



重新定義精度

使用 SP 5000 TR 三光束雷射干涉儀同步進行
長度與角度測量

- // 更快速且更可靠的測量結果
- // 降低測量不確定度
- // 提升重現性
- // 節省測量過程時間

精密測量

長度・角度・直線度・振動・溫度



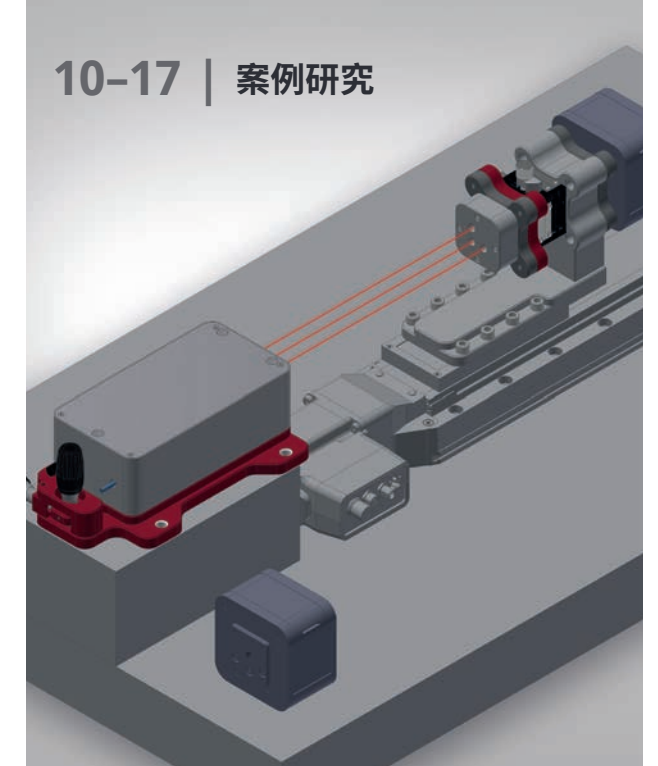
6 | 挑戰

環境溫度對雷射干涉儀長度
與角度測量中的影響

7 | 解決方案

三光束雷射干涉儀 SP 5000 TR，同步精
密測量長度、俯仰角及偏擺角

10-17 | 案例研究



4 精密長度與角度測量的常見挑戰

7 解決方案：SP 5000 TR三光束雷射干涉儀

10 案例研究 1：高精度長度測量，無阿貝誤差

11 案例研究 2：近距離長度量測，無對準誤差

12 案例研究 3：搭配輕量反射鏡的動態角度測量

13 案例研究 4：光學表面高解析度角度測量

14 案例研究 5：長期高度穩定的長度與角度測量

15 案例研究 6：在真空環境中進行高穩定度的長度與角度量測

16 案例研究 7：線性軸生產中的快速驗收測量

17 案例研究 8：在難以實現的測量裝置中進行長度和角度測量

18 合適的配件

19 測量室監控設備

20 合適的測量技術軟體

21 技術數據

22 為何選擇 SIOS Meßtechnik GmbH？

24 聯絡方式

精度是現代工業與研究中的關鍵因素。

在機械工程、半導體製造及光學等高科技產業中，對測量不確定度及製程控制的要求日益嚴格。

持續的微型化趨勢與製造各尺寸元件之高精度需求，均仰賴最先進的測量技術。

然而，許多傳統測量系統已無法追趕此等技術發展。



僅進行純長度測量而未同步量測角度，已不符合現代技術標準。

若測量過程中發生傾斜而未正確記錄，將導致測量偏差。

我深信長度與角度測量值的動態同步記錄，能帶來顯著的附加價值。

所有測量值皆能迅速記錄，環境影響亦因此得以最小化。



為實現極致精度與創新，

博士Denis Dontsov，SIOS
Meßtechnik GmbH執行長



精密長度與角度測量的典型挑戰

// 因需分開測量所需更多的時間

長度與角度測量常需分開執行，不僅耗時，且在環境條件變動時，會導致整體結果出現未知偏差。

// 溫度（熱效應）對量測的影響

靜態或緩慢的測量值記錄，於測量裝置發生熱變化時，易造成漂移並降低測量資料品質。

// 生產環境空間不足

複雜的測量技術通常佔用大量空間，且難以整合至既有製程中。

// 解析度受限

許多系統無法達到所需的精度，因此即使是極微小的偏差也難以被可靠地偵測出來。

為因應這些挑戰，我們的開發團隊設計了**三光束雷射干涉儀 SP 5000 TR**。

藉由同步測量長度與角度，並確保高可靠度，它在量測技術上樹立了新的標準。

它能顯著降低測量不確定度，提升重複性，並節省大量測量時間。



在本白皮書中，我們將展示，
如何運用**SP 5000 TR 三光束雷射干涉儀**以最高精度優化您的測量結果。

可靠、高效，達到最高技術水準

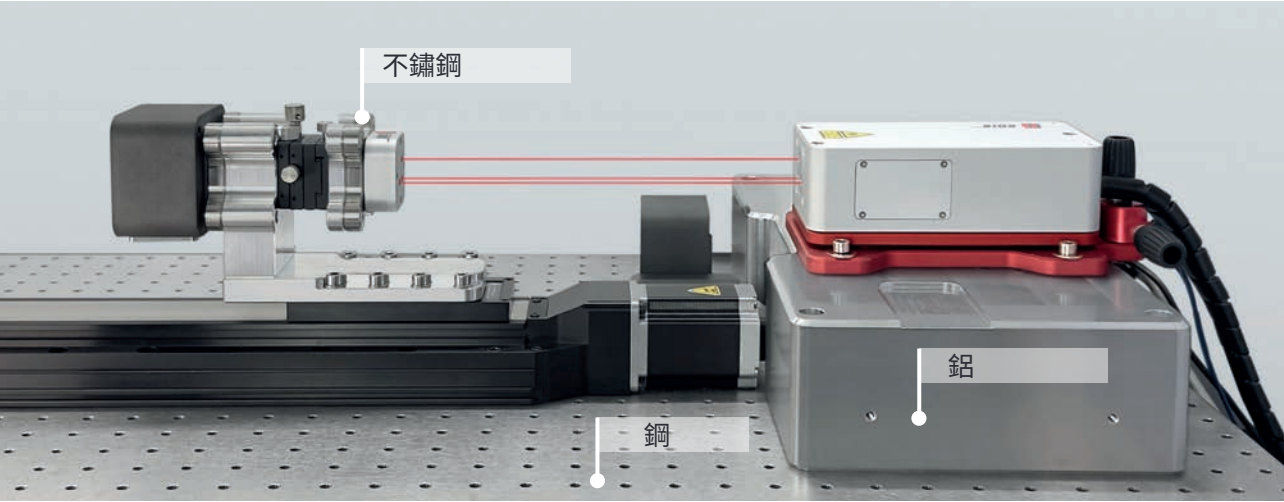
環境溫度在雷射干涉儀中對長度與角度測量的影響

在工業與科學應用中，測量設備鮮少僅由單一材質構成。花崗岩、不鏽鋼、鈦合金、invar、鋁、陶瓷與玻璃，常以各種組合形式出現在測量系統中。這些材料的線性膨脹係數與熱傳導率皆不同。它們對溫度變化的反應具有不同的時間常數。

