# Kyoto University



Department of Chemical Engineering

2006

京都大学 <sup>大学院工学研究科</sup> 化学工学専攻



京都大学大学院工学研究科化学工学専攻では,化学産業のみ ならず,電子産業などを含む基幹産業の構造改革や社会・経済 の変化に対応できる学術基盤の構築とそれを支える幅広い視野 と総合的な判断力を備えた人材および専門研究者・学際的人材 を養成することを目標に教育を行っている。さらに,世界的な 学術研究の拠点,研究者養成の中核的機関としての位置付けを 目指している。そのために,既存専攻の充実に加えて京都大学 工学研究科高等研究院などとの共同研究を通じて,複合的学域 の創出・深化に携わる研究者の養成を図っている。



京都大学 <sup>大学院工学研究科</sup> 化学工学専攻



Kyoto University – Department of Chemical Engineering

# 目次

沿革     2       構成     4       カリキュラム     6       国際交流     8       教員・研究室紹介     8       牧員・研究室紹介     10       水市第室室紹介     10       水市制御工学分野     12       反応工学分野     14       化学システム工学講座     16       約萬工学分野     16       粒子系工学公野     18
カリキュラム     6       国際交流     8       教員・研究室紹介     8       松学工学基礎講座     10       移動現象論分野     10       界面制御工学分野     12       反応工学分野     14       化学システム工学講座     分離工学分野       分離工学分野     16       粒子系工学公野     18
国際交流 8 教員・研究室紹介 化学工学基礎講座 移動現象論分野 10 界面制御工学分野 12 反応工学分野 14 化学システム工学講座 分離工学分野 16 粒子ズアム四世講座 18
<ul> <li>教員・研究室紹介</li> <li>化学工学基礎講座</li> <li>移動現象論分野</li> <li>月面制御工学分野</li> <li>反応工学分野</li> <li>化学システム工学講座</li> <li>分離工学分野</li> <li>16</li> <li>約子工学会野</li> <li>18</li> </ul>
化字工字基礎講座         移動現象論分野       10         界面制御工学分野       12         反応工学分野       14         化学システム工学講座          分離工学分野       16         粒子系工学公野       18
7     7     10       界面制御工学分野     12       反応工学分野     14       化学システム工学講座     16       分離工学分野     16       粒子系工学分野     16
反応工学分野     14       化学システム工学講座     16       約離工学分野     16
化学システム工学講座 分離工学分野 16 粒子系工学分野 18
分離工学分野 16 約2-3-1学分野 18
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
松丁尔工于万时 10
材料プロセス工学分野 20
プロセスシステム工学分野 22
環境プロセス工学講座 24
融合プロセス工学講座 26
(国際融合創造センター)
非常勤講師 28
名誉教授 29
人員構成 30
キャンパフマップ
<ul> <li>イャンハスマック 31</li> <li></li></ul>

# CONTENTS

Outline	
Location & History	3
Organization	5
Curriculum	7
International activities	9
People & Research	
Transport Phenomena	11
Surface Control Engineering	13
Chemical Reaction Engineering	15
Separation Engineering	17
Particle-System Engineering	19
Materials Processing Engineering	21
Process Control and Process Systems Engineering	23
Environmental Process Engineering	25
Process Coordination Engineering	27
(International Innovation Center)	
Invited lecturers	28
Professors emeriti	29
Constituent numbers	30
Campus map	31
Access	32

概要

#### 沿革

京都大学化学工学教室の歴史は,昭和15年4 月1日,京都帝国大学工学部に化学機械学科が 設立されたのに始まる。化学機械学科は、当初2 つの講座で発足したが,翌16年に講座数3,17年 には講座数4に拡大された。昭和36年に講座数は 6つとなり、名称も化学工学科と変更された。拡散 系単位操作講座,化学工学熱力学講座,反応工 学講座, 機械系単位操作講座, 輸送現象論講座, 装置制御工学講座の各講座が置かれ,工学研究 所にも化学工学研究部門が置かれていた。学部 学生定員は40名に拡充された。昭和44年に装置 工学講座が設置され、講座数は7となった。昭和 61年には工学部付属施設として重質炭素資源転 換工学実験施設が置かれ,また平成3年には生 物化学工学講座が設置され,化学工学教室は8 つの講座に2つの関連講座を加えた体制となり、 学部学生定員も54名に拡大された。

平成5年4月,工学部の先陣として化学系学科 の改組が実施されたのにともない,化学工学科は 2つの基幹大講座(7分野)と1つの大学院専任講 座を有する工学研究科化学工学専攻に衣替えさ れた。化学系の学部課程は工業化学科3コースに 統合された。学部学生は2年次後期から各コース での教育を受け,化学工学専攻の教員は主に化 学プロセス工学コース(42名)の教育を担当してい る。化学工学専攻の学年定員は、修士課程26名、 博士後期課程9名であり、主に化学プロセス工学 コースの学生が進学する。

平成8年に原子エネルギー研究所(旧工学研 究所)がエネルギー理工学研究所に改組され,新 設のエネルギー科学研究科の協力講座となった が,関係教員は現在も化学工学教室の教育に関 与している。また,平成13年に設立された京都大 学国際融合センター融合部門には,化学工学専 攻の協力講座(融合プロセス工学講座)がある。

平成15年に,吉田キャンパスから11km,京都 駅から7km,桂駅から2kmの距離に新キャンパ スの桂キャンパスが開かれ,化学系,電気系専攻 が第一陣として移転した。現在,化学工学専攻は 桂キャンパスにあり,平成16年の国立大学法人へ の移行も新キャンパスで迎えた。

現在,2200名を超える本教室の卒業生・修了生 が化学工業を中心に活躍しており、本教室は名実 ともに我が国有数の化学工学教室となっている。

1922	工業化学科化学機械学講座設置
1940	化学機械学科設置
1949	「化学機械の理論と計算」出版
1953	新制大学院設置
1955	新制大学院博士課程設置
1961	化学工学科に改組
1963	吉田キャンパス西部構内から
$\sim \! 1968$	本部構内の工化総合館に移転
1993	大学院重点化,化学系改組
2003	桂キャンパスへ移転



#### OUTLINE OF THE DEPARTMENT

#### Location

The Department of Chemical Engineering is located on the Katsura Campus which is the newest of the three campuses of Kyoto University. Katsura Campus, opened in 2003, is located in the western part of Kyoto City. Kyoto, at the center of Honshu Island, can be accessed from Kansai International Airport within two hours. The campus is seven kilometers from Kyoto Station and two kilometers from Katsura Station. The majority of the Department is located in Building A4, but the Department also has laboratories, lecture rooms, and other facilities in Building A2.

#### History

The Department of Chemical Engineering, Kyoto University, was founded on April 1, 1940, as one of the first chemical engineering departments in Japan. The number of Kozas (chairs) was only two in the beginning but increased to three in 1941, four in 1942, and six in 1961, which were devoted to Diffusional Unit Operations, Chemical Engineering Thermodynamics, Chemical Reaction Engineering, Mechanical Unit Operations, Transport Phenomena, and Process Control.

In 1993, the Faculty of Engineering reorganized their departments for the purpose of intensification of the graduate school. The Department became composed of eight Kozas and one affiliated Koza. The Research Laboratory of Carbonaceous Resources Conversion Technology founded in 1986 merged with the Department in 1996. After these consecutive reorganizations, the Department presently consists of eight Kozas. The Department is in close cooperation with the Innovative Process Engineering Section of the International Innovation Center, Kyoto University.

"Koza" is a small subdivision of the department. Each Koza usually has one full professor, one associate professor, and one assistant professor, and specializes in a particular research area as shown in the following pages.

Since the reorganization in 1993, six chemistryrelated departments have provided a unified fouryear undergraduate program under the name of the School of Industrial Chemistry. Students of the school choose one of three courses at the middle of the second year. The Department of Chemical Engineering organizes the core educational program of the Chemical Process Engineering



Number of graduates of the Department. 学部課程卒業者数·修士課程修了者数累計

Course. The department produces approximately 40 B. Eng.'s every year.

The Department has graduate programs leading to M. Eng. and D. Eng. degrees. Requirements for M. Eng. are 22 credits of course work and a research thesis. An original research thesis compiling more than three year research during the graduate program is a part of the D. Eng. requirements. Every year, the Department sends out 26 M. Eng.'s and several D. Eng.'s.

More than 2200 alumni of the Department are presently playing active parts in various industries including chemical industries, and the Department is recognized as one of the best and largest chemical engineering departments in Japan.





学部課程入学者数と修士課程入学者数,博士後期課程入学者数 Number of first-year students of undergraduate and graduate programs by year.

