

SICK AG

ホワイトペーパー

SAFE ROBOTICS – 協働ロボットシステムにおける安全

2018-06

作成者

ファニー・ブラットプロート

Industrial Safety, Marketing & Sales プロダクトマネージャー
SICK AG ヴァルトキルヒ / ドイツ

オットー・ゲルネマン

Machine Safety & Regulations マネージャー
SICK AG ヴァルトキルヒ / ドイツ

目次

はじめに.....	3
ヒューマン・マシン・インタラクションと安全.....	3
定義 – 用語.....	3
ロボットアプリケーションの規格.....	3
共存.....	4
連携作業.....	4
協働.....	5
安全な協働ロボットアプリケーションの規格および要件.....	5
基本的な要件.....	5
ISO 10218-2およびISO/TS 15066に準拠した協働モード.....	6
リスクアセスメント.....	7
リスク低減.....	7
結論.....	7

はじめに

近年、駆動システムと対象物検出の分野では産業オートメーションアプリケーションが大きな進歩を遂げ、人間と機械の相互作用の新時代への扉が開かれました。

IEC 61508、IEC 62061、ISO 13849-1/-2 などの機能安全および関連規格に関しては [1, 2, 3, 4]、最適化された機能を有する新開発ロボットにより、人間と同じ作業空間内での密接な共同作業が可能となりました。産業分野で人間とロボットの能力を併用することは、品質の向上、コスト削減、人間工学の改善、作業サイクルの高速化などを特長とする製造ソリューションにつながります (キーワード: インダストリ4.0)。

産業ロボットの安全 (ISO 10218-1/-2) [5, 6]、および特に協働ロボットの安全 (ISO/TS 15066) [7] を扱う国際規格の現状に基づき、本ホワイトペーパーではこれらの規格に含まれ、安全な協働ロボットアプリケーションの開発に適用されるガイドラインを概説します。さらに本ホワイトペーパーでは、現在の技術の限界を指摘し、要件および今後の開発についての展望を記載しています。

ヒューマン・マシン・インタラクションと安全

工業生産では、生産条件の変化に迅速かつ効率的に適合させることができる、柔軟で自律的に動作する機械が求められています。

ロボットは通常、その速度、動き、力により生じる危険から作業員を守るため、保護フェンスに囲まれた状態で作業を行います。しかし人間と機械の密接な相互作用が求められる場合、危険にさらされた人物から危険要因を物理的に分離するこの標準的な方法を使用することはできません。そのため、リスクを低減させる代替策が必要となります。

定義 – 用語

人間と能動的なロボット、およびロボットに類似した機器との相互作用は、空間と時間という2つの相互作用パラメータによって特徴づけることができます。人間と能動的なロボットが共に行動する共有空間も共有時間もないならば、ロボット動作が危険を及ぼすことはありません。この状態は「非相互的」とみなされます。人間とロボットが空間を共有しているが、時間帯が異なる状況は「連携作業」と呼ばれます。人間とロボットが特定の時間に同じ空間で作業する状況に対しては「協働 (コラボレーション)」という言葉が割り当てられました。

用途	異なる作業空間	同じ作業空間
順次作業	(相互作用なし)	連携作業
同時作業	共存	協働

ロボットアプリケーションの規格

地域	リスクアセスメント	ロボット	ロボットシステムおよび統合	協働ロボット
中国	GB/T 15706-2012	GB 11291.1-2011	GB 11291.2-2013	GB 11291.2:2013
韓国		KS B ISO 10218-1	KS B ISO 10218-2	
日本	JIS B9700	JIS B8433-1	JIS B8433-2	JIS TS B0033
米国	ANSI/ISO 12100, ANSI B11.0	ANSI/RIA R15.06 (パート1)	ANSI/RIA R15.06 (パート2)	RIA TR R15.606
欧州	EN ISO 12100	EN ISO 10218-1	EN ISO 10218-2	ISO/TS 15066
台湾		CNS 14490-1 B8013-1	CNS 14490-2 B8013-2	
カナダ	CSA Z432, CAN/CSA-Z1002	CAN/CSA-Z434 (パート1)	CAN/CSA-Z434 (パート2)	
ブラジル	ABNT NBR ISO 12100	ABNT NBR ISO 10218-1/2	ABNT NBR ISO 10218-1/2	

