

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02861

研究課題名(和文) 成長促進細菌を利用した高生産性・高CO<sub>2</sub>削減性ウキクサバイオリファイナーの開発研究課題名(英文) Enhancing of duckweed biomass productivity by plant growth-promoting bacteria (PGPB) for high efficient biorefinery and CO<sub>2</sub> reduction

研究代表者

遠山 忠 (TOYAMA, Tadashi)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：60431392

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,700,000円

研究成果の概要(和文)：水生植物ウキクサはデンプンを蓄積する新たなバイオ燃料植物資源として期待されている。本研究では、ウキクサの増殖を2倍以上促進する植物成長促進細菌(PGPB)を数多く分離することに成功し、その増殖促進作用機構の一部を解明することができた。さらに、実排水を用いたウキクサ培養実証試験において、PGPBを利用したウキクサ培養によって、ウキクサのバイオマス生産性を2倍以上高めることに成功した。また、そのバイオマスからエタノールとメタンなどの燃料を効率的に生産することにも成功した。これらの結果から、PGPBを利用したウキクサ培養は、ウキクサバイオリファイナーによる燃料生産の効率を高められることが示された。

研究成果の概要(英文)：Duckweed is recognized as alternative feedstock for production of biofuels. In this study, many types of plant growth-promoting bacteria (PGPB) which can increase duckweed growth rate were isolated, and their mechanisms involved in duckweed growth promotion were clarified. PGPB-duckweed cultivation reactors using effluent of a sewage treatment plant produced efficiently duckweed biomass. The biomass production rate was 2-3 times higher than that of normal duckweed cultivation without PGPB. The duckweed biomass showed high ethanol and methane production potentials. The results demonstrate that the use of PGPB in duckweed cultivation can improve the efficiency of duckweed biomass refinery to produce biofuels (ethanol and methane).

研究分野：環境工学

キーワード：バイオマス利活用 バイオリファイナー ウキクサ デンプンバイオマス

## 1. 研究開始当初の背景

化石燃料依存から脱却した持続可能な循環型社会を実現するため、再生可能な植物バイオマスからの燃料・化成品生産（バイオリファイナリー）が注目されている。これまではトウモロコシ、サトウキビやコムギなどがバイオマス作物として利用されてきた。しかし、これらのバイオマス生産は食糧生産との競合、耕作地の限界と森林の開墾、灌漑や施肥へのエネルギー投入などの観点から、真に持続可能な資源とは言えなかった。こうした中、食糧生産と競合することなく大量の収穫量が見込める水系でのバイオマス生産に大きな期待が寄せられている。

水生植物や微細藻類は水中の窒素やリンを吸収して光合成によってバイオマスを生産するため、窒素・リンなどを含む排水が常に供給される排水処理施設でのバイオマス生産が可能である。一方、排水処理の面からみれば、水生植物や微細藻類が窒素やリンを吸収してくれるため、その除去コストが抑えられる。このような水系でのバイオマス生産は、高い経済性と持続可能性を有するバイオリファイナリーと水質浄化の Co-benefit が期待できる。本研究では、水系でのバイオマス生産として、小型浮遊植物のウキクサに着目し、ウキクサバイオリファイナリーの可能性を検討することにした。

ウキクサバイオリファイナリーの実現には、効率的なウキクサ栽培の基盤技術を強化することが最重要ポイントである。具体的には、ウキクサのバイオマス生産性を高める技術が鍵となる。植物の機能やバイオマス収量を向上させる手段として遺伝子組み換えや育種などがあるが、本研究では植物成長促進細菌（Plant Growth-Promoting Bacteria: PGPB）の利用に着目した。植物は一部の微生物と密接な共生関係を築いて生育しており、植物の成長や代謝はそれらの影響を強く受けることが知られている。その微生物の一種が PGPB である。陸作物の PGPB を農作物増産に利用することの実績は報告されているものの、ウキクサなどの水生植物の PGPB の研究はほとんどなく、その開拓と利用技術の開発が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究は、ウキクサの成長速度を促進する PGPB の基礎と利用技術を開拓し、それをウキクサ栽培と組合せて、高効率なデンプンバイオマス生産システムを開発することを目的としている。具体的には、次の4つの検討を行った。

