

産業機械における安全防護物の無効化事由を踏まえた 安全設計要件の考察†

岡部 康平*1

安全防護物の無効化に起因する労働災害を防止するための安全設計要件を考察する。産業機械での災害事例から無効化の事由を、保守管理の実施、生産性への対応、作業性への対応の3種類に区分して示す。区分の指標に労力節約の観点を採用し、区分に応じて機械設備にて対処すべき課題が異なることを示す。そして、無効化の事由より安全設計の現状の課題を考察し、安全設計で配慮すべき要件を明らかにする。さらに、設計のための手法として、制約呈示法と誘導教示法を呈示し、システム制御への適用例を示す。

キーワード: 産業機械, 労働災害分析, 無効化, 労力節約, 動作抑制

1 はじめに

労働安全が強く意識される現在においても、機械設備に設けられた安全装置などの安全防護物を作業者が無効にする“無効化”による労働災害は後を絶たない。その一因に、無効化の行為に対する捉え方、観念が深く関与していると考えられ、再考が求められる。

一般に、無効化の動機は生産性の過度な欲求、安全軽視として一概に扱われがちである。安全装置（以降、保護装置と記載）の意図的な無効化の多くが、実際、機械設備の適切な利用方法に違反する。それゆえ、災害の原因は安全規則の違反、または、安全管理の不備として一律に処理される。無効化の動機や経緯などの、個々の詳細な事由は掘り下げて追求されない。国内の災害分析では詳細は報告されてこなかった。しかし、無効化の事由は本来多様であり、本稿の先行研究では管理運用だけでは対応しきれない事例が確認されている^{1, 2)}。全てを一律に議論すべきではない。

無効化の事由が解明されなければ、安全設計による抜本的な対策にまで至ることはない。保護装置の性能や使い勝手は改善されず、同様の災害が繰り返し替えられることになる。再発の実例が実際に確認されている³⁾。無効化を管理運用の視点だけで議論しては十分な再発防止に至らない。

本稿では、まず、産業機械における意図的な無効化の動機を細分化して例示し、それら事由の区分に応じて、災害の再発防止策を安全設計の視点を重視して個別に検討する。次に、現状の無効化対策としてタンパーブープを概説し、その有効性を検討する。さらに、無効化の事由を踏まえ、機械設備の安全設計としての課題を考察し、対処するための基本的な安全設計要件を呈示する。

2 産業機械災害における無効化事由の分析

1) 分析方法

産業機械における意図的な無効化の事由を製造業の労働災害から抽出し、無効化事由を三種類に区分する。無効化事由を区分する分類基準を呈示し、災害の詳細な報告がなされる死亡災害に適用する。各区分での無効化事由の特徴を示す。そして次に、死亡災害で導出した分類区分を、災害数の多い個別機械の事例分析に展開する。

2) 分類基準

無効化の実態とその形態の把握を目的として、製造業の産業機械で発生した死亡災害129件⁴⁾を対象に、固定ガードの取り外しなど、無効化の事由を災害データより抽出した。そして、特定できた9件の無効化事由を参考に、分類基準として、(1)作業の必然性、(2)生産性の向上、(3)労力節約の観点を採用して、下記の三種類に区分することを提案した¹⁾。

- 保守管理の実施
- 生産性への対応
- 作業性への対応

労力節約とは工数の削減であり、本稿では手間隙を省くこととする。作業性と生産性の違いは労力節約が主目的かどうかである。生産性への対応は手間隙を惜しむものに対して、作業性は手間隙を惜しむものではない。

生産性とは、生産過程に投入された一定の労働力その他の生産要素が生産物の産出に貢献する程度である⁵⁾。他方の作業性は一般に、使用性の有効さとして用いられている。

使用性とは、“ある製品が、指定された利用者によって、指定された利用の状況下で、指定された目標を達成するために用いられる際の、有効さ、効率及び利用者の満足度の度合い”であり、有効さは、“利用者が、指定された目標を達成する上での正確さ及び完全さを”意味する⁶⁾。

作業性の改善は、生産性の向上にも寄与するが、手間隙を費やして所定作業を定常とおりに遂行することを主目的とし、手間隙を簡略化することで、生産効率の向上を図るものではない。

保守管理は、作業形態として無効化の必然性が高く、そもそも、生産性の向上を意図するものではない。

3) 分析結果

† 原稿受付 2012年01月12日

† 原稿受理 2012年11月16日

*1(独)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

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

(独)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

岡部 康平*1

E-mail: okabe@s.jniosh.go.jp

表1 無効化事由が特定された事例

索引	機種名	防護物	無効化事由	実施者	区分
1	伸線機	覆い	作業の邪魔になり仕事がやりづらいため	機械管理者	作業性
2	混合機	囲い	機械を掃除するため	被災者	保守-清掃
3	印刷機械 A	リミットスイッチ	機械を一人でも作動させるため	不明	生産性-人手
4	印刷機械 B	リミットスイッチ	カバー内を確認しながら作業するため	不明	作業性
5	洗濯機械	安全カバー	カバーが重く、取り外しが面倒なため外してあった	機械管理者	生産性-手間
6	成形機 A	安全扉	扉が付近の作業者にぶつかることがあり危険なため	機械管理者	作業性
7	成形機 B	側方カバー	機械の型交換をするために外しておいた	保守作業員	生産性-手間
8	ロール機	安全柵	機械を調整するため柵を開けた	被災者	保守-調整
9	トランスフ ァーマシン	安全柵	機械の故障原因を調べるため柵を開けた	被災者	保守-修理