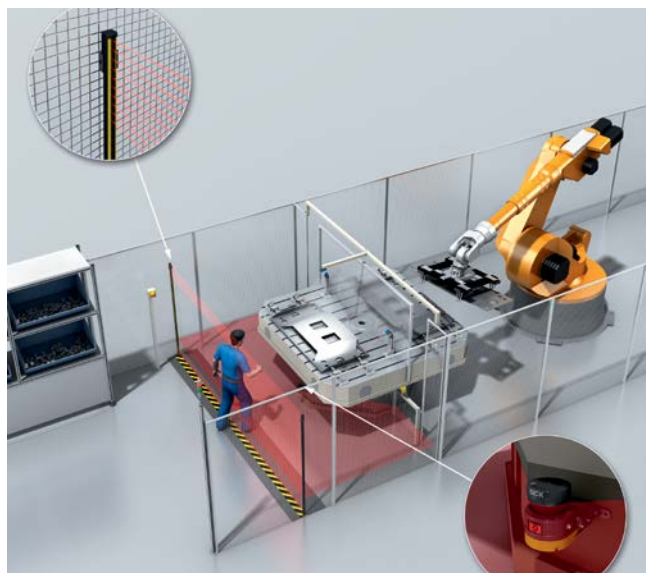
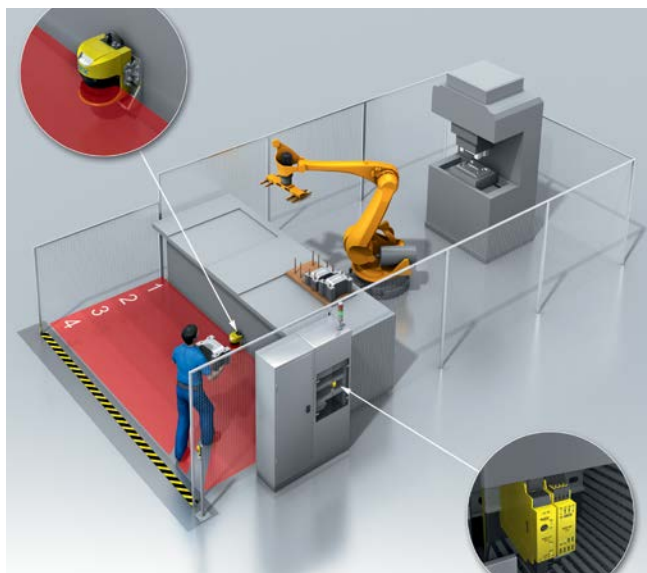
共存

生産プロセス中に人員が介入する必要がない産業用ロボットアプリケーションでも、メンテナンス作業などの目的でオペレータはロボットの作業空間に入らなければなりません。このようなアプリケーションでは、作業空間の周囲をフェンスで囲み、入口のドアをロックしなければなりません。ロックは、オペレータが危険エリアに入ってきたら、危険なロボット機能が確実にオフになるよう安全を確保しなければなりません。人物がこの危険エリアに留まっている間、あるいは入口のドアが開いている間は、この状態を維持しなければなりません。



連携作業

広く普及している産業用ロボットのアプリケーションは、オペレータがロボットセルのロード・アンロードを行う作業プロセスです。このような連携的なアプリケーションシナリオでは、オペレータとロボットが必要な作業工程を同じ作業エリアで異なる時間帯に行います。ここでも技術的な保護対策が必要となります。ロード/アンロードシステム的设计に応じて、セーフティライトカーテンやセーフティレーザスキャナなどの光線式安全装置を採用する必要が生じます。



協働

特定のアプリケーションでは、人間と能動的なロボットが同時に同じ作業空間で共同作業を行わなければなりません。このいわゆる協働と呼ばれるシナリオでは、ロボットの力、速度、動作経路を制限する必要があります。リスクを低減させるには、内在的な防護措置（存在する場合）を使用したり、駆動装置出力またはシステム制御装置の安全関連部品を通してトルクを制限したりして、追加措置を応用することができます。さらに力、速度および動作経路は、実際の危険度に応じて監視および制御する必要があります。この危険度にも、人間とロボットとの距離が関係します。このタスクを行うには、人物やその速度を検出し、危険エリアへの距離を特定する信頼性の高いセンサが必要となります。本質的にこれらのセンサは、協働技術の開発に関連する将来的な課題を克服する必要があります。



