九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

[004]九州大学グローバルCOEプログラム新炭素資源学ニューズレター

https://hdl.handle.net/2324/1833712

出版情報：Novel Carbon Resource Sciences Newsletter. 4, pp.1-, 2010-12. Kyushu University G-COE program “Novel Carbon Resource Sciences” secretariat
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

ISSN 1884-6289

G-COE PROGRAM KYUSHU UNIVERSITY

NOVEL CARBON RESOURCE SCIENCES NEWSLETTER

九州大学グローバルCOEプログラム 新炭素資源学　ニューズレター

VOL. 4
2010.12

Contents

01 MESSAGE
東京理科大学特命教授　塚本　修
02 グローバルCOEプログラム「新炭素資源学」の概要
03 グローバルCOE研究者MAP
05 研究特集
19 新炭素資源学フォーラム －中間報告－
23 NEWS
24 シンポジウム・ワークショップ報告
26 研究実績報告

MESSAGE

東京理科大学特命教授
（前経済産業省　地域経済産業審議官）
塚本　修
Osamu Tsukamoto

21世紀の炭素資源産業への新たな系譜
～G-COE「新炭素資源学」への期待～

九州大学を拠点としたG-COE「新炭素資源学」の人材育成、研究教育プログラムは、平成20年度にスタートし、今、その成果が徐々に現れてきている。多彩な、石炭資源の高度利用の教育カリキュラム、ゼロエミッション石炭火力発電技術/石炭ガス化技術などの革新的研究開発、国際的な人材交流・人材育成事業とその活動の外延は大きく広がりつつある。関係者のこれまでのご努力に心より敬意を表したい。スタート当時、経済産業省で産業技術政策の総括を担当し、本G-COE発足を側面的にご支援をさせていただいた者として大変喜ばしいことであると思う。当時、産業構造審議会等で革新的地球環境技術の開発の必要性が指摘され、さまざまな技術開発ロードマップが議論されていた。石炭資源に対しては、地球環境に大きな悪影響を及ぼすので石炭利用を大幅に抑制すべしとする議論と、何とかして石炭資源の高度利用を図るべしとする議論が拮抗していた。これから発展する途上国のエネルギー事情、先進国といえども石炭資源に相当程度依存したエネルギー需給構造等の現実を見れば地球環境に調和する形で如何に石炭資源の高度利用を図っていくかは、きわめて重要な政策課題である。

地球規模の環境問題に貢献する、国際的な拠点作りが必要であるとの考えで九州大学のG-COE「新炭素資源学」は、関係者の献身的な尽力によって産声をあげることになった。教育カリキュラムも、多くの民間の産業界の技術者、研究者のお力を頂き、九州大学の諸先生方の強力なリーダーシップの下で一つづつ完成していった。明治以降のわが国の近代化を支えた石炭産業の系譜は、九州大学のG-COE「新炭素資源学」のスタートによって、21世紀の炭素資源産業の新たな系譜を築き始めたといえる。

近年、わが国の産業技術力は、その競争力の観点で先進国の中でも大きく劣後してきているといわれている。「技術は、世界でも有数なのになぜ日本はマーケットで負けるのか」、「日本は今後何で雇用し、何で稼ぐのか」、政府の先の新成長戦略では、我が国の新しい産業構造の在り方、人口減少下でも日本経済の成長を牽引するイノベーション戦略が示されている。高度な石炭利用エネルギーシステムの海外展開も視野に入っている。21世紀の坂の上の雲を模索し、アジアの成長との共振、世界のイノベーションのセンターをめざし、人類が抱える地球的な環境問題等に積極的に貢献していくことが求められる。九州大学を拠点としたG-COE「新炭素資源学」は、まさしくこのような時代の要請を受けて誕生したプログラムであるといえよう。

九州大学を拠点としたG-COE「新炭素資源学」の益々の発展と成功を心から祈念する。

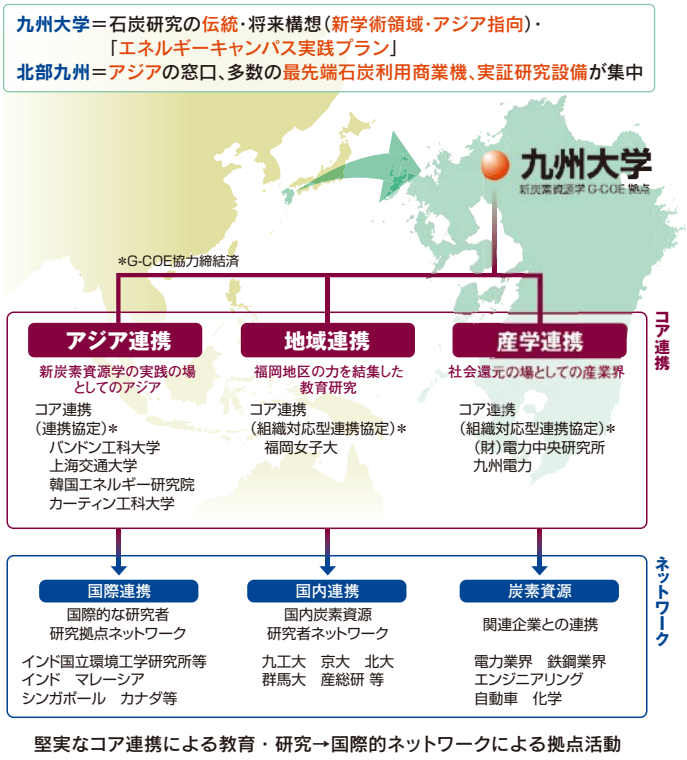
「今が大切、努めてやむな」　「夢は叶う、夢を持とう」

Summary of G-COE Program "NOVEL CARBON RESOURCE SCIENCES"

グローバルCOEプログラム「新炭素資源学」の概要

九州大学グローバルCOEプログラム「新炭素資源学」は、九州大学と福岡女子大学の連携事業として平成20年度に発足しました。本G-COEは、炭素資源の有効利用と地球環境を守る科学技術を2大学8つの専攻で追求し、グローバルな視点で若手研究人材を育成するプログラムです。石油、石炭等の炭素資源は、エネルギー源だけでなく、化学原料として人類の生活になくてはならないものです。現在、人類は急激な経済発展に伴う資源枯渇、環境汚染、地球温暖化への取り組みを必要としていますが、エネルギー資源、あるいは、化学原料としての炭素資源に替わるものはありません。とくに石炭は、地球上に広く存在し埋蔵量も多い利点がある反面、使用にあたって大気汚染やCO_2の大量発生が課題です。エネルギーをいかにバランスよく、効率的に、環境負荷なく作り出し、快適な人間生活を維持するのか?これには他のエネルギーとのベストミックスを考慮しつつ、炭素資源を「賢く使う」ことが必須となっています。さまざまな解が世界中で模索されている中で、本G-COE は、次世代の環境負荷なき社会を作るために、その極限までの炭素資源有効利用科学技術の開発と、低消費エネルギー社会を実現する炭素資源由来の材料開発を推進し、先端研究を通じて未来戦略の立案と現実的な問題を解決する若手人材を育成することにより、その解決を図ろうとしています。事業発足後2年を経過し、本年7月には中間評価を受けました。留学生比率50%超の学生たちとともに、資源・環境・エネルギーの先端研究、長期、短期のインターンシップ、フィールドワーク、新炭素資源学フォーラム等のユニークなカリキュラムを用いて、アジアを中心とした諸外国と協力しつつ、人材を育成しています。

拠点リーダー　永島　英夫



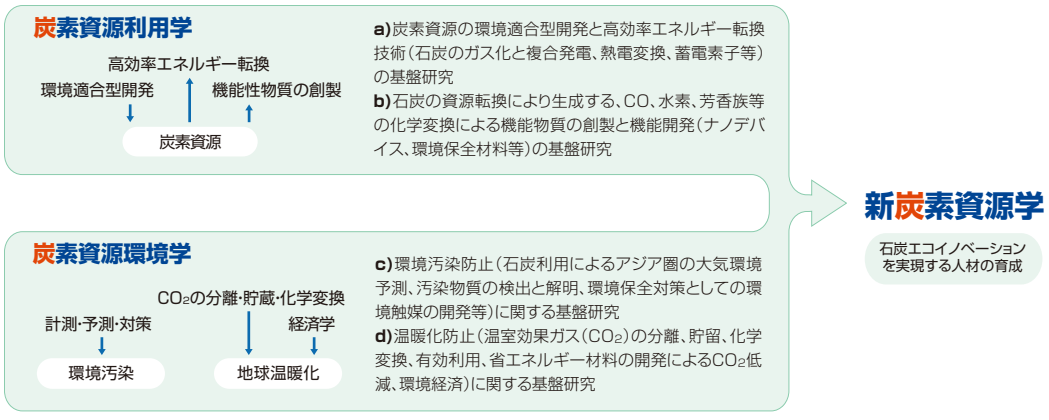
堅実なコア連携による教育・研究→国際的ネットワークによる拠点活動

地域、アジアとの連携

本拠点はアジアに開かれた九州大学と北部九州の特性を活かして運営しています。中国、韓国、インドネシア、インド、オーストラリア、タイ等の大学、研究機関との双方向型研究・教育交流、福岡女子大学との国際連携・教育を実施しています。また、公開講座を通じた地域の皆さんとの情報共有、地域としても全国的、国際的にも産学連携研究を推進しています。

2つの学問分野の開拓と融合

本拠点では「新炭素資源利用学」で、石炭等炭素資源の賢い利用法、すなわち、極限まで効率をあげたエネルギー利用と炭素資源から得られる材料、デバイス、とシステムを組み合わせた省エネルギーを追求する一方、炭素資源環境学で、環境変動を理解し、経済、理工学双方の立場からその解決を図っています。これらの融合による新しい学問分野、「新炭素資源学」の確立が本拠点の使命です。



博士後期課程学生および研究員募集

本拠点では、国内外から広く学生および研究員を募集しています。

詳しくはホームページをご覧ください。

URL: http://ncrs.cm.kyushu-u.ac.jp

G-COE Program Researcher Map

グローバルCOE研究者マップ

事業推進担当者 炭素資源利用学
事業推進担当者 炭素資源環境学
事業協力者
連携メンバー

炭素資源のエネルギー利用: 環境適応型・高効率利用科学技術開発

石炭改質・ガス化・エネルギー転換

NEDO「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」

平島 剛
高度炭素資源処理
バイオマス利用

持田 勲
石炭ガス化
炭素材料・炭素ナノ繊維

尹 聖昊
炭素ナノ繊維
炭素材料反応工学

寺岡 靖剛
機能性無機材料
環境触媒化学

深井 潤
炭素転換熱解析
炭素繊維の省エネ利用

草壁 克己
無機分離膜
環境汚染物質分離

▶P19

林 潤一郎
持続的炭素サイクル化学
コプロダクション

電力中研・他大学
愛媛大学等

則永 行庸
炭素資源転換反応工学
化学反応性流体解析

経済産業省「中核的人材育成事業」

九州低炭素システム研究会

九州大学
G-COE, NEDO,
JST, JST-MOST

九州電力
褐炭利用技術
原子力

九州経済産業局

地元企業・他大学
九州工大・佐賀大・
熊本大 他

次世代低消費エネルギー社会を実現する 炭素資源の利用技術開発

基礎化学

友岡 克彦
有機合成化学
高効率酸化反応

西田 稔
透過電子顕微鏡法
結晶性材料の組織制御

本庄 春雄
非線形物理
フラクタル物理

水野 清義
固体表面構造解析
SiC上グラフェン膜

高橋 良彰
高分子化学
ソフトマターの解析制御

環境材料開発

▶P23

永島 英夫
環境調和型化学
高効率金属錯体触媒

尹 聖昊
炭素ナノ繊維
炭素材料反応工学

次世代エレクトロニクス材料開発

横山 士吉
炭素資源のデバイス応用
高分子フォトニック材料

▶P9

吾郷 浩樹
ナノカーボン材料
カーボンナノチューブ

藤田 克彦
有機太陽電池
有機EL素子

エネルギー材料開発

大瀧 倫卓
熱電変換素子
熱エネルギー回収

岡田 重人
次世代リチウム二次電池用
電極活物質、蓄電技術

グリーンプロセス開発

小山 繁
熱エネルギー変換システム
二酸化炭素の伝熱特性

岩井 芳夫
分離技術
超臨界流体技術

梶原 稔尚
高分子加工
シミュレーション

柘植 義文
大規模プロセス管理
プロセス支援システム

九州大学グローバルCOE
新炭素資源学
NOVEL CARBON RESOURCE SCIENCES

九州大学
KYUSHU UNIVERSITY

炭素資源利用

基礎化学

エネルギー材料・環境材料
環境計測と保全

経済分析と評価

資源開発・開発環境

福岡女子大学
Fukuoka Women's University

炭素資源の開発に伴う諸問題への対応技術開発

地下資源関連

平島 剛
高度炭素資源処理
バイオマス利用

佐々木 久郎
CO_2地中貯留
CO_2-ECBM CO_2-EOR

松井 紀久男
資源開発に伴う環境修復
石炭鉱山開発と環境問題

島田 英樹
環境低負荷型資源開発
石炭灰の高度利用

海中資源関連

中村 昌彦
海洋観測用ビークル
海洋構造物の位置制御

経塚 雄策
海洋エネルギー利用
海洋環境シミュレーション

胡 長洪
実海域船舶性能予測
船舶シミュレーション

環境修復技術

渡邊 公一郎
地球科学データベース
資源開発の環境影響

糸井 龍一
地熱資源開発
化石燃料資源開発

笹木 圭子
地下水・土壌汚染修復
環境材料

CO_2貯留

佐々木 久郎
CO_2地中貯留
CO_2-ECBM CO_2-EOR

経済分析

堀井 伸浩
経済発展と石炭産業
中国の石炭電力産業分析

炭素資源の利用に伴う諸問題への対応技術開発

基礎化学

原田 明
超高感度環境計測
レーザー分光分析

経済分析

藤田 敏之
環境経済学
地球環境問題の分析

汚染物質分離除去

寺岡 靖剛
機能性無機材料
環境触媒化学

▶P5

峯元 雅樹
流動・輸送現象解析
各種プラントの高性能化

環境計測

鵜野 伊津志
越境大気汚染の数値解析
アジア域大気環境モデリング

竹村 俊彦
エアロゾルの地球規模
シミュレーション

伊藤 一秀
生活環境化学物質汚染
室内環境化学

林 徹夫
都市の熱環境解析
住宅エネルギー消費解析

大中 忠勝
生理心理機能と生活環境
熱環境・空気環境学

馬 昌珍
地球規模大気汚染
黄砂粒子の性状

環境関連機能材料

三浦 則雄
環境センサ
機能性材料及びデバイス

島ノ江 憲剛
ガスセンサの設計
高性能電気化学触媒の開発

Micro Review

ハニカム吸着材を用いた CO_2 分離・回収システムの最適化に関する研究

Optimization of CO_2 removal and concentration system by using of honeycomb adsorbent

