

連載講座：産業安全工学（29）

人間工学とアクセシブルデザイン（2）

堀 田 源 治 *

1. はじめに

本連載のテーマである産業安全工学は労働災害の防止と予防を目的として、信頼性工学、品質工学、人間工学、法工学、産業心理学などを含む学際的な領域である。一方、安全工学の対象とするのは“健常な労働者”であり、就業環境の改善は“施設的問題”との認識から福祉工学や環境工学は安全工学から一線を画してきた観がある。しかし、科学技術白書に見られる工場建屋のアスベスト被害から始まり、原子力プラントの被災による科学の環境への負荷の問題、2020年12～1月の日刊工業新聞に指摘された障害者の雇用促進の課題と高齢化によるシニア人材への期待などは、安全工学が環境・福祉問題とも切り離せないことを示唆している。企業での障害者の雇用者は53万人を超え雇用率も2.5%に至っている。そこで安全工学の研究課題の一分野である不安全行動の対象も従来の“健常者対象”から“身体状態に寄らない全ての労働者を対象”とすることによって変更を余技なくされている。この潮流から生み出されたテーマが従来の「セーフティデザイン」に代わる「アクセシブルデザイン」である。今回はこのアクセシブルデザインを本連載の基盤テーマでもある“リスクベース”的切り口から考えてみる。

2. アクセシブルデザイン

2.1 ユニバーサルデザインと アクセシブルデザイン

アクセシブルデザインとはあまり聞きなれない用語である。どのようなものであろうか。また、ユニバーサルデザインとは、どのように異なるのであろうか。

ユニバーサルデザインとは、特別な改造や特殊な設計をせずに、全ての人が可能な限り最大限まで利用できるように配慮された製品や環境のデザインのことである。ユニバーサルデザインについては次の原則がある。①体格や年齢、傷害の有無にかかわらず誰にでも公平に利用できること、②使い方に柔軟性があり、使うまでの自由度が高いこと、③単純で直感に訴えるデザイン・表示で、使い方が理解しやすいこと、④容易に必要な情報がすぐ認知でき、またそれがすぐ理解できること、⑤使用者がエラーに対して寛大であること、⑥身体的努力が少ないとこと、⑦体格や年齢、傷害の有無にかかわらず、自由に接近して使えること。

一方、アクセシブルデザインとは、ユニバーサルデザインに含まれる概念で、“何らかの機能に制限のある人”に焦点を合わせ、これまでの設計をそのような人々のニーズに合わせて拡張することによって、製品や建物やサービスをそのまま利用できるようにして潜在顧客数を最大限まで増やそうとする設計である。アクセシブルデザインの特徴としては、①修正・改造をしなくてもほとんどの人が利用できること、②操作部などの改造によってユーザーに合わせることができること、③障害のある人々向けの特殊製品と普及製品との互換性をもたらす相互接続を可能にすること、などが挙げられる。アクセシブルデザインの代表例としてはテレビのリモコンが挙げられる。テレビのリモコンは、障害者を支援するためのテレビ操作部の改良が契機となって完成したアクセシブルデザイン製品である。

2.2 リスクベース設計としての アクセシブルデザイン

アクセシブルデザインとは、今まで使えなかった

* 有明工業高等専門学校 創造工学科 教授
(Genji Hotta)

人にまで使用の機会を広げる設計思想の拡張とはいえるが、果たしてそれはリスクベース設計となり得るのであろうか、という疑問を抱く方も多い。リスクベース設計の基本は、リスクアセスメントを通じて危険源の抽出とリスク評価をおこない、リスクのカテゴリーに応じた対策を実施することで事前の安全対策を確実かつ経済的におこなうことであった。リスクアセスメントの手順の最初は、機械の使用状況の特定である。産業安全を考える場合、機械の使用状況を特定するには、“4M”に基づいて危険源を考えるのがよい。“4M”というのは、災害の要因を次の4つの項目について考えることで災害の要因構造を明らかにしようとする災害分析の方法で、アメリカ合衆国の国家交通安全委員会(NTSB)が採用しているものである。4Mとは、①エラーや生理機能に支配された行動を起こす人間要因(Man)、②機械設備の欠陥、故障などの物的要因(Machine)、③作業の情報や作業方法、作業環境などの要因(Media)、④管理上の要因(Management)である。機械の使用状況をこの4つのMのうちの物的要因(Machine)のみに着目して特定すると、信頼性に重きをおいたリスクベース設計になってしまう。

