フロリダ大学 ERC 訪問記

藤 正督

Masayoshi Fuji

1. はじめに

2000年4月1日から一年間, University of Florida, Engineering Research Center for Particle Science and Technology (フロリダ大学, 粒子科学技術工学研究センター: 以下 ERC と略記) に研究員として滞在する機会が与えられた。研究所名からも容易に想像されることであるが, ERC は本誌の読者に変々興味深い組織である。それゆえこの機会に, 私が関わったプロジェクト以外もなるべく網羅するように紹介したい。

2. University of Florida (フロリダ大学)

フロリダ大学 (図1) にお世話になると決まってから, 何人かの方に「海が綺麗でいいね!」, 「ディズニーワールドが在るところだよな?」と言われたことが思い出される。日本人のフロリダのイメージかもしれない。前者はマイアミビーチ, 後者は言わずと知れたオーランドの大テーマパーク群である。たしかにフロリダの旅行ガイドブックをみると, これらの解説にほとんどのページが割かれている。ところが, フロリダ大学のある Gainesville (ゲインズビル) は, それらよりはるか北方, オーランドから約 200km, マイアミから約 550km のフロリダ半島内陸に位置する大学町なのである。町には小さな空港もあるが, フロリダ大学を訪ねる場合は, 便数の多いオーランド, あるいはジャクソンビルから来ることになる。日本からの直行便は無く, 少なくとも一回はアメリカ国内で乗りかえる必要がある。パイロットから聞いた話では燃料タンクの容量が足りずフロリダ半島まで直行便を飛ばすことができないそうだ。したがって, 日本からはアメリカ東海岸よりもさらに遠く, 飛行機で最低16~17時間はかかる遠隔の地である。

図1 フロリダ大学のランドマーク Century Tower

ゲインズビルはフロリダ大学の為にある町と言っても過言ではないであろう。ゲインズビルの就業人口の7~8割が何らかの形で大学に関係しているそうである。それゆえ, ゲインズビルの一年は大学と共に始まり, 大学と共に終わるのである。そして, ゲインズビルは前述したような華やかなフロリダとは違い, ゆっくりと研究や勉強に専念できる場所である。

フロリダ大学の学生数は約4万5千人。男女比は51:49である。学生数の75%が大学生, 18%が大学院生, 7%が専門的学位取得を目指し歯学部, 法学部, 医学部, 薬学部, 獣医学部などに所属する学生である。ある調査団体のアメリカ大学ランキングにおいて, フロリダ大学は全公立大学中第2位, 全米では5番目にランクするそうである。また, 企業へのライセンス契約やパテント収入などが多いこともフロリダ大学の特徴の一つである。日本でもおなじみのスポーツドリンク, 「ゲータレード」はフロリダ大学で開発されたもので, アリゲーターとエレクトロライトでゲータレードと名付けられたそうである。

ゲータレードの効用かどうかは? であるが, アメリ

2000年12月26日受付

東京都立大学工学研究科応用化学専攻

(〒192-0397 八王子市南大沢1-1) TEL 0426-77-1111

図2 Ben Hill Griffin スタジアム (通称: swamp)

カンフットボールやバスケットなどスポーツもなかなか強く、全米でも五本の指に必ず入るほどの強豪である。フットボールスタジアム(図2)はなんと東京ドームよりも多い8万人の観客を収容できる立派な施設である。特にアメリカンフットボールの試合はなかなか人気があり、毎試合満席になる。チケットを手に入れるのはかなり難しいが、シーズン中にフロリダ大学を訪れる際には、一見の価値は在る。

これらのチームはいずれもゲーターズとよばれている。もちろんアリゲーターのゲーターである。ワニをモチーフにしたシンボルマーク入りのキャラクターグッズは町中で売られている。子供たちにも人気があるらしく、チアリーダーのバービー人形まで売っているのには驚かされた。私の愛車のナンバープレートもキャラクター入りのものであった。

