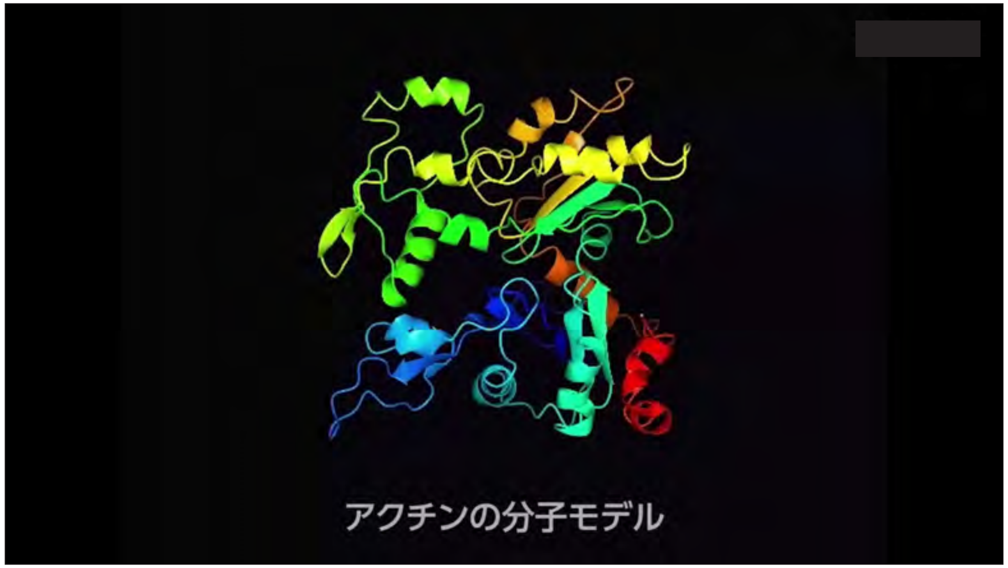
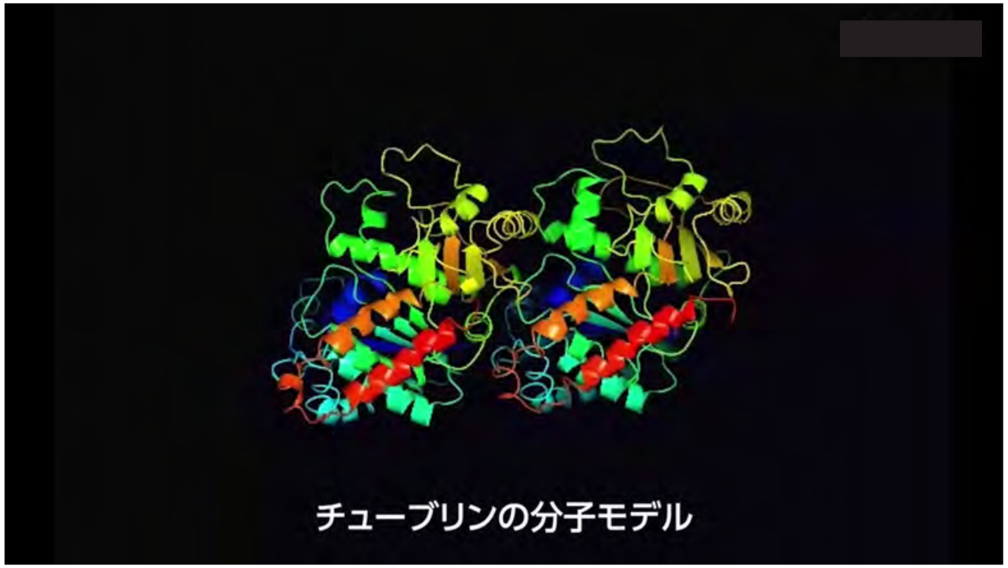
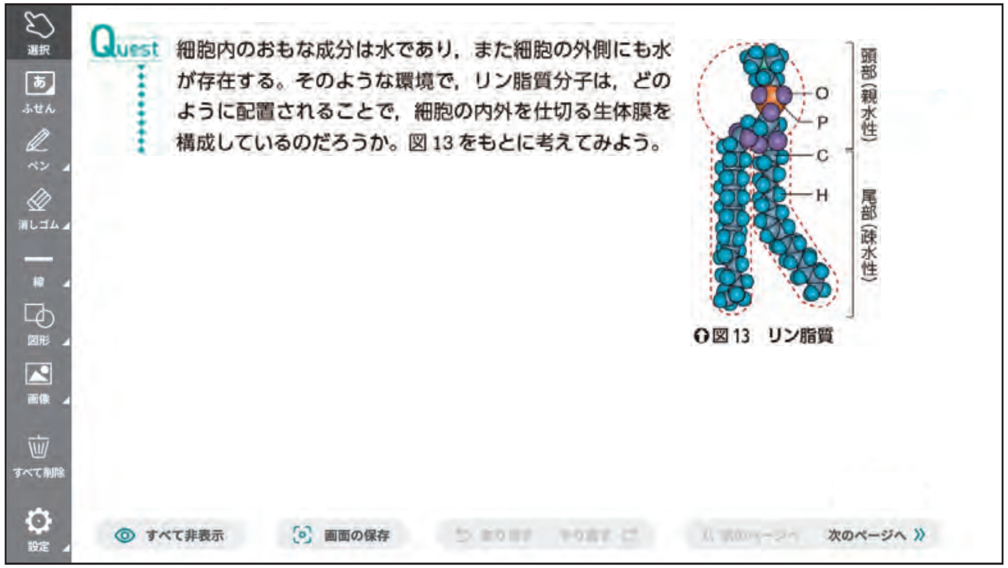
別紙 3-9



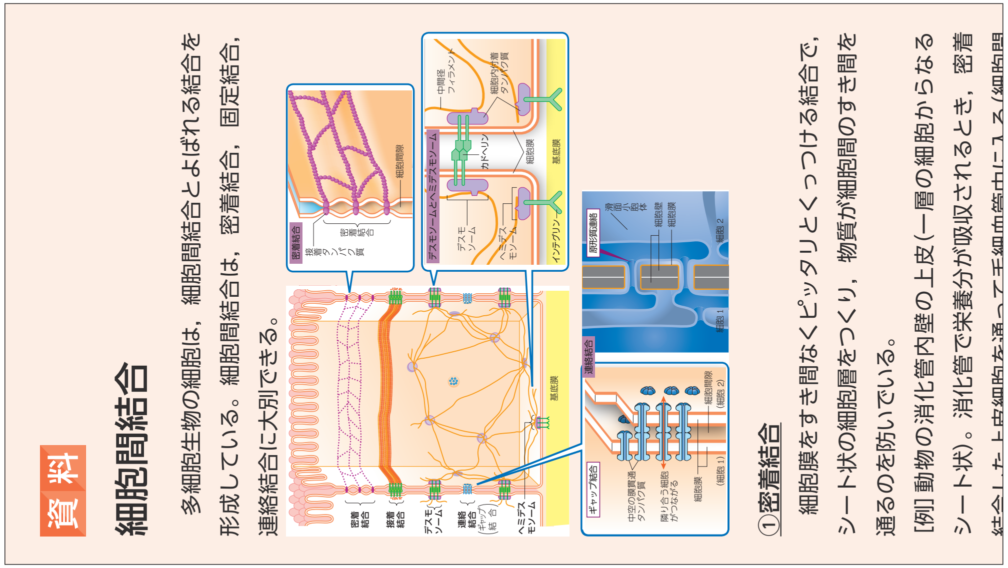
別紙 3-10



別紙 3-11

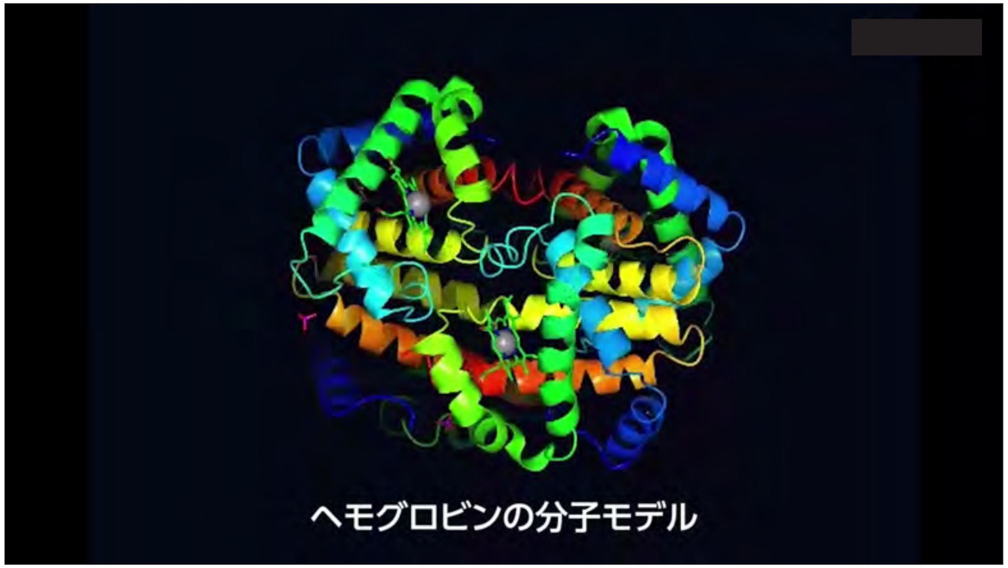


別紙 3-12

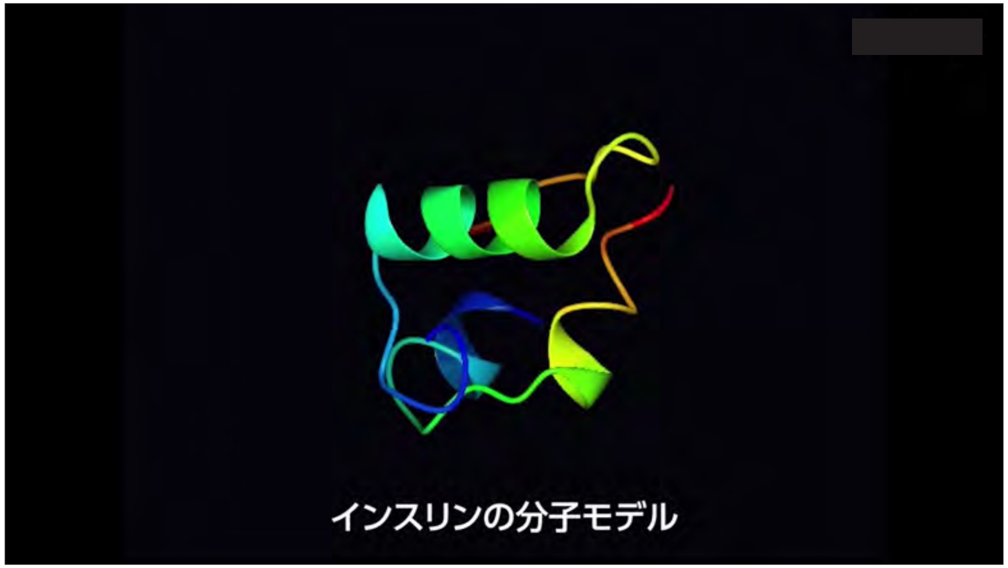


別紙 3-13

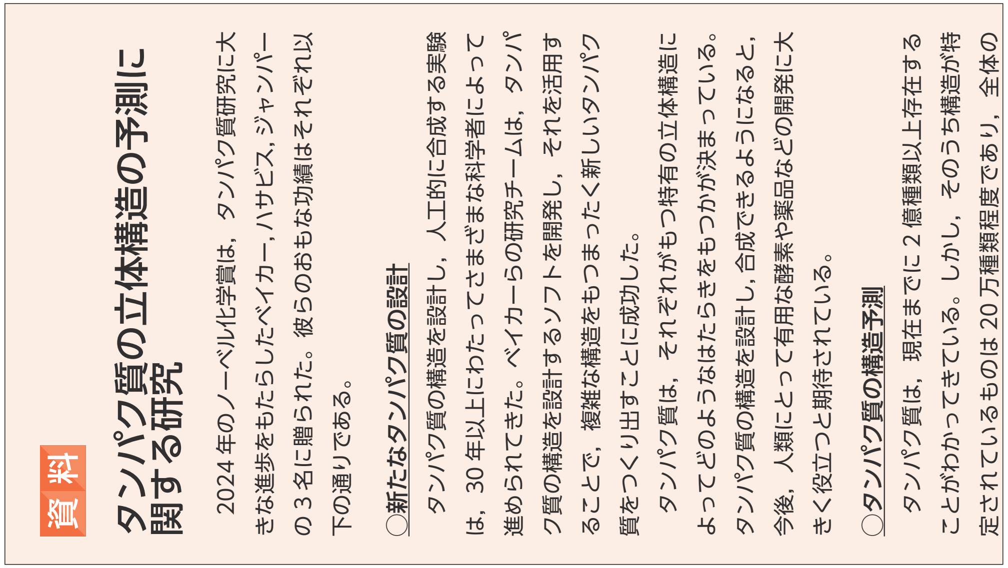
別紙 3-14



別紙 3-15



別紙 3-16


資料

タンパク質の立体構造の予測に関する研究

2024年のノーベル化学賞は，タンパク質研究に大きな進歩をもたらしたベイカー，ハサビス，ジャンパーの3名に贈られた。彼らのおもな功績はそれぞれ以下の通りである。

○新たなタンパク質の設計

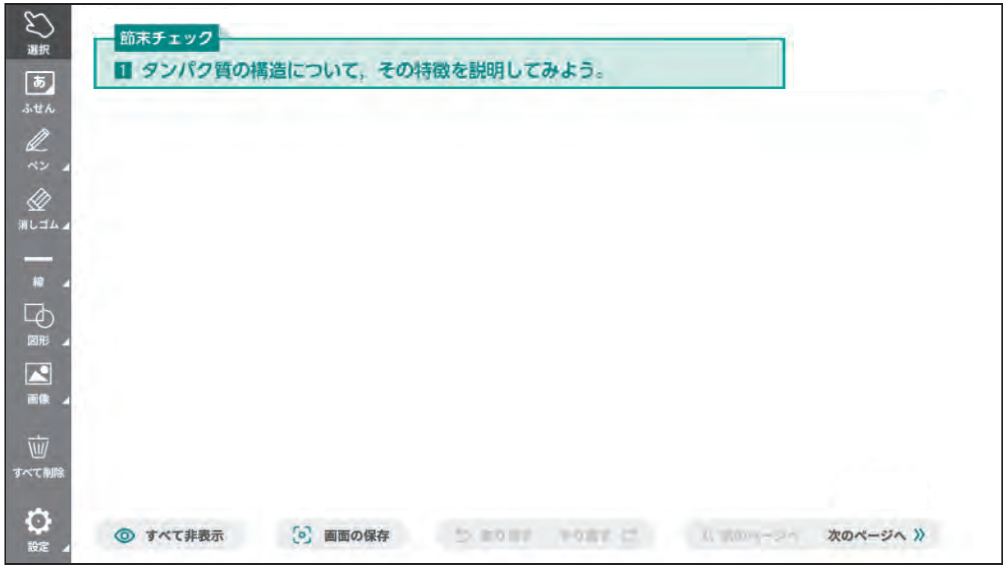
タンパク質の構造を設計し，人工的に合成する実験は，30年以上にわたってさまざまな科学者によって進められてきた。ベイカーらの研究チームは，タンパク質の構造を設計するソフトを開発し，それを活用することで，複雑な構造をもつまったく新しいタンパク質をつくり出すことに成功した。

タンパク質は，それぞれがもつ特有の立体構造によってどのようなはたらきをもつかが決まっている。タンパク質の構造を設計し，合成できるようになると，今後，人類にとって有用な酵素や薬品などの開発に大きく役立つと期待されている。

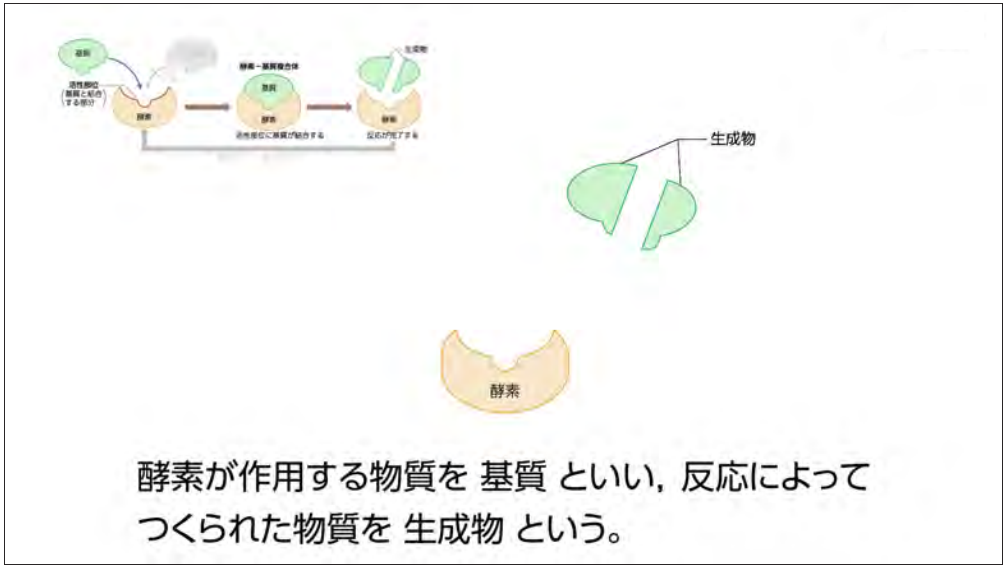
○タンパク質の構造予測

タンパク質は，現在までに2億種類以上存在することがわかってきている。しかし，そのうち構造が特定されているものは20万種類程度であり，全体の

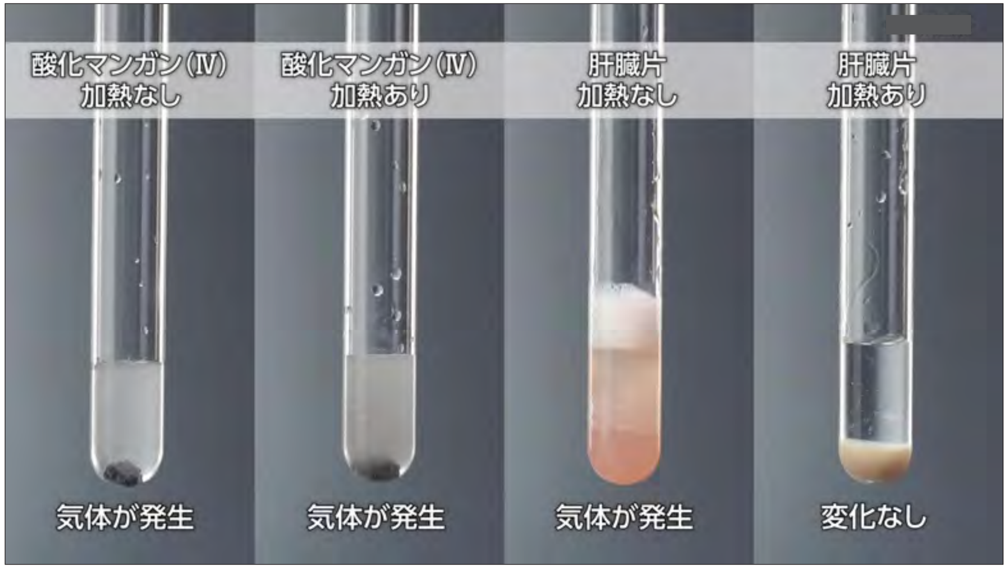
別紙 3-17



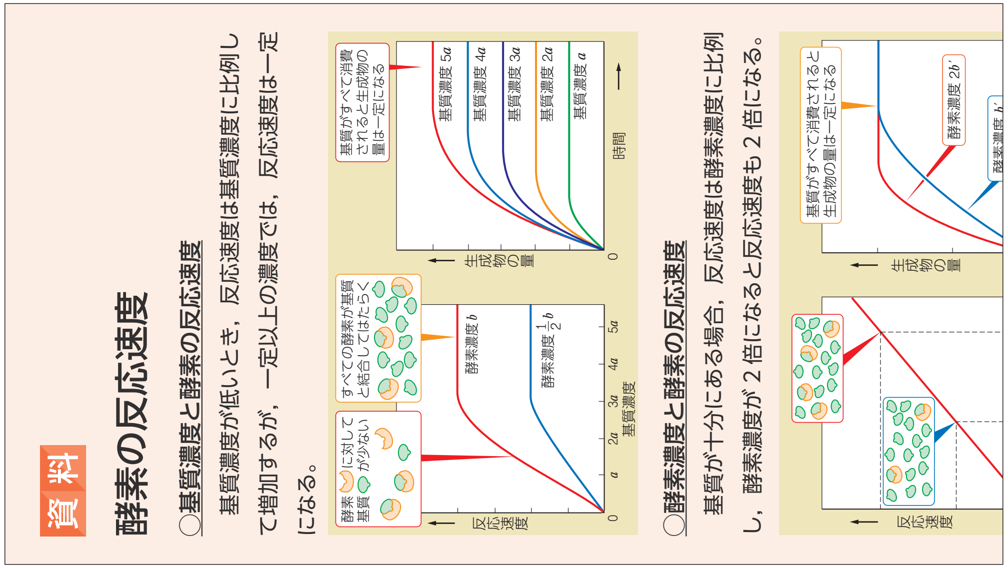
別紙 3-18



別紙 3-19



別紙 3-20



資料

酵素の反応速度

○基質濃度と酵素の反応速度

基質濃度が低いとき，反応速度は基質濃度に比例して増加するが，一定以上の濃度では，反応速度は一定になる。

○酵素濃度と酵素の反応速度

基質が十分にある場合，反応速度は酵素濃度に比例し，酵素濃度が 2 倍になると反応速度も 2 倍になる。

別紙 3-21

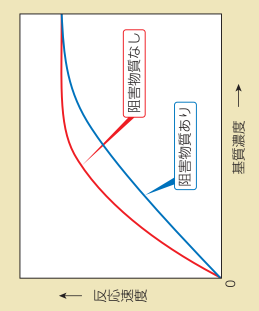
資料

酵素反応の阻害

酵素反応は，基質以外の物質が酵素に結合することで阻害されることがある。酵素反応の阻害には，競争的阻害と非競争的阻害がある。

○**競争的阻害**

基質と立体構造がよく似た物質(阻害物質)が，酵素の活性部位に結合することによって，基質と酵素の結合を妨げて，酵素活性を低下させる。

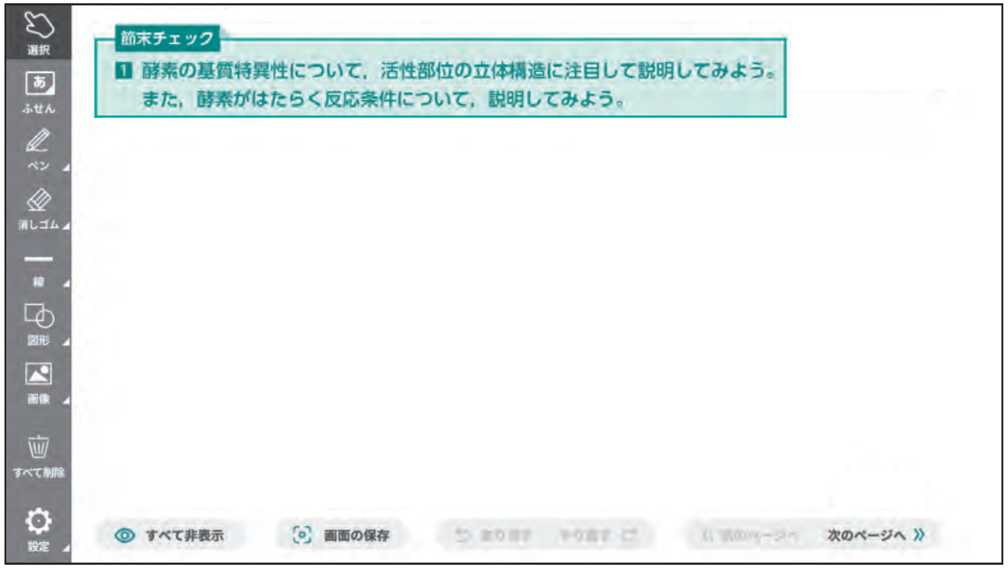


基質濃度を高くすると，阻害物質に対して基質の割合が大きくなるため，基質が活性部位と結合しやすくなる。そのため，阻害物質の影響は小さくなる。

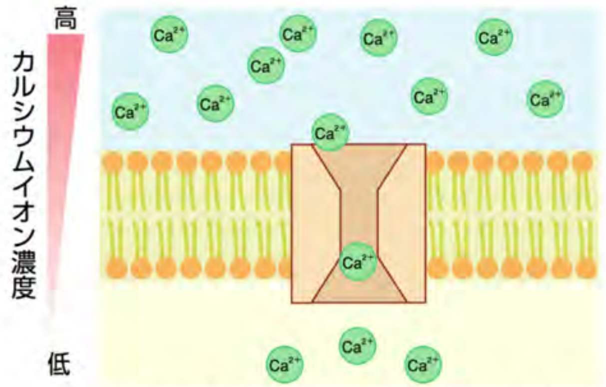
○**非競争的阻害**

基質とは構造が異なる物質が，酵素の活性部位とは異なる部位に結合することによって，酵素の立体構造を変化させ，酵素の触媒作用を低下させる。

別紙 3-22

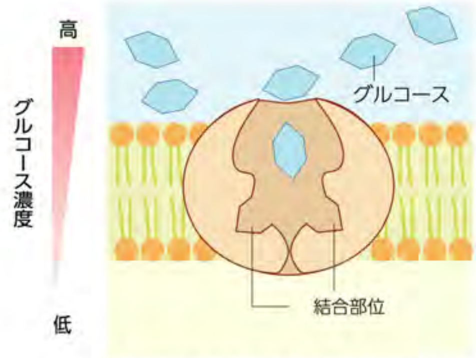


別紙 3-23



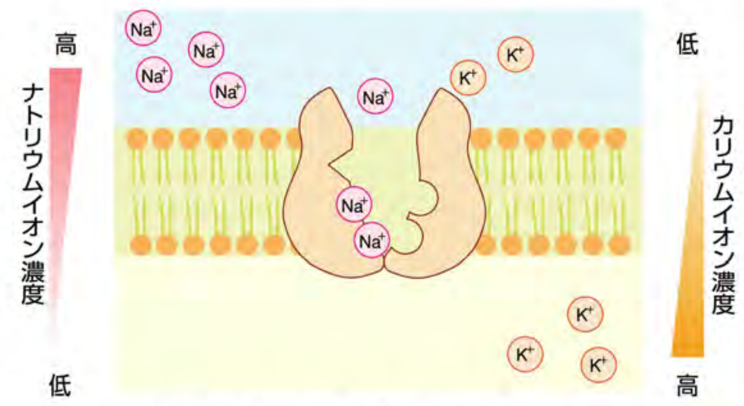
濃度勾配に従って特定のイオンがチャネルの中を通過して，膜の反対側へと移動する。

別紙 3-24



担体は運搬する分子と結合すると，立体構造が変化して，膜の反対側へと物質を運ぶ。

別紙 3-25



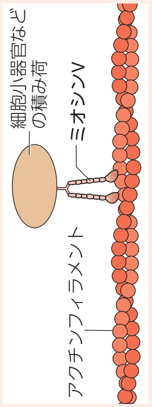
細胞内外の濃度勾配に逆らって，
細胞内から細胞外へNa^{+}を排出し，

別紙 3-26

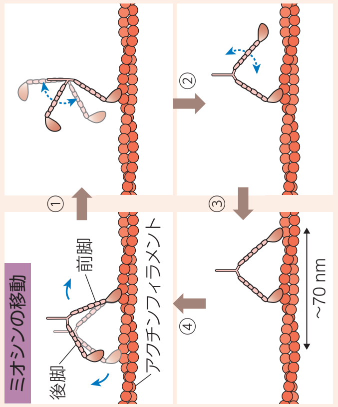
資料 モータータンパク質

細胞の内部の小胞の移動や細胞の運動は，ATP などのエネルギーで細胞骨格上を移動するモータータンパク質のはたらきによるものである。

○ミオシン



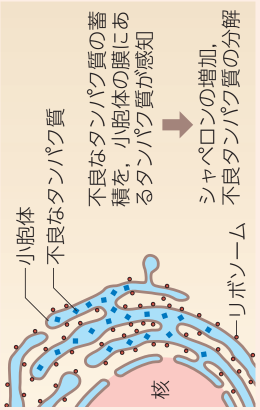
ミオシンVは，細胞小器官や小胞，mRNA などの「積み荷」をのせて運ぶモータータンパク質の１つで，細胞骨格の１つであるアクチンフィラメント上を移動する。



