解説

サービスロボットの安全認証

Safety Certification of Service Robots

加 部 隆 史* *NPO 安全工学研究所

Takashi Kabe* *NPO The Safety Engineering Laboratory

1. は じ め に

科学技術文明は、社会に効用と便益を提供するために存在する。その反面、科学技術の目覚ましい進歩は、危険なエネルギーを有する機械により、これらが危険源となり人々に危害をもたらす。危険源と人が同一場所、同一時間に遭遇して初めて危険事象が発生し、事故の要因が育成される。

現在国をあげて社会福祉にも貢献するようなサービスロボットの育成に力が入っている中で、事故が発生したためにその設計者（本稿では製造者と同意義）が、あるいはその業界全体が市場から撤退を余儀なくされてしまうようでは、将来の産業化社会での効用性・利便性が損なわれ、結果として一般消費者を含む使用者が不利益を被ることにもなりかねない。

機械安全技術の普及促進を目的として 2002 年に設立された NPO 安全工学研究所は（理事長：杉本旭 長岡技術科学大学教授；以下 NPO）、日本で安全工学を体系的に学べる大学が存在していなかったことから、創設時に長岡技術科学大学に日本で初めての機械安全修士コースを寄附講座として開設、機械安全関連図書の出版 [1] [2]、機械安全セミナーの開催、経済産業省の機械安全普及促進事業に関する調査研究委託事業の実施（2005 年度および 2006 年度）等を主な事業として実施している。

これらの状況を背景として、確定的な危険源から演繹されてもたらされる災害を、予防概念として国際規格に定められ、普遍的な方法論として認知されているリスクアセスメント（予見可能性）およびリスク低減を活用して、新規産業であるサービスロボットの認証業務を日本で創始した。

2. サービスロボットの安全方策

サービスロボットにつき安全の問題が表面化したのは、2005 年に開催された愛知万博である。ここでは 100 体近くのサービスロボットが展示され、安全をどう処理するかが

問われたことが大きなきっかけとなった。

従来の産業用ロボットは、その危険性故に危険源であるロボットと人を隔離の原則に基づき、作業現場では防護柵が施されることにより主に安全を確保してきた。しかしながら、サービスロボットの場合には人との接触を前提とするために、安全確保の手法には隔離の原則は通用せず、新たな考察が必要とされる。また、使用者の中には工場の労働現場と異なり、一般消費者、そしてその中に子供と高齢者が含まれることから、これに伴い新たなリスクが増大すると共に設計者はこれらに対する特別な配慮が求められる。

そのために、「愛知万博のロボット安全性ガイドライン調査専門委員会」（委員長：杉本旭 北九州市立大学教授・当時）が招聘され、ガイドラインの策定、安全仕様書の審査、安全プログラム指針の策定等が行われ、リスク低減後の残留リスクについては、万博の展示各社がそのリスク対応を引き受けたという流れができた。

安全確保につきここで準拠されたのは、国際機械安全規格に関連する安全の用語を規定する ISO/IEC Guide 51、安全の一般設計原則に関する ISO 12100 に定義された本質安全設計の重視、リスクアセスメントの原則に関する ISO 14121 にそったリスクアセスメントおよびリスク低減の実施を記録したリスクアセスメント文書の作成と、対外的なリスクコミュニケーションの実施および安全マネジメント等である。

すなわち、国際的に普遍性をもって形式知として整合された国際規格に定められた「安全の原則」が適用されたということである。筆者は、このうち安全性の責任・体制検討 WG および後述のロボット政策研究会の次世代ロボット安全検討 WG の委員を務めた。

その後、2005 年にはロボット政策研究会が発足し、次世代ロボット安全検討 WG の中で、サービスロボットの安全性のあり方につき継続して議論が重ねられ、その成果は報告書としてまとめられた [3]。

