

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22880007

研究課題名（和文）

難分解性有機性廃棄物の光触媒処理による高効率バイオガス生産システムの構築

研究課題名（英文）

Development of high efficiency biogas production system on persistent organic waste by photocatalytic treatment

研究代表者

楊 英男 (YANG YINGNAN)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：50561007

研究成果の概要（和文）：本研究は難分解性有機系廃棄物の光触媒処理による高効率バイオガス生産システムの構築を目的にする。廃水処理中の活性汚泥をモデル難分解性廃棄物として用い光触媒処理検討の結果、8時間で50%以上の大変優れた分解率が得られた。さらに、処理された活性汚泥を発酵原料として、水素発酵を行った結果、光触媒処理しないケースに比べ、水素の生産率は17倍も上がったことが明らかになった。難分解性有機性廃棄物の光触媒処理による環境浄化技術と微生物を利用した環境修復・改善・浄化技術を融合することによって相乗効果を発揮させ、高効率低負荷環境浄化・エネルギー生産システムの構築することは社会的インパクトも大きい。

研究成果の概要（英文）：This research is aimed at development of high efficiency biogas production system on persistent organic waste by photocatalytic treatment.

The activated sludge as the model persistent organic waste was treated under the optimum photocatalytic conditions, very outstanding decomposition rate which more than 50% was obtained in 8 hours. Furthermore, as a result of performing hydrogen fermentation by using the processed activated sludge as fermentation materials, compared with the case which does not carry out photocatalytic treatment, it became clear that the rate of output of hydrogen increased 17 times.

Combining the treatment of persistent organic waste by photocatalytic technology and bioremediation, a synergistic effect on development of high efficiency and low environmental load bioenergy production system could be feasible and demonstrating a large social impact.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成22年度	1,220,000	366,000	1,586,000
平成23年度	1,120,000	336,000	1,456,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,340,000	702,000	3,042,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：環境農学

キーワード：光触媒、難分解性、有機性廃棄物、水素・メタン発酵、バイオガス生産システム

## 1. 研究開始当初の背景

(1) バイオマス（生物資源）は、再生可能な有機物で、環境浄化温暖化軽減機能を有しており、環境調和型のエネルギー資源として大量導入が提唱されている。平成14年12月の閣議決定では、「バイオマス・ニッポン総合戦略」が定められ、地球温暖化ガス排出削減・循環型社会形成という観点から、開発・導入への達成すべき具体的な目標値も設定されるなど、その最大限の利活用を図ることが求められている。資源量からは、木質系バイオマスの利用が重要であるが、現時点では日本の木質系資源の存在形態や経済性の面から、廃棄物系のバイオマスの利活用が進められている。廃棄物系バイオマスは、水分含量の高いものが多く、エネルギー回収及再資源化技術としてはメタン醗酵が有望である。メタン醗酵は、微生物を利用し畜産廃棄物、有機性汚泥などの廃棄物系バイオマスからバイオガスを生産する技術として知られているが、分解率が低く反応が遅いことから適用例が限られ、年間1億トン強の有機性廃棄物が有効に再資源化されないまま焼却や埋立てなどに処理されている。このため、これら含水率の高い有機性廃棄物の有効な利用対策として、メタン醗酵における分解速度の向上、エネルギー回収率の向上や処理可能廃棄物種の拡大、残渣の低減化が課題となっている。

メタン醗酵を用いると、生ごみでは比較的有機物分解率が高いが、廃水処理汚泥や家畜排泄物では半分程度と低い。廃水処理汚泥を中心として、ガス化率を向上させる前処理技術が研究されている。ノルウェーでは、下水汚泥の水熱可溶化前処理が実用化されている。下水汚泥に150～200℃の蒸気を吹き込む、汚泥の細胞構造を破壊して分解させ

る技術である。物理化学的な方法としては、オゾン処理が研究されている。生物的な処理としては、汚泥の好熱菌による処理の研究が進められている。しかしながら、このような前処理技術は大量のエネルギー投入や特殊な装置の整備、または処理時間長いのが現状である。省エネルギー、低コストかつ高速処理システムの確立が課題となっている。

