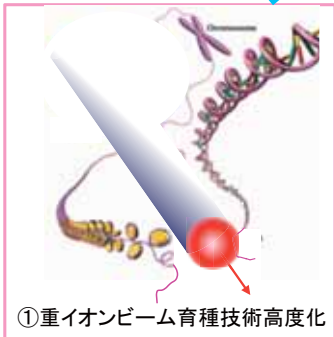


重イオンビームによる品種改良技術の開発から遺伝子機能解明へ

理化学研究所 阿部知子^{1,2}、平野智也²、風間裕介²
¹仁科センター生物照射チーム、²イノベーション推進センターイオンビーム育種研究チーム



①重イオンビーム育種技術高度化

オンデマンド変異誘発技術

最先端・次世代研究開発支援プログラム
 高エネルギー量子ビームによる次世代
 突然変異育種技術の開発 (2010年～2013年)

②高品質変異体の探索

- 環境耐性
- 高生産性
- 早生 など

塩害水田での耐塩性試験

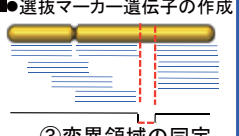
日本晴 (元品種)

6-99L
耐塩性変異体

早生変異体

日本晴 40L多収性変異体
4.1 t/ha 5.3 t/ha

●変異遺伝子の解析
●選抜マーカー遺伝子の作成



③変異領域の同定

Mutagenomics 領域の確立

ゲノム情報を利用した
変異遺伝子機能解析

育種の効率化

新品種育成

品種改良コンソーシアム
国内ユーザー156団体・国外ユーザー15団体

2002～
花手穂コーラルピンク

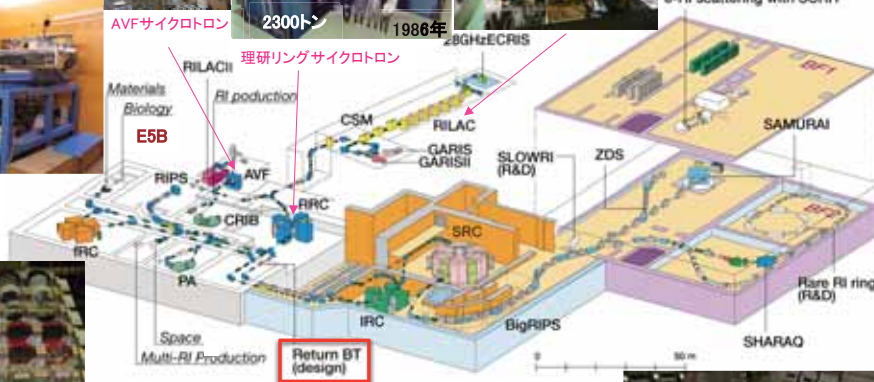
2003～
サフィニアローズ

2008～ 2010～
仁科蔵王 仁科乙女

マーカー選抜育種法

育種目標の選抜マーカー(遺伝子やDNA断片)を作成、それを用いて実生で新品種候補を選抜する方法。育種年限短縮や省力化につながる。

理研仁科加速器センターRIBFの巨大加速器群



AVFサイクロトロン

2300トﾝ

1986年

e-RI scattering with SCRIT

生物照射装置

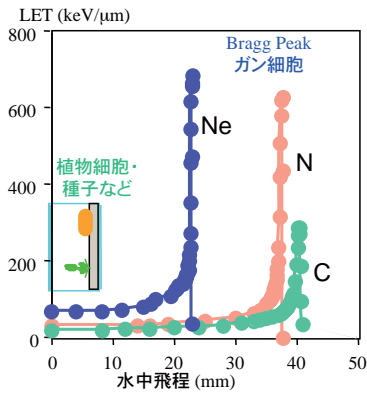
生物照射サンプル

1500トﾝ

2800トﾝ

8300トﾝ

2006年



高い致死効果＝ガン治療技術(Bragg Peak照射)
先進医療など

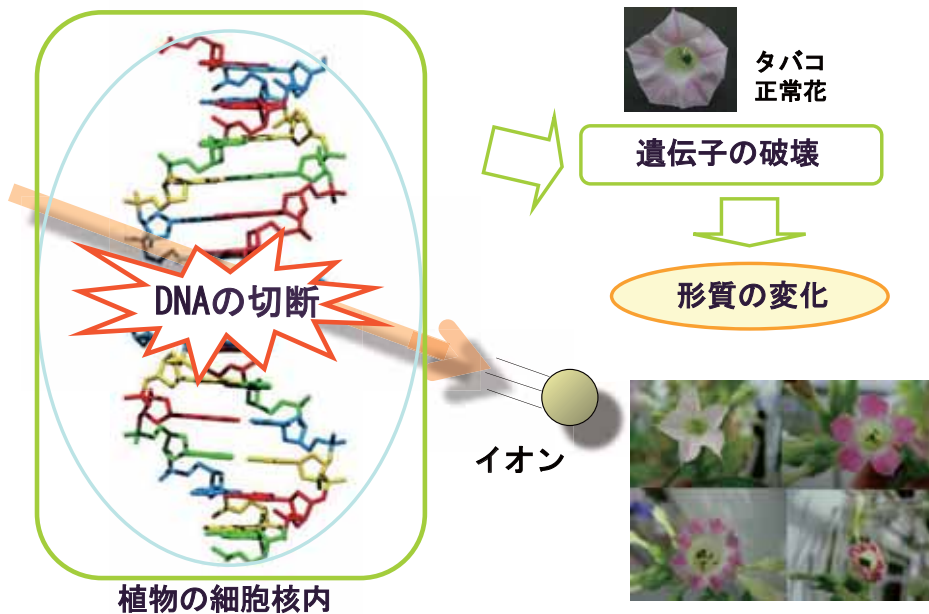
- 1)放射線医学総合研究所
重粒子医科学センター病院(千葉県)
- 2)筑波大学附属病院陽子線医学利用研究センター(茨城県)
- 3)国立がん研究センター東病院(千葉県)
- 4)兵庫県立粒子線医療センター
