

## ロボット介護機器のリスクアセスメントのための危害算定法の開発

## Development of harm evaluation method for risk assessment of robotic device for nursing care

○ 松本光司 (JARI) 藤川達夫 (JARI) 神保浩之 (JARI) 浅野陽一 (JARI)

Koji MATSUMOTO, Tatsuo FUJIKAWA,  
Hiroyuki JINBO, Yoichi ASANO

**Abstract:** Risk assessment is an important process to develop robotic devices, which start to be introduced into nursing care. Risk should be estimated from the probability of occurrence of harm and the severity of harm. However, there is little information to evaluate the severity of harm. In this study, we aim to provide the important data for harm evaluation for typical hazardous events of the robotic devices for nursing care. We surveyed the accident data base from related fields and focused on the falling accidents. Situations of the falling accidents of the elderly people were extracted from the data base and reproduced by experiments. The relationship between the severity of harm and the situations of falling were summarized.

**Key Words:** Risk Assessment, Robotic Device, Nursing Care

## 1. 緒言

高齢化の進行に伴い、高齢者の自立支援、介護実施者の負担軽減のニーズが高まっており、その手段としてロボット技術を取り入れた介護機器の開発が盛んに行われている。ロボット介護機器の開発においてリスクアセスメントは重要な開発プロセスの一つとなっている。リスクアセスメントは事前に想定される機器に関するリスクを見積もり、必要に応じた保護方策を明確にするために行う。リスクの見積もりは危険事象の発生確率と危害の酷さでリスクを算定するが、高齢者を対象とした危険事象に対する危害の酷さについて指標となるデータが少ない。そのためリスクの最適な見積もりができないことにより過度な見積もりによる機器のコスト増加や過小な見積もりによる危険事象の発生が考えられる。そこで本研究ではロボット介護機器における代表的な危険事象についてまとめ、リスクアセスメントの危害算定に必要なデータを開発事業者を提供する事を目標とする。

## 2. 危険事象

高齢者がロボット介護機器を使っている時に発生する可能性の高い危険事象として転倒について調査することとした。厚生労働省の調査[1]によると「スリップ、つまづき及びよろめきによる同一平面上での転倒」での平成25年度の高齢者の死亡者数は4966人に上り年々増加している。鈴川らの調査[2]によると、要介護認定を受けた高齢者のうち1年間に転倒を経験した高齢者は25.3%で、そのうち9.7%が骨折に至っているとする調査結果が報告されている。まず高齢者の転倒時の状況について調査するために「事故情報データベースシステム」[3]にあるデータを元に分析を行い、高齢者の転倒に係る危害発生部位とその酷さについてまとめた。

事故情報データベースとは複数の行政機関が保有する生命・身体に係る生活上の事故情報を集約したデータベースであり、インターネット上で自由に閲覧・検索することができるものである。

このデータベースの中から「転倒・転落・不安定」に関連する事故情報を各年代別(40歳代、50歳代、60歳代、70歳代、80歳以上)に調査した。各年代別の危害件数をTable 1に示す。まず転倒時に身体の中のどの部位に危害が加わったかを調査した結果をFig. 1に示す。年代別の危害部位

の割合として60歳以上では他の年代と比べて、大腿骨と脊椎が多くの割合を占めていることが分かる。また、Fig. 2で示す危害の種類別では各年代共通で骨折が多くの割合を占めていることが分かる。Fig. 2のデータの内、死亡に至った事例は、路線バス乗降中にステップから転落して歩道に頭部を打ち死亡した事例が80歳以上と60歳代でそれぞれ1件のみであった。これは、転倒による死亡者数が多いとする前述の厚生労働省の調査[1]と傾向が異なる。ただし、これらの危害発生環境を追加調査したところ、60歳以上の事故件数295件の内253件がバス乗車中に起こったものであり、事故発生環境に大きな偏りがあった。これによって、厚生労働省の調査[1]と傾向が異なると推測される。そこで、以下に、バス乗車中の死亡事故が少ない原因を調査することで、環境と危害の関係を明らかにすることを試みた。

