムの決定と制御用ソフト設計・製作
- (5) 計測用アルゴリズムの決定と測定用ソフト設計・製作

装置のコントローラとしては自動化に適したプログラマブルコントローラとした。アクチュエータと

しては安価で高精度の回転角制御が可能な脱調レスステッピングモータとした。駆動回転部は精密ベアリングで支持され、タイミングベルトでステッピングモータにより駆動される。微小距離を測る変位センサとしては表面粗さに左右されない接触式で差動トランス方式の変位センサとした。この供試歯車の面振れを測定するセンサは、駆動回転部と平行な支持棒上部に設置され、駆動部回転テーブルに供試歯車を載せクランプで固定した後に、測定上面位置に手動で移動する構造となっている。

前述の設計概念より、機械部については強度計算後、組み立て図、部品図を製作し、部品の製作と購入および組み立てを行った。特に高精度を得る目的で、部品数は削減して累積誤差を少なくするとともに、構成部品を組み立てた後に、部品全体の誤差が少ないことを確認したうえで仕上げ加工をするなどの工夫を行った。この結果、回転部の振れの誤差は千分の2mm以下に抑えることができた。

制御用ソフトウェアについては、自動測定用のアルゴリズムを決定し、アルゴリズムからフローチャートを作成し、パソコン上でラダー図によりプログラミングを行い、プログラマブルコントローラに転送して実行した。

計測用ソフトウェアについては、得られたアナログデータをA/D変換しパソコンに直接取りこむ方式とした。得られたデジタルデータを表計算ソフト上で測定原理に基づいた計算を行い、結果を算出・表示する方式とした。

なお、ユーザの要望により、前述の測定原理に基づいた計算のほかに、得られたデジタル全データから表計算ソフトの計算式を使って3次元回帰平面を算出し、その回帰平面からの最小値と最大値を計算して振れを算出する方法のプログラムも作成し、両者の最大値を比較する方法を取った。また、高精度部品の加工は該当企業にお願いした。

6. 面振れ自動計測装置

表1に装置の仕様を、図6にカバーを開けた状態での装置の概要を示す。装置は450×500×370mmの大きさで約60kgの重量がある。装置は大別して、回

表1 面振れ自動計測装置仕様

高さ×長さ×幅	450×500×370mm
重量	60kg
回転部材質	SKD
保持部材質	SKD
回転部電動機動力	100W
回転部回転角速度	5.6° /sec
測定部センサ方式	接触式
計測時間	52秒

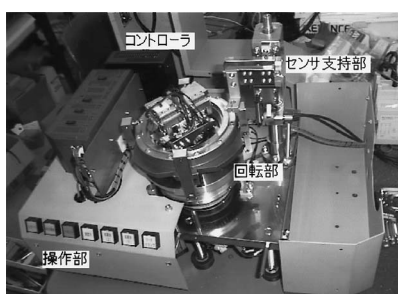


図6 面振れ自動計測装置

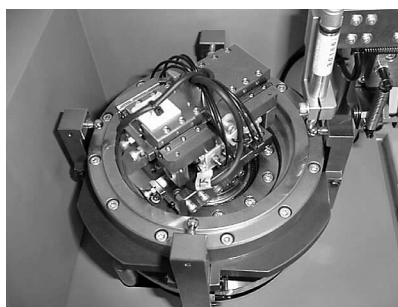


図7 回転部とセンサ

転して振れの補正量を計測する回転部と垂直方向の振れ量を計測するセンサを支持するセンサ支持部およびカバー内部のコントローラ部と起動等のスイッチ群からなる操作部から構成される。精度の要求される回転部とその保持部およびセンサ支持部の材質はSKDであり、その他は一般の鋼材である。

図7に回転部を示す。回転部は外側の実際に回転する部分と、内部で静止して、差動トランス型の変位センサを供試歯車の内側にあてて、軸の補正のためのデータを計測する補正センサ部から構成される。供試歯車はまず外側の回転する部分に置かれ、次に装置の起動により、回転する部分の外側部分に4箇所設置された球状の歯車支持棒を、空気圧シリンダにより内側に駆動して、供試歯車外側の台形歯車部分の谷に押しつけ水平に固定される。歯車が完全に