3. ERC 概要

ERCは1994年9月にNSF(National Science Foundation)、フロリダ大学および企業からの資金をもとに研究、教育および企業共同研究の為の最高の国際センター設立を目指し設置された(図3)。NFSからのファンドが切れる2004年以降も自給自足可能なよう予算計画されている。センター長(ディレクター)は、昨年の粉体工学会秋期研究会(幕張)で特別講演されたフロリダ大学マテリアルサイエンステクノロジー学科のMoudgil(モーギル)教授(図4)である。ERCのメンバー構成とセンター内に席を持つ主なスタッフとを表1に示す。ERCの研究面の統括はEl-Shall(エルシャ)教授が受け持たれている。研究の内容については次項に示すことにして、ここではERCの特徴をになう二人を紹介しておきたい。Sander氏は技術管理、技術移転・製品開発、知的所有権管理、研究共同体開発と管理、最先端な研究における大学/産業共同研究コーディネートのスペシャリ

図3 ERC の予算

図4 ERC ビルの玄関前にて(右からEl-Shall 教授, Moudgil 教授, 筆者)

表1 ERC の構成メンバー

UF	Members Outside UF
24 University of Florida faculty	Clarkson University
- 10 Departments	Columbia University
- 4 Colleges	University of South Florida
3 Industry Professors	University of Central Florida
25 Eminent Scholars	University of Utah
6 Research staff	NC State & NC A&T
5 Post doctoral fellows	Oak Ridge National Lab
50 Graduate students	Industrial Partners
60 Undergraduates	41 Companies
Davies, Reg : ERC Advisor	
Donnelly, Anne : Associate Director for Education & Outreach ProGrams	
El-Shall, Hassan : Associate Director For Research	
Moudgil, Brij M. : Director	
Powers, Kevin : CRIT Manager	
Sander, Erik : Associate Director for Industrial Collaboration & Technology Transfer	
Singh, Rajiv : Associate Director for CRIT

図5 Paint Lab. の授業風景

ストであり、主に研究前のお膳立て、成果の有効活用に尽力されている。彼の存在で、研究者はパテントや契約の問題に悩まされることも無く研究に専念できる。また、もう一人は Donnelly 教授である。教授は Instruction and Curriculum の学位（日本語では教育学博士にあたるのだろうか）を持つ教育のスペシャリストである。ERC では単位が取得できる正規授業8コマを担当しているが、彼女のアドバイスやアイデアにより、学部学生、大学院生が粉体工学および粒子科学を効率的に学べるように工夫されている。学部学生対象の授業では粉体工学および粒子科学がいかに生活や産業の中で重要か、粉体物性の面白さなどにふれさせながら興味を持たせ、学習へのモチベーションが向上されるよう計画されている。特に大学一年生対象の講義と実験で構成される Paint Lab.（図5）は人気授業の一つとなっている。学生は、粉体と社会、粉体と産業および塗料調整に関する簡単な講義を聞いた後、無機顔料、活性剤などの配合をトライアンドエラーで模索し水性塗料を作製、実際に壁にペイントして結果を確かめてみる。学生たちは配合比、粒度や分散、凝集状態の仕上がりへの影響などを通し、粉体工学および粒子科学に触れる。学生にとって、講義と実験前にはペンキはただのペンキだったが、受講後にはペンキがいかに粉体工学や粒子科学を駆使して開発されているか、どれだけの英知が結集しているかを実感し、かつ粒度分布などの基礎的物性測定の方法論について学ぶことができるのである。何よりも学生たちが実に生き生きと講義と実験を行っている姿が印象的であった。この授業は初の開講後、今年で4年目を迎える。何人の受講者が ERC へと戻ってくるのか

図6 ERC の研究概要

楽しみである。その他、国際交換学生制度、インターンシップ、学部学生に実際の研究に参加させるプログラム（奨学金）も充実している。また、ERC のパートナー企業から学部学生にふさわしいテーマを設定してもらい、ERC スタッフの指導のもと学生が企業の研究の一部を体験するといった制度もある。学生は企業での開発とはいかなるものかを早い段階で体験することで、学習へのモチベーションを上げることがそのねらいである。また、専門分野の異なる学部学生を一堂に集め粉体工学および粒子科学を教育することはスケジュール、理解の進度の違いから大変困難である。そのため教育の一手段としてホームページを用いた教育が提案されている。今年から学内での試験的運用が試みられている。近い将来はアメリカ内外の提携校にも教育のネットを広げるよう計画されている。21世紀にメジャーになるであろうネット教育の先駆けとして筆者はその成果を期待している。また、社会人（技術者）向けにも Short course と称する各種の短期研修プログラムが用意されている。

