

常圧二酸化炭素を炭素源とする

尿素化合物合成技術を開発

カーボンニュートラルにも貢献できる、「環境調和型」のシステム

公立大学法人
大阪公立大学
大学院理学研究科
森内敏之 教授

大阪公立大学大学院理学研究科化学専攻の森内敏之教授は、常圧二酸化炭素を炭素源とする尿素化合物の合成に成功している。将来的に実用化になれば、排出ガスとしての二酸化炭素の削減、つまり「カーボンニュートラル」に貢献できる技術になるという。

尿素化合物は、除草剤や農薬、医薬品及び化粧品、また、樹脂の原料として利用されており、ウレタンやポリウレタンの材料となるイソシアネートの原料としての利用も可能とされている。

従来法の尿素化合物の合成には、反応剤としてホスゲンや一酸化炭素、または縮合剤としてカルボニルジイミダゾールなどの試薬が用いられているが、それぞれ毒性を持っていることや高価であること、また、炭素源として二酸化炭



森内教授

素を使うにしても高温、高圧という厳しい反応条件が必要であることが難点であった。

森内教授の研究開発は、リンのオキソ酸のエステル及びホスフィンオキシドなどのリン有機化合物を有機分子触媒として用いることで、アミン化合物と常圧二酸化炭素とを反応させ、二酸化炭素を炭素源とする触媒的な尿素化合物を合成する技術である。詳細を訊いた。

「森内先生が開発された今回の技術の特徴について教えてください。」

森内教授（以下、森内）「2017年以前から二酸化炭素の活性化にバナジウムを使った研究開発に取り組み、2021年にはその論文も出しています。バナジウムは地球上に沢山ある金属の一つですが、多くの金属は資源として限界がありますから、将来の環境のことを考えたら、有機分子の方が良いのではということで、リン有機化合物がバナジウムと同様に二酸化炭素の活

性化に効くのではないかと2020年からスタートしているのがこの研究開発です。

従来法で使われているホスゲンや一酸化炭素は毒性が非常に高い化合物です。また、他の方法でも高価な試薬を使わないといけないのですが、我々のリン有機化合物は有機分子であり、それも炭素源として使う二酸化炭素は風船を膨らませるレベルの圧力、つまり常圧の二酸化炭素で良いのです。

いま「2050年カーボンニュートラル」に向けて、いかにして二酸化炭素を回収して利用するかが一つの課題になっています。回収については相当数の研究機関や企業の技術開発が進行しており、一方の利用面では還元系と固定化の研究開発が進んでいます。私の場合は固定化、つまり二酸化炭素を炭素源として使っていくタイプであり、ホスゲンなどの毒性のものを使わなくても、二酸化炭素をそのまま使って尿素化合物の合成ができるということが特徴です。

また、副生成物の一つは水で、もう一つはシロキサンというケイ素の化合物だけなので、非常に優れた環境調和型のシステムなのです。ホスゲンや一酸化炭素は毒性があり、塩酸が出てくるケースもありますから、副生成物も危ないということになります。二酸化炭素が減らせて、それを炭素源にできるというのが我々の研究開発の大きな特徴です。

「二酸化炭素の活性化に使うバナジウムとリン有機化合物の違いは何でしょうか。」

森内「以前、取り組んでいたバナジウムでも良いとは思いますが、金属資源ですので、いずれ限界はあります。リンにこだわっているのは、現状、リンの多くは輸入に頼っているのですが、今後、下水や排水から回収したリンを使える触媒ができれば、環境保全の面でも大きいのではないかと、いうことで二酸化炭素とリンの両方の資源化という意味合いで展開しています。」

バナジウムとリン有機化合物を使った尿素化合物の品質はそれぞれ同じです。ただ、現段階ではバナジウムの方が高効率です。というのは有機化合物というのは活性が低いからです。触媒というのは何

回も回っていかないといけない、二酸化炭素を活性化して、終わったら、化学の専門用語で言うと量論反応、一個の二酸化炭素を活性化するのにリンが一個いりますよということであれば、リンのコストがかかってしまいます。ところがそのリンがもう一度戻って二酸化炭素を活性化する、それがクルクルクルと回ってくれるものであると良いのですが、今回の場合はまだ効率が悪いですか、システムとしてまだ出来立てのものではないです。金属であるバナジウムは活性が高いために触媒効率が良く、一方、現段階でのリン有機化合物の効率は若干低いところがありますが、それは今後改良すればよいかなと思っています。

兎に角今回は、そういう有機分子の触媒で回すことができた、合成ができたということが大きな特徴であると言えます。毒性が高い試薬を使わなくても良いですし、これまで使われていた金属を使わなくて良い、さらに、二酸化炭素の圧力が風船のレベルでできることが大きな利点です。

