

私たちはQFF、量子バイオテクノロジーの会社です。



バイオ製品開発(微生物改良)の商業化を
加速させる中性子線育種技術のご紹介

**World's first
Neutron breeding service**

**Ultra Rapid Upgrading of
Organisms**

株式会社クォンタムフラワーズ & フーズ (QFF)

菊池 伯夫



代表取締役 CEO & CTO 理学博士

英・独・印で9年間の理論物理学研究、日立製作所のTier1重電製造業CEOを経て、現在、CEO & CTOとして経営、事業開発、大学・研究機関との共同研究・サイエンス全般を牽引。

生物物理の論文総引用数797、h-index=7の非常に高い実績を持つ。

- ・2004年Oxford大学(Ph.D 理論物理、生物物理)
- ・重電製造業CEO時代に、グッドデザインものづくりデザイン賞受賞、はばたく中小企業・小規模事業者300社に選定、地域未来牽引企業に選定。
- ・JICAのODA事業で新興国の自然エネルギー開発に尽力。
- ・量子×バイオの力で持続可能な地球を目指す。



気候変動 に起因する社会課題： 食の安全保障と代替食、カーボンニュートラル、
代替エネルギー、有用物質の生産、抗菌薬開発ほか



深刻なのは、気候変動の **スピード** による影響。

環境悪化のスピードに対応策が追いつけないことで、被害が致命的となる分野がある：農作物被害、感染症の増加など

特に日本では、世界より速いペースで気温が上昇

国内食料生産の不安定化 → 食料安全保障の危機

(Pain: 作れない、食べられない、価格高騰)

アグリ、フード、バイオ分野の急務：環境耐性を強化した新品種のスピーディな開発
& 収量(yield)の増加



従来技術では絶望的に時間がかかり過ぎるため、

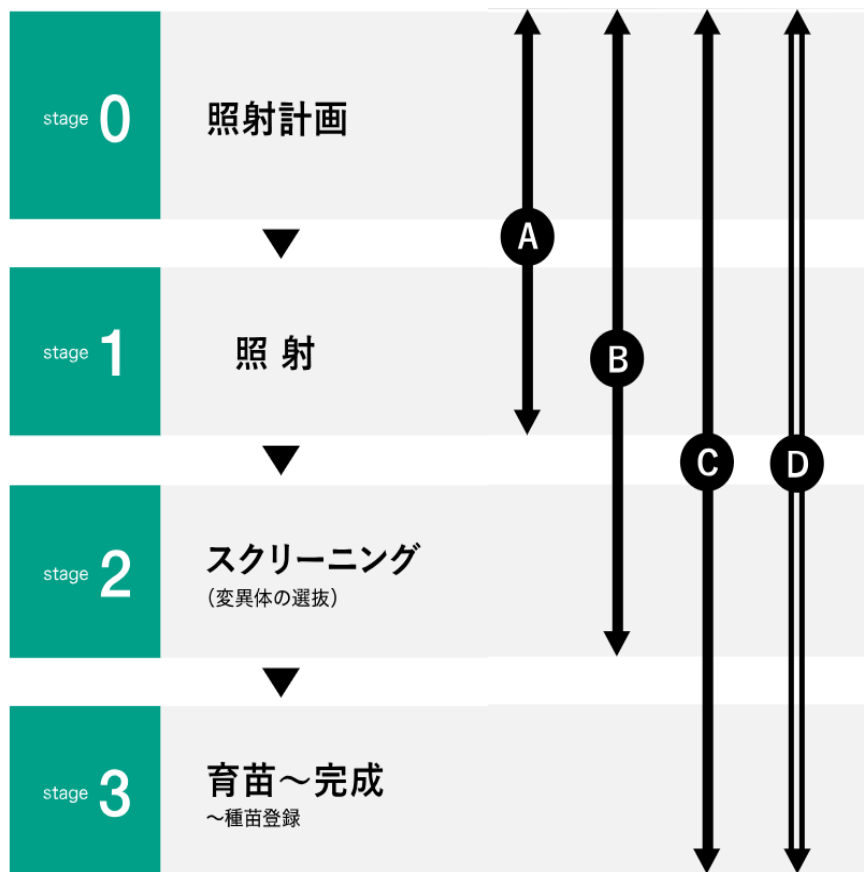
従来の **1/3～1/6の期間で品種改良でき、変異効率が圧倒的に高い“中性子線育種”** が
急速に注目を浴びはじめている

