

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：82665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02951

研究課題名(和文) 小学校理科におけるエネルギー概念の理解を深める防火教育教材の開発

研究課題名(英文) Fire safety education materials enriching students' understanding of energy concept in primary school science

研究代表者

野村 祐子 (Nomura, Yuko)

総務省消防庁消防大学校(消防研究センター)・技術研究部・主任研究官

研究者番号：80358788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：防火教育の体系化を促すため、また、日常との往還のある深い学びを通してエネルギー概念の理解を深める理科カリキュラム作成を支援するため、小学校理科の教育課程に沿った防火教材の開発を行った。具体的には、初等中等理科における防火教育の枠組みの構築、災害の仕組みを理解するための概念装置の提案、小学校第3学年「光と音の性質」における「収れん火災」の教材開発、第4学年「金属、水、空気と温度」における「水蒸気爆発」の教材開発、第6学年「燃焼の仕組み」における「窒息消火」の教材開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、初等中等理科における防火教育の枠組みを構築し、多様な災害に通底する普遍的なメカニズムを統合的に理解するための概念装置(思考の枠組み)を開発した。これらを活用して小学校理科の教育課程に沿った防火教材を開発することにより、理科の学習内容を、火災現象の基礎的な理解を図る学習に発展させた。本研究の成果を社会実装することにより、小学校理科において火災の「犠牲者にならない」「加害者にならない」ための「生きる力」を育む公教育が実現するとともに、エネルギー概念の理解不足が教育現場に引き起こしている深刻な混乱を解決できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to promote organized fire safety education, and to support the development of science curriculum enriching students' understanding of energy concept through deeper level of learning connected to everyday life, this study developed fire safety education materials linked to the government guideline for primary science.

To guide the material development, framework for fire safety education curriculum linked to the primary and secondary science were established. Additionally, the "disaster triangle," a conceptual device for comprehensive understanding of disaster mechanisms, was proposed. According to the framework, and by using the disaster triangle, the materials for understanding the "concentrated sunlight fire" linked to the "nature of light" in Grade 3, the materials for understanding the "steam explosion" linked to the "state change of water" in Grade 4, and the materials for understanding the "fire suffocation" linked to the "combustion" in Grade 6 were developed.

研究分野：科学コミュニケーション

キーワード：火災 エネルギー概念 防災教育 小学校理科 教材開発 深い学び 災害科学 科学リテラシー

1. 研究開始当初の背景

(1) 新学習指導要領と防火・防災教育

消防機関による公助は大規模災害時においては限界が露呈する。自助・共助の力を育む施策が重要であり、特に年少者に対する防火教育を学校の授業や学習指導要領に組み込み継続的に実施することが要請されてきた。火災の「犠牲者にならない」「加害者にならない」ための「生きる力」を育む公教育の充実は、生命に関わる極めて重要な課題であるが、小学校理科と火災との関連については中央教育審議会答申にも位置づけが示されておらず、体系化された防火教育の枠組みは未整備である。特に理科教育学の分野においては、災害発生メカニズムについての理解が不足しており、地震災害、火山噴火、風水害、火災、原発事故、交通事故、転落事故、感電事故などの多様な災害を統合的に理解するために不可欠な基本概念である「エネルギー」を柱とする領域において、災害との関連が全く示されていない。

(2) 燃焼の3要素と消火の理論の問題点

防火教育に関する研究は主に学校安全の分野で行われており、教科としては社会科、家庭科、および理科の小学校第6学年「燃焼の仕組み」の中で扱われてはいる。しかし、理科教育学の分野では、燃焼現象の理解が不十分なまま燃焼学習のカリキュラム・教材開発および教育評価が行われており、誤概念が生じている。具体的には、火災現象の本質である発熱反応の理解に不可欠なエネルギー概念の導入が不足しているため、消防の分野で防火教育に利用されてきた「燃焼の3要素」が不適切な形で消火の仕組みの説明に使用され、「二酸化炭素には消火作用がまったくない」という誤った素朴概念が小学生だけでなく理科教員にも保持されているなど、教育現場における燃焼学習の課題が指摘されている。燃焼学習の研究において、「消火」をどのように扱うかが重要な課題となっているにもかかわらず、消火の仕組みを理解するために不可欠な「反応速度」概念に注目した研究は、初等教育においては見当たらない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、小学校理科における(1)防火教育の体系化と、(2)日常との往還のある「深い学び」を通してエネルギー概念の理解を深めるカリキュラム作成支援、の2点であった。