安全な協働ロボットアプリケーションの規格および要件

ISO 10218のパート2に記載されているロボットシステムは、産業ロボット、そのエンドエフェクタおよび任意の機械部品、プラント、機器、ロボットのタスク実行をサポートする外部補助軸およびセンサから構成されています。

基本的な要件

協働アプリケーションの設計には、いくつかの基本要件があります。

- 協働空間は以下の要件を満たしている必要があります：
 1. 追加装備または他の機械によりさらなる危険が生じることなく、オペレータが作業を問題なく安全に実行できるように設計されていること。
 2. 切り傷、挫傷、刺し傷などの危険がなく、ロボットシステムの速度、力、出力の低下では緩和できないような熱い表面や電圧のかかった部品など、その他の危険も生じないこと。これは当然、各保持装置（ツール）およびワークピースにも適用されます。
- ロボットの作業空間と、隣接する立入り可能で挫傷や挟み込みの危険がある領域との間に最小距離が保たれていること。これが不可能な場合、追加の防護装置を使用する必要があります。
- 可能な限り、安全な軸制限を設けて空間内におけるロボットの自由な動作数を制限し、人身傷害のリスクを減らさなければなりません。

ISO 10218-2およびISO/TS 15066に準拠した協働モード

技術仕様ISO/TS 15066には、各アプリケーションの要件とロボットシステムの設計に応じて、単一または組み合わせて使用できる4つの協働モードが記載されています：



- 監視されたセーフティストップ

ロボットは、協働空間でオペレータと相互作用している場合には停止されます。この状態は駆動装置がオンのままで監視されます。



- 手動ガイド

ヒューマン・ロボット・コラボレーションの安全は、ロボットが安全に減速された状態で意図的に手動で誘導されることによって保証されます。



- 力と出力の制限 – 協働への道

ロボットシステム（ワークピースを含む）と人物（オペレータ）との物理的接触は、意図的あるいは非意図的に行われます。必要な安全性は、怪我や危険がないと予想される値まで出力および力を制限することにより達成されます。出力と力を制限した協働作業では、ロボットがこの動作モードに対応できるよう特別に開発されている必要があります。技術仕様ISO/TS 15066には、ロボットと身体部分との衝突時に超えてはならない最大値（生体力学的な負荷限界）が含まれています。



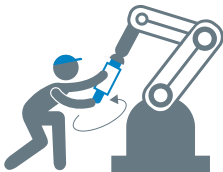
- 距離および速度の監視 – 未来:

ロボットの速度および動作経路（軌道）が監視され、防護された空間にいるオペレータの速度と位置に合わせて調整されます。

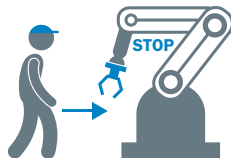
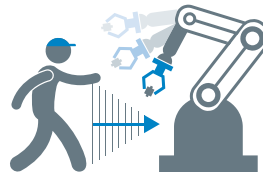
協働アプリケーションでは、ここに挙げられた方法のうち一つまたは複数を実用アプリケーションに応じて選択し、潜在的な危険にさらされた人物全員の安全を確保する必要があります。

協調ロボットシステムの現在の要件には、ISO 13849-1に準拠したPL dの要件を満たす適切な安全関連の制御システムの使用が含まれています。

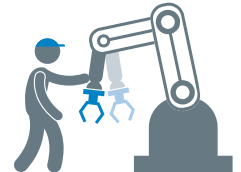
協働モードでの妥当性検証作業



手動ガイド

監視された
セーフティストップ

距離/速度監視



力/出力制限

人間とロボットの相互作用が緊密であればあるほど、リスクを低減させる保護措置の妥当性検証作業も増大します。

リスクアセスメント

今日の市場では、標準的な産業ロボットから協働作業専用に設計されたロボット（コラボレーションロボットまたは「コボット」）まで、多くのロボットモデルが提供されています。ロボットがシステムに統合される場合（エンドエフェクタなど）、ロボットシステム全体（機械全体）のリスクアセスメントを実行する必要があります。そこから導き出されるリスク低減措置は、安全な協働動作を保証しなければなりません。これは、リスク低減に関する建設的な措置がすでに各ロボットで講じられている場合にも必要となります。

