

## 9章1節8 物理基礎「フックの法則」

### 1 物理基礎「フックの法則」

授業者：杉田俊也 12月15日 4時 クラス 1-7

本質目標	フックの法則がある範囲で様々な素材で成り立つ、汎用性の高い法則であることを学ぶ。	
本質的な問い	「フックの法則が適用できる物質は何か」(本時)	
達成目標	<p>①実験を通し、フックの法則がある範囲で様々な素材で成立することを理解するとともに、適用限界(弾性限界)があることも実感を伴って理解する。</p> <p>②グラフから「言い得ること」と「推測できること」を峻別し、英語で表現することができる。</p> <p>③物質の弾性の特質を理解したうえで、その有効な活用について考案することができる。</p>	
レディネス	力のつり合いまでは学習済みであり、発展的な学びとして本授業を位置づける。	
関連項目	大学での材料工学の学びへの導入として位置づけられる。	
扱う内容	E	○物質の弾性の特質をふまえたうえで、物質の有効な活用の仕方について考える。
	C	○フックの法則が適用できる物質にはどのようなものがあるか考える。 ○実験によって得られたグラフから、「言い得ること」と「推測できること」を見だし、英語で表現する。
	I	○しつけ糸を利用したフックの法則の実験を行い、実験結果をグラフで表現する。
達成の手立て	フレーム構成	C 1 → I → C 2 → E
		<p>C 1: フックの法則が成立する物質は何か考える。5分 →ばねやゴム以外の特徴的な事例があれば、他生徒にも共有する。</p> <p>I: しつけ糸を用いてフックの法則の実験を行う。 2.5分</p> <p>C 2: グラフから「言い得ること」と「推測できること」を見だし、英語で表現する。2.5分 →英語で表現する際に必要になるとと思われるイディオムや英文作成のヒントは、予め与える。「言い得ること」と「推測できること」をそれぞれ少なくとも1人1文は考えさせる。</p> <p>E: 物質の弾性の特質を社会や身の回りの課題に関連付け、解決策を考える。【課題】</p>
コア(論点)	フックの法則が成立するものの例として、ばねやゴムなどの弾みを感じられるものを挙げるができるが、弾みを感じられない他のものでも成立するのだろうか。	
振り返り	<p>① 1時間の中で実験を行って結果をグラフ化し、そこから「言い得ること」と「推測できること」を峻別して英文で表現するのは、生徒たちにとっては大変であった。</p> <p>② 「関連付ける力」でEフェーズに到達できたと教員評価をした生徒の人数は、前回クロスカリキュラムを実施したときよりも増加し、実施の効果が見られた。</p>	
デザイン要素	新規、意外、刺激、探究、使命、協働、貢献、身体、面白、社会、持続	

## 問いの構造化

	Ideas	Connections	Extensions
導入展開の問い		①フックの法則が成立するものにはどんなものがあるか。あなたの考えを記入しなさい。	
洞察を促す問い	②実験から得られたデータを基に、グラフを作成しなさい。	③実験で得られたグラフから、「言い得ること」と「推測できること」を見だし、各自それぞれ少なくとも1文ずつ英語で表現しなさい。	
本質的な問い			④本時で学習した物質の弾性を社会や身の回りの課題に関連付け、解決策を考えなさい。

## 生徒の変容

	Ideas	Connections	Extensions
教科・科目に特有の知識・技能	<ul style="list-style-type: none"> <li>自分の考えを辞書を用いながら英語で表現することができる。</li> <li>実験を行い、得られた値をグラフ化することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験によって得られたグラフから「言い得ること」と「推測できること」を見だし、英語で表現することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物質の弾性を社会や身の回りの課題に関連付け、解決策を考えることができる。</li> </ul>
教科・科目に特有の見方・考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験結果をグラフで表すことができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「言い得ること」と自身の推測が混じる「推測できること」を峻別したうえで、実験によって明らかになったことを表現することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>学習した概念を社会的な課題に関連付け、解決策を考案することができる。</li> </ul>
汎用的な能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>自身の概念を確認、あるいは拡張するために必要な情報を得るための実験を行うことができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たに明らかになった事実から既存の概念の拡張の必要性を認識し、概念の再体制化をすることができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな事実を基に更新された概念を離れた文脈で応用し、これまで解決できなかった課題を解決することができる。</li> </ul>