具体的には、①第3学年「光と音の性質」の学習の中で集光（「エネルギー密度」概念）の意味理解を深める「収れん火災」の教材開発、②第4学年「空気と水の性質」・「金属、水、空気と温度」の学習に対する興味を喚起するとともに高温物体と流体の相互作用（「温度場・流れ場」概念）の意味理解を深める「水蒸気爆発」の教材開発、③第6学年「燃焼の仕組み」の学習の中で消炎現象（「反応速度」概念）の意味理解を深める「窒息消火」の教材開発と教員の理解を促す技術資料の作成、を行うことであった。

3. 研究の方法

(1) 初等中等理科における防火教育の枠組みの構築

小学校および中学校理科学習指導要領に沿って体系的に防火教育を実践できるようにするため、現行の理科の単元および内容に深く関わる基礎的な火災現象を学習課題として選定し、防火教育の枠組みを構築した。

(2) 教材の開発

多様な災害に通底する普遍的なメカニズムを説明するため、「自己組織化」の過程に関する知識を整理した。加えて、「収れん火災」「水蒸気爆発」「窒息消火」に関する基礎的な理解を図るため、セルロースの着火過程、過熱水の沸騰過程、容器の中でのろうそくの燃焼過程と燃焼の停止過程に関する知識を整理し、ブロック線図と概念地図を用いて表現した。

現象過程を説明する力を育むための「問い」を設定し、①虫眼鏡で日光を集めて紙を焦がす実験と、②高温の油で水を沸騰させる実験と、③容器をかぶせてろうそくの火を消す実験を行い、現象過程を観察するための映像素材と時系列写真を作成した。加えて、目に見えない熱の移動を水を用いて説明するため、「ししおどし」の実験映像と時系列写真を作成して着火と消火の現象過程と対応づけ、概念地図と合わせて編集し、変化の仕組みを理解させるためのウェブ教材、冊子教材、解説映像教材を作成した。また、高温の油で水を沸騰させる実験を中心とした消防研修用副教材「水の状態変化と水蒸気爆発」を試作した。

教材の効果を検証するため、科学的根拠に基づき火災危険を察知して説明する力を調べる調査問題を作成した。また、試作した消防研修用副教材「水の状態変化と水蒸気爆発」について、消防吏員にアンケート調査を行い、評点法とキーワード分類法により結果を分析した。

4. 研究成果

(1) 初等中等理科における防火教育の枠組みの構築

科学リテラシーを育む理科カリキュラムは、社会的意思決定に必要な基礎知識を共有し適切

な防災ガバナンスを備えるための重要な社会基盤である。国際学力調査が不適切な課題を繰り返し出題することによって消火に関する誤概念を拡散し複数の国々の理科カリキュラムに悪影響を及ぼしている可能性を報告した。問題解決の端緒として、現行の理科の単元および内容に深く関わる基礎的な火災現象を選定して構築した防火教育カリキュラムを、表1に示す。

