

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23655131

研究課題名(和文)ポリ酸共存下でのマイクロ波照射によるセルロース性資源の物質変換とその応用

研究課題名(英文)Material conversion and application of cellulosic materials by microwave irradiation in the presence of poly acids

研究代表者

酒井 剛 (Sakai, Go)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：40284567

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：ケイ酸タングステン共存下でのマイクロ波照射により、セルロースを糖化できる新たな現象を見出した。ケイ酸タングステン等のヘテロポリ酸の結晶構造や溶媒の効果を調べることにより、高効率変換メカニズムの解明に取り組み、溶媒の効果として、水とエタノールの混合溶媒を用いれば、グルコース収率が80%まで向上することを見出した。また、ケイ酸タングステンに乾燥処理を行うと、グルコース収率が高くなる結果を与えた。この結果から、マイクロ波照射によるセルロースの直接糖化はケイ酸タングステン中の結晶水の含量や状態に大きく依存し、条件を最適化できれば、極めて高いグルコース収率を与え、最高で99%の糖化率が得られた。

研究成果の概要(英文)：In the present study, it is discovered that microwave irradiation to cellulose in the presence of tungstosilicic acid gave glucose (direct saccharification) with highly efficiency. The effects of crystal structure as well as solvent onto direct saccharification by microwave irradiation in the presence of hetero-poly acids such as tungstosilicic acid were investigated. The mixed solvent of water and ethanol could proceed the direct saccharification with highly glucose yield of 80%. The pretreatment on tungstosilicic acid is effective to improve the glucose yield. The direct saccharification of cellulose by the microwave irradiation in the presence of tungstosilicic acid depends strongly on the amount of water and its characteristics in the crystalline of tungstosilicic acid. Thus, it was found that the extremely high glucose yield can be achieved when the suitable condition was adopted. The highest yield of direct saccharification from cellulose to glucose reached 99%.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：ケイ酸タングステン マイクロ波 セルロース グルコース 直接糖化 ヘテロポリ酸

1. 研究開始当初の背景

化石燃料の枯渇および地球温暖化の抑制のために、バイオマス資源等の再生可能なエネルギーへの変換が求められている。特に、食用に供し得ない地球上に最も多量に存在するバイオマスであるセルロース性資源の燃料あるいは有用化学物質への高効率あるいは直接変換が、次世代のエネルギー産業および化学製品産業にとって重要な位置を占めることになると考えられる。

申請者は、セルロースを水に分散させ、ポリ酸の一種であるケイ酸タングステンを共存させた状態でマイクロ波を照射すれば、セルロースの結晶性が低下するとともに、わずか数分という短時間でフルフラールやレボグルコサン（無水糖の一種）といった燃料あるいは有価物に変換できることを見出した（特願 2010-085289；セルロース系物質の分解方法）。また、90%以上の収率で水溶性糖が得られることを見出した。セルロース性資源の短時間での直接高効率変換、特にグルコースへの変換はいまだ達成されておらず、ケイ酸タングステンを共存させた状態でマイクロ波を照射する手法が、 β -1,4 グリコシド結合を選択的に開裂する方法の一つの候補になり得る。

マイクロ波を用いたセルロース性資源の分解では、通常含水率を上げて、含まれる水によるマイクロ波の熱への変換を利用した加水分解が専ら行われる。すなわち、加水分解中に水を蒸発させないような密閉型や循環型反応系が用いられてきた。これまで、通常の酸（硫酸、塩酸など）や微量の添加物では、マイクロ波によるセルロースの分解に大きな影響は与えないと考えられてきた。一方、我々は、一部のポリ酸が、セルロースの分解に寄与する可能性が高い実験結果を得た。現段階では、共存ケイ酸タングステン量が少ない場合に、フルフラールやレボグルコサンといったセルロース誘導体が、共存量が多い場合に高選択的にグルコースが生成することが分かっている（特願 2010-085289；セルロース系物質の分解方法）。申請者は、ヘテロポリ酸の光機能性に着目し、セルロースの分解に応用する研究を着想するに至ったが、通常の紫外光ではセルロースは分解されなかった。そのため、より強い電磁波等を用いることによって分解反応が促進されるのではないかと考え、研究を進めたところ、マイクロ波の照射によってセルロースの分解が促進されることを見出し、上記の出願に至った。これらの結果は、セルロースを構成している