別紙 3-27

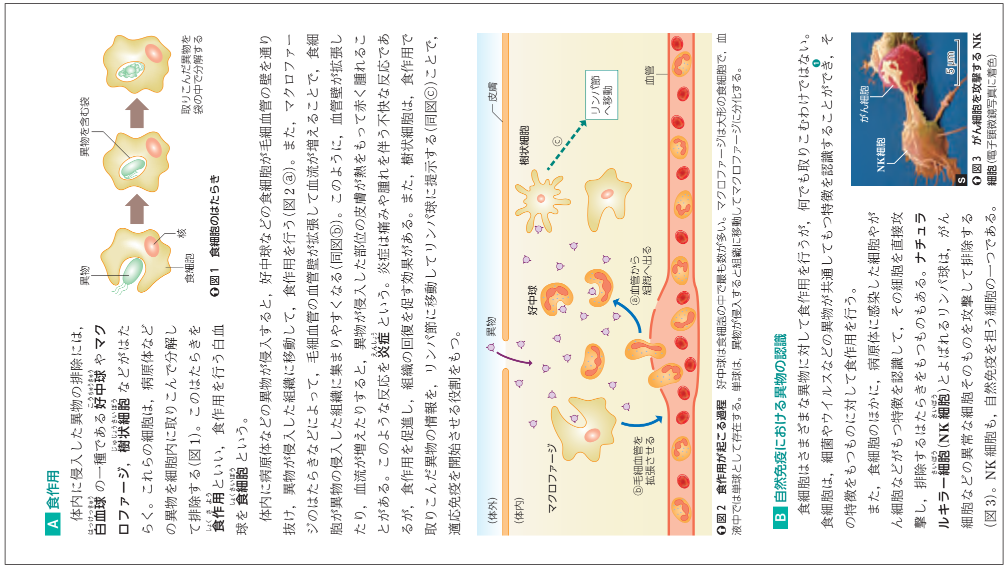
資料 小胞輸送と小胞体ストレス応答

小胞体では，リボソームでつくられたタンパク質が輸送されるとともに，タンパク質の折りたたみや修飾が行われる。細胞がさまざまな環境にさらされることで，小胞体内でタンパク質が正常に折りたたまれなくなったり，不良なタンパク質が蓄積していったりすることがある。この状態のことを小胞体ストレスという。小胞体の膜にあるタンパク質がこの情報を感知すると，①新たなタンパク質合成の抑制，②シャペロンによる不良タンパク質の折りたたみ直し，③プロテアソームによる不良タンパク質の分解，などの応答が起こる。これらの応答を小胞体ストレス応答といい，これによって細胞の正常な状態が維持される。さらにストレスの強度が強いと，細胞はアポトーシスを誘導する。



別紙 3-28

別紙 3-29



A 食作用

体内に侵入した異物の排除には，白血球の一種である**好中球**や**マクロファージ**，**樹状細胞**などがはたらく。これらの細胞は，病原体などの異物を細胞内に取りこんで分解して排除する（図 1）。このはたらきを**食作用**といい，食作用を行う白血球を**食細胞**という。

↑図 1　**食細胞のはたらき**

体内に病原体などの異物が侵入すると，好中球などの食細胞が毛細血管の壁を通り抜け，異物が侵入した組織に移動して，食作用を行う（図 2 ⓐ）。また，マクロファージのはたらきなどによって，毛細血管の血管壁が拡張して血流が増えることで，食細胞が異物の侵入した組織に集まりやすくなる（同図ⓑ）。このように，血管壁が拡張したり，血流が増えたりすると，異物が侵入した部位の皮膚が熱をもって赤く腫れることがある。このような反応を**炎症**という。炎症は痛みや腫れを伴う不快な反応であるが，食作用を促進し，組織の回復を促す効果がある。また，樹状細胞は，食作用で取りこんだ異物の情報を，リンパ節に移動してリンパ球に提示する（同図ⓒ）ことで，適応免疫を開始させる役割をもつ。

↑図 2　**食作用が起こる過程**　好中球は食細胞の中で最も数が多い。マクロファージは大形の食細胞で，血液中では単球として存在する。単球は，異物が侵入すると組織に移動してマクロファージに分化する。

B 自然免疫における異物の認識

食細胞はさまざまな異物に対して食作用を行うが，何でも取りこむわけではない。食細胞は，細菌やウイルスなどの異物が共通してもつ特徴を認識することができ，その特徴をもつものに対して食作用を行う。

また，食細胞のほかに，病原体に感染した細胞やがん細胞などがもつ特徴を認識して，その細胞を直接攻撃し，排除するはたらきをもつものもある。**ナチュラルキラー細胞（NK 細胞）**とよばれるリンパ球は，がん細胞などの異常な細胞そのものを攻撃して排除する（図 3）。NK 細胞も，自然免疫を担う細胞の一つである。

↑図 3　**がん細胞を攻撃する NK 細胞**（電子顕微鏡写真に着色）

別紙 3-30

A 適応免疫のしくみ

適応免疫では，リンパ球のうちの B 細胞と T 細胞がはたらく。また，T 細胞には，**ヘルパー T 細胞**と**キラー T 細胞**の 2 種類がある。

❶ **抗体による免疫反応**　B 細胞も，T 細胞と同様に多様であり，それぞれが特定の異物を認識する。B 細胞は，異物を認識すると，その異物を細胞内に取りこんで分解し，断片を細胞表面に提示する（図 2 ①）。また，リンパ節では，抗原を提示している樹状細胞に多くの T 細胞が接触し，その中で，提示された抗原に適合した T 細胞だけが活性化して増殖する（同図②）。増殖したヘルパー T 細胞は，B 細胞から抗原の提示を受け，さらに自分の型と一致すると，その B 細胞を活性化する（同図③）。

活性化した B 細胞は増殖し，**形質細胞（抗体産生細胞）**へと分化する（同図④）。形質細胞は**抗体（免疫グロブリン**というタンパク質）を産生して体液中に分泌する。抗体は血液中を流れて全身に送られ，特定の抗原と特異的に結合する（同図⑤）。この反応を**抗原抗体反応**といい，これによって抗原が無毒化される。

↑図 1　**B 細胞を活性化するヘルパー T 細胞**（上）と**抗体**（下）（電子顕微鏡写真に着色）

❷ **食作用の増強**　また，増殖したヘルパー T 細胞は，感染した組織に移動する（同図⑥）。そこでマクロファージから抗原の提示を受け，自分の型と一致すると，そのマクロファージを活性化する（同図⑦）。活性化したマクロファージは，より活発に食作用を行うようになる。

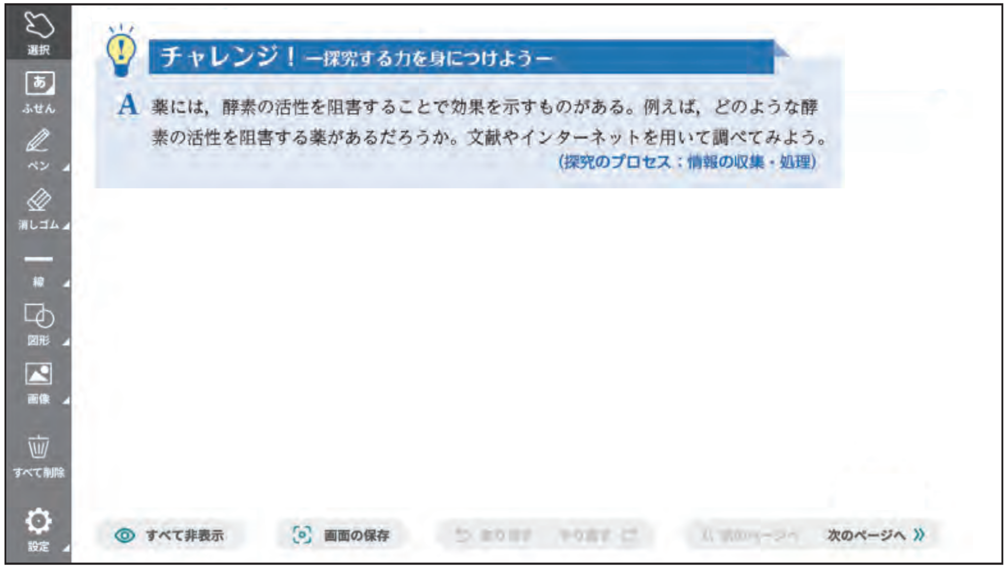
❸ **感染細胞への攻撃**　一方，ウイルスなどのように，細胞内に入りこんだ病原体は，キラー T 細胞のはたらきによって排除される。抗原の提示を受け，活性化して増殖したキラー T 細胞は，リンパ節を出て感染した組織に移動する（同図⑧）。病原体に感染した細胞は，病原体の断片を細胞の表面に提示している。キラー T 細胞がこの断片を認識し，自分の型と一致すると，感染細胞を直接攻撃して死滅させる（同図⑨）。病気の治療などで臓器移植を受けた場合，**拒絶反応**が起きて生着しないことが多いのは，キラー T 細胞が移植した臓器を異物として認識し，攻撃するためである。

このように，適応免疫は複雑なしくみで成りたっている。このうち，B 細胞が中心となって起こる，抗体による免疫反応を**体液性免疫**という。一方，キラー T 細胞やヘルパー T 細胞が中心となって起こる，食作用の増強や感染細胞への攻撃などの免疫反応を**細胞性免疫**という。

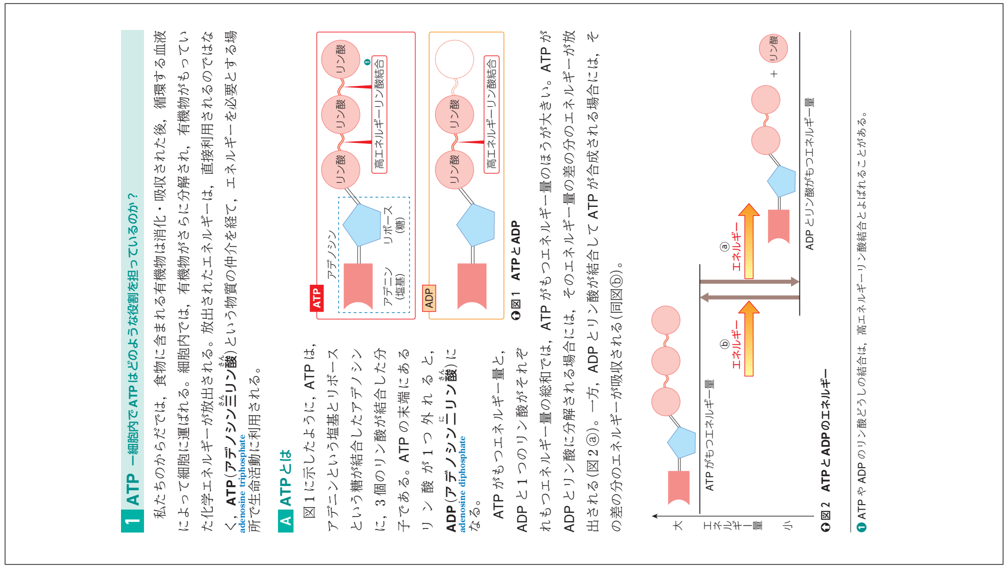
抗体が結合して無毒化された異物や，キラー T 細胞に攻撃されて死んだ感染細胞は，最終的にマクロファージの食作用によって処理される。

別紙 3-31

別紙 3-32



別紙 4-1


1 ATP ―細胞内でATPはどのような役割を担っているのか？

私たちのからだでは，食物に含まれる有機物は消化・吸収された後，循環する血液によって細胞に運ばれる。細胞内では，有機物がさらに分解され，有機物がもっていた化学エネルギーが放出される。放出されたエネルギーは，直接利用されるのではなく，ATP（アデノシン三リン酸）adenosine triphosphate という物質の仲介を経て，エネルギーを必要とする場所で生命活動に利用される。

A ATPとは

図1に示したように，ATPは，アデニンという塩基とリボースという糖が結合したアデノシンに，3個のリン酸が結合した分子である。ATPの末端にあるリン酸が1つ外れると，ADP（アデノシン二リン酸）adenosine diphosphate になる。

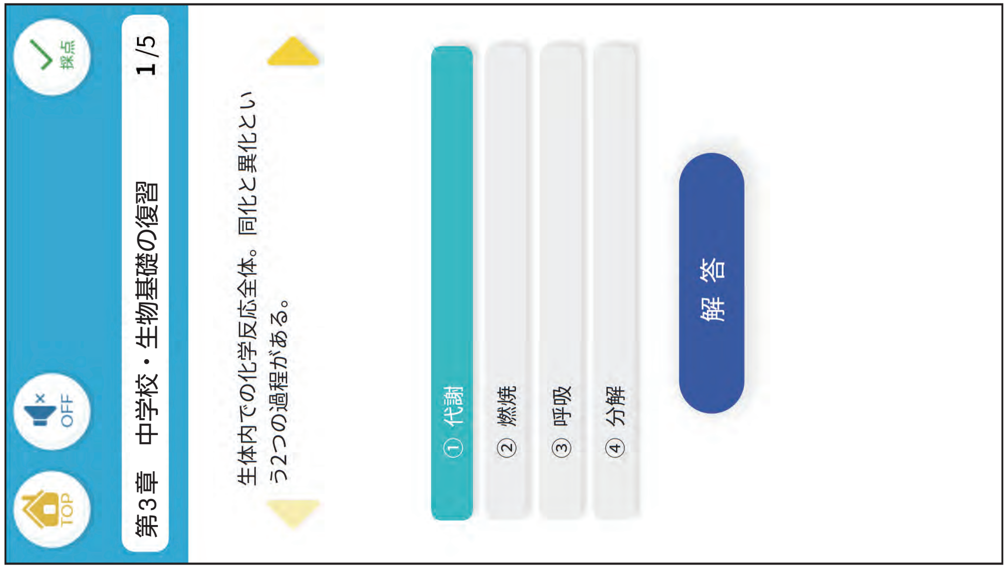
ATPがもつエネルギー量と，ADPと1つのリン酸がそれぞれもつエネルギー量の総和では，ATPがもつエネルギー量のほうが大きい。ATPがADPとリン酸に分解される場合には，そのエネルギー量の差の分のエネルギーが放出される（図2ⓐ）。一方，ADPとリン酸が結合してATPが合成される場合には，その差の分のエネルギーが吸収される（図2ⓑ）。

図1 ATPとADP

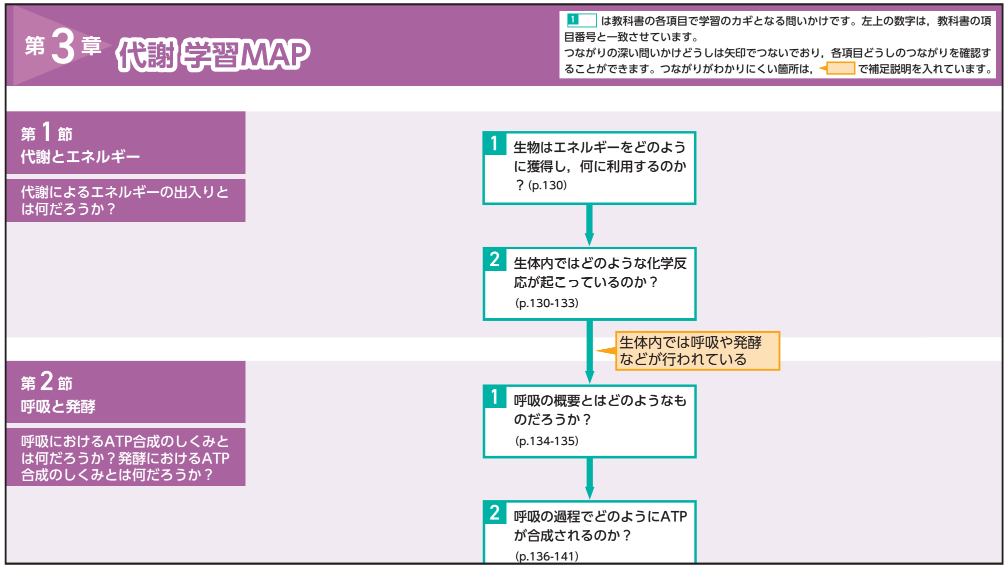
図2 ATPとADPのエネルギー

ATPやADPのリン酸どうしの結合は，高エネルギーリン酸結合とよばれることがある。

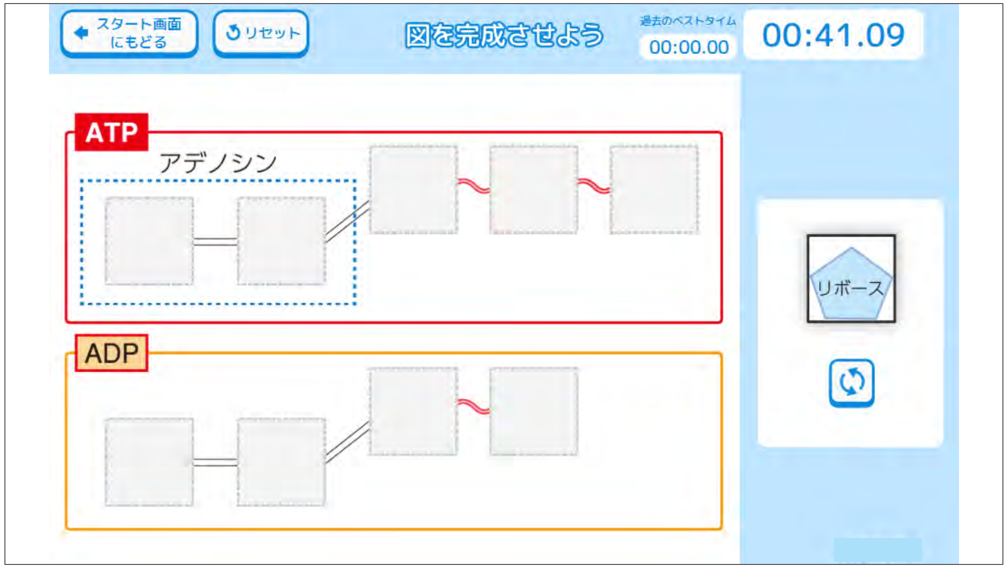
別紙 4-2



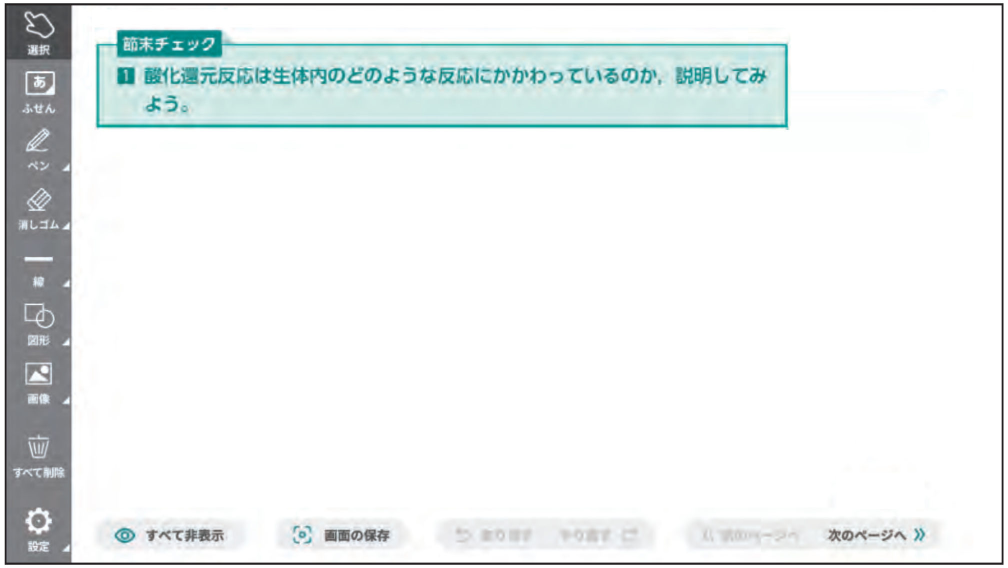
別紙 4-3



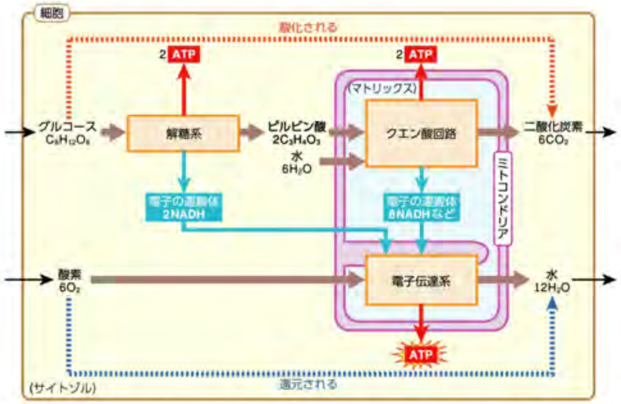
別紙 4-4



別紙 4-5

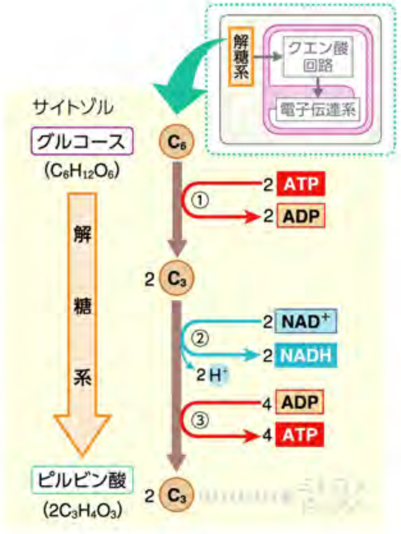


別紙 4-6



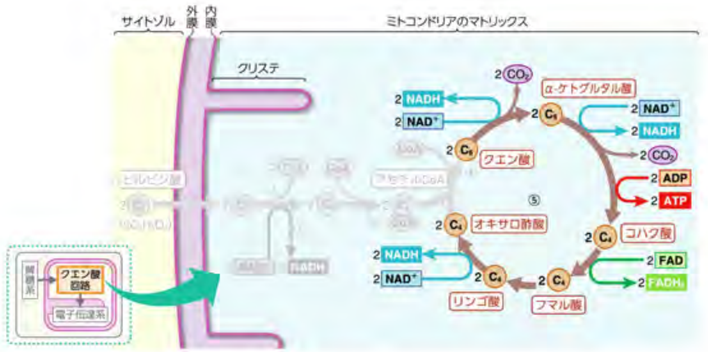
サイトゾルの中で進行する解糖系，ミトコンドリアの中で進行するクエン酸回路と電子伝達系の3段階からなる。

