

衝突シミュレーションによる 人体傷害予測の現状と 将来の方向性

関西大学 伊藤大輔

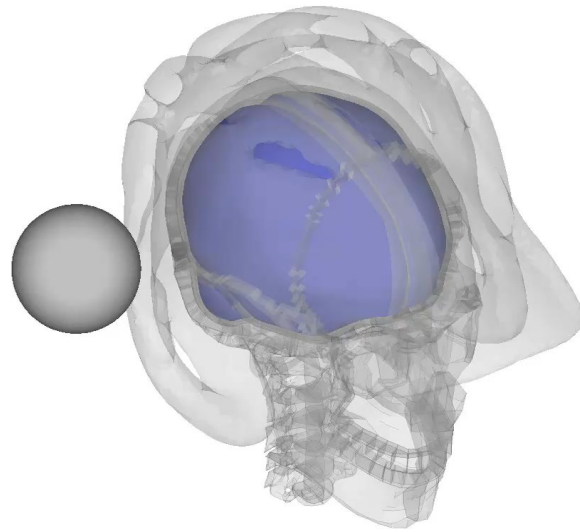
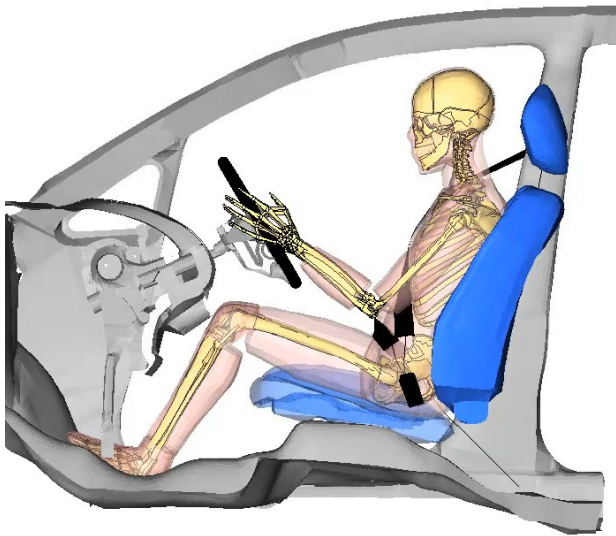


自己紹介

氏名：伊藤大輔

所属：関西大学社会安全学部・教授

専門：機械工学，特に自動車衝突安全，交通事故分析，傷害バイオ
メカニクス



本日の内容

- 昨今の人体傷害解析の動向
- 研究紹介
 - 実事故データに基づく脳傷害指標の構築
 - 機械学習を用いた歩行者傷害予測手法
- 今後の展望（バーチャルテスト・自動運転への期待）



昨今の人体傷害解析の動向

リアルワールド安全への注目



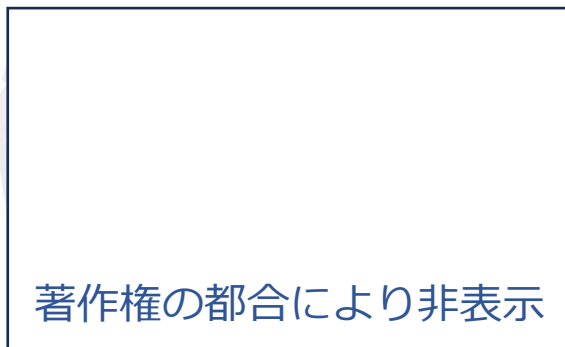
リアルワールド安全に向けた衝突安全

著作権の都合により非表示



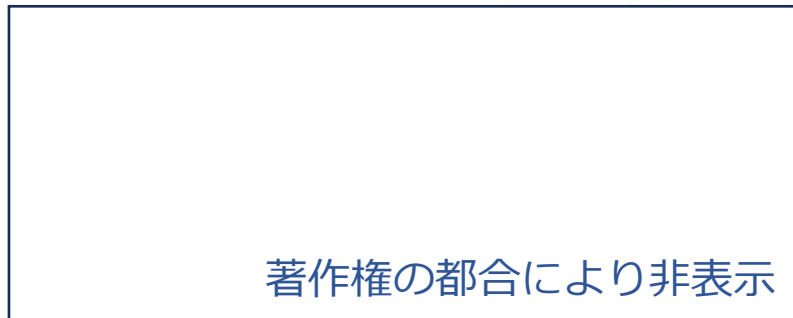
リアルワールド安全に向けた衝突安全

ダミーと人体モデル



左 : Hybrid III
右 : THOR
各部位の生体忠実性向上
計測チャンネル数増加

HUMANETICS社HPより



THUMS(トヨタ自動車)

様々な体形, 姿勢
内蔵や筋応答の再現

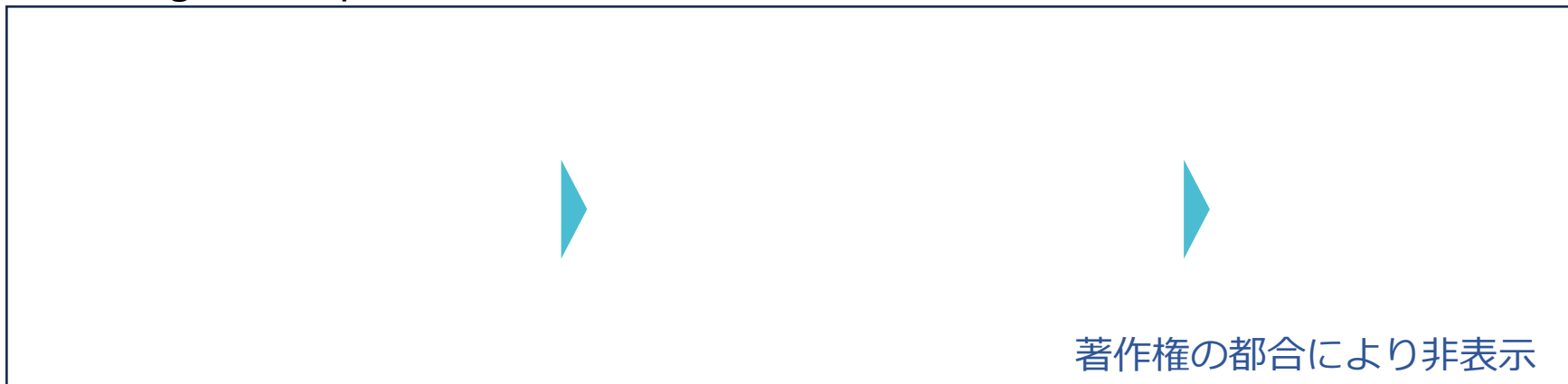
インパクトの高度化 (歩行者脚部保護試験)

