

学校名： 安芸太田町立 戸河内中学校 授業者： 原田 優次

教材作成者： 原田 優次

授業日時	平成 28 年 10 月 21 日 5 時間目	教科・科目	理科
学年・年次	3 学年	児童生徒数	14 人
実施内容	第 1 分野 (7) 科学技術と人間 イ 科学技術の発展 (7) 科学技術の発展	本時/この内容を扱う全時数	2/2
教科書及び教科書会社	啓林館『未来へ広がるサイエンス 3』		

授業のねらい (本時の授業を通じて児童生徒に何を身につけてほしいか、この後どんな学習につなげるために行うか)

○主なテーマ。

「はやぶさプロジェクト」と「イオンエンジン」について考察する活動を通して、「力と運動」「イオン」「エネルギーの変換」等の学習内容が、宇宙開発でも活用されていることに気付き、(得た知識が、自然や技術の理解にも役立つことに気付き)「科学技術の発展」が生活を豊かにしたり、私たちの誇りになってきたことを認識する。

○次の内容を統合する、横断的な学習をめざす。

力と運動：力が働く運動では、運動の向きや速さが変わることを見出す。

原子の構成とイオン：イオンの生成が原子の成り立ちに関係することを知る。

太陽系：適切な縮尺モデルをイメージして、太陽系の広がり認識する。

メインの課題 (授業の柱となる、シグソー活動で取り組む課題)

【問 1】 次の問いの「疑問」に、できるだけ、たくさん答えましょう。

① 『イオンエンジン』は、どんな原理で、ロケットを飛行させているのでしょうか。

①	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー源は何？ そのエネルギーをどのように変換しているの？
②	<ul style="list-style-type: none"> 何の原子をイオンにしたの？ イオンをどのように使ったの？
③	<ul style="list-style-type: none"> どんな科学の「法則」が使われているの？ なぜロケットは加速するの？

② 『イオンエンジン』は、なぜ、少ない推進剤 (燃料) で、長距離を飛行することができたのでしょうか。

④	<ul style="list-style-type: none"> 化学燃料エンジンの長所は？ 短所は？
⑤	<ul style="list-style-type: none"> イオンエンジンの長所は？ 短所は？
⑥	<ul style="list-style-type: none"> なぜ、少ない推進剤 (燃料) で、長距離を飛行できたの？

児童生徒の既有知識・学習の予想（対象とする児童生徒が、授業前の段階で上記の課題に対してどの程度の答えを出すことができそうか。また、どの点で困難がありそうか。）

①本校の年間指導計画では、「運動とエネルギー」「化学変化とイオン」「科学技術と人間」を終えて「地球と宇宙」の単元に入る。「科学技術と人間」のまとめである本時は、これまでに得た知識を統合して、社会的にも大きな話題となった「はやぶさプロジェクト」について深く考える展開とした。今後、学習する「地球と宇宙」にもつながっており、いわば、単元横断的な学習となる。例えば、今回の学習で登場する「イオン」という言葉は「マイナスイオン」「アルカリイオン飲料」「プラズマイオン」など、健康に良いもの、きれいなものといった、非科学的なイメージで一般に捉えられている。3学年で、詳しく学習した生徒にとっても「水溶液とイオンは習ったけど、イオンがエンジンになるってどういうこと？ しかも宇宙ロケットに使えるってどういうこと？」と素朴に感じる内容である。しかし、そういった疑問に対して「宇宙のこと、最先端のことなんて分かるわけないし、専門家がうまくやってるんでしょ！」と、思考停止させる場面も少なくない。しかし、「日本の科学技術の素晴らしさを理解して、誇りにしてほしい」と考えたとき、義務教育で学んだ知識を基に「自分にも基本的な原理が解明できた」という感動を得ることは意義深い。科学技術の大切さを実感すること、学びに対する見方を転換すること、そして自己有用感の育成をめざして本教材を作成した。

②中学校では「電子配置とイオンの生成」に関する学習は発展的な扱いとなる。しかし、「ナトリウムイオンはなぜ、 Na^+ なのか」といった素朴な疑問が解決しないため、「イオンは分からない。イオン式を覚えるのもつまらない。」といった感覚を持つ生徒も少なくない。そこで、本校では、原子番号 36 番クリプトンまでの電子配置は書けるように指導してきた。理科があまり得意ではない生徒も、「原子番号 20 番カルシウムの電子配置は？」と聞かれれば、「 $2 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 2$ 」と答える。遷移元素についても扱っている。本時は、54 番キセノンの電子配置を扱うが、「 $2 \cdot 8 \cdot 18 \cdot 18 \cdot 8$ 」という、4コース（N殻）が 18 である点についても、多くの生徒がその原因を自分なりに想像して考えることができると思われる。

