

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5320636号
(P5320636)

(45) 発行日 平成25年10月23日 (2013. 10. 23)

(24) 登録日 平成25年7月26日 (2013. 7. 26)

(51) Int. Cl.	F 1		
C 1 2 P 19/00	(2006. 01)	C 1 2 P	19/00
C O 2 F 11/00	(2006. 01)	C O 2 F	11/00 Z A B C
C O 2 F 11/08	(2006. 01)	C O 2 F	11/08
C 1 2 M 1/00	(2006. 01)	C 1 2 M	1/00 H

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2008-83022 (P2008-83022)	(73) 特許権者	304023318 国立大学法人静岡大学 静岡県静岡市駿河区大谷836
(22) 出願日	平成20年3月27日 (2008. 3. 27)	(74) 代理人	100136674 弁理士 居藤 洋之
(65) 公開番号	特開2009-232747 (P2009-232747A)	(72) 発明者	佐古 猛 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学創造科学技術大学院内
(43) 公開日	平成21年10月15日 (2009. 10. 15)	(72) 発明者	岡島 いづみ 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学工学部内
審査請求日	平成23年3月16日 (2011. 3. 16)	審査官	榑引 明佳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ペーパーセラッジ由来の水溶性糖類製造装置およびペーパーセラッジ由来の水溶性糖類製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

製紙過程で生じるペーパーセラッジを原料として水溶性糖類を生成するペーパーセラッジ由来の水溶性糖類製造装置であって、

160 以上かつ240 以下に加熱するとともに、同加熱した温度の飽和水蒸気圧以上の圧力に加圧した状態の水の中に二酸化炭素またはアンモニアを含む触媒を加えて、前記ペーパーセラッジを加水分解する加水分解処理手段と、

前記加水分解処理手段による加水分解によって生じた生成物から前記触媒を回収する触媒回収手段とを備えたことを特徴とするペーパーセラッジ由来の水溶性糖類製造装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載したペーパーセラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、

前記加水分解処理手段は、さらに、

前記ペーパーセラッジの加水分解によって生じた流体状の生成物を排出するための流体排出手段と、

前記ペーパーセラッジの加水分解によって生じた固体状の生成物を排出するための固体排出手段とを備えたことを特徴とするペーパーセラッジ由来の水溶性糖類製造装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載したペーパーセラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、さらに、

前記触媒回収手段によって回収した前記触媒を前記加水分解手段に供給する触媒再利用

手段を備えたことを特徴とするペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置。

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 のうちのいずれか 1 つに記載したペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、さらに、

前記加水分解処理手段による加水分解によって生じた生成物に酵素を加えて糖化する酵素糖化手段を備えたことを特徴とするペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載したペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、

前記ペーパースラッジが水溶性糖類に分解されるまでの分解反応率を 1 としたとき、

前記加水分解処理手段は、前記分解反応率が 0.2 以上かつ 0.7 以下の範囲まで前記ペーパースラッジを加水分解するペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置。 10

【請求項 6】

製紙過程で生じるペーパースラッジを原料として水溶性糖類を生成するペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法であって、

160 以上かつ 240 以下に加熱するとともに、同加熱した温度の飽和水蒸気圧以上の圧力に加圧した状態の水の中に二酸化炭素またはアンモニアを含む触媒を加えて、前記ペーパースラッジを加水分解する加水分解処理工程と、

前記加水分解処理工程による加水分解によって生じた生成物から前記触媒を回収する触媒回収工程とを含むことを特徴とするペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法。

【請求項 7】 20

請求項 6 に記載したペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法において、

前記加水分解処理工程は、さらに、

前記ペーパースラッジの加水分解によって生じた流体状の生成物を排出するための流体排出工程と、

前記ペーパースラッジの加水分解によって生じた固体状の生成物を排出するための固体排出工程とを含むことを特徴とするペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法。

【請求項 8】

請求項 6 または請求項 7 に記載したペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法において、さらに、

前記触媒回収工程によって回収した前記触媒を前記加水分解手段に供給する触媒再利用工程を含むことを特徴とするペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法。 30

【請求項 9】

請求項 6 ないし請求項 8 のうちのいずれか 1 つに記載したペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法において、さらに、

前記加水分解処理工程による加水分解によって生じた生成物に酵素を加えて糖化する酵素糖化工程を含むことを特徴とするペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載したペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法において、

前記ペーパースラッジが水溶性糖類に分解されるまでの分解反応率を 1 としたとき、

前記加水分解処理工程は、前記分解反応率が 0.2 以上かつ 0.7 以下の範囲まで前記ペーパースラッジを加水分解するペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、製紙過程で生じたペーパースラッジを原料として水溶性糖類を生成するペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置、およびペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、製紙工場における製紙過程においては、紙の原料となる木材パルプの短繊維、 50

填料および有機物などからなる所謂ペーパースラッジが産業廃棄物として生成される。ペーパースラッジは、従来、埋め立てによる廃棄処分、または焼却炉やボイラーなどによる焼却処分されることが多く、資源として再利用が図られることが少なかった。しかし、近年、環境保全や循環型社会構築への意識の高まりから、ペーパースラッジの資源としての再利用が求められている。