九州大学大学院工学研究院　峯元　雅樹、松隈　洋介
Kyushu University　Masaki Minemoto and Yosuke Matsukuma

Carbon dioxide (CO_2) included in the exhaust gas from heat thermal plants is the main cause of global warming. In the present study, we focused on the rotary adsorption towers filled with honeycomb-type adsorbent and conducted the following experiments and simulations. Firstly, we made simulation models in order to precisely estimate the performance of the actual adsorption system. These experimental results were compared with simulation results and showed good agreement. Furthermore, adsorption and desorption of CO_2 were successfully simulated at each adsorption, heating, purge, and cooling stage. These results could be helpful guidance for the system optimization of rotary CO_2 plants. Secondly, turbulent flow in the honeycomb structure was numerically simulated by the Lattice Boltzmann method to resolve the flow maldistribution phenomena inside the honeycomb structure. A new technique was proposed to automatically design the pore size distributions of the pore plate in front of the honeycomb while keeping the total porosity of the plate constant. In consequence, the technique had an effect on flow uniformization, especially in the case of horizontal inlet of flow with an adequate entrance region.

1. はじめに

近年、地球規模の環境保護に関する関心が高まり、中でも二酸化炭素（CO_2）を主原因とする地球温暖化が問題とされ、その対策が急務となっている。石炭や石油•天然ガスなどの化石燃料を大量に消費する火力発電所や各種燃焼施設からの排ガスには、10%程度の高濃度CO_2が含まれており、地球温暖化の主な原因とされている。従来、この対策法として発電効率の向上など様々な研究開発が行われているが、排ガス中のCO_2を分離・回収して処分することも有望な方法の一つと考えられている。そのために、アミンやK_2CO_3などのアルカリ液による吸収・放散法、ゼオライト系を主とした各種吸着材による吸着・脱着法および膜分離法などが研究されている。このうち、吸着法は、従来PSA (Pressure Swing Adsorption)に関する研究が多く行われていたが、本法で大量の排ガス中に含まれるCO_2を短時間で吸着・脱着させて処理するためには、超大型の真空ポンプが必要でかつ所要エネルギーが大きいという問題があった。そこで、当研究室では乾式でかつ大型の真空ポンプを必要とせず、ボイラ廃熱の利用が可能なTSA（Temperature Swing Adsorption）による吸着・脱着の原理を用いてCO_2を分離・回収するシステムについて開発研究を行っている。吸着法では、通常粒状のCO_2吸着材を充填した吸着塔を２塔以上設置し、吸着と脱着再生を交互に繰り返すシステムが採用されている。一方、燃焼排ガスは大量でかつCO_2濃度が10%程度と極めて高いことを考えると、低圧損で大風量のガスを処理可能なハニカム形状の吸着材を使用し、かつ1塔でCO_2の分離•回収が可能なシステムが有利であると考え、当研究室ではこれの開発研究を行っている。このシステムの中心となる吸着塔には、低圧力損失を目的にハニカム形状のゼオライト系吸着材を充填している。

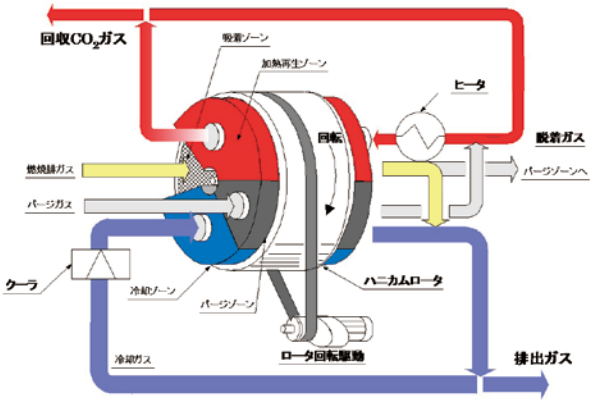


図１　ハニカム型吸脱着装置概略図

そのヘッダ部は、図1に示すように吸着、加熱再生(脱着)、パージ、冷却の４つのゾーンに分割されており、このヘッダ部に挟まれたローター形状の吸着層が回転することによりCO_2を連続して分離・回収できる構造となっている。すなわち、1塔で吸着、加熱再生、パージ、冷却の操作を行うため、装置の小型化が可能であると考えられる。

ここでは、まず本システムの概要とその設計法および最適化法について研究の紹介する[1-6]。次にハニカムを用いた場合に特に生じやすいと考えられるガスの偏流に注目し、この流動不均一性を解消するための新たな数値計算手法を提案する。

2.吸着法によるCO_2分離•回収プロセスの性能解析

本システムでは、高いCO_2分離•回収性能を維持するために吸着、加熱再生、パージおよび冷却の工程が繰り返され、その間CO_2吸着・脱着の物質移動と加熱、冷却の熱移動が行なわれる。ローター半径方向の吸着量と温度分布は一様と仮定して導出した基礎式は、式(1)-(6)に示すように物質収支式、ガス

流速変化式、物質移動速度式、流体側熱収支式、固体側熱収支式および吸着平衡関係式である。これらの偏微分方程式を連立させて解くことにより、未知数であるガス流速u、ガス中のCO_2濃度C、平衡濃度C^*、吸着量q、ガス温度T_g、ハニカム温度T_mを層高zと経過時間tの関数として求めることができる。

$$\rho_m \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial (uC)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rho_B \frac{\partial u}{\partial z} = -ka\left(C - C^*\right) \quad (2)$$

$$\rho_m \frac{\partial q}{\partial t} = ka\left(C - C^*\right) \quad (3)$$

$$\lambda_g \frac{\partial (uT_g)}{\partial z} = ha\left(T_m - T_g\right) - ka\left(C - C^*\right)\lambda_{gB} T_g \quad (4)$$

$$\rho_m \lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial t} + \rho_m \lambda_B \cdot q \frac{\partial T_m}{\partial t}$$

$$= \rho_m Q_{ad} \frac{\partial q}{\partial t} - ha\left(T_m - T_g\right) + \rho_m \frac{\partial q}{\partial t} \lambda_{gB} T_g \quad (5)$$

$$q = f\left(C^*, T_m\right) \quad (6)$$

この吸着、加熱再生、パージおよび冷却の各工程の計算を吸着層内が定常になるまで繰り返し行なう。これより種々の計算条件でのCO_2回収性能を求めることができる。

このような計算結果の一例として、吸着、加熱再生、パージおよび冷却の計算を50回以上繰り返し行なった後の各工程の開始時と終了時のCO_2吸着量分布を図2に示す。図2より、吸着工程では吸着が、加熱再生工程では脱着が行われていることがわかる。しかし、加熱再生工程の時間内では脱着が完全ではなく、CO_2が吸着材中に残留しており、これが初期破過の原因になるものと思われる。一方、パージおよび冷却工程でもCO_2の吸脱着が行われており、これらの工程の挙動を把握することも重要であると考える。

以上述べたように、本システムでは吸着層内でのガス濃度、吸着量および温度の分布の経時変化は非常に複雑な挙動を示しており、吸着層高、各工程のガス流量、入口ガス温度、吸着部や加熱再生部などの分割角度および吸着塔の回転数などの影響を受けると考えられ、これらの最適化の検討が必要である。

次に、いくつかの条件下で行なったシステムの評価結果を示す。評価は、一例として排ガス中のCO_2の回収率とCO_2 1 kgを回収するための再生加熱量とし、各々以下の通りとした。

- CO_2回収率：対象排ガス中のCO_2量のうち、実際に濃縮して得られるCO_2量の割合とした。
- 所要エネルギー：再生ガスは、循環使用することを想定して、再生ガス出口温度を所定の温度まで昇温させる熱量より、所要加熱量を求めた。

システムとしては、目標のCO_2回収率を満足し、かつ所要エネルギーを最少とする条件が望ましいと考えられる。なお、計算条件は、吸着塔直径14.5m、層高0.5m、処理ガス流量14000m³(STP)・h⁻¹、処理ガス中CO_2濃度13.5%、冷却ガス流量93000m³(STP)・h⁻¹、パージガス流量800m³(STP)・h⁻¹で一定

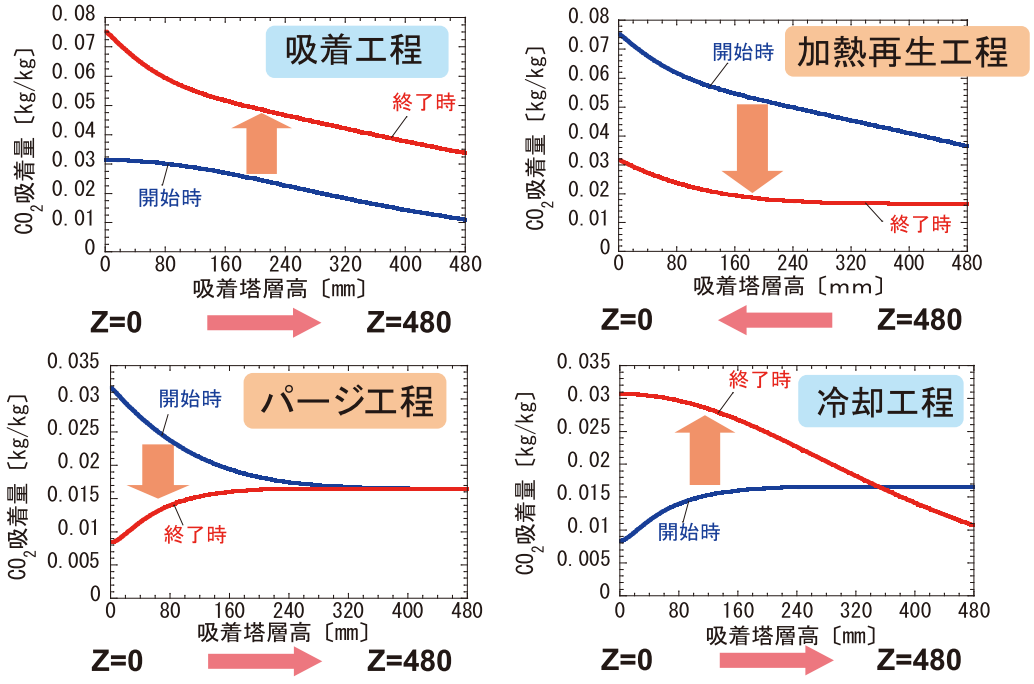


図2　各工程の吸着量の時間変化

とし、再生ガス温度、再生ガス中CO_2濃度、再生ガス流量を変化させてその影響を検討した。

一例として、CO_2の回収性能に及ぼす加熱再生ガス温度の影響を図3に示す。図3に示すように再生ガス温度が上昇するとCO_2回収率は向上するが、450K程度以上ではその上昇度合が少なくなる傾向にある。一方、所要加熱量は再生ガス温度が423K程度で最少となっている。これは、温度が低くなると脱着不十分となり、一方温度を高くすると過剰な脱着となるため、各々所要加熱量が大きくなり、これを最少とする温度が存在するものである。すなわち、再生温度は423Kが最適であると考えられる。なお、この時のCO_2回収率は約77%であった。

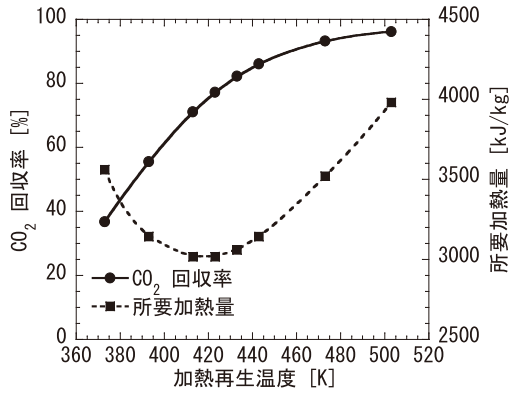


図3　回収性能に及ぼす加熱再生ガス温度の影響

3. 実機システムのイメージ

一例として、40万kWの石炭焚火力発電所からの180万m^3(STP)・h^{-1}の燃焼排ガス中のCO_2を分離・回収することを想定した実機システムの検討を行った。実機は直径14.5m、充填層高0.5mの装置を複数個設置することとしてその概念設計を行った。実機システムのイメージを図4に示す。この場合、180万m^3(STP)・h^{-1}の排ガスを処理するためにはローターが26個必要となるため、処理の設置スペースを小さくすることを目的として、吸着層をたてに26段積み重ねる構造を考案した。すなわち、1段当りの高さを例えばヘッダ部を含めて1mとすると、全層高は26mと予想される。

