



精密測定の再定義

トリプルビームレーザー干渉計
SP 5000 TR による長さと角度の同時測定

- より速く、より信頼性の高い測定結果
- 測定不確かさの低減
- 再現性の向上
- 測定プロセスの時間節約

PRECISION IN MEASUREMENT

測定精度 — 長さ・角度・真直度・振動・温度



5-6 | 挑戦

7 | ソリューション

6 挑戦

7 ソリューション

8 高精度測長システム

10 ケース1

11 ケース2

12 ケース3

13 ケース4

14 ケース5

10-17 | ケース

15 ケース6

16 ケース7

17 ケース8

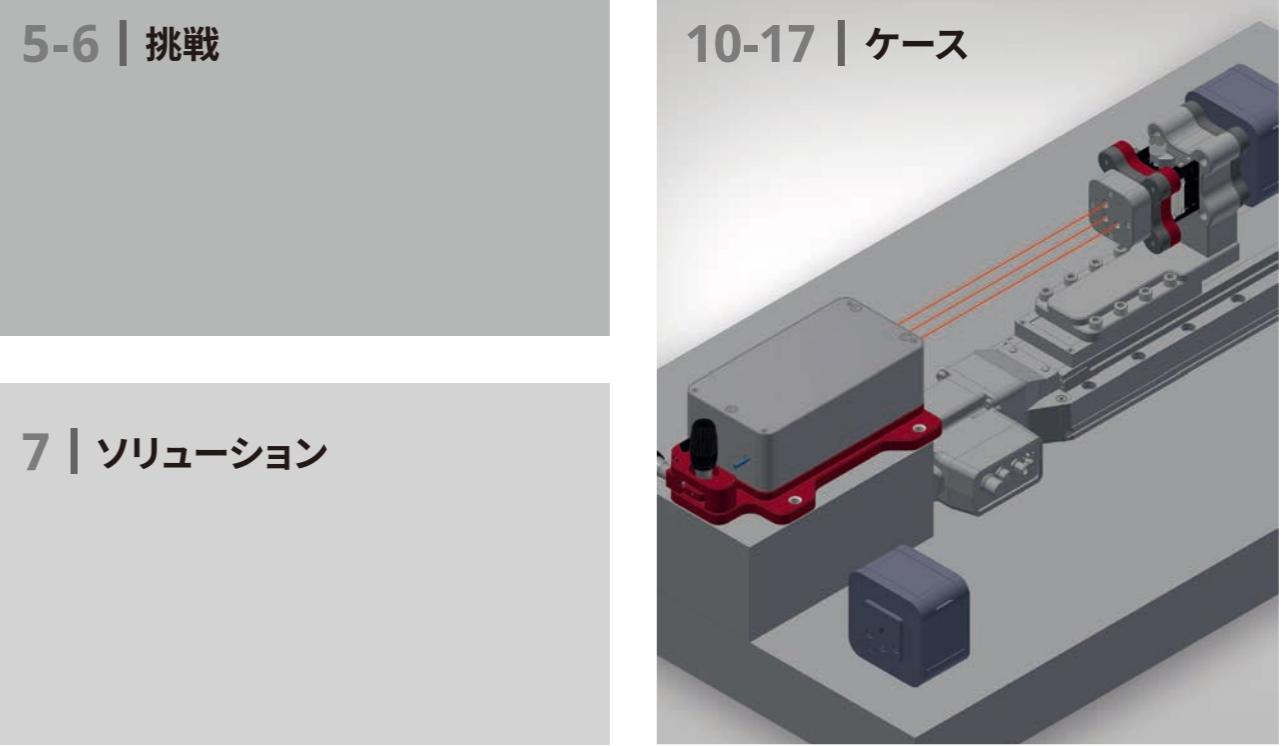
18 アクセサリー

19 測定室モニタリング

20 ソフトウェア

21 SP 5000 TR 仕様

22 なぜ SIOS ?



精度は現代の産業と研究において 必要不可欠な要素です。

機械工学、半導体製造、光学といった多くのハイテク産業において、測定の不確かさとプロセス制御に対する要求はますます厳しくなっています。

さらに進む小型化と、あらゆるサイズの部品を最高の精度で製造することの必要性から、これまで以上に最先端の測定技術が求められています。

しかしながら、従来の測定システムの多くは、こうした要求に対応できていません。



角度測定を同時に行わないただの長さだけの測定は、もはや最先端技術ではありません。測定中に傾斜が発生し、それが正しく測定されない場合、大きな測定誤差が生じます。

長さと角度の計測値は、動的かつ同期的に行うことでアプリケーションが求める精密測定において大きな付加価値をもたらします。また、これにより測定環境の変化がどのように計測結果に影響を及ぼすかを理解でき、その影響を最小限にすることが可能となります。『』

For maximum precision and innovation



Dr. Denis Dontsov,
CEO, SIOS Meßtechnik GmbH



正確な長さと角度の測定における挑戦

II 時間シフト測定による時間ロス

長さと角度の測定は別々に行われることが多く、時間がかかるだけでなく、変化する周囲条件下では全体的な結果に未知の偏差が生じる可能性があります。

II 热による測定への影響

静的かつ時間のかかる測定は、測定セットアップ中に熱変化が発生した場合、ドリフトや測定データ品質の低下につながります。

II 生産環境におけるスペース不足

複雑な計測技術は多くの場合、多くのスペースを必要とし、既存のスペースだけでの使用が困難です。

II 不十分な分解能

多くの場合、わずかな偏差を確実に検出するために必要十分な精度を達成していません。

これらの課題に対処するため、SIOS社では **トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR** を設計しました。

長さと角度を最高の信頼性で同時に測定することで、測定技術の新たな基準を確立します。

測定の不確かさを大幅に低減し、再現性を向上させ、測定プロセスにおける膨大な時間を節約します。



この資料では、トリプルビームレーザー干渉計 **SP 5000 TR** を使用して、測定結果を最高の精度で最適化する方法を紹介します。

信頼性、効率性、そして最高レベルの技術

レーザー干渉計、長さと角度の測定における熱の影響

どのような産業、科学分野においても構築する計測機器やその計測システム全体が、たった1つの素材のみで構成されることは非常に希です。

言い換えると、花崗岩、ステンレス、チタン、インバー、アルミニウム、セラミックス、ガラスなどは、どのような計測装置でも広く使用されている素材であり、様々な組み合わせで計測システム全体が構成されています。