(1) ウキクサ PGPB の探索と特徴づけ

(2) ウキクサ PGPB の成長促進効果の定量的評価

(3) ウキクサ PGPB の成長促進作用のメカニズム解明

(4) PGPB 利用型ウキクサ栽培システムによるウキクサバイオマス生産の実証試験とそ

の評価

## 3. 研究の方法

(1) ウキクサ PGPB の探索と特徴づけ

無菌化した *Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor*, *Lemna gibba*, *Landoltia punctata*, *Wolffia arrhiza* の5種類のウキクサを環境水や下水二次処理水で培養した後、それぞれのウキクサに共生している細菌を分離した。ウキクサ共生細菌の分離培養には、R2A 寒天培地を用いた。分離した細菌株の 16S rRNA 遺伝子配列を解読し、その系統分類学的特徴を調べた。

(2) ウキクサ PGPB の成長促進効果の定量的評価

分離したウキクサ共生細菌を分離源のウキクサ種（宿主）に接種して共培養した。その共生細菌接種ウキクサと無菌ウキクサの生育（乾燥重量とクロロフィル含有量）を分離菌株なしの無菌ウキクサ培養（コントロール）と比較して分離菌株の成長促進効果を定量的に評価した。

(3) ウキクサ PGPB の成長促進作用のメカニズム解明

PGPB を接種してウキクサを培養し、ウキクサの個体数、乾燥重量、光合成活性、クロロフィル含有量、炭素含有量、窒素含有量、デンプン含有量、タンパク含有量の変化を測定し、それらのウキクサの生理・生化学的パラメータを無菌ウキクサ（PGPB 接種なし）と比較した。さらに、PGPB を接種したウキクサと無菌ウキクサの RNA を抽出し、遺伝子発現解析（トランスクリプトーム解析）を行った。これらを総合的に解釈し、PGPB がウキクサの成長を促進する作用のメカニズムを推定した。また、PGPB を宿主以外のウキクサに接種して培養し、PGPB の宿主特異性についても検討した。

(4) PGPB 利用型ウキクサ栽培システムによるウキクサバイオマス生産の実証試験とその評価

*S. polyrhiza*, *L. minor*, *L. gibba*, *L. punctata* の4種類のウキクサを下水二次処理水、養豚廃水二次処理水、し尿嫌気性消化脱離液などの種々の排水でそれぞれ培養し、バイオマス生産量（乾燥重量）を調べた。さらに、収穫したバイオマスのバイオリファイナリー原料価値として、エタノール生産並びにメタン生産への適用性を評価した。ウキクサバイオマスを熱水処理（121°C, 20min）した後、酵素（ $\alpha$ -アミラーゼとグルコアミラーゼ）と酵母を用いて同時糖化・発酵することによってエタノール生産量を調べた。一方、ウキクサバイオマスを嫌気性消化汚泥に投入することによってメタン生産量を調べた。

また、ウキクサを PGPB 株懸濁液で3日間前培養し、PGPB の増殖促進効果を十分に発現させたウキクサを PGPB ウキクサとした。

その PGPB ウキクサを下水二次処理水、畜産排水処理水あるいは嫌気性消化脱離液に浮かべてバイオマス生産を行い、通常のウキクサを用いた試験と比較して PGPB の効果を評価した。この試験はラボスケールで行い、栽培液や排水量は 1-20L の範囲で変化させ、人工気象室 (28°C、16 時間・明/8 時間・暗条件) で実施した。

さらに、下水二次処理水 100L を投入したパイロットスケールのウキクサ培養槽を準備し、その培養槽に PGPB ウキクサを投入してバイオマス生産を行った。通常のウキクサを用いた試験と比較し、PGPB の効果を評価した。この実証実験は屋外の温室、温度と照度をコントロールせず、雨水影響を排除し、PGPB の系外への流出を防いだできるだけ自然環境条件で春季 (3 月) 夏季 (9 月) と冬季 (12 月※温度を 15°C 以上に設定) に実施した。