表1 初等中等理科における防火教育カリキュラム（案）

学年	単元・小単元	学習課題	主要な概念
小学3年	光と音の性質 ・光の反射・集光 ・光の当て方と明るさや暖かさ	○集められた光が当たった物は、燃え始めることがある。 ○微小火源から、大きな火災になることがある。	着火エネルギー 熱分解・燃焼・発熱 エンタルピー
小学4年	金属、水、空気と温度 ・温度と体積の変化 ・水の三態変化	○火災や火災の煙は、上方に拡がりやすい。 ○天ぷら油火災に水をかけると、爆発的に燃える。	対流・密度・浮力 体積変化・圧力変化 気化熱・比熱 表面張力
小学5年	物の溶け方 ・物が水に溶ける量の限度 ・物が水に溶ける量の変化	○気体になりやすい油は、液面から離れた場所で火がつく。 ○重い気体は、低い場所にたまりやすい。	分子間力・蒸気圧 蒸発・拡散・混合 重力・分子量・モル
小学6年	燃焼の仕組み ・燃焼の仕組み	○物が燃える速さは、比表面積によって変化する。 ○物が燃える速さは、空気中の水蒸気量や、可燃物に含まれる水分量によって変化する。	反応速度・界面現象 反応物質濃度・頻度 反応温度・吸熱・比熱
中学1年	身近な物理現象 ・音の性質 身の回りの物質 ・状態変化と熱	○気体の急膨張により生じる音で、物が壊れることがある。 ○過熱状態の液体が急激に蒸発すると、物が突然飛散したり壊れることがある。	体積変化・圧力変化 圧縮波・爆風・爆音 準安定相・沸騰熱伝達
中学2年	化学変化 ・酸化と還元 ・化学変化と熱 化学変化と物質の質量 ・質量変化の規則性	○消火剤から酸素を奪う物質に消火剤を放出すると、火災が拡大することがある。 ○反応する物質の質量と反応で出入りする熱の量の間には一定の関係がある。	結合解離エネルギー 酸化力・還元力 反応熱・化学量論 発熱速度
中学3年	科学技術と人間 ・エネルギーとエネルギー資源 ・様々な物質とその利用	○省エネルギーのために利用される軽金属やプラスチックの火災に注水すると、延焼拡大することがある。	熔融金属・熔融樹脂 界面現象・水蒸気爆発

(2) 教材の開発

多様な災害に通底する普遍的なメカニズムを統合的に理解するための概念装置（思考の枠組み）を開発した。地震や火山噴火などの自然界の現象は、自然界の一部である人間社会の現象も含めてすべて、「物質」・「エネルギー」・「運動」の3つの要素間の相互作用によって支配されている。これら3要素間の相互作用を、図1に示す三角形で表現し、「災害の三角形」という名前を与えることによって、日常生活の中で矮小化されやすい災害の概念を、システム思考に基づく分析が可能な概念装置に進化させた。「災害の三角形」を基盤とする防火教材開発研究の成果は、以下のとおりである。



図1 災害の三角形

① 小学校第3学年「光と音の性質」における「取れん火災」の教材開発

虫眼鏡で日光を集めて紙を焦がす実験を通じて集光（「エネルギー密度」概念）の意味理解を深める教材を設計するために作成した、セルロースの着火過程のブロック線図を、図2に示す。

裸火以外の着火源による出火危険の事前察知が困難な理由は、限界（温度）に達していない物質の温度が変化して限界を超える過程を認識していないためであると仮定し、目に見えない熱の移動を限界を超える過程として捉えられるようにするため、時間的な視点から熱が伝わる速さに着目し、白と黒の紙を比較させる問いを設定した。図2のブロック線図を教材用に簡略化するとともに、熱の移動を水を用いて説明し、可燃物に蓄えられる熱エネルギーの量には限界があることを直感的に認識できるようにするため、「ししおどし」の実験と紙を焦がす実験の対応づけを行い、編集・作成したウェブ教材、冊子教材、解説映像教材の一部を、図3～図5に示す。また、教材の効果を検証するために作成した、出火危険箇所を指摘できる力を調べる調査問題を、図6に示す。

