

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2013～2017

課題番号：25220913

研究課題名(和文)超精密/高効率化学プラント構築のための大量生産型マイクロデバイス設計・操作

研究課題名(英文) Design and Operation of Micro Chemical Devices and Plants for Mass Production of Functional Materials

研究代表者

長谷部 伸治 (Hasebe, Shinji)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：60144333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 166,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マイクロデバイスの設計論、集積化・安定操作手法を開発し、マイクロ化学プラントが精密大量生産プロセスとして運用可能であることを実証した。

具体的には、Ritter反応プロセスに対して、反応条件の最適化、CFDシミュレーションによる解析に基づく設計を行い、49流路を並列化したデバイスを構築した。そして、30分間の安定操作を確認し、これを25系列内部ナンバリングアップすることにより204t/yの生産が可能であることを実証した。また、ヒドロキシメチルフルフラール製造プロセスを対象に、マイクロスラグ反応器の優位性を確認し、開発したマイクロデバイスとその設計・操作論の有用性を実証した。

研究成果の概要(英文)：In this research, the design, integration and operation procedures of micro devices were developed, and the effectiveness of the developed procedures has been verified by applying them to the construction of pilot micro plants.

The reaction condition of Ritter reaction process was optimized and the reaction channels were optimally designed by using CFD simulation. Then, a micro-device consisting of 49 parallel channels was constructed, and 30 minutes of stable operation was achieved. Through this experimental study, it was verified that the production of 204t/y is possible by carrying out the internal numbering-up of 25 series of parallelized channels. In addition, by adopting the proposed design and operation procedure, a micro slag reactor was constructed and was applied to the hydroxymethylfurfural production process. The effectiveness of the proposed design and operation procedures was verified by the successful operation of the process.

研究分野：プロセスシステム工学

キーワード：マイクロ化学プロセス、マイクロリアクター、CFDシミュレーション、最適設計、並列化、プロセス強化、スラグ流、バルク生産

1. 研究開始当初の背景

日本の化学産業の強みをさらに強化し発展を維持するには、今以上に高機能部材の品質を高めるための新プロダクトエンジニアリングと、高効率でかつ環境負荷を最小限に抑えるプロセスエンジニアリングの新体系の構築が急務であった。しかしながら、これまでの化学プロセスは、汎用型の装置での操作のため、近年求められている部材の機能品質を精密に制御できていなかった。また、プロセスの効率化は、スケールアップによる熱効率向上やエネルギーの回収など「改良」の積み重ねにより成されており、上述した革新的なプロセス開発には、全く新しい発想に基づくデバイスやプラントの出現が期待されていた。本研究担当者らは、マイクロリアクターとそれに関連する技術が、これまでの化学産業の殻を破る技術になると判断し、大量生産用マイクロリアクターの設計・操作法に関する研究に着手した。

2. 研究の目的

種々の製品機能を厳密に制御しつつ広範囲な生産量に対応できるマイクロデバイスおよびプラントの設計法の確立を最終目標とし、以下の3つの研究目的を設定した。

(1) マイクロデバイスの設計論の構築と各種デバイス設計・検証

ナノ粒子製造、液相反応、気相触媒反応、抽出等の典型的な単位操作に対して、流体セグメントの概念に基づくマイクロデバイス設計法の提案と、それに基づいてデバイスを製作、いくつかの反応系での実証を目的とする。

(2) マイクロデバイス集積化・安定操作手法の開発

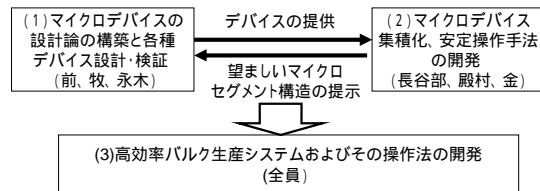
少数の計測データからデバイスあるいはプロセスの状態を推定できるシステムの開発、2流体の混合部を有する外部ナンバリングアップ用の分配デバイスの開発、さらに制御や計測のしやすさを考慮したデバイス設計法を開発を目的とする。

