



日本触媒

JBAバイオものづくりセミナー 20250806

バイオブタノール製造技術の開発

株式会社日本触媒
プロセス触媒研究部
向山正治

日本触媒の強み

日本触媒 

1970

世界初

アクリル酸の新製法を開発

世界で初めて、プロピレンの直接酸化技術でアクリル酸を工業化しました。これにより、低コストかつ大規模でのアクリル酸の製造が可能となり、塗料原料や粘着剤原料、高吸水性樹脂など、さまざまなアクリル酸誘導品を生み出してきました。当社が開発したアクリル酸製造技術と触媒は、世界の大手アクリル酸メーカーで採用されています。

大河内記念生産賞受賞

科学技術庁長官賞受賞

※世界有数の生産規模を誇っています。

塗料・粘着剤用のエステルにn-ブタノールを使用

1985

高吸水性樹脂の大規模生産に成功

1985年にアクリル酸を原料として、高吸水性樹脂「アクアリック® CA」の大規模生産を開始して以来、技術・生産とも世界をリードしてきました。高吸水性樹脂は1gで100～1,000gもの水を吸い取る吸水性と保水性に優れた樹脂で、主に紙おむつに採用され、人々の生活の質向上に貢献してきたほか、砂漠化防止にも活用されています。

※グローバルに生産体制を整え、世界トップの生産量を維持しています。
(2021年4月時点、当社調べ)



n-ブタノール

- ・ 化学品として石油原料から生産（エステル用アルコール、溶剤）
- ・ 自動車用燃料としての特性に優れておりUSで開発が進んでいる
- ・ 日本触媒は日本でのn-ブタノールの最大ユーザーのひとつ