- 5)静岡県立静岡がんセンター
- 6)福井県立病院陽子線がん治療センター
- 7)脳神経疾患研究所附属南東北がん陽子線治療センター(福島県)
- 8)群馬大学医学部附属病院 重粒子線医学研究センター
- 9)メディポリス医学研究財団
がん粒子線治療研究センター(鹿児島県)
- 10)九州国際重粒子線がん治療センター(佐賀県2013年)
- 11)クオリティライフ21城北陽子線がん治療施設(名古屋市2015年)

高い変異効果＝育種技術(均一照射)

- 理化学研究所仁科加速器研究センター(埼玉県)
- 原子力開発研究機構高崎研究所(群馬県)
- 若狭湾エネルギー研究センター(福井県)
- 放射線医学総合研究所(千葉県)

イオンビーム育種技術の特長

- 1)生存率が低下しない低線量照射で変異誘発が可能
- 2)変異率が高い
- 3)新規変異体が得られる
- 4)変異体そのものが新品種となり、育種年限が短い





栄養繁殖系の高い変異率(数%~数十%)

形質	照射部位	核種/ 線量 (Gy)	生存率 (%) / 変異率 (%)	共同研究先
不結				
パーベナ	茎	N / 10	84 / 2.8	サントリーフラワーズ
シクラメン	塊茎	C / 12	50 / 13	北興化学工業 ¹⁾
花色・花型				
ダリア	茎頂	N / 5	NE / 20.3	広島市森林水産業振興センター ²⁾
バラ	穂木	Ne / 15	NE / 51.7	神奈川県農業技術センター ³⁾
		N / 30	NE / 43.1	
小キク	茎	C / 10	93.7 / 14	茨城県生物工学研究所 ⁴⁾
	挿し穂	C / 6	ND / 6.4	和治町実験農場 ⁵⁾
トレニア	葉片、茎	N / 50	NE / 1.9	サントリーフラワーズ ⁶⁾
		Ne / 20	NE / 1.6	
トレニア (組換え)	葉片	C / 80	ND / 15.5	花き研究所 ⁷⁾
		Ne / 30	ND / 10.6	
ナデシコ	茎	C / 35	57 / 27	北興化学工業 ⁸⁾
シンビジウム	幼苗	N / 5-10	50-NE/5-6.3	向山蘭園 ⁹⁾
挿入り葉				
ペチュニア	茎	N / 5	ND	サントリーフラワーズ ¹⁰⁾
ヘメロカリス	クラウン	C / 5-7.5	70-80/10	新潟大学 ¹¹⁾
半わい性				
シンビジウム	PLB	N / 5-10	70-90/6.3-10	向山蘭園 ⁹⁾