特定できた9件の機械種別などの詳細と区分を表1に示す。各区分での事由には、下記の特徴が確認された。

(1) 保守管理の実施 無効化は保守作業の実施を目的とするものであり、被災者自身が無効化したと推定できる。

(2) 生産性への対応 無効化は安全確保に関する所定作業を省略、あるいは、簡略するための無効化と推定できる。安全防護物に起因する手間隙の忌避が無効化を招いたと考えられ、安全防護物そのものが作業遂行を阻害したわけではないことが確認できる。

(3) 作業性への対応 無効化は安全防護物そのものによる作業阻害への対処を目的とするものであり、作業は機械本来の用途範囲内と推定できる。災害発生の前から無効化された状態であったことが判明しており、現場の状況からも無効化したのは被災者自身ではないと推定できる。無効化したことよりも、無効化後にその危険性の周知や掲示をせず、次善策を講じずに放置したことに問題がある。機械設備の変更管理上の不具合⁷⁾による災害事例と強く関連付けられる。

(4) 区分からの考察 不要な工数削減の取り組みは大切な活動である。しかし、作業工程の改善活動には、削減してよい工程と、削減してはならない工程との明確化が欠かせない。生産性への対応では、安全確保に必要な手間隙までもが忌避されている。そこに安全管理上の問題がある。

一方、作業性への対応では、安全確保の手間隙が忌避されているのではない。この対応での背景には、機械設計者が想定する使用方法の範囲内には実務が収まらない実態があり、無効化の動機は設計仕様と使用要求との齟齬に起因すると推察される。

4) プレス機械における無効化事由の分析

次に、機械の無効化事由を具体的に解明するために、現場で最も一般的に利用されているフリクションクラッチ式プレスに起因する労働災害（休業4日以上）のデー

タ460件を利用して分析を実施した⁸⁾。このデータは、当研究所が動力プレス機械構造規格等の改正原案を検討するにあたって利用したもので、プレス機械の無効化事由の検討で不可欠である①ガードや安全装置の設置の有無、②安全装置の種類、③安全装置の使用または無効化の有無などの情報を含む唯一のデータである。このため、対象期間が平成15年から平成17年の3年間とやや古いデータではあるが、本分析の対象として利用した。なお、フリクションクラッチ式プレス機械に起因する労働災害の大部分は中小零細企業で発生しており、現時点での発生傾向も当時と比較して大きな差異はないと推察される。また、無効化の事由は上記と同じである。

安全防護物が災害の発生に関与している事例は、囲いの不備で5件、保護装置関係の不備で306件と、全体の6割以上を占める。保護装置関係の不備が多いが、保護装置の故障による災害は5件のみである。これらの311件中、明らかな安全防護物の無効化は下記の60件あり、全体の1割以上を占める。

- 囲いの取り外し：2件
- 保護装置の不使用；48件
 - 金型交換のため保護装置無効化：13件
 - 試し打ちのために保護装置無効化：9件
 - 無効化後の保護装置復旧忘れ：26件
 - ◇ 金型交換：13件
 - ◇ 長尺物加工：4件
 - ◇ 機械停止解除：4件
 - ◇ その他：5件
- 保護装置の改造：10件

これらの災害事例での無効化事由を細分化すると、表2の区分結果となった。金型の交換、および、位置調整を目的とする無効化の発生が多い。また、その後の復旧忘れも多い。無効化事由としては、交換後の復旧忘れも金型交換と同じ動機であるが、復旧がされなかった事由も重要である。漫然、怠惰、あるいは、焦りなどの理由は

表2 プレス機械での無効化事由の区分

区分	総数	動機	無効化事由	事例数
保守管理	27件	調整	金型交換	13件
			交換後復旧忘れ	13件
		教育	金型交換説明	1件
生産性	8件	人手削減	改造	7件
		手間削減	復旧忘れ	1件
作業性	16件	作業達成	試し打ち	9件
			囲い取り外し	1件
			復旧忘れ	6件
その他	9件	-	-	-

区別される必要がある。金型交換をここでは保守管理の実施に分類したが、一般の作業者も定常作業の一環で交換を実施する。保護装置の無効化が定常化する要因であり、改善が求められる形態である。

無効化事由の特徴を次に示す。

(1) 保守管理の実施 図1に金型交換での被災者の割合を経験別に示す。1年未満の作業者の割合が高い。経験年数が1年未満の熟練者でない災害が2割近くを占めていること自体、看過できない実態である。