③中学校では「運動量」や「力積」については扱わないため、ロケットが飛ぶ原理については「作用・反作用の法則」を活用して理解させることとなる。そのため、「運動量保存の法則」に従って、ロケットの速さは、推進剤の「質量」と「噴射する速さ」の積で決まる点については、実験や思考実験を基に想像する必要がある。その意味では、自然現象を豊かにイメージして、質量や力の概念をより深めてほしいと考える。

④小学校第4学年で明るさや色の違う星があることや、星座を構成する星の並び方は変わらないことについて学習している。また、第6学年で月の形の見え方が太陽と月の位置関係によって変わることについて学習している。中学校では、さらに深く天体現象を考察するため、太陽系や銀河系、銀河の広がりを認識し、正しいスケール感を持つ必要がある。しかし、生徒がふだんの生活で使用している距離や時間のスケールとはかけ離れた数値や単位を手がかりにして、現象を分析し、原因を探究させる場面が多い。そのため、天体の見え方や運動に関する考察結果も、間違った内容となることが少なくなかった。

⑤天体現象の考察の基盤には、適切な縮尺やモデルを活用した、イメージづくりが必要である。そのイメージを基にして、初めて天体現象を深く、よりの確に考察することが可能となる。今回は、次の単元である「地球と宇宙」につながる学習として、正しいスケール感を持つことにも配慮して、前時のプランを作成した。

⑥「地球と宇宙」は、中学校最後の単元として扱われることも多い。しかし、生徒にとって難解な内容が多く、「星嫌い」「理科嫌い」を増やす要因となってきたことも否めない。本来、星や宇宙に対する人類の関心は高く、生徒にとっても魅力ある単元である。私たち理科教師の課題は「星の学習が、星嫌いな生徒を育てる」といった皮肉な実態を少しでも改善することである。中学校最後の単元が、自然科学やそれを活用した科学技術の重要性に気付き、理科に関心を持ち、今後も積極的に自然に関わり、知識を得ていこうとする意欲を喚起する学習でありたい。それを目標とするプランの開発を目指して、今後もより良い教材への改善を進める。

※本時のテーマは理科教師でさえ思考停止している問題であり、これまでの指導経験から考えて、課題について正しく考察することは容易ではないと考える。

期待する解答の要素（本時の最後に児童生徒が上記の課題に答えるときに、話せるようになってほしいストーリー、答えに含まれてほしい要素。本時の学習内容の理解を評価するための規準）

①①【エネルギー源と変換】「イオンエンジン」は太陽の光がエネルギー源で、「電気エネルギー」「運動エネルギー」と変換している。

②【原子とイオンの利用】「キセノン原子」を電離して「キセノンイオン」と「電子」に分け、「十と一の引き合う力」を利用して噴射している。

③【科学法則と飛行原理】ロケットと推進剤（噴射ガス）の間に「作用・反作用の力」が働いて加速する。

②④【化学燃料エンジンの長所・短所】化学燃料エンジンの長所は、短時間に大きな力が出せること。短所は、多くの燃料を必要とすること。

⑤【イオンエンジンの長所・短所】イオンエンジンの長所は、推進剤の量が少なくて済むこと。短所は、少しずつしか推進剤を噴射できないため、大きな力が出せないこと。

⑥【なぜ、少ない推進剤で良いのか】太陽の光エネルギーを利用したこと。噴射ガスが化学燃料エンジンの 10 倍速いこと。そのため、少ない推進剤で長距離を飛行することができた。

各エキスパート＜対象の児童生徒が授業の最後に期待する解答の要素を満たした解答を出すために、各エキスパートで抑えたいポイント、そのために扱う内容・活動を書いてください＞

A：安定な 18 族原子「キセノン」をイオンにして利用する

原子番号 54 番「キセノン原子」を電離させると、「キセノンイオン」と「電子」に分かれることを理解する。

高い電気エネルギーを使って、気体をイオンにした実験を通して、身近な自然現象に関する理解を深める。

B：イオンエンジンの原理

イオンエンジンは、太陽の光エネルギーを電気エネルギーに変換し、その電気でキセノン原子をイオンにして加速、電子とともに高速噴射している。

C：作用・反作用の法則とロケットエンジン

後方に噴射する推進剤の「質量をより大きく」「より速く」すれば、ロケットは大きな加速が得られる。しかし、ロケットに積み込める推進剤（すいしんざい）の質量には限界があるため、結局は、推進剤を噴射する「速さ」で、ロケットの加速が決まる。イオンエンジンは化学燃料エンジンの 10 倍にあたる秒速 30km で推進剤を噴射できるため、とても効率が良い。

