

人工物設計・生産研究連絡委員会メカトロニクス専門委員会報告

# ユビキタスメカトロニクスの提言

人間機械コンテンツ構築活用機能の創成

平成17年7月21日

日本学術会議

人工物設計・生産研究連絡委員会メカトロニクス専門委員会

この報告は、第19期日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会メカトロニクス専門委員会、人間行動評価のためのユビキタスメカトロニクス研究小委員会、人工物・物流稼働評価とその基盤技術のためのユビキタスメカトロニクス研究小委員会、ユビキタスメカトロニクス国際化小委員会での審議結果を、メカトロニクス専門委員会に取りまとめ発表するものである。

[メカトロニクス専門委員会]

委員長 佐藤知正（東京大学大学院工学系研究科教授・日本機械学会）  
幹事 保坂寛（東京大学大学院新領域創成科学研究科教授・精密工学会）  
幹事 高瀬國克（電気通信大学大学院情報システム研究科教授・電気学会）  
委員 杉江俊治（京都大学大学院情報学研究科教授・システム制御情報学会）  
福田敏男（名古屋大学大学院工学系研究科教授・計測自動制御学会）  
横小路泰義（京都大学大学院工学系研究科助教授・日本ロボット学会）

[人間行動評価のためのユビキタスメカトロニクス研究小委員会]

委員長 横小路泰義（京都大学 大学院工学系研究科・助教授）  
幹事 中内靖（筑波大学 機能工学系・助教授）  
委員 井場陽一（オリンパス(株) 未来創造研究所・上席研究員）  
佐々木健（東京大学 大学院新領域創成科学研究科・教授）  
苗村潔（東京工科大学 バイオニクス学部・講師）  
橋本政昭（橋本総業(株)・取締役社長）  
八村広三郎（立命館大学 情報理工学部・教授）  
廣瀬通孝（東京大学 先端科学技術研究センター・教授）  
間瀬健二（名古屋大学 情報連携基盤センター・教授）  
森武俊（東京大学 大学院情報理工学系研究科・助教授）

[人工物・物流稼働評価とその基盤技術のためのユビキタスメカトロニクス研究小委員会]

委員長 保坂寛（東京大学 大学院新領域創成科学研究科・教授）  
幹事 高瀬國克（電気通信大学 大学院情報システム研究科・教授）  
委員 阿賀正己（トヨタ自動車(株) 東富士研究所・主担当員）  
浅間一（東京大学 人工物工学研究センター・教授）  
石井伸也（三菱重工業(株) 技術本部先進技術研究センター・主席研究員）  
久保田裕二（(株)東芝 研究開発センター機械・システム部 主任・技監）  
杉江俊治（京都大学 大学院情報学研究科・教授）  
宮澤比呂之（セイコーエプソン(株) 工機部工機設計グループ・グループリーダー）

[ ユビキタスメカトロニクス国際化小委員会 ]

委員長 福田敏男 (名古屋大学 大学院工学系研究科・教授)  
幹事 久保田直行 (首都大学東京 システムデザイン学部・助教授)  
委員 新井健生 (大阪大学 大学院基礎工学研究科・教授)  
新井史人 (名古屋大学 大学院工学研究科・助教授)  
大島徹 (富山県立大学 工学部・助教授)  
小菅一弘 (東北大学 大学院工学研究科・教授)  
橋本秀紀 (東京大学 生産技術研究所・助教授)  
長谷川泰久 (筑波大学 機能工学系・講師)  
渡辺桂吾 (佐賀大学 大学院工学系研究科・教授)

会議開催記録

第19期 人工物設計・生産研究連絡委員会メカトロニクス専門委員会

第1回委員会 平成15年12月24日  
第2回委員会 平成16年3月23日  
第3回委員会 平成16年7月21日  
第4回委員会 平成16年12月22日 (小委員会と合同開催)  
第5回委員会 平成17年3月29日 (小委員会と合同開催)  
シンポジウム 平成17年3月29日

## 要旨

### 1. 報告の名称

ユビキタスメカトロニクスの提言 人間機械コンテンツ構築活用機能の創成

### 2. 報告の内容

#### (1) 作成の背景

メカトロニクスは日本発の用語であり、この25年間日本の製造業を支えてきた。前期までに、今後方向として「技術ウィービング」と「ユビキタス化」を示した。今期はその具体的形態を、環境中にセンサやメモリを遍在(ユビキタス化)させ、人やモノの行動履歴を記録コンテンツ化し、個々の挙動の特徴を抽出し、ソフトウェアとして機械に内蔵し、個々の対象に適合したサービスを提供するものと定義し、その実現に必要な技術と応用を調査した。

#### (2) 現状及び問題点

以下の5分野で調査した。1)人間行動評価技術、2)人工物稼動評価技術、3)物流評価技術、4)共通基盤技術、5)教育と国際化。1)については、人間とそれを取り巻く環境中にセンサを遍在させ、装着者に負担をかけることなく、位置、生体情報、機器の操作状況を計測する技術と、センサデータから行動を理解する技術とが必要であり、健康管理、機器の自動操作、スポーツなどの教育に利用されると結論した。2)については、異常検出、ネットワークの標準化、分散センシングが必要技術であり、生産管理、情報家電などに利用されると結論した。3)については、映像型ドライブレコーダ、安価な位置探査センサ、それらの計測結果の共通データベース、事故分析アルゴリズム、稼動状況診断アルゴリズムが必要技術であり、車両設計、予防安全、物流拠点整備などに利用されると結論した。

#### (3) 改善策、提言等の内容

ユビキタスメカトロニクスの研究と普及のため、2つの観点から提言する。

##### 1)人間機械コンテンツメカトロニクス創成のための基盤技術研究開発の推進

コンテンツ収集のためのセンシング技術研究開発の推進、センシングデータから有用情報を生成するデータマイニング技術研究開発の推進、コンテンツ収集手段と利用手段の標準化と高信頼化研究開発の促進、情報保護のための法・技術の整備。

##### 2)ユビキタスメカトロニクスの教育・研究・国際化の推進

横断的な分科会、国際標準化委員会の設置と教育カリキュラムの体系化の推進、国際的な人材育成、その評価基準の策定、日本を中心とし、米国、ヨーロッパと連携した国際会議の開催、アセアン諸国との教育・研究・技術連携の強化、国による、社会的インパクトの高いプロジェクトへの重点的支援、フォーラムの開催、産学官の連携強化と世界をリードする教育・研究施設の設置。

本提言は、メカトロニクス研究開発に携わる技術者、教育者に発せられるものであるが、ユビキタス情報社会の構築に関わる情報処理関係者、その利用に関わる医学、生物学、土木工学、生活科学などの研究者、技術者にも関係する広がりをもつものである。

ユビキタスメカトロニクスの提言  
人間機械コンテンツ構築活用機能の創成

目 次

1 . はじめに	1
2 . メカトロニクス技術の過去・現在から将来の方向	3
2-1 メカトロニクスの発展	3
2-2 マイクロメカトロニクスとユビキタスメカトロニクスの展開	6
2-3 人間機械コンテンツの構築と利用	9
2-4 人間機械コンテンツ利用上の課題	11
3 . 人間機械コンテンツの現状、未来、必要技術	12
3-1 人間行動コンテンツ	12
3-1-1 現状	12
3-1-2 未来のあるべき姿	13
3-1-3 必要な技術	13
3-2 人工物稼動コンテンツ	14
3-2-1 現状	14
3-2-2 未来のあるべき姿	15
3-2-3 必要な技術	15
3-3 交通物流コンテンツ	15
3-3-1 現状	15
3-3-2 未来のあるべき姿	16
3-3-3 必要な技術	16
3-4 ユビキタスメカトロニクスの実例と研究状況	16
3-4-1 ライフログ	16
3-4-2 ロボティックルーム	18
3-4-3 映像記録型ドライブレコーダによる交通事故分析	21
3-4-4 物流用位置探査システム	24
3-5 センサデータ収集における法的課題	26

4 . ユビキタスメカトロニクスの国際化と教育	27
4-1 ユビキタスメカトロニクスの国際標準化	27
4-2 ユビキタスメカトロニクス教育の取り組み	27
4-3 ユビキタスメカトロニクス教育のためのカリキュラム	28
4-4 ユビキタスメカトロニクスの国際化に向けて求められること	29
5 . 提言	30
5-1 人間機械コンテンツメカトロニクス創製のための基盤技術の研究開発の推進	31
5-2 ユビキタスメカトロニクスの教育・研究・国際化の推進	32
参考文献	33

## 1. はじめに

自然科学における重要な発見は、20世紀の初頭から1960年代までに集中しているが、技術革新においては20世紀後半からの50年間に集中している。中でも、世界に冠たる日本の産業として認知された時計、カメラなどの精密機械、自動車、造船、半導体、家電、情報機器などの諸産業は、後半の30年、すなわち75年から現在に至るまでに飛躍的發展を遂げたメカトロニクス技術なくしては語れないといってもいい過ぎではないだろう。

ここでは21世紀のメカトロニクスを提示したい。結論から先に述べると、21世紀のメカトロニクスは「社会遍在性と人間機械コンテンツ」をもち、それを活用する機能を備えたものへと脱皮する。すなわち、メカトロニクスは、通信技術によってさまざまなメカトロ機器や社会インフラとネットワーク結合されユビキタス化し、その機器を利用している人の行動情報や機械の稼動状況が記録・データベース化され（人間機械コンテンツの構築）、そのデータに基づいて高度な付加価値が実現されたものになるということである。ユビキタスメカトロニクスとは、あらゆる人・モノにセンサを装備し、長時間稼動状態を計測し、それをネットワークで収集し、個人や個別の状況に機械を適合制御する技術である。

本専門委員会では、21世紀のメカトロニクスを提言するにあたり、以下の経緯で議論を進めてきた。

前々期（第17期）には、「メカトロニクス教育・研究に関する提言」提出を念頭に、日本発メカトロニクスのコンセプトをさらに深化・発展させるための議論を行い、その推進の方策を探った。そもそもメカトロニクスとは初期の段階では電子・情報・機械の諸技術を融合した従来にない高機能な製品・製造技術の総称であった。これをふまえ第17期では、発展形態としてマイクロマシン技術・光技術を加えた最新技術を駆使してコンピュータワールドと現実のリアルワールドを結ぶ技術と再定義し、その教育と研究の充実を提言した。

前期（第18期）には、ユビキタスメカトロニクスの概念を提唱し、2つの小委員会「ナノ・バイオ技術ウィービング小委員会」「人間・知能・環境技術ウィービング小委員会」を設置した。そこでは、メカトロニクスの技術研究をナノ・バイオという科学技術領域まで深めるとともに、応用においては、人間・自然・環境の領域をカバーするとともに、これらの織り成す技術ウィービングという概念を導入してより新しい展開を目指すべきことを提言した。これは、現在のメカトロニクスを医学、農学、化学などとも融合させ、人間、自然、人工物の中に遍在させ、ネットワークで結び、協調して個々人が求めるサービスを実施させるものである。そして、このような世界を実現するための技術の湧き出すノードのような役割をもつ技術ウィービング・コアとしての研究開発型NPOの設立と、これらを積極的に支援する組織の設立を提言した[1]。

これを受け今期（第19期）は、ユビキタスメカトロニクスの具体的な実現形態を議論した。環境中にセンサやメモリを遍在させると、個人の情報・行動履歴（人のコンテンツ）や個々の人工物の情報・稼動履歴（機械のコンテンツ）を記録することが可能となる。そこで、環境中に遍在し、これら「人間機械コンテンツ」をソフトウェアとして具備し、個人や人工物が望むサービスを個々人に最良な形で提供するシステムをユビキタスメカトロニクスの実

現形態とした。コンテンツとは、「クセ」とも言うべきものを含んだ、ひとまとまりの情報である。その構築と利用には、まず、人や人工物にセンサをつけ、長時間のデータログをとり、稼動状態のデータベースを構築することが必要である。ついで、蓄積したデータから行動の規則性を見出し、クセに応じた補正式などの有用情報を生成し、それに応じて実際にシステムを動作させることが必要である。これには、機械・電子・情報技術に加え、それを利用する医学、土木工学、生物学、生活科学などの知識が必要とされ、必然的に、技術ウィービングを伴う。