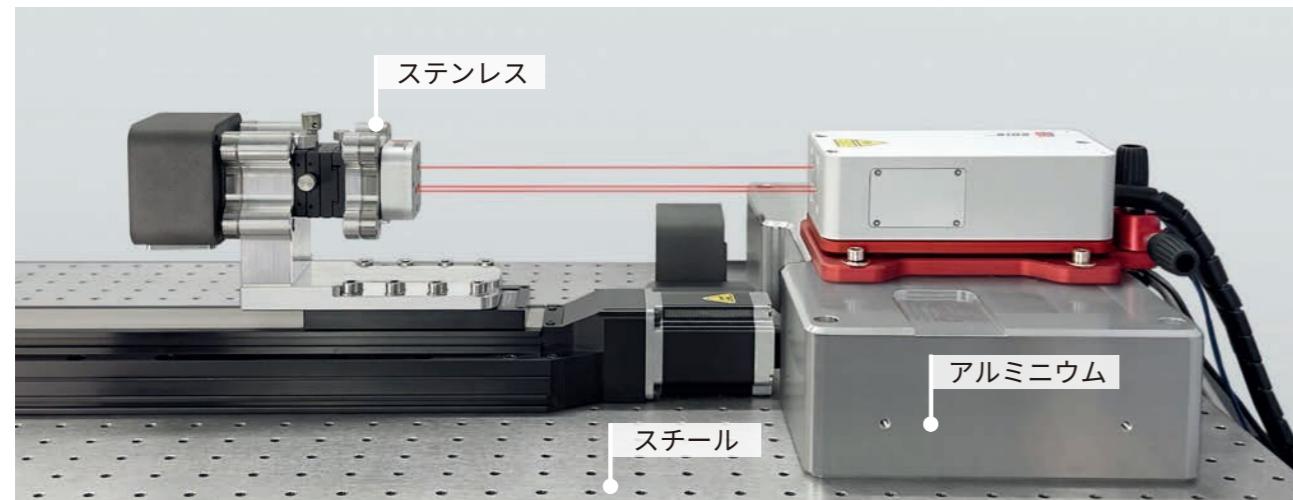
これらの素材はそれぞれ異なる線膨張係数と熱伝導率を持ち、温度変化に対する反応時間も異なります。

通常、ユーザーは測定環境のクリーンレベルや一般的な温度、湿度の平均くらいしか把握していません。

測定室の短期的な温度、湿度変化や昼間、夜間の変化は考慮されていないことが多く、これらが予測不能な測定偏差に繋がります。

長さと角度の測定を異なる時間に行うと、温度変化によって結果が大きく異なる可能性があります。それにより、すべての測定データを確実に精密、正確に分析することがより困難になります。

結論：複数の自由度を高速かつ同時に取得することで、測定偏差の一貫した分析が可能になります。その結果、様々な測定変数を同時に測定できるため、温度変動が測定変数に与える影響を低減することができます。



素材	線膨張係数 α (10^{-6} K^{-1} : 20°C)	熱伝導率 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
アルミニウム	24 to 26	~ 220
ステンレス	10 to 16	~ 20
花崗岩	5 to 7	~ 3
インバー	0.5 to 1.2	~ 13

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TRは、長さ、ピッチ角、ヨー角の測定値*を同時に、高い相関性と一貫性をもって測定するため開発されました。

高度なデータ同期により、ドリフトの影響を最小限に抑え、測定プロセスを高速化する動的測定が可能になります。さらに、外部トリガーにより、最大 3m/s の物体速度でも「オンザフライ」で測定することができます。

高性能レーザーを納めた測定機本体からレーザー干渉計へと光ファイバーでの接続となっており、トリプルビームレーザー干渉計 **SP 5000 TR** なら最小限の測定スペースで最高の測定精度を実現します。

もし、測定値を相殺するような現象がある場合、分解能が重要な役割を果たします。

例えば、ターゲットとなる測定不確かさが 10 nm で、アッベオフセット (Abbe Offset) が 100 mm の長さ測定には、少なくとも $0.1\text{ } \mu\text{rad}$ の角度分解能が必要となります。

SP 5000 TR はこれらの要件を満たし、様々なアプリケーション分野で高精度な測定を可能にします。



* ロール角測定センサーオプションあり

II 同時測定による時間のロスなし

長さと角度の同時測定により、一貫したデータ基盤が確保され、測定誤差が低減されます。

II 熱の影響を最小限に抑える

高速データ取得と高い同期性により、ドリフトの影響を正確に補正できます。

II 省スペース設計

コンパクトな設計と光ファイバー接続により、限られたスペースでも使用可能です。

II 最高の分解能で信頼性の高い結果を実現

極めて微細な角度分解能と最小限の測定不確かさにより、要求の厳しいアプリケーションでも正確な測定結果が得られます。



トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR

SP 5000 TRは、3つの干渉計を1つの測定ヘッドに統合した高精度測長システムです。

計測機本体に格納された 超高性能安定化HeNeレーザーから非常に安定した周波数をもつレーザー光が 3つの測定チャネル全てから照射されます。

この3つのビームは測定対象に照射され、それぞれでナノメートル精度で測定を行います。これらの測長差を精密に計測することで、ピッチ角、ヨー角を高精度かつ高分解能で計測することができます。

SP 5000 TRには、ロール角センサー（オプション）を追加することも可能です。

SIOS社の干渉計システムは、モジュール設計を採用していますので、様々な測定タスクに対応することができます。

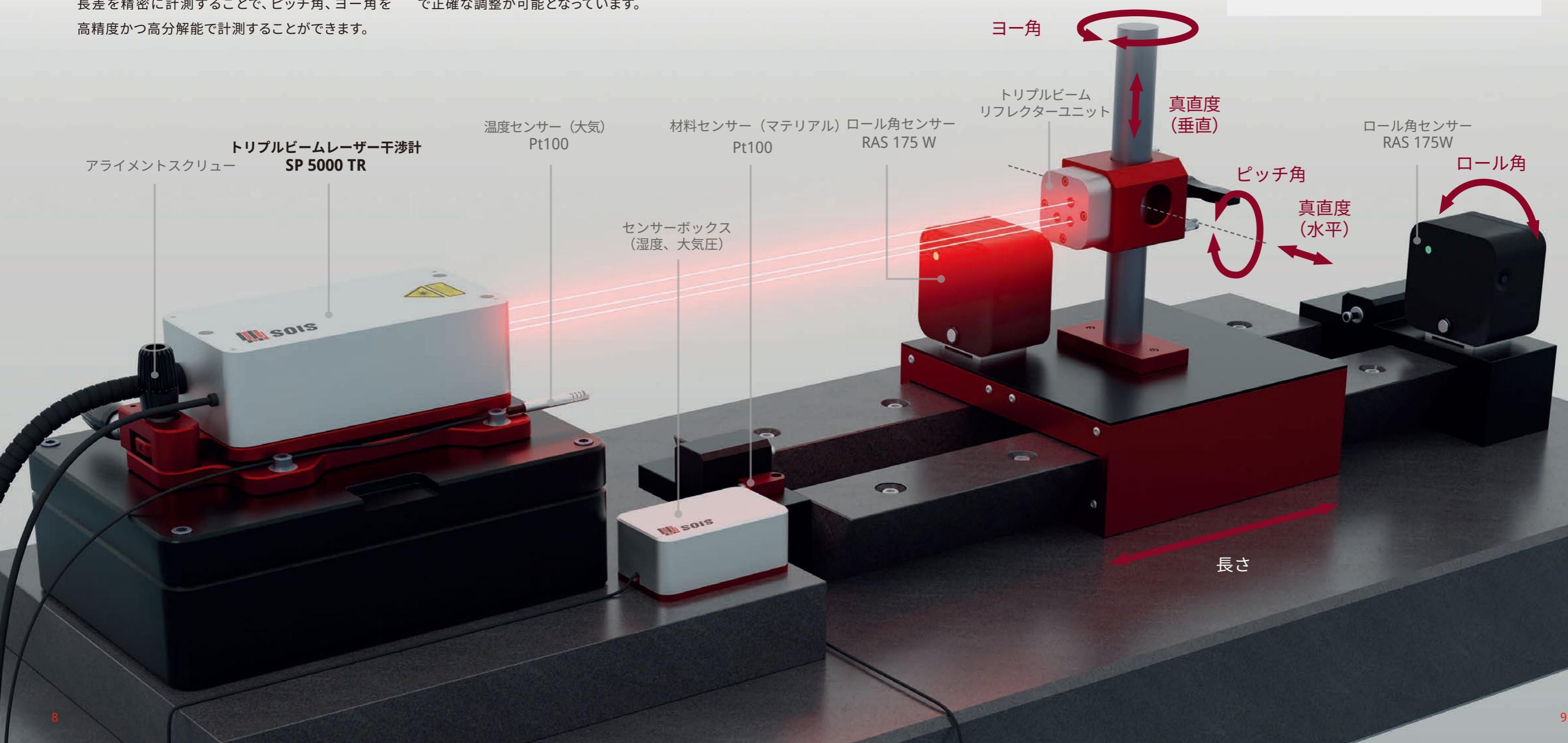
そのセンサーへッドには、アライメント時に使用できるビーム検出機能がありますので、取り扱いが容易で正確な調整が可能となっています。