別紙 4-7



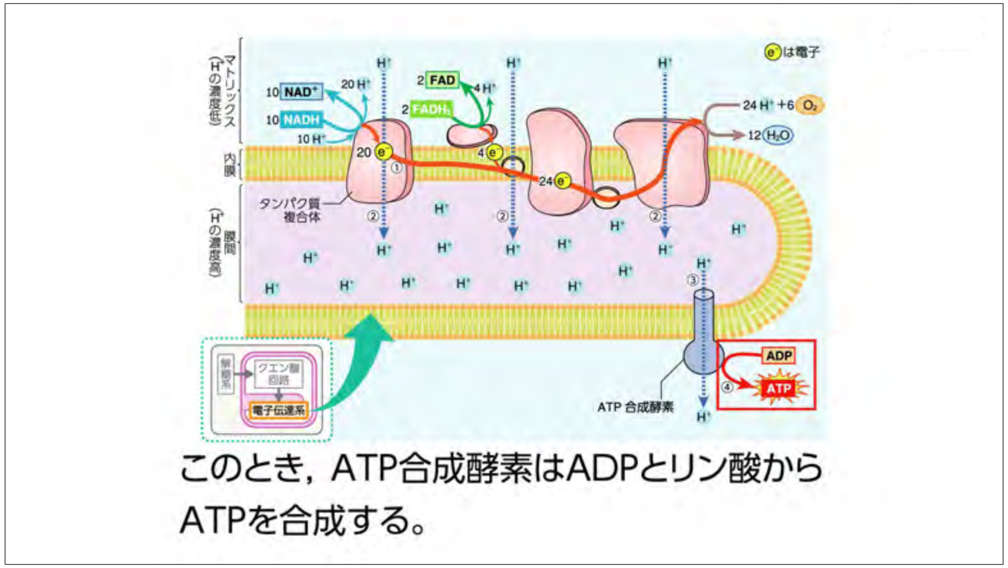
呼吸基質がグルコースである場合，まず，1分子のグルコース($C_6H_{12}O_6$)は，サイトゾルにおいて，2分子のピルビン酸($C_3H_4O_3$)に分解される。

別紙 4-8

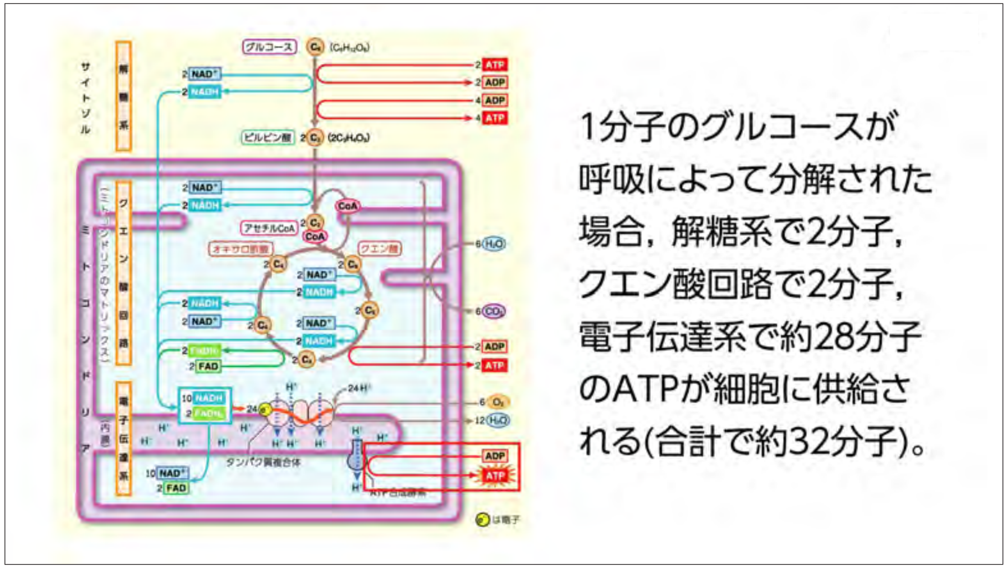


酸化還元酵素のはたらきによって酸化されるとともに，NADHや$FADH_2$を生じる。

別紙 4-9

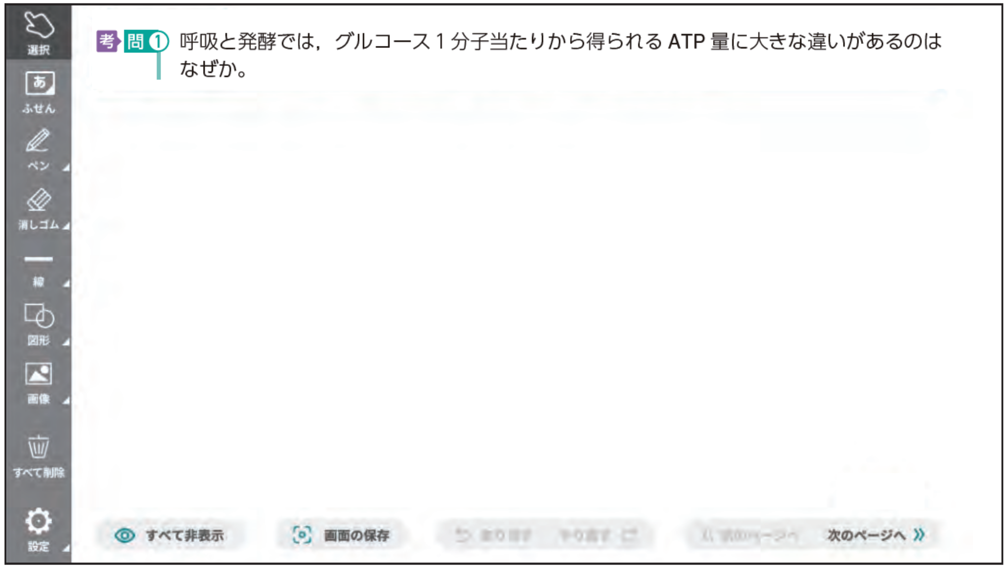


別紙 4-10



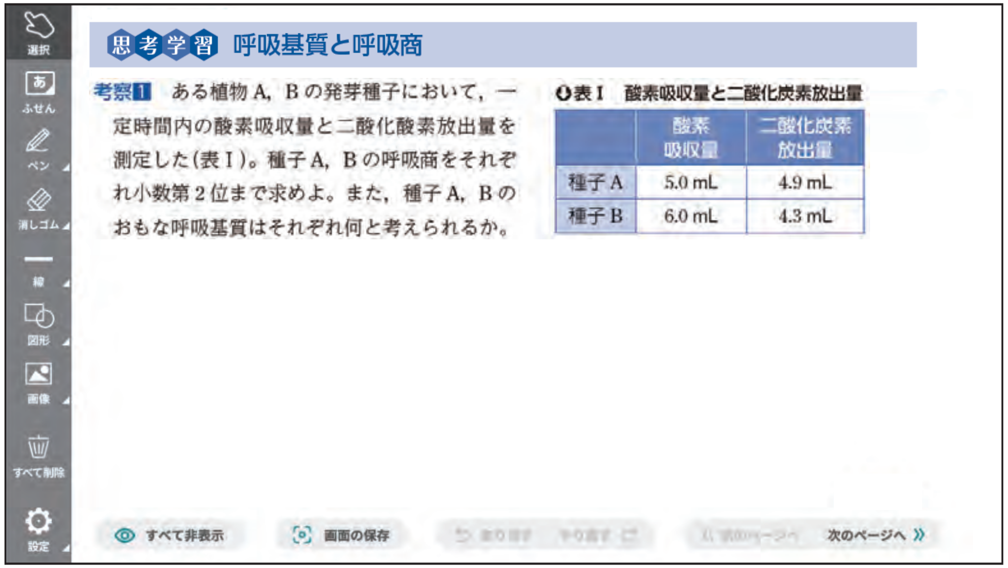
別紙 4-11

別紙 4-12



別紙 4-13

別紙 4-14



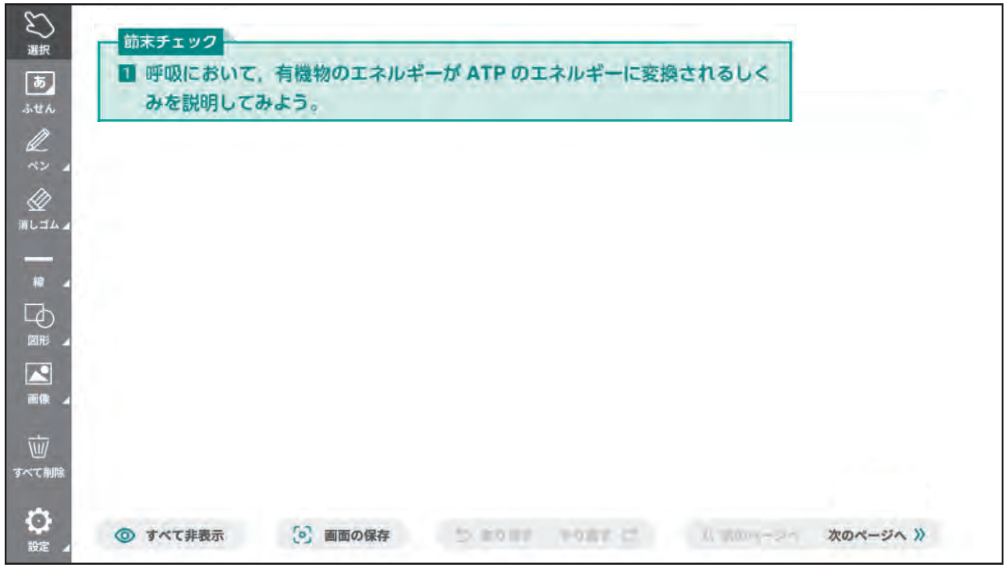
思考学習 呼吸基質と呼吸商

考察1 ある植物A，Bの発芽種子において，一定時間内の酸素吸収量と二酸化炭素放出量を測定した(表Ⅰ)。種子A，Bの呼吸商をそれぞれ小数第2位まで求めよ。また，種子A，Bのおもな呼吸基質はそれぞれ何と考えられるか。

表Ⅰ 酸素吸収量と二酸化炭素放出量

	酸素吸収量	二酸化炭素放出量
種子A	5.0 mL	4.9 mL
種子B	6.0 mL	4.3 mL

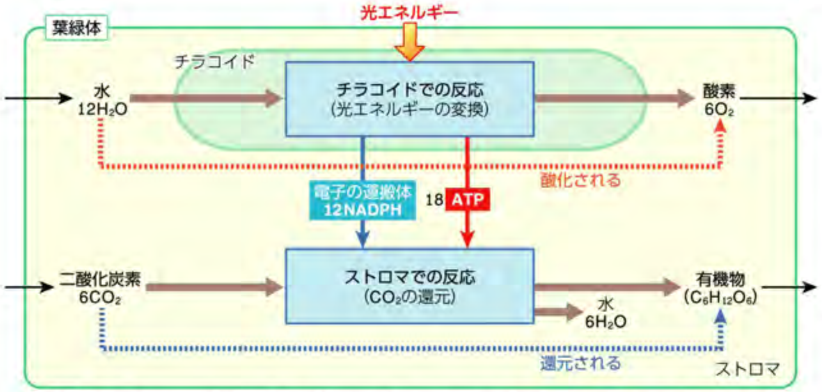
別紙 4-15



節末チェック

1 呼吸において，有機物のエネルギーがATPのエネルギーに変換されるしくみを説明してみよう。

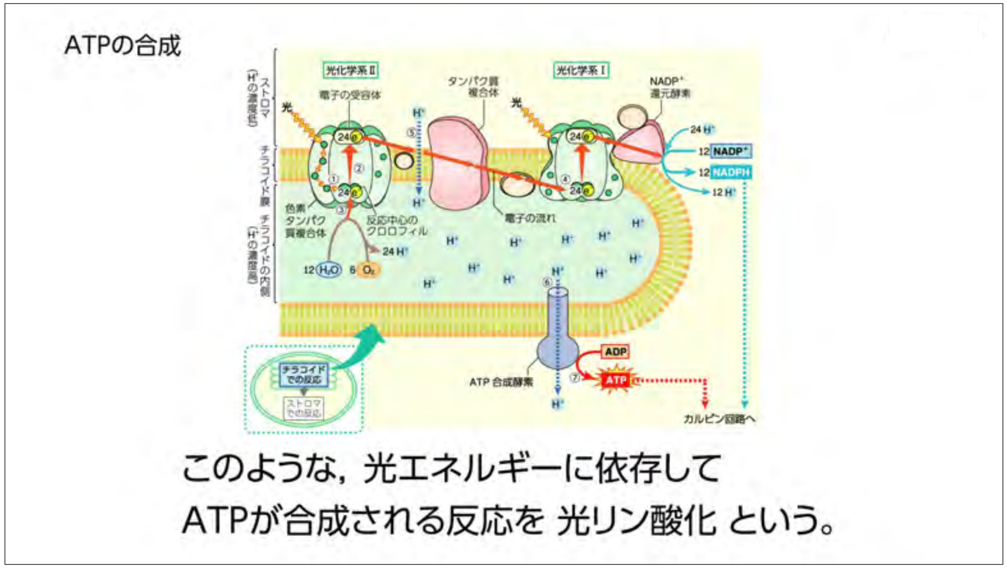
別紙 4-16



光合成は，太陽の光エネルギーをATPとNADPHを通して有機物中に蓄えるはたらきであるといえる。

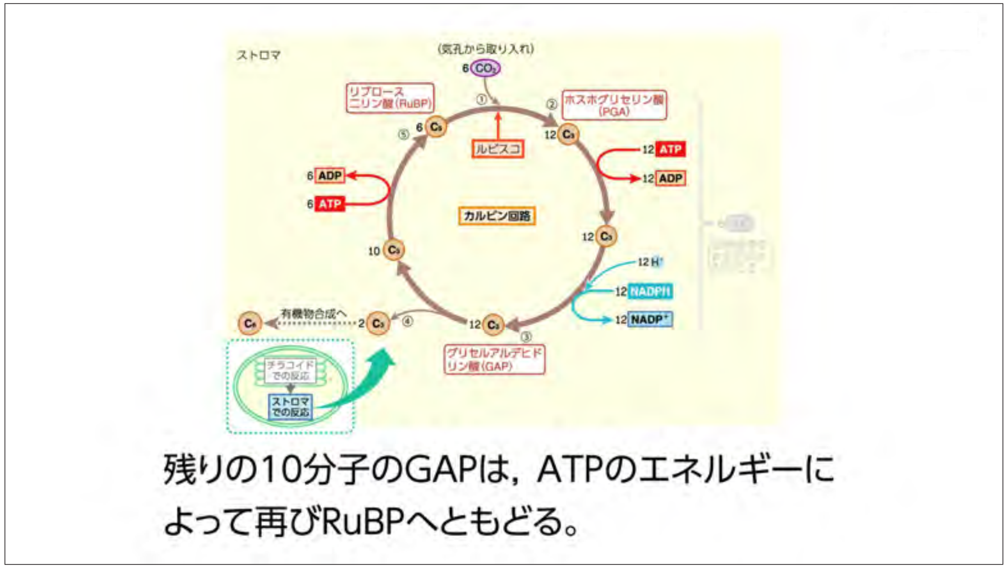
別紙 4-17

別紙 4-18

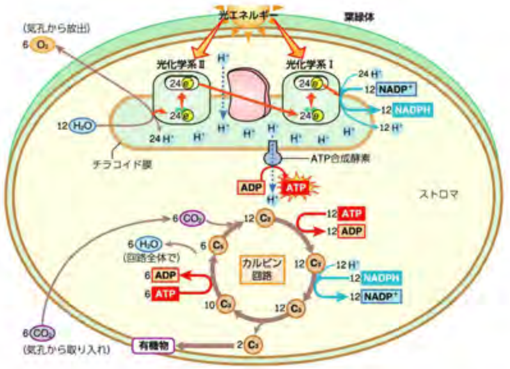


別紙 4-19

別紙 4-20



別紙 4-21



光合成の反応は，上の図のようにまとめられる。

別紙 4-22

思考学習 電子伝達系における ATP 合成と H^+の濃度勾配

呼吸や光合成の電子伝達系における ATP 合成と H^+の濃度勾配の関係を調べるために，1960 年代にヤーゲンドルフは次のような実験を行った。

実験 植物から葉緑体のチラコイドを取り出し，酸性溶液(H^+の濃度の高い溶液)に浸してから，次にアルカリ性溶液(H^+の濃度の低い溶液)に移した。その結果，ATP が合成された。ただし，実験はすべて暗所で行われ，溶液には ADP とリン酸が加えられている。

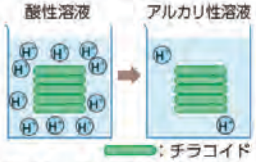


図1 ヤーゲンドルフの実験

考察1 この実験により ATP が合成された理由を考察せよ。

すべて非表示　画面の保存　次のページへ

別紙 4-23

資料

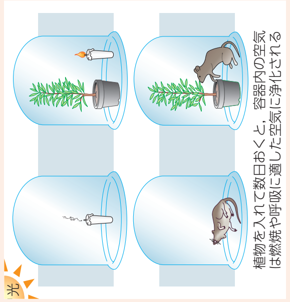
光合成の研究の歴史

植物の光合成のしくみは，長い探究の歴史の末に明らかになってきた。

○初期の光合成研究

古代ギリシャの哲学者アリストテレス(紀元前 4 世紀)は，「植物は成長に必要な物質をすべて土の中から取り入れている」と考えた。

17 世紀になると，ファン ヘルモント(ベルギー)は，実験によりアリストテレスの考えを検証した。彼は，鉢植えのヤナギの木に水だけを与えて 5 年間育てた。その結果，ヤナギの重さは 30 倍以上になったが，土の重さはほとんど変わらなかった。このことから，植物の成長は土の養分ではなく，水によると結論づけた。



植物を入れて数日おくと，容器内の空気は燃焼や呼吸に適した空気に浄化される

18 世紀後半，プリーストリー(イギリス)は，密閉した容器の中の燃焼や呼吸によって「汚れた」空気が植物によって浄化されることを発見し，燃焼や動物の呼吸に必要な気体を植物がつくると考えた。

別紙 4-24

節末チェック

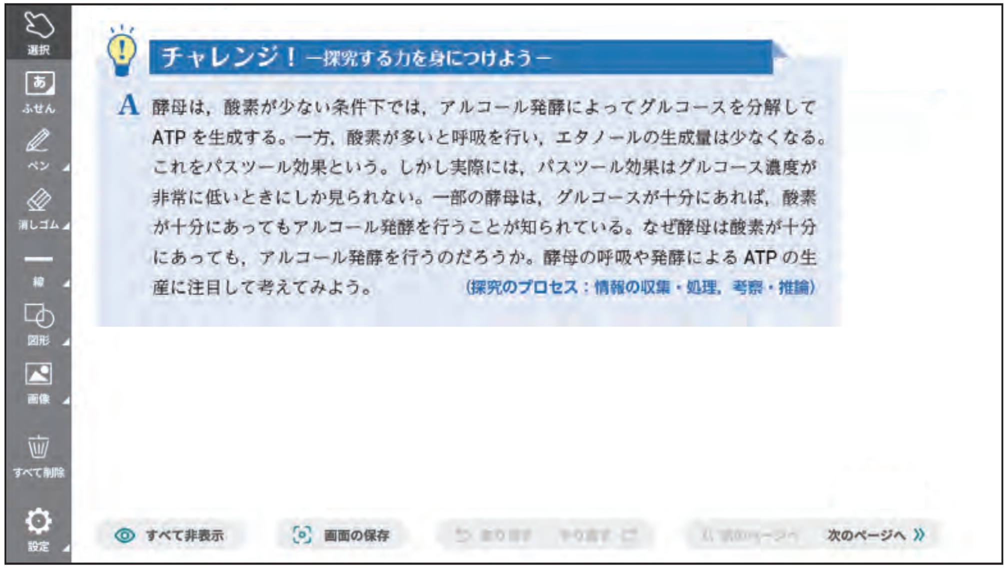
1 光合成において，光エネルギーが有機物のエネルギーに変換されるしくみを説明してみよう。

すべて非表示　画面の保存　次のページへ

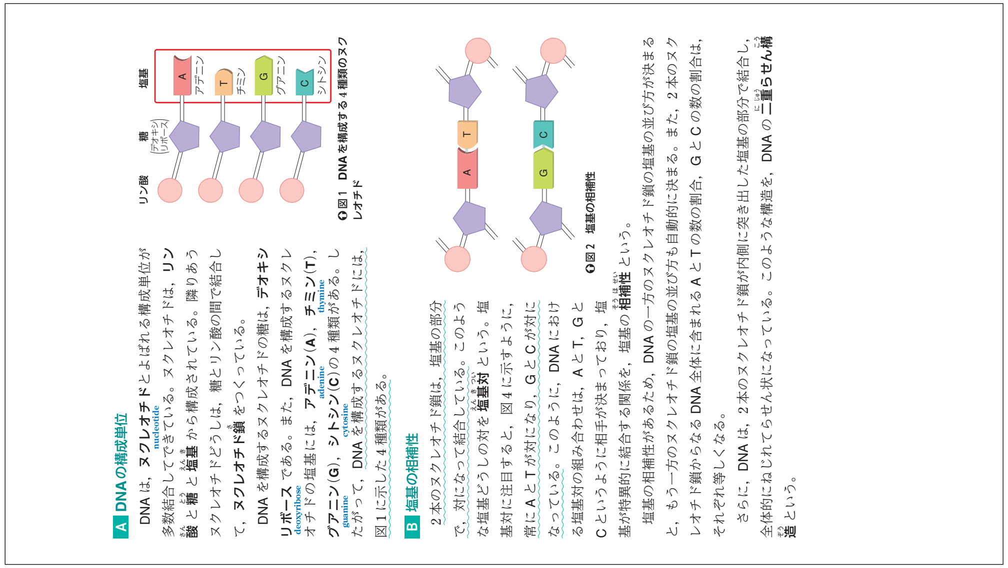
別紙 4-25

選択
ふせん
ペン
消しゴム
線
図形
画像
すべて削除
設定
補充問題
① ミトコンドリアの構造を図示せよ。
すべて非表示
画面の保存
次のページへ

別紙 4-26


選択
ふせん
ペン
消しゴム
線
図形
画像
すべて削除
設定
チャレンジ！ ー探究する力を身につけようー
A 酵母は，酸素が少ない条件下では，アルコール発酵によってグルコースを分解して ATP を生成する。一方，酸素が多いと呼吸を行い，エタノールの生成量は少なくなる。これをパスツール効果という。しかし実際には，パスツール効果はグルコース濃度が非常に低いときにしか見られない。一部の酵母は，グルコースが十分にあれば，酸素が十分にあってもアルコール発酵を行うことが知られている。なぜ酵母は酸素が十分にあっても，アルコール発酵を行うのだろうか。酵母の呼吸や発酵による ATP の生産に注目して考えてみよう。
(探究のプロセス：情報の収集・処理，考察・推論)
すべて非表示
画面の保存
次のページへ

別紙 5-1


A DNAの構成単位

DNA は，ヌクレオチド（nucleotide）とよばれる構成単位が多数結合してできている。ヌクレオチドは，リン酸 と 糖 と 塩基 から構成されている。隣りあうヌクレオチドどうしは，糖とリン酸の間で結合して，ヌクレオチド鎖 をつくっている。

DNA を構成するヌクレオチドの糖は，デオキシリボース（deoxyribose）である。また，DNA を構成するヌクレオチドの塩基には，アデニン（A）（adenine），チミン（T）（thymine），グアニン（G）（guanine），シトシン（C）（cytosine）の 4 種類がある。したがって，DNA を構成するヌクレオチドには，図 1 に示した 4 種類がある。

図1　DNA を構成する 4 種類のヌクレオチド

B 塩基の相補性

2 本のヌクレオチド鎖は，塩基の部分で，対になって結合している。このような塩基どうしの対を 塩基対 という。塩基対に注目すると，図 4 に示すように，常に A と T が対になり，G と C が対になっている。このように，DNA における塩基対の組み合わせは，A と T，G と C というように相手が決まっており，塩基が特異的に結合する関係を，塩基の 相補性 という。

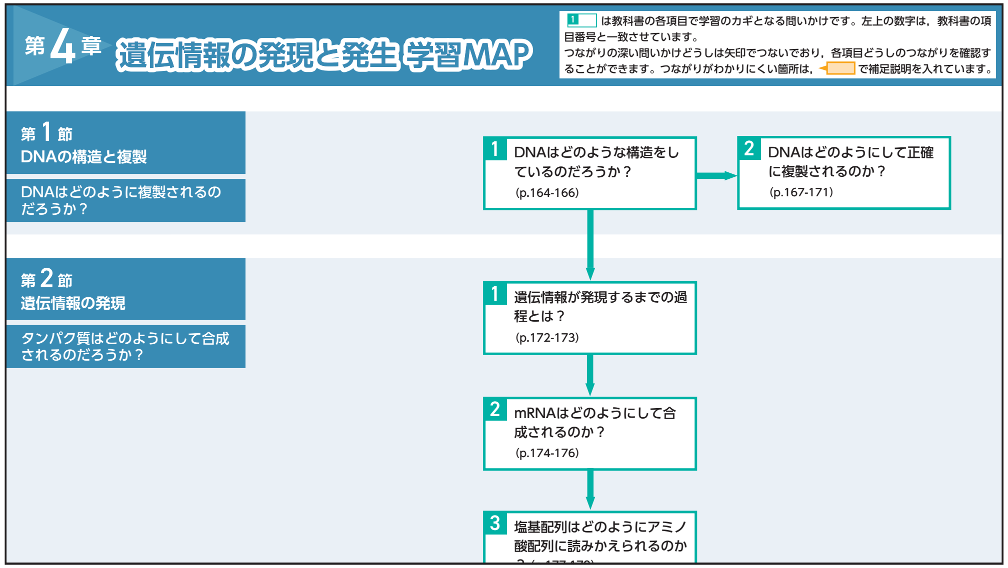
図2　塩基の相補性

塩基の相補性があるため，DNA の一方のヌクレオチド鎖の塩基の並び方が決まると，もう一方のヌクレオチド鎖の塩基の並び方も自動的に決まる。また，2 本のヌクレオチド鎖からなる DNA 全体に含まれる A と T の数の割合，G と C の数の割合は，それぞれ等しくなる。

