

## バーチャル人体モデル THUMS

すべての人に安全な移動を。クルマの衝突安全性能の向上を目指す



トヨタの THUMS(サムス : Total Human Model for Safety)は、クルマの衝突事故における人体への傷害を解析する先進的なコンピューター上のシミュレーションモデルです。20年にわたる改良を経て、トヨタのクルマの衝突安全性能向上に不可欠な技術として確立され、国内・海外の研究者や技術者にも活用されています。衝突シミュレーションでは実車を用いた衝突試験のようにモノを作って壊して捨てることはないため、環境にやさしい技術とも言えます。この THUMS を今後自動車産業全体で幅広くクルマの安全性向上に役立てていただきたいとの思いから、2021年1月より無償で公開しています。THUMS をより多くの企業や研究機関でご活用いただくことで、すべての人に安全な移動手段を提供し、交通事故死傷者ゼロの社会の実現を目指す仲間づくりを広げていきたいと考えています。

### THUMS とは

トヨタと(株)豊田中央研究所は、1997年に車両衝突時に乗員が受ける傷害を再現・解析するためのバーチャル人体モデルの共同開発に着手し、2000年に当時世界初となる全身を模擬したバーチャル人体モデル THUMS が誕生しました。その後も数々の改良を重ね、最新モデルでは骨・脳・内臓・筋肉に至る全身の形状と強度が精密に再現されています。また、開発当初から人間の多様性を考慮した研究が重要と考え、年齢・性別・体格の異なるモデルを幅広く追加してきました。

今回、クルマの安全性向上を目指し20年近く研究・開発に携わってきた「ミスター-THUMS」こと北川裕一さんに聞いた THUMS の開発話をご紹介します。



## 開発の経緯

クルマの衝突シミュレーションはどのように開発されていったのでしょうか。



衝突シミュレーション技術の研究は、1950年代に米国の軍事航空の分野で推進されました。1980年代になると、試作や試験だけに

頼らず効率的に車両開発する方法として、自動車メーカーでも積極的に取り入れられるようになりました。

車両衝突は1秒にも満たない瞬間的な現象ですが、シミュレーションを駆使することにより車体の変形してエネルギーを吸収する様子を詳細に解析することが可能になります。1990年代には、車体変形だけでなく乗員の挙動や負荷についても衝突シミュレーションで解析されるようになりました。

車体中心の衝突シミュレーションから、乗員がどのように事故の衝撃を受けてケガをするか、の研究に広がっていったわけですね。そこからバーチャル人体モデルの開発に至ったわけですが、どのように開発されたのでしょうか。

乗員の挙動や負荷を解析するためには人体そのものに関する専門知識が必要でした。トヨタと(株)豊田中央研究所は米国の大学に技術者を派遣して生体工学の研究を開始しました。私も同じ大学で2年間生体工学の研究を学びました。献体（提供された遺体）を使って、どれだけの負荷まで人間の体が耐えられるかについて研究をしていました。本当に安全なクルマを開発するためには、脆弱な人体を再現したバーチャル人体モデルが必要であり、それを開発するためには人体の仕組みを理解することが不可欠でした。

その後、トヨタと(株)豊田中央研究所でバーチャル人体モデル開発プロジェクトが開始され、2000年にはTHUMSバージョン1が発表されました。全身を精密に表現したバーチャル人体モデルは世界初ということで、開発はかなり困難だったのではないのでしょうか。



2000年発表のTHUMSバージョン1

当時の開発担当者によると、コンピューター上で人体の骨格や内臓などの形状を一つ一つ手作業で格子を組み合わせて再現していったそうです。人体の形が出来上がると、骨や内臓など部位ごとに負荷がかかった時にどのように変形したり破壊したりするかを定義し、THUMSが完成しました。

THUMSの強みとは何でしょうか。

THUMSを使うことで、衝突時に発生する乗員の傷害を詳細に解析することができます。衝突試験用のダミー人形は、何回もの衝突試験に耐えられるように頑丈に設計されています。人体への負荷を正確に計測することはできませんが、骨折など人体組織が損傷する様子まで再現することはできません。また、実際の車両を用いた衝突試験は何回も繰り返す

実施することが容易ではありません。THUMS を用いた衝突シミュレーションなら、条件を変えて数十から数百・数千通りも行なうことができます。

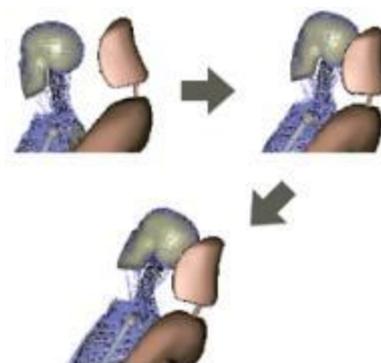
## 20 年間かけて THUMS はどう進化してきたのでしょうか。

骨格に加えて脳や内臓などを追加し、傷害解析の対象が拡大しました。最新のバージョン 6 では筋肉を追加して、プレーキ中の姿勢変化なども解析できるようになりました。THUMS バージョン 1 の最初のモデルは平均的な体格の成人男性を模擬した形状でしたが、その後に性別・年齢・体格の異なるモデル\*<sup>1</sup>を追加して、道路交通を利用する様々な人の傷害解析ができるようになりました。