しかし、一度に大量のガスを噴射できないため、長い時間をかけて徐々に加速する方式をとっている。

ジグソーでわかったことを踏まえて次に取り組む課題・学習内容

適切な縮尺モデルをイメージして、太陽系の広がり認識し、「地球と宇宙」の学習のレディネスを形成する。

本時の学習と前後のつながり

時間	取り扱う内容・学習活動	到達して欲しい目安
これまで	<ul style="list-style-type: none"> ○運動とエネルギー ○化学変化とイオン ○科学技術と人間 ○科学技術の発展と交通輸送・情報通信 	<ul style="list-style-type: none"> ○2力のつりあう条件について理解し、自分の言葉で説明できる。 ○作用・反作用の法則について理解し、自分の言葉で説明できる。 ○電子配置とイオンの生成について理解し、イオンとは何かを説明できる。 ○科学技術が人間の生活を豊かで便利にしてきたことの例をあげられる。 ○交通輸送・情報通信の分野で、科学技術の発展を受けて大きく変化した例をあげられる。
前々時 (道徳)	<ul style="list-style-type: none"> ○道徳 [集団生活の充実] 「はやぶさプロジェクト」 私たちの道徳 170 ページ 	<ul style="list-style-type: none"> ○「はやぶさプロジェクト」を支えた人々の生き方を通して、「役割や責任」の大切さに気付き、「集団生活の充実に貢献していこうとする心情」を培う。 ○集団生活を充実させるために、自分がなすべき役割を考え、責任を持って実行しようとする。
前時 (理科)	<ul style="list-style-type: none"> ○ビデオで視聴した「イオンエンジン」の仕組みや特徴を予想する。 	<ul style="list-style-type: none"> ○これまでに学んだ「イオン」や「力と運動」に関する知識を基に、自分なりの想像ができる。
本時	<ul style="list-style-type: none"> ●「はやぶさプロジェクト」を支えた「イオンエンジン」 	<ul style="list-style-type: none"> ●「科学技術の発展」が、生活を豊かにしたり、私たちの誇りになってきたことを認識する。
次時	<ul style="list-style-type: none"> ○地球と宇宙 	<ul style="list-style-type: none"> ○「地球と宇宙」の学習の基盤となる、広がり認識やスケール感を育てる。
この後	<ul style="list-style-type: none"> ○地球と宇宙 	<ul style="list-style-type: none"> ○地球の運動について考察させるとともに、太陽や惑星の特徴及び月の運動と見え方を理解させ、太陽系や恒星など宇宙についての認識を深める。

上記の一連の学習で目指すゴール

科学技術の発展の過程を知るとともに、科学技術が人間の生活を豊かで便利にしてきたことを認識する。
太陽系や恒星など宇宙についての認識を深める。

前時～本時の学習活動のデザイン

時間	学習活動	支援等
前々時 (道徳)	道徳〔集団生活の充実〕 「はやぶさプロジェクト」 ○P1～3の予想・挙手・解答。 ○アニメーションビデオ「はやぶさ」の視聴。 ○私たちの道徳P170の音読。 ○感想の記入と回収。	○1～3ページの問題については、一つずつ予想し、挙手して人数を確認した後、解答を発表していく。その過程で、スケールイメージを育てる。 ○ビデオの視聴が難しい場合は読み物資料に代える。 ○5ページの配布・回収。
前時 (理科)	○目標「日本の科学技術について考えてみよう」を伝える。 ○各自で問1について考えさせる。(次は予想される回答) ・イオンエネルギー？ ・？イオンを、中和して飛ぶ？ ・万有引力の法則・・・等？ ・力強い。けど故障しやすい？ ・力が弱い。けど故障しても動く？ ・燃費が良かった？ ○課題①～⑥の班分担の決定	○1ページ配布。 ○教師による音読。 ○ビデオに出てきた情報なども活用する。 ○学習前の生徒の考えを把握し、学習後の概念の変化と比較できるようにしておく。 ○1ページ回収。
本時 3 15 30 40	○今日の課題(各班の分担)を確認し、エキスパート活動に移る。 ①エキスパート活動 A：キセノン原子をイオンにして利用する B：イオンエンジンの原理 C：作用・反作用の法則とロケットエンジン ②ジグソー活動 ○ジグソープリントを使って、各グループの考察結果をまとめる。 ○担当した課題以外にも、できるだけ多くの疑問に答える。 ③クロストーク活動	○2～7ページ配布 ○Aグループは、アンダーライン部分の記入の確認後、実験手順を理解させる。 ○Bグループには、エネルギーの観点で、イオンエンジンの工夫を理解させる。 ○Cグループは、アンダーライン部分の記入の確認後、実験手順を理解させる。 ○8ページ配布。 ○各資料の説明が2分×3人。 ○課題解決の議論が5分程度。 ○ホワイトボード記入4分程度が目安。 ○発表に向け役割分担をさせる。 ○できるだけ分担して発表させる。 ○自分たちが想定した説明と比較しながら聞き、質問させる。
	○各自のジグソープリントに自分の考えをまとめる。	○事前・事後の記入内容によって、生徒の学びと教材を評価する。 ○8ページ回収。

グループの人数や組み方
3～4人×4グループ(基本的には生活班で学習を進めるが、極力3人班の編成を行う。)