- 1) Sugiyama M. et al., Plant Biotech. 25, 101-104 (2008)
- 2) Hamatani M. et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 34, 169-170 (2001)
- 3) Hara Y. et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 36, 135 (2003)
- 4) Suzuki K. et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 38, 138 (2005)
- 5) Kazama Y. et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 41, 230 (2008)
- 6) Miyazaki K. et al., Plant Biotech. 23, 163-167 (2006)

- 7) Sasaki. et al., Plant Biotech. 25, 81-89 (2008)
- 8) Sugiyama M. et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 41, 229 (2008)
- 9) 古川, 品種改良ユーザー会報告書2007, 55-56 (2008)
- 10) Miyazaki K. et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 35, 130 (2002)
- 11) Saito H. et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 39, 139 (2006)



穀類・野菜類の品種改良例(種子繁殖系)

形質	照射部位	核種/ 線量 (Gy)	生存率 (%) / 変異率 (%)	
半わい性				
オオムギ	乾燥種子	N / 50	ND / 2.6	
日本ソバ	乾燥種子	C / 100	97 / 0.6	長野県中信農業試験場
ダットンソバ	乾燥種子	C / 40	NE / 0.9	放射線育種場 ¹⁾
		Ar / 20	NE / 1.0	
		Fe / 30	70 / 4.0	
ヒエ	乾燥種子	C / 20	ND / 1.9	岩手県北農業試験場 ²⁾
ピーマン	乾燥種子	Ne / 10	80 / 1.3	野菜茶業研究所 ³⁾
塩耐性				
コメ	吸水種子	C/40	40 / 1.1	理研・東北大学
モ子性				
コメ	乾燥種子	C / 200	NE / 2.2	千葉農業総合研究センター