QFFの 提供サービス

「中性子線」を利用して

従来より3倍スピーディに新系統を創れる

“スピーディ育種”サービスを提供します。 ※ 微生物では6倍の事例あり



“気候変動”耐性が目的の品種改良 = スピードと変異効率が不可欠

世界で放射線利用の法的な規制なし(食品会社の強いニーズ)
Non-GMO technology

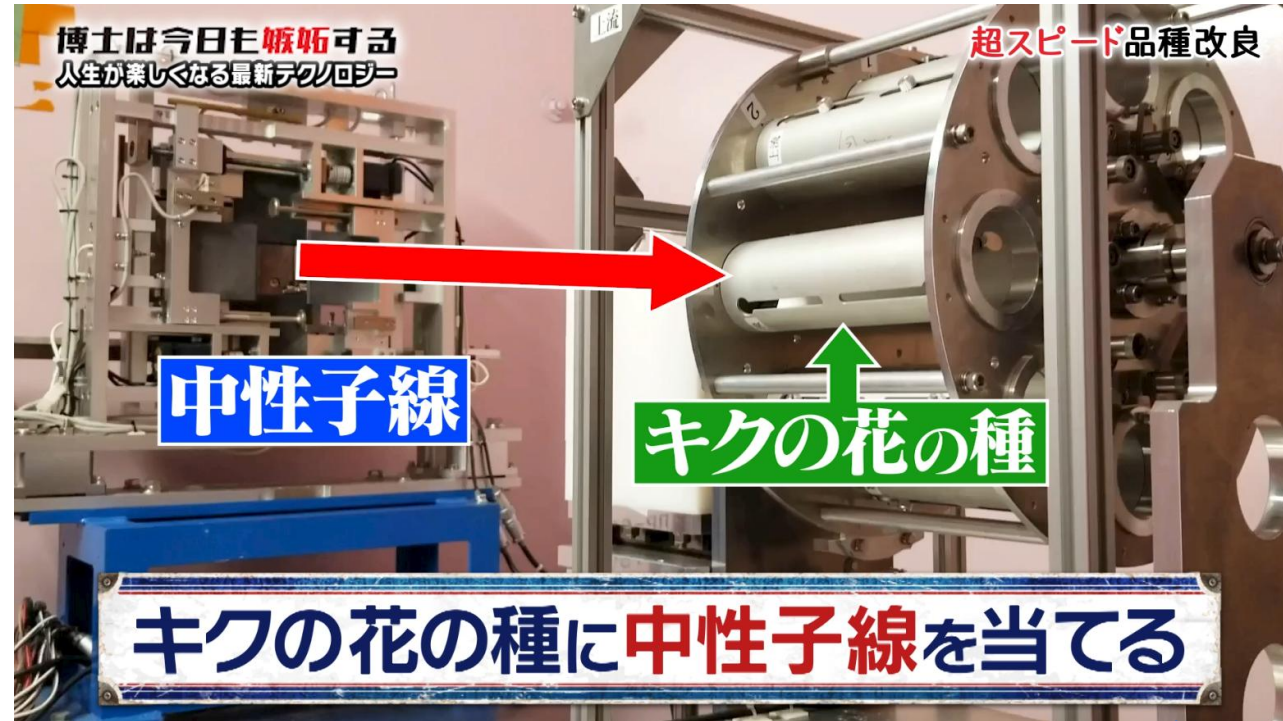
放射線による品種改良は、植物が進化の過程で自然に起こす

「突然変異」を利用するため、安全なものとして

1960年頃より世界中で長く活用されてきた実績があります。



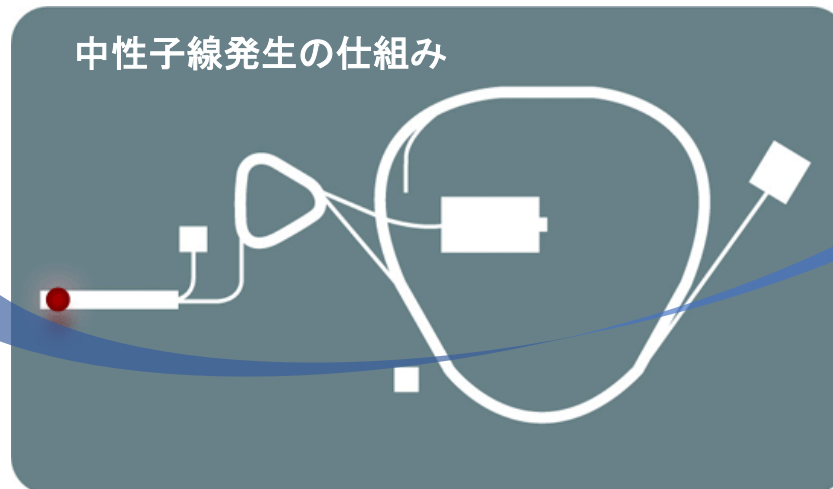
放射線等による突然変異育種 → 世界中で 約**3248**種 が品種登録



照射方法&装置&変異体:
QFF特許



中性子線利用拠点:
大強度陽子加速器施設J-PARC



J-PARC内部 MLF

従来の1/3～1/6以下の期間で新系統 を創る中性子線育種技術

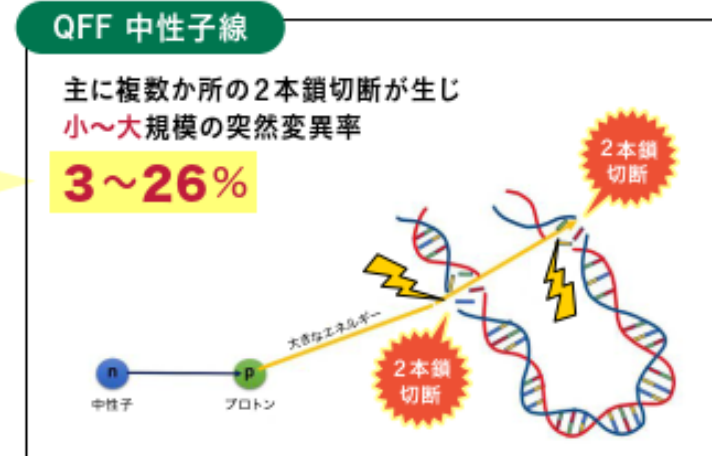
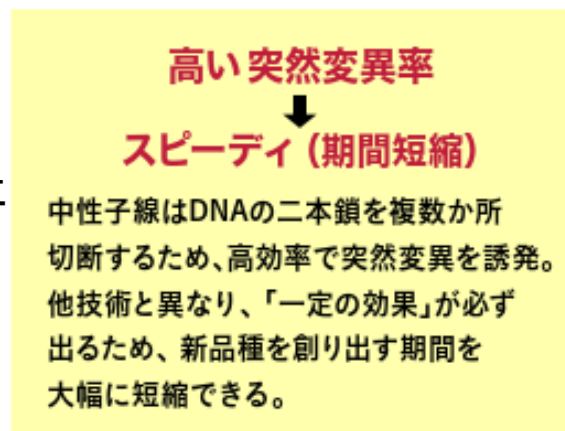
中性子線育種とは、中性子線を植物や微生物に照射、「突然変異」を誘発し、有用な品種を創り出す技術