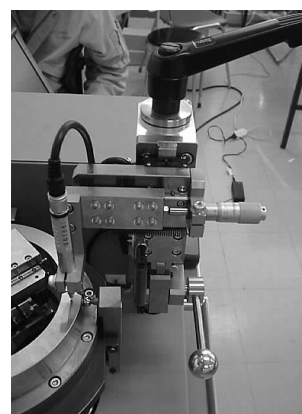


図8 センサ支持部



図9 コントローラ部

固定された後、静止した内部の上下2個のセンサが、同様に空気圧シリンダにより外側に駆動して供試歯車の内側はすば歯車に接し、軸の補正のデータを計測する構造となっている。この際、内側のセンサプローブははすば歯車の各1点に当たるように、プローブ先端形状はくさび型で半円形状とするなどの工夫を行った。

図8に実際の振れ量を計測するためのセンサを支持するセンサ支持部を示す。供試歯車は回転部に固定された後、支持部上部のハンドルをいったんゆるめ、センサを供試歯車端面状に移動して後に、ハンドルを締めてセンサを固定する方式となっている。この後、支持部下側のレバーを下げたセンサを歯車端面に接地させて計測する。なお、センサが供試歯車の端面に接する点の位置の微小移動はマイクロメータの回転による微小移動方式を採用した。

図9にコントローラ部を示す。コントローラ部は計測動作を制御するプログラブルコントローラとセンサからのデータをデジタル化してパソコンへ転送するA/D変換部から構成されている。

図10にアクチュエータ部を示す。アクチュエータ

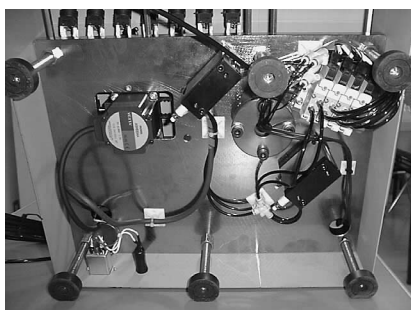


図10 アクチュエータ部

として回転部を駆動するステッピングモータと供試歯車を回転部に保持するための空圧シリンダが底板に固定されている。この底板に、装置を水平に維持するための微小ねじ移動機構を備えるとともに装置全体を支える足が6本備えられている。

装置を製作した後に、制御動作の確認を行うとともにセンサ信号をパソコンに取りこむための各種の設定と調整を行い、装置が完成した。

7. 校正実験と計測結果

製作された装置の精度を把握するために校正実験を行った。まず、歯車と同じ程度の寸法で円筒状の校正用の歯車を作製し使用した。図11に校正用歯車を示す。

この校正用の歯車の各寸法と振れはあらかじめ計測されており、また、外側に4つ部分に歯車の谷が切削されているため供試歯車と同様に本装置で支持できるようになっている。この校正用歯車を取りつけて振れを計測したところ、10回の計測で平均誤差は±3.5%であった。したがって、十分に要求仕様に耐えるとの結論を得た。

次に、実際の計測を行った。実際の計測では供試歯車を固定し、自動で計測を行った。計測に要した時間



図11 校正用歯車

交点Z座標	距離 (mm)	振れ (mm)	振れ最大値 (mm)
-0.013394738	0.070705265	0.003303535	0.031446931
-0.013840994	0.071859008	0.004457278	
-0.014195141	0.068904862	0.001503132	
-0.014454822	0.068545181	0.001143451	
-0.014618308	0.067581695	0.000179965	
-0.014684512	0.067515491	0.000113761	
-0.014652992	0.069047011	0.00164528	
-0.01452396	0.067976043	0.000574313	

図12 振れ測定結果 (表計算ソフトの一部)

最大Z	20.9179507	分母	1
最小Z	20.91412462	l	1.25498E-05
面ぶれ値(mm)	0.038260771	m	-2.84624E-05
		n	1

