

令和 5 年 9 月 26 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01807

研究課題名（和文）燃焼前線および火災旋風の動く曲線を用いた追跡法の確立

研究課題名（英文）Establishment of a tracking method using moving curves of the combustion front and fire whirlwind

研究代表者

矢崎 成俊 (Yazaki, Shigetoshi)

明治大学・理工学部・専任教授

研究者番号：00323874

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,800,000円

研究成果の概要（和文）：研究課題は、界面の直接法による追跡という学問分野の枠組みに包摂され、燃焼特有の個別的現象の学理探究がその核心となる。燃焼はミクロな化学反応がマクロに可視化された現象である。燃焼現象の本質の探究は、ミクロな現象がどこまでマクロなモデル方程式に反映されているのか、モデル方程式におけるパラメータは適切に選択されているのか、モデル方程式は定量的かつ定性的に解析することができるのか、という「問い」に回答していくことに他ならない。燃焼現象に関する基礎的なモデリングの研究、モデル方程式の解の挙動を追跡する数学的研究、実験データを用いた画像処理的研究、蛇腹折りの紙の燃焼モデルなどの成果があがった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

燃焼現象を数学的に数理解析することにより、数学そのものが発展するのみならず、工学的、社会的にも意義のある研究となった。特に、防災に資する数学という観点からは、いままでにない試みと研究スタイルであったため、今後の継続的な研究発展が期待される。

研究成果の概要（英文）：The research topic is encompassed within the framework of the discipline of interface tracking by direct methods, and the core of the research is the exploration of the science of specific phenomena unique to combustion. Combustion is a phenomenon in which microscopic chemical reactions are visualized on a macroscopic scale. Inquiring into the nature of combustion phenomena means answering the questions of how far the microscopic phenomena are reflected in the macroscopic model equations, whether the parameters in the model equations are appropriately chosen, and whether the model equations can be analyzed quantitatively and qualitatively. The following results were obtained: basic modeling research on combustion phenomena, mathematical research to track the behavior of solutions to model equations, image processing research using experimental data, and combustion modeling of bellows-folded paper.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

研究分野：界面現象の数理解析

キーワード：紙の燃焼 蔵本シバシンスキー方程式 界面現象 燃焼前線 防

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

当該申請研究課題『燃焼前線および火災旋風の動く曲線を用いた追跡法の確立』は、界面の直接法による追跡という学問分野の枠組みに包摂され、燃焼特有の個別的現象の学理探究がその核心となる。燃焼はミクロな化学反応がマクロに可視化された現象である。したがって、燃焼現象の本質の探究は、ミクロな現象がどこまでマクロなモデル方程式に反映されているのか、モデル方程式におけるパラメータは適切に選択されているのか、そして、モデル方程式は定量的かつ定性的に解析することができるのか、という「問い」に対して真摯に回答していくことに他ならない。

### 2. 研究の目的

上記のような研究目的でスタートし、当該年度は、燃焼現象に関する基礎的なモデリングの研究、モデル方程式の解の挙動を追跡する数学的研究、蛇腹折りの紙の燃焼研究、および実験的研究がなされた。

### 3. 研究の方法

解析的方法、数値的方法、および実験との比較研究方法によった。

### 4. 研究成果

燃焼前線が平面上の閉曲線で記述できる場合とグラフになる場合のそれぞれについて、前線の時間発展を数値計算、数学解析、および実験との比較により研究し、下記の成果があがった。また、界面現象に関する周辺分野の研究も合わせて成果があがり、本研究に資するものとなった。特に、数値解析に関してはスキームの収束性や実験的収束次数の見積りがなされ、また力学系の理論から燃焼前線の回転波の予測がなされた。これは実験に先行するものである。これらの成果は特筆すべきものである。

論文は全て査読有り

2020 年度

(1) M. Kolar, S. Kobayashi, Y. Uegata, S. Yazaki and M. Benes,  
Analysis of Kuramoto-Sivashinsky Model of Flame/Smoldering Front by Means of Curvature Driven Flow,  
F. J. Vermolen, C. Vuik (eds.), Numerical Mathematics and Advanced Applications ENUMATH 2019,  
Lecture Notes in Computational Science and Engineering 139 (First Online: 2020.8.22) 615--624.  
DOI: 10.1007/978-3-030-55874-1\_60

(2) S. Kobayashi, Y. Uegata and S. Yazaki,  
The existence of intrinsic rotating wave solutions of a flame/smoldering-front evolution equation,  
JSIAM Lett. 12 (2020.7.7) 53--56.  
DOI: 10.14495/jsiaml.12.53

(3) S. Kobayashi, Y. Uegata, T. O. Sakamoto and S. Yazaki,  
A time periodic oscillatory hexagonal solution in a 2-dimensional integro-differential reaction-diffusion system,  
Hiroshima Math. J. 50 (2020) 253--267. DOI:  
10.32917/hmj/1595901630

(4) P. Pau $\check{v}$  and S. Yazaki,  
Segmentation of color images using mean curvature flow and parametric curves,  
Discrete Contin. Dyn. Syst. Ser. S 14 (Early access: 2020.6, Published: 2021.3) 1123-

-1132.

