

特集

「安全」を考える

機械安全規格の最近の動向と労働安全分野での活用

Trends on International Safety Standards for Machinery and Its Application to the Industrial Safety

梅崎 重夫*¹

Shigeo UMEZAKI

In recent Japanese industrial fields, it becomes common sense that the design and manufacturing of machinery are carried out according to the international safety standards for machinery such as the standard of ISO12100 or ISO14121 etc. However, while the knowledge and technology on safety standards for machinery diffuse widely, the number of labor accidents does not decrease and the number of fatal accidents increases. This seems that the countermeasure in the user side depends on the human attention, not on the facility safe measures. The requirement of international safety standards for machinery, especially inherently safe design measures and the application of safeguard (guard or protective device) are explained as the important facility safe measures for industrial machinery.

Keywords: safety standard, industrial safety, safety control, safeguard, protective guard.

1 緒言

近年、日本ではISO12100やISO14121を始めとする機械安全規格にしたがって機械の設計・製造を行うのが常識になりつつある。しかし、機械安全規格に関する知識と技術が急速に普及する一方で、労働災害の発生件数は下げ止まり、重大災害はむしろ増大の傾向にある。これは、機械の使用者（ユーザー）側の対策が依然として作業者の注意力に依存しており、設備上の安全方策が進捗していないためと考えられる。

このため、厚生労働省では、2006年度の労働安全衛生法の改正で、安全管理者を選任すべき業種の事業場（付録1）参照）に対して、リスクアセスメントの結果に基づく設備安全方策の実施を努力義務として定めた。この方策の中心となるのが、後述する機械の本質的安全設計方策と安全防護物（ガード、保護装置）の適用である。本報では、以上の点を考慮に入れた上で、最近の機械安全規格の動向と労働安全分野での活用を概説する。まず、第2章では、労働災害防止に活用できる機械安全規格の動向を概説する。第3章では、機械安全規格で特に重要な本質的安全設計と安全防護（特にガード）について解説する。

2 機械安全規格の動向

2.1 ISO12100 の制定と規格改定の動向

Table 1 に、機械安全分野における国際規格の動向を示す。このうち、労働災害防止の観点から特に重要なものが、2004年にJISB9700として制定されたISO12100（機械類の安全性—設計のための基本概念、一般原則）[1]である。

この規格では、機械の設計・製造者は本質的安全設計方策（Fig. 1のステップ1参照）や安全防護物の適用（ガードまたは保護装置の適用、Fig.1のステップ2参照）などの設備安全方策を優先的に実施する。そして、これらの方策によっても依然として残留するリスクに対してのみ、機械の使用者が一般的な安全管理に基づく災害防止対策を実施する。

これによって、主に作業者の注意力に依存していた従来の災害防止対策は、設計・製造者が中心となる設備安全方策へと変貌した。また、最近、機械安全分野では、労働災害防止に活用できる規格としてISO14121[2]やISO13849-1[3]の改定作業なども進められており、今後の作業を注視しておく必要がある。

以下、機械安全規格の改定等のうち労働災害防止の観点から特に重要なものを概説する。

2.2 ISO14121 の改定

連絡先：梅崎 重夫，〒204-0024 清瀬市梅園 1-4-6，独立行政法人労働安全衛生総合研究所 研究部機械システム安全研究グループ，
e-mail: um800@s.jniosh.go.jp

*¹独立行政法人労働安全衛生総合研究所

Table 1 Trends on international safety standards for machinery.
(Reported by ISO/TC199 Japanese committee)