TRL Legform Impactor

FLEX-PLI

aPLI

さらなる新型aPLI



膝の曲げと骨の加速度
(衝撃) を計測

Safety

下肢の骨の変形性を考慮
▶ 骨の曲げによる骨折

IVE

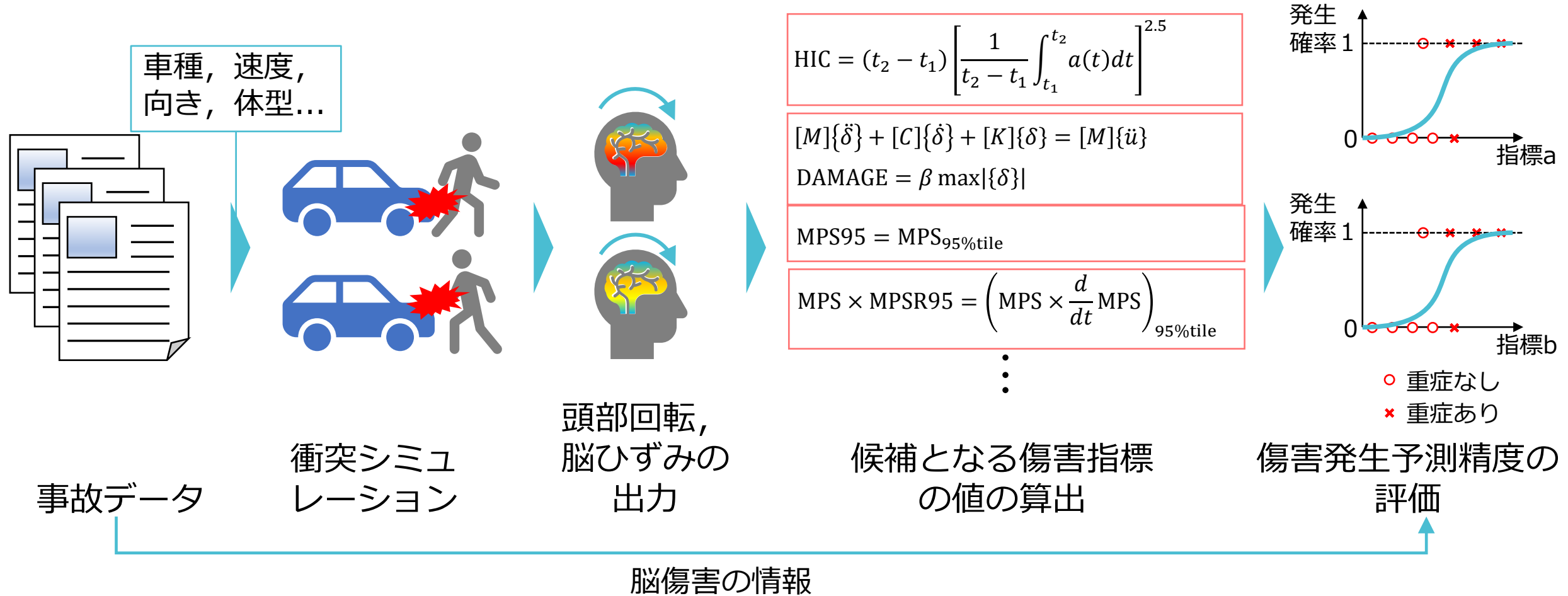
上部マス追加による
生体忠実性向上

腰部評価も？

研究例： 実事故データに基づく 新たな頭部傷害指標構築



研究の全体像

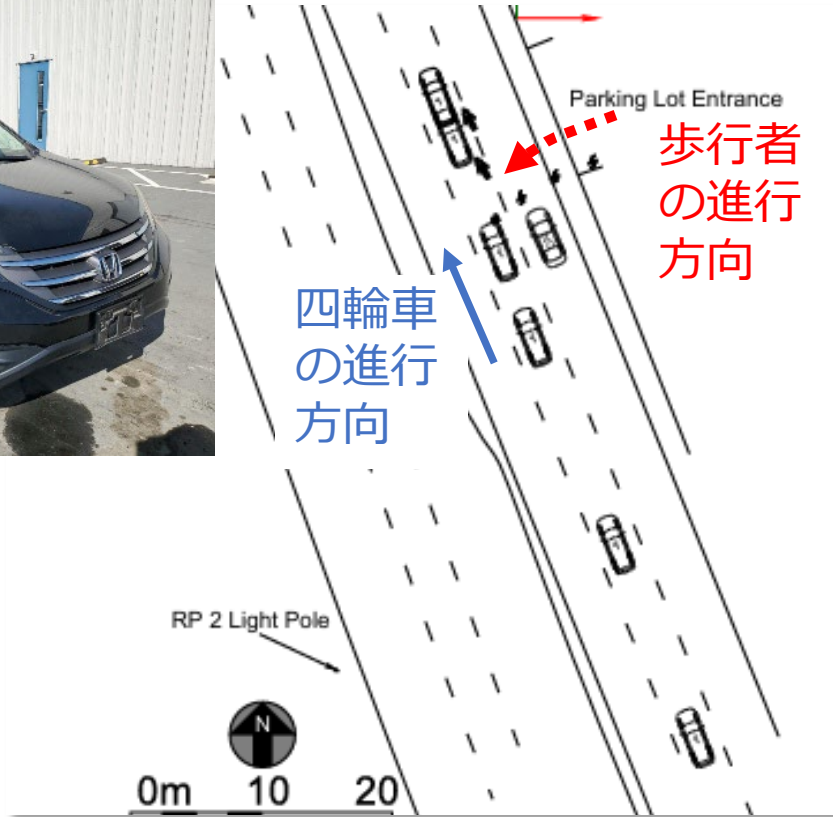


実際の脳傷害の発生を予測できる傷害指標を構築

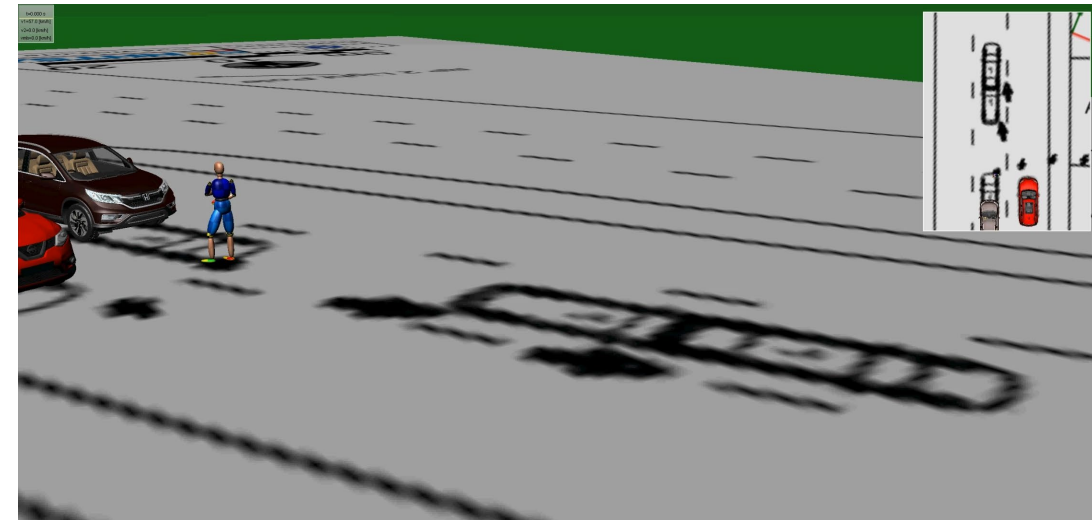


事例紹介

① 交通事故データ（米国）



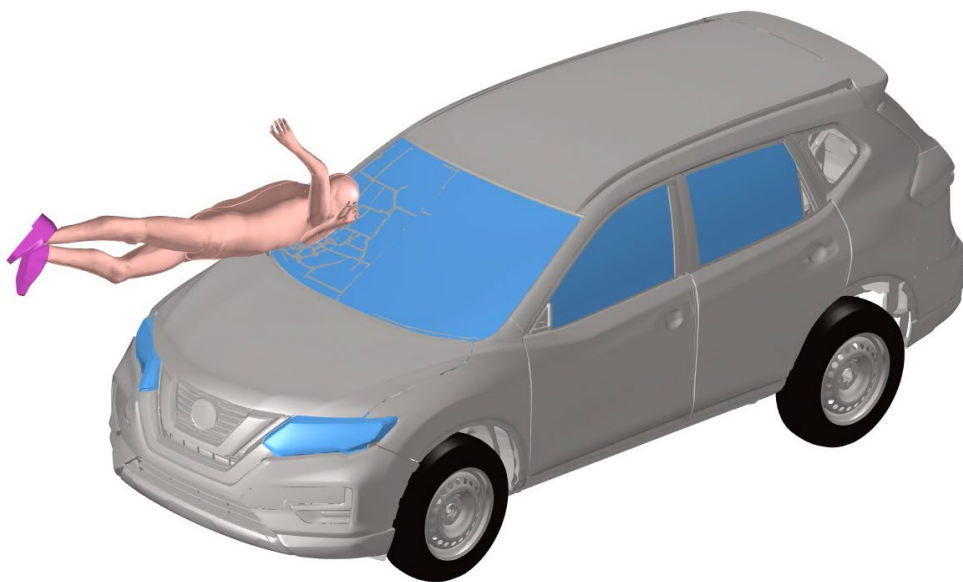
② 簡易シミュレーションによる衝突位置や速度，向き の同定



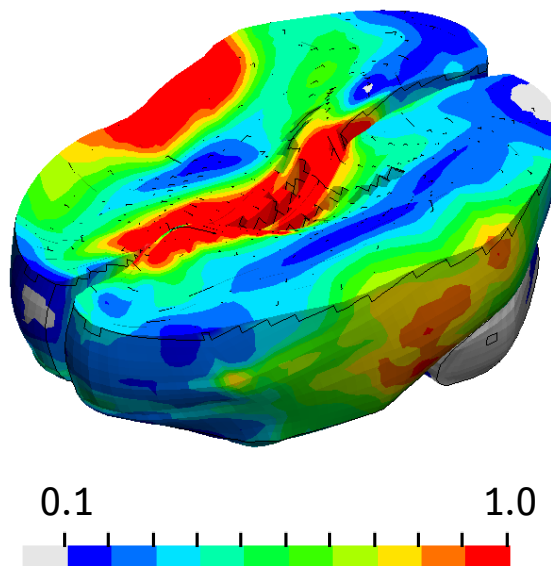
事例紹介

③②の情報に基づく詳細シミュレーション

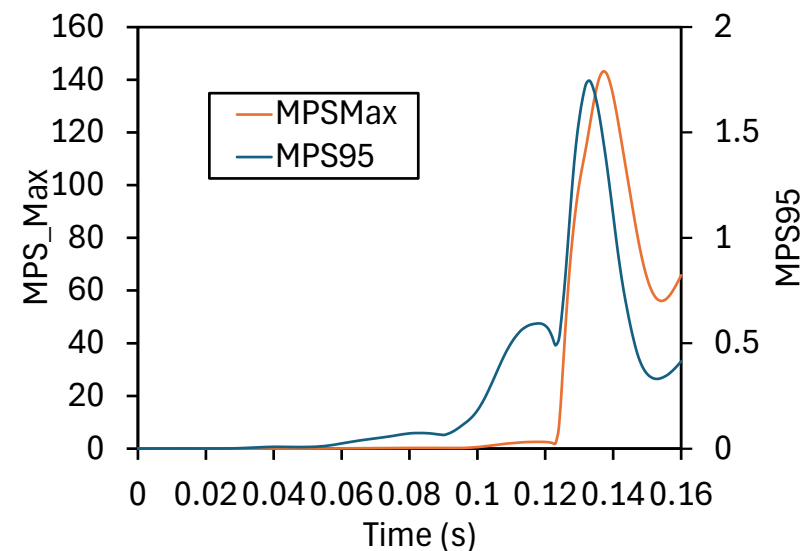
衝突拳動の例



最大主ひずみ分布の例



