

平成 22 年 12 月 2 日  
東京大学大学院工学系研究科

エネルギー多消費型プロセスの現法（ハーバー・ボッシュ法）に代わる省エネルギー型である「温和な反応条件下での触媒的アンモニア合成法」の開発に成功！

## 発表者

西林 仁昭（東京大学大学院工学系研究科附属総合研究機構・准教授）  
荒芝 和也（東京大学大学院工学系研究科附属総合研究機構・特任研究員）  
三宅 由寛（東京大学大学院工学系研究科附属総合研究機構・助教）

## 発表概要

西林仁昭准教授らの研究グループ（東京大学大学院工学系研究科附属総合研究機構）は、常温常圧の極めて温和な反応条件下で進行する窒素ガスからの触媒的アンモニア合成反応の開発に成功しました。

アンモニア（注1）は生命維持活動を行う生物にとって必要不可欠な化合物であるが、現在は地球上全体の数%以上のエネルギーを使用するエネルギー多消費型プロセスであるハーバー・ボッシュ法（注2）により工業的に合成されています。本法はこの現法のハーバー・ボッシュ法に代わり得る次世代型窒素固定法であり、本法を使用することで環境に優しい新しいプロセスの開発とプロセスの大幅なコストダウンの達成が期待できます。

本研究成果は、科学雑誌『Nature Chemistry（ネイチャー・ケミストリー）』の電子版で2010年12月5日（英国時間）に公開されます。

## 発表内容

窒素は、核酸、アミノ酸、タンパク質などに含まれる生命活動維持に必須な元素であるとともに、医薬品、化学繊維及び肥料などに含まれる近代文明生活を営むために必要不可欠な元素の一つです。窒素は窒素ガスとして大気中の約80%を占め地球上には非常に豊富に存在しているが、人間を含めた動物や植物はこの窒素ガスを直接取り込むことはできません。人間は植物から直接的に、または、動物から間接的に植物の作り上げた含窒素有機化合物を食料として摂取し、体内で必要な化合物へと変換しています。現代社会において、この必要不可欠な窒素の大部分は鉄系触媒存在下で窒素ガスと水素ガスとから合成されるアンモニアにより供給されています。この方法によって供給されるアンモニアを窒素肥料の原料とすることで、現在の人類の人口に必要な食料生産を実現してきました。

しかし、この20世紀最大の発明の一つとも言える工業的な窒素固定法であるハーバー・

ボッシュ法は、高温高圧（400–600°C、200–400 気圧）の非常に過酷な反応条件が必要なエネルギー多消費型のプロセスであり、その反応に必要な水素ガスの製造も含めると、全人類の消費エネルギー数パーセント以上がこのアンモニア合成に使用されているとの指摘もあります。それ故、より温和な反応条件下で、化学的に不活性な窒素分子をアンモニアや含窒素有機化合物へと変換する反応の開発は、持続的社会的実現のためにも、化学者が達成すべき最重要検討課題の一つであると言っても過言ではありません。

西林仁昭准教授らの研究グループ（東京大学大学院工学系研究科総合研究機構）は、PNP型ピンサー配位子（りん-窒素-りん原子の三座配位子）を有する窒素分子架橋二核モリブデン錯体を新しく分子設計・合成を行い、これを触媒として用いることで常温常圧の極めて温和な反応条件下で窒素ガスをアンモニアへと変換する反応を開発することに成功しました。大量の化石燃料を必要とするハーバー・ボッシュ法に代わる次世代型窒素固定法として、非常に単純で市販されている配位子を有するモリブデン錯体を用いて触媒的なアンモニア合成が可能になったことは大変興味深い研究成果です。この新規な窒素錯体存在下、窒素ガスを還元するのに必要な還元剤として比較的安価な有機金属化合物の一種であるコバルトセンとプロトン源とを組み合わせることで、効率的な窒素ガスからのアンモニア合成プロセスを達成しました。本法は現法のハーバー・ボッシュ法に代わり得る潜在能力の極めて高い次世代型窒素固定法であり、本法を使用することで大量の二酸化炭素の発生源である化石燃料を全く使用しない環境に極めて優しいアンモニア合成のプロセス開発とアンモニア合成プロセスにおける大幅なコストダウンの達成が大いに期待できる画期的な研究成果です。

本研究成果は、二酸化炭素排出量の大幅削減の実現を達成する可能性が有ると共に、環境的にもクリーンな「アンモニア社会」（注3）の実現をも可能にし得る重要なものであるとも言えます。

## 発表雑誌

この研究成果に関しては、2010年12月5日のNature Chemistry（ネイチャー・ケミストリー）（英国科学雑誌）のオンライン速報版で公開される予定です。

電子版：<http://www.nature.com/nchem/>

公開日：日本時間12月6日午前3時00分（英国時間12月5日午後6時00分）

タイトル：A molybdenum complex bearing PNP-type pincer ligands leads to the catalytic reduction of dinitrogen into ammonia（PNP型ピンサー配位子を有するモリブデン錯体を用いた窒素ガスからの触媒的アンモニア生成反応）

