

日本学術振興会  
プロセスシステム工学第143委員会  
平成15年度第4回研究会議事録

1. 日 時： 平成15年12月12日（金） 13：10～17：00

2. 場 所： 京都大学 桂キャンパス 桂インテックセンター会議室  
（京都市西京区京都大学桂）

3. 出席者： 55名（順不同）

委員長：小野木克明（名古屋大学）

委 員：高松武一郎（京都大学）、西谷紘一（奈良先端大）、大杉 健（ジャパンエナジー）、川村継夫（オメガシミュレーション）、小西信彰（横河電機）、重政 隆（東芝）、鈴木 剛（東洋エンジニアリング）、高田晴夫（三菱化学）、黒田千秋（東京工業大学）、長谷部伸治（京都大学）、柘植義文（九州大学）、平尾雅彦（東京大学）、大嶋正裕（京都大学）、山下善之（東北大学）、橋爪進（名古屋大学）、佐渡友秀夫（製品評価技術基盤機構）、仁井田和雄（千葉工業大学）、伊藤利昭（名古屋工業大学）、富田重幸（宮崎大学）、栗本英和（名古屋大学）、橋本芳宏（名古屋工業大学）、瀧野哲郎（東京工業大学）、青山 敦（東京工業大学）、吉田雅俊（東北大学）、武田和宏（九州大学）、矢嶋智之（名古屋大学）、加納 学（京都大学）、野田 賢（京都大学）、濱口孝司（名古屋工業大学）、松本秀行（東京工業大学）、山崎克彦（鐘淵化学工業）、江口 有（代理：田中孝幸、協和発酵工業）、大田原健太郎（呉羽テクノエンジニア）、薄 豊文（ジャパンエナジー）、滝波明敏（代理：蒲原弘和、昭和電工）、垣花克彦（代理：大久保尚人、住友化学工業）、轡 義則（代理：高元 保、住友化学工業）、清水佳子（東芝）、濱村光利（代理：鈴木剛司、東洋エンジニアリング）、小崎恭寿男（日揮）、藤井孝義（日揮）、春成 孝（日産化学工業）、西野由高（日立製作所）、一津屋茂（三井化学）

委員以外の出席者：

前 一廣（京都大学）、夕部邦夫（MCPT 京都集中研）、長澤英治（MCPT 京都集中研）、久保山俊治（MCPT 京都集中研）、和田康裕（MCPT 京都集中研）、村田秀之（MCPT 京都集中研）、川口達也（MCPT 京都集中研）、岩崎 猛（MCPT 京都集中研）、野村秀幸（MCPT 京都集中研）、日景繁樹（MCPT 京都集中研）

4. 研究会 テーマ：「マイクロ化学システムとPSE」

1) 「マイクロ化学システムからみたPSE研究」(資料#1) 京都大学 長谷部 伸治 委員  
はじめにマイクロ化学プラントの可能性についてふれ、次にマイクロ単位操作の設計およびそれらの集積化に係る設計での特徴について説明があり、そしてマイクロ化学プラントの制御についてのアイデアの紹介があった。また、NEDOプロジェクトの紹介があった。

<質疑応答>

西谷：インテックセンター（京都集中研）のなかでの研究と、講演のなかで紹介された長谷部先生の研究はどのような関連があるのか。

長谷部：私もグループの一員として研究させていただいており、そのなかで主に単位操作の装置の最適化・集積化を担当している。

青山：マイクロ化学システムでないと生産できないものはあるのか。また、プロジェクトのなかでキラーアプリケーションのようなものをみつけることができるのか。

長谷部：現在プロセス全体をマイクロにして生産している例がドイツにあると聞いているが、見せてくれないのでわからない。国内では、プロセスの一部にマイクロの特徴を使って生産しようという動きは始まっており、実際パイロットプラントレベルで実現されている。しかし、プロセス全体をマイクロにした例はあまりない。

また、プロジェクトのなかからキラーアプリケーションがでてくるかとの質問については、でてこなくてはいけないと考えている。現在プロジェクトのなかでいくつか面白い結果が得られており、そ

れを残りの二年半の間にアプリケーションにもっていきたい。

2) 「NEDO マイクロ分析・生産システムプロジェクトの紹介」(資料#2) 東京工業大学 黒田 千秋 委員  
平成14年度から4年間の計画で始まったマイクロ分析・生産システムプロジェクト(NEDO)の実施計画と現状の紹介があった。また、マイクロ化学プロセッシングの特徴、応用分野、問題点などについて説明があった。

<質疑応答>

佐渡友：このプロジェクトの最終目標および中間目標を教えてください。

黒田：来年1月末の中間評価のための資料をNEDOへ提出し終わったところで、これから評価を受けるところである。最終目標は、マイクロチップ技術に関しては、いかに低コストで性能のよいチップを作って実用化レベルまでもっていくことである。体系化に関しては、マイクロ特徴の技術の体系を規格化・標準化すること、様々なモデルを集積しシミュレーションできるような知識データベースを構築し提供することが最終目標である。