最大主ひずみの時刻歴



事例収集と再現シミュレーションを通じてびまん性脳損傷を予測可能な指標の構築

- ・重症と軽症とを判別
- ・神経組織の分布，脳変形分布と重症度との関係
- ・ひずみ速度依存性のような脳神経組織の破断メカニズム

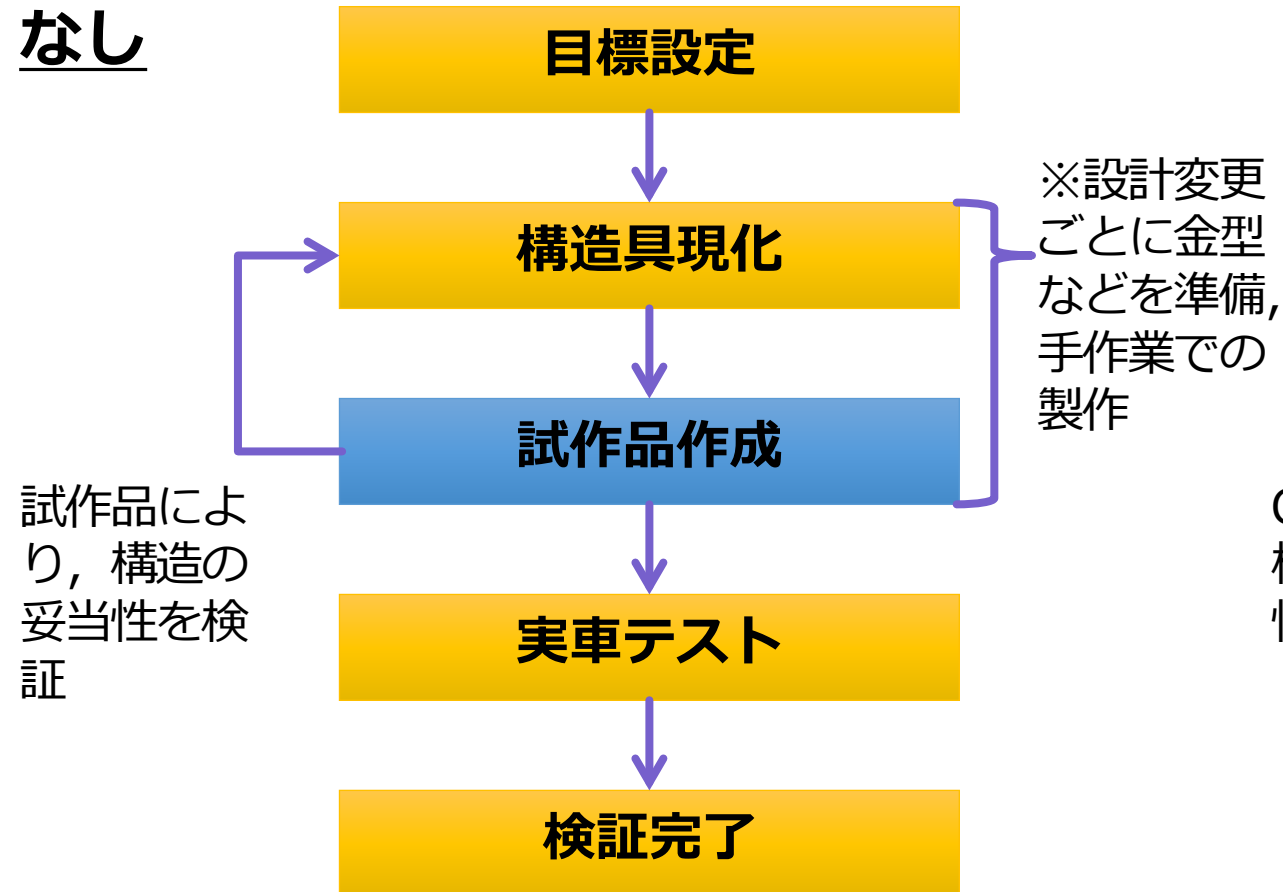
昨今の人体傷害解析の動向

AI技術の活用

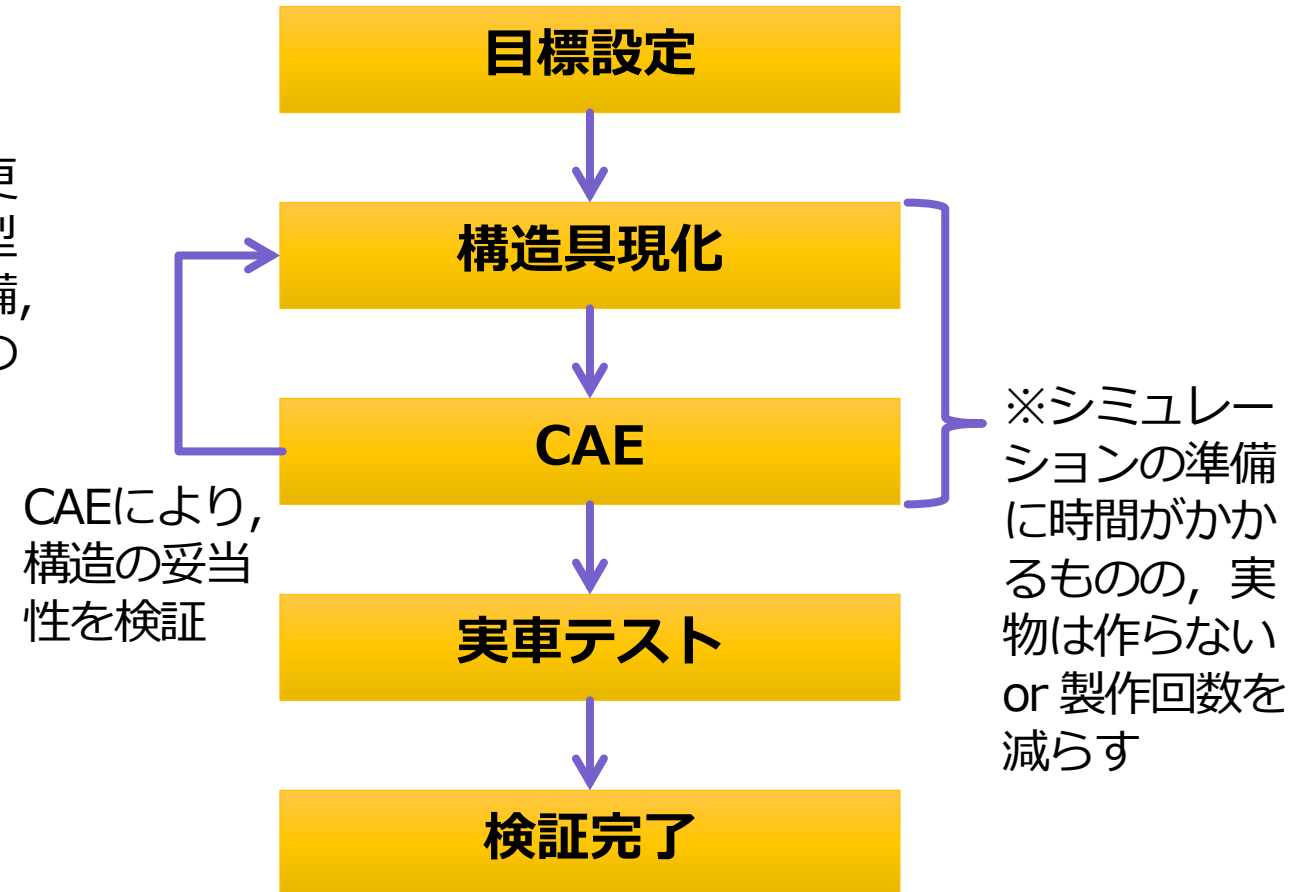


衝突安全開発におけるAI技術の活用

CAE導入 なし

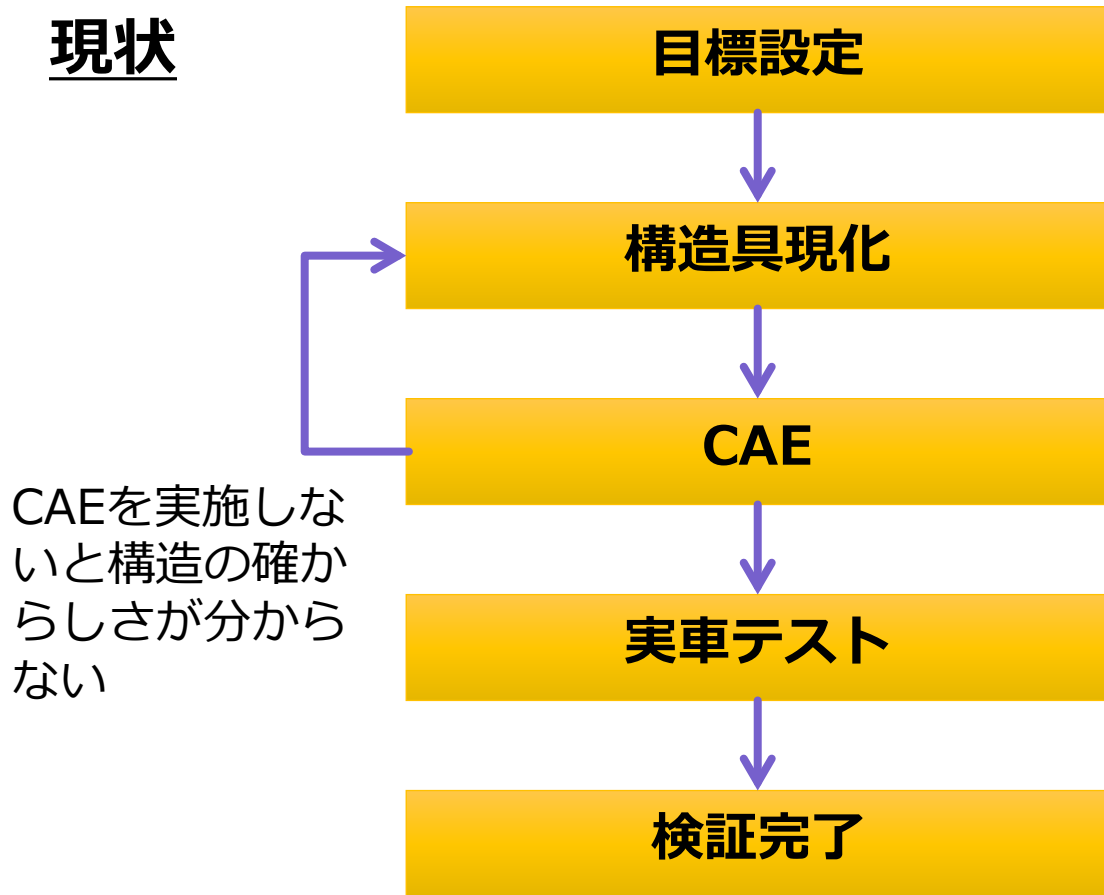


CAE導入



衝突安全開発におけるAI技術の活用

現状



AI技術活用

手軽に構造のあたりづけをおこなう

シミュレーションの準備に時間がかかる



CAEを用いなくてもすぐに性能が判断できるように代理モデルで予想する



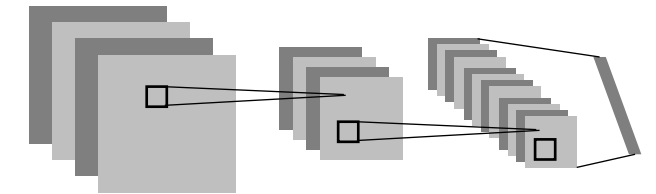
衝突安全開発におけるAI技術の活用

例 1 : 歩行者保護性能を予測するためのサロゲートモデルの構築（本田技術研究所 様）



打点付近の画像データ
(スキン, フレーム, 差分, その他)

