

食品に使われる 遺伝子組換え技術ってナニ?

- 遺伝子組換え技術等の先端技術について -

平成28年11月

農林水産省
農林水産技術会議事務局

1 育種と遺伝子組換え技術



「遺伝子組換え」は

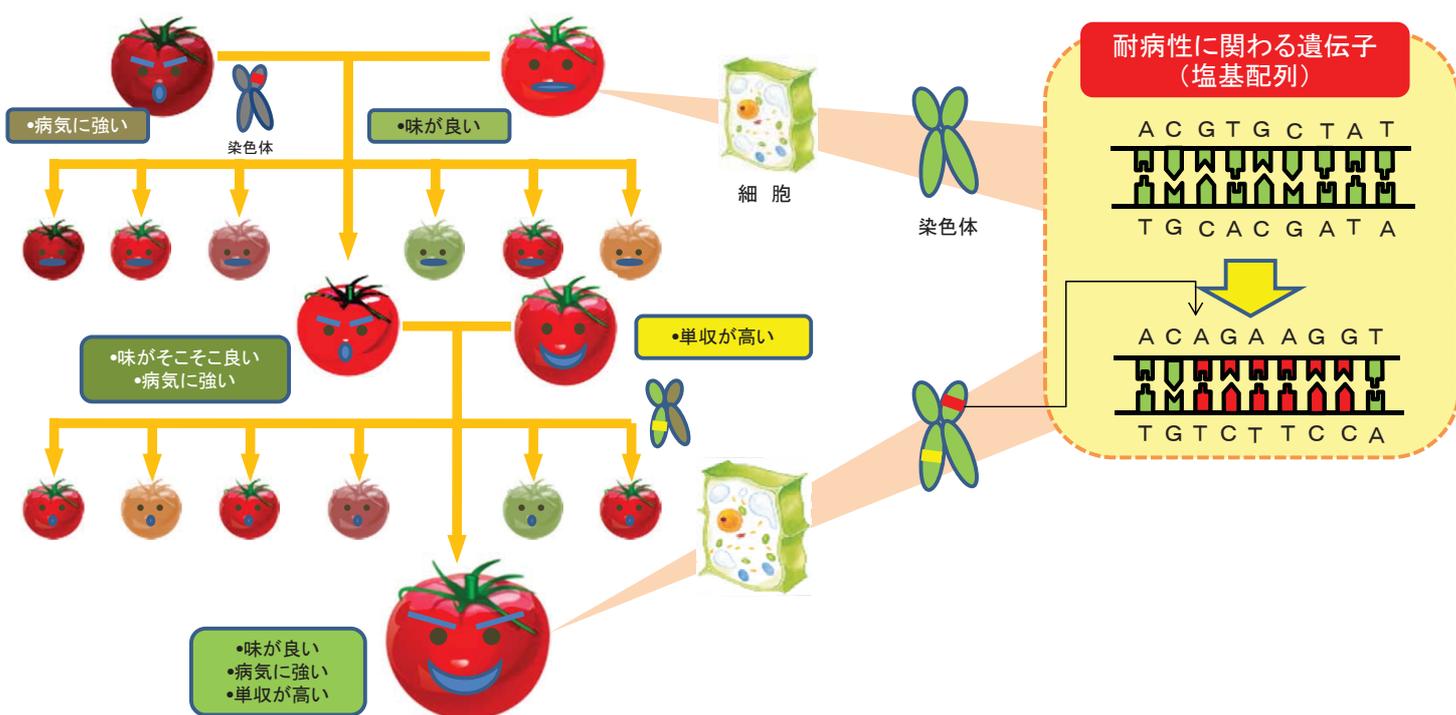


育種技術（品種改良）のひとつ！

2

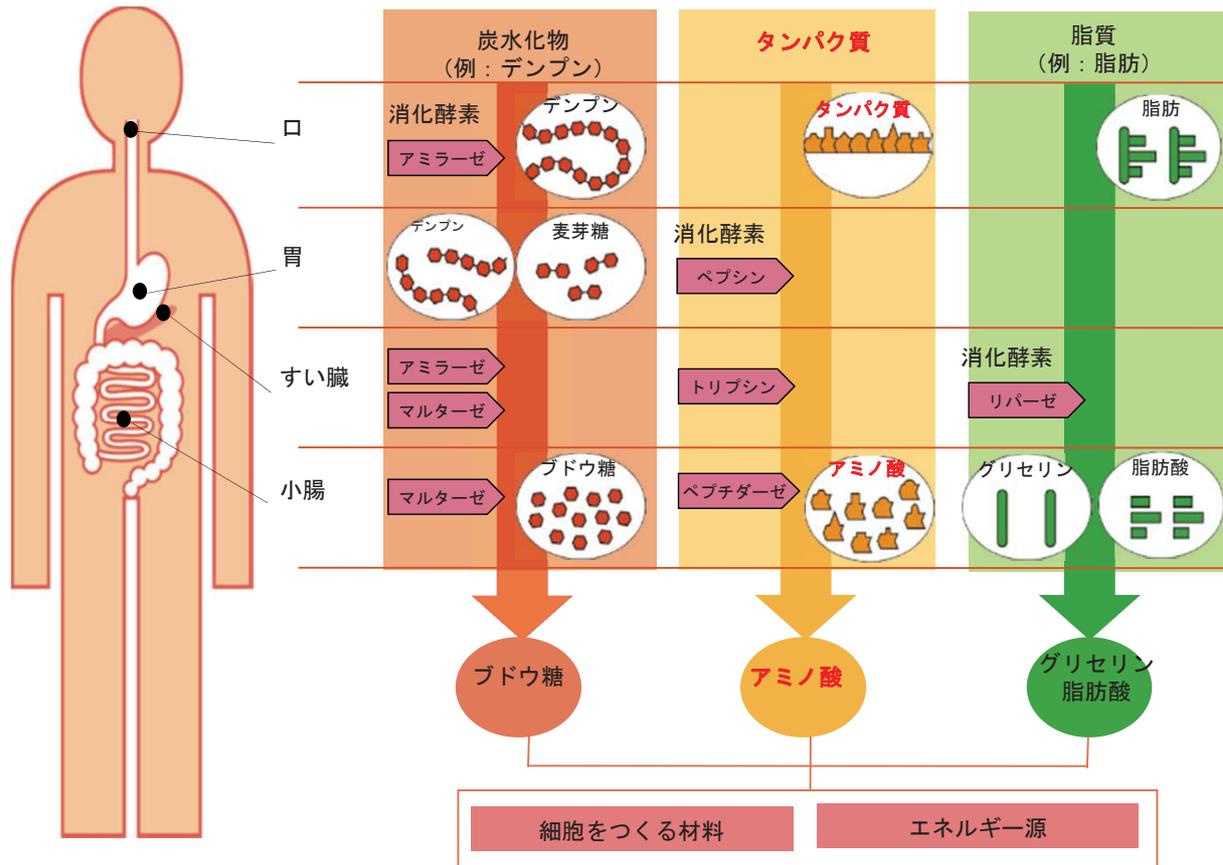
分子レベルで見た育種原理

○ 育種原理は、基本的に生物が有する遺伝子(DNA)によって支配されており、DNAを構成する4つの塩基の組合せの違いであることが今日広く理解されているところ。



3

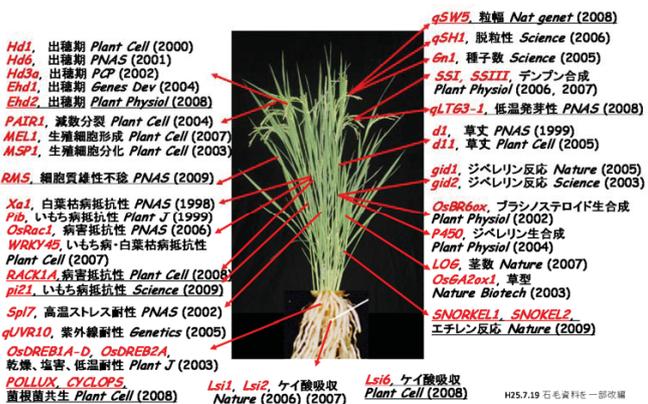
栄養素等の消化・吸収



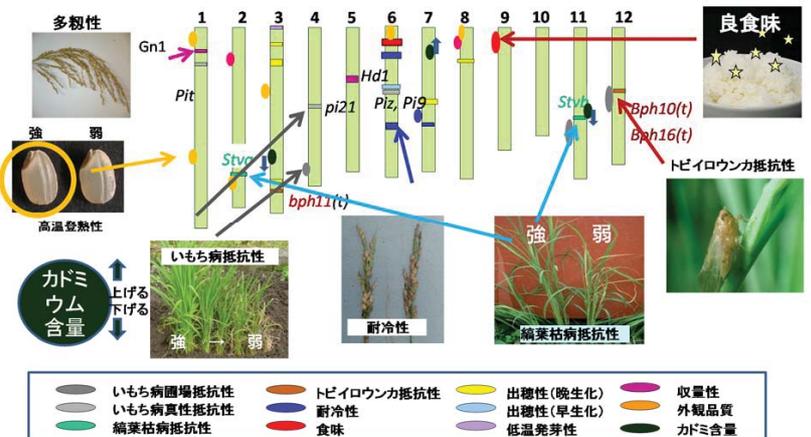
イネのゲノム情報の解読

○ 最近、イネ等の農作物のゲノム情報を解読して、農業生産上の有用な形質に関する遺伝子が次々と同定。