対象分野として、(1)人間行動評価技術(人に付けるメカトロニクス)、(2)人工物稼動評価技術(機械に付けるメカトロニクス)、(3)交通物流評価技術(社会インフラに付けるメカトロニクス)、(4)共通基盤技術、(5)国際化の5つをとりあげ、これらを、人間行動評価のためのユビキタスメカトロニクス研究小委員会、人工物・物流稼動評価とその基盤技術のためのユビキタスメカトロニクス研究小委員会、ユビキタスメカトロニクス国際化小委員会の3つの小委員会としてグループ化した。各小委員会では、それぞれの分野における必要技術、応用分野、現状技術および将来展開等を明確化した。

各小委員会の担当分野と構成は、以下のとおりである。

#### 1. 人間行動評価技術小委員会

##### (1) 人間行動評価技術

ユビキタスメカトロニクスの人の活動支援への現状と課題、将来像を検討する。具体事例として日常生活支援、モーションコンテンツを想定し、これを支える技術として入力、蓄積、認識処理を扱う。

#### 2. 人工物・物流稼動評価とその基盤技術のためのユビキタスメカトロニクス研究小委員会

##### (1) 人工物稼動評価技術

具体事例として、生産管理におけるユビキタスメカトロの役割、ユビキタス社会実現のための情報家電を想定し、これを支える技術として、生活、オフィス、工場におけるユビキタスメカトロニクス技術、ロボット技術を扱う。

##### (2) 物流・交通評価技術

交通分野ではドライバの運転行動・事故データ利用などを扱う。物流分野では荷役機器などの効率化と国際物流におけるセキュリティの問題、そのユビキタスメカトロによる解決を扱う。

##### (3) 共通基盤技術

人間、人工物、物流・交通評価に共通的に使用される観測や制御理論などのメカトロニクス技術を検討する。

#### 3. ユビキタスメカトロニクス国際化小委員会

メカトロニクス教育の国際化の現状と課題、将来像を検討する。

これらの専門委員会、小委員会で議論され、得られた結論を、次の第2章以下で説明する。

## 2. メカトロニクス技術の過去・現在から将来の方向

### 2-1 メカトロニクスの発展

機械の制御技術の源流は、18世紀末にジェームズ・ワットが発明した调速機にあると言われている。やがて20世紀初めから、自動車、航空機、船舶が発達し始め、57年には人工衛星が打ち上げられた。さらに、MITのハリソンによって電気制御による高精度な回折格子線機（ルーリングエンジン）が開発され、数値制御工作機械の基礎研究が始まる。こうしてメカトロニクスの萌芽の兆しが見え始めた。

そもそも、メカトロニクスという言葉は、日本の安川電機によって提唱・作られた和製英語である。つまり、メカトロニクス(mechatronics)とは、機械工学や機構(mechanics)と電子工学や電子回路(electronics)を合体した造語であり、狭義には、「電子制御機械 = 電子回路によって制御された機械」を意味し、メカニズムとエレクトロニクスとが結びついた機械、あるいは機械システムをさす。腕時計などがその代表例である。最近では、ネットワークに結合されたコンピュータや情報家電など、情報技術(IT; Information Technology)を応用した機械システムもメカトロニクスと呼ばれる。広義には、メカトロニクスは、「情報駆動機械」といったような広い概念で使われている。携帯電話などがその例である。

このように日本で提唱されてから、メカトロニクスは飛躍的な発展を遂げた。まず、70年代後半からのマイクロプロセッサの導入によって本格的なメカトロニクスの時代となり、80年代も後半になると、世界的に通用する概念となった。この時代には、半導体分野での微細加工技術の応用によって、マイクロマシニングの研究が盛んにおこなわれるようになり、各種センサやマイクロアクチュエータの実現の可能性が増してきた。加えて、機械技術の微小化を極限まで追求するマイクロメカニズムの研究も進められるようになる。ちなみに、日本機械学会が「メカトロニクスシリーズ」(全7巻、技報堂)を編集し発行したのが1984年である。メカトロニクスという言葉が学問領域としてもこの時期に定着したことを示している。伝統ある日本機械学会が、カタカナ表記の和製英語を正式な用語として取りあげたという事実は、今日までのメカトロニクス関連技術の発展、産業的・社会的インパクトも考えると、メカトロニクスの学術および社会的意義の大きさが理解される。さらに、90年代には、光を媒介にして、情報とエネルギーが融合する形態の、いわゆるマイクロメカフォトン技術が芽ばえるとともに、マイクロメカトロニクス技術に光技術が加わったマイクロロボットメカトロニクスの時代がやってきた。

そしてここ10年では、ナノマシンを使ったナノ制御、ナノセンシングが実現するようになり、ナノメカトロニクスとでもいうべき時代へと突入している。また、メカトロニクスは、DNAのらせん構造や筋肉のメカニズムなど、生物の精妙なしくみを模倣する技術へと発展している。つまりナノ・バイオメカトロニクスの時代に突入している。

こうして見てくると、日本がどの国よりもいち早く、高水準でオリジナリティの高い製品を作り出し、経済大国へと発展してきた背景に、メカトロニクスがあることがわかる。今やメカトロニクスは、製品の軽薄短小化や機電一体を表す言葉から脱皮して、科学技術の新思潮を表すものとして世界的にも理解され、認知されつつある。

メカトロニクスに関連する産業と代表的な機器を列挙すると次のように広範囲なものであることが理解される[2]。

自動車産業	エンジン、ITS(Intelligent Transportation System)、危険回避システム
航空・宇宙産業	航空機、航行機器、人工衛星、宇宙ステーション、宇宙望遠鏡、宇宙ロボット
その他の運輸交通産業	鉄道、船舶、オンデマンドバス
建設・土木産業	建設機械、高層建築物・橋梁の制振装置
情報・通信産業	半導体、液晶、HDD、プリンタ、通信機器、複写機
家電産業	AV 機器、省エネルギー、リサイクル、インターフェース機器
重電産業	発電機、電力制御、原子力発電、廃棄物処理、環境機器
産業機械産業	工作機械、NC、生産ライン
精密機械産業	半導体加工装置、時計
医療福祉産業	身体機能補助機器、治療診断装置
エネルギー・環境産業	エネルギー機械、環境機械

天然資源の乏しい日本は、材料を輸入し、それを加工して価値を高め、海外に輸出するという加工貿易立国の国である。図 2-1-1 に、2002 年度におけるわが国の技術輸出入額の産業別構成を示す。この図からもわかるように、メカトロニクス産業（図では電気機械工業（主に電子機器）、情報通信機械工業、輸送用機械工業（主に自動車）と記されている）の占める割合は（7%、18%、21%で）合計すると 46%（75 兆円）と極めて高い比率（と金額）を占めている。メカトロニクス技術は、加工貿易の主役であるわが国の製造業を世界最高水準のものにしており、ものづくり日本を支えているといっても過言でない。

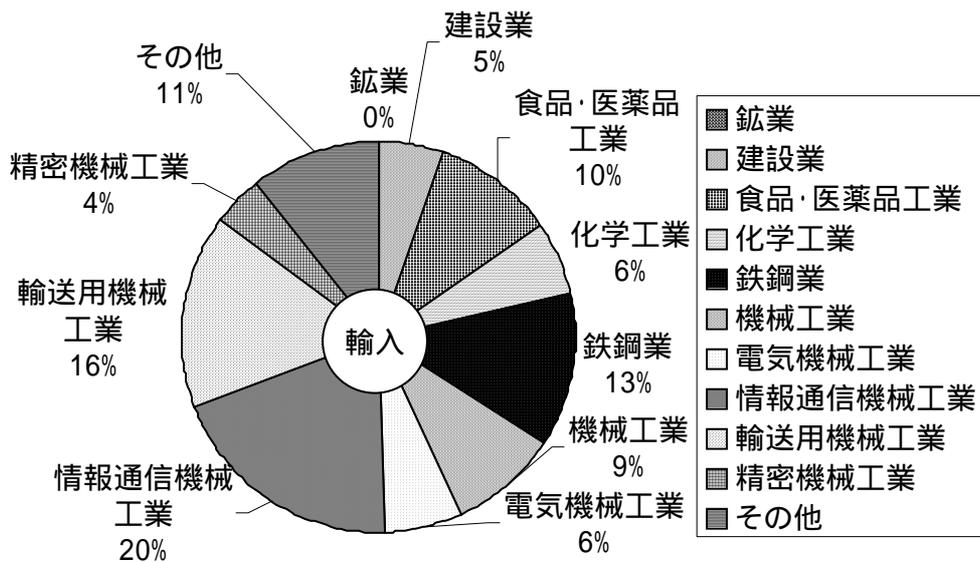
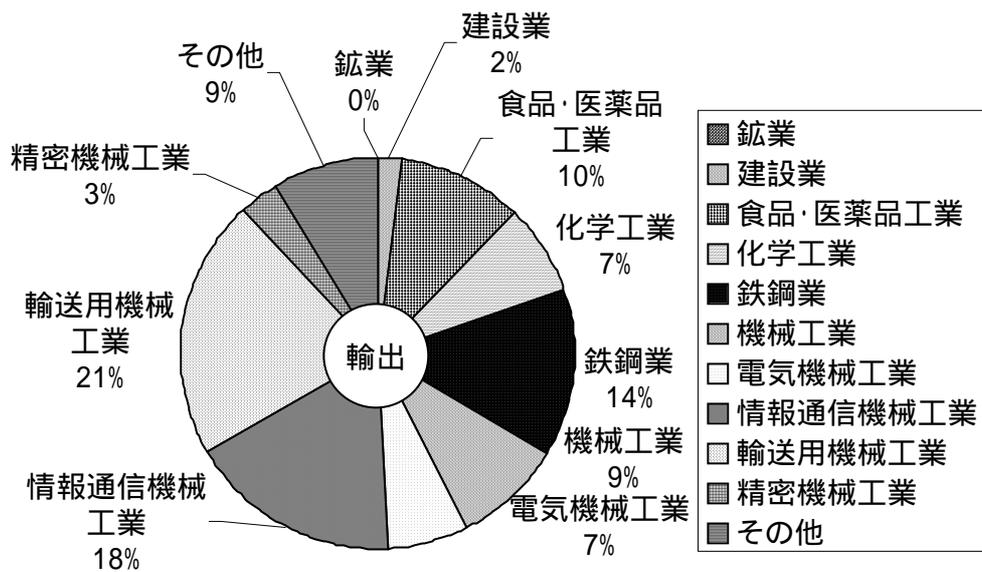


図 2-1-1 わが国の技術輸出入額の産業別構成

## 2-2 マイクロメカトロニクスとコピキタスメカトロニクスの展開

現代物理学の中核をなす量子力学の進展によって、情報、エレクトロニクス、バイオ、新素材、マイクロマシンなどの先端技術が次々と開花し、時代はますます小さいものを求めるようになってきている。このミニチュアリゼーション推進のために必要なのが、「集積回路」「集積機構」「集積情報」である。これらが三位一体となったときに、どのような世界が開けるかを考察する。

現状では、コンピュータのダウンサイジングとともに、実装技術、LSI技術、マイクロマシン技術などの微小化技術が進展している。このようなマイクロ化によって可能になるのが、ウェアラブルコンピュータである。情報機器は持ち歩く時代から身に付ける時代へと変貌しつつある。コンピュータというよりは、センサを統合した「時空計」として展開しつつある。つまりGPS、地磁気センサ、傾斜センサ、ジャイロなどの計測手段とPHSなどの通信手段を一体化した空間計を時計と合体させた機器が実用化される時代を迎えている。これには、種々のセンサを集積回路で実現する集積機構の技術が寄与している。今後は、さらにウェアラブルコンピューティングの時代にふさわしい微小情報機器へ向かうことは間違いない[3]。

生体情報通信システムも「着る情報機器」の時代に入ると、人間が身につけている衣服や眼鏡、靴、ベルトを通じてデジタル情報をやり取りすることが考えられる。つまり、人間をネットワークと見立てた分散システムの誕生である。これが実現すれば24時間の身体の状態監視や長時間の履歴記録、位置情報の常時発信が可能となる。さらに、心臓の動きを見る振動センサを加えると、人間の健康状態を常に把握するヘルスケアシステムが実現できるであろう。すでに、人体を信号伝送路として用いる人体通信システムが開発され、ヘルスケア用ネットワークの他、電子マネーや入室管理への応用研究が進められている。また家畜の管理や個人識別に活用される体内埋め込み式の半導体チップの実用化も進んでいる。このように、次々世代の情報機器はウェアラブルや人間・機械一体型の機器として、常に人間のそばにいて、人間の生理情報、物理情報、心理情報、さらには社会情報までも計測し、それを蓄積する機能を備えるようになる。