4. 研究内容紹介

ERC のすべての研究は、図6中の縦割りグループ I ～IV に示すゴールに向かい進められている。それぞれのゴールは粒子レベル、粒子集合体、システムのスレッドで問題が整理され研究が組み立てられている。さらにこれら成果を総合的に評価する為にテストベッドによる実験を行い、実用化を常に意識した研究展開をしている。粒子表面のキャラクタライズやコントロールに始まり、実際のプラントまでを視野に入れた総合力には圧倒される。

ゴール I の最終目的は粒子の高度分離であり、表面

科学および流体動力学による粒子あるいは分子の付着／脱着プロセスの効率を改善する為の基礎知識の問題にその焦点が当てられている。バクテリア除去や汚水精製などで年間数十億ドル、すでに利用されているサイトブロッキングコンセプト（スラリーの分散凝集のコントロール剤）では2億ドル以上の市場インパクトが見こまれている。また、このゴールは Moudgil 教授のナノスケールからシステムを組み上げるという強い信念に基づくプロジェクトであり、ERC の特色でもある。それゆえここでの成果はすべてのゴールに通じる中枢を担う。

ゴールⅡは化学、電子工学、薬学の分野におけるシステムや高機能粒子あるいはスラリーをつくりあげることにある。ここでの成果のフィードバックの一つとして半導体産業などで用いられる CMP（Chemical Mechanical Polishing）への応用がとりあげられ、テストベットにおいて盛んに研究が進められている。CMP に用いられるスラリー（砥粒の分散凝集状態制御）の制御により市場インパクトは10億ドルが見こまれている。

ゴールⅢは付着性粉体の輸送の信頼性と効率の向上を目指している。粉体工学の最もトラディショナルな課題である。ERC でのアプローチの特徴はミクロ、メソスケールでの一個粒子の性質とマクロな粉体の力学特性から、粉体の流れの性質を予測できる DES (Discrete Element Simulations) モデルを構築し、いかなる粉体システムも再現することにある。これらの目的達成の為、付着性粉体のミクロスケール、マクロスケールでのキャラクタリゼーションを行うツールの開発、DES モデルの構築、テストベットでの検証などが行われている。

ゴールⅣは最近立ち上がったプロジェクトである。薬剤の過剰投与の問題を解決することがその目的である。20億ドルの市場インパクトがあり、全米だけで年間30万人の人々が救われると推定されている。ゴールⅡでの粒子合成技術およびゴールⅠでの競争吸着コントロールの知識を生かし血中に残存する過剰薬剤成分を減少させるような新しいナノバイオパーティクルを合成しようという試みである。逆の見方をすれば、機能化粒子の設計指針の構築でもある。現在、以下に示すような三つのタイプの薬剤成分除去メカニズムが考えられている（図7）。（1）物理化学的に異なる環境に薬剤を囲い込む。たとえばミセルやエマルジョンがこれにあたる。（2）粒子内部の機能化した表面への吸着。例えばナノチューブやテンプレートにより

図7 薬剤除去用機能性粒子

図8 EWLS/3DOT

作成された粒子がこれにあたる。（3）薬剤成分などの代謝性を示す P450 酵素を上記のような粒子に組み込み体内不活性物質への変換を計る。

各プロジェクトは粉体を工業的に取り扱う場合にに必要な理論と技術（知識バリアと技術バリア）を意識し進められている。知識バリアは粒子の性質、粒子間相互作用の把握に力点が置かれている。特にナノスケールでの一個粒子の性質、ミクロスケールでの二個粒子間相互作用およびマクロスケール、すなわち粒子集合体としての性質を個々に把握することと互いの関連性が強く意識されている。技術バリアでは各種のデバイス開発に力が注がれている。

