

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 長谷川 文生

近年、化石資源代替や温室効果ガス排出削減策として、バイオエタノールが注目されている。本研究では、日本における第二世代バイオエタノールの実用化促進を目的とし、パルプ製造技術を利用したリグノセルロース系バイオマスからのエタノール生産の可能性を検討した。ケミカルパルプの一種であるクラフトパルプを基質として高基質濃度での糖化発酵実験を行い、その実験結果をもとにクラフトパルプを原料としたエタノール生産のエネルギー収支を評価した。得られた結果から、パルプ製造技術を利用したエタノール生産の課題を抽出し、それを解決する技術的方法を検討した。

論文は5章で構成されている。第1章では、リグノセルロースからのバイオエタノール生産の研究開発の現状、パルプ製造技術、および日本におけるパルプ生産の現状と課題を整理することにより、本研究の位置づけを行った。

第2章では、100g/L および 200g/L という高基質濃度での糖化発酵実験によりクラフトパルプの酵素糖化特性を把握し、製紙工場に併設したエタノール製造設備を想定して、クラフトパルプを原料としたエタノール生産のエネルギー収支を評価した。この結果から、高基質濃度でのエタノール収量と糖化酵素製造工程でのエネルギー消費が解決すべき課題であることを明らかにした。酵素製造はコスト面でも大きい負担となっている。そこで酵素消費量の削減法を検討した。クラフトパルプはリグニン含有率が低いため、未糖化の基質を含む糖化残渣を酵素糖化工程に戻して繰り返し糖化を行っても、リグニンの蓄積の影響が少ないと考えられること、また糖化残渣中には酵素が残存しているという研究例があることから、糖化残渣を酵素糖化工程に戻し、未糖化の基質と残存する酵素を再利用することが有効であるとの考えに至った。第3章以降でこの糖化プロセスの評価を行った。

第3章では、糖化残渣中に残存する酵素活性の評価法を提案し、評価法の妥当性を検証した。調製した糖化残渣の一部をセルロースに加え、そのグルコース生成速度から糖化残渣中の酵素活性を評価した。その結果、糖化残渣中には糖化率 70%で初期添加酵素活性の 70%が、糖化率 99%でも初期酵素活性の 22%が残渣中に残存していることが確認された。これは既往の研究報告と合致する結果であった。また、本研究で提案した方法の妥当性を検証するために、糖化残渣に糖化されたセルロースを補う基質と失われた活性を補う酵素を添加し、酵素糖化を行った。糖化残渣を利用した糖化反応でも、新規の基質と酵素での反応と同様の糖化率が得られた。以上より、本研究で提案した糖化残渣に残存する酵素活性の評価法は妥当であると考えられる。

第4章では、第3章での結果をもとに、糖化残渣を酵素糖化工程に戻し、未糖化の基質と残存する酵素を再利用する糖化プロセスを構築し、糖化発酵実験を 5 サイクル行った。また、糖化発酵実験の結果を基に、この糖化プロセスを組み込んだエタノール生産のエネルギー収支と二酸化炭素削減効果を評価した。糖化発酵実験では各サイクルのグルコース

濃度が安定していた。また、5 サイクルの通算で、糖化率は 90%を超え、生成グルコースあたりの酵素使用量は半減した。エタノール生産のエネルギー収支の評価では、酵素の再利用による酵素使用量削減により、酵素製造時の消費電力の削減、糖化率上昇と酵素製造の原料の削減によるエタノール原料の増加によるエタノール収量の向上が確認された。その結果、エネルギー収支が大幅に改善され、二酸化炭素削減効果を高めることが確認された。

第5章では、本研究で得られた知見を次のようにまとめた。1) クラフトパルプは高基質濃度でもエタノール生産に十分は酵素糖化性を持ち、発酵阻害がなかった。2) 酸素曝クラフトパルプはリグニン含有率が低いため、酵素糖化後の残渣を酵素糖化工程に戻し、残渣中の未糖化の基質と残存する酵素を有効に再利用することが可能であった。3) エタノール生産で消費される蒸気は、黒液から生産される蒸気で賄うことが可能であり、更に余剰蒸気利用が得られる。4) 日本の現在のパルプ製造設備の稼働率は 70%程度であり、これを 90%にあげることで、約 280 万 t のパルプを増産でき、これより約 125 万 kL のエタノールが生産可能である。

以上のように、本研究では第二世代バイオエタノールの生産法としてパルプ製造技術を用いることを提案し、そのエネルギー評価を定量的に行った。また残存する糖化酵素の再利用を提案し、その効果を実証したものであり、高い独創性を持つ。実験結果の多くは新たな知見であり、本研究は学術上貢献するところが少なくないと考えられる。よって審査委員一同は、本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。