

## 1S-Ep03 古くて新しいアセトン・ブタノール発酵

○小林 元太<sup>1</sup>, 田中 重光<sup>1</sup>, 池上 徹<sup>2</sup>, 根岸 秀之<sup>2</sup>, 榊 啓二<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>佐賀大・農,<sup>2</sup>産総研)

## 1. 緒言

アセトン・ブタノール (ABE) 発酵は、*Clostridium*属細菌を用いた嫌気発酵であり、好気発酵と比較してプロセスにおける二酸化炭素の発生量が少ない、かくはんや通気のためのエネルギーコストが低いなどの優れた特長を有し、環境低付加型の発酵であると言える。かつては工業生産が行われていたABE発酵も石油化学工業の発達により合成法によるブタノール生産が普及したため、今日では全く工業生産は行われていない。しかし、バイオマスを原料とした種々の化学物質生産が近年非常に脚光を浴びており、ブタノール発酵生産にもわかに注目されてきている。

## 2. ABE発酵とは

ABE発酵の歴史は古く、微生物によるブタノール生産に関する研究は19世紀後半にまで遡り、近代微生物学の先駆者として有名なLouis Pasteurによりブタノール生産菌は初めて発見された。日本においても1930年代前半から廃糖蜜を発酵原料としたABE発酵の工業化が開始され、第二次世界大戦開戦後は航空燃料としてのブタノールを生産するために世界の広い地域でABE発酵が行われた。しかし、第二次世界大戦終戦後の1940年代後半から1950年代にかけて、石油化学工業の発達・拡大により、合成法によるブタノール生産が普及し、ABE発酵によるアセトン・ブタノール生産量が急激に減少し、1960年代頃には南アフリカなどの一部の地域を除き、ABE発酵による工業生産は完全に衰退した。ABE発酵はヘテロ型嫌気発酵であり、菌体増殖期によってその代謝産物が大きく変化する等、その代謝は非常に独特であり複雑である。ABE発酵菌はカーボンフローおよびエレクトロンフローのバランスにより厳格に制御され、その生成比や生成量が決まる。実際に、酢酸や酪酸および人工電子供与体を添加し、そのカーボンフローやエレクトロンフローを変えることによってそれぞれの溶媒ト生成比が大きく異なることが明らかとなっている。

## 3. バイオリファイナリーとしてのABE発酵

ABE発酵菌である*Clostridium*属細菌はバイオマスの主要構成糖であるC5糖 (キシロース) やC6 (グルコース)、さらにはキシロオリゴ糖やセロオリゴ糖を発酵原料とすることができる優れた性質を有している。農林水産省と経済産業省による「バイオ燃料技術革新協議会」では、セルロース系バイオマスからバイオ燃料等を効率的に生産するため「バイオ燃料技術革新計画」の策定を進めることを提言したが、本協議会における「バイオリファイナリー連携分野」のロードマップ上に「バイオマスからの有効化学品の直接生産 (発酵法)」としてブタノールの発酵生産技術は緊急性が高い課題として挙げられ、バイオマス中間体からのプロピレンへの化学転換法においては、エタノール、プロパノール、ブタノール等のアルコール類を出発原料とすることが明確に示されている。DuPont社とBP社がブタノールの市場導入に向けた開発を行っており、ポストバイオエタノールとしての可能性は十分にあると考えられる。また、ブタノールの物性をエタノールと比較しても、そのエネルギー密度や低吸湿性の点でもエタノールよりも優れたバイオ燃料であると考えられる。

## 4. 今後の展望

我々は、バイオマスを原料とした燃料や化学物質生産技術としてのABE発酵を検証するべく、NEDO・バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発において、九州大学および東京農業大学と共同研究を開始し、バイオマスからのブタノールの効率的な発酵生産法の開発に着手している。この研究開発は我が国で唯一のABE発酵に関するナショナルプロジェクトとして期待されている。