【 0 0 0 3 】

具体的には、酸触媒を用いた加水分解法、酵素を用いた酵素糖化法、および亜臨界水や超臨界水を用いた無触媒加水分解法などにより、ペーパースラッジからオリゴ糖や単糖（例えば、グリコール）などの水溶性の糖類を生成して、エタノール発酵により所謂バイオエタノールを生成することが提案されている。例えば、下記特許文献1および特許文献2

10

【特許文献1】特開2006-238728号公報

【特許文献2】特開2002-126794号公報

【 0 0 0 4 】

しかしながら、酸触媒を用いた加水分解法においては、酸を用いた処理方法であるため処理装置の腐食に対する耐久性確保の問題や、処理後の生成物からの酸の回収および副生成物（石膏）の処理が煩雑であるという問題がある。また、酵素を用いた酵素糖化法においては、反応に長時間（20時間以上）が掛かるため日々大量に生じるペーパースラッジの効率的な処理には不向きである。さらに、亜臨界水や超臨界水を用いた無触媒加水分解法においては、短時間（5分程度）で処理が完了するという利点を持つ一方で、実質的に好適な処理温度が300以上かつ処理圧力が20MPa以上と高温高压であるため装置の構成が複雑となる。また、処理温度が高温であることに起因してペーパースラッジの反応性が高くなるため、加水分解によって生成される生成物中に過分解物であるフルフラールなどのエタノール発酵阻害物が生じて水溶性糖類の収率が低下するとともに、その後のエタノール発酵の障害となるという問題がある。

20

【発明の開示】

【 0 0 0 5 】

本発明は上記問題に対処するためなされたもので、その目的は、ペーパースラッジを加水分解する処理装置の構成を従来に比して簡単に構成でき、発酵阻害物の生成を抑えて水溶性糖類の収率を向上させることによりペーパースラッジの資源としての利用率を向上させることができるペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置およびペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法を提供することにある。

30

【 0 0 0 6 】

上記目的を達成するため、請求項1に記載した本発明の特徴は、製紙過程で生じるペーパースラッジを原料として水溶性糖類を生成するペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置であって、120以上かつ250以下に加熱するとともに、同加熱した温度の飽和水蒸気圧以上の圧力に加圧した状態の水の中に常温大気圧において水溶性の気体触媒を加えて、前記ペーパースラッジを加水分解する加水分解処理手段と、加水分解処理手段による加水分解によって生じた生成物から触媒を回収する触媒回収手段とを備えたことにある。

40

【 0 0 0 7 】

この場合、前記ペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、前記触媒は、例えば、二酸化炭素またはアンモニアを含むとよい。

【 0 0 0 8 】

このように構成した請求項1に係る本発明の特徴によれば、120以上かつ250以下に加熱するとともに、同加熱した温度の飽和水蒸気圧以上の圧力、具体的には、0.2MPa以上かつ10MPa以下に加圧した状態の水の中に常温において気体状態の触媒を加えた雰囲気中でペーパースラッジを加水分解処理している。すなわち、ペーパースラッジを加水分解処理するに際して、触媒を用いることによりペーパースラッジの処理温度

50

および処理圧力を従来に比して低くしている。これにより、フルフラールなどの発酵阻害物の生成を抑えることができるとともに、ペーパースラッジを加水分解処理する装置の構成を簡単にすることができる。また、触媒は常温大気圧において水溶性の気体状態の物質を用いているため、加水分解処理によって生じた生成物から容易に回収することができる。これにより、ペーパースラッジの加水分解処理に掛かる煩雑さ（酸の回収や副生成物の処理）も軽減することができる。また、加水分解処理によって生じた生成物の再資源化が容易となるとともに、回収した触媒の再利用を図ることができる。

【 0 0 0 9 】

また、オリゴ糖や単糖（例えば、グルコース）などの水溶性糖類は、250 を超える処理温度ではフルフラールに代表される発酵阻害物に分解され易い。すなわち、本発明においては、ペーパースラッジの処理温度を250 以下にしたことにより発酵阻害物の生成が抑制されるため、ペーパースラッジからの水溶性糖類の収率を向上させることができペーパースラッジの資源としての利用率を向上させることができる。

10

【 0 0 1 0 】

また、請求項3に係る本発明の特徴は、前記ペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、加水分解処理手段は、さらに、ペーパースラッジの加水分解によって生じた流体状の生成物を排出するための流体排出手段と、ペーパースラッジの加水分解によって生じた固体状の生成物を排出するための固体排出手段とを備えたことにある。

【 0 0 1 1 】

このように構成した請求項3に係る本発明の特徴によれば、ペーパースラッジの加水分解処理によって生じた流体状の生成物と固体状の生成物とをそれぞれ別々に加水分解処理手段から排出できる構成となっている。このため、流体状の生成物中に無機物などの固体状の生成物が含まれることがないとともに、固体状の生成物の取り扱いが容易となる。すなわち、流体状の生成物および固体状の生成物の再利用・再資源化がそれぞれ容易となる。