Table 1 Number of harm by each body parts

	40歳	50歳	60歳	70歳	80歳以上
頭部	1	0	2	5	10
肩	0	0	1	1	4
肋骨	0	0	0	0	4
脊椎	4	2	17	35	26
腕	2	5	8	10	16
手	0	0	6	5	7
骨盤	0	1	0	8	5
股関節	0	0	1	2	1
大腿骨	0	2	10	28	52
足	2	4	0	11	1
その他	8	2	5	7	7
合計	17	16	50	112	133

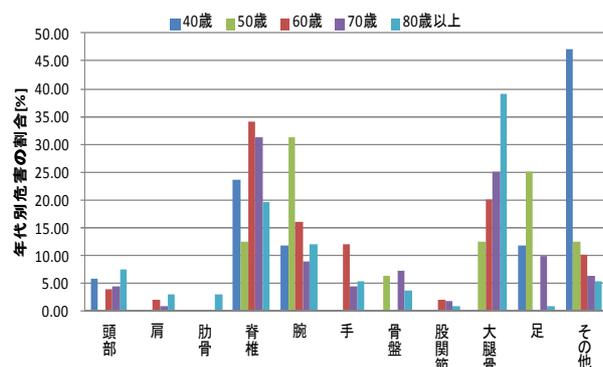


Fig. 1 Percentage of harm by each body parts

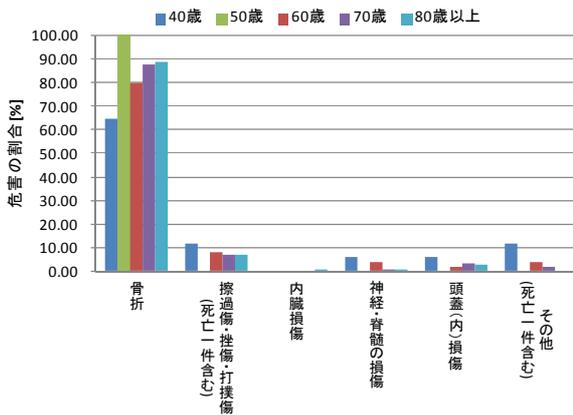


Fig. 2 Number of harm by type of harm



Fig. 3 Bus

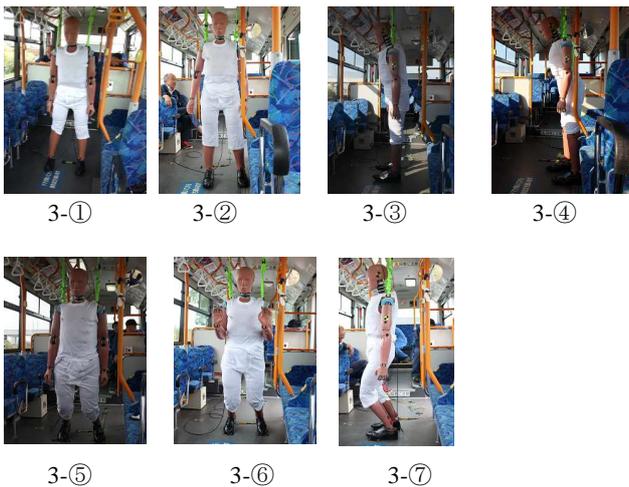


Fig. 4 Dummy posture

3. 再現実験 1

3-1. 実験目的

バス乗車中の死亡事故が少ない原因を確かめるため再現実験を行い、計測データから危害の発生確率について調査した。

3-2. 実験方法

調査した「事故情報データベースシステム」にある転倒に関するデータの多くは路線バス内で起きた転倒事故が多数を占めていた。そこで実際に路線バス (Fig.3) として使用されている中型ワンステップバスを使い、人体ダミーを用いて再現実験を行った。本実験では、バス停での停車に向けての減速時における高齢者の転倒を再現するため、直線の試験路上にバス停に見立てたコーンを設置し、バスをスタート位置から発車させ、40km/h で走行した後減速して、コーン位置で停止することとした。バスの運転は現役路線バス運転手が行い、実験開始前に数回試走してから行っ

た。使用した人体ダミーは自動車衝突実験用のHYBRID-III/AM50である。同ダミーは、米国の標準的な男性の身体を再現している。計測した物理量は頭部加速度および大腿部軸力である。減速時のバス内で発生した転倒事故を模擬するため、ダミー保持具によってダミーを車内に立たせ、バスがコーン手前で停車のための減速を行っている間に保持具を切り離すことでダミーを転倒させた。