DOI: 10.3934/dcdss.2020389

- (5) H. Iizuka, K. Kuwana and S. Yazaki,  
A simple method to evaluate the eigenvalue of premixed flame propagation,  
Mechanical Engineering Letters 6 (2020) 19-00610 (8 pages).  
DOI: 10.1299/mel.19-00610

#### 2021 年度

- (1) H. Gion, Y. Saito and S. Yazaki,  
On a backward bifurcation of an epidemic model with capacities of treatment and vaccination,  
JSIAM Lett. 13 (2021.10.16) 64--67.  
DOI: 10.14495/jsiaml.13.64
- (2) M. Kolar and S. Yazaki,  
Comparison study of image segmentation techniques by curvature driven flow of graphs,  
JSIAM Lett. 13 (2021.9.16) 48--51.  
DOI: 10.14495/jsiaml.13.48
- (3) A. Nanashima, M. Komi, N. Imamura, S. Yazaki, M. Hiyoshi, T. Hamada, K. Yano, T. Nishida, M. Enzaki and T. Sakae,  
Novel analysis using magnetic resonance cholangiography for patients with pancreaticobiliary maljunction,  
Surgery Today (2021.7.29) 10 pages.  
DOI: 10.1007/s00595-021-02349-8

#### 2022 年度

- (1) K. Kuwana, S. Yazaki, W. Kim, T. Mogi and R. Dobashi,  
Gravity Effects on the Minimum Explosive Concentrations in 1-D Dust Explosion,  
Combustion Science and Technology 195 (2023.2.20) 1622--1636.  
DOI: 10.1080/00102202.2023.2182203
- (2) Y. Shimoji and S. Yazaki,  
Numerical computation for magnetic Hele-Shaw problem using the method of fundamental solutions,  
JSIAM Lett. 15 (2023) 29--32.  
DOI: 10.14495/jsiaml.15.29
- (3) S. Kobayashi and S. Yazaki,  
Convergence of a Finite Difference Scheme for a Flame/Smoldering-Front Evolution Equation and Its Application to Wavenumber Selection,  
Computational Methods in Applied Mathematics 23 (online: 2022.11.11) 545-563.  
DOI: 10.1515/cmam-2022-0046
- (4) K. Sakakibara, Y. Shimoji and S. Yazaki,  
A simple numerical method for Hele-Shaw type problems by the method of fundamental solutions,  
Jpn. J. Ind. Appl. Math. 39 (online: 2022.8.5) 869-887.  
DOI: 10.1007/s13160-022-00530-1

#### 研究発表（自分が登壇したもののみ）

##### 2020 年度

自分が登壇した講演発表はなし

##### 2021 年度

- (1) 矢崎成俊, 折れた紙の燃焼について, 燃焼・消炎機構の数理に基づく火災・爆発の安全対策 @九州大学 IMI, 2022.3.8  
(2) 矢崎成俊, 防災数学: 感染症流行と紙の燃焼, 生田サロン@生田キャンパス, 2021.12.17

##### 2022 年度

- (1) 矢崎成俊, 防災数学のすすめ, 2022 年度 現象数理・ライフサイエンス 融合研究ワークショップ (清里セミナーハウス), 2022.11.1

- (2) 矢崎成俊, 防災数学, 2022 年度生田地区高大連携プログラム( 生田キャンパス ), 2022.11.19
- (3) 矢崎成俊, 動く曲線を追いかける, 東北大学談話会, 2022.12.5
- (4) 矢崎成俊, A new method for polygonal curvature flows,  
Workshop on Applied Mathematics and Scientific Computing, Kanazawa University,  
Satellite Plaza, 2023.1.11
- (5) 矢崎成俊, 低侵襲治療を指向したペースト状人工骨の数理モデル, 数学と現象 in 長瀬( 梁山泊 ), 2023.2.1
- (6) 矢崎成俊, 燃焼前線と消炎の表現, 九州大学 IMI 共同利用・短期共同研究「消炎や振動を含む不安定燃焼の数理」, 2023.3.6
- (7) 矢崎成俊, 折れ線曲率流の新しい成長法則, JSIAM 第 19 回連合発表会, 2023.3.10