20

【 0 0 1 2 】

また、請求項4に係る本発明の特徴は、前記ペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、さらに、触媒回収手段によって回収した触媒を加水分解手段に供給する触媒再利用手段を備えたことにある。

【 0 0 1 3 】

このように構成した請求項4に係る本発明の特徴によれば、触媒回収手段によって回収した触媒を加水分解処理手段に再投入している。すなわち、回収した触媒は、加水分解処理手段にて再びペーパースラッジの加水分解処理に用いられるため、触媒の利用に無駄が無くペーパースラッジの加水分解処理の効率を向上させることができる。なお、上記した二酸化炭素またはアンモニアを触媒として用いた場合、回収した触媒を再利用することは地球環境および作業環境保全の観点から特に有用である。

30

【 0 0 1 4 】

また、請求項5に係る本発明の特徴は、前記ペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造装置において、さらに、加水分解処理手段による加水分解によって生じた生成物に酵素を加えて糖化する酵素糖化手段を備えたことにある。

40

【 0 0 1 5 】

このように構成した請求項5に係る本発明の特徴によれば、加水分解処理手段による加水分解処理によって生じた生成物に酵素を加えて酵素糖化している。これにより、加水分解処理手段による加水分解処理で分解仕切れなかった物質を糖化することができる。この結果、水溶性糖類の収率をさらに向上させることができる。なお、この場合、加水分解処理手段による加水分解処理で分解仕切れなかった物質は、同加水分解処理により酵素分解され易い状態となっているため、従来単独で酵素分解するよりも短時間に酵素分解することができる。

【 0 0 1 6 】

また、請求項6に係る本発明の特徴は、前記請求項5に係るペーパースラッジ由来の水

50

溶性糖類製造装置において、ペーパースラッジが水溶性糖類に分解されるまでの分解反応率を1としたとき、加水分解処理手段は、分解反応率が0.2以上かつ0.7以下の範囲までペーパースラッジを加水分解することにある。

【0017】

このように構成した請求項6に係る本発明の特徴によれば、加水分解処理手段は、ペーパースラッジの加水分解処理を完全に行わず、敢えて、途中で終了させている。これにより、ペーパースラッジの加水分解処理において過分解物であるフルフラールなどの発酵阻害物の生成を効果的に抑えることができる。そして、酵素糖化処理手段は、分解処理が途中まで進んだ状態のペーパースラッジに対して酵素糖化を行うため、酵素がペーパースラッジを分解し易くなりより確実に糖化することができるとともに、酵素糖化に必要な時間を短縮できる。この結果、水溶性糖類の生成効率および収率をより向上させることができる。

10

【0018】

また、本発明は装置の発明として実施できるばかりでなく、ペーパースラッジ由来の水溶性糖類製造方法としても実施できるものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明に係る水溶性糖類製造装置の一実施形態について図面を参照しながら説明する。図1は、ペーパースラッジを原料とする水溶性糖類製造装置の全体構成を模式的に示すブロック図である。ここで、ペーパースラッジとは、製紙工場における製紙過程で生じる副生成物であり、紙の原料となる木材パルプの短繊維、填料および有機物などからなる産業廃棄物である。なお、本明細書において参照する図は、本発明の理解を容易にするために一部の構成要素を誇張して表わすなど模式的に表している。このため、各構成要素間の寸法や比率などは異なっていることがある。

20

【0020】

(水溶性糖類製造装置の構成)

この水溶性糖類製造装置は、被処理物を貯留する貯留タンク11を備えている。貯留タンク11は、水溶性糖類製造装置の処理対象であるペーパースラッジをスラリー状態で貯留するための容器である。貯留タンク11の底部には、導入管12が接続されている。導入管12は、貯留タンク11に貯留されているペーパースラッジを高圧ポンプ13およびバルブ14を介して反応器20に導くための配管である。

30

【0021】

高圧ポンプ13は、貯留タンク11に貯留されているスラリー状のペーパースラッジを導入管12を介して反応器20に供給するための送液ポンプであり、図示しない制御装置により作動が制御される。また、高圧ポンプ13は、前記制御装置による作動制御により、反応器20内の圧力をペーパースラッジの処理温度(反応器20内の処理温度)における飽和水蒸気圧以上の圧力に加圧する。本実施形態においては、5MPa~10MPa(触媒を水に溶解させるための圧力を含む)に加圧する。バルブ14は、導入管12を介して反応器20に供給されるペーパースラッジの流量を調節するための手動弁である。

40

【0022】

反応器20は、ペーパースラッジを加水分解処理するために液密かつ気密的に形成された略円筒状の横型の容器である。この場合、加水分解処理とは、被処理物(本実施形態においてはペーパースラッジ)に水が作用して生じる分解反応である。この反応器20は、ペーパースラッジの処理温度(本実施形態においては、約160~240)および処理圧力(本実施形態においては5MPa~10MPa)に耐えられる材料、例えばステンレス鋼で構成されている。