『はやぶさプロジェクト』を支えた『イオンエンジン』

番 名 前

☆

『はやぶさ』の打ち上げ時は、他のロケットと同じく『化学燃料のエンジン』が使われました。そして、宇宙空間に到達すると、『イオンエンジン』での飛行を開始しています。今日は、『はやぶさ』の宇宙飛行を支えた『イオンエンジン』に着目してみましょう。

地球から小惑星「イトカワ」までの距離は、月までの距離の1000倍程度あります。地球に帰還するには、**少ない推進剤（燃料）で、長距離を飛行**できる「エンジン」が必要でした。研究者、技術者はその実現のために一つになりました。まさに、「日本の底力」が試されたのです。

【問1】 次の問いの「疑問」に、できるだけ、たくさん答えましょう。

① 『イオンエンジン』は、どんな原理で、ロケットを飛行させているのでしょうか。

①	<ul style="list-style-type: none">・エネルギー源は何？・そのエネルギーをどのように変換しているの？	
②	<ul style="list-style-type: none">・何の原子をイオンにしたの？・イオンをどのように使ったの？	
③	<ul style="list-style-type: none">・どんな科学の「法則」が使われているの？・なぜロケットは加速するの？	・「慣性の法則」力がはたらかなければ、物体は <u>等速直線運動</u> を続ける。

② 『イオンエンジン』は、なぜ、少ない推進剤（燃料）で、長距離を飛行することができたのでしょうか。

④	<ul style="list-style-type: none">・化学燃料エンジンの長所は？・短所は？	
⑤	<ul style="list-style-type: none">・イオンエンジンの長所は？・短所は？	
⑥	<ul style="list-style-type: none">・なぜ、少ない推進剤（燃料）で、長距離を飛行できたの？	

プロジェクトメンバーと
探査機「はやぶさ」の
実物大模型



【エキスパートA】 安定な18族原子「キセノン」をイオンにして利用する

一番外の「電子コース」に2個（ヘリウムのみ）、または8個の電子があるのが「18族原子」です。

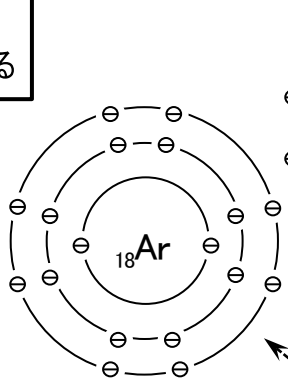
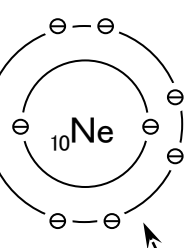
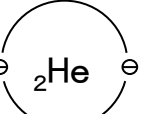
「18族原子」は化学的に安定で、ふだんは「酸化」したり、「イオン」にはなりにくい気体です。

その中の「キセノン原子」にエネルギーを与えて電離し、不安定な「キセノンイオン」にします。

キセノンは電子コースを5つ持ち、「イオン」にするためのエネルギーが少なく済むのです。


原子 ⇒ ⊕陽子と⊖電子の数が同じ ⇒ 電氣的に 中性
 イオン ⇒ ⊕陽子と⊖電子の数が異なる ⇒ +や-の電氣を帯びる

例えば、アルゴン原子(Ar)は
 ⊕陽子 18個
 ⊖電子 18個
 を持ち電氣的に 性


1	2																	13	14	15	16	17	18
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	1	2			
1	H																	He					
2	Li	Be															B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
6	Cs	Ba	57~71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
7	Fr	Ra	89~103																				

電氣エネルギーなど

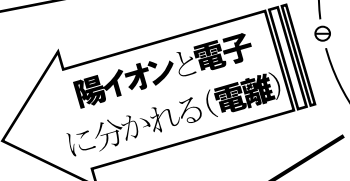


ラドンは放射線を出して4日で半分なくなる元素なので、使えない!

電子 ⊖

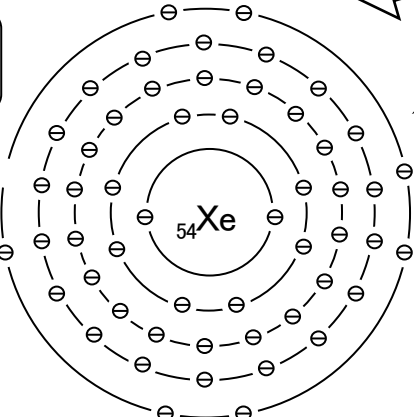


陽イオンと電子に分かれる(電離)



電子配置は 2・8・18・18・8

⊖電子が1個なくなった!