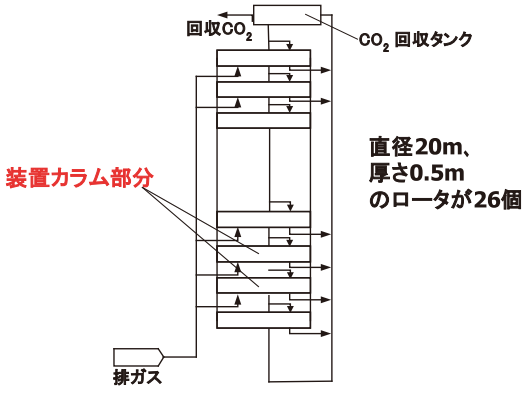


図4 実機システムのイメージ

4. ガス流速分布の不均一性

本システムの中心となる吸着塔には、低圧力損失を目的にハニカム形状のゼオライト系吸着材が充填されている。しかし、圧力損失が小さいということは、ガスの流速分布を均一にすることが困難であることを意味している。すなわち、吸着材が粒子形状の場合には圧力損失が大きく、それ自体がガスの分散材となるため、吸着層内の流速分布が問題となることは少ない。しかし、ハニカム形状の吸着材を使用すると流速分布が生じやすく、それに起因して性能の低下のみならず、加熱・冷却あるいは発熱などを伴う場合には、温度分布に起因した熱応力による吸着材の割れなどの不具合が発生する可能性がある。これらを防止するためには、ガス流速を極力均一化する必要があり、例えば吸着層内に入るガスの動圧を押さえるための邪魔板の設置、逆向きへのガスの導入あるいは多孔板の設置等が行なわれているが、これらの定量的な効果は必ずしも明確にはなっていない。

そこで、ハニカム内の流速分布を均一化するための邪魔板や多孔板の最適な位置や形状を格子ボルツマン法(Lattice Boltzmann Method: LBM)による解析により求め、さらに、多孔板の開口率を一定にしながら、開口形状を時間とともに変化させる自動設計方法を提案し、その有効性を調べた。自動設計手法として、圧縮性単相流の格子ボルツマン法で流れを計算しながら、多孔板の形状を変化させて流動が均一になるように多孔板を自動設計する。計算体系を図5の上段に示す。ハニカムは幅480格子、高さ100格子で、ハニカムは幅10格子の穴が40個設置されており、左下より横向きに流入したガスが、ヘッダ部で上向きに方向を変えてハニカムに流入する体系を想定した。このようにヘッダ部の横からガスを流入させる体系は、装置に高さの制限がある場合よく採用されている。また、図5の中段に示すように、ハニカムの前方に等間隔でN個の孔が開いた多孔板を設置した。

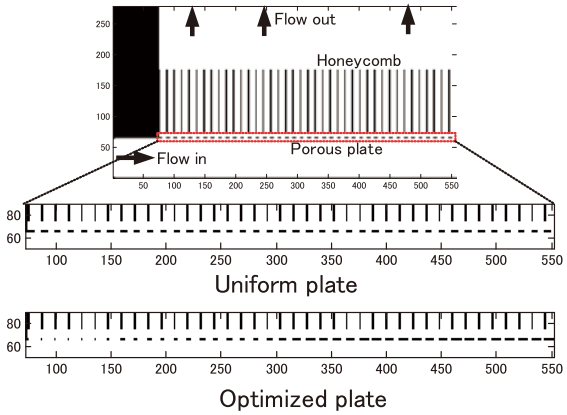


図5 流動均一化のための計算体系

この体系で流動場を計算しながら一定の時間間隔で流速の大きいチャンネル前方の多孔板の口径を狭め、小さいチャンネル前方の多孔板の口径を広げることで流速分布の均一化を図る。具体的には以下の手順を繰り返す。

A) 流れが十分に発達した後、多孔板の各開口部から、質量と大きさの無い仮想的な粒子を自動設計を行う時間ステップごとに放出する。粒子はどの開口部から放出されたかという情報を持つ。

B) 粒子放出後に各チャンネルの平均流速を求めると同時に、最大流速のチャンネルと最小流速のチャンネルを決定する。

C) 最大流速と最小流速のチャンネルに流入した粒子数を数え、最も多くの粒子が放出された多孔板の空間を、最大流速の場合は1格子縮め、最小流速の場合は1格子延ばす。

これらA)-C)の操作を繰り返すことにより、多孔板の開口率を一定に保ちながら、最大流速のチャンネルに対応する多孔板が伸び、最小流速のチャンネルに対応する多孔板が縮むことが期待され、次第に流動が均一化する多孔板の形状が自動的に求まって行くと考えられる。なお、計算は二次元で行い、ガス入口幅基準のレイノルズ数は60000とした。

解析結果は、流速分布と変動係数C_vで流速分布の不均一を評価する。

$$C_v = \frac{1}{u_m}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(u_i - u_{ave})^2} \qquad (7)$$

式(7)中のu_iはチャンネル番号i (i =1,・・N)のチャンネル内の平均流速を示し、u_{ave}はこれらの平均値である。この変動係数は小さいほど流れが均一であることを意味しており、完全な均一流れでは0である。多孔板自動設計時の変動係数の時間変化を図６に示す。タイムステップt=15000までは一定の開口形状として計算を行い、その後自動設計を開始し、t=150000自動設計を終了している。この図より、自動設計を開始すると当初0.7–0.8程度であった変動係数が、t=20000後から低下しはじめ、t=60000でほぼ一定の0.3程度になった。すなわちこの間自動設計が行なわれていると考えられる。また、自動設計終了に変動係数はやや上昇するが0.35程度を維持することがわかった。

この自動設計手法を適用した前後の各チャンネルの流速分布を図７に示す。チャンネル番号が小さいほど、ガス流入部に近いチャンネルをあらわす。均一な多孔板を設置した場合には、動圧の影響で、ガス導入部近傍のハニカムにはガスがほとんど流れず、反対側のハニカムに集中的に流れており、流速分布が大きく、この場合の変動係数は0.7である。一方、自動設計後は、入り口部分の多孔板は口径が大きくなり、反対側の口径は小さくなっており、その結果各チャンネルの流動が均一化され、変動係数が0.35まで低下したものと考えられる。

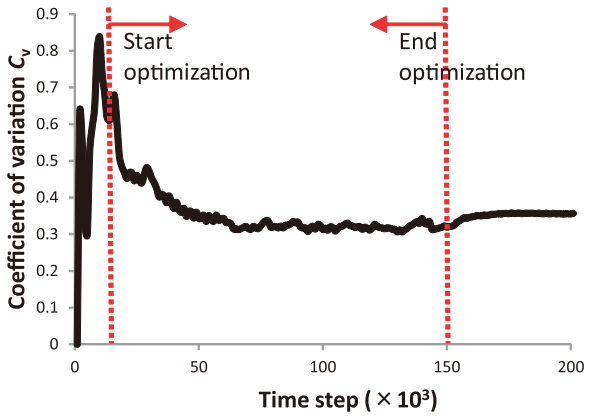


図６ 変動係数の時間変化

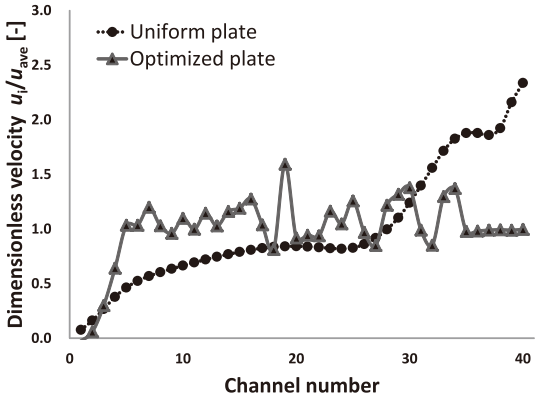


図７ 流動均一化前後の流速分布の比較

5. おわりに

火力発電所からの排ガスに含有されるCO_2の回収を目的に、低圧力損失であるハニカム型ゼオライトを充填した回転式吸着塔を用いた温度スイング吸着（TSA）方式で分離・回収するシステムに着目して、その最適化を目的とした研究を行った。その結果、濃度90%のCO_2を回収率60%以上で回収はできることがわかった。しかし、本システムを実用化し、世の中に広く普及させるためには、システムの最適化と並行して高性能吸着材の開発やボイラ廃熱の有効利用システムの確立など多方面からの取り組みにより所要エネルギーをさらに低減することが極めて重要であると考える。次いで、ガス流速分布を均一化するために多孔板の開口形状を最適化する新しい自動設計のコンセプトを提案し、その有効性を確認した。その結果、流動の不均一性の指標となる変動係数を約1／2にまで低減できる可能性を示した。今後は、3項で示した実機イメージのように、直径に対する厚さがきわめて薄いハニカムに適用できるように、本計算手法の精度をさらに向上させる予定である。

参考文献

1) 松隈洋介, 松下雄一, 垣上英正, 井上元, 峯元雅樹, 安武昭典, 岡伸樹, 化学工学論文集, **32**(2), 138(2006).
2) 松隈洋介, 定形薫, 垣上英正, 井上元, 峯元雅樹, 安武昭典, 岡伸樹, 化学工学論文集, **32**(2), (2006).
3) 松隈洋介, 高谷真介, 井上元, 峯元雅樹, 上島直幸, 化学工学論文集, **32**(5), 402(2006).
4) 松隈洋介, 高谷真介, 井上元, 峯元雅樹, 上島直幸, 化学工学論文集, **32**(6), 477(2006).
5) 松隈洋介, 垣上英正, 井上元, 峯元雅樹, 安武昭典, 岡伸樹, 化学工学論文集, **33**(3), 218(2007).
6) 垣上英正, 井上元, 松隈洋介, 峯元雅樹, 安武昭典, 岡伸樹, 化学工学論文集, **34**(3), 402(2008).

Micro Review

エレクトロニクス応用に向けたナノカーボンの開発

Development of nanocarbon materials for electronic devices

九州大学先導物質化学研究所　吾郷　浩樹
Kyushu University　Hiroki Ago

There is growing interest in “nanocarbon materials”, mainly carbon nanotubes and graphene, for future electronic applications, such as transistors, sensors, and integrated circuits. The realization of these electronic applications requires precise control of the structure as well as their integration. In this article, our recent progress of horizontally aligned single-walled carbon nanotube growth and epitaxial growth of single-layer graphene is reviewed. Growth mechanism and device properties are also demonstrated.

1. はじめに

近年、有機エレクトロニクスのように、炭素原子のπ電子を利用し、フレキシブルで軽量なデバイスを実現しようとする動きが活発化している。しかし、シリコンのキャリア移動度（電子とホールの移動度は、それぞれ1500と450 cm^2/Vs）に対して、有機デバイスのそれは最高でも10 cm^2/Vs程度とはるかに低い。これは、有機デバイスの電気伝導が、有機分子（あるいは高分子）間のホッピング伝導に基づくためである。

炭素原子のみからなる膜状構造のグラフェン（特に単層からなるものは単層グラフェン（Single-layer graphene: SLG）と呼ばれる）や、SLGを筒状に巻いた構造の単層カーボンナノチューブ（Single-walled carbon nanotube: SWNT）といった「ナノカーボン」と呼ばれる素材（図1）は、数千から20万cm^2/Vsという非常に高いキャリア移動度を有しており、新たなデバイス材料として大きな注目を集めている。SWNTの直径は1-2 nm、SLGの厚さは炭素原子1個分に過ぎないが、長さや幅は数μmを超える大きさを有している。このナノカーボンの移動度の高さは、デバイスの高速動作に不可欠であるだけでなく、発熱や消費電力の低減に寄与することも期待できる。さらに炭素からなるという点で、省資源型デバイスとしても有望である。また、有機分子に比べ、化学的に安定かつ機械的に強靭であることも特長である。

この興味深い材料をエレクトロニクス分野に応用していくためには、基板上での集積化やバンドギャップの制御など、解決すべき課題は多い。本稿では、このSWNTとSLGの成長制御について、筆者らの化学蒸着法（CVD法）を用いた研究を中心に解説する。

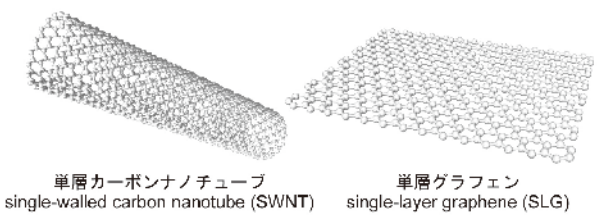


図1　ナノチューブとグラフェンの構造

2. SWNTの水平配向成長

SWNTは、現在のリソグラフィ技術で作られる構造よりもはるかに微細で規則正しい構造を有している（図1）。また、有機トランジスタよりも高い移動度や安定性を示すことから、電界効果型トランジスタ（FET）などの半導体材料としての応用が特に期待される。この応用の方向性としては、(1) 大面積のフレキシブルデバイスへの展開、(2) 微細構造に基づくシリコンLSIデバイスとの融合、の2つに大別できる。いずれも基板上でSWNTトランジスタを動作させることになるが、SWNTを水平方向に並べることは、チャネル幅（電極幅）当たりの動作電流を向上させ、全てのSWNTに有効にゲート電圧を印加するために重要である。SWNTを用いたデバイスの作製方法として、SWNTの分散液をインクジェットなどで塗布するウェットプロセスと、化学蒸着法（CVD法）によって基板上に直接SWNTを合成するドライな方法がある。どちらも一長一短あるが、後者は、後処理が不要のため、基板表面が清浄で欠陥が少なく、特性の優れたデバイスを作製できる利点がある。また、膨大な数のSWNTを集積させる上でも、基板上での直接合成の方が適している。

従来、水平方向にSWNTを配向成長させるのに、CVD中に交流電場や急速なガスフローを用いて強制的に並べる方法が報告されていたが、配向度・密度ともに不十分であった。そのような中、我々は、酸化アルミニウムの単結晶であるサファイア（α-Al_2O_3）のr面とa面でSWNTが水平方向に配向成長することを見出した[1]。図2にそのモデルと走査型電子顕微鏡(SEM)の写真を示す。