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TRは、コンパクトで堅牢な設計です。

産業分野や研究分野における高精度測定に最適なシステムであるだけでなく、真空環境でも使用可能なOEMバージョンもご要望に応じてご提供することができます。

用途

- 半導体検査装置、製造装置
- 露光装置、リペア装置
- LCD、OLED 検査装置
- ステージの高精度調整、校正など



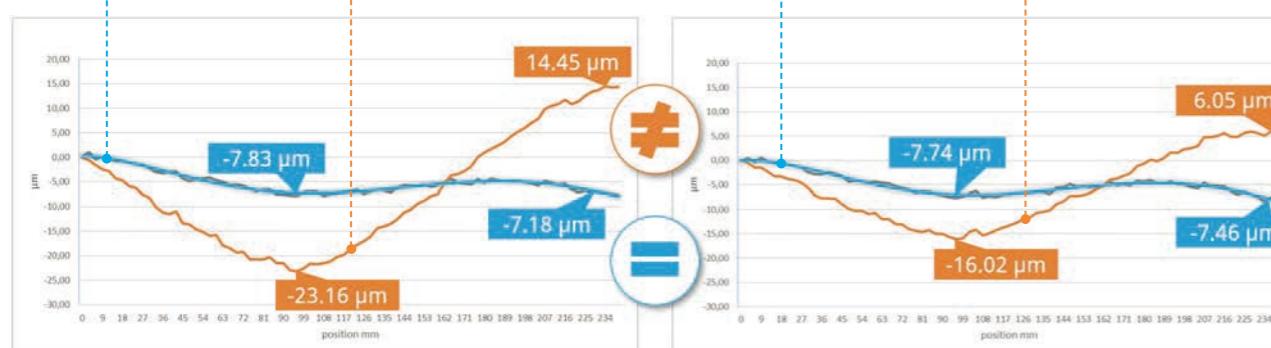
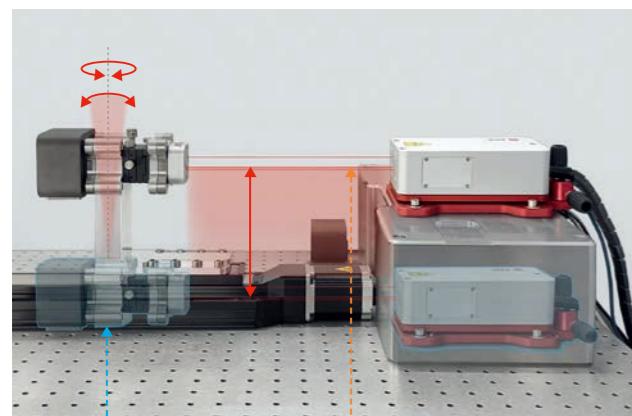
ケース 1

アッベ誤差のない高精度な長さ測定

リフレクタユニットが移動軸に対して完全な一直線上に配置されていない場合、オフセットが生じ、正確な長さ測定を行うことはできません。このオフセット（アッベオフセット）は、いわゆるアッベ誤差（アッベエラー）につながり、測定の不確かさに大きな影響を与える可能性があります。

長さと角度測定を同時に行えない場合、測定環境のわずかな温度変化によって結果が大きく歪む可能性があります。それにより、すべての測定データを正確に分析することがより困難になります。

下の図からわかるように、干渉計の測定軸を測定対象ガイドウェイの駆動軸に直接配置することは、几何学的にみても不可能です。測定軸と駆動軸の距離とリフレクタユニットの傾きにより、特定の状況下では非常に大きな測定偏差が生じ、その値はしばしば不明のままとなります。



ケース 2

アライメント誤差のない近距離での長さ測定

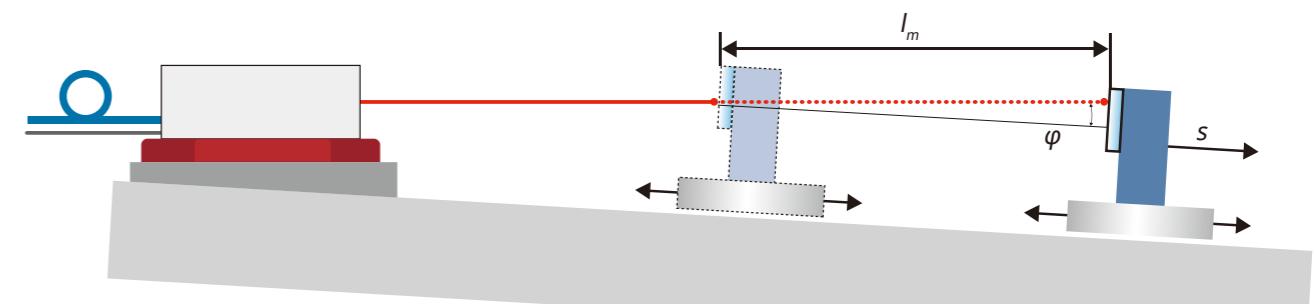
アッベ誤差に加えて、測定中に発生する2つ目の幾何学的誤差はアライメント誤差です。