キセノン原子(Xe)は
 ⊕陽子 54個
 ⊖電子 54個
 を持ち電氣的に 性

キセノンイオン(Xe+)は
 ⊕陽子 54個
 ⊖電子 53個
 を持ち 1 価の イオンになる

【実験A】 気体が電離してイオンになる

中学校3年で学習した「イオン」の授業では、電解質が水に溶けて電離することを学習しました。水溶液中に「陽イオン」や「陰イオン」があると、電流を流すこともできます。

電気エネルギーによって、気体の「原子」を電離し、「陽イオン」と「電子」に分けることができます。

ライティングボールを使って、「ネオン管」や「蛍光灯」の中の気体を電離して「イオン」にしてみましよう。電流が流れて、光る様子が観察できます。

ボールの中では、
キセノンなどが電離し、
イオンになって光ります！
キレイ！



なぜ、離れた **ネオン管** が光るの？
↓
管の中のネオンが電離し、イオンになって
電流を流します！ スゴ〜イ！



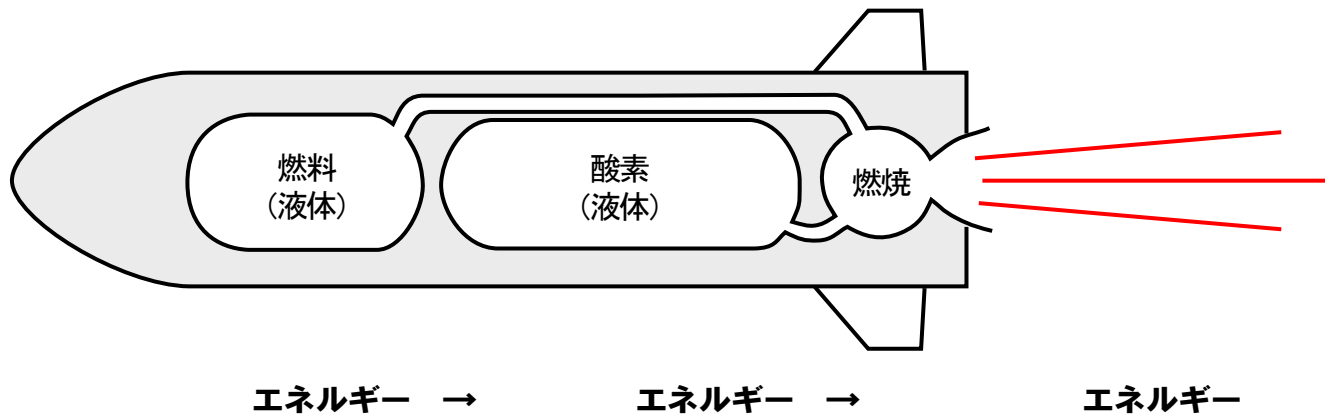
【エキスパートB】イオンエンジンの原理

探査機「はやぶさ」も、打ち上げ時は、「化学燃料エンジン」が使われました。

「化学燃料エンジン」は、2年で学習した「燃料を酸素で燃焼」させる『酸化』を利用しています。宇宙には空気がないので、酸素（1気圧での沸点は -183°C ）もタンクに入れて発射します。

「燃料と酸素」が持つ**化学エネルギー**を、酸化（燃焼）によって、一気に**熱エネルギー**に変換します。高温のガスを噴射し、短時間に燃料をほぼ使い切って、大きな**運動エネルギー**を得るのです。