このような状況は、我々が利用する機械についても同様である。つまり、さまざまな機械にGPS、地磁気センサ、傾斜センサ、ジャイロなどの微小センサが装着され、PHSなどの通信手段によって結合されることで、常時機械の稼動状態が計測・蓄積されるようになる。

このような人や機械の長期間常時計測が可能となると、これらの情報を統合利用して人にサービスするメカトロニクスが可能となる。このようにして、多数の人間やさまざまな機械がネットワークで結合され、さまざまな人や機械に対する協調サービスが可能なメカトロニクスの集積情報の世界が拓かれるのである。

これからの社会に必要とされる「社会技術」においては、個性化、多様化、国際化、高齢化への対応が重要なキーテクノロジーとなる。これを可能にするのが半導体技術をその基盤とする情報技術であり、それを加速するのが急速に日常生活に浸透しつつある情報ネットワーク技術、無線通信技術である。社会に存在するさまざまな機械や機械システムを知的ネッ

トワーク化し、多様な人への支援を可能とするユビキタス社会が現実味をもって語られている。

メカトロニクス概念および技術は日本から発信され、25年間日本の先端技術を支え続けてきたものであることは、先にも述べた。このように日本はメカトロニクス製品に強い国であり、これまでもビデオや自動車など国際競争力のある身近なメカトロニクス製品を世界に供給してきたし、今後も貿易立国を支える重要な技術分野であり続ける。この分野のさらなる強化が求められる。

このような日本の状況をふまえ将来を考える時、メカトロニクス技術の方向性について、日本経団連から出された「活力と魅力溢れる日本」に再生してゆくために必要な改革提案が示唆に富んだものである。その要点は、(1)連結経営的に日本全体の経済をとらえ、海外投資収益などを日本国内に還流させ、先端的な技術革新に結びつけてゆく「MADE "BY" JAPAN」戦略を進めること、(2)日本の持つ環境技術やビジネスモデルを活かした「環境立国」となること、(3)広い居住空間や質の高い住宅、機能的な都市など、人々の満足度を高める都市・居住環境を整備すること、などを提言している。ここでは環境立国、満足度を高める都市・住居環境が技術的ポイントと指摘されているが、これからのメカトロニクスは、まさにこのような環境や、快適生活への指向性をもった分野へ展開すべきである。つまり、メカトロニクス製品がネットワークによって結合され、総体として知的に人間に優しい環境を形成するユビキタスメカトロニクス分野である。

ユビキタス社会では、多数のセンサ群を家庭やオフィス、社会に分散して配置されており、これらをネットワークによって有機的に結合されることで、人をみまもり助けるシステムが実現される。なぜならば、ユビキタス技術は、無線通信・ネットワーク技術と、大容量のストレージとコンピューティングパワーを背景とした計算機技術をベースとしており、多数の要素のネットワーク結合が、多様で膨大な量の情報内容をふくむ応用分野への展開を可能としているからである。

このように情報通信革命と称される情報処理や通信技術の進歩は著しく、ユビキタス社会では、計算機やセンサ、アクチュエータが広く社会に溶け込むことになるが、その空間配置の観点からの歴史的変化をみてみよう。図2-2-1に、計算機の利用形態の変遷を示す[4]。

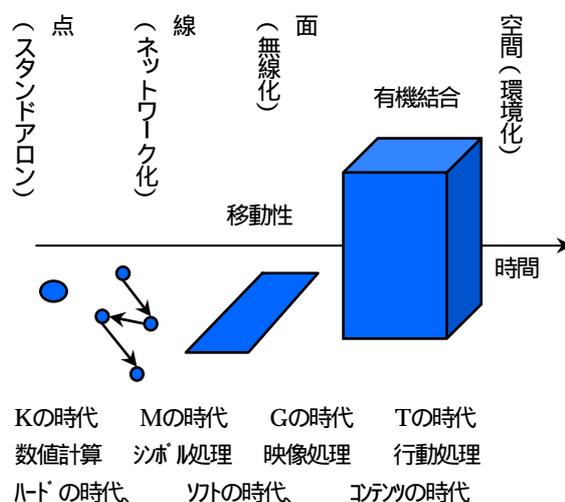


図2-2-1 計算機利用形態の変遷

この図中には、計算機が扱うメモリの容量（キロバイト、メガバイト、テラバイト）や、主な演算の種類、そして計算機ビジネスの牽引役も記載している。世界最初の計算機は、単独で数値計算を黙々とこなしていた（計算機の「点利用の時代」（0次元））。その後、計算機は、会社や大学で一台の時代からオフィスや研究室で一台の時代をへて、複数の計算機がネットワークで結合されて利用される時代を迎えた（計算機の「線利用の時代」（1次元））。このような計算機にさらに最近ではモビリティが加わり、オフィスはもとより、家庭にも自動車にも数台から数十台の計算機がネットワーク結合されて利用されるとともに、移動する人間も複数の計算機を持ち歩く時代（計算機の「面利用の時代」（2次元））が到来している。

ゼロ次元から1次元そして2次元の利用へと展開してきた計算機の利用形態は、これからは3次元利用の時代を迎えると考えられる。来るべきユビキタス社会における、メカトロニクス機器の3次元利用というのは、計算機やセンサ、アクチュエータが「立体的に人にサービスを提供する時代」、つまり情報システムの要素が人をとりまいて存在していて、それらが有機的に結合・協調することで総体として人にサービスを提供する利用形態の時代である。つまり、人をとりまく自然な環境として、メカトロニクス機器が人にサービスする形態である。このような人をとりまくメカトロニクスシステムは、以下のようなメリットを有するので、今後ますます我々の身近になるものと予想される。

1) 非拘束性：環境システムの構成要素が人をとりまく構成は、人に不要な負担を与えることなく周囲のシステムとインタラクションすることを可能とし、身構えない自然な人間を対象とできる。

- 2) 常時性：環境としてシステムの非拘束性により、必要な時にいつでもサービスを提供できるなどシステムの常時性が確保される。
- 3) 適所性：環境システムの、センサやアクチュエータが人を取りまく構成は、別の見方をすると、センサやアクチュエータが人の周囲に多数分散配置されており、それらのデバイスの中から、最適な場所に存在するデバイスを選んでセンシングやアクチュエーション作業を実施させることを可能とする。つまり、システムと人間のインタラクションを、適切な場所からのデバイスを選択することで実現する、適所インタラクションが可能となる。
- 4) 設置の容易性：環境システムは、システムのインプリメンテーションが容易である。というのは、空間環境は3次元の広がりを持つのにに対し、人は基本的にはそれを2次元的にしか利用しておらず、システムがこの差を有効に利用することを可能とするためである。つまり、壁の裏や、天井裏など人の使っていない隙間も多くあり、これを利用すれば人間に適合したシステムをさりげなく実現できるというメリットがある。
- 5) 共有性：環境システムでは、人とシステムの空間共有が可能となる。例えば部屋空間内に設置されたセンサは、人の動作を計測できるとともに、その部屋にあるロボットの挙動も同時に計測できる。すなわち、人とシステム要素とが共棲する空間であるからこそ、人とシステムを同時に計測したり、人とシステムに対し同時インタラクションが可能になる。  
このように、ユビキタスメカトロニクスは、環境として人の周辺に存在し、必要とされる時点に、必要とされる場所で人にサービスを提供するようになる。

### 2-3 人間機械コンテンツの構築と利用

人間は、年寄りが大きな顔をしている生物界ではめずらしい世界を構成している。これは年寄りが豊かな体験（経験）をもっており、それを内省することによって、その経験をもたない若い人には可能でない戦略的な判断ができるからである。体験と内省の能力は、人間にとって非常に重要な機能である。この観点から人間の脳をながめてみると、それは情報処理装置であるとともに、経験蓄積装置となっている。しかしながら、現在の計算機にはこの能力（経験蓄積能力）がない。人の体験や経験の基本要素である行動を蓄積し、その過去の経験に基づいて深みのあるサービスを人に実現してゆくのがこれからの情報システムの方向性である。つまり、これからのメカトロニクス機器は、コンテンツを持つことになり、その情報に基づいてその人特有のサービスを提供するようになることが重要である。このような人間行動に関連するコンテンツは、ライフログと呼ばれ、メールやホームページ情報のみでなく、聞いた音楽や見たDVDデータなど、その人が生きた一生分のデータを蓄積し、あとでこれを検索・利用しようとする研究が最近世界的に注目を集めつつある[5]。

一方、機械や情報システムの稼動状況のロギングも、それが自然な人間生活環境での情報を長期間にわたって蓄積したものであれば、その機械の次世代機を設計するうえで貴重な情報源となりうる。例えば航空機エンジンの稼動状態のように、リアルタイムで収集された稼動情報と、過去の故障・修理履歴情報とをあわせて利用すると、運行が阻害されるようなエンジントラブルを非常に高確率で事前に察知できるようになるなどの高度な性能保証やメンテ

ナンスを可能とする。このようなコンテンツは、機械のコンテンツと総称され、今後の機械や情報システムの高度化に重要な役割を果たす。

このようなコンテンツをもったメカトロニクス機器を別の角度から説明する目的で、ここでこれまでのメカトロニクス製品をふりかえってみよう。我々は、ビデオや携帯電話・携帯機器や自動車・トラック(情報や物流などの流通分野)、家電や家庭内ロボット(潜在需要分野)、車椅子や電子体温計・電子カルテ(高齢者や病人向け分野)など、さまざまなメカトロニクス機器にとり囲まれて生活している。しかしながらこれまでのところ、それらは個性をもつ個人の行動にともなう情報を収集し蓄積することで個人コンテンツとも呼べるデータベースに基づいて、人にあわせてくれる(Personalization)機能は存在しないか貧弱なものであった。これに対し、人との関係を智能化した機械(知能メカトロニクス)がネットワークで結ばれており、ある時は単体で、ある時は複数のシステム要素が協調して、必要とされる時に個人コンテンツに基づいてその人の機能を補強(Augment)し、その人が求める支援(Service)を実施するユビキタスメカトロニクスシステムの実現を考えてみる。このようなシステムの実現は、ネットワークや無線通信、タグ技術に支えられた情報通信革命がその実現への有力な実現手段を提供しつつある現代社会においては、人は活動するとその情報の足跡を社会のいたるところに残す時代を迎えていることを考えると、その実現の可能性は高い。例えば、スーパーマーケットにおいて買い物をする、いつ、どこで、だれが、何を、いくらで買ったのかの情報がスーパーマーケットのレジに残る。交通手段として高速道路を利用すれば、いつ、どこで、だれが、どこからどこへ移動したのかの記録が高速道路に残される。つまり、人の活動から生じる情報が、社会のあらゆるところに分散して残る時代となっているのである。このように社会に分散した情報を、情報化社会の基本的な人権として、個人が収集することができるようになれば、その個人の情報(個人コンテンツ)は、さまざまに利用可能となる。例えば、スーパーマーケット情報が自由に収集できれば、個人の家計簿を自動的に作成することはさほど困難なことではない。この情報は、単に家計簿のみでなく、家庭における物品管理などにも利用可能である。また買い物情報の一部でも、個人の許諾のもと社会に共有することを許せば、地域のPOSシステムができあがる。また、個人の移動情報の記録が、高速道路のみでなくGPSの利用により一般道路にも可能になれば、その人の普段の運転癖をふまえた運転支援も可能になろうし、そのような情報を数多く収集することが許されれば、真に生活に密着した自動車の設計にも活かせる。以上みてきたように、これからのメカトロニクスの新機能を創成するうえで、また、個性をもった個人に適合した新機能をもったメカトロニクス製品を実現するうえで、個人コンテンツの収集と蓄積、利用が重要な役割を果たす。

上記は、人間を中心とした議論であるが、ある機械を中心としてその稼働ログを蓄積することも重要である。例えば、自動車をいつも行くスーパーマーケットまでの「下駄」と考える。いつも行くわけであるから、どの交差点でどのようなブレーキやハンドル操作をしたのかの履歴が残せる。この情報に基づけば「今日は、いつもとちがってブレーキが遅いね」といった、運転支援を可能とするおしゃべり機能をつくりだせる。自動車に限らず、数多くのメカトロニクス機械にてついても、同様のことがいえ、機械の稼働ライフログを残すことが

できれば、より個人に適合したメカトロ機器の調整、次世代設計など、有効に利用できるようになる。

以上の議論をふまえ、きめ細かで身近なメカトロ製品に強みを有する日本の技術力をさらに強化し新機能製品群によって世界をリードし続けることを可能とするためには、人間機械コンテンツに基づいて個人適合や環境適合可能なユビキタスメカトロニクス技術、ソフトメカトロニクス技術を強化することが重要であり、早急な研究推進をはかることの重要性が理解されよう。

