

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500825

研究課題名（和文） 新学習指導要領実施を見据えた中学校物理単元の指導法の改善

研究課題名（英文） Improvement of teaching methods on physics lesson in secondary school taking account of enforcement of new course of study

研究代表者

伊東 明彦（Ito Akihiko）

宇都宮大学・教育学部・教授

研究者番号：70134252

研究成果の概要（和文）：

永年にわたって内外の研究者が指摘し続けているにもかかわらず、未だに「力」概念の学習は中学生にとって困難であり、理解されていない実態が改めて明らかとなった。「力」概念の獲得を促進するため本研究代表者らが開発した力表示器「Fi-Cube」の機能の検討を行い、理科授業でより使いやすいものに改良することができた。「Fi-Cube」を実際に授業で使用してその効果を検討した結果、「Fi-Cube」を用いた指導法が中学生の「力」概念の獲得を促進する上で大きな効果を持っていることが示された。

研究成果の概要（英文）：

The difficulty of developing the concept of the force for young students has been pointing out by many researchers for long time. We made clear that many amounts of secondary school students still cannot understand the force in spite of many suggestions by previous studies. We had developed a force indicator named "Fi-Cube" before this study in order to assist students' understanding of the force. In this project, we have succeeded to improve "Fi-Cube" so that it becomes more useful and effective in science lesson of secondary school and/or high school. We also showed that the usage of "Fi-Cube" in physics class in secondary school have great advantage for improvement of students' understanding of force through practical study.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：分科「科学教育・教育工学」・細目「科学教育」

キーワード：理科教育，中学校物理分野，力学概念形成，力表示器，学力調査標準問題，授業改善，教材開発

## 1. 研究開始当初の背景

2003 年に行われた TIMSS 調査では、日本の中学生の理科の学力は国際的に高い水準を堅持しているものの、理科の学習が楽しいと思っている中学生の割合は調査実施国中

の最低グループであることが指摘された。図 1 は、宇都宮大学教育学部の学生約 180 名に聞いた理科の好き嫌いについての回答結果であるが、この図からも理科を好きな学生は約 40%程度と決して多くはないことが分かる。

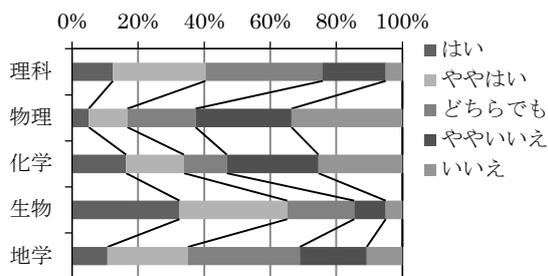


図1 大学生の理科の好き嫌い

さらに重要な点として、好き嫌いは科目間で大きな隔たりがあり、特に物理を嫌いな学生が極めて多いということが指摘できる。

物理が嫌いな理由として、多くの学生が物理の難しさを挙げている。物理分野の学習内容が中高生にとって理解困難であるという指摘はこれまでも多くの研究者によってなされている。

以上から考察すると、中学生から理科嫌が増える一つの要因は、物理分野の学習が多くの中学生に理解されていないことであるといえよう。理解が不十分なために興味もわかず嫌いになるのではないかと考えられる。したがって、中学校の理科、特に物理分野における理解度を向上させることが、理科への興味関心を高めるために極めて重要であると言える。

平成20年3月に小中学校の学習指導要領が改訂され、特に中学校においては理科の授業時間が大幅に増やされた。学習内容も増加しているとはいえ、学習時間の増加は中学校理科授業にある程度のゆとりをもたらすものと考えられる。今こそ、生徒が真に考えることを通して、実感を伴った理解を獲得し、達成感を感じられる理科授業を実現すべき好機であると考えられる。しかしそのためには、現在の理科授業の中身あるいはカリキュラムを真剣に検討し、物理領域の理解の改善を図らなければならない。さもないと、20年前に問題とされた落ちこぼれを再び増やすだけに終わるのである。

## 2. 研究の目的

本研究では、中学校理科の中でも生徒の科学概念の形成に大きな問題があると思われる「力と運動」および「電気」の2単元に着目し、次のようなことをねらう。

- これまでの研究で効果が認められる教材のより有効な利用方法を確認する
- それらを生かした物理領域のカリキュラムを開発する
- 開発したカリキュラムの有効性を実証的に検証する。

