

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
FS ステージ シーズ顕在化タイプ 事後評価報告書

研究開発課題名	: 軸受の5自由度寄生運動の高精度高速一括計測システムの開発
プロジェクトリーダー	: 中央精機(株)
所属機関	
研究責任者	: 明田川正人(長岡技術科学大学)

1. 研究開発の目的

様々な産業分野で多用される軸受あるいは回転軸・主軸の5自由度寄生運動(ラジアルモーション(2自由度)、アキシャルモーション(2自由度)、アンギュラモーション(1自由度))を一括でかつ高精度・高速で計測できる装置・製品を事業化するために、本課題では、現状の問題点を解決し、計測可能回転速度 100,000rpm 以上、ラジアルモーション・アキシャルモーション計測精度 0.1 ナノメートル以下、アンギュラモーション計測精度 0.1 マイクロラジアン以下で計測可能な技術開発を目指す。この開発目標値は現在の軸受・主軸測定では世の中にない。またどのような産業機械の軸受・回転軸・主軸の5自由度寄生運動を計測できるよう、装置(測定システムと同心円状回折格子)のコンパクト化を図る。

例えば工作機械であれば、この仕様をもつ計測装置により超精密高速回転軸・主軸開発を促進し、サブナノメートルまでに及ぶ超精密かつ超高速加工技術を生み出せる。またこの装置を用いて高精度で全ての寄生運動が計測可能となると高精度でかつ摩擦の少ない軸受製造が可能となり、省資源・省エネルギーにつながる。軸受部で発生する熱の低減化により、装置の熱変形誤差が抑制され産業機器の高精度化が可能となる。軸受は幅広い産業分野で使われているので、国内のみならずグローバルな産業競争力の強化に寄与できる。

軸受または回転軸・主軸の5自由度寄生運動をサブナノメートル・サブマイクロラジアンで計測可能な国際的測定標準法は存在しない。事業化に用いるシーズ技術の国際標準化を目指す。

2. 研究開発の概要

①成果

計測可能回転速度 100,000rpm 以上、ラジアルモーション・アキシャルモーション計測精度 0.1 ナノメートル以下、アンギュラモーション計測精度 0.1 マイクロラジアン以下で計測可能な技術開発、製品化、事業化を目指し開発にあたった。

大学側での基本技術の研究、実験、問題点の洗い出し、企業側での設計、製造、技術の実装化、実装化における問題点の洗い出しと、役割分担を明確にして実施した。

短い期間ではあったが手法の確立、事業化への目途が立つところまで達成できた。成果物としてのアッセンブリは製品試作として機能するに十分であり社外への周知活動や引き続きの開発行為に役立っている。

研究開発目標	達成度
①位相復調法の検討 位相補間誤差を最終的に0.1nm 以下とする。	①達成度 80%: 偏光クロストークがおよそ 10%から 1%以下となる干渉光学系を試作した。位相ジャンプが生じないロバストな光学系を試作した。光量ロスを抑止する手法を見いだしたので、これ