石油に依存しない持続可能な原料への転換



バイオマスを利用したn- BuOH製造技術を開発

課題：ABE発酵はアセトンの副生が多く、n-ブタノール収率が低い
n-ブタノールの毒性が高く、蓄積濃度、生産性が低い

ブタノール収率の高い菌株の構築 ブタノール耐性株の育種

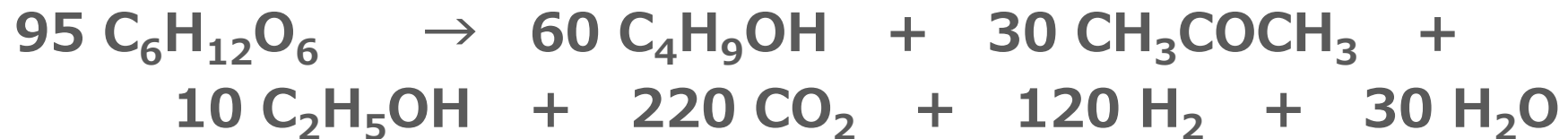
アセトンブタノールエタノール（ABE）発酵 日本触媒

ABE発酵の歴史

1912年 Weizmann *Clostridium acetobutylicum* の分離

アセトン：ブタノール：エタノール = 3:6:1 で生成

発酵式



C. acetobutylicum

C. beijerinckii

C. saccharoperbutylacetonicum （日本で使用された菌株）

第一次大戦 アセトンを火薬原料に利用

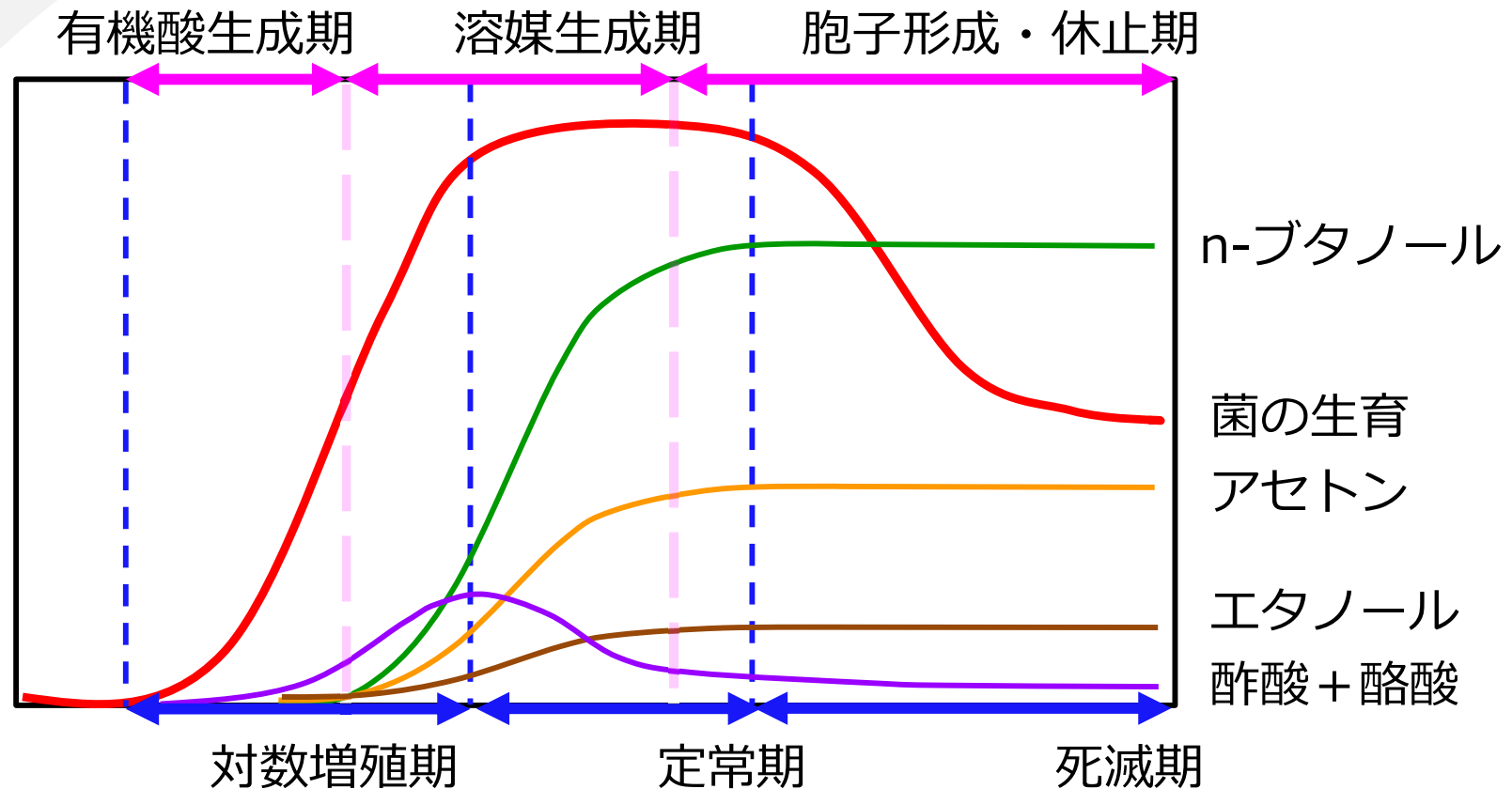
ブタノールを溶剤として利用

鉄製タンクで実施された最初の工業的発酵生産

1960年代以降に石油化学法へ移行し発酵法による溶剤生産は終了

出展 発酵ハンドブック 共立出版 p19-23

ABE発酵の発酵様式



- ・ 対数増殖前期に酢酸・酪酸を生成
- ・ 対数増殖後期から定常期にかけてグルコース、酢酸、酪酸を溶媒に変換
- ・ 定常期後期から孢子形成を開始し、孢子として休眠状態になる