ND: no data, NE: no effect

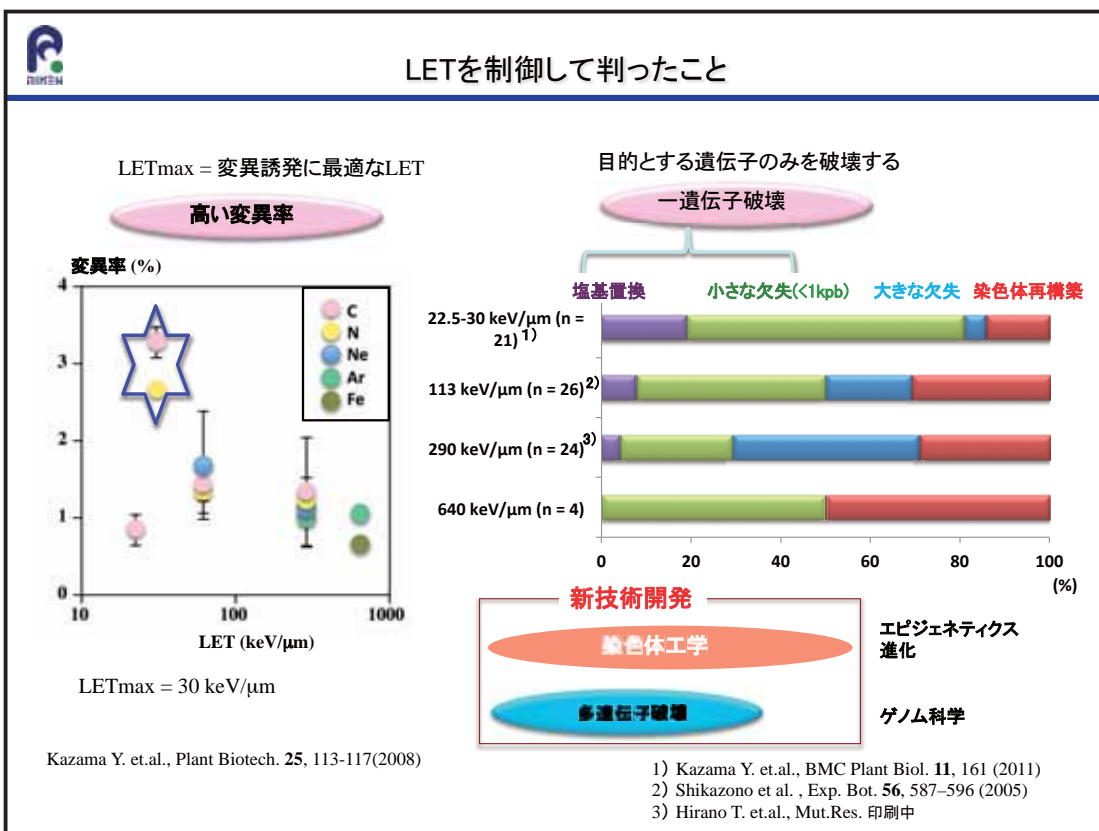
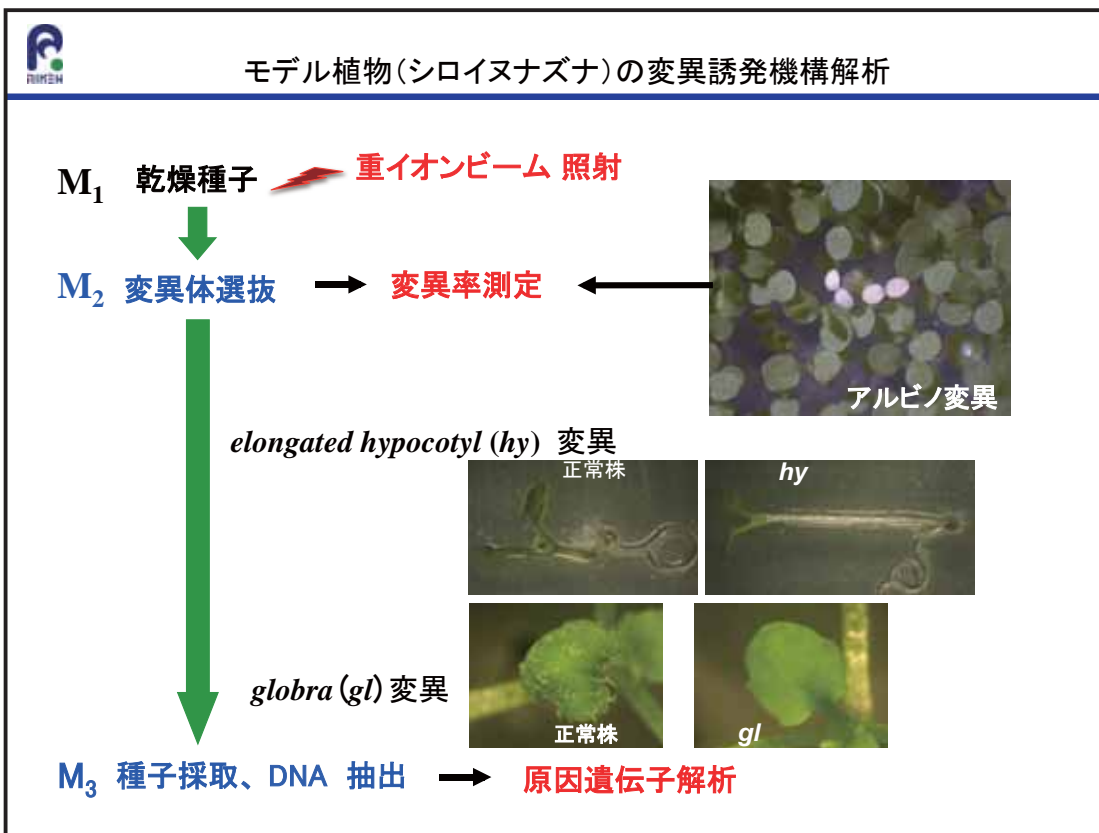