β -1,4 グリコシド結合が選択的に開裂されていることを示唆しており、バイオマス変換における新たな展開を供し得る反応メカニズムを含んでいる可能性が高い。また、結晶性セルロースの構造を維持している分子内および分子間水素結合も選択的に開裂されている可能性が高いため、触媒反応系、有機合成、バイオマス変換、マイクロ波による新規反応系の構築など、様々な分野での発展が期待できると考えられる。

ポリ酸を用いるセルロース分解は近年注目されつつあるが、主に加熱による加水分解を促進する酸触媒として用いられており、ヘテロポリ酸の機能を電磁氣的、電気化学的および光学的手法を用いて制御する試みはなされていない。特に、電磁氣的特性の応用については、特願 2010-085289；セルロース系物質の分解方法で特許出願したように、高濃度のケイ酸タングステン共存下ではグルコースが選択的に生成し、低濃度の場合はフルフラールとレボグルコサンが主に生成することを実証しており、ケイ酸タングステンの役割としては、プロトンを放出する酸触媒としての役割、マイクロ波を吸収し熱に変換するヒートソースとしての役割、あるいはケイ酸タングステンアニオンの触媒としての役割があるのではないかと考えている。そこで、ケイ酸タングステンの役割を明らかにすることで、高効率にセルロース性資源を糖あるいは有価物に変換できる触媒反応系を構築できる可能性がある。さらに、電気化学的および光学的に機能制御することでセルロース系バイオマス資源を有効活用する手法の開発に挑戦した。

以上のように、申請者は、機能性触媒として主にポリ酸を用い、(I) 電磁気学的手法、(II) 電気化学的手法、および(III) 光学的手法による機能触媒の制御に関する試みを着想するに至り、セルロースの分解による有価物の生成を中心に検討を行うとともに、セルロースの分解におけるポリ酸の役割を明らかにすることとした。

2. 研究の目的

本セルロース性資源の変換では、ケイ酸タングステンの役割として、(1) プロトン供給源、(2) ヒートソース、(3) ケイ酸タングステン系アニオンの触媒作用が重要であると考えられる。本研究では、このケイ酸タングステンの役割を明らかにする。また、その役割を最大限に有効活用するセルロースの分解条件を確立するとともに、セルロースの分解による有価物の高効率生成条件を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

3.1. 試薬

ポリ酸として知られている種々の金属酸化物のうち、市販されている試薬を実験に用いた。ヘテロポリ酸としては、ケイ酸タングステン($\text{H}_4\text{SiO}_4 \cdot 12\text{WO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)、リン酸タングステン($\text{H}_3(\text{PW}_{12}\text{O}_{40}) \cdot x\text{H}_2\text{O}$)、ケイ酸モリブデン($\text{SiO}_2 \cdot 12\text{MoO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)、リン酸モリブデン($\text{H}_3(\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}) \cdot x\text{H}_2\text{O}$)の4種類を用いた。イソポリ酸としては、タングステン酸(H_2WO_4)、モリブデン酸(80% MoO_3)、およびタングステン酸ナトリウム二水和物($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)の3種類を用いた。

3.2 ケイ酸タングステン共存下での加熱による有機物の分解

蒸留水 2ml にケイ酸タングステン 10mg を溶解し、さらに粉末セルロース (nacalaitesque 社製 code 07748-45)50mg を分散させ、115°C に保った恒温器で2時間保持した。また、種々の有機物についても同様の処理を行った。得られた試料を X 線回折(XRD)、フェノール硫酸法(PS)により評価した。また、ケイ酸タングステンの代わりに 10^{-2}mol/l 、 0.5mol/l の濃度に調製した硫酸または塩酸を加えた系についても検討を行った。さらに、ケイ酸タングステンを用いた場合にアルカリ溶液(0.1mol/l NaOH)で中和して酸加水分解が起こりにくい状態にした場合のセルロースの熱分解挙動についても検討を行った。

