

## 生活支援モビリティロボットの衝突時安全性の評価例

### Example of Safety Evaluation of Life Care Mobility Robots

○ 藤川達夫 久保田正美 (JARI) 山田陽滋 (名古屋大) 池田博康 (JNIOSH)

Tatsuo FUJIKAWA and Masami KUBOTA, Japan Automobile Research Institute  
Yoji YAMADA, Nagoya University  
Hiroyasu IKEDA, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

**Abstract:** To introduce life care mobility, risk in case of collisions should be evaluated. This paper proposes methods of collision tests and the injury level estimation. We first propose using automotive crash-test dummies in order to represent human body responses during collisions. Second, we propose using injury data from automobile accidents by expressing the data as the probability of injury, since the results of the collision vary, depending on human body properties and other fluctuating factors. The probability of each injury level is a function of mechanical parameters that are applied to the human body on collision.

**Key Words:** Life Care Mobility, Robot, Collision, Test Method, Injury Level

#### 1. はじめに

ロボット技術を利用した生活支援モビリティ（生活支援モビリティロボット）が実用化されつつあり、普及が期待されているが、その安全性の評価が課題となっている。本報では、万が一衝突が発生した場合の搭乗者および第三者の安全性を事前に評価する方法について論ずる。自動車の衝突試験用の人体ダミーを用いた試験方法を提案するとともに、試験結果から傷害レベルを推定するために、過去の事故データに基づく傷害発生確率を用いる考え方を提案する。

#### 2. 試験方法

##### 2-1 人体ダミー

安全性の評価に用いる人体ダミーには、衝突に対して、人間の代表的な応答を再現することが要求される。人体各部の寸法や質量、弾性などの物性を、人体の典型的な値に一致させるためには、膨大な検討が必要である。そこで、本研究は、自動車の衝突試験用の人体ダミー<sup>(1)</sup>を用いることを提案する。これらのダミーの応答特性は、国際的に標準化が進められており、校正手法も確立されている。また、標準的な体格の男性、小柄な女性、子供、幼児など、様々な体格のダミーが準備されている。

##### 2-2 試験手順

人体ダミーを用いた試験手順を以下に述べる。

- ・ 人体ダミーの特応答性を規定の値に合致させるために、規定の室温に、人体ダミーを保管する。試験装置の環境温度も、規定の室温に設定する。
- ・ 人体ダミーを生活支援モビリティロボットに着座させる（図1）。
- ・ 第三者の傷害を再現する場合には、人体ダミーを、生活支援モビリティロボットの通過経路上に設置する。図2の例では、壁との挟み込みを再現するために、人体ダミーを壁に接して設置した。また、同図では、第三者の傷害に関する基礎データを得るために、軟鋼フレーム構造の移動体でロボットを置き換えている。
- ・ 生活支援モビリティロボットを、所定の速度で障害物（壁または第三者を模擬した人体ダミー）に衝突させる。
- ・ 衝突時に、人体ダミー各部に発生する物理量（変形量、

加速度、力、モーメント）を、ダミーに内蔵されたセンサーで測定、記録する。

##### 2-3 測定項目

人体ダミーを用いた測定項目は、頭部加速度、頸部せん断力・軸力・モーメント、胸部変形量・加速度、骨盤加速度、大腿部および下肢せん断力・軸力・モーメントである。腕に関する測定項目が標準化されていないが、乗用車の側面衝突やサイドエアバッグの評価のために、腕に関する計測・評価の手法が検討されており、今後の応用が可能と考えられる。



Fig. 1 Collision between a robot and a wall.



Fig. 2 Collision between a child dummy in front of a wall and a moving object.

### 3. 傷害レベルと傷害確率のデータ例

生活支援モビリティの衝突事故による障害レベルに関するデータは、これまでのところ、定量的な解析に利用できるほどの数が蓄積されていない。このため、万が一衝突が発生した場合の障害レベルを事前に評価することができない。そこで、本研究では、自動車分野で蓄積されたデータを活用することを提案する。生活支援モビリティでは、Abbreviated Injury Scale (AIS) 1程度の軽症に着目する必要があるのに対して、自動車の安全基準は、おもに AIS3以上の障害に注目しているが、基準策定の過程において、AIS1~2のデータも報告されてきた。また、生活支援モビリティは、産業用機械と異なって、さまざまなタイプの人間(高齢者、成人男性、成人女性、子供など)を対象とした安全性を確保する必要があるが、自動車分野では、これらのさまざまなタイプについての報告もなされている。