技術の提供価値

- ① **スピード**: 従来の新系統創出プロセスを1/3以下に短縮。高効率育種を実現。
- ② **唯一の技術**: 従来技術で実質不可能だった微生物、倍数体の育種も可能に。
- ③ **商用サービス化**(世界初): 様々な業種で利用が可能。
- ④ **汎用性**: 殆どの対象に利用可。

技術の優位性

- ① 従来技術の15～300倍、飛躍的に高い突然変異率
- ② 微生物照射に最適で、(他の放射線と比べ)圧倒的にDNAに当て易く、変異誘発能力が非常に高く、有用形質を得易い
- ③ これまで獲得できなかった変異体の取得が期待できる
- ④ 特許国内2件・USA1件取得済み。EUにも国際出願中



オリジナル系統



アントシアニンをノックアウト



変異体の例



【米国特許番号】U.S. Patent No. 11980148
【特許登録日】2024年5月14日
【発明の名称】NEUTRON RAY IRRADIATION
TARGET APPARATUS, MUTATION
INDUCTION METHOD, AND IRRADIATION
TARGET MANUFACTURING METHOD
【特許権者】QFF

特許3件
取得済

強力な
アライアンス

国内2つしかない
高度科学施設

特許

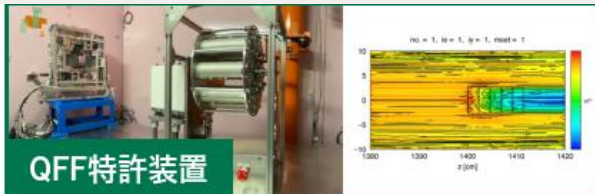
- 1 特許6991629:
「中性子線を用いた
突然変異誘発方法
と突然変異が誘発
された被照射体
(種子・植物・培養物など)」
- 2 特許7036479:
「中性子線
被照射装置」