2007 年 4 月には、経済産業省により次世代ロボット安全性確保ガイドライン（案）が提示され、今後の指針としての役割を果たすことになった。

原稿受付 2007 年 7 月 12 日

キーワード：Service Robot, Certification, Critical Hazard

〒167-0054 杉並区松庵 3-39-8

*Suginami-ku, Tokyo

図1 NPO 安全工学研究所の鑑定の役割

3. NPO による鑑定の考え方

国際的にもいまだサービスロボットの安全基準が策定されていない中で、国内ではすでに各種サービスロボットの販売が開始される状況に迫られた。

2005年に、NPOは最初のサービスロボットの認証業務を受託した。国内およびドイツ等国外の安全専門家およびロボット専門家と協議した結果、当時の段階では、サービスロボットという新技術についての個別安全関連規格が策定されていなかったこと、工業製品用の安全規格をあてはめようと、時間的・費用的に無理が生じてしまうことから、NPOとしては、世界的な基準認証制度として確立している、製品認証機関に関するISO/IEC Guide 65、あるいは試験所能力に関するISO/IEC 17025等に則り、正規な認証を実施するには時期が熟していないと判断し、設計者の危険源処理が合理的な「残留リスク」に達し、設計者としての責任限界をまっとうしたことを判断基準として鑑定することとした。

鑑定方法は、例えば欧州機械指令に基づくCE宣言のためのTCF（Technical Construction File）策定時に要求されるように、技術仕様書、リスクアセスメント実施シート、取扱説明書等の提出図書を基に、立ち会い検査により、リスク低減措置の妥当性を検証した。そして、それが妥当であれば、確定的な危険源がリスク低減の結果、社会の受容範囲にあるとして、杉本は、設計者が誠心誠意 state of the art を達成した結果としての残留リスクをクリティカル・ハザード（Critical Hazard: CH）と命名した[4]。そして、そのCHが取扱説明書等に明記されることを条件として鑑定書を発給した。

この社会の受容範囲にあるリスク（tolerable risk）であるアラープ（As Low As Reasonably Practicable=ALARP）

はイギリスの安全衛生庁（HSE）が当初提案し、機能安全規格IEC 61508の付属書に定義されている。そしてその内容は基本的に、結果としてのCHとはほぼ同意義として解釈される。

ここで重要なことは、サービスロボットがどのような安全設計の思想に基づき（規格等の根拠）、十分に吟味されたリスクアセスメントを実施したかが、大方向な判断基準に繋がっていることである。正当なリスクアセスメントの結果としての危険源の限界を使用者に委託するための記述がある取扱説明書は、市場流通に伴い危険源の管理が設計者から使用者へと移転されるために責任移転の観点からも重要である。要するに、万が一事故が発生した際には、危険源を誰が管理しているかが問われるものである。

鑑定書発給に至るNPOの組織的手順は、認証（鑑定）申請を事務局が受理し、NPOが設置した第三者機関である「安全認証委員会」の検査小委員会で、書面審査並びに立ち会い検査を実施し、その検査報告書を、安全認証委員会で審査し、審査結果が良好であれば、それを基に鑑定書発給の根拠とした。

この考えは、2005年シカゴで開催された認証機関の専門家多数が出席した国際会議SIAS 2005（4th International Conference: Safety of Industrial Automated Systems）において発表された[4]。NPOの認証の考えを図1に示す。

4. 具体的な認証例

NPOとして最初に鑑定を実施したのは、三菱重工業のwakamaru、そして富士通のenonがそれに続く。

この2件の実証的な鑑定作業の要点としては、数多く装備されている各種センサ並びにその制御回路に対する安全性の判断である。機械類の安全に関する国際規格において、電気的あるいは電子的部分につき、安全を立証するには、

電気に関する IEC 60204-1 あるいはソフトウェアについては機能安全規格である IEC 61508 を適用せざるを得ない。ところが、機能安全規格を適用すると仮定した場合、それだけでも第三者機関による包括的な認証作業が往々にして複数年必要とされるのと（期間の問題）、多額な認証費用が発生するために、大量生産ではないサービスロボットにそれを適用するにはかなり無理が生じることから、基本的に電気・電子的な安全の対処は必要最小限とし、機械的な側面から、安全性の検証を実施した。

このような電気電子的な分野での考え方については、上述のロボット政策研究会報告書 28 ページ下段の注釈がある；

機構上の対策に於ける留意点として、危険検出センサやソフトウェアは、安全性確保の為のパーツではなく、あくまで衝突等事故発生の危険性を低下させる機能を有するものと位置づけられる。欧州では、危険検出センサやソフトウェアによってロボットの安全性を高めようとする場合は、当該装置の信頼性に関する機能安全の規格（IEC 61508）等を満たす必要が有る。