## 3. 研究の方法

本研究においては、以下のような手順で研究を進めた。

まず、平成20年版学習指導要領において復活した「仕事とエネルギー」や、従来から指摘されている「力と運動」に関する中学生の実態を把握するため、理解度調査を実施した。

その結果を踏まえ、生徒の力概念の理解を促進するために有効な教材として力表示器「Fi-Cube」を取り上げ、その改良に取り組んだ。

「Fi-Cube」を活用した中学校における力と運動単元の指導法を考案し、授業実践を通してその有効性を検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 中学生の力学概念の実態調査

#### ① 仕事概念、エネルギー概念

平成20年版中学校理科学習指導要領では、平成元年版で削除された「仕事」が復活し、平成21年から移行措置として中学校における仕事の学習が始まった。これを受け、本研究では、「仕事とエネルギー」の学習を終えた中学生が、「仕事」と「エネルギー」をどのように理解したのかを調査した。同時に、「仕事」が扱われない旧教育課程を学習した現在の大学生がどのような「仕事」概念と「エネルギー」概念を持っているのかを調査した。大学生に対する調査は平成21年7月、中学生に対する調査は平成21年9月～10月に行った。調査人数は大学生が54名、中学生が156名であった。

調査の結果、仕事を正しく説明できた回答者の割合は、中学生と大学生の間に全く差がなく、いずれもわずか20%であることが分かった。大学生といえども、中学時代に「仕事」を学習していないので、その後高校で物理を履修しないと、「仕事」については全く学習していないことになる。そのような大学生は、仕事に関する概念が全く欠落していると考えてよい。

中学生は仕事の学習をしたばかりであったため、仕事の定義式「力(N)×距離(m)」や仕事の単位「J」は65%の生徒が正答している。にも関わらず、仕事とは力を加えた向きに運動した量であることを理解している生徒は20%に過ぎなかったということである。このことから、今後の指導方針として、単に計算方法や単位を教えるだけではなく、仕事とは何か、エネルギーとの関係は何かなど、定性的な理解、概念的な理解を図る工夫が必要であるといえよう。

一方、エネルギーを正しく説明できた回答者の割合は、中学生が約49%、大学生が約33%であり、中学生の方が大学生より高かった。中学生の正答率が比較的高かったのは、

中学生が仕事とエネルギーの学習をした直後であったことによると思われるが、それでも正答率が約5割という結果は、エネルギーという概念の分かりにくさを表していると言えよう。また、大学生の回答結果は、日常的に様々な場で使われるエネルギーという言葉のいかにあいまいに理解しているかを表している。

このように、今回の調査に限ってみても、仕事やエネルギーという概念の理解は中学生にはなかなか困難であると思われる。仕事とエネルギーに関する学習は中学校において再開されたばかりであるが、生徒の理解の実態を十分に把握しながら、生徒の概念的理解を図る工夫が必要であると考えられる。

## ②力の表記法に関する理解度調査

力の学習においては、物体に働く力を矢印で表記する。しかし、この矢印で力を表す方法については、これまで多くの問題点が指摘されている。中山・松原(1989)は、力を矢印で表記する際にいくつかの誤ったルールを適用していることが誤答の原因であると述べている。これに対して、遠藤(2004)は、同様の調査を行い、中山・松原(1989)が指摘するようなルールを用いて矢印を解釈している生徒はほとんどいないことを示し、生徒たちが別のルールを用いて矢印を解釈していると述べている。

このように、力を表す矢印に対する誤ったルールが学習者の中に存在することは何人かの研究者によって指摘されているが、そのルールについては解釈が分かれている。

そこで本研究では、学習者に力の矢印を読み取らせる調査を再度実施し、学習者がどのように矢印を理解しているかを探ってみた。

調査は、宇都宮大学附属中学校の生徒462名(1年生151名、2年生155名、3年生156名)を対象として、2009年10月に実施した。どの生徒も、中学校1年次に「身の回りの物理現象」の単元において力の矢印による表記法について学習している。

調査問題は3つの設問からなる。どの設問もそれぞれ一枚の図に示された2~4の矢印がどんな力であるかを「○○が□□を△△する力」のような形式で解答するものである。○○、□□、および△△に入る語は選択肢として与えられている。