シリコン基板（SiO_2/Si）上では、曲がったSWNTがランダムな方向に成長しているが、サファイア上ではきれいに一方向に成長していることが分かる。SWNTが特定の結晶方位に向か

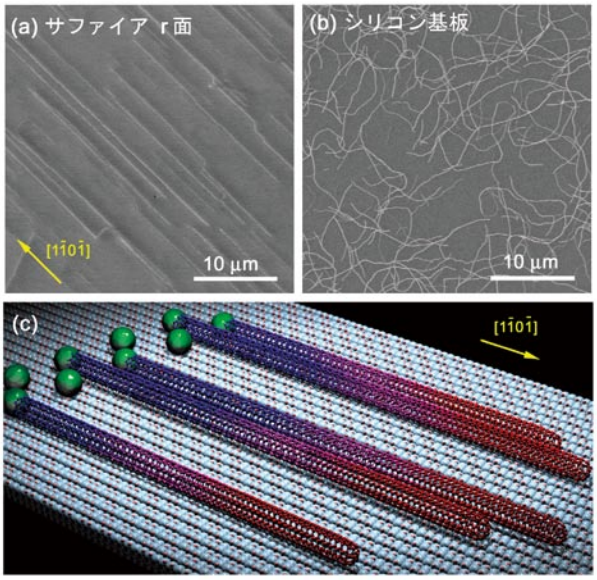


図2　(a)サファイアr面と(b)シリコン基板上に成長したSWNTのSEM像。(c)サファイア上の水平配向SWNTのイラスト。SEM像で個々のSWNTが太く見えるのはチャージングのためであり、実際の直径は1-2 nmである。

って成長していること、対称性の高いc面では配向成長しなかったことなどから、異方性を有する基板表面とSWNTとの間に働くファンデルワールス力によって配向成長したと解釈している。SWNTの成長方向がサファイアの結晶方位によって予め決まることから、我々はこの現象を「結晶表面の原子配列にプログラムされたSWNTの配向成長」と呼んでおり、デバイスを作製する上で重要な技術になると考えている。なお、この配向したナノチューブが単層のナノチューブであることは偏光ラマン測定により確認している。このような高度な配向成長が報告されているのは、サファアと石英の単結晶である水晶（SiO_2）[2]のみである。

3. 配向メカニズム

SWNTの合成には、遷移金属のナノ粒子を触媒（図2(c)のイラストの緑色の球に相当）、メタンなどの炭化水素ガスを炭素原料とするCVD法が用いられる。触媒上でのメタン分解によって生成した炭素原子が、触媒中に溶解したあと析出することで、π-ネットワークを有するSWNTが形成されると考えられている。触媒をフォトリソグラフィ等によって基板上にパターニングすることで、SWNTの位置も制御可能となる。図3に示したのが、ライン状のパターン触媒から配向成長したSWNTのSEM像である。直径（1-2 nm）に比べて長さが100 μmという非常に長いSWNTが極めて高い配向度で成長していることが分かる。図2に示したSEMよりもパターン成長したSWNTの方が長く、直線的になる理由として、パターニング時にレジストで覆われた部分が触媒に汚染されることなく清浄に保たれているため、SWNTとサファイアとの相互作用が有効に作用していることが考えられる。

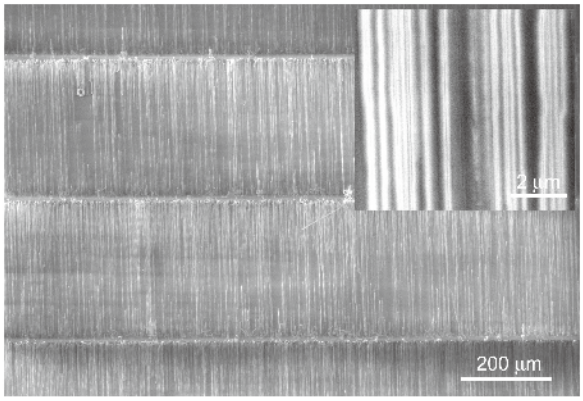


図3　サファイアr面上の触媒パターン（水平方向のライン）から配向成長したSWNTのSEM像。挿図は高倍率像。

ところで、ナノチューブの成長には2通りのメカニズムが考えられる。触媒がナノチューブの先端に位置しながら成長する場合（先端成長）と、触媒が一ヶ所にとどまりながら成長する場合（根元成長）である。我々は、これを明らかにするために、CVDの初期に同位体で置換した$^{13}CH_4$を原料として流し、途中で通常の$^{12}CH_4$に切り替えてSWNTを合成した。これにより1本のSWNTの伸長方向に同位体の空間分布を発生させ、その分布をラマン分光法により解析した。最初に導入した^{13}CがSWNTの先端に存在するのに対し、後で入れた^{12}Cは根元に多く存在していたことから、触媒から押し出されながらSWNTが成長する「根元成長」が主に起こっていることが分かった[3]。このことは、触媒と基板の間の相互作用よりもSWNT―基板間の相互作用が配向成長には重要であることを示している[4]。

上記とは別の配向メカニズムとして、ステップがSWNTの成長方向に与える影響も興味深い。ステップの高さをコントロールしたサファイア基板を用いた結果、ステップが存在しない時や高さが低い（0.2-0.3 nm）時には、SWNTはステップの方向とは関係なく配向成長することが分かった。しかし、ステップが高くなるとSWNTはステップに沿って成長するようになる[5]。この結果は、SWNTの成長には原子配列に依存する配向成長とステップエッジに沿う配向が存在することを示しており、我々はこれを利用して同一の基板上で異なる2方向への同時選択成長も実現している[6]。

4. SWNTトランジスタ

サファイアの結晶方位によって予め決められた方向にSWNTが成長するということは、デバイスの作製効率を飛躍的に向上させることにつながる。図4aはフォトリソグラフィによって成長させた基板に金電極をパターニングした写真であるが、チャネル幅を狭くすることで1本のSWNTだけが架橋したデバイス

も作製できるようになる。1本のSWNTからなるデバイスを測定すると、図4b,cに示す二つの異なった特性が得られる。一つは、明瞭なゲート電圧依存性（10^4-10^5程度のon/off比）を示す半導体的SWNTに由来した特性である。この場合、SWNT1本で数μAと高い電流が得られている。もう一つのデバイスはほとんどゲート電圧依存性を示さず、電流値は数十μAとさらに高い値を示すことから金属的なSWNTと判断することができる。このように、サファイア上にきれいに配向成長したSWNTであっても金属と半導体的なSWNTが混在して成長しており、今後は半導体だけの選択的な成長（あるいは基板からの分離技術）が望まれる。

成長制御の観点から、我々はSWNTの直径分布、及びカイラリティと呼ばれる巻き方の違いを詳細に調べた。その結果、SWNTの構造がサファイアの結晶面によって異なることを示唆する結果を得た[7]。サファイアr面ではアームチェアと呼ばれる巻き方のSWNTが多く観測されるのに対し、a面ではジグザグ型の構造が多く観測された。この知見は将来のナノチューブの「作り分け」につながるものと期待される。

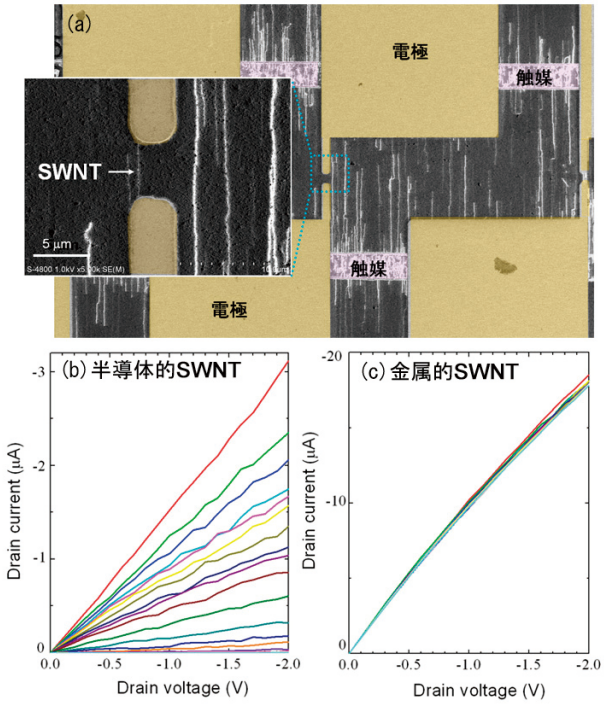


図4　(a) SWNT 1本が架橋したデバイスのSEM写真。半導体(b)と金属的(c)なSWNTの電流特性（ゲート電圧依存性）

5. SLGの成長制御

2009年から、グラフェンを大面積かつ安価に合成する有力な合成法として、CVD法を用いる報告がなされるようになってきた。その合成方法の概略は、Ni, Co, Cuからなる厚さ数百nmの金属薄膜を触媒として、それらの表面上でメタンを接触分解させて金属薄膜上にグラフェンを成長させるというものである。我々は、単結晶基板の上にエピタキシャルに高結晶性の金属膜を堆積させ、その上でグラフェンを合成することを試みてきた。そして、従来は困難とされていたCo金属膜上における大面積SLGの成長に成功した[8]。さらに、この析出したSLGの六員環の向きが触媒金属の結晶方位に対応して揃っていることも明らかとなった[8,9]。このような層数が均一かつ六員環の向きが揃ったグラフェンの成長は、CVD法において初めて実現できたことであり、今後は成長メカニズムとともにその電子輸送特性などを調べていく予定である。

その他に興味深い知見として、我々は、金属触媒表面に現れるピット*の内部に優先的にグラフェンが成長することも見出している（図5）[10]。グラフェンの形状を自己組織的に制御する方法として期待される。

（*金属触媒の膜厚が薄い場合に、欠陥に由来するピットと呼ばれる四角形や三角形の穴が形成される）

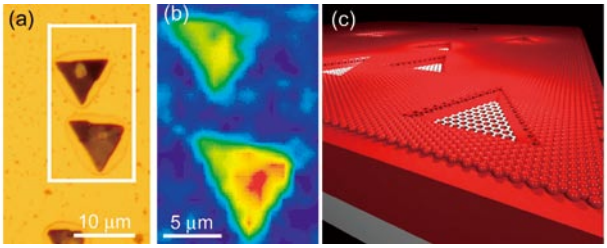


図5　三角形のピットの光学顕微鏡写真(a)とその中に生成したグラフェンのラマンマッピング像(b)、及びそのイメージ(c)

6. 今後に向けて

SWNTを配向成長させることは、特性の優れたデバイスの効率的な作製へとつながり、ナノチューブ・デバイスの実用化へと近づけるものである。実際、米国のイリノイ大学のグループは、水晶上で高密度に配向成長したSWNTを回路の中に組み込んだラジオを試作しており、デバイスのデモンストレーションという意味ではかなり進んでいる[11]。また、サファイアや水晶は硬くて絶縁体であることから、高分子（フレキシブルデバイスへの応用）やシリコン基板への転写技術が活発に検討されている[12]。しかしながら、高価な単結晶基板上のSWNTをシリコン上に転写するのは、コスト、及びプロセスの複雑性という点で問題がある。特に、LSIのようなシリコンデバイスへの応用においては、シリコンウエハー（SiO_2/Si）上でSWNTを配列させて集積化することが望まれる。最近、我々はシリコン基板をエッチング処理して人工的ステップ構造を表面に作り出すことによって、SWNTを配向成長できることを実証した[13,14]。この知見はシリコンなど他の基板上でもSWNTを配向成長できることを示唆しており、「作り分け」や分離技術の発展とともに、LSIに

つながるような集積化SWNTネットワークが待たれる。

一方、グラフェンに関しては、2004年に英国のマンチェスター大学で、グラファイト（HOPG）からSLG膜が剥離されて以来活発化しており、グラフェンの研究は緒についたばかりである。グラフェンの二次元構造を活かしたトップダウンの適用など、今後様々な展開が期待される。

参考文献

1) H. Ago, K. Nakamura, K. Ikeda, N. Uehara, N. Ishigami, M. Tsuji, *Chem. Phys. Lett.*, **408**, 433 (2005).
2) C. Kocabas, S. H. Hur, A. Gaur, M. A. Meitl, M. Shim, J. A. Rogers, *Small*, **1**, 1110 (2005).
3) H. Ago, N. Ishigami, N. Yoshihara, K. Imamoto, S. Akita, K. Ikeda, M. Tsuji, T. Ikuta, K. Takahashi, *J. Phys. Chem. C*, **112**, 1735 (2008).
4) N. Ishigami, H. Ago, T. Nishi, K. Ikeda, M. Tsuji, T. Ikuta, K. Takahashi, *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 17264 (2008).
5) H. Ago, K. Imamoto, N. Ishigami, R. Ohdo, K. Ikeda, M. Tsuji, *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 123112 (2007).
6) H. Ago, K. Imamoto, T. Nishi, M. Tsuji, T. Ikuta, K. Takahashi, *J. Phys. Chem. C*, **113**, 13121 (2009).
7) N. Ishigami, H. Ago, K. Imamoto, M. Tsuji, K. Iakoubovskii, N. Minami, *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 9918 (2008).
8) H. Ago, Y. Ito, K. Yoshida, B. Hu, M. Tsuji, N. Mizuta, S. Mizuno, submitted.
9) B. Hu, H. Ago, Y. Ito, M. Tsuji, E. Magome, K. Sumitani, N. Mizuta, K. Ikeda, S. Mizuno, submitted.
10) H. Ago, I. Tanaka, M. Tsuji, K. Ikeda, *Small*, **6**, 1226 (2010).
11) C. Kocabas, H. Kim, T. Banks, J. A. Rogers, A. A. Pesetski, J. E. Baumgardner, S. V. Krishnaswamy, H. Zhang, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **105**, 1405 (2008).
12) L. Jiao, B. Fan, X. Xian, Z. Wu, J. Zhang, Z. Liu, *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 12612 (2008).
13) C. M. Orofeo, H. Ago, N. Yoshihara, M. Tsuji, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 053113 (2009).
14) C. M. Orofeo, H. Ago, T. Ikuta, K. Takahashi, M. Tsuji, *Nanoscale*, **2**, 1708 (2010).