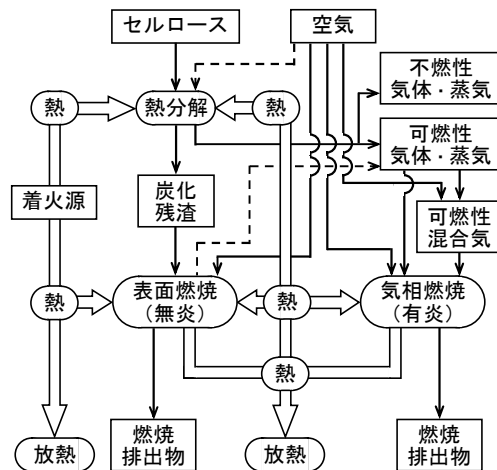
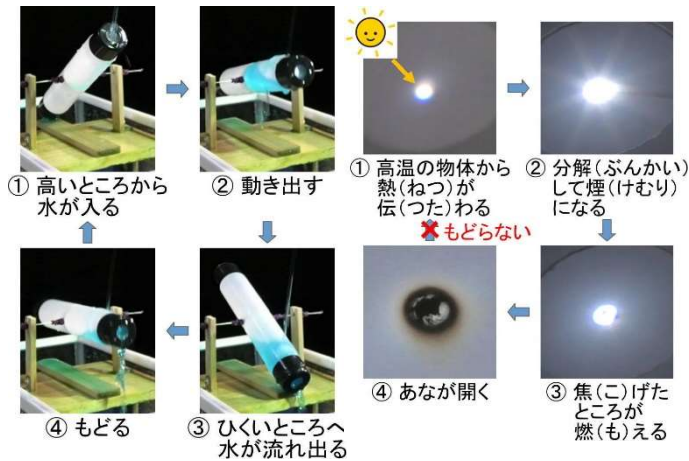


図2 セルロースの着火過程



(上) 図3 ウェブ教材の一部 (ししおどしと紙の比較)



(右) 図4 冊子教材の一部 (白と黒の画用紙の比較)

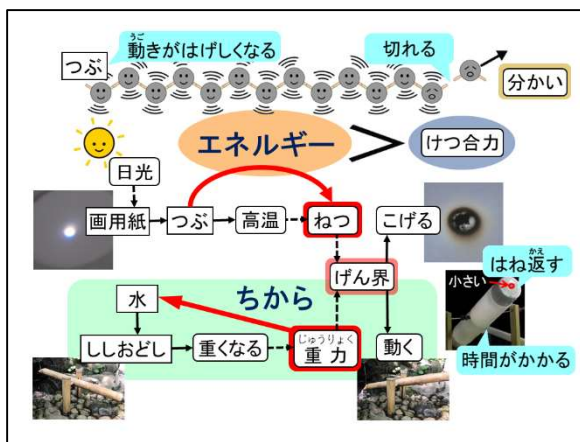


図5 解説映像教材の一部



図6 出火危険箇所を指摘させる調査問題

② 小学校第4学年「金属、水、空気と温度」における「水蒸気爆発」の教材開発

水から水蒸気への状態変化の実験を通じて高温物体と流体の相互作用（「温度場・流れ場」概念）の意味理解を深める教材を設計するために作成した、水の沸騰過程の概念地図を、図7に示す。水蒸気爆発に関わる多様な現象を観察するため、日常生活で使用する身近な油を用いて、高温の油で水を爆発的に沸騰させる実験を含む9種類の実験を報告した。油類への注水による爆発危険の事前察知が困難な理由は、水の温度が上昇して沸点を超える過程を認識していないためであると仮定し、水が過熱される過程を捉えられるようにするため、気体に接触し高温の油に閉じ込められていない水と、高温の油に閉じ込められた水の、状態変化の速さを比較観察させる映像を作成した（図8）。加えて、図7の概念地図を教材用に簡略化するとともに、油に蓄えられる熱エネルギーの量には限界があることを認識できるようにするため、燃烧油への注水時における水の挙動が油と水の沸点の温度差によって大きく異なることを観察させる実験（図9）を用いて、燃烧している油への注水危険を学習するプログラムをデザインした。同プログラムを消防研修用の教材に組み込み、副教材という位置づけで冊子教材と解説映像教材を編集・作成した。消防大学の学生に配布してアンケート調査を行った結果、概念や仕組みの理解に観察実験が有効であること、伝熱と潜熱の移動に関する教材が別途必要であること、災害事例を文脈とする消防の科学実験は多様な学習者の資質・能力を育成できる可能性をもつこと、等が分かった。