(3) 高効率バルク生産システム及びその操作法の開発

(1)、(2)の成果をふまえ、階層化モデルを用いた高効率バルク生産システムの設計、操作手法を確立し、連続運転を実施することで提案法の有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

研究の進め方と研究体制の概略を下図に示す。期間前半(当初3年)は、マイクロデバイスの設計論の構築(研究項目(1))と集積化および操作法の開発(研究項目(2))の2項目について2グループで研究を遂行する。期間後半では、全研究者一体となって、上記2つの成果を融合し、大量生産用マイクロデバイス・プラントを設計するための統合的手法を開発するとともに、プロトタイププラントを試作し、その性能を評価する。



4. 研究成果

研究目的で設定した3項目に分けて、成果を説明する。

(1) マイクロデバイスの設計論の構築と各種デバイス設計・検証

マイクロミキサー、マイクロリアクター、マイクロ分離装置の設計論の確立に取り組み、以下の成果を得た。

マイクロミキサーの設計

既往のミキサーの多くは同一物性・等量混合がほぼ前提となっているが、ポリマー流体の混合や原料の分割投入など、非同一物性や非等量の混合も実用上は重要と考えられる。これに対し、ある管を内径の大きなもう一本の管内に挿入して作製するジェットミキサーは、内管・外管を自由に変更でき、非同一物性や非等量の混合にも有用と考えられるが、詳細な設計法は報告されていなかった。

本研究ではジェットミキサーに注目し、流動状態の把握、および混合特性の検討を踏まえ、所望の混合時間から最適なジェットミキサーを作製するための設計チャートを構築した。マイクロジェットミキサーが粘度の異なる流体の高速混合にも有効であることに着目し、25 mPa・sのグリセリン溶液と純水の混合について1 msの混合時間が達成できることを実証した。また、高粘度流体は外管に供給したほうが、混合が促進することを明らかにした。

マイクロリアクターの設計

マイクロ反応器の利点の一つは短い拡散距離による迅速な混合であるが、混合性能の評価・設計には経験的な手法が用いられる。本研究では、マイクロ流路内の溶液の濃度変化をインラインで直接測定することにより、各部分での混合・反応挙動の精密な解析を行い、この解析をもとに迅速かつ均一な反応を可能とするマイクロ反応器の設計指針を提案した。

マイクロ流路ではその微小サイズに起因する大きな比表面積と温度勾配により迅速なエネルギー輸送が可能となる。この特徴を利用して、例えば反応流体の予熱過程における目標反応温度までの迅速な昇温によって副反応を抑えること、迅速な冷却によって反応を所望の滞留時間で停止すること、大きな反応熱を有する反応系においても厳密に等温操作すること、などが期待できる。本研究では、このマイクロ流路の精密温度制御性に着目し、流体が目標温度に到達する時間と設計条件の関係を定量的に示した。さらにそれに基づく流路設計を行い、数値流体力学

(CFD)計算により設計指針の妥当性を検証した。

マイクロ分離デバイスの設計

マイクロ化学プロセスを実用化するには、反応のみならず分離技術のマイクロ化が不可欠である。このような観点から吸収と晶析に焦点を絞り、その設計法の確立を目指した。

微小流路内のスラグ流は大きな比表面積と内部循環流により優れた物質移動速度を示す。これらの特長を活かすことでコンパクトなガス吸収装置が開発できると考えた。本研究では、独自開発のガス吸収量をオンライン測定できる装置を用い、純水によるCO₂吸収性能を評価した。

各種条件においてCO₂吸収量を測定し、境界膜モデルを用いて解析することで総括物質移動容量係数 K_{LaL} に対する操作条件の影響を検討した。この結果をもとに気液スラグ流における液相物質移動性能を表す Sh 数を Re 数、 Pe 数の関数として推算することができた。図 4-1 に推算式と実験式の比較を示す。