3.3 マイクロ波照射によるセルロースの直接糖化

蒸留水 10ml に種々のヘテロポリ酸触媒 10mg をそれぞれ溶解し、粉末セルロース 10mg を分散させ、市販の電子レンジ(発振周波数 2,450MHz、高周波出力 500W)を用いてマイクロ波を照射した。得られた試料は一定量の蒸留水を加えてその上澄みをフェノール硫酸法、ムタロターゼ・GOD 法で評価した。

また、スケールアップした系として 10^{-2}mol/l になるように調製したヘテロポリ酸水溶液 100ml に粉末セルロース 100mg を分散した試料に 11 分間マイクロ波を照射した。マイクロ波照射後の粉体試料に一定量の蒸留水を加えて得た上澄み液に、ポリ酸を除去するための DODA (dimethyl dioctadecyl ammonium chloride) を触媒の 8mol 倍量加え 2~4 時間攪拌した。吸引ろ過によって、析出した沈殿を除去したのち、 0.1mol/l 水酸化ナトリウム水溶液を滴下し、中和して得た溶液をムタロターゼ・GOD 法で評価した。さらに、ヘテロポリ酸の代わりにイソポリ酸を用いた場合についても検討を行った。また、セルロースのマイクロ波照射時の pH の効果およびポリ酸の種類による違いを調べるため、溶媒を種々の濃度の硫酸に代え検討を行った。

3.4 評価方法

有機物の加熱操作によって得られた試料は XRD によって構造変化を評価し、生成糖

量はフェノール硫酸法で評価した。また、マイクロ波照射によって得られた試料は、フェノール硫酸法およびムタロターゼ・GOD 法によって糖濃度の定量を行った。

4. 研究成果

4.1. ケイ酸タングステン共存下での加熱による有機物の分解挙動

セルロースの基本ユニットである二糖類のセロビオースにケイ酸タングステンを共存させてマイクロ波照射を行ったところ、透明の固形物が得られ、115°C で乾燥すると黒色変化することを見出した。このことから、セルロース系材料の加熱分解が可能ではないかと考え、セルロースおよびその他の有機物について検討を行った。その結果、ケイ酸タングステンを共存させない条件では、水が蒸発するのみで色の変化が見られないのに対し、ケイ酸タングステン共存下では、セルロース、糖類および一部の有機物に黒色変化が見られた。黒色変化した有機物の化学構造を詳細に検討したところ、これらの有機物には環状構造を持ち、かつ環内に C-O-C 結合を含むという共通した性質を持っていることがわかった。

また、ケイ酸タングステンを共存下させて加熱すれば、セルロースの結晶性を大幅に低下できる可能性が高いことがわかった。さらに、セルロース以外の黒色変化を起こした糖類および一部の有機物についてもピーク強度の低下とともにブロードなピークが出現し、全体的にバックグラウンドが上昇する同様の結果が得られた。一方、黒色変化を起こさなかった有機物については、ピーク強度の低下はみられるもののブロードなピークは現れず、結晶性が保たれていることがわかった。フェノール硫酸法によって水溶性糖量を測定した結果、セルロースから生成される水溶性糖への転化率は 14% 程度であった。このことから、環に酸素原子を含む構造をもつ有機物はケイ酸タングステンにより熱分解でき、糖を生成する可能性があることがわかった。

また、ケイ酸タングステンは水に溶解させると強酸性を示すため、ケイ酸タングステン共存下での熱分解および糖の生成が、酸触媒による加水分解の結果によるものと考えられる。そこで、ケイ酸タングステンの代わりに種々の濃度の硫酸および塩酸を用いて加熱操作を行った。図 1 にその結果を示す。溶媒に硫酸を用いたとき、加熱後、黒色変化がみられた。一方、塩酸を用いたときは、硫酸のような黒色変化は見られず、全体的に薄い茶色を呈した。これらの試料について生成糖量を確認したところ、水溶性糖量は高くても 10% 未満とケイ酸タングステンをを用いた場合に比べて極端に低い値を示した。このため、硫酸や塩酸を用いた加熱による単なる加水分解ではセルロースを選択的に糖化するこ

