

# 安全知識循環型社会システムの構築

## Implementation of Social System for Circulating Safety Knowledge

西田佳史\*1      本村陽一\*1      山中龍宏\*1\*2  
Yoshifumi Nishida      Yoichi Motomura      Tatsuhiro Yamanaka

\*1産業技術総合研究所  
デジタルヒューマン工学研究センター  
生活・社会機能デザイン研究チーム

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

\*2緑園こどもクリニック  
Ryokuen Children's Clinic

This paper reports the progress of implementing a social system for circulating safety knowledge, whose concept was proposed by the authors when an open life matrix project started in 2006. This paper describes the basic technologies and the social system technologies developed in the project, the project's outcomes, and new challenges in injury prevention engineering for safety knowledge circulation.

### 1. 日常生活という複雑システムのための科学技術とそのためのオープンな体制の必要性

あらゆる製品は、その主目的の作用だけでなく必ず副作用を持っている。日常生活における製品による事故予防の問題は、主目的の機能を実現しつつ有害な副作用を抑制するための科学技術の問題である。この日常生活場面での副作用の科学は難しい。その困難性は、日常生活というシステムの理解が未熟であることに起因している。そして、その日常生活系の理解の困難性は、1) 日常生活を構成する要素が多く超多次元現象である点、2) 構成要素である人、モノ、その他の生活財に関する基礎データが未整備である点、3) 日常生活という実フィードを対象とするため、日常生活のモデルを開発するためのコントロールされた実験が困難である点にあり、その結果、日常生活という複雑なシステムの中に、製品が組み込まれ使われた際に発生する反応（副作用）が予測困難となっている。最近生じている製品の使われ方の予測不良に起因する、製品のリコール問題や子どもや高齢者による不慮の事故などの問題は、いずれも、日常生活という複雑系を扱う科学技術や社会的な仕組みが未整備であることが原因の一つであり、最近では、子どもや高齢者の健康問題としてだけでなく、生産技術や製品安全技術の問題としてもクローズアップされている。製品の安全性は、単体の安全性、例えば、製品の材料力学的安全性だけでなく、設計しようとしている製品以外にも周辺に多数の製品が存在しており、さらに、子どもや高齢者などの人を含んだ日常生活全体を一つのシステムとして見た場合のシステム全体の安全性へと考慮すべきシステムの境界が拡大している。

この問題に対する一つのアプローチが、日常生活インフォマティクスに基づく制御論的アプローチである。何らかのセンシング技術を用いて、製品の「日常の使われ方」や、その重要な一断面である「日常の事故」のデータを収集・計測することでデータを取得し、このデータに基づいて日常の使われ方を理解し、何らかの制御モデルを作って、制御可能にしていくアプローチである。これまで制御工学が対象としてきたものと異なり、日常生活という超多次元現象の制御問題であり、その解決のためには新たな技術体系が要求される [西田 2008]。

求められるのは技術体系だけに留まらない。データの収集から制御までを実際に行うには、それを可能とする社会システムが不可欠である。社会全体に散らばった事故データの収集、多様なインタラクションによって生じる現象の解明やモデルの開

発は、ある一企業だけで実施するにはコストがかかりすぎて実現不可能であるからである。原因究明一つとっても、あらゆる分野の知識を総動員する必要がある、多くの場合、一つの組織だけで対応することは不可能である。原因究明には、医学・法医学、人間工学、バイオメカニズム、心理学、認知科学、情報工学、材料・破壊力学、機械力学、流体力学、熱力学などの知見が要求されるし、これを社会還元させるには、公衆衛生学、法学的な力も必要となる。これを解決するには、「公開を前提とした情報の受け取り方」を実施し、情報共有と知識循環の研究ネットワークを作り、このネットワークを使って事故事象に対応してその都度、課題解決にあたる機能的なグループを柔軟に結成して解決することが現実的であり、有効であり、低コストであるアプローチである [本村 2009]。筆者らは、このような観点から、2006 年以来、日常生活に関するデータやそれを処理する技術をオープンにし、分野超越的（トランスディシプリナリー）な連携や、業際的な連携を促進することで、日常生活という複雑システムを扱う科学技術と社会技術を創造するプロジェクト（オープン・ライフ・マトリクス）[本村 2009] を継続してきた。