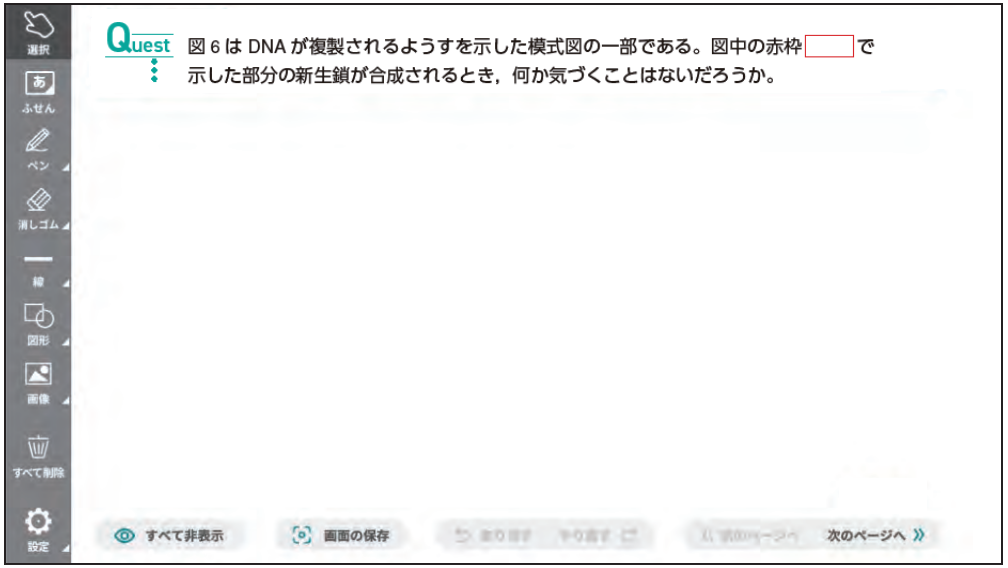
さらに，DNA は，2 本のヌクレオチド鎖が内側に突き出した塩基の部分で結合し，全体的にねじれてらせん状になっている。このような構造を，DNA の 二重らせん構造 という。