その結果、3つの設問に示された合計9個の矢印全部に正答できた生徒はわずか22%に過ぎなかった。誤答者がどのような理由で誤った解答をしたのかを解明するため、設問ごとに生徒の解答の内容を分析し、その解答をもたらし得るであろうルールを推測した。その結果を図2に示す。

図2からは、以下のようなことが分かる。まず、設問によっては、いくつかの典型的な

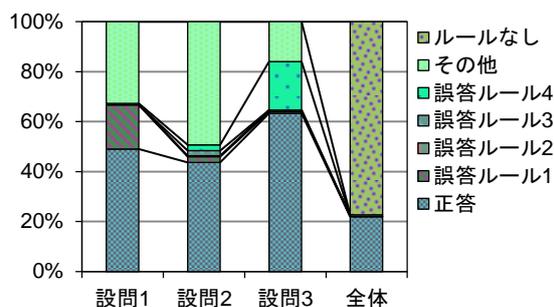


図2 設問ごとの解答ルール分布

誤答ルールがみられる。例えば、設問1では、「矢印の根本の方にある物体から、矢印の先端の方にある物体に力が働く」という中山・松原(1989)が指摘した誤答ルール(図2の誤答ルール1)が、設問3では「矢印の根本にある物体が、矢印の先端の方にある物体に引かれる」という新たな誤答ルール(同4)が比較的多く用いられている。しかし、すべての設問に対して共通の誤答ルールを適用している生徒(図3の「全体」のグラフ)はほとんどいなかった。

中山・松原(1989)は、誤答する生徒が力の矢印に対して誤った記号的解釈をしていると指摘しているが、本研究で明らかになったことは、記号的に解釈することそのものができていないということである。本研究の調査から分かったことを踏まえ、今後力の矢印表記の指導をする上で、学習者に正しい解釈の仕方を定着させるために、以下のような点に留意して指導することが必要であると考えられる。

1) 力を矢印で表す際には、ある定められたルールに従って矢印を描いていることを理解させる。

2) 矢印は、その始点が描かれている物体に働く力を表しているということを理解させる。

中山・松原(1989)の指摘から既に20年以上経過しているにもかかわらず、彼らが指摘した力の表記法に関する生徒の理解の問題点が全く改善されていないということは、極めて重大である。現場の教員に、このような生徒の実態を正しく認識してもらい、上記の留意点に留意した学習を展開していくよう促していくことが重要であると考えられる。

## ③中学生の慣性の法則に関する理解

中学校理科の中で生徒たちが形成しにくいと指摘されている力概念の理解の実態を把握するために、日本の中学生向けの標準となるような力に関する調査問題を作成した。調査問題の作成に当たっては、FCIやFMCE等の既存の力学概念調査を参考にし、「力は2物体間の相互作用である」と「力は物体の運動を変化させる」ことを理解しているか

どうかを明らかにすることに焦点を当てた。作成した問題は全4問であり、それぞれ力という語の用法、慣性の法則、作用・反作用、及び、物体の投げ上げに関する問題となっている。

作成した標準調査問題を用いて、中学生の力概念の実態を調査した。その結果、「物体に力が宿る」という考え方や、MIFなどのこれまでもその存在が繰り返し指摘されてきた素朴概念が、現在の中学生においても依然として根強く残っており全く改善されていないことが明らかとなった。

ここでは特に重大な問題があると思われる慣性の法則に対する中学生の理解の実態について示す。図3は、静止している箱と等速ですべっている箱に働く力を矢印で記入させる問題に対する中学生3年生246人の回答結果である。調査対象となった中学生は慣性の法則について学習した直後であった。注目すべきは、等速で運動している箱には運動方向に力が働いているといういわゆるMIF誤概念が明確に表れていることである。その結果として、静止と等速状態にある箱に働く力が異なると回答している生徒が80%以上に上っている。

今回の力についての調査は、中学校1年から3年までの全学年を対象として実施されたが、学年による正答率にはほとんど差がなかった。すなわち、学習の有無にかかわらず「一般的な中学生は、力とは何か?ということをも根本的に理解していない」ということが明らかとなった。

このような状況を改善するためには、力とは運動の様子を変化させるものであるということをも、明確に生徒に理解させる必要がある。また、多くの生徒は、押した力がそのまま物体に残っていると考えているようである。よって、「力は2物体間の相互作用でありもの