著書：Kazuya Arashiba（荒芝和也）、Yoshihiro Miyake（三宅由寛）、Yoshiaki Nishibayashi（西林仁昭）

## 問い合わせ先

東京大学大学院工学系研究科附属総合研究機構  
准教授 西林仁昭（にしばやし よしあき）

## 用語解説

### 注1 アンモニア

ハーバー・ボッシュ法によって合成されるアンモニアは地球上の約半分程度を占めている。アンモニアは、食糧と等価であるとも考えられる窒素肥料として主に使用されているので、例えるなら「人間の体の半分は工業生まれである」とも言える。

### 注2 アンモニア社会

石油や石炭などの従来の化石燃料は燃やせば二酸化炭素を発生させます。一方、次世代のエネルギー媒体として期待されている水素は水しか発生させず、地球に非常に優しいと言えるが、貯蔵・運搬が困難です。その点アンモニアは窒素と水素への分解反応で二酸化炭素を発生させずに、エネルギーを取り出すことができるだけでなく、容易に液化するので、貯蔵・運搬が極めて容易で取り扱いやすくなります。つまり、アンモニアをエネルギー媒体として利用できれば、現在問題となっている環境・エネルギー問題を一挙に解決し得ることになります。これを実現する社会は「アンモニア社会」として既に提案されている。筆者等もその実現を強く願っている。

### 注3 ハーバー・ボッシュ法

ハーバーとボッシュによって約 100 年も前に開発された窒素ガスと水素ガスとから鉄系触媒を用いたアンモニア合成の現在も使用されているプロセス。高温高圧（400-600℃、200-400 気圧）の非常に過酷な反応条件が必要なエネルギー多消費型のプロセスであり、その反応に必要な水素ガスの製造も含めると、全人類の消費エネルギー数パーセント以上がこのアンモニア合成に使用されていると言われている。

## 使用した触媒の構造及び触媒反応

以下に窒素ガスからのアンモニア合成反応に用いた窒素架橋二核モリブデン錯体触媒の構造とアンモニア合成の触媒反応式を示す。図1は触媒の構造式で、図2は触媒の単結晶X線構造解析による構造式。図3は窒素ガスからの触媒的アンモニア合成反応の式。

図1

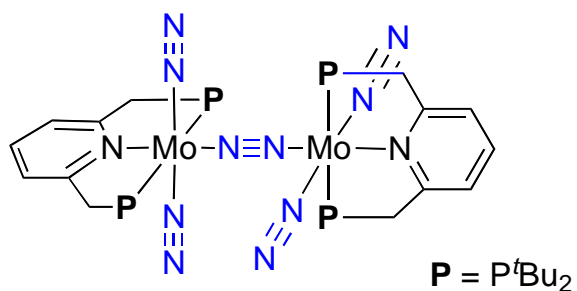


図2

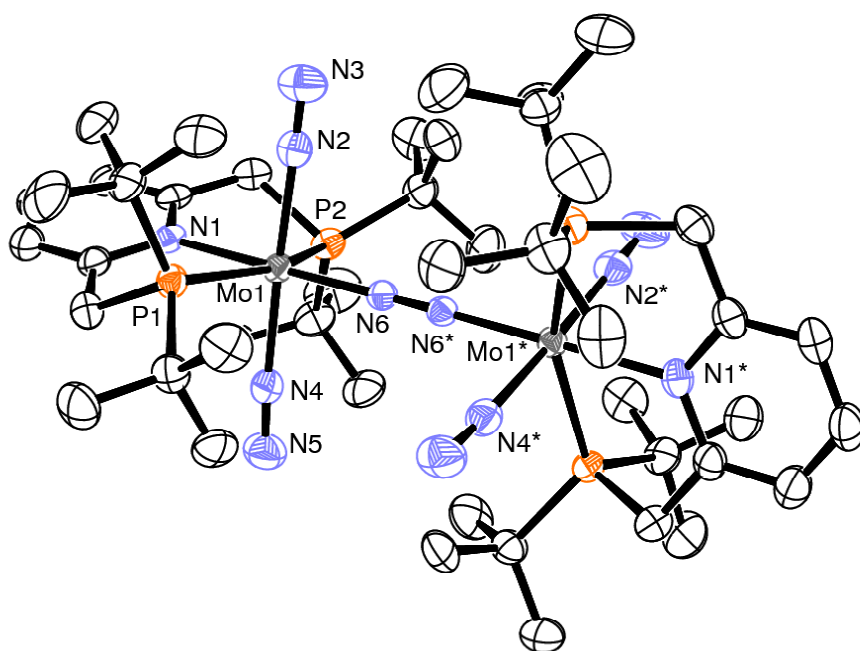


図3