これは長さに依存し、相対値 ($\mu\text{m}/\text{m}$) で表されます。そのため、特に測定距離が短い場合は認識が困難です。

以下に記載されている計算例は、目視によるレーザービームのアライメントで発生しうる誤差を示しています。

リフレクタユニット上のビームが測定距離の始めから終わりまで 0.5 mm ずれた場合、誤差は $0.5\mu\text{m}/\text{m}$ となります（例 1）。同じ変位が 50 mm で観測された場合、誤差は直線的に大きくなり、 $50\mu\text{m}/\text{m}$ と非常に高くなります（例 2）。

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR は、レーザービームの微調整を容易にするアライメント補助機能を内蔵しているため、簡単にアライメント誤差を低減できるソリューションを提供します。ソフトウェア上のターゲットクロスは、測定軸と移動方向が一致しているかどうかを容易に示し、これに従うことで測定時には誤差の影響はごくわずかとなります。



$$\Delta l_{\cos} = l_m \cdot [1 - \cos(\varphi)]$$

Δl_{\cos} = アライメント誤差

l_m = 移動距離

φ = 角度

	例 1 アライメント補助なし	例 2 アライメント補助あり	例 1 アライメント補助なし	例 2 アライメント補助あり
ビームシフト	0.5 mm	20 μm	0.5 mm	10 μm
軸方向長さ	500 mm	500 mm	50 mm	50 mm
角度	3.4 arcmin (1 mrad)	0.14 arcmin (0.04 mrad)	34.4 arcmin (10 mrad)	0.68 arcmin (0.2 mrad)
アライメント誤差	$0.5\mu\text{m}/\text{m}$	$0.0008\mu\text{m}/\text{m}$	$50\mu\text{m}/\text{m}$	$0.02\mu\text{m}/\text{m}$

軽量型リフレクタユニットによる動的角度測定

動的アプリケーションにおける測定では、測定機器の自重による影響を受けないよう、軽量な測定機器が必要となることがあります。

これは特に、研究や産業生産において発生するような、高速で複雑な動きの場合には大切です。

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR は、特別に開発された軽量型リフレクタユニットと組み合わせることで、これらの要件に最適なソリューションを提供します。

軽量型リフレクタユニットは質量慣性を最小限に抑えるため、非常に動的な動きでも高速かつ高精度な測定を可能にします。

適用可能な用途

ダイナミックなアプリケーション

SP 5000 TR は、3m/s の高速移動でも正確な角度変化を測定できます。

広い角度測定範囲

レンズアタッチメントにより、反射特性の低い光学面の急速な傾斜動作でも、高精度な測定が可能になります。

サブマイクロラジアン分解能

0.01 μ rad の分解能により、わずかな角度変化も検出できます。

軽量構造

レンズアタッチメントにより、レーザービームの理想的な集光と反射が保証され、測定誤差が最小限に抑えられます。



SP 5000 TR

光学表面における高解像度の動的角度測定

反射特性の低い光学品質の表面は、反射率が低いため、精密測定が特に困難です。

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR は、レンズアタッチメントと組み合わせることで、高精度で信頼性の高いソリューションを提供することができます。

レンズアタッチメントは、アルミニウムなどの表面での測定を可能にし、高速移動時でも信頼性の高い角度測定を保証します。

適用可能な用途

ダイナミックなアプリケーション

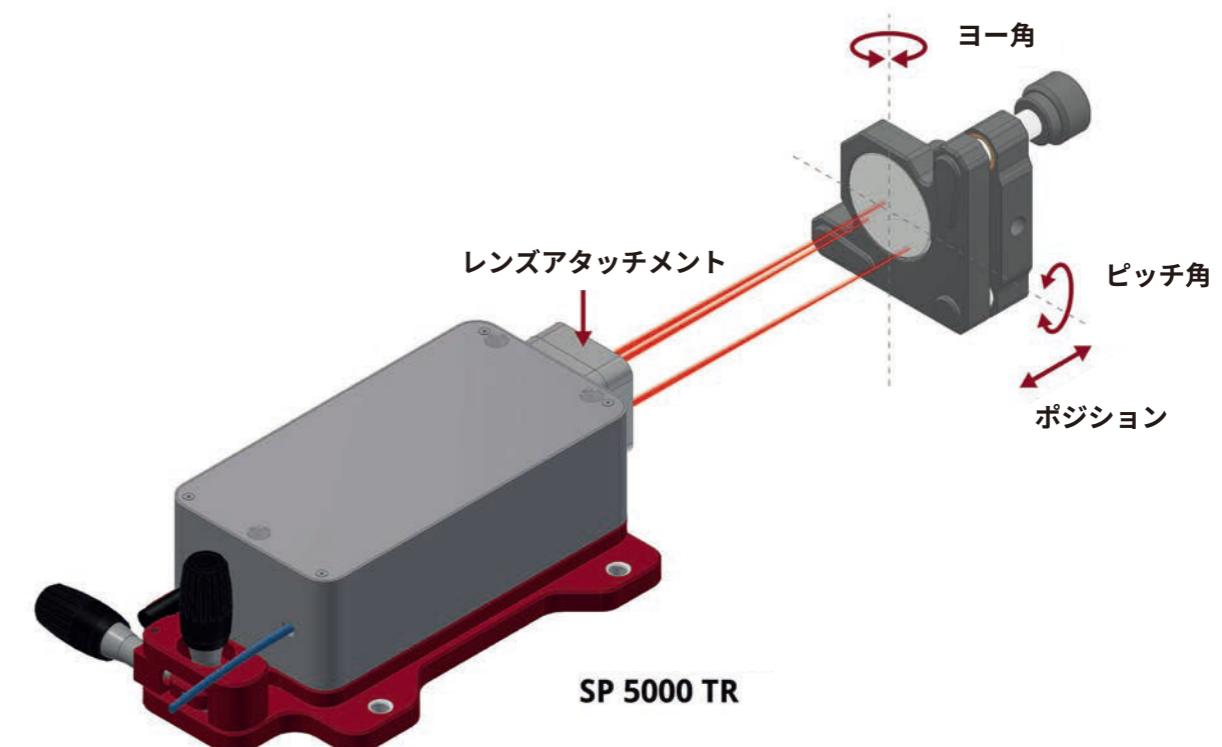
$\pm 12.5^\circ$ の測定範囲を備えたこのシステムは、複雑な動きのシーケンスも完全に捕捉できる柔軟性をもっています。

サブマイクロラジアン分解能

0.01 μ rad の分解能により、わずかな角度変化も検出できます。

最適なビームガイド

わずか 25g の軽量型リフレクタユニットは、測定セットアップにほとんど影響を与えません。



SP 5000 TR

長期にわたる非常に安定した長さと角度の測定

ディファレンシャルレーザー干渉計は、長時間にわたる測定値の安定性が特に求められる場合に非常に有効です。測定ビームとリファレンスビームのそれを測定対象物に照射し、測定環境の影響を相殺（キャンセル）することで、最高性能の長時間の測定安定性を確保しています。