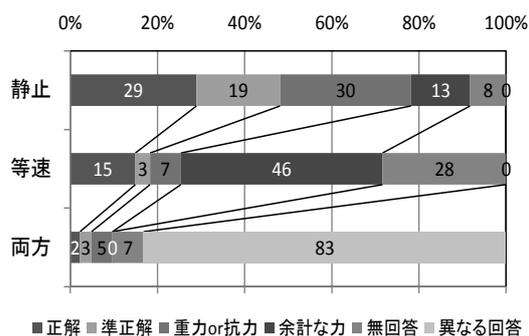


図3 慣性の法則の問題に対する中学生の回答

に宿るのではない」ということを徹底するとともに、いつ物体に力が働いているのかを明確に示すことが必要であると考えられる。

## (2) 力表示器「Fi-Cube」の改良

### ①ファームウェアの改良

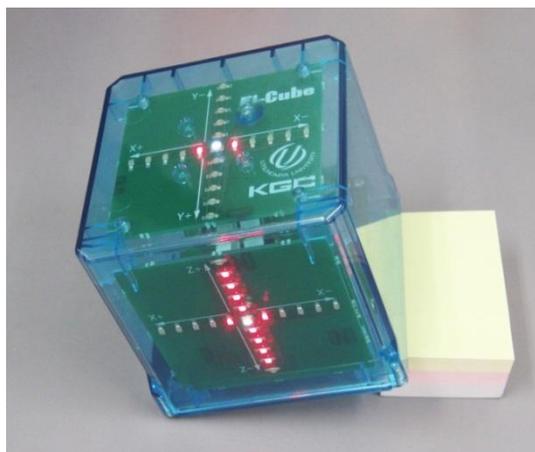


図4 Fi-Cube Ver.4

伊東・渡辺(2009)によって開発された力表示器「Fi-Cube」は、一辺約10cmの直方体の内部に3次元加速度センサーを備え、計測した加速度を、力として表面に配置されたLEDの点灯により表示する装置であり、本来目に見えない力を学習者に提示できるという新しい教材である。本研究の開始時点では、Fi-CubeはVer.2まで開発が進んでいた。しかし、Ver.2には、Z軸方向には加速度運動をさせてはいけない、すなわち、Z軸方向に働く力は表示できないということと、本体の傾きはX-Z平面内に限られる、という2つの使用上の制約があった。

本研究では、Fi-Cubeの使用上の制約をなくすため、ファームウェアの改良を試みた。その結果、加速度のXYZ成分すべてについて、短時間平均(S)と長時間平均(L)を計算し、その差を利用することにより、Ver.2が持っていた2つの制約をなくすことに成功した。このFi-Cubeの改良は、宇都宮大学より特許出願された(出願整理番号P09-037)。以下では、改良後のFi-CubeをVer.3と呼ぶことにする。

Ver.3では、Z軸方向に働く力も表示することができるようになり、自由落下運動の際にはどちらを下向きにしても正しい表示ができるようになった。これらの改良により、授業等における利用の際に、生徒に対して使用上の制約に関する余計な説明をする必要がなくなり、より力と運動の関係を理解しやすくなることが期待される。

### ②株式会社計測技研との共同研究

Fi-Cubeの製作を依頼している株式会社計測技研は、Fi-Cubeの製品化を目指して栃木県の平成22年度ものづくり技術強化補助金事業に応募し、補助金を得ることに成功した。この補助金を利用して、計測技研では筐体を製作するための金型を鋳造し、これを用いて300台の新規のFi-Cubeを製作した。その際、LEDの配置を若干変更し、内部の加速度センサーを耐久性の高いものに変更した。こうし

て完成したものを、Fi-CubeVer.4 と呼ぶことにする (図 4)。

計測技研と宇都宮大学は、この Fi-Cube Ver.4 を用いて、Fi-Cube の製品化に向けた共同研究「Fi-Cube の生産コスト低減及び Fi-Cube を使用した授業方法の研究」を立ち上げた。この共同研究では、Fi-Cube の生産コストを 2 万円前後にするための工夫をするとともに、全国各地の中学校・高等学校の教員に協力を依頼し、Fi-Cube を貸与し授業で使ってもらうことを通して、授業におけるより効率的な Fi-Cube の使用法を追求した。平成 23 年度末時点における貸出先は 34 学校、貸し出し数は 270 台となっており、現在も各学校において授業における試用が行われている。

