

機械アプリに合わせた安全機器の展開

Selecting Appropriate Safety Equipment for Machinery

アズビルトレーディング株式会社 大竹 桂司
Keiji Otake

キーワード

機械安全, 安全規格, 安全機器, 安全制御, 隔離と停止, 安全確認型システム

労働安全に関する規格・法令の改正, 減らない労働災害に対し, 機械・装置メーカーと使用するユーザーの安全意識は高まってきている。しかしながら, 規格法令が複雑化したことと技術の進歩により安全機器が多種多様化されたことから, 状況を正しく理解して「何が本当に危険なのか」「何が最適な保護方策なのか」を見極め, 「安全性・経済性を考慮」したうえで適切な安全防護を行っているケースは少ない。機械安全の根幹となる「隔離と停止」「安全確認型システム」の考え方を, いくつかの事例を交えて紹介するとともに, 機械アプリに合わせた安全機器の展開方法を説明する。

Recent amendments of laws and regulations relating to occupational safety, as well as the fact that workplace injuries have not declined, have raised safety awareness in users and makers of machinery. Nevertheless, because standards and regulations have become more complicated, and because technological advancements have resulted in a great variety of available safety devices, we seldom see safeguards that are appropriate from the viewpoint of safety and economy, and that are based on correctly understanding the situation by determining what the real dangers and optimal protective measures are. Using actual case examples, we discuss the concepts of “isolate and stop” and “safety confirmation systems,” which are foundational for machine safety, and explain how to deploy safety devices that are appropriate for the applications of the machinery.

1. はじめに

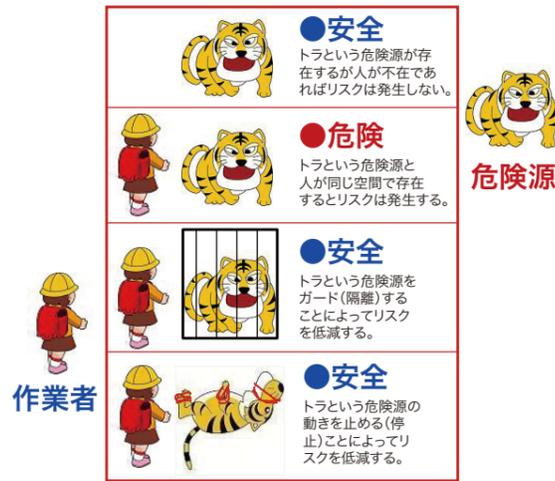
近年, 機械安全に関する規格と法令は強化され, システム安全規格のISO13849-1:2006(制御回路と機器の信頼性をパフォーマンスレベルPLで表す)から, 労働安全衛生法28条の2(リスクアセスメントと低減方策の努力義務化), 労働安全衛生規則24条の13(メーカーは残留リスクをユーザーにリストとマップ化して通知する努力義務化)の改正があり, 安全意識は高まっている。しかしながら, リスクアセスメントや安全教育活動は十分に行うが, 適切なリスク低減方策を実施しているケースは少なく, 設備の老朽化や団塊世代の退職による技術伝承問題も重なり労働災害は減少していない。本稿ではリスク低減方策のステップで最も中心となる安全防護の「隔離と停止」「安全確認型システム」の考え方を捉え, その重要アイテムである安全機器の選定を機械アプリに合わせた展開方法で説明する。

2. 機械安全の考え方

2.1 隔離と停止

安全学を考察するときに, 機械安全に近いところで計装安全や燃焼安全などがあるが皆それぞれに装置やアプリも異なり, 安全の条件も異なる。機械安全の考え方は, 「隔離」と「停止」の二つを原則として, 危険源を囲って近づく時には危険源を正しく確実に止めることを基本としている。

危険源をトラに例え作業者を女の子に例えて説明(図1参照)すると, トラがいても女の子がその場にいなければリスクは発生しないが, トラと女の子が同じ空間に存在するとリスクは発生する。しかし, トラを檻に閉じ込めたり(隔離)トラを縛って動きを止めれば(停止)リスクは低減される。ただしこの場合, 確実な檻と切れないロープで防護しなければリスクは残るのだが至極単純である。



