

## ナイロン 66 の状態方程式モデルの作成

黒澤耕介

千葉工業大学 惑星探査研究センター

**はじめに:** 数値衝突計算は衝突実験結果を解釈する際に有用である。通常見ることのできない標的内部の物理量変化を可視化したり、追跡粒子を用いることで、初期に任意の位置にあった物質の移動を追跡することで、衝撃に伴う物質の変化を知ることができる。近年では iSALE shock physics code などの普及によって実験研究者でも比較的容易に 2 次元の数値衝突計算を始めることができるようになった。

**状態方程式の必要性:** 状態方程式 (Equations of state, EOS) は物体が感じる圧力を密度と内部エネルギーの関数として表す関係式である。流体方程式(質量, 運動量, エネルギー保存則)と連立することで、方程式が閉じて数値積分が可能になる。また適切な状態方程式を選択することによって数値計算に物体の熱弾性情報が反映される。衝突実験の結果の解釈のために数値衝突計算を行おうとするならば、実験で使った物質の EOS モデルが確立されている必要がある。

ナイロン 66 は主に飛翔体として、高速度衝突実験に用いられてきた。しかし、適切な EOS モデルが存在しておらず、数値衝突計算で扱うことができなかった。そこで本研究ではナイロン 66 の熱弾性情報を文献調査し、EOS モデルを構築することを行った。なお、本研究は Kadono et al. (2022), *Earth, Planets and Space*, 74:132 で行った衝突実験を再現するために行ったもので、その詳細は当該論文の Supplementary Information にまとめられている。本稿ではその概要を解説する。

**ナイロン 66:** 日常的に用いられているプラスチックの一種であり、安価で入手しやすいことから特に日本の実験研究者には頻繁に用いられている。今回は iSALE に実装されている Tillotson EOS 形式でナイロン 66 の EOS モデルを作成した。

**EOS モデル構築:** Tillotson EOS は 10 個のパ

ラメータを必要とするが、Shock Hugoniot データ(衝撃波速度と衝撃波背面粒子速度の関係)と標準状態における熱弾性情報があれば、経験的な仮定と合わせてすべてのパラメータを決定できる。iSALE に実装された Tillotson EOS では定積比熱を定数であると仮定し、温度を概算する。物質は融点付近で強度を失い完全流体として振る舞うため、数値計算中の温度は重要なパラメータの一つである。ところがナイロン 66 の比熱は温度依存性を持つ。特にガラス相転移を起こすと比熱が上昇することが知られている。そこで融点に達するまでに必要な内部エネルギーが等しくなるように実効的比熱を与えることにした。このようにしてナイロン 66 の Tillotson EOS パラメータを決定した。

**まとめ:** 本研究で決定したナイロン 66 の Tillotson EOS パラメータは先述の Kadono et al. (2022) にテーブルとしてまとめられている。iSALE ユーザであれば誰でも数値衝突計算中でナイロン 66 を扱うことが可能になっている。また Tillotson EOS パラメータの決定方法についての処方箋としても使えるように執筆したつもりである。衝突実験を行う皆様のお役に立てば幸いである。

**謝辞:** iSALE の開発者である Gareth Collins, Kai Wünnemann, Boris Ivanov, H. Jay Melosh, Dirk Elbeshausen の各氏、pySALEPlot の開発者である Tom Davison 氏に感謝致します。

※図や参考文献についてはスライドの PDF ファイルをご参照下さい。