前節で述べたように、センサやセンシング手法の高度化、ネットワーク技術の深化と展開、ディスクストレージの大容量化、コンピュータ処理速度の向上などを背景に、ユビキタス社会の情報インフラストラクチャが整備され、人や機械の活動や稼働ログ（人と機械のコンテンツ）を広範囲・長時間にわたって計測・収集・蓄積することが可能となっており、世界的にもライフログ研究などが盛んになりつつある。しかしながら、現時点での研究は、人間のライフログに焦点をあてているに過ぎず、機械やロボットの稼働ログという重要な視点を欠落させており、またどのようにして長時間で大量の情報を計測・収集し蓄積・検索するかに焦点があてられているため、その応用への考慮が後手にまわっているか、あるいは、これまでのメモリ容量制限のためにある狭い特定の用途に限定・特化した手法しか試みられていないのが現状である。人や機械のコンテンツを収集することが重要であり、この場合には、人や機械のライフログをコンテンツとして扱いそれをどのように利用するのかの考察が不可欠である。コンテンツ情報の構造やその要素間の関係性を十分にみずえた洞察と分析手法がその基礎をなす。このような基礎をもつ人や機械のコンテンツは、例えば、個人の健康や安全・安心の確保、機械の高度利用や高度メンテナンス、的確な故障診断やニーズをふまえた次世代機の設計など、メカトロニクスの高度化を促進するばかりでなく、幅広い応用を拓く。人と機械のコンテンツを構築利用するための科学・技術は、例えば、くらしコンテンツ分野（くらしコンテンツ、ロボットコンテンツ、セキュリティコンテンツ）、流通コンテンツ分野（自動車操縦コンテンツ、流通コンテンツ）など、大きなインパクトを社会に与える。そのためには、人間の行動科学の研究や、コンテンツ構築のためのセンサや、その情報処理に関する新しい原理・理論・手法・技術が不可欠になっている。

今後、国際的競争力を維持していく上でもメカトロニクスの高度化のための方法論を国として取り組んでゆく必要がある。つまり、人間や機械のコンテンツは、今後さまざまな機械や情報システムを高度化し高機能化するうえでの強力な武器になると考えられる。

#### 2-4 人間機械コンテンツ利用上の課題

以上みてきたように、人間や機械のコンテンツは、今後さまざまな機械や情報システムを高度化し高機能化するうえでの強力な武器になる。その一方で対応を誤ると、研究がすすめられなくなる危険性をはらんでいる。というのは、人間機械コンテンツには、人の、特に個人の情報が含まれるからである。

人間そのものの活動記録には、その人のプライバシー情報が必然的に含まれることになる

し、機械の稼働状況記録にも、その機械を使う人の情報が含まれることがある。例えば、くらしコンテンツには、個人の日常生活やその家庭のセキュリティ情報が含まれていたり、流通コンテンツには、自動車を運転する人の操縦情報を始めとし、どの場所を移動したのかなどの流通情報が含まれることになる。メカトロ教育コンテンツには、教材の情報のみでなく、その教材をどのように吸収していったのかの達成状況の情報をも含むことがある。このようなパーソナル情報は、ある意味ではその人の貴重な個人財産であり、外へは公開されることを想定していないか外へ出てゆくことを良しとしない情報も含まれる。従って、秘密漏洩は、情報保持、情報アクセス権利への侵害であり、ゆゆしき事態となる。

一方で、これらのコンテンツを有効に活用する技術を体系的に研究・開発しようとする場合、どのような情報に基づいてどのような処理を行うと、どのような結果になるのかの公開が不可欠である。データが囲い込まれてしまったり、データが非公開になったのでは、活用技術の研究・開発が停止してしまうか、非常に限定された範囲のものとなってしまう。

どのような条件でユーザの了解を得ておけばよいのか、どのような範囲ならその情報にアクセス可能とすべきか、どのような条件ならそのデータ処理の結果を公開としてよいのかの基準と、その基準遵守をモニタする規定や制度が不可欠である。研究開発段階の情報保護・利用規定がまず必要であるが、その後の実用化段階については、影響が社会全体に及ぶため、社会的受容性も勘案した規則制定が必要となる。

人と機械コンテンツの研究・開発を実施するうえで、個人情報の扱い規定をあらためて明確にし、その遵守を監視する組織が不可欠であると考ええる。

### 3 . 人間機械コンテンツの現状、未来、必要技術

本章では、人間機械コンテンツの実際について、人間行動評価、人工物稼働評価、交通物流評価の分野における現状、未来のあるべき姿、必要技術をまとめる。

#### 3-1 人間行動コンテンツ

##### 3-1-1 現状

日常生活や製造・営業などの産業活動における人の行動を有効利用できるように蓄積したものを人間行動コンテンツと呼ぶ。人間行動コンテンツの目的は、生活/産業現場での人間の活動をより安心・快適にすることであり、人間の行動を計測し蓄積するためには、人間を取り巻く環境中あるいは人間自身の各所に遍在するセンサなどのメカトロニクス機器が重要な役割を果たす。人間の生活の場となる住宅空間の現状は、風呂、エアコン、トイレなど個々の生活用品のインテリジェント化が進みつつあり、今後はホームサーバーを中核としたネットワーク家電の相互接続がまさに始まろうとしている段階であり、住宅内にセンサを遍在させたいわゆるセンサホームも実用試験が行われたりしている。人間の身に付けるタイプのセンサとしては万歩計でログが取れるものが市販されていたり、携帯電話やPHSで自己位置

が計測できるようになっていたりしている程度である。人間の生活を支えるホームロボットも、留守番ロボットなどの限定した機能を持つものが試験的に販売されている段階であり、機能、コスト、信頼性、安全性などの課題はまだ多い。

人間行動コンテンツの中でも、とりわけ個々の関節の動きや筋肉の活動レベルまで掘り下げた身体動作に特化したコンテンツは、新たな展開が期待できるので、ここではこれらを特に「モーションコンテンツ」と呼ぶことにしよう。モーションコンテンツの現状としては、身体運動を計測するモーションキャプチャがあるが、リハビリなどの特定の医療現場やゲーム産業でのコンテンツ制作現場に限られている。

### 3-1-2 未来のあるべき姿

少子高齢化社会となる未来において人間行動コンテンツのあるべき姿としては、住宅内や街中、個々人の身体上などさまざまな場所にセンサが配置され、個々の人間の行動をすべて蓄積し、常時ヘルスケアシステムなどその人が安心・快適となるようその人特有のサービスを提供できるようなしくみをインフラとして持つことである。蓄積された行動コンテンツは様々な切り口での分析・利用が可能となろうが、特定の人にとってみればその人のライフログとなる。またモーションコンテンツとしては、スポーツや舞踊などの芸能を趣味として効率的にかつ安心・快適に習得できるデジタルインストラクションやウォーキングサポートなどの身体機能の低下をロボット技術で支援するサービスなどが考えられる。

### 3-1-3 必要な技術

#### (1) 計測技術

人間の行動計測のためのセンサデバイスは、環境内に遍在させる方法と、人に装着させる方法がある。環境埋め込みタイプは、カメラ、マイクロフォン、赤外線センサ、超音波センサなどが用いられることが多いが、今後は様々な物体にRFタグが埋め込まれるようになるであろうし、屋内GPSの普及も見込める。これらセンサデバイスの課題は、小型化、高度化、省電力化である。人体装着タイプは、いかに装着者に負荷をかけることなく心電、筋電、脳波、血圧などの生体情報の取得が行えるかが課題である。

モーションコンテンツにおいては、衣服を着たままでも手軽にモーションキャプチャが可能な技術が必要であり、慣性センサの利用や映像ベースの手法など従来の光学マーカース式以外の方法の発達が期待される。

#### (2) 蓄積技術

様々な種類のセンサから時々刻々取得される多種・大量の情報を集約するネットワーク技術、データ圧縮技術、ならびに検索しやすい形でアーカイブするデータベース技術が重要な課題となる。また、蓄積された膨大な行動コンテンツから特徴的な行動パターンを抽出するためのビヘイビア・マイニング技術も、後述する行動理解のために必要となろう。モーショ

ンコンテンツは、従来のテキストベースのデータベースと違って、多次元の時系列データとして蓄積されるため、多次元連続パターンの類似性尺度をどう表現し評価するかが、効率的な検索を実現するための課題である。

### (3) 行動理解

蓄積された行動コンテンツは、センサの生データのままでほとんど意味を持たない。得られたセンサ信号時系列から、その人がどのような行動をしたのかという「行動理解」の技術が必要である。機械が人を支援する場面においても、現在その人が行おうとしている行動や意図がリアルタイムで理解できることが前提であることはいうまでもない。

### (4) 提示技術

ユビキタスメカトロニクスによる人の活動支援では、人の自由な活動を妨げることなく、情報提示ならびに作業支援を行えることが望まれる。提示すべき情報には、画像、音声、行動・モーションメディアが考えられる。行動メディアには移動ロボットによる作業支援だけでなく、マイクロアクチュエータにより自動開閉する戸棚、適切な位置に映像を投射するパンチルト型投影機など、様々な形態の機器が想定される。モーションメディアとしては、振動モータや動作矯正、動作補助、歩行補助用のロボットの機構が挙げられる。

## 3-2 人工物稼働コンテンツ

### 3-2-1 現状

家庭や工場で使われる多様な機器、社会インフラを構成するビル、橋梁、ライフライン等の構造物—これら人工物の稼働状況を監視し、適切な運用を図ることが可能になりつつある。

家庭のネットワーク環境として、ADSL、光ファイバー、ケーブルTVはじめとするブロードバンドが導入され、Bluetoothや無線LAN、携帯電話と情報家電との接続も試みられている。BluetoothはPCと周辺機器との無線接続方式として標準化・普及している技術である。このような環境の下に、食材の在庫や賞味期限の監視を行う冷蔵庫、レシピ配信を受けられる電子レンジ、出先からの施錠や空調制御が可能な機器、ひとり暮らしの老人の様子を確認する湯沸かしポットなどが開発されている。

工場などの生産現場では、生産管理情報、機器間の実時間情報そしてセンサやサーボレベルの実時間情報などを統合的に扱うことのできる多階層ネットワークが利用され始めている。こうしたネットワーク化による帯域拡大は機器間通信量の制約からの解放をもたらし、末端の機器は単純なセンシング結果のみならず、その故障結果なども返せるようになった。またロボットセル生産システムの稼働状況を示すログ情報を遠隔の技術センターに常時送り続けることにより、不良品が生じた場合の原因特定などを行う試みもなされている。

機能的に人間に最も近い人工物であるロボットにおいても、その正常な稼働を確保するために種々の状態監視を行っている。関節の角度やトルク情報、各部の電圧を監視することでシステムの異常状態を検出することが行われている。さらに、視覚のような外界センサを口

ロボット自身または環境中に配置し、ロボットの挙動をトータルに認知し異常を検出する試みも行われている。ロボットに異常が無くても、作業がうまく行かないこともしばしば起こるが、この場合もロボットの稼働状況を観察し作業が正しく進んでいるかを確認できる。しかし作業の種類としては、定置作業、アーク溶接作業など少数に限定される。

### 3-2-2 未来のあるべき姿

前項で述べたように、現在人工物の稼働状況を観察利用する試みは故障検出や作業管理についてなされているが、人工物や作業に関し個別的対応に留まっている。今後展開すべき方向としては、いつでも、どこでも、何に対しても適用できる人工物稼働コンテンツの解析利用技術とそれを支える環境の開発整備である。特に、稼働状況をスポット的に把握することから、必要十分な時系列データを用いたコンテンツ利用へのシフトが重要である。

### 3-2-3 必要な技術

以上を実現するためには、下記の技術を開発する必要がある。

- (1)多階層ネットワーク及びそのプロトコルの標準化と信頼性・安全性確保のための認証技術。
- (2)工場内の人工物の劣化の監視、異常の徴候の検出、機能の維持に関する技術
- (3)作業遂行の頑健性と信頼性を担保するコンテンツ解析・解釈技術
- (4)コンテンツ収集のためのネットワーク分散センシング技術