○ イネにおいて同定されている遺伝子の例



○ 育種利用のためのゲノム設計図(イネの事例)

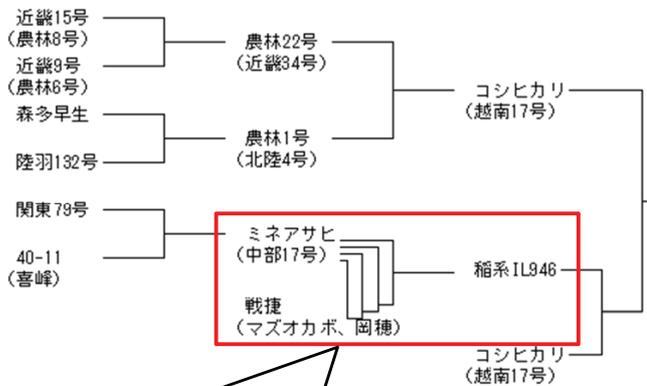


注) 染色体上の遺伝子は、同定された一部のもの

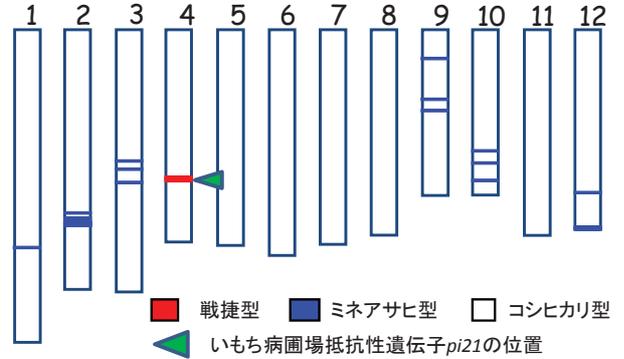
DNAマーカー選抜育種法による新品種の作出事例

- こうした中で、近年、農業生産上の有用な形質に関与する遺伝子の塩基配列情報を特定し、それを目印（マーカー）として有用な新品種を効率的に選抜するDNAマーカー選抜育種法が開発され、イネや野菜等の様々な農作物の育種に応用。
- 例えば、いもち病に強いイネ品種を育成するためには、これまでは多数の交配個体を実際にほ場に栽培し、耐病性の検定等を手間ひまをかけて行ってきたが、最近はDNAマーカーを利用すれば幼苗の葉からDNAを抽出するだけで、短期間に耐病性の検定・選抜が可能に。