(2) 一方、光触媒が太陽光など自然光の照射により強い酸化力を生じ、環境ホルモン、細菌、バイオフィーム、有毒排気ガス、残留農薬など、環境中に存在する様々な有害物を分解・除去できることを確認されている。さらに、その分解機構の解明、分解効果の評価法も確立されている。これらの知見は、難分解性有機系廃棄物の分解に使用できることを示唆しており、難分解性有機系廃棄物の光触媒処理方法の確立による高効率バイオガス生産システムの構築が可能であるとの仮説が本研究の着想に至った。

## 2. 研究の目的

有機性廃棄物の有効な利用対策として、メタン醗酵における分解速度の向上、エネルギー回収率の向上や処理可能廃棄物種の拡大、残渣の低減化が課題となっている。

本研究は難分解性有機系廃棄物の光触媒処理による高効率バイオガス生産システムの構築を目的にする。光触媒による環境浄化技術と微生物を利用した環境修復・改善・浄化技術を融合することによって相乗効果を発揮させ、高効率低負荷環境浄化・エネルギー生産システムの構築することは社会的インパクトも大きい。

## 3. 研究の方法

(1) 平成22年度

- ①光触媒分解装置の開発
- ②光触媒分解装置を用いた分解効果の検討
- ③水素・メタン醗酵の効率化及びバイオエンジニアリング研究

(2) 平成 23 年度

平成 22 年度に確立された各々の技術をもとに、検証実験を行う。

- ①水素・メタン二段醗酵の検証実験
- ②トータルシステムにおける研究開発

4. 研究成果

廃水処理中の活性汚泥をモデル難分解性廃棄物として用い光触媒処理検討の結果、8 時間で50%以上の大変優れた分解率が得られた。さらに、処理された活性汚泥を醗酵原料として、水素醗酵を行った結果、光触媒処理しないケースに比べ、水素の生産率は17倍も上がったことが明らかになった。目標である有機物分解率の向上 (90%以上)、システム全体のエネルギー回収率は実規模で65%以上(熱量換算)に改善されることが実現可能になった。

難分解性有機性廃棄物の光触媒処理による環境浄化技術と微生物を利用した環境修復・改善・浄化技術を融合することによって相乗効果を発揮させ、高効率低負荷環境浄化・エネルギー生産システムの構築することは社会的インパクトも大きい。今後は、異なった難分解性廃棄物の処理効果を検討し、光触媒処理方法を幅広い廃棄物の応用、システム全体のエネルギー収支などの解析、実用化のための設計データが得られる。そして、バイオエネルギー生産システム全体のシミュレーションによる生産性試算等を行い、本研究開発システムのエネルギー効率、経済、環境への影響などの総合評価を行うことによって、難分

解性有機系廃棄物の光触媒処理による高効率バイオガス生産システムを構築し、高効率低負荷環境浄化・エネルギー生産システムの推進を進めていきたいと考えている。

それらの研究結果として、原著論文 6 編と学会発表 9 回、うち招待講演 1 回を成果として収めた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Wang, Q., Yang, Y. N.\*, Li D., Feng, C., Zhang, Z. Y.: Treatment of ammonium-rich swine waste in modified porphyritic andesite fixed-bed anaerobic bioreactor. *Bioresource Technology*. 111, 70-75 (2012) 「査読あり」
- ② Kim, M., Yang, Y. N.\*, Morikawa, M., Wang, Q., Lee, M.V., Lee, D.Y., Feng, C., Zhou, Y., Zhang, Z. Y., Hydrogen production by anaerobic co-digestion of rice straw and sewage sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37, 3142-3139 (2012) 「査読あり」
- ③ Miyashiro, T., Wang, Q., Yang, Y. N., Shimizu, K., Sugiura, N., Matsui, S.: Highly-efficient Anaerobic Digestion of Refractory Organic Waste Using Subcritical Water Hydrolysis as Pretreatment Process. *Japanese Journal of Water Treatment Biology*. 48 (1), 23-27 (2012). 「査読あり」
- ④ Yang, Y. N.\*, Tsukahara, K., Yang, R. Y., Zhang, Z. Y., Sawayama, S.: Enhancement on biodegradation and anaerobic digestion efficiency of activated sludge using a dual irradiation process. *Bioresource Technology*. 102, 10767-10771 (2011) 「査読あり」
- ⑤ Yang, Y. N.\*, Zhang, Z. Y., Zhao, R., Sugiura, N.: Development of a