## 3-3 交通物流コンテンツ

### 3-3-1 現状

交通分野では主として安全が課題となっている。近年の事故死者数は減少傾向にあり、自動車の衝突安全技術の充実が貢献している。しかし交通事故件数は依然増加傾向にあり、予防安全技術の開発・展開が急がれている。衝突安全においては、車両破損状況・乗員傷害が有力なデータで比較的取得しやすいが、予防では事故直前の周囲状況、ドライバの判断状況などの分析が必要とされる。車には既に多種のセンサが搭載されているが、すべての車両のデータを一括収集する仕組みがないため、データの蓄積と事例分析が不十分であり、事故原因を判断するのは難しい状況にある。

物流分野では、交通に比べ人命に関わるのが少ないため、安全管理よりも効率化が課題となっている。物流機器のうち、輸送機器（トラックなど）は、稼働状況管理のため GPS・デジタルタコメータなどの IT が大手企業に導入され始めた。しかし中小企業は雇車と呼ばれる多数企業の共同形態となるため、車両の改造が困難で、ほとんど普及していない。荷役機器（コンテナ、パレットなど）は、約半数は管理されておらず、残りも目視による伝票管理がほとんどである。このため、滞留、紛失が多い。また最近では、テロ対策、製品の品質保証、情報漏洩防止などの観点から、荷役機器の位置と環境（振動など）履歴を記録するこ

とが必要となっている。すなわち、個々の輸送機器、荷役機器の位置および環境データを常時記録することが課題となっている。

### 3-3-2 未来のあるべき姿

上記の現状に対して、未来のあるべき姿は以下となるであろう。あらゆる交通・物流機器にセンサやカメラが装備され、それら機器の位置、稼動状態、環境状態が記録される。その情報は閲覧可能な形でデータベース化され、装置の故障・滞留・紛失の傾向、輸送される製品や人の負荷、操作者の動作・心理状態などの2次データが引き出される。それをを用いて、車両の改良、物流拠点の整備などが行われ、交通の予防安全と物流の効率化が進む。

### 3-3-3 必要な技術

上記の未来像を実現するには、詳細な現場データの収集、それに基づく有用情報の抽出、情報の活用が必要である。

まず物流・交通状態に関する詳細なデータ収集のためには、センサ（カメラ）、メモリ、RF 回路からなる安価なセンサ端末を普及させなければならない。既存のモニタ装置ではセンサ機能やコスト的に不十分であり、長時間の記録にも耐えない。この分野では、デジカメ・GPS 付き携帯など、日本の優位技術が活用できる。

つぎにセンサデータに基づき、事故分析や行動判断アルゴリズムを開発する必要がある。これには、データマイニングなどの技術が利用される。ドライバの映像や生体情報からの心理状態の判断、パレットの位置データからの滞留箇所の抽出、コンテナの振動履歴からの破壊行動を推定などである。

また上記のデータ処理手法を確立するには、多数の参加者による現場データの収集が必要であり、産官学の連携体制が必要がある。さらに法・制度の整備も必要である。物流履歴からは、個々の企業、個人の日常活動が推定できるため、データ公開の範囲、プライバシー保護のルールなどを制定する必要がある。

## 3-4 ユビキタスメカトロニクスの実例と研究状況

本節では、各分野における、ユビキタスメカトロニクスの実例、研究例を紹介する。

### 3-4-1 ライフログ

計算機の処理スピードと記憶容量は年々増加しており、さらにかつての据え置き型からデスクトップ型となり、さらに携帯型、埋込みチップ型へと小型化の面での進歩もすさまじい。このようにコンピュータの処理スピードと記憶容量の進歩に伴って、コンピュータ自体も質的に変化することとなった。すなわち小型化と低価格化により、身の回りのどんなものにも

気軽に使い捨て感覚でコンピュータを搭載できるようになり、記憶の大容量化によって、得られる情報を選びすぐることなくすべて記憶・蓄積することが可能となったのである。ここではこのような背景のもと、人間行動コンテンツの事例の一つとしてライフログを紹介する。

ライフは“生活”、ログは“とっておく”という意味であり、すなわち「ライフログ」とはライフスパンで全ての情報をとっておくということであり、質的に変化したコンピュータの一つの使い方であるといえる。全ての情報をとっておくということは、タクシーやトラックなどの業務車両のレベルであればすでに日常的にやっていることであるが、コンピュータがマイクロ化されると、人間一人一人に様々なセンサをつけて人間の行動を何から何まで記録することができる。電子メールは、過去に送受信したメールがすべてログになって残っていくため、自身の仕事の内容をいくらでも過去に遡って見ることができ、一種のライフログであると言える。ただし、電子メールだけで生活している人でない限り、電子メールの蓄積だけではその人のライフログとしては不十分である。そこでウェアラブルコンピュータと CCD カメラを着けて、自分が見たり聞いたりしたことを全部動画として記録しておくことを考えてみる。1日8時間、ワーキングタイムの間すべてのできごとを動画撮影しデジタルに圧縮して70年間にわたって記録しようとしたときに必要な記憶容量は、TV会議用の映像品質程度でよければ10T(テラ)バイトくらいであると試算されている。この程度の記憶容量であれば、あと10年もすれば携帯用記憶装置の容量として実現可能であることに注目すべきである。

図3-4-1-1は、このような将来の進歩を見据えて東京大学で行っているライフログの研究例である。目線の方向を撮影する CCD カメラとデジタルビデオによる映像記録装置に加え、体温計、心拍計、足底スイッチ、GPSを備えている。図3-4-1-2は、この装置を装着した人の行動履歴を、GPS情報を元に地図上にプロットした結果である。また、図3-4-1-3はある学生の生活パターンを長期間記録し続けた例である。理想的には、このような行動の分類が自動的になされるべきなのだが、この例では数分毎に自動的に携帯端末から発せられる問いかけに、被験者が逐一現在の行動をメニューから選んで答えるという操作の結果得られたものである。

このようにして蓄積した膨大なログデータは、健康管理、マーケティングなど様々な有効利用の可能性がある。そのためには、人間の行動を網羅的に観察・分析するための技術の開発が必要であり、これまでのセンシング技術、アーカイブ技術、データマイニング技術を融合させたビヘイビア・マイニングとでも言うべき複合領域を確立させる必要がある。またライフログは、(1)いつまでも情報を記憶することができる、(2)シミュレーションを行い、今後どうなるかを予測する、というコンピュータの代表的な機能の(1)の機能を使ったに過ぎない。現在でも、カーナビはルート案内だけでなく目的地への到着時間を予測してくれるので、予定の会議に間に合うかどうか事前に分かり重宝するが、これなどは日常生活において(2)の予測機能を利用している一例である。(1)の機能に加えて、このような(2)の機能も追及すれ

ば、過去だけでなく未来も擬似体験できることになり、一種のタイムマシンといっても過言ではない。こういうアイデアのもとで、情報技術の活用によって時間の壁を実質的に克服することを目指した研究プロジェクト（バーチャル・タイムマシン・プロジェクト）の企画も進められている。

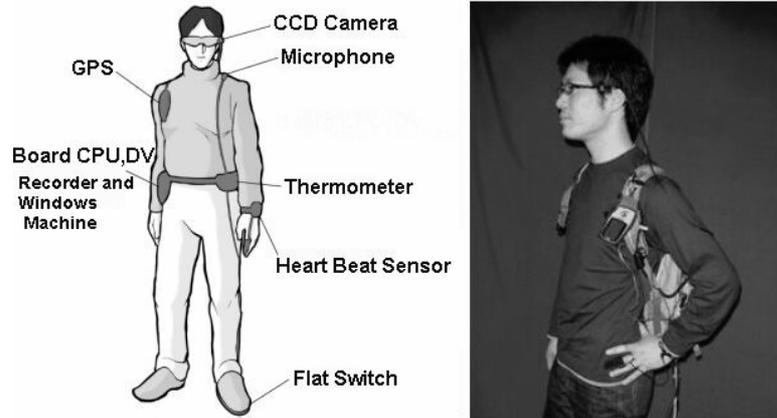


図 3-4-1-1 ライフログ取得のためのウェアラブルシステム



図 3-4-1-2 歩行履歴の表示

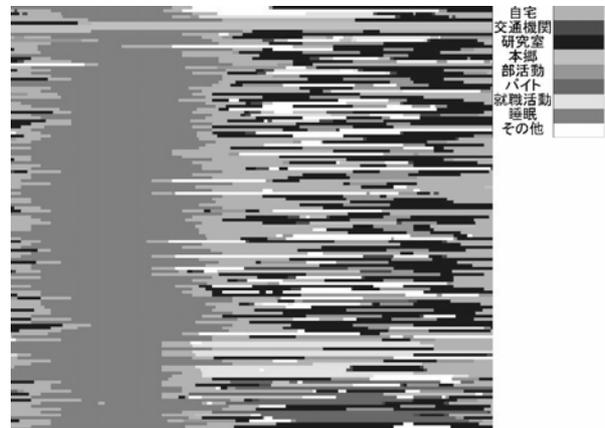


図 3-4-1-3 生活パターンの記録例

### 3-4-2 ロボティックルーム[6]

環境にセンサを埋め込んで人間の行動を見守り支援する環境型人間支援システムに関する従来研究には、部屋を情報メディア端末化する試みであるスマートルーム、部屋全体をインテリジェント化するインテリジェントルームに関する研究などがある。また人間支援の方法

としてより明確にアクチュエーションを意識した環境型ロボットの研究として、ロボティックルームの研究などがある。ここではルーム型環境人間支援システムの具体例として、東京大学で開発されたロボティックルームをとりあげる。ロボティックルームとは、その中で生活する人間をさりげなくみまもっており、必要なときに支援を与えることのできるユビキタスメカトロニクスの子供部屋であり、そのイメージは図 3-4-2-1 示されるとおりである。以下にロボティックルームの実現形を幾つか紹介する。

#### (1)ロボティックルーム 1

健康な人でも病気になったら動きが不自由になる。その不自由さをロボットに助けをもらうというシナリオのもと、ロボティックルームの第一バージョンとしてロボティック病室が、1997 年に実現された(図 3-4-2-2)。ここでは、ベッドのマットの下に敷き詰めた圧力センサアレイで寝ている人の呼吸を無拘束で計測したり、天井に設置された 10 台のカメラの視覚処理により患者が指差したものが推定され、壁に取り付けられたロングリーチマニピュレータがそれをとってきてくれる機能や、喜びのダンスを踊ることでシステムの正常稼働を示す機能などが実現された。これらは、ロボティックルームの空間システムであるという特徴を活かした機能を追求したものとなっている。つまり、人の周囲空間にロボット要素を配置することで、人の行動やロボットの行動を介して、無侵襲的に人とシステムとが情報交換することを狙った研究が実施された。具体的には、人間とロボットとの情報伝達のために行動を利用するという「行動メディア」の知能研究として、「行動理解」に関しては人の呼吸を計測する機能、「行動表現」に関連してはロボットの表現行動の研究などが実施された。

#### (2)ロボティックルーム 2、3

人間の過去から現在にいたる行動を記録(行動蓄積)し、その蓄積情報に基づいて、人をその過去の履歴をふまえて支援する目的で、ワンルーム型のロボティックルーム 2(情報支援、1998~)とロボティックルーム 3(物理支援)が構想され、実際に構築された。ロボティックルーム 2(図 3-4-2-3)は、人のコンテンツ、具体的にいうと、人の行動コンテンツの構築利用システムである。それは、ベッド、床、テーブル、椅子などに圧力センサが、また冷蔵庫やトースターなどの電化製品やたんすなどにスイッチセンサが多数つけられたルーム(センシングルーム)で、それらのセンサを結合する分散オブジェクトに基づいたセンシングネットワークや、それらのセンサ群から計測された人間の生活行動を長期にわたってもらさず蓄積できる人間生活行動データベース(行動コンテンツ)システムが実現された。その膨大なデータベース情報から、重要な点のみを抜き出して人に提示する要約技術の研究が実施された。これらは、環境型システムの人間共棲システムとしての側面から由来する長期間にわたる人間行動をさりげなく計測し蓄積することを可能とし、その蓄積情報を生かそうとする研究である。

ロボティックルーム 3 では、蓄積された行動コンテンツに基づいた個人適合支援が実現さ

れている。具体的には、人や調理動作の違いによってその高さを変化させたり、生活の時間帯に応じてその計画経路を変えてくれる床と協調して働く移動ロボットなどがハードウェアとして実現されている。このように、ロボティックルームは分散システムとしての特徴を活かしたユビキタスメカトロシステムであり、センサやアクチュエータ（特にロボティックルーム3ではアクチュエータ）を分散させ、それらを適切な場面で利用することにより頑健な人間支援を実現できる点に特徴がある。