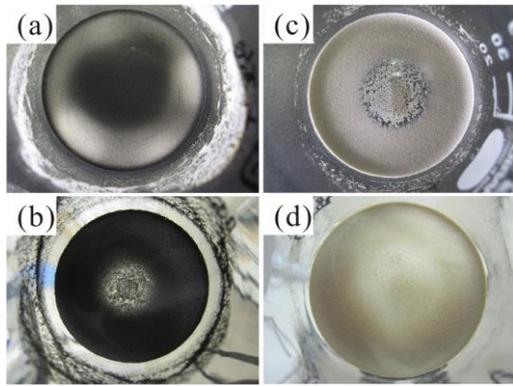


図1 種々の濃度の硫酸および塩酸溶液中にセルロースを分散させ、115°Cで2時間保持した後の様子(溶媒:(a)0.01M硫酸、(b)0.5M硫酸、(c)0.01M塩酸、(d)0.5M塩酸)

とは難しいと考えられる。

また、強酸性を示すケイ酸タングステン溶液をアルカリ溶液によって中和したのち、セルロースを分散し加熱操作を行った。この場合、溶媒を中性にすることで、酸による加水分解が起こりにくい状態となる。加熱処理後の試料は、元のセルロースの色である白色のまま、全く色調変化が見られなかった。よって、ケイ酸タングステン共存下の加熱操作の際にみられる黒色変化は、酸による加水分解に由来すると考えられる。また、XRD測定の結果より、セルロースの結晶性が大幅に低下し低角度域にセルロースのピークとは異なるピークが現れた。これは、中和せずに行った場合と同様の傾向であった。しかしながら、生成糖量を測定すると、ある条件では最大約40%の転化率で水溶性糖を生成することがわかった。すなわち、黒色変化と糖化は同時に起こるものの、同じ現象ではなく、白色固形物が得られる場合でも多くの生成糖を含んでいることがあることがわかった。これらの検討結果から、ケイ酸タングステン自身には、酸性度に関わらず、加熱によってセルロースの結晶性を低下させる効果と糖を生成する効果を有することがわかった。このように、ケイ酸タングステン共存下でのマイクロ波照射によるセルロースの直接糖化においては、マイクロ波照射によって生じた熱によっても一部糖化が進行しており、その時にケイ酸タングステンが重要な役割を担っていることが示唆された。しかしながら、生成したグルコース量はマイクロ波照射した場合の方が加熱による場合よりも格段に高いことから、セルロースの直接糖化は主にマイクロ波照射によって進行すると考えられる。