別紙 5-2

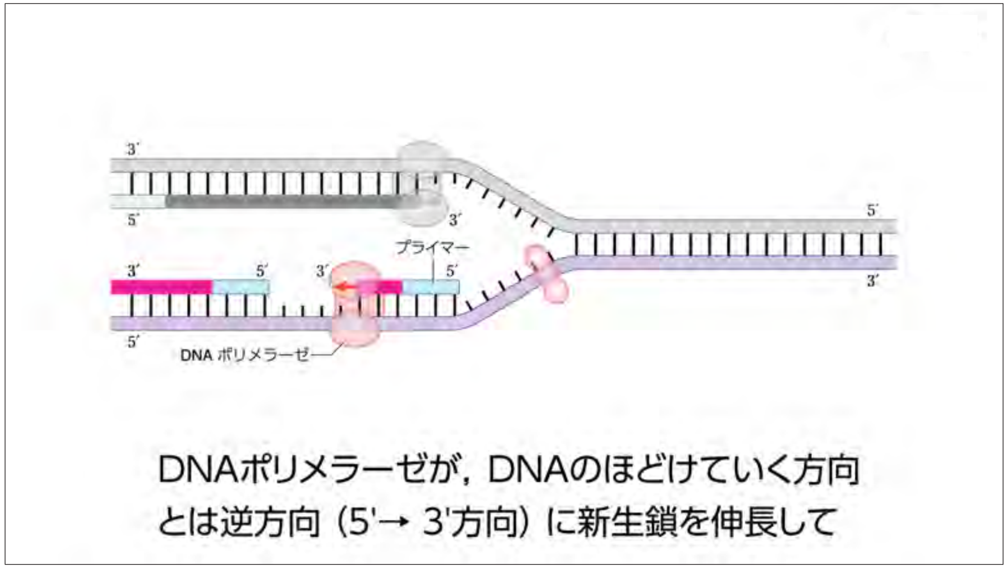
別紙 5-3



別紙 5-4

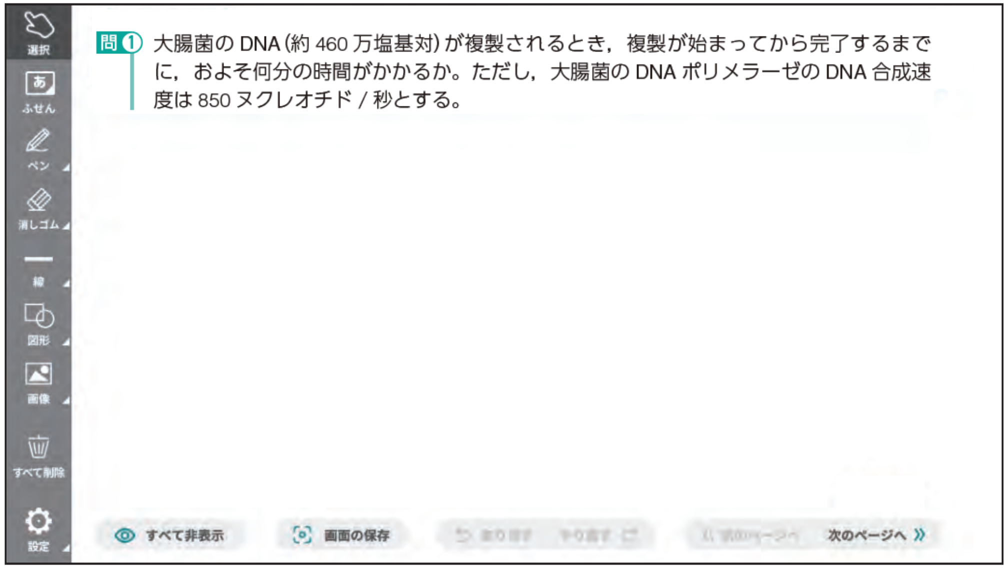


別紙 5-5

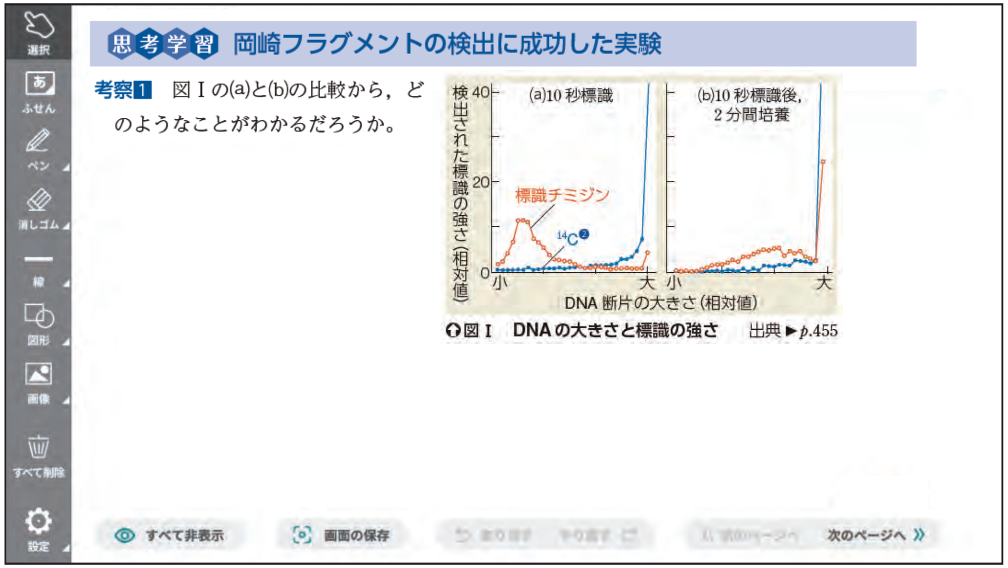


別紙 5-6

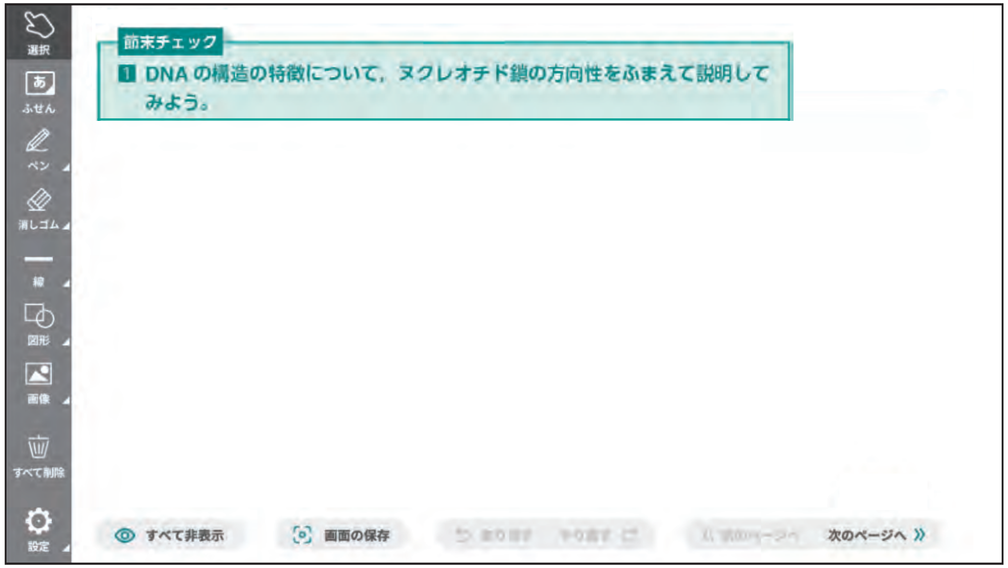
別紙 5-7



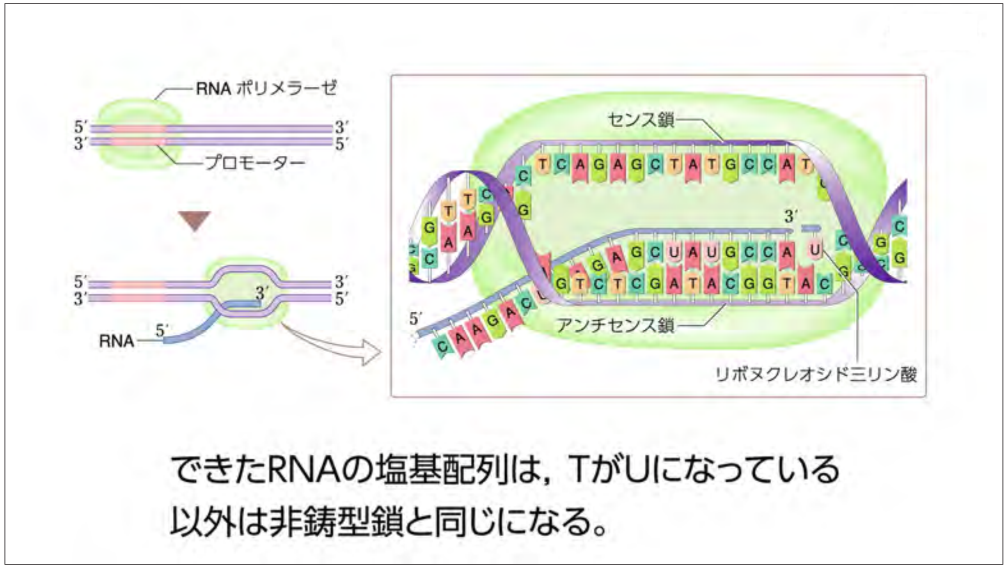
別紙 5-8



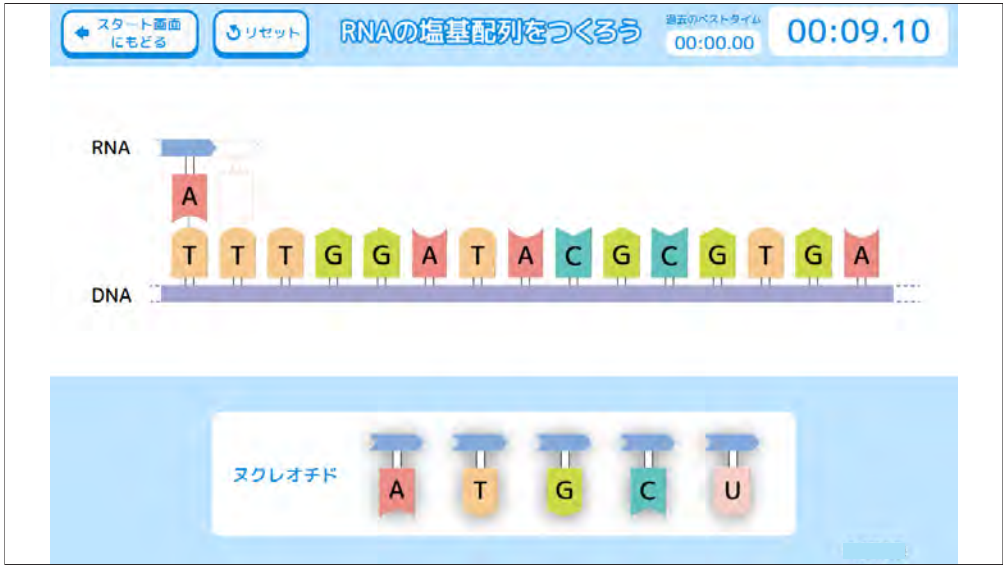
別紙 5-9



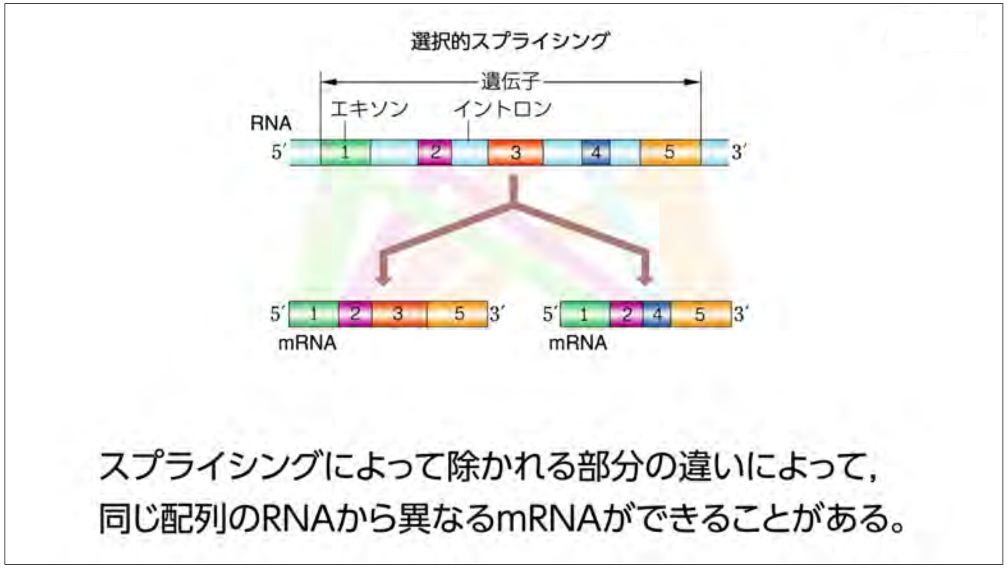
別紙 5-10



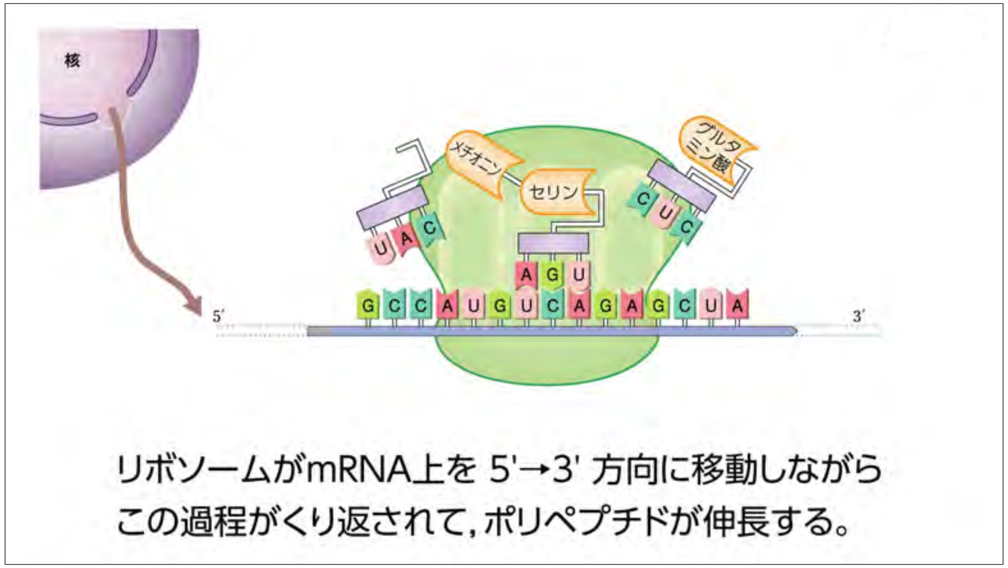
別紙 5-11



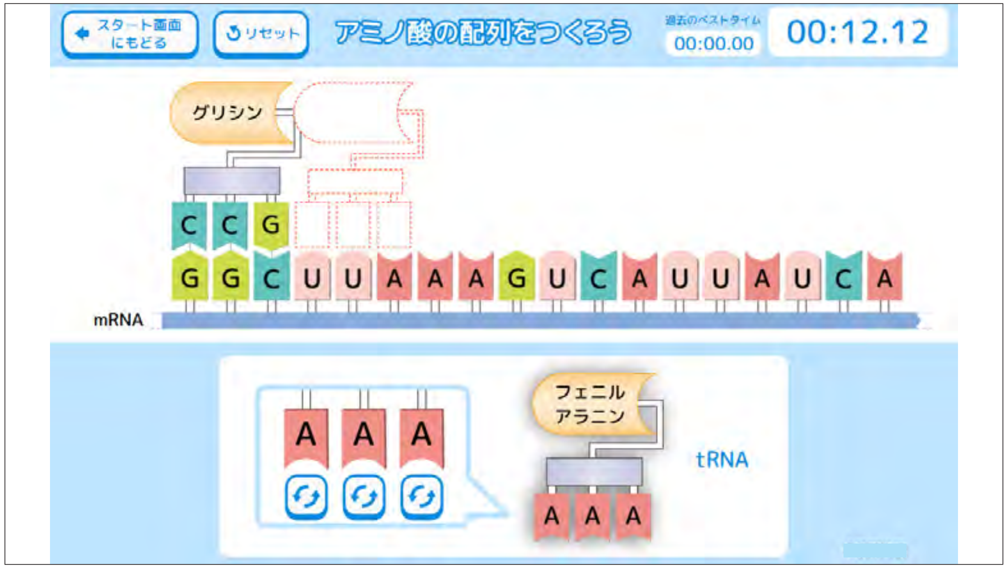
別紙 5-12



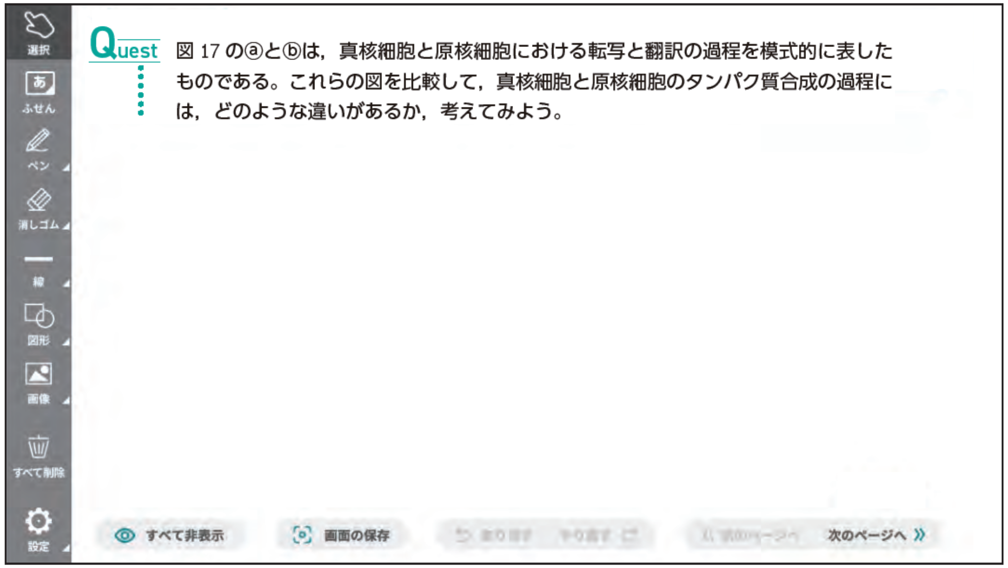
別紙 5-13



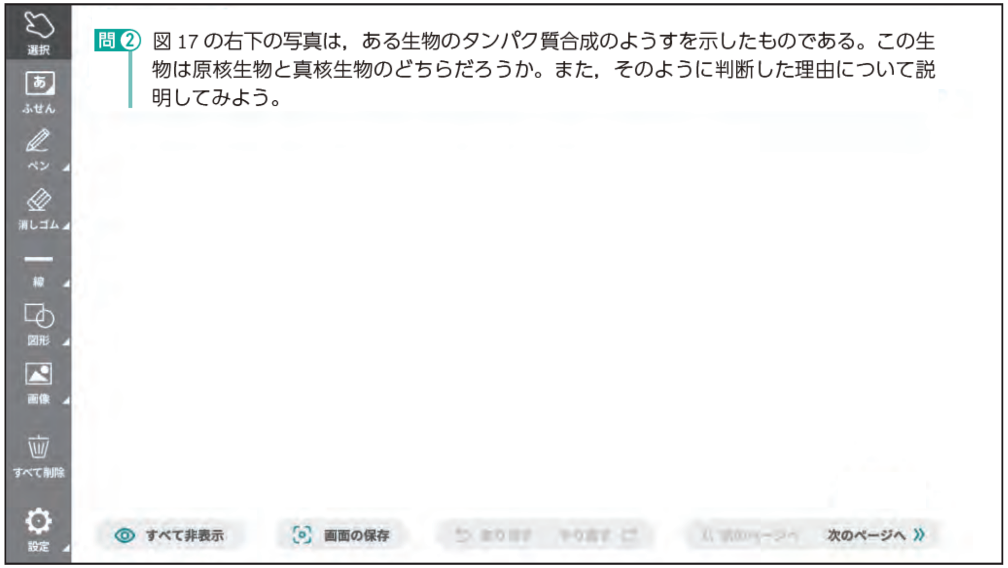
別紙 5-14



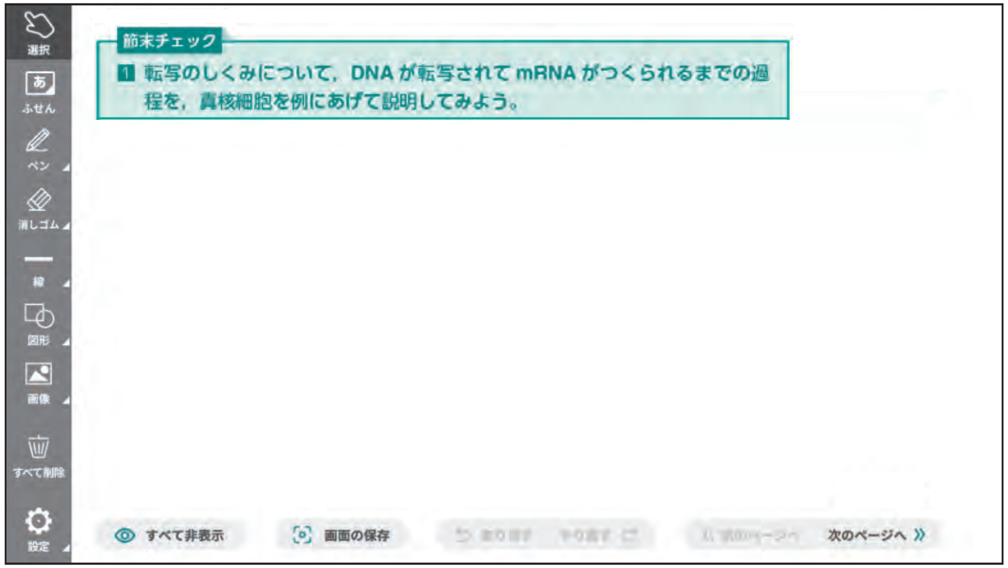
別紙 5-15



別紙 5-16

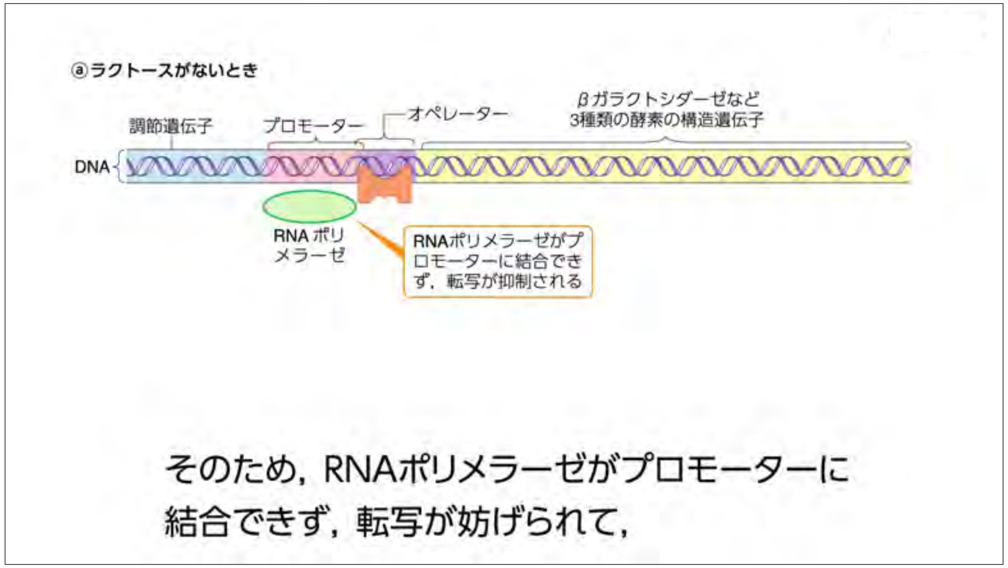


別紙 5-17

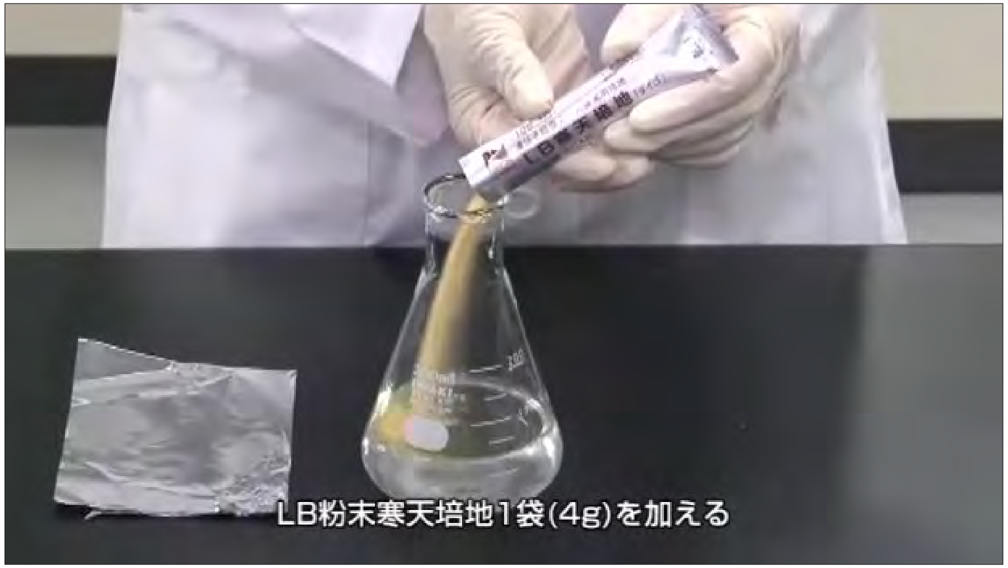


別紙 5-18

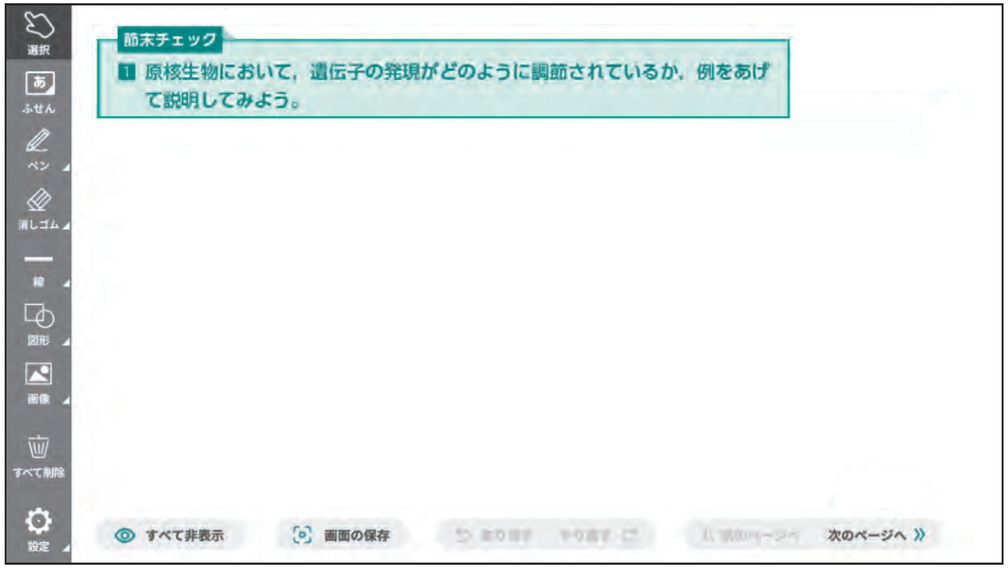
別紙 5-19



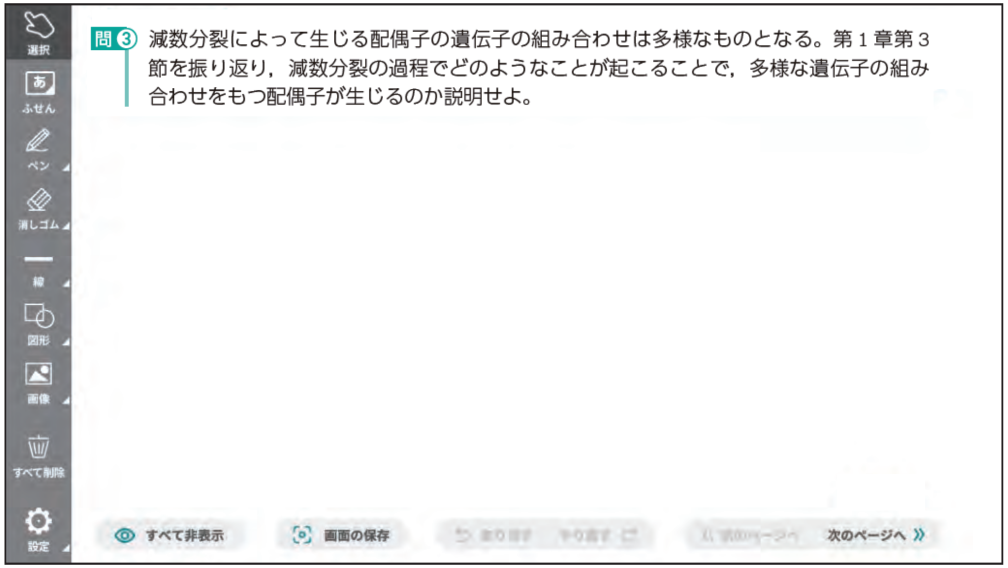
別紙 5-20



別紙 5-21

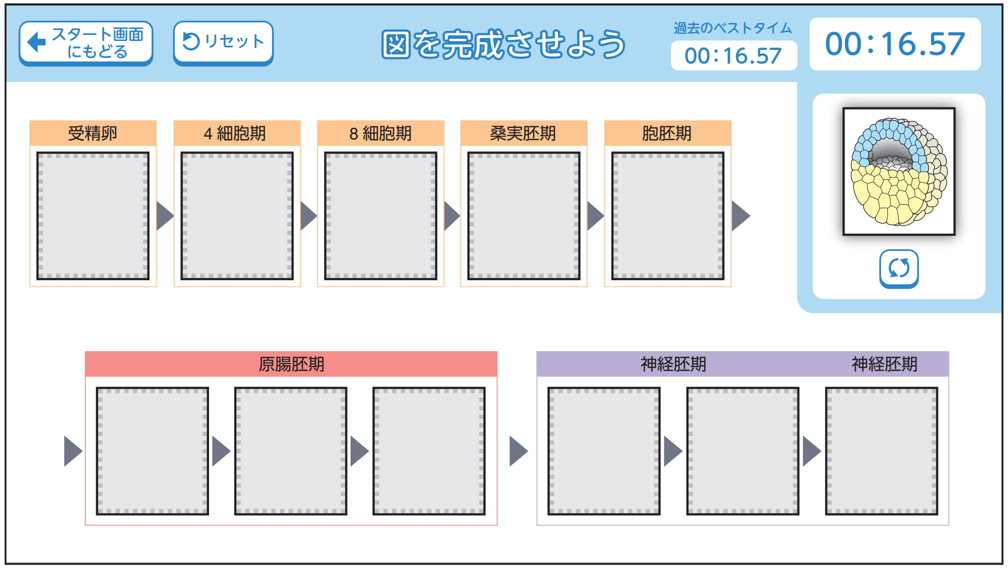


別紙 5-22

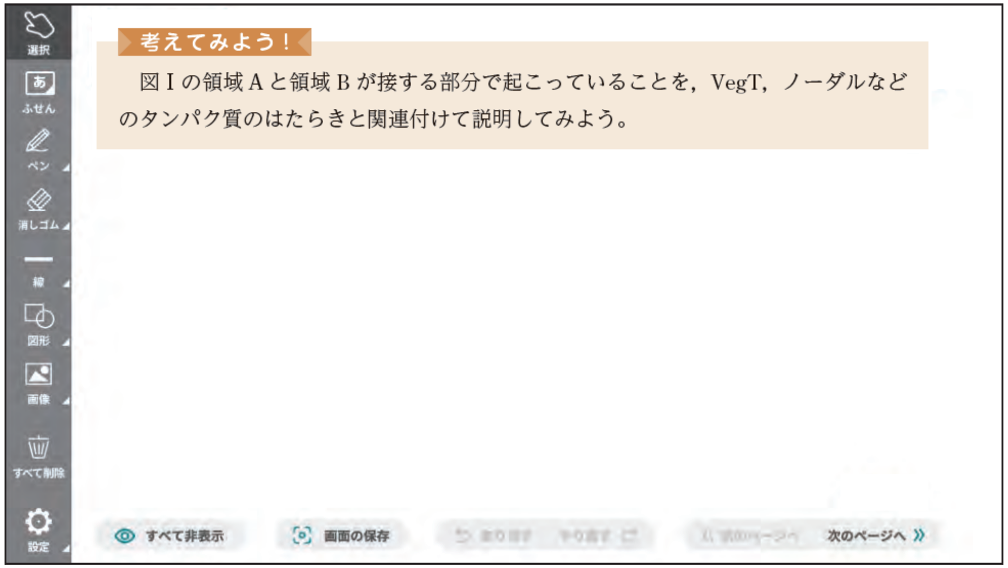


別紙 5-23

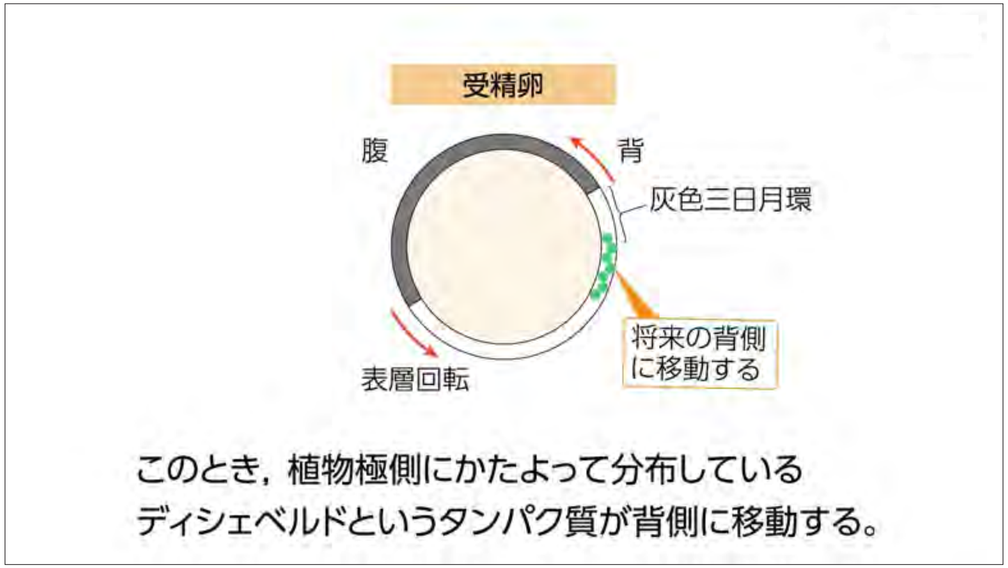
別紙 5-24



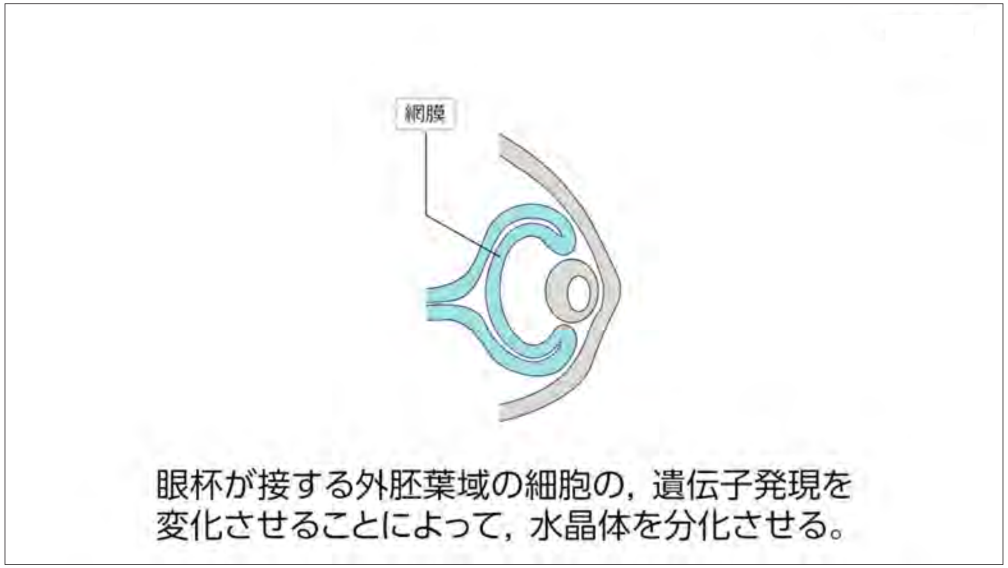
別紙 5-25



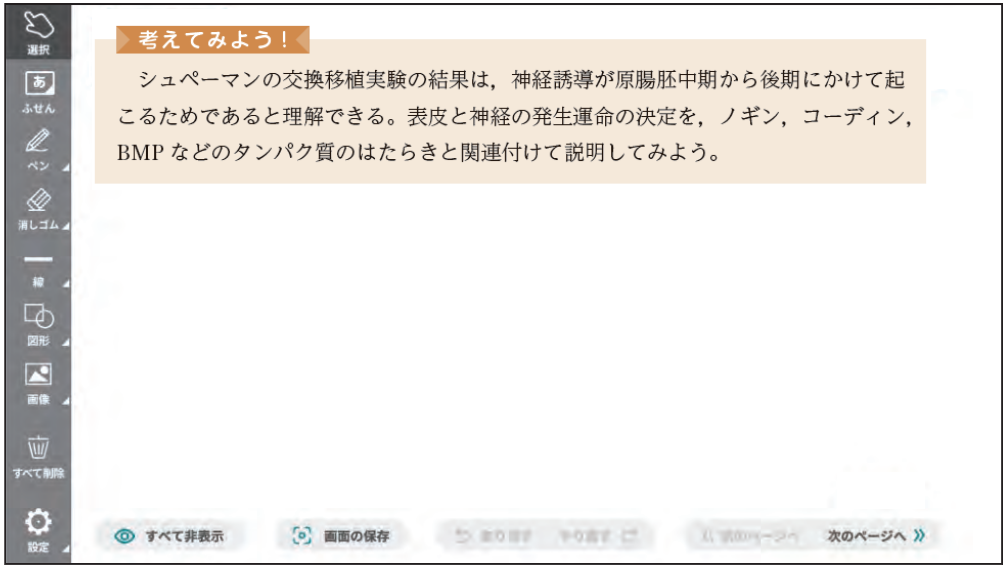
別紙 5-26



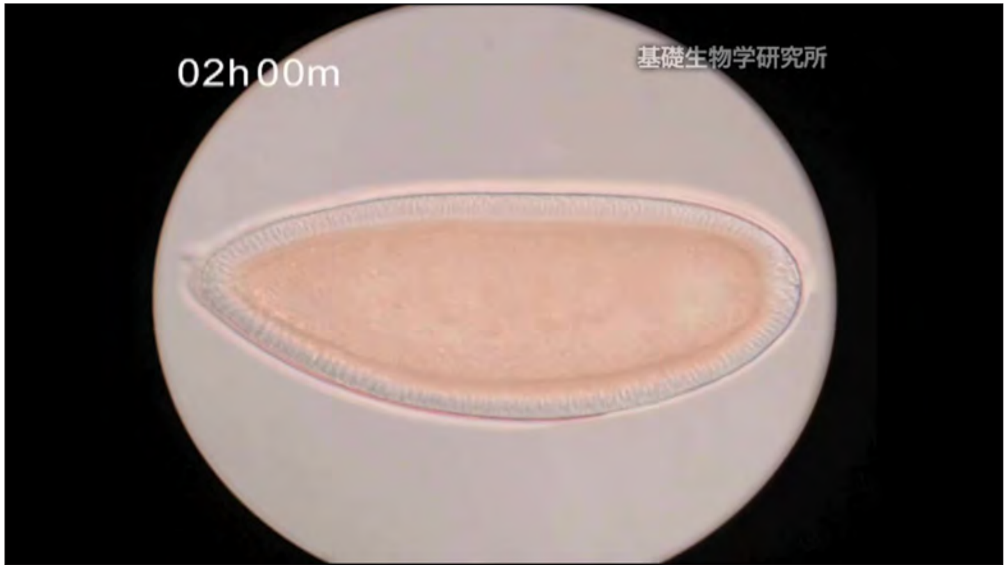
別紙 5-27



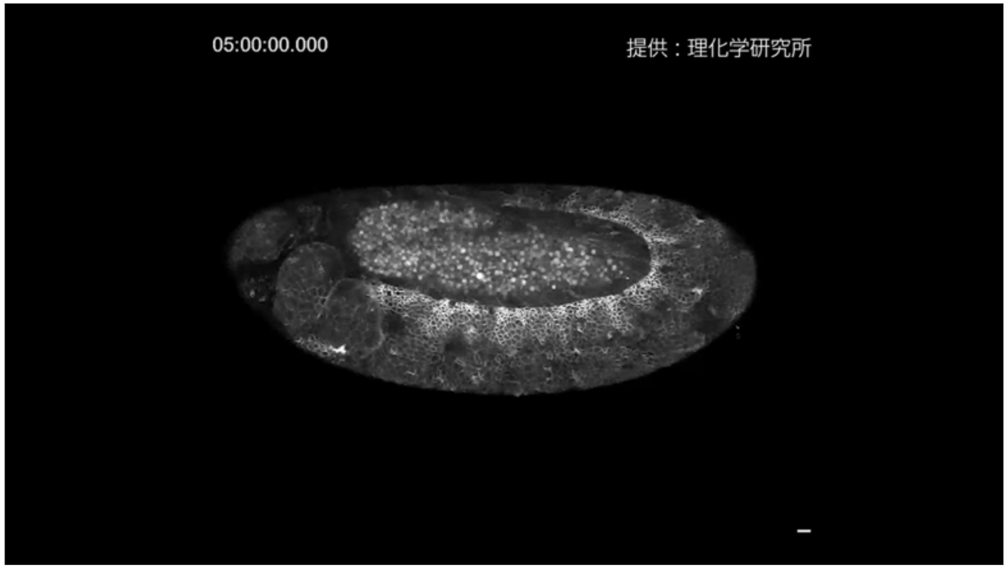
別紙 5-28



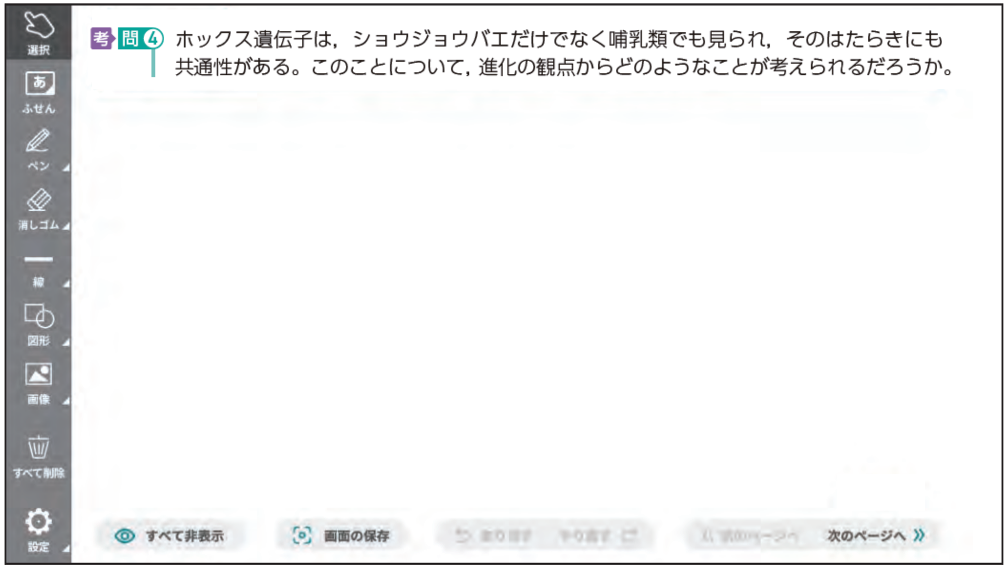
別紙 5-29



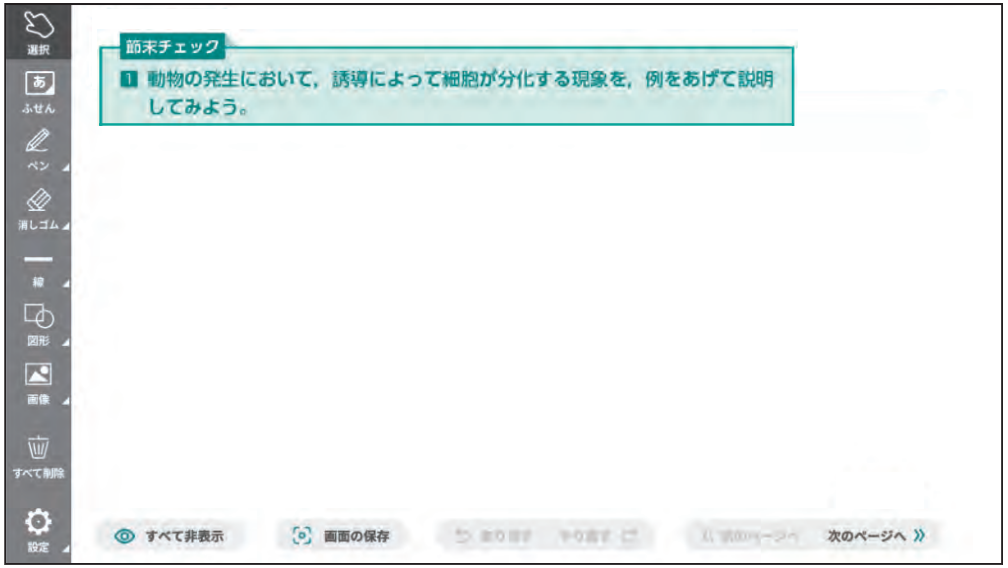
別紙 5-30



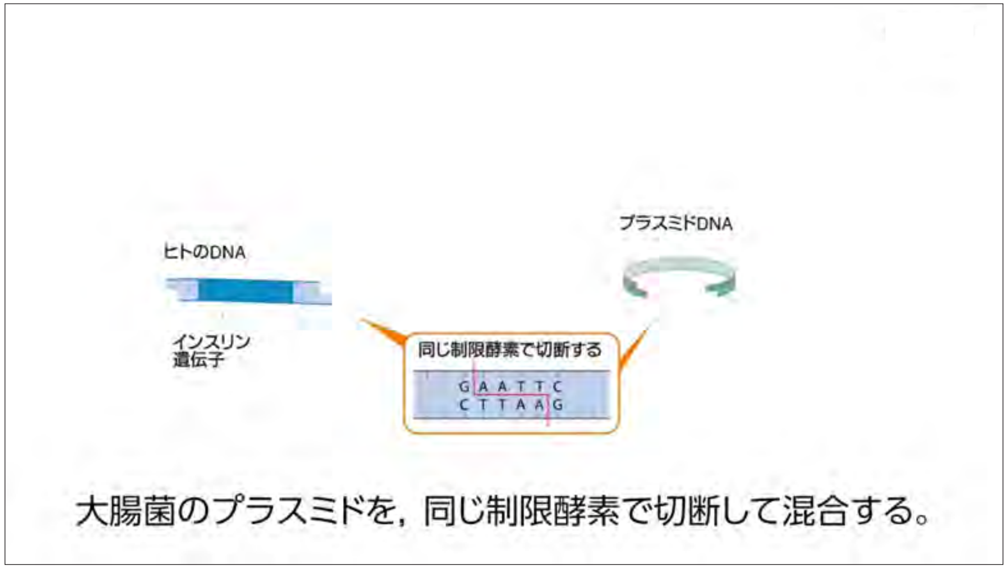
別紙 5-31



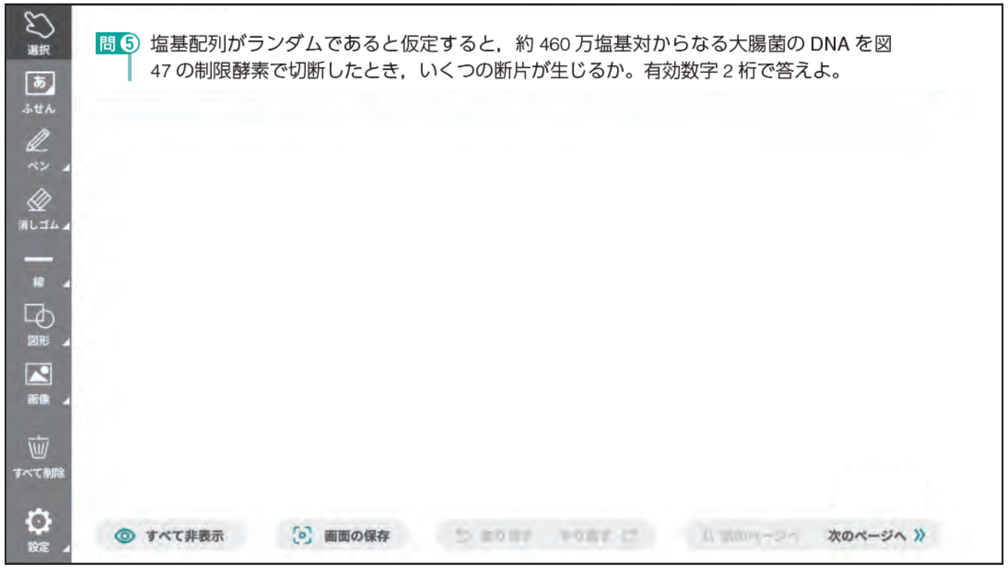
別紙 5-32



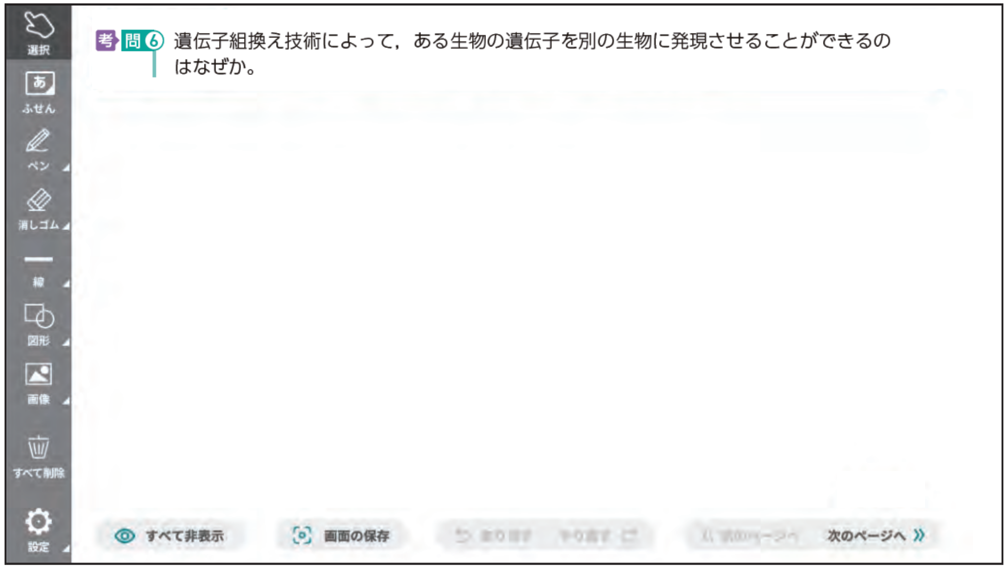
別紙 5-33