#### 構成

化学工学教室は,2つの基幹大講座,「化学工 学基礎講座」(移動現象論分野,界面制御工学分 野,反応工学分野),「化学システム工学講座」(分 離工学分野,粒子系工学分野,材料プロセス工学 分野, プロセスシステム工学分野)と専任講座「環 境プロセス工学講座」,ならびに協力講座の「融 合プロセス工学講座(国際融合創造センター融合 部門ベンチャー分野)」で構成されている。











#### Organization

#### Kozas (Chairs)

- 1. Transport Phenomena
- 2. Surface Control Engineering
- 3. Chemical Reaction Engineering
- 4. Separation Engineering
- 5. Particle-System Engineering
- 6. Materials Processing Engineering
- 7. Process Control and Process Systems Engineering

- 8. Environmental Process Engineering
- 9. Process Coordination Engineering (International Innovation Center)



# カリキュラム

工学部工業化学科 化学プロセス工学コース

工学研究科 化学工学専攻

#### 学部課程

1回生 (工業化学科) 工業化学概論I, II 基礎物理化学A.B 基礎有機化学A, B 分析化学及び環境化学実験 微分積分学A.B 線形代数学A,B 物理学実験 物理学基礎論A.B 基礎情報処理,同演習 2回生 (工業化学科) 物理化学基礎及び演習 有機化学基礎及び演習 基礎無機化学 化学プロセス工学基礎 合成及び測定実験 微分積分学続論A.B 熱力学

振動•波動論 力学続論 解析力学

2回生 (化学プロセス工学コース) 物理化学I(化学工学) 無機化学I(化学工学) 基礎流体力学 化学工学数学I 化学工学計算機演習 反応工学I 科学英語 (化学工学)

3回生 (化学プロセス工学コース) 移動現象 流体系分離工学 プロセス制御工学 物理化学II, III (化学工学) 化学工学数学II 計算化学工学 化学工学実験(化学工学) 環境保全概論 反応工学II 固相系分離工学 微粒子工学 プロセスシステム工学 化学工学シミュレーション 生物化学工学 環境安全化学 有機工業化学

**4回生**(化学プロセス工学コース) 化学実験の安全指針 プロセス設計 工学倫理 特別研究

#### 修士課程

移動現象特論 分離操作特論 反応工学特論 プロセスシステム論 プロセス制御論 微粒子工学特論 界面制御工学 化学材料プロセス工学 電子材料化学工学 電子材料化学工学 流体物性概論 化学技術者倫理 化学工学特論第一,二,三,四 化学工学特別実験及び演習

#### 博士後期課程

環境プロセス工学 化学技術英語特論 化学工学特別セミナー1~6 先端マテリアルサイエンス通論 新工業素材特論



#### CURRICULUM

Undergraduate Program Chemical Process Engineering Course School of Industrial Chemistry College of Engineering

Master Program & Doctoral Program Department of Chemical Engineering Graduate School of Engineering

#### **Undergraduate Program**

First grade (School of Industrial Chemistry) Introduction to Industrial Chemistry I, II Basic Physical Chemistry A, B Basic Organic Chemistry A, B Analytical and Environmental Chemistry Experiments Calculus A, B Linear Algebra A,B Elementary Course of Experimental Physics Fundamental Physics A, B Information Processing Basics **Exercises in Information Processing Basics** Second grade (School of Industrial Chemistry) Physical Chemistry: Fundamentals and Exercises Exercises in Basic Organic Chemistry **Basic Inorganic Chemistry** Fundamental Chemical Process Engineering Synthetic and Quantitative Chemical Experiments Advanced Calculus A, B Thermodynamics Physics of Wave and Oscillation Advanced Course of Classical Mechanics Analytic Dynamics Second grade (Chemical Process Engineering Course) Physical Chemistry I (ChE) Inorganic Chemistry I (ChE) Fundamental Fluid Mechanics Mathematics for Chemical Engineering I Computer Programming in Chemical Engineering Chemical Reaction Engineering I Practical English in Science and Technology (ChE) Third grade (Chemical Process Engineering Course) Transport Phenomena Fluid-Phase Separation Engineering Process Control Physical Chemistry II, III (ChE) Mathematics for Chemical Engineering II Numerical Computation for Chemical Engineering

Chemical Process Engineering Laboratory Introduction to Environment Preservation Chemical Reaction Engineering II Solid-Phase Separation Engineering Fine Particle Technology Process Systems Engineering Simulations in Chemical Engineering Biochemical Engineering Chemistry and Environmental Safety Industrial Organic Chemistry

Fourth grade (Chemical Process Engineering Course) Safety in Chemistry Laboratory Process Design Engineering Ethics Graduation Research Work (Thesis Project)

#### **Graduate Programs**

Master course (2 years) Transport Phenomena Separation Process Engineering, Adv. Chemical Reaction Engineering, Adv. Advanced Process Systems Engineering Advanced Chemical Process Control Fine Particle Technology, Adv. Surface Control Engineering Engineering for Chemical Materials Processing Environmental System Engineering Electronic Materials Chemical Engineering Molecular Science of Fluids Special Topics in English for Chemical Engineering Ethics for Chemical Engineers Special Topics Chemical Engineering I, II, III, IV Research Chemical Engineering (Thesis Project) **Doctoral course** (+3 years)

Environmental Process Engineering Special Topics in English for Chemical Engineering Special Seminar in Chemical Engineering 1–6 Introduction to High Technology Material Science New Engineering Materials, Adv.



国際交流

当専攻は世界各国からの研究者や留学生を受け入れている。当専攻は以下の大学の化学工学 科等と国際交流協定を結んでおり、一部の協定は 学部レベル、大学レベルに拡充されている。

ウィスコンシン大学(合衆国) ミュンヘン工科大学(ドイツ) カールスルーエ大学(ドイツ) 南部国立大学(アルゼンチン) 浙江大学(中国) デンマーク工科大学(デンマーク) ラッペンランタ工科大学(フィンランド) ボリスキドリック核科学研究所(ユーゴスラビア) エアランゲンニュルンベルク大学(ドイツ) ドルトムント大学(ドイツ)

これらの他にもチュラロンコン大学 (タイ), ウォ ータールー大学 (カナダ), シンガポール国立大 学 (シンガポール) などの大学と緊密な協力関係 を保っており, 教員ならびに学生の交流や合同シ ンポジウムの開催などを行っている。

専攻独自の協定に加え, テキサス大学オース ティン校工学部(合衆国), チェコ工科大学プラハ 校(チェコ), デルフト工科大学(オランダ), チュラロ



ンコン大学(タイ),香港科学技術大学工学研究 科・理学研究科,韓国科学技術院工学研究科(韓 国),大連理工大学(中国),ドルトムント大学(ドイツ), 中国科学技術大学(中国)等の28大学との間に部 局間協定があり,清華大学(中国),ソウル大学校 (韓国),シドニー大学(オーストラリア),グルノーブ ル理工科大学(フランス),ユトレヒト大学(オランダ), ウプサラ大学(スウェーデン),スイス連邦工科大 学(スイス),トロント大学(カナダ),スタンフォード 大学,カリフォルニア大学,イリノイ大学アーバナ・ シャンペーン校(合衆国)等の79大学とは大学間 学術交流協定を結んでいる。

博士課程では, 英語のみで学習することができる International Doctoral Program in Engineering という特別コースも用意されている。



Number of academics and students from abroad by nationality. 長期滞在中・在学中の海外からの研究者・留学生数

#### INTERNATIONAL ACTIVITIES

The Department accepts visiting researchers as well as undergraduate, graduate, research students from abroad. As a part of its international cooperative exchange program, the Department has a program named the International Doctoral Program in Engineering. This program provides young students and researchers with a master degree an opportunity to conduct further studies at Kyoto University, leading to a doctoral degree. The Japanese language is not required in this program. An applicant must be a graduate of a university with which the Graduate School of Engineering, Kyoto University, has signed an agreement of international academic exchange or equivalent.

We have academic exchange agreements at the college/graduate school level with 28 engineering colleges/graduate schools including Hong Kong University of Science and Technology, Dalian University of Technology, University of Science and Technology of China (China), Czech Technical University in Prague (Czech), Friedrich-Alexander Erlangen – Nürnberg, Universität Universität Dortmund (Germany), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Korea), Delft University of Technology (Netherlands), National University Singapore (Singapore), Chulalongkorn of University (Thailand), and University of Texas -Austin (USA).

Kyoto University has signed general memorandums for academic exchange and cooperation





with 79 universities including University of New South Wales, University of Sydney (Australia), University of Toronto, University of Waterloo (Canada), Tsinghua University (China), Institut National Polytechnique de Grenoble (France), Seoul National University (Korea), University of Utrecht (Netherlands), National University of Singapore (Singapore), Swiss Federal Institute of Technology (Switzerland), Uppsala University (Sweden), Stanford University, University of California, and University of Illinois – Urbana-Champaign (USA).

The Department has also signed academic exchange agreements of its own, some of which has developed into the higher-level agreements, with the following universities:

		SILLCE
University of Wisconsi	n (USA)	1980
Technische Universität München		
	(Germany)	1982
Universität Karlsruhe	(Germany)	1985
Universidad Nacional	del Sur	
	(Argentina)	1985
Zhejiang University	(China)	1986
Technical University of	f Denmark	
	(Denmark)	1987
Lappeenranta Universi	ty of Technolog	gy
	(Finland)	1988
Boris Kidrich Institute for Nuclear Science		
	(Yugoslavia)	1990
Friedrich-Alexander U	niversität Erlar	ngen –
Nürnberg	(Germany)	1990
Universität Dortmund	(Germany)	1990

Intimate cooperation has been achieved with the chemical engineering departments of these universities as well as Chulalongkorn University, Waterloo University, and National University of Singapore.