本稿では、近未来チャレンジ「オープン・ライフ・マトリクス」の最終年度を迎えるにあたり、2006 年に当研究グループで提唱した安全知識循環型社会システム [西田 2006] の現在までの社会実装の状況を報告する。これまでどのような科学技術・生産技術・社会技術が作られたか、そして、どのような学術・産業上の波及効果が得られたかを整理し、現在の到達点と今後の課題を明らかにする。

### 2. 事故による傷害の予防に求められる科学技術と社会システム

#### 2.1 安全知識循環型社会システム

事故による傷害予防を推し進めるためには、日常生活インフォマティクスを可能とする社会的な仕組みや、日常生活インフォマティクスをモノづくりに還元可能にする社会的な仕組みが不可欠である。事故による傷害を予防する社会システムとして、2006 年に図 1 に示す安全知識循環型社会システムの概念を提案した。安全知識循環型社会システムは、1) 医療機関を核として子どもの行動や事故に関するデータを収集する事故サーベイランス技術、2) 収集されたデータを解析し、子どもの行動や事故の発生プロセスの計算モデルを構築し、行動・事故の計算モデルに基づいて、事故の予防策を開発する事故制御モデリング・傷害シミュレーション技術、3) 社会にリスクを伝達したり、事故予防策を普及させたりするためのリスクコ

連絡先: 西田佳史, 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター 生活・社会機能デザイン研究チーム, 〒135-0064 東京都江東区青海 2-3-26, y.nishida@aist.go.jp

コミュニケーション技術の一つのループとしてつなぐことで、事故データを蓄え、事故データを対策法へと知識化し、開発された対策法の効果を評価し、持続的に改善していくという社会的なフィードバック系を実現するシステムである。



図 1: 安全知識循環型社会システム

## 2.2 傷害予防工学の包括的アプローチ

上述した社会システムに基づくことで、生活の実態や傷害データに基づく製品づくりや危険情報の共有が可能となる。日常生活における事故予防のための計算論的 PDCA サイクルを実現するための基本的な考え方を図 2 に示す。図 2 では、製品のリスクを制御するために我々が制御可能な対象を、大きく環境・製品(図中左側)と、人の意識・行動(図中右側)とに分類し、その全体を一つのシステムとして捉え、環境改善と行動変容の両方を一つの制御系と捉えフィードバックループを作って持続的に改善していく包括的なアプローチを示している。改善可能なものに関しては、製品を改善することによって危険性を低減させていく一方で、実際上、製品の改良では危険をゼロにすることが困難である場合がほとんどであることから、その危険に関する情報をコミュニティに伝え、情報の共有化を図るリスクコミュニケーションも同時に扱っていくことが重要である。