大強度陽子線加速器施設 J-PARC



中性子線照射施設
QFF特許装置



QFF特許装置

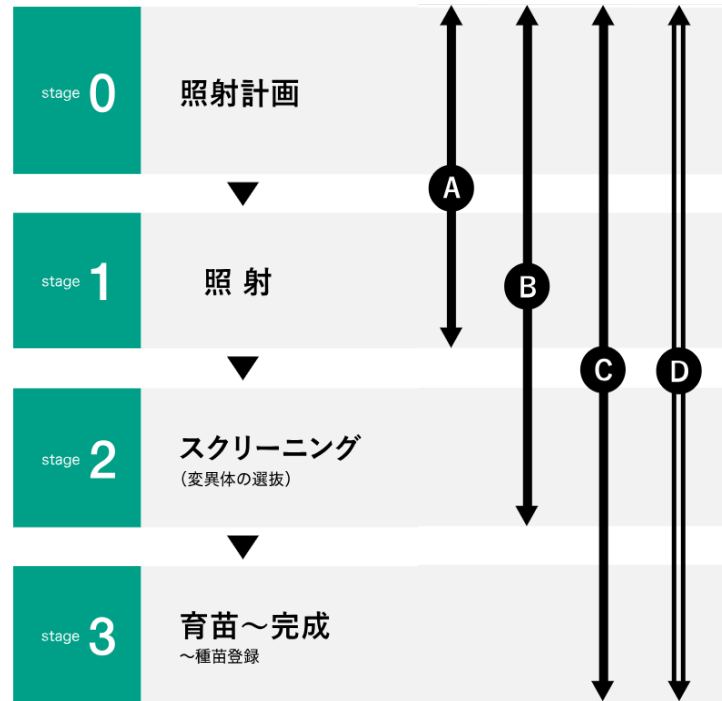


DEPARTMENT OF
PHYSICS



Science and
Technology
Facilities Council

■ サービス提供標準モデル



多段階のサービス提供モデル

A) 照射受託サービス

計画→照射→返却→依頼主がスクリーニング

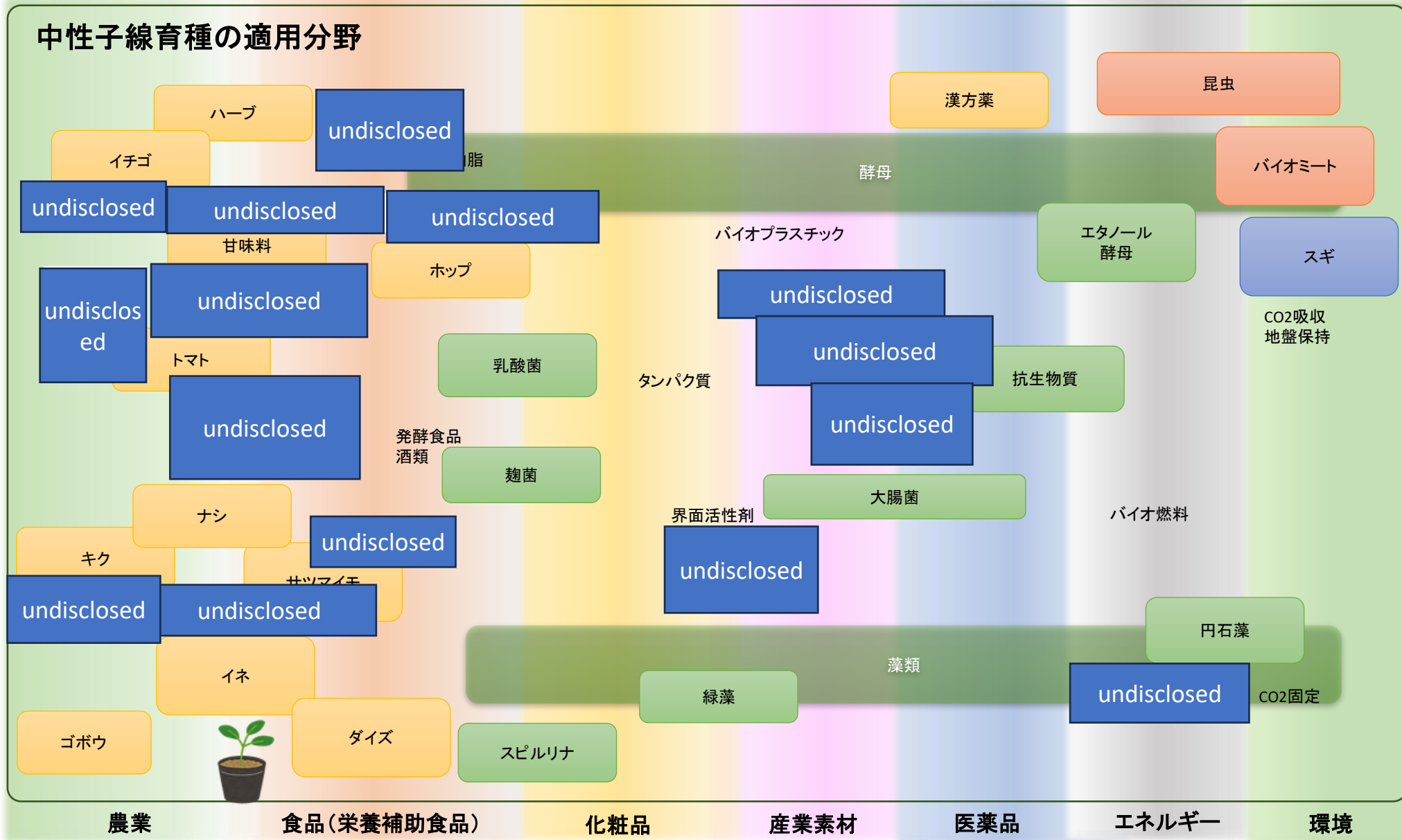
B) 照射＋スクリーニング 受託サービス

計画→照射→スクリーニング
→依頼主が育苗・培養

C) 照射＋開発 受託サービス

計画→照射→スクリーニング
→育苗・培養

中性子線育種適用分野MAP

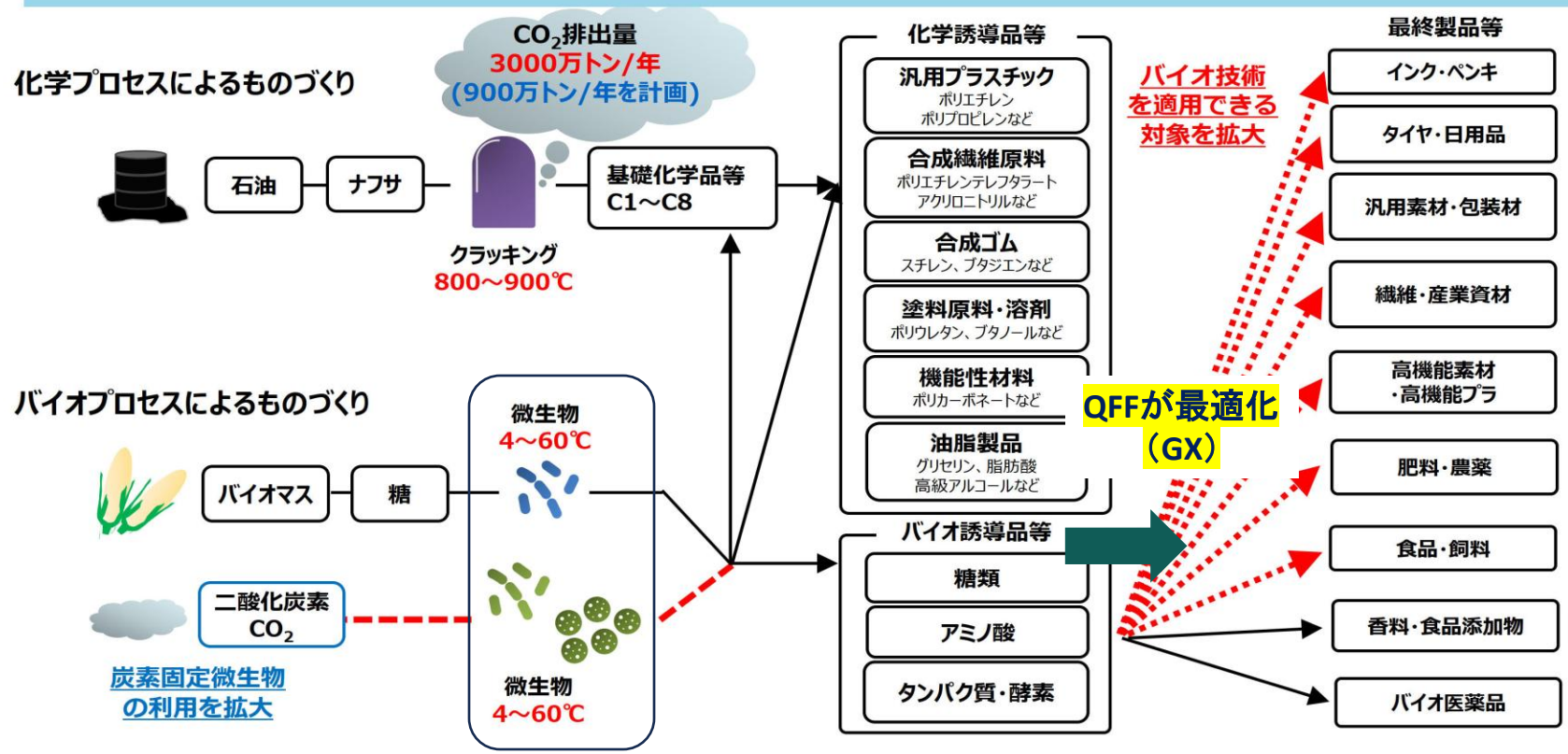


バイオものづくりにおける中性子線育種の役割

(参考) バイオものづくりプロセスの特徴 (化学プロセスとの比較)

- 化学プロセスは、800℃以上の高温高压条件下でものづくりが行われるが、バイオプロセスでは、自然条件下（常温常圧下）でものづくりが進行し、CO₂排出量の削減が期待できる。