# 移動現象論分野



教授 東谷 公 Prof. K. Higashitani k\_higa@cheme.kyoto-u.ac.jp



助教授 山本 量一 Assoc. Prof. R. Yamamoto ryoichi@cheme.kyoto-u.ac.jp



助手 神田 陽一 Assist. Prof. Y. Kanda <sup>kanday@cheme.kyoto-u.ac.jp</sup>



助手 新戸 浩幸 Assist. Prof. H. Shinto shinto@cheme.kyoto-u.ac.jp

高分子, コロイド粒子, エマルション, 両親媒性 分子, 液晶, 生体物質などの物質を含む系は「複 雑流体」と呼ばれ, 単純流体では見られない, 空 間的・時間的に全くスケールの異なる階層構造を 内部にもつ。この複雑流体系は, 電子・セラミック ス材料, 化学品, 薬剤, 食品をはじめ, 極めて多く の工業製品に深く関わっている。高機能性・構造 性材料の創製プロセスを開発のためには, 複雑流 体系の移動現象を分子レベルで理解し, その制 御を「ミクロな観点」から計ることが不可欠となる。

1. ソフトマター/複雑流体の移動現象解析に有効 な新しいシミュレーション方法の開発

化学工学でも重要な複雑流体やソフトマターに ついて,計算機シミュレーションを用いた研究を行 っている。これらの物質は空間的・時間的に全くス ケールの異なる階層構造を内部に持つことが多く, 最新のコンピュータを用いてもすべての階層を同 じ計算手法で取り扱うことは不可能である。そこで これらの物質に対して有効な新しい計算手法の開 発を行い,種々の外場下の移動現象の解析に用 いる。(図1参照)

2. 界面ミクロ構造と表面間力・表面間摩擦力

原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて,水分子,イ オン,両親媒性分子,高分子,液晶などの固液界 面吸着形態の「その場観察」を行い,界面近傍で の分子挙動を把握し,高機能性材料・高度分離用 材料のための材料表面設計を検討する。また,微 粒子挙動を支配するナノオーダの表面間力・表面 間摩擦力の直接測定により,表面及び媒体物性 や吸着分子等の種々の因子との因果関係を明ら かにし,微粒子挙動の定量的制御を目指す。さら に,対応する系のモデリングを分子シミュレーショ ンにより行う。(図2参照)

#### 3. 生細胞への粒子付着・取込過程のナノ計測

DDS用粒子の設計支援やナノ粒子の生体影響 評価を目指して,AFM と光学顕微鏡とを組み合 わせたナノ計測システムを開発・駆使し,生細胞 への粒子付着・取込過程を直接観測して分子レ ベルで理解する。

#### 4. 湿式法による機能性デバイスの開発

微粒子分散液を乾燥,固化させる湿式非真空 プロセスは,大面積化・連続化が可能で,薄膜状 物質や多孔質体を容易に作成でき,最も低廉な デバイス作成プロセスといえる。しかし,このような 多相系の流体の挙動は複雑で,その利用は経験 が必要であった。そこで,前駆体粒子の発生機構, ナノ粒子スラリーの流動特性,結晶成長機構等を 解明し,高い制御性の下で高性能な導電膜,多 孔質透明電極等の機能性デバイスの開発を行う。

#### Koza 1 Transport Phenomena

Professor Ko Higashitani Assoc. Professor Ryoichi Yamamoto Assist. Professor Yoichi Kanda Assist. Professor Hiroyuki Shinto

The systems including substances such as polymers, colloidal particles, emulsions. amphiphilic molecules, liquid crystals, and biological matters are called "complex fluids," which have hierarchical structures of different scales of space and time unlike simple fluids. The complex fluids play an important role in production of various functional materials such as electric and ceramic materials, fine chemicals, food, and pharmaceuticals. The understanding and control of the complex fluids from a molecular point of view would thus be indispensable in establishing the process development methodology for highly functional and structural materials.

#### 1. Development of new simulation methods applicable to analyzing transport phenomena in soft matters and complex fluids

We concern to understand the nature of unique properties of soft matters and complex fluids. We are currently developing "a hybrid type molecular dynamics simulation method" which is applicable for simulating and analyzing transport phenomena in various kinds of soft matters and complex fluids,



Fig. 1. Direct numerical simulations of electrophoresis of charged colloids. Arrow: velocity field, Color: density of counter ion.

図 1. 電気泳動するコロイド粒子の直接数値シミュレーション。矢印:流動場,カラー:対イオン濃度

including colloidal dispersions in complex fluids, such as liquid crystals, electrolyte, etc, under some external fields. (See Fig. 1.)

# 2. Micro-structures and interaction/friction forces between surfaces

Using an atomic force microscope (AFM), the behaviors of water molecules, ions, surfactants, polymers, and liquid crystals at the solid-liquid interfaces are investigated to establish the fundamentals for the design of the surface of highly functional materials. The interaction and friction forces between the surfaces in the order of nanometers, which control the particles' behavior in colloidal systems, are also extensively studied by AFM to clarify the relation between the force and the various factors such as surface properties, medium properties and adsorbed molecules. Also, computer modeling of the corresponding systems is performed using molecular simulations. (See Fig. 2.)

# 3. Nano-scale observation of adhesion/uptake of particles onto/into live cells

We are currently developing a combined instrument of an AFM and a light microscope to observe and understand from a molecular point of view the adhesion/uptake of particles onto/into live cells. This instrument will be a good tool to aid the design of DDS particles and to assess the impact of nano-particles on living bodies.

# 4. Development of functional device by wet method

Wet process, drying and solidifying of particle dispersions, is expected as one of the lowest cost processes, which enables us to make easily the products with large area and/or porosity even in continuous operation. The behavior of the multiphase flows therein is, however, enormously complicated. We investigate the mechanism of the nucleation of precursor particles, the rheology of nano-particulate slurry, and the mechanism of crystal growth and then aim to develop the functional devices such as high-performance conductive films, and transparent porous electrodes.



Fig. 2. Schematic of the friction mechanisms in aqueous solutions obtained from AFM measurements.

図 2. AFM 測定から得られた水溶液中での表面間摩擦 の概念図

# 界面制御工学分野



教授 宮原 稔 Prof. M. Miyahara <sup>miyahara@cheme.kyoto-u.ac.jp</sup>



助手 田中 秀樹 Assist. Prof. H. Tanaka tanaka@cheme.kyoto-u.ac.jp



助手 渡邉 哲 Assist. Prof. S. Watanabe nabe@cheme.kyoto-u.ac.jp

#### ナノスケール拘束空間の工学 -構造制御を目指した界面場の積極利用-

化学工学の目的が「組成制御」から「構造制御」 に向けて発展すべき現在,工学基礎としてまず求 められるのは, [相互作用集団]×[外場]=[構造 制御]の方程式であろう。つまり,相互作用を及ぼ し合う要素一例えば分子やナノ粒子など一の集団 が,ナノ空間や固体基板上などの外的ポテンシャ ルエネルギー場におかれたときに, どのように相転 移や構造化を生じるのか, といった現象を,見出し, そして理解し, さらにはそのメカニズムを定量的に モデル化することが求められる。

当分野では、このような広義の「界面」における 「外場」の積極利用に着目して、その効果が強調 されるナノスケール空間を舞台に、その場特有の 分子/イオン/ナノ粒子の挙動と構造について, 分子・粒子シミュレーションと実験を併用した解析・ モデル化に取り組んでおり,界面と構造の関わる 化学工学基礎の体系化を目指すとともに,機能材 創製と界面利用各種デバイスへの応用を視野に 研究している。研究テーマ概要を以下に紹介する。

#### 1. ナノ空間内での相転移現象の分子シミュレー ションとモデル化

MCM-41や金属イオン-有機配位子錯体など,ナ ノ空間材料の開発は近年めざましいが,こうした材 料の応用展開には,ナノ空間場における分子集 団の相挙動を理解することが重要である。一成分 系の気液,固液,固気転移,二成分系での液液, 固液転移などの系を対象に,相挙動を分子レベ ルで解析し,その理解をもとに,相挙動を予測可 能な工学的モデル化および実験的検証を図る。

#### 2. ナノカーボン集団系での「相」挙動と構造制御

C60やSWCNTなどのナノカーボン材料は,分子と粒子のいわば中間に位置し,その集団としてのふるまいには未知の側面が多い。分子シミュレーションおよびブラウン動力学により,媒質中での集団挙動を解析し,秩序/無秩序といった「相」挙動の特性の理解を図ると共に,集団構造制御手法としての展開を目指す。

#### 3. ナノ粒子による吸着場・液膜場での構造形成

100 nm オーダー以下の, 広義のナノ粒子の配 位構造を制御しつつ集積を行うことで, 種々の機 能性材料が創製可能と期待されている。基板引力 による吸着場, 基板上を濡らす液膜場などを外場 として利用する集積法を対象に, 操作因子と生成 構造との因果関係を実験的に検討し, ブラウン動 力学法を基礎に秩序構造形成過程の理解とモデ ル化に取り組む。

#### 4. 秩序相・固相発生過程の基礎研究

特異な機能が期待されるナノ粒子を始め,種々 の機能性材料の創製の鍵は,構造の元となる固 相発生過程の制御にある。原子/イオン/分子 集団が「場」で構造を造り上げる素過程について, 実験及びシミュレーションの両面からの研究を展 開する。

#### Koza 2 Surface Control Engineering

Professor Minoru Miyahara Assist. Professor Hideki Tanaka Assist. Professor Satoshi Watanabe

#### Engineering for Nanoscale Confined Space —Active use of interface for structure control—

For the present-day chemical engineering, which changes its purpose from "composition control" to "structure/function control", firstly needed would be an equation, [interacting elements] x [external field] = [controlled structure]: The interacting elements such as molecules, ions and nanoparticles often exhibit peculiar behavior when placed within external potential fields of, e.g., nanospaces and solid substrates. Their structure evolution and/or phase transitions should thus be observed carefully, understood physically, and modeled quantitatively for active use of external fields originating from interfaces for controlling the structures.