○ いもち病抵抗性イネ「ともほなみ」の育成系譜



○ 「ともほなみ」のゲノム(染色体)の遺伝子構造



陸稲には、強力ないもち病抵抗性遺伝子(pi21)が存在することが知られていたが、交配して通常のイネ(水稲)に導入すると近傍の食味に関係する遺伝子も影響を受けて食味が大幅に低下。このため、(独)農業生物資源研究所は、愛知県農業総合試験場と共同して、陸稲の「戦捷(せんしょう)」に水稲品種のミネアサヒを交配した個体に、ミネアサヒを繰り返し交配し、DNAマーカーを利用して、交配後代の中からいもち病抵抗性遺伝子(pi21)のみが導入された個体(稲系IL946)を選抜。

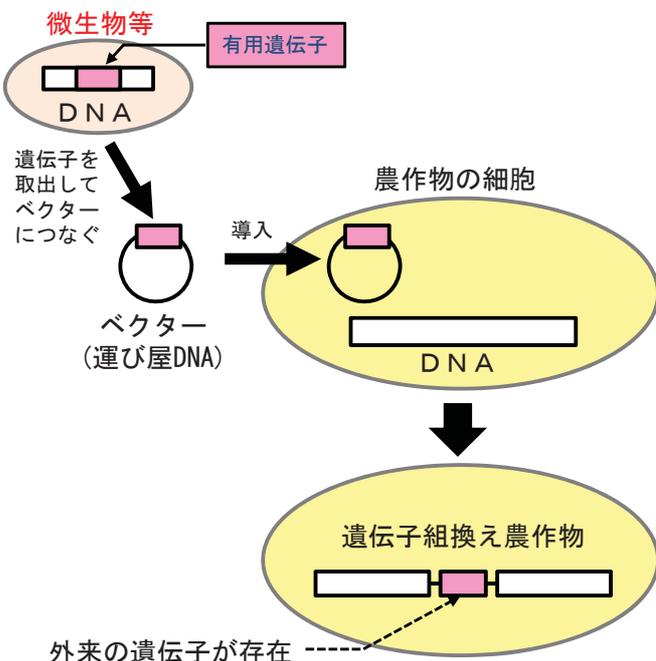


いもち病の激発地でのイネの栽培状況

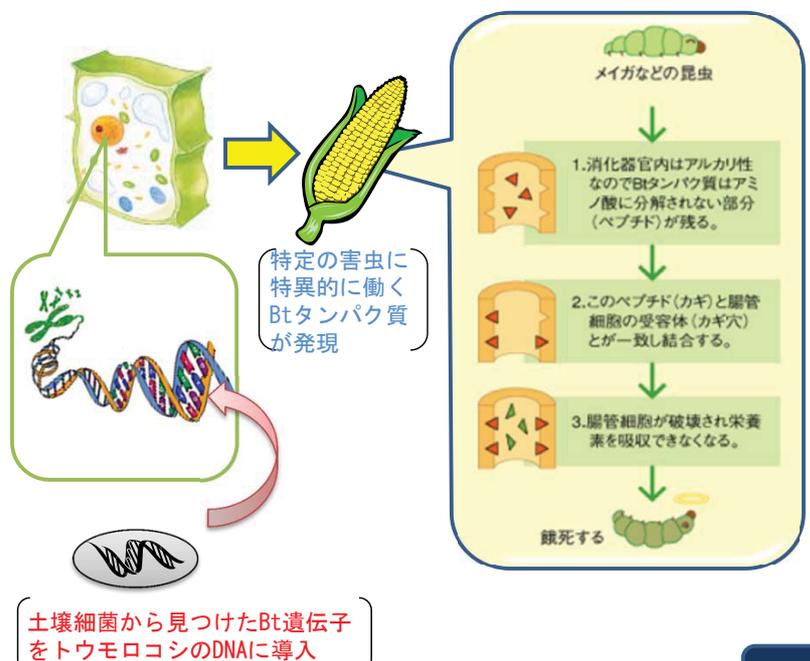
遺伝子組換え技術の育種利用

- これまで遺伝子組換え技術を農作物の育種に利用する場合には、例えば微生物が有する殺虫形質を農作物に導入するなど、自然界での交配や慣行の育種法では獲得することができない形質を農作物に付与するために用いられることが一般的。