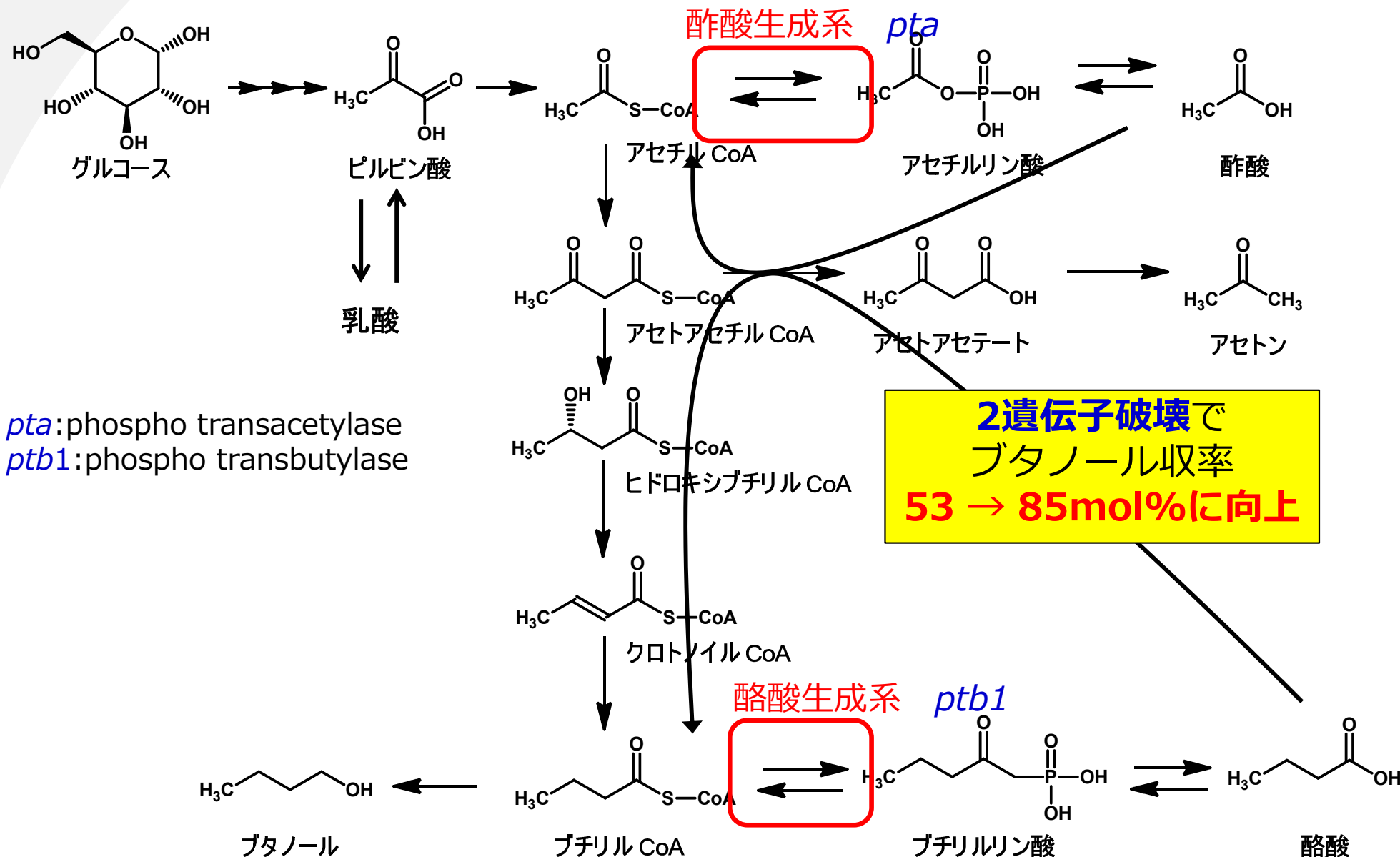
糖から有機酸を生成して大量のATPを得て増殖

→ 糖と有機酸から毒性の高い溶媒を生成

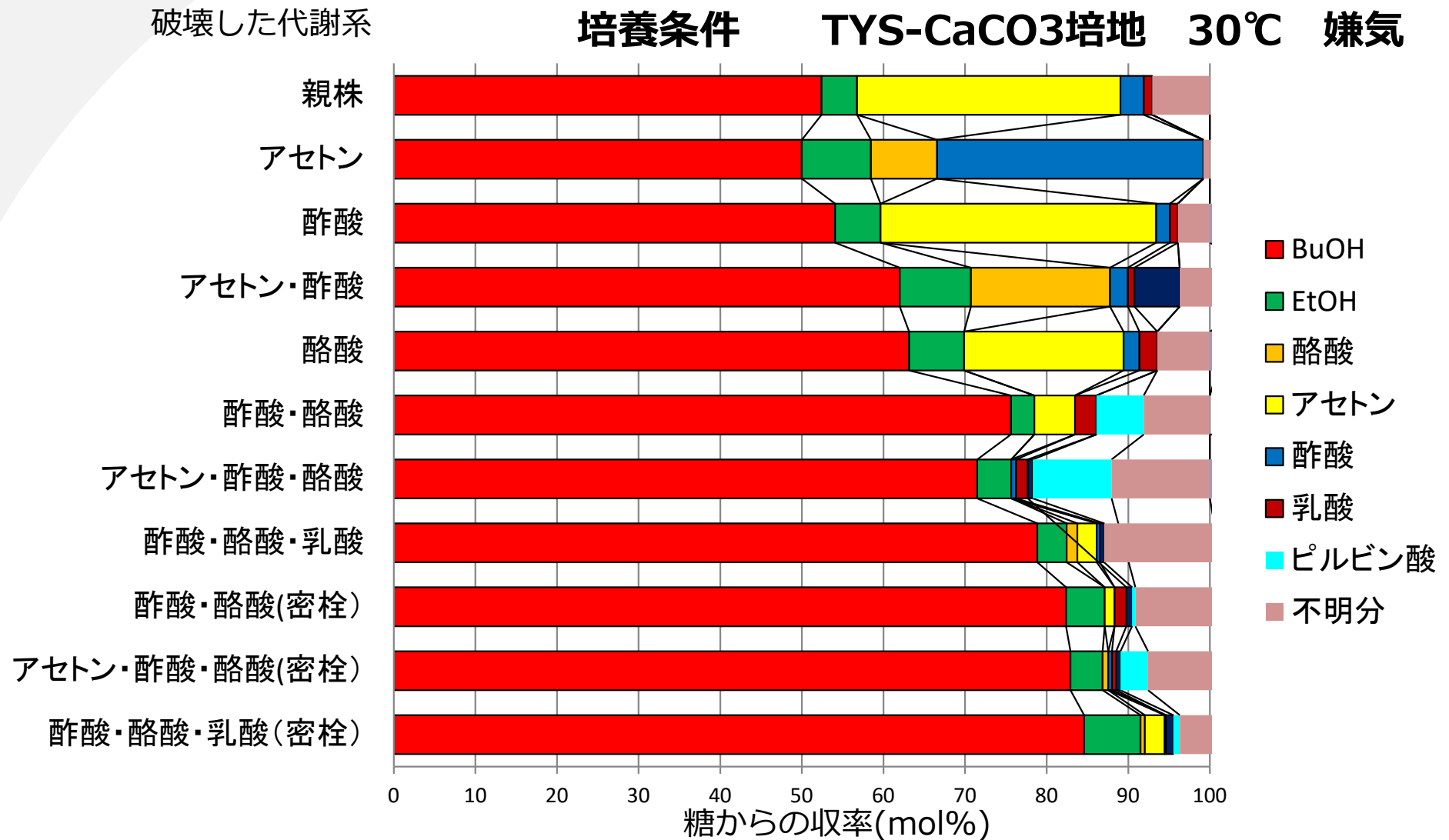
→ 孢子形成して休眠状態に入る

n-ブタノール高収率株の育種 有機酸生成に関わる遺伝子の破壊