Concerning nano- and submicron-scale, which enhances the interfacial effect, the researchers in this laboratory devote their efforts to the following research subjects, aiming at systematic understanding and contribution to chemical engineering fundamentals, which would stand for potential applications to production of functional materials and various devices utilizing interfaces.

# **1.** Molecular simulation and modeling of phase transition in nanospace

Recent advance in nano-spaced materials has been producing fascinating porous media such as MCM-41 and organic-inorganic hybrid complexes. For appropriate and extensive applications of these new media, the understanding of phase behavior of confined fluids is quite important. Exploration by molecular simulation is conducted not only for phase transitions in single-component systems, but also for binary systems. Thus obtained microscopic understandings are to be sublimated as engineering models to predict the phase behavior.

# 2. "Phase" behavior and structure control of nano-carbons

Knowledge about behavior of nano-carbons such as C60 and SWCNT, as a mass, remains quite limited probably because their elemental size lies between molecules and particles. Brownian dynamics, as well as molecular simulations, provide insights into their "phase" behavior within fluid media and/or on substrates. Such insights and understandings will provide possible strategy for structure control of nano-carbon masses.

# **3.** Structure evolution by nanoparticles on adsorptive substrates or within wetting films

Ordered structures made up by 100 nm or smaller particles, or nanoparticles in the broad sense, can exhibit unique functions. The relation between operation condition and evolved structure is investigated experimentally, with the aid of the analysis by Brownian dynamics technique, which should be, in general, applied more for engineering purposes to fill the gap between microscopic analysis and macroscopic operating conditions.

#### 4. Fundamental study on solid-phase evolution

The key issue for efficient production of functional materials would firstly be how to control their nucleation processes, which must determine subsequently-formed structure of a higher order. Experimental as well as theoretical studies are aiming at finding basic mechanisms of solid-phase evolution from atoms/ions/molecules under appropriate external field for targeted materials.



- Fig. 1. Peculiar phase behavior of methane in carbon nanospace: Enhanced ordering (freezing) even above the freezing point for bulk fluid.
- 図1. カーボンナノスペース中でのメタンの特異な挙動: バルク凝固点より高温での秩序化(凝固)



- Fig. 2. Order formation by submicron particles in wetting liquid film: Evolved macro-scale periodic pattern and micro-scale ordering structure.
- 図2. サブミクロン粒子の液膜濡れ基板上の構造:マクロ 周期構造とミクロ秩序構造の生成

Assoc. Prof. M. Kawase

河瀬 元明

助教授

教授

Prof.

三浦 孝一

K. Miura

miura@cheme.kyoto-u.ac.jp



反応工学分野

助手 蘆田 隆一 Assist. Prof. R. Ashida ashida@cheme.kyoto-u.ac.jp

kawase@cheme.kyoto-u.ac.jp



助教授(環境保全センター) 中川 浩行 Assoc. Prof. H. Nakagawa hiroyuki@cheme.kyoto-u.ac.jp

当分野では,エネルギー生産や種々の物質の 製造を効率よくクリーンに行なう反応プロセスの開 発と化学反応を利用した新規な機能性材料の製 造に関する研究を展開している。現在,実施して いるテーマは以下の通りである。

#### 新しい反応スキームによる石炭等の高効率転 換プロセスの開発

21世紀の貴重な資源である石炭を効率よくエネ ルギー源や有用化学物質に転換する反応プロセ ス技術の開発は急務である。当分野では,新規な 高効率転換法を提案し検証している。また,熱分 解,ガス化等のモデリングにも取り組んでいる。

(1) FT-IR, 溶剤抽出を利用した石炭構造の解明

(2)高温溶剤抽出による石炭のフラクショネーション

- (3) 新規な触媒による水熱ガス化を利用した各種 有機廃棄物の有効利用
- (4) 石炭, コールタール, 重質油の熱分解, ガス 化の反応モデリング

2. 機能性材料の開発と材料製造プロセスの開発

独創的な高活性触媒の開発等,反応プロセス の革新を目指した材料研究を進めている。また, 各種機能性材料の開発,材料製造プロセス自体 の開発と反応モデリング,反応器モデリングに関 する材料反応工学にも取り組んでいる。

- (1)石炭や高分子樹脂からの高機能性炭素材料 と金属を高分散させた炭素担体触媒の開発
- (2) ナノ空間と迅速加熱を利用したナノマテリアル とその製造プロセス(ナノリアクター)の開発
- (3)化学気相成長法を利用した C-SiC 傾斜機能 材 (FGM)の製造とCVD 反応のモデリング
- (4) 管型反応器を用いた無機微粒子の反応晶析
- 3. 反応工学的モデリング
- (1)固体高分子形水素燃料電池(PEFC)の反応 工学的モデリング
- (2)自動車排ガス浄化用3元触媒コンバーターの 反応工学的モデリング



図1. 水素PEFC 実験装置とJARI セル Fig. 1. Hydrogen PEFC apparatus & JARI cell.

#### Koza 3 Chemical Reaction Engineering

Professor Kouichi Miura Assoc. Professor Motoaki Kawase Assist. Professor Ryuichi Ashida Assoc. Prof. (EPRC) Hiroyuki Nakagawa

The research in this chair is focused on development of environmentally benign chemical reaction processes for production of energy and valuable chemicals and development of novel functional materials and materials production processes. Current research topics are as follows:

# **1.** Development of new conversion processes of coal and other carbonaceous resources in novel reaction schemes

Innovative reaction processes are required for attaining effective and clean conversion of coal, an important resource in the near future, into energy and valuable chemicals. We have developed several new coal conversion methods and are continuing to improve the coal conversion and liquid yield. We are also carrying out development of reaction models and kinetic analysis of



Fig. 2. 4 nm Ni/C catalyst. 図2. 4 nm Ni/C触媒

Fig. 3. Carbon nanospheres. 図3. カーボンナノスフィア



Fig. 4. Pyrocarbon prepared from propane and allene. 図4. 1010℃で得られた熱分解炭素の構造



- Fig. 5. Fractionation of coals by multi-temperature solvent extraction.
- 図5. 溶剤抽出による石炭のフラクショネーション

complicated reaction systems such as pyrolysis and gasification of coal, heavy oils, etc. Specific projects in this area include:

- (1) Estimation of macromolecular structure of coal using FT-IR and solvent extraction.
- (2) Fractionation of coal by the extraction of coal at elevated temperature and pressure.
- (3) Development of a novel catalytic reaction scheme for utilization of various organic wastes.
- (4) Kinetic analysis of the pyrolysis and gasification of coal, tar, heavy oil, etc.

# 2. Development of new functional materials and materials production processes

Material research such as development of original advanced catalysts, porous carbon, carbon– silicon carbide functionally graded material (FGM), and other functional materials are being carried out. The processes for materials production are also our research targets. Specific projects in this area include:

- (1) Production of porous carbons and metal/carbon catalysts from coal or various resins.
- (2) Development of nanoreactors utilizing nanospace and flash heating for novel nanomaterial production.
- (3) Production of a C–SiC functionally graded material by chemical vapor deposition.
- (4) Continuous precipitation of monodisperse inorganic particles by use of a tubular reactor.

# **3.** Chemical reaction engineering modeling of various reaction processes

We are also applying chemical reaction engineering to new processes as follows:

- (1) Modeling of polymer electrolyte hydrogen fuel cell (PEFC).
- (2) Modeling of automotive catalytic converters.

# 分離工学分野

教授 田門 肇 Prof. H. Tamon tamon@cheme.kyoto-u.ac.jp

助手 鈴木 哲夫 Assist. Prof. T. Suzuki <sup>suzuki@cheme.kyoto-u.ac.jp</sup>

当分野では多孔体,焼結体,粉体等の不均質 (多孔性)固相中での熱及び物質の移動現象が関 与する,物質分離・精製手法の「操作・設計論」の 確立を目的とし,主に吸着操作,乾燥操作を対象 として以下のテーマで研究を行っている。

#### 1. 吸着工学

#### (1) 超臨界/凍結乾燥による無機/有機エアロゲ ルの調製と吸着剤への応用

超臨界あるいは凍結乾燥ゆえに生成する特異 な多孔体であるエアロゲルを、シリカ系、カーボン 系において調製し、その吸着特性と微視的表面 構造との因果関係を検討する。

#### (2) 量子化学的手法に基づく固体表面の吸着構 造解析

非経験的分子軌道法により,種々の吸着系に おける吸着分子と表面との吸着構造・吸着エネル ギー等の微視的知見を得ることで,吸着剤設計開 発指針の構築を目指している。

#### (3) 都市ゴミからの活性炭製造

ゴミ焼却時のダイオキシン対策として、厚生省は 中小規模のゴミ焼却施設をゴミ固形燃料(RDF)化 施設に転換する対策を設けている。この RDF の 新たな利用法として,ダイオキシン吸着用活性炭の製造を目指した研究を行っている。

#### 2. 乾燥工学

#### (1) 糖類アモルファス組織の分子包埋機能

乾燥過程において発現する糖類アモルファス 組織中に生理活性高分子などの機能性分子を包 埋して安定化させることを目的に,包埋分子の物 理的・化学的挙動の把握と機能最適化のための 基礎的検討を行っている。