リスク低減

協働ロボットで通常使用される内在的な防護措置には以下が挙げられます：

- 最大許容力およびトルクの制限（駆動装置の寸法などによる）
- 圧力作用や伝達される衝突力を低減させるロボット表面の適切な設計（丸みのあるロボット表面、エネルギー吸収パッドなど）

このような内在的な防護装置の有効性は、共同作業空間内部のロボットツール、保持装置、ワークピースあるいは他の機械の設計によって大きく影響を受ける可能性があります。

その他の防護措置は以下の目的で使用することができます：

- 制御システムの安全関連部品による出力（トルク）、力または速度の制限
- ロボット動作を停止または逆進させる圧力検知保護設備（PSPE）または電氣的検知保護設備（ESPE）の使用

結論

今後、人間とロボットは高い柔軟性が要求される自動化アプリケーションにおいて、今まで以上に密接な共同作業を行うこととなります（数多くのバリエーションを伴う多い少量生産など）。手作業による組立プロセスは、人間と機械の能力を最適な形で補完し合うヒューマン・ロボット・コラボレーションに置き換えられます。その結果、高い生産性が求められる作業場所の人間工学的な改善が可能となります。安全性に必要な速度と力の制限と求められる生産性とのバランスを調和させる必要があります。

ISO/TS 15066の設計原則は、ISO 10218-1/-2ですでに策定されている要件を補完し、協働ロボットアプリケーション設計の基礎を形成します。

現在市場に出回っている製品や機器は、安全で妨害のないヒューマン・ロボット・コラボレーションに対する今日の要件を完全に満たすことはできません。新しいセンサとロボットの技術、ならびにインテリジェントな制御システムの開発が、未来の協働ロボットアプリケーションを実現する前提条件となります。

今日ヒューマン・ロボット・コラボレーションによって解決されるアプリケーションには、一つとして同じものはありません。使用するロボットが人間との相互作用専用に設計されている場合であっても、特定のリスクアセスメントを回避することはできません。ロボットメーカーが、その製品に本質安全設計に関連する措置を統合していることが事実だとしても、システムインテグレータが機械メーカーとして潜在的リスクを評価して低減させる義務から免責されるということにはなりません。ロボットシステムのシステムメーカーとインテグレータは、ロボットメーカーが講じた構造的防護措置を慎重に点検し、残存する危険やリスクを考慮した上で、このリスクアセスメントに従ってロボットシステムを設計しなければなりません。リスクアセスメントの結果として、通常は完全に安全な協働アプリケーションを達成するために、システムメーカーによってリスク低減を目的とした追加措置（セーフティライトカーテンまたはセーフティレーザスキャナなど）を実装させる必要が生じます。

参照事項

- [1] IEC 61508-x:2010 – 安全関連の電気・電子・プログラマブル電子システムの機能安全 – 全7部。International Electrotechnical Commission. IEC Central Office – P.O. Box 131 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland.
- [2] IEC 62061:2015 – 機械の安全 – 安全関連の電気・電子・プログラマブル電子制御システムの機能安全。International Electrotechnical Commission. IEC Central Office – P.O. Box 131 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [3] ISO 13849-1:2015 – 機械の安全 – 制御装置の安全関連部品 – 第1部: 設計のための一般原則。ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [4] ISO 13849-2:2003 – 機械の安全 – 制御装置の安全関連部品 – 第2部: 検証。ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [5] ISO 10218-1:2011 – 産業用ロボット – 安全要求事項 – 第1部: ロボット。ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [6] ISO 10218-2:2011 – 産業用ロボット – 安全要求事項 – 第2部: ロボットシステムおよび統合。ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [7] ISO/TS 15066:2015 – Robots and robotic devices – Collaborative robots (ロボットおよびロボット装置 – 協働ロボット)。ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland

→ www.sick.com/safe-robotics