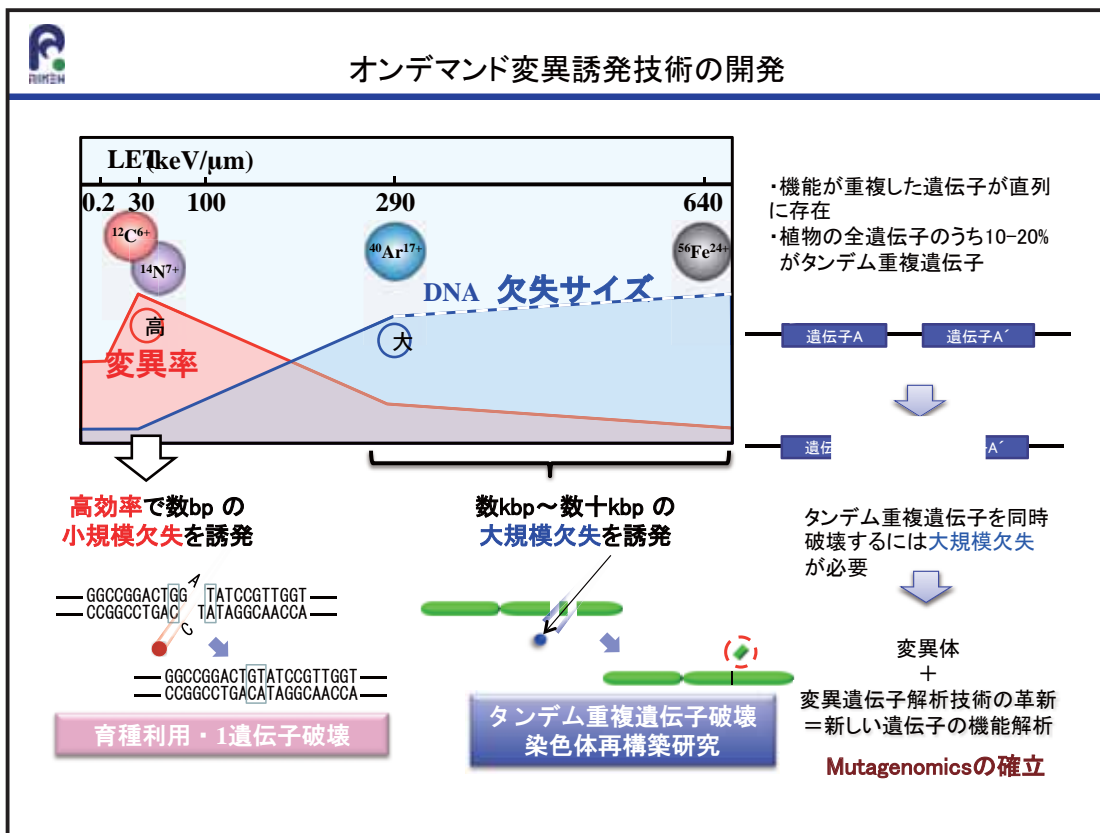
長野県中信農業試験場



もじゃっぺ ねばりっこ
(元品種) 1号 2号 3号
早生 中生 晩生

- 1) 森下敏和ら, 育種学研究, 12, 39-43 (2010)
- 2) 仲條真介ら, 雑穀研究, 24, 12-19 (2009)
- 3) Honda I et al., Euphytica 152, 61-66 (2006)






