

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－中国 研究交流）

1. 研究課題名：「高含水・高窒素含有バイオマス系廃棄物からの高効率エネルギー生成」
2. 研究期間：平成 23 年 9 月～平成 27 年 3 月
3. 支援額： 総額 14,740,000 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	吉川 邦夫	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	研究の統括
研究者	呂 梁	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	研究の実施
研究者	陳 鴻芳	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	研究の実施
研究者	孫 小涵	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	研究の実施
研究者	馬 大朝	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	研究の実施
研究者	超 培涛	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	研究の実施
研究期間中の全参加研究者数 24 名			

相手側（研究代表者を含め 6 名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Xu Guangwen	Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Science	研究の統括
研究者	Wang Yin	Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Science	研究統括補 佐
研究者	Guangyi Zhang	Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Science 学生の研究指導	学生の研究 指導
研究期間中の全参加研究者数 24 名			

5. 研究・交流の目的

中国では毎年大量のバイオマス系産業廃棄物が排出されており、その年間発生量は、焼酎滓で 2 千万トン、下水汚泥で 3 千万トン、抗生物質製造時に発生する菌糸残渣で 2 百万トンにのぼっている。一方、日本では、年間 7 千万トンの下水汚泥、年間 2 億トンの畜糞が発生している。これらのバイオマス系廃棄物には、高含水（60-80 重量%）で高窒素含有（4-9 重量%）であるという共通の特徴が見られ、腐りやすいことから、不適切な処理を行うと、土壌や大気、水系に深刻な環境汚染を引き起こす可能性がある。菌糸残渣については、約 1%の塩素も含有されている。

こうした含水率や窒素含有量が高く、さらには高濃度の塩素までも含む廃棄物からエネルギーを生成しようとする場合、いかに効率的に脱水・乾燥・脱窒素・脱塩素を行って、クリーンな乾燥燃料を生成するか、また、生成された燃料中に残留する窒素の窒素酸化物（NOx）への転換を抑えて、いかにクリーンに燃料を燃焼させるかが、大きな課題となっている。

本共同研究プロジェクトでは、日本側の研究チームが保有する水熱乾燥技術（約 200℃の飽和水蒸気を用いた加水分解技術と生成物の機械的脱水の組み合わせ）と、中国側の研究チームが保有する低 NOx 燃焼技術（熱分解とチャー燃焼を分離したデカップリング燃焼技術）を組み合わせ、高含水・高窒素含有のバイオマス系産業廃棄物の脱水・乾燥から、低 NOx 燃焼までのトータルシステムについて、技術的実現可能性を実証することを目的とした。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

高含水率/高窒素含有のバイオマス系廃棄物の処理は、これまでは乾燥・焼却が主たる技術であり、大量のエネルギー消費と NOx 排出が問題となっていた。本研究によって、水熱乾燥技術で高効率に固体燃料が製造でき、得られた燃料の低 NOx 燃焼が可能であることが実証された。

日本側の主な研究成果

- ・水熱処理によって、下水汚泥および製紙汚泥の脱水・乾燥特性が大幅に向上することを確認し、エネルギー的に自立可能な水熱処理プロセスが実現できることを実証した。
- ・200℃の水熱処理によって、下水汚泥中の 50%以上の窒素が脱離液中に移行し、生成される固体燃料中の窒素含有量の大幅な低減が可能であることを明らかにした。
- ・脱離液中に移行した窒素の有効利用を図るため、脱離液を用いた小松菜の発芽・生育試験を実施し、脱離液の液体肥料としての有効性を実証した。
- ・水熱処理前後の下水汚泥の燃焼実験を行った結果、水熱処理によって、燃料中窒素の NOx への転換率が大幅に低下し、最大で 60%の低減効果があることを明らかにした。
- ・水熱処理生成物をデカップリング燃焼方式で燃焼させることによって、通常燃焼に比べて、最大で、80%NOx の排出を抑制できることを明らかにした。

中国側の主な研究成果

- ・小型オートクレーブ装置及び水熱処理パイロットプラントを用いて、抗生物質製造時の廃棄物である菌糸残渣に焦点を当てた水熱処理実験を実施し、水熱処理によって脱水・乾燥特性が大幅に向上し、固体残渣の発熱量が増加して、固体残渣中の窒素含有量が大幅に低下することを明らかにした。また、反応器から放出される水蒸気によって、原料の予熱を行うことによって、水蒸気の消費量を 30%近く低減できることを実証した。
- ・水熱処理によって、菌糸残渣中の抗生物質を完全に分解できることを明らかにした。
- ・脱離液のメタン発酵によるエネルギー回収が有効であることを実証した。
- ・自由落下燃焼装置での混焼実験の結果、水熱乾燥生成物をある程度石炭に混ぜて燃焼させることによって、燃焼効率の向上と NOx 排出抑制の同時達成が可能であることを明らかにした。

相手側との協力による研究への相乗効果

- ・日本側のこれまでの知見で、水熱乾燥が、高含水廃棄物の燃料化には有効であることがわかっていたが、中国側が持つ、デカップリング燃焼技術と組み合わせることで、初めて、燃料中窒素の NOx への転換を抑制することができた。
- ・日本側の研究予算では、実用化に不可欠なパイロット規模の実験は不可能であり、中国側の協力があつたからこそ、大規模な実験で目標とする技術実証を行うことができた。
- ・高含水廃棄物の水熱処理に伴って生成される、BOD や COD が極めて高く、窒素含有量の多

い脱離液の処理が、この技術の普及の大きなネックとなっていたが、日本側では、液肥としての利用が可能であることを実証し、中国側ではメタン発酵に利用可能であることを実証した点で、両国の協力の下で初めて、水熱処理の技術的なネックが解決されたと言える。

当該研究の今後の展開見込、社会への波及効果

- わが国では、高含水・高窒素含有のバイオマス系廃棄物として、下水汚泥や製紙汚泥は、乾燥後、焼却処理されることが多いが、乾燥に莫大なエネルギーを有しており、エネルギー的にはマイナスとなっている。また、燃焼時に、燃料中の窒素が高い割合でNOxに転換するため、燃焼に伴うNOxの排出も大きな問題となっている。本研究の成果を活用することで、廃棄物中の固形分の約半量の固体燃料を正味で製造することができ、エネルギー的にプラスになると共に、石炭代替バイオマス燃料を生成することができる。また、同時に、従来に比べて、最大で8割程度のNOx排出量の削減が可能となる。
- 次に、中国で大きな問題となっている菌糸残渣の処理については、これまで有効な処理技術がなかったことから、ほとんどが埋め立て処理されてきた。本研究成果を活用することで、NOxの排出を抑制しながら、固体生成物と脱離液の両方からエネルギー回収が可能となる。すでにパイロット規模での実証がなされおり、本技術に関心を寄せている製薬会社もあるとの情報も寄せられており、本研究成果の中国での早期の実用化が期待される。

6-2 人的交流の成果

相手側との研究交流につながる人材育成

- 本事業の成果として公表された査読付き論文数は、相手側研究チームとの共著が4編、共著でないものが23編にのぼっており、今後も数編の論文の公表を予定していることから、顕著なアウトカムがあったと言える。
- 本事業には、主たる研究者として博士課程の学生を配置した。その結果として、本事業の成果を博士論文の主たる部分として博士課程を修了した学生は、10名にのぼり、5名は博士課程を短縮修了しており、そのうちの3名が、本事業の一環として、中国側に派遣されていたことから、研究交流が人材育成に極めて大きな効果があったことは明らかである。
- 10名の博士課程修了者のうち、6名が中国人留学生であり、今後彼らが、中国との研究交流を積極的に担っていくことが期待される。また、中国側に派遣された学生については、相手側の研究者と個人的に親しくなっており、メールのやり取りその他、私的な交流を続けているようである。

当該事業を端緒とした相手側との研究交流の増加/持続的発展の可能性

- 本事業を端緒として、日中韓の大学・研究機関が集まって、廃棄物やバイオマスのエネルギー変換に関わるジョイントシンポジウムが開始され、3カ国で順番に毎年開催されている。今後も継続して開催する予定であり、これが本事業終了後の継続的な交流の有効な場となることが期待される。
- 中国側の研究チームは、本事業の研究成果の早期の実用化を狙っており、商用プラントが建設されれば、そのプラントに関わるデータ採取等で、交流が継続することが期待される。

7. 本研究交流による主な論文発表・主要学会での発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
論文	Hongfang Chen, Peitao Zhao, Yin Wang, Guangwen Xu and Yoshikawa Kunio, NO Emission Control during the Decoupling Combustion of Industrial Biomass Wastes with High Nitrogen Content, Energy & Fuels, 27, 3186-3193, 2013.	
論文	Guangyi Zhang, Dachao Ma, Cuina Peng, Xiaoxing Liu, Guangwen Xu, Process Characteristics of Hydrothermal Treatment of Antibiotic Residue for Solid Biofuel, Chemical Engineering Journal, 252, 230-238, 2014.	
論文	Peitao Zhao, Hongfang Chen, Shifu Ge and Kunio Yoshikawa, Effect of the Hydrothermal Pretreatment for the Reduction of NO Emission from Sewage Sludge Combustion, Applied Energy, 111, 199-205, 2013	
論文	Peitao Zhao, Yafei Shen, Shifu Ge and Kunio Yoshikawa, Energy Recycling from Sewage Sludge by Producing Solid Fuel with Hydrothermal Carbonization, Energy Conversion and Management, 78, 815-821, 2014	
論文	Chinnathan Areeprasert, Peitao Zhao, Dachao Ma, Yafei Shen and Kunio Yoshikawa, Alternative Solid Fuel Production from Paper Sludge Employing Hydrothermal Treatment, Energy & Fuels, 28(2), 1198-1206, 2014	