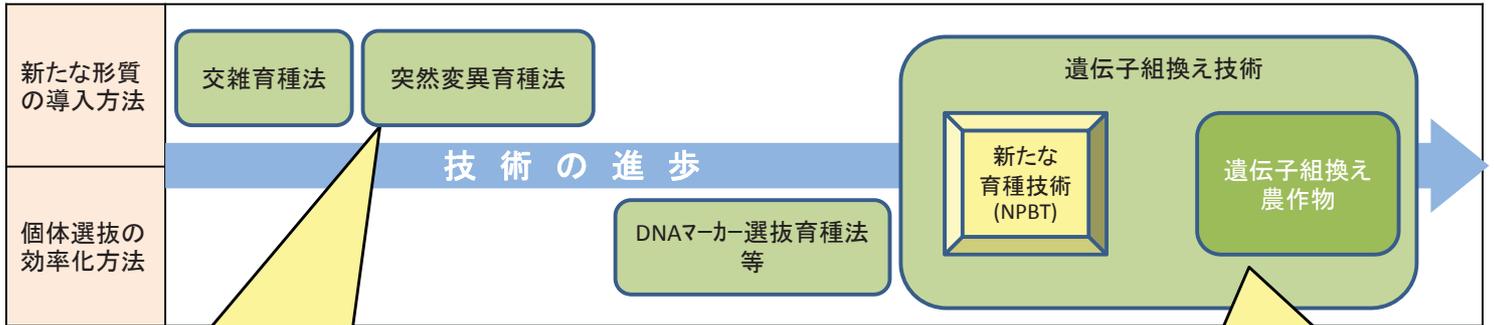
○ 遺伝子組換え農作物の作出方法



○ 害虫抵抗性(Bt)トウモロコシの殺虫メカニズム



土壌細菌から見つけたBt遺伝子をトウモロコシのDNAに導入



【ゴールド二十世紀(ナシ品種)】

「二十世紀」ナシは、鳥取県を中心に栽培されている代表的な青ナシ品種であるが、**ナシ黒斑病**に弱く、その防除に労力・コストが嵩むことが問題。



(国研)農業生物資源研究所(放射線育種場)では、「二十世紀」の苗木にガンマ線を照射し、1990年にその**突然変異体(枝変り)**として「ゴールド二十世紀」を選抜。

現在、二十世紀ナシの主産地である鳥取県では、栽培面積の4割が「ゴールド二十世紀」に転換。

【アプローズ(バラ品種)】

バラには非常に多くの種類があるが、これまで青いバラだけは作ることができなかった。



これは、バラに「**デルフィニジン**」という青色色素を作る能力がないためであるが、サントリー(株)では、遺伝子組換え技術を用いてパンジーから当該色素の合成酵素をバラに導入し、**世界で初めて青い色のバラを開発**。2009年から販売を開始。

