

ロボット政策研究会 報告書

～RT 革命が日本を飛躍させる～

2006年5月

ロボット政策研究会

ロボット政策研究会報告書の概要

1. 検討の視点

- ① ロボットを実際の市場に導入するための政策を強化する。
- ② ロボットが現実に使われることを想定して、安全性を確保する。
- ③ 具体的な用途を想定したロボット技術 (RT) 開発を推進する。

2. 課題への対応の方向性

(1) 市場環境の整備

- サービスロボットの市場導入は、ロボットメーカー、ロボットを使うサービス提供者 (サービスプロバイダー)、ベンチャーキャピタル、リース・レンタル事業者及び地方自治体等の幅広い関係者との連携が必要。
- 幅広い関係者の連携の場として、「**ロボットビジネス推進協議会**」(仮称) を設立すべき。
- ロボットの表彰制度**を創設することにより、ロボット開発競争を促すことが有効。

(2) 安全性の確保

- 安全性の確保は、ロボットの導入に効用があることを前提とし、設計段階で可能な限りリスクを減らした上で、残るリスクに対しては、誤作動防止等の安全防護措置等を講ずることが必要。万が一事故が生じた場合に対応すべく、製造物責任法における責任関係等について、事例を踏まえ、さらに検討を進めることが必要。
- 安全性を確保するため、「**次世代ロボット安全性確保ガイドライン**」(仮称) を策定することが必要。
- 事故情報や安全対策事例の収集や分析、啓蒙等を行う**安全性確保の推進拠点を整備**すべき。

(3) ロボット技術 (RT) 開発の在り方

- 現実の用途を想定し**、それを遂行するためのロボット技術を開発することが重要。
 - 【例1】 自動車や家電の組立工程において、柔軟物を取り扱えるRTシステム
 - 【例2】 高齢者を含む様々な年齢層の人々の意図を理解し、コミュニケーションができるRTシステム 等
- ロボット技術の**開発を競争的に行う**ことが、技術開発を進める上で効果的。
(具体的には、複数の開発者に参加させ、途中段階で評価を行い、最も成果の上がった開発者を引き続き重点的に支援する。)

目 次

はじめに

第1章 ロボットに関する認識と検討の視点	-----	4
1－1 ロボット産業を巡る社会・経済環境	-----	4
～なぜ、いま、RT に注目するのか～		
1－2 ロボット産業、技術及び政策の現状	-----	7
1－3 本研究会における検討の視点	-----	12
第2章 次世代ロボットの市場環境の整備	-----	15
2－1 メーカーとユーザーの連携による実用化に向けた取組み	-----	15
2－2 ロボット事業の関連事業者の取組み	-----	17
2－3 期待される地方自治体の取組み ～きめ細かい支援～	-----	19
2－4 ロボットに関わる人材の育成	-----	21
第3章 次世代ロボットの安全性の確保	-----	23
3－1 ロボットの安全性確保の現行の取組み	-----	23
3－2 安全性確保方策の検討の視点	-----	25
3－3 人間と共存するロボットの安全性確保の在り方	-----	26
～ロボット導入に「効用」があることが前提～		
第4章 ミッション指向型の RT システムの開発	-----	32
4－1 ミッション指向型プロジェクトの基本的な考え方	-----	32
4－2 技術開発対象の検討における視点	-----	32
4－3 ミッション指向型の技術開発の進め方～競争原理を導入～	---	33
4－4 課題解決を狙う7つのキー・ミッション	-----	34
第5章 今後に向けて	-----	38
ロボット政策研究会 委員名簿	-----	43
ロボット政策研究会 ワーキンググループ 委員名簿		
技術戦略マップ改定タスクフォース 委員名簿		
参考資料	-----	47

参 考 資 料 目 次

第1章 ロボット産業に関する現状認識 関連資料

1-1 現行の当省が行うロボット関連プロジェクトについて	-----	48
------------------------------	-------	----

第2章 次世代ロボットの市場環境の整備 関連資料

2-1 サービス分野の自動化・機械化の事例について	-----	50
2-2 サービス分野別のロボット需要について	-----	52

第3章 次世代ロボットの安全性の確保 関連資料

3-1 ロボットメーカーによる安全性確保の取組み事例	-----	55
3-2 産業用ロボットの安全性確保に対する現行の取組み	-----	61
3-3 製造物責任法等の概説 (ロボットを中心に)	-----	64
3-4 ロボット分野のリスクと保険	-----	74
3-5 ロボットの安全性確保の推進拠点の機能について	-----	76

第4章 ミッション指向型の RT システムの開発 関連資料

4-1 海外における競争原理を活用したロボット関連技術 開発プロジェクトの例	-----	77
4-2 総合科学技術会議の分野別推進戦略 (情報通信)	-----	80

本文編

はじめに

ロボットは今、新しい時代の幕開けを迎えている。我が国は、技術面でも市場規模の面においても、いわば「ロボット大国」として、位置づけられてきた。ただし、90年代以降、産業用ロボットの市場規模は緩やかな成長にとどまり、用途が特定の産業に限定されている。また、サービスロボットについても、実用例は少数にとどまっている。

しかし、ロボットを巡る状況は着実に変わりつつある。製造業においては、ロボット・セルのような、さらに高度化・知能化した産業用ロボットが、生産現場に投入されつつある。また、2005年、万博において、サービスロボットの実用化に向けた実証実験が行われ、国内外から大きな注目を集めた。実際のビジネスにおいても、掃除ロボットの導入等、実用例も着実に増えている。このように、我が国のロボット産業は、従来のステージから一段高いステージに移行し、「第2の普及元年」の幕開けを迎えている。

我が国は、少子高齢化・労働力人口の減少・国際競争の激化といった課題を抱えている。これらに対し、ロボット又はロボット技術(RT)は、その解決の糸口を与え、日本のさらなる成長の一翼を担っていくと考えられる。

2004年5月、「新産業創造戦略」の中でも、ロボットが、目指すべき7つの産業分野の一つとして以下のように位置づけられた。

- ① ロボットの国内市場見込みが、現状の0.5兆円から、2010年には約1.8兆円、2025年には約6.2兆円となると予想される¹。
- ② 非産業用途での本格的な市場拡大が期待される2025年前後に向け、2010年頃までに、先進的なユーザーによる先行用途開発を行い、現実的な技術課題、制度課題を抽出・解決するとともに、基盤的なロボット技術(RT)の確立を図る。
- ③ ロボットは、機械技術、エレクトロニクス技術、材料技術、情報通信技術等、幅広い技術の統合システムであり、個々の製品ごとに技術の擦り合わせを要する垂直連携型産業である。したがって、ロボット産業が更なる発展を実現するためには、我が国の「高度部材産業集積」は大きな強みとなる。

また、「新産業創造戦略」を更に発展させた「新経済成長戦略」の中間とりまとめ(2006年3月)の中でも、ロボットは、我が国が「世界のイノベーションセンター」となるための一翼として位置づけられている。

本研究会は、2005年1月に発足して以来、RTに対する顕在化した又は潜在的な市場ニーズを踏まえ、市場整備、安全性確保、ミッション指向型の技術開発の各方面から具体的な検討を進めてきた。本報告書は、その結果を、包括的なロボット政策の方向性としてとりまとめたものである。今後、本報告書を踏まえ、産官学が連携し、RTを活用したゆたかな社会作りに取り組んでいくことが求められる。

¹ 内訳は、2025年時点で、製造業分野が約1.4兆円、生活分野が約3.3兆円、医療福祉分野が約9,000億円、公共分野が約5,500億円と推計される(日本ロボット工業会調べ(2001)等)

第1章 ロボットに関する認識と検討の視点

1-1 ロボット産業を巡る社会・経済環境

～なぜ、いま、RT に注目するのか～

(1) ロボットは、人間の活動領域を拡げうる技術・製品である

我が国経済は、1990 年代以降、成熟経済に移行したといわれている。これは、爆発的な需要喚起が見込める産業が高度成長期に比べると、相対的に多くないことを意味しているが、そのような現在でも、例えば、新三種の神器と呼ばれるデジタル家電は、技術革新と相俟って需要が急拡大している。

古来、成長産業の技術・製品群を俯瞰すると、当初は、人間の必要性から生じたものであっても、技術が発展し、次第に人間の能力を大きく超えるようになると、需要が爆発的に急拡大する傾向がある。すなわち、人間の活動領域を拡げる技術・製品が、新たな産業を創造するといえる。

例えば、自動車は、馬車の代替物として出発したが、次第に馬車の機能を遙かに超えるようになり、今日の自動車社会を形作るに至った。また、テレビがラジオを超えてテレビ文化をもたらした事例など、同様の事例は多く存在する。

産業用ロボットも、当初は自動車の塗装・溶接工程の労働安全衛生の必要性から生まれたが、次第に人間よりも正確に、速く作業できるようになり、発展していったという経緯がある²。

つまり、実用的な製品の多くは、人間を支援する製品からスタートし、人間の能力を代行する製品の機能を超えると、人間の活動領域を拡げはじめ、爆発的に発展する傾向があるといえる³。

² 産業用ロボットの技術開発の経緯としては、1958 年に米 Consolidated Control Corp.(CC 社) がデジタル制御による Automatic Programmed Apparatus のプロトタイプを発表し、続く 1962 年に、米 Unimation 社や AMF 社がプレイバックロボットの実用第 1 号機を製作した。欧州では、1963 年頃にスウェーデンの Kaufeld 社がプログラマブル・マニピュレータの第 1 号機を発表し、その後、ノルウェーの Tralfa 社が 1966 年に世界最初の塗装専用ロボットを開発した(日本ロボット工業会「ロボットハンドブック」より)。

³ 我が国の産業用ロボットがもたらす付加価値は、1997 年時点で、自動車産業で生産額のうち 9.1%、電機産業で 8.7%、製造業全体で 3.4%と推測されている(日本ロボット工業会、平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書より)。

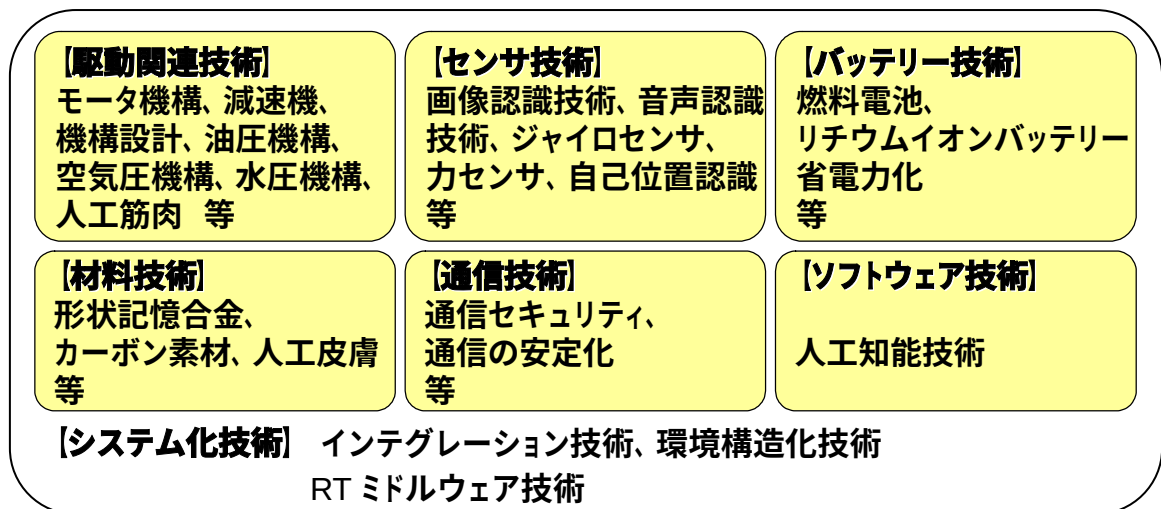
(2) 我が国の「高度部材産業集積」とそれに支えられた「モノ作り」力

今日においても、製造業は、経済成長牽引、生産性の向上という点から、我が国経済に貢献し、国際的にも競争力を有してきた。「新産業創造戦略」⁴は、この競争力の源泉として、世界的にみても希有な「高度部材産業集積」の存在を指摘している。そして、この「高度部材産業集積」が、モノ作りに不可欠な要素技術（精密微細加工や特殊素材合成など）のネットワーク化を通じた、異分野の技術領域の融合によるイノベーションの創出と、現場レベルでの迅速かつ高度な「擦り合わせ」を可能としている。

この点は、今後のロボット又はロボット技術（RT）を考える上で、以下の観点から留意する必要がある。すなわち、

- ① ロボット又はRTは、幅広い技術の統合システムであり、技術も市場も十分に成熟していない段階では、個々の製品ごとに技術の擦り合わせを要する産業である。このため、サービスロボットを含む新たなロボット産業が創成される上で、我が国の「高度部材産業集積」は大きな強みであり、世界的にも、我が国ロボット産業は、競争力を発揮しやすい。
- ② 我が国製造業及びサービス業が、今後、少子高齢化・労働力の減少が進む中で、国際的なコスト競争力に打ち勝つためには、製造業の生産工程又はサービス業の作業工程において、一層のロボット化・自動化が不可欠である。

図1－1. ロボットに関連する要素技術及びシステム化技術の例

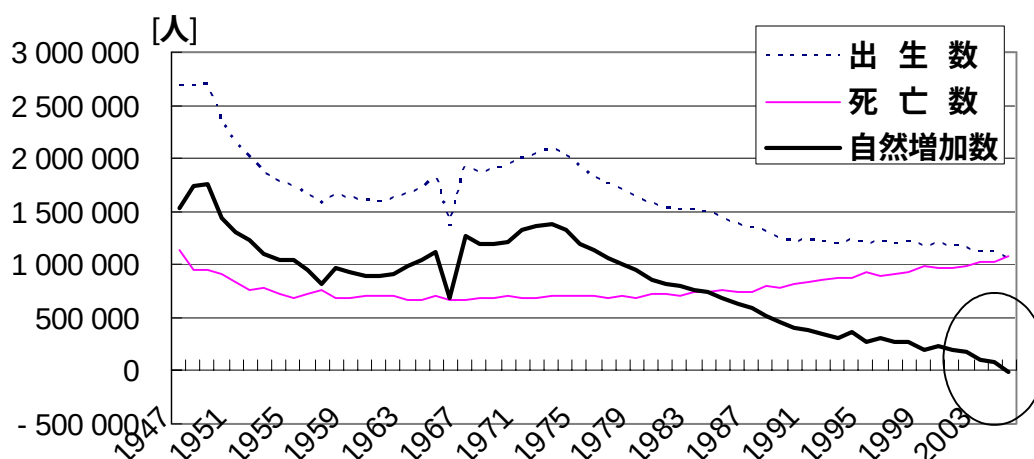


⁴ 経済産業省、新産業創造戦略、2004

(3) 少子高齢化と労働力不足

我が国の少子高齢化は、世界最速のスピードで進んでおり、1995年から2000年にかけては生産年齢人口が、1999年には労働力人口が、それぞれ減少に転じた。また、人口動態統計（年間推計）によると、2005年は我が国総人口が約1万人の自然減となった⁵。人口減少時代に突入しつつあるといえる。

図1-2. 我が国人口の自然増加数の推移



また、労働力の年代別構成をみると、労働力人口の中で突出したボリューム・ゾーンを形成する団塊の世代（1947～1949年生まれ）は、学卒期が製造業・建設業の成長期にあたったため、男性の4割以上が、この2業種のいずれかに就職している。具体的には、製造業で25.6%（同世代が、現在の製造業就業者の13.7%を占めている）、建設業で15.0%（同14.5%）となっている⁶。このため、今後、65歳までの雇用延長を適用したとしても、2011年以降、団塊の世代の労働市場からの一斉退出は、製造業等における労働力不足のみならず、技能の断絶による生産性や製品品質の低下が懸念されている（いわゆる2007年問題）。

一方、女性の6割以上は、小売業・サービス業に就職している。具体的には、団塊の世代は、小売業（卸・飲食店を含む。）に28.9%、サービス業に33.3%が就業している。これらは、現在の両業種のそれぞれ14.2%、11.8%を占めている。したがって、これら分野についても、団塊の世代の労働市場からの退出による労働力不足が懸念される。

今後、これらの問題は、労働生産性の向上、女性の社会進出等、総合的な対策の中で解決されるべきである。しかしながら、今後の製造業やサービス業におけるロボット又はRTの活用の視点としても、留意すべきである。

⁵ 厚生労働省、人口動態統計、2005 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suikai05/index.html>

⁶ 総務省統計局、平成12年国勢調査報告

1-2 ロボット産業、技術及び政策の現状

(1) ロボットの定義 ～知能化した機械システム～

「ロボット」の定義は、極めて多様であり、ヒューマノイドに限定した見方から、検索ロボットのようにコンピュータ上のソフトまで広げた見方まで様々である。特に、昨今の我が国においては、従来からのロボットアニメ等の影響に加え、官民から相次いでヒューマノイド型ロボットが発表されてきたこともあり、ヒューマノイド型ロボットのイメージが強い。

しかしながら、本研究会においては、ロボットを市場の側から捉えることに主眼を置いているため、ロボットを形状ではなく、「市場で必要とされる機能を発揮するために要素技術を統合したもの」という視点から定義することが適当である。さらに、RT（ロボット技術）と IT の関係も、明確にすべきと考えた。このため、本研究会では、「ロボット」を、「**センサー、知能・制御系、駆動系の3つの要素技術を有する、知能化した機械システム**」として、**広く定義することとする。**

このため、上記の「検索ロボット」は、RT の一部ではあっても、「ロボット」の定義から外れる一方、自動車や情報家電でも、上記3要素を持つものは、ロボットの範疇に入りうることとなる。

(2) ロボット産業の現状 ～現在は、産業用ロボット市場がほとんど～

社団法人日本ロボット工業会の統計によると、2004 年の産業用ロボット出荷額は、5,768 億円であり、うち、国内出荷は 2,724 億円（総出荷額のうち 47%）、輸出は 3,045 億円（同 53%）となっている。さらに、産業用ロボットの稼働台数も世界で最も多い。他方、産業用ロボット以外の市場規模は、約 70 億円程度と見込まれ、市場としては、「離陸段階」に差し掛かりつつある状況といえる。

図1-3. 産業用ロボット出荷額の推移

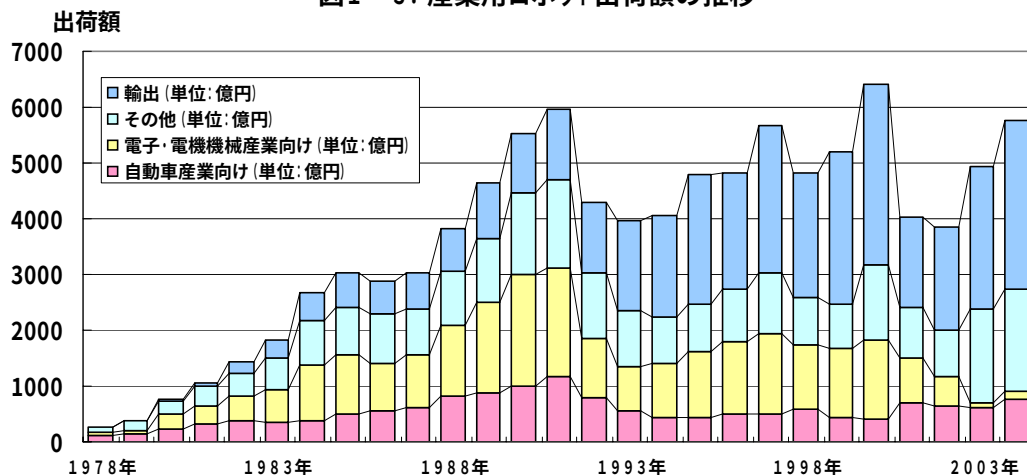


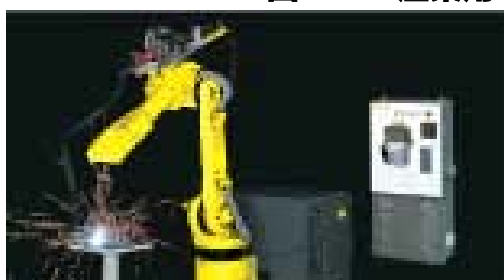
図1－4. 世界の産業用ロボット稼働台数(マニュアルマニピュレータ、固定シーケンスマニピュレータを除く)

	2003 END	2000 END	1995 END	1990 END	1985 END																		
Japan	348,734	389,442	387,290	274,210	93,000	Japan																	
Rep. of Korea	47,845	37,987	18,149	3,020		('85)	93,000	67.2%	Asia. Oceania														
Singapore	5,273	5,370	3,275	1,389	200	('90)	274,210	61.2%				('85)	93,427	67.5%									
Australia	3,571	2,833	1,840	1,430		('95)	387,290	64.0%				('90)	281,339	62.8%									
China-Taiwan	8730	6,942	3,849	1,290	227	('00)	389,442	51.9%				('95)	414,403	68.5%									
						('03)	348,734	43.5%	('00)	442,574	59.0%												
									('03)	414,153	51.7%												
USA	112,390	89,880	56,945	34,090	20,000	USA																	
Benelux	9,052	8,211	5,086	2,422	604	('85)	20,000	14.4%	Total														
Denmark	2,078	1,414	672	470	164	('90)	34,090	7.6%				('85)	138,457	100.0%									
Finland	3,407	2,647	1,398	810	257	('95)	56,945	9.4%				('90)	447,711	100.0%									
France	26,137	20,674	13,276	8,350	4,150	('00)	89,880	12.0%				('95)	605,296	100.0%									
Germany	112,693	91,184	51,375	27,320	8,800	('03)	112,390	14.0%				('00)	750,728	100.0%									
Italy	50,043	39,238	22,963	12,200	4,000	W. Europe																	
Norway	684	540	477	440	323	W. Europe																	
Sweden	6,959	6,276	4,459	3,340	2,046	('85)	24,588	17.8%															
Switzerland	3,480	3,743	2,672	1,510	290	('90)	66,108	14.8%				('95)	605,296	100.0%									
United Kingdom	14,015	12,344	8,314	5,940	3,017	('95)	118,234	19.5%				('00)	750,728	100.0%									
Spain	19,847	13,163	4,913	2,100	688	('00)	203,560	27.1%				('03)	800,772	100.0%									
Portugal	1,367	1,080	306	56		('03)	253,364	31.6%															
Austria	3,602	3,046	2,323	1,150	249	E. Europe																	
Hungary	216	261	236	200	67	E. Europe																	
Poland	584	474	493	520		E. Europe																	
Russian Fed.	5,000	5,000	10,000	64,204		('85)	67	0.0%															
Czech Rep.	1,445	915	375			('90)	64,924	14.5%															
Slovakia			532			('95)	11,874	2.0%															
Slovenia			238			('00)	6,650	0.9%															
						('03)	7,245	0.9%															
						Other Countries																	
Other Countries	13,620	8,064	3,840	1,250	375	Other Countries																	
						('00)	8,064	1.1%	Source : International Federation of Robotics (IFR)														
Total	800,772	750,728	605,296	447,711	138,457	('03)	13,620	1.7%															

Source : International Federation of Robotics (IFR)

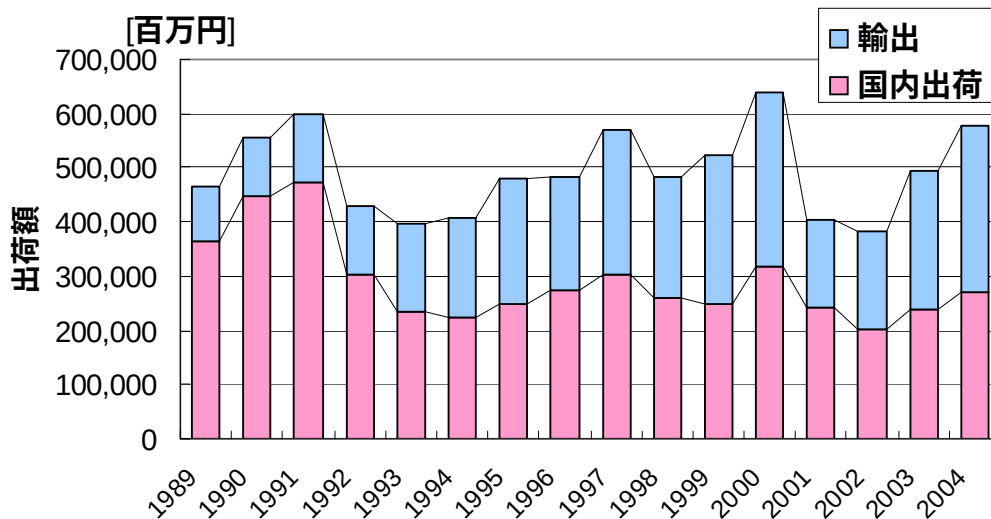
産業用ロボットの主要ユーザー産業は、自動車産業及び電子電機産業である。このうち、自動車産業向けでは、スポット溶接、アーク溶接、塗装が出荷額の大半を占めている。また、電子電機産業向けでは、電子部品実装（プリント基板実装）、半導体実装、クリーンルーム及び組立等が出荷額の大半を占めている。特に、近年では、テレビのフラット化が急速に進展する中、液晶テレビ用のガラス基板搬送等に使われるクリーンルーム用ロボットも、市場として急拡大している。

