

身近になったロボットと安全

稲垣 莊司 (技術士 電気電子部門)

1. まえがき

つい最近までは、工場の中など、特殊な場所で働くロボットの安全について論ずればよかったが、一般大衆の生活領域にロボットが入り込んでくるといった状態が近くなってきており、早急な対応に迫られている状態である。ここでは、ロボット安全の現状と将来について考えてみたい。

2. ロボットの定義と分類

資料を参照されたい。

3. 安全に対する考え方

1970年代後半、産業用ロボットが広く使われるようになって、通商産業省(当時)で、日本工業規格「産業用ロボットの安全通則」を制定することになった際、次のようなジョークが伝えられた。

K省(当時)的考え方 = 何かでかいことやったら、人間が何人か死んだって当たり前だ。黒部第4ダムへ行って見る。でかい慰霊碑が建ってるし、慰霊祭だってやっている。文句あるか!

R省(当時)的考え方 = 仮に、非正規雇用者が誤ってハンマーで自分の手をたたきつぶすなんて事故が多発するようであれば、工場内でのハンマーの使用を禁止するか、一步下がっても免許制にすべきだ。労働災害は撲滅せねばならぬ!

T省(当時)的考え方 = 確かに、労働災害の発生は好ましいことではないが、技術の現状からして発生を皆無にすることは不可能である。よって、その発生確率をなるべく低くする努力を行うことが望ましい。

お役所の名を借りてはいるが、これが、当時の関連業界の考え方であるといつてよい。

現状はどうか。上記のT省(当時)的考え方が普遍的となっていると感じている。リスク・アセスメントという名のテンプレートである。

4. 安全に関する事例等若干

4.1 K重工業での災害事例から

工作機械に向かった姿勢で産業用ロボットに背後から抑えつけられて、バタバタもがいているのを発見した同僚が、「危険な状態を発見したら機械を止める」との作業規定通り、非常停止押しボタンスイッチを押して電源を遮断した。以後の救出操作方法を知らなかったため、被災者は挟まれたままの状態になってしまい、死亡した。電源を切らずに、AUTOからMANUALのモードに切り替え、BACKの操作をすれば簡単に救出できたことをあとで知った。非常事態における対処の方法は、すべての人が知っていなければならない。

4.2 非常停止押しボタンスイッチの操作でどの範囲まで電源を落とすか

ISO/TC184/SC2 の ISO/10218 Manipulating Industrial Robots - Safety の審議の席上で、西ドイツ(当時)の代表が、ドイツ国家規格に反する内容には賛成できないとの理由で、非常停止操作が行われた場合には制御装置を含むすべての電源を遮断すべきだと主張、アクチュエータ関連だけで制御電源は残すとする他諸国と対立、規格の成立が2年ほど遅れた。米国にもOSHAに同様の規定があるが、実情に合わせたい、というのと対照的であった。

4.3 制御ソフトウェアの欠陥

米国内では、UL1998に合致しないソフトウェアで事故が起きた場合、損害保険会社は保険金を支払わない、あるいは減額する。1990年頃、この種の事故が多発した由であった。

日本国内でも、死亡事故には至らないまでも、同様な事故は起きている。量産されている機械はいいが、システムの総括制御といったような個別設計・製造のものは要注意である。例えば、溶接ロボットセルにおいて、産業用ロボット、溶接機、溶接ワイヤフィード、ポジションナなど、単体に問題はなくとも、総括制御を行うプログラマブル・コントローラのプログラムにバグがあったらどうなるか、といった問題である。

4.4 電磁波障害

予期しない動作を行ったからと言って、安易に電磁波障害だと片付けてはならない。原因は徹底的に糾明しなければならない。

10年ちょっと前、D社がFA機器の生産拠点をT製作所からA製作所に移した際、送電線の敷設で通過自治体と意見の相違があり、電力会社からの買電を断念し、自家発電とした。その結果、送電線に起因すると考えていた電磁波障害が激減したと聞いたことがある。