発射1分後には秒速2km程度（マッハ6）に達します。短距離ランナー「ボルト」のような加速です。



宇宙空間に到達すると、「はやぶさ」は**イオンエンジン**での飛行を開始します。

宇宙では、強烈（きょうれつ）な**太陽光**が当たります。実は、この**光エネルギー**を活用しているのです。

爆発的な力は出ませんが、長距離を効率よく走り、徐々に加速して、最後は猛スピードに達します。

（秒速34km以上）

少しずつ噴射しているのは**キセノン**です。発電した**電気エネルギー**を使って、

キセノン原子（1気圧での沸点は -108°C ）を、キセノンイオン（ Xe^+ ）と電子（ e^- ）に分けます。

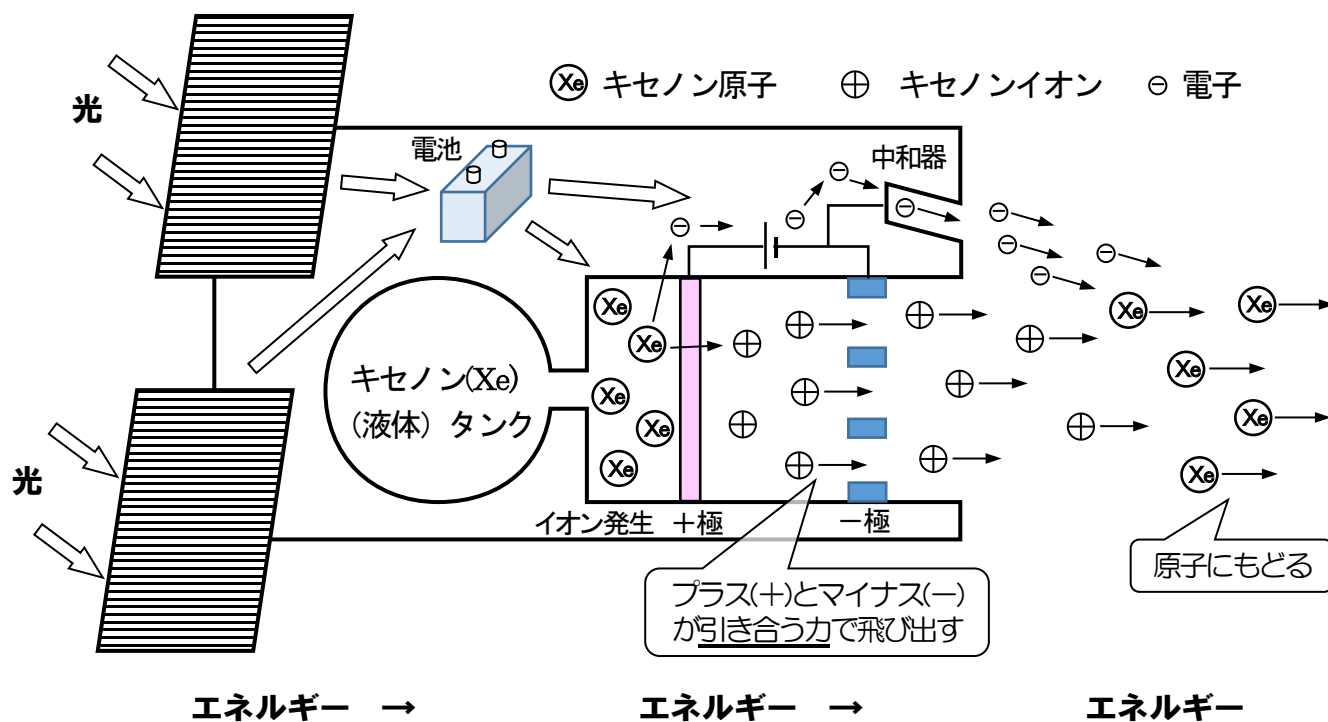
陽イオン（+）であるキセノンイオンを、「+と-が引き合う力」を利用して加速し、噴射します。

同時に、中和器から電子（ e^- ）も放出します。

その結果、キセノンイオン（ Xe^+ ）と電子（ e^- ）は再び結合し $\text{Xe}^+ + e^- \rightarrow \text{Xe}$ キセノン原子に戻ります。

❶ 光エネルギーを電気エネルギーに変換し、その電気でキセノンイオン（ Xe^+ ）を発生させ、加速する。

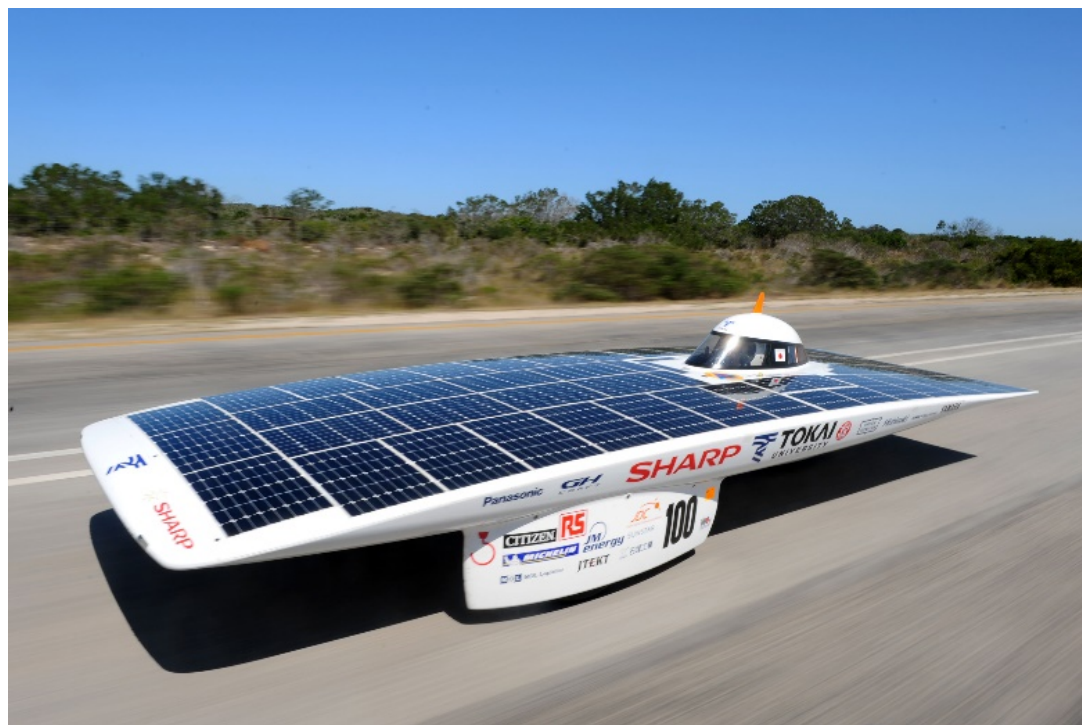
❷ キセノンイオン（ Xe^+ ）と同時に、電子（ e^- ）も放出して、**運動エネルギー**を得る。