High-Efficiency Methane Fermentation Process for Hardly Degradable Rice Straw. *Journal of integrated field science*. 8, 61-71 (2011). 「査読あり」

- ⑥ Wang, Q., Yang, Y. N.\*, Yu, C., Huang, H., Kim, M., Feng, C., Zhang, Z. Y.: Study on a fixed zeolite bioreactor for anaerobic digestion of ammonium-rich swine wastes. *Bioresource Technology*. 102, 7064-7068 (2011) 「査読あり」

[学会発表] (計 9 件)

- ① Kim, M., Matsuo, S., Yang, Y. N., Zhang, Z. Y.: Two-stage Anaerobic Co-digestion of Sewage Sludge and Rice Straw for the Sequential Production of Hydrogen and Methane, The 4th Energy and Environmental Workshop, National Taiwan University, Taiwan. 29-30, March, 2012.
- ② Liu, C., Yang, Y. N., Wang, Q., Zhu, Q., Zhao, Y., Chen, J., Zhang, Z. Y.: Waste Activated Sludge Pretreatment By TiO<sub>2</sub> Photocatalysis, The 4th Energy and Environmental Workshop, National Taiwan University, Taiwan. 29-30, March, 2012.
- ③ Wang, Q., Yang, Y. N., Li, D. W., Feng, C., Zhang, Z. Y.: Application of Ca-modified porphyritic andesite for ammonium removal in anaerobic digestion process, International Symposium on Agriculture Education for Sustainable Development, Tsukuba, Japan. 7-11, November, 2011.
- ④ Lu, W., Li, D., Yang, Y. N.: Study on Enhancing Hydrolysis of Organic Waste by TiO<sub>2</sub> Photocatalysis, International Symposium on Agriculture Education for Sustainable Development, Tsukuba, Japan. 7-11, November, 2011.
- ⑤ Kim, M., Yang, Y. N., Matsuo, S., Zhang, Z.

Y.: Two-phase hydrogen and methane production by co-digestion of rice straw and sewage sludge under thermophilic condition, International Symposium on Agriculture Education for Sustainable Development, Tsukuba, Japan. 7-11, November, 2011.

- ⑥ Li, D.W., Yang, Y. N., Jiang, W.Z., Zhang, Z. Y.: Enhancing hydrolysis of macromolecular components of waste activated sludge by UV-TiO<sub>2</sub> photocatalysis, 4th Japan-China Graduate Student Forum-Life, Environment and Resource, Beijing, China. 24-27, September, 2011.
- ⑦ Liu, C.G., Yang, Y. N., Li, D.W., Zhao, Y. X., Wang, Q., Chen, J., Zhang, Z. Y.: A semi-continue photocatalysis process using titanium dioxide nanoparticles for degradation of raw activated sludge, 4th Japan-China Graduate Student Forum-Life, Environment and Resource, Beijing, China. 24-27, September, 2011.
- ⑧ Yang, Y. N., Zhang, Z. Y., Sugiura, N.: High Efficiency Bioenergy Conversion and Useful Material Production. Workshop of Environmental Sciences of Academic Communication of University Tsukuba and Zhengzhou University in 2011, Zhengzhou, China. July 28-29, 2011.
- ⑨ Yang, Y. N., Zhang, Z. Y., Sugiura, N.: Comparison of Methanogenic Carrier Materials and Immobilization Method in Anaerobic Bioreactors. Asia Congress on Biotechnology 2011, Shanghai, China. May 11-15, 2011.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

楊 英男 (YANG YINGNAN )

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号 : 50561007