Clostridium saccharoperbutylacetonicum ATCC27021株の
酢酸・酪酸・乳酸生成系 CoA転移系遺伝子を破壊



ブタノール発酵関連遺伝子破壊株の生成物比率 日本触媒

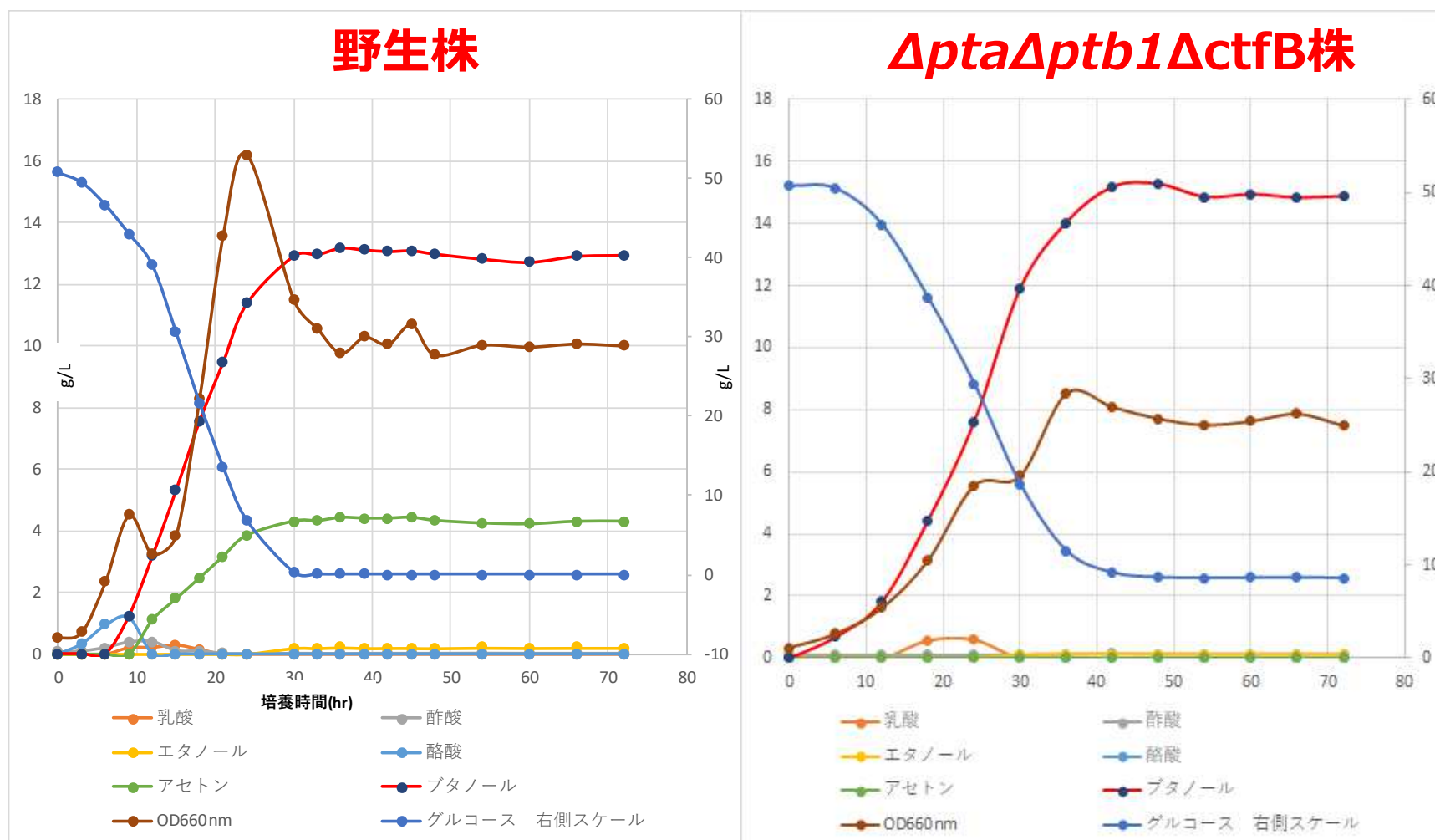


遺伝子破壊によりブタノール収率が過去報告最高の84mol%に向上
エタノールの削減は困難

発酵検討 破壊株の培養評価