使用者通常僅掌握測量環境的一般等級或24小時內的平均溫度穩定度。短期溫度波動或測量室的晝夜溫度變化往往未被考慮，導致意外的測量誤差。

若長度與角度測量分別於不同時間進行，溫度變化將嚴重影響測量結果。這也使所有測量資料的可靠分析更加困難。

結論：快速且同步取得多自由度資料，能實現測量偏差的全面分析。因此能減少溫度波動對各測量變數的影響，因為這些變數是同步測量的。



材料	線性膨脹係數	熱導率
	20 °C 時的 α / α 單位為 10^{-6} K^{-1}	單位：W/(m·K)
鋁	24 至 26	~ 220
不鏽鋼	10 至 16	~ 20
花崗岩	5 至 7	~ 3
鐵鎳合金(invar)	0.5 到 1.2	~ 13

SP 5000 TR 三光束雷射干涉儀旨在同時且高度關聯、持續一致地記錄長度、俯仰角與偏擺角的測量數據*。

高度的資料同步化使得動態測量成為可能，有效降低漂移效應並加速測量過程。

此外，外部觸發功能允許在物體速度高達3 m/s時，即時記錄測量值。

由於測量環境中空間常受限，SP 5000 TR特別設計為緊湊型機構。

雷射干涉儀光纖耦合設計，確保在節省空間的同時達成最高精度。

當需對測量值進行校正偏移時，所能達成的解析度是關鍵因素。

例如，目標測量不確定度為10 nm，且阿貝偏移為100 mm的長度測量，至少需0.1 μ rad的角度解析度。

SP 5000 TR符合上述要求，並能支援多種應用領域的高精度測量。

- 無因分開測量而浪費時間。
長度與角度的同步記錄確保資料基礎一致，並有效降低測量誤差。
- 將熱效應影響降到最低
快速資料擷取與高度同步性，實現精確的漂移效應修正。
- 節省空間的整合設計
緊湊設計與光纖耦合，適用於受限的生產環境。
- 最高解析度，確保可靠結果
極佳的角度解析度及極低的測量不確定度，即使在嚴苛應用中亦能提供精確且可靠的測量結果。



* 滾動角亦可選配 RAS 175 配件進行測量

三光束雷射干涉儀 SP 5000 TR

三光束干涉儀是一種精密的長度量測裝置，將三個干涉儀整合在同一設備中。三個測量通道皆由相同且高度穩定的雷射頻率光源供光，這意味著可以同時以奈米級精度測量三個長度值。