## 評価

	Ideas	Connections	Extensions
知識・技能	A・B・C・D [ ]	A・B・C・D [ ]	A・B・C・D [ ]
見方・考え方	A・B・C・D [ ]	A・B・C・D [ ]	A・B・C・D [ ]
汎用的能力	A・B・C・D [ ]	A・B・C・D [ ]	A・B・C・D [ ]

## 2 フックの法則の実験（観察力、関連付ける力）

キーワード：ICE モデル、CanBeMap、物理基礎、クロスカリキュラム、フックの法則、観察力、関連付ける力

### 1 授業の概要

日本の物理教科書と海外の物理教科書では、フックの法則に対する扱いが異なる。日本の場合、様々な力があるうちの1つとして弾性力があると導入され、主につるまきばねでフックの法則が成立することを学習し、以降の学習内容の進展はない。しかし、イギリスの物理教科書の場合 [1]、フックの法則を材料工学の導入として位置づけて学習はさらに専門的な内容に進んでいき、ヤング率までを扱う。フックの法則の実験に関してもワイヤーなど、フックの法則の成立が容易に予想できない素材も用いて行う。本授業はこのような状況に鑑みて、フックの法則が成立する素材に対する生徒たちの視野を広げることがを意図し、発展的な授業として実施した。授業は物理基礎—コミュニケーション英語 I のクロスカリキュラムの形式で行われ、測定結果の分析や、CanBeMap の作成を行う過程で、イノベータに必要な資質・能力である「関連付ける力」、および「観察力」を育成する。

### 2 本授業での ICE モデルの導入と授業の構成について

本時で育成する「関連付ける力」、および「観察力」に係る ICE ルーブリック表は以下の通り。

	I フェーズ	C フェーズ	E フェーズ
関連付ける力	おもりの質量といった設定条件と測定結果とがそれぞれ独立している。	設定条件と測定結果が関連付けられ、本実験を通して見いだすべきことが明確に示されている。	本実験を通して明らかになった物質の性質を社会や身の回りの課題に関連付け、解決策を提案することができる。
観察力	測定によって得られたグラフを見て、気づいたことを述べるができる。	グラフ全体と部分との関係から、物質の弾性の特質を捉えることができる。	観察により、新たな開発の可能性を探る問いを見いだすことができる。