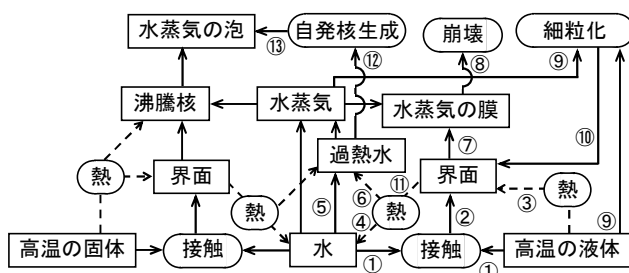


図7 水の沸騰の過程

- ① 水が高温の液体と接触する。
- ② 接触すると界面ができる。
- ③ 高温の液体から界面に熱が伝わる。
- ④ 界面から水に熱が伝わる。
- ⑤ 水が過熱水になる。
- ⑥ 界面から過熱水に熱が伝わる。
- ⑦ 界面に水蒸気の膜ができる。
- ⑧ 水蒸気の膜が崩壊する。
- ⑨ 水蒸気が高温の液体を細粒化する。
- ⑩ 細粒化すると界面ができる。
- ⑪ 界面が増えると熱が速く伝わる。
- ⑫ 過熱水が自発核生成（温度）になる。
- ⑬ 自発核生成が起こると水蒸気の泡が急激に増える。

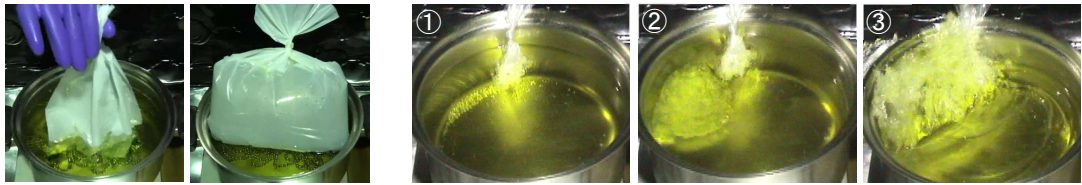


図8 高温の油に閉じ込められていない水（左）と閉じ込められた水（右）の状態変化



図9 低沸点の燃焼油（左）と高沸点の燃焼油（右）への注水時の火炎と水の挙動

③ 小学校第6学年「燃焼の仕組み」における「窒息消火」の教材開発

ろうそくの消炎実験を通じて消炎（「反応速度」概念）の意味理解を深める教材を設計するために作成した、燃焼過程と燃焼の停止過程の概念地図を、図10と図11に示す。ろうそくの消炎を発熱と放熱の間の「熱のつり合い」のバランス変化の帰結として捉えることが困難な理由は、火炎の温度が変化する過程を認識していないためであると仮定し、火炎温度の指標となる光と色に着目させるため、「ろうそくの火にビーカーをかぶせると、火のオレンジ色の部分と青色の部分は、どちらが先に消えるか」という問いを設定した。「熱のつり合い」のバランス変化を水を用いて説明し、燃焼を維持できる熱エネルギーの量には限界があることを認識できるようにするため、ろうそく火炎とししおどしの対応づけ（図12）を行い、冊子教材（図13）とウェブ教材の作成を進めた。