この解釈を、本稿では「サービスロボット用の電気安全に関する要件」と名付ける。

そして、機械的側面から安全性を判断する根拠として、ニュートンの運動法則 $F = ma$ の観点から、サービスロボットが人と衝突した際に、どれだけの力が人に作用し、それによりどのような被害をもたらされるかを複合的な観点から設計者に実験してもらい、その検証されたデータを基に NPO として判断した。つまり、本質安全設計の重視である。

さらに、これら 2 体のサービスロボットは双方とも腕を有しているために、例えばロボットアームの先端が人の目に入ったらどうなるかなどの検証も十分に行われた。

その後、愛知万博の次の事業として経済産業省は 2006 年・2007 年度の 2 年間で、「サービスロボット市場創出支援事業」を実施し、公募が受理された複数のサービスロボット並びに現在市場に投入済みのサービスロボットの認証業務を現在 NPO が実施している。合計 7 体のサービスロボットが認証作業中であるが、その内 2 体はレスキューロボットの研究成果を転用したもので、残りの 5 体は 2 輪走行で高さが小学生高学年程度で腕がないとの共通性を有している。そのため、 $F = ma$ の作用が限られていることから、上述の「サービスロボット用の電気安全に関する要件」を適用し、機械的側面を主体に安全性の検証を実施している。

5. NPO による鑑定の位置づけ

NPO の安全認証（鑑定）の効用は、万一事故が発生しサービスロボットの設計者の製造物責任が問われた際には、技術的な観点から、この製品はその時代の科学および技術の

水準（state of the art）に適合し、第三者機関である NPO の鑑定を受け、設計者が設計欠陥の烙印を押されるのを防止することにある。

その際に過失要件としての設計欠陥に関しては、残留リスクが国際機能安全規格に基づくアラープ（ALARP）の示す受容リスク範囲内にあること、あるいはアメリカの不法行為法第 3 次リステイトメントにある危険効用基準に則り、さらにそれが洗練された合理的な代替設計 [5] がないことの確認を行ったとして、十分に抗弁できる材料を提供することにある。また、これらはアメリカ不法行為法の法理として学説により説明されている。ここでいう合理的な代替設計基準（Reasonable Alternative Design = RAD）は ALARP に至るリスクアセスメント（予見可能性）とリスク低減（結果回避可能性）の考え方と類似している。

ただし、後者において実際に事故が発生した際には、国内の法廷においてどのような判断が下されるかは未検証である。

6. 今後の課題

技術分野における認証とは、機械の危険なエネルギーである危険源を、2 章で述べた「安全の原則」に基づき設計者がリスクアセスメントという方法論を用い、リスク低減した結果残された残留リスクが state of the art を十分に配慮したかを判断するもので、これは同時に RAD および ALRAP の概念を配慮の上、設計者責任が誠意をもって達成しうる限界を第三者として示すものである。認証された製品は、残留リスクの情報を警告・表示しあるいは取扱説明書に明示して使用者へ製品を受け渡す。すなわち、認証は製品の市場流通への登竜門ということになる。欧州の場合は CE マーキング制度が法的に定められており、これは危険源処理の設計者としての限界並びにそれに対する責任を意味している。

サービスロボットの場合は、上述の通り世界的に安全基準が策定されていないことから、設計者としての危険源の管理の限界を NPO が鑑定している。

責任の限界を示すということは、事前責任・事後責任の社会的枠組みをどのように機能させるかにあり、杉本 [6] が一貫して強調する事前責任制度・PLP（Product Liability Prevention）が理想像である。

この認証の仕組みが、日本では国際的な基準認証制度に則ったところは部分的で、機械全般並びにサービスロボットについては未完成であり、体制整備を早急に行う必要がある。この仕組みを作るために、何年も前から議論は継続しているが、その必要性の急務から NPO は独自の基準をもって認証作業（まずは鑑定）を開始した。