『隔離の原則』 人間と機械を空間的に分離する
『停止の原則』 人間と機械を時間的に分離する

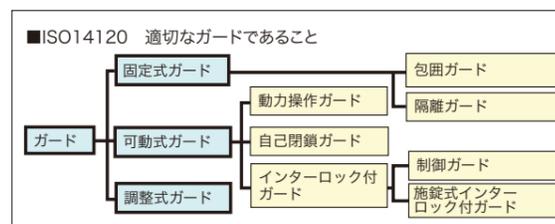


図1 隔離と停止

2.2 隔離の安全

危険源をガードで適切に囲うことに関しては、規格上でガードの種類と機能がISO14120(図2参照)で規定されており、十分な強度や取付け方法について言及している。次に、危険源までの接近可能な距離を考慮するため、ガードの高さや隙間に関してISO13857で規定されており、例えば距離ガードでは上肢の安全距離(柵の上から手を伸ばして)として危険源までの必要な安全距離が、低リスクと高リスクの場合で規定されている。下肢の安全距離については下部隙間(床から)の大きさ、また格子などがあれば開口部の大きさや形状によっても必要な安全距離が規定されている。

仕事の都合で工場の安全診断を行うことが増えてきたが、日本の狭い工場敷地事情から実際の現場で十分な安全距離を確保していることは稀で、多くは危険源に手が届いてしまい問題である。



(a) ガードの種類

身体の部分	図示	開口部	安全距離: sr		
			長方形	正方形	円形
指先		e ≤ 4	≥ 2	≥ 2	≥ 2
指の関節までの指		4 < e ≤ 6	≥ 10	≥ 5	≥ 5
		6 ≤ e ≤ 8	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		8 ≤ e ≤ 10	≥ 80	≥ 25	≥ 20
手		10 ≤ e ≤ 12	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		12 ≤ e ≤ 20	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		20 ≤ e ≤ 30	≥ 850	≥ 120	≥ 120
		30 ≤ e ≤ 40	≥ 850	≥ 200	≥ 120
肩の基点までの腕		40 ≤ e ≤ 120	≥ 850	≥ 850	≥ 850

1) 長方形開口部の長さが65mm以下なら、親指はストッパーとして動くので、安全距離は200mmまで減らすことができる
※表内の太線は、開口部のサイズにより制限される身体部位を示している。
※14歳以上の人に対する標準開口部のSrを示す。

(b) 開口部の安全距離
図2 隔離の安全

2.3 停止の安全

危険源に近づく時には確実に機械を停止することに関しては、アプリに合わせた適切なインターロックの選定が求められる。技術の進歩とともに安全機器の種類は増え、環境やアクセス頻度に合わせた選択肢も増えてきたが、その前にISO14119(インターロック規格)で求める要求事項について確認しておく、安全防護を目的としたインターロックでは、フェールセーフおよびフルプルーフな構造であることが求められる。

フェールセーフとは、「特定の障害モードが圧倒的に安全側であるようなアイテムの設計特性」をいい、故障や失敗が生じたとき、必ず安全側に作動する機能を示す。例えば、制御用リミット式スイッチと安全用ヒンジ式スイッチを比べると(図3参照)、制御用リミット式スイッチは想定される故障モードの接点溶着、スプリングの破損、プランジャの固着が発生した場合に接点は閉のまま危険側に制御される可能性が残る。一方、安全用のヒンジ式スイッチは、ドアを開ける力が直接カムを回してプランジャを押し下げ、接点を強制的に乖離することを構造が立証しており、障害が発生しても圧倒的に安全側に作動させることができ、フェールセーフな構造と位置付けられる。

フルプルーフとは、「間違った操作方法でも事故が起こらないようにする安全設計」をいい、人間工学的な観点以外に、インターロックスイッチの設計においては「容易に入手可能な工具備品により無効化ができない構造」を求めている。例えば、制御用リミット式スイッチの場合、プランジャを結束バンドやガムテープで固定することで容易に無効化を図れてしまうが、安全用のヒンジ式スイッチでは、同様の無効化を構造的にできない設計としている。安全用のスイッチとして最も一般的なタング式も基本的な構造はヒンジ式と同じである。