Research Report

Development of Mechanisms on Primary Reactions during Coal Volatile Combustion: Numerical Investigation

Agung Tri Wijayanta[1], Alam Md. Saiful[2], Koichi Nakaso[2], Jun Fukai[*2]

[1] Research and Education Center of Carbon Resources, Kyushu University, Fukuoka 816-8580, Japan
[2] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan
[*]Corresponding author: jfukai@chem-eng.kyushu-u.ac.jp

This research report resumes the results of research work for developing reaction mechanisms during coal volatile combustion based on our related publications. Developments of coal conversion become more familiar in the worldwide at the present. Computational Fluid Dynamics (CFD) plays a key role to explain these developments of different coal chemistry steps including devolatilisation, volatile combustion and reforming, char oxidation and char gasification. In the research work, firstly, the authors develop the reduced mechanism that has a good agreement with the mechanism model of primary reaction of coal volatiles that consists of 255 chemical species and 1095 elementary reactions. Secondly, in the viewpoint of nowadays environmental issue for CO_2 reduction, carbon resource utilization especially how to increase syngas during coal gasification, the authors investigate continuously the primary reactions of coal volatiles including the soot formation mechanism for O_2/CO_2 environment to analyze the combustion components. The effects of CO_2 concentration, reaction temperature and pressure are also discussed in this research report for the soot model that provides a better result of the increase in product concentrations of CO, H_2 and the reduce in CO_2.

Keywords: reaction mechanism, reduced mechanism, soot formation, aromatics, coal volatiles, plug flow reactor.

Introduction

As well known that coal has a potential energy value, the substantial worldwide attention is being focused on cleaner and more efficient use of coals. Coal gasification process, in particular, allows an efficient use of this energy source with a low environmental impact. Continued utilization of coal is depending on the availability and development of the new process. Presently, about 40% of electric power generation in the world depends on coals.

As coal heats up, the volatile components of the coal will diffuse into the gas stream. Volatiles generally are composed of H_2, H_2O, CO, CO_2, hydrocarbon gases, hydrocarbon liquids, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Most of the compounds will continue to react to produce successively lighter gases as the more complex molecules decompose, eventually forming CO_2 and H_2O provides if the sufficient oxygen is available. PAHs are products of primary pyrolysis and PAHs are precursors of soot in secondary pyrolysis. The conversion of PAHs into soot during secondary pyrolysis is accompanied by release of CO and H_2.

New advance in instruments, computers and numerical methods have greatly increased in order to conduct the research efforts in coals. In this numerical research work, the authors divide the study into two parts[1-3]. One is to develop a numerical model that is validated with the experimental results and then to make a reduced model for CO_2 gasification that shows similarity with primary mechanism consists of 255 chemical species and 1095 elementary reactions[4]. The reduced model contains 53 chemical species and 73 elementary chemical reactions and the comparison between the primary and reduced mechanisms is provided. The second part is to extend the previous work for developing mechanism including the soot formation. The reaction mechanism consists of 276 species and 3793 reactions[4]. The comparison between soot formation and without soot models is also provided. Moreover, the effects of CO_2 concentration, temperature and pressure for the appropriate soot model are also reported in this paper.

Mathematical Model

A plug flow reaction model for reaction of coal volatiles is developed for O_2/CO_2 gasification. The model is numerically developed using the input data of coal volatile pyrolysis that has concentration of H_2, CO, CH_4, O_2 and CO_2 of 0.00049, 0.00283, 0.00211, 0.00729 and 0.02241 in mass fraction, respectively. Simulation is conducted inside the reactor of 28 mm in diameter and 1200 mm in length. The plug flow reactor model can be used to model multiple reactions as well as reactions involving changing temperatures, pressures and densities of the flow. In the ideal tubular reactor, which is called the plug flow reactor, there is assumed to be complete mixing perpendicular to the direction of flow (i.e. the radial direction) and no mixing in the direction of flow. In the plug flow, the residence time in the reactor is the same for all elements of fluid. It means that the reaction proceeds as the reactants in a plug progress along the reactor tube. There is ideally no back-mixing in the reactor and there exists a uniform temperature, pressure and velocity profile across the radius.

All the gas phase and surface phase reactions are considered in this mathematical model are as follows:

$$aA+bB \underset{k_b}{\overset{k_f}{\leftrightarrow}} cC+dD \qquad (1)$$

The lower case letters (a, b, c and d) represent

stoichiometric coefficients, while the capital letters represent the reactants (*A* and *B*) and the products (*C* and *D*).

k is the proportionality constant called the specific rate coefficient for the above reaction and follows the Arrhenius equation.

$$k = A_f T^{\alpha} \exp^{\frac{-E}{RT}} \quad (2)$$

where A_f is a frequency factor (mole-m-sec-K), T is temperature (K), α is temperature exponent, E is activation energy (J/mole) and R is the gas constant (J K^{-1} $mole^{-1}$).

Reduced Mechanism

The aim of this study is to reduce the number of species and reactions to get a reduced mechanism small enough to use in CFD calculations. There is no theoretical limitation of the number of species utilized in the mechanism calculations however the simulation time becomes unacceptably long. There is no species limit in Chemkin-CFD, but the practical 50 species limit was introduced in the code of Fluent. Species entering the combustion process and the resulting stable products of the reaction process are selected as important species.

The authors first consider only five compound species (H_2, H_2O, CO, O_2, and CO_2) that is obtained by filtering the species based on the mass fraction. Then the Rate of Production (ROP) analysis has been studied. ROP analysis is particularly useful for plug-flow systems, where the computational expense for the added calculations is small and it is possible to consider data from a large reaction set. ROP analysis determines the contribution of each reaction to the net production or destruction rates of a species. The percentage of the contribution of the *i*-th reaction to the formation of or consumption, C_{ki} of a species *k* is calculated as:

$$C_{ki} = \frac{\omega_{ki}}{\omega_k} \times 100 \quad (3)$$

where ω_k is the net molar production rate per unit volume of the *k*-th species.

The authors successively consider the most dominant reactions for each species and make a new mechanism. Then, the size of the mechanism is gradually increased by adding the chemical species and number of dominant reactions, and the procedure is terminated when the deviation becomes smaller. The reactions are added or removed to modify the reduced mechanism by temperature sensitivity analysis. The resulting mechanism has 15 compound species and 73 elementary chemical reactions that include 37 intermediate species[1].

Reaction Mechanism including Soot Formation

Nucleation is the process of forming new condensed-phase particles from a continuous phase, such as gas and vapor. Particle nucleation is the most important step in soot formation and results in generation of the solid particles. It is irreversible and all reactants must be gas phase species. The PAH molecules first grow into planar molecules while simultaneously reacting with the gas phase species and colliding with other PAH molecules to form large molecules. The PAH compounds having large molecular mass about 2000 is considered soot and the reaction mechanism is described from benzene to coronene ($C_{24}H_{12}$). Then, considering the concentration of H_2, CO, CO_2 and soot in the outlet of the reactor the authors define which model has significant regarding energy and environmental issue.

This soot model consists of the following principal processes: initial aromatic ring formation during small hydrocarbon oxidation, formation of larger PAH, particle nucleation/inception through coalescence of PAHs, particle growth and particle oxidation. Particle oxidation produces the lower PAHs. The reaction mechanism developed in this model consists of 276 species, 2158 conventional gas phase reactions and 1635 surface phase reactions[4]. Based on the detection of compounds containing up to 160 carbon atoms is considered as a particle[5], the remaining all aromatic compounds are considered as PAHs in this soot model. The main reactions considered in this model are:

Reaction between PAH/PAH* and PAH/PAH*:

$$\text{PAH/PAH*} + \text{PAH/PAH*} \rightarrow \text{PAH/PAH*} + H/H_2 \quad (4)$$

Reaction between PAH/PAH* and C_2H_2:

$$\text{PAH/PAH*} + C_2H_2 \rightarrow \text{PAH/PAH*} + H \quad (5)$$

Particle oxidation:

$$\text{PAH/PAH*} + OH \rightarrow \text{PAH/PAH*} + CO + H \quad (6)$$

where * indicates a radical entity.

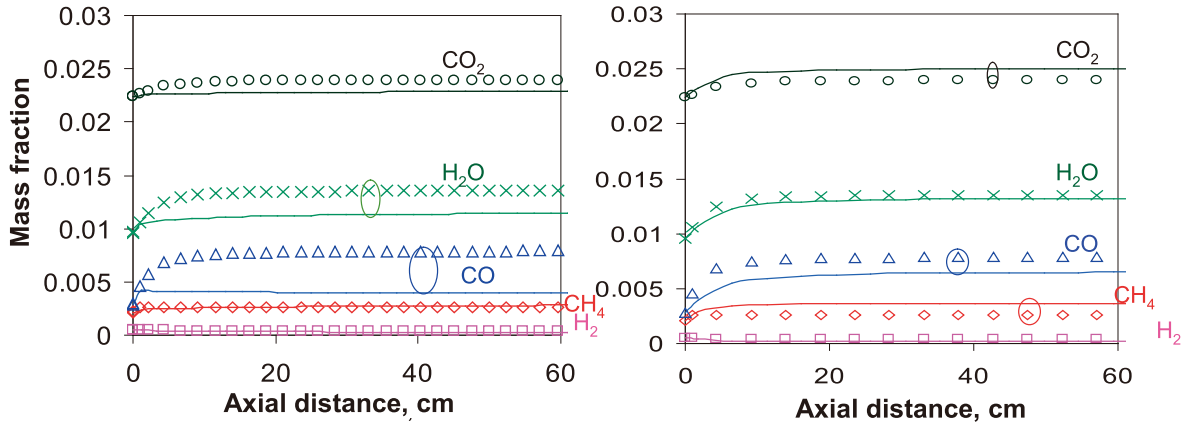
Results and Discussion

Reduced Mechanism

The reduced mechanism is tested against the primary mechanism. The comparison of the two mechanisms can be seen in Fig. 1 that shows the concentration profiles of the major combustion species (H_2, CH_4, H_2O, CO and CO_2).

The Fig. 1-a shows the result when the authors consider 10 compound species of H_2, CH_4, H_2O, C_2H_4, C_3H_6, CO, CO_2, O_2, C_6H_6 and chrysene. The concentration difference between primary mechanism and reduced mechanism for H_2O and CO is large. But, when we consider 15 compound species of H_2, CH_4, H_2O, C_2H_4, C_2H_6, C_5H_6, C_4H_8, C_3H_6, CO, CO_2, O_2, C_6H_6, C_7H_8, C_6H_5OH and chrysene, then the result provides the smaller difference for all major combustion species as shown in the Fig. 1-b. This good agreement mechanism has 15 compound species and 73 elementary chemical reactions that include 37 intermediate species.

This reduced model shows good results when the temperature and pressure are maintained up to 1373K and 1.0 MPa, respectively[1].



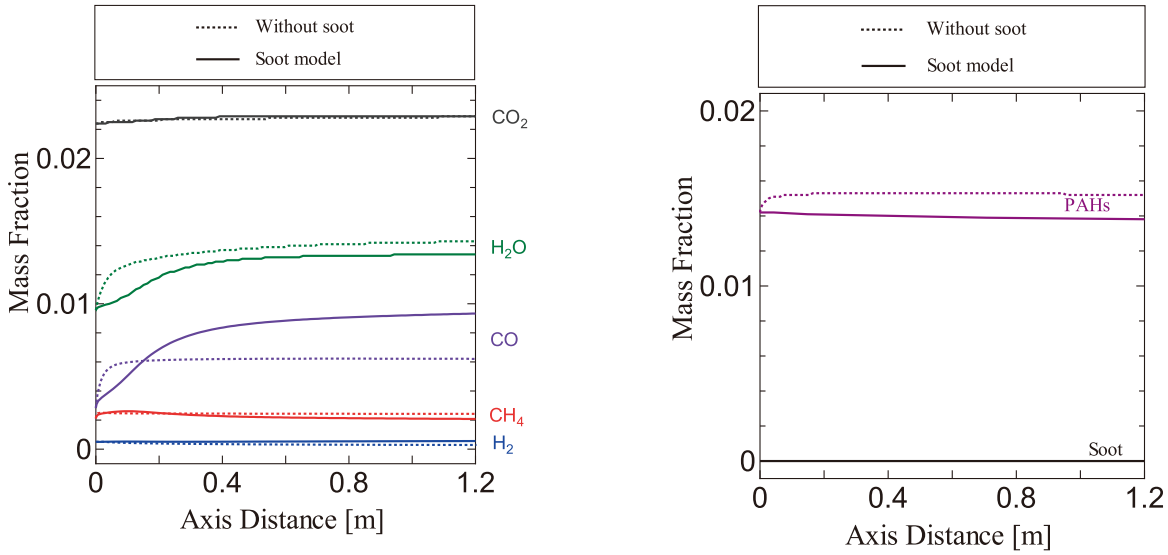
a) 10 compound species　　b) 15 compound species

Fig. 1. Comparison between the primary mechanism (symbol) and the reduced mechanism (solid line) at 1273 K, 0.1 MPa.

Reaction Mechanism including Soot Formation

It is seen in Fig. 2-a that the both soot and without soot models provide different concentration profiles for all major combustion species. The concentration of CH_4 decreases for soot model since it is a source of PAHs in order to form the soot. The increase in concentrations of H_2 and CO in the soot model is due to the formation of CO and H_2 from the oxidation of soot. As illustrated in the Fig. 2-b, the significant difference of PAH concentration is occurred for between the soot and without soot models. The PAHs concentration for the soot model decreases since a number of PAHs produces the soot. The soot is almost zero at this condition.

