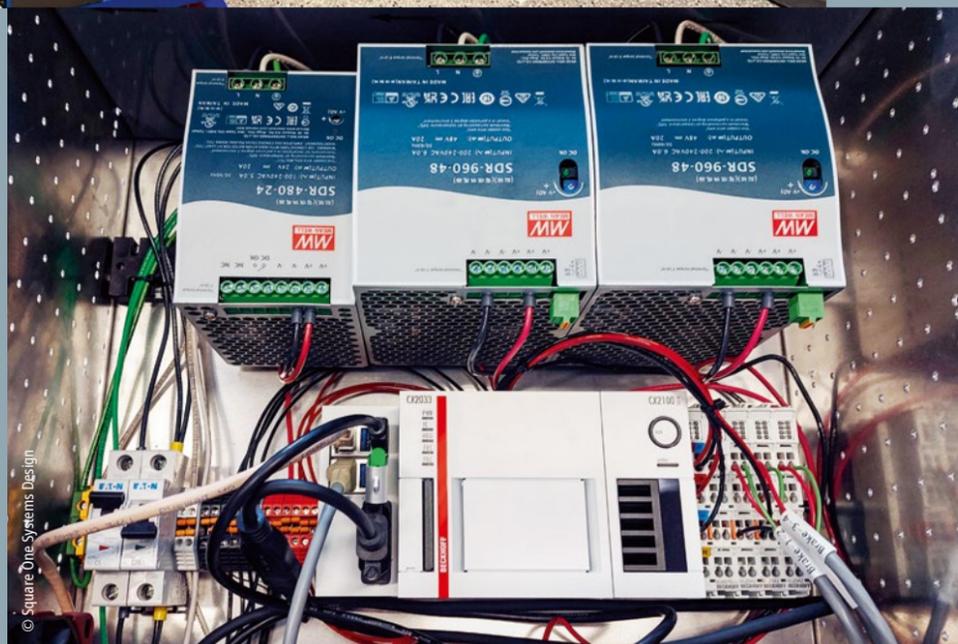


Square Oneの特許取得済み「Tri-Sphere Robotic Positioning System」は、高エネルギー物理学の実験を加速する最先端の平行ロボットです。



Tri-Sphereは、モーション制御にベッコフの組込み型PCのCX2033、リアルタイムEtherCAT通信、TwinCAT NC PTPソフトウェアを採用しています。

Square One Systems Design、SLAC国立加速器研究所のX線レーザー実験用ロボットにPC制御とEtherCATを採用

## ロボット位置決めシステムにより 切り替え時間を2日から12時間に短縮

米カリフォルニア州メンロパークにあるSLAC国立加速器研究所では、Square One Systems Designとベッコフが共同で開発した高度なロボットシステムにより、高エネルギー物理学実験の効率化が進められています。運用の合理化を実現するTri-Sphereロボット位置決めシステムは、「ビームタイム」の稼働率を向上させ、研究者の利用機会を最大化するとともに、研究成果の向上にも貢献しています。

Square One Systems Designが特許を取得しているTri-Sphereロボットは、高エネルギー物理学研究の厳しい要求に対応するために設計された、最先端の平行ロボットです。一般的な回転関節型産業用ロボットと同様に6自由度の動作を実現します。従来型ロボットと異なり、大きな可搬重量、極めて高い精度、限られたスペースにも容易に組み込めるコンパクトな設計を特長としています。また、Tri-Sphereロボットは、物理学分野で広く採用されているEPICS (Experimental Physics Integrated Control System) 規格にも準拠しています。EPICSは、高度な装置を接続・制御するための標準化された制御アーキテクチャと、ソフトウェアツールキットを研究者や技術者向けに提供するものです。これにより、プロセスのトレーサビリティが向上し、実験中に取得されるメタデータの解析を最適化できます。

SLACにおけるTri-Sphereロボットの導入は、世界最強のX線自由電子レーザー (XFEL) であるLinac Coherent Light Source (LCLS) の大規模アップグレードの一環です。最近実施されたアップグレード (LCLS-II) により、従来は毎秒120パルスだった性能が、毎秒100万パルスへと飛躍的に向上しました。さらに将来的には、次期アップグレードであるLCLS-II-HEにより、X線エネルギーのさらなる向上が予定されています。これにより、これまで科学者が不可能と考えていた先端研究の新たな領域が開かれます。具体的には、次世代太陽光発電技術、超伝導材料、先進的な創薬研究などが挙げられます。