3-3. 人体ダミー姿勢条件

人体ダミーはバス内で想定される転倒状況を再現するために、Fig. 4 で示す7つの姿勢を取った状態とした。3-①はバスの進行方向を向いて直立した状態、3-②は3-①の状態から転倒時にポールに身体が接触する状況を再現するためにダミー左腕をポールに接触するように直立させた状態、3-③は進行方向から90°向きを変え直立した状態、3-④はポール付近に直立した状態、3-⑤は膝から転倒した状態を再現するために正面を向いて膝を曲げた状態、3-⑥は3-⑤の状態から転倒時に手をついた状況を再現するために腕を曲げて前方に突き出した状態、3-⑦は3-⑤の状態から90°向きを変えた状態とした。

3-4. 実験結果

各条件の実験結果測定された頭部傷害基準値 (HIC) および大腿部軸力を Table 3 に示す。また、Fig. 5 には、米国 NHTSA が提案している頭部傷害の発生確率の関数 (リスクカーブ) を示す[4]。頭部傷害については、多くのリスクカーブが提案されており、どれを用いるかは今後の課題であるが、本報では6歳児および成人を対象とした Fig. 5 のリスクカーブを用いた。

実験番号 3-①では、ダミーの身体は、バス内のポールや椅子に触れることなく、頭部が床と衝突した。その結果計測された HIC は 799 であり、Fig. 5 によれば、AIS3 (中傷) 以上になる確率が 60% 以上ではあるが、死亡する確率は 4.1% と低い。これはバス内の床材が柔らかいことにより衝撃が緩和されていると推定される。

また、3-②および3-④では、ダミーの頭部が床と衝突する前にポール等に接触した。バス内の狭い空間に椅子やポールなどが配置されているため、転倒時に身体の一部が接触することで直接頭部へ衝撃が加わらない事故は多いと考えられる。また、3-③では肩が、3-⑥では前方に突き出した腕が、頭部より先に床と衝突した。これらの条件では HIC は 466 以下とさらに低く、AIS3 (中傷) 以上になる確率が 30% 以下であることがわかった。以上の結果からバス内では死亡確率が低いが、頭部骨折などの重症に至る確率は高いことが推定され、前節の調査結果と合致する。

大腿部軸力は膝を床につくように倒れた 3-⑤、3-⑥の場合に大きく、最大 6.1kN であった (Table 3)。高齢者の大腿骨骨折に至る軸力は 3.5kN と報告されており[5]、膝から転倒した場合の大腿骨骨折の可能性は高いことがわかる。これも、前節の調査結果と合致する。

Table 3 Dummy HIC, femur load

実験番号	HIC	大腿部軸力(N)
3-①	799	613
3-②	393	688
3-③	466	1097
3-④	165	581
3-⑤	655	6126
3-⑥	330	5734
3-⑦	192	672

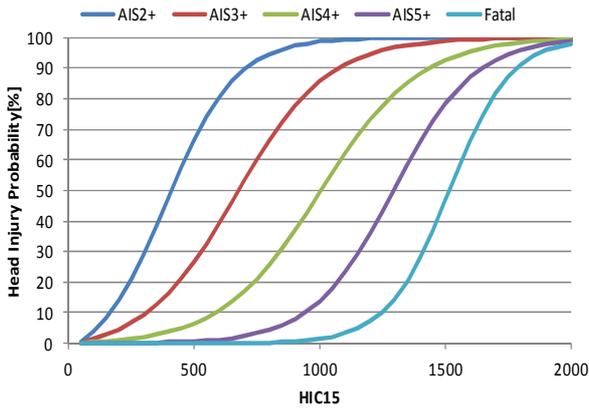


Fig. 5 Head injury probability for 6-Year-Old child and adult dummy[4]

4. 転倒実験 2

4-1. 目的

3-4 の実験結果から路線バスにおける事故において、死亡事例が少ないことの原因のひとつとして、バスの床材の影響があると推定した。そこで転倒時の衝撃における床材の影響について調査するために異なる硬さの床材でダミー人形を用いた転倒実験を行った。