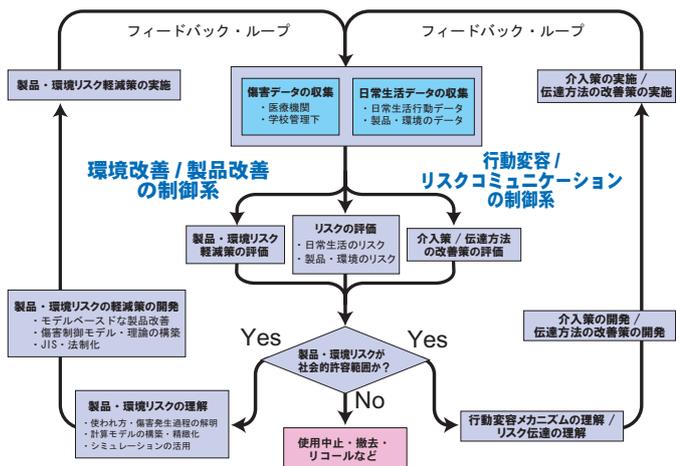


図 2: 傷害予防工学の包括的アプローチ

## 2.3 安全知識循環型社会システムの実装状況

現在までの安全知識循環型社会システムとそれと連携する傷害予防工学技術の主な進捗と成果を以下にまとめる。

### 1. 技術の社会実装による大規模データの取得とそれに基づく新しい傷害科学

日々、傷害のために多くの人が医療機関を受診しているが、これまでその情報を収集することは非常に困難であった。医療機関は治療をする場であり、傷害の発生状況を細かく聞くこともなかった。本プロジェクトでは、身体情報を正規化された身体空間上で表現することで情報を構造化して蓄積する新しい技術である身体地図情報システム技術を開発し、これを傷害データの蓄積技術に応用する技術 [本村 2006][坪井 2009] を開発した。さらに、これを実際に社会で利用可能にするために、多くの病院に既に導入されている電子カルテと連動可能な社会実装型のソフトウェアも開発し、無料配布を開始した。このシステムは、現在も、情報を収集・入力する医療現場の声を反映しながら改良を続けている。本プロジェクトでは国立成育医療センターの医師と看護師をはじめとする医療機関の協力により、8,300 例以上(2006 年 11 月~2009 年 12 月)の事例の収集に成功した。そして、これらの大規模傷害データによって、新しい分析技術(身体空間統計技術)とそれに基づく傷害科学を生み出された。身体空間統計技術としては、例えば、傷害発生部位の条件付き確率密度分布の可視化法、身体空間統計的検定法、身体空間極致統計分析法、外部条件からの傷害発生部位推定法、目的志向型身体空間クラスタリング法などが開発された [坪井 2009]。これらの技術と大規模傷害データによって、傷害の身体空間統計学と呼べるような新しい科学が可能となった。

### 2. 知識化のための分析技術の開発

収集された事故・傷害の情報を分析し、原因究明を行ったり、対策法を開発したりするための様々な工学技術を開発した。従来、事故や傷害のデータは統計分析に留まっていたが、工学の視点から取り組むことで、従来とは次元を異にした複合的、重層的な分析が展開された。代表的なものを述べれば、指はさみによる傷害再現 [多田 2008] や、転倒・転落による傷害再現 [宮崎 2008] のための生体力学シミュレーション技術を開発した。蓄積された傷害データに基づいて、典型的な傷害の発生パターンを分析し、アニメーションとして可視化する技術も開発した。心理学の知見を活かし、傷害予防のための教材を効果的に伝達するために、意識・行動変容技術の開発や、その効果を評価する試みも行った。いずれも、産業界からの具体的なニーズや社会の現実の課題に応えることが、学術上も価値がある様々な工学・心理学上の技術を生み出すことに繋がった。

### 3. モノづくり分野でのアウトカムの蓄積

本プロジェクトを通じて収集された傷害データや傷害予防工学技術の波及効果も表れてきている。以下に代表的な事例を挙げる。1) 子どもの全身と頭部のバイオメカニクス技術を用いた遊具の接地面に関するリスク評価による知見が、国交省の公園遊具の安全確保に関する指針 [国土交通省 2008] や、遊具業界(日本公園施設業協会)の安全規程 [日本公園施設業協会 2008] に反映された。また、北九州市や横浜市の遊具 30 基以上が修繕された。2) 子どもの指のバイオメカニクス技術を用いたベビーカーの指はさみのリスク評価による知見が、製品安全協会の基準改訂に利用された。3) バナソニックから、蒸気による火傷のリスクを低減させた新しい IH 炊飯ジャー (SR - SJ101/SK101 シリーズ) が発売され、具体的な製品安全設計へ繋がる事例が出始めた。

### 4. オープンな安全知識創造(学際的・業際的安全知識創造プロジェクトの実施)

傷害情報の収集の量的拡大、質的検討が進んだことから、2009 年度には、モノづくりに携わる生産現場に傷害データや傷害予防工学技術を提供し、傷害データをモノづくり技術へ活かすことで、具体的な傷害予防につながる活動「安全知識創造プロジェクト」を展開することとした。企業側

で製品開発に必要となるニーズ（基礎データ整備、製品安全や事故事例の解析技術など）を募集し、そのニーズが一企業の製品開発を超えて、業界や社会の共有知識として価値があるものを選び、研究者側の技術シーズとのマッチングを図る助成制度を開発し運用した。現在、これに応募頂いた、永大産業（株）「転倒・転落での衝突衝撃を吸収する住宅内装建材」（株）オージーケーカブト「子ども用自転車ヘルメットの適合性と安全性」、住友林業（株）「什器の角等の性状による衝突安全性」（社）日本アミューズメントマシン工業協会「硬貨返却口での指はさみ事故防止」、（社）日本技術士会 子どもの安全研究グループ「日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析」の 5 件のテーマが進行している。これまで培ってきた傷害データベース技術、傷害シミュレーションによる新しい製品安全・評価技術、安全評価技術がモノづくり現場の問題意識と結びつくことで活用され、安全な製品設計に活かされたことは、本プロジェクトの達成点として特記すべき点である。2007 年からの 3 年間で扱った知識化の事例は、合計 11 件と数はまだ少ないものの具体的な傷害の事例検討・検証を行い、中には具体的解決策まで至った「安全知識循環」の成功例がいくつか得られた。