4.2. 種々のポリ酸を触媒として用いたマイクロ波照射によるセルロースの直接糖化

申請者はこれまでに、触媒としてケイ酸タングステンを用いマイクロ波照射することで、セルロースを約40%の転化率でグルコー

スに変換できることを見出している。ケイ酸タングステンがよく知られたヘテロポリ酸であり、その他のヘテロポリ酸でも、同様の効果が見込まれる。そこで、ケイ酸モリブデンを用いマイクロ波照射を行った。図2にケイ酸モリブデンを用いセルロース分散系へマイクロ波照射した後の概観写真を示す。照射後の試料の様子を観察したところ、水が蒸発し乾燥粉体が得られた。ケイ酸モリブデンを添加しなかった試料では、マイクロ波照射後、黄緑色の状態になるのに対し、添加した試料は一部に元のセルロースの白色を含む濃い青色の粉体が得られた。また、XRD測定の結果、セルロースの結晶性の低下が認められた。このような外観の変化およびXRDパターンの結果は、ケイ酸タングステンを用いた場合と類似した傾向であるため、セルロースの分解および糖の生成が予想される。そこで、水溶性糖濃度およびグルコース濃度を比色分析にて測定した。その結果、水溶性糖への転化率が約20%、グルコースへの転化率が約13%であった。したがって、ケイ酸モリブデンは、セルロースから糖を生成するというケイ酸タングステンと同様の触媒効果を有することが明らかになった。さらに、使用した他の2種のヘテロポリ酸についても同程度の糖生成が認められ、セルロースの糖への変換はケイ酸タングステン特有の効果ではなく、ヘテロポリ酸に共通する性質であることが明らかになった。また、触媒として種々のポリ酸を用いセルロース分散系にマイクロ波照射した試料の各照射時間における生成水溶性糖濃度および生成グルコース濃度を調べた結果、マイクロ波照射時間に伴って糖濃度が増加し、10分程度で極大値をとることがわかった。また、ケイ酸モリブデン共存下で、グルコースおよびセルロースにマイクロ波照射を行った後の水溶性糖濃度およびグルコース濃度を調べたところ、10分照射でグルコース量が90%程度減少した。このことから、マイクロ波照射によりセルロースの分解と同時に、生成物であるグルコースが過分解すると考えられる。また、同じポリ酸のイソポリ酸についても検討を行った結果、水溶性

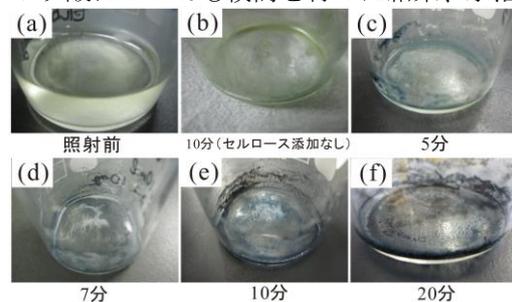


図2 触媒としてケイ酸モリブデンを用いた場合のマイクロ波照射後の外観写真((a)マイクロ波照射前、(b)セルロース添加なし10分照射、(c)5分照射、(d)7分照射、(e)10分照射、(f)20分照射)

糖の転化率が約1~2%、グルコース転化率が1%未満であり、ほとんどグルコースの生成が認められなかった。したがって、タングステンもしくはモリブデン由来のイソポリ酸が陰イオンとして存在したとしても、糖生成が促進しないことがわかった。すなわち、セルロースからグルコースへの変換は、ヘテロポリ酸に特有の性質であることが示唆された。

イソポリ酸を用いてセルロースにマイクロ波照射しても黒色変化も起きず、糖もほとんど生成しない。そこで、硫酸を溶媒に用いて、マイクロ波照射することで糖がするかを調べた。硫酸を溶媒として用いることで、明らかに黒色変化が起きるが、生成糖濃度を調べたところ、グルコースへの転化率は最大で2%程度となり、ほとんど糖の生成はみられなかった。つまり、加熱操作の場合と同様に、酸として黒色物質にする効果を示すものの、糖の生成はほとんどないことがわかった。

4.3. マイクロ波照射によるセルロースの直接糖化における溶媒の効果

蒸留水のみを溶媒とした場合、バラつきはあるもののグルコース収率は平均して41.6%となった。次に、種々の溶媒を用いてマイクロ波照射によるセルロースの直接糖化を試みた。これらの試料に含まれるグルコース量を評価した結果を表1に示す。蒸留水では41.6%、エタノールでは20.8%のグルコース収率が得られたのに対し、1-プロパノールおよび2-プロパノールでは全くグルコースが生成しないことがわかった。すなわち、本プロセスにおけるセルロースの糖化は、基本的に水を必要とする加水分解によって進行し、1-プロパノールや2-プロパノールのようなマイクロ波を吸収して加熱される極性溶媒でも、水分がなければ糖化が起きないことが示唆される。一方、エタノールを溶媒に用いると20.8%のグルコース収率が得られたことから、エタノールに微量に含まれる水によって、セルロースが加水分解されたと考えられる。そこで、水とエタノールを種々の体積比で混合した溶媒を用いて生成グルコース量を調べた。その結果を図3に示す。このように、水とエタノールの体積比によって生成グルコース量が変わり、蒸留水の場合よりも水:エタノール=75:25の場合に最も高い収率を与え、80.5%に達することを見出した。この結果から、本プロセスにおけるセルロースに含まれるβ-1,4グリコシド結合の加水分解は溶媒に大きく依存し、溶媒を制御するだけでも80%を超えるグルコース収率が得られる