また、国内で認証を開始しても、事故が発生した後の補償をどうするかがサービスロボットの場合未確定であり、こ

れは政府の救済措置と民間の損害保険をどうするかという課題である。同時に認証機関の認証行為に対する損害保険制度もサービスロボットという実績が皆無の新技術についてどう適用されうるかが問われてくる。

5章で述べた、不法行為法の法理と学説の裏付けによる観点から導き出される予防概念としての安全設計の必要性和妥当性のほかに、契約法の法理から導き出され、品質保証に関する ISO 9000 に記述されている欠陥の定義としての「黙示の保証義務」にも製造者として十分に配慮することが必要となる [7]。これも、問題が発生する前に設計段階で十分な吟味が要求されることから、設計者は予防概念の一角としてこれを理解することが最良策である。

同時に、何をもって安全とするかの判断ができる安全専門家の育成についても、欧米の歴史ある安全専門家教育と比較すると、認証機関が欧米のように歴史的に育成されていない日本の立ち遅れは顕著であり、グローバル時代であるからこそ、国内でプロフェッションとしての要員育成と早急な体制整備が必要である。総じて技術者は、本来プロフェッションであり、科学技術の利便性を使命感をもって社会に提供するゆえに、正当な技術者倫理に基づいたものづくりを追求することが求められる。

さらに、サービスロボットは多くの先端技術を保有しているために、その軍事技術などへの第三者による転用という問題に対しどのような対処方法があるかについての議論が、本来必要とされる。多くのインテリジェンスと自律性を有したサービスロボット技術がどのような影響を社会に対して与える可能性があるかなどについてもテクノロジー・アセスメント (TA) の手法等を用い将来に備える必要があるのではないかとと思われる [8]。

7. お わ り に

安全は人権の問題であるが、日本では民主主義を勝ち取ってきたほかの先進工業国と比較し、一貫した経済優勢の政策から人権問題は決して重きをなしてこなかった。ただし、グローバル時代にサービスロボットが国外で使用されるとなると、事故発生時の説明責任は自ずから国際的な普遍的

規範に基づくしか方法はない。

また、安全はすべての技術に横断的に共通するものであり、技術のみならず、ISO/IEC Guide 51 にも記述されている通り、危険効用基準の基となる費用便益分析には経済の概念が加わり、それをもって受容リスクが判断され、かつ効用性・利便性の尺度には法律倫理に基づく価値観が加わり、相対的に社会システムとして何をもって正義にかないう公平な分配を最適に機能させるかという政治的課題もこれに加わる。

そのために、認証により、一定の設計基準 (RAD) に基づき技術検証を伴った設計者の責任範囲を明確にして新技術を市場に流通するということは非常に重要なことであり、新技術故に従来の日本古来のしきたりに縛られずに一気に最先端の最高の技術を設計者が、堂々と世界に出し裏付けされた科学技術の効用と利便性が社会に認められ、日本発のイノベーションとなることを望んでいる。

参 考 文 献

- [1] A. ノイドルファー (田中紘一監訳): 安全な機械の設計. NPO 安全工学研究所, 2003.
- [2] D. ライネルト 他 (田中紘一監訳): 安全バスシステム. NPO 安全工学研究所, 2002.
- [3] ロボット政策研究会: ロボット政策研究会報告書, 2006.
- [4] T. Kabe, R. Hiura, H. Ikeda and N. Sugimoto: "Safety Certification of Service Robot "Wakamaru,"" Proceedings of SIAS2005, 2005.
- [5] 平野晋: アメリカ不法行為法. 中央大学出版部, 2006.
- [6] 杉本旭: "PLP とロボット技術の新しい展開", ロボット, no.148-150, 2002.
- [7] 松本俊次: 私信, 2007.
- [8] 加部隆史: "安全確認型社会システム", 日本機械学会年次大会 2004 予稿集, pp.478-479, 2004.

加部隆史 (Takashi Kabe)

1952 年生。1983 年からドイツにおいて中立機関で対日輸出、投資コンサルタント活動、帰国後 1987 年からドイツ系企業 BARTEC (防爆), Alpha Getriebe (精密減速機), Buerkert (流体制御) の日本法人をゼロから各々国内現地法人として立ち上げ、代表取締役を歴任。2002 年 NPO 安全工学研究所を設立、代表理事に着任し現在に至る。
(日本ロボット学会正会員)