Temperature study (1273–1873 K) has been investigated at constant pressure of 0.1 MPa. It is seen in the Fig. 3 that the product concentrations of H_2 and CO become large when the reaction temperature increases. The reduction of CO_2 concentration is significant at high temperature. This is mainly due to the decomposition of CO_2 to CO and radical oxygen. Furthermore, the oxidation of PAHs occurs in order to produce more concentrations of CO and H_2 at higher reaction temperature. In the result, the product concentration of PAHs decreases with increasing the reaction temperature. It is also seen in the Fig. 3-d that the concentration of PAHs intensively drops from initial condition for forming soot.



a) CO_2, H_2O, CO, CH_4 and H_2　　b) PAHs and soot

Fig. 2. Comparison between the mechanism with soot and without soot at 1273 K, 0.1 MPa.

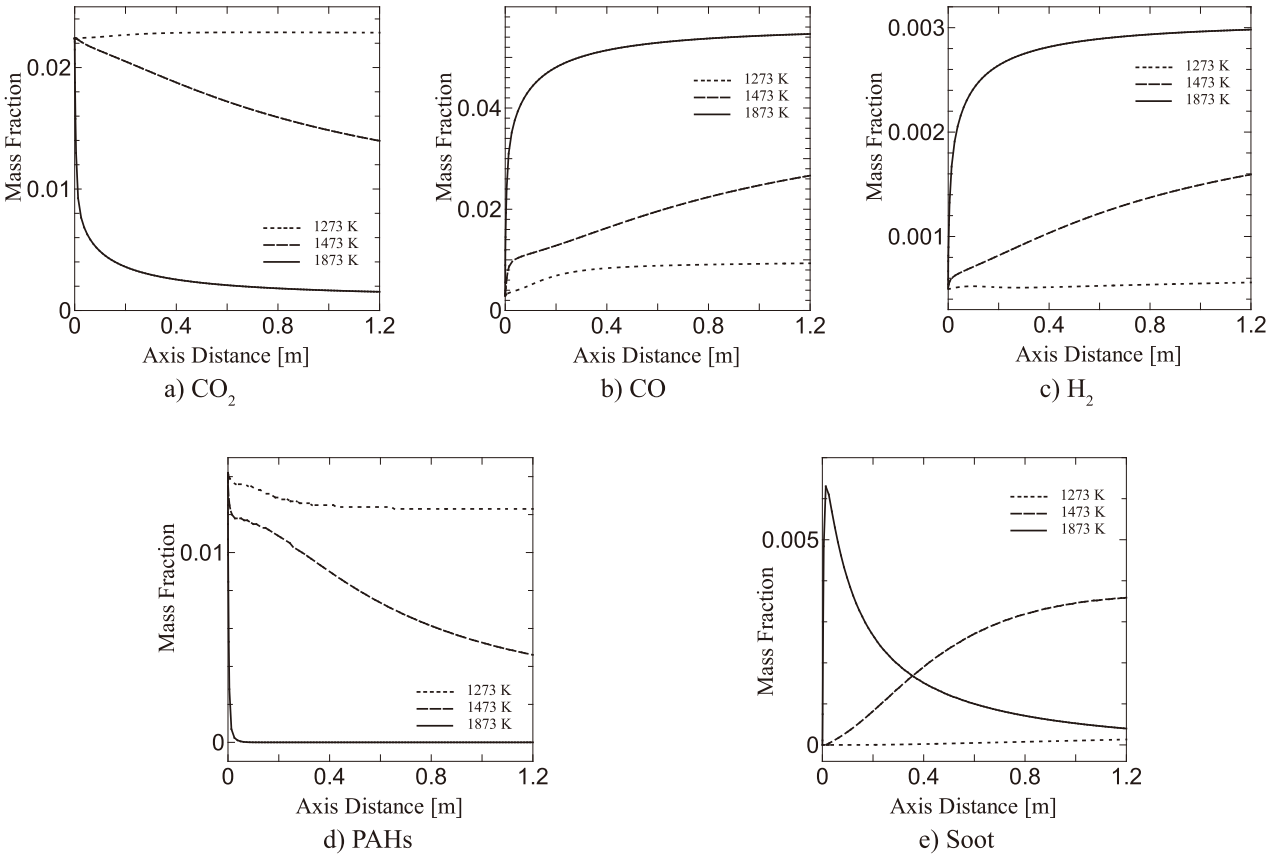


Fig. 3. Concentration profiles along the reactor at 0.1 MPa with various reaction temperatures.

Fig. 4 shows concentration profiles for the soot model along the axial position of the reactor at 1473 K, 0.1 MPa with various initial CO_2 concentrations until ten times from initial input of 0.02241 in mass fraction. As illustrated in the Fig. 4, the soot model provides the better results at higher CO_2 concentration for increasing significantly the product concentration of CO and decreasing the soot. Although soot reduces with increasing CO_2 but still there are more PAHs and soot exist in the outlet of the reactor at temperature 1473 K.

From the Fig. 5, at temperature 1473 K CO_2 concentration has not yet provided the more significant effect. But, at high temperature (1673-1873 K) CO_2 makes significant effect on PAHs as well as soot. From this discussion, it means that to get significant effect from CO_2 concentration, the temperature should be maintained at high temperature about 1673 K due to decomposition of CO_2. At higher temperatures CO_2 have large effect on soot and PAH reduction. On the other hand, O_2 shows good prediction of soot and PAHs at lower temperature[3].

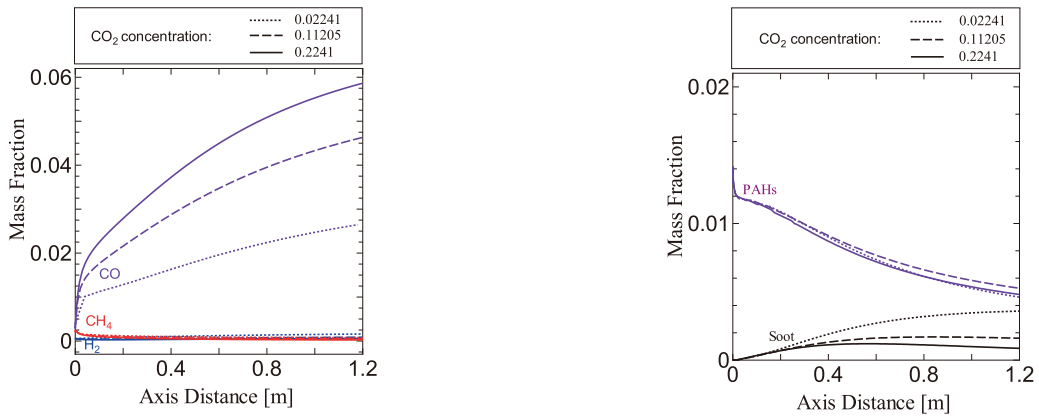


Fig. 4. Concentration profiles at 1473 K, 0.1 MPa with various CO_2 input.

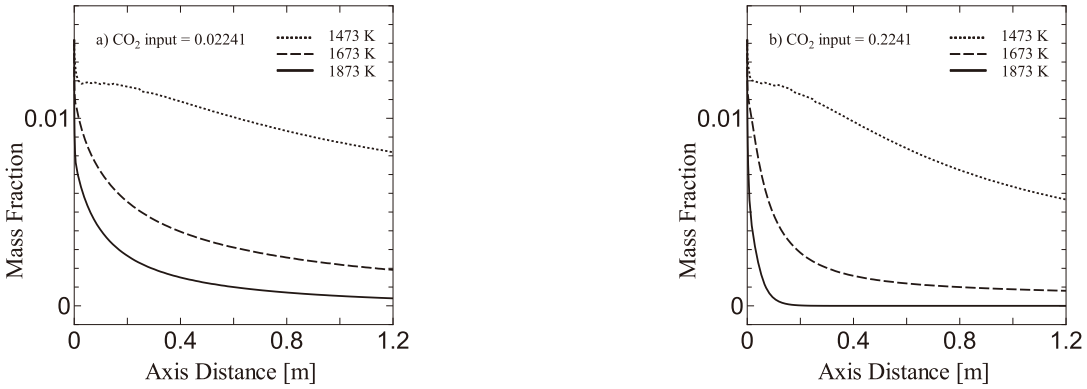


Fig. 5. Concentration profiles of total of PAHs and soot compound at 0.1 MPa with various temperatures.

Fig. 6 shows the effect of reaction pressure on product concentrations. The concentrations of H_2 and CO become high when the pressure increases, but the concentrations of CO_2 and PAHs reduce. In the view point of reduced CO_2 and high products of CO and H_2, the reaction temperature and pressure should be maintained at high condition for soot model[2, 3]. Formation of aromatics decreases with increasing the reaction temperature and pressure.

Conclusions

The numerical research work for developing reaction mechanisms during coal volatile combustion has been investigated. The reaction mechanism (255 species and 1095 elementary reactions) can be reduced substantially by using the rate of production analysis to a reduced mechanism (53 chemical species and 73 elementary chemical reactions). This reduced model shows good

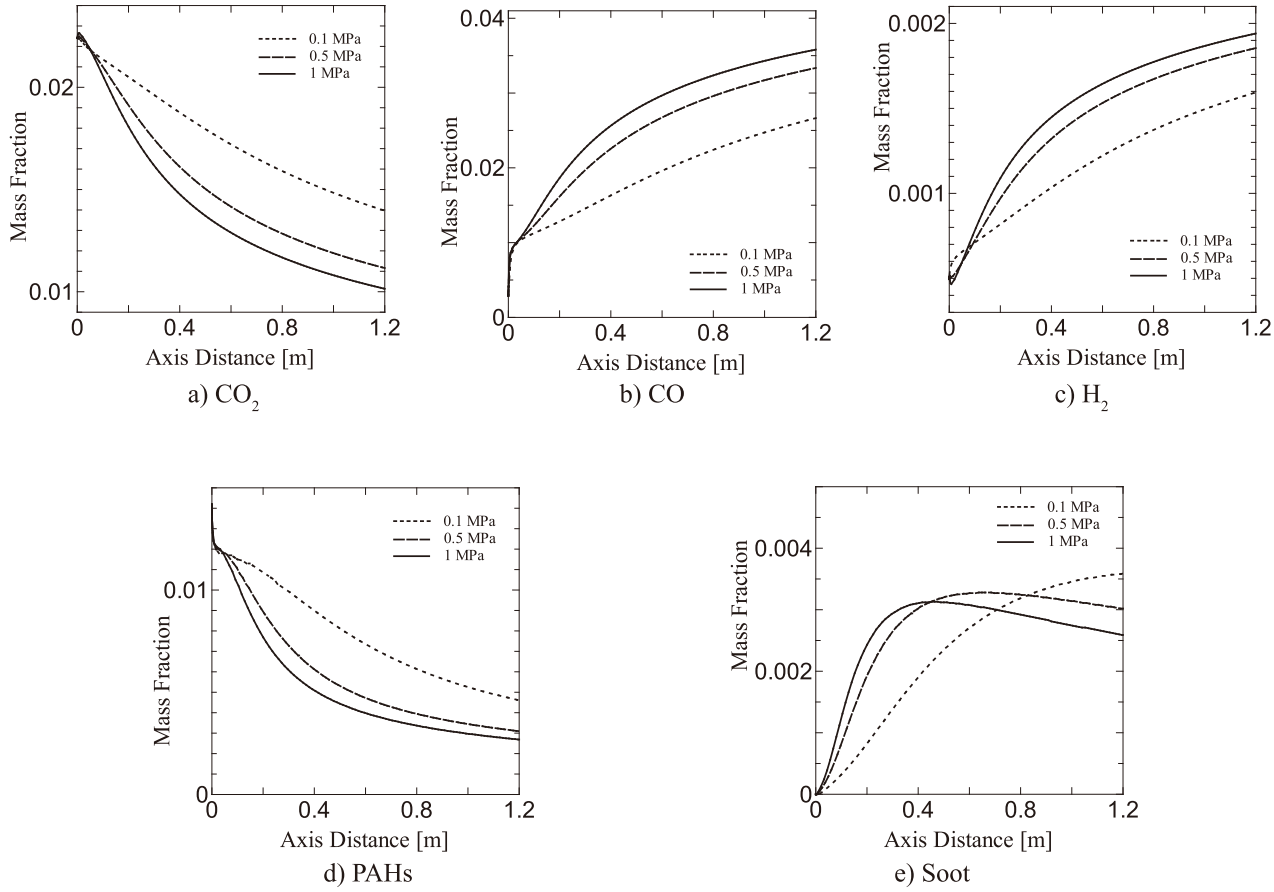


Fig. 6. Concentration profiles along the reactor at 1473 K with various reaction pressures.

results when the temperature and pressure are maintained up to 1373 K and 1.0 MPa, respectively.

The soot formation model on primary reactions of coal volatiles in a plug flow reactor for O_2/CO_2 environment also has been numerically investigated. Providing the calculated data of simulation model is to predict concentration profiles of the major combustion species and PAHs. When increasing the reaction temperature, the product concentrations of CO and H_2 become high. Considering the advantages of the increases in CO, H_2 and the decreases in soot, the effect of CO_2 concentration are observed and discussed for the soot model at higher temperature. CO and H_2 also increase with increasing the reaction pressure. Furthermore, the CO_2 and PAHs reduce at the both higher temperature and pressure conditions. At higher temperatures CO_2 have large effect on soot and PAH reduction, but O_2 shows good prediction of soot and PAHs at lower temperature.

Acknowledgments

This research is partially supported by NEDO Project under the Project of Innovative Zero-emission Coal Gasification Power Generation.