CAEによるHICの出力結果



機械学習モデル
LeNet-5をベースとした回帰モデル

CAEを用いなくてもすぐに性能が判断できるように代理モデルの構築
▶5%以下の得点誤差, 75%以上のマップ一致度, 性能予測が10秒程度



衝突安全開発におけるAI技術の活用

例 2 : 画像認識と深層学習を用いた歩行者頭部・脚部傷害予測（日本自動車研究所 様）

著作権の都合により非表示

シミュレーションモデル 学習データ：画像と傷害程度

予測結果に対して寄与の高い
画像内の特徴の可視化

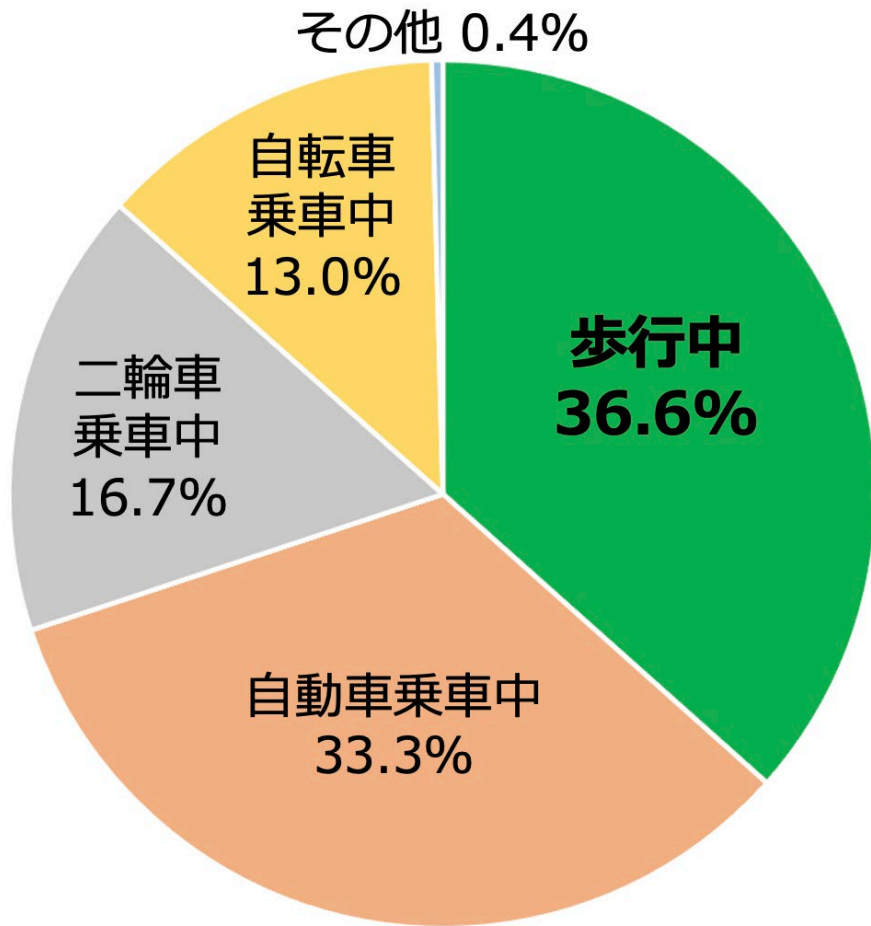
画像情報を基に傷害レベルを正解率88%で予測可能



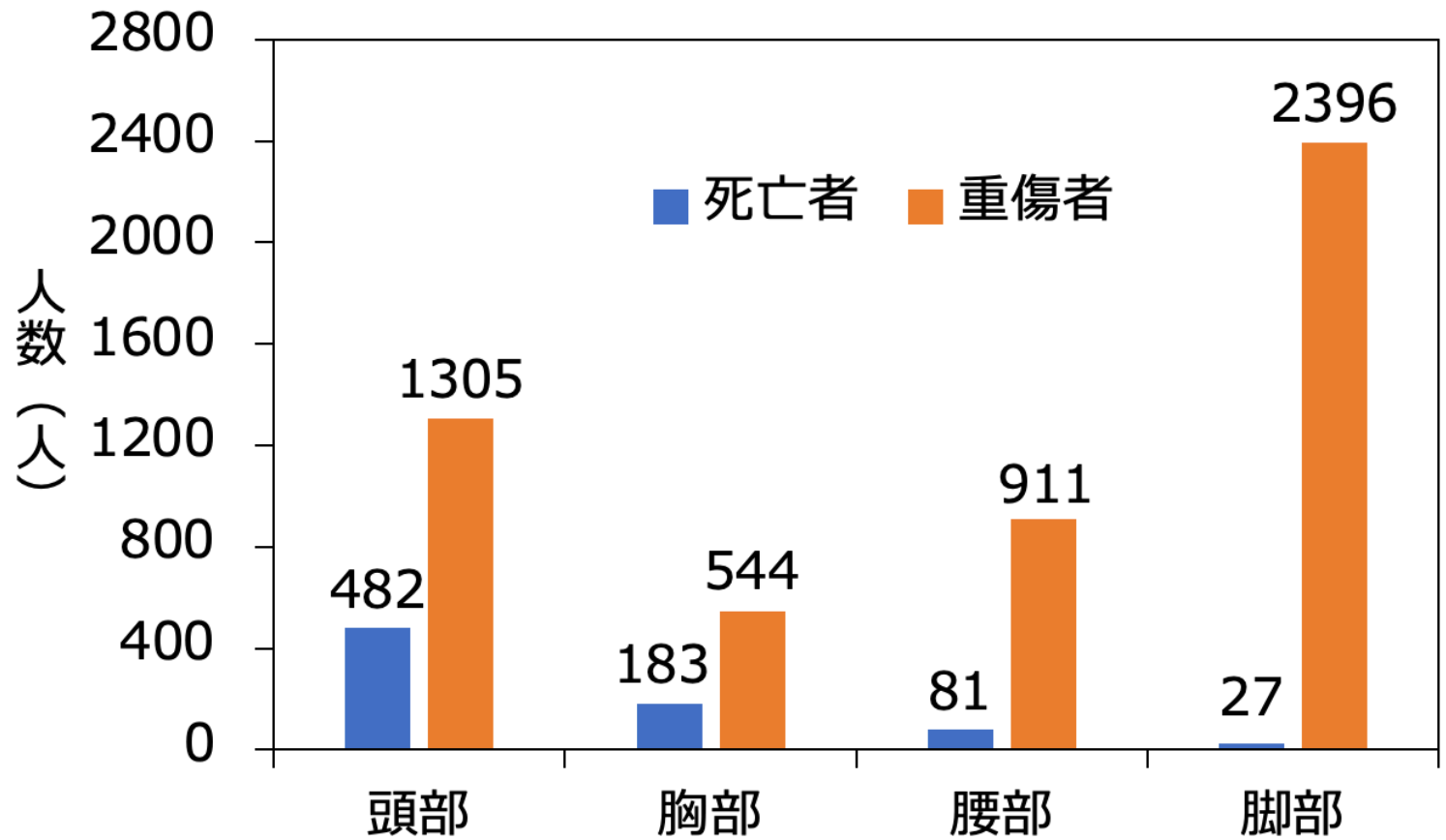
研究例： 機械学習を用いた衝突時の歩行者 頭部・脚部傷害予測手法の検討



交通事故の現状（2022年）



状態別交通事故死者数



歩行者の損傷主部位

歩行者保護技術と衝突検知センサ

例：歩行者保護エアバック
車両前面に歩行者が衝突するとウィンド
シールドフレーム付近に展開し、頭部傷害
を軽減

- バンパーの内側にある圧力センサーで一定の範囲の衝撃を検知すると展開
- 小動物などとの衝突や車両同士の正面衝突ではエアバッグは作動しない

著作権の都合により非表示

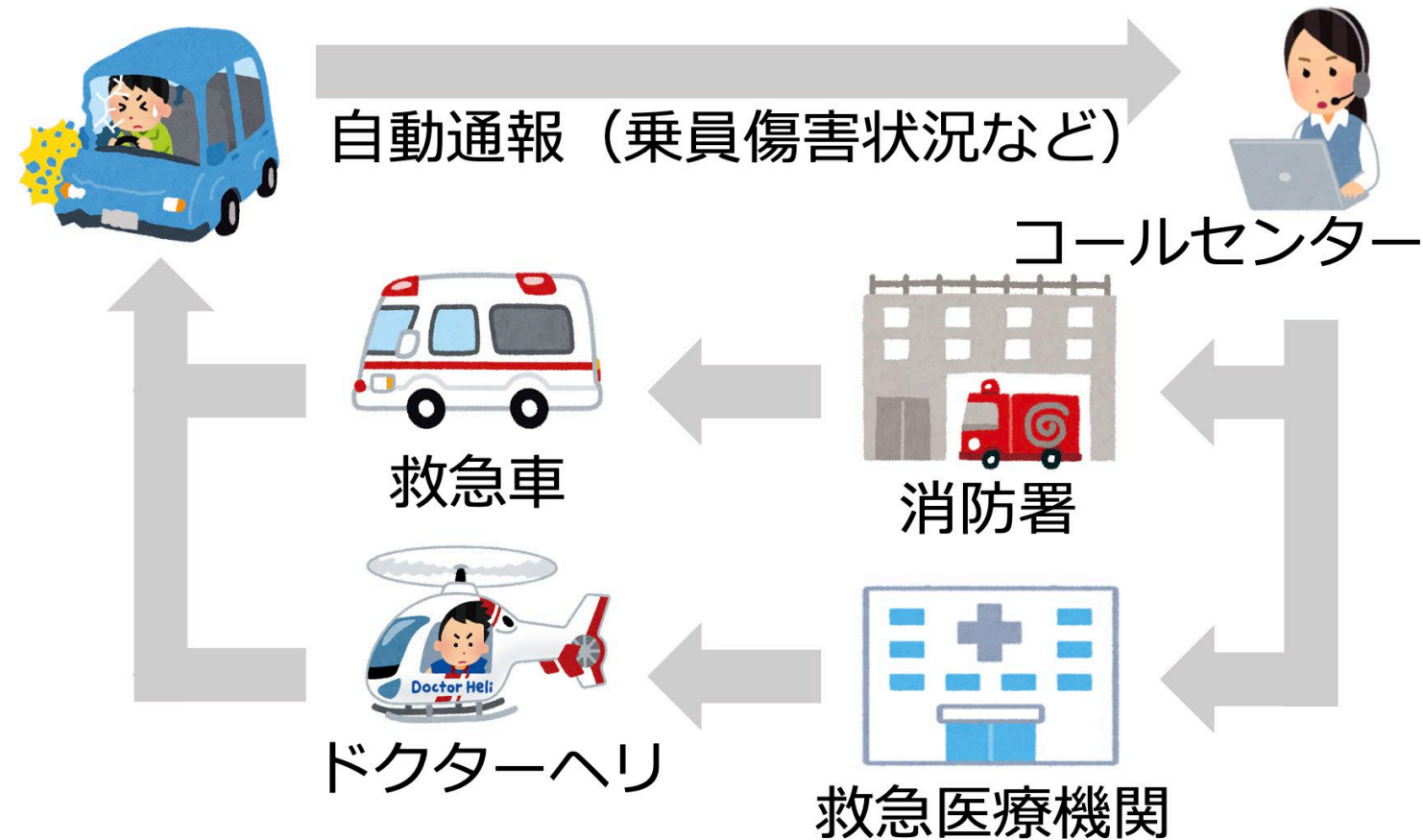
SUBARU HPより

https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/1607/27/news051_3.html



研究の目的

先進事故自動通報システム（AACN）



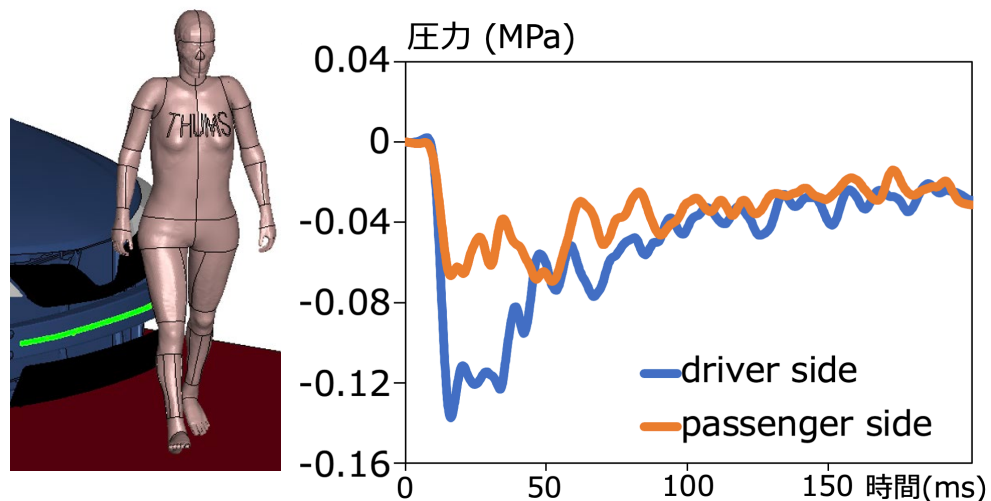
乗員の傷害のみ対応
歩行者には対応されない

車両センサを利用した
歩行者傷害の予測手法の構築

提案手法の流れ

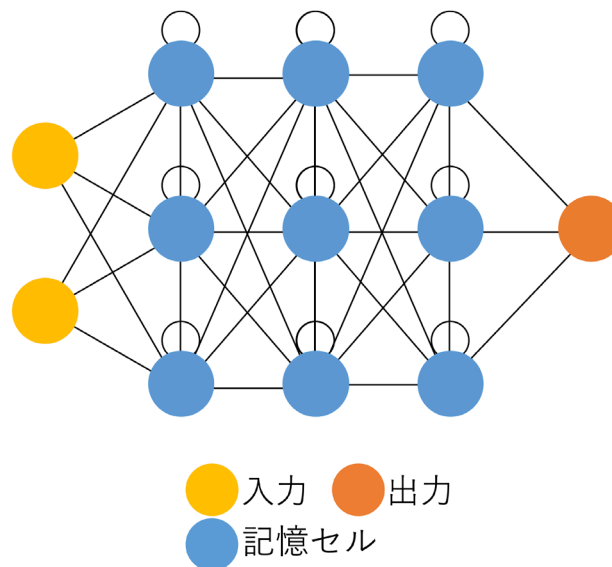
①対歩行者衝突解析

- ・バンパ内の圧力センサ
- ・頭部・脚部の傷害値



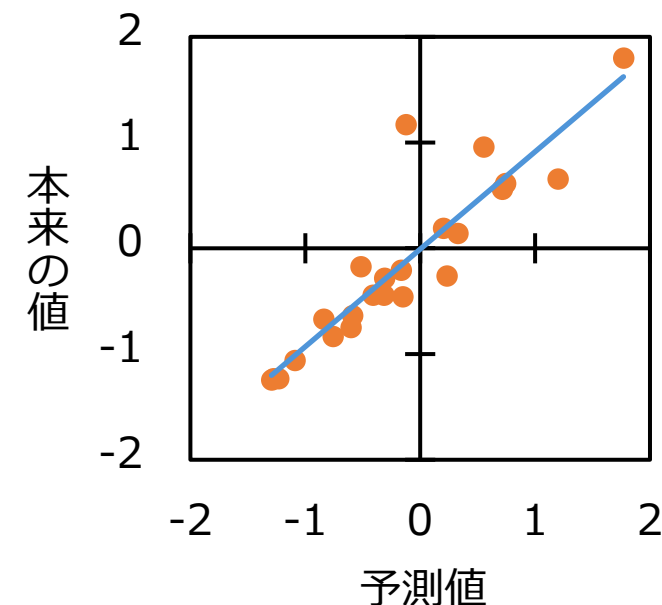
②機械学習

- ・入力と出力の関係を学習
- ・学習データの拡充



③性能評価

- ・圧力センサ入力に対する予測値と実測値との比較

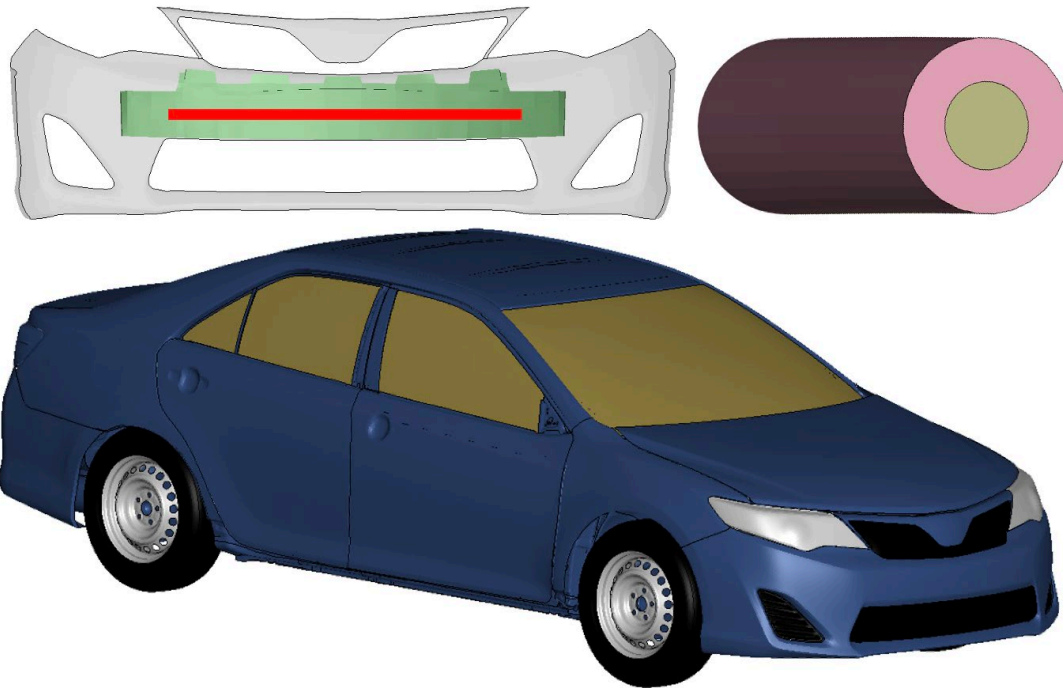


有限要素解析

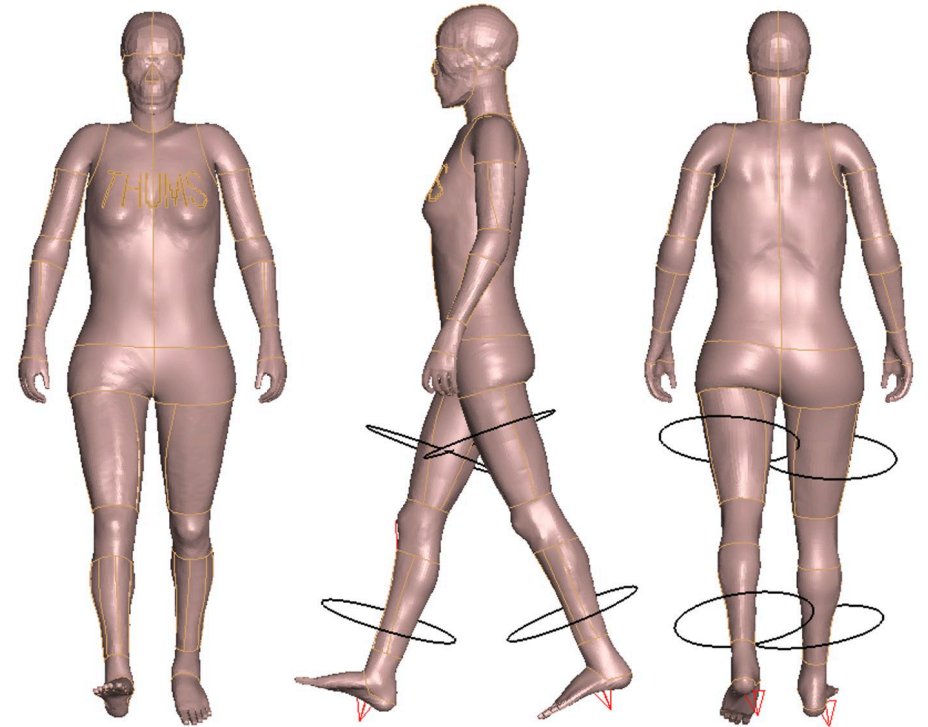
解析ソルバ：LS-DYNA (ver.971 R11.1.0)

セダン型車両モデル (4ドア, 1452kg)

チューブ：直径10mm・長さ900mm



人体モデルTHUMS (AF05)
成人小柄女性 153cm・48kg
右脚部を前に出した状態



Developed by George Mason Univ.