【0023】

反応器20の外周面上部における一方の端部(図示左側端部)には、前記導入管12が接続されているとともに、反応器20内に触媒である二酸化炭素を供給するための供給管31が接続されている。また、反応器20の外周面下部における他方の端部(図示右側端

50

部)には、ペーパースラッジを加水分解処理することにより生成される生成物を反応器20内から排出するための固液分離器21が設けられている。固液分離器21は、ペーパースラッジを加水分解処理することにより生成された生成物に含まれる流体成分を透過させるとともに固体成分(無機物を主成分とする残渣)を濾し取るメッシュ(図示せず)を備えた濾過器である。すなわち、この固液分離器21は、本発明に係る流体排出手段および固体排出手段に相当する。

【0024】

反応器20の内部には、スクリーコンベア22が設けられている。スクリーコンベア22は、丸棒状に形成された駆動軸22aの外周面に略帯状の羽根体22bが螺旋状に巻き回されて構成されており、反応器20内に投入されたペーパースラッジを駆動軸22aの軸線方向に沿って攪拌しながら移送する。このスクリーコンベア22の駆動軸22aは、その一端部(図示左側)が反応器20の一方の側面(図示左側側面)の略中心部を貫通して移送モータ23に連結支持されているとともに、他端部(図示右側)が反応器20の他方の側面(図示右側側面)の略中心部に図示しない軸受を介して回転自在に支持されている。すなわち、スクリーコンベア22は、反応器20の長手方向に沿って設置されており、ペーパースラッジを導入管12側から固液分離器21側に向けて攪拌しながら移送する。

10

【0025】

移送モータ23は、反応器20の一方の側面(図示左側側面)の外側に固定された電動モータであり、前記制御装置によって作動が制御されてスクリーコンベア22の駆動軸22aを回転させる。反応器20の外周面であって供給管31と固液分離器21の間には、電熱コイル24が巻き回された状態で設けられている。電熱コイル24は、前記制御装置によって作動が制御される加熱装置であり、反応器20内の温度をペーパースラッジの処理温度に加熱するとともに、同温度状態を維持する。本実施形態においては、160~240の温度に加熱する。この場合、160~240における水の飽和水蒸気圧は、約0.6MPa~3.6MPaである。したがって、反応器20内の処理圧力も0.6MPa~3.6MPa以上の圧力に設定すればよい。しかし、触媒に二酸化炭素を採用した場合、ペーパースラッジの加水分解に用いる水に二酸化炭素を溶解させるために圧力が必要となる。したがって、本実施形態においては、処理圧力を5MPa~10MPaに設定している。

20

30

【0026】

供給管31の上流側には、バルブ32、コンプレッサー33および三方弁34を介してCO₂ポンベ35が接続されている。バルブ32は、供給管31内を流れる二酸化炭素の流量を調節するための手動弁である。コンプレッサー33は、前記制御装置により作動が制御される空気圧縮装置である。具体的には、コンプレッサー33は、三方弁34を介して吸引した二酸化炭素を圧縮して反応器20に供給するとともに、反応器20内の圧力をペーパースラッジの処理圧力(本実施形態においては5MPa~10MPa)に加圧し維持する。三方弁34は、コンプレッサー33およびCO₂ポンベ35の他に、帰還配管44が接続されており、前記制御装置により作動が制御されてCO₂ポンベ35または帰還配管44から導かれる二酸化炭素を選択的にコンプレッサー33に流通させることができる切換制御可能な弁である。CO₂ポンベ35は液体状の二酸化炭素を収容するタンクである。

40

【0027】

固液分離器21の下部には、生成物に含まれる流体成分を次工程に導くための流体排出管41が接続されている。この流体排出管41の下流側には、冷却器42を介して気液分離器43が接続されている。冷却機42は、前記制御装置によって作動が制御され、流体排出管41を空冷および水冷方式により冷却して反応器20から排出された生成物の温度を約45にまで下げる。

【0028】

気液分離器43は、反応器20から廃棄された液体状の生成物を大気圧開放して、同生

50

成物に含まれる二酸化炭素を気化させる装置である。この気液分離器 4 3 には、分離した二酸化炭素を三方弁 3 4 に導くための帰還配管 4 4 と、二酸化炭素が分離された生成物を次工程に導くための排出管 4 5 が接続されている。排出管 4 5 には、バルブ 4 6 が設けられている。バルブ 4 6 は、気液分離器 4 3 内に貯留された液体状の生成物を気液分離器 4 3 から排出するための手動弁である。

【 0 0 2 9 】

また、排出管 4 5 には、酵素糖化装置 5 0 が接続されている。酵素糖化装置 5 0 は、気液分離器 4 3 によって二酸化炭素が分離された生成物に酵素（本実施形態においては、高活性セルラーゼ）を添加して同生成物を糖化する装置である。この酵素糖化装置 5 0 には、排出管 5 1 を介してバルブ 5 2 が設けられている。バルブ 5 2 は、酵素糖化装置 5 0 によって糖化された糖類を含む水溶液を取り出すための手動弁である。