#### 4. 研究成果

##### (1) ウキクサ PGPB の探索と特徴づけ

ウキクサの共生細菌の分離を試みたところ、*S. polyrhiza* に共生する細菌を 101 株、*L. minor* に共生する細菌を 82 株、*L. gibba* に共生する細菌を 88 株、*L. punctata* に共生する細菌を 64 株、*W. arrhiza* に共生する細菌を 36 株分離し、合計 371 株のウキクサ共生細菌を分離することに成功した。そのうちの 52% が  $\alpha$ -Proteobacteria 網細菌 (*Caulobacter* 属細菌、*Ensifer* 属細菌、*Sinorhizobium* 属細菌、*Rhizobium* 細菌、*Novosphingobium* 属細菌、*Sphingomonas* 細菌など)、36% が  $\beta$ -Proteobacteria 網細菌 (*Hydrogenophaga* 細菌、*Rhodoferrax* 属細菌、*Methylophilus* 属細菌など)、9% が  $\gamma$ -Proteobacteria 網細菌 (*Pseudomonas* 属細菌や *Shinella* 属細菌など) であった。これらの結果から、Proteobacteria 細菌 (特に、 $\alpha$ -Proteobacteria 網細菌) がウキクサと共生しやすく、ウキクサ共生細菌群集の中心的メンバーであることが示唆された。

##### (2) ウキクサ PGPB の成長促進効果の定量的評価

分離した 371 株のウキクサ共生細菌の宿主ウキクサに対する成長促進効果を定量的に評価したところ、321 株 (86.5%) の共生細菌が宿主ウキクサの成長を促進させた。一方、28 株 (7.5%) は宿主ウキクサの生育に影響を及ぼさず、22 株 (5.9%) は宿主ウキクサの成長を阻害する細菌であった。この結果から、ウキクサに共生する細菌のほとんどが宿主の成長を促進する PGPB であることが示唆された。すなわち、ウキクサはその増殖過程において、自身の成長を促進する細菌を共生させていることが推測された。一方、ウキクサ共生細菌群集の中には宿主の生育を阻害する細菌も僅かながら存在することが示唆された。

また、それらのウキクサ PGPB の中から、

宿主ウキクサの成長を 2 倍以上促進する優秀な PGPB (*Sinorhizobium* sp. SP4 株、*Xanthobacter* sp. SPR1 株、*Starkeya* sp. SPE6 株、*Pelomonas* sp. SPE11 株、*Shinella* sp. SASP1 株、*Ensifer* sp. LDSP16 株、*Curvibacter* sp. NDSP4 株、 $\beta$  Proteobacteria 細菌 SALM5 株、*Porphyrobacter* sp. SALM10 株、*Roseomonas* sp. SALM13 株、*Hydrogenophaga* sp. SALM15 株、*Sphingomonas* sp. LDLM4 株、*Sphingomonas* sp. NDLP5 株、*Hyphomicrobium* sp. NDLP16 株、*Rhodoferrax* sp. NDLP7 株、*Sphingomonas* sp. NDLP8 株、*Ensifer* sp. NDLP10 株、*Rhizobium* sp. SAWA7 株、*Brevndimonas* sp. SAWA10 株など) を 45 株探索することに成功した。これらはウキクサの高効率なバイオマス生産栽培システムに利用できる価値ある PGPB といえる。

##### (3) ウキクサ PGPB の成長促進作用のメカニズム解明

ウキクサと PGPB (*Sinorhizobium* sp. SP4) を共培養したところ、PGPB を接種した 1 日後からウキクサのクロロフィル含有量と光合成速度が上昇した。ウキクサの光合成活性が高まった 3 日以降からウキクサの分裂とバイオマス生産が促進した (図 1)。この結果から、PGPB によってはじめにウキクサの光合成・カルビンサイクルが促進し、その後ウキクサのバイオマス生産が促進することが明らかとなった。

また、PGPB を接種することにより、ウキクサバイオマス中の炭素含有量とデンプン含有量に大差は見られなかったが、窒素含有量とタンパク含有量が 2 倍以上増加した (図 2)。このことから、PGPB が生成する窒素化合物がウキクサに吸収され、その窒素を使ってウキクサがタンパクを合成し、これがクロロフィル含有量の増加と光合成やバイオマス合成などの代謝系を促進したものと推測された。

PGPB を接種したウキクサの遺伝子発現を調べたところ、窒素同化・代謝系、クロロフィル合成経路とカルビンサイクルの遺伝子の一部の発現が高まっており、上記のウキクサの生理・生化学的パラメータと表現型の変化を裏付けられた。

これらの総合的に解釈すると、以下のようなメカニズムが働いていると推測できた。ウキクサに共生した PGPB は窒素化合物を合成し、ウキクサはその窒素化合物を吸収してクロロフィル合成経路や光合成をはじめとする各種代謝系を促進し、最終的にバイオマス生産速度が高められる。