【実験B】 光エネルギーで自動車を走らせる

探査機「はやぶさ」と同じように、太陽の**光エネルギー**を利用して、自動車を走らせることもできます。**光エネルギー**を太陽電池で**電気エネルギー**に変換し、モーターを回して**運動エネルギー**を得ます。

小さな模型を使って、私たちが実験してみましょう。

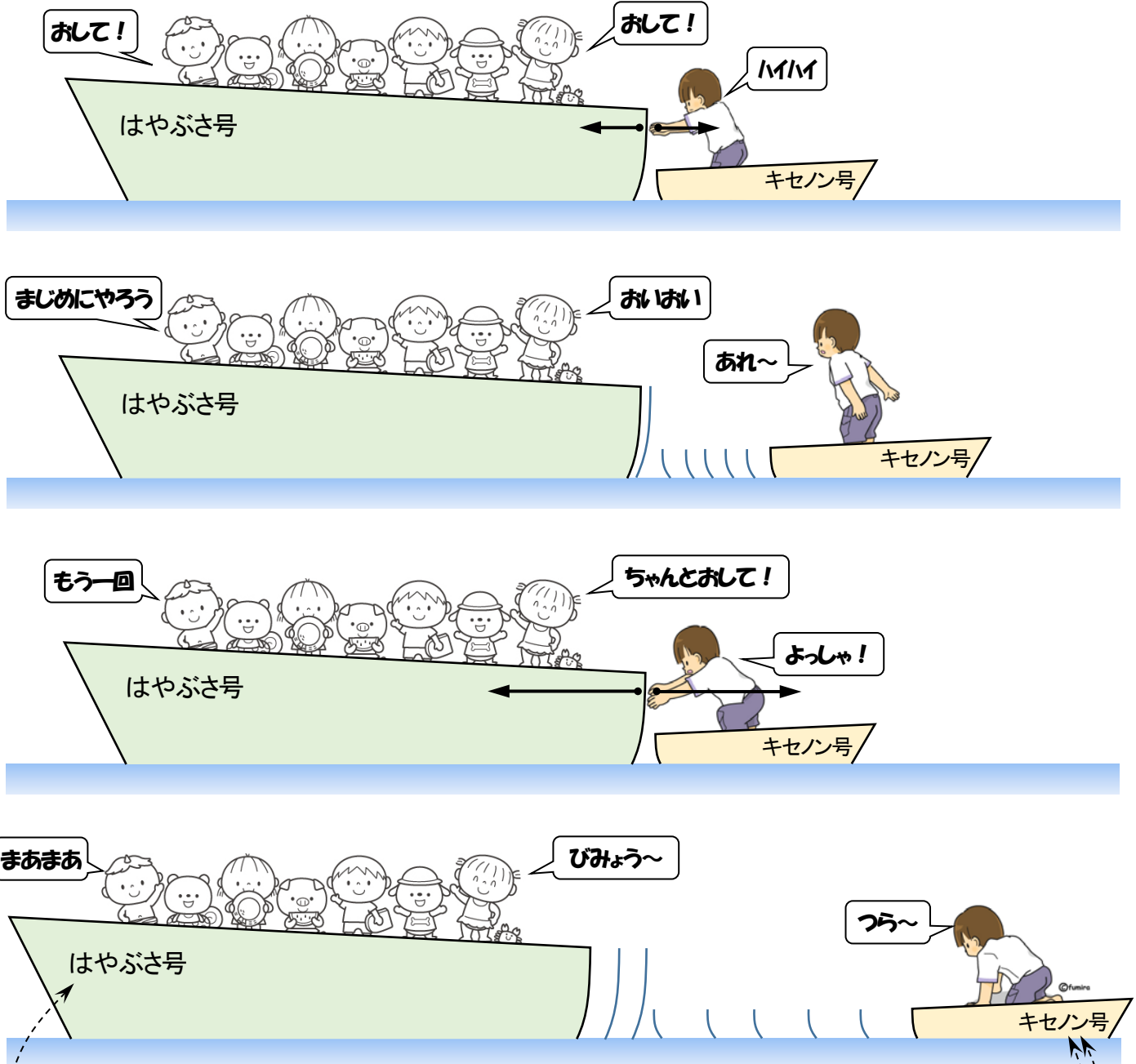


2010年9月、南アフリカ共和国ソーラーカーレースに出場した
東海大学のソーラーカー「Tokai Challenger」



模型ソーラーカー

【エキスパートC】「作用・反作用の法則」とロケットエンジン



力は必ず、ペアになって働き合います。これを、作用・反作用の法則と言います。

このペアの力は、向きが反対で、大きさが等しく、一直線上に、2つの物体間で働き合います。そのため、質量が異なる2つの物体間で働き合うと、質量が小さい方が大きく動いてしまうのです。