図1－5. 産業用ロボットの例



一方、産業用ロボットの輸出は、1980 年頃は出荷額全体の 3%程度であったが、その後、次第に増加し、1984 年には 20%に達し、1990 年からの我が国のバブル経済崩壊以降、国内設備投資の減少やユーザー産業の工場の海外移転等により、輸出が増加した。2004 年時点で、輸出が出荷額全体に占める割合は、53%に達している。

図1－6. 産業用ロボットの出荷額の推移 (輸出及び国内出荷)



上述のように、現在、我が国においては、産業用ロボットのほとんどは、製造業の工場で稼働している。産業用ロボットは、危険、過酷等のいわゆる3K作業における労働環境の改善への対応から、製品の品質や生産性の向上に貢献してきた。今後とも、製品の高品質化、低コスト化、短納期化のニーズはとどまることを知らず、それに合わせて、産業用ロボットに要求される能力も、一層高度化しつつある。

(3) ロボット技術 (RT) の現状 ～RTは異分野領域と融合し、更に拡大～

前述のとおり、RT自体は、駆動関連技術から材料技術、通信技術、ソフトウェア技術に至るまで、多様な要素技術領域を包含する技術領域である。このため、RT活用領域も、ロボットに限らず、自動車や情報家電といった分野と重なり合っている。

近年は、RTと自動車技術や情報家電・情報通信技術との融合が更に進みながら、RTが急速に発展しつつある。例えば、自動車分野においては、複数の自動車メーカーが、ロボット開発に参入している。具体的には、車両の運動制御技術や自動車製造に使っていた技術をロボットに応用し、サービスロボットや人と協働する産業用ロボットの開発を目指す例や、車両直線走行技術や障害物回避技術、清掃技術を組合わせて業務用清掃ロボットの開発・実用を行っている例等が挙げられる。また、情報家電分野では、家電製品等の技術を家庭用掃除ロボットに応用している例、音声・画像認識分野を中心にソフトウェアやデバイスを開発し、それを活用してコミュニケーションロボットを製造している例等が挙げられる。

このように、現在、自動車、情報家電分野等の技術とRTが融合し、活用される領域も広がり、互いにオーバーラップしつつある。今後、サービス分野でのRT活用が広がれば、これら我が国が競争力を有する技術が、一気に開花することも予想される。実際、既に、自動車のITSの進展、電子化 (先進前方照明システム (AFS)、

電子制御式インジェクター、横滑り防止装置 (ESC)、カーナビゲーションの高機能化等) をみると、RTと他分野との融合が、急速に進んでいるといえる。

図1－7. オフィス内で稼働する掃除ロボットの例



(4) ロボット政策の現状 ～要素技術とシステム化技術の開発に取り組む～

これまで、経済産業省は、要素技術とシステム化技術の2つの方向から、ロボット研究開発を行ってきた。

・極限作業ロボット開発 (1983～1990 年度)

大型研究開発事業として、原子力、海洋、防災の3分野における極限環境下で作業を行うロボットの開発。

・マイクロマシン・プロジェクト (1991～2000 年度)

発電施設等の配管内の狭隘部や人体内における狭所の点検・補修や診断・治療、製造設備の小型化をもたらすマイクロマシン・システムについての研究開発。

・人間協調・共存型ロボットシステム事業 (1998～2002 年度)

人間の作業・生活空間において、通信ネットワーク等を利用した遠隔操作によって、人間と協調・共存して複雑な作業や変化のある地形を移動することが可能なロボットの研究開発。

図1－8. HRP プロジェクトの成果例



・原子力防災支援ロボット開発 (1999～2000 年度)

耐高放射線性対応ロボット、作業監視支援ロボット、小型軽作業ロボット、弁開閉等の作業ロボット及び重量物運搬用ロボットの開発。

・ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備 (2002～2004 年度)

多品種少量生産に向けて、様々なロボット要素を、通信ネットワークを介して組み合わせることにより、多様なロボットの構築を可能とするミドルウェアの開発。

近年では、ロボットの適用範囲を拡大するために、共通基盤整備をさらに推進する一方で、過去のプロジェクト等の成果といえる要素技術を踏まえながら、『最新技術を見せる(〇〇ができる)』ロボットから、『実際に役に立つ(〇〇に使える)』ロボットの開発が求められている。すなわち、「開発のための開発」から「実用のための開発」、「ロボット中心」から「サービスの一環としてのロボット活用」に発展していく必要が生じている。

2005 年度現在では、前述の「新産業創造戦略」に基づき、以下の4つの研究開発が行われている⁷。

・次世代ロボット実用化プロジェクト (2004～2005 年度)

愛知万博において、掃除、警備など近い将来に実用化が見込まれるロボットの開発及び実証実験と、プロトタイプロボットの開発及びデモ。

・人間支援型ロボット実用化プロジェクト (2005～2007 年度)

開発当初からユーザー(施設、病院等)とロボットメーカーが組み、被介護者や介護者を支援する介護ロボットの開発。

・共通基盤開発プロジェクト (2005～2007 年度)

RTミドルウェア開発プロジェクト(ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備)の成果を踏まえた、ロボットのモジュール化の研究開発。

・戦略的基盤技術力強化事業(うちロボット部品分野) (2003～2005 年度)

中小企業の技術開発力向上を目的とした、中小企業が行うロボットの部品開発の支援。

このほか、他省においても、ロボット関係の研究開発プロジェクトが実施されている。具体的な例としては、以下のとおり。

・総務省： ネットワークロボット技術の開発

・消防庁： 検知・探査型災害対策用ロボットの開発

・文部科学省： 脳型コンピュータやレスキューロボット等の開発

・農林水産省： 果菜類収穫ロボット等の開発

・国土交通省： IT施工システムや海中作業ロボット等の開発

⁷ 参考1-1 現行の当省が行うロボット関連プロジェクトについて

また、総合科学技術会議においても、科学技術連携施策群の一つとして、「次世代ロボット」が取り上げられ、ロボット政策における各省連携が図られている。

1-3 本研究会における検討の視点

(1) 市場ニーズをベースにした政策形成

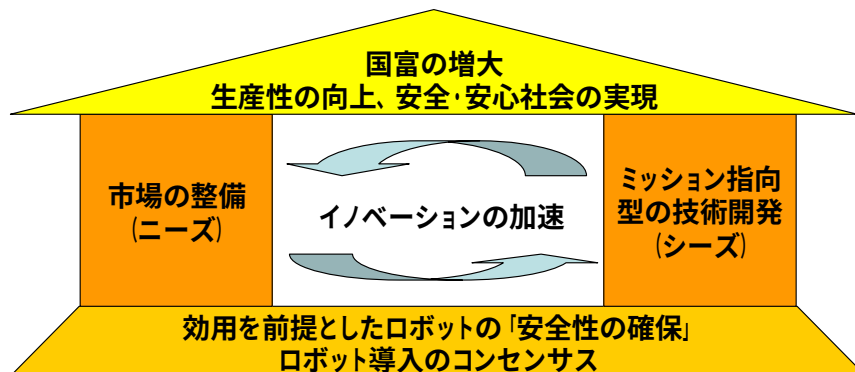
これまでのロボット政策をかんがみると、研究開発プロジェクトを中心とした取組みが行われてきた。大学等の研究機関においても、市場ニーズとは必ずしも深くリンクせずに、研究課題が設定され、研究が進められてきた事例が多かったといえる。

しかし、ロボットを使うのはユーザーであり、ロボットの市場を創成する立場に立てば、ユーザーのニーズを把握し、それに基づいて包括的な政策を立案する必要がある。このため、本研究会の検討に当たっては、研究開発偏重であった従来の取組みから、市場ニーズ主導の取組みに転換し、専用ロボットを中心として RT 活用の顕在化した又は潜在的な市場ニーズを捉え、それに基づいた課題及び必要な政策について検討することとした。

(2) 市場整備（ニーズ）と技術開発（シーズ）がイノベーションの両輪

「市場整備」と「技術開発」は、市場創成・拡大における両輪である。いずれが欠けても、市場拡大は続かない。何故ならば、「革新的な技術の開発→アプリケーションの発見→市場規模の拡大」の過程において、技術開発の成果は、リニアに市場導入に繋がるのではなく、むしろ各段階が同時並行的に、相互に影響を及ぼしあいながら進展するためである。つまり、開発された技術が、多様なアプリケーションに段階的に適用され、異分野の科学的知識と融合されながら、イノベーションが生まれ、重なり合い、この繰り返しを通じて、製品が実用化されていく⁸。「キラーアプリケーションが見つかって急速に市場が拡大する」例は、むしろ稀であるといえる。

図1-9. 本研究会におけるロボット政策検討の体系図



⁸ 吉川弘之・内藤耕、「産業科学技術の哲学」、東京大学出版会、2005

(3) 産業用ロボットの成功から学ぶ

この考えは、産業用ロボットについても当てはまる。事例として、産業用ロボットの市場創成期における発展過程を、以下で端的に述べる。これが、来る次世代ロボット（産業用ロボット及びサービスロボット）の市場創成を展望する上で、一助になると考えるからである。

前述のように、産業用ロボットは 1960 年代に誕生し、その後、国内各社でも開発が進み、1980 年に「ロボット普及元年」を迎えた。その間の国内各社の取組みをみると、以下の注目すべき点が挙げられる⁹。

- ① 国産ロボット開発が、具体的な産業ニーズに答える工夫や社会的問題への解決志向ではなく、商品企画の観点、すなわちシーズ型開発で始まった。
- ② 初期の段階で技術シーズが低いにも関わらず、今日の産業用ロボットの主たる適用分野の多くが実用化された。
- ③ メーカーは、コンベアラインや複数台ロボットの協調、多指ハンド等の技術課題に果敢に挑戦した。

他方、驚くべきことに、現在のサービスロボットが抱えている課題と同様に、以下のような課題を、当時の産業用ロボットメーカーの多くが抱えていた。

- ① シーズ型製品の常として、用途開発が必要だった。
- ② 用途別に機能開発・性能向上が必要だった。
- ③ 故障間隔の低減、耐久性向上等に多大の労力と時間を要した。

ここで念頭におくべき点は、産業用ロボットが市場に浸透していく創成期において、メーカー側の開発者、ユーザー側の導入担当である生産技術者の切磋琢磨の蓄積が、その後の日本をロボット大国に押し上げるエネルギーになった点である。今日の産業用ロボットの発展も、用途開発・機能開発・耐久性向上等に対して、メーカーとユーザーが連携し、イノベーションを積み重ねた結果といえる。

この点は、今後、サービスロボット産業の創成策の検討に当たり、「産業用ロボット産業の創成」という成功事例として、学ぶべき点であるといえる。

(4) ロボット導入に効用があることを前提とした「ロボットの安全性の確保」

ロボットの導入の促進を図る前提として忘れてはならない点は、ロボットの安全性が確保されることである。その際、ロボットの効用が認知されることを前提として、ロボットの安全性確保に取り組んでいくことにより、社会のロボットに対する受容性が高まっていくと考えられる。これにより、ロボットの研究開発と製品化・市場投入が連続的に起こり、次第にロボット及び RT 関連市場が拡大し、多様な産業の生産性向上・安全安心社会の実現等を通じて、国富の増大に繋がっていくと考えられ

⁹ 藺田顕和、ロボットビジネスとロボット研究について、日本ロボット学会誌、Vol.23, pp.155~158, 2005

る。

本研究会では上記の視点に立ち、本研究会の下に「市場整備 WG」、「安全検討 WG」及び「技術戦略マップ改定タスクフォース」を編成し、より詳細な議論を行った。ロボット政策検討の体系図は、図1－9のとおりである。

第2章 次世代ロボットの市場環境の整備

2-1 メーカーとユーザーの連携による実用化に向けた取組み

(1) ロボット技術 (RT) を活用した事業モデルの基本的な考え方

～サービスのバリューチェーンを捉え、作業の一部を着実に担うもの～

現在、清掃やビルメンテナンス等のサービス分野では、サービス業務を評価・分析した上で¹⁰、コスト低減、作業の効率化、サービスの品質の向上等を実現する事業モデルが模索されている。一方で、一部のサービス分野で人材不足が顕在化しつつある中、人間の作業補助・代行のニーズは確実に存在していると考えられる。¹¹こうした中で、生産性を向上する手段の一つとして、RT を活用したサービスパッケージが検討されつつある。

RT を活用した事業モデルにおいて重要なことは、ロボットを単なる「製品」として販売するよりも、むしろ、エンドユーザーに提供されるサービスのバリューチェーンを捉えた上で、その作業の一部を担い、付加価値を生み出すものとして、ロボットを位置づけることが重要である。つまり、ロボットを「もの」として着目するのではなく、ユーザーが価値を感じる「サービス」を予測し、提供するというサービス工学の思想が重要である。この際、ロボットの機能は、汎用を目指すのではなく、むしろ、アプリケーションごとに必要最小限に絞った上で、ユーザーにとって使い勝手の良いものを開発する必要がある。

オフィスビルの掃除ロボット等の例など、具体的な成功事例を分析すると、メーカーは、①ユーザーのニーズを踏まえて RT が活用しうるサービスの全体の流れを熟知し、②RT を導入する部分を具体的に特定 (限定) した上で、③対象とする作業を確実に高付加価値化又は効率化でき、④ロボット・機械の安全性が確保され、⑤コストが見合い、⑥操作が簡単で、⑦耐久性や信頼性に優れ、メンテナンスしやすいロボットの開発を目指すことが、事業化におけるポイントである¹²。その際、メーカーは、ロボットの作動プログラムのカスタマイズ等も含めたサービスのパッケ

¹⁰ 一般的に、サービス業務の評価は製造業等と比較すると困難といわれているが、近年、米国などにおいて、サービス契約時の品質保証制度 (SLA: Service Level Agreement) が検討されるなど、作業仕様の明確化や作業工程の分析・管理、評価基準の設定等の取組みが行われている。

¹¹ ニーズ発掘に当たっては、「逆見本市」のようなユーザー側の発表会等も有効である。

¹² ロボットが周辺機器と連動する場合、ユーザー側の追加投資を抑えるため、既存インフラ (エレベータ等) の制御プログラムやインターフェース等との連携を図る必要もある。

ージとして、サービスプロバイダ企業等とも連携することが有効である。

(2) メーカーとサービスプロバイダ・ユーザーとの連携が不可欠

既存サービスに RT を活用することは、容易ではない。サービスプロバイダ側については、既往の作業手法を変更することはリスクが高いため、ロボット導入を自ら検討し始める動機を持ちにくい。また、メーカー側については、ロボットの「機能」ではなくロボット「そのもの」をビジネス設計の起点とし、用途をロボットに合わせようとしがちである。

このため、RT を活用したサービス事業を成功させるためには、サービスプロバイダ・ユーザーとメーカーとの有機的な提携が不可欠である。具体的には、①ロボットの導入を前提にサービスプロバイダ・ユーザーとメーカーがチームを作り、②現状の作業やコストも含めたロボット導入効果について分析した上で、③両者が一体となって開発や現地での実証実験を行い、④導入後の運用や保守管理体制まで併せて検討する、という取組みが挙げられる。

RT を活用したサービス事業を立ち上げるためには、サービスプロバイダ・ユーザーとメーカー双方が、上記のような相手の傾向、意図、現場の課題を認識した上で、具体的なロボット導入の提案と併せて、サービスパッケージを提案し、共に練り上げる関係を醸成することが必要である。

(3) サービスロボットの市場化のプロセス ～事業支援型から生活利便向上型へ～

上記の事業モデルをかんがみると、市場化のプロセスとしては、まず、ロボットの役割や効果が明確な業務用（事業支援型）のロボット、例えば3K現場での人の補助・負担軽減・代行等を行うロボットが導入され始め、次第にその他の用途に関する市場が顕在化すると考えられる。また、現在は産業用ロボットを使っている事業者が、サービスロボットのニーズを有するケースもあることから、これらの事業者が有する産業用ロボットメーカーとの擦り合わせや、ロボット活用に関する技術・知見を生かしたサービスロボット導入事例も増えてくると思われる。

その後、将来的には、RT 活用によって、従来になかった「生活利便を向上する」サービスの出現が予想される（生活利便向上型）。しかしながら、このタイプのロボットについては、価値（効用）とそれに付随するコストを当初から評価することが難しくなりがちである。このため、事業支援型のロボットに比べ、普及には相当の期間がかかると考えられる。

実際、RT 活用の潜在的な可能性が高い各種サービス業（搬送、荷役、点検・検査、監視・見守り等）の分野では、事業者側に、「ロボット」を使っているという意識がないものの、高機能の専用機を活用して業務の自動化を図っている事例が、少な

らず存在する¹³。したがって、ロボット新規市場の初期段階では、このような既存モデルも類似例として積極的に取り上げ、多様な潜在ユーザーがRT活用の潜在的な可能性を感じられるよう、導入意識を醸成していくことが重要と考えられる¹⁴。

また、導入初期段階では、公的機関等におけるロボット導入が有効である。ただし、ロボットを用いたサービスの競争力を真に高めるためには、ロボットを特別扱いして優先するのではなく、ロボットを活用したサービス事業者が、人間による作業提案と並んで競争入札に参加すること等により、市場原理の中で、ロボットを実際に使う場を設けることが有効である。このためには、ロボット導入の効果を客観的に評価できる指標を策定することも有効と考えられる。

2-2 ロボット事業の関連事業者 (VC、リース) の取組み

(1) ベンチャーキャピタル (VC) から見たロボット産業の可能性及び課題

・産業創出におけるベンチャーキャピタルの役割

一般的に、産業創出においてVCが果たす役割としては、IT産業の例にもみられるように、一度成功事例が出ると、VC等から当該産業に資金が流入し、後続するベンチャー企業への投資につながるという、プラスのスパイラルが発生し、産業の裾野拡大を加速するという点がある。

・投資先としてのロボット産業の可能性

ここ数年、我が国全体のVCによる投資規模は、堅調に推移している¹⁵。こうした中、VC各社は、差別化を図るべく、ITやバイオに次ぐ投資対象を模索し始めている。

このような中、投資先としてサービスロボットをみた場合、要素技術の一部は既に実用水準に達し、将来的には必ず市場が開けるとみられている。しかしながら、現時点でRTを活用したサービスの事業化の例が少ないため、本格的な投資が進んでいない状況といえる。実際、VCによる投資判断において、①実際に、いつ本格的に売れ始めるのか、②ベンチャー企業がニーズにあった製品を開発する能力を有するのか、③上場した場合の株価はいくらになるのか、といった点について、現時点では検証しにくい。このため、VCもロボットベンチャーに対して本格的に投資しにくい状況にある。

したがって、このような懸念を払拭するためには、まずは一社でも、ロボットベンチャーが株式公開する等、RTを活用したサービス事業の成功事例を一つでも作り、

¹³ 参考2-1 サービス分野の自動化・機械化の事例について (ヒアリング調査より)

¹⁴ 参考2-2 サービス分野別のロボット需要について (ヒアリング調査より)

¹⁵ 2004年度、VCの総投資額は2,263億円、前年度比29%増となった。 (「日本経済新聞社2004年度ベンチャーキャピタル調査」より)

表彰制度や発表会等を通じて市場・社会に積極的に示すことが、サービスロボットに関する投資環境を整える上で必要である。

(2) リース・レンタル業から見たロボット産業の可能性及び課題

・市場拡大の担い手としてのリース・レンタル事業

リース・レンタル事業も、新規製品の普及や市場拡大型において、主要な役割を果たしうるプレーヤーの一つである。 パソコンやETC等が、そのような製品の一例である。¹⁶

特に、ロボットのように技術革新が速い製品の場合、リース・レンタルを活用することは、ユーザーにとって**購入リスクを低減**すること等のメリットがある。メーカーにとっても、個別ユーザーよりもリース・レンタル業者に販売することにより、**①取引規模が大きくなる、②納品・返却等の機会を通じて顧客接点が増える**ことで、顧客のニーズ把握や販売機会が増加する、**③店頭においてユーザーに多様な品揃えをすることで、「衝動買い」的なロボット活用が広がる、④保守管理など製品の運用に関連する新規サービスが生み出される**、等のメリットがある。

・リース・レンタル業から見たロボット導入促進のための方策

他方、リース・レンタル事業におけるロボット導入の阻害要因としては、**①まだロボットの購買実績が少なく、その機能や耐久性が不明確、②ロボットの所有におけるユーザー側とメーカー側とのリスク分担が曖昧、③技術革新が速いため、1号機購入の初期投資が回収できないうちに、より高機能で低価格の次世代機が市場投入される可能性が大きい**（1号機購入のリスク）、等が挙げられる。

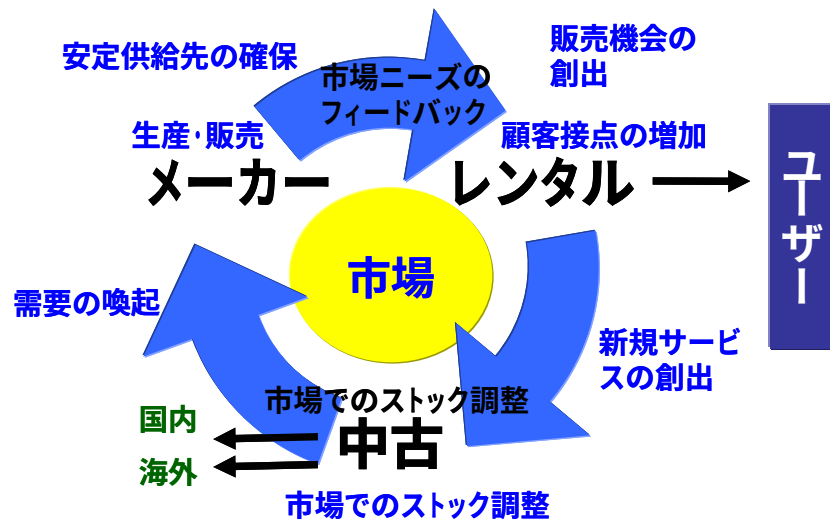
このような阻害要因を解消し、新しい製品を市場へ導入するための動機付けとして、従来の研究開発を主体としたメーカー支援だけではなく、**導入するユーザーに対する支援が必要である。**

さらに、ロボットをリースで取扱う際の課題としては、適切なリース料金を設定するために、ロボットの法定耐用年数が規定される必要がある¹⁷。このほか、ロボットの中古市場を整え、海外を含めた中古ロボット購買層を開拓していくことも、リース・レンタル事業の活用と相俟って市場拡大に寄与するものと考えられる。

¹⁶ 土木・建設機械の場合、リースよりもレンタルへの依存度の方が、圧倒的に大きい（16年度でリースが1,602億円に対してレンタルが8,900億円となっている（それぞれ、リース事業協会及び経済産業省「特定サービス産業実態調査」より）。
<http://www.meti.go.jp/statistics/tokusabi/2004k/h16-t-01.xls>

¹⁷ 法定耐用年数は、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令」に規定されている。現在、ロボットは用途に応じて設定年数が異なり（例；自動車製造設備10年、産業用又は民生用電気機器製造設備11年）、ロボット単独の分類で耐用年数は設定されていない。

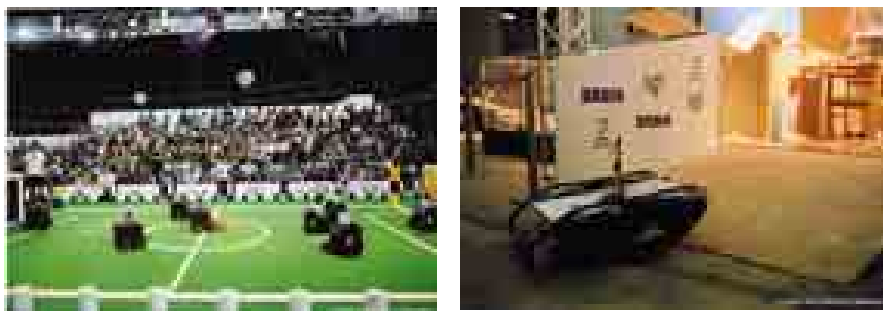
図2－1. 市場創出におけるリース・レンタル業の関わり



2－3 期待される地方自治体の取組み ～きめ細かい支援～

地方自治体においても、ロボット産業を振興すべく、研究開発や実証実験（大阪の「大阪ロボット社会実証実験イニシアティブ (ORi)」¹⁸等）にとどまらず、ビジネスマッチング（大阪の「次世代ロボット開発ネットワーク (RooBO)」¹⁹、九州の「ロボット・関連産業マッチングフェア」²⁰等）、情報提供、コンテスト・イベント（ロボカップサッカー、ロボカップレスキューなど）²¹、常設展示といった、様々なきめ細かい取組みが行われている。このような地方自治体の取組みが、国の取組みとも有機的に連携しながら、ロボット産業振興に大きく貢献すると期待される。

図2－2. ロボカップサッカーとロボカップレスキュー



（出典：ロボカップ Web ページ）

¹⁸ 大阪ロボット社会実証実験イニシアティブ (ORi) のサイト；
<http://www.robo-labo.jp/modules/experiment09/content/index.php?id=2>
¹⁹ RooBO のサイト； <http://www.roobo.com/>
²⁰ ロボット・関連産業マッチングフェアのサイト；<http://www.robotfair2006.com/>
²¹ ロボカップ大阪2005のサイト； <http://www.robocup2005.jp/>

例えば、ORi については、大阪府・大阪市が、ロボットの用途開拓の推進による市場の形成・拡大を図るため、大阪における実証実験の集中的な誘致・実施を支援する推進体制（実証実験ワンストッププラットフォーム）として、設立された。また、開発についても、複数企業が連携することで、新たなロボット開発を効率化すべく、ロボットの企画・設計から生産まで総合的に対応するための企業ネットワーク、Roobo が設立された。平成18年3月時点で、メンバーは200社を越えている。