PGPB の宿主特異性を調べたところ、PGPB は分離源である宿主以外のウキクサ種に対しても増殖促進効果を発揮した。このことから、PGPB が持つ増殖促進効果は広く作用し、様々な種類のウキクサ培養システムへの汎用性が高いと考えられた。

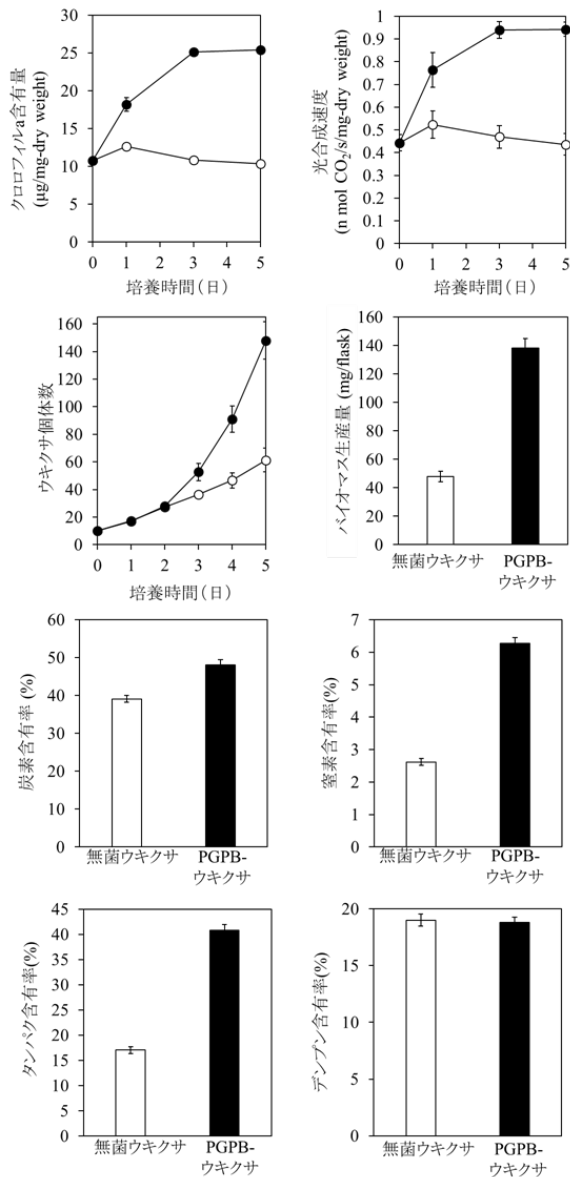


図1. PGPB 接種ウキクサと無菌ウキクサの5日間培養中の生理・生化学的パラメータの変化と5日間培養後のバイオマス生産量、バイオマス組成の違い

(4) PGPB 利用型ウキクサ栽培システムによるウキクサバイオマス生産の実証試験とその評価

下水二次処理水、養豚廃水二次処理水、し尿嫌気性消化脱離液を用いてウキクサを栽培したところ、4種類のウキクサは排水から窒素を効果的に吸収しながらバイオマスを生産した。この調査の範囲では、ウキクサ種の中でも *S. polyrhiza* が比較的高いバイオマス生産速度を示し、その単位栽培水バイオマス生産速度の最高値は、70.4 g dry-weight/m<sup>3</sup>/day となった。ウキクサの生育水温は14℃以上であるが、冬季においても排水熱（一般的な下水処理場の下水熱は年間15～30℃）を利用すれば、ウキクサ栽培による年間を通じたバイオマス生産も期待できる。*S. polyrhiza* を水深0.5mの栽培槽で通年栽培したとき、その単位面積当たりのバイオマス

生産速度は最大で128.5 ton dry weight/ha/yearと推定された。この *S. polyrhiza* バイオマス生産速度は、陸生植物よりも高く、微細藻類に比べても著しく劣るものではない（図2）。

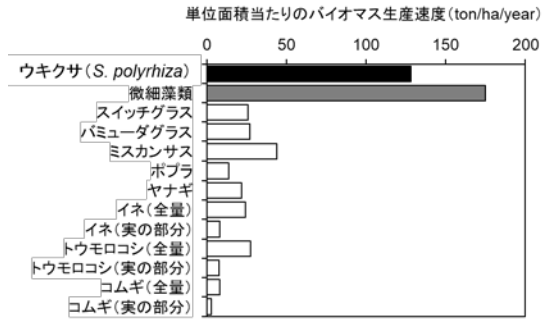


図2 単位面積当たりの植物バイオマス生産速度の比較<sup>1,2)</sup> ウキクサのバイオマス生産速度は、水深0.5mの培養槽で通年栽培したと仮定したときの推算値。