「経験的に、産業用ロボットが電磁波障害に遭遇した時、98%以上の確率で停止、暴走することは2%以下」、と聞いたこともある。

対策は進んではいるものの、まだまだ厄介な問題ではある。

4.5 ヒューマンエラー

こうひと口に言っても、内容はきわめて多岐にわたる。端的な例として、複雑な操作を行う上での錯誤(特に起動時)、想定外の事態の出現によるあわてが引き起こすもの、正常なのに状態を誤認して不要な操作を行ってしまう、俺はわかっているから大丈夫との自信過剰 = 特に管理職レベル、などなど際限がない。

5 . 産業用ロボットの安全

初期は、材の放出といった、把持機構の不備による事故が多かったが、以後は動力を断たずに可動領域に入り込んでの事故がきわめて多い。事例については、資料を参照されたい。1983年の法的規定により、事故は減った。しかし、ここ数年、激増と言っていいほどの事故が起きているとの風聞を得ている。「近年、製造業現場での事故が減って、現場が怖さを知っていないことが怖い」ともいえる。普及が進んだことも原因のひとつであろう。

現在の法的規定や工業規格は、隔離の原則に基づいている。確かに効果は上がってはいるが、人とロボットとを別々の領域に存在させるという方法は、現状、技術面においても利用方法においても、限界に来ていると感ずる。リスクアセスメントを厳しく行なうという前提で、共存の原則に従うこととすべきである。産業用ロボットに特異な点はなく、他の機器と同列であれば、それらに習っても問題はあるまい。

とはいえ、この種のロボットを使う人は限定されているから、共存の原則を適用するにあた

っては、サービスロボット(後述)よりは容易であろう。

6. サービスロボットの安全

3年前の愛知万博は、サービスロボット安全の実証試験場とも言われ、ここでの成果が期待された。筆者は、期待はずれであったと感じている。サービスロボットそのものが、風評に反して幼稚なものにしかすぎなかったからである。多くの展示があったが、床面清掃ロボットなどのごく一部のものしか実用化されていない。また、癒しロボットとか呼ばれるような、人間に危害を及ぼさないように配慮された可動部分があるコンピュータ端末的存在では、市場は限定されよう。

とはいえ、本格的サービスロボットの安全対策作成は急務である。共存の原則を成立させるためには、若干の残存リスクは容認されるのであろうか。(例えば、交通事故と同程度の災害発生確率はやむを得ないとするとか。)

重複するがロボットといっても、話題性があるだけであって、特殊・特別なものではない。動作の基本原理や構造等に、他の機械装置類にはない独特の部分などは存在しないのであるから。ロボットの災害だけに特に目くじらを立てるのは酷な気がする。

洞爺湖サミットでASIMOが外国要人を出迎えているのをTVのニュース番組で見たが、対人警備体制に比べてずいぶん甘いリスクアセスメントではなかったかとも感じている。

7. 法的規定があるから安全対策を行うのか

「かくかくしかじかのものを開発したが、これは法的安全対応が必要なものか」といった質問を質問よく受ける。しかし、「法の規定があるから対応する」のではなく「危険を感じたら法がどうであれ対応する」のが本来である。

逆に、法の規定があっても、危険性がないと判断した場合はどうなのか。日本国内では、法は守らなければならない。

8. あとがき

ロボットに限らず、基準作り、対象となる人間の曖昧さ、などなど、安全対策というものは怪物である。一筋縄ではいかない。

ロボットの安全
Safety on Robots

稲垣 荘司
SojiInagaki

産業用マニピュレーティングロボットの安全防護については、技術的に成熟の域に達していると思われ、サービスロボットにおいてはそれ自体が開発途上にあるため、安全防護については議論が始まった状態にある。法的規定・安全工業規格等が多く制定されてはいるが、これらがどうであれ、危険と感じたら完璧な対策を行うべきである。

キーワード ロボット 安全防護 ILOの OSHMS 労働安全衛生規則 ISO 10218-1

1. まえがき

ロボットの安全防護についての解説が与えられた課題であるが、広義のロボットについては技術的に開発途上であるため概論にとどめ、技術が確立されている産業用ロボットを中心に述べる。