由兩個長度值的差異與校準過的光束距離，可高解析度、高精度地測定俯仰角（pitch）與偏擺角（yaw）。

也可選配透過額外感測器整合滾動角（roll）測量。

干涉儀系統採用模組化設計，因而能適應各種多樣化的測量任務。

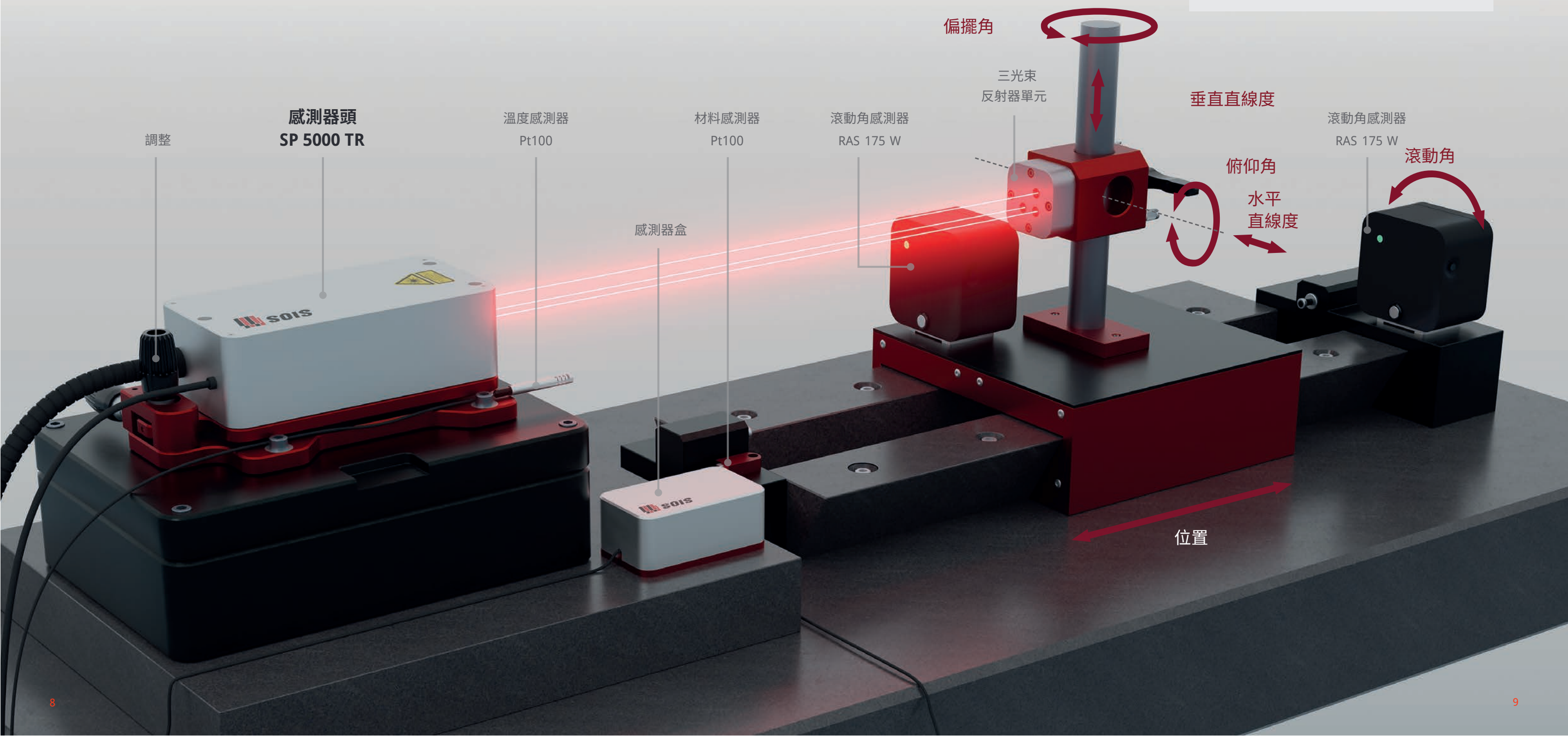
感測器頭的光纖連接及整合光束方向偵測，有助於操作便利與精確調整。

SP 5000 TR 三光束雷射干涉儀設計緊湊且堅固耐用。使其成為工業及研究領域中高精度測量的理想選擇。

可依需求提供 OEM 版本，亦適用於真空環境。

適用於

- 品質保證
- 校正
- 開發
- 科學／研究



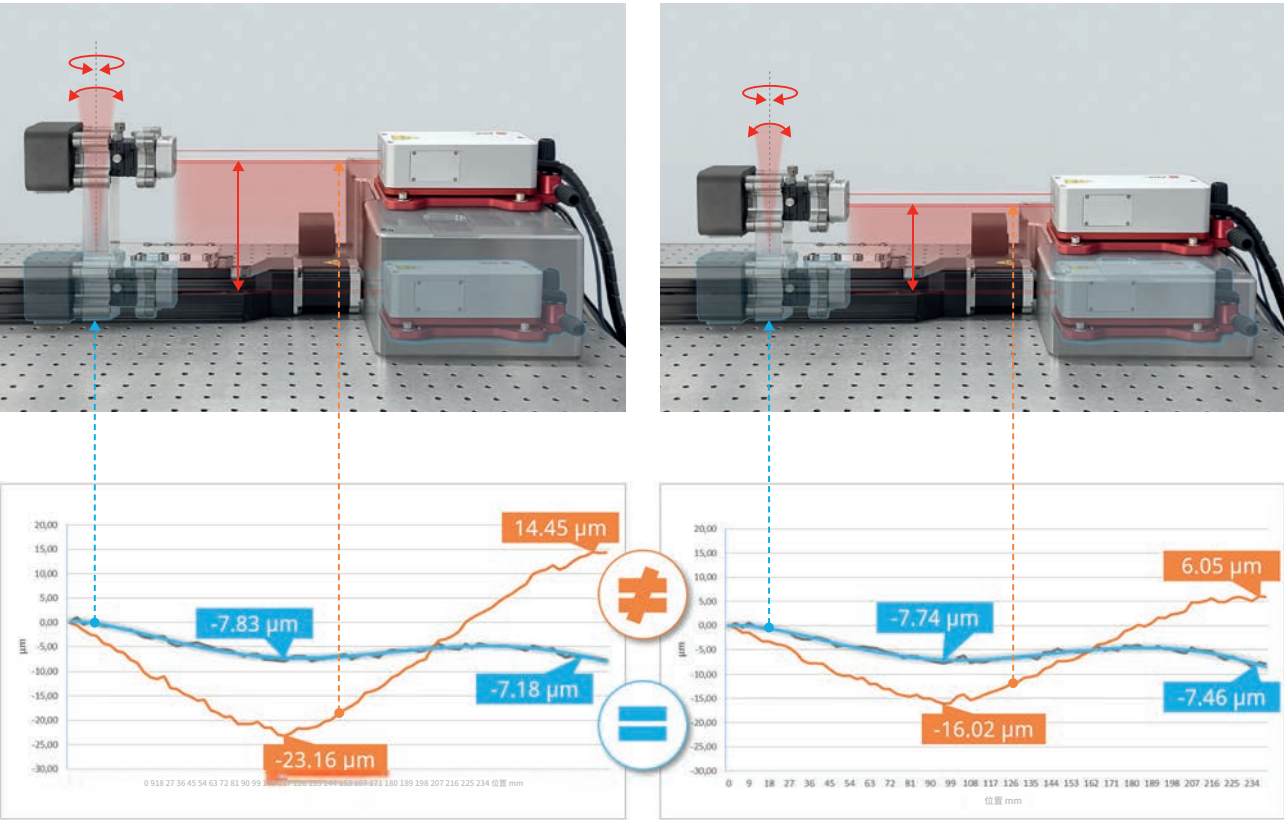
高精度長度測量無阿貝誤差

如果測量反射鏡無法與移動軸線對準，精密長度量測就會面臨特別挑戰。此偏移會產生所謂的阿貝誤差（Abbe error），可能顯著影響量測的不確定度。

圖示說明了，通常在幾何上無法將干涉儀的測量軸直接置於導軌的驅動軸上。驅動軸與測量軸之間的距離，再加上反射鏡的傾斜，會導致量測偏差；在某些情況下，此偏差可能非常大，且往往無法被察覺。

使用三光束雷射干涉儀 **SP 5000 TR**，可透過計算補償阿貝誤差。

三光束技術能同時以最高精度取得長度與角度數值。因此，可大幅降低因阿貝位移所引起的測量偏差。



近距離長度量測，無對準誤差

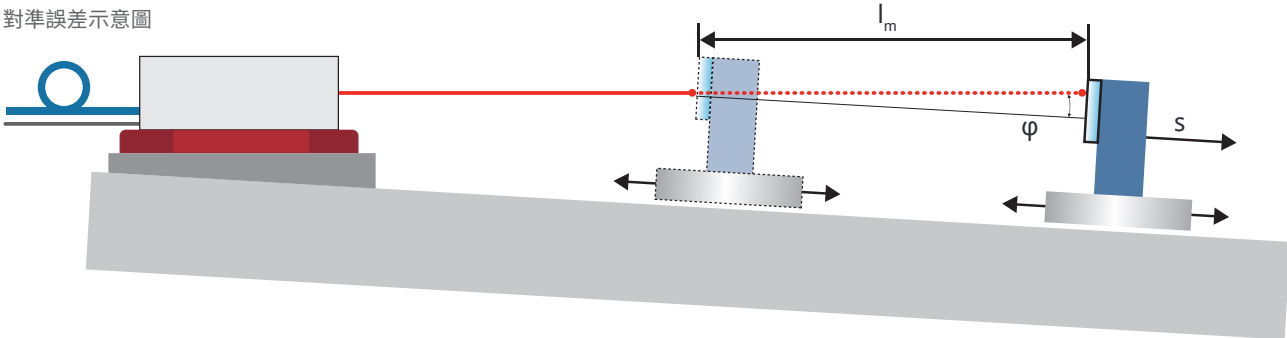
除了阿貝誤差之外，量測中還會出現第二種幾何誤差——對準誤差（alignment error）。此誤差與長度相關，通常以相對值 $\mu\text{m}/\text{m}$ 表示。然而，特別是在短測量距離時，這種誤差很難被察覺。

表格中的計算範例顯示，若僅以目視方式對雷射光束進行對準，可能產生的誤差。例如：

若光束在測量鏡上從測量起點到終點偏移 0.5 mm，則誤差為 $0.5\mu\text{m}/\text{m}$ （範例1）。

若在 50 mm 的測量距離上觀察到同樣的偏移，誤差會線性增大，達到 $50\mu\text{m}/\text{m}$ （範例 2）。

三光束雷射干涉儀 **SP 5000 TR** 提供使用者友善的對準誤差解決方案，系統內建對準輔助功能，促進雷射光束的精細調整。軟體中的目標十字準心可方便判斷測量軸是否與移動方向一致，使此誤差影響可忽略不計。



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

l_m = 位移量測 ϕ = 角度

	範例 1 無輔助	有對準輔助	範例 2 無輔助	有對準輔助
可見光束位移	0.5 mm	20 μm	0.5 mm	10 μm
線性軸長度	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)
對準誤差	0.5 $\mu\text{m}/\text{m}$	0.0008 $\mu\text{m}/\text{m}$	50 $\mu\text{m}/\text{m}$	0.02 $\mu\text{m}/\text{m}$

搭配輕量反射鏡的動態角度測量

動態應用中，通常需要輕量化的測量設備，以避免設備自身重量影響運動。此需求尤為適用於研究與工業生產中快速且複雜的運動。

結合專門開發的輕量反射鏡，SP 5000 TR 三束光雷射干涉儀提供了針對這些需求的量身解決方案。輕量反射鏡可降低質量慣性，因此即使在高動態運動下，也能實現快速且精確的量測。