長谷部：プロジェクト発足当初の目標はマイクロ化学プロセス技術の基礎研究であったが、1年後に生産可能なマイクロ化学プラントの構築に目標が移っている。しかしながら、我々大学の人間は、実際に生産できるプラントの実現だけでなく、基礎となるモデルは何かなど設計・運転のための理論・技術の体系も作ることも大切と考え、その双方について進めているのが現状である。

西谷：マイクロ化学プロセス技術はなぜドイツが進んでいるのか。日本で遅れている一因はケミストとシステムエンジニアとの間がうまくリンクしていないのではないかと見受けられるがどうだろうか。

黒田：ドイツでは、最初、大学と小さなベンチャー企業が極めて緊密な連携をとって研究を始めるのが早く、それに対して学会が強力なサポートしている。一方、日本では、産と学の間学会が入ってうまくコーディネートするといったことがうまく機能しておらず、それが遅れをとった一つの原因と考える。

長谷部：ドイツは標準的なマイクロ装置を作っているという面では確かに進んでいるが、実際にマイクロ化学プラントに関する研究という面では日本はそれほど遅れをとっているとは思えない。決まった装置を使って決まった実験をするならばドイツに負けているかもしれないが、これから新たに新しい反応を新しいアイデアに基づいて装置を作って進めていくという観点から見ると決して日本は遅れているとはいえない。

3) 「生産を前提としたマイクロプロセス-PSEに期待する」(資料#3) 京都大学 前一廣氏  
マイクロデバイスを用いた各種反応の研究結果を概説があり、その上でマイクロ空間での利点の説明があった。また、これを生産プロセスに結び付けていくために越えなければならない様々なハードルについてふれ、これからPSEがチャレンジすべき課題が述べられた。

<質疑応答>

西谷：前先生は頭のなかで最適化をされておられるが、PSEで最適化をするにあたって対象を数式化しシミュレーションするためには、前先生のやっているような仕事をPSEの人間もしなければ本来できないと考える。その点がPSEの非常に脆弱なところであり、従来のように先にプロセスありきでそれに対して数式化して最適化するという態度では、マイクロ化学システムに対してPSEは役に立たない。

前：共同研究を進めるにあたっては、9対1あるいは8対2ぐらいの割合で相手の領域の知識を知った上で行っている。次の世代の研究者は反応に関する知識とシステムの知識の両方を知った上で行おうという態度で進めていったらと考えている。

長谷部：現状では前先生が考えておられる装置構造がPSEの人間からシステムマックに出てくるような方法論がまだできてない。前先生の頭のなかにあることをきちんとモデル化できればそれが可能なはずである。今のプロセスシステムのシンセシスのレベルでは難しく、何らかのブレークスルーが必要であるが、その辺りを富田先生に考えていただいている。

富田：個別の開発というのはある方向に向かって一本道に進むものであり、それを説明することはできるが、それでは方法論にはならない。あるクラスに共通して通用するような形で整理しなければならない。前先生の頭のなかにある知識を結果だけ聞くのではなく、その裏にあるものをどこまで考えて見つけたのかを見極めることが非常に難しい。

青山：LCAのところでは物質・熱に加えて物性というファクタを考慮するとよいという話だったが、具体的に

どういふところがよいのか。

前：物理や化学などの自然の法則に従うシステムと振動するためには物性が必要である。LCA を用いて意思決定をさせるためには物性まで取り込んで正確に利用しないといけない。また、こういうシミュレーションならばこういう技術が最適ですよと提示できるツールでないと工学ではない。さらに、人間が関わっているところは最後まで命題として残ると思われるが、そこまで含めたものを考えなければならない。また、システムの境界が狭いなかで評価しては無意味であり、局所的な最適解を繋げて全体の最適解を求めるような方法を開発して欲しい。あと、LCA のなかに時定数（ものの劣化速度の違い等）を考慮して欲しい。

西谷：マイクロの特徴を生かしたアイデアをいろいろ考えて研究を進めておられるが、そのなかで従来の化学工学の反応工学などで勉強されたもの以外の知識をどれだけ必要としたのか。

前：今回のプロジェクトの研究を行うにあたって新たに勉強したのは、エマルジョンの電気乳酸の部分のみであり、その他は化学工学の知識である。ただし、様々な知識を頭のなかにしまうだけでは駄目で、いかにそれらを複合的にリンクすることができるかが大事である。そのためには、若いうちからそういったトレーニングを積む必要がある。

西谷：マイクロプラントに対しても化学工学の基礎はほとんど生かされているわけであるから、それをどうやって組み立てて使うかというスキルのところが少し変わってくると考える。その辺をもう一度整理し直そうということは意味があり、それを考える上で前先生のお話は大きなヒントになると考える。