また、常設展示については、九州では、ロボカップ 2002 福岡・釜山大会を契機に、ロボスクウェアが開設された。コンセプトとしては、「市民が夢を育み科学技術への理解を深める場所」、「ロボット最新技術の研究の場所」、「ロボット関連産業が成長する場所」を目指したもので、福岡市におけるロボットに関する産学官及び市民の交流の場として位置づけられている。

図2-3. ロボスクウェア内の風景²²



（出典：ロボスクウェアの Web ページ）

制度面に関しては、**地方自治体が主体となって構造改革特区制度による規制緩和を活用することにより、公道におけるロボットの実証実験等が実施されている。**

例えば、福岡県では、ロボット特区（ロボット開発・実証実験特区：福岡県道路交通法施行細則の一部改正）が適用され、実環境下において、延べ70日以上に及ぶ実証実験の実績が積み重ねられている。このような実績を踏まえて、同県は、「ロボット産業振興会議」²³を通じ、県内各地の公的施設やイベント会場における案内・掃除ロボットの活用事業を開始している。

特区活用によってロボット導入における新たに手続きが生じうるという側面はあるものの、上記のように、**弾力的な制度運用は、PR効果と相俟って、実環境下におけるロボット導入の環境整備に貢献している**といえる。

²² ロボスクウェアのサイト； <http://www.robosquare.org/index.php>

²³ ロボット産業振興会議のサイト； <http://www.f-robot.com/>

2-4 ロボットに関わる人材の育成

・生産現場におけるロボットの活用に必要な人材

生産現場においてロボットを導入・活用する際には、「ロボットありき」で検討するのではなく、「人間／ロボット／その他の専用機等」を組み合わせた可変的生産ソリューションの一つとしてロボットを捉える能力が求められる。つまり、特定の工程の部分最適ではなく、生産現場全体からみた最適性を実現するために、必ずしもロボットに関する専門知識のみならず、生産財の機能や性能等の特徴を理解した上で、設備全体の構想を検討し、生産技術を適切に使う人材が求められている。

実際、生産現場では、従来は溶接・塗装・ワーク脱着等がロボット活用の主な適合領域であったが、近年はセンサー（画像、音声、力）や制御系の高度化により、組立・部品揃え等に至るまで、ロボットの適合領域が拡張しつつある。これに伴い、生産工程の流れの中で、効果を発揮するロボットの特性・制約を深く理解し、柔軟に活用する能力が求められるといえる。

・サービス事業における RT 活用に求められる人材

上記の考え方は、サービスロボットを導入し、有効活用できる人材に関しても同様である。また、サービスロボットの場合、ロボットが思いも掛けない使われ方をすることで市場が広がることも想定できる。このため、目先のニーズだけにとらわれて、ユーザーの要求どおりに製品を製造するだけでなく、ユーザーの要求内容を見極めて、仕様を読み替えて開発する能力や、事業モデルも含めた分析能力も求められる。

また、中長期的にロボットを我が国産業の柱の一つとするためには、それを先導するビジョナリーやプロデューサーを養成することも重要である。ここでいう「ビジョナリー」とは、①将来のロボットのあるべきイメージを先取りして創造的なビジョンを打ち出す、②その達成に必要な要素技術を見いだす、③自ら率先してこれら技術を開発する、④多くの技術者を魅了して参画を促す、⑤国際的に情報を発信し標準化をリードする、といった技術の創造的先導者である。他方、プロデューサーは、こうしたビジョンを受け取り、必要な技術と人材を配置して産業化を実現できる人材である。

・教材としてのロボットの可能性

近年、小中学校、高校、高専、大学等の教育現場でも、ロボットを教材として活用する例が増えており、その教育効果の測定等の試みも行われている。特に、ロボットが、多様な技術・知識（ソフトウェア、ハードウェア、生産技術、マーケティング等）を備えている特性により、教材として注目されている。

カリキュラムにおいて、ロボット教材を活用する手法としては、上記のロボットの特性を踏まえると、「①入門編として、最初に完成品が動くイメージを与え、目的に対する理解と興味を喚起し、徐々にその構成要素・理論へと遡る手法」と、「②応用編として、理論やシミュレーションなどのカリキュラムを一通り学んだ後に、卒業段階でそれらの知見を統合し、実地にどのように応用されるのかを試す手法」が考えられる。

前者については、材料・メカニズム・制御・電子回路・ソフトウェア等の技術統合的な基礎学習として、後者については、製品設計・プロセス設計・導入試験・保守・運用・改善等のプロセスやチームマネジメントの応用学習として、ロボットを有効に活用できる可能性があるといえる。

表2－4. RTに係る構成要素の例

ソフトウェア	・認識 (言語、プログラミング、センサー、情報処理) ・制御 (電気、電子)
ハードウェア	・アクチュエーター (電動モーター、油空圧) ・材料、機構 (素材、機構設計) ・エネルギー (バッテリー)
生産技術	・加工技術 ・実装技術 ・設計技術 (ソフト、ハード設計) ・保守技術 (管理、修繕、改造)
ニーズ理解	・プロジェクトマネジメント (予算、チーム運営) ・心理学 (マーケティング) ・社会動向・法令・規制

第3章 次世代ロボットの安全性の確保

3-1 ロボットの安全性確保の現行の取り組み

(1) 愛知万博におけるサービスロボットの安全性確保の取り組み

愛知万博（以下「万博」という。）では、実用化ロボット（掃除ロボット、警備ロボット、チャイルドケアロボット、接客ロボット及びインテリジェント車椅子。図3-1参照）及び一部のプロトタイプロボットの万博会場での実証実験や展示にあたり、「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」が設けられ、同委員会において、メーカーが作成した「安全仕様書」の審査等が行われた。

図3-1. 愛知万博での実用システム化推進事業のロボット



具体的には、メーカーに対して、「事前の責任」として、ロボットの設計において「本質安全設計」の考え方を求め、想定される危険源に対して、安全設計及び安全防護策により十分リスクが低減できているかを評価した。それでもなお残るリスク（残留リスク）については、当該リスクによって可能性の残る危険性を回避するために、スタッフによる監視業務が無理なく遂行できるかという評価を行った。このような取り組みにより、ロボットの安全性を確保した上で、万博会場での実証実験を行った。

なお、「事後の責任」としては、使用者を含む社会が受容できる水準に残留リスクを低減しても万が一発生した事故に対する保険（包括賠償責任保険、傷害保険及びP

し保険等) に、ロボットメーカーが加入することとした²⁴。

(2) 万博の成功とそこで抽出された課題

前述のような安全性確保の取組みを行った結果、半年間の万博期間中、ロボットに係る事故は起こらず、万博を成功裡に終えることができた。ロボット業界においても、実用化ロボットの安全性評価を通じて、安全性確保の重要性が啓発された点で、大きな意義があったといえる。

一方で、万博を通じて抽出された課題としては、①事故時や安全性評価に不備があった場合の関係者 (メーカー (部品やソフトウェア・メーカーを含む。)、ユーザー、保険事業者等) 間の責任分担の明確化、②ロボットの安全性評価を行う有識者の育成及び確保、③実導入事例や安全性に係るデータの蓄積等が挙げられた。

(3) 万博後のサービスロボット・メーカーの取組み

メーカーは、万博での実証実験や、家電製品などロボット以外の既存製品の開発経験等を活用しつつ、①危険源の同定とリスクアセスメント、②本質安全設計によるリスクの低減、③ロボットの安全確保に資する技術の開発 (モーターの小型化、転倒防止、障害物検知・回避等)、④実証実験、⑤ユーザー向けの安全に関する説明資料の作成やデモ等に取組んでいる²⁵。また、比較的出力が大きい大型ロボットや無線を利用するロボットについては、メーカー独自の安全講習や免許制度を設けているケースもある。

しかしながら、産業用以外のロボットの安全性の評価については、現時点では世界的にも確立された基準がないため、メーカーは、機械安全の専門家等によるアドバイスや実証実験を通じて、評価手法を模索しているところである²⁶。

²⁴ 愛知万博における保険制度の特徴は、主に以下の3点である。

- ① 強制保険の設定： 博覧会協会及び全参加者等に、博覧会運営に関する保険付保の義務を規定 (工事保険、火災保険、動産総合保険、包括賠償責任保険等)
- ② 損害賠償請求権の不行使： 災害に関して、故意又は重過失の場合を除き、関係者相互間では、損害賠償請求権を行使しない
- ③ 包括賠償責任保険： 博覧会協会が一括して賠償責任保険を締結し、参加者には、その保険料の分担義務を規定

²⁵ 参考3-1 ロボットメーカーによる安全性確保の取組み事例

²⁶ これまでの安全性評価の事例として、NPO安全工学研究所が2005年に行ったサービスロボットの安全性評価では、サービスロボットの安全性評価の前例が世界的にも存在しなかったため、ドイツの研究所や安全認証機関等にも相談しながら、評価を進めた。世界的に規格基準が無い現状では国際的な適合性評価自体が不可能であるため、ここでは安全性確保のためのプロセスを確認後、残留リスクを評価し、認証ではなく鑑定するという手法を採っている。こうした手法について国際学会等でも発表を行っており、その内容が受け入れられつつある。

(4) 産業用ロボットにおけるメーカーの取組み

産業用ロボットの安全対策については、20年以上に亘る開発、利用実績及び制度整備の結果、安全性が確立されている²⁷。現在は原則として、自動運転中は人とロボットとが共存しないが、教示・調整作業中は、人がロボットと接しながら作業をするため、当該作業者のロボットに関する特別教育が実施されている。

特に、動力を遮断していないロボットと接する場合の安全対策は、サービスロボットの安全対策においても参考になると考えられる（例えば、非常停止ボタンの設置、ホールド・トゥー・ラン²⁸や3ポジション²⁹型デッドマンスイッチ等の実装、動作速度の制限等）。今後、自動運転中の産業用ロボットと人間との共存を実現するためには、センサー開発等のロボットの安全技術向上や、ロボットの特性に応じた教育・訓練の充実が必須と考えられる。

3-2 安全性確保方策の検討の視点

現在のロボットの主なアプリケーションは、生産現場で動作する産業用ロボットであり、人間とロボットを隔離することで、安全性に関する問題を解決している。しかし、将来の社会像を展望すると、人間とロボット（知能化された機械）が共存することが予想される。その際、安全技術の向上のみならず、安全規制や「責任」と「補償」にかかる制度など、社会ルールの変更・整備が求められることが考えられる。

この際、家電の自己安全評価・安全認証制度、自動車の免許制度・車検制度・各種インフラ整備、パソコンの不正アクセス防止方策など、既存の製品の安全確保対策及び関連制度を参考にしながら、今後、ロボットが人間社会に入っていく際に、活用される状況に応じた、社会ルールの設定が必要になると考えられる。この検討については、メーカー、ユーザーのみならず、認証機関、保険事業者、一般市民等の参画を得ながら、ロボットの市場開拓の動きにもあわせて、実例を踏まえつつ中長期的な視点で進めていくことが重要である。

一方で、ロボットの市場を創成するためには、自律して物理的な動作を行う等ロボットが有する特性を踏まえ、現行の制度下でロボットを導入する際の取扱いについても早急に検討する必要がある。

本研究会では、ロボットの安全性確保の方策として、「早急に整備すべき制度・環境」と「中長期的に整備すべき制度・規格等のあり方」に分け、両者の必要性及び

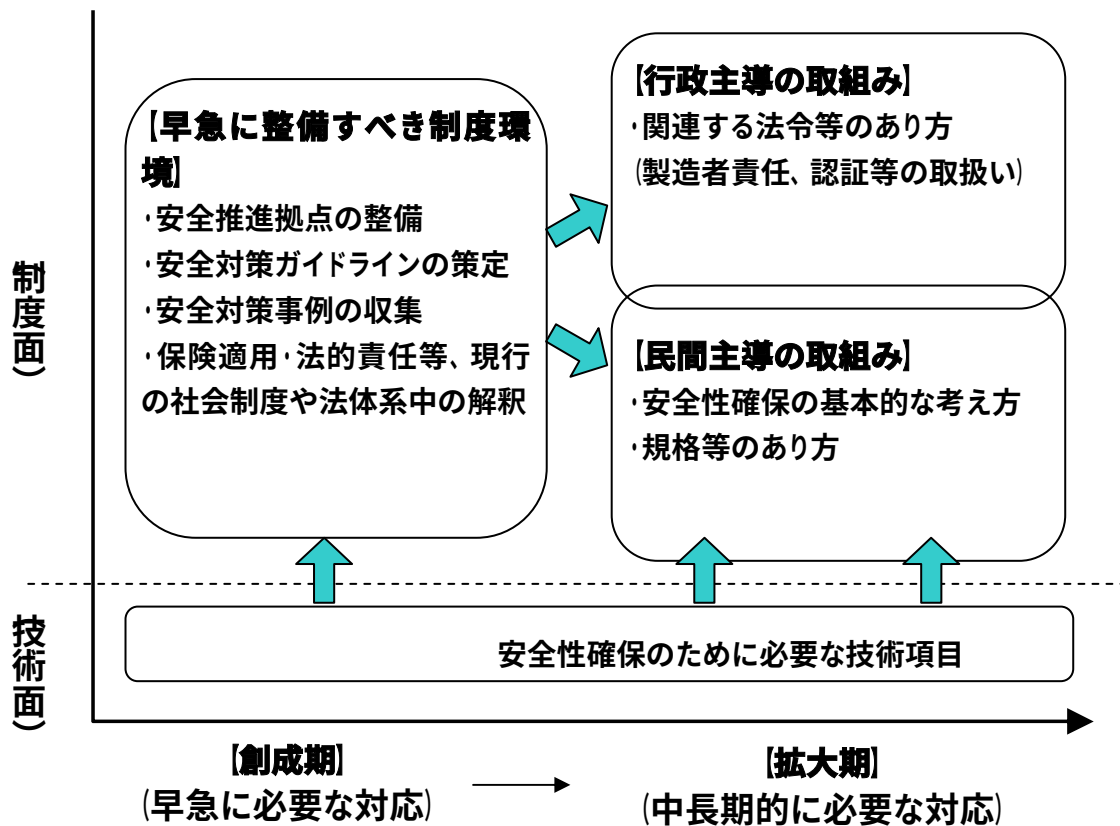
²⁷ 参考3-2 産業用ロボットの安全性確保に対する現行の取組み

²⁸ 「ホールド・トゥー・ラン」とは、ボタンを押している時だけ、ロボットが動作する機能をいう。

²⁹ 3ポジションとは、「放す」、「強く握る」、「適度に握る」という3つの状態。通常、前2つが非常時となっている。

有効性とともに、これらを整備していくプロセスを検討した。

図3－2. 本研究会における安全性確保方策の検討の視点



3－3 人間と共存するロボットの安全性確保の在り方

(1) 基本的な考え方 ～ロボット導入に「効用」があることが前提～

現在、サービスロボットの安全規格や安全性確保の手法の整備は、世界的にも未だに不十分な状況といえる。このため、サービスロボットの安全性確保の手法を確立し、さらに国際規格への提案を検討することは、サービスロボット産業の発展を図るうえで喫緊の課題である。

ロボットの安全性の検討にあたっては、前提として、「ユーザーが、サービスロボットを使うことにより、効用を感じるからこそ、その代償としてリスクを受け入れる」ことを認識することから始まる。ここでいう「効用」とは、「業務の効率化」、「生活利便の向上」のみならず、ロボットを導入することで、危険な作業に従事する者の安全性が高まるといったことも含まれる。

安全性確保の基本的な考え方としては、万博の成果を踏まえ、国際的な主流となりつつある「グローバルな安全の考え方」として、技術のリスクを評価し、社会として受容できるものかどうかを判断する、という考え方を踏まえることが適当である。この考え方によれば、メーカーは、社会によるリスクの受容を獲得するために、①事

前の責任と②事後の責任の両面から、責任ある開発を行うことが求められる。³⁰

- ① **事前の責任**： メーカーが安全のために講ずる事前の対策には限界があり、リスクが全くない製品は存在しないものの、メーカーには、少なくとも「**最高の良心を持って、ユーザーの視点に立って通常行うべき安全対策**」(State of the Art) をあらかじめ講じる責任がある。

② **事後の責任**： 「State of the Art」でも防げない不可抗力による事故に対しては、メーカーは、事故の被害者を救済するための補償(損害・傷害保険等による手当)を行う責任がある。

ただし、メーカーが「事前の責任」を果たしていれば、使用時にロボットに係る事故が起きた場合、メーカーが無制限に責任を追及されたり、関係者間の責任が複雑化することは避けるべきである。このため、実例を踏まえつつ、メーカーの「事前の責任」及び「事後の責任」の範囲を、あらかじめ可能な限り明らかにし、関係者間でコンセンサスを得ていくことが必要である。

(2) 事前の安全責任 ～本質安全設計、リスクアセスメント及び残留リスク回避～
サービスロボットは、その用途、機能及び機構が多様であり、また、現時点で安全規格、市場自体も確立していないため、統一的なリスク低減の手法は整備されていない。このような現状において、メーカーが「事前の責任」を果たすためには、第一歩として、**グローバルな安全規格**(JIS B 9700 機械類の安全性－設計のための基本概念、JIS B 9702 機械類の安全性－リスクアセスメントの原則 等) **に規定されているリスク低減の共通手順**(リスクアセスメント³¹、本質安全設計³²、安全防护、

³⁰ 「グローバルな安全の考え方」による用語の定義や運用実態は、引き続き精査していく必要がある。実際、国・地域によっては、用語の解釈に違いがある。

³¹ リスクアセスメントの目的は、機械に存在するリスクをあらかじめ見出しておき、許容可能になるまで安全方策を施すことである。具体的な内容は、以下のとおりである。

- ① 機械の各種制限及び「意図する使用」「合理的に予見可能な誤使用」を明記する。機械の制限の決定などの使用の状況を明確化するとともに、通常の人間ならばやりそうな誤使用を明確にする。

② 危険源、危険状態及び危険事象を同定する。

③ 同定された危険源、危険状態及び危険事象のリスクを見積もる。すなわち、各危険源に対して、どれくらいの頻度で危害の発生がありうるか、またそのときの被害はどのくらいのひどさになるかについて見積もる。

④ リスクを評価する。上記危害の発生確率と被害のひどさとの組合せから、リスクの大きさを決める。

⑤ リスクが適切に低減されているか否かを判断する。

³² 「**本質安全設計**」とは、リスクを決定する「**危害のひどさ**」と「**危害の起こりやすさ**」のいずれ

使用上の情報、安全作業手順、作業許可システム等) にしたがって、社会が許容できる程度にリスクを低減し、それが客観的に証明されることが適当である³³。

(3) ロボットの安全性の評価

我が国では、安全性等の評価指針として、国が技術基準をあらかじめ規定している場合が多い。「体制整備の第一歩」として、現状認識(現在の技術水準の把握)という位置づけで指針や評価基準を策定し、「(安全性の観点からの) ロボットの分類」や「基本的な規格の在り方」を明確にしていく必要がある。

しかしながら、指針策定に当たって留意すべき点として、RT の急速な進展をかんがみると、現時点の技術を直ちに「個別規格」として定めることは、現実的ではない。むしろ、**「その時代の最高レベルの科学技術の知見」を随時、規格等に反映**させるとともに、新しい技術の市場展開を促すべく、実際の判断事例を積み重ね、民間(メーカー、安全性の評価機関、業界団体等)が主体となってロボットの安全性確保の概念や技術水準のコンセンサスを徐々に形作り、これらを随時、基準に反映させることが適当である。

なお、ロボットの分類の切り口としては、例えば、**①ユーザーが特定の専門家に限定されるか(Professional Use)、されないか(Personal Use)、②人間と隔離されているか、共存しているか、③共存している場合は、常時接触しているか、否か、④ロボットの駆動パターンをユーザーが変更しうるか、否か、**といった点が挙げられる。分類に当たって参考とすべき類似例としては、**①家電(認証制度)、②自動車(車検制度や免許制度)、③航空機(フライトレコーダー等の記録装置の設置)**などがある。今後、ロボットの安全制度、免許制度、保険制度等を検討する上で、具体的な事例を踏まえ、上記分類の軸に照らし合わせて、さらに検討を進めていくことが望まれる。

(4) ロボットに係る事故に関する関係者の責任

①製造物責任法等の下での対応³⁴

サービスロボットに係る事故時の責任を現行制度下で考えると、まず挙げられるのは、**製造物責任法との関係**である。国内に限定して考える限り、サービスロボット

か又は両者を、設計上の工夫により、除去又は低減させることを目的として実施する方策である。具体的な方法として、「危害のひどさ」に対しては、「危険源」の除去、よりエネルギーの小さいものへの代替等が該当する。「危害の起こりやすさ」に対しては、「暴露頻度」「時間」「作業の種類」「機械の危険側の故障率」「回避手段の不足」等の除去又は低減等が該当する。

³³ 機構上の対策における留意点として、**危険検出センサーやソフトウェアは、安全性確保のためのパーツではなく、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、危険検出センサー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)等を満たす必要がある。

³⁴ 参考3-3 製造物責任法等の概説(ロボットを中心に)

におけるメーカーが直面する訴訟リスクは、一般の家電・機械・自動車等におけるメーカーの訴訟リスクと同程度と考えられる。ただし、当然ながら、全体的な傾向として、欠陥製品を製造したメーカーの社会的責任が問われ、企業イメージ、ひいては業界全体のイメージに影響を与える危険性があるため、留意は必要である。³⁵

現行法制度下でロボットを取り扱う際に特有の問題点としては、**①自律移動する点、②標準的な操作方法等が確立されていない点、③ロボットの定義及びロボットの分類が不明確な点**などが挙げられる。これらについては、内外の裁判例からの演繹や、ロボットの実証実験、安全対策、想定事故事例等の積み重ねが必要である。このため、産業の創成期においては、メーカー及びユーザーがこれらの情報を積極的に提供し、これらの情報を集中的に蓄積し、適切に横展開・情報提供を行う「中立的な第三者機関」を設置することが求められる。

②ロボットに係る事故に対する保険³⁶

生活空間で使われるロボットに関連して事故が起きた場合、保険については、万博向けの包括的な保険（＝場及び期間が限定された博覧会の円滑運営が目的）ではなく、生活空間でロボットが使われる環境を想定した保険が必要である。ここで想定される保険としては、（イ）自動車における自賠責保険のように、被害者救済を目的とした強制保険と、（ロ）任意保険が挙げられる。

このうち、「**任意保険**」については、**保険事業者によれば、メーカー側、ユーザー側双方のリスクに対し、既存のPL保険・労災保険・個人賠償責任保険等、既存の保険商品を組み合わせることで、ある程度対応可能**と考えられる。ただし、ロボットの導入実績が少ない現状において、保険事業者とメーカー、ユーザー間の情報共有に限界があるため、「損失の発生確率」や「損失被害の程度」が十分に把握できていない。このため、「保険の引き受け可否」、「引き受け条件」又は「保険料設定」については、個々の保険事業者による判断に負うところが大きい。また、将来的には、第3者的なユーザー（例えば店舗内の買い物客など）に対するリスクについても、事例を踏まえつつ検討していく必要がある。

したがって、今後、**保険事業者は、メーカーやユーザー等とともに、ロボットの安全性に係るデータの収集や基準策定、被害者救済制度の検討に積極的に参画し、また、保険業界の中でも問題意識を共有**することで、保険の安定的な引き受けを実現し、ロボット市場の拡大に役割を果たしていくことが期待される。

³⁵ メーカーが製品化を躊躇する理由として、ロボットメーカーの研究開発部門や、中小・ベンチャー企業等がリスク管理に慣れていないという、「ロボット」という製品ではなく産業構造に起因する問題も考えられる。

³⁶ 参考3－4 ロボット分野のリスクと保険

また、中長期的には、「グローバルな安全の考え方」にかんがみ、メーカーが「事前の責任」を果たしている場合、不可抗力による事故に係る救済に対しても、関係者間で責任範囲が特定されるよう、安全基準、安全評価者の在り方、強制保険も含めた保険の在り方、法的解釈の整理を検討していく必要がある。

(5) ロボットの安全性に関する情報の収集と活用

ロボットの安全性を高めるためには、事故の再発を防止するとともに、ロボットの安全性を継続的に高めることが必要である。このためには、事故情報、未遂情報(ヒヤリハット)、安全対策など安全性に関する情報を集中的に蓄積・管理し、技術的知見に照らして精査・分析した上で、これらの情報をメーカーやユーザー、安全評価者、保険事業者等に積極的に提供することが有効である³⁷。

これにより、メーカーによる安全設計や技術の改善、評価者による評価精度の向上、保険事業者による保険料率の検討、国際規格の提案等に活用することができる。その際に留意すべき点は、関係者が事故情報等を報告するインセンティブを持つ仕掛け(保証金の補償等)を作ることである。また、産業創成期においては、ロボットに関する事故事例は数が少ないと予測されるため、限られた事例から、危険予知の訓練等を通じて、多くの知見を引き出す工夫が必要である。