2. ロボットの定義・分類

ロボットは、日本国内においては図. 1 に示されるように分類されている¹⁾。ロボットというも

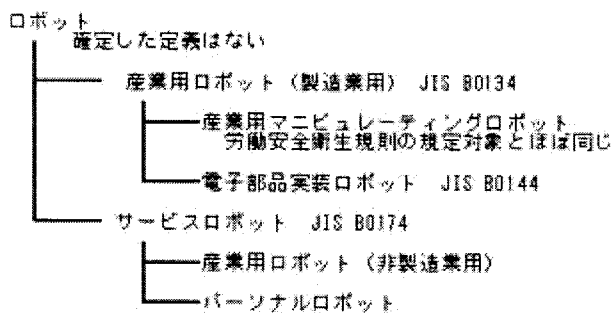


図. 1 ロボットの分類

の自体については、公に認められた定義はまだ存在していない。

産業用ロボット、産業用マニピュレーティングロボット（腕型ロボットのこと）、サービスロボットなる名称については、ISO あるいは国際ロボット連盟で規定している。電子部品実装ロボットは、日本独自の呼称であり、実体はプリント配線

板実装機を指す。

現在、法および工業規格等で安全基準が規定されているものは産業用マニピュレーティングロボットのみであり、電子部品実装ロボットは日本工業規格のみで規定されている。

3. ロボットの安全防護の基本

機械全般に関する安全防護基準については、著名な ISO 12100-1 が TYPE A 規格として基本的存在であるが、このほかに ILO の OSHMS がある。関連する TYPE B 規格の適用も当然だ。

安全化の方策 = ILOの OSHMS

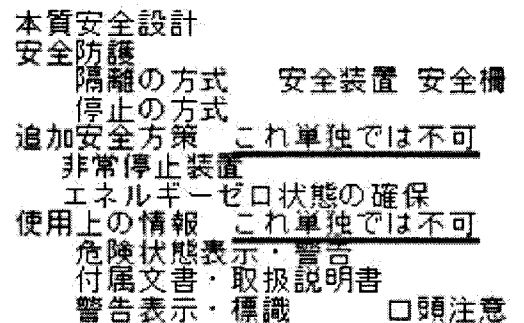


図. 2 ILOの OSHMS

すべての機械類は、本質的に安全であるとし、それが不可能な場合に限って、安全防護=隔離の方式・停止の方式によってのみ対処してよいとさ

れている。

多くのサービスロボットは、人間と共存しなければ意味が無く、必然的に本質安全設計であることが要求される。この面からすると、巷間早期出現が期待されている部類のサービスロボットを作ることには、まだまだ課題が残されていると筆者は考える。

4. 産業用マニピュレーティングロボットの安全防護

4.1 経緯

1960年代の後半、産業用マニピュレーティングロボットが実用の今日された時点での最初の問題は、「材の放出」であった。掴んでいるものを放り出すと行ったトラブルが多く発生し、メーカーはロボットハンドの改良がなされた。腕部は標準品として量産され、信頼性が高く、価格も相応だが、ハンドについては現在でも多くの場合把持対象物体の形状等に合わせて個別製作されることが一般である。代わって問題になったのは、「動力を絶ち切らない状態で可動領域に入り込んで接触する」という事故である。これまでに起きている死亡事故のほとんどはこの種のものである。