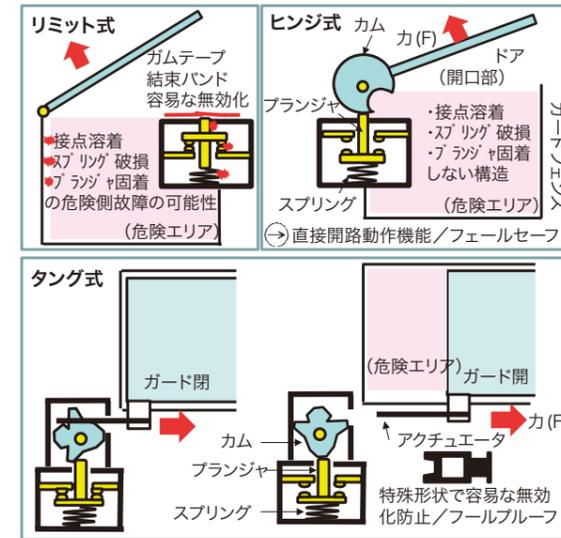


図3 フェールセーフ・フルプルーフな設計

2.4 安全確認型システム

ガードとインターロックの基本ができたところで、これらを組込んだ制御システム(非常停止回路)を構築する必要がある。

いかにフェールセーフでフルプルーフなシステム設計であるかが求められるが、基本システム構成には図4で示す安全確認型システムがあり、前段で説明してきた規格に準拠した部品を採用することで正しく止め、起動制御としては、始動ボタンによる作業意思と機械が安全である確認情報をANDの判断素子により判断し、正しく(安全に)起動することが重要である。

また、安全関連部をきちんと独立させることにより、非安全関連部において異常が発生した場合でも人に対する安全

は担保されることになる。何故ならば、非安全関連部での異常により機械が暴走しても、隔離と停止によりその時には危険エリア内に作業者が居ないので暴露しないこととなる。

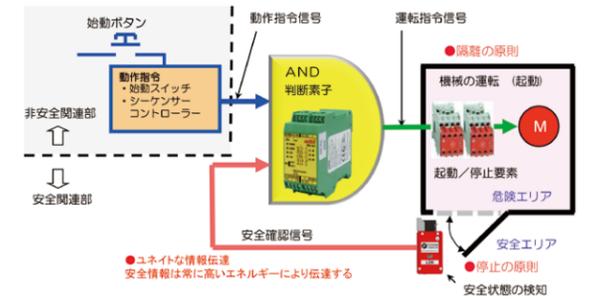


図4 安全確認型システム⁽¹⁾

3. アプリに合わせた安全機器の選定

ここからが本題であるが、最新の安全機器は多種多様になってきており、アプリに合わせた最適な安全機器の選択をするのが難しくなっている。そこで、まずは安全機器にはどのような分類があり、どのような種類・機能の物があるかを知ることが重要である。

3.1 様々な安全機器

ガードも含めて安全機器を細かく種類別に分類してみると表1のようになった。

ガード、インターロックスイッチ、制御機器、存在検知センサ、起動/停止機器、施錠となるが、使用される機械のアプリおよび環境、アクセス頻度などによって正しい選定を行うことと、それぞれの対応する規格の内容を把握し、正しい設置と妥当性確認が不可欠である。

表1 安全機器の種類

種類	機能概略	種類	機能概略	
ガード	固定式ガード	包囲ガード/カバー	全ての方向に対してのアクセスを防止	
	可動式ガード	隔離ガード/フェンス	危険区域の大きさや距離を利用して保護範囲を限定	
		可動式ガード	ヒンジ、スライド等で固定、工具を使わないで開放	
		動力操作ガード	人や重力以外の動力源の支援により動く	
	調整式ガード	調整部は運転中は固定	調整式ガード	調整部は運転中は固定
インターロックスイッチ	ドアスイッチ	タング式	防護ドアへアクチュエータ取付け	
	ロックアウト/タグアウト	電磁ロック式(施錠式)	防護ドア閉状態をレレイドで保持	
		ヒンジ式	防護ドアヒンジの回転軸で動作	
		非接触式	コード化リードスイッチ機構で非接触	
ポジションスイッチ	ポルト式	ポルトを廻す時間を利用して遅延		
	プラグソケット式	2ピンプラグソケット直接連断		
存在検知センサ	リミット式	プランジャ押下げ強制的に接点OFF	トリップキーシステム	メカのキーの受け渡しによるシステム(最初のキー抜き時に電源OFF)
	光カーテン	最小検出体14	指先検知	
	レーザー式エリアセンサ	最小検出体20	手の甲検知	
		最小検出体30	腕検知	
制御機器	両手操作起動	押し釦式	メカ的にボタンを押して起動	
	非常停止	静電容量式	軽く触れるだけで起動	
		光学式	光線を遮光すると起動	
		押し釦式	釦を押して停止(7リセット・ターンセット)	
セーフティリレーユニット	ロープ式	ロープを引っ張り停止		
	ロッド式	ロッドを押して停止		
	イネーブルスイッチ	3ボジション	中間位置でのみ動作許可	
	デッドマンスイッチ	中間位置でのみ動作許可		
セーフティサーボ	ロックアウト/タグアウト	ロックアウト	インターロックスイッチ ロックアウト	
	セーフティリレーユニット	ゲート・ボールバルブ	ロックアウト	
		ブレーカ、電源、コンセント、エアークア	タグアウト(全てのロックアウトに組合せ)	
	強制ガイド式リレー	強制ガイド接点のリレー	モニタリング接点付き	
セーフティサーボ	強制ガイド式	強制ガイド接点の電磁開	最終端負荷を切り切り	
	回転体検知	回転体を直接センサで検知	モータの逆起電力を検出	
	逆起電力	モータの逆起電力を検出	機能安全規格で、電子部品/ソフトウェアによる安全立証ができた製品であること ※AS1・デバイスネットセーフティ	
	セーフティネットワーク	セーフティPLC	インバータ内でCT三相バランスを監視	
圧力センサ	3次元ゾーン監視	安全カメラシステム	カメラ画像により危険エリアを3Dで認識	
	マットスイッチ	加圧(体重、接触)を検知するセンサ	故障モードをモニタするコントローラとの組み合わせによるシステム	