³⁷ 製品評価技術基盤機構の事故情報収集の取組み

事故情報の収集及び活用の手法について、製品評価技術基盤機構(NITE)による事故情報収集制度等を参考にすると、以下が考えられる。

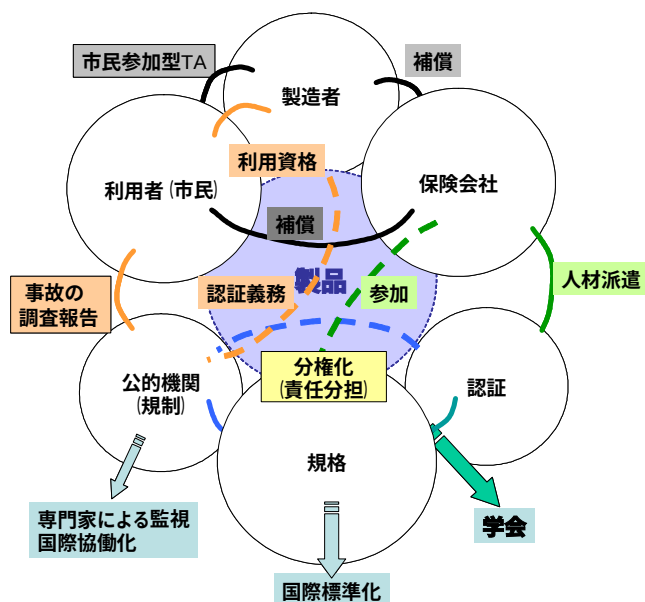
- (1) 収集する情報としては、事故情報(①事故発生日、②品名、③型番、④製造事業者名、⑤製品使用期間、⑥事故内容、⑦被害の程度、⑧事故原因、⑨再発防止措置等)や、原因究明機関、原因究明手法が挙げられる。これらを調査・分析した上で、データベース化する。
- (2) 事故原因や事業者の再発防止策を含め、定期的に調査結果等を公表することにより、メーカー等による当該情報の活用を促す。

(6) 安全性確保の取組みを支える仕組みづくり

ロボットの安全性確保の手法としては、①第三者機関による認証・評価、②市民参加型のアセスメント、③保険事業者による補償、④公的機関による規制等、多様な手法が挙げられる。その際、生活空間で自律移動をするロボットのように、これまでにない製品に関する**制度の設計に当たっては、その中立性を担保するため、これらの多様な関係者によるコントロールが効くように設計**することで、一部に利益又はリスクが集まらない仕組みを目指すことが求められる。

38

図3-3. 安全性確保のための概念図



その際、効率的かつ有効的に制度を設計していくためには、実際の事例を踏まえつつ、現段階から関連機関やユーザーその他一般消費者・研究機関等を広く巻き込み、共同で検討し、コンセンサスを作っていく必要がある。サービスロボットは、従来の機械製品と異なり、自律稼働中に、高齢者や子供を含む一般消費者等との接触も前提となり得るため、市民によるテクニカルアセスメント(TA)やコンセンサスの形成が、特に重要である。

³⁸ 製品安全協会が行うSG (Safety Goods) マーク制度

SGマーク制度とは、「消費生活用製品の安全性確保を図ること」を目的として、財団法人製品安全協会(以下「協会」という。)が行っている制度である。具体的には、①独自の安全基準設定、②安全性認証、③賠償措置(被害者救済)、④試買検査等流通後の監視等である。協会内には、製品事故に関する紛争処理のための独立機関が設置されている。

安全基準や認証基準は協会自らが設定しているため、社会的な状況の変化に対応して柔軟に見直すことが可能である。また、近年は「グローバルな安全の考え方」に対応し、例えば、①「何らかの明確な仕様(=寸法、材質、構造等)規定」以外の「要求(=性能)規定」の採用や、②リスクが完全に無い製品は存在しないという考え方にに基づき、消費者に対する製品リスクに関する注意喚起の検討等を行っている。

他方、同制度の課題としては、基準設定・認証・賠償・個別事業者に対する業務改善指導等を一機関(=協会)がすべて実施しているため、「制度の中立性が不十分」という指摘もある。中立性を担保するためには、第三者認証機関等の活用(基準策定機能、認証機能、コンサルティング機能、保険機能等の分離)が考え得るものの、現時点ではこうした認証機関に対する要求事項及び責任範囲が明確になっていないため、必ずしも社会的な位置づけが定まっていない。ロボットに関しても第三者認証機関の活用が検討されているが、設計者と認証機関との責任分担をどのように整理するかが、今後の検討課題として挙げられる。

制度の詳細については、協会のサイト(http://www.sg-mark.org/SEIDO/seido_index.htm)を参照されたい。

第4章 ミッション指向型の RT システムの開発

4-1 ミッション指向型プロジェクトの基本的な考え方

我が国では、自動車や電子電機産業を中心とする産業分野の成長や、高度経済成長期における労働力不足、労働環境の改善要望等を背景に、1970年代後半以降、製造業における生産性を高める手段の一つとして、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有している。また、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本国内で稼働しており、我が国はいわば「ロボット大国」又は「RT 大国」であるといえる³⁹。また、近年は、ビジョンセンサーや力センサー等のセンシング技術や駆動部分の制御技術等の向上、教示作業を補助するソフトウェアといった要素技術が著しく発展しつつある。このような技術の発展の結果、産業用ロボットの活動領域も、従来の搬送・溶接・塗装・電子部品実装から、組立て・セル生産等、より高度かつ複雑な作業領域に広がりつつある。

他方、我が国は、少子高齢化による熟練作業員数の減少、中国等アジア地域のコスト競争力に基づく台頭等を背景とした国際競争の激化、地震・雪害・水害といった災害への対応など、喫緊に取り組むべき社会的課題に直面している。例えば、労働力減少については、数年以内に予想される団塊世代の労働市場からの一斉退出により、製造業においては、労働力不足のみならず、技能の断絶による生産性や製品品質の低下が懸念されている⁴⁰。また、サービスロボットの分野でも、米国、欧州に加え、韓国等でも産学官が連携した研究開発や、政策提言（欧州の研究者ネットワークである EURON のロードマップ等）が積極的に行われている。

こうした中、1970年代後半以降の製造業の高度成長を支えたように、ロボットの持つ基本的な特長（長時間正確に速く動き続ける、重いものを運ぶ等）を活かすことができれば、上記諸課題の解決に資することができると考えられる。

4-2 技術開発対象の検討における視点～導入シナリオを踏まえて～

上記の基本的な考え方の下、技術戦略マップを踏まえ、上記諸課題の解決に資する RT を開発することが求められる。検討に当たり、将来的に RT が活用されうる

³⁹ International Federation of Robotics (IFR)の調査によれば、2004年末時点で、世界で稼働する産業用ロボット（マニュアルマニピュレータ及び固定シーケンスマニピュレータを除く）の台数は84.7万台と推計される。このうち、日本国内での稼働台数は35.6万台に達し、世界全体の稼働台数の42%を占めている。

⁴⁰ ロボット政策研究会、中間報告書、2005

分野としては、第1次産業（農業、牧畜業、林業、水産業等）、第2次産業（鉱業、工業、建設業等）、第3次産業（商業、運輸通信業、サービス業等）に加え、特殊環境下での作業（災害対応、宇宙開発、深海・地中探査、空中での作業等）など、多岐に亘ると考えられる。

このうち、重点分野として技術開発に取り組むべき分野として、①RT が近い将来に実際に活用される見込みが高く、②他分野へも波及し、③経済産業省が特に取り組むべきミッション（地球環境問題や少子高齢化問題を解決する、新しい経済社会を切り開くイノベーションを促進する等）に適合するものとして、以下の3分野に絞り、検討を行った。すなわち、「製造分野」、「サービス分野」及び「特殊環境下での作業分野」である。⁴¹

ただし、ここで開発される RT システムは、当然ながら、当該3分野だけに適用されるものではなく、先に挙げた多様な分野に広く波及するものと考えられる。また、研究開発の進め方についても、後述のように、「市場の失敗」に基づく官民の役割分担を踏まえたうえで、産学官の連携、各省間の連携の上で進めていくべきである。

4-3 ミッション指向型の技術開発の進め方 ～競争原理を導入～

～諸課題解決に繋がるミッションを提示し、それを解決する RT システムを競争的に開発する～

本章の冒頭で挙げられた諸課題に対応するためには、以下に述べる理由により、「まず要素技術を開発し、次にそれを統合してロボットを作る」プロセスではなく、「諸課題解決に繋がるミッションを提示し、それを解決する RT システムを競争的に開発する」プロセスが有効であると考えられる。

第一の理由として、ロボットは、機械技術、エレクトロニクス技術、材料技術、情報通信技術等、幅広い技術の統合システムであり、個々の製品ごとに技術の擦り合わせを要する垂直連携型である点である⁴²。つまり、一部の要素技術のみが優れていたとしても、複数の要素技術を組み合わせたロボットが全体として優れた機能を発揮できるとは限らない。つまり、システム化技術（インテグレーション技術、環境構造化技術、RTミドルウェア技術等）が、実際に使えるロボットを開発する上で、

⁴¹ 米国では、国防関係予算等によって研究開発を促進し、それを民生技術に転用するという戦略がとられているが、日本では「安全・安心」を基軸にした戦略が必須であり、RT も「安全・安心」な社会を実現する上で極めて重要な技術であることを認識すべきである。

⁴² 関連する要素技術としては、①駆動関連技術（モーター機構、減速機、機構設計、油圧機構、空気圧機構、水圧機構、人工筋肉）、②材料技術（形状記憶合金、カーボン素材、人工皮膚）、③センサー技術（画像認識技術、音声認識技術、ジャイロセンサー、力センサー、自己位置認識）、④通信技術（通信セキュリティ、通信の安定化）、⑤バッテリー技術（燃料電池、リチウムイオンバッテリー、省電力化）、⑥ソフトウェア技術（人工知能）等が挙げられる。

鍵であるといえる。

第二の理由として、技術開発の不確実性が高い分野においては、当該技術の実用化プロセスとして、基礎研究の成果がリニアに市場導入に至るのではなく、むしろ各段階（理論研究、実証研究、産業応用）が同時並行的に、互いに影響し合いながら進展するという点である⁴³。つまり、既存技術が、多様なアプリケーションに段階的に適用され、異分野の科学的知識と融合されながら、小さなイノベーションが断続的に起こり、重なり合い、この繰り返しを通じて、製品が実用化されていくと考えられる。したがって、要素技術開発を終えてから実証実験を行うというリニアな開発プロセスではなく、**「最終的に狙うミッションの達成を念頭においた開発プロセス」**が適当だと考えられる。

第三の理由として、**技術開発に競争原理を取り入れることにより、イノベーションを加速することが可能**である点である。実際、米国では、アメリカ航空宇宙局（NASA）⁴⁴や国防総省高等研究計画局（The Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA）が、研究開発において、実ミッションの遂行に繋がる具体的かつ野心的な開発スペックを明示し、複数の開発者により競争的に開発を行っている。DARPAが行った Grand Challenge Program が、その一例である⁴⁵。ここでは、ミッションとして、モハーベ砂漠（米ネバダ州）に設定された所定のコースを、10時間以内に無人化走行するというものである⁴⁶。同プログラムでは、2年目において、スタンフォード大学、カーネギーメロン大学など複数のチームが、所定コースを完走した。これは、研究開発において競争原理を取り入れることで、開発を促進した好例といえる。

したがって、技術開発プロジェクトの進め方としては、**「まず諸課題解決に繋がるミッションを提示し、それを解決するRTシステムを競争的に開発する仕組み」**を検討することが適当であると考えられる。3分野における具体的なミッション及びそれを実現するために必要と思われる技術の内容を、次項に記述する。

4-4 課題解決を狙う7つのキー・ミッション

(1) 製造分野のキー・ミッション

①柔軟物も取扱える RT 生産システム

自動車や家電等の組立工程において、変形しない部品の自動化は既に実現しているが、柔軟物（ワイヤーハーネス等）ハンドリング、組付け作業は、現時点でも自

⁴³ 吉川弘之、内藤耕、*産業科学技術の哲学*、2005

⁴⁴ <http://www.nasa.gov/about/highlights/index.html>

⁴⁵ Grand Challenge のサイト； <http://www.darpa.mil/grandchallenge/>

⁴⁶ DARPA 資料； <http://www.darpa.mil/grandchallenge/docs/GC05winnerv2.pdf>

動化が困難であり、人手に頼っている。また、同時に実行されることの多いコネクタの接続は多様な形状であり、掴み方、組み立て方が多様であるため、自動化が困難なことが多い。このため、求められる技術課題としては、ワイヤーハーネス等の柔軟物を対象とする組み付け作業をほぼ全自動で実現する RT システムが挙げられる。

②人間・ロボット協調型のセル生産 RT システム

1990 年代に入り、国際的なコスト競争力の高まり等を背景に、単純生産工程の海外移転や、付加価値の高い生産へのシフトが生じ、国内では、多品種変量生産に適応した生産方式が工夫されてきた。こうした中、従来のライン生産方式に代わってセル生産方式が普及してきた。セル生産方式の場合、人間を多用することで多品種変量生産に対応するとともに、初期コストを抑えることができるが、一方で、熟練作業者の育成に時間がかかり、品質管理が難しくなりがちという欠点もある。このため、求められる技術課題としては、セル生産方式における生産性を高めるべく、同生産において作業者と協働できる RT システムが挙げられる。

(2) サービス分野のキー・ミッション

①片付け作業用のマニピュレーション RT システム

作業現場での労働力不足といった課題に対応すべく、多様な分野に広く波及効果が期待できる技術課題として、日常作業における単純作業の一つであるバックヤードでの収納作業に着目し、従来は人手により対応している「整理・収納作業」を実現する RT システムが挙げられる。

具体的には、レストランの食器片付け・搬送、家庭の家事後の片付け、洗濯物の収納、オフィスの書類・事務用品整理など、乱雑におかれたものを整理・収納する作業を、RT システムにより代替する。開発すべき技術としては、多様な形状の対象物をハンドリングできるマニピュレーション技術や、対象物の位置姿勢を識別し、収納するための空間構造化技術等が考えられる。

②高齢者対応コミュニケーション RT システム

経済財政諮問会議が取りまとめた「日本21世紀ビジョン」でも謳われているように、「健康長寿80歳」を実現し、高齢者が主体的に生活を送るための生活支援環境を整えることが求められている⁴⁷。

このため、求められる技術課題としては、高齢者を含む様々な年齢層の人々の意図を理解し、指示により単純な作業を代行するコミュニケーション RT システムが挙

⁴⁷ 経済財政諮問会議、*日本21世紀ビジョン*、<http://www.keizai-shimon.go.jp/special/vision/>

げられる。開発すべき技術としては、様々な年齢層に適応した会話を主体とするコミュニケーション技術、物理空間行動を伴うヒューマンロボットインタラクション技術等が考えられる。

③人間共存下での自動搬送 RT システム

オフィスや施設等での人との共存環境下において、ロボットが自己位置を認識し、人や障害物を回避しながら、自律的かつ安全に移動できることは、RT を活用した誘導や搬送サービスに付加価値をつける上で不可欠である。搬送作業としては、例えば、ゴミ箱搬送作業、病院での検体・薬品等の搬送、空港でのポーター、工場内での危険物搬送等は、多大な労力を要するため、RT の活用が期待されている。

(3) 特殊環境下での作業分野のキー・ミッション

①被災建造物内での移動 RT システム

地震、雪害、水害等の自然災害や人為災害における被災者の探索・救助作業は、行政として取り組むべき分野の一つである。被災した建造物内（地下鉄、地下街、高層ビル等）は危険性が高く、被災者探索・救助等における RT のニーズが高い空間である。特に、初動時における迅速な情報収集は、救助や緊急医療と並んで最重要なプロセスであり、迅速な情報収集の高効率化と高精度化が、その後の被害軽減活動全体の成否を左右する。

このため、求められる技術課題としては、被災建造物内で迅速に情報収集を行うことができる移動 RT システムが挙げられる。開発すべき技術としては、高速移動機構、移動体の半自律性、建造物内での通信と位置計測技術、GIS(Geographic Information System)への情報マッピング等が考えられる。

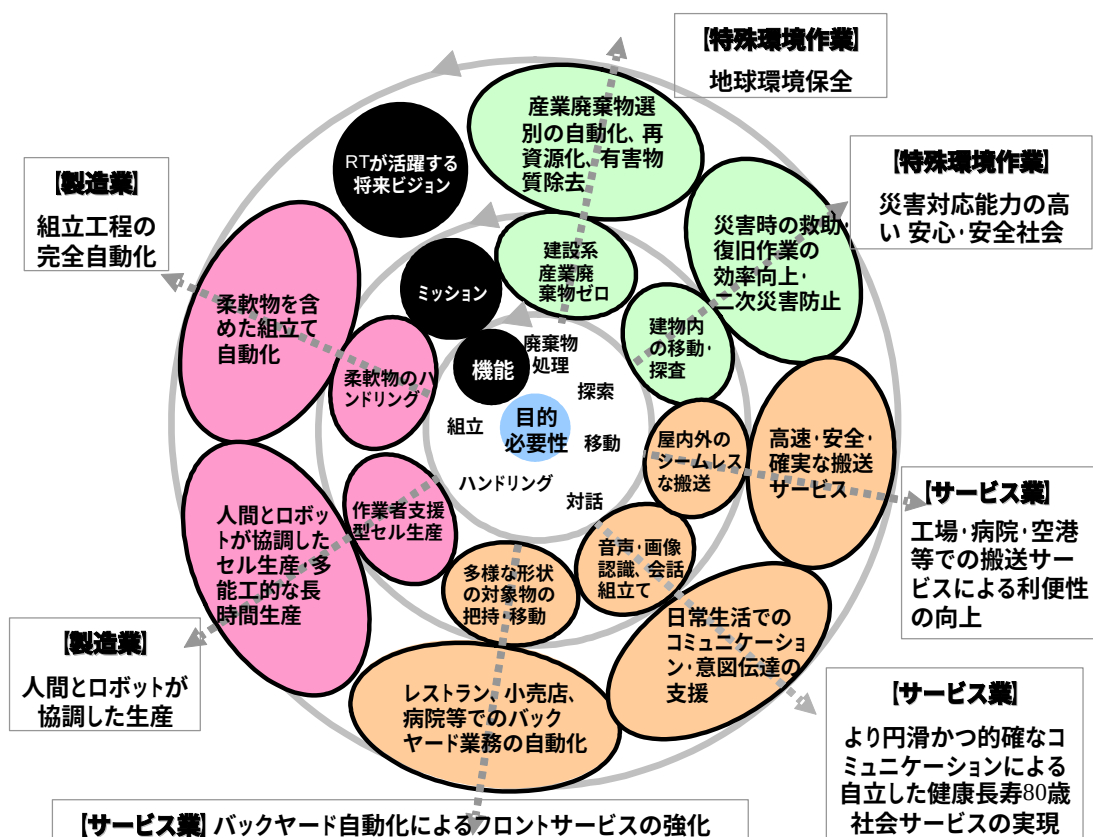
②建設系産業廃棄物処理 RT システム

建設廃棄物を解体・処理する際は、材質（素材）別に資源として再利用可能なものと、焼却可能なもの、最終処分場へ埋めるもの等に分類する作業を伴う。その際、建物解体時における人間による手選別で行っている工程において、労働環境の改善の必要性から、同工程における自動化が望まれている。

このため、求められる技術課題としては、建設現場から排出される廃棄物削減を目標として、廃棄物処理工程のうち、建物解体現場に焦点を当て、解体・選別作業の効率化、解体中のオペレータ・作業員の安全確保等に資する RT システムが挙げられる。開発すべき技術としては、廃棄物材質の判定技術、解体現場で使用可能で建設機械相当の耐環境性を持つマニピュレーション技術、現場作業員でも使用可能なヒューマンインターフェース等が考えられる。

これらの各ミッションの体系図を、以下に示す。

図4-1 ミッションの体系図



第5章 今後に向けて

これまでの検討の結果をまとめると、今後展開するであろう「第2のロボット普及」に向けて、ロボット導入に効用があることを前提とした「ロボットの安全性の確保」を土台とし、「市場整備」と「技術開発」が両輪となって、ロボット市場が新たな領域に拡大していくと考えられる。以下に、その戦略を端的に述べる。

第一に、製造分野では、知能化等のロボットの高機能化が進み、ロボットが使われる領域が拡大していく。また、サービス分野でも、既存のロボット技術や製品を活用して、ユーザー・サービスプロバイダとメーカーが連携した、ロボットビジネスの事例が着実に増えていくと考えられる。ロボットの具体的な用途としては、ロボットの役割や導入効果が明確な業務用ロボット（事業支援型）から、生活利便向上型へ広がっていく。その際、地方自治体や周辺事業者（ベンチャーキャピタル、リース・レンタル事業者等）は、市場拡大において重要な役割を担っていく。

第二に、ロボット導入に効果があることを前提として、ロボットの安全性の確保が図られる必要がある。具体的には、産業用ロボットメーカー、サービスロボットメーカーによる安全対策（本質安全設計、リスクアセスメント、安全防護策等）の充実化が図られていく。同時に、危険源同定やリスク評価（損失の発生確率や損失被害の程度）の精度が向上するとともに、第三者機関による事故情報の収集・分析、これら情報の活用が行われる必要がある。また、具体的なロボットの導入事例やデータをもとに、国際規格が検討され、日本から積極的に提案が行われていくことが期待される。

第三に、ロボットの導入実績の増加や安全性確保を踏まえ、産学官が連携したミッション指向型の技術開発（産業用、サービス用、特殊環境下での作業用）により、RTにおけるイノベーションが加速され、RTがより一層発展していくと考えられる。

このように、ロボットの安全性が確保され、「ロボット導入の実績増加」と「ミッション指向型の技術開発」が両輪となって、ロボット市場が新たな領域に拡大し、RTを活用したゆたかな社会作りという目的が実現されていくことが期待される。

上記を実現するために必要とされる施策を、以下に具体的に挙げる。

5-1 サービスロボット市場創出の支援

経済産業省は、2006 年度から、実環境下でのロボット導入においてロボットの安全性を確保する手法開発とモデルケース実施を支援する「サービスロボット市場創出支援事業」を行う。本事業は、メーカーとユーザーが共同で、ロボットの機能・ス

パック・運用方法等を検討したうえで、導入に必要な安全性を確保する手法（安全技術、リスクアセスメント、運用等）を開発する取組みを支援するものである。

これは、事業終了後にユーザーによるロボット導入の成功事例を生み出すことで、サービスロボット市場創出の第一歩となる、重要な取組みといえる。また、本事業の成果である安全技術やリスクアセスメント手法、実際に事業を通じて得られたデータ等を活用して、事業終了後に、後述の「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」（仮称）の改訂に活用することが求められる。

なお、本事業の支援対象としては、デモンストレーション的な実証実験ではなく、ロボットの活動領域内に存在する人間の安全に配慮し、継続的かつ定期的にロボットを運用可能とすることを目的とした提案が適当である。また、安全性確保の検討の際には、ユーザーとメーカーのみならず、安全性の評価機関、保険業者、法律専門家、地方自治体、サービスプロバイダ等、関係者と連携することで、安全対策の知見の蓄積が促されることが期待される。

5-2 ビジネス開拓の場として、「ロボットビジネス推進協議会」（仮称）の設立

「ロボットビジネスを開拓する契機を作り、もってロボット産業を振興すること」を目的とする、「ロボットビジネス推進協議会」（仮称）を、平成18年度目途に設置すべきである（なお、市場環境の変化を鑑み、設置3年後に見直す予定）。

上記目的を達成するためには、同協議会は、メーカーのみならず、ユーザー・サービスプロバイダ、ロボットビジネス関係者（投資家、リース・レンタル事業者、保険事業者、法律専門家、経営コンサルタント等を含む。）及び関係府省・地方自治体等により構成されることが望ましい。

また、事業支援型ロボットのユーザー・サービスプロバイダとしては、清掃事業者、運送事業者、警備事業者、商社、流通事業者（百貨店、スーパーマーケット、コンビニ等）、物流・運輸事業者、人材派遣事業者、空港管理会社、電力事業者、クリーニング事業者等が想定される。同協議会に求められる機能は以下3点である。

① 新規ビジネス開拓の契機をつくる

- ・メーカーとユーザー・サービスプロバイダ間のビジネスマッチング支援
- ・RT 活用の成功事例や資金面も含めたビジネスモデルの紹介
- ・投資家向けの説明会
- ・メーカー、モーターやセンサー、バッテリー等の部品メーカー、ユーザー、サービスプロバイダ、システムインテグレータ、商社、リース・レンタル事業者、投資事業者、保険事業者、法律専門家、自治体、個人といったメンバーを

含む、多次元的なネットワークの構築

・ユーザー登録、ユーザー側のニーズ発表会 など

②ロボット技術の動向を知り、必要に応じて共通規格等を検討する

・ロボット関連技術の動向紹介

・ロボットに関する共通規格の検討

・各種研究開発の提案 など

③倫理問題を含めたロボット政策を提言する

・RT 活用に係る規制緩和の検討と提言

・関係府省・地方自治体の RT 関連施策紹介

・RT が社会に受け入れるための必要条件である、RT 利用におけるセキュリティの問題や、プライバシー対策など、RT に関する検討を行い、提言する など

同協議会を通じて、RT を活用した事業の成功事例が社会に向かって積極的に示されることにより、①多様な潜在ユーザーがロボット導入の潜在的な可能性を感じるとともに、②サービスロボット・ビジネスに対する投資環境が整う一助となることが期待される。また、メーカーとユーザーが直接意見を交換する場を通じて、相互理解を深め、RT 活用ビジネスが検討される契機になると考えられる。