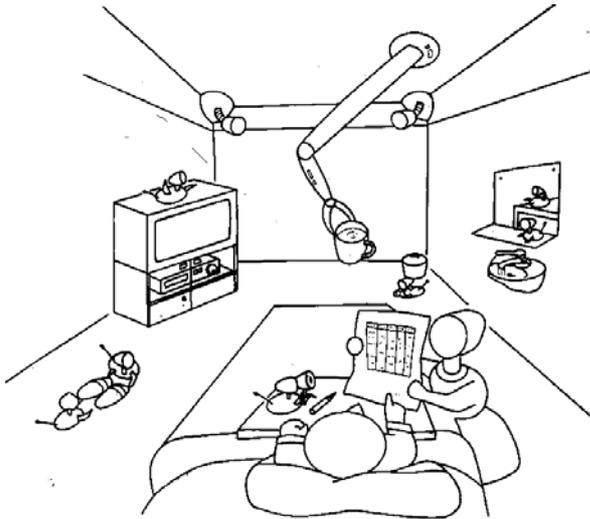


図3-4-2-1 ロボティックルームのイメージ



3-4-2-2 ロボティックルーム1  
ロボット病室



図3-4-2-3 ロボティックルーム2  
ワンルームマンション型

### 3-4-3 映像記録型ドライブレコーダによる交通事故分析

自動車交通における予防安全には、事故発生の過程を解析し、事故低減対策に繋げるフィードバックが必要である。そのためにはまず事故を客観的に把握できるシステムが求められる。その方法としては映像により事故状況を記録する手段が有力であり、カメラ付き携帯電話が普及している現在、技術的な壁は高くない。この分野は日本がアドバンテージを持っており、むしろ世界をリードしていける可能性がある。一方取得したデータは基本的にはドライバに所有権がある。プライバシーに配慮した上で広く一般に公開できるよう、官・世論の協力・理解を働きかけていかなければならない。以下で、ドライブレコーダによる事故分析技術を紹介する。

平成 16 年度の日本における交通事故死者数は 7358 人である。これは驚くべきことにモータリゼーションが始まる前の昭和 30 年代前半レベルの水準である。しかしながら交通事故件数はここ 20 年増加の一途をたどっており、今後は交通事故自体を低減する対策が求められよう。

死者低減が図られている背景には警察による取り締まり強化・救命医療体制の充実とともに、車両の安全性向上も挙げられる。この技術は衝突安全と呼ばれ、代表的なものは衝突安全ボデーやシートベルト・エアバッグである。衝突安全性向上にあたっては実際の事故時の車両破損状況・乗員傷害の分析のおかげで安全基準の策定やその改良、衝突シミュレーション・人体モデルなどのツールの充実、さらには技術の低減効果見積もりも行えるようになり、改善のサイクルが回るしくみがほぼ完成している。

しかしながら衝突安全は衝突が起きてしまったときの被害を軽減するものであり、事故自体を無くするものではない。事故を未然に防ぐ技術は予防安全と呼ばれ、代表的なものは ABS やブレーキアシスト・スタビリティコントロールシステムである。エアバッグなどとは違いこれらは作動したとしてもその痕跡は事故後の調査でも残らない。特に ABS やブレーキアシストはドライバのブレーキ操作があっこそ働くシステムであり、ドライバが衝突の数秒前にブレーキを踏んだのか、一瞬前に踏んだのかでその効果が大きく異なる。警察の現場検証による事故調査データは米欧に比べ質・量とも遜色がないどころか優れた点も数多いが、事故直前の行動はドライバの証言に基づくほかは全く信頼性が乏しくならざるを得ない。これはドライバが自分にとって不利となるような証言をしないということもあるが、事故直前はとっさの行動を取っていてあとで振り返ってみても、いつどこで何をしたのか自分でもよく思い出せないケースも多い。

事故を調査する立場からみたドライブレコーダのメリットは、事故を客観的に把握できることである。ドライバ自身の行動のみならず、相手方の動き、周囲の交通状況、信号の現示状態なども克明に記録できる。図 3-4-3-1 にそのイメージ映像を示す。



図 3-4-3-1 映像記録型ドライブレコーダ映像(イメージ)

タクシー事業者で映像記録型ドライブレコーダを搭載し運用している例がある。ドライブレコーダ導入前は、事故に対しドライバ側の言い分と相手側の言い分が異なり、調停に手間取るケースがあったが、導入後は言い分をクリアに判断することができ大いに助かっているという報告がある[7]。

自動車メーカーなど安全装備を開発・展開する側にとってみても事故時の克明なデータが入手できることのメリットは大きい。スタビリティコントロールシステムの開発過程を例にとって説明する。スタビリティコントロールシステムは車の横すべりを抑制するシステムで(図 3-4-3-2) 1995 年に BENZ・トヨタが時をほとんど同じくして世に出した。当然のことであるがテストコース内ではその効果が高いことが検証されていたが、市場でははたしてどれほどの効果のあるシステムなのか不明であった。効果を信じて普及を進めて来たのが実態である。

数年前、事故統計データ解析から日・独・米で相次いでこのスタビリティコントロールシステムの事故低減効果が明らかになってきた。今年の 2 月 18 日、自動車事故対策機構から公表された調査結果を図 3-4-3-3 に示す[8]。現在、ドイツではほとんど全ての乗用車に標準装備され、米国では普及に弾みが付きつつある。ここ数年で結果が出たことは、車両への普及が進み搭載前・搭載後の車両の性能差が事故統計に表れ、それが有意と判断されるまでに 7～8 年かかったことを示している。

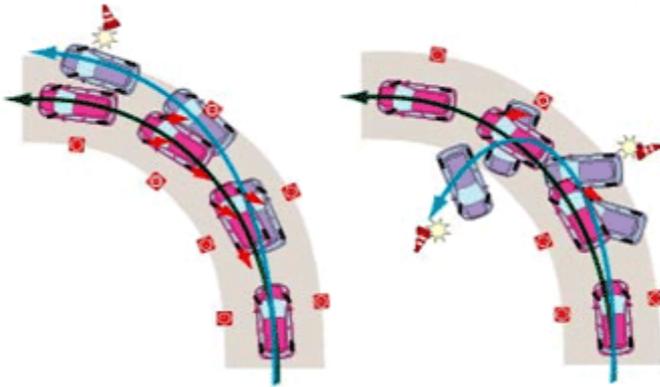


図 3-4-3-2 スルーフリコントロールシステムの作用

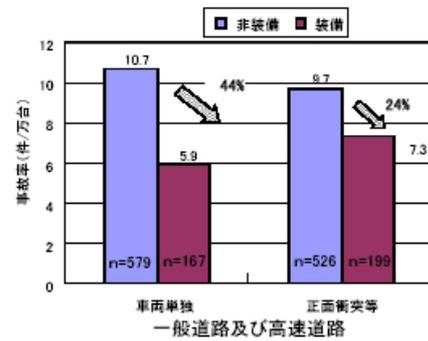


図 3-4-3-3 スルーフリコントロールシステムの事故低減

独立行政法人 自動車事故対策機構発行資料  
『スルーフリコントロールシステムの効果についての調査結果』より

このように効果が数字として表れていても、装置が実際にどのような場面で効果を発揮したのか、また逆にどのような場面で期待した効果が出なかったのかが分からない。映像記録型ドライブレコーダがあればそのようなことを端的に知ることができ、装備の展開や改良のサイクルを早くまわすことが可能になる。さらにドライブレコーダを利用するタクシー会社・物流会社では搭載車の事故率が顕著に減少している。これは装置の監視効果と、得られた映像データが安全運転教育に役立ってためと考えられる。

また Accident Reconstruction も、従来の現場検証データに基づくよりも精度良く行えるようになり、事故を多面的・科学的にとらえることが可能になる。

以上の実態に鑑み、映像記録型ドライブレコーダの活用のために、

- ・まずは普及促進のため、この装置が事故解析の精度向上のみならず直接的に事故低減に効果を上げている実態を認識し、官・保険会社などと協力してインセンティブを得るようにし、ユーザー負担を下げるようにすることが重要。
- ・次に、ドライブレコーダによって取られたデータが事故解析に役立てることへの理解を官・世論に働きかけることが必要。
- ・最後に集められたデータが一般にも公開できるようなしくみ作りが必要。

である。後の2項目ではプライバシーの問題が絡んでくる。産・官・民・学一体となった取り組みが求められる。

### 3-4-4 物流用位置探査システム[9]

従来、荷役機器および中小運送業者のトラックでは、GPS やデジタルタコメータはコスト、改造困難性のため導入が困難であった。これを解決するため、PHS を用いた低コスト・簡便で、屋内でも使用可能な位置探査システムが開発されている。概要を図 3-4-4-1 に示す。これは、位置センサと通信機能をもった最も単純なコピキタスメカトロニクス機器と言える。

PHS は人の位置計測システムが存在するが、これを物流に応用するため、高精度化、長寿命化、2次情報の抽出を行っている。精度について、PHS 位置探査では通常数百 m の誤差が存在し、そのままでは荷役機器の管理に不十分である。そこで、ユーザの倉庫・拠点位置と、種々の地域における PHS の位置誤差をデータベース化し、誤差領域内にある倉庫に PHS 位置をマッチングさせている。一般に商業地は基地局密度が高いため誤差が小さく、住宅地は基地局密度が低いため誤差が大きい。また港湾地区ではさらに誤差が拡大し、見通しのよい海側に位置がずれる傾向がある。これらを考慮した位置補正を行っている。

長寿命化については、移動の有無を振動センサで検出し、倉庫保管時は PHS の電源をオフする技術が検討されている。荷役機器は殆どの時間倉庫で眠っており、その間は探査の必要がないからである。この際問題となるのは、振動閾値の設定である。長時間(30 時間)記録可能な振動データロガーを開発し、種々の運行状態に対して機器の振動を計測し、計測周波数、閾値加速度、その他の判断条件を決めている。電源制御なしに比べ、パレットの場合、消費電力を 75 %、通信回数を 60%削減可能である。

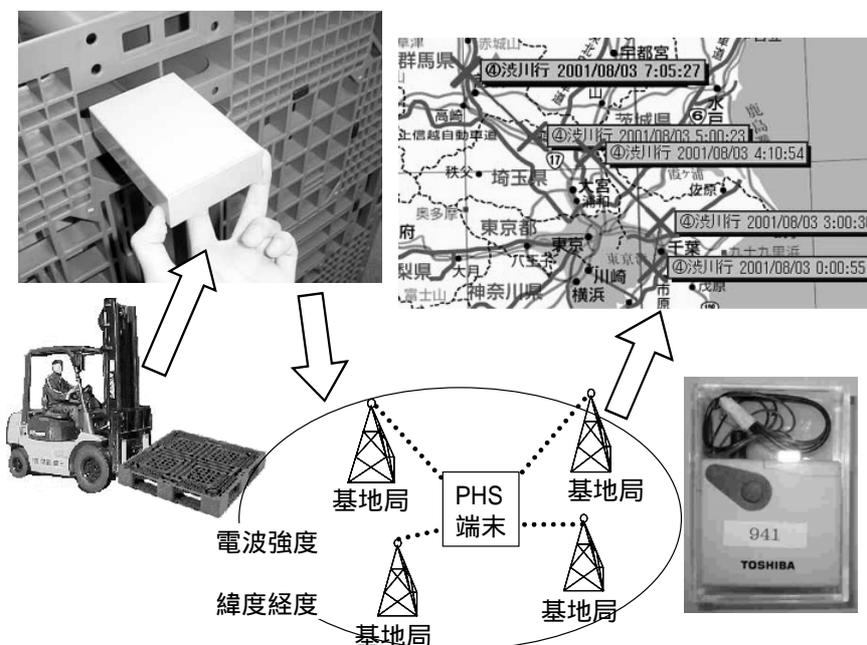


図 3-4-4-1 PHS を用いた物流探査システム

上記の振動計測は、位置データと組み合わせることにより、電源制御以外にも利用できる。急発進・急ブレーキの把握、配送計画と実配送時間のずれの把握、積み下ろし時間の把握などであり、データを蓄積すれば無駄のない配送計画が作成される。