2 遺伝子組換え農作物等の研究開発状況

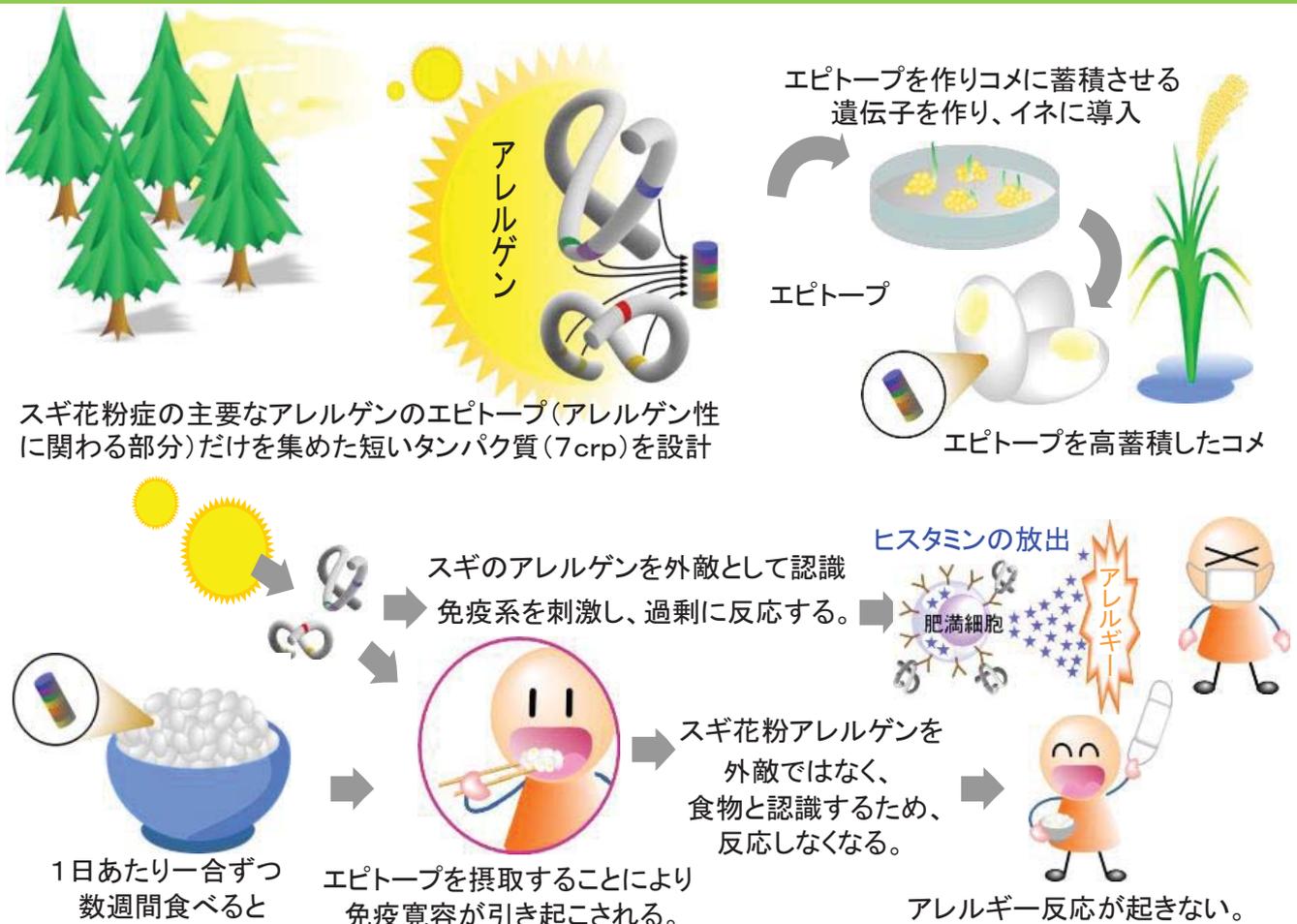
○ スギ花粉症治療イネ



○ 遺伝子組換えカイコを利用した有用物質の生産



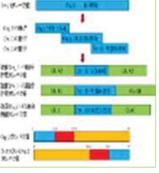
ヒト用スギ花粉症治療イネの開発



スギ花粉症治療米の開発の進捗状況

基礎研究





非臨床試験（ほぼ終了）

Pharma JAPAN 薬効薬理・薬物動態

GLP 毒性試験



スギ花粉症の主要なアレルゲンのエピトープ（アレルゲン性に関わる部分）だけを集めた短いタンパク質（7crp）を設計

エピトープを作りコメに蓄積させる遺伝子を作り、イネに導入

エピトープ

エピトープを高蓄積したコメ



今後の課題

薬事法に基づく治験

原料・原薬・治験薬製造



遺伝子組換えカイコによる医薬品等の開発

- 既に、化粧品の素材として実用化が始まっているほか、医薬品や人工血管などの医療用器具に利用するための研究開発も進行中。
- カイコは、比較的小さなロットでも飼育できるため、様々な用途に少量多品目なタンパク質を供給可能。

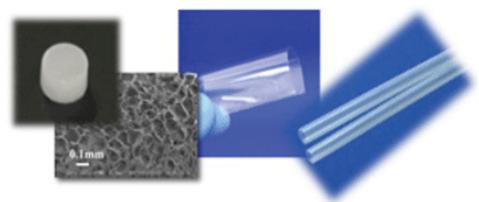
既に実用化が進んでいる例

- ・ 化粧品の素材（ヒト型コラーゲン）



実用化を目指し開発を進めている例

- ・ 抗体医薬、タンパク質医薬
リソソーム病治療薬など
- ・ シルク素材の医療器具
人工血管、軟骨再生用素材

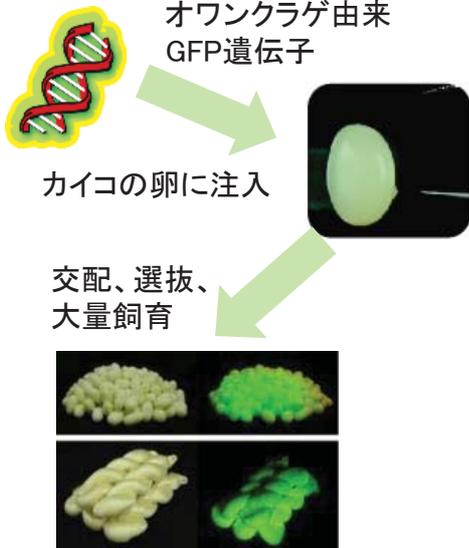


臨床検査薬の製造などに利用される遺伝子組換えカイコは、閉鎖された施設内で飼育。

遺伝子組換えカイコによる機能性シルクの開発

- シルクの分野では、新たな機能性を持った絹素材の開発も進行。
- 農業生物資源研究所では、オワンクラゲ由来の緑色蛍光タンパク質(GFP)遺伝子を組み込んだ遺伝子組換えカイコを開発。
- さらに、赤や橙等の蛍光色や、極細で光沢に優れたシルク等も開発中。

遺伝子組換えカイコの開発方法



遺伝子組換えカイコの繭、絹糸



青色LED
照明下では...