- バイオものづくりでは、化学プロセスとは違い一般的に多段階の反応を重ねる必要がないので、炭素数の多い複雑な物質生産ほど競争力が高い。一方、バイオで作れる物質数を増やすためには、目的物質ごとに最適化された微生物の生産株・生産技術を開発する必要がある。

目的物質ごとに微生物を最適化するプロセスにて中性子線育種が大きな役割を果たす



経済産業省資料「バイオものづくり革命の実現」より

中性子線照射実績

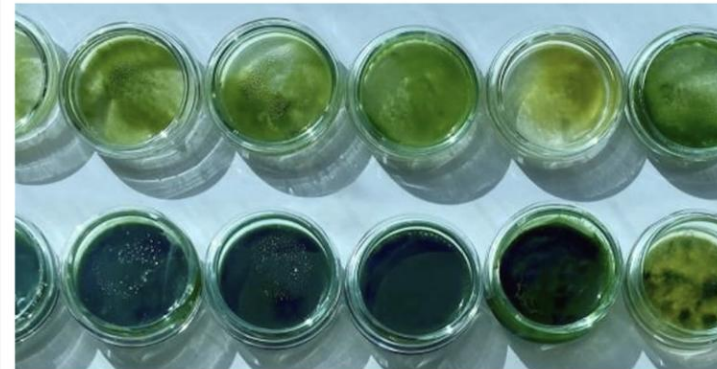
■植物 ※種子、成長点、穂木、苗木、OC細胞、カルスなどへの照射

朝顔 / 菊 / 小菊 / ストック / トルコギキョウ / カーネーション / 米（日本晴、ササニシキ） / 大豆 / シロイヌナズナ / マイクロトム / トマト / ごぼう / 梨 / 人参 / キャベツ / ダイコン / ブロッコリー / レタス / サツマイモ / イチゴ / カモミール / 玉ねぎ / ネギ / 胞子 / 大葉 / ほうれん草 / セロリ / 小松菜 など