#### 3. その他

#### (1) 多孔質材料のマイクロ成型体の創製

コロイド溶液を一方向凍結する際に生じる分相 及び氷の成長を材料のマイクロ成型に利用し、分 離用マイクロデバイスに利用可能な繊維状やマイ クロハニカム状の多孔質材料の創製に取り組んで いる。

#### (2) 電気二重層キャパシタ用カーボン電極の開発

容積当たりの電気二重層容量が大きな電極を 開発するために、ゾルーゲル法で合成した有機ゲ ルからバインダーフリーでタブレット状カーボン電 極を作製し、ゾルーゲル合成条件、乾燥法、化学 処理など観点から容量向上の手法を確立する。

- Fig. 1. SEM images of silica gel micro-structures: (a) laminar sheets, (b) flat fibers, (c) microhoneycomb, (d) polygonal fibers.
- 図1. シリカゲルマイクロ成型体のSEM像:
  - (a) 薄膜状 (b) きし麺状
  - (c) マイクロハニカム状 (d) polygonal繊維状



# of and

#### Koza 4 Separation Engineering

Professor Hajime Tamon Assist. Professor Tetsuo Suzuki

In Koza 4, researchers devote their efforts to establish methodologies for separation and purification operations that are tightly connected with solids with heterogeneous nature such as porous media, sintered materials and powders. Typical subjects of research include adsorption and drying, with emphasis on the understanding of equilibrium and dynamic nature of systems with solid surfaces and/or with confined spaces. In the following, current research activities are listed and explained briefly:

#### 1. Adsorption Technology

(1) Preparation of organic/inorganic aerogel adsorbents by supercritical/freeze drying

The peculiar nature of aerogels such as ultrahigh porosity and large surface area can be obtained through supercritical or freeze drying. Both organic and inorganic aerogels are studied in the aspects of interrelation between adsorption characteristics and microscopic surface structure.

# (2) Quantum chemical study on interaction between adsorbent and adsorbate

Applying *ab initio* molecular orbital theory to adsorption systems, microscopic information on interaction such as stable adsorption structure and interaction energy are studied to establish the strategy for designing and developing new adsorbents.

#### (3) Activated carbon from municipal waste

Municipal solid waste incinerators will be changed to the plant of Refuse Derived Fuel (RDF) for reducing emission of dioxins. In order to develop new usage of RDF, we are trying to produce activated carbon for dioxins from it.

#### 2. Drying Technology

# (1) Molecular imbedding function of amorphous matrix of sugar

Enzymes and other functional macromolecules can be stabilized when imbedded into an amorphous structure of sugar obtained through freeze drying. Physico-chemical nature of imbedding effect is studied to establish strategy for activity preservations.

#### 3. Other Researches

# (1) Synthesis of porous materials with unique micromorphologies

We found that porous materials with unique micromorphologies, such as fibrous and honeycomb-like, can be synthesized by freezing colloidal solutions unidirectionally. We are using this new synthesis method to develop materials which have suitable characteristics for the usage in separation microdevices.

#### (2) Development of carbonaceous anode materials for electric double layer capacitor

Binder-free carbon electrodes are prepared by carbonization of organic gels synthesized via solgel polycondensation. Electric double layer capacitance per volume is improved by considering synthesis conditions, drying methods and chemical treatments.





Fig. 2. SEM images of organic and carbon aerogels. 図2. 有機エアロゲルおよびカーボンエアロゲルのSEM写真

# 粒子系工学分野



教授 増田 弘昭 Prof. H. Masuda masuda@cheme.kyoto-u.ac.jp



助教授 松坂 修二 Assoc. Prof. S. Matsusaka <sup>matsu@cheme.kyoto-u.ac.jp</sup>



助手 丸山 博之 Assist. Prof. H. Maruyama <sup>Hiroyuki.Maruyama@cheme.</sup> kyoto-u.ac.jp

当分野では,主として粒子に係わる諸現象の解 明と,その合理的操作・応用に関する研究を行っ ている。粒子系の諸現象は極めて複雑ではあるが, 微粒子の有効利用および環境保全の観点から, これらの解明が望まれている。したがって,気相中 に浮遊する粒子の挙動の解析と運動の制御,凝 集・付着に代表される粒子集合体としての現象の 解明,および粉体特性の評価について検討して いる。内容別に分類した研究の背景およびテーマ は以下の通りである。

#### 1. 粒子の帯電

粒子の帯電は,粉体操作における基礎的な現 象であり,操作性に影響を及ぼすだけでなく,粉 塵爆発などの原因にもなる。一方,電子写真,乾 式粉体塗装,粒子のオンライン計測など,帯電現 象を利用した技術の開発も盛んに行われている。 操作性の改良および開発機器の性能を向上させ るためには,粒子の帯電機構の正確な理解およ び帯電粒子の運動制御が必要である。

- (1) 粒子の帯電・緩和機構の解明
- (2) エアロゾル粒子の帯電量分布の測定と解析
- (3) 帯電粒子に働く静電気力の解析
- (4) 荷電エアロゾル粒子の沈着位置制御

#### 2. 粒子の付着と分離

粒子-粒子間,粒子-壁間,粒子-流体間相 互作用は,粒子の挙動に直接影響を及ぼす重要 な因子であり,それらの解明が望まれる。

- (1) 走査型プローブ顕微鏡を利用した粒子の付着 力の測定および解析
- (2) 粒子の沈着・再飛散現象の解明

#### 3. 粒子系操作

粒子の微小化に伴い,付着性を考慮した高性 能粉体装置の開発が必要である。

- (1) 微粉体の微量定量供給
- (2) サブミクロン粉体の乾式分散と高精度分級

#### 4. 粒子シミュレーション

粒子系の諸現象の解明と制御には,理論,実験, シミュレーションの相補的な研究が必要である。

- (1) 量子化学計算を用いた帯電特性の解析
- (2) 帯電粒子に働く静電気力の解析
- (3) 管内固気二相流における粒子の挙動



図 1. 高速衝突によって形成された沈着粒子層



# 

#### Koza 5 Particle-System Engineering

Professor Hiroaki Masuda Assoc. Professor Shuji Matsusaka Assist. Professor Hiroyuki Maruyama

Main research activities in this chair are analysis of the phenomena relating to particles and the rational handling of them. Although particle phenomena are very complicated, full understanding of them is required for active usage of fine particles and also for environmental protection. Therefore, the analysis and control of particles suspended in air, behavior of powder such as agglomeration and adhesion of particles, and evaluation of powder characteristics are studied. Each research background and theme is as follows:

#### 1. Electrification of particles

Particle charging is a fundamental phenomenon relating to powder handling. It is commonly a nuisance and the source of explosion hazards. Various application have, however, been developed throughout the world, e.g., electrophotography, dry powder coating, on-line measurement of particles, and many others. To improve the handling and the performance of such applications, a correct understanding of the mechanism of particle charging and the control of the movement of charged particles are required.

- (1) Analysis of the mechanism of particle electrification and relaxation.
- (2) Measurement and analysis of the charge distribution of aerosol particles.
- (3) Analysis of electrostatic force exerted on a charged particle.
- (4) Electrostatic control of particle deposition.

#### 2. Adhesion and removal of particles

Particle-particle, particle-wall and particle-fluid interactions are fundamental factors directly affecting the behavior of particles.

- (1) Measurement and analysis of particle adhesive force using a scanning probe microscope.
- (2) Study on particle deposition and reentrainment.

#### 3. Mechanical unit operation

Apparatus of high performances for fine particles should be developed taking into account the adhesive property.

- (1) Micro-feeding of fine powder.
- (2) Dry dispersion and high efficiency classification of industrial sub-micron powder.

#### 4. Simulation

To clarify and control the particle phenomena, the combination of theory, experiment and simulation are required.

- (1) Analysis of electrification based on the quantum chemistry.
- (2) Analysis of electrostatic force exerted on a charged particle.
- (3)Behavior of particles in gas-solids pipe flow.





- Fig. 2. Apparatus for measuring contact potential difference.
- 図 2. 接触電位差測定装置



Fig. 3. Microscopic observation of particle behavior through a high-speed camera (120,000 fps). 図 3. 高速カメラによる粒子挙動の微視的観察

# 材料プロセス工学分野



教授 大嶋 正裕 Prof. M. Ohshima oshima@cheme.kyoto-u.ac.jp



助手 瀧健太郎 Assistant Prof. K. Taki <u>taki@cheme.kyoto-</u>u.ac.jp

#### 時間と構造空間を制御するプロセッシングによる 機能性材料開発

現代社会では、さまざまな機能性材料が使われ ている。材料の機能は、構成物質の化学的性質と 共に物質の織り成す「構造」に深く関係している。 本研究室では、流れ場・温度場・濃度場など場の 制御(材料プロセッシング)による、機能性材料の 創製を目指している。特に、自然の摂理を尊重し、 その原理・メカニズムを活かした材料プロセッシン グのあり方を探求する研究を行い、研究を通じて、 ものづくりに貢献・寄与できる人材育成にも力を入 れている。以下に現在の主要な研究テーマを示す。