No	番 号	名 称	JIS	現 況
1	ISO12100-1 の制定	機械類の安全性—基本概念, 設計のための一般原則—第1部: 基本用語, 方法論	JISB9700-1 :2004	2003年にISO規格を制定
2	ISO12100-2 の制定	機械類の安全性—基本概念, 設計のための一般原則—第1部: 技術原則	JISB9700-2 :2004	2003年にISO規格を制定
3	ISO14121の 1999年版の改定	機械類の安全性—リスクアセスメントの原則	JISB9702 :2000	DIS段階で審議継続中。 今後, ISO14121-1となる予定
4	ISO14121-2の 制定	機械類の安全性—リスクアセスメント—実践ガイド及び方法の例	該当なし	ISO/TR14121-2として TR化の予定
5	ISO13849-1の 1999年版の改定	機械類の安全性—制御システムの安全関連部—第1部: 設計のための一般原則	JISB9705 :2000	2006年11月にISO規格 の改定完了。
6	ISO13849-2の制定	機械類の安全性—制御システムの安全関連部—第2部: 検証	該当なし	2003年にISO規格を制定
7	ISO13850の1996 年版の改定	機械類の安全性—非常停止—設計原則	JISB9703 :2000	DIS段階で審議継続中
8	ISO14119の1998 年版の改定	機械類の安全性—ガードインタロック装置—設計及び選択のための一般要求事項	JISB9710の 審議中	審議継続中
9	ISO14120の制定	機械類の安全性—固定式及び可動式ガードの設計と製造に関する一般要求事項	JIS化の審議 中	ISO化決定
10	ISO13852の1996 年版の改定	機械類の安全性—危険区域に上肢が到達することを防止するための安全距離	JISB9707 :2002	両者統合し, ISO13857 となる予定。DIS段階で 継続中
11	ISO13853の1998 年版の改定	機械類の安全性—危険区域に下肢が到達することを防止するための安全距離	JISB9708 :2002	
12	ISO13854の1996 年版の改定	機械類の安全性—人体部位が押しつぶされることを回避するための最小隙間	JISB9711 :2002	改定作業中止が決定
13	ISO11161の1994年 版の改定	機械類の安全性—産業オートメーションシステム—統合生産システムの安全性—基本要求事項	該当なし	FDIS段階で投票中
14	ISO13856-1の制定	機械類の安全性—圧力検知保護装置—第1部: 圧力検知マット及び圧力検知フロアの設計及び試験のための一般原則	JIS原案の作 成終了	2001年にISO規格を制定
15	ISO13856-2の制定	機械類の安全性—圧力検知保護装置—第2部: 圧力検知エッジ及び圧力検知バーの設計及び試験のための一般原則	JIS原案の作 成開始	2005年にISO規格を制定
16	ISO13856-3の制定	機械類の安全性—圧力検知保護装置—第3部: バンパーの設計及び試験のための一般原則	該当なし	DIS段階で審議継続中
17	ISO/CD TR22831の制定	機械類の安全性—使用上の情報	該当なし	CD段階で審議継続中

この規格は、リスクアセスメントの一般原則、機械の限界の定義、ハザードの特定、リスクの推定、リスクの評価、文書化などの内容から構成される。

この規格の改訂案[4]は、現在 DIS (付録 2) 参照) 段階で審議中である。以下に改定の具体的内容を示す。

- (1) ISO12100 が 2003 年に正式に発行されたために、ISO12100 との整合化を行う。
- (2) 旧版の付属書では 37 種類あった危険源が、改訂案では 10 種類のタイプまたはグループに統合された (Table 2 参照)。これは、労働安全で使っている「事故の型」に類似する。
- (3) 改定案では、機械のライフサイクルの各フェーズ (製造、輸送、据付、運転、保全、廃棄など) とタスクの例 (作業形態) が付属書に追加された (Table 3 参照)。
- (4) 改定案では、起因物と危険事象の関係を示した表が付属書に追加された (Table 4 参照)。

以上より、従来、危険源だけで整理されてきた付属書の一覧表は、ライフサイクル、作業形態、事故の型、起因物、危険事象などを考慮した総合的な一覧表へと変更された。これは、あるべき方向への改訂案として評価できる。