4-2. 実験方法

実験は異なる硬さの床材として木製のパレットとコンクリート製の床の上で行い、人体ダミーを用いて計測した。使用したダミーは HYBRID-III/AM50 と HYBRID-III/AF05 である。AF05 は米国人女性の 5% タイルの体格を再現するために作成された人体ダミーであり、AM50 より日本の高齢者に近いと考えられる。計測した物理量は、頭部加速度および大腿部軸力である。



Fig. 6 Test floor

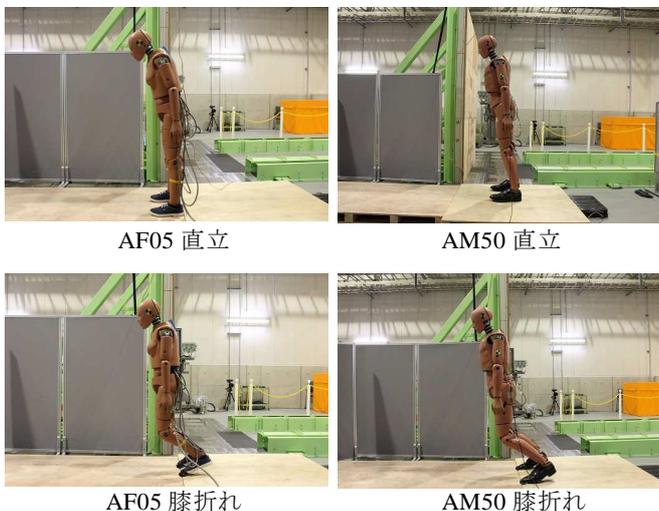


Fig. 7 Dummy posture

4-3. 実験条件

実験に用いた木製のパレット (Fig. 5) は厚さ 30mm の合板と 100mm の角材 (梁) で構成されており、複数の梁が存在するため、転倒時に衝突する場所により床材の硬さが異なる。これを考慮して、以下の条件を設定した。

- (A) 梁と梁の間の柔らかい床にダミーを衝突させる
- (B) 梁上の硬い床にダミーを衝突させる
- (C) 最も硬いコンクリート床にダミーを衝突させる

また人体ダミーの姿勢 (Fig. 7) は、頭部への衝撃が大きい直立と、大腿部への衝撃が大きい膝折れの 2 つの条件とした。実験回数はパレット上での頭部計測を A で 2 回、B で 3 回行なった。衝撃が大きいため、ダミーへの負荷が高いコンクリート上での頭部計測およびパレット上での大腿部計測は、それぞれ 1 回行った。

4-4. 実験結果

A, B, C の条件で直立状態から転倒させた時の頭部傷害基準値 (HIC) を Fig. 8, 9 に示す。AM50, AF05 共に床が硬い程 HIC 値が上昇し、床の硬さによる危害の酷さへの影響はあることがわかった。床の柔らかい部分 (梁の間) と頭部が衝突した A では、HIC は最大約 800 で前述のバスの実験と同等であり、Fig. 5 のリスクカーブから死亡の確率は低いと推定される。床の硬い部分 (梁の上) と頭部が衝突した B では HIC は最大約 2200 であり、死亡の確率が高いと推定される。コンクリート床と衝突した C では、HIC はさらに高く、死亡の確率は極めて高い。

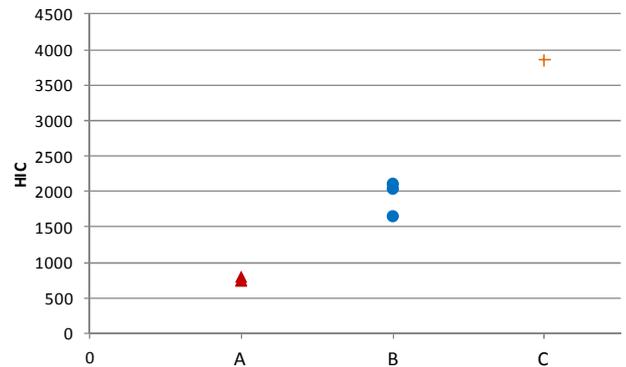


Fig. 8 HIC on the floors with different stiffness (AM50)