変異遺伝子解析技術の革新

	標的	解析速度*	ゲノム情報	検出可能変異	価格*
PCR+シーケンス	任意1遺伝子	2日	目的遺伝子情報のみ必要	全変異	数千円
HRM	任意1遺伝子	2時間	目的遺伝子情報のみ必要	全変異	数千円
全遺伝子タイリングアレイ	全遺伝子	1ヶ月	必要	200 bp以上の欠失	数十万円
全遺伝子シーケンス	全遺伝子	3ヶ月	必要	全変異	数百万円
全ゲノムシーケンス	全ゲノム	半年	不要**	全変異	数百~数千万円

*1 サンプル当たりのおおよその値


** 正常株と変異株とを両方シーケンスし比較すればゲノム情報は不要

1 遺伝子レベルでの変異解析



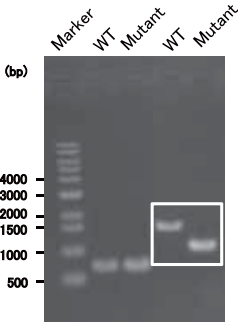
Thermal Cycler

➔



DNA Sequencer

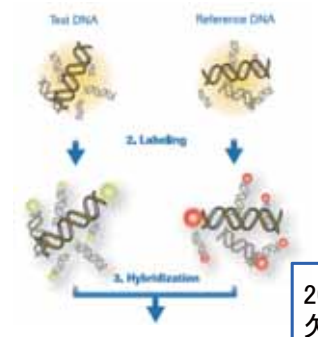
1000 bp 程度の配列を取得



野生型	GGCAGATGATGATTAGCGAGCTTAATAACCTTAACATCTAGACAAAAGGATACAAAGTAAATAAAGGAGGTTCGACAAAGTTAAAACACCCAGAGGTTGGTCTGGGAGCTTTCTT
変異体	GGCAGATGATGATTAGCGAGCTTAATAACCTTAACATCTAGACAAAAGGATACAAAGTAAATAAAGGAGGTTCGACAAAGTTAAAACACCCAGAGGTTGGTCTGGGAGCTTTCTT
野生型	CTACTCCAAAGTCATCTTTGGCTTCTTAATATCTCTTTTGGAGTCCCTTTGGCTTCTTAATATCTCTCAATATGGGAGCCATCTTTGGCTTTTCACTAATAAGTAAACACGAAA
変異体	CTACTCCAAAGTCATCTTTGGCTTCTTAATATCTCTTTTGGAGTCCCTTTGGCTTCTTAATATCTCTCAATATGGGAGCCATCTTTGGCTTTTCACTAATAAGTAAACACGAAA
野生型	GTTTGTTAGACTTGGTTACAGGAGCAGAGATCAGCAGATATTGACGTACCTGGGCGCCACAAATGATGGGGCTTTCTGGCGCGGGGGTGGAAAATGTTTGTTCCTATGGTAAAGCA
変異体	GTTTGTTAGACTTGGTTACAGGAGCAGAGATCAGCAGATATTGACGTACCTGGGCGCCACAAATGATGGGGCTTTCTGGCGCGGGGGTGGAAAATGTTTGTTCCTATGGTAAAGCA
野生型	AGAAAGCCAGCAACTGCTTTGGGCCCCCTCCCATGTGGGTCCCACTAAGTTTGGGGCTTGTCTATGGGTCTCTCCAGTAGATAGACTATAGAGAGAGCTGTAATAAACCAAGAGG
変異体	AGAAAGCCAGCAACTGCTTTGGGCCCCCTCCCATGTGGGTCCCACTAAGTTTGGGGCTTGTCTATGGGTCTCTCCAGTAGATAGACTATAGAGAGAGCTGTAATAAACCAAGAGG
野生型	ACAAGTCTTTAGTATAGCTTTAGACTTTACTAAGCTTGGGAAATAATGGTTGGGGAGGACAGCCACAACCTATCGAAATCATGACATGATCAACCTTCCCACATGAGAGAAAAGTT
変異体	ACAAGTCTTTAGTATAGCTTTAGACTTTACTAAGCTTGGGAAATAATGGTTGGGGAGGACAGCCACAACCTATCGAAATCATGACATGATCAACCTTCCCACATGAGAGAAAAGTT