### (3) Fi-Cube を用いた授業改善に関する実践的研究

2010 年、2011 年には Fi-Cube を用いた中学校「力と運動」単元における授業改善に関する実践的な研究を行った。ここでは 2011 年の成果について述べる。

授業実践対象校は、栃木県内の公立中学校とした。3 年生 1 クラス 33 名に対して 2011 年 4 月から 5 月にかけて授業を実施した。通常 15 時間扱いの「運動とエネルギー」単元において、1 時間目から 8 時間目は本来の担当教員が授業を行い、9 時間目から 15 時間目までを宇都宮大学大学院教育学研究科に在籍中の現職教員が担当し、Fi-Cube を活用して授業を実施した。授業においては、Fi-Cube を随時取り入れ、物に働く力を目で見る場面を多く取り入れた。

授業実践の効果を検討するため、授業実践の前後および授業実践 2 か月後の計 3 回にわたって、生徒の力概念の理解度調査を実施した。その際、授業実践を実施したクラスとともに、比較のため授業を実施しないクラスについても同じ調査を実施した。以後、授業実践をしたクラスを実験群、授業を行わなかつ

たクラスを統制群とする。

ここでは、理解度調査問題のうち、事前、事後、保持の 3 回の調査に共通した「慣性の法則問題」を中心に、授業実践の効果について検討していく。

図 5 は、慣性の法則問題に対する統制群および実験群の事後調査における回答結果を示している。これを見ると、実験群と統制群の間には明確な差がみられる。統制群では静止問題の正答率は約 30%、静止、等速両方の正答率は約 10%であったのに対し、実験群では静止問題の正答率が約 80%、静止、等速両方の正答率は 45%と、ともに有意な差が見られた。事前調査においては実験群と統制群の間には大きな差は見られず、静止、等速両方の正答率はほとんど 0%であった。よって、Fi-Cube を用いた授業実践が、慣性の法則問題に対する理解を大幅に増加させたといえることができる。

また、授業実践の 2 か月後に実施した保持調査においても、実験群の正答率は統制群に比べて有意に高くなっており、Fi-Cube を用いた授業が生徒の理解度を大幅に上昇させたといえることができる。保持調査における実験群の正答率は授業直後の正答率とほとんど同じであり、授業実践によって力と運動の関係について理解できた生徒に関しては、その理解が科学的な概念形成に至ったと考えられる。

このように、今回示した授業改善案は、力と運動に関する理解が不十分であるという現状を劇的に改善する可能性のあるものといえることができる。今回の提案を基に、今後 1 年次の指導方法も含めて力に関する指導法を大きく改善していく必要があると考えられる。平成 23 年度の授業実践の結果については、現在論文として公表する準備をしている。