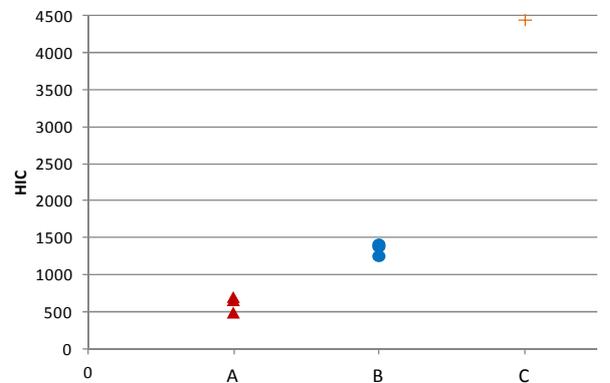


Fig. 9 HIC on the floors with different stiffness (AF05)

A, B の条件で膝折れ状態から転倒させた時の大腿部軸力を Fig. 10 に示す。これらの結果も、硬い床に膝が衝突した条件 B の方が A より高く、床の硬さによる危害の酷さへ

の影響があることがわかった。柔らかい床 A に体重の軽い AF05 の膝が衝突した場合を除けば、大腿骨の軸力は、高齢者の大腿骨骨折に至る軸力とされる 3.5kN [5] を超えている。

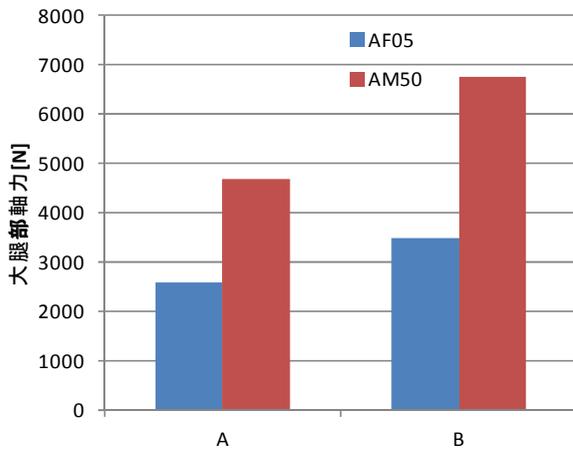


Fig. 10 Femur load

## 5. 結言

リスクアセスメントにおける危害算定に係るデータを提供することを目標とし、本研究ではまず転倒とその危害の酷さと部位について調査し、危害の酷さ・発生確率と床の硬さの影響について再現実験を行い調査した。事故情報について調査した結果、路線バス内で起こる転倒による死亡事例が少ないことが分かり、この原因を確かめるためダミーを使った再現実験を行った。実験の結果、バス内では転倒時に身体の一部がポールや椅子に接触することで直接頭部へ衝撃が加わらないこと、バス内の床材が柔らかいことにより衝撃が緩和されていることが原因と推定された。また、床材の影響について調査するために異なる床材を使った転倒実験を行った。その結果、床材が硬くなるほど死亡確率が高くなることが確認された。

これらのことからリスクアセスメントにおいて転倒のリスクを算定するときには機器を使用する床の硬さを考慮する必要があることがわかった。

本報で調査した事故情報の多くは路線バス内で発生したものであったため、今後は、他の環境での事故情報も収集する計画である。国外も含めたさまざまな高齢者の事故情報を収集し、転倒時の傷害部位について今回対象としなかった腰部、脊椎についても今後検討する。また再現実験について人体ダミーを用いて行ったが、ダミー人形の転倒形態は実際に人間が転倒する時とは異なるため今後は転倒形態を実際の状況に近づけた状態で実施したい。また、参照したリスクカーブなど指標についても部位ごとに適切な指標を検討する必要がある。

## 謝 辞

本研究は、経済産業省「ロボット介護機器開発・普及促進事業」の一部として実施された。

## 参考文献

- (1) 厚生労働省統計情報部「平成25年度人口動態統計」
- (2) 鈴川芽久美, 島田裕之, 要介護高齢者における転倒と発生状況, 日老医誌, 2009; 46: 334-340
- (3) 事故情報データベースシステム (消費者庁)  
< [http://www.jikojoho.go.jp/ai\\_national/](http://www.jikojoho.go.jp/ai_national/) >
- (4) National Highway Traffic Safety Administration, PROPOSED AMENDMENT TO FMVSS No 213 FRONTAL TEST PROCEDURE.
- (5) Courtney AC, Wachtel EF, Myers ER, Hayes WC: Age-related reduction in the strength of the femur tested in a fall-loading configuration. J Bone Joint Surg Am 1995; 77:387-374.