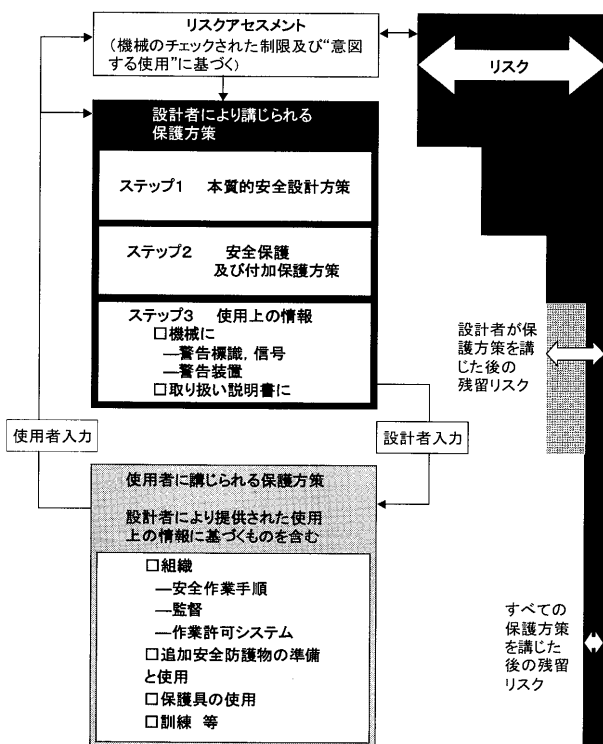


Fig.1 Risk reduction process described in ISO12100[1].

2.3 ISO13849-1 の改定

この規格は最近まで改定作業が進められていたが、2006 年 11 月に ISO として成立した。現在、国内では JIS 化のための委員会の立ち上げを進めている。

この規格は、機械の制御システムの安全関連部を対象に、設計原則、停止機能、非常停止機能、手動復帰、起動及び再起動、応答時間などに関する要件を規定している。また、制御システムの不具合 (障害) に対する抵抗性として、5 種類のカテゴリー (B,1,2,3,4) を規定している。

さらに、この規格では、最近の制御システムの安全関連部の多くが CPU を使ったプログラマブルな電子制御システムで構成されていることを考慮し、機能安全規格である IEC61508[5]との整合も考慮した規格に変更された。具体的には、従来のカテゴリーとともに、IEC61508 で使われている安全度水準 (SIL, System integrity level) の概念が導入された。また、カテゴリーと安全度水準の両方に関連する適切なリスク低減の指標として PL (Performance level) が導入された。

Table 5 は、改定案で示された PL である[3]。Fig. 2 に、改定案で示されたカテゴリーと PL の関連を示す[3]。ここで、DC (Diagnostic coverage) は診断範囲であり、発生する危険側故障を検出できる割合を意味する。ただし、DC=NONE は $DC < 60\%$ を、DC=LOW は $60\% < DC < 90\%$ を、DC=Medium は $90\% < DC < 99\%$ を、DC=High は $99\% \leq DC$ を意味する。また、MTTF は平均故障時間である。

以上の改定の目的は、カテゴリーと SIL の両方を活用できる規格にするためと推察される。しかし、カテゴリーは安全構造の、SIL は危険側故障の発生確率の評価指標であり、両者の直接的な比較は多少無理があると考えられる。

3 労働安全分野での活用

3.1 機械の本質的安全設計方針への活用

次に、ISO12100 に規定された本質的安全設計方針を労働安全分野で活用する際の要点を示す。Table 6 に、本質的安全設計方針に基づくリスク低減方策の例を示す。このうち、著者は労働安全分野では特に次の方策が重要と考える。

1) 力の制限

機械の可動部 (後述する可動式ガードの可動部なども含む) が発生する力を人体に危害を及ぼさない大き

Table 2 The type or group and its correspondent hazard described in draft ISO14121-1.

No	タイプまたはグループ	ハザードの例	
		起因 (Origin)	可能性のある結果
1	機械的危険源	可動部分への接近など	押しつぶしなど
2	電氣的危険源	充電部など	感電死など
3	熱的危険源	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・
4	騒音から生じる危険源	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・
5	振動から生じる危険源	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・
6	放射線から生じる危険源	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・
7	材料または物質から生じる危険源	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・
8	人間工学に関連する危険源	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・
9	機械が使われる環境に関連する危険源	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・
10	危険源の組み合わせ	・ ・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・ ・

注) ハザードの例には、代表例だけを記載した。

Table 3 Phases of the machine life cycle and its correspondent tasks described in draft ISO14121-1.