例えば、米国 NHTSA は、成人に加えて、子供の障害レベルの推定式を導出している。推定値は、以下のように、傷害確率で表現されている。傷害レベルは、様々な要素の影響で変動するために、確率で表現することが適切と考えられる。次式および図3は、NHTSAの報告のうち、6歳児の頭部の障害確率に関する式である<sup>(2)</sup>。

$$P_{H2+} = \left[ \frac{1}{1 + \exp(2.49 + 140/HIC_{15} - 0.00690 * HIC_{15})} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$P_{H3+} = \left[ \frac{1}{1 + \exp(3.39 + 140/HIC_{15} - 0.00531 * HIC_{15})} \right] \times 100 \quad (2)$$

ここで、 $P_{H2+}$  のおよび  $P_{H3+}$  は、各々、頭部に AIS2 以上および AIS3 以上の障害が発生する確率である。また  $HIC_{15}$  は、次式で定義される Head Injury Criteria である。

$$HIC_{15} = \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (3)$$

ここに、 $a(t)$  は頭部に加わる加速度、 $t$  は時間で、 $t_1$  と  $t_2$  は、加速度のピークを含む 15 ms 間隔の時間である。文献(2)は、AIS1+に関する式を示していないが、 $HIC_{15}$  と AIS1+の発生確率との関係を数値表として報告している。その値を、図3に加えて示す。

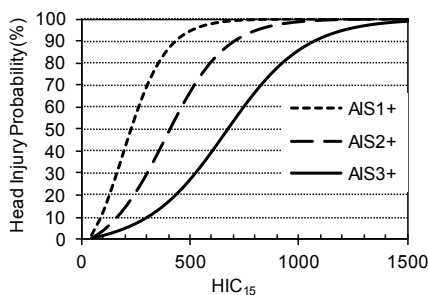


Fig. 3 Head injury probability of six-year-old child<sup>(2)</sup>.

また、次式と図4は、6歳児の胸部の障害確率に関する式である<sup>(2)</sup>。

$$P_{C2+} = \left[ \frac{1}{1 + \exp(1.8706 - 0.06991 * d)} \right] \times 100 \quad (4)$$

$$P_{C3+} = \left[ \frac{1}{1 + \exp(3.7124 - 0.07481 * d)} \right] \times 100 \quad (5)$$

ここで、 $P_{C2+}$  のおよび  $P_{C3+}$  は、各々、胸部に AIS2 以上および AIS3 以上の障害が発生する確率である。また  $d$  は、胸部の最大変位量である。

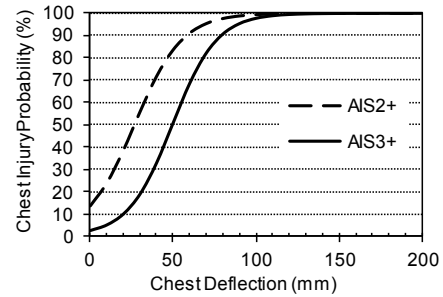
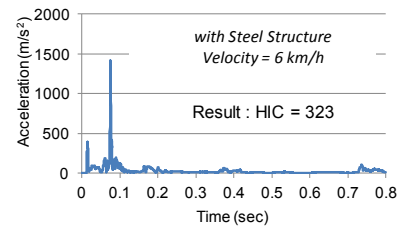


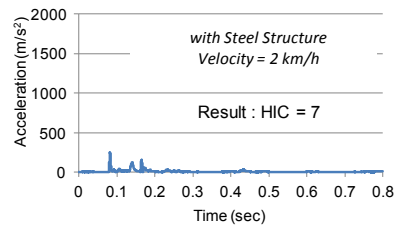
Fig. 4 Chest injury probability of six-year-old child<sup>(2)</sup>.

### 4. 試験結果の例

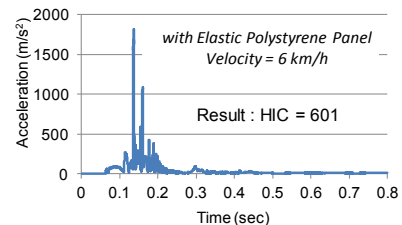
ここでは、第3者の傷害に関する測定例として、生活支援モビリティを模擬した移動体と壁の間に、6歳児を再現した人体ダミーが挟まれた場合(図2)の測定結果を報告する。



(a) Velocity, 6 km/h.



(b) Velocity, 2 km/h.



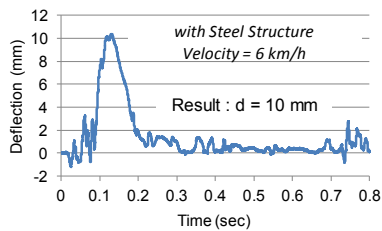
(c) Velocity, 6 km/h. Covered by elastic panel.