衝突解析（全37ケース）

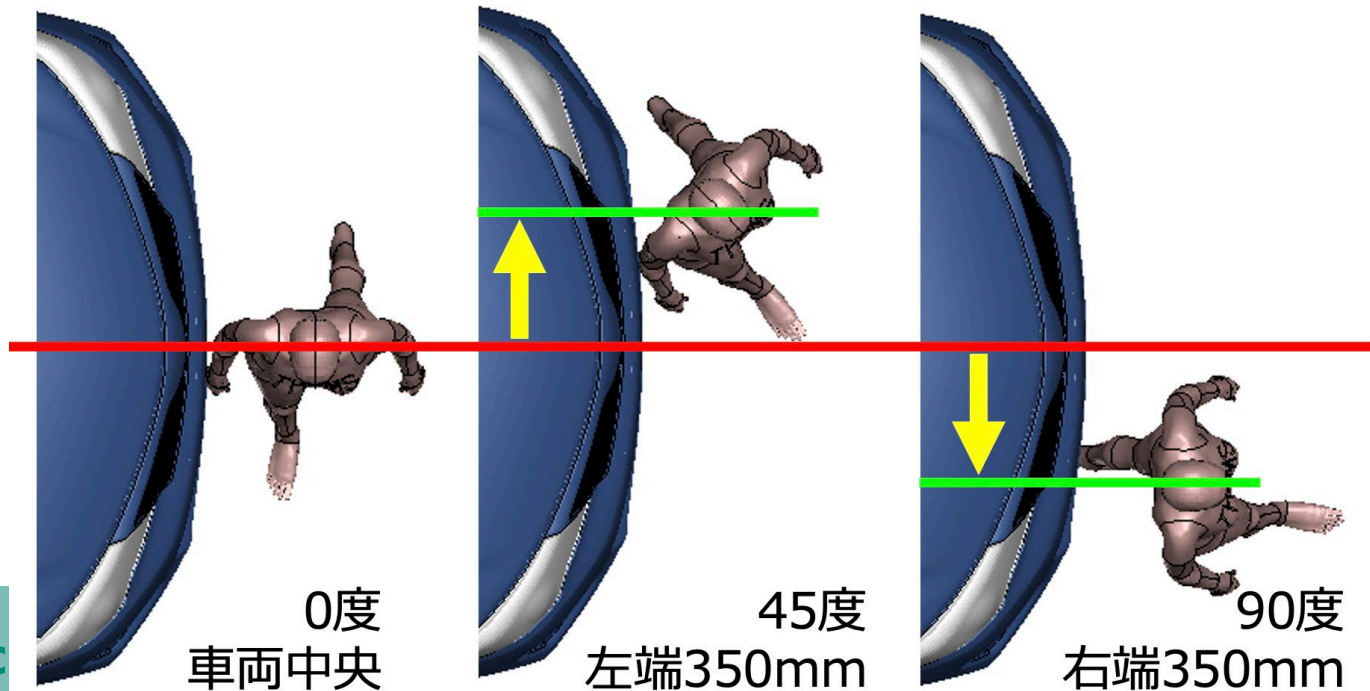
頭部傷害：HIC（Head Injury Criterion）

脚部傷害：左右大腿部，下腿部の各断面にはたらく曲げモーメントの合成値の最大値

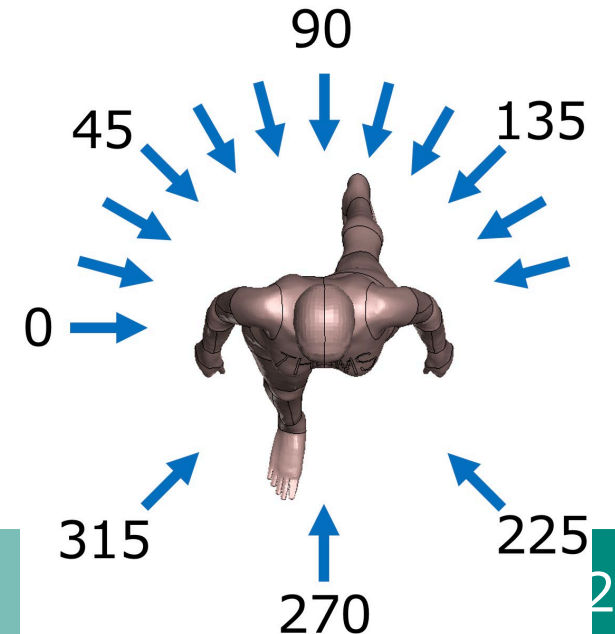
$$M_{res} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