Clostridium saccharoperbutylacetonicum ATCC27021 遺伝子組み換え株

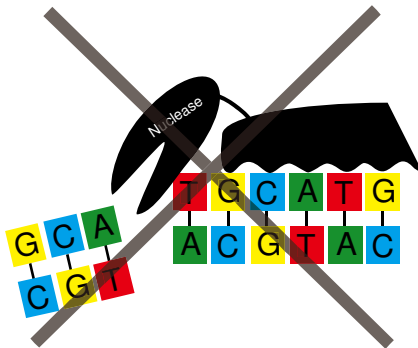
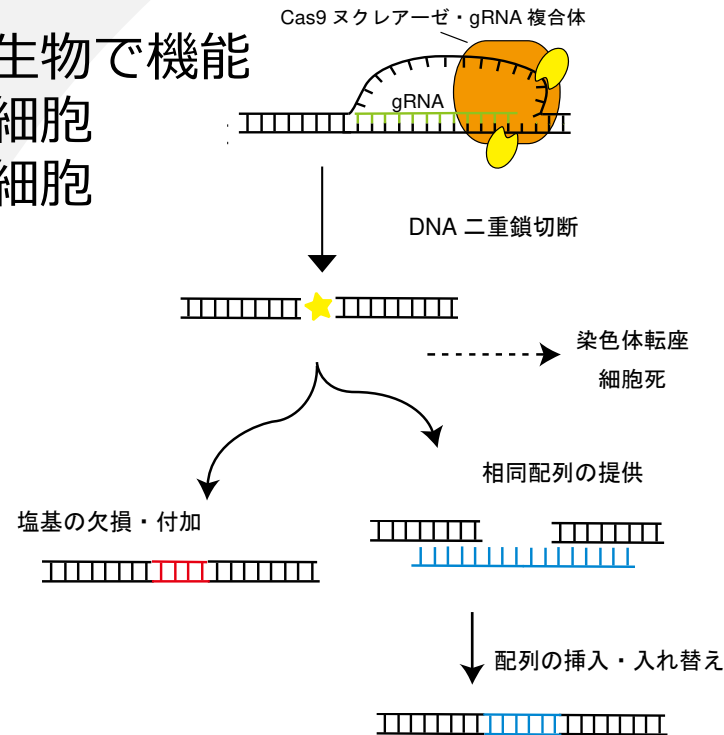
菌株	特徴	ブタノール収率
当社開発株	アセトン生成なし	85mol%
野生株	アセトン生成あり	65mol%