表1のように、焦点をあてるべきリスクの対象者を選び、リスクとなる要因として特に何を考慮すべきかを4つのMそれぞれについて考える。

ここで重要なのは、例えば障害者にとって使いやすいものは一般作業者にとっても使い勝手がよいものでなければならぬことである。例えば車椅子に座る作業者向けに作業位置の床からの高さを低くしたために、一般作業者が腰を曲げて作業することでは困る。このような場合、一般作業者も着席して作業するなどの配慮が必要となる。このようにアクセシブルデザインとは、通常の作業環境では危険性が高まる作業者に焦点を合わせてリスク評価をおこない、そこで得られたリスク低減

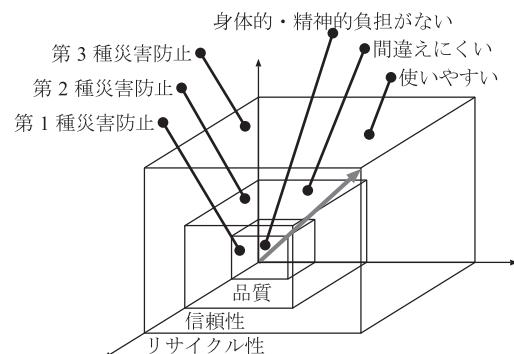


図1 安全に関する概念の広がり

策を今度は一般の作業者にもあてはめてリスクの検証をおこなうことで焦点を合わせた人を含めた作業者全体に対して安全性を確保する設計であると考える。表1において、リスクの対象を一般作業者のみが安全な機械から、一般作業者、新人作業者にも安全な機械、一般作業者～高齢者まで安全な機械となるにしたがって安全レベルは同一であっても保護対象が拡大される。一般的に安全性の概念を拡張していくと図1のように、許容性、危険性、品質性の3次元で考えることができる。すなわち、使いやすい、危なくない、壊れないという機械設備が作業者にとって最も安心できるものであり、このような機械設備の設計がユニバーサルデザインともいえる。一方、ユニバーサルデザインがカバーし得る対象をやや限定したものがアクセシブルデザインといえるだろう。この考え方方は著者が2006年依頼提案してきたもので現在ではその思想がJISにも取り入れられている。

2.3 アクセシブルデザインの方法

アクセシブルデザインは具体的な方法および、設計した機械設備の安全性の確認にはJISにも規定されてはいるが、その要点について以下のように概

表1 機械の使用状況における留意要素

| リスクの対象者 | 災害要因 | 人間要因 | 物的要因 | 作業方法 環境要因 | 管理上の要因 |
|-------------|-------|-------|-------|--------------|--------|
| ①障害者など作業従事者 | 傷害機能 | 操作可能性 | 代替機能 | 身体異常検出 | |
| ②高齢作業者 | 劣化機能 | 操作介助性 | 温度・照明 | 機能適合補助 | |
| ③素人・新人作業者 | 未発達機能 | 操作容易性 | 警報・警告 | 作業行動補助 | |
| ④一般作業者 | 生理機能 | 機器信頼性 | 騒音・衛生 | 手順行動支援 | |

説する。

高齢者の場合の人間要因としては、動作的機能（伸脚力の低下、筋力の低下、バランス感覚の低下など）がある。例えば作業姿勢などは図2のように、無理な姿勢を強要せず、作業時間の間は重心の移動や手の動きが最小となるように作業エリアを確保することが必要である。また物をもち上げる際には、表2のように腰にはかなりの負荷荷重が作用することになる。

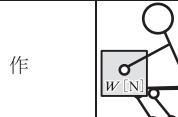
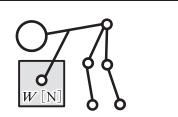
そこで、高齢者が体力以上の力を使ったり、不自然な作業姿勢が持続したりしないようにハンドリング作業の自動化や補助機器の採用がリスク低減に効果を上げることになる。

50歳以上、50歳未満の年代別の災害の型を調べると、転倒災害が多い。災害の発生率は50歳未満

の8.5%に比べて50歳以上が14.1%と大変高い比率となっている。そこで作業時には踏み台や階段を使用する様ないように作業エリアを下げたり、図3のように設備固定用のプレートを架台の内側に入れて歩行者がつまずいたりしないようにする工夫が必要である。また、バランスを失った高齢者が安全柵などにぶつかったり寄りかかったりした時に倒れたり変形して障害を与えないようにするために、表3の数値を参考に設置強度や安全柵の強度を設定する必要がある。