さらに、ウキクサバイオマスのエタノール生産とメタン生産への適用性を評価した。ウキクサバイオマスを熱水処理と同時に糖化・発酵することによって、収率0.165–0.191 g-ethanol/g-biomass でエタノールが生産された。また、ウキクサバイオマスを嫌気性消化汚泥に投入することによって、収率334–413 NL CH<sub>4</sub>/kg VS でメタンが生産された。ウキクサのエタノールおよびメタン生産ポテンシャルは他のエネルギー作物や微細藻類ともほぼ同等であった（表1、2）。

以上の結果から、ウキクサは、現在廃棄物として扱われている排水を用いた栽培で高いバイオマス生産速度を示し、エタノールやメタンなどのバイオ燃料生産に適した原料を生産することができることが実証された。すなわち、排水を利用したウキクサ栽培とウキクサバイオリファイナリーの実現可能性が示されたといえる。

表1 ウキクサバイオマスと他のバイオマスのエタノール生産ポテンシャルの比較

| 植物バイオマス   | 処理内容            | 収率 (g-ethanol/g-biomass)                                 | 文献 |
|---|-----------------|--|----|
| サトウキビ残渣   | スチーム処理→糖化→発酵    | 0.18   | 3) |
| 微細藻類<br><i>Chlorella vulgaris</i>   | 硫酸による加水分解→糖化→発酵 | 0.233  | 4) |
| ウキクサ<br><i>Spirodela polyrhiza</i><br><i>Lenno minor</i><br><i>Lenno gibba</i><br><i>Landoltia punctata</i> | 熱水処理→同時糖化発酵     | 0.168-0.191<br>0.166-0.172<br>0.165-0.172<br>0.174-0.191 | 5) |

表2 ウキクサバイオマスと他のバイオマスのメタン生産ポテンシャルの比較

| 植物バイオマス   | 処理内容        | 収率 (NLCH <sub>4</sub> /kg VS)            | 文献 |
|---|-------------|--|----|
| テンサイ  | 嫌気性消化 (35℃) | 374.9                                    | 6) |
| 微細藻類<br><i>Chlorella vulgaris</i>   | 嫌気性消化 (35℃) | 361                                      | 7) |
| ウキクサ<br><i>Spirodela polyrhiza</i><br><i>Lenno minor</i><br><i>Lenno gibba</i><br><i>Landoltia punctata</i> | 嫌気性消化 (38℃) | 340-413<br>334-375<br>334-370<br>343-408 | 5) |

続いて、PGPB 利用型ウキクサ栽培について検討した。PGPB と共培養したウキクサ (PGPB ウキクサ) は、窒素濃度が異なる幅

広い合成排水および、土着細菌が含まれる種々の実排水（下水二次処理水、畜産排水処理水、し尿嫌気性消化脱離液）を用いた栽培実証試験において、いずれの場合も PGPB なしのウキクサ栽培に比べてバイオマス生産速度が2倍以上に達した。さらに、屋外温室にパイロットスケールの PGPB 共生ウキクサ栽培槽を設置し、実下水二次処理水 100L を用いた試験においても、PGPB によってウキクサのバイオマス生産速度が通常ウキクサ（PGPB なし）に比べて2-3倍高まることを実証した（図3）。この PGPB による効果は春季、夏季と冬季に共通に見られた。また、このように高い速度で生産された PGPB ウキクサのエタノールとメタン生産ポテンシャルも前述と同等の値を示した。