保護装置の無効化は、本来、相応の知識と経験を有

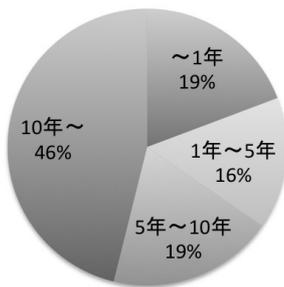


図1 金型交換による被災者の経験年数割合 (復旧忘れを含む)



図2 インターロックの基本構造

する熟練者が実施すべきである。工程上、頻発する作業であろうとも無効化すれば非定常の危険作業である。それを経験の浅い作業者に実施させる作業形態は、安全確保の観点からすれば人手削減と捉えられる。単純に安全教育の実施をもって済まされる管理体制の問題ではない。

機械側にも問題がある。保護装置を容易に無効化できている事例が多く、装置の改善も求められる。特に、無効化と連動して機械の動作を停止ないし“寸動”⁹⁾に抑制するためのインターロック構造¹⁰⁾が形成されていない。

基本的なインターロック構造を図2に例示する。論理積の信号処理により、保護装置が無効化されて許可信号が生成されない場合には、機械の定常動作を許可しないのが基本である。詳細は後述する。無効化後の動作が寸動であった事例は、復旧忘れを含む金型交換26件中8件と半数に満たない。構造規格としての規定の検討が必要である。

(2) 生産性への対応 生産性への対応では、安全確保のために両手で操作すべき保護装置を片手で操作するために改造することが多い。これは加工品を支えたり、位置を少し調整したりしながら作業を遂行するための改造と推察できる。本来は1人で実施困難である作業を実施可能とする目的の無効化であり、人手削減と捉えられる。

(3) 作業性への対応 作業性への対応では、長尺物や新規加工物が保護装置を無用に作動させてしまうため、装置を一時的に無効化する事例が多い。作業の目的からして、無効化の必要性は窺えるが、その後の復旧作業には問題がある。この事由は保護装置の性能限界による作業性の阻害の典型例である。この事由に対しては、既に技術的な対応が提案されている¹¹⁾。保護装置の機能拡張により作業性と安全性との両立を図ることは可能である。

無効化の実施者は、被災者自身である場合と、被災者自身でない場合の両方が確認された。

5) 食品機械における無効化事由の分析

次に、機械の種類を拡充して、無効化事由の更なる分析を実施した。対象とした機械は食品加工用機械に起因する労働災害のデータ200件である^{3), 19)}。このデータは、当研究所が食品機械に係る労働安全衛生規則の改正原案を検討するにあたって利用したものの一部で、食品機械の無効化事由の検討にあたって不可欠である①機械の種類、②可動部の種類と形状、③作業の状況などに関する情報を当研究所の研究員が詳細に分析した唯一のデータである。このため、対象期間が平成18年とやや古いデータではあるが、本分析の対象として利用した。なお、食品機械に起因する労働災害の大部分は中小零細企業で発生しており、現時点での発生傾向も当時と比較して大きな差異はないと推察される。

安全防護物の無効化は、死亡災害25件中4件、休業災害175件中20件と合計24件で確認された。食品機械でも災害全体の1割を占める。24件中22件で無効化事由が特定された。特定された災害事例を表3に示す。また、それらの区分を表4に示す。残留物を除去するための無効化が多く、また、インターロック構造が形成されていない。攪拌機などの蓋は、高速回転部などから作業者を防護する可動式ガードとしての役割も併せ持つ。寸動の考えと同じく、蓋にも低速運転と連動させるインターロック構造が本来は必要である。固定式ガードにおいても、頻度に拘らず取り外された場合には、機械の動作を制限する機構が望まれる。

表3 食品機械での無効化事例

索引	機械種別	重傷度	防護物種別	防護物	インターロック	無効化事由	実施者
1	コンベア	死亡	インターロック付きガード	リミットセンサスイッチ付き扉	有り	異常調査	被災者
2	野菜清浄機	死亡	可動式ガード	蓋	有り	残留物除去	被災者
3	攪拌機	死亡	可動式ガード	蓋	無し	清掃	被災者
4	攪拌機	死亡	可動式ガード	蓋	無し	残留物除去	被災者
5	長練機	1ヶ月休業	可動式ガード	覆い	無し	清掃	被災者
6	精肉裁断機	2ヶ月休業	保護装置	センサ	無し	残留物除去	被災者
7	精肉裁断機	3ヶ月休業	可動式ガード	覆い	無し	清掃	被災者
8	挽肉製造機	2ヶ月休業	固定式ガード	覆い	無し	残留物除去	機械管理者
9	挽肉製造機	1ヶ月休業	可動式ガード	覆い	不明	加工物取り出し	被災者
10	皮取り機	20日休業	可動式ガード	覆い	無し	加工物取り出し	被災者
11	ローラ機	1ヶ月休業	可動式ガード	覆い	不明	残留物除去	被災者
12	製麺機	3ヶ月休業	固定式ガード	覆い	不明	修理	被災者
13	魚骨切断機	1ヶ月休業	可動式ガード	覆い	無し	加工物調整	被災者
14	揚げ物機	1ヶ月	固定式ガード	覆い	不明	機械修理	被災者
15	ちくわ焼き機	3ヶ月	固定式ガード	覆い	無し	機械調整	被災者
16	包装機	1週間休業	可動式ガード	覆い	有り	残留物除去	被災者
17	野菜裁断機	-	可動式ガード	覆い	無し	加工物調整	被災者
18	計量機	-	可動式ガード	扉	無し	機械点検	保守作業員
19	コンベア	3ヶ月休業	固定式ガード	覆い	不明	修理	被災者
20	製麺機	1ヶ月休業	可動式ガード	覆い	無し	清掃	被災者
21	練機	-	可動式ガード	覆い	無し	残留物除去	機械操作者
22	包装機	1ヶ月休業	可動式ガード	覆い	無し	残留物除去	被災者