表 1：ICE ルーブリック表

また、本授業の ICE モデルのフレーム構造は次の図 1 の通り（C→I→C→E）。

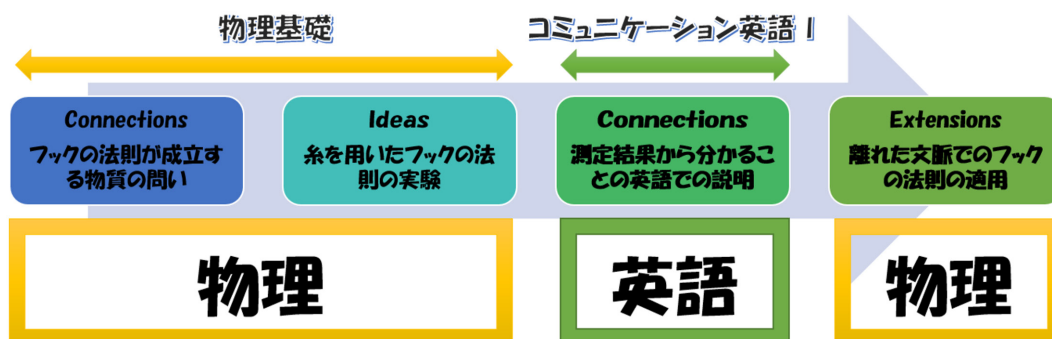


図 1：授業の ICE フレーム構造図

本授業は図1のフレーム構造に従って行った。各フェーズの説明と担当は以下の通り。

① 「関連付ける力」、および「観察力」に関するICE ループリックの提示と説明を行う。【物理基礎担当】

② フックの法則が成立する物質は何か、問いを発する。【物理基礎担当】

ばねやゴム程度しか例を挙げることができないため、1分ほどすると静かになる。ワークシートに特徴的な記述が見られた場合はチェックをしておき、後で教員側で紹介をする。

③ しつけ糸を用いたフックの法則の実験【物理基礎担当】

イギリスの物理教科書〔2〕に記載されている実験では、ワイヤーを用いて測定を行っている。しかし、実験室にあるおもり程度の負荷ではワイヤーを大きく変形させることができないため、ワイヤーを用いた測定は現実的には難しいと判断した。そのため、弾性限界に比較的軽い負荷で到達し、糸が切れる「しつけ糸」を採用し、実験を行った。実験は4人1班の班単位で行った。しつけ糸の長さは270cmと290cmの2パターンを用意した。時間の関係で各班いずれかの長さのみを測定して、他の長さで測定した班のデータは自由に席を移動して見ることができるようにした。実験装置の概要図は以下の通りである。

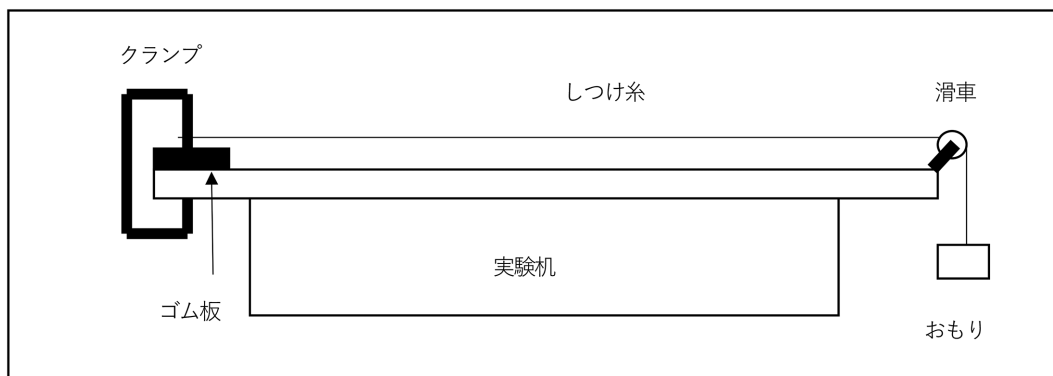


図2：実験装置概念図

なお、時間短縮のため、実験装置のセッティングも教員側でほぼ済ませた。

測定結果は以下の用紙を各班に1枚ずつ配布し、測定をしながら記入をさせた。

糸の長さ (cm)		測定データ 伸び (mm)
総重量 ( )	糸の引く力の大きさ (N)	

糸の引く力の大きさ (N)													

伸び ( )

図3：測定結果記入プリント

#### ④簡易版 CanBeMap を英語で作成【コミュニケーション英語Ⅰ担当】

コミュニケーション英語Ⅰで学習した、データの分析結果を英語で説明したものを応用させるため、CanBeMapの作成を英語で行わせた。作成は班単位で行い、本時においては時間の関係で「言い得ること」および「推測できること」のみを記入する、簡易版のCanBeMapの作成を行った。その際、高校1年生対象であり、まだ英作文には慣れていないため、英語担当の方でCanBeMapを作成するうえで必要となるであろうイディオムの指導をし、文章の作成についてもヒントを与えた。なお、予め物理担当の方で生徒たちが作成すると想定されるCanBeMapを図5にある通り日本語で作成し、それを英語担当が見て参考にして、必要なイディオムと文章作成のためのヒントを考えておいた。CanBeMap作成の際には、図6の写真のように各自で付箋紙に記入してCanBeMapの台紙に貼るようにし、1人1文以上考えるように指示した。「思い浮かんだ問い」、および「深めたい問い」については課題とし、各自で考えさせた。