10

【 0 0 3 0 】

また、この水溶性糖類製造装置は、図示しない制御装置を備えている。制御装置は、CPU、ROM、RAM などからなるマイクロコンピュータによって構成されているとともに、作業員からの指示を入力するための入力装置（図示せず）および作業員に対して水溶性糖類製造装置の作動状況を表示するための表示装置（図示せず）を備えている。この制御装置は、作業員の指示に従って ROM などの記憶装置に予め記憶されたプログラムを実行することにより、水溶性糖類製造装置の各種作動を制御する。具体的には、制御装置は、作業員からの指示に従って高圧ポンプ 1 3、移送モータ 2 3、電熱コイル 2 4、コンプレッサー 3 3、三方弁 3 4、冷却器 4 2 および酵素糖化装置 5 0 の各作動の開始および停止を制御する。

20

【 0 0 3 1 】

（水溶性糖類製造装置の作動）

上記のように構成した水溶性糖類製造装置の作動について説明する。まず、作業員は、ペーパースラッジと水とを貯留タンク 1 1 内に投入してペーパースラッジをスラリー状とする。この場合、作業員は、ペーパースラッジを含む被処理物の含水率が約 8 0 % となる量の水を貯留タンク 1 1 に投入する。次に、作業員は、水溶性糖類製造装置における図示しない電源スイッチを投入して、ペーパースラッジの処理の開始を制御装置に指示する。

【 0 0 3 2 】

この指示にตอบสนองして制御装置は、三方弁 3 4 における帰還配管 4 4 に連通する弁を閉じるとともに、CO₂ ポンベ 3 5 に連通する弁を開いてコンプレッサー 3 3 と CO₂ ポンベ 3 5 とを連通させた状態でコンプレッサー 3 3 の作動を開始させる。これにより、反応器 2 0 内は、CO₂ ポンベ 3 5 内の二酸化炭素が供給されて 5 MPa ~ 1 0 MPa に加圧される。また、制御装置は、コンプレッサー 3 3 の作動開始とともに電熱コイル 2 4 の作動を開始させる。これにより、反応器 2 0 内は、ペーパースラッジの処理温度である 1 6 0 ~ 2 4 0 に加熱され同温度に保たれる。なお、反応器 2 0 内に供給される二酸化炭素の量は、1 mol % ~ 1 0 mol % が適当である。

30

【 0 0 3 3 】

次に、制御装置は、高圧ポンプ 1 3、移送モータ 2 3、冷却器 4 2 および酵素糖化装置 5 0 の各作動を開始させる。これにより、反応器 2 0 内に貯留タンク 1 1 に貯留されているペーパースラッジの導入が開始されるとともに、反応器 2 0 内のスクリュウコンベア 2 2 の回転が開始される。反応器 2 0 に導入されたペーパースラッジは、反応器 2 0 の底部に向かって自由落下した後、スクリュウコンベア 2 2 により攪拌されながら固液分離器 2 1 側に移送される。このスクリュウコンベア 2 2 による攪拌・移送過程においてペーパースラッジに含まれる水分は、1 6 0 ~ 2 4 0 かつ 5 MPa ~ 1 0 MPa の雰囲気中に曝されて過熱液体水となり、ペーパースラッジの加水分解を開始する。この場合、反応器 2 0 内に供給された二酸化炭素は、ペーパースラッジの加水分解を促進する触媒として機能する。

40

【 0 0 3 4 】

加水分解が開始されたペーパースラッジは、グリコシド結合が切断されてオリゴ糖やグ

50

ルコース（単糖）などの水溶性の糖類に分解され始める。制御装置は、反応器 20 内でのペーパースラッジの分解反応率が約 0.5 となるようにスクリュコンベア 22 の回転を調整する。これは、ペーパースラッジが水溶性糖類に分解されるまでの分解反応率を 1 としたとき、ペーパースラッジが水溶性糖類に分解される 10% ~ 60% の過程まで加水分解が進行した状態を意味する。

【0035】

したがって、反応器 20 内に投入されたペーパースラッジは、水溶性糖類に至る加水分解が 10% ~ 60% まで進行した状態、より具体的には、ペーパースラッジの主成分であるセルロース、グリコシド結合が切断されつつあるセルロースの分解途中の物質、およびセルロースのグリコシド結合が切断され糖化した糖類の他、ペーパースラッジに含まれるその他の有機物や同有機物の分解物、および固形状に析出した無機物をそれぞれ含む液体状の混合生成物が固液分離器 21 に移送される。本実施形態においては、ペーパースラッジの反応器 20 内での滞留時間は約 30 分以内である。