図12 搬送ライン耐環境対応の対策例

4.7 衛生面・防水性・無負荷の対応例

食品機械は、使用される機器に衛生面や高圧洗浄に適合できる防水性が求められている。また、半導体装置はクリーン度を求められ、一般的に使用されるタング式安全スイッチでは、アクチュエータの抜き差し構造による摩耗粉や防水性に弱い問題から不向きである。一方、凸凹のないステンレスハウジングの非接触式安全スイッチは、要求を満たしている。

非接触式安全スイッチは他に、アクリル製のドアが多く採用されている包装機械などでも、開閉時に負荷のかからない構造なので適しているといえる。

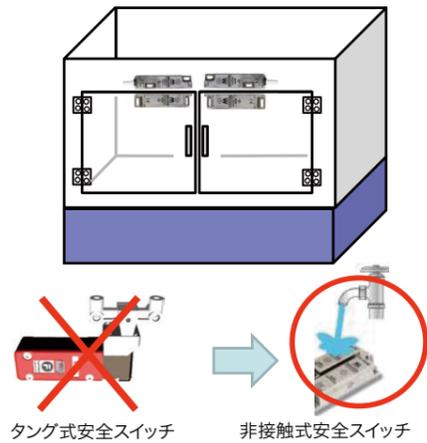


図13 衛生面・防水性・無負荷の対応

4.8 重負荷および広いエリアでの対応例

近年では、電磁ロック式安全スイッチがドアインターロックとして最も多く使用されるようになってきた。必要な時以外はドアがロックされていることは、不要な停止を防止することと生産性を維持するうえで利便性が高い。

電磁ロック式安全スイッチを選定する基準としては、アクチュエータ保持力がある。選定基準としては樹脂やアルミ構造材を枠とするようなドアには800~1500N、工作機械の鋼板ドアの場合には2000~3000Nが適切であるが、鉄鋼や粉砕機のような全体的な堅牢性が要求される特殊な環境には5000~10000Nの保持力があっても良い。また、屋外であったり身体ごと危険エリアへ侵入する場合には、内部からの緊急脱出ボタン機構なども要求される。



図14 重負荷・広いエリアへの対応

4.9 しくみを用いた安全確認システム⁽²⁾

安全機器のなかに、メカニカルなキーの受渡しによって、安全を確保するトラップキーシステムがある。このトラップキーシステムは、従来の電気的手法を用いた安全対策にくらべ、最初の段階で電源遮断を義務付けることから、複雑なシステム安全規格であるパフォーマンスレベルの計算が必要なく、既存設備の安全対策には最適である。

その考え方は、図15にあるように、ドアを開けるためには電源コンセントを抜かなければならず、機械を起動するためには、ドアを閉じないとコンセントが入り入れられないことを物理的なしくみで行っている。