Target-AIDによるゲノム編集

CRISPR

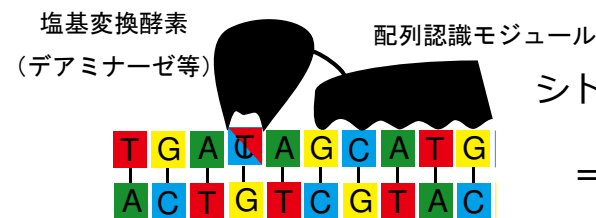
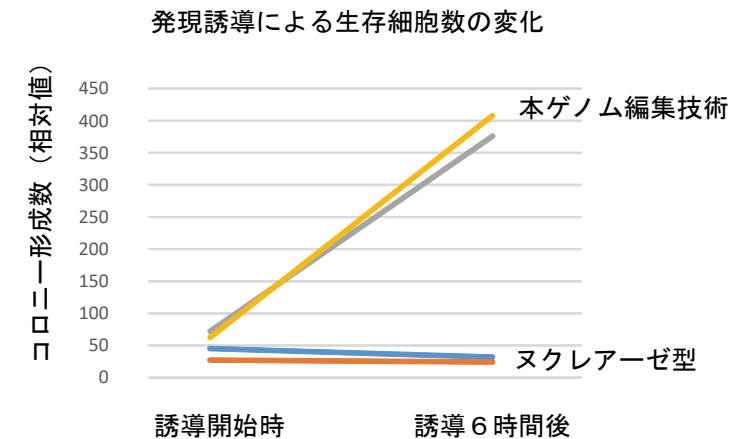
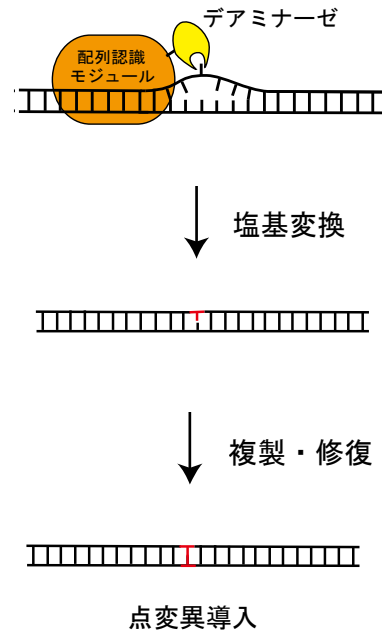
真核生物で機能
動物細胞
植物細胞