10

【0036】

固液分離器 21 に移送された液体状の生成物は、同生成物中に含まれる固体残渣が濾された後、冷却器 42 に導かれる。冷却器 42 に導かれた液体状の生成物は、約 45 に冷却された後、気液分離器 43 に導入される。気液分離器 43 は、液体状の生成物中に含まれる二酸化炭素を気化させて回収する。気液分離装置 43 にて回収された二酸化炭素は、帰還配管 44 を介して三方弁 34 に導かれる。制御装置は、気液分離器 43 によって回収された二酸化炭素の量を監視して同回収した二酸化炭素量が所定量に達したときは、三方弁 34 における帰還配管 44 に連通する弁を開くとともに、CO₂ ポンベ 35 に連通する弁を閉じてコンプレッサー 33 と気液分離器 43 とを連通させる。これにより、ペーパースラッジの加水分解処理において触媒として用いられる二酸化炭素が水溶性糖類製造装置内を絶えず循環して繰り返し触媒として利用される。すなわち、この気液分離器 43 が本発明に係る触媒回収手段に相当し、コンプレッサー 33、三方弁 34 および帰還配管 44 が本発明に係る触媒再利用手段に相当する。

20

【0037】

一方、気液分離器 43 に貯留されている液体状の生成物は、作業によるバルブ 46 の操作により排出管 45 を介して酵素糖化装置 50 に投入される。酵素糖化装置 50 は、約 45 の温度を維持した処理槽内に気液分離器 43 から排出された液体状の生成物を導入するとともに、セルロースを糖化させるための高活性セルラーゼ酵素を添加して約 12 時間の時間を掛けて生成物を酵素糖化する。この場合、酵素糖化装置 50 に投入される液体状の生成物は、反応器 20 による加水分解処理によって分解処理が途中まで進んだ状態となっている。このため、酵素糖化装置 50 における酵素糖化処理は、分解処理が途中まで進んだ状態のペーパースラッジに対して行われるため、酵素による分解が行われ易く投入された生成物をより確実に糖化することができるとともに、酵素糖化に必要な時間を短縮できる。

30

【0038】

この酵素糖化装置 50 による酵素糖化により、グルコースを主成分とする糖類を含んだグルコース水溶液が生成される。作業者は、バルブ 52 を操作することにより酵素糖化装置 50 内にて生成されたグルコース水溶液を取り出すことができる。この場合、本発明者らによれば、ペーパースラッジを 160 ~ 240 の温度かつ 5 MPa ~ 10 MPa の圧力環境下で加水分解処理した後、酵素糖化することにより、投入したセルロースに対して約 80% の収率でグルコースを含む水溶性糖類に分解することができた。このグルコース水溶液は、バイオエタノールに分解するために、さらに、エタノール発酵に供されるが、本発明に直接関係しないため、その説明は省略する。

40

【0039】

一方、固液分離器 21 内で濾し取られた固体残渣は、作業により固液分離器 21 内から排出される。この固体残渣は、炭酸カルシウムを主成分とする無機物と反応器 20 内で処理し切れなかった一部の有機成分を含んでいる。したがって、作業者は、固液分離器 2

50

1 から回収した固体残渣に含まれる有機成分を、例えば、亜臨界水を用いて完全に分解する。これにより、無機成分のみからなる固体残渣が生成される。この無機成分のみからなる固体残渣は、製紙用無機原料として再利用に供される。すなわち、本発明に係る水溶性糖類製造装置に投入されたペーパースラッジは略完全に再資源化される。これにより、製紙過程におけるゼロエミッション（廃棄物排出ゼロ）を実現できる。

【0040】

作業者は、貯留タンク11内に投入したペーパースラッジを反応器20により加水分解処理した後、同加水分解処理した液体状の生成物に対して酵素糖化装置50により酵素糖化を行う。そして、酵素糖化装置50内に導入した生成物のグルコース水溶液への分解が完了した場合には、作業者は、水溶性糖類製造装置の作動を停止させて油滓の酸化処理作業を終了する。

10

【0041】

上記作動説明からも理解できるように、上記実施形態によれば、160 ~ 240 に加熱するとともに、5 MPa ~ 10 MPaに加圧した状態の水の中に二酸化炭素を加えた雰囲気中でペーパースラッジを加水分解処理している。すなわち、ペーパースラッジを加水分解処理するに際して、触媒を用いることによりペーパースラッジの処理温度および処理圧力を従来に比して低くしている。これにより、フルフラールなどの発酵阻害物の生成を抑えることができるとともに、ペーパースラッジを加水分解処理する反応器20を含む水溶性糖類製造装置の構成を簡単にすることができる。また、二酸化炭素は常温大気圧において水溶性の気体物質であるため、加水分解処理によって生じた生成物から容易に回収することができる。これにより、ペーパースラッジの加水分解処理に掛かる煩雑さ（酸の回収や副生成物の処理）も軽減することができる。また、加水分解処理によって生じた生成物の再資源化が容易となるとともに、回収した触媒の再利用を図ることができる。

20

【0042】

また、オリゴ糖やグルコースなどの水溶性糖類は、250 を超える環境下ではフルフラールに代表される発酵阻害物に分解され易い。すなわち、上記水溶性糖類製造装置においては、ペーパースラッジの処理温度を160 ~ 240 にしたことにより発酵阻害物の生成が抑制されるため、ペーパースラッジにおける水溶性糖類の収率を向上させることができペーパースラッジの資源としての利用率を向上させることができる。