應用範圍

高速動態應用

SP 5000 TR 可於高速移動（達3 m/s）時測量精確的角度變化。

大角度測量範圍

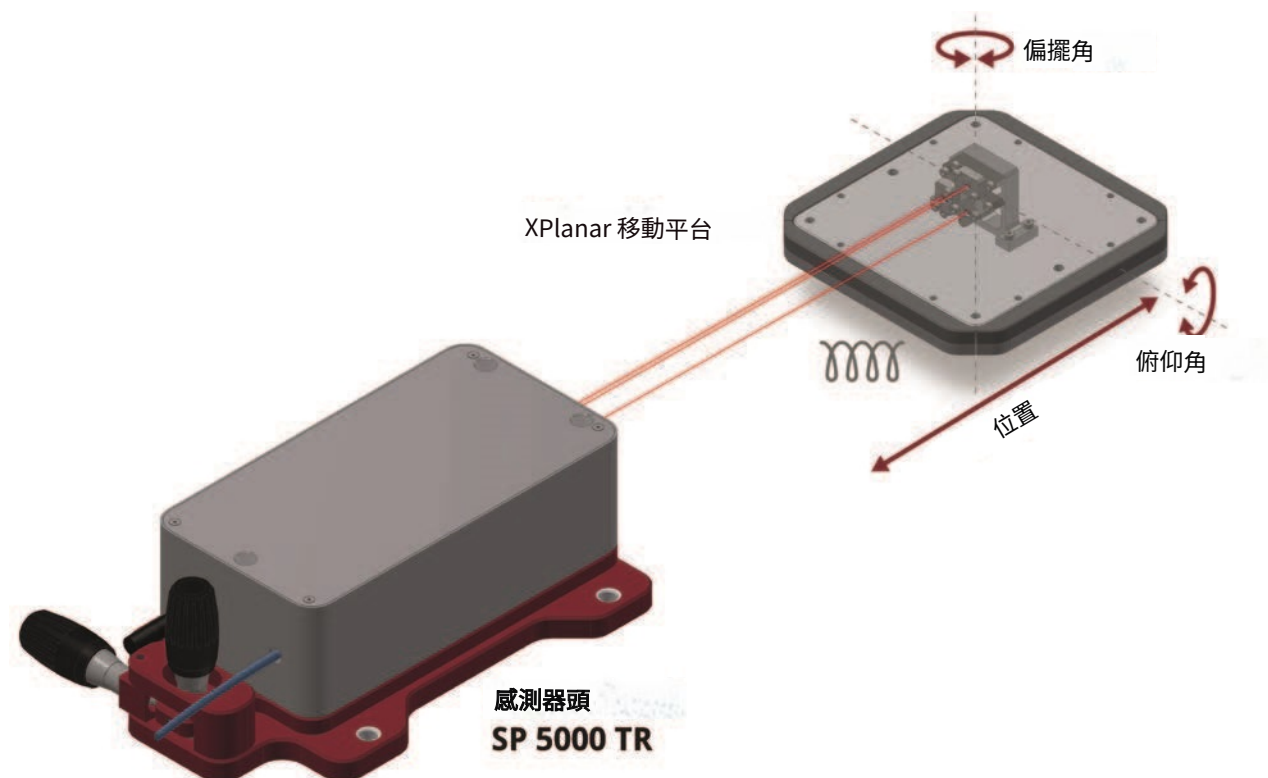
測量範圍達 $\pm 12.5^\circ$ ，系統具備靈活性，能完整捕捉複雜的運動程序。

次微弧度解析度

具備0.01 μrad 解析度，確保極微細的角度變化皆能被精確偵測。

輕量化設計

重量僅25 g，輕量反射鏡對測量設定幾乎沒有影響。



光學表面高解析度動態角度測量

傾斜且反射率低的光學表面，進行精密量測是一項特別的挑戰。

SP 5000 TR 三光束雷射干涉儀結合鏡頭附件，提供了一個精確且可靠的解決方案。鏡頭附件可對如鋁材等表面進行量測，並確保即使在快速運動下也能進行可靠的角速度測量。