日本では、まだ馴染みのない安全機器であるため少し説明を加えたうえで事例に移っていく。

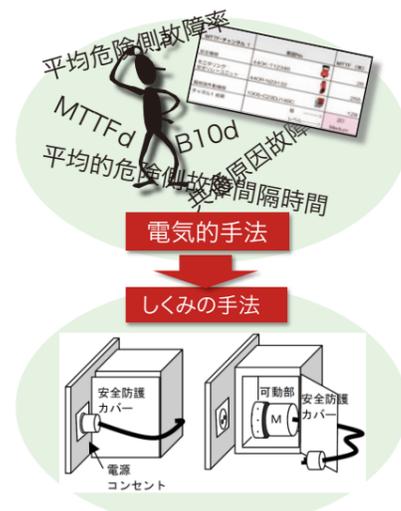


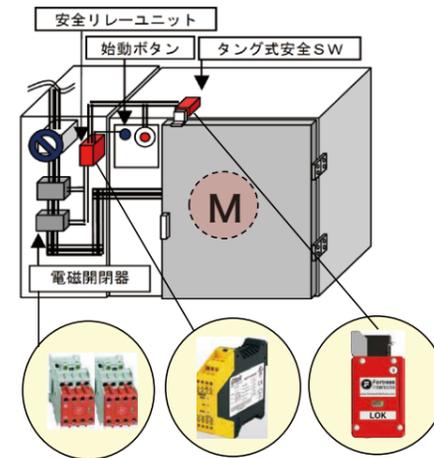
図15 しくみの手法

4.10 「電気的手法」と「しくみの手法」による方策

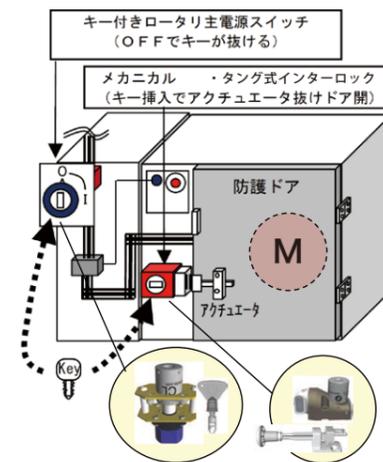
アクセス頻度を要求される場合や、一般的な非常停止回路としては(a)の電気的手法が採用される。(b)のしくみの手法が効果的なのは以下である。

- ・既存設備で複雑な安全機器の組み込みが困難
- ・設置環境が劣悪で電気的の接点が使用できない
- ・防爆エリア

- ・広大領域で電気配線が困難
- ・電気的的条件以外に油空圧バルブの条件も含む



(a) 電気的手法



(b) しくみの手法

図16 「電気的手法」と「しくみの手法」

4.11 トラップキーシステム「しくみ」を用いた例

蒸気と油圧と電気の異なるエネルギー源が三つある安全対策で、ガードで囲った危険エリアへの侵入箇所(ドア)が1箇所ある場合の事例である。

ドア内への侵入を行うには、以下の工程を行わなければならない。

- ①ロータリスイッチ ※電源遮断
主電源スイッチと連動した[A]キーを回すとキーを抜くことができ、同時に主電源はOFFする。
- ②レバー式バルブ ※蒸気遮断
蒸気用ボールバルブのレバーを閉じ位置へ回すとレバー軸の切りかけがボルトの前位置になり、蒸気は遮断される。
- ③ボルトインターロック
切りかけがボルト前に来る事により、[B]キーを回しボルトが飛び出てレバーの切りかけにはまり込み、キーを抜くことができる。
- ④レバー式バルブ ※油圧残圧解放

残圧解放レバーを開け位置へ回すと、レバー軸の切りかけがボルトの前位置になり、油圧の残圧が開放される。

- ⑤ボルトインターロックダブル
[B]キーを挿入し回し、[C]キーを回すと、ボルトが飛び出てレバーの切りかけにはまり込み、キーを抜くことができる。
- ⑥キー交換ユニット
[A]と[C]キーを挿入し回すと、[D]キーを抜くことができる。
- ⑦アクセスインターロック ※ドア開
[D]キーを挿入して回すと、アクチュエータが抜けドアを開けられる。

