



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A multiphase-based numerical study on time-dependent melting, deforming and dripping process of Phase Change Material (PCM) induced by external heat source [an abstract of dissertation and summary of dissertation review]
Author(s)	金, 洋均
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11055号
Issue Date	2013-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/53225
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yangyun_Kim_review.pdf, 「審査の要旨」



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 KIM, Yangkyun

審査担当者	主査	准教授	中村 祐二
	副査	教授	藤田 修
	副査	教授	大島 伸行
	副査	教授	渡部 正夫
	副査	教授	永田 晴紀

学位論文題名

A multiphase-based numerical study on time-dependent melting, deforming and dripping process of Phase Change Material (PCM) induced by external heat source
(外部加熱を受ける可溶解性固体 (PCM) の諸非定常過程 (溶融・変形・落下) に関する数値解析)

近年, 軽量且つ剛性や絶縁性の優れた材料としてプラスチック (ポリマー) が至るところで利用されている。ポリマーは加熱されると溶解する可溶解性固体であり, 特に電線燃焼においては, 絶縁物である被覆材として用いられるポリマーが燃焼を開始すると, 溶解部の落下が観察されるのみならず, 導体を通じた熱輸送により溶融部の挙動が複雑な影響を受けて燃焼特性自体が変化することが既存の実験によってわかっている。ところが, 現存する電線燃焼モデルでは, 溶解過程における多くの物理・化学過程を取り扱うことをしておらず, それらの効果は考慮から除外されている。本研究は, この問題を解決するために「enthalpy-porosity 法と VOF 法との組み合わせ」を導入することで, 燃焼場で想定される加熱量を受ける可溶解性物質の非定常溶融過程を比較的簡便なアプローチで再現させることを目標としたものであり, 最終的には本知見により火災予防対策の向上に資することを目指したものである。本論文は, その目標達成の初段階として位置づけられるものであり, ガス化などの化学反応を含めずに, 溶解挙動を再現するモデル開発を通じて得られた結果を整理して取りまとめたものである。なお, 数値解析には汎用熱流体解析ソフトである FLUENT を利用している。

第 1 章では問題設定ならびに目標課題を示し, それに対するアプローチについて言及している。特に固体・液体・気体の 3 相の変化を許す問題は過去に例が少なく, 今回は phase indicator として 2 種類の指標量 (α および β) を導入することでそれに対応するアプローチの妥当性について述べている。

第 2 章では, 本研究で特徴となる現象のモデル化ならびに数学的な扱い (式変形や導出を含む) が記載されている。具体的には, 固液界面には β (液体体積分率) を, 気液界面あるいは気固界面については α (体積分率関数) を導入することで, それらの値によって相を判

別する手法を採用するための数学的手法について説明がなされている。VOF 法ならびに Enthalpy-porosity 法の詳細, さらには現在開発段階にあるガス化モデルについてもその数学的モデルの扱いについても記載している。

第 3 章では, 複数の方法により本論文で提案したモデル化精度について検証を行った結果を示している。厳密解の存在が知られている一次元溶解問題 (Neumann ' s exact solution), ならびに 2 次元の融解面の追跡問題との比較検証を行うのみでなく, 熔融部の自由境界 (=気液界面) の再現精度については, 変形して落下する水滴の挙動を再現できることを示し, 少なくとも火災問題で再現したい加熱されたポリマーが熔融して落下する挙動を再現するには本手法が適用できることを示している。

第 4 章以降は, 導体である銅直下に配置された可溶解性固体 (Phase Change Material: PCM) を局部加熱 (第 4 章および第 5 章) した場合, あるいは加熱部を移動させた場合 (第 6 章) における非定常溶解過程についての数値結果が示している。第 4 章では加熱温度, 表面張力などの影響に関するパラメトリックスタディがなされており, 本モデリングにより各種要素の影響を詳細に調べることができる可能性を示している。中心となる研究成果は, 溶解部が自重によって懸垂する挙動により溶解部内での積極的な熱輸送が行われ, 溶解界面への熱流束が増加して熔融を促進させる可能性を明確に示した点である (第 4 章)。この結果は, 非定常の溶解過程ならびに溶解部の変形を同時に考慮したモデルでなければ議論できず, 本研究の成果であるモデル開発によって初めて理解されるに至ったものである。溶解部内での流動の例として, 第 5 章では温度差に起因した流動促進 (マランゴニ対流) についても評価している。第 6 章では移動熱源問題を対象に解析した結果, 溶解部内の流動による溶解促進は移動速度に依存することを示している。これらの結果を総合し, 溶解部内での流動が溶解促進を与えるには, 加熱源が溶解界面より遠ざかり, 溶解部の流動が自重などによって大きく影響を受ける場合であることが推論された。つまり溶解部の内部流動および変形が結果に寄与するか否かは, 加熱源 (火災の場合は火災) がどのように挙動するのかに依存することを示している。本知見は今後の火災モデリングの発展に極めて有用であり, 本論文の学術的価値を与えている。

これを要するに, 著者は, 加熱を受ける可溶解固体の一連の非定常挙動を表現するため数値モデルの開発を通じて溶解過程促進等に関する新しい知見を得る方法論を提供するのみならず, 可溶解性固体に関わる諸問題の基礎過程である熱および流体力学の学問に対して貢献するところが大きなものがある。よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。