3ビーム干渉計のディファレンシャルバージョンである SP 5000 DI / TR レーザー干渉計は、この優れた安定性をもつ測定システムです。

長さ、ピッチ角、ヨー角を測定環境の影響を受けずに長時間安定して測定できる最高性能の測定システムです。

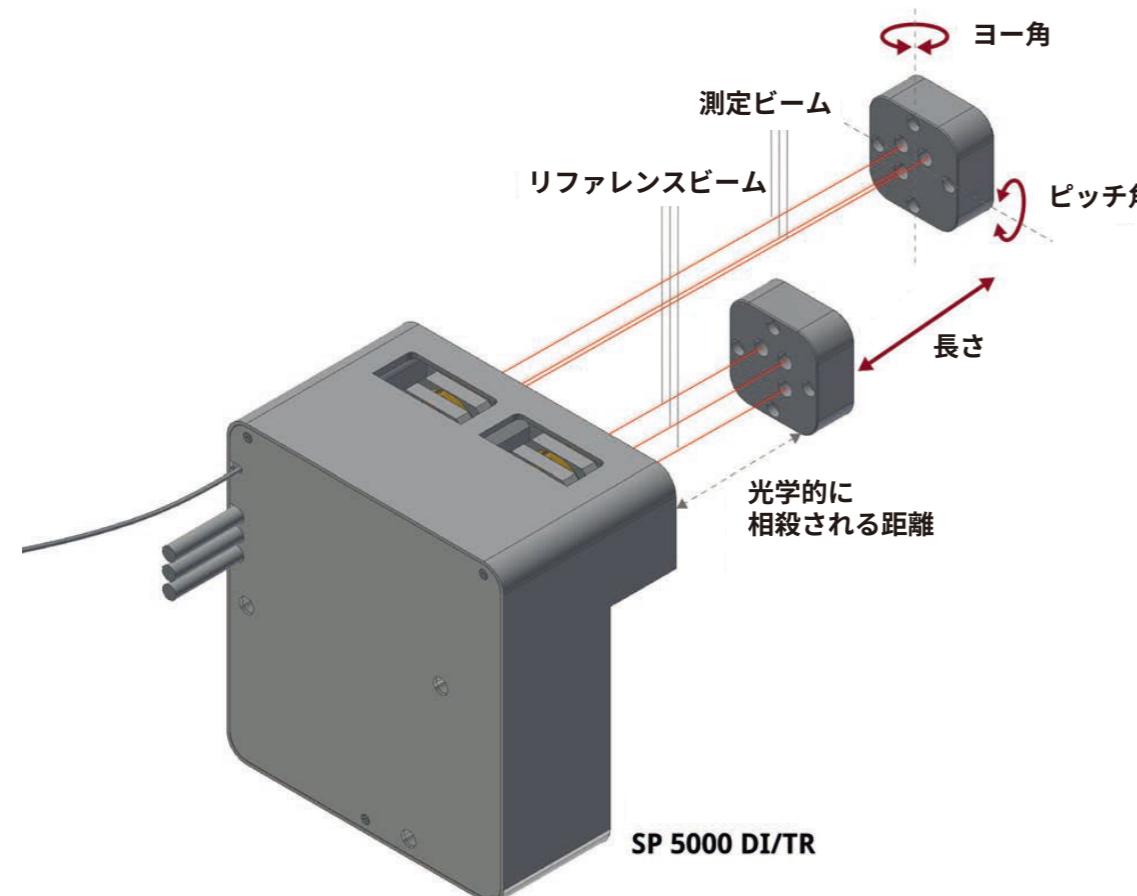
適用可能な用途

非常に安定した測定装置

測定のデッドパスの影響は、ディファレンシャル測定によって完全に排除され、測定装置に対するセンサーの動きも排除されます。

長期安定性

このシステムは、数時間または数日間にわたる測定においても、最大限の測定安定性を提供します。



真空中での非常に安定した長さと角度の測定

真空中での測定には、使用する材料とセンサー製造時の清浄度に特別な配慮が必要です。

設計においては、センサーへの空気の混入を防ぎ、材料からのガス放出を低く抑える必要があります。また、センサーを真空チャンバーに挿入する際の取り扱いも問題となります。

そのため、メンテナンス時にセンサーをフィードスルーから分離できるソリューションが開発され、設置作業を最小限に抑えています。

1×10^{-7} mbarまでの真空アプリケーション向けに特別に設計された3ビームレーザー干渉計 SP 5000 TRをご要望によりご提供することが可能です。

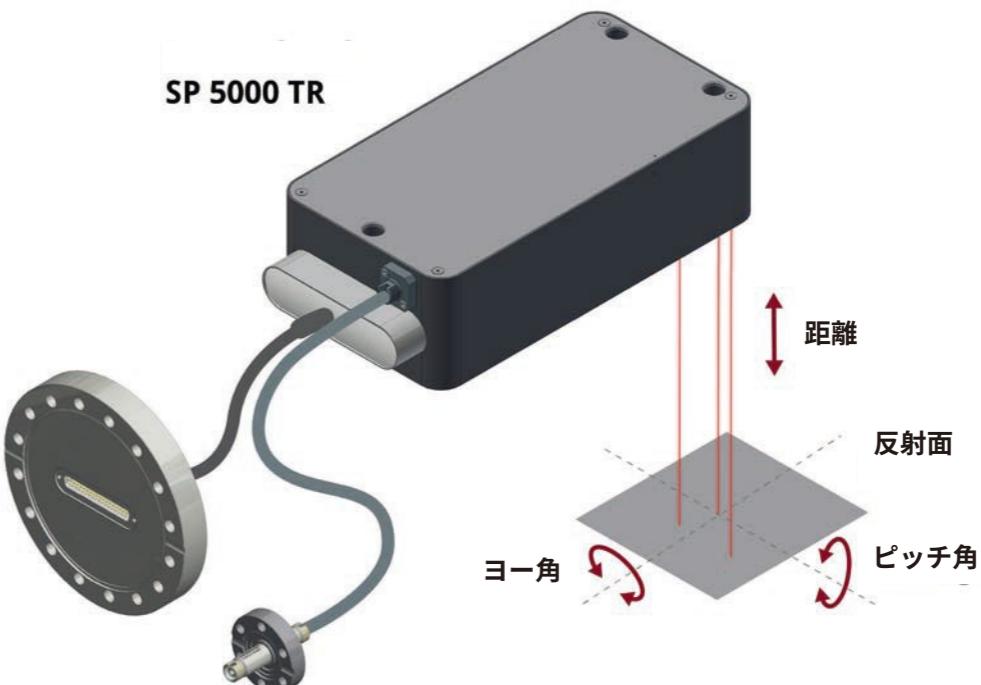
適用可能な用途

真空対応の材質

アルミニウム、ステンレス、またはインバーの設計により、真空中でも安定性と信頼性を確保します。

最高精度

真空中で使用すると、測定に対する周囲環境の影響が排除されることになるので、測定不確かさが最小となり、現在達成しうる最高性能が実現できます。



リニアステージ / スライダーの製造における迅速な受け入れ測定

製造された、または購入された リニアステージ、リニアスライダーの製造、製品出荷、受入検査は、高い精度で迅速に行われることが不可欠です。

特に、サイクルタイムが長い場合、軸のあらゆる自由度を捉えるためには、測定を動的かつ同時に、そして高い精度で行う必要があります。

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR と、InfasAXIS ソフトウェアの組み合わせは、この問題に対する最適なソリューションを提供します。