また、同協議会は、その目的を効果的かつ効率的に達成するためには、地域の取組み（例えば、大阪のロボットラボラトリー、九州のロボット産業振興会議等）とも、連携する必要がある。

5-3 ロボットの表彰制度の創設

国内で発表されるロボットの中から、最も優秀なロボットを選定し、その開発・製造者等を表彰することで、ロボットの性能、品質、安全性の一層の向上、ロボット活用による課題解決（生産性向上、利便性向上等）への取組みを促すことが有効である。本制度が狙う効果としては、以下の3点が挙げられる。

- ① **ロボット開発・ビジネスの推進**： 受賞を目指した開発競争を促すことで、ロボット開発におけるイノベーション（技術革新）を加速する。
- ② **需要の喚起と販路の開拓**： ロボットが世間に露出することで、ロボットを活用したビジネスや用途の開発を喚起するとともに、メーカー側にとっても販路開拓の契機となる。
- ③ **RT 動向の把握**： 日本全国から最新の提案を広く募ることで、我が国の RT に係る実態（開発項目・技術レベル、ビジネスモデル等）を把握することができる。

5-4 「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」(仮称)の策定

本報告書を踏まえて、ロボットに係る安全性確保に関する基本的な考え方や取り組みを含めた「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」(仮称)を策定すべきである。本ガイドラインには、安全性確保対策の事例集、ロボットに係る想定事故とこれらに対する保険適用及び法的解釈等を含むものが適当である。

本ガイドラインが策定され、普及することにより、ロボットの安全性確保のための制度作りに貢献するとともに、我が国が主導的に、安全性確保に関する国際標準化に係る検討・提案に資することが期待される。

なお、本研究会では、実用化の必要条件として「安全性」に関する議論を行ったが、さらに RT によってユーザーが満足するサービスを提供するための十分条件として、「ディペンダビリティ(信頼性)」をいかに実現するかについて、さらに議論を深めていくことが重要である。

5-5 安全性確保の推進拠点の整備

安全性確保の具体策を主体的に検討するとともに、情報を収集・分析し、これらを活用して制度設計を進める「拠点」を整備することが必要である。

拠点に求められる機能としては、①実環境下における具体的事例やデータの収集・分析・活用、②制度運用を担う中核となる専門的人材の育成、③実績に基づいて一層の活性化が期待される安全関連技術の国際標準化推進、④「グローバルな安全の考え方」に関する実態把握や啓蒙活動等が挙げられる。拠点を中心として、中長期に亘る安全性確保に向けた継続的な取り組みが不可欠である⁴⁸。

5-6 ミッション志向型の競争的な RT 開発プロジェクトの実施

経済産業省は、2006 年度から、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」を行う。本プロジェクトは、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから導かれ、かつ「市場の失敗」に対応すべく国として関与すべき「ミッション」を、必要とされるロボットシステム及び要素技術を開発し活用することで達成し、もって当該ニーズを満たす一助となるもので、ロボット技術の開発促進策として、重要な取り組みであるといえる。ミッションとしては、前章に記述された3分野における7つのミッションが挙げられる。

⁴⁸ 参考3-5 ロボットの安全性確保の推進拠点の機能について

このため、研究開発主体は、開発されたロボットシステム又は要素技術が、プロジェクト終了後に各分野の実現場でどのように導入されるのか（＝導入のシナリオ）を明確に意識することが求められる。

また、我が国経済の成長の源泉であるイノベーションの推進を通じて、先端的なロボットシステム及び要素技術を開発することにより、我が国ロボット産業の国際競争力を強化・維持するとともに、当該技術群が、ロボット以外の製品分野（自動車・情報家電等）にも広く波及することが期待される。

なお、本プロジェクトは、RT 産業を活性化するための例題的課題であり、2007 年度以降も、知能化技術・認知技術といった技術開発、さらに広い RT 応用やユーザーが満足に利用できるようになるまで継続的な取組みを行うことが肝要である。また、RT 産業の活性化という観点からは、単なる技術開発課題のみならず、いかなるサービスビジネスモデルや事業展開が図られうるのか、既存技術や既存のサービスと比べてどのように優位なのか、という観点から、本プロジェクトが推進されることも必要である。

ロボット政策研究会 委員名簿

(委員長)

三浦 宏文 工学院大学 学長

(委員)

浅田 稔	大阪大学 大学院 工学系研究科 教授
新井 民夫	東京大学 大学院 工学系研究科 教授
有信 睦弘	(株)東芝 執行役常務・研究開発センター長
生駒 俊明	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター長
稲葉 善治	ファナック(株) 代表取締役社長
大淵 修一	東京都 老人総合研究所 介護予防緊急対策室長
総山 哲男	大阪府 企画調整部長
北野 宏明	(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所 取締役副社長
五内川 拓史	(株)ユニファイリサーチ 代表取締役社長
小宮山 邦彦	(株)コマツ 取締役専務執行役員・開発本部長
佐藤 知正	東京大学 大学院 情報理工学系研究科 教授
杉井 清昌	セコム(株) 執行役員
杉本 旭	北九州市立大学 国際環境工学部 教授
鈴木 浩二	(株)トプコン 取締役社長
鈴木 浩	富士重工業(株) 代表取締役副社長
清家 彰敏	富山大学 経済学部 教授
高木 宗谷	トヨタ自動車(株) 理事・パートナーロボット開発部長
高西 淳夫	早稲田大学 理工学部 教授
高本 陽一	(株)テムザック 代表取締役社長
谷江 和雄	首都大学東京 システムデザイン学部ヒューマンメカトロニクスシステムコース 教授
津賀 一宏	松下電器産業(株) デジタルネットワーク・ソフトウェア技術担当役員
利島 康司	(株)安川電機 代表取締役社長
中村 道治	(株)日立製作所 執行役副社長・研究開発本部長
萩田 紀博	(株)国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所 所長
浜田 基彦	(株)日経BP社 編集委員
平井 成興	(独)産業技術総合研究所 知能システム研究部門長
平野 晋	中央大学 大学院 教授
益田 兼弘	総合警備保障(株) 代表取締役上席常務執行役員
四元 正弘	(株)電通 消費者研究センタープランニング・ディレクター

(2006 年 3 月現在、敬称略・50 音順)

ロボット政策研究会 WG 委員名簿

(2006 年 3 月現在、敬称略、50 音順)

<次世代ロボット市場整備WG>

(座長)

平井 成興 (独)産業技術総合研究所 知能システム研究部門長

(委員)

青山 元 富士重工業(株) クリーン事業 PGM

浅間 一 東京大学 人工物工学研究センター 教授

足立 吉弘 (株)富士キメラ総研 第一研究開発部門アシスタントディレクター

岩田 佳郎 (株)ビル代行 ビジネスサポートセンター部長

桑園 寛之 あおぞらインベストメント(株) 投資営業第一部 部長代理

五内川拓史 (株)ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長

近藤 法彦 ヒロボー(株) 執行役員 東京事務所長

櫻内 昌雄 住友商事(株) 住宅・都市事業部住宅開発第四チーム 主任

佐藤 謙一 セコム(株) 開発センター 開発実行チーム アシスタントマネージャー

中井 潤 三井リース事業(株) 営業第一本部ロボット市場開発チームリーダー

藤元 正二 福岡県 商工部 新産業プロジェクト室長

<次世代ロボット安全検討WG>

(座長)

杉本 旭 北九州市立大学 国際環境工学部 環境システム工学科 教授

(副座長)

山田 陽滋 (独)産業技術総合研究所 知能システム研究部門

安全知能研究グループ グループリーダー

(委員)

宇田川将生 東京海上日動リスクコンサルティング(株)製品安全マネジメントG主任研究員

加部 隆史 NPO安全工学研究所 代表理事

北野 幸彦 松下電工(株) 生産技術研究所ヒューマンロボット技術開発グループ長

小林 正啓 花水木法律事務所 弁護士

駒田 聡 (株)富士通研究所ストレージ・インテリジェントシステム研究所所長代理

小柳 樹弘 (株)損保ジャパン 企画開発部 課長

首藤俊夫 (株)三菱総合研究所 安全政策研究本部安全基盤戦略グループ主席研究員

檜山 康明 (株)テムザック 社長室マネージャー

松田 利浩 (財)製品安全協会 業務グループ企画担当／第2分野担当調査役

横山 和彦 (株)安川電機 開発研究所ロボティクス技術開発グループ技術担当部長

技術戦略マップ改訂タスクフォース 委員名簿

(2006 年 3 月現在、敬称略、50 音順)

(委員長)

谷江 和雄 首都大学東京 システムデザイン学部ヒューマンメカトロニクスシステムコース 教授

(委員長代理)

平井 成興 (独) 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 部門長

(委員)

新井 民夫 東京大学 大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

石正 茂 (独) 科学技術振興機構 研究開発センター フェロー

大築 康生 (財) 新産業創造研究機構 神戸ロボット研究所 所長

北野 宏明 (株) ソニーコンピュータサイエンス研究所 取締役 副所長

田所 諭 東北大学 大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻 教授

水川 真 芝浦工業大学 工学部 電気・情報系電気工学科 教授

横山 和彦 (株) 安川電機 開発研究所 ロボティクス技術研究グループ 部長

<次世代産業用ロボット ワーキンググループ>

(主査)

新井 民夫 東京大学 大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

横山 和彦 (株) 安川電機 開発研究所ロボティクス技術研究グループ部長 (幹事)

(委員)

伊藤 考幸 ファナック(株) ロボット開発研究所 所長

飯倉 督夫 (社) 日本ロボット工業会 専務理事

稲葉 良平 キヤノン(株) 生産本部 生産企画センター 副所長

蟹谷 清 (株) 不二越 ロボット事業部 ロボット製造所 開発部 部長

神谷 孝二 (株) デンソーウェーブ FA事業部 技術部技術2室 室長

中村 尚範 トヨタ自動車(株) BP生技室 部長

福田 敏男 名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノシステム工学専攻教授

藤田 俊弘 IDEC(株) 常務執行役員 研究開発&マーケティング戦略担当

藤田 正弘 三菱電機(株) 先端技術総合研究所 メカトロニクス技術部 部長

松島 幹治 川崎重工業(株) ロボットビジネスセンター 参与

<サービスロボット ワーキンググループ>

(主査)

水川 真 芝浦工業大学 工学部 電気・情報系電気工学科 教授

北野 宏明 (株) ソニーコンピュータサイエンス研究所 取締役 副所長 (幹事)

(委員)

青山 元 富士重工業(株) クリーン事業 PGM

五十嵐 弘道	セコム(株) IS研究所 基盤技術ディビジョン サービスロボットグループ グループリーダー
川口 博文	松下電器産業(株) ロボット開発室 主幹技師
小菅 一弘	東北大学大学院 工学研究科 バイオロボティクス専攻 教授
駒田 聡	(株)富士通研究所 ストレージ・インテリジェントシステム研究所所長代理
五内川 拓史	(株)ユニファイリサーチ 代表取締役社長
藤田 善弘	日本電気(株) メディア情報研究所ロボット開発センター研究部部長

<特殊環境用ロボット ワーキンググループ>

(主査)

田所 諭	東北大学 大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻 教授
大築 康生	(財)新産業創造研究機構 神戸ロボット研究所 所長(幹事)

(委員)

秋元 大	日本SGI(株) 戦略事業推進本部 ロボット事業推進オペレーション統括
田中 英夫	東京消防庁 警防部 特殊災害課 課長
茶山 和博	(株)フジタ 土木本部 技術顧問
濱田 彰一	三菱重工業(株) 新製品・宇宙部 技術開発専門部長
藤田 志朗	(株)テムザック 経営開発室 室長
村上 弘記	石川島播磨重工業(株) 技術開発本部 総合開発センター システムエンジニアリング部 ロボティクスグループ 課長
柳原 好孝	東急建設(株) 技術研究所 メカトロ研究室 室長
吉灘 裕	(株)小松製作所 研究本部 技術研究所 グループリーダー
渡邊 洋	日立建機(株) 技術開発センター 主管研究員

<RT 関連応用技術検討 ワーキンググループ>

(主査)

谷江 和雄	首都大学東京 システムデザイン学部ヒューマンメカトロニクスシステムコース 教授
平井 成興	(独)産業技術総合研究所 知能システム研究部門 部門長(幹事)

(委員)

入江 賢次	三菱倉庫(株) 工務部 部長
小池 勉	(社)日本自動認識システム協会 事務局長
田口 信幸	(株)デンソー 技術開発センター 新事業開発室 主任部員
田代 信光	NTTコミュニケーションズ(株) 第一法人営業本部情報ビジネス営業部 課長
土井 美和子	(株)東芝 研究開発センターヒューマンセントリックラボラトリ 技監
深作 良範	(株)日立製作所 オートモーティブシステムグループ アドバンスドテクニカルセンター 開発戦略室 担当部長
松川 善彦	松下電器産業(株) ロボット開発室 主任研究員
宮本 孝典	(株)国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所 ネットワークロボット研究室 室長

参考資料編

参 考 資 料 目 次

第1章 ロボット産業に関する現状認識 関連資料

1-1 現行の当省が行うロボット関連プロジェクトについて	-----	48
------------------------------	-------	----

第2章 次世代ロボットの市場環境の整備 関連資料

2-1 サービス分野の自動化・機械化の事例について	-----	50
2-2 サービス分野別のロボット需要について	-----	52

第3章 次世代ロボットの安全性の確保 関連資料

3-1 ロボットメーカーによる安全性確保の取組み事例	-----	55
3-2 産業用ロボットの安全性確保に対する現行の取組み	-----	61
3-3 製造物責任法等の概説 (ロボットを中心に)	-----	64
3-4 ロボット分野のリスクと保険	-----	74
3-5 ロボットの安全性確保の推進拠点の機能について	-----	76

第4章 ミッション指向型の RT システムの開発 関連資料

4-1 海外における競争原理を活用したロボット関連技術 開発プロジェクトの例	-----	77
4-2 総合科学技術会議の分野別推進戦略 (情報通信)	-----	80

(参考1-1)

現行の当省が行うロボット関連プロジェクトについて

(1) 次世代ロボット実用化プロジェクト

実施期間：平成16年度～17年度
総予算額：41.3億円

1. 目的

次世代ロボットの中でも、今後大きな市場が予測される生活及び福祉分野のロボットの早期市場導入を図る。またプロトタイプロボットの社会認知度を向上させるとともに、市場性、有効性を評価し、今後の製品開発につなげる

2. 事業概要

05年3月～9月開催の愛知万博において、生活分野及び福祉分野の9種類のロボット(実用化システム化推進事業)及び、65種類のプロトタイプロボット(プロトタイプ開発支援事業)のデモによる実証試験を行った。

実用化システム化推進事業のロボット				プロトタイプ開発支援事業におけるロボット	
自律掃除ロボット		警備ロボット		(分野:特殊環境) 陸両用ヘビ型ロボットの研究開発 (分野:医療・福祉) 高度最先端医療を支える医療技術トレーニングのための超精密人体ロボット (分野:パートナー) ダンスパートナーロボットの研究開発 外62件	
					
松下電工・スイッピー	富士重工・スパロボハイターRS1	ALSOK・ガードロボ	テムザック・ムジロー		
接客ロボット		インテリジェント車いす			
					
三菱重工・ワカマル	アドバンスメディア、ココロ アクトロイド	アイシン精機、富士通 TAO Aicle	NEC・PaPeRo		

(2) 人間支援型ロボット実用化プロジェクト

実施期間：平成17年度～19年度
平成18年度予算額：9.0億円(9.0億円)

1. 目的

高度な安全性と動作の柔軟性が求められる福祉・介護ロボットのモデル開発と実証試験を行い、人と接触して動作するロボットの実用化に必要な技術を開発する。

2. 事業概要

・開発するロボットは、以下のとおり。

- ①リハビリ支援ロボット (人間の状態、動作に基づき多自由度に関節・筋肉のリハビリ動作を支援)
- ②自立動作支援ロボット (要介護者の立ち上がりや歩行などの動作を支援)
- ③介護動作支援ロボット (主に入浴、排泄、離床の際の介護者の抱き上げ作業等に係る力支援)

・ユーザー(病院、介護施設等)を、開発開始段階から研究開発体制に組み入れる。

開発ロボット例

リハビリ支援ロボット



自立動作支援ロボット



介護動作支援ロボット



(3) 次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト

実施期間：平成17年度～19年度
平成18年度予算額：4.0億円（4.0億円）

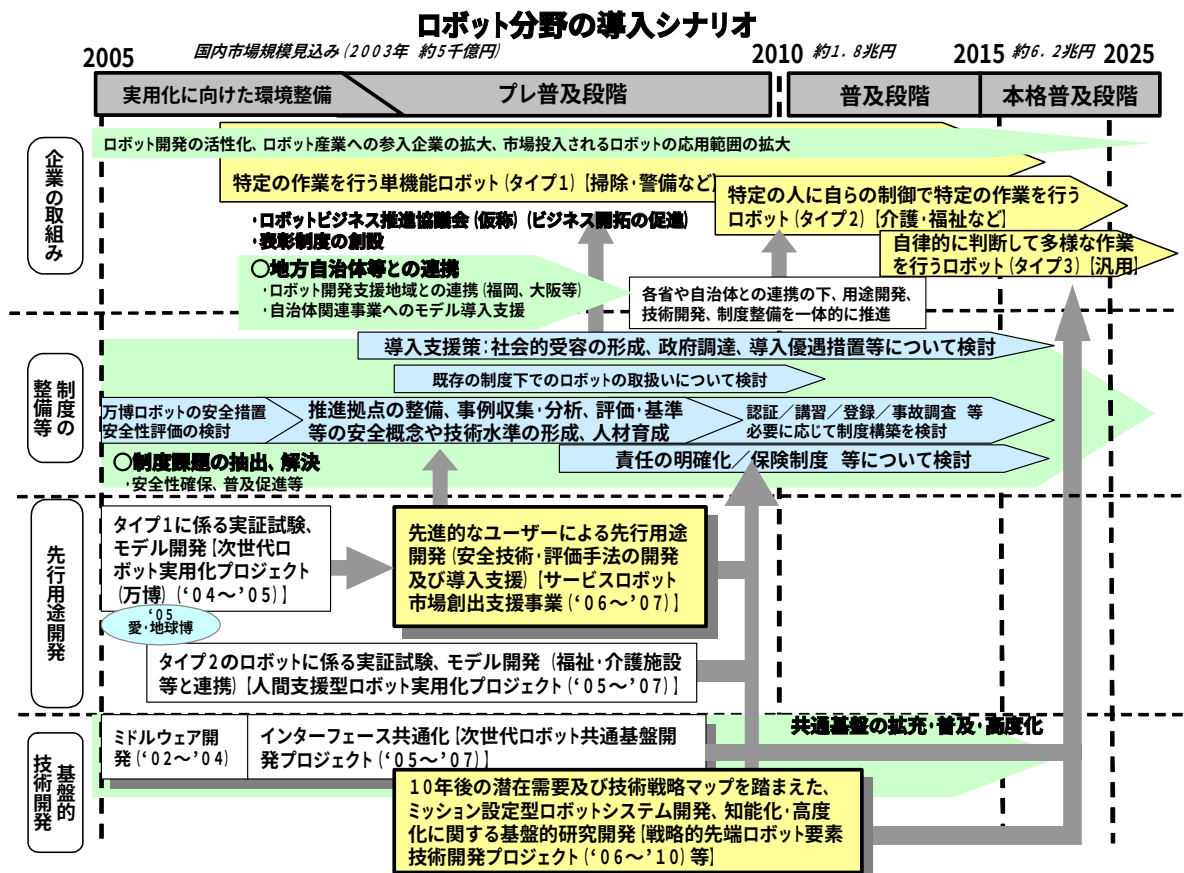
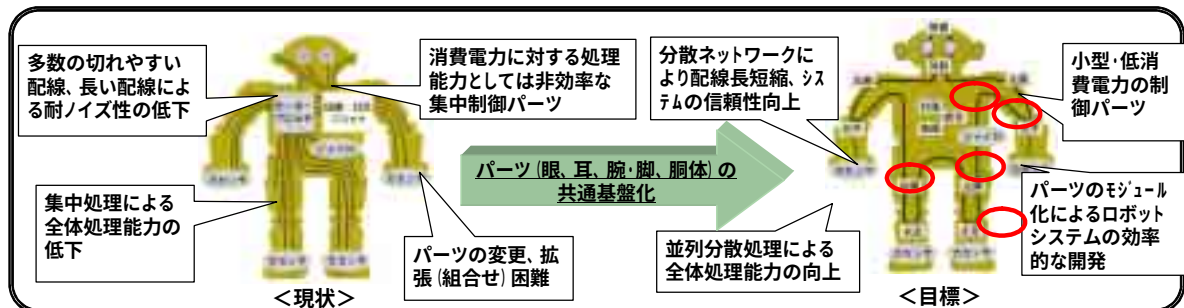
1. 目的

効率的なロボット開発に不可欠な基本パーツのモジュール化に対応し、ロボット産業の裾野を広げるため、要素部品とシステムを繋ぐインターフェース共通化のための共通基盤技術を開発する。

2. 事業概要

・次世代ロボットを構成する基本ユニットを3パーツ（眼・耳・駆動系（腕・脚））に分解し、各パーツが智能化して自律性を持てるよう、中長期的には標準化も視野に入ったソフト・ハード両面における共通基盤的な技術開発を実施する。

・具体的には、各パーツからの情報を処理し、中枢部分及び他のパーツへ情報伝達を迅速化させるインターフェースとなるロボット用デバイス及びソフトウェア等を開発することにより、パーツのモジュール化によるロボット産業への参入促進・パーツの智能化を進める。



サービス分野の自動化・機械化の事例について (ヒアリング調査より)⁴⁹

2005 年に行われた委託調査におけるインタビューの対象企業は、以下のとおり：清掃機械メーカー、搬送機器メーカー、電力設備整備会社、ガス施設整備会社、非破壊検査機器メーカー、酪農（搾乳）機械メーカー及び農業機械メーカー。

1. 清掃機器メーカー A社（床清掃関係）（掃除機械の販売額：90 億円/年）

- 当社の主な事業分野は、時間情報システム（タイムレコーダ）、パーキング事業、クリーンシステム事業等。大手コンビニエンスストアから、店舗の床清掃用機械の開発の相談を受けたことを契機に、これに対応する中で、クリーンシステム事業に発展していった。
- 当社の現状の製品群は、あくまで「人が使う清掃機械」という認識である。また、業務用の清掃を店主やアルバイト等の素人が行えるように、操作性等を考慮して開発している。この延長線上には、さらに清掃業務の自動化が十分想定される。
- パーキングシステムでも、更なる自動システム化、ロボット化、又はロボット的な機器の導入の可能性は十分ある。

2. 搬送機械メーカー B社（搬送機器の販売額：10 億円/年）

- 当社は、農業向けから発展し、現在は福祉向け（車椅子の昇降）及び物流向け（自動販売機の設営、駅売店への運搬）の搬送機械も開発している。機構は、クローラー台車型である。同機械の用途は、重量物を運用する人の補助であり、特に「階段上でモノを運ぶ用途」を狙っている。
- 欧米では、当社の機械が、車椅子の運搬用途向け福祉機器として認められている。同機械を使う利点としては、①エレベータなど大がかりな設備投資を伴わない、②重量物運搬等がある。
- 技術動向としては、傾斜のセンシングやモーターの駆動制御の自動化等。クローラー台車タイプは、当社のコア技術である。
- 当社は機器の販売も行っており、販売チャネルや保守体制が、従来のビジネスモデルで既に確立されている。

3. 電力設備整備会社 C社

- 整備対象の電力設備は、建家や大型管設備、ダムなど水中検査が必要な施設、送電線等。検査・管理の際には、できれば送電を止めずに稼働状態で整備したいというニーズがある。
- 設備検査・管理におけるコスト削減のニーズが強いため、新たに大規模な機械や高度な運用が必要な機械を導入するよりも、むしろ、現行機械を活用して人的作業を代行する業務や、設備稼働中の整備を可能にする機器開発が着手されやすい。
- 水中検査の機器は、既に実用化されており、他地域にも派遣している。ユーザー側の反応は好評。今後、検査サービス事業として成立させたいと考えている。

⁴⁹ 富士キメラ総研、2006

4. ガス施設整備会社 D社

○当社は、自社ガス供給設備であるパイプラインを検査・診断する検査技術の開発の一環として、ロボット開発に取り組んでいる。実績としては、高圧幹線の中を走行し、磁気センサーにより腐食・減肉等の検査をするロボットや、球状ガスホルダを昇降して溶接部を検査するロボット等の開発実績がある。現時点で製品化計画はないものの、要素技術開発と需要調査を続けている。

○検査・診断ロボットについては、検査コストの削減、診断精度の向上を目指している。したがって、この分野で、「安価で大量に供給できるロボット事業」として発展する可能性は低いと考えている。ロボットは、検査・診断機器の一つとして開発されるものであり、自社設備向けに製品化を図る方針である。

5. 非破壊検査機器メーカー E社

○当社は、航空機部品のメンテナンス・検査を目的に、多関節ロボットの応用を検討した経緯がある。しかし、検査精度など技術的課題が解決できておらず、製品化には至っていない。今後、ロボットメーカーとの共同開発により、引き続き事業化を模索していく。

○検査システムの仕様は、ユーザーにより千差万別である。このことが、受注生産によるコスト高にも繋がっている。

6. 酪農(搾乳)機械メーカー F社 (搾乳ロボットの販売額:4億円/年)