物流では振動と位置は最も基本的かつ有用な情報であり、物流機器のコンテンツとでも言うべきものである。振動データは製品破損等の原因究明にも利用可能である。国際物流用コンテナのテロ対策と港湾作業効率化のためコンテナに電子シールやセンサを設置したスマートコンテナの開発が進められている。このために、記録周波数 300[Hz]、記録レンジ $\pm 2$ [G]、記録時間 20 日間のコンテナ用振動データロガーが開発されている（図 3-4-4-2）。トランスファクレーンによる荷役作業、コンテナへの打撃実験を行ったところ、クレーンの巻き上げと打撃で明確な差異が観察された。

位置情報からの 2 次情報の抽出は以下が行われている。PHS からの位置データは大きな誤差を持っているが、用途を選べば多くの有用情報を得ることができる。まず、位置データを配送業者と経由倉庫ごとに分類すると、滞留日数の多い業者・倉庫を抽出できる。図 3-4-4-3 に例を示す。滞留日数 2 日以下が多い業者は正常、それ以外は異常である。もしすべてを 2 日以下に出来れば、輸送時間を 24%短縮できる。つぎに、配送計画と実際の位置が異なるものを抽出すると、パレットの使いまわしが判別できる。これは、パレットレンタル業者にとって、損失回避につながる。次に、パレット回収ためのトラック便を把握できる。復路も製品輸送に用いられれば、復路輸送費とパレット枚数を削減できる。次にトラックでは、荷下ろし時間を把握でき、配送計画を最適化出来る。PHS は大きな位置誤差をもつため、トラックが停止していても測定される速度はゼロとにならないが、適当な閾値速度の設定により判別可能である。最後に、配送ルートの良いかを判定できる。移動軌跡に交点が生じていれば、計画に無駄があったか、計画と異なる配送を行った可能性が高い。最適なルート設定を行えば、経路は配送地を最短経路で結ぶものとなり、交点がないからである。

以上の技術により、コストが原因でこれまで IT が導入されなかった荷役分野にも、無線を用いた位置探査技術が導入され始めた。上記のシステムは一部実用化され、すでに数千の端末が稼働している。

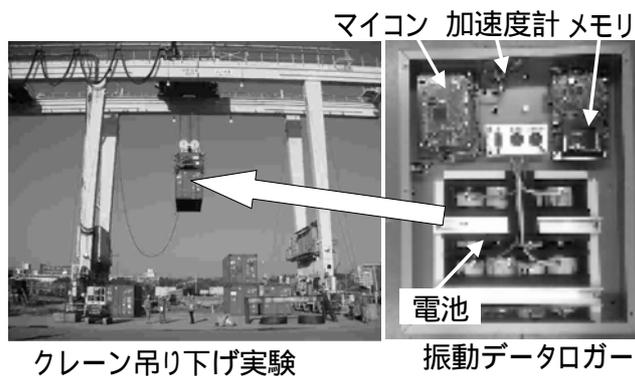


図 3-4-4-2 コンテナの振動測

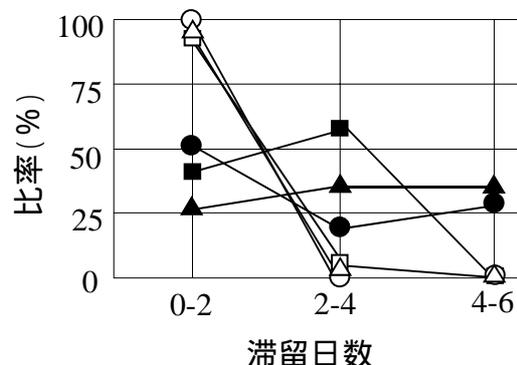


図 3-4-4-3 業者、倉庫ごとの滞留日

### 3-5 センサーデータ収集における法的課題

センサによる個人データの収集はプライバシーの侵害を引き起こす可能性があるが、これは、法的に新しい課題であり、対処の方法が明らかでない。本専門委員会では、桐蔭横浜大学コンプライアンス研究センター・郷原信郎教授の意見を参考に、以下を今後の課題としてまとめた。

- (1)一般論としての規則化は難しい。生活、物流、交通などの分野で、具体的に研究を進めながら、法律の専門家をメンバーに入れて、個別に検討することが有効である。
- (2)規定には、少なくとも、被験者に事前に伝えるべき事項を盛り込む必要がある。データの取得により、どのようなリスクが発生するかであり、これには、被験者の生理的・心理的な拒絶反応の可能性も含まれる。
- (3)事前説明の際、事故発生時に証拠として採用されうるものは、特に詳しく説明する必要がある。今回の検討分野では、自動車運転時のデータが該当し、データの取得が被験者の不利となる場合もある。
- (4)実験段階と実用化時ではリスクの大きさが異なる。当面は、データ利用範囲と被験者が限定される実験段階での規則作成を急ぐべきである。法律の専門家を含む研究体制を早急にスタートさせるべきである。
- (5)プライバシー侵害に関する法的検討は欧米が進んでいる。シンポジウムの開催など、欧米の専門家との情報交換の場を設けることが必要である。

## 4 . ユビキタスメカトロニクスの国際化と教育

### 4-1 ユビキタスメカトロニクスの国際標準化

日本から発信したメカトロニクス技術は、現在、欧米アジアの各国に伝わり、発展しているが、まだ世界中に行き渡っているとはいえない状況である。これからの新しいユビキタスメカトロニクスが国際的に認知され、国際的な教育・研究開発の発展に寄与するためには、ユビキタスメカトロニクスの国際標準化を進めることが極めて重要である。既に国際標準化の取り組みが行われているユビキタスコンピューティング[10]とは異なり、ユビキタスメカトロニクスに関しては、国際標準化に取り組んでいる例は少ない。メカトロニクスの世界では、常に新しいハードウェアが誕生する可能性があるため、標準化はその進歩を阻害する恐れがあるからである。

ユビキタスメカトロニクスの標準化には、(1)デバイスレベルの標準化、(2)機能レベルの標準化、(3)ソフトウェアレベルの標準化、の3つの標準化が考えられる。国際標準化については、機能レベルの標準化とソフトウェアレベルの標準化から始めるのが容易であろう。ソフトウェアレベルの標準化に関しては、ミドルウェアとしての標準化を行おうと、日本からの働きかけにより、OMG( Object Management Group )で、いくつかの試みがなされている。Super Distributed Object の標準化を進めようとしている SDO DSIG (Domain Special Interest Group)[11]と、ロボットに関する標準化を進めようとしている Robotics DSIG[12]がある。後者は、その活動が開始されたばかりであるが、ロボットの機能レベルの標準化にも関係するもので、特に海外から多くの関心を集めている。ユビキタスメカトロニクスの普及発展には、このような国際標準化は欠かせないものであり、まず、ユビキタスメカトロニクス固有の機能レベルとソフトウェアレベルの国際標準化を推進することが重要であろう。

### 4-2 ユビキタスメカトロニクス教育の取り組み

近年、日本国内では、サッカーロボットや二足歩行ロボットの開発等の学生実験や Project-Based Learning ( PBL ) に基づく教育が実践されている。一般的な工学の講義は、理論の定義から入り、次に定理に拡張し、実際に例題を解くことによるトップダウン的な教育であるのに対し、PBL では、まず、実社会や企業での問題を提起し、学生は、自主的にその問題背景や従来の改善・解決方法を調べることから始まる。教員は、学生の理解度や興味にあわせて、必要な基礎理論の講義やスキルの実習を行いながら、学生主体で問題解決を行う。例えば、ヨーロッパのある大学では、学部教育において、入学時から PBL のみを実践するコースがあり、一般的な大学教育のように教養科目・専門科目等の履修すらない。このように PBL では、理論先行型ではなく、問題解決型の教育である。実問題を解決するために社会へ組み込むべき製品を開発するプロジェクトの占める割合は非常に高く、その実践のためには、ユビキタスメカトロニクスの教育は必要不可欠である。特に、現在の情報インフラを効率よく利用する製品は実用的であり、無線化・小型軽量化を実現する諸技術・理論の

確立は、大学での PBL の実践に適している。

次に、教育において最も重要な要素の一つに評価がある。ある評価基準を設けることにより、異なる大学で実践された PBL の質をある程度、絶対的なものとして価値あるものにしよう。例えば、米国では、1932 年に ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology)[13]とよばれるアメリカの民間企業による技術者教育認定会議が設立され、現在では、550 以上の大学で約 2500 のプログラムが実施されている。ABET による認定では、技術者の基準として、例えば、「数学・科学・工学の知識を応用する能力」、「生涯学習の必要性を認識し、常に学習していく能力」、「現代社会の諸問題に関する知識」等があり、様々なプロジェクトを多角的な視点から評価可能な構造を持つ。

また、ヨーロッパ諸国では、ヨーロッパ工学教育協会 (European Society for Engineering Education; SEFI) [14]において積極的に PBL 型の教育に関する議論が行われている。日本では、日本技術者教育認定機構 (Japan Accreditation Board for Engineering Education ; JABEE) [15]が 1999 年に設立された。JABEE では、ユビキタスメカトロニクスは、おそらく工学 (融合複合・新領域) 関連分野に含まれるが、ユビキタスやメカトロニクスの用語を含む認定を受けたプログラムは無い。PBL に基づくユビキタスメカトロニクス教育を行うために、教員による教育・学生による自学・第三者による評価が三位一体となった体制を実現する必要がある。米国では、企業が積極的に大学にプロジェクトと研究費を提供することにより、PBL を実践しているが、日本国内においては、企業から教員への受託・共同研究はあるものの、企業と教育機関の PBL レベルの連携はほとんど無い。したがって、PBL や JABEE を促進するためにも、日本の産業と教育機関の密な連携を支援していく必要がある。

#### 4-3 ユビキタスメカトロニクス教育のためのカリキュラム

ユビキタスメカトロニクスを実現するための教育カリキュラムとしては、もちろん通常の 1) センサ・アクチュエータ工学、2) 制御工学、3) 信号処理 / シミュレーション、4) ロボット運動学、動力学、5) ロボット制御等のロボット・メカトロニクスの基礎教育が必要である。また、それに加えて、ユビキタス (いつでも、どこでも) として使えるメカトロニクス機器を研究・開発できる技術者や研究者を育てるには、有線 LAN、無線 LAN を始めとするネットワーク技術等のインターネット (または IT) 技術の基礎教育も必要である。一方、ユビキタスメカトロニクスの製品は、人間や社会との関わりに関する議論が必要となるため、心理学や社会学の人文系、さらには、バイオ・マイクロに関する基礎理論も必要となる。

メカトロニクス関連カリキュラムの点で日本を取り巻くアジアやアセアン地域のメカトロニクス教育の発展に寄与するには、上記の通常メカトロニクスカリキュラムをこなせる教員や技術者を育てる必要がある。アジア地域では中国、韓国、台湾等は日本に近いメカトロニクスカリキュラムも既に揃っており、研究者も日本に負けず劣らず豊富かつ活発である。しかし、アセアン地域においてはシンガポール、マレーシアあるいはタイ等は、前述のアジ

ア地域まではいかなくても、かなりカリキュラムや教員の確保の点では確保されつつある一方、インドネシア、フィリピン、その他のアセアン地域ではまだまだ導入の緒に就いたばかりである。したがって、本ユビキタスメカトロニクス国際化小委員会が「ユビキタスメカトロニクスのカリキュラム」の点で貢献するには、特にアセアン地域への貢献においては、以下の点を強調すべきである。

- (1) メカトロニクス関連の研究を志向するアセアン地域の教員、研究者あるいは学生の日本へのより積極的な受け入れを行う。
- (2) メカトロニクス関連の教育の啓蒙のために、日本側教員のセミナーまたは集中講義を行うための短期派遣、またはその支援を行う。
- (3) 日本の博士後期課程等を出たアセアン地域での若手、中堅研究者の下での日本の大学とのその後の交流を深めるための交換学生の実施や交流教育プログラムの充実を図る。
- (4) メカトロニクス機器/ロボット等の教育・実習用設備の共同開発や共同教育・研究プロジェクトの推進を支援する。

#### 4-4 ユビキタスメカトロニクスの国際化に向けて求められること

メカトロニクスは、1969年日本で始められたものであるが、今までは、欧米だけでなく、アジア・中米南米・中近東まで、そのディシプリンが伝播しており、各国でこの教育カリキュラムや研究が進んでいる。その意味では、日本は、その創始者としての自負だけでなく、その発展の義務を果たす責務がある。特に諸外国では、以下の事項が要求されている。

- (1) メカトロニクス教育者の育成
- (2) 研究者育成のインターン制度（各国からのリーダー養成）
- (3) カリキュラムの作成（教育や訓練用）
- (4) テキストの作成（初級、中級、上級編、編集作成）
- (5) 高度な最先端メカトロニクス技術者・研究者（技術交流と会議）
- (6) 共同研究（プロジェクトの推進）
- (7) 人文科学的研究