## Acetone-Ethanol-Butanol fermentation; studying the past to learn new things

○Genta KOBAYASHI<sup>1</sup>, Shigemitsu TANAKA<sup>1</sup>, Toru IKEGAMI<sup>2</sup>,  
Higdeyuki NEGISHI<sup>2</sup>, Keiji SAKAKI<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Fac. Agric., Saga Univ.,<sup>2</sup>AIST)

**Key words** butanol, fermentation, *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*, biodiesel fuel

## 1S-Ep04 コエンザイム Q10 生産微生物の開発

○川向 誠  
(島根大・生物資源)

コエンザイム Q (CoQ) はユビキノンとも称される脂溶性成分であり、生体内において電子伝達系の必須成分として重要な機能を果たしている。コエンザイム Q の側鎖部分が10個のイソプレニル単位からなるものをCoQ10と言い、当初医薬品として認可されていたが、現在ではサプリメントとして絶大な人気を受けている。CoQ10はヒト自身も合成できるが、ビタミン様成分と位置づけられ、脂溶性抗酸化物質としての役割も重要である。コエンザイム Q は生物種によってそのイソプレノイド鎖長が違い、出芽酵母ではCoQ6、大腸菌ではCoQ8、ラットやイネではCoQ9、分裂酵母やヒトではCoQ10である。CoQ10生産においては、本来CoQ10を生産する微生物の育種を行なうか、もともとCoQ10を生産しない微生物にCoQ10生産能力を付与するかの選択がある。これまでに我々のグループでは側鎖のイソプレノイドを合成する酵素がコエンザイム Q の側鎖長を決定しているということを証明している。すなわち、各生物が持つポリプレニル 2 リン酸合成酵素がコエンザイム Q の側鎖長を決定している(1)。この知見を利用して、これまでに大腸菌や出芽酵母でCoQ10を生産させることに成功しており、さらに、お米でCoQ10を生産させることに成功している(2)。コエンザイム Q の生合成には最低8種類の酵素が必要である。そのうち6種類の酵素は判明しているが2種類の酵素は未特定である。分裂酵母では、コエンザイム Q の側鎖合成に関わる新規の遺伝子が存在していた。しかもその遺伝子はヒトに存在しており、大腸菌や出芽酵母と分裂酵母やヒトの生合成の違いを示す一例であった。

最近コエンザイム Q に結合するタンパク質(Coq10)が発見された。この結合タンパク質はミトコンドリアに局在し、正常なミトコンドリア呼吸鎖に必須である (3)。Coq10タンパク質はヒトに至るまで広く真核生物に存在するが、興味深いことに細菌類においてはαプロテオバクテリア属にのみ分布している。これはαプロテオバクテリア属のミトコンドリア共生説を支持している。

遺伝病との関連において特にヒトのコエンザイム Q 合成系遺伝子の解析が重要になる。ヒトのゲノム配列が公開にともない、酵母で見いだされているコエンザイム Q 合成酵素と相同性の高いものを検索して、それらの遺伝子を入手した。基本的にはコエンザイム Q の生合成に関わると考えられるヒトの酵素を分裂酵母内で発現させると相補的に働くことがわかった。そのことは酵母での解析を進めていくことがヒトを含めたコエンザイム Q 生合成のアウトラインをつかむのに適していることを意味している。

(1)M. Kawamukai. Biosynthesis and bioproduction of coenzyme Q10 by yeasts and other organisms. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 53:217-226 (2009)

(2)S. Takahashi, T. Ohtani, H. Satoh, Y. Nakamura, M. Kawamukai, K-I. Kadowaki. Development of Coenzyme Q10-enriched rice using sugary and shrunken mutants. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 74, 182-184 (2010)

(3)T.-Z. Cui, and M. Kawamukai. Coq10, a mitochondrial coenzyme Q binding protein, is required for proper respiration in *Schizosaccharomyces pombe*. *FEBS J* 276, 748-759 (2009)

## Development of microorganisms producing Coenzyme Q10

○Makoto KAWAMUKAI  
(Life. Env. Sci. Shimane Univ.)

**Key words** coenzyme, ubiquinone, yeast, respiration