應用範圍

高動態運動

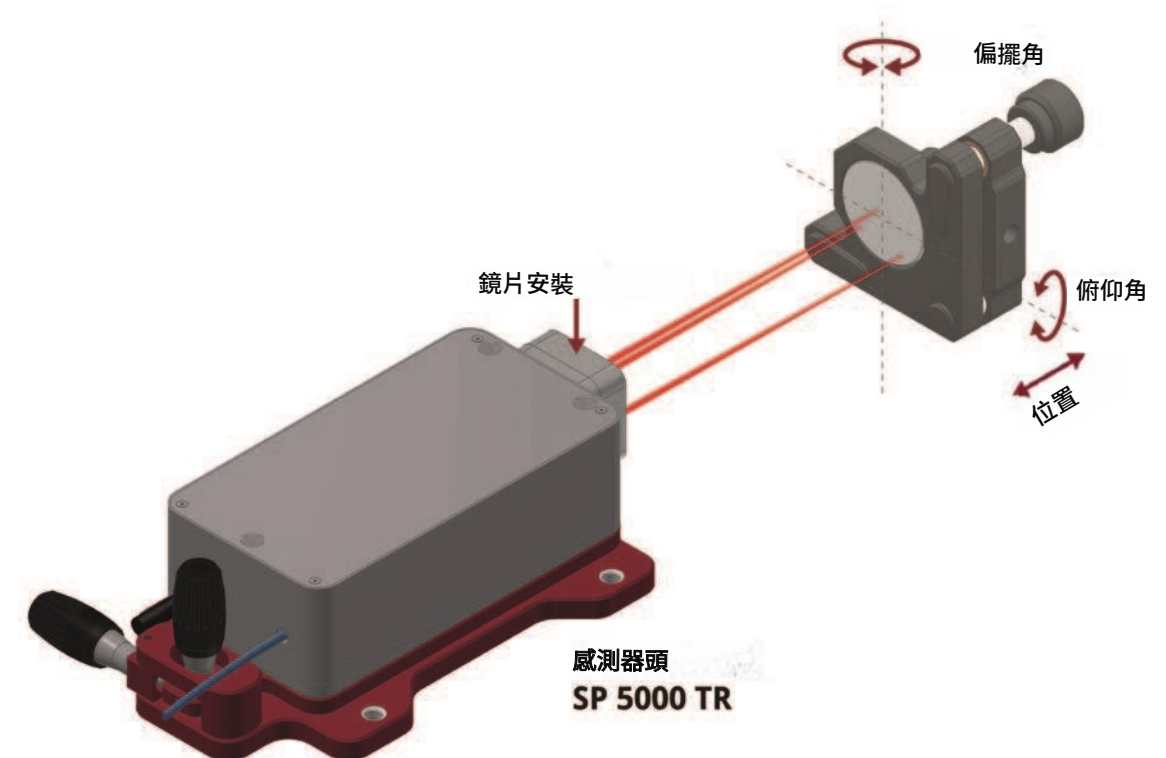
鏡頭附件可對即使反射性能較差的光學表面進行快速傾斜運動時，也能實現精確量測。

次微弧度解析度

解析度達 0.01 μrad ，即使是極微小的角度變化亦能偵測。

最佳光束控制

鏡頭附件確保雷射光束理想聚焦與反射，將測量誤差降至最低。

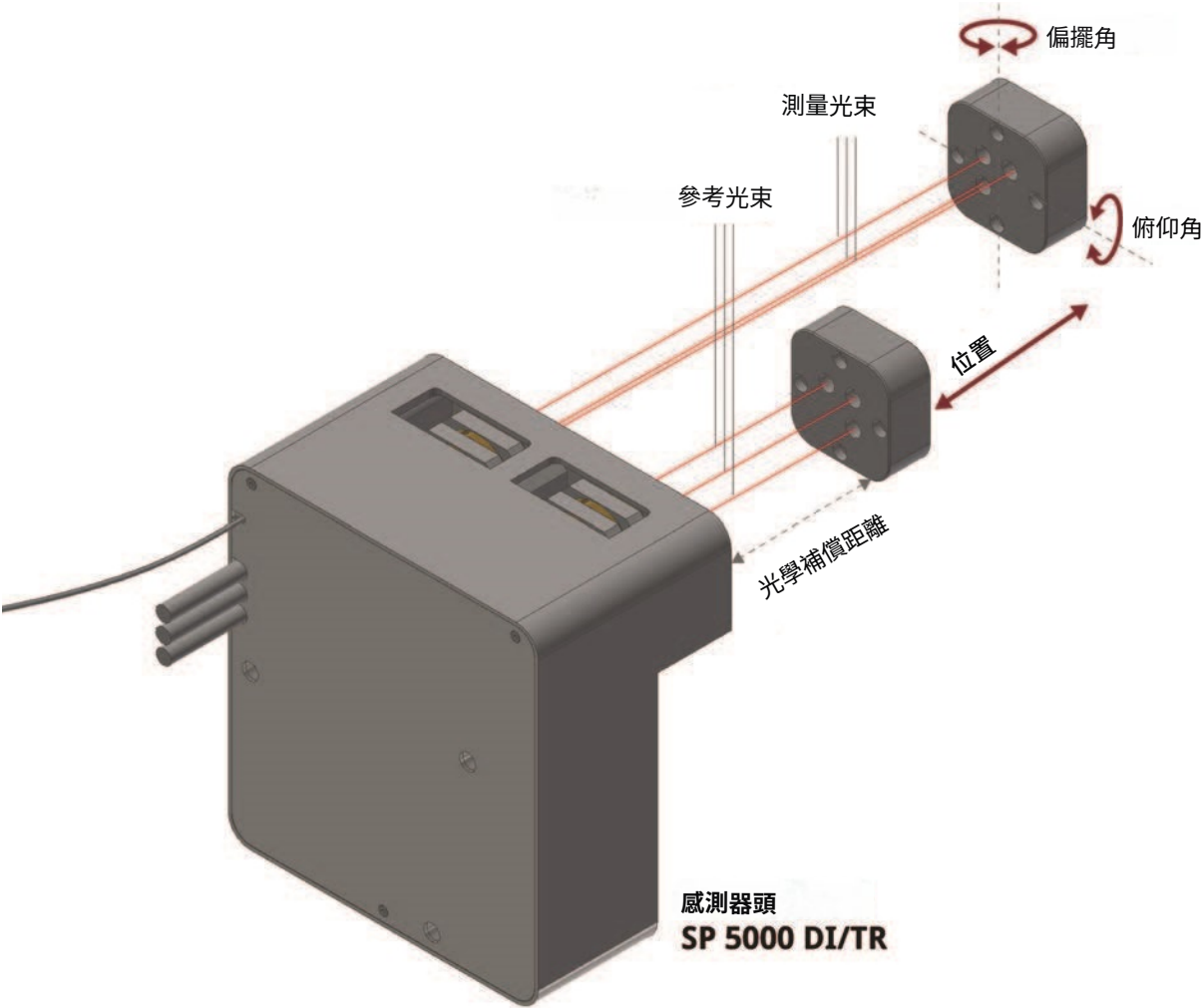


長期高度穩定的長度與角度量測

對長期量測值穩定性有特別高要求時，採用差分原理的雷射干涉儀。測量光束與參考光束的排列方式可將兩者之間的距離降到最小。

作為三光束干涉儀的差分版本，**SP 5000 DI/TR**雷射干涉儀是此應用的理想選擇。

- 應用範圍
- 高度穩定的測量配置
- 長期穩定性



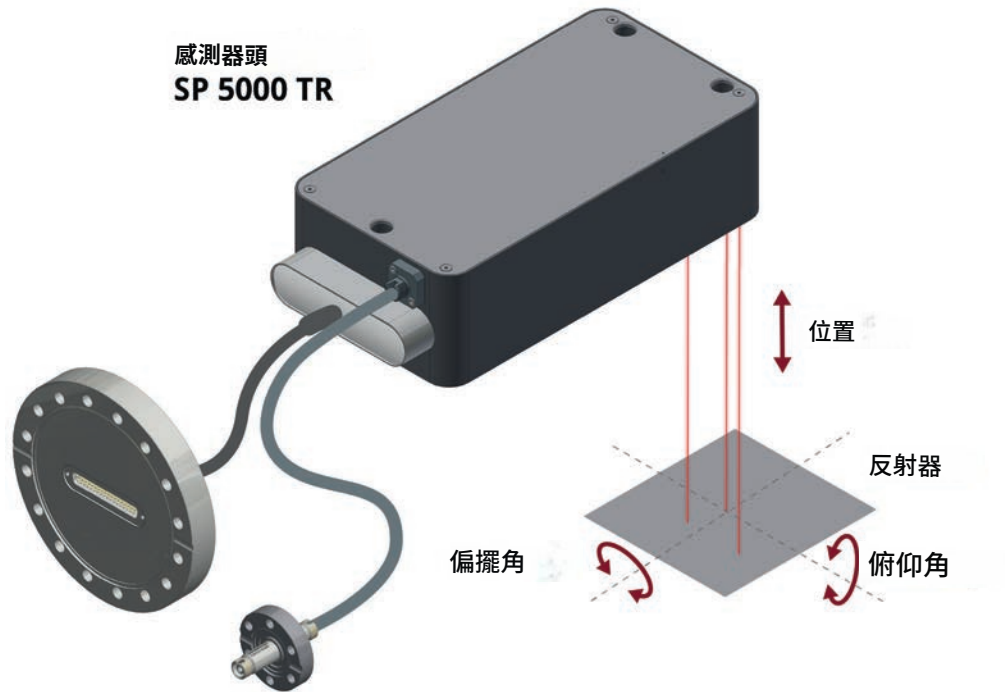
在真空環境中進行高穩定度的長度與角度量測

真空測量需特別考慮感測器製造時材料的選用及潔淨度。設計須避免感測器頭部氣泡產生，並確保材料低釋氣性。

另一項挑戰為感測器插入真空室時的操作問題。因此，已開發可於維護時將感測器與穿透管分離的解決方案，以減少安裝作業量。