表4 食品機械での無効化区分

区分	総数	動機	無効化事由	事例数
保守管理	9件		掃除	3件
			残留物除去	2件
			調整	1件
			修理	1件
			点検	2件
生産性	5件		手間削減	4件
			敢行	1件
作業性	5件		残留物除去	4件
			清掃	1件
その他	3件	機械設備の不備	不具合対応	3件

インターロック構造を形成していても万全ではない。事例16番は覆いを開ければ機械が停止する構造であったが、回路の故障によりインターロックが作動しなかったために災害に至っている。インターロック構造に限らず、保護装置は故障が生じた場合には機械が作動しないようにフェールセーフ化¹³⁾しておかなければならない。

食品機械では、動かす必要がある場合に限り、機械の停止制動を解除する構造設計の徹底が望まれる。

無効化事由の特徴を次に示す。

(1) 保守管理の実施 掃除のための無効化が多い。無効化の目的が正当であるため、ここでは保守管理の実施に分類したが、機械を停止して作業可能であるため、生産性への対応とも捉えられる。これらの事例はインターロック構造で防止できたと推察される。

新たな動機区分が確認された。具体的には、本来は修理で通常の作業を停止すべきにも拘わらず、定常作業を継続するために危険を承知で、覆いを外して機械の異常を放置する、“敢行”が確認された。被災者は無効化の実施者ではなく、作業するにあたり注意は受けていたが意味をなさなかった。安全を軽視し生産を優先させた事

例である。この種の動機は厳しく咎められるべきである。

(2) 生産性への対応 加工中に機械を停止せずに覆いを開ける事例が多い。覆いを開ける必要性はあるため、作業性への対応としても考えられる。だが、無効化に際して機械停止を怠っており、手間隙の削減が根本的な動機として捉えられる。これらの事例もインターロック構造で防止できたと推察される。なお、無効化の実施者は、被災者自身である場合と、被災者自身でない場合の両方がある。

(3) 作業性への対応 残留物を除去するために覆いを開ける事例が多い。除去のために機械を動かす必要があるが、被災者自身が機械を敢えて動かしたと推定できる。単純な機械停止のインターロック構造では防止できない事例である。作業者が不安全な状態で安易に動かさないように、両手操作式のイネーブル装置や寸動機能が必要である。片手操作式では不十分であり、実際、被災している事例がある。また、蓋や覆いを開ける必要を減らすための工夫も望まれる。そのためには、蓋や覆いが残留物などを遮蔽しないように、視認性に配慮した設計が極めて重要である。

3 無効化対策の現状

1) 無効化行為の一般的解釈

保護装置の意図的な改造などの無効化で、不正であることの認識がある行為は総称してタンパー行為と呼ばれる¹⁴⁾。一般に、タンパー行為は悪戯などの意図的な行為を指し、ヒューマンエラーなどの悪意のない過失行為は含まない。本来、悪意ある不正行為のみをタンパー行為とすべきであるが、タンパー行為の厳密な定義はなく、明確な区分も現状はなされていない。そのため、意図的な無効化行為は一律にタンパー行為として解釈される。本稿では、タンパー行為を意図的な不正行為に限定して、前節で示した三種類の無効化区分の特徴を捉え直し、採るべき一般的対策を考察する。

2) タンパー行為としての分類

タンパー行為の観点で無効化事由を捉えるにあたり、保守管理の実施における無効化行為をタンパー行為として解釈するのは不適切である。その理由として、保守管理の実施を目的とする安全防護物の無効化の殆どが、本来の作業目的範囲内であり、その行為には正当な事由があるため、明らかな不正行為とは断じられないためである。それゆえに、タンパー行為とは明確に区別する必要がある。この事由による無効化行為への対策は、現状では機械の管理者側に大きく委ねられているが、機械の設計者側にも製造物責任の履行として積極的な協力が望まれる。