■微生物 ※培養物への照射

微細藻類 / 酵母 / 大腸菌 / 乳酸菌 など

※原核生物、真核生物、古細菌などへの照射も可能です。



耐環境性

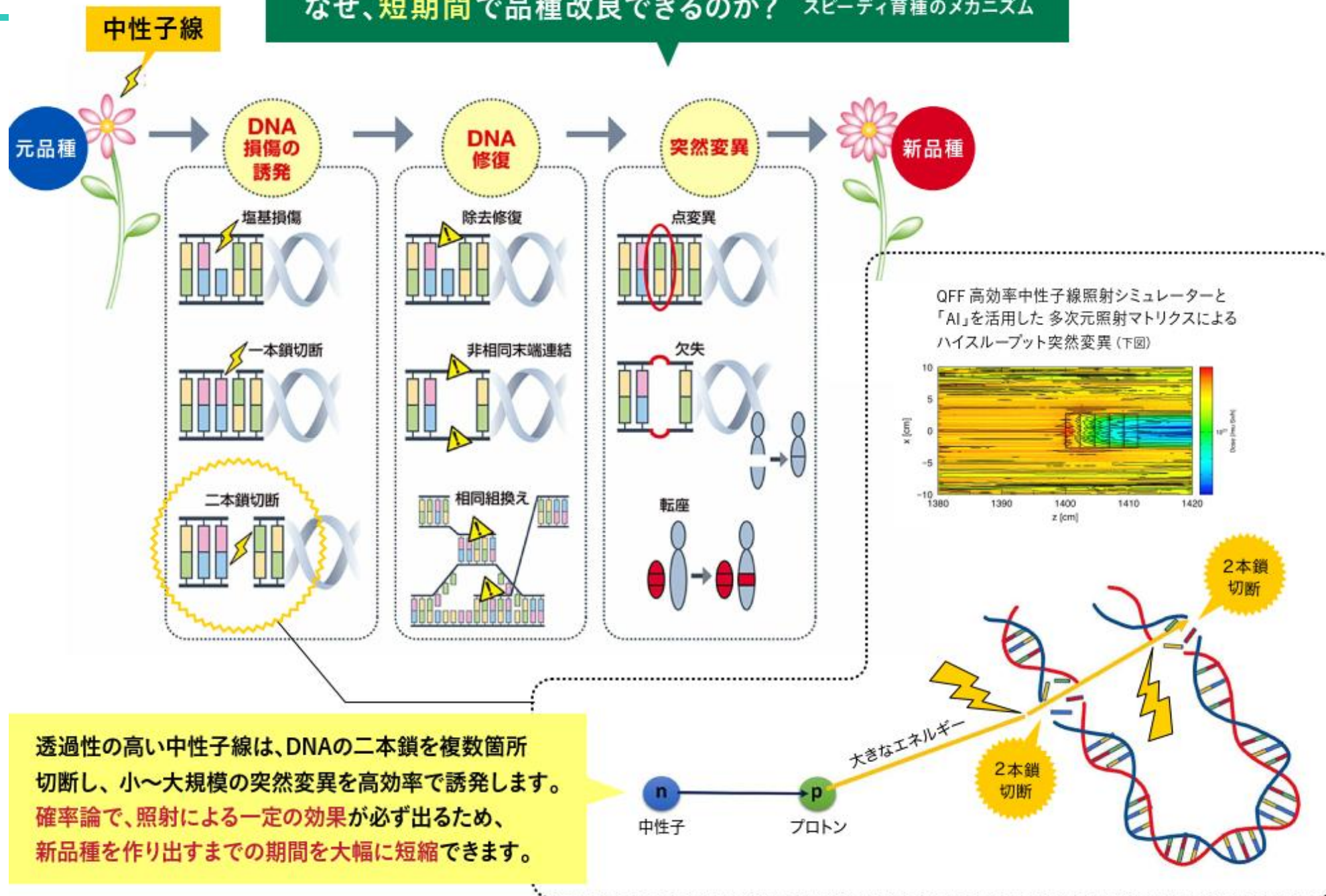
生産性向上

機能性向上

耐病性

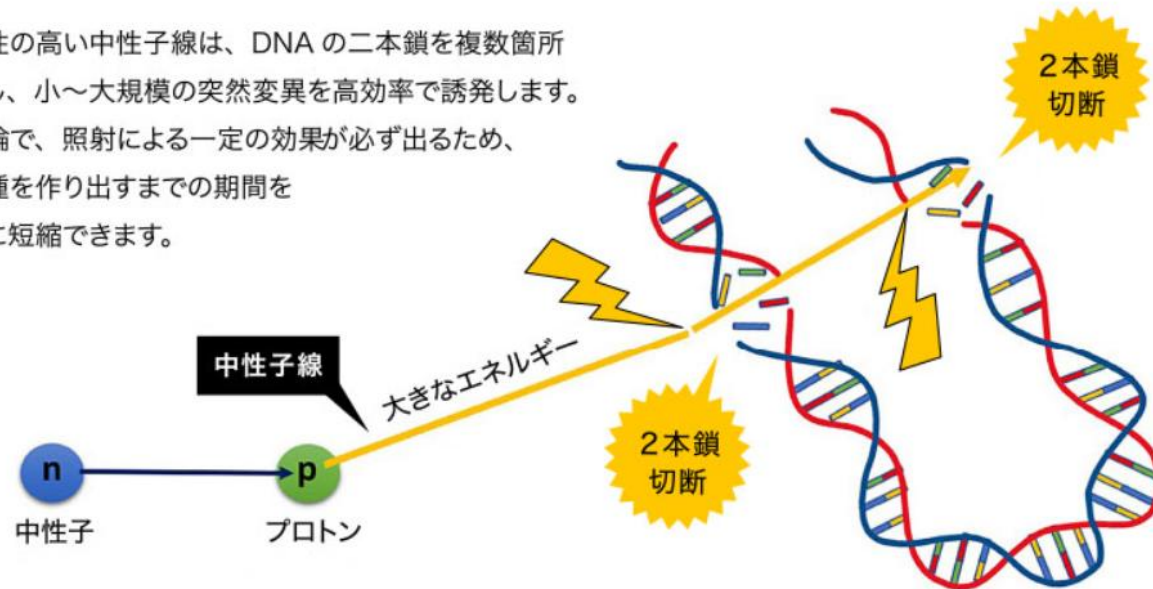
様々なニーズに対応

なぜ、短期間で品種改良できるのか？ スピーディ育種のメカニズム

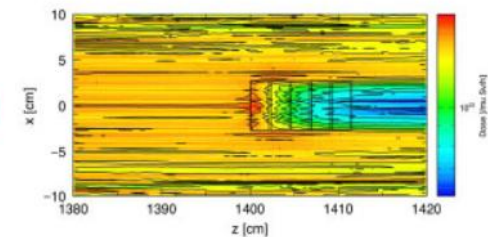


高LET & 高い透過性と当て易さ 発芽率(植物)・生菌率に影響のない線量で 変異体が得られる

透過性の高い中性子線は、DNAの二本鎖を複数箇所切断し、小～大規模の突然変異を高効率で誘発します。確率論で、照射による一定の効果が必ず出するため、新品種を作り出すまでの期間を大幅に短縮できます。