References

1) Md.S. Alam, A.T. Wijayanta, K. Nakaso, J. Fukai, K. Norinaga, J.i. Hayashi, *Proceedings of 3rd Intl Symp of Novel Carbon Res. Scie.*, **50**, 298 (2009).
2) A.T. Wijayanta, Md.S. Alam, K. Nakaso, J. Fukai, *Proceedings of 4th Intl Symp of Novel Carbon Res. Scie.*, 155 (2009).
3) Md.S. Alam, A.T. Wijayanta, K. Nakaso, J. Fukai, *Proceedings of 75th SCEJ Annual Meeting*, 631 (2010).
4) Massachusetts Ins. of Tech., Combustion Research website: http://web.mit.edu/anish/www/MITcomb.html.
5) H. Richter, S. Granata, W.H. Green, J.B. Howard, *Proceedings of the Combustion Inst*, **30**, 1397 (2005).

ACTIVITY REPORT

新炭素資源学フォーラム

—中間報告—

九州大学先導物質化学研究所
林　潤一郎
Jun-ichiro Hayashi

「環境負荷なき炭素資源利用のための新学理確立と国際的人材の育成」を目標とする本グローバルCOEプログラムには、「炭素循環から見た炭素資源学のあり方とは何かを示す」、換言すれば、温暖化、CO_2排出などのキーワードに代表される地球規模の環境制約と、その裏返しである化石資源制約の両問題解決に向けて、新炭素資源学としての提言を行う課題がある。「新炭素資源学フォーラム」は、その提言を目標として2009年に発足した[1)]。炭素資源に直接、間接に関わる幅広い分野（科学技術、経済、政策等）から学内外の専門家を講師として招聘、話題提供（講演）をいただき、質疑応答や事前に設定した論点からスタートする討論を通じて、炭素資源利用に係る世界規模の現状（問題）を認識し、将来の究極的省炭素資源への課題を探ってきた。フォーラムに連動して、博士課程学生を対象とする海外短期実習、国内短期実習も企画したが、詳細は他の報告に譲りたい。

フォーラムは、「エネルギー利用」、「省エネルギー」、「アジア環境」のそれぞれを主題とするフォーラムⅠ、ⅡおよびⅢから構成される。それぞれのフォーラムは、事業担当教員、協力教員（以上、アドバイザー）、若手研究者（助教、博士研究員）、そして討論会の主役としての博士後期課程学生がメンバーとなり、2009年8月以来、これまで全12回の講演会・討論会を開催してきた。各回の概要については表1を参照されたい。

フォーラムⅠでは、炭素資源だけでなく原子力、再生可能エネルギーを含めたエネルギー・資源の高効率利用、エネルギーの安定供給、CO_2排出などをトピックとする講演・討論会を開催してきた。石炭ガス化複合発電（IGCC）をはじめとする次世代高効率石炭火力発電、CO_2回収貯留（CCS）、再生可能エネルギー利用による発電（風力、太陽光、地熱、マイクロ水力）、次世代原子力としての高温ガス炉など、相当の規模で導入されるならば著しいCO_2排出削減が達成されると期待される新技術について学んだ。その一方で、それらの技術を実現するには非技術的な問題、つまり経済的、地政学的あるいは双方の困難さが、形は変われどもアジア諸国のすべてにあることも認識できた。

エネルギー、とりわけ高品位電力を安定供給するという観点からは、出力変動の大きな再生可能エネルギー利用発電の大規模導入は（可能だとしても）、火力発電の大きな負荷変動と効率低下をもたらし、その結果、スマートグリッドのような次世代電力運用システムを適用したとしても正味の化石資源消費削減すら難しい場合が起こりえることも理解した。これは再生可能エネルギーを比較的安易に期待していた者にとっては少なからずショッキングであった。今後は、蓄電技術（本テーマは、フォーラムⅡにおいてすでに話題として取り上げた）や二次化学エネルギーとしての水素などの可能性、有効性についての議論を踏まえ、エネルギー安定供給と炭素資源高効率変換を結びつけた提案を試みたい。

フォーラムⅠ・Ⅲの合同討論会では、産業・民生分野の影に隠れた「莫大なCO_2排出」をもたらしているインドネシアのピートランド大規模火災についても取り上げ、その多くが無理な土地開発に由来する人災であることを学んだ。「ピートは資源か、開発すべきでない炭素質か」を論点に置いた討論は白熱したが、環境保全と資源開発の両立には我々の知識が未だ不足した状況であることは共通の認識となった。

表1　開催フォーラム一覧

フォーラム	年月日	テーマ	題目と講師名（所属）	参加者数
I&II	2009年8月22日	Development of IGCC Technology/ Explanation of CCS	"Development of IGCC (Integrated Coal Gasification Combined Cycle) Technology" 原 三郎（電力中央研究所 エネルギー技術研究所） "Explanation of CCS (Carbon dioxide Capture & Sequestration) Technology" 原田 達朗（九州電力 総合研究所）	57名
III	2009年11月30日	低炭素社会におけるアジアのエネルギー消費の課題と取り組み～アジアのエネルギー問題と対応～	**"中国のエネルギー問題と温暖化への対応"**　明日香 寿川（東北大学 教授） **"九州電力の海外での省エネ・環境への取り組みについて"**　舟越 節彦（九州電力海外事業部） **"温暖化対策としてのエネルギー節約の評価"**　馬奈木 俊介（横浜国立大学 准教授）	41名
I&III	2009年12月5日	Peat: CO_2 Emission Source or Carbon Resource?	"Annual Peat Fires in Humid Tropics of West Kalimantan, Indonesia and the Consequences on Peat Carbon Storage, and CO_2-e Emission" Gusti Z. Anshari (Centre for Wetlands People and Biodiversity, Tanjungpura University, Indonesia) "Recent Progress in Indonesian Peat Utilization Research" Anggoro Tri Mursito (LIPI: The Indonesian Institute of Sciences, Indonesia)	51名
II&III	2009年12月19日	システムベースの省エネルギー: エネルギー有効利用技術	"Ultimately Efficient Use of Energy over the Edison's Paradigm and the Ford's" 浜松 照秀（UXSEP 研究館代表、電力中央研究所名誉特別顧問） "Chemical Heat Pump for Waste Heat Utilization in Industrial Field" 加藤 之貴（東京工業大学 准教授） "The Effect and Potential of Heat Pump Technology for Business and Residential Sector" 矢田部 隆志（東京電力）	55名
II	2010年1月23日	材料ベースの省エネルギー: 化学産業の成長戦略	"The Role of Chemical Industry for a Sustainable World"　浦田 尚男（三菱ケミカルホールディングス） **"自動車用プラスチック・ゴムのリサイクル技術開発"**　佐藤 紀夫（豊田中央研究所） **"生産効率のケーススタディ; 受託合成業界の視点から"**　栗田 壮太（ランクセス株式会社サルティゴ医薬担当）	42名
I	2010年1月30日	Power from Renewable Energy	"What are Solar Cells? How it Works for Clean and Green Society?"　柿本 浩一（九州大学 教授） "Development of a Highly Efficient Wind Turbine with Wind-Lens Technology"　大屋 裕二（九州大学 教授）	32名
III	2010年2月8日	アジアのメガシティの生活環境	"City Ventilation for Better Urban Air Quality and Energy Efficiency" Yuguo Li（香港大学 教授）（発表者:Lina Yang 研究員） "Compact City Planning for Low-Carbon Society"　出口 敦（九州大学 教授）	28名
平成21年度フォーラム討論会（年度最終とりまとめ）	2010年6月19日		**（1）エネルギーベストミックス　石炭火力発電の効率化、太陽光発電、風力発電** **（2）CO_2を考える　CCS、泥炭火災** **（3）省エネルギー　ヒートポンプ、化学産業の成長戦略** **（4）アジア環境　中国の環境・エネルギー事情、都市設計**	49名
I&III	2010年7月10日	地熱発電とMicro水力	"Small Hydropower: its potentials and possibilities"　小林 久（茨城大学 教授） "Volcano and Utilization of Geothermal Energy"　江原 幸雄（九州大学 教授）	36名
I&II&III	2010年8月28日	リチウムイオン電池を取り巻く課題	"Material Risk and the Strategy in Japan"　原田 幸明（物質・材料研究機構 元素戦略センター長） "Global Trends of R&D Projects of Li-ion Battery"　辰巳 国昭（産業技術総合研究所 蓄電デバイス研究グループ長） "General View of Lithium-Ion Cell Safety"　鳶島 真一（群馬大学 教授）	42名
I&II	2010年9月4日	Future Technologies of Electric Power Generation and Grid Management	**"情報と電力の融合する未来の電力系統"**　阿部 力也（東京大学 特任教授） **"高温ガス炉による低炭素社会への貢献"**　大橋 弘史（日本原子力研究開発機構 原子力水素・熱利用研究センター）	27名
II&III	2010年9月18日	電子ディスプレイとエコロジー （Electronic Information Displays and Ecology）	"Green Technology in LCD"　Jae-Jin Lyu（サムスン電子） **"有機EL: グリーンテクノロジーとしての有機エレクトロニクス"**　筒井 哲夫（九州大学 名誉教授） **"電子ペーパー技術の紹介"**　服部 励治（九州大学 教授）	34名

フォーラムI（効率的エネルギー利用）　フォーラムII（省エネルギー）　フォーラムIII（アジア環境）

フォーラムIIは、（化石資源由来の）電力と熱の有効利用率をいかに高めるか（省エネシステム、デバイス、材料）、化学原料としての炭素資源をいかに有効利用できるか（省資源）の観点からの話題提供と討論が行われてきた。エクセルギー的に言えば質は低いが巨大な熱溜としての環境の熱をくみ上げるヒートポンプは、発電分野における省炭素資源と組み合わせた大規模導入によって著しいCO_2削減ポテンシャルがあること、また、産業分野における化学ヒートポンプの大きなポテンシャルを学ぶことができた。専門とする分野が種々異なる参加学生、教員のなかには、基礎中の基礎とも言える熱力学とその原理に基づく新発想の重要性にあらためて気付かされた者が少なからずいたのではないかと思われる。筆者もその一人である。

化学産業は、省エネ・省資源を論ずるにはあまりにもシステムが複雑化しているが、それでも革新的な要素技術、システム導入の試みと実践がなされていること知り、それらが新概念形成のヒントであることを認識した。「省炭素資源」は、フォーラムIIにおいて後に話題提供された「元素戦略」と併せれば、より深い議論・討論が可能であり（例えば、炭素は金属資源等の欠かせない還元

剤）、それを踏まえた持続的な炭素資源利用（利用サイクルはあり得るか、等）に関する提言が期待される。

上述したのに加えて、フォーラムⅡでは、次世代電力運用・利用システムの鍵技術とも言える蓄電技術、省エネデバイスを取り上げており、これまでにリチウムイオン電池、液晶ディスプレイ、有機EL等に関する話題提供とそれらの高性能化と普及に向けた課題が議論された。発電、電力供給システムとこれらの蓄電、省エネデバイス技術を包括した今後の議論（合同フォーラム）は、我々が提言を行うにあたって必須であるように思われる。

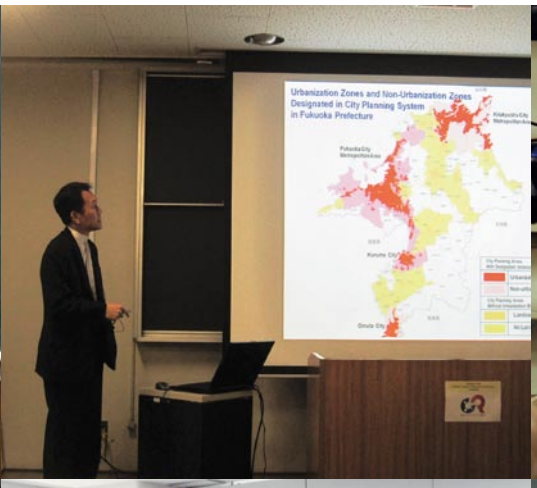
フォーラムⅢは、「アジア環境」という、文理の広範な知識を持たぬ非専門家にとっては議論が容易でない難しい主題に取り組んできた。化石資源消費の規模とその増大が著しい中国の事例を対象とした問題解決のための政策（CDM等）、技術システム導入（ESCO等）についての話題提供がなされた。中国における省資源、CO_2削減の困難さが浮き彫りになるとともに、アジアを包括した炭素資源利用の新しいあり方があるとすればそれは何か、という、極めて重く、新炭素資源学が避けて通れない概念の形成に向けた動きが必要だと痛感した。

以上に述べたフォーラムI～Ⅲはいくつかの合同フォーラムを経て、2010年6月に一堂が会し、あらためて合同討論を展開した（フォーラムの中間纏め）。四つのトピックス、すなわち、1. エネルギーベストミックス（キーワード例；石炭火力発電の高効率化、再生可能エネルギー）、2. CO_2を考える（CCS、泥炭火災）、3. 省エネルギー（ヒートポンプ、化学産業の成長戦略）、4. アジア環境（中国の環境、エネルギー事情、都市設計）を企画側が用意した。まず参加者が四つにグループに分かれ、それぞれのトピックについて意見交換、討論を行い、ついで、纏められた意見を全体に紹介、改めて討論するというスタイルをとった。

約50名が参加したこの討論会は、時間の経過とともに徐々に白熱したものとなり、博士課程学生、とくに留学生諸君の活躍に助けられ、その結果、多くの異なる考え方、見方があるのを知るとともに、いくつかのコンセンサスも得ることができたように思われる。

この討論会では、以下が論点となった。

（1）世界の経済成長と炭素循環システム維持を両立できる炭素資源の利用法
（2）世界の経済成長と環境保全を両立する炭素資源の利用法（とくにアジアを対象として）
（3）（1）、（2）を実現するための、先進国と



開発国の役割。

筆者は一つのグループの討論においてモデレータを務めたが、アジア各国からの留学生が参加者の大半を占めたこのグループでは、大変興味深いコンセンサスや共通の興味を抽出できた。概要は以下の通り。

- 我々が直面するのが温暖化、炭素資源供給の逼迫（将来的には枯渇?）、あるいはそれら双方であっても、炭素資源利用の高効率はアジア諸国にとって必須である。ただし、それには経済成長が伴うことが前提。
- 経済成長と低炭素化の両立に向けては、CO_2排出／GDPは一つの指標であり、現在の日本はそのモデルの一つ。ただし、それをアジアの他国へそのまま適用するのは合理的でない。GDP増大・炭素資源消費増大のリンクを断ち切る方法を「地域・国」を踏まえて見出すことできるか?
- アジア諸国の少なくとも一部は、炭素資源に恵まれ資源輸出能力もある。炭素資源、とりわけ（現在のところそう呼ばれている）低品位炭やバイオマス資源の高付加価値化や超省エネ型の新化学産業を産資源国において創出できないだろうか? 実現のための日本の役割は何か?
- アジア共同体を指向すべき。資源・エネルギー・素材・化成品とこれらに係る産業についてアジアの国々が役割を分担する共同体形成の可能性があるのではないか? どの国が何を分担すべきか、できるか?