## THUMS の活用

**THUMS を使った衝突シミュレーションが衝突安全性能に活用された初期の事例として、「むち打ち症」軽減のための研究があったようです。**

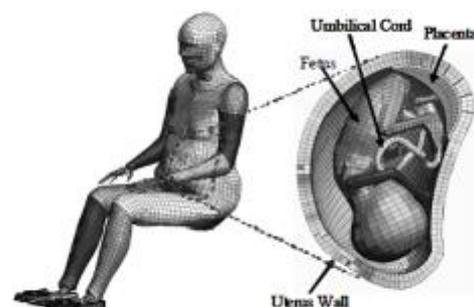
追突は交通事故の中で最も多い形態です。むち打ち症とは、追突されたクルマの乗員が受ける首の痛みのことです。むち打ち症は軽微な事故で車体の損壊が少ないケースでも頻繁に報告されますが、X 線検査しても明確な組織損傷が見られない場合が多く、そのメカニズムは不明でした。通常、着座した乗員の背中中はシートバックに接しますが、後頭部はヘッドレストから僅かに離れます。追突されると乗員の胴体はシートバックと一緒に前方へ押し出されますが、頭部はヘッドレストに接するまで動きません。このとき、首の上側と下側が前後にずれて関節に負荷が発生するという仮説を立て、THUMS で追突時の首の動きを再現しました。そして、背中をシートバックに沈み込ませながら首が前後にずれる前にヘッドレストで後頭部を早く支えるシート「WIL コンセプトシート」\*<sup>2</sup>を考案しました。以後、WIL コンセプトシートはトヨタの車両に広く採用されました。欧州の保険会社が追突事故におけるむち打ち症の報告件数を調査した結果、WIL シートを搭載した車両は相対的に件数が少ないことが分かりました。今や WIL コンセプトシートは全車種で標準搭載されています。



THUMS を用いた追突時の挙動解析

**追突時の首と胴体の詳細な動きは、まさに THUMS だからこそ再現・解析できる事例ですね。ほかにも、妊婦乗員の安全について研究されたと伺いました。**

THUMS バージョン 1 の小柄女性乗員モデルをベースに、妊娠 7 か月相当の女性乗員を模擬した妊婦モデルを開発しました。当時、腹部への圧迫を気にして乗車時にシートベルトを着用しない妊婦さんが多く見られたので、トヨタは専門家の意見を参考に、妊婦の方でも乗車時にはシートベルトを着用していただくよう案内していました。



妊婦モデルと中の胎児の様子

シートベルトを着用する際は無造作に臍（へそ）の上に掛けるのではなく、骨盤に掛かるよう意識して下腹部に掛けることで、腹部への圧迫が少なくなると考えました。衝突安全チームはシートベルトを股下へ引っ張るストラップを考案して販売店に配布しました。THUMS 開発チームは、妊婦に安心してシートベルトを使っていただくために、妊娠期に下腹部に掛けることの重要性をデータでも証明するべく、2004 年頃、妊婦モデルの THUMS の開発に着手しました。

### 妊婦モデルはどのように開発されたのでしょうか。

私自身、産婦人科に赴いて産科医の先生に相談したり、妊婦の身体に関する専門書を読み解いたりしました。産婦人科の待合室では妊婦の方々から冷ややかな視線を浴びたこともありましたが、真剣に解剖図を見ているそばを女性社員が通りかかり慌てて本を閉じたこともありました。

紆余曲折を経て(株)豊田中央研究所と協力し、子宮と胎児、胎盤、臍帯、羊水に至るまで再現された妊婦モデルがついに完成しました。このモデルを用いたシミュレーション結果によって、シートベルトを骨盤に掛かるよう下腹部に通すことで子宮や胎盤への圧迫を最小限にしつつ母体を保護できることが裏付けられました。トヨタはこの研究成果を自動車技術会の学術講演会で発表しました。2008 年には交通教則が改定され、あらためて妊娠中のシートベルト着用の必要性が認識されるようになりました。

### 安全なモビリティ社会を目指して

このようにクルマの衝突安全性能向上に貢献してきた THUMS ですが、今後も一層安全で多様なモビリティ社会の実現に役立つ技術だと考えています。現在、100 以上の自動車メーカーや仕入先、大学、研究機関などで THUMS をクルマの安全研究に活用いただいています。2021 年 1 月より THUMS の無償公開を開始したことで、より一層幅広いユーザーの方に活用いただき、自動車業界全体で交通事故死傷者ゼロの安全なモビリティ社会の実現の一助になれば、と考えています。

トヨタにおいても、THUMS を活用した安全研究を加速していきます。クルマの衝突安全だけでなく、将来モビリティの安全や道路交通の安全など安心・安全なモビリティ社会の実現につながる研究を進めてまいります。トヨタはモビリティカンパニーとして、クルマはもちろんのこと、街全体を安心・安全にしていくことに貢献したいと考えています。



\*1 子どもモデルには筋肉は追加されておりません。

\*2 WIL: Whiplash Injury Lessening=頸部傷害低減の略



THUMS 開発チーム（左上が北川）