#### 5. アクションリサーチ実施による新しい研究分野「傷害予防工学」の開拓と研究コミュニティの創造

本プロジェクトを展開する中で、多種多様な分野の専門家、市民の方々と関わりを持ち、業界的・学際的な活動を行ってきた。学際的な研究者ネットワークを作る活動としては、日本ロボット学会、人工知能学会、日本小児保健学会などで企画セッションやシンポジウムを行ってきた。今年度は、千葉県柏市立花野井小学校、高月整形外科病院、千葉大学医学部法医学教室、日本医科大学千葉北総病院 救命救急センター、昭和大学、長崎大学医歯薬学総合研究科、などとの連携も始まっている。このように、これまで蓄積してきた技術やデータベースが我々の研究グループだけの利用に留まらず、それがベースとなって他の研究機関との連携へと発展するケースも増えており、傷害予防工学のコミュニティを作ることができた点は大きな成果であると考えている。また、産業界では、子どもの視点に立ったモノづくりやサービスの振興を目的とする NPO 法人 キッズデザイン協議会 [キッズデザイン協議会 2008] が 2006 年に発足され、企業、研究所、自治体、学校関係者など様々な業種が集まり、キッズデザイン産業育成のための活動の輪が広がっている。「傷害予防工学」という研究分野が確立しつつあること、それを支える人のネットワークができつつある。

#### 6. 情報共有・情報発信

本プロジェクトを通じて収集・分析された情報は、ウェブサイト、報告書等を通じて公開してきた。傷害は、できるならば起きてほしくない事象であるが、起こってしまった場合には「次に起こり得る傷害の予防」のためには貴重な情報となるし、貴重な情報として役立てなければならない。過去の情報があって初めて、次に起こる傷害が予防できるのである。傷害の情報は国民の財産であり、誰でも利用できるシステムにする必要がある。情報収集・共有システムはいまだ整備中ではあるが、本プロジェクトで得られた情報を国民に還元できたことは大きな進歩であると感じている。2008 年 5 月に、経済産業省の委託事業 安全知識循環社会構築事業による成果を発信するホームページ「キッズデザインの輪」(<http://www.kd-wa-meti.com/>) を開設し、事故統計を公表し、月ごと、年齢ごと、製品ごとの傷害発生頻度を検索できるサービス提供を継続している。2009 年度は、事故状況の詳細検索サービス、事故状況検索サービスにおける関連製品検索支援機能（例えば、遊具と入力すると、同じカテゴリにどんな製品があるのかなどを表示する機能）などを開発し、サービスの高度化

を図ってきた。また、身体地図情報システムを用いた傷害部位の検索・可視化ソフトウェア [坪井 2009] も公開した (<http://www.cipec.jp/project/>)。

#### 7. 国際展開

国内でのシンポジウムの開催 (10 回) に加え、傷害予防分野での重要な世界会議でのプレゼンテーション、世界保健機関 (WHO) やアメリカの消費者製品安全委員会 (CPSC) などの国際機関・政府機関への訪問、アメリカのコロラド州立大、アラバマ大、ペンシルバニア大、オーストラリアのモナッシュ大といった傷害データベース技術やバイオメカニクス技術を進めている研究機関への訪問、海外から講演者を招いての国際シンポジウム (JST 国際シンポジウム 傷害予防のための日常生活コンピューティング) 開催等の機会を通じ、研究や社会活動で得られた成果を発信した。

以上述べた活動や成果は、2009 年 4 月 28 日には、国会「消費者問題に関する特別委員会」において取り上げられ、消費者庁が目指している事故情報の収集、分析、情報発信のモデルの事業であり、継続が望ましいという評価を得た。

#### 2.4 安全知識循環型社会システムの新たな展開

本研究グループでは、基礎技術開発に関して、2005 年より JST CREST 事業：「事故予防のための日常行動センシングおよび計算論の基盤技術」を推進しており、これらの技術の社会実装に関しては、2007 年～2009 年度まで、経産省委託事業：「安全知識循環型社会構築事業」により実施された。2010 年度からは、経済産業省 キッズデザイン製品開発支援事業として新たな事業が開始されており、安全知識創造のための学際的・業際的な活動が強化される計画である。2008 年 10 月からは、事故予防のために蓄積してきたデータベースや技術を虐待などの意図的傷害の予防に役立てるための新しいプロジェクト (JST 社会技術研究開発事業：「虐待などの意図的傷害予防のための情報収集技術及び活用技術」) が新たに始まっている。

