

固体ロケット推進薬の X 線 CT 画像における 深層学習を用いた粒径分布解析

Analysis of Particle Size Distribution in X-ray CT Image of Solid Rocket Propellant by using Deep Learning

関西大¹, 宇宙科学研究所² (M2) 寺嶋 寛成¹, 岩崎 祥大², 羽生 宏人², 山口 聡一郎¹

Kansai Univ.¹, JAXA.², [°]Kansei Terashima¹, Akihiro Iwasaki², Hiroto Habu² and Soichiro Yamaguchi¹

E-mail: k092004@kansai-u.ac.jp

固体燃料ロケット推進薬の高濃度スラリーを撮像した X 線 CT 画像に対して “Deep Learning” (深層学習) による画像認識技術を適用することで、スラリー中の粒径分布を分析する方法を考案した。固体燃料ロケットに広く採用されている AP/HTPB 系コンポジット推進薬では、燃料剤かつ粘結剤である無色透明で液体ゴムの末端水酸基ポリブタジエン (HTPB)、酸化剤粒子である粒径が揃った白色粉末の過塩素酸アンモニウム (AP)、助燃剤のアルミニウム粉末、等を混和して不透明な灰色の高濃度スラリーが得られる。これを熱硬化で注型することで固体ロケットモータが作られる。固体推進薬の燃焼特性・機械的特性は粒子分散や粒径分布に依存しており、X 線 CT を用いた粒径分析は推進薬研究の有効なツールの 1 つである。単一粒径の酸化剤で構成される推進薬試料の X 線 CT において酸化剤粒子の 2 次元断面の輪郭を Deep Learning で抽出し、その大きさのヒストグラムを得ると、粒径分布の平均値や分布幅を分析できると考えた。本手法では酸化剤粒子とそれ以外の部分を切り取った画像を学習させて判別器を作成する。この判別器を測定対象の CT 画像上で掃引することにより、CT 画像内に映る酸化剤粒子の断面輪郭を検出する。分散媒中にアルミニウム粉末が大量に含まれるため、CT 画像にノイズが多く輪郭の判別が難しいが、判別器は輝度値の微かな違いや画像ノイズも含めて学習するため、二値化処理に課題を抱えている CT 画像でも本手法は有効である。Fig. 1 は Deep Learning によって酸化剤の断面輪郭を検出する様子である。同じ粒径の酸化剤粒子であっても、CT 画像の断面が粒子のどの部分を横断するかによって、輪郭が示す断面形状の大きさが異なって映る。Fig. 2 は数値計算モデルとして、粒子が平均粒径 200 μm 、分布幅 20 μm のガウス分布を示す場合の粒径分布 (青色破線) と、断面輪郭の大きさを集計したヒストグラム (赤色実線) を示す。実際の推進薬試料に対して Deep Learning による輪郭抽出を用いると、赤色実線のようなヒストグラムを得られる。このヒストグラムの分布形から青色破線のような粒径分布を定量的に詳しく分析できる。

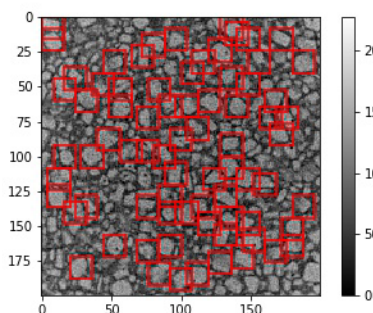


Fig. 1 Particle detection

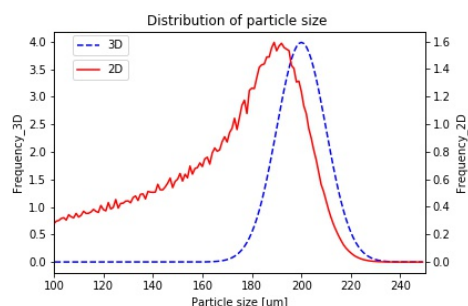


Fig. 2 Distribution of particle size