このシステムは、リニアステージ、スライダーのあらゆる関連パラメーターをリアルタイムで同時に測定することを可能にしています。

適用可能な用途

同時測定

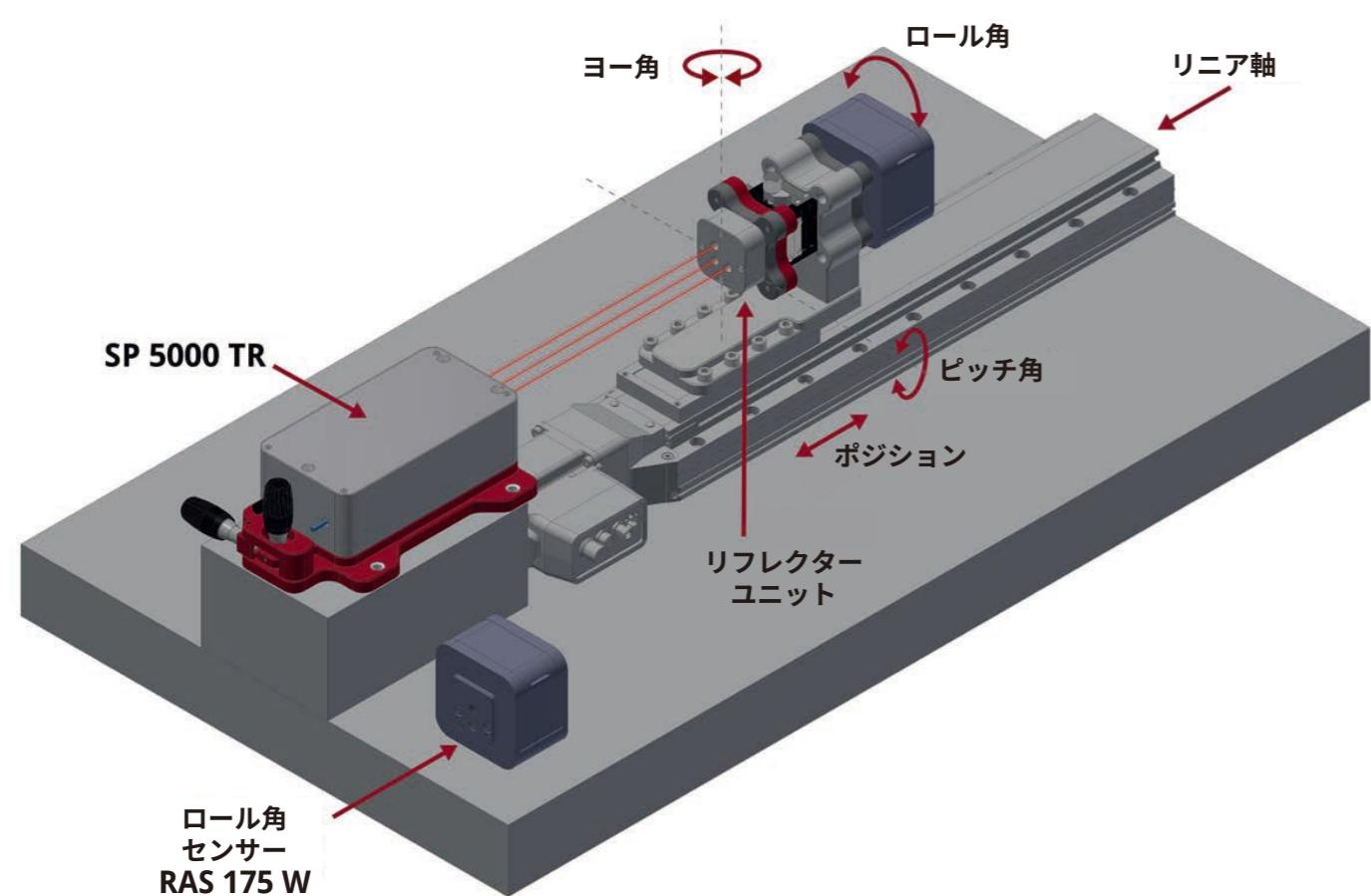
軸方向の位置に関するすべての関連する自由度の検出。

高サイクルタイム

最大 3m/s の測定速度により、高速生産、高速検査サイクルに最適化。

規格準拠の測定

InfasAXIS ソフトウェアなら VDI/ISO 規格に準拠した最高品質ステージ測定を保証します。



複雑な測定セットアップでの長さと角度の測定

測定が必要な箇所は常に十分なスペースがあるところとは限りません。場合によっては非常に複雑なセットアップが必要な場合もあります。

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR には、非常に小さな測定対象物を測定するためのアクセサリーとして測定ヘッドからの各ビーム距離を短くするためのコンポーネントやビームの出射方向を偏向させることができるコンポーネントなど、様々なアクセサリーがオプションとして用意してあります。

ご要望に応じて、トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR は、あらゆる設置場所に合わせて特別にカスタマイズすることができ、幅広い測定タスクに最適なソリューションを提供します。