以上のように高齢作業者に対しては考慮すべき項目は多い。表4に高齢者のために回避されなければならない作業の一覧を挙げる。

表2 W [N] の重量物を運搬する場合の腰にかかる力²⁾

| 動作 |  |  |
|--------|---|---|
| 腰をかがめる | 0 | (体重 × 1/2) [N] |
| 持ち上げる | W [N] | (体重 × 1/2 + W) [N] |
| 移動する | W [N] | W [N] |
| 置く | W [N] | (体重 × 1/2 + W) [N] |
| 腰を起こす | 0 | (体重 × 2 + 3 W) [N] |

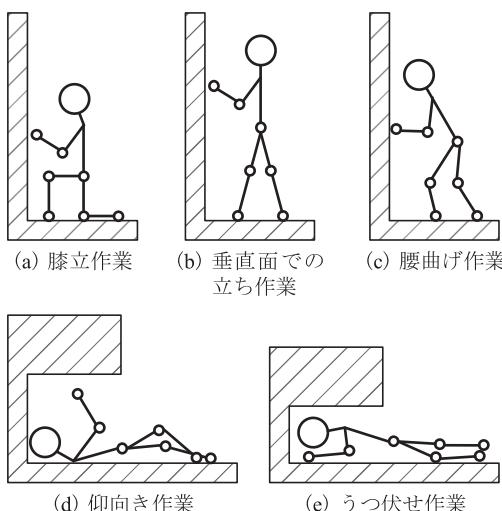


図2 種々の無理な作業姿勢（文献(1)を参照して作図）

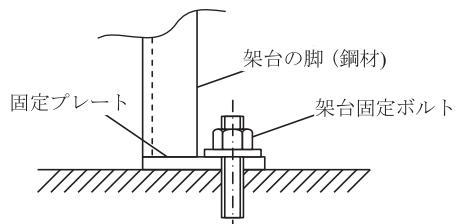


図3 固定プレートを内側に入れる

表3 人の力（宇野 英隆）²⁾

| | 寄りかかる（前） | 寄りかかる（後） | 押す | 引張る | 走って押す | 肩で押す |
|------------|----------|----------|-----------|-------|--------|-------|
| 最大値 [N] | 176.4 | 127.4 | 1人 1048.6 | 970.2 | 1244.6 | 695.8 |
| | | | 2人 1675.8 | | | |
| | | | 3人 2724.4 | | | |
| | | | 4人 3096.8 | | | |
| | | | 9人 3479.0 | | | |
| 平均値 [N] | 97 | 79.4 | 1人 720.3 | 774.2 | 660.5 | 355.7 |
| | | | 2人 1483.7 | | | |
| | | | 3人 2297.1 | | | |
| | | | 4人 3040.9 | | | |
| | | | 9人 3279.1 | | | |

表4 高年齢労働者のために改善を必要とする作業²⁾

- 1 階段の昇降が多い高所での作業
- 2 転倒のおそれのある作業
- 3 重量物の運搬
- 4 体力や持久力が強く要求される作業
- 5 急激な動作を必要とする作業
- 6 不自然な作業姿勢
(中腰作業、上向き作業などを長時間必要とする作業)
- 7 常に視点が遠近に飛び変化する作業
- 8 低い照度下で知覚を要求される作業
- 9 複雑な作業
- 10 特に動作の速さと正確さが要求される作業
- 11 微細なもの識別能力が必要とされる作業
- 12 時間に追われる作業
(ベルトコンベヤの流れ作業など)
- 13 夜間の勤務を含む交替作業
- 14 高低温、高湿、騒音、高低圧下などの作業

さらに作業方法、作業環境などの要因を考えてみると、一般人の場合は、機械装置に施された安全機器を、感覚機能を経て認知するが、高齢者の場合には危険を認知する感覚機能（視覚、聴覚、触覚）そのものを補助する方策を設計に盛り込む必要がある。すなわち労働環境温度の整備や適切な工場内照明の確保である。図4は温度と事故度数率の関係であり、高温になるほど事故の発生率が増加するばかりでなく、大きな事故がしだいに多くなる傾向にある。ここで重要なのは快適温度下〔仮に20°C(=68°F)とする〕においては、事故発生率が性別にはあまり関係がないということである。このことからも労働環境温度の大切さが認識できる。