他方の生産性および作業性への対応による無効化行為は、動機に必要性が窺えるが、機械の適切な使用方法で禁じられた行為であり、タンパー行為とみなせる。しかし、作業性への対応では、

- 定常作業の範囲内で無効化の動機が生じている

- 無効化して機械を作動させる必要がある
- 安全防護物が作業の直接的な阻害要因の場合がある
- 被災者が無効化した本人ではない場合がある

ことが確認できる。そのため、作業性への対応における無効化行為はタンパー行為と解釈できても、生産性への対応とは異質であり、同列に扱うべきではない。製造物としての改善を機械設計で検討する余地が、作業性への対応には充分にある。

3) タンパープルーフ

タンパー行為に対抗する手法や手段は総じてタンパープルーフ、タンパーレジスタンスなどと呼ばれる。二重包装で異物混入を防ぐ薬品容器が良い例である。過失行為への対抗をも含むフルプルーフとは区別される。また、子供を対象とする場合はチャイルドプルーフと呼ばれる。

タンパープルーフの実現方法は、

- タンパー行為の無効化（潜在化）
- タンパー行為の予防
 - 防止：タンパー行為の実施をより困難にする
 - 無用化：タンパー行為を不要にする

に区別される¹⁴⁾。タンパー行為の無効化とは、タンパー行為が実施されても、その影響が現出するのを何らかの手段で抑制することである。本稿では、用語の混在をさけるため行為の"潜在化"と記す。

4) タンパープルーフによる対策の効果

タンパープルーフは産業機械にも古くから導入されている。例えば、星形の専用工具を必要とするトルクスネジなどは広く活用されている。産業機械ではタンパー行為の潜在化よりも、行為の予防に重点がおかれる。行為の潜在化による対策は、更なるタンパー行為によって破られる可能性があり、根本的な対応にはならないためである。

作業性への対応においては特にその可能性が高く、潜在化の効果は期待できない。その理由は、作業性での動機は、労力節約ではなく作業遂行であり、タンパー行為を潜在化されては定常作業が実施できない場合があるためである。例えば、プレス機器の保護装置によって、一部の試し打ちが抑制されると、抑制された製品は全く製造できない事態に陥る。そうなる作業者は試し打ちが可能となるまで変更を続けざるをえない。行為の防止も同様、タンパー行為が実施困難であっても定常作業が可能となるまで変更せざるをえない。作業性への対応では、対策効果が期待できるのは行為の無用化のみである。

一方で、生産性への対応においては、行為の防止は工夫次第で有効であると考えられる。生産性での動機は労力節約である。タンパー行為に相当な労力を要するのであれば、タンパー行為を断念させやすいであろう。一手間を必要とするだけで防止になりえる。ここで重要なのは、タンパー行為に相応の手間隙がかかることを明示する工夫である。

例として、覆いが取り外されると、ヒューズのように特定回路が自壊して、回路を修理しなければ機械が全く

使えない状態へと強制的に遷移させるインターロック構造を考える。覆いが外されても機械が使われなければ、取り外す行為は安全上問題にならない。そのため、この構造は一種の行為の潜在化である。しかし、この自壊する仕組みを作業者が知らなければ、取り外しの防止にはならない。自壊の仕組みを注意書や標識で明示し、取り外しに代償が伴うことを知らせることで、予防の効果が期待される。

作業性であれ生産性であれ、行為の無用化が最善の対策であることは明白である。しなしながら、行為の無用化のための手法や方法論は確立されておらず、体系化もなされていない。そこで本稿では、タンパー行為も含めた無効化行為の無用化となる安全設計の基本的な設計手法について次節で考察する。

4 無効化事由を考慮した安全設計手法

1) 無用化の実現に向けた安全設計の課題

安全防護物の利用にともなう不便さは、安全な作業のための労力として享受される必要がある。だが、享受されるための工夫や設計は深く議論されずにある。

産業機械の安全設計は、現在、図2に示したインターロック構造を形成するのが基本となりつつある。この構造では、接続された全ての保護装置から安全を示す情報が機械制御部で得られない限り、運転許可信号が生成されず、作業者が操作指令を入力しても機械は作動しない。

保護装置は機械を作動させて良い状態にあるかどうかの安全確認をする役割を果たす。すなわち、自動で安全確認がなされる。作業者は決められた手順通りに作業するだけで良い。その反面、作業位置や加工物の配置など、定められた条件に合致させることが求められる。シーケンス制御と組み合わせるとさらに厳格な制約となる。

タンパーブーフも総じて作業者の行為を規制して、一定範囲内の行動をとらせるための技術である。作業者に工夫の余地は与えられない。現状では安全設計の基本として、安全確保に都合のよい“強い制約”が課せられる。この制約の強さが無効化行為を招く主因と捉えられる。