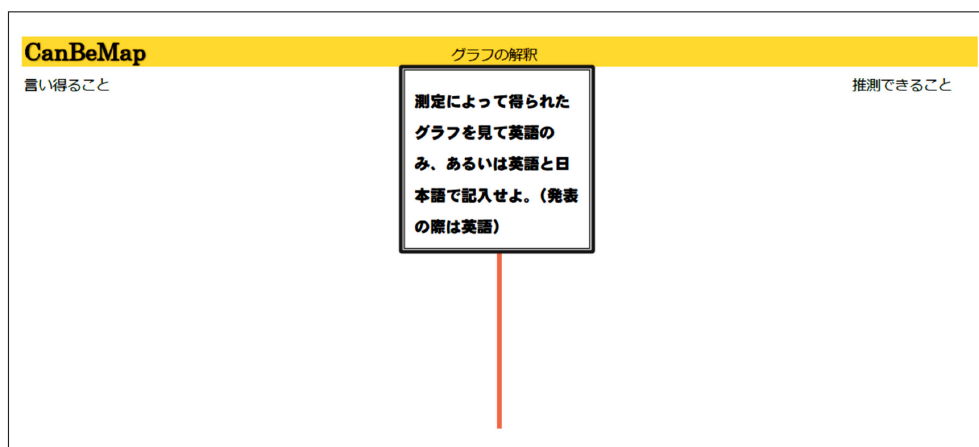


図4：簡易版 CanBeMap

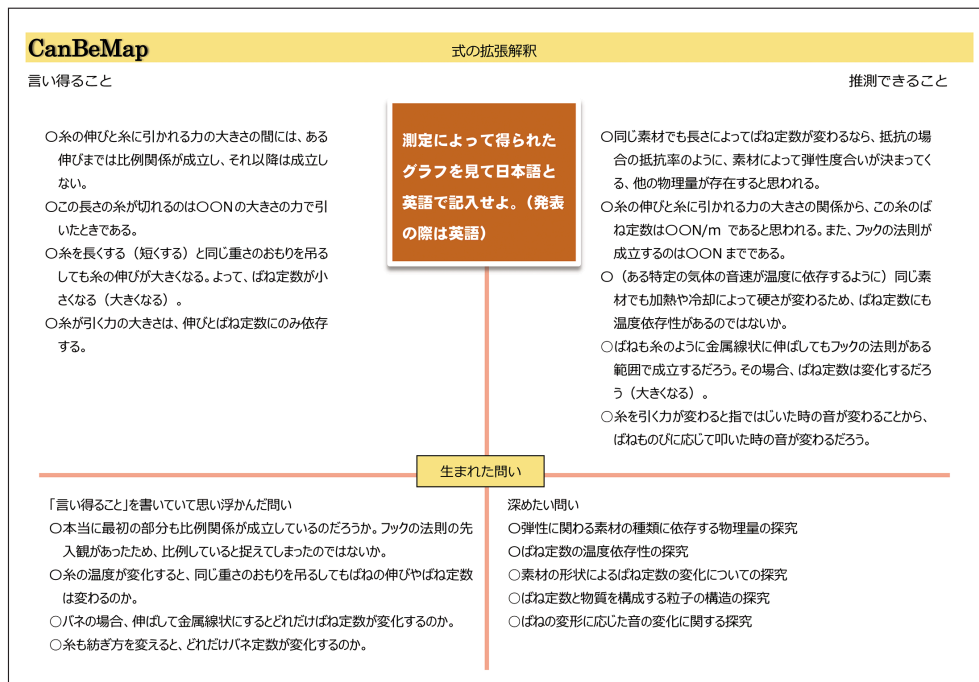


図5：CanBeMap（フックの法則版）

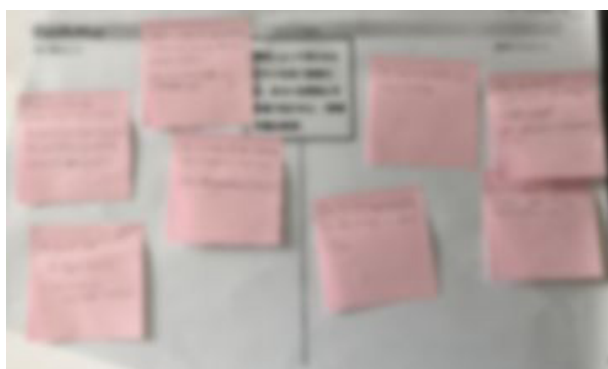


図6：CanBeMap（生徒作成例）

### ⑤クラスでの共有【コミュニケーション英語Ⅰ担当】

「言い得ること」を発表する班、「推測できること」を発表する班を1班ずつ選出し、付箋紙に書いた英文を基に発表をさせた。生徒達が考えた例を挙げると、それぞれ以下のようなものがあった。

#### 【言い得ること】

- ・ There is directly proportional relationship between the force and extension.
- ・ The increase of the extension was stopped at around ○○ mm.