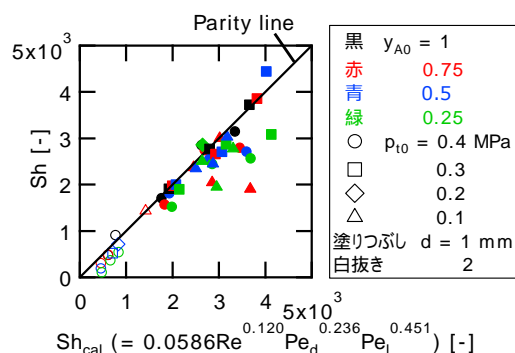


図 4-1 推算した Sh 数と実験値の比較

供給ガス中のCO₂モル分率 y_{A0} が1であれば管内径、全圧に関わらず推算値と実験値は一致した。 $y_{A0} < 1$ の場合、実験値は推算値を下回る。この結果は、 Sh が大きいとき、すなわち液相境界膜物質移動係数が大きいときは気相抵抗が無視できないことを示している。

晶析手法の一つである貧溶媒添加晶析法は、良溶媒に溶質を溶解させて作製した溶液に貧溶媒を添加し、過飽和度を高め析出させる晶析手法である。この手法は、操作時間が短く高い回収率で結晶作製できる等、他の晶析手法と比べ多くのメリットを有している。しかし、貧溶媒を添加する半回分晶析では、結晶品質にかかわる結晶多形や粒子径が貧溶媒の添加方法や添加速度により異なるため、多形と粒子径を同時に制御するには多くの課題が挙げられる。そこで本研究では、従来の貧溶媒添加晶析法では困難であった結晶多形・粒径制御を可能にする循環フロー晶析法を提案し、所望の粒子径を有する結晶を選択的に析出させる操作法を開発した。

循環フロー晶析法はフラスコ内の溶液の一部を循環させ、その循環流の内部で貧溶媒と混合する。全体のプロセスでは貧溶媒を滴

下する方法と大差は無いが、貧溶媒との混合が均一かつ迅速であること、循環流内では過飽和度が大きいという特徴を有する。そのため循環流路を核生成場、フラスコ内を成長場と分離することが可能となる。

インドメタシン IMC-アセトン-水系において循環フロー晶析法を適用したところ、特定の循環流量、水添加流量において γ 型結晶が高速かつ安定的に得られた。これは過飽和度が大きい循環流内に生成した γ 型結晶の核が、過飽和度が小さいフラスコ内で転移することなく安定に成長したためと考えられる。水の添加速度は、滴下法により γ 型が得られた場合の水滴下速度の10倍以上であり、生産性に優れている。また、循環流路内の温度を厳密に制御することで結晶核の生成速度を調整することで粒子径の制御も可能であることを示した。

(2) マイクロデバイス集積化、安定操作手法の開発

マイクロデバイスでは1流路の処理量が少ないため、実生産を行うためには集積化が不可欠である。長期運転を前提とした、集積化法を中心に研究を進め、以下の成果を得た。

2階層ナンバリングアップ法の開発

少数の流量計測データから並列デバイスの状態を推定する2次元構造の外部ナンバリングアップ法について担当者らは既に提案していた。同提案法に基づいて、3次元構造の外部ナンバリングアップ法を提案し、16並列のマイクロリアクターを対象に、その流量変動を4器の流量計で推定できることを流体シミュレーションにより確認した。提案した外部ナンバリングアップ法と内部ナンバリングアップ法を組み合わせることで、制御性、状態推定性能に着目した2階層ナンバリングアップ法の基本構造を確立した。これにより、1万トン/年の生産を少数の計測器でモニタリングできる見込みが立った。