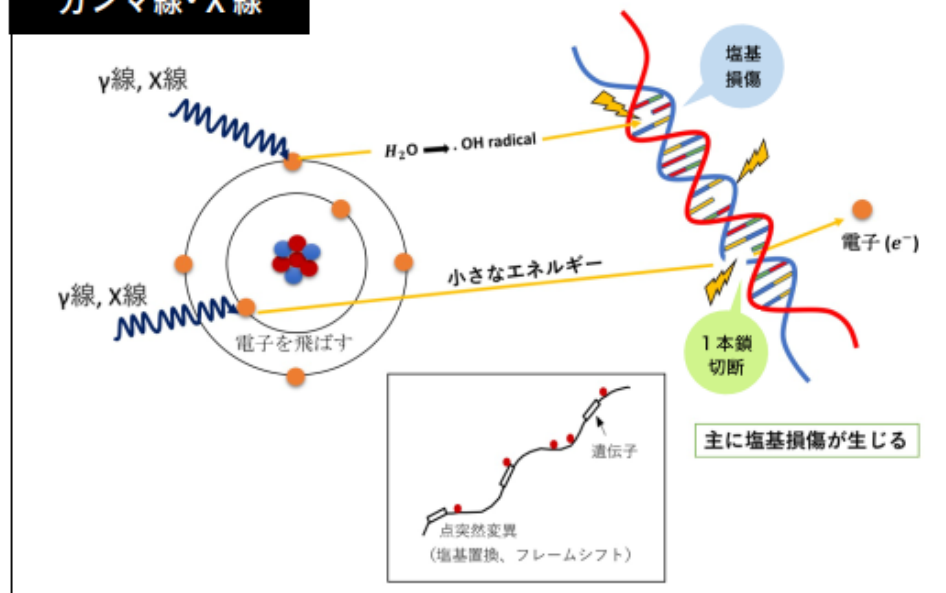
QFF 高効率中性子線照射シミュレーターと「AI」を活用した多次元照射マトリクスによるハイスループット突然変異