不適切な照明については、物が見えにくく危険な状況が発生するばかりではなく、視力低下、疲労増大、作業ミスの誘発、労働意欲の低下、能率の低下、品質不安定など多くの影響がある。図5に照明と事故の関係資料を示す。安全確保には、表5に

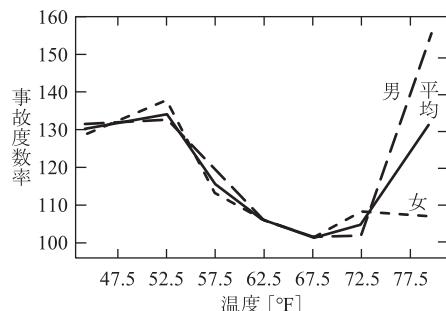
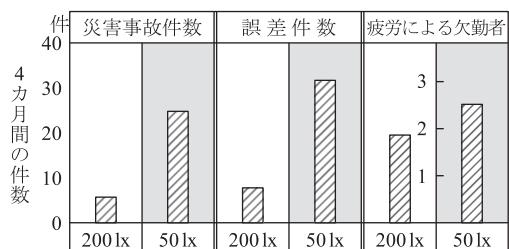


図4 温度と事故度数率の関係²⁾



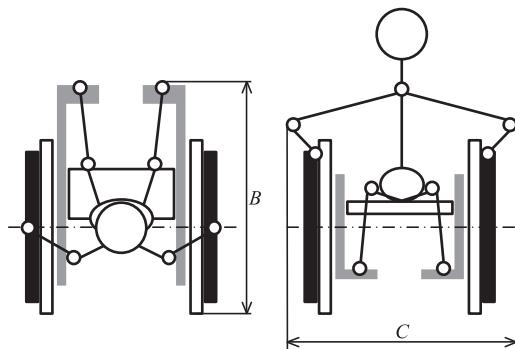
同一工場で同じ製品をつくる新工場(蛍光ランプ200lx)と旧工場(電球50lx)について比較した

図5 照度と事故の関係（小堀 富次郎）²⁾

表5 工場証明の推奨値²⁾

| 作業場所 | 必要照度 [ルクス] |
|-----------------------------|-------------|
| 制御室などに設置された計器盤 および制御版 | 1 500～3 000 |
| 設計室・製図室 | 750～1 500 |
| 制御室 | 300～750 |
| 電気室・空調機械室 | 150～300 |
| 出入口、廊下、通路、階段、洗面所、便所、作業を伴う倉庫 | 75～150 |
| 屋内非常階段、倉庫、屋外動力設備 | 30～75 |
| 屋外(通路、構内整備用) | 10～30 |

表2 玄人作業に関する定今上記虚実³⁾を両表³⁾

図6 車椅子のために必要な空間³⁾表7 車椅子の空間余裕³⁾

| 記号 | 備考 | 最小限界値 [mm] | 好ましい 最小値 [mm] |
|----|--------------------|---------------|---------------------|
| B | 車椅子の空間余裕+フットレスト+余裕 | 1100 | 1200 |
| C | 車椅子の幅+ひじ余裕 | 750 | 900 |

示す照明の値が必要となる。

障害のある作業者の場合、管理上の要因としては、例えば障害者の場合には、作業に対してあらかじめ表6のような配慮されなければならない要素を抽出しておき、リスクアセスメントに反映させる必要がある。

また、物的要因として考えなければならない事例として、車椅子などの介助機器とのインターフェースがある。図6のような動力源のない車椅子の最小移動余裕は、表7のように車椅子の幅に加え、車輪を回転させるための余裕を見ておく必要がある（図6においてBは車椅子の全長、Cは車椅子