【0043】

また、上記実施形態においては、固液分離器21によってペーパースラッジの加水分解処理によって生じた液体状の生成物と固体状の生成物とをそれぞれ別々に反応器20から排出する構成としている。このため、液体状の生成物中に無機物などの固体状の生成物が含まれることがないとともに、固体状の生成物の取り扱いが容易となる。すなわち、液体状の生成物および固体状の生成物の再利用・再資源化がそれぞれ容易となる。

30

【0044】

また、上記実施形態においては、ペーパースラッジの加水分解処理によって生じた生成物から触媒である二酸化炭素を回収して反応器20に再投入している。すなわち、回収した二酸化炭素は、反応器20にて再びペーパースラッジの加水分解処理に用いられるため、触媒の利用に無駄が無くペーパースラッジの加水分解処理の効率を向上させることができる。なお、触媒に用いた二酸化炭素は所謂温室効果ガスであり、地球温暖化を助長する物質である。したがって、二酸化炭素を外部に排出せずに循環して用いる本発明に係る水溶性糖類製造装置は、地球環境に配慮しつつペーパースラッジの再利用を図ることができる環境保全および循環型社会の構築に好適な装置である。

40

【0045】

また、上記実施形態においては、反応器20による加水分解処理によって生じた生成物に酵素を加えて酵素糖化している。これにより、反応器20による加水分解で分解仕切れなかった物質を糖化することができる。この結果、水溶性糖類の収率をさらに向上させることができる。なお、この場合、反応器20による加水分解処理で分解仕切れなかった物質は、同加水分解処理により酵素分解され易い状態となっているため、従来単独で酵素分

50

解するよりも短時間に酵素分解することができる。

【0046】

さらに、本発明の実施にあたっては、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を逸脱しない限りにおいて種々の変更が可能である。

【0047】

例えば、上記実施形態においては、反応器20内での処理温度を160 ~ 240、処理圧力を5 MPa ~ 10 MPaとした。しかし、反応器20内におけるペーパースラッジの処理温度および処理圧力は、処理対象であるペーパースラッジの性状や加水分解する程度などに応じて適宜決定されるものである。ただし、ペーパースラッジを加水分解した目的物であるオリゴ糖や単糖（例えば、グルコース）などの水溶性糖類は、250を超える処理温度ではフルフラールに代表される発酵阻害物に分解され易い。このため、発酵阻害物の生成を抑えつつ効率よくペーパースラッジを加水分解処理するには、反応器20内におけるペーパースラッジの処理温度を120以上かつ250以下、より好ましくは、160以上かつ240以下、処理圧力を処理温度における飽和水蒸気圧以上であって触媒を水に溶解させるための圧力を加えた圧力、具体的には、0.2 MPa以上かつ10 MPa、より好ましくは5 MPa以上10 MPa以下にするとよい。これによれば、発酵阻害物の生成を抑制しつつ、ペーパースラッジにおける水溶性糖類の収率を向上させることができペーパースラッジの資源としての利用率を向上させることができる。

10

【0048】

また、上記実施形態においては、触媒として二酸化炭素を用いた。しかし、常温大気圧において水溶性の気体物質であって触媒効果を有する物質であれば、当然、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、二酸化炭素に代えてアンモニアを触媒として用いてもよい。この場合、アンモニアは水に溶解し易い物質であるため、反応器20内の圧力を少なくとも処理温度の飽和水蒸気圧以上に加圧すれば、アンモニアを水に溶解させるための圧力は必ずしも必要ではない。このため、二酸化炭素を触媒として用いる場合に比べて低い圧力でペーパースラッジの加水分解処理が可能である。ただし、アンモニアは水に溶解し易いため、気液分離装置43は、反応器20から排出された液体状の生成物を蒸留することにより同生成物内に含まれるアンモニアを回収するように構成する。そして、この場合においても、上記実施形態と同様に、回収したアンモニアを再び反応器20に投入して再利用するとよい。特にアンモニアは異臭を放つ有害物質であるため、循環再利用を図ることにより作業環境の保全に資するものである。これによっても、上記実施形態と同様の効果が期待できる。

20

30

【0049】

また、上記実施形態においては、固液分離装置21により反応器20による加水分解処理によって生成された生成物から固体残渣を回収するように構成した。これは、反応器20による加水分解処理によって生成された生成物の液体成分と固体成分とをそれぞれ利用し易くするためであり、本発明の必須の構成要件ではない。すなわち、固液分離装置21を反応器20に設けない構成であってもよいし、生成物の液体成分と固体成分とをそれぞれ別の分離器で分離回収する構成であってもよい。

【0050】

また、上記実施形態においては、気液分離器43で回収した二酸化炭素を帰還配管44によって三方バルブ34に帰還させて再利用するように構成した。しかし、触媒の再利用は、本発明の必須の構成要件ではない。すなわち、反応器20内にCO₂ポンプ35から絶えず新規の二酸化炭素を供給するように構成してもよい。ただし、ペーパースラッジの効率的な加水分解処理や地球環境保全の観点から触媒の再利用は図られるべきである。