・大規模欠失や染色体レベルでの変異解析が困難
 ・全ゲノムあたりに生じる変異を解析することはほぼ不可能



全ゲノム変異解析 —ゲノムタイリングアレイ—

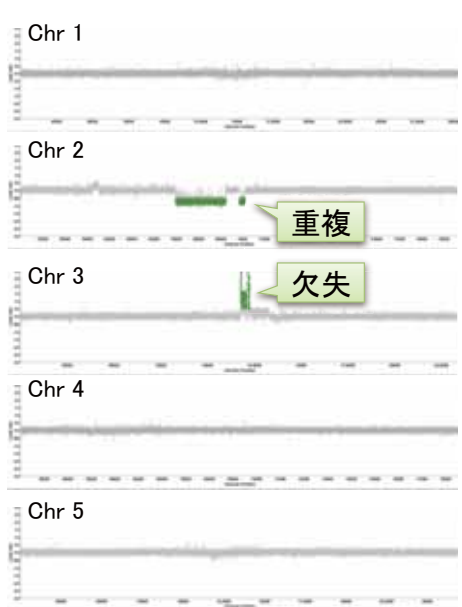


解析例:
シロイヌナズナ,
Ar イオン照射

200 bp 以上の
欠失を検出可能

Probes
Length: about 50 bp
Distance: about 50 bp



・全ゲノムシーケンスより安価
 ・タンDEM重複遺伝子欠失の全ゲノムスクリーニング



次世代シーケンサーを用いた全ゲノムシーケンス

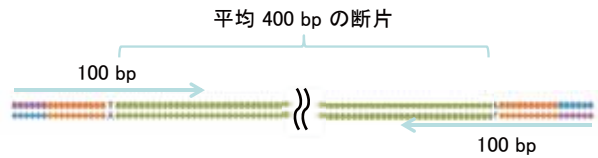
- ・リアレンジメントが効率的に得られることから染色体再編成の研究への応用が可能
- ・リアレンジメントを含め全ゲノムあたりに誘発される変異を検出



HiSeq 2000

illumina社 HiSeq 2000

- ・1ランあたり 600 Gb のデータを産出 (1回のランで30xのカバレッジでヒトの5-6ゲノム分をシーケンス)
- ・解析手法: ペアエンド、解析塩基: 100 bp



品種改良ユーザー会 報告書



2001年度 報告数 21報(42頁)	2003年度 35報(60頁)	2005年度 43報(75頁)	2007年度 51報(84頁)	2009年度 70報(94頁)
------------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------



重イオンビーム育種の現状・将来
重イオンビーム育種実用化10年
重イオン加速器を用いた植物科学研究の革新

理研シンポジウム

重イオンビーム変異体利用の新展開

共同研究：埼玉県産業技術総合センター北部研究所

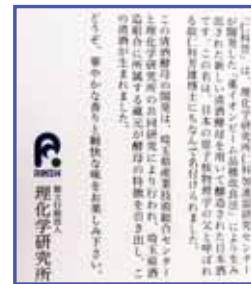


鉄イオン変異体1 自然変異体 埼玉酵母
鉄イオン変異体2 コントロール

理研利酒会アンケート調査結果
美味しいV56名



2009年 鉄イオンビームによる酵母変異体
(高吟醸香:変異体2および低酸度:変異体1)を選抜
2011年 変異体2を埼玉県の4つの酒蔵で実地醸造試験、
11月 3つの蔵より統一銘柄「仁科誉」の販売開始
2012年 変異体2は吟醸酒用「埼玉G酵母」として、
変異体1は一般酒用「埼玉H酵母」として実用化



仁科誉 裏ラベル

	アルコール度数	日本酒度	酸度	アミノ酸度	酒米(精米%)	種類	
1	15.3	+2	1.3	1.4	山田錦(50%)	純米大吟醸	丸山酒造(深谷市)
2	15.8	-6	1.5	1.7	山田錦(50%)	純米吟醸	小江戸鏡山酒造(川越市)
3	15.3	+3	1.4	1.2	美山錦+秋錦(55%)	吟醸本生	鈴木酒造(さいたま市)