機械のライフサイクルのフェーズ (Phases of the machine life cycle)	タスクの例
製造 (Construction)	テストなど
輸送 (Transport)	包装, 運送など
組付け・据付, 供用 (Assembly and Installation, Commissioning)	機械の組立など
立ち上げ, 教示・プログラミング, 工程切換え (Setting, Teaching/programming and/or process changeover)	試運転など
運転 (Operation)	機械の駆動など
清掃, 保全 (Cleaning, Maintenance)	工具の交換など
点検・トラブル処理 (Fault finding/Troubleshooting)	修理など
廃棄, 解体 (De-commissioning, Dismantling)	エネルギー源からの取り外しなど

注) タスクには、代表例だけを記載した。

Table 4 Examples of the origin related with and its correspondent hazardous event described in ISO14121-1.

起因物 (Origin related with)	危険事象 (Hazardous event)
機械の接近可能な部分の形状及び/または表面の仕上げ	鋭利な端部, 角部, 突出部との接触など
機械の可動部分	可動部分との接触
機械の運動エネルギー及び/または位置エネルギー (重力), 機械の構成部分, 使用され取り扱われる工具や材料	物体の飛来や放出
機械とその構成部分の安定性	安定性の欠如
機械の構成部分や工具の機械的強度	運転中の破壊
空圧及び液圧設備	高圧流体の噴出など
電気設備	直接接触など
制御システム	可動部分の停止の失敗など
材料・物質または物理的要因 (温度, 騒音, 振動, 放射, 環境)	危険性のある物質の放出など
作業場所及び/または作業手順の設計	疲れる姿勢など

注) 危険事象には、代表例だけを記載した。

Table 5 The relation between the Performance level and SIL described in ISO13849-1[3].

PL	SIL (IEC61508-1, for information) High/continuous mode operation
a	No correspondence
b	1
c	1
d	2
e	3

さに制限する。

具体的には、可動式ガードから人体に作用する力を150N（挟まれ防止用の保護装置が設置されている場合）や75N（挟まれ防止用の保護装置が設置されていない場合）以下に制限する方法がある（ISO14120 の5.2.5.2 節参照）。また、産業用ロボットを駆動する原動機の定格出力を厚生労働大臣告示に定める80W以下に制限する方法がある。

2) 運動エネルギーの制限

機械の可動部（後述する可動式ガードの可動部なども含む）が持っている運動エネルギーを人体に危害を及ぼさない大きさに制限する。

具体的には、可動式ガードの運動エネルギーを10J（挟まれ防止用の保護装置が設置されている場合）や4J（挟まれ防止用の保護装置が設置されていない場合）以下に制限する方法がある（ISO14120 の5.2.5.2 節参照）。

また、産業用ロボットのマニピュレータの移動速度をISO10218[6]（産業用ロボット—安全要求事項）の規定にしたがって250mm/sec以下に制限する方法がある。ただし、この規定はあくまでも人間がマニピュレータを目視して回避できることを前提としているため、厳密な意味では本質的安全設計方策には入らないとの意見もある。

3) 自動化等

自動化等によって作業者が機械の危険源に暴露される頻度を低減する。

具体的には、プレス機械材料の自動供給排出装置を適用したり、クレーンを使った人手による重量物の搬送作業を自動搬送装置で代替するなどの方法がある。

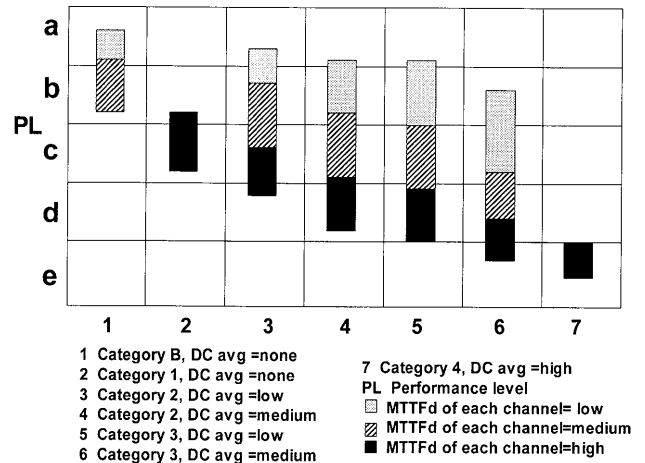


Fig. 2 The relation between the category and SIL.