*黄色フィルター使用

(株)ユミカツラインターナショナルと
(独)農業生物資源研究所が
共同制作したウェディングドレス



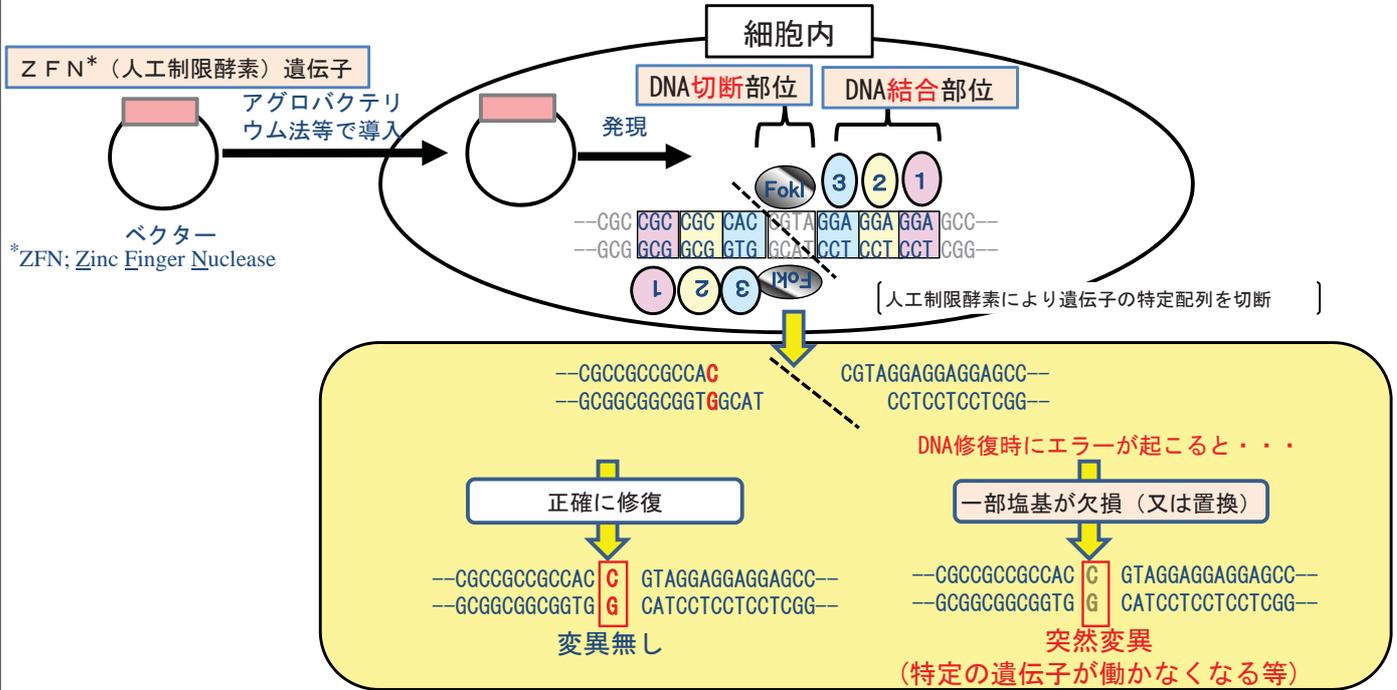
現在開発を進めている
蛍光絹糸の例

3 新たな育種技術 (New Plant Breeding Technique) の紹介



NPBTの事例1：人工制限酵素を利用したゲノム編集技術（ZFN）

- 最近、特定の遺伝子(DNA)を標的として特定の塩基配列部位を精度良く切断することができる「人工制限酵素」が開発され、ゲノム上の狙った部位に任意に変異(塩基の欠損や置換、挿入)を誘導できるようになりつつある(ゲノム編集技術)。
- ゲノム編集技術を農作物の育種に応用することにより、花の色や草丈など内在の遺伝子を任意に改変することが可能となり、短期間に画期的な新品種が開発できる可能性。



従来の遺伝子組換え技術とゲノム編集技術の比較

	技術的特長	育種利用の方向			
		スピード	正確性	変異の幅	
従来の遺伝子組換え技術	交配が困難な異種から有用な遺伝子(微生物等)を導入することが可能	○	○	◎	① 温暖化・砂漠化など、 <u>将来の地球環境変動対応</u> ② 病害虫抵抗性の付与による農業の <u>スマート化</u> ③ 農作物を利用した医薬品等の <u>有用物質生産</u>
ゲノム編集技術	生物が有する核酸配列(遺伝子)をターゲットとして、 <u>生物の配列情報を変更</u> することが可能	◎	◎	○	① 機能性成分に富んだ農作物の開発による <u>健康長寿ニーズ</u> への対応 ② 飼料栄養価の高いコメの開発による <u>自給率向上対応</u> ③ <u>未だ育種利用できていない様々な形質</u> (病害虫抵抗性等)を引き出した新品種開発 等

自然突然変異体を分子レベルで見た事例

○ イネの脱粒性に関する突然変異



イネの第1染色体の612番目の塩基が置換

日本晴 $ATT\overset{\star}{T}CA$
カサラス $ATT\overset{\star}{G}CA$

左図：
左：日本晴（ジャポニカ型）
右：カサラス（インディカ型）

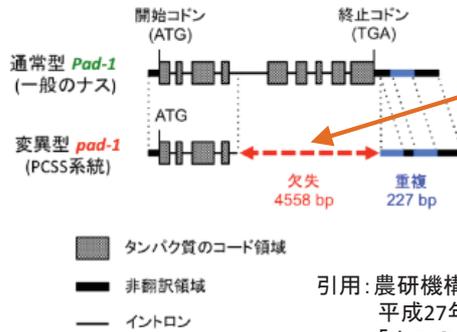
出展：サイエンス（2006）
農林水産先端技術研究所 小西左江子氏ほか

○ 受粉しなくても果実が肥大するナスの突然変異



通常のナスは受粉しなければ果実は肥大しないが（右）、突然変異系統(PCSS)のナス（左）は、未受粉でも果実が肥大する。

左：突然変異系統(PCSS) 右：一般のナス(千両二号)