染色体分断により細菌は死滅する

Target-AID

細菌（原核生物）でも機能する
動物細胞・植物細胞



シトシン(C)を脱アミノ化して
ウラシルに変換
= 複製時にチミン (T) になる

染色体を切断しない
遺伝子組み換えしない **塩基変換**

Nishida, **Science**, Vol.353, Issue.6305, aaf8729

培養同時分離方法のモード

○バッチ培養

n-ブタノールの蓄積濃度が低いため溶媒容積あたりの生産性が低い
大量の培養廃液が発生、生産物であるn-ブタノールの50-100倍容量の廃液が出る

廃液削減には培養液から連続的にn-ブタノールを取り出す方法が有効

○培養同時分離方法

・培養同時蒸留

ガストリップング
フラッシュ蒸留

不活性ガススパージングと循環ガスからの冷却トラップ
低温の蒸留塔への噴霧による気化と冷却トラップ

・有機溶媒抽出

直接溶媒抽出－溶媒蒸留でn-ブタノール回収
膜を介した溶媒抽出

・膜分離

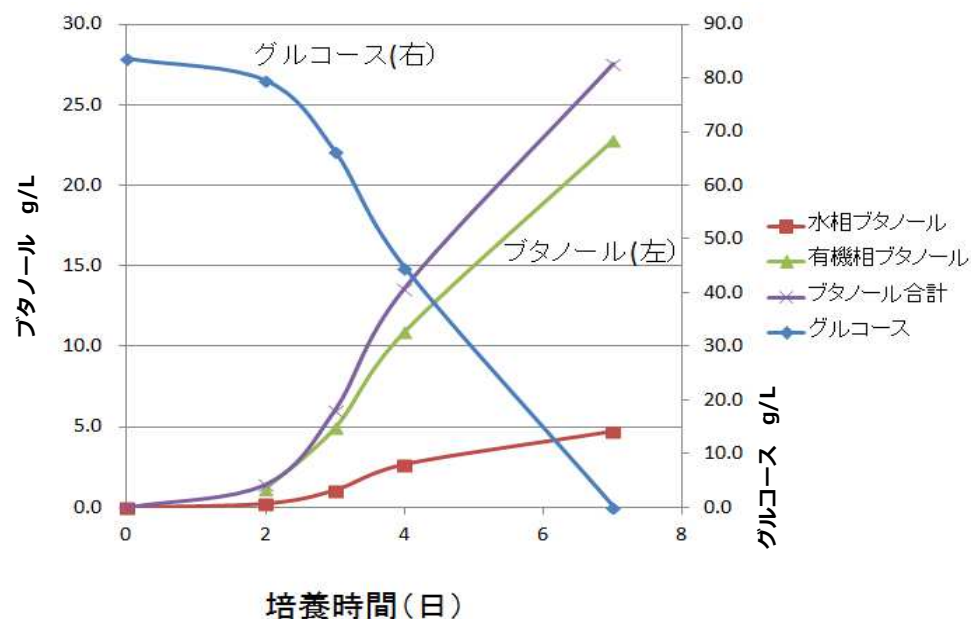
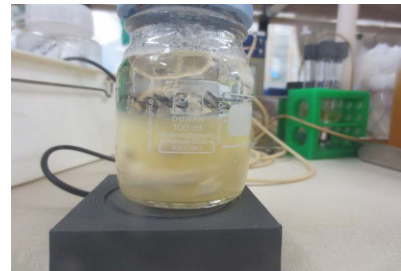
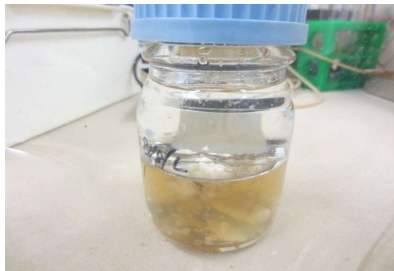
シリコンゴム膜などを介したパーバレーション

・吸着

イオン交換樹脂、活性炭などでの吸着 加熱脱離による回収

有機溶媒での培養同時ブタノール分離

ドデカノールを重層したTYA培地で菌を植え継ぎ培養
グルコース80g/L TYA培地 + ドデカノール重層で培養
オレイルアルコールでの重層培養と同様に80g/Lのグルコースを完全に消費