### 3. 安全知識循環型社会システムと傷害予防工学の課題

事故状況や傷害データを、知識化し、製品改善などの傷害予防に活用する安全知識の循環サイクルを実現したり、その基本技術として必要となる傷害予防工学の課題として、重要なものを以下に整理する。

- 目的志向状況記述学：状況（事故状況など）は、何を目的として、どのように記述されるべきかに答える理論や、目的志向的な記述を支援する技術が皆無である。そのため、収集したデータが、非常にマクロな記述統計にしか役立たず、実際の傷害予防につながらないという事態が数多く生じている。例えば、傷害予防には、事故の時空間現象の再現が不可欠であるが、そのような意識がなく記録されたデータからは再現不能であることが多い。筆者らが具体的に問題を把握している医療施設、商業施設、学校環境など以外にも、あらゆる分野、あらゆる環境で同じ問題にぶつかっていると考えられる。状況記述の目的の一つは、次に述べる傷害予防、すなわち、傷害を可制御化するためのモデリングである。
- 日常生活を可制御化するためのモデリング技術：超多自由度現象制御問題のための技術が求められている。例えば、日常現象に関して、全体的・集合的な特徴を捉えたデータ（グローバルに集められた大規模データ。（例）事故データ）と、ある場所において物理的なセンサを用いた行動データ（ローカルで収集されたある環境の特徴を捉えた個別性の高いデータ。（例）センサデータ、ライフログデータ）とを、数理・物理シミュレーション技術を用いて融合させ、グローバル現象とローカル現象までの階層的な構造全体を説明するモデルを構築したり、ローカ

ルな操作変数を用いてグローバル現象を可制御化したり、グローバルな現象に基づく知見をある環境に適合（ローカライズ）させたりする技術が求められている。また、日常生活環境下での傷害再現シミュレーションのためには、生理学・解剖学レベルでの傷害のモデル、日常生活行動レベルでの傷害発生のモデル、社会現象レベルでの疫学的モデルを一貫できるマルチ・スケールなモデリング/シミュレーション技術、保護者・複数の子ども・複数の製品間のインタラクションを扱えるマルチ・エージェント・ベースのモデリング/シミュレーション技術、質点系・剛体系・有限要素系などのマルチ・ダイナクスを扱えるモデリング/シミュレーション技術が求められる。

- 日常生活データベースの構築：製品づくりやシミュレーションで生活実態を反映させるための日常生活のデータベースの整備が求められている。日常空間に存在している製品のデータベース、日常空間を構成している間取りや様々な施設要素のデータベース、人間が一日どんな行動をとっているかの生活行動データベース（生活機能構造のデータベース [白石 2010]）の整備が求められている。これらのデータベース整備に過大な負担を強いけない工夫、例えば、サービス一体型センシング機能の様々な場面での適用が求められる。また、データの再利用性を高めるための表現法の開発も重要である。
- 日常生活のデータや計算モデルの再利用性を高めるための対話的正規化に基づく同一問題構造化技術：個別の施設や現場では発生頻度が少なく、薄く広がった現象をうまく処理する技術が必要であり、単純な検索機能だけでは実現できない。現象を標準化・正規化させて記述することで、統計処理可能なデータへと加工し、再利用性を高める技術が求められる。世の中には、学校、駅、道路、病院、公園、マンションなど、基本的な施設の構成要素が極めて似ているが、厳密には同じではない施設群が膨大に存在しており、それらを同型化するための表現手法、モデリング手法があれば、再利用性の高いデータやモデルを開発する上で有用である。そのような正規表現やモデリング作業は、自動的になされるといっても、人間の知的能力を積極的に活用し、対話的に行う必要がある場合がほとんどであると考えられるので、その作業支援のための正規表現の対話的開発支援技術、対話的正規化モデリング技術が求められている。
- 多様なステイクホルダー間での知識循環を可能とする技術（モノづくり現場の経営者、設計者、品質保証者への知識循環技術）：上述の技術の関連技術である。ある製品を設計する際に、使用状況、製品の機能、想定されるユーザなどの情報と、厳密には同じ製品によるものではない過去の事故データを関連付けて、使われ方、事故の発生の仕方を予測させてくれる技術が求められている。いわば、人のふり見て我がふり直せを可能としてくれる知的リンケージサービスである。企業内安全知識循環システムと安全知識循環型社会システムとの連携に重要な技術である。
- ステイクホルダー社会システム分析と社会機能デザインの技術：新たなサービス設計のためのステイクホルダー間心理学と、それに基づく一段高い目標を実現するための社会システムデザインの方法論が求められている。製品安全を取り巻くステイクホルダーは、使用者（保護者や子ども）、運業者、販売者、設計・製造者、購入者などが考えられるが、各ステイクホルダーの危険認知やインセンティブは異なっている。ステイクホルダーの心理と別のステイクホルダーの心理の社会構造分析に基づく社会システムデザイン技術が求められている。