少数の計測データに基づく状態推定法、異常診断法の開発

流量計測に比べ流路への外乱とならない圧力計測を用いた状態推定システムを開発し、T字の気液混合・スラグ生成部を有するデバイスからなる4並列システム(システムA)および触媒が固定化されたモノリス充填マイクロリアクターの5並列システム(システムB)に適用した。システムAにおいては、安定した均等流体分配のための高抵抗部を有する外部ナンバリングアップ用分配デバイスを開発し、同デバイス入口で観測された圧力振動をフーリエ解析して得られた各デバイスでのスラグ生成周期に基づいて、相間物質移動や混合に影響するスラグ長さを精度良く推定できることを実験により確認した。システムBにおいては、分合式流路を有する外部ナンバリングアップ用分配デバイスを設計し、研究項目(1)の担当者らと連携して鈴木カップリング反応を行い、1.5時間の

安定した連続運転と、実験中に生じたマイクロリアクターの閉塞を2つの圧力計の圧力変化量の比に基づいて特定できることを確認した。以上より、全ての流路の状態を計測することなく、少数の計測データからデバイスあるいはプラント全体の状態を推定、診断できることを示した。

制御や計測のしやすさを考慮した集積化構造の設計

のシステム A のように、高抵抗部を有する流体分配デバイスは圧力損失の増大を招く。そこで、オリフィス付流路を同デバイスに用い、均等流体分配に必要な圧力損失を削減する手法を考案した。オリフィス付流路を用いることで、単純な直管流路により流体分配を行う場合と比べて最大で約 50% の圧力損失削減が可能であることを理論により示し、2 並列流路に関して CFD シミュレーションを行って実際に 30% 以上もの圧力損失を削減できることも確認した。また、のシステム B において、分合式流路を有する外部ナンバリングアップ用合流デバイスを並列マイクロリアクター下流部に設置することを提案した。その結果、閉塞診断に用いる圧力変化量図の全象限を利用できるようになり、第 1 象限の利用に限られていた従来法より飛躍的に診断性能が向上した。

不確定性を考慮した分配デバイス設計法の開発

の検討を進める中、反応操作の繰り返しと共にリアクタの圧力損失が変化し、均等流体分配の達成が難しくなることが観察され、そうした変化にロバストな装置設計法の必要性が示唆された。そこで、2 次元構造の外部ナンバリングアップ法において、設計・操作条件のばらつきが安定性や収率に与える影響を明らかにし、不確定性を考慮した流体分配デバイス設計法をミニマックス戦略に基づいて開発した。ケーススタディを通して、生産量やマイクロリアクターの流路抵抗の変化に対して設計条件を満たす設計結果を導出することにより、開発した設計法の有用性を流体シミュレーションにより確認した。

混合操作を伴う多段、並列システムの安定操作法の開発

研究項目(1)の担当者らと連携し、アニオン重合など従来法では極低温を必要とする反応の工業化研究を行った。プランジャーポンプなどを用いた連続送液可能なシステムによるスチレンの単独重合を実施し、0 で分子量分布の制御されたポリスチレンを 1 時間連続的に得ることを確認した。しかし一方で、分子量分布を更に精密制御するために、混合器への供給流量が振動する現象を解決する必要性も示唆された。そこで、物質・圧力バランスとポンプ内ダンパ容積の圧力依存性に基づいて同現象をモデル化し、シミュレーションにより流動変動を抑制するシステム設計の指針を提示した。また、単一および並列気液スラグ流プロセスにおいて、流動の不

安定挙動が観察され、その原因として気体スラグ周りの液膜の有無による圧力損失の変化が大きく関係することを解明した。そして、圧力損失推算モデルを構築し、シミュレーションを通して不安定挙動を抑制するシステム設計法を提案した。