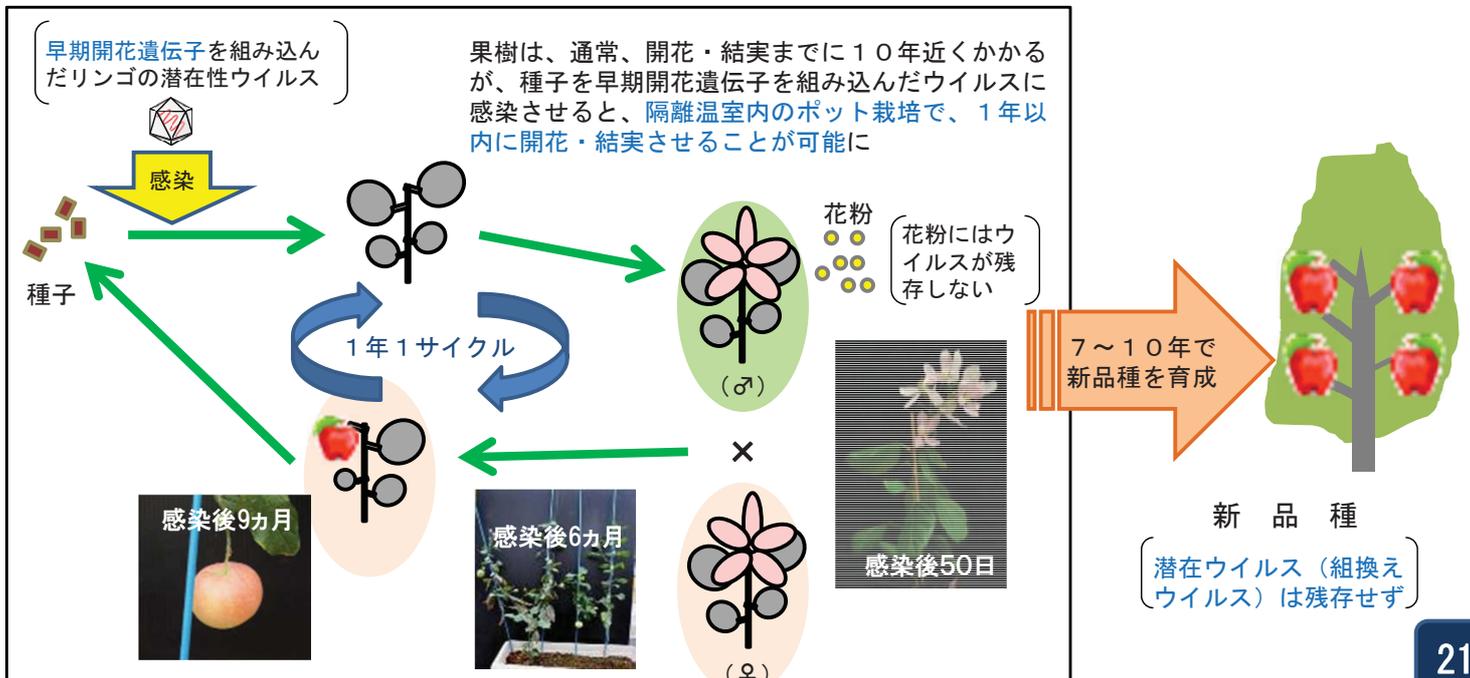


PCSS系統の変異型遺伝子(*pad-1*)は後半部分の4558塩基が欠失し、遺伝子の働きを失っていることが判明。

引用：農研機構、タキイ種苗株式会社
平成27年10月21日プレスリリース
「ナスの受粉作業を省くことができる新しい遺伝子を発見」

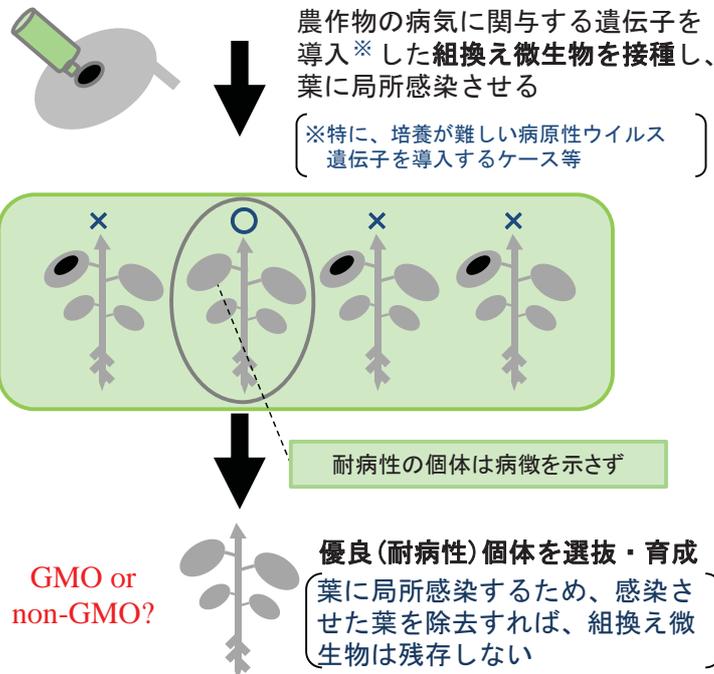
NPBTの事例2：果樹類の世代促進育種技術

- 1999年、京都大学の荒木氏らによって植物の開花を任意に制御できるFT遺伝子が発見。岩手大学の吉川教授は、リンゴに感染するウイルスの一つである「リンゴ小球形潜在ウイルス(ALSV)」にFT遺伝子を組み込み、リンゴの発芽実生に感染させることにより、農作物の早期開花を行わせる技術を開発。
- 本技術は、リンゴ以外の果樹類やダイズ、野菜など様々な農作物に応用できる可能性があるため、岩手大学等では、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)において、ブドウやナシ等の世代促進法(交配1世代を1年以内に短縮)として開発中。



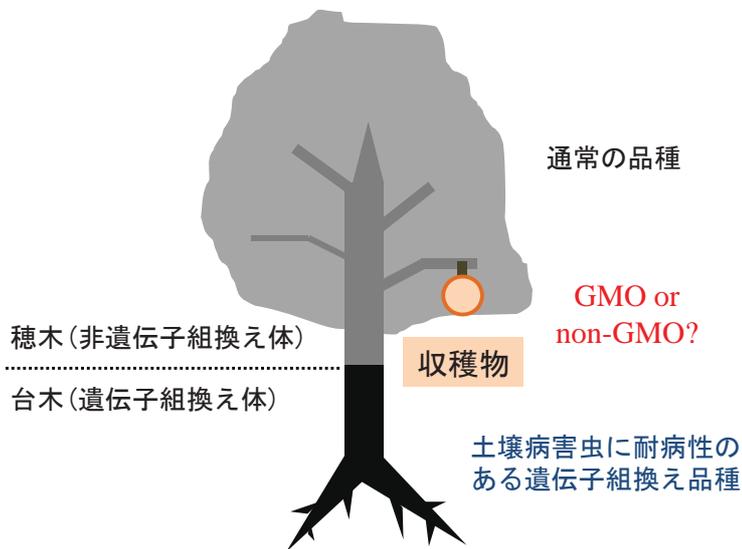
事例3：アグロインフィルトレーション

- アグロインフィルトレーションとは、農作物の病気等に関与する遺伝子を組み込んだアグロバクテリウム(細菌)を植物体の一部分に感染させ、その発現した病徴から病害抵抗性を持った個体を選抜する技術。
- こうして検定・選抜された個体は、感染させた部位(葉等)さえ除去すれば、アグロバクテリウム由来の遺伝子が植物体に残存することはない。