ドデカノールと培地を入れ替えて培養



グルコース完全消費まで発酵が進む

ドデカノール交換 + 培地成分追加培養



半連続培養

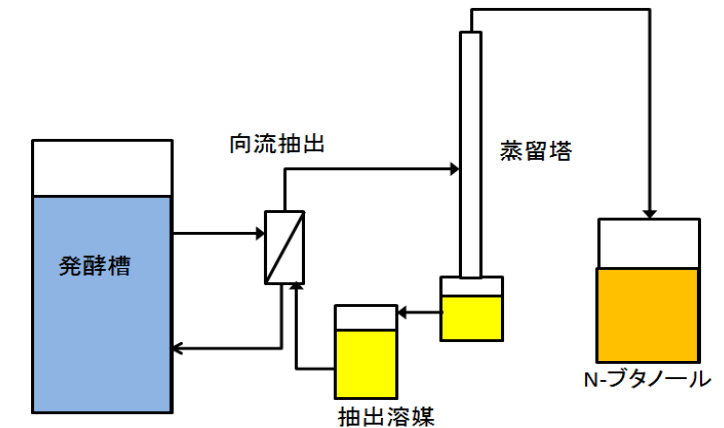
培養同時有機溶媒抽出プロセス

有機溶媒抽出発酵

長鎖アルコールで連続抽出しながら培養する方法
バッチで生産性が約2倍に向上
ブタノール収率は85mol%を再現
長鎖アルコール、n-ブタノール耐性株を取得

嫌気発酵

n-ブタノール発酵はエタノール発酵と同じ嫌気発酵
大規模化が容易
非組み換え株 = 菌体封じ込め不要



抽出発酵システム：高生産性/単位体積

嫌気発酵：既存大規模発酵（技術/設備）活用可

非組み換え株：設備投資削減

大規模発酵に向けたプロセスの基礎技術が構築できた



大規模発酵の実現に向けての課題

培養しながらn-ブタノールを分離回収（培養同時分離）する方法を組み込みことで
100g/L/100hr 程度の生産ができそうなことを確認済

培養同時分離プロセス

スケールアップ含めて最も適した方法は？

実生産に対応した装置はあるか？

培養同時分離のスケールアップ検討をどのように進めることができるか？

弊社は化学反応の大規模設備の経験はあるが、大規模発酵の経験はない

実生産設備

実施場所は？

原料をどのように手当てするか？

どのような仕様の設備が使えるか？

設備費用は？

廃水処理の方法は？

大規模発酵の実現に向けて

弊社は n-ブタノールメーカー ではなく n-ブタノールユーザー

n-ブタノールを購入しているユーザーさん

n-ブタノールから誘導できる化学品製造を考えているユーザーさん

原料バイオマスを持っておられる事業者さん

大規模発酵設備を持っておられる事業者さん

これからの発酵生産に重要な培養同時分離技術を作る
新しい大規模発酵技術を一緒に作る

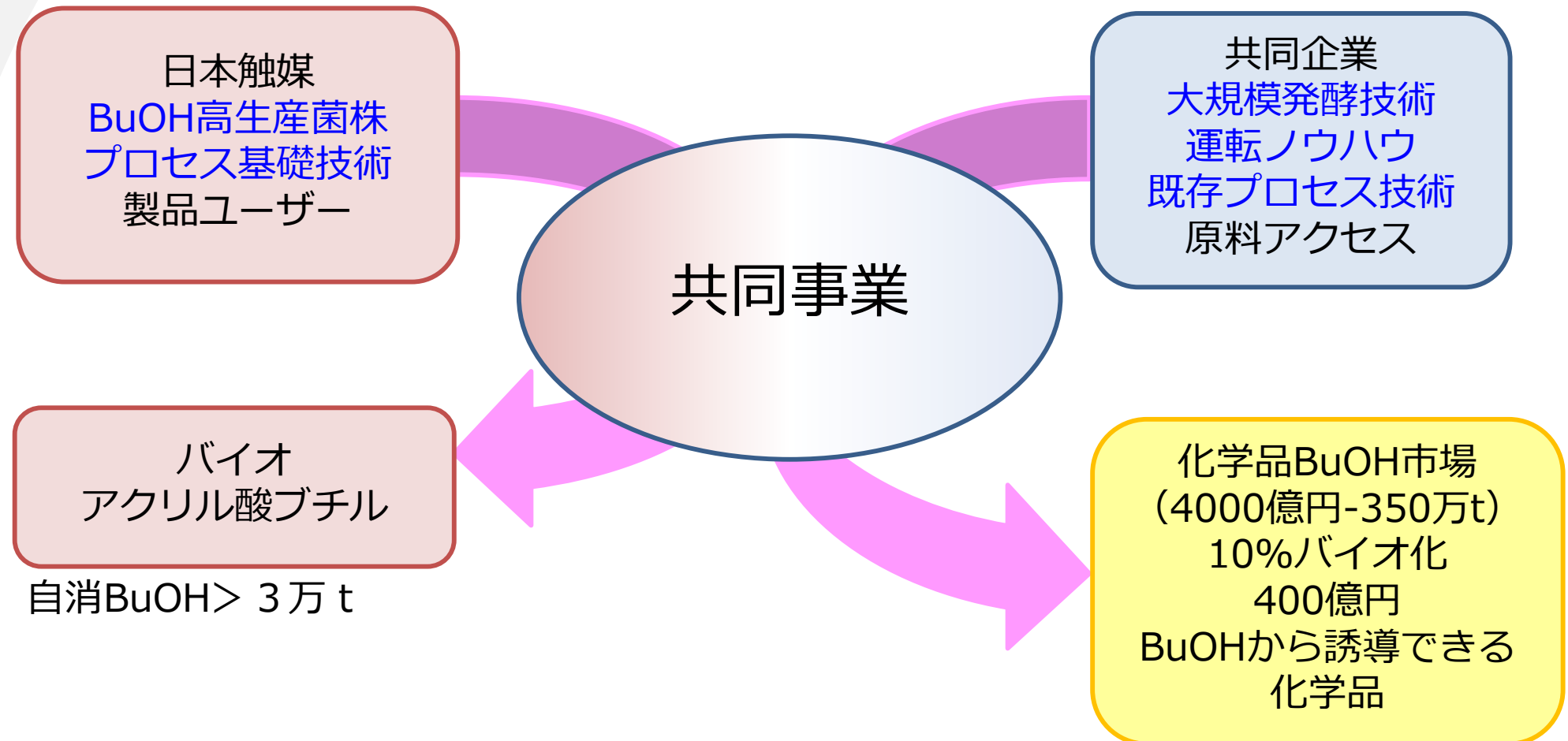
生産した n-ブタノール を バイオマス由来原料 として活用

1 社では実現できないことかもしれない・・・

が、仲間を募って力を合わせ、実現していきたい

今後の展開

バイオブタノール大規模発酵の実用化に向けて
⇒既存大規模発酵メーカー他との共同事業可能性を検討



謝辞

日本触媒

市毛栄太
土橋幸生
中之庄正弘

東京農業大学
佐賀大学

中山俊一先生
小林元太先生

神戸大学

近藤昭彦先生
田中勉先生
西田敬治先生

iBioK バイオプロダクション次世代農工連携拠点