Title	Ethanol production from biomass using consolidated continuous solid-state fermentation system
Author(s)	Churairat, Moukamnerd
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1150
rights	
Note	

【41】

氏　　　　　名	Churairat Moukamnerd（チュライラット マウガムナード）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学 位 記 番 号	第　２４９７６　号
学位授与年月日	平成23年12月12日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科生命先端工学専攻
学 位 論 文 名	Ethanol production from biomass using consolidated continuous solid-state fermentation system （固体連続併行複発酵によるバイオマスからのエタノール生産）
論文審査委員	（主査） 教 授 紀ノ岡正博 （副査） 教 授 大竹 久夫　教 授 原島 俊　教 授 福崎英一郎 教 授 渡邉 肇　教 授 福井 希一　教 授 村中 俊哉 教 授 金谷 茂則　教 授 藤山 和仁　教 授 仁平 卓也 関西大学化学生命工学部生命・生物工学科教授 片倉 哲雄

論文内容の要旨

Bioethanol, regarded as a renewable natural resource, has been great concern in many countries. In Japan where natural biomasses are insufficient, utilization of biological municipal solid waste (BMSW) would be beneficial for bioethanol production. These raw materials are bulky and scattered in low density. With the aim to reduce the total production cost in Japan, an alternative efficient system that produces ethanol from local raw materials and to consume the resultant ethanol in the region where it is produced, namely "locally-produced-and-locally-consumed". In conventional ethanol production systems, however, the smaller the scale facilities, the higher the capital costs and energy consumption per unit of bioethanol. Thus, a new geometrically-distributed production system that produces ethanol at a reasonable cost with a low energy consumption even in small scale need to be developed

To save the cost and input energy for bioethanol production, a consolidated continuous solid-state fermentation (CCSSF) system composed of a rotating drum reactor, a humidifier and a condenser was developed. Biomass, saccharifying enzymes, yeast and a minimum amount of water are introduced into the system. Ethanol produced by simultaneous saccharification and fermentation is continuously recovered as vapor from the headspace of the reactor while the humidifier compensates for water loss. From raw corn starch as a biomass model, 95±3, 226±9, 458±26 and 509±64 g L^{-1} of ethanol solutions were recovered continuously when the ethanol content in reactor was controlled at 10-20, 30-50, 50-70 and 75-85 g kg-mixture^{-1}, respectively. The residue showed a lesser volume and higher solids content than those obtained by conventional liquid fermentations. There is no cost for intensive waste water treatment and the continuous fermentation enabled the sustainability of enzyme activity and yeast in the system.

From the practical aspects, further development of the system is a strategy for preventing reduction of yield in ethanol fermentation caused by bacterial contamination. *Lactobacillus plantarum* NRIC1067 was used as a contaminant model. In the CCSSF that saccarification, fermentation and ethanol recovery are performed simultaneously, initial addition of external ethanol to the fermentation mixture at 50 g kg^{-1} prevented contamination and the ethanol yield reached to 0.45 g g^{-1}. In CCSSF, this ethanol as the additive for preventing contamination can be recovered. That is, by recycling a portion of produced ethanol in the next batch of CCSSF, it is possible to repress contamination without addition cost.

To demonstration the advantages of CCSSF, the ethanol production cost of various raw materials was estimated. The ethanol production costs on the CCSSF system of a starchy food waste, off-spec rice and waste cotton were estimated to be 111, 50 and 162 yen L^{-1}, respectively. In Japan, the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (MAFF) set the target price of ethanol to 100 yen L^{-1}. For the off-spec rice, since the estimated total cost is half of the target price, a profit will be expected. The sensitivity analysis was used to analyze the critical parameters that affect the production cost of the CCSSF system. As the results, the contributions of the fermentation time, and the capacity of CCSSF system to the balance of payment were found to be relatively large. To reduce the production cost in future, technologies that reduce the fermentation time and increase the capacity of CCSSF system are need to be developed.