事例4：遺伝子組換え台木を利用した接ぎ木

- 特定の土壌病害虫に抵抗性を有する遺伝子組換え台木を開発し、その台木に通常の非組換え品種を接ぎ木すれば、穂木から収穫される農作物の品質等を変えることなく、土壌病害虫の影響を回避して栽培することが可能に。
- 一般的に、台木のゲノム上に組み込まれた外来の遺伝子(病害抵抗性遺伝子等)が穂木に移動することはない。



[消費者メリット]

ソラニンを含まないバレイショ

背景・課題

- ソラニンはバレイショの新芽に含まれる天然の毒素であり、下痢・腹痛等を生じさせ、最悪死に至ることも。

- 毎年の食中毒が発生(厚生労働省 資料)。

商品開発の展望

- ソラニンの合成を抑制することによって、新芽に含まれる毒素を大幅に低下させたバレイショの育成が可能。



ソラニンの合成を抑制



芽を削がなくても食べられるバレイショ

[消費者メリット]

アレルギーを含まないコメ(イネ)

背景・課題

- コメのアレルギー患者は全国に30万人程度。
- コメに含まれるグロブリン(タンパク質)がアレルギーの原因物質。
- コメアレルギーの方は酵素処理でアレルギー物質を除去した高価なコメを購入。

商品開発の展望



グロブリンの生成を抑制



低アレルギー米



コメアレルギーに悩んでいる方に朗報

背景・課題

- 生活習慣病の予防など健康意識が高まり、野菜等に含まれる機能性成分を評価する動き。
- トマトに含まれるリコピンは、抗酸化作用が強くがんの抑制効果が期待。

商品開発の展望

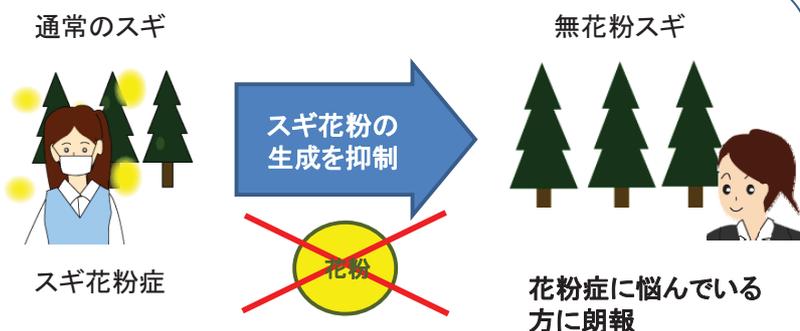
- トマトの野生種等のデータを活用して、リコピンの含有量が豊富なトマトを育成。



背景・課題

- 国民の4人に1人がスギ花粉症(推定2500万人以上)。
- 花粉症の原因はスギ花粉に含まれるアレルギー物質(タンパク質)。

商品開発の展望



背景・課題

- コメのコスト削減には、単収の向上が不可欠。
- 中国では、既にF₁ハイブリッド・ライスで単収1.2トン/10aを達成。

商品開発の展望

- トウモロコシは、収量性に関与する様々な遺伝子を交配により取り込むことにより、単収1トン超を実現。
- トウモロコシの育種法(循環育種選抜法)をイネに応用することによって単収1トン超(2倍以上)の多収イネを開発。



背景・課題

- 家畜は体内で特定のアミノ酸(トリプトファン等)を合成できないことから、飼料にアミノ酸添加物を加えた飼料を給与。
- 家畜の濃厚飼料の原料は、約9割を海外に依存。
- 食料自給率の向上と飼料原料の安定確保のために栄養価の高い飼料の開発が必要。

商品開発の展望

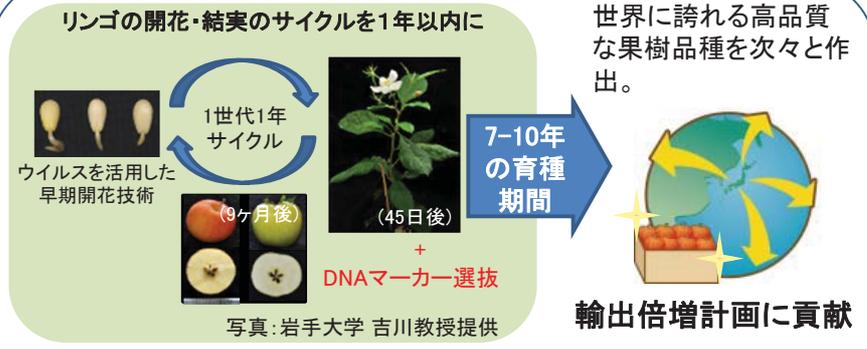
- イネのアミノ酸合成酵素に突然変異を誘発させることにより、家畜の必須アミノ酸であるトリプトファン等を豊富に含むイネを育成。



背景・課題

- 「桃栗3年、柿8年」と言われるように、果樹類は開花に時間を要するため、新品種の開発には、通常20年～半世紀を要する状況。
- 我が国の果物は海外からの評価が高く、さらなる輸出拡大に向けて、新品種の開発が重要。

商品開発の展望



背景・課題

- 世界的にマグロの漁獲規制が高まる中で完全養殖技術の確立が急務。
- マグロは非常に神経質な動物のため、養殖中に網に衝突するなどして約3割が死亡。
- 養殖用マグロ品種の開発が重要。

商品開発の展望