表1 各種溶媒を用いた場合のグルコース収率

	水	エタノール	1-プロパノール	2-プロパノール
グルコース収率 [%]	41.6	20.8	0	0

ことを見出した。

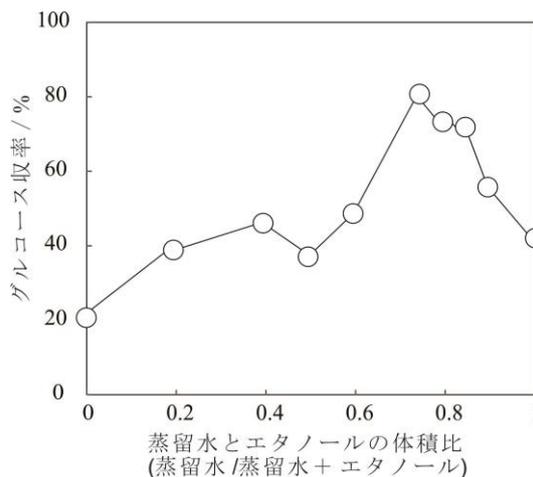


図3 水-エタノール混合溶媒を用いてマイクロ波照射を行ったセルロースからのグルコース収率各種溶媒を用いた場合のグルコース収率

4.4. ケイ酸タングステンの前処理効果

ケイ酸タングステンを120℃で24時間乾燥させる熱乾燥とマイクロ波照射で11分間処理するマイクロ波乾燥の2つの前処理方法で乾燥させた。乾燥処理あるいはマイクロ波照射によって乾燥させたケイ酸タングステンを用いてマイクロ波照射によるセルロースからのグルコース収率を求めた。

セルロースの直接糖化で得られたグルコース収率を表2にまとめて示す。未処理の場合は40%程度のグルコース収率が得られたが、乾燥して結晶構造が変化したケイ酸タングステンを用いると、いずれの場合もグルコース収率が向上し、99%という非常に高い数値が得られる場合があることがわかった。これは、含水結晶のマイクロ波の吸収率やエネルギー変換メカニズムの違いなどが影響していると示唆されるが、詳細についてはさらなる検討が必要である。

表2 乾燥処理したケイ酸タングステンをを用いたセルロースの直接糖化収率

	未処理	120℃乾燥	マイクロ波
グルコース収率 [%]	41.6	99.0 74.0	66.0 77.8

4.5. 種々のヘテロポリ酸を用いたセルロースの直接糖化

ケイ酸タングステン以外のポリ酸としてケイ酸モリブデン、リン酸タングステンおよびリン酸モリブデンについても検討を行った。まず、XRDにより、ケイ酸タングステンを含めた各試料の結晶構造を調べた。さらに、ケイ酸タングステンの場合と同様に、120℃で24時間乾燥処理をしたものおよびマイクロ波照射して乾燥させたものについて結晶構造等を評価した。その結果、ここで用いた

ポリ酸は、加熱およびマイクロ波による乾燥を行うと、含水状態から異なる結晶構造に変化することがわかった。ただし、乾燥後の結晶構造はケイ酸タングステンを用いた場合以外は同じ XRD パターンを示し、ケイ酸タングステンは乾燥方法を変えると異なる XRD パターンを与えた。

4.6. 総括

ケイ酸タングステン共存下でのマイクロ波照射により、高効率でセルロースを糖化できる新たな現象を見出した。ヘテロポリ酸の結晶構造や溶媒の効果を調べることにより、高効率変換メカニズムに取り組み、最高で 99% の糖化率 (グルコース収率) が得られた。