### 物理学研究の限界を打ち破る

Tri-Sphereロボットの独自設計は、複雑な研究セットアップを短時間で入れ替える必要がある環境や、LCLSのような研究施設特有の厳しい条件に対応するためのさまざまな利点を備えています。コンパクトなジオメトリ設計により、研究施設で一般的に使用される「ハッチ」と呼ばれる限られたスペース、すなわちX線ビームが試料を通過する実験設備内にも容易に設置できます。また、高精度な位置決めシステムにより、幅わずか100ナノメートルという極めて細いX線ビームに対して、研究装置を正確に移動・配置することが可能です。

Tri-Sphereは高精度であるだけでなく、非常に高い剛性と可搬能力も備えています。重い装置を高速で移動・再配置しながら、最先端の実験に求められる精度を維持できます。Square One Systems Designのエンジニアリングディレクターであるボブ・ピオラ氏は次のように述べています。「このロボットは重量物の取り扱いを前提に設計されており、最大12,000ポンド (約5,440kg) の可搬能力を有しています。SLACのような国立研究所で重量物を位置決めするには不可欠な性能です。この性能は、産業用途向けの一般的なロボットをはるかに凌駕するものです。」ビームタイムを最大限に活用することは、できるだけ多くの実験を実施するうえで極めて重要です。ボブ・ピオラ氏は次のように強調します。「SLACのような国立研究所は、文字どおりかけがえない国家資産であり、ビームタイムの一秒一秒が貴重です。精度や信頼性を損なうことなく迅速に段取り替えができる、まさにゲームチェンジャーです。」

Square One Systems Designの主任制御エンジニアであるジェイス・ウォルシュ氏は、次のように補足します。「Tri-Sphereの非対称的な作業領域と、回転の中心をソフトウェアで調整できる点が、他に類を見ない柔軟性と精度を実現しています。これにより、実験装置を迅速かつ正確に再配置し、幅広い実験に適応することで、研究成果に良い影響を与えています。」

Tri-Sphereのアップグレードでは、ベッコフの制御技術が複数の実験ハッチにわたって統合されています。これにより、SLACはダウンタイムを最小限に抑えながら高精度な実験を実施できます。

操作員は、Tri-Sphereの使いやすいフロントエンドソフトウェアを用いて、新たなビーム中心を設定し、パラメータや高さ、回転条件を簡単に入力できます。SLACのロボットシステムはエアキャスター上に設置されており、異なるハッチ間を迅速に移動させることが可能です。また、Tri-Sphereは繊細な試料を高精度で扱える点も大きな特長です。ボブ・ピオラ氏は次のように説明します。「このロボットには真空搬送システムが搭載されており、ソフトタッチ仕上げなどの非常にデリケートな製品でも損傷なく、多様な容

器形状に対応できます。これは、高感度な試料を用いる実験において極めて重要です。」

#### 次世代の研究・発見の自動化

Tri-Sphereロボット位置決めシステムの成功を支える重要な要素の1つが、ベッコフのPC制御およびEtherCATの統合です。Tri-Sphereは現在、ベッコフの組込み型PCのCX2033をメインコントローラとして採用しています。リアルタイムEtherCAT通信と高い演算性能を活かして、すべての自動化および制御タスクをシームレスに処理しています。CX2033では、モーション制御ソフトウェアとしてTwinCAT NC PTPを実行しています。

EtherCATは、高度にモジュール化されたデバイスの自動認識や、柔軟なトポロジ、そして1ネットワークあたり最大65,535台ものデバイス接続数により、堅牢かつ拡張性の高いネットワークインフラを実現します。さらに、コンパクトなEtherCATターミナルは、Tri-Sphereロボット全体に分散配置された小型の制御盤に容易に収まります。EtherCATターミナルはデータ収集にとどまらず、コンパクトドライブ技術も統合可能です。ステッピングモーターミナルのEL7041やEL7047、デュアルチャンネルターミナルのEL5042 (BISS® C/SSIインターフェース対応アブソリュートエンコーダ接続用)などが挙げられます。

ベッコフのTwinSAFEターミナルとFSoEの技術は、機械の堅牢な安全機能を提供し、SLACの人員・設備保護システムとシームレスに連携します。これにより、作業員がハッチ内にいる際の安全状態を常時監視し、必要に応じて非常停止を確実に実行します。ボブ・ピオラ氏は、次のように強調します。「TwinSAFEは、SLAC固有の安全要件に対応し、ハッチへの安全なアクセスと、位置決め装置の信頼性の高い制御を実現しています。」

Tri-Sphereシステムは、カリフォルニア州の施設に求められる耐震アンカー要件にも対応しています。これにより、地震発生時でもシステムの安全性と高精度な位置決め性能を維持することが可能です。

#### 最先端の研究プロジェクトを支える確かな将来性

ボブ・ピオラ氏は次のように述べています。「SLACでは、ビームラインを停止することなく、作業ハッチ外でTri-Sphere上に実験用のセットアップを準備できます。これにより作業が大幅に加速しました。このシステムによって、実験の段取り替え時間は従来の2日から、わずか12時間に短縮されました。」