4) 危険・有害作業の排除

工程、作業方法、材料の変更などを行って危険・有害作業を排除する。

具体的には、工程変更や作業高さの均一化による重量物搬送作業の根絶などがある。また、石綿などの有害な材料の使用禁止、粉じん作業の湿式化、粉体のスラリー化・ウェットケーキ化などがある。

3.2 ガードを利用した保護方策の活用

具体的なガードの例は、ISO14120[7]で詳述されている。この規格では、ガードを次の5種類に分類している。なお、以下の解説では分かりやすさを優先したために、規格の文言どおりではない説明がある。詳細は、必ず規格を参照して頂きたい。

1) 固定式ガード

閉鎖されたガードで恒久的なもの（溶接などによる）、又は締付具（ねじ、ナットなど）によって固定されたもので工具を使用しなければ取外しができないガード。次の種類がある。

① 囲い型

機械の危険源を完全に囲むことによって、人体が危険源に接近するのを防止するガード。回転軸、歯車、ベルト、チェーンの囲いなどがある。

② 距離型

機械の危険源を完全に囲うことはないが、危険源からの距離を確保することによって、人体が危険源に接近するのを防止するガード。ロボットの柵（Fig.3 参照）[8]やトンネルガード[9]（トンネルが十分な長さを持っているために、手を入れても危険源に到達しない構造のガード）などがある。

Table 6 Inherently safe design measures described in ISO12100.

No.	大項目	中項目	ISO12100-2 の 項番
1	幾何学的要因の考慮	・制御位置から危険区域を直接視認できる ・挟まれるおそれのある部分は、人体が進入できないように狭くするか、または挟まれるおそれがない程度に広くする ・鋭利な角部、端部、突出部などの回避	4.2
2	物理的側面の考慮	・作動力の制限 ・速度や運動エネルギーの制限 ・エミッションの制限（騒音、振動、危険物質、放射など）	4.2
3	機械設計に関する一般的技術知識の考慮	・機械的応力の考慮（応力制限、過負荷防止、応力変動、回転要素の静的及び動的バランスなど）、 ・材料及びその特性の考慮（腐食、経年変化、磨耗、延性、脆性、毒性、引火性など） ・エミッション値の考慮（騒音、振動、危険物質、放射）	4.3
4	適切な技術の選択	・爆発性雰囲気に対する油空圧システムや本質安全防爆構造の使用 ・溶剤の発火点より十分低い温度を維持する設備の使用 ・騒音レベルを回避するための代替設備（空圧設備の代わりに電気設備、機械的切断の代わりに水による切断など）	4.4
5	構成品間のポジティブな機械的作用の原理の適用	・ポジティブな機械的作用の適用（機械的構成品が直接接触して、又は剛性要素を介して他の機械的構成品と連動する場合を、ポジティブモードでの結合と呼ぶ）	4.5
6	安定性に関する規定	・基礎の形状寸法、負荷を含めた重量分布、転倒モーメント、振動、重心の変動、設置面の特性、外力（風圧、人力など）	4.6
7	保全性に関する規定	・接近性、作業環境、工具の寸法、人体寸法、取り扱いの容易さ、人の能力の考慮、特殊な工具及び機材の数の制限	4.7
8	人間工学原則の遵守	・ストレスの低減、インターフェースの明確化、ストレスの大きな姿勢や動作の回避、人の身体構造に配慮した操作盤の最適設計、騒音・振動・温熱の影響の回避、作業リズムを自動運転のサイクルに無理に合わない、適切な照明の採用、手動制御器の最適な選定と配置、指示器・ダイヤル・表示ユニットなどの最適な選定と配置	4.8
9	電氣的危険源の防止	・IEC60204-1に対応する措置	4.9
10	空圧及び液圧設備の危険源の防止	・圧力制限装置の使用、サージ圧や圧力の上昇や低下、危険な流体の噴出、エアレシーバーやアキュムレータの規則への適合、パイプやホースの保護、動力遮断時のアキュムレータの減圧、残圧の排出	4.10
11	制御システムへの本質的安全設計方策の適用	・内部動力源の起動や外部動力供給の接続で機械が作動しない、機械の起動は電圧や圧力の増加で停止は除去で行う、動力中断後の再起動防止、動力供給の中断が危険状態とならない、自動監視の使用、プログラマブル電子制御システムへの IEC61508 の適用、手動制御器への人間工学的原則の適用、段取り・ティーチング・工程切替え・不具合の発見・清掃又は保全などの作業に対して他の制御モードの禁止、ホールド・ツー・ラン装置の適用、危険区域への接近制限、非常停止制御器の設置など、制御モード及び運転モード切替装置の設置、電磁両立性を達成するための IEC61000-6 シリーズなどの採用、不具合の発見及び修正を支援する診断システムの組み込み	4.11
12	安全機能の故障の確率の最小化	・信頼性のある構成部品の採用、非対称故障モード構成品の採用、構成品又はサブシステムの二重系または冗長系の採用、	4.12
13	設備の信頼性による危険源への暴露機会の制限		4.13
14	供給/取出し作業の機械化及び自動化による危険源への暴露機会の制限		4.14
15	段取り等及び保全の作業位置を危険区域外とすることによる危険源への暴露機会の制限		4.15