為最高達 1×10^{-7} mbar 真空應用調整的 **SP 5000 TR** 三光束雷射干涉儀，具備所有特殊需求，並可依需求組裝。

- 應用範圍
- 真空優化材料
- 最高精度



線性軸生產中的快速驗收測量

精確且快速的驗收測量是現代線性軸生產的關鍵。尤其在高週期時間條件下，測量必須以動態、同步且最高精度進行，才能捕捉軸的所有相關自由度。

三光束雷射干涉儀 **SP 5000 TR** 結合 InfasAXIS 軟體，提供最佳解決方案。此軟體能即時同步記錄線性軸所有相關參數。

應用範圍

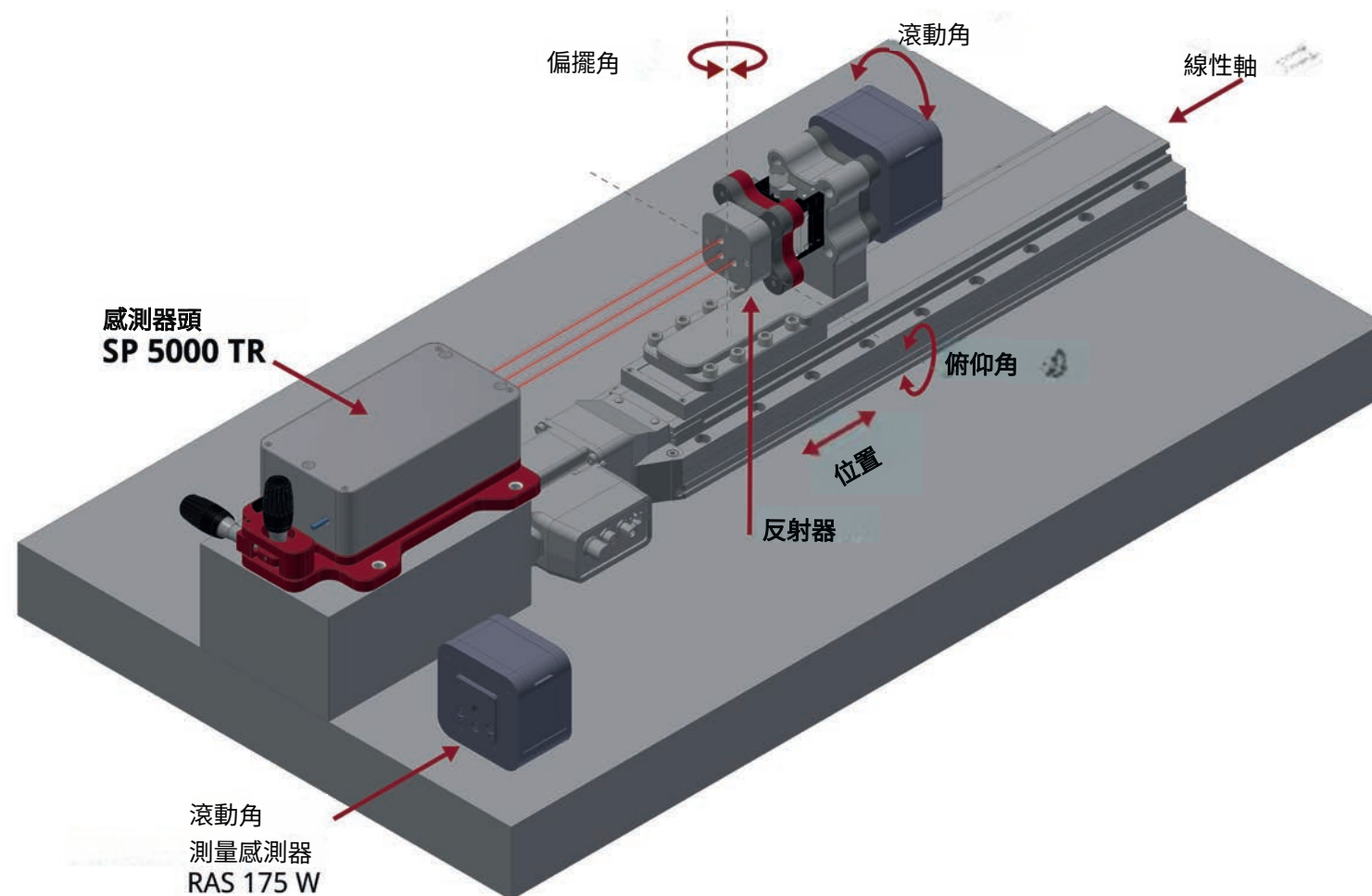
同步測量

偵測軸向位置所有相關自由度。

高週期時間

針對測量速度最高達 3 m/s 的快速生產週期進行優化。

符合標準的測量 InfasAXIS 證書依據 VDI/ISO 標準，確保最高品質的驗收測量。



在難以實現的測量裝置中進行長度和角度測量

使用光纖耦合感測器時，量測布置可能受到幾何限制而複雜。

SP 5000 TR 提供了多種附加設備，例如用於縮短光束距離以測量極小物件或光束偏轉的組件。這使得即使是難以到達的區域，也能在無需複雜特殊設計的情況下進行量測。