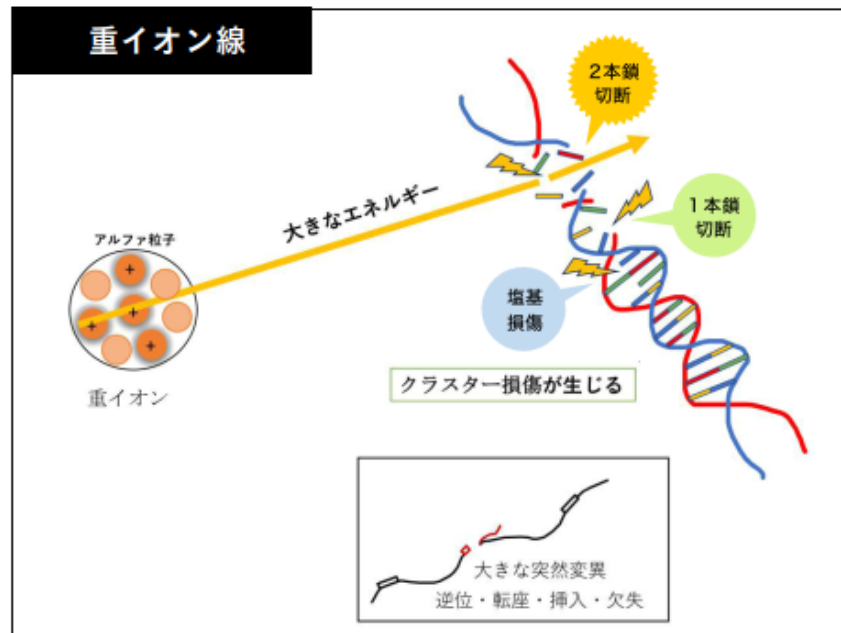
抜群の‘突然変異’誘発力で、細胞の潜在能力をひき出す。

放射線育種 メカニズム比較

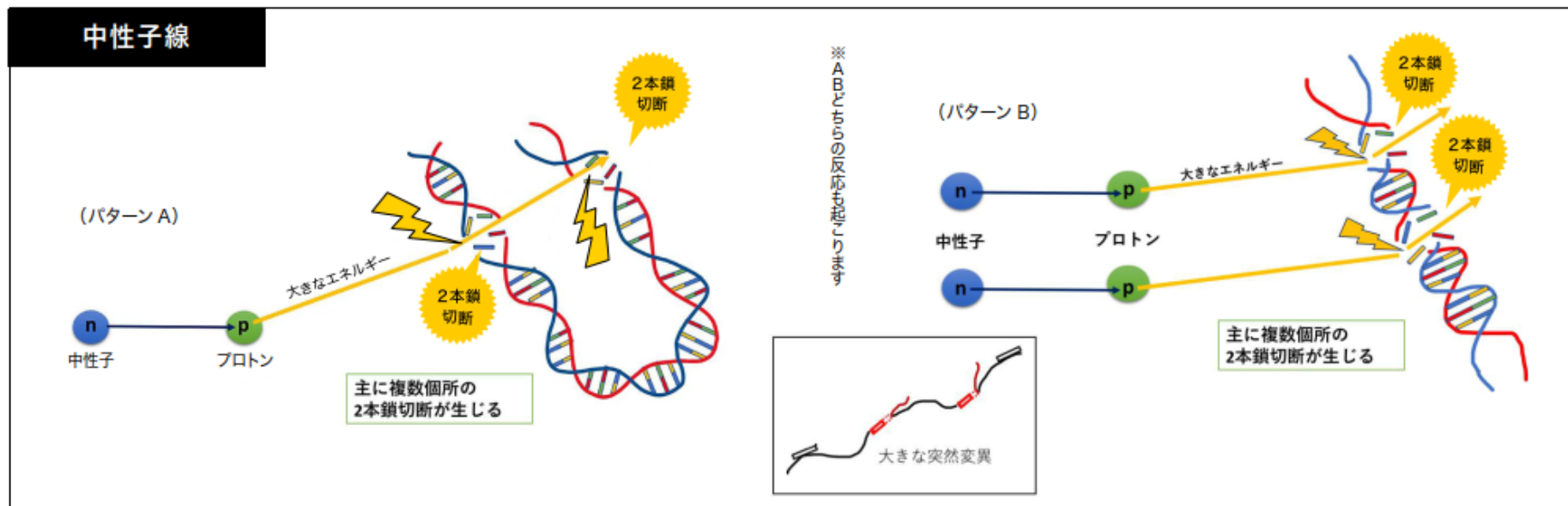
ガンマ線・X線



重イオン線



中性子線



品種改良技術の比較表

突然変異率が3〜26%と非常に高い中性子線は、確率論による一定の効果から
スピーディ且つ低コストでの品種開発を可能にし、
汎用性の高さから、**実用的で現実的な選択肢となる。**

	突然変異を誘発（遺伝資源の開発）				遺伝子を直接編集	
	EMS (化学変異材)	ガンマ線 (放射線)	重イオン線 (放射線)	中性子線 (放射線)	遺伝子組換え	ゲノム編集 (Crisper Cas9)
開発効率 変異の幅 /成功率	▲ [点]変異率 0.05〜5%	▲ [小〜中規模]変異率 0.01〜1.0%	○ [中〜大規模]変異率 0.01〜1.7%	15〜300倍 ◎ [小〜大規模]変異率 3〜26%※1	✕ 成功率 1%以下	▲ 成功率 10%以下※5
開発期間	▲ 新系統の創出まで 約3〜5年	▲ 新系統の創出まで 約3〜5年	▲ 新系統の創出まで 約3〜5年	半分以下 ◎ 新系統の創出まで 約1〜3年	✕ 研究開発から実用化まで 平均13年	◎ 新系統の創出まで 約1〜3年
コスト	○ 1.5円/粒〜※6 (ラボで自家対応も可能)	○ 1.2円/粒〜 ※6	▲ 98.3円/粒〜 ※6	1/9〜1/172 ◎ 0.57円/粒〜 ※6	✕ 高額な開発費用 ※4	✕ 高額なライセンス料
汎用性 使える植物 の種類	○ 種苗向け	◎ 種苗向け 培養体、球根、大きな穂木、 イモ等	○ 種苗向け	○ 種苗向け 特に培養体や球根に強い	✕ ごく特定の品種と条件下 でのみ利用可	▲ 特定の品種と条件下 にて利用可※5
安全性と 規制	◎ 自然界と同じ原理のため安全が保証されている。審査や認可も不要。1960年代より世界中で多数の商品化実績あり。	◎	◎	◎	▲ 日本・米国：安全審査あり EU：規制あり ※2	▲ 日本：条件付きで認可 米国：規制対象外 EU：規制あり ※3

自然の進化の原理を利用するため安全性が確保され、
長期に渡る実績がある反面、突然変異率が低いため、長い開発期間と
それに伴うコストがネック。また、ガンマ線は1年後に閉鎖する
施設があり利用が更に限られる。

安全性を確保した上で
高い突然変異率を得られるため
開発期間の短縮と
超低コスト化を実現できる。

自在に品種改良できる利点があるが、ごく特定の
品種と条件下でしか使えない点で実用的ではない。
また、高額な費用に対し、成功率が低く、規制への
対応、安全性への不安と批判のリスクも伴う。

※1 イネ(日本晴)、シロイヌナズナの場合の実績(第2世代) ※2 日本：安全審査が必要。米国：FDAでの事前安全確認必要。EU：遺伝子組換え生物の規制があり、多くの国では栽培禁止。スペインとポルトガルの一部でのみ遺伝子組換えトウモロコシが栽培されている。 ※3 日本：届け出制。外来遺伝子を含むワシントン条約作物は、遺伝子組み換え作物と見なされ安全性審査が必要。米国：規制対象外。EU：ゲノム編集を遺伝子組換えとして取り扱う。 ※4 研究開発から実用化まで、平均して13年の歳月と1億3,000万ドルの費用がかかる。 ※5 ゲノム編集は、遺伝子が特定されており、カルス化等が可能な場合にのみ利用可。その上で10%の成功率。 ※6 種子1粒あたりの照射単価に「変異率」をかけた実費の(照射1回)のコスト。開発のトータルコストは、ここに照射回数や期間を反映した「効率」が大きく影響します。ガンマ・重イオン・中性子線は標準的な種子(籾やゴボウ)の場合、EMSはシロイヌナズナの場合のコスト。