制約の強さとは、機械の適切な使用方法として想定される作業者の行動範囲（作業内容）の狭さである。保守管理の実施での無効化の多くは、保守作業の実態が想定された行動範囲内に収まらないことに起因する。掃除などのために、機械を動かさざるをえない実態への配慮が充分でない。作業性への対応では、機械本来の用途内で安全防護物により作業が阻害されていることが多く、安全防護物の選定や配置などの設置が、実際の作業形態に充分に配慮できていないことに起因すると考えられる。生産性への対応においても、安全防護物の設置を労力節約の観点から検討できていないことに起因するとの見方が可能である。

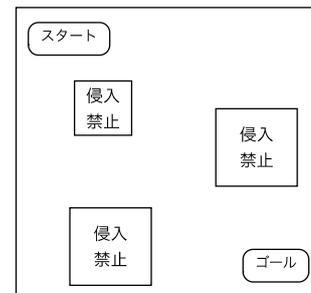
利用制限などの制約が安全性を維持するとの考え方は否定しない。しかし、その強さ故に、制約そのものを破棄されては無意味である。安全防護物の無効化は、安全確保において作業者が工夫の余地を求めた結果と捉えら

れる。安全確保において、作業者の能動的な工夫の余地を残す“緩やかな制約”³⁾の実現が、無用化に向けた安全設計課題である。

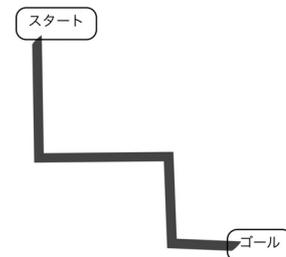
2) 設計法

緩やかな制約とは、作業工程などに裁量の余地を残して制約を課すことであり、例えば、作業行程に選択肢を設け、選択の裁量を作業者に委ねることである。その方法は安全設計の設計論としては議論されてきておらず、案内のための設計として広く議論されている¹⁵⁾。本稿では、案内を作業手順の手引きとして捉え、案内のための手法を安全設計に援用する。

案内の手法は制約呈示法 (constraint-based) と誘導教示法 (instruction-based) とに大別される。制約呈示では、ある作業において達成すべき目標と守るべき規約が課せられる。目標までに辿るべき手順などは示されない。他方、誘導教示では、目標までに辿るべき手順のみが示され、守るべき規約は示されない。手順を守れば規約も同時に守られるように手順が設定される。



(a) 制約呈示法の道案内



(b) 誘導教示法の道案内

図3 案内方法の例

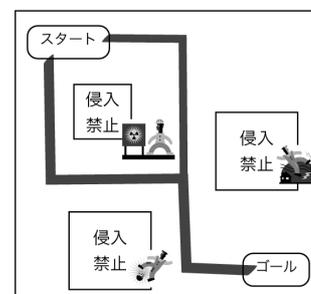


図4 案内の冗長化

手法を道案内に例えて図示する。制約呈示の例を図3(a)に示す。侵入禁止の場所が明示され、目標到達までに辿るべき道順などの手引きは示されない。詳細な行程は案内情報の読み手に委ねられる。他方、誘導教示法で

は目標までの辿るべき道順のみが明確に示される。手引きは図 3(b)の黒線で表現される。

3) 設計法の特徴

シーケンス制御と合わさったインターロック構造による現在の安全設計は誘導教示そのものである。この手法では手引きが1つしか示されず、手引きからの逸脱が認められない。機械によっては保護装置が作動すると動力が完全に切断されることもある。その場合、手引きからの逸脱は作業のやり直しを意味することになる。1つの手順のみを守らせることは、強い制約を課すのと同じである。現在の安全設計は誘導教示手法による制約を課すことが主流である。その理由は作業者の行動範囲の想定が容易だからである。

制約呈示は誘導教示に比べ、作業者に裁量の余地をより多く与える。緩やかな制約である反面、ヒューマンエラーなど設計者が想定外の行為や使用方法を、より多く認めることになる。そのためには、安全確保のために守るべき規約を漏れなく抽出することが極めて重要である。しかし、設計者が全ての状況を想定することは困難である。設計者が予想できない危険な事象の存在は否定できない。規約漏れに伴う危険性は間逃れない。また、守るべき規約が多い場合、作業者は手引きがなければ何も行動できない状態に陥る。よって、制約呈示だけに頼ることは難しい。

4) 設計要件

上述の各設計法の特徴を踏まえると、誘導教示のみでは制約が厳しすぎ、一方の制約提示のみでは制約が緩すぎる。そのため、安全確保のための案内は、制約呈示法と誘導教示法の両方を組み合わせた設計が必要となる。

図4に組み合わせの例を示す。

制約呈示と誘導教示を単に組み合わせるだけでは、無効化事由を踏まえた安全設計の要件として不十分である。生産性への対応でみられる手間隙の忌避への配慮として、

- 制約呈示での制約理由の呈示

による安全確保に伴う労力の必要性や重要性についての理解促進が求められる。例えば、危険部位を明示だけでなく、挟まれなど、有害である理由の呈示が必要である。また、タンバーループで述べたように、制約解除にも手間隙が必要であることを明示するだけで、生産性への対応を目的とする無効化には予防効果が期待される。