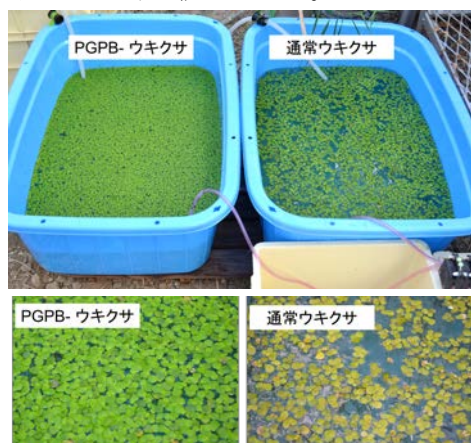


図 3. PGPB-ウキクサと通常ウキクサ培養槽（下水二次処理水 100L）でのウキクサバイオマス生産の様子

以上の検討を総合的に解釈した結果、PGPB によって単位排水あたり、単位培養槽面積あたりのウキクサバイオマス生産の生産速度が2倍以上高まり、そのウキクサバイオマスによって効率的にエタノールやメタンなどの燃料が生産できることが実証された。これらの燃料を化石燃料代替として利用することによって、CO<sub>2</sub>排出削減が期待できるといえる。

#### <引用文献>

- ① United States Department of Agriculture (2011): National Agricultural Statistics Service.
- ② C. Martín, et al., Ethanol production from enzymatic hydrolysates of sugarcane bagasse using recombinant xylose-utilising *Saccharomyces cerevisiae*, *Enzyme Microb. Technol.*, 2002, 31, 274-282.
- ③ T. Toyama, et al., Comprehensive evaluation of nitrogen removal rate and biomass, ethanol, and methane production yields by combination of four major duckweeds and three types of wastewater effluent, *Bioresour. Technol.*, 2018, 250,

464-473.

- ④ S.-H. Ho, et al., Bioethanol production using carbohydrate-rich microalgae biomass as feedstock, *Bioresour. Technol.*, 2013, 135, 191-198.
- ⑤ C. Herrmann, et al., Biogas crops grown in energy crop rotations: Linking chemical composition and methane production characteristics, *Bioresour. Technol.*, 2016, 206, 23-35.
- ⑥ J.-C. Frigon, et al., Screening microalgae strains for their productivity in methane following anaerobic digestion, *Appl. Energy*, 2013, 108, 100-107.

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計8件）

- ① 遠山忠、排水処理施設でのウキクサバイオマス生産とバイオ燃料生産、*アグリバイオ*、2018、vol. 2、605-609、URL: <http://www.hokuryukan-ns.co.jp/magazines/agri.html>（査読なし）
- ② 遠山忠、田中靖浩、森一博、植物マイクロバイオーームとその利用、*化学工業*、2018、vol. 69, No. 3, 14-18、URL: <http://www.kako-sha.co.jp/>（査読なし）
- ③ 遠山忠、マイクロバイオーームを活用した植物・微細藻類バイオマス生産、*アグリバイオ*、2018、vol. 2、73-75、URL: <http://www.hokuryukan-ns.co.jp/magazines/agri.html>（査読なし）
- ④ T. Toyama, T. Hanaoka, Y. Tanaka, M. Morikawa, K. Mori, Comprehensive evaluation of nitrogen removal rate and biomass, ethanol, and methane production yields by combination of four major duckweeds and three types of wastewater effluent, *Bioresour. Technol.*, 2017, vol. 250, 464-473, DOI: 10.1016/j.biortech.2017.11.054（査読有）
- ⑤ T. Toyama, M. Kuroda, Y. Ogata, Y. Hachiya, A. Quach, K. Tokura, Y. Tanaka, K. Mori, M. Morikawa and M. Ike, Enhanced biomass production of duckweeds by inoculating a plant growth-promoting bacterium, *Acinetobacter calcoaceticus* P23, in sterile medium and non-sterile environmental waters, *Water Science and Technology*, 2017, vol. 76, 1418-1428, DOI: 10.2166/wst.2017.296（査読有）
- ⑥ 遠山忠、森一博、排水処理プロセスにおけるウキクサバイオリファイナー、*アグリバイオ*、2017、vol. 1、1306-1310、URL: <http://www.hokuryukan-ns.co.jp/magazines/agri.html>（査読なし）
- ⑦ 遠山忠、植物のマイクロバイオーームとプロバイオティクス、*生物工学会誌*、2017、vol. 95、401、URL:



[https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/files/sbj/9507/9507\\_biomed\\_1.pdf](https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/files/sbj/9507/9507_biomed_1.pdf) (査読なし)

- ⑧ 遠山忠、森一博、池道彦、森川正章、汚水を用いたウキクサバイオマス生産とバイオリファイナーへの応用、バイオサイエンスとインダストリー、2016、vol. 74、203-207、URL: [https://www.jba.or.jp/link\\_file/backnumber/2016\\_74.pdf](https://www.jba.or.jp/link_file/backnumber/2016_74.pdf) (査読なし)