應客戶需求，**SP 5000 TR** 三光束雷射干涉儀可針對任何現場特別調整，以提供多樣測量任務的最佳解決方案。

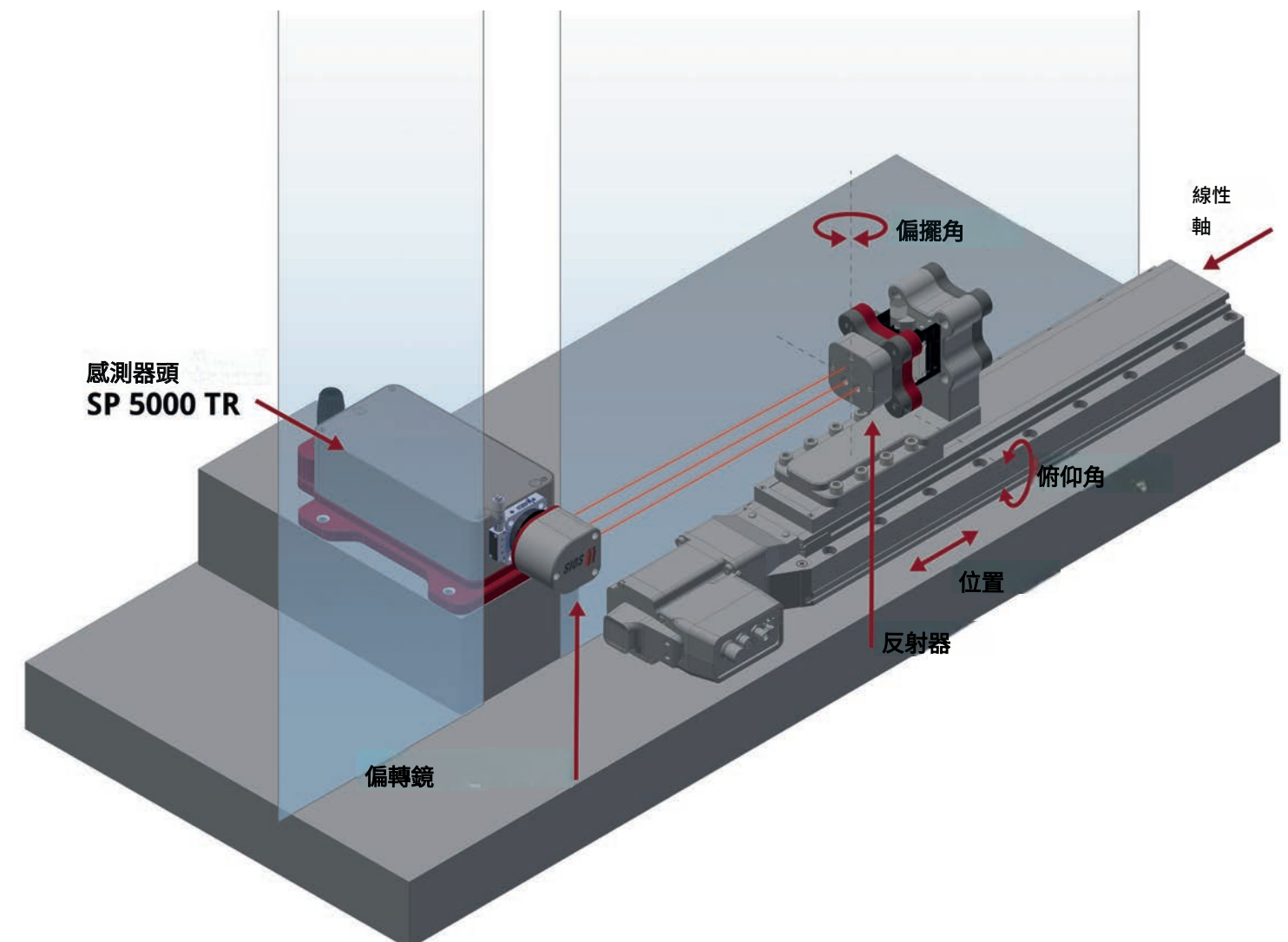
應用範圍

有限空間條件下的測量

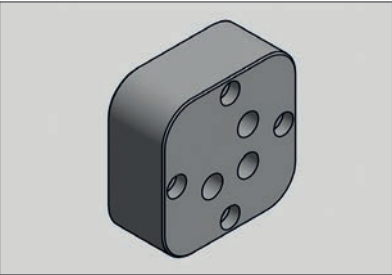
偏轉光學元件可精確調整雷射光束，即使測量地點空間受限或難以接近。

偏移誤差的補償

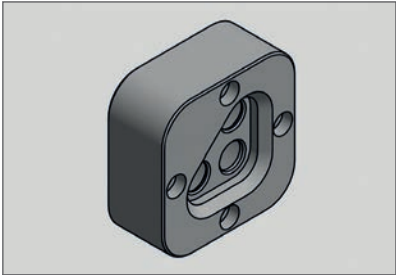
長度與角度測量的結合，能可靠地校正阿貝誤差。



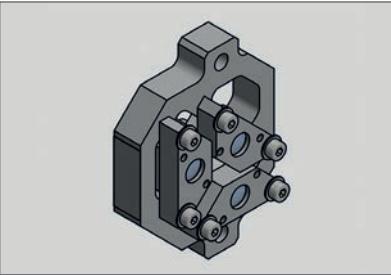
適用於SP 5000 TR三光束雷射干涉儀的專用配件



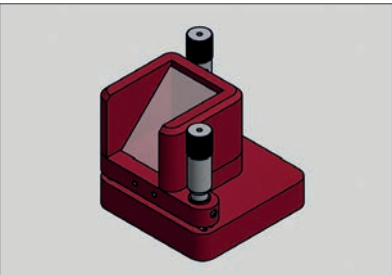
三光束反射鏡組件
最長可達6公尺
產品編號 A039992



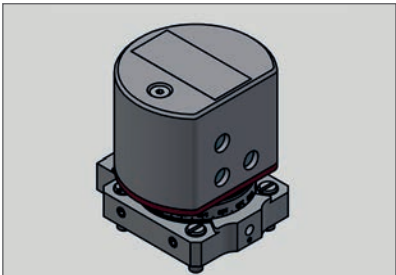
三光束反射鏡組件
長距離型，最長可達10公尺
產品編號 A041318



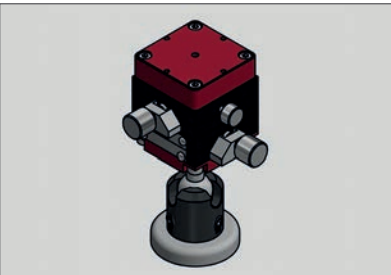
輕量化三光束反射器組件
產品編號 039169



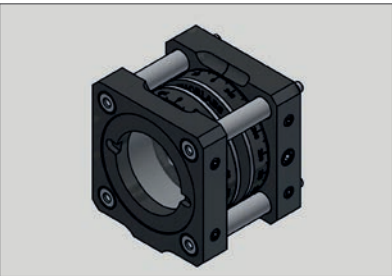
90°偏轉鏡組件
產品編號 A040678



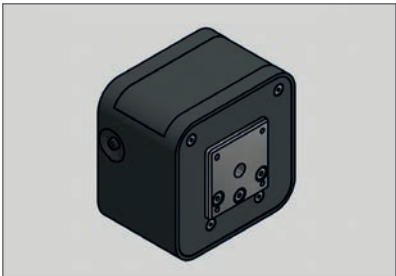
感測器頭 90° 光束偏轉附件
產品編號 A043949



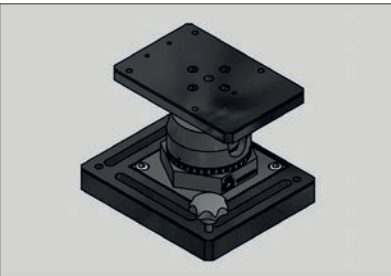
具球接頭的反射器支架
產品編號 A037044



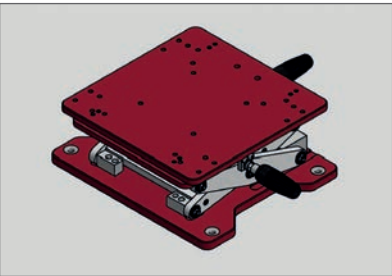
楔形板附件
2° 偏轉角度
產品編號 039178



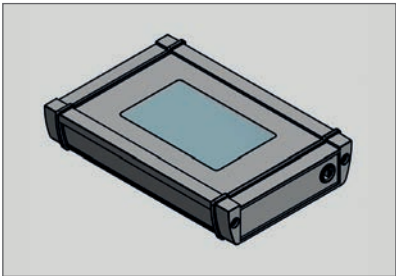
具電纜或無線連接的滾動角度
測量感測器



萬向球接頭工作臺
產品編號 A034567



微調平臺
產品編號 A032051



DU-04 4.5 吋顯示器
產品編號 A034568



環境補償

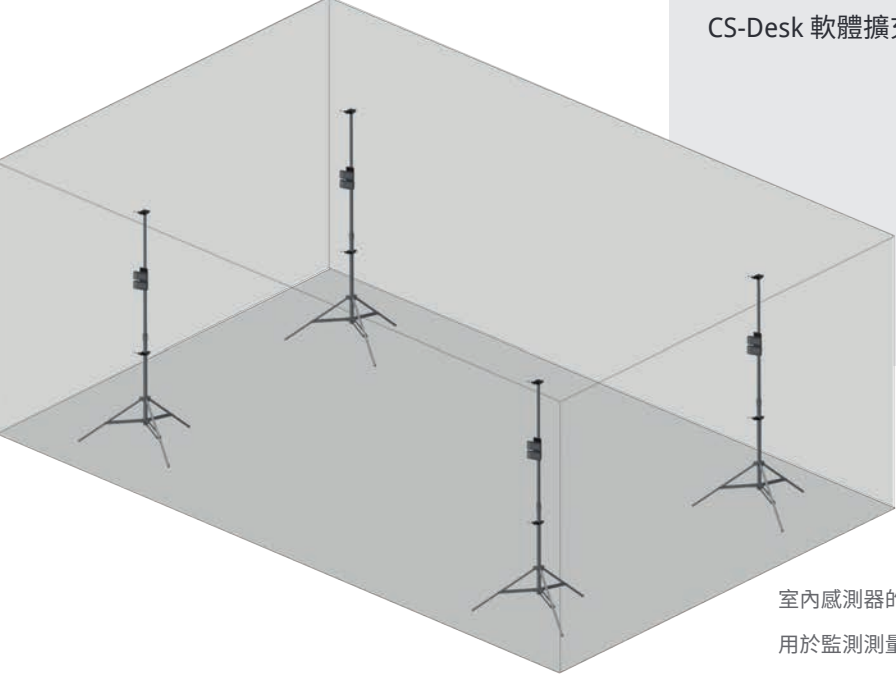
精密測量室監控，確保測量結果可靠

工業環境中的量測通常無法達到實驗室般的理想條件，但監測周圍環境仍是關鍵。
(詳見第6頁資訊)。

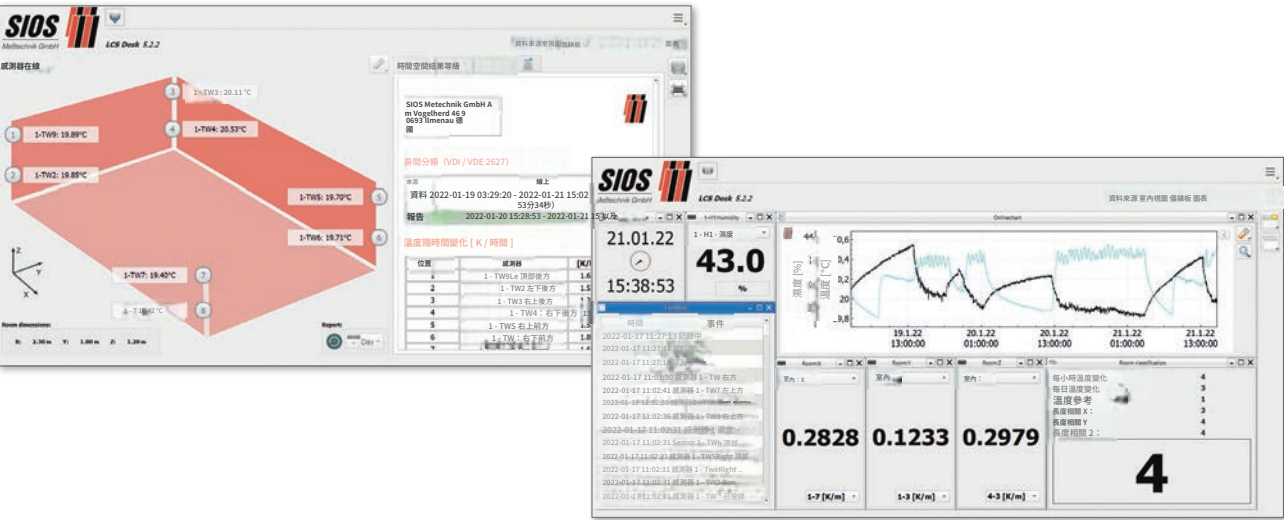
SIOS 提供相關設備及軟體，實現測量室環境的無縫監測。

LCS-Temp — 測量室全方位環境監控的行動套組

LCS-Temp 標準套組包含八支經工廠測試證明的溫度感測器，附實用運輸箱、四支支架及 LCS-Desk 軟體擴充套件。



室內感測器的示意圖
用於監測測量環境。



測量值顯示並標示測量室等級

專為 SP 5000 TR 三光束雷射干涉儀設計的軟體



InfasWB

資料擷取與視覺化軟體

測量資料擷取之通用功能，
視覺化與儲存



InfasAXIS

依據 VDI／ISO標準之校正軟體

用於線性軸校正

依VDI／ISO標準偵測位置、俯仰角、偏擺角及直線度



SignalMonitor

用於干涉儀對準的免費軟體

干涉儀狀態與訊號品質



API

SIOS API

客戶軟體專用軟體函式庫