別紙 5-34

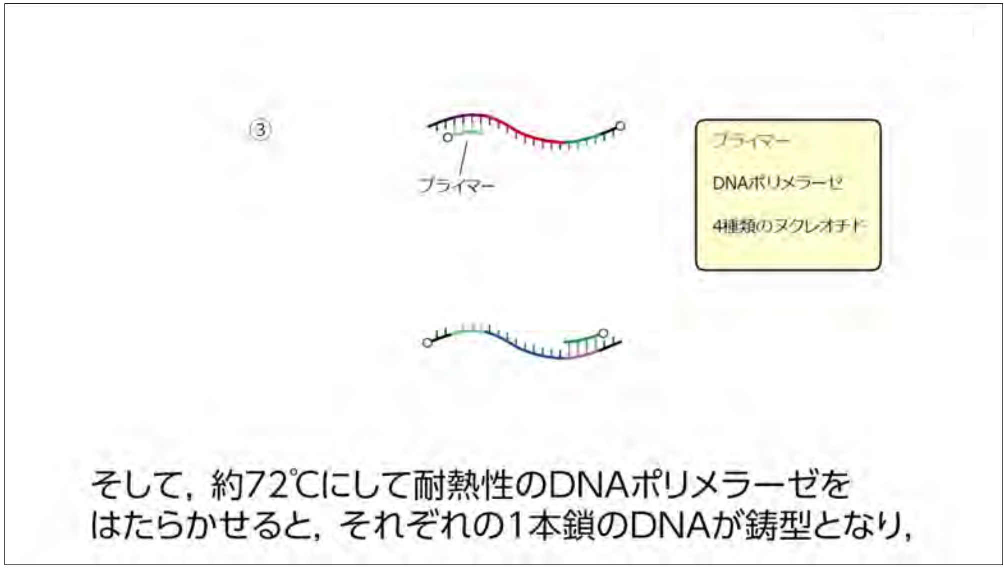


別紙 5-35

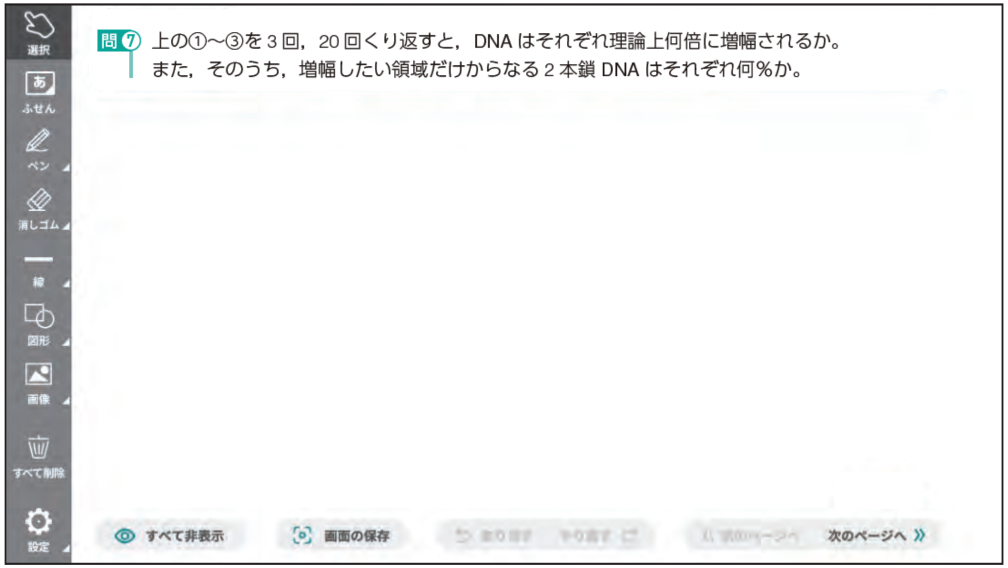


別紙 5-36

別紙 5-37

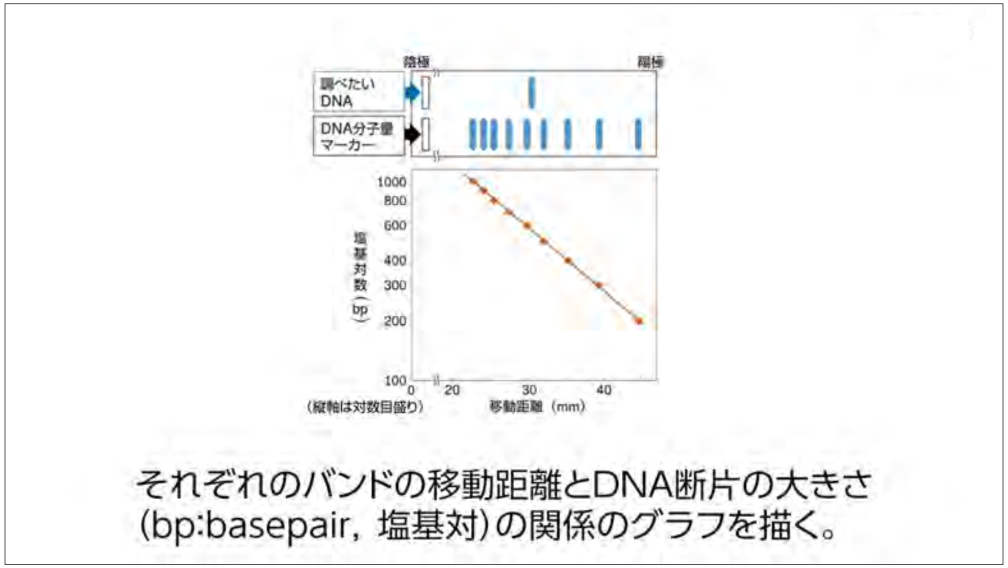


別紙 5-38

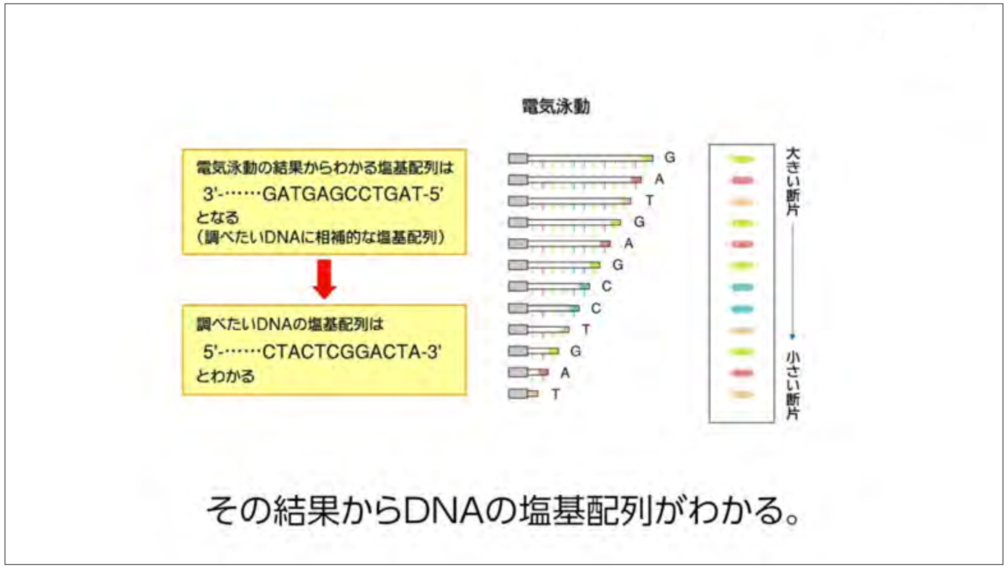


別紙 5-39

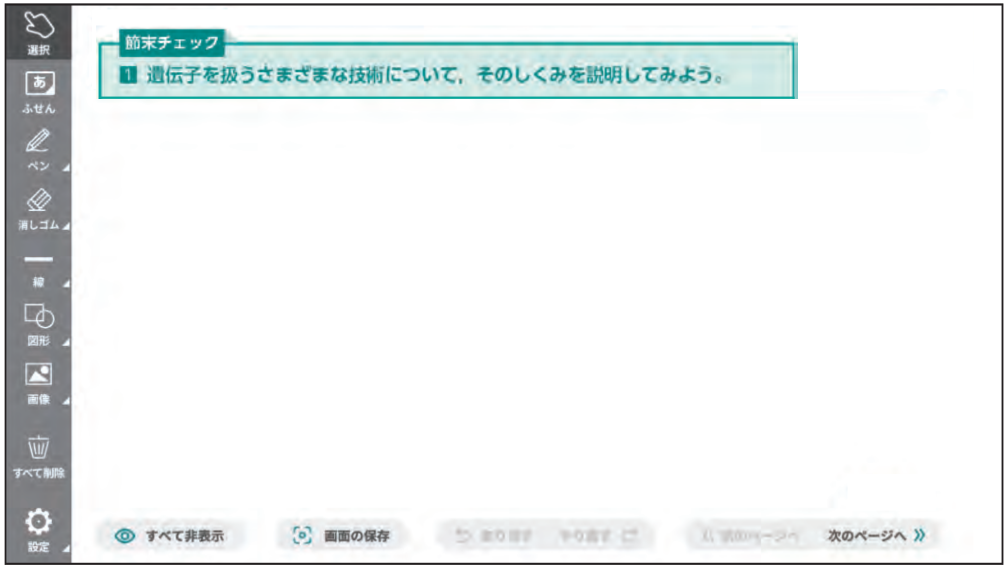
別紙 5-40



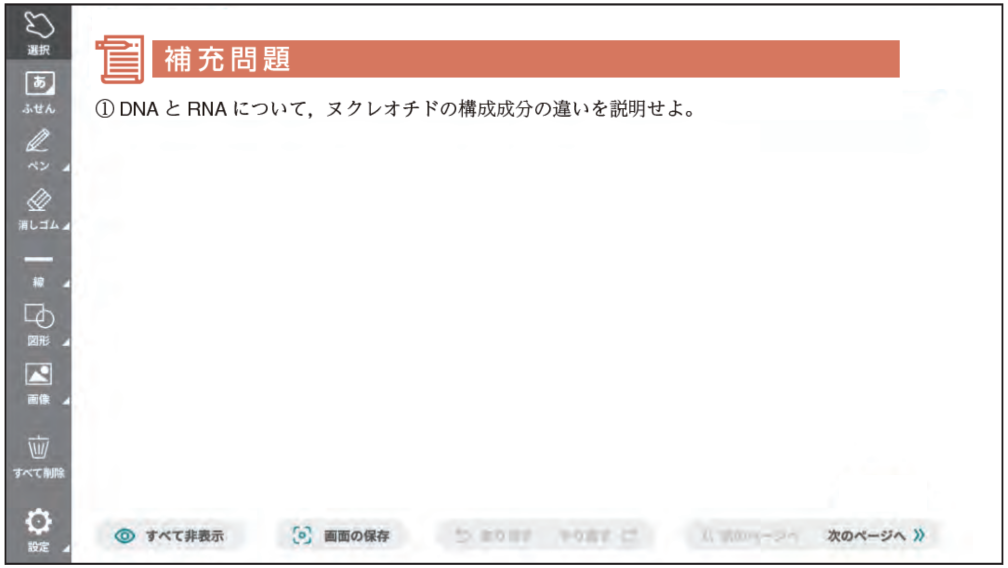
別紙 5-41



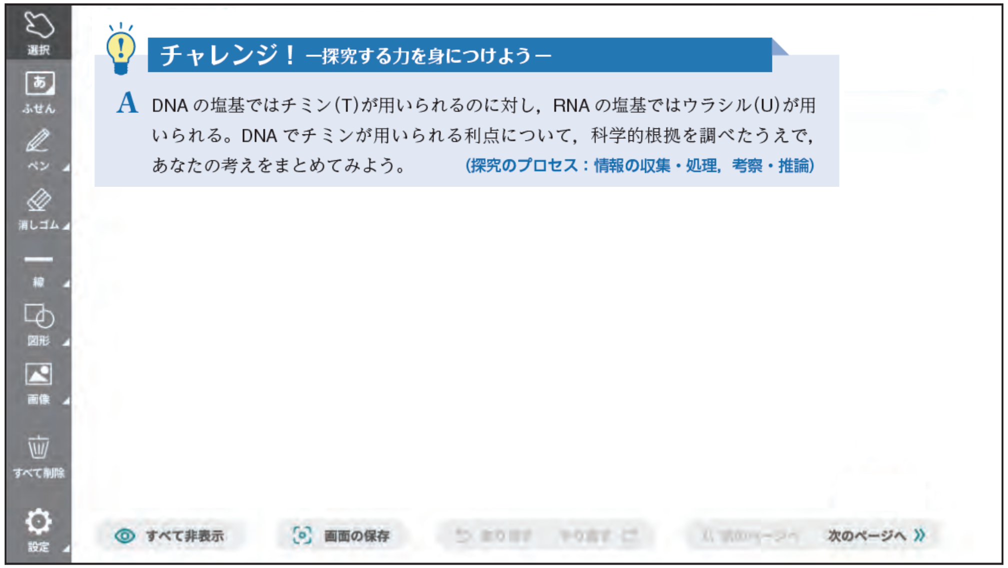
別紙 5-42



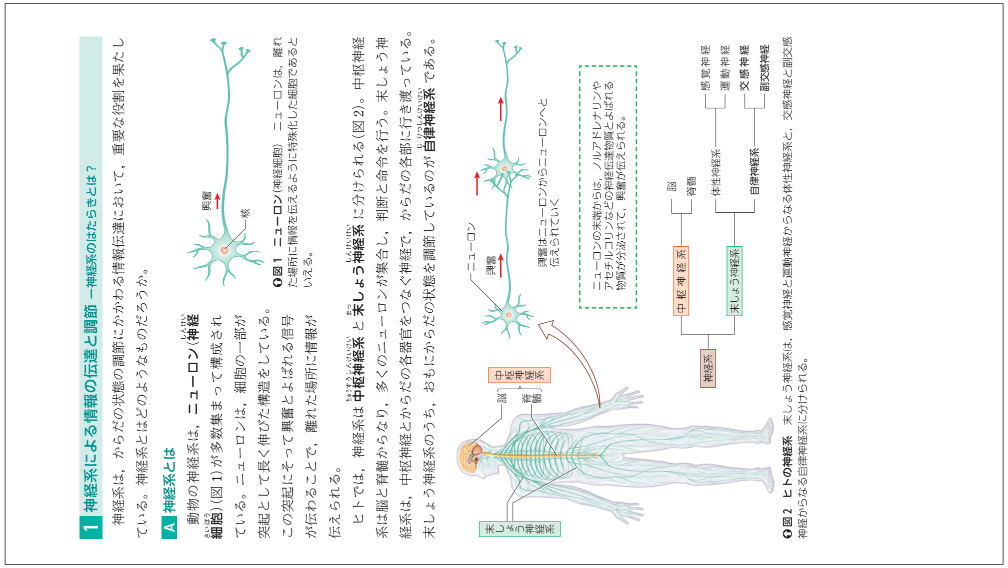
別紙 5-43



別紙 5-44



別紙 6-1



1 神経系による情報の伝達と調節 ―神経系のはたらきとは？

神経系は，からだの状態の調節にかかわる情報伝達において，重要な役割を果たしている。神経系とはどのようなものだろうか。

A 神経系とは

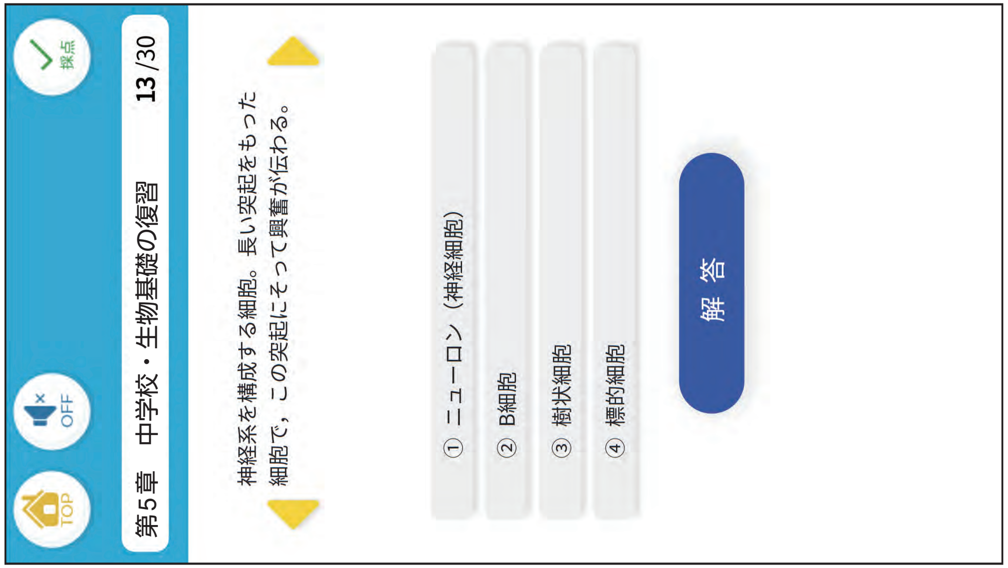
動物の神経系は，ニューロン(神経細胞)(図1)が多数集まって構成されている。ニューロンは，細胞の一部が突起として長く伸びた構造をしている。この突起にそって興奮とよばれる信号が伝わることで，離れた場所に情報が伝えられる。

ヒトでは，神経系は中枢神経系と末しょう神経系に分けられる(図2)。中枢神経系は脳と脊髄からなり，多くのニューロンが集合し，判断と命令を行う。末しょう神経系は，中枢神経とからだの各器官をつなぐ神経で，からだの各部に行き渡っている。末しょう神経系のうち，おもにからだの状態を調節しているのが自律神経系である。

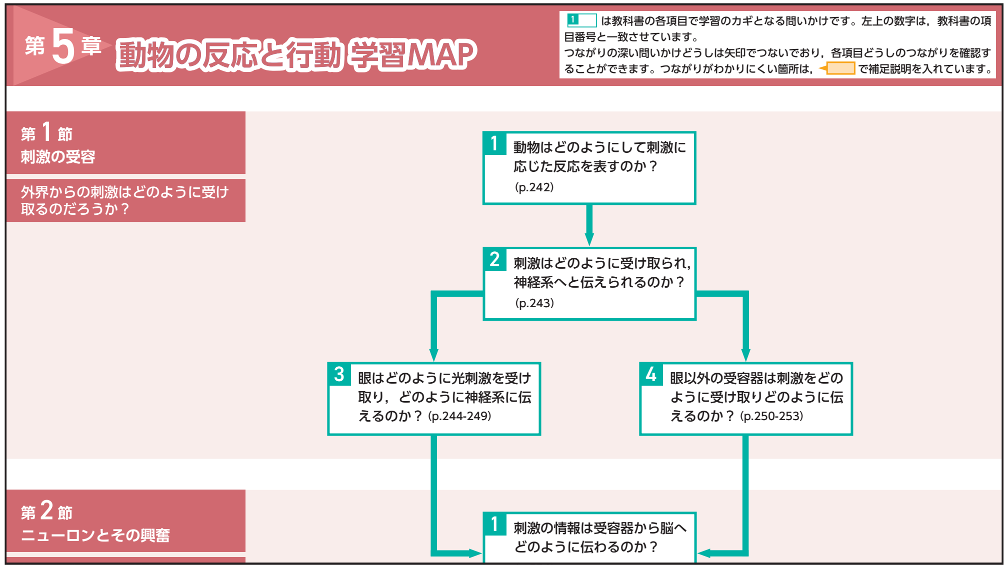
図1 ニューロン(神経細胞) ニューロンは，離れた場所に情報を伝えるように特殊化した細胞であるといえる。

図2 ヒトの神経系 末しょう神経系は，感覚神経と運動神経からなる体性神経系と，交感神経と副交感神経からなる自律神経系に分けられる。

別紙 6-2



別紙 6-3



第5章 動物の反応と行動 学習MAP

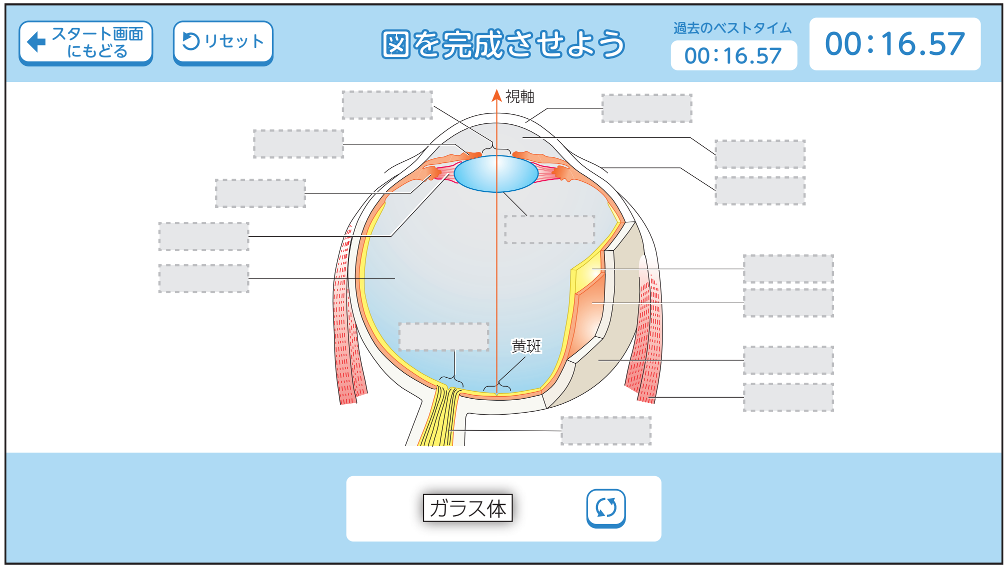
1 は教科書の各項目で学習のカギとなる問いかけです。左上の数字は，教科書の項目番号と一致させています。
つながりの深い問いかけどうしは矢印でつないでおり，各項目どうしのつながりを確認することができます。つながりがわかりにくい箇所は， で補足説明を入れています。

第1節 刺激の受容
外界からの刺激はどのように受け取るのだろうか？

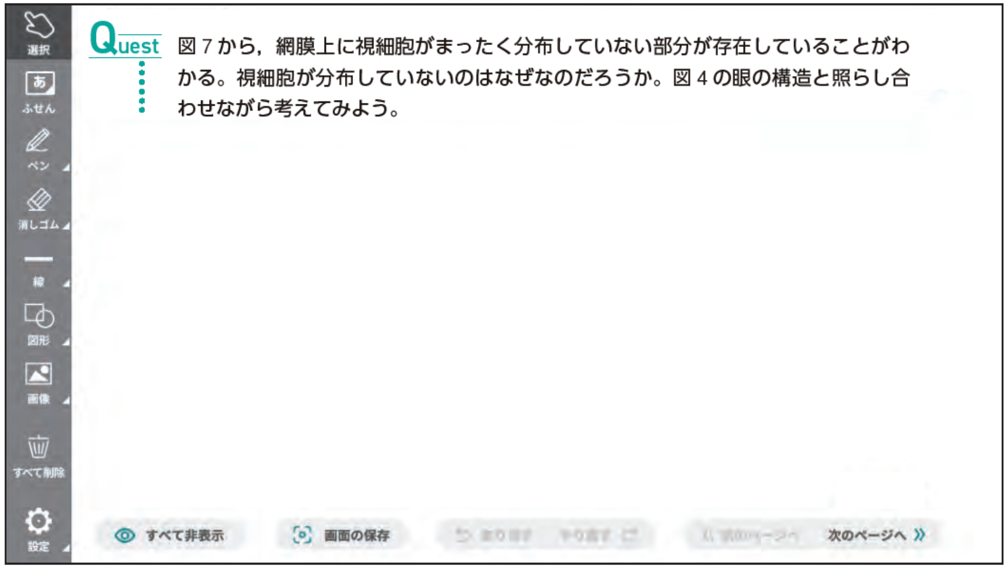
1 動物はどのようにして刺激に応じた反応を表すのか？ (p.242)
2 刺激はどのように受け取られ，神経系へと伝えられるのか？ (p.243)
3 眼はどのように光刺激を受け取り，どのように神経系に伝えるのか？ (p.244-249)
4 眼以外の受容器は刺激をどのように受け取りどのように伝えるのか？ (p.250-253)