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sakakibara Koya, Shimoji Yusaku, Yazaki Shigetoshi	4. 巻 39
2. 論文標題 A simple numerical method for Hele-Shaw type problems by the method of fundamental solutions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 869 ~ 887
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-022-00530-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kobayashi Shunsuke, Yazaki Shigetoshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Convergence of a Finite Difference Scheme for a Flame/Smoldering-Front Evolution Equation and Its Application to Wavenumber Selection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computational Methods in Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 545 ~ 563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/cmam-2022-0046	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimoji Yusaku, Yazaki Shigetoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Numerical computation for magnetic Hele-Shaw problem using the method of fundamental solutions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 29 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.15.29	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kuwana Kazunori, Yazaki Shigetoshi, Kim Wookyung, Mogi Toshio, Dobashi Ritsu	4. 巻 195
2. 論文標題 Gravity Effects on the Minimum Explosive Concentrations in 1-D Dust Explosion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Combustion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1622 ~ 1636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00102202.2023.2182203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nanashima Atsushi, Komi Masanori, Imamura Naoya, Yazaki Shigetoshi, Hiyoshi Masahide, Hamada Takeomi, Yano Koichi, Nishida Takahiro, Enzaki Masahiro, Sakae Tatemuni	4. 巻 52
2. 論文標題 Novel analysis using magnetic resonance cholangiography for patients with pancreaticobiliary maljunction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surgery Today	6. 最初と最後の頁 385 ~ 394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00595-021-02349-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kol?? Miroslav, Yazaki Shigetoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Comparison study of image segmentation techniques by curvature-driven flow of graphs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 48 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.13.48	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Gion Hiromu, Saito Yasuhisa, Yazaki Shigetoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 On a backward bifurcation of an epidemic model with capacities of treatment and vaccination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 64 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.13.64	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Pau? Petr, Czech Technical University in Prague, Trojanova 13,120 00 Prague, Czech Republic, Yazaki Shigetoshi, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita, Tama-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 214-8571, Japan	4. 巻 14
2. 論文標題 Segmentation of color images using mean curvature flow and parametric curves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Discrete & Continuous Dynamical Systems - S	6. 最初と最後の頁 1123 ~ 1132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcdss.2020389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi Shunsuke, Okuda Sakamoto Takashi, Uegata Yasuhide, Yazaki Shigetoshi	4. 巻 50
2. 論文標題 A time-periodic oscillatory hexagonal solution in a 2-dimensional integro-differential reaction-diffusion system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hiroshima Mathematical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32917/hmj/1595901630	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Shunsuke, Uegata Yasuhide, Yazaki Shigetoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 The existence of intrinsic rotating wave solutions of a flame/smoldering-front evolution equation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 53 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.12.53	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kolar Miroslav, Kobayashi Shunsuke, Uegata Yasuhide, Yazaki Shigetoshi, Bene? Michal	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of Kuramoto-Sivashinsky Model of Flame/Smoldering Front by Means of Curvature Driven Flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 -	6. 最初と最後の頁 615 ~ 624
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-55874-1_60	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 IIZUKA Hiroyuki, KUWANA Kazunori, YAZAKI Shigetoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 A simple method to evaluate the eigenvalue of premixed flame propagation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Letters	6. 最初と最後の頁 19-00610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mel.19-00610	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 桑名一徳, 矢崎成俊	4. 巻 58
2. 論文標題 火炎伝播のモデル方程式	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 伝熱学会誌「伝熱」	6. 最初と最後の頁 42-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 飯塚洋行, 桑名一徳, 矢崎成俊
2. 発表標題 拡散・熱的な1次元火炎伝播モデルの燃焼速度について
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム, 札幌
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤舞香, 桑名一徳, 榎田玄一郎, 上形泰英, 矢崎成俊
2. 発表標題 床面近傍での燃え拡がり不安定性の定量評価
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム, 札幌
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢崎成俊
2. 発表標題 紙の燃焼現象を追跡する界面方程式とその数理解析
3. 学会等名 九州関数方程式セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yazaki
2. 発表標題 Flame/smoldering front tracking to evolution equations for combustion of a paper sheet
3. 学会等名 ICIAM2019@Valencia, Spain (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yazaki
2. 発表標題 On an evolution equation of flame/smoldering combustion propagation of a paper sheet
3. 学会等名 第44回偏微分方程式論札幌シンポジウム@北海道大学 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 矢崎 成俊	4. 発行年 2019年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 344
3. 書名 動く曲線の数値計算	

1. 著者名 矢崎成俊	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 240
3. 書名 実験数学読本 2	

1. 著者名 辻川 亨、大塚 浩史、出原 浩史、伊藤 翼、矢崎 成俊	4. 発行年 2019年
2. 出版社 学術図書出版社	5. 総ページ数 216
3. 書名 微分積分の押さえどころ	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	桑名 一徳  (Kuwana Kazunori)  (30447429)	東京理科大学・理工学研究科国際火災科学専攻・教授    (32660)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------