## 4. おわりに

本稿では、2006年に本研究グループで提唱した安全知識循環型社会システムの現在までの社会実装の状況を述べた。安全知識循環型社会システムの構築を進める中で得られた科学技術・生産技術・社会技術と、その学術・産業上の波及効果を整理し、現在の到達点と今後の課題を述べた。

## 参考文献

- [Peden 2008] M. Peden, et al., World report on child injury prevention, World Health Organization (WHO), 2008
- [田中 2003] 田中哲郎, “新 子どもの事故防止マニュアル,” 株式会社診断と治療社, 2003
- [WHO 2006] 世界保健機構 (産総研 山中訳), 乳幼児と青少年の事故による傷害の予防 —WHO 行動計画—, ネイチャーインタフェイス (株), 2006 (WHO, *Child and adolescent injury prevention — a WHO plan of action—*, 2006) <http://www.cipec.jp/document/からダウンロード可能>.
- [日本学術会議 2008] 日本学術会議 臨床医学委員会 出生・発達分科会 提言「事故による子どもの傷害」の予防体制を構築するために, 2008 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t62-9.pdf>
- [Doll 2007] L. Doll, et al., eds., Handbook of injury and violence prevention, Atlanta, GA, Springer, 2007
- [西田 2006] 西田佳史, 本村陽一, 山中龍宏, “公園遊具による事故の検証報告～いかに事故予防社会を実現するか～,” 事故サーベイランスプロジェクト報告書, pp. 11-16, 2006
- [本村 2009] 本村陽一, 西田佳史, “オープンライフマトリクスプロジェクトにおける研究推進～知識循環システムの確立と実社会応用～,” 人工知能学会全国大会 2009 論文集, 3D2-NFC1-12, 2009
- [西田 2008] 西田佳史, 本村陽一, “日常生活支援のためのロボタイゼーション,” 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 7, 736-737, 2008
- [本村 2006] 本村陽一, 西田佳史, 北村光司, 金子彩, 柴田康徳, 溝口博, “知識循環型事故サーベイランスシステム,” 統計数理, Vol. 54, No. 2, pp.299-314, 2006
- [坪井 2009] 坪井利樹, 北村光司, 西田佳史, 本村陽一, 高野太刀雄, 山中龍宏, 溝口博, “身体地図機能を有する事故サーベイランスシステム,” 人工知能学会誌, Vol. 24, No. 6, pp. 558-568, November 2009
- [多田 2008] 多田充徳, 西田佳史, 持丸正明, “塑性変形を利用した手指ダミー —製品の安全性検証のために—,” 第 20 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, pp. 423-424, 2008
- [宮崎 2008] 宮崎祐介, 村井庸平, 持丸正明, 西田佳史, 河内まき子, 立矢宏, 放生明廣, “年齢別子ども頭部有限要素モデルの構築と脳損傷危険度の評価,” 日本機械学会北陸信越支部第 45 期総会・講演会講演論文集, No.087-1, pp.115-116, 2008
- [国土交通省 2008] 国土交通省, 都市公園における遊具の安全確保に関する指針 (改訂版), 2008 (<http://www.mlit.go.jp/common/000022126.pdf>)
- [日本公園施設業協会 2008] 社団法人日本公園施設業協会, 遊具の安全に関する規準 JPFA-S: 2008, 2008
- [キッズデザイン協議会 2008] キッズ デザイン 協議会 <http://www.kidsdesign.jp/>
- [白石 2010] 白石康星, 西田佳史, 本村陽一, 大川弥生, 溝口博, “国際生活機能分類を用いた日常生活プロトコルデータの正規化に基づく生活機能構造のモデル化と理解,” 電子情報通信学会 技術研究報告 (ニューロコンピューティング), pp. 431-436, 2010