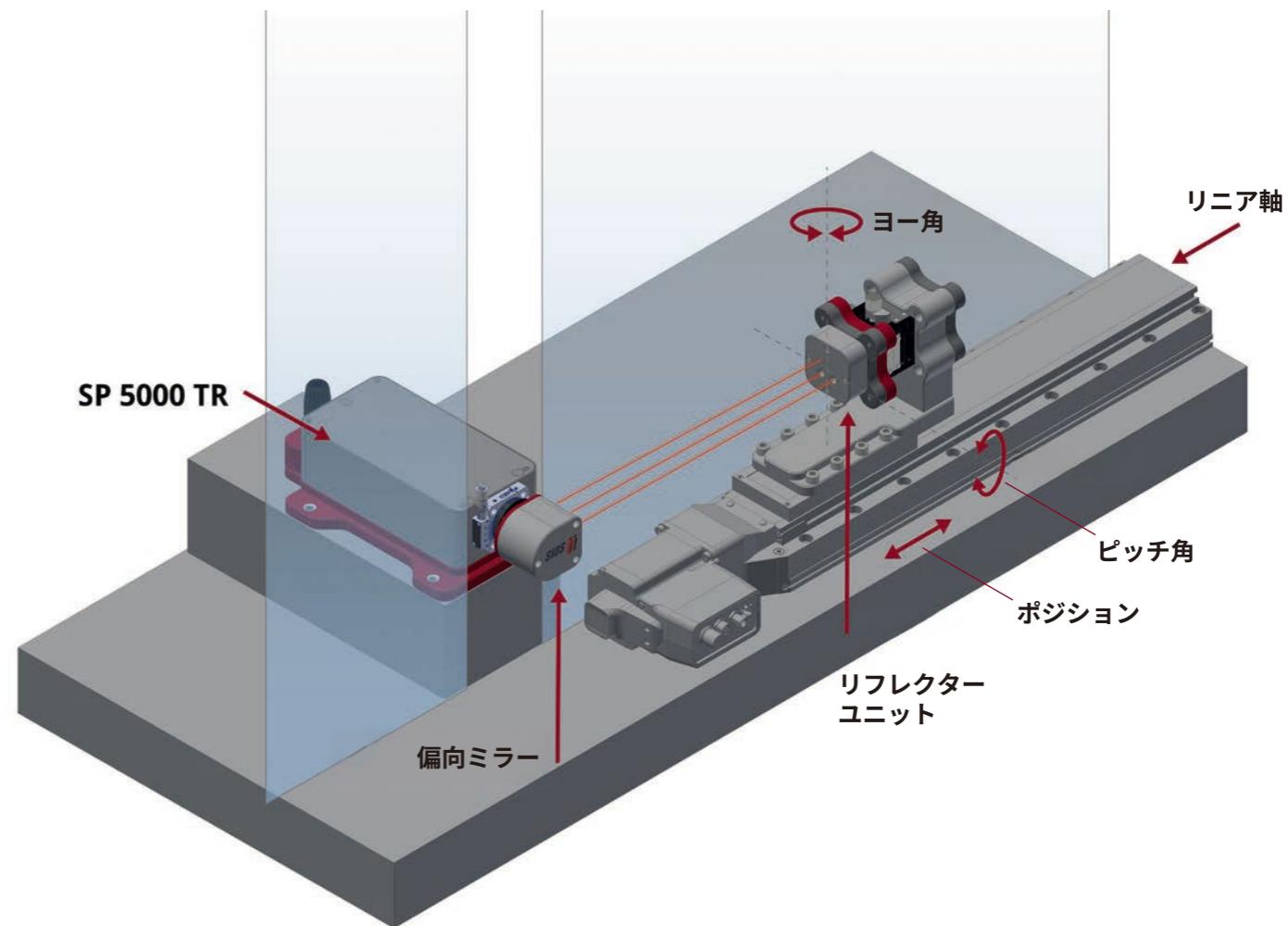
適用可能な用途

アクセス制限下での測定

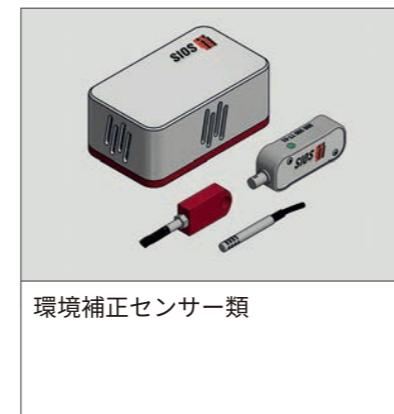
アクセサリーにより、測定位置が制限されている場合やアクセスが困難な場合でも、レーザービームの正確な位置合わせが可能です。

オフセット誤差の補正

長さと角度の測定を組み合わせることで、アッベ誤差を確実に補正します。



アクセサリー：トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR 向け



高い信頼性の測定結果を得るための手法、測定室モニタリング

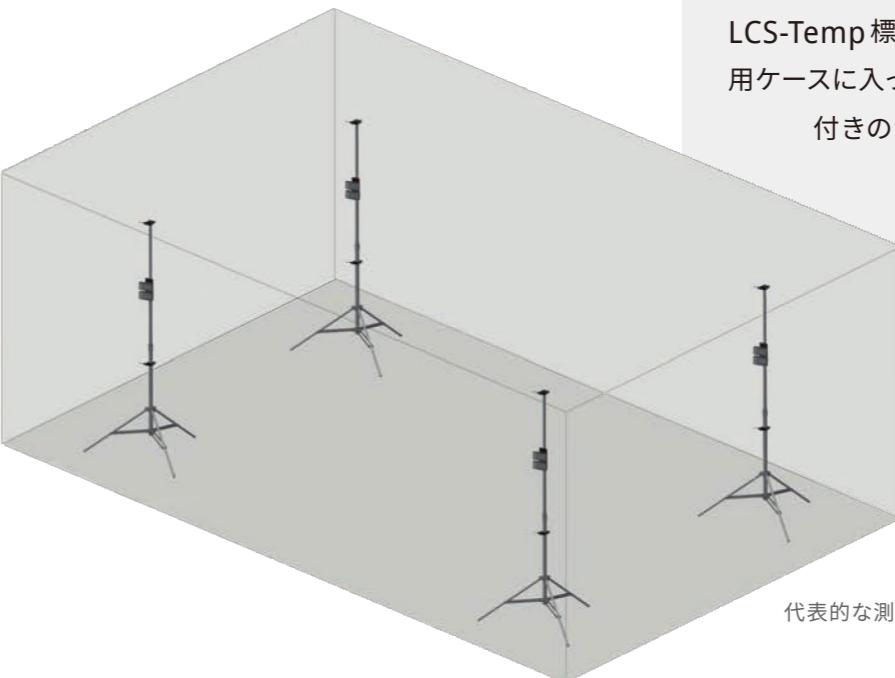
ユーザーが使用できる環境は常に理想的な実験室環境や最適化された測定室であるとは限りません。