(3) 高効率パルク生産システムおよびその操作法の開発

階層化モデルを用いた高効率パルク生産システムの設計、操作手法の確立

研究項目(1)、(2)において提案したデバイス設計法に基づいて 1 流路デバイスを設計し、それを内部ナンバリングアップし、さらに外部ナンバリングアップすることで、少量生産から大量生産まで広範囲に適用可能な生産システムを設計可能であることを提示した。研究項目(3)では、具体的な物質生産を行い、開発した設計・操作法の有用性を検証した。

アミノ酸の前駆体の合成法であり、原料のアセトニトリルと tert-ブチルアルコールから酸触媒を用いて製品 N-tert-ブチルアセトアミドを合成する Ritter 反応を対象プロセスとした。まず、反応条件検討を行い、原料供給・反応条件(流量、温度など)を最適化した。次に、CFD シミュレーションを用いて 1 流路の解析・設計を行い、その結果に基づいて 49 流路を並列化した内部ナンバリングアップデバイスを開発した。このデバイスをプロセスの状態推定・制御が可能な分割再結合式流体分配デバイスと接続し、スタートアップから 30 分間の安定操作を確認すると共に、15.5 g/min の製品を得ることに成功した。この内部ナンバリングアップデバイスを 25 基外部ナンバリングアップしたシステム(ユニットと呼ぶ)の連続運転により 204 t/y の生産、さらにユニット数を 50 まで増やすと年産 1 万トンを超える生産に対応可能である。以上より、これまでに開発した設計・操作の方法が少量生産から大量生産まで広範囲に適用可能なことを実証した。

気液スラグ流吸収プロセスの開発

気体と液体が相互に管内を流れる気液スラグ流は、スラグ内で液循環が生じることから、効率的な気液接触が行える。本研究では、気液スラグ流を吸収プロセスに応用し、バイオガス 3000 Nm³/日に含まれる CO₂ を $y_A = 0.50$ から $y_A = 0.02$ まで低減することを想定(これは人口 10 万人の街から出る生ごみをガス化した場合に相当し、約 3 ton-CO₂/日の回収量)して設計を試みた。研究項目(1)で提案した物質移動係数推算式をもとに設計を行ったところ、 $d = 2\text{mm}$ 、 $L = 1.5\text{m}$ の流路を用いた断面 $1\text{m} \times 1\text{m}$ のガス吸収装置を 5 段用意すればよいと見積もることができた。また実験からも 5 段の処理において $y_A < 0.02$ を確認できた。この設計目標は 1 段の流路長を 0.5 m まで低減しても達成が可能であった。なお、このときの装置性能を表す K_{LaL} は 0.45 s^{-1} と、同設計目標での充填塔の約 10 倍の値が得ら

れた。このように、提案した装置設計法から最適な操作条件を選定することで今後さらなる装置小型化が期待できる。

液液スラグ流抽出反応プロセスの開発

自然界に豊富に存在する代表的な単糖であるグルコース、フルクトースから高付加価値な化成品原料であるヒドロキシメチルフルフラール(HMF)の製造プロセスの開発を検討した。HMFは生成条件(高温酸性水溶液)下において容易に分解してレブリン酸などの副生成物が生じるため、HMFの選択率を向上するにはHMFを油相に抽出しながら反応を進めることが有効である。そこで、本プロセスでは反応溶液(水相)と抽出液(油相)のスラグ流を形成して連続的に反応を行った。スラグ流ではスラグ内に循環流が生じることで物質移動が促進し、HMFが水相から油相に迅速に抽出される。その結果、最適な条件ではグルコースから76 mol%と従来にないHMF収率を得ることに成功した。また、HMFは水相への逆抽出により精製・回収を行った。逆抽出に向流接触型の膜型抽出器を用いることで約90%のHMFを連続的に回収することができた。スラグ反応器はミリサイズでもその特性を十分に発揮することが可能であり、多流路化についても障壁が小さい。以上より、開発したマイクロデバイスとその設計・操作論が低炭素型高付加価値化学産業に対して有効であることを実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文](計51件)