○当社では、人的労力の軽減と乳量の増大、乳牛の健康管理のために、搾乳作業の自動機械化の研究開発を始めた。この分野は、欧州(オランダ、デンマーク等)が先行している。

○欧州型の酪農形態は、総じて大規模であるため、これを導入するためには、現行の酪農の運営手法を大型経営に変える必要がある。このため、早急に対応できる酪農家は限られている。

○現行の搾乳機械システムは、大規模酪農家向けとなっており、中小規模の酪農家への展開は今後の課題である。したがって、中小規模が導入しやすい(低価格で使いやすい)システムの開発や、リース等を通じた金銭的負担が軽減されるとありがたい。

7. 農業機械メーカー G社

○当社は、農機総合メーカーであり、ラインナップ上、小規模でもユーザーにきめ細かく対応している。

○地方営業所の直接販売のほか、これを起点とした在地の農機販売店を代理店として、農家向けの販売を行っている。今後、新規の自動化機械が開発された場合も、当該機械は現行機械の延長と捉えており、自動化機械向けの販売チャンネルを新たに作る必要はないと考えている。

○農機も、旧来の機能と比べれば自動化という点で、ロボット化の方向にある。

サービス分野別のロボット需要について (ヒアリング調査より)⁵⁰

2005 年に行われた委託調査におけるインタビューの対象企業は、以下のとおり：ハウスクリーニング・サービス(1社)、調理サービス(1社)、外食サービス(3社)、地域セキュリティ・サービス：地方自治体及び私立中学校(各1団体)。

1. ハウスクリーニングA社(ハウスクリーニングサービス関係)

○機械化・ロボット化のニーズがあるとすれば、クリーニングに時間がかかる場所、汚れがひどい場所等での活用である。特に、レンジフードはきつい汚れがつくので、ここを自動洗浄できれば、業務負担が大幅に減る。風呂場については、セッティングしておけば、カビ取りも含めて清掃できるもののニーズはある。風呂掃除は、塩素系の洗剤を使うことが多いが、臭いもきつく、危険が伴う。危険回避の意味も含めて、ここがロボット化できるといい。

○レンジも同様。油汚れがひどいために強い洗剤を使い、臭いが発生する。最近では、お客様にも「合成洗剤は使わないで欲しい」という方もいる。お客様の環境問題・健康問題への意識が高まっているため、合成洗剤は嫌われる。他方、企業は効率を高めるために、強い洗剤を使って手早くクリーニングしたいという要望があるが、これが、上記の客ニーズとともに難しくなっている。ここをロボットでフォローできると有り難い。

○機械化・ロボット化の条件としては、手作業と比べて作業時間がどれだけ短縮できるかが最重要。つまり作業が実際に効率化するかどうか。「安全」や「健康」といったニーズが高まっているので、そのような切り口からロボット導入をアピールすることで、顧客開拓につながるかもしれない。

2. システムキッチン・メーカーB社(調理サービス関係)

○調理については、全自動化のニーズは今のところ小さい。ニーズが大きい部分としては、①失敗を防いでくれる機能(お湯が沸いたら自動に止まる、天ぷら油の温度を一定に保つ等)、②比較的低温(160～200℃)の調理温度を一定に保つ機能、③調理の進行に合わせて適切な調理温度に変化させる機能の3つ。①については、IHクッキングヒーターでは、既に実用化済み。調理には、一手間かけたいとの意識がある。中食に対して、最後の一手間をうまくかけられる調理器具があれば、ヒットするだろう。

○ユーザーの好みや体調を記憶しておいてメニュー提案する機能は、現状でも可能。しかし、コストとのバランスで普及には時間がかかると思われる。このような付加的な機能は、例えば糖尿病患者等、食事を管理・制限しなければいけない人を対象にすると良いだろう。

⁵⁰ 三菱UFJリサーチ&コンサルティング、「次世代ロボットの需要面から見た中長期的市場動向に関する調査研究」、2006

3. レストランC社 (飲食店における接客・片づけ業務関係)

- ファミリーレストランでの接客におけるロボット化は、現状では考えにくい。サービスに不具合やミスは許されず、ロボットがフロアを移動するには動線から考えないといけない。
- むしろ、厨房まで下げられた食器類を、「区分け→洗浄→乾燥→収納」までこなしてくれるロボットのニーズはある。さらに、食器にあらかじめRFIDタグを埋め込み、その情報を元にロボットが食器の寿命を判断して廃棄してくれると大変助かる。
- 片づけの中で最大の悩みは、ナイフやフォークといった「シルバー」の洗浄。洗浄・乾燥後にスポットと呼ばれる斑点が残ることがあり、今はこれを人手で拭いている状況。これに多大な労力を費やしている。一流ホテルからファミリーレストランまで、「シルバー」を使う業界共通の最大の課題であり、この部分だけでもロボット化に成功すれば、業界に大きな反響を呼ぶのは確実。
- 厨房への片づけロボットの導入は、①業務効率化に加えて、②心情的な側面(人にやらせたくない)、③安心感(ロボットは休まない)という観点からのニーズは高い。
- ファミリーレストランは、アルバイトを多く使うため、業務がマニュアル化されている。仕事がある程度定型化されているので、この意味では、本来ロボット導入に適した領域だと思う。

4. レストランD社 (飲食店における接客・片づけ業務関係)

- 接客不要な客は、わざわざレストランに足を運ばない。したがって、接客をロボットで代替出来るかは、客がロボットを自然に受け入れるかどうかという心理的な問題が優先する。
- テーブルから厨房に皿を下げるまでも「接客」である。客の会話を阻害しないように、皿を下げるタイミングを見計らう必要がある。
- ロボットを派遣・レンタルしてもらいたい。

5. レストランE社 (飲食店における接客・片づけ業務関係)

- 現在のビュッフェスタイルのレストランの場合でも、接客重視に変わりはなく、そこをロボットに代替することは考えにくい。同スタイルでは、少人数で客へのサービスを提供しているため、今でも「人手が少ない(=サービスが悪い)」というクレームがある。
- 皿を片づけるにも、タイミングの問題がある。ビュッフェスタイルでは、客が席を立ち、料理を取りにいく瞬間に、タイミング良く皿を下げなければならない。
- ロボットがフロアを歩き回ることになると、客との動線との問題が発生する。レストランを設計する際には、限られた坪効率で、どのように動線を確保し、接客するかが最重要テーマである。
- 厨房の作業効率改善は従来から力を入れており、大量の料理の注文を効率よくさばけるよう、常に機器メーカーと一緒に開発をしている。大型レストランであれば、大型洗浄機の導入は当たり前で、それに合わせて食器を開発している。
- 調理部分の機械化・ロボット化については、コストとの関係もあるが、①調理の工程を減らし、②人手で作るよりも効率が上がり、③誰が調理しても同じ味になり、④美味しい、ことが条件。また、メニューの料理を一度に対応できるのが理想である。

6. 地方自治体G (地域セキュリティ関係)

○PHSを使った防犯用の携帯式通信システムの開発は、3年前に遡る。2005年6月から運用を開始し、3つのモデル校で実証実験をした。現在の携帯率は99%以上に達し、ほぼすべての児童が携帯している状況。区が貸与という形で無償配布をし、通信費は全額自治体が負担している。

○地域セキュリティシステムを運用する上で、地域の協力が不可欠。システムの目的は、登下校時の児童の安全を守る点だが、現在、警察に通報しても、警官がかけつける迄に時間がかかってしまう。システムを開発する際の我々のニーズは、「児童の一番近くにいる人が行動し、早期解決に持ち込むこと」であった。したがって、「子供の一番近くにいる人に情報を伝えるシステム」を開発することとなった。このシステムを運用するには、近隣協力者の確保など、様々な体制整備が必要。現在、一万人以上が協力者として登録してくれている。

○システム導入において苦労した点の一つに、プライバシーの保護がある。システムに加入するには、携帯電話の番号も含めて、詳細な個人情報を提供してもらうことになる。この情報の取り扱いには、細心の注意を払っている。

○システムを補完・補強するため、ロボットの導入は大いに考えられる。現在の地域セキュリティシステムは、「人の力」と「機械の力」を組み合わせ実現しているが、機械の部分は、通信のみ。ここに、ロボットによる監視や巡回を合わせれば、セキュリティの質を上げられる。

○現在、システムは7時半から20時までに限って人が常駐してモニタリングをしているが、ロボットが導入されれば、24時間体制がとれるかもしれない。そうすれば、児童安全に限らず、深夜の女性の帰宅など、地域全体の安全向上に発展させることも可能となる。

○昼間でも行政管轄内には人気の少ないところがある。こうした近隣協力者を確保しにくいところ、パトロール隊の手が回りにくいところをロボットが警備に当たることができれば、助かる。

7. 私立女子中学校H校 (地域セキュリティ関係)

○付近に女子大があることもあり、不審者が多い。露出狂を目撃したという情報がこれまでに複数ある。校内の安全確保については、かつては正門にしか常駐させていなかったガードマンを、現在は、他の門も警備させ、それ以外の出入り不要な時間帯は、門を閉めている。

○小学生とは異なり、中学生の場合、学校の帰りに塾に行く生徒も多いため、小学生ほど決められた時間に決められたルートで帰宅しない。帰りのルートが一定ではないため、GPSによる監視はなかなか難しい。また、GPSシステムを設置するほどの危機感はない。

○監視カメラの設置も、狙われやすいロッカー室などを中心に検討したが、監視カメラを常時みている人員がないため、設置はしていない。

○不審者の問題以外にも、貴重品の紛失など起こりやすいロッカー室について、関係者以外を締め出すロックを、リーズナブルなコストであれば導入したい。

ロボットメーカーによる安全性確保の取組み事例

本項では、万博ロボットプロジェクトを通じた取組みを中心に、メーカーが、「事前の責任」を果たすために行った事例を挙げる。まず、基本安全規格(A規格)の一つであるISO12100(基本概念、設計のための一般原則)に基づいた安全性確保の手順(＝リスクを許容可能なリスクに低減するための手順)は、基本的に、以下のとおりである。

【手順1】 リスクアセスメントの実施⁵¹

【例1－1】 万博用清掃ロボットにおけるリスクアセスメント⁵²

メーカーは、「危険源の特定」を以下の2つの観点から行った：

- ① 梱包から廃棄までを想定した使用ステップからの危険源の特定
- ② JIS B 9702「機械類の安全性リスクアセスメント原則」に記載されている危険源リストからの危険源の特定。

この結果、押しつぶし危険源、電氣的危険源といった危険源の特定項目は60項目に及んだ。このうち、受容不可である危険源が38項目、ALARP (As Low As Reasonably Achievable) である危険源が20項目となった。

【例1－2】 万博用インテリジェント車椅子におけるリスクアセスメント⁵³

メーカーは、リスクアセスメントに当たり、まずは想定事象の分類(乗降中、乗車中等)を行い、その後、危険状態の想定(環境との衝突、車椅子からの転倒など)、リスク分析(被害の程度、頻度、回避可能性)、リスク見積もり(3段階)、及び当該リスクに対する安全対策の検討を順次行った。リスク見積もりの結果、危険度が高い主な危険状態としては、衝突(人及び環境)、転倒・転落、挟み込み、巻き込み等が挙げられた。

【例1－3】 万博用警備ロボットにおける「機械類の制限」⁵⁴

メーカーは、リスクアセスメントの第一段階である「機械類の制限」(想定される使用状態、ユーザー等)を、「ロボットが使用される環境とロボットに接触する人間のスキル」と捉え、使用環境を以下の4つに分類して規定した。

- ① ロボットステーション(屋内)でのデモンストレーション(一般大衆が体験)

⁵¹ 向殿政男、「機械システムの安全性」、安全工学 Vol.41, No.1, 2002

⁵² 福田 淳ほか、「屋外清掃ロボットのリスクアセスメントと安全設計」、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」 No.168, 2006

⁵³ 松本 治ほか、「インテリジェント車いす TAO Aicle のリスクアセスメントと安全対策」、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」 No.168, 2006

⁵⁴ 若林 潔、「屋外警備ロボット「ガードロボi」の概要と安全対策について」、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」 No.168, 2006

- ② コモン (屋外) でのデモンストレーション (一般大衆が体験)
- ③ メンテナンス (オペレータ又は見習い)
- ④ 警備対象エリア (屋内外) での夜間の警備実験 (オペレータ又は見習い)

(例1-4) 万博用清掃ロボットに関わるリスクの低減⁵⁵

メーカーは、安全性を損ねる人間・ロボットの不具合事象や故障を、系統的に抽出・解析する必要がある。万博用清掃ロボットの場合、危険源として、以下が挙げられた。

- ① 作業に関わらず、ロボット本体との接触によって人間にもたらされる危害
- ② システムの異常・故障によってもたらされるロボットの異常な動き・暴走
- ③ 予測しにくい人間の動作、行動による接触、衝突
- ④ 人間の心理面から捉えた危険性、不安感

リスク低減の方法として、①については、第一義的に、樹脂及びゴムのカバー等でロボット本体を囲むことによりリスク低減を行った。② (異常・故障検出) については、制御システムに各種検出回路を備え、③についてはセンサーを備えることで、それぞれリスクを低減した。④については、作業者の操作性、外観等のユーザーインターフェースデザインを含め検討した。

(例1-5) 一般家庭向けの接客ロボットにおけるリスクアセスメント⁵⁶

①使用環境

接客ロボットの使用環境条件としては、事前の試験によってロボット本体の転倒の可能性があることがわかっている5cm以上の下向きの段差や、スロープがないことを条件とした。また、ロボットが移動や腕の動作を行った場合を考慮して、固定されていない火気類には、ロボットが近づくことができないように、物理的に隔離されていることを条件とした。

②ヒューマンファクター

主なユーザーについては、メーカーは、取扱説明書等により、ロボットに係るリスク情報を知らせることができる。しかし、小さな子供等は、リスク情報を十分理解できない可能性があるため、子供の使用条件については、慎重に検討した。最終的には、子供を3歳未満、3歳以上の未就学児、小学生以上と3つのグループにわけ、それぞれについて使用条件を取り決めることとした。

③リスクの評価

リスクアセスメントは、JIS B 9702 (リスクアセスメントの原則) にしたがって行った。リスクは、危険源毎に、力エネルギー (挟み込み)、速度エネルギー (衝突)、熱・電気エネルギー (火災、やけど、感電)、毒性、電磁波の影響、人的要因にわけて、危険状態を想定し、リスクを評価した。その結果、想定された危険源は、アプリケーション毎に、100ケース程度に及んだ。

⁵⁵ 青山 元ほか、「屋外清掃ロボットロボハイターRS1」、(社) 日本ロボット工業会、「ロボット」No.168, 2006

⁵⁶ 日浦 亮太ほか、「人間共存型ロボット wakamaru のリスク低減」、(社) 日本ロボット工業会、「ロボット」No.168, 2006

【手順2】 本質安全設計により、リスクを除去又は低減する⁵⁷

（例2－1）汎用ロボットの場合（第1回安全検討WG資料より）

メーカーは、汎用ロボットの開発に当たり、本質安全設計の考え方に基づいて、以下の取組みを行った。

- ① 圧迫等による重大事故が起こらないよう、アームモーターの小型化等により、より出力が小さいアクチュエーターに代替した。
- ② 指挟みの危害に対して、隙間を2mm以下又は12mm以上とした。
- ③ 耐転倒対策として、重心を低くすることで、耐転倒角度を20degとした。

（例2－2）万博用インテリジェント車椅子における本質安全設計⁵⁸

車椅子のシステムは、大きく分けて、車椅子本体、安全情報提供装置、統合測位装置、自律走行制御コントローラ、車椅子外に構築される情報管理サーバの5つからなる。これらシステムの安全設計は、大きく分けて、ハードウェア設計、電気回路設計、ソフトウェア設計の3つに分類される。具体的には、以下のとおり。

- ① **ハードウェアに関する安全設計：** 車椅子本体について、計算機等の電子制御機器の搭載のため、折りたたみ方式を固定方式に変更した。また、強度及び耐久性については、車椅子のJIS規格T9203を満たし、信頼性の高いハードウェアとした。
- ② **電気回路に関する安全設計：** インテリジェント車椅子では、IOボード、モータドライバや多くのセンサーの搭載等により、複雑な電気系となっている。このため、モータドライバの最大電流を必要最小限に絞る、ファンや通気口の設置により放熱対策を施す等の対策を講じた。
- ③ **ソフトウェアに関する安全設計：** 各コンピュータ上で動く単独のソフトウェアの故障診断に加え、コンピュータ間での情報交換が確実に行われるよう、ソフトウェア間の通信についても、相互確認を行う仕組みを構築した。また、通信エラーが発生した場合は、エラーコードを発生し、PDAを介して音声でエラー発生がわかるようにした。

（例2－3）万博用接客ロボットにおける本質安全設計⁵⁹

危険源である力エネルギー（挟み込み）、位置エネルギー（転倒）、運動エネルギー（衝突）、電圧（感電）、熱（やけど）等について、許可された使用条件下では、本質的に大きな障害・死亡を引き起こさないような大きさとして設計した。

さらに、通常の正常運転時に発揮される力・速度等は、形状の工夫等にもよって、小さな障害も発生しないように考慮した。具体的な取組みは、以下のとおり。

⁵⁷ 向殿政男、『国際化時代の機械システム安全技術』、2000

⁵⁸ 松本 治ほか、『インテリジェント車いす TAO Aicle のリスクアセスメントと安全対策』、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」 No.168, 2006

⁵⁹ 日浦 亮太ほか、『人間共存型ロボット wakamaru のリスク低減』、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」 No.168, 2006

- ① **「首」**は、駆動によって頭部が空間中に占める位置が大きく変動せず、首の球面に沿って動作する形状として、衝突や挟み込みが起きない形状とした。
- ② **「腕」**は、動作によって衝突が考えられる手先や肘には、柔軟な材質を用いた。
- ③ **「肘」の内側及び脇の下に相当する部分**は、挟み込みを生じうる形状となるが、相当する部位に手指を挟み込まないように凹部をなくすとともに、少なくとも12mmの隙間が残るように、機械的ストッパーを設けた。なお、隙間の基準を12mmとするのは、本ロボットの最大トルクが産業機器等に比して小さく、大人であれば骨格の強度で抗しうる程度であるためである。
- ④ **「手先」**については、薄手のゴム材により風船のように変形する柔軟な構造とするうえ、眼部への圧迫・擦過による障害を防止するため先端部分にバリ等を生じない成型方法を用いることとした。
- ⑤ バッテリーを最下部に搭載する等、低重心化を行い、またボディー下部が広がった形状とすることで、転倒を極力防止することとした。
- ⑥ 内部電圧を30V以下とすることで、感電の可能性を下げる。
- ⑦ 材質は、可燃性が低いものを使用する。
- ⑧ ケガや異物挿入による故障を防ぐため、内部回路を直視できる隙間をなくす。
- ⑨ 車輪への異物・髪の毛等の巻き込みを防ぐため、軸部を直視できない形状にする。
- ⑩ 鋭利な部分・指等が挟まる凹部をなくす。
- ⑪ 充電ステーションは、接続時には端子が露出しない形状とし、信号系で接続が確認されてから電力系に通電する。

【手順3】 本質安全設計により十分に低減し得ないリスクに対して、安全防護物（ガード、安全防護装置）又は追加の安全方策により、リスクを低減させる。

（例3－1）万博用インテリジェント車椅子の場合⁶⁰

メーカーは、インテリジェント車椅子の安全性を確保するため、安全防護装置を装備した。以下に、幾つかの事例を挙げる。

- ① **緊急停止スイッチ**：体験者が不安を感じた際や、スタッフが異常を感じた際に、即座に車椅子を停止できるよう、緊急停止スイッチを右手すり部前方に取り付けた。緊急停止スイッチが押されると、即座にモータドライバへの供給電源が遮断され、同時に両車輪に取り付けられている電磁ブレーキが作動し、モーターがロックされ、車椅子がその場で停止する。
- ② **後方転倒防止バー**：市販の電動車椅子にもオプション部品として設定されている後方転倒防止バーを装備した。デモ運用を行う路面はほとんどフラットであるため、取り付け角度や形状の見直しを図り、わずかな後方転倒角度でも転倒防止バーが地面と接触し、後方転倒を防止できるように設計した。

⁶⁰ 松本 治ほか、「インテリジェント車いす TAO Aicle のリスクアセスメントと安全対策」、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」 No.168, 2006

(例3-2) 万博用清掃ロボットにおける安全防護策⁶¹

ロボットの作業そのものの安全確保の手段としては、①車輪及びアームをカバーすることによる人の巻き込み防止、②過負荷時におけるノンヒューズブレーカー及び駆動モーターのドライバに過電流が流れると供給電源を遮断する装置の設置等が挙げられる。

人間を含めた障害物との衝突に対する防護例の一つとして、サイドブラシについては、スミのゴミまで車体中央に集めメインブラシでかき上げられるように、清掃時は60mm外側にはみ出すようになっている。しかし、人間と共存する場合、接触して倒れるなど、特に小さな子供の場合はより危険である。このため、センサーの有効範囲をサイドブラシでカバーできる範囲とした。さらに、人が接触した場合、2kgの力で車体の内側に揺動する機構を設けた。

【手順4】 機械の残存リスクに関し、ユーザー（1次的ユーザー及び2次的ユーザー）に通知し、かつ警告する。

(例4-1) 病院内搬送ロボットの場合

メーカーは、病院内搬送ロボットの導入にあたり、取扱説明書を提出するとともに、使用現場において長期実証実験を行った上で、ユーザーに対して操作実習を行っている。

2次的ユーザー（病院内の患者等）に対しては、ロボットが使用するエレベータ等に注意喚起ラベルを貼付することで、ロボットと2次的ユーザーとの衝突事故防止に努めている。また、導入初期には、2次的ユーザーの不安感を払拭するため、3週間ほど、メーカー側のスタッフがロボットの側についてまわった。

(例4-2) 万博用インテリジェント車椅子の運用⁶²

メーカーは、運用における安全面を踏まえ、乗車可能な体験者を、次のように限定した：

- ①車椅子の座席に収まるサイズの人
- ②衣服の巻き込み等の危険がない服装の人
- ③日本語又は英語を理解できる人
- ④緊急停止スイッチが押せ、かつその判断ができる人。なお、妊娠中の人や、泥酔者など、遊園地の乗り物等で通常除外されている人については、基本的に乗車禁止とし、子供を膝に載せての乗車などの2人乗りも禁止とした。

⁶¹ 青山 元ほか、「屋外清掃ロボットロボハイターRS1」、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」No.168, 2006

⁶² 松本 治ほか、「インテリジェント車いす TAO Aicle のリスクアセスメントと安全対策」、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」No.168, 2006

(例4－3) 一般家庭向けの接客ロボットに関する注意喚起⁶³

家庭向けでは、ロボットの転倒や火気・水気の取扱いに関するリスクが高く、特に子供に対する注意が重要であることが、リスクアセスメントから明確になった。また、リスクアセスメントで条件としている使用条件や環境が守られることが重要である点も、明らかとなった。

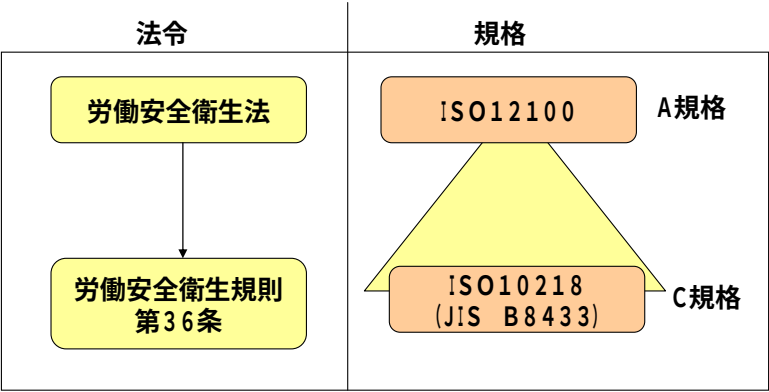
これに対応するため、メーカーは、一般的な説明書の注意事項とは別に、子供にロボット所有者が読み聞かせたり、壁などに張り出したりすることができるような、親しみやすい説明書を作成し、これを製品に添付することとした。使用条件・環境については、購入希望者に対して、使用を予定する部屋等の下向き段差や、火気等の有無を、チェックシートで事前に確認してから、販売する方法をとることとした。

⁶³ 日浦 亮太ほか、「人間共存型ロボット wakamaru のリスク低減」、(社)日本ロボット工業会、「ロボット」 No.168, 2006

産業用ロボットの安全性確保に対する現行の取組み

我が国及び国際規格における現行制度を、法令又は規格の別に整理すると、図1のとおり。

図1. 産業用ロボットの安全性確保に係る法令及び規格



以下に、具体的に規格及び法令について、概要を記述する⁶⁴。

(1) 国際規格 (ISO／IEC) の体系

産業用ロボットを含む機械安全分野においては、既に体系的・包括的な機械安全規格が整備されている (図2)。

図2. 機械安全規格の体系
グローバルスタンダード



⁶⁴ (社) 日本ロボット工業会、『ロボットハンドブック』, 2005

すなわち、統一的な安全設計思想のもとに、全ての機械に適用できる基本概念等を定めた基本安全規格 (A規格)、広範な機械に適用できる分類安全規格 (B規格) と、それに基づく特定の機械又は機械区分に対する機械安全規格 (C規格) からなる階層構造をなす。