ケイ酸タングステン共存下での単純な加熱操作でも、セルロースは分解され、高い収率で水溶性糖を生成することを見出した。加熱処理により黒色変化する有機物は、環内に C-O-C 結合を含む環状構造を有するという共通した性質を持つことを明らかにした。また、溶媒に硫酸または塩酸を用いた場合、硫酸では、黒色変化は起きるものの、水溶性糖は生成しなかった。一方、塩酸では黒色変化も起こらず糖の生成も確認できなかった。よって、無機酸存在下での加熱による単なる加水分解では、セルロースを選択的に糖化することができないことを明らかにした。また、ケイ酸タングステン溶液を中和した場合は、外観は全く黒色変化を起こさなかったが、結晶性が大幅に低下し、水溶性糖が約 40% の転化率で生成した。よって、黒色変化と糖化は同時に起こるものの、同じ現象ではなく、白色固形物が得られる場合でも多くの生成糖を含んでいる場合があることが示唆された。また、ケイ酸タングステンは、酸性度に関わらず、セルロースの結晶性を低下させる効果と糖を生成する効果があると考えられる。

ケイ酸タングステン以外のヘテロポリ酸も同様に黒色変化が起きるとともに、結晶性が低下し、セルロースから直接糖を生成するという効果が認められた。すなわち、セルロースの糖への変換はケイ酸タングステンに特有の効果ではなく、ヘテロポリ酸に共通する性質であると考えられる。イソポリ酸を用いた場合、黒色変化もみられず、糖も生成しなかった。

マイクロ波によるセルロースの直接糖化においてケイ酸タングステンをを用いた場合、溶媒に 1-プロパノールや 2-プロパノールを用いるとグルコースは生成しない。また、溶媒にエタノールを用いるとグルコースが生成するものの糖化効率は低いことがわかった。ただし、水とエタノールの混合溶媒を用いれば、グルコース収率が 80% まで向上することがわかった。

ケイ酸タングステんに乾燥処理を行いセルロースの糖化に用いると、グルコース収率が高くなる結果を与えた。これらの結果から、マイクロ波照射によるセルロースの直接糖

化はケイ酸タングステン中の結晶水の含量や状態に大きく依存することを見出し、条件を最適化できれば、極めて高いグルコース収率が得られることがわかった。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 6 件)

①山内 淳、奥 孝裕、酒井 剛、“ヘテロポリ酸触媒を用いたマイクロ波照射によるセルロースの分解”、2010 年日本化学会西日本大会 (2010.11) 熊本大学

② Jun Yamauchi, Takahiro Oku, Go Sakai, “Tungstosilicic acid catalyzed cellulose conversion under microwave irradiation”, International Symposium on Biomass Conversion –Fundamentals & Applications- (2010.12) Miyazaki, Japan.

③ Go Sakai, Jun Yamauchi, Takahiro Oku, Toshifumi Yui, Kazuhiro Sugamoto, Yoh-ichi Matsushita, Tsuyoshi Kijima, “Study on microwave assisted degradation of cellulose in the presence of tungstosilicic acid”, The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010) (2010.12) Honolulu, USA.

④平川しずか、酒井 剛、“ケイ酸タングステン共存下でのマイクロ波照射による二糖の分解とセルロース分解メカニズムの解明”、第 49 回化学関連支部合同九州大会 (2012.6) 北九州

⑤酒井 剛、“ヘテロポリ酸を用いたマイクロ波照射によるセルロースの直接糖化 (依頼講演)”、電気化学会九州支部 トークショーイン九州 2012 (2012.9) 直方

⑥平川しずか、松永直樹、酒井 剛、“ケイ酸タングステン共存下におけるマイクロ波照射による二糖および三糖の分解挙動”、第50回化学関連支部合同九州大会 (2013.6) 北九州

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: セルロース系物質の分解方法

発明者: 酒井 剛

権利者: 宮崎大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-253129

出願年月日: 平成 22 年 11 月 11 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 剛 (SAKAI GO)

宮崎大学・工学教育研究部・教授

研究者番号: 4 0 2 8 4 5 6 7