測定に求められる環境の条件は非常に厳しく、周囲環境をどのようにモニターするかは、精密測定にとって極めて重要です(6ページを参照)。

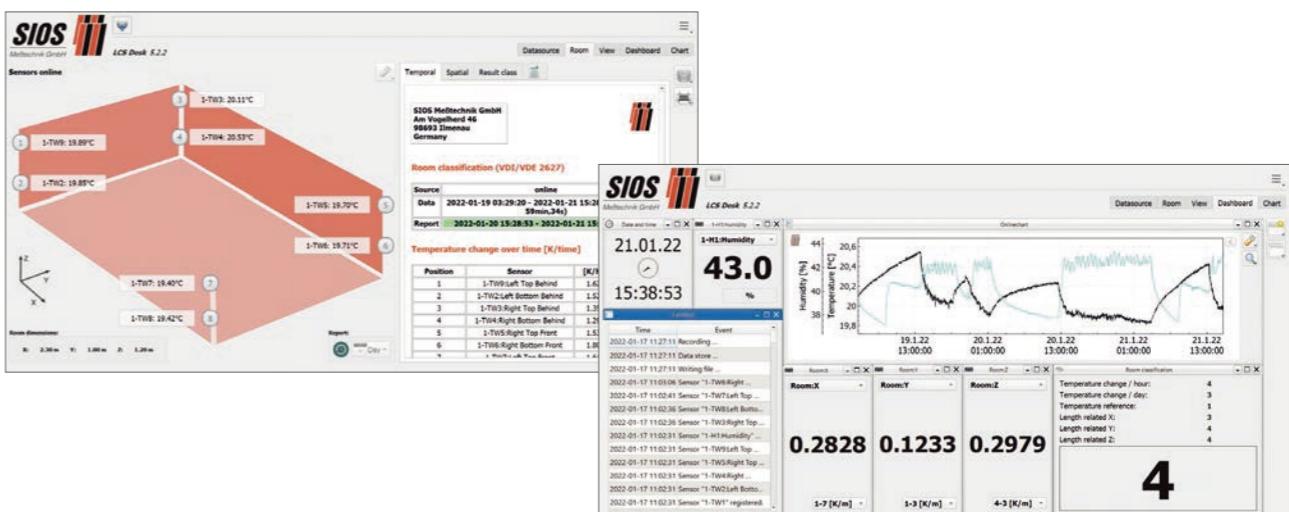
SIOS社は、測定室環境をシームレスにモニターするための機器とソフトウェアを提供しています。

LCS-Temp - 測定室をモニターするためのモバイルセット

LCS-Temp 標準セットには、実用的な輸送用ケースに入った工場出荷時の試験証明書付きの温度センサー 8個、スタンド4個、およびLCS-Desk ソフトウェア拡張機能が含まれています。



代表的な測定環境例



環境データはディスプレイに表示されます。

トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TR に最適なソフトウェア

 InfasWB	 InfasAXIS	 InfasMTCAL
標準ソフトウェア 測定、測定結果の表示、データの保存	VDI / ISO 規格に準拠したキャリブレーション キャリブレーションおよび容積補正用ソフトウェア VDI / ISO 規格に準拠したポジション、ピッチ、ヨー角、真直度の測定	キャリブレーションおよび容積補正用ソフトウェア キャリブレーション、誤差分析、検証 リニア軸、三次元測定機、工作機械向けアプリケーション

 SignalMonitor	 API
アライメント用ソフトウェア 干涉計の信号品質と、アライメントの情報表示	SIOS社のAPI ユーザー向けソフトウェアライブラリ サポートとプログラミング 一般的なプログラミング言語に対応したサンプルプログラム

製品仕様		
長さ	測定レンジ	0 m ~ \geq 5 m (オプション 10 m)
	分解能	20 pm ^{*1}
角度	測定レンジ	$\pm 12.5^\circ$ ^{*2}
	リフレクター使用時	$\pm 430 \mu\text{rad}$
	プレーンミラー使用時 (推奨距離 \leq 2 m)	0.01 μrad ^{*3}
分解能		
ロール角測定 (オプションRAS 175 W) :	測定レンジ	$\pm 17.5 \text{ mrad}$
	分解能	0.4 μrad
測定不確かさ - 安定環境下	長さ測定	0.15 $\mu\text{m/m}$
	角度測定	$\pm 0.04 \% \pm 0.04 \mu\text{rad}$
	ロール角測定	$\pm 2.4 \mu\text{rad} \pm 0.5 \% (19^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$
		$\pm 2.4 \mu\text{rad} \pm 1.5 \% (15^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$
ビームピッチ (水平、垂直)		12 mm
レーザー波長		632.8 nm
HeNe レーザー安定性 (ウォーミングアップ後)		2×10^{-8}
ウォーミングアップ		20min
動作環境温度		15°C ~ 30°C
変位測定 - 最大速度		3 m/s
外形		
外形寸法 (L x W x H)		
センサーへッド - 調整マウント付き		202 x 137 x 72 mm
リフレクターユニット		45 x 45 x 20 mm
エレクトロニクスユニット		450 x 400 x 150 mm
ロール角センサー (RAS 175 W: オプション)		74 x 54 x 77 mm
エレクトロニクス		
インターフェース	標準	RS252C, USB
	別インターフェースあり	
ケーブル長 (センサーへッド - エレクトロニクスユニット)		3 m - 標準
電源		100 - 240 V / 47 - 63 Hz
レーザー安全性 EN 60825-1:2014		2M
レーザー安全性 ANZI Z136.1(CDRH)		II

※1 周波数領域 ※2 回転ポイントに依存 ※3 最下位ビット

04/2025 · Subject to change.

なぜ SIOS ?

SIOS社 (SIOS Meßtechnik GmbH) は30年以上にわたり、レーザー干渉計における先駆的なイノベーション、最高の精度、そして卓越した品質を追求してきました。 SIOS社の高度な測定システムは、世界中の産業界のお客様、研究機関、大学で使用され、測定プロセスの効率化と信頼性の向上に貢献しています。

SIOS社の成功は、技術の継続的な開発とお客様との緊密な協力関係の上に成り立っています。



SIOS社をお選びいただくことで、長さと角度を同時に測定する革新的な測定システムとハイレベルの精密測定手法を得るだけでなく、お客様のニーズを理解し、技術的な課題を理解する信頼できるパートナーをも得ることができます。 ↵

イルコ・ラーネベルグ博士
SIOS Meßtechnik GmbH CTO

SIOS社は、レーザー干渉計測技術、校正・ナノ計測技術のための精密計測機器の開発・製造を行っています。



長さ測定



長さ、角度測定



キャリブレーションシステム



振動測定



測定プローブ



ナノポジショニング



測定テストソリューション



高精度安定性HeNeレーザー



環境測定



測定ソフトウェア

SIOS社の強み：

革新的な技術：

お客様に常に最新のソリューションをご提供できるよう、研究開発に継続的に投資しています。

お客様固有のニーズへの対応：

標準的なソリューションだけでは不十分な場合が多くあります。 SIOS社は、お客様のアプリケーションに最適な測定システムを構築できます。

最高の製造品質：

ドイツ製 - SIOS社の製品は、イルメナウの工場で、厳格な品質管理の下、製造されています。

包括的なサポートとアドバイス：

初期の計画から導入、アフターサービスまで、お客様をサポートいたします。



トリプルビームレーザー干渉計 SP 5000 TRによる
“長さ”と“角度”的同時測定、高精度測定は、
高精度を求めるアプリケーションに必要不可欠です。

さらなる性能の求めに追随するだけでなくその一歩先をゆく
**SIOS社の 超高精度レーザー干渉計・超高精度ポジショ
ニング計測システム** を是非一度お試しください。

SIOS Meßtechnik 社(SIOS 社) は、ピコメートルレベルの超精密測定を
実現するレーザー干渉計テクノロジーをベースに、
幅広い超高精度測定システムとレーザー干渉計測定装置を提供しています。

次世代半導体設備、高性能 CMM、精密加工機器など、
“長さ、角度、真直度、振動、温度”における
高精度、高分解能を求めるアプリケーションで威力を発揮します。