メカトロニクスは日本発の研究・学問分野でありながら、機械、電気、情報分野にまたがるメカトロニクスとしての体系化が行なわれてこなかった。一方、遅れてメカトロニクスを意識しだした米国及びヨーロッパが体系化に向かって先行しつつある。米国では既に IEEE と ASME が共同で IEEE/ASME Transactions on Mechatronics [16] を出版し、IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM) [17] を開催し隔年で世界中から 300 件ほどの発表が行なわれている。近年では IEEE 内に産業界

も含めてメカトロニクスの分科会を作る動きがあり、影響力を強めている。また、ヨーロッパでは IFAC が中心となりメカトロニクスの分科会があり、やはり隔年で国際会議を開催している。やはり産業界も巻き込んで体系化への動きが見られる。このようにメカトロニクスでの体系化への努力において米国・ヨーロッパに遅れていた。しかし、近年のユビキタス化は、日本の欠点であった機械、電気、情報分野へのまたがり弱さを解消する絶好の機会である。国は、今まで横断的に展開されてきたメカトロニクスの研究・教育をユビキタス化という観点から強力に連携させる必要がある。ユビキタスメカトロニクスはその潜在的な応用展開の多様性から、日本国内だけでなく世界中の人々の生活全般に関わり、生活の質の向上、安心・安全の向上に貢献するところが大きく、またその経済市場も期待できる。

このためにも、日本で国際基準を満たす十分な設備と施設を有する国際メカトロニクス教育研究拠点を設立する必要がある、日本発ユビキタスメカトロニクスの国際化のため、以下を提言する。

- (1) 横断的な分科会、国際標準化委員会の設置と教育カリキュラムの体系化。
- (2) 国際的な人材育成、その評価基準の策定、各国の大学の教育研究評価の実施。
- (3) 日本と中心とし、米国、ヨーロッパと連携した国際会議の開催、アセアン諸国との教育・研究・技術連携の強化。
- (4) 国による、社会的インパクトの高いプロジェクトへの重点支援、世界的イニシアティブをとるフォーラムの開催。
- (5) 産業界、学会、大学間の有機的な連携による具体的な成果の創出と世界をリードする教育・研究施設の設置。

## 5 . 提言

メカトロニクスの概念および技術は日本から発信され、これまで 30 年間、先端技術開発と日本の輸出入の根幹を支えてきた。本専門委員会では、このメカトロニクス技術に、「人間機械コンテンツの構築とその活用」の概念を導入して、ユビキタスメカトロニクスの新しい展開を目指すことを提言する。

人間機械コンテンツの構築とその活用技術を可能としている背景と、その展開分野を以下に示す。センサやセンシング手法の高度化、ネットワーク技術の深化と展開、ディスクストレージの大容量化、コンピュータ処理速度の向上などを背景として、ユビキタス社会の情報インフラストラクチャが整備されつつある。そのため、人や機械の活動や稼働ログ（人間機械コンテンツ）を広範囲・長時間にわたって計測・収集・蓄積することが可能となっており、その利用がメカトロニクス技術のさらなる高度化を可能にする。世界的にもライフログ研究などが盛んになりつつあり、人間機械コンテンツの構築とその活用技術は、これまでのゲー

ムや映画などに留まっていたコンテンツの領域を、くらしコンテンツ分野(生活コンテンツ、ロボットコンテンツ、セキュリティコンテンツ)や、流通コンテンツ分野(自動車操縦コンテンツ、流通コンテンツ)、および、教育コンテンツ分野(メカトロニクス教育分野)に拡大するものであり、大きな広がりをもつ。

人間機械コンテンツの構築とその活用概念に基づいたユビキタスメカトロニクスの技術開発を推進する上で欠くことのできない視点を以下に示す。たしかに、ユビキタス社会の情報インフラストラクチャは、人や機械の活動や稼働ログ(人と機械のコンテンツ)を広範囲・長時間にわたって計測・収集・蓄積することを可能としている。しかしながら、現時点での大多数の研究開発は、人間のライフログに焦点をあてているに過ぎず、機械やロボットの稼働ログという重要な視点を欠落させているか、あるいは、どのようにして長時間で大量の情報を計測・収集し蓄積・検索するかに焦点があてられているためその応用への考慮が後手にまわっているか、これまでのメモリ容量制限のためにある狭い特定の用途に限定・特化した手法しか試みられていないのが現状である。人間機械コンテンツを、コンテンツとして扱いそれをどのように利用するのかの考察が不可欠であり、そのようなコンテンツ情報の構造的な要素間の関係性を十分にふまえた洞察と分析手法を見据えた研究開発が不可欠である。このような基盤をもつ人間機械コンテンツこそが、くらしコンテンツ分野(くらしコンテンツ、ロボットコンテンツ、セキュリティコンテンツ)、流通コンテンツ分野(自動車操縦コンテンツ、流通コンテンツ)など、幅広い応用分野を切り開くと考えている。

以上に述べた人間機械コンテンツの構築とその活用概念に基づいたユビキタスメカトロニクスの新しい展開に不可欠な研究・開発項目と、それを推進するために不可欠な体制を以下に示す。

## 5-1 人間機械コンテンツメカトロニクス創成のための基盤技術の研究開発の推進

### (1) コンテンツ収集のためのセンシング技術研究開発の推進

あらゆる分野において、コンテンツ収集のためのセンシング技術が必要となっている。人間分野では、メカトロニクスとナノ・バイオ技術を活用した、装着者に負担のないウェアラブルセンサの開発とともに、環境埋め込み型センサの開発を推し進めるべきである。このとき、行動理解を容易にするためには何を測ればよいのかが分かっていることが大切であり、そのためにも生理、認知心理、力学など様々な側面での人間のより深い理解が必要となる。

人工物、交通物流分野においても、機器の稼働状況、それを操作する人の心理状態、周囲環境の把握が必要である。安全および効率化のための基礎データ収集のため、位置、周囲および操作者の画像、振動、温度などのセンサが必要である。これらを稼働させるための大容量メモリと電源の確保も課題である。

以上には、デジタルカメラ、携帯電話を始めとする情報家電の技術が利用でき、日本の得意技術として発展することが期待できる。

## (2) センシングデータから有用情報を生成するデータマイニング技術研究開発の推進

センサデータを利用者が使える形に直す技術が必要である。人間行動では、例えば生体信号から健康状態の認識、食事・運動処方が提示できれば、一般人の生活改善につながる。人工物では、例えば工作機械の振動から、回転部の故障などが推定できれば稼働率向上につながる。交通では、例えば、周囲環境とドライバの動作から事故原因の抽出ができれば安全性向上につながる。これらには、センサ技術に加え、医学、心理学、交通工学、機械加工学など、利用者側の専門知識が必要である。多分野の専門家がセンサデータを自由に閲覧でき、情報交換できる体制を作らなければならない。当面は、人間・機械コンテンツの具体的な応用を少数定め、ここに産官学の資金と人を集めることが必要であろう。

## (3) コンテンツ収集手段と利用手段の標準化と高信頼化の促進

多様な対象のデータを効率的に収集し、共通的に利用するには、データ形式、インターフェースの標準化が必要である。現在は、情報家電、工作機械、ロボットなど対象が多岐に渡る人工物分野で標準化への要求が強いが、今後、人間、交通、物流分野でも必要性が増大すると考えられる。その際、情報の蓄積、通信における信頼性の確保と悪用防止が重要である。これは次項とも関連する。

## (4) 情報保護のための法・技術の整備

人間行動コンテンツは、扱い誤ると、プライバシーを侵害し、違法セールスなどに利用される。人工物および物流稼働データも、企業の活動状況を漏洩することになる。よって、人間・機械コンテンツの利用方法について、使用範囲の倫理基準を定めること、他の目的に利用できないような技術的な方策をとること、違法利用に対する罰則の制定が必要である。

## 5-2 ユビキタスメカトロニクスの教育・研究・国際化の推進

日本発のメカトロニクス技術を展開したユビキタスメカトロニクスが、人間機械コンテンツ構築活用機能を創成し、それによって世界に貢献するためには、日本で国際基準を満たす十分な設備と施設を有する国際メカトロニクス教育研究拠点を設立する必要がある。日本発ユビキタスメカトロニクスの国際化ならびに教育・研究体制充実のため、以下の方策が不可欠である。

(1) ユビキタス化の観点から機械、電気、情報分野に横断的に展開されているメカトロニクス研究・教育をまとめ、横断的な分科会や国際標準化委員会を作るとともにユビキタスメカトロニクス教育のためのカリキュラムの体系化を行う。

(2) ユビキタスメカトロニクス教育のための国際的な人材の育成及び ABET や JABEE 等に準拠する人材育成の評価基準の策定を行うとともに、人文・社会科学的観点を含めた各国の大学の教育研究評価を行う。

- (3) 米国、ヨーロッパと連携して日本から情報を発信する国際会議を開催するとともに、アセアン諸国との教育・研究・技術的連携も強化する。
- (4) メカトロニクス発信国の国策として社会的インパクトの高いプロジェクトを重点的に支援し、世界的イニシアティブをとるユビキタスメカトロニクスフォーラムを開催し、ユビキタスメカトロニクスの普及と発展のための国際的責務を果たす。
- (5) 産業界、学会、大学間の有機的な連携を行い、ユビキタスメカトロニクスの具体的な成果を世界に先駆けて打ち出すとともに、世界をリードする教育・研究施設を作る。

本対外報告は、メカトロニクス研究開発に携わる技術者、教育者に発せられるものであるが、ユビキタス情報社会の構築に関わる情報処理関係者、その利用に関わる医学、生物学、土木工学、生活科学などの研究者、技術者にも関係するものである。

## 参考文献

- [1] 日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員開会メカトロニクス専門委員会：心豊かな社会実現のための次世代メカトロニクスの提言 - 技術ウィービングによる個人コンテンツの創成 -、(2003)、<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-18-t995-52.pdf>、  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-18-t995-53.pdf>
- [2] 総務省統計局平成16年科学技術研究調査統計表、第10表 産業別技術輸出対価受取額(企業等)、第11表 産業別技術輸入対価支払額(企業等)よりデータ抽出。
- [3] 板生清：コンピュータを着る時代、文春新書、(2005)
- [4] 東京大学21世紀COE実世界情報プロジェクト監修(佐藤知正編著)：人と共存するコンピュータ・ロボット学 - 実世界情報システム -、p.7 (2004)
- [5] Kenji Mase, Yasuyuki Sumi.: Interaction Copus and Experience Sharing, Proc. of ATR Workshop on Ubiquitous Experience Media 2003.
- [6] Tomomasa Sato, Yoshifumi Nishida, Hiroshi Mizoguchi : Robotic Room: Symbiosis with human through behavior media, Robotics and Autonomous Systems, 18 International Workshop on Biorobotics: Human-Robot Symbiosis, ELSEVIER, pp.185-194 (1996)
- [7] ミスタータクシーの新車会学、ニューモデルマガジンX 2005年2月号、pp.50-51 .
- [8] スタビリティ・コントロール・システムの効果についての調査結果・別添資料、独立行政法人 自動車事故対策機構ホームページ / 情報公開 / TOPICS、  
<http://www.nasva.go.jp/koukai/topics/2005/050218.html>
- [9] 川原靖弘, 澤喜彦, 松原遼, 酒田健治, 廣田輝直 : PHS 端末を用いた物流用パレット位置探査システム, マイクロメカトロニクス (日本時計学会誌), 49, 192, pp.12-23 (2005)

- [10] 美崎薫 : ユビキタスコンピューティング -夢が現実に , ソフトマジック (2003)
- [11] S. Sameshima, J. Suzuki, S. Arbanowski and T. Suda : OMG Super Distributed Objects White Paper, Super Distributed Objects Domain Special Interest Group, Object Management Group, (2001)
- [12] Robotics DSIG Info Page, [http://www.omg.org/robotics/robotics\\_info.htm](http://www.omg.org/robotics/robotics_info.htm)
- [13] Accreditation Board for Engineering and Technology, <http://www.abet.org/>
- [14] European Society for Engineering Education, <http://www.ntb.ch/SEFI/>
- [15] 日本技術者教育認定機構 , <http://www.jabee.org/>
- [16] IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, <http://www.ieee-asme-mechatronics.org/>
- [17] 例えば , 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics , <http://www.aim2005.org/>