ベッコフUSAのビジネスディベロップメントリーダーである、マシュー・ガルシアも次のように述べています。

ベッコフUSA  
ビジネスディベロップメントリーダー、  
マシュー・ガルシア

「**当社の技術が、SLACをはじめとする施設において、研究成果や運用効率の向上に貢献していることを大変嬉しく思います。**」

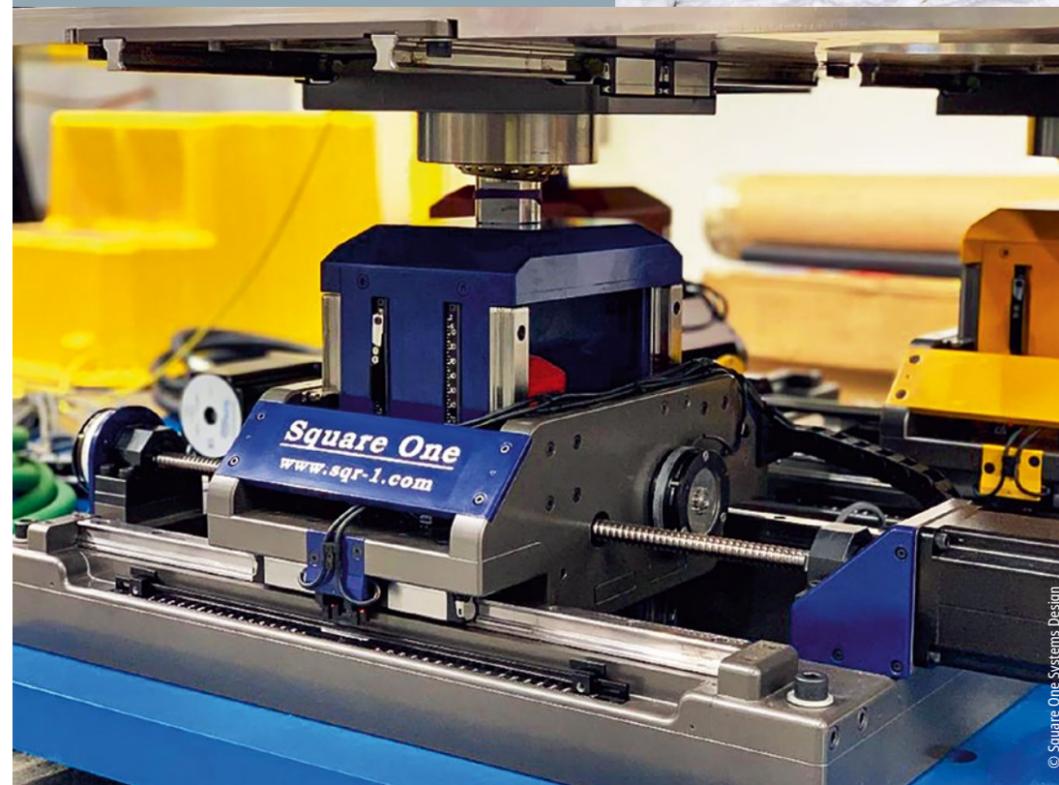
「Tri-Sphereプロジェクトは、Square Oneとベッコフの協業の成果を示す好例です。当社の技術が、SLACをはじめとする施設において、研究成果や運用効率の向上に貢献していることを大変嬉しく思います。」 SLACでの導入実績が示すように、Tri-Sphereは科学研究分野における重要な課題の克服に貢献しています。困難な試験環境にも対応できる柔軟性と高い性能を備えた本システムは、すでに世界的に著名な他の研究機関にも導入が進んでおり、次なる大発見への道を切り拓いています。



Tri-Sphereロボットの高精度位置決めシステムにより、研究機器を最小100ナノメートルのビーム幅へと正確に位置決めできます。



2025年、米国ワイオミング州で毎年恒例のスキーデーを楽しむSquare Oneのエンジニアリングチーム。写真左から右：Sam Johnson (メカニカルエンジニア)、Wilton Springer (メカニカルエンジニア)、Connor McCullough (エレクトリカルエンジニア)、Erik LaCourt (コントロールズエンジニア)、Bob Viola (エンジニアリング・ディレクター)、Jace Walsh (コントロールズ・エンジニアリング・マネージャー)、Ryan Freeman (メカニカルエンジニア)、Dena Horstkotte (メカニカルエンジニア)



Tri-Sphereロボットを構成する3基のジャックユニットのうちの1基。

詳細情報：

[www.sqr-1.com](http://www.sqr-1.com)

[www.beckhoff.com/science](http://www.beckhoff.com/science)