速度：35・40・45・50km/h

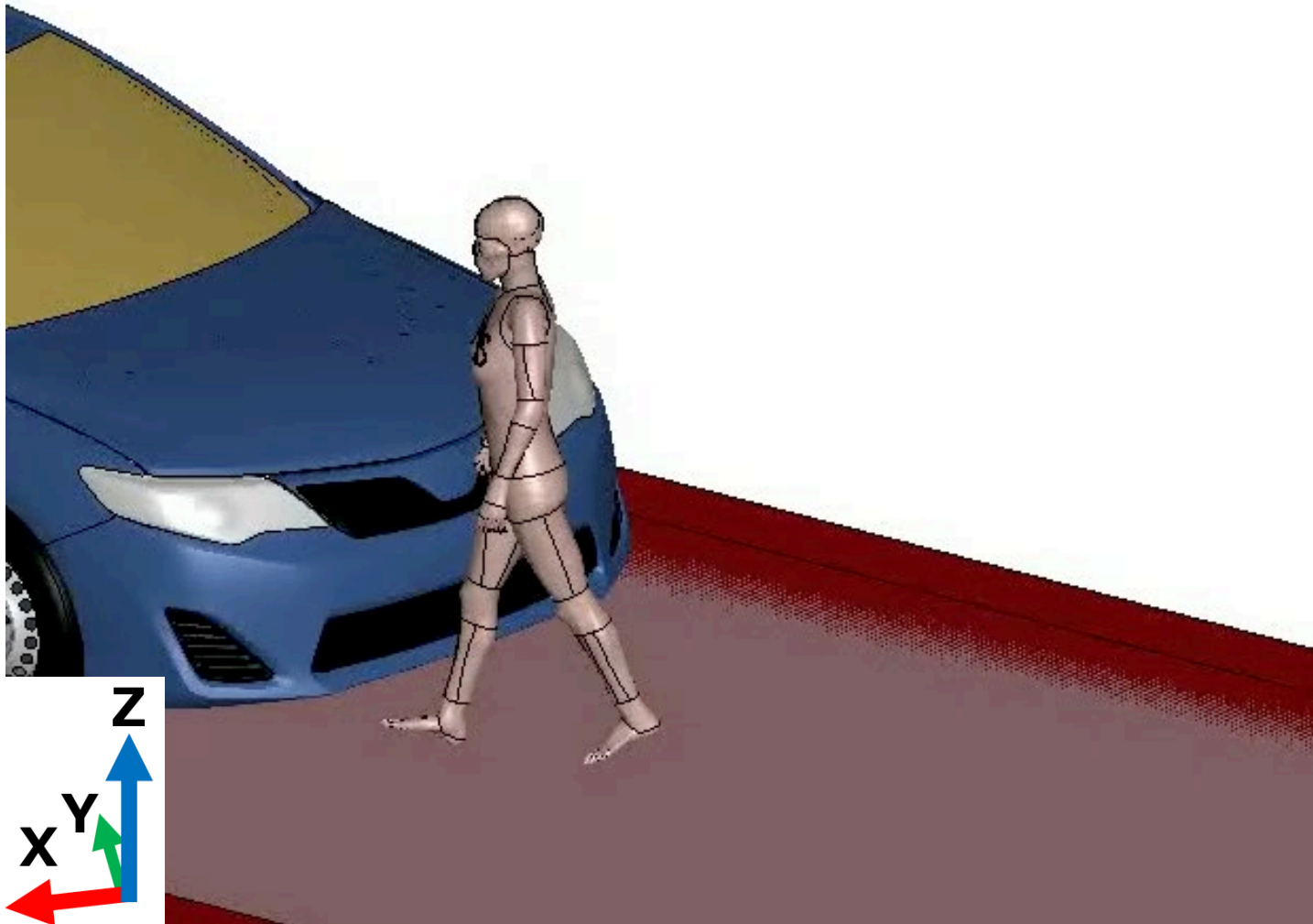
位置



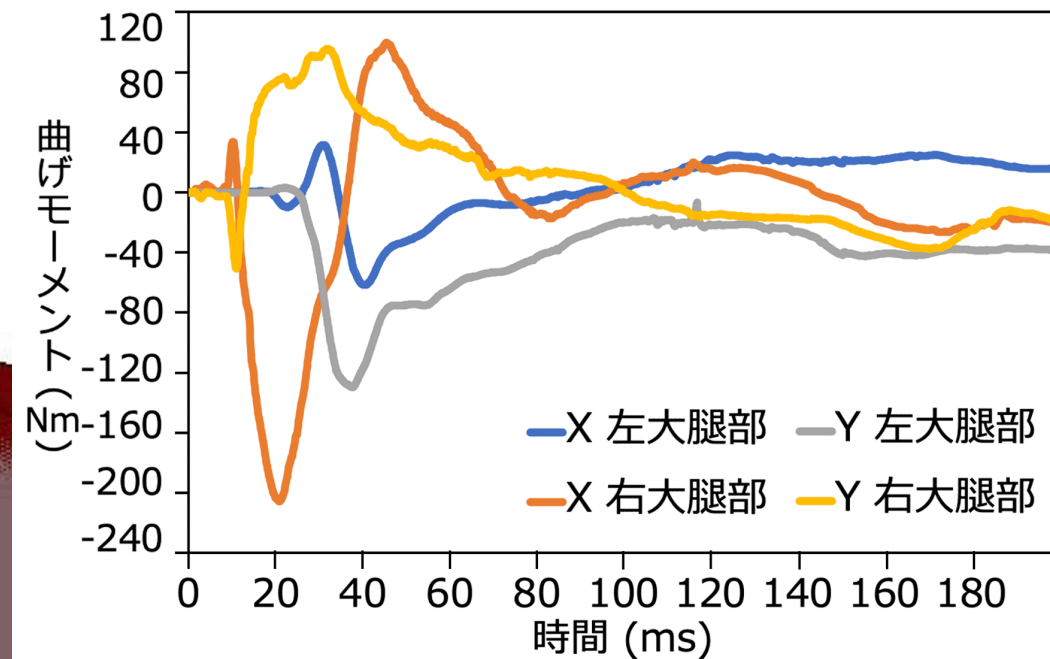
角度：矢印は車両進行方向



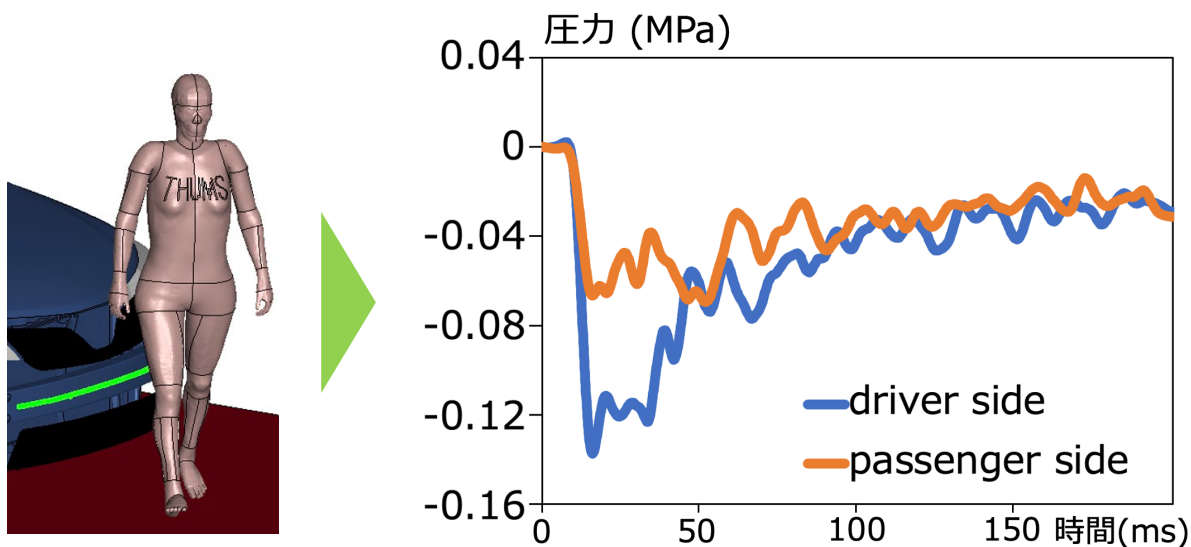
有限要素解析の例



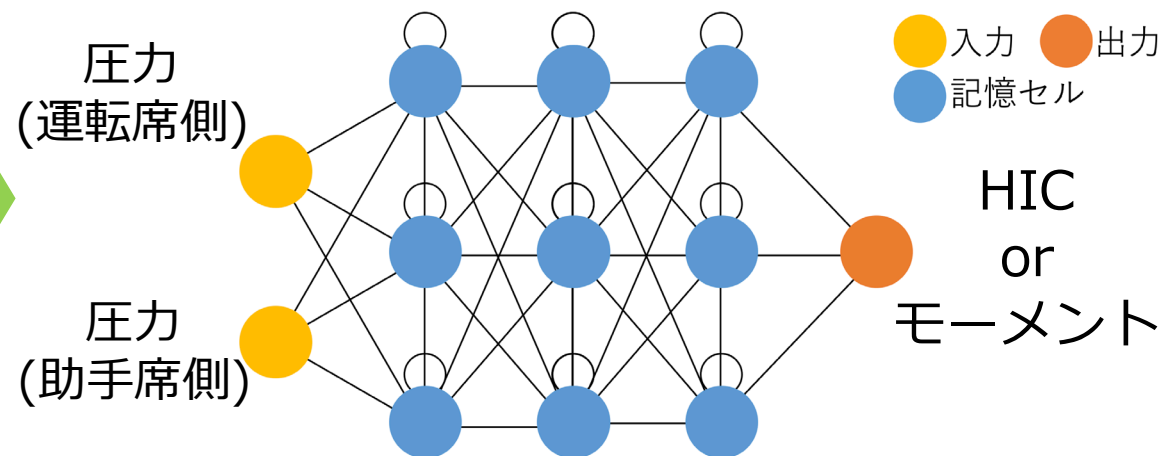
315度・45km/h
車両右端100mm
(HIC : 935.8)



圧力データからの傷害値予測



機械学習：LSTMを使用



機械学習の事前準備

Step.1 データの整理

- 頭部：HIC値
- 脚部：各部位ごとの合成曲げモーメントの最大値
- チューブ圧力時刻歴（左右）

Step.2 データの拡充

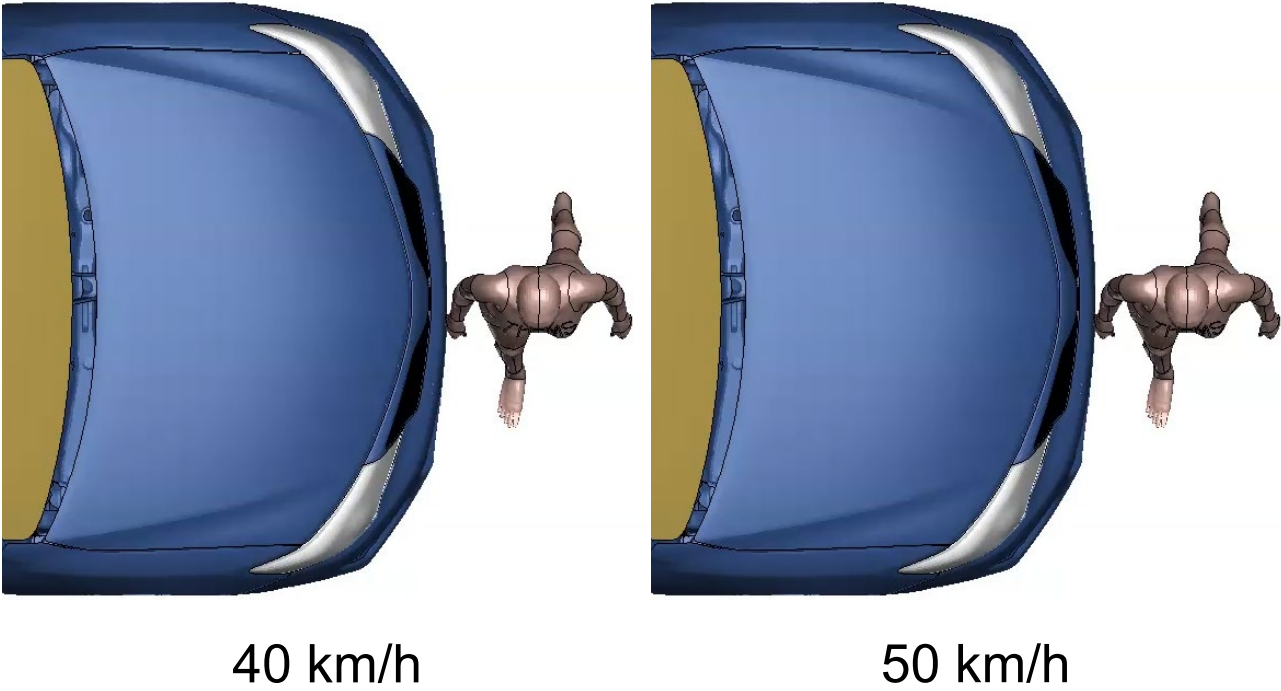
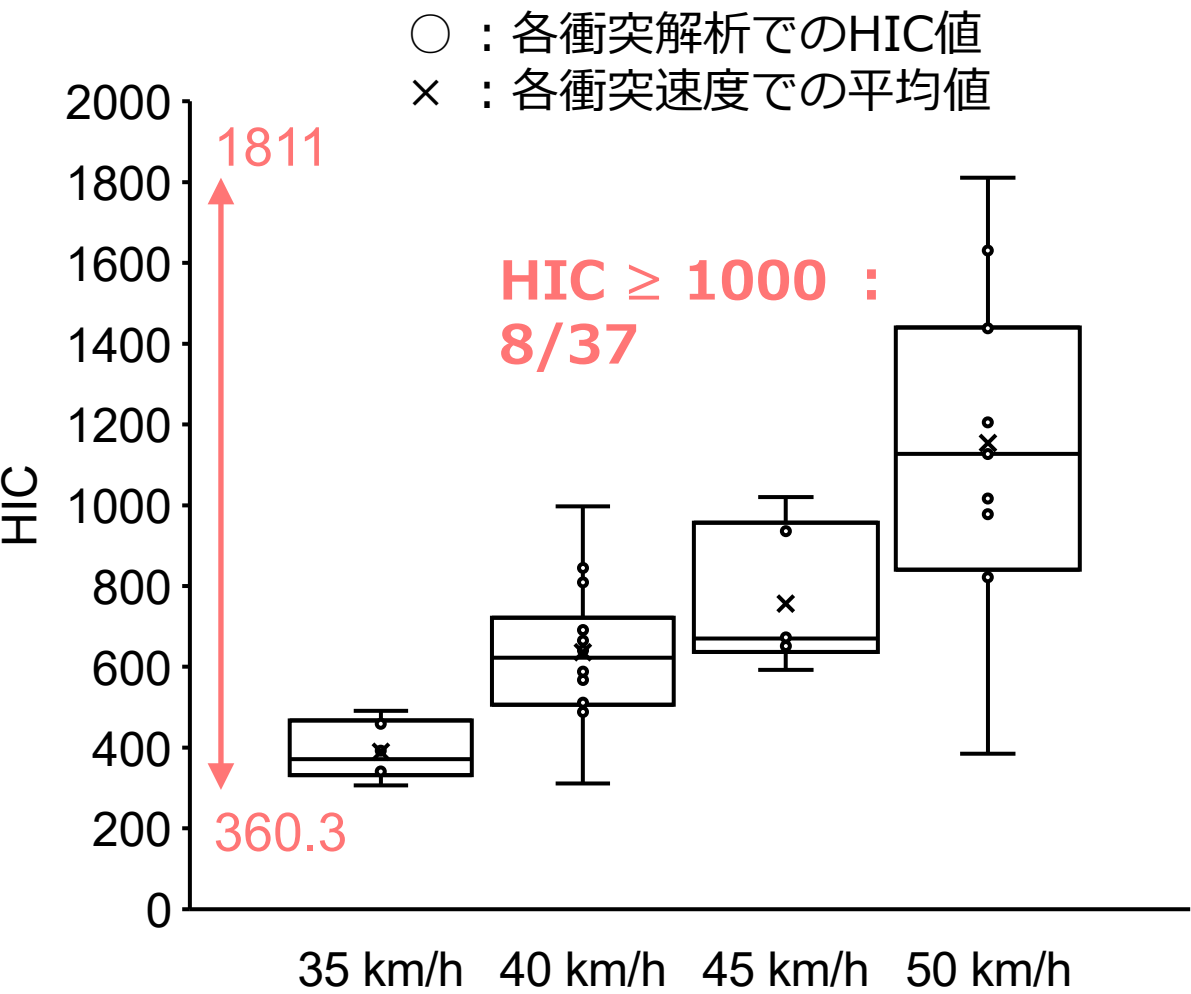
- 車両を左右対称とみなしデータを反転
- 元の値に乱数をかける