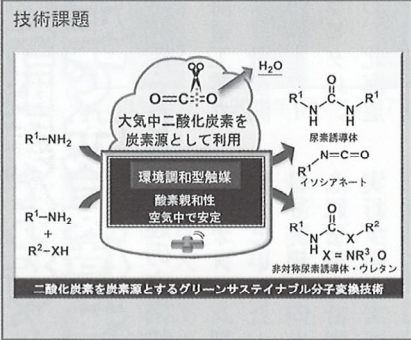
「ここでいう風船レベルの『常圧』とはどのくらいの圧力でしょうか。また、二酸化

炭素はどの程度の純度が必要ですか。

森内・圧力は0.1MPa付近ですね。風船レベルであり、それほど圧力を掛けなくても行けるといふことです。高圧を掛けなければならぬとなると、将来的な事業化の際、装備に大規模なコストがかかり大変なことになります。この方法でしたら低コストで使えます。また、二酸化炭素は将来的には企業の工場から出てくる排ガスをそのまま使える仕組みができれば良いかなと思っています。今、多くの企業が回収に力を入れているので、これからは排ガス由来の二酸化炭素の利用価値が大きくなると思っています。

実用化に向けた技術的課題と今後の対応計画

・本技術の実用化のために、リン有機触媒を用いたフーロ反応システムを開発することにより、低濃度二酸化炭素を炭素源とするリン触媒の回収・リサイクルが可能となるグリーンサステイナブル分子変換技術の確立に取り組む。特に、非対称尿素化合物合成の触媒システムの確立を行う。本技術を発展させることにより、イソシアネートやウレタン合成に展開する。



企業と進めてきて、それはこの春終了しました。その後、今回の件では、ある企業と話をしています。特許の関係で待って下さいとお願いしてい

使えるものは全て回収して資源化したい

企業との共同研究も進めていらいっしょなのでしょう。森内・バナジウムの方はこれまで二つの

に入ったのは、金属触媒は昔から酸素や水に弱いという点がありました。有機触媒はそれらに強いことが多いので、ある程度、二酸化炭素の純度が低くても反応進行する期待ができるからです。排ガスレベルの二酸化炭素の濃度は15%程度ですが、企業の排ガスの回収の仕方や回収後の二酸化炭素をどう出していくかによって純度は変わってきます。今後、その辺は変えていけば、十分耐えるものと思っています。我々は反応が起ころる事さえ分かっています。例えば触媒を改良できますから、

る状況です。というのも大学は研究教育ですから、企業と共同研究をするにしても、やはり我々は大学での研究のレベルを守らないとなりません。すぐに世の中の役に立ちたいという意志はありますが、学生と一生涯研究開発したものですし、まずは大学で特許を押さえたいという思いもありますので、特許の取得を待っている状況です。

実証試験に使用している二酸化炭素はガス業者から購入しており、基本的には100%濃度の二酸化炭素を使っているのですが、先ほど申し上げた排ガスレベルの15%濃度の二酸化炭素を、ボンベからの二酸化炭素と他のガスを混合して15%の二酸化炭素作ることができるガス混合装置も所持しており、その装置を活用した研究開発も動き出しています。

今後の取り組みについてお教え下さい。

森内・事業化には触媒のリサイクルの回転効率が1万回レベルになる必要があります。今は改良している段階ですが、触媒が回収できない状況なんです。ですから触媒を回収できるシステムを作りたい。何回も使えるこ

とになりますので、それを今、頑張っているところ。また、温度が高いので、触媒の回転効率を上げると共に、温度を下げるべく色々な工夫を加えているところ。今、100℃を超えていますので100℃以下にしたい。水の沸点が100℃ですから、水のレベルで冷えるのであれば、冷却のコストも下がります。化学工場というのは基本的に海の周辺に在って海水で冷やせるレベルになります。コストを下げられます。最低でも100℃以下、本当は常温が一番良いのですけれど、半導体の部品や太陽光パネ

ルなど、色々なところにケイ素が使われています。我々は活性化のための試薬にケイ素を使っている。それらの廃棄物の利用も非常に大事だと思っています。回収した二酸化炭素をはじめ、工場排水や下水から回収したリン、工場使えなくなったシリカなどのケイ素、使えるものは全て回収して資源化したいと思っています。それらを利用して、二酸化炭素を活性化させる試薬ができれば、本当に環境を考えたシステムができます。その思いで今後も研究開発を展開して参ります。(図提供・森内教授)

取扱い説明も立体的で、わかりやすくなりました是非一度ごらんください!

製品の3DモデルをHPで公開しております

星医療酸器