#### 1. 超臨界CO2を利用した高分子成形加工

CO<sub>2</sub>が熱可塑性高分子に溶解すると、粘度や 表面張力などを低下させる可塑化現象が起こる。 可塑化現象のメカニズムや物性測定はもとより、そ の現象を利用した、高分子表面の加飾やナノサイ ズの凹凸の高分子材料表面への転写、導電性の 付与などの、CO<sub>2</sub>を利用した新しい材料プロセッ シング技術を開発している。 高分子材料に CO<sub>2</sub>を拡散・溶解させたのち, 圧力あるいは温度を変化させると,相分離が起こり, 材料内に気泡をつくり多孔構造をもつ物理発泡体 ができる。図2は、当研究室でも最も小さい泡をも つ材料である。PMMA-PS の共重合体が作る相分 離構造をテンプレートとして、ナノサイズの気泡構 造をもったナノセルラーの SEM 写真である。 (Fig. 2)

#### 2. 乾燥プロセスを利用した自己組織構造形成

ブロックコポリマーやポリマーブレンド溶液を乾燥させるとある条件で規則的なミクロな構造が発現する。その過程では、ダイナミックな界面形成とその成長に伴う流動と界面での物質移動が起こっている。そのメカニズムを解明し制御して、新たな機能性材料の開発を行っている(Fig.1)。

#### 3. 高分子微粒子製造

多孔構造や中空構造をもつ高分子微粒子の創 製の研究を, 圧力・温度の場の取り方により構造 がどのように変わるかを主題として研究している。 高分子・CO<sub>2</sub>・アルコールの3成分系の気液平衡 関係を利用して, 温度変化や圧力変化速度を変 えることにより, アルコール中に溶けた高分子を, 析出させる速度を制御し, さまざまなサイズの粒子 を生成している。写真(Fig. 4)は, 析出させた後真 空乾燥により中空+多孔構造をもったサブミクロン サイズのPMMA粒子である。



Fig. 1. Ordered microsize holes observed on the polymer sheet after drying polystyrene + polyethylene glycol + toluene solution.

#### Koza 6 Materials Processing Engineering

Professor Masahiro Ohshima Assist. Professor Kentaro Taki

Control Mass Transfer in Materials, Phase Separation, Nucleation and Growth in Micro-Macroscopic Spaces and Time for Creating New Functional Materials

Modern society is deeply indebted to various chemical materials for providing the several Among those materials, products to our life. polymer is one of the materials having the large potentials of giving rise to various functions, such as lightness, flexibility, elasticity, and fluidity. The material functions are strongly related with the material structures in the level from nano, micro to macro-scales. Employing the computer simulation and modern processing machines, our laboratory is developing new material processing technologies for creating new functional materials. Research and development mainly focus on controlling the material structures created by diffusion, phase separation, nucleation and growth and developing the optimal processing device for the control. Integration of supercritical fluid with present plastic processing technologies is one of our interests of our research. Also, material processing in mirco-space, i.e., mirco chemical processes, is our interest. Latest research topics are microcellular polymer foaming, nucleation and growth mechanism, mass transfer induced phase separation in drying and crystallization as well as microchemical devise developments. Some of them are



Fig. 2. Nanoscale channels transferred on PMMA plastic plates by CO<sub>2</sub> assisted nanoimprinting technology.

introduced as follows:

#### 1. Scf CO<sub>2</sub> assisted polymer processing

When  $CO_2$  dissolves in polymer, polymer is plasticized. That is, viscosity is reduced, glass transition temperature is reduced and several other properties are changed. Taking advantage of these  $CO_2$  effects, new polymer-processing schemes, which can realize surface modification, nano-scale pattern transfer on polymer products and CNT infusion to polymer surface, are invented and patented. Fig. 2 is an AFM image of the surface of PMMA plastic plate compressed under  $CO_2$  10MPa at 40°C.

#### 2. Polymeric Foaming

Using CO<sub>2</sub> as an environmentally benign foaming agent, thermoplastic polymers are foamed so as to create the micro/nano-cellular structure. Bubble nucleation and growth are phenomena to be analyzed



500.00 nm Fig. 3. Nanocellular foam.

and controlled. Nano-cellular foam was realized in PMMA-b-PS diblock polymer as illustrated in Fig. 3.

# **3.** Formation of Self-organized Structure by drying polymeric solutions

Drying of polymer blend solutions sometimes creates peculiar structure as illustrated in Fig. 1 Formation mechanism of the morphology and its relationships with drying conditions are investigated.

#### 4. Nanoparticle

Several polymer particles are created by precipitation mechanism from polymer +  $CO_2$  + solvent solutions.



Fig. 4. Foamed nanosize PMMA particles.

# プロセスシステム工学分野



教授 長谷部 伸治 Prof. S. Hasebe hasebe@cheme.kyoto-u.ac.jp



助教授 加納 学 Assoc. Prof. M. Kano manabu@cheme.kyoto-u.ac.jp



助手 殿村 修 Assist. Prof. O. Tonomura tonomura@cheme.kyoto-u.ac.jp

環境問題など複雑で困難な問題を抱える社会 情勢の中で,国際競争力のある高付加価値製品 の生産を省資源・省エネルギー化と同時に実現で きる生産システムの実現が望まれている。そのよう な革新的な生産システムを実現するための方法論, より具体的には,生産システムの設計や運転を合 理的に行うための方法論を研究する学問体系が 「プロセスシステム工学」である。

本研究室は、プロセスシステム工学の発展を図 ると同時に、この分野における人材の育成と研究 成果の実社会へのフィードバックを通して、我が国 の産業の発展に寄与することを目指している。

#### 1. マイクロ化学プロセスの最適設計と操作

熱交換,混合および反応といった単位操作をミク ロな領域で実現する高効率マイクロ化学プロセス の設計・運転に必要な基盤技術の確立を目指して いる。最新の数値流体力学や自ら開発したマイク ロ化学プロセスシミュレータによる特性解析や微細 加工装置によるデバイス製作を通して,システマテ ックな最適形状設計法および流路閉塞検出法の 開発に取り組んでいる。

#### 2. 統計的プロセス運転監視・品質改善システム の開発,およびプロセス制御

化学・半導体・鉄鋼など様々な産業分野を対象 に,製品品質の管理や改善あるいは運転効率化 に役立つ情報を,生産プロセスの操業データから 巧妙に抽出するデータ解析技術やその技術に基 づく階層型品質改善システム(HiQIS)を開発して いる。また,高効率運転を安定して実施できるプロ セスを設計するため,プロセス設計とプロセス制御 を融合させる研究にも取り組んでいる。

#### 3. 環境調和型プロセス合成法およびサプライチ ェーン管理システムの開発

工場の様々な工程から排出される廃棄物や廃熱 を対象に、未利用物性の"シーケンシャルユース" という観点から、適切なプロセス構成をシステマテ ィックに求める手法を開発している。この開発によ り、環境調和型社会構築において、現在欠落して いる要素技術を明らかにすることも可能になる。

また,分散した工程(特定の処理をおこなう装置 群)が自律的に動作し,情報交換によって協調性 を保ちながら効率的な意思決定をおこなう,という 自律分散の考え方のもとで,柔軟性に富んだ生産 管理システムやスケジューリングシステムの開発を 目指し,研究を進めている。

#### 4. 化学プロセスの動的最適操作

マーケットの急激な変動に対応しうる化学プロセスの最適設計や高効率運転を支える基盤技術として、オンライン動的最適運転支援、動的操作を考慮した燃料電池コジェネシステムなどのプロセス系統設計に関する研究に取り組んでいる。

#### 3. Synthesis of environmentally benign processes and Development of decentralized supply chain management system Most of the waste products in process industries atill have unused properties. But using much

still have unused properties. By using such properties at other processes, the total capacity of the wastes can drastically be reduced. From that viewpoint, we are developing a process synthesis method by which appropriate process structures of a waste are systematically generated.

We have developed an autonomous decentralized scheduling system, in which each scheduling subsystem of a production stage generates a plausible schedule taking into account the schedules of other production stages. Now the extension of the proposed framework to the planning and scheduling of overall supply chain is being studied.

# 4. Dynamic optimal operation of chemical processes

Dynamic optimal operation plays an important role in the development of high efficient chemical processes. Therefore, we are studying new types of on-line dynamic optimization system, optimal design method in consideration of dynamic operation for chemical processes. Topics in this area include the development of an on-line optimization system for a batch distillation column and an optimal design of a fuel cell cogeneration system.





Fig. 1. Stacked plate-fin microdevice (top) and Multi-hole-type micromixer (left) : CFD simulation by Fluent<sup>®</sup>.
図1. 積層型プレートフィン・マ イクロデバイス(上) と多 孔型マイクロミキサー内 の流れの様子(左).

## Koza 7 Process Control & Process Systems Engineering

Professor Shinji Hasebe Assoc. Professor Manabu Kano Assist. Professor Osamu Tonomura

Under the current social situation which has a lot of complicated and difficult problems, such as an environmental problem, development of an production system producing advanced а competitive product with saving resources and energy is desired. Process Systems Engineering (PSE) is a research area where the systematic methodology for realizing such an innovative production system is investigated. PSE covers all aspects of design, operation, control, planning, and logistics for the process industries. Current research topics are as follows:

# 1. Optimal design and operation of micro chemical processes

Micro chemical processes consist of various types of devices such as micro heat exchangers, micromixers, and microreactors. The major advantage of microdevices is high efficiency of mixing and heat exchange. Therefore, micro chemical processes are expected to exceed the capabilities of conventional chemical plants. The final goal of this research is development of a new fundamental approach to design, operation, and control of microchemical processes. Now, we are developing the systematic approaches to optimally design microreactors and to successfully diagnose channel blockage in stacked microdevices.