第2節 ニューロンとその興奮
1 刺激の情報は受容器から脳へどのように伝わるのか？

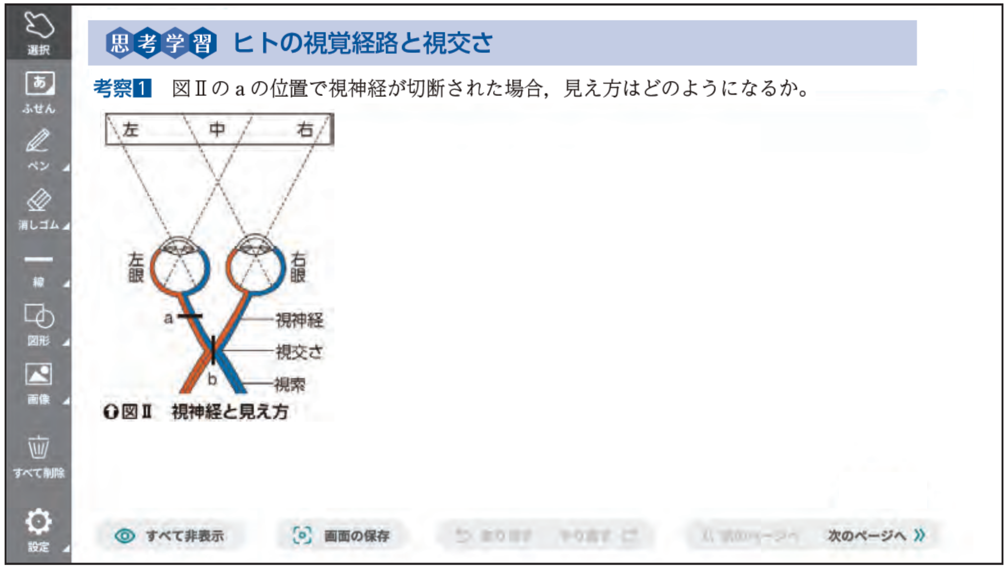
別紙 6-4



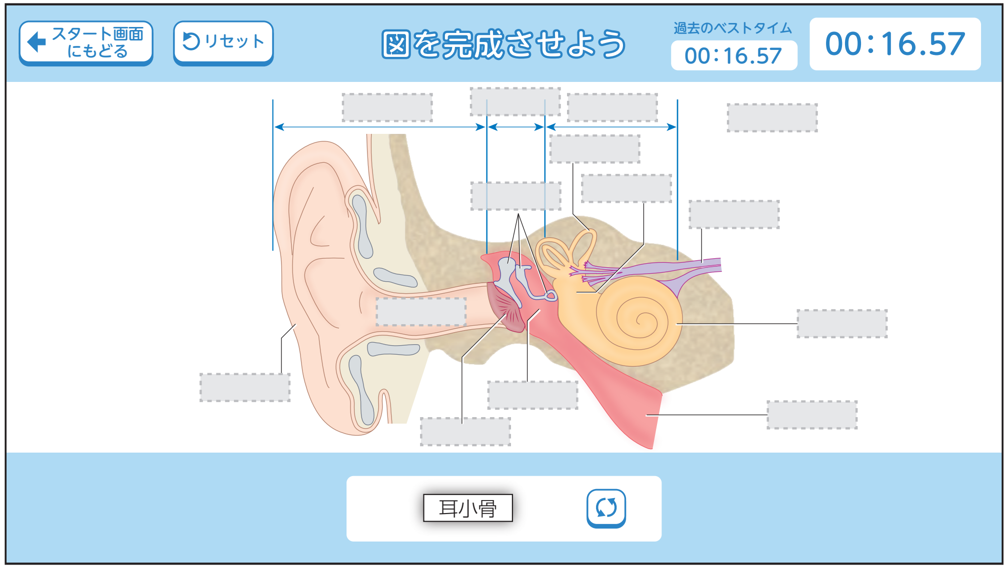
別紙 6-5



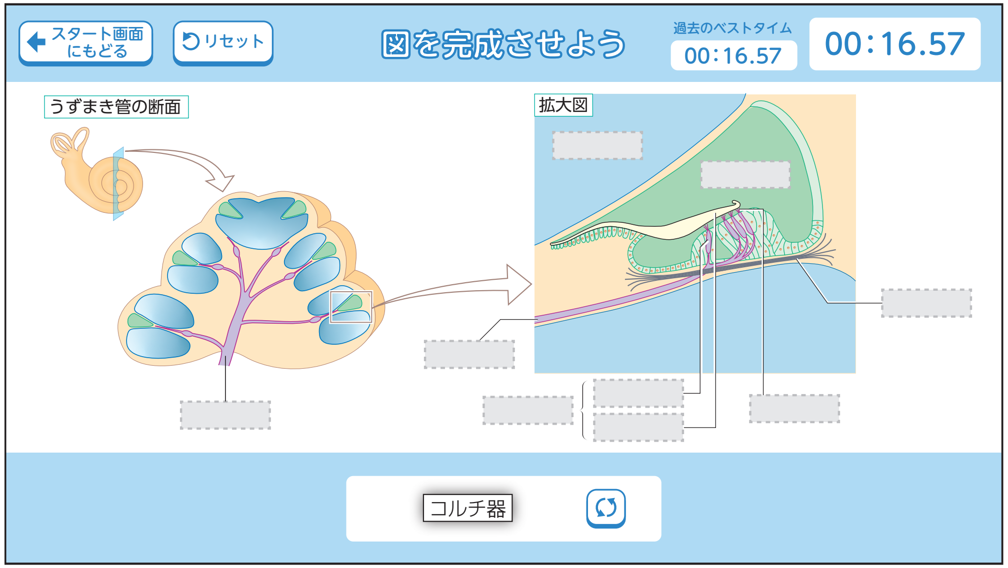
別紙 6-6



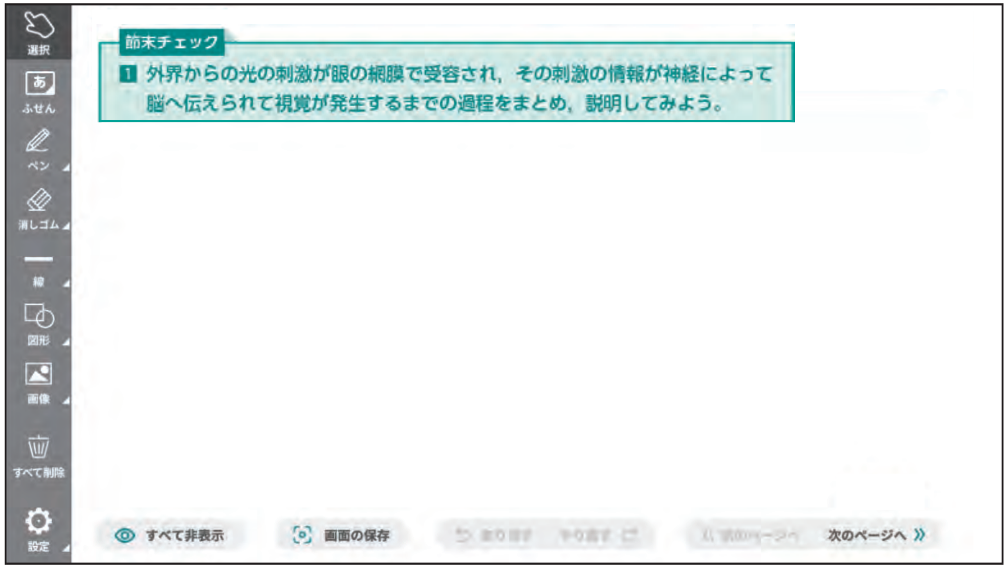
別紙 6-7



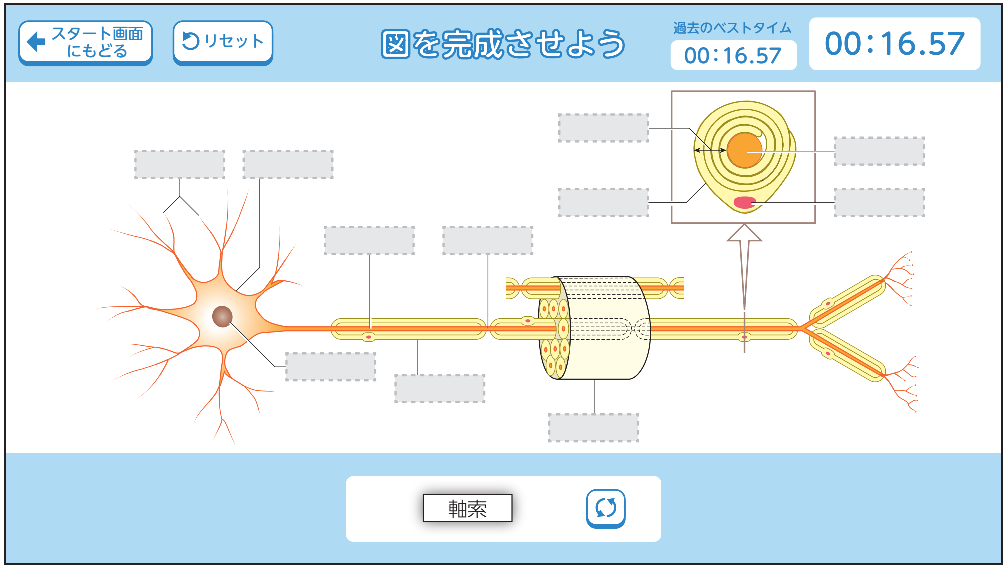
別紙 6-8



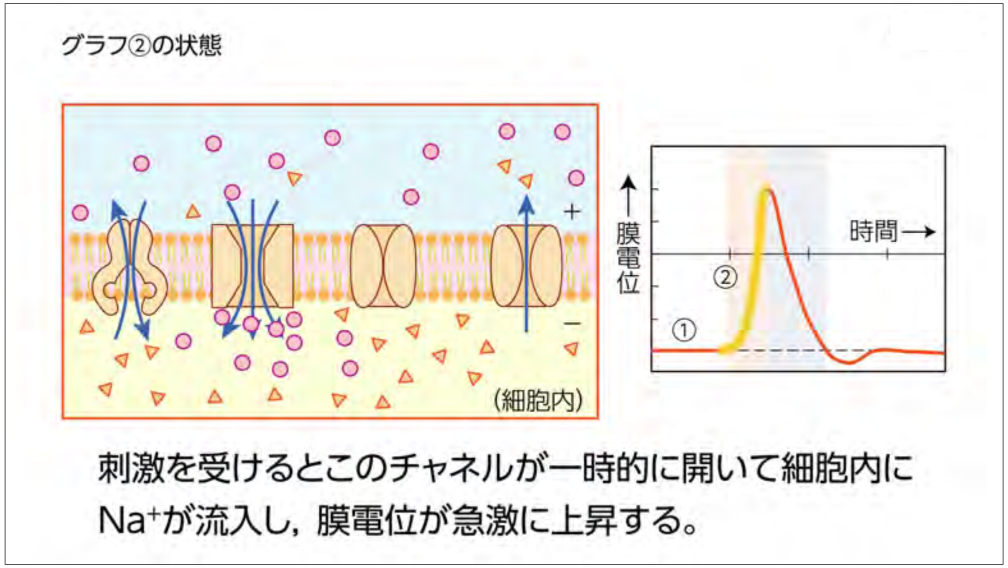
別紙 6-9



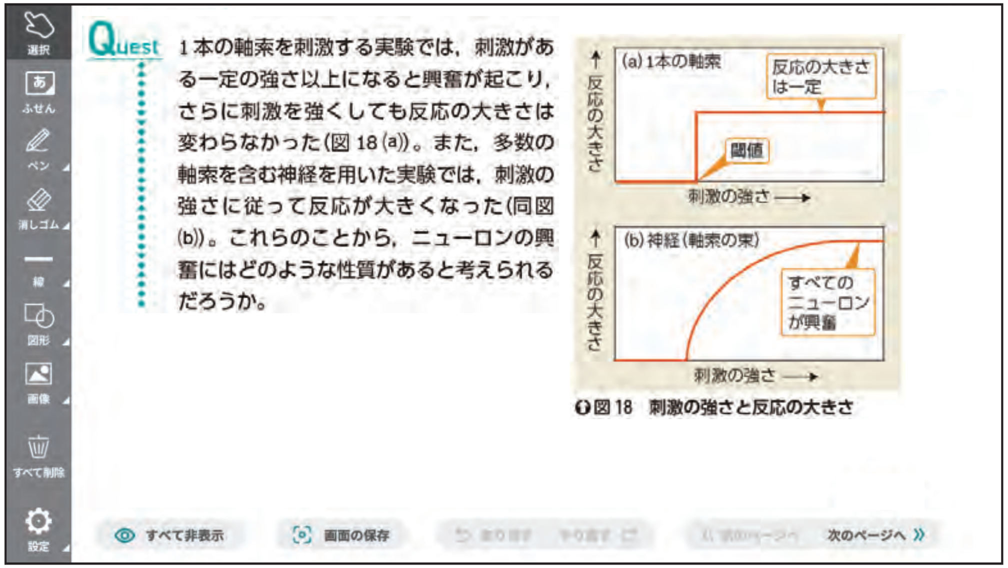
別紙 6-10



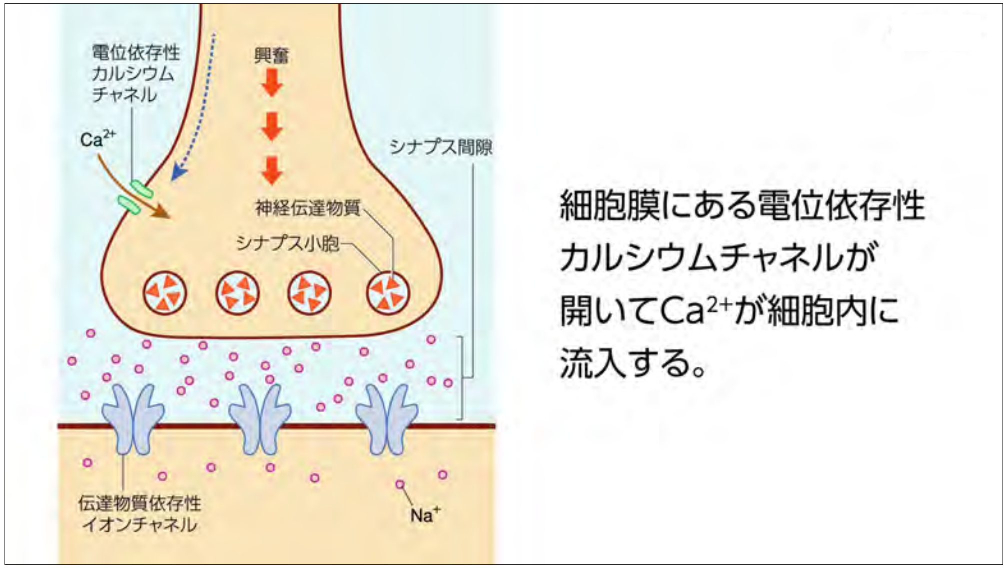
別紙 6-11



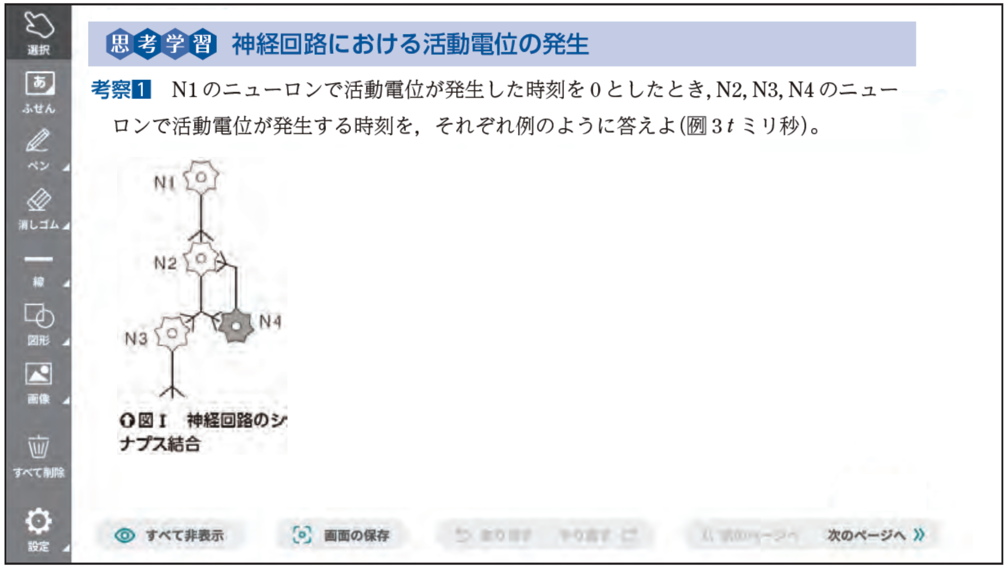
別紙 6-12



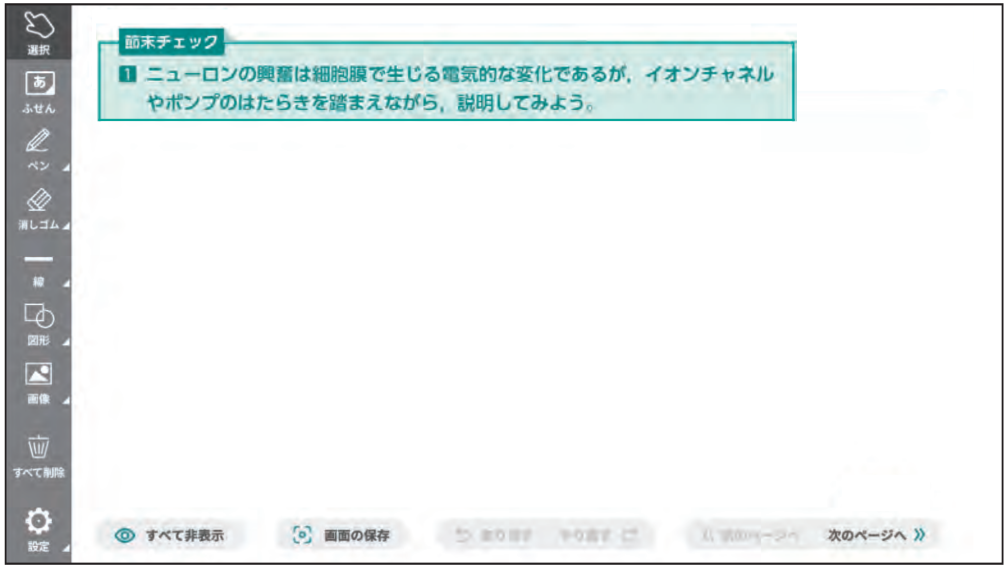
別紙6-13



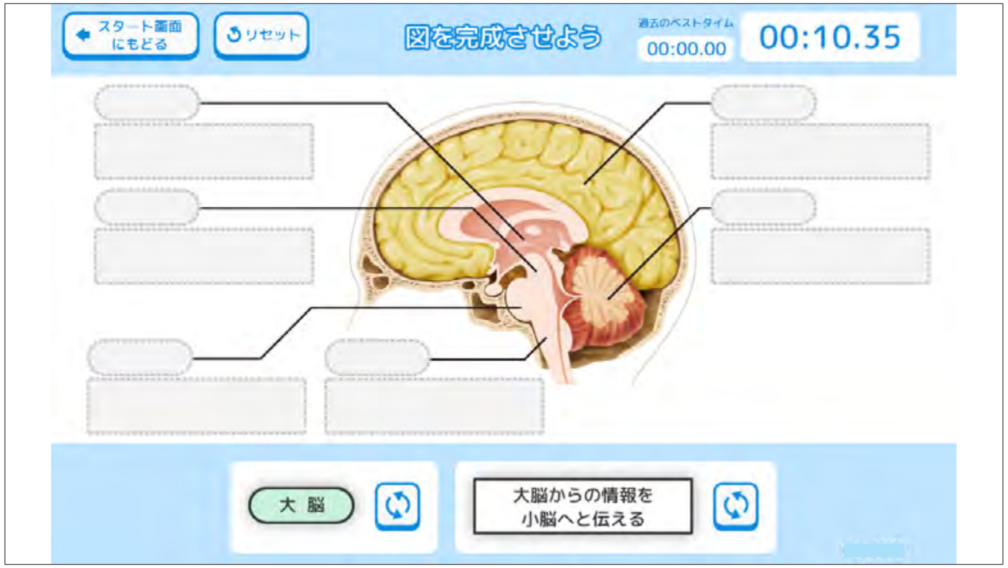
別紙6-14



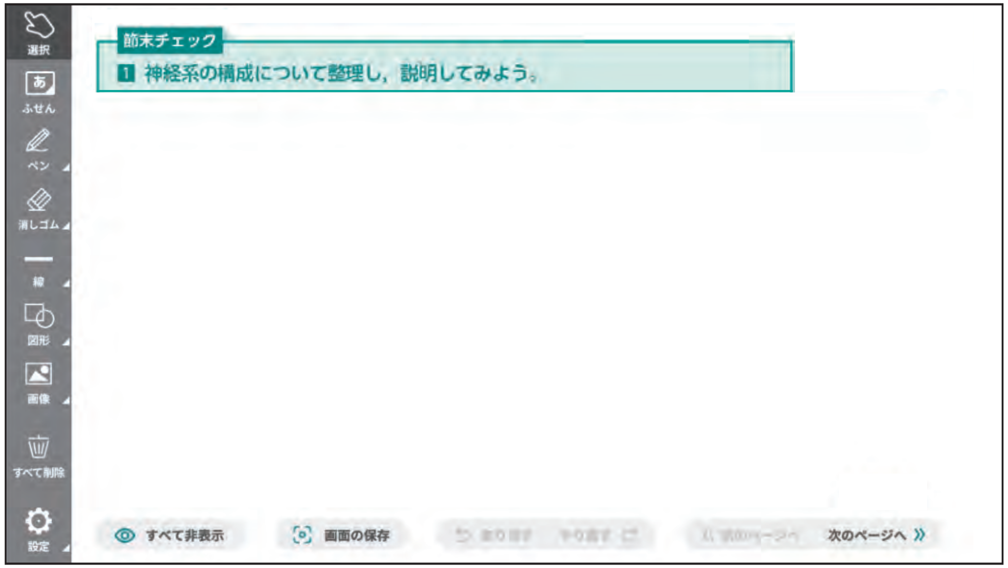
別紙6-15



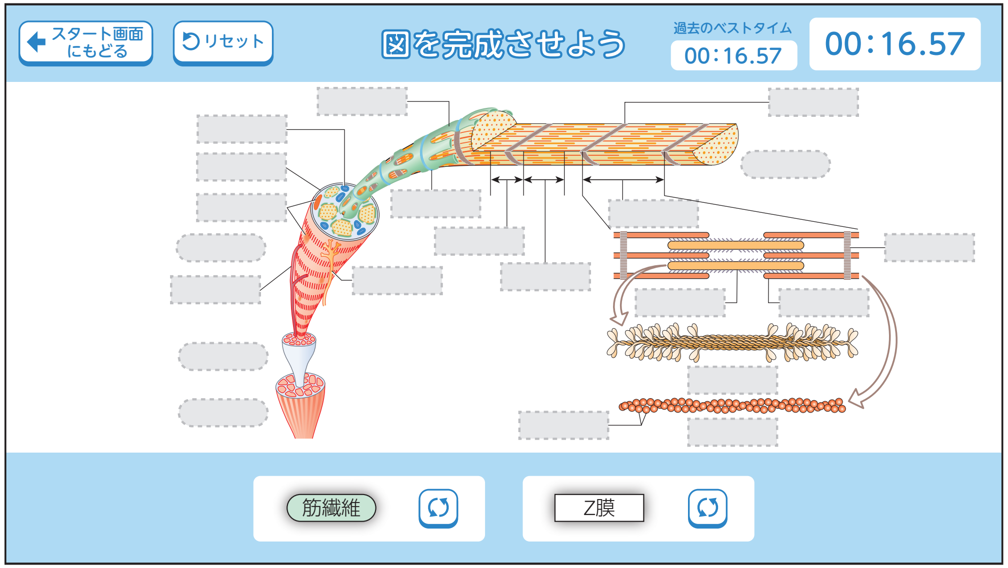
別紙6-16



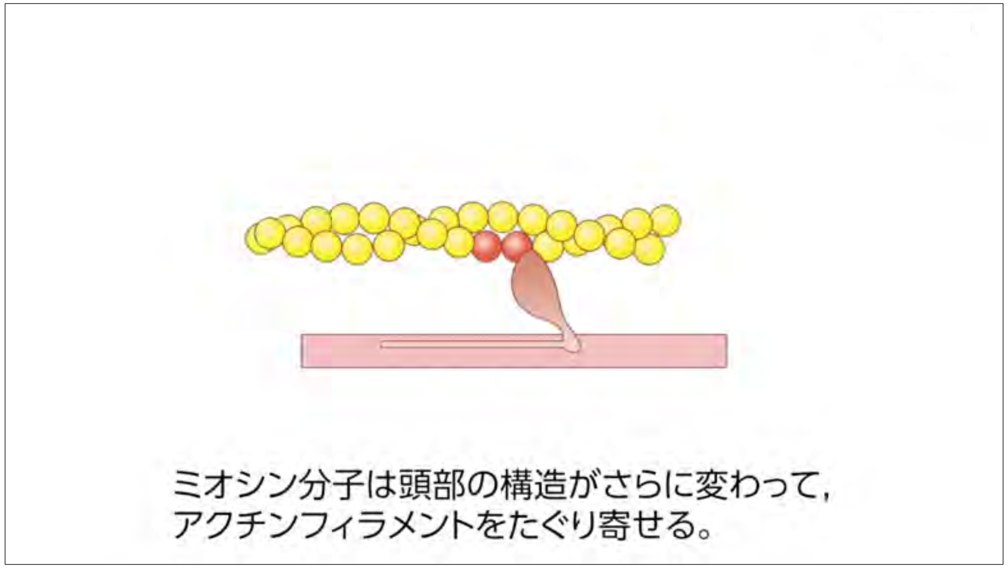
別紙 6-17



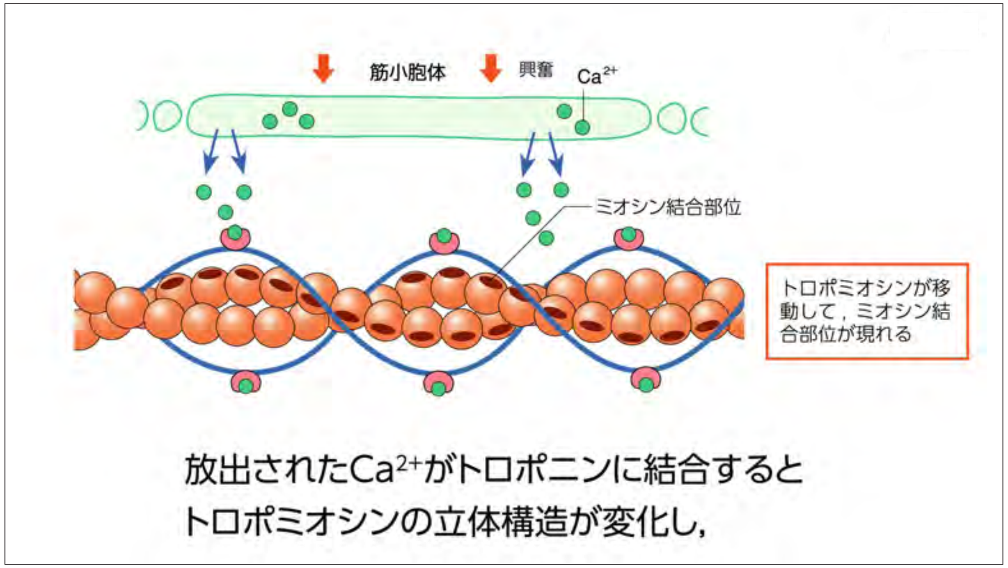
別紙 6-18



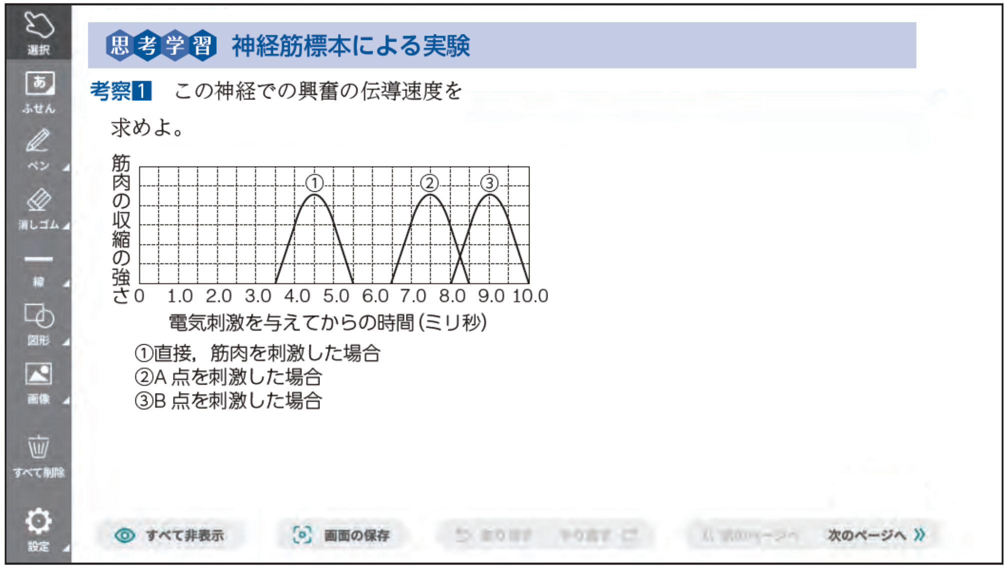
別紙 6-19



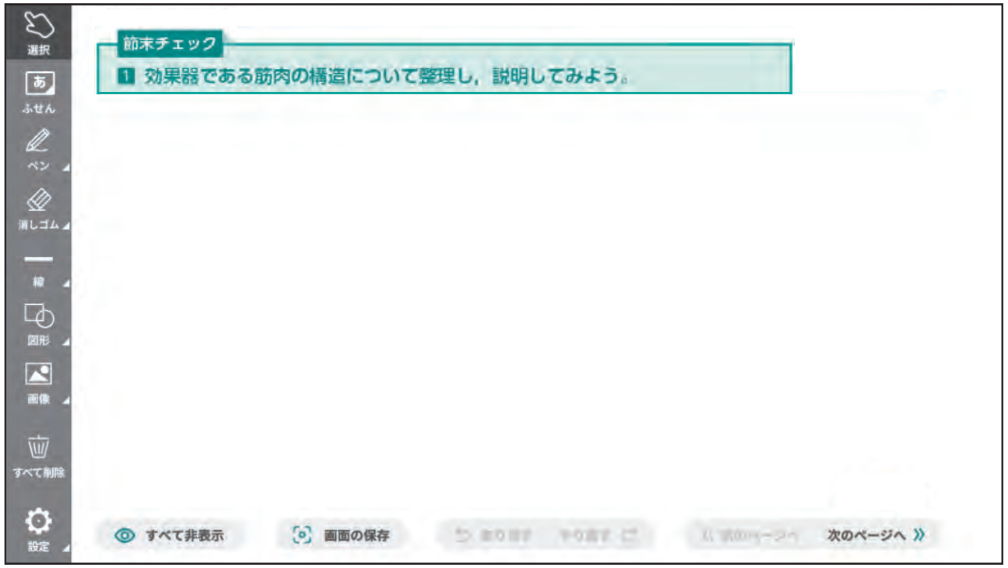
別紙 6-20



別紙 6-21

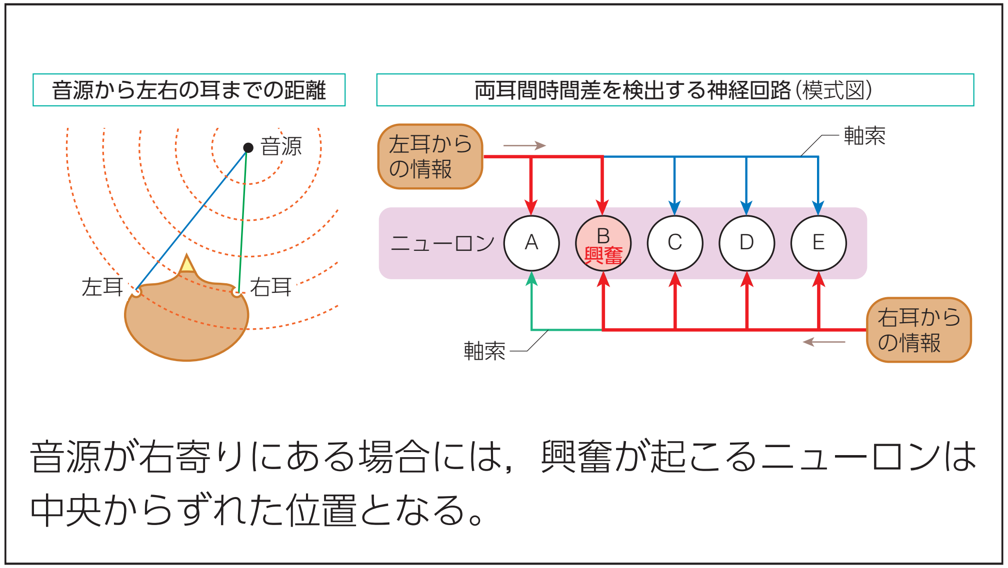