Step.3 標準化

- 各データを平均0, 分散1に変換

全データ111 ▶ 4:1の割合で訓練データ, テストデータに分割

頭部傷害値の分布



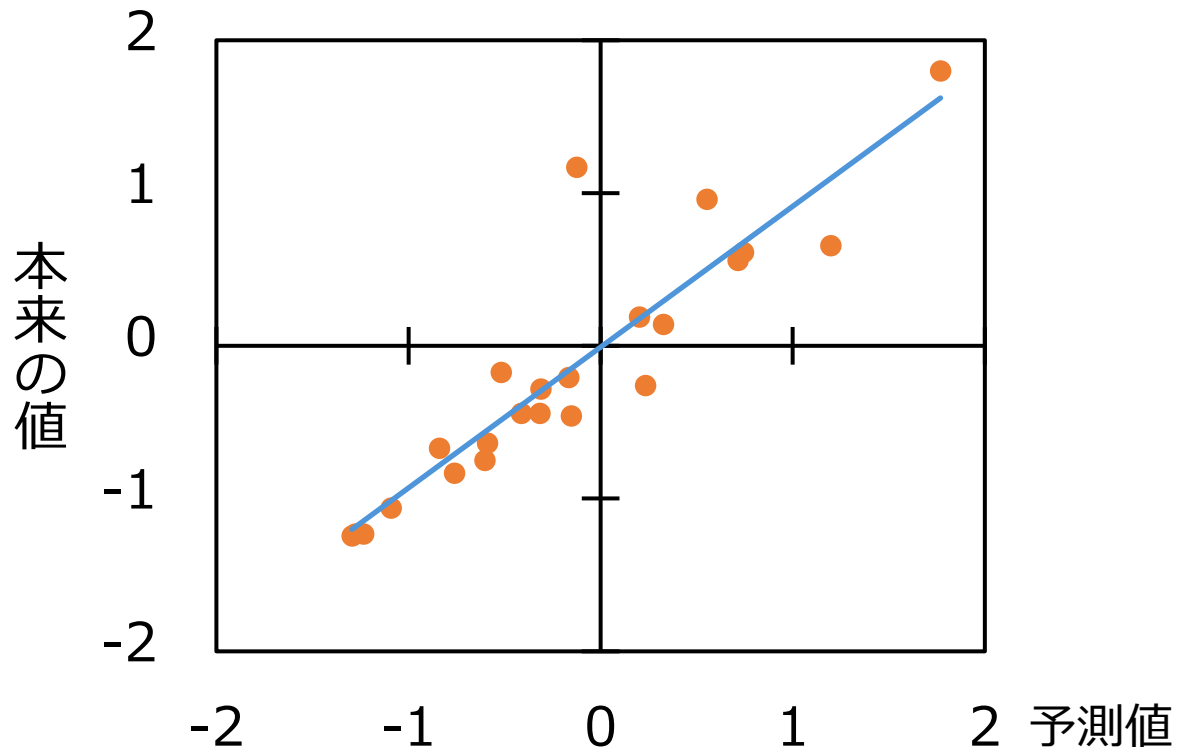
角度-速度-位置	HIC
0-40-0	310.9
0-50-0	1017



機械学習の結果

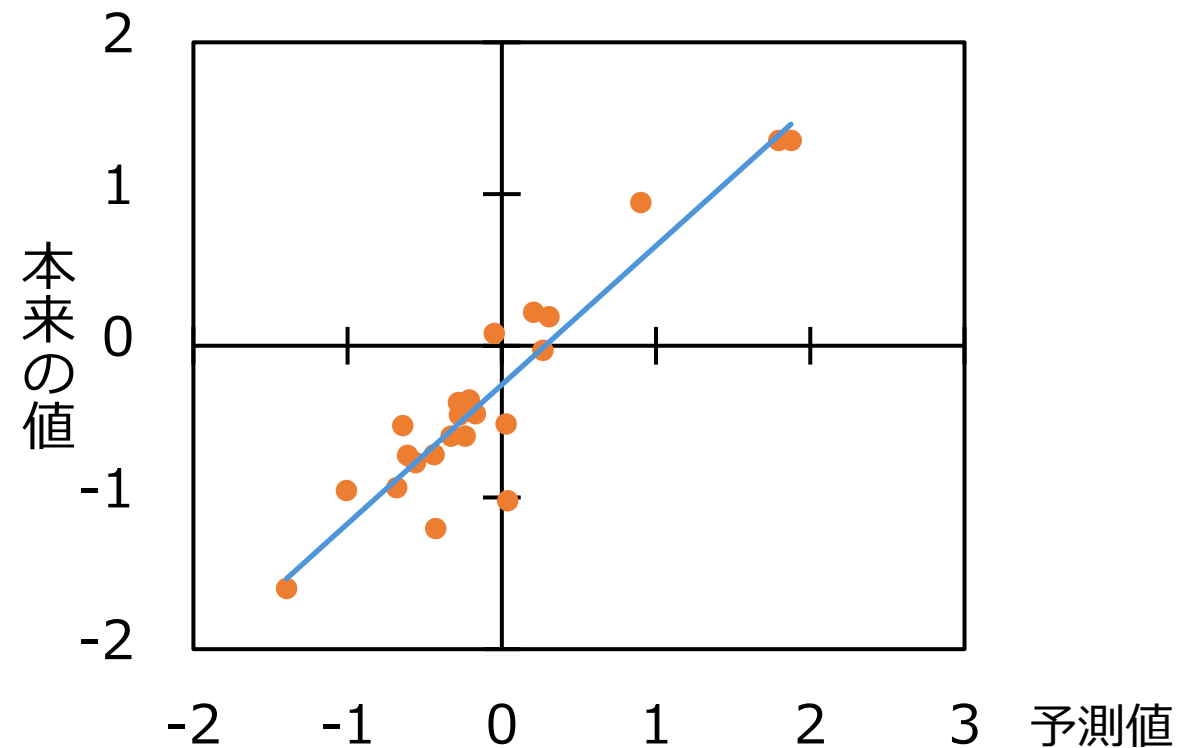
HICの予測結果

平均2乗誤差	0.119
決定係数	0.813



曲げモーメントの予測結果

平均2乗誤差	0.139
決定係数	0.745



課題点

異常な圧力の推移の事例あり

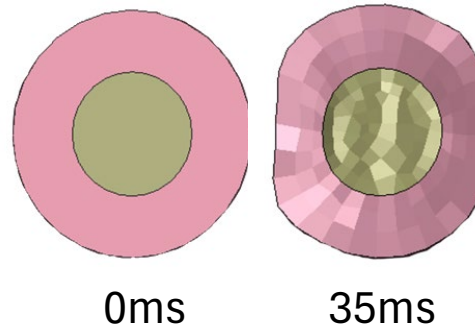
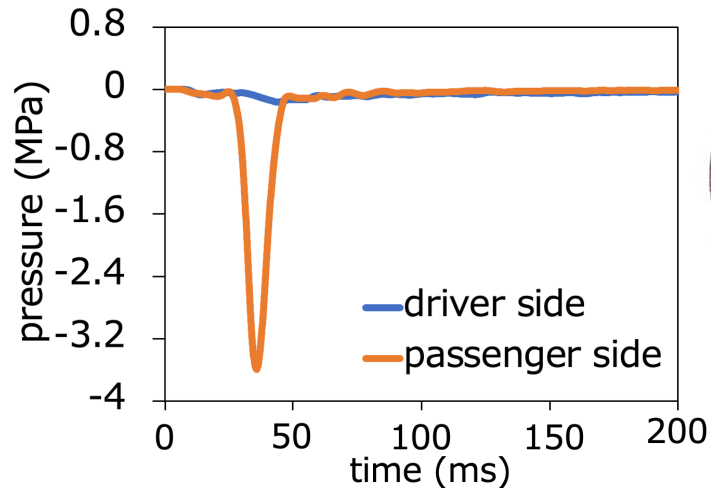
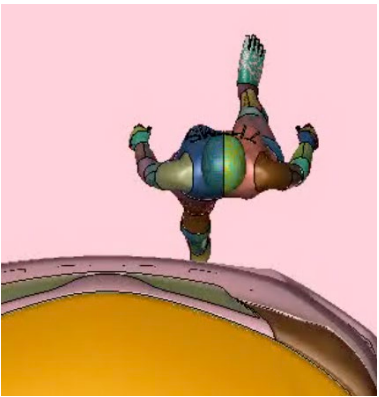
- 計算モデルの設定, 構造の検証

セダン型車両と成人小柄女性の衝突のみ

- 衝突角度や速度・位置の変更, 他の車両や人体モデルの使用
- 剛体壁, 電柱や小動物では傷害発生と判定しないように学習させる

学習データ不足により未知のデータに対応できない可能性

- 機械学習の設定を調整してロバスト性を向上



結論

車載センサを利用した歩行者の傷害程度の予測手法を構築することを目的として、成人小柄女性とセダン型車両との衝突についての有限要素解析を実施

- 車両のバンパアブソーバ内側に設定したチューブにかかる圧力データから頭部傷害と脚部傷害の程度を予測するモデルを機械学習で作成した
- HIC予測では決定係数0.813, 曲げモーメント予測では決定係数0.745となり、かなり高い精度で予測できた.
- 標準化した後の値が極端に大きくなるデータや、左右反転したデータがテストデータに分割された場合に予測精度が低くなる傾向がみられた.

AIですべて解決？

人間にとって理解可能な形でモデルを説明したり，意味を与えたりできること．どの変数の影響が大きいかを示す

説明・納得できるか？ } 機械学習にも“**解釈性**”の考えはあるが，衝突が力学的現象で
他の要因はないのか？ } ある以上，力学の運動方程式で説明できるはずである

例：サブマリン現象

AI技術によるサロゲートモデル構築と最適化

著作権の都合により非表示

骨盤に作用する力，モーメントからサブマリン発生に重要な骨盤回転を計算

$$m \frac{dv_i}{dt} = \sum F_{pi}$$
$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} - (I_j - I_k) \omega_j \omega_k = \sum N_{pi}$$

著作権の都合により非表示

Azuma, T. et al. (2025). *Traffic Injury Prevention*, 1–8.
<https://doi.org/10.1080/15389588.2025.2473538>

株式会社エイゾス，AI×CAEで実現する次世代設計～サロゲートモデルによる最適化とその事例紹介～https://aizoth.com/blog/multi-sigma_2025_05_08/



バーチャルテスト・自動運転への期待



バーチャルテストの導入

「自動車衝突安全におけるバーチャルテスト」

- EuroNCAPやC-NCAP、IIHSなどの評価機関がシミュレーション結果を安全性能評価に取り入れること
- リアルワールドでの安全性の向上が目的
- EuroNCAPでは既にプロトコルの検討が進んでおり、2026年から一部開始される見込み
 - 実車試験の結果の補完
 - シミュレーションモデルおよびアルゴリズム、各種パラメータ（質量・幅・センサ配置など）の詳細な提出
 - シミュレーション試験結果と物理試験のベンチマークを比較し、誤差が定められた基準内に収まることを示す必要あり など

著作権の都合により非表示

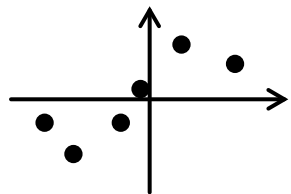
EuroNCAPホームページより



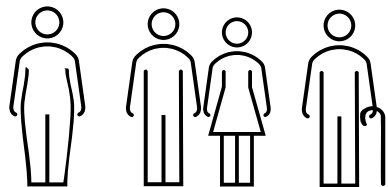
バーチャルテストへの期待

JSOL, リアルワールドの自動車衝突安全に向けて
<https://www.jsol-cae.com/tech-blog/20250828.html>

多様な衝突形態
(ロバスト性)



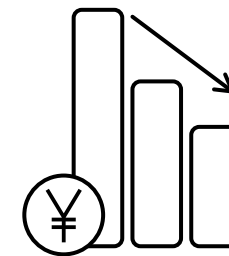
多様な乗員体型



生体忠実度



試験コスト削減



1つの衝突条件に対して
車体構造・拘束装置が過
度に最適化されていない

地域や年齢、BMIの違いな
ど、より幅広い多様性への
対応

より人体に近い人体モデル
の活用

左の要件を満たすために試
験を増やすことは非現実的

リアルワールド安全への貢献の期待



JNCAP動向

国交省, 令和6年度第3回自動車アセスメント評価検討委員会 資料4
https://www.mlit.go.jp/jidosha/anken/02assessment/data/r6_3_4.pdf



著作権の都合により非表示

29

JNCAPへのバーチャルテスト導入も検討されている

VTで想定される課題

プロセスの複雑化

- 実車試験も必要．想定では実試験の前にシミュレーションを実施し，結果を提出
 - ▶ タイトなスケジュール．逆にコストアップな部分も
- 一点最適化ではなく，ロバスト性の高い設計
 - ▶ OEM, サプライヤーの連携



VTで想定される課題

シミュレーションのトレーサビリティの問題（妥当性の担保）

EuroNCAPではメーカーがシミュレーションを実施し、それをアップロードする流れが想定されている

型式認証試験での不正の例

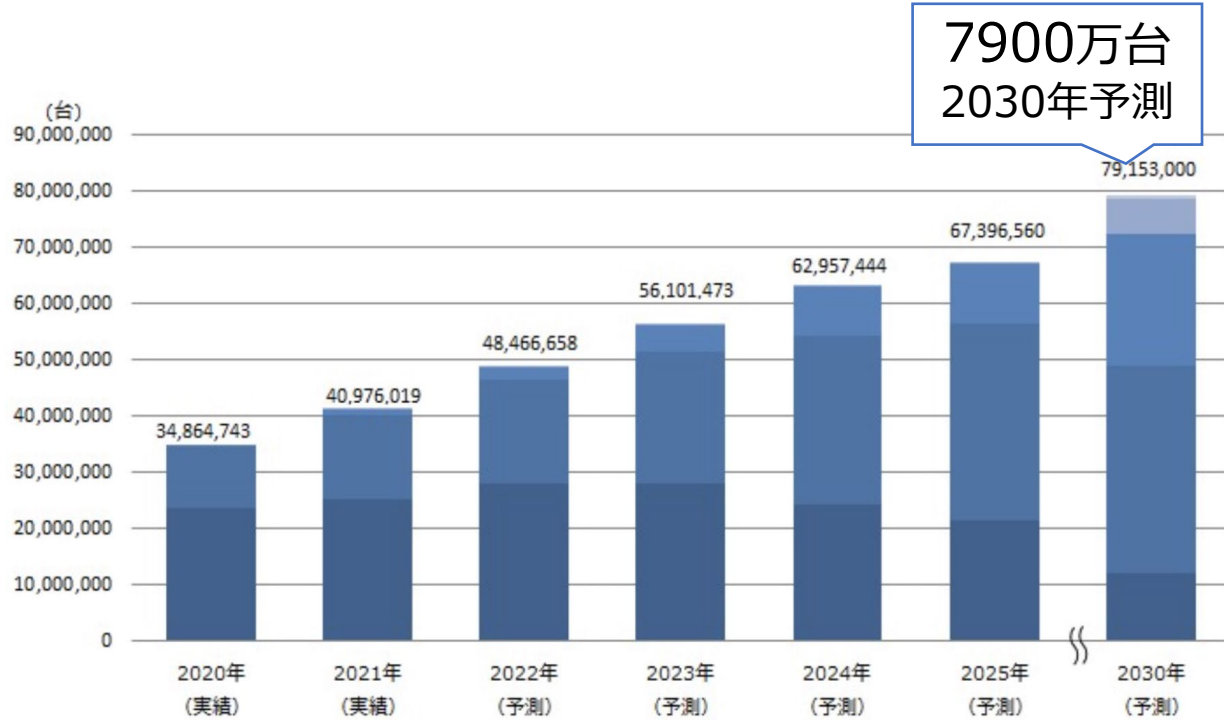
- 虚偽記載
- 試験車両への加工
- 出力データの改竄
- 実車両とは異なる設定での試験