注) 中項目には、代表的なものを記載した。

2) 可動式ガード

人手や動力（重力、バネなどを含む）によって開閉する構造のガード。次の種類がある。

① 動力作動型

動力によって作動するガード。

② 自己閉鎖型

加工物が通過した後に、自動的に（重力、バネ、又はその他の外力などによって）閉鎖位置に復帰するガード。携帯用丸のこ盤の歯の接触予防装置などが該当する。

③ 制御型

人がガードを閉じるまで機械が作動せず、ガードを閉じると機械が自動的に作動を開始する。

3) 調節型ガード

作業者の操作によって、保護する長さや保護位置を変更できるガード。ボール盤の調節ガードなどがある[9] (Fig. 4 参照)。

4) インタロック型ガード

ガードを閉じない限りは機械が作動せず、機械の作動中にガードを開いたときは直ちに機械の作動が停止する。

5) ガードロック付きインタロック型ガード

ガードをロックする機構（電磁式、機械式など）が設けられており、ガードが閉じてロックされない限りは機械が作動せず、機械が停止しない限りはガードのロックが解除されないためにガードが開かない。CNC旋盤の電磁ロック付きインタロックガードなどがある[9] (Fig. 5 参照)。

4 結言

以上、最近の機械安全規格の動向と労働安全分野での活用について述べた。従来、日本では優秀な作業者

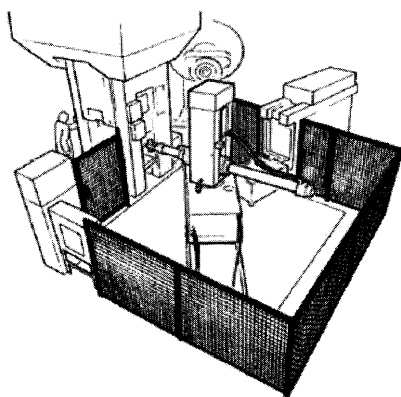


Fig. 3 The fixed guard for the robot.

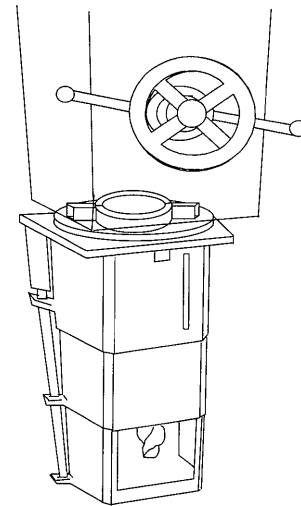


Fig. 4 The adjustable guard for the drilling machine.