作業性への対応でみられる使い勝手への対応として、

- 誘導教示での手引きの選択の余地

による、能動的工夫への配慮が求められる。作業者が実際に手引きを体験して、作業者自身で手引きを選択することに価値がある。作業性への対応を目的とする無効化への対応として欠かせない。さらに、機械の安全制動は、保護装置の信号のみを基に、単純に動作許可、不許可の2値判断にするのではなく、

- 段階的に機械の動作・機能を抑制する

ことも望ましい。これも、仕組みの理解促進による使い勝手の配慮となる。機械を容易には止められない原子力

システムなどでは段階的な誘導教示は古くから知られている¹⁶⁾。

(1) 段階的動作抑制 段階的な動作抑制は、例えば、動力遮断で安全が確保できる場合、

- 推奨動作
 - 状態：保護装置作動，誘導教示装置作動
 - 制動：制限なし
 - 表示：緑灯
- 受容動作
 - 状態：保護装置作動，誘導教示装置解除
 - 制動：制約呈示作動
 - 表示：青灯
- 受忍動作
 - 状態：保護装置解除，制約呈示装置作動
 - 制動：出力抑制，機能抑制
 - 表示：橙灯
- 拒絶動作
 - 状態：保護装置解除，制約呈示装置解除
 - 制動：動力遮断
 - 表示：赤灯

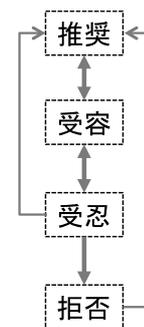


図5 動作切り替え手順の設定例

などとして、状態に応じて段階的に抑制する。制動の状態表示も必要となる。

制動切り替えの手順設定を図5に例示する。誘導教示装置、および、保護装置を段階的に解除する工程を経て機械の制動を移行させるなどの工夫が望まれる。ボタン1つで切り替えられるのではなく、キースイッチを回すなど、作業者に敢えて手間を求めることに意義がある。

その一方で、受忍から推奨状態への回帰では段階をえる必要はない。推奨状態は安全面で最も望ましい状態であり、復帰に手間を必要とする理由はないため、簡便なほうが良い。また、切り替えた後の機械の動作が、寸動など、普段と異なることを作業者が読み取れる工夫も大切である。

作業性への対応による無効化など、保護装置を解除せざるをえない事由への配慮が受忍の制動である。受忍の制動においては、プレス機器のように、通常の利用形態で必要であるかの見極めが肝要である。受忍の制動を設けることが一概に推奨されるわけではない。設けるとしても、動作制限などの制約を設けた上で、

安全防護の無効化を作業者に意識させる仕組みが必要である。そして、受忍の制動では、作業者が自身で危険性を認知できるように、制約呈示は不可欠である。

保護装置を解除する受忍での制動下においては、作業員自身の安全確認のみによって安全が確保される。その意味を作業者が理解できる手段が安全設計として望まれる。保護装置の解除が作業員自身で実施可能であるためには、装置解除後の危険性を作業員が理解し、作業員自身で対処可能でなければならない。受忍の制動であれ、一般作業員の手に余る作業は設けてはならない。それゆえ、危険部位の呈示など制約呈示は欠かせない。

(2) 意図伝達 保護装置解除のための制約呈示は、設計者と作業員との危険に関する意思疎通であり、医療のインフォームドコンセントと果たすべき役割は同じである。一般の産業機械では、両者がインタラクティブに意思疎通する機会はずくない。だが、意思疎通によって満たされる溝は極めて大きい¹⁷⁾。よって、作業員の理解を得て危険の判断を委ねる、人と機械とのリスクコミュニケーションの仕組み¹⁸⁾が求められる。そして、責任と権限の委譲を実現する工夫も安全設計として積極的に検討すべきである。

5 おわりに

本稿では、安全防護物のより適切な運用の促進を目的として、産業機械における保護装置などの意図的な無効化事由を細分化して例示した。無効化事由を保守管理の実施、生産性への対応、作業性への対応の三種類に大別して分析した。その結果、主に次の事項が明らかとなった。

- 1) 保守管理の実施では、無効化行為にある程度の必然性と正当性が窺える事例が多く、タンパー行為としての解釈は適当ではない。機械設備側で改善すべき課題が確認される。
- 2) 保守管理の実施による災害対策として、インターロック構造の徹底があげられる。多くの事例で再発防止が期待できる。
- 3) 生産性への対応では、無効化行為が明らかなタンパー行為として捉えられ、インターロック構造だけでは予防できないと判断される事例が多い。
- 4) 生産性への対応による災害対策として、タンパーブローフの徹底と対抗性の向上が望まれる。また、機械の不適切な利用に対する厳罰化も必要と判断される。
- 5) 作業性への対応では、無効化行為はタンパー行為として捉えられるものの、インターロック構造と慣例のタンパーブローフでは再発防止効果が期待できない事例が多い。
- 6) 作業性への対応の有効な対策としては、機械設備の改善による使い勝手の向上を必要とする事例が多い。機械の利用実態を踏まえた安全設計の再考が望まれる。