図13 回帰平面による振れ測定結果

は52秒であった。得られた計測データは1センサ当たり77個の表計算ソフトのセルに自動的に入力される。以下、表計算ソフト上の計算の過程を示す。上下の補正用センサからのデータは測定原理に基づき上下の図心を順次途中の計算結果をセル上に示しながら算出する。上下の図心のデータから3次元での軸の振れ方向のベクトルを持った直線を算出し、この直線に対し77箇所の各測定点を含む垂直平面にこの直線を投影する。投影した直線に対し測定原点を通り垂直な直線を求めるとともに、振れ測定用センサから2次元データ点を算出し、垂直な直線との距離を77点について算出する。図12にその測定結果と振れ値の最大値を求めた計測結果の表示画面の一部を示す。振れの最大値は約31 μ mであることがわかる。

図13に、補正用上下のセンサからの全データ点から3次元回帰平面を求め、その回帰平面と振れの各測定点との最大距離を最大振れとして求めた計測結果の表示画面の一部を示す。振れの最大値は約38 μ mで軸の振れの補正から求めた結果と比較すると若干大きいことがわかる。

8. 技術移転型能力開発セミナーの実施

面振れ自動計測装置の開発後、得られた最新の技術等の移転のために能力開発セミナーを計画し実施した。このセミナーは大学・大学院と連携した社会

表2 研修計画表の一部

訓練課題	(1)面振れ自動計測装置の概要 企画・設計製図・製作に関する技術指導 (2)計測方法と原理に関する技術指導 (3)表計算ソフトの応用による計測システムに関する技術指導 (4)実験計画法と実験方法 (5)結果のまとめ方と報告書の作成方法 (6)プレゼンテーション方法とプレゼンテーション技法 (7)研究報告会
担当者	小林 崇 (東北職業能力開発大学校) 主担当 成田敏明 (東北職業能力開発大学校) 井上克巳 (東北大学大学院工学研究科教授)
場所	東北職業能力開発大学校 東北大学機械知能工学科

人の高度で実践的な120時間セミナーとして計画・実施された。この大学・大学院と連携した社会人の高度で実践的なセミナーは、高度な職業能力開発機関と学術・研究面での高度な知見を有する地域の大学・大学院とが密接に連携し、高付加価値製品を生み、企業の中核となる高度な人材を育成することを目的としている。実際の企業で使用され、実機としての自動計測関連の新装置開発に基づいてのセミナーは、実践的でありかつ高度であることから、本装置開発の技術移転に伴うセミナーは大学・大学院と連携した120時間セミナーとして十分目的を果たすと推測された。

表2に研修計画表の一部を示す。訓練課題としては開発した装置の概要から企画・設計・製図に関する技術の移転を経て研究発表会による総合評価までとなっている。主な担当者は著者とし、内部発表会(東北・北海道ポリテックビジョン)での評価は東北職業能力開発大学校 成田敏明氏に、また外部発表会での評価は東北大学大学院教授井上克巳先生にお願いした。

表3に研修計画に基づく研修日程と内容を示す。研修は装置完成後の12月から始まり、最後の研究発表会が翌年4月となっている。なお、最終的に修了した受講者は5名であった。

図14に第1回東北・北海道ポリテックビジョンで

表3 研修日程と内容

時期	研修内容
12月上旬	企画に関する技術指導
12月中旬	設計製図・製作全般に関する技術指導
1月上旬	計測方法と原理に関する技術指導
1月中旬	3次元解析幾何学
1月中旬	表計算ソフトの操作方法と計測システムへの応用方法に関する技術指導および統計学
1月下旬	実験計画法および品質工学
2月上旬	技術結果のまとめ方と技術報告書の書き方および添削
2月中旬	プレゼンテーションソフトの操作方法と発表練習会および討論、研究発表会(東北能開大)
2月中旬	研究発表会(東北能開大)
4月上旬	研究発表会(東北大)



図14 東北・北海道ポリテックビジョンでの発表

の発表の様子を示す。共同研究対象企業から5人の参加者があり、発表後熱心な討論を行った。なお、発表後に共同研究対象企業が製作した2号機は、受注企業から正式に実機として採用された旨の通知があった。

9. おわりに

次世代自動車部品である特殊歯車の面の振れを自動で計測する装置を開発した。この装置により、短時間で高精度の計測結果を得ることができ、最終的に実機として採用されるに至った。この結果を踏まえて、高度で長期のセミナーを開催することができた。今後は本装置に改良を加えて幅広く公開することを目指している。