前：現時点では微小エレメントをベースに体系化していくしかないと考える。デバイスよりワンランク・スケールダウンした自由要素を入れて、順番に微小エレメントを積み上げて階層を作っていくというやり方が効果的にまとまると考える。

長谷部：微小エレメントを積み上げるといふのはマルチスケールで考えておられるのか、シングルスケールで考えておられるのか。

前：できればマルチスケールを考えている。

#### 4) 総括討論「生産プロセス化の問題点と研究課題」

3件の講演を通して、マイクロ化学システムについての質問応答・コメントがあった。

伊藤：マイクロ化学プロセスはニーズに合わせてスクラップ・アンド・ビルドが容易であると述べられたが、マイクロ化学プロセスをどういふところに産業界や民生で使うかを考えたとき、設計そのものが非常に物性に支配されることから、ニーズに合わせて設計するという事はかえってマクロに比べて難しいと考えられるが。

前：適当な流体セグメントをもつパーツを集めておき、それをどう組み合わせるかである。プロセスにより一からデバイスを微細加工していくのではなく、医薬品キットのようにプロセスに応じていくつかパーツを揃えておき、それをどうアセンブルするかを考える。

春成：マイクロ化学システムはどのいふ範囲のシステムをいうのか。また、世の中に実際に実用で使われているものはあるのか。

前：マイクロの特徴が出れば1ミリでもマイクロである。サイズはマイクロの特徴を出すための一つの要素である。数百ミクロンのサイズでもマイクロの機能が発現しなければマイクロではない。実際には、数百ミクロンで大体発現してくる。ミリではなかなか発現しない。

長谷部：分析の分野では使い捨てチップという形で製品化されており、血液分析、環境分析などいろいろなところで使われている。また、いろいろな lab-on-chip が出てきており、大学・企業の実験室に実験効率を上げるためのシステムが入ってくると考える。生産用のシステムとしては、CPC という会社の実験用のシステムの反応器の部分だけをパラレルにくっつけ、ドイツでプラントとして納め、実際に生産用に用いているという報告がある。それ以外は、自社開発して使っているというようなことは表に出てこないのによくわからないが、マイクロを部分的に使うということはいろいろなところでやられている可能性はある。

伊藤：これまでのプロセス制御はハードウェアが同じで多くのオペレーションが実現できるというのがその一つの成果である。マイクロ化学プラントを制御するためには、オペレーションの上でもっとフレキシビリティの得るようなオペレーションがあればその力を発揮できると考える。フレキシビリティを出すためには例えば脈流を使うとか、さらには新しいオペレーションというものがマイクロリアクタに付加されることが大事だがどうだろうか。

前：視点を変えて考えてみる。可能性としてはあると思われる。

長谷部：マイクロでは非常に操作変数が少ない。前先生が例で挙げた二重缶のデバイスは外側の流量を変えることによってマイクロチャンネル径を変えることができ、そういう意味で操作変数をもったデバイスである。操作変数をもつデバイスをもっと開発していけばマイクロの操作性は上がるが、現時点ではそういうデバイスは少ない。今後、操作量を持ち込むということが必ず必要となってくると考える。

高松：これまでの制御は、先にシステムがあってそれをうまく運用するにはどうすればよいかという立場であった。しかしながら、設計変数と操作変数の違いはあるかもしれないが、最終的には満足してもらってシステムを構築できればよいと考える。したがって、自動制御はこれまでのようにプラントがあってそれを御するものだけではなく、制御的な見方をすればどのような装置がよいかということについても同じように考えていかなくてはならないと考える。

#### 5) マイクロ化学技術共同研究組合 京都集中研 見学

京都大学工学研究科桂インテックセンター内に置かれているマイクロ化学プラント技術京都集中研究所の実験設備を見学した。

なお、研究会で集めたアンケート（コメント・意見・質問など）にて次の質問があり、それについてご講演者から回答をいただいた。

長谷部委員へ

（質問）モデリング&シミュレーションの重要性に関して、反応を連成させた CFD はどの程度まで可能になったか、ご教示いただけたら有難い。

（回答）CFD の開発レベルの話ではなく、市販の CFD シミュレータを、PSE 研究者が使う、という立場からの回答とお考え下さい。

我々の経験では、液相均一系で反応速度、拡散係数が既知であれば、かなり複雑な形状でも静的シミュレーションは可能だと思っています。ダイナミクスを考えると、べらぼうに時間がかかります。

問題は、不均一系です。液液系でも、界面の挙動をなかなかうまく表現できません。不均一系を扱うことができる、というふれこみの CFD ソフトを用いても、なかなか大変で四苦八苦しています。

配布資料：

#1: マイクロ化学システムからみた PSE 研究

#2: NEDO マイクロ分析・生産システムプロジェクトの紹介

#3: 生産を前提としたマイクロプロセス－PSE に期待する－