<p>②光学系の見直し 偏光クロストークの少ない光学系の試作</p> <p>③位相ジャンプの除去 位相角 $2\pi \times$ 整数倍の不定性除去、軸受の5自由度寄生運動の高精度一括計測</p> <p>④提案手法のメリットの公開 国際会議にて提案手法の成果を広く流布する。2件の国際会議にて成果公表する</p> <p>⑤光学系と機械装置の設計製作 干渉計光学素子を実装する装置設計、本体試作製作を行う。偏光素子の選択、偏光クロストークの最小化、装置全体の高剛性化(コンパクト化)に注意する</p>	<p>をこの光学系に適用する。この適用が残りの20%。</p> <p>②達成度 90%:干渉計において偏光ビームスプリッタ周りの偏光を見直し、干渉縞に偏光クロストークがおおよそ10%から1%以下となる干渉光学系を試作した。位相補間誤差を今までの1/20以下としおおよそ1nm以下と出来た。半導体レーザの振幅変調に伴う位相補間誤差の抑制が今後の課題である。理論展開はしてあるが実験で確認していないのでこれが残りの10%。</p> <p>③達成度 90%:位相ジャンプの原因(光学系周りの振動)を究明しこれを光学系より除去しロバスト(堅牢)化した。この光学センサを3個中央精機株式会社と共同で試作した。高周波変調復調回路も共同で試作した。その結果、軸受の不要5自由度誤差運動=軸受のラジアルモーション(2自由度)+アキシャルモーション(2自由度)+ラジアルモーション(1自由度)を1μm程度の再現性で一括測定できた。高速回転への対応が今後の課題である。半導体レーザの高速変調とその復調回路の開発が残りの10%。</p> <p>④達成度 80%:計測に関する国際会議(The 11th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII2013))およびアジア精密工学会(Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology(ASPEN2013))にて成果を公表。ASPEN2013では優秀論文となりイギリスの著名ジャーナル Measurement Science and Technology への投稿を進められた。精密工学会、産業総合研究所などに働きかけ国際標準化への採用を図る。提案手法を何処まで標準化するかは今後の学会活動に関わる。これが残りの20%。</p> <p>⑤達成度 90%:3個のロバスト小型高剛性干渉計を試作しその調整も行った。位相補間誤差も低減でき、かつ軸受の振動の影響を受けないことが判った。更に光路調整を簡便かつ高精度にしたセンサを開発した。また汎用のデジタルロックインアンプでの実験を経て、実験用の試作、デテクタ12台分の12回路ロックインアンプを製作</p>
--	---

<p>⑥計測システム試作機の総合評価 本装置の一般への認知</p>	<p>し、100KHz での実験を行い、汎用機と同等レベルの信号を得た。製品化への対応も考慮し 2 回路アナログロックインアンプを試作した。±2次回折光の強度が小さいのでこれを高効率に回折できる回折格子を開発する。(時間的な制約もあり今後の課題となった)製品として対象被験物への対応を容易に行えるようにする。高効率回折格子製作、1MHz 変調、100,000rpm 到達に向けて更なる検証を行う。高回転化への対応としてアウトプットのソフトウェア処理の検証も行う。さらに応答性能を高めることに 10%。</p> <p>⑥達成度 90%:9 月 25 日から 27 日に開催の「測定計測展 2013」に 3 センサすべてを搭載したモデルを出展した。10 月 3 日開催の「TOKYO 技とテクノの融合展 2013」に資料を展示した。10 月 30、31 日に開催の「メディカルクリエーションふくしま 2013」に資料を展示した。11 月 6、7 日に開催の「ふくしま復興・再生可能エネルギー産業フェア 2013」に 3 センサすべてを搭載したモデルを出展した。自動車関連、工作機械関連のユーザーに機能説明等を行った。ユーザーリサーチ、個別商品説明会等を企画し、認知を加速させる。製品化に向けてさらに展示会、説明会を計画している。認知活動に 10%。</p>
-----------------------------------	--

②今後の展開

引き続き国立大学法人長岡技術科学大学 明田川研究室と中央精機株式会社との共同研究を継続し役割分担の上、開発にあたる。

また、今回の成果を受けて事業化を中央精機株式会社が主体となって進める。

今回の開発過程で多くのお客様からご意見をいただいた。この過程で顕在化したニーズも多く、本シーズで対応する部分とこのウオンツが合致できれば製品として成り立つとの実感を得た。

具体的には測定範囲の拡大、フィールドエンジニアリングへの対応等に十分に応用できるようにしなければならない。

時期を逃さないよう事業化を進める。

3. 総合所見

概ね目標通りの成果が得られ、イノベーション創出が期待される。

産と学とが密接な連携をし、商品化できる直前のプロトタイプにまでまとめ上げ、展示会等で積極的に評価をいただくまで仕上げしており、高回転数での計測にまだ未達の課題があるものの、シーズ顕在化タイプとして十分な成果と評価できる。

競争技術に対する優位性が必ずしも明確にされていないこと、展示会等での要望やニーズがまとめられていないなどの課題はあるが、今後、国際標準をめざし、自社の技術開発へと反映されることを期

待する。