不正行為の発生原因

1. 過度にタイトで硬直的な開発スケジュールによる極度のプレッシャー
2. ブラックボックス化した職場環境（チェック体制の不備等）
3. 法規の不十分な理解
4. 現場の担当者のコンプライアンス意識の希薄化，認証試験の軽視



自動運転技術の普及の将来像



自動運転ラボ。レベル3以上の自動運転車、2030年に世界で700万台規模。矢野経済研究所が予測、高級車中心に展開か

ADASと自動運転車の普及率は2025年の65%から2035年には94%に上昇すると予測。レベル3以上の自動運転車の普及率は2035年までに24%に増加する見込み

Counterpoint research, 2035年にADAS普及率94%へ、中国は“大衆化”と“自動化の進化”を両立

ADASでは約7割、自動運転では約9割の死傷事故が削減できると見積もられた...自動運転車に関しては、全ての四輪車対四輪車の事故削減率は100%と推定された...

国土交通省、第6期先進安全自動車（ASV）推進計画成果報告について

自動運転システムの事故削減効果評価の検討

<https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/report06/>



自動運転なら安全？

自動運転技術でも回避困難な事例

360°検知センサ搭載の車両を想定（赤）

360°検知センサ搭載の車両を想定（赤）

著作権の都合により非表示



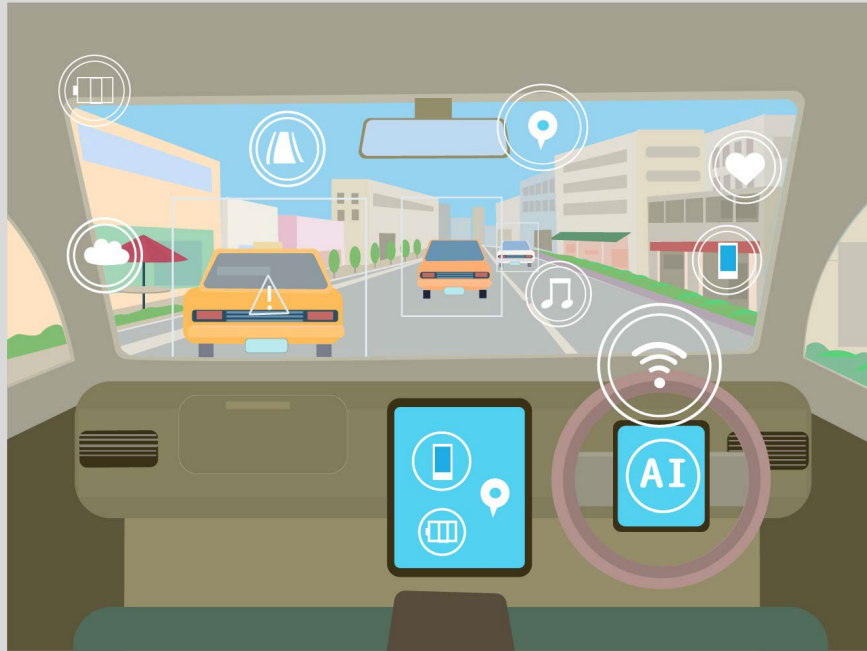
Sun Z., et al. A case study of unavoidable accidents of autonomous vehicles. Traffic Injury Prevention, 25(1), pp.8-13, 2024

KANSAI U

Zhao Y., et al. AEB effectiveness evaluation based on car-to-cyclist accident reconstruction using video of drive recorder. Traffic Injury Prevention, 20(1), pp.100-106, 2019

今後の展望

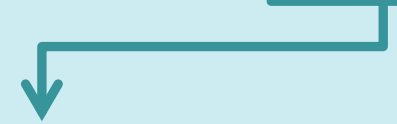
自動運転ですべて解決??



<https://www.ac-illust.com/>

まだまだ衝突安全の発展は必要

○今後の衝突安全：高齢者，自転車など



自動運転でも避けられない可能性あり

例：急な飛び出し（出現後1秒以内の衝突）

- センサの限界
- ブレーキシステムの限界

○国際協調，他分野技術の導入など

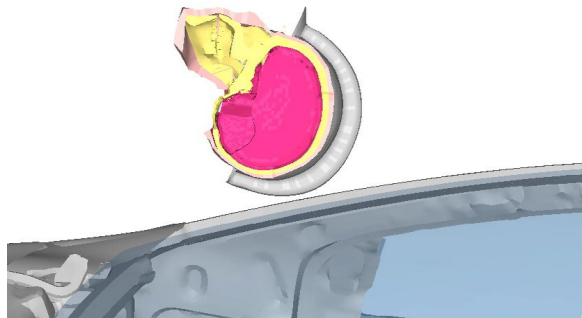
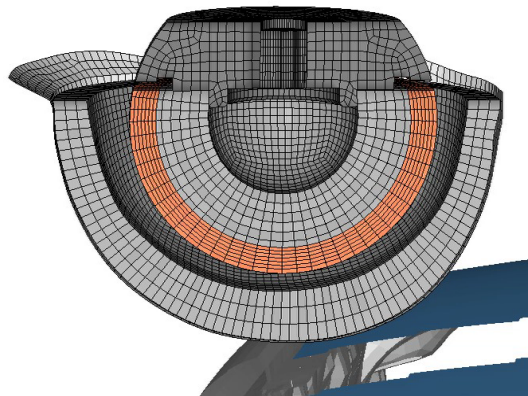
『2030年代に交通事故での死者（限りなく）ゼロ』へ

（2016年9月 経済産業省）

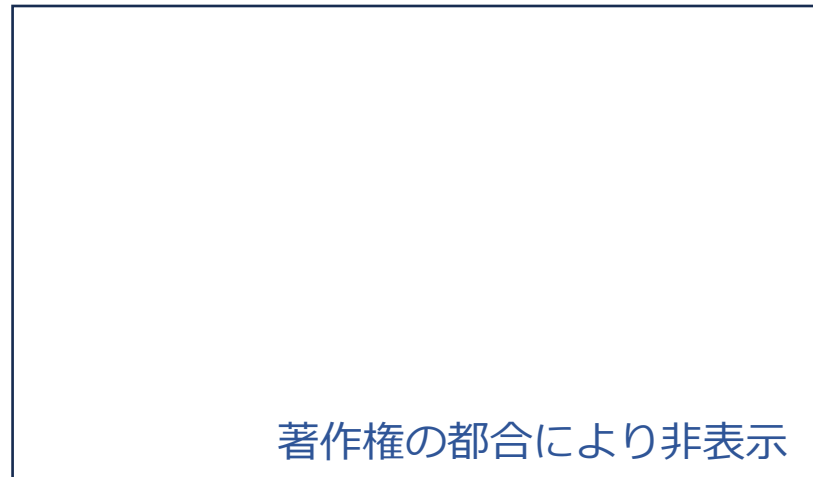
自動車安全に向けた社会安全学的アプローチ

例：自転車事故での頭部傷害低減に向けて

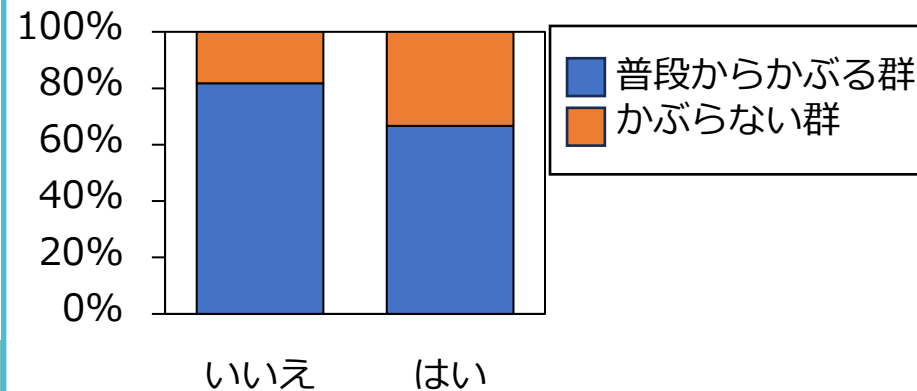
Aピラー衝突におけるヘルメットの効果
(衝突シミュレーション)



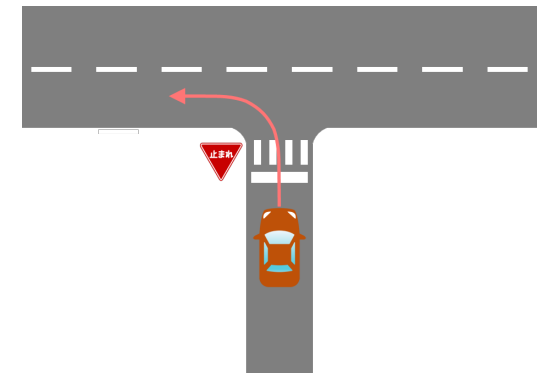
ヘルメット着用に関する意向調査



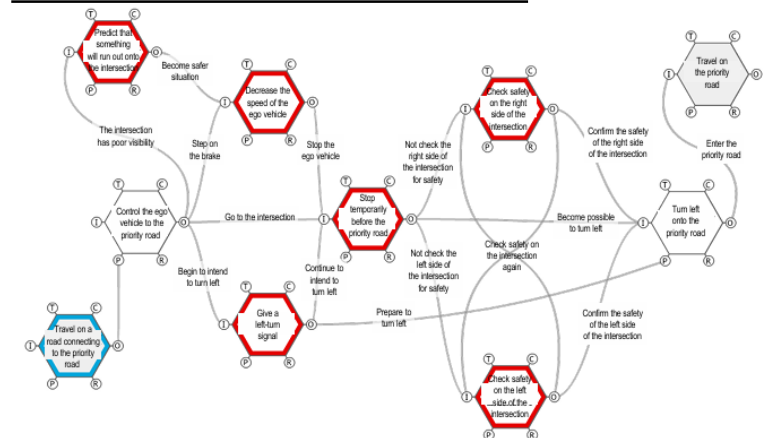
帽子型ヘルメットをかぶりたいか？



運転行動の表現と事故・ヒヤリハット発生要因の分析



FRAMモデルによる表現



自転車事故の死傷者を減らすには



保護効果の高いヘルメットの開発

- 機械工学（力学）
- 化学工学（材料）
- 電子工学（センサ）
- ⋮



ヘルメット着用促進のための施策

- 政策（補助金）
- 法律（義務化, 罰則）
- 経済（販売, 保険）
- ⋮



被りたいと思うヘルメット

- 人間心理（購買心理）
- 社会心理（同調圧力）
- デザイン（流行, 機能）
- ⋮



交通事故に遭わない交通環境

- 土木工学（道路設計）
- 工学（自動運転, ITS）
- 教育学（安全運転）
- ⋮



他にはどんな事項があるでしょう？

一つの学問分野だけでは解決困難



安全の実現には連携が不可欠



まとめ

- よりリアルワールドでの安全に視点が向けられている
- AI技術の活用により開発速度，最適化が進むと期待されるが，力学的視点からの分析も不可欠
- 自動運転化，バーチャルテストには期待しているが，新たな課題も出てくると予想
- 社会安全の実現には一つの学問分野だけでは解決困難であり，連携が不可欠