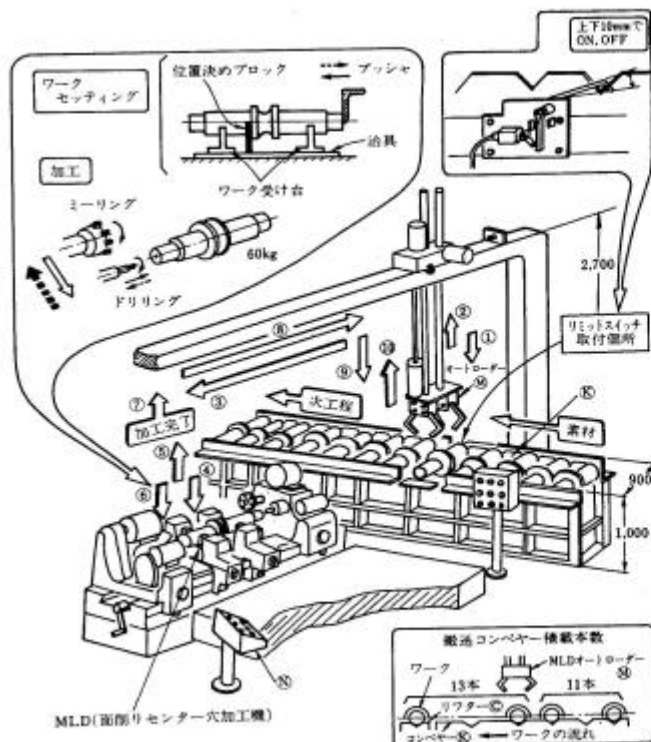


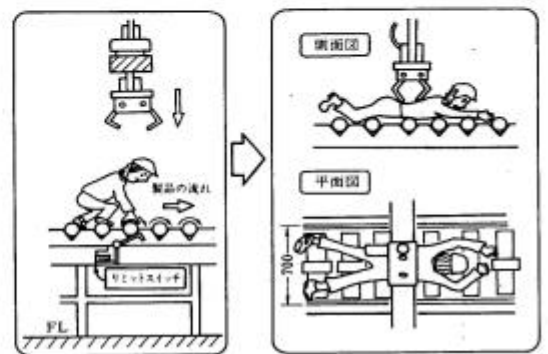
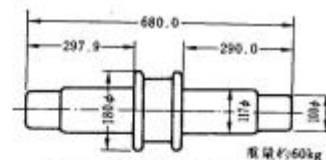
図. 3 普及初期に起きた事故事例

しかし、2000年代になって、事故が増加の傾向にあると見られる。システムの巨大化、コンピュータ制御の本格化のほか、普及が進んで不慣れた作業者がロボット関連業務に従事する機会が増えたことと、製造業での労災事故が減って、事故体験見聞が少なくなり、「怖さを知らない」作業者が増えたことも一因かと考える。

4.2 事故事例

隔離の方式に依ることが義務づけられたのは、導入初期、動力を絶たないでロボット(本節では略称する)の可動領域内に進入した作業者が接触するといった事故が多発したことによる。

図3は、日本における死亡事故第1号の概略を示す²⁾。切削加工される車軸は、コンベアによって搬送され、これをロボットが1本ずつつかみあげて工作機械にセットする。ある時、コンベア上に正常に積載されていない車軸があったため、ワーク検出用リミットスイッチが作動せず、ロボットはつかみあげることができず、システムは停止した。気づいた作業者は、ロボットの動力を絶たずにコンベアに上がって姿勢を修正しようとして、誤ってリミットスイッチに触れてしまった。瞬間、ロボットが動いて作業者をコンベア上に抑



えつけて、押しつぶしてしまった。

類似の事故として、オートバイの歯車加工ラインで、工作機械にに向かって油圧駆動のロボットに背後から抑えつけられている作業者を発見した同僚が、非常停止ボタンを押したら挟まれたままで止まってしまい、手首部を溶断したが手間取ったため、救出した時は絶命していた。結果論であるが、非常停止操作をせずに一旦通常の停止操作を行って、直ちに再起動、自動運転モードを手動運転に切り替えれば、簡単にロボットの腕は引っ込んだと考えられる。非常事態を発見したらまず動力を遮断せよとの考え方があるが、この場合はそれが被害を大きくした。何が何でも危険を感じたら動力を遮断せよ、というのは、一考を要する。

ロボットが指定された位置へ、所定時間内に到達できなかったら、いったん元へ戻ってやり直す、こういった制御方法導入できないものか。

1983年の法改正で、隔離の方法をとることが義務づけられた。一例を図4に示しておく。



図4 アーク溶接作業における実施例

MOTOMAN Inc. 提供

4.3 法令等

労働安全衛生法には、具体的にロボットの安全についての規定はない。ロボットは他の機械装置類と同等であるとして対処すべきと解される。同施行令、労働安全衛生規則等に具体的規定がある。詳細は、文献を参照されたい³⁾。

4.4 内外の安全規格

国際規格があればそれを完全翻訳して日本工業

規格にするというのが方針である。ISO 10218 Manipulating Industrial Robots - Safety Part 1 -2006 を翻訳したものが、JIS B8433 - 1 産業用ロボットの安全通則として制定されるが、この国際規格は改訂前のものと異なり、システム化・エンジニアリングは、ISO/IEC の他の TYPE-A,B 規格によって対処できるとのヨーロッパ勢の意見で、産業用マニピュレーティングロボット本体のみを対象としている。このため、欠落する部分が出ないように、現行の JIS B8433 も残されており、重複する部分に矛盾があれば、新しい方にある規定が適用される由である。

