High revolution chemical motor with biocatalytic reaction

生体触媒を用いた高回転型ケミカルモーターに関する研究

Yuki MATSUURA

*Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University
2-3-10 Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0062, Japan*

Masaharu KOZUKA, Munkhjargal MUNKHBAYAR, Yuta SATO, Daishi TAKAHASHI,
Takahiro ARAKAWA, Hiroyuki KUDO and Kohji MITSUBAYASHI

*Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University
Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0062, Japan*

TEL: x81-3-5280-8091 FAX: x81-3-5280-8094 e-mail: m.bdi@tmd.ac.jp

(Received 10, February 2010 Accepted 14, April 2010)

A chemical motor was constructed by a catalase immobilized tube-pump and a micro turbine system was developed and demonstrated. The catalase tube-pump produced an active pressure of oxygen vapor at the tube-inside by applying hydrogen peroxide to the tube-outside as chemical energy, resulting in the oxygen gas flux. The micro bladed wheel of the artificial turbine was revolved by the oxygen flux from the tube-pump, thus the rotational velocity was correlated with the H_2O_2 concentration. The potential applications of the chemical motor will allow to develop some intelligent biomimetic machines.

Keywords : Chemical motor, Micro turbine system, Enzymatic reaction, Hydrogen peroxide

I. INTRODUCTION

生体内や生物には、モータータンパク質による筋肉の収縮・弛緩の動きや真正細菌の鞭毛を動かしている鞭毛モーターなどの様な高性能な運動機構が存在している。細胞内には化学エネルギーを機械的な動きに変換する分子モーターと呼ばれるものがある。この分子モーターの働きによって、細胞は変形・移動することが出来、細胞内では様々な高分子の輸送が行われている。鞭毛モーターは、化学エネルギーを機械エネルギーへと直接変換しており、人工的な運動機構と比較して非常に高いエネルギー変換効率を有している。このエネルギー変換機構を模倣・利用することで、優れた運動機構を構築できるものと考えられる。我々はこれまでに、酵素を用いた能動的な圧力発生システムを構築してきた。このシステムは生体触媒であるカタラーゼを用い、触媒反応にて生成される O_2 のガス化にて圧力を発生するものである。本研究では、生体由来の酵素であるカタラーゼを用いて H_2O_2

にて駆動するケミカルモーター用ポンプを作製し、そのポンプ上部にタービンを取り付けることで、化学エネルギーによって駆動するケミカルモーターを構築した。

II. EXPERIMENTAL SECTION

酵素タンパク質は、高い基質特異性を有し、生体内において様々な化学反応を触媒する作用が知られ、基質との触媒反応に伴い熱、光、化学物質の濃度変化等が発生することから、現在はバイオセンサの材料として用いられている。本研究で利用したカタラーゼ (catalase, EC 1.11.1.6) は酵素の中でも非常に高い触媒活性を有し、下式に示すように、 H_2O_2 を基質とし、触媒反応に伴い多量の酸素と水を生成する。

この触媒反応を用いたチューブ型ポンプの構造とその評価系を Fig. 1 に示す。能動圧力発生デバイスの圧力発生部分にはカタラーゼ固定化チューブを用いた。ケミカルモーター用ポンプの作製ではまず、カタラーゼと光架

SAS Award was given to this paper presented as Poster Presentation at the 2009 SAS Intelligent Symposium.

橋性樹脂の混合液を透析チューブの内表面に塗布し、冷蔵暗所にて 1 時間乾燥させた後、2 時間の紫外線照射により包括固定化することで、酵素固定化チューブとした。次にチューブの一端を閉塞させ、リン酸緩衝液を注入しケミカルモーター用ポンプとした。

Fig.1. Schematic diagram for a chemical motor with enzymatic reaction

特性評価では、ケミカルポンプを H_2O_2 に浸漬し、ポンプ内からの酸素吐出流量を測定した。タービンの作製ではまず、PET シートからファンの平面パターンを切り出し、シャフトと軸受を取り付けることでタービンとした。最後にケミカルポンプとタービンを組み合わせたケミカルモーターを構築し、回転の様子をカメラで動画撮影することで H_2O_2 濃度に対するケミカルモーターの回転特性を評価した。

III. RESULTS AND DISCUSSION

H_2O_2 溶液の滴下に伴い、カタラーゼ固定化チューブ内部において触媒反応に伴う酸素の生成が観察された。これはビーカー内の H_2O_2 溶液がチューブを透過して、カタラーゼ固定化面で多量の酸素が発生し、チューブ内の体積増加を導いたと考えられる。ケミカルモーター用ポンプの評価として、 H_2O_2 濃度 93.44 mmol/l にて酸素吐出流量を計測したところ流量の増加が確認された (Fig. 2)。また、作製したケミカルポンプは、計測後にリン酸緩衝液にて洗浄することで、再現性よく酸素を生成することができ、連続的な使用が可能であることが確認された。

次に、ケミカルモーター用のタービンを CO_2 レーザマーカを用いて作製した。作製したタービンの回転数はエアチャージャーの流速に高い相関を示した。これらの要素を組み合わせたケミカルモーターを H_2O_2 に浸漬させると、カタラーゼの触媒反応に伴う圧力増加によりファンの回転が観察された。ハイスピードカメラでの撮影画像

よりタービンの回転数を求め、 H_2O_2 濃度と回転数に高い相関が確認された。各 H_2O_2 濃度に応じた回転数の上昇が確認された。2 mol/l の H_2O_2 溶液に対し、約 1000 rpm の回転速度でタービンの回転が確認された。以上の結果から、電力や機械を必要としない、化学エネルギーにて駆動し、回転数を制御できる人工化学モーターを構築した。

Fig.2. Typical responses of flow rate of the chemical motor to H_2O_2 concentration of 93.44 mmol/l.

IV. CONCLUSION

生体認識材料である酵素を用い、 H_2O_2 の化学エネルギーを直接動力源とする新しい人工化学モーターを開発した。生体由来の酵素であるカタラーゼを用いて H_2O_2 にて駆動するケミカルモーター用ポンプを作製し、そのポンプ上部にタービンを取り付けることで、化学エネルギーによって駆動するケミカルモーターを構築した。

ACKNOWLEDGEMENTS

本稿にて紹介した研究の一部は、文部科学省特別教育研究経費「センシングバイオロジーにおける基盤技術の戦略的推進事業」、及び、日本学術振興会科学研究費補助金の助成による。

REFERENCES

- ¹ K. Mitsubayashi, T. Ohgoshi, T. Okamoto, Y. Wakabayashi, M. Kozuka, K. Miyajima, H. Saito, H. Kudo, Biosens. Bioelectron., 24, 1518(2009).
- ² T. T. Sand, J. E. Zielinski, C. Arthur, D. Bradley, S. Wie, Biosens. Bioelectron. 18, 797(2003).