右の小舟「キセノン」の「質量をより大きく」、「より速く」動くようにすれば、左の船「はやぶさ」の速さも大きくなるはずです。ロケットが加速する場合も同じです。

キセノンなどの推進剤の「質量をより大きく」、「より速く」すれば、大きな加速が得られます。

ところが、ロケットに積み込める推進剤（燃料）の質量には限界があります。

ですから、結局は、**推進剤を噴射する速さで、ロケットの速さが決まる**ことになります。

ロケットの**化学燃料エンジン**の場合、噴射する推進剤の速さは**毎秒 3 km**程度です。

それに対して、**イオンエンジン**は、その10倍にあたる**毎秒 30 km**の速さで噴射できます。

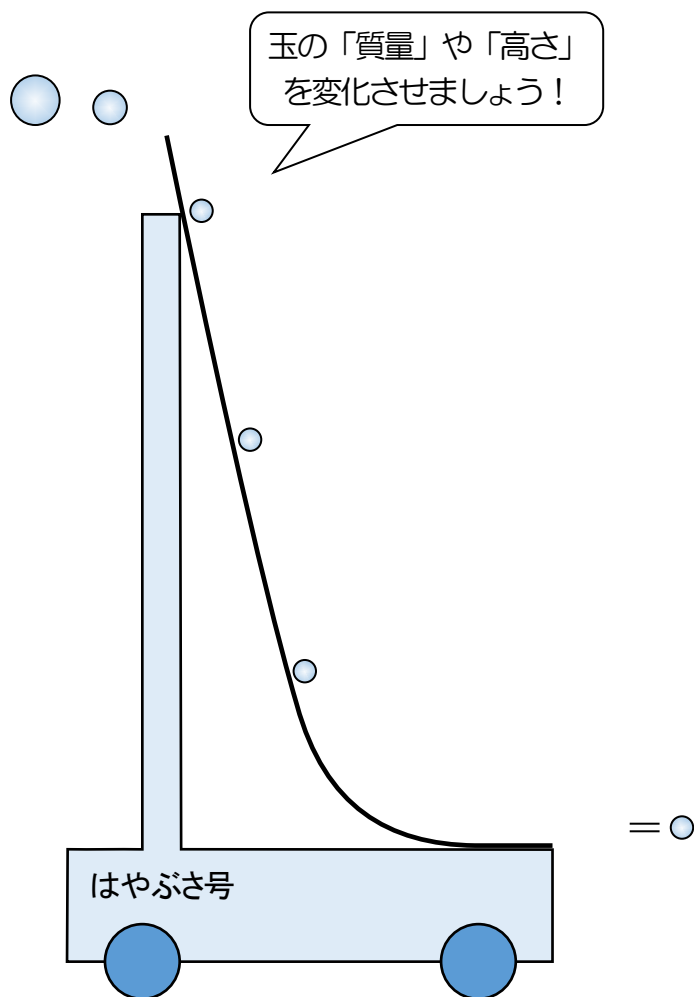
しかし、大量の推進剤を一度に噴射することはできません。ですから、長時間かけて徐々に加速します。

そのため、スタッフは、ほぼ2年間の連続耐久試験を2回成功させ、**エンジンの信頼性を証明**しました。

こうして、**推進剤（燃料）が少なくても済む「夢のエンジン」が完成**したのです。

【実験C】「作用・反作用の法則」を利用して，台車を動かそう

下の図のような装置を準備して，「鉄球やパチンコ玉」を後方に発射し，台車を動かしてみましょう。
「鉄球やパチンコ玉」の「質量」や「高さ」を変えて，台車の速さを調べてみましょう。



【問2】 次の問いの「疑問」に、できるだけ、たくさん答えましょう。

① 『イオンエンジン』は、どんな原理で、ロケットを飛行させているのでしょうか。

①	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー源は何？ ・そのエネルギーをどのように変換しているの？ 	
②	<ul style="list-style-type: none"> ・何の原子をイオンにしたの？ ・イオンをどのように使ったの？ 	
③	<ul style="list-style-type: none"> ・どんな科学の「法則」が使われているの？ ・なぜロケットは加速するの？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・「慣性の法則」力がはたらかなければ、物体は<u>等速直線運動</u>を続ける。

② 『イオンエンジン』は、なぜ、少ない推進剤（燃料）で、長距離を飛行することができたのでしょうか。

④	<ul style="list-style-type: none"> ・化学燃料エンジンの長所は？ ・短所は？ 	
⑤	<ul style="list-style-type: none"> ・イオンエンジンの長所は？ ・短所は？ 	
⑥	<ul style="list-style-type: none"> ・なぜ、少ない推進剤（燃料）で、長距離を飛行できたの？ 	