#### 【推測できること】

- ・ The limit of proportionality for the string is about ○○ mm
- ・ The force constant is about ○○ N/m

### ⑥フックの法則の活用の提案、及び開発的な問いの提案【課題】

フックの法則を身の回りのことや社会に役立てるとしたら、それはどのようなものか考えさせた。これは先ほどの「思い浮かんだ問い」、および「深めたい問い」を考えることと同様に課題とした。

## 3 成果と課題

本授業の「関連付ける力」に係る活動の自己評価、および他者評価（教員評価）を行ったものは表2の通り。クロスカリキュラムによる授業、そして「関連付ける力」の育成は2回目ということもあり、徐々に生徒たちも慣れてきている様子がうかがえた。前回同様、1時間の中で様々なタスクが課されたため、かなりの認知的な負荷がかかったことは、容易に想像ができる。

しかし、教員評価の段階でEフェーズに到達できたと評価した生徒が、前回は4名であったのに対し、今回は12名と大幅に増えた。「関連付ける力」はイノベータに一番重要なスキルであり、この結果は大変好ましいものである。しかし、Iフェーズ以降のフェーズへ移行している生徒の割合は、前回とほぼ同じであったため、この点が今後の課題である。

「関連付ける力」の評価は前回同様にICEルーブリックを基に行った。Eフェーズに到達したと判断した例は以下の通り。

- ・ 体重計・量りでの活用、金属板などを使って、それが縮んだ長さを測って、かかっている力の大きさを調べる。ばねを使わない分、コンパクトにできる。

		教員評価		
		I	C	E
自己評価	I	65	24	4
	C	68	60	6
	E	0	7	2

表2：関連付ける力評価

実験から学んだことは、①変形量と力の大きさの間には比例関係が成立するが、②その限界があることである。その2点を加味し、社会に役立てることを考えると、ものづくりの材料選定に使えることが考えられる。その視点が加味されているものをEフェーズに到達したと評価したいと考えた。上に挙げた例は、金属板の弾性限界に関する視点がないため、Eフェーズの条件を十分に満たすものではなかった。しかし、開発的な視点があると考え、Eフェーズに到達したと評価した。Eフェーズに到達できなかった生徒の多くは、変形量と力の大きさの間に比例関係が成立する点までにしか着目できていなかった。

本授業の「観察力」に係る活動の評価も「関連付ける力」と同様、表3の通りに示す。

CanBeMapを導入することにより、「観察力」の育成を通常の授業の中で効果的に行うことができるようになった。「観察力」の授業場面での育成は今回が初めてである。表3からは、教員評価の段階でIフェーズ以降に位置する生徒は44%であった。今後、CanBeMapや他の効果的な教材も導入しながら、授業場面でも「観察力」を育成していきたい。

「観察力」に関しては測定によって得られたグラフを観察し、そこから深めたい問いを見いだすことができたかどうかでEフェーズに到達できたか判断した。Eフェーズの事例は以下の通りである。

・測定によって得られるグラフの形は、その材質の分子の結合の仕方とどのような関係があるのか。

今回の測定はしつけ糸の長さを2パターン用意して行い、測定結果の比較を行った。しつけ糸の長さの違いに関連付けて、しつけ糸の太さや密度を操作した場合のばね定数がどうなるかという、容易に連想できるような問いが多い中、ミクロな世界へと視点を移すことができたため、Eフェーズとした。

今回の授業実践を通し、イノベータに必要な資質・能力である「観察力」を授業実践の中で効果的に育成することができるツールがあることを認識した。観察という言葉聞いてすぐに頭に浮かぶのは理科であるが、今回導入したCanBeMapは様々な科目での導入が可能なツールである。カリキュラムデザインを行う中で、学校全体で様々な科目で導入し、「観察力」の育成を促すことができるようにしていきたい。

		教員評価		
		I	C	E
自己評価	I	45	24	0
	C	85	71	5
	E	5	6	1

表3：観察力評価

#### 《参考文献》

[1] たとえば、

Sang, D. et al.(2010). Cambridge International AS Level and A Level Physics Coursebook. Cambridge University Press. や University of York Science Educational Group. (2008).Salters Horners Advanced Physics AS Student Book (Salters Horners Advanced Physics 08). Edexcel Limited.

[2] 同上.