別紙 6-22

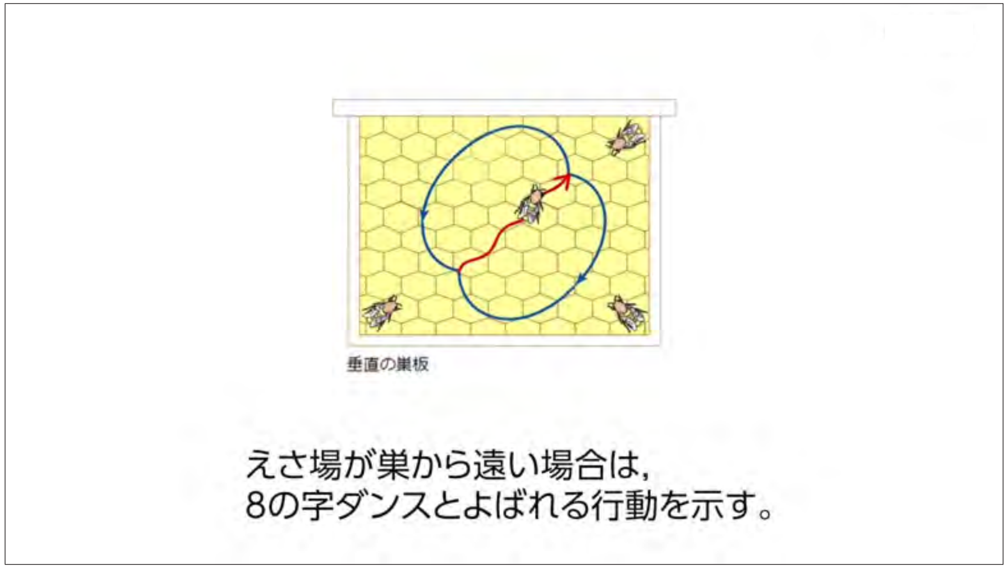


別紙 6-23

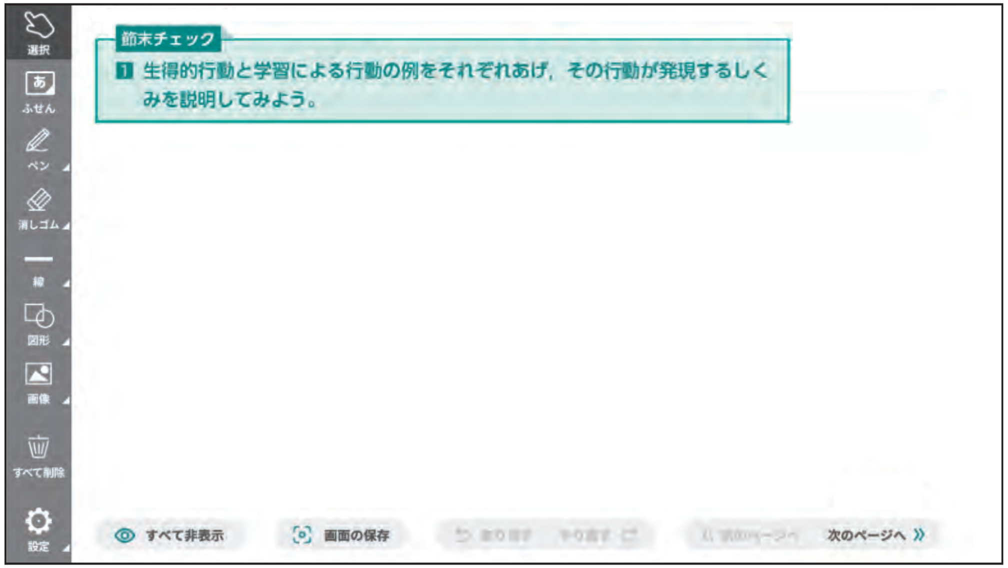
別紙 6-24



別紙 6-25

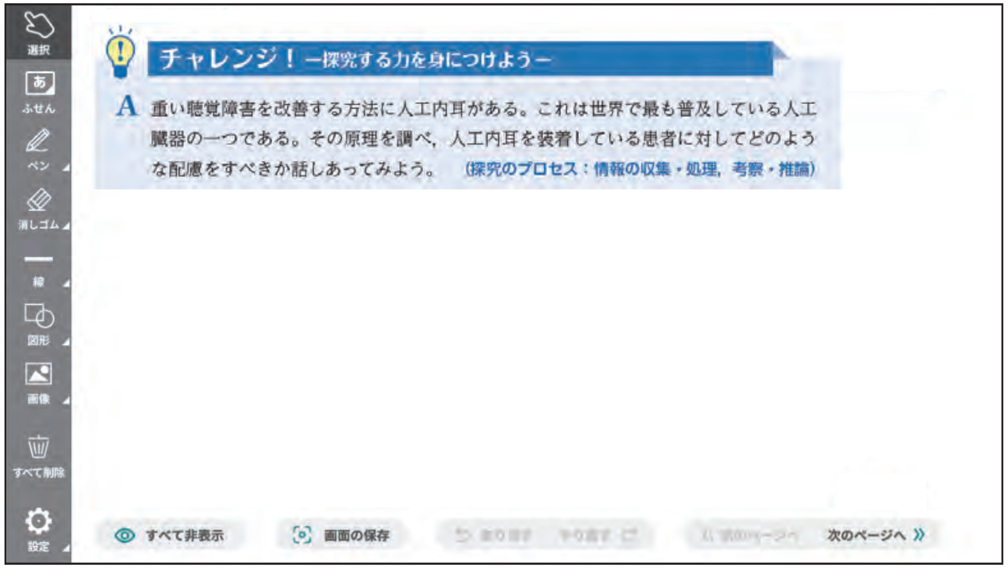


別紙 6-26

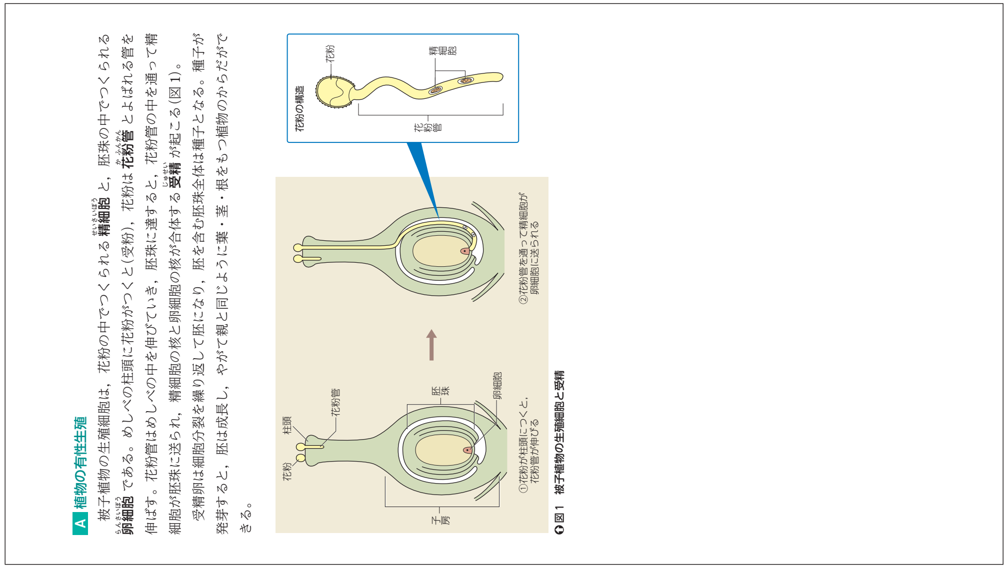


別紙 6-27

別紙 6-28

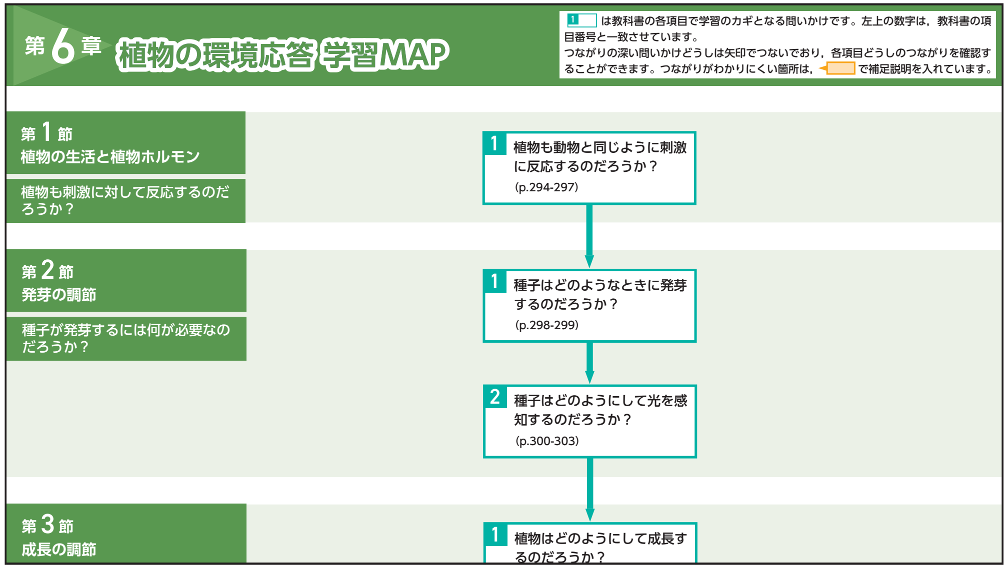


別紙 7-1

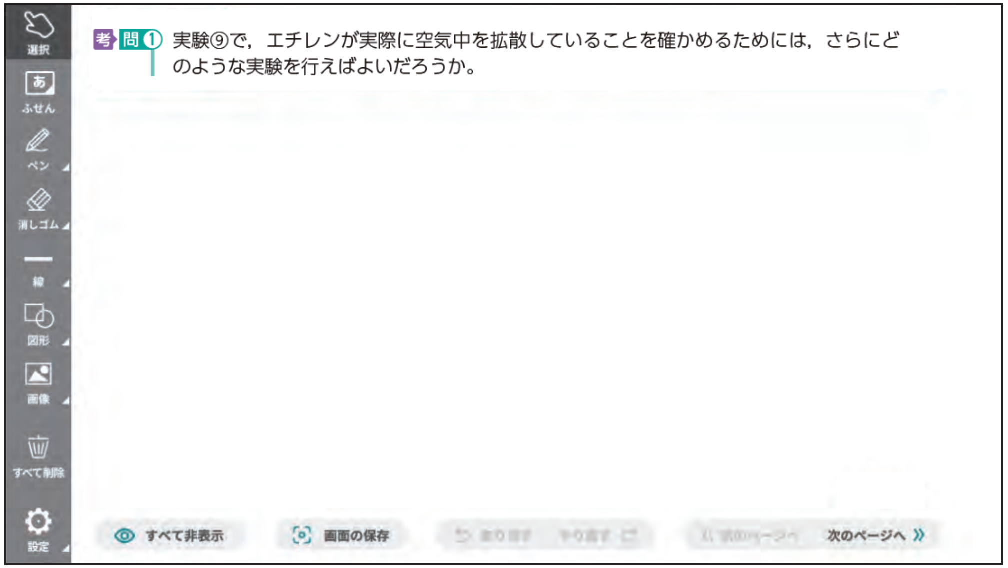


別紙 7-2

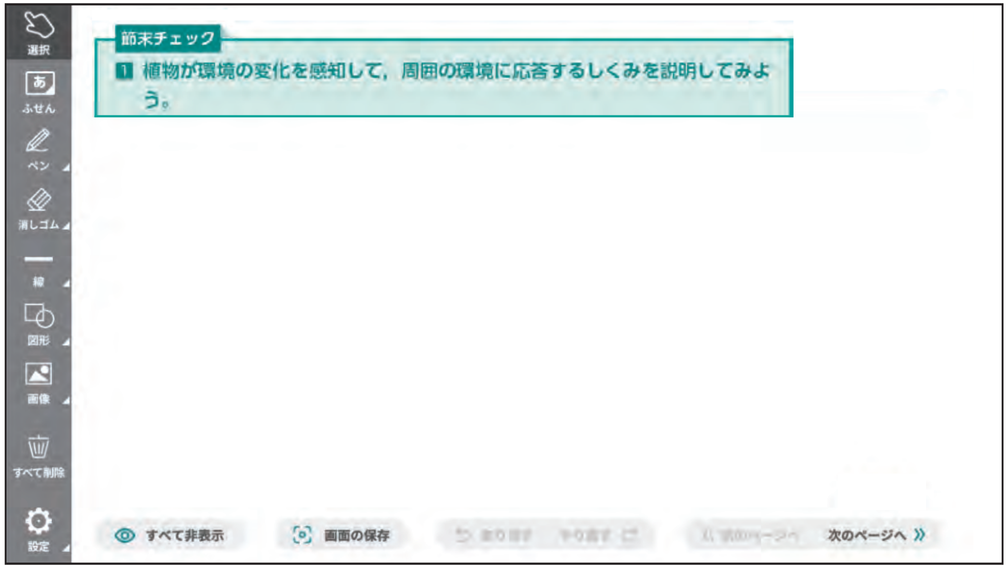
別紙 7-3



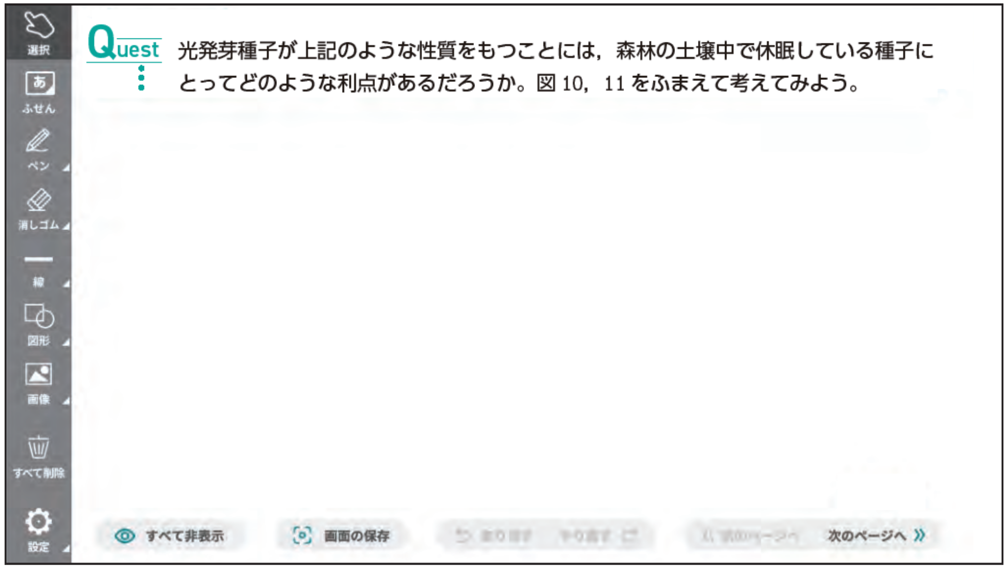
別紙 7-4



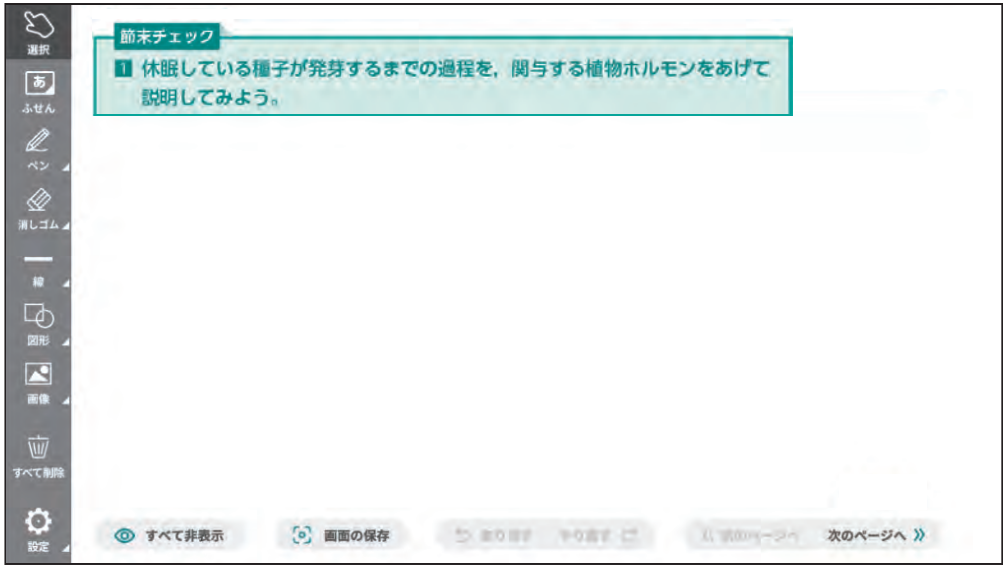
別紙 7-5



別紙 7-6



別紙 7-7



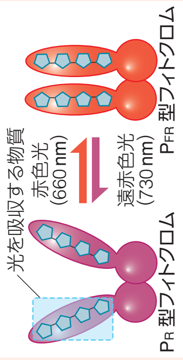
別紙 7-8

資料

フィトクロムの構造

○フィトクロムの 2 つの型

赤色光を吸収する光受容体であるフィトクロムは，すべての植物に含まれ，赤色光型 (P_R 型) と遠赤色光型 (P_{FR} 型) の 2 つの型をとる。これらは光の吸収により相互に変換され，P_R 型のフィトクロムは赤色光を吸収すると P_{FR} 型に，P_{FR} 型のフィトクロムは遠赤色光を吸収すると P_R 型になる。



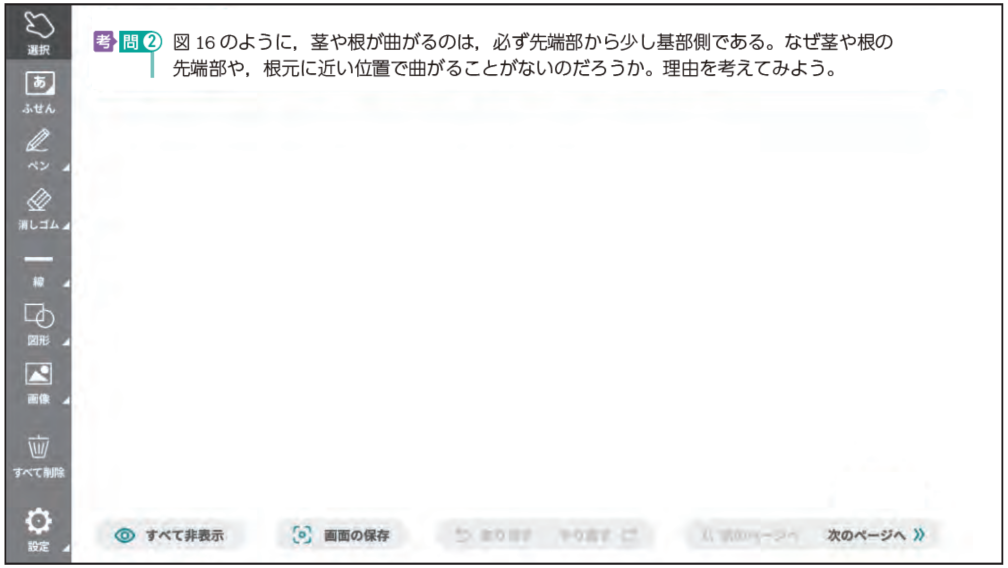
○フィトクロムの組成

フィトクロムはタンパク質からなり，光を吸収するための物質を別に結合している。フィトクロムにおいて，光を吸収する物質をフィトクロモビリンという。

フィトクロモビリンは，炭素と窒素からなる五角形の環状構造が 4 つ連なった形をしている。

別紙 7-9

別紙 7-10



別紙 7-11

別紙 7-12