# 2. Process control, process monitoring, and quality management

The data-based hierarchical quality improvement system (HiQIS), which can improve quality and productivity by extracting useful information from operation data, is under development. The HiQIS is based on multivariate data analysis referred to as process chemometrics. In addition, this research theme covers statistical process monitoring, control performance monitoring, soft-sensor design, process control, and integration of design and control for complicated process systems including microchemical processes.

# 環境プロセス工学講座



教授 前 一廣 Prof. K. Mae <sup>kaz@cheme.kyoto-u.ac.jp</sup>



助教授 牧 泰輔 Assoc. Prof. T. Maki taisuke@cheme.kyoto-u.ac.jp



助手 長谷川 功 Assist. Prof. I. Hasegawa hasegawa@cheme.kyoto-u.ac.jp

助手 青木 宣明 Assist. Prof. N. Aoki aoki@cheme.kyoto-u.ac.jp

資源制約,地球環境問題などの諸問題を克服 して安定した社会を維持するには,資源-エネル ギー-環境の活動連鎖システム(産業消費体系) を合理的に組み上げた環境調和型プロセッシング を確立するとともに,それを展開する人材の育成が 不可欠である。当講座では,環境調和型プロセッ シングのための新しい物質変換法の開発と工学の 体系化を目指し,以下の研究に重点をおいて実施 している。なお,当講座構成員は地球環境学堂地 球親和技術学廊大気環境負荷低減論分野も同時

#### に担任している。

#### 1. バイオマスの新規転換法の開発

バイオマスを廃熱レベルのエネルギー投入で, 工業原料,水素,メタン,アルコールを製造するた めの新しい転換方法について検討している。 (a) 湿潤バイオマスの各種前処理法の開発 (b) 木質系バイオマスの新しい熱分解法の開発 (c) バイオマス熱分解・ガス化モデルと速度論

#### 2. 環境浄化剤の開発

リン,フッ酸,硫黄化合物,硝酸性窒素などの有 害物質を低温で分解・除去するための各種高性能 触媒の開発,環境浄化用分離膜に関する基礎的 な研究を実施している。

- (a) 廃FeCl<sub>3</sub>からの多孔質FeOOHの製造法の開発
   とリン, フッ酸イオン吸着剤への応用
- (b) 新規VOC除去触媒, CO低温酸化触媒の開発
- (c) 廃棄物からの無機-有機ハイブリッド膜の製造

#### 3. 環境調和型プロセッシングの開発

現在の各産業において,廃棄物を単に処理す るという既往の環境浄化技術を打破して,廃熱のも つエネルギーを廃棄物に投入して高品位な化学 ポテンシャルを有する資源に変換するという発想 に基づく新規転換法の開発に取り組んでいる。一 方,LCAに代わる新しい環境評価法についても検 討し,新転換法をベースに各産業内,各産業間で の環境調和プロセススキームを検討している。

- (a) 各種金属とバイオマスの共処理による物質・エ ネルギー同時回収法の検討
- (b) 事前炭化式分離プロセスの開発
- (c) 技術連動型環境評価法の開発
- 4. マイクロリアクターの開発とマイクロ化学工学の 基礎研究

グリーンケミストリーに基づく高機能材料の創製 を目指し,数+μm~数百μmのマイクロチャンネ ルを有する新規な反応器を開発とそれを用いた新 しい反応操作法に取り組んでいる。

- (a) 各種マイクロミキサー, リアクターおよびマイクロ 反応器システムの開発と反応設計・操作論
- (b) 各種マイクロリアクターによるナノ粒子の製造
- (c) 燃料電池用コンパクト改質器の開発
- (d) 超臨界/マイクロデバイスを用いた反応活性種 制御法の開発

#### Koza 8 Environmental Process Engineering

Professor Kazuhiro Mae Assoc. Professor Taisuke Maki Assist. Professor Isao Hasegawa Assist. Professor Nobuaki Aoki

The research in this chair is focused on the development of environmentally benign technology based on several new conversion methods. The current research activities cover the following topics. The staff also manages the chair of Environmental Atmospheric Chemistry, Department of Technology and Ecology, School of Global Environmental Studies.

# 1. Development of new biomass conversion methods

Biomass is a promising resource as a highly condensed energy media of solar energy. From this viewpoint, several new methods are developed to recover chemicals, methane, and hydrogen from biomass by supplying waste heat.

- (a) Liquid phase degradation of wet biomass under mild conditions.
- (b) New pyrolysis method for wood biomass.
- (c) Kinetic model of biomass pyrolysis and gasification.

#### 2. Development of new environmental catalysts

The harmful pollutants must be destructed completely. Several new catalysts are developed to remove efficiently the pollutants as follows:

- (a) Production of porous FeOOH from waste  $\text{FeCl}_3$  and its application for the removal of  $\text{F}^-$  and  $\text{PO}_4^{\ 3-}$  ions.
- (b) Development of new catalysts for removing VOC and CO at low temperatures.
- (c) Development of an inorganic/organic hybrid membrane for the removal of CO<sub>2</sub>.

#### 3. Design of ecological industry

A new concept for ecological processing is proposed. The concept is to produce valuable materials and energy by combining waste materials and waste heats. To build up an ecological industry network based on the proposed technologies, the following items are investigated.

(a) Production of energy and materials through the co-production of biomass with various metals.



- Fig.1. Production of Fe/Carbon composite from wastes and biomass
- 図1. 廃棄物・バイオマスからの高機能鉄/炭素複合 材の製造
- (b) Development of pre-carbonized process for the separation of waste mixture.
- (c) A new evaluation method for environmental impacts associated with technology.

#### 4. Development of various micro reactors

#### -Basic research of micro chemical engineering-

Novel devices available for green chemistry are required to produce valuable materials with low  $CO_2$  emission. Various micro reactors with new concepts are proposed and their performances are investigated as follows:

- (a) Development of various micromixers and microreactors and basic research for micro reactor system. (Collaboration by several Kozas)
- (b) Production of nano-particle by several micro reactors.
- (c) Development of compact reformer for fuel cell.
- (d) Development of micro device and operation method for super-critical fluid.





- Fig.2. Original micromixer (KM-Mixer) for various reactions and polystyrene nano-particles produced by use of this mixer.
- 図2. 開発した中心衝突型マイクロミキサー(KM-Mixer)に よりポリスチレンナノ粒子の高速製造に成功

# 融合プロセス工学講座 国際融合創造センター・融合部門



教授 丸山 敏朗 Prof. T. Maruyama <sup>maruyama@cheme.kyoto-u.ac.jp</sup>

化学工学専攻の協力講座として,分野融合による新学問領域の創成をめざし,ナノテクノロジー, バイオテクノロジー,マイクロシステム,太陽電池, プラズマ応用技術に関する研究を行っている。

#### オプトエレクトロニクスデバイスへの応用のため の窒化ガリウムナノワイヤーの合成とその構造・ 特性の調製

NH<sub>3</sub>雰囲気下におけるGaの反応性蒸着を用い て、様々な径をもつGaNナノワイヤーを合成する。 構造・光学・電気・振動などの諸特性の径に対す る変化を系統的に研究し、これらのナノワイヤーの エレクトロニクス素子や光エレクトロニクス素子への 応用の可能性を明らかにする。

#### 2. 金ナノ粒子の酸化

近年注目されているナノ領域まで微細化された 粒子は、バルクでは考えられない特異な性質をみ せることがある。本研究では、ナノサイズの金の微 粒子について、酸化状態の安定性を熱力学的に 考察し、実験結果との比較・検討を行っている。

#### 3. 誘電体バリア放電を用いたプラズマ中での触 媒反応

誘電体バリア放電で形成されたプラズマ中でメ タンの Ni 触媒による分解の反応を, Fig.1 に示す 装置で実験的に研究し, 触媒反応に対するプラズ マの作用の解明をめざしている。

#### 4. ポリメラーゼ連鎖反応の反応速度解析

DNA 増幅による診断手法として注目されている ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)の反応速度論的検討 を行っている。増幅過程では生じているアニール された複合体 (プライマー:DNA:ポリメラーゼ) の酵素反応を簡単な反応モデルで記述し、プラ トー効果の解明および定量的 PCR 法の開発をめ ざしている。

#### 5. 遠心力場のマイクロ流路内流れ

最近,マイクロシステムの流路内の流体輸送に 遠心力の利用が広がっている。遠心力場の利用 においては,遠心力が過大になると流路の静圧降 下によりキャビテーションが生じ流動が停止する可 能性があることを解析的に予測し,これを実験で 確かめている。

#### 6. レーザーのスポット照射による固体の伝導伝熱

レーザーの照射による固体表面のスポット加熱 が広く用いられている。レーザーは熱流束の制御 性の良さを最大の特徴としている。しかし、応用に おいては通常は表面温度の制御を目的としている。 この両者の違いをスポット加熱された固体の非定 常熱伝導の解析に基づいて明らかにする。

#### 液体クロマトグラフィーにおけるマルチリニアグ ラジエント法の有効性および手成分系の分離 能の評価法

クロマトグラフィーの多成分系に対する分離能の 評価法を提案し、シミュレーションによりその有効 性を確かめる。マルチリニアグラジェント法が液体 クロマトグラフィーによる多成分分離に優れた方法 であることも明らかにする。



図 1. バリア型触媒充填層プラズマ反応器 Fig. 1. Barrier-type packed-bed plasma reactor.