[学会発表] (計 17 件)

- ① 高木航平、遠山忠、田中靖浩、森一博、宿主ウキクサの成長を促進する共生細菌の特徴、第 52 回日本水環境学会年会、2018.3.15-17
- ② 遠山忠、成長促進細菌を利用した植物バイオマスの生産、日本水処理生物学会第 54 回大会、2017.11.8
- ③ 高木航平、田中亮伍、森一博、遠山忠、植物成長促進細菌と塩ストレスによるウキクサのエネルギー生産性の向上、日本水処理生物学会第 54 回大会、2017.11.8-10
- ④ K. Takagi, Y. Tanaka, K. Mori, T. Toyama, Enhanced Bio-energy production in wastewater treatment process by using duckweed, The 5th International Young Researchers Workshop on River Basin Environment and Management, 2017.10.28-29
- ⑤ K. Takagi, R. Tanaka, Y. Tanaka, K. Mori, T. Toyama, Starch accumulation in duckweed biomass by salinity stress, 4th International Conference on Duckweed Research and Applications, 2017.10.23-26
- ⑥ K. Mori, T. Toyama, Aquatic plant-microbe systems for improved water purification and biomass production, The 10th Joint Workshop Advanced Engineering Technology for Environment and Energy, 2017.7.26-28.
- ⑦ K. Takagi, Y. Tanaka, K. Mori, T. Toyama, Characterization of duckweed growth promoting bacteria and their effects on duckweed biomass production, Water and Environment Technology Conference 2017, 2017.7.22-23
- ⑧ 高木航平、花岡翼、田中靖浩、森一博、遠山忠、ウキクサ亜科植物を用いた廃水からのエネルギー生産性の評価、第 51 回日本水環境学会年会、2017.3.15-17
- ⑨ 遠山忠、高木航平、田中靖浩、森一博、排水を用いたウキクサバイオマスの生産と塩ストレス制御によるウキクサバイオマス中のデンプン高蓄積、日本水処理生物学会 53 回大会、2016.11.10-12
- ⑩ T. Hanaoka, T. Toyama, Y. Li, Y. Tanaka, K. Mori, Nitrogen removal ability and biomass productivity by various duckweeds in

different wastewaters, The 9th Advanced Engineering Technology for Environment and Energy Environment, Energy and Sustainable Development, 2016.8.1-3

- ⑪ K. Takagi, T. Toyama, Y. Li, Y. Tanaka, K. Mori, Enhancing starch production ability of duckweed by using plant growth promoting bacteria (PGPB) and salinity stress treatment, Water and Environment Technology Conference 2016, 2016.8.27-28
- ⑫ T. Toyama, Nitrogen removal ability and biomass productivity by various duckweeds in different wastewaters, 3rd IWA Specialized International Conference Ecotechnologies for Wastewater Treatment 2016, 2016.06.27-30
- ⑬ 花岡翼、遠山忠、李彦、田中靖浩、森一博、ウキクサ亜科植物を用いた排水からの窒素除去とバイオマス生産、第 50 回日本水環境学会年会、2016.3.16-18
- ⑭ T. Toyama, L. T. S. Thao, T. Hanaoka, W. Khanitchaidecha, K. Mori. Co-benefit system combining water purification and biofuel production using duckweed: Nitrogen removal ability and biomass productivity by duckweeds in wastewaters, 3rd International Young Researcher's Workshop, River Basin Environment and Management, 2015.12.21
- ⑮ 遠山忠、田中靖浩、森川正章、森一博、*Sinorhizobium* sp. SP4 によるウキクサ亜科植物成長促進の分子基盤解明、第 67 回日本生物工学会大会、2015.10.26-28
- ⑯ K. Takagi, T. Hanaoka, T. Toyama, K. Mori, Effects of environmental bacterial community on growth of duckweeds, The Third International Conference on Duckweed Research and Application, 2015.7.3-6
- ⑰ T. Toyama, Y. Tanaka, K. Mori, Plant growth-promoting bacteria (PGPB)-induced accelerated growth, increased chlorophylls and enhanced photosynthesis of duckweed (*Spirodela polyrhiza*), The Third International Conference on Duckweed Research and Application, 2015.7.3-6

[その他]

ホームページ等

<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~5lab/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

遠山 忠 (TOYAMA, Tadashi)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：60431392