40

【0051】

また、上記実施形態においては、反応器20から排出した生成物を酵素糖化装置50によって酵素糖化するように構成した。しかし、必ずしも、反応器20から排出した生成物を酵素糖化する必要はない。すなわち、反応器20による加水分解処理によってペーパースラッジを全て糖化するように構成してもよい。この場合、反応器20内での処理時間が

50

上記実施形態における処理時間よりも長くなる。また、反応器 20 によって加水分解処理した生成物を酵素糖化装置 50 以外の糖化法、例えば、亜臨界水や超臨界水を用いた加水分解処理法を用いて糖化するように構成してもよい。

【0052】

また、上記実施形態においては、反応器 20 内でのペーパースラッジの分解反応率を約 0.5 とした。これは、ペーパースラッジの糖化処理を反応器 20 による加水分解処理と、酵素糖化装置 50 による酵素糖化処理の二段階で行うことにより、グルコースの収率を向上させるためである。一般に、ペーパースラッジの糖化処理において、酸触媒を用いた加水分解法、または超臨界水を用いた加水分解ではグルコースの収率は 20% ~ 50% であり、酵素を用いた酵素糖化法でも最大で 70% である。

10

【0053】

一方、本願発明にかかる上記水溶性糖類製造装置においては、本発明者らの実験によれば、グルコースの収率は約 80% である。すなわち、反応器 20 による低温の加水分解処理によって発酵阻害物の生成を抑えつつ強固な結合のグリコシド結合にダメージを与えることにより、活性セルラーゼ酵素による酵素糖化を行いやすくしている。この場合、酵素糖化法においては、セルロースの過分解は生じないため酵素糖化処理によって発酵阻害物が生成されることはない。これらにより、従来に比して高い収率でグルコースを生成することができるものと考えられる。したがって、反応器 20 内でのペーパースラッジの分解反応率は 0.5 以外であってもよいが、0.2 ~ 0.7 が好適であると考えられる。

【0054】

20

また、上記実施形態においては、図示左右方向に延びる横型の反応器 20 を用いた例について説明したが、当然、これに限定されるものではない。すなわち、縦型の反応器 20 を用いてもよいし、ペーパースラッジをバッチ処理する構成の反応器 20 を用いてもよい。これらによっても、上記実施形態と同様の効果が期待できる。

【0055】

また、上記実施形態においては、反応器 20 内の処理温度 160 ~ 240 に加熱する熱源として電熱コイル 24 を用いるとともに、同反応器 20 内の圧力を 5 MPa ~ 10 MPa に加圧する圧力源として高圧ポンプ 13 およびコンプレッサー 33 を用いた。しかし、これらの熱源および加圧源は一例を示すものであって、これらに限定されるものではないことは当然である。

30

【図面の簡単な説明】

【0056】

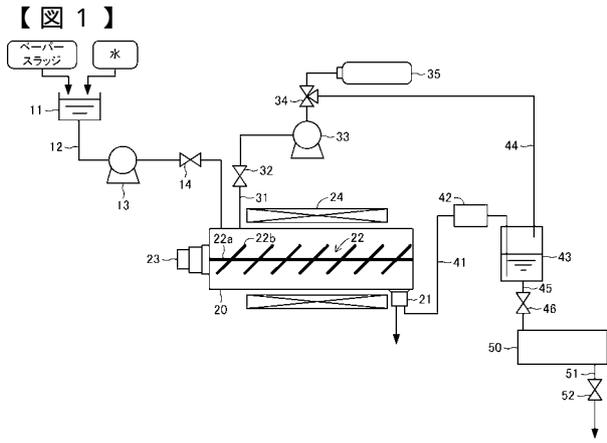
【図 1】本発明の一実施形態に係る水溶性糖類製造装置の全体構成を模式的に示すブロック図である。

【符号の説明】

【0057】

11 ... 貯留タンク、12 ... 導入管、13 ... 高圧ポンプ、20 ... 反応器、21 ... 固液分離器、22 ... スクリューコンベア、22a ... 駆動軸、22b ... 羽根、23 ... 移送モータ、24 ... 電熱コイル、31 ... 供給管、33 ... コンプレッサー、34 ... 三方弁、41 ... 排出管、42 ... 冷却器、43 ... 気液分離器、44 ... 帰還配管、50 ... 酵素糖化装置。

40



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平10-327900(JP,A)
特開2005-023041(JP,A)
特開2002-105101(JP,A)
特開2004-229607(JP,A)
特開2007-215479(JP,A)
特開2002-126794(JP,A)
特開2006-238728(JP,A)
特表2002-513041(JP,A)
米国特許第05171592(US,A)
特開2004-188229(JP,A)
特開2006-263570(JP,A)
特開2008-297229(JP,A)
国際公開第2008/011001(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C12P 19/00
C02F 11/00
C02F 11/08
C12M 1/00
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)