の幅とひじ空間の和を表す）。

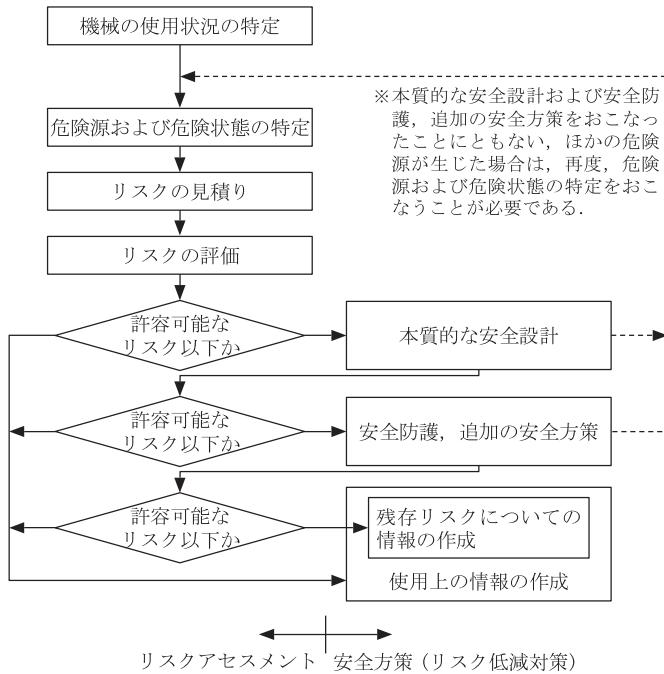
アクセシブルデザインによって本質安全設計をおこなった結果に対し、総合的にリスクの検証を実施する必要があるが、その場合には、表8のような安全項目評価表を利用する方法もある。総合評点が25点未満ならば図7にしたがって再度危険源の特定からリスク評価までをおこない、25～50点未満は本質安全化の追求と追加の安全方策の実施、50～75点未満は追加の安全方策の実施に加えて残存リスクについての情報作成、75点以上は残存リスクについての情報作成というように評価をおこなう。

3. おわりに

本年はパラリンピックの年もあってテレビなどでの選手の紹介が目立っている。その画面から見えてくる専用ウエア、サポート機器、ラケットなどの用具、競技支援機器やシステムなどは機能・品質・安全・防災・福祉などを包含した先端技術の結晶であり、目を見張らざるを得ない。さらに、これらハイテク技術を取り入れて超人的な技を披露する選手たちの素晴らしい動態美と笑顔に我々は感動を覚えざるを得ない。福祉工学も専門としている筆者から見れば、最近の障害者スポーツの発達と広がりこそが従来からの「ユニバーサルデザイン」を超えたものであり、健常者さえ追いつけない障害者だけが恩恵にあずかることができる素晴らしい世界を実現している。これこそがマン・マシン・メソッド、マネジメントの4Mの協調によってリスク排除を図る「アクセシブルデザイン」の実現である。

表8 安全項目評価表²⁾

| 因子番号 | 評価因子名 | 評価項目数 | 機種別重み付け係数 | | |
|------|----------------|-------|-----------|-----------|------|
| | | | 手動操作機械 | NC以外の自動機械 | NC機械 |
| 1 | 外観的安全性 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 動力駆動部分の安全性 | 5 | 5 | 6 | 5 |
| 3 | 動力制御部分の安全性 | 13 | 2 | 5 | 10 |
| 4 | 作業域の安全性 | 8 | 10 | 8 | 5 |
| 5 | 切り屑、切削油、スマッグ対策 | 3 | 8 | 6 | 3 |
| 6 | 送給装置（本体付属のもの） | 7 | — | 5 | 5 |
| 7 | 作業性（人間工学的安全性） | 7 | 5 | 7 | 10 |
| 8 | 騒音・振動 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 保全性 | 6 | 3 | 6 | 6 |
| 10 | 被害抑制度 | 5 | 1 | 2 | 2 |
| 11 | 広報性 | 4 | 3 | 5 | 6 |
| 12 | 特別因子・経済性 | | | | |

図7 製造者などがおこなうリスクアセスメント³⁾

う。さらに東京パラリンピック終了後にはスポーツ競技界で実績を挙げた「アクセシブルデザイン」を参考とすることで、従来からの産業界での「リスクベース設計」や「本質安全」の考え方について再検討する時期がくることが予想される。

参考文献

- 1) 日本規格協会編集：JIS ハンドブック 機械安全、日本規格協会（2004）。
- 2) 西島茂一：これからの安全管理、中央労働災害防止協会（1988）。
- 3) 日本規格協会編集：JIS ハンドブック 安全 II、日本規格協会（2004）。

(次号へつづく)