- ① ドリルを下降させて行くと、まず調節ガードが治工具（万力等）と接触する。
- ② ドリルをさらに下降させて行くと、調節ガードが長さ方向に縮み、ドリルが下降物と接触する。
- ③ 切りくず処理やドリル交換のため、調節ガードは前方に開くようになっている。
- ④ ガードが閉じてないと、起動動作を行っても機械が運転を開始しないよう、インタロック機構が設けられている。

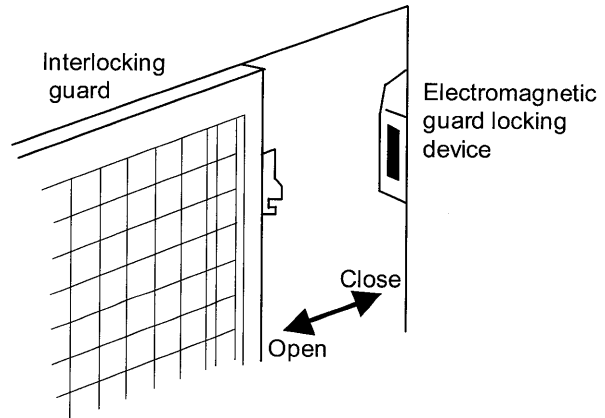


Fig. 5 The interlocking guard with guard locking for the CNC lathe.

の技能に依存して、現場の災害防止を実現してきた。しかし、2007年問題などを契機として優秀な熟練作業者は徐々に減少しており、機械の設計・製造者を中心とした新しい保護方策が必要である。この方策に、本報で述べた本質的安全設計方策や安全防護物（ガード、保護装置）の適用があると考えられる。

本報が、機械安全規格の国際動向と労働安全分野への活用に興味を持たれている方々の参考になることを

期待する。

付録

1) 安全管理者を選任しなければならない業種には、林業、鉱業、建設業、運送業、清掃業、製造業（物の加工業を含む）、電気業、ガス業、熱供給業、水道業、通信業、各種商品卸売業、家具・建具・じゅう器等卸売業、各種商品小売業、家具・建具・じゅう器等小売業、燃料小売業、旅館業、ゴルフ場業、自動車整備業及び機械修理業がある。

2) ISO 規格は、通常、次の6段階を踏んで最終案がまとめられる。①新作業項目（NP）の提案、②作業原案（WD）作成、③委員会原案（CD）作成、④国際規格原案（DIS）照会及び策定、⑤最終国際規格案（FDIS）策定、⑥国際規格の発行。

このうち、NP は、投票した TC（専門委員会）/SC（分科委員会）の P（積極的参加）メンバーの過半数が賛成し、5ヶ国以上の P メンバーが審議に参加するときに承認される。CD は、総会でのコンセンサスまたは投票した P メンバーの3分の2以上の賛成を得た場合に成立する。DIS や FDIS は、TC/SC メンバーだけでなく、すべてのメンバー国に投票のために回付され、TC/SC の投票した P メンバーの3分の2以上が賛成し、かつ反対が投票総数の4分の1以下である場合に成立する。ただし、FDIS 段階では規格の本質的内容の修正は認められない。

謝辞

本報の作成にあたっては、独立行政法人労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループの 池田博康 上席研究員から貴重な情報の提供と御助言を頂いた。紙上を借りて深い謝意を表する。

参考文献

- [1] 社団法人日本機械工業連合会 ISO/TC199 国内委員会監修、対訳 ISO12100-1, 12100-2 機械安全の国際規格、日本規格協会、2004.
- [2] ISO 14121, Safety of machinery —Principles of risk assessment, 1999.
- [3] ISO13849-1, Safety of machinery—Safety-related parts of control systems—Part1:General principles for design, 2006.
- [4] DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 14121-1, Safety of machinery —Risk assessment —Part1:Principles, 2005.
- [5] IEC61508-1 ~ 7, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems,

1998~2000.

- [6] ISO10218-1, Robots for Industrial Environment-Safety requirement—Part 1 : Robot, 2006.
- [7] ISO14120, Safety of machinery —Guards — General requirement for the design and construction of fixed and movable guards, 2002.
- [8] M.C.Bonny and Y.F.Yong, *Robot Safety*, IFS Ltd, UK, pp.217-222, 1985.
- [9] 清水尚憲, 梅崎重夫, 池田博康, 生産システムで使用される安全手段の仕様調査, 産業安全研究所特別研究報告, NIIS-SRR-No.19, pp.25-77, 1999.