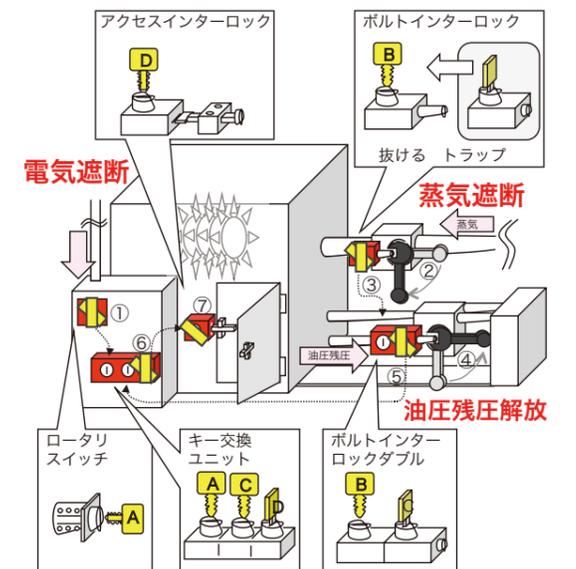


図17 しくみを用いた対策例

4.12 天井クレーンの挟まれ・感電対策の例

天井クレーンに関わる労働災害で最も多いのが、走行してきたクレーンに挟まれることと、トロリ線での感電である。主に、定常運転中よりも非定常作業中(点検作業)に発生することが多く、原因は作業場所が運転室から見えなくクレーン運転士と被災者との合図・連絡が適切にできなかった、監視人を配置しなかった、残存確認ができずに起動してしまったなどである。挟まれる場合の被災場所も乗り込み口であったり、クレーン走行箇所(ランウェイ)や、巻上げドラムであったり様々である。

安全対策であるが、第三者が不用意に起動できなくするために、トラップキーシステムを利用して(図18参照)、危険箇所への入口扉を開ける条件として、①クレーンの主電源OFFを条件にキーAが抜け ②キーAを持って入口扉のインターロックに挿入してキーBを抜く、このことにより扉を開けることが可能となる。また、作業者はキーB(セーフティキーとして)を持って危険エリアへ進入し作業を行うことにより、第三者の不用意な起動を阻止することができる。感電防止のためには、主電源OFFと動力線の接地を条件にして扉を開ける条件とすることも可能である。

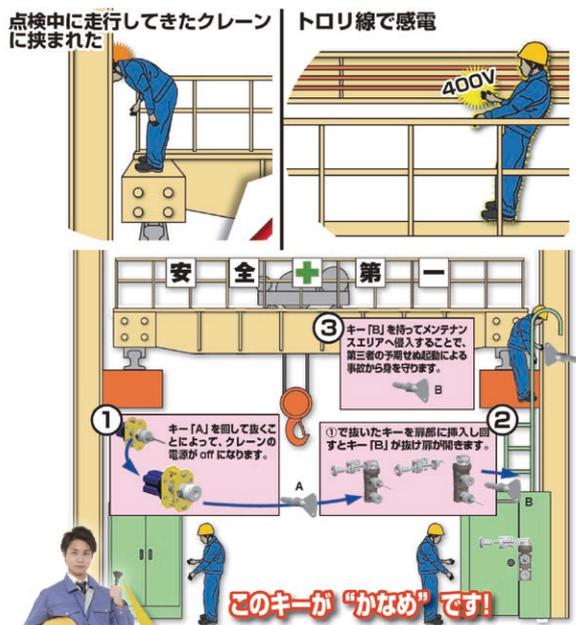


図 18 天井クレーンでの災害防止

<著者所属>

大竹 桂司 アズビルトレーディング株式会社
営業推進本部安全営業部

なお、走行中の荷崩れ、転落、つまずきなどは、隔離と停止の原則による機械安全の技術が適応できず、教育と保護具と危険源排除に頼ることとなる。

5. おわりに

最後に、法規はもちろん規格に準拠することは企業倫理として重要であるが、現場で何が本当に危険であるかを見極め、安全性、経済性(利便性、目的適合性、費用対効果)を考慮したなかで、適切な安全対策を行うことが重要である。

アプリに適した安全機器では、製造現場における様々な危険源や作業に対して安全対策を行わなければならないが、不必要・不用意な停止を避け、できる限り生産性も維持することが、結果的に安全につながると考える。また、暴露頻度を減らす意味合いでも、作業者が関与しない自動化を目指すと同時に、カバーの中にある給油口をカバーの外まで出したり、点検が必要な箇所は透明カバーとしてカバーを外さなくても目的が達せられるような創意工夫であったり、アプリ環境に最適な安全機器の提案を行っていきたい。

安全技術の情報では、複雑化して専門家でなければ使いこなせない機器や規格は、過剰で間違った安全対策になりやすく、本来安全は分かり易く誰でも使えるものであるべきと考え、今後も様々な安全機器・アプリ情報を提供していきたいと考える。

<参考文献>

- (1)安全技術応用研究会:安全構築総覧
- (2)安全技術応用研究会(1997)／TIリスクアドバイザー石原立憲様