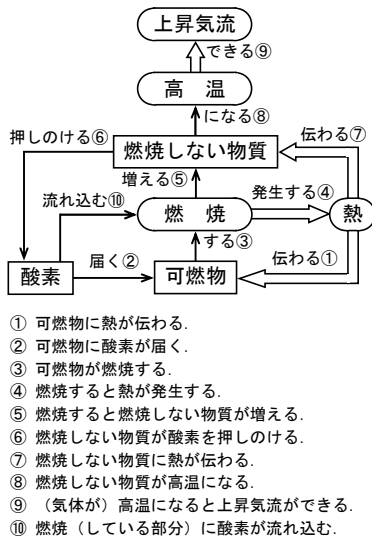


図10 燃焼の過程

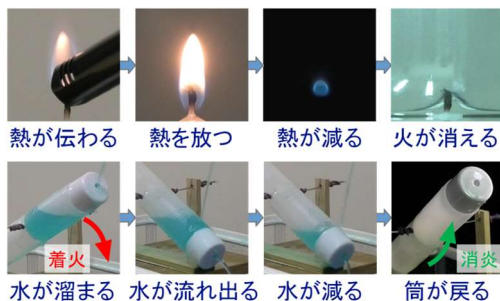


図12 火炎とししおどしの比較

今後、「水蒸気爆発」と「窒息消火」のウェブ教材を公開し冊子教材と解説映像教材を完成させ、「収れん火炎」の教材とともに実践による検証を行い、さらに初等中等理科における防火教育カリキュラムを構造化・精緻化し、教員用の技術資料を作成する。

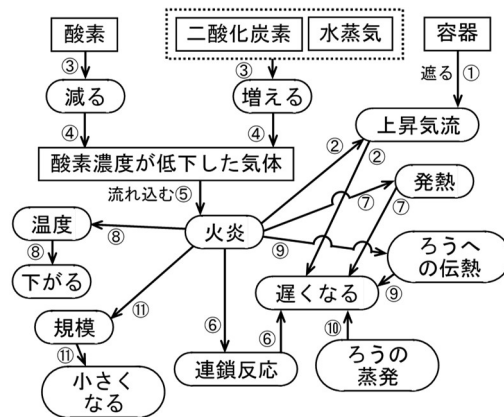


図11 容器の中のろうそくの燃焼の停止過程



図13 冊子教材(青炎と輝炎の観察)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 野村 祐子	4. 巻 42
2. 論文標題 小学校理科における体系的な防火教育	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 268-270
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14935/jssej.42.268	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 野村 祐子	4. 巻 33(4)
2. 論文標題 小学校理科における光の性質を活用した防火教育教材の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 97-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14935/jsser.33.4_97	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 -
1. 著者名 野村 祐子	4. 巻 34(6)
2. 論文標題 燃焼を理解するための概念地図の作成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 61-66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14935/jsser.34.6_61	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 -
1. 著者名 野村 祐子	4. 巻 34(8)
2. 論文標題 水の状態変化と水蒸気爆発を理解するための教材の作成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 9-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14935/jsser.34.8_9	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 -

1. 著者名 野村 祐子	4. 巻 35(1)
2. 論文標題 固体可燃物の発火の仕組みを理解するための教材の作成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	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) 10.14935/jsser.35.1_29	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 -

1. 著者名 野村 祐子	4. 巻 35(5)
2. 論文標題 消火の仕組みを理解するための教材の作成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 33-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jsser.35.5_33	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 -

1. 著者名 野村 祐子	4. 巻 35(7)
2. 論文標題 水の状態変化と水蒸気爆発を理解するための教材の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 5-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jsser.35.7_5	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9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 燃焼を理解するための概念地図の作成
3. 学会等名 日本科学教育学会2019年度第6回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 水の状態変化と水蒸気爆発を理解するための教材の作成
3. 学会等名 日本科学教育学会2019年度第8回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 災害の三角形 統合的・継続的な防災教育を理科の授業に実装するための概念装置の提案
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 小学校理科における光の性質を活用した防火教育教材の開発
3. 学会等名 日本科学教育学会2018年度第4回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 防災対策に影響を与える社会的要因と心理的要因 国際学力調査が駆動する理科教育カリキュラムの自己組織化
3. 学会等名 科学技術社会論学会第17回年次研究大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 固体可燃物の発火の仕組みを理解するための教材の作成
3. 学会等名 日本科学教育学会2020年度第1回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 消火の仕組みを理解するための教材の作成
3. 学会等名 日本科学教育学会2020年度第5回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村 祐子
2. 発表標題 水の状態変化と水蒸気爆発を理解するための教材の評価
3. 学会等名 日本科学教育学会2020年度第7回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村 祐子・寺田 光宏
2. 発表標題 エネルギー概念の形成を志向する消防を文脈としたカリキュラムの開発
3. 学会等名 日本科学教育学会第45回年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

キッズページ | 消防庁消防大学校 消防研究センター
http://nrifd.fdma.go.jp/public_info/kids/index.html

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------