労働安全衛生法関連についてはこれまでの法的規定が同じように適用されるので、安全防護上の実害はない。これまでは、JISと法的規定はほぼ同等と考えられたが、今後は異なったものとなる。実務上は、法的規定が優先する。

ヨーロッパでは、ISO 10218 を翻訳して EN776 としており、日本と全く同様の規定レベルと言える。改訂前の ISO 10218 の内容は、労働安全衛生規則の内容とほぼ同一であり、「日本のロボット安全基準は厳しい」というのは誤りである。

米国は独自のものを、ANSI/RIA R15.06-1999 として制定している。これから、産業用マニピュレーティングロボット本体部分のみを抜き出したものをベースとして作られたものが、新 ISO 10218 - 1 である。UL1740 もほぼ同一内容であるが、この内容に反したロボットを使って起きた米国内での事故に対しては、損害保険金が支払われないか減額される。

5. これからのロボットの安全防護

産業用マニピュレーティングロボットについては、技術は成熟し安全防護技術も完成の域に達してはいるが、隔離の方法による限り、ユーザにとっては煩雑感がつきまとう。ほとんどすべての産業用マニピュレーティングロボットメーカーは、本質安全設計の方向へ展開すべきであると考えている（例えば2007年11月東京で開催された公開講演会ロボットサミットにおける内外7社のメーカーの発言）が、技術的制約のほか、ユーザーに

としては設備投資額の増大といったデメリットがある。

サービスロボットについては、現在開発途上であって、一部を除き、安全防護方法を総括するにはあまりにも未成熟であって、時期尚早ではないかと感じている。端的な例だが、介護ロボットの安全防護対策はどうあるべきか。入浴させる際に誤って浴槽へ落とすなどといった自体をどうやって防ぐのか？食物を口へ運ぶ際に、誤って顔面を傷つけてしまわないか？など、動作のひとつひとつに異なった対応策を考えねばならぬ。文章で基準を記述することは簡単だろうが、具体的にそれをどうやって実現するのか。

極論だが、ロボットの形態をとるために安全化が難しいのであれば、なにもロボットにこだわることはあるまい。駕籠を担いで走るロボットとか、ガスバーナーにマッチで点火するロボットなど、ナンセンスだ。

安全とは少しずれた問題であるが、人間とロボ

ットとの共存での精神衛生上の問題もある。愛知万博の際の受付ロボットと対話した女性から「こういうロボットが工場へやってきて、私たちと



図5 ヒューマノイド 筆者撮影

一緒に仕事するようになるんですか？もしそうになったら、私気が狂ってしまう。会話はそつなくしてくれるけど、全く無表情、気味が悪い。」と言われて返事に困った。ロボットに人とどうつきあわせるか、こんな議論が実用化に向けてのレベルで行われるのは、昨今の技術開発ではまだ先のことかと筆者は考えているが。

6. あとがき

現在生産現場ではなくてはならない状態である産業用マニピュレーティングロボットを中心に、安全防護についての解説と若干の未来に向けての

考察を試みた。実務上の詳細については、引用文献1)と2)に、必要かつ十分な内容が記述されている。

「これは法で規定されているロボットでしょうか？もしそうなら安全対策を行いますか」といった質問を時折受けるが、「法がどうであれ危険を感じたら必ず行ってください」と答えるようにしている。

蛇足だが、以前の日本の労働行政は労働災害はあってはならないとしていたが、リスクアセスメントの積極的導入などもあり、最近の厚生労働行政は、容認できるわずかな災害の発生はやむを得ないとする考え方に変わったと筆者は感じている。

引用文献

- 1) ロボットハンドブック P.2 (社)日本ロボット工業会 2005年
- 2) 産業用ロボット関係労働安全衛生規則の解説 P100-104 中央労働災害防止協会 1983年
- 3) 技術士ハンドブック P.46 - 53 オーム社 2006年

参考文献

- 4) 稲垣 産業用ロボット安全の過去・現在・未来 安全と健康 2006年1-3月号 中央労働災害防止協会

稲垣 莊司 いながき そうじ
技術士 電気電子部門
技術士事務所"ロボティ" 所長
E-Mail roboty@d3.dion.ne.jp