#### Koza 9 Process Coordination Engineering

Division of Research Management, International Innovation Center

#### Professor Toshiro Maruyama

This Koza is affiliated to the International Innovation Center (KU-IIC). The research in this affiliated Koza aims at the creation of new field of science and engineering by coordinating various existing fields, such as nanotechnology, biotechnology, micro system, solar energy and applications of plasma.

# 1. Structures and characteristics of nanoparticles and nanowires

Low-dimensional structures such as nanoparticles and nanowires are thrust area of material research in recent years due to their potential applications in optical and optoelectronic devices. In our laboratory, we are involved in the synthesis of GaN nanowires [Fig. 2(a)] using catalytic nanoparticles assisted growth and tailoring their structural, optical and electronic properties suitable for optoelectronic devices. Synthesis of Au [Fig. 2(b)], Ag, Cu and Cu<sub>3</sub>N nanoparticles using radio frequency magnetron sputtering and studying their size-dependent properties are also in progress.

#### 2. Oxidation of gold nanoparticle

The oxidation of gold nanoparticles is studied by both the theoretical and experimental analysis. The stability of gold-oxide nanoparticles is discussed on the basis of thermodynamics and the HRTEM and XPS measurements of sputter-deposited nanoparticles.

# **3.** Catalytic decomposition of methane in dielectric barrier discharge plasma

Catalytic decomposition of methane in plasma made by dielectric barrier discharge has been experimentally studied to clarify the effect of plasma on catalytic reaction.

#### 4. Kinetics of polymerase chain reaction

This study focuses on the development of a kinetic model of the polymerase chain reaction, which is an important diagnostic tool for the amplification of DNA. The enzyme-catalyzed elongation of the annealed complex (primer:DNA:polymerase) occurring in the amplification process is modeled by a simple model for an enzyme-catalyzed reaction. The quantitative PCR and the plateau effect are quantitatively discussed on the basis of the proposed model.

# 5. Centrifugal-force driven flow in micro channel

Micro-channel flow driven by centrifugal force was studied by analytical and experimental methods. The relation of flow rate as a function of angular revolution speed was derived. The experimental verification was made by measuring the outlet volume of water through micro-channels set radically on the turning plate of the centrifugal force separator. As a result, the assumption stating the effect of the secondary flow due to Coriori force on the axial flow to be negligibly small is found to be valid under the experimental condition of this study. The cavitations occur in microchannel flow driven solely by centrifugal force. The analysis predicts the occurrence of cavitations with a satisfactory preciseness.

#### 6. Spot heating of the surface of solid by laser

Recently, the laser is used to heat a spot of the solid surface in various fields of applications. The characteristic of laser is prominent in controlling the heat flux. However, the usual purposes in applications are not controlling heat flux but temperature at a spot of the surface. The discrepancy between the controls of heat flux and temperature is discussed on the basis of analysis of transient heat conduction to solid.

#### 7. Effectiveness of multi-linear gradient method and proposed separation index for multicomponent separation in liquid chromatography

Simulations are made for the multi-component separation in liquid chromatography using multilinear gradient method, and an index of separation is proposed for the multi-component separation. The results of simulations are evaluated by this index to determine the optimum parameters for the method and to show the effectiveness of multilinear gradient method.



Fig. 2. GaN nanowires and Au nanoparticles. 図 2. GaN ナノワイヤーと Au ナノ粒子

# 非常勤講師

#### **INVITED LECTURERS**



**鈴木 剛** 東洋エンジニアリング株式会社 計装設計部

Go Suzuki

Instrument Engineering Department, Toyo Engineering Co., Ltd.

ディヴィッド マン 株式会社 スミキン・インターコム 科学英語(化学工学) Process Design

David Mann Sumikin-Intercom, Inc. Practical English in Science & Technology (ChE)



**札野 順** 金沢工業大学 教授

プロセス設計

fudanoj1@neptune.kanazawa-it.ac.jp 化学技術者倫理 Jun Fudano

Professor, Kanazawa Institute of Technology

**Ethics for Chemical Engineers** 



大隈 修 財団法人新産業創造研究機構 部長 京都大学国際融合創造センター 融合フェロー

環境システム工学



**亀井 登** ダイセル化学工業株式会社 有機合成カンパニー 生産技術センター所長

化学技術者倫理

トム フリーマン株式会社 スミキン・インターコム化学技術英語特論

#### Osamu Okuma

Senior Manager, The New Industry Research Organization; Research Management Fellow, International Innovation Center, Kyoto University

**Environmental System Engineering** 

#### Noboru Kamei

Manager, Products Engineering Center, Organic Chemical Products Company, Daicel Chemical Industries, Ltd.

**Ethics for Chemical Engineers** 

#### **Tom Freeman**

Sumikin-Intercom, Inc. Special Topics in English for Chemical Engineering

# 名誉教授

## PROFESSORS EMERITI

在任期間 Term of service

吉田 文武	Fumitake Yoshida	1940 – 1976
髙松 武一郎	Takeichiro Takamatsu	1970 – 1988
佐田 榮三	Eizo Sada	1977 – 1994
岡崎 守男	Morio Okazaki	1965 – 1997
橋本 健治	Kenji Hashimoto	1963 – 1999
原田 誠	Makoto Harada	1964 – 1999
橋本 伊織	Iori Hashimoto	1989 – 2003
荻野 文丸	Fumimaru Ogino	1968 - 2003



人員構成

#### CONSTITUENT NUMBERS

		Numbers
教授	Professors	9
助教授	Associate professors	6
講師	Lecturers	0
助手	Assistant professors	11
非常勤講師	Invited lecturers	6
研究員	Postdocs	4
事務職員	Administrative officials	2
非常勤職員	Part-time employees	7
大学院生 (博士後期課程)	Graduate students (doctoral course)	20
大学院生 (修士課程)	Graduate students (master course)	58
学部学生(4年次)	Undergraduate students (fourth year)	56
学部学生(3年次)	Undergraduate students (third year)	42
研究生	Research student	1
		as of July 2006





専攻長

#### Head of the Department

長谷部 伸治 教授 (平成 18 年度), Prof. S. Hasebe (Apr 2006–Mar 2007), 宮原 稔 教授 (平成 19 年度) Prof. M. Miyahara (Apr 2007–Mar 2008)



## 交通アクセス Access to the Department

#### ■桂駅(阪急)から

桂駅西口から市バス(西6系統)または京阪京都交通 バス(20番)「桂坂中央」行きで「桂イノベーションパー ク前」へ

#### ■向日町駅(JR)から

京阪京都交通バス「IR向日町」から「京大桂桂坂中央」 行き(22番)で「桂イノベーションパーク前」へ

#### ■京都駅(JR・近鉄)から

- (1) 市営地下鉄で「四条」へ, 阪急に乗り換え「烏丸」 から「桂」へ
- (2) 京阪京都交通バス(21,21B番)「五条通 桂坂中央」 行きで「桂イノベーションパーク前」へ
- (3) 市バス(73系統)「洛西バスターミナル」行きで「国 道三宮」へ,国道9号線から徒歩15分

■自動車で

名神高速京都南インターチェンジから約8km, 大山 崎インターチェンジから約 12 km

#### From the Katsura Station (Hankyu)

Take a Kyoto City Bus 西6 (nishi 6) or a Keihan Kyoto Kotsu Bus #20 for "Katsurazaka Chuo" and get off at "Katsura Innovation Park Mae."

From the Mukomachi Station (JR)

Take a Keihan Kyoto Kotsu Bus #22 for "Katsurazaka Chuo" and get off at "Katsura Innovation Park Mae."

From the Kyoto Station (JR, Kintetsu)

- (1) Go to "Shijo" by Subway, transfer to Hankyu at "Karasuma," and come to "Katsura."
- (2) Take a Keihan Kyoto Kotsu Bus #21 or #21B for "Katsurazaka Chuo" and get off at "Katsura Innovation Park Mae."
- (3) Take a Kyoto City Bus 73 for "Rakusai Bus Terminal," get off at "Kokudo San'nomiya" and walk for 15 min.

#### By car

Drive 8 km from the Kyoto-Minami exit or 12 km from the Oyamazaki exit of the Meishin Expressway. Enter at the main gate of Cluster A.



#### 京都大学大学院工学研究科 化学工学専攻 教室パンフレット 2006 年度版

Copyright ©2006 京都大学大学院工学研究科 化学工学専攻

2006年7月13日発行

発行部数 1100 部

発行者 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 〒615-8510 京都市西京区京都大学桂

- 編集者 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 平成17年度国際交流小委員会委員長 三浦孝一
- デザイン 河瀬元明

写真 大鋸雅行,河瀬元明

印刷·製本 有限会社 糺書房

#### Kyoto University – Department of Chemical Engineering Department Brochure 2006

Copyright ©20	06 Department of Chemical Engineering, Kyoto University
Published date	July 13, 2006
Circulation	1100 copies
Publisher	Department of Chemical Engineering, Kyoto University
Editor	Prof. Kouichi Miura, 2005 Departmental Commissioner for International Exchange
Designer	Motoaki Kawase
Photographers	Masayuki Oga, Motoaki Kawase
Printer	Tadasu Shobo, Kyoto, Japan

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 615-8510 京都市西京区京都大学桂 Department of Chemical Engineering Katsura Campus, Kyoto University Kyoto 615-8510 Japan http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/