支援及程式範例涵蓋所有常用程式語言

系統參數	
測量範圍	0 m 至 ≥5 m（可依需求延伸至 10 m）
解析度	20 μm*
角度測量範圍	
搭配反射器	±12.5° **
搭配平面鏡（建議距離 ≤2 m）	±430 μrad
角度解析度	0.01 μrad***
滾動角測量（選配 RAS 175 W）：	
測量範圍	±17.5 mrad
解析度	0.4 μrad
穩定條件下測量不確定度：	
長度測量	0.15 μm/m
角度測量	±0.04 % ± 0.04 μrad
滾動角測量	±2.4 μrad ±0.5% (19°C – 21°C) ±2.4 μrad ±1.5% (15°C – 25°C)
光束間距（水平及垂直方向）	12 mm
波長	632.8 nm
氦氖雷射頻率穩定度 （暖機時間後）	2·10 ⁻⁸
氦氖雷射暖機時間	10 ... 20 分鐘
操作溫度範圍	15 ... 30°C
最大值測量反射鏡位移速度	3 m/s
幾何數據	
尺寸（長 × 寬 × 高）：	
具可調式安裝座的感測器頭	[202 x 137 x 72] mm
反射鏡	[45 x 45 x 20] mm
電子評估與供電單元 EU	[450 x 400x 150] mm
滾動角感測器 RAS 175 W（選配）	[74 x 54 x77] mm
電氣數據	
標準介面	RS232C、USB
其他介面可依需求提供 (/R)	
感測器頭與電子單元間電纜長度	3 公尺，選配 6 公尺至 10 公尺
電源供應	100 ... 240 VAC / 47 ... 63 Hz
依 EN 60825-1:2014 及 ANSI Z136.1 (CDRH) 規範	2M
之雷射安全等級	II

*於頻率域 ** 旋轉點依賴 *** 最低有效位元 (LSB)

為何選擇 SIOS Meßtechnik GmbH ?

三十多年來，**SIOS Meßtechnik GmbH**始終代表雷射干涉技術的創新、極致精準與卓越品質。

我們高度先進的測量系統，廣泛應用於全球工業客戶、研究機構及學術單位，以提升測量過程的效率與可靠性。

我們的成功，源自持續技術革新與與客戶的密切合作。



選擇 SIOS，您不僅能取得能同時進行長度與角度測量的創新測量系統，更擁有一位熟悉您的語言並理解您技術挑戰的可靠夥伴。



Dr. Ilko Rahneberg
CTO, SIOS Meßtechnik GmbH

我們開發並製造雷射干涉量測技術，以及用於校正與奈米量測技術的精密量測儀器。



長度測量系統



長度及角度測量系統



校正系統



振動測量系統



測量探頭



奈米定位



測量與測試站



穩定化 He-Ne 雷射



環境測量
技術



測量軟體

我們的優勢概覽：

技術創新：

我們持續投入研發，確保始終提供最先進的解決方案。

客製化調整：

標準解決方案往往無法充分滿足需求。我們開發的量測系統能夠最佳化調整以符合您的特定應用。

最高製造品質：

德國製造 — 我們的產品在 Ilmenau 廠區，於嚴格品質控管下生產。

全面支援與諮詢：

從初期規劃至售後服務，我們全程為您提供協助。



您對 SP 5000 TR 同步高精度 長度及角度測量感興趣嗎？

歡迎與我們聯絡，安排三光束雷射干涉儀的
專屬諮詢

總代理

大慶科技儀器有限公司

台南市東區長榮路一段256號6F-4

電話 (06) 236-5697

電子郵件 sales@dct3d.com

www.dct3d.com