これらの研究の流れにおいて重要な成果がすでに多くある。すべてをここで紹介することは紙面の都合上困難であるので、筆者が独断で選んだ三つを次に紹介することにする。

4.1 EWLS/3DOT (Evanescent Wave Light Scattering with 3D optical trap)

EWLS/3DOT は $1\mu\text{m}$ 以下の一個粒子と表面間の微小な相互作用力を測定する為に開発されたツールである。装置の概念図を図8に示す。図上部のプリズムを通して導入される He-Ne レーザーが検体表面に達しエバネッセント波を生じる。このエバネッセント波

図9 BLMT サイクロン

は表面の下方に置かれた粒子により散乱される。その強度は検体表面と 90° 方向の距離すなわち表面と粒子の距離に応じて減衰する。したがって、エバネッセント波散乱光の限衰量から表面と粒子間の距離が求められる。とくに粒子-表面間の測定に重要なナノメートルスケールでの距離分解能が非常に良い。また下方からのトラップレーザにより粒子にかかる $2\sim 3\text{fN}$ (Femto Newton) の力の変化を計ることができる。ERC では原子間力顕微鏡 (AFM) を用いた同様の研究も盛んに行われていたが、 $5\mu\text{m}$ 以下の粒子に対する測定はハンドリング上非常に困難である。しかし、本方法では $5\mu\text{m}$ 以下の粒子も取り扱い可能であり、ナノメートルオーダーの微粒子と表面間の相互作用力の測定に大きなアドバンテージを持っている。

4.2 Boundary Layer Momentum Transfer (BLMT)-Cyclone

BLMT サイクロンは ERC と InnovaTech. 社が共同開発した $1\sim 50\mu\text{m}$ の粒子を対象とした分級装置である。装置の概略図を図9に示す。

空気と粒子が上部から供給され、微粉は回転している薄いディスク間の狭い隙間を通り排出される。一方粗粒は BLMT ディスクの回転により起こる渦巻き流れによる遠心力作用および重力により下部から排出される。BLMT ディスクの回転数に応じて分級のスレッシュホールドがコントロールできることがこの装置の特徴の一つである。また、この分級機は最小限の摩擦で

微粉体の優れた分級能力を実現できることも魅力の一つである。遠心分離機による分級では高い遠心力により衝撃が粒子に加えられる為、デリケートな粒子を破壊してしまう恐れがあるが、本装置ではそれを最小限にとどめることができるのである。現在、単分散粒度分布の微粒子を得る場合、工業的には数百万ドルのコストがかかるそうである。しかしながら、BLMT 分級機を使えば、このようなコストの問題が解決できるほか、スペック外の不良品量も最小限で押さえられるそうで、ERC 自信の作である。

4.3 Atomic Flux Coating Process (AFCP)

AFCP の概略図を図10に示す。AFCP はレーザーアブレーション効果により原子状になったターゲット材料を粒子表面にクラスターとして生成させ粒子コーティングする技術である。この方法の特徴はミクロンサイズの無機および有機粒子表面に化学的に複雑な組成構造のクラスターを生成できる点にある。その能力は数ミクロンサイズのアルミナ粒子に YBCO 組成の超伝導物質のクラスターを生成など多くの系で実証されている。現在は吸引喘息剤への応用が試みられている。

5. おわりに

巨大組織ゆえ、説明不十分な部分も多々あると思う。さらに詳しく知りたい方は、ERC の公式ウェブサイト：www.erc.ufl.edu をご参照いただきたい。また、フロリダ大学についてご興味の有る方は大学のウェブサイト：www.ufl.edu を参照することをお勧めする。

Scarlett 教授も一月に Delft Univ. of Tech. から Univ. of Florida へ移籍され、ERC はますますアクティブになった。今後の ERC の発展をお祈りするとともに、末筆ながら、お世話になった Moudgil 教授と Sunday meeting で友に学んだ同士に感謝したい。

図10 AFC プロセス