これらの無効化事由の特徴を踏まえ、無効化行為の無効化と呼ばれるタンパーブローフの対抗手段を、安全設計の段階で担うための基本的な設計手法について考察し、主に次の事項を明らかにした。

- 7) 設計者側の作業内容や作業形態に対する想定が、利用実態を十分に加味できておらず、想定範囲の狭さが強い制約として現れて無効化行為を招くと捉えられる。
- 8) 機械の使用員に工夫の余地を残す緩やかな制約による安全確保が、無効化に対する現在の安全設計の課題である。
- 9) 緩やかな制約を課す設計手法として制約呈示法があげられ、誘導指示法と組み合わせた段階的動作抑制が手法の具体例として呈示できる。

提案手法が有効であるためには、機械設備の設計者と使用員との密な情報交換が不可欠である。そのため、今後の課題として、機械設備の設計者と使用員の積極な交流を推奨する支援制度の提唱および整備があげられる。

文 献

- 1) 岡部康平, 梅崎重夫. 労働災害における安全装置の意図的な無効化の要因解明と予防への取り組み. 安全工学シンポジウム予稿集. 2010 ; 398-399.
- 2) 岡部康平, 梅崎重夫. 不便忌避に起因する労働災害の分析と安全設計の課題把握. 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会. 2010 ; 2E2-3. CD-ROM.
- 3) 岡部康平, 梅崎重夫. 安全防護物の無効化による労働災害の防止に向けた安全設計の検討. 第 38 回知能システムシンポジウム予稿集. 2011 ; 177-180.
- 4) 梅崎重夫, 清水尚憲. 産業機械の労働災害分析. 産業安全研究所特別研究報告 NIIS-SRR. 2005 ; 33 : 53-67.
- 5) 新村出. 広辞苑. 岩波書店. 2008.
- 6) 日本規格協会. 人間工学-視覚表示装置を用いるオフィス作業-使用性についての手引き. 1999 ; JIS Z 8521.
- 7) 濱島京子, 梅崎重夫. 情報伝達と変更管理に着目した産業機械の労働災害分析手法の提案. 労働安全衛生研究. 2009 ; 2-1 : 33-44.
- 8) 梅崎重夫, 清水尚憲, 斎藤剛. プレス作業の労働災害分析と災害防止対策の考察. 労働安全衛生研究. 2008 ; 1-2 : 111-118.
- 9) 日本規格協会. 工作機械-試験及び検査用語. 2008 ; JIS B 0182.
- 10) 日本規格協会. 機械類の安全性 -設計のための基本概念, 一般原則- 第 1 部 : 基本用語, 方法論. 2004 ; JIS B 9700-1.
- 11) 梅崎重夫, 清水尚憲, 他 10 名. フェールセーフな指示機能を備えたブランキングシステムの開発. 日本機械学会論文集 (C 編). 2002 ; 68-670 : 1755-1783.
- 12) 梅崎重夫, 濱島京子, 池田博康. 食品機械を対象とした労働災害分析. 労働安全衛生総合研究所安全資料. 2010 ; SD-27.

- 13) 労働調査会出版局. 工作機械等の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドライン. 安衛法便覧. 2008 ; **III** : 765-771.
- 14) 深谷潔. タンパーブーフ. 安全工学. 2002;41-3:170-176.
- 15) Vicente K. J. Work domain analysis and Task Analysis: A difference that matters. Cognitive Task Analysis. Routledge press. 2000; 101-117.
- 16) Henley E. J. and Kumamoto H. Designing for Reliability and Safety Control. Prentice-Hall. 1985; 31-32.
- 17) 岡部康平, 山田陽滋. 産業用ロボットの安全技術情勢から捉えた人間共存型ロボット導入課題に関する報告. 第 11 回 IS シンポジウム. 信頼性とシステム安全学. 2007 ; 40-47.
- 18) Okabe K. and Kamata M. Proposal on risk communication for safe driving support system. Proc. of International Joint Conference ICCAS-SICE. 2009; 4151-4154.
- 19) 梅崎重夫, 濱島京子, 池田博康. 食品機械を対象とした労働災害分析, 労働安全衛生総合研究所安全資料, JNIOH-SD-No.27 (2010)

A study on Safety Design Requirements against Nullification of Safeguards for Industrial Machines

by

Kohei OKABE^{*1}

This paper proposes a safety design to prevent labor accidents due to the nullification of safeguards. Causes of nullification are specified in cases of accidents involving industrial machinery. They are categorized in terms of laborsaving. It turns out that the safety requirements to improve mechanical equipment vary according to the categories. An issue of conventional safety design is discussed considering the nullification causes. A new approach to deal with the issue is introduced and a methodology of system control is demonstrated as an example of its application.

Key Words: industrial machine, labor accident analysis, nullification, laborsaving, operation restriction

^{*1} Mechanical System Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health