全体討論では非常に多くのコメントが披露され、それらを短稿に集約するのは難しいが、環境、化学産業に関するコメントを通じて垣間見えたのは、やはりアジア共同体の指向であった。上に述べた論点（3）の答えを示すには至らなかったが、アジア共同体があるとすれば、その中で各国が持続的に果たす役割（機能と言い換えても良い）を、地域や社会・経済システム、文化などを踏まえたうえで見出すことができるのではないか。さらに、それを基盤として、革新的な炭素資源利用、省エネルギー、環境保全のための基礎科学と技術への展開を提言できるのではないだろうか?「科学と技術の融合」は言われて久しいが、これに対して、（個人的見解で、言い過ぎではあろうが）国を越えた社会学・科学・工学の融合品としての新炭素資源学があるかもしれない。

新炭素資源学フォーラムのこれまでを振り返った。これから考えるべきことばかりが現れた1年目であったが、これまでフォーラムに継続的に参加した博士学生諸君には、包括的（言い方を換えると守備範囲が広すぎてぼんやりとしか見えない）な新炭素資源学を、「耳学問」であったとしても経験することによって、自身が行う特定専門分野の先端的研究を冷静に眺めたり、全体システムの中に位置づけて思考したり、ということが起こっているかもしれない。また、学生諸君のなかには、自信のある特定専門分野の知識とは異なり、研究者として持つべき教養（基礎も含めて）の不足を実感した者もいるかもしれない。もしそうであれば、フォーラムは、すでに一つの役割を担っていると言えるだろう。

引用文献

1）永島英夫、新炭素資源学フォーラムの発足について、九州大学グローバルCOEプログラム 新炭素資源学　ニューズレター、vol. 2（2010）

NEWS

クウェート科学技術研究所（KISR）と財団法人国際石油交流センター（JCCP）が、共同研究事業に調印

2010年11月1日・クウェート

永島　英夫　Hideo Nagashima

九州大学グローバルCOEプログラム拠点「新炭素資源学」
拠点リーダー

クウェート科学技術研究所（KISR）は、財団法人国際石油交流センター（JCCP）との重質原油の改質技術共同研究事業（事業名:Research on Upgrading Technology of Kuwait Heavy Crudes）に係る調印式をおこないました。九州大学から、永島副学長（本COEリーダー）と持田特任教授（炭素資源国際教育センター）が参加しました。KISRとJCCPの共同事業は1993年に始まり、これまでに21件以上の研究事業と11回以上のシンポジウムが行われ、成功をおさめています。この共同事業では、九州大学とJX日鉱日石リサーチ（株）が技術支援を行いますが、これまでにない特徴として、KISRとJCCP間の技術協力に日本の石油精製会社が参加するだけでなく、基礎研究を担う大学（国立大学法人九州大学）が参画します。

本事業の目的は、これからのクウェートの石油精製産業にとって重要となるであろうクウェートの典型的な重質原油、すなわちラタウィ・ブルガン、イオシン、そしてロワーファースから採掘される原油から得られる軽油（GO）や常圧残油（AR）の性状・反応特性を研究することにあります。研究知見に基づいた国際規格に従って高品質の石油製品を製造するための、上記原油のプロセス可能性が探究されます。

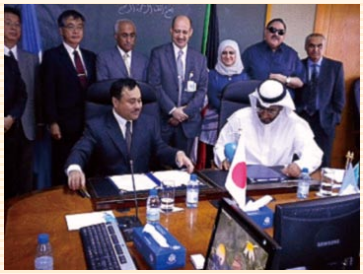
クウェートの原料油に特有のデータは非常に少ないか、または入手困難です。この共同事業によって、上記原油に関する科学的・技術的データの構築と、過去数十年間にわたってクウェートの製油所で用いられてきたKuwait Export Crude (KEC) との比較が可能になります。得られた情報は、将来的にクウェート国立石油会社（KNPC）での石油精製事業にとって有益なものとなると期待されます。

日本側

1. 小溝　泰義　駐クウェート日本国大使
2. 山下　宜範　在クウェート日本国大使館　一等書記官
3. 吉田　盛厚　財団法人 国際石油交流センター　常務理事
4. 仁田　健次　財団法人 国際石油交流センター　リヤド事務所所長
5. 巣山　信之　財団法人 国際石油交流センター　マネージャー
6. 永島　英夫　国立大学法人九州大学　副学長
7. 持田　　勲　国立大学法人九州大学　特任教授（名誉教授）
8. 高野　正充　JX日鉱日石リサーチ（株）マネージャー
9. 東　　英博　財団法人 国際石油交流センター／クウェート科学技術研究所

クウェート側

10. Dr. Naji M. Al-Mutairi, Director General
11. Dr. Mohammed Salman, DDG/Reseasrch
12. Dr. Nader Al-Awadhi, DDG/Information
13. Ms. Sahera Al-Dousari, DDG/A&F
14. Dr. Abdulhameed Al-Hashem, Director/PRSC
15. Dr. Meena Marafi, DM/PRD
16. Dr. Mohammed Al-Ramadhan, KPC
17. Mr. Ahmad Al-Jimaz, DMD/Shuaiba Refinery
18. Mr. Mohammad Ghazi Al-Mutairi, DMD/MAB Refinery
19. Ms. Badriya Farhad, KOC
20. Mr. Khalid Al-Mushaileh, KNPC
21. Dr. Suad Al-Radhwan, MAA, KNPC
22. Dr. Adel Al-Abbasi, KOC
23. Mr. M. Al-Homoud, OMPM/KISR



調印式の様子

スピーチを行う永島英夫拠点リーダー

調印式の様子は地元のメディアでも報道されました

SYMPOSIUM & WORKSHOP

SYMPOSIUM シンポジウム

The 5th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences 主催

日　時：2010年4月21～23日
場　所：オーストラリア・カーティン工科大学

第20回万有福岡シンポジウム —最新の有機化学が発信する新しい「もの創り」のパラダイム— 共催

日　時：2010年5月22日
場　所：九州大学医学部百年記念講堂

The 6th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences 主催

— Aiming toward Low-Carbon Society —

日　時：2010年11月12～13日
場　所：九州大学筑紫キャンパス

Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Sciences12 共催

日　時：2010年11月17～18日
場　所：韓国・POSTEC

九州大学グローバル COE「新炭素資源学」公開講座 ～温室効果ガス CO_2 削減について考えよう～ 共催

日　時：2010年11月27日
場　所：福岡女子大学　大学会館

第三回 生活環境系シンポジウム ～住まいと地域環境から考える健康～ 共催

日　時：2010年12月3日
場　所：北九州学術研究都市　学術情報センター

第23回化学工学に関する国際シンポジウム 共催

日　時：2010年12月4日
場　所：九州産業大学　1号館

第二回ガス化とその応用に関する国際シンポジウム(iSGA 2010) 共催

日　時：2010年12月5～8日
場　所：THE LUIGANS

地球科学技術に関する国際シンポジウム2010 共催

日　時：2010年12月7～8日
場　所：九州大学伊都キャンパス　稲盛国際ホール

WORKSHOP ワークショップ

3rd G-COE International Workshop on Energy and Environment in Chemical Engineering 共催

日　時：2010年5月31日
場　所：九州大学伊都キャンパス　鉄鋼リサーチセンター

International Workshop on Process Intensification 2010 共催

日　時：2010年12月2～3日
場　所：九州大学伊都キャンパス　稲盛国際ホール

LECTURE & SEMINAR 講演会

G-COE「新炭素資源学」特別講演会&意見交換会 主催

日　時：2010年5月21日
場　所：九州大学筑紫キャンパス　先導研中央棟

高等研究院セミナー：ノーベル化学賞受賞者　シャープレス博士特別講演会 共催

日　時：2010年5月21日
場　所：九州大学伊都キャンパス　稲盛財団記念館大ホール

先導物質化学研究所・GCOE：新炭素資源学 講演会 共催

日　時：2010年6月2日
場　所：九州大学筑紫キャンパス　総合理工学府D棟

2010年日本液晶学会講演会･討論会 共催

日　時：2010年9月5～8日
場　所：九州大学医学部百年講堂

協賛･後援セミナー

九州大学 炭素資源国際教育研究センター 講演会

日　時：2010年5月31日
場　所：九州大学筑紫キャンパス　C-CUBE

第49回工業物理化学講習会 ―低エネルギー社会構築のための電力システムとデバイス開発―

日　時：2010年10月22日
場　所：九州大学伊都キャンパス　稲盛財団記念館

第145回KASTECセミナー

日　時：2010年12月3日
場　所：九州大学筑紫キャンパス　産学連携センター

九州大学 炭素資源国際教育研究センター 講演会

日　時：2010年12月10日
場　所：九州大学筑紫キャンパス　C-CUBE

2010年度
研究実績報告

受賞・報道掲載

●受賞
化学工学論文集　2009年度優秀論文賞
(2010/03)
松隈 洋介、井上 敬文、伊集院 幸久、井上 元、峯元 雅樹
「格子ボルツマン法を用いたハニカム充填層の流速均一化に関する研究」

伊藤 栄基、弦巻 茂、森賀 卓也、山田 昭彦、野島 繁、井上 元、松隈 洋介、峯元 雅樹
「固体高分子形燃料電池の劣化防止に関する研究」

●受賞
平成21年度日本冷凍空調学会賞　奨励賞
(2010/05)
小山 繁、XUE Jun、桑原 憲
「CO_2を作動媒体としたヒートポンプサイクルの性能予測法の開発」

●受賞
第19回日本環境化学会　環境化学技術賞
(2010/06)
澤津橋 徹哉、塚原 千幸人、嬉野 絢子、中尾 智春、馬場 恵吾、福永 義徳、三浦 則雄
「オンライン固相抽出のためのポリ塩化ビフェニルの最適吸着剤の探索」

●受賞
Asian Core Program Lectureship Award (Taiwan)
(2010/11)
永島 英夫
"Catalysis in Siloxane Gels"

●受賞
Asian Core Program Lectureship Award (Singapore)
(2010/11)
友岡 克彦
"Asymmetric Synthesis of Chiral Silanol and Its Transformation"

●受賞
有機合成化学協会九州山口支部優秀論文賞
(2010/12)
井川 和宣
"Asymmetric Synthesis of Chiral Silacarboxylic Acids and Their Ester Derivatives" Kazunobu Igawa, Naoto Kokan, and Katsuhiko Tomooka

●受賞
9th International Symposium on Advances in Electrochemical Science and Technology (ISAEST-9), The Best Paper Award
(2010/12)
K. Chihara, T. Doi, S. Yatomi, S. Okada, J. Yamaki
"Electrochemical Properties of Monodisperse Nano-size $LiMnPO_4$ and $LiFePO_4$ Perpared by Liquid Phase Synthesis Method"

●受賞
第47回化学関連支部合同九州大会 若手研究者奨励賞
(2010/07)
上野 貴大
「金ナノ粒子/ハイパーブランチポリマー複合膜による有機メモリの素子特性」

●受賞
第47回化学関連支部合同九州大会 若手研究者奨励賞（物理化学）
(2010/07)
藤 章裕
「アルミナ細孔内外に担持したPd-$LaMnO_3$触媒のNO-CO反応活性」

●受賞
Best Presentation Award TOCAT6/APCAT5 Youth Session
(2010/07)
木村 加奈
"Preparation of highly dispersed platinum catalysts on TiO_2 by using polymer-protected nanoparticles"

●受賞
The 5th Pacific-Rim Conference on Rheology (PRCR-5), The Best Poster Presentation Award
(2010/08)
胡 皓
"Viscoelasticity of pullulan in ionic liquid Bmim Cl"

●受賞
資源素材学会2010秋季大会　若手ポスター賞
(2010/09)
森山 紗好
「Mg-Al系複合酸化物を用いた水溶液中のホウ素除去」

●受賞
第24回 ダイヤモンドシンポジウム　ポスター優秀賞
(2010/11)
大曲 新矢
「p型超ナノ微結晶ダイヤモンド・水素化アモルファスカーボン混相膜/n型Siヘテロ接合の紫外線受光」

●受賞
平成22年度日本エネルギー学会　奨励賞
(2010/11)
分山 達也
「再生可能エネルギーの定量的なポテンシャル評価による九州地域の分析」

●受賞
第2回半導体材料・デバイスフォーラム　ポスター優秀賞
(2010/12)
大曲 新矢
「超ナノ微結晶ダイヤモンド/水素化アモルファスカーボン混相膜の光学デバイスへの応用」

●報道掲載
ISIHighlyCited.comより、Engineeringの分野で研究論文が数多く引用され、この分野に多大に貢献している「世界の277人の研究者のうちの一人」として、三浦則雄教授が選ばれました。
(2010/11)
三浦 則雄
ISIHighlyCited.com（http://isihighlycited.com）

発行：九州大学グローバルCOEプログラム拠点「新炭素資源学」事務局

〒816-8580　福岡県春日市春日公園6-1
TEL: 092-583-7616　FAX: 092-583-7619
Email: ncrs@cm.kyushu-u.ac.jp
URL: http://ncrs.cm.kyushu-u.ac.jp