Fig. 5 Head acceleration measured in collision between a six-year-old dummy in front of a wall and a moving object with a steel structure or an elastic polystyrene panel. Velocity, 2 or 6 km/h. Object mass, 200 kg.

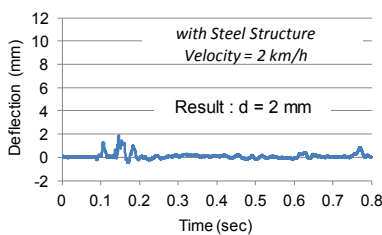
図5に、頭部加速度の測定結果を示す。衝突速度 6 km/h の場合には、図 5(a) のように、約  $1400 \text{ m/s}^2$  という高いピーク値が記録された。このデータから求めた  $HIC_{15}$  は 323 で、式 (1) および図 1 によれば、AIS1 以上の傷害確率は 75%、AIS2 以上の傷害確率は 33% である。衝突速度を 2 km/h に低下させた場合には、図 5(b) のように、 $HIC_{15}$  は大幅に低減された。また、図 6 のように、移動体の構造を弾性パネル (ポリスチレン) で覆うことで傷害を低減することを試みたが、図 5(c) に示すように、効果は確認されず、かえって  $HIC_{15}$  が上昇するという結果が得られた。



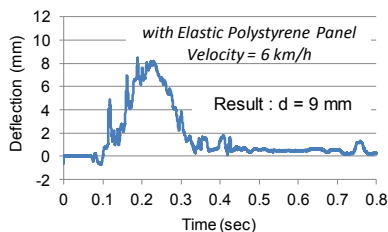
Fig. 6 Moving object with an elastic polystyrene panel.



(a) Velocity, 6 km/h.



(b) Velocity, 2 km/h.



(c) Velocity, 6 km/h. Covered by elastic panel.

Fig. 7 Chest deflection measured in collision between a six-year-old dummy in front of a wall and a moving object with a steel structure or an elastic polystyrene panel. Velocity, 2 or 6 km/h. Object mass, 200 kg.

図7に、胸部変形量の測定結果を示す。衝突速度 6 km/h の場合には、図 7(a) のように、最大変形量  $d$  は 10 mm を記録した。この値は、式 (4) および (5) によれば、AIS2 以上の傷害確率は 24%、AIS3 以上の傷害確率は 5% である。衝突速度を 2 km/h に低下させた場合には、図 7(b) のように、最大変形量  $d$  は大幅に低減された。移動体の構造を弾性パネル (ポリスチレン) で覆った場合には、図 7(c) に示すように、傷害低減効果は確認されなかった。

## 5. 今後の課題

(1) 自動車分野でデータが整備されていない傷害モード  
前述のとおり、腕の傷害データについては、自動車分野においても検討途上である。また、脚部の傷害については、自動車分野では、圧縮による骨折が基準化されているが、生活支援モビリティロボットでは、曲げによる傷害も考慮すべきと考えられる。脚部骨の3点曲げ試験や歩行者の脚部傷害に関する検討結果などを参考に、検討を進める必要がある。

### (2) AIS1 の傷害確率

本報で引用した自動車分野のデータでは、AIS1 程度の傷害確率については、一部の例を除いて整理がされていない。しかし、いくつかの情報が報告されており、生活支援モビリティロボットの安全評価に利用するために、再整理が必要である。

### (3) 生活支援モビリティロボットにおいて許容されるリスク

本研究では、生活支援モビリティにおいて考慮されるべき傷害レベルが AIS1 程度であると想定した検討を進めてきたが、これまでのところ、そのレベルについて、参考となる情報は見当たらない。モビリティが使用される環境(屋内、限定された屋外、歩道上、車道など)や使用目的によって、そのレベルは異なると推定されるため、広い立場からの議論が必要と考えられる。

## 6. まとめ

生活支援モビリティロボットの衝突時の安全性を評価する手法について検討した結果、以下の結論を得た。

- 自動車分野で蓄積された傷害確率のデータを活用することで、生活支援モビリティロボットの衝突時の安全性を評価可能である。
- 上記データのうち、より低い傷害 (AIS1) の情報を整理する必要がある。
- 衝突を再現する試験には、自動車の衝突試験用の人体ダミーを用いることが適切である。

本研究開発は、NEDO の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の委託業務の一環として実施したものである。

## 参考文献

- (1) National Highway Traffic Safety Administration, FMVSS 208 Occupant crash protection.
- (2) National Highway Traffic Safety Administration, Proposed Amendment to FMVSS No 213 Frontal Test Procedure, U.S. Department of Transportation, 2002.