From these considerations, the CCSSF system was concluded to be available to reduce the production cost and energy consume in bioethanol production process. Especially, the initial cost per unit of ethanol would be small even in small scale because saccharification, fermentation and product recovery were combined in single step. Running cost for saccharifying and yeast would be smaller than those in conventional system because the yeast and enzyme can be reuse by repetitive addition of biomass. The CCSSF system discharges little waste water that requires energy and cost for treatment. In addition, it would be possible to recycle residual waste as fertilizer for agricultural lands because the water content is low and no antimicrobial reagent contained. With these all prospective, the CCSSF accomplished the primary propose to save energy consume and reduce production cost for bioethanol production.

論文審査の結果の要旨

地球規模での温暖化対策など，持続可能な社会構築の上で，天然資源からのバイオエタノールの生産は重要な課題となっている。天然バイオマスを資源として不十分である日本においては，公共固形廃棄物からのバイオエタノール生産は理にかなった方法といえるが，低密度でかつ分散した資源であるために，その回収や生産方法の提案が望まれている。本論文では，バイオマスからの実践的なバイオエタノール生産を目指し，固体連続併行複発酵（a consolidated continuous solid-state fermentation, CCSSF）のための基礎的条件検討並びに装置設計を行っている。

第２章においては，基質をコーンスターチとし，糖化酵素および酵母を添加できるCCSSFにおいて，細胞活性ならびにエタノール生産能力に対し，環境としての水分含量の影響について基礎的検討を行っている。また，回転ドラム型発酵槽，水分補給のための加湿部，発酵エタノールを回収する凝集部を組み合わせたバイオリアクターステムにて，発酵槽中のエタノール含量を種々変化させ（10-20，30-50，50-70 および 75-85 g kg -1），発酵能力の比較を行うことで，それぞれ，95±3，226±9，458±26 and 509±64 g l-1の生産能力を示し，エタノール含量の高いほど生産性が向上することを見出している。バイオリアクターの連続運転の観点からは，酵母活性の低下を防止するうえで，エタノール含量 50-70 g kg-mixture-1での運転が適していることが明らかとしている。

第３章においては，実践的な観点から，発酵中のコンタミネーション防止における方法論を確立している。モデル雑菌として乳酸菌（*Lactobacillus plantarum* NRIC1067）を用い，エタノール発酵に対する雑菌汚染の影響についての検討では，雑菌汚染は，バイオマスの糖化時に生成されるグルコースを消費するために，エタノール生産収率を低下させることが明らかとしている。さらに，酵母および乳酸菌に対し，エタノール含量と増殖活性についての検討では，酵母は，乳酸菌と比較して，よりエタノール耐性を有し，特に，エタノール含量 50 g kg -1で最も効果を示すことを明らかとしている。本知見をバイオリアクターに適用したところ，バイオマスに対するエタノール収率が 0.50 g g-1と高収率を達成し，培養開始時からエタノール投入により，乳酸菌の増殖を阻止しつつ，糖化酵素および酵母によるエタノール生産を可能とすることを明らかとしている。よって，本方法は，CCSSFにおけるエタノール生産収率向上を可能とし，他の汚染防止剤等を投入することなしに簡便に行うことができる手法として有望であることが示されている。

第４章においては，本バイオリアクターを用いたバイオマスからのエタノール生産について，エネルギー生産コストの観点から実用性を議論している。バイオマスとして，食品廃棄物，規格外米および屑綿の３種を対象に，それぞれ，エタノール1Lあたり 111，50 および 162 円と生産コストを算出している。また，種々のパラメータに対する感度解析により，本研究で提案したCCSSFは，従来のバイオマスからのエタノール生産の設備と比較して，生産スケールが小さくとも，初期投資が小さいことで有望であること，さらに，発酵時間の短縮ならびにバイオリアクター容量の増大はより生産コストの低下を見込めることを，試算している。

以上のように、本論文は、バイオマスからのエタノール生産を固体連続併行複発酵法にて生物化学工学的観点から提案し、実践的観点から、装置論としてバイオリアクターシステム構築を、操作論として最適エタノール含量および雑菌汚染防止手法を提案し、さらに、小スケールにおいても効率的に行うことを可能としており、その成果は、生命先端工学の発展に大きく寄与することが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。