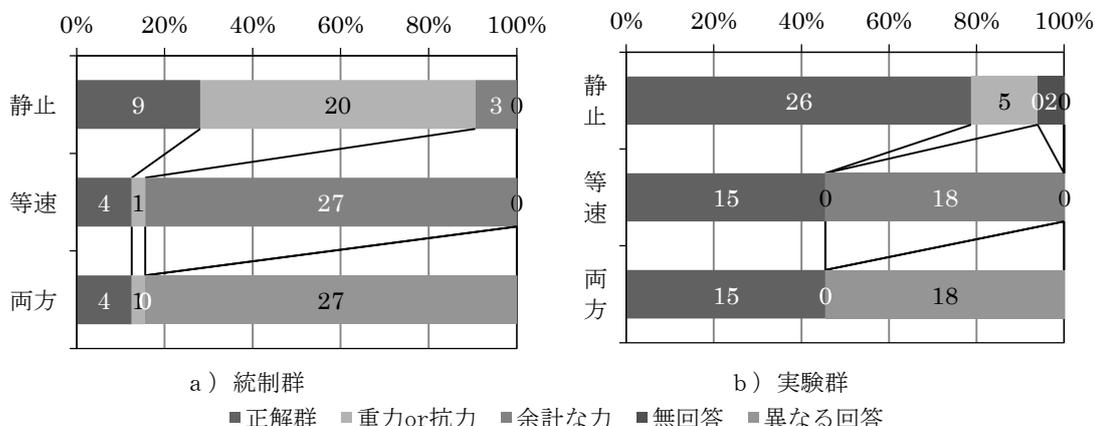


図 5 慣性の法則問題に対する回答 (事後調査)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

1. 古平暁子・伊東明彦, 中学校理科「力と運動」概念形成に関する研究—力を目で見る授業の実践とその効果—, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, 35, (投稿中), 2012 (査読無).
2. 南伸昌・渡邊剛士・伊東明彦, 力表示器「Fi-Cube」を活用した, 中高での授業実践, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, 33, 77-83, 2010 (査読無).
3. 金子健治, 小林辰至, 伊東明彦, 渡辺一博, 中学生の「斜面上の物体の運動」の指導方法に関する研究—台車を水平面上で一定の大きさの力で引く実験を取り入れることの効果, 理科教育学研究, 50, 31-38, 2009 (査読有).
4. 伊東明彦・渡辺一博, 力の学習を支援する力表示器「Fi-Cube」の製作と授業実践, 宇都宮大学教育学部紀要, 59-2, 13-26, 2009 (査読無).

[学会発表] (計8件)

1. 伊東明彦・古平暁子・慶野利幸, 力のイメージを育てる力表示器「Fi-Cube」-量産型の開発と研究協力者の募集-, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 9, WS-03, 2011. 8. 21, 島根大学.
2. 古平暁子・伊東明彦, 中学生の力概念の形成に関する研究-力を目で見る授業の実践と力概念調査の結果より-, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 9, 1F-02, 2011. 8. 20, 島根大学.
3. 伊東明彦・鈴木葉子・古平暁子・渡邊晴香, 力のイメージを育てる力表示器「Fi-Cube」の開発(3)—新アルゴリズムの採用による汎用性の向上, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 8, 453, 2010. 8. 8, 山梨大学.
4. 渡邊剛士・伊東明彦・渡辺一博, 概念地図を用いた「力と運動」単元における概念変容の評価—力表示器「Fi-Cube」の効果—, 日本理科教育学会第48回関東支部大会研究発表要旨集, A4-04, 2009. 11. 1, 宇都宮大学.
5. 立花由美・渡邊剛士・伊東明彦・南伸昌, Fi-Cubeを用いた授業実践報告, 日本理科教育学会第48回関東支部大会研究発表要旨集, A4-03, 2009. 11. 1, 宇都宮大学.
6. 伊東明彦・渡辺一博・渡邊剛士・南伸昌, 力のイメージを育てる力表示器「Fi-Cube」の開発(2), 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 7, WS-03, 2009. 8. 19, 宮城教育大学.

7. 渡邊剛士・伊東明彦・渡辺一博, 概念地図を用いた「力と運動」単元における概念変容の評価—力表示器「Fi-Cube」の効果—, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 7, 2G-02, 2009. 8. 18, 宮城教育大学.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 視覚的力表示装置並びに視覚的力理科教材及び科学玩具

発明者: 伊東明彦

権利者: 宇都宮大学

種類: 特許願

番号: 整理番号 P09-037 (特願 2010-101671)

出願年月日: 2010年4月27日

国内外の別: 国内

[その他]

1. 平成21-23年度科学研究費補助金(基盤研究C)研究成果報告書, 新学習指導要領実施を見据えた中学校物理単元の指導法の改善, 研究代表者・伊東明彦, 2012年2月.
2. 理科教室, Fi-Cubeを用いた授業の実践記録, 小川千尋, 2012年2月号.
3. 日本教育新聞, 新しい理科教材のご紹介 Fi-Cube, 2011. 10. 17.
4. 啓林館, 授業実践記録(理科), [http://www.shinko-keirin.co.jp/j-kadaiscie/1101\\_2/index.htm](http://www.shinko-keirin.co.jp/j-kadaiscie/1101_2/index.htm)
5. 宇都宮大学教育学部理科教材のページ, <http://rikyoa.sci.utsunomiya-u.ac.jp/Fi-Cube/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

伊東 明彦 (ITO AKIHIKO)

宇都宮大学・教育学部・教授

研究者番号: 70134252

(2)研究分担者

人見 久城 (HITOMI HISAKI)

宇都宮大学・教育学部・准教授

研究者番号: 10218729

南 伸昌 (MINAMI NOBUMASA)

宇都宮大学・教育学部・准教授

研究者番号: 80292572

(3)研究協力者

渡辺 一博 (WATANABE KAZUHIRO)

宇都宮市立築瀬小学校教諭

渡邊 剛士 (WATANABE TSUYOSHI)

栃木県立黒磯高等学校講師

古平 暁子 (KODAIRA AKIKO)

栃木市立栃木西小学校教諭