本研究期間に41報の査読有り論文と10報の査読なし論文を発表した。以下、主要論文11件を載せる。

Masashi Furuta, Jumpei Katayama, Taisuke Maki and Kazuhiro Mae, Development of a Circulated Flow Mixing Method with a Tubular Crystallizer for Controlling Indomethacin Polymorphs, *Journal of Chemical Engineering Japan*, 査読有, Vol. 50, 2017, 501-510

DOI: 10.1252/jcej.16we312

Yosuke Muranaka, Hiroyuki Nakagawa, Rie Masaki, Taisuke Maki and Kazuhiro Mae, Continuous 5-Hydroxymethylfurfural Production from Monosaccharides in a Microreactor, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 査読有, Vol. 56, 2017, 10998-11005

DOI: 10.1021/acs.iecr.7b02017

Shusaku Asano, Satoshi Yamada, Taisuke Maki, Yosuke Muranaka and Kazuhiro Mae, Design protocol of microjet mixers for achieving desirable mixing times with arbitrary flow rate ratios, *Reaction Chemistry & Engineering*, 査読有, Vol. 2, 2017, 830-841

DOI: 10.1039/c7re00051k

Shusaku Asano, Taisuke Maki, Ryutaro Nakayama, Ryuji Utsunomiya, Yosuke Muranaka, Toshiharu Kuboyama and Kazuhiro Mae, Precise analysis and control of polymerization kinetics using a micro flow reactor, *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 査読有, Vol. 119, 2017, 73-80

DOI: 10.1016/j.cep.2017.05.016

Akira Matsuoka, Koji Noishiki and Kazuhiro Mae, Experimental study of the contribution of liquid film for liquid-liquid Taylor flow mass transfer in a microchannel, *Chemical Engineering Science*, 査読有, Vol. 155, 2016, 306-313.

DOI: 10.1016/j.ces.2016.08.021

Aiichiro Nagaki, Katsuyuki Hirose, Osamu Tonomura, Satoshi Tankguchi, Toshiki Taga, Shinji Hasebe, Norio Ishizuka, and Jun-ichi Yoshida, Design of a Numbering-up System of Monolithic Microreactors and Its Application to Synthesis of a Key Intermediate of Valsartan, *Org. Process Res. Dev.*, 査読有, Vol.20, 2016, 687-691

DOI: 10.1021/acs.oprd.5b00414

Aiichiro Nagaki, Masahiro Takumi, Yosuke Tani, and Jun-ichi Yoshida, Polymerization of Vinyl Ethers Initiated by Dendritic Cations Using Flow Microreactors, *Tetrahedron*, 査読有, Vol.71 2015, 5973-5978

DOI: 10.1016/j.tet.2015.05.096

Keisuke Miyabayashi, Osamu Tonomura, and Shinji Hasebe, Estimation of Gas and Liquid Slug Lengths for T-shaped Microreactors, *Chemical Engineering Journal*, 査読有, Vol.262, 2015, pp.1137- 1143

DOI: 10.1016/j.cej.2014.10.075

Satoshi Watanabe, Tatsumasa Hiratsuka, Yusuke Asahi, Asumi Tanaka, Kazuhiro Mae and Minoru Miyahara, Flow Synthesis of Plasmonic Gold Nanoshells via a Microreactor, *Particle & Particle Systems Characterization*, 査読有, Vol. 32, 2014, 234-242

DOI: 10.1002/ppsc.201400126

Taisuke Maki, Jun-ichi Kitada and Kazuhiro Mae, Preparation and Control of the Size Distribution of Zirconia Nanoparticles in a Concentric-Axle Dual-Pipe Microreactor, *Chemical Engineering & Technology*, 査読有, Vol 36, 2013, 1027-1032

DOI: 10.1002/ceat.201200627

Takashi Fukuda, Masashi Sawada, Taisuke Maki and Kazuhiro Mae, Basic Design Concept of a Microreactor for Isothermal Operation Including Heat Conductivity, *Chemical Engineering & Technology*, 査読有, Vol. 36, 2013, 968-974