下位のC規格が未整備な機械については、上位のBあるいはA規格を参照するため、包括的な対応が可能となっている。A規格は、「基本概念、設計のための一般原則」であるISO12100と、「リスクアセスメントの原則」であるISO14121によりなる。産業用ロボットの場合、C規格としてISO10218/JIS B8433がある。

当該規格は、欧州主導の下に国際規格として整備されており、近年、アジア諸国も、このISO規格への整合を進めている⁶⁵。

(2) 国際安全基本規格 (A規格) であるISO12100について⁶⁶

ISO12100は、2部構成になっている。まず、「第1部：基本用語、方法論」において、安全方策の選択指針として包括的なリスク低減戦略が述べられている。これは、3段階で構成されており、(1) 本質安全設計、(2) 安全防護、(3) 使用上の情報によるリスクの低減、という順番で行うことが明記されている。これらのリスク低減方策の技術的な具体的内容が、「第2部：技術原則、仕様」に記述されている。

ISO12100が規定しているものは、機械を設計する設計者・製造者が行うべき方策に関するものである。すなわち、リスクが低減された安全な機械を製造者は作り、これをユーザーに使用上の情報とともに渡す。ユーザーは、この使用上の情報に基づき、作業手順を作り、必要ならば個人防護具を付け、訓練をして安全を確保するという関係になる。

(3) 産業用ロボットの機械安全規格 (C規格) であるISO10218 (JIS B8433) について

ISO10218は、産業用マニピュレーティングロボットを組み込んだ自動生産システムに特有な危険を認識して作成された。危険源はそれぞれのロボットシステムにおいて固有のものであり、これらの危険に関連するリスクは、使われているロボットのタイプ及びその用途、並びにロボットの据付け、プログラム、運転及び保守の方法によって異なる。

このため、本規格は、ロボットを適用する際の様々な危険の特性を認識することにより、ロボットの設計及び製作における安全を確保するための指針を与えている。また、産業用ロボットを適用する際には、安全は個々のロボットシステムの設計や適用方法に依存するため、据付け、機能試験、プログラミング、運転、保守及び修理の際の要員に対する安全防護対策に関する

⁶⁵ 経済産業省、「階層的製品安全規格の整備に関する研究会」資料、2005

⁶⁶ 向殿政男、「機械システムの安全性」、安全工学 Vol.41, No.1, 2002

指針も与えている。

(4) 法令による安全性確保に係る規定：労働安全衛生規則（昭和47年労働省令第2号 改正平成10年労働省令第26号）

我が国では、労働安全衛生法等の関係法令により、機械による労働災害を防止し、職場における労働者の安全と健康を確保するための方策を規定している。具体的には、検査等の制度、譲渡等の制限等の規制を設け、危険性の高い機械については、厚生労働大臣の定める規格を具備したものでなければならないこととしているほか、事業者に対して機械の仕様に当たった措置等を定めるなど、製造段階から使用段階にわたる安全確保を図っている。

産業用ロボットについては、同規則第36条第31号及び第32号に規定があり、法的に安全対策を行うことが義務づけられている。具体的な規定の内容は、図3のとおり。

図3. 労働安全衛生規則の「産業用ロボットの安全」関連規定

昭和47年労働省令第2号
改正平成10年労働省令第26号

1. 教示等の作業中

- 1.1 駆動源を遮断しない場合
 - ・作業規定の作成（第150条の3）
 - ・直ちに運転停止できる措置（第150条の3）
 - ・作業中である旨の表示等（第150条の3）
 - ・特別教育の実施（第36条第31号）
 - ・作業開始前の点検等（第151条）
- 1.2 駆動源を遮断する場合
 - ・作業中である旨の表示等（第150条の3）

2. 自動運転中

- ・運転開始の合図（第104条）
- ・柵・囲い等の設置（第150条の4）

3. 検査等の作業中

- 3.1 原則
 - ・運転を停止して行う（第150条の5）
 - ・作業中である旨の表示（第150条の5）
- 3.2 やむを得ず運転して行う時
 - ・作業規定の作成（第150条の3）
 - ・直ちに運転停止できる措置（第150条の3）
 - ・作業中である旨の表示等（第150条の3）
 - ・特別教育の実施（第36条第31号）

製造物責任法等の概説 (ロボットを中心に)⁶⁷

1. ロボットに関する製造物責任法⁶⁸の概説

製造物責任法 (抜粋)

第3条 製造業者等【※1】は、その製造、加工、輸入…した製造物【※2】であって、(中略) 欠陥【※3】により他人の生命、身体又は財産を侵害したときは、これによって生じた損害【※4】を賠償する責めに任ずる。(以下、略)

【※1】「製造事業者等」について

- (1-1) ロボット部品供給業者、ロボット本体の輸入業者及び部品の輸入業者は、製造物責任を負う場合がある。
- (1-2) リース業者・レンタル業者・販売業者・サービスプロバイダは、製造物責任法の責任主体に含まれない。民法上の契約責任・不法行為責任を問われる場合はあり得る。
- (1-3) OEM 製品供給先、プライベートブランド販売業者は、責任主体となる。

(注) 複数の業者が責任を負う場合

本体製造業者と部品供給業者の両方が責任を負う場合、両者とも100%の支払義務を負い、内部的な求償により負担部分を調整する。製造物責任を負う者と、不法行為責任を負う者と、契約責任を負う者が混在する場合も、同様である。

【※2】「製造物」について

- (2-1) 部品: 製造物の責任法の規定する「製造物」は「製造又は加工された動産」であれば足り、完成品であると部品であることを問わない。したがって、部品供給業者は、被害者に対して製造物責任を負う場合がある。
- (2-2) 改造した場合: 一旦完成した製品に別の部品を付加した場合や、一部の部品を別の部品と交換した場合は、当該部品の欠陥につき、本体製造業者は原則として責任を負わないが、本体が性質上改造や部品の付加を予定している場合であって、本体製造業者と改造部品業者の間に密接な関係があるときには、例外として、本体製造業者が責任を負う場合があり得る。
- (2-3) ソフトウェア、ソフトウェアの組み込まれたロボット又はその部品
製造物責任法の規定する「製造物」は「有体物」であるから、単なるソフトウェアは該当しない。したがって、単なるソフトウェアベンダーは、製造物責任を負わない。

⁶⁷ 小林正啓、次世代ロボット安全検討WG資料、2006

⁶⁸ 内閣府によると、本法に基づいて提訴された訴訟件数は、法施行10年あまりが経過した平成17年6月末現在で、67件である(内閣府、消費者の窓、<http://www.consumer.go.jp>)。

ただし、ソフトウェアが機械に組み込まれた場合は、「有体物」すなわち「動産」となり、「製造物に該当する」とされる。したがって、ソフトウェアの欠陥によりロボットが他人に損害を与えた場合、製造業者等は製造物責任を負う場合がある。ただし、当該ロボットが仮想空間でのみ作動する場合には、当該ロボットは有体物ではないとして、制作者は製造物責任を負わないとする説と、モニターと一体となった有体物であるとして、モニターの製造者が製造物責任を負うとする見解がありうる。

(2-4) ビル等の不動産と一体となったロボット

製造物は「動産」であるから、「不動産」即ち建物は含まれない。したがって、ビルやマンション、居宅そのものは製造物責任法の対象にならないが、建物をロボット化するシステムを供給した業者は部品供給者として製造物責任を負う。

レール等で建物に固定されてはいても、建物とは独立して稼働するロボットは「動産」であり、「製造物」にあたる。自動ドアも製造物に該当するようである。

【※3】 「欠陥」について

(3-1) 「欠陥」の講学的分類： 欠陥には次の3種類があるといわれている。

- 3-1-a) 設計上の欠陥： 製造物の設計段階で十分に安全性に配慮しなかったために、製造される製造物全体が安全性に欠ける結果となった場合
- 3-1-b) 指示・警告上の欠陥： 有用性ないし効用との関係で除去し得ない危険性が存在する製造物について、その危険性の発現による事故を消費者側で防止・回避するに適切な情報を製造者が与えなかった場合
- 3-1-c) 製造上の欠陥： 製造物の製造過程で粗悪な材料混入や組立誤り等の原因により、製造物が設計・仕様どおり製造されず安全面を欠く場合

(3-2) 「欠陥」の判断基準： 当該製造物の特性、その通常予見される使用形態、その製造業者等が当該製造物を引き渡した時期その他の当該製造物に係る事情を考慮して、合理的に予見できる範囲において、当該製品が通常有すべき安全性を欠いていることとされる。

3-2-a) 設計上の欠陥について

家庭内を自律移動するロボットであれば、何らかの原因でロボットに水がかかることや熱源（ストーブなど）の近くで停止すること、位置確認センサーに埃がたまること、家具に衝突すること等は合理的に予見できるから、それによりロボットが発火したり、家具や人に損害を与えた場合、設計上の欠陥が認められる。

また、2階で使用されることも通常人の使用形態から合理的に予見できる範囲内であり、段差センサーの不備は設計上の欠陥に当たる。家庭内ロボットである以上、子どもやペットがよじ登って遊んだり、いたずらによりセンサー機能が失われたりするのも合理的予見範囲内である（但し、後述する過失相殺により損害賠償額が調整されることになる）。

お使いロボットであれば、横断歩道や踏切、歩道橋などを安全に渡れる機能を有しな

い以上、「欠陥」がある。なお、例えば掃除ロボットについて、取扱説明書上2階での使用を禁止したり、お使いロボットについて「踏切をわたらせない」ことを明記しても免責されない。このような使用方法是、当該ロボットの機能に当然含まれるものだからである。

自律移動はロボットに特徴的な性質であるため、この分野に関して製造者が予見すべき危険の範囲には未知数の部分が多いが、どの程度の手当をすれば欠陥がないといえるかについては、現時点で事案の集積がないため、今後の研究及び綿密な実証実験が必要である。

なお、本体製造業者や部品供給業者がISOなど特定の安全基準を順守して製造を行ったとしても、製品の欠陥の存在が裁判で証明された以上は、製造物責任を免れない。

一方、当該ロボットが犯罪等の強度な違法行為に利用されることは合理的に予見できる範囲外であるから、製造業者は製造物責任を負わない。但し、犯罪や自然災害等に対抗する機能を当然備えるべきロボットがその機能を有しなければ、通常有すべき安全性を欠くことになる。

例えば、薬品を運搬するロボットであれば、運搬途中に故意又は過失により薬品袋と中身が取り替えられることに対する一定の防護措置は講じるべきであり、これを講じていなければ欠陥ありと評価される。

製品全体又は部品が経時劣化した結果「欠陥」が発生した場合は、未解決の分野である。一般論としては、メーカーが品質保証期限を設定表示したのみでは免責されないが、合理的な一定期間を経過すれば免責されることになろう。この点については、ロボットの機能に応じ、車検制度類似の制度、強制廃棄、品質保証期間の立法化等が必要である。

3-2-b) 指示・警告上の欠陥について

この部分については、一般的には家電製品の考え方と同様といえる。基本的な注意点としては、「有用性ないし効用との関係で除去し得ない危険性」についてのみ、指示警告上の欠陥が問題となるのであり、除去し得たのにしなかった欠陥については、指示警告を明示しても製造物責任を免れないという点である。

また、ヒューマンインターフェースに不備があるのに、取扱説明書上指示警告を行っても、免責されない。将来、ロボットが高級になればなるほど、操作方法が複雑かつ曖昧になり、また、人とのコミュニケーションを経て動作をするようになることが想定されるが、かかる操作過程を事前に一般市民に記憶してもらうことは非現実的であり、マニュアルに禁止事項を記載しても、指示警告上の責任は免責されないと予想される。

①ロボットの操作方法（ヒューマンインターフェース）統一や②人種・言語・文化に関わらず直感的操作が可能なユニバーサルデザイン、③間違った操作をロボット自体が拒否する仕組みなど、その適切なあり方については、大いに議論されるべきである。

【※4】「損害」について

製造物責任法により製造業者等が責任を負うのは、「他人の生命、身体又は財産を侵害した（こと）によって生じた損害」である（但し、欠陥による被害が、その製造物自体の損害に留まった場合は、この法律の対象とはならない）。この「他人」とは自然人に限られず、法人も含む。「財産」は有体物に限られず、無形のもの、例えば名誉などの精神的損害やプライバシー情報、経済的信頼（のれん）、純粋営業利益（休業損失等）、顧客データ等を含む。

但し、ロボットに特有の問題として、ロボットがユーザーの感情を傷つけるような言動を行った場合や、ロボットの故障がユーザーに精神的喪失感を与えた場合（ペットロスならぬ「ロボットロス」）については、現時点で全く議論がなされていない。

【※5】 免責事由について

製造物責任法は、「開発危険の抗弁」と「部品製造業者の抗弁」を規定している。前者は、当該製品を引き渡した時点における科学技術水準に基づく知見によっては欠陥を認識できなかった場合の免責を定めるが、基本的に機械とソフトウェアの複合体であるロボットについてはあまり想定できない。後者は、下請業者が完成品メーカーの指示に従った結果生じた欠陥については責任を負わないというものであり、ロボットに特有な論点は、特に想定できない。

【※6】 過失相殺について

ロボットの欠陥によって損害を被った被害者側にも過失がある場合には、その過失割合に応じて、損害賠償額が減じられる（民法722条2項）。

【※7】 「ロボット」の定義について

ロボットの安全性を法律面から論じるに当たっても、定義の曖昧さが障害になっている。安全基準を論じる前に、一定の基準に従ってロボットを分類することが必要と考える。

この点に関しては、おそらく内外の裁判例の集積から演繹し、ロボットの用途、想定されるユーザー、重量その他の要素を総合考慮して、危険性の内容及び程度の観点からロボットを分類し、必要とされる安全基準について一定の目安を設けることは可能と考えられる。

2. 製造物責任法の裁判例

裁判例1. 乳児が手にしていたポテトチップスの袋の角が目当たり負傷した事故につき、袋に欠陥がないとされた事例 (東京地裁平成7年7月24日判決)

(判決要旨 抄)

本件袋は、一般の消費者が安全にその中身を食べることができる包装になっていることが認められる。

我々の日常の経験では、本件袋のような材質・形状の包装は軽量で形の壊れやすいスナック菓子等食品類の包装に比較的多く用いられているが、本件袋についていえば、自らその中身のポテトチップスを食べることのない生後6～7ヶ月の乳児が袋を手を持って遊ぶことを通常予想して製造販売されるものとはいえないのみならず、本件袋が消費者の手で開封されるまでの間に、菓子袋本来の用法とは無関係の本件事故のような事態をも予想して包装の材質・形状を工夫したものでなければ、その製品には安全性を欠いた欠陥があるというべきでもない。

裁判例2. 小学校の低学年生徒が落とした強化耐熱ガラス(コレール)製食器の割れた破片により自傷した事故につき、製造会社に製造物責任が認められた事例 (奈良地裁平成15年10月8日判決)

(設計上の欠陥は認められないが、表示上の欠陥があると認められた事例)

(判決要旨 抄)

(1) 設計上の欠陥について

製造物の中には危険性を有するものの、それを上回る社会的有用性を合わせ有するものも多
いところ、製造物にその設計上欠陥があるといえるか否かは、単に危険性を有するかどうかでは
なく、製造物事態の有用性、製造物が有する危険性の性質、その危険の回避可能性及び難易
度、その製造物につき安全対策をとることが有用性に与える影響、利用者が危険を予見し回避
することが可能であったか等をも総合的に考慮して判断すべきである。

コレールは、給食用食器として、軽くて取り扱いやすい、有害物質の溶出がないといった有用性がある。原告が、コレールの設計上の欠陥として主張する点のうち、「割れた時の危険性」は、コレールが強化磁器製や一般的唐磁器製等の食器に比べて、衝撃に強く割れにくいという学校用給食の食器としての大きな有用性がある反面、割れた場合には細かく鋭利な破片が広範囲に飛散するという危険性を有するものであるが、それは、衝撃を内部にとどめる構造ゆえのものであって、割れにくさという有用性と表裏一体をなすものであり、これをもって直ちにその設計上に欠陥があったと評価することはできない。

以上のとおり、原告がコレールについてその設計上の欠陥として主張する点は、いずれも設計上における安全面での構造的な問題ということはできない。

(2) 表示上の欠陥について

コレールの取扱説明書および使用要領には、取り扱い上の注意として、コレールはガラス製品であり、衝撃により割れることがあるといった趣旨の記載があり、また、取扱説明書には、割れた場合に鋭利な破片となって割れることがあるという趣旨の記載もある。しかし、これらの記載は、割れる危険性のある食器についてのごく一般的な注意事項というべきものであり、そうすると、上記説明に接した消費者は、コレールについて、陶磁器のような概観を有しながら、より割れにくい安全な食器であると認識し、仮に割れた場合にも、その危険性が一般の陶磁器等のそれとさほど変わらないものに過ぎないと認識するのが自然であると考えられる。従って、上記各表示は、コレールが割れた場合の危険性について、消費者が正確に認識し、その購入の是非を件とするに当たって必要な情報を提供していないのみならず、それを使用する消費者に対し、十分な注意喚起を行っているものとはいえない。

裁判例3. 食品容器の裁断機械に、事故防止のための適切な対処方法が講じられていなかった欠陥があるとして、製造物責任法に基づく製造業者の損害賠償責任が認められた事例

(1審 浦和地方裁判所熊谷支部 平成12年6月29日判決 (請求棄却))

(2審 東京高等裁判所 平成13年4月12日判決 (請求一部認容))

(機械のエラー回復手段として、機械を停止させての安全な方法 A があらかじめ定められていたが、これ以外の危険な方法 B をとった従業員が誤って機械に頭部を挟まれてしまった事例)

(1) 一審判決 (概要)

一審判決は、機械取扱いの安全な方法 A が定められているのに、あえて危険な取扱い方法 B まで予見するのは容易でなく、その際の危険防止は当該機械を利用する事業者の責任領域に属し、本件裁断機は通常有すべき安全性を欠いていたとは認められないとして、製造業者に対する請求を棄却した。

(2) 二審判決 (概要)

本判決は、本件機械で定められていた対処方法 A は現場の作業条件にかんがみて不適切なものであり、頻繁に起きるエラーに対して、作業担当者が、その都度機械を停止させて対応するとは期待できず、機械を止めずに処理しようという心理になることを考えれば、危険なエラー回復方法 B を取り得る本件機械の構造からして、従業員が方法 B をとることは十分に予見できるとした。そして、方法 B を回避する安全で適切な対処方法は容易に講じることができたのであり、それにもかかわらずこのような適切な対処方法が講じられていなかった点で、本件機械は通常有すべき安全性を欠いていたものとして、製造業者の責任を認め、過失相殺を5割とした。

3. ロボットに関する事故に対する製造物責任法以外の概説

製造物責任法による損害賠償責任請求が認められない場合であっても、現行の民法に基づく瑕疵担保責任、債務不履行責任、不法行為責任などの要件を満たせば、被害者はそれぞれの責任に基づく損害賠償を請求することができる。この場合は製造事業者のみならず、ロボットの所有者や管理責任者等も責任主体として損害賠償責任を問われ得る。

なお、ロボットの所有者や管理責任者、販売事業者等又はこれらの保険金を支払った保険会社は、製造事業者に対して、製造物責任に基づき、事案に応じて、被害者に支払った損害賠償金の支払いを請求することができる。

(1) 契約責任による損害賠償（被害者と契約関係がある場合）

被害者は、契約関係がある者に対し、民法570条に基づいた瑕疵担保責任等の契約責任を追及しうるが、その賠償範囲は信託利益に限定される（ロボットの代金が返金される程度）とされており、被害者の救済に薄い。

なお、例えば病院で稼働しているロボットが原因で見舞客が怪我をした場合、病院と見舞客は何らの契約関係がないように見えるが、法律学上、病院は見舞客に対し、施設管理上の安全を確保するという黙示の契約上の義務を負うと解され、その義務違反により、見舞客に対して損害賠償責任を負う場合があることは留意すべきである。

(2) 不法行為責任による損害賠償（被害者と契約関係がない場合）

被害者は、契約関係が無い者に対しても、民法709条に基づき不法行為追求しうるが、この場合は被害者が加害者の過失を立証しなければならず、一般的に極めて困難である。

「不法行為責任」とは、故意又は過失によって他人の権利を侵害し、これによって他人に損害を生じさせたことに基づく責任のことであり、特定の者の何らかの行動が事件の原因の一端と認められた場合や、所有者や管理責任者が具体的なロボットの危険性を認識しながらロボットの利用を容認した場合などには、事故の結果回避を行ったとして責任を問われることがある。ただし、必ずしも事故の原因が特定されない場合であっても、被害者救済的な観点から所有者・管理責任者等に損害賠償責任が課せられる可能性もある。⁶⁹

⁶⁹ 製造物責任法が制定されたことにより、被害者は、製品の「欠陥」を立証することで、損害賠償金の支払いを請求することができる。一般的には、製品の欠陥を立証する方が、加害者の過失を立証するよりも容易であるといわれている。

【参考】 ロボットメーカーから寄せられた質問に対する解釈例⁷⁰

問. 「当然起こりうる」と想定される事態かどうかは、どのように判定されるのか。ロボットが網羅できていない情報の死角又は不確実性（又は性能の不足）が原因となる場合、メーカーは、ユーザー（特に第三者に怪我をさせた場合）に対して責任は問われるのか。死角があるようなロボットは欠陥であるとみなされるのか。

答. 自律移動はロボットに特徴的な性質であるため、この分野に関して製造者が予見すべき危険の範囲には未知数の部分が多いが、どの程度の手当をすれば欠陥がないといえるかについては、現時点で事案の集積がなく、今後の研究及び綿密な実証実験が必要。

問. 取扱説明書や契約書で明確に禁止しているような運用方法が原因で事故が起きた場合、メーカーは責任を問われるのか。

答. 取扱説明書や契約書で危険行為を禁止する指示警告を明示しても、除去し得たのにしなかった欠陥については、メーカーは免責されない。

問. 事前に運用方法について明確な定めがなかった場合（内容が不十分であった場合）は、メーカーの責任は問われるのか。ロボットにかかる事故が発生した場合、メーカー側の責任を緩和するためには、事前にどのようなエビデンスを残しておく方が良いのか、取扱説明書などにどのような記載をしておけば良いのか。

答. 「有用性ないし効用との関係で除去し得ない危険性」については、事故の危険性について消費者が正確に認識し、その購入の是非を件とするに当たって必要な情報を提供していない場合や、製品を使用する消費者に対し、十分な注意喚起を行っていない場合は、表示上欠陥があるとして、メーカーが製造物責任を問われる場合がある。

問. ロボットのメーカーが、改造メーカーに対して製品を供給した場合は、責任の所在はどこにあるのか。

答. 一旦完成した製品に別の部品を付加した場合や、一部の部品を別の部品と交換した場合は、当該部品の欠陥につき、本体製造業者は原則として責任を負わないが、本体が性質上改造や部品の付加を予定している場合であって、本体製造業者と改造部品業者の間に密接な関係があるときには、例外として、本体製造業者が責任を負う場合があり得る。

問. ロボットが犯罪に利用された場合、①危険な動作を発生し得るソフトウェアの実行を停止可能な制御システムに設計しきれていない、又は②ロボット改造防止の配慮ができていないとして、メーカーは責任を問われるか。

答. 当該ロボットが犯罪等の強度な違法行為に利用されることは合理的に予見できる範囲外であるから、製造業者は製造物責任を負わない。但し、犯罪や自然災害等に対抗する機能を当然備えるべきロボットがその機能を有しなければ、通常有すべき安全性を欠くことになる。
メーカーは、ロボットを利用した犯罪に対する一定の防護措置は講じるべきであり、これを講じていなければ欠陥ありと評価される場合もある。

⁷⁰ 小林正啓、次世代ロボット安全検討WG資料, 2006

問. セラピー効果を期待して導入したロボットが、逆に患者に精神的苦痛を与えた場合、メーカーの過失と言えるか。

答. ロボットがユーザーの感情を傷つけるような言動を行った場合や、ロボットの故障がユーザーに精神的喪失感を与えた場合（ペットロスならぬ「ロボットロス」）については、現時点で議論がなされていない。

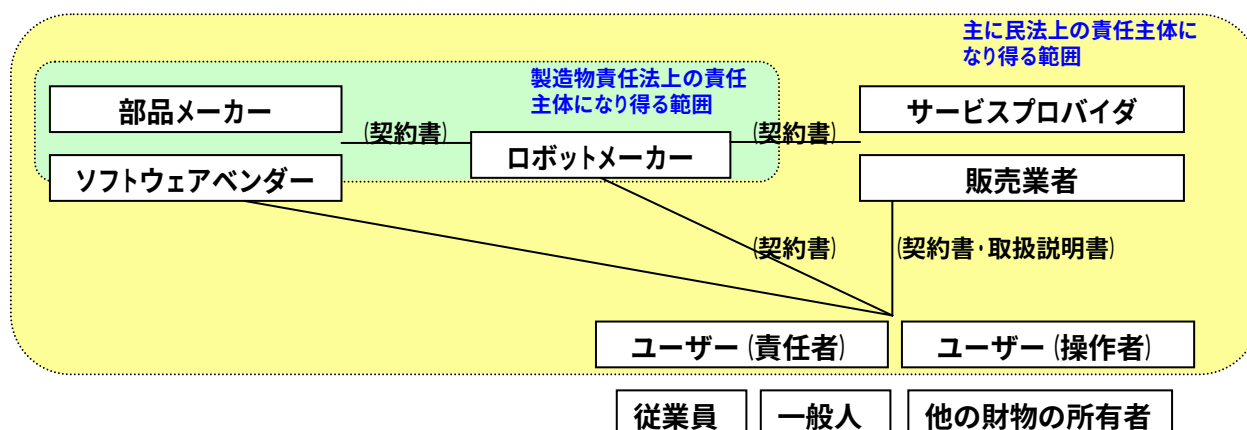
ロボットが人間に与える精神的影響に関する研究は、将来的には問題になりうる。

問. 正常に機能していたロボットに驚いて転倒した老人が怪我をした場合、事故の責任はだれにあるのか。状況判断が適切に下せない被害者が存在する所で掃除ロボットを使用した家族か。

答. ロボットの所有者や管理責任者、販売事業者等も、何らかの行為が事件の原因となったと認められた場合や、具体的なロボットの危険性を認識しながらロボットの利用を容認した場合などには、事故の結果回避を行ったとして不法行為責任（故意又は過失によって他人の権利を侵害し、これによって他人に損害を生じさせたことに基づく責任）を問われることがある。

(参考) サービスロボットに係る事故の想定例 (メーカー等アンケートより)

主な想定原因	主な想定損害
○ ロボット本体又は部品等の欠陥 ・ 本体の機構部品 ・ 本体の電気部品 ・ 本体のハード(回路) ・ 本体に組み込まれたソフトウェア(基本制御ソフト／運用ソフト／教示データ等のコンテンツデータ) ・ ロボットの教示用 PC ・ ロボットを稼働させるための通信系 ・ ロボットを稼働させるための周辺機器(タグ等) ○ ユーザー又は第三者による無断改造 ○ 販売業者による不適切な対応(誇大広告、誤った説明等) ○ プロバイダ又はユーザーによる不適切な運用 ○ 想定外の者や使用を禁止されている者による不適切な運用(子供のいたずら等) ○ 第三者によるネットワーク等を経由した無断操作	○ ユーザーの身体・生命が害された ○ ユーザー以外の第三者の身体・生命が害された ○ ユーザー、プロバイダ又は第三者の財産が侵害された(有体物のみならず、精神的損害やデータ消失等の無形のものも含む) ○ ユーザー又は第三者が情報漏洩に起因する損害を受けた ○ ユーザー、プロバイダ又は第三者の経済活動が阻害されて損害を受けた(休業損失、風評被害等) ○ ロボット本体が損害を被った



※ 当然ながら、事案により、上記以外の者も責任主体になり得る。

(参考3—4)

ロボット分野のリスクと保険⁷¹

メーカーリスク

リスク保有者	製造メーカー	
	想定される事故例	対応する商品例
賠償リスク	■メーカーが製造したロボットが原因となって他人の身体・生命を害した、または財物を損壊したこと（ロボットの欠陥に起因して生じた精神的被害および財産権侵害を含む。）により損害賠償を請求された。 ■ロボットからの通信により収集した個人情報（メーカーの社内から漏えいし、メーカーが損害賠償を請求された。） ■ロボットとのネットワークを有するメーカーが、そのネットワークの管理またはネットワークを用いて行う情報の提供等に起因して、損害賠償を請求された。	・生産物賠償責任保険 ・個人情報漏えい保険 ・e-リスク保険
物的損害リスク（ロボット本体）	■メーカーが納入したロボットが故障し、メーカーが保証書に基づく修理を行った。 ■メーカーがロボットをリースしている場合で、ユーザーが使用している間にロボットが破損した。	・商品付帯動産総合保険 ・ギャランティ機械保険 ・リース動産総合保険
物的損害リスク（ロボットの周囲にある財物）	—	—
経済（費用・利益）損害リスク	■メーカーが製造したロボットの欠陥によって事故（他人の身体への障害または財物の損壊）が発生し、メーカーが事故の拡大または防止を目的としてロボットのリコール（回収、検査、修理等の措置）を行った。 ■ロボットからのデータ通信により収集した個人情報（メーカーが謝罪広告掲載費用、見舞金、お詫び状作成費用等を支出した。）	・リコール費用保険 ・個人情報漏えい保険 ・各種利益保険
傷害リスク	■ロボットの検証実験中に従業員が負傷した。	・労働者災害補償保険 ・雇用保険 ・傷害保険

ユーザーリスク

リスク保有者	BtoBユーザー (工場、警備保障、病院・介護施設、接客、官公庁等)	
	想定される事故例	対応する商品例
賠償リスク	■ロボットを用いた仕事の遂行によって生じた事故に起因して他人の身体・生命を害し、または財物を損壊したことについて、ユーザーが損害賠償を請求された。 ■ロボット内に蓄積された個人情報（ユーザーが損害賠償を請求された。） ■ロボットとのネットワークを有するユーザーが、そのネットワークの管理またはネットワークを用いて行う情報の提供等に起因して、損害賠償を請求された。 ■ユーザーが、リースしているロボットを壊したり、盗まれたりしたことにより、リース業者から損害賠償を請求された。	・施設賠償責任保険（または、警備業者賠償責任保険、介護事業者賠償責任保険等） ・個人情報漏えい保険 ・e-リスク保険 ・受託者賠償責任保険
物的損害リスク（ロボット本体）	■偶然な事故によりロボットが壊れた。 ■偶然な事故によりロボットが壊れ、内部の記録媒体および記録情報も損害を被った。	・動産総合保険 ・機械保険（ロボット総合保険を含む）
物的損害リスク（ロボットの周囲にある財物）	■ロボットが誤作動し、ユーザーが所有する他の財物を損壊した。	・動産総合保険
経済（費用・利益）損害リスク	■ロボット内に蓄積された個人情報（ユーザーが謝罪広告掲載費用、見舞金、お詫び状作成費用等を支出した。） ■ロボットが壊れたため、他のロボットを手配して営業を継続するために、レンタル料金を支出した。 ■ロボットが故障したことにより、ユーザーの事業活動が中断し、利益が減少した。	・個人情報漏えい保険 ・各種営業継続費用保険 ・各種利益保険（ロボット休業補償保険を含む）
傷害リスク	■ロボットが暴走し、従業員が負傷した。	・労働者災害補償保険 ・雇用保険 ・傷害保険

リスク保有者	BtoCユーザー (一般消費者等)	
	想定される事故例	対応する商品例
賠償リスク	■ロボットの所有・使用・管理に起因して他人の身体・生命を害し、または財物を損壊したことについて、ロボットの所有者が損害賠償を請求された。 ■ユーザーが、リースしているロボットを壊したり、盗まれたりしたことにより、リース業者から損害賠償を請求された。	・個人賠償責任保険 ・受託者賠償責任保険
物的損害リスク（ロボット本体）	■偶然な事故によりロボットが壊れた。 ■偶然な事故によりロボットが壊れ、内部の記録媒体および記録情報も損害を被った。	・動産総合保険 ・機械保険（ロボット総合保険を含む）
物的損害リスク（ロボットの周囲にある財物）	■室内でロボットが誤作動し、ユーザーの家財が破損した。	・動産総合保険
経済（費用・利益）損害リスク	■ロボットの誤作動によりユーザーが負傷、入院したことにより、その間の所得が減少した。	・所得補償保険
傷害リスク	■ロボットが暴走し、ユーザー及びユーザーの家族が負傷した。	・雇用保険 ・傷害保険

産業用ロボット
サービスロボット

ユーザー以外の第三者が損害を被ったケースでは、被害者保護の観点から自賠責保険に相当する法名に基づく保険制度の創設も選択肢の一つ。

サービスロボットについては、自動車保険の任意保険に相当するパッケージ商品開発の可能性も考えられる。

家庭用ロボット
(留守番・見守り・玩具等)

⁷¹ 宇田川将生、次世代ロボット安全検討WG資料, 2005

(参考) 自動車保険のリスクと保険

リスク保有者	自動車製造メーカー	
	事故例	対応する商品例
賠償リスク	■メーカーが製造した自動車の欠陥が原因となって他人の身体・生命を害した、または財物を損壊したこと（メーカーの欠陥に起因して生じた精神的被害および財産権侵害を含む。）により損害賠償を請求された。 ■収集した顧客情報がメーカーの社内から漏えいし、メーカーが法律上の損害賠償を請求された。 ■ネットワークを有するメーカーが、そのネットワークの管理またはネットワークを用いて行う情報の提供等に起因して、損害賠償を請求された。	・生産物賠償責任保険 ・個人情報漏えい保険 ・e-リスク保険
物的損害リスク（車両本体）	■メーカーが納入した自動車が故障し、メーカーが保証書に基づく修理を行った。 ■メーカーがユーザーに納入するまでに事故が生じ、納入前の自動車が損壊した。	・販売者一貫自動車保険
物的損害リスク（自動車の周囲にある財物）	—	
経済（費用・利益）損害リスク	■メーカーが製造した自動車の欠陥によって事故（他人の身体の障害または財物の損壊）が発生し、メーカーが事故の拡大または防止を目的として自動車のリコール（回収、検査、修理等の措置）を行った。 ■収集した顧客情報を漏えいし、謝罪広告掲載費用、見舞金、お詫び状作成費用等を支出した。	・リコール費用保険 ・個人情報漏えい保険
傷害リスク	■自動車の組立作業中に従業員が負傷した。	・労働者災害補償保険 ・雇用保険 ・傷害保険

リスク保有者	BtoBユーザー （営業所、物流、バス・タクシー、官公庁等）	
	事故例	対応する商品例
賠償リスク	■自動車運転中の事故に起因して他人の身体・生命を害し、または財物を損壊したことに伴って、ユーザーが損害賠償を請求された。	・自賠責保険 ・対人賠償責任保険（任意保険） ・対物賠償責任保険（任意保険）
物的損害リスク（車両本体）	■自動車運転中の事故により自動車の車両本体が損壊した。	・車両保険（任意保険）
物的損害リスク（自動車の周囲にある財物）	■ユーザーが所有する自動車を運転中に運転を誤り、工場内にあるユーザーの商品を損壊した。	・動産総合保険
経済（費用・利益）損害リスク	■自動車を運転中に事故が生じたため、他の自動車を手配して営業を継続するために、レンタル料金を支出した。 ■自動車を運転中に事故が生じたため、当日中に自宅に帰ることができず、近くのホテルに宿泊し、追加の出費が生じた。	・代車費用、レンタカー費用（任意保険） ・宿泊費用等（任意保険）
傷害リスク	■自動車運転中の事故により、従業員が負傷した。	・労働者災害補償保険 ・雇用保険 ・人身傷害保険（任意保険） ・搭乗者傷害保険（任意保険） ・傷害保険

営業車

被害者保護の観点から、第三者への対人賠償責任については法令に基づく自賠責保険制度が制定されている。

任意加入の自動車保険により、ユーザーのリスクが総合的にカバーされている。

リスク保有者	BtoCユーザー （一般消費者等）	
	事故例	対応する商品例
賠償リスク	■自動車運転中の事故に起因して他人の身体・生命を害し、または財物を損壊したことに伴って、ユーザーが損害賠償を請求された。	・自賠責保険 ・対人賠償責任保険（任意保険） ・対物賠償責任保険（任意保険）
物的損害リスク（車両本体）	■自動車運転中の事故により自動車の車両本体が損壊した。	・車両保険（任意保険）
物的損害リスク（自動車の周囲にある財物）	■自動車運転中の事故により、車内・トランクに積載されたレジャー用品が損壊した。	・積載動産損害保険（任意保険）
経済（費用・利益）損害リスク	■自動車を運転中に事故が生じたため、他の自動車を手配して営業を継続するために、レンタル料金を支出した。 ■自動車を運転中に事故が生じたため、当日中に自宅に帰ることができず、近くのホテルに宿泊し、追加の出費が生じた。 ■自動車事故によりユーザーが負傷、入院したことにより、その間の所得が減少した。	・代車費用、レンタカー費用（任意保険） ・宿泊費用等（任意保険） ・所得補償保険
傷害リスク	■自動車運転中の事故により、ユーザーおよびユーザーの家族が負傷した。	・雇用保険 ・人身傷害保険（任意保険） ・搭乗者傷害保険（任意保険） ・傷害保険

自家用車

ロボットの安全性確保の推進拠点の機能について

ロボットの安全性確保の推進拠点は、公的研究機関等を中心として、大学・研究機関、保険事業者、認証機関等の安全関連の周辺事業者の協力を得ながら、役割分担を明確にしつつ、以下のような活動を行うことが望ましい。

これらの一連の活動を通じて、将来、実際にロボット安全確保の制度運用を担う中核となる専門的人材を育成することも可能と考えられる。

機能1. ロボットの安全に係る取組み事例やデータの収集・分析

- ・ ①メーカーからの情報収集（安全特性値や事故事例等）、②ユーザーからの情報収集（事故・インシデント等）、③独自調査や実験による情報収集・分析法の研究、④他製品（産業機械、家電等）からの類推によるロボット事故率推定、⑤その他機関や文献からの情報収集等
- ※メーカー及びユーザーからの情報を効率よく収集するためには、インセンティブ付与が不可欠である。このため、例えば、①行政から関係者に対する情報提供への協力依頼等、②情報収集と懲罰機能との分離、③他の手続免除や予算措置等、行政側の取組みや社会的な仕組みが必要と考えられる。

機能2. 制度作りに必要な各種実態調査や理論研究

- ・ 安全の観点からのロボット分類
- ・ 類似製品の安全確保制度の体系化
- ・ 欧州等での安全概念に基づく機械安全運用実態調査
- ・ 制度設計原案の策定

機能3. メーカー・ユーザーへの安全規格等情報提供

- ・ サービスロボット安全要求事項に関する規格情報の提供
- ・ 安全関連法令に関する基本的要項の集積と情報発信

機能4. 外部とのネットワークによる安全概念や技術水準の形成

- ・ ロボットの安全技術の目標水準、安全性評価の基準、試験方法等の策定・改訂
- ・ これからの規格化活動、国際標準化（世界への発信）の支援（規格審議団体の支援）
- ・ 安全技術の実態及び動向の調査

機能5. (将来的に) 社会への普及啓蒙活動

- ・ 大学・研究機関と連携した人材育成・カリキュラム開発支援
- ・ 市民向けの概念紹介やテクニカルアセスメントの指導
- ・ メーカーやユーザー等のロボットビジネス関係者向けの安全教育や事例紹介セミナー開催

海外における競争原理を活用したロボット関連技術開発プロジェクトの例

1. 陸上ロボットに適用される学習 (LAGR)⁷²

(1-1) プログラムの目的

・次世代の自律型陸上車両用学習知覚・制御アルゴリズムを開発する。このアルゴリズムを、高性能陸上ロボット車両に組み込む。さらに、本プログラムで開発した学習手法を、様々な地形ボード上で走行する、あらゆる重量の自律型陸上車両に、応用する。

・現行のナビゲーションシステムの多くは、以下手順のアルゴリズムを適用している。①車両付近の空間を再現した3次元モデルを作成する(通常、ステレオカメラ又はレーザー距離計(Laser Rangefinder: LADAR)を用いる)。②パターン認識アルゴリズムにより、3次元モデル内に存在する特定形状の障害物を識別する。③車両が走行する上で安全又は危険な場所を特定した2次元地図に、3次元モデル及び障害物を投影する、④この地図を使い、線路計画アルゴリズムにより、車両が進む最善のルートを決める。

・しかしながら、ステレオカメラや LADAR は計測可能距離に限界があるため、現行システムは、近距離しか捉えられない傾向にあり、車両付近より遠くの地形を的確に判断することが難しい。

・このため、本プログラムでは、①それまでの経験と、②人間による遠隔操作の模倣に基づき操縦方法を学習するアルゴリズムを開発し、学習による自律型ナビゲーションシステムに注力することで、現行システムの欠点を克服する。

(1-2) プログラムの実施プロセス

・本プログラムは、1期18ヶ月として、2期に亘って実施される。

・【第1期(2005～2006 年)】 標準的なコンピュータ及びセンサー装置を搭載した小型車両を用い、小規模のテスト環境でナビゲーション学習手法の開発を行う。各実施者に対し、ロボット車両システムを1台支給する。このシステムが、性能の基準となる。第2期に進むためには、各実施者は、性能基準を上回る学習手法を開発することが期待される(速度で10%増)。

・【第2期(2006～2007 年)】 上記により開発された手法を、無人陸上戦闘車両(Unmanned Ground Combat Vehicle: UGCV)プログラムにより開発された Spinner 車両に移植する。各実施者は、性能基準の約2倍の機能を達成することが期待される。

(1-3) 実施方法

・第1期及び第2期の進捗状況は、LAGR テスト施設で実施される競争試験を通じて、定量的に測定される。主な内容は、以下のとおり。

- ① **経験からの学習試験：**競争試験では、実証機が経験から学習する能力を測定する。本試験は、月1回程度実施され、初回は作業開始から3ヶ月目に行う。各実施者は、開発した制御ソフトウェアを、オブジェクト・コード形式でテスト施設に送付する。テスト施設では、受け取ったソフトウェアを、開発者に配布された車両と同機能の車両にロードする。その後、多数の

⁷² DARPA/IPTO, Learning Applied to Ground Robots (LAGR) Proposer Information Pamphlet BAA 04-25

障害を配したコースを走らせ、複数回の走行により、システムの性能を評価する。

- ② **実例からの学習試験：** Spinner 車両を人が遠隔操作することにより記録された、センサー入力データ及び人間の行動データを用い、これを模倣するよう第 1 期で開発した制御ソフトウェアの性能を試験する。実施頻度は、作業開始から半年後以降、半年に1回程度である。
- ③ **平等性の確保：** 複数の実施者による競争試験である。試験コース、スタート地点、ゴール地点、天候及び地形ボードは、可能な限り同一とする。いかなる実施者も順序の面で有利又は不利な扱いを受けぬよう、テスト実施者は、必要に応じて、試験を行う順番を変更する。
- ④ **プラットフォーム：** 小型車両が持つ移動ロボットは、メカ機構、低レベルコマンド及び制御ソフトウェアにより、構成される。主なスペックは、以下のとおりである。

パラメータ	値
長さ、幅、高さ	70cm、50cm、40cm
重量 (1次電池なし)	130 ポンド
重量 (1次電池あり)	190 ポンド未満
地上高	14cm
電池	26A、12V (2個)
最高走行速度	秒速 1.75~2.5m
走行可能最高傾斜	20deg

- ⑤ **環境センサー：**市販のステレオ・カメラ・システム、作動範囲が約 1m の赤外線距離センサー、衝突作動型スイッチで構成される。定位センサーには、Wide Area Augmentation System (WAAS)対応の GPS(Global Positioning System)と3軸ジャイロセンサーが搭載される。
- ⑥ **試験施設：** 屋外地形ボードによる複数のテストコースと、小型車両置き場で構成される。コースの長さは、約 100m だが、多少のばらつきはある。地形ボードは、簡単に走行できるものから、走行不能なものまで、変化に富んだものとする。1回の競争試験でコースは変更しないが、次の競争試験までには必ず変更を加え、次第に難しくかつ長くする。

(1-4) 競争試験における採点の方法

・採点は、次の2つの原則に基づいて行われる：①コースの到達率の高さが最重要である。車両の走行速度に関係なく、完走者には非完走者よりも高いスコアを与える、②次に走行速度を評価する。完走者の中では、走行速度が速いほど点数を高くする。

【距離 D】 D_r は走行終了地点からゴール地点までのユークリッド距離、 D_s はスタート地点からゴール地点までのユークリッド距離

【ゴール到達率 F】 $D_r > D_s$ の場合、 $F=0$ 、その他の場合、 $F=1-(D_r/D_s)$

【走行スコア S】 コース到達率 F、走行可能な最短経路の長さ L、経過時間という3つのパラメーターの関数として、計算する。 $S=F \cdot L/T$

【総合スコア】 走行回数 N 回のスコア S_{bar} は、単純平均スコアである。原則、 $N=3$ である。

(1-5) 報告義務

・各実施者は、予定されたすべての競争試験に参加するほか、LAGR プログラムの一環として開催される主席研究員会議に参加しなければならない。

・各実施者は、開発状況に関する報告書を、四半期に1回提出しなければならない。

2. 歩行学習プログラム⁷³

(2-1) プログラムの目的

- ・無人車両が、不規則に存在する大きな障害を越えて走行することを可能にする次世代の学習アルゴリズムの開発である。
- ・過酷な地形での歩行においては、慎重に計画され、正確に制御された動きが必要である。本プログラムでは、過去の経験から歩行する方法を学習するアルゴリズムを開発する。

(2-2) プログラムの実施プロセス

- ・本プログラムは、2期(第1期は2006～2007年、第2期は2007～2008年)に亘って3年間、実施される。各期のマイルストーンは、以下のとおり。
- ・[第1期] 歩行を学習したシステムが、秒速 0.1I で、高さ 0.4I の障害を越えて走行する
- ・[第2期] 歩行を学習したシステムが、秒速 0.6I で、高さ 0.9I の障害を越えて走行する
- ・各実施者には、歩行プラットフォームの Little Dog1台と、地形ボード1を1枚支給される。Little Dog は、体長 10.5 インチ、足長 6 インチの、特注4足プラットフォームである。内蔵コンピュータとロボット・コントロール・ステーションで制御する。後者が、ナビゲーション、学習、ユーザーインタラクションを担う。

パラメータ	値
アクチュエーターの数	12
足長、体長、体幅、体高	6.3, 10.6, 3.5, 10.2 インチ
重量	6.6 ポンド
最高速度	10 インチ／秒

- ・各実施者は、学習アルゴリズムを開発し、Little Dog に地形ボード上を走行させ、開発したアルゴリズムを試験する。パフォーマンスは、走行速度と、越えることができた最大の障害物の大きさにより評価される。

(2-3) 実施方法

- ・第1期及び第2期の進捗状況は、LL テスト施設で実施される競争試験を通じて、定量的に測定される。主な内容は、LAGR とほぼ同様。

(2-4) 学習方法

- ・実施者は、不規則に存在する大きな障害物を越えて進むよう車両を訓練する方法を開発する。一例を、以下に説明する。
- ・障害物を越えて進むため、ロボット制御システムは、車両の最初の位置と姿勢に合わせた一連のアクチュエータ・コマンドを実行する必要がある。具体的には、本制御システムは、姿勢、目標の方法、地形という入力空間(p)にある点を、一連のアクチュエータ・コマンドという出力空間(S)に移す関数 $L(p)$ のように動作しなければならない($S=L(p)$)。 $L(p)$ の値を決める方法の一つとして、強化学習法等がある。

⁷³ DARPA/IPTO, Learning Locomotion Proposer Information Pamphlet BAA 05-25

総合科学技術会議における分野別推進戦略(情報通信分野) 【抜粋】

・ロボット領域

2005年から2030年までに、1,500万人の労働人口(15～65歳)が失われ、940万人近い高齢者(65歳～)が増加すると予想される人口減社会が到来する(国立社会保障・人口問題研究所推計より)。ロボット技術により、労働力を創出するとともに、高齢者の社会参加を支援し、子育てが安心・快適にできる社会を創出すること、つまりロボットにより持続的発展可能性(サステイナブル)なライフスタイルを確立することが強く社会から要請されている。

また、日本のロボット技術は世界最高水準にあるが、さらに、ロボット技術を構成する中核シーズ技術であるロボット・テクノロジー(RT)の革新が期待されている。第3期基本計画においては、RTの研究開発への集中的な投資、家庭や街で生活に役立つミッションを明確にした実証実験など、長期的展望にたったロボット研究開発プロジェクトの創成が必要である。さらに、新市場創出として産業界からの要請も強い。

したがって、ミッションとしては、煩わしい家事労働の支援、高齢者や女性が安心して働けるための支援、接客や片づけなどの各種サービス業の作業代行及び清掃、警備、案内、点検、搬送など人の行動や作業支援など家庭や街で生活に役立つロボット、労働力減少を補う先端ものづくりのためのロボット、犯罪や災害から生活を守ってくれる安全・安心のためのロボット、安全で快適な移動のためのロボット、スムーズで直感的なコミュニケーションのためのロボット等の研究開発が重要である。

上記の重要なミッションをもったロボットを実現するための要素技術は多岐に亘るが、ロボットが活動するために必要な情報を、ネットワークや実環境から取得するための標準的な技術(環境の構造化技術)、様々なロボットのハードウェアやソフトウェアのモジュールを自由に組み合わせることで新たなロボットサービスやロボットシステムの構築を可能とするシステムの統合連携技術(RTシステム統合連携技術)、ロボットの目、手、足などに相当するロボットの要素機能に関して、組合せ可能なモジュールを社会に普及できるレベルまで高度化する技術(RTモジュール高度化技術)、ロボットの行動をより人にとって親和的なものとし、信頼性の高いものにするための、人間とロボットの間を結ぶインタラクション技術が重要な研究開発課題である。

以上を考慮し、以下の重要な研究開発課題に取り組むことが必要である。なお、課題1から課題5までは課題解決型のプロジェクト研究開発課題であり、課題6から課題8までは要素技術の研究開発課題である。

- 【課題1】 家庭や街で生活に役立つロボット
- 【課題2】 先端ものづくりのためのロボット
- 【課題3】 安全・安心のためのロボット
- 【課題4】 安全で快適な移動のためのロボット
- 【課題5】 スムーズで直感的な対話可能なコミュニケーションロボット
- 【課題6】 RTシステム統合連携技術
- 【課題7】 RTモジュール高度化技術
- 【課題8】 人間とロボットのインタラクション技術 (人間・ロボット界面の科学技術)