DOI: 10.1002/ceat.201200634

〔学会発表〕(計 127 件)

40 件の招待講演を含む 127 件の学会発表を行った。以下、主要な 5 件を記載する。

Aiichiro Nagaki, Organolithium Chemistry Using Flow Microreactors, The 11th International Symposium on Integrated Synthesis (ISONIS-11), Hyogo, Japan, November 2017, Invited Lecture

Aiichiro Nagaki, Flow Microreactors Enables Green Chemistry Approach for Organolithium Chemistry, the 5th International Conference on Green Chemistry and Technology, Rome, Italy, July 2017, Invited Lecture

Aiichiro Nagaki, Synthesis of Organofluorine Compounds Using Flow Microreactors, the 2nd World Chemistry Conference, Toronto, Canada, August 2016, Invited Lecture

Shinji Hasebe, Systematic Design Procedure of Micro Chemical Plants, 12th International Symposium on Process Systems Engineering and 25th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Copenhagen, Denmark, May 30-June 4, 2015, Invited Lecture

Shinji Hasebe, Design, Operation and Control of Microchemical Plants, 13th International Conference on Microreaction Technology, Budapest, Hungary, June 23-25, 2014, Invited Lecture

〔図書〕(計 5 件)

金熙珍、永木愛一郎、吉田潤一、シーエムシー出版、フローマイクロ合成の実用化への展望、2017、211、第 編第 2 章：フローマイクロリアクターの化学業界の動向 (206 - 210 頁)

Aiichiro Nagaki, and Jun-ichi Yoshida, Springer Nature, Topics in Organometallic Chemistry- Organometallic Flow Chemistry, 2016, 267, Chapter : Preparation and Use of Organolithium and Organomagnesium Species in Flow (137-175)

永木愛一郎、化学同人、フローマイクロ合成化学、2014、304、第 11 章：有機金属反応 (125 - 133 頁) および第 18 章：重合反応 (217 - 226 頁)

Aiichiro Nagaki, and Jun-ichi Yoshida, Wiley-VCH, Lithium Compounds in Organic Synthesis - From Fundamentals to Applications, 2014, 576, Chapter 17: Microreactor Technology in Lithium Chemistry (491-512)

Jun-ichi Yoshida, and Aiichiro Nagaki, Wiley-VCH, Microreactors in Preparative

Chemistry - Practical Aspects in Bioprocessing, Nanotechnology, Catalysis and more, 2013, 352, Chapter 9: Electrochemical Reactions in Microreactors (231-241)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称：アルキルリチウム、化合物の製造方法、ポリマー、及びポリマーの製造方法

発明者：永木愛一郎、吉田潤一

権利者：国立大学法人京都大学、東邦化学工業株式会社

種類：特許権

番号：特許出願 2017-168259

出願年月日：2017 年 9 月 1 日

国内外の別：国内

名称：発明の名称: Mw/Mn が 1.25 以下であるポリマーの製造方法

発明者：吉田潤一、永木愛一郎

権利者：国立大学法人京都大学

種類：特許権

番号：特許出願 2015-77475 (特許公開 2015-127425)

出願年月日：2015 年 4 月 6 日 (公開日 2015 年 7 月 9 日)

国内外の別：国内

〔その他〕

マイクロ生産研究コンソーシアム (本研究参加者が中心となって運営するマイクロ化学普及のための組織) のホームページ

URL: <http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/7koz/a/mcpsc/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷部 伸治 (HASEBE SHINJI)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60144333

(2) 研究分担者

前 一廣 (MAE KAZUHIRO)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70192325

牧 泰輔 (MAKI TAISUKE)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10293987

永木 愛一郎 (NAGAKI AIITIRO)

京都大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：80452275

殿村 修